

事業報告書

第1期中期目標期間

目次

I 総説

1. 中期目標の期間.....	1
2. 基本情報.....	1
(1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構の概要	1
(2) 本社・支部等の住所	4
(3) 資本金の状況	4
(4) 役員の状況.....	4

II 第1期中期目標期間の事業

1. 業務運営の効率化に関する目標を達成するためとるべき措置	5
2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する 目標を達成するために取るべき措置	14
(1) 研究開発関連業務.....	15
(ア) 提案公募事業（大学・公的研究機関等を対象とするもの）	15
(イ) 中長期・ハイリスクの研究開発事業.....	19
(ウ) 実用化・企業化促進事業.....	23
(エ) 研究開発成果の権利化や広報・情報発信に関する事項.....	30
(オ) 産業技術人材養成の推進.....	32
(カ) 技術経営力の強化に関する助言	32
(2) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等	33
(ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針	33
(イ) 新エネルギー・省エネルギー導入普及業務等の実施に係る共通的实施方針	55
(3) クレジット取得関連業務.....	58
(4) 出資・貸付経過業務.....	60
(5) 石炭経過業務.....	61
(6) アルコール関連経過業務.....	61
3. 予算（人件費見積もりを含む）、収支計画及び資金計画	63
4. 短期借入金の限度額	66
5. 重要な財産の譲渡・担保計画	66
6. 剰余金の使途	66
7. その他主務省令で定める事項等	66
8. 技術分野毎の事業	69
< 1 > ライフサイエンス分野	69
< 2 > 情報通信分野	134
< 3 > 環境分野	171
< 4 > ナノテクノロジー・材料分野.....	224
< 5 > エネルギー分野	289

< 6 >新製造技術分野	372
< 7 >各分野の環境分野・融合分野及び関連分野	386

(第1期中期計画及び第1期実績)

<別表1>第1期中期目標期間 決算報告書	391
<別表2>第1期中期目標期間 貸借対照表及び損益計算書	397
<別表3>第1期中期目標期間 キャッシュ・フロー計算書	409

I 総説

1. 中期目標の期間

平成 15 年 10 月 1 日から平成 20 年 3 月 31 日

2. 基本情報

(1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構の概要

①目的

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「機構」という。）は、石油代替エネルギーに関する技術及びエネルギー使用合理化のための技術並びに鉱工業の技術に関し、民間の能力を活用して行う研究開発（研究及び開発をいう。以下同じ。）、民間において行われる研究開発の促進、これらの技術の利用の促進等の業務を国際的に協調しつつ総合的に行うことにより、産業技術の向上及びその企業化の促進を図り、もって内外の経済的社会的環境に応じたエネルギーの安定的かつ効率的な供給の確保並びに経済及び産業の発展に資することを目的とする。このほか、気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書（以下「京都議定書」という。）第六条 3 に規定する排出削減単位の取得に通ずる行動に参加すること、京都議定書第十二条 9 に規定する認証された排出削減量の取得に参加すること及び京都議定書第十七条に規定する排出量取引に参加すること等により、我が国のエネルギーの利用及び産業活動に対する著しい制約を回避しつつ京都議定書第三条の規定に基づく約束を履行することに寄与することを目的とする。（独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第四条）

②業務内容

機構は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第四条の目的を達成するため、以下の業務を行う。

i) 研究開発関連業務及び新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務

- ・我が国産業競争力の源泉となる産業技術について、以下の各技術分野において将来の産業において核となる技術シーズの発掘、産業競争力の基盤となるような中長期的プロジェクト及び実用化開発まで各段階の研究開発を行う。

【技術分野】

- < 1 > ライフサイエンス分野
- < 2 > 情報通信分野
- < 3 > 環境分野
- < 4 > ナノテクノロジー・材料分野
- < 5 > エネルギー分野
- < 6 > 新製造技術分野
- < 7 > 各分野の境界分野・融合分野及び関連分野

- ・新エネルギー技術（太陽光、風力、廃棄物、バイオマス、水力、地熱等）及び省エネルギー技術に係る研究開発と、研究開発された新エネルギー技術・省エネルギー技術の実社会における適用可能性を検証するための実証試験、新エネルギー・省エネルギー技術の導入助成等の導入普及業務を行う。さらに、海外においても、我が国のエネルギー安全保障の確保、エネルギー・環境問題の解決等に資するような案件を選定して海外実証業務等を実施する。また、我が国において主要なエネルギーの一つである石炭の安定供給確保を図るといふ政策目的に資するため、初期調査から開発に至る各段階において事業を実施する。

ii) クレジット取得関連業務

- ・京都議定書の削減目標を達成するため、クリーン開発メカニズム（CDM）・共同実施（JI）・グリーン投資

スキーム（GIS）を活用し、クレジットの取得関連業務を行う。

iii) 出資・貸付経過業務

・ 鉱工業承継業務について、企業の株式処分に係る出資先会社等との調整、計画的な貸付金回収を行う。

iv) 石炭経過業務

・ 貸付金償還業務について、回収額の最大化及び管理コストの最小化に考慮し、計画的な貸付金回収を行う。

・ 旧鉱区管理等業務について、旧石炭鉱業構造調整臨時措置法（昭和三十年制定）により、機構が買収し、最終鉱業権者となっている旧鉱区に関する鉱害の発生防止のため当該鉱区及びボタ山の管理を行う。

③沿革

昭和 55 年 10 月	石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律の制定に伴い、「新エネルギー総合開発機構」として設立。
昭和 57 年 10 月	国からアルコール製造事業が移管。（アルコール専売法の改正）
昭和 63 年 10 月	産業技術研究開発業務を追加。「新エネルギー・産業技術総合開発機構」に改称。（産業技術に関する研究開発体制の整備等に関する法律）
平成 5 年 4 月	エネルギーの使用合理化を促進するための業務等を追加。（エネルギー需給構造高度化のための関係法律の整備に関する法律（エネルギーの使用合理化に関する法律の改正等））
平成 5 年 10 月	福祉用具に関する産業技術の研究開発業務を追加。（福祉用具の研究開発及び普及の促進に関する法律）
平成 8 年 10 月	石炭鉱害事業団と統合（石炭鉱害賠償等業務の追加）。（石炭鉱害賠償等臨時措置法の改正、臨時石炭鉱害復旧法の改正）
平成 9 年 6 月	新エネルギー利用等の促進に関する債務保証業務を追加。（新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法）
平成 12 年 4 月	産業技術に関する研究及び開発の助成等の業務を追加。（産業技術力強化法）
平成 13 年 4 月	アルコール販売業務を追加。（アルコール事業法）
平成 13 年 7 月	民間の鉱工業基盤技術に関する試験研究を促進するための業務を追加。（基盤技術研究円滑化法の改正）
平成 14 年 3 月	石炭鉱業構造調整業務及び石炭鉱害賠償等業務における所要の経過業務を整備。（石炭鉱業の構造調整の完了等に伴う関係法律の整備等に関する法律の施行に伴い、石炭鉱業構造調整臨時措置法、石炭鉱害賠償等臨時措置法及び臨時石炭鉱害復旧法の廃止）
平成 14 年 12 月	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法成立、公布
平成 15 年 4 月	鉱工業承継業務を追加。（基盤技術研究円滑化法の改正）
平成 15 年 10 月	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構設立
平成 16 年 7 月	特定事業活動等促進事業等（経過業務）を追加
平成 18 年 4 月	アルコール事業本部を完全民営化に向け特殊会社化に移行。（日本アルコール産業株式会社法の施行）
平成 18 年 7 月	京都メカニズム クレジット取得関連業務を追加
平成 19 年 4 月	技術経営力の強化に関する助言業務を追加

④ 設立根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法（平成十四年十二月十一日・法律第百四十五号）

⑤ 主務大臣（主務省所管課等）

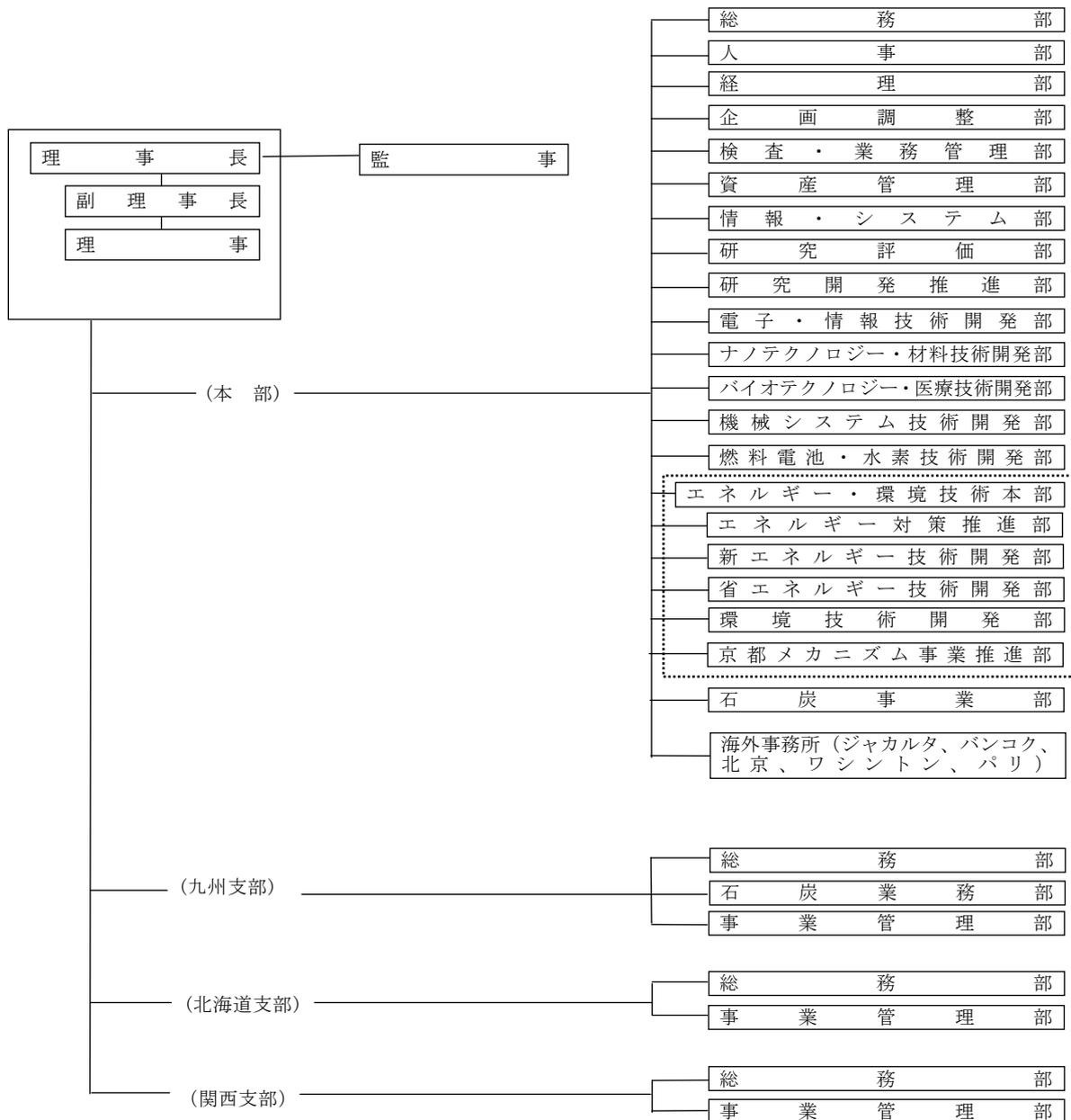
経済産業大臣（経済産業省産業技術環境局技術振興課）

※京都メカニズムクレジット取得関連業務は経済産業大臣（地球環境局環境政策課京都メカニズム推進室）
及び環境大臣（産業技術環境局地球温暖化対策課市場メカニズム室）

⑥ 組織図

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構の組織図

（平成 20 年 3 月 31 日現在）



(2) 本社・支部等の住所

- ①本部 〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町 1310 番
ミューザ川崎セントラルタワー 16～21 階
- ②九州支部 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅二丁目 19-24
大博センタービル 10 階
- ③北海道支部 〒060-0003 北海道札幌市中央区北三条西三丁目 1-47
NORTH33 ビル 8 階
- ④関西支部 〒530-0001 大阪府大阪市北区梅田三丁目 3-10
梅田ダイビル 16 階

(3) 資本金の状況

(単位：百万円)

区 分	期首残高	当期増加額	当期減少額	期末残高
政府出資金	144,446	27,380	28,331	143,496
民間出資金	530	-	315	215
資本金合計	144,977	27,380	28,646	143,711

※金額の欄の係数は、原則として四捨五入によっているので端数において合計と合致しないものがある。

(4) 役員状況 (平成 20 年 3 月 31 日現在)

役 職	氏 名	任 期	担 当	経 歴
理 事 長	村田 成二	自 H19.10.1 至 H23.9.30	業務運営全般を統括	経済産業事務次官 日本生命保険相互会社特別顧問
副理事長	山本 隆彦	自 H19.10.1 至 H23.9.30	業務運営全般について理事長を補佐、企画調整担当	東京電力(株)フェロー(理事待遇) (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 理事
理 事	吉田 裕	自 H19.10.1 至 H21.9.30	総務、人事、検査、情報システム及び石炭事業担当	通商産業省大臣官房付 (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 顧問
理 事	宮沢 和男	自 H19.10.1 至 H21.9.30	研究開発推進、ナノテクノロジー・材料技術開発担当	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 首席研究員
理 事	和坂 貞雄	自 H19.10.1 至 H21.9.30	環境技術開発、燃料電池・水素技術開発及びバイオテクノロジー・医療技術開発担当	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境技術開発部長
理 事	小井沢 和明	自 H19.10.1 至 H21.9.30	エネルギー・環境技術、エネルギー対策推進、新エネルギー技術開発及び省エネルギー技術開発担当	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 参事
理 事	上原 明	自 H19.11.1 至 H21.9.30	研究評価、広報、電子・情報技術開発及び機械システム技術開発担当	住友電気工業(株)貿易管理室長 兼 研究開発本部技師長
監 事	田村 茂	自 H19.10.1 至 H21.9.30	監査業務担当	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構 資産管理部長
監 事 (非常勤)	平井 武夫	自 H19.10.1 至 H21.9.30	監査業務担当	(株)ジェイペック参与

Ⅱ 第1期中期目標期間の事業

[中期計画]

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）は、産業技術及びエネルギー・環境分野における中核的政策実施機関として、我が国の産業競争力強化を通じた我が国経済の持続的な発展に貢献するとともに、我が国のエネルギー安全保障の確保やエネルギー・環境問題に係る課題解決に向け、民間の能力・知見を最大限に活用しつつ、以下のミッションを担っていくものとする。

- ①政策当局との緊密な連携の下、産業技術及び新エネルギー・省エネルギー・環境関連技術の研究開発に関して戦略的
重点化を図り、産学官の総力を結集して優れた研究成果を生み出すための高度な研究開発マネジメント機能を提供する。
- ②エネルギー・環境面での技術開発とその導入・普及の促進を通じ、内外のエネルギー・環境問題の解決に貢献する。
- ③業務執行体制や制度に係る不断の見直しを通じて、より機動的かつ柔軟な業務運営に努め、「利用しやすい NEDO」の実現を図る。また、厳格な評価とその結果の適切なフィードバックを通じて、業務運営の一層の効率性を実現するとともに「成果を挙げる NEDO」の実現を図る。
- ④研究開発や新エネルギー・省エネルギー・環境関連技術の導入普及の成果を、可能な限り国民に対し判りやすい形で提供する等、積極的な情報発信を通じて国民への説明責任を全うするとともに、過去の成果の蓄積と内外の最新動向分析を基に時代をリードする政策提言を行う。
- ⑤気候変動に関する国際連合枠組条約の京都議定書の規定に基づく排出削減単位、認証された排出削減量、割当量の一部（以下「クレジット」という。）の取得を通じ、我が国の京都議定書第3条の規定に基づく約束の履行に貢献する。
- ⑥平成13年度に終了した国内石炭政策の経過措置として位置づけられている石炭経過業務については、鉱害復旧業務の平成18年度までの完了を目指すとともに、他の業務についても計画的に実施する。また、アルコール製造部門については、平成18年4月を目途とした特殊会社化に向けた準備を進めるとともに、その後の早期完全民営化に向け、平成18年3月末までを目途とした間、市場競争力と収益性を確保できるようその経営体質の強化を図る。

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には、機動的な組織運営とイノベーション創出へ向けた総合的なプロジェクトマネジメントサイクル確立を図った。具体的には、独立行政法人としての特長を活かし、アルコール事業の民営化等による事業の廃止、エネルギー・環境技術本部及び京都メカニズム事業推進部の新設、海外事務所・国内支部の見直し等、経済・社会ニーズの変化に応じて柔軟な組織運営を実施するとともに、事業の実施に当たっては、「成果を挙げる NEDO」、「利用しやすい NEDO」、「わかりやすく情報発信する NEDO」をスローガンに、産業技術開発、エネルギーの技術開発・実証・導入促進及び地球環境問題の解決に向けて以下のとおり取り組んできた。

- ・科学技術基本計画において重点分野とされている、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料、エネルギー、ものづくり技術等の分野において選択と集中を図りつつ、産業競争力強化につながる出口を見据えた研究開発を実施した。
- ・エネルギー・環境分野では、新エネルギー・省エネルギーの「技術開発」、「実証試験」、「導入普及」の各段階の知見を相互に最大活用し、シナジー効果を発揮した。また、京都メカニズムクレジット取得事業にも着手した。
- ・以上のような業務の推進に当たっては、業務の実施に際し、企画―実施―評価の PDS（Plan-Do-See）サイクルを本格的に導入し、「総合的な研究開発マネジメント」の手法及び体制を機構の最大の強みとして確立した。
- ・愛・地球博に政府機関として唯一参加するなど、国民への成果発信にも注力した。

1. 業務運営の効率化に関する目標を達成するためとるべき措置

(1) 機動的・効率的な組織

[中期計画]

近年における産業技術分野の研究開発を巡る変化や、国際的なエネルギー・環境問題の動向の推移に迅速かつ適切に対応しうるような、柔軟かつ機動的な組織体制を構築し、意思決定及び業務執行の一層の迅速化と効率化を図る。具体的には、下記の対応を行う。

[中期目標期間実績]

近年における産業技術分野の研究開発を巡る変化や、国際的なエネルギー・環境問題の動向の推移に迅速かつ適切に対応しうるような柔軟かつ機動的な組織体制を構築し、意思決定及び業務執行の一層の迅速化と効率化を図るため、平成16年度から、業務のメインプレイヤーであるプロジェクト推進部のみならず、管理・企画部門も含めて役職員間の徹底した議論を行い、次年度の運営方針及び新規プロジェクトの内容等について、各部の事業戦略を定めた業務運営方針を策定した。

[中期計画]

(ア) 関連する政策や技術動向の変化、業務の進捗状況に応じ、機動的な人員配置を行う。また、外部専門家等の外部資源の有効活用により、スリムな組織運営を行う。特に、プログラムマネージャー等、高度の専門性が必要とされるポジションについては、積極的に外部人材を登用する。

[中期目標期間実績]

- (ア) 機動的な人員配置及び外部専門家等の外部資源の有効活用を図ることを目途とし、特定分野の技術開発に関する企画及び運営を専門的見地から調整を行うプログラスマネージャーとして、大学教授等の外部専門家を登用した。(第1期中期目標期間中15人(PD兼務4人を含む))
- また、競争的資金に係る業務に関しては、主に研究助成にかかる企画、運営及び評価を専門的見地から総括するプログラムディレクター(平成19年度より)／プログラモフィサーを登用した。(第1期中期目標期間中10人(PM兼務4人を含む))

[中期計画]

- (イ) 各部門の業務が相互に連携して効率的な運営が行われるような体制を構築する。

[中期目標期間実績]

- (イ) 融合・境界領域への柔軟な対応を図るため、機動的な見直しを実施することにより、特殊法人時代の30部室から、20部室(平成20年4月1日現在)に大括り化した。また、京都議定書の発効を踏まえ、温室効果ガス削減目標達成に向け新エネルギー・省エネルギーのさらなる導入普及促進の必要性が増していることにかんがみ、「エネルギー・環境技術本部」を設置(平成16年12月)し、エネルギー関係部間の連携をより強化した。一方で石炭鉱害事業完了に伴う石炭鉱害部の廃止、国際事業の見直しに伴う国際事業部の廃止等業務の効率的な運営が行われるよう体制構築に努めた。
- さらに、複数のプロジェクトの共通課題の解決と情報共有を図るため、平成18年度にはバイオマス技術分野及び蓄電池技術分野において複数の部に属する部横断的なリエゾン担当を配置し、NEDO全体としての研究開発効率の向上、成果の有効活用を図るべく体制を強化した。

[中期計画]

- (ウ) 効率的な業務遂行体制を整備するため、各部門の業務について、権限と責任を明確化する。研究開発業務及び新エネルギー・省エネルギー導入促進業務については、業務の進捗及び成果に関する目標を年度計画に明確に設定し、組織内部においてその達成状況を厳格に評価する目標管理制度を導入する。

[中期目標期間実績]

- (ウ) 研究開発部門の責任と権限を明確化するとともに、迅速な意思決定を可能とするため、従来契約部署に留保していた契約権限を事業部署担当理事等に賦与した。また、契約権限の事業部署への移管に伴い、各事業部署における契約・検査の統一的運用を図るとともに契約・検査の適性化を図るため、「検査・業務管理部」を設置するとともに、各部に契約・検査担当主幹を配置した。

(2) 自己改革と外部評価の徹底

[中期計画]

全ての事業につき、厳格な評価を行い、不断の業務改善を行う。また、評価に当たっては機構外部の専門家・有識者を活用するなど適切な体制を構築する。評価は、研究開発関連事業に関する技術評価と、事業及び制度に関する事業評価の両面から適切に実施し、その後の事業改善へ向けてのフィードバックを行う。評価の実施に際しては、事業の企画(plan)・実施(do)・内部評価(see)に至るマネジメント・サイクル全体の評価が可能となるような仕組みを構築するとともに、「成果重視」の視点を貫く。

[中期目標期間実績]

プロジェクト実施前には事前評価を、実施中には中間評価を実施し、結果をプロジェクトマネジメントへ適切に反映させるプロセスを確立した。さらにプロジェクト終了直後には事後評価を実施するとともに、終了後5年間の成果の実用化・市場化状況を把握するために追跡調査・評価を実施した。これらの評価の結果得られた知見を機構の研究開発マネジメントに反映させるシステムを構築。具体的には以下のとおり。

- 平成15年度には、真に成果を挙げるプロジェクトを企画立案するための事前評価に係る運用ルールを定めるとともに、事前評価段階でNEDOホームページを活用してパブリックコメントを求める「NEDO POST」を開始し、有効な意見をプロジェクト立案に反映した。平成15年度16件、平成16年度38件、平成17年度42件、平成18年度28件、平成19年度28プロジェクトについてNEDO POSTを実施(平成17年度からは新規プロジェクト全案件に活用)した。
- 機構外部の技術・実用化の有識者を活用し、5年間以上のプロジェクトについて概ね3年目を目処に第1期中期目標期間中に80件のプロジェクトの中間評価を実施。その結果を踏まえて加速・縮小・中止等の見直しを行い、以降のプロジェクトの推進に的確に反映することにより、プロジェクトを効果的に推進した。
- テーマ公募型の研究開発事業を対象として制度評価を実施するとともに、中間評価結果については制度運営の改善等に反映することにより、テーマ公募型事業に係るマネジメント改善の仕組みを構築した。なお、評価の実施に当たっては、制度ユーザー等に幅広くアンケートを行い顧客満足度を的確に把握する等、「利用しやすいNEDO」の観点からの評価を実施した。
- 運営費交付金の柔軟な運用により、目覚ましい成果を達成、国際的に注目される新発見を活用可能、国際標準の確立が有望であるなどのテーマへ資金を迅速に投入する加速制度を創設した。平成15年度以後365件のテーマに適用し、実用化時期の早期化などの効果を挙げている。これらの加速資金を投入した事業については、実用化・製品化割合の向上、時期の短縮等の顕著な成果が創出されつつある。
- 平成16年度より実施した全138件の事後評価の結果、中期計画において定めた目標値(「合格8割」、「優良6割」)をそれぞれ約2割上回る合格96%、優良72%を達成した。また、評価結果から得られた研究開発マネジメント上の

- 知見・教訓事例は「研究開発マネジメントガイドライン」に反映し、今後のプロジェクトマネジメントへ活用した。
- 成果を挙げるプロジェクト運営の基本となる研究評価システムについて、評価に対する信頼感の醸成や評価結果活用の高度化を目的とした評価システムの不断の見直しを継続した。
 - 企業、大学、研究機関へのインタビューを定期的実施し、この結果を踏まえ新たな制度の新設等機構の事業運営に反映するとともに、機構の制度に関するアンケートを毎年度実施し、アンケート結果を委託契約事業、助成事業の業務改善に反映した。
 - 基盤技術研究促進事業のテーマ評価については、以下のとおり実施した。
 - 平成 16 年度には、40 件を対象に中間評価を実施し、その結果を踏まえ、必要に応じて研究の効果的かつ円滑な実施に向けた助言を行うとともに、うち 2 件については平成 17 年度以降の研究内容の修正を行い、1 件については中止とした。また、平成 15 年度終了の 8 件を対象に事後評価を実施し、その評価結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。
 - 平成 17 年度には、3 件を対象に中間評価を実施し、その結果を踏まえ、必要に応じて研究の効果的かつ円滑な実施に向けた助言を行った。また、平成 16 年度終了の 11 件を対象に事後評価を実施し、その評価結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。
 - 平成 18 年度には、平成 17 年度終了の 31 件を対象に事後評価を実施し、その評価結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。
 - 平成 19 年度には、平成 18 年度終了の 28 件を対象に事後評価を実施し、その評価結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。
 - 産業技術研究助成事業については、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度には、中間評価を行った 105 件のテーマのうち、それまでの研究の結果から研究目的の達成を見込めない 1 件につき、継続を断念した。
 - 平成 16 年度には、75 件を対象に事後評価を実施し、今後の研究の更なる発展のための助言を行うなどの対応を図った。
 - 平成 17 年度には、173 件を対象に中間評価を実施し、96 件を対象に平成 18 年 3 月より事後評価を実施した。
 - 平成 18 年度には、128 件を対象に中間評価を実施し、103 件を対象に事後評価を実施した。
 - 平成 19 年度には、138 件を対象に中間評価を実施し、103 件を対象に事後評価を実施した。
 - 国際共同研究助成事業については、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度には、中間評価を行った 13 件について、必要に応じ研究目的達成のための助言を行い研究計画への反映を求めるとともに、事後評価を行った 7 件について今後の研究の更なる発展のため助言を行うなどの対応を図った。
 - 平成 16 年度には、3 件を対象に中間評価を実施し、必要に応じ研究目的達成のための助言を行い研究計画への反映を求めた。また、18 件を対象に事後評価を実施し、今後の研究の更なる発展のための助言を行うなどの対応を図った。
 - 平成 17 年度には、6 件を対象に中間評価を実施し、13 件を対象に平成 18 年 3 月より事後評価を実施した。
 - 平成 18 年度には、3 件を対象に事後評価を実施した。
 - 平成 19 年度には、12 件を対象に中間評価を実施した。
 - 実用化・企業化促進事業のテーマ評価に関しては、以下を実施した。
 - 産業技術実用化開発助成事業については、以下のとおり実施した。
 - 平成 16 年度は、29 件を対象に中間評価を実施し、62 件に対して終了者評価を実施した。
 - 平成 17 年度は、57 件を対象に中間評価を実施し、6 件に対して終了者評価を実施した。
 - 平成 18 年度は、32 件を対象に中間評価を、56 件に対して終了者評価を実施した。また、平成 17 年度「次世代戦略技術実用化開発助成事業」採択者のうち延長申請者 12 件に対し延長評価を実施した。
 - イノベーション実用化助成事業（産業技術実用化開発助成事業）については、以下のとおり実施した。
 - 平成 19 年度は、28 件を対象に中間評価を、134 件に対して終了者評価を実施した。また、平成 18 年度「次世代戦略技術実用化開発助成事業」採択者のうち延長申請者 6 件に対し延長評価を実施した。
 - 大学発事業創出実用化研究開発事業については、以下のとおり実施した。
 - 平成 17 年度は、平成 16 年度採択分及び平成 17 年度採択分 30 件を対象に中間評価を、平成 16 年度で終了及び平成 17 年度上期に終了した 43 件については事後評価をそれぞれ実施した。
 - 平成 18 年度は、平成 16 年度採択分から平成 18 年度採択分 61 件を対象に中間評価を実施した。
 - 福祉用具実用化開発推進事業では、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度は、平成 15 年度で終了する事業 3 件及び平成 16 年度で終了する事業 3 件合計 6 事業に対し中間報告会を実施したほか、平成 14 年度で終了した 11 件の事業者に対し、事後評価を実施した。
 - 平成 16 年度は、平成 16 年度で終了する事業 4 件及び平成 17 年度で終了する事業 1 件合計 5 事業に対し中間報告会を実施したほか、平成 15 年度で終了した 4 件の事業者に対し、事後評価を実施した。
 - 平成 17 年度は、平成 17 年度で終了する事業 5 件及び平成 18 年度で終了する事業 3 件の合計 8 件に対し中間評価を実施したほか、平成 16 年度で終了した事業 7 件に対して事後評価を実施した。
 - 平成 18 年度は、平成 18 年度新規採択を実施し、提案件数 43 件のうち 5 件の採択を行った。平成 16 年度採択 4 件、平成 17 年度採択 1 件における計 5 件の事後評価を行い、平成 16 年度採択 1 件、平成 17 年度採択 4 件、平成 18 年度採択 1 件における計 6 件の中間評価を実施した。
 - 平成 19 年度は、平成 19 年度新規採択を実施し、提案件数 34 件のうち 6 件の採択を行った。また、平成 16 年度採択 4 件、平成 17 年度採択 3 件、平成 18 年度採択 1 件における計 8 件の事後評価を行い、平成 18 年度採択 4 件、平成 19 年度採択 1 件における計 5 件の中間評価を実施した。

- ・エネルギー使用合理化技術戦略的開発については、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度は、16 件(実用化開発フェーズ 11 件、実証研究フェーズ 5 件)を対象に中間評価を実施した。
 - 平成 16 年度では、中間評価として、実用化開発フェーズ 11 件、実証研究フェーズ 4 件の計 15 件について中間評価を実施した。また、事後評価として、実用化 2 件の計 18 件について 5 月末から事後評価を実施した。
 - 平成 17 年度では、実用化開発フェーズにおける平成 16 年度採択 7 テーマの中間評価を実施したほか、平成 16 年度に終了した 11 テーマについて事後評価を実施した。実証研究フェーズにおいては平成 15 年 1 テーマ、平成 16 年度採択 2 テーマ、合計 3 テーマ中間報告を実施したほか、平成 16 年度に終了した 1 テーマについて事後評価を実施した。
 - 平成 18 年度では、実用化開発フェーズにおける平成 17 年度採択 14 テーマの中間評価を実施したほか、平成 18 年度に終了した 16 テーマについて事後評価を実施した。実証研究フェーズにおいては平成 17 年度採択 1 テーマの中間報告を実施したほか、平成 18 年度に終了した 1 テーマについて事後評価を実施した。
 - 平成 19 年度では、実用化開発フェーズについては、平成 18 年度採択 8 テーマの中間評価及び 18 年度終了 12 テーマの事後評価を実施したほか、平成 19 年度に研究期間が終了した 11 テーマについてプレ事後評価を実施した。
- ・実証研究フェーズについては平成 18 年度採択 1 テーマの中間評価及び平成 18 年度に終了した 5 テーマについて事後評価を実施したほか、平成 19 年度に研究期間が終了した 3 テーマに関してはプレ事後評価を実施した。
- ・テーマ公募型の研究開発事業を対象とした制度評価について、中間評価 14 件・事後評価 4 件を以下のとおり実施した。
 - 平成 16 年度には、産業技術研究助成事業、大学発事業創出実用化開発事業、福祉用具実用化開発推進事業の 3 事業については中間評価を行い、エネルギー・環境国際共同研究提案公募事業については事後評価を行った。その結果、成果や認知度向上のための情報発信、多様なニーズに応じた制度設計の柔軟化、より成果を上げるための対象の絞り込みや追加等今後の制度運用等に関し改善点や検討課題が得られた。
 - 平成 17 年度には、国民の健康寿命延伸に資する医療機器等の実用化開発補助事業、知的基盤創成・利用促進研究開発事業の 2 制度について中間評価を行い、二酸化炭素固定化・有効利用技術実用化技術開発事業については事後評価を行った。その結果、成果や認知度向上のための情報発信、多様なニーズに応じた制度設計の柔軟化、より成果を上げるための対象の絞り込みや追加等、今後の制度運用等に関し改善点や検討課題が得られた。
 - 平成 18 年度には、産業技術実用化開発助成事業、国際共同研究助成事業の 2 制度について中間評価を行い、CO₂削減等地球環境産業技術研究開発事業(うち地球環境産業技術に係る先導研究)については事後評価を実施した。その結果、社会・経済のニーズに応じた制度設計の更なる対応、助成先である中小・ベンチャー企業に対する知財管理等の支援、制度間の一層の連携等今後の制度運用等に関し改善点や検討課題が得られた。
 - 平成 19 年度には、産業技術研究助成事業、エネルギー使用合理化技術戦略的開発、知的基盤創成・利用促進研究開発事業、固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発、ナノテク・先端部材実用化研究開発(ナノテクチャレンジ)、バイオマスエネルギー高効率転換技術開発、福祉用具実用化開発推進事業の 7 事業については中間評価を行い、国民の健康寿命延伸に資する医療機器等の実用化開発補助事業については事後評価を行った。その結果、多様なニーズに応じた制度設計の柔軟化、より成果を上げるための対象の絞り込みや追加、中小・ベンチャー企業に対する事業化に向けた助言等による支援、終了後の成果に係るアウトカム把握の必要性等今後の制度運営等に関し改善点や検討課題が得られた。

(3) 職員の意欲向上と能力開発

[中期計画]

- ・個人評価においては、適切な目標を設定し、その達成状況を適切にレビューすることにより、評価結果を報酬や昇給・昇格に適切に反映させる。

[中期目標期間実績]

- ・第 1 期中期目標期間においては、人事評価制度を初めて導入し、基本的な評価制度の構造の理解と仕組みの定着及び研修による評価者のレベル平準化を図った。
- ・また、第 1 期中期目標期間中の評価制度自体の高度化を目指し、職員に対して行ったアンケート調査の結果を踏まえ、①客観性、公平性の確保、②NEDO の組織・業務に即した評価基準の設定、③人材育成をサポートする仕組み等について検討を行い、新人事評価制度を構築し、平成 20 年度からの第 2 フェーズとしての運用を目指して平成 19 年度中に新制度の評価者(管理職)への説明会(5 回計 100 名)を実施した。

[中期計画]

- ・研究開発マネジメント、契約・会計処理の専門家等、機構職員に求められるキャリア・パスを念頭に置き、適切に人材の養成を行うとともに、こうした個人の能力、適性及び実績を踏まえた適切な人員配置を行う。
- ・研究開発マネジメントの専門家を目指す職員に外部の研究開発現場の経験を積ませる等、当該業務実施に必要な知識・技能の獲得に資する能力開発制度を充実する。

[中期目標期間実績]

- ・機構が求める人材の分析・整理を行い、キャリアタイプを設定した。その上で人事異動や各種研修とリンクさせた「人材育成方針」を構築し、固有職員と共有しつつ、個々の職員の能力向上、組織運営の効率化に努めた。
- ・第 1 期中期目標期間中は特に 1 年目から 10 年目程度の職員から主任級の職員に対しての育成方針について具体化、強化を図った。
- ・人材育成方針に基づき、専門性向上、研究開発マネジメント研修として東京大学、早稲田大学、北陸先端大学に合計

7名を派遣し修士号、博士号を取得させた。

- ・研究開発マネジメント現場への派遣として東京大学（光技術）、京都大学（材料）、東北大学（未来科学技術センター）の各研究室へそれぞれ1名ずつ派遣した。
- ・平成19年度にお茶の水女子大学に設けた公開講座「NEDO カレッジ」において、職員が講師及び受講生として参加し、マネジメント能力の向上を図った。
- ・階層別研修については、新たに主任研修を実施した他、課長代理研修の内容について大幅に見直した。
- ・出向職員が速やかに機構の業務を習熟することを目的とし、委託業務研修、検査業務研修、知財研修等の各種専門研修を実施した。

（4）業務の電子化の推進

[中期計画]

- ・電子化の促進等により事務手続きの一層の簡素化・迅速化を図るとともに、機構の制度利用者の利便性の向上に努める。

[中期目標期間実績]

- ・予算執行、契約、検査、会計処理の進捗状況等を一元的に管理する「プロジェクトマネジメントシステム」を構築・導入し、導入以降ユーザーからの様々な改善要望を取り入れた各種機能追加を行い、機構内の事務処理の効率化を図った。
- ・システム間連携基盤（EAI：Enterprise Application Integration）を介して各システム間のデータの連携を可能とするシステムを構築し、適切な予算執行管理、データ入力のリダクション等さらなる業務効率化を図るとともに、複数年契約対応、少額発注のシステム化、伝票自動起票等を実現した。
- ・産業技術研究助成事業においては、電子申請による提案書の受付を開始し、451件の電子申請による応募があり、全応募件数の約26%に達した。
- ・プロジェクト実施者の利便性の向上及びプロジェクトマネジメントの高度化に資するべく、プロジェクト実施者と機構との間での各種申請・届出等のやり取りやプロジェクト関連情報の共有を電子的手段により実現するポータルサイトを構築し、平成20年度からの本格運用を可能とした。
- ・職員に対するシステム機能の啓発を図るために、システム関連研修を120回（約1,784名参加）行い、職員のITリテラシーの向上に努めた。

[中期計画]

- ・幅広いネットワーク需要に対応できる機構内情報ネットワークの充実を図る。

[中期目標期間実績]

- ・インターネット回線の増速、Webメールシステムの導入、共有ドライブの拡張、PC-LANシステムの全面更改を行い、機構内ユーザーの利便性の向上を図った。
- ・機構内ネットワークの冗長化、集中バックアップ機能の導入及びネットワーク基盤の充実を図った。
- ・次期PC-LANシステム更改に向け、機能面及びコスト面に加え運用管理面も含めて効率的・合理的なものとなるよう見直しを行い、取組内容及びその効果を明確にした「NEDO PC-LANシステム業務・システム最適化計画」を策定し、公表した。

[中期計画]

- ・情報システム、重要情報への不正アクセスに対する十分な強度を確保することにより、業務の安全性、信頼性を確保する。

[中期目標期間実績]

- ・国の統一基準である「政府機関の情報セキュリティ対策のための統一基準」に準拠したセキュリティポリシーとして「情報セキュリティ管理規程」及び「情報セキュリティ対策基準」を策定し、情報セキュリティ対策の強化を図るとともに機構内ユーザーの情報セキュリティに対する意識改革に努めた。
- ・迷惑メール対策、業務電子バックアップデータの外部保管を実施するとともに、メールの転送禁止設定や情報の複写、印刷等を制限することを可能とする仕組み、不正端末防止機能及びサーバ室入室管理（生体認証）を導入し、業務の安全性、信頼性を確保した。

（5）外部能力の活用

[中期計画]

費用対効果、専門性等の観点から、法人自ら実施すべき業務、外部の専門機関の活用が適当と考えられる業務を精査し、外部の専門機関の活用が適当と考えられる業務については、外部委託を活用するものとする。

なお、外部委託の活用の際には、機構の各種制度の利用者の利便性の確保に最大限配慮するものとする。

[中期目標期間実績]

従来職員が行ってきた事務業務について、積極的にアウトソーシングの活用を図った。具体的には、機構の情報ネットワークシステムの維持管理及び運用業務、職員の給与支給に係る明細の作成業務及び当該明細の地方組織の職員への発送業務に係る事務処理、海外出張における損害保険付保業務並びに外部来訪者に対する総合受付業務について、費用対効果等を点検しつつ外部能力の活用を図った。

(6) 省エネルギー及び省資源の推進と環境への配慮

[中期計画]

環境に調和して持続的に発展可能な社会に適応するため、日常の業務推進に当たりエネルギー及び資源の有効利用を図るものとする。

[中期目標期間実績]

機構の温室効果ガス排出量を平成 24 年度までに平成 18 年度比 6%削減の目標を掲げた「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構における温室効果ガス排出抑制のための実施計画」を策定・公表（平成 19 年 7 月）するとともに、同計画に掲げた取組について全役職員に対して周知徹底を行い、より一層の啓蒙普及の促進を図った。

具体的には、電気使用の低減のため昼休み休憩時間帯の執務室内の消灯励行、パソコン、コピー機等 OA 機器類のこまめな電源オフや省エネモードの励行等を継続して実施するとともに、ノー残業デー（毎週水・金曜日）を設け、役職員の定時退社を促すよう館内放送による呼びかけ、巡回点検の強化等を実施した。また、省資源化のため両面コピーの励行、会議資料等の電子化を推進した結果、平成 19 年度までに平成 14 年度比 8.2%のコピー用紙を削減した。

(7) 業務の効率化

[中期計画]

不断の業務改善、汎用品の活用等による調達コストの削減の取り組み等を通じて業務の効率化を進めることにより、段階的に一般管理費（退職手当を除く。）を削減し、中期目標の期間の最後の事業年度において特殊法人比 15%を上回る削減を達成する。

なお、人件費については、行政改革の重要方針（平成 17 年 12 月 24 日閣議決定）に基づき、国家公務員の定員の純減目標（今後 5 年間で 5%以上の純減）及び給与構造改革を踏まえ、国家公務員に準じた人件費削減の取組を行い、平成 18 年度から本中期計画目標期間の終了時（平成 19 年度）までの 2 年間で 2%以上の人件費を削減する。

事業については中期目標の期間の最後の事業年度において特殊法人比 5%を上回る効率化を達成する。なお、上記効率化に向けた取組を進める一方で、産業技術政策及びエネルギー・環境政策の観点からの新たな要請に配慮する。既存事業については進捗状況を踏まえて不断の見直しを行う。

[中期目標期間実績]

一般管理費（退職手当を除く。）については、地方支部の規模の見直しによる経費削減、一般競争入札等の徹底による事務経費の効率化、法定耐用年数を経過した特許の処分による維持経費の削減、公用車の削減（12 台→3 台）等の取組により、特殊法人比 15.9%の削減を達成した。なお、人件費については、常勤役員の月例支給額の引き下げ、職員俸給表の平均 4.8%の引き下げ、職務手当の定額化等の給与改定、昇給幅を 1 号俸抑制する昇給抑制の実施、人事院勧告の完全実施の見送り等の取組により、平成 17 年度比 4.3%の削減を達成した。

事業については、事業の効率化のための機動的・弾力的なマネジメントを行い、平成 19 年度の事業費予算は特殊法人比△13.2%であったが、事業の質を損なうことなくむしろ向上させ、高い成果を挙げたため、特殊法人比 13.2%の効率化を達成した。

(8) 石炭経過業務の効率化に関する事項

[中期計画]

業務に係るマニュアル策定等による定形化の推進等、業務運営の円滑化を図る。

[中期目標期間実績]

業務に係る各種マニュアルを策定するとともに、必要に応じ見直すことにより、業務の定型化等を推進し、業務運営の円滑化及び効率化を図った。

(9) アルコール関連経過業務の効率化に関する事項

[中期計画]

(ア) 特殊会社化及びその後の完全民営化を円滑に進めるため、資産をいかに効率的に売上に活用しているかを示す指標である総資産回転率を経営指標とし、平成 17 年度末において過去 5 年間の業界平均である 0.78 以上を達成する（平成 14 年度実績 0.57）。

[中期目標期間実績]

(ア) 平成 15 年度には、アルコール製造業務を行う事業への投資により設立する子会社等を行う業務及び資産を有効に活用した新規事業 FS を行うことを目的として、複数のプロジェクトチームを立ち上げた。

平成 16 年度には、更なる経営基盤・収益基盤の強化のための積極的な取り組みを行った。具体的には、財務基盤の強化を図るべく、DCF 及び NPV による経営管理手法を採用し、キャッシュフローマネジメントの強化を図った。また、保有する資産を有効に活用した新規事業について、FS 及び DCF・NPV の観点から経済性評価を行い、確実な事業展開に向け、新規事業への設備投資を含む事業計画を立案し、新規事業のひとつである発酵副産物高付加価値化事業について、事業開始に向けた準備を行った。

平成 17 年度には、新規事業のひとつである発酵副産物高付加価値事業について、特殊会社化後、速やかに開始できるよう設備整備を行った。

なお、売上数量は増加したもののコスト削減努力を反映したアルコール販売価格の引下げによる売上高の減少、アルコール以外の事業による売上げ増がほとんどなかったことにより、指標である総資産回転率は、約 0.62（見込み）となり目標を達成できなかった。

[中期計画]

(イ) アルコール製造部門における汎用的なアルコールに関する原料費以外の経費については、平成 14 年度を基準として平成 18 年度を目途にコスト半減を達成する効率化を進め（平成 14 年度実績 42,379 円/k1）、その成果を顧客に順次還元する。

[中期目標期間実績]

(イ) 平成 15 年度には、標準原価を年次的に設定し、原価項目毎の差異について要因分析を行い、標準原価を上回る原価項目についての改善手段について、検討を開始した。また、人件費を含む工場管理経費及び本部経費の削減により、汎用的なアルコールに関する原料費以外の経費について、対平成 14 年度比約 25%削減した。（平成 15 年度実績 31,568 円/k1）（今後の決算作業の進行により修正することがありえる）

平成 16 年度には、アルコール製造業務の効率化への取り組みによるコスト削減の成果を顧客に還元すべく販売価格を平成 16 年 5 月に引き下げた。汎用的なアルコールに関する原料費以外の経費について、原料歩留まりの向上、エネルギー原単位の向上等への取り組み、工場管理経費及びアルコール事業本部経費の節減等により、平成 14 年度比約 35%の削減を達成した。

平成 17 年度には、平成 18 年度を目途にしたコスト半減は、以下の取組みにより達成する見込みが立った。原料調達コストの低減化及び一般管理費等のコスト削減の成果を顧客に還元すべく、販売価格を平成 17 年 8 月に引き下げた。汎用的なアルコールに関する原料費以外の経費について、アルコール製造に係る原料歩留まりの向上、エネルギー原単位の向上等への取組み、工場管理経費及びアルコール事業本部経費の節減等実施し、平成 14 年度比約 36%削減（見込み）を達成した。

[中期計画]

(ウ) 上記（ア）及び（イ）の目標を実現するため、以下の措置を講じる。

i) 業務運営の効率化及び特殊会社化に向けた組織資源の多面的活用の観点から、事業の独自性に重点をおいて、機能的かつ機動的な組織体制への転換及び最適な人員配置を図る。

[中期目標期間実績]

i) 平成 15 年度には、アルコール事業本部の事業の独自性に重点をおくため権限委任規程を制定し、当本部の業務に関する権限をアルコール事業本部長に委譲し、また、職務権限規程を制定し、当本部の業務執行に関する各職位の責任と権限を明確にした。民間企業の経験者を採用するとともに、営業部お客様相談室を設置した。製造作業部門については、1 班 3 名から 1 班 2 名に作業グループを再編成し、人員の見直しを行った。目標管理と行動指針による個人評価制度を構築し、運用を開始した。また、職員の評価制度に対する理解向上のため、評価者、被評価者に対して説明会及び研修会を実施した。

平成 16 年度には、発酵副産物の商品化研究開発を効率的に行うため、出水アルコール工場内に研究開発センター分室を設置した。平成 15 年度に引き続き民間企業経験者の採用を推進し、原料調達機能等の充実を図った。更なる業務の組織的かつ効率的な運営の強化を図るため、各職位の責任と権限がより明確かつ効果的に発揮されるよう、職務権限規程の見直しを行った。平成 15 年度より実施している人事評価制度の見直しを行い、評価の精度向上を図った。また、職員の評価制度に対する理解向上のため、評価者、被評価者に対して説明会及び研修会を実施した。

平成 17 年度には、製品品質管理を更に強化するため、アルコール本部及び工場において製品品質管理と環境対策等に重点を置いた部門を設置した。人事考課者に対し、目標管理及び人事考課に関する研修を実施するとともに、職員に対しても説明会を実施し、人事考課制度の更なる理解向上及び定着を図った。

[中期計画]

ii) アルコール製造業務の効率化のため、以下の措置を講じる。

a) 原料調達に当たっては、国際市況・為替相場などから検討・分析し、調達のタイミング・数量・品質等を勘案するとともに、最も効果的な方法を探り入れることにより、調達価格の低減化を図る。

[中期目標期間実績]

a) 平成 15 年度には、原料調達においては、原料の不純物含有量の基準値を設定し、この基準値を下回る品質の場合には、その含有物質及び含有量に応じ調達価格の割引を行う調達システムを導入し、その結果として 92 件の契約件数のうち 31 件の割引対象があり、約 25 百万円の調達額の低減化を達成した。製造計画及びタンク容量等を勘案し、鹿島工場においては、平成 15 年度から 1 契約毎の調達数量を増加させた効果の検証を行った。

平成 16 年度には、原料調達においては、予想される原料価格上昇のもと安価な時期に、従来の 3 ヶ月分の購入から 6 ヶ月分に購入期間を変更し、早めに調達契約をした。また、不純物含有量による割引を行う調達についても、結果として 61 件の契約件数のうち 31 件該当し、調達額が約 25 百万円削減できた。また、トレーサビリティが確保できる安定した品質の原料を確保するために、中長期的な原料調達の戦略について着手した。

平成 17 年度には、原料調達においては、引き続き不純物含有量による割引を行う調達の実施によって、1 月末までの 63 件の契約件数のうち 20 件の割引対象があり、約 29 百万円（見込み）の調達額の低減化を達成した。また、アルコールの国際的市況等の最新情報収集・分析にも注力し、そのデータの活用により、適切な時期に 6 ヶ月分の購入期間を設定・契約した結果、安価かつ安定した原料調達が実施できた。さらに、原料を安定的かつ信頼できる品質で調達するため、原料調達戦略を策定し、中長期的な調達システムを構築中である。

[中期計画]

- b) これまでの業務体制を抜本的に改めることにより、事務効率の改善を行い、工場管理経費及びアルコール事業本部経費について、平成 14 年度を基準として、平成 17 年度末までに 20%以上を削減する。

[中期目標期間実績]

- b) 平成 15 年度には、職員の給与の引下げ、転職支援制度の活用による削減、人事院勧告の援用等を実施し、人件費の削減を行った。また、備品、消耗品等の経費について、削減可能経費と位置付け、予算執行管理の実施し、管理経費で対平成 14 年度比約 29%の削減が達成できた。(今後の決算作業の進行により修正することがある)

平成 16 年度には、業務運営上の必要経費又は日常的経費の適切な執行を考慮した予算管理を行い、効率のよい業務を推進し経費の削減を行った。これらの取組みにより、工場管理経費及びアルコール事業本部経費について対 14 年度比約 35%の削減が達成できた。さらに特殊会社に向けた新基幹統合情報システム (ERP) の構築を完了し、平成 17 年 4 月から運用を開始した。

平成 17 年度には、ERP システムの運用開始による管理業務 (経理業務、給与業務) の効率化による事務経費の削減及び徹底した予算執行管理の実施による経費節減、さらには、転職支援制度の運用による人件費の削減を行い、対平成 14 年度比 20%以上 (見込) の削減を達成した。

[中期計画]

- c) 原料歩留まりについては、平成 17 年度末までに 99.0%以上を達成する (平成 14 年度実績 98.9%)。

[中期目標期間実績]

- c) 平成 15 年度には、原料歩留まりについては、製品品質の安定化を重視した製造作業により平成 14 年度実績を下回った。また、製品品質の安定化を確保しつつ、過去の作業データ等の整理、分析を実施し、従来の技術標準の検証及び製造作業に係る技術標準の見直しを開始した。さらに、技術員の運転操作等のスキルアップを図るため各工場で 3～5 回の講習及び製造技術の知識レベルの確認のため基礎知識試験を 2 回並びに試験分析基礎知識試験を 1 回実施した。

平成 16 年度には、各工場の製造課スタッフに対してマテリアルバランス、熱バランスのデータ整理、分析手法についての講習を実施し技術員のスキルアップを図った。また、品質の安定化の確保を図りつつ、過去の作業データ等の整理、分析を実施し、従来の技術標準の検証及び製造作業に係る技術標準の見直しを継続的に実施した。原料歩留まりは、製品品質の安定化を優先した作業を行ったこと及び原料中に蒸留工程での除去が困難な不純物 (クロトンアルデヒド) が含有していたこと等により、98.0%と平成 14 年度実績を下回る結果となった。

平成 17 年度には、平成 16 年度に設定した技術標準に基づき製造作業を実施するとともに、ユーザーニーズの一つである「性状」の向上及び品質の安定化を重視した製造作業を行っている。原料歩留まりは、製品品質を向上させたにもかかわらず、ほぼ目標値に近い 98.9% (見込み) となっている。さらに、「臭い」の品質分析に対する官能向上を目指し、分析手法の講習を行い技術員・品質管理者のスキルアップを図るとともに、これまでの分析・判断基準値の見直しを行った。

[中期計画]

- d) エネルギー原単位については、平成 14 年度を基準として、平成 17 年度末までに 5%以上向上させる (エネルギー原単位平成 14 年度実績重油 0.145t/k1、都市ガス 172.5m³/k1、液体燃料 0.067t/k1、動力 91.8kwh/k1)。

[中期目標期間実績]

- d) 平成 15 年度には、エネルギー原単位については、製品品質の安定化を重視した製造作業により平成 14 年度実績を下回る結果となった。また、品質の安定化を確保しつつ、過去の作業データ等の整理、分析を実施し、従来の技術標準の検証及び製造作業に係る技術標準の見直しを開始した。製造設備の点検を機械装置点検表により毎日または毎直毎に実施した。また、ボイラ等の機器について自主点検の実施及び法定点検の受験により、製造設備等の点検を確実に実施し、必要な修繕を行った。蒸気、動力のムダを排除するため、データ収集を行い、熱収支の検討及び改善策の検討等の省エネルギー活動を強化した。

平成 16 年度には、各工場の製造課スタッフに対してマテリアルバランス、熱バランスのデータ整理、分析手法についての講習を実施し省エネルギー活動を強化した。品質の安定化の確保を図りつつ、過去の作業データ等の整理、分析を実施し、従来の技術標準の検証及び製造作業に係る技術標準の見直しを継続的に実施した。各製造設備の自主点検を機械装置点検表により毎日または毎直毎に実施するとともに法定点検を受検し、適宜、適切に修繕を行った。これらエネルギー原単位向上に向けた取り組みを実施し、エネルギー原単位のひとつである動力原単位は 5%以上向上させることができたが、燃料原単位については、製品品質の安定化を優先した作業を行ったこと及び原料中に蒸留工程での除去が困難な不純物 (クロトンアルデヒド) が含有していたことにより、平成 14 年度実績を下回る結果となった。

平成 17 年度には、エネルギー原単位については、第一次熱精算の診断結果の製造業務への反映及び省エネルギー活動の強化、製造設備の確実な点検と適切な改善等の取組みにより、平成 14 年度比 5%以上向上した。また、第二次熱精算を行い、動力・排水・ボイラの熱精算・熱診断結果を分析し、さらなるエネルギー原単位向上の可能性を検証した。

[中期計画]

- e) アルコール製造部門のコスト削減効果を最大限発揮させるとともに収入基盤の多様化を図るため、これまでア

ルコールがほとんど使用されていなかった用途について、民業圧迫を回避しつつアルコールを加工した製品を平成 17 年度末までに開発する。また、アルコール製造における副産物を高付加価値化した製品を開発し、平成 17 年度末までに販売を開始する。

[中期目標期間実績]

e) 平成 15 年度には、アルコール含有カビ取り剤等の新たなアルコール用途への製品化研究開発及び副産物を利用した肥料・飼料の製品化の研究開発等を行った。特に平成 15 年度では、今までにない住居用アルコール含有洗剤を試作し、モニター調査を実施した。また、副産物を利用した肥料を試作し、その効果の検証を行った。また、副産物の商品化に係る特許出願を 7 件行った。

平成 16 年度には、平成 15 年度に引き続き、アルコール含有カビ取り剤等の新たなアルコール用途への製品化研究開発及び副産物を利用した肥料・飼料の製品化の研究開発等を行った。特に平成 16 年度では、アルコールを加工した製品について社内モニター調査の結果に基づき製品の改良を行うとともに、容器等についても検討し、社外モニター調査を実施した。また、副産物を利用した肥料を作成しその効果の検証を行うとともに、7 件の肥料登録を行った。また、副産物の商品化に係る特許出願を 1 件行い、商品化に向けて外部との共同研究を行った。

平成 17 年度には、平成 16 年度に引き続き、アルコール含有カビ取り剤等の新たなアルコール用途への製品化研究開発及び副産物を利用した肥料・飼料の製品化の研究開発等を行った。特に平成 17 年度では、アルコールを加工した製品について、社外モニター調査結果に基づき、試作品の改良を行った。また、副産物の製品化については、外部機関と共同研究を進め、特許出願を 1 件行うとともに新たに作製した肥料 7 件を肥料登録し、登録済みの 7 件とあわせ効果検証を行う等、特殊会社後の速やかな販売開始の準備を行った。

[中期計画]

iii) アルコール販売業務の効率化のため、以下の措置を講じる。

a) 流通基地である保管庫については、既存のユーザーの利便性に配慮しつつ廃止を含めた再編整理を行い、流通経費を平成 14 年度を基準として平成 17 年度末までに 5%以上削減する（流通経費平成 14 年度実績 5,247 円/kl）。

[中期目標期間実績]

a) 平成 15 年度には、回送契約については、回送に伴う汚染事故の未然防止のため、製品アルコール輸送専用容器を有し、かつ輸送容器に関して特別の洗浄方法のノウハウを有する者のみを競争入札に参加させるべきとの判断から、指名競争入札を採用し、競争原理を最大限に生かすこととした。これにより、回送契約単価が、前年度契約単価より約 10%の低減が図られた。また、より効率的な運搬手段について、最適物流体制を立案した。

平成 16 年度には、平成 15 年度に立案した最適物流体制に基づく効率的な運搬手段(車両の大型化)を一部実施したこと等により、平成 15 年度回送契約単価より 2.4%の削減が図られた。

平成 17 年度には、製品回送の効率的な運送手段を実現するため、大型化の導入及び台数の一部見直しを行い、流通経費について平成 14 年度比約 7% (見込み) の削減を達成した。また、さらなる安全且つ効率的輸送とコスト削減を図るため製品回送及び原料輸送について、車輛台数の見直し及び大型化の導入等による物流体制を立案した。

[中期計画]

b) アルコールの調達先となった民間企業に対するアルコール販売については、保管庫を経由せずに当該企業の製造場等で行えるよう措置する。

[中期目標期間実績]

b) 平成 15 年度には、アルコールの調達先となった民間企業に対するアルコール販売については、保管庫を経由せずに当該企業等で行える方法を整備し、入札参加企業等 (11 カ所) に周知した。

平成 16 年度には、保管庫を経由せずに当該企業の製造所等でアルコール販売が行なえるよう措置した。

平成 17 年度には、調達先となる企業の製造場等で保管庫を経由せずにアルコールの自家消費が行なえるよう措置したが、採用した企業は無かった。

[中期計画]

iv) 展示会へ積極的に出展すること等により、工業用アルコールの普及啓発活動及び潜在的ユーザーの発掘を行い、平成 14 年度を基準として平成 17 年度までにアルコールの売上数量を 6%以上伸ばすことを目指す (過去 3 ヶ年平均伸び率 0.5% (平成 12 年度～平成 14 年度))。

[中期目標期間実績]

iv) 平成 15 年度から 17 年度にかけて、各展示会において、アンケート調査及び来場者へのインタビューを実施し、アルコールの認知度、使用用途の認知度及びアルコールに関しての要望、疑問等今後の啓蒙普及活動戦略への有用な情報を得るとともに、新製品アルコールの提供に向け、収集した情報の分析・活用を行った。

<各種展示会への出展>

◆食品開発展 2003

(平成 15 年 10 月 7 日～9 日、来場者数：43,762 名、ブース来場者にアンケートの実施 (70 件))

◆第 29 回国際食品・飲料展

(平成 16 年 3 月 9 日～12 日、来場者数：105,487 名、ブース来場者にアンケートの実施 (221 件))

◆Ifia Japan 2004

(平成 16 年 5 月 26 日～28 日、来場者数：26,176 名、ブース来場者にアンケートの実施 (197 件))

◆食品開発展 2004

(平成 16 年 10 月 5 日～7 日、来場者数：44,888 名、ブース来場者にアンケートの実施 (150 件))

◆Ifia Japan 2005 (平成 17 年 4 月 26 日～28 日、来場者数：30,389 名、ブース来場者にアンケートの実施 (172 件))

◆化粧品産業技術展 2005 (平成 17 年 6 月 15 日～17 日、来場者数：23,326 名、ブース来場者にアンケートの実施 (233 件))

◆食品開発展 2005 (平成 17 年 10 月 5 日～7 日、来場者数：44,923 名、ブース来場者にアンケートの実施 (144 件))
<販売数量の推移>

平成 14 年度の販売実績 300,630k1 に対し、平成 15 年度においては 313,040k1 を売り上げ、対前年度比約 4.1% の売上増を達成した。

平成 15 年度の販売実績 313,630k1 に対し、平成 16 年度においては 325,875k1 を売り上げ、対前年度比約 4.1% の売上増を達成した。

平成 16 年度の販売実績 325,875k1 に対し、平成 17 年度においては 344,653k1 を売り上げ、対前年度比約 5.8% の売上増を達成した。平成 14 年度との比較では、約 14.6%増加しており、目標である 6%を大幅に上回った。

[中期計画]

- v) 特殊会社に必要な営業販売機能を確立するための準備として、民間企業での長期研修や営業経験者の受入れを行うとともに、アルコール製造業務を行う事業への投資を通じて、その基盤整備を図る。

[中期目標期間実績]

- v) 平成 15 年度には、営業販売に係るノウハウ取得及びマーケティング戦略の構築・運用等の習得を目的とした長期実務研修のため、民間企業 2 社にそれぞれ 1 名ずつの職員を派遣した。また、民間企業の営業経験者 2 名を受け入れた。

平成 16 年度には、営業販売に係るノウハウ取得及びマーケティング戦略の構築・運用等の習得を目的とした長期実務研修のため、民間企業 1 社に 1 名の職員を派遣した。また、民間企業の営業経験者 2 名を受け入れるとともに「与信/債権管理セミナー」等を開催し、営業・販売担当者のスキルアップを行った。さらに、カスタマーニーズの発掘・適正な販売チャネルの開発等に関して種々のリサーチ、マーケットサーベイを民間企業からの営業経験者のノウハウを活用し実施している。

平成 17 年度には、「お客様の立場に立つ」ことを基本とした考え方である「ユニバーサルデザイン」の研修を実施 (月 2 回 (10 回)) し、営業・販売担当者の質的充実を図るとともに関係企業へ積極的に訪問し「顧客訪問記録」を作成し、共有化することで営業・販売担当の育成に努めた。さらには、ERP システムを活用した効率的な販売受注システムの構築を含め、特殊会社に必要な営業販売機能を確立した。

[中期計画]

- vi) 業務の改善活動を日々の業務に取り入れ事業全体に定着させることにより、一人ひとりの職員が業務運営の改善に積極的かつ自発的に取り組む風土を醸成する。そのために、業務の運営状況やその改善状況等を容易に把握・理解できるようにした情報をすべての職員に提供する。

[中期目標期間実績]

- vi) 平成 15 年度には、職員自ら考え行動していく組織風土への改革及び業務の改善を職員自気づいて行動していく組織への変革について、外部有識者によるコンサルティングを実施した。また、これらのコンサルティングにより、2 工場 (鹿島、千葉) において、製造課を中心に問題点等の情報を共有化し、解決のために自発的ミーティングを行う風土が培われた。また、職員への業務運営状況、その改善状況等の情報提供においては、全ての職員に対して、部長会等の主要な会議の議事録をイントラネット上に掲載し、提供することとした。

平成 16 年度には、職員一人ひとりが、業務改善活動 (小集団活動) に積極的・自発的に参加して、相互のコミュニケーションを図ることにより、業務遂行上の問題点等に気づき、これらの問題点等に対する解決案を自発的に提案する風土が全社的に定着した。また、管理職に対しては、リーダーとしての期待役割を正しく理解させるとともに部下育成と組織の活性化を図ることを目的に外部有識者によるコンサルティングを実施した。経営会議及び業務の運営状況やその改善状況等の情報を提供することで、職員一人ひとりに統一意識を持たせた。

平成 17 年度には、業務の効率化とコストダウン、スキルとモチベーションの向上を目的に小集団による業務改善活動を展開し職員が業務改善に対し積極的かつ自発的に取組みコスト削減に大きく寄与した。また、活動を通じて組織全体のコミュニケーションの強化を図るだけでなく活動報告会も開催することで全社としての理解が深まり、一人ひとりの職員が業務運営の改善に積極的かつ自発的に取り組む風土を醸成された。さらに業務の運営状況やその改善状況等の情報を提供し、情報の共有化を図った。

2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するために取るべき措置

総論

[中期計画]

機構は、我が国の産業技術及びエネルギー・環境分野の中核的政策実施機関として、内外の最新の技術動向や政策動

向を的確に把握しつつ、政策当局との密接な連携の下、「科学技術基本計画」、「科学技術に関する予算、人材等の資源配分の方針」、「エネルギー基本計画」、「地球温暖化対策推進大綱」、経済産業省が定める「プログラム基本計画」、産学官連携に関する施策等の国の政策に沿って、研究開発事業の適切なマネジメントとその成果の普及、エネルギー・環境関連技術の開発とその導入・普及の促進を通じ、我が国の産業競争力の強化及び国民経済の発展並びに内外のエネルギー・環境問題の解決に貢献するものとする。その際、民間企業、大学、公的研究機関、地方の行政機関等と適切な連携を推進する体制を構築するとともに、これらの連携により事業を効率的に実施する。

また、内外の研究開発動向やエネルギー・環境問題に関する動向を体系的に把握するとともに、機構の事業の適切な実施に資する戦略的な企画立案を行う。更に、内外の最新の研究開発動向やエネルギー・環境問題に関する動向を把握するために、セミナーやシンポジウム等を積極的に開催するとともに、産業界各層及び有識者、大学、公的研究機関、地方の行政機関等との密接な情報交換を行う。

(1) 研究開発関連業務

[中期計画]

- ・研究開発事業の推進に当たっては、(ア) 大学や公的研究機関等から有望な技術シーズを発掘する提案公募事業、(イ) 民間のみでは取り組むことが不可能な中長期かつリスクの高い研究開発プロジェクト事業、(ウ) 産業技術及び新エネルギー・省エネルギー技術の実用化・企業化を促進する事業の3種の事業を、各技術分野の特性や、研究開発を取り巻く環境の変化を踏まえて適切に組み合わせ、我が国の産業競争力の強化を通じた経済活性化並びにエネルギー・環境問題の解決に貢献する。
- ・上記の3種類の研究開発事業のそれぞれについて、以下の原則の下で実施する。

[中期目標期間実績]

- ・研究開発事業の推進に当たっては、(ア) 大学や公的研究機関等から有望な技術シーズを発掘する提案公募事業、(イ) 民間のみでは取り組むことが不可能な中長期かつリスクの高い研究開発プロジェクト事業、(ウ) 産業技術及び新エネルギー・省エネルギー技術の実用化・企業化を促進する事業の3種の事業を、各技術分野の特性や、研究開発を取り巻く環境の変化を踏まえて適切に組み合わせ、我が国の産業競争力の強化を通じた経済活性化並びにエネルギー・環境問題の解決に貢献した。
- ・上記の3種類の研究開発事業のそれぞれについて、以下の原則の下で実施した。

(ア) 提案公募事業（大学・公的研究機関等を対象とするもの）

[中期計画]

大学・公的研究機関、国際研究者チーム等から、広範な視点から社会・産業のニーズに対応する有望な技術シーズを発掘する提案公募事業の実施に当たっては、我が国の産業競争力の強化やエネルギー・環境問題解決等の政策目的に合う案件の選定を確実かつ適時的に実現し、適切に推進するため、以下に留意するものとする。

[中期目標期間実績]

産業技術研究助成事業においては、以下のとおり実施した。

平成15年度には、公募の結果提案のあった589件について厳正なテーマ評価を行った結果103件を採択するとともに、継続分192件を併せて295件のテーマに対し助成金を交付した。

平成16年度には、2回の公募の結果、提案のあった1,506件について厳正なテーマ選定を行い、120件を採択した。また、平成15年度末で終了する事業に対し、これまでの事業実施の結果を踏まえ、助成期間の延長を希望する事業16件について審査し、14件について2年の延長を行った。そのほか継続事業204件を併せて338件の研究に対し助成金を交付した。加えて、平成17年度事業に係る第1回公募を開始した。

平成17年度には、2回の公募の結果、提案のあった1,257件について厳正なテーマ選定を行い、173件を採択した。また、平成16年度末及び平成17年9月末で終了する102件の事業に対して、これまでの事業実施の結果を踏まえ、助成期間の延長を希望する事業について審査を行い、18件を2年延長した。そのほか継続事業251件を併せて424件の事業に対し助成金を交付した。加えて、平成18年度事業に係る第1回公募を開始した。

平成18年度には、2回の公募の結果、提案のあった807件について厳正なテーマ選定を行い、119件を採択した。また、平成18年9月末で終了する89件の事業に対して、これまでの事業実施の結果を踏まえ、助成期間の延長を希望する事業について審査を行い、13件を2年延長した。そのほかの継続事業309件を併せて517件に対し助成金を交付した。加えて、助成開始後2年目となる128件を対象に中間評価を実施し、終了した103件（計画との差異13件は、助成期間を延長したため対象外。）を対象に事後評価を実施中である。さらに、平成19年度新規採択に係る公募を開始した。

平成19年度には、「国際共同研究助成事業」を「産業技術研究助成事業」に統合・大括り化した。「産業技術研究助成事業」においては、平成19年度テーマにかかる公募を1回実施し、提案のあった494件について厳正な審査を行った結果、57件を採択するとともに、継続分421件（うち旧「国際共同研究助成事業」18件）と合わせて478件に対し、助成金を交付した。また、平成19年6月末及び12月末で終了した96件のテーマに対して、助成期間の延長を希望する事業について、これまでの事業実施の結果を踏まえて審査を行い、10件を2年間延長した。加えて、助成開始後2年目となる150件を対象に中間評価を実施するとともに、終了した103件を対象に事後評価を実施した。さらに、平成20年度新規採択に係る公募を開始した。国際共同研究助成事業においては、平成15年度は、公募の結果提案のあった56件について厳正なテーマ評価を行った結果3件を特殊法人時代に採択するとともに、継続分31件を併せて34件のテーマに対し助成金を交付した。平成16年度は、公募の結果、提案のあった211件について厳正なテーマ選定を行い、

6 件を採択した。継続事業 16 件を併せて 22 件の研究に対し助成金を交付した。平成 17 年度は、公募の結果、提案のあった 199 件について厳正なテーマ選定を行い、12 件を採択した。継続事業 9 件を併せて 21 件の研究に対し助成金を交付した。平成 18 年度は、継続事業 18 件に対し助成金を交付した。また、終了した 3 件を対象に事後評価を実施した。平成 19 年度は、「国際共同研究助成事業」を「産業技術研究助成事業」に統合・大括り化した。

(企画及び公募段階)

[中期計画]

a) ホームページ等のメディアの最大限の活用等により公募を実施する。また、公募に際しては、機構のホームページ上に、公募開始の 1 ヶ月前（緊急的に必要なものであって事前の周知が不可能なものを除く）には公募に係る事前の周知を行う。また、地方の提案者の利便にも配慮し、地方での公募説明会を積極的に開催する。

[中期目標期間実績]

a) 以下の事項を実施した。

- ・産業技術研究助成事業においては以下のとおり実施した。

平成 15 年度においては、公募開始 1 ヶ月前の事前周知、産業技術研究助成事業にあつては積極的な地方での公募説明会を実施した。

事前周知：平成 15 年 12 月 15 日

公募開始：平成 16 年 1 月 16 日

公募締切：平成 16 年 3 月 16 日

全国 9 会場での説明会の開催（東京、仙台、金沢、福岡、札幌、名古屋、広島、大阪、高松）

平成 16 年度においては、全ての案件について公募開始 1 ヶ月前の事前周知を実施し、積極的な地方での公募説明・個別相談会を実施した。

平成 16 年度第 1 回

事前周知：平成 15 年 12 月 15 日

公募開始：平成 16 年 1 月 16 日

公募締切：平成 16 年 3 月 16 日

全国各地（札幌、仙台、金沢、東京、名古屋、大阪、神戸、広島、高松、福岡）での説明会の開催

平成 16 年度第 2 回

事前周知：平成 16 年 3 月 31 日

公募開始：平成 16 年 6 月 30 日

公募締切：平成 16 年 8 月 31 日

全国各地（札幌、新潟、川崎、草津、京田辺、大阪、福岡、熊本）での説明・個別相談会の開催

平成 17 年度第 1 回

事前周知：平成 16 年 12 月 15 日

公募開始：平成 17 年 1 月 19 日

公募締切：平成 17 年 3 月 18 日

全国各地（札幌、秋田、仙台、川崎、名古屋、京都、大阪、広島、高松、福岡、鳥栖）での説明・個別相談会の開催

平成 17 年度においては、平成 17 年度事業及び平成 18 年度事業に係る企画及び公募を行うに当たり、以下の事項を実施した。

平成 17 年度第 1 回

事前周知：平成 16 年 12 月 15 日

公募開始：平成 17 年 1 月 19 日

公募締切：平成 17 年 3 月 18 日

全国各地（札幌、仙台、川崎、名古屋、京都、広島、高松、福岡）での説明会の開催

平成 17 年度第 2 回（電子申請による受付を実施し、624 件中、305 件の電子申請があった）

事前周知：平成 17 年 5 月 30 日

公募開始：平成 17 年 6 月 30 日

公募締切：平成 17 年 8 月 31 日

全国各地（札幌、東京、川崎、大阪、徳島、福岡、熊本）での説明・個別相談会の開催

平成 18 年度第 1 回（電子申請による受付を実施し、430 件中 113 件の電子申請があった。）

事前周知：平成 17 年 12 月 2 日

公募開始：平成 18 年 1 月 4 日

公募締切：平成 18 年 2 月 10 日

全国各地（札幌、仙台、新潟、東京、川崎、名古屋、大阪、岡山、愛媛、福岡）での説明・個別相談会の開催

平成 18 年度においては、平成 18 年度事業及び平成 19 年度事業に係る企画及び公募（産業技術研究助成事業）を行うに当たり、公募開始 1 ヶ月前の事前周知を実施し、積極的に地方で公募説明・個別相談会を開催した。

平成 18 年度第 1 回公募（電子申請による受付を実施し、430 件中 113 件が電子申請であった。）

事前周知：平成 17 年 12 月 2 日

公募開始：平成 18 年 1 月 4 日

公募締切：平成 18 年 2 月 10 日

全国各地（札幌、仙台、川崎、名古屋、大阪、岡山、福岡）で公募説明・個別相談会を開催。

平成 18 年度第 2 回公募（電子申請による受付を実施し、377 件中 75 件が電子申請であった。）

事前周知：平成 18 年 5 月 19 日

公募開始：平成 18 年 6 月 19 日

公募締切：平成 18 年 7 月 21 日

全国各地（札幌、川崎、大阪、福岡）で公募説明・個別相談会を開催。

平成 19 年度公募

事前周知：平成 19 年 1 月 26 日

公募開始：平成 19 年 3 月 26 日

公募締切：平成 19 年 5 月 23 日

平成 19 年度には、平成 19 年度事業及び平成 20 年度事業に係る企画及び公募（産業技術研究助成事業）を行うに当たり、公募開始 1 ヶ月前の事前周知を実施し、積極的に地方で公募説明・個別相談会を開催した。

平成 19 年度公募（電子申請による受付を実施し、494 件中 104 件が電子申請であった。）

事前周知：平成 19 年 1 月 26 日

公募開始：平成 19 年 3 月 26 日

公募締切：平成 19 年 5 月 23 日

全国各地（札幌、川崎、大阪、福岡）で公募説明・個別相談会を開催。

平成 20 年度公募（電子申請による受付を実施し、595 件中 104 件が電子申請であった。）

事前周知：平成 19 年 10 月 30 日

公募開始：平成 19 年 11 月 30 日

公募締切：平成 20 年 1 月 24 日

全国各地（札幌、川崎、大阪、福岡）で公募説明・個別相談会を開催。

・国際共同研究助成事業においては以下のとおり実施した。

平成 15 年度においては、公募開始 1 ヶ月前の事前周知を実施した。

事前周知：平成 16 年 3 月 19 日

公募開始：平成 16 年 4 月 19 日

公募締切：平成 16 年 6 月 18 日

平成 16 年度には平成 16 年度事業及び平成 17 年度事業に係る企画及び公募を行うに当たり、以下の事項を実施した。

平成 16 年度公募

事前周知：平成 16 年 3 月 19 日

公募開始：平成 16 年 4 月 19 日

公募締切：平成 16 年 6 月 18 日

全国各地（札幌、名古屋、大阪、高松、福岡）での説明会の開催

平成 17 年度公募

事前周知：平成 17 年 3 月 18 日

平成 17 年度には平成 17 年度事業及び平成 18 年度事業に係る企画及び公募を行うに当たり、以下の事項を実施した。

平成 17 年度公募

事前周知：平成 17 年 3 月 18 日

公募開始：平成 17 年 4 月 18 日

公募締切：平成 17 年 6 月 17 日

全国各地（札幌、川崎、名古屋、大阪、福岡）での説明・個別相談会の開催

[中期計画]

b) 機構外部からの幅広い分野の優れた専門家・有識者の参画による、客観的な審査・採択基準に基づく公正な選定を行う。その際、基礎的・基盤的なものから、広範な産業への波及効果が期待できるものまで、将来の産業シーズとして広く技術的ポテンシャルを有する案件が採択されるよう適切な選定プロセスを構築する。適切な選定プロセスの構築に資するため、総合科学技術会議における議論を踏まえ、機構内部にプログラムオフィサーを設置する。

[中期目標期間実績]

b) 機構外部からの幅広い分野の優れた専門家・有識者の参画による、客観的な審査・採択基準に基づく公正な選定を行った。

産業技術研究助成事業について、以下のとおり実施した。

平成 15 年度には、適切な選定プロセス構築のためプログラムオフィサーを機構内部に 3 名（関連業務に携わる職員 8 名を含めると 11 名）設置した。

平成 16 年度には、適切な選定プロセス構築のためプログラムオフィサーを機構内部に 4 名（関連業務に携わる職員 8 名を含めると 12 名）配置した。

平成 17 年度には、よりの確な選定を行うため、審査委員の増員を行った。また、適切な選定プロセス構築のため、プログラムオフィサーを機構内部に 4 名（関連業務に携わる職員 9 名を含めると 13 名）配置した。

平成 18 年度には、複数の技術分野が含まれる革新的融合分野ではよりの確に研究テーマを選定するため、書面審査に加えヒアリング審査を行った。また、適切な選定プロセス構築のため、プログラムオフィサーを機構内部に 3 名（関連業務に携わる職員 9 名を含めると 12 名）配置した。

平成 19 年度には、複数の技術分野が含まれる革新的融合分野ではよりの確に研究テーマを選定するため、書面審査に加えヒアリング審査を行った。また、適切な選定プロセス構築に資するため、プログラムディレクターを 4 名、プログラムオフィサーを 12 名配置した。

[中期計画]

- c) 選定結果の公開と不採択案件応募者に対する明確な理由の通知を行う。
- d) 所属機関や経験年数等にとらわれず、若手研究者や地方の大学や公的研究機関の優れた提案を確実に発掘する。その際、資金供給先の不必要な重複や特定の研究者への集中を排除するよう配慮する。

[中期目標期間実績]

- c) 選定結果の公開と不採択案件応募者に対する明確な理由の通知を行った。
- d) 以下のとおり実施した。
 - ・産業技術研究助成事業について、所属機関や経験年数等にとらわれずに若手研究者の優れた提案を確実に発掘するため、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度には年齢制限の緩和（35 歳以内→40 歳未満）、社会科学分野の創設等の提案要件の見直しを行った。
 - 平成 16 年度には、提案書様式や評価項目の見直しを行った。
 - 平成 17 年度には、提案書様式の見直しを行った。また、機構内外との類似テーマの重複排除の調整の取組に努め、効率的な事業の実施を図った。
 - 平成 18 年度には、研究代表者のみならず研究分担者も若手に限定して公募を実施した。また、助成対象者に財団法人及び社団法人を追加した。加えて、中間評価の結果が一定水準を満たした場合の以後の助成期間を 1 年から 2 年に延長することとした。さらに、機構内外との同一研究者に対する不合理な重複及び過度の集中の排除の確認に努め、効率的な事業の実施を図った。
 - 平成 19 年度には、研究代表者のみならず研究分担者も若手に限定して公募を実施した。また、地方の大学や公的研究機関の優れた研究テーマを発掘するため、地方の大学等における公募説明会を充実させるなどの取組を実施した。さらに、機構内外との同一研究者に対する不合理な重複及び過度の集中の排除の確認に努め、効率的な事業の実施を図った。
 - ・競争的資金については、第 3 期科学技術基本計画においても、「競争的資金の拡充と制度改革の推進について（平成 19 年 6 月 14 日）総合科学技術会議」に基づき、更なる拡充が図られている。NEDO においても、平成 19 年度中に経済産業省と一体となり競争的資金化を推進した結果、競争的資金への登録制度数が 2 制度（平成 19 年度）から 4 制度（平成 20 年度）に拡大するとともに、研究資金も 91.3 億円から 138.8 億円に 5 割以上増大した。

[中期計画]

- e) 採択件数の少ない事業を除き、年度の枠にとられない随時の応募受付と年間複数回の採択を実現する。加えて、採択時期によって研究期間に差が出ることをないよう、交付決定日を起点とする事業期間を確保する等の運用の弾力化を図る。

[中期目標期間実績]

- ・産業技術研究助成事業では、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度には、年間複数回採択を前提とした公募を行った。平成 16 年度以後、採択時期によらず、一定の事業期間を確保した。
- ・国際共同研究助成事業では、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度には、複数年交付決定を前提とした公募を行った。平成 16 年度以後、採択時期によらず、一定の事業期間を確保した。

(業務実施段階)

[中期計画]

- f) 交付申請事務・確定事務等に係る申請者・補助事業実施者の事務負担を極力軽減する。2～3 年間程度の期間の案件が大宗であることに留意し、実施者側から目標達成に向けた明確なコミットメントが得られる場合には、2 年間程度の複数年度交付決定を導入する。また、十分な審査期間を確保した上で、公募締切から 90 日以内（国際研究者チームを対象とする事業にあっては 120 日）での採択決定を行う（平成 14 年度実績 92 日、（国際研究者チームを対象とする事業 134 日））。
- g) 制度面・手続き面の改善を毎年度着実にを行い、毎年、制度利用者からのアンケートを実施し、7 割以上の回答者から肯定的な回答を得る。

[中期目標期間実績]

- ・産業技術研究助成事業については、以下のとおり実施した。
 - 平成 15 年度には、複数年交付決定を行った。また、公募締切から 90 日以内での採択決定を行った。
 - 平成 16 年度には複数年交付決定を行った。また、公募締切から 90 日以内での採択決定を行った。
 - 平成 17 年度には複数年交付決定を行った。また、公募締切から 90 日以内での採択決定を行った。
 - 平成 18 年度には利用者側の立場に立った制度改革を実施した。複数年度交付決定を行うとともに、公募締切から第 1 回公募では 88 日、第 2 回公募では審査委員会の開催回数増やヒアリング審査の導入による影響もあり 95 日での採択決定を行った。
 - 平成 19 年度には以下を実施した。複数年交付決定を行うとともに公募締切から 86 日での採択決定を行った。
- ・国際共同研究助成事業では以下のとおり実施した。

平成 15 年度には、複数年交付決定を行った。また、公募締切から 120 日以内での採択決定を行った。
平成 16 年度には、複数年交付決定を行った。また、公募締切から 120 日以内での採択決定を行った。
平成 17 年度には複数年交付決定を行った。また、公募締切から 120 日以内での採択決定を行った。

(評価とフィードバック)

[中期計画]

- h) 実施期間中に機構外部の専門家・有識者を活用した案件評価を適切な手法で実施するとともに、その結果をもとに、評価の指摘に対応した案件の縮小・中止・見直し等を迅速に行う。特に、中間時点での評価結果が一定水準に満たない案件については、抜本的な改善策が無いものは中止する。
- i) これら事業の実施に基づく査読済み研究論文の発表数を、中期目標期間中に 1000 本以上とする（平成 14 年度実績 産業技術研究助成事業 194 件）。また、この結果を対外的に公表する。加えて、これら事業の研究成果の質の向上を図り、将来の産業競争力強化につながると期待される案件を積極的に産業界に提示する。

[中期目標期間実績]

h)、i) 以下のとおり実施した。

- 産業技術研究助成事業においては、以下のとおり実施した。

平成 15 年度には、中間評価を行った 105 件のテーマのうち、それまでの研究の結果から研究目的の達成を見込めない 1 件につき、継続を断念した。また、平成 15 年度で終了する事業者に対し、これまでの事業実施の結果を踏まえ、事業期間の延長を希望する事業 17 件について評価を実施し、14 件の事業について 2 年間の延長を行った。将来の産業競争力強化につながると期待される案件を積極的に産業界に提示するため、研究者と民間企業とのマッチングを目的とした「次世代シーズ懇話会」を平成 15 年 12 月、平成 16 年 3 月の 2 度開催した。

平成 16 年度には、終了直前の事業について、世の中に広く成果を広報し、産業界のニーズとのマッチングを図るため、「平成 16 年度研究助成事業成果報告会」を開催（1 月 18 日、19 日）した。本報告会において、特別プログラムとしてパネルディスカッション「NEDO 研究助成と産学連携の在り方について」を開催し、産学連携の第一人者によるディスカッションの場を設けた。また、将来の産業競争力強化につながると期待される事業を積極的に産業界に提示するため、研究者と民間企業とのマッチングを目的とした「次世代技術シーズ懇話会」を 5 回開催した。加えて、「イノベーション・ジャパン 2004」に出展し、産業技術研究助成事業の成果を広く一般に公開した。

平成 17 年度においては、平成 16 年度に実施した制度の中間評価の結果を制度運営の改善等に反映することにより、本格的な PDS サイクルを実施した。広く成果を広報して産業界のニーズとのマッチングを図るため、「成果報告会」（7 月 5 日、1 月 17 日）を開催した。また、事業成果を積極的に産業界に提示するため、研究者と民間企業とのマッチングを目的とした「次世代シーズ懇話会」を 3 回開催した。加えて、「イノベーション・ジャパン 2005」に出展し、産業技術研究助成事業の成果を広く一般に公開した。さらに、優れた技術シーズを広く産業界に告知し、ビジネスパートナー、ユーザーとの連携強化を促進し、産業応用化、実用化の確度を高めるため、広報支援を行った。

平成 18 年度においては、世の中に広く成果を広報し、産業界のニーズとのマッチングを図るため、「成果報告会」（平成 18 年 7 月 4、5 日、平成 19 年 1 月 22、23 日）を開催した。加えて、「イノベーション・ジャパン 2006」に出展し、産業技術研究助成事業の成果を広く一般に公開した。さらに、優れた技術シーズを広く産業界に告知し、ビジネスパートナー、ユーザーとの連携強化を促進し、産業応用化、実用化の確度を高めるため、広報支援を行った。

平成 19 年度においては、世の中に広く成果を広報し、産業界のニーズとのマッチングを図るため、「成果報告会」（産業技術研究助成事業は平成 19 年 4 月 23、24、25 日、10 月 30、31 日）を開催した。加えて、「イノベーション・ジャパン 2007」に出展するなど各種広報活動を実施し、産業技術研究助成事業の成果を広く一般に公開した。

- 国際共同研究助成事業においては、以下のとおり実施した。

平成 15 年度においては、中間評価を行った 13 件について、必要に応じ研究目的達成のための助言を行い研究計画への反映を求めるとともに、事後評価を行った 7 件について今後の研究の更なる発展のため助言を行うなどの対応を図った。

平成 16 年度においては、終了後の事業について、世の中に広く成果を広報し、産業界のニーズとのマッチングを図るため、「平成 16 年度研究助成事業成果報告会」を開催した。（1 月 18 日、19 日）本報告会において、特別プログラムとしてパネルディスカッション「NEDO 研究助成と産学連携の在り方について」を開催し、産学連携の第一人者によるディスカッションの場を設けた。また、将来の産業競争力強化につながると期待される事業を積極的に産業界に提示するため、研究者と民間企業とのマッチングを目的とした「次世代技術シーズ懇話会」を 5 回開催した。

平成 17 年度においては、平成 16 年度に実施した制度の中間評価の結果を制度運営の改善等に反映することにより、「実施～評価～反映して計画・実施」という本格的な PDS サイクルを実施した。広く成果を広報して産業界のニーズとのマッチングを図るため「成果報告会」（1 月 17 日）を開催した。また、事業成果を積極的に産業界に提示するため、研究者と民間企業とのマッチングを目的とした「次世代シーズ懇話会」を 3 回開催した。

平成 18 年度においては、世の中に広く成果を広報し、産業界のニーズとのマッチングを図るため、「成果報告会」（平成 18 年 7 月 4 日）を開催した。

- 第 1 期中期計画中の査読付き論文の発表数は、目標 1,000 本を 3 割上回る 1,319 本を達成した。

(イ) 中長期・ハイリスクの研究開発事業

[中期計画]

中長期・ハイリスクの研究開発事業は、民間のみでは取り組むのが不可能な中長期かつリスクの高い技術テーマにつき、民間の能力を活用して機構が資金負担を行うことによりその研究開発を推進するものである。このため、国際的な

研究開発動向、我が国産業界の当該技術分野への取組状況や国際競争力の状況、エネルギー需給の動向、当該技術により実現される新市場・新商品による我が国国民経済への貢献の程度、産業技術政策や新エネルギー・省エネルギー政策の動向、国際貢献の可能性等を十分に踏まえつつ、適切なプロジェクト・採択案件の選定と着実な推進を図るものとする。かかる目的の実現のため、以下に留意するものとする。

なお、産業投資特別会計から出資を受けて実施する業務については収益の可能性がある場合等に限定し、知的財産の形成等のパブリックリターン構築がなされるような案件につき研究開発を行うものとする。

[中期目標期間実績]

独法化直後の「100社インタビュー」の声を踏まえて着手した技術戦略マップや加速制度、ステージゲート方式等について、それで終わりではなく、さらに改善すべき点がないかどうか等について「企業・大学インタビュー2005」として現場の評価を把握し、制度改善に着手することにより、現場とのPDSサイクルを確立した。引き続き、「企業・大学インタビュー2006、2007」にて、延べ企業283社、大学・研究者61者に対してインタビューを実施し、改めて制度改善に着手することにより、現場とのPDSサイクルを深化させた。さらに、インタビュー自体についても、各部の部長等をヘッドとして各部独自の内容を追加した質問項目を設定するとともに、人材育成としての位置づけを明確にする等の改善を行った。

機構の研究開発マネジメント能力の向上を目指して設置された「技術経営・イノベーション戦略チーム」の活動を開始し、機構のプロジェクトマネジメントノウハウの情報発信を目的として「NEDOカレッジ」をお茶の水女子大学にて2科目実施した（前期（4月～7月）15回（受講者約60名）、後期（10月～1月）15回（受講者約100名）の計30回開講）。

独法化以後、プロジェクト成果の効率的な普及を図るため、厚生労働省、農林水産省、国土交通省、環境省、文部科学省、独立行政法人科学技術振興機構等との間で、省庁の垣根を越えた連携等を促進した。

複数のプロジェクトの共通課題の解決と情報共有を図るため、平成18年度にはバイオマス技術分野及び蓄電池技術分野において複数の部に属する部横断的なリエゾン担当を配置し、機構全体としての研究開発効率の向上、成果の有効活用を強化した。

その他、プロジェクト成果の有効活用を図るため、大学、他の機構プロジェクトとの連携等、多様な連携を強化中である。

国際的視野に立って我が国と相手国の利益に結び付く可能性のあるテーマを探索するため、米国、フランス、オランダ等の各国政府研究開発機関との意見交換、ワークショップ開催等を毎年度実施した。

（企画及び公募段階）

[中期計画]

a) プロジェクトについては、産業競争力強化への貢献度や、可能な限り費用対効果の観点を含めた事前評価を実施し、費用を上回る効果が見込まれるものに限定するなど、評価結果を反映させる。また、これらプロジェクトについて、経済産業省が定めるプログラム基本計画等に沿って、産業界・学术界等の外部有識者との意見交換を行い、適切なプロジェクト基本計画を策定する。プロジェクト基本計画には、プロジェクト終了時点での最終目標を極力定量的かつ明確に記述し、基礎的・基盤的性格の事業の場合であっても、「出口イメージ」を明確に記述するものとする。

[中期目標期間実績]

a) 平成17年度に、地域の企業等にネットワークを有して次世代の産業技術の目利きができる人材により、従来国の支援に縁がなかった地域の実力ある企業等を発掘し、有望な案件は機構への提案を促進することを目的とした新技術調査委員会を創設した。平成18年度には、新技術調査委員会を増員（平成17年度13名→平成18年度25名）して活動を本格化。新技術調査委員会が発掘した企業等と機構の橋渡しを促進し、地方支部及び地方経済局との連携を強化した。

職員自らが積極的に技術シーズを発掘するため、イノベーション・ジャパン等の企画・開催、その他イベントへの参画、大学等への訪問等の活動を実施した。イノベーション・オフィサー（平成19年度）、新技術調査委員（平成17年度）、NEDOフェロー（平成18年度から産学連携人材を重点育成）等により、国の研究開発プロジェクトの経験のない事業者の技術シーズを掘り起こす活動を強化した。

その他、優良な技術シーズを発掘するため、地域との連携、大学への訪問、中小ベンチャー企業へのヒアリング等、多様な活動を展開した。

経済産業省、産業界との連携の下で、我が国の研究開発テーマの重点化・効率化、各分野の産学官の専門家等のネットワークの構築等を目的として技術戦略マップを平成16年度に策定し、毎年度最新の技術動向、市場動向及び研究開発成果を踏まえつつ、ローリング（見直し）を行うとともに、新たな分野を追加（平成19年度時点で29分野（うち24分野に機構が関与））する取組を実施した。平成17年度からは、プロジェクト実施者の採択において申請書に技術戦略マップ上の位置付けを明記させ、採択審査に利用するなど本格的な活用を開始した。

また、平成17年度に、地域の企業等にネットワークを有し、次世代の産業技術の目利きができる人材により、従来国の支援に縁がなかった地域の実力ある企業等を発掘し、有望な案件は機構への提案を促進することを目的とした新技術調査委員会を創設した。平成18年度には、新技術調査委員会を増員（平成17年度13名→平成18年度25名）して活動を本格化した。新技術調査委員会が発掘した企業等と機構の橋渡しを促進し、地方支部及び地方経済局との連携を強化した。

新規研究開発プロジェクトの実施に当たっては、事前評価を実施し、事前評価の内容を反映した基本計画を策定した。事前評価の実施及び基本計画の策定に当たっては、産業界・学术界等の外部有識者によって構成する委員会を開催して意見交換を行い、プロジェクトの目的、最終目標、実施内容、実施体制などについて明確にした。さらに、平成15年度には、真に成果を挙げるプロジェクトを企画立案するための事前評価に係る運用ルールを定めるとともに、事前評価段階でNEDOホームページを活用してパブリックコメントを求める「NEDO POST」を開始し、有効な意見をブ

プロジェクト立案に反映した。平成 15 年度 16 件、平成 16 年度 38 件、平成 17 年度 42 件、平成 18 年度 28 件、平成 19 年度 28 プロジェクトについて NEDOPOST を実施（平成 17 度からは新規プロジェクト全案件に活用）した。

[中期計画]

b) 5 年間以上の期間を要するプロジェクトについては、プロジェクト基本計画、3 年目を目途とした中間時点での中間目標を極力定量的かつ明確に記述する。

[中期目標期間実績]

b) 毎年度新規プロジェクトとして基本計画を策定したもののうち、計画期間が 5 年以上になるプロジェクトについては、中間時点での定量的な中間目標を設定した。

[中期計画]

c) ホームページ等のメディアの最大限の活用等により公募を実施する。また、公募に際しては、機構のホームページ上に、公募開始の 1 ヶ月前（緊急的に必要なものであって事前の周知が不可能なものを除く）には公募に係る事前の周知を行う。

[中期目標期間実績]

c) 毎年度の新規プロジェクトについては、ホームページの「NEDO POST 3」において公募時期を事前に周知するとともに、必要に応じて公募説明会等の公募に係る情報を掲載した。

[中期計画]

d) 機構外部の優れた専門家・有識者の参画による、客観的な審査・採択基準に基づく公正な選定を行う。その際、より市場創出効果・雇用創造効果等が大きく、広範な産業への高い波及効果を有し、中長期的視点から我が国の産業競争力の強化に資する案件あるいは内外のエネルギー・環境問題の解決に貢献する案件を選定する。

[中期目標期間実績]

d) 新規プロジェクト等に係る事業者の選定に当たっては、公募の際に予め公開した審査・採択基準を用い、機構外部の優れた専門家・有識者を評価者として評価を実施した。

[中期計画]

e) 選定結果の公開と不採択案件応募者に対する明確な理由の通知を行う。

[中期目標期間実績]

e) 不採択者に対しては、全件、不採択とした明確な理由を付して不採択通知を実施した。

[中期計画]

f) 集中研究方式のプロジェクトにおいては全て、分散研究方式のものについても設置が適切なものの全てにつき、指導力と先見性を有するプロジェクトリーダーを選定し、ベテラン、中堅、若手各層の実力者までの適切な研究開発チーム構成を実現する。プロジェクトリーダーは、機構内部との明確な役割分担に基づき、当該プロジェクトの推進に必要なかつ十分な権限と責任を負うような制度を構築する。

[中期目標期間実績]

f) 設置が必要な全てのプロジェクトについてプロジェクトリーダーを選定し（サブプロジェクトリーダー、プロジェクトリーダー代行を含めると 159 プロジェクトで 258 名（平成 19 年度）、適切な研究開発チーム構成を実現した。また、プロジェクトリーダーと機構担当部の部長との間での了解事項メモの締結（サブプロジェクトリーダー、プロジェクトリーダー代行を含めて 161 件（平成 19 年度））、技術指導謝金制度の導入（平成 15 年度制定）、企業・大学インタビュー（平成 17 年度 90 社以上）意見を踏まえたプロジェクトリーダー事前委嘱制度の導入（平成 17 年度制定）等を行い、マニュアル（平成 16 年度制定、平成 18 年度一部改正）、関連機構達（プロジェクトリーダー設置要領（平成 15 年度制定、平成 16 年度・平成 18 年度一部改正））の制定、改正を図ることにより、プロジェクトリーダーが機構との明確な役割分担に基づき、当該プロジェクトの推進に必要なかつ十分な権限と責任を負うような制度を構築した。

[中期計画]

g) プロジェクトについては、その性格や目標に応じ、企業間の競争関係や協調関係を活用した適切な研究開発体制の構築を行う。特に、真に必要な役割を担うものを除き研究管理法人を経由するものは極力少数とするとともに、真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定し、安易な業界横並び体制に陥ることのないよう留意する。

[中期目標期間実績]

g) 平成 15 年度には、真に成果を挙げるプロジェクトを企画立案するための事前評価に係る運用ルールを定めるとともに、事前評価段階で NEDO ホームページを活用してパブリックコメントを求める「NEDO POST」を開始し、有効な意見をプロジェクト立案に反映した。平成 15 年度 16 件、平成 16 年度 38 件、平成 17 年度 42 件、平成 18 年度 28 件、平成 19 年度 28 プロジェクトについて NEDO POST を実施（平成 17 度からは新規プロジェクト全案件に活用）した。

平成 17 年度から開始した「ナノテク・先端部材実用化研究開発」では、成果を挙げるための工夫として異業種・垂直連携によるユーザー企業を含めた一体的研究開発体制を構築し、ステージⅠ（先導的研究開発）からステージⅡ（実用化研究開発）へ移行する際にステージゲート方式による選択と集中の絞込を行うといったマネジメントを実践した。平成 19 年度は技術レベル、実用化シナリオ等の観点からステージⅠのテーマに対してステージゲート方式の絞込を実施した。その結果、画期的な技術成果のみならず、実用化・事業化が期待される 2 件を 9 件中から選定し、

ステージⅡの実用化研究開発へ移行させた。

平成 18 年度からは、材料分野において共通基盤技術が実用化になかなか結び付かないという問題を解決するため、産学の科学的、技術的ポテンシャルを結集する集中研（100%委託）を各企業が実用化開発へ展開（1/2 助成）するというハイブリッド型の新たなプロジェクトフォーメーション（部材 NEDO モデル）を構築し、第 1 期中期目標期間中に 7 プロジェクトで実施した。

産業界の期待に応える水素材料先端科学研究を実施するため、平成 19 年度には九州大学に高圧水素物性に係る世界トップレベルの研究設備を整備した研究拠点を設置し、水素と材料に関わる最先端の研究者を国内外から結集して研究を推進した。

次世代半導体露光装置開発における国際優位性を確保するため、欧米のコンソーシアム（IMEC、ASML、Albany NanoTech）に対抗した日本コンソーシアム（EUVA、Selete）を形成した。

平成 18 年度からは、ベンチャー企業等が保有している潜在的技術シーズを活用して新エネルギーに係る技術の発掘を行う取組を開始した。プロジェクト内容の重点化・効率化を図るため、以下の工夫を実施した。①再生可能エネルギー及びその関連技術に関する技術課題を提示した。②F/S（フェーズ 1）及び R&D（フェーズ 2）の多段階的選抜方式により、F/S から R&D へ移行するテーマへ絞込んだ。さらに、研究開発の成果を事業化に結びつけるため、知財専門家やコンサルタント等をプロジェクト実施者の元へ派遣し、技術経営に係る状況把握と助言等を実施した。

平成 18 年度に開始した「研究開発型ベンチャー技術開発助成事業」では、申請者の経営資源を有効に活用して実用化に結び付ける能力（技術経営力）を採択の際に考慮するため、採択審査委員会において申請者（経営者）からプレゼンテーションを聴く取組を試行的に実施した。平成 19 年度には本取組を「産業技術実用化開発助成事業」及び「次世代戦略技術実用化開発助成事業」へ拡大した。

平成 17 年度に社会問題化したアスベスト健康被害や原油価格高騰等、国際動向や社会情勢の変化に応じて必要性が顕在化したテーマについて、従来の国の予算要求プロセスにとらわれず、迅速に課題解決に向けた取組に着手した。

（業務実施段階）

[中期計画]

- h) 契約・申請・確定事務等に係る民間の事務負担を極力軽減するとともに、研究開発資産等の事業終了後の有効活用を図る。5 年間程度の期間の案件が大宗であることに留意し、受託者・補助事業者側から目標達成に向けた明確なコミットメントが得られる場合には、最長 3 年間程度の複数年度契約・交付決定を導入する。また、応募総数が多い場合等、特段の事情がある場合を除き、公募締切から原則 45 日以内での採択決定を行う（平成 14 年度実績 50 日～80 日）とともに、継続案件については契約締結に要した期間を 30%短縮する（平成 15 年度実績 3 ヶ月程度）。
- i) 委託先の事情により適用できない場合等を除き、委託事業における日本版バイドール条項の適用比率を 100%とする（平成 14 年度実績ほぼ 100%）ことにより研究開発実施者の事業取組へのインセンティブを高めるとともに、委託先に帰属する特許権等について、委託先における企業化の状況及び第三者への実施許諾の状況等につき毎年調査し、適切な形で対外的に公表する。
- j) 制度面・手続き面の改善を毎年度着実にを行い、毎年、制度利用者からのアンケートを実施し、7 割以上の回答者から肯定的な回答を得る。

[中期目標期間実績]

- h) 事業者における事務負担の軽減を図るべく、事業者に対するアンケート調査結果等を踏まえ、平成 15 年度から複数年度契約・交付決定の導入、労務費単価への法定福利費相当額の加算、契約時の必要書類の簡素化等といった改善を着実に実施するとともに、事業者説明会等を通じて広く周知した。

また、継続案件の契約締結に要する期間の短縮に努め、最終年度には研究体制を見直した案件等を除き、中期計画目標値である契約締結期間 30%短縮（約 2 ヶ月以内）を達成した。

公募を実施した研究開発プロジェクト及び課題設定型助成事業について、応募件数が想定を上回り審査に時間を要した等の理由があるものを除き、目標である 45 日以内で受託者・交付先の採択決定を行った。

さらに、例年 2 月上旬から中旬にかけて、委託・課題設定型産業技術開発費助成事業を対象とした事業者説明会を全国 6 箇所（東京、名古屋、大阪、福岡、札幌、仙台）で開催し、平成 15 年度～平成 19 年度にかけて延べ 6,274 名が参加した。

大学等の研究者（延べ 60 名）へのヒアリングにより機構の事業に対する意見等を収集し、その結果を踏まえて次年度のマネジメントの改善を図るサイクルを確立した。ここで得られた結果を基に、次年度のマネジメントの改善を図り、再度実施者へのフィードバックを行うサイクルを確立した。

- i) 100%日本版バイドール化、委託先に属する特許権等の企業化状況調査及び第三者への実施許諾状況調査を実施し、その結果を公表した。
- j) 事業者に対するアンケートの結果、研究開発事業（大変満足又は満足：約 9 割）及び導入普及事業（事業に満足：約 8 割）の両方で、中期計画において定めた目標値（7 割）を大幅に上回る肯定的な回答を得た。独法化直後より、現場主義に基づき、「企業・大学インタビュー」として企業等へインタビューを実施した。

（評価とフィードバック）

[中期計画]

- k) 機構外部の専門家・有識者を活用したプロジェクト・採択案件の評価を適切な手法で実施するとともに、その結果をもとにプロジェクト等の加速化・縮小・中止・見直し等を迅速に行う。特に、5 年間程度以上の期間を要するプロジェクト等については、3 年目を別途とする中間評価を必ず実施するものとする。また、特に中間評価結果が一定水準に満たないプロジェクト等については、抜本的な改善策等が無いものは原則として中止する。

[中期目標期間実績]

k) 平成 15 年度の独法化以後、プロジェクトの企画立案段階では事前評価、実施中では中間評価を実施し、結果をプロジェクトマネジメントへ適切に反映させるプロセスを確立した。さらにプロジェクト終了直後には事後評価を実施するとともに、終了後 5 年間の成果の実用化・市場化状況を把握するために追跡調査・評価を実施した。それぞれの評価の結果得られた知見を機構の研究開発マネジメントに反映させるシステムを構築した。また、評価に対する信頼感の醸成や評価結果活用的高度化を目的とした評価システムの不断の見直しを継続した。

機構外部の技術・実用化の有識者を活用し、5 年間以上のプロジェクトについて概ね 3 年目を目処に第 1 期中期目標期間中に 80 件のプロジェクトの中間評価を実施した。評価結果は、適切に加速化・縮小・中止・見直し等の方針を決定するとともに、プロジェクトの企画・運営に迅速に反映させた。その内訳は、テーマの一部を加速し実施 22 件、概ね現行どおり実施 29 件、計画の一部を変更し実施 31 件、テーマの一部を中止 3 件、中止又は抜本的な改善 5 件であった（一部重複するため総件数は 80 件にならない）。

テーマ公募型の研究開発事業を対象として制度評価を実施するとともに、中間評価結果については制度運営の改善等に反映することにより、テーマ公募型事業に係るマネジメント改善の仕組みを構築した。なお、評価の実施に当たっては、制度ユーザー等に幅広くアンケートを行い顧客満足度を的確に把握する等「利用しやすい NEDO」の観点からの評価を実施した。

運営費交付金の柔軟な運用により、目覚ましい成果を達成、国際的に注目される新発見を活用可能、国際標準の確立が有望等のテーマへ資金を迅速に投入する加速制度を創設した。平成 15 年度以後 365 件のテーマに適用し、実用化時期の早期化等の効果を挙げている。これらの加速資金を投入した事業については、実用化・製品化割合の向上、時期の短縮等の顕著な成果が創出されつつある。

[中期計画]

1) 機構外部の専門家・有識者を活用した事後評価において、技術的成果、実用化見通し、マネジメント等を評価項目とし、別途公表される計算式に基づき 8 割以上が「合格」（平成 14 年度実績 76.9%）、6 割以上が「優良」（平成 14 年度実績 53.8%）との評価を得る。また、この結果を対外的に公表する。

[中期目標期間実績]

1) 平成 16 年度より実施した全 138 件の事後評価の結果、中期計画において定めた目標値（「合格 8 割」、「優良 6 割」）をそれぞれ約 2 割上回る合格 96%、優良 72%を達成した。評価結果については、ホームページ等を通じて対外的に公表した。また、評価結果から得られた研究開発マネジメント上の知見・教訓事例は、プロジェクト評価の結果得られた多くの教訓等を組織として蓄積し、今後のマネジメントに反映するための基本ツールとなる「研究開発マネジメントガイドライン」に反映し、今後のプロジェクトマネジメントへ活用した。なお、事後評価により、多数のプロジェクトにおいて世界初又は世界最高レベルの成果を挙げたもの、実用化・事業化の見通しが特に顕著なもの等が明らかになった。

[中期計画]

m) 特許出願件数を中期目標期間中に、真に産業競争力の強化に寄与する発明か等、その質の向上に留意しつつ、国内特許については 5,000 件以上（平成 14 年度実績 830 件）、海外特許については 1,000 件以上（平成 14 年度実績 169 件）とする。また、この結果を対外的に公表する。

[中期目標期間実績]

m) 研究開発関連業務に係る特許出願数について、中期計画において定めた目標値（国内特許：5,000 件、海外特許：1,000 件）に対して、それぞれ約 2 割、約 12 割上回る出願実績（国内特許：6,009 件、海外特許：2,182 件）を達成した。また、100%日本版バイドール化、委託先に属する特許権等の企業化状況調査及び第 3 者への実施許諾状況調査を実施し、結果を報告した。

(ウ) 実用化・企業化促進事業

[中期計画]

実用化・企業化促進事業は、比較的短期間で成果が得られ、即効的な市場創出・経済活性化に高い効果を有しうるものであることに鑑み、その実施に際しては、以下に留意するものとする。

[中期目標期間実績]

・産業技術実用化開発助成事業において、以下のとおり実施した。

平成 15 年度には、公募の結果提案のあった 215 件について厳正なテーマ評価を行った結果 29 件を採択するとともに、継続分 68 件を合わせて 97 件のテーマに対し助成を行った。

平成 16 年度には平成 16 年度事業にかかる 2 回の公募の結果提案のあった 308 件について厳正なテーマ評価を行った結果 58 件を採択するとともに、継続分 35 件を合わせて 93 件のテーマに対し助成を行った。また、平成 17 年度事業に係る新規公募を行った。100 社インタビュー等を踏まえ、産業界のニーズの高かった、次世代に向けた技術のブレークスルーを目指す研究開発に対する支援を対象として追加することを決定し、「次世代戦略技術実用化助成制度」の創設を決定、公募を開始した。

平成 17 年度には、平成 17 年度事業にかかる 2 回の公募の結果提案のあった 312 件について厳正なテーマ評価を行った結果 77 件を採択するとともに、継続分 83 件を合わせて 160 件のテーマに対し助成を行った。また、平成 18 年度事業に係る新規公募を行った。100 社インタビュー等を踏まえ、産業界のニーズの高かった、次世代に向けた技術のブレークスルーを目指す研究開発に対する支援を対象として追加することを決定し、「次世代戦略技術実用化助成

制度」を開始し、応募のあった90件のうち33件を採択した。

平成18年度には、平成18年度事業にかかる2回の公募を実施し、提案のあった207件について、厳正なテーマ評価を行った結果、65件（うち「次世代戦略技術実用化開発助成事業」は提案のあった76件のうち22件）を採択するとともに継続分131件併せて196件のテーマに対し助成を行った。また、平成18年度第1回採択32件を対象に中間評価を、平成17年度「次世代戦略技術実用化開発助成事業」採択者のうち延長申請者12件に対し延長評価を実施した。実用化の確度を高めるために、提案者の経営資源を有効に活用し実用化に結び付ける能力を採択基準の一つとし、実際にプレゼンテーションを聴く取組を試行的に実施した。

平成19年度には、これまで実施してきた「産業技術実用化開発助成事業」及び「大学発事業創出実用化研究開発事業」を大括り化し、「イノベーション実用化助成事業」として一体的に実施した。また、実用化の確度を高めるために、提案者の経営資源を有効に活用し実用化に結び付ける能力を採択基準の一つとし、実際にプレゼンテーションを聴く取組を実施した。「産業技術実用化開発助成事業」においては、平成19年度事業にかかる公募を1回実施し、提案のあった148件について、厳正な審査を行った結果、26件（うち、「次世代戦略技術実用化開発助成事業」は提案のあった33件のうち9件）を採択するとともに継続分60件と合わせて87件のテーマに対し助成を行った。

- 大学発事業創出実用化研究開発事業においては、以下のとおり実施した。

平成15年度には、公募の結果提案のあった48件について厳正なテーマ評価を行った結果26件を平成15年度新規採択分として採択するとともに、継続分47件を併せて73件のテーマに対し助成金を交付した。

平成16年度には、平成16年度事業にかかる2回の公募の結果提案のあった162件について厳正なテーマ評価を行った結果65件を平成16年度新規採択分として採択するとともに、継続分47件を併せて112件のテーマに対し助成金を交付した。また、平成17年度事業にかかる新規公募を行った。

平成17年度には、平成17年度事業にかかる2回の公募の結果提案のあった194件について厳正なテーマ評価を行った結果102件を平成17年度新規採択分として採択するとともに、継続分29件を併せて131件のテーマに対し助成金を交付した。また、平成18年度事業にかかる新規公募を行った。さらに、平成16年度採択分及び平成17年度採択分29件を対象に中間評価を、平成16年度で終了及び平成17年度上期に終了した43件については事後評価をそれぞれ実施した。

平成18年度には、平成18年度事業にかかる2回の公募の結果提案のあった122件について厳正なテーマ評価を行った結果58件を平成18年度新規採択分として採択するとともに、継続分87件を併せて145件のテーマに対し助成金を交付した。また、平成16年度採択分から平成18年度採択分61件を対象に中間評価を実施した。

平成19年度には、これまで実施してきた「産業技術実用化開発助成事業」及び「大学発事業創出実用化研究開発事業」を大括り化し、「イノベーション実用化助成事業」として一体的に実施した。また、実用化の確度を高めるために、提案者の経営資源を有効に活用し実用化に結び付ける能力を採択基準の一つとし、実際にプレゼンテーションを聴く取組を実施した。平成19年度事業にかかる公募の結果提案のあった118件について厳正なテーマ評価を行った結果35件を平成19年度新規採択分として採択するとともに、継続分86件と合わせて121件のテーマに対し助成金の交付を行った。

- 国民の健康寿命延伸に資する医療機器等の実用化開発補助事業においては、平成15年度は公募の結果4件を採択するとともに、継続分6件を合わせて10件のテーマに対し助成金を交付した。

平成16年度は公募の結果提案のあった18件について厳正なテーマ評価を行った結果4件を採択するとともに、継続分3件を合わせて7件のテーマに対して助成金を交付した。

平成17年度は、新規公募を行わず、継続分7件のテーマに対して助成金を交付した。

平成18年度は4件の継続テーマを実施し、計画通り目標を達成した。合計15件のテーマに対し助成金を交付し、平成18年度に計画通り事業を終了した。採択テーマのうち2件は進捗ヒアリングに基づき途中中止し、13件は目標を達成して終了した。「研究開発終了後3年以内の実用化」という目標に対して、終了後3年以上が経過した事業のうち、80%（4件/5件）が目標を達成している。例えば、東芝メディカルシステムズ株式会社が実施したリアルタイム4Dイメージングシステムの開発（平成13年度～平成15年度）において、スキャン速度の高速化と画像処理時間の短縮によって、人体の3次元データの動態観察が行えるリアルタイムイメージング装置を開発した。研究開発終了後、本成果を元に、時間情報を加えた4次元情報を提供できる新しい画像診断技術を搭載したX線CT装置を開発、平成20年夏より発売を予定している。また、株式会社ネクスト21が実施した移植用テーラーメイド人工骨の成形技術開発（平成16年度～平成18年度）では、従来の人工骨では実現できなかったカスタムメイドな成形ができ、より早く自分の骨に置き換わる人工骨をインクジェット方式による3次元積層造形法を用いて開発し、研究開発終了後は、実用化に向けた臨床研究を開始した。

- 福祉用具実用化開発推進事業においては、平成15年度は、公募の結果、提案のあった115件について厳正なテーマ評価を行い、その結果5件を特殊法人時代に採択するとともに、継続分6件を合わせて11件のテーマに対し助成金を交付した。

平成16年度は、追加公募を含む2回の公募の結果、提案のあった合計131件について厳正なテーマ評価を行い、その結果10件を採択するとともに、継続分5件を合わせて15件のテーマに対し助成金を交付した。

平成17年度は、公募の結果、提案のあった合計77件について厳正なテーマ評価を行い、その結果5件を採択するとともに、継続分8件を合わせて13件のテーマに対し助成金を交付した。

平成18年度は、公募の結果、提案のあった合計43件について厳正なテーマ評価を行い、その結果5件を採択するとともに、継続分7件を合わせて12件のテーマに対し助成金を交付した。平成19年度は、公募の結果、提案のあった合計34件について厳正なテーマ評価を行い、その結果、6件を採択するとともに、継続分5件の事業と合わせて11件のテーマに対し助成金を交付した。

- エネルギー使用合理化技術戦略的開発（実用化開発フェーズ、実証研究フェーズ）においては、以下のとおり実施し

た。

平成 15 年度はエネルギー使用合理化技術戦略的開発の実用化開発フェーズにおいて、14 件を特殊法人時代に採択するとともに、継続分 13 件と合わせて 27 件のテーマについて事業を行った。実証研究フェーズでは、6 件を特殊法人時代に採択し、事業を行った。

平成 16 年度はエネルギー使用合理化技術戦略的開発の実用化開発フェーズにおいて 8 件を採択するとともに、継続分 22 件と合わせて 30 件のテーマについて事業を行った。実証研究フェーズでは 4 件を採択し、継続分 6 件と合わせて 10 件のテーマについて事業を行った。

平成 17 年度はエネルギー使用合理化技術戦略的開発の実用化開発フェーズにおいて 14 件を採択するとともに、継続分 19 件と合わせて 33 件のテーマについて事業を行った。

実証研究フェーズでは 4 件を採択し、継続分 9 件と合わせて 13 件のテーマについて事業を行った。

平成 18 年度はエネルギー使用合理化技術戦略的開発の実用化開発フェーズにおいて、新規採択した 12 テーマを含め、計 40 テーマを実施した。実証研究フェーズにおいては、新規採択した 3 テーマを含め、計 13 テーマを実施した。

平成 19 年度はエネルギー使用合理化技術戦略的開発の実用化開発フェーズにおいて、新規採択した 10 テーマを含め、計 29 テーマを実施した。実証研究フェーズにおいては、平成 19 年度に新規採択した 2 テーマを含め、計 6 テーマを実施した。

(企画及び公募段階)

[中期計画]

a) ホームページ等のメディアの最大限の活用等により公募を実施する。また、公募に際しては、機構のホームページ上に、公募開始の 1 ヶ月前（緊急的に必要なものであって事前の周知が不可能なものを除く）には公募に係る事前の周知を行う。また、地方の提案者の利便にも配慮し、地方での公募説明会を積極的に開催する。

[中期目標期間実績]

・産業技術実用化開発助成事業では以下のとおり実施した。

平成 15 年度には、公募開始 1 ヶ月前にホームページを活用して公募開始を広く事前周知するとともに、一部の制度では経済産業省の地方経済産業局と連携した公募説明会及び個別相談等を実施した。

公募開始：平成 15 年 4 月 30 日

公募締切：平成 15 年 6 月 27 日

全国 10 会場での公募説明会の開催（川崎、仙台、金沢、福岡、札幌、名古屋、広島、大阪、沖縄、高松）

平成 16 年度には、全ての案件について公募開始 1 ヶ月前事前周知するとともに、一部の制度では経済産業省の地方経済産業局と連携した公募説明会及び個別相談等を実施した。

平成 16 年度第 1 回

事前周知：平成 16 年 1 月 5 日

公募開始：平成 16 年 2 月 5 日

公募締切：平成 16 年 4 月 9 日

全国 10 会場での公募説明会の開催（川崎、仙台、金沢、福岡、札幌、名古屋、広島、大阪、沖縄、高松）

平成 16 年度第 2 回

事前周知：平成 16 年 7 月 1 日

公募開始：平成 16 年 8 月 2 日

公募締切：平成 16 年 9 月 29 日

全国 9 会場での公募説明会の開催（川崎、札幌、盛岡、富山、京都、岡山、高知、鹿児島、沖縄）

平成 17 年度第 1 回

事前周知：平成 17 年 1 月 7 日

公募開始：平成 17 年 2 月 4 日

公募締切：平成 17 年 4 月 6 日

全国 12 会場での公募説明会の開催（川崎、札幌、仙台、さいたま、名古屋、富山、大阪、広島、高松、松山、福岡、沖縄）

平成 17 年度には、全ての案件について公募開始 1 ヶ月前事前周知するとともに、一部の制度では経済産業省の地方経済産業局と連携した公募説明会及び個別相談等を実施した。

平成 17 年度第 2 回

事前周知：平成 17 年 5 月 6 日

公募開始：平成 17 年 6 月 6 日

公募締切：平成 17 年 8 月 3 日

全国 8 会場での公募説明会の開催（川崎、札幌、仙台、浜松、大阪、広島、徳島、福岡）

平成 18 年度第 1 回

事前周知：平成 17 年 10 月 17 日

公募開始：平成 17 年 11 月 17 日

公募締切：平成 18 年 1 月 18 日

全国 16 会場での公募説明会の開催（川崎、札幌、仙台、秋田、さいたま、浜松、名古屋、金沢、大阪、広島、松江、高松、松山、福岡、鹿児島、沖縄）

平成 18 年度第 2 回

事前周知：平成 18 年 2 月 28 日

平成 18 年度には、以下のとおり実施した。

平成 18 年度第 1 回

事前周知：平成 17 年 10 月 18 日

公募開始：平成 17 年 11 月 17 日

公募締切：平成 18 年 1 月 18 日

全国 17 会場での公募説明会の開催（札幌、秋田、仙台、埼玉、川崎、浜松、金沢、名古屋、諏訪、大阪、広島、松江、松山、高松、福岡、鹿児島、那覇）

公募開始：平成 18 年 3 月 31 日

公募締切：平成 18 年 5 月 31 日

全国 14 会場での公募説明会の開催（札幌、仙台、山形、福井、川崎、東京、名古屋、大阪、広島、高松、鳥取、福岡、宮崎、那覇）

平成 19 年度には以下のとおり実施した。

平成 19 年度

事前周知：平成 19 年 3 月 2 日

公募開始：平成 19 年 4 月 3 日

公募締切：平成 19 年 6 月 1 日

全国 12 会場での公募説明会の開催（札幌、仙台、東京、川崎、上田、名古屋、富山、大阪、広島、高松、福岡、那覇）

平成 20 年度第 1 回

事前周知：平成 19 年 9 月 25 日

公募開始：平成 19 年 10 月 25 日

公募締切：平成 19 年 12 月 12 日

全国 12 会場での公募説明会の開催（札幌、仙台、東京、川崎、名古屋、富山、大阪、広島、高松、福岡、鹿児島、那覇）

・大学発事業創出実用化研究開発事業では以下のとおり実施した。

平成 15 年度には、公募開始 1 ヶ月前にホームページを活用して公募開始を広く事前周知するとともに、一部の制度では経済産業省の地方経済産業局と連携した公募説明会及び個別相談等を実施した。

公募開始：平成 15 年 5 月 7 日

公募締切：平成 15 年 6 月 20 日

全国 10 会場での公募説明会の開催（川崎、仙台、金沢、福岡、札幌、名古屋、広島、大阪、沖縄、高松）

平成 16 年度には、全ての案件について公募開始 1 ヶ月前事前周知するとともに、一部の制度では経済産業省の地方経済産業局と連携した公募説明会及び個別相談等を実施した。

平成 16 年度第 1 回

事前周知：平成 16 年 1 月 5 日

公募開始：平成 16 年 2 月 12 日

公募締切：平成 16 年 4 月 14 日

全国 10 会場での公募説明会の開催（川崎、仙台、金沢、福岡、札幌、名古屋、広島、大阪、沖縄、高松）

平成 16 年度第 2 回

事前周知：平成 16 年 7 月 1 日

公募開始：平成 16 年 8 月 2 日

公募締切：平成 16 年 10 月 14 日

全国 9 会場での公募説明会の開催（川崎、札幌、盛岡、富山、京都、岡山、高知、鹿児島、沖縄）

平成 17 年度第 1 回

事前周知：平成 17 年 1 月 7 日

公募開始：平成 17 年 2 月 18 日

公募締切：平成 17 年 4 月 18 日

全国 12 会場での公募説明会の開催（札幌、仙台、さいたま、川崎、富山、名古屋、大阪、広島、高松、松山、福岡、那覇）

平成 17 年度第 2 回

事前周知：平成 17 年 4 月 20 日

公募開始：平成 17 年 5 月 19 日

公募締切：平成 17 年 7 月 19 日

公募説明会の開催（川崎）

平成 18 年度には以下のとおり実施した。

平成 18 年度第 1 回

事前周知：平成 17 年 9 月 19 日

公募開始：平成 17 年 10 月 19 日

公募締切：平成 17 年 12 月 19 日

全国 10 会場での公募説明会の開催（札幌、仙台、川崎、富山、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、那覇）

平成 18 年度第 2 回

事前周知：平成 18 年 4 月 3 日

公募開始：平成 18 年 5 月 1 日
公募締切：平成 18 年 7 月 12 日
全国 10 会場での公募説明会の開催（札幌、仙台、川崎、富山、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、那覇）
平成 19 年度には、以下のとおり実施した。

平成 19 年度

事前周知：平成 19 年 3 月 19 日
公募開始：平成 19 年 4 月 9 日
公募締切：平成 19 年 6 月 13 日
全国 12 会場での公募説明会の開催（上記産業技術実用化開発助成事業と同時開催）
全国 2 会場で個別相談会を開催（川崎、大阪）

平成 20 年度第 1 回

事前周知：平成 19 年 9 月 25 日
公募開始：平成 19 年 11 月 16 日
公募締切：平成 19 年 12 月 17 日
全国 12 会場での公募説明会の開催（上記産業技術実用化開発助成事業と同時開催）

・福祉用具実用化開発推進事業」においては以下のとおり実施した。

平成 15 年度は、以下の通り実施した。

事前周知：平成 15 年 11 月 21 日
公募開始：平成 15 年 12 月 26 日
公募締切：平成 16 年 2 月 3 日
全国 8 会場での説明会を開催（仙台、札幌、大阪、福岡、高松、池袋、広島、名古屋）した。

平成 16 年度は、以下の通り実施した。

平成 16 年度第 1 回公募

事前周知：平成 15 年 11 月 21 日
公募開始：平成 15 年 12 月 26 日
公募締切：平成 16 年 2 月 3 日

平成 16 年度第 2 回公募

事前周知：平成 16 年 7 月 9 日
公募開始：平成 16 年 8 月 26 日
公募締切：平成 16 年 9 月 9 日
全国 8 会場での説明会を開催（仙台、札幌、大阪、福岡、高松、池袋、広島、名古屋）した。

平成 17 年度は、以下の通り実施した。

事前周知：平成 16 年 11 月 18 日
公募開始：平成 16 年 12 月 20 日
公募締切：平成 17 年 1 月 24 日
全国の 8 会場での公募説明会を開催（札幌、仙台、川崎、名古屋、大阪、高松、広島、福岡）した。

平成 18 年度は、以下の通り実施した。

公募予告：平成 17 年 12 月 6 日
公募開始：平成 18 年 1 月 6 日
公募締切：平成 18 年 2 月 6 日
全国 8 会場での公募説明会を開催（札幌、仙台、川崎、名古屋、大阪、広島、松山、福岡）した。

平成 19 年度は、以下の通り実施した。

公募予告：平成 18 年 12 月 5 日
公募開始：平成 19 年 1 月 5 日
公募締切：平成 19 年 2 月 5 日
全国 9 会場での公募説明会を開催（札幌、仙台、川崎、名古屋、大阪、広島、松山、福岡、沖縄）した。

・エネルギー使用合理化技術戦略的開発においては、以下の日程で公募を行った。

平成 15 年度公募は、以下の日程で行った。

公募予告：平成 16 年 3 月 29 日
公募開始：平成 16 年 4 月 19 日
公募締切：平成 16 年 5 月 27 日

また、全国 2 会場での説明会（東京、大阪）を開催した。

平成 16 年度公募は、以下の日程で行った

公募予告：平成 16 年 3 月 29 日
公募開始：平成 16 年 4 月 19 日
公募締切：平成 16 年 5 月 27 日

また、全国 2 会場での説明会（東京、大阪）を開催した。

平成 17 年度公募は、以下の日程で行った。

公募予告：平成 17 年 2 月 7 日
公募開始：平成 17 年 3 月 7 日
公募締切：平成 17 年 4 月 14 日

また、全国4会場での公募説明会（札幌、大阪、博多、東京）を開催した。

平成18年度は、2回の公募を行った

平成18年度第1回公募は、以下の日程で行った。

公募予告 平成18年2月24日

公募開始 平成18年3月31日

公募締切 平成18年5月19日

また、全国4会場での公募説明会の開催（札幌、大阪、博多、東京）を行った。

平成18年度第2回公募は、以下の日程で行った

公募予告 平成18年7月3日

公募開始 平成18年8月1日

公募締切 平成18年8月31日

また、全国2会場での公募説明会の開催（東京、大阪）を行った。

平成19年度も、第1回公募については公募締め切りから69日で、第2回公募については65日で採択決定を行った。

平成19年度第1回公募は、以下の日程で行った。

公募予告 平成19年2月6日

公募開始 平成19年3月14日

公募締切 平成19年4月19日

また、全国4会場にて公募説明会を開催（東京、大阪、名古屋、仙台）した。

平成19年度第2回公募は、以下の日程で行った。

公募予告 平成19年6月20日

公募開始 平成19年7月20日

公募締切 平成19年8月20日

また、全国2会場にて公募説明会を開催（川崎、大阪）した。

19年度においては、さらに平成20年度公募を開始した。

平成20年度は公募は以下の日程で行った。

公募予告 平成20年2月13日

公募開始 平成20年3月14日

公募締切 平成20年4月14日

また、全国7会場にて公募説明会を開催（川崎、大阪、仙台、松本、福岡、金沢、東京）した。

[中期計画]

- b) 機構外部からの幅広い分野の優れた専門家・有識者の参画による、客観的な審査基準に基づく公正な選定を行う。
特に、本事業では比較的短期間で技術の実用化・市場化を行うことを目的とするものであることに留意し、達成すべき技術目標や実現すべき新製品の「出口イメージ」が明確で、我が国の経済活性化やエネルギー・環境問題の解決により直接的で、かつ大きな効果を有する案件を選定する。

[中期目標期間実績]

- b) 機構外部からの幅広い分野の優れた専門家・有識者の参画による客観的な基準に基づく公平な審査・採択を行った。
また、達成すべき技術目標や実現すべき新製品の「出口イメージ」が明確な案件を選定するべく、提案書への該当事項の記述を求めるとともに、実用化の観点から評価を行うことができる外部専門家により評価を行う等の対応を図った。さらには、我が国の経済活性化やエネルギー・環境問題の解決により直接的で、かつ大きな効果を有する案件を選定すべく、公募及び審査において適切に対応した。また、公募に係る選定結果の公開と不採択案件応募者に対する明確な理由の通知を行った。

[中期計画]

- c) 選定結果の公開と不採択案件応募者に対する明確な理由の通知を行う。

[中期目標期間実績]

- c) 公募に係る選定結果の公開と不採択案件応募者に対する明確な理由の通知を行った。

[中期計画]

- d) 採択件数の少ない事業を除き、年間複数回の採択を実現する。

[中期目標期間実績]

- d) 以下のとおり実施した。

平成15年度には、産業技術実用化開発助成事業、大学発事業創出実用化研究開発事業では、複数回採択を前提とした公募を行った。

平成16年度には、産業技術実用化開発助成事業、大学発事業創出実用化研究開発事業では、2回公募を行った。

平成17年度には、産業技術実用化開発助成事業、大学発事業創出実用化研究開発事業では、2回公募を行った。

平成18年度には、産業技術実用化開発助成事業、大学発事業創出実用化研究開発事業、エネルギー使用合理化技術戦略的開発は2回公募を行った。

平成19年度には、産業技術実用化開発助成事業、大学発事業創出実用化研究開発事業において、1回の公募を実施するとともに、20年度新規事業が20年4月から始められるよう、19年度中に20年度第1回の公募を実施した。

(業務実施段階)

[中期計画]

e) 交付申請・契約・確定事務等に係る民間の事務負担を極力軽減する。2～3年の期間の案件が大宗であることに留意し、2年間程度の複数年度契約・交付決定を必要に応じ導入する。また、公募締切から70日以内での採択決定を目標とし、事務の合理化・迅速化を図る(平成15年度80日程度)。

[中期目標期間実績]

・公募を実施した全ての実用化・企業化促進事業については、公募締め切りから70日以内の採択決定を行った。また、2年間程度の複数年度契約・交付決定を必要に応じ実施した。

[中期計画]

f) 制度面・手続き面の改善を毎年度着実にを行い、毎年、制度利用者からのアンケートを実施し、7割以上の回答者から肯定的な回答を得る。

[中期目標期間実績]

f) 産業技術実用化助成事業において、以下のとおり毎年度終了評価を実施し、併せて制度利用者に対して本制度・手続きについてヒアリングを実施した。

平成16年度 62件
平成17年度 6件
平成18年度 56件
平成19年度 134件

また、平成17年度には外部有識者による制度評価を行い、その中で本制度について制度利用者からアンケートを実施し、中期計画上の目標7割を上回る75%の利用者から肯定的な回答を得た。

(評価とフィードバック)

[中期計画]

g) 機構外部の専門家・有識者を活用した厳正な技術評価・事業評価を適時適切に実施するとともに、その結果をもとに事業の縮小・中止・見直し等を迅速に行う。特に、中間時点での評価結果が一定水準に満たない案件については、抜本的な改善策等が無いものは原則として中止する。

[中期目標期間実績]

g) 以下のとおり実施した。

・産業技術実用化開発助成事業では、平成15年度には当該年度で終了する事業者に対し、これまでの事業実施の結果を踏まえ、1年間の延長を希望する事業について評価を実施し、6件の事業について1年間の延長を行った。

平成16年度には当該年度で終了する事業者に対し、これまでの事業実施の結果を踏まえ、1年間の延長を希望する事業について評価を実施し平成14年度採択テーマのうち6件、平成15年度26件、計32件の事業について1年間の延長を行った。

平成17年度は、これまでの事業実施の結果を踏まえ、事業継続についてテーマの中間評価57件を実施した結果、平成15年度採択テーマのうち7件、平成16年度56件、計63件の事業について事業の継続を行った。

平成18年度は、32件の中間評価を実施し、56件の終了者評価を実施した。

平成19年度は、28件の中間評価を実施し、134件の終了者評価を実施した。

・大学発事業創出実用化研究開発事業では、平成15年度には中間評価36件を実施し、うち10件に対して継続にあたり研究計画に評価コメントをフィードバックする等の対応をとった。

平成16年度には、中間評価8件を実施し、うち5件に対して継続にあたり研究計画に評価コメントをフィードバックする等の対応をとった。

平成17年度は、テーマの中間評価30件を実施し、継続にあたり研究計画に評価コメントをフィードバックする等の対応をとった。

平成18年度は、61件の中間評価を実施した。平成19年度は、22件の中間評価を実施した。

・福祉用具実用化開発推進事業では、平成15年度は、平成15年度で終了する事業3件及び平成16年度で終了する事業3件合計6事業に対し中間報告会を実施したほか、平成14年度で終了した11件の事業者に対し、事後評価を行った。

平成16年度は平成16年度で終了する事業4件及び平成17年度で終了する事業1件合計5事業に対し中間報告会を実施したほか、平成15年度で終了した4件の事業者に対し、事後評価を行った。

平成17年度は、平成17年度で終了する事業5件及び平成18年度で終了する事業3件の合計8件に対し中間評価を実施したほか、平成16年度で終了した事業7件に対して事後評価を行った。

平成18年度は、平成18年度新規採択を実施し、提案件数43件のうち5件の採択を行った。平成16年度採択4件、平成17年度採択1件における計5件の事後評価を行い、平成16年度採択1件、平成17年度採択4件、平成18年度採択1件における計6件の中間評価を行った。

平成19年度は、平成19年度新規採択を実施し、提案件数34件のうち6件の採択を行った。また、平成16年度採択4件、平成17年度採択3件、平成18年度採択1件における計8件の事後評価を行い、平成18年度採択4件、平成19年度採択1件における計5件の中間評価を行った。

・エネルギー使用合理化技術戦略的開発では、平成15年度は、実用化開発フェーズにおいては、平成15年度末に実施した中間評価の結果、「高速バス排ガス利用熱電変換技術の研究開発」については、接触抵抗も含めた総合システム

としての技術レベルが中間目標未達で商品としての成立の見込みは低く、実用化開発としての研究継続は適当ではないと判断し、次年度の研究を断念した。一方、「水合物スラリ空調システムの研究開発」については、従来方式の冷水による空調システムと比較して、同一性能を実現する為の搬送流量が 1/3、ファン風量は 3/4 になることが確認され、研究開発を加速した結果、平成 17 年度から商品化する等の成果を挙げた。なお、平成 13 年度採択の 2 プロジェクトについては平成 16 年度 5 月末に事後評価を行った。

平成 16 年度は、実用化開発フェーズにおいては、平成 15 年度採択 11 テーマの中間評価を行い、その結果全テーマ研究を継続することとした。実証研究フェーズにおいては、平成 16 年度末に実施した中間評価の結果、4 プロジェクトともに、引き続き平成 17 年度まで研究を継続し、事業化を目指すこととした。

平成 17 年度は、実用化開発フェーズにおいては、平成 16 年度採択 7 テーマの中間評価を実施したほか、平成 16 年度に終了した 16 テーマについて事後評価を行った。実証研究フェーズにおいては平成 16 年度採択 1 テーマの中間報告を実施したほか、平成 16 年度に終了した 1 テーマについて事後評価を行った。

平成 18 年度は、実用化開発フェーズにおいては、平成 17 年度採択 14 テーマの中間評価を実施したほか、平成 18 年度に終了した 16 テーマについて事後評価を行った。実証研究フェーズにおいては平成 17 年度採択 1 テーマの中間報告を実施したほか、平成 18 年度に終了した 1 テーマについて事後評価を行った。

平成 19 年度は、実用化開発フェーズについては、平成 18 年度採択 8 テーマの中間評価及び平成 18 年度終了 12 テーマの事後評価を実施したほか、平成 19 年度に研究期間が終了した 11 テーマについてプレ事後評価を行った。実証研究フェーズについては平成 18 年度採択 1 テーマの中間評価及び平成 18 年度に終了した 5 テーマについて事後評価を実施したほか、平成 19 年度に研究期間が終了した 3 テーマに関してはプレ事後評価を実施した。

[中期計画]

h) 事業終了後、3 年間以上経過した時点での実用化達成率を 40% とする (平成 14 年度実績 33.3%)。また、この結果を公表する。

[中期目標期間実績]

h) 第 1 期中期目標期間の実用化達成率は 25.8% となった。この結果やこれまでの新エネルギー・産業技術総合開発機構部会の指摘等を踏まえ、要因の分析、機構による実施が求められている事業の性格、40% の設定根拠等を再度精査した結果、第 2 期中期目標・計画においては、25% の目標を設定するとともに、これに加えて各テーマごとに外部有識者による事後評価を実施し、「6 割以上が順調との評価を得る」ことを新たな目標として追加的に設定した。

(エ) 研究開発成果の権利化や広報・情報発信に関する事項

[中期計画]

i) 研究開発成果については、その実用化に向け委託先・助成先における知的財産権化を慫慂するとともに、他に先駆けて国際標準の確立に貢献するよう努めること等により、研究開発、知的財産権取得及び標準化の一体的な推進を図る。

[中期目標期間実績]

i) 第 1 期中期目標期間中には、国際市場の獲得・新規開拓を図る上で国際標準の果たす役割が重要性を増す中、機構の研究開発成果を普及させるための国際標準化を積極的に推進した。特に、平成 18 年度からは研究開発と国際標準を一体として推進する取組を開始した。これまでに、携帯用燃料電池の安全性規格、自動車用キャパシタの試験方法等について国際標準案を提案した。これも含め、主な具体的な取組は以下のとおり。

平成 15 年度には、研究開発成果に係る企業の標準化のニーズを 4 件を把握し、そのうち 3 件について、標準化のための研究開発を加速して実施することを決定した。産業技術実用化開発助成事業に係る成果普及・広報のため、実用化開発助成事業成果展示会 2003 を以下のとおり開催した。

東京会場：11 月 4 日～ 7 日

大阪会場：10 月 22 日～24 日

平成 16 年度には、研究開発成果に係る企業等の標準化のニーズを 10 件を把握し、そのうち 6 件について、標準化を推進するための事業を実施した。産業技術実用化開発助成事業及び大学発事業創出実用化研究開発事業に係る成果普及・広報のため、実用化開発助成事業成果展示会 2004 を以下のとおり開催した。

東京会場：12 月 1 日～ 3 日

大阪会場：10 月 27 日～29 日

平成 17 年度には、研究開発成果に係る企業等の標準化のニーズを 44 件を把握し、そのうち 42 件について、標準化を推進するための事業を実施した。大学発事業に係る成果普及・広報のため、産学官技術交流フェア 2005 (主催：日刊工業新聞社) に参加した。(実施期間：11 月 30 日 (水)～12 月 2 日 (金))

産業技術実用化開発助成事業及び基盤技術研究促進事業に係る成果普及・広報のため、実用化開発助成事業成果展示会 2004 を以下のとおり開催した。

全日本科学機器展 in 大阪：10 月 18 日～21 日

WPC エキスポ：10 月 25 日～28 日

NEDO 成果展示会：11 月 14 日～18 日

セミコンジャパン：12 月 6 日～9 日

平成 18 年度には、機構の研究開発成果に係る標準化のニーズを把握し、そのうち 28 件について、標準化を推進するための事業を実施した。また、大学、中小企業に対して実施した知的財産の管理アンケートに基づき、指導の必要性が高い対象者を選定し、中小企業・ベンチャー企業 35 社、大学研究者 16 人に対して知的財産の管理、運営等につ

いて延べ 89 回の指導を実施した。

平成 19 年度には、機構の研究開発成果に係る標準化のニーズを把握し、そのうち 18 件について、標準化のフォローアップに係わる事業を実施した。

[中期計画]

ii) 研究開発期間中のみならず終了後も、その成果の実用化に向けて、研究開発の実施者をはじめ幅広く産業界等に働きかけを行う。また、研究開発成果が具体的にどのように国民に被益しているかを把握するとともに、機構の研究開発マネジメントの改善や研究開発プロジェクトの企画立案機能の向上に反映させることを目的として、中期目標期間中に 100 本以上の終了プロジェクト・採択案件について逐次追跡調査を実施し（平成 14 年度実績 4 件）、評価インフラとしてのデータベースの構築を行う。

[中期目標期間実績]

ii) 機構の成果の実用化を促すため、民間企業に対して追跡調査の結果を公開し情報の共有化を図るとともに、成果のより一層の活用に向け意見交換を行った。また、平成 16 年度より開始した追跡調査においては、第 1 期中期目標期間中に 100 本という目標を 2 倍以上上回る 204 プロジェクトの追跡調査を実施するとともに、製品化状況のみならず、標準化活動、知的基盤の整備等、市場の外で測られるべき価値や、派生技術、産学連携における貢献等成果の広がり把握した。さらに、上市・製品化に至る要因を抽出するとともに、これらの調査結果はデータベースとして蓄積し、①成果の広がり把握・分析や、マネジメント改善の示唆の抽出、②調査対象機関の追跡調査の回答入力支援インフラ及び③国内外での学会発表や海外研究開発運営機関との意見交換における基礎資料として、活用を図った。

[中期計画]

iii) 研究開発成果の公表等については、国民への情報発信や学界での建設的情報交換等の視点と、知的財産の適切な取得等その成果の我が国経済活性化への確実な貢献等の視点から適宜適切に実施するものとする。

[中期目標期間実績]

iii) 機構設立以来（特殊法人時代を含め 25 年）のアウトカムについて、分野横断的視点（産業技術関係及びエネルギー関係）と分野ごとの視点（計 7 技術分野）に分類して調査するとともに結果を発信した。このうち、(1) 中長期のアウトカムについては、「NEDO 成果の日本の主力産業における活用状況」や「NEDO 成果のエネルギー・地球環境問題解決への貢献」と「主要技術分野における経済的・社会的効果」の観点から調査を実施し、調査結果を多方面へ発信した（NEDO BOOKS「なぜ、日本が太陽光発電で世界一になれたのか」（平成 18 年度発行）等）。(2) 短期のアウトカムについては、「技術成果」や「実用化等の進捗状況」を中心に実用化の状況のみではなく、標準化活動、知的基盤の整備等、市場の外で測られるべき価値や、派生技術、産学連携についても、重要な成果の広がりとして把握した。これらの波及効果等は、マネジメントの改善に資する情報等と合わせて、国内外の学会・シンポジウムや海外研究運営機関とのワークショップ等において積極的に情報発信した。

[中期計画]

iv) 内外の研究開発マネジメント機関との情報交換を実施するとともに、研究開発マネジメント及びプロジェクトマネジメント関係の学会、セミナー、シンポジウム等に機構自身として中期目標期間中に 100 本以上の実践的研究発表を行う（平成 14 年度実績 10 件）。

[中期目標期間実績]

iv) 中期計画において定めた目標値（100 本）を 25%上回る 125 本の研究発表を達成した。

[中期計画]

v) 研究開発の成果及び研究開発の成果を基礎とした産業界及び新エネルギー・省エネルギーへの影響・貢献については、様々な事例を収集し、印刷物、ホームページ、CD-ROM 等の媒体及び成果発表会、展示会等の開催により、広く国民・国際社会への分かりやすい情報発信・情報提供を図る。これらの媒体については、必要に応じて英語版を含む外国語版を作成する。

[中期目標期間実績]

v) 事業の全容を紹介する「NEDO 技術開発機構の概要」をはじめ、最新の成果を紹介する「未来へ広がるエネルギーと産業技術」などのパンフレットや定期広報誌「FocusNEDO」についてより分かり易い構成にするなど、内容の充実を図り、発行を定着させた。また、各技術分野別の事業をより詳細に紹介するパンフレットも発行し、これら全てについて、イベント等で配布するほかホームページを通じてダウンロードできるようにするなど、広く一般に紹介した。この他、事業を紹介するビデオを制作し、イベント等を通じて公開した。より分かり易い情報発信を目指して、ホームページに「よくわかる技術解説」や「キッズページ」など新たなコンテンツを創設したほか、アクセシビリティ、ユーザビリティに配慮したリニューアルを実施した。さらに、アウトカム調査報告書をもとに機構の成果を分かり易く纏めた単行本を発行し、イベントやホームページを通じて紹介したほか、全国の図書館や高校への贈呈するなど広く一般へ 8 万部を配布した。プレス発表については、話題性の高いものについては研究現場における記者発表会を行うなどメディアへのより一層の発信を実施し、プレスへの露出度向上を図った。展示会への対応について、必要に応じてアウトソーシングを活用するなどにより、効果的なディスプレイを実現し、集客効果の向上を図った。次世代を担う小中学生の科学技術への理解を促進するため、科学技術館の NEDO 常設展示を全面リニューアルし、愛・地球博の展示に使用したロボットを展示するなど集客効果の向上を図った。また、ソーラーカー工作教室などの体験型イベントを実施するなど子供の興味を誘引する様々な手法の広報を実施した。

[中期計画]

vi) 2005年に開催される「愛・地球博(2005年日本国際博覧会)」において、機構の研究開発等において得られた成果の展示等を行う。

[中期目標期間実績]

vi) 「愛・地球博」において「とびだす日本のテクノロジー」を統一テーマとして、「NEDO パビリオン」での研究成果・普及啓発等の展示を行うとともに、太陽電池、燃料電池等からなる新エネルギープラント、ロボットステーションを拠点として会場各所にて展開するロボットプロジェクト、省エネルギー型廃水処理プロジェクト、光触媒利用高機能住宅用部材プロジェクト、障害者 IT 支援技術開発プロジェクト等の実証試験を行った。そのほか、万博会場において、プロトタイプロボット展、光未来展、子供をメインターゲットとしたイベントを18回開催した。

(オ) 産業技術人材養成の推進

[中期計画]

産業技術の将来を担う創造性豊かな技術者・研究者を機構の研究開発プロジェクトや公的研究機関等の最先端の研究現場において研究開発等に携わらせること、及び大学等の研究者への助成をすること等を通じ、幅広い視野と経験を有し、民間企業や大学等において中核的人材として活躍する技術者を約5,000人養成する。

[中期目標期間実績]

研究開発プロジェクト等を通じ、5,000人を2割強上回る6,214人の産業技術の中核的人材を養成した。

- ・平成18年度からは、大学が技術の中核となっている優れたプロジェクト等を「コアプロジェクト」とし、そのプロジェクトリーダーの所属大学に拠点(NEDO特別講座)を設け、「コアプロジェクト」の基幹技術に関連した周辺研究の実施、人材育成、人的交流事業等の展開を図る「NEDO特別講座(機構のプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開)」を開始した。平成19年度は、平成18年度開講の2講座に加えて、「たんぱく質立体構造解析技術(東京大学、京都大学、大阪大学の3拠点連携)」、「次世代DDS技術(京都大学、東京女子医科大学の2拠点連携)」、「ナノファイバー技術(東京工業大学)」、「環境・エネルギー科学(東京大学)」の4講座7拠点を開始した。
- ・我が国の産業技術の一層の高度化及び継続的な産業競争力の強化を図るため、技術シーズを迅速に実用化・事業化できる資質に優れた研究開発人材・産学連携人材の養成を実施した。産学連携への期待が高まっている一方で、産学連携を担う資質を有する人材は質的にも量的にも不足しているため、平成18年度からは産学連携人材(技術移転スペシャリスト人材、知財マネジメント人材、プロジェクト・マネジメント人材)を重点的に育成した。具体的には、担当者が受入機関訪問等によるきめ細かな養成状況の確認・指導等、機構が企画する体系的な研修を実施するなど効果的な人材養成を推進した。
- ・プロジェクトマネジメントに係る職員の能力向上及び情報発信を目的として、機構若手職員等が講師となる大学公開講座「NEDOカレッジ」を開講(初年度はお茶の水女子大学の1科目として年間計30回の講義を実施)した。
- ・産業技術フェロウシップ事業においては、機構が自らMOT(技術経営)及びMIP(知的財産戦略)を中心とした座学やグループ討議による実践的な研修を実施した。

(カ) 技術経営力の強化に関する助言

[中期計画]

研究開発の成果が経営の中で活用されるよう、これまで研究開発事業を通じて蓄積してきた研究開発のテーマ選定及び遂行並びに成果の事業化に関する専門的知見を今後さらに蓄積するとともに、技術経営力に関する知見を有する者のネットワークを構築し、研究開発の成果を経営に活用すること等に関する専門的知見の蓄積・共有を図る。

また、これらの専門的知見を活用し、事業化を見据えた研究開発のテーマ選定を行うとともに、事業者に対し、研究開発の企画から実施、成果の事業化に至るまでの期間において、その加速・見直しや、他事業者との連携の提案、異なる分野の技術・市場動向等の情報提供を行い、また、シンポジウム、公開講座等を通じてその知見を周知するなど技術経営力の強化に関する助言を積極的に行う。

[中期目標期間実績]

ナショナル・イノベーション・システムにおける機構の役割と責務を一層明らかにし、技術経営力の強化に関する助言に係る業務を実施するため、平成18年度より技術経営・イノベーション戦略推進チームを設置し、民間企業における技術経営戦略の定着の促進を通じてイノベーション戦略を強化するための活動を開始した。平成19年度には、職員の能力向上のため技術経営の有識者によるシリーズの講義「MOTスーパーカレッジ」を実施した。また、有識者の発掘・ネットワーク化、プロジェクトマネジメントに係るノウハウの蓄積・発信を実施した。平成19年度には、プロジェクトマネジメントに係る職員の能力向上及び情報発信を目的として、若手職員等が講師となる大学公開講座「NEDOカレッジ」を開講(初年度はお茶の水女子大学の1科目として年間計30回の講義を実施)した。平成18年度には、プロジェクト評価の結果得られた多くの教訓等を、属人的なものとするのではなく組織として蓄積し、今後のマネジメントに反映するための基本ツールとなる「NEDO研究開発マネジメントガイドライン」を作成した。平成19年度には、中間評価、事後評価、追跡調査の結果等より138件の事例を抽出し、その中から今後のマネジメントの高度化に寄与すると考えられる22事例を厳選し、改訂に向けた取組に着手した(平成20年4月、第2版発行)。「技術経営力の強化に関する助言」を行うため、職員の技術経営力に関する質を高めるための人材育成の制度の取組を実施した。また、職員が国内外の学会において、研究開発マネジメントに係る研究成果を発表した。

平成18年度からは、研究開発の成果を事業化に結びつけるため、研究委託・助成先の中小企業、ベンチャー企業等に対し、技術経営の専門家・公認会計士・弁理士等を活用してコンサルティングを行うなど知的財産管理、技術経営

力の強化に関する助言業務を実施した。職員の技術経営力に関する質を高めるための人材育成の制度の取組を実施した。また、職員が国内外の学会において、研究開発マネジメントに係る研究成果を発表した。

(技術分野毎の計画)

[中期計画]

別添

(2) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等

(ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針

[中期計画]

効率的・効果的に新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等を実施するため、技術開発、経済性等の評価、普及啓発等に資するための実証試験、実用化段階における初期需要の創出を図るための導入促進の各ステージで得られた知見を次のステージに活用するとともに活用した結果得られた知見を、前のステージにフィードバックするなど、三位一体で推進する。

[中期目標期間実績]

平成 16 年度においては、京都議定書の発効を踏まえ、我が国の温室効果ガス削減目標達成に向け新エネルギー・省エネルギーのさらなる導入普及促進の必要性が増していることにかんがみ、平成 16 年 12 月 1 日付けで「エネルギー・環境技術本部」を設置し、エネルギー・環境関係部間の連携を強化した。

新エネルギー・省エネルギーの実証試験、導入普及業務により、2003 年から 2007 年までの 5 年間で累積 905 万トンの温室効果ガス削減効果をあげた。(なお、削減量 905 万トン、我が国の京都議定書における温室効果ガスの削減目標である▲6% (7,500 万トン) の約 1 割 (12.1%) に相当する。)

i) 企業化・実用化を見据えての技術開発業務に係る追加的特記事項

[中期計画]

新エネルギー技術(太陽光、風力、廃棄物、バイオマス、水力、地熱等)及び省エネルギー技術に係る研究開発の実施に関する基本的な方針は(1)に示すとおりであるが、企業化・実用化を見据えた技術開発を促進する観点から、以下に特に留意するものとする。

- ・新エネルギーの種類及び特性に応じて、研究開発を通じて、結果的にそれらの導入のコストが競合する既存エネルギーと同等程度の水準となることを目的として研究開発を行う。
- ・また、新エネルギーが我が国のエネルギー・環境情勢に対応した形で普及するよう、現実的な利用形態を想定した研究開発を行う。具体的には、太陽光、風力などの分散変動電源においては既存の電力系統に安定的に連結できるような系統連系技術の開発等を推進する。
- ・省エネルギー技術の研究開発については、我が国のエネルギー消費構造を踏まえつつ、産業・民生(家庭・業務)・運輸各部門におけるエネルギー利用効率向上が可能となるような総合的な研究開発テーマ設定を行う。

[中期目標期間実績]

第 1 期中期目標期間に、京都議定書の発効に伴い「京都議定書目標達成計画」が閣議決定されるとともに、原油価格が記録的な高騰を続けるなど、我が国を取り巻く環境に大きな変化が顕在化したことを踏まえ、地球温暖化対策・エネルギーセキュリティの両面から、短期・中長期的視点で我が国の対処方針を踏まえて事業を推進した。特に平成 19 年度は、地球温暖化に関する総理のイニシアティブ「美しい星 50 (クールアース 50)」(平成 19 年 5 月 24 日)を具体化した「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」(2008 年 3 月 経済産業省)の計画策定の有識者会議に参画、重点的に取り組むべき「21」の技術のうち、19 技術について NEDO で研究開発を推進した。

新エネルギー・省エネルギー導入普及促進関連業務を効率的・効果的に実施するため、以下に示すとおり、風力、太陽光等の分野において研究開発、実証試験 (FT)、導入促進の各フェーズの事業を三位一体で推進した。

- ・高性能工業炉技術において、研究開発として①従来比 30%の省エネ、②大幅な NOx 低減等の成果を挙げ、これをフィールドテスト事業(実証)、事業者支援事業(導入普及事業)へと円滑なフェーズ間連携を実現した。さらに、フィールドテストで得られたデータを基に、新たな研究開発事業を実施した。
- ・エネルギー使用合理化事業者支援事業等において、特に大きな省エネ効果が期待できるコンビナートの企業間連携による省エネ事業や、運輸部門の省エネとして国土交通省と連携しグリーン物流対策等を支援した。これらの結果、平成 19 年度までの採択事業によって原油換算で約 315 万 kL の省エネルギーを見込む。
- ・新エネルギー技術において、平成 17 年度の愛・地球博で実証実験を行い、日本政府館等の全電力を安定的に供給(会場全体の約 5%)。燃料電池及び NaS 電池において数分~数十秒単位の出力調整を行い、太陽電池出力及び負荷の変動を効率的に吸収することにより、複数の技術を組み合わせ、システムとしての連携を実施した。

<新電力ネットワークシステム実証研究> [平成 16 年度~平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 16 年度は、2 月 26 日に公募の事前周知を行い、4 月 28 日に公募を開始、6 月 14 日に公募を締め切り、7 月 28 日に選定結果の通知を行った。

公募により 3 テーマの委託先を決定し、研究開発を実施した。

研究開発項目「電力ネットワーク技術実証研究」では、試験設備の設計と具体的実証試験方法(分散型電源や制御シ

システム、計測装置の仕様、全体の試験手順等)を策定した。また、電力品質の安定化制御を行うための対策機器のプロトタイプを開発した。

研究開発項目「品質別電力供給システム実証研究」では、実証試験箇所の基礎データの収集と解析、実証試験方法(電源や制御システム、計測装置の仕様、試験手順等)を策定した。また、品質別電力供給機器のプロトタイプの開発設計の事前調査を行った。

研究開発項目「新電力ネットワーク技術に係る総合調査」では、分散型電源が大量導入された場合でも安定的な電力供給を行うための情報収集と分析を行った。

系統連系に係る規制・基準・対策技術の動向調査、試験結果の適用限界と影響度の想定、システムの信頼性、効率、経済性等の総合評価方法の検討、品質別電力供給に関する国内外の規制、基準、標準化等の調査・分析を行った。

上記調査結果や委員会等の活用により、研究内容の精査を行い研究計画へ反映した。

平成 17 年度は、研究開発項目「電力ネットワーク技術実証研究」では、現行の系統制御機器を遠隔制御可能な仕様で開発した。また、効果、コスト、運用性を考慮に入れた集中制御方式を開発し、実証試験ならびにシミュレーションにより、その適用条件を検証・評価した。更に 2 本の配電線の末端等で常時接続し、連系点における有効電力潮流と電圧一無効電力制御を同時に実現可能な配電線ループ用需給バランスコントローラを開発・評価した。

研究開発項目「品質別電力供給システム実証研究」では、実証試験場所のデータを測定・解析し、システムの基本仕様と実証試験項目に反映させた上で、システムの設計ならびに開発を行った。更に、実証試験設備の設計を行い、構築工事に着手した。また、プロジェクトの迅速かつ適正な遂行を目的として、外部有識者による委員会を開催した。

研究開発項目「新電力ネットワーク技術に係る総合調査」では、電力ネットワーク技術実証研究に係る技術評価、配電系統構成等の実態調査、規制基準ならびに技術動向調査を行い、実証試験の技術評価、システム経済性評価を行った。また、品質別電力供給システム実証研究に係る規制基準及び技術動向調査並びに適用可能性調査を行い、システム総合評価を行った。更に両実証研究を実施するための基礎調査として、施策調査、電力供給状況比較調査、分散型電源導入影響調査及び需要家電力供給に関する調査・分析を行った。

平成 18 年度は、研究開発項目「電力ネットワーク技術実証研究」では、平成 17 年度までの実証試験で明らかになった集中制御方式の制御遅れについて、SVR(電圧調整器)、SVC(無効電力調整器)等の系統制御機器の「自端制御との組み合わせ方式」等集中制御方式を改良し、シミュレーションにより、その効果と適用条件を検証した。また、現状技術適用最適設計機及び新技術適用機の 2 種類の LBC(配電線ループ用需給バランスコントローラ)を赤城試験センター需要地系統ハイブリッド実験設備に設置し、実証試験により単機の基本性能を検証した。

研究開発項目「品質別電力供給システム実証研究」では、実証試験設備の設置を完了し、擬似負荷試験による動作確認を実施し、本システムの基本仕様を満たすことを確認した。また、本システムの実用化を加速させるため、瞬時電圧低下試験装置を製作した。さらに、実証試験設備の経済性、信頼性についての評価に着手し、実証試験システムの投資回収年数についてのモデル作成やシステムの状態遷移図作成、各状態の遷移確率算出等の検討を開始した。

研究開発項目「新電力ネットワーク技術に係る総合調査」では、電力ネットワーク技術実証試験に係る調査として、集中制御、LBC の実系統適用評価にあたり既存機器(SVC, SVR)を含めた各対策の電圧調整効果を評価・比較するため、モデル系統における幹線亘長をパラメータとした電圧制約による分散型電源導入限界量の検証を行った。また、分散型電源普及シナリオ、機器価格動向等を踏まえ、経済性を考慮したシステム評価手法の整理を行った。

品質別電力供給システム実証研究に係る調査として、適用可能性調査を実施するとともに、技術動向調査により供給品質レベルに対応する負荷機種種別を明らかにした。また、再開発地域、工業団地における総合評価モデルを作成し、計算機シミュレーションによる基本的な評価を実施した。

平成 19 年度は、研究開発項目「電力ネットワーク技術実証研究」では、平成 18 年度に改良した SVR, SVC 等の系統制御機器の集中制御方式及び現行の系統制御機器と組合せ制御を含めた LBC の集中制御方式を開発し、その効果と適用条件を検証した。システム評価に当たっては、総合調査側と連携し作成したモデルを用いて電圧適正化効果のシミュレーションを行った。地域及び分散型電源導入形態に応じた適切な系統制御方式を明らかにし、系統制御機器と分散型電源の導入量・構成等に応じた最適化モデルの構築という最終目標を達成した。

研究開発項目「品質別電力供給システム実証研究」では、平成 18 年度までに設置した設備と平成 19 年度に設置した瞬時電圧低下発生試験装置、模擬負荷等を用いて動作確認を行い、システム動作の健全性、補償性能を確認した。その結果をもって、実需要家に対し品質別電力供給を開始し、商用系統の瞬低や停電を想定した試験においても目標とする電力品質が維持できることを確認した。また総合調査とシステム評価手法、条件を統一した上でシステム評価を行い、従来の UPS による対策に比べ実証システムが優位であることを確認し、断続時間の限定や電圧変動、電圧不平衡の補償などの品質要件全てを満たすという最終目標を達成した。

研究開発項目「新電力ネットワーク技術に係る総合調査」では、電力ネットワーク技術実証試験に係る調査として、LBC の汎用性を高めるため最適容量の検討を行い、300kVA 程度が適当であるという結論を得た。検討に当たっては、LBC が接続する 2 フィーダに対し電圧適正化効果があることをシミュレーションに取り入れ、他の対策と効果を比較検証した。品質別電力供給システム実証研究に係る調査として、負荷実態調査を実施し、民生部門で普及が見込めるシステムモデルを提案した。またシステムの需要率を明らかにし、実証研究側にフィードバックすることで整合の取れたシステム総合評価を実施した。さらに、実証システムの適性及び技術開発の方向性を整理、データベース化して配電ネットワークの将来像を提案するという最終目標を達成した。

<集中連系型太陽光発電システム実証研究> [平成 14 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、研究項目「出力抑制回避技術の開発」では、出力抑制回避装置(別置型、一体型、集合型等)のプロトタイプを設計・製作した。また、模擬試験により蓄電池の特性を評価し、最適充放電制御における基本制御方法を

策定した。

研究開発項目「実証試験」では、実証試験地区に導入する市販太陽光発電システムの詳細設計・設置及び計測システムの設計・製作とともに、各種実証試験方法を策定した。実証試験地区構築分科会の運営により地区住民等との協議、調整を図った。太陽光発電システムの運転特性や系統に与える影響等に関する基礎データの計測と評価を実施した。

研究開発項目「応用シミュレーション手法の開発」では、太陽光発電システムの集中連系による電圧上昇や高調波、単独運転防止装置の誤動作に関するシミュレーション手法を検討するとともに、実証試験で得られる太陽光発電システムの運転データを用いた運転特性評価手法や面的導入による日射変動平滑化効果評価手法を策定した。

平成 16 年度は、研究開発項目「出力抑制回避技術等の開発」では、出力抑制回避装置（別置型、一体型等）の性能評価試験等の実施、蓄電池の最適充放電制御方法を反映したプロトタイプの開発及び実証試験地区への導入を開始した。

研究開発項目「実証試験」では、太陽光発電システムの設置及び計測システムの構築とともに、日常運転試験及び現象把握試験を行った。また、太陽光発電システムの運転特性や系統の影響に関する分析・評価を行った。なお、実証試験地区における分析・評価に資するため、模擬配電系統を構築した。

研究開発項目「応用シミュレーション手法の開発」では、負荷及び市販パワーコンディショナ・出力抑制回避装置のモデル化を行うとともに、実証試験で得られる太陽光発電システムの運転データの分析・評価を行った。

平成 16 年度には、研究の経済性評価体制の強化等を目的として日本大学、及び単独運転防止装置の開発強化を目的としてオムロン株式会社をそれぞれ再委託先として追加した。

平成 17 年度は、研究開発項目「出力抑制回避技術等の開発」では、出力抑制回避装置（別置型、一体型等）の性能評価試験等を継続して行い、順次実証試験地区に導入して実証試験を行った。新型電力貯蔵装置を適用する出力抑制回避装置を模擬配電系統設備に導入した。また、新型単独運転検出装置のプロトタイプ的设计・製作を行い、PCS 評価試験設備と模擬配電系統設備においてそれぞれ動作試験を行った。

研究開発項目「実証試験」では、太陽光発電システムの設置及び計測システムの構築を行うとともに、住民説明会により地区住民等との協議・調整を図り、日常運転試験及び現象把握試験を行った。また、市販パワーコンディショナ及び出力抑制回避装置の評価と実証試験地区の計測データから、太陽光発電システムの運転特性や系統への影響等に関する分析・評価を行った。

PCS 評価試験設備及び模擬配電系統設備においては、主に単独運転に関する試験を行った。

研究開発項目「応用シミュレーション手法の開発」では、出力抑制回避機能、高調波、単独運転に関する検討プログラムの開発を行った。運転特性については、開発した評価手法により実証試験データの解析を行うとともに、蓄電池付き太陽光発電システムにおける評価手法の開発を行った。経済性評価については、評価手法の検討を行った。

平成 18 年度は、研究開発項目「出力抑制回避技術等の開発」では、出力抑制回避装置（別置型、一体型等）の性能評価試験等を継続して行い、順次実証試験地区に導入し実証試験を行った。また、新型単独運転検出装置のプロトタイプ的设计・製作を行い、PCS 評価試験設備及び模擬配電系統設備においてそれぞれ動作試験を行い、検出アルゴリズムを確立した。さらに、確立した検出アルゴリズムを反映した新型単独運転検出装置のフィールドテスト機を製作し、順次実証試験地区に導入した。

研究開発項目「実証試験」では、全 553 戸への太陽光発電システムの設置及び計測システムの構築を完了するとともに、住民説明会により地区住民等との協議・調整を図り、日常運転試験及び現象把握試験を行った。また、市販パワーコンディショナ及び出力抑制回避装置の評価と実証試験地区の計測データから、太陽光発電システムの運転特性や系統への影響等に関する分析・評価を行った。

PCS 評価試験設備及び模擬配電系統設備においては、主に単独運転に関する試験を行い、応用シミュレーション手法に用いるモデルを開発するとともに、新型単独運転検出装置の検出アルゴリズムの有効性を検証した。

研究開発項目「応用シミュレーション手法の開発」では、出力抑制回避機能及び高調波については不平衡潮流計算が可能なソフトウェアを開発し、単独運転検出機能については Y 法/EMTP ハイブリットシステムを開発した。運転特性については、蓄電池付太陽光発電システムにおける評価手法を開発するとともに、開発した評価手法により実証試験データの解析を行った。経済性評価では、出力抑制率と各種パラメータとの評価を実施したが、明確な相関関係が見出せなかったため、柱上変圧器二次と連系点の電位差から出力抑制率を推定する手法を検討することとした。

平成 19 年度は、研究開発項目「出力抑制回避技術等の開発」では、出力抑制回避装置（別置型、一体型等）の性能評価試験等を模擬配電系統設備において継続して行うとともに、実証試験地区に導入した本装置を各種運転パターンで運用し、通常の運転状態では問題なく運用可能であることを確認した。また、新型単独運転検出装置の品質保証機的设计・製作を行い、順次実証試験地区に導入し、不要動作がなく、能動信号が系統に与える影響が基準以下であることを確認した。

研究開発項目「実証試験」では、実証試験地区に導入した太陽光発電システムや出力抑制回避装置の日常運転試験を行い、出力抑制回避装置の最適な運用方法を明らかにした。

新型単独運転検出装置の開発においては、実証試験地区で不要動作等の検証を、模擬配電系統設備で高速検出などの検証を行い、目標仕様に達していることを確認した。また、模擬配電系統設備で複数台連系時試験方法の検討を行い、暫定的な試験方法を提案した。

高調波の分析を行い、実証試験地区では問題ないレベルであることを確認した。

研究開発項目「応用シミュレーション手法の開発」では、出力抑制回避機能、高調波、単独運転に関する検討プログラムの開発を断続して行い、実証試験データとの突合せにより精度向上を図るとともに、以下の成果を得た。

出力抑制回避機能検討プログラムを使用し、実証試験地区系統だけではなく一般配電系統での検討を行い、最適な運用方法を明らかにした。

高調波検討プログラムを使用し、実証試験地区系統及び一般配電系統での高調波の観点からみた連系可能台数を明らかにした。

単独運転検出機能検討プログラムは、Y法/EMTPハイブリッドシステムを確立し、500台規模シミュレーションを可能とした。

また、経済性評価について、蓄電池導入時でも経済的にメリットの出る条件などを導出した。

以上より、太陽光発電システムの集中連系時における汎用的な対策技術を開発し、その有効性を実配電システムで実証するとともに、集中連系時に関するシミュレーション手法を開発するという本プロジェクトの最終目標を達成した。

<大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究> [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、基本計画に基づき委託先を公募し、応募のあった10件の提案に関し、外部有識者による事前審査を行い、9月12日の契約・助成審査委員会において2プロジェクトの採択を決定した。その後、北海道電力株式会社 総合研究所 太陽光発電プロジェクト推進室長 三輪 修也氏をプロジェクトリーダーとし、また、株式会社N T T ファシリティーズ エネルギー事業本部 技術部 担当部長 田中 良氏をサブプロジェクトリーダーとして、下記の研究開発を実施した。

研究開発項目「稚内サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」では、主に結晶系 PV モジュールで構成される大規模 PV システムの詳細設計を行い、実証試験場所において設備の構築に着手した。また、主に結晶系 PV モジュールの運用面における特性比較、目的別（出力変動安定化や経済性の観点等）設置方法の検討などを行った。大規模 PV 普及時の系統電力ピーク対策等の活用資する数時間オーダーでの計画運転を可能とする大規模 PV 出力制御技術の開発、詳細設計に着手した。高調波抑制対策技術の開発について、過去の関連研究の文献調査等を行った。

研究開発項目「北杜サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」では、主に先進的 PV モジュールで構成される大規模 PV システムの基本設計・技術評価の検討に着手した。また、主に先進的 PV モジュールの運用面における特性比較、目的別（出力変動安定化や経済性の観点等）設置方法の検討などを行った。電圧変動抑制、コスト低減等に資する大型太陽光 PCS の仕様検討・シミュレーション評価に着手した。発生高調波解析及び高調波抑制対策の手法、開発等に関する検討を行った。なお、実施に当たっては、稚内サイトと北杜サイトの実証研究実施者の間で連携をとり、今後の大規模 PV システム設置の具体的検討策としての活用資する技術的評価、運用性、経済性及び環境性に関する効果を定量的に把握する手法について検討を行った。また、稚内サイトと北杜サイトの実証研究実施者の間で連携をとり、研究開発終了後の大規模 PV システム設置の一般的な検討策、導入時の指針として活用できる手引書等の策定に関し、全体構成の検討を行った。

平成19年度は、北海道電力株式会社 総合研究所 太陽光発電プロジェクト推進室長 三輪修也氏をプロジェクトリーダーとし、また、株式会社 N T T ファシリティーズ エネルギー事業本部 技術部 担当部長 田中良氏をサブプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。また、太陽光連系技術委員会で平成18年度～平成19年度実施内容に対する中間評価を実施した。その結果、「両サイトともに順調に進捗しており、特に問題点はない」「研究過程での状況変化に柔軟に対応して研究項目も適切に追加されている」等の概ね良好な評価を得た。

研究開発項目「稚内サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」では、平成19年度分として PV システム 2,000kW、NaS 電池 500kW の設備構築を行い 33kV 特別高圧送電線に系統連系して予定どおり実証試験を開始した。各種 PV モジュールの特性比較を行い、結晶系のパフォーマンスレシオが高いという結果を得た。また、大規模 PV システムでは、架台コストの比率が小さくないため、効率の低いモジュールを採用する場合はモジュール単価の低コスト化が求められることが判明した。

系統安定化対策技術については、リミッターで出力目標値の修正を行う制御手法を検討し、シミュレーションにより変動抑制率の目標値 80%以上を達成できる見通しを得た。また、出力管理システム及び日射量予測システムを開発し、日射量の日予測モデルの試行計算を実施した。さらに、受電点及び個別のパワーコンディショナー（PCS）出力端で高調波測定を行い、PCS から出力される高調波が実証試験サイトから流出せず、むしろ系統の電圧歪みを緩和する方向に働くという知見を得た。なお、シミュレーション手法の開発について、大規模 PV の設計支援機能、系統安定化対策技術の設計支援機能、経済性、事業性、環境性評価支援機能を対象項目とし、稚内サイトと北杜サイトの実証研究実施者の間で連携をとり、既存ソフトウェアの調査、開発すべき対象の範囲の明確化、開発の難易度の推定、必要とされるデータ入手の難易度を整理した。また、大規模 PV システム導入時の指針となる手引書の作成についても、稚内サイトと北杜サイトの実証研究実施者の間で連携をとり、全体構成の検討を行い、盛り込むべき項目を整理した。

研究開発項目「北杜サイトにおける大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証研究」では、先進的な 24 種類の PV モジュールと 2 種類の追尾システムを採用した約 600kW の PV システムを設計・構築し、予定どおり高圧系統への連系による運用及び評価用データの収集を開始した。系統安定化技術について、電圧変動抑制技術、瞬低対策技術、高調波抑制技術を検討し、シミュレーション解析により有効性を確認した。また、これら技術を組み込んだ大容量 PCS の基本設計を行うとともに、評価用ミニモデルの作成及び評価試験を開始した。なお、高調波抑制技術及び瞬低対策技術については、ミニモデル評価により有効性を確認し、上記の大容量 PCS の詳細設計に反映済みである。

<風力発電電力システム安定化等技術開発> [平成15年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、実証サイトに設置する蓄電システムの必要容量、仕様等について検討を行い、実証サイト及び計測サイト（2ヶ所）の計測項目を明確にし、設置する計測システムの仕様決め、設計、設置等を行った。更に、蓄電システムの設置コスト及び運転コスト低減を目指した充放電制御方法、試験方法等について検討した。具体的には、平滑化時定数変化制御、電池容量フィードバック制御、蓄電池バンク制御等によるウインドファーム出力平滑化効果の試験方法について検討した。また、本事業に使用する蓄電システムモデルについて検討を行った。

平成 16 年度は、研究開発項目「蓄電システム及び計測システムの設置、実証試験・計測の開始」では、実証サイトに設置する蓄電システムの仕様等に基づいた設備を設置した。また平滑化時定数による平滑化制御試験を実施し、基本的な補償性能を確認した。

また、蓄電システムの設置コスト及び運転コスト低減を目指した充放電制御方法、試験方法等について検討した結果をもとに、具体的に平滑化時定数変化制御、電池容量フィードバック制御、蓄電池バンク制御等によるウインドファーム出力平滑化効果の試験方法についてシミュレーション解析により検討した。

研究開発項目「実証サイト及び計測サイトのシミュレーション用データの計測」では、実証サイト及び計測サイト（2ヶ所）に設置した計測システムにてシミュレーション解析用のデータ測定を実施した。

研究開発項目「シミュレーション手法の検討と実施」では、本事業に使用する蓄電池システムモデルを検討し、そのモデルにおける各種制御性能をシミュレーション解析により実施した。

研究開発項目「類似研究開発の調査」では、国内外における既往の類似研究開発の成果及び動向を調査し、それらと本事業との整合性を評価して本事業の位置づけを明確にする検討を行った。

平成 17 年度は、各研究開発項目において次の研究開発を行った。

研究開発項目Ⅰ．蓄電システムによる出力変動抑制

(1) 実証サイトの実証試験の継続

蓄電システムの設置コスト及び運転コスト低減を目指した充放電制御方法、試験方法等について検討した結果をもとに、具体的に平滑化時定数可変制御、残存容量フィードバック制御、蓄電池バンク制御等によるウインドファーム出力平滑化効果の試験方法についてシミュレーション解析により検討した。

(2) 実証サイト及び計測サイトのシミュレーション用データの計測

実証サイト及び計測サイト（2ヶ所）に設置した計測システムにてシミュレーション解析用のデータ測定を実施した。また、他地点での蓄電池併設による平滑化性能をさらに検証するため、3 地点の新規計測サイトを追加し、同様にシミュレーション解析用のデータ測定を実施した。

(3) シミュレーション解析の実施

本事業に使用するシステムモデルを検討し、そのモデルにおける各種制御性能をシミュレーション解析により検証した。

(4) 類似研究開発の調査

国外における蓄電技術以外の変動対策も含めた類似研究開発の成果及び動向を調査した。

研究開発項目Ⅱ．気象予測システム

公募により委託先を決定して研究開発を開始した。

(1) 観測システムの構築

我が国の典型的な気象条件と地形特性をカバーする大規模ウインドファームを選定し、気象、風車情報、総発電出力の観測システムを構築し、計測器の設置を開始した。

(2) 風力発電出力予測モデルのレビュー、ベンチマークテスト及びモデル開発の検討

風力発電量予測システム開発のため、既存の風力発電出力予測モデルのレビュー及びベンチマークテストを開始し、モデルや入力データの違いが予測精度に与える影響と課題を検討開始した。

平成 18 年度は、各研究開発項目において次の研究開発を行った。

I．蓄電システムによる出力変動抑制

(1) 実証サイトでの実証試験では、サイトに設置した試験装置の設備容量低減のための各種制御手法（平滑化時定数可変制御、残存容量フィードバック制御、蓄電池バンク数制御）について、シミュレーション解析等で得られたパラメータ設定にしたがって実証試験を実施した。蓄電池出力可変リミッタ等の追加により、変動吸収率が高い平滑化制御成果を得た。また、各制御を組合わせた総合制御運転による実証試験を開始した。

(2) 各サイトのシミュレーション用データの計測では、計測装置により平成 17 年 11 月から継続して実施した。

(3) シミュレーション解析の実施では、蓄電池併設による平滑化性能をさらに一般化させるため、(2) で得られたデータを用いてシミュレーション解析を実施した。

(4) ウインドファームの出力変動特性分析について、特に急変した発電出力に着目し検討した結果、6 サイトの出力変動には、気象条件の違い等に起因した相当の差異が明らかになった。

(5) 類似研究開発の調査では、海外の電力供給状況、周波数調整に関する調整予備力の定義を整理し、導入影響評価における調整予備力の懸念状況を整理した。

II．気象予測システム

(1) 風力発電出力予測モデルの開発では、各モデルのレビュー、ベンチマークテスト結果を基に、予測精度の定量的な評価検討を行い、モデル間の不確かさよりモデル内誤差等の影響が大きい等の課題を明らかにするとともに、工学モデルの高速化やモデルの相互比較による改良点を明らかにする等を行って、出力予測モデルの開発を実施した。

(2) 風力発電出力予測モデルの検証では、実測データを用いて (1) で開発したモデルの物理モデルや統計モデル等の単体試験や総合試験により予測精度を検証し、持続モデルとの優位性や、さまざまな条件下での予測精度が 30% 程度向上といった結果を得た。

(3) 風力発電量予測システムの実証試験では、(2) において精度検証したモデルを組み込んだシステムを構築し、オンラインで 1 年間にわたる運用を行い、信頼性・コストを総合的に評価する実証試験を 1 月より開始した。

(4) プラットフォームの開発と運用では、各モデルと入力データを、標準インターフェースにより、自由に組み合わせることが可能な発電出力予測プラットフォームの開発を開始した。

(5) ガイドライン作成検討では、ガイドラインの作成方針を定めるとともに、その主要な内容を整理した。

平成 19 年度は、各研究開発項目において、次の研究開発を行った。

I. 蓄電システムによる出力変動抑制

(1) 実証サイトの実証試験の継続

残存容量フィードバック制御、バンク数制御、平滑化時定数可変制御を組合わせた効果の総合制御試験実施するとともに、これらの制御の平成 19 年 7 月～平成 20 年 2 月長期動作確認試験（夏パターン、冬パターン）において、短周期出力変動抑制技術の有効性を検証し、蓄電池システム運用面における留意事項を取り纏め、最終目標を達成した。

(2) 実証サイト及び計測サイトのシミュレーション用データ計測

計測装置によるシミュレーション解析用のデータ測定を実施し、今後の研究開発に資する有益な複数年計測データを蓄積するとともに、各特性分析に反映し分析結果の精度を向上することができ、短周期出力変動抑制技術開発の最終目標を達成した。

(3) シミュレーション解析の実施

(2) で得られたデータをもとに、蓄電池併設を想定した数値シミュレーションを行い、適正電池規模と出力変動平滑化効果の関係を明らかにし、制御技術、蓄電システム容量、コスト評価を実施するという最終目標を達成した。

(4) ウインドファームの出力変動特性分析

6 サイトの短周期出力変動平滑化用の蓄電池システムの特性を明らかにするとともに、制御パラメータの検討方法等、設計の基本的な考えかたを得るという最終目標を達成した。

(5) 類似研究開発の取り纏め

蓄電技術以外の変動対策の成果及び動向を調査した結果、本事業のような大規模の蓄電システムを備えた出力安定化に関する研究の前例はなく、本事業の独自性が確認された。

(6) 評価

短周期出力変動平滑化用蓄電池システムの設計手法を提示するとともに、本事業で明らかになった 6 サイトの蓄電池システム併設時の平滑化特性・制御パラメータ等と系統連系要件の提示により、最終目標の発電事業者と系統運用者が求める蓄電池設備の適正規模を提案できるようになった。

II. 気象予測システム

(1) 風力発電出力予測モデルの開発・検証

風車の運転状況やオンライン観測値によるマルチタイムスケールモデル、風向別パワーカーブモデル、非線形最小二乗法及び局所多項式近似最小二乗法プログラム、気象条件を考慮した信頼区間付き予測手法の開発により、ウインドファーム風力発電出力予測モデル及び電力系統制御エリア発電出力予測モデルの高精度化を図るとともに、各モデルの精度検証を行い、当日予測 20%、翌日予測 30%の精度向上という最終目標を達成した。

(2) 風力発電量予測システムの実証試験

ウインドファーム及び電力系統制御エリアの予測システムの実証試験を実施するとともに、リアルタイムでの信頼性及びコストなどを総合的に検討し、実用化システムとしての目処をつけるという最終目標を達成した。

(3) 風力発電出力予測プラットフォームの開発と運用

プラットフォームに組み込む簡易予測モジュールを開発し、プラットフォーム単体での公開を可能とするという最終目標を達成した。

(4) 風力発電出力予測技術ガイドラインの作成

本事業で開発した風力発電出力予測技術を統括し、「風力発電出力予測技術ガイドブック」を作成した。

< 定置用燃料電池大規模実証研究事業 > [平成 17 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、480 台の定置用燃料電池を設置し、燃料電池システムの運転状況等に関するデータを取得した。故障の発生状況などの信頼性に関するデータから、運転制御系の不具合等、実用化に向けての課題について、研究開発へフィードバックを図った。

平成 18 年度は、定置用燃料電池システム約 780 台を大規模かつ広域的に設置し、一般家庭等における実際の使用時の運転データ等の実測データを取得、分析・評価することにより、問題点の把握を行うとともに、技術開発へのフィードバックを実施した。

平成 19 年度は、930 台の定置用燃料電池を設置し、これまでの合計で 2187 台の燃料電池システムの運転状況等に関するデータを取得した。故障の発生状況などの信頼性に関するデータから、運転制御系の不具合等、実用化に向けての課題について、研究開発へフィードバックを図った。

< 新エネルギー等地域集中実証研究 > [平成 15 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、平成 15 年度上期に委託先の公募を行い採択した 3 プロジェクトについて、以下のとおり実施した。

研究開発項目「2005 年日本国際博覧会・中部臨空都市における新エネルギー等地域集中実証研究」では、燃料電池(MCFC)用燃料製造システムである生ごみメタン発酵システムの設計・機器製作及び高温ガス化システムの設計・機器製作を実施するとともに、エネルギー需給システムのうち「熱供給システム」の検討を実施した。

研究開発項目「京都エコエネルギープロジェクト」では、実証試験地域内で用いる同時同量システムのうち、計測装置の設計・製作やシステム機能仕様書等の作成を行った。併せて、バイオガス発電方式の検討を行った。

研究開発項目「八戸市 水の流れを電気で返すプロジェクト」では、実証試験地域内において、気象条件・分散型電源の発電特性・電力特性・エネルギー使用量・バイオガス発生量・熱需要特性等の各種詳細データを取得・分析することにより、具体的な設備要件、制御要件を検討した。併せて、風力発電設備の調達や自営線の設計を実施した。

平成 16 年度は、研究開発項目「2005 年日本国際博覧会・中部臨空都市における新エネルギー等地域集中実証研究」では、各発電設備を設置するとともに、発電電力の同時同量システムと連動しつつ、燃料電池の排熱を活用した「新エネルギーによる分散型エネルギー供給システム」を構築した。また、このシステムで供給する電力品質の評価手法として、系統電力から独立する自立運転の実施に向けた検討を実施した。

研究開発項目「京都エコエネルギープロジェクト」では、実証研究地域内の発電特性・熱需要特性等の各種詳細データを取得・分析するとともに、発電設備及び制御方法を検討した。また、電力品質や熱エネルギー品質、供給信頼度を確保する制御システム及びバイオガスによる燃料電池発電装置などの各種分散電源等の設計・製作を実施した。

研究開発項目「八戸市 水の流れを電気で返すプロジェクト」では、実証研究地域内における電熱需要特性、発電特性等の各種データを取得分析し、設備要件を決定した。また、「制御システム」に係る制御技術の開発及びシステム運用後の電力品質・経済性・環境性の評価方法の検討を行い、併せて実証研究に用いる熱供給設備等の設計、一部導入及び自営線の設計、一部敷設を行った。

平成 17 年度は、研究開発項目「2005 年日本国際博覧会・中部臨空都市における新エネルギー等地域集中実証研究」では、博覧会会場に構築した実証設備により、会場内の「長久手日本館」及び「NEDO パビリオン」等への電力・熱供給を行った。運転を通じて発電特性、電力需要特性、熱源特性、熱需要特性等の各種詳細データを収集・分析し、電力品質や省エネルギー、CO₂削減量等を評価・検証した。マイクログリッドの自立運転を実施し、各発電設備の連系運転が可能なことを確認した。更に、中部臨空都市での実証に必要な設備構成、設備要件等を検討し、博覧会終了後に中部臨空都市への設備の移設を開始した。

研究開発項目「京都エコエネルギープロジェクト」及び「八戸市 水の流れを電気で返すプロジェクト」では、実証研究地域内の各種データの取得・分析、設備導入・調整を進め、電力品質等の供給信頼度の検証手法を検討したうえで実証試験を開始し、運転データの取得・分析を実施した。

平成 18 年度は、研究開発項目「2005 年日本国際博覧会・中部臨空都市における新エネルギー等地域集中実証研究」では、平成 17 年度に引き続き中部臨空都市への新エネルギープラント設備の移設を進め、これを完了し、8 月より実需要先である「常滑市役所」と「常滑浄化センター」への電力・熱エネルギーの供給を開始するとともに、3 月までに全ての設備を移設した。

この電力・熱供給では、博覧会会場での各種取得データの分析結果を活かした運用を行うとともに、実需要における発電特性・電力需要特性及び熱源特性・熱需要特性等の各種データの取得を行った。

研究開発項目「京都エコエネルギープロジェクト」では、実証研究地域内における各種運用データの取得・分析を進め、制御系の対策を講じた上で仮想マイクログリッドにおける電力品質や熱エネルギー品質の評価・検証を行った。また、バイオマス発電をメインシステムとした仮想マイクログリッドの経済性・環境性等の評価を行うとともに、今後システムの普及を進める上での課題抽出及び対策の検討等を行った。

研究開発項目「八戸市 水の流れを電気で返すプロジェクト」では、実証試験により取得した運転データについて、制御システムの検証や電力品質評価等のための分析を行った。また、自立運転予備試験のデータを分析・評価し、電力系統から独立した本格的な自立運転の実施に向けた課題検討を行った。なお、自立運転予備試験も含めた電圧、周波数等の電力品質等について、系統電力と同程度の品質制御を達成する目処がついたことから、自然変動電源の拡充（PV50kW 増設）等電源構成の見直しを行った。

平成 19 年度は、研究開発項目「2005 年日本国際博覧会・中部臨空都市における新エネルギー等地域集中実証研究」では、メタン発酵システム及び高温ガス化システムを使用した環境性評価も踏まえた実需要における発電特性・電力需要特性及び熱源特性・熱需要特性等の各種データの取得・分析を行った。また、実需要を対象として、電力系統から独立したマイクログリッドの自立運転試験を行った。また、システム全体のエネルギーコストを最小化するため、燃料電池の高効率運転制御を実施し、需要家側の条件が変わっても同等の制御を可能とするという最終目標を達成した。

研究開発項目「京都エコエネルギープロジェクト」では、18 年度に引き続き、実証運転による各種運用データの取得・分析を進め、同時同量の高精度化を図り電力品質を評価・検証するとともに、システムの事業化に向けた経済性・環境性等の評価を行った。また、バイオマス発電をメインシステムとした仮想マイクログリッドにおける電力需給に係わる計測、伝送、同時同量制御の各システムの標準化検討を行った。また、仮想マイクログリッドシステムにおける同時同量目標に関して、5 分同時同量において精度 3% という最終目標を達成した。

研究開発項目「八戸市 水の流れを電気で返すプロジェクト」では、制御システムの検証と電力品質評価等のための分析を行うとともに、供給システム全体での電力安定化を図りつつ、省エネ性と経済性について最大限の効果が得られるよう、ランニングコスト面での経済性自立を目指した電源、熱源、買電の最適運用方法を検討・確認した。最終的には、経済性を追求した経済性最適運転を行った。また、電力系統から独立したマイクログリッド自立運転について、自立運転予備試験結果から得られた逆相電流の補償をはじめとした様々な課題の検討ならびにその対策を講じた上で実施した。また最終的に省エネ性・経済性を含めた最適運転形態への変更を行い、ランニングコスト面での経済的自立という最終目標を達成した。

< 地熱開発促進調査 >

[中期目標期間実績]

平成 15 年度：調査 C 安比（4 年目） 1 万 kW 相当の蒸気噴出を確認、総合評価を行い、2 万 kW 相当の開発が可能との結果

霧島烏帽子岳（3 年目） 調査継続

平成 16 年度：調査 C 霧島烏帽子岳（4 年目） 1.5 万 kW 相当の開発が可能との結果

調査 C-2 天栄、皆瀬、小浜（1 年目） 天栄地域、皆瀬地域は調査継続、小浜は調査打ち切り

平成 17 年度：調査 C-2 天栄、皆瀬（2 年目） 皆瀬地域では事業化につながる地熱資源を確認

温泉町、小谷、奥尻、標津妹羅山（1年目） 小谷地域は調査継続、温泉町、奥尻、標津妹羅山地域は調査打ち切り

平成18年度：調査C-2 小谷（2年目） 地熱資源を確認

八幡平、奥尻西部（1年目） 調査継続

平成19年度：調査C-2 八幡平、奥尻西部（2年目） 八幡平地域は調査継続 奥尻西部地域を地熱資源を確認
池田湖東部、佐渡（1年目） 調査継続

ii) フィールドテスト業務及び海外実証業務等

[中期計画]

研究開発された新エネルギー技術・省エネルギー技術の実社会での適用可能性についてあらゆる側面から検証を行うために、フィールドテスト業務を実施し、そのデータを公開することにより事業化のための環境を整備する。また、海外においても、我が国のエネルギー安全保障の確保、エネルギー・環境問題の解決等に資するような案件を選定して海外実証業務等を実施する。その際、以下に留意するものとする。

- ・フィールドテスト業務の対象案件の選定に際しては、当該新エネルギー・省エネルギー技術の適用可能性を網羅的に検証するために様々な運用条件が選択されるよう配慮する。
- ・海外実証業務等（共同研究を含む）の実施に際しては、アジア太平洋地域等のエネルギー需給構造の状況や、機構の行う各種事業が同地域における新エネ・省エネ等の普及を通じて我が国のエネルギー安全保障の確保やエネルギー・環境制約の緩和に与えるインパクト等を総合的に勘案しつつ適切に推進する。

a) フィールドテスト業務

＜新エネルギー技術フィールドテスト事業＞ [平成19年度～平成26年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目「太陽光発電新技術等フィールドテスト事業」 [平成19年度～平成26年度]

5月30日から7月9日まで公募を実施し、新エネルギー財団（NEF）分を含め、合計790件の提案があり、353件（17,443kW）を採択し、平成19年度中に329件（16,476kW）を設置した。平成18年までの設置システムについて設置事例集を作成し、太陽光発電の導入拡大を図った。さらに、平成15～18年度設置（1,258件）のシステムの運転データを収集・解析し、そのコスト分析データは平成19年度の公募要領書の中で公表した他、本事業及び世界中の太陽光発電システム等の事例紹介、フィールドテスト事業のデータや太陽光発電を導入するために必要な手続等を掲載した、太陽光発電フィールドテスト事業ガイドラインを作成した。

研究開発項目「太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業」 [平成18年度～平成25年度]

一次公募を平成19年4月9日から5月23日、二次公募を7月9日から8月23日に実施し、単年度及び複数年度設置計画の33件（3,514㎡）を採択し、年度内に22件（2,750㎡）設置し、実証運転を開始した。なお、平成18年度の複数年度設置3件（603㎡）も平成19年度内に設置完了し実証を開始した。平成18年度に設置した19件に関して、設置事例集を作成し、太陽熱利用の導入拡大を図った。

研究開発項目「風力発電フィールドテスト事業（高所風況精査）」 [平成18年度～平成23年度]

平成19年4月17日から5月31日まで公募を実施し、15件を採択し、11月より1年間の風況精査を38地点で開始した。昨年度3月までの5ヶ月間の風況観測では全国的に例年と比べ低風速の傾向が見られた。

研究開発項目「地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業」 [平成18年度～平成22年度]

平成19年5月14日から6月14日まで公募を実施し、11件の提案から7件を採択、設備設計及び設置工事を行っている。平成18年採択16件については運用研究を開始し、平成20年2月成果報告会にてポスター発表を行った。「食品系バイオマスエネルギー化システム」として採択した、ジャガイモなどの加工残渣、焼酎粕をメタン発酵し、工場内において熱利用するシステムはいずれもその有効性を確認した。「木質系直接燃焼システム」の実証では、従来原料として用いられることが少なかったバークなどを積極的に活用するケースが主流となり、木質系バイオマス有効利用のモデルとしての役割が確認された。

＜バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業＞ [平成14年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、平成14年度に採択した実証試験事業9件（バイオマス7件、雪氷2件）において、運転データの収集・蓄積・分析等を行った。これらの成果については「成果報告会」（平成16年1月開催）等にて外部に公表した。

また、2回公募を行い、新規に実証試験事業として12件（バイオマス9件、雪氷3件）採択し、実証試験設備を設置した。また実証試験事業調査として53件（バイオマス48件、雪氷5件）採択し、実証試験設備の設置に係る諸調査を行った。

平成16年度は、平成14、15年度に採択した実証試験事業21件（バイオマス16件、雪氷5件）において、運転データの収集・蓄積・分析等を行った。平成15年度事業の成果については「成果報告会」（平成17年1月開催）等にて外部に公表した。

また、平成16年3月29日から5月7日、及び8月22日から9月22日で2回公募を行い、新規に実証試験事業として13件（バイオマス10件、雪氷3件）採択し設置を行うとともに、実証試験事業調査として26件（バイオマス24件、雪氷2件）採択し、実証試験設備の設置に係る諸調査を行った。

平成17年度は、平成14、15、16年度に採択した実証試験事業33件（バイオマス25件、雪氷8件）において、運転データの収集・蓄積・分析等を行った。平成15年度下期事業・16年度上期事業の成果については「成果報告会」（平

成 18 年 1 月開催) 等にて外部に公表した。

また、平成 17 年 3 月 31 日から 5 月 10 日、及び 10 月 26 日から 11 月 25 日で 2 回公募を行い、新規に実証試験事業として 12 件 (バイオマス 12 件) 採択し設置を行った。平成 14 年度からこれまで実施した実証試験事業調査 107 件について分散設置型のバイオマス、雪氷エネルギー化システムのイニシャル、ランニングコスト実態を整理するとともに、調査事業実施者が最終的に設備導入を判断した理由、ならびに断念した理由を精査し報告書としてまとめ、公開し、「成果報告会」にて発表した。

平成 18 年度は、平成 14～17 年度に採択した実証試験事業 45 件 (バイオマス 37 件、雪氷 8 件) において、運転データの収集・蓄積・分析等を行った。平成 16 年度下期事業・17 年度事業の成果についてはバイオマスを安定的に利用するための運用手法や設備運用に係わる経済性、システムの最適化等運用面で明らかとなった課題を含め「成果報告会」(平成 19 年 1 月開催) 等にて外部に公表した。

平成 19 年度は、平成 14 年度採択の雪氷実証事業及び平成 15～17 年度に採択した実証試験事業 33 件 (バイオマス 25 件、雪氷 8 件) において、運転データの収集・蓄積・分析等を行った。なお、5 件は中間評価により平成 18 年度で事業を終了した。平成 14 年度事業の成果についてバイオマスを安定的に利用するための運用手法や設備運用に係わる経済性、システムの最適化等運用面で明らかとなった課題を含め最終結果を「成果報告会」(平成 20 年 2 月開催) 等にて外部に公表した。成果報告会では代表事例として、4 事例 (木質バイオマスのガス化・改質・発電、家畜排泄物のメタン発酵・発電、海藻のメタン発酵・発電、ドーム型雪氷庫を用いた雪冷房システム) を紹介し、類似事例の導入を推進した。

< バイオマスエネルギー地域システム化実験事業 > [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、バイオマスエネルギー導入システム及びロードマップに関する調査をもとに公募要領を策定し、平成 17 年 9 月 16 日から 10 月 19 日の間に公募を実施し、提案のあった 39 件から 7 件の委託事業者を決定した。採択した事業者と委託契約を締結し、平成 17 年 12 月 12 日より事業を開始した。平成 17 年度は主に全体システムの基本設計を実施した。また、NEDO 委託事業として事業を適切にマネジメントするために、各テーマごとに、事業者と協議の上、事業者が主催する第三者の有識者からなる評価委員会を設置した。

平成 18 年度は、7 件の採択テーマに対して、テーマごとに設置した推進/評価委員会の協議結果をもとに、実施計画の修正を行った上で、スケジュール管理の徹底を図ることにより、バイオマスの収集・運搬からエネルギー転換・利用に関わるシステムの設置をほぼ完了した。また、各省庁関係者、一般のバイオマス関係者・事業者及びプレスを含む 300 人を超える関係者の出席のもと、中間成果報告会を 12 月 22 日に開催して、事業の内容及び進捗状況を公開した。

平成 19 年度は、7 件のテーマについて実証運転を行い、長期運転における実績データの収集 (例えば仁淀川町では計画を上回るバイオマス収集量 (約 700t) や計画熱出力 (400kg/h) を達成) や課題の抽出 (例えばガス化設備の定常運転のための受入チップサイズ条件設定や運搬コスト低減のため収集中継基地の設定など) を行った。また、12 月に外部の有識者による中間評価委員会を開催し、事業の進捗状況及び今後の事業計画について審議を行い、全事業の継続が妥当との評価を得た。さらに、平成 20 年 2 月に中間成果報告会を開催して 300 人を超える出席を得た。この際に得られた多数の意見・助言も今後の事業運営に活用する。

< E3 地域流通スタンダードモデル創成事業 > [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、公募により実施者を選定し、平成 20 年 1 月より実証事業を開始した。

なお、本年度は、研究開発項目「E3 製造に関する実証研究」に関して、E3 製造所としての油槽所モデル構築のための設備対応 (揮発油税法上の法定製造所の認可、ガソリン基材・エタノールの未納税移出許可対応含む) 等の検討及び設備仕様を決定し、その仕様に基づいて、設備設置を開始した。

また、研究開発項目「サービスステーションにおける実証研究」に関連するサービスステーション E3 対応設備の地下タンク、給油機仕様等の仕様を決定し、E3 対応への改造等を開始した。

< 風力発電系統連系対策助成事業 > [平成 19 年度～平成 24 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、平成 19 年 3 月 28 日から 4 月 3 日まで公募を実施し 1 件 (蓄電池容量 34,000kW) を採択した。東北電力管内で蓄電池設備等の設置を完了した。系統連系と実測データ等の収集・解析は平成 20 年度に実施する。

< 産業等用太陽光発電フィールドテスト事業 > [平成 10 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、共同研究者と実負荷下での大量の運転データを収集し、評価・解析を実施し、広く公開することにより、システムの安定性や地域による発電の特性、想定されるトラブルの原因と対策について、信頼できる情報を提供した。

平成 16 年度は、共同研究者と実負荷下での大量の運転データを収集し、評価・解析を実施し、広く公開することにより、システムの安定性や地域による発電の特性、想定されるトラブルの原因と対策について、信頼できる情報を提供した。

平成 17 年度は、及び、平成 18 年度は、運転研究を継続して信頼性データの蓄積と公開を行った。

< 太陽光発電新技術等フィールドテスト事業 > [平成 15 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、新規に 148 件（設備容量 4,480kW）の太陽光発電施設を設置するとともに、現地調査を行った。

平成 16 年度は、2 月 17 日から 4 月 5 日及び 8 月 23 日から 9 月 27 日で公募を 2 回実施し、265 件（設備容量 7,195kW）を採択し、年度内に 225 件（設備容量 5,810kW）の太陽光発電設備を設置するとともに、これの現地調査・設備設置確認を行った。

平成 17 年度は、3 月 28 日から 5 月 16 日及び 8 月 23 日から 10 月 31 日まで公募を 2 回実施し、単年度及び複数年度設置計画の 574 件（23,960kW）を採択し、年度内に 467 件（17,807kW）設置した。なお、平成 15 年度・16 年度に設置したシステムについて、運転データの収集・解析・取りまとめを行った。

平成 18 年度は、2 回公募を行った。一次公募は 2 月 14 日から 4 月 24 日、二次公募は 7 月 25 日から 9 月 15 日まで公募を実施し、新エネルギー財団（NEF）分を含め、合計 675 件（19,454kW）を採択し、590 件を設置した。平成 15～17 年度設置のシステムの運転データを収集・解析した。コスト分析データは平成 17～19 年度の公募要領書の中で公表し、コスト低減に資すると共に、導入設備のデータや運転データは分析し、設置事例集として平成 19 年度中に公表し、太陽光発電の導入拡大を図った。

<太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業> [平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、平成 18 年 3 月 27 日から 5 月 17 日まで公募を実施し、単年度及び複数年度設置計画の 23 件（2,673 m²）を採択し、年度内に 19 件（1,993 m²）を設置し、実証運転を開始した。

<風力発電フィールドテスト事業（高所風況調査）> [平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、平成 18 年 3 月 22 日から 5 月 29 日まで公募を実施し、20 件を採択した。44 地点で風況観測中（～平成 19 年 12 月 17 日）。

<地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業> [平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、平成 18 年 4 月 21 日から 5 月 25 日、及び 8 月 11 日から 9 月 14 日で 2 回公募を行い、新規にフィールドテスト事業として 16 件を採択、設置を行い、一部のテーマでは試運転を開始した。

<先進型廃棄物発電フィールドテスト事業> [平成 11 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、昨年度に引き続き、発電効率、環境特性、腐食状況等有効なデータを収集し、腐食に対する分析やユーティリティ削減の検討を実施し、有効なデータや分析結果を取得した。

平成 16 年度は、昨年度に引き続き、発電効率、環境特性、腐食状況等有効なデータの収集を行い、腐食対策の効果の分析・評価を行うとともに、プラント効率向上のための改良及び検証を実施することで、ボイラチューブの肉厚測定値等の有効なデータや分析結果を取得した。

平成 17 年度は、昨年度に引き続き、発電効率、環境特性、腐食状況等有効なデータの収集を行い、腐食対策の効果の分析・評価を行うとともに、プラント効率向上のための改良及び検証を実施することで、ボイラチューブの肉厚測定値等の有効なデータや分析結果を取得した。

平成 18 年度は、昨年度に引き続き、発電効率、環境特性、腐食状況等有効なデータの収集を行い、腐食対策の効果の分析・評価を行うとともに、プラント効率向上のための改良及び検証を実施することで、ボイラチューブの肉厚測定値等の有効なデータや分析結果を取得した。

<風力発電フィールドテスト事業> [平成 7 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、風力発電の立地が有望と考えられる 53 地域において風況精査を行うとともに、平成 14 年度に実施した 59 地域の風況精査データをホームページに掲載した。また、この事業で設置した 18 地域の風力発電システムの運転データの収集を行った。また、本事業に関するホームページ掲載報告書の平成 15 年度（平成 15 年 4 月～平成 16 年 3 月）のダウンロード件数は、4,000 件以上に上った。平成 15 年度風力発電フィールドテスト事業においてアンケート調査を実施した。

平成 16 年度は、平成 16 年 2 月 17 日から 4 月 12 日まで公募を行い、風力発電の立地が有望と考えられる 62 地域を選定して風況精査を行うとともに、平成 15 年度に実施した 53 地域の風況精査データをホームページ掲載及び、平成 7～14 年度で実施した風況精査で収集した風況データの取りまとめを行った。また、この事業で設置した 12 地域の風力発電システムの運転データの収集を行うと共に、平成 13～15 年度で実施した運転データ整理・解析を行った。平成 16 年度風力発電フィールドテスト事業においてアンケート調査を実施した。

平成 17 年度は、平成 17 年 2 月 14 日から 4 月 8 日まで公募を行い、風力発電の立地が有望と考えられる 41 地域を選定して風況精査を行うとともに、平成 16 年度に実施した 62 地域の風況精査データをホームページ掲載及び平成 7～14 年度で実施した風況精査で収集した風況データの取りまとめを行った。また、この事業で設置した 6 地域の風力発電システムの運転データの収集を行うと共に、平成 16 年度で実施した運転データ整理・解析を行った。平成 17 年度風力発電フィールドテスト事業においてアンケート調査を実施した。

b) 海外実証業務等

[中期目標期間実績]

各種調査等により、アジア関係各国のエネルギー事情、我が国の産業界の技術動向等を把握し、各国別の方向性を検討した。中国、インド、インドネシア、ベトナムの4カ国を重点国とし、国別に具体的な事業の方向性を設定することで効果的・効率的に事業を実施した。

各国別に設定した方向性で顕在化した技術ニーズと、機構が実施する国内技術開発事業又は企業ヒアリング等により把握した我が国の技術シーズとのマッチングを検討した。その結果を踏まえ、機構が優先順位の高いテーマを設定し、公募を実施した。また、設備の導入・実証を主体とするモデル事業の実施後に技術普及セミナー、省エネ診断等のフォローアップを積極的に実施した結果、事業実施後のビジネスベースの普及が進展した。第1期中期目標期間中に国際エネルギー使用合理化等対策事業では12事業において約120基、国際石炭利用対策事業では5事業において25基の普及を確認した。

また、これまでに実施した太陽光発電技術に関する国際共同実証の成果を踏まえ、実証開発の技術水準向上及び新たな技術課題に取り組むなど実証開発（ハード面）を深化させるとともに、保守・管理能力向上支援等のソフト面も実施することで、ハード、ソフトの両面から再生可能エネルギーの利用、普及を促進する一体的な実施体制を強化した。

<太陽光発電システム等高度化系統連系安定化技術国際共同実証開発事業> [平成17年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、外部有識者委員会、対象国政府との協議・調整結果を経て、基本計画（案）の事前評価及びパブリックコメントを平成17年10月13日から10月24日にかけて募集し、計1件のコメントを得て、そのコメントを事業運営に反映させることとした。その後、平成17年12月21日から公募に係る事前周知（予告）を行い、平成18年1月5日に基本計画を正式に策定し、タイ、インドネシア及びマレーシアを対象国候補として、平成18年1月20日から平成18年2月20日まで公募を実施した。公募の結果、計5件の応募があり、平成18年4月18日付けで4件採択した。

平成18年度は、対象国（タイ、インドネシア及びマレーシア）及び公募対象国（中国）に係る実証開発又はその付帯業務を実施した。

「マイクログリッド高度化系統連系安定化システム実証研究」（PV+SVG：タイ）では、サイト候補における現地調査を実施した。実証研究システムに係る機械装置の仕様を決定し、機械装置据付工事の仕様を検討した。平成19年2月28日MOUを締結した。

「太陽光発電を可能な限り活用する電力供給システム実証研究」（PV+CB：インドネシア）では、サイト候補における現地調査を実施した。平成19年3月14日にMOUを締結した。

「太陽光発電を可能な限り活用する電力供給システム実証研究」（PV+BESS：マレーシア）では、サイト候補における現地調査を実施した。実証研究システムに係る機械装置の仕様を決定し、機械装置据付工事の仕様を検討した。

「マイクログリッド（高品質電力供給）高度化系統連系安定化システム実証研究」（PV+補償装置：中国）では、実証事業実施可能性調査を実施した。調査結果を審査し、事業実施が可能と認められたので、実証研究実施の公募・審査を行い委託先を決定した。

平成19年度は、MOU未締結であったマレーシア・中国とMOUを締結するとともに、瞬時電圧低下対策2プロジェクト（インドネシア及びマレーシア）及びマイクロGrid2プロジェクト（タイ及び中国浙江省）に係る実証開発又はその付帯業務を実施した。

「マイクログリッド高度化系統連系安定化システム実証研究」（PV+SVG：タイ）では、機械装置の詳細設計、製作を完了した。現地にて、PVパネル架台の基礎工事及び建屋の建設を完了した。タイ技術者の管理技術研修を日本で実施した。

「太陽光発電を可能な限り活用する電力供給システム実証研究」（PV+CB：インドネシア）では、機械装置の詳細設計製作を完了した。PVパネルの輸送、現地据付工事を完了した。

「太陽光発電を可能な限り活用する電力供給システム実証研究」（PV+BESS：マレーシア）では、政府機関変更のため、相手国内の調整に時間がかかったものの、平成19年10月4日にMOUを締結した。工事設計、建築確認申請、機器設計に着手した。

「マイクログリッド高度化系統連系安定化システム実証研究」（PV+補償装置：中国浙江省）では、平成19年9月4日のMOU締結及び現地詳細調査を経て、機械装置の設計・製作並びに現地サイトでの基礎工事等に着手した。

<太陽光発電システム等国際共同実証開発事業> [平成4年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、新規に「単独運転防止方法・電力品質向上技術に関する実証研究：タイ（PV約160kW）、電力有効利用技術に係る実証研究：ラオス（PV約100kW+揚水発電約70kW）、効率的な太陽光発電ユニット系統連系システム実証試験：中国（PV約140kW）、系統連系システム効率化技術実証研究：中国（PV約60kW+水冷PV約10kW+ディーゼル発電約70kW+新型蓄電池）、分散配置型システム技術実証研究：中国（PV約100kW+風力発電約100kW+新型蓄電池）」等、3ヶ国、5件のテーマを設定した。テーマの設定においては、民間企業等外部へのヒアリング及び機構内新エネルギー技術開発関連部室等へのヒアリングを実施することで、我が国では得難い自然条件や社会条件等（例：水力が豊富、温度差が激しい等）を活用するという観点から必要性の高いテーマを設定した。

新規5テーマの委託先予定の募集は公募にて行った。公募の審査においては、実施体制や事業遂行に係るコスト等を比較検討し、事業の効果的・効率的な実施が可能と判断される機関を選定した。

継続して実施している4ヶ国、5件のテーマについては、年度当初の計画通り、設備設置を完了し、実証試験を開始して目標とするデータの取得とともに、システム全体の調整を行って、新エネルギーの効率的利用に係る知見を実地に

て収集した。

平成 16 年度は、平成 15 年度に事業実施を決定した「単独運転防止方法・電力品質向上技術に関する実証研究：タイ (PV 約 160kW)」について、相手国との MOU を締結した。

15 年度に事業を開始した 4 件を含む、継続事業の 5 ヶ国、8 件については、実証運転を開始して目標とするデータの取得とともに、システム全体の調整を行って、新エネルギーの効率的利用に係る知見を実地に於て収集した。

平成 17 年度は、平成 15 年度から継続している 4 件のテーマについては、実証運転を継続して目標とするデータの取得とともに、システム全体の調整を行って、新エネルギーの効率的利用に係る知見を実地に於て収集した。平成 16 年度より開始したタイ国の「単独運転防止方法・電力品質向上技術に関する実証研究」については、設備の設置が完了し、試験調整を経て実証研究を開始し、目標とするデータの収集を実施した。

平成 18 年度は、平成 18 年度終了テーマのうち、「PV+風力+新型蓄電池」については、太陽光発電装置等の実証運転及び効率的な設備運用方法に係る取得データの取りまとめを実施した。その結果、自然エネルギーを電源とする独立電源システムにおいて長寿命特性を発揮できることが確認できた。「単独運転防止方法・電力品質向上技術に関する実証研究」については、設備運用方法の開発等を引き続き実施した結果、発電特性等に関して、事業対象国ではアモルファス太陽電池が結晶系より定格容量当たりの発電電力量が大きい要因が明確になった。平成 18 年度開始テーマについては、相手国政府機関等との調整結果等を踏まえて委託先の公募・選定を実施するとともに、サイト候補地の事前詳細調査等に着手した。

平成 19 年度は、「大容量 PV+キャパシタ+統合制御」(中国青海省)では、太陽光パネルの架台用基礎の詳細設計・建設を実施。太陽光パネルの輸送免税通関も終了した。

「PV+小水力+キャパシタ」(ラオス)では、公募を平成 19 年 7 月 26 日に開始し、10 月 9 日に委託先を選定した。その後、システム設計及び現地工事等の詳細検討に必要なデータ取得とともに実証運転時におけるシミュレーションを実施した。平成 20 年 2 月 6 日に当該事業の MOU を相手国と締結した。

「設計支援ツール開発事業」では、有用な既存設計支援ツールの詳細調査等を行い、設計支援ツールの設計及び作成等に着手した。

「能力向上支援事業」では、タイ国 SERT において PV に係る基礎技術等の研修及びラオス国 PV+揚水発電サイトにおいて実務的・実践的な保守・管理研修を実施した。

<国際エネルギー使用合理化等対策事業> [平成 5 年度～]

1) 国際エネルギー消費効率化等協力基礎事業

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、関係国におけるエネルギー有効利用技術の普及を促進するため、中国において、中小鉄鋼業者へのエネルギー有効利用技術の普及可能性に関する調査を実施した他、ウズベキスタンにおける工場等の省エネルギー診断タイにおける省エネルギーマニュアルの作成に係る専門家の派遣等を実施した。

平成 16 年度は、関係国における省エネルギー及び再生可能エネルギー技術の普及可能性を検討するため、中国及びアセアン主要国における再生可能エネルギー利用及び関連政策等の現状と今後の展望に関する調査、同各国におけるバイオマス資源を利用した石油代替エネルギー利用プロジェクトの実施可能性調査、高性能工業炉プロジェクト実施可能性調査、ビル等民生施設等における省エネルギー・再生可能エネルギー技術導入に係る実施可能性調査等を実施した。

平成 17 年度は、関係国における省エネルギー及び再生可能エネルギー技術の普及可能性を検討するため、ASEAN 諸国におけるバイオ燃料関連の政策の現状と今後の展望についての調査、中国の民生施設等におけるエネルギー管理技術導入促進基礎調査、インドの省エネルギー政策及びインドに展開する日系企業の省エネルギーに関する取組状況調査ウズベキスタンにおける省エネルギー診断調査等を実施した。また、インドにおけるセメント産業分野の省エネルギー招へい研修事業についても実施した。

平成 18 年度は、関係国における省エネルギー及び再生可能エネルギー技術の普及可能性を検討するため、ASEAN 諸国・中国・インドにおけるバイオマス由来燃料の生産及び輸出ポテンシャルに関する調査、中国における民生分野省エネモデル事業の実現可能性に関する基礎調査及び廃棄物処理技術に関する基礎調査、インドネシアにおける鉄鋼産業・食品飲料産業・セメント産業に係る省エネルギー診断調査、インド及びベトナムのエネルギー関連基本情報、エネルギー需要・供給サイド情報等についての調査等を実施した。

平成 19 年度は、ウズベキスタンにおいて実施した熱電併給所に係る省エネルギー診断調査のフォローアップ調査、インドネシアにおける未利用農業廃棄物由来セルロース系バイオマスからのエタノール燃料製造に関する案件発掘等に関する調査、リン酸型燃料電池の海外部品調達によるコスト削減可能性等に関する基礎調査、国際エネルギー消費効率化等モデル事業に係る稼働状況及び普及実績等に関する調査等を実施した。

2) 国際エネルギー消費効率化等モデル事業

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、平成 14 年度に実施した FS10 件について、相手国側の政策ニーズとの整合性や普及に係る経済性等の観点から、FS の結果の評価を実施して、高い普及性が期待される 4 件(例：対象国が熱望する技術である、投資回収率が 4.3 年と短い等)について実証事業化を決定した。このうち、平成 15 年度中には、「ビール工場省エネルギー化モデル事業：ベトナム、高性能工業炉モデル事業：インドネシア」等 2 ヶ国、2 件の実証事業に着手した。ビール工場省エネルギー化モデル事業については、CDM として実施することを決定し、CDM 化を実現するための手続きを実施した。

平成 15 年度の FS については、40 件の応募のうち、投資回収率が短い等経済性にすぐれている、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、高い普及性が見込める 4 件を採択して実施した。4 件の内訳は、「セメント工場の粉砕工程における全粉砕堅型ローラミル導入・省エネ化モデル事業：ベトナム、パームオイル空果房焚き高効率発電プ

ラントモデル事業：マレーシア、アルミニウム溶解炉、焼鈍炉の省エネルギーモデル事業：タイ、ガスエンジンコージェネレーションによる分散化電源モデル事業 FS：バングラディッシュ」となっている。

継続して実施している 6 ヶ国、7 件の実証事業については、委託先との緊密な連携のもと、各テーマの進捗に合わせて、平成 14 年度に引き続き設備の設計・製作・組立・据付等を実施すると共に、効果的に普及を促進するための運転指導、セミナーの開催等を実施した。

平成 16 年度は、平成 15 年度に実施した FS4 件について、相手国側の政策ニーズとの整合性や普及に係る経済性等の観点から、FS の結果の評価を実施して、高い普及性が期待される 3 件（例：対象国が熱望する技術である、投資回収年が短い等）について実証事業化を決定した。これらについては、平成 16 年度は相手国との MOU 締結に係る交渉を行った。

平成 16 年度の FS については、多くの優れた案件を採択するべく、二度の提案公募を行った。一次公募においては、平成 16 年 2 月 10 日に公募の事前周知を行い、平成 16 年 3 月 10 日に公募を開始し、平成 16 年 4 月 9 日に公募を締め切ったところ、19 件の応募があった。このうち、投資回収年が短い等経済性に優れている、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、高い普及性が見込める 3 件を採択し、平成 16 年 6 月 8 日に選定結果の通知を行った。このうち 1 件は、NEDO としてテーマを設定した「製糖工場におけるエネルギー有効利用モデル事業」に係る案件である。3 件の内訳は、「ディーゼル発電設備燃料転換モデル事業 FS：インドネシア、ビール工場複合省エネシステム導入モデル事業 FS：フィリピン、製糖工場におけるモラセス・バガスエタノール製造エネルギー有効利用モデル事業 FS：タイ」となっている。

二次公募においては、平成 16 年 3 月 10 日に公募の事前周知を行い、平成 16 年 6 月 25 日に公募を開始し、平成 16 年 7 月 29 日に公募を締め切ったところ、12 件の応募があった。このうち、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、高い普及性が見込める「ディーゼルエンジン熱電併給モデル事業 FS：スリランカ」を採択し、平成 16 年 9 月 24 日に選定結果の通知を行った。

平成 15 年度に事業実施を決定した 4 件のうち、2 件は引き続き相手国との MOU 締結に係る交渉を実施し、このうち 1 件については MOU 締結を終了した。昨年度に事業を開始した 2 件を含む継続事業の 7 カ国、8 件については、委託先との緊密な連携のもと、各テーマの進捗に合わせて、平成 15 年度に引き続き設備の設計・製作・組立・据付等を実施すると共に、効果的に普及を促進するための運転指導、セミナーの開催等を実施した。

平成 17 年度は、平成 16 年度に FS を実施し、平成 16 年度中にモデル事業化を決定した 3 件の事業については、平成 17 年度において相手国との MOU 締結等に係る交渉を行った。平成 15 年度に FS を実施し、平成 16 年度にモデル事業化を決定した 3 件のうち、1 件は機構内での精査の結果、事業実施を中止し、他の 2 件は相手国との MOU 締結等に係る交渉を行った。平成 16 年度に MOU 締結等に係る交渉を行っていた 1 件は、引き続き MOU 締結等に係る交渉を行った。

平成 13～14 年度に FS を実施し、平成 15 年度にモデル事業化を決定した 1 件については、平成 16 年度に引き続き、平成 17 年度においても MOU 締結等に係る交渉を行った。

継続事業の 4 カ国、6 件については、委託先との緊密な連携のもと、各テーマの進捗に合わせて、平成 16 年度に引き続き設備の設計・製作・組立・据付等を実施するとともに、効果的に普及を促進するための運転指導、セミナーの開催等を実施した。

平成 17 年度の FS については、多くの優れた案件を採択するべく、二度の提案公募を行った。一次公募においては、平成 17 年 2 月 24 日に公募の事前周知を行い、平成 17 年 3 月 31 日に公募を開始し、平成 17 年 5 月 9 日に公募を締め切ったところ、20 件の応募があった。このうち、投資回収年が短い等経済性に優れている、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、高い普及性が見込める 2 件を採択し、平成 17 年 6 月 30 日に選定結果の通知を行った。2 件の内訳は、「精米工場地帯における籾殻ガス化発電モデル事業実施可能性調査：ミャンマー、セメント工場におけるバイオマス及び廃棄物の有効利用モデル事業実施可能性調査：マレーシア」となっている。

二次公募においては、平成 17 年 11 月 29 日に事前周知を行い、「インドにおける省エネルギー技術モデル事業」を対象として、平成 18 年 1 月 5 日に公募を開始し、平成 18 年 2 月 28 日に公募を締め切ったところ、5 件の応募があり、平成 18 年 4 月 18 日付けで 2 件採択した。2 件の内訳は、「高性能工業炉モデル事業実施可能性調査：インド、配電網電力ロス削減モデル事業実施可能性調査：インド」となっている。

平成 18 年度の FS については、多くの優れた案件を発掘すべく、幅広く FS を採択し、モデル事業化評価で絞り込む方式を採用することとし、平成 18 年 2 月 28 日に公募の事前周知を行い、平成 18 年 3 月 28 日に公募を開始し、平成 18 年 5 月 29 日に公募を締め切ったところ、15 件の応募があった。このうち、投資回収年が短い等経済性に優れている、又は相手国の事情・政策等に適合している等の観点から高い普及性が見込める 8 件の FS を採択し、平成 18 年 7 月 21 日に選定結果の通知を行った。8 件の内訳は、「焼結クーラー排熱回収設備モデル事業：インド、省エネ・節水型繊維染色加工モデル事業：インドネシア、高性能工業炉モデル事業：ベトナム、高純度テレフタル酸（PTA）製造設備省エネルギー化モデル事業：インド、民生用水和物スラリー蓄熱システムモデル事業：タイ、ディーゼル発電設備燃料転換モデル事業：インド、ディーゼル発電設備燃料転換モデル事業：中国、養豚場メタン回収・発電モデル事業：マレーシア」となっている。

継続事業の「熱電併給所省エネルギー化モデル事業：カザフスタン」及び「高性能工業炉モデル事業：インドネシア」については、実証運転を行うとともに、効果的に普及を促進するための運転指導、セミナーの開催等を実施した。

平成 19 年度の FS については、前年度と同様に、より一層多くの優れた案件を発掘すべく、幅広く FS を採択し、モデル事業化評価で絞り込む方式を採用することとし、平成 19 年 1 月 22 日に公募の事前周知を行い、平成 19 年 3 月 6 日に公募を開始し、平成 19 年 4 月 9 日に公募を締め切ったところ、提案公募について 21 件、テーマ設定公募について 1 件の応募があった。このうち、投資回収年が短い等経済性に優れている、又は相手国の事情・政策等に適合している等の観点から高い普及性が見込める提案公募 6 件の FS を採択し、平成 19 年 6 月 8 日に選定結果の通知を行った。6 件の内訳は、「製糖工場におけるバガスエタノール製造モデル事業実施可能性調査：インド、セメント排熱回収発電モデ

ル事業実施可能性調査：インドネシア、製紙スラッジ燃焼廃熱有効利用モデル事業実施可能性調査：中国、エタノール工場省エネルギー化モデル事業可能性調査：タイ、流動層式石炭調湿設備モデル事業実施可能性調査：中国、都市廃棄物高効率エネルギー回収モデル事業実施可能性調査：中国」となっている。また、期中においてテーマ設定公募を行い、4件の応募のうち、3件を採択した。3件の内訳は「産廃発電モデル事業実施可能性調査：ベトナム、水素化分解法によるパーム油由来バイオ燃料製造モデル事業実施可能性調査：マレーシア、民生（ビル）省エネモデル事業実施可能性調査：中国」となっている。

継続事業のうち、「製糖工場におけるモラセス・バガスエタノール製造モデル事業：タイ」については、設備の据付、試運転、実証運転を行うとともに、運転指導等を実施した。「コークス乾式消火設備モデル事業：インド」については、機器の設計・製作を行い、一部の機器について輸送手続きにも着手した。

3) 国際エネルギー消費効率化等技術普及事業

[中期目標期間実績]

平成15年度は、平成14年度に完了した「製紙スラッジ燃焼廃熱有効利用モデル事業：マレーシア、非木材パルプ製紙産業アルカリ回収プロセスに係る実証研究：中国、ゴミ焼却廃熱有効利用モデル事業：中国、化学工場副生排ガス等有効利用設備モデル事業：中国、製鉄所副生ガス高効率燃焼システム化モデル事業：中国、ボイラー・タービン効率向上モデル事業：インドネシア、肥料工場省エネルギー化モデル事業：ミャンマー」の対象技術の普及を促進するため、専門家の派遣やセミナーの開催等による技術指導、啓発等を行った。

平成16年度は、平成15年度に完了した事業がなかったため実施しなかった。

平成17年度は、ベトナムにおいて実施中であるビール工場省エネルギーモデル事業の対象技術について、同国における技術の普及を図るため、飲料及び食品産業における省エネルギー診断及び成果普及セミナーを実施した。

平成18年度は、タイで実施した、「省エネ・節水型繊維染色加工モデル事業」の対象技術のフォローアップとして、普及セミナー及び日本研修を実施した。

また、「セメント排熱有効利用モデル事業：中国」、「セメント焼成プラント電力消費削減モデル事業：ベトナム」及び「ビール工場省エネルギー化モデル事業：ベトナム」に係る成果普及事業を実施した。

平成19年度は、「省エネ・節水型繊維染色加工モデル事業：タイ」及び「熱電併給所省エネルギーモデル事業：カザフスタン」について技術普及セミナー等成果普及事業を実施した。

<京都メカニズム開発推進事業> [平成17年度～]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、CDMの枠組みで国内の地球温暖化防止関連技術の発展途上国への移転・普及及びその対価としての排出削減量獲得を円滑にすることを目的として、中国及びマレーシアにおいて実案件発掘を含めたCDMキャパシティビルディングを実施した。また、CDM/JI事業化を目指している案件の実現可能性を探るFS調査26件を委託により実施し、企業が実施するCDM/JI事業7件を助成事業として採択した。

平成18年度は、CDMの枠組みで国内の地球温暖化防止関連技術の発展途上国への移転・普及、その対価としての排出削減量獲得を円滑にすることを目的として、中国等において実案件発掘を含めたCDMキャパシティビルディングを実施した。また、CDM/JI事業化を目指している案件の実現可能性を探るFS調査13件を委託により実施し、企業が実施するCDM/JI事業5件の助成を行った。

平成19年度は、中国におけるプロジェクト案件形成を目的にしたキャパシティビルディングを実施し、また、今後のキャパシティビルディング計画策定に資する目的で、ASEAN諸国の京都メカニズム承認体制、カウンターパート候補、CDMプロジェクトの実現可能性やニーズ等に関する包括調査を実施した。また、京都メカニズムクレジット取得事業と連携し、京都メカニズムクレジットに結びつく有望なCDM/JIプロジェクトについての事業化のためのFS調査10件を委託により実施した。

<国際石炭利用対策事業> [平成5年度～]

1) 環境調和型石炭利用システム共同実証等事業

[中期目標期間実績]

平成15～19年度において、我が国のエネルギーの安定的確保に資することを目的に、途上国等において、我が国の有する、優れたクリーン・コール・テクノロジーを、モデル事業として行うことにより、当該技術の有効性を実証した。また、新たなモデル事業候補案件の事業化可能性について、相手国の関係政府機関、サイト候補企業等との協議、条件調整を含む必要なFSを実施した。

さらに、クリーン・コール・テクノロジーの相手国における普及を支援するため、モデル事業及び同関連事業を円滑かつ効果的に展開するための調査及びフォローアップ等を実施した。

2) クリーン・コール・テクノロジー実証普及事業

[中期目標期間実績]

普及可能性を重視したスキームとして平成18年度から事業を開始した。

FSは平成18年度に4件、平成19年度に2件を実施。平成18年度実施したFSのうち2件はモデル事業化を決定し、モデル事業を実施した。

<産炭国石炭産業高度化事業（クリーン・コール・テクノロジー移転事業）> [平成5年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

平成 15～19 年度において、地球環境問題に対応しつつ、日本への石炭供給の安定化を図るため、アジア太平洋地域の海外産炭国へのクリーン・コール・テクノロジーを導入・普及を目的として、招聘研修及び設備診断を実施した。

<研究協力事業> [平成 5 年度～]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、途上国における産業、環境、エネルギー分野での技術ニーズと我が国の有する技術力との連携により、相手国の研究能力の向上を図り、技術課題の解決に資する研究協力事業を 8 ヶ国・20 件で実施した。

平成 16 年度は、途上国における産業、環境、エネルギー分野での技術ニーズと我が国の有する技術力との連携により、相手国の研究能力の向上を図り、技術課題の解決に資する研究協力事業を 8 ヶ国・21 件を実施した。このうち、提案公募型開発支援研究協力事業については、平成 16 年 2 月 10 日に公募の事前周知を行い、平成 16 年 3 月 10 日に公募を開始し、平成 16 年 5 月 10 日に公募を締め切ったところ、67 件の応募があった。このうち、研究開発成果の実用化及び普及見込みがある、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、5 ヶ国・9 件を採択し、平成 16 年 7 月 6 日に選定結果の通知を行った。

平成 17 年度は、途上国における産業、環境、エネルギー分野での技術ニーズと我が国の有する技術力との連携により、相手国の研究能力の向上を図り、技術課題の解決に資する研究協力事業を 7 ヶ国・20 件を実施した。このうち、提案公募型開発支援研究協力事業については、平成 17 年 2 月 24 日に公募の事前周知を行い、平成 17 年 4 月 5 日に公募を開始し、平成 17 年 5 月 13 日に公募を締め切ったところ、46 件の応募があった。このうち、研究開発成果の実用化及び普及見込みがある、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、5 ヶ国・8 件を採択し、平成 17 年 7 月 12 日に選定結果の通知を行った。

平成 18 年度は、途上国における産業、環境、エネルギー分野での技術ニーズと我が国の有する技術力との連携により、相手国の研究能力の向上を図り、技術課題の解決に資する研究協力事業を 7 ヶ国・24 件を実施した。このうち、提案公募型開発支援研究協力事業については、平成 18 年 3 月に公募の事前周知を行い、平成 18 年 5 月に公募を開始し、平成 18 年 6 月に公募を締め切ったところ、45 件の応募があった。このうち、研究開発成果の実用化及び普及見込みがある、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、5 ヶ国・9 件を採択し、平成 18 年 8 月に選定結果の通知を行った。

平成 19 年度は、途上国における産業、環境、エネルギー分野での技術ニーズと我が国の有する技術力との連携により、相手国の研究能力の向上を図り、技術課題の解決に資する研究協力事業を 5 ヶ国・18 件を実施した。このうち、提案公募型開発支援研究協力事業については、平成 19 年 3 月に公募の事前周知を行い、平成 19 年 4 月に公募を開始し、平成 19 年 5 月に公募を締め切ったところ、38 件の応募があった。このうち、研究開発成果の実用化及び普及見込みがある、相手国の事情・政策等に適合している等の観点から、4 ヶ国・5 件を採択し、平成 19 年 7 月に選定結果の通知を行った。

<国際エネルギー消費効率等協力支援事業> [平成 15 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、採択実績は無し。平成 16 年度公募に向けて、より幅広い事業支援とすべく制度見直しを行い、補助対象経費を拡充するとともに、事業者のリスク軽減に対応した柔軟な制度とした。

平成 16 年度は採択実績は無かった。

<産油国石油精製用海水淡水化研究協力事業> [平成 13 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、昨年に引き続きオマーンにおいて、淡水化実証プラントの連続運転及び性能試験の実施等研究協力事業を実施した。

平成 16 年度は、昨年に引き続きオマーンにおいて、淡水化実証プラントの連続運転及び性能試験の実施等研究協力事業を実施するとともに、技術普及促進のための現地セミナー及び合同委員会を開催した。

<海外地球温暖化防止支援技術開発事業> [平成 15 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、海外地球温暖化防止支援技術開発事業として、タイプ A（事前審査等事業）として、中国における N20 無害化プロジェクトに係わる FS 等実施について、民間事業者への助成金交付決定を 1 件実施した。より幅広い事業支援とすべく制度見直しを行い、補助対象経費と対象事業を拡充するとともに、事業者のリスク軽減に対応した柔軟な制度とした。

平成 16 年度は、採択実績は無かった。

<共同実施等推進基礎調査事業> (平成 10 年度～平成 16 年度)

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、関係国におけるエネルギー有効利用技術の普及を促進するため、中国において、中小鉄鋼業者へのエネルギー有効利用技術の普及可能性に関する調査を実施した他、ウズベキスタンにおける工場等の省エネルギー診断及びタイにおける省エネルギーマニュアルの作成に係る専門家の派遣等を実施したホスト国における CDM/JI の実施に関する環境整備等支援として、中国及びマレーシアにおける CDM セミナーの開催、フィリピンにおけるエネルギー省、環境省の CDM 研修事業及び中国における地方レベルの CDM 専門家育成事業を実施し、CDM ホスト国の CDM 環境整備に貢献した。

平成 16 年度は、プロジェクト発掘を主目的とし、Validation までは実施しないタイプ A 調査を 7 カ国 11 件、PDD 作成～Validation まで実施する事業化に近い段階のタイプ B 調査として 10 カ国 14 件を採択した。なお、2 回の公募を実施し、公募の早期開始等により事業期間の改善を図った。

<国際エネルギー消費効率化対策等協力普及事業> (平成 16 年度)

[中期目標期間実績]

平成 16 年度は、ホスト国における CDM/JI の実施に関する環境整備等支援として、中国及びマレーシアにおける CDM セミナーの開催、フィリピンにおけるエネルギー省・環境省の CDM 研修事業及び中国における地方レベルの CDM 専門家育成事業を実施し、CDM ホスト国の CDM 環境整備に貢献した。

iii) 導入普及業務

[中期計画]

技術開発、フィールドテスト業務・海外実証業務と併せ導入普及業務を総合的に実施することにより、2010 年における国の長期エネルギー需給見通しの達成への貢献を行う。その際、以下の観点に留意するものとする。

[中期目標期間実績]

平成 18 年度から実施している「代替フロン等 3 ガスの排出抑制設備の導入・実用化支援事業」において、代替フロン等 3 ガスを使用する全ての分野・業種を対象に、その排出抑制設備の導入・適用等に対して、必要な費用の一部を支援（助成）。

平成 19 年度には、風力発電設備の導入促進・稼働率向上を図るため、我が国特有の気象条件である「①台風（強風）、②風の乱れ、③落雷」に注目し、平成 19 年度は前年度に引き続き風況観測を実施した成果をまとめた「日本型風力発電ガイドライン」が完成。

導入普及促進事業について、全ての事業を対象に事業評価を実施するとともに、その検討結果等を踏まえ、経済産業省と協議し、制度改善を提言・実施し、公表。

具体的には、以下の業務を実施した。

a) 新エネルギー分野

[中期計画]

- ・新エネルギー分野については、経済原則上、導入コストの低い案件群から導入がなされていくものであることを認識しつつも、地域的なバランスや助成対象者の属性に関する配慮を加え、全体として我が国のエネルギー需給構造の高度化が達成されるような案件選定・採択を行う。
- ・省エネルギー分野については、産業部門、民生部門、運輸部門の 3 セクターにおける各部門のエネルギー消費動向を踏まえつつエネルギー使用の合理化が総合的に推進されるよう導入助成事業を適切に実施する。
- ・さらに、国民全体への啓発活動の重要性や公的部門における取組の重要性にも配慮し、地方自治体や NPO 等の非営利団体が実施する新エネルギー・省エネルギー関連設備の導入普及、普及啓発活動、ビジョン策定活動、技術指導活動への支援を行う。
- ・特に新エネルギー分野においては、新エネルギーの普及に伴い生じる課題を抽出し、有識者、事業者、地方公共団体等の関係者と協力しつつ、課題を解決するための事業環境整備を行う。
- ・さらに、新エネルギー導入に係る債務保証業務及び省エネルギー・リサイクル推進に係る債務保証・利子補給業務を適切に実施する。

[中期目標期間実績]

- ・地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業（新エネルギーに係るもの）

平成 15 年度は、計 203 件の調査事業を行った。（内訳：地域新エネルギービジョン策定事業 148 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 40 件、事業化フィージビリティ調査 15 件）

平成 16 年度は、計 158 件の調査事業を行った。（内訳：地域新エネルギービジョン策定事業 104 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 34 件、事業化フィージビリティ調査 20 件）

平成 17 年度は、計 117 件の調査事業を行った。（内訳：地域新エネルギービジョン策定事業 73 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 28 件、事業化フィージビリティ調査 16 件）

平成 18 年度は、計 116 件の調査事業を行った。（内訳：地域新エネルギービジョン策定調査 72 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定調査 36 件、事業化フィージビリティスタディ調査 8 件）

平成 19 年度は、計 94 件の調査事業を行った。（内訳：地域新エネルギービジョン策定事業 49 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 33 件、事業化フィージビリティスタディ調査 12 件）また、4 件の新エネルギー・省エネルギー一体型調査事業を行った。

- ・新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業

平成 15 年度において、非営利民間団体等が行う新エネルギー及び省エネルギーに係る設備導入事業 156 件、普及啓発事業 49 件に対して事業費の一部を補助し、草の根レベルでの新エネルギー等の普及啓発活動に対する支援を行った。

平成 16 年度において、非営利民間団体等が行う新エネルギー及び省エネルギーに係る設備導入事業 151 件、普及啓発事業 27 件に対してその事業費の一部を補助し、草の根レベルでの新エネルギー等の普及啓発活動に対する支援を行った。

平成 17 年度において、非営利民間団体等が行う新エネルギー及び省エネルギーに係る普及啓発事業 31 件に対してその事業費の一部を補助し、草の根レベルでの新エネルギー等の普及啓発活動に対する支援を行った。

平成 18 年度において、非営利民間団体等が行う新エネルギー及び省エネルギーに係る普及啓発事業 48 件に対してその事業費の一部を補助し、草の根レベルでの新エネルギー等の普及啓発活動に対する支援を行った。

平成 19 年度において、非営利民間団体等が行う新エネルギー及び省エネルギーに係る普及啓発事業 20 件に対してその事業費の一部を補助し、草の根レベルでの新エネルギー等の普及啓発活動に対する支援を行った。

・新エネルギー等事業者支援対策事業

平成 19 年度は、民間事業者におけるバイオマス発電、バイオマス熱利用、バイオマス燃料製造、水力発電（1 千 kW 以下）及び地熱発電（バイナリーサイクル発電方式に限る）の導入事業 31 件に対して、その事業費の一部を補助し、事業者レベルにおける新エネルギー等導入への支援を行った。

・新エネルギー対策導入指導事業（省エネルギー・新エネルギー対策導入促進事業）

平成 15 年度において、セミナー等を 69 件開催し、延べ 5,500 名（概数）の参加を得ることができた。

平成 16 年度において、セミナー等を 99 件開催し、延べ 6,800 名（概数）の参加を得ることができた。

平成 17 年度において、セミナー等を 109 件開催し、延べ 9,000 名（概数）の参加を得ることができた。

平成 18 年度において、セミナー等を 68 件開催し、延べ 7,000 名（概数）の参加を得ることができた。

平成 19 年度において、セミナー等を 80 件開催し、延べ 7,300 名（概数）の参加を得ることができた。

・日本型風力発電ガイドライン策定事業

平成 17 年度は、台風、乱流、落雷など日本特有の気象条件に適合したガイドラインの策定に向け、委員会を設置して検討を開始した。

平成 18 年度は、台風、乱流、落雷など日本特有の気象条件に適合したガイドラインの策定に向け、風況観測、風況シミュレーション、落雷模擬試験等の調査を実施した。

平成 19 年度は、事業成果を取りまとめ、台風、乱流、落雷など日本特有の気象条件に適合したガイドラインを策定した。

・地域新エネルギー等導入促進事業

平成 15 年度は採択件数 169 件であった。

平成 16 年度は採択件数 152 件であった。

平成 17 年度は採択件数 152 件であった。

平成 18 年度は採択件数 148 件であった。

平成 19 年度は採択件数 153 件であった。

・中小水力発電開発事業

平成 15 年度において、3 万 kW 以下の水力発電開発事業 30 件（新規 13 件、継続 17）に対してその事業費の一部を補助し、中小水力発電事業者への支援を行った。

平成 16 年度において、3 万 kW 以下の水力発電開発事業 30 件（新規 10 件、継続 20）に対してその事業費の一部を補助し、中小水力発電事業者への支援を行った。

平成 17 年度において、3 万 kW 以下の水力発電開発事業 42 件（新規 18 件、継続 24）に対してその事業費の一部を補助し、中小水力発電事業者への支援を行った。

平成 18 年度において、3 万 kW 以下の水力発電開発事業 39 件（新規 10 件、継続 29）に対してその事業費の一部を補助し、中小水力発電事業者への支援を行った。

平成 19 年度において、1 千 kW 超え 3 万 kW 以下の水力発電開発事業 15 件（継続分 15）に対してその事業費の一部を補助し、中小水力発電事業者への支援を行った。

・地熱発電開発事業

平成 15 年度において、地熱発電に係る坑井掘削事業等 10 件（発電出力として 39,000kW 相当の回復・増加）に対してその経費の一部を補助し、地熱発電事業者の負担軽減のための支援を行った。

平成 16 年度において、地熱発電に係る坑井掘削事業等 13 件（発電出力として 8,300kW 相当の回復）に対してその経費の一部を補助し、地熱発電事業者の負担軽減のための支援を行った。

平成 17 年度において、地熱発電に係る坑井掘削事業等 12 件（発電出力として 12,000kW 相当の回復）に対してその経費の一部を補助し、地熱発電事業者の負担軽減のための支援を行った。

平成 18 年度において、地熱発電に係る坑井掘削事業等 11 件（発電出力として 12,400kW 相当の回復・増加）に対してその経費の一部を補助し、地熱発電事業者の負担軽減のための支援を行った。

平成 19 年度において、地熱発電に係る坑井掘削事業等 8 件（発電出力として 5,500kW 相当の回復）に対してその経費の一部を補助し、地熱発電事業者の負担軽減のための支援を行った。

・地域地球温暖化防止支援事業

平成 15 年度は、地方自治体や非営利団体等の新エネルギー設備導入事業については 24 件、省エネルギー設備導入事業については 14 件を新規採択した。

平成 16 年度は、地方自治体や非営利団体等の新エネルギー設備導入事業については 36 件、省エネルギー設備導入事業については 18 件を新規採択した。

・クリーンエネルギー自動車等導入促進事業

平成 15 年度においては、普及・調査事業のみを行い、展示・試乗会やホームページ、パンフレット等を通じた普及啓発事業、クリーンエネルギー自動車導入潜在意識に係る調査事業を実施した。

・新エネルギー利用等債務保証制度

平成 15 年度は 4 件の債務保証を実施した。

平成 16 年度は 7 件の債務保証を実施した。

平成 17 年度は 2 件の債務保証を実施した。

平成 18 年度は 4 件の債務保証を実施した。
平成 19 年度は 3 件の債務保証を実施した。

b) 省エネルギー分野

[中期目標期間実績]

- エネルギー供給事業者主導型総合省エネルギー連携推進事業（建築物に係るもの）の導入事業
平成 17 年度は採択件数 6 件、省エネルギー効果 1,730 原油換算 k1 であった。
平成 18 年度は採択件数 4 件(新規 3 件、継続 1 件)、省エネルギー効果 1,574 原油換算 k1 であった。
平成 19 年度は採択件数 6 件(新規 5 件、継続 1 件)、省エネルギー効果 7,344 原油換算 k1 であった。
- エネルギー供給事業者主導型総合省エネルギー連携推進事業（住宅に係るもの）の導入事業
平成 17 年度は採択件数 8 件、省エネルギー効果 230 原油換算 k1 であった。
平成 18 年度は採択件数 21 件(新規 19 件、継続 2 件)、省エネルギー効果 1,083 原油換算 k1 であった。
平成 19 年度は採択件数 39 件、省エネルギー効果 971 原油換算 k1 であった。
- 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業（住宅に係るもの）
平成 15 年度は高効率エネルギーシステムを公募・選定後、そのシステム導入に対し補助する 2 段階公募方式を採用。これにより高効率の住宅システムが導入される仕組みとなっており、審査の結果、569 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：328 原油換算 k1、費用対効果：192.68 万円/k1、投資回収年：約 23 年）。
平成 16 年度は高効率エネルギーシステムを公募・選定後、そのシステム導入に対し補助する 2 段階公募方式を採用。これにより高効率の住宅システムが導入される仕組みとなっており、審査の結果、669 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：443 原油換算 k1、費用対効果：142.21 万円/k1、投資回収年：約 16 年）。
平成 17 年度は高効率エネルギーシステムを公募・選定後、そのシステム導入に対し補助する 2 段階公募方式を採用。これにより高効率の住宅システムが導入される仕組みとなっており、審査の結果、901 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：601 原油換算 k1、費用対効果：128.79 万円/k1）。
平成 18 年度は高効率エネルギーシステムを公募・選定後、そのシステム導入に対し補助する 2 段階公募方式を採用。これにより高効率の住宅システムが導入される仕組みとなっており、審査の結果、1,270 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：837 原油換算 k1、費用対効果：132.74 万円/k1）。
平成 19 年度は高効率エネルギーシステムを公募・選定後、そのシステム導入に対し補助する 2 段階公募方式を採用。これにより高効率の住宅システムが導入される仕組みとなっており、審査の結果、2,479 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：1,144 原油換算 k1、費用対効果：127.36 万円/k1）。
- 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業（建築物に係るもの）
平成 15 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果、20 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：4,708 原油換算 k1、費用対効果：30.79 万円/k1、投資回収年：約 12 年）。
平成 16 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果、22 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：4,336 原油換算 k1、費用対効果：29.82 万円/k1、投資回収年：約 11 年）。
平成 17 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果、31 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：6,561 原油換算 k1、費用対効果：25.96 万円/k1、投資回収年：約 11 年）。
平成 18 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果、33 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：6,345 原油換算 k1、費用対効果：39.11 万円/k1）。
平成 19 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果、34 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：7,569 原油換算 k1、費用対効果：12.55 円/k1）。
- 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業（BEMS 導入支援事業）
平成 15 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果、112 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：13,037 原油換算 k1、費用対効果：21.57 万円/k1、投資回収年：約 7 年）。
平成 16 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果 69 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：10,574 原油換算 k1、費用対効果：24.25 万円/k1、投資回収年：約 10 年）。
平成 17 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果 59 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：8,522 原油換算 k1、費用対効果：20.66 万円/k）。
平成 18 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果 92 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：14,116 原油換算 k1、費用対効果：22.25 万円/k）。
平成 19 年度は高効率エネルギーシステムを公募し、審査の結果 39 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：5,274 原油換算 k1、費用対効果：20.72 万円/k）。
- エネルギー使用合理化事業者支援事業
平成 15 年度は、産業部門（運輸部門含む）で 101 件、民生部門で 10 件の計 111 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果（単年度事業のみ）：24.7 万原油換算 k1、費用対効果：4.32 万円/k1）。
平成 16 年度は、一次公募については、平成 16 年 2 月 27 日に公募の事前周知を行い、平成 16 年 3 月 18 日に公募を開始、平成 16 年 5 月 10 日に公募を締め切り、平成 16 年 7 月 9 日に選定結果の通知を行った。また、二次公募については、平成 16 年 7 月 16 日に公募の事前周知を行い、平成 16 年 8 月 17 日に公募を開始、平成 16 年 9 月 21 日に公募を締め切り、平成 16 年 11 月 12 日に選定結果の通知を行った。その結果、産業部門で 79 件、運輸部門で 1 件の計 80 件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果（単年度事業のみ）：33.9 万 k1（原油換算）、費用対効果：3.39 万円/k1）。
平成 17 年度は、一次公募については、平成 17 年 2 月 10 日に公募の事前周知を行い、平成 17 年 3 月 14 日に公募

を開始、平成17年5月31日に公募を締め切り、平成17年7月5日に選定結果の通知を行った。また、二次公募については、平成17年7月5日に公募の事前周知を行い、平成17年8月5日に公募を開始、平成17年10月7日に公募を締め切り、平成17年11月24日及び12月6日に選定結果の通知を行った。

また、原油高緊急対策として実施した三次公募については、平成17年11月9日に公募の事前周知を行い、平成17年12月9日に公募を開始、平成17年12月26日に公募を締め切り、平成18年1月31日に選定結果の通知を行った。

その結果、産業部門で231件（うち原油高緊急対策として採択した農水産関連事業は125件）、民生部門で18件、運輸部門で65件の計314件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：約65万kl（原油換算）、費用対効果：3.48万円/kl）。

平成18年度は、エネルギー使用合理化事業者支援事業については、一次公募については、平成18年2月28日に公募の事前周知を行い、平成18年3月31日に公募を開始、平成18年5月31日に公募を締め切り、平成18年7月27日に選定結果の通知を行った。また、二次公募については、平成18年8月4日に公募の事前周知を行い、平成18年9月4日に公募を開始、平成18年10月16日に公募を締め切り、平成18年12月14日に選定結果の通知を行った。

その結果、産業部門で188件、民生部門で21件、運輸部門で192件の計401件を新規採択し、実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：約68.8万kl（原油換算）、費用対効果：3.89万円/kl）。

平成19年度は、一次公募については、平成19年2月27日に公募の事前周知を行い、平成19年3月30日に公募を開始、平成19年6月1日に公募を締め切り、平成19年8月1日に選定結果の通知を行った。二次公募については、平成19年7月5日に公募の事前周知を行い、平成19年8月1日に公募を開始、平成19年8月31日に公募を締め切り、平成19年10月25日に選定結果の通知を行った。三次公募については、平成19年12月6日に公募の事前周知を行い、平成19年12月7日に公募を開始、平成19年12月21日に公募を締め切り、平成20年1月29日に選定結果の通知を行った。

その結果、産業部門で143件、民生部門で12件、運輸部門で176件の計331件を新規採択し、新規採択に係る想定省エネルギー効果は約62.2万kl（原油換算）である。

・エネルギー使用合理化支援事業（平成15年度～）

平成15年度において、排出量取引・移転試行事業に参加する事業者の省エネ設備導入について、8件を採択・実施した。

平成16年度においては、採択実績は無し。平成17年度より、経済産業省が実施するCO₂排出削減量認証事業に参加する中小企業等（全業種）を対象として実施。

平成17年度は40件を採択・実施した。

平成18年度は17件を採択・実施した。

平成19年度は27件を採択・実施した。

・民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価事業

産業部門、民生部門、運輸部門の3セクターにおける各部門のエネルギー消費動向を踏まえつつエネルギー使用の合理化が総合的に推進されるよう導入助成事業を適切に実施する。

平成16年度から民生部門等の地球温暖化対策実証モデル評価事業及びコンビナート等の複数事業所間のエネルギー相互融通・供給によるエネルギー有効利用調査の支援を行った。平成16年度については、民生部門で11件（モデル事業3件、FS事業8件）、運輸部門で6件（モデル事業4件、FS事業2件）、計17件新規採択し、実施した。

平成17年度については、平成17年2月18日に公募の事前周知を行い、平成17年3月18日に公募を開始、平成17年5月10日に公募を締め切り、平成17年7月8日に選定結果の通知を行った。その結果、民生部門で11件（モデル事業7件、FS事業4件）、運輸部門で4件（モデル事業3件、FS事業1件）、計15件新規採択し、実施した。

平成18年度の一次公募については、平成18年2月28日に公募の事前周知を行い、平成18年3月31日に公募を開始、平成18年5月31日に公募を締め切り、平成18年7月27日に選定結果の通知を行った。

また、二次公募については、平成18年8月4日に公募の事前周知を行い、平成18年9月4日に公募を開始、平成18年10月16日に公募を締め切り、平成18年12月14日に選定結果の通知を行った。その結果、民生部門で22件（モデル事業4件、FS事業18件）、運輸部門で22件（モデル事業6件、FS事業16件）、計44件新規採択し、実施した。

平成19年度の一次公募については、平成19年2月27日に公募の事前周知を行い、平成19年3月3日に公募を開始、平成19年5月31日に公募を締め切り、平成19年8月1日に選定結果の通知を行った。二次公募については、平成19年7月5日に公募の事前周知を行い、平成19年8月1日に公募を開始、平成19年8月31日に公募を締め切り、平成19年10月25日に選定結果の通知を行った。その結果、民生部門で16件（モデル事業4件、FS事業12件）、運輸部門で14件（モデル事業2件、FS事業12件）、計30件新規採択した。

・特定事業活動促進等債務保証制度（省エネルギー・リサイクル推進に係る債務保証）

平成15年度は産業基盤整備基金から引き継いだ6件について対応（うち、2件については年度内に完済）。

平成16年度は産業基盤整備基金から引き継いでいる4件について対応。

平成17年度は産業基盤整備基金から引き継いでいる4件について対応。

平成18年度は産業基盤整備基金から引き継いでいる4件について対応。

平成19年度は産業基盤整備基金から引き継いでいる4件について対応。

・資源有効利用促進等資金利子補給（省エネルギー・リサイクル推進に係る利子補給）

平成15年度は省エネ・リサイクル推進に関する利子補給を3件実施。

平成16年度は省エネ・リサイクル推進に関する利子補給を3件実施。

平成17年度は省エネ・リサイクル推進に関する利子補給を3件実施。

平成 18 年度は省エネ・リサイクル推進に関する利子補給を 4 件実施。

平成 19 年度は省エネ・リサイクル推進に関する利子補給を 4 件実施。

・地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業（省エネルギーに係るもの）

平成 15 年度は、計 66 件の調査事業を行った。（内訳：地域省エネルギービジョン策定事業 52 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 8 件、事業化フィージビリティ調査 6 件）

平成 16 年度は、計 58 件の調査事業を行った。（内訳：地域省エネルギービジョン策定事業 36 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 12 件、事業化フィージビリティ調査 10 件）

平成 17 年度は、計 62 件の調査事業を行った。（内訳：地域省エネルギービジョン策定事業 35 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 14 件、事業化フィージビリティ調査 13 件）

平成 18 年度は、計 49 件の調査事業を行った。（内訳：地域省エネルギービジョン策定調査 18 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定調査 21 件、事業化フィージビリティスタディ調査 10 件）

平成 19 年度は、計 39 件の調査事業を行った。（内訳：地域省エネルギービジョン策定事業 17 件、重点テーマに係る詳細ビジョン策定事業 14 件、事業化フィージビリティスタディ調査 8 件）また、4 件の新エネルギー・省エネルギー一体型調査事業を行った。

・地域省エネルギー普及促進対策事業(17)

平成 15 年度は、計 89 件（新規 59 件、継続 21 件、普及啓発 9 件）への支援を行った。

平成 16 年度は、計 114 件（新規 63 件、継続 32 件、普及啓発 19 件）への支援を行った。

平成 17 年度は、計 32 件（継続 11 件、普及啓発 21 件）への支援を行った。

平成 18 年度は、継続事業 2 件への支援を行った。

・エネルギー需要最適マネジメント推進事業

平成 15 年度は、導入設備関連事業で 1 件、設備導入を行った者であって次年度以降のデータ収集及び取得データの解析を行う調査研究事業で 4 件、調査研究事業を行った者であって調査研究事業に供した機器又はシステムの改良・修繕を行う機器改良・修繕事業で 2 社 8 件の計 13 件を実施した（新規採択に係る想定省エネルギー効果：約 100 原油換算 k1）。これにより、HEMS 導入による省エネルギー行動と省エネルギー制御を合わせた省エネルギー率は目標値 10%に対して、約 8.5%にまで達している。

平成 16 年度は、設備導入を行った者であって次年度以降のデータ収集及び取得データの解析を行う調査研究事業で 2 件、調査研究事業を行った者であって調査研究事業に供した機器又はシステムの改良・修繕を行う機器改良・修繕事業で 1 社 3 件の計 5 件を実施した（想定省エネルギー効果：約 43 原油換算 k1）。

平成 17 年度は、初年度に設備導入を行い次年度にデータ収集及び取得データの解析を行う調査研究事業で 2 件、調査研究事業を行い調査研究事業に供した機器又はシステムの改良・修繕を行う機器改良・修繕事業で 1 件の計 3 件を実施した（想定省エネルギー効果：約 27 原油換算 k1）。

・住宅におけるエネルギー使用に係る実態調査及び情報提供事業

平成 15 年度において、中国・四国地方でエネルギー量表示システムをモニター世帯等に新規に設置し、エネルギー量表示システムの普及による省エネルギー効果のデータ取得を行った他、前年度に引き続き北海道・東北・関東・中部・近畿・九州・沖縄地方でエネルギー量表示システムの普及による省エネルギー効果のデータ取得を行い、収集したデータの解析・省エネルギー効果の定量的把握等を行った。

平成 16 年度において、前年度に引き続き北海道・東北・関東・中部・近畿・中国・四国・九州・沖縄地方でエネルギー量表示システムの普及による省エネルギー効果のデータ取得を行い、収集したデータの解析・省エネルギー効果の定量的把握等を行った。

平成 17 年度において、関東・中部・近畿・中国・四国地方でエネルギー量表示システムの普及による省エネルギー効果のデータ取得を行い、収集したデータの解析・省エネルギー効果の定量的把握等を行った。

・地域地球温暖化防止支援事業

平成 15 年度は、地方自治体や非営利団体等の新エネルギー設備導入事業については 24 件、省エネルギー設備導入事業については 14 件を新規採択した。

平成 16 年度は、地方自治体や非営利団体等の新エネルギー設備導入事業については 36 件、省エネルギー設備導入事業については 18 件を新規採択した。

・先進的省エネルギー技術導入アドバイザー事業 平成 16 年度改組「省エネルギー・新エネルギー対策導入促進事業」

平成 15 年度は、45 事業所において省エネ指導、省エネ調査を実施。（内訳：単一工場診断指導 42 事業所、コンピナート診断調査 3 カ所）

なお、省エネ提案量は、約 20 万 k1/年である。

平成 16 年度は、平成 16 年 2 月 27 日に事業実施工場に係る公募の事前周知を行い、平成 16 年 3 月 31 日に公募を開始、平成 16 年 6 月 30 日に公募を締め切った。その後、公募のあった工場において計測作業を委託する調査機関に対して、平成 16 年 7 月以降、3 回に渡り選定結果の通知を行った。その結果、28 事業所に対して省エネルギー診断指導を行い、原油換算約 58 千 k1/年の省エネルギーの提案を行った。

平成 17 年度は、平成 17 年 2 月 10 日に事業実施工場に係る公募の事前周知を行い、平成 17 年 3 月 14 日に公募を開始、平成 17 年 5 月 10 日に公募を締め切った。その後、公募のあった工場において計測作業を委託する調査機関に対して、平成 17 年 5 月以降、5 回に渡り選定結果の通知を行った。その結果、23 事業所に対して省エネルギー診断指導を行い、原油換算約 54 千 k1/年の省エネルギーの提案を行った。

平成 18 年度は、平成 18 年 2 月 28 日に事業実施工場に係る公募の事前周知を行い、平成 18 年 3 月 31 日に公募を開始、平成 18 年 5 月 31 日に公募を締め切った。その後、公募のあった工場において計測作業を委託する調査機関に

対して、平成18年5月以降、3回に渡り選定結果の通知を行った。その結果、5事業所に対して省エネルギー診断指導を行い、原油換算約14千kl/年の省エネルギーの提案を行った。

平成19年度は、平成19年2月27日に事業実施工場に係る公募の事前周知を行い、平成19年3月30日に公募を開始、平成19年5月11日に公募を締め切った。その後、公募のあった工場において計測作業を委託する調査機関に対して、平成19年7月に選定結果の通知を行った。その結果、11事業所に対して省エネルギー診断指導を行い、原油換算約8千kl/年の省エネルギーの提案を行った。

・自動車燃料消費削減実態調査事業

平成15年度は、自動車の運転方法に伴う燃費の悪化を防ぐため、自動車用燃料消費表示装置を導入・普及させることにより、最適な自動車の運転方法を啓蒙し、省エネルギー対策の加速的推進を図る「自動車燃料消費削減実態調査事業」を民間団体等に委託し、実施した。本事業におけるモニター調査により取得したデータを解析した結果、各表示装置が家庭や運転時における意識改革や省エネルギー活動を促し、省エネルギー化に効果を有することが明らかになった（平均省エネルギー率：住宅9%、自動車20%）

・系統連系円滑化実証試験 [平成10年度～平成15年度]

平成15年度は、多数台の分散型電源が系統連係された場合の単独運転検出装置の有効性検証や、早急な導入環境整備が必要なマイクロガスタービン（MGT）、燃料電池等の新型電源の系統連系に関する技術的課題について検討を行った。

・省エネルギー対策導入指導事業

平成16年2月27日に事業実施工場に係る公募の事前周知を行い、平成16年3月31日に公募を開始、平成16年6月30日に公募を締め切った。その後、公募のあった工場において計測作業を委託する調査機関に対して、平成16年7月以降、3回に渡り選定結果の通知を行った。その結果、28事業所に対して省エネルギー診断指導を行い、原油換算約58千kl/年の省エネルギーの提案を行った。

iv) 石炭資源開発業務

[中期計画]

我が国において主要なエネルギーの一つである石炭の安定供給確保を図るという政策目的に資するため、初期調査から開発に至る各段階において事業を実施する。その際、以下に留意するものとする。

- ・海外における石炭の探鉱調査事業については、世界的な石炭需給構造の状況を踏まえ、地域的バランスを考慮しつつ、我が国のエネルギー安全保障に資する案件を優先して実施する。
- ・海外における石炭の探鉱に必要な地質構造調査事業については、民間企業では取り組みがたい比較的高い産炭国であって、将来において石炭供給の拡大に繋がる地域を対象とし、当該国と共同して本調査事業が可能な案件について実施する。また、炭鉱技術海外移転事業については、アジア・太平洋地域における産炭国の炭鉱技術者に対し生産・保安技術等に関する炭鉱技術の移転を通し、石炭供給能力の拡大に繋げるとともに産炭国との関係強化を図るべく実施する。

[中期目標期間実績]

海外炭の安定供給確保に向け、国の石炭政策に基づき、石炭資源開発業務を着実に実施。具体的には以下のとおり。

a) 海外炭開発可能性調査

[中期目標期間実績]

中期目標（計画）計画期間中、本事業による補助金の交付件数は、15件であり、事業対象国（件数）については、豪州（7件）、インドネシア（5件）、モザンビーク（2件）、モンゴル（1件）の4ヶ国となっている。

これら事業対象国については、我が国のエネルギー安全保障に資する案件を優先して選定しており、我が国の石炭輸入量の約6割（第1位）となっている豪州や、約2割（第2位）となっているインドネシアのみならず、今後石炭需給が逼迫することが見込まれる中、供給国の拡大を考慮して、新規炭鉱開発の可能性を有するモザンビーク及びモンゴルをも選定して実施している。具体的な事業件数（補助金の交付件数）については、以下のとおり。

なお、これらの事業の実施により、約23億トンの石炭埋蔵量（推定ベース）を把握することができたところ。

平成15年度 3件

インドネシア) ジュンバヤン東部地区、
ウンバルート北部地区、スルヤバラ地域

平成16年度 3件

インドネシア) ジュンバヤン西部地区

豪州) カルボロ・ダウンズ地域

モザンビーク) レブポー東地区

平成17年度 3件

モザンビーク) レブポー西地区

モンゴル) 南ゴビ地区

豪州) イーストボガブライ地区

平成18年度 3件

豪州) ボンショウ北地区、ボンショウ南地区、マリボロー地区

平成19年度 3件

インドネシア) 東バリト県東部地区

豪州) マウントサンボ地区、ニュースラジ地区

b) 海外地質構造等調査

<海外地質構造調査>

[中期目標期間実績]

中期目標（計画）期間中、インドネシア（2プロジェクト）、ベトナム（1プロジェクト）、モンゴル（1プロジェクト）において、相手国政府又は関係機関と共同で先行的な地質調査等の基礎的調査を実施した。なお、プロジェクトの選定に当たっては、今後経済発展に伴い石炭需要が急増するアジア地域、ひいては我が国における石炭安定供給確保を図ることを念頭に、これまで十分な石炭埋蔵量等の調査が行われておらず、民間企業では取組がたい比較的风险が高い国・地域であって、今後石炭の供給拡大に繋がる国・地域として、モンゴル東ゴビ地域を新たに対象とするなど、アジア地域を中心とした石炭に係る情勢を踏まえつつ、効果的な事業となるよう対象国・地域を選定し事業を実施している。

また、これらの事業の実施により、約9億3千万トンの石炭埋蔵量を把握することができたところ。

なお、本事業の実施に当たっては、相手国と締結する協定書（MOU）の中に、本プロジェクトの対象地域において、石炭の開発がなされる等の際には、他国に先駆けて日本企業が開発への参画を優先的に相手国と交渉することが可能となる「日本の優先交渉権」を明記しており、日本企業による権益取得等の促進を通じた日本への安定供給確保を図ることが可能な事業内容としているところ。

<石炭資源開発基礎調査>

[中期目標期間実績]

新探査技術調査として、平成16年度までに探査技術を開発し、オーストラリアの未調査地域（北ボーエン盆地）において、同システムの検証試験と総合評価を実施した。開発した反射法地震探査の技術は、海外地質構造調査として実施中の、日本インドネシア石炭共同探査ブニアン・クンキラプロジェクト及び日本ベトナム石炭共同探査クアンニンプロジェクトに有効活用した。

また、石炭情報検索データベース構築調査で作成したデータベースについては、NEDO技術開発機構のホームページで公開し、一般利用者に効果的かつ効率的に情報提供を行っているところ。

<海外炭開発高度化等調査>

[中期目標期間実績]

1) アジア太平洋石炭セミナー

中期目標（計画）期間中においては、APEC加盟国他の参加を得て、韓国、フィリピン、タイ、ベトナム、中国の5カ国において石炭セミナーを開催し、域内各国の石炭政策や需給動向及びCCT動向等について情報交換・収集を行うとともに、報告会等を通じ国内関係者へ提供した。

2) 海外炭開発高度化調査

中期目標（計画）期間中においては、豪州、インドネシア、中国、ロシア極東地域、ベトナム、カナダ、米国、ニュージーランド及びインドの9カ国と、南アフリカを含んだ南東部アフリカやパキスタンからパプアニューギニアにわたる東南アジア諸国の2諸国に対し調査を実施した。

本調査では、石炭ユーザーなど我が国企業等のニーズを踏まえ、豪州やインドネシアといった我が国にとっての主要石炭輸入国だけでなく、中国やインド等のように今後石炭輸入が増大し、我が国の石炭輸入への影響を及ぼすことが見込まれる国や、未だ十分な石炭輸出ポテンシャルの調査が実施されていない等の国等を対象とした。また、具体的な調査内容としては、各国政府関係者との面談を含めた現地調査や文献調査等により、調査対象国の石炭政策や石炭需給動向、インフラ整備状況等の最新の情報を収集しており、調査結果については、報告会等を通じ、国内関係者へ迅速に提供しているところ。

c) 産炭国石炭産業高度化事業（炭鉱技術移転事業）

[中期目標期間実績]

アジア・太平洋地域における産炭国の炭鉱技術者に対し、生産・保安技術等に関する炭鉱技術の移転を通じ、石炭供給能力の拡大に繋げるとともに産炭国との関係強化を図るべく、中期目標（計画）期間中に、以下の事業を実施した。

国内受入研修として、中国より505名、インドネシアより302名、ベトナムより607名、3カ国で計1,414名の炭鉱技術者等を受け入れ、我が国の炭鉱技術を移転した。

また、海外派遣研修として、我が国の炭鉱技術者を中国へ延べ210名、インドネシアへ延べ487名、ベトナムへ延べ536名、3カ国で延べ計1,233名を派遣し、各国の炭鉱事情を考慮した研修を実施することにより、我が国の炭鉱技術を移転した。

国際交流事業では、ロシア、中国及びベトナムを対象に、炭鉱技術等に関する国際会議等に参加し、各国の技術動向を調査するとともに、これらの調査結果を国内受入研修、海外派遣研修に有効活用した。

d) 石炭技術者養成事業

[中期目標期間実績]

石炭分野に携わる研修生に対して海外炭開発及び輸入にかかる必要な語学、採炭技術、諸法規等の石炭関連専門知識の修得及び産炭国での現地研修を実施した。

(イ) 新エネルギー・省エネルギー導入普及業務等の実施に係る共通の実施方針

(企画・公募段階)

[中期計画]

a) 内外のエネルギー・環境関係技術開発の動向や、エネルギー需給動向、国際的なエネルギー環境問題に関する議論の動向等を体系的に把握するとともに、適切な事業の実施方針を毎年度策定する。

[中期目標期間実績]

a) 平成 15 年度は技術開発の進展、経済状況を踏まえ、関係機関と協議し、業務運営方法、補助要件等を見直した上で、平成 16 年度の実施方針を平成 16 年 3 月までに策定した。

平成 16 年度は技術開発の進展、経済状況を踏まえ、関係機関と協議し、業務運営方法、補助要件等を見直した上で、平成 17 年度の実施方針を平成 17 年 3 月までに策定した。

平成 17 年度は技術開発の進展、経済状況を踏まえ、関係機関と協議し、業務運営方法、補助要件等を見直した上で、平成 18 年度の実施方針を平成 18 年 2 月までに策定した。事業の実施に当たっては、エネルギー・環境技術本部の主導による三位一体の取組と鳥瞰的視点での国別戦略を重視した。

平成 18 年度は技術開発の進展、経済状況を踏まえ、関係機関と協議し、業務運営方法、補助要件等を見直した上で、平成 18 年度の実施方針を平成 18 年 3 月までに策定した。また、日中、日印等の重点国との政府レベルの会合を開催することにより協力体制を構築するとともに、エネルギーセキュリティや地球温暖化問題への対策に係るアジア各国の政策及びエネルギー資源等の状況を踏まえて各国別に方向性を定めて事業を展開した。

平成 19 年度は技術開発の進展、経済状況を踏まえ、関係機関と協議し、業務運営方法、補助要件等を見直した上で、平成 19 年度の実施方針を平成 19 年 3 月までに策定した。

[中期計画]

b) 円滑かつ迅速な事業実施・推進を図るため、上記の事業のうち極力多くの事業について、政府予算の成立を条件として、実施年度の前年度の 3 月までに公募を開始する。公募に当たっては、ホームページや各種メディアの最大限の活用等により広範な周知を図る。機構のホームページ上に、公募開始の 1 ヶ月前（緊急に必要なものであって事前の周知が不可能なものは除く）には、公募に係る事前の周知を行う。

[中期目標期間実績]

b) 平成 15 年度は平成 16 年度事業のうち、平成 16 年 3 月までに 25 件（対象の 76%）の公募を開始し、事業期間の確保に努めた。また平成 15 年度下期に実施した公募については、21 件（対象の 78%）についてホームページ等を活用し、公募の 1 ヶ月以上前に公募情報の事前周知を実施した。

平成 16 年度は平成 17 年度事業のうち、平成 17 年 3 月までに 10 件（対象の 77%）の公募を開始し、事業期間の確保に努めた。また平成 16 年度に実施した公募については、44 件（対象の 93%）についてホームページ等を活用し、公募の 1 ヶ月以上前に公募情報の事前周知を実施した。

平成 17 年度は平成 18 年度事業のうち、平成 18 年 3 月までに 11 件（対象の 100%）の公募を開始し、事業期間の確保に努めた。また平成 17 年度に実施した公募については、13 件（対象の 100%）についてホームページ等を活用し、公募の 1 ヶ月以上前に公募情報の事前周知を実施した。

平成 18 年度は平成 19 年度事業のうち、平成 19 年 3 月までに 8 件全ての公募を開始し、事業期間の確保に努めた。また平成 18 年度に実施した公募については、12 件全てについてホームページ等を活用し、公募の 1 ヶ月以上前に公募情報の事前周知を実施した。

平成 19 年度は平成 20 年度事業のうち、平成 20 年 3 月までに 12 件（対象の 100%）の公募を開始し、事業期間の確保に努めた。また平成 19 年度に実施した公募については、12 件（対象の 92%）についてホームページ等を活用し、公募の 1 ヶ月以上前に公募情報の事前周知を実施した。

[中期計画]

c) 公募締切後の審査においては、機構外部の優れた専門家・有識者の参画による客観的な審査・採択基準に基づく公正な選定を行う。また、審査を迅速に行い、応募総数が多い場合等、特段の事情がある場合を除き、締切から原則 60 日以内に採択決定を行う（平成 14 年度実績 30 日～80 日）。さらに、採択案件に係る情報を公開するとともに、不採択の場合には、全件、相手方にその理由を文書で通知する。

[中期目標期間実績]

c) 平成 15 年度は地域省エネルギー普及促進対策事業、新エネルギー・省エネルギー非営利活動支援事業、中小水力発電開発補助事業及び海外地球温暖化防止支援技術開発については、平成 15 年下期に公募を行い、採択に係る作業を迅速化し、公募締切から採択決定までの期間の目標である 60 日以内を達成した。また、更なる効率化、迅速化を図るため、採択に係る手続きについて、外部有識者による採択審査委員会の開催等のあり方を検討した。

平成 16 年度は地域省エネルギー普及促進対策事業、新エネルギー・省エネルギー非営利活動支援事業、中小水力発電開発補助事業及び海外地球温暖化防止支援技術開発については公募を行い、採択に係る作業を迅速化し、公募締切から採択決定までの期間の目標である 60 日以内を達成した。なお、地域省エネにおいては外部有識者による審査委員会を開催し、採択者の絞り込みを行った。さらに、平成 16 年度に公募を実施した事業については、全採択者を NEDO ホームページ等を活用し公開するとともに、不採択の場合には全件、相手方にその理由を文書で通知した。

平成 17 年度は地域新エネビジョン、地域省エネビジョン、地域新エネ導入促進事業、地域省エネ普及促進対策事業、新エネ・省エネ非営利活動促進事業、住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業、エネルギー供給事

業者主導型総合省エネルギー連携推進事業、エネルギー需要最適マネジメント推進事業、中小水力発電開発費補助金補助事業、地熱開発促進調査及び地熱発電開発費補助金補助事業について、公募締切から採択決定までの期間である60日以内を達成した。さらに、全採択者をNEDOホームページ等を活用し公開するとともに、不採択の場合には全件、相手先にその理由を文書で通知した。

平成18年度においては、地域新エネビジョン、地域省エネビジョン、新エネ・省エネ非営利活動促進事業、住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業、エネルギー供給事業者主導型総合省エネルギー連携推進事業、中小水力発電開発費補助金補助事業、地熱開発促進調査及び地熱発電開発費補助金補助事業について、公募締切から採択決定までの期間である60日以内を達成するとともに機構外の優れた専門家・有識者を活用し客観的な審査・採択基準に基づく公正な選定を行った。した。さらに、全採択者をNEDOホームページ等を活用し公開するとともに、不採択の場合には全件、相手先にその理由を文書で通知した。

平成19年度は地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業、地域新エネルギー等導入促進事業、新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業、新エネルギー等事業者支援対策事業、住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業、エネルギー供給事業者主導型総合省エネルギー連携推進事業、中小水力発電開発費補助金補助事業、地熱開発促進調査及び地熱発電開発費補助金補助事業について、公募締切から採択決定までの期間である60日以内を達成した。さらに、全採択者をNEDOホームページ等を活用し公開するとともに、不採択の場合には全件、相手先にその理由を文書で通知した。

[中期計画]

d) 原則として全ての公募案件につき、電子政府推進本部の指摘に基づく電子申請を可能とするようなシステムの構築を行う。

[中期目標期間実績]

d) 平成15年度においては、電子申請は事業効率化の一環として行うものであるところ、平成15年度における事業効率化の作業が、事業内容の検討までに終わったため、電子申請については、平成16年度以降に検討を行う。

平成16年度においては、電子申請は事業効率化の一環として行うものであるところ、平成17年度以降、引き続き検討を行う。

平成17年度においては、電子申請は事業効率化の一環として行うものであるところ、平成18年度以降、引き続き検討を行う。

平成18年度においては、電子申請は事業効率化の一環として行うものであるところ、平成19年度以降、引き続き検討を行う。

(業務実施段階)

[中期計画]

e) 制度の趣旨に応じた柔軟な応募受付・事業実施システムを構築することにより、国からの補助金を原資とする事業との性格を踏まえつつも、年度の切れ目が事業実施の上での不必要な障壁となることのないよう、利用者本位の制度運用を行う。

[中期目標期間実績]

e) 平成15年度においては、「共同実施等推進基礎調査」につき、国内外の関係機関との調整が事業推進に不可欠であるため、日本の会計年度を超えた事業運営を行った。平成16年度においては、各補助事業の公募の早期開始などにより、事業期間の改善を図ることとした。

平成16年度において、地域新エネ、地域省エネ、地域地球温暖化防止、非営利の平成16年度公募については、期間を1ヶ月以上設定し、また公募説明会を全国4箇所で開催し、ユーザーに配慮した。また、「共同実施等推進基礎調査」については、公募の早期開始等により、事業期間の改善を図った。

平成17年度においては、地域新エネビジョン、地域省エネビジョン、地域新エネ導入促進事業、新エネ・省エネ非営利活動促進事業については公募説明会を統合し、更に全国4カ所で行い、利便性に配慮した。

平成18年度においては、地域新エネビジョン、地域省エネビジョン、地域新エネ導入促進事業、新エネ・省エネ非営利活動促進事業については公募説明会を統合し、更に全国4カ所で行い、利便性に配慮した。

平成19年度においては、地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業、地域新エネルギー等導入促進事業、新エネルギー・省エネルギー非営利活動促進事業については公募説明会を統合し、更に全国8カ所で行い、利便性に配慮した。

[中期計画]

f) 制度の利用者が容易に事業の趣旨や応募方法等を理解できるよう、事業横断的な統一マニュアルを策定により、できる限り公募方法等を統一化する。加えて、補助金交付規程等の規程類を機構のホームページ上で公開し、利用者の利便性の向上を図る。

[中期目標期間実績]

f) 平成15年度においては、地方自治体、非営利団体等を対象とする新エネルギー・省エネルギー導入普及事業の6事業につき、制度利用者にとって一層利用しやすい制度とするよう、公募に当たっての審査項目の事前開示を公募要領において統一的に実施する等公募要領の見直しとともに、補助金交付事業に関する横断的な統一マニュアルを策定した。委託事業や補助金交付事業の制度利用者に対し、委託契約に係る各種標準契約書及び委託業務事務処理マニュアル、補助金交付規程等を策定し、ホームページから自由にダウンロードできるようにした。地方公共団体等地域の新エネルギー・省エネルギー導入普及関連の類似事業を可能な限り合同・統一的に実施するため、合同での公募、公

募事前周知及び公募説明会の実施、補助要件・審査項目等の整理・合理化等を検討し、政策当局と協議し、平成 16 年度事業から反映することとした。

平成 16 年度においては、地域新エネ、地域省エネ、地域地球温暖化防止、非営利の平成 16 年度公募要領においては、全ての事業で記載項目及び順序を統一した。更に補助金交付規程等を当機構のホームページ上で公開した。

平成 17 年度においては、平成 16 年度に引き続き、更なる公募要領の改正を進めた。また平成 16 年度に引き続き、補助金交付規程等の規程類を当機構のホームページ上で公開した。

平成 18 年度においては、平成 17 年度に引き続き、制度のユーザーが容易に事業の趣旨や応募方法等を理解できるよう、事業横断的な統一マニュアルの策定や公募方法等を統一化する改善に向けての検討を実施する。また平成 17 年度に引き続き、補助金交付規程等の規程類を当機構のホームページ上で公開した。

平成 19 年度においては、平成 18 年度に引き続き、更なる公募要領の改正を進めた。また平成 18 年度に引き続き、補助金交付規程等の規程類を当機構のホームページ上で公開した。

[中期計画]

g) 制度面・手続き面の改善を毎年度着実にを行い、毎年、制度利用者からのアンケートを実施し、7 割以上の回答者から肯定的な回答を得る。

[中期目標期間実績]

g) 平成 15 年度においては、新エネルギー・省エネルギー導入事業のうち 9 事業について、制度ユーザー（補助事業者）に対し、アンケートを実施し、約 9 割から肯定的回答を、また約 7 割から事業の改善要望（事務処理の簡素化等）を得た。

平成 16 年度においては、地域新エネ、地域省エネ、地域地球温暖化防止、非営利の 4 事業について、ユーザーアンケートを実施した。その結果、補助事業の手続きについては約 5 割が複雑さを感じ、提出書類については約 7 割が多いと感じるなど評価としては低いものであったものの、それらを含めた総合評価については 8 割弱から「普通」以上の評価を得た。

平成 17 年度においては、地域新エネ導入促進事業、地域省エネ普及促進対策事業、新エネ・省エネ非営利活動促進事業の 3 事業についてユーザーアンケートを実施した結果、各事業の補助率については約 7 割が適正と評価し、補助制度の利用しやすさについては約 8 割が肯定的評価であった。それらを含めた全体評価については 9 割以上から「満足」又は「やや満足」の評価を得た。

平成 18 年度においては、平成 18 年度の地域新エネルギー導入促進事業について、ユーザーアンケートを行った。その結果、138 件中、99 件（72%）から回答があった。補助率及び設備の補助要件について、70%が適正であると評価し、利用しやすさについては、67%が肯定的意見であった。改善して欲しい点としては、「提出書類が複雑である」、「申請から交付決定まで時間がかかる」ことについての指摘が多かった。これらを含めた全体評価としては、84%から「満足」、「やや満足」との回答があった。43%のユーザーから、「本事業がなければ事業を断念していた」との回答があり、新エネの導入に大きく貢献していることを確認することが出来た。

平成 19 年度においては、地域新エネルギー等導入促進事業に係るユーザーアンケートにおいて、69%から手続きは利用しやすいとの肯定的意見を得た他、補助率については 61%が適正と回答、全体評価については 86%から満足との評価を得た。また、地域新エネルギー・省エネルギービジョン策定等事業に係るユーザーアンケートにおいては、69%が手続きは利用しやすいとの肯定的意見を得て、全体評価は 96%から満足との評価を得た。

(評価及びフィードバック)

[中期計画]

h) 技術開発、フィールドテスト事業、海外実証事業、導入普及事業の一連の事業の成果を分析・整理し、機構のホームページや新聞・雑誌及び機構の刊行物（ガイドブック、パンフレット等）を通じて積極的に情報発信を行うとともに、各種セミナー、シンポジウム、展示会等の開催を通じ、国民や関係者への積極的な啓発活動を行う。

[中期目標期間実績]

h) 平成 15 年度は実証データ、導入普及データを活用して以下のガイドブックを作成、配布した。

- ・燃料電池導入ガイドブック
- ・新エネルギー有識者データ集
- ・風力発電のための環境影響評価マニュアル

平成 16 年度は実証データ、導入普及データを活用して以下のガイドブックを作成、配布した。

- ・風力発電導入ガイドブック
- ・新エネルギーガイドブック

平成 17 年度は実証データ、導入普及データを活用して以下のガイドブックを作成、配布した。

- ・風力発電のための環境影響評価マニュアル（第 2 版）
- ・新エネルギーマップ 2005

平成 18 年度は実証データ、導入普及データを活用して以下のガイドブックを作成、配布した。

- ・新エネルギーマップ 2006

平成 19 年度は新エネルギー対策導入指導事業において 新エネシンポジウム（京都）の開催に加え、各地域においてセミナー、説明会等を 79 件開催し、延べ 7,300 名（概数）の参加を得た。また、新エネルギー等の普及用ビデオ及び、実証データと導入普及データを活用した新エネルギーマップ 2007 を作成した。

[中期計画]

- i) 機構外部の優れた専門家・有識者を活用した厳格な評価を行い、その結果を以降の事業実施及び予算要求プロセスに反映する。導入・普及事業においては、事業を取り巻く環境の変化に適切に対応するため、概ね3年ごとに制度の運用状況や改善点等について精査し、政策当局への提言等を適切に行う。

[中期目標期間実績]

- i) 平成15年度は、事業実施後、新エネルギー・省エネルギー導入事業のうち9事業について、当該年度の制度利用者に対してアンケートを実施し、平成16年度以降の事業運営の改善に反映させることとした。また、地方自治体や非営利団体等を対象とする新エネルギー・省エネルギー設備導入事業については、平成16年度に、導入設備の利用状況報告等をもとに、適切な時期に外部有識者等による精査を行い、今後の事業運営に反映させる仕組みを検討する。

平成16年度は、新エネ関連補助事業に関する制度改善要望を経済産業省に対して行い、平成17年度における地域新エネ、地域地球温暖化防止及び非営利事業の統合、太陽光補助率の定額化等が実現した。なお、導入設備の利用状況報告等を分析したところ、太陽熱の一部で計画を下回っているものはあるものの、その他の太陽光、風力について概ね良好であった。

平成17年度は新エネ・省エネ関連補助事業に関する制度改善要望を経済産業省に対して行い、平成18年度における住宅・建築物省エネ支援とBEMS導入支援の予算の統合、新エネビジョンと省エネビジョンの予算の統合等が実現した。また、新エネルギー導入普及業務に関する制度改善の一環として、平成18年度より地域新エネルギー導入促進事業においては、実施事業の普及啓発効果をより高めるため、設備導入事業と普及啓発事業を併せて実施する事業について補助対象とすることとしたほか、計画的な設備導入を支援するため、新エネルギー導入計画に基づき実施する事業について補助対象とすることとした。

平成18年度は事業の効率性向上を図るため、地域新エネルギービジョン策定等事業と地域省エネルギービジョン策定等事業を統合し、従来からの新エネルギー・省エネルギービジョンに加え、これまで別々の申請をしていたものを1回の申請で行えるように新エネルギーと省エネルギーの両方の初期ビジョンを同時に検討できる事業メニューを平成19年度より追加することとした。

平成19年度は地域新エネルギー等導入促進事業において、地域における新エネ導入事業のより一層の促進を図るため、平成20年度より地産地消型社会システム枠を設置し、地方公共団体と民間事業者が協力して実施する新エネルギー導入事業に対して、補助を行うこととした。

(3) クレジット取得関連業務

[中期計画]

クレジット取得関連業務の実施に当たっては、経済産業省及び環境省との緊密な連携の下、「京都議定書目標達成計画」に沿って実施するものとする。その際、①リスクの低減を図りつつ、費用対効果を考慮して取得すること、②地球規模での温暖化防止、途上国の持続可能な開発への支援を図ること、という観点を踏まえつつ、適切に業務を推進する。かかる目的の実現のため、以下に留意するものとする。

なお、2.(3)において「プロジェクト」とは、クリーン開発メカニズム(CDM)、共同実施(JI)又はグリーン投資スキーム(GIS)のいずれかに係るプロジェクトをいう。

[中期目標期間実績]

平成18年度は、当該事業を7月より開始。経済産業省及び環境省との密接な連携の下、クリーン開発メカニズム(CDM)、共同実施(JI)及びグリーン投資スキーム(GIS)各プロジェクトによるクレジットの取得に努めた。また、クレジット取得に当たっては、クレジット発行者からクレジットを直接取得する形態(以下、「直接取得」という。)及び、転売等によりクレジットを取得する形態(以下、「間接取得」という。)で実施した。

平成19年度は、6月より公募開始し、クリーン開発メカニズム(CDM)、共同実施(JI)及びグリーン投資スキーム(GIS)各プロジェクトによるクレジットの取得に努めた。

また、クレジット取得に当たっては、クレジット発行者からクレジットを直接取得する形態(以下、「タイプA」という。)及び、転売等によりクレジットを取得する形態(以下、「タイプB」という。)で実施した。

(企画及び公募段階)

[中期計画]

- a) CDM・JI・GISプロジェクトによるクレジットの取得に最大限努力する。
- b) クレジット取得に係る契約の相手先となる事業者等(以下「契約相手先」という。)の選定については、原則公募によるものとし、その際ホームページ等のメディアの最大限の活用等を図る。また原則として随時の応募受付と年間複数回の採択を実施する。また、必要に応じて公募説明会を開催し、契約相手先の公募に関する周知を図る。
- c) 契約相手先の選定にあつては、客観的な審査・採択基準に基づく公正な審査を行う。具体的には、その信用力、プロジェクトの内容、提案されたクレジットの価格や移転時期その他必要な事項を考慮して選定する。その際、必要に応じて世界で取引されているクレジットのデータベース等の活用などを図るなど、優れた提案を速やかに採択できるような審査体制を構築する。また、審査に当たっては、提案者の国際ルール等を踏まえた、クレジットを生成するプロジェクトに係る環境に与える影響及び地域住民に対する配慮の徹底について確認を行う。

[中期目標期間実績]

- a) 平成18年度は、7月より公募開始し、CDM・JI・GISプロジェクトによるクレジットの取得に努めた。

平成19年度は、6月7日より公募開始し、CDM・JI・GISプロジェクトによるクレジットの取得に努めた。

- b) クレジット取得に係る契約の相手先となる事業者等(以下、「契約相手先」という。)の選定に当たっては、公募開始後随時の応募受付を実施。

その周知については、

平成 18 年度においては、7 月 21 日より公募開始と共にホームページにて周知を行ったほか、国内外において京都メカニズム関連セミナーでの講演を通して本事業の周知を図った。

平成 19 年度においては、6 月 7 日より公募開始と共にホームページにて周知を行ったほか、次のとおり制度運用の改善等については適宜ホームページへの掲載及び説明会を実施し、周知を図った。

- ・ドル建てによる提案の受付及びタイプ B に係る応募資格要件等の変更（同年 10 月 15 日付）
- ・ユーロ建てによる提案の受付（同年 12 月 14 日付）

c) 契約相手先の選定について

平成 18 年度は、信用力、プロジェクトの内容、提案されたクレジットの価格及び移転時期等を考慮するとともに、外部の有識者で構成するアドバイザースタッフから専門的見知に基づく助言を書面等で受け、客観的かつ公平な審査を行った。その際、世界で取引されているクレジットのデータベースを活用し、速やかに採択審査を行った。また、審査に当たっては、提案者の国際ルール等を踏まえ、クレジットを生成するプロジェクトの環境に与える影響及び地域住民に対する配慮を徹底するため、提案者に対してヒアリングを行い、チェック項目に基づいて確認を行った。

平成 19 年度は、平成 18 年度と同様に選定を行った。

[中期計画]

- d) クレジット取得においては、リスクの低減を図りつつ、費用対効果を考慮してクレジットを取得する観点から、個々のクレジット取得におけるリスクを厳正に評価することに加えて、取得事業全体として、契約相手方やプロジェクト実施国を分散させることなどの措置を講じる。

[中期目標期間実績]

- d) 更にその選定に当たっては、平成 18 年度及び平成 19 年度共に、個々のクレジット取得におけるリスクを厳正に評価することに加えて、取得事業全体として、契約相手先、プロジェクト実施国及びプロジェクト内容が偏ることがないように考慮し選定を行った。

(業務実施段階)

[中期計画]

- e) クレジット取得に係る契約の締結に際しては、費用対効果を考慮してクレジットを取得する観点から、必要に応じて取得契約額の一部前払いを行う。この際、契約相手先の業務遂行能力・信用力等を厳格に審査するとともに、原則前払い額の保全のための措置を講じる。また実際にクレジットが移転されるまでに相当の期間を要することから、必要に応じて、複数年度契約を締結する。

- f) 契約相手先からの進捗状況に関する定期報告の提出及び随時の報告の聴取や必要に応じた現地調査等を行うことにより、プロジェクトの進捗状況の把握に努めるとともに、必要に応じて契約相手先と協議し、適切な指導を行い、当初の取得契約が遵守されるよう管理する。

[中期目標期間実績]

- e) クレジット取得に係る契約の締結に際しては、契約相手先の業務遂行能力・信用力等を厳格に審査するとともに取得契約額の一部について前払いを行う等保全措置を講じた上で、費用対効果を考慮して以下のとおりクレジットを取得する契約を締結した。

平成 18 年度：638.4 万トン

平成 19 年度：1,665.7 万トン（共に二酸化炭素換算値）

- f) 平成 18 年度においては、確実なクレジット取得の観点から、契約の締結に当たっては、プロジェクトの実施状況等についての相手先からの定期報告や必要に応じた現地調査の実施などを盛り込み、プロジェクトの進捗状況の把握により適切な指導を行えることとした。

平成 19 年度においても、同様の措置を行った。

[中期計画]

- g) クレジットの取得状況に関する情報発信を行う。具体的には、原則として、契約相手先の名称、取得契約に係るクレジット量、年間の取得総量等について適切な時期に公開する。

[中期目標期間実績]

- g) 平成 18 年度は、クレジットの総契約量について、適切な時期に公開できるよう、公開内容・方法等に係る調整を行った。

平成 19 年度においても、同様の措置を行った。

[中期計画]

- h) クレジット取得等業務を取り巻く環境の変化等を踏まえて柔軟かつ適切に対応する体制とするとともに、必要に応じた職員の能力向上、機構内の関係部門との連携を図る。また、将来のプロジェクトの案件形成にあつては、その実施が可能な地域や省エネルギー技術・新エネルギー技術等の拡大を図るため、共同実施等推進基礎調査事業など関連する業務の成果との連携を図る。これらにより、適切に効率的かつ効果的な業務管理・運営を実施する。

[中期目標期間実績]

- h) 平成 18 年度は、クレジット取得等業務に柔軟かつ適切に対応するため、クレジット取得事業の専任者を置いて業務実施体制を整備した。また、将来のプロジェクトの案件形成に当たっては、その実施が可能な地域や省エネルギー技術・新エネルギー技術等の拡大を図るため、共同実施等推進基礎調査事業など関連する業務においては、クレジット

ト取得事業との連携を重視し、効率的かつ効果的な業務運営を行った。

平成 19 年度は、クレジット取得等業務に柔軟かつ適切に対応するため、クレジット取得事業の専任者を適切に配置し業務実施体制を整備した。また、将来のプロジェクトの案件形成に当たっては、その実施が可能な地域や省エネルギー技術・新エネルギー技術等の拡大を図るため、京都メカニズム開発推進事業（共同実施等推進基礎調査事業等）など関連する業務においては、クレジット取得事業との連携を重視し、効率的かつ効果的な業務運営を行った。

（評価及びフィードバック）

[中期計画]

i) 毎年度、外部の専門家・有識者を活用したクレジット取得事業全体の評価を実施するとともに、クレジット取得の状況や事業を取り巻く環境の変化などの情報収集・分析を行い、これらを踏まえて以降の事業実施に反映させる。また、制度の運用状況や改善点等について精査し、政策当局への提言等を行う。

[中期目標期間実績]

i) 京都メカニズムクレジット取得事業全体を総合的に評価するとともに、事業を取り巻く環境の変化等の情報収集・分析を行い、これらを踏まえ以降の事業実施に反映させるため、また、制度の運用状況や改善点等を精査し、政策当局への提言等を行うため、外部の専門家・有識者で構成する「京都メカニズムクレジット取得事業評価委員会」の開催に向け、京都メカニズム事業推進部を事務局として調整を行った。

平成 19 年度においては、4 月に平成 18 年度の事業評価を同委員会を通じて行った。

（４）出資・貸付経過業務

[中期計画]

株式の処分については、管理コストも勘案の上、原則として中期目標の期間中において処分を完了するものとする。ただし、株式の公開を目指す企業の株式については、公開時期、公開後の市況等を考慮して処分を行うものとする。

貸付金の回収については、回収額の最大化に向け、計画的に進めるものとする。

[中期目標期間実績]

株式の処分については、第一期中期計画で定めた期間内に独法化時に承継した全ての株式の処分を完了した。貸付金の回収については債権の管理を適正に行い、第一期中期目標期間中において予定額を上回る回収を実現した。

（ア）研究基盤出資経過業務

[中期目標期間実績]

研究基盤出資経過業務については、以下のとおり実施した。

平成 15 年度には、(株)レーザー応用工学センターについては、清算に当たって保有している機械装置類の売却等、最大限の回収に努め、平成 15 年 12 月 10 日付けで、同センターより機構は 247,940,000 円の残余財産分配金を受領した。平成 15 年 12 月 12 日をもって、同センターは清算終了した。(株)イオン工学センター等の株式処分の在り方についての意見調整に当たっては、まず各センターの中期的な経営見通しを明らかにし、コンセンサスを得ることが必要であることから、当該経営見通しについて各センター、民間主要株主等との間で意見調整を図り、論点整理を実施した。

平成 16 年度には、(株)イオン工学センターについては、平成 16 年 11 月 24 日付けで解散を行った。また、同センターに対して、出資金の回収の最大化を図るため、出資基本契約に基づき、清算活動の適切な指導を実施した。(株)超高温材料研究センター及び(株)鉱工業海洋生物利用技術研究センターについては、株式処分の在り方について関係者との意見調整を図った。

平成 17 年度には、(株)イオン工学センターについては、出資金の最大限の回収に努め、平成 17 年 7 月 20 日に清算終了した。(株)鉱工業海洋生物利用技術研究センターにおいては、NEDO 保有株式を同センターへ、売却し、平成 17 年 10 月 11 日付けで出資基本契約を解除した。(株)超高温材料研究センターについては、平成 17 年 8 月 31 日解散し、出資金の最大限の回収に努め、平成 18 年 2 月 17 日清算終了した。

（イ）鉱工業承継業務

[中期目標期間実績]

独立行政法人化の際に旧機構から承継した株式について、第一期中期目標期間中に全ての処分を完了した。

貸付金の回収については、繰上償還等回収額の最大化に努め、第一期中期目標期間中の償還予定額 6,051 百万円に対し、予定額を上回る 6,953 百万円の回収を行った。

（ウ）探鉱貸付経過業務

[中期目標期間実績]

探鉱貸付経過業務については、以下のとおり実施した。

平成 15 年度は下期償還予定額 52,503,259 円の全額を回収した。

平成 16 年度は、平成 16 年度は償還予定額 92,762,000 円の全額を回収した。

(5) 石炭経過業務

(ア) 貸付金償還業務

[中期計画]

回収額の最大化に向け、管理コスト等を勘案しつつ、個別債務者の状況に応じた適切な措置を講じ、計画的に貸付金の回収を進める。

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中、回収額の最大化に向け、管理コスト等を勘案しつつ、個別債務者の状況に応じ策定した回収計画に基づき、計画的に貸付金を回収したことにより、一部の繰り上げ償還を含め、回収計画額6,125百万円に対し、計画を上回る22,228百万円を回収した。

(イ) 旧鉱区管理等業務

[中期計画]

廃止前の石炭鉱業構造調整臨時措置法により機構が買収し、最終鉱業権者となっている旧鉱区に関する鉱害の発生の防止のため当該鉱区及びボタ山の管理を行う。

具体的には、①旧鉱区管理業務のうち、ボタ山の巡回、防災工事については、当該ボタ山の安定状態等に応じた合理的区分を基に管理手法の定形化・マニュアル化を行い適切に管理する。②特定ボタ山の安定化工事については、平成18年度までに完了する。

また、買収した旧鉱区等に係る鉱害について、公正かつ適正に賠償するものとする。

[中期目標期間実績]

廃止前の石炭鉱業構造調整臨時措置法により機構が買収し、最終鉱業権者となっている旧鉱区に関する鉱害の発生の防止のため、中期目標（計画）期間中においては、以下のとおり、当該鉱区及びボタ山の管理を行った。

- ①旧鉱区に係るボタ山等現況調査（巡回調査）、防災工事等については、管理手法の定型化・マニュアル化を図りつつ、325炭鉱を対象に、273百万円の費用により現況調査、工事等を適切に実施し、危害・鉱害発生の防止等に努めた。
- ②特定ボタ山の安定化工事については、平成18年度をもって工事を完了した（工事費総額1,138百万円）。
- ③旧鉱区に係る鉱害賠償業務については、中期目標（計画）期間中の申し出件数計1,510件に対し、不採択（983件）及び認定（261件）の計1,244件の処理を行い、認定237件（1,394百万円）に対する鉱害について、公正かつ適正に賠償した。なお、申し出未処理案件及び認定未処理案件については、平成20年度において現地調査等を行い、公正かつ適正に処理する予定である。

(ウ) 鉱害復旧業務

[中期計画]

経済産業大臣の認可を受けた復旧基本計画に従い、関係者の理解と協力を得つつ、計画に定められた復旧工事については、平成18年度までを目途に可及的速やかに完了するよう努める。

[中期目標期間実績]

復旧基本計画において機構が実施すべき復旧工事については、平成15年度から平成18年度までの間に、総件数266件、総復旧費約59億36百万円の復旧工事を実施し、復旧基本計画どおり、全ての復旧工事を平成18年度までに完了した。

(6) アルコール関連経過業務

(ア) アルコールの多品種化

[中期計画]

市場のニーズに応えるべく、市場調査を行い、その結果を踏まえ、低コスト志向や食の安全・安心志向等顧客ニーズに合致した新たな品種のアルコールを海外のアルコールも含めて提供する。

[中期目標期間実績]

平成15年度には、市場調査を実施し、顧客ニーズに合致した「95度1級サトウキビアルコール」（原料をサトウキビ由来に限定したアルコール）の供給を平成16年5月1日から開始することとし、平成16年3月31日付け経済産業大臣の認可を得た。

平成16年度には、需要動向調査によるニーズの把握結果より、平成16年5月1日に新製品として、サトウキビ由来に限定した「95度1級サトウキビアルコール（通称「Qibix95」）」の販売を開始した。また、新たな品種のアルコールを提供するため、引き続き、市場ニーズ調査を実施し、平成17年度から提供する準備を進めた。

平成17年度には、お客様への定期的な訪問、展示会のアンケート調査・インタビュー等により、市場ニーズを把握し、お客様のニーズに合致した新製品の検討及び提供準備を進めた。具体的には、お客様ニーズのひとつである「食の安全安心」の面から原料から製品出荷までのトレーサビリティを確立した品質証明付きの製品提供の準備を進めた。また、「コーシャ」認証のアルコール製品の販売準備を完了した。

(イ) 情報の提供等

[中期計画]

顧客サービスの向上のため、以下の措置を講じる。

- i) お客様相談室を設置し、問い合わせ等の対応の迅速化を図る。

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、お客様相談室を設置し、顧客対応マニュアルの作成、問合せ内容及びその対応に関するデータベースを構築した。

平成 16 年度には、需要動向調査の結果をホームページに掲載する等、情報の提供を積極的に行った。また、日常のオペレーションとして、「お客様対応」、「顧客訪問」の記録をとり、データベース化し、情報の共有化を図った。

平成 17 年度には、お客様及び外部からの問い合わせに、より適切に対応するため、「お客様対応シート」を新たに作成し情報を共有化した。また、適宜、ホームページの情報リニューアルを行った。さらに、情報提供の充実を図るため新しいホームページのフレームの構築と内容の検討を行った。

[中期計画]

- ii) 品質管理等に関する情報については積極的に発信することとし、アルコールの販売に当たっては、顧客のニーズを反映した分析表を提供する。

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、顧客に提供するアルコールの種類に応じた品質データや使用原料に関する品質管理状況等について、問合せに応じたデータ提供を実施した。また、顧客が求める製品の品質分析値を記載したアルコール品質検査表の顧客への発行方法について、検討を開始した。全ての引渡場所の全ての製品タンクの製品アルコールについて、サンプリング分析を行い、アルコール品質検査表を発行する頻度を月 2 回から 3 回へと増加させた。

平成 16 年度には、顧客に提供するアルコールの種類に応じた品質データや使用原料に関する品質管理状況等について、問合せに応じたデータ提供・発信を実施した。また、新製品「Qibix95」の販売開始時期とあわせて、ご希望の顧客には、品質分析値を記載したアルコール品質検査表の発行を開始した。

平成 17 年度には、品質・環境管理部門の設置により、品質データや使用原料に関する品質データ等の問い合わせについて、より専門的、より迅速な対応ができた。また、アルコール品質検査表の発行を希望されたお客様に、適切に対応した。

[中期計画]

- iii) 「食の安全・安心」が重視される昨今、予測されるユーザー関連情報を早めにキャッチし、ホームページ等により適時・適切に発信する。

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、予測されるアルコールに関するユーザー関連情報を得るため、食品添加物協会等に入会し情報交換を実施した。また、「食の安全・安心」の情報として、遺伝子組み換えに係る安全性等について、ホームページに掲載した。

平成 16 年度には、直接許可使用者となつたりのある販売事業者との第 1 回懇談会を開催し、情報交換及びコミュニケーションを活発化させる先鞭をつけた。また、「食の安心・安全」の情報として、発酵アルコールの安全性、安全データシート (MSDS) 等について、ホームページに掲載した。

平成 17 年度には、平成 16 年度に引き続き、直接許可使用者となつたりのある販売事業者との懇談会を開催し、情報交換及びコミュニケーションを図った。また、特殊会社化後の販売体制等について、お客様に対して説明会を開催し、情報の提供を行った。

(ウ) 製品品質の安定化

[中期計画]

品質管理体制を確立し品質のブレを最小限にする。特に、アルコール製造部門が製造するアルコールの品質については、アルコール中の不純物含有量の標準偏差 σ を平成 16 年度には 3.0mg/L 以下 (蒸発残分については 0.10mg/100mL 以下) (標準偏差値平成 14 年度実績 4.0mg/L) にすることを目標とする。

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、製品品質の安定化を重視した製造作業を実施したことにより、標準偏差については、達成した。また、品質管理体制を確立するため、全工場において ISO9000 シリーズのうち 9001 の認証を取得した。これによって工程管理のマニュアル化、品質規格の判断基準の明確化、工程分析及び製品品質試験における責任体制を構築した。また、官能品質管理について官能パネリストの社内認定制度を整備した。

平成 16 年度には、ISO9001 の確実な運用を行っており、標準偏差の目標も達成している。また、ISO9001 については、各工場単位で認証取得していた仕組みを全工場統合化するとともに、アルコール本部の一部について適用範囲を拡大し、さらに品質管理体制の強化を進めている。

平成 17 年度には、不純物含有量の標準偏差値を維持するため、ISO9001 の運用に関し、品質管理体制の見直しを行い体制の強化を行い確実に運用実施している。さらに環境面におけるマネジメントシステムの構築を進めており、環境側面からの品質管理の強化を図るため、ISO14001 の認証を取得した。また、ユーザーのニーズである製品品質規格の

ひとつの「性状」(臭い)に対する品質分析の向上を目指し、分析手法の講習を行い、技術員・品質管理者のスキルアップを図るとともにこれまでの分析・判断基準値の見直しを行った。

(エ) 顧客満足度の向上

[中期計画]

一人ひとりの職員が顧客に信頼され、期待されることに留意しながら日常の業務を行うことにより、顧客満足度を向上させる。更に、接客態度や情報、システム等について第三者による顧客満足度調査を継続的に実施し、その結果を迅速かつ着実に業務に反映させることにより、平成 17 年度には顧客からのクレームゼロを達成する。

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、接客を中心とした営業研修(10月~12月)を販売担当者全員を参加させ、顧客に接する姿勢やマナーについて、習得させた。また、接客マニュアルを作成し、適切な運用が図れるよう担当職員に周知した。

平成 16 年度には、一人ひとりの職員が顧客に対し誠実・迅速に対応する日常業務を行うことにより、顧客からの信頼を得るとともにクレームの未然防止に努めた。第三者機関により販売事業者への「満足度調査」を実施、集計ののち、接客マニュアル等営業ハンドブックの充実を図った。

平成 17 年度には、新規に「お客様対応シート」を作成し、対応の迅速化及び確実化を実行した。また、お客様を頻繁に訪問し、要望を直接聞くことを実践した。お客様から製品品質及び充填容器へのクレームが 2 件生じたが、これに対して、速やかに原因究明を行い問題点を解決するとともに再発防止策を講じたことでお客様の信頼を回復した。なお、お客様からの問い合わせ対応に関するクレームは「0」を達成した。

(オ) 一手購入販売販売機関としての公平性・中立性の確保

[中期計画]

アルコール販売部門については、一手購入販売機関としての公平性・中立性を確保した業務運営を行う。

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、アルコールの販売について、地域、企業規模、買受数量に関係なく全ての事業者が、同時に買受注文が行えるようインターネット上のホームページの買受注文システムにより、公平、中立に業務運営を実施した。

平成 16 年度には、インターネット/Web による買受注文システムの浸透、定着化を図り、公平性・中立性を確保した。

平成 17 年度には、インターネット/Web による買受注文システムの確実な運用により、公平性・中立性を確保した。

3. 予算(人件費見積もりを含む)、収支計画及び資金計画

[中期計画]

予算、収支計画及び資金計画は以下の通り。予算の見積もりは運営費交付金の算定ルールに基づき 1.(7)の目標を踏まえ試算したものであり、実際の予算は毎年度の予算編成において決定される係数等に基づき決定されるため、これらの計画の額を下回ることや上回ることがあり得る。

なお、アルコール関連経過業務については、平成 18 年 4 月を目途にアルコール製造部門の特殊会社化が予定されていることから、平成 17 年度末までの計画とする。

(1) 予算

[中期計画]

[運営費交付金の算定ルール]

毎年度の運営費交付金 $G(y)$ については、以下の数式により決定する。

$G(y)$ (運営費交付金) = $A(y)$ (一般管理費) $\times \alpha$ (一般管理費の効率化係数) + $B(y)$ (事業に要する経費) $\times \beta$ (事業の効率化係数) + $C(y)$ (調整経費) - $D(y)$ (自己収入)

$$\left(\begin{array}{l} A(y) \text{ (一般管理費)} = Sa(y) \text{ (一般管理費人件費)} + Ra(y) \text{ (その他一般管理費)} \\ Sa(y) = Sa(y-1) \times s1 \text{ (一般管理費人件費調整係数)} \\ Ra(y) = Ra(y-1) \times \delta \text{ (消費者物価指数)} \\ B(y) \text{ (事業に要する経費)} = Sb(y) \text{ (事業費人件費)} + Rb(y) \text{ (その他事業に要する経費)} \\ Sb(y) = Sb(y-1) \times s2 \text{ (事業費人件費調整係数)} \\ Rb(y) = Rb(y-1) \times \delta \text{ (消費者物価指数)} \\ D(y) \text{ (自己収入)} = D(y-1) \times d \text{ (自己収入調整係数)} \end{array} \right)$$

$A(y)$: 運営費交付金額のうち一般管理費相当分。

$B(y)$: 運営費交付金額のうち事業に要する経費相当分。

$C(y)$: 短期的な政策ニーズ及び特殊要因に基づいて増加する経費。短期間で成果が求められる技術開発への対応、法令改正に伴い必要となる措置等の政策ニーズ、及び退職手当の支給、事故の発生等の特殊要因により特定の年度に一時的に発生する資金需要について必要に応じ計上する。

D(y)：自己収入。基本財産の運用より生じる利子収入等が想定される。
Sa(y)：役員報酬、職員基本給、職員諸手当及び超過勤務手当に相当する額。
Sb(y)：事業費中の人件費。

係数 α 、 β 、 γ 、 δ 、 s 及び d については、以下の諸点を勘案した上で、各年度の予算編成過程において、当該年度における具体的な係数値を決定する。

α （一般管理費の効率化係数）：1.（7）で平成19年度において特殊法人比15%を上回る削減を達成することとしているため、この達成に必要な係数値とする。

β （事業の効率化係数）：1.（7）で平成19年度において特殊法人比5%の効率化を行うこととしているため、この達成に必要な係数値とする。

γ （中長期的政策係数）：中長期的に必要となる技術シーズへの対応の必要性、科学技術基本計画に基づく科学技術関係予算の方針、独立行政法人評価委員会による評価等を総合的に勘案し、具体的な伸び率を決定する。

δ （消費者物価指数）：前年度の実績値を使用する。

s1（一般管理費人件費調整係数）：職員の新規採用、昇給・昇格、減給・降格、退職及び休職等に起因した一人当たり給与等の変動の見込みに基づき決定する。

s2（事業費人件費調整係数）：事業内容に基づき決定する。

d（自己収入調整係数）：自己収入の見込みに基づき決定する。

①総計

②一般勘定

③電源利用勘定

④石油及びエネルギー需給構造高度化勘定

⑤基盤技術研究促進勘定

⑥研究基盤出資経過勘定

⑦鉱工業承継勘定

⑧石炭経過勘定

⑨特定アルコール販売勘定

⑩アルコール製造勘定

⑪一般アルコール販売勘定

⑫特定事業活動等促進経過勘定

[中期目標期間実績]

①総計（別表1-1）

②一般勘定（別表1-2）

③電源利用勘定（別表1-3）

④エネルギー需給勘定（別表1-4）

⑤基盤技術研究促進勘定（別表1-5）

⑥研究基盤出資経過勘定（別表1-6）

⑦鉱工業承継勘定（別表1-7）

⑧石炭経過勘定（別表1-8）

⑨特定アルコール販売勘定（別表1-9）

⑩アルコール製造勘定（別表1-10）

⑪一般アルコール販売勘定（別表1-11）

⑫特定事業活動等促進経過勘定（別表1-12）

（2）収支計画

[中期計画]

①総計

②一般勘定

③電源利用勘定

④石油及びエネルギー需給構造高度化勘定

⑤基盤技術研究促進勘定

⑥研究基盤出資経過勘定

⑦鉱工業承継勘定

⑧石炭経過勘定

⑨特定アルコール販売勘定

⑩アルコール製造勘定

⑪一般アルコール販売勘定

⑫特定事業活動等促進経過勘定

[中期目標期間実績]

（2-1）貸借対照表

- ①総計（別表 2-1）
- ②一般勘定（別表 2-3）
- ③電源利用勘定（別表 2-5）
- ④エネルギー需給勘定（別表 2-7）
- ⑤基盤技術研究促進勘定（別表 2-9）
- ⑥研究基盤出資経過勘定（別表 2-11）
- ⑦鉱工業承継勘定（別表 2-13）
- ⑧石炭経過勘定（別表 2-15）
- ⑨特定アルコール販売勘定（別表 2-17）
- ⑩アルコール製造勘定（別表 2-19）
- ⑪一般アルコール販売勘定（別表 2-21）
- ⑫特定事業活動等促進経過勘定（別表 2-23）
- （2-2）損益計算書
- ①総計（別表 2-2）
- ②一般勘定（別表 2-4）
- ③電源利用勘定（別表 2-6）
- ④エネルギー需給勘定（別表 2-8）
- ⑤基盤技術研究促進勘定（別表 2-10）
- ⑥研究基盤出資経過勘定（別表 2-12）
- ⑦鉱工業承継勘定（別表 2-14）
- ⑧石炭経過勘定（別表 2-16）
- ⑨特定アルコール販売勘定（別表 2-18）
- ⑩アルコール製造勘定（別表 2-20）
- ⑪一般アルコール販売勘定（別表 2-22）
- ⑫特定事業活動等促進経過勘定（別表 2-24）

（3）資金計画

[中期計画]

- ①総計
- ②一般勘定
- ③電源利用勘定
- ④石油及びエネルギー需給構造高度化勘定
- ⑤基盤技術研究促進勘定
- ⑥研究基盤出資経過勘定
- ⑦鉱工業承継勘定
- ⑧石炭経過勘定
- ⑨特定アルコール販売勘定
- ⑩アルコール製造勘定
- ⑪一般アルコール販売勘定
- ⑫特定事業活動等促進経過勘定

※アルコール製造勘定については、平成 17 年度末に、手元流動性（現金預金及び有価証券の合計額）を 30 億円以上確保するとともに（平成 14 年度実績 15.3 億円（借入金 8.7 億円除く）、固定比率（固定資産／自己資本）を 100%未満にする（平成 14 年度実績 95.1%）。

また、特殊会社化に向けた準備を進めるとともに、特殊会社化後の速やかな完全民営化を図るため、財務状況や経営状況に関する情報を年 2 回以上ホームページ等を通して公表する。

[中期目標期間実績]

- （3）キャッシュフロー計算書
- ①総計（別表 3-1）
- ②一般勘定（別表 3-2）
- ③電源利用勘定（別表 3-3）
- ④エネルギー需給勘定（別表 3-4）
- ⑤基盤技術研究促進勘定（別表 3-5）
- ⑥研究基盤出資経過勘定（別表 3-6）
- ⑦鉱工業承継勘定（別表 3-7）
- ⑧石炭経過勘定（別表 3-8）
- ⑨特定アルコール販売勘定（別表 3-9）
- ⑩アルコール製造勘定（別表 3-10）
- ⑪一般アルコール販売勘定（別表 3-11）
- ⑫特定事業活動等促進経過勘定（別表 3-12）

4. 短期借入金の限度額

[中期計画]

運営費交付金の受入の遅延、補助金・受託業務に係る経費の暫時立替えその他予測し難い事故の発生等により生じた資金不足に対応するための短期借入金の限度額は、600億円とする。

[中期目標期間実績]

なし。

5. 重要な財産の譲渡・担保計画

[中期計画]

事務所の川崎市への移転に伴い必要となる職員用宿舍を整備するため、土地（東京都世田谷区祖師ヶ谷1丁目）を売却する。

[中期目標期間実績]

事務所の川崎市への移転に伴い必要となる職員用宿舍を整備するため、土地（東京都世田谷区祖師ヶ谷1丁目）を平成16年12月に売却した。

6. 剰余金の使途

[中期計画]

各勘定に剰余金が発生したときには、後年度負担に配慮しつつ、各々の勘定の負担に帰属すべき次の使途に充当できる。

- ・研究開発業務の促進
- ・広報並びに成果発表及び成果展示等
- ・職員教育・福利厚生の実施と施設等の補修・整備
- ・事務手続きの一層の簡素化・迅速化を図るための電子化の推進
- ・債務保証に係る求償権回収等業務に係る経費
- ・原材料等の急激な変動によるアルコール販売価格の上昇が見込まれる場合の価格調整
- ・アルコール製造業務の運営の効率化を図るために特に必要な事業がある場合の投資

[中期目標期間実績]

なし。

7. その他主務省令で定める事項等

(1) 施設及び設備に関する計画

[中期計画]

アルコール製造業務における業務運営の効率化、そのために必要なアルコール製造業務における収入基盤の多様化及びユーザーニーズに応えるための設備投資を行う。また、事務所の川崎市への移転に伴い必要となる職員用宿舍の整備を行う。

施設・設備に関する計画

<区分>	<金額(百万円)>
1 製造設備整備	800
2 事業多様化設備整備	598
3 職員用宿舍整備	125
計	1,523

(注)上記の計画については、状況の変化に応じ柔軟に対応するものとし、予見しがたい事情による施設・設備の追加により変更される場合がある。

[中期目標期間実績]

アルコール製造業務における業務運営の効率化、そのために必要なアルコール製造業務における収入基盤の多様化及びユーザーニーズに応えるための設備投資については、以下のとおり実施した。

平成15年度には、製造業務の効率化に必要な設備整備について、早急に整備する必要がある設備について優先し実施した。また、新製品（サトウキビアルコール）の販売に必要な出荷設備の整備を開始した。

平成16年度及び平成17年度には、安全・環境・法律等に関する設備投資について、高い優先順位で実施した。製造業務における業務運営の効率化に必要な投資案件について、予想されるキャッシュフローリターンの大きさを経済価値を評価し、妥当な投資額の決定をして経営基盤の強化に努めた。

また、事務所の川崎市への移転に伴い、平成17年度に職員用宿舍を整備した。

第1期中期目標期間中の設備・整備に関する実績

<区分>	<金額(百万円)>
1 製造設備整備	1,034

2 事業多様化設備整備	0
3 職員用宿舍整備	115
計	1,149

(2) 人事に関する計画

[中期計画]

(ア) 方針

・研究開発マネジメントの質的向上、組織としての柔軟性の確保・多様性の向上等の観点から、産官学から有能な外部人材を外向で積極的に登用し、一体的に運用するとともに、能力の最大活用を図る。

(イ) 人員に係る指標

・研究開発業務、導入普及業務については、業務のマニュアル化の推進等を通じ、定型化可能な業務は極力定型化し、可能な限りアウトソーシングないし派遣職員等を活用することにより、職員をより高次の判断を要するマネジメント業務等に集中させるとともに、職員数の抑制を図る。

(参考1) 常勤職員数

- ・期初の常勤職員数 1,262 人
- ・期末の常勤職員数の見積もり 981 人

(注1) 上記の期初の常勤職員数には、平成17年度末を目途に終了することが予定されているアルコール関連経過業務に係る職員(242人)が含まれる。

(注2) 上記の常勤職員数には、産業技術及びエネルギー・環境技術に係る事業を円滑に実施するために、民間、大学等から専門性を有する外部人材を充てた職員が含まれる。事業規模等に応じ人員の増減があり得る。

(注3) 上記の常勤職員数については、行政改革の重要方針(平成17年12月24日閣議決定)を踏まえた人件費削減を最大限実現するための対象の見直しを反映したものである。

(参考2) 中期目標期間中の人件費総額

中期目標期間中の人件費総額見込み 38,714 百万円

但し、上記の額は、①に係る役員報酬並びに職員基本給、職員諸手当、超過勤務手当に相当する範囲の費用であり、平成17年度末で終了が予定されているアルコール関連経過業務の平成17年度までの分が含まれる。また、行政改革の重要方針(平成17年12月24日閣議決定)を踏まえた人件費削減を最大限実現するための常勤職員の対象の見直しを反映した上での常勤職員数に応じたものである。

[中期目標期間実績]

(ア) 方針

・研究開発マネジメントの質的向上、組織としての柔軟性の確保、多様性の向上等の観点から、固有職員、出向職員の一体的運用を図るため、職制を統一するとともに、全職員を対象にした人事評価制度を構築、導入した、

・固有職員の育成に関する方針を作成するとともに、外部組織等への派遣、研修の充実、職員の適性を踏まえた人事異動や新規採用職員の配置を検討し実施した。

(イ) 人員に係る指標

・資産管理登録システムの構築、給与計算・人事管理等を行うためのシステムの改修を実施し、業務効率化を図った。
 ・「業務効率化ワーキングチーム」を設置し、業務マニュアル、日常業務に関する手引き等の整備を定期的に行い、業務効率化を図った。

・伝票処理、旅費交通費計算等の庶務業務について任期付職員を積極的に活用するとともに、任期付職員への研修、給与体系の見直し等を実施し能力の最大化を図った。

(参考1) 常勤職員数の実績

- ・期初の常勤職員数 1,262 人
- ・期末の常勤職員数 947 人

(参考2) 中期目標期間中の人件費総額の実績

中期目標期間中の人件費総額実績 38,209 百万円

(3) 中期目標の期間を超える債務負担

[中期計画]

中期目標の期間を超える債務負担については、研究開発委託契約等において当該事業のプロジェクト基本計画が中期目標期間を超える場合、当該債務負担行為の必要性・適切性を勘案し合理的と判断されるもの及びクレジット取得に係る契約について予定している。

[中期目標期間実績]

平成18年度及び平成19年度に京都メカニズム・クレジット取得に関し、中期目標の期間を超える債務負担による契約を締結した。

(4) 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第19条第1項に規定する積立金の使途

[中期計画]

なし。

[中期目標期間実績]

なし。

(5) その他重要事項

[中期計画]

- ・独立行政法人制度に基づく外部監査の実施に加え、計画的に内部業務監査や会計監査を実施する。なお、監査組織は、単なる問題点の指摘に留まることなく、可能な限り具体的かつ建設的な改善提案を含む監査報告を作成する。

[中期目標期間実績]

- ・毎年度監査計画を作成し計画的な監査を実施するとともに、監査を効果的かつ効率的に行うため、平成16年度に監査チェックリストを導入し、業務監査、会計監査を実施した。

[中期計画]

- ・業務の進捗状況管理機能を強化し、問題点を総務・企画部門にフィードバックし、業務改善に反映させる。

[中期目標期間実績]

- ・委託契約や補助金交付業務について、公募開始一ヶ月前の事前周知、3月末までの公募開始、採択決定に要する期間及び継続案件の契約締結期間の短縮化を踏まえて進捗状況管理を実施した。この結果、それぞれの案件について着実な履行を確保した。

[中期計画]

- ・資金の適切な使用（内部での予算執行、民間企業等への委託・助成等の全てを対象として）を確保するため、相互牽制機能の充実を図るとともに、検査体制の強化等によるコンプライアンス体制の構築と適切なチェック機能の発揮を図る。

[中期目標期間実績]

- ・平成15年度に委託金や補助金に係る契約・検査等の統一的運用を図り資金の適切な使用を確保するため、「検査・業務管理部」を設置するとともに、各事業部に契約・検査担当主幹を配置し牽制・チェック機能を確保した。また、契約・検査担当職員の検査能力の向上に資するという観点から、平成18年度以降、内部研修の充実に努め、新規入構者向けから実務経験者向けまで受講者のレベル別に研修を実施（平成18年度16回開催のべ210名参加、平成19年度22回開催のべ410名参加）するとともに、検査業務を専門とする職員の再配置を行うなど、検査体制の強化を図った。
- ・機構の社会的信頼及びコンプライアンス体制の維持を図るため、職員に対し、職員倫理、情報管理、情報公開、個人情報管理に関する教育研修を毎年度実施し、公平・公正な職務遂行の徹底を図った。また、職員倫理や情報管理等に関する具体的な対応手順等を示した各種マニュアル（倫理手引き、情報公開・個人情報管理・流出時対応、苦情対応）を整備し、職員へ周知を図った。更に、内部通報窓口・外部通報窓口を設置し通報の受付体制を整備するとともに、不正等に対する厳格措置、論文等の捏造・改ざん・盗用への対応等の規定を整備し、内外における不正等の早期発見及び是正の仕組みを整えた。

・技術分野毎の事業

< 1 > ライフサイエンス分野

[中期計画]

我が国で今後本格化する少子高齢社会において、健康で活力に満ちた安心できる生活を実現するため、健康・医療基盤技術、生物機能を活用したプロセス技術等の課題について重点的に取り組むこととし、以下のような研究開発を推進するものとする。

①健康・医療基盤技術

[中期計画]

国民ひとりひとりが健康で安心して暮らせる社会を実現するため、テーラーメイド医療等の実現に必要な遺伝子機能情報等の基盤的知見の蓄積を目指し、遺伝子、タンパク質、糖鎖等生体分子の機能・構造等の解析、代謝等の生命現象の解明を行う。また、これらの解析をより効率的に行うため、電子技術やナノテクノロジーを活用した生体情報測定解析技術や創薬候補物質のスクリーニング技術の開発、ゲノム情報や生体情報データベースを効率的に蓄積・検索・解析するためのバイオインフォマティクス技術の開発を行う。さらに、疾病の早期の診断・治療を可能とする医療機器等の開発、回復が期待できない身体機能を代替することができる代替・修復システムの開発及び加齢や疾病等によって衰えた身体機能を補助できる社会参加支援機器等の開発を行い、加えて、医療・福祉等の現場にそれらの技術が円滑に導入されることを支援するためのデータ提供等や、機械操作等人間の行動特性に適合させた製品技術に関する研究開発等を行う。

<健康安心プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》基礎研究から臨床研究への橋渡し促進技術開発 [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

少子高齢化が進む中、がん、生活習慣病、免疫・アレルギー疾患、精神神経疾患等に関する先端的医療技術の創出を目指す。医療現場のニーズに基づき、急速に発展している多様なバイオ技術、工学技術等の基礎・基盤研究の成果を融合し、また民間企業と臨床研究機関が一体となって、円滑に実用化につなげることを目的として、以下の技術開発を推進した。

平成19年度は、6月19日～7月18日の公募期間中に応募のあった127件（うち1件は辞退）の提案について、外部有識者による書面審査、並びに、文部科学省及び厚生労働省が実施する臨床研究・橋渡し研究関連施策との共通委員会を含む採択審査委員会における審査の結果を踏まえ、10件の提案を採択とし、以下の技術開発に着手した。

(1)創薬技術

①遺伝子発現解析技術を活用した個別がん医療の実現と抗がん剤開発の加速（橋渡し研究）

(2)診断技術

①アルツハイマー病総合診断体系実用化プロジェクト：根本治療の実現に向けて（橋渡し研究）

(3)再生・細胞医療技術

①再生・細胞医療の世界標準品質を確立する治療法および培養システムの研究開発（橋渡し研究）

②間葉系幹細胞を用いた再生医療早期実用化のための橋渡し研究（橋渡し研究）

③再生医療材料の安全性の確立と規格化及び臨床研究への応用（レギュラトリーサイエンス支援のための実証研究）

④糖鎖プロファイリングによる幹細胞群の品質管理、安全評価システムの研究開発（先導研究）

(4)治療機器

①X線マイクロビーム加速器による次世代ミニマムリスク型放射線治療システムの研究開発（橋渡し研究）

②疾患動物を用いた新規治療機器の安全性・有効性評価手法の開発（レギュラトリーサイエンス支援のための実証研究）

③次世代型高機能骨・関節デバイスの研究開発（先導研究）

④再狭窄予防を目的とした薬剤溶出型PTAバルーンカテーテル（NFκBデコイコーティング）の研究開発（先導研究）

《2》化合物等を活用した生物システム制御基盤技術開発 [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

創薬ターゲット候補となりうるタンパク質の相互作用解析などにより創薬ターゲット候補の絞り込みを行うとともに、疾患等の生物現象を制御する新規骨格化合物等の探索・評価を行う技術の開発を目的として、以下の研究開発を実施した。

平成 18 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物情報解析研究センターチーム長 夏目 徹氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) タンパク質の相互作用解析等により創薬ターゲット候補・疾患メカニズムを解明する技術の開発

タンパク質相互作用のネットワークを超高感度・高速で解析するために質量分析システムの改良と、細胞内でのタンパク質相互作用を検証するため、標的タンパク質に特異的に結合する抗体様分子プローブを高速に作製する基盤技術を確認し、これに対応した自動化装置を作製した。また、標的となる 2 つのタンパク質情報から相互作用ドメインを予測する構造シミュレーションシステムのプロトタイプを構築した。

(2) 生物機能を制御する化合物等を探索・評価する技術の開発

メモリーダイ法によりタンパク質間相互作用をプレートリーダーにて高効率に検出するためにミラーやフィルターの検討を行ない 3 倍のシグナル増強を達成し、また、メモリーダイに使用する蛍光タンパク質自体の改良も行ない蛍光タンパク質の蛍光輝度を 2 倍アップさせた。スクリーニング系として蛍光技術を応用し、*in vitro* および細胞レベルで天然物サンプルに適用可能なハイスループットアッセイシステムを構築した。また、スクリーニングにより得られた生体機能を制御する化合物について、化合物の誘導体化技術開発や新規骨格化合物の創製技術開発等を行い、これにより生理活性等を高める高機能化技術の開発に着手し、環状ペプチドライブラリーの高速合成技術および天然物類似の新規骨格化合物の創成技術を開発した。

また、(1)(2)の両研究開発項目において具体的疾患として糖尿病等の慢性疾患を中心に取りあげ、感受性遺伝子群のネットワーク解析技術、siRNA ライブラリー等を用いた生物機能制御遺伝子探索技術、タンパク質相互作用計測技術を組み合わせることで、創薬ターゲット分子を得る簡便で効率の良いゲノム創薬技術の開発を行い、薬剤に応答して糖の生産能力を評価できる肝臓由来の培養細胞系を構築した。構築した系については、任意の市販化合物を評価し妥当なアッセイ系であることを確認した。更に、金ナノ粒子センサを疾患関連タンパク質解析に適用するに当たり、糖尿病との関わりが示唆されている PPARA と RXRA の相互作用を検出することで有効性を確認した。

平成 19 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物情報解析研究センターチーム長 夏目 徹氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) タンパク質の相互作用解析等により創薬ターゲット候補・疾患メカニズムを解明する技術の開発

多種類の細胞を使用した解析システムの高度化では、自動細胞回収システムの開発により、従来の解析感度を約 20 倍アップすることに成功した。

この高感度システムを用いて、HEK293T 細胞を使った従来の疾患関連タンパク質相互作用解析により、相互作用情報を 1,500 個以上取得し、このなかで、160 個が疾患のメカニズムに深く関わることを解明した。さらに、ペプチド系ヒストンデアセチラーゼ (HDAC) 阻害剤 spiruchostatin について、これまで得られている構造活性相関に基づき、さらなる *in silico* シミュレーションにより高活性誘導体の候補化合物を選抜した。これらの化合物については、合成を行い、元化合物の 50~100 倍強力な活性を示す HDAC 阻害剤の開発に成功した。

(2) 生物機能を制御する化合物等を探索・評価する技術の開発

各種構築した計 16 アッセイ系でヒットしたサンプルの単離・同定を行い、百個以上の既知化合物（重複は除く）と 17 個の新規化合物を見出した。また、製薬企業等が所有する微生物等の天然物ライブラリー、或いは創薬を目的としたフォーカスド合成ライブラリーについて、15 社より計 70,000 サンプル以上の供給を受けるとともに、384-well ベースでのハイスループットスクリーニングが可能なサンプル管理システムとして確立した。

また、(1)(2)の両研究開発項目において具体的疾患として取りあげている糖尿病について、遺伝子破壊マウスや遺伝子過剰発現マウスの表現型から抗肥満・抗糖尿病因子として知られる AGF (Angiopoietin-related growth factor) および AGF ファミリー遺伝子の機能解析等により、肝実質細胞が AGF の標的細胞のひとつであり糖新生抑制作用を有すること、また、AGF の糖新生抑制作用について詳細に解析し、その作用メカニズムを明らかにした。金ナノ粒子センサによる相互作用解析技術については、商品化に耐えうる検出感度を達成し、平成 19 年度をもって前倒しで終了した。

《3》モデル細胞を用いた遺伝子機能等解析技術開発

《3》-1 研究用モデル細胞の創製技術開発 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

新薬の安全性と開発効率の向上を図るための研究ツール・基盤技術となるヒト ES 細胞由来の研究用モデル細胞を構築することを目的に、以下の研究開発を実施した。

平成 17 年度は、京都大学再生医科学研究所教授 中辻 憲夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) ヒト ES 細胞の加工技術開発

最適な遺伝子導入方法の開発を目的に、最適な試薬と至適条件検討のため、エレクトロポレーション法とリポフェクション法を中心に検討を進めた。また、アデノウイルスなど約 10 種類のウィルスベクターの導入効率を比較するため、GFP を組み込んだベクターの構築を進めた。

(2) ヒト ES 細胞の分化誘導制御技術開発

マウス ES 細胞を用いて、単一細胞レベルで心筋分化を誘導できる新しい誘導系の開発と、心筋前駆細胞の同定と純化及び誘導心筋細胞の純化に成功した。また、マウス ES 細胞の培養下で特定の時期に種々の成長因子を添加することにより、内胚葉前駆細胞、そして未熟な肝細胞への分化誘導の至適条件の検討を行い、アクチビン A が重要な役割を果たすことを見いだした。

平成 18 年度は、京都大学再生医科学研究所 教授 中辻 憲夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発

を実施した。

(1) ヒト ES 細胞の加工技術開発

従来法に比べ数倍程度遺伝子導入効率が高まるトランスフェクション条件を見いだすとともに、京都大学再生医科学研究所で樹立したいずれのヒト ES 細胞株に対しても最も導入効率が高い条件であることを確認した。相同組み換え技術については、サル ES 細胞で樹立した条件を適用し、HPRT1 遺伝子部位へのネオマイシン耐性遺伝子の相同組み換えに成功した。また、構築した種々のウイルスベクターについて、サル ES 細胞を用いた導入実験によって、一過性導入、安定導入、相同組み換えの高効率化に成功した。

(2) ヒト ES 細胞の分化誘導制御技術開発

サル ES 細胞による Noggin を用いた神経幹・前駆細胞への最適な誘導条件の検討を進めた。誘導心筋細胞については自動に関与するイオンチャンネルを解析し、重要なチャンネルを明らかにした。肝臓特異的発現遺伝子のプロモーター／レポーター系を導入した安定細胞株を用いた評価系を構築した。また、マウス ES 細胞から肝細胞分化を誘導する系のヒト ES 細胞への至適化を進めた。細胞外環境の人工的再構築については、マウスの発生の初期及び中期における主要基底膜成分 20 個の局在解析を行った。また、人工基底膜を構成する成分として重要なIV型コラーゲンの新規精製法を構築した。更に、疑似基底膜を用いたサル ES 基底膜を細胞の未分化維持培養により機能評価を行うとともに、基底膜構造体の形成に関わるヒトシンデカン接着受容体の安定発現株を作成した。

(3) 研究用モデル細胞の構築技術の開発

神経変性疾患の原因となる遺伝子の恒常的発現及び発現調整を可能とするベクターの構築を進めた。血液脳関門モデルの構築については、構築に必要なアストロサイト、神経細胞の調整技術を確立した。肝臓細胞についてはコラーゲンサンドイッチ培養法を用いた定量的な評価を可能とするための方法論を構築した。また、細胞集団の構成的配置技術と1細胞多電極アレイ刺激計測技術を組み合わせ、薬剤添加による細胞の応答計測を可能とするデバイス構築に関する検討を行い、従来の細胞単位から神経突起単位での電位計測を可能とした。

平成 19 年度は、京都大学再生医科学研究所 教授 中辻 憲夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) ヒト ES 細胞の加工技術開発

効率的な同一プロモーターによる複数導入遺伝子発現システムを構築した。ヒト ES 細胞とそのサブラインについて遺伝子発現の網羅的比較解析を行い、ヒト ES 細胞を扱い易くする分子候補を見出した。Tet-On/Off システムを用いヒト ES 細胞の分化誘導が可能であることを見出した。さらに、非増殖性組換えウイルスベクターを用いヒト ES 細胞に高効率で遺伝子導入可能な系の開発に成功した。KhES-1 株以外に KhES-3 株でも HPRT 遺伝子の相同組み換えに成功した。相同組み換え体への遺伝子置換技術も構築した。より安定したマイクロ RNA 発現による遺伝子発現抑制システムを構築した。さらに、shRNA を誘導的に発現させ、遺伝子発現を特異的に抑制することに成功した。

(2) ヒト ES 細胞の分化誘導制御技術開発

継続して神経及び肝細胞分化誘導法の最適化を進め高効率或いは高成熟度の誘導法を開発した。また、心筋及び心筋前駆細胞への高い効率効率を示す画期的な誘導法を発見した。心筋細胞純化法や、電気生理学的解析法の基礎的技術も確立した。さらに、分子構成を最適化した人工基底膜による分化誘導制御技術開発では、マウス胚主要基底膜分子 20 種の局在解析を完了し、発生における基底膜分子構成を連続的に解析する情報基盤が整備された。IV 型コラーゲンラミニンからなる第 1 世代人工基底膜を構築し、活性評価を行った。疑似基底膜を利用した分化誘導制御技術の開発では、ヒト ES 細胞の維持・分化誘導に特化した基底膜構造体の培養基質を創製し、ES 細胞分化研究グループへ提供した。

(3) 研究用モデル細胞の構築技術の開発

代表的神経変性疾患原因遺伝子の変異遺伝子の発現ベクターの構築を完了し、変異遺伝子を安定発現するヒト ES 細胞株の樹立を行った。*In vitro* 血液脳関門 (BBB) モデルの創製では、ヒト ES 細胞から血管内皮細胞や血管周皮細胞の分化誘導を確認し、血管内皮細胞 (VE-cad 陽性) の高純度調製に成功、mesh-fib デバイスの活用による近接共培養構築形態を事前検討した。肝細胞薬物評価系確立では、サンドイッチ培養肝細胞による排出トランスポーターの寄与率解析法の確立並びに肝クリアランスを予測するための方法論を構築し、複数の化合物を用いた検証を行った。さらに、薬物動態スクリーニングの明確な基準作りを行った。オンチップ・ヒト組織・臓器モデルを用いた毒性・創薬支援技術の研究開発では、1細胞ネットワーク計測システムの構築・薬剤添加実用計測系のハードウェアを試作構築し、光学計測と電気計測を組み合わせた評価ソフトウェアを考案、開発に成功するなど、特に心筋、神経細胞を用いた計測システム、計測手法の開発に関して多くの成果を得た。

なお、平成 19 年度に実施した中間評価を踏まえ、創薬産業の利用ニーズに基づき実用化への道筋を随時見直し、実用化可能性を考慮した優先課題への重点化を図るとともに、構築したモデル細胞の評価基準を明確化し、解析データを以降の開発にフィードバックしながら実用化に向けた開発を着実に進めた。今後、必要に応じて目標値の見直しや新規技術の導入を行うとともに、開発した技術の iPS 細胞への適用等の検討を行うこととした。

《3》－2 細胞アレイ等による遺伝子機能の解析技術開発 [平成17年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

創薬ターゲット候補遺伝子の絞り込みプロセスの効率化につながる汎用性の高い解析ツールの開発を目的として、以下の研究開発を実施した。

平成 17 年度は、東京大学大学院 薬学研究科 教授 杉山 雄一氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) トランスフェクションアレイを用いた遺伝子機能の解析技術開発

乳ガン細胞を対象として遺伝子バスウェイ解析を行うため、乳ガン患者のデータを用いて、解析対象とする候補遺伝子の絞り込みを行った。また、解析に用いる株化細胞を選定し、その遺伝子構造の解析を進めるとともに、トランスフェクションアレイ装置を当該細胞種に適応させるため、培養条件、遺伝子導入条件を確立する等、大規模解析のための準備を進めた。

(2) リン酸化アレイを用いた遺伝子機能解析技術開発

一般的に導入が困難とされている糖生産機能を有する肝臓由来の培養細胞株に対して約 70%の効率で遺伝子導入が可能な技術を開発した。また当該細胞に血糖降下剤を刺激として与えた際の糖生産能変化を経時的に観察可能とし得るリン酸化アレイシステムの開発を進めた。

(3) 定量化リン酸化プロテオーム解析による細胞モニタリング技術開発

神経系、消化器系、筋肉系の細胞に対するタンパク質導入法の検討を進め、約 8 割の細胞種に対して 50%以上の導入効率があることを確認するとともに、未分化な細胞への導入効率が悪いことが明らかとなった。また、細胞を刺激した際のリン酸化の変動について、一度の実験で 200 種類前後のリン酸化ペプチドを定量できる方法を確立した。

平成 18 年度は、東京大学大学院 薬学研究科 教授 杉山 雄一氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) トランスフェクションアレイを用いた遺伝子機能の解析技術開発

TRAIL とアポトーシス関連遺伝子に対する shRNA を用いた解析により、遺伝子のピックアップを行った。時系列データの新規解析技術の開発を進め、細胞系におけるデータ処理手法および特徴抽出方法を確立した。個別細胞の認識と自動追跡を行うためのシステムの構築、さらに、遺伝子に関する自動化技術として確率プーリアンネットワークを計算するアルゴリズムを開発した。乳ガン培養細胞に適した樹立条件を確立するとともに、56 例の初代培養中 10 例を株化候補として抽出するに至った。ガン細胞に関する遺伝子発現プロファイリングによりパクリタキセル感受性を規定する 106 個の候補遺伝子を選び、テキストマイニングによるネットワーク解析によりその役割の評価を行うと共に、実験的にも重要な遺伝子についての絞り込みを行った。さらに、皮膚由来初代培養細胞（線維芽細胞、表皮細胞）を樹立した。

(2) リン酸化アレイを用いた遺伝子機能解析技術開発

siRNA の導入において、蛍光標識オリゴ核酸を用いた FACS による導入の最適化により 90%以上の効率で導入可能とした。さらには、メトフォルミン薬効のリン酸化マーカーをリン酸化アレイによるリン酸化プロファイリングにより見出し、その妥当性検証をモデル動物組織や細胞系での遺伝子発現プロファイル解析と平行して開始した。

(3) 定量化リン酸化プロテオーム解析による細胞モニタリング技術開発

呼吸器、生殖器ならびに上皮系細胞株、計 78 種類について検討し、約 80%の細胞株において 50%以上と高効率なタンパク質導入効率を得られた。ヒトガン細胞、マウス神経由来の細胞等から、約 3400 種のリン酸化ペプチド同定を行い、定量精度を高めるために合成ペプチド 300 種類を用意し、これらを内部標準ペプチドとして、LC/MS による定量測定を開始した。

平成 19 年度は、東京大学大学院薬学研究科教授 杉山 雄一氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) トランスフェクションアレイを用いた遺伝子機能の解析技術開発

トランスフェクションアレイ (TFA) の改良を行い最適化した細胞株数を増やし、また浮遊系細胞用 TFA 技術の研究開発を進めた。細胞時系列解析用「細胞運動性評価チップ」を用い siRNA を導入し、時系列データを評価することにより、ガン浸潤の一因である運動にかかわる遺伝子のスクリーニングを行った。ガン細胞に関する遺伝子発現プロファイリングによりパクリタキセル感受性を規定する 106 個の候補遺伝子から、テキストマイニングによるネットワーク解析を行い、64 遺伝子まで絞り込みを終了した。また TRAIL 感受性制御関連遺伝子を TFA で検索し、アポトーシス促進遺伝子 14 種類を絞り込みバスウェイ解析を行った。

(2) リン酸化アレイを用いた遺伝子機能解析技術開発

細胞内リン酸化シグナルに関係するキナーゼとフォスファターゼの siRNA セット (約 3500 配列) の機能評価を展開した。一方、「リン酸化アレイシステム」によりメトフォルミン薬効に強く関与しているリン酸化シグナルをリン酸化プロファイリングにより見出した。妥当性検証を行った後、これを活用した機能評価技術を開発した。本研究は所期の目標を達成したため、平成 19 年度で終了した。

(3) 定量化リン酸化プロテオーム解析による細胞モニタリング技術開発

ペプチドに RNA 結合蛋白質を付加した膜透過性蛋白質の開発を行い、siRNA が効率よく細胞内に導入され、難しいとされた初代神経細胞においても効率よく導入されることが明らかになった。細胞内のリン酸化タンパク質を質量分析にて効率的に同定できる方法を開発し、マウス脳から 1900 種類余り、マウス神経由来の Neuro2a 細胞から 1700 種類余りのリン酸化タンパク質を同定し、ヒト由来の臓器が異なる 5 種類の癌細胞に発現している数千種類のタンパク質のセミ定量を完了した。本研究は所期の目的をほぼ達成したため、平成 19 年度で終了した。

なお、平成 19 年度に実施した中間評価を踏まえ、今後の創薬研究のトレンドを作るものとして高い評価を得た当該技術の汎用性を高め、創薬支援技術として実用化に繋げるため、海外の競合研究との比較及び創薬メーカー等のユーザーニーズ調査により出口イメージを明確化し、課題を整理した上で着実に開発を進めるとともに、実施体制の見直しを行った。

《4》新機能抗体創製技術開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

産業上有用なタンパク質やその複合体等について、タンパク質を抗原として特異性の高い抗体を系統的に創製するた

めの技術及び抗体の分離・精製を効率化するための技術を開発することを目的として、以下の研究開発を実施した。

平成 18 年度は、東京大学 先端科学技術研究センター 教授 児玉 龍彦氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 系統的な高特異性抗体創製技術の開発

膜タンパク質等（抗原）の系統的な産生技術において、癌表面マーカータンパク質および GPCR に対する抗体作製のための発現ウイルス、gp64Tg/目的抗原 KO マウス、スクリーニングに用いる stable 発現系等を樹立した。高特異性・高親和性・高機能性を有する抗体の効率的な創製技術において、免疫寛容にかかわる膜タンパク質に対する特異的抗体投与マウスに、目的抗原発現ウイルスを免疫し、抗原発現ウイルス単独免疫に比べ、効率の良い抗体産生を認めた。また、当該膜タンパク質のリガンド発現ウイルスを作製し、目的抗原発現ウイルスとの共免疫による免疫寛容打破法の開発を開始した。新たな標的分子探索において、乳癌（101 例）、食道癌（46 例）の発現プロファイルから、各がんの特異的に発現し、かつ細胞膜に局在する遺伝子を、それぞれ 31 個、28 個抽出した。

(2) 高効率な抗体分離精製技術の開発

多品種の抗体分子に対応する結合・解離特性の最適なアフィニティー・リガンド分子の設計・創製技術の開発を目的として、抗体結合分子であるプロテインA配列を元に、カルボキシル末端側もしくはアミノ末端側を介して一箇所だけ担体に結合可能な形態にアミノ酸配列を改変し、可変したアミノ酸配列を元に人工遺伝子を作製し、大腸菌での大量発現を行った。抗体アレイ上での結合特性をタンパクの UV 吸収の強度で測定・定量する装置の試作 1 号機を開発した。シリカモノリス構造を抗体分離担体に適するようマクロ細孔径、メソ細孔径をコントロールする技術を確認し、アミノ基の高密度修飾を達成した。ヒトポリクローナル抗体の最大静的結合量として、90mg/mL 担体を達成した。

平成 19 年度は、東京大学 先端科学技術研究センター 教授 児玉 龍彦氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 系統的な高特異性抗体創製技術の開発

多種類マイクロチップデータの比較及びエクソンアレイ法により新規がん表面マーカー候補遺伝子を多数同定した。抗原調製及び抗体作製の最も困難な GPCR について、バキュロウイルス (BV) を用いた迅速な抗原調製法、リガンド結合や BV 感染に係る受容体タンパク質修飾法、親和性成熟にかかる分子を用いた免疫増強法、高効率のコロニースクリーニング法等を開発し、数種類のこれまでにない GPCR に対する抗体作製に成功した。また、体外イメージングおよび放射線治療など次世代抗体治療法に向けた抗体改変を行い、新規診断治療薬の可能性を提示した。平成 18～19 年度の間に得たがん、心血管疾患、精神神経疾患、骨運動器疾患等に関する特異的タンパク質について、膜タンパク質 20 種類の抗原を作製し 8 種類の抗体を取得し、その他約 160 種類について抗原を作製し 50 種類以上について抗体を取得した。これらの抗体はいずれも従来法にて作製の困難であった抗体であり、診断治療への有用性を検討している。抗体作製のため 8 種の標的候補遺伝子のノックアウトマウスの作製を開始し、3 遺伝子に関しては作製に成功した。

(2) 高効率な抗体分離精製技術の開発

多品種の抗体分子に対応する結合・解離特性の最適な特異的認識分子（リガンド）の設計・創製技術の開発を目的として、プロテインA型リガンドの網羅的な 1 アミノ酸変異体遺伝子 861 個の作製を完了し、750 個の変異体からなる発現タンパク質ライブラリを作製した。プロテインA代替リガンドに関しては、人工遺伝子 15 個を作製し、小規模な代替リガンドライブラリ作製とその抗体結合特性の解析を行った。また、リガンド-担体結合技術の開発を進め、従来より少ないリガンド投入量で、より高い抗体結合特性を発揮する固定化条件を見出した。さらに、500cm/hr 以上の高流速領域において、40mg/mL-bed 以上の動的結合容量を可能にする多孔質球状シリカゲルを開発し、この担体の量産条件を確認した。

《5》染色体解析技術開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

微細加工技術・表面加工技術等のナノテクノロジーを活用し、がんや遺伝子疾患などに関係するゲノム染色体上の異常を高感度、高精度かつ迅速、安価に解析するための染色体異常解析技術を開発することを目的に、以下の技術開発を行った。

平成 18 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 セルエンジニアリング部門 主幹研究員 平野 隆氏及び東京医科歯科大学 難治疾患研究所ゲノム応用医学研究部門 教授 稲澤 穰治氏をプロジェクトリーダーとして、以下の技術開発を行った。

(1) BAC を用いた高精度全ゲノムアレイの開発

10 万クローンの T7 末端解析を完了しゲノム位置推定を行い、一部のクローンで SP6 末端解析によりゲノム位置を確定している。高密度アレイ作成技術として、ピンの選択と DNA の調整を行うことにより、100 ミクロン以下のスポット直径を達成、3 万クローンの搭載条件を決定することができた。また、ヒトゲノム地図作成のための解析用のシステムの立ち上げを行った。

(2) 染色体異常を解析する革新的要素技術の開発

①高精度表面加工修飾技術の研究開発

ガラス基板上に金の高配向性膜の形成のため保有技術の ICP 支援型多重磁極マグネトロンスパッタ技術の改造及び調整を行った。

②新規ゲノムアレイ用蛍光標識化技術の研究開発

核酸誘導体 WY-Dye-dCTP を合成し、酵素反応条件を最適化し、従来品 Cy5 に相当する WY-647 において、より高い取込み率を達成し、特許申請を行った。

③疾患別アレイハイブリシステムの研究開発

ハイブリ要素技術として層流・乱流の物理法則に則した攪拌の基礎技術開発を開始した。深い焦点深度の読取装置開発では、高感度かつ深い焦点深度で測定する独自の2色マルチビーム・ディスク型読取装置の仕様の調査及び検討を行った。要素技術の検討のため1色の評価用読取装置の試作を開始した。

④ゲノム情報と臨床情報の統合化

食道がんにおいて、がん特異的に欠失・増幅するゲノム領域を見出した。消化器がんを中心に、悪性度、進行度の関連を検討している。CGHアレイ解析用細胞検体のバンク登録数拡充を行った。

(3) 臨床診断用全自動染色体異常解析システムの開発

①分散型染色体異常解析装置の開発

サンプル前処理の微量化と迅速化を検討した。ポリカーボネート製増幅モジュール（日本ガイシ社のパッケージアレイ）を作成し、約30分（通常2時間必要）で1ngのDNAから恒温下で240倍に増幅した。

②集中型染色体異常解析システムの開発

DNAの標識・精製に必要な基本仕様を決定、基礎実験用個別テスト機の製作に至った。精製プロセスについては簡略化基本プロトコルを確立した。

③ヒト染色体タイリングアレイ

BAC DNA セミオート調製システムを完成し、BAC DNA の調製を開始した。

④疾患解析

臨床サンプルの解析を目的に Whole Genome Array-4500 と Cancer Array-1500 の作製を進め、Whole Genome Array-4500 を 600 枚を作成した。更に、臨床検体（腎癌、食道扁平上皮癌）の調製を行い、予定の 50 症例についての DNA 調製を終了した。

平成 19 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 セルエンジニアリング部門主幹研究員 平野 隆氏及び東京医科歯科大学 難治疾患研究所ゲノム応用医学研究部門 教授 稲澤 譲治氏をプロジェクトリーダーとして、以下の技術開発を行った。

(1) BAC を用いた高精度全ゲノムアレイの開発

11 万クローンの両端解析を終了し、配列地図を作成し 70% のゲノムをカバーしていることが判明した。ゲノムアレイ作成の仕様を決定した。

(2) 染色体異常を解析する革新的要素技術の開発

①高精度表面加工修飾技術の研究開発

ガラス基板上に金属膜を成膜し、結晶の高配向性を確認した。

②新規ゲノムアレイ用蛍光標識化技術の研究開発

新たに 2 種類の新規蛍光物質の合成を行い、標識ヌクレオチド WY535-dCTP と WY635-dCT を作成、酵素取り込み条件の検討を行った。

③疾患別アレイハイブリシステムの研究開発

物理的ハイブリシステム化に適した CGH チップ用ハイブリ・プロトコル開発を開始、層流・乱流の物理法則に則した攪拌の基礎技術開発、そして 3 次元空間用の画像による状態解析システムを試作した。深い焦点深度の読取装置開発では要素技術として、まず 1 色の評価用読取装置の試作を行った。2 色の光源ユニットと高感度受光ユニット等について開発を行った。

④ゲノム情報と臨床情報の統合化

CGH アレイ解析用細胞検体のバンク登録数拡充、食道がんにおいて、がん特異的に欠失・増幅するゲノム領域を明らかにした。更に食道癌、大腸癌、各 10 例における癌細胞におけるゲノム DNA 変化と包括的遺伝子発現プロファイルを比較した。消化器がんを中心に CNV 解析を行い、生物学的特性と悪性度、進行度の関連を検討した。

(3) 臨床診断用全自動染色体異常解析システムの開発

①分散型染色体異常解析装置の開発

装置の基本設計が完了し、前処理モジュールを試作した。

②集中型染色体異常解析システムの開発

プロトタイプ機の作成を完了し、実応用に向けシステム全体の最終調整を開始した。

③ヒト染色体タイリングアレイ

18,000 クローンより DNA 抽出を完了、順次 BAC DNA の無尽資源化を開始。高密度アレイ用スポットティング条件を決め高密度アレイを試作。Whole Genome Array-4500、Cancer Array-1500 については、臨床検体の解析に提供した。

④臨床解析

疾患解析、骨軟部腫瘍、大腸癌各々 50 症例、そして加速分として口腔癌の検体 DNA の調製終了。Cancer Array-1500 アレイ及び Whole Genome Array-4500 を用いて、これら臨床検体アレイ CGH 解析を実施中。先天性染色体異常（加速分）についても解析を実施している。また、正常日本人の DNA 親子（トリオ）検体を用いて、ゲノムコピー数多型（CNV）の解析を実施した。種々の癌細胞株のアレイ CGH 解析データベースを構築し Web での公開を実施した。

《6》 バイオ診断ツール実用化開発【課題助成】 [平成 18 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

微細加工技術・表面加工技術等のナノテクノロジーを活用し、微量サンプルから高感度・安価で再現性よく多様な遺

伝子情報を検出するためのバイオ診断ツールの開発を目的に、SNPs、mRNA、タンパク質などの遺伝情報を計測対象とするバイオ診断ツールに対して、臨床現場で活用できるレベルの簡易性、迅速性、高い検査精度、高い再現性、低コスト化等を達成することを目標として、民間企業が実施する実用化開発を支援した。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

- (1) 個別化診断向けタンパク質発現プロファイル解析ツールの実用化開発
チップ内タンパク質イオン化のバラツキを少なくし、当初目標の感度を達成した。電気泳動槽の操作性・安全性を高め、多数の臨床サンプルの処理を可能とした。また、情報処理技術に関しては、臨床情報における欠損値補完、臨床情報を用いた生存分析に関するプロトタイプを試作した。
- (2) 個別化医療のためのパーソナルプロテインチップの開発
二次元電気泳動後のタンパク質サンプルを転写する自動装置の開発を開始した。さらに二次元電気泳動チップやパーソナルプロテインチップの性能を評価するためのサンプルとして、疾病のモデルとなるような動物由来サンプルの作製に着手した。
- (3) 全自動集積型カートリッジによる遺伝子診断システムと末梢血コンテンツの実用化
全自動集積型カートリッジの開発として、従来方式の評価と目標仕様の決定及び RNA 検出の要素技術開発を行った。一方、試作開発するカートリッジに実装する試薬およびプロトコルについては、「末梢血による関節リウマチ症早期疾患シグニチャー解析法の開発」として、複数点観察に基づく診断プロトコルを確立し、複数点観察用 DNA チップとしてオリゴによる最大 6000 点のプロープアレイを作成した。
- (4) 前処理装置を搭載した高感度遺伝子多型検出用バイオチップシステムの開発
DNA チップ基盤技術を用い、高感度、他項目同時検出、操作時間の短い SNPs 検出用 DNA チップの作製に成功した。臨床検体（臓器移植関連および救急医療関連）を用いた評価で、その有用性の検討を行った。また、VNTR 多型の DNA チップによる検出技術の構築、血液から遺伝子抽出等を行う自動前処理装置のチップも試作段階に入った。

平成 19 年度は、以下のとおり実施した。

- (1) 個別化診断向けタンパク質発現プロファイル解析ツールの実用化開発
チップとしての目標感度を達成した。チップの解析再現性の向上、解析自動化を推進すると共に、目標解析時間（1 時間）を達成した。臨床サンプル解析に関しては、虚血性心疾患マーカーである酸化 Apo B 断片や Apo A1 の検出をチップにより行った。肝疾患に関しては、病態進行をモニタリングできる 2 種のマーカータンパク質を確認し、うち一つ（p35 タンパク質）の糖鎖修飾バリエーションが、癌化により発現量が大きく変化することを見いだした。また、データ解析に関しては、欠損値を含むデータや少数データからでも正確な予測ができるマイニング手法の開発を行った。
- (2) 個別化医療のためのパーソナルプロテインチップの開発
臨床データ取得を可能とするため、操作性、動作安定性、安全性等の向上を図った改良型全自動二次元電気泳動装置を開発した。また、電気泳動から転写までの全自動を目指し新規チップ作製方式を考案、ゲル構造、バッファ組成の改良を行い転写効率や転写パターンを改善し、実験機を試作した。一方、マウス正常形質細胞株を用いて装置の性能を検証した。
- (3) 全自動集積型カートリッジによる遺伝子診断システムと末梢血コンテンツの実用化
全自動集積型カートリッジの開発としては、18 年度検討したプロトコルに従い試作機を設計、試作した。読取・解析装置の開発については、前年度の基本設計に基づき試作を行った。また、mRNA 用読取装置としての構造設計を行った。マーカー探索を目的とする検診チップを 2 種類（各々 30mer/60mer オリゴ搭載）作製した。リウマチ治療用生物製剤インフリキシマブ有効性の予測法を開発した。
- (4) 前処理装置を搭載した高感度遺伝子多型検出用バイオチップシステムの開発
臨床検体（臓器移植関連および救急医療関連）の SNPs 判別を感度 1 ng/mL、操作時間 4 時間、7 項目同時検出を可能とした。診断精度向上を目標として救急医療関連のコンテンツ増加のための解析を開始した。また VNTR 多型と SNPs の同一 DNA チップ上検出を可能にした。血液から遺伝子抽出等を行う自動前処理装置を試作し、上記開発技術の自動化を行った。高感度化技術として電気化学法による検出アレイを作製し、量子ドットによる高感度蛍光検出法開発を開始した。

《7》糖鎖機能活用技術開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

産業上有用な機能を有する糖鎖マーカーに対する糖鎖認識プローブの創製技術及び、産業上有用なヒト型糖鎖を大量に合成し、材料として利用可能とするための技術の開発を目的として、以下の研究開発を実施した。

平成 18 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 糖鎖医工学研究センター長 成松 久氏及び東京大学 国際・産学共同研究センター 教授 畑中 研一氏をプロジェクトリーダーとして以下の研究開発を実施した。

- (1) 糖鎖の高効率な分画・精製・同定技術の開発
生体試料からの質量分析と、レクチンアレイを基盤とする分析により、疾患関連糖鎖バイオマーカーの探索のための試料濃縮と分析の全体システム設計を進め、各要素技術に要求される感度・精度・再現性に基づいた技術の絞り込みを進めた。
- (2) 糖鎖の機能解析・検証技術の開発
疾患に関連して遺伝子発現が変化するなど機能性糖鎖を合成する 10 種類の遺伝子をターゲットに、3 種類の完全ノックアウトマウス、2 種類のヘテロマウス、1 種類のキメラマウス、4 種類の遺伝子改変 ES 細胞を作製した。また、既に作製が完了しているノックアウトマウスを用いて糖鎖機能の解析を進めるとともに、糖鎖の機能解析に役立つア

レイチップについてはハイドロゲルを用いた糖鎖の三次元的な固定化技術の開発を目的として、小スポット化のためのゲル作成条件の検討を行った。2 次元的固定法に比べ約 5 倍の信号強度の増大を確認した。病原体・毒素と糖鎖の相互作用の解明に関しては、糖鎖を感染症の予防・診断・治療に利用することを目指し、C 型・B 型肝炎ウイルス (HCV・HBV)、ヒト後天性免疫不全ウイルス (HIV) および破傷風毒素・ボツリヌス毒素 (クロストリジウム神経毒素) と糖鎖との相互作用の解析を行った。

(3) 糖鎖認識プローブの作成技術の開発

臨床サンプルの入手に係る体制整備を進める、一部サンプルについては供給が実施された。また、抗体作製の抗原や糖鎖チップの材料としての糖鎖化合物については供給体制の整備を終わり、供給出来る糖鎖については、ノックアウトマウスを用いて順次抗体作製の試験を開始した。

(4) 糖鎖の大量合成技術の開発

糖鎖ライブラリーを作製するための設計図の作成を目的として糖鎖プライマー 7 種類と培養細胞株 17 種類を組み合わせ糖鎖伸長実験を行い、得られた糖鎖の構造を決定した。これまでの研究により約 80 種類の糖鎖を合成するための設計図を作成した。生産効率については、N-アセチルマンノサミンを培養液中に添加したところ、B16 細胞において GM3 型の糖鎖合成が約 50% 向上するなどの成果を得た。

平成 19 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 糖鎖医工学研究センター長 成松 久氏及び東京大学 国際・産学共同研究センター 教授 畑中 研一氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を行った。

(1) 糖鎖の高効率な分画・精製・同定技術の開発

質量分析及びレクチンアレイを基盤とする分析に抗体利用の手法も加味し、疾患関連糖鎖バイオマーカー検出のための試料濃縮と分析の全体システム設計を進め、各要素技術に要求される感度・精度・再現性に基づいた技術の絞り込みを進めた。具体的には、糖鎖をキャリアーするタンパク質に着目し、これらをバイオインフォマティクス技術を用いて絞り込み、抗体を用いて糖タンパク質を選択的に取得し、レクチンアレイ、質量分析及び従来法を駆使して疾患糖鎖を精度・感度よく検出する測定系の構築を進めた。

(2) 糖鎖の機能解析・検証技術の開発

糖鎖構造と生物学的機能との関係が示唆されている 10 の遺伝子を対象にノックアウト (KO) マウスの作成を前年度に引き続き進め、5 遺伝子について作成を終了し、系統保持と解析を実施した。残る 5 遺伝子のうち 3 遺伝子についてはほぼ作成終了に近く、2 遺伝子の作成に注力した。作成が完了した KO マウスについては表現型の解析を進めており、免疫関連で異常の観察された KO マウスについて、各種免疫検出系への展開を進めた。

(3) 糖鎖認識プローブの作成技術の開発

各種腫瘍の臨床サンプルから候補糖ペプチドの選定を進め、肝臓癌、大腸癌及び前立腺癌、子宮体部腫瘍などでは複数の候補分子の選定をした他、卵巣腫瘍ではステージ Ia の粘液性がん、明細胞がんを検出できる系の作成を完了する等の成果を得た。また、癌関連糖鎖や IgA 関連糖鎖など、キーとなるいくつかの抗原標品をつけば集中研より供給し、フェージライブラリ、ノックアウトマウス、B1 細胞を利用した疾患糖鎖マーカー認識プローブの作成技術の構築を進めた。

(4) 糖鎖の大量合成技術の開発

これまで用いた細胞に加え、乳腺細胞及び神経細胞などを用いることによって 90 種類のヒト型糖鎖を同定した。また、細胞により生産された糖鎖を自動合成装置で再修飾する方法について検討を進めた。糖鎖の大量合成技術の確立を目指し、マイクロキャリアー法、ハムスター法、チオグリコシド法、中空糸培養法の 4 種類について検討を進めた結果、マイクロキャリアー法では細胞別に培養条件を検討し、10mg 以上の糖鎖生産に成功する等の成果を得た。糖鎖の効率的精製については、安価なポリスチレン系吸着剤を用いて、大量の培地より生産糖鎖を効率的に濃縮する方法を確立した他、フルオラスタグを用いた分離精製技術の検討を進めた。病原体・毒素除去装置については、中空糸内部に糖鎖を固定化する技術を確認するとともに、Gb3 を固定化した中空糸モジュールを試作し、ペロ毒素を実用化レベルまで除去できることを見いだす等の成果を得た。

《8》機能性 RNA プロジェクト [平成 18 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

一般的に知られている RNA とは異なり、タンパク質をコードしないにも関わらず転写される non-codingRNA (非コード RNA) の存在が明らかになり、また ncRNA の中には、「機能性 RNA」と呼ばれる発生や細胞分化の過程において重要な役割を果たしたり、がんや糖尿病などの疾患の発生にも深く関わるものがあることがわかってきた。そこで、バイオインフォマティクス技術の開発、支援技術・ツールの開発及びこれらの技術を用いて、機能性 RNA の機能の解明を行うことを目的として、以下の技術開発を実施した。

平成 18 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物情報解析研究センター長 渡辺 公綱氏をプロジェクトリーダーとして、以下の技術開発を実施した。

(1) 機能性 RNA の探索・解析のためのバイオインフォマティクス技術の開発

RNA の二次構造に着目した革新的アルゴリズムの開発に成功し特許を出願した。従来技術を用いて配列データベースを検索し、いくつかの mRNA 型の機能性 RNA 候補を発見し、機能解析研究を支援した。機能性 RNA データベースを構築し、プロジェクト内に公開するとともに、情報の一部を一般公開した。

(2) 機能性 RNA 解析のための支援技術・ツール開発

キャピラリー LC 型マスをを用いてサブフェムトモルオーダーの測定感度を達成した。一方、MALDI-QIT-TOF 型マスをを用いて数フェムトモルオーダーの測定に成功し、より高質量な RNA 断片を解析する道を開いた。マススペクトロメトリの解析データのみからゲノム上の配列を特定する画期的な方法である、RNA マスフィンガープリント法を開発し、

特許を出願した。全自動で微量な RNA を精製する装置（往復循環クロマトグラフィー）の試作に成功した。多重伸張反応法による高感度マイクロアレイ技術の開発に成功した。これに光化学反応法および DNA コンピューティング法を組み合わせ、更なる高感度化を検討中。RNA 新規化学合成法において、原料となる 2' 位を保護したアミダイト・モノマーの効率的合成法の開発に成功し、特許出願した。これを用いて高純度の長鎖 RNA（110mer）を安価に合成できることを確認した。

(3) 機能性 RNA の機能の解明

ヒトの間葉系幹細胞およびマスト細胞から新規マイクロ RNA を数百種類単離することに成功し、特許を出願した。マイクロ RNA 遺伝子の一つをノックアウトしたマウスの作成し、その機能を解明した。マウスの ES 細胞様の細胞である iPS 細胞におけるマイクロ RNA の発現パターンを解析した。mRNA 型の ncRNA の細胞内局在性を調べた結果、細胞核に局在しているものが多いことを発見した。細胞核内の RNA をノックダウンする新規な方法の開発に成功し、これを用いた機能解析を開始した。マイクロ RNA のプロセッシング因子に結合する新規の small RNA を多数発見しつつあり、解析中。ヒトのがん組織と正常組織におけるセンス・アンチセンス RNA ペアの発現解析を行い、がんに特異的な発現パターンを示すものを多数同定した。

平成 19 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物情報解析研究センター長 渡辺 公綱氏をプロジェクトリーダーとして、以下の技術開発を実施した。

(1) 機能性 RNA の探索・解析のためのバイオインフォマティクス技術の開発

複数のゲノム配列の比較とゲノム内の相同領域の比較に基づき、1 万種類以上の機能性 RNA 候補を予測した。機能性 RNA 候補の情報等は機能性 RNA データベース (fRNAdb) に統合するとともに、fRNAdb と連携するゲノムブラウザを開発してプロジェクト内で利用可能とし、また一部を一般公開した。機能解析に進める機能性 RNA 候補を絞り込むことを目的としてマイクロアレイを設計し、機能解明グループと連携して情報処理を開始した。

(2) 機能性 RNA 解析のための支援技術・ツール開発

マススペクトロメトリー技術を応用して多くの微量 RNA を測定し、精子形成に関与する piRNA の 3' 末端修飾の発見や miRNA の直接解析に成功した。質量情報から miRNA を帰属するアルゴリズムを開発し、組織由来 miRNA の直接プロファイリングに成功した。また、安定同位体標識 RNA を用いて miRNA の絶対定量系を構築した。往復循環クロマトグラフィーの試作に成功し、組織由来の miRNA 等の精製可能を実証した。機能性 RNA 検出のためのマイクロアレイ技術では、基板上での多重伸張反応法によりアットモルでの検出感度を達成し実用化に向かっているが、zeptoモルでの超高検出感度には至らなかった。RNA の新規化学合成法においては、2' 位を保護したアミダイト・モノマーの効率的合成法の開発に成功し、これを用いて高純度の長鎖 RNA (110mer) を安価に合成できることを実証した。

(3) 機能性 RNA の機能の解明

医療応用のための miRNA として、*in vitro* 系での発現変動解析等によりヒトの間葉系幹細胞とマスト細胞から 1 千種類以上の新規 miRNA を単離でき、その一部が分化に関連することを解明した。がん細胞の増殖に関与する miRNA を発見し、また人工誘導多能性幹細胞 (iPS 細胞) の取得効率を上昇させる miRNA を同定した。

1 つの miRNA 遺伝子をノックアウトしたマウスの作成に成功し、*in vivo* 系での機能解析を開始した。長鎖の機能性 RNA として、mRNA 型機能性 RNA の多くが細胞核に局在することを発見した。細胞核内 RNA のノックダウン技術の開発に成功し、1 つの mRNA 型機能性 RNA が細胞核内構造の維持に寄与することを発見した。miRNA の作用機序の解析として、その中心的因子 (Ago) と共通構造を持つ Piwi ファミリー蛋白に結合する新規 piRNA を発見し、その生合成が全く新規な機構によることを解明した。癌で特異的な発現を示すセンス・アンチセンス RNA ペアを多数同定し、また同領域から産生される 50 塩基前後の新規低分子 RNA を多数発見した。

なお、平成 19 年度に実施した中間評価を踏まえ、プロジェクト後半で更なる成果を創出するため、世界の技術動向を見極め、競合技術への優位性を検証し、優位性のある「基盤技術の確立」を重視して、テーマの絞込み、予算の集中化を行った。また、各グループの成果の相互活用をより一層具体化するなどにより研究グループ間の連携を強化し、研究促進を図った。

《9》次世代 DDS 型悪性腫瘍治療システムの研究開発事業 [平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、筑波大学大学院人間総合科学研究科 教授 松村 明氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

①「加速器中性子源の開発」

原子炉級と同等程度の中性子束を得るための小型 FFAG 加速器の設計を行った。

入射器については DTL 型ライナックと IH 型ライナックについて並行して検討・概念設計を行い、それぞれの問題点を把握した。また、ライナックの機種決定のための検討を行った。

FFAG リングについては、電磁石スパイラル型、ラジアル型の比較検討を行い、スパイラル型電磁石 8 台でリングを構成する案を得た。また、本案に基づき、平成 18 年度に試作開発・試験を行うため、FFAG リング電磁石の磁場測定システムの製作を行った。ビーム軌道計算等の結果により、高周波加速空洞の概要設計、および高周波電源の検討を行った。その結果、空洞タイプ決定の構想設計を完了した。

ERIT (エミッタンス回復型内部標的) については、システム全般について機械設計、熱設計の基本設計を行い、問題点を把握し、その見直しを行った。

中性子ビームのエネルギー制御系については、内部標的からの中性子ビーム輸送系の構成について検討を行った。特に FFAG リングの構成・配置等との関係に於いて、中性子減速用モデレータなどの中性子ビーム発生源および輸送系

の構造・形状について概念構成を得た。

治療計画システム・線量測定システムの開発については、加速器線源に対応する汎用治療計画システムの概念設計を行い、原子炉線源用のシステムを基盤に、中性子、光子だけでなく陽子線、重粒子の輸送計算も実行できるプロトタイプを開発した。また、発生する中性子ビームを実時間で測定できる SOF (Scintillator with Optical Fiber) 検出器のプロトタイプを用いて、実際の BNCT 照射場 (以下、JRR-4) での特性測定を行った。その成果は論文に発表した。この特性測定結果を踏まえ、SOF 検出器を JRR-4 に設置した。中性子コリメータ、フィルターの設計においては、第 1 モデレータからビーム孔部までのコリメーション等について、基礎的な評価を実施した。

②「腫瘍集積性の高いホウ素 DDS 製剤の開発」

新規ポルフィリンについて生産効率が従来のポルフィリンよりも約 10 倍増強された基本骨格を有する化合物を開発した。これについてまず、*in vitro*、*in vivo* で腫瘍集積性についての検証を通常の X 線照射による細胞殺傷効果から検証した。

ホウ素ポルフィリンについてはポルフィリン側鎖にホウ素化合物を付加した複数の新規化合物の候補を合成、開発した。

ホウ素含有型 DDS 製剤については、生体適合性ポリマーを用いた active targeting vector の 1 つとして低分子ゼラチンで修飾した HVJ envelope vector を開発した。本 HVJ envelope vector はマウスの腹腔内投与で腹膜播種後の形成された腫瘍結節に高い選択性を示すことがわかった。

③「抗がん剤のコントロールリリースの開発」

2 種類のホウ素含有脂質を合成し、これらを含む粒子径 100 nm のリポソームを構築した。リポソームの安定性試験を実施し、ホウ素脂質の至適量を決定した。また抗がん剤のシスプラチンが中性子照射によっても活性を保持していることを *in vitro* で確認した。

抗がん剤封入の HVJ envelope vector の腫瘍内投与により腫瘍の消失、再発の抑制を可能にした。HVJ envelope vector が抗腫瘍免疫の活性化をおこすメカニズムを解明し、アジュバント活性に必要なウイルス側因子を決定した。また HVJ envelope vector へのホウ素化合物の封入効率を測定した。

平成 18 年度は、筑波大学大学院人間総合科学研究科 教授 松村 明氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

①加速器中性子源の開発

(a) FFAG 加速器本体の開発

ビーム入射器システムについては、H-イオン源および線型加速器で構成され、線型加速器の出射エネルギーは 11MeV とした。特に、線型加速器については、RFQ (高周波四重極型) と DTL (ドリフトチューブ型) で構成し、両機器とも既に製作を開始しており、部分的にビーム試験も行われている。

FFAG-ERIT (Energy Recovering Internal Target) リングへの入射は、ターゲット自身を荷電変換膜とする多重入射とした。入射ターン数は 100 ターン以上とした。またターゲット上での陽子ビーム分布の平均化を容易にするため、ビーム入射をオフセンターで行うこととした。

FFAG-ERIT リングについては、8 回対称のラディアル型ラティスで構成することとした。ビームの周回エネルギーは 11 MeV である。リングを構成する電磁石の設計に当たっては常にビームシミュレーションと連動させ、ビーム周回数の拡大を目指すこととした。一方、これまでに電磁石励磁電源、磁場測定用駆動架台の製作および測定用電子機器の準備を行った。また大量に必要となる電磁石鉄芯用純鉄、コイル用ホローコンダクター等の手配も完了した。

(b) ビーム制御技術の開発

エネルギー回復用高周波加速空洞については、プログラムコード・MAFIA を用いて設計を行った。空洞のタイプは非対称リオンラント型、空洞の共振周波数は約 18 MHz である。高周波加速空洞については、京大原子炉実験所にてコールドモデルテストを行い、それらの結果は実機設計にも反映される。また 18 MHz の高周波電源の設計も並行して進められ、その内高電圧電源部は平成 18 年度に製作された。

ERIT については、Be を標的材としてビームのエネルギー損失を基に、標的の熱設計検討を行った。また、入射器からのビーム入射軌道およびモデレータを含め、適切な標的構造の検討を行った。

真空系システムについては、各機器の関係を調整しながら基本設計を行った。真空度については 10^{-7} torr 以下の平均真空度があれば、周回する陽子の平均自由行程の長さを軌道 1,000 周回分と同程度となることが分かった。到達真空度を 10^{-7} torr 以下を目標として、到達真空度とポンプの排気能力・位置との関係、真空ダクトの機械構造等について詳細設計が終了した。これに基づき真空ダクト単体毎の製作が開始された。

中性子ビーム発生および輸送系については、内部標的を含むモデレータ構成の検討を行い、モデレータ中心部に内部標的を配置する案を採用した。

加速器制御のシステム構成については、制御卓と現場機器の間の制御の通信は、ハードワイヤを極力排し、両者にそれぞれ I/O として PLC を設置して光ケーブルにて通信を行う。また、制御卓側のコントロールパネルについてもハード機器は用いず、LabView によりディスプレイ上に構築することとし、制御システムの製作に対する工程と経費を大幅に削減し且つ柔軟性・拡張性のあるシステムとした。

その他、研究機構京都大学分室の加速器建設サイトにおいては、電力・冷却水等について受け入れのための機器製作・据付準備を開始し、準備を進展させた。

(c) 療計画システム・線量測定システムの開発

これまで開発した原子炉線源での中性子捕捉療法用に開発した線量評価システム“JCDS”を基盤に、加速器線源にも対応できる治療計画システムの開発を行い、汎用治療計画システムの開発に必要な仕様をまとめた。現在、システムのコーディングを開始し、実施中である。現在、日本で実施されている中性子捕捉療法の線量評価方法は、

事前の PET 測定によって得られたホウ素分布情報を基に、腫瘍内と正常組織内（もしくは血管内）のホウ素濃度の比を求めて線量評価を行っている。これを踏まえ、従来のシステムでは線量評価のための患者 3 次元モデルの作成に X 線 CT (Computed Tomography) と MRI (Magnetic Resonance Imaging) データを利用してはいたが、これに加えて PET 画像データを直接読み込み、PET 値に基づいた線量評価技術を開発した。

②腫瘍集積性の高いホウ素 DDS 製剤の開発

(a) ポルフィリン製剤の開発、及び (b) ホウ素含有型 DDS 製剤の開発

ホウ素試薬の腫瘍細胞集積性(目標値 40 ppm)として得られた値は、扁平上皮がんの場合、不活化センダイウイルス(HVJ-E)を用いた BSH (disodium undecahydro-mercapto-closo-dodeca-carborate) の投与後、腫瘍組織中のホウ素濃度は 10 匹の平均で 86ppm であった。また、そのときの血液中のホウ素濃度は 0.5 ppm であった。今後、様々ながん種に対して投与方法を変えて集積性についてさらに詳細に検討してみる予定である。

また、腫瘍内のホウ素濃度/血液中のホウ素濃度の比 (T/B 比) については、基本計画の到達目標は 10 としている。これに関して、骨肉腫細胞を肝臓に転移させたマウスに、カチオン化ゼラチン-HVJ-E を心腔内に投与すると肝臓への集積は投与量の 13.9%であり、血液中には検出限界以下であった。なお、腫瘍を転移させていない正常肝臓への集積は投与量の 4.3%であり、腫瘍への集積は正常部位の 2 倍以上と推定された。蛍光試薬 Qdot の取り込みでは T/B 比は最終目標値の 10 を超えていることが分かった。

③「抗がん剤のコントロールリリースの開発」

(a) 中性子捕捉現象を利用した抗がん剤のコントロールリリースの開発

ホウ酸溶液中では熱中性子照射されたリノール酸等のホスファチジルコリン、コレステロールから成るリポソームからのモデル抗がん剤放出は 100%であった。一方、中性子照射しなければ 24 時間培養液中に放置しても封入物質の漏出は 3%程度であるので、細胞毒性は十分小さいと予測された。

(b) アジュバント型細胞融合ナノ粒子の開発

「抗腫瘍免疫の増強により中性子捕捉療法を施行した 50%以上のマウスにおいて再接種後の腫瘍の完全拒絶を実現する」ことを目標としていることから、まず CG-HVJ-E に抗がん剤を封入して腹膜播種がんを治療し、完全寛解を示したマウスに同じがんを再接種しても 100%拒絶したので、今後、中性子捕捉療法で治療した場合のアジュバント効果も期待できると考えられる。一方、新規に開発したホウ素 PEG リポソームを担がんマウスに投与し、その中性子捕捉療法の効果を検討した。マウス大腸がん細胞をマウスの左足に移植し、ホウ素 PEG リポソームを投与し、24 時間後中性子照射を行った。その結果、担がんマウス 4 匹中 2 匹で約 1 週間後にがんが萎縮し始め、2 週間後には完全に消失した。HVJ-E による治療効果は単独投与で 4 匹中 1 匹に腫瘍消失が見られた。

平成 19 年度は、筑波大学大学院人間総合科学研究科 教授 松村 明氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

A. 加速器中性子源の開発

(a) FFAG 加速器本体の開発

平成 18 年度より製作を進めてきた FFAG 加速器システムの各装置、すなわち入射器、FFAG リング電磁石、高周波加速装置、真空システム、モデレータ (内部標的を含む) 等の製作が完了した。平成 19 年 9 月よりこれらの現地への受け入れ準備が始められ、各機器の順次搬入と同時に加速器としての総合組立が開始された。

9 月から 10 月にかけてライナックの単体運転調整、11 月から 12 月にかけて RF 装置の単体運転調整と合わせて FFAG リング及び真空系の運転試験の後、総合運転を行い、FFAG-DDS 加速器としてのビーム入射・ビームエネルギー回復及び所定の換算中性子数を得るためのビーム強度・周回数及び中性子発生が確認された。また、FFAG-DDS 加速器の評価に基づきモデレータの設計・製作を行った。

具体的な各ステップに対する目標達成は以下のとおりである。

- 1) FFAG 電磁石の製作を行い、搬入後磁場測定を行い、所定の据え付けを完了した。
- 2) ビーム入射システムを設計・製作し、所定の性能を得た。
- 3) 真空系の製作を完了し、リング内の所定の場所に据え付けを完了した。

(b) ビーム制御技術の開発

4) 空洞は大気圧による変形を極力抑える構造とし構造体は鉄を主体としこれに銅メッキをする方式とした。10 月に機械製作完了、工場での試験を経て 11 月より現地据付及び運転試験調整が行なわれ、特性が確認された。

5)、6) モデレータは平成 18 年度及び平成 19 年度加速予算で設計・製作が進められ 19 年度末に完成した。これに合わせてターゲットの設計検討を進め、周辺装置との取り合い及びターゲットの熱負荷等の検討を経て、標的を回転構造とした。

7) 制御系は平成 19 年前半において基本的構成のデザインを行ない、9 月以降加速器各機器の現地搬入・据付に合わせて順次現地配置を開始し、その基本システムを放射線安全システムも含め完了した。

B. 腫瘍集積性の高いホウ素 DDS 製剤の開発

(a) ポルフィリン製剤の開発

ポルフィリン製剤として BPA 2 分子、*o*-カルボランをポルフィリンに結合させた、それぞれ EC031、EC032 を合成しそれらの細胞毒性、腫瘍細胞集積性を検討した。EC032 の方が、細胞毒性が低く、また腫瘍細胞内濃度も 150 μ g/108cell に達した。

(b) ホウ素含有型 DDS 製剤の開発

HVJ-E へのホウ素化合物の封入効率を上げるため、ホウ素ポルフィリン EC-032 の封入を試み、5 分で従来法の 3 倍である 18 ppm のホウ素濃度を得た。これら直接投与においては、HVJ-E の迅速な融合により、血液内へはあまり移行しないことがわかった。全身投与型 DDS の開発においては、生体適合性のポリマーであるカチオン化ゼラチン(CG)修飾による安定化、PEG 付加によるステルス化、さらに腫瘍標的分子ヒアルロン酸(HA)の結合などを試みた。

その結果、これら修飾 HVJ-E の骨肉腫細胞 (LM8G5) への導入量を蛍光物質 Qdot を用いて測定した結果、CG-HA HVJ-E > CG-PEG HVJ-E > CG HVJ-E > HVJ-E の順で導入され、CG-HA HVJ-E はほぼ 100% の細胞に導入された。

通常はリポソームの中にホウ素分子を封入する方法をとるが、ここではリポソームを構成する脂質分子自体にホウ素分子を結合させる方法として、リン脂質類似体およびコレステロールに BSH を結合した。BSH と合成したホウ素リポソームの健康マウスに対する毒性および投与 3 週間後の生体内ホウ素残存量を調べた結果、ステアリン酸エステル結合型及びカルバメート結合型を 50% 含有するリポソームでは、20 mg/kg まで毒性を示すことなく投与できることが判った。

次にホウ素リポソームの血管内滞留時間を長くするようにポリエチレングリコール (PEG) で修飾したホウ素リポソームを調製し、マウス結腸がん細胞 (CT26) を左下肢に移植した動物を用いて、BNCT 実験を行った。ホウ素 PEG リポソーム (5mg 10B/kg) を尾静脈より投与し、24 時間後中性子照射 (30 分) を行った。その結果、4 匹中 2 匹において腫瘍が完全に消失した。

C. 抗がん剤のコントロールリリースの開発

(a) 中性子捕捉現象を利用した抗がん剤のコントロールリリースの開発

本開発は、中性子線照射によるリポソームからの抗がん剤の徐放をねらいとするもので、リポソーム内に BSH の 2 量体 (BSSB) と抗がん剤のカルボプラチンを封入し、熱中性子を照射して抗がん剤の放出率を調べた。熱中性子を 4 時間照射した結果、ほとんどのカルボプラチンの放出が見られた。ただし封入リポソームの不安定性のため、非照射のものも 10 時間後には 80% 以上の放出率を示した。

(b) アジュバント型細胞融合ナノ粒子の開発

悪性胸膜中皮腫細胞を胸腔へ播くと 16 日後には非常に多くの腫瘍塊ができる。16 日目に BSH を含むこれらの修飾 HVJ-E を投与し、その 24 時間後に中性子を 30 分間照射し、1 週間後に調べた。BSH の静脈注射は効き目がなかった。修飾 HVJ-E は胸腔へ直接投与したものだが、HVJ-E 自体も含めて腫瘍塊の重量が半分には抑えられ、HVJ-E のアジュバント作用が確認された。

次に新しく開発したマウスの骨肉腫細胞の肝転移モデルを用いた。このモデルでは心腔内に骨肉腫細胞を投与すると、2 週間後には肝臓が転移がんの腫瘍塊で満たされる。骨肉腫細胞投与後、1 週間後に修飾 HVJ-E など全身投与し、24 時間後に中性子を照射し、その 1 週間後に、肝臓を調べた。この場合は BSH 投与でも効果がみられたが、CG-PEG-HVJ-E においては、正常な肝重量と有意差のない重量まで減少を示し、劇的な効果を示した。ホウ素濃度を細胞切片の蛍光測定で評価してみると、T/N 比は、BSH 単独では、0.5 であるのに対し、CG-PEG HVJ-E では 1.9 であり、腫瘍細胞集積性を示した。

D. 治療計画・線量測定システムの研究開発

計算コードを従来の MCNP から PHITS に変更したため、この PHITS による計算性能の評価を実施した。円筒水ファントム体系の計算条件を設定してファントム内の中性子束、及び線量分布を求め、MCNP による計算結果との比較を行った結果、 γ 線量を除く各中性子束分布、線量分布は統計誤差の範囲内で一致することを確認した。また、JRR-4 で実施された実際の治療を再現して、ほぼ同一の評価結果を得られることから、PHITS を用いた線量評価を実際の臨床研究にも適用可能であることを確認した。FFAG 加速器に据え付ける中性子コリメータ、患者用ビーム孔、フィルター等の設計を行った。中性子ビーム実時間測定装置の開発では、JRR-4 に設置した SOF 検出器の特性測定を実施した。SOF をビーム孔内と水ファントムに据えつけて、炉出力変化に対する追従性を調べ、応答の十分速いことを確認したものの、劣化も認められた。そのために使用前の校正、および使用量の管理と定期的な交換が必要と考えられた。そこで耐劣化特性の強い SPND (自己出力型中性子検出器) を組み合わせた新しいリアルタイム中性子計測システムの開発を行った。

《10》 深部治療に対応した次世代 DDS 型治療システムの研究開発 [平成 19 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下のとおりフェージビリティスタディを実施した。

1) 標準評価手法の整理

技術の有用性を評価し関係者で共通認識するため、DDS および外部エネルギーについて、対象技術を横断的かつ同一基準で比較検討することを可能せしめる標準評価の体系 (手法と基準) を検討した。

① 薬効動態の評価手法と評価基準の整理

DDS の選択性、集積性、ステルス性、徐放性などの評価軸について、評価した。

② 照射制御の評価手法と評価基準の整理

モニタ性、選択性、到達性、作用性について評価を行った。

③ デバイスとドラッグを融合する場合の評価手法と評価基準の整理

外部エネルギーと DDS を融合利用する場合における基本的な機能評価を行った。

2) 遠隔作用力を持つ外部エネルギーと薬物の組み合わせの評価

研究開発課題の優先順位づけを合理的に推進するため、1) の結果に則って、DDS 及び外部エネルギーの評価を実施し、基礎データの収集分析を行った。

3) 遠隔作用力を持つ外部エネルギーと薬物の組み合わせシステムの優先順位づけ

次年度以降の研究開発の効率的で効果的な展開のため、1) と 2) の結果に則って、遠隔作用力を持つ外部エネルギーと薬物の組み合わせシステムの優先順位づけを以下の 4 テーマについて実施し、次年度以降の本格開発を行うべく優先順位付けを行った。

- ・インテリジェント型磁性ナノ粒子からなる次世代 DDS による深部病巣の診断および誘導加温システムによる温熱療法の研究開発と臨床応用
- ・深部治療に対応したナノ磁性体粒子を応用した磁性体粒子を応用した次世代 DDS 型システム
- ・電波エネルギーを利用したナノ診断・治療システムの創成の研究開発
- ・超音波を用いるイメージングベースドドラッグデリバリーに関する研究開発。

4) 難治性で深部の疾患の新たな治療システムの設計

1)～3)の内容を支援しつつ、遠隔作用力を持つ外部エネルギーと薬物の組み合わせによる治療システムの研究開発の実施設計を進め、次の2つの治療システムを設計し、平成19年度からの本格研究に結びつけた。

- ・革新的 DDS と光ファイバー技術を融合した光線力学治療システム
- ・相変化ナノ液滴を用いる超音波診断・治療統合システム

平成19年度は、薬剤等を癌細胞のみにピンポイントに輸送する薬物送達システム(DDS)と人体の深部まで届く様々な外部エネルギーを組み合わせ、治療の効果及び効率を飛躍的に高める新たな癌治療を可能とする「次世代 DDS 型悪性腫瘍治療システム」の開発を目的に、京都大学大学院薬学系研究科 教授 橋田充氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目 1) 「革新的 DDS と光ファイバー技術を融合した光線力学治療システム」

①光増感剤を内包した腫瘍特異的 DDS 製剤の開発

a)一重項酸素産生効率に優れた光増感剤の開発

組織浸透性に優れた長波長光(680nm)での励起が可能な dendritic porphyrin(DPc)を合成し、高分子ミセルに内包させた状態での光化学特性と照射下での細胞毒性(光毒性)を評価した結果、ミセル化によって培養がん細胞に対する光毒性が顕著に高まることが確認された。

b)光増感剤を内包する血中長期滞留型・がん細胞に対する標的指向機能を搭載した DDS の開発

ブロック共重合体 PEG- (PLL-IM) を合成しジスルフィド(SS)架橋により DPc 内包ミセルを構築した。SS 架橋はミセル構造を安定化する一方で、DPc の光毒性を顕著に高める(培養がん細胞に対して非架橋型ミセルの100倍)ことを明らかにした。また、疎水性分子、がん組織に特異的なリガンド分子を導入した異なるキャリアの合成も行った。さらに、SS 架橋導入ミセルは非架橋型ミセルの3倍の血中滞留性を示すことを、蛍光を利用したミセルの血中滞留性の評価法により確認した。

②患部に対する効果的な光照射を可能にする照射システムの開発

膀胱内腫瘍の分布や浸潤程度に即して使用できるよう、全周囲方向照射型(最大外径 0.85mm、先端チップ長 5.0mm)、広角照射型(最大外径 0.95mm、先端チップ長 5.0mm)の2種類の光分散プローブの試作を完了し、ラット膀胱内における光照射機能を評価中である。他方、小形動物用超音波イメージング装置を併用することで、光分散プローブの空間的静止位置をリアルタイムでモニタリングすることに成功し、膀胱粘膜面への均質照射の検討を進めた。一方、膀胱粘膜面における光強度分布を光学路追跡法により予測することによって、広角照射型のプローブの造作設計を進めて、膀胱三次元形状の測定や膀胱内への光散乱物質注入などを行い、実際的な使用環境に基づいた条件を組み入れてシミュレーションを実施し、光強度分布の高度な均質性の検討を進めた。

③難治性がんに対する PDT (光線力学療法) の開発と化学療法及び免疫療法を融合した治療システムの開発

a)疾患モデルを用いた固形がんの PDT システムの開発

光増感剤内包高分子ミセルを全身投与後、膀胱内光照射による PDT を実施し、さらに膀胱内腫瘍縮退・増殖を超音波イメージングにより非侵襲的かつ経時的に観察できるシステムを作り上げた。他方、PDT によって惹起しうる膀胱萎縮を評価するため、ラット膀胱容量・膀胱内圧(Leak point pressure)測定法を確立した。また、ラット膀胱内での微小腫瘍形成を観察するため、AY-27 への GFP (あるいは RFP) 導入に関して GFP (RFP) ベクターの細胞内最適取り込み条件を探索中である。また、蛍光観察可能な細径内視鏡イメージング装置の設計・開発中である。DPc 内包ミセルについては、Alexa488 標識 DPc 内包ミセルを利用して、ミセルの細胞内局在を観察することができた。

b)PDT と化学療法を融合した革新的がん治療システムの開発

本研究は、平成20年度より開始する。

c)PDT と免疫療法を融合した革新的がん治療システムの開発

DPc 内包ミセルによる抗腫瘍免疫の増強効果を *in vitro* で検討し、PDT により樹状細胞によるがん免疫応答を増強する可能性を見出した。さらに、ヒト樹状細胞の培養法を開発し、動物モデルに加えてヒト樹状細胞の培養技術の改良にも着手した。

研究開発項目 2) 「相変化ナノ液滴を用いる超音波診断・治療統合システム」

①造影・増感作用を有するマイクロバブルの液体前駆体(相変化ナノ液滴)の開発

a)ナノ液滴調製条件確立

精密粒度分布測定装置および体内ナノ液滴濃度定量用ロボットを導入し、マウス組織内でのナノ液滴濃度の定量的測定に成功し、液滴の調製条件と体内動態分布との関係を測定する実験系を確立した。

b)相変化用超音波及び照射システムの小動物による安全性の検証

通常の超音波診断装置では困難な、腫瘍内相変化部位と腫瘍内血管構造との詳細な対比を可能

とする小動物用高分解能超音波診断装置を導入し、予備検討として市販マイクロバブル（ソナゾイド）のラット血中濃度と超音波画像上の輝度変化との関係の定量化を行った。これにより、ナノ液滴の相変化により生じた腫瘍内のマイクロバブルの存在位置と腫瘍内の血管構造との関係を調べるための礎が構築できた。

c) ナノ液滴の生体中効果検証

相変化ナノ液滴の体内効果検証用の腫瘍実験系を確立（ラットおよびウサギ）し、モデル化合物である市販マイクロバブル造影剤の可視化を安定して行えることを確認した。さらに、確立したモデルを用いて、従来のマウスに比べて人体にサイズが近いウサギに対して本開発のナノ液滴の効果検証を開始した。基礎検討により、腫瘍・肝臓・腎臓に対してマウスと同様の超音波条件でナノ液滴の相変化を生じることが可能であることがわかった。

② 上記液体前駆体の活性化用超音波照射方法及び診断用プローブの開発

a) ナノ液滴可視化条件確立

ナノ液滴の相変化速度に応じた高速差分画像化方法を提案し、ファントムおよびマウス実験にて実証し、高選択性画像化手法を確立した。また、高音圧用の耐熱型構造に関してシミュレーションによる構造の最適化に基づきプロトタイプ的设计を行なった。

b) 治療用超音波及び照射システムの安全性の小動物による検証

開発中の治療用ビームと同等の出力の模擬超音波振動子を作成し、前述した高分解能超音波診断装置を用いる経時的安全性評価及び病理組織学的評価に加え、ビーム経路内における生化学的安全性の評価手法を開発した。

③ 相変化ナノ液滴と診断用プローブを組み合わせて用いる治療用照射装置の開発

a) 気泡発生トリガー用と気化・キャビテーション用超音波プローブの開発

ナノ液滴相変化用および加熱凝固治療用の超音波トランスデューサの仕様を検討後、予備試作トランスデューサを試作し、駆動回路との電気回路的なマッチングを確認した。また、音響基本特性を測定し、今後の詳細設計の方向性への指針を得た。アレイ化を予定している第3次試作トランスデューサの構成については PZFlex ソフトウェアを活用して計算機シミュレーションにより、さらに試作アレイトランスデューサを駆動する電子回路の構成について回路シミュレーションパッケージ PSpice を活用した計算機シミュレーションにより、検討を進めた。

④ 多機能化相変化ナノ液滴（長時間滞留、複メカニズムによる治療）の開発

a) 液晶性高分子を用いるナノ液滴の体内動態制御用キャリアの開発

(i) 液晶性高分子ミセルの作製

厳密な精製方法により PEG 誘導体の純度向上が達成され、その結果、液晶性ブロックコポリマーでの不純物を著しく減少させることができた。次に、液晶性ブロックコポリマーから高分子ミセルが形成され、モデル薬物が安定に封入できることが判明し、特殊整流装置によって、加圧下でミセル形成およびモデル PFC（パーフルオロカーボン）の封入に成功した。さらに、従来薬物封入に用いられたブロックコポリマーを用いてモデル PFC（C7）のナノ液滴化（粒径は 260～330nm）に成功した。

(ii) 高分子ミセルの特性解析

前述の開発項目で合成された液晶-高分子ジブロック共重合体をエバポレーション法によりミセル化を試み、粒径 100nm の均一なミセルを確認した。また、X線回折装置にレーザ顕微鏡を導入して改良し、高分子ミセル系のマイクロな構造の測定を行った。

(iii) 液晶状態の観測・評価

既存の動的散乱装置の改良を行い微弱光の偏光解消動的散乱法を構築し、ナノ液滴内での液晶状態を定量的に評価できる方法を確立した。この方法により、粒径 100nm の液晶-高分子ジブロック共重合体ミセル溶液を観察し、偏光解消した新たな緩和成分が観測することができた。さらに、液晶性の無いナノ液滴や液晶性の低いナノ液滴内部の PFC 安定性について、レーザ励起蛍光顕微鏡による液滴内部の蛍光分子のダイナミクスを測定するシステムの構築に着手した。

b) ゼラチン誘導体を用いるナノ液滴の体内動態制御用キャリアの開発

ゼラチンへ、疎水性鎖であるポリ乳酸（重量平均分子量 1,000, 5,000, および 20,000）、コレステロール、およびトリフルオロ酢酸無水物を化学導入した種々のゼラチン誘導体を作製した。得られたゼラチン誘導体とモデル PFC とを混合、高圧ホモジナイザを用いて、ゼラチン誘導体により表面修飾されたナノ液滴を得た。

c) ドキソルビシンと PFP（パーフルオロペンタンガス）の液滴を内封したトランスフェリン修飾バブルリポソームの開発

高分子からなる界面活性剤を加えて、PFP ガスナノ液滴の調製を行い、この液滴をハイドレーション法でリポソームに封入し、バブルリポソームが調製出来ることを確認した。サイズは 200nm まで下げ、それ以下にサイズダウンについては検討中である。200nm のバブルリポソームに対して、活性中間体を有する PEG 脂質誘導体の添加により、トランスフェリンの修飾が可能であることを確認した。気泡発生および腫瘍組織硬化の検討の為に、必要な機械装置（治療用集束超音波発生装置、測定装置等）やファントム（HIFU、多目的ゲルタイプ）の準備を完了し、開発したプローブを用いて、気泡の発生と腫瘍組織硬化に適した収束超音波照射条件の検討（in

in vivo 実験) に着手した。

《11》分子イメージング機器研究開発プロジェクト

《11》-1 生活習慣病超早期診断眼底イメージング機器研究開発プロジェクト【F21】【課題助成】[平成17年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度の中間評価を踏まえ、「高精度イメージング機器研究開発プロジェクト」へ名称を変更。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

1) 高速・高分解能3次元形態・動態イメージング技術

①高分解能の full-field OCT 装置については、実験装置を作製して分解能と感度に関する基礎実験を実施した。超広帯域光源を導入することにより、OCT 計測の奥行き分解能 $4\mu\text{m}$ が達成できることを確認した。摘出動物眼球を用いての full-field OCT 測定を試み、網膜の断層計測に必要な装置性能を評価した。これらの結果を踏まえて、*in vivo* (生きたまま)測定用光学系を設計して実験装置の作製を開始した。

②網膜血流測定用ドップラーOCT の実験装置を作製した。散乱媒質を用いて同装置の感度を評価し、断層画像計測に有効であることを確認した。実時間の流速計測を実現するために、同装置の深さ方向スキャン速度および信号取り込みの速度向上並びに信号処理アルゴリズムの開発を実施した。現在、流速測定の基礎実験を進行中である。

③2次元形態イメージングについては、レーザー光を用いた実験装置を試作した。テストチャートや動物サンプル等による実験で受光光学系等を評価し、装置の分解能は現在販売されている眼底カメラ程度に到達していることを確認した。さらに、回路構成配置等にて低ノイズ化を検討して画像への影響を低減させた。走査速度については、低速系での設計を通して高速化へのポイントを確認しており、画像計測の高速化の研究開発を進行中である。

2) 高速・高波長分解能をもつ細胞機能イメージングのための眼底分光技術

波長 $500\sim 700\text{nm}$ において計測した眼底の分光画像から機能情報を推定する解析技術を開発し、検証実験を行うとともに推定結果の評価を行った。PLS 回帰分析と散乱補正処理の組み合わせによって、網膜の酸素飽和レベルの2次元マップを作成することに成功した。さらに、血管白濁・反射亢進計測のための最適波長領域決定に関する理論考察を行うと共に、評価用分光眼底モデルの基本構造の設計を進行中である。

平成18年度は、全身の循環器系の“窓”である眼底血管とその周辺組織の形態と代謝機能を非侵襲かつ簡易にリアルタイムで計測することで、生活習慣病の超早期発見・予防を可能とする生活習慣病超早期診断眼底イメージング機器を開発した。京都大学大学院医学研究科眼科学 教授 吉村 長久氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 高速・高分解能3次元形態・動態イメージング技術

①OCT の高度化 (Step1) により、奥行き分解能 $4\mu\text{m}$ を実現した。小動物の皮下生体組織では、奥行き分解能 $1\mu\text{m}$ 、縦横分解能 $1\mu\text{m}$ を実現し、*in vivo*での細胞レベルの OCT 計測を実現した。さらに、OCT の高速化 (Step1) により、データの取得速度を 30 Frame/Sec まで向上した。

②ドップラーOCT を開発して網膜の血流計測の可能性実験を行った。その結果、血流速度が低速なため、十分なドップラー効果が得られないことがわかり、血流計測が困難であることを確認した。次に FF-OCT による血流計測を検討して可能性を確認した。

③補償光学を適用して、面内空間分解能 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ を達成し得る高解像度眼底分析イメージング装置を試作した。試作機で、走査速度 10Hz で画像化できて低ノイズを実現した。

④OCT 画像データと高解像度眼底分析イメージング装置の画像データ統合の前段階として、カラー眼底画像と OCT 画像との統合の確認を行った。画像の特徴点抽出により各々画像の位置関係と倍率、ゆがみの補正を行い、統合可能であることを確認した。

(2) 高速・高波長分解能をもつ細胞機能イメージングのための眼底分光技術

①波長 $500\sim 700\text{nm}$ の帯域において波長分解 20nm で高速に眼底の分光データを取得できる眼底カメラ型の眼底分光装置を試作した。

②試作装置を利用して取得した眼底の分光データについて、PLS 回帰分析をはじめとする多変量解析を高度に応用する手法を確立し、血管の白濁や反射亢進を定量化するための解析方針を得た。

③3次元空間分解能を向上させるための基盤装置として、走査型の眼底分光装置の基本光学系を光学定盤上に実現し、基本的性能の確認を行った。評価用眼底分光モデルについては、動脈血および静脈血の分光特性を模擬するモデルの作製法を考案した。

(3) 眼球の微動と歪みを除去する補償光学技術

①ビジョンカメラを用いた波面センサとそのソフトウェアを開発した。また、補償光学制御ソフトウェアを開発し、補償光学の基礎検証実験に成功した。さらに、ソフトウェア処理の一部をハードウェアで実行するためのビジョンカメラのデータ処理回路も開発した。

②波面制御素子部品の LCOS チップを、補償光学で使用する領域内で表面歪みが 1 波長以下になるように改良した。さらに、波面歪みの補正制御技術を開発し、 0.025λ という低歪を実現した。

③波面制御素子に関しては、実験用の駆動回路を完成させ、また LCOS デバイスの液晶素子化工程を改良して位相変動が $1/20$ 波長以下にできることを確認した。

④眼球運動センサの基礎開発を完了し、基礎実験により、角分解能 4 分以下、計測レート 100Hz 以上であり、所定の性能を有することを確認した。

⑤波面制御の速度と精度を向上させるために、波面制御素子駆動回路の精度と処理能力を向上させる改造を行った。同時に、新制御方法に基づく基本ソフトウェアを開発した。

平成 19 年度は、生活習慣病による血管病変等合併症の超早期発見と予防の実現に向けた高精度眼底イメージング機器の開発を目的に、京都大学大学院医学研究科眼科学教授 吉村長久氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成 19 年度に実施した中間評価の反映として、プロジェクト名称を変更するとともに研究開発項目の整理・見直し等を行った。

(1) フルフィールド光コヒーレンス断層画像化装置 (FF-OCT) の開発

- 1) OCT の高度化 (Step2) により、生体組織中で深さ方向分解能 $2\mu\text{m}$ を達成した。面内分解能は空気中で $3\mu\text{m}$ を達成した。また、直径 6mm の瞳孔をもつ模型眼を利用して模擬眼底を観察し、必要な分解能が得られることを確認した。一方 OCT の高速化 (Step2) により、データ取得速度 100fps (フレーム/秒) 以上を実現した。
- 2) カラー眼底画像と OCT 画像の統合アルゴリズムを高解像度眼底分析イメージング装置画像と OCT 画像に適用し、基本機能を確認した。
- 3) 補償光学の OCT への適用において、補償光学実装のため搭載シミュレーションを実施し、眼底観察部位により必要度に差異のあることを確認した。一方、補償光学を実装しなくても水浸レンズを使用することにより、目標とする横分解能を実現可能であることをあわせて確認した。

(2) 高解像度眼底分析イメージング装置の開発

- 1) 面内分解能 $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ を達成し得る高解像度眼底分析イメージング装置を試作し、補償光学の実装による分解能の向上を確認した。また、この試作装置の改良版を新たに製作し、実際に $3\mu\text{m}\times 3\mu\text{m}$ の面内分解能を確認した。
- 2) 波面制御素子を高速に制御するために駆動回路における波面制御の遅延を 10ms 以下にし、かつ制御信号が 10bit を実現するように内部プログラムを改良した。
- 3) 波面センサに用いるビジョンカメラを、感度向上を目的として、ノイズ特性と温度特性を向上させる改良を行った。
- 4) 波長広がりを持つ光源を用いた補償光学制御技術の検討と基礎実験を行った。また、眼底計測波長と波面センシング波長が異なる場合の補償光学制御技術の検討も行った。
- 5) 健康眼で収差計測を行い、波面センサが健康眼に対して十分な感度を有することを確認した。
- 6) 眼底カメラ型の眼底分光機を試作し、波長分解 7nm で $500\sim 650\text{nm}$ における網膜の分光画像を計測した。旧試作機と比較して、波長分解能の向上のみならず、画素数 (336×256 から 1000×1000)、計測スピード (2fps から 7fps) など、大幅な性能向上に成功した。
- 7) 眼底分光データから網膜の血中酸素飽和度を推定するためのアルゴリズムを改良した。これにより、酸素飽和度の絶対値推定が可能になった。さらに、走査型眼底分光装置への組み込みのために、使用する波長を $3\sim 5$ バンドに減らし解析時間の大幅な短縮に成功した。
- 8) 侵襲性の低い走査型検眼鏡を利用した眼底分光装置を開発した。光量の改善、分解能の改善を行い、プロトタイプ機で無散瞳のヒト眼底のイメージングが行えることを確認した。これをもとに臨床研究に使用可能な、可搬型の試作機開発を行った。一方、微粒子を利用した眼底分光モデルを試作した。

(3) 医学評価

- 1) 既存の最高性能を有する OCT 製品を用いさまざまな眼底疾患 (糖尿病網膜症、網膜静脈閉塞症、網膜動脈分枝閉塞症、緑内障、加齢黄斑変性等) を有する患者のデータを採取し、眼底の組織形態を解析するのに必要な感度、画角、撮影速度、撮影部位などの条件を求めるとともに、得られる眼底所見の分析を行った。
- 2) OCT 画像の解像度を向上させ、微細な病変の描出力を改善する画像処理法を考案した。
- 3) 既存の最高性能を有する走査レーザ検眼鏡を用いて、さまざまな眼底疾患 (糖尿病網膜症、網膜静脈閉塞症、網膜動脈分枝閉塞症、緑内障、加齢黄斑変性等) について蛍光眼底造影検査を行い、眼底血流解析に必要な画角、撮影速度、撮影部位などの条件を求めた。

《11》-2 悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器研究開発プロジェクト【委託・課題助成】 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、「悪性腫瘍治療支援分子イメージング機器に関するフィージビリティスタディ (フェーズ 1)」において、悪性腫瘍の診断・治療を支援するための、腫瘍組織を悪性度も含めて分子レベルの機能変化を検出・診断できる高感度、高精度、高速の種々の機器の実現手段について、その可能性をあらゆる技術について網羅的に把握するため、下記の①～④のフィージビリティスタディテーマに対して、次の項目について予備検討 (実験を含む) を行った:

- ・組み合わせる機器と薬剤
- ・適合疾患
- ・最終目標性能 (感度、特異性、費用対効果、低侵襲性、微小転移検出能、位置把握制度等)
- ・フェーズ 2 で開発する最大の開発要素とその解決方針
- ・国内外の競合技術に対する優位性 (特許比較、対応方針を含む)
- ・他の分子イメージング技術と比較した特徴
- ・研究開発プロジェクトの終了後に研究開発成果を速やかに実用化するために必要と考えられる方策として現時点で想定される内容及び今後その方策を具体的に計画・実施していくために採用する必要他あると考えられる取り組み体制
- ・実用化に当たり技術開発の他に必要な事項 (臨床研究、制度整備、企業化形態等)

これにより、平成 18 年度以降の「悪性腫瘍治療支援分子イメージング機器の開発（フェーズ 2）」に係る研究開発項目及びその開発目標等を明確化した。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

1) フェーズ 1：悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器に関する先導研究

悪性腫瘍等の疾患の診断・治療を支援するための、腫瘍組織等を悪性度や疾患の進行度も含めて分子レベルの機能変化を検出・診断できる高感度、高精度、高速の種々の機器の実現手段について、その可能性をあらゆる技術について網羅的に把握する。このため、平成 17 年度からの継続テーマと平成 18 年度からの新規テーマに対し、以下の項目について予備検討（実験を含む。）を行う先導研究（プロトタイプ開発を要さないで実用化を目指すものも含む。）を実施した。

- ・組み合わせる機器と薬剤
- ・適合疾患
- ・最終目標性能（感度、特異性、費用対効果、低侵襲性、微小転移検出能、位置把握制度等）
- ・実用化のために開発する最大の開発要素とその解決方針
- ・国内外の競合技術に対する優位性（特許比較、対応方針を含む）
- ・他の分子イメージング技術と比較した特徴
- ・研究開発プロジェクトの終了後に研究開発成果を速やかに実用化するために必要と考えられる方策として現時点で想定される内容及び今後その方策を具体的に計画・実施していくために採用する必要があると考えられる取組体制
- ・実用化に当たり技術開発の他に必要な事項（臨床研究、制度整備、企業化形態等）

2) フェーズ 2：悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器の開発

平成 17 年度のフィージビリティスタディの結果に基づき、上記目標を達成するのに有望と評価された分子イメージングの実現手段について、体内の腫瘍、脳神経系等の疾患を悪性度や進行度も含めて検出・診断しうる分子イメージング機器のプロトタイプを開発する。具体的には、京都大学大学院医学研究科 教授 平岡 真寛氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発項目について、研究開発を実施した。

2-1) 研究開発項目「PET、PET-CT/MRI システムの開発」

2-1-1) 近接撮像型 PET 装置の開発

- ・被写体への検出器の近接配置により立体角、ひいては SN 比の飛躍的な増大を実現するとともに、従来大きな問題となっていた近接配置による解像度の劣化を克服した超高解像度の DOI 検出器（微小なシンチレータを立体的に組み上げ、深さ方向の位置弁別を可能にした 3 次元放射線検出器）を用い、検出器固有空間分解能 2mm 以下を達成するための要素技術開発を行った。
- ・転移頻度が高く、転移がんの早期診断が特に必要とされる乳がんを第一の対象とし、検出器の 3 次元化に伴う膨大なデータ量に対応したデータ処理システム（高集積放射線パルス分離計測回路、インテリジェントデータ収集システム等）と、高 SN 比の 3 次元画像再構成機構を実現するための要素技術開発を行った。

2-1-2) 高分解能 PET-CT/MRI システムの開発

- ・DOI 検出器と時間差情報（TOF）を利用した画像再構成技術により、全身用 PET として検出器固有空間分解能 4mm 以下を達成するための要素技術開発を行った。
- ・マルチモダリティ装置として、前記の高分解能全身用 DOI 型 PET と 64 列以上の高性能次世代マルチスライス CT を融合した DOI 型次世代マルチスライス PETCT 装置開発の要素技術開発に着手した。
- ・高磁場 MRI 装置において、局所臓器を 20 分以内の短時間で高速に撮像するための技術開発と、そこで得られた MRI 画像と PET 画像の各画像の画像歪を 5%以下に補正して画像融合可能な補正・融合アルゴリズム開発を行った。

2-1-3) 近接撮像型 PET 装置・高分解能 PET-CT/MRI システム用分子プローブ製剤技術の開発

- ・近接撮像型 PET 装置及び高分解能 PET-CT/MRI システムによる悪性腫瘍等の分子イメージングのために、マルチモダリティに対応できる分子プローブ設計法、分子プローブの効率的な合成技術、PET 分子プローブの小型自動合成装置、高分子プローブキャリアとなる材料技術、ターゲット部位への分子プローブ特異的送達技術の技術開発に着手した。

平成 19 年度は、以下のとおり実施した。

1) フェーズ 1（委託事業）：悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器に関する先導研究（平成 17 年度～平成 21 年度）

悪性腫瘍等の疾患の診断・治療を支援するための、悪性度や疾患の進行度も含めた腫瘍組織等の分子レベルでの機能変化を検出・診断できる高感度、高精度、高速の種々の機器の実現手段について、あらゆる技術について網羅的にその可能性を把握する。このため、平成 18 年度、平成 19 年度からの継続テーマ 3 件に対し、以下の項目について予備検討（実験を含む。）を行う先導研究（プロトタイプ開発を要さないで実用化を目指すものも含む。）を実施した。

- ・組み合わせる機器と薬剤
- ・適合疾患
- ・最終目標性能（感度、特異性、費用対効果、低侵襲性、微小転移検出能、位置把握精度等）
- ・実用化のために開発する最大の開発要素とその開発手法
- ・国内外の競合技術に対する優位性（特許比較、対応方針を含む。）
- ・他の分子イメージング技術と比較した特徴
- ・研究開発プロジェクトの終了後に研究開発成果を速やかに実用化するために必要と考えられる方策として、現時点で想定される内容及び今後その方策を具体的に計画・実施していくために採用する必要があると考えられる取組

み体制

- ・実用化に当たり技術開発の他に必要な事項（臨床研究、制度整備、企業化形態等）

各テーマについては、厚生労働省と連携しつつ、研究結果と実用化の見通し等を評価する合同評価委員会を行い、その評価結果に基づき、研究の継続を決定するとともに、計画や予算配分等を見直した。

- 2) フェーズ2（助成事業）：悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器の開発（平成18年度～平成21年度、自主中間評価：平成20年度）

悪性度や進行度も含めた悪性腫瘍等を超早期段階で検出・診断しうる分子イメージング機器のプロトタイプおよびプローブ剤を開発することを目的とし、京都大学大学院医学研究科教授 平岡 真寛氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発項目について研究開発を実施した。

2-1) 研究開発項目「PET、PET-CT/MRI システム、プローブの開発」

2-1-1) 近接撮像型 PET 装置の開発

- ・超高解像度の DOI 検出器（微小なシンチレータを立体的に組み上げ、深さ方向の位置弁別を可能にした3次元放射線検出器）の技術開発を行い、4層 DOI 検出器で検出器固有空間分解能 2mm 以下を達成した。
- ・乳がんを第一の対象とし、検出器の3次元化に伴う膨大なデータ量に対応したデータ処理システム（高集積放射線パルス分離計測回路、インテリジェントデータ収集システム等）と、高 SN 比の3次元画像再構成機構を実現するための技術開発を行い、データ収集回路の1次試作および画像再構成ソフトウェアの1次試作を完了した。

2-1-2) 高分解能 PET-CT / MRI システムの開発

- ・DOI 検出器と時間差情報 (TOF) を利用した画像再構成技術の技術開発を行い、全身用 PET の2層 DOI 検出器で検出器固有空間分解能 4mm 以下を達成した。
- ・マルチモダリティ装置として、前記の高分解能全身用 DOI 型 PET と 64 列以上の高性能次世代マルチスライス CT を融合した DOI 型次世代マルチスライス PET-CT 装置開発の要素技術開発を行い、全身用2層 DOI 型 PET 装置2次試作機 (GSO+GSO 検出器を5リング搭載) の製作・調整・評価を完了した。
- ・京都大学集中研に 1.5T MR 装置を設置し、これに組み合わせる高速収集系としての多チャンネルフェーズドアレイコイル（躯幹部 16 チャンネル）を開発・実用化するとともに撮像プログラムであるパルスシーケンスの開発推進を目的として新パルスシーケンス開発環境（基本構造）を新規開発した。これら技術を活用して高速な拡散強調画像の収集を実現し、局所臓器を拡散強調画像により短時間（20分）以内で撮像する技術の開発については最短約10分での撮像を実現した。
- ・末梢血流を高分解能に撮像するための技術としては、MR 造影剤を使用せず特定の血管を描出する技術（非造影 MRA）を複数臓器領域で開発した。さらなる高分解能化のために局所多チャンネルフェーズドアレイコイル（32 チャンネル）の開発をおこなった。
- ・画像融合技術の開発は、拡散強調画像の歪は脳の拡散テンソル画像でより明瞭に評価できる。そこでまず同画像を用いて撮像時に画像歪を補正する手法を開発、これを拡張して躯幹部での画像歪補正を可能とした。これによりファントムでの評価で画像歪を 5%以内に補正し、導入した既存のソフトにより、ファントム画像の融合を試行した。

2-1-3) 近接撮像型 PET 装置・高分解能 PET-CT / MRI システム用分子プローブ製剤技術の開発

- ・近接撮像型 PET 装置及び高分解能 PET-CT/MRI システムによる悪性腫瘍等の分子イメージングのために、マルチモダリティに対応できる分子プローブの開発を目指して、がんイメージングの標的分子に膜結合型マトリクス分解酵素 (MT1-MMP)、動脈硬化イメージングの標的分子として酸化 LDL 受容体 (LOX-1) を抽出し、各種培養細胞系を用いて MT1-MMP、LOX-1 の標的分子としての有用性を明らかにした。また、これら標的分子を認識する認識ユニットとして、抗 MT1-MMP、抗 LOX-1 抗体の放射性標識体をデザインし、それらの作製・誘導化・放射性標識化を基礎的に検討した。
- ・PET プローブの自動合成に関して、マイクロリアクターによる C-11 メチル化反応について試行し、本法により PET プローブの迅速合成が可能であることを明らかにした。
- ・MRI 用プローブの開発を目的として、MRI 検出用のシグナルユニットとして、シルセスキオキサン (POSS) を核に有し、従来品の DOTA、DTPA のガドリニウム錯体と比べ、約 100 倍の感度をもつゼンドリマーの作成に成功した。
- ・動物用 PET に関して、ラット、マウスでの PET 撮像を行い、撮像、イメージの再構成について適切な条件の設定に成功した。

《12》再生医療の早期実用化を目指した再生評価技術開発 [平成18年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、再生医療の早期実用化を目指した再生評価技術開発についてのフィージビリティスタディを行うとともに、評価技術並びに機器開発の最終目標達成に向けた検討を行った。又、標準化体制の立案に向けた国内外の調査を行った。これらの結果は以下のように取りまとめられた。

1. 「再生医療評価技術・評価装置に関する国内外の標準化動向調査」

日本標準規格 (JIS) 並びに、国際規格 (ISO) の現状を調査した結果、再生医療標準化の参考となる外科用インプラント材料に関しての規格が、JIS で3件、ISO で41件制定されているのみで、再生医療評価技術・評価装置に関し

ては現状“0件”である。又、標準化への取組みは、先ず JIS 化を進め、その原案を ISO 等に展開する方策で進めることが、再生医療 F/S 委員会の席でも確認された。尚、国際化を進めるに当り各国の状況把握が重要となるが、最近再生医療分野で活発な活動を展開している、韓国・中国等の動向を調査した。

2. (A)「間葉系幹細胞の一次培養プロセスの計測・評価技術開発に係る F/S」

間葉系幹細胞の厚みと細胞増殖活性の相関を、既存の原子間力顕微鏡を用いて検証した。ヒト間葉系幹細胞の増殖能の高い細胞は、増殖能の低い細胞に比し細胞核部分での厚みが増加している傾向にあった。光学顕微鏡と画像解析ソフトを利用して、細胞厚みならびに細胞面積に対応した数値情報を取得することができた。細胞表面特性を評価するため、培養フラスコ表面でエバネッセント光を発生させるための全反射系を構築した。さらに、バラックではあるがエバネッセント光を用いた蛍光測定装置の製作もおこなった。ゲノム及びエピゲノム変異解析に関しては、変異細胞混入率 1%から 0.01%の検出感度の測定法を樹立し、その方法を用いて実際の間葉系幹細胞の培養系における変異解析を行った。その結果、K-ras 遺伝子の変異は検出されなかったが、p16 遺伝子のメチル化は約 30%と高率に発生していることが判明した。

3. (B)「骨の再生医療プロセスの計測・評価技術開発に係る F/S」

ヒト間葉系幹細胞による骨基質産生量を測定するため、既存のイメージアナライザーを用いて、骨基質に取り込まれたカルセインの蛍光強度と骨基質中のカルシウム量の相関を調べた。これらのパラメータ間には正の相関が認められた。また、LED 光源、CCD カメラによる一括撮影方式により、市販ヒト間葉系幹細胞のサンプルを用いて蛍光像と定量値が取得できることを検証した。さらに、培養骨基質蛍光測定装置のプロトタイプ製作に向けて、蛍光画像撮影の光学系ユニットの小型化も試みた。また、様々な性状を有するセラミックスの気孔径、気孔率を水銀ポロシメータで測定することができた。さらに、ヒト間葉系幹細胞を担体内部に保持し、さらに担体内部で骨形成を生じさせることが可能な多孔質セラミック担体が選択できた。

4. (C)「軟骨の再生医療プロセスの計測・評価技術開発に係る F/S」

各種三次元支持体中で培養されている軟骨組織の経時的な成熟状態を評価するために、細胞に損傷を与えることなく、簡便かつ迅速に軟骨組織の力学特性を計測できる技術開発を進めた。気体のポリトロブ変化による圧力と体積変化を利用した非接触式体積弾性率計測法によって、微小かつ不定形な試料の定量的な力学特性計測に成功した。また、音波照射式インピーダンス法によって計測した力学応答から、対象物の形状によらず、かつ、従来の機械式計測と同様な精度で、対象物の定量的な力学特性測定に成功した。さらに、改良型 DT-MRI 法による軟骨の構造異方性の画像化に成功し、軟骨組織の構造を *in vivo* で非侵襲的に判定するための基礎的技術を整えた。

培養軟骨性状・物性の新規評価技術として、光音響法による粘弾性計測技術と時間分解自家蛍光スペクトル計測技術に関して検討した。光音響法による培養軟骨物性測定は、組織工学的関節軟骨の培養過程において細胞外マトリックスの構築に伴う粘弾性特性が非侵襲的に計測可能であることを実証した。また、時間分解自家蛍光スペクトル計測に関しては、コラーゲン特有の蛍光パラメータから細胞外マトリックスの性状評価が可能であり、将来的に光音響法と同時計測が可能であることを確認した。

5. (D)「心筋の再生医療プロセスの計測・評価技術開発に係る F/S」

骨格筋芽細胞の純度や分化度を非侵襲的に測定する手段として、細胞シートの電気生理学的特性を評価した。基板電極を用いた電位測定の結果、骨格筋芽細胞シートと心筋細胞シートで活動電位のパターンが異なる傾向があった。また、細胞内カルシウム濃度変化のイメージングより、筋芽細胞の分化度の違いによって濃度変化が異なることが示した。

さらに移植細胞シートの機能を *in situ* で評価するため基礎技術となる、反射型近赤外酸素モニタリングを用い組織の酸素飽和度、水分量などを測定した。ラット心筋梗塞部位と正常心筋部位において、経皮のおよび開胸下で酸素飽和度、水分量の違いを計測することができた。また、膜電位感受性色素を用いて心臓表面の膜電位変化を測定する技術を確立し、細胞移植による不整脈の発生機序を調査することが可能となった。

6. (E)「角膜の再生医療プロセスの計測・評価技術開発に係る F/S」

角膜上皮幹細胞疲弊症の治療に用いる培養上皮細胞シート中の上皮幹細胞・前駆細胞の簡便かつ迅速な定量法、および同細胞シート中の分化上皮細胞の分化度の簡便かつ迅速な定量法として、生化学的手法および分子生物学的手法が利用できることを示した。培養上皮細胞シートは上皮幹細胞・前駆細胞を豊富に有するという観点からは、角膜中央に局在する分化した角膜上皮細胞よりも上皮幹細胞・前駆細胞が局在する輪部上皮によく似た細胞集団からなることが明らかになった。また、種々の培養条件を検討した結果、培養条件を制御することにより、異なる分化度を示す上皮細胞からなる種々の上皮細胞シートを作製することに成功した。さらに、これらの培養条件が、細胞シート中の上皮細胞が有する分化度を迅速に評価するプロトコルの確立に活用できることを示した。本 F/S により、当初の目的である、十分な治療成績をえるために必要な細胞シートに要求される諸条件を、少量のサンプルを用いて迅速に定量化する新規技術の開発が可能であることが明らかになった。国際標準化に関しては、ここで得られた成果を、現在準備中である国外でおこなうことを計画中の多施設臨床治験において活用することから始め、十分なフィードバックを得た後に申請を準備する予定である。

平成 18 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所セルエンジニアリング研究部門 組織・再生工学研究グループ主幹研究員 大串 始氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

①「間葉系幹細胞の一次培養プロセスの計測・評価技術開発」

光学顕微鏡と画像解析ソフトを利用して、細胞厚みならびに細胞面積に対応した数値情報を取得することができた。培養状態における間葉系幹細胞の増殖能と形態計測技術開発に向けて、細胞観察機能付自動搬送インキュベータを導入し、観察システムの構築を行った。また、細胞表面特性を評価するため、培養容器表面でエバネッセント光を発生させるための全反射系を構築した。この結果、平成 18 年度の目標を達成する成果を得た。

細胞用途用に部分改造した位相シフトレーザー顕微鏡（以下、PLM という。）を用い細胞厚みに対応する数値デー

タを取得し細胞活性及び分化状態の予備調査を行った。予備調査の過程で得た新しい知見については、日本生物工学会において「位相シフトレーザー顕微鏡を用いた接着動物細胞の非侵襲的な立体形状測定法開発」という演題で発表を行った。

メチル化特異的 PCR 法（以下、MSP 法という。）を用いた p16 遺伝子のメチル化定量解析系を確立することができ、これを応用して、実際に間葉系幹細胞初代培養系において p16 遺伝子のメチル化を検出した。また H-, K-, 及び N-ras 遺伝子の点突然変異を TaqMan 法により定量的に解析できる系も確立し、平成 18 年度目標を達成する成果を得た。

②「骨の再生医療プロセスの計測・評価技術開発」

ヒト間葉系幹細胞による骨基質産生量を測定するための蛍光計測装置の基本設計の検討を行い、LED 光源、CCD カメラによる一括撮影方式により、市販ヒト間葉系幹細胞のサンプルを用いて蛍光像と定量値が取得できることを検証した。また、骨基質蛍光測定装置のプロトタイプ製作に向けて、蛍光画像撮影の光学系ユニットの小型化も試みた。さらに、培養骨基質の蛍光定量技術に関して、ASTM international (F04.43) の New Standard Work Item として規格案を提出するなど、平成 18 年度目標を大きく上回る成果を得た。

③「軟骨の再生医療プロセスの計測・評価技術開発」

再生軟骨の体積弾性率を測定するための装置開発について検討を行い、シリコンゴムを試料とした計測により、接触式機械計測試験機と同様な精度による測定結果を得た。さらに、家兎軟骨細胞を播種したコラーゲンゲルについても培養時間ごとに計測し、力学的成熟度の変化を評価できた。Diffusion Tensor - Magnetic Resonance Imaging (DT-MRI) を用いた軟骨の構造解析において、空間分解能が、従来我々が達成できた 1.3mm から、さらに、0.7mm にまで改善することができた。また、ASTM international (F04) において再生軟骨の力学評価の標準化に関する意見交換を行うなど、平成 18 年度目標を達成する成果が得られた。

光音響法による物性評価に関しては、プロトタイプ装置製作のために、システム構成品の配置最適化を図った。この際に、光音響法と時間分解自家蛍光スペクトル法が同時に施行できるよう調整した。また、測定精度向上を目的として、計測波形のダイナミックレンジを広くし、かつ、測定ポイント数を 12.8 倍増やした。時間分解自家蛍光スペクトル法による性状評価に関しては、計測パラメータを算出するアルゴリズムを構築し、各パラメータを計測信号から算出できるように改良した。さらに、標準化に関しては光音響法による物性評価に関する提案を ASTM international (F04.04) の New Standard Work Item Type として Registration を行った。以上より、平成 18 年度目標を上回る成果を得た。

④「心筋の再生医療プロセスの計測・評価技術開発」

多点基板電極を用いた細胞シートの電気生理学的特性の基礎検討として、骨格筋芽細胞の電気生理学的特性について検討した。筋芽細胞に特異的な細胞内カルシウム濃度の変化を測定することにより、培養筋芽細胞における筋芽細胞の割合を調べることが可能となった。さらに、移植した細胞シートを in situ で機能計測評価を行う技術開発を目的として、反射型近赤外酸素モニタリングによる、組織の酸素飽和度、ヘモグロビン量、及び水分量の測定について基礎検討を行った。組織のヘモグロビン量について、反射型近赤外酸素モニタリングによる非侵襲的な方法と組織を摘出し直接ヘモグロビン量を測定する侵襲的な方法で測定した結果、両方法において相関が認められた。以上の結果から、平成 18 年度目標を達成する成果が得られた。

⑤「角膜の再生医療プロセスの計測・評価技術開発」

細胞シート中の上皮幹細胞・前駆細胞の定量的評価システムについて、特異的モノクローナル抗体及び高感度ウェスタンブロッティング法を利用して、移植に供する細胞シート試料中に含まれる p63 サブタイプを定量化する条件をほぼ確立することができた。また、ウェスタンブロッティング法と並行して、より定量性の高い TaqMan プローブを用いた定量 PCR を用いて、mRNA の定量を検討した。ヒト試料用の TaqMan プローブは既知の遺伝子配列により設計した。なお、ヒト試料は非常に貴重であるため、予備的検討にはラット、イヌ、ウサギなどの実験動物を用いた。ウサギ p63 遺伝子配列は全長の約 70% を決定した。免疫染色に関しては、現在、サンプリング方法の最適化が進行中である。以上の結果から、平成 18 年度目標を達成し、目標を上回る成果を得た。これらの成果に関しては、逐次、論文として発表する予定である。

細胞シート中の分化上皮細胞および粘膜上皮特異的機能の定量的評価システムについて、これまでに、家兎を用いた培養角膜上皮細胞シートおよび口腔粘膜上皮細胞シートを作製した。これらの培養上皮細胞シートの評価を定量的に実施するために、回収したシートの総細胞数、自動細胞分取装置（以下、FACS という。）解析による生細胞率や上皮系細胞含有率を測定した。さらに角膜上皮機能に関与している特異的なムチン発現についても、FACS や real-time PCR 法による検討を行っており、角膜上皮細胞への分化やその機能を定量的に測定することが可能であることが示唆された。ヒト培養上皮細胞シートに関しても順次検討を進めており、平成 19 年度中には角膜上皮幹細胞疲弊症に対する臨床応用を開始し、既存の評価方法に変わる新しい培養上皮細胞シートの定量的評価方法として提案を行う予定である。

平成 19 年度は、再生医療における評価技術の開発及び再生医療の実用化を促進するため、独立行政法人産業技術総合研究所セルエンジニアリング研究部門 組織・再生工学研究グループ主幹研究員 大串 始氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

①間葉系幹細胞の一次培養プロセスの計測・評価技術開発

1)「間葉系幹細胞の培養モニタリング評価技術と計測機器開発」

1-1) エバネセント光を用いた間葉系幹細胞の特性の計測技術開発

エバネセント光による細胞表面の蛍光検出技術を確立するため、細胞表面分子に特異的に結合する蛍光標識抗体を複数種類選択し、これらの抗体と培養した間葉系幹細胞との反応を検討した。その結果、それぞれ異なる波長の蛍光標識を持つ 2 種類の抗体を用いて、蛍光フィルタを切替えることで、2 種類の抗体の蛍

光画像を撮影できることが確認できた。また、プロトタイプ機器の製作に向けて、励起光の導入方法、受光部の光学系、フィルタなどの基礎データを基にして、実験の再現性を上げるとともに2種類の蛍光標識抗体を一度に観察するための試作機を製作した。

1-2) 間葉系幹細胞増殖活性を評価するための細胞厚み及び細胞面積を測定する装置の開発

細胞形態計測装置プロトタイプ(評価検討機)を構築し、(独)産業技術総合研究所内NEEDORoomに設置した。また、細胞厚みの自動計測アルゴリズムの改善を行い、計測環境による出力変動を小さくすることで、細胞厚み計測精度1 μm 程度は達成できる見込みを得た。さらに、再生医療用細胞を培養する際に多く用いられるT75フラスコ中で培養中の細胞厚み計測も可能であった。

細胞の増殖過程における細胞厚みの経時変化を計測できる培養器具と観察計測可能なタイムラプス計測機能付の倒立型位相シフトレーザ干渉顕微鏡(PLM)を製作した。ハードウェア部の開発は完了し、解析制御ソフトウェアの最終作りこみと、デバックを進めた。その後、北海道大学に搬入し、装置としての評価及び間葉系幹細胞の増殖活性及び分化状態の評価手段としての評価を行った。昨年度作製した部分改造PLMについては、厚さ測定精度1 μ 以下を達成した。

2) 「間葉系幹細胞のゲノム及びエピゲノム変異の定量計測技術」

がん抑制遺伝子であるp16遺伝子のDNAメチル化発生過程をモニターするシステムの開発を検討した。その結果、バイサルファイト処理を用いたDNAに対して、独自に作製したプライマーを用いたメチル化特異的PCRと、これも独自に作製した最も適切な配列を用いた定量的PCR断片測定法を組み合わせることにより、1万個に1個の割合で混入しているメチル化細胞を検出することに成功した。そして、その手法を用いて実際に間葉系幹細胞の初期培養過程におけるp16遺伝子の解析が可能であることを実証できた。

②骨の再生医療プロセスの計測・評価技術開発

1-1) 間葉系幹細胞の骨芽細胞への分化過程における骨基質計測技術の開発

培養骨基質の蛍光計測技術の開発を目的として、培養骨基質に取り込まれた蛍光物質と培養骨基質中のカルシウム量との相関を検討した。ヒト間葉系幹細胞をデキサメサゾン存在下で培養し、骨分化誘導を行った。既存のイメージアナライザーを用いて、培養骨基質に取り込まれたカルセインの蛍光強度を経目的に計測し、蛍光強度を測定したサンプルの骨基質中のカルシウム量をICP法により定量した。得られた蛍光強度とカルシウム量の間には正の相関が確認できた。さらに、培養骨基質の蛍光定量技術に関して、ASTM international(F04.43)のNew Standard Work Itemとして規格案の登録が平成19年5月完了した。

1-2) 骨基質内カルシウム量を算定するための骨基質に取り込まれるカルセインを計測する装置の開発

プロトタイプ機器の開発に向けて、カルセインの他にテトラサイクリンなど、複数のカルシウム親和性の蛍光物質にも対応するための励起波長、蛍光フィルタ、励起光の照射ルート等に関して検討を行った。また、マイクロプレート全体の蛍光画像を一括で取得する方式や、複数装備したターゲットにより励起波長、蛍光波長を容易に切り替え可能とする方式を検討し、これら機能を搭載した機器を製作した。その結果、これまで約3分かかっていた12ウェルの撮影時間を数秒に短縮できることを確認した。また、カルセインの他にテトラサイクリンなど複数の蛍光試薬の画像も取得できることを確認した。さらに、立体基材においてもカルシウム親和性物質の蛍光を測定できる実験装置の構築を行い、測定方法について基礎検討を実施した。

③軟骨の再生医療プロセスの計測・評価技術開発

1) 「三次元支持体内で培養中の軟骨組織の非接触・非侵襲的体積弾性率計測装置の開発」

体積弾性率計測装置のプロトタイプ機器を製作し、計測精度の向上に関する検討を行った。チャンバ内の圧力変動を起こすための体積変化を与える機構を改良し、体積と弾性率が既知のPVA水ゲルを標準試料とした計測実験を行い、再現性のある計測結果が得られた。

2) 「Diffusion Tensor - Magnetic Resonance Imaging(DT-MRI)技術を応用した *in vivo* 生体力学的軟骨組織構造の判定評価技術の開発」

DT-MRI技術を応用した軟骨組織構造の判定評価技術の開発では、シーケンスの改良による超高速撮像によって、臨床における適用が可能な撮像時間でDT-MRI撮像が可能となった。さらに、撮像で得たMRIのDICOMデータファイルを汎用PC上で処理し、DTI画像を構築するソフトウェアのプロトタイプを開発した。

現在、空間分解能0.7mmで構造異方性の画像化が可能であり、ソフトウェア上において拡散方向の視覚化及び数値化が可能となった。

3) 「光音響法による培養軟骨物性・性状の非侵襲的評価技術の研究開発」

粘弾性計測のための光音響法に関しては、プロトタイプ装置の試作に着手した。光学部品最適化に関してほぼ検討を終了し、センサーと光ファイバーからなるプローブについても検討した。組織性状評価のための自家蛍光計測法に関しては、昨年度までに導出プログラムを作成したパラメータ(蛍光強度、ピーク波長、半値幅、蛍光体積)にプラスして、蛍光寿命の導出を検討した。

④心筋の再生医療プロセスの計測・評価技術開発

1) 「多点基板電極を用いた電気生理学的手法による心筋再生シートの機能評価技術とその計測評価装置」

多点基板電極を用いた心筋再生シートの機能評価としては、カルシウム感受性色素を用いたイメージングにより、筋芽細胞固有の細胞内カルシウム濃度変化を観察する条件を確立し、これを指標として細胞集団における筋芽細胞の純度を測定することが可能となった。さらに、筋芽細胞のマーカーとなるMyoD、Myogeninの遺伝子発現と筋芽細胞の細胞内カルシウム濃度変化の相関を検討した結果、筋芽細胞の分化に伴い、細胞内カルシウム濃度変化の頻度が減少することを明らかにした。

2) 「移植心筋再生シートの *in situ* 機能計測評価技術」

心筋再生シートの *in situ* 機能計測評価では、移植細胞シートの膜電位変化をイメージングする条件の検討を行

い、正常心筋部と心筋梗塞部での膜電位変化が異なることを観察した。さらに、細胞シートを移植した心臓について評価する実験系も確立できた。酸素モニタリングを用いた組織血流量の評価技術における実験モデルの作製と予備検討を行い、近赤外を用いた in situ での酸素飽和度測定と、組織ヘモグロビン量測定で相関が得られた。

⑤角膜の再生医療プロセスの計測・評価技術開発

1) 「細胞シート中の上皮幹細胞・前駆細胞の定量的評価システム」

複数の抗体を用いたウェスタンブロッティングによる転写因子 p63 遺伝子産物サブタイプの定量法を検討した。さらに、将来のキット化を考慮して、各サブタイプ特異的なマーカーを遺伝子組換え技術を用いて作製した。東京女子医科大学の学内倫理委員会の承認を得て、健常ボランティアドナーより採取した口腔粘膜組織から作製した培養ヒト粘膜上皮細胞シートと正常口腔粘膜組織をサンプルとして、各種抗原について染色性を検討した。これまでに 20 種以上の未分化マーカー及び分化マーカーの染色条件を確立した。

2) 「細胞シート中の分化上皮細胞および粘膜上皮特異的機能の定量的評価システム」

作製したヒト培養上皮細胞シートの細胞を再懸濁し、PI 染色法を用いた FACS 解析による細胞生存率の解析を行った結果、生細胞率は 86~94%程度であることが明らかとなった。同時に、FACS 解析によるケラチン陽性細胞率を指標に、シート中の上皮細胞純度を定量したところ、培養上皮細胞シート中にはケラチン陽性細胞が 92~97%程度存在することが明らかとなった。また、ヒト培養角膜上皮細胞シートの表層には膜結合型ムチンである Muc16、表層細胞間には細胞接着構成分子である ZO-1、ほぼ全層に角膜上皮細胞に発現する K3 (ケラチン 3) の発現が認められたが、角化性表皮細胞に発現する K1 (ケラチン 1) の発現は全く認められなかった。以上のことより、作製したヒト培養角膜上皮細胞シートは、角膜上皮へ正常に分化しており、バリア機能を備えていることを明らかにした。

《13》心筋再生治療研究開発 [平成 18 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、大阪大学医学部附属病院未来医療センターセンター長 澤 芳樹氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

①バイオ心筋の機能向上技術の開発

開発済みの細胞シート積層化装置プロトタイプを用いて筋芽細胞シートを 5 層まで積層化する条件の精緻化を行った。また血管構成細胞の細胞シートでの積層化に最適な脱着温度・時間等の積層化条件設定の検討に着手した。またコンパクト化のための改良設計 (積層化ユニットを 1 m×1 m×1 m から 0.6 m×0.6 m×0.6 m 程度にする) の検討を行っている。さらに作製されたバイオ心筋を維持培養できるバイオリアクターの試作を行った。バイオ心筋への血管網導入に関しては血管内皮細胞との共培養細胞シートを積層化することで血管内皮細胞の網目構造を付与することに成功した。動物を用いた移植実験では積層枚数の増加による心機能改善効果を確認するとともに大網によるバイオ心筋の被覆により血管網を促進し、より心機能を改善させることが可能となった。また大動物を用いた前臨床試験として間葉系幹細胞シートの移植実験を開始した。

②バイオ心筋の評価技術の開発

バイオ心筋の安全性を評価する技術を開発するために、バイオ心筋の残存ウシ血清由来蛋白質の測定とゲノムレベルでの異常検出方法の予備検討を行った。さらに、バイオ心筋の電気生理学的評価を行うための予備検討として、心筋細胞や筋芽細胞の電気生理学的評価を行った。また、バイオ心筋組織の形態と、内部の細胞密度を評価する基礎実験を行った。

③細胞源・増殖因子の開発

筋芽細胞、骨格筋内幹細胞の開発では、マウスおよびヒトの候補細胞群の特定とその細胞群の多分化能について検証を行った。間葉系幹細胞の開発では、ヒト脂肪組織より心筋分化能を有する細胞群の単離とその細胞シート化を行い、心筋梗塞モデルヌードラットによる心機能改善効果を検討した。さらに、分化・増殖因子の開発では、骨髄間葉系由来の細胞株 OP9 の培養上清に含まれる、新規心筋分化誘導因子について、心筋細胞分化における作用の特異性について検証した。

④細胞機能制御技術の開発

ハニカムフィルムのような構造制御された足場を用いて、足場表面における吸着タンパクの孔径依存性について検討した。さらに、筋芽細胞の孔径と増殖、分化の関係について検討を行った。特定の孔径で、筋芽細胞の増殖を促進することが明らかとなった。

平成 19 年度は、心筋再生シートによる心筋再生治療の早期実現と迅速な普及を目指して、大阪大学医学部附属病院未来医療センターセンター長 澤 芳樹氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

①バイオ心筋の機能向上技術の開発

積層化装置を用いて血管構成細胞 (HUVEC) との共積層化を確認した。また、マニピュレーター引き上げ速度条件等について精緻化を行い、装置設計の指針とした。これらの結果を積層化条件調節機能ヘフィードバックし、統合可能なシステムとして提案することにより、コンパクト化 (40X40X110cm) された新しい積層化装置を開発することができた。また作製されたバイオ心筋を安定に 1 週間維持培養できるバイオリアクターを試作した。灌流培養中、温度・酸素分圧・pH は常時安定しており、培地中の成分濃度は一週間後まで有意な増減は示さなかった。血管網の構築については、網目構造を呈した HUVEC を含む積層化筋芽細胞シートを免疫抑制ラットに皮下移植すると、グラフト部位には顕著な血管新生が誘導され、一部の HUVEC がホストの細胞とともに新生血管を構成することが分かった。また、別の細胞源として期待されている脂肪組織由来幹細胞や線維芽細胞をシートとして用いた場合においても HUVEC の網目構造が認められた。これらのバイオ心筋を皮下組織に繰り返し移植すること (反復移植) により、少なくとも

*in vivo*においては厚さ 1mm の十分な血管網を伴った組織が作製できた。次に、移植シートを構成する細胞種の差異による治療有効性の多施設間での比較検討を目的とし、共通の機能評価プロトコールを作成した。また、脂肪組織由来間葉系幹細胞と骨髄由来間葉系幹細胞との比較において前者は細胞増殖能、血管新生因子分泌能、低酸素耐用量などに優れ、移植細胞のパラクライン効果による血管網誘導を促進することが示唆された。

② バイオ心筋の評価技術の開発

バイオ心筋の安全性評価系として、細胞表面マーカーによる規定、異種由来糖鎖の検証、遺伝子発現プロファイルによる規定、ゲノムレベルの異常を検出する染色体核型解析および Comparative genomic hybridization (CGH) 法を行った。その結果、細胞のキャラクター、分化方向性、遺伝的安定性、移植安全性を客観的に評価することが可能となった。また、残存ウシ胎仔血清の除去を目的に、ウシ血清アルブミン (BSA) を指標として BSA 残存量の測定方法を設定したところ、6 回の洗浄によってシート形状を保持したまま残存 BSA 濃度を培養液の約 $2 \times 10^6 \text{ng/mL}$ から 5ng/mL 未満にまで低減できることを確認した。バイオ心筋の電気生理学的特性評価においては、多点基板電極を用いてラット心筋細胞シートの電気生理学的特性を評価したところ、電気生理学的特性を迅速かつ低侵襲に評価できることがわかった。バイオ心筋の立体的評価についてはまず外観計測解析において、シートの外観評価 (面積、形状) が可能なシステム構築を行い、重層シートに対する面積・形状を非破壊評価することを可能とした。また、内部構造解析においては低侵襲的機能評価を目指し、重層シート内細胞核染色における条件確定、共焦点レーザー顕微鏡での立体的画像取得条件の確定、核密度計測ソフトウェアの作製、各手順を構築し、シート内細胞密度測定システムを実現した。さらに、増殖可能細胞に対する核染色にて、シート内の増殖可能細胞の密度ならびに空間的分布を評価できることを示した。

③ 細胞源・増殖因子の開発

心筋細胞源を開発する目的で、骨格筋間質由来幹細胞の単離と分化能を検討したところ Sk-34、Sk-DN 両細胞とも心筋細胞への分化能を有しており、骨格筋、平滑筋、心筋の 3 種類の筋肉へ分化可能な multi-myogenic stem cell であることが明らかとなった。またヒト組織由来間葉系幹細胞を細胞源として、最適培養条件の検討および個々の細胞に見合う最適な培養環境を検討し、ヒト細胞の安全な増殖・分化誘導を行った。心筋分化能力はほぼ 90% と極めて高い分化効率を示す細胞を得ることに成功した。脂肪組織由来多系統前駆細胞については採取法及び継代培養法、さらに心筋芽細胞へと分化させる培養法を樹立した。細胞シート化技術により心筋梗塞モデル免疫抑制ラットに移植すると良好な結果を得た。加えて、移植後に血管網を構築するヒト脂肪組織由来多系統前駆細胞由来心筋芽細胞シート作製技術を樹立した。分化・増殖因子の開発については新たな心筋分化誘導因子 (X 因子) の単離同定に成功した。さらに P19CL6 細胞、ES 細胞、アフリカツメガエルなどの実験系を用いて、X 因子の作用機序の解明を試みたところ、本因子は心臓発生・心筋細胞分化に必須の因子であることが明らかとなった。

④ 細胞機能制御技術の開発

ハニカムフィルムのような構造制御された足場を用いて、足場表面の構造が細胞の接着形態や増殖などに及ぼす影響と足場-細胞界面に存在する吸着タンパク質について調べた。孔径 $6 \mu\text{m}$ のハニカムフィルム上では、筋芽細胞のデスミン陽性率が他の孔径および平膜上に比べ優位に高くなることがわかった。さらに伸展ハニカムフィルム上では筋芽細胞の配向を制御し分化を促進することが可能となった。また、ハニカムフィルムの細孔周囲にフィブロネクチンが位置選択的に吸着して細胞接着サイトを提供していることがわかった。

《14》三次元複合臓器構造体研究開発 [平成 18 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、東京大学医学部附属病院ティッシュ・エンジニアリング部長 高戸 毅氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

1) 三次元複合臓器構造体の対象となる臓器と研究開発

① 運動器

顔面の骨を想定した非荷重部の骨や顎関節のような小関節を再建、再生するための三次元複合臓器構造体を製造する中間評価に向けて、再生エレメントの仕様検討、試作、さらにそれらの複合化を試み、計画通りの成果が得られた。

② 体表臓器

四肢体幹体表部を想定した、表面形状が様で皮下構造に軟骨を含まない体表臓器を再生、再建するための三次元複合臓器構造体を製造する中間評価に向けて、再生エレメントの仕様検討、試作、さらにそれらの複合化を試み、計画通りの成果が得られた。

2) 三次元複合臓器構造体を実現するための要素技術開発

① 自己組織化機能を有する素材であるとともに、プロセス制御のための情報ネットワークあるいは自律系機能体を構築できる新規材料の開発

情報化、三次元化を目指した素材の設計を行い、自己組織化機能、自律系機能を有する材料構造の設計、試作を行い、計画通りの成果が得られた。

② 複合形成により高度化、集積化、情報化が可能な再生エレメントの設計、製造、製造支援にかかわる技術全般の確立

構造体形成に関わるエレメントを設計し、複合化、高度化、集積化、情報化に必要な条件・環境の設定を行った。計画通りの成果が得られた。

③ 三次元臓器造形、血管化を含む再生組織の複合組織構築技術などにより多細胞、多因子、大体積、高次元構造を実現する複合化技術の確立

生体をシミュレートした臓器構造体複合化の設計を行った。また、構造体製造を目指した三次元複合化技術、構造体血管化技術、移植母床血管化技術の基盤技術開発を行い、計画通りの成果が得られた。

- ④作製過程あるいは移植後生体内での変化が連続モニタリング可能なプロセス評価を実現する非侵襲・低侵襲的評価法の確立

作製過程あるいは移植後生体内での変化を in situ でモニタリングできる評価技術を設計、試作した。また、各三次元複合臓器構造体の再生度を評価できるモダリティを検討し、評価を行った。計画通りの成果が得られた。

平成 19 年度は、形態的にも機能的にも生体に類似した三次元複合臓器構造体の医療導入の促進を目指して、東京大学医学部附属病院ティッシュ・エンジニアリング部長 高戸 毅氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

1) 三次元複合臓器構造体の対象となる臓器と研究開発内容

①運動器

実施計画どおり、顔面の骨や指の骨を想定した非荷重部の骨や顎関節のような小関節を想定した再生エレメントを作製し、それらを複合化することにより、運動器三次元複合臓器構造体を製造した。これらの構造体の形態学および組織学的組織特性を動物実験により実証した。小口径人工血管開発では、vasa vasorum 誘導技術、人工内弾性板、人工血管用スカフォールド（足場）の仕様を決定し、それに基づいた試作品を作製・評価した。

②体表臓器

実施計画どおり四肢体幹体表部を想定した、表面形状が一樣で皮下構造に軟骨を含まない体表臓器を再生、再建するための再生エレメントの仕様検討、試作、さらにそれらの複合化を実現した。表皮・真皮・脂肪層の三層を含む厚みのある再生エレメントを試作し、ヌードマウスを用いた実証試験に成功した。また、活性型 D a n c e 蛋白の精製ならびに弾性線維を含有する体表臓器再生エレメントの作製に成功し、付属器分化能を持つ皮膚幹細胞の単離にも成功した。小口径人工血管開発では、vasa vasorum 誘導技術、人工内弾性板、人工血管用スカフォールドの仕様を決定し、それに基づいた試作品を作製・評価した。

2) 三次元複合臓器構造体を実現するための要素技術開発内容

- ①自己組織化機能を有する素材であるとともに、プロセス制御のための情報ネットワークあるいは自律系機能体を構築できる新規材料の開発

細胞成長因子と生体吸収性合成高分子メッシュとの複合材料、コラーゲンスポンジをメッシュで被覆した複合材料を開発した。また、高い連通性をもつコラーゲン多孔質体を作製する方法を開発した。

- ②複合形成により高度化、集積化が可能な再生エレメントの設計、製造、製造支援にかかわる技術全般およびその製造装置技術の確立

構造体形成に関わるエレメントを設計し、複合化、高度化、集積化に必要な条件・環境の設定および材料技術の開発を行った。構造体形成の素子となる再生エレメントについて、再生エレメントであるスフェロイドを効率的に形成する培養基板、異種細胞同士の接着技術、細胞凝集体の動的多量形成技術の開発を通じて、高度化、集積化の基盤となる再生エレメント構築技術の開発を行った。

- ③三次元臓器造形、血管化を含む再生組織の複合組織構築技術などにより多細胞、多因子、大体積、高次元構造を実現する複合化技術の確立

生体をシミュレートした臓器構造体複合化の設計を行った。また、構造体製造を目指した三次元複合化技術、構造体血管化技術、移植母床血管化技術の基盤技術開発を行い、最終的に顎関節の構成組織である下顎頭の組織造形に成功した。

- ④作製過程あるいは移植後生体内での変化が連続モニタリング可能なプロセス評価を実現する非侵襲・低侵襲的評価法の確立

作製過程あるいは移植後生体内での、骨軟骨および血管の再生度を評価できるそれぞれの非侵襲計測法を装置に組み込み、実験室評価した。また、組織作製過程での in situ 計測法を検討し実験室評価を行い、再生エレメントインターフェースの評価が可能であることを示した。皮膚組織を 10 ミクロンの解像度で可視化可能な 100MHz の三次元超音波顕微鏡装置の試作を行い、血流部位の同定および組織の自動分類のアルゴリズムを開発した。また、血流および組織分類のアルゴリズムについても評価を行った。

《15》生体高分子立体構造情報解析 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

タンパク質がどのような機構で機能を発揮しているかを明らかにするため、生体内で特に重要な機能を持ち、創薬ターゲットとして有望な膜タンパク質及びそれらと相互作用する生体高分子（タンパク質、核酸、脂質、多糖類等）を対象として、立体構造や機能メカニズムを解析する技術の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、東京大学大学院 薬学系研究科 教授 嶋田 一夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 子線及びX線等による膜タンパク質等の構造、分子機構解析技術の開発及びデータの取得

電子線による解析技術において、膜タンパク質の 2 次元結晶化を行うための効率の良い透析システムと 2 次元結晶化法を開発した。膜タンパク質の高分解能の立体構造解析を行うため、自動指数付けなどのコンピュータプログラムを開発した。単粒子解析における像選出しプログラム及び分類用プログラムを開発した。汎用型 300kV 透過電子顕微鏡の製作・改良を行った。さらに、X線結晶構造解析については、アルツハイマー病に関係すると言われている α -synuclein の 3 次元結晶を作製して X 線回折データを収集した。また、ヒト癌細胞を特異的に認識して結合し破壊するタンパク質 3 種類の結晶化を行い、立体構造を決定した。

- (2) 磁気共鳴法 (NMR) 等によるタンパク質間、その他の分子との相互作用解析技術の開発及び、データの取得
電位依存性 K⁺チャンネルと高い相同性を示し、かつポアブロッカー感受性である *Streptomyces lividans* 由来の K⁺チャンネル: KcsA とポアブロッカー: Agitoxin2 (AgTx) の相互作用を NMR により解析した。
- (3) タンパク質関連分子複合体等の構造、分子機構及び生物機能解析技術の開発及びデータの取得
工業的に有用と考えられる膜結合性 β -グリコシダーゼの結晶化と構造解析に成功し、機能発現や機能制御に必須と考えられる生体膜結合メカニズムを提案した。
- (4) データベースとシミュレーション計算を活用した構造情報解析技術の開発
創薬ターゲットである 7 回膜貫通タンパク質 GPCR であるバソプレッシン受容体についてタンパク質-低分子相互作用データを蓄積し、強い活性を示す 2 つの低分子化合物を得ることに成功した。
平成 16 年度は、東京大学大学院 薬学系研究科 教授 嶋田 一夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

- (1) 電子線及び X 線等による膜タンパク質等の構造、分子機構解析技術の開発及びデータの取得
電子線による解析技術の開発については、高分解能構造解析用プログラムシステムを改良するとともに、水チャンネル AQP4 の 3.2 Å 分解能の電子線結晶構造解析を行い、その結晶内での相互作用から、細胞内での AQP4 の新しい機能に結びつく可能性がある知見を得た。単粒子解析は、IP₃ 受容体の立体構造を決定し、IP₃ 結合部位に関する知見を得た。また、電子分光電子線回折計の開発については、ショットキー電子銃部の製作を完了した。さらに、脂質を利用した結晶化については、膜貫通領域に結合する 2 種の阻害剤を組み合わせることで、著しい分解能の向上を見ることができた。また、膜タンパク質の大量発現系の構築技術の開発については、膜タンパク質複合体であるチトクロム酸化酵素の無細胞系の構築に成功し、特許申請を行った。
- (2) 磁気共鳴法 (NMR) 等によるタンパク質間、その他の分子との相互作用解析技術の開発及び、データの取得
NMR を用いた創薬標的タンパク質とリガンドの相互作用解析については、血液凝固に関与すると考えられるチロシンキナーゼ型受容体については、リガンドタンパク質結合最小ドメインを同定するとともに、その発現系を構築し、本ドメインの立体構造の解析を進めた。
- (3) タンパク質関連分子複合体等の構造、分子機構及び生物機能解析技術の開発及びデータの取得
神経伝達物質受容体から細胞内への情報伝達に関わる分子装置の解析では、代謝型グルタミン酸受容体の細胞外領域に 2 種類の蛍光タンパク質又は蛍光色素を結合させ、両蛍光タンパク質間でおこる蛍光エネルギー移動 (FRET) を利用した構造変化検出系を確立した。作製した系はグルタミン酸センサーとして機能することがわかった。
- (4) データベースとシミュレーション計算を活用した構造情報解析技術の開発
分子間相互作用シミュレーションとその評価技術の開発においては、prestoX バージョン 2 を開発し、公開した。本プロジェクトで得られた実験データを用い、*in silico* スクリーニング手法の開発・検証を行い、既存手法より高い確率で活性化化合物を発見できる手法を開発した。
なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。中間評価では極めて高い評価を得た。

平成 17 年度は、東京大学大学院 薬学系研究科 教授 嶋田 一夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

- (1) 電子線及び X 線等による膜タンパク質等の構造、分子機構解析技術の開発及びデータの取得
電子線による解析技術の開発については、アクアポリン 4 を昆虫細胞に発現し、凍結切断法を用いて結晶性を評価し、2.4 Å 分解能の回折点が観察できる結晶を得た。その他の水チャンネルや G タンパク質共役型受容体については、界面活性剤を検討し、最適なものを選定した。単粒子解析については、IP₃ 受容体にカルシウムが結合した開構造を決定し、その構造変化を分解能 11 Å 程度まで明らかにすることに成功した。また、膜タンパク質の大量発現系の構築と 3 次元結晶を得る技術については、がん細胞のアポトーシスに関連するタンパク質の大量発現と精製法を、細胞破壊に関連するタンパク質の構造を決定した。
- (2) 核磁気共鳴法 (NMR) 等によるタンパク質間、その他の分子との相互作用解析技術の開発及び、データの取得
磁気共鳴法 (NMR) による膜タンパク質とその他の分子の相互作用解析については、チロシンキナーゼ型受容体のリガンド結合最小ドメインの立体構造決定を完了するとともに、相互作用部位の同定に成功した。
- (3) 膜タンパク質関連分子複合体等の構造、分子機構及び生物機能解析技術の開発及びデータの取得
また、神経伝達受容体から細胞内への情報伝達メカニズムについては、膜タンパク質の制御因子である新規膜プロテアーゼ等の単離精製と機能解析に成功した。
- (4) データベースとシミュレーション計算を活用した構造情報解析技術の開発
シミュレーション計算を活用したタンパク質構造情報解析については、統計物理学に基づく構造探索エンジンの自動化や実用的な速度で計算できる手法の検討を行った。100 万化合物の 3 次元データベース化を行い、本格的な *in silico* スクリーニング手法の検証実験の準備を進めた。
平成 18 年度は、東京大学大学院 薬学系研究科 教授 嶋田 一夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

- (1) 電子線及び X 線等による膜タンパク質等の構造、分子機構解析技術の開発及びデータの取得
電子線による解析技術については、水チャンネル AQP4 に代表されるように、哺乳類由来の膜蛋白質を Sf9 細胞の発現系を用いて、精製、結晶化にも成功した。極低温高分解能電子顕微鏡や自動電子顕微鏡、プログラム開発によって解析の高速化と精密化を図り、AQPO の 2 次元結晶で、1.9 Å という電子顕微鏡を用いた最高の分解能の構造解析を実現した結果、チャンネル内の水分子や、2 次元結晶内の脂質分子の構造を解析することに成功。また、電子線トモグラフィ用の傾斜機構付極低温高分解能電子顕微鏡も開発した。また、単粒子解析法において、温度検知、痛み感知等に重要な Ca²⁺ イオンを透過するチャンネルを対象に、シグナルとノイズ比やコントラストの低い像から目的とする分

子像の拾い上げを効率よく行うことができるシステムを開発し、100,000 粒子以上の像を平均化することができるようにした。また、膜タンパク質の大量発現系の構築と3次元結晶を得る技術の開発については、膜タンパク質複合体チトクロム酸化酵素の培養細胞系を利用した発現、精製、機能解析に成功した。

- (2) 核磁気共鳴法 (NMR) 等によるタンパク質間、その他の分子との相互作用解析技術の開発及び、データの取得
核磁気共鳴法 (NMR) による膜タンパク質とその他の分子の相互作用解析について、交差飽和法の改良を行い、交換現象を利用した「転移交差飽和法 (TCS 法)」を開発し、基本的には、測定対象の分子量制限をなくすることに成功した。さらに、新規「メチル基利用交差飽和法」を開発し、検出感度を従来法の30倍以上とした。
- (3) 膜タンパク質関連分子複合体等の構造、分子機構及び生物機能解析技術の開発及びデータの取得
細胞内への情報伝達に關与する膜タンパク質の制御因子の解明について、1例として血液凝固や腎炎発症に關連するチロシンキナーゼ型受容体 Axl と Gas6 複合体の相互作用研究を行い、交差飽和法を適用することで、Gas6 結合部位を同定することにも成功し、リガンド結合部位を標的としたスクリーニングを行うことも可能になった。
- (4) データベースとシミュレーション計算を活用した構造情報解析技術の開発
統合的な分子シミュレーションソフトウェア「myPresto」を開発し、期待された機能をほぼ満たし第3版までを公開した。市販化合物350万件を3次元データベース化し、100万化合物について薬物スクリーニングを実行した結果、ランダムスクリーニング実験と比較して40-70倍のヒット率に達することが示された。膜蛋白質であるGPCR、膜結合型酵素TACEについて、上記 *in silico* スクリーニング手法の有効性が示された。

《16》細胞内ネットワークのダイナミズム解析技術開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

遺伝子産物であるタンパク質やそれらの作り出す複数の生体分子が形成する細胞内の情報伝達ネットワークシステムを時間的・空間的に可視化するための標識技術及び解析装置の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、金沢工業大学 教授 大箸 信一氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 複数種生体分子の細胞内識別技術の開発

ネットワークを構成する複数種の生体分子を識別するため、発光タンパク質(赤色、緑色、青色)のは乳細胞での共発現に成功した。シグナル伝達経路物質に対する抗体プローブを作成し、細胞内での Enhanced FRED(蛍光エネルギー移動法)の評価を開始した。また、量子サイズ効果を活用した標識について、605nm放射光(赤色)を20分以上安定して放つシリコンナノ粒子の製造法を実験室レベルで確立した。細胞内調製技術に関しては、緑色、黄色、紺色、赤色の4種類の蛍光タンパク質を適正なリンカーペプチドで接続した発現クローン(ベクター)を作製し、これらをヒト細胞に導入して、転写シグナルと翻訳開始シグナルにより発現量を変動させることを可能にした。また、セミインタクト細胞※1を利用した分子動態解析技術の確立を目的として、哺乳動物細胞における分泌膜タンパク質の細胞内小胞輸送の可視化・再構成、成長因子受容体及び下流情報分子ダイナミクスの一分子可視化解析に成功した。

(2) 細胞内の複数種生体分子同時解析手法の開発

解析対象とする生体分子の時間的・空間的情報を経時的に取得可能な解析装置として、ニポウ方式の共焦点レーザー顕微鏡※2とHARPカメラ※3を組み合わせた顕微鏡のプロトタイプを作製し、評価実験を開始した。また、薄層斜光照明法を応用した顕微鏡システムのプロトタイプ機を構築した。

※1 セミインタクト細胞：細胞機能と細胞形態を保持したまま、生物毒素などを用いて細胞膜に小さな穴をあけ、細胞質を入れ替えることができる細胞。

※2 ニポウ方式：多数のピンホールを形成したディスクをモーターで回転させることにより、試料上のビームをスキャンする方式。従来のミラーを動かす方式では試料上に1ビームだけを照射しスキャンするが、ニポウ方式では、試料上に同時に多数のビームを照射し、より高速で明るい画像を得るとともに、画素数も増やせる利点がある。

※3 HARPカメラ：電子増倍効果により信号を増幅する機能を活用した撮像素子を用いた超高感度カメラ。月明かり程度の光でも鮮明な映像を撮ることが可能。

平成16年度は、金沢工業大学 教授 大箸 信一氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。また、中間評価を実施し、その結果を踏まえつつ軌道修正を行った。

(1) 複数種生体分子の細胞内識別技術の開発

発光、蛍光、抗体などを利用した標識、及び、シリコンナノ粒子を用いた標識を試作するとともに、これら標識機能の評価を行い、生体分子標識技術のプロトタイプを確立した。これらのうち、発光タンパク質標識については実用化を達成し商品化した。また、細胞内調整技術として、微量蛍光標識タンパク質の定量化である細胞内発現制御技術のプロトタイプを確立するとともに、人工染色体を用いて標識タンパク質の発現を確認した。また、セミインタクト細胞を用いて可視化・再構成・解析技術の開発を継続しつつ、創薬スクリーニングシステムへの応用を目指して、セミインタクト細胞自動調製技術を確立するとともに、概日リズムの出力系遺伝子転写制御ネットワークの動態解析用の神経様細胞株を樹立して、ハイスループット解析系構築を進めた。

(2) 細胞内の複数種生体分子同時解析手法の開発

ニポウ方式の共焦点レーザー顕微鏡とHARPカメラを組み合わせた顕微鏡のプロトタイプ機の高性能化を実現し、計画仕様をほぼ達成した。また、薄層斜光照明技術および関連顕微鏡技術を改良し、1分子イメージング顕微鏡のプロトタイプを作製した。核膜や細胞膜上のネットワーク観察を目的とした膜展開技術については、細胞固定技術研究に軌道修正した。

平成17年度は、金沢工業大学 ゲノム生物学研究所 教授 大箸 信一氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 複数種生体分子の細胞内識別技術の開発

ネットワークを構成する複数種の生体分子を識別するため、発光や蛍光、抗体などの生物系及び非生物系（シリコンナノ粒子）素材を用いた標識技術の実用化に向けた高度化を行った。発光検出試薬については、発光反応制御法の開発により半減期3時間の長時間発光反応系に改良をした。また抗体を用いた細胞内シグナル伝達経路の解析技術については、モデル経路の解析に必要な抗体の作製を完了するとともに、FRET シグナルを細胞内で検出することに成功した。また、細胞内調製技術として、4種類の蛍光タンパク質で識別標識した2～3種類の遺伝子をリンカーを介して直列接続したマルチ cDNA 発現クローンを作製し、細胞の染色体上に導入して、発現量を任意に制御できることを確認した。セミインタクト細胞を創製スクリーニング技術系へ展開するため、セミインタクト細胞チップの調整/アッセイの自動化装置を試作し、アッセイ2例に成功するとともに、同装置の改良とウェル内細胞群の3次元蛍光画像自動撮像システムとの組み合わせによるシステム構築をほぼ完了した。

(2) 細胞内の複数種生体分子同時解析手法の開発

ニポウ方式の共焦点レーザー顕微鏡と HARP カメラを組み合わせた顕微鏡については、工学部品の材料や導光路の改良によってS/N比を向上させ、目標入射光の10億分の4に迫る10億分の8以下への背景光低減を実現した。また、プロトタイプ機を用いた生物学的実験を行い、ユーザーニーズを踏まえた装置の改良を行った。また、薄層斜光照明を用いた1分子イメージング顕微鏡については、試料焦点一を±50nmの精度で保持可能な制御ステージを開発した。本装置を用いて免疫刺激による免疫細胞の応答開始点に関する解析を行った。シグナル伝達に関連する細胞応答の観察・計測を行うための基盤構造を作製し、心筋内のミトコンドリアの動態計測に有用であることを実証した。平成18年度は、金沢工業大学 ゲノム生物工学研究所教授 大箸 信一氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 複数種生体分子の細胞内識別技術の開発

生体分子標識技術として、発光タンパク3種（3色）を世界で初めて商品化した。ルシフェリンアナログ化技術は、AMP 化と PPI 添加により、3～4桁程度の基質アナログの発光強度向上と定常発光を確認した。又 FRET 法による Hela 細胞の EGFR の細胞内ドメインのリン酸化検出法を確立し、MAP キナーゼ系蛋白質を抗原とするマウスモノクローナル抗体を作成した。一方、PEI カチオン化法によるタンパク質細胞内導入技術は、GST 融合タンパク質の高効率導入試薬の開発に成功した。cAMP 依存性プロテインキナーゼ活性検出試薬は細胞内環境で従来の試薬より高感度化を達成した。シリコンナノ粒子技術開発は、トランスフェリンをシリコンナノ粒子で標識し、これを生細胞表面のトランスフェリン受容体に結合させ、受容体の振る舞いを約10分間連続観察することに成功した。さらに、細胞内オルガネラにおける機能変化の光計測技術の成果として、シングル細胞のイメージング装置が実用化された。また、標識生体分子の細胞内調製技術として、2～3種 cDNA の生細胞への一過性共導入技術、および核内染色体へ安定共導入する技術を確認し、これらの cDNA 発現量を自在に制御する技術も開発した。HAC 技術は、HAC ベクターへの遺伝子導入技術を確認し、遺伝子発現の制御技術も確立した。また遺伝子転写制御ネットワーク推定・検証技術を、体内時計遺伝子ネットワークで実証した。また、セミインタクト細胞チップ自動作成・アッセイ装置を開発し、その系を利用した分子動態素過程解析技術を確認した。

(2) 細胞内の複数種生体分子同時解析技術の開発

超高速・高精細リアルタイム3D顕微撮像システム開発（超高 SN 比光学系開発、分子識別技術開発等）は、最終目標を達成した。HARP 撮像管も対サチコン（放送用標準撮像管）比1,000倍の感度（アバランシェ増倍率1,000）を持つ撮像管を開発し、それを実装した単波長および多波長カメラを開発した。これら開発した顕微撮像システムを用いて、メンブレントラフィック研究において、ゴルジ体層板形成のダイナミクスの長年の論争に決着を付け（Nature 2006年5月掲載）、繊維芽細胞におけるミトコンドリア長時間挙動解析（移動・融合・分裂）についても論文投稿中である。一方、生体内機能を損なわずに細胞を固定する技術を確認し、その技術を用いて、シグナル伝達応答計測向け基板構造（オリフィス及び微小流体回路）を開発し、また心筋ミトコンドリアの NADH 動態計測における有用性も実証した。その他、薄層斜光照明顕微鏡に関する関連技術とそのソフトウェアの改良により、細胞内部のムービー画像が得られるようになり、分子の定量解析も可能となった。

その他総合調査研究として、2回の研究開発委員会と分科会（必要に応じて）を開催し、また公開ワークショップも開催することにより、研究活動の効率化・円滑化を図った。また、国内外の技術動向調査を実施し、その結果を各実施機関へ情報提供することにより、全体の研究成果の一層の向上が図られた。

《17》国民の健康寿命延伸に資する医療機器等の実用化開発補助事業 [平成13年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するために取るべき措置 (1) 研究開発関連業務(ウ)実用化・企業化促進事業 《I iii》参照]

《18》身体機能代替・修復システムの開発

[中期目標期間実績]

自己修復が困難となった心機能、視覚機能を人工的手段で代替する機器技術及び生体親和性の高い人工骨技術の「身体機能代替技術」、並びに、「身体機能代替・修復支援技術」のうち、インプラント材料の性能評価技術を開発するために、以下の研究開発を実施した。

具体的なプロジェクトの実績は以下のとおり。

《18》－1 生体親和性インプラント材料のテクノロジーアセスメント技術 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

- (1) 臨床事例解析技術の開発については、骨プレート、CHS、γネイル、髄内釘、人工骨頭、人工股関節、人工血管、ステント及びステントグラフトに関して、症例、術後経過、インプラントの材質、形状、不具合に関して、200 例以上の症例調査・解析を実施し、破損の原因、製品の性能を左右する因子を抽出した。さらに、シミュレーション結果を考慮に加え、加速試験等のパラメータを抽出し性能評価技術に反映させた。
- (2) 長期埋め込み患者を想定したインプラント材料の性能評価技術の開発については、平成 14 年度に集中研に設置した性能評価試験装置を用い、輸入品を中心に骨プレート、CHS、髄内釘に関して、曲げ、ねじり、疲労試験等の性能評価試験を産業技術総合研究所と協力して実施した。治具について、標準化を念頭において汎用性が確保されるよう改良を行なった。また委託先同士の密接な連携により、力学的な共通因子を検討し、骨プレート、CHS、髄内釘、人工骨頭の加速試験パラメータを決定した。模擬骨を用いた骨プレートの性能評価結果及び CHS のシミュレーション結果を加え、さらに、臨床データ、国際整合性を考慮し、骨プレート及び CHS の性能評価技術を確認した。CHS、γネイル及び人工骨頭のシミュレーション技術の開発では、骨質データの調査を継続し、加齢に伴う骨質の変化を定量化するとともにインプラントと骨セメント界面での骨結合モデルに反映させ、モデル化の精度を向上させた。CHS の解析に関しては、骨折面の摩擦も考慮できるように改善を加え、数値シミュレーション解析を実施した。CHS 及び人工骨頭システムに加えて、γネイルについても解析及び実験的検証を実施した。これらにより、骨質の変化を考慮し、大腿骨に埋入された CHS 及び人工骨頭システムに生じる応力・歪み解析シミュレーション技術を開発し、模擬骨等を用いた実験によりその妥当性を検証した。

骨プレート及び髄内釘の性能評価技術の開発では、破損メカニズムの解析に関して、骨折の生じていない模擬大腿骨の応力分布を測定するとともに、大腿骨骨幹部骨折の中から主な骨折状態として、横骨折を付与した模擬骨を骨プレート及び髄内釘で固定した状態で負荷を加え、応力分布を測定した。人工血管の性能評価技術の開発では、編物と織物の両者を対象に、市販されているポリエステル製人工血管に対し、溶出等の特性データを取得し、ポリエステル等の人工血管基材の分解性に関する評価技術を確認した。加速劣化試験法の妥当性を検証した後、ポリエステル製人工血管の性能評価技術として確立した。ステントグラフトの性能評価技術の開発では、応力と変形、形状の追従性等など 3 条件に絞り込んだ。それらについての評価技術として、拍動試験装置を作成した。ステントグラフトの代表的な構造を 3 種類選定し、これらをモデル試料として、拍動装置を用いた評価方法を開発した。さらに、グラフト部分及びそれ以外の構成要素についての性能評価として、カテーテル通過や拍動によるストレス負荷後のグラフトの損傷を評価する方法を検討した。人工股関節に関する数値シミュレーション技術の開発では、平成 14 年度に開発した 3 次元有限要素解析モデルを自動生成するソフトウェアを用いて、臨床事例の解析を行なった。1 要素 5 mm 立方の寸法を、さらに細分化して要素を分割し精度を向上させ、実際の骨吸収を呈する臨床結果とシミュレーション結果を比較し、改良を行なった。これにより、人工股関節の骨吸収を再現できるシミュレーション技術を確認した。

- (3) 生体親和性材料評価技術の開発については、表面改質層の生体親和性評価技術の開発及びニチノールの材料劣化評価技術の開発を実施した。ニチノールの材料劣化評価技術の開発では、整形外科で使用されているニッケルを含む合金に関し、溶出試験を実施し、ステント及びステントグラフトに使用されるニチノールと比較した。人工血管の生体親和性評価技術の開発では、人工血管の生体親和性評価技術の開発では、ポリエステル製及びポリウレタン製人工血管の特性データを計測した。ポリエステル製人工血管の特性データ蓄積では、市販されている編物と織物のポリエステル製人工血管に対して、融点・結晶化度や分子量などの特性データを計測するとともに、バースト試験を実施し、強度に関するデータを計測した。ステントの 2 種理の表面処理技術、それぞれについて溶出試験を実施し、表面性状と溶出物との関係を明らかにした。

なお、平成 16 年度までの複数年度契約を締結している。

平成 16 年度は、東京女子医科大学先端生命医学研究所 教授 岡野 光夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

- (1) 臨床事例解析技術の開発

骨プレート、CHS、γネイル、髄内釘、脊椎用骨プレート、人工骨頭、人工股関節、人工膝関節、人工血管、ステント及びステントグラフトに関して、症例、術後経過、インプラントの材質、形状、不具合に関して、1,000 例以上の症例調査・解析を実施し、破損の原因、製品の性能を左右する因子を抽出した。

- (2) インプラントの性能評価技術の開発

- (ア) インプラントの寿命影響因子の解析及び性能評価技術の開発

臨床事例解析結果及び JIS、ISO、ASTM からインプラント材料の寿命影響因子を選定し、平成 14 年度に集中研に設置した性能評価試験装置を用い、輸入品を中心に骨プレート、CHS、髄内釘に関して、曲げ、ねじり、疲労試験等の性能評価試験を産業技術総合研究所と協力して実施した。治具について、標準化を念頭において汎用性が確保されるよう改良を行なった。また、JIS、ISO、ASTM との整合性を考慮し、人工骨頭、ステントの耐久性評価を実施するための治具を設計・開発した。さらに、標準化に必要なデータを構築・試験するため、輸入品を中心に骨プレート、CHS、髄内釘、人工骨頭、ステントの加速試験パラメータの抽出と力学特性評価試験を並行して実施した。産業技術総合研究所と分担して力学的な共通因子を検討し、骨プレート、CHS、髄内釘、人工骨頭の加速試験パラメータを決定した。国際整合性を考慮し、骨プレート及び CHS の性能評価技術を確認した。なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。また、加速財源

を使い、骨プレート及びCHSのデータ数を増やし測定精度を向上させることにより、平成17年度にJIS化できるように加速させた。

(イ) CHS、γネイル及び人工骨頭システムのシミュレーション技術の開発

昨年度までに構築したCHSのシミュレーション解析モデルを、3種類のCHSに適用しその有効性を確認した。γネイルに関しては、各部の寸法パラメータを変化させて荷重変位曲線を作成、CHSと同様にシミュレーション解析による評価が可能であることを確認した。人工骨頭システムに対して、大腿骨近位の骨欠損による力学的な変化を解析し、その影響の大きいことを検証した。

(ウ) 模擬骨を用いた髄内釘の性能評価技術の開発

ガラス繊維とエポキシ樹脂から構成された大腿骨の模擬骨(SAWBONES)にステンレス製髄内釘を挿入し、骨軸を鉛直に包埋固定した状態で骨頭に圧縮荷重を負荷する静的荷重試験を行った。この結果、近位部側のスクリュホールに最も大きな歪が作用していることが確認された。また、同様に髄内釘の一種であるγネイルの荷重試験モデルの検討を行った。

(エ) 人工血管の性能評価技術の開発

昨年度に確立した加速劣化試験法に基づき、3種類の市販のポリエステル製人工血管の加速劣化試験を実施した。更に1年間の皮下埋植動物実験を終了し、*in vitro*と*in vivo*の相関を比較、当該試験法の妥当性を確認することができた。ポリウレタン基材については、加速劣化試験法設定のための基礎検討を進め、試験法の絞込みができた。ePTFE基材については、基礎特性データ取得と加速劣化試験を実施した。

(オ) ステントグラフトの性能評価技術の開発

透明シリコン樹脂を用いて、病変部モデルを作成した。胸部大血管について、通常及び瘤、解離のモデルを作成した。前年度で作成した拍動試験にこのモデルを接続し、市販のステントを留置して試験を実施した結果、臨床での不具合事例として知られる真性瘤へのステントの落ち込みによるマイグレーションのモデルを作成できた。表面がシリコンよりも平滑で摩擦抵抗が少なく、生体と近いとされる軟質塩化ビニル樹脂でのモデル成形を行った。また、反復荷重装置を設計・改良し、ステントグラフトの耐久性評価装置を改良した。

(3) 生体親和性材料評価技術の開発

(ア) インプラント材料の生体親和性及び材料劣化評価技術の開発

表面改質層の生体親和性評価技術の開発及びニチノールの材料劣化評価技術の開発を実施した。表面改質層の生体親和性評価技術の開発では、チタン合金の表面改質層に対する骨との親和性評価パラメータを抽出した。ニチノールの材料劣化評価技術の開発では、整形外科で使用されているニッケルを含有する合金に関し、溶出試験を実施し、ステント及びバステントグラフトに使用されるニチノールと比較した。また、人工血管に関して、6種類の溶液を用いて、溶出試験を行い溶出物の分析を行った。

(イ) 人工血管の生体親和性評価技術の開発

市販のポリエステル製人工血管のうち、編物、織物、表面コートの有無に注目し、これらの違いが基材の劣化に及ぼす影響を加速劣化試験を用いて検討し、その違いを明らかにした。ePTFE製人工血管の物理化学的特性の試験法を文献調査などから検討し、ポリエステルやポリウレタン基材には無かった特徴として表面解析を新たに加えた試験法案を作成することができた。

(ウ) ステント及びバステントグラフトの生体親和性評価技術の開発

反復荷重装置による溶液中での反復試験方法を開発した。これを用いて、培地中にて、約1,200万回の負荷をかけ、表面処理をしたニチノール製ステントと、市販のSUS304製ステントを評価した。取り出した溶液をろ過して金属イオン濃度を測定した結果、溶出はいずれも僅かであり、市販品とニチノールステントとの重量あたりの溶出量はほぼ同等であった。また、この溶液を用いて細胞毒性を評価した。

平成17年度は、インプラント材料に関し、臨床結果との相関を有し、寿命等の性能を公正に評価するテクノロジーアセスメント技術の実現を目的に、東京女子医科大学先端生命医科学研究所 教授 岡野 光夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

臨床系と連携しつつ、標準化に資することが可能な、臨床結果との相関を有し、かつ、従来より短期間で寿命等の性能を評価できるテクノロジーアセスメント技術を開発した。この際、国際標準化機構(ISO)への日本提案等国内標準化及び国際標準化を念頭に置きつつ開発を進めた。

(1) 臨床事例解析技術の開発

骨プレート、スクリュ、CHS、γネイル、髄内釘、人工骨頭・人工股関節、人工膝関節、脊椎用インプラント、人工血管、ステント及びバステントグラフトの不具合に関して、調査・解析し、不具合箇所および原因、製品の性能を左右する因子を抽出し、性能評価技術に反映させた。

(2) インプラントの性能評価技術の開発

(ア) インプラントの寿命影響因子の解析及び性能評価技術の開発

骨接合用品に関しては、骨端プレートを中心に力学的性能評価を行うとともに、標準化の過程で必要とされる補足データを取得し、曲げ剛性と曲げ強度、及び耐久性等の力学的性能評価技術の検証を行った。髄内釘及びγネイルについては、静的圧縮試験及び耐久性評価試験を実施し、固定方法及び最適な試験条件を検討した。人工骨頭及び人工股関節に関しては、圧縮試験を実施し、固定方法及び負荷方法等の試験条件を検討した。また、人工関節の摺動部及びシステム部の耐久性を評価できる評価試験装置を導入し、人工股関節摺動部および骨セメントを用いたシステムの固定条件、制御システム等に関して検討した。さらに、高次(4~6軸制御)で生体の動きをシミュレートできる人工膝関節及び脊椎インプラント等の力学的性能評価装置を導入し、制御装置、制御システム、負荷条件、試験条件を検討した。ステント及びバステントグラフトについては、耐久性評価を行うための制御システム等について検討した。

(イ) 人工骨頭システムのシミュレーション技術の開発

昨年まで構築してきた人工骨頭システムに関する応力解析モデルの検証のために、形状及びサイズの異なるシステムに対してモデルを作成し解析を行った。また、模擬骨の物性データの見直し、模擬骨を使用した試験条件の精密化を行い、シミュレーション解析結果と工学的試験結果との整合性を確認した。

(ウ) 模擬骨を用いた髄内釘の性能評価技術の開発

髄内釘とスクリュー単体での静的強度評価を行った後、実際に模擬骨を用いた髄内釘の力学的性能評価技術に関する検討を行った。

(エ) 人工血管の性能評価技術の開発

ポリエステル製人工血管基材に関する加速劣化試験法の TR 案を作成した。また、実際の使用条件を考慮したポリウレタン製人工血管及び ePTFE 製人工血管の劣化試験法を検討するとともに、針刺し試験前後での力学特性を比較した。

(オ) ステントグラフトの性能評価技術の開発

ニチノールの溶出特性の評価技術として、生体内を模擬した溶液中での拍動付加試験法を確立した。また、生体内模擬環境下での性能評価技術として、模擬血管にポリウレタンを用い、試験の精度及び生産性を改善した。また、試験機を開発するとともにステントグラフトの屈曲性等の評価技術を確立した。具体的には、温度制御可能な引張試験機を開発し、臨床条件での拡張力の評価法を確立した。

(カ) 人工股関節の数値シミュレーション技術の開発

骨吸収に伴うルーズニングを起こした人工股関節の臨床データを収集し、それらを基にした有限要素モデルにより、リモデリングシミュレーションを行った。リモデリングシミュレーションの結果、臨床データと同様の骨吸収・ルーズニング現象が再現できた。また、疲労寿命評価シミュレーションによって、市販されている人工股関節に対する疲労寿命の推定を試みた。さらに、インプラントで使用される各種材料を適用した場合の影響について検討した。

(キ) 人工関節の耐久性評価技術の開発

集中研に導入された人工関節の評価装置を使用して、人工膝関節を中心に耐久性評価試験が高度に解析できる制御システムを開発するとともに、ISO 規格での負荷条件下での試験の可能性について検討した。

(3) 生体親和性材料評価技術の開発

(ア) インプラント材料の生体親和性及び材料劣化評価技術の開発

整形インプラント用金属材料及び人工血管からの溶出物の分析を行い、溶出量の測定及び溶出物の分析技術について検討した。

(イ) 人工血管の生体親和性評価技術の開発

血液適合性について *in vitro* での評価法を検討し、素材と接触した血液中の β -TG と TAT により材料評価ができる可能性を見出した。

(ウ) ステント及びステントグラフトの生体親和性評価技術の開発

臨床で広く用いられているステントの耐久性を溶液中で評価し、大気中での評価とは異なり劣化が溶接部分に集中することを見出した。

(エ) 生体親和性評価技術の開発

整形外科系インプラント表面改質層の表面性状の解析、感作性、遺伝毒性、埋植試験等の試験条件を検討した。

平成 18 年度は、東京女子医科大学 先端生命医学研究所 教授 岡野 光夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

a. 臨床事例解析技術の開発

- ①骨プレート、スクリュー、CHS、 γ ネイル、髄内釘、人工骨頭、人工股関節、人工膝関節、脊椎固定具等に関して、米国 FDA 不具合データベースを中心に不具合原因、不具合箇所及び破損までの期間等に関して、1,000 症例以上を体系的に整理するとともに長期臨床使用上必要となる力学的評価項目を抽出し、性能評価試験の開発に活用した。
- ②CHS、 γ ネイル及び人工骨頭に関し、骨格との適合性及びインプラントと骨組織との界面を考慮しながら模擬骨を用いた基礎実験データ、臨床データにより検証することで工学的シミュレーション技術を確立した。また、加速試験条件の選定に活用すると共に、シミュレーションによる評価方法として TR 案を作成した。

b. インプラントの性能評価技術の開発

1) インプラント材料の寿命影響因子の解析及び性能評価技術の開発

集中研に設置した性能評価装置を用い、骨プレート、スクリュー、CHS、髄内釘、人工骨頭・人工股関節、人工膝関節等に関して、製品形状に応じた治具等の開発するとともに各種製品に対して、静的強度データ及び 100 万回以上までの耐久性データを取得した。また、人工股関節及び人工膝関節に対しては、上記に加え関節の動きを高度に模擬できる試験条件(インプラントの形状に最適な固定方法、周波数、負荷方法及び制御条件)を検討し、輸入製品を中心に 100 万回以上の耐久性データを取得した。さらに、脊椎インプラントについて、高次で生体の動きをシミュレートできる評価装置を用いて、負荷方法及び解析条件等の試験条件を検討をおこなった。

2) 人工骨頭システムのシミュレーション技術の開発

昨年度までに構築したシステムに対する数値解析モデルを使用して、数値解析条件の最適化、メッシュ作成条件の確認、推奨される骨データの調査、普及版解析ソフトウェアを活用した解析などを行い、セメントタイプ及びセメントレスタイプのシステムに対して数値解析を行う際の TR 案を作成した。

3) 模擬骨を用いた髄内釘の性能評価技術の開発

模擬骨を用いた髄内釘の性能評価技術に関する検討を引き続き行い、破壊強度に至る変位挙動などに着目した髄内釘の性能評価技術を検討し、TR 案を作成を行った。

4) 人工血管の性能評価技術の開発

ePTFE (Expanded Polytetra-fluoroethylene (延伸ポリテトラフルオロエチレン)) 基材の動物埋植試験を継続し、埋植前後での物理化学的特性データを取得した。さらにポリエステルやポリウレタン基材との比較検討を行い劣化加速試験方法について TR 案として結果をとりまとめた。ePTFE 製人工血管製品に対して、物理的な影響を考慮した評価 (バースト・針刺し試験) を実施し、不具合調査結果も加味しながら耐久試験方法の妥当性を検討し、TR 案としてまとめた。

5) ステントグラフトの性能評価技術の開発

モデル試料を用いた耐久性試験、圧縮特性、拡張力など力学特性試験及び市販のステントグラフトを用いた拍動試験に関して、データの拡充と補足データの取得を行い、臨床での不具合報告との相関性を高め、各評価方法について TR 案として結果をとりまとめた。

6) 人工股関節の数値シミュレーション技術の開発

数値シミュレーションによるインプラントの長期安定性評価法に関する標準案を提案した。具体的には、3次元、かつ人体に設置されたリアルな系で、基礎実験データ、臨床データにより検証することでシミュレーションにおける力学パラメータとリモデリング及び疲労寿命評価結果との相関関係を示した。リモデリングまでの評価方法については、TR 案として結果をとりまとめた。

7) 人工関節の耐久性評価技術の開発

詳細は1)の通り。

標準化原案について：

①主要なインプラントである骨プレート、CHS、γネール、髄内釘、人工骨頭、人工股関節、人工膝関節、人工血管、ステント又はステントグラフトに関して、臨床との相関を有し、寿命等長期臨床成績を予測可能とする性能評価技術を8以上確立し、標準化案を作成した。

②ステム、人工関節を対象を絞り、インプラント材料のシミュレーションによる評価技術の TR 案を1以上確立した。

③人工血管の強度や漏れ性に関する性能評価技術を開発し、材料劣化や機能低下に関して加速試験法を1以上確立した。また、ステントの耐久性の評価技術を1以上確立した。

c. 生体親和性材料評価技術の開発

1) インプラント材料の生体親和性及び材料劣化評価技術の開発

整形外科系インプラント表面改質層のはく離特性について試験条件及び試験治具等を開発するとともに、3種類の表面改質層の密着強度データを取得した。さらに、感作性、遺伝毒性等に関して、試験溶液および抽出時間等の抽出条件を検討した。また、骨内埋植条件に関して、うさぎを用いて埋植場所引き抜き条件等を検討し、生体親和性評価技術を確立した。

2) 人工血管の生体親和性評価技術の開発

In vitro 血液適合性評価法を継続して検討し、市販人工血管の血液適合性を評価するとともに最終年としての全体総括を行った。

3) ステント及びステントグラフトの生体親和性評価技術の開発

市販品あるいは臨床で広く用いられているステント又はステントグラフトについて、ステント及びステントグラフトの耐久性試験を実施し、結果を標準案とした。

4) 生体親和性評価技術の開発

整形外科系インプラントの表面改質層のはく離特性、骨との密着性、細胞適合性、遺伝毒性、骨内埋植試験等に関して、抽出条件、細胞の種類の影響及び引き抜き強度試験等のデータを取得し、標準化に反映させ、不具合報告が見られる表面改質部及び応力集中箇所からの破損原因を明らかにするため、ノッチ感受性の有無について検討した。

《18》－2 人工視覚システム [平成13年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 人工視覚トータルシステム開発では、眼外装置の1次試作機の開発を完了した。ICを電極アレイ基盤に実装し動作確認を行い、眼内装置の1次試作機を完成させた。

イ. 電力送受信部では、送受信部を作成し、目的ICを正常に動作できるだけの電力伝送が可能なことをシステムレベルで確認した。

ロ. 信号送受信部では、送信側と、受信側の回路を用い、赤外線通信が行えることを確認した。また、13.56MHzレベルのRF(電波)通信が行えることを確認した。

ハ. 画像処理部では、組み込み用ソフトウェアを試作し、35万画素のCCDカメラで256階調640×480画素の画像を捕らえた。また、画像の圧縮、平均化について検討した。

ニ. 眼内装置ICでは、IC単体での性能確認を行い、正常動作を確認した。ICを基盤に実装し、眼内装置のシステム化を行った。

ホ. 眼内装置のIC(体内撮像型)では、0.6ミクロンCMOSプロセスを用い、16×16画素チップの製作を行った。基本性能の評価を行い性能を実証した。

ヘ. 電極アレイとフレキシブル基盤(基盤作成と部品実装)では、白金電極アレイが完成し、電極径と電荷注入能力について評価した。

ト. 包埋材料では、眼内埋植に類似した評価が実施できる環境を確認し、高分子材料にて試験を行い、適合材料を選定できた。

- (2) その他については、*in vivo* 動物実験結果に基づく設計仕様の再検討では、実験動物の眼球に電極アレイを埋植し、電気刺激による細胞の興奮を視覚中枢から検出可能であることが判明した。結果を回路の再検討に活かすようにする。*in vitro* 動物実験では、薄利網膜を用いた実験系にて、電気刺激に対する網膜細胞のカルシウム濃度変化を計測することができた。中間評価の結果、早急な動物実験の必要性及び、厚生労働省のプロジェクトとの連携の強化が指摘されたことに対し、大阪大学医学部と共同実施契約を結び、動物実験の更なる強化を行った。具体的には、平成 16 年度実施計画にて反映する予定である。

なお、平成 16 年度までの複数年度契約を締結している。

平成 16 年度は、眼内あるいは体外に設けた撮像部の信号を、眼内の網膜刺激電極を通じて、網膜細胞（たとえば双極細胞）等を電気的に刺激することにより、視覚機能を得ることが可能な人工視覚システム機器の実現を目的に、大阪大学大学院医学系研究科教授 田野 保雄氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

- (1) トータルシステム開発、要素技術開発

15 年度に開発した、以下の要素技術から構成される体外撮像型（イ、ロ、ハ、ニ、ヘ、ト）と体内撮像型（イ、ニ、ヘ、ト）の 1 次試作機を用い、平成 17 年度前半に完成を目指す 2 次試作機（最終仕様を満たすべく作成する）用の仕様を確定するための各種評価を行った。その結果を踏まえ、2 次試作機的设计、製作を開始した。

- イ. 電力送受信部
- ロ. 信号送受信部
- ハ. 画像処理部
- ニ. 眼内装置の IC
- ホ. 眼内装置の IC（体内撮像型）
- ヘ. 電極アレイとフレキシブル基板
- ト. 包埋材料

- (2) その他

開発した 1 次試作機を埋植して、その性能を定量的・客観的に評価するための動物実験を行った。また動物実験や網膜電気特性同定実験の結果をフィードバックし、上記（1）にて開発する電気刺激装置等の最終仕様及び構造を決定した。

平成 17 年度は、体内あるいは体外に設けた撮像部の信号を、体内の網膜刺激電極を通じて、網膜細胞（たとえば双極細胞）等を電気的に刺激することにより、視覚機能を得ることが可能な人工視覚システム機器の実現を目的に、大阪大学大学院医学系研究科教授 田野 保雄氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

1. 人工視覚トータルシステム開発

STS 方式の要素技術を組み合わせ 2 次試作機を完成させた。また 2 次試作機の各種評価系を立上げた。基本動作評価、温度特性評価、温度上昇評価、電気安全性評価を実施し問題のないことを確認した。水密性評価、長期埋植評価等の信頼性に関する長期評価は継続的に実施中である。

- イ. 電力送受信部

開発した電力送受信回路を送信側基板と受信側基板に組み込み、2 次試作機として機能させた。必要な電力が供給されている事を確認した。

- ロ. 信号送受信部

開発した信号送受信回路を送信側基板と受信側基板に組み込み、2 次試作機として機能させ、システムとして動作する事を確認した。

- ハ. 画像処理部

2 次試作機の体外装置において、カメラからの 288×288 画素の信号を、刺激電極の画素数 10×10 に画像処理し体内装置へ送るソフトウェアを作成した。2 値化モードとグレースケール・モード(256 階調)の両方で問題なく動作する事を確認した。

- ニ. 眼内装置の IC

開発した刺激出力回路 IC とマルチプレクサ IC を 2 次試作機に組み込み、基本動作を確認した。刺激出力回路 IC は、上記電力受信側基板にフリップチップ実装する事で基板の小型化を図った。マルチプレクサ IC は、上述のようにポリイミド基板上にフリップチップ実装した。

- ホ. 眼内装置の IC（体内撮像型）

刺激電極とチップ実装方式の研究を行った。高密度刺激電極材料として IrOx の反応性スパッタによる最適成膜条件を求め、IrOx 膜をスタッドバンプ上に形成して分散型刺激電極アレイを作製する方式を考案し、刺激チップを試作した。分散型電極の実装方式として、フリップチップ実装方式を提案し、より信頼性を高めかつ曲げやすい構造の実現を目指した。3 次元微細加工技術を用いた高密度電極形成技術の開発を行い、チップ分離方式を開発するとともに、216 点刺激電極アレイ試作を実施した。

- ヘ. 電極アレイとフレキシブル基板

2 次試作機に用いる、電極アレイをフレキシブル基板の設計製作を行う。2 次試作機完成後、システム全体としての動作を確認した。次世代電極材料として酸化イリジウム、窒化チタン製電極の開発を行った。

《18》－3 臨床応用に向けた体内埋め込み型人工心臓システム [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) 要素技術の研究開発拍動流型全置換人工心臓の開発については、駆動ユニット、血液ポンプ、制御部とエネルギー・情報伝送系の一体化及び構造被覆材料等の要素技術を確立するとともに、体内埋込性の向上を図るため、フィッティング試験などにより形状の詳細な検討を行った。埋め込み型補助心臓システムの改良検討を行った。連続流型両心補助人工心臓の開発については、駆動ユニット、血液ポンプ、制御部及び制御方式、エネルギー・情報伝送系及び構造被覆材料等の要素技術を確立するとともに、形状の検討により体内埋込性を向上させた。
- (2) トータルシステムの研究開発拍動流型全置換人工心臓の開発については、トータルシステムを完成させるとともに、慢性動物実験を実施した。トータルシステムによる耐久試験を実施した。連続流型人工心臓の開発については、最終生産技術確認を行うとともに、コントロールシステム、エネルギー伝送及び情報伝送システム等について動物実験確認を行った。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

臨床応用に向けた完全体内埋込み型人工心臓の実現を目的に、以下の研究開発を実施した。

- (1) 拍動流型全置換人工心臓の開発
 - (ア) 経皮的エネルギー・情報伝送システムの要素技術の研究開発
高機能型経皮的エネルギー・情報伝送システムの開発を行なった。また、慢性動物実験で使用する経皮的エネルギー伝送システムの1次側コイル・2次側コイル、経皮的情報伝送システムのカプラを製作した。
 - (イ) 拍動流型全置換人工心臓システムの評価
トータルシステムの製作、慢性動物実験を実施し、3ヶ月×8例を目指した。
 - (ウ) 汎用・高機能型拍動流人工心臓システムの開発
補助人工心臓システムの開発、ヒト体内への形状適合の検討を実施した。補助人工心臓システムの開発では、動物実験の結果から改良を行なった後、再度動物実験を実施した。ヒト体内への形状適合の検討では、光造形装置によりヒト用のモックアップポンプを製作し、フィッティング試験などにより形状の検討を行なった。
- (2) 連続流型両心補助人工心臓の開発
 - (ア) 連続流型両心補助人工心臓システムの開発
慢性動物実験で使用するトータルシステムを製作した。
 - (イ) 連続流型人工心臓ポンプにおける駆動ユニットの開発
慢性動物実験で使用する駆動ユニットを製作した。
 - (ウ) 経皮的エネルギー伝送システムの要素技術の研究開発
汎用型経皮的エネルギー伝送システムの基本設計を行なった。
 - (エ) 連続流型両心補助人工心臓システムの評価
慢性動物実験を実施し、3ヶ月×8例を目指し、トータルシステムによる耐久試験を平成15年度に引き続き、継続実施した。ドノバンポンプによる耐久試験、及び、溶血試験・抗血栓試験等の *in vitro* 評価試験を実施した。

《18》－4 生体親和性材料 [平成13年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) 生体骨に近い骨形成能と機械的性質を有する材料の開発については、関節軟骨組織再生用リン酸カルシウム系基材の開発では、関節軟骨組織再生基材として、材料組成・焼成温度等の最適条件を *in vitro* 実験によって確保するとともに、セラミックス単体の動物埋込実験を行い、最適基材についての絞り込みを行なった。人工関節用生体活性ジルコニア系セラミックスの開発では、100～1000 μ mのマクロ的多孔面を有するジルコニア系セラミックスに化学的エッチング処理をすることにより、微細な凹凸を形成させる技術を確立し、マイクロ凹凸のみを形成させた平板試料を用いて動物実験による骨との結合性評価を実施した。高強度・高生体活性水酸アパタイトセラミックの開発では、緻密体タイプを1次試作し、生体活性評価・理化学特性評価を実施するとともに、動物実験により、骨結合性評価を実施した。高生体活性・高柔軟性ナノ酸化チタン粒子分散有機高分子の開発では、生体活性評価を実施し、高強度・高弾性率を維持しつつ、生体活性の高い材料となる最適な調整方法を検討した。骨類似ナノアパタイト/有機高分子繊維3次元複合体の開発では、ナノアパタイト-有機高分子繊維3次元複合材料を試作し、応力-歪特性による力学特性評価を実施するとともに、動物実験により表面処理条件の生体活性評価を実施した。薬剤徐放性格子型完全連通多孔体の開発では、非荷重部用骨修復材料として、サイズ：60×60×20mm、気孔率：50%以上、圧縮強度：10MPa以上の特性をもつ完全連通孔亜鉛含有リン酸カルシウム多孔体の製造技術を開発した。細胞や薬剤の侵入性を向上させるために、気孔径を従来の370 μ mから430-470 μ mに拡大した。粉体圧入技術、気孔オス型除去技術を改善し、単位体積当たり成型時間を50%短縮を実現した。薬剤担持技術の開発では、成長因子bFGFを担持した完全連通孔亜鉛含有リン酸カルシウム多孔体の骨形成能と自己修復結合期間を *in vitro* で評価した。
- (2) 生体活性薬剤等を保持可能な表面修復層の開発については、 β -TCP多孔体からの薬剤徐放を制御する技術を確認

保するとともに、徐放制御物質をさらに取り入れたサイトカイン複合 β -TCP多孔体の *in vitro* 評価、*in vivo* 評価を実施した。

- (3) 自己修復機能等の定量的評価方法の開発については、骨形成解析・評価ソフトウェアの高度化を図るとともに、マイクロX線CTの測定分解能 $4\mu\text{m}$ を達成した。骨形成評価のマイクロX線CT測定と標本との比較・検証を行なうための、生体ラットへの長期埋込み実験を実施した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

骨組織と自然に融合する生体活性を示し、かつ、生体骨に代わって力学的に機能し得る人工の骨、関節、軟骨等の生体親和性に優れた代替・修復材料である生体親和性材料の実現を目的に、中部大学総合工学研究所教授 小久保 正氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

- (1) 生体骨に近い骨形成能と機械的性質を有する材料の開発

人工関節用摺動部材として、生体骨を結合したときの引き剥がし強度を強くするためのマクロ的及びミクロ的多孔層製造技術を開発した。マクロ的及びミクロ的多孔体を作製し、動物実験により骨結合性評価を実施した。

アパタイトの低温焼結により、高靱性化、高生体活性化を実現するための焼結助剤として、最適な生体活性ガラスを開発した。緻密タイプの2次試作及び動物実験により、骨結合性評価を実施した。

荷重用骨修復材料として、高強度・高弾性率を有するナノ酸化チタン粒子分散高分子材料を開発した。ナノ酸化チタン粒子分散高分子材料に対して、*in vivo* 実験により骨形成能等の評価を実施した。

結合部用骨修復材料として、高強度・高弾性率を有する有機高分子繊維3次元複合材料を開発した。結合部用骨修復材料としての強度を有する試料を作製し、動物実験により骨形成能評価を実施した。

非荷重用骨修復材料として、気孔率：60%以上、圧縮強度：10MPa以上の特性をもち、ビタミンKを複合化する完全連通孔亜鉛含有リン酸カルシウム多孔体を開発した。自己修復結合期間の目標は、薬剤担持していないリン酸カルシウム材料と比較して70%以下とした。

- (2) 生体活性薬剤等を保持可能な表面修復層の開発

非荷重用骨修復材料として、気孔率：30~80%、圧縮強度：3MPa以上の特性をもつリン酸カルシウム材料を開発するとともに、表面修飾層からの生体活性薬剤徐放技術を開発した。大型動物骨欠損モデルによる *in vivo* 評価を実施し、表面修飾層から生体活性薬剤等の徐放期間が2日間以上の薬剤徐放技術を開発した。

- (3) 自己修復機能等の定量的評価方法の開発

動物に埋入したインプラント試料を高分解能X線を用いて、非破壊で計測し、骨形成・骨修復材料の変化を定量的に測定する評価技術を開発した。マイクロX線CTの測定分解能を向上する方法を検討し、分解能の目標 $2\mu\text{m}$ 以下を達成した。生体ラットへの長期埋込み実験を継続して行い、骨形成評価のマイクロX線CT測定と標本との比較・検証を行なった。

《19》 ナノ医療デバイス開発プロジェクト【F21】【課題助成】[平成16年度~平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、公募手続きについては、平成16年2月20日に公募の事前周知を行い、平成16年3月29日に公募を開始、平成16年5月26日に公募を締め切り、平成16年8月11日に選定結果の通知を行った。その結果、より早期段階のがんの検出・診断を内視鏡下で実現することを目的に、平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) がん検出用分光イメージング機構及び内視鏡への組み込み技術の開発において、分光素子ユニットの開発として、分光特性のみを評価対象とした原理検証機の作成と評価を完了し、1次実験機(マクロモデル)構造設計を完了した。具体的には、次の通り。
- ①超高密度/高精度実装技術の開発において、原理検証機の要件抽出・選定、及び実験機の製作・導入を完了し、基板平行度を保ちながら実装する方法に必要な計測機を選定導入した。
 - ②超小型/高精度スキヤニング機構の開発においては、1次実験機に向けて、駆動機構(駆動手法)及び制御機構(制御手法)の要件抽出・選定を完了した。また、センサー機構(センサー手法)の要件抽出・選定も完了した。
 - ③超応力抑制成膜技術の開発においては、成膜装置(成膜手法)要件抽出・選定、及び成膜実験機の製作・導入を完了した。また蛍光スペクトルを分離するファブリーペロー型フィルター基本膜設計を完了した。
 - ④超小型高精度光学素子の評価技術の開発においては、微小面間隔測定器の要件抽出、及び実験機の製作・導入を完了(対象：コート前)し、微小範囲の分光反射特性測定要件抽出も完了した(対象：基板単体)。
 - ⑤回折格子型分光ユニット開発においては、1次実験機用の回折格子型分光ユニットの光学設計、素子構成の開発を完了し、照明、回折格子、画像処理ユニットの開発および評価を個別に完了した。
- (2) 生体内光特性解析技術の開発では、
- ①生体の自家蛍光等を利用するものについて、病変検出に有効な検出波長を抽出するために、正常な豚食道を用いた自家蛍光スペクトルデータの取得と解析をおこなった。
 - ②生体ファントムの開発について、生体の散乱、吸収、自家蛍光特性の解析に必要なモデリング情報を動物実験などから得るため、短パルスレーザーを励起光として生体に照射し、自家蛍光の蛍光寿命を測定する計測器の構成検討を行った。
- (3) 生体内光学マーカー等の評価と探索において、①蛍光色素の探索について、市販の蛍光色素を用い分光内視鏡側から求める蛍光色素仕様案を作成し、②リサーチでは食道がんをラットで自然発生させる事を実施し、塗布薬剤及びがん発生までの期間を計測し、医学的効果確認検討のベースとなる被検体とした。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

1) がん検出用分光イメージング機構及び内視鏡への組み込み技術の開発として、分光素子ユニットの開発においては、分光特性に加え、駆動・制御・センサーなどを含む総合的な機能検証を目的とした1次実験機（機能検証機）の作製と評価を完了した。また、1次実験機で得られた知見を基に、最終検討機の構造設計を完了した。具体的には①～⑤の通り。

①超高密度／高精度実装技術の開発では1次実験機（機能検証機）の製作検討において、組立初期の面間隔数100nm、平行度20秒以下の狭間隔実装を実現した。

②超小型／高精度スキャニング機構の開発においては、エアギャップ100nm駆動機構（駆動手法）、エアギャップ制御精度±20nm以下の制御機構（制御手法）、センサー機構（センサー手法）のすべの開発について完了した。

③超応力抑制成膜技術の開発では、平成16年度に導入したスパッタ成膜装置において、膜吸収率の最適化検討、膜厚分布の最適化検討を行い、多層膜成膜が問題なく行えることを確認した。

④超小型高精度光学素子の評価技術の開発においては、分光イメージング検討への対応及び面間隔と平行度の同時評価機能の付加を目的として装置構成を見直し、改造を実施した。

⑤回折格子型分光ユニット開発については、1次実験機の結果を踏まえ2次実験機用回折格子の仕様抽出及び設計・製作を完了した。

2) 生体内光特性解析技術の開発については、①生体の自家蛍光等を利用するものと②生体ファントムの開発についての検討を行った。

さらに

3) 生体内光学マーカー等の評価と探索においては、各種蛍光プローブをがん、正常培養細胞にそれぞれ適用し、蛍光強度を比較することで、がん診断用蛍光プローブとしての可能性を評価し、②分光内視鏡システムに適用できる蛍光色素の基準条件の設定において、開発する分光内視鏡に検出感度の換算が可能なファイバースコープ型の分光内視鏡を開発した。

また、本年度は10月に行った自主中間評価での評価を踏まえて、最終年度へ向けた開発計画の見直しの検討を行った。

平成18年度は、平成17年10月に行った自主中間評価において、「内視鏡の細径化よりも市場での評価を優先させる必要がある。」との評価を受けて、より早期の実現を目指すことを狙った、実用的な分光内視鏡の開発を目標値として掲げ、開発を進めた。また、内視鏡の細径化を目指した技術詳細検討、プロトタイプング、研究開発課題の洗い出しも、並行して行った。

(1) がん検出用分光イメージング機構及び内視鏡への組み込み技術の開発

平成18年度は、平成17年度に開発した1次実験機（機能検証機）により得られた知見を基に、内視鏡先端部に実装可能な寸法へダウンサイジングした外径Φ6.9mmの実用化モデル用分光素子（マイクロモデル）の製作及び評価を完了した。マイクロモデルとの比較では、光学有効径（明るさ）を同等としながら断面積比で75%ものダウンサイジングを実現した。

(2) 生体内光特性解析技術の開発

①これまでに得られた、消化器粘膜における正常部・病変部での自家蛍光スペクトル特性、及び、粘膜層構造と自家蛍光スペクトル分布との対応検討等のデータから、ファントムの自家蛍光材料、層構造を設定した。それに基づき正常部・病変部に対応したファントムを作製し、②作製したファントムをサンプルとして自家蛍光スペクトル測定を行い、動物におけるスペクトルとの比較対応検討を行った。③作製したファントムに対応する数値計算モデルを作成し、自家蛍光特性の計算シミュレーションを行った。このシミュレーションと実測での自家蛍光特性とを比較検討した。④動物の消化器粘膜の自家蛍光における代表的な特徴変化のうち、少なくともその一部が上記生体ファントムにおいて粘膜表面での自家蛍光スペクトルの変化を表現するため、1層モデルとして、蛍光体、吸収体を適切に選択することで、パラメーターを変化できるようにした。

(3) 実用化に最も近いと考えられる蛍光プローブ群について、確実なデリバリーや毒性レベル等の実用化に伴う課題を中心に検討を行った。本検討の中で、FDACrはAOMを発癌物質とするラットの大腸癌に対しても高いコントラストでもって蛍光染色することが可能であった。特に粘膜表面からのアクセス（デリバリー）となるため、粘膜表面への蛍光プローブの到達性がばらつく事も予測された。そこで、IR780という病変部／非病変部とも染色する性質をもつ蛍光色素をFDACrと同時に投与し、画像の割り算を行うことで、FDACrの持つ特徴画像（エステラーゼ亢進細胞からの漏出を反映する画像）を抽出する事ができた。

また、開発が終了した分光内視鏡システムを用いて、検出条件の最終確認を実施した。これまで、評価してきた蛍光プローブに利用されている蛍光色素であるFluorescein、Cy5.5、及び平成16年度に選択してきたAF700溶液からの蛍光を、分光内視鏡システムでどのような条件であれば検出可能かを評価し、良好な結果を得た。

(4) 粘膜を中心に自家蛍光変化の原因解明のために、委託先である京都府立医大でFLIMを用いた生体組織の観察実験・解析にトライした。生体内に存在する物質のうちNADH、FADの寿命が短いことがわかった。一方、計測されたFLIMデータでは、粘膜表面の寿命が短いことから、粘膜表面からの緑領域の自家蛍光物質の候補としてはNADH、FADが表面に存在していると予測された。

また、これまでの検討結果を受けて、計画どおり原理検証モデル（生体ファントム）の作成をおこなった。粘膜表面での自家蛍光スペクトル変化を表現するため、1層モデルとし、蛍光体、吸収体を適切に選択する事でパラメーターを変化できる様にした。最終的には、分光内視鏡システムの実証検証用にφ2mm以下の腫瘍ファントムを作成し原理検証モデルの構築が完了した。

《20》障害者等ITバリアフリー推進のための研究開発 [平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、経済産業省で実施した研究開発を引き継いで、NEDOにおいて引き続き障害者等に適応した移動支援システムの開発を行い、基本計画に定められた所期の中間目標を達成するとともに平成17年度に実証・評価を行うためのシステムを完成させた。

具体的には、

研究開発項目①障害者等に適応した移動支援システムの開発については、利用者の利便性等を考慮し、携帯電話にデバイス制御・アプリケーション制御等を行う端末（接続アダプタ）を接続する形態で、利用者の現在位置周辺の情報提供・任意の目的地までの誘導情報提供・危険箇所の事前告知などを利用者の障害状況に適応するメディア・内容にて提供するシステムの開発を行い、実証・評価を行うためのシステムを完成させた。

研究開発項目②移動支援システム等の実証・評価実験については、平成16年10月のITS世界会議においてシステム紹介を行うと共に、2005年日本国際博覧会会期中に行う実証・評価実験のための実施計画の作成、評価実験に用いる利用者端末・システム等の開発等、評価実験の準備を行った。

研究開発項目③移動支援システム等の規格・標準化の検討については、諸条件を考慮しつつ最終的には利用者の利便性と普及を図ることを第一義に規格・標準化の検討を行った。標準化の体系、意義等基本事項を検討・整理すると共に、それを踏まえて開発者サイド、本システムの対象者である「利用者サイド、あるいは、支援者サイド」の双方の知識を結集させ規格化の原案を検討した。そのために実用化検討委員会を設置し活動を行った。体制としては、各種の障害者団体及び当該障害者及び開発者を構成メンバーとし、システム・情報表現・データベース等の各側面から規格・標準化の可能性検討を行った。また、海外の標準化動向の調査や関係機関の担当者との意見交換等を目的として平成17年3月に、米国に鎌田プロジェクトリーダーをヘッドとする調査団を派遣した。

平成17年度は、NEDO技術開発機構が指名したプロジェクトリーダー（東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻教授 鎌田 実氏）の下で、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「障害者等に適応した移動支援システムの開発」については、平成16年度に研究開発を行ったシステムを用い、後述する「移動支援システム等の実証・評価実験」を行った結果を分析・評価し、利用者の利便性等をより考慮したシステムの高度化に関する研究開発を行った。

研究開発項目②「移動支援システム等の実証・評価実験」については、2005年日本国際博覧会において、会期中に被験者を用いた実証・評価実験を行うに当たり、そのための実施計画の作成、実証・評価実験の実施、取得したデータの集計・分析を行った。なお、これに加え、広く本システムの有効性の評価及び自治体関係者等への告知を行うためのシンポジウムを開催した他、一般来場者を対象としたデモ等を実施した。

研究開発項目③「移動支援システム等の規格・標準化の検討」については、利用者の利便性と普及を図ることを第一義に規格・標準化の検討を行った。標準化の体系、意義などの基本事項を含めた原案に対し、前述実証・評価実験で得られたデータの集計・分析より、具体的な数値や方向性を含めた規格化の原案を検討・作成した。体制としては、各種の障害者団体及び当該障害者及び開発者を構成メンバーとし、システム・情報表現・データベース等の各側面から規格・標準化の可能性検討を行った。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「障害者等に適応した移動支援システムの開発」については、平成16年度に研究開発を行ったシステムを用い、後述する「移動支援システム等の実証・評価実験」を行った結果を分析・評価し、利用者の利便性等をより考慮したシステムの具体的高度化案の提起に関する研究開発を行った。

研究開発項目②「移動支援システム等の実証・評価実験」については、後述する「移動支援システム等の規格・標準化の検討」に必要な実験結果のうち、2005年日本国際博覧会においての実証・評価実験にて実施することが困難であった項目や、分析中にさらに必要と判断された項目に関して結果を得るための「補足的実証・評価実験」を行った。そのための実施計画の作成、補足的実証・評価実験の実施、取得したデータの集計・分析を行った。なお、これに加え、広く本システムの有効性の評価及び自治体関係者等への告知を行うためのシンポジウムを開催する他、一般来場者を対象としたデモ等を実施した。

研究開発項目③「移動支援システム等の規格・標準化の検討」については、利用者の利便性と普及を図ることを第一義に規格・標準化の原案ドラフト策定を行った。平成17年度に検討した標準化の体系、意義などの基本事項を基盤とし、前述実証・評価実験で得られたデータの集計・分析より、具体的な数値や方向性を含めた規格化の原案ドラフトを構築した。そのために実用化検討委員会を設置し活動を行った。さらに、国内及び国際的な標準化体系にするために、福祉に関する有識者や各種の障害者団体及び当該障害者への原案の説明やヒアリング活動を行った。また、国内外の関連団体との連携を構築し、規格化を達成するための調査及び交流を実施した。

研究開発項目④「障害者等適応地図情報に関する研究開発」については、障害者等適応地図に必要なデータ項目に関する要因抽出技術として、地図情報に関して、視覚障害者及び車椅子利用者が必要とされる要因の有効性を検討し、具体的な項目の洗い出しを行った。

研究開発項目⑤「障害者等に適応した移動支援システム等の調査」については、障害者等の移動・案内・危険告知に関する内外の同様なシステム、携帯電話などの携帯が容易なデバイス・周辺システム、障害者等の生

活や就労の支援に関するシステムなどの調査を行い、開発・研究者などと情報交流が行える体制を確立した。また、本プロジェクトの有効な事業化指針を検討した。さらに、学会などへの発表と各国の有識者とのコミュニケーションを確立した。

《21》タンパク質機能解析・活用プロジェクト【F21】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

我が国の強みであるヒト完全長 cDNA 資源を活用し、ヒトの生命活動を担うタンパク質の機能解析に重要な、生物情報基盤の構築と解析装置の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物情報解析センター 副センター長 野村 信夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) ヒトの完全長 cDNA 等を利用したタンパク質機能解析

スプライシング・バリエーション cDNA クローン※1の取得においては、約4,000個のSV cDNAを取得し、すべての高精度塩基配列解析とデータベース化の目処をつけた。大量発現においては、Gateway システム※2を利用した12,000個の導入クローンを新たに作製した。発現頻度解析においては、DNA マイクロアレイによる解析について、ヒト遺伝子28,800種類のマイクロアレイ化を完了した。iAFLP 法※3による解析については、新たに140種のヒト臓器の各組織のRNA試料から、発現頻度測定用鋳型DNAを作製し、3万本強のヒト遺伝子特異的プライマを用いて、350万データポイント(遺伝子×組織)相当の測定を終了した。相互作用解析においては、質量分析計を用いこれまでに膜タンパク質150個について解析を行い、タンパク質の可溶化法、及び質量分析前処理の全プロセスを再検討し、細胞内のシグナル伝達に関わるタンパク質相互作用等の検出を可能とした。非常に弱い相互作用を高感度・高精度に検出できる蛍光イメージングによる相互作用解析では、完全長 cDNA クローン同士の相互作用解析を行ううえで必要な新規単量体化タンパク質を5種作製した。完全長 cDNA クローンにコードされるタンパク質の細胞内局在解析については、新たに蛍光タグ(Venus)融合型発現ベクターを構築するなど幾つかの改良を行い、2777クローン分の解析を行った結果、約47%については、特定の細胞内小器官への局在を特定できた。ヒトの培養細胞に対する siRNA 発現ベクターを2850個作製し、機能未知遺伝子の解析に着手した。合成 siRNA の高機能化について、追加公募を行い委託先を選定し、研究を開始した。モデル動物を活用した機能解析においては、RNAi 関連遺伝子を発現するマウス系統を樹立した。

※1 スプライシング・バリエーション：遺伝子から転写された mRNA はいくつかの部分に切断(スプライシング)されたのち、ある部分が再結合した mRNA がタンパク質に翻訳される。再結合の際に結合する切断部分にバリエーションがあり、1つの遺伝子領域から複数のタンパク質が翻訳され、約3万の遺伝子領域から約10万のタンパク質が翻訳される仕組みとされている。このバリエーションをスプライシング・バリエーションという。

※2 Gateway システム：一旦、発現させたい遺伝子の導入クローン作成した後、その導入クローンを種々の発現ベクターに変換することにより、大腸菌、動物細胞等の種々の発現系に適した発現ベクターを簡便・迅速に作成するシステム。

※3 iAFLP 法：PCRにより複数の組織間の遺伝子発現量を定量する方法。

平成16年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 野村 信夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) ヒトの完全長 cDNA 等を利用したタンパク質機能解析

スプライシング・バリエーション cDNA クローンの取得においては、ヒト完全長 cDNA プロジェクトで遺伝子解析に用いた大規模 cDNA クローン群から、4,000個の新規スプライシング・バリエーション cDNA クローンを取得した。

大量発現においては、Gateway システムを利用した12,000個の導入クローンを新たに作製した。また、約12,000種のタンパク質をハイスループットに発現するシステムを構築し、タンパクチップの試作に成功した。

発現頻度解析においては、iAFLP 法を用いて、発現の報告がこれまでない遺伝子を約4,000種、見出した。

相互作用解析においては、350サンプルを1週間で質量分析で解析処理可能なシステムを構築した。

細胞レベルの解析においては、5,000個の cDNA クローンから発現するタンパク質の細胞内局在情報を取得した。

さらに、ヒト培養細胞に対する siRNA 発現ベクターライブラリーの構築のため、約4,000種類の siRNA を作製した。

平成17年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 野村 信夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) ヒトの完全長 cDNA 等を利用したタンパク質機能解析

スプライシング・バリエーション cDNA クローンの取得においては、ヒト完全長 cDNA プロジェクトで遺伝子解析に用いた大規模 cDNA クローン群から、累計1万4千個のスプライシング・バリエーション cDNA クローンを取得した。

大量発現においては、Gateway システムを利用した導入クローンについて、目標4万を上回る6万クローン以上を作成した。また、これらの導入クローンを用いて、コムギ胚芽無細胞タンパク質発現系、大腸菌発現系、カイコバキュロウィルス発現系、プレバチルス発現系等を用いてタンパク質発現を行うとともに、一部の発現タンパク質については活性を評価し、発現情報のデータベース化を完了した。

発現頻度解析においては、iAFLP 法を用いてヒト、マウス、ラットの様々な組織に対して合計で14,000,000データポイントの発現頻度データを取得し、そのデータベース化を完了した。

相互作用解析においては、質量分析装置による大規模な相互作用解析システムの自動化、効率化を行い、450サンプル/月の処理を可能とした。これまでに累計1万個以上のサンプルの解析を完了。発見した重要な疾患関連相互作用について、Nature を含む主要な科学雑誌に15報報告した。また、従来技術では検出が困難であった非常に弱い相

相互作用、瞬間的な相互作用を検出可能なプローブを開発し、50 種類のタンパク質相互作用シグナルを測定し、局在情報を取得した。

細胞レベルの解析においては、24,000 検体/年の局在解析を可能とするハイスループットな解析システムを確立した。これまでに 32,000 の発現クローンを作成し、局在データを取得し、データベース構築を完了した。ヒト培養細胞に対する siRNA 発現ベクターライブラリー構築を完了するとともに、合成 siRNA については、siRNA のポジションごとに RNAi 活性の寄与を独立のパラメーターとして決定し、off-target を排除するアルゴリズムの作成に成功した。また、エフェクター配列を用いることで、最大で 5 倍の RNAi 効果の活性向上に成功した。

《22》糖鎖エンジニアリングプロジェクト

《22》-1 糖鎖構造解析技術開発【F21】[平成14年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

これまで困難であった糖タンパク質の一次配列構造（単糖の結合順序や分岐構造及びアミノ酸の配列情報）を高速かつ高精度に分析する技術の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 糖鎖工学センター長 地神 芳文氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 糖タンパク質構造解析技術の開発

まず質量分析法で、糖ペプチドから糖鎖を切り出して分析するための条件を検討すると共に、糖ペプチドを糖鎖から切り離さずにイオン化が可能な赤外線レーザー光源を開発し、質量分析計に実装した。また、イオン化に有効な標識剤の検討を進めた。糖鎖プロファイリングでは、レクチンと標準糖鎖の調達を行い、レクチンの糖鎖認識能を利用したフロントアルフィニティークロマトグラフィー自動化装置を試作し、基礎データを取得した。また、レクチンチップ等の糖鎖プロファイラーについても検討を進め、感度向上の成果を得た。以上の手法から得られた解析データをもとに、糖タンパク質、オリゴ糖、レクチンにつきプロトタイプとなるデータベースを構築した。

(2) 糖鎖・糖鎖複合体合成技術の開発

糖ペプチドの自動合成を目指している。合成に利用可能な糖転移酵素のうち4種類を酵母で活性発現させた。糖鎖伸長の足場となるプライマーでは、光切断型やチオエステル型等の機能性リンカーを有するものを設計し、糖転移酵素による合成反応の反応モニタリング法の開発を継続している。

平成16年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 糖鎖工学センター長 地神 芳文氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 糖タンパク質構造解析技術の開発

切り出した N-結合型糖鎖について、解析に必要な糖鎖構造及びその断片化パターンのデータベース化をほぼ終了した。また解析を迅速・効率化するための自動化ソフトの開発を進めた。糖ペプチドのままの状態で解析する技術については、開発したソフトイオン化レーザーを用いて、イオン化の際に糖鎖部分の解裂を抑制することに成功した。レクチン※1の糖鎖認識能を利用した解析法については、フロントアルフィニティークロマトグラフィー※2によるハイスループット自動化装置の試作機を製作し、レクチン-糖鎖の相互作用解析を進めた。

(2) 糖鎖・糖鎖複合体合成技術の開発

酵母を用いて活性型の酵素を取得できる糖転移酵素の絞り込みを進めるとともに、磁性ビーズを利用した固定化糖転移酵素の迅速調整法を確立した。また、ペプチド自動合成装置と糖鎖自動合成装置を統合したハイスループット糖ペプチド合成システムの構築に成功、実際に複雑な糖ペプチドを含む O-結合型ペプチドの合成を確認し、ライブラリー化を進めた。

※1 レクチン：動植物や細菌で見出される糖結合性のタンパク質

※2 フロントアルフィニティークロマトグラフィー：物質間の弱い親和性を精度高く測定できる手法

平成17年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 糖鎖工学センター長 地神 芳文氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 糖タンパク質構造解析技術の開発

質量分析を n 乗繰り返すことにより再現性のある多くの糖鎖の断片化データを取得し、データベース化と構造推定ソフトの開発を行った。この解析システムにより、異性体を含むほとんどの糖鎖構造を同定出来るようになった。また、レクチンの糖鎖認識能を利用した解析法の確立を目指し、フロントアルフィニティークロマトグラフィーによる解析を進め、100 種を超えるレクチンの中から選抜した構造推定に有効なものを固定化したレクチンアレイを開発し、糖鎖構造の推定に有効であることを実証した。これら 2 つの手法による分析データを統合し、ピコモル単位の試料から糖鎖構造を日単位で解析可能とする技術を確立した。

(2) 糖鎖・糖鎖複合体合成技術の開発

糖鎖合成関連遺伝子ライブラリーの構築で取得した遺伝子を活用し酵素の供給を進めるとともに、マイクロ波を利用した固相合成技術の改良など化学合成技術との統合を行い、糖鎖自動合成装置 4 号機を完成させた。本装置を用いて、100 種以上の糖ペプチドライブラリーの構築と、モデル糖ペプチドを 2 週間以内で 10mg 以上合成することに成功した。

以上の成果により、プロジェクト基本計画に掲げた所期の目標を達成した。

《22》－2 糖鎖合成関連遺伝子ライブラリーの構築 [平成12年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

生体物質に多く存在する有用糖タンパク質等の合成に必要な糖鎖合成関連遺伝子を網羅的にクローニングし、その機能解析と利用技術開発のための技術基盤の構築を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 糖鎖工学センター 副センター長 成松 久氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。以下の研究開発を実施した。

(1) 糖鎖合成関連遺伝子の網羅的クローニング

既知糖鎖関連遺伝子との配列相同性に基づいてデータベース検索を行い、81個の糖転移酵素候補遺伝子が得られ、うち42個の遺伝子についてクローニングを終了した。

(2) 糖鎖合成関連遺伝子の機能解析とデータベースの作成

糖転移酵素候補遺伝子81個について、42個の遺伝子についてクローニングし、35個の酵素活性を確認した。28個の遺伝子について合計42件の特許出願を行った。得られたデータを活用したデータベースの構築した。

《22》－3 機能性糖鎖複合材料創生技術開発 [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

糖鎖複合体の持つ局在制御、分子間・細胞間物質認識、免疫応答などの生理機能を活用した機能性複合材料や生理活性物質の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、北海道大学大学院 理学研究科 教授 西村 紳一郎氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 糖鎖及びグリコクラスターの効率的合成技術の開発

硫酸化ジルコニアや酸化チタン触媒の利用を検討した。珪藻土に塩化チタンを化学蒸着法により担持し、アンモニア水による塩基処理、硫酸による酸処理、650℃での焼成処理を行うことで固体超強酸触媒を得た。この新規触媒を超臨界二酸化炭素中でグリコシル化反応に用いたところ、これまで成功していなかった糖ペプチドの合成に成功した。

(2) 機能性グリコクラスター複合材料創製技術の開発

大腸菌0-157やベロ毒素のレセプターであるグロボ糖脂質の三糖をキトサンのグルコサミン主鎖に導入した誘導体で、ベロ毒素の中和活性を確認した。皮膚内で自己組織形成能を有する糖脂質(β-ガラクトシルセラミド)を、化粧品素材として応用できる研究成果(水分保持機能の向上)を得た。

《23》 遺伝子多様性モデル解析技術開発 [平成12年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

ヒトゲノムのDNA全塩基配列情報から、ヒトの疾患に係わる遺伝子情報の取得と、疾患やアレルギーとして現れる表現の違いを関連づける手法の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、国立遺伝学研究所 生命情報研究センター長 五条堀 孝氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) モデル疾患遺伝子多型等を利用した遺伝子多様性の情報解析

多因子性疾患である各モデル疾患(自己免疫疾患、糖尿病、摂食障害及びがん)ごとに、統計遺伝学的解析に必要なサンプル(血液)を各数百検体収集し、遺伝子多型を利用し、全ゲノムから疾患感受性領域の絞り込みを行った。自己免疫疾患(リウマチ、乾癬)について、慢性関節リウマチを対象としマイクロサテライト及びSNPsタイピングを行い、ゲノムワイドな遺伝的相関解析を行った結果、7個の疾患感受性候補遺伝子を明らかにした。糖尿病については、糖尿病疾患感受性遺伝子を3遺伝子同定した。がんについては、ヒト遺伝子2万3千種類を張り付けたcDNAマイクロアレイを作製すると同時に、組織採取、RNA抽出・増幅、ラベル化等のシステムを確立し、発現頻度解析を継続した。中間評価において、実験部門と情報部門、また情報部門間の連携強化が指摘され、プロジェクトリーダーを中心とした定期連絡会の設定、委員会の運営方向の改善を行った。

平成16年度は、国立遺伝学研究所生命情報研究センター長 五条堀 孝氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) モデル疾患遺伝子多型等を利用した遺伝子多様性の情報解析

多因子性疾患である各モデル疾患(自己免疫疾患、糖尿病、摂食障害及びがん)ごとに、統計遺伝学的解析に必要なサンプルの収集を行うとともに、遺伝子多型を利用し、慢性関節リウマチについて30個の感受性遺伝子候補領域を絞り込み、5個の感受性遺伝子を同定した。糖尿病については、5個の感受性SNPs群を特定した。摂食障害については、感受性領域を40個に絞り込んだ。さらに、がんにおいては数百種類の治療応答遺伝子マーカーを見出し、薬剤感受性を規定する遺伝子群を同定した。

平成17年度は、国立遺伝学研究所生命情報研究センター長 五条堀 孝氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) モデル疾患遺伝子多型等を利用した遺伝子多様性の情報解析

多因子性疾患である各モデル疾患(自己免疫疾患、糖尿病、摂食障害及びがん)ごとに、統計遺伝学的解析に必要なサンプルの収集を行うとともに、遺伝子多型を利用し、全ゲノムから疾患感受性領域の絞り込みを行った。自己免疫疾患については、疾患感受性候補遺伝子を、関節リウマチで5個、尋常性乾癬で5個、新たに同定した。糖尿病については、SOCS2遺伝子を、日本人における2型糖尿病の疾患感受性候補遺伝子として同定し、発現調整機能解析を

実施した。

また、疾患感受性候補遺伝子の絞り込み手法に係る統合的な情報解析システムを構築して、各モデル疾患の疾患関連遺伝情報データベースと共に、WEB 公開を行った。

さらに、がんにおいては遺伝子多型や遺伝子発現解析情報を活用し、汎用抗癌剤を中心に副作用、感受性予測のための研究開発を継続するとともに、各がん種の遺伝子発現プロファイル解析に基づく治療効果予測システムを確立した。具体的には、乳がんの術前化学療法感受性予測システム、直腸癌術前放射線・化学療法感受性予測システム、食道癌に対する放射線化学療法の感受性予測システム、大腸癌のリンパ節転移、肝転移予測システム、軟骨系腫瘍の悪性度診断システム、肺がん・膵がん等の難治性がんに対する悪性度診断システム、及び、血液腫瘍の悪性度診断システムを確立した。

《24》 バイオ・IT 融合機器開発プロジェクト【F21】【課題助成】[平成14年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

革新的医療及び健康社会の実現のため、情報処理技術とバイオ技術を融合させることにより、膨大かつ複雑な生命情報を解析・活用する、生体分子計測機器・統合システムの開発及び新たな原理に基づく解析デバイスの開発を目的に、以下の民間企業が実施する実用化開発を支援した。

平成15年度は、平成14年度の1次公募に続き2次公募を行い4件を採択した。平成14年度で採択した18件と合わせ、合計22件のテーマについて民間企業が実施する実用化開発について継続して助成した。

平成16年度は、次の23件のテーマについて、民間企業が実施する実用化開発を支援した。これまでに購入した設備を活用し、実用化に向けた基礎データの取得や、試作品による設計データの取得を支援した。

- (1) バイオインフォマティクスと融合した先進プロテオミクスプラットフォームの創造
- (2) ゲノム・プロテオームをベースとしたプロファイル診断システムの研究開発
- (3) 遺伝子導入及び発現タンパク質の動態解析を行うための顕微鏡付加システムの技術開発
- (4) タンパク質分離のためのプロテインシステムチップの開発
- (5) 微細加工技術を利用した遺伝子及びタンパク質の迅速検出システムの開発
- (6) 走査型マルチプローブを用いた生体分子計測・解析・加工装置の開発
- (7) 可溶性蛋白質の設計・合成・分析統合システムの構築と3次元構造解析への応用
- (8) 糖鎖研究用試薬の製品化
- (9) 遺伝子発現解析等にもとづくデータベース構築と診断チップの開発
- (10) ゲノム・トランスクリプトーム・プロテオーム解析自動化統合システムの開発
- (11) ECAチップを用いた遺伝子診断機器の自動化
- (12) マイクロ流体システムを用いた遠隔地診断システムの開発
- (13) バイオ・IT融合による多元タンパク質解析装置の開発
- (14) ワイヤレスバイオ計測システムの研究開発
- (15) 生体反応解明のための自動マイクロインジェクションシステムの開発
- (16) ブロックコーディング修飾アプタマー法による人工抗体製造システムの研究開発
- (17) リン酸化蛋白質中、リン酸化アミノ酸残基決定のための試薬、プレートの開発・実用化
- (18) 感染症診断用遺伝子診断システムの実用化開発
- (19) 生物情報統合システム KeyMolnet への分子構造情報の統合
- (20) バイオ医薬品製造及び再生医療への応用を目指した自動細胞培養システムの開発
- (21) 高スループットプロテオーム解析質量分析システム
- (22) 薬物動態解析ツールとしてのナノプローブ剤と画像検出システムの開発
- (23) ホームヘルスケアのための高性能健康測定機器開発

平成17年度は、引き続き16年度と同様の23件のテーマについて、民間企業が実施する実用化開発を支援した。

《25》 先進ナノバイオデバイスプロジェクト [平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

生体試料から目的的生体分子(低分子化合物、タンパク質、DNA等)を超高速・高感度・低コストで分析・解析することを可能とする次世代解析機器を実現するためのナノバイオデバイス開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、徳島大学 薬学部 教授 馬場 嘉信氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

- (1) 極微量の生体試料を分析するためのナノバイオデバイスの開発

生体分子や生体情報の解析をナノスケールで行うナノバイオチップを創製するための要素技術として、幅、深さ数十マイクロメートルレベルの流露形成方法の開発・選定、流路内壁の表面修飾によるタンパク質吸着抑制方法の開発を行った。チップ上の極微小空間でタンパク質を結晶化する技術開発については、リゾチーム、ソーマチンなどの数種類のタンパク質の結晶化を行い、結晶過程をモニタリングするための電気的結晶検出方法について検討した。また、一分子を対象として生体情報等を取得・解析する分子スケール生体情報計測技術を開発するため、DNAを1分子レベルでハンドリングし基板上で伸張固定する方法を開発し、この操作を簡便かつ再現性よく行うためのハンドリングデバイスを作製した。

平成16年度は、徳島大学 薬学部 教授 馬場 嘉信氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施し

た。

(1) 極微量の生体試料を分析するためのナノバイオデバイスの開発

ハイスループット・タンパク質解析チップにおいて、血清中の不要な高濃度タンパク質成分を選択的に除去できる新規分画法を開発し、チップ試作によりコンセプトの実証を行った。

POCT マルチバイオセンサの研究開発においては、ナノピラー構造体を配したマイクロ流路の設計・試作を完了し、キャピタリー電気泳動による生体脂質関連物質の分離に成功した。

ピコリットル液滴型タンパク結晶化デバイスの研究開発においては、実際に液滴を精製して、搬送、混合の総合評価を開始し、パラフィンオイルを用いたマイクロパッチ法による各種タンパク質結晶化のプロトコルを作製した。

分子スケール生体情報計測技術の開発の中で1分子DNA解析においては、マイクロ流路内での伸長固定条件を見出し、DNA伸長固定装置のプロトタイプによる実証を行った。

レーザ干渉光熱変換法によるサブ・アトモル生体分子分析技術の研究開発においては、スペクトル評価に適用可能な励起光源系の設計・製作を完了した。

平成17年度は、名古屋大学大学院 工学研究科 教授 馬場 嘉信氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 極微量の生体試料を分析するためのナノバイオデバイスの開発

ハイスループット・タンパク質解析チップの研究開発においては、マルチチャンネルのタンパク質分画集積化チップを搭載した小型プロトタイプシステムを開発し、ユーザ評価を実施した。また、短時間に疾患マーカーの有無を高感度に検出する集積化チップを搭載したプロトタイプを開発し、ユーザ評価を実施した。

一体化 POCT マルチバイオセンサの研究開発においては、要求仕様を満たすセンサチップおよび専用リードアウトユニットを設計し、試作した。さらに、得られたプロトタイプを用いて遠心微小流体制御技術の開発を推進し、最終的に複数の酵素活性の電気化学的測定を実施するとともに、電気化学免疫測定については、測定に必要な一連の各部測定が連続して実行できることを確認した。

ピコリットル液滴型タンパク結晶化デバイスの研究開発においては、試薬供給、液滴生成、2次元搬送装置、温度制御および付与する電圧可変のカードの保管庫、顕微鏡を用いた結晶サイズ記録用システムを1つの装置に組み込んだ、搬送ロボット付きプロトタイプ機を開発した。結晶化においては電場による結晶化の推進効果を、検出法に関しては画像処理による方法の有効性を確認した。

分子スケール生体情報計測技術の開発の中で1分子DNA解析の研究開発においては、1本鎖DNAに対し、STMおよびSTS(Scanning Tunneling Spectroscopy)測定を行い、塩基毎の電流-電圧特性および高き情報に基づき、4塩基の識別が可能であることを実証した。STM/STSの手法を用いたDNA解析プロトタイプ機を作製し、1塩基分解能を有することを確認した。

レーザ干渉光熱変換法によるサブ・アトモル生体分子分析技術の研究開発においては、測定光学系(レーザ干渉計)の2段構造化により、小型かつ高安定な光熱変換測定プロトタイプ機を作製した。モデルタンパク質に対して検出感度を評価した結果、従来の吸収測定に対する感度面での優位性を明らかにした。

《26》ナノ微粒子利用スクリーニングプロジェクト【F21】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

ナノ磁性微粒子を活用した医薬品候補物質の探索とその最適化を高速かつ自動で行うための技術を開発することを目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター 教授 半田 宏氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 医薬品候補物質の探索とその最適化を高速・自動化するシステム等に必要不可欠な高機能・高性能微粒子の創製とその利用技術の開発

磁性ナノビーズのコア部分を形成するフェライト磁性ナノ微粒子の合成法の確立及び物性について検討した。これにより粒子径分布が狭い大きさのそろったフェライトナノ微粒子を合成できるため、粒子径を小さくできスクリーニングプロセス時に長期間沈降しにくい磁性ナノビーズを開発できた。このナノ微粒子のノウハウを活用し、タンパク質の高速・自動スクリーニングを可能とする磁性ナノ微粒子の表面被覆法の開発を行った。

(2) 前項目の技術を活用した医薬品候補物質探索・最適化システム等の開発

スクリーニング自動化装置のプロトタイプの基本仕様、詳細設計を終えた。また、技術解析支援システム(磁場、熱流体、解析モデル作製用3次元CAD)を選定・導入し、磁石による磁性微粒子吸引集積の最適条件の技術検討・解析、攪拌による磁性微粒子とタンパク質の結合確率(衝突する確率)解析、槽内の温度均一化条件の最適化解析を実施した。

平成16年度は、東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター 教授 半田 宏氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 医薬品候補物質の探索とその最適化を高速・自動化するシステム等に必要不可欠な高機能・高性能微粒子の創製とその利用技術の開発

フェライト微粒子作製加工技術を基盤して作製した磁性ナノ微粒子の合成技術の改良を行い、粒径が均一で、生体分子に対する吸着性が少なく、凝集性・磁性・生体適合性も十分な磁性微粒子の製造法がほぼ完成した。

(2) 前項目の技術を活用した医薬品候補物質探索・最適化システム等の開発

プロトタイプIを製作し、東工大で評価を実施した。

平成 17 年度は、東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター 教授 半田 宏氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

(1) 医薬品候補物質の探索とその最適化を高速・自動化するシステム等に必要不可欠な高機能・高性能微粒子の創製とその利用技術の開発

新規開発したナノ磁性微粒子を用いて、MTX (Methotrexate)、ヘム、O157 から細胞へ注入される毒素の一つに関連する標的タンパク質を単離・同定し、これらのタンパク質機能解析も同時に進行しており、分子レベルでの生理活性物質の作用機序が幾つか解明されつつある。また、同様にナノ磁性微粒子を活用して、抗リウマチ化合物、抗糖尿病化合物、C-peptide の標的蛋白質を単離し、同定することが出来た。時計遺伝子マウス Per2 のプロモーター上に見出される第三保存領域中の DNA 断片をナノ磁性微粒子に固定化したプローブを作製し、核抽出液をサンプルとして結合因子の分離および MS 解析を行った。それらの MS 解析の結果、5 種類の時計関連タンパク質を含め、合計 12 種類の結合因子の同定に成功した。

(2) 前項目の技術を活用した医薬品候補物質探索・最適化システム等の開発

スクリーニング自動化装置の開発研究を推進し、基本仕様および技術的要素の検討により、手動と同レベルのスクリーニング結果が得られ、様々な条件でスクリーニングできるソフトウェアの開発ができた。最大 24 サンプル/1 日処理可能なデスクトップサイズの開発にも成功し、MTX を用いてスクリーニング自動化装置の実証研究を実施したところ、well 間の誤差なく、極めて再現性の高いことが判明し、スクリーニング自動化装置の有用性を確認することが出来た。

ナノ微粒子を利用したスクリーニング結果と、分子計算による蛋白質・リガンドの構造計算とを利用してアフィニティが高い化合物を予測し、実験計画にフィードバックできるナノバイオ分子解析システムを開発し、いくつかの例題においてその有効性を実証した。

《27》タンパク質相互作用解析ナノバイオチッププロジェクト【F21】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

タンパク質の機能を迅速、簡便に解明するため、バイオ素子を開発することを目的に、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、東京大学 先端科学技術研究センター 教授 児玉 龍彦氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 機能を保持した状態での膜タンパク質・複合体の発現及びタンパク質相互作用解析技術の開発

タンパク質解析のためのバイオ素子(抗体、ウイルス)を開発するため、効率的な高特異的・高親和性抗体の開発を進めた。トランスジェニックマウスを用い、バキュロウイルス上で発現した抗原を用いた簡便なハイスループット抗体産生系を確立した。この技術を用いて 48 種の核内受容体タンパク質のうち 47 種の抗原の発現に成功し、この内 40 種の抗原の特異的認識抗体産生株を得た。また、肝臓ガンでのグリピカン 3 などの高親和性抗体や胃ガン等の特異タンパク質 3 種類に対する高親和性抗体の作製を進めた。

多種類の微量のタンパク質を検出する抗体チップ(1 滴の血液でガン診断など)を開発するため、これまでの ng/ml レベルから百倍程度高感度の数十 p1/ml レベルでの検出技術の開発を進めた。ピースへの抗体結合量、検出感度とノイズのバックグラウンドの比較から最適ビーズ系の選択を進めた。

多種類の生理活性物質と多種類の膜タンパク質の相互作用を解析する「光るウイルスチップ」の開発を進めた。ビーズ方式でウイルスを固定するが、ビーズ素材の表面への吸着方式と化学的な共有結合での方式を比較検討した。G タンパク質共役型受容体(GPCR)とリガンド(化合物等)が結合したときの活性を蛍光発光(FRET)で検出するための技術の改良を進めた。

中間評価において、医薬品化合物スクリーニング探索チップやガン診断用チップの開発を第一目標に、目的と方向を絞った研究開発を進めることがより有効な戦略であるとの指摘を受け、抗体チップ、ウイルスチップの作製に重点化するように基本計画を変更した。

平成 16 年度は、東京大学 先端科学技術研究センター教授 児玉 龍彦氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 機能を保持した状態での膜タンパク質・複合体の発現及びタンパク質相互作用解析技術の開発

タンパク質解析のためのバイオ素子(抗体、ウイルス)を開発するため、膜受容体タンパク質、核内受容体タンパク質及び腫瘍特異的タンパク質を機能を保持した状態でウイルス膜上に発現させたウイルスの作成を行った。これにより、GPCR 複合体と膜タンパク質複合体併せて約 20 種類について共発現・再構成させた。併せて、トランスジェニックマウスを用い、バキュロウイルス上での発現抗原を用いた簡便なハイスループット抗体産生系を樹立した。これを用いて核内受容体タンパク質のうち 47 種の抗原の発現に成功し、この内 45 種の抗原の特異的認識抗体産生株を樹立した。

多種類の微量のタンパク質を検出する抗体チップを開発するため、微量のタンパク質を検出するまでの連続的な生化学分析を可能とする抗体チップの開発を行った。流路経路・加減圧装置のプロトタイプを試作し、ビーズを装填したチップに対して実際に操作できることを確認した。

平成 17 年度は、東京大学先端科学技術研究センター教授 児玉 龍彦氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) 機能を保持した状態での膜タンパク質・複合体の発現及びタンパク質相互作用解析技術の開発

タンパク質解析のためのバイオ素子の開発における抗体素子開発では、抗原を発現させたバキュロウイルス(BV)とトランスジェニックマウスを利用して抗体作製が困難であった膜タンパク質に対する抗体を作製する技術を開発した。

これまでに膜タンパク質、分泌性タンパク質、腫瘍特異的タンパク質に対する抗体を約 30 種類、約 200 クローン作成した。また DELFIA 法を利用して、これまで選抜が困難であった高親和性 ($K_d < 10^{-9}$) 抗体をスクリーニングする技術を開発した。ウイルス素子開発では、ビーズへの GPCR 発現 BV の機能的固相化技術を確立し、この BV 固相化ビーズを用いて ELISA が可能なことを確認した。また GPCR 複合体として、GPCR (3 種類)、三量体 G タンパク質、アデニル酸シクラーゼを共発現する発芽型 BV 素子を開発し、併せて cAMP シグナルの検出系を開発した。

多種類の微量のタンパク質を検出する抗体チップの開発では、S/N 比を向上させるため、タンパク質非特異的吸着を低減させた微粒子及びチップ基板を開発し、これらのチップ部材の組み立て方法の確立と併せて微粒子封入チップを開発した。またチップでの反応、洗浄をその場で行えるように、洗浄液や反応液などの液体の流れを再現性良く制御するチップハンドラーを作製した。アッセイ系として、開発したチップ上での抗体サンドイッチアッセイ系を作成し、微粒子部分の蛍光のみを測定する自動画像解析ソフトウェアも開発した。このソフトと AFP 抗体、Quatumdot を用いて本チップアッセイ系の感度について検討し、10pg/ml の高感度で測定できる系であることを確認した。チップの主要部材については、製造プロセスとセミ量産体制も確立した。

多種類の生理活性物質と多種類の膜タンパク質の相互作用を解析するウイルスチップの開発では、GPCR を発現した発芽型 BV を固定化したビーズを用いて、蛍光リガンド結合を抗体チップ用システムで検出できる系を開発した。免疫反応に関与する膜タンパク質を発現させた BV を用いて、膜タンパク質間の相互作用を検出可能な系を開発した。また、GPCR を介した G タンパク質の活性変化シグナルを検出可能とする FRET プローブを開発した。本プローブを用いて、細胞系(細胞膜)において、リガンド及び A1F 刺激による GPCR を介した G タンパク質の活性変化シグナルの検出を確認した。

《28》 ナノカプセル型人工酵素運搬体製造プロジェクト【F21】【課題助成】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、原料ヘモグロビン (以下、Hb) のウイルス不活化工程及び製造設備の設計及び製造条件検討を行い、現有の 10L 試作設備に対してウイルス不活化工程等の増設、改造を行った。また、ウイルス不活化法に関してモデルウイルスを用いて予備有効性試験を行いウイルスの不活化を確認した。さらに長期保存安定性を目指した、脱酸素化技術の検討を開始、脱酸素化工程の基本技術を確立し、現有の 10L 試作設備に対して脱酸素化工程検討用設備を増設した。また治験薬 GMP 製造設備の設計を完了し、原料ヘモグロビン設備及び付帯ユーティリティの設置を完了した。さらに実生産技術の研究として脂質成分及び Hb の無菌的混練技術の確立及び Hb 高効率カプセル化技術の検討を行った。虚血性疾患に対する有効性評価として、脳梗塞モデルにおける有効性評価、冠状動脈閉塞モデルにおける有効性評価、担がんモデルにおける放射線治療増感効果、中動物を用いた低 Hb 血漿時の有効性評価、中動物における脱血モデル評価を行い、サルを用いた脳梗塞モデルにおいて基本的有効性を確認した。遺伝子組み換えヘモグロビンをを用いた人工酵素運搬体の研究として、ヒトヘモグロビン高発現株の取得及び生産条件の確立を行った。

なお、平成 16 年度までの複数年度契約を締結している。

平成 16 年度は、平成 15 年度に改造を行った 10L 試作設備を用いて GLP (Good Laboratory Practice : 非臨床) 試験用製剤を試作し、規格試験法の設定、有効性試験、安全性試験、体内動態試験を開始した。またナノカプセル製造設備を施工完了し、治験薬 GMP 設備を完成しバリデーションを開始した。

実生産技術の研究として高度脱酸素化技術並びに同条件下での軟質バッグへの無菌分注技術を確立し、長期保存安定性を確認中である。虚血性疾患に対する有効性評価として、脳梗塞再灌流モデルにおける有効性評価、冠状動脈再灌流モデルにおける有効性評価、担がんモデルにおける抗がん剤治療増感効果、大動物を用いた低 Hb 血漿時の有効性評価、大動物における脱血モデル評価を行っている。

遺伝子組み換えヘモグロビンをを用いた人工酵素運搬体の研究として、ヒトヘモグロビン高発現株を取得し、パイロットスケールでの生産条件の確立と遺伝子組み換えヘモグロビンの性状解析を完了した。

平成 17 年度は、ナノカプセル型人工酵素運搬体製剤製造技術の確立として治験薬 GMP 製造設備の設計・施行・バリデーションについて、検討し、治験薬 GMP 製造設備の詳細設計を行い、これに基づき治験薬 GMP 製造装置の施工を完了した。また、治験薬 GMP 製造設備のバリデーションについて量産化可対応可能なウイルス不活性化工程の技術を確立し、バリデーションを完了した。また、非臨床試験用製剤処方決定及び製造・供給安全性試験用製剤の供給として、ウイルス不活性化工程 (SD 法) 及び脱酸素化装置を導入したヘモグロビン (Hb) 精製装置及びリボソーム製剤製造設備を用い、最終的なナノカプセル型人工酵素運搬体製剤の処方の検討を行った。また、実生産技術の研究について、化学的方法を用いた高度脱酸素化技術を確立し、パイロットプラントを用いた製剤脱酸素化を検討終了し、TRM-645 最終処方を確定した。さらに治験薬 GMP 製造設備での実製剤を用いた脱酸素化検討を実施完了した。製剤原料の規格試験と非臨床試験として最終処方製剤について、予備的な毒性、体内動態の確認試験の実施した。遺伝子組み換えヘモグロビン大量製造法並びに製剤化技術の基礎検討を行った。

《29》 微細加工技術利用細胞組織製造プロジェクト【F21】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) ヒト中枢神経細胞の分化誘導・培養技術と装置の開発については、神経細胞固定用チップ基盤を用いた RNAi の網羅的導入が神経系細胞に応用できることを PC12 株、SHSY5H 株を用い実証した。神経幹細胞、分化させた神経細胞

胞とグリア細胞との共培養、アストロサイトの純培養において細胞の文化状態の違いによって変動するタンパク質の同定と構造決定を行った。神経肝細胞に選択的に発現するプロモイーターを利用した遺伝子強制発現ベクターに関する基礎的データを構築した。ヒト神経幹細胞からのオリゴデンドロサイト分化に成功した。神経肝細胞の培養にて PACAP, VIP, NeuropeptideY がヒト神経幹細胞の増殖を促進する作用があることを確認した。モデル実験の結果、運動の方向性により脳の活動の縮退程度に差異があることを明らかにした。

- (2) ヒト循環器系細胞の分化誘導・培養技術と装置の開発については、EC 細胞の心筋分化系を用いた DNA アレイ解析を完了した。ES 細胞、の分化誘導系構築の過程で、簡便・高効率心筋分化法を見出し、候補遺伝子の発現解析をマウスを用いて確認した。心筋分化に関与するマスター遺伝子の機能検討を、HEK293T 細胞、EC 細胞、ES 細胞、単離心筋細胞での発現解析評価により行っている。トリプシン、トリプシンインヒターの添加、除去操作のみで細胞の薄利と再播種を行う培養にて、細胞剥離過程を評価する方法を確立した。臨床応用できるデバイス化技術としての心筋シート製作にて 3×3 cm の製造が可能となった。また心筋シートのミニプタにおける動物実験を行い、機能改善効果の確認を行った。また、冷間等法圧法を用いた超高静水圧印加処理が安全性の高い脱細胞処理法であることを確認し、脱細胞化により作成された組織骨格に異種細胞が生着している状況を確認した。患部へのセルの搬送、注入を担う重要なマイクロカテーテルのプロトタイプを試作が完了し、実験を継続している。
- (3) ヒト細胞の機能診断及び細胞分離システムの開発については、細胞画像自動撮影ソフト製作において、水平位置撮影版及び垂直位置撮影版が完了した。ヒト神経幹細胞の増殖過程を画像を用いて追跡し、細胞凝集塊の大きさで選別することで、目的細胞を効率よく分種できる可能性が認められる。

なお、平成 16 年度までの複数年度契約を締結している。

平成 16 年度は、大阪大学医学部附属病院未来治療センター センター長 澤 芳樹氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

- (1) ヒト循環器系細胞の分化誘導・培養技術と装置の開発

ヒト心筋細胞の培養技術、及びその分化・発生・増殖・生存過程における遺伝子解析技術を開発するための基礎実験を継続して行い、これによって得られた、幹細胞に複数の遺伝子・タンパクを同時に高効率に導入できるハイスループット DNA インジェクション法、幹細胞ベクター、及び細胞の培養プロセス全般にわたる培養シミュレーションツールを用いて小規模培養装置の設計・試作を行い、臨床応用へ向かった心筋培養と、その実用化に必要な生体適合性・安全性等の評価を行った。

具体的には、ES 細胞の心筋分化を効率的に誘導する手法及び心筋分化誘導過程と遺伝子発現様式の変化を正確に解析する手法を確立し、これらのデータの構築を行った。

DNA アレイ解析により ES 細胞及び EC 細胞の心筋分化誘導過程において特異的な発現変動を示す遺伝子を選抜でき、心筋細胞の分化誘導・培養技術の基盤が得られた。

また、遺伝子解析により作成した心筋前駆細胞を特徴づける膜抗原のプロフィールを基に 2 種類以上の抗原の組み合わせで cell sorter Aria を用いて中胚葉系分化 ES 細胞を sort し、feeder 細胞 OP9 上で培養し出現する拍動するコロニーを採取して定量的 RT-PCR で心筋特異的遺伝子の発現を確認するとともに、心筋幹細胞の単離及び培養系の確立、及び幹細胞ベクターの生産・精製システムの確立により、心筋細胞の分化誘導培養に成功した。

上記技術を用いたヒト心筋細胞の増殖・分化を継代培養を行うために、インテリジェント培養システム構築と、それに必要な細胞増殖分離材料（種々の高分子単分子膜、中空糸）を作製し、老廃物及び栄養物質との物質交換がなされ、より高濃度な細胞が培養されるセルラインを用いる培養方法を開発した。

種々のサイズの再生心筋シート製作においてこれまでに開発した筋芽細胞シートの上重層化による細胞シート作製用デバイスの量産化技術を確立するとともに、新たにナノレベルの生分解性超薄膜と細胞との交互積層法を用いる手法の適用を試みた。

カテーテルを冠動脈内に挿入し骨格筋細胞を移植する低侵襲治療システムの可能性を検討するとともに、PET(ポジトロン層撮影)を用いる動的観測、高磁場 MRI(磁気共鳴画像法)の構造、計測法の検討を行い、体内へ移植したデバイスの機能・安全性・安定性を低侵襲的に評価する技術の確立を図ることができた。

- (2) ヒト細胞分化誘導・培養技術を基盤としての細胞分離・診断システムの開発

ヒト細胞の増殖及び分化過程に関与するヒト遺伝子発現を総合的、系統的に解析することによって、ヒト細胞の増殖や分化過程を遺伝子のレベルで、人為的に制御する技術に関する研究開発を行い、ニューロン様細胞への分化誘導が可能でヒト由来神経系細胞に高効率に RNAi を導入できるチップを開発し分化誘導に関連した遺伝子のスクリーニングへ応用できる可能性を示唆することができた。

さらに、RNAi によって引き起こされる細胞の変化を解析できる装置を開発し、試作品を構築した。本試作システムを用いて、ニューロンへの分化誘導がチップ上でモニタリングできることを確認し、遺伝子機能に関するデータベースの設計と構築を行なうことができた。

幹細胞の分離・回収に必要な細胞チップをアルカンチオール自己組織化単分子膜の微細加工技術を駆使することによって作製し、その神経幹細胞の分化を蛍光免疫染色によって評価できることを見いだした。また、NC1 遺伝子及びその産物が脳神経組織の分化・増殖に高い発現性を示すことを発見し国際特許「新規神経幹細胞マーカー」を出願した。

前脳由来ヒト神経幹細胞、及びそこから分化誘導された神経細胞、グリア細胞、コントロール細胞（ヒト株化脳腫瘍細胞）について、既知遺伝子約 8500 種類の発現の比較と神経幹細胞でのタンパク質発現情報の解析を行い、人為的に分化誘導して作製されたヒト細胞等の生理機能の解析と安全性評価法開発に必要な情報を蓄積した。また、ヒト神経幹細胞の無血清培養に用いる添加因子を探索し、安全・大量培養のための基盤を得ることができた。

細胞・組織形態の各種評価指標に関する画像処理評価を行い数値化・定量化する画像取得装置、培養容器、並びに画像解析ソフトを作成し神経細胞を用いてデータ集積とシステムの検証ができた。

さらに 16 年度から移植細胞の安全性の評価・治療効果の検証を行うためにルシフェラーゼ等の生体発光系を利用してのリアルタイム測定・解析法の適用を検討している。

平成 17 年度は、大阪大学医学部附属病院未来治療センター センター長 澤 芳樹氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) ヒト循環器系細胞の分化誘導・培養技術と装置の開発

- ①ヒト細胞における、分化・発生・増殖・生存過程における遺伝子解析システムの開発：心臓発生・心筋梗塞に関与する網羅的な遺伝子解析システムを構築するとともに基幹データを蓄積し、心筋分化誘導能を示す遺伝子(群)を同定し ES 細胞の著しい心筋分化促進能があることを発見した。
- ②ヒト心筋細胞の発生分化誘導技術及びそのための装置の開発：P19CL6 細胞を心筋細胞に高率に分化させる因子を同定し、心筋幹細胞分画と、自律拍動する心筋細胞に分化させることに成功した。また、心筋幹細胞の表面マーカー CXCR4, PDGFR α , CD166 を見だし、これを用いた幹細胞採取法を開発した。さらに心筋分化観察装置の設計・試作を行った。
- ③遺伝子導入技術を主体とした、ヒト心筋細胞の人為的機能改変技術及びそのための装置の開発：臨床応用の HVJ envelope vector の生産体システム約 3 倍の生産効率の増強に成功した。
- ④ヒト細胞の大量・安定・安全・自動培養技術及び培地等の移植用ヒト細胞培養システムの開発：細胞自動培養装置(バイオリアクター(ハード))及び中空糸型培養器を開発し、2 回の継代培養の完全自動化と細胞増殖効率の向上を行うことができた。また、化学的にトリプシンを使用せずに三次元細胞組織の回収法、*in vitro* での三次元細胞積層化技術を開発した。
- ⑤ヒト心筋細胞による心筋再生のための組織工学を応用したデバイス化技術及びそのための装置の開発：ヒト骨格筋筋芽細胞を細胞ソースとして、細胞シートを簡便にかつ安定に積層する心筋シート積層化工程の自動化と、心筋シート作製装置を開発した。また、組織脱細胞技術を確立し、脱細胞心臓弁を開発した。
- ⑥ヒト心筋細胞・遺伝子を用いた低侵襲治療支援システムの検討：心臓患部の低侵襲治療のためのカテーテルの開発及び PET、MRI を用いた低侵襲的評価技術を構築した。

(2) ヒト細胞の分化誘導・培養技術を基盤としての細胞分離・診断システムの開発

- ①ヒト細胞における、遺伝子機能の包括的解析技術並びにそのための装置の開発：幹細胞の固相系トランスフェクション効率を向上させるために、遺伝子導入チップとその解析ができる装置を開発し、そのシステムを試作するとともに、これを用いて、細胞表現型変化データを管理するための世界最大のデータ量を有するデータベースを構築した。
- ②ヒト細胞等の選択的分離技術・材料・システム及び装置の開発：高分子等の基材表面に生理活性を維持しながら増殖因子を固定する bFGF 固定化表面の作製技術を開発し、無菌状態の閉鎖系での中空糸表面への固定法を確立した。また、新たな幹細胞採取ソースを探索し神経幹細胞の採取効率を向上するカスパーズ阻害剤を発見した。
- ③細胞機能診断システムの開発：明視野及び蛍光画像を連続自動撮影する画像取得装置、細胞の各種評価指標を数値化する画像解析システム、培養しながら観察可能とする細胞培養ユニットを開発した。また、ルシフェラーゼ遺伝子を導入した化学発光性神経幹細胞の分離培養と本手法を用いることによって、体深部での移植細胞動態の観察、及び化学発光性細胞の非侵襲的観察を可能にし、臨床現場での新しい手法の適用可能性を検証した。

《30》 早期診断・短期回復のための高度診断・治療システムの開発

[中期目標期間実績]

具体的なプロジェクトの実績は以下のとおり。

MRI 等の各種診断画像とマニピュレーター技術、内視鏡技術を統合することにより、従来身体に大きな負担をかけていた外科手術を低侵襲化し、回復期間の短縮を可能とする「低侵襲高度手術支援システム」、疾病の早期発見や患者個人に最適な治療方策の選択支援、並びに最適な薬剤投与や患部に限定した治療を可能にする「精密診断・標的治療システム」の実現を目標に、以下の研究開発を実施した。

《30》-1 心疾患治療システム機器 [平成 12 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) インテリジェント生体情報取得システムの開発については、超小型多電極心電図モニターに関して、センサボックスの小型化・低消費化に向けた検討を行い、実現の見通しを得た。低侵襲型の超小型統合センサーに関して、各種の小型化されたセンサーのカテーテル実装、及び微小チップ上への統合化検討と動物実験で抽出した問題点の対策を行った。超小型無線伝送デバイスに関して、複数の端末を用いた伝送試験により無線システムとしての問題点を抽出し対策すると共に、端末の小型軽量低電力化実現の見通しを得た。
- (2) 高次生体情報センサー基盤技術の開発については、心臓障害センサーに関して、血液中の利尿ペプチド類を測定する高感度、高速免疫測定電気化学システムの開発を進め、目標濃度の測定が可能との見通しを得た。腎機能センサーに関して、血液中のクレアチニン及び尿素を同時に測定するシステムを構築した。埋込式のインテリジェント神経活動記録電極/神経刺激電極に関しては、ラット迷走神経部への埋込と、その神経活動電位計測及び迷走神経への電気刺激に電気刺激に成功した。中間評価の結果、インテリジェント神経活動記録電極/神経電極については早期実用化が見込めないという指摘により、平成 15 年度をもって研究を終了した。生体ハイブリッド化技術に関して、カテーテルの表面コーティング材料としては PVP-Hp (ポリビニルピロリドン-ヘパリン結合体)を採用す

ることが好ましいとの結論が得られた。

平成 16 年度は、心疾患患者の複数の生体情報を低侵襲で常時連続的に測定できる超小型統合センサー等の開発及びその基盤技術からなるインテリジェント生体情報取得システム、並びに病態に応じて必要時に最適量の薬剤の独立かつ高精度での投与が可能なインテリジェント薬剤投与システムの実現を目的に、九州大学大学院 医学研究院 臨床医学部門 内科学講座(循環器内科学分野) 教授 砂川 賢二氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) インテリジェント生体情報取得システムの開発

超小型多電極心電図モニターに関して、これまでに確立してきたアーキテクチャを基本とし、心電図モニターセンサボックスのより低消費電力化・小型化に向けた論理部の ASIC-LSI 化の検討と評価を行った。低侵襲型の超小型統合センサーに関して、カテーテルへのセンサー実装技術の確立、および統合化微小センサーチップの作製、評価を行う。また、動物実験を行い問題点を抽出した。センサーデバイス基盤技術に関して、BNP (brain natriuretic peptide : ホルモン的一种で心不全の指標の一つとされる) センサーの血液試料への適用試験、及び ANP (atrial natriuretic peptide : ホルモン的一种で心不全の指標の一つとされる) センサーの試作を行うとともに尿素、クレアチニンセンサーの集積化を行った。

超小型無線伝送デバイスに関して、端末の小型軽量低消費電力化に向け心電図モニターの開発と連動し、これまでに開発した無線通信アーキテクチャの ASIC-LSI 化の検討と評価を実施した。

(2) インテリジェント薬剤投与システムの開発

インテリジェント薬剤投与システムに関して、薬剤投与システムの設計及び試作を行い、システムとしての評価を実施し、問題点の抽出と対策を行った。双方向無線伝送システムに関して、これまでに開発したアクセスポイント・双方向無線端末を用い、薬剤投与システムとしての評価を実施し、問題点の抽出と対策を行った。

平成 17 年度は、心疾患患者の複数の生体情報を低侵襲で常時連続的に測定できる超小型統合センサー等の開発及びその基盤技術からなるインテリジェント生体情報取得システム、並びに病態に応じて必要時に最適量の薬剤の独立かつ高精度での投与が可能なインテリジェント薬剤投与システムの実現を目的に、九州大学大学院医学研究院臨床医学部門内科学講座教授 砂川 賢二氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) インテリジェント生体情報取得システムの開発

試作した心電図モニターの部分改良を行うとともに、システム評価のための通信管理用および表示用ソフトウェアの開発を行った。また、心電図モニターおよび通信管理用・表示モニター用ソフトウェアを用いて評価用システムを構築し、動物を用いた3日間以上の連続動作試験等を行い総合システム性能を確認した。低侵襲型の超小型統合センサーについては動物実験を加速できるように血行動態センサーと酸塩基平衡センサーのカテーテルへの実装方法を確立したカテーテルセンサーは統合化を進め、動物実験により実用上の問題点の抽出を行った。マイクロダイアリスカテーテルと組み合わせて用いる電解質センサーおよび循環制御系マーカーセンサーについては、組み合わせた場合の基本特性の把握と測定上の問題点の抽出を行った。超小型無線伝送デバイスに関しては、高周波特性を改善した RF モジュールを製作し、これら RF モジュールを搭載した心電図端末デバイス、統合端末デバイスの改良を行い、技術適合認証を取得し、これら無線伝送デバイスと通信管理サーバ・表示モニターとの連動試験と動物実験で3日間以上の連続動作を確認した。さらに無線制御部の上位レイヤ層に誤り訂正を適用することにより無線特性が改善するシミュレーション結果を得た。

(2) インテリジェント薬剤投与システムの開発

これまで全体を構成する各要素を順次開発してきて本システムに対し、最終年度は必要に応じ部分改良を行うとともにアプリケーションソフト開発を行い複数の薬剤を搭載し各薬剤を同時に、かつ、独立して高精度に投与でき、信頼性を確保し、ヒューマンエラーの起き難い薬剤投与システムの試作を完成させ、トータルシステムとしての評価を実施し、動物実験で3日間以上の正常動作および安全性評価を行った。双方向無線伝送システムに関しては、無線制御部では CCU 患者が装着する無線端末を優先的に接続する制御理論と、無線端末の応答速度を高速化する制御理論を開発した。またシステム構築ソフトウェアの開発を行いこれらと薬剤投与システムを用いたシステム評価を行い、無線端末と薬剤投与システムの連携によりシステムとしての動作を確認した。

《30》-2 低侵襲高度手術支援システム

《30》-2-1 内視鏡等による低侵襲高度手術支援システム [平成 12 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) DVT 撮影システムの開発については、一次試作機の結果を踏まえて、二次試作機の設計・試作・部分評価を行った。
- (2) 高機能内視鏡の開発では、多機能内視鏡において、操作性がよく滅菌対応となる二次試作機の主要部分の製作・評価を行った。高性能顕微内視鏡について、高い光学性能を有する顕微内視鏡二次試作機の主要部分の製作・評価を行った。また、機能計測として繊毛機能の解析を進めている。
- (3) 高操作性マニピュレータの開発については、一体型 MSM (マスタ・スレーブ・マニピュレータ) 一次試作モデル (2号機) の評価・改良結果を踏まえて、二次試作機 (1号機) の設計・試作・部分評価を行った。
- (4) 手術誘導システムの開発については、一次試作機の結果を踏まえて、二次試作機の設計・試作・部分評価を行った。
- (5) 手術安全支援システムの開発については、手術安全支援システム概念設計、要素技術試作および部分的な一次試

作を行った。

(6) トータルシステムの研究開発については、部分的組み合わせ試験及び評価方式の検討を行った。

平成 16 年度は、手術中の十分な視野情報等を提供する高機能内視鏡、疾患局所の位置情報を提供する DVT（デジタル 3 次元断層）X線撮影システム、術者が安全、確実に実施できる高操作性・高精細機能を有するマニピュレータ（手術器具）、患者の手術前・手術中の精密な情報を統合した正確な手術計画の立案、実施を支援する手術誘導システムおよび手術の安全性の向上を図る手術安全支援システムの実現を目的に、東京女子医科大学長 高倉 公朋氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

(1) DVT 撮影システムの開発

試作機の製作・評価、再結像アルゴリズムの改良を行い、結像処理時間を短縮可能なユニットの製作・評価を行った。

(2) 高機能内視鏡の開発

高操作性、滅菌対応の多機能内視鏡試作機および高い光学性能を有する顕微内視鏡試作機を完成させ、臨床試用に準じた評価を行った。

(3) 高操作性マニピュレータの開発

一体型マスタースレーブマニピュレータ試作機を完成させ、臨床試用に準じた評価を行った。

(4) 手術誘導システムの開発

試作機の製作・評価を行う。手術誘導用広域位置計測システムの計測データを他の機器に提供する機能、DVT 画像に基づいた手術計画支援機能を付加した。

(5) 手術安全支援システムの開発

手術安全支援システムの設計・試作・評価を行った。

(6) トータルシステムの開発

トータルシステムの組み合わせ試験及び評価を行った。

《30》－2－2 心疾患診断・治療統合支援システム [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

マニピュレータシステムについては、平成 13・平成 14 年度の試作機をもとに単腕及び双腕のシステムを構築し、臨床医学・工学分野の有識者による操作性評価を実施し、評価結果を反映した改良を行った。この結果、操作性、把持力及び応答性の向上を実現できた。また、この操作評価実験を通じて、体腔内諸臓器・器官に対する手術でのスタビライザの適用性を検討した。術中情報提示技術については、MRI 装置・超音波装置・マニピュレータ装置と連携した情報提示を行うため、遠隔操作における 3 次元的位置情報の把握支援などに関する各種の情報提示について評価検討した。画像処理技術については、内視鏡歪み補正に関する定量的評価を行い、効果を確認した。また、超音波で撮影した術中リアルタイム血流情報の映像を、MRI ボリュームデータから得られた同じ位置の断面画像と合成表示する手法を開発した。

《30》－3 精密診断・標的治療システム

《30》－3－1 次世代単色 X線診断・治療システム [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 擬似単色 X線源装置の開発については、X線源装置の熱負荷対策、被曝 X線量低減のためのパルス X線照射モードの追加、単色化素子・平行化素子の製作等を行った。

(2) 超高感度ハイビジョン級カメラシステムの開発については、ハイビジョンカメラシステムの、信頼性・画質向上に向けた蛍光面・撮像管の製作および高性能化に向けたレンズの改良を行った。また、X線検出系のノイズ対策を実施し、画質を改善した。

(3) デジタル高精細画像処理技術の開発については、フレーム蓄積画像処理装置の操作性改良を行った。さらに、各要素技術を統合したトータルシステムにより、微小血管の可視化についての動物実験・評価を行い、臨床評価に向けたシステムを完成させた。

《30》－3－2 医用化合物スクリーニング支援システム [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 要素技術の開発については、標的蛋白の構造が未知の場合の最適化合物設計法の開発として、製薬企業 3 社によるユーザ評価を実施し、その評価を反映したプログラムの改良を行った。標的蛋白の構造情報が既知の場合の最適化合物設計法については、蛋白立体構造モデリング法に関する対話用グラフィカルユーザーインターフェース (GUI) を完成させた。

(2) トータルシステムの開発については、標的蛋白の構造が未知の場合の最適化合物設計法の各要素技術を統合し、グラフィックス表示・対話的操作などを行うグラフィカルユーザーインターフェース (GUI) を開発し、「KeyRecep

システム」として完成させた。

《30》－3－3 臨床用遺伝子診断システム機器 [平成12年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

遺伝子発現の計測に十分な感度を持つ蛍光用読取り装置を開発した。大腸がんスクリーニング用前処理システムの実用性を実証し、大腸がん診断用マイクロアレーを製作し、便からの細胞にて評価した。電気化学的手法においては、測定チップの改良により歩留まり向上が図られた。化学発光法による検出においては、臨床サンプルによる実証試験を行い SNP（一塩基変異多型）判定に十分な性能を確認した。動脈硬化関連遺伝子診断にて、ECA チップを使用し臨床サンプルによる実証試験をおこない、診断性能の確認ができた。診断支援システムの構築においては、診断支援知識ベースの構築のため、探査した知識を登録するための知識ベースとソフトウェアを作成し、臨床データを用いて機能評価を実施し、実用に耐えるシステムを実現した。

<健康寿命延伸のための医療福祉機器高度化プログラム>

[中期目標期間実績]

中期目標期間中に以下のとおり実施した。

《31》 高齢者等社会参加支援のためのシステムの開発

《31》－1 身体機能リハビリ支援システム [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 下肢機能回復支援システムについては、臨床評価の本格的実施の前提となる実用性を高めるための各要素技術の課題について、臨床試用を受け、要素技術の改良点を整理した。特に機構の大腿・下腿スプリントの形状、歩行面の平面ベルト化や、より立位歩行に近い訓練パターンへの改良は、臨床開始の条件との指摘があり、重要と位置づけた。

大腿・下腿のスプリント、歩行面などの機構部分の改良設計、製作を行った。訓練パターン改良に向けた設計を行い、両下肢協調等ソフトウェアのブラシアップを継続、パターン生成の自動化とより立位歩行に近くなるようパターンの修正を行った。また、歩幅、動作速度、遊脚期足高さ調節機能を開発した。上記の実用性を高める改良を実施し、臨床評価に向けた最適化を行い、重度の麻痺を有する患者の歩行模擬パターンにおける臨床データを取得し、歩行機能改善な

どの臨床効果を検証した。

(2) 上肢機能回復支援システムについては、臨床評価後に問題点を抽出し、訓練・評価ソフトの機能充実化、操作性、特定条件での振動、速度異方性等の改良案を検討し、実用化に向けて技術的課題を整理し、装置システムの基本案及びデザイン案を検討した。特定条件での振動、速度異方性の改良案に基づく動作試験を実施し、効果が期待させることを検証した。グリップの改良設計・製作と、リハビリ装置に最適な ER クラッチの製作設計を実施した。初回臨床評価として、2名の患者について訓練と評価を実施し、訓練効果があることが確認された。

《32》 健康寿命延伸に資する医療福祉機器開発のための基礎研究

《32》－1 低侵襲高度選択的／局所診断・治療一元化システム [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) カテーテル高度化・多機能技術の研究については、平成14年度までに開発した多機能内視鏡において、外形を1.8mmに細径化した1CH細径膀胱鏡と、貫通ルーメンを0.75mmに拡大した大口径1CH膀胱鏡を実現した。

(2) カテーテルを用いた診断・治療が可能な対象疾患別遺伝子治療技術の研究については、遺伝子治療における遺伝子候補の同定、遺伝子デリバリ法の研究、第二世代薬剤を用いた光線力学的治療の研究を行った。この結果、慢性糸球体腎炎、膵臓癌等に対する診断方法、遺伝子治療及び光線力学的治療方法を開発することができた。

(3) カテーテル高度化・多機能技術と遺伝子治療技術の統合化研究については、カテーテル先端超高度感度細胞組織性状診断技術として、外径2mmの側射型超音波検出プローブを開発した。これにより、多機能内視鏡への統合を図ることが可能となった。また、対象疾患別遺伝子治療技術として、光ファイバー挿入による多機能内視鏡機能の確認を行った。多機能内視鏡に診断・治療機能を統合化するトータルシステムとしての基礎的技術を確立した。

《32》－2 高次生体情報の画像化による診断・治療システム [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) 高次生体情報の非侵襲的可視化技術の研究 (ア) 組織生理・代謝情報の高度画像化技術の開発では、デカップリングによる 13C 検出システムの最終性能評価を実施し、所定の目標を達成したことを確認した。前立腺癌・肥大病鑑別診断システムについては、ボランティアによる評価を実施した。高精度磁気共鳴機能画像法 (fMRI) による温存機能評価については、通常の脳機能計測に適用できるリアルタイム fMRI システムを完成し、臨床評価を開始した。(イ) リアルタイム組織動態解析法の研究では、高次生体画像情報の電子保存と伝送に関する研究では、各種医用画像のデータ圧縮ソフトを開発した。また、複数枚のフィルムから必要な部分を切り出し 1 枚の画像として集めることのできる機能を開発した。3D 画像融合技術では、変形と位置合わせを同時に行う画像処理プログラム開発、体表に固定したマーカーの動きをモニターし体動補正するシステムなどを開発した。
- (2) 機能温存治療支援システムの研究 (ア) MR 適合性のある機能温存治療支援システムの開発では、計測技術の高機能化をはかり、体動下での温度分布画像化に基づいた温熱治療支援システムの構築を完了した。(イ) MRI モニタリング下 IVR 支援システムの開発カテーテル追尾では、カテーテル追尾技術の改良を行い、撮像実験等を行った。また、MR-内視鏡融合システムに関しては、ほぼ実用的なシステムが完成した。(ウ) 体幹部悪性腫瘍に対する放射線、超音波治療技術の研究では、動態ファントム内の模擬腫瘍を超音波診断装置でモニタし、比較照合を行った。また、照合結果が予め設定されたしきい値を満足した場合にのみ治療ビームが照射されることを確認した。

《3 2》－3 光干渉利用高機能断層画像測定システム [平成 12 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) 臨床診断にむけた OCT システムの研究については、小型集積型光学素子を用いた汎用型 OCT (オプティカル CT) の試作では、高空間分解能化のために合成光源を用いた OCT の試作を行い、合成光源の高空間分解能への有効性を確認した。また、市販の肺用内視鏡の機能を温存した融合型 OCT の試作を行い、基礎特性評価・生体試料の断層画像測定を行って基本動作を確認し、血管用 OCT については試作の検討を行った。さらに、生化学的情報を抽出する機能型 OCT の試作を検討し、生体試料からの新しい高精度吸収スペクトル測定技術の検討を継続的に行った。
- (2) 次世代医療にむけた高機能・高空間分解能・断層画像測定技術の研究については、小型高感度カメラを用いた断層画像高速処理システムの試作及び特性評価を行った。また、消化器系内視鏡との融合を目的として、長い作動距離を有する改良型同軸ミロー干渉光学系 (照明系と結像系と同軸で構成する干渉光学系) を用いた OCT の試作及び特性評価を行った。さらに、スティック型 OCT では生体試料の断層画像測定及びその試作により基本特性評価を行った。

<非プログラム プロジェクト・事業>

《3 3》人間行動適合型生活環境創出システム技術 [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、操作行動の「車載システム高度化支援技術」では、運転行動蓄積評価技術として、実路走行実験により 475 トリップの運転行動データベースを構築した。能力に応じた運転支援技術では、運転操作行動の計測データに基づき危険度に係る評価モジュールを開発した。運転時疲労状態評価技術では、「運転者特性と刺激から疲労の時間特性を推定する技術の開発」として疲労の時間特性の予測モデルを、「運転疲労のリアルタイム判定技術の開発」として、運転中の疲労度を推定する手法を実車検証した。また、操作能力等の個々の行動特性に応じた適正行動をモデル化する技術では、運転行動逸脱評価モジュール用ソフト及び本モジュールによる判定結果等を利用した運転支援モジュールを開発した。支援する技術、及び人間状態変化を評価する技術として、視環境特性モデルと視野特性モデルから構成される視野映像評価モジュールを構築し、これら個人特性に応じた運転支援システムを実現した。操作行動の「ものづくり技術高度化支援技術」では、自動化機械作業支援技術として、「NC 作業支援システム」を完成させた。技能高度化支援 e-ラーニングシステムでは、工場設置に適した安価で小型の手指動作簡易計測システムを開発した。縫製技能向上支援技術では、教示情報部分のコンテンツ開発、および学習用機能のシステム開発とコンテンツを開発し、プロトタイプを完成させ、実証実験で検証を行った。技能伝承手法の研究開発では、NC 加工作業や縫製作業において、個人の特性・技量・身体的状態・集中状態に応じて、技能支援を行うことを可能とし、非熟練者の作業行動の高度化を支援するシステム (技術) を実現した。移動行動の「生活者支援のための住宅設備機器高度化支援技術」では、生活行動蓄積評価技術として、複数人の行動を時系列情報として蓄積する技術を完成した。住宅内生活行動理解に基づく安心生活支援システム技術では、個人行動情報端末 2 次実証実験モデルを開発した。

生活行動蓄積の高度化・合理化技術では、生活行動要約ソフトウェアモジュールを試作した。生活行動シミュレーションによる住宅内空間設計支援技術では、平成 14 年度に収集したデータをコンピュータマネキンにインポートしてシミュレーションを行った。また、複数家族が生活する既存住宅における生活行動情報の収集を継続し、一元管理できるデータベースを開発し、時系列生活行動データと現在の生活行動データを基に生活者の異常を検知する技術を実現した。移動行動の「石油精製プラントメンテナンス作業の生産性向上技術」における作業工程適正化支援システムについては、作業工程における個別作業者の作業時間と負担度を予測評価する技術を開発し、作業時間算出方法も MOST (Maynard Operation Sequence Technique) 法を用いて改良した。石油精製プラントメンテナンス作業の生産性向上基盤技術では、PDA (携帯情報端末) を用いた作業開始・終了の入出力プログラムと安全指示情報提示機能を開発した。メンテナンス作業の解析と評価では、作業者の身体状態に係るデータを収集・分析し、開発された各技術の実用化可能性が立証された。個人適合型身体状態の事前評価技術の研究開発では、身体状態を事前に評価するスクリーニング支援システムの開発

とフィールドでの実証を行った。また、これら研究開発技術を実休止プラントで実証実験を実施し、作業時間が従来工程に比べ1割以上短縮できることを実証した。なお、環境適正化評価技術については、フィールド実証実験でアンケート調査を実施し不安全行動データベースの拡充を図った。作業負担評価技術における身体負担度基礎データベースに関しては、身体負担度解析支援ソフトの開発を完了するとともに、身体負担度推定用生理指標データベースを作成した。また、身体負担度個人差補正ソフトの開発を行った。

②生物機能を活用した生産・処理・再資源化プロセス技術

[中期計画]

循環型産業システムの実現に必要な技術基盤の構築を図るため、原料の転換や新たな物質の生産、効率的な生産プロセス、廃棄物の処理・再資源化プロセス等を可能とする、微生物や植物の機能を活用したバイオプロセスの構築に必要な技術の開発及びそれらの技術の実用化に向けた開発を行う。また、開発を効率化する技術基盤の構築を図るため、有用な生物遺伝資源を収集・解析するとともに、遺伝子組替え体の産業利用促進のためのリスク管理技術の開発を行う。

<生物機能活用型循環産業システム創造プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》植物の物質生産プロセス制御基盤技術開発 [平成14年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

植物の機能を利用して工業原料などの有用物質の生産を可能とする技術基盤を構築するため、植物の物質生産プロセスをシステムとして解析することを目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「モデル植物を用いた植物の物質生産機能の解析」については、代謝関連遺伝子を取得し、発現コンストラクトをシロイヌナズナ培養細胞へ導入法を確立した。シロイヌナズナ形質転換細胞の効率的な凍結保存方法を確立した。物質生産プロセスの解析を効率的に進めるため、遺伝子特異的マイクロアレイを約400枚製造240枚配布し、その情報をインターネット上で提供できるデータベースを開発した。また、全遺伝子規模搭載のための設計を終了し、合計約25,000の遺伝子分の搭載フラグメントの製造を完了した。ゲノム情報を基にシロイヌナズナの26種の転写因子ファミリーに属する1,135個の遺伝子を同定した。転写因子遺伝子群の発現プロファイリングのためにERF, Dof, CO, NACファミリーの全遺伝子を含む300個の遺伝子について特異的なオリゴDNAプローブを設計してマイクロアレイを作成し、解析法を検討した。

研究開発項目②「実用植物を用いた物質生産制御技術の開発」については、シロイヌナズナ並びにユーカリのマイクロアレイ解析を用いた網羅的な遺伝子発現比較を実施し、細胞壁伸張関連遺伝子群、細胞壁肥厚関連遺伝子群について、時期並びに組織別のデータを蓄積した。トチュウのトランス型ゴム産生に関与するcDNA等の取得・解析、目的物質生産系の経路と機能解析、目的物質生産系における調節遺伝子等の機能解析の基盤となる化学分析手法の知見を得た。パラゴムノキラテックス生産部位と非生産部位のmRNAからcDNAライブラリーを作成し、EST解析およびタンパク質分析を開始した。シスポリイソプレンの合成部位特定を目的に、成木の乳管の顕微鏡による組織観察を開始した。葍・未熟種子等から安定的にカルスを誘導に成功し、不定胚の誘導など組織培養を開始した。ウラルカンゾウのbアミリン合成酵素遺伝子についてin situハイブリダイゼーション用プローブを作製し、完全長cDNAライブラリー構築のため、根茎を材料にmRNAの抽出に着手した。

平成16年度は、奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「モデル植物を用いた植物の物質生産機能の解析」においては、ミヤコグサ及びシロイヌナズナのcDNAライブラリーの作製、EST解読、完全長cDNAの単離を進めた。また、網羅的な遺伝子発現解析および代謝産物解析に関する技術を確立し、統合代謝経路データベースを構築した。シロイヌナズナを用いて網羅的遺伝子発現データと、それに対応するアミノ酸等代謝産物のデータを取得した。シロイヌナズナの葉緑体タンパク質の網羅的解析により550種を同定した。また、高効率なメタボローム解析法を構築した。さらに、葉緑体の転写制御に関与する新規因子と翻訳制御に関与するシス配列を同定した。遺伝子特異的cDNAマイクロアレイを400枚製造してプロジェクトメンバーに配布し、関連するデータベースを更新した。100以上のシロイヌナズナの転写因子遺伝子のエントリークローンを作成し、発現プロファイルの解析を開始した。また、新たにキメラリプレッサーを用いた遺伝子発現制御技術の開発に着手した。

研究開発項目②「実用植物を用いた物質生産制御技術の開発」においては、高成長性、高パルプ化適性、耐塩性、耐寒性に関する遺伝子を導入した組換えユーカリを各150個体作成した。また、木質成分合成及び木繊維形成に関与する遺伝子の絞り込みを行った。トチュウゴム精英樹林および天然林のゴム成分の定量と評価、ゴムの分布の解析を行った。パラゴムの不定胚誘導に成功するとともに、形質転換細胞の取得に成功した。また、ESTデータベースを構築した。ウラルカンゾウのトリテルペノイド配糖体類の

同定を行い、完全長 cDNA ライブラリーの作製とクローンの塩基配列の決定を行い、クラスタリングを行った。シロイヌナズナにユーフォルビア由来遺伝子を過剰発現させ、ステロール含量が最大3倍増加した。また、アマの形質転換系を確立した。シロイヌナズナ培養細胞で、カロテノイド関連代謝物のメタボロミクス分析を行った。HAS 遺伝子を導入したタバコでヒアルロン酸を生産させることに成功した。なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「モデル植物を用いた植物の物質生産機能の解析」においては、ミヤコグサの代謝関連の完全長 cDNA を 2,000 個解読した。1,879 個の遺伝子を個別に導入した約 20,000 系統の培養細胞を作製し、順次メタボローム解析及び遺伝子発現プロファイリング解析を行った。これらのデータを統合するデータベースを改良・公開した。アミノ酸合成酵素関連遺伝子の形質転換体の遺伝子発現と代謝産物のプロファイリングを行った。網羅的解析により、シロイヌナズナの葉緑体タンパク質を 126 個（累計 681 個）同定した。さらに、葉緑体代謝系改変植物を作出し、増大効果を確認した。遺伝子特異的 cDNA マイクロアレイを新たに 400 枚製造してプロジェクトメンバーに配布し、関連するデータベースを更新した。126 個のシロイヌナズナの転写因子遺伝子の過剰発現体を作成し、39 遺伝子の発現プロファイルを解析した。また、100 ラインのキメラリプレッサー発現体を作成し有用機能の探索を行った。

研究開発項目②「実用植物を用いた物質生産制御技術の開発」においては、高成長性、高パルプ化適性、耐塩性、耐寒性に関する遺伝子を導入した組換えユーカリを作成し、特定網室における栽培試験に着手した。また、木質成分合成及び木繊維形成に関与する遺伝子の絞り込みを終了した。

トチュウゴム合成の代謝物を網羅的解析する分析系を構築し、代謝経路の解析を進めた。パラゴムについては、昨年度取得した不定胚の正常再生個体の鉢上げに成功した。また、DNA マイクロアレイによる転写解析を開始した。ウラルカンゾウについては、植物体再分化条件を検討したが、再生植物体を得られなかった。また、DNA マイクロアレイによる網羅的発現解析を開始した。亜麻にカロテノイド生産の鍵遺伝子を導入し、鍵遺伝子の効果を確認した。HAS 遺伝子を導入したタバコ植物体において、湿重量当たり 0.03%のヒアルロン酸生産能を得た。当該研究開発プロジェクトは平成 17 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 17 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

平成 18 年度は、奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「モデル植物を用いた植物の物質生産機能の解析」については、約 370 個のミヤコグサ cDNA の完全長を解読した。また、研究開発項目②でターゲットとしている代謝経路についてモデル植物及び実用植物のメタボローム解析及び遺伝子発現プロファイリング解析を行った。さらに、カロテノイド生合成に関与する遺伝子を多重導入したシロイヌナズナ形質転換体を作成し解析に着手した。データベースの統合を進めた。アミノ酸合成酵素関連遺伝子を解析・まとめた。タバコの葉緑体形質転換技術により基幹代謝系改変植物を作出し、メタボローム解析を行った。また、高効率発現系等の基盤技術の整備を進めた。転写因子ファミリーの遺伝子情報の収集と過剰発現体による機能解析と、キメラリプレッサー発現体の作成と有用機能の探索を継続した。

研究開発項目②「実用植物を用いた物質生産制御技術の開発」については、組換えユーカリの特定網室における形質評価試験及び隔離ほ場試験の準備のための環境影響評価試験を実施した。また、周縁キメラ作成技術のユーカリへの応用研究を開始した。タバコの遺伝子組換えにより制御因子の導入有効性を確認し、ユーカリ遺伝子組換え体の作出・育成（閉鎖系環境下での性能評価まで）を進めた。また、花芽形成抑制のため低分子 RNA の抽出並びに網羅的解析に着手した。トチュウについては、ゴム代謝に関する網羅的代謝解析を実施すると共に、DNA アレイを設計・製作した。パラゴムノキについては、再分化系条件をほぼ確定し、DNA マイクロアレイによる網羅的遺伝子発現解析を行い、ゴム鎖延長過程を解析した。ウラルカンゾウについては、目標とする形質転換技術の確立には至っていないが、カルスからの不定芽様組織の形成が観察された。また、肥大根を材料に、DNA マイクロアレイによる遺伝子発現解析と LC-FTMS による成分解析を実施した。カロテノイド生産プロセスについて鍵となる遺伝子を発現させるための多重遺伝子導入用プラスミドを 4 種作製した。4 個のカロテノイド代謝鍵遺伝子の全身発現用プラスミドを 2 種作製・導入し、発現解析と代謝物分析を行った。多重遺伝子を導入したタバコ植物体において、湿重量当たり最大 0.3%のヒアルロン酸生産能を確認した。

平成 19 年度は、奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「モデル植物を用いた植物の物質生産機能の解析」においては、カンゾウ cDNA を解読した（継続）。また、京都大学と共同してアカシア cDNA ライブラリーの作製を進め、EST 解読を開始した。実用化研究グループがターゲットとしている代謝経路に絞ってモデル植物及び実用植物のメタボローム解析、遺伝子発現プロファイリング解析及び遺伝子機能同定を継続した。また、ヒアルロン酸合成遺伝子を多重導入したシロイヌナズナ組み換え体を作成した。個別の実用植物に特有な代謝経路に対応したデータベースの作成を進めた。葉緑体形質転換技術を用いてイソプレノイド代謝を改変し、アスタキサンチン高蓄積（収率約 0.5%以上）タバコの作出に成功した。転写因子ファミリーの遺伝子情報の収集と過剰発現体による機能解析を継続すると共に、木部の分化・形成を制御する NST 転写因子群の

キメラリプレッサー発現体はリグニン合成を抑制し、この経路から派生する二次代謝物が増加することを明らかにした。

研究開発項目②「実用植物を用いた物質生産制御技術の開発」においては、組換えユーカリの特定網室における形質評価試験及び生物多様性影響評価試験を継続し、耐塩性が認められた3系統について隔離ほ場試験での植栽を開始した。ユーカリの木質バイオマス統括的生産制御については、選抜した4制御遺伝子を過剰発現させた組換えユーカリを獲得し育成（継続中）した。トチュウについては、TPL 遺伝子等を導入した組換え培養根を作成し、TPL1 を過剰発現した場合に非組換え培養根より1.4倍ゴムが増加することを確認した。パラゴムノキについては、IPP 合成に関与する遺伝子をペリプロカに導入した。グリチルリチン生産については、グリチルリチン合成を担う2種のシトクロームP450のうち1種を *in vitro* での生化学的機能解析を行い、残る1種のシトクロームP450の候補遺伝子を見出した。また、2種あると推定される糖転移酵素遺伝子のうち、1種の候補遺伝子を見出した。カロテノイド生産プロセスについて鍵となる最大限8個の遺伝子を発現させるための多重遺伝子導入用プラスミドをナタネ又は亜麻に導入し、形質転換植物体を単離した。ヒアルロン酸生成植物については、多重遺伝子導入タバコ植物体からヒアルロン酸を高純度に精製した。

《2》微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発 [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

環境負荷が少なく、我が国が強みを有するバイオプロセス技術を一層強化するため、微生物機能を活用した有用物質の高度製造技術基盤を開発することを目的に、以下の研究開発を実施した。

平成18年度は、京都大学大学院 農学研究科 教授 清水 昌氏をプロジェクトリーダーとして、微生物反応の生産性向上を可能とする「もの創りバイオ」の基盤技術開発に着手し、初年度として下記成果を得た。

研究開発項目①「高性能宿主細胞創製技術の開発」については、遺伝子多重削除のために出発宿主細胞（大腸菌、枯草菌、分裂酵母）のゲノムキャラクタリゼーションを実施するとともに、タイリングアレイ設計等の高性能化ツールの確立、ヌクレアーゼ欠失による細胞安定化、細胞小器官性能改良等の高性能化の一部を実施した。

研究開発項目②「微生物反応の多様化・高機能化技術の開発」については、反応場制御技術として、酸化還元酵素系の機能制御機構を解明するとともに、酵素高機能化のための分子シミュレーション手法であるCASSCF/MM法やCASSCF-DFT法のエネルギー計算プログラムを開発した。

研究開発項目③「バイオリファイナリー技術の開発」については、バイオマス糖化前処理のベンチスケール実験体制を整えるとともに、人工セルロソーム（セルラーゼとミニ骨格蛋白質）の分泌生産を確認した。高効率糖変換においては、増殖非依存型反応及び膜ろ過リアクターにより基幹工業物質1種の高速生産を確認した。

平成19年度は、京都大学大学院農学研究科 教授 清水 昌氏をプロジェクトリーダーとして、以下の成果を得た。

研究開発項目①「高性能宿主細胞創製技術の開発」については、遺伝子多重削除において、IS、toxin、prophageをほぼゼロ（大腸菌）、運動性関連遺伝子を含む領域（枯草菌）、増殖性能が野性株と比べて遜色ない大規模削除株の作製（分裂酵母）など対象宿主細胞の染色体縮小化を平成18年度からさらに進めた。また、ユージェンティ機能増強では、各種プロモーターのスクリーニングとリスト化（大腸菌）、溶菌抑制、分泌装置の改良、窒素代謝効率の改善によるセルラーゼ生産性向上（枯草菌）、染色体上に複数の外来遺伝子発現カセットを簡便に組込むことが可能なベクター構築とヒトトランスフェリンの分泌効率数倍向上（分裂酵母）他の成果を得た。

研究開発項目②「微生物反応の多様化・高機能化技術の開発」については、有機溶媒耐性微生物の形質転換系開発、非水系反応場で反応させる水酸化、酸素添加酵素等の新規遺伝子の取得、有効変異を多重化することで比活性が増加し、かつ、副反応生成が抑制された変異酵素を獲得することに成功、ビタミンD-酵素結合体の立体構造解明に成功など非水系反応場における反応場制御技術の開発を進めた。また、高効率酵素設計のため、基質との複合体の3D構造を高精度に求めるモデリング手法開発やP450活性中心部分におけるモデル基質の脱水素反応の遷移状態の構造ならびに電子状態を決定した。さらに、複合酵素系による酵素的立体反転反応によって、光学活性なアルコール類や非天然アミノ酸類が合成できることを実証するなどバイオプロセスの多様化・高機能化手法確立の目処を得た。

研究開発項目③「バイオリファイナリー技術の開発」については、バイオマス糖化技術の開発において、既知分泌シグナルより高い分泌能を示す新規分泌シグナル31種の取得に成功すると同時に、酵素再利用法による連続糖化システムを構築し、市販酵素を用いたリグニン含有古紙の糖化では糖化率80%を維持したまま、400時間超の連続糖化を確認した。また、高効率糖変換技術の開発において、アラニン生産株を構築し、STY 10g/L/hを超える生産性を確認すると同時に、コリネ型細菌でC6、C5混合糖の完全同時利用を確認し、非増殖条件下で糖消費速度が向上する遺伝子改変株を得た。さらに、D-乳酸発酵でSTY 10g/L/h以上を達成すると同時に膜利用精製基本フローを確立し、高純度乳酸が精製できた。

《3》微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発 [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、高知工業高等専門学校長 藤田 正憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。着実に成果を得ることができており、プロジェクトは順調に立ち上がっている。

研究開発項目①「好気性微生物処理技術における特定有用微生物（群）を人為的に安定的導入・維持するための技術の開発」においては、集団を構成する微生物群に導入、維持するための特定有用微生物（群）として内生呼吸を低減した微生物や油脂分解能力を示す微生物等の候補を選抜すると同時に、内生呼吸の計測法の検討や安全性の確認など特性評価も進めた。また、集団を構成する微生物群へ特定有用微生物（群）を安定的に導入する技術として、包括固定の利用や高性能の各種担体の候補を選定することにより、今後これら特定有用微生物（群）の安定的な優占化・維持の評価を可能とした。

研究開発項目②「嫌気性微生物処理技術における特定有用微生物群を人為的に空間配置させ安定的に維持・優占化するための技術の開発」においては、高効率処理を実現するために、優占的かつ安定的に維持すべき微生物群として、有機性廃棄物（固形ゴミや有機塩素系化合物等）の分解微生物群の候補を集積、獲得し、有機物の負荷の影響や獲得した微生物の組み合わせの効果など特性評価にも着手した。また、有用微生物の特性に応じた各種担体利用の検討により、有機性廃棄物の分解速度の向上や有用微生物単独で分解困難な有機性廃棄物の分解等に寄与するような材質・形状の傾向を見出し、特定有用微生物群を人為的に空間配置させ安定的に維持・優占化するための技術開発の目的を得た。

《4》ゲノム情報に基づいた未知微生物遺伝資源ライブラリーの構築 [平成 14 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

物質生産プロセス構築の基礎となる生物遺伝資源の拡充を図るため、未発見の微生物や難培養性微生物、それらの遺伝子等の遺伝資源を環境中から取得する技術の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 バイオテクノロジーセンター特別顧問 原山 重明氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「未知微生物取得技術の開発及び未知微生物遺伝ライブラリーの構築」については、各種微生物 2,300 の分離収集・培養、それらの系統分類 2,000 を行い、有用機能 500 の解析を行った。収集した未知微生物には世界に全く分離例のない新しい門レベルのものが含まれていた。有用機能解析のための技術として SOM 法（自己組織化地図）のアルゴリズムを用いた系統分類予測システムの開発を実施した。これによりメタゲノムライブラリー由来のクローンから塩基配列を取得した際に、原核微生物か真核微生物かの分類予測、系統分類グループの分類予測及び微生物属種を予測が可能となった。海外微生物遺伝資源の各種移転スキームに対応する標準的 MTA 案（資材移転契約書）の作成、米国および英国の植物防疫制度の調査を行った。

研究開発項目②「未知遺伝資源ライブラリー構築に係る技術の開発及び取得した遺伝資源の機能解析」においては、40 遺伝子の機能を確認した。難培養微生物遺伝資源の取得技術の開発では、単離した新規酵素遺伝子を含む複数の酵素遺伝子を入れた組み替え体による新規物質の創製を可能にした。また、カイメン共在未知・難培養最近のメタゲノムライブラリーを構築した。Fosmid ライブラリーとしては、4,032 クローン、総計 162 Mb、BAC ライブラリーとしては 8,640 クローン、総計 691 Mb のメタゲノムゲノムを保有し、それらからアンピシリン耐性能付与遺伝子や溶血活性付与遺伝子を含むクローンを選抜した。

平成 16 年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 バイオテクノロジーセンター特別顧問 原山 重明氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「未知微生物取得技術の開発及び未知微生物遺伝ライブラリーの構築」については、これまでに各種未知微生物約 4,200 株の分離収集・培養、このうち約 4,200 株の系統分類、800 株の機能解析を行った。未知微生物以外も含めた収集微生物約 7,000 株の機能解析により有用機能を有する微生物 700 株を見出し、それらから 13 個の新規化合物を単離した。海外微生物遺伝資源の各種移転スキームに対応する標準的 MTA（資材移転契約書）モデルを作成した。有用機能解析のための技術として SOM 法（自己組織化地図）のアルゴリズムを用いた系統分類予測システムの開発を進め、このシステムを用いることにより、クローニングされた遺伝子の由来、あるいは新規なものであるかを判定するためのアルゴリズムも開発した。

研究開発項目②「未知遺伝資源ライブラリー構築に係る技術の開発及び取得した遺伝資源の機能解析」においては、理想的な大腸菌用コスミド発現ベクターを作製し、単離された種々の未知微生物について、大腸菌におけるコスミド・ゲノムライブラリーの作製を効率的に行った。また、ラムダ・ファージ・ベクターを用い、種々の有用遺伝子を直接スクリーニングすることに成功した。難培養微生物については、40 個の新規 P 450 遺伝子を含む計 87 個の新規生体触媒酵素遺伝子を単離し、機能の確認を行った。Fosmid を用いたカイメン共在細菌のメタゲノムライブラリーとしては約 6 万クローン、総計 2.4 Gb のゲノムを確保した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

平成 17 年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 生物遺伝資源開発部門長 原山 重明氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「未知微生物取得技術の開発及び未知微生物遺伝ライブラリーの構築」については、これまでに各種未知微生物約 6300 株の分離収集・培養、それらのうち約 6300 株の系統分類、1350 株の機能解析を

行った。未知微生物以外も含めた収集微生物約 13800 株の機能解析により、抗菌性、抗腫瘍性等の生理活性物質生産能力を有するなど種々の有用機能を有する微生物 1080 株を見出し、それらから 20 個の新規化合物を単離し、このうち 7 種の構造決定を行った。海外での微生物サンプリングとして新たにベトナム及びミャンマーでサンプリングを実施した。難培養性微生物を可培養化させる物質としてココナツジュースを見出し、新規微生物を 30 株取得した。また、新たな微生物の新規保存法・配布用のための微生物保存用膜を開発し、その評価を行った。新規系統分類方法として、rpoB 遺伝子、rpoC 遺伝子、fus 遺伝子等を用いた系統解析を開発し枯草菌、放線菌について解像度の高い系統樹が得られた。メタゲノムライブラリーのインサートの末端塩基配列情報、ならびに、インサート部分の全塩基配列情報から、どのような遺伝子が取得されているかについて、機能予測を実施するとともに、それらの解析結果をデータベース化するシステムを開発した。産業界の微生物遺伝資源利用動向、微生物遺伝資源の利用研究における産業界の構造変化および微生物遺伝資源ライブラリーに対する種々の産業分野ニーズを調査し、把握した。

研究開発項目②「未知遺伝資源ライブラリー構築に係る技術の開発及び取得した遺伝資源の機能解析」においては、カセット PCR 法を適用し、42 個の新規 P450 遺伝子を含む 計 101 個の新規生体触媒酵素遺伝子を単離し、機能の確認を行った。また、P450 遺伝子（クラス I）の効率的な機能発現系が放線菌由来の P450 (CYP105) にも適応できることを見出した。遺伝子全長を PCR によって増幅する新技術を開発し、キシラナーゼと思われる遺伝子のクローン化に成功し、さらに、ゲノム情報に基づいて、細胞外酵素遺伝子のクローン化に成功した。新規生理活性物質を作っている微生物について、大腸菌におけるコスミド・ゲノムライブラリーの作製を効率的に行った。深海有鬚動物のハオリムシ、ヒゲムシから共にバクテリアゲノムを効率的に回収し、そのメタゲノムからライブラリーを構築した。ライブラリーからのリガンドスクリーニングの自動化を目指し、バイオナノ磁性粒子上に膜貫通タンパク質であるレセプターを高効率に発現する系を構築した。なお、本プロジェクトの成果、存在を広く社会に知らせるため、国際ワークショップを開催した。

平成 18 年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 生物遺伝資源開発部門長 原山 重明氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「未知微生物取得技術の開発及び未知微生物遺伝ライブラリーの構築」については、特殊環境、及び国外から得た微生物から各種未知微生物 1324 株の分離収集・培養を行った。未知微生物以外も含めた収集微生物 7100 株以上の機能解析により、抗菌性、抗腫瘍性等の生理活性物質生産能力など種々の有用機能を有する微生物 727 株を見出し、それらから 70 種の化合物を単離・構造決定し、このうち 8 個が新規化合物であった。17 年度まで微生物の収集法として行なってきた人工スポンジ法の改良を行なった。ミシガン大学のデータ及び国内より得た微生物の 16S rRNA 遺伝子配列に関するデータから、16S rRNA による分子系統解析インハウス・データベースシステムを整備し、これにより系統解析が迅速化できた。産業界の微生物遺伝資源利用動向、微生物遺伝資源の利用研究における産業界の構造変化、および微生物遺伝資源の産業利用促進の仕組み構築に係る課題として食品微生物の安全性評価に関する海外の動向等を調査・把握した。

研究開発項目②「未知遺伝資源ライブラリー構築に係る技術の開発及び取得した遺伝資源の機能解析」については、カセット PCR 法を適用し、341 個の新規 P450 遺伝子を含む 計 400 個の新規生体触媒酵素遺伝子を単離し、機能の確認を行った。遺伝子全長を PCR によって増幅する新技術を開発し、新規リパーゼ遺伝子および新規リパーゼ関連遺伝子、新規キシラナーゼ遺伝子および新規キシラナーゼ関連遺伝子を獲得した。また、深部地下の古海水に由来するナノバクテリアゲノムから総インサート長約 1.3 Gb のメタゲノム・ライブラリーを構築した。さらに、メタゲノムライブラリーから AHL 合成遺伝子を取得するため、蛍光タンパク質発現レポーターシステムを構築し、セルソーターと組み合わせることにより、AHL 合成遺伝子のスクリーニングのハイスループット化に成功した。

平成 19 年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 生物遺伝資源開発部門長 原山 重明氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「未知微生物取得技術の開発及び未知微生物ライブラリーの構築」については、引き続き国内の特殊環境、及び国外で微生物を採取し、これまでに未知微生物 5,400 株のライブラリー化に成功した。系統分類の手法としては、二次代謝機能を担う遺伝子による多様性比較の有用性を示した。また、微生物遺伝資源の普及のため、昨年度開発したシート法による微生物の保存・配布技術を改良し、保存スペースの軽減と作製の自動化に成功した。このシートを活用しつつ有用物質生産能力など種々の有用機能を解析し、4,000 株以上の微生物から通算 250 種の活性物質の単離・構造決定を行った。このうち、58 個が新規物質であった。また、微生物の産業利用促進のための課題として、昨年度の食品産業に加え、医薬品や化粧品、化学品等の業種毎に求められる微生物利用の安全性の考え方を調査し、それを踏まえた微生物遺伝資源の産業利用促進の仕組みについて検討した。

研究開発項目②「未知微生物遺伝資源ライブラリー構築に係る技術の開発及び取得した遺伝資源の機能解析」については、新たに 250 個以上の新規なシトクロム P450 モノオキシゲナーゼ遺伝子を単離し、そのうち全長遺伝子 100 個について機能解析を行い数種の基質での変換を確認した。また、引き続きメタゲノム・ライブラリーの構築を進め、そこからバイオインフォマティクスによる新規遺伝子および有用酵素遺伝子の探索を行った。

また、本プロジェクトの成果、存在を広く社会に発信するため、国際ワークショップを開催した。

《5》生分解・処理メカニズムの解析と制御技術開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

循環型産業・社会の実現に向け、嫌気性微生物の機能を活用した廃棄物処理、環境修復等の環境対応技術の高度化を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、東京大学大学院農学生命科学研究科 教授 五十嵐 泰夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「メタン発酵プロセスの高効率化、安定化に必要な技術の開発」については、各種既存 UASB プロセス中の汚泥・廃水などの試料、を採取し、汚泥構成微生物群の 16S rRNA 遺伝子による分子遺伝学的同定を行った。有機酸酸化メタン生成系での共生微生物群内の変動を分子生態解析するとともに、共生関係で生育する細菌やメタン生成古細菌をいくつか単離し、生理学的性質や共生関係の検討を行なった。各種培養条件において、好熱性共生細菌のタンパク質発現パターンをほぼ把握した。嫌気性消化汚泥の全菌相解析のため、全 DNA を抽出し、真正細菌、古細菌に特異的なプライマーセットを用い菌相解析を行った。

研究開発項目②「土壌中難分解性物質等の生分解・処理技術の開発」については、地下石油汚染サイトの分子生態解析、嫌気石油分解菌の単離、などを行なった。石油汚染環境メタゲノムから SIGEX 法を用いて嫌気芳香属化合物分解に関する候補遺伝子を単離した。ベンゾイル-CoA 還元酵素遺伝子を対象にした定量 PCR が嫌気芳香族分解のモニタリングに有用であることが実証された。嫌気条件下でダイオキシン類の基本骨格の一つであるピフェニルを変換する集積培養液の解析を行なった。フローサイトメトリー法による特定分解菌の単離をおこない、強力な PCE 脱塩素能力を有する嫌気性脱塩素細菌 *Desulfitobacterium* sp. KBC-1 株の単離に成功した。本菌株を用いた嫌気（微好気）／好気の繰り返し処理法（制限通気式）により、毒性の高い中間体を蓄積することなく高濃度の PCE を高速に完全分解できることを明らかにした。既知の PCB 分解菌よりも高塩素側で優れた分解性を示す菌株 *Paenibacillus* sp. KBC-101 株の単離した。塩素化フェノールを用いた脱塩素に関する研究を行い、炭素炭素二重結合を電子受容体とする新たな呼吸形式による脱塩素メカニズムを発見した。

研究開発項目③「生分解を目的とした嫌気性微生物の機能解明、育種等基盤技術の開発」においては、モデル微生物とした *Desulfitobacterium* sp. Y51 株の全ゲノム解析が完了しつつある。その脱ハロゲン化酵素 *pceAB* については、発現制御機構や遺伝子の安定性についての知見を得た。

平成16年度は、東京大学大学院農学生命科学研究科 教授 五十嵐 泰夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「メタン発酵プロセスの高効率化、安定化に必要な技術の開発」については、硫酸塩高添加系の汚泥と低添加系の汚泥を用いてプロピオン酸の分解能を回分実験で調べた。硫酸塩高添加系汚泥では、硫酸塩の添加濃度の上昇に応じてプロピオン酸分解活性が高くなり、プロピオン酸分解能の高い汚泥では、水素資化性メタン生成細菌と水素資化性硫酸塩還元菌が共存することがわかった。高温メタン発酵微生物群集から単離した蛋白質分解菌 P 株は、水素資化性メタン生成細菌との共生で増殖が促進され、蛋白質を分解してプロピオン酸等各種有機酸を生成するが、基質の種類や濃度によりプロピオン酸/全有機酸比が異なることがわかった。

主要酸生成細菌及びメタン生成菌のモニタリング法を開発し、種々のメタン発酵汚泥におけるこれらの菌群の挙動を解析した。他に、プロピオン酸センサー、水素マイクロセンサーの開発に目途をつけた。プロピオン酸分解共生細菌のゲノム解析を行い、プロピオン酸分解経路を解明するとともに、プロピオン酸分解を活性化する方法を考案した。プロピオン酸モニタリングと共生微生物群によるプロピオン酸分解活性化法を組み合わせた「メタン発酵安定化システム」を考案した。

研究開発項目②「土壌中難分解性物質等の生分解・処理技術の開発」については、難分解性石油成分については、ベンゼンを嫌気条件下で分解する嫌気性細菌 (*Azoarcus* Sp.) を単離・同定し、嫌気性多環芳香族炭化水素分解菌群としては、*Desulfomicrobium* の 3 種の集積培養体を得ている。嫌気石油分解関連遺伝子探索のため、SIGEX 法により汚染環境から回収したメタゲノム断片から、新規な嫌気石油分解系遺伝子を複数得た。また、嫌気条件下で塩素化芳香族炭化水素を脱塩素する集積培養体を得て、菌叢解析を行った。

土壌中の微生物活性をモニタリングするため、LSC 法の利用法を確立した。塩素化エチレンの嫌気分解については、環境試料より得た脱塩素活性微生物群を集積・継代培養できる電気培養法を検討し、マイクロアレイ電気培養装置の開発を行った。また、シスジクロロエチレン (cDCE)、ビニルクロライド (VC) 各 3 種の集積培養体を得、菌叢解析を行い、*Dehalococcoides* 属細菌の共存菌として、乳酸菌近縁種の優占化を確認した。これら培養体で cDCE 及び VC のカラム連続分解試験を実施し、cDCE についてはカラム出口で完全分解を確認した。テトラクロロエチレン (PCE) については、これまでに得られた高活性分解菌 (KBC-1) の脱塩素遺伝子と周辺配列の解析を行い、PCE 添加で脱塩素酵素遺伝子の発現が誘導されることを確認した。同菌株を用いた制限通気式処理プロセスの基礎検討を行い、土壌カラム試験での脱塩素効果を確認し、ベンチスケール分解試験系の構築に着手した。ダイオキシン分解については、既に獲得された集積培養体について、分解の律速になる諸環境因子・培養条件等を把握した。集積培養体の菌叢解析を行い、3 種の *Dehalococcoides* 属グループの優占化を確認し、それぞれの定量検出法を開発した。

研究開発項目③「生分解を目的とした嫌気性微生物の機能解明、育種等基盤技術の開発」においては、

Desulfitobacterium sp. Y51 株について、広域宿主ベクターやトランスポゾンによる遺伝子導入法の開発に目処をつけ、Desulfitobacterium 属では世界で初めて全ゲノム配列を解読した。これにより、PCE 脱塩素化酵素遺伝子クラスターとその転写関連領域を明らかにし、同遺伝子を制御する蛋白質や転移関連遺伝子を見出した。DNT-1 株が持つ、芳香族化合物に対する嫌気・好気両分解酵素遺伝子の詳細解析を行い、嫌気・好気のスウィッチング調節遺伝子や、トルエン分解経路を解明した。

なお、当該研究開発プロジェクトは、平成 16 年度に実施された中間評価結果を基本計画、実施方針等に適切に反映した。また、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、東京大学大学院農学生命科学研究科 教授 五十嵐 泰夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「メタン発酵プロセスの高効率化、安定化に必要な技術の開発」については、各種メタン発酵リアクターの操作パラメータ変化が、メタン発酵汚泥中の主要酸生成菌群及びメタン生成細菌群等のポピュレーションや活性に及ぼす影響の調査では、有機物負荷条件とセルロース分解菌群濃度間の相関、原水糖量とバルキング原因菌群濃度間に相関があること等が分った。主要酸生成菌群及びメタン生成細菌群の活性評価には、16S rRNA の定量測定が有効であること、また、律速となるプロピオン酸の蓄積を避けるには、硫酸塩を添加し硫酸塩還元細菌によって槽内水素分圧を特定のレベルに保つ必要があること等が分った。開発したプロピオン酸センサーを各種メタン発酵試料に適用したところ、高精度な測定が可能であった。本センサーとプロピオン酸分解促進法（各種微量栄養素の添加等）を連携させた、メタン発酵安定化システムのモデルリアクターを構築し、実証実験を実施している。また、難分解性廃棄物を処理する、酸生成槽・メタン発酵槽の 2 槽式連続処理リアクターを構築、実証実験を実施し、システム性能の評価を行っている。各種 UASB プロセスについて、グラニューク汚泥の微生物群集構造と処理条件を連関させたデータベース化を進めた。バルキング原因菌群他、メタン生成古細菌、共生細菌の迅速・定量モニタリング技術開発のために、それらの検出用プローブセットを製作した。

研究開発項目②「土壌中難分解性物質等の生分解・処理技術の開発」については、難分解性石油成分については、多環芳香族化合物の汚染土壌に嫌気浄化法（栄養塩・電子受容体・分解菌の添加）を適用するラボスケールの実験系と、ガソリン成分汚染地下水を嫌気ベンゼン分解菌が固定された浄化壁カラムに通す嫌気浄化法を適用するラボスケールの実験系を構築し、実証実験を実施しており、現場実証試験に必要なベンチスケール実験条件をほぼ確定した。

cDCE、VC のバイオオーギュメンテーション模擬カラム実験を行い、浄化効果と摂取分解菌群の残留性を評価したところ、浄化効果の有効性が確認され、バイオオーギュメンテーションによる地下水中の菌相変化も可逆的なものであることを確認した。cDCE 集積培養体からマイクロアレイ電気培養装置による脱塩素細菌の単離、安定継代培養を検討し、集積体中の優占種である乳酸菌（DCE 脱塩素化能無し）を抑えた培養・集積化が可能となり、本集積体から、少なくとも 2 種の脱塩素化嫌気性細菌の存在を確認できた。VC 分解菌の検出法については、2 タイプの VC 分解遺伝子の定量検出法を開発し、種々の汚染地下水試料に適用、解析を行っている。PCE については、嫌気性分解菌 KBC-1 の機能詳細解析と環境影響評価を行い、大量培養法の検討を行っている。本菌株と好気性 TCE 分解菌株を用いた掘削オンサイト型 PCE 処理プロセスの基礎検討を行い、この結果を元に、現場適用を想定したスケールアップ分解試験を実施し、良好な結果を得た。ダイオキシンについては、ダイオキシン汚染土壌等を接種源とする分解リアクターから、塩化芳香族化合物による脱塩素化菌の高度集積培養を行い、数株の Dehalococcoides 細菌を分離できた。それら分離株と高度集積体はいずれも 1,2,4-トリクロロベンゼンに対して脱塩素化活性を示したが、エテン系塩素化合物と高塩素化ダイオキシンに対する活性は異なっており、集積体からは少なくとも 9 種の脱塩素化酵素遺伝子を確認している。

研究開発項目③「生分解を目的とした嫌気性微生物の機能解明、育種等基盤技術の開発」については、嫌気性脱塩素化細菌 Y51 株について、効率的な遺伝子導入法を検討し、広域宿主ベクターやトランスポゾンに加えて接合伝達法を試み、再現性の確認を行っている。Y51 株の脱塩素機構解明のため、ゲノム上脱塩素化関連遺伝子の DNA チップによる網羅的発現解析を行い、脱塩素化に伴ってデハロゲナーゼ、ATP 合成酵素サブユニット、電子伝達タンパク質等の遺伝子発現がアップレギュレートされていることが分った。また、発現タンパク質のマッピングを行い、PCE の脱塩素化に伴う菌体内でのタンパク質の変化に関する総合的解析を行っている。

平成 18 年度は、東京大学大学院農学生命科学研究科 教授 五十嵐 泰夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「メタン発酵プロセスの高効率化、安定化に必要な技術の開発」においては、各種メタン発酵リアクターの操作パラメータ変化が、メタン発酵に主要な各種菌群（群集構造、菌体濃度等）と発酵効率に及ぼす影響を基に、律速となるプロピオン酸の蓄積を避けるための水素分圧の低減に硫酸塩還元菌を利用するものとメタン発酵槽外部に硫酸塩還元菌を利用した水素除去装置を設けるものを考案し、有効性を確認した。メタン発酵安定化システムのモデルリアクターとして多槽型（3 槽）の反応器バブルドリアクターを製作し、セルロースパウダーの高温メタン発酵連続処理実験によって、セルロース分解菌増殖・維持に有用であることを確認できた。食品工場廃棄物を原水とし、酸生成槽とメタン発酵槽からなる二相式高温メタン発酵連続処理装置を用いた連続処理実験を行い、一相式の対照系より HRT を短縮し、COD 容積負荷が高く、メタン生成活性と浮遊性有機物（VSS）の分解率は高い高度なメタ

ン発酵処理を実現した。高温嫌気性消化モデル(TADM)を構築し、昨年度までに開発した嫌気微生物の定量技術による実測値との整合性を持ったシミュレーションができ、パラメーター・フィッティングの機能を用い、阻害反応の抽出・定量を行うこともできた。

UASB プロセスを分類、採取時の装置運転状況、水質、グラニュール汚泥中の微生物群集構造と合わせてデータベースを完成させた。バルキングを起こした異性化糖製造工程廃液を処理している UASB プロセスのグラニュール汚泥から DNA を抽出、細菌の 16SrRNA 遺伝子のクローンライブラリーの解析を行った結果、門レベルで新規な細菌：KBS3 門細菌群であることを特定した。UASB リアクター内のグラニュール汚泥のバルキング微生物の KBS3 門細菌の消長を確認するとともに、その時のプロセス処理性能を把握し、糖類添加条件を変えることによりバルキング原因微生物の抑制、バルキング誘引の回避方法、UASB 処理プロセス運転指針を提案した。これらの成果により既存の各種メタン発酵プロセスに対して、発酵の効率化、高速化、安定化等の点について、トータルとして 20%以上向上した。

研究開発項目②「土壌中難分解性物質等の生分解・処理技術の開発」においては、難分解性石油成分による汚染土壌と汚染地下水の嫌気浄化法の実証実験、下記 (1) ~ (3) を実施した。(1)嫌気芳香族分解系のキナーゼ素：Benzyl-CoA reductase の遺伝子を検出するための PCR システムを開発し、ガソリン汚染地下水を用いたマイクロゾム実験により有用性を確認した。(2)汚染土壌中の微生物の活性度モニタリング法を確立し、代謝産物等の生理的影響を追跡する手法を構築するとともに、石油成分分解嫌気性細菌を用いてベンゼンの分解活性や生理活性を検出した。(3)嫌気及び好気性の各種分解菌(群)から有用なモニタリングマーカーとなりうる複数の新規分解系遺伝子を取得した。

また、嫌気ベンゼン分解菌 DN11 株が嫌気トルエン分解菌の一部の株と高いホモロジーを示し、ベンゼン、トルエン、m-キシレンを分解することを明らかにした。さらに、嫌気性フェナンスレン分解菌 Phe91 株は新種の *Sulfurospirillum cavolei* として提唱した。

cDCE、VC のバイオオーギュメンテーション用分解菌群は培地中に VC が残存していれば 4℃で長期間保存可能であることを明らかにし、脱塩素活性を確認するために半年に 1 回の程度の割合で新しい培地への植え継ぎを行っている。これまでに得られた知見をまとめ、「微生物によるバイオレメディエーション利用指針」に確認申請を行い 2 回の委員会を経て 3 月中に確認を取得できる見通しである。国内塩素化エチレン汚染現場においては *vcrA* を保有するタイプの *Dehalococcoides* 属細菌が優先種として定着している可能性の高いことが明らかになった。

高度に電気培養により集積された DCE 脱塩素微生物群から Agar-shake 法を用いて DCE から VC まで脱塩素を行う微生物、及び DCE からエチレンまで脱塩素を行う微生物を単離できた。

KBC1 株を用いて PCE を含む掘削汚染土を対象としたラボレベルでの分解実験を行い、処理後 3 日以内に PCE を TCE にまで変換できること確認した。5m³規模のスケールアップ評価試験系を構築して PCE の分解性評価試験を行い、PCE を 4 日間で無害化できる良好な結果を得た。KBC1 株の安全性データ(動物試験、環境中での残留性等)や環境影響評価データ(分解菌残留性、他の微生物への影響)を収集し、「微生物によるバイオレメディエーション利用指針」の適合確認の完了に反映した。また、大量培養方法についての検討を進め、実用化に耐えうる簡便かつ低コストな嫌気微生物の大量培養方法を確立した。

ダイオキシンについては、単離された *Dehalococcoides* の集積物の全てが 1,2,3,4-TCDD、フラサイド、1,2,4-TCB を脱塩素化し、一部(TUT2264)は PCE、TCE も脱塩素化した。塩化芳香族の脱塩素化の場合、脱塩素化物は殆ど検出されず、共生菌による脱塩素化物の代謝分解が予想された。半嫌気マイクロゾムを構築して脱塩素化を追跡し、リアルタイム定量 PCR による脱塩素化菌 *Dehalococcoides* 群の菌数は初発 PCDD/F に相関して分布していることが認められた。

研究開発項目③「生分解を目的とした嫌気性微生物の機能解明、育種等基盤技術の開発」においては、嫌気性脱塩素細菌 Y51 株への外来遺伝子導入方法として、リゾチーム処理と電気パルスを組み合わせて FITC-dextrane を取り込ませる条件等を見出した。また、PCE/TCE 添加時の DNA マイクロアレイによる発現遺伝子の解析や LC-MS/MS による全タンパク質発現分析結果から、ピルビン酸を電子供与体とし、ピルビン酸還元酵素及び NADH 脱水素酵素を経て PCE/TCE を最終電子受容体とする電子伝達系が形成され、この過程で ATP 生産が行われているメカニズムが予想された(脱ハロゲン化呼吸)。さらに Y51 株の全ゲノム配列を解読し、ゲノム情報を公開した (AP008230)。

《6》 遺伝子組換え体の産業利用におけるリスク管理に関する研究 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

遺伝子組換え体に関してこれまで得られている科学的知見や議論の内容を体系的に整理しデータベースを整備するとともに、遺伝子組換え体の事後的な管理手法のあり方を研究し、組換え体管理の一層高度化していくことを目的に、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、財団法人バイオインダストリー協会 常任理事 炭田 精造氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「遺伝子組換え体の安全性に関するデータベースの開発」については、データベースは遺伝子組換え体を産業利用しようとする企業や行政におけるリスク評価・リスク管理にも利用可能なものとするの

みならず、企業や専門家以外においても遺伝子組換え体の安全性に関して理解を一層深めることが可能となるよう、わかりやすいデータベース化の方法について検討を行い、データベース画面遷移イメージのプロトタイプを作成した。遺伝子組換え体の安全性に関する科学的知見やこれまでの議論の系譜、リスク評価、管理に係る方法に関する情報をデータベース化するために、これまでの各国等での議論の系譜の収集、整理、分析を継続実行した。より良いデータベースシステムを開発するために、システム調査の実施、システム構成検討の要求把握を行った。また、システム開発のためにシステムインテグレータを活用し概念設計に着手するための詳細調査・比較検討を行い、プロトタイププログラムの作成を行った。

研究開発項目②「事後管理手法の開発」については、遺伝子組換え体（主として微生物）に対応した国内外で行われている環境リスク評価・管理の基本的考え方と評価項目の調査（ヒアリングを含む）・整理を続行するとともに、事後管理の方法論を継続検討した。その際に安全工学的な手法も取り入れるよう配慮した。また、事後管理手法の開発のため、マイクロアレイを用いた環境中の病原微生物等のモニタリングおよび自然環境下における組換え微生物の挙動の解析について検討を行った。

平成 16 年度は、財団法人バイオインダストリー協会 常任理事 炭田 精造氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「遺伝子組換え体の安全性に関するデータベースの開発」について、データベースの基本的内容（コンセプト、文献選定の考え方、画面推移等）の検討を終了した。情報の収集と加工では、遺伝子組換え体の安全性に関する科学的知見、議論の系譜、リスク評価・管理に係る方法に関する情報をデータベース化するために情報の収集、整理、分析を継続実行した。具体的には、OECD 等国際機関での主要議論の文献を中心として一次選定を終了し、書誌情報、要約、概要等の作成を継続した。また、一般向けの入門編、Q&A の原案の作成とチェックを実施した。システム開発では、遺伝子組換え体の安全性に関する基礎知識と文献情報の検索機能を備えたデータベースシステムの開発を行った。開発したシステムについては、関係者に関覧を行い、課題点・修正点等の洗い出しを行った。

研究開発項目②「事後管理手法の開発」について、組換え微生物の事後管理の全体的枠組み（フロー）をどのようにすべきかについて検討し事後管理フロー図を作成した。また、実験課題 1（自然環境下における組換え微生物の挙動の解析）では、土壌中の遺伝子水平伝播を担う微生物（mobilizer）の存在割合把握、土壌微生物の組換え遺伝子受容ポテンシャル評価等を行った。また、汚染土壌浄化現場での mobilizer の存在量、添加される黒土等を外来菌と見立てての外来菌の挙動、物質循環機能と微生物生態系の多様性についてのモニタリングを行い、基礎的データを蓄積した。汚染土壌浄化現場のサンプルでマイクロアレイによる病原性細菌を含む土壌中細菌等の解析に着手した。実験課題 2（マイクロアレイを用いた環境中の病原微生物等のモニタリング）では、一般細菌群、及び病原細菌群をモニターする方法と特定の病原体をリアルタイムで高感度に捕まえる方法も作成した。さらに病原体の評価のため国内外から菌株の収集作業とデータが少ない植物病原性カビのデータの収集に着手した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。中間評価では、遺伝子組換え体の産業利用を図る上で重要な事業として位置付けられ、そのために必要な社会的基盤整備が着実に進められていると評価された。

平成 17 年度は、財団法人バイオインダストリー協会 常任理事 炭田 精造氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「遺伝子組換え体の安全性に関するデータベースの開発」について、一般向けの入門編、Q&A のチェック、理解しやすくするため必要な図の作成を行った。書誌情報については、OECD 等国際機関の文献の書誌情報、要約、概要等の作成を継続し、58 文献の全書誌情報、要約、解説、25 件の全訳、8 件の原文を入力書式に調整した。各国規制については米国（NIH、USDA、FDA、EPA 等）における遺伝子組み換え体の現状・規制の考え方等の調査を終了した。システム開発ではシステムインテグレータを活用し概念設計に着手するための詳細調査・比較検討を行い、プロトタイププログラムを作成した。また、想定ユーザーに対してユーザビリティ調査を実施した。

研究開発項目②「事後管理手法の開発」について、バイオレメディエーションの周辺動向の変化を見据え、実証的に実施した事後管理実験の結果を昨年度に作成したフローチャートの修正の参考とした。

実験課題 1（自然環境下における組換え微生物の挙動の解析）では、異なるプラスミドを保持する細菌を数種類の土壌リアクターに導入し、培養法及びリアルタイム PCR により、導入菌とプラスミドの生残性をみた。自己伝達性プラスミドはドナーの生残性に関係なく土着菌群に伝達し、可動性プラスミドはドナーの生残性が高くても土着菌群に伝達する可能性が低いことが判明した。また、比較的長期にわたって残存する可能性がある。土壌中におけるプラスミドの宿主内安定性と導入菌の VBNC 化の可能性は非常に低い。

実験課題 2（マイクロアレイを用いた環境中の病原微生物等のモニタリング）では、ヒト、動物、魚介類のかび病原体の高感度スクリーニング方法を作成し追加した。系統アレイを本年 192 種追加。病原体アレイについては定量 PCR を加え、94 種を選択した。データのすくない植物病原性カビ等のデータベースについては、国内保存機関に保存されている株と、一部植物と魚類の細菌、カビは国外からの株を使い、マイクロアレイでの解析と特異プライマーを使った高感度スクリーニング方法を作成するための配列データの蓄積を行った。植物病原性カビは野菜、穀類、果実など社会的要求性の高い病原性カビに絞り込み、既知のものを含め 600 種を決定した。

平成 18 年度は、財団法人バイオインダストリー協会 常任理事 炭田 精造氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「遺伝子組換え体の安全性に関するデータベースの開発」については、行政におけるリスク評価・リスク管理の業務者や遺伝子組換え体を産業利用しようとする企業従事者等において、遺伝子組換え体の安全性に関して理解を一層深めることが可能となるよう、安全性に関する国内外の知見や規制に関する報告を解説、要約および翻訳した情報をデータベース化し、ウェブサイトで公開した。公開データベースは、遺伝子組換え技術と応用、さらに安全性に関する国際機関や各国の科学的知見や議論に関する情報を体系的に提供することを目的に、入門編、Q&A 集、用語集、文献の書誌情報、要約、解説、各国の規制状況についてまとめた。さらに、データベースとして作成した情報を簡便に検索できるリンク機能や、今後のデータ内容を追加・改訂する機能を備えたシステムの開発を行った。

研究開発項目②「事後管理手法の開発」について、組換え微生物の野外に放出した後の事後管理に資する基礎的実験として2つの実験を実施した。

実験課題1（自然環境下における組換え微生物の挙動の解析）については、自己伝達性プラスミドはドナーの生残性に関係なく土着菌群に伝達し、可動性プラスミドはドナーの生残性が高くても土着菌群に伝達する可能性が低いことが判明した。また、土壌中におけるプラスミドの宿主安定性と導入菌の VBNC 化の可能性は低く、レシピエントがある程度高い生残性を有する高栄養下では、トランスコンジュガントがドナーよりも高い接合伝達能力を発揮する可能性が示唆されるなど、遺伝子組換え微生物による、土壌環境中の組換え遺伝子の伝播確率、残存確率、遺伝子再編成の発生確率は非常に低いと予想される結果を得た。

実験課題2（マイクロアレイを用いた環境中の病原微生物等のモニタリング）では、16SrRNA のよく保存された配列を固定しヒト、動物、魚介類、植物のカビ病原体に関して、マイクロアレイ等を使った網羅的・定量的にモニタリングできる簡便なシステムの開発及び解析可能菌類病原体のデータとして科一属レベルで920属、種レベルで192種の機能微生物を検出できる系統アレイ作出し、病原菌に特異的配列を選択し1020種を検出できる病原体アレイを作出できた。マイクロアレイ法では優位の菌の検出はできるが菌相の1/1000以下の菌は検出が困難であることから、病原因子と組み合わせたアレイやさらにリアルタイムPCR法を用いて、化学工場排水、汚染土壌、汚染地下水、コンポスト等の現場における主要な病原性菌の精度の高い検出方法を確立した。

《7》 バイオプロセス実用化開発【F 2 1】【課題助成】[平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

バイオプロセスの利用による環境負荷の少ない工業プロセスへの変革を加速するため、高機能化学品（医薬中間体、アミノ酸・ビタミン・オリゴ糖・ペプチド・脂肪酸等の食品用機能性物質、光学活性体など）、有用タンパク質（ヒト及び動物の抗体や生理活性因子など）、プラスチックなどの有用物質の生産プロセスに対して、(a) 渋滞のバイオプロセスに比べて生産効率を50%程度以上向上、(b) 従来の化学プロセスなどによる生産プロセスに比べて生産コストを30%程度以上削減、(c) 従来の生産技術では生産困難な高機能物質の生産、のいずれかを目標としたバイオプロセス技術について、民間企業等が実施する実用化開発を支援することを目的に、以下の項目を実施した。

平成16年度は、3次にわたり公募し、23件のテーマを採択した（有用タンパク質生産プロセス開発11件、高機能酵素活用生産プロセス開発4件、バイオマス変換プロセス開発5件、食品用機能性物質生産プロセス開発3件）。これらにつき技術の基本仕様を確立し、要素技術開発を行った。

- (1) 蚕を用いた蛋白質生産技術の改良による天然型蛋白質の生産
- (2) トランスジェニック・ニワトリを用いた有用タンパク質生産系の実用化
- (3) 糖鎖制御を包含した抗体等糖蛋白質の生産方法の実用化研究
- (4) ヒト適応型糖鎖生産メタノール産性酵母（ヒト型酵母）による糖タンパク質生産プロセス実用化
- (5) 動物細胞による抗体高産生化のための技術開発
- (6) 動物用医薬品として利用する組換えタンパク質製造バイオプロセスの実用化研究
- (7) 植物を利用したイヌインターフェロンの生産技術開発
- (8) 膜受容体及び抗膜受容体の生産プロセスの実用化
- (9) 新規の宿主・ベクターを用いた糖タンパク質生産系の実用化
- (10) 株化細胞を用いた遺伝子組換え生ワクチン生産方法の実用化研究
- (11) バイオナノカプセルの大量生産技術の確立
- (12) バイオプロセスによる糖誘導体工業化技術の開発
- (13) 機能性ポリマー材料のバイオプロセスによる製造技術の開発
- (14) 医薬品中間体(R)-3-キヌクリジノールの製造を具体例とした汎用微生物還元プロセスの開発
- (15) 酵母を宿主とした機能性ヒト型セラミド合成系の実用化
- (16) バイオマスを原料とするコハク酸製造プロセスの開発
- (17) バイオマスからの組換え酵母による高効率乳酸生産プロセスの開発
- (18) 酸化還元バランス発酵技術による機能性化学品新製法の開発
- (19) バイオマスプラスチック素材・プルランの製造技術開発
- (20) 植物原料由来コハク酸製造プロセスの開発研究
- (21) ゼロエミッション焼酎・健康酢製造技術の実証と事業化
- (22) 健康志向素材としての抗酸化物質配糖体製造技術の開発
- (23) バイオプロセスによる機能性食品素材フィトステノンの開発と実用化

平成17年度は、前年度に採択した23件の事業（有用タンパク質生産プロセス開発11件、高機能酵素活用生産プロセス開発4件、バイオマス変換プロセス開発5件、食品用機能性物質生産プロセス開発3件）について要素技術の組み

合わせによる目的物質の生産性の向上研究を行い、また多くの事業においてスケールアップ検討を行った。その結果、以下3件の事業

(14) 医薬品中間体(R)-3-キヌクリジノールの製造を具体例とした汎用微生物還元プロセスの開発

(16) バイオマスを原料とするコハク酸製造プロセスの開発

(19) バイオマスプラスチック素材・ブルランの製造技術開発

が成果を挙げ、サンプル販売による市場開拓に移行するため助成事業を終了することとなった。

平成18年度は、バイオプロセス技術の中で、1) 微生物(大腸菌、枯草菌、酵母等) 2) 植物/植物細胞 3) 動物/動物細胞 4) 酵素の機能を活用した要素技術開発が行われ個々設定されたスケールアップ等の物質生産工程への応用が進化した。

その結果、化学プロセスでは多くの段階を経なければ作れない化合物が一段階できたり、常温・常圧での反応など、緩和な条件で精密な物質の生産が行える目処が見ついたものがある。課題であった生産効率が低く、生産コストが高い生産プロセスに対して、(a) 従来のバイオプロセスに比べて生産効率を50%程度以上向上、(b) 従来の化学プロセス等による生産プロセスに比べて生産コストを30%程度以上削減、(c) 従来の生産技術では生産困難な高機能物質の生産、のいずれかに目標を設定した結果、平成18年度継続された20件で実用化が計画することが出来るレベルに到達することができた。

今後医療用・分析用抗体等の有用タンパク質生産プロセス、食品用機能性物質生産プロセス、高機能酵素活用生産プロセスおよび植物由来プラスチックなどの分野で具体的商品化が期待できる。

《8》生物機能を活用した生産プロセスの基盤技術開発 [平成12年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

生物機能を活用した循環型・低環境負荷型の物質生産プロセス開発の基盤技術として、工業用微生物触媒のプラットフォームとなる宿主細胞、代謝・遺伝子発現をシミュレートする細胞モデリング技術、酸化還元反応などの有用反応を行う微生物又は遺伝子から構成される有用微生物遺伝資源ライブラリーの開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、京都大学大学院 農学研究科 教授 清水 昌氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「宿主細胞創製技術の開発」については、大腸菌においては約1Mbp(全染色体の20%相当)の多重削除株を作製した他、生育能力、還元力供給能力、ATP供給能力が向上した削除株を得た。また、全遺伝子について遺伝子欠失株の作製を終了した。枯草菌においては最大510kbp(全染色体の12%相当)の多重削除株を作製した他、遺伝子破壊株を用いた全遺伝子の機能解析をほぼ終了し、有用タンパク質生産能力や生育能力を向上させる遺伝子欠失を見出した。ゲノム構造上、大領域削除が困難な分裂酵母においても約100kbp(0.72%)の削除株を作製した他、生育能力や炭素源利用効率、異種タンパク質生産能力を向上させる遺伝子欠失を見出した。出芽酵母においてはMGF作製の元になる6系統の染色体分断株を作製して染色体脱落を試行し、多様なゲノム組成を持つ株の創出の可能性を確認した他、モデル化合物の生産実験を開始した。コリネ属細菌においては全ゲノムの10%相当の多重削除株を作製した他、遺伝子の*in silico*検出および破壊株の作製を進めるとともにトランスクリプトーム・プロテオーム解析を進めた。枯草菌を使った大規模遺伝子集積法(OGAB法)のプリパスタチン合成系遺伝子の集積等での検証を進め、合成量が2倍以上に向上した株を取得した。このように5種類の微生物についてMGFの作成に向けて着実に進捗した。

研究開発項目②「細胞モデリング技術の開発」については、GEMシステムを用いて、反応数1279からなる大腸菌全代謝の静的モデルを生成した他、主要エネルギー代謝経路の動的シミュレーションモデル構築のため、E-Cellシステムver.3上に190反応からなる初期モデルを構築し、一部*in vitro*酵素キネティクスのデータを加味し、静的/動的ハイブリッドアルゴリズムを適用した。これを用いて酸素欠乏時のエネルギー生産系の挙動を表現できた。CE-MS、LC-MS等を用いた大腸菌の細胞内代謝物質の網羅的なハイスループット測定方法の開発を終了し、これを用いて既知物質759種の測定を行い、内509種については構造情報を得るためのMS/MSスペクトルも採取してデータベース化した。単一遺伝子欠失株の表現型解析より、解糖系関連の遺伝子欠失株ではDNAマイクロアレイ解析により発現が上昇した約60遺伝子と減少した約100遺伝子を同定した。また、タンパク質相互作用、細胞内局在性の解析を進め、2,700タンパク、約16,000の相互作用を見出した。

研究開発項目③「微生物遺伝資源ライブラリーの開発」については、脂防族・芳香族ヒドロキシカルボン酸やアルコール、カルボン酸、ジカルボン酸等を生成能を有する微生物の探索を継続し、600株以上を新たに取得した。探索菌から有用活性を持つものを選抜し、新規なn-アルカン酸化酵素遺伝子(18種)、芳香族炭化水素酸化酵素(1種)、トルエンモノオキシダーゼ(1種)、可逆的脱炭酸酵素(2種)、等をクローン化し、酵素精製、酵素機能の解析等を行った。また、各種カルボニル化合物の不斉還元による光学活性化合物の生産実証実験を大腸菌で行い、50~400g/lの生産物蓄積に成功した他、ポリケトン、オレフィン還元酵素を探索し、クローン化、大腸菌での発現を行った。グリオキシル酸生産に有用な酸化酵素3種を検出し、機能解析を進めた。中間評価の結果、基盤技術の開発と実用化研究の関連性および全体の意思統一の指摘を受け、MGFによるモデル物質生産を平成16年度に行うことで見直しを行った。また、細胞モデリング技術グループと宿主細胞創製グループの連携強化を行った。

平成16年度は、京都大学大学院 農学研究科 教授 清水 昌氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「宿主細胞創製技術の開発」においては、染色体部分削除技術の高効率化を行い、削除の多重化を進めた結果、物質生産性の向上を示す有力宿主候補株をいくつか得た。大腸菌においては、欠失により代謝活性や物質生産性を向上する遺伝子を特定するとともに、1 Mbp（全染色体の 20%強）の多重削除株を用いて、アミノ酸生産能力の向上を確認した。枯草菌においては、最大 835kbp（全染色体の約 20%）の多重削除株を作製し、セルラーゼをモデル生産物としたタンパク質生産能力の向上を確認した。ゲノム構造上、大領域削除が困難な分裂酵母においては 100kbp（0.72%）近い領域を一度に削除する技術を確認した。コリネ属細菌においては 200 kbp の染色体多重削除株を作製し、これに異種微生物由来の遺伝子を複数個導入しコリネ菌では存在しない合成経路（エタノール生産など）を構築した。出芽酵母においては、複数系統の染色体分断株を作製してミニ染色体を選択圧下脱落させ、グリセロール生産能が向上している株、及び脂肪酸の蓄積能力が向上した株を取得した。また、枯草菌を使った大規模遺伝子集積法の最適化の検討を進めた。

研究開発項目②「細胞モデリング技術の開発」においては、分子量 1000 以下の細胞内代謝物質を一斉定量するハイスループット分析技術を確認し、大腸菌主要エネルギー代謝経路遺伝子破壊株を用いて各種培養条件における代謝流束、代謝物質濃度、酵素量、mRNA 量の網羅的データを蓄積するとともに、大腸菌主要エネルギー代謝経路のシミュレーションモデル構築を継続した。

研究開発項目③「微生物遺伝資源ライブラリーの開発」においては、酸化還元反応等により、脂肪族・芳香族のヒドロキシカルボン酸やアルコール、カルボン酸、ジカルボン酸等を生成する微生物が有する酵素遺伝子の機能確認及びクローン化を進めた。このうち、ニトリル加水分解、可逆的脱炭素、カルボニル不斉還元等の反応については、いずれも 2 日間以内で数 100g/L の生産物を得ることができており、取得した遺伝子機能の優秀性を確認した。このほか、還元力を供給するヒドロゲナーゼ遺伝子のライブラリー化、有機溶媒耐性に関与する 2 遺伝子領域の特定を実施した。更に、次世代宿主候補として、Rhodococcus 属細菌及び Micrococcus 属細菌のゲノムドラフトシーケンスを終了した。

平成 17 年度は、京都大学大学院 農学研究科 教授 清水 昌氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「宿主細胞創製技術の開発」については、大腸菌、枯草菌、分裂酵母、コリネ菌において、これまでに作成した最大 0.5~1.5Mbp 程度のゲノム削除株を基に、さらに生産に関わる遺伝子の集積・最適化を目指して詳細な代謝解析・機能解析を進めた結果、特定遺伝子群の削除により生産能や代謝機能が向上する現象を発見した。これらの遺伝子削除株自体において、大腸菌ではモデル化合物（アミノ酸）、枯草菌ではモデル酵素の生産能の大幅な向上がみられた。また、これら宿主細胞（Minimum Genome Factory : MGF）株に生産遺伝子を組み入れた場合においても、大腸菌では糖の生産能、枯草菌、分裂酵母ではモデル蛋白質（ヒト由来も含む）の生産能の大幅な向上が見られた。またコリネ菌では多重遺伝子導入によって、多環の複素環化合物を 1 段で生成するプロセス系を構築することが出来た。出芽酵母では、マスター-MGF 株からのミニ染色体脱落（最大で 0.5Mbp 脱落）による染色体縮減ステップにおいて、枯草菌を用いた物質合成系遺伝子集積技術では合成系遺伝子配列順序において、これらの手法の有用性と汎用性を示した。

研究開発項目②「細胞モデリング技術の開発」については、分子量 1000 以下の細胞内代謝物質を一斉定量するハイスループット分析技術により、大腸菌主要エネルギー代謝経路遺伝子破壊株を用いて各種培養条件における代謝流束、代謝物質濃度、酵素量、mRNA 量の網羅的データを蓄積し、大腸菌主要エネルギー代謝経路のシミュレーションモデル構築を完成した。これを宿主細胞候補株（大腸菌）の代謝解析に一部供した。

研究開発項目③「微生物遺伝資源ライブラリーの開発」については、酸化還元反応等により脂肪族・芳香族のヒドロキシカルボン酸やアルコール、カルボン酸、ジカルボン酸等を生成する微生物が有する酵素遺伝子の機能確認及びクローン化を進め、整理した結果、クローン 124 以上、微生物菌株 1250 株以上の遺伝資源ライブラリーシステムを構築した。このほか、還元力を供給するヒドロゲナーゼを立体構造解析し、補酵素再生系での機能評価を行った。また有機溶媒耐性に関与する 2 遺伝子の機能発現および時系列クラスター解析等を行い延べ 6 つの有機溶媒耐性関連遺伝子を特定した。更に、次世代宿主候補として Rhodococcus 属細菌及び Micrococcus 属細菌のゲノム精密シーケンス解析を終了した。Rhodococcus 属細菌の宿主-ベクター系を 3 系統確立し、実際に形質転換に供した。

《9》植物機能改変技術実用化開発【F 2 1】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

植物の物質生産機能を工業的に利用することを実現するため、物質生産性や耐環境性を向上させるなど、複数遺伝子の導入技術等の実用化開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、奈良先端科学技術大学院大学 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「工業原料生産のための植物代謝利用技術の開発」については、各種ユーカリの高効率かつ安定的な形質転換系を構築し、さらにユーカリの器官別 cDNA ライブラリー、ゲノムライブラリーから、難溶性リン酸の吸収向上に関与する遺伝子群を特定・取得するとともに、器官特異的なプロモーターを探索し一部を特定・取得した。高度不飽和脂肪酸(PUFA)を生産する植物作出のため、PUFA 生産微生物から当該遺伝子を特定・取得し、PUFA の生産・蓄積を確認した。ハイブリッドファイバー (PHB) の

植物での生産を目的とし、PHB 合成遺伝子のイネに導入を行うとともに、人工的に合成した PHB の物性評価に着手し、PHB 混合により物性工場の可能性が確認された。

研究開発項目②「植物の環境ストレス耐性向上技術の開発」については、抗菌ペプチドの評価技術を構築し、高活性抗菌ペプチドを設計し、シロイヌナズナをモデルに抗菌ペプチドを導入後、病害抵抗性の発現を確認した。また、ポリアミン代謝関連酵素の遺伝子を改変・導入することで、植物の環境ストレス抵抗性改善を目的に研究開発を進め、ポリアミンによる低温耐性向上のメカニズムを解析するとともに、関与する3種類の遺伝子を特定・取得し、低温誘導性因子の存在を明らかにした。

研究開発項目③「植物への多重遺伝子導入技術及び発現制御技術の開発」については、調節遺伝子を含め、複数の遺伝子を狙い通りに連結し、安定的に導入する技術の構築を目的に研究開発を進め、10種類の遺伝子を狙い通りに連結することに成功するとともに、導入した遺伝子の発現を安定化するベクターの改良に取り組み、その有効性を確認した。また、特殊な方法により30種類を導入することも可能なことが分かった。また、遺伝子の発現を調節するプロモーターの解析を進め、cDNA マイクロアレイの系を構築し、葉および根で特異的に発現している遺伝子を探索し、プロモーター断片の活性評価を実施している。

平成16年度は、奈良先端科学技術大学院大学 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「工業原料生産のための植物代謝利用技術の開発」の「イソプレノイド・天然ゴム工業原料植物の創成」については、イソプレノイド系化合物の合成系を解析し、関連酵素の遺伝子情報を解析するとともに、トランス型イソプレノイドのトチュウでは根の組換え系を確立して遺伝子検定を行った。シス型イソプレノイドのペリプロカでは、イソプレノイド系化合物の合成関連酵素遺伝子の形質転換体を作成し検定している。また、EST 解析を行いトチュウゴムに関連すると考える遺伝子を77種類に絞った。中国においてはカルタヘナ法を遵守するため花粉飛散試験を行った。また、トチュウゴム産生に関する一次代謝機能の解析をすすめた。

研究開発項目②「植物への多重遺伝子導入技術及び発現制御技術の開発」(1)「多重遺伝子連結技術の開発」においては、10種類の遺伝子を狙い通りに(連結個数や連結の順番)連結することに成功するとともに、導入した遺伝子の発現を安定化するベクターの改良に取り組み、その有効性を確認した。また、特殊な方法により30種類を導入することも可能なことが分かった。さらにより簡便で汎用性が高い技術とするために、多重遺伝子連結自動化を目指している。(2)「植物で機能する有用プロモーターの単離と活用」においては、遺伝子の発現を調節するプロモーターの収集および解析を目的として、cDNA マイクロアレイの系を構築し、葉および根で特異的に発現している遺伝子の探索、およびプロモーター断片の収集と活性評価を実施している。これまでに約70系統のプロモーター群の収集に成功しており、現在更に収集および解析を続行している。(3)「植物における高効率遺伝子発現系の構築」においては、外来遺伝子を安定的に高発現させるプロモーターの開発を目指して研究開発を進め、インスレータによる位置効果の回避の確認、翻訳効率や発現効率を向上せしめる特異的配列の効果の確認・解析を行った。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成16年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

平成17年度は、奈良先端科学技術大学院大学 教授 新名 惇彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「工業原料生産のための植物代謝利用技術の開発」の「イソプレノイド・天然ゴム工業原料植物の創成」については、トチュウでは根の組換え系を向上させて2個体の遺伝子導入根を作成した。また、胚軸からの再分化系を確立し形質転換体を育成中である。ペリプロカに関しては、ゴム増産と鎖長制御の候補遺伝子を導入した5個体の組換え体を作成し検定した。EST 解析した遺伝子をさらに絞り込み、抗体の作成等を終了した。カルタヘナ法の準備のため、中国での花粉飛散試験を再実施した(論文投稿中)。また、トチュウゴム産生にかかる一次代謝機能の解析として、季節変動などの解析を行った。

研究開発項目②「植物への多重遺伝子導入技術及び発現制御技術の開発」

- (1)「多重遺伝子連結技術の開発」においては、磁性粒子に固定されたDNAを制限酵素消化後、効率よく回収することを可能とした。多重遺伝子連結自動化装置の試薬温度制御部分の改良や制御プログラムの変更等を行い、手動操作と同程度のDNA連結効率を得た。複数のレポーター遺伝子発現を制御したベクターを構築し、本技術の有効性を示した。
- (2)「植物で機能する有用プロモーターの単離と活用」においては、昨年度に引き続き組換え体植物の育種、及びGUS染色による葉及び根特異発現遺伝子プロモーターを葉・根併せて89系統を解析した。根特異プロモーター系統では、発根促進作用を有するインドール酢酸による発現特性の変化を網羅的に調べた。プロモーターカタログを編纂した。
- (3)「植物における高効率遺伝子発現系の構築」においては、CaMV35Sプロモーター制御下に3種のメルトランスフェラーゼ遺伝子をタバコに導入し、カフェイン生産量は生重量1g当たり5 μ gであった。タバコ害虫のヨトウガの幼虫は、明らかな忌避行動を示したが殺虫効果はなく、第二世代の害虫対応技術として有望なことが分かった。減カフェインコーヒーに関しては、カルスの検定ではカフェインゼロの個体を得た(今後、受粉させ豆を採取、生理検定の予定)。RNAi導入カネフォラ種のリスクアセスメントでは、組換え体表面、組織内、ポット土に残留アグロバクテリウムを検出しなかった。野生型および組換え体について、ポット内の微生物相、植物体の

根の分析及び葉の成分分析、植物の生長・分化に差がないことを確認した。

《10》環境中微生物の高精度・高感度モニタリング技術の開発 [平成13年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

組換え微生物利用の安全性を科学的に評価する手法を確立し、組換え微生物の産業利用に対する社会的な理解と円滑な利用促進を促すため、特定微生物の環境中での挙動及び環境中微生物相の動態を高精度・高感度にモニタリングする技術の開発を目的に、以下の研究開発を実施する。

平成15年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物機能工学研究部門副部門長 中村 和憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「環境中における特定の微生物及び微生物相の定量解析技術の開発」については、モデル遺伝子として蛍光タンパク質遺伝子を実際の環境浄化などに用いることが想定される代表的な環境微生物 (E. coli K-12) に導入し、蛍光顕微鏡下において視覚的に追跡でき、PCR法により分子レベルで検出できることを確認した。モデル遺伝子による追跡手法を一般化するために全て微生物が有するrRNAをコードするrrnオペロン内にモデル遺伝子を挿入する手法を確立した。実際の自然環境水試料を対象にプローブ開発の基礎となる微生物相データの収集を行った。その結果、この系統群中で有効なグループ識別プローブはたった一属のみしか対象とならないことが明らかになった。また、さらに、堆積物・土壌系試料を対象に微生物相解析マーカー (16S rRNA) を効率的に抽出・回収・精製する既存法の比較検討を行った。その結果、DNA対象の場合には市販の専用抽出キットが効率的であるが、DNAとRNAの双方を対象としてPCR法以外の手法で解析する場合にはフェノール法が有効であることを確認した。

研究開発項目②「特定の微生物の環境影響評価試験手法の開発」としては、評価に必要なモデル微生物生態系として回分式活性汚泥を選定し、合成廃水を用いて培養し、定期的に種汚泥の細菌相の解析を行った。その結果、細菌相はほぼ安定しており、実用に供することが可能であることを確認した。中間評価ではモデル微生物系の構築部分が他の結果に比べて達成度が低いとの指摘を受けた。平成16年度以降の実施を見直し、構築しようとするモデル微生物生態系について、微生物層を詳細に解析し、モデルとして適当なものであるか検証する。

平成16年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物機能工学研究部門副部門長 中村 和憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「環境中における特定の微生物及び微生物相の定量解析技術の開発」については、緑色蛍光蛋白質以外に、物質分解などに関与する機能性遺伝子配列に数アミノ酸に相当する塩基を挿入することによって標識化する技術を開発した。またプラスミドを追跡する手法の開発を行うために、赤色蛍光蛋白質遺伝子(dsr)をプラスミド上に組み込み、安定的に発現させることによって赤色蛍光を蛍光顕微鏡もしくは特異配列を利用した定量的PCRによって検出する手法を開発中である。また細胞内遺伝子増幅法を淡水試料に添加した組換え遺伝子の検出に応用した。すなわち、河川水試料に組換え遺伝子を添加し、河川水中の細菌への組換え遺伝子の伝播頻度・消長を定量的にモニタリングした。その結果、in situ RCA法を用いることにより、遺伝子の発現を指標とした従来法よりも、より高感度に組換え遺伝子をモニタリングできた。定量的PCRを用いて細胞画分に存在する遺伝子量を求めることにより、in situ RCA法による定量値の信頼性を確認できた。実際の自然環境水試料を対象にプローブ開発の基礎となる微生物相データの収集や解析を行った。その結果、従来のものより適合率の高い α プロテオバクテリア用プローブやアーキアを含む微生物相解析プローブセットを選出した。また、細胞内遺伝子増幅法を淡水試料の微生物相定量解析に応用し、その有用性を評価した。その結果、従来から微生物相解析に用いられているFISH法に比べ、より高感度に検出できることがわかった。

研究開発項目②「特定の微生物の環境影響評価試験手法の開発」については、モデル微生物生態系に組換え微生物 (bphC 遺伝子を導入した大腸菌) を投入し、蛍光消光プライマーや蛍光消光プローブを用いたリアルタイム定量的PCR法で組換え遺伝子の増減を測定した。また、non-RI 蛍光ドットハイブリダイゼーション検出・相対分子定量解析に基づく定量的ハイブリダイゼーション法や、16S rRNA 遺伝子の一部を対象としたPCR-DGGE法で、微生物相変化をみた。

平成17年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 生物機能工学研究部門副部門長 中村 和憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「環境中における特定の微生物及び微生物相の定量解析技術の開発」については、緑色蛍光蛋白質、特異配列で標識した宿主細胞と導入プラスミドを個別に追跡するために、平成16年度に引き続き赤色蛍光蛋白質遺伝子(dsr)をプラスミド上に組み込み、安定的に発現させることに成功した。この成果により、赤色蛍光を蛍光顕微鏡で観察することによりプラスミドを、特異配列を利用した定量的PCRによって宿主細胞を検出することが可能となった。

特定微生物検出マーカーの検出・定量化技術の開発については、DNAの抽出段階で目的遺伝子以外の遺伝子をできるだけ排除し、目的遺伝子を濃縮することにより高感度で定量する手法について検討を行ったが、濃縮倍率が必ずしも高くならず現実的な方法としての採用は困難であった。細胞内遺伝子増幅法を、水環境試料に添加した微生物及び遺伝子の同時検出に応用し、その有用性を評価するとともに改良を図り、これまで直接顕微鏡観察が困難であった微生物の観察を可能とした。微生物相解析マーカーの調製法

の開発については、土壌系試料での定量的な微生物相解析の実現を目指し、解析困難であった土壌系試料を主な対象として核酸調製法の検討を進め、最適抽出法を確立することに成功した。また、開発された技術を、モデル微生物生態系として選抜された活性汚泥試料の解析に適用した。

研究開発項目②「特定の微生物の環境影響評価試験手法の開発」については、モデル微生物生態系に、研究開発項目①で開発された特定の検出マーカーを付与した組換え微生物を投入し、その挙動を追跡するための最適化を行った。また、微生物相解析に適した手法の抽出とその改良を行い、微生物相解析手法の最適化を行った。これらの開発技術を基にして、活性汚泥モデル系を利用した特定の微生物の環境影響評価試験手法の基盤を確立した。

《11》生物の持つ機能を利用した環境中化学物質の高感度検出・計測技術の開発 [平成13年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、コプラナーPCBをターゲットとしてモノクローナル抗体を基に、PCB80, 111に特異性を示した Mab-0217 及び幅広い交叉反応を示した Mab-4444 の2種の遺伝子組換え抗体を取得した。抗PCB#169 及び抗ダイオキシン F114 単鎖抗体については、可変領域重鎖に変異を導入することによって、耐有機溶媒特性・熱安定性の向上、交叉反応性の低減を図り、天然型単鎖抗体に優る機能性単鎖抗体を取得し、排ガス環境試料を用いるセンサーへの適合性の可能性を示した。また、人工抗体では、2,3,7-トリクロロダイオキシンに対して強い親和性を示したオリゴペプチドのアミノ酸配列を特定し、4塩化ダイオキシンに対して結合性が高い置換体を見だし0.1ng/mlの検出感度を得た。

研究開発項目②については、色素増感クロマトグラフィー法等のシグナル増幅技術に関して、改良を行ったリポソームの感度はELISA法と比べ10倍上昇し、0.1ng/mlのビスフェノールAを検出した。プローブ型SPR検出装置は、光ファイバーの直径増加等の光学系の改良を加えた結果、測定感度の向上が図られたが、サンドイッチ法による測定系の確立は限界と判断し競合法等への転換を視野に加えた。ウェーブガイドセンサーは、光学ユニットの改良により出力変動を減少し測定ばらつきを低減すると共に、測定系では、ダイオキシン F114 の検出を確認し、再現性に課題があるが環境試料への適用の可能性を示唆した。しかしながら、プローブ型SPR検出装置及びウェーブガイドセンサーは、実用化を見込む課題解決の見通しが明確でないことから平成15年度末をもって開発を中止した。

研究開発項目③については、土壌を対象とした実環境試料を想定し超音波抽出、多層シリカゲル、精製・吸着カラム等による簡便精製・濃縮法により、抗体測定阻害要因の目安となる着色度をほぼゼロにすることができたが、公定法と比較し抽出率80%で最終年度に性能改善の見込みが明確でない事より、超音波抽出による前処理方法の開発を平成15年度末をもって中止した。また、ビスフェノールAを対象とした抗体イムノアフィニティー・カラムを用いることにより、水系環境試料より分離回収を実証し、土壌環境試料の適用が示された。免疫測定法について現状の測定法及び抗体などの認識素子について客観的かつ標準的な評価基準、土壌等を対象にした環境試料におけるダイオキシン類の高感度検出が可能なバイオセンサーの条件に係る情報収集や免疫測定法標準化の動向調査を実施した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①前処理方法の開発及び認識素子の開発

前処理方法の開発及び遺伝子組換え抗体の開発：

- 1) 前年度までに取得した抗ビスフェノールA抗体および抗コプラナーPCB抗体を用い、簡易計測キット(ELISAキット)および抗体アフィニティークラムを作製し極微量化学物質簡易測定システムを構築した。また、この測定システムでビスフェノールAを河川水中から10pg/ml、土壌中のコプラナーPCBを0.5ng/g検出し実用性を確認した。
- 2) 土壌中ダイオキシンの簡易分析に影響を与える物質(妨害物質)を解明し、その影響を効率的に除去できる土壌を対象とした簡易前処理方法を開発した。さらに、昨年度までに開発した抗ダイオキシン抗体(認識素子)から簡易測定法に適した認識素子を選抜し、簡易測定装置と組み合わせた分析系を構築し、トータル的な土壌中ダイオキシン類簡易計測システムを構築した。また、「廃棄物焼却炉からの排出ガス、ばいじん及び燃え殻に含まれるダイオキシン類の簡易測定法の公募：環境省 H17.1」に応募を行い、「土壌及び底質に含まれるダイオキシン類の簡易測定法の公募：環境省 H17.3」に応募予定である。

人工抗体の開発：

- 1) ダイオキシン結合ペプチドを用いた自動測定装置の検出条件等の最適化を図り、2,3,7,8-TeCDDを30pg/ml検出した。また、土壌試料を用い250pg-TEQ/g相当のダイオキシン類を検出し、実用性を確認した。さらに、「土壌及び底質に含まれるダイオキシン類の簡易測定法の公募：環境省 H17.3」に応募予定である。

研究開発項目②トランスデューサーの開発

色素増感クロマトグラフィー法等のシグナル増幅技術の開発：

- 1) リポソームクロマトグラフィーによる検出方法を確立し、土壌中のビスフェノールAを10ng/ml検出した。(純物質測定では、0.06ng/mlを検出した。)また、より簡便な分析方法としてHPLCオンラインシステムを設計し、ビスフェノールAの検出を確認した。

《12》エネルギー使用合理化生物触媒等技術開発 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

工業原料生産及び工業プロセスにおける省エネルギー・省資源化を図り、環境調和型・循環産業構造への転換を促進するため、再生可能なバイオマス資源を活用した原料生産技術や、生物触媒を利用したバイオ反応プロセス技術の開発を目的に、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「要素技術の研究開発」については、平成12年度に復帰変異株の問題が発生したため、平成13、14年度は計画を変更し、復帰変異株の解析、復帰変異を起こさない条件の検討、突然変異による菌株改良等を行なった。現在までにジカルボン酸の蓄積量とノルマルパラフィンからの収率が10～15%以上向上した株が得られたが、中間目標には未達となった。平成15年度は、突然変異による菌株改良を継続するとともに、樹脂原料・汎用化学品として使用可能な品質を得るために回収・精製法の研究を行ったが、目標の品質である純度98.5%には達しなかった。本酵母のDCA生産性を改良するために、DCAの細胞外への排出系の改善が極めて有効な手段であると考え、本酵母におけるDCAの排出系遺伝子を単離・同定して利用することを企図した。疎水性物質の排出に働くABCトランスポーターと呼ばれる輸送蛋白質をコードする遺伝子CmCDR1を単離し、これがDCA高生産菌では強く誘導されていることを確認した。

研究開発項目②「実証研究」については、処理対象の有機性廃棄物が得やすい現地（千葉県印西市草深、鈴木牧場）に酪農家平均規模の1/10スケールの実証プラントを設置・連続運転し、技術の有効性と経済性を確認すべくデータ収集を開始した。併せて要素研究として産生メタンの有効利用の研究を継続した。野生株及び組換え株で各々処理したパルプで、省エネルギー量、収率、紙力に関するデータを取得し、菌処理の効果を確認するとともに、チップ船模擬装置の設計と工場実験仕様設計を行った。併せて要素研究を継続し、より効果の高いセルロース分解抑制株の選抜とリグニン分解酵素の活性を増強した有用菌株の選抜を行った。要素技術の研究開発に付いては、中間評価の結果、菌株の改良が目標に達していない、実証研究・実用化に向けた体制が確立していないとの指摘を受け、平成16年度の実施を中止した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「未利用バイオマスからの実用的なメタン発酵技術及び産生メタンの工業原料技術の研究開発」については、メタン発酵プロセスに生物学的硝化脱窒素プロセスを融合したシステムについて、実証プラントを用い、牛糞を対象に検討を行った。酸生成槽における脱窒素性能、窒素酸化槽におけるアンモニア性窒素の硝酸・亜硝酸性窒素への転換性能、およびプロセス全体の安定稼働をそれぞれ確認し、本技術システムの実証規模での性能を検証した。また、牛糞と生ごみの混合処理試験も実施し、牛糞以外の処理物に対するシステム適応性を確認した。バイオガスの濃縮・貯蔵試験について、実証施設にPSAと特殊活性炭充填装置を設置し、ガス組成やガス貯蔵量に留意しながら繰り返し充填試験を継続実施してデータを取得した。また、メタン発酵残渣のコンポスト化については、1～1.5ヶ月程度で発熱や臭気が低下し、分析結果よりコンポスト等として農地還元に適する性状であることを確認した。本システムの経済性は、建設費および維持管理費の両方において、従来プロセスよりも優位になることを確認した。

研究開発項目②「微生物処理を用いたパルプ製造工程の省エネルギー化技術の研究開発」については、リグニン分解菌アラゲカワラタケから新たにセルロース分解能力の高い菌を単離し、この菌を用いてチップ処理条件について8Lおよび200Lリアクターで条件の最適化と効果の検証を行った。チップ処理用の菌は安価な培地で液体攪拌培養により製造し、冷蔵保存により能力を維持しつつ輸出港に供給できる見通しを得た。またチップの菌処理条件として、温度(30～35℃)、通気量(0.008vvm)、補助栄養源(尿素が有効)、菌の接種量(チップ絶乾重量1kgあたり5mg)、を明らかにした。また菌を接種する前にチップを軽度蒸気加熱する必要があることが明らかとなった。200Lリアクターでは発酵熱(40℃以上)の昇温防止対策を検討し、その結果通気量を0.1vvmにふやすことで昇温を防止できた。クラフトパルプでは目標値0.5～1%の収率向上、また針葉樹の機械パルプについて目標値10%の動力削減効果が得られた。

< 2 > 情報通信分野

[中期計画]

誰もが自由な情報の発信・共有を通じて、個々の能力を創造的かつ最大限に発揮することが可能となる高度な情報通信（IT）社会を実現するとともに、我が国経済の牽引役としての産業発展を促進するため、技術の多様性、技術革新の速さ、情報化に伴うエネルギー需要の増大といった状況も踏まえつつ、高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術、新製造技術、ロボット技術、宇宙産業高度化基盤技術等の課題について重点的に取り組むこととし、以下のような研究開発を推進するものとする。

①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術

[中期計画]

IT 社会に不可欠な高速大容量の処理が可能で、省エネルギーで信頼性が高く、しかも誰もが使いやすいコンピュータやネットワークの関連機器、これらを基盤から支える各種デバイス等の開発を推進するため、超高速ブロードバンド及びワイヤレスネットワークを実現する技術の開発を行うとともに、情報家電や携帯情報端末等の相互接続性・運用性等の使いやすさの向上に関する技術を開発する。また、新しい原理・技術を用いた次世代のブレークスルーとなる情報通信技術等の開発を行う。

さらに、次世代半導体デバイスに必要な最先端の材料・プロセス技術、微細化技術等を開発するとともに、新たなアプリケーションチップ、先端的 LSI 設計手法、高密度実装技術等の半導体デバイスの高機能化・高付加価値化技術を開発する。また、半導体の製造プロセスの効率化・省エネ化・低コスト化や、環境対応技術等を開発する。加えて、大量の情報を蓄積するための光・磁気記憶媒体に関する技術や携帯情報機器用電源関連技術、ディスプレイの効率的生産技術、高機能・低消費電力の革新的ディスプレイ技術等の開発を行う。

< 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム >

[中期目標期間実績]

第 1 期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》次世代プロセスフレンドリー設計技術開発【課題助成】[平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「製造性考慮設計の基盤技術」

製造欠陥起因、リソグラフィ起因、CMP 起因の歩留まり解析技術などの開発を行った。

研究開発項目②「製造性考慮設計の標準化技術」

サインオフ技術、設計フローの技術を開発し、まずは 65nm プロセスにより確認、検証を行うとともに、そこで用いられるライブラリ開発の標準化にも取り組んだ。さらに、製造性考慮設計データベースの開発方針策定、設計インテントの活用技術の効果の評価も行った。

研究開発項目③「新技術事象に対する設計技術」

ばらつき考慮設計技術開発として、統計的遅延計算手法を導入、ローケションベースのオンチップばらつき考慮設計技術などの開発を行った。

さらに、45nm 以細に向けた技術の先行的な開発として、リーク電流最適化による低消費電力指向設計技術の開発に必要な技術内容の調査、RTL 設計の段階で設計品質を評価する RTL プロトタイプングの機能の検討とその仕様の明確化等を行った。

平成 19 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「製造性考慮設計の基盤技術」

製造性考慮設計の基盤技術開発について、製造欠陥、リソグラフィ、CMP に起因する歩留まり低下要因を考慮した実用レベルの製造性考慮設計技術を開発した。さらに、本技術の歩留まり確保に対する効果を確認し、これが実際に適用可能な技術であることを示した。また、統計的タイミング解析技術について、性能指向、歩留まり指向等の設計を想定した推奨設計フローを確立し、この技術が、ばらつき考慮可能な設計手法であることを示すとともに、これを組み込んだ実用化レベルの設計フローを開発した。さらに、これらの技術に対応した実用レベルの消費電力・統計的タイミング解析対応サインオフ技術を開発した。

研究開発項目②「製造性考慮の標準化技術」

製造性考慮の標準化技術について、開発した低消費電力化技術に対応するライブラリを開発手法を確立した。また、設計インテントを扱うためのインタフェース標準化の一環として、設計インテント情報の有用性について実用レベルでの検証を行った。

研究開発項目③「新技術事象に対する設計技術」

新技術事象に対する製造性考慮設計技術開発について、低消費電力対応設計メソッドの開発を行った。具体的には、クロックゲーティング、トランジスタ長ゲート長制御最適化を始めする低消費電

力化技術を組み込んだ設計フローを開発し、その適用効果も確認した。また、設計期間の短縮を目的とした RTL プロトタイピング技術の開発を進め、その効果を確認した。さらに、ばらつき対応設計技術として、タイミングばらつきを統計的に処理し遅延計算する統計的タイミング設計メソッドを確立し、設計マージンを大幅に削減できることを示すとともに、本技術を組み込んだ実用化設計フローを構築した。

《2》パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発 [平成 18 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

独立行政法人産業技術総合研究所パワーエレクトロニクス研究センター長 荒井 和雄氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高効率・高密度インバータユニット技術開発」

インバータユニットを構成する基本要素デバイスである SiC スイッチング素子 (MOSFET) とダイオード素子 (SBD) を開発、MOSFET のオン抵抗低減に向け、セルの微細化検討を実施した。パワーデバイスとしての安全動作の評価の一環として MOSFET の短絡耐量を評価した。スイッチング損失低減に向けて駆動方式を検討し、ゲートドライバー回路の設計、試作を行った。SBD と MOSFET チップを試作し、それらを組み合わせたモジュールにおいてスイッチング特性を評価した。

研究開発項目②「高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術開発」

SiC パワー素子のポテンシャルを最大限活用した革新的な超低損失高密度インバータを実現するために、インバータ大容量化基盤技術の研究として、2 インチ SiC 基板上の各種素子構造の特性マッピングを行う作製・評価プロセスを確立、種々の高度評価法による SiC 基板欠陥評価方法を開発した。インバータ信頼性向上基盤技術の研究として、欠陥密度自動算出技術や転位欠陥上の酸化膜構造解析技術を含め、2 インチ SiC 基板上の各種サイズのゲート酸化膜信頼性評価素子の作製・評価技術を開発した。インバータ高パワー密度化基盤技術の研究として、世界最高の $1.8\text{m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ の低損失 MOSFET 性能を実証し、次世代インバータ開発の早期実用化を加速するため、微細加工プロセスの確立、インバータ基本回路を試作して各種パラメータの抽出とその等価回路モデル化、高出力性能の評価を可能とするインバータ動作評価環境を整備した。

また、ウェハ品質評価管理室において、プロジェクト全体での一体的な SiC ウェハ調達管理を行い、系統的なデータ・集積管理を実施した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高効率・高密度インバータユニット技術開発」

- ・SiC モジュールを用いた 3.7kW インバータユニットの試作、評価を行い、損失 50%減、パワー密度 $9\text{W}/\text{cm}^3$ を実証した。素子の並列化により大容量化した 30A 級のモジュールを試作し、その静特性、動特性から 3 相インバータユニット (14kVA) 適用時の損失を推定した。その結果 Si インバータ比で損失 30%が達成できる見通しを得た。高キャリア周波数化に向けて 20kHz での基礎特性評価を実施した。4 インチウェハの評価に着手した。

研究開発項目②「高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術開発」

- ・インバータ大容量化基盤技術の研究について、2 インチ SiC 基板上への素子製造プロセスを確立して、結晶欠陥と素子破壊箇所の対応付け、素子特性劣化メカニズムに関連した絶縁破壊箇所特定用 TEG 構造の開発等を通してキラー欠陥の同定を行った。また、活性化熱処理プロセスにおける SiC 基板表面荒れ抑制のための新たな処理法や逆方向耐圧向上のための JBS 構造等を開発・導入し、電流容量数達成の目途を得た。更に、実用化に必須である 4 インチ SiC ウェハの評価を開始した。
- ・インバータ信頼性向上基盤技術の研究について、2 インチ SiC 基板上への素子製造プロセスを確立して、3mm \square MOS キャパシタで信頼性の評価を行い、種々の仕様の基板上の MOS キャパシタ測定から、MOS キャパシタ中の欠陥増加が絶縁破壊電荷を減少させていることを明らかにした。それらキラー欠陥の種類について、物理解析を進めた。また、C 面上 MOS キャパシタにおいて、MOSFET の高チャネル移動度とゲート酸化膜の高信頼性を両立するためのゲート酸化膜形成技術を開発し、信頼性耐量の増加に成功し、信頼性寿命の向上の条件を明確にした。
- ・インバータ高パワー密度化基盤技術の研究について、プロジェクト内製の IEMOS や SBD をインバータ基本回路に適用して総合評価を開始した。高パワー密度設計に活用するため、主回路、デバイス等の設計パラメータを統合したインバータ損失統合設計シミュレータのプログラムを改善し、それを用いた低オン抵抗デバイスによるチョップ回路の設計・試作を通してインバータ損失統合設計手法の妥当性を確認した。また、高温 (250 $^{\circ}\text{C}$) 環境動作のための電極形成技術、信頼性評価、実装技術や高速制御技術、ノイズフィルタ技術に関する課題抽出／詳細分析を進め、その結果を上記損失統合設計シミュレータに組み込んだ。

《3》次世代半導体材料・プロセス基盤 (MIRAI) プロジェクト【F21】[平成13年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度までは独立行政法人産業技術総合研究所 次世代半導体研究センター長 廣瀬 全孝氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。平成18年度以降は株式会社半導体先端テクノロジーズ代表取締役社長 渡辺 久恒氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高誘電率ゲート絶縁膜材料・計測・解析技術開発」

高誘電率ゲート絶縁膜として有望な材料に関して基礎的素子特性データを得た。高品質な高誘電率絶縁膜を形成するLL-D&A (Layer-by-Layer Deposition & Annealing) 法を新規に開発した。

研究開発項目②「低誘電率層間絶縁膜材料・計測・解析技術開発」

低誘電率層間絶縁膜としては、誘電率と機械的強度を独立に制御できる塗布型ポーラス材料で比誘電率2以下の実現可能性を示した。低誘電率膜としてのポーラス構造の形成にTMCTSガス処理を加えることにより、機械的強度が向上することを見いだした。

研究開発項目③「将来のデバイスプロセス基盤技術開発」

大幅に電流駆動能力が向上する独自のひずみ SOI 構造トランジスタにより CMOS 動作を従来の1.7倍高速化した。また、将来のマスク検査装置に必要な波長200nmで高出力の連続発振レーザー光が得られた。さらに、遺伝的アルゴリズムをクロックタイミングバラツキの適応調整に導入することによって、高速デジタル回路を高速化かつ低消費電力化できた。

平成16年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高誘電率ゲート絶縁膜材料・計測・解析技術開発」

HfAlO_xを用いたHigh-kゲート絶縁膜MOSFETを試作し、SiO₂MOSFETと比較してゲートリーク電流が4桁以上減少するとともに、SiO₂MOSFETの80%に相当する移動度が出ることを実証した。

研究開発項目②「低誘電率層間絶縁膜材料・計測・解析技術開発」

TMCTS処理により、ポーラスシリカの強度を2倍、密着性を約100倍に改善できた。またTMCTS処理によりポストプロセスで損傷の回復を行う技術を世界で初めて開発した。

研究開発項目③「将来のデバイスプロセス基盤技術開発」

ゲート長70nmのひずみSOI-CMOSデバイスを試作し、ひずみの無いSOI-CMOSデバイスと比べて14%の移動度向上を確認し、微細トランジスタにおいてもひずみが有用であることを実証した。開発したDUV光源と高速センサをマスク欠陥検査装置に組み込み、マスク上30nmまでの欠陥検出データを取得した。適応型クロックスキュー調整技術を、低消費電力プロセッサおよびデジタル家電用画像LSIに実際に導入しその効果の検証を開始した。なお、本研究開発プロジェクトは平成16年度において追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成17年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高誘電率ゲート絶縁膜材料・計測・解析技術開発」

目標のEOTで低リークと高移動度を達成した。また、High-kゲート絶縁膜を用いた場合のフェルミレベルピニング対策を見だし閾値制御が可能なことを実証した。成果は、参加企業やSeleteに移管され実用化開発に移る。一部は平成18年度から始まる第3期で極限CMOSを実現するための基盤技術として研究開発を行う。

研究開発項目②「低誘電率層間絶縁膜材料・計測・解析技術開発」

配線プロセス全体を通じての低ダメージ化とダメージ回復技術を開発した。低ダメージ化ではCuめっき液の改良、ダメージ回復技術では、プラズマダメージをTMCTS処理で疎水性回復する技術、CMP後の洗浄処理とTMCTS処理の組み合わせによる疎水性回復の技術など確立した。ポーラスシリカの成果は、Seleteが継続研究を行い実用化を目指す。プラズマ共重合Low-k技術は、NECに技術移管されると共に継続研究も平行して行い、実用化開発を進める。

研究開発項目③「将来のデバイスプロセス基盤技術開発」

チャネルをSiGeやGeで形成したMOSFETを試作し、ひずみ制御と合わせて高い移動度が得られることを示した。開発したDUV光源と高速センサをマスク欠陥検査装置に組み込み、透過像と反射像を取り込むことで高速に欠陥検出データが取得できることを示した。新回路構成技術では、遺伝的アルゴリズム(GA)の特徴を活かした展開を進展でき、適応型クロック調整による低消費電力LSIの開発、高速データ通信、リソグラフィのOPC最適化技術などに適用した。成果は、参加企業、Seleteなどに移管され実用化開発に移る。新構造トランジスタ技術は、平成18年度から始まる第3期で極限CMOSを実現するための基盤技術として開発を行う。

平成18年度は、以下の研究開発を行った。

I. 次世代半導体材料・プロセス基盤技術開発

研究開発項目①「新構造極限CMOSトランジスタ関連技術開発」

- ・極限性能新構造トランジスタ基盤技術の開発においてnチャネルには電流方向に引っ張りひずみを加えたSiの、pチャネルには電流方向に圧縮ひずみを加えたSiGeの、共に(110)面を採用したFinFETにより高性能動作を実証した。
- ・極限EOTゲートスタック基盤技術の開発においてLL-D&A+HiTOA法を基本にした新概念装置を開発

した。Si 表面を窒化することで HfAlO_x 膜および界面層を改質し EOT=0.76nm, リーク電流 2.6x10⁻²A/cm²を実現した。

研究開発項目②「新探究配線技術開発」

- ・極限低抵抗配線技術の開発（カーボン配線技術開発）において 400℃の低温成長技術を実証し、また配線構造作製プロセスの確立のために化学的機械研磨（CMP）平坦化プロセスを開発した。
- ・新コンセプトグローバル配線技術の開発（LSI チップ光配線技術開発）において光クロック配信実証のために 10GHz の低損失光導波路（SiON）と Si ナノフォトダイオードを用いた光クロック配線 TEG、および光クロック信号を電気回路に伝える電気回路 TEG の設計開発を行った。

研究開発項目③「特性ばらつきに対し耐性の高いデバイス・プロセス技術開発」

デバイス特性ばらつきを評価する世界最大の TEG マスクを作成した。また物理パラメータばらつき計測に関し、走査型容量顕微鏡 SCAM と TEM による酸化膜厚の計測、SCAM を用いた局所空乏化の計測等の研究開発を行った。

先導研究

デバイス・プロセスにおける新しいアイデアやそれに付随する科学的知見の拡充のために大学および国研に 7 件の先導研究を行った。

II. 次世代半導体露光プロセス基盤技術開発

研究開発項目④「次世代マスク基盤技術開発」

高精度・低欠陥ブランクス・マスクの開発では、ブランクス位相欠陥検出に必要な結象光学系の設計を完了し、小領域露光装置（SEFT: Small Field Exposure Tool）を用いたマスク転写およびマスク構造の評価を開始した。マスクパターン欠陥検査・修正技術の開発では、検査装置の一次仕様を確定し、設計・製作に着手した。マスクハンドリング技術の開発では、ハンドリング試験装置及び異物検査装置を導入し、搬送に伴う発塵評価を開始した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を行った。

I. 次世代半導体材料・プロセス基盤技術開発

研究開発項目①「新構造極限 CMOS トランジスタ関連技術開発」

- ・極限性能・新構造トランジスタ基盤技術の開発においては、nMOS と pMOS それぞれに最適化した一軸ひずみチャネルを持つ高駆動力・低リーク CMOS トランジスタ、及び、ゲートの静電支配力により微細化に伴う短チャネル効果を抑え、低オフリーク電流を実現する、三次元或いは細線構素子の基盤技術を開発した。
- ・極限 EOT ゲートスタック基盤技術の開発においては、界面層の極限薄膜化により EOT=0.5nm を実現した。また高誘電率ゲート絶縁膜とメタルゲートからなるゲートスタック構造のしきい値電圧制御に関する界面でのダイポール起因メカニズムを明らかにした。

研究開発項目②「新探究配線技術開発」

- ・カーボン配線技術においては、CNT 低温（400℃）・高密度（局所的 1012 本/cm²）成長技術を開発した。また、CNT ビア配線を形成し多層 CNT 構造でのバリスティック伝導（バリスティック長:80nm）特性を明確化し、ビア抵抗 30 Ω（160nm 径）を達成した。
- ・光配線技術においては、低損失（<1dB）SiON 導波路技術、高効率・超小型導波路結合型 Si ナノフォトダイオード技術、チップ貼合せ実装技術を開発し、光配線チップと電気配線 LSI を貼り合わせた 5GHz 光クロック配信技術を実証した。

研究開発項目③「特性ばらつきに対し耐性の高いデバイス・プロセス技術開発」

- ・ロバストトランジスタ技術において、デバイスばらつき評価標準 TEG（100 万 Tr 超大規模 TEG 等）および高速 TEG 測定技術（2.5 時間/100 万 Tr）を開発した。また、プロセスや技術ノードの異なるデバイス、工場の異なるデバイス等のばらつきを統一的に解析できる技術として、Takeuchi プロット法を開発した。
- ・耐外部擾乱デバイス技術において、中性子入射による単体トランジスタから回路・チップに至る誤動作率の基本評価フローを開発すると共に、中性子入射に対する単体トランジスタレベルの電流応答波形モデル化でインバータの nMOS を電流源で置換する高精度手法を開発した。

先導研究

ゲートスタック構造関係で 3 件、新材料チャネル関係で 2 件、配線技術関係で 1 件、ばらつき関係で 1 件の技術検討成果を得た。

II. 次世代半導体露光プロセス基盤技術開発

研究開発項目④「次世代マスク基盤技術開発」

- ・ブランクス位相欠陥検査装置の開発において、光学系、光源、機構系の調整・評価を終了し、また、高感度検査条件の最適化のため、位相欠陥の形状、サイズ、多層膜表面ラフネスと検査信号との関係をシミュレーション解析した。SFET による転写性評価では、hp22nm の L/S パターンの解像を確認し、さらにマスクシミュレーションの評価結果と合わせて、吸収体膜厚最適化検討を行うとともに、位相欠陥サイズの許容値に関する一次仕様を構築した。レジストアウトガス評価に関しては、アウトガス放出特性を評価し、SFET での管理基準を策定した。マスクパターン欠陥検査装置の開発では、装置の詳細設計を行い、光学系、機構系および制御系の作成を行った。欠陥修正装置の開発では、垂直加工に有効なエッチング方式を見出すとともに、修正装置チャンバの開発、ナノピンセット技術の開発を行った。マスクハンドリング技術に関しては、マスクの搬送、 SHIPPING、保管における発塵評価を行い、二重ポッド方式の有効性を示した。また、異物検査技術については、候補技術の調査を行い、技術選択の指針を得た。

なお、研究開発項目①、②、③については当初の予定通り、平成19年度に実施した中間評価を踏まえ、実用化に向けた内容、目標の見直しを行った。

《4》マスク設計・描画・検査総合最適化技術開発 [平成18年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

東京大学大学院工学研究科教授 石原 直氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成18年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「マスク設計データ処理技術の研究開発」

マスク設計・描画・検査に共通な基本データ形式の開発として、マスクデータランク (MDR) およびキャラクタープロジェクション (CP) のフォーマット設計を完了した。また、上位の設計関連プロジェクト (次世代プロセスフレンドリー設計技術開発) との連携により、設計Intentの抽出方法とその MDR への反映方法を決定した。さらに、これらに付随する基本ソフトウェア (MDR 抽出ソフト、繰返しパターン抽出ソフト、共通データビューア等) の各α版を開発し、テストまで完了した。また、最適化手法を用いた CP パターン抽出効率向上化技術の研究開発に着手し、アルゴリズムの開発を行った。

研究開発項目②「マスク描画装置技術の研究開発」

並列描画方式の基礎技術開発と、繰返しパターンを利用した描画の精度向上の基本技術開発として、マルチコラム (MCC: Multi Column Cell) -CP/VSB 描画装置のデジタル系、アナログ系、機構部、鏡筒部の仕様作成・設計を行い、一部の製作を予定通り完了した。MDR に対応した描画については、その効果の見積もりを行うとともに、描画データの仕様確定と電気回路の設計・製作 (一部) を行った。モニター・自己診断技術については、デジタル信号モニターの I/F 製作および動作検証、データシミュレーションにおけるデータ取込みと表示機能の開発、アナログ信号モニターの実験およびハードウェア製作を行った。

研究開発項目③「マスク検査装置技術の研究開発」

繰返しパターンの利用については、実検査時ではなくレビュー時に活用する方針を策定し、データ入力と変換・表示ソフトのα版を完成した。また、パターン重要度の活用については、MDR 付データの入力変換システムおよび検査装置用変換システムの仕様作成、設計、製作を行い、これら並列処理システムのα版の評価を行った。更に、欠陥検出・判定については、欠陥転写性シミュレーションツールを選定し、シミュレーション評価を行うとともに、データ I/O のα版を完成した。

平成19年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「マスク設計データ処理技術の研究開発」

- ・共通データフォーマットの開発として MDR について基本ソフトウェアの各β版を開発、実デバイスデータに対し開発したソフトウェアで机上シミュレーションレベルの効果確認を行った。描画において 35～52%、検査において 40%の時間短縮効果を確認した。
- ・繰返しパターンの高効率利用方法の開発として CP について基本ソフトウェアのβ版を開発、デバイスメーカーに貸し出しを行い実デバイスデータで効果確認を行った。その結果、ホール系データで 80～30%、ライン系データで 60～10%のショット数削減効果を確認することができた。
- ・光近接効果 (OPC) 最適化手法を用いた CP パターン抽出効率向上化技術の研究開発を再委託しアルゴリズムの設計を行った。テストデータで OPC による多様化の 30%減少効果を確認した。

研究開発項目②「マスク描画装置技術の研究開発」

- ・CP 法による高速・高精度マスク描画技術の開発としてハードウェア・ソフトウェアの製作、ユニット組み立て、調整、検査を行って最大 2,800 個のキャラクタを利用可能な基礎技術の開発を完了した。
- ・モニター・自己診断技術の開発として基礎実験及び描画装置搭載用のユニット (ハード、ソフト) の設計・組み立て・調整・ソフトデバックを行い、基礎技術を開発完了した。
- ・パターン重要度に基づくランク分け描画技術の開発として描画条件の最適化・効率化の基本方針を策定し、ランク分け描画の回路の設計試作とユニット調整検証を行い、基礎技術を開発完了した。
- ・MCC 方式並列描画装置の試作として 4 本のコラム部及び周辺機構部の各ユニットからなる MCC 描画システムのコラム搭載架台上で組立・調整を開始し、MCC 並列描画に伴う課題の抽出と現象の把握、及びその対策を検討し、従来方式の 3 倍の高速描画の可能性をもつ基本技術を開発した。
- ・共同実施により、熱電界放型 (TFE) 電子銃の高輝度化・長寿命化を検討した。

研究開発項目③「マスク検査装置技術の研究開発」

- ・高速・高精度の検査アルゴリズムの開発としてデータ分散処理の高速アルゴリズムを開発し、処理回路設計に応用した。またパターンビューイングソフトの高速化改良を行い、ビューイング処理時間で 60 分以下を達成した。同時に設計画像と検査画像の表示位置合わせの高精度化改良も実施した。
- ・繰返しパターン利用技術の開発としてレビュー時での活用が有効との検討結果に基づき、マスク設計からの繰返し情報を欠陥レビュー時に使用して、欠陥判定処理を効率化する「レビュー支援機能」の技術を開発した。
- ・パターン重要度に基づく欠陥判定技術の開発として上位の設計意図もしくはレイアウト解析に基づ

くパターン重要度情報に応じて欠陥判定基準を適応的に変化させることによって、疑似欠陥の発生を抑え効率的に検査を行う技術を開発した。

- ・欠陥転写性に基づく欠陥判定技術の開発として検査画像を転写シミュレーションソフトに引き渡す部分のインターフェース（β版）を開発した。更に特定シミュレータでの実証を実施した。

《5》先端的 SoC 製造システム高度制御技術開発 [平成 19 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、高機能 LSI の実現に不可欠なデバイス・プロセス基盤技術を確立することを目的に、民間企業等に広く公募を行い、実施者を選定し、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「SoC 製造統合制御システム技術の開発」

- ・工場の生産性を阻害する割り込み処理等の擾乱に対処する制御方式を構成する 16 種類の制御アルゴリズムを創出した。
- ・目指す制御システムにおけるコスト及び TAT を左右する重要な要素であるサイクルタイムのデータ構造モデルを決め、総合最適化を可能とするのに必要なこれらの情報の可視性を確保するために、制御システムに求められる機能要件を明らかにした。
- ・統合制御システムの階層化構造の検討を実施し、このうち、製造装置の制御階層において必要となる制御機能についての基本的な機能要件と仕様を明らかにした。
- ・統合制御システムとシステムが参照する情報を製造ラインへ実装するために、3 階層の構造化モデルで規定する情報基盤を考案し、そのシステム構造を明らかにした。

研究開発項目②「SoC 品質制御技術の開発」

- ・装置稼働ロスの観点から装置動作のモデル化と稼働ロス要因分析を行い、その結果段取りが大きく関わることが判った。露光工程を対象にその段取りのモデル化を行い、稼働ロス要因を明らかにすると共に、要因排除のための装置に要求される基本的な制御機能要件を明らかにした。
- ・SoC 製品の工程フロー分析を実施し、工程品質保証に必要な検査の要件と制約条件を明らかにした。これに基づき、より効率的な検査を可能とすべく、ラインに投入される製品構成やロットサイズの変動に追従する動的な検査の実行タイミングとサンプリングルールを決定し、効率的な品質制御システムの要求仕様を決定した。

研究開発項目③「SoC 製造制御システム実装技術の開発」

- ・製造ラインの実装技術検討に先立って、必要とする技術を適用・検証する対象とすべき工場モデルの基本要件（工場規模等）を規定した。

《6》極端紫外線（EUV）露光システム開発プロジェクト【F 2 1】[平成 14 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

独立行政法人物質・材料研究機構フェロー 堀池 靖浩氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高出力・高品位 EUV 光源技術の研究開発」

EUV (Extreme Ultra Violet) 光源の出力を高める技術に関して、現存する LPP (Laser Produced Plasma : レーザー励起プラズマ) 研究機関の中で世界最高出力 4W を達成した。

研究開発項目②「EUV 光源評価およびミラー汚染・損傷評価技術の研究開発」

光源の品位を高めるための評価に必要な EUV イメージング装置、及び EUV 角度分布測定器を導入し、13.5nmEUV 光源評価の品質向上を図った。

研究開発項目③「EUV 露光装置用非球面加工・計測技術の研究開発」

非球面加工を行うための IBF (Ion Beam Figuring) 加工装置、非球面形状を高精度に計測するための可視光レーザーによる高再現性干渉計測装置の製作を行った。また、高再現性干渉計装置仕様を検討し、装置の設計および組み立てを完了した。

研究開発項目④「EUV 露光装置コンタミネーション制御技術の研究開発」

コンタミ付着防止装置の仕様を決定、作成するとともに、コンタミ付着、酸化の基礎データの収集を開始した。また、炭化物コンタミ除去のため、UV 光による O₂ 洗浄実験を実施し、炭化物コンタミの除去が可能であることを確認するとともに、光強度、O₂ 分圧の最適条件の探索を開始した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高出力・高品位 EUV 光源技術および EUV 光源評価技術の研究開発」

LPP 方式プラズマ生成に必要な励起レーザーの高出力化を行い、YAG レーザで、繰返し 10kHz で 1.5kW レーザ出力を達成した。また、変換効率を改善し、最高値で 0.85% を達成した。これらにより、現存の LPP 研究機関の中で世界最高出力 4W を達成した。また、CO₂ レーザで、発光点出力 0.7W、変換効率 0.3% を達成した。

DPP 方式において、キャピラリ Z ピンチ方式の放電部構造と放電動作条件の最適化により、繰り返

し周波数 7kHz の Xe パルス放電において EUV 変換効率 0.5%/2 π ・str、発光点光源平均出力 93W、集光点出力 19.1W を達成した。さらに、Sn ターゲットの使用により、変換効率 1.05%/2 π ・str を確認した。

研究開発項目②「集光ミラー汚染・損傷評価技術および集光ミラー汚染・損傷防止技術の研究開発」

磁界によるイオン損傷防止技術を開発し、集光ミラーのイオンによる損傷を大幅に低減できることを実証した。

研究開発項目③「EUV 露光装置用非球面加工・計測技術の研究開発」

IBF (Ion Beam Figuring) プロセス加工技術により、形状精度 0.14nm rms を達成した。非球面干渉計測器を完成し、計測再現性 0.1nm rms 以下を達成した。

研究開発項目④「EUV 露光装置コンタミネーション制御技術の研究開発」

平成 15 年度に引き続き、兵庫県立大学への再委託により、多層膜ミラー上の有機分子付着、酸化物形成のデータの収集を行った。Si/Mo 多層膜状に最表層として Si、Ru を成膜し、照射実験を行い、Ru 層の酸化耐性が高いことが確認された。UV 光による O₂ 洗浄実験を行い、その効果を確認するとともに、洗浄速度 0.1nm/min を得た。なお、本研究開発プロジェクトは平成 16 年度において追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高出力・高品位 EUV 光源技術および EUV 光源評価技術の研究開発」

高出力化・高品位化技術の研究では、LPP 方式プラズマ生成に必要な励起レーザの高出力化を行い、YAG レーザで、繰返し 10kHz で 1.5kW レーザ出力を達成した。また、変換効率を改善し、最高値で 0.89% を達成した。これらにより、既存の LPP 研究機関の中で世界最高出力 5.7W を達成した。さらに、CO₂ レーザで、変換効率 0.6% を達成した。

DPP 方式において、キャピラリ Z ピンチ方式の放電部構造と放電動作条件の最適化により、繰返し周波数 7kHz の Xe パルス放電において EUV 変換効率 0.5%/2 π ・str、発光点光源平均出力 93W、集光点出力 19.1W を達成した。さらに、Sn ターゲットの使用により、変換効率が Xe に比較して 3 倍以上になることを確認した。

研究開発項目②「集光ミラー汚染・損傷評価技術および集光ミラー汚染・損傷防止技術の研究開発」

ミラー汚染・損傷評価技術の研究において、ガスカーテン、磁界によるイオン損傷防止技術を開発した。これらの技術により、集光ミラー寿命 0.5B pulse を達成した。

研究開発項目③「EUV 露光装置用非球面加工・計測技術の研究開発」

EEM (Elastic Emission Machining) プロセス加工技術により、平滑化能力 0.1nm rms レベル (MSFR)、除去レート 0.03~0.08mm³/h、IBF (Ion Beam Figuring) プロセス加工技術により、形状精度 0.14nm rms を達成し、3% (14.5 時間) の加工安定性を達成した。また、非球面干渉計測器を完成し、計測再現性 0.032nm rms を達成した。

研究開発項目④「EUV 露光装置コンタミネーション制御技術の研究開発」

多層膜ミラー上の有機分子付着、酸化物形成のデータの収集を行った。ハイドロカーボンが多く存在するチャンバでは、水分圧が高い場合でも反射率低下が大幅に軽減することを見出した。Si/Mo 多層膜状に最表層として Si、Ru を成膜し、照射実験を行い、Ru 層の酸化耐性が高いことが確認された。さらに Ru 層酸化耐性の水分圧、照射依存性の評価を行い、寿命見積りを高精度化した。新規キャッピングレイヤーの探索とスクリーニングを行い Nb などの候補を得た。また、UV 光による洗浄実験を行い、0.03nm/min のカーボン除去レートを得た。3.6nm のカーボン膜を 2 時間で除去可能にした。

平成 17 年度の間評価を受け、トータルシステムとしての評価を加速するために下記の 2 つの研究開発項目を新たに追加して実施した。(平成 17 年度加速資金)

研究開発項目⑤「小フィールド EUV 露光装置 (SFET) の光源・投影光学系の試作および性能評価」

小フィールド EUV 露光装置 (SFET) の光源・投影光学系の設計を完了し、非球面ミラー加工精度確認のためのダミー加工を行い、0.1nmrms の面加工精度が得られた。

研究開発項目⑥「EUV リソグラフィ用レジストの評価」

EUV 露光実験システムの効率化、および EUV 露光パターン評価ツールの高度化を行い、分子レジストで解像性能 hp45 nm 以下、レジスト感度 10 mJ/cm²、LER3.0 nm(σ) 以下の性能が得られた。

平成 18 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高出力・高品位 EUV 光源技術および EUV 光源評価技術の研究開発」

LPP 方式プラズマ生成に必要な励起レーザの高出力化を行い、Sn ターゲットへの kW CO₂ レーザ照射により、EUV 発光点出力 20W、変換効率 1% を達成した。DPP 方式において、Sn 燃料ガスによる高効率化等を図り、集光点出力約 55W (計算値) を得た。超 115W 向けの要素技術開発として、レーザ照射による Sn 燃料供給 DPP 光源 (レーザアシスト DPP) の予備実験を実施し、従来のピンチ型 DPP 光源より高効率、低デブリ、超寿命が実現できる可能性を示すデータが得られた。EUV 光源評価技術の研究として、EUV 強度絶対値測定精度 $\pm 4.4\%$ 、空間分布測定分解能 3 μ m、角度分布測定分解能 4.5° を達成した。集光点のスペクトル純度計測装置を開発、導入し、out-of-band 計測を実施した。集光点の角度分布特性を分解能 2° で 3 次元計測可能な計測システムを開発、導入した。

研究開発項目②「集光ミラー汚染・損傷評価技術および集光ミラー汚染・損傷防止技術の研究開発」

ミラー反射率変化モニタ装置を開発、導入し、反射率低下測定精度 4% を達成した。また、ミラー汚染・損傷防止技術の研究として、デブリシールドにより、Sn 光源におけるミラー汚染速度が 4 桁

低減し、EUV 反射率が初期値の 75%以下まで低下したミラーをクリーニング処理によって初期値の 95%以上まで回復することを実証した。

研究開発項目③「EUV 露光装置用非球面加工・計測技術の研究開発」

EEM プロセス加工技術開発では工具の大型化により、除去レート向上を図るとともに、平滑化能力 0.12nm rms レベル (MSFR) の加工領域拡大 (~1mm×1mm) を実現した。また、製作した IBF (Ion Beam Figuring) 加工装置を用い SFET 用 2 枚ミラー光学系を加工し、低周波領域粗さ 0.15nm rms を得、最終目標 0.2nm rms を達成した。

研究開発項目④「EUV 露光装置コンタミネーション制御技術の研究開発」

平成 17 年度に引き続き、多層膜ミラー上の有機分子付着、酸化物形成のデータの収集を行い、エタノールを雰囲気ガスとして添加すると、ある濃度以上で酸化が抑制され、反射率低下が大幅に軽減することを見出した。各種評価、表面分析の結果から反射率低下の原因は膜の酸化とカーボン付着であることを確認した。また、EUV 光+O₂ で不純物の除去が可能であり、反射率が復帰することを確認した。

研究開発項目⑤「小フィールド EUV 露光装置 (SFET) の光源・投影光学系の試作および性能評価」

小フィールド EUV 露光装置 (SFET) の光源・投影光学系の製作・評価を行い、32nm L&S の解像性を示した。

研究開発項目⑥「EUV リソグラフィ用レジストの評価」

最新の測長 SEM を導入することにより、LER (Line Edge Poughness) の CD 計測長 2μm 以上での評価を可能とした。本測長 CD-SEM を用いて、分子レジストの評価を行い、解像性能 hp45nm 以下、レジスト感度 5mJ/cm²、LER3.0nm (σ、CD 計測長 2μm) 以下の性能を得、平成 18 年度で本項目は終了した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高出力・高品位 EUV 光源技術及び EUV 光源評価技術の研究開発」

回転電極 DPP 光源では集光点出力 54~62W (計算値：発光点出力 700W) を得て目標を達成した。また集光点出力 19.7W (発光点 430W) という実測値として世界最高レベルの値を得た。LPP 光源では集光立体角 1sr の集光ミラーにて集光点出力 16W を実測、4sr ミラーで集光点出力 60W (計算値) を確認、目標を達成した。

研究開発項目②「EUV 集光ミラー汚染・損傷評価技術及び集光ミラー汚染・損傷防止技術の研究開発」

初期反射率の低下 90%まで 450 回のクリーニングが可能であることを確認。デブリシールドとクリーニングの組み合わせによりミラー推定寿命>5.6B(ピリオン)パルスを得て目標を達成した。

研究開発項目③「EUV 露光装置用非球面加工・計測技術の研究開発」

IBF 加工技術では、高除去レート化、位置制御の高精度化に取組み、SFET 用ミラー加工時の 10 倍以上の高速化、±5μm の以下の位置制御精度を達成。EEM 加工技術開発では、半径 500mm の大口径曲面加工に取組み凸球面加工において 0.12rms の加工精度を達成。IBF、EEM とともに実用化への見通しを得た。

研究開発項目④「EUV 露光装置コンタミネーション制御技術の研究開発」

多層膜ミラーの酸化とカーボン付着の両方を抑制できるエタノール添加条件を見出した。多層膜ミラーの保護層材料について 27 種の材料を対酸化性の観点でスクリーニングし、Ti、Nb の酸化物材料が優れることを見出した。

研究開発項目⑤「小フィールド EUV 露光装置 (SFET) の光源・投影光学系の試作及び性能評価」

SFET による露光評価を行い 26nmL&S の世界最高レベルの解像性能を示した。光源、集光ミラーの長期運転、交換を通して明らかになった集光点位置の調整などの課題について対応を検討、実施した。

《7》次世代高効率ネットワークデバイス技術開発 [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、民間企業等に広く公募を行い、実施者を選定し、東京大学大学院工学系研究科電子情報学専攻教授 浅見 徹氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「次世代高効率ネットワークデバイス共通基盤技術の開発」

- ・省電力・高性能光インタフェース開発としての高速多重・分離回路技術に関しては、個別要素回路、ならびに全要素回路を集積化した IC 設計・試作を行い、回路間のインタフェース仕様についての検討を行った。光受信アナログ・フロントエンド技術に関しては、想定されるデバイスパラメータを用いて、高速化・省電力化動作に向けた回路設計の最適化を行った。光送信ドライバ技術に関しては、モジュールレベルでの劣化検出、および光出力切り替えによる高信頼化方式を確定した。LAN/WAN 間大容量信号変換技術に関しては、LAN インタフェース信号変換回路等の要素回路設計に関する検討を行った。
- ・超高速レーザの技術開発としての超高速省電力レーザ技術に関しては、高速、かつ単一モード性能に向け共振器構造の検討を行った。また、量子ドットレーザ技術に関しては、高速化に向けて結晶成長技術の改良による量子ドット活性層の利得特性向上の検討を行った。超高速面出射型レーザ技術に関して、水平共振器に面出射用のミラーとレンズをモノリシック集積する技術の検討を行った。
- ・小型・集積化技術開発として、光フロントエンド用フォトダイオードに関しては、新規に提案したミラー、およびレンズを集積化したフォトダイオードについて理論設計を行うと共に、要素プロセ

スの検討を行った。波長可変光源に関しては、シリコン光導波路リング型波長可変フィルタの小型化に向けた基礎検討を行った。光スイッチに関しては、量子井戸構造の改良を行った。光増幅器(SOA)に関しては、シミュレーション等による検討を踏まえて最適な構造を決定した。波長変換器に関しては、入力変動に対し波長劣化がなく出力一定動作を実現する広帯域 SOA の動作に関して検討を行った。

- ・究極の省電力効果が期待できる超電導回路技術について、AD コンバータの線形性能が改善する新回路方式を新規に提案し、シミュレーション技術を用いて 150 G Sampling/秒の高速動作を確認した。その他、光ファイバーを用いた室温-極低温間信号接続技術に関しても検討し、光入力側としては、UTC-PD を用いた光電変換後の信号強度が SFQ 回路動作に相応しいことを確認した。

研究開発項目②「次世代高効率ネットワーク・システム化技術の開発」

- ・大規模エッジルータシステム化技術開発について、キャッシュベース高速フロー抽出ハードウェア方式、高速パケット振り分け方式等を開発した。高速フロー抽出ハードウェア方式については、既製の評価用ハードウェア上で実装と評価を行い、方式の理論的な検証と高速モニタリング実現に向けた技術課題の明確化を行った。
- ・超高速 LAN/SAN システム化技術開発について、SHV 信号を LAN-SAN システムに収容するための基本となるサブシステム間の相互接続構成に関する検討を行い、接続構成に係わるインタフェース仕様を決定した。

《8》次世代大型低消費電力プラズマディスプレイ基盤技術開発【課題助成】[平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、パネル駆動電圧の低電圧化技術に焦点を当て、次世代プラズマディスプレイとして低消費電力化技術の確立を目的に、民間企業等に広く公募を行い、実施者を選定し、以下の技術開発を支援した。

研究開発項目①「パネル構成材料技術開発」

高γ保護膜材料開発のために、二次電子放出過程の計算モデルを作成し、膜物性の基礎データにより検証し計算モデルの改善指針を得た。

研究開発項目②「プロセス・設備技術開発」

パネル構成部材等の保護膜特性への影響を評価しパネル製造プロセスの要求パラメータを抽出した。

研究開発項目③「パネル設計・駆動技術開発」

基礎的な駆動実験により低電圧化のためのパネル駆動技術開発指針をまとめた。

《9》次世代大型低消費電力液晶ディスプレイ基盤技術開発【課題助成】[平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、次世代技術のトータルの開発により、高精細・高画質でありながら、従来比 1/2 以下の低消費電力液晶ディスプレイを実現することを目的に、民間企業等に広く公募を行い、実施者を選定し、以下の技術開発を支援した。

研究開発項目①「装置技術およびプロセス技術の開発」

高性能 TFT 実現に向けて、新規成膜装置による成膜条件検討および膜の基礎物理量を測定した。また、新規ウェット装置技術開発では、新規洗浄方式の洗浄メカニズム解明のための基礎データを抽出した。新規露光装置技術開発については、TFT 基板のアライメント方法を考案し、実験検証した。

研究開発項目②「画像表示技術の開発」

新規表示技術について、新規表示モードの検討を開始した。画像評価技術として、人間工学的好適視聴条件の調査によるデータ解析および評価システムの検討を行った。

研究開発項目③「高効率部材の開発」

LED バックライトの要素技術検討として、輝度むら評価方法、バックライトの高精度計測技術の検討を行い、評価指針を得た。また、光利用効率を高める LED バックライト構造検討のための光学および熱解析シミュレーションを開始した。

《10》半導体アプリケーションチッププロジェクト

《10》-1 情報家電用半導体アプリケーションチップ技術開発【F 2 1】【委託・課題助成】[平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

リアルタイム情報家電用マルチコア技術の研究開発については早稲田大学理工学術院教授 笠原 博徳氏、情報家電用マルチコアセキュアチップ TRON-SMP の研究開発については YRP ユビキタス・ネットワークング研究所上席研究員 中野 隆生氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を行った。

①FeRAM/FD-SOI 混載アプリケーションチップの技術開発

- ・FeRAM on FD-SOI アプリケーション LSI の開発を目的とし、今年度は、FD-SOI 上に FeRAM を形成するプロセスを新たに開発し、目標とする特性を得ることができた。また、アプリケーション LSI の FD-SOI 部の設計を行い試作を開始した。

②情報家電向けリコンフィギュラブルアーキテクチャーの技術開発

- ・地上波デジタル移動端末向け放送とアナログ FM 放送処理部のハードウェアモデルで動作確認した。
- ・アーキテクチャーに関しては、処理ビット数と縦段数の最適化検証を行い、ビット数と段数を決定した。

③リアルタイム情報家電用マルチコア技術の研究開発

- ・API についてはマルチグレイン並列化における変数のメモリ配置及び DMA 指定方法の検討を実施し、アーキテクチャーについては標準的メモリ構成を検討した。
- ・コンパイラについてはメモリ配置及び DMA 指定 API を出力する並列化コンパイラ及び API 解釈部の基礎検討を実施した。またアーキテクチャーについてマルチコアメモリ構成の検討とシミュレーション評価を実施した。
- ・プロトタイプチップに関して、コンパイラと協調したマルチグレイン並列化によるリアルタイム動作を可能とするためのメモリ・アーキテクチャー実装方式を策定した。

④情報家電用マルチメディアセキュアチップ TRON-SMP の研究開発

- ・TRON-SMP チップ(ハードウェア)に関して、LSI の仕様策定とシミュレーションによる仕様検証を実施した。
- ・TRON-SMP プロトタイプ(ソフトウェア)を設計し実装した。
- ・視聴用プラットフォームに関して、一次試作を行った。
- ・コンテンツ配信サーバシステムと課金ライセンスサーバシステムの仕様の策定および一次試作開始した。

⑤Pairing Lite の研究開発

- ・委託事業を担当する 3 大学と助成事業を担当する FDK とで共同研究開発体制を確立した。
- ・暗号アルゴリズム高速化のための検討を開始した。
- ・安全性の確保を目的としたパラメータ選択方法の検討を開始した。
- ・FPGA によるハードウェア実装のための基本演算アーキテクチャーの設計を開始した。

⑥多元通信、三次元画像取得を同時実現する CMOS 撮像チップの研究開発及びその応用システム

- ・高速パルス変調した LED を光源とした光変調信号の復調能力を内在するイメージセンサの技術的可能性を検証するための、最高 1 μ sec 程度の光通信、位相検波実験装置の製作に着手し、各パーツ設計も順次進行中である。
- ・アナログ回路シミュレータを用いたセンサーチップの機能レベルシミュレーションを開始した。

⑦超低電力・高セキュリティメッシュネットワークを志向した RF システム LSI の技術開発

- ・低電力デュアルリンク基本回路方式を検討、設計し、低電力化できることをシミュレーションにより確認した。
- ・RF システム LSI 及び RF システムモジュールのサイズ・コスト見積りを行った。
- ・新規開発のマルチホップ型デュアルリンクプロトコル及び認証方式の有効性確認のためのモジュールプロトタイプの開発設計を行った。

⑧マルチメディア多機能チップの研究開発

- ・低価格、低消費電力でありながら、高演算能力、高映像表現力を有する機能統合チップの研究開発として、ターゲットとなるチップの仕様の検討を開始した。
- ・ユーザにとって使いやすいチップを実現するため、チップのミドルウェアや統合開発環境の検討を開始。具体的には、グラフィックスミドルウェア、およびサウンドミドルウェアの仕様の検討、H.264/AAC SBR コーデックのための演算量の見積りの検討を開始した。
- ・アプリケーションソフトウェアについて企画の検討を開始した。

⑨ネット放送向 STB 用ダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサの研究開発

- ・ダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサの設計を開始した。
- ・著作権保護方式と動画符号方式の調査および搭載方法の検討を開始した。

平成 18 年度は、ヘテロジニアス・マルチコアチップの技術開発にテーマを絞り、継続プロジェクトは、中心的な開発を実施した。

○平成 17 年度採択プロジェクト

①FeRAM/FD-SOI 混載アプリケーションチップの技術開発

- ・平成 17 年度に終了。

②情報家電向けリコンフィギュラブルアーキテクチャーの技術開発

- ・地上波デジタル移動体向け放送およびアナログ FM 放送受信回路による検証に基づき、コマンド RAM の圧縮およびワーク RAM 構成をフレキシブルに変更可能とすることにより、全体として搭載する RAM 容量を最適化した。その結果、チップの小型化が可能となった。
- ・リコンフィギュラブルアーキテクチャーの LSI 設計を終了した。
- ・統合開発環境の開発および動作確認を行った。

③リアルタイム情報家電用マルチコア技術の研究開発

- ・変数配置および DMA 用 API を策定するとともに、電力制御用 API を検討した。
- ・策定した API を用いて並列化プログラムを生成する並列化コンパイラの開発を C フロントエンドを含めて行い、電力消費を 80%低減可能であることを示した。
- ・昨年度策定した情報家電用マルチコア標準アーキテクチャーに基づく SH プロセッサ 4 コアを搭載したマルチコアチップを試作した。
- ・上記チップの評価ボード、チップ上で並列化プログラムを動作させるための API 解釈系およびデバッガの試作と

OSの実装を行った。

④情報家電用マルチメディアセキュアチップ TRON-SMPの研究開発

- ・TRON-SMP1次チップを設計・試作し、動作確認を行った。
- ・TRON-SMP2次チップの仕様検討を行った。
- ・視聴用端末の開発を行い、視聴端末用ソフトウェアプラットフォームの試作を行った。
- ・コンテンツ配信サーバの設計、試作を行った。

⑤Pairing Liteの研究開発

- ・双線形性写像 (pairing)アルゴリズムの軽量化と FPGA への実装を行い、これまでの実装と比較して約 30%の軽量化を実現した。
- ・FPGA での実装・評価を基に ASIC 化の検討を開始した。
- ・pairing を用いた暗号プロトコルの検討を行い、そのアプリケーションとしてセキュリティ RFID における暗号化と電子署名のための仕様を策定した。

⑥多元通信、三次元画像取得を同時実現する CMOS 撮像チップの研究開発及びその応用システム

- ・機能レベルシミュレーションにより、イメージセンサ構成とアプリケーション固有課題について検討を行った。その結果、外乱光対策と障害物の有効な検出法について新たな発案を得た。
- ・基本的な画素構造や必要な周辺回路を試験する TEG チップの設計を進め、検証のための試作を行った。この結果、基本的な動作を確認でき、改善すべき課題が明らかになった。
- ・仮想センサーチップの駆動回路、アナログ回路、デジタル信号処理回路を試験評価するためのソフトウェア及び画像取得システムの開発を完了した。

⑦超低電力・高セキュリティメッシュネットワークを志向した RF システム LSI の技術開発

- ・TEG 試作した 400MHzTRX と市販 2.4GHz RF チップを搭載したモジュールを動作評価。同モジュール上にて 400MHzTRX から市販 2.4GHz RF チップを起動し、後者による映像マルチホップ動作を確認した。400MHzTRX の受信エラー率改善のため、再度設計試作を行う。
- ・軽量でセキュアな認証方式と映像無線通信の高効率な制御方式を開発した。PC ベースのエミュレーション環境を作成し、RF システム LSI のアーキテクチャを検証。同時に、上記認証方式がセキュリティ強度を保ちつつ低電力化できることと上記制御方式の有効性を検証した。

⑧マルチメディア多機能チップの研究開発

- ・ターゲットチップの論理設計を完了し、検証用 FPGA ボードを用いての評価を行い、設計通りの性能を確認した。
- ・現行チップ、ならびにターゲットチップの検証用 FPGA ボードを用い、グラフィックス・サウンドのミドルウェアの開発ならびに実装を行い、ターゲットチップで目標性能を達成できる見通しがついた。
- ・現行チップとネットワーク IC を組み合わせたボードを製作し、リアルタイム OS ならびにネットワークミドルウェアの移植ならびに評価を行った。
- ・ユーザヒアリングに基づく製品イメージを元に、現行チップを用い、種々のプロトタイプを試作を行った。

⑨ネット放送向 STB 用ダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサの研究開発

- ・動画符号規格である MPEG4 および H.264 のサブセットデコーダーを既存のダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサ (DAPDNA-2) に実装した。
- ・上記の実装作業を通してコーデックに適したダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサの構成を検討した。
- ・上記の構成をもとに RTL 記述を開始した。
- ・ダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサ用の配置配線ツールの適応範囲を広げる研究を行い、プロセッシング・エレメント使用率を 80%程度まで改善することが可能となった。
- ・DFC コンパイラのコーデック向け改良の検討を行った。

○平成 18 年度採択プロジェクト

⑩情報家電用ヘテロジニアス・マルチコア技術開発の研究開発

- ・64 ビット SH コアのアーキテクチャ、ヘテロジニアス・マルチコアのシステム、および、コンパイラ、デバッガ等を含む統合開発環境についての基本的な検討を開始した。

平成 19 年度は、以下の通り実施した。

○平成 17 年度採択分

①情報家電向けリコンフィギュラブルアーキテクチャの技術開発

- ・アーキテクチャの効率向上として、リコンフィギュラブルアーキテクチャの処理の高速化の検討を行った。2 方式についてアーキテクチャ開発と協調して検討し、その結果、最も高速化可能な方式を特定した。
- ・コンパイラの効率向上として、さらにコンパイラ動作の高速化を検討した。従来に較べて処理速度を約 40%とした。
- ・リコンフィギュラブルアーキテクチャについて、LSI を試作・評価した。設計データに基づき、レイアウト・配線を行い、その結果をもとに LSI の試作をおこなった。試作 LSI に対して、7 種類のテストを行い、問題がないことを確認した。さらに、試作 LSI は評価基板に実装して、機能・性能を評価した。想定した利用方法においては、搭載可能なレベルであることを確認した。

②リアルタイム情報家電用マルチコア技術の研究開発

- ・周波数・電圧・電源遮断等の電力制御用 API を策定し、この API を含めた並列化 API プログラムを出力する並列化コンパイラと、API プログラムをマルチコア用マシンコードに変換する API 解釈系を試作した。
- ・マルチコアアーキテクチャ、並列化コンパイラ (API 含む) を、既存チップ上とプロジェクトで試作したマルチ

コアチップ上で評価・改良を行った。

- ・コンパイラ協調型の8 コアマルチプロセッサを試作し、評価ボード、ソフトウェア開発環境、評価用プログラムの試作と合わせて、消費電力、性能評価等を行いマルチコアアーキテクチャ、並列化コンパイラの有効性を実証した。

③情報家電用マルチメディアセキュアチップ TRON-SMP の研究開発

- ・TRON-SMP1 次チップ評価ボード上で、ソフトウェア (e-TRON エミュレータ他) を評価、検証した。
- ・2 次チップを試作しセキュアな SIP 化を行い、1 次チップのソフトウェアとシステムを移植した。
- ・1 次チップ評価ボードと開発したコンテンツ配信サーバと課金ライセンスサーバを連携し、動画配信を含めたシステム全体の動作を評価、検証した。
- ・2 次チップ SIP を搭載した評価ボード上で、動画表示を含めた基本動作を評価、検証した。

④Pairing Lite の研究開発

- ・Pairing アルゴリズム・プロトコルの軽量化を検討し、FPGA に実装してハードウェア実装の有効性と安全性を実証した。
- ・FPGA を用いたセキュリティ RFID アプリケーションデモシステムを構築した。
- ・Pairing 演算を ASIC 化した Pairing Lite チップを試作し、デモシステムに実装し、ASIC 化と軽量プロトコル化の有効性を実証した。

⑤多元通信、三次元画像取得を同時実現する CMOS 撮像チップの研究開発及びその応用システム

- ・特許出願済みの TOF (Time Of Flight) 方式センサを最大限活用する画素構造を決定した。
- ・アプリケーションに特化した機能・構造の検討を行い、十分な機能と性能を持つセンサーチップの試作に成功した。
- ・プロジェクト成果の事業化に向け、試作センサーチップ完成前から代替のフォトダイオードを用いて自動車灯体への組み込み試作及び評価実験を行い、良好な結果を得た。今後、試作に成功したセンサーチップに取り替えて評価実験を継続する。

⑥超低電力・高セキュリティメッシュネットワークを志向した RF システム LSI の技術開発

- ・前年度に試作した低電力 400MHz 送信回路を動作するチップに仕上げた。
- ・前年度のドライバを高機能化し、評価用モジュールプロトタイプを作成。
- ・上記の成果を用いてマルチホップ型無線通信プロトコルと軽量セキュアな認証方式をシステム評価し、従来比 1/10 の消費電力を検証した。

⑦マルチメディア多機能チップの研究開発

- ・ターゲットチップの試作ならびに評価ボードの製作を完了し、ターゲットチップの機能試験を行い、ほぼ全ての機能が正常に動作していることを確認した。
- ・試作したチップを用いて、OpenGL 等のグラフィックスミドルウェア、MIDI サウンド再生ミドルウェア、MPEG-4、H. 264 等の画像・音声コーデックミドルウェアの評価・検証を行った。
- ・試作したチップを用いて、現行チップ用に移植した iTRON 等のリアルタイム OS、ネットワーク機能を有する OS の評価・検証を行った。
- ・プロトタイプボードとして、3D GUI を用いたもの、並びに、発音評定ミドルウェアを用いたものなどを試作し、評価を行った。

⑧ネット放送向 STB 用ダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサの研究開発

- ・ダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサ (DAPDNA-3CE) の論理設計、検証および、チップレイアウトを完了し、チップの試作・評価を行った。
- ・ダイナミック・リコンフィギュラブル・プロセッサ用開発ツールを作成し、動画コーデックの開発に使用した。
- ・H. 264 のデコーダを DAPDNA-3CE に実装を行った。

○平成 18 年度採択分

⑨情報家電用ヘテロジニアス・マルチコア技術の研究開発

- ・2 大学 2 企業の共同推進プロジェクトとして推進委員会ほかの体制を確立した。
- ・ヘテロジニアス・マルチコアチップを使う想定の代表的なアプリケーションの絞りこみを行なった。
- ・同チップの仕様 (特定用途コアの改良仕様を含む) と評価用簡易コンパイラおよび、同チップを動作させるシステム仕様のドラフト作成を完了した。
- ・同チップ用のバックエンドコンパイラのドラフト仕様と、同チップ搭載ボードのドラフト仕様を決定した。
- ・同チップに適用できるソフトウェア統合開発環境 (IDE) について、フレームワークの基本設計を完了、その要素となるメモリ・プロファイラの設計と検証を行なった。同様に、高位シミュレータを 32 ビットと 64 ビット命令で構築・評価し、高精度シミュレータは 32 ビット 8 コアで構築し、評価した。

○平成 19 年度採択分

⑩次世代ネットワークにおけるセキュリティプラットフォームチップの開発

- ・ハードウェア化可能なパケットフィルタ機能の仕様を決定し、シミュレーションにより、機能検証を行った。
- ・外部接続インターフェイス機能等を開発し、仕様を決定、シミュレーションにより、機能検証を行った。
- ・セキュリティプラットフォームチップ試作のため、メモリ容量、回路規模の見積もりを行い、回路構成の概略を決定した。

⑪携帯電話向け半導体回路の研究開発及びデジタル補聴器向け半導体回路の研究開発

- ・インピーダンス変換回路、バイアス電圧発生回路の試作を行い、回路方式の妥当性を検証した。
- ・アナログーデジタル変換回路の試作を行い、実測とシミュレーションによる整合性を確認した。

- ・ノイズキャンセラ回路のアルゴリズム調査、試作、動作検証を行い、ノイズ低減効果があることを確認した。
- ⑫システム LSI 高密度不揮発メモリの研究開発
 - ・記憶動作の原理であるホットキャリア効果の振る舞いを、トランジスタ単体レベルで測定調査するため、評価用パターンを設計し、試作評価を行った。記憶動作特性及び、高温でのデータ保持特性を調べた結果、良好な結果を得た。
 - ・2トランジスタ型不揮発メモリセルおよびマクロの設計に着手した。
- ⑬ビデオ CODEC チップの研究開発
 - ・ビデオ CODEC アルゴリズムを画質、圧縮率の評価を行い、高圧縮率-従来比の2倍/高画質で低消費電力-従来比1/10のCODECコアの仕様を作成した。更に、大容量・高速の混載メモリのデータ転送能力を最大限に引き出すためのメモリ・インタフェース仕様を作成した。
 - ・ビデオ CODEC コア仕様に基づき、ビデオ CODEC コアのブロック構成とパイプライン設計を行った。これに基づきビデオ CODEC コアの各ブロックのRTL仕様を作成した。
- ⑭ワイヤレス HDMI モジュールの研究開発
 - ・周波数チャネルバジェットとアンテナとの親和性、電力最適化などのシステムアーキテクチャの基本構想を策定した。
 - ・ミリ波送受信回路のTEG設計と低電力化の送受信モジュールのブロックレベルの設計および低損失誘電体材料を基板材料にしたアンテナモジュールの基本検討を行った。
 - ・HDMIの送受信回路の低電力化設計とTEG開発を行った。
 - ・システムアーキテクチャ構想に基づく通信品質と画像への影響の実測調査を行った。

《10-2》サーバー用半導体チップ・サーバー関連分野・不揮発性メモリ (MRAM) 【課題助成】【F21】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下のとおり実施した。

①高機能・高信頼性サーバー用半導体チップ

ほぼ計画に沿って進捗している。具体的には「次世代高可用性サーバー」では、ハードウェアの基本仕様 (LSI構成、自動回復技術など) の方式の確定と、ファームウェア技術/ソフトウェア技術 (冗長化ハードウェアの制御、運用管理技術) の基本設計が完了し、詳細設計を開始している。

また、「基幹系Linuxサーバー」では、チップセットのLSI構成の決定に基づき詳細設計を完了、論理シミュレーションによる検証を開始し、ソフトウェア開発ではLinuxカーネルの強化機能の詳細設計および資源管理機能の基本設計を完了した。

②サーバー関連分野

平成15年度に追加の公募を実施し3件を採択し、ネットワークに接続されたサーバーのセキュリティ向上や安定性向上に必要な半導体チップの開発として基本仕様の検討に着手した。

③不揮発性メモリ (MRAM)

磁性膜などのデバイス要素技術の検討を行い、MTJ素子のバラツキ低減と、書き込み電流の低減を図った。また、集積化プロセス技術開発に着手してチップ試作を行うとともに、シミュレーションによる回路技術の検証を行った。

平成16年度は、以下のとおり実施した。

①高機能・高信頼性サーバー用半導体チップ

次世代高可用性サーバーの半導体チップ開発では要素技術の評価用の設計検証を終了し、サーバー機能評価装置により動作の実証評価を行った。また、ソフトウェアの基本機能検証を完了した。Linuxサーバー用の半導体チップ開発ではサーバー機能評価用装置を試作し、要素技術の動作検証を実施した。また、ソフトウェアの基本機能の評価を行った。

②高機能・高信頼性サーバー関連分野

暗号化、電子透かしの高度化チップ開発では、ソフトウェアシミュレーション、ハードウェア設計および要素技術検証用のFPGA評価ボード開発を行った。画像データの大幅圧縮用チップ開発では機能検証用の半導体チップ設計を完了し、エミュレーション評価により動作検証を行った。なお、本研究開発プロジェクトは平成16年度において追加的に予算を配分し、事業を加速した。ファイアーウォール処理の高速化用チップ開発では、要素技術評価を行い、総合評価用の半導体チップ設計を行った。

③不揮発性メモリ (MRAM)

磁性膜などのデバイス要素技術の検討を行い、MTJ素子のバラツキ低減と、書き込み電流の低減を図った。また、ディスターブバーストセルの開発にも着手し、セル形状と書き込み制御方法で効果を確認した。なお、本研究開発プロジェクトは平成16年度において追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

①高機能・高信頼性サーバー用半導体チップ

次世代高可用性サーバーの半導体チップ開発では半導体チップを試作し、サーバー性能評価機により開発したハードウェア/ソフトウェアの総合検証を完了した。Linuxサーバー用の半導体チップ開発では試作したチップで構成したサーバー性能評価機により高信頼化機能及び性能についてハードウェア/ソフトウェアの総合検証を完了した。

②高機能・高信頼性サーバー関連分野

暗号化、電子透かしの高度化チップ開発では、要素技術を統合したチップ試作を完了し総合評価を完了した。画像データの大幅圧縮用チップ開発では半導体チップ試作を完了し、総合的な動作検証を完了した。

③不揮発性メモリ (MRAM)

- ・4M ビット MRAM で実用レベルの低不良率を達成。
- ・16M ビット MRAM で 200M バイト/秒の読み書き速度を 1.8V の低電圧駆動で実証。
- ・ドライビング画像レコーダを試作し、MRAM の特徴を活かせることをシステムレベルで確認した。

《1 1》高機能化システムディスプレイプラットフォーム技術開発【F 2 1】【課題助成】[平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「機能回路設計技術の開発および回路集積実証」

レイアウト設計や回路設計課題となる熱や動作速度等のパラメータの抽出を行うと共に②で得られた技術データを加えてディスプレイ基板上に機能集積システムを実現するための設計指針を構築した。

研究開発項目②「機能回路集積技術の開発」

デバイスシミュレーションにより 0.5 μ mTFT 基本構造設計を完了した。又、微細化デバイス実現に必要な要素プロセス技術として 0.5 μ m の微細加工技術並びに Si 結晶粒伸長技術を開発した。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「機能回路設計技術の開発および回路集積実証」

回路シミュレーションに必要な TFT モデルの開発、基本機能回路の設計技術の確立並びに回路レイアウト技術を確立し、平成 19 年度に機能集積回路検証を行う為の技術環境を整えた。

研究開発項目②「機能回路集積技術の開発」

前年度にデバイスシミュレーションにより設計した 0.5 μ mTFT 基本構造を実際に絶縁性基板上で試作し、ほぼ目標通り性能が得られることを実証した。又、大きな結晶シリコン粒を形成するプロセス技術の実証に成功した。

平成 19 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「機能回路設計技術の開発及び回路集積実証」

- ・0.5 μ mルール TFT まで適用できる TFT モデルを構築した。基本機能回路設計に活用し、良いフィッティングを確認し、このモデルの有用性を検証した。
- ・システムディスプレイに搭載する回路のビルディングブロックとしての NAND、NOR、D-フリップフロップ、シフトレジスタ、全加算回路、8bitSRAM を、0.5 μ m ルールで開発した TFT を用いて設計・試作し、透明絶縁性基板の上の動作実証と、シフトレジスタの目標性能を大きく上回る 400MHz 以上の性能確認に成功した。
- ・画像信号の伝送に効果的な LVDS(Low Voltage Differential Signaling) レシーバを設計・試作し、性能を検証した。

研究開発項目②「機能回路集積技術の開発」

- ・デバイスシミュレーションを駆使した 0.5 μ m ルール TFT の構造最適化によりゲート遅延時間 70 ps を達成した。また、最高発振周波数として 20 GHz を超える優れた性能を確認した。更に、結晶性の不均一や欠陥が特性のばらつきに与える影響を解明した。
- ・0.5 μ m ルールプロセスを構築し、デバイス開発に適用するとともに、課題であった不純物の低温活性化では、B イオン注入前に Si イオン注入を行いアモルファス化することにより、従来困難であった 500 $^{\circ}$ C の低温で、ほぼ全ての不純物が活性化する技術を開発した。
- ・良質で大粒径な結晶の位置と TFT を形成する位置を一致させることが可能な位相変調レーザ結晶化技術 (PMELA 技術) を安定したプロセスに高度化することによって高性能 TFT 開発試作と機能回路開発試作を可能とした。また、「単一成核結晶化技術」と名付けた新しい結晶化技術を創出し、結晶粒内部に TFT 特性を劣化させるランダム粒界が少ない大きな結晶を成長させることに成功した。

《1 2》デジタル情報機器相互運用基盤プロジェクト

《1 2》- 1 デジタル情報機器の統合リモート管理基盤技術の開発【F 2 1】[平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

財団法人情報処理相互運用技術協会 INTAP 新事業検討委員会委員長 発田 弘氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「機器認証運用管理技術の研究開発」

家庭内機器の登録・認証技術については、機器 ID 形式・体系の設計書の作成、および機器 ID 証明書プロファイル、機器・ユーザ情報登録プロトコルの設計書作成と開発を行った。家庭内センサネッ

トワークでの機器連携については、ZigBee ノードの簡易登録・無効化方式の開発、および認証用情報の管理・更新方式の開発を行った。DLNA/UPnP-ZigBee ゲートウェイ機能については、仕様書の作成、アプリケーション例への適用仕様を作成した。

研究開発項目②「高信頼リモート管理技術の研究開発」

リモート管理プロトコルについては、ポータル・リモート管理マネージャプロトコル仕様書の作成、およびエージェント向けリモート管理マネージャ API 仕様書の作成を行った。リモート管理マネージャ技術については、リモート管理マネージャ通信基盤基本設計書の作成とリモート管理マネージャ通信基盤ソフトウェアの開発を行った。また、リモート管理ポータル技術については、リモート管理ポータル通信基盤基本設計書の作成とリモート管理ポータル通信基盤ソフトウェアの開発を行った。

研究開発項目③「サービスポータル基盤技術の研究開発」

高信頼 Web サービス通信の相互運用技術については第 1 次コンフォーマンスツールの作成とその動作検証、および高信頼 Web サービス通信の利用シナリオとサンプルアプリケーションを作成した。情報機器運用・活用のための情報資源管理技術については全体システム設計仕様書の作成、メタデータ付与ツールコア部分の設計仕様の開発、代表的なデジタル情報機器用のオントロジー基本構成部の構築を行った。省エネのためのリモート制御技術については省エネ制御のためのリモート制御アプリケーションの仕様検討・開発・評価、および機器の利用権管理システムの評価プロトタイププログラムの開発を行った。

研究開発項目④「宅内における情報家電機器間の連携の共通化開発」

ECHONET-UPnP ゲートウェイ共通化仕様書の作成、共通化仕様検証用アプリケーションの開発を行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「機器認証運用管理技術の研究開発」

家庭内機器の登録・認証技術については、異なるメーカーの機器が混在する環境においても機器のユーザを認識できるユーザ証明書の発行プロトコルの検討およびその開発を行った。家庭内外機器間でのセキュリティ確保・認証方式については、家庭外からのデジタル情報機器へのアクセスなどを安全に行う機器認証・ユーザ認証プロトコルと証明書検証プロトコルの検討および開発を行った。またユーザ認証の拡張機能としてシングルサインオン機能を開発した。家庭内センサネットワークでの機器連携については、センサネットワークを構成する ZigBee ノードについてノードの回収の手間なく、ZigBee ノードに新しい機能を持たせるソフトウェア更新方式の検討およびその開発を行った。さらにシステム評価実験を行った。DLNA/UPnP-ZigBee ゲートウェイ機能については、情報機器とセンサネットワークの相互接続を実現する DLNA/UPnP と ZigBee の相互連携に関する共通仕様(平成 17 年度成果)に基づき、プロトタイプのゲートウェイを開発して実マシン上での機能の検証を行った。

研究開発項目②「高信頼リモート管理技術の研究開発」

リモート管理プロトコルとして、高信頼を主眼としたリモート管理プロトコルの仕様(平成 17 年度成果)に基づき、サービスオブジェクト API、サービスオブジェクト管理 API の仕様書の作成を行った。またリファレンスソフトウェアの開発を行った。リモート管理マネージャ側サービスオブジェクトフレームワーク基本設計書、リモート管理ポータル側サービスオブジェクトフレームワーク基本設計書の作成を行い、設計書に基づきソフトウェアの開発を行った。また、汎用リモート管理サービス実行基盤制御機能を設計しプログラムを開発した。

研究開発項目③「サービスポータル基盤技術の研究開発」

高信頼 Web サービス通信の相互運用技術として、WS-ReliableMessaging 仕様に基づいたコンフォーマンスツール(第 2 次コンフォーマンスツール)の開発を行った。また、高信頼 Web サービス通信の利用シナリオとサンプルアプリケーションの作成を行った。また、情報機器運用・活用のための情報資源管理技術として、情報家電の利用に際しインターネット上の情報資源に対してメタデータを付与する機能と、このために語彙を管理し提供する語彙サーバ、および、付与されたメタデータを管理するメタデータ DB の開発を行った。

省エネのためのリモート制御技術の Web サービスとの連携機能、個人情報情報を隠蔽した省エネ制御アプリケーション、機器の利用権管理システムの開発およびその評価を行った。また、電力供給と需要の相互協調等の省エネ施策のシステムモデル/ビジネスモデルの検討に基づく需要家側の負荷制御アプリケーションプロトタイプとコンビニエンスストア向けの自律的省エネシステムのプロトタイプを開発した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「機器認証運用管理技術の研究開発」

- ・機器証明書発行技術について、情報家電の製造ベンダ、機器の属性(機種、スペック情報等)を証明できる情報家電に適した機器認証技術を開発し評価した。また、情報家電の機器認証及び、ユーザの登録・認証のためにサービス毎のユーザ証明書を発行する認証スキームを開発し評価した。さらに、サービスポータル毎に発行されたユーザ証明書を利用し安全に情報家電サービスを利用する認証、検証技術を開発した。
- ・家庭内センサネットワークでのセキュリティ技術について、ZigBee 認証管理技術を仕様化し公開した。アプリケーションレベルでの機能検証を実施した。
- ・DLNA/UPnP-ZigBee ゲートウェイ技術について、仕様化し公開した。高信頼リモート管理技術、

ZigBee 認証管理技術との連携機能を検証した。

研究開発項目②「高信頼リモート管理技術の研究開発」

- ・高信頼リモート管理プロトコルについて、ホームネットワークの情報家電をインターネット上のポータルサイトから管理するための通信規約（高信頼化仕様と、ソフトウェア配布仕様）を策定した。
- ・高信頼リモート管理プロトコルに準拠した高信頼通信技術と、サービスポータル・リモート管理コントローラでアプリを実行させるための基盤技術を確認し、健康見守り／ホームセキュリティシステム、省エネ制御サービス、流通店舗での省エネ実証実験などでの本ミドルウェアの適用性を検証した。
- ・機器利用権メッセージ仕様について、機器の所有者が承認した許可条件に基づくアクセス制御技術として、機器利用権の表現形式仕様を策定し、標準仕様に準拠した機器利用権リファレンス・プログラムを開発した。
- ・省エネ制御アプリケーションとして、機器利用権によるアクセス制御機能、収集データの匿名化機能、Web サービスとの連携機能などを実装した。また、省エネ制御アプリケーションと、ビル・マンション向け省エネ運用方式（機器利用権を用いた需給協調制御）の基本アルゴリズム及びプロトタイプを開発した。

研究開発項目③「サービスポータル基盤技術の研究開発」

- ・通信の仕様適合性を検証するために、ミドルウェアやサービス・アプリケーション間通信の仕様適合性とアプリケーション間の相互接続性を検証するツール（コンフォーマンストール）を開発・公開し、本ツールを用いた相互接続検証実験を実施した。
- ・高信頼 Web サービス通信に関し、実装プロファイル仕様を開発し、フォーラム標準として公開するとともに、国際標準に提案、Committee Draft とした。
- ・情報機器の運用・活用のための情報家電オントロジー技術について、基本語彙を定義し、その追加・記述する際のガイドラインを策定した。また、公開する際のガイドラインを策定。さらに、一般語彙の記述実験によりその能力を検証した。
- ・情報家電オントロジーを活用した情報アクセス技術について、情報家電の接続事例検索のための必要機能およびサンプルアプリケーションを開発し、有効性を検証した。また、ユーザの目的に合わせて機器の使い方を柔軟に案内するパイロットシステムを試作した。
- ・流通店舗における自律的省エネ制御サービスについて、店舗内にて無線センサネットワークを活用したコンテキストウェアネス技術により、省エネと顧客満足との両立という立場からその有効性を実証した。
- ・流通店舗での実証実験に高信頼リモート管理プロトコルを活用し、流通店舗とサービスポータル間で省エネルギー情報が確実に送受信できることを実証。また、流通店舗本部に対する省エネ測定サービスにより、高信頼リモート管理技術の有効性とサービスポータルの有効性を実証した。

《12》－2 無線 LAN スポット分野・情報家電分野【F21】【課題助成】[平成15年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

①情報家電分野

AV系、IP系、白物家電系等の相互接続層ミドルウェア、ECHONETに準拠した家電・住設機器の汎用コントローラ、家庭向けのネットワーク運用・コンテンツサービス技術、宅外から宅内へのアクセス制御技術およびホームネットワークのセキュリティ技術の基本仕様を策定し、基本設計を行った。

②無線LANスポット分野

基本アーキテクチャの設計およびサービス実現に必要な機能の詳細化を行った。また、ローカルサイトでユーザに適したサービス発見を行うプラグアンドサービス技術、無線LANエリアや広域通信網の間でサービスが途切れることのないシームレス連携技術、安全に個人情報扱うプライバシー保護技術の各技術の設計に着手し、これら機能の検証用プロトタイプシステムを作製した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

①情報家電分野

有線／無線相互接続技術について、基本プロトタイプを開発し評価を完了した。コンテンツ蓄積／配信技術について、ベースシステムの開発と動作検証を完了した。AVドメインゲートウェイ技術について、基本プロトタイプの開発を完了した。ECHONET汎用コントローラの開発及び評価を完了した。ソフトウェア開発支援ツールの開発及び評価を完了した。ASPと宅内機器間のアクセス技術についてミドルウェア開発を完了した。セキュアネットワークの自動運用、コンテンツサービスの宅外拡張技術について実装評価、統合検証を完了した。ライセンスポリシー、アクセスポリシー運用管理についてプロトタイプ実装、評価、統合検証を完了した。ダウンロード／機器認証プロトコルについてモジュール開発、システム化を完了した。アクティブフィルタリングについては仕様検討を完了した。

②無線LANスポット分野

サービス発見技術についてはプロトタイプ実装を完了した。サービス取得交渉技術の基本設計及びプロトタイプ実装を完了し、実証実験システムを構築した。オンサイドダウンロード技術についても総合検証システムのプロトタイプ実装を完了し、1月に実証実験を実施した。シームレス認証技術については実証実験向けシ

テムの開発を完了して、1月に実証実験を実施した。ハンドオーバ技術については検討用端末プラットフォームの設計を完了した。隠蔽型保護技術については個人情報管理機能とアクセス制御機能のプロトタイプ実装を行った。また、プライバシー保護ミドルウェアをまとめ上げた。開放型保護技術については各機能を実現するプロトタイプ実装を行った。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

①情報家電分野

計画通り、情報家電分野において、情報家電の接続に利用される各種ネットワークのプラグアンドプレイ機能、ネットワーク間の相互運用を実現するミドルウェア、家庭内のコンテンツを簡単かつ安全に宅内外と自由に交換するための技術、安全かつ安心なインターネット接続により情報家電のアップデート情報を入手する技術の研究開発を行った。また、平成16年度の開発・評価に引き続き、検証仕様策定を行い、平成18年1月30日～2月1日の間、タイム24ビルのタイムプラザにおいて241名の実験参加者を得て実証実験を行った。更に、情報家電分野において、より実用に近い技術についての開発課題を追加し、これに基づきインテリジェント分電盤と情報家電の連携技術、およびLED照明と情報家電との連携技術の研究開発を行った。

②無線LANスポット分野

前年度に実施したローカルサービスをオンサイトで取得・実行できるようにするプラグ&サービス技術、複数の無線LANや広域通信網間でサービスをシームレスに利用するためのシームレス連携技術、個人情報を安心して活用できるようにするプライバシー保護技術の開発を引き続き行なった。これら技術について平成16年度末実施の実証実験結果を反映させ、更に実用化に近づけたプロトタイプ実装を行い、平成18年1月12、13日の両日に日石横浜ホールにて、166名の実験参加者を得て実証実験を行った。

平成18年度は、新しい通信方式（可視光通信）の情報家電機器および生活空間での利用への適用を実現するために、LED照明機器の開発や応用システムの研究開発を行った。以下の研究開発項目を実施した。

研究開発項目①「人感センサ、ECHO ネットモデムおよび通信制御部が組み込まれたLED照明機器」

商用照明器具の開発および器具内搭載に向けたECHONETモデムおよび通信制御部の最適化を実現した。

研究開発項目②「照明機器対応機能、及び可視光通信により静止画を含む情報受信・表示可能多機能を有するリモコン端末」

多数の照明光干渉状況での照明リモコンとLED照明器具内コントローラとの双方向通信技術を開発した。

研究開発項目③「実用レベルに完成度を高めた訪者確認LED照明システムの開発と実証」

商用試作機によって来訪者確認LED照明システムを構築し、監視カメラ・人感センサ連携による居住者への適切な情報提供（含む静止画像）を実現した。

また、実用化に向け以下の研究開発を追加実施した。

研究開発項目④「可視光通信用小型端末（カード型）の開発」

イベント会場（美術館、博物館）での会員に対する特典情報の配布用のカード型可視光受信端末と周辺システムを開発した。

《13》積層メモリチップ技術開発プロジェクト【F21】【課題助成】[平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<5>エネルギー分野 ③省エネルギー技術 省エネルギー技術開発プログラム 《11》-2 参照]

《14》フォトリックネットワーク技術の開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

東京大学 先端科学技術研究センター教授 中野 義昭氏、東京大学 ナノエレクトロニクス連携センター長 荒川 泰彦氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超高速/大容量電子制御型波長多重光スイッチノードデバイスの開発」

光スイッチ、光波長変換器、光合分波器、波長可変光源、光増幅器等の個別要素デバイスを試作し、個別要素機能の動作検証を実施した。光波長変換器では、電界吸収型光変調器（EAM）による波長変換として、一波長当たりデータ容量として世界最速（平成16年2月のOFC時点）の100Gb/s波長変換動作を実証した。

研究開発項目②「次世代光スイッチノード実現技術の開発」

先進的半導体構造を用いた次世代光スイッチノード用デバイスを試作し、デバイスの基本特性評価を実施した。量子ドット光増幅器では、半導体増幅器として世界最高性能（平成16年2月のOFC時点）である100nm以上の広利得帯域と20dBm以上の高出力動作を実証した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超高速/大容量電子制御型波長多重光スイッチノードデバイスの開発」

ノード装置の構成要素である光スイッチ、光波長変換器、光合分波器、波長可変光源、光増幅器等

の個別要素デバイスを試作し、個別要素機能の動作検証を実施した。また、開発する各デバイスから構成されるサブシステム実証のために「実用化委員会」（東京大学 中野義昭プロジェクトリーダー）を開催し、各デバイス仕様の決定とサブシステム具体化の検討を開始した。更に研究開発加速資金による、準動的サブシステム実証試験立ち上げのための計画とスケジュールを具体化した。

研究開発項目②「次世代光スイッチノード実現技術の開発」

先進的半導体構造を用いた次世代光スイッチノード用デバイスを試作し、デバイスの基本特性評価を実施した。量子ドットデバイスでは、従来型の量子井戸型レーザを上回る性能を世界で初めて実証、実用化へ近づけた。

なお、本研究開発プロジェクトは平成 16 年度に中間評価を実施し、その結果を踏まえて、追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超高速／大容量電子制御型波長多重光スイッチノードデバイスの開発」

ノード装置の構成要素である光スイッチ、光波長変換器、光合分波器、波長可変光源、光増幅器等の個別要素デバイスを試作し、個別要素機能の動作検証を実施した。また、開発した各光デバイスを搭載した光スイッチノードを構成することで、バースト信号の波長変換による衝突回避を確認し、光バーストスイッチの基本特性を世界に先駆けて実証した。

研究開発項目②「次世代光スイッチノード実現技術の開発」

先進的半導体構造を用いた次世代光スイッチノード用デバイスを試作し、デバイスの基本特性評価を実施した。量子ドットデバイスでは、10Gbps で動作する温度安定性（20-90℃）の高いレーザの実現と、単一モード化のプロセス基本技術を確立した。また、フォトニック結晶微小光回路として、光スイッチ動作の低駆動電力化（従来 120mW→100mW）を実証し、集積化による OADM 基本構造の試作検討を開始した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超高速／大容量電子制御型波長多重光スイッチノードデバイスの開発」

試作した各種デバイスを組み合わせ、超高速／大容量電子制御型波長多重光スイッチノード装置を構成し、2 台のノード装置を対向接続した基本接続動作および 3 台のノード装置をメッシュ接続した基本中継動作を検証実験し、光スイッチ、光波長変換器、光合分波器、波長可変光源、光増幅器等の各デバイス試作に対して、システム性能向上のフィードバックを行った。また、同ノード装置を用いて、世界で初めて、メモリを用いることなく光信号の衝突回避を実証するとともに、幕張で開催されたインターオプトやフランスで開催された ECOC(*1)、米国で開催された OFC(*2)の各展示会で動態展示し、成果を広く国内外に広報した。

研究開発項目②「次世代光スイッチノード実現技術の開発」

先進的半導体構造を用いた次世代光スイッチノード用デバイスとして、量子ドット光増幅器の小型モジュールの最適設計を実施し、偏波無依存化を実現するとともに、量子ドットレーザの最適設計およびモジュール作製技術の開発を行い、高温下での 10Gbps 直接変調、低消費電力動作を実証した。また、システム検証実験に向けて光スイッチ、光合分波素子、分散補償素子などフォトニック結晶デバイスを集積しフォトニック結晶 ROADM(*3)モジュールを試作し、実用化動作検証を行った。全光パケットスイッチノード実現技術開発では、全光ロジックデバイスやフォトニック RAM の設計および評価、解析を行った。

*1: European Conference on Optical Communication

*2: The Optical Fiber Communication

*3: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer

《15》低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

名古屋大学 名誉教授 早川 尚夫氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

I. ニオブ系低温超電導デバイス開発

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ニオブ系 LSI プロセス開発」

微細化・平坦化などの成果を取り入れたニオブ系 LSI に関する新試作プロセスを構築し、6 層ニオブ構造を試作し、良好な電気特性を確認した。

研究開発項目②「SFQ 回路設計基盤技術開発」

PTL 技術により 4×4 スイッチを設計し、40GHz での完全動作を実証するとともに、18 万接合級の 16×16 スイッチレイアウト生成と論理検証を確認した。また、6300 接合のプロセッサ回路について、16GHz での完全動作を実証した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ニオブ系 LSI プロセス開発」

新試作プロセス（アドバンストプロセス I）により、60GHz での動作を実証した。また、5mm 角 SFQ

チップを4個搭載可能なMCMキャリアを試作した。

研究開発項目②「SFQ回路設計基盤技術開発」

SFQ回路用論理生成ツールを完成した。また、スイッチ回路におけるPTL配線について、消費電力、レイテンシの削減効果を実証した。また、7200接合のメモリ内蔵プロセッサの20GHzでの動作を実証した。40Kに冷却した半導体アンプにより、12Gbps、2mVの信号が、100倍に増幅可能なことを確認した。また、4.2K空間と室温空間を32ピンで接続する治具を開発し、それを用いて10Gbpsの信号伝送を確認した。また、SFQチップとMCMキャリア間でSFQパルスの60Gbps伝送を確認した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ニオブ系LSIプロセス開発」

アドバンスドプロセスの一部を用いてSFQ8ビットシフトレジスタ回路を試作し、従来比2倍の120GHzクロック動作を確認するとともに、数10GHz以上の高速回路においてSFQ回路のゲートあたりの消費電力が半導体と比べて6桁小さいことを実証した。また、ニオブ層を6層から9層に増加し、より高度なSFQ回路の作製が可能となった。

研究開発項目②「SFQ回路設計基盤技術開発」

PTL(受動)配線を用いた自動配置配線を可能にするSFQ論理最適設計装置を開発した。これにより、論理記述言語からSFQ回路レイアウトまでの設計自動化ツールが完成し、数十万接合規模のSFQ回路設計が可能となった。

研究開発項目③「SFQルータ用スイッチモジュールの基盤技術開発」

4K-GM冷凍機で冷却したSFQマルチチップモジュールに、10Gbps広帯域ケーブルを32本実装した広帯域低温サブシステムを開発した。この装置を用いて室温から入力した複数の10Gbps信号を4KでSFQパルスに変換し、JTL(能動)配線を伝送後、超電導と半導体アンプを用いて室温に取り出す実験に成功した。これにより室温の10Gbps信号をSFQ回路で処理できることが実証できた。

研究開発項目④「SFQサーバ用プロセッサモジュールの基盤技術開発」

演算結果を次の演算に使うような場合に有効なフォワードディングアーキテクチャを提案した。算術論理演算ユニット(ALU)2個をカスケード接続することで具現化されるが、さらにそこに一般的な高速化手法であるパイプライン技法を取り入れ、性能向上を図った。命令セットアーキテクチャの更新に伴い、すべてのコンポーネントを見直し、その後メモリを除くプロセッサ全体を設計・評価した。これまで分岐命令を除くすべての命令に対しビット操作で20GHzの正常動作を確認している。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ニオブ系LSIプロセス開発」

ジョセフソン接合臨界電流値の異常原因が、接合形成後のプラズマプロセスやパターン形状と密接な関係があることを明らかにした。平坦化ニオブ多層構造を用いて8万接合のRAM(16KbitRAM)を試作し、動作を確認した。また、1,800接合規模のシフトレジスタ回路を9ヶ月間継続的に試作した結果、長期間のプロセス欠陥率が1万接合回路に対して1個程度であることを確認した。

研究開発項目②「SFQ回路設計基盤技術開発」

SFQ自動設計ツールを用いて22万接合規模のプロセッサ、16万接合規模のデジタルフィルタを設計し、それぞれ27GHz、31GHzで動作可能であることを明らかにした。

研究開発項目③「SFQルータ用スイッチモジュールの基盤技術開発」

4×4データパスとスケジューラを1チップ化したスイッチユニットチップをドライバチップとともに、MCM(マルチチップモジュール)化して10Gbps入出力線を配した冷凍機に実装したプロトタイプシステムを開発し、本システムを用いて4台のPC間でイーサネット画像を伝送するデモンストラクションに成功した。また、10Gbps伝送動作と10-13台のビットエラーレートを確認した。さらに、SFQ回路で多重化した40Gbps信号のスイッチ動作を確認し、40Gbps光信号とSFQ回路とのデジタル信号送受信ができる事も確認した。これにより、デジタル信号入出力が可能な広帯域信号対応の実装方式の実証に成功した。

研究開発項目④「SFQサーバ用プロセッサモジュールの基盤技術開発」

マイクロプロセッサの設計を通して、同期式ならびに非同期式クロッキング方式の検討をおこなった。その結果、同期式については、フォワードディングアーキテクチャに基づく2ALU(算術論理演算ユニット)プロセッサモジュールの20GHzでの完全動作を実証した。同様に非同期式については、ハンドシェイキングに基づく完全非同期プロセッサを設計し、動作実証を行なった。

II. 酸化物系高温超電導デバイス開発

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「酸化物系集積回路プロセス開発」

高シート抵抗層、接触抵抗の低減、及び、1.2nmの表面粗さの積層技術の実現により、超電導層3層積層技術を確立した。

研究開発項目②「回路設計・製作基盤技術開発」

熱雑音、回路パラメータばらつきを考慮した回路シミュレーション技術により、SFQ要素回路のバイアス電流マージンを2倍に拡大した。また、QOS回路特性の解析により、100GHz動作の見通しを得た。また、SQUIDアレイ型回路の40K、2mV出力と1Gbps動作を確認した。

研究開発項目③「実装基盤技術開発および回路システム実証」

DEMUX（分配化装置）要素回路の設計最適化により、動作マージンを2倍に拡大した。また、ADコンバータ高性能化のためのCMOSとのハイブリッドシステム構成の仕様を決定し、試作を行った。また、回路プロセスの仕様決定と試作を行い、20GHz信号の波形を観測した。また、サンプリング回路の改良により広帯域化への見通しを得ると共に、試作した回路により45GHzの波形を観測した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「酸化物系集積回路プロセス開発」

CeO₂ 上部絶縁層、La-YbBCO 交差配線層を用いた超電導4層積層技術を確立した。また、特性のばらつきで1σ=8%、再現性で±14%を達成した。

研究開発項目②「回路設計・製作基盤技術開発」

200接合級回路の高温（20K）での高速動作を実証した。また、要素回路のパラメータを最適化し、給電抵抗付き回路の設計と試作を行った。

研究開発項目③「実装基盤技術開発および回路システム実証」

UTC-PDによる低温での50GHz O/E変換を確認し、光信号入力モジュールを試作した。また、AD変換要素回路の最適化を行い、直流駆動ラッチドライバの5Gbpsでの低エラー動作を確認した。また、50GHz電気信号の計測を実証した。なお、本研究開発プロジェクトは平成16年度に中間評価を実施し、その結果を踏まえて、追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「酸化物系集積回路プロセス開発」

SFQ回路内の接合のJ_cがベース電極サイズに依存することを見出し、ベース電極サイズをそろえた新レイアウト法を採用することにより、アレイ並の8%程度のI_c標準偏差を実現した。室温および低温プローバを用いたプロセスの逐次評価により、回路チップ歩留まりを大幅に向上する技術を開発した。

研究開発項目②「回路設計・製作基盤技術開発」

クロック発生回路の要素となるリングオシレータの30Kにおける55GHz高速動作に成功した。種々のSFQ要素回路の新レイアウト法による設計最適化を行い、有限バイアスマージンでの論理動作を実証した。

研究開発項目③「実装基盤技術開発および回路システム実証」

サンプラー用の一体型非磁性光入力モジュールを開発し、高速光信号計測を試みた。ADCフロントエンド回路の性能をニオブ系試作により評価し、10MHz帯域で約12ビットの高精度が得られることを確認した。また、高温ADC回路の要素である1:2スイッチやインバータの高温動作とT-FFの360GHz高速動作を実証した。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「酸化物系集積回路プロセスの開発」

昨年度に特許を出願した接合特性を劣化させない新しい積層手順の効果を、積層型のSQUIDを例として実証した。下部超電導電極斜面上にCu欠損のY系酸化物薄膜を薄く堆積する新たな接合作製法を開発し、40Kで1mV以上のI_cR_n積を示す接合の歩留まりを向上することに成功した。表面粗さが2nm以下の積層膜を長期安定供給する体制を確立すると共に、サンプラー回路作製において、酸素の出入りを制御しI_cの制御性を高めたプロセスを構築した。

研究開発項目②「回路設計・製作基盤技術開発」

寄生インダクタンスのT-FFの高速動作特性に及ぼす影響を明らかにし、40Kで210GHzの高速動作を実証すると共に、寄生容量低減によるSFQ-dcの動作マージン拡大や2出力T-FFの安定動作を確認した。要素回路を接続した500接合級回路の設計・試作を行い、高温における動作を評価した。また、シフトレジスタ回路要素の設計・試作を行った。

研究開発項目③「実装基盤技術開発及び回路システム実証」

フェムト秒半導体パルスレーザーを用いた100GHz帯のサンプラー評価系を構築すると共に、改良した非磁性光入力モジュールにサンプラー回路を実装しての動作性能評価を行った。改良型変調器を含むニオブ系フロントエンド回路とFPGAデジタルフィルタを含む半導体バックエンド回路を接続したADCシステムの評価を行い、10MHz帯域で13ビット以上の性能を実証した。また、1:2 DEMUXや2段積分型変調器など高温ADC要素回路の設計・試作と特性評価を行った。重量4kg以下で45K動作が可能な小型冷凍機実装クライオスタットおよびトリガージッタを1ps程度に低減した高時間分解能のサンプラー制御・評価システムを開発し、光信号に対して適切なサンプラー回路を用いることにより、計測が可能になる見通しを得るとともに、電気信号に対して50GHz以上の帯域の信号計測が可能であることを実証した。

《16》窒化物半導体を用いた低消費電力型高周波デバイスの開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

立命館大学 理工学部教授 名西 徳之氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高周波デバイス用材料ウェハ技術の開発」

ワイドギャップ半導体の評価に適した各種手法を整備すると共に、2 インチ基板を用いたヘテロ構造ウエハの作製、評価を行い、それを用いたデバイス特性との関連解析に着手した。また、4 インチウエハに対応できる MOCVD エピタキシャル成長装置導入の準備を進め、SiC 基板上成長における欠陥低減に有効な初期処理法の確立を図った。

研究開発項目②「高周波デバイス化プロセス評価技術の開発」

現行デバイスプロセス技術に関わる本質的課題を具体的に抽出するため、窒化物半導体エピタキシャル膜へのオーミック接合形成プロセス等に関する基礎検討とプロセス最適化に着手した。

研究開発項目③「高周波デバイス設計・作製技術の開発」

2 インチ基板上への HFET デバイスのプレーナプロセス型の現状技術での作製条件最適化を進めて特性向上を図ると共に、2 インチ SiC 基板上の HFET デバイス作製を試み、世界で初めて（平成 16 年 2 月時点）、ワンチップのトランジスタから 200W を越える出力電力を得られる高周波デバイスを実現した。具体的には、入力電力の周波数が 2GHz の状態で、最高 230W の出力電力と 67% の高い電力効率を同時に達成し、プロジェクトの中間目標を 1 年前倒しする成果を得た。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高周波デバイス用材料ウエハ技術の開発」

エピタキシャル層の結晶成長において Al 組成等の均一性を決めている因子の探索と成長条件面の改善を推し進めた。

研究開発項目②「高周波デバイス化プロセス評価技術の開発」

極紫外励起分光、分光エリプソ、電界可視化の各技術開発を行った。また、デバイスの高耐圧高出力化を阻害するリーク電流に対して、ショットキー TEG を用いた電気的特性解析やホトルミネセンス解析等の手法を試みた。また、高品質 AlN 層等を利用した絶縁膜、高耐圧低リーク構造の TEG を作製し、ゲート耐圧 500V（中間目標：200V、最終目標：500V）を達成した。

研究開発項目③「高周波デバイス設計・作製技術の開発」

フィールドプレート技術、リセスエッチング技術の開発により、ワンチップ FET において 2GHz の出力電力 230W（中間目標：200W）を達成した。また、ワンチップ FET において、準ミリ波帯（26GHz 以上）の出力電力 5.8W（中間目標：5W）を達成した。なお、本研究開発プロジェクトは平成 16 年度に中間評価を実施し、その結果を踏まえて、追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高周波デバイス用材料ウエハ技術の開発」

3 インチウエハで AlGaIn 層均一性の Al 組成 $\pm 1.0\%$ 、膜厚 $\pm 1.8\%$ を達成した。また、AlN 層の膜厚条件最適化を図り、移動度 $2036\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成した。さらに、デバイス作製の歩留まりに大きな影響を与えるウエハの反りに関して、評価システム導入と反り低減技術の開発を行い、3 インチウエハで反り量 $10\mu\text{m}$ 以下を達成した。平成 17 年度秋の研究開発加速資金により導入した評価システムを用いて、GaN バッファ層の絶縁性、およびデバイスの最大電流を決定する、AlGaIn/GaN 界面に形成される 2 次元電子ガス層の移動度、シートキャリア濃度の評価を開始した。

研究開発項目②「高周波デバイス化プロセス評価技術の開発」

ヘテロ構造ウエハ解析技術として、断面 TEM 観察の高度化で転位欠陥種の同定と欠陥密度数が明らかにできた。また、ショットキダイオードの CV 特性の精密解析により、AlGaIn 中のドナー濃度、及びヘテロ界面近傍の深い不純物準位を決定する手法を確立するとともに、ウエハ解析結果とゲートリーク特性、バッファリーク特性を比較解析し、相関関係の見通しを得た。高出力高周波デバイス解析技術においては、電界分布可視化技術を高度化し、HFET 構造の実動作での電界分布像を得る技術を確立した。極微小領域光学解析法を改良し、信頼性あるマイクロ温度分布データが得られた。あわせてデバイスシミュレーション技術の開発を行った。また、平成 17 年度春の研究加速で導入した微小部熱解析装置を用いてデバイスのマクロ熱分布評価を実施するとともに、ラマン分光による、マイクロ領域熱分布評価結果との対応づけを実施した。また、AlGaIn/GaN ヘテロ構造ウエハの高分解能 X 線トポグラフ技術を確立し、欠陥面内分布等の詳細評価が可能となった。あわせてウエハ上の特定箇所へのデバイス TEG 作製技術を開発し、欠陥とデバイス TEG 位置の違いによるデバイス TEG 特性への影響を評価し、特性劣化メカニズムのモデル化を行った。準ミリ波帯用 MIS 構造トランジスタの開発を行い、 f_T : 7~8GHz, f_{max} : 15~18GHz@ $L_g=1\sim 2\text{mm}$ を達成した。

研究開発項目③「高周波デバイス設計・作製技術の開発」

FET の歪特性を評価するシステムおよび信頼性評価環境を導入し、高出力・低消費電力で低歪な FET 実現のための研究開発を行い、W-CDMA (2GHz) 用 2 チップシングルエンド増幅器において飽和ピーク出力 360W、隣接チャネル漏洩電力 (ACLR) -36dBc を実現した。また信頼性評価においてはチャネル温度 280°C 、50V 動作の通電試験にて平均故障時間 (MTTF) 1,000 時間を観測し、チャネル温度 200°C にて MTTF 106 時間 (100 年) の見通しを得た。5GHz デバイスにおいては、高利得化・安定動作化に必要な帰還容量 C_{gd} を約 1/2 に低減した。またロードプル評価技術を開発し、効率・出力性能の設計指針を得た。26GHz デバイスにおいては、最大電流密度および小信号利得の 3 インチウエハでの歩留まりを評価し、85% 以上の歩留まりを確認、最終目標である 20W 出力に必要な大型デバイスの可能性を見極めた。また、新構造 HEMT を開発し電流コラプスの低減、パワー密度の増大を確認した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高周波デバイス用材料ウエハ技術の開発」

4 インチウェハーにおける AlGaIn 層の均一性として膜厚±5.0%、Al 組成±5.0%を達成。また連続成膜検討により、AlGaIn 層の精度として膜厚±5.0%、Al 組成±10%を達成。エピタキシャルウェハー高品質化技術については、AlGaIn バリア層の高 Al 組成化およびキャリア供給層の最適化により移動度 2000cm²/Vs 以上、シートキャリア濃度 3x10¹³/cm²を実現。また、バッファ層・緩衝層の成長条件検討により結晶性向上を図り、残留キャリア濃度 1x10¹⁴/cm³以下を達成。

研究開発項目②「高周波デバイス化プロセス・評価技術の開発」

ヘテロ構造ウェハーの電気的特性経時変化は CL、TEM、AFM 等により原因究明。ゲートリークはマイクロショットキーConductive-AFM により転位欠陥との関連を解明。バッファリークは TLM 素子、ショットキー素子の特性と HFET 特性を比較、DLTS 測定、電界分布解析によりキャリアトラップ準位との関連を解明。これらの結果をもとにモデル構築を行い、欠陥低減化を図ったウェハーを作製しデバイス特性劣化への材料的側面を検証。FET 評価解析においては、KFM 電界分布可視化技術により高電界集中部位とドレイン耐圧特性との関連を明確化、電位分布過渡応答評価によりキャリアトラップ分布を解明。マイクロラマン分光熱分布可視化技術による熱発生集中部位の明確化と熱分布シミュレーションにより熱集中原因を解明。SiC 基板欠陥に起因する窒化物半導体膜の hollow core や grain 境界の HFET トランジスタ特性に及ぼす影響を、位置同定微小素子構造を用いてミクロな観点から多角的に調べ、局所的な残留キャリア濃度増加、AlGaIn 層の不均一性を通じた劣化メカニズム、歩留り等との関連を確認。High-k 絶縁膜 MIS HFET を試作し、ゲートリーク低減、大電流密度化、高周波動作を実証。これらの結果とヘテロ構造ウェハーの課題解明をもとにデバイス特性向上の指針を提示した。

研究開発項目③「高周波デバイス設計・作製技術の開発」

FET 動作中に素子が破壊する現象を確認し、素子温度の上昇による AlGaIn 結晶起因のゲートリーク電流の増加に伴うドレイン電流の増加、素子温度の上昇の正帰還が原因と解明。結晶品質の向上と AlGaIn 結晶構造の最適化によりゲートリーク電流を低減、熱暴走を抑制して素子の安定動作を実現。5GHz 素子に関しては、素子の大型化、デバイス構造の最適化、AlGaIn 結晶の高品質化、低損失整合回路の設計、放熱性の改善を行い、50V 動作にて飽和出力 208W、電力付加効率 35%、相互変調歪 IM3<-35dBc (@10dB Back-Off) を実現。26GHz 素子に関しては、素子の大型化の課題であった利得向上に対して、電磁界シミュレーションを用いた電極レイアウトの最適化を実施してゲート幅 5mm の大型素子にて利得 5.6dB@26GHz を実現した。1mm 基本素子にてパルス出力 5W を確認後、5mm 素子を用いた増幅器を作製。(20W 達成見込み)

《17》次世代 FTTH 構築用有機部材開発プロジェクト【F21】【課題助成】[平成 16 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<5>エネルギー分野 ③省エネルギー技術 省エネルギー技術開発プログラム III 民生部門 《9》-2 参照]

《18》大容量光ストレージ技術の開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

東京大学 工学系研究科教授 大津 元一氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「近接場光基盤評価技術」

近接場光数値解析シミュレータの実用化を行い、さらに出力表示を検討した。また、全バッチプロセスで近接場光ヘッドを作製できるプロセスを開発するとともに、近接場光気相堆積法を開発した。さらに、近接場光プローブの構造を決定するとともに、高速・高精度プロービング機構を試作した。銀ナノ粒子構造スーパーレンズディスクでは、良好な再生信号が観測できた。

研究開発項目②「近接場光媒体技術」

光磁気ハイブリッド材料の 40nm 径、80nm ピッチのドットを円周状に配置したナノパターンドメディアディスクを作製できた。ドットを形成したディスク上を浮上スライダが安定走行できることも確認した。電子ビームマスタリングでは、狭トラック幅パターン原盤作製技術を検討した。また、高性能記録膜材料では、磁気ヘッドとレーザ照射位置が一致したとき再生信号が増大することから、ハイブリッド記録の有効性を確認した。

研究開発項目③「近接場光記録再生技術」

高効率集光素子と近接場光発光素子を検討し、スライダ上に搭載した近接場光ヘッドを試作した。また、低浮上スライダの試作により浮上量 25nm 以下での走行を確認した。さらに、磁気ディスク用の記録再生評価装置をベースに光学系等を検討し、マークを動的記録する実験に着手した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「近接場光基盤評価技術」

数値解析ソフトウェアの研究開発では、高速性や光記録における熱を考慮した数値解析を除く基本計算機能を実現した。ナノ精度立体構造作製技術については、近接場光を用いた微細加工において基

板上での寸法・位置設定誤差が 10nm 以下であることを確認した。高分解能近接場光評価技術のうち、近接場光再生評価技術については、分解能向上のパラメータを固めて試作を進めた。高分解能記録ビット構造計測システムについては、装置改造・評価を行い、接触力を低減しつつセンサノイズを抑えた。また、スーパーレンズ方式については、ディスク構造および Ag ナノ粒子径とその構造制御を行った。

研究開発項目②「近接場光媒体技術」

XY ステージ型電子ビーム描画装置では、Xθ ステージ型電子ビーム描画装置のビーム径をさらに縮小できた。また、ハイブリッド記録を行う実験として、電子ビームを熱源に用いて大きな記録領域であるが記録を確認、磁界記録変調のシミュレーションを開始した。

研究開発項目③「近接場光記録再生技術」

光利用効率向上技術については、近接場光発光素子の最適構造としてリセス付きプラズモンプローブを考案し、石英ガラス製スライダに埋め込んだ形で試作した。ヘッド高速走行技術については、線速度を 4~15m/s で変えることで 7~20nm の範囲で浮上量を制御でき安定走行することを確認した。動的記録評価システムでは、導光機構や観察光学系の位置決め精度を向上させる設計を行い試作した。

研究開発項目④「ナノマスタリング技術」

平成 16 年度は、初年度として、全体の構想をまとめて各構成部品の仕様を決め、電子光学カラム、測長系、及びシステム評価系の試作を進めた。

なお、本研究開発プロジェクトは平成 16 年度に中間評価を実施し、その結果を踏まえて、基本計画を改訂するとともに、追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「近接場光基盤評価技術」

数値解析ソフトウェアの研究開発では、光プローブから出射した光により、光記録媒体で発生する熱分布の計算を行い、最終目標の計算機能を実現する上で必要な基本部分を開発した。ナノ精度立体構造作製技術については、立体構造を有する近接場光発生用プローブについて、形状・寸法・表面状態の評価を行った。また、効率向上のための数値解析を継続し、この解析結果から得られた最適プローブをナノ立体加工技術に応用するとともに、ナノ立体構造と光の共鳴効果を利用することで寸法・位置設定誤差を評価した。高分解能近接場光評価技術のうち、立体形状計測技術については、プロービング機構部の環境制御について、設計・試作に着手した。また、偏光による高コントラスト信号検出については、近接場光発生用プローブを試作評価するとともに、光源から近接場光プローブ、メディアを透過する光量を計算して分解能を定量化し、最終目標達成の方策を検討した。また、3 次元多層メモリ、ホログラムメモリ、及び周辺の超高密度メモリに関する産業動向・技術動向について調査・分析し、実用可能性について評価した。

研究開発項目②「近接場光媒体技術」

記録セル位置制御技術については、ナノパターンドメディアのピット径をさらに小さくする検討、HDI（ヘッドディスクインタフェース）技術の検討、および、回転ディスク系での評価を進めた。高性能記録膜材料としては、ナノパターンドメディア作製に伴う磁気特性劣化を抑制できる材料検討、耐加工性の良い磁性材料の実現、さらに熱安定性を検討した。

研究開発項目③「近接場光記録再生技術」

光利用効率向上技術については、プラズモン等を利用した近接場光発生デバイスと高効率導光手段をスライダに搭載した近接場光ヘッドから、30 ナノメートル径の記録用微小光スポットを発生させて記録評価実験に供した。ヘッド高速走行技術については、近接場光発生デバイスと高効率導光手段をスライダに搭載した近接場光ヘッドの浮上面を最終目標達成に向けて設計し、浮上量 23 ナノメートル以下で安定浮上するスライダの試作評価を行い記録評価実験に供した。

記録再生技術については、記録実証を行う評価システム開発のために、30 ナノメートル径マークの記録を検討した。

研究開発項目④「ナノマスタリング技術」

回転ステージ、直動ステージ、及び機構制御系の試作を行うと共に、平成 16 年度に試作した電子光学カラムの改良試作を行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「近接場光基盤評価技術」

パターンドメディアに対応した光・熱総合シミュレータを完成すると共に、nm レベルの加工、位置、寸法精度を持つナノ加工技術を開発した。さらに計測誤差 0.5nm 以下 (σ) の高精度プローブ機構と分解能 1.5 テラビット/inch² 相当の偏光制御プローブを開発した。

研究開発項目②「近接場光媒体技術」

自己組織化パターンのドライエッチングによる転写工程により、~20nm 径の媒体微小ピットのナノ加工、配列化技術を開発するとともに、1 テラビット/inch² 級の微小磁区が形成できる高磁気異方性記録媒体材料を開発した。

研究開発項目③「近接場光記録再生技術」

~20nm 径の記録用微小光スポットが 1~10%の光利用効率で発生したことを確認するとともに、近接場光ヘッドの浮上量を 20nm 以下で安定浮上走行させた。さらに、これら近接場光ヘッドで 20nm 径ドットのナノパターン媒体上への孤立 1 ドットの静止記録と回転媒体への動的記録の実証とも併せ、

1 テラビット/inch²級の記録を実証した。

研究開発項目④「ナノマスタリング技術」

電子ビームの収束スポット直径 20nm 以下、電流密度 9kA/cm² の電子ビーム光学系を有する電子ビーム露光技術を開発し、直動、回転ステージ位置をそれぞれ標準偏差 10nm 以下、2nm 以下の精度で移動制御するステージ機構系技術と電子ビーム偏向補正技術を組み合わせた高精度描画位置制御技術を開発し、統合してナノマスタリング技術を開発した。1 テラビット/inch² 超級相当のナノパターンドメディア用のディスク原盤（幅 25nm 以下同心円溝全面描画、トラックピッチ精度：標準偏差 1.5nm 以下）の試作により、ナノマスタリング技術を検証した。

《19》高効率有機デバイスの開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<5>エネルギー分野 ③省エネルギー技術 省エネルギー技術開発プログラム 《11》-6 参照]

《20》45nm hp システム LSI 設計・描画・検査最適化技術開発プロジェクト [平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、本調査研究の結果、以下の内容が明らかになった。更に、効果の予測まで行った。

研究開発項目①「マスク設計、描画、検査の高効率化技術」

各工程別に以下の開発が重要である。

- (1) 設計：OASIS をベースとしたデータフォーマットの開発等。
- (2) 描画：並列化 (MCC 化)、CP およびランク分け技術、モニター・監視機能の開発等。
- (3) 検査：パターン仕様、重要度ランク等を考慮した欠陥判定アルゴリズムの開発等。

研究開発項目②「マスク設計・描画・検査最適化技術」

各工程間の総合最適化のために、以下の 4 つの対策（課題）を提案する。

- (1) 各工程に共通的なマスクデータ入出力インターフェース開発
- (2) 繰り返し図形を応用した描画・検査高速化技術開発
- (3) パターンランク分けを利用した描画・検査高速化技術開発
- (4) 並列化を利用した描画・検査高速化技術開発

これらの対策が為されれば、hp45nm のマスク製造コストは対策無しの場合と比較して約 1/3 に低減できると予測される。

《21》高効率マスク製造装置技術開発プロジェクト【F21】【課題助成】 [平成 16 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

①「マスクパターン描画装置用データ作成技術」:

- ・「レイアウト解析ツール」開発を完了した。
- ・「レイアウト最適化ツール」「OPC 強度の最適化」部分の開発を実施した。
- ・「高速リソグラフィ・シミュレータ」シミュレータの要素ソフトウェア（モデル発生、イメージ計算等）を開発した。

②「知的欠陥評価技術」:

- ・「欠陥解析ツール」欠陥分類に関する部分の開発を完了した。GUI については前半部分を完了した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 要素ソフトウェア開発

①「マスクパターン描画装置用データ作成技術」:

設計意図に密接に関係する要求製造精度を判別し、「レイアウト解析ツール」、レイアウトの光学的評価を行うためにレイアウト解析ツールとの密結合を持つ「高速リソグラフィ・シミュレータ」、解析結果に基づいてレイアウトパターン変更を実行する「レイアウト最適化ツール」を要素機能として開発し、これらの統合により、設計重要度ごとに OPC 等の後工程を最適化するシステムを組み上げた。

②「知的欠陥評価技術」:

- ・画像図形変換、データマッピング、レイアウト解析ツール・リソシミュレータインターフェースを機能要素とする「欠陥解析ツール」の解析エンジン拡張ならびに GUI 部分の開発を行った。

(2) 統合化及び評価

技術要素①及び②の統合化を行った。その結果、OPC の合理化による描画ショット数の削減およびマスク欠陥認定基準の緩和による良品マスク数の増加を可能にし、高効率（短納期かつ低コスト）なマスク製造技術を確立した。

《22》最先端システム LSI 設計プロジェクト【F21】【課題助成】〔平成15年度～平成17年度〕

[中期目標期間実績]

株式会社先端 SoC 基盤技術開発 代表取締役社長 川手 啓一氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、以下のとおり実施した。

①設計メソドロジの開発

基本設計フローを「見積り」「リファインメント」「インプリメント」の3段階のフェーズに分割、それぞれにハンドオフ基準を設けることで、後戻りの無い新しい標準設計工程を開発し、設計メソドロジ第1版としてプロジェクト参加企業11社へリリースした。

②設計メソドロジの開発

トランジスタ基本性能、バラツキ、歩留等を評価可能な TEG (Test Element Group) を開発し、90nm プロセスにて試作、評価を開始した。

③テスト設計システム開発

テストに用いる遅延故障モデルの仕様を完成した。また、テスト工程が LSI チップ生産に与える影響を前もって評価するテスト戦略支援ツールをプロジェクト参加11社へリリースし、評価を開始した。

④PI 検証、共通 I/F

PI (Pattern Integrity) 検証、共通 I/F (Interface) 開発のための環境を構築し、評価作業を開始した。

平成16年度は、以下のとおり実施した。

①設計メソドロジの開発

90nm 基本設計メソドロジ(V1.0)をクライアントへ実用化レベルリリースした。実チップ SH-4 によるメソドロジ実証プロジェクトで平成16年10月に試作を完了し、ファーストシリコンで Linux の立ち上げを確認した。開発メソドロジの有効性を実証できた。さらに、階層設計対応、低消費電力設計対応をすすめ、クライアントテクノロジートランスファを行った。

②SI/量産標準 TEG

ASPLA プロセスの電気特性のデータベース化を実施した。TEG の測定結果の現実的なチップ内ばらつきデータを取得し、設計 TAT 短縮に向けメソドロジ開発へ反映させた。

③テスト設計システム開発

ディレイテストのパターン品質向上とクロストーク故障テストの評価を目的とする SI 対応故障モデルの仕様作成を完了した。テスト戦略ガイドライン (回路オーバーヘッド見積りツール) を開発し、クライアントへリリースを行った。設計メソドロジの中での DFT 部をリリースした。

④PI 検証、共通 I/F

PI 検証不具合事例の蓄積を図った。PI 検証不具合部ならびにリソグラフィマージン不足部の改良レイアウト自動生成プロトツールの開発を行った。レファレンスフローへの OPC 処理結果フィードバックとして、OPC 処理時間短縮に効果のあるダミーパターンの配置方法を提案した。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

①設計メソドロジの開発

プロジェクトの最終目標であった TAT 短縮による設計コスト削減に注力した。フロアプラン手法の改善、インクリメンタル設計手法の導入、What-IF 解析の導入、効果的なハンドオフ基準の策定、サインオフコーナ数の削減、ノイズ解析の高精度化、ロジック BIST の取組と、設計の不確定要素を解析し、インスタンススペースの IR ドロップ考慮、オンチップバリエーション考慮の遅延計算、新しい設計制約に基づく設計ガードバンドの削減により設計マージン自体の半減に成功した。その結果、トータルの設計期間は当初の目標どおり 1/6 を実現した。また、ばらつき考慮、歩留まり考慮など次世代技術への継承性も確認出来た。すでに開発技術の移転もほぼ終了し、本設計メソドロジは日本の半導体各社で幅広く使われ、デファクトスタンダードになりつつある。

②SI/量産標準 TEG

TEG 試作では、GE/LP 版 3.3V 用 I/O ライブラリならびに PLL 検証用 TEG の試作・評価を完了した。SI 特性評価では東京大学と共同で動的 IR-Drop 評価 TEG の試作・評価を行い、サンプリングオシロスコープマクロが最大分解能 1ps、測定レンジ最大可変幅 64 倍という世界最高性能で動作することを確認した。ばらつき評価ではチップ内ばらつき評価用 DMA チップの測定評価技術をマニュアル化すると共に、クライアントへの技術移転を行った。次世代 TEG に関しては、65nm 共通 TEG 仕様書を完成させた。

③テスト設計システム開発

STARC 提案のディレイ故障モデル (ITC に論文採択発表) を反映した、ディレイテストパターン生成プログラムの改良開発を行った。実速度のディレイテストについて、昨年度までに開発した実機動作パスを考慮した DFT 機能と、本年度開発のディレイテストパターンの品質向上を組み合わせたシミュレーションレベルの評価を実施した結果、DFT 機能でテスト品質向上 55%、テストパターン高精度化によるテスト品質向上 30%、総合約 70% の大幅な品質向上効果を確認し、当初の目標を達成した。

④PI 検証、共通 I/F

PI マージン不足部の改良レイアウト自動生成プロトタイプツールの開発を完了した。設計メソドロジへのフィードバックとして、“設計側意図の正確な伝達”による、OPC 処理時間短縮に大きな効果のあるダミーパターンの配置方法を開発。メソドロジへの技術トランスファーを完了した。(特許出願2件完了) 共通 I/F では、PI 開発に

適した ISMS 準拠のシステムとしてセキュアな IT 環境を構築する技術開発を達成した。

《23》マイクロ波励起高密度プラズマ技術を用いた省エネ型半導体製造装置の技術開発 [平成14年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

東北大学 未来科学技術共同開発センター客員教授 大見 忠弘氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「マイクロ波励起高密度プラズマによる絶縁膜形成装置の技術開発」

半導体ゲート絶縁膜形成において、従来比1桁以上のリーク電流低減、寿命向上を確認し、300mm ウェーハ量産機的设计指針を確立して実証装置を完成させた。また、300mm ウェーハ対応のプロセス均一性を達成できた。

研究開発項目②「マイクロ波励起高密度プラズマによる積層ゲート形成装置の技術開発」

0.5nmの極薄なシリコン窒化膜にバリア膜の形成に成功した。

研究開発項目③「マイクロ波励起高密度プラズマによる積層層間絶縁膜形成装置の技術開発」

低誘電率膜、ハードマスク膜、バリア膜の成膜開発を行った。ハードマスク膜、バリア膜に関しては初期目標を上回る性能を得た。新型プラットフォームの開発については、減圧リニア搬送方式のロボットとチャンバーを試作し、要素技術を確立した。

研究開発項目④「マイクロ波励起高密度プラズマによる絶縁膜エッチング装置の技術開発」

層間絶縁膜(SILK)エッチングでは従来装置比3倍のレート、酸化膜エッチングでも良好な性能が得られた。また、SiO₂エッチングに発生する物理ダメージを評価する手法を確立し、ダメージのないエッチング条件を見出した。また、省エネ型チラーを試作し、性能検証を行った。シミュレーション技術を用いたマイクロ波伝送路の解析、および、シャワープレート/ガス導入法の検討を行い、よりウェハ面内均一性を向上する方法を見出した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「マイクロ波励起高密度プラズマによる絶縁膜形成装置の技術開発」

リーク電流を従来技術と比較して1桁低減した酸窒化膜、リーク電流を3桁改善した直接窒化膜を形成可能とした。

研究開発項目②「マイクロ波励起高密度プラズマによる積層ゲート形成装置の技術開発」

ゲート絶縁膜形成前処理技術、および光学計測値0.5nmのHigh-k絶縁膜の下地窒化膜形成技術を確立した。また、窒化物系High-k絶縁膜の各プロセス条件を確立し、絶縁体としての電気特性の評価を行った。

研究開発項目③「マイクロ波励起高密度プラズマによる積層層間絶縁膜形成装置の技術開発」

適用世代の延長をはかるためCF_xの誘電率の更なる低減化を行い、(加速資金 目標誘電率2.0以下)、誘電率において世界最高水準の膜を安定的に形成できる条件を確立した。更に、当該技術の事業化を加速するためにデバイスメーカー3社とのプロセス評価を開始した。

研究開発項目④「マイクロ波励起高密度プラズマによる絶縁膜エッチング装置の技術開発」

シリコン酸化膜エッチング、ゲート電極エッチング(加速資金)、各々の目標プロセス性能を達成した。

なお、本研究開発プロジェクトは平成16年度において追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「マイクロ波励起高密度プラズマによる絶縁膜形成装置の技術開発」

平成16年度にて開発終了。

平成17年度末で、当該技術の製造装置製品出荷台数は、累積60台を達成する見込み。

研究開発項目②「マイクロ波励起高密度プラズマによる積層ゲート形成装置の技術開発」

ゲート絶縁膜形成前処理技術、および光学計測値0.5nmのHigh-k絶縁膜の下地窒化膜形成技術を確立した。また、窒化物系High-k絶縁膜の各プロセス条件を確立し、絶縁体としての電気特性の評価を行った。

研究開発項目③「マイクロ波励起高密度プラズマによる積層層間絶縁膜形成装置の技術開発」

適用世代の延長をはかるためCF_xの誘電率の更なる低減化を行い、(加速資金 目標誘電率2.0以下)、誘電率において世界最高水準の膜を安定的に形成できる条件を確立した(平成16年度)。更に、当該技術の事業化を加速するためにデバイスメーカー4社とのプロセス評価を継続中。

研究開発項目④「マイクロ波励起高密度プラズマによる絶縁膜エッチング装置の技術開発」

シリコン酸化膜エッチング、ゲート電極エッチング(加速資金)、各々の目標プロセス性能を達成した(平成16年度)。

平成17年度は、当該技術の実用化を加速するためにデバイスメーカー4社とのプロセス評価を開始した。

《24》インクジェット法による回路基板製造プロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、要素技術開発として回路基板描画実験機および試作描画機を開発した。またインクジェットにて安定吐出可能な金属インクの開発、絶縁層用インクにつき基礎評価の実施、基板表面処理方法の最適化を実施した。これらの要素技術開発により、各種基板の1次試作において30 μ mの配線幅を達成した。さらに各基板に対し課題抽出のための1次試作、評価が計画どおり完了した。

平成16年度は、以下のとおり実施した。

- ① 要素技術開発については、目標性能を持つ、金属インクおよび絶縁層インクの開発に成功した。また、実用化に必要な表面処理法の開発に成功し、その評価を行なった。更に、各基板に適した専用試作装置（量産検証用描画装置）の開発を行ない、第1号機を立ち上げた。また、要素技術開発に必要な評価装置、実用化に必要な周辺装置の開発を行なった。結果として、配線の微細化目標30 μ m以下に対して、配線幅28 μ mの回路基板を試作することができた。
- ② 多層フレキシ基板（20層TEGサンプル等）、セラミックス基板、プラスチック基板の試作、評価、改良を計画通り実施した。また、SiB（超高密度モジュール）に必要な実装要素技術の開発、機能化セラミックス基板に必要な技術の開発を計画通り実施した。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

- ① 要素技術開発については、平成16年度で開発した金属インクおよび絶縁層インクの量産安定性を図るため、各インク材料の最適化をおこなった。合わせて、基板品質・信頼性を更に高めるための基板表面処理技術の改良をおこない、目標とする品質性能が得られた。
- ② 多層フレキシ基板、セラミックス基板、プラスチック基板用それぞれの専用試作装置の開発を完了し、各基板の量産性および試作基板の信頼性評価を計画通り実施し、実用化可能な技術であることを確認した。

《25》音声技術に関する先導研究開発 [平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、早稲田大学に設置した音声技術実用化研究所を推進母体として産学連携の研究体制で実施した。

①市場分析

音声認識の市場動向を調査し、レポートにまとめた。

②技術課題の整理、順位付け

日本、米国に出願された有力特許の調査分析を実施した。また、国際会議での技術動向、海外会社のビジネスモデルを調査分析した。

③技術課題を解決するための方向性の提言

音声認識技術予備評価分科会では音声技術の評価と方向付けを検討した。

④研究開発体制

本先導研究で実施した様な産学連携の開発体制を提言予定。

⑤事業化に至る方向性の提言

ビジネスモデル・研究開発戦略検討分科会で市場創出の検討を実施した。

⑥報告

12月20日に東京工業大学で中間報告会を実施し、パブリックコメントを収集した。

《26》携帯情報機器用燃料電池技術開発【委託・課題設定】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<5>エネルギー分野 ①固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術 新エネルギー技術開発プログラム 《15》参照]

《27》省エネ型次世代PDPプロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下のとおり実施した。

高効率発光機構の開発において、画素空間内における放電の広がり時間分布観測に成功した。放電挙動シミュレーションにて、高Xe分圧による効率改善を確認できた。

蛍光体材料については、現行品に対して効率向上を確認できた。また、駆動半導体デバイスにおいても低導通損失を確認した。革新的生産プロセス技術の開発において、焼成工程の簡素化プロセス、直接描画技術等の立ち上げ等を行い16年度に向けてのめどをつけた。さらに、低消費電力化技術については、実用化を前提とした小型実験パネルを用い、平成16年1月現在で学会発表論文等との比較において世界トップレベルの発光効率31m/Wの実証に成功した。

平成16年度は、以下のとおり実施した。

低消費電力化技術の開発に関して、計画通り、高発光効率機構、蛍光体材料の基礎技術を完成し、実用化判断を行った。また、駆動半導体デバイスは、要求仕様を満たし、大型パネルに適用可能で実用化判断が可能な素子を作成することができた。更に、革新的生産プロセス技術の開発に関しては、計画通り、工程の簡素化とプロセスの複合化技術の基礎技術を完成させ、両技術の技術集約を行うことができた。

平成 17 年度は、以下のとおり実施した。

(1) 低消費電力化技術の開発

低消費電力化技術の開発に関して、高発光効率機構、蛍光体材料の技術を完成した。11 型小型パネルの試作を実施し、プロジェクト最終目標である 51m/W の発光効率を実現する技術の実証に成功した。また、要求仕様を満たす駆動半導体デバイスを開発し、43 型試作パネルに適用し、本プロジェクトの目標達成を検証した。

(2) 革新的生産プロセス技術の開発

革新的生産プロセス技術の開発に関して、焼成工程簡素化とプロセス複合化の量産技術を開発し、40 型クラスの大型パネルで開発技術の実証を行った。また、焼成工程簡素化とプロセス複合化との技術統合を検証した。

《28》高分子有機 EL 発光材料プロジェクト【F 2 1】【課題助成】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：< 3 > 環境分野 ①温暖化対策技術 地球温暖化防止新技術プログラム 《8》参照]

《29》ディスプレイ用高強度ナノガラスプロジェクト【F 2 1】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：< 3 > 環境分野 ①温暖化対策技術 地球温暖化防止新技術プログラム 《9》参照]

《30》カーボンナノチューブ FED プロジェクト【F 2 1】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：< 3 > 環境分野 ①温暖化対策技術 地球温暖化防止新技術プログラム 《10》参照]

《31》フェムト秒テクノロジー [平成 7 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「超高速光デバイス技術」

超高速光パルス伝送技術を用いた 160Gb/s⁸ 波多重(1.28Tb/s)の波長多重/光時分割多重伝送実験において 140km 無中継伝送に成功した。また、超高速光デバイス技術では、ISBT スイッチで 2 光子吸収を低減させる構造を設計・作製した。さらに、SMZ 型超高速光スイッチに用いるフォトリック結晶光導波路において平成 16 年 2 月時点で世界最小レベルの伝搬損失(0.7dB/mm)と方向性結合器型分岐を実現した。

研究開発項目②「フェムト秒高輝度 X 線発生・計測技術」

5J/pulse 級高出力レーザの主増幅器及び圧縮系の装置組み立てを完了、1J までの増幅に必要な主パワー増幅器における小信号利得 1.7 を確認した。また、短パルスレーザコンプトン X 線としては、エネルギー、強度とも平成 16 年 1 月時点で世界最高レベルである X 線強度 9×10⁵ 光子/pulse を確認した。

平成 16 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「超高速光デバイス技術」

- ・ 320Gb/s、10 波長多重 40km 伝送実験に成功した。パルス発生光源である同期半導体レーザの出力パルス幅を 190fs まで圧縮し、OTDM 多重化により 640Gb/s-210fs、さらに 2 多重することにより 1.28Tb/s-210fs の光信号パルス発生に成功した。圧縮率可変な導波路型パルス圧縮デバイスを試作し、圧縮率可変範囲 1-3 を実証した。また、波形整形デバイスの可変分散補償機能を用いて、500fs 以下のパルス幅制御性を実験的に確認した。
- ・ フェムト秒光ノード技術に関しては、サブバンド間遷移スイッチ、SMZ 全光スイッチ、一括変換型デバイス(FESLAP)、多層薄膜型ゲート素子、量子ドット波長スイッチのデバイス・モジュールを作製し、高速スイッチ機能を実証した。
- ・ 超高速光デバイス構造作成・評価技術に関しては、サブバンド間遷移型光スイッチの低エネルギー化の目標達成に必要な超薄膜成長技術を確立した。また、フォトリック結晶および量子ドットの作製の研究では、低伝播損失・高非線形導波路の実現に最適な精密ナノ加工技術を確立、光スイッチの原理実証に成功した。さらに、大気中において極細光導波路上のフォトリック結晶を後加工する

ことに成功、1 ps の遅延素子としての性能を確認した。

研究開発項目②「フェムト秒高輝度X線発生・計測技術」

X線発生用レーザーの長期安定化としてポインティング安定化回路を作製し、長時間安定動作を実証した。また、X線発生量 2×10^6 photon/pulse (昨年度実績 5×10^5) を実現した。欠陥 $\phi 200 \mu\text{m}$ を有する金属対象物に対し、後方 1m の位置で欠陥検出を実証し、回転同期信号をピックアップすることにより、現状のシステムで回転体上の微小欠陥検出が可能であることを技術検討により確認した。

《3 2》エネルギー使用合理化液晶デバイスプロセス技術開発 [平成 13 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「省エネ型高品位半導体膜結晶化技術」

結晶化シリコンアレイ形成装置において、新位相変調素子の開発等により、レーザー光強度分布を最適化し、大結晶粒アレイをレーザー照射面全面に形成することができた。

研究開発項目②「省エネ型低温高品位絶縁膜形成技術」

低温酸化技術により作成した絶縁膜について、リーク電流密度、界面準位密度、固定電荷密度、絶縁耐圧等の電気特性において、高温で作成した絶縁膜と同等性能が得られた。

研究開発項目③「大型基板における省エネ型微細加工技術」

露光技術において、i線光源と化学増幅型レジストにより、解像度 $1 \mu\text{m}$ で、十分なスループットが得られることがわかった。

研究開発項目④「領域選択による低抵抗配線形成技術」

Cu 無電解めっき法で、比抵抗、膜厚ばらつき目標値達成の見通しを得た。

研究開発項目⑤「評価・解析シミュレーション技術」

ガラス基板上的シリコン薄膜の熔融再結晶化過程に対応する固液界面移動を実時間で捉えることに成功した。また、位相シフトレーザー照射法により室温で形成した Si 単結晶粒上に TFT の試作を行い、移動度において、p-チャネル型、n-チャネル型いずれも実用化時の性能目標値を越える結果が得られた。

平成 16 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「省エネ型高品位半導体膜結晶化技術」

大結晶粒アレイを基板全面に形成する技術を開発し、 $5 \mu\text{m}$ ピッチで $4 \mu\text{m}$ 長の結晶粒を所望の位置に形成することができた。

研究開発項目②「省エネ型低温高品位絶縁膜形成技術」

低温酸化と低ダメージ CVD (Chemical Vapour Deposition) による積層ゲート絶縁膜形成で、TFT ゲート絶縁膜の薄膜化と SiO₂/Si 界面特性の飛躍的向上を同時に実現できた。

研究開発項目③「大型基板における省エネ型微細加工技術」

低板厚偏差ガラスとガラス基板平坦化ステージにより、必要な平坦化を実現し、露光方式と合わせサブミクロン露光技術を総合的に開発した。

研究開発項目④「領域選択による低抵抗配線形成技術」

領域選択配線形成方法として量産性の観点から Cu 配線をめっき技術で形成し、実用性を確認した。

研究開発項目⑤「評価・解析シミュレーション技術」

結晶化の実時間計測結果を結晶化技術にフィードバックした。ガラス基板上に形成した単結晶化膜を評価すると共に、要素回路を含むデバイスを設計・試作し、移動度はポリシリコンの 5 倍の特性を得ることができた。

《3 3》先端的半導体製造技術開発 [平成 13 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

リソグラフィ・マスク関連分野 1 件 (電子ビーム露光装置用の周辺技術の開発・実用化)、ウェーハプロセス関連分野 3 件 (常圧プラズマ利用による CVD 等製造技術・プロセスの開発、次世代 Cu-CVD 装置開発、大口径 SIMOX ウェーハ製造用超高温アニール装置の開発)、欠陥検査・計測装置関連分野 1 件 (超高精度次世代マスク欠陥検査装置システム技術開発) の計 5 事業に対して平成 14 年度に引き続き継続して助成を実施した。

平成 16 年度は、以下のとおり実施した。

①次世代 Cu-CVD 装置開発

hp45nm 世代の直径 70nm の Via コンタクトホールへの Cu-CVD 法による直接埋め込み技術の開発に成功した。

②大口径 SIMOX ウェーハ製造用超高温アニール装置の開発

ウェーハ直径 300mm 用の超高温 (最高温度 1400°C) アニールの基本技術を開発し、量産製造装置の目処をつけた。

③超高精度次世代マスク欠陥検査装置システム技術開発

マスク上で 80nm サイズ以下の欠陥を検出可能な実用的な検査装置を開発した。198.5nm 波長を光源とする検査装置としては世界で初めて Die-to-Database、Die-to-Die 検査を実行し、その検査性能を公表した。

《3 4》超高密度電子 SI 技術 [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「超高密度 3 次元 LSI チップ積層実装技術」

貫通電極形成の Cu 埋め込みめっきにおいて電流密度を上げ、ボイドの発生のない条件で最短 1.5 時間でめっきが可能となった。また、チップ積層技術について、微細バンプ接合時にバンプ下のシリコンチップに発生する応力計算の簡易算定式を導出し、超音波フリップチップボンディングが多段階積層方法として有効な接合方式であることを確認できた。

研究開発項目②「光・電気複合実装技術」

導波路フィルム積層型 OE-MCM において、光素子を導波路フィルム上に直接搭載するための金属パッドの接着強度向上策について検討し、500N/m² まで向上した。また、多チャンネル光コネクタについて、金型で製作した直角曲げコネクタの挿抜試験を行い、20 回の挿抜に対しても変化がなく十分安定な特性を有していることを確認した。またこれらの結果を基に、JPCA 工業規格として標準化した。

研究開発項目③「最適配線構造設計要素技術」

不要輻射低減のため、LSI パッケージ内の電源デカップリングにおけるフィルタ特性の測定を行い、フィルタの最適化によってコア回路動作だけでなく、I/O 回路動作時の輻射低減の可能性を確認できた。また、分割された電源層を有する配線構造で、トレース駆動の有無による輻射特性への影響は他のパラメータに比べて支配的でないことが明らかになった。さらに、ASET で開発した層構成のプリント基板を用いることによって、IC 搭載プリント基板でも鋭いピークが消滅する低減効果が明らかになった。

《3 5》電子デバイス製造プロセスで使用するエッチングガスの代替ガス・システム及び代替プロセスの研究開発 [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「エッチングガスの使用量の削減に向けた技術の研究開発」

質量分離イオンビームによる SiO₂ エッチングの入射角度依存から、sin²θ に比例する物理成分と、角度依存をもたない化学成分にエッチング機構が分けられることが分かった。またこの 2 つの成分の比率は、脱離物の組成分析から導かれた反応式から求められたものと良く一致した。

研究開発項目②「代替ガスを用いるドライエッチング技術の研究開発」

PFC の中で最も分解しにくいガスである CF₄ の分解効率を、H₂ ガスの添加により 80%以上に改善することに成功した。

研究開発項目③「低誘電率層間絶縁膜を用いたドライエッチング技術の研究開発」

有機層間絶縁膜を用いた Cu ダマシン配線プロセスの高度化をはかるため、産業技術総合研究所との共同研究で開発中のボラジンシロキサンポリマーをハードマスクとして使い、完全 PFC フリーの配線プロセスを構築した。

研究開発項目④「新配線構造およびその形成技術の研究開発」

ライン・ピラープロセスにおけるレジストをマスクとしためっき技術を用いて非化学増幅型レジストを検討し、1 層目配線の上にピラーを形成することを成功した。

《3 6》高効率次世代半導体製造システム技術開発 [平成 13 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

半導体製造システムにおいて、複数のプロセスを同一の装置で対応可能とする初期化技術（共用化技術）、及び連続的に処理可能とするシーケンスを含めた装置技術（多機能化技術）、プロセスの高精度自動制御等によるプロセス処理時間短縮技術、Cu メッキ及び Low-k 塗布で行う Cu デュアルダマシン配線技術を確立し、実用性の実証を行った。開発技術により、100 ロット/月規模の半導体生産ファブにおける電力使用量をロット当たりの値で、当初目標値である従来（平成 12 年度）比 60%削減が可能であることを実証した。

《3 7》次世代強誘電体メモリの研究開発プロジェクト [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

東京工業大学 フロンティア創造共同研究センター 教授 石原 宏氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開

発を実施した。

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「強誘電体薄膜の高品質化」

超臨界 CO₂ を用いた手法において凹凸基板における段差被覆性が良好なことを明らかにした。ゾルゲル成膜に関しては、50nm 程度の SBT 超薄膜が作製できることを明らかにした。バッファ層に HfO₂ を、強誘電体膜に BLT を用いた p チャンネル型 FET において、プロジェクト目標である 10 日間以上のデータ保持と 2×10¹¹ 回の疲労耐性を確認した。

研究開発項目②「回路構成の最適化」

1T2C 型セルにおいて 1 万回の非破壊読み出しが可能であることを示した。また、データ保持特性測定のためのメモリセルを用いた実験により、室温で 10 年間のデータ保持が期待できることを明らかにした。1 kbit 1T2C メモリセルを作製し、周辺回路から書き込みが可能で、かつ十分な電流オンオフ比でデータが読み出せることを明らかにした。また、電流オンオフ比は、100 倍以上であり、回路構成の最適化に関する最終目標をほぼ達成できた。

②宇宙産業高度化基盤技術

[中期計画]

商業打上市場及び商業衛星市場への参入を可能とするため、次世代の宇宙機器開発に向けた基盤技術（衛星の軽量化・高度化・長寿命化技術、民生部品の宇宙転用技術、ロケット設計合理化技術等）及び宇宙利用を促進するための基盤技術（無人宇宙実験技術、リモートセンシング技術等）を開発する。

<宇宙産業高度化基盤技術プログラム>

[中期目標期間実績]

第 1 期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》次世代衛星基盤技術開発

《1》－1 衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発 [平成 15 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「衛星構体の高排熱型熱制御技術開発」については、構体熱解析評価装置により、シミュレーションを実施し、3 次元ヒートパイプネットワークを含む熱制御系の設計仕様を検討した。3 次元ヒートパイプネットワークの部分実証モデルの性能評価、3 次元ヒートパイプネットワーク構成の設計手法及び試験手法の妥当性を考慮し、耐環境/劣化評価試験、性能評価試験を計画/立案、当該試験/評価を実施した。

研究開発項目②「次世代イオンエンジン技術開発」については、ホール型を選定し、ホール型イオンエンジンのスラスト試験用装置を製作した。電源に関して実装設計評価部分試作モデルを製作した。ホールスラスト試作モデルの機能試験を実施し、所定の機能を確認した。電源試作モデル（アノード電源試作モデル、キョパ電源試作モデル、アノード電源実装設計評価モデル）の試験を行い、所定の出力、効率を確認した。

研究開発項目③「測位用擬似時計技術開発」については、衛星搭載時計と地上管制局時計に関する調査・検討及び誤差要因に関する定量的評価を行った。この検討結果を踏まえ、擬似時計シミュレーションモデルを開発し、擬似時計システムに関する評価データを取得した。擬似時計システムを実現するために、地上管制側と衛星側に必要とされる機器・ソフトウェア（受信系は除く）について検討した。この検討結果を踏まえ、実験モデルを製作し、機能確認を行い、擬似時計システムに関する評価データを取得し解析に着手した。

研究開発項目④「異種材料を含む大型構造体用複合材料製造設計技術開発」については熱特性及び製造プロセスを含めた複合材料製造設計技術に関して、解析アルゴリズムの詳細検討および製造プロセスデータの評価、検討を実施し、解析アルゴリズムへの取り込み方法の検討を行った。

また複合材料を用いた精密大型構造体の一体成形技術及び異種材料間の接合面を有する複雑構造体の成形技術に関しては、要素技術評価モデルの製作・評価試験を行った。さらに製作したヒートパイプ埋め込み複合材料パネルの衛星への適用性の検討を行った。

研究開発項目⑤「衛星搭載用リチウムイオンバッテリー要素技術開発」については、本研究開発に必要とされるリチウムイオンバッテリーの基本仕様の設定を行い、リチウムイオンバッテリーセルの大容量エネルギー化技術及び軽量化技術に関する試作・試験を行って、各要素技術に関する方式選定を行い、中間目標をクリアできる見通しを得た。また、高信頼性化技術に関して、バッテリーセルの特性維持管理技術及びバッテリー故障時の機能維持技術に関する試作・試験を行って、各要素技術に関する方式選定を

行った。さらに、準天頂衛星への適用時のリスク及び条件の検討並びに、他の次世代衛星への適用の検討を行った。なお、研究開発項目⑤については、平成 17 年度までの複数年度契約を締結した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

リチウムイオンバッテリーの開発において、リチウムイオンバッテリーに関する基本仕様の見直しを行い、バッテリーアセンブリ開発モデルの製作を開始し、認定モデル、安全性/寿命評価モデルについては設計を実施した。また、モデル性能評価装置の製作を開始するとともにリチウムイオンバッテリーアセンブリ筐体試作・試験を実施した。さらにシステム運用構想等の検討及び実用化検討、準天頂衛星バスへの適合性検討を実施した。

大容量・高密度化技術の開発においては、リチウムイオンバッテリーセルの大容量エネルギー化技術及び軽量化技術に関して選定された方式に基づき、リチウムイオンバッテリーセルの大容量・高密度化に関する性能評価モデル、認定モデルの製作・試験を実施し、構成要素安全性評価モデルの設計・製作を実施した。なお、性能については 170Wh/kg、175Ah の目標をクリアし、目標以上の値を確認した。

高信頼性化技術の開発においては、バイパススイッチ、性能評価モデル及び認定モデルの製作・試験を実施した。過電圧保護回路の性能評価モデル、認定モデルの設計を実施するとともに構成要素安全性評価モデルの設計を実施した。

また、基盤技術調査研究として、全固体リチウム二次電池を製作し界面制御電池の基礎データを取得した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) リチウムイオンバッテリーの開発において、リチウムイオンバッテリーに関する基本仕様を設定し、以下を実施した。

- ・バッテリーアセンブリ開発モデル、認定モデル、安全性評価モデル及び寿命評価モデルの製作、試験
- ・バッテリーアセンブリ筐体の試作・試験
- ・バッテリー制御モジュールの製作開始
- ・実用化、システム運用構想等の検討、及び準天頂衛星バスへの適合性検討

(2) 大容量・高密度化技術の開発において、以下を実施した。

- ・性能評価モデル、認定モデル、構成要素安全評価モデルおよび構成要素寿命評価モデルの製作・試験

(3) 高信頼性化技術の開発において、以下を実施した。

- ・バイパススイッチ、過電圧保護回路、構成要素安全性評価モデルの製作・試験

(4) 基盤技術調査研究として、以下を実施した。

- ・界面抵抗低減の為、全固体リチウム二次電池を作製、界面制御電池の基礎データを取得
- ・高性能正極・負極材料を選択し、薄膜電極とガラス電解質の界面反応を低減し安定化するための因子を抽出
- ・界面が制御された高性能薄膜電池を作製し、性能実証試験を実施

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) リチウムイオンバッテリーの開発において、リチウムイオンバッテリーに関する基本仕様を設定し、以下を実施した。

- ・バッテリーアセンブリ寿命評価モデルの試験を継続して実施
- ・バッテリーシステムの開発モデルの試験を実施
- ・バッテリー制御モジュールの開発モデルの製作を完了し、試験を実施
- ・バッテリーシステム検証モデルの設計と製作（一部）を実施

(2) 大容量・高密度化技術の開発において、以下を実施した。

- ・構成要素寿命評価モデルの試験を継続して実施

(3) 基盤技術調査研究として、以下を実施した。

- ・ガラス電解質と高性能酸化電極の界面を高性能に接合する技術を確立
- ・ガラス界面を有する正極と負極を接合するための添加剤に関する研究を実施
- ・全固体リチウムイオン薄膜電池を構成し、その実証試験を実施

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。なお、実施体制の変更に伴い、財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構 技術本部長 金井 宏氏をプロジェクトリーダーとして指名した。

研究開発項目①リチウムイオンバッテリーの開発において、以下を実施した。

- 1) リチウムイオンバッテリーアセンブリ寿命評価モデルの試験を継続して実施
- 2) バッテリー制御モジュール開発モデルの環境試験を実施
- 3) バッテリー制御モジュールの検証モデルの製作を開始
- 4) リチウムイオンバッテリーアセンブリの検証モデルを製作し、試験を実施

研究開発項目②大容量・高密度化技術の開発において、以下を実施した。

- 1) 構成要素寿命評価モデルの試験を継続して実施

研究開発項目③リチウムイオンバッテリー技術等の調査・検討において、衛星分野以外の他産業における実用化動向及び技術動向の確認等を行い、本研究で開発された要素技術の他産業用途のバッテリーへの技術波及について適用性検討を行った。

《2》宇宙等極限環境における電子部品等の利用に関する研究開発 [平成 11 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「民生部品・民生技術の極限環境適用技術」については、以下を実施した。

- ・地上模擬試験において、実証衛星2号機搭載用実験装置に用いられる可能性のある民生部品をはじめとして宇宙転用により低コスト化、高機能化が期待できる民生部品・民生技術の地上模擬試験及び極限環境への適合性評価を継続し、累計195品種の試験を完了した。試験結果は逐次民生部品・民生技術データベースへの登録を継続し、182品種の登録を完了した。また、適切な設計的配慮・対策を施せば1,000km/5年ミッションを想定した場合、約60%の部品が宇宙転用可能であることが分かった。また、宇宙放射線環境の予測精度の向上及び地上放射線試験方法を含めた基礎検討を継続するとともに、メモリーの重イオン照射試験結果を用いて半導体素子の世代と放射線耐性の関係式を求めた。並行して耐性予測精度向上等のための基礎実験として、プロトン照射試験の継続及び重イオンビームの強度分布・エネルギー分布の評価試験を実施した。
 - ・宇宙実証試験において、民生部品40品種、民生技術7技術の宇宙実証を行う実証衛星1号機については、システム試験完了後ロシア・プレセック射場に輸送し、平成15年10月30日打上機ロケットにより所定の軌道投入に成功した。その後、初期シーケンス、初期チェックアウトを問題なく終了して、2年間にわたる宇宙実証実験を開始するとともに、得られたデータの蓄積を行っている。既に、民生部品ではCPU、メモリー、MMIC、CCD、GPSダウンコンバータIC、リチウムイオン電池等、民生技術ではボイドセンサー、グリース潤滑材等が正常作動を続けており、予想以上の成果を得ている。これらの宇宙実証データは、逐次蓄積を行っている。なお、打上げ支援に関しては、運用管制と追跡管制システム間インタフェース試験、実証衛星1号機用射場整備作業手順書・軌道上運用手順書の維持改訂及び運用訓練を行った。
- 実証衛星2号機については、搭載用実験装置、環境計測装置及び衛星本体の詳細設計及びインタフェース調整を継続し、開発仕様書の制定、詳細設計審査を完了した。また、実証衛星2号機打上げ機について、技術的な整合性の確認を行い、候補機の絞り込みを行った。
- ・ガイドライン策定において、地上模擬試験及び宇宙実証試験で得られたデータを総合的に分析し、民生部品・民生技術を宇宙等極限環境で使用するための民生部品・民生技術選定評価ガイドライン、民生部品・民生技術を極限環境で使用する機器へ適用する際に必要となる民生部品・民生技術適用設計ガイドラインの素案を作成した。

研究開発項目②「極限環境で使用する機器等の開発支援技術」については、引続き実証衛星開発へ適用し、有効な活用を図るとともに、工数削減、ミス低減、品質の向上等に関する効果の確認を行った。

なお、平成16年度までの複数年度契約を締結した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「民生部品・民生技術の極限環境適用技術」については以下を実施した。

地上模擬試験として、新たに市場に投入された新規部品を選定し、地上模擬試験及び極限環境への適合性評価を継続し、202種の試験を完了し、民生部品・民生技術データベースへ195品種の登録を完了した。民生部品の品種毎の放射線耐性予測方法の確立を図るため、宇宙放射線環境の予測精度の向上及び地上放射線試験方法を含めた基礎検討実施した。また、新しいメモリに対する放射線耐性予測のための関係式の妥当性を評価し、プロトン照射試験結果を加味した精度の向上を図るとともにメモリ以外の半導体製品へ拡張するための課題を整理した。さらにMEMS機器の耐極限環境性に関する調査を開始した。宇宙実証試験としては、実証衛星1号機の軌道上運用を継続し、民生部品40品種・民生技術7技術の宇宙環境における技術データを取得し適用性に関する分析評価を引き続き実施した。実証衛星2号機については、搭載用実験装置、環境計測装置及び実証衛星本体の詳細設計審査を完了し、フライトモデルの製作に着手した。また、バス機器として組み込むスターセンサに対し、より厳しい耐極限環境性能を付与するための設計を行なった。民生部品・民生技術データベース、民生部品の放射線耐性予測に関する基礎検討及び宇宙実証データを総合的に分析し、第1次の民生部品・民生技術選定評価ガイドライン及び民生部品・民生技術適用設計ガイドラインとしてまとめた。

研究開発項目②「極限環境で使用する機器等の開発支援技術」については、引続き実証衛星開発へ適用し、有効な活用を図るとともに効果の確認を行った。

中間評価を実施し、良好との評価とともに本プロジェクト終了後の継続取組についての検討が必要との提言があった。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成16年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「民生部品・民生技術の極限環境適用技術」については地上模擬試験として新規市場投入部品2種及び実証衛星2号機用民生技術を加え累計215種の民生部品・民生技術の試験を完了し、204種のデータベースへの登録を完了した。民生部品の品種ごとの放射線耐性予測精度向上作業の今後の進め方を検討した。また、半導体メモリの世代と放射線耐性の関係式の導出と精度向上を図り、メモリ以外の半導体部品へ拡張するための課題を整理した。さらに、半導体メモリの陽子アップセットと重イオンアップセットの断面積の対応関係を実験的に求め、その関係式をメモリ以外の半導体素子への拡張性の検討を継続している。慣性センサ、光センサ、RFコンポーネントのMEMS機器に関する調査、及び慣性センサMEMS、RF-MEMSに対する耐極限環境性の基礎データ取得を完了した。小型衛星の構想検討を実施し、小型衛星の産業利用についての調査を実施した。SSPAに関する調査とGaNデバイスの耐極限環境性に関する基礎データ取得の一部を実施した。

宇宙実証試験としては、実証衛星1号機による技術データの取得を完了し、安全化処置・デブリ防

止措置等を施し、11月1日、軌道上運用を終了した。この技術データに基づきガイドライン類への反映事項、要修正事項を洗い出した。また、民生部品8品種を含む12品種に対し放射線耐性限界試験及び温度限界試験を実施した。実証衛星2号機搭載用実験装置、環境計測装置のフライトモデルの製作を完了した。RF-MEMS 実験装置に関する設計・検討を実施した。環境計測装置の粒子エネルギー spektrometa (LPD) に対して、精度向上のため改修設計を実施した。実証衛星2号機は、詳細設計審査(CDR)を完了し、フライトモデルの製作を継続している。またスターセンサに対しより厳しい耐極限環境性能を付与するための構造設計、熱設計を完了し、画像処理ソフトウェアの開発と実証衛星1号機によりその効果を確認した。実証衛星2号機打上げ機としてGXを使う場合の課題である音響振動環境条件、ペイロード安全性に対する予備検討を実施した。

研究開発項目②「極限環境で使用する機器等の開発支援技術」については、引続き実証衛星開発へ適用し、有効な活用を図るとともに、工数削減、ミス低減、品質の向上等に関する効果の確認を行った。また、システムの高速化、操作性向上のための機能改善を行った。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「民生部品・民生技術の極限環境適用技術」については、地上模擬試験として新たに市場に投入された新規部品1品種を選定し、地上模擬試験及び極限環境への適合性評価を実施し、民生部品・民生技術データベースへの登録を継続した。民生部品の品種毎の放射線耐性予測方法確立のため、宇宙放射線環境モデルの検討を実施した。半導体メモリに対する陽子アップセットと重イオンアップセットの断面積との間の相関関係式の導出を行い、放射線耐性予測関係式の精度向上を図り、その関係式のメモリ以外の半導体素子への拡張性の検討を継続し行った。簡便に民生部品・民生技術を宇宙実証するための手段の概念検討を実施した。

宇宙実証試験としては、実証衛星2号機搭載用実験装置、環境計測装置の維持設計を継続した。LPDの精度向上およびRF-MEMS 実験装置のフライトモデルを完成した。実証衛星2号機はフライトモデル製作を継続した。更に選定された打上げ機とのインタフェース調整、ペイロード安全性に関する調整を開始した。なお、実証衛星及び搭載用実験装置等について打上準備開始までの適切な保管方法の検討と必要な措置を実施した。民生部品・民生技術データベース、民生部品の放射線耐性予測に関する基礎検討及び宇宙実証データを総合的に分析し、第1次の民生部品・民生技術選定評価ガイドライン及び民生部品・民生技術適用設計ガイドラインを完成した。

研究開発項目②「極限環境で使用する機器等の開発支援技術」については引続き実証衛星開発へ適用し、有効な活用を図るとともに効果の確認を行った。

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「民生部品・民生技術の極限環境適用技術」

地上模擬試験として、地上模擬試験結果に実証衛星1号機による宇宙実証試験結果を反映した民生部品・民生技術データベースへの登録を継続した。民生部品の品種毎の放射線耐性予測方法確立のため、宇宙放射線環境モデルの検討を継続して実施した。半導体メモリに対する陽子アップセットと重イオンアップセットの断面積間の相関関係式の導出を完了し、放射線耐性予測の関係式の精度向上を図り、その関係式のメモリ以外の半導体素子への拡張性の検討を継続して行なった。

宇宙実証試験としては、実証衛星2号機搭載用実験装置、環境計測装置の維持設計を継続した。また、保管後点検作業を経て、システム PFT (プロトフライト試験) のために実証衛星2号機側へ機器を引き渡した。実証衛星2号機は維持設計を継続し、フライトモデル製作を継続した。更に選定された打上げ機とのインタフェース調整、ペイロード安全性に関する調整を実施した。実証衛星2号機運用管制システムの開発、軌道上運用文書の策定及び射場整備計画の策定に着手した。実証衛星2号機に搭載されている民生部品・民生技術の地上試験結果、実験装置の開発成果等を総合的に分析し、民生部品・民生技術を極限環境で使用するための民生部品・民生技術選定評価ガイドライン、民生部品・民生技術適用設計ガイドラインの第2次案の策定に着手した。

研究開発項目②「極限環境で使用する機器等の開発支援技術」

開発支援技術を実証衛星2号機の開発へ適用した。さらに、適用効果の評価を実施した。

《3》次世代輸送系システム設計基盤技術開発プロジェクト [平成14年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ヴァーチャルプロトタイプ技術の研究開発」については、ロケットの実機の製作・試験前に、設計の妥当性を仮想空間でシミュレーションにより事前検証できるヴァーチャルプロトタイプ技術を構築し、実証試験を完了させ基盤技術として確立できた。実証試験の類推から当初目標であるロケット開発における設計作業期間の30%削減を達成できた。さらに開発した技術を国内のエネルギープラント、機械、航空機、造船、自動車等に適用する場合の、適用可能性を評価した。また、ロケット以外のシステムをモデルとした3D-CAD 図形データを本システムに投入して適用可能性評価試験を実施し、本システムの適用可能性を確認した。

研究開発項目②「高度信頼性飛行制御検証技術の研究開発」については、「実証用飛行ソフトウェア」の検証試験条件自律設定技術及び検証試験結果自律評価技術に付随するソフトウェアツールの基本設計、詳細設計、

製作、および試験・評価を完了した。また、機体システムから、アビオニクス機器、タンク、バルブ等の部品レベルまでのシミュレーションモデルの検討結果に基づきシミュレータの設計を実施するとともに、実証試験に使用する「実証用ソフトウェア」のソフトウェア構成要素の設定、および主要計算アルゴリズムの基本設計、詳細設計を完了させた。シミュレーション装置による実証試験は平成16年度に実施する。目標であるロケットの飛行ソフトウェア期間の20%削減を達成できる見込み。

研究開発項目③「次世代LNG制御システム技術の研究開発」については、自己診断・自律対応型機体点検自動化システムのアルゴリズムを確定し、設計を完了した。また、ロケット機体点検を自動的に実施できる制御機器を含むアビオニクス機器に要求される機能性能要求の実現性を確認するための機能試験を完了させた。さらに、全体技術仕様を確定し、自己診断・自律対応型機体点検自動化システムを実行する制御機器を含むアビオニクス機器の仕様を確定させた。

その結果、中間目標を達成することができた。さらに、機体点検自動化システム技術のアルゴリズム及びその実行を可能にする制御系機器について、小型LNG気化設備へ適用する場合の可能性評価を実施し適用の可能性を確認した。

平成16年度は、「次世代LNG制御システム技術」と「ミッション対応設計高度化技術」の各研究開発項目について以下内容を実施した。

研究開発項目①「次世代LNG制御システム技術」については、ロケット打上げの機体運用を取り上げ、機体点検を最大限自動化する「機体点検自動化システム」技術のアルゴリズムを有するソフトウェアの仕様を確定し、基本設計・詳細設計を行って、製作を完了した。また、「機体点検自動化システム」の実行を可能としかつ厳しい打上げ搭載環境（振動、高温、衝撃等）に耐えうる「制御系機器」について製造設計までを完了し、製造準備および一部の機器に対して製作及び性能試験を行い厳しい環境下で正常に動作・機能することを確認した。

研究開発項目②「ミッション対応設計高度化技術」においては、ロケット/ミッション（衛星）間の技術情報交換内容及びミッション対応設計作業を分析した。そして、不足する客先（衛星側）インタフェース情報に対してロケット側ミッション設計・解析に必要な情報をリスクを考慮の上設定することにより、作業の前倒し・効率化を可能とする「ミッション対応設計高度化技術」の要求仕様の設定を完了した。また、設計・解析に必要な情報の一元管理を可能とするミッション対応設計情報一元管理技術の技術仕様を確定して、データベースアーキテクチャの基本設計を完了した。さらに、初期の衛星情報からロケット側のミッション対応設計・解析が必要となるパラメータを設定する技術について複数個その実現性を確認するとともに、リスク評価を伴うミッション解析情報設定技術の実現性を確認した。ミッション対応設計高度化技術の研究に際し、ロケット側設計に必要な衛星インタフェース仕様の事例調査及び分析を実施し、それぞれの技術開発に反映した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成16年度に中間評価を実施した。その結果を適切に次年度以降の計画に反映した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

商業ロケット市場における我が国宇宙産業の競争力を確保するため、ロケットのユーザーである衛星とのミッションインテグレーション作業効率化を図りミッションインテグレーション期間を短縮するための基盤技術（ミッション対応設計高度化技術）、及び小型LNG気化設備等の制御系設備に対応可能なロケットの機体点検の自己診断・自律対応を可能にする基盤技術（次世代LNG制御システム技術）を確立することを目的として、以下の研究開発を実施する。

研究開発項目①「次世代LNG制御システム技術」については、ロケット打上げの機体運用を取り上げ、機体点検を最大限自動化する「機体点検自動化システム」技術のアルゴリズムを有するソフトウェアについて制御機器に搭載し、動作確認を行った。また、「機体点検自動化システム」の実行を可能としかつ厳しい打上げ搭載環境（振動、高温、衝撃等）に耐えうるアビオニクス機器の一部の機器に対して製作並びに性能試験を行い正常に動作・機能することを確認した。

研究開発項目②「ミッション対応設計高度化技術」においては、ミッション対応設計作業に必要な情報を分析し、設計・解析に必要な情報の一元管理を可能とするミッション対応設計情報一元管理技術に必要なデータベースアーキテクチャの詳細設計を実施した。また、初期の衛星情報からミッション対応設計・解析で必要となるパラメータを設定するリスク評価を伴うミッション解析情報設定技術の技術仕様を確定して、技術を実現するアルゴリズムを設計した。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「次世代LNG制御システム技術」については、ロケット打上げの機体運用を取り上げ、機体点検を最大限自動化する「機体点検自動化システム」技術のアルゴリズムを有するソフトウェアについて自動化アルゴリズムの機能付加又は向上を図るとともに、制御機器に搭載し、動作確認を行った。また、「機体点検自動化システム」の実行を可能としかつ厳しい打上げ搭載環境（振動、高温、衝撃等）に耐えうるアビオニクス機器に対して性能試験及び厳しい環境を模擬した環境試験を行い正常に動作・機能することを確認した。さらに、実証試験の準備としてアビオニクス主要機器について行うインタフェース確認試験に向けての試験要領を検討し、確認試験を行った。

研究開発項目②「ミッション対応設計高度化技術」においては、ミッション解析情報設定技術に対して簡易シミュレーションによりアルゴリズムの評価及び最適化を行った。また、ミッション対応設計情報一元管理技術及びミッション解析情報設定技術に付随するソフトウェアツールの製作及び組み合わせ試験を行った。さらに、ミッション対応設計高度化技術による期間短縮の効果を確認するための実証試験の実施要領を検討した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「次世代 LNG 制御システム技術の研究開発」

ロケット打上げの機体運用を取り上げ、機体点検自動化ソフトウェアについて各種試験を行い、ソフトウェア全体として完成させた。また、アビオニクス機器について、改造設計結果に基づき、機体データ処理装置の改造、高機能化機体データ処理装置の製造等を行い装置として完成させた。ハードウェアインターフェースユニットについても実証試験用のモデルとして完成させた。機体点検自動化システム実証試験用の LNG 制御実証モデル等の試験装置類について、試験装置類の改造、追加製作、試験等を実施し、実証試験に向けた準備を完了した。機体点検自動化システムの実証試験に向けて、実証試験要領、手順書を検討・作成し、上述にて準備した装置等を用いて、従来のアルゴリズムに対応した実証試験、及び高度化対応アルゴリズムを取り込んだ実証試験を行い、射場におけるロケットの機体点検工期の 30%削減を達成したことを確認した。安全確保に関する技術的知見データベースについて、実証試験の結果の反映等を行い、データベースの構築を完了した。

研究開発項目②「ミッション対応設計高度化技術の研究開発」

「打上げ当日ミッション解析・評価システム」において、支援技術の研究と付随するソフトウェアツールの部分試作を行った。また「飛翔中データ取得・機体評価技術」の要求仕様をまとめ、飛翔データ取得に必要な機器設計を行った。ミッション対応設計高度化技術による期間短縮の効果を確認するための実証試験計画の見直しと実証準備を行った。「ミッション解析情報設定技術」に関するアルゴリズムの見直しを行った。

《4》高性能ハイパースペクトルセンサ等研究開発プロジェクト [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①センサシステムの概念設計

搭載衛星とのインターフェースの整合性を確保しつつ、全体構成、各構成要素の必要性能について検討した。また、全体の開発計画検討を策定した。

研究開発項目②要素技術開発

1) 高 S/N 比を実現する分光検出系の開発

要素試作試験等によりセンサスペックの実現の見通しを得た。また光学系・分光系のハード設計の最適化検討を行った。

2) 高精度校正技術の開発

可視～短波長赤外領域において高い波長精度及びバンド間相対感度精度を実現する校正技術の実現の見通しを得た。

3) 高速データ処理系、効率的データ伝送技術の開発

オンボード圧縮技術等の活用により高速なデータ圧縮・処理系を実現する手法について検討した。

また所要の情報量を効率的に地上へ伝送する手法について検討した。

研究開発項目③技術動向調査及び市場動向調査

国内外の技術動向、市場動向等の情報収集及び分析等を継続して行い、開発計画に反映した。衛星スローダウン（搭載センサを振ることで擬似的に撮像時間を長くする技術）、IMC（Image Motion Compensation）等、さらなる高 S/N 化の手法について検討した。

本プロジェクトは公募して実施した。また公募の一ヶ月前に事前の周知を行った。

《5》微小重力環境利用超電導材料製造技術の開発 [平成 7 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

同年 5 月に、日本で初めて大気圏への再突入および大気圏外から目標地点への着水に成功したリカバリビークルについては、ヒートシールドを覆うアブレータを切断し、内部の観察／分析等と、再突入時の実測温度データを元にしたアブレーション解析／強度解析を併せて行い、リカバリビークル熱防御系設計の妥当性確認、および今後のアブレータ設計への反映事項の取得を実施した。宇宙実験後にリカバリビークルによって軌道上より回収した超電導材料については外観検査、表面観察、非破壊検査、内部組織の評価等を実施し、超電導化に向けて熱処理条件等の検討を実施した。宇宙実験材料の評価と平行して地上実験炉にて結晶成長実験等の実験を実施し、宇宙実験の成果との比較によって地上での大型超電導材料を製造するための技術開発を行った。回収した超電導材料製造実験装置についても評価解析を実施した。宇宙機の稼働状況、超電導材料製造実験装置の稼働状況及び超電導材料製造実験中の微小重力環境等の解析評価を実施した。また、軌道上に残ったサービスモジュールについて、運用および追跡管制を継続して実施した。民生部品等の長期宇宙滞在に関する技術データの取得等を実施し、宇宙機器等の低コスト化可能性に係わる技術評価を実施した。

平成 16 年度は、宇宙の微小重力環境下において超電導材料を製造する実験を実施した結果に基づき、大型超電導材料製造のための技術開発を行うために、以下の内容を実施した。宇宙実験については当初想定されていなかったガドリニウム・バリウム酸化物針状結晶(Gd210)の発生について原因の究明が行われ、この結果地上における大型超電導バルクの新製法(新インフィルトレーション法)を開発するに至った。平成 16 年 8 月には地上にて直径 140mm の大型バルク

試作実験に成功した事を受け、平成 16 年度より地上における超電導体製造技術の開発および超電導体の実用化に関する検討を新たにテーマとして加えた。

軌道上にてデータ収集を続けてきたサービスモジュールについては平成 17 年 2 月に運用終了に際してスペースデブリ防止のための処置として、25 年以内に大気圏への再突入が見込まれる軌道へ軌道低下運用を実施した後、衛星運用を終了した。

宇宙実験、宇宙機の開発および宇宙機器等の低コスト化のための技術開発について、宇宙および地上実験で得られたデータの解析を終え、平成 16 年度末までに成果のまとめを実施した。

平成 17 年度は、宇宙実験の解析の結果得られた知見により開発された新インフィルトレーション法を用いて、地上における大型バルク等の超電導体製造技術を開発した。製造プロセスについては成分、処理時間等の条件の最適化を図り、従来プロセスと同等の性能を持ち、従来プロセスよりも大型のバルクを製造する技術として確立し、実験室レベルだけではなく、超電導体製造メーカーでの試作実験を通じて実用化の見通しを得た。更に強磁場を着磁する際に課題となるバルクの強度や熱伝導性を改善する技術の開発を行った。

また、利用面及び製造面から超電導体実用化の検討を実施した。超電導バルクの実用化に関してメーカー、ユーザー、学識経験者から構成される委員会を設置し、地上における超電導体製造技術開発等の評価解析結果等の審議を行った。利用面の検討については超電導バルクの試作サンプルを研究機関に提供し、性能評価を得ることにより実用化の促進を図った。製造面の検討については超電導バルク製造メーカーへの技術供与により試作実験を行い、量産性及び性能の評価を行った。

このほか、導体等のバルク以外の形状の超電導体についても、宇宙実験結果の知見の適用について検討を行い、実現可能性についてのデータを得た。

< 3 > 環境分野

[中期計画]

健康の維持や生活環境の保全を図るとともに、将来に亘って生活基盤と産業基盤を両立させていくため、温暖化対策技術、3R 関連技術、化学物質のリスク評価・管理技術、輸送系低環境負荷技術等の課題について重点的に取り組むこととし、以下のような研究開発を推進するものとする。

①温暖化対策技術

[中期計画]

エネルギー消費を抑制しつつ、持続的な経済成長を確保することを可能とするとともに、世界でトップクラスの温暖化対策技術によって国際競争力の確保を図るため、中長期的取組として温室効果ガス削減に向けた二酸化炭素固定化・有効利用技術等の研究等を行うとともに、家電・自動車等製品等の消費エネルギーの大幅な削減技術、製造プロセス等におけるエネルギー消費の大幅な削減技術、未利用エネルギーの有効利用技術及びエネルギーの発電・変換・輸送・貯蔵時のロス削減技術等を開発し、さらに、温室効果の低いフロン代替物質の合成技術の開発を行う。また、地球環境に関する我が国の戦略的取組の検討、各国情報収集等を行う。

< 地球温暖化防止新技術プログラム >

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》地球環境国際連携推進事業 [平成15年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①国際研究交流事業については、IEA/GHG 研究開発実施協定執行委員会及びCO₂回収ワークショップ(米、ノルウェー)に出席し、その成果を国内の当該分野関係機関の専門家より構成されるIEA/GHG s 検討委員会への報告等を通じ、国内関係機関へ提供し関連技術の普及促進を図った。またIEA/CTI(Climate Technology Initiative)等を通じ、途上国等の政府関係者・事業者等を対象として、技術移転に焦点をあてた海外セミナー(ウィーン、ジャカルタ)や日本国内研修を開催した。関係機関と連携し、二酸化炭素分離・回収・貯留技術に関するIPCC 特別報告書作成作業等への対応を行った。UNFCCC、SBSTA、IPCC 等への参加により、我が国の技術情報の発信や諸外国の技術情報の収集を進めた。

研究開発項目②技術普及推進事業については、インドネシア、フィリピン、ベトナムの技術移転ニーズ調査を行うとともに、技術情報ネットワークを構築した。また、途上国等の政府関係者・事業者等を対象として、ワークショップをフィリピンにおいて開催した。

研究開発項目③地球環境国際戦略研究事業については、京都メカニズムを通じたクレジットの獲得・取引に関する諸制度案及びそのインフラ整備についての検討調査等を行い、国内制度設計の検討へ貢献した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①地球環境国際戦略研究事業

大幅なエネルギー需要の増大が見込まれるアジア太平洋地域を中心とした発展途上国等を対象に、温暖化防止に関する我が国の戦略的取り組みに焦点を当てた調査研究、及び各国情報収集調査等を行った。

研究開発項目②地球温暖化防止関連調査等

IEA/GHG 協定への協力を行い、実施協定による事業の成果を、国内関係機関に提供し関連技術の普及促進を図った。

またミャンマーにおいて技術移転ニーズ調査を行うとともに、昨年度ニーズ調査を実施したインドネシア・ベトナムに対し対象工場を選定した上での工場診断を実施し、具体的な温暖化対策技術移転案をリストアップする等で技術情報ネットワークを構築した。また、国内の技術移転を検討している関係者・事業者等を対象として、技術移転ハンドブックを作成した。

研究開発項目③IPCC 等国際会議事業

気候変動に関する政府間パネル(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)は、気候変動に関する科学的知見を取り纏め評価し、各国政府にアドバイスとカウンスルを提供することを目的とした政府間機構である。

このIPCC 第4次評価報告書の作成を通じて温暖化防止対策の技術面・環境面・経済面における評価や、関係各国の動向等の情報を得た。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「国際研究交流事業」

IEA/GHG 研究開発協定への協力やIPCC 特別報告書作成への参画を通して、国際機関等との連携を強化するとともに、温室効果ガス排出削減に係る最新技術や国際動向に関する情報収集・分析を行っ

た。また、当該技術に関連する国際会議の開催を通じて国際研究交流を推進し、最新技術情報の発信することによる当該技術の普及促進を図った。

研究開発項目②「地球温暖化対策動向調査及び戦略研究事業」

大幅なエネルギー需要の増大が見込まれる発展途上国等を対象に、温暖化防止に関する我が国の戦略的取り組みに焦点を当てた調査研究、及び各国情報収集調査等

研究開発項目③「技術移転推進事業」

アルゼンチン、チリを対象として、日本から移転可能な温暖化対策技術を具体的に紹介し、具体的なプロジェクトを持っている企業との個別ヒアリング、専門家派遣による現地調査を通じた。また、温暖化対策技術移転ハンドブックの内容を拡充・更新し、英語版を含めて作成した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①国際研究交流事業

IEA/GHG 研究開発協定への協力や IPCC 特別報告書作成への参画を通して、国際機関等との連携を強化するとともに、温室効果ガス排出削減に係る最新技術や国際動向に関する情報収集・分析を行った。また、当該技術に関連する国際会議の開催を通じて国際研究交流を推進し、最新技術情報を発信することによる当該技術の普及促進を図った。

研究開発項目②地球温暖化対策動向調査及び戦略研究事業

大幅なエネルギー需要の増大が見込まれる発展途上国等を対象に、温暖化防止に関する我が国の戦略的取り組みに焦点を当てた調査研究、及び各国情報収集調査等を行った。

研究開発項目③技術移転推進事業

ブラジル、アルゼンチンを対象として、日本から移転可能な温暖化対策技術を具体的に紹介し、具体的なプロジェクトを持っている企業との個別ヒアリング、専門家派遣による現地調査を行った。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①国際研究交流事業

IEA/GHG 研究開発実施協定への協力や、IPCC 4 次報告書及び IPCC 特別報告書作成への参画を通して、国際機関等との連携を強化するとともに、温室効果ガス排出削減に係る最新技術や国際動向に関する情報収集・分析を行った。

研究開発項目②地球温暖化対策動向調査及び戦略研究事業

地球温暖化問題に係る国際会議等の情報収集及び分析、我が国の地球温暖化対策に係る戦略に焦点を当てた調査及び研究を行った。

研究開発項目③技術移転推進事業

日本の温暖化対策技術移転促進を目的とした同技術の調査及び技術集の作成と、ASEAN 諸国を対象にした同技術の移転可能性に係る調査を行った。

なお、平成 19 年度に実施した中間評価において、③技術移転推進事業から CDM/JI 推進調査 (FS 調査) 事業につながる具体的な成果をあげていること、作成した技術移転ハンドブックが事業者から高く評価されていること等、本事業の成果について一定の評価を受けている。本事業は平成 19 年度をもって終了となるが、本事業において得られた成果は平成 20 年度以降の CDM/JI 関連事業にて活用する。

《2》革新的ノンフロン系断熱材技術開発プロジェクト [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、高分子素材の発泡等による断熱材分野において、現状のフロン系硬質ウレタンフォームと同等以上の断熱性能を有し、かつ、実用化、市場化に際して優位性のある性能・特徴を有する革新的なノンフロン系断熱技術を確認するため、京都大学工学研究科教授 大嶋 正裕氏をプロジェクトリーダーとして、下記研究開発項目①、②について、基礎・基盤研究 (委託事業) と実用化研究 (助成事業) の 2 つの事業フェーズごとに、公募によって研究開発実施者を選定し、個別のテーマに沿って基礎研究、実用化研究を開始した。

研究開発項目①革新的断熱技術開発

断熱材構造の微細化技術、断熱材素材のハイブリッド化技術、発泡体/低地球温暖化係数 (GWP) を有する発泡剤の合成技術、熱流制御技術等、新しいコンセプト・技術を用いた断熱技術について、基礎検討を実施した。またその製造工程、施工、加工手法等についても検討を開始した。

研究開発項目②断熱性能等の計測・評価技術開発

上記①の開発に伴い必要不可欠となる、高性能断熱性能測定方法の原理検証および測定器の試作を開始した。また、断熱材や断熱性能測定方法の実用性評価手法の検討を実施した。

《3》ノンフロン型省エネ冷凍空調システムの開発 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、オゾン層の破壊及び温室効果等の環境影響が少ないノンフロン冷媒を用い、かつ省エネルギー性に優れ市場的にも有効である安全・安心・快適な冷凍空調システムの開発を目的として、下記機器分野毎に基礎研究、実用化研究を実施した。

本年度は事業初年度にあたり、各研究開発に係わる調査・検証・試作試験等を主に実施した。

研究開発項目①「住宅分野 (マルチ式エアコン: CO₂冷媒、デシカント換気空調)」については、要素機器および制御

手法の開発実施した。

研究開発項目②「業務分野（ビル／食品工場／倉庫及び店舗向け冷凍冷蔵空調システム：CO₂、NH₃、プロパン、イソブタン等の単体／混合冷媒、磁気冷凍機）

安全性を考慮した2元もしくはセントラルシステム：NH₃、プロパン、イソブタン等」については、冷凍（冷蔵空調）システムの要素機器開発、シミュレーション技術開発、機器性能検証を実施し、現行機との比較も行った。磁気冷凍機では磁気材料探索調査およびシステム効率向上技術検討を実施した。

研究開発項目③「運輸分野（自動車排エネルギーの回収も考慮したカーエアコン：空気、CO₂冷媒）」については、基本冷凍サイクルや要素機器およびエネルギー収支の検証実施した。

研究開発項目④「実用的な運転モード及び評価手法ならびに安全基準の構築」

性能評価に係わるWG、調査を実施し、①～③に適合する性能評価指針を検討した。可燃性冷媒（燃焼性試験）、CO₂冷媒の物性の調査研究を実施した。

（※要素機器とは、熱交換機、圧縮機等のシステムコンポーネント要素を指し、冷媒・機能材料も含む）

平成18年度は、オゾン層の破壊及び温室効果等の環境影響が少ないノンフロン冷媒を用い、かつ省エネルギー性に優れ市場的にも有効である安全・安心・快適な冷凍空調システムの開発を目的として、下記機器分野毎に基礎研究、実用化研究を実施した。

今年度は昨年度までの成果を基とし、下記研究開発項目毎に要素機器、システム試作～実証試験等を主に、中間目標達成を目指して実施した。一部実用化研究においては、実証、検証を終え事業を完了した。

研究開発項目①「住宅分野（マルチ式エアコン：CO₂冷媒、デシカント換気空調）」

要素機器・技術の開発及び改良を行った。

研究開発項目②「業務分野（ビル／食品工場／倉庫及び店舗向け冷凍冷蔵空調システム：CO₂、NH₃、プロパン、イソブタン等の単体／混合冷媒、磁気冷凍機、安全性を考慮した2元もしくはセントラルシステム：NH₃、プロパン、イソブタン等）」

要素機器・技術の開発及び改良、システム検討、実証を行った。

可燃性冷媒の漏洩及び安全技術に係るシミュレーション等検証を行った。

完了事業については、セントラル式炭化水素冷媒冷凍機、自主目標（財）ヒートポンプ・蓄熱センターの高効率空調機（非特定フロン機対象）補助基準をほぼ達成し、冷媒漏洩に係わる安全性を検証した。

研究開発項目③「運輸分野（自動車排エネルギーの回収も考慮したカーエアコン：空気冷媒、CO₂冷媒）」

要素機器・技術の開発及び改良を行った。

研究開発項目④「実用的な運転モード及び評価手法ならびに安全基準の構築」

性能評価に係わるWG、国際動向調査を実施しガイドラインの基礎を構築した。可燃性冷媒、CO₂冷媒の物性の調査研究を行った。温暖化評価手法について検証し新たな手法を提唱した。

平成19年度は、オゾン層の破壊及び温室効果等の環境影響が少ないノンフロン冷媒を用い、かつ省エネルギー性に優れ市場的にも有効である安全・安心・快適な冷凍空調システムの開発を目的として、東京大宇大学院新領域創成科学研究科教授 飛原 英治氏をプロジェクトリーダーとして、下記機器分野毎に基礎研究、実用化研究を実施した。

今年度は昨年度までの成果を基に、4つの研究開発項目毎に要素機器、システム試作～実証試験等を14事業で実施した。このうち12事業は目標を達成し、事業を完了した。

研究開発項目①「住宅分野（マルチ式エアコン、デシカント換気空調）」

[完了事業] (1) CO₂冷媒による住宅用マルチ空調機→APF=4.6を達成し、事業を完了した。

[継続事業] (2) デシカント換気空調→バッチ調湿器の性能検証・省エネ性検証を行った。次年度も継続して実施する。

研究開発項目②「業務分野（ビル／食品工場／倉庫及び店舗向け冷凍冷蔵空調システム、磁気冷凍機）」

[完了事業] (3) 室温磁気冷凍システム→200W級にて温度差5℃でCOP=2.6を達成し、事業を完了した。(4) CO₂二次冷媒式ヒートポンプ空調機→10馬力級にて暖房COP=3.4を達成し、事業を完了した。(5) プロパン/CO₂カスケード式冷凍・冷蔵・低温空調システム→冷凍7%、冷蔵27%の省エネ性能を達成し、事業を完了した。(6) CO₂+プロパン混合冷媒によるブライン循環冷凍装置→出口温度-50℃、COP=0.4を達成し、事業を完了した。(7) ハイドロカーボン冷媒による空調・給湯ヒートポンプ→水熱源による冷/暖の各モードでCOP≒4.1/4.2、空気熱源による給湯モードでCOP≒3.7を達成し、事業を完了した。(8) コンビニエンスストア向け冷凍空調システム→20%を超える総合省エネ性能向上を達成し、事業を完了した。(9) 冷暖同時運転ビル用マルチ空調機→年間総合効率6%向上を達成し、事業を完了した。(10) CO₂冷凍サイクルの高効率化技術→7.5kW×2機システムで30%の省エネ性能向上を達成し、事業を完了した。

研究開発項目③「運輸分野（カーエアコン）」

[完了事業] (11) CO₂冷媒による廃熱利用カーエアコン→燃費悪化率15%を10%に向上出来る検証結果と、260W級システムの連続運転を達成し、事業を完了した。(12) カーエアコン用空気サイクル・デシカントシステム→燃費悪化率20%を6.65%に向上出来る検証結果と、耐久性を向上した新規デシカント材の試作・評価を達成し、事業を完了した。

研究開発項目④「実用的な運転モード及び評価手法ならびに安全基準の構築」

[完了事業] (13) 実用的な性能評価、安全基準の構築→性能・安全性評価ガイドラインの完成、物性ライブラリ・冷媒回路モデルとシミュレーターの妥当性検証を終了し、事業を完了した。

[継続事業] (14) 温暖化評価と実用的手法の構築→新たな手法を提唱/検証した。次年度も継続して実施する。

なお、平成19年度に実施した中間評価においては、概ね中間目標を達成していると評価された。

《4》省エネルギーフロン代替物質合成技術開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下のとおり実施した。

「冷媒分野 (HFE 等)」については、中間物質の COF_2 生成 ($\text{CO} + \text{F}_2 \rightarrow \text{COF}_2$) の試験装置設計と装置の設置を完了。本設備により精製条件の検証および装置性能の確認を実施中。また、再委託先の産業技術総合研究所では新規触媒として Al 系などの多孔質触媒 (反応表面積が従来の3倍) の開発を完了した。

「洗浄剤分野 (HFE)」については、テトラフルオロエチレンとトリフルオロエタノール ($\text{CF}_2\text{CF}_2 + \text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CHF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_3$) を原料にオートクレーブ反応器を用いて反応条件や触媒条件を変化させ、反応生成物を同定し選択率の変化を測定し選択率を向上させるための要因や条件の解析を実施 (HFE-347pc-f)。また、テストプラントで製造を実施し、工業化のための基礎検討を完了した。

「発泡剤分野 (HFE)」については、HFE-254pc の基礎反応の実用性を確認した ($\text{CF}_2\text{CF}_2 + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CHF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_3$)。装置規模を拡大した工業化段階への進展を検討した。

「半導体エッチング分野 (PFC 代替物質)」については、超微細ドライエッチングプロセスに適用可能な化合物を提唱。実験室合成に成功し、本物質に対して工業化を推進した。

「半導体エッチング分野 (PFC 代替物質)」については、 CHF_3 とヨウ素 I の直接反応により CF_3I を工業的に合成するための基礎技術開発 (反応器、触媒) を完了。工業化の目処を得たので、パイロットプラントの設計完了した。反応系については設備設置を完了し、試運転を完了。 CF_3I に対しては加速財源の充当により電中研にて消弧性能を評価中。

また、基本計画に基づき、実用化に向けた実質的な研究成果の確保と波及に務めるための研究開発テーマの絞り込みを実施した (5 テーマ→3 テーマ)。

平成16年度は、以下のとおり実施した。

(1) 中間物質の COF_2 生成 ($\text{CO} + \text{F}_2 \rightarrow \text{COF}_2$) の試験装置設計と装置の設置を完了。本設備により精製条件の検証および装置性能の確認を完了した。(なお、再委託先の産総研では新規触媒として反応表面積が従来の3倍ある Al 系などの多孔質触媒の開発を平成15年度までに完了している。)

(2) 超微細ドライエッチングプロセスに適用可能な化合物を提唱。実験室合成に成功し、工業化の目処を得た。

(3) CHF_3 とヨウ素 I の直接反応により CF_3I を工業的に合成するための基礎技術開発 (反応器、触媒) を完了。パイロットプラントとして反応、蒸留系の設備設置を完了し、工業化のためのスケールアップの検討を進めている。なお、当該研究開発 PJ は平成16年度追加的予算を配分し、開発中の省エネ型半導体エッチングガス (CF_3I) について、半導体製造工程に適用するための CF_3I 使用による半導体 (デバイス)、等のプラズマダメージ、機器ダメージ評価試験を実施中である。

なお、テトラフルオロエチレンとトリフルオロエタノール ($\text{CF}_2\text{CF}_2 + \text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \text{CHF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_2\text{CF}_3$) を原料にオートクレーブ反応器を用いて反応条件や触媒条件を変化させ、反応生成物を同定や選択率の変化の測定を行い、選択率を向上させるための要因や条件の解析を実施した (HFE-347 pcf)。また平成15年度にテストプラントで製造を実施し工業化のための基礎検討を完了しているが、これを平成16年度には商品化し販売実績を挙げるところまで来た。また、HFE-254pc についても平成15年度に基礎反応の実用性を確認 ($\text{CF}_2\text{CF}_2 + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{HF}_2\text{CF}_2\text{OCH}_3$) しているが、平成16年度には上市化のための追加研究を実施した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成16年7-8月に新潟大学中井教授を委員長とする委員会で中間評価を実施し、優秀な成績であった。

また、同年11月開催の産構審化学・バイオ部会地球温暖化防止対策小委において3ガスの排出削減量の追加対策が示され、目標値が2%から0.1%へとより厳しくなった。重点削減分野には金属製品に係わる事項 (マグネシウム製造分野) が含まれており、特に排出量の多い成形のカバーガスの代替物質開発の重要性が指摘された。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

(1) CF_3I の開発 (半導体エッチング分野) : CHF_3 とヨウ素 I の直接反応による CF_3I を開発。工業化のためのスケールアップを完了し、平成17年度に300時間の連続運転を実施。

(2) SF_6 の代替カバーガスの開発 (マグネシウム製造分野) : SF_6 の代替カバーガスとして主として4つのフッ素系ガス (HFE-254pc, CF_3I 他) について検討。 CO_2 と混合することですべてのガスで防燃効果を確認。また、カバーガスとしてフッ素系ガスを使用した場合、熱力学データとして重要な Mg-F のエリンガムダイアグラムを明確化した。

平成18年度は、以下のとおり実施した。

(1) CF_3I の開発

- ・パイロットプラントによるフロン代替物質工業化プロセスの研究課題だった廃ガスの処理技術を確立した。また、運転条件等を検討した。
- ・連続運転及びそのための関連技術の確立
パイロットプラントでの連続運転に成功し、工業技術として確立させた。
- ・合成プロセスの評価
従来の CF_3I 製造方法と比較した製造時の CO_2 排出量の削減効果を明らかにした。
- ・工業的用途調査
新たな用途の可能性を見出し、試験用のサンプル出荷を開始した。

(2) マグネシウム合金製造プロセス適用可能性調査等

- ・代替カバーガスのマグネダイカストメーカーでの実証試験
OHFC-1234ze および CF₃I が SF₆ と同等の性能であることを確認し、プレス発表した。
- ・代替カバーガスのキャリアガスの低 GWP 化検討
防燃効果に及ぼすキャリアガス組成の影響を調べ、低 GWP 化の可能性を見出した。
- ・防燃効果に及ぼす環境因子(湿度等)の影響調査及び技術探索
カバーガス中の環境因子と防燃効果の関係を把握した。

《5》SF6 フリー高機能発現マグネシウム合金組織制御技術開発プロジェクト【F21】
【課題助成】[平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、当該プロジェクトの公募手続きについては、平成16年3月19日に公募を開始、平成16年4月19日に公募を締め切り、平成16年6月2日に選定結果の通知を行った。

①SF6 フリーマグネシウム溶解・精製およびマグネシウム合金凝固プロセス技術の開発

本項目では、量産レベルでの SF₆ フリーマグネシウム溶解・精製および、結晶粒を微細化するマグネシウム合金凝固プロセス技術を開発することを目標としている。

本目標の達成に向け、平成16年度は、既存の溶解・鋳造装置のレベルで Ca 添加によるマグネシウム溶湯難燃化手法の最適化検討に着手し、基本合金 AZ31 ベースに成形加工プロセス検討用サンプルを試作するとともに、Ca 添加による溶湯難燃化技術の基礎データを採取した。一方で、プロセス開発に必要な溶解・鋳造装置の設計・製作・導入を行い、試運転を開始した。

また不純物・非金属介在物分析技術の開発ならびに不純物分離、脱ガス、介在物分離技術の検討に着手し、さらに成形加工用マグネシウム合金素材の組織微細化のための超音波微細化装置の開発を行い、装置の導入が完了した。

②マグネシウム合金の機械的性質を高める成形加工プロセス技術の開発

本項目では、SF₆ フリーマグネシウム溶解・精製、およびマグネシウム合金凝固プロセスで得られるマグネシウム合金の靱性、クリープ抵抗、および引張り強さを二輪用構造部材用アルミニウム合金と同等レベルに高める成型加工プロセス技術の開発を目標としている。

本目標の達成に向け、平成16年度は、高靱性化展伸加工プロセス技術を開発に着手した。具体的には、研究開発用装置(押出温度制御装置、形材巻き取り装置、圧延装置、固化押出装置、粒状原料装置、結晶方位解析用評価装置等)の設計・製作・導入を行うとともに、上記①の既存溶解・鋳造装置を用いて試作した基本合金 AZ31 をベースに Ca を添加した素材を用い、既存加工設備を利用しての基礎調査を行った。高靱性化展伸加工プロセス技術では既存の押出設備での押出素材を用いた引抜き加工を実施し基礎データを採取した。一方、圧延における材料特性・組織挙動の基礎調査を行った。

高クリープ抵抗化射出成形プロセス技術では装置の試作と実験手法の検討を行い、高剛性化複合加工プロセス技術では、予備調査として加工度の機械的性質への影響調査を実施した。また、これら加工プロセスを経て得られた線材、パイプ材、板材、押出材を評価ユーザー(二輪車メーカー)に提供し、具体的な製品としての基礎評価を実施して平成17年度研究開発にフィードバックするための基礎データを得た。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「SF₆フリーマグネシウム溶解・精製およびマグネシウム合金凝固プロセス技術の開発」

本項目では、量産レベルでの SF₆ フリーマグネシウム溶解・精製および、結晶粒を微細化するマグネシウム合金凝固プロセス技術を開発することを目標としている。本目標の達成に向け、平成16年度に導入した溶解・鋳造装置を使用し、Ca 添加によるマグネシウム溶湯難燃化手法の最適化検討を継続実施した。具体的には AZ31 に加え、AZ61 合金をベースに Ca を添加した成形加工プロセス検討用素材を作製すると同時に、溶湯の難燃化が確保できる Ca 添加量を把握することにより、SF₆ フリー化が実現可能なマグネシウム溶解技術を開発した。また、溶湯清浄度を評価する不純物・介在物分析技術では、不純物・介在物の同定手法を開発した。さらには、前年度に導入した超音波印加装置を用いて成形加工用マグネシウム合金素材の組織微細化技術の開発に着手し、鋳造組織の微細化効果が出現する超音波印加条件を見極めるとともに、微細化効果を最大限に発揮すべく、あらたに豊田工業大学と共同実施をすることとした。

研究開発項目②「マグネシウム合金の機械的性質を高める成形加工プロセス技術の開発」

本項目では、SF₆ フリーマグネシウム溶解・精製、およびマグネシウム合金凝固プロセスで得られるマグネシウム合金の靱性、クリープ抵抗、および引張り強さを二輪用構造部材用アルミニウム合金と同等レベルに高める成型加工プロセス技術の開発を目標としている。本目標の達成に向け、平成17年度は、上記①で作製した Ca 添加マグネシウム合金を加工用素材として使い、各種成形加工プロセス技術の開発を本格的に開始した。高靱性化展伸加工プロセス技術では、前年度に蓄積した基礎データを基に、前年度に導入した研究開発装置・評価装置を活用して、AZ31・AZ61 合金をベースに Ca を添加した各種素材の引抜き加工技術と引抜き材の品質評価技術、および圧延用素材作製技術と圧延加工技術の開発を実施し、各合金における加工条件の最適化を検討した。高クリープ抵抗化射出成形プロセス技術では、Ca 添加マグネシウム合金および SiC 添加複合材による固化押出実験を実施した。また、高剛性化複合加工プロセス技術では、Ca を添加した AZ31 および AZ61 合金の押出加工技術の開発、ならびに Ca 添加 AM60 合金の鍛造加工技術の開発を実施した。また、これら加工プロセスを経

て得られた線材、パイプ材、板材、押出材、鍛造材を評価ユーザー（二輪車メーカー）に提供し、具体的な製品としての適合性を評価し、平成 18 年度研究開発にフィードバックするための基礎データを得る。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「SF₆フリーマグネシウム溶解・精製及び、マグネシウム合金凝固プロセス技術の開発」

SF₆フリーマグネシウム溶解技術の開発では、SF₆フリー化を確保可能な Ca 添加量を把握し、Ca 含有 Mg 合金インゴットを用いた純 Mg インゴットとの同時溶解プロセス技術を開発し、量産レベルでの SF₆全廃を達成した。精製プロセス技術開発では、まず、不純物・介在物の定量分析技術を確立した。また、Mn 添加による脱 Fe と Ca 添加による相乗効果により目標 (Fe ≤ 30ppm) を達成した。ピレット製造時の超音波による結晶粒微細化技術については、ピレット径 55mm で目標値 (≤ 100 μm) を達成し、実大サイズでの実現に必要な条件を把握・明確化した。また、ユーザーへのピレット及び押出材の提供を行い商品化に向け検討を開始した。

研究開発項目②「マグネシウム合金の機械的性質を高める成形加工プロセス技術の開発」

Ca 添加マグネシウム合金の引抜、圧延等の高靱性化展伸加工プロセス技術開発では、組織制御による機械的特性向上を図り、目標値 (TS×EL ≥ 5300) を達成した。高クリープ抵抗化射出成形プロセス技術開発では、メカニカルミリング法やメルトスピニング法により作成された Mg-SiC 複合材粒子を原料とする射出成形体でクリープ目標値を達成した。高剛性化複合加工プロセス技術開発では、Al 量、押出加工技術と鍛造技術の組み合わせにより、強度向上メカニズムの解明を行い目標値達成の方法を明らかにした。

いずれの成形加工プロセス技術開発でも具体的な部材・製品を作成し、ユーザーへのサンプル提供を行い実用化・商品化に向け検討を開始した。

《6》カーボンナノファイバー複合材料プロジェクト【F 2 1】【課題助成】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発に助成を実施した。

研究開発項目①「軽金属合金とカーボンナノファイバーによる高機能複合材料の開発」・カーボンナノファイバー

(以下 CNF) を選定し、表面処理 (Si, Ti 等) した CNF とアルミニウム合金にて複合材料を作製し評価を開始した。その結果、分散性に効果のある表面処理剤・方法等について技術的な目処を得た。・分散法については 2 通りの方法で開発を進めた。第 1 の方法として、チクソトロピー状態の軽金属材料に CNF を混練させる方法であり、高圧鋳造法を含めて開発に着手した。第 2 の方法として、としては、エラストマープリカーサー法で、カーボンナノチューブ (以下 CNT) (平均粒径 13nm) と、前駆体のマトリックスにはエラストマーを用いて実験を行った。極めて柔軟な分子運動性を有し、化学的相互作用を利用可能なエラストマーは、オープンロール混合により CNT 凝集体の間隙に進入し、その後の強混練により、強いせん断力を得て CNT を解繊しながら均一に分散させることができた。その後、CNT を均一分散させたエラストマー (前駆体) とアルミを窒素雰囲気中 800℃にて置換し、CNT 複合材料を得る事が出来た。材料特性は、純アルミに対し 5~7 倍の耐力が得られた。

研究開発項目②「高機能複合材料による成形加工システム開発」・射出成形法の予備検討を小型アルミニウムダイカスト成形機やマグネシウム成形機での成形実験を行い、高機能複合材料専用成形機の開発に着手した。・金属流動解析ソフトの導入による製品設計及び金型設計の最適化に向けた取り組みに着手した。

研究開発項目③「高機能複合材料による軽量化自動車部品開発」・高機能を発現させる部品設計技術開発において、3 次元設計支援ソフトウェアによる製品設計技術の開発、構造解析支援ソフトウェアによるシミュレーション手法の開発に着手した。

平成 16 年度は、以下の実用化開発を支援した。

技術開発課題①「軽金属合金とカーボンナノファイバーによる高機能複合材料の開発」については、以下の実績を得た。

- ・CNF とマグネシウム合金との濡れ性を改善するための表面処理技術 (Si コーティング) を開発した。この表面処理 CNF を用いて Mg 合金と溶湯攪拌法、高圧鋳造・押出法で複合材料 開発を行い、機械特性評価を行った。その結果、引張強さで約 25%向上、熱伝導率で約 20%の向上した。
- ・エラストマープリカーサー (N-EP) 法を用い、均一分散させた高強度 CNT/Al 複合材を得ることができた。N-EP 法により作製した CNT/Al 複合材の比重はねずみ鋳鉄 (FC250) の 7.2 に比べ 2.7 と低く、1/2 の軽量化の見通しが得られた。また、曲げ評価によると、複合材の耐力は純 Al の 62MPa に比べ 540MPa とおよそ 9 倍に増大し、ねずみ鋳鉄 FC250 材の 430MPa を上回った。
- ・特性評価等の技術開発では、X-ray 法による分散度合い等を評価する技術に目処を得た。

技術開発課題②「高機能複合材料による成形加工システム開発」については、以下の実績を得た。

- ・高機能複合材料の射出成形を可能にするマグネシウム射出成形機的设计開発を行なうとともに成形実験が出来る環境を整えた。
- ・金属流動解析ソフトの導入による製品設計及び金型設計の最適化に向けた取り組みを行い、マグネシウム合金による厚肉成形品の実験をベースに成形技術の構築に着手した。
- ・エラストマープリカーサー (N-EP) 法で作製した CNT/Al 複合材は、マクロなポイドや Al の単独層の

欠陥が生成していたが、製造工程の改良によりマクロ均質化を可能にした。

技術開発課題③「高機能複合材料による軽量化自動車部品開発」については、以下の実績を得た。

- ・高機能を発現させる部品設計技術開発において、3次元設計支援ソフトウェアによる製品設計技術の開発、構造解析支援ソフトウェアによるシミュレーション手法を活用して、Mg合金による試作自動車部品の成形加工に着手し、開発に目処を得た。
- ・エラストマープリカーサー(N-EP)法で作製したCNT/Al 複合材は自動車用ディスクローターの材質であるFC250の耐力を上回る強度が得られた。更に、ディスクローターに要求される材料特性が、ほぼFC250と同等であったため、ディスクローター材質への適用に着手した。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

技術開発課題①「軽金属合金とカーボンナノファイバーによる高機能複合材料の開発」については、カーボンナノファイバーを選定し、軽金属合金にカーボンナノファイバーを均一に分散させる技術と密着力を向上させる技術及び特性評価等の技術を開発した。

具体的には、カーボンナノファイバーのシリコン表面処理均質化技術の構築及びエラストマーによる原子レベルの表面処理技術を確立し、母材との濡れ性、密着力を改善した。また、均一に分散させる技術は日精式チクソ溶融攪拌法、及びエラストマーの特性を利用した日信工業エラストマープリカーサー法を開発し、カーボンナノファイバーを均一分散させる技術を構築した。

加えて、特性評価等の技術開発では、カーボンナノファイバーの分散度合いを核磁気共鳴分析による緩和時間解析及び電子スピン共鳴分析によるカーボンナノファイバーの対電子のシグナル解析により簡易に評価する方法を確立し、また、モルフォロジーとしては、三次元透過電子顕微鏡を用いて立体像を得て定量解析を行った。

技術開発課題②「高機能複合材料による成形加工システム開発」については、軽金属合金とカーボンナノファイバーによる高機能複合材料を作製し、部品等に加工するシステムを開発した。具体的には、軽金属合金とカーボンナノファイバーを混練し、混合する技術として、日信工業エラストマープリカーサー法を開発し、部品等に成形加工するための成形加工技術では軽金属用の日精式大型射出成形加工機を開発、製造した。

技術開発課題③「高機能複合材料による軽量化自動車部品開発」については、軽金属合金とカーボンナノファイバーによる高機能複合材料からなる浸透鑄造法によるブレーキディスクと射出成形法によるピストン、ハウジング、ロアリングを試作した。製品設計、金型設計はCAE(金属流動解析)を活用して行った。

《7》省エネ型次世代PDPプロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《27》参照]

《8》高分子有機EL発光材料プロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、複数年交付決定を行い、以下の研究開発に助成を実施した。

研究開発項目①「高性能高分子発光材料創製技術の開発」については、青色発光材料に関して、各種骨格材料の合成と重合条件を検討することで、ほぼ開発スケジュール通りの発光効率約31lm/W、輝度半減寿命約10,000時間(初期輝度100cd/m²としての換算値)に到達した。これらの数百gスケールでの量産化の検討を開始した。更に、赤色、緑色材料の開発にも着手し、発光を確認した。合わせて、インクジェット装置を導入し、青色材料を用いてインク化の検討に着手した。これらの検討を基にクリーンルームの概念設計を実施した。また、高分子系の海外の動向についても調査し、開発方針へ反映させた。また、高性能高分子有機EL発光材料に最適な周辺材料である正孔注入材料及び陰極の設定検討に着手した。

平成16年度は、以下の実用化開発を支援した。

研究開発課題①「高性能高分子発光材料創製技術の開発」

①青色の高分子発光材料に関して、住友化学独自の骨格構造を見出し、これの共重合体を検討することで、発光効率は約21lm/Wであるが、輝度半減寿命に関しては開発目標値を上回る約25,000時間(初期輝度100cd/m²としての換算値)に到達した。量産化の検討を進め、100g/バッチの技術を、再現性を含め、ほぼ確立した。青色に関しては、色度の改良を行い、より純青に近いものを得た(CIE-y=0.15)。更に、赤色、緑色の高分子有機EL発光材料では、青色発光材料の骨格を基に、合成装置を利用して、各種材料を合成、スクリーニングを行った。赤色では、発光効率は1.31lm/Wであるが、輝度半減寿命は目標を大幅に上回る約250,000時間(初期輝度100cd/m²としての換算値)に到達した。緑色に関しても、発光効率51lm/W、輝度半減寿命約200時間(初期輝度500cd/m²としての換算)まで改善した。

②高分子有機 EL 発光材料のインク化に関しては、今年度導入したインクジェット装置を用いて、青色材料に関してインク化に適した溶媒や添加剤のスクリーニングを行い、薄膜計測解析やインク作成装置、インクフォーミュレーション検討装置を用いて、最適なインク組成を検討することにより、基板への塗布が可能なインクを得た。赤色、緑色の各色の発光材料についてもインク化検討に着手した。また、周辺材料の設定に関しては、開発した材料の特性を最大限に引き出すための正孔注入材料や陰極材料等の選定を継続した。

③高分子有機 EL ディスプレイ作成のための課題の明確化のために、開発した材料と、本年度導入した実証プロセス装置（素子作製システム）を用いて、実証プロセスにて得た素子が実験プロセスで得た素子特性をほぼ再現することを確認した。

研究開発課題②「有機 EL ディスプレイパネル製造プロセスでの最適成形加工技術の開発」

①住友化学から提供された青色高分子有機 EL 発光材料を用いて、電極材料、有機材料、製膜手法（抵抗加熱蒸着、電子ビーム加熱蒸着、スパッタ）の違いによる有機 EL 特性を把握する事により、ダメージレス成膜装置開発のためのキーファクターが明確になった。

②レーザーパターン加工において、レーザーの種類/波長（YAG、チタンサファイア、エキシマ）やパルス幅（ナノ、ピコ、フェムト秒）の違いによる基本加工性能データの収集を通して装置スペックの絞り込みを行った。基本加工性能データとしては、SEM、EDS を基本に陰極配線金属である Al の加工寸法、加工形状、下地形状評価データが主なものである。特に Al の下地材料である有機膜のダメージ状況については、今期導入した走査型プローブ顕微鏡システムを活用した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、高性能高分子有機 EL (PLED) 発光材料の開発に関しては、青、赤、緑の各色に対し、導入した合成装置を利用して、スクリーニングを行った結果、全ての色で事業の目標である特性をほぼ達成した。（それぞれの目標特性は以下の通り。青；5 lm/W、10,000 時間@100cd/m²、γ<0.21）、緑；12 lm/W、10,000 時間@100cd/m²、赤；3 lm/W、10,000 時間@100cd/m²）。また、スケールアップの反応条件を検討した上で、kg スケールでのサンプル製造を実施し、目標である 1t/年の量産技術に目処をつけた。周辺材料の設定では、開発した材料の特性を最大限に引き出すために、探索を行い、上記材料特性の事業目標達成に寄与することが出来た。また、開発した材料とプロセス実証装置を用い、フルカラードットマトリックスの高分子有機 EL ディスプレイ作製のための課題を抽出した。発光材料のインク化については、各色の発光材料において、溶媒や添加剤のスクリーニングを継続し、薄膜計測解析、インク作製装置、インクフォーミュレーション検討装置を用いて、インク組成を検討した上で、最適な溶媒を選定した。更に基板構造やインクジェットプロセス条件を検討することにより、インクジェットによる RGB 発光材料の塗り分けが可能となった。さらに、膜封止装置を導入し、有機/無機積層の膜封止技術によるバリア性を確認し、課題を抽出した。一方、顧客での評価を効率的に行うために、標準的な特性評価システムを組み立て、先行評価方法を確立した。

基板の大型化において、ダメージレス陰極製膜は現状では多点蒸着源の EB 法が有効である事を PLED 作製を通して検証した。更に春の加速財源で高エネルギー粒子や X 線の出ない新蒸着源を開発し PLED 作製に適用した。又ダメージレス陰極配線パターン加工技術としてマスクレスレーザーパターン加工技術を開発し PLED 作製に適用した。これらの装置と住友化学が導入したインクジェット装置および周辺装置等を見直し、再構築する事により、実用性の高い高分子有機 EL 製造プロセスインテグレーションシステムを提案する事が出来た。

《9》ディスプレイ用高強度ナノガラスプロジェクト【F 2 1】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①クラック進展阻止に有効な異質相の最適化

- (1) 超短パルスレーザーによる異質相形成については、3μJ/pulse、250kHz（年度計画相当の低出力高繰り返し型）、および 1mJ/pulse、1kHz（高出力低繰り返し型）、の対照的な二種類のレーザーデモ装置を借用し、PDP 用高歪み点ガラスの強化実験を行い、機種選定を行うと共に、高ひずみ点での強化予備検討を行った結果、低出力高繰り返し型のレーザーでは、PDP 用高歪み点ガラスの曲げ強度には向上が認められなかった。一方高出力低繰り返し型では、2倍以上の強度向上を確認した。開発対象である PDP 用高歪み点ガラスの強化条件は、ナノガラス技術プロジェクトの供試材であるフロートガラス（低歪み点ガラス）とは大きく異なることが明らかとなった。従って装置選定の基準を見直し、500μJ/pulse 以上高出力で、30cm 角基板に対応できる装置を選定した。また選定したレーザー装置の稼働に最適なクリーンルームの仕様を決定し、工事に着手した。さらに、顕微鏡による断面観察にて、レンズによるレーザーの絞り込み条件が異質相の形状、寸法に及ぼす影響を把握すると共に、4点曲げ試験を行い、強度向上に適したビーム形状の制御の方針を得た。また、面内強度評価のための同心円負荷曲げ試験法の治具を最適化し、4点曲げ試験との対照実験により評価条件の正しさを確認した。
- (2) 端面加工装置については、CO₂ レーザー加工装置について調査し、借用機で端面加工実験に着手した。レーザー加工後の端面形状を観察し、端面を火造り面とするためのレーザー照射条件（速度）を把握した。

研究開発項目②大面積に対応する異質相形成技術の開発

- (1) レーザー照射光学システムとして、レーザービームの分岐光学系仕様と分割方法の予備検討を行

った。レーザー装置は、研究開発項目①（１）と同時に検討し、同装置が仕様を満たすことを確認した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「クラック進展阻止に有効な異質相の最適化」

（１）超短パルスレーザーによる異質相形成

フェムト秒レーザー加工装置により、300mm 角サイズのガラス基板の加工が可能となった。異質相の形成条件と曲げ強度との相関を調べた。曲げ強度は、4 点曲げ法に加えて端面の影響を受けない同心円負荷曲げ法で面内強度を測定した。パルスエネルギー、集光レンズ倍率、異質相の形成深さと間隔を曲げ強度に影響する主要因と考え、各要因の寄与を分析した。同心円曲げ強度の平均値は未照射品に対し、5 倍対物レンズで最大 1.4 倍、10 倍と 20 倍対物レンズで最大 1.2 倍、40 倍対物レンズで最大 1.3 倍に増加した。なお、加工品を高温度熱処理（PDP 製造プロセスに相当する 600℃、10 分）すると異質相が緩和し、強度の改善効果が低下することを示唆した。この点については、強度の改善効果がより大きいサンプルで詳細に調べる。

（２）端面加工

ガラス端面を CO₂ レーザーで照射して傷のない火造り面に加工した。基板には CP600V（2.3mm 厚）を用い、レーザー出力、照射速度、照射角度などの照射条件を最適化した。ラボスケール実験では、100W 級 CO₂ レーザーを用い、予備加熱なし（室温）でガラス端面を R（円弧状）加工することができた。端面強度は 4 点曲げ試験により評価することができ、加工品ではクリーンカット品とほぼ同程度で湿式研磨品の 2.5～3 倍であった。また、端面加工後に 600℃、10 分の熱処理をして強度に変化はなく、加工中に発生した熱歪を低減する効果も認められた。大型化と高速加工の実験では、1kW 級 CO₂ レーザーを用い、加工中に約 580℃の基板加熱が必要であったが、1～5m/min で端面を R や C 面取り（角部のみ溶融）に加工できた。加工品の端面強度はクリーンカット品と同程度であった。

研究開発項目②「大面積に対応する異質相形成技術の開発」においては、

（１）レーザー照射光学システム（加工処理の高速化）

マルチレンズアレイ（MLA）による多点同時加工および干渉露光による大面積加工に関する技術を調査した。MLA 多点加工は、ビームを等エネルギーに分割し集光することが困難であった。干渉露光による大面積加工については、干渉縞間隔 0.5～5μm で集光径（加工面積）を 50～200μm となるよう試作機（基板サイズ 120mm 角）を設計し製作中。また、試作機にはスプリッターでビームを 4 分岐し 4 点同時加工する機能も持たせた。この光学システムにより、逐次形成における加工時間（最短で 2 時間 57 分/300mm 角）を計算上少なくとも 1/4 に短縮可能である。

平成 17 年度は、フェムト秒レーザーによる異質相形成の大面積化と高速化、また、CO₂ レーザーによる端面溶融加工の大面積化を実施した。

①クラック進展阻止に有効な異質相の最適化

- （１）フェムト秒レーザーによる異質相形成ガラスの面内強度は、未処理ガラスの最大 1.5 倍の改善が見られ、ワイブルプロットから、100MPa 以下の低荷重での破壊確率の低下、異質相によるクラック進展の発生確率の抑制効果が示唆された。しかし、従来のガラス強化法である化学強化や風冷強化のような顕著な強度改善（約 3.5 倍）はなかった。
- （２）CO₂ レーザーによる端面溶融ガラスは、4 点曲げ試験で全て面内を起点に破壊し、クリーンカット品と同程度以上の曲げ強度を確認した。熱割れ強度も高く、乾式研磨品と湿式研磨品はそれぞれ約 70℃と約 115℃の温度差で破壊したが、温度差 150℃でも破壊しなかった。

②大面積に対応する異質相形成技術の開発

- （１）レーザー光を干渉させ異質相を広範囲に一括形成する干渉露光法は、超短パルス光を時間的かつ空間的に一致させることが難しく、異質相形成に必要なレーザー出力も不足のため、レーザー光を多光束に分岐し複数の異質相を一括形成する多点同時加工法を採用した。32 インチ基板（750×400mm）対応の 32 点同時加工システムを導入し、約 9min/枚で 32 インチ基板に 100μm 間隔の異質相を形成することが可能となった。
- （２）溶融加工（基板の対向する 2 辺の同時加工）用に 2 台、補助加熱（端部から面内への温度勾配の緩和）用に 1 台の CO₂ レーザーを備えた 32 インチ基板対応の端面加工機を試作し、室温下の走査速度 0.06m/min のレーザー照射で、300x300mm 基板の溶融加工を実現した。しかし、大面積化と高速化には基板の予備過熱が不可欠な状況で、溶融加工における基板の変形や残留応力のサイズ効果など、さらなる検討が必要である。
- （３）基板強度
 - ・100μm 間隔で異質相を形成した 32 インチ基板の面内強度は、改善が見られず、未処理基板の強度と変わらなかった。
 - ・4 点曲げ試験法で 32 インチ基板の周辺から幅 5～10mm の領域に特に応力を掛けることが難しく、熱割れ試験の併用で端面強度を評価することとした。現在、32 インチ基板の端面加工条件を最適化中。

《10》カーボンナノチューブ FED プロジェクト【F21】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①均質電子源の開発

CVD法により、ライン状電極表面に直径約40nm、表面粗さ $\pm 3\mu\text{m}$ のMWNTを均一に成膜する手法を開発し、表面改質した膜について表面形状と電子放出特性を検証した。金属電極上に、直径 10^{15}nm のCNTを生成する小径化手法の見通しを得た。精製したCNTを銀微粒子と混合して分散性を配慮した印刷ペーストを作製し、低ギャップスクリーン印刷技術の要素開発を行い、平坦度 $\pm 3\mu\text{m}$ の見通しを得た。CNT膜のレーザ表面処理で、最適なパワー、波長、照射パターンを検証し、電子放出開始電界強度が $2\text{V}/\mu\text{m}$ 以下で、 $4\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流密度が $5\text{V}/\mu\text{m}$ の電界強度で実現し、目標値をクリアした。印刷CNT膜を用いた積み上げ法による三極部形成プロセスを実証した。 $4\mu\text{m}$ 程度のピッチで電子放出箇所を有する電子源を開発した。低温CVD法によりガラス基板上にCNTを形成する技術を開発し、埋め込み法で三極部を形成し電子放出を得た。

研究開発項目②パネル化及びディスプレイ性能評価技術の開発

気密封止と耐圧の機能を分離した高真空パネル構造を考案した。物理強化法及び化学強化法に関して基本強化条件を見出した。低温かつ窒素雰囲気下で封着可能な耐熱性有機系材料の基本骨格構造を設計した。接着性、高温強度、封着温度等の要求諸物性の並立性を狙いとした細部構造の最適化を行った。CNT電子源の電流-電圧特性及び経時変化を高精度に自動測定する装置と、パネル化したFED(Field Emission Display)の輝度斑、一画素内の輝度分布、ビームスポット径の測定システムを開発した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

①均質電子源の開発

CVD法で金属基板上に成膜し、それを用いて微小な画素を実現するための電子源構造を開発した。また、10インチパネルの形成方法を開発し、デバイスを試作できる見通しを得た。直径10nm程度のMWNTを金属基板上に滑らかな網目状に均一に成長させる技術をほぼ確立し、DWNTの成長についても検証した。並行して、均質かつ平坦なカソード面を形成するため、CNT成長機構の解明を行い、一様な電子放出が得られる最適な表面形状を明らかにした。

下地銀電極の銀微粒子径を最適化すること、及びCNTペーストに関して新しい分散技術を開発することにより、CNT電子源(CNTペースト on 下地銀電極)として、平坦度 $\pm 1\mu\text{m}$ を達成できる見通しを得た。CNT電子源の電子放出メカニズムを解明するために、in situ TEM観察技術を開発し、印加電界によりCNTが電界ベクトル方向に配列する様子を観察した。さらに、エミッションサイト密度や劣化メカニズムに関して、重要な知見を得た。

パワー密度が一様なストライプ状のレーザビームが形成できる表面処理装置を開発した。ストライプビームをスキャンすることで、10インチ級のカソード基板に対してレーザを用いた表面処理が実施できることを確認した。更に、照射するレーザビームの形状を最適化するとともに、表面処理後の微細孔中CNTの高分解能分析を実施することにより、引出電極等の電子源構成部材に影響を与えず、CNTのみに選択的に作用して電子放出特性を改善するとともに、バラツキの低減を実現できるプロセスが開発できた。

$8\mu\text{m}$ の厚膜絶縁層に対してゲート孔径 $10\mu\text{m}$ の高アスペクト比三極構造を形成する技術を確認した。加工条件を適正化することで、CNT表面の損傷を抑制し、活性化することを可能とした。この技術で、CNT単体と比較して軽微な表面処理で同等の電子放出特性を得ることを実証した。表示領域10インチのパネルに対して微細エミッタ構造作製技術を開発した。絶縁層形成、引き出し電極形成、引き出し電極パタニング、絶縁層エッチングの各プロセスの基礎検討を完了し、10インチ領域に孔径 $10\mu\text{m}$ の微細エミッタ構造を形成することに成功した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成16年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

①均質電子源の開発

化学気相成長法(CVD)によるCNT特性均質化技術の開発においては、二層CNT(DWNT)及び直径10nm程度の多層CNT(MWNT)を金属基板上に成長させ、高精細画素($0.2\text{mm}\times 0.6\text{mm}$)の小型表示デバイス(表示面約 36mm 角)を試作し、均質性、寿命などの性能を検証した。

印刷法によるCNT特性均質化技術の開発においては、マトリックス状に作製したCNT電子源を個々に駆動し、個々の電子源の輝度変化、面内分布等の電子放出特性を検証した。また、耐熱性ペーストを開発し、焼成後の残存CNT増加による電子放出均一化を達成した。

表面処理技術の開発においては、10インチ級のカソード基板に対するレーザー処理と粘着テープ処理による最適化を行ない、目標とする電子放出特性(電子放出開始電界強度が $2\text{V}/\mu\text{m}$ 以下で、 $10\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流密度が $4\text{V}/\mu\text{m}$ 以下の電界強度で実現)を達成した。

微細エミッタ作製技術の開発においては、絶縁層の膜厚ばらつきと微細エミッタ構造の形状ばらつきを低減するプロセスを開発し、10インチ電子源で加工精度2%を達成した。また、過電流エージング処理を考案し、1.8%の画素間電子放出特性差が達成できる技術を開発した。

②パネル化及びディスプレイ性能評価技術の開発

パネル化技術の開発においては、40インチ程度的大型化に対応可能な、曲面ガラスの成型方法とガラス高強度化手法、及び 350°C の低温封着技術を確認した。

ディスプレイ性能評価技術の開発においては、蛍光面、ブラックストライプ、ゲッタ材料及び真空排気方法等の設計技術を開発し、10インチ級FEDを試作した。また、FED用の表示制御回路、評価回路、評価システム、パネル内の全ドットをスキャンしながら最大電圧200Vをゲート/カソード間に印加しVI特性を自動測定できるシステム、空間分解能 $20\mu\text{m}$ 測定点数 512×400 を有する画素内の輝度分布測定装置、輝度経時変化測定装置などを開発し、試作したFEDで動画表示と性能評価等を実施した。

《11》光触媒利用高機能住宅用部材プロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

①放熱部材利用冷房空調負荷低減システムの開発

工場の更衣棟において外付けシェードに対する流下液膜適用実証実験により冷房空調負荷低減効果を確認した。また、建材メーカー7社共同のコンソーシアムで、住宅、ビル、大空間（ドーム等のテント構造物）の各WGを設置し、各WGの平成16年度以降の実証実験について、各部材のモックアップによる実験結果に基づいて詳細計画を作成し、建設に着手した。

②空調環境浄化部材の開発

「可視光応答型光触媒の基本特性及び安全性の評価」として、可視光応答型光触媒の分解反応特性評価、耐久性評価、安全性評価、さらに室内VOC数値解析について、機器装置等の実験・分析環境を整え、予備的な評価実験に着手した。「可視光応答型光触媒の室内への適用技術及び性能評価」として、合同連絡会での討議により、確認した共通目標を踏まえながら、7社独自の目標を設定し、室内環境浄化部材の開発に着手した。部材開発と同時に、量産化への対応にも着手し、早期事業化に繋げるべく実施した。

「室内環境浄化部材共通評価方法の検討」として、室内環境浄化部材開発事業実施者に外部有識者を加えて共通評価WGを設置し、部材評価方法の検討を行った。浄化対象のホルムアルデヒド分解の簡便な評価が困難なことから、モデル化合物としてアセトアルデヒドの分解を簡便に評価する方法について、原案を策定し、標準サンプルを用いて検証を行い、プロトコルを策定した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

①放熱部材利用冷房空調負荷低減システムの開発

断熱BOXを用いて、各部材試験片の物性データを採取し、数値解析を行った。実証住宅（東京大学構内）、オフィスビルをモデル化した実証実験棟（東京理科大学構内）を建設し、冷房負荷低減効果を確認するとともに、施工上の課題等の抽出を行った。また、愛・地球博 会場内に、ドーム型テント屋根の実証実験施設を建設した。博覧会会期中に休憩所として人の出入りがある実空間で公開実証実験を実施した。

②空調環境浄化部材の開発

「可視光応答型光触媒の基本特性及び安全性の評価」として、可視光応答型光触媒によるVOCの分解反応特性評価、安全性評価、さらに室内VOC数値解析について、評価方法の検討とデータ収集を実施した。「可視光応答型光触媒の室内への適用技術及び性能評価」として、7社とも共通評価WGで検討した共通評価方法で性能評価を行いながら、各々の室内環境浄化部材の開発を実施し、一部には商品化の目途が立った。「室内環境浄化部材共通評価方法の検討（共通評価WG）」として、平成15年度に策定した簡易評価法（アセトアルデヒド-バッグ法）の検証を継続するとともに、ホルムアルデヒドの評価方法を検討し、トルエンについても評価を試みた。ホルムアルデヒドについて、VOCガス流通法による部材の最大能力評価とチャンパー法による使用条件を模した評価を重点的に検証する方針を確認した。

また、当該プロジェクトについては、平成16年度、追加的に予算を配分し、光触媒利用放熱部材を都市に適用したときのヒートアイランド現象（都市温暖化）軽減効果について、①で得られたデータに基づいて数値シミュレーションを行い検証し、その結果、高い効果が期待されることが示された。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

①「放熱部材利用冷房空調負荷低減システムの開発」

散水条件（水質、散水量、散水速度）および散水手法（散水穴径、穴ピッチ、散水角度）の最適化により、耐久性とメンテナンス性を兼ね備えた新聞欠散水システムを確立した。本散水システムを用いたモデル住宅実証実験（東大先端研）の結果より約40%の空調負荷低減効果が、モデルビル実証実験（理科大）の結果より約20%の空調負荷低減効果が、また愛知万博休憩所での実証実験の結果より約20%の空調負荷低減効果が確認され、いずれも開発した各種放熱部材の高い冷房負荷低減能力と散水システムの有効性が実証された。

②「光触媒利用放熱部材によるヒートアイランド軽減効果の検討」

土地利用が異なる4種街区（商業業務区、集合住宅地、戸建住宅、その他工場・倉庫・公園・駅）をモデル化し、放熱部材として上記①にて開発したガラス、金属パネル、窯業系外壁材、スレート瓦、メッシュ材、膜材を導入し、都市空間冷却効果シミュレーションを実施した。放熱部材を各種街区の屋根、外壁等に導入した場合の熱環境負荷（ヒートアイランド形成）抑制効果の指標であるヒートアイランドポテンシャル（HIP）にて評価し、結果として戸建街区にてHIP：20℃以上の、商業街区にてHIP：10℃以上の効果が確認された。16年度の東北大での検討結果と合わせて、開発した放熱部材が都市街区におけるヒートアイランド対策に非常に効果があることが確認された。また、本シミュレーション結果は、プロジェクトにて開発した放熱部材の有効性をわかりやすく、ビジュアルにPR可能なツールとしても有効であると確認された。

研究開発項目③「室内環境浄化部材の開発」

「可視光応答型光触媒の基本特性及び安全性の評価」については、光活性作用による安全性評価および反応生成物の安全性評価を実施し、いずれにおいても酸化チタン光触媒に起因する有害性は検知されず安全性が確認された。また、室内VOC濃度分布の数値解析を実施し、光触媒によるVOC分解挙動の実測値との比較検討を行った。その結果、開発した解析手法により実際の分解挙動を精度良く予測可能であることが判明した。

「可視光応答型光触媒の室内への適用技術及び性能評価」については、可視光応答型光触媒を適用

した内装材、壁紙、カーペット&カーテン、照明反射板等の開発を実施し、プロセス条件の確立および有害化学物質（VOC等）の分解性能評価を行い、いずれの部材においても初期目標の分解性能が確認され、製品化の目途が得られた。特に、内装材（松下電工）については、製品化も完了した。

「室内環境浄化部材共通評価方法の検討（共通評価WG）」については、室内浄化部材の評価を通して試験条件を確立し、ホルムアルデヒド評価法（流通式分解試験方法、小型チャンバー式分解試験方法）のプロトコル案を完成した。

《12》内部熱交換による省エネ蒸留技術開発 [平成14年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「内部熱交換による省エネ蒸留塔(HiDiC)の研究開発」については、内部熱交換によるHiDiCの運転操作性の研究開発として、内部構造の異なる棚段塔式、充填塔式及び濡れ壁塔式の3方式を比較検討し、省エネ効果が大きく、技術的完成度も高い充填塔式をパイロットプラントの候補とした。そのほか、ピンチ解析手法を用いてパイロットプラントの油種を決定した。棚段塔型もしくはトレイ型HiDiCの研究開発として、塔径1mの試験装置を製作し、性能試験を実施した。また、伝熱管内部の蒸気凝縮伝熱挙動を解明し、蒸気流れのよどみを解消して高い伝熱性能を確認した。さらにShell&tube縦型のHiDiCの研究開発として、tube unitの諸性能（分離性能、伝熱性能、圧力損失等）を定量試験し、実用に十分な性能を有することを確認した。また、シミュレーションと実験により、製品濃度を維持するに十分な液分配性能を有する液分配器の設計・製作技術を確立した。

研究開発項目②「プレートフィン流路を用いた内部熱交換型蒸留器による深冷空気分離装置の研究開発」については、内部熱交換型蒸留器の構造の開発として、液分散実験や解析シミュレーションを実施して改良を加え、蒸留効率に悪影響を及ぼさない程度に偏流を防止できる内部構造の目処を得た。熱と物質の移動現象の解明では、全還流蒸留実験装置を使用して蒸発や凝縮を伴う蒸留実験を行い、プレートフィン流路における内部熱交換による蒸留の優れた性能が確認された。シミュレータの開発では、開発したシミュレータで実験結果が再現できることを確認した。また、設計方法の検証実験として、小型の内部熱交換型蒸留器を用いた深冷空気分離装置を製作し、実験により検証を開始した。

研究開発項目③「3成分以上の分離系に対する操作・制御手法の開発」については、多成分プロセスのシミュレーションと操作に関する研究として、多成分系複合プロセス解析装置等を使用してシミュレーション手法により、パイロットプラント概念設計の知見を明らかにした。また、蒸留プロセスの動特性に関して、現象論に基づくモデルの導出と挙動を明らかにした。最適プロセス構成法に関する研究として、蒸留プロセスの最適な装置構成の検討を実施し、パイロットプラントの省エネルギー性等の評価を明らかにした。また、蒸留プロセスにおけるシステム全体のエクセルギー損失削減ポテンシャルを明らかにする手法を導出した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目① 内部熱交換による省エネ蒸留塔(HiDiC)の研究開発

内部熱交換による省エネ蒸留塔(HiDiC)の運転操作性の研究開発として、パイロットプラントの設計・運転を通じて、ユーザーの立場から運転操作性のよい運転制御システムの研究を行った。棚段塔型もしくはトレイ型HiDiCの研究開発として、モデル装置を製作し、スケールアップでの性能評価を行った。また、コンパクト化のため、伝熱面を大きくとれるタイプの伝熱管について実験を行った。また、Shell&tube縦型のHiDiCの研究開発として、パイロットプラントの設計をし、製作・建設を行った。また、操作条件設定、熱物質収支計算及び省エネ性等についてシミュレーションを行った。

研究開発項目② プレートフィン流路を用いた内部熱交換型蒸留器による深冷空気分離装置の研究開発

熱と物質の移動現象の解明として、プレートフィン流路を用いた内部熱交換型蒸留器で、気液接触を均一にし、伝熱・物質移動効率を高めるため、上部からの還流液分配をより均一にする内部構造を実験により確認した。

また、シミュレータの開発として、シミュレータの精度を向上させ、プロセスの詳細設計に適用可能とした。また、設計方法の検証実験として小型の内部熱交換型蒸留器を用いた深冷空気分離装置を使用した実験により、開発したシミュレータの妥当性を検証した。また、装置のプロセス設計方法を検討した。

研究開発項目③ 3成分以上の分離系に対する操作・制御手法の開発

多成分系プロセスのシミュレーションと操作に関する研究として、多成分系混合物に対応したシミュレータを開発し、これにより、省エネルギー特性、パイロットプラントの設計及び定常運転に関する知見を得た。最適プロセス構成法に関する研究蒸留プロセスの最適な装置構成を検討し、HiDiCを含むコンビナート内の蒸留塔システム群について、省エネルギー性等評価の知見を得た。ダイナミックモデルの構築に関する研究として、パイロットプラント等多成分系の内部熱交換型蒸留プロセスの制御システムとその挙動を解明した。また、省エネルギーポテンシャルの解明に関する研究として、プロセスシステム全体のエクセルギー損失削減ポテンシャルを明らかにする手法を開発した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「内部熱交換による省エネ蒸留塔(HiDiC)の研究開発」

内部熱交換による省エネ蒸留塔(HiDiC)の運転操作性の研究開発として、パイロットプラントの

運転を通じて、ユーザーの立場から運転操作性のよい運転制御システムの研究を行った。また棚段塔型もしくはトレイ型 HiDiC の研究開発として、実機レベルの HiDiC 型蒸留塔（二重円筒構造、リフトトレイ）の内部構造の研究と伝熱・蒸留特性について、解析・実験を通して研究開発を実施した。Shell&tube 縦型の HiDiC について、操作条件設定、熟物質収支計算及び省エネルギー性等についてシミュレーションを行い、得られた知見を基にパイロットプラントの運転の支援を行った。

研究開発項目②「プレートフィン流路を用いた内部熱交換型蒸留器による深冷空気分離装置の研究開発」

設計方法の検証実験として、平成 16 年度に建設した小型の深冷空気分離装置を使用した実験を継続して行い、商業機に向けた内部熱交換型蒸留器の改善検討を実施。シミュレータの改良として、小実験装置の実験結果を用いて、平成 16 年度に開発したシミュレータの改良を行った。これらの研究結果を基にパイロットプラントによる実験計画を立案した。

研究開発項目③「3 成分以上の分離系に対する操作・制御手法の開発」

ベンチプラントやパイロットプラントに即した HiDiC の分離挙動・移動現象を推算し、実用設計に適用できるシミュレーターを開発した。

《13》省エネルギー型鋼構造接合技術の開発 [平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「溶接変形量を低減する溶接材料の開発」においては、基本化学組成に基づき変態温度（Ms 点）の異なる水平すみ肉溶接用の溶接材料を試作し、溶接金属の材料物性を評価した。水平すみ肉溶接継手を作成し、溶接変形挙動を確認して溶接材料の開発の目的をたてた。

研究開発項目②「開発溶接材料の溶接条件の提示と構造体としての特性評価」においては、溶接変形シミュレーションに必要な溶接材料および溶接金属の物性値（ヤング率等）を測定するとともに、新たに溶接変形測定装置を作製し、溶接中および溶接後における変形挙動の時間変化の測定を行い、溶接変形の推定を可能とするシミュレーションモデルを確立すると共に精度向上を達成した。また、継手特性評価のための継手形式および試験体形状を検討し、溶接継手評価方法（引張、曲げおよび硬さ試験の試験片形状、シャルピー衝撃試験条件、溶接作業性）を決定した。さらに、一次試作したすみ肉溶接継手の溶接材料の溶接性（作業性）評価、強度特性評価（引張、曲げ、シャルピーの各特性、硬さ）を実施し、評価結果を基に、溶接材料の課題と改善方法を提案した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「溶接変形の少ない溶接材料の開発」においては、水平すみ肉溶接用フラックス入りワイヤを対象として基本化学組成に基づき変態開始温度（Ms 点）の異なる溶接材料を試作し、溶着金属の変態開始温度（Ms 点）を溶接変形抑制効果が最も大きい 350～450℃を適正範囲とした。試作ワイヤを用いて引張試験や衝撃試験などを行い、溶接変形低減に寄与し、溶接金属において欠陥が無く、かつ良好な機械的な性質を有する水平すみ肉溶接フラックス入りワイヤの設計指針を確立し、完成させた。また、水平すみ肉溶接材料の知見を基に、全姿勢すみ肉溶接用フラックス入りワイヤおよび突合せ溶接用ソリッドワイヤを一次試作した。

研究開発項目②-1「溶接変形の少ない構造体の溶接施工方法決定手順の提案」においては、溶接金属の変態特性を考慮した有限要素法 3 次元溶接変形シミュレーションモデルを構築し、溶接変形挙動を定量的にシミュレートできる手法を確立した。溶接変形シミュレーションを用いて平面パネルレベルの変形予測へ拡張し、解析的評価を行った。基本継手の適正施工条件を提示する見込み。また、溶接施工中における 3 次元の変形挙動を非接触方式で計測が可能な溶接変形測定装置を開発し、試作ワイヤを用いて溶接時の変形挙動の調査を行い、溶接金属の変態膨張によって溶接変形が抑制されることを実証した。拘束下の溶接でも角変形量が低減することを確認した。さらに、水平すみ肉溶接基本継手において、多層溶接施工法、仮付け溶接および溶接順序などの溶接変形に及ぼす影響を検討した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①水平すみ肉溶接用フラックス入りワイヤの開発知見を基に、溶接性・溶接作業性と強度特性を兼ね備えた溶接変形が少ない全姿勢すみ肉溶接用フラックス入りワイヤおよび突合せ溶接用ソリッドワイヤを試作し完成させた。

研究開発項目②-1 開発溶接材料を用いて橋梁部材・船舶部材および建設機械部材などの実機を模擬した構造体モデルを設計・製作して溶接変形抑止効果を確認するとともに、開発した溶接材料の特性を活かして溶接変形の少ない構造体の溶接施工方法決定手順を提案した。

溶接施工方法については、開発した溶接材料を用いて平面パネルレベルにて種々の溶接条件（拘束など）が溶接変形に与える影響を評価し、実験と考察を重ねることにより構造体を模擬した試験体作製に反映させた。また、多層溶接施工法において、全溶着量に占める開発溶接材料の割合や積層位置を変化させた場合の溶接変形量を評価するとともに、残留応力、疲労強度に及ぼす開発溶接材料の影響についても確認した。

また、溶接変形シミュレーションを用いて多層溶接試験体などの解析的評価を行い、実験結果との良好な一致を確認した。さらに、立体構造体を作製するための種々の溶接条件を考慮した溶接変形シミュレーション解析を実施し、開発した溶接材料の特性を活かし溶接変形の少ない構造体モデルの溶接施工方法決定手順を提案した。

これらの検討結果を基に、開発した溶接材料を用いて、橋梁部材・船舶部材および建設機械部材などの実機を模擬した構造体モデルを設計・製作し、実機条件下での溶接変形抑止効果を確認した。

研究開発項目②ー2 開発した溶接材料と従来溶接材料を用いて平面パネル試験体および立体構造試験体を作製して疲労試験および座屈試験を含めた構造部材の確証試験を行い、実構造物レベルにおける溶接作業性と構造健全性を評価し、開発溶接材料は従来溶接材料と同程度の特性を保有し、実機の構造体に適用可能であることを確認した。

《14》インクジェット法による回路基板製造プロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野①高度情報通信機器・デバイス基盤技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《24》参照]

《15》CO₂排出抑制型新焼結プロセスの開発 [平成14年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「効率的部分還元のための事前造粒最適化技術」に関しては、既存焼結機の塊成化機能に新たに還元機能を付加したプロセスを開発するため、鉄鉱石からなる擬似粒子造粒物表面に焼成用の炭材を外装し、還元用の炭材を内装するプロセスおよび鉄鉱石と炭材を混合・造粒し、造粒物表面に石灰石と炭材を外装するプロセスを開発することを目標に事業を実施した。還元用の炭材を内装する工程に関するプロセス開発では、還元率向上のため鉄鉱石と還元用炭材の最適造粒物構造を実験室にて検討し、鍋焼成試験（バッチ試験）により焼結鉄還元率40%（金属化率13%）を達成可能な条件を明確化した。また、混合原料の圧縮成形品を一部添加して焼成した場合には、成形品部分で60%（金属化率30%）を達成した。

研究開発項目②「再酸化防止を考慮した部分還元技術」焼結機における鉄鉱石の部分還元技術を開発するとともに部分還元後の塊成鉄の再酸化を防止する技術を開発することを目標に事業を実施した。バッチ試験による焼成パターン、雰囲気制御方法の最適化として、焼成時の吸引ガス中の酸素濃度を9～15%に低下させることで、コークスの過剰燃焼に伴う融液の過剰発生を抑制し、焼成が安定した。その結果、焼結鉄の再酸化抑制と併せて上記の還元率40%を達成した。また、焼結鉄の歩留は実機操業と同等以上であった。バッチ試験で得られた知見を基に、焼結シミュレーターの焼成雰囲気制御設備の機能を増強し、実機化を目指した連続操業試験を開始した。

研究開発項目③「部分還元塊成鉄の高炉内評価技術」においては、部分還元焼結鉄の高炉内での特性を評価するため、高炉内を模擬した高温反応試験を行った。高温反応試験は、高炉内条件を模擬した高温反応試験炉を用い、荷重を掛けた状態で室温から1,500℃程度まで昇温し、昇温過程における粉化、還元、溶け落ち挙動を調査するため、高炉内挙動評価シミュレーターでの試験を実施した。還元焼結鉄では軟化開始温度が高く、高炉内圧力損失が低減し、良好な溶け落ち挙動を示した。一方、実機焼結機でのコークス増加試験を実施し、通常焼結操業に対しコークス2%増で還元率4.4%増を確認した。製造した還元焼結鉄を高炉に30%まで配合して使用し、その効果について解析を実施した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「実機化に向けた造粒技術」においては、鍋焼成試験で多層構造造粒物（擬似粒子）構造の最適化試験を行い、焼結シミュレータ設備での試験により連続安定的に製造しうる最適な設備構成及び運転条件を検証し、今後の課題と対策について検討した。

研究開発項目②「再酸化防止を考慮した部分還元技術」においては、再酸化抑制のため、被膜形成を施した多層構造造粒物（擬似粒子）構造とするとともに、生産性向上対策として焼成雰囲気（O₂濃度）制御及び充填層内の通気改善を行い、生産性を低下させることなく、部分還元率40%（プロジェクト終了時部分還元率目標値：35%）を達成することができた。今後は、圧縮成型粒子（ブリケット）による更なる充填層内の通気性確保及び粒子内の鉄鉱石と炭材との接触強化を図るとともに、最終目標である部分還元率70%を達成するための研究課題を明確にした。

研究開発項目③「部分還元塊成鉄の高炉使用技術」においては、部分還元焼結鉄の高炉内挙動を評価し、溶け落ち時の圧損が大幅に改善されるとともに、高い初期還元率の状態が最終還元域まで維持されることが確認でき、製鉄工程全体でのCO₂削減効果が期待できることを確認した。

《16》製造工程省略による省エネ型プラスチック製品製造技術開発 [平成14年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「フィルム用途 PP の SPM」

- (1) 開発したチーグラ触媒を用いて得られた重合パウダーの特性は、いずれも最終目標値を達成した。(平均粒径 2.2mm、粒度分布 1.2(幾何標準偏差)、嵩密度 0.51g/cm³、触媒活性 37,000g/g 固体触媒)。
- (2) 重合パウダー安定化技術として、バインダー安定剤を用いて重合パウダーにコーティングする方法が有効であることを確認したが、コスト面で工業化に適さないことがわかった。一方、前処理を施したフェノール系安定剤を重合時に添加することにより、重合挙動に影響を及ぼさず、室温・半年間貯蔵に相当する安定化を達成した。
- (3) タンデム押出方式およびギヤポンプ押出方式(二軸押出機+ギヤポンプ)により、押出量 200kg/h、かつ、フィッシュアイ状気孔(FE)のほとんどないフィルム原反を成形することできた。
(3) タンデム押出方式(二軸押出機+単軸押出機)およびギヤポンプ押出方式(二軸押出機+ギヤポンプ)により、重合パウダーで押出量 200kg/h、かつ、FE 個数がペレット原料対比で同程度のフィルム原反を成形することできた。

研究開発項目②「インジェクション(射出成形)用途 PP の SPM」

- (1) 開発したメタロセン触媒を用いて得られた重合パウダーの特性は、平均粒径 2.2mm、粒度分布 n 項 10、嵩密度 0.41g/cm³となり、平成 15 年度の開発目標値を達成した。
- (2) 上記重合パウダーをフェノール系安定剤溶液で処理することにより、最終目標値の 40℃・2 年間に相当する安定化を達成した。
- (3) 標準成形機を用いて得られた PP フィラー入りのペレットの物性値を測定し、直接成形機の目標値とした。

また、標準成形機と直接成形機のエネルギー比較を行い、直接成形法の優位性を確認した。さらに、ベンチスケールでの制御技術を検討すると共に、パイロットスケールの計画・設計を行い一部製作にかかった。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

全ての開発目標を達成し、SPM システムによる PP 製品(フィルム、インジェクション)の製造を技術的に可能にした。各研究開発項目に対する成果は以下の通りである。

研究開発項目①「フィルム用途 PP の SPM」

- (1) 触媒技術開発：チーグラ触媒を用いて、重合パウダー一貫高速製膜に適用可能な広分子量分布を有する触媒を開発した。また、重合プロセスシミュレーション解析の結果、実用化想定プロセスにおいて重合パウダーの強度低下が生じないものと推定された。
- (2) 新規安定剤及び安定剤添加技術の開発：パウダー重合時に開発したフェノール系安定剤及びピリン系安定剤を併用添加することにより、添加量が 500ppm 以下でも室温・2 年間相当以上の長期保存安定性を達成すると共に、成形加工時の安定化技術を開発した。また、原反成形時に安定剤を添加することにより、現行ペレットと同等のフィルム品質を有する製膜が可能であることを明らかにした。
- (3) 成形技術開発：二軸押出機+ギヤポンプ方式により押出安定性を確保することで、フィルムの厚薄精度を高める技術を開発した。開発したパウダー直接成形用二軸押出機の単軸押出機に対する省エネルギー率は 30%であることを確認した。さらに、開発した二軸押出機に高速製膜機へのスケールアップ実績のあるパイロット製膜機を接続して重合パウダーの製膜施工性を評価した結果、大粒径パウダーのみならず小粒径パウダーを用いても現行ペレットと同等のフィルム的高速製膜が可能であることを明らかにした。

研究開発項目②「インジェクション用途 PP の SPM」

- (1) 触媒技術開発：開発したメタロセン触媒を用いて得られた重合パウダーの特性は、平均粒径 2.2-2.5mm、粒度分布 n 項 11、嵩密度 0.41g/cm³、触媒活性 51,600g/g となり、開発目標値を全て達成した。
- (2) 新規安定剤及び安定剤添加技術の開発：パウダー重合時に開発したフェノール系安定剤及びピリン系安定剤を併用添加することにより、添加量 1000ppm において 40℃・2 年間相当以上の長期安定性を達成すると共に、成形加工時の安定化技術を開発した。また、成形時に安定剤を添加、および、パウダー重合時安定剤を添加することで、現行ペレットと同等の品質低下防止機能を付与することができた。
- (3) 成形技術開発：パイロットタイプのパウダー直接射出成形機(電動式)を開発すると共に、この射出成形機を用いて製造した試験片の物性値が現行ペレット成形品と同等以上であることを確認した。また、開発した射出成形機の従来機(油圧式)に対する省エネルギー率は 30%であることを確認した。

《17》超臨界流体利用環境負荷低減技術研究開発 [平成 12 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<3>環境分野 ③化学物質のリスク評価・管理技術 化学物質総合評価管理プログラム《10》参照]

《18》交流超電導電力機器基盤技術研究開発 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、計画に基づいて4つのテーマを実施した。具体的な実績は以下のとおり。

研究開発項目①「超電導送電ケーブル基盤技術の研究開発」においては、4層ケーブル導体の巻きピッチを最適化し、3kAの通電を確認した。また、冷却管の断熱構造の最適化により、熱侵入0.3W/mを確認した。これらはいずれも中間目標を達成するものである。さらに、バリア層導入線材の交流損失低減効果を確認するとともに、500m超電導ケーブルの製作に必要な設備及び治工具の設計・製作等を行い、500m超電導ケーブルの製作・敷設を完了し、荷電、冷却試験が実施できる状態になった。これらにより、最終目標の達成に見通しを得た。

研究開発項目②「超電導限流器基盤技術の研究開発」においては、2次元揺動PLD法により10cm長の超電導膜を作成し、3.3MA/cm²の臨界電流密度を確認した。また、40枚直列接続した限流素子により6.6kVを印可した限流試験に成功、6枚並列接続した限流素子により380Aの連続通電を確認した。これらはいずれも中間目標を達成するものである。さらに、超電導膜においては中間層成膜の高配向化、限流素子においては8並列化の設計等を行うとともに限流素子の大電流化等を図った。また、限流器の概念設計を実施した。これらにより、最終目標の達成に見通しを得た。

研究開発項目③「電力用超電導マグネットの研究開発」においては、マグネットはこれまでの設計データを反映した各種モデルコイルにより66kVの電圧を確認、多並列導体の構造最適化により500A級モデルコイルを製作、1kA級電流リードの検証を行った。リアクトルもモデルコイルにより66kVの印可を確認し、コイルの3並列により375Aの通電を確認した。66kV/3kA級の概念設計を実施した。これらにより、最終目標の達成に見通しを得た。さらに10MVA級超電導変圧器の概念設計および500A級パルスモデルコイルの設計検討を開始した。また、10MVA級超電導変圧器の部分モデルとして単相2MVA級変圧器モデルを作成し、性能評価試験を実施した。これらにより、最終目標の達成に見通しを得た。

研究開発項目④「トータルシステム等の研究」においては、単相超電導ケーブルの系統導入効果の解析を完了し、中間目標を達成した。さらに、超電導限流器の系統導入効果解析等を行うとともに、超電導限流素子の動作検証試験装置の製作を実施し、系統シミュレータを用いた超電導限流素子の動作検証試験を実施するとともに、超電導ケーブルの冷却、荷電試験の試験方法等について詳細試験方法を検討整理した。さらに超電導機器の試験法についての文献調査を行った。

なお、本プロジェクトは、平成15年度に中間評価を実施し、「社会的環境の変化に対応した目標設定の微調整が必要。実用化の可能性の高いものに注力し目標を絞り込むこと。」等の評価を得た。これを受けて研究開発項目の見直しを行い、研究開発項目③については、予定を1年前倒して平成15年度で終了することとした。

平成16年度は、計画に基づいて3つのテーマを実施した。具体的なプロジェクトの実績は以下のとおり。

研究開発項目①「超電導ケーブル基盤技術の研究開発」においては、アルカリ土類銅複合酸化物((Sr, Ca)-Cu-O)にてピッチ25mm、ツイスト数19芯のバリア線を試作し、I_c=62A、J_e=6,800KA/cm²を達成し、試作した線材により3KA導体を設計し、交流損失について単心シールド付で0.8W/m、三心一括型シールド付で1.0W/mの試算結果を得た。

また、短絡試験用導体(単尺長10m)を9本製作し、短絡試験の供試体とした。

さらに、超電導応用基盤技術研究開発プロジェクトで作成したY系線材の供給を受け、導体化のための基本性能(サーマルサイクル試験、曲げ試験、引っ張り試験、オーバーカレント試験)を確認し、1m導体を試作し、I_c測定、交流損失を測定評価した。

研究開発項目②「超電導限流器基盤技術の研究開発」においては、中間層膜および超電導膜を形成する条件の適正化(成膜時間、温度)により3cm×10cmで均一性(±8%)の膜作成技術を達成した。

また、前年度までに確立した技術、製作した装置により限流器(超電導薄膜型、整流器型)の評価試験を実施し、最終目標を達成していることを確認した。

研究開発目標③「トータルシステム等の研究」においては、短絡試験機等を用いた超電導限流器の動作検証試験を実施するとともに限流器の導入効果、経済性について評価検討を実施した。

また、超電導ケーブルに関しては、500m長尺ケーブルの課電、通電、課通電試験を実施し長期使用や周辺機器の故障時においても安定して使用可能であることを確認した。

さらに、研究開発項目①で作成した単尺ケーブルにより課通電、短絡試験を実施するとともに超電導ケーブルの導入効果、経済性について評価検討を実施した。

《19》フライホイール電力貯蔵用超電導軸受技術研究開発 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、計画に基づいて2つのテーマを実施した。具体的な実績は以下のとおり。

研究開発項目①「超電導軸受要素技術」(1) 載荷力向上技術の研究については、10kWh級運転試験装置に適用する超電導軸受用固定子を作製した。また、100kWh級軸受に用いるY(※1)系超電導バルクを作製し、期待通りの特性であることを確認するとともに、これらを用いて載荷力評価試験のための固定子モデルを作製した。RE(※1)系超電導バルクのうち、Sm(※1)系の超電導軸受への適用性について評価し

た結果、77K以下の低温では Y (※1) 系に比べ捕捉磁場特性が優れていることを確認した。また、SEG (※1) 系大型バルクの合成法の検討を行い、φ30mm サイズで NEG (※1) 系よりも優れた特性を確認した。10kWh 級運転試験装置に適用する磁気回路を作製した。また、100kWh 級軸受用磁気回路について、形状最適化による高磁場化の検討を行い、載荷力評価試験のためのモデルを作製した。(2) 回転損失低減技術の研究については、100kWh 級超電導軸受磁気回路について、3次元磁場シミュレーションにより、磁場バラツキ低減のための磁気回路構成を検討した。(3) 軸降下低減技術の検討については、回転損失試験機を用いた回転時の軸降下特性試験により、回転時の軸振れが軸降下に影響を及ぼすこと、抑制対策としては予荷重法が有効であることを確認した。また、軸降下抑制対策(過冷却法)として10kWh 級運転試験装置に適用するための冷凍式超電導体過冷却装置を製作した。(4) 超電導軸受試験技術開発については、100kWh 級超電導軸受モデルによる載荷力評価試験を実施し、最終目標である載荷力密度 10N/cm² 以上の性能を確認した。また、バルクの分割配置に起因する磁気回路の渦電流の影響を考慮できる高精度の数値解析手法を開発し、これを用いて回転損失の低減対策を検討・評価した。

研究開発項目②「超電導軸受応用技術」(1)超電導軸受運転試験については、10kWh 級運転試験装置の製作・組立・調整を行うとともに、FRP 回転体、制御型磁気軸受、超電導軸受等の性能確認試験を実施した。(2) フライホイール軸制振技術開発については、回転損失低減に効果のあるゼロパワー制御とホモポーラ磁極を採用した 10kWh 級運転試験装置用の制御型磁気軸受を製作した。(3) フライホイール本体の高性能化・高品質化については、フィラメントワインディング成型条件、マルチリング製作技術、ハブ構造等の検討結果を踏まえ、10kWh 級運転試験装置用の FRP 回転体を作製した。また、100kWh 級 FRP 回転体の基本構造に関する検討を行った。(4) 技術調査研究については、フライホイール電力貯蔵装置の開発状況及び用途別仕様等に関する国内外の研究開発動向調査を実施した。なお、本プロジェクトは平成 15 年度に中間評価を実施。「超電導要素技術は着実に成果を上げているが、今後の進め方は経済社会環境の変化、技術の進歩を踏まえて見極めるべき。」等の評価を受け、平成 16 年度は運転試験結果はじめこれまでの開発技術の成果取り纏めを行い、成果及びデータの活用を図ることに見直した。

※1 RE (レアアース) 系とは、Y (イットリウム) の代わりに Sm (サマリウム) を使用した Sm 系、Nd (ネオジウム) -Eu (ユーロビウム) -Gd (ガドリニウム) を使用した NEG 系、Sm-Eu-Gd を使用した SEG 系等の希土類 (レアアース) を使用した超電導材。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

超電導軸受要素技術、超電導軸受応用技術及び超電導軸受に関する技術調査について、今フェーズ(平成 12 年度～15 年度)における研究開発成果を評価し、技術資料として取り纏めた。超電導軸受要素技術、超電導軸受応用技術及び超電導軸受に関する技術調査に取り組み、研究開発の着実な推進によって、以下のとおり基本計画の最終目標を達成した。

研究開発項目①超電導軸受要素技術開発

目標：載荷力密度 10N/cm²、載荷力あたりの回転損失 2mW/N の性能を持つ 100kWh 級フライホイール システムに適用できる超電導軸受要素技術の見通しを得る。

- ・載荷力向上:10kWh 級軸受モデルで過冷却(67K)により目標の載荷力密度 10N/cm² を達成した。100kWh 級軸受モデルでは、磁気回路の高磁場化等により窒素冷却温度(77K)で目標を上回る 11N/cm² を達成した。
- ・回転損失低減:100kWh 級軸受については数値解析により評価を行い、磁気回路への渦電流抑制構造の採用、超電導バルク体の配置最適化等による回転損失低減対策によって、目標を上回る 0.55mW/N を達成した。

研究開発項目②超電導軸受応用技術開発

目標：10kWh 級運転試験装置の製作、運転試験を通じて課題をシステム側の視点から明らかにする。特に、超電導フライホイールシステムの早期実用化に不可欠な軸降下抑制対策の効果を 10kWh 級運転試験装置で検証し、実用化のための課題を明らかにする。

- ・10kWh 級運転試験装置による性能検証:10kWh 級運転試験装置を設計・製作、石川島播磨重工業㈱における工場試験で 7,500rpm(電力貯蔵容量 2.24kWh)までの安定回転を実現し、超電導軸受、制御型磁気軸受、CFRP 回転体等の性能を検証した。特に、非線形ゼロパワー制御及びホモポーラ磁極を採用した制御型磁気軸受を用いて、ローターの弾性振動の安定化効果を確認するとともに、従来(ヘテロポーラ磁極)に比べ回転損失を大幅に低減できることを確認した。また、軸降下抑制対策としての予荷重法、過冷却法の有効性を確認した。

《20》変圧器の電力損失削減のための革新的磁性材料の開発 [平成 14 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「鉄損低減に最も効果的な薄膜物質の探索とその高速成膜技術」においては、膜物質と膜構造の最適化に関しては、平成 14 年度に完了した PVD 薄膜の最適化に引き続き、CVD 薄膜の最適化を行った。具体的には、平成 14 年度の事業で有望な候補として浮かんだ炭化物・窒化物系膜物質について調査を行い、パイロット規模の CVD 成膜電磁鋼板処理試験装置での候補を TiN 薄膜に絞り込み、条件の検

討を行った。これを受けて PVD、CVD 高速成膜技術の開発に関しては、主にパイロット規模の CVD 試験装置での TiN 成膜を念頭において、CVD ラボ装置を用いた実験で、鋼板の直接加熱もしくはガス流速制御やガス混合制御による高効率成膜（磁気的特性が 0.60W/kg 以下）の可能性を確認した。

研究開発項目②「小型試験コイルを用いた高速・連続成膜技術」においては、平成 14 年度および平成 15 年度上期に研究開発された CVD 技術を反映させたパイロット規模の試験装置を導入した。

研究開発項目③「電力用超電導マグネットの研究開発」において、マグネットはこれまでの設計データを反映した各種モデルコイルにより 66kV の電圧を確認、多並列導体の構造最適化により 500A 級モデルコイルを製作、1kA 級電流リードの検証を行った。リアクトルもモデルコイルにより 66kV の印可を確認し、コイルの 3 並列により 375A の通電を確認した。66kV/3kA 級の概念設計を実施した。さらに 10MVA 級超電導変圧器の概念設計および 500A 級パルスモデルコイルの設計検討を開始した。また、10MVA 級超電導変圧器の部分モデルとして単相 2MVA 級変圧器モデルを作成し、性能評価試験を実施した。

研究開発項目④「トータルシステム等の研究」においては、単相超電導ケーブルの系統導入効果の解析を完了した。さらに、超電導限流器の系統導入効果解析等を行うとともに、超電導限流素子の動作検証試験装置の製作を実施し、系統シミュレータを用いた超電導限流素子の動作検証試験を実施するとともに、超電導ケーブルの冷却、荷電試験の試験方法等について詳細試験方法を検討整理した。さらに超電導機器の試験法についての文献調査を行った。なお、本プロジェクトは、平成 15 年度に中間評価を実施し、「社会的環境の変化に対応した目標設定の微調整が必要。実用化の可能性の高いものに注力し目標を絞り込むこと。」等の評価を得た。これを受けて研究開発項目の見直しを行い、研究開発項目③については、予定を 1 年前倒して平成 15 年度で終了することとした。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「鉄損低減に最も効果的な薄膜物質の探索とその高速成膜技術」においては、電磁鋼板表面への TiN 薄膜皮膜の賦与が磁気的損失低減に最適であることを見出し、CVD 技術を反映させたパイロット規模成膜装置を新設し、製造試験を行い、熱 CVD 法により最大 0.7μm/min の高速成膜技術を確立した。

CVD ラボ装置にて移動鋼板への高速・連続成膜および雰囲気ガス状態（反応ガス混合、濃度、流速温度）の適正条件の研究を行い、パイロット規模の電磁鋼板処理ラインでの製造試験条件の選定に反映させた。さらに、鋼板の CVD 成膜技術の適用拡大を視野に、本プロジェクトに関連する技術分野の世界動向を調査するとともに、外部アドバイザー委員を招聘した技術委員会を開催し、新規な鋼材処理技術としての発展性について検討した。

研究開発項目②「小型試験コイルを用いた高速・連続成膜技術」においては、CVD 技術を反映させたパイロット規模の電磁鋼板処理装置にて 350mm 幅小型試験コイルを用い、0.7μm/min の連続高速成膜に成功し、従来材鉄損 $W17/50=0.75$ を 0.63W/kg まで低減することを確認した。

研究開発項目③「高性能変圧器の設計・製作と性能評価」においては、高速・連続成膜実験で作製した材料を用いて実用規模の 3 種類の送配電用変圧器を設計・試作し、性能の評価を行い、現行材を使用した変圧器に比較し、鉄損を最大 23% 低減されることを確認した。また、開発材を用いた変圧器は、騒音特性に優れ、熱特性による信頼性も同等であることを明確化した。

さらに、高効率・低騒音型変圧器の市場調査と開発材との競合技術・製品であるアモルファス合金変圧器の技術特性や技術開発動向について調査を行い、開発材の性能及び信頼性の改善へフィードバックした。

《21》二酸化炭素固定化・有効利用実用化開発 [平成 13 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①高濃度二酸化炭素発生源適応型分離回収実用化技術の開発については、カルド型ポリマー中空糸膜及びモジュールの開発、そのモジュールを用いる実排ガス試験、並びにプロセス・システムの研究を実施した。中空糸膜及びモジュールの開発では、カルド型ポリマーの中から特に CO₂ 分離性能に優れるカルド型ポリイミドを選定し、そのカルド型ポリイミドに高強度支持材料をブレンドする等により中空糸膜の構造を変更して、大型モジュールの製造に必要とされる 10% 以上の伸長率を有する中空糸膜を開発した。得られた中空糸膜をペンシル型モジュールに組み込み、模擬ガスを用いて目標とする 70% 以上の CO₂ 濃縮度を達成した。実排ガス試験では、新日本製鐵(株)君津製鉄所構内において転炉ガスの燃焼排ガスを取り出し、実排ガス試験を実施する環境を整えた。伸長率を改善したカルド型ポリイミド中空糸膜で、実排ガスを用いて 70% 以上の CO₂ 濃縮度を確認した。プロセス・システムの研究では、膜モジュール性能評価ソフトを見直し、膜分離プラントの物質収支と所要動力を計算し、実プラントを想定した試設計を行った。

研究開発項目②化学吸着法による CO₂ 分離回収技術の開発については、実験室規模の結果を基に、現時点で炭酸カリウム担持率の最も高い吸着剤 (27.2%) を使用し、CO₂ 回収率 90% で操作する CO₂ 回収プロセスを想定して平均 CO₂ 分離速度および再生用スチーム量を推定した。平均 CO₂ 分離速度の推定値は、中間目標値である 30kg-CO₂/m³-吸着剤/h 以上を十分満足する値となった。また、再生用スチーム量として、吸着した CO₂ 脱離に必要な蒸気消費量は、初年度目標値である 1.7kg-Steam/kg-CO₂ 以下をほぼ満足する結果となった。

研究開発項目③分岐型ポリエーテル／無機ナノハイブリッド分離膜による CO₂ 分離回収システムの開発については、高分子の組成、結晶性を最適化し、薄膜（10 μm 以下）に連続製膜可能である分離係数 70 程度の高分子材料を安定に得ることができた。シリカ中間膜を施した多孔性アルミナ管への、調製した有機／無機ナノハイブリッド前駆体の浸漬コーティングを複数回行うことで、ハイブリッド分離膜の膜厚が約 1 μm のモジュールを作製することができた。種々の組成（分岐型ポリエーテル／シリカ）のナノハイブリッド分離膜を作製し、分岐型ポリエーテル含有量が約 5% で欠陥のない膜が得られ、約 35 の分離係数が得られた。AFM（原子間力顕微鏡）を用いて、製膜された高分子膜には亀裂やピンホールは観察されず、均一で平滑な分離膜であることを確認でき、ポリオレフィン系多孔性基材と複合化した膜の気体透過性の評価、膜の観察も行った。新規に開発されたエーテル系添加剤との複合化により高い分離性を保持しつつ透過性は向上し、目標値である二酸化炭素透過係数 10⁻⁷cm³(STP)cm/cm²cmHg を達成することができた。更に、シリカ-アルミナ系酸化物微粒子との複合化により目標値の 80 を超える分離性を達成できる見通しが立った。

研究開発項目④地球環境工場（自然採光の高密度化利用による CO₂ 固定化・排出量削減技術）の開発については、光ダクト利用型植物工場を想定した実験施設を整備し、人工光、自然光、自然光＋人工光の 3 種の光源で栽培実験（播種から移植まで 7 日、移植から収穫まで 30 日）を行い、光環境とレタス成長量について定量的に評価した。陸上植物についてはリーフレタスを、藻類についてはスジアオノリを実験対象生物とし、インキュベータを利用した培養実験を行い、各成長パラメータを取得した。光ダクトシステムのプロトモデルを製作し、光ダクト利用型植物工場を想定した栽培実験施設に設置し、栽培実験と同時に、光ダクトによる採光効果について定量的評価を行い、光ダクトを利用することにより、平均 12% 程度の照明エネルギーが削減できる結果を得た。光ダクト利用型植物工場を想定した栽培実験施設では、光量子センサーからの信号をフィードバックして人工照明の出力を制御する調光システムを構築した。

研究開発項目⑤間接加熱式石灰焼成炉の実用化開発については、従来の石灰焼成炉では焼成不可能であった微粒石灰石や石灰炉ダストをセラミックチューブに通し、外部加熱することによって石灰石の熱分解を行うことにより、石灰石資源の有効活用に加えて、二酸化炭素の分離回収を目的とする。平成 15 年度までにプロトタイプセラミックチューブユニットを用いたパイロットプラントの建設と試運転を実施したパイロットプラント用設備機器を用いて、計 5 回の試験操業を実施した。また、実機設計に必要なプロセスデータの構築と主要部品の長期耐用テストを実施した。平成 15 年度末に実施した中間評価において、環境問題と省資源を目指す事業であり、事業継続すべきと評価された。

研究開発項目⑥海洋隔離された二酸化炭素の挙動推定のための研究開発については、西部北太平洋中に隔離された二酸化炭素の挙動を数年から数十年スケールで予測するシミュレーションモデルを構築するために、高解像度海洋大循環モデルの開発とともに、重要な素過程の拡散現象について現場観測を行って把握し、統合した上で隔離された二酸化炭素の挙動についてのシミュレーション技術を開発する。平成 15 年度において、高解像度シミュレーションにより中規模渦を表現した流動場を再現し、隔離 CO₂ の挙動を予測した。モデル開発は 1/4 度理想化実験を主体に、解像度による計算効率の調査を実施した。また、海洋観測で得られた観測データを解析し、平成 14 年度までに取得したデータと併せて日本南方海域での鉛直拡散過程を把握した。平成 15 年度末に実施した中間評価において、海洋生態系への影響評価のために必要な技術であり、事業継続すべきと評価された。

研究開発項目⑦衛星搭載合成開口レーダデータを利用した森林バイオマスの定量計測開発については、森林バイオマス計測のトータルシステムを構成する各モジュール（コアモジュール、ジオメトリ処理ツール、植生データベース、SAR データ処理ツール、画像化処理ツール）の試作を行うとともに、これらのモジュールを統合するトータルシステム・バージョン 0.0 の開発及び検証を実施した。平均的な混生度合の森林において現地における森林バイオマス実測値と比較して 10% 以内の制度を有することが確認された。また、実データ-モデルデータ検索処理にニューラルネットワークを用いた最近傍検索手法を導入した結果、年策処理を 6 時間から 25 分まで短縮することが可能となった。平成 15 年度末の中間評価において、バイオマス量の実地検証が必要であるが事業化可能であり、事業継続すべきと評価された。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①間接加熱式石灰焼成炉の実用化開発 [平成 14 年度～平成 16 年度]

特殊な原料や限界加熱温度など、操業条件を大きく変えたパイロットプラントの運転と実機規模プラントの試設計を行った。

- ・パイロットプラントの改造（性能向上、装置の信頼性向上）
- ・パイロットプラントの連続運転実施
- ・実機規模プラントの試設計実施

研究開発項目②海洋隔離された二酸化炭素の挙動推定のための研究開発 [平成 14 年度～平成 16 年度]

現場計測を実施し拡散過程を把握すると共に、高解像度モデルによる中規模渦の表現された流動場を用いて、隔離二酸化炭素の挙動予測シミュレーションを実施し、隔離評価が可能な予測手法を構築した。

- ・高解像度海洋大循環モデルの開発
- ・海洋観測（水平流速・密度の鉛直分布）
- ・高解像度シミュレーションの実行

- ・拡散過程の把握

研究開発項目③衛星搭載合成開口レーダデータを利用した森林バイオマスの定量計測事業 [平成 14 年度～平成 16 年度]

昨年度までに開発した各モジュールおよびトータルシステム・バージョン 0.0 を更に改良し実用に供するトータルシステム・バージョン 1.0 を開発し、精度及び処理速度などの総合評価を実施した。

- ・コアモジュールの改良
- ・ジオメトリ r 処理ツールの改良
- ・SAR データ処理ツールの改良
- ・画像化処理ツールの改良
- ・トータルシステム・バージョン 1.0 の開発・評価

《2 2》超電導発電機基盤技術研究開発 [平成 12 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、計画に基づいて 3 つのテーマを実施した。具体的な実績は以下のとおり。

研究開発項目①「高密度化基盤技術の研究開発」については、超電導体は熱処理・加工履歴の最適化により臨界電流密度が $3150\text{A}/\text{mm}^2$ at 5T (約 1.3 倍)、臨界電流が 11kA 級、導体断面での平均電流密度が $180\text{A}/\text{mm}^2$ 、交流損失が $200\text{kW}/\text{m}^3$ 以下等と目標を達成した。同導体を使用した界磁巻線要素モデルでの試験から界磁巻線電流密度 $80\text{A}/\text{mm}^2$ 以上での直流通電や超電導発電機のフォーシング運転を想定した動的通電で安定動作を確認した。多重円筒回転子は数値解析によって高密度化で要求される性能を満足することを検証、さらに磁性界磁巻線取付軸の検討により 13%Ni 強磁性材で 20%～30%の高密度化が可能かつ軸材としての有効性を検証した。電機子巻線は $140\text{A}/\text{cm}^2$ の電流密度に対する電機子巻線要素モデルで検証の結果、発電機定格運転を想定した巻線温度・絶縁特性、突発短絡時を想定した導体の圧縮強度・剛性・巻線支持強度など何れも良好な特性であることを確認した。要素モデルの結果を反映し、直線部長さ 1/2、巻線数 1/3 の電機子部分モデルを設計・製作し、製作性検証、電磁気的な特性等を確認した。

研究開発項目②「大容量化基盤技術の研究開発」については、2mm φ 級大径超電導素線の加工履歴を最適化し NbTi 超電導体の臨界電流密度を向上させた。断面構成の適正化は交流損失を許容値以下に抑え、安定性の向上、超電導素線の可とう性を確保し、素線 9～10 本の撚り合によって界磁巻線に適用可能な導体を開発した。モデル検証、解析評価によって 60 万 kW に適用可能な大容量化技術 (界磁電流 6000A 級、回転子径 1100mm 級、電機子電流 15kA 級) を開発した。

冷凍システムの高効率化は、システム構成の単純化、膨張タービンの可変容量化によって 60K 級可変容量膨張タービンの設計技術を確立した。可変流量 50%～120%の範囲でも断熱効率が設計断熱効率の 90%以上が達成できることを確認、連続運転時間 20,000 時間を達成する見通しを得るなど高信頼性を確認した。これらの成果は、いずれもこれまでの冷凍システムの能力を上回る世界トップレベルのものであり、今後の超電導発電機の大形化にも対応可能であるとともに、SMES 等の超電導機器に於いても十分にその能力を示すことができる汎用性の高い技術となった。

研究開発項目③「設計技術の研究開発」については、(1)超電導発電機は電力系統からの要求仕様 (最過酷事象に耐えること、電力系統の特性を改善すること) を満足することを確認した。(2)超電導発電機は現用機より効率が高いことから、環境調和で優れ、導入量が 40 万 kW で CO_2 を年間約 5 千トン削減が可能であることや、効率向上電力と冷凍動力の差が 20 万 kW 機で年間 3 千万円が可能であることなどのメリットがある。(3)その他に、高密度化・大容量化の技術開発により前フェーズから 20%低減が可能であること、巻線取付軸材に磁性 13%Ni 鋼使用の目処を得、一層の高密度化が可能であること、回転子表面・磁気シールドの冷却を水素ガスからヘリウムガスに変更の目処を得、保守性の向上と水素ガス関連補機削減が可能であることなどの見込みを得た。(4)技術調査研究として、国際会議・学会等の資料や情報収集により、超電導発電機や高温超電導回転機および国内外の関連技術に関する動向調査を行った。

《2 3》産業用コージェネレーション実用技術開発 [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：< 5 > エネルギー分野 ③省エネルギー技術 革新的温暖化対策技術プログラム《1 3》参照]

《2 4》高温空気燃焼制御技術研究開発 [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：< 5 > エネルギー分野 ③省エネルギー技術 革新的温暖化対策技術プログラム《1 4》参照]

《25》次世代化学プロセス技術開発 [平成9年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<3>環境分野 ③化学物質のリスク評価・管理技術 化学物質総合評価管理プログラム《12》参照]

<非プログラム プロジェクト・事業>

《26》代替フロン等3ガスの排出抑制設備、施設の実用化支援事業【課題助成】 [平成18年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

我が国は京都議定書目標達成計画において、代替フロン等3ガスについては追加対策を行うことにより、大幅な排出抑制に努めなければならず、温室効果がより小さい代替物質の開発と設備等の導入を推進することが強く要請されている。

平成18年度は、地方公共団体及び民間企業等における地球温暖化防止への取組を促進させるため、代替フロン等3ガスを対象として、その排出抑制に関わる全ての業種を対象に、地球温暖化防止に資する先進的かつ波及性の高いと思われる事業について、その実用化支援を目的として実施した。公募により、研究テーマを募集し、審査の結果、下記の研究テーマを採択し、必要な費用の一部を助成した。

《研究開発テーマ》

- ①移動式空気サイクル冷凍冷蔵空調機の開発
- ②ノンフロン自動販売機による温室効果ガス排出削減の実証研究
- ③ノンフロン対応省エネルギー自販機の実証
- ④CO₂ノンフロン冷媒対応新アルミ製熱交換器省エネ冷却システムの実用化研究
- ⑤ノンフロン冷媒を適用した省エネルギー型缶飲料自動販売機の開発
- ⑥ノンフロン冷媒を適用した省エネルギー型カップ式自動販売機の開発
- ⑦自然冷媒アンモニアを使用した直膨式産業用製氷器の開発
- ⑧高スピード、高回収率、低価格の小型フロン回収装置の開発
- ⑨ノンフロン冷媒で、水産用冷蔵庫における乾燥防止と省エネ効果の実証

上記研究開発テーマ毎に要素機器、システム試作～実証試験等を実施し、一部実用化研究においては、実証、検証を終え事業を完了した。これにより、民間企業等における地球温暖化防止への取組が促進され、地球温暖化防止分野での産業競争力強化と新規産業創造に資することができた。

平成19年度は、平成18年度採択事業のうち、継続事業となっている下記の研究開発テーマについて必要な費用の一部を助成しその実用化を支援した。

《継続事業の研究開発テーマ》

- ①自然冷媒アンモニアを使用した直膨式産業用製氷器の開発
- ②高スピード、高回収率、低価格の小型フロン回収装置の開発
- ③ノンフロン冷媒で、水産用冷蔵庫における乾燥防止と省エネ効果の実証

上記研究開発テーマ毎に要素機器、システム試作～実証試験等を実施し、全テーマの実証、検証を終え事業を完了した。これにより、約41千CO₂換算トン（京都議定書第1約束期間の5年間の累計値）の温室効果ガス排出削減が期待される。

《27》代替フロン等3ガスの排出抑制設備の導入・実用化支援事業【助成】 [平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、地方公共団体及び民間企業等における地球温暖化防止への取り組みを促進するため、代替フロン等3ガスを使用する全ての分野・業種を対象に、その排出抑制設備の導入・適用等（導入・適用に係る評価を含む。）に係る技術開発の事業テーマを公募により募集し、審査の結果、下記の事業テーマを採択し、必要な費用の一部を助成することによりその実用化を支援した。

《研究開発テーマ》

- ①IPS α ラインドライエッチ装置排出抑制設備の導入及び除害効率向上
- ②ダストブロワーのノンフロン化事業における量産化への技術の確立及び充填設備の最適化
- ③地球温暖化ガス回収装置の導入
- ④半導体工場既存稼働中ラインへの効率的なPFC除害装置の適用試行
- ⑤フッ化カルボニル（COF₂）生産設備の建設
- ⑥マグネシウムダイカストにおけるSF₆の代替ガス化および代替ガス供給システムの導入・実用化
- ⑦半導体製造用C₂F₆ガス排出削減を目的とする除害装置導入に関する事業
- ⑧HFC134aを使用したマグネシウム溶湯保護システムの導入
- ⑨半導体製造装置（CVD）用除害装置の改造によるPFC除害率の向上
- ⑩新規CVD除害装置導入による温室効果ガス排出量削減の実証研究

⑩超 LSI 工場への効率的な燃焼式除害設備の適用試行

上記事業テーマ毎に代替フロン等 3 ガスの排出抑制設備の導入・実用化を実施し、全ての事業を完了した。これにより、約 8.2 百万 CO₂ 換算トン（京都議定書第 1 約束期間の 5 年間の累計値）の温室効果ガス排出削減が期待される。

《 2 8 》地球環境産業技術に係る先導研究・地球環境保全関係産業技術開発促進事業 [平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

研究開発項目①「超臨界二酸化炭素を利用した硬質ポリウレタンフォーム製造技術の確立」[平成 15 年度～平成 17 年度]

平成 15 年度は、超臨界・亜臨界二酸化炭素を発泡剤として使用した、硬質ポリウレタンフォームの製造技術を確認するため、平成 15 年度は、超臨界二酸化炭素のプラスチック全般に対する溶解性の調査結果をとりまとめ、超臨界二酸化炭素のウレタン原料に対する溶解量を評価する方法を確認した。また、硬質ウレタンフォームに超臨界二酸化炭素を混合して発泡に利用する基礎研究をスプレー発泡及び注入発泡に対して行い、基礎的な知見を得た。

平成 16 年度は、断熱材である硬質ポリウレタンフォームの発泡剤として、超臨界・亜臨界二酸化炭素を使用する基礎技術の研究を行い、現場発泡・工場生産分野で従来製品と同程度の安全性、断熱性能、コスト、施工性を有する硬質ポリウレタンフォーム製造のための以下の調査を行った。

- ・超臨界二酸化炭素のプラスチック全般に対する溶解性について調査
- ・超臨界二酸化炭素のウレタン原料に対する溶解量について評価方法を確認

平成 17 年度は、平成 16 年度までに実施した超臨界二酸化炭素のウレタン原料に対する溶解性等調査、及び発泡試験結果成果を基に、現場発泡・工場生産分野における従来製品と同程度の安全性、断熱性能、コスト、施工性を有する硬質ポリウレタンフォーム製造のための研究開発を行った。

- ・目標である、密度：35kg/m³ 以下、熱伝導率：0.03W/mK 以下の達成を確認した。また圧縮強度：10N/cm² 以上を達成した。
- ・現場発泡における研究開発を実施し、施工性等に問題のない事などを確認した。また今後の機器開発、長期性能評価等の課題を検討した。
- ・工場生産における研究開発を実施し、最適な製造・制御手法を見いだした。試作品を作成し製品化への開発課題を検討した。
- ・断熱材の LCA 評価を実施した。

研究開発項目②「断熱用発泡樹脂中の代替フロン等の回収と分解に関する研究」[平成 15 年度～平成 17 年度]

平成 15 年度は、発泡ポリウレタンの可溶化では、溶媒と無機添加物を組み合わせることにより、比較的穏和な条件下で可溶化できる可能性が判明した。水平移動床ベンチプラントによりポリスチレン樹脂の熱分解残渣の燃焼特性を調査した。また、熱分解残渣のみを燃料として焼却処理する場合は熱量的に不足することが判明し、補助燃料が必要であることが判明した。しかし、熱分解残渣そのものの燃焼性は良好で 650℃程度の低温でも珪砂に付着した残渣を燃焼可能で珪砂を効率良く再生できることを確認した。

平成 16 年度は、建築用や業務用冷蔵庫・冷凍庫の断熱用発泡樹脂製造の際に発泡剤として使用され、残存している HFC 等（過去に使用された CFC、HCFC を含む）を、建物の解体現場等で効率良く回収および処理するために、溶解・脱泡による HFC 等回収技術と流動層燃焼による HFC 等分解処理を組み合わせ、一括した HFC 等の分解処理装置の研究開発として、以下の項目について調査を実施した。

- ・溶媒を用いた発泡ポリウレタンの可溶化
- ・熱分解による脱泡
- ・フロン類の分解
- ・発泡プラスチック熱分解残渣の燃焼特性

平成 17 年度は、建築用断熱材として広く使用される発泡ウレタンを対象とし、脱泡技術(裁断、溶媒可溶法、加熱圧縮法、固体媒体加熱法等)により一体の設備としてウレタン及びフロン系発泡剤を分解する技術を検討。より温和な条件下での脱泡技術を開発する。発泡ウレタンに対し、溶媒可溶法、加熱圧縮法、固体媒体加熱法等の既存技術およびそれらの改良技術を適応し、最適な脱泡技術を選択し、最適な反応条件を見出した。流動層燃焼装置の操作条件での HFC 等の分解特性(分解開始温度等)を明らかにし、流動層燃焼装置の運転条件を決定するための基礎データを取得。また、ウレタンに含まれる重金属等、分解生成物中の有害物質の除外特性について明らかにした。

○研究開発項目「冷媒に HFC を使用しない空気サイクル冷凍システムの冷蔵、空調利用に関する研究」

平成 15 年度は、空気サイクルの排熱利用熱交換機設計のための基礎データを収集するとともに、コンプレッサー側出口温度を 70～110℃まで上昇させサイクル内部部の温度、圧力の測定と高温によるベアリングへの影響度を調査した。デシカント（冷媒空気乾燥）ローターの性能データを取りまとめ、冷凍倉庫で使用した場合のシミュレーションを計算し、この結果を踏まえ、デシカントロータ複合システムの設計を実施した。

平成 16 年度は、デシカント（冷媒空気乾燥）システムとエアーサイクルシステムの統合による空気冷媒の冷凍・空調システムを確立するため以下の調査設計を行った。

- ・デシカントローター調査
- ・排熱利用熱交換器の設計
- ・デシカントローター・空気サイクル複合システム設計と評価

平成 17 年度は、小型の大気圧 DC プラズマ設備の開発が完了したことから、さらなる小型化のために小型電源開発を実施。小型電源は、1 台に 2 系列のリアクターに電力を供給する能力を確認した。分解率測定など基本性能に関する実験では、現行小型電源として確立する。最適リアクターを実証試験装置に搭載し、今後はエンドユーザー評価を推進する予定。

研究開発項目④「温室効果ガス代替物質の革新的製造技術開発に関する先導研究」[平成 16 年度～平成 17 年度]

平成 16 年度は、独自に開発してきた多孔性金属フッ化物を応用展開し、耐腐食性触媒担体とその構造制御、これを用いる触媒の検討から新規な高効率フッ素化触媒の開発を行い、代替物である HFC (HFC-245fa、HFC-32)、HFE (HFE-245mc、HFE-143m) の合成への応用を検討して触媒の性能、寿命の向上を目指す。さらに、HFE (RORf、RfCHFCF₂OR) の効率的で環境影響負荷が低い新規合成法の開発、代替物の高精度な評価データの蓄積と予測手法の開発を進め、本格研究に必要な以下の基盤技術の開発を行った。

- ・高効率触媒の開発と触媒フッ素化による代替物合成技術の開発
- ・新規合成法による代替物の合成と代替物評価
- ・フッ素化学に係る研究動向の調査

平成 17 年度は、気相触媒フッ素化による HFC-245fa 合成において、ペンタクロロプロパンから 2 段階のフッ素化反応での合成において長時間の反応実験を実施。700 時間以上実験を進め、必要に応じて再活性化することにより転化率と選択率が維持されることがわかった。また、種々の金属フッ化物の熱安定性を検討したところ、いずれも 600℃まで安定であることがわかった。

HFE 合成に関しては、パラジウム触媒を用いる RFOCHFCF₂OR 型ジエーテル (HFE-2) の合成検討を実施。CF₃CF=CF₂と CF₃CH₂OH の反応からは室温で定量的に HFE2-449mf-ce が得られたが、フェノール類や (CF₃)₂CHOH など酸性度の高いアルコール類では反応は進行しなかった。

代替物評価については、HFE-143m について O₂/(O₂+N₂) 比 0.3 の空気における燃焼速度の濃度依存性の測定を行った。また、フッ素化触媒や担持担体の開発、これらを活かした代替化合物 (HFE、HFC) の合成法開発を実施した。

研究開発項目⑤「CO₂を固定しやすいコンクリートおよび建設構造部材の開発」[平成 16 年度～平成 17 年度]

平成 16 年度は、製造時に大量の CO₂を排出するセメントコンクリートについて、大気中の CO₂を積極的に固定する材料技術に転換し、セメントコンクリートからの CO₂排出をトータルとして大幅に抑制するため、CO₂を固定しやすいコンクリートを実現し、製造時に排出された CO₂を効率よく固定する技術と、CO₂を固定しやすいコンクリートとアルカリによる保護を要しないよう鋼材を配置した超寿命の鋼・コンクリート複合構造について以下の開発を行った。

- ・構造性能を損わずに CO₂を効率よく固定化するコンクリートの開発。
- ・CO₂を固定化し中性化したコンクリートを用いて鋼材の構造性能を発揮させる新たな鋼・コンクリート複合構造部材の開発。

平成 17 年度は、製造時に大量の CO₂を排出するセメントコンクリートを、大気中の CO₂を積極的に固定する材料技術に転換し、セメントコンクリートからの CO₂排出をトータルとして大幅に抑制するための CO₂を固定しやすいコンクリート材料実現に向けた研究を実施した。セメントコンクリートの炭酸化反応速度を促進させる技術として、易分解性樹脂を導入しコンクリートの微細構造を多孔質化する技術の研究開発、および炭酸化反応量を増加させる混和材料の導入、コンクリートの調合条件等の研究開発を行った。その結果、セメントコンクリートの炭酸化速度は一般コンクリートの 4~10 倍程度となり、CO₂固定量に換算すると 37kg/m³~70kg/m³となり、当初計画の目標値 35kg/m³を上回る CO₂固定量を得た。また CO₂を固定しやすいコンクリートの構造物への適用手法の検討を行い、土木構造物やアルカリによる保護を要しないよう鋼材を配置した鋼・コンクリート複合構造について提案を行った。

研究開発項目⑥「CO₂地中溶解(隔離)技術を応用した地中資源回収に関する先導研究」[平成 16 年度～平成 17 年度]

(旧タイトル「堆積盆の地質学的複雑系に依存した CO₂地中溶解(隔離)技術に関する先導研究」)

平成 16 年度は、一般的に地中貯留にとっては不利と考えられるこのような複雑な地質形態と泥層の半透水性ともいべきシール能力の低さを逆利用し、複雑な拡散経路に伴う CO₂と地層水との接触面積の増加と垂直方向への移動の遅延効果により、CO₂を三次元的に地層中に拡散・溶解させることにより、長期にわたり安定した非構造的 CO₂地中隔離が可能であることを実際の地質モデルに基づいたシミュレーションにより以下の実証を行った。

- ・各種堆積相の地質モデルとパラメータの検討
- ・地下浅部の地層の物性値の取得
- ・CO₂流動シミュレーターにおける物性パラメータの検討
- ・CO₂流動シミュレーターによるモデル実験
- ・ケーススタディ地域の地質モデルの構築

平成 17 年度は、従来では、長期間 CO₂を隔離するためには背斜構造を有する帯水層に封入するのが有効とされていたが、このような構造性を有する地層への封入となると、CO₂貯留容量が大幅に制限される。そこで、本研究では複雑な地質形態と泥層の半透水性ともいべきシール能力の低さを逆

利用し、CO₂を三次元的に地層中に拡散・溶解できることを地質モデルに基づいたシミュレーションで示し、非構造性の地層への貯留可能性を明らかにした。これを実際の隔離試験で実証できれば、CO₂の貯留容量を大幅に増加させることができ、極めて有益であると考えられる。

また、地層の傾斜を考慮して、貯留したCO₂の拡散状況をシミュレーションしたところ、地表への拡散もみられないことが確認された。また、この技術を応用した地中資源回収の可能性についても明らかにした。

《29》アジア／太平洋地域環境技術普及促進事業 [平成3年度～]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

アジア及び太平洋地域の環境問題解決のため、公害対策技術を中心とした環境対策技術を同地域に普及・促進させるため、戦略的技術普及計画策定を図る。平成15年度は、ベトナムでワークショップ／シンポジウムを開催して、ハード・ソフトの公害防止技術、キャパシティビルディングの実情、ファンド等に関する技術普及における阻害要因を抽出し、戦略的技術普及計画を策定した。

平成16年度は、当初、計画していたものの実施せず。

《30》超電導電力貯蔵システム技術開発 [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

研究開発項目①「超電導電力貯蔵システム技術調査」においては、系統安定化用途と負荷変動補償・周波数調整用途の要素モデルコイルの製作及び性能評価試験等を行い、コスト低減要素技術の総合的評価を行った。また、海外技術動向の調査や標準化との関係のための調査を実施した。高温超電導 SMES の技術調査では、概念設計検討を行い GM パルス管冷凍機一体型電流リードの適用可能性、Y 系超電導線材の検討項目抽出、Bi2223 系転位導体の磁場中通電電流特性等を実施し検討課題の抽出を行った。

研究開発項目②「系統安定化用 SMES のコスト低減技術の開発」においては、要素モデルコイル及びコイル周辺装置を試作し、性能評価試験を行った。層間絶縁、ヒートサイクル試験、交流損失、接続抵抗、昇温特性等の測定を実施し、基本計画で設定した実用化が可能なライフサイクルコスト 6.9 万円/kW へのコスト低減を達成した。

研究開発項目③「負荷変動補償・周波数調整用 SMES のコスト低減技術の開発」においては、本プロジェクトにおいて決定した負荷変動補償・周波数調整用途に最適な超電導導体及びコイル方式について、要素モデルコイル及びコイル周辺装置を試作し、性能評価試験を行った。NbTi 安定化銅分離 CIC 強制冷却導体方式の要素モデルコイルの性能評価を実施し、合計 10,000 回の繰り返し通電試験、電流遮断試験によるコイル保護動作の確認、極めて低い交流損失、2kA/s の高速通電等、極めて優れた結果を得た。基本計画で設定した実用化が可能なライフサイクルコスト (27～31 万円/kW) 以下の 19.7 万円/kW までのコスト低減を達成した。

《31》高機能超電導材料技術開発 [平成13年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は以下の事業を実施した。

研究開発項目①「高機能ビスマス系長尺線材の作製技術の開発」については、線材特性向上を目的に、①粉末技術開発 (充填粉末の出発組成、構成相、粒子形状の最適化)、②熱処理技術開発 (単相化とキャリアドーブを目指した雰囲気制御の熱処理プロセス検討)、③加工技術開発 (長手方向均一性改善を目指した加工プロセス検討) を行い、それぞれの成果として、①大気圧焼成において $J_e=12.9\text{kA/cm}^2(77\text{K}, 0\text{T})$ 、② $\alpha=J_e(20\text{K}, B_{\perp}=3\text{T})/J_e(77\text{K}, 0\text{T})>2$ 、③単長>500m (銀比 2 以下) の成果を達成した。さらに加圧焼成技術を用いることにより、大気圧焼成より J_e が約 30% 向上することを見いだした。充填粉末の最適要素 (出発組成、調整後の構成相、粒子形状等) とキャリアドーブを目指した雰囲気制御の熱処理プロセス及び均一性が向上する加工プロセス改善結果の統合、および加圧焼成技術の適用により短尺で $J_e=28.7\text{kA/cm}^2(20\text{K}, B_{\perp}=3\text{T})$ の線材を作製した。また、加工技術との組み合わせの観点から長尺性能を向上させる線材構成として、銀比 1.5 の線材構成を選定し、本構造の線材について高機能化に効果のある要素技術を統合するとともに、加圧焼成技術を組み合わせることで、長尺において $J_e>25\text{kA/cm}^2(20\text{K}, B_{\perp}=3\text{T})$ レベルの線材を歩留まりよく作製出来ることを確認し、単長 360m かつ $J_e>25\text{kA/cm}^2(20\text{K}, B_{\perp}=3\text{T})$ の線材 4 本を作製した。

研究開発項目②「異形コイルマグネットの作製技術の開発」については、コイルマグネットを作製し、通電試験等を実施し、特性を把握した。12 枚のシングルパンケーキを作製し、各々について寸法測定・インダクタンス測定を実施し、設計寸法及び所定の性能を満たしていることを確認した。また、これら 12 枚のパンケーキを接続してコイルケースに組込み、永久電流スイッチと組み合わせてコイルを作製した。本コイルをシールド板、外槽容器、冷凍機及びそれらとコイルを接続する電流リード、荷重支持材から構成されるクライオに組込み、1 コイルマグネットを作製し、これを冷凍機伝導冷却により 20K 以

下に冷却し、532A 定格通電（永久電流モード）により、起磁力 750kA・コイル中心磁場 1.5T 以上が得られることを確認した。また、この際の電流減衰率は、基本計画目標の 10%/日に対し、1/20 の約 0.5%/日と極めて良好な特性を達成した。また、定格励磁下で走行時を模擬した電磁加振試験を実施し、過大な振動発生のないこと、電流減衰に対して影響のないことを確認した。

《32》国際エネルギー消費効率化調査等協力基礎事業 [平成5年度～]

[中期目標期間実績]

・地球温暖化防止関連調査

平成15年度は、JI/CDM等の京都メカニズムの国際的な枠組みの積極的な活用を探るべく、諸外国の動向として、アジア諸国におけるグリーン購入に関する普及可能性の調査等を実施するとともに、将来的な温室効果ガス削減プロジェクトとして可能性がある二酸化炭素の分離・回収技術の実用化に向けて、経済性等含めて最適な技術について比較・検討する調査を実施した。

・IPCC等国際会議

平成15年度は、IPCC等の国際機関の動向を踏まえ、アジア諸国における気候変動とエネルギー問題に関し、日・米・アジア諸国における政策担当者が一同に会する国際シンポジウム「気候変動に関する将来の持続可能な国際的枠組みのあり方」を開催し、温暖化に関する技術開発・普及等についての意見交換・情報共有を図った。また、天然資源の持続可能な活用に関する調査を通じた地球環境行動会議（GEA）への開催協力などにより、環境保全に関する取組と技術開発動向等について意見・情報交換を実施した。

②3R関連技術

[中期計画]

環境・資源制約を克服し、これを新たな成長の要因とする循環型経済社会システムを構築するため、2010年度までに、再利用率を一般廃棄物で24%、産業廃棄物で47%に、最終処分量を一般廃棄物、産業廃棄物とも半減（1997年度比）することを目標に、必要な3R技術の確立・実用化を図る。具体的には、廃棄物の大量排出の抑制、処理困難物への対応、再生資源の有用性の観点から、自動車リサイクル技術、リサイクル困難物対策技術、建築リサイクル技術等の開発等を行う。

<3Rプログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》高温鉛はんだ代替技術開発【委託・課題助成】[平成17年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、大阪大学産業科学研究所 教授 菅沼 克昭氏をプロジェクトリーダーとし、研究開発を実施した。主要な成果を以下に示す。

研究開発項目①「高機能材料開発」

各種材料やプロセス条件をパラメーターとしたモデル実装系を設定し、界面形成プロセス及びナノレベル電気接続における解析手段を確立した。これらに基づき、接続構造について、3次元形状を解析し、開発指針を得た。

研究開発項目②「高機能材料の実装技術開発」

試験材料を用いて、実装プロセスを検討するとともに、三次元形状及び疲労特性を解析した。これらにより、実装時の問題点を把握し、材料開発、実装技術及び信頼性評価方法についての改善方針を検討した。また、高周波特性を評価するためのモデルシステムを構築した。

研究開発項目③「信頼性技術開発」

高温・高湿保持、ヒートリサイクル試験を行い、めっき基板や部品との接続の際に想定される問題を把握するための基礎データを取得した。また、信頼性基準作成に必要な微小試験片評価方法を確立した。

平成18年度は、高温鉛はんだ代替技術を確立することを目的に、大阪大学産業科学研究所 教授 菅沼克昭氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高機能材料開発」

導電性フィラー、樹脂の改良、印刷条件・実装条件の検討を行い、260℃リフロー条件短時間耐熱、抵抗値 $10^{-8}\Omega\text{cm}$ 、狭幅配線ピッチ対応（50 μm 幅/スペース）を達成する材料候補の絞り込みを行った。熱伝導については、基礎研究レベルの材料で50W/mKを達成した。開発した材料に関して、実装試験及び環境試験（熱サイクル・高温高湿・マイグレーション等）を行い、導線性接着剤の実用上の課題を抽出した。

Zn-Sn系はんだのNi基板との界面形成する条件を明らかにした。Bi系ペーストを用いた膜形成技術により、高温はんだ代替接続技術の基本設計を行った。

研究開発項目②「高機能材料の実装技術開発」

開発材料について、各種半導体部品との接合のための印刷条件及び実装プロファイルの最適化を行った。また、実際に実装試験を行い、印刷・キュア条件・実装プロファイルに関する課題を抽出した。また、導電性接着剤の力学的特性と電気的特性を測定するための装置を開発するとともに、一般的な導電性接着剤の銀ペーストを用いて、GHz 帯域での評価を行ない、GHz 帯域でも利用できることを明らかにした。

研究開発項目③「信頼性技術開発」

はんだ代替用途として実装した開発材料について、熱サイクル試験、高温高湿、マイグレーション等の試験を行ない、各種半導体部品との接続相性課題を抽出した。また、抽出した接続相性課題を元に、信頼性評価基準・試験方法(案)を確立するとともに、導電性接着剤特有の信頼性評価に必要な装置の設計を行った。

Zn-Sn 系はんだ及び Bi 系高温はんだについても信頼性評価を実施し、接続相性課題を抽出した。

平成 19 年度は、高温鉛はんだ代替技術を確立することを目的に、大阪大学産業科学研究所 教授 菅沼克昭氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目① 高機能材料開発

導電性接着剤について、導電性フィラーに銀系、金属融着系、はんだ系の材料を用いて、耐熱接続(260℃短時間)、狭幅配線ピッチ対応(50 μm 幅/スペース)、高温鉛はんだと同等性能の熱伝導 30W/mK、低抵抗(10⁻⁵ Ω cm)を達成する材料を開発した。また、各種半導体部品の実装性及び耐環境性に関する試験を行い、使用条件を明確化した。熱伝導に関しては、高放熱特性に優れた熱伝導 50W/mK が得られる導電性接着剤を開発し、実装条件の明確化を行った。

研究開発項目② 高機能材料の実装技術開発

開発材料に関して、印刷条件、実装条件を改良し、半導体用途等に関する実装プロセスの最適化を行った。導電性接着剤の GHz 帯域特性に関して、温度・湿度等の劣化と GHz 帯域特性に関する評価を行い、導電性接着剤接合の構造設計指針を明らかにした。

研究開発項目③ 信頼性技術開発

はんだ接合と同等以上の信頼性を決定する試験方法および判定基準を作成し、高温鉛はんだ代替材料としての試験方法を開発するとともに、導電性接着剤特有の劣化メカニズムに応じた信頼性評価機器の開発を行った。また、実装状態の熱抵抗を実測可能となる熱伝導評価方法・装置を開発した。開発した導電性接着剤の力学的信頼性と電気的信頼性の関係についてデータベース化を行った。

さらに、金属系高温鉛フリーはんだ接続技術に関しては、Zn-Sn 系及び Bi 系はんだの、金属系高温はんだとしての信頼性の確保のための設計指針、プロセス条件を明らかにした。

《2》環境配慮設計推進に係る基盤整備のための調査研究 [平成 17 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「金属分析用標準物質の作製方法の確立」

ABS 樹脂を媒体とした重金属(鉛、水銀、カドミウム、六価クロム)分析用標準物質を試作し、その作製条件等を検証評価した。また、ポリ塩化ビニル樹脂を媒体とした重金属(鉛、水銀、カドミウム、六価クロム)分析用標準物質の製作方法を確立した。

研究開発項目②「臭素系難燃剤含有標準物質の作製方法の確立」

ポリスチレンを媒体とした臭素系難燃剤含有標準物質を試作し、その作製条件等を検証評価した。

平成 18 年度は、電気・電子機器製品中の有害物質含有量計測のための標準物質の作成方法を確立するために、平成 17 年度に引き続き、以下の調査を実施した。

研究開発項目①「重金属分析用標準物質の作製方法の確立」

RoHS 規制対象の、重金属分析用標準物質の作製方法の確立を行った。対象物質は、鉛、水銀、カドミウム、クロムであり、媒体(プラスチック)としてはポリプロピレン樹脂とし、ペレットを用いてディスクを作製する射出成型法を確立した。ポリ塩化ビニル(PVC)についても、均質性評価法、前処理法、値付け法を開発し、最終的な作製方法を確立した。

研究開発項目②「臭素系難燃剤含有標準物質の作製方法の確立」

ポリ塩化ビニル樹脂などの塩素含有樹脂を媒体とした臭素系難燃剤含有標準物質に対して、均質性評価法、前処理法、値付け法を開発し、最終的な作製方法を確立した。対象物質は、ポリ臭化ジフェニルエーテル(PBDE)とした。

平成 17 年度と平成 18 年度合わせて、5 件の標準物質を実用化した。

《3》環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲: < 5 > エネルギー分野 ③省エネルギー技術 省エネルギー技術開発プログラム《10》-2 参照]

《4》電炉技術を用いた鉄及びプラスチックの複合リサイクル技術開発 [平成 14 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

①シュレッターダスト等の減容固化技術

シュレッターダスト等に含まれる廃プラスチック等を有効に還元剤として利用するとともに、その燃焼熱を鉄スクラップに有効に着熱させるためには、電炉内で急速燃焼させることなく緩慢燃焼させる必要がある。そのため、シュレッターダスト等を実証設備を用いて減容固化し、電炉へのハンドリング・装入及び炉内での燃焼試験を実施した。

②電炉利用技術

電炉内における燃焼の安定、着熱効率の向上、鉄スクラップの酸化抑制／酸化鉄の還元促進のため、炉内雰囲気等の炉内燃焼制御技術の実証試験を実施するとともに、電炉排ガス中の塩素等の挙動を解析した。

③電炉ダスト処理副生物リサイクル技術

電炉ダストのウェルツキルンによる処理に伴うダイオキシン類の発生抑制及び除去手段の最適化とともに、副生クリンカーからの鉄分回収効率の向上のために、クリンカー改質・微粒鉄分離の実機試験・解析を実施した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

①シュレッターダスト等の減容固化技術

シュレッターダスト等に含まれる廃プラスチック等を有効に還元剤として利用するとともに、その燃焼熱を鉄スクラップに有効に着熱させるためには、電炉内で急速燃焼させることなく緩慢燃焼させる必要がある。このため、シュレッターダスト等を、実証設備を用いて減容固化し、電炉へのハンドリング・装入及び炉内での燃焼試験を実施し、最終目標である固形化物中へのシュレッターダスト混装率 20%での減容固化技術を確立した。

②電炉利用技術

電炉内における燃焼の安定、着熱効率の向上、鉄スクラップの酸化抑制／酸化鉄の還元促進のため、炉内雰囲気等の炉内燃焼制御技術の実証試験を実施するとともに、電炉排ガス中の塩素等の挙動を解析した。固形化物の安定した緩慢燃焼と加担剤（還元剤）としての効果を確認し、最終目標である固形化物を電炉に 40kg/粗鋼 t 装入した場合の固形化物燃焼熱の鉄スクラップへの着熱効率 30%を達成した。

③電炉ダスト処理・副生物リサイクル技術

電炉ダストのウェルツキルンによる処理に伴うダイオキシン類の発生抑制及び除去手段の最適化とともに、副生クリンカーからの鉄分回収効率の向上のために、クリンカー改質・微粒鉄分離の実機試験・解析を実施した。クリンカー中の塩素濃度は水洗により 1%以下を達成し、屋内空冷法による再酸化防止によりクリンカー中の金属 Fe の再酸化率 10%以下を達成し、いずれも最終目標をクリアした。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

①電炉及び電炉ダスト処理設備の排ガス中のダイオキシン類低減技術

1) 電炉排ガス中のダイオキシン類低減技術

「二次燃焼・急冷技術」に、「Ca 剤吹込み技術」および「触媒処理」を追加して、経済性の追求および規制強化を想定した実証試験を実施した。また ASR 等廃プラを電炉で使用した際のダイオキシン類発生メカニズムを解明するため、実際にシュレッターダスト等を投入している電炉 2 社の排ガス集塵システムの詳細な調査測定を実施した。その結果、バグハウス出口で、新設設備の基準 (0.5mg-TEQ/m³N) を大きく下回る 0.046mg-TEQ/m³N を達成した。なお「Ca 剤吹込み技術」は脱 C1 効果は認められるものの、ダイオキシン類の削減には効果が低いことを確認した。

2) 電炉ダスト処理・副生物リサイクル技術

排ガス中のダイオキシン類低減技術について実操業試験を実施し、筒内均圧化ディフューザーを設置する長期安定運転が可能になった。副生物である還元鉄の磁選試験を行い Zn 低減、Fe 濃縮が可能であることが確認した。

3) 排ガス処理一貫処理試験

シュレッターダスト等を装入した電炉ダストで電炉排ガス処理装置を経たものと経ていないものを、還元キルン試験機で処理し、酸化亜鉛／クリンカー回収した時の特徴、問題点および解決策を導いた。その結果、酸化亜鉛／クリンカー中の不純物については、電炉排ガス処理の有無による品位の差がないことを確認した。またダイオキシン類については、還元キルンでの分解率が電炉排ガス処理を経たものは若干低い、還元キルンに供給される時点で十分低濃度であり、一貫プロセスとしての優位性を確認した。

4) 廃プラ、シュレッターダスト市場動向等調査

研究開発成果の速やかな事業化を図るため、原料となる廃プラ、シュレッターダストについて、発生及び処理、リサイクル状況や市場動向の調査を実施し、事業化計画の再構築を行うための検討を行った。

《5》高塩素含有リサイクル資源対応のセメント製造技術開発 [平成 14 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

①高効率塩素バイパス技術

平成 14 年度において明らかになった現状のシステムを高抽気対応型とした場合の問題点を解決するために、熱流体解析によるシミュレーションを実施し、新しい方式の高抽気型システム（コンパクト化を図った高抽気対応型プロ

ブ)を考案するとともに、その基本設計を行った。

②脱塩脱重金属分離回収、精製・無害化処理技術

導入した実験設備を用いてKパウダー水洗・塩回収プロセスの検証試験を実施し、塩素を有価な工業塩として回収できることを確認した。また、プロセスの最適化を図ることにより、システム全体のランニングコストをできるだけ小さくする運転方法を把握した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

①高効率塩素バイパス技術

新構造の高抽気型プローブ(クリンカ換算塩素500ppmインプット対応型プローブ)の1/3スケールモデルを製作して実キルンに装着し、耐久性能と抽気性能についての試験を実施し、実規模プローブの基本仕様を決定した。

②脱塩脱重金属分離回収、精製・無害化処理技術

脱塩・塩回収システム実証試験設備の安定運転を阻害する要因を把握・改善した。脱塩水からの重金属除去プロセスや塩回収プロセスの最適化を行い、システム全体のランニングコストを産業廃棄物として処理するコスト以下とする運転の見通しを得た。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

①高効率塩素バイパス技術

実規模の塩素抽出プローブを製作し、実機キルン(セメント製造装置)に設置し、クリンカ換算塩素インプット500ppmの条件でセメントキルン塩素バイパスシステムの実証試験を行った。新規開発した高抽気型プローブの安定的な稼働を確認し、当初の目標を達成した。

②脱塩脱重金属分離回収・精製・無害化処理技術

上記条件で稼働するキルンから抽出された塩素及び重金属を含むダストから塩素及び重金属を分離回収・精製・無害化処理するシステムの実証試験を行い、コストの評価を行った。また、加速資金投入により、鉛回収技術について加速的な研究を実施し、実用化の見通しを得た。

《6》アルミニウムの不純物無害化・マテリアルリサイクル技術開発 [平成14年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

①アルミニウム再生材中の鉄の無害化技術

自動車ボディー材である6000系合金を対象として加工熱処理および急冷凝固の適用条件について、溶湯圧延装置を用いた鋳造実験により最適条件を確認した。また、成形性評価装置を用いた実験により、鋳造した、板材の成形性能を確認した。さらに、接合性評価装置の仕様を決定し、その導入を完了した。

②アルミニウムリサイクルのビジネスモデルの構築

平成14年度に実施した現状技術・工程における実態調査、固相選別法とその性能調査、廃車から回収したアルミニウムスクラップ中の不純物混入量の把握に引き続き、アルミニウム実装車の解体試験、異種アルミニウム材料混入時のリサイクルシステム及びリサイクルコストの予測と実態調査を実施し、ビジネスモデル構築にあたっての検討課題の抽出を完了した。また、LCAに関しては、自工会LCA分科会から加工原単価データの提供を受け、部品の素材を鉄からアルミニウムやプラスチックに変更した場合についてLCA評価を行えるようにし、リサイクル材を使用した場合についてのアルミニウム素材の利点を確認した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

①アルミニウム再生材中の鉄の無害化技術

溶湯圧延を用いて再生材中の鉄の許容量を拡大する技術開発を行った。自動車ボディーへの適用のため大型部品(フェンダ形状モデル型)にて成形性などを評価した。その結果、鉄量に拘わらず、成形性は比較的従来工程材よりも優れていた。また、曲げ加工性および耐食性は鉄量とともに低下したが、前者は加工熱処理により改善され、後者は0.4%以下では従来材と同等以上であると確認された。

②アルミニウムリサイクルのビジネスモデルの構築

実車から解体したアルミニウムフードの再溶解試験を実施した結果、塗料付きのスクラップの場合には塗料除去のための前処理工程として、<シュレッド+キルン加熱>処理工程を組み入れたリサイクルシステムを提案する必要があることが分かった。使用済み自動車からのアルミニウムスクラップマテリアルリサイクルモデルを検討した結果、当面はスクラップ回収量が少ないために小規模炉(容量4tの回転炉)での単発的な操業になるものの、現状の車が10年後に廃車になる場合であっても新地金より安価な再生地金としてマテリアルリサイクル可能な回収条件が提示された。また、開発したLCA評価ソフトを用いてアルミニウム化による軽量化のメリットを評価した結果、リサイクルを確実にし、全ての走行乗用車を究極のアルミ軽量車にすれば、その燃費の向上による二酸化炭素の排出量の削減量は1990年の日本の全排出量の1%となることが分かった。さらに、乗用車はレンタル方式とし、10年間の使用後には全車回収し素材リサイクルするとした場合、リサイクルシステムの完成後の内部コストは、ガソリン代も素材コストも基準車より低減することが分かった。

《7》建築廃材等リサイクル技術の開発 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

①建築解体木材の品位に対応したリサイクル技術の研究開発

- (1) 高品位材では低ホルムアルデヒド化技術を推進し、最も安全性に関して厳しい MDF の作成を行った。またボード内の温度分布を求める解析方法を確立した。ホルムアルデヒドの放散研究を行い、フェノール MDF ボードは無垢材と同等以上の性能を有することを見いだした。また床暖房を想定した熱負荷の繰り返し試験を行い、曲げ・弾性率等の各種物性値には大きな影響がないことが判明した。リフォーム用床材の試験生産については引き続き好調であった。
- (2) 中品位材では木材の均質な液化処理法の開発を行い、木粉率 50%を得た。
- (3) 低品位材では多段連続抽出法を用い、CCA 剤を効率的に抽出する技術を開発した。

研究開発項目②「建築解体木材を用いた木質ボード製造技術の研究開発」

合板レベルの品質を目指し廃プラスチックの均一分散の為の各種技術開発を行い、安定した各種物性値のボードを開発した。また各種コストダウン方策を検討し安価なエネルギー源への変更策等を見いだした。また合わせて事業性のある高意匠性付与ボードの試作を行った。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「建築解体木材の品位に対応したリサイクル技術の研究開発」

- (1) 高品位材ではホルムアルデヒドの放散研究を行い、フェノール MDF ボードは無垢材と同等以上の性能を有することを見いだした。また床暖房を想定した熱負荷の繰り返し試験を行い、曲げ・弾性率等の各種物性値には大きな影響がないことが判明した。リフォーム用床材の試験生産については引き続き好調であった。
- (2) 中品位材では木材の均質な液化技術の開発を行い、ボードに使用できる液化条件を見いだした。
- (3) 低品位材では CCA 剤を効率的に抽出する条件を求め 95%除去可能条件を見いだした。また、抽出後の液化物について発泡を抑える固化技術を開発し、安全処理技術を確立した。

②建築解体木材を用いた木質ボード製造技術の研究開発

廃木材原料、廃プラスチック原料から実大ボードを製作する上での、製造条件の確認を行った。

また、「コンクリート型枠用ボード」等に関しては、製造コスト的には実用化の可能性の高いボードの製作を行った。

《8》非鉄金属の同時分離・マテリアルリサイクル技術開発助成事業 [平成 14 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、シュレッダーダストの性状評価に要する時間の短縮及び測定誤差の極小化を目的に、シュレッダーダスト性状総合評価技術を開発した。

研究開発項目②については、エネルギー利用・回収効率の向上と利用・回収設備の安定運転のために、シュレッダーダスト中のハロゲン（塩素等）について、リサイクル工程の後段（銅及び亜鉛原料中の不純物の除去）で必要とする塩素量を残した上で不要なハロゲンを事前に効率的に除去する技術を開発した。

研究開発項目③については、銅及び亜鉛原料中の不純物（鉛等）を除去するため、シュレッダーダスト内の可燃分と塩素を活用する技術を開発した。

研究開発項目④については、純酸素の使用による不完全燃焼防止や亜硫酸ガスの添加によるダイオキシン類の発生抑制技術等、ダイオキシン類発生を極小化する技術を開発した。

研究開発項目⑤効率的な非鉄金属の回収技術銅・鉛・亜鉛の個別回収率を向上させる技術を開発した。

最終年度として、数値目標の達成状況は次のとおり。

非鉄金属回収率の目標値：銅 90%以上、鉛 85%以上、亜鉛 80%以上に対し、銅 94%、鉛 89%、亜鉛 63%という結果を得た。

亜鉛については焼却工程における改善をすることにより対処できる。

熱処理ガス中のダイオキシン類濃度の目標値：0.1ng-TEQ/Nm³以下に対し、1.2ng-TEQ/Nm³という結果であった。亜硫酸ガスによるダイオキシン類の発生抑制効果については確認できたが、亜硫酸ガスのみでは目標達成は困難であることが判明した。

省エネルギー化目標値：約 2/3（-66%）に対し、-58%という結果であった。事前に除去した塩ビを熱源として有効利用することにより目標達成のめどを付けた。

<非プログラム プロジェクト・事業>

《9》製品等ライフサイクル二酸化炭素排出評価実証等技術開発 [平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、自動販売機、戸建て住宅、電子・電気機器についてインベントリデータを収集するとともに、分析手法とデータ開示方法の整備と課題抽出を行った。

研究開発項目②については、使用済みプラスチック、使用済み自動車、使用済み電子・電気機器、廃電線について処

理プロセスデータを収集するとともに、3RLCA 手法の開発とモデル化における課題の抽出を行った。研究開発項目③については、試験公開を実施し、4000 名以上のデータ利用を把握するとともに、平成 16 年度以降の管理体制を明確にした。また、被害化係数と統合化係数の不確実性の分析するとともに、社会的合意性を重視した統合化係数のアンケート調査条件を明確にした。又、騒音・振動等の新規影響領域を対象とした特性化係数、被害係数、統合化係数のフレームワークを明確にした。

研究開発項目④については、千葉県、岩手県、三重県についてインベントリデータを収集するとともに、データのマッピングを行った。また酪農学園では、バイオガスプラントの実測による環境影響排出物の把握と投入・算出エネルギーの解明を行った。

研究開発項目⑤については、平成 15 年 12 月 11～13 日の 3 日間で過去最大の 11 万人以上の来場者を迎え、成功裏に LCA の普及促進に努めた。

(公募手続きについて) 平成 15 年 4 月 28 日に公募を開始、平成 15 年 5 月 27 日に公募を締め切り、平成 15 年 7 月 22 日に選定結果の通知を行った。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、本年度、自動販売機、戸建て住宅、電子・電気機器の使用時のインベントリデータを収集し、汎用データ化手法(サイズ依存性、データカバー率等)と分析手法の開発およびそれらの手法の課題抽出を行った。

研究開発項目②については、使用済みプラスチック、使用済み自動車、使用済み電子・電気機器、廃電線について、スクラップインベントリデータを収集し、上記 4 対象物について、3RLCA 手法のケーススタディーを実施し、モデル化における課題の抽出を行った。

研究開発項目③については、重要な影響領域(資源消費、温暖化など 8 領域)を対象に被害化係数と統合化係数の信頼性向上を目的として、不確実性分析を実施するとともに、社会的合意性を重視した統合化係数の開発のため、200 人規模の面接調査を実施し、課題の抽出を行った。

研究開発項目④については、千葉県では、バイオマス利活用に伴う環境影響の評価、岩手県では、県北一般廃棄物処理による環境影響評価、三重県では多気町クリスタルタウン計画の環境影響評価を LIME 手法により実施し、各自治体への環境負荷のための提言を行った。また酪農学園では、別海町バイオガスプラントにおける環境影響排出物(二酸化炭素、亜酸化窒素など)、およびライフサイクルエネルギーの実測、算定を行い、従来の酪農法との環境負荷低減効果の差を明確にした。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発課題①「製品等に係る環境影響評価」

自動販売機、戸建て住宅、電子・電気機器について、廃棄に係わるインベントリデータの収集をおこなった。ケーススタディーを実施することにより、本技術開発において適用した環境影響評価手法について評価を行った。また、製品に係わる環境影響評価を実施する際の実施手引書を作成した。

研究開発課題②「静脈系に係る環境影響評価」

使用済みプラスチック、使用済み自動車、使用済み電子・電気機器、廃電線について、再資源化プロセスを中心にインベントリデータの収集を行った。ケーススタディーを実施することにより、本技術開発において適用した環境影響評価手法について評価を行った。また、静脈系に係わる環境影響評価を実施する際の実施手引書を作成した。

研究開発課題③「インパクト等環境影響評価の研究開発」

地球温暖化などの重要な影響領域を対象に環境負荷物質の不確実性分析および感度分析を実施、結果について検証を行った。統合化係数の開発については、1,000 人規模の全国無作為調査を実施し、解析を行った。新規影響領域を対象とした特性化係数等の開発については、これまでに開発した被害係数の信頼性について検証、ケーススタディー(自動車、暖房機器)を実施し評価を行った。

研究開発項目④「環境影響のケーススタディ」

千葉県では、処理技術毎に環境影響面及びコスト面で評価するとともに、処理技術の普及可能性を検討し、市町村等地域におけるバイオマス処理の具体案を策定した。岩手県では、県北地区及び盛岡市の一般廃棄物処理の環境影響を評価し、広域廃棄物処理対策案を提案した。三重県では、コストを考慮した環境対策の提案を行った。

また、これらのケーススタディの結果をまとめて、地方自治体で地域施策で環境影響評価を実施するための実施手引書を作成した。

北海道別海町では、環境影響廃棄物の全量把握及び投入・算出エネルギーを把握することにより、バイオガスプラント導入による環境影響の削減効果を推定するとともに、別海町新エネルギービジョンの事業計画を検証した。

研究開発課題⑤「環境調和型展示会等の開催」

12 月 15 日～17 日に東京ビッグサイトにて「エコプロダクツ 2005」を開催、500 を超える団体からの出展、14 万人の来場者数となった。展示会においては、セミナーを開催し成果の普及を行った。また、出展者を対象にアンケートを実施、環境技術の方向性について現在検討を行った。

③化学物質のリスク評価・管理技術

[中期計画]

人の健康や生態系に有害な化学物質のリスクを最小化するため、化学物質のリスクの総合的な評価を行いつつ、リス

クを評価・管理できる技術体系を構築する。具体的には、化学物質排出把握管理促進法対象物質等のリスクが比較的高いと考えられる化学物質の有害性、曝露、長期毒性等を適切に評価するための手法を開発するとともに、化学物質のライフサイクルに亘るリスク等の総合評価を実施する。また、化学物質の製造・流通・使用・廃棄といったライフサイクル全般に亘るリスクの削減を図るため、有害化学物質を原料やプロセス中の中間体として使用しない等の代替技術、新規化学プロセス技術等を活用した環境負荷低減技術を、国際的に調和した適正な化学物質管理に資する技術として開発し、併せて知的基盤の整備を図る。

<化学物質総合評価管理プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》構造活性相関手法による有害性評価手法開発 [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、期初にプロジェクト立ち上げに向けて、基本計画、実施方針を見直し、財団法人食品農医薬品安全性評価センター技術統括部長 林 真氏をプロジェクトリーダーとし、以下の項目の開発を実施した。

研究開発項目①「毒性知識情報データベースの開発」

①-1 反復投与毒性試験報告書の収集・整理とデータベース化の検討

化審法既存化学物質の反復投与毒性試験の154の報告書についてデータ抽出及びエクセル表化を実施した。

①-2 作用機序情報の収集・整理とデータベース化の検討

化審法既存化学物質25物質について、キーワードを用いて文献検索を行った。

研究開発項目②「代謝知識情報データベースの開発」

②-1 ラット代謝情報の収集とデータベース構築

代謝情報が記載されている文献の検索を行い、150物質中61物質について代謝情報を得た。

研究開発項目③「有害性評価支援システム統合プラットフォームの開発」

③-1 有害性評価支援システム統合プラットフォームの基本機能の開発

有害性評価支援システム統合プラットフォームの入力機能、代謝物表示機能に必要なとされる詳細な要件を検討し整理した。また、整理した機能要件に従い有害性評価支援システム統合プラットフォームの入力機能及び代謝物表示機能についてシステム構築を行った。

③-2 カテゴリーライブラリーの作成

研究開発項目①で収集した試験報告書約150件について研究開発項目①で収集する反復投与毒性試験報告書の試験データを解析することにより、各投与群で見出された毒性学的影響を毒性の種類及び毒性の強度に基づき分類を行った。

③-3 ベイジアンネットによる反復投与毒性推定手法の開発

GOT, GPT および肝重量を Endpoint とし取り上げ、これらと相関関係を有する化学物質の特徴的な部分構造のマイニングを行った。

《2》化学物質の最適管理をめざすリスクトレードオフ解析手法の開発 [平成19年度～23年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、独立行政法人産業技術総合研究所安全科学研究部門主幹研究員 兼 広域物質動態モデリンググループ長 吉田 喜久雄氏をプロジェクトリーダーとし、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「排出シナリオ文書 (ESD) ベースの環境排出量推計手法の確立」

洗剤 (水系、準水系、炭化水素系) の工程特徴と物質フロー等の概要を整理。プラスチック添加剤の内、可塑剤の取扱量、物性、マクロマテリアルフローの概要調査を完了。

研究開発項目②「化学物質含有製品からヒトへの直接暴露等室内暴露評価手法の確立」

室内濃度推定モデルの開発に必要な部材からの放散速度と吸着係数を測定するスモールチャンバー試験装置を作製。人の生活・行動パターン情報に関するプレ・アンケートを完了。

研究開発項目③「地域スケールに応じた環境動態モデルの開発」

(大気モデル) アルデヒド類の生成に関する知見の整理。気象データ等のモデルの入力に必要なデータの加工作業を完了。(河川モデル) 適用範囲を日本全国の1級河川 (全109水系) に拡大するために必要な入力データをリストアップ。下水道普及率データと落水線やその他必要となるデータの加工作業を完了。(海域モデル) 海洋生物への化学物質蓄積過程の知見の収集・整理。化学物質蓄積モデルの基本的な概念図設計を実施。

研究開発項目④「環境媒体間移行暴露モデルの開発」

地域特性パラメータを地理情報システム (GIS) 上にデータベース化し、地域特性パラメータの代表値や確率密度関数を決定。

研究開発項目⑤「リスクトレードオフ解析手法の開発」

ヒト健康影響：既存の有害性評価書の充足状況の確認。約 100 物質についての反復投与毒性試験における試験条件や投与量ごとの影響発現の種類や有無をデータ解析に利用可能な形に整理。約 150 物質の有害性評価書のデータ整理を完了。

生態影響：洗浄剤とプラスチック添加剤の2つ用途群を中心に約 150 物質の有害性、物性および構造活性等の情報を収集し、欠如した有害性情報を推定する手法を構築するための基本データセットを作成。また、リスク比較に適した指標の検討として、約 150 物質の ECOSAR 推定値と実測値の比較を実施。

研究開発項目⑥「5つの用途群の「用途群別リスクトレードオフ評価書」の作成」

既存リスクトレードオフ概念と国内外リスクトレードオフ解析事例（20 程度）の予備調査を実施し、リスクトレードオフ評価書目次構成案を作成。

《3》高機能簡易型有害性評価手法の開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、遺伝子導入、幹細胞分化誘導、遺伝子発現等の近代生命科学を培養細胞や実験動物を用いた短期試験に活用し、高機能で簡易な有害性評価手法を開発することを目的に、前者は財団法人食品薬品安全センター秦野研究所遺伝毒性部長 田中 憲徳 氏を、また後者は名古屋市立大学大学院医学研究科教授 白井 智之 氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「培養細胞を用いた有害性評価手法の開発」

発がん性については、Bhas42 細胞を用いた施設間評価試験のための試験手順の確定、複数の施設への技術普及、試験物質選定（9 物質）を行った。また、細胞における遺伝子発現の時系列的測定・解析に着手した。催奇形性については、マウス ES 細胞の神経への分化誘導手法を確立し、心筋分化過程の遺伝子発現の時系列的測定・解析および代謝評価系の開発に着手した。免疫毒性については、開発するリンパ球、マクロファージ、上皮細胞のうち、リンパ球細胞を確立した。

研究開発項目②「遺伝子発現解析技術を用いた発がん性予測手法の開発」

ラット腎臓からの RNA 抽出・精製法を確立した。また、腎臓がん性の有無が既に知られている 6 種類の化学物質のラットへの投与試験による腎臓の遺伝子発現の測定、収集を開始した。

平成 19 年度は、遺伝子導入、幹細胞分化誘導、遺伝子発現等の近代生命科学を培養細胞や実験動物を用いた短期試験に活用し、高機能で簡易な有害性評価手法を開発することを目的に、前者は財団法人食品薬品安全センター秦野研究所遺伝毒性部長 田中 憲徳 氏を、また後者-1 は名古屋市立大学大学院医学研究科教授 白井 智之 氏を、後者-2 は東京医科歯科大学大学院寄付講座教員（客員准教授）渡辺 慎哉氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「培養細胞を用いた有害性評価手法の開発」

発がん性については、Bhas42 細胞について施設間試験を実施し、結果を解析して再現性と安定性を確認した。また、細胞における遺伝子発現の時系列的測定・解析を実施した。催奇形性については、マウス ES 細胞の神経への分化誘導手法を確立し、心筋分化過程の遺伝子発現の時系列的測定・解析および代謝評価系の開発を実施した。免疫毒性については、樹状細胞を中心に各細胞について、免疫毒性の有無が知られた化学物質で細胞の遺伝子発現変動をマイクロアレイ等で測定・解析して、着目する遺伝子を新規に選定した。

研究開発項目②-1「遺伝子発現解析技術を用いた発がん性予測手法の開発」

ラット腎臓からの RNA 抽出・精製法を確立した。また、腎臓がん性の有無が既に知られている 6 種類の化学物質のラットへの投与試験による腎臓の遺伝子発現の測定を実施した。本研究開発項目は平成 19 年 8 月末にて終了した。

研究開発項目②-2「28 日間反復投与試験結果と関連する遺伝子発現データセットの開発」

前身プロジェクトの評価結果を踏まえ、研究開発項目②-1 を見直し新たに設定し公募・採択した。28 日間反復投与実験を開始し、ラット臓器・組織サンプルを取得し、遺伝子発現解析用 RNA サンプルを取得し、その解析を実施した。

《4》ナノ粒子特性評価手法の研究開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ①ナノテクノロジー／ナノテクノロジープログラム《3》-2 参照]

《5》有害化学物質リスク削減基盤技術研究開発 [平成 16 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

平成 16 年度は、平成 16 年 2 月 13 日に公募の事前周知を行い、平成 16 年 3 月 19 日に公募を開始、平成 16 年 4 月 19 日に公募を締め切り、平成 16 年 6 月 2 日に選定結果の通知を行った。その結果、3 件の研究開発テーマを採択、さらに追加的に予算を配分して 1 件を追加採択、平成 16 年度は合計 4 件の研究開発テーマを採択した。それぞれの研究

開発テーマ毎に達成目標(初年度終了時)を設定し、研究開発を実施したが、全テーマにおいて開発目標を達成した。本年度の具体的な研究成果は下記のとおり。

「吸着エレメントとプラズマを組み合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発」:

実験室において、放電周波数 150Hz、放電電力 200W の条件で、エチレンオキシド、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒドは 90%、臭化メチルは 85%の分解率を達成(平成 16 年度目標値 70%を凌駕)。CO₂、H₂O、Br 以外の副生成物は検出されなかった。能力 360Nm³/hr の実験装置を作製し、平成 17 年 1 月より上記 4 種の VOC を用いた性能試験を実施した。

「非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発」:

過酸化水素による選択的エポキシ化による合成で、ターゲット物質(2 官能性モノマー)に対して 3 元系触媒の探索、反応条件の最適化により転化率 84%、選択率 94%を得て初期目標を達成した。さらに、硬化系レジスト組成に最適な樹脂系(PCU)を探索するとともに、合成されたレジストの基本的な性能を確認し、実用化の目処をつけた。

「吸着相オゾン酸化による排出有害化学物質の完全分解」:

最適吸着剤を選定し、吸着剤のハニカム担持技術を開発した後、小型カラム試験にて、トルエン、キシレン、ベンゼン、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド等に対し目標削減率 80%を達成。二塔式の排気(処理容量 1m³/hr)・排水(2ton/day)処理用ベンチスケール試験装置を作成し、削減率データを収集した。

「マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発」:

高濃度マイクロバブル(2000 個/ml 以上)を発生させるため細穴板と旋回羽根の組み合わせにより、圧壊性能の大幅な改善に成功した。さらに、化学工場からの実排水に対して分解試験を行い、既存装置に比べて約 1/8 のスケールになることを確認した。一方、気相の分解性能についても、IPA やフェノール等について簡易試験により検討を進めた。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 平成 16 年度採択事業

「吸着エレメントとプラズマを組み合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発」:

トルエン、キシレン、ベンゼンの削減率 90%を達成。自社製品ラインアップと市場性を考慮したスペックを選定。実機での実証試験も実施し課題を抽出し対応策も得た。

「非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発」:

エポキシ原料(CEA)の合成に関して、20kg のスケールアップまで大幅に引き上げることに成功した。エポキシモノマーとして、ビニルシクロヘキサンのエポキシ化に成功した。一方、レジスト材料の開発では絶縁性能(HHBT 試験)、耐熱性、耐メッキ性能等製品化に必要な特性をクリアし、スケールアップの目処をつけた。

「吸着相オゾン酸化による排出有害化学物質の完全分解」

排水処理では、試作した実用機を用いてトリクレン・アセトアルデヒド等含有排水の処理実験を行い、低い処理速度(SV 値 5/h 程度)では、分解率 90%を達成した。プロセスシミュレーションモデルにより解析を行い、目標処理速度(SV 値 50/h 程度)で分解率 90%を達成し得る吸着剤担持ハニカムの仕様を見出した。排ガス処理では、試作した実用機を用いてキシレン等含有模擬排ガスの処理実験を行い、SV 値 2000 程度で数時間程度は分解率 90%以上を維持し続けられることを確認した。ただし、次第に処理性能が低下していく現象が見られるため、対応策として、排ガス流入のない時間帯に吸着剤をオゾンで再生する工程を設けることとした。

「マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発」:

マイクロバブル圧壊による OH ラジカル等の発生、フェノールの分解の挙動を詳細に検討するとともに、開発した高濃度マイクロバブル発生・圧壊装置によるオゾンマイクロバブルによってフェノール等を含む高 BOD 濃度の化学工場排水を実用レベルで処理できることを実証した。

(2) 平成 17 年度採択事業

「革新的水性塗料の開発」;

塗料水性化に必要な材料要素技術(複合樹脂微細エマルジョン化、顔料分散ポリマー)を開発。

「有害化学物質削減支援ツールの開発」:

塩素系 2 物質と芳香族 1 物質に関して、ライフサイクルに渡るケミカルフロー解析を行い、各用途・業種別に、環境への排出ポイント、量を把握し、データベースのプロトタイプを開発した。また、既存の削減技術のデータ収集を行い、検索・評価ツールのプロトタイプを開発した。

「直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発」

不燃性 VOC 向けの通電加熱式吸着回収技術については、効率的な VOC 脱離回収のポイントである吸着体(繊維状活性炭)を均一に加熱するシステムを確立するとともに、吸着回収装置(処理量 3m³/min)を試作し、VOC 脱離条件(キャリアーガス流量等)の適正化を図った。可燃性 VOC 向けのマイクロ波加熱式及び高周波加熱式吸着回収技術については、それぞれ、加熱に伴う火花放電を防止しつつ吸脱着性能の高い専用の吸着剤を開発した。また、VOC モニタリング運用システムを構築するため金属加工工場等の現場で排出 VOC 成分の定性分析を実施し、モニタリングに必要なセンサーの仕様を決定した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 平成 16 年度採択テーマ

「吸着エレメントとプラズマを組み合わせた難処理有害化学物質除去の研究開発」:

平成 18 年度はプロジェクトを終了し、継続研究として実証試験を継続して実施した。取得データをもとに、VOC 排出実態に合わせた装置の改良最適化を行った。併せて、高効率なバッチ処理方式も検討した。

「非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発」:

エポキシ化反応時の助触媒の合成検討、および触媒のリサイクル実験を行いエポキシ化反応時のコストダウンを達成し、モノマーの製造条件を確立した。この検討と同時にモノマーの重合条件、硬化物性の検討によりオリゴマ

一の製法を確立するとともに、そのオリゴマーを用いて昨年度開発した硬化剤と組み合わせて、ユーザーワーク用のレジスト配合を決定した。

「吸着相オゾン酸化による排出有害化学物質の完全分解」:

トリクレン高濃度含有排水に対応できる、2m³/d 規模の吸着・再生分離型水処理装置を設計・製作した。トリクレン含有地下水を対象に処理実験を行い、10mg/L レベルの高濃度排水が処理できることを確認した。排ガス処理装置については、10m³/h 規模の試作機で印刷工場にてトルエン・キシレン含有ガスの処理実験を行い、90%以上の分解が可能であることを確認した。

「マイクロバブルの圧壊による有害化学物質の高効率分解技術の開発」:

平成 18 年度はプロジェクトを終了し、自社開発にて実用化を目指すこととした。

(2) 平成 17 年度採択テーマ

「革新的水性塗料の開発」:

顔料分散用グラフトポリマーのグラフト効率 100%を達成し、新たにディスパージョン樹脂を組み合わせた造膜技術・塗料化技術を開発した。よって、高固形分濃度低粘度な画期的な現象を見出し、低 VOC 水性塗料のモデル品を開発した。

「有害化学物質削減支援ツールの開発」:

トリクレン等 VOC 6 物質を対象に排出実態や削減技術の情報を提供する Web ソフトのプロトタイプを開発した。このプロトタイプには、行政等が排出実態を俯瞰するための国内の物質フローの提示機能、VOC 排出事業者が自らの排出実態を把握するための業種別排出フローの提示機能、及び削減対策シミュレーション・削減技術検索機能を搭載した。本プロトタイプを Web 上に限定公開し、試験利用を開始した。

「直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発」:

通電加熱式不燃性 VOC 吸着回収装置については、3m³/min 試作機でフィールドテストを行い、吸着剤異常過熱防止対策等の課題が明らかとなったため、必要な改良を行った。可燃性 VOC 吸着回収装置については、吸着剤加熱特性、回収システムの検討を行い、高周波誘電加熱方式を選定し、3m³/min 規模の装置を試作した。

(3) 平成 18 年度採択テーマ

「大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物 (VOC) 等の無害化装置の開発」:

フランジ形プラズマ発生装置の設計検討・条件最適化に取り組み、含 VOC 気体を処理する円筒形フランジの形状・大きさ、点火プラグの配置方法・配置数量などの設計基本仕様を検討するとともに、マイクロ波の発生方法、点火プラグの点火方法、含 VOC 気体の投入速度を検討した。ホルムアルデヒドについては、装置仕様とプラズマ発生制御の基本的検討を終え、95%の分解を確認し、実用化に向けた試作装置の設計に着手した。トルエン・ベンゼンの分解についても、同様の研究開発に着手した。

「デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発」:

水蒸気透過速度が 1x10⁻³cm³(STP)/(cm²s cmHg)以上、H₂O/VOC 理想分離係数 10⁵以上の脱水膜を開発した。また、露点-30 度以下の脱水を達成するプロトタイプモジュールの作製を行った。VOC 透過膜のシリコンゴム膜でガソリンペーパーをワンスルーで 93%以上回収できるプロトタイプモジュールを作製した。

「含塩素 VOC 高効率分解固定化装置の研究開発」:

標準試料で、トリクロロエチレン分解率 98%、CaO 反応率 90%を達成した。また、経済性のある材料の探索を推進した。トリクロロエチレン分解反応の解析を行ない、有害副生成物が出ないクローズドプロセスを考案した。分解固定化プロセスの特性から、本技術の適用範囲を検討した。

「溶剤フリー塗装技術の研究開発」:

モノマーの組合せに応じた蒸着重合装置の設計仕様および蒸着条件の検討を実施した。蒸着重合装置の設計については、モノマーによって、フィルターやバルブ Oリングへの付着を回避することに成功し、モノマーの供給ノズルの多重化をすることで、均一な膜形成を確認した。特に、芳香族ポリ尿素では、すぐれた膜形成の蒸着条件を確認し、多量処理の可能な蒸着重合装置の設計に着手した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 平成 16 年度採択プロジェクト

「非フェノール系樹脂原料を用いたレジスト材料の開発」: エポキシ化反応時の助触媒の最適化検討を行い、触媒費用及び分離精製時にコストダウンが見込める助触媒を開発した。また、レジスト組成物について、ユーザーへのサンプル配布試験を行い、モノマーの重合条件、硬化物性等の検討により一部レジスト配合を決定し、次世代プリント配線基板向けレジストの実用化技術を確立するとともに、一般電子材料向けにもサンプル配布を行った。平成 18 年度で終了。平成 19 年度継続研究。

(2) 平成 17 年度採択プロジェクト

「革新的水性塗料の開発」: 樹脂と粘性制御材の検討により低 VOC 高固形分濃度を有する水性塗料を開発した。この塗料は仕上がり外観光沢で若干劣るものの、その他の塗装作業性・乾燥工程条件・塗膜性能等で溶剤型塗料とほぼ同等の性能を得た。高光沢を要求されない分野での実用化の目処を得た。平成 19 年度で終了。

「有害化学物質削減支援ツールの開発」: トルエン、キシレン、および塩化メチレン等塩素系、溶剤 4 物質の平成 17 年度の使用/排出のフローを解析し、表示した。また、自社の条件に適用できる有害化学物質 (VOC) 排出削減技術を表示し、対策効果と必要コストを試算できるツールを開発した。さらに、VOC 排出量が顕著なスプレー塗装、脱脂洗浄、グラビア印刷等に関して、VOC 排出を削減する代替原材料、機器変換、作業改善ならびに処理対策を検討するツールを開発し公開した。ツールワークショップを 10 月 11 日 (東京)、1 月 28 日 (岡山)、1 月 30 日 (福岡) で開催した。

「直接加熱式 VOC 吸着回収装置の研究開発」: 不燃性 VOC 用吸着回収試作機で、3 ヶ月間のフィールドテストを

行い、安定的な稼働で信頼性を実証し、回収効率は90%を得た。吸着回収装置支援ソフトとして、VOC管理ソフトの作成と回収溶剤の再利用手法を確立し、VOC吸着回収再利用システムとしての実証試験を行い、処理性能を確認した。可燃性VOC用吸着回収試作機では、装置の試作を行い、処理性能を確認した。平成19年度で終了。

(3) 平成18年度採択プロジェクト

「大気圧・空気プラズマを利用した揮発性有機化合物（VOC）等の無害化装置の開発」：VOCを分解処理するプラズマ発生装置の構造、プラズマ制御条件の適正化を図り、小風量システムで、ホルムアルデヒド99%以上、トルエン97%以上、ベンゼン96%以上の分解率を達成した。またその際に生じる二次的な有害物質の発生抑制条件を見出した。この結果を基にドラフトチャンバーの排気ダクトへの組み込み設置が容易な、ホルムアルデヒド、トルエン、ベンゼン3種VOC分解装置を設計、試作し、二次的な有害物質生成の有無確認、騒音・電磁波漏れの検討を含め、性能安定性、機器耐久性の実証試験を実施した。ドラフトチャンバー以外の適用機器への実用化を検討し、大風量VOC分解装置の基本仕様を整理した。

「デュアルメンブレンシステムによるガソリンペーパー回収装置の開発」：ゼオライト脱水膜およびVOC透過膜のモジュール構造を改良し膜性能を充分发挥しうる実機サイズモジュールを試作した。またそれらを組み込んだ実機サイズのガソリンペーパー回収装置を製作し試運転を行った。脱水膜の性能向上のため並行して開発を行なっている炭素中空糸膜の水蒸気透過速度を10倍向上した。

「含塩素VOC高効率分解固定化装置の研究開発」：固定化剤を100円/kgで製造する方法を開発した。固定化剤10kg級の試験を行い、反応器をモデル化によりスケールアップする技術を開発した。本装置のポテンシャルユーズンとして50～1,000ppmの含塩素VOCを排出している工場を調査し、装置の試設計とFSを行った。

「溶剤フリー塗装技術の研究開発」：量産試作機を試作し、不具合箇所の改良を行った。原料の蒸発速度・基板温度等の各種条件の最適化および成膜シミュレーションにより、成膜速度の向上、膜厚分布の改善に取り組み、脂肪族ポリ尿素被膜など成膜条件および防食性能の検討が早く進行したものについては、量産プロセスの検討を実施した。

(4) 平成19年度採択プロジェクト

「有害廃棄物フリー高効率エステル合成プロセスの開発」：ブロモ酢酸エステルの合成をモデル反応に選び、マイクロ波加熱による効率的無溶媒製造法について、マイクロ波照射条件、脱水法、反応器形状等を検討し、エステル収率50%以上を達成した。また、フロー型合成装置を用いた予備試験を行い、スケールアップの目途を得た。さらに、ハロゲン化酢酸エステル合成に効果的な触媒およびイオン液体反応場を見いだした。

「革新的塗装装置の開発」：二酸化炭素を希釈剤とする塗装に適合する数種のクリア塗料の製品化の可能性を確認した。手吹き塗装による実験室レベルの塗装実証機を開発し、塗装装置と塗料、塗装条件の適合をはかったところ、プラスチック部品に対し実用レベルの塗装仕上げ品質を実現した。

《6》化学物質のリスク評価及びリスク評価手法の開発〔平成13年度～平成18年度〕

〔中期目標期間実績〕

平成15年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター長 中西 準子氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、内外の既存の有害性データベース等からリスク評価の対象物質に関する有害性データを収集し、試験動物種、試験期間、標的器官、エンドポイント等の情報を整理し、38物質について無毒性量等を算出し、有害性評価書を作成した。この結果、平成15年度までに84物質の有害性データ収集・整備、有害性評価書作成がなされ、中間目標は達成された。

研究開発項目②の内、「暴露情報の整備」については、化管法対象物質に関する情報の収集・整理として、「生産量」、「排出量」、「用途別使用量」、「物理化学性状」等の物質情報を収集・整理し、38物質について、放出シナリオ文書として排出経路データシートを作成した。

また、「暴露評価手法の開発」の広域大気中分布予測モデルについては、全国版の広域大気中分布予測モデルを作成、AIST-ADMER ver.1.0（全国版）を平成15年8月26日から公開、無償配布を開始した。河川中分布予測モデルについては、平成14年度までに開発した関東の多摩川水系分布予測モデルを基に、地理的条件、河川の特長及び発生源から河川への流路等を他の河川のものに置き換え、関東以外の主要河川に適用するための開発を実施した。広域大気中分布予測モデル及び河川中分布モデル検証のためのデータ収集を目的に、河川についてはPRTR対象物質を中心に10物質について主要河川並びに下水処理場においてモニタリングを実施し、大気については中国、四国地方に対する大気モニタリングを実施した。PRTRデータの管理・活用システムとして、大気推定に利用可能とするシステムの改良、地図データの加工を実施した。

暴露量の個人差に係わるパラメータと原単位の解析と整備については、有害大気汚染物質の個人モニタリングによる住民の暴露量調査を実施し、化学物質への暴露の個人差及び大気、水、米について摂取量の個人差に関する因子解析、デフォルト値の検討を実施した。放出シナリオの作成については、ニッケル及び亜鉛を対象として、金属材料を含む製品を中心に、その使用から廃棄に至るライフサイクルを通じた化学物質の放出シナリオ作成のための調査を実施した。

また、「暴露量の推定とマップの作成」については、AIST-ADMER及び河川中分布予測モデルを用い、PRTRデータに基づいて大気中濃度マップの作成ならびに河川中濃度推計を実施し、最終的に各種環境モニタリングデータ、大気中及び河川中濃度分布推定データを総合的に評価し、38物質について、ヒト摂取量を推定した。

以上の結果、平成 15 年度までに 84 物質について放出シナリオ文書の作成、環境中濃度の推定及び人の摂取量推定を行い、中間目標を達成した。

研究開発項目③の内、「初期リスク評価の実施及び初期リスク評価書の作成」については、平成 15 年度までに合計 84 物質についての初期リスク評価を実施し、初期リスク評価書（暫定版）を作成した。このうち 14 物質を製評機構のホームページで公開した。

これにより、中間目標は達成された。

また、「詳細リスク評価手法の開発、詳細リスク評価書の作成」については、クロスメディアアプローチによる環境媒体と摂取媒体中濃度の解析手法の開発について、前年度までに開発した沿岸生態系評価モデルのプロトタイプモデルを基に、既存調査データを用いて改良・検証を進め、AIST-RAMTB ver. 1.0 として公開、無償配布を開始した。

有害性評価のためのエキスパートシステムの構築について、化学物質への暴露により発現する有害影響の標的臓器及び疾病による重み付けに関して、重要なエンドポイントを整理し、重み付けの手法 (DALYs, QALYs)、重み付けの主体 (誰の選好か)、選好の導入方法 (直接的または間接的) 等の情報を基にデータベースを作成した。

リスク管理対策の社会経済分析手法開発について、これまでに開発した、リスクの種類、年齢、リスク認知等の属性の違いが支払い意志額に与える影響を同時に推計する手法を、非死亡影響へ適用可能のように改良するとともに、時間損失法や標準儲け法等の手法と比較検討を行った。

詳細リスク評価については、3 物質 (1,3-ブタジエン、ノニルフェノール、トリブチルスズ) についての詳細リスク評価書を完成し、8 物質 (コプラナーPCB、鉛、p-ジクロロベンゼン、塩素化パラフィン、フタル酸ジエチルヘキシル、ビスフェノールA、ジクロロメタン、1,4-ジオキサン) についての詳細リスク評価書 (暫定版) を作成した。また、さらに 4 物質 (アクリロニトリル、塩ビモノマー、アルコールエトキシレート、2-メチルチオ-4-t-ブチルアミノ-6-シクロプロピルアミノ-s-トリアジン (慣用名：イルガロール)) についても詳細評価書作成作業を行った。

これにより中間目標は達成された。

また「化学物質リスク管理ガイド (仮称) の策定」については、平成 15 年度は引き続きリスク管理に関する製造、企業の自主管理状況、自治体の取組状況を調査し、化学物質リスク管理ガイド (仮称) 作成作業を実施した。

中間目標については、数値目標を含めて全て達成された。

中間評価の高い評価結果を受けて、研究開発を継続して推進することとした。

平成 16 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター長 中西 準子氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「有害性情報の整備及び有害性評価分析」については、平成 16 年度は、内外の既存の有害性データベース等からリスク評価の対象物質に関する有害性データを収集し、試験動物種、試験期間、標的器官、エンドポイント等の情報を整理し、20 物質について無毒性量等を算出し、有害性評価書を作成した。この結果、平成 16 年度までに合計 104 物質について有害性評価書を作成した。なお、平成 15 年度までに 84 物質の有害性データ収集・整備、有害性評価書作成がなされ、中間目標は達成されている。

研究開発項目②「暴露情報の整備及び暴露評価手法の開発」のうち、暴露情報の整備については、平成 16 年度は、化管法 PRTR 制度対象物質に関する情報の収集・整理として、「生産量」、「排出量」、「用途別使用量」、「物理化学性状」等の物質情報を収集・整理し、20 物質について、放出シナリオ文書として排出経路データシートを作成した。特に、ニッケル及びマンガンについては、金属材料を含む製品を中心に、その使用から廃棄に至るライフサイクルを通じた化学物質の放出シナリオ作成を行った。

暴露評価手法の開発については、広域大気中分布予測モデル (AIST-ADMER) は、平成 16 年度は全国版の広域大気中分布予測モデルのサブグリッドモジュール化と沿道モデルの組み込みを行った。

河川中分布予測モデル (AIST-SHANEL) については、既に開発した関東の多摩川水系等の分布予測モデルを基に、関東以外の主要河川に拡張するための開発を実施した。

暴露量の推定とマップの作成については、平成 16 年度は、AIST-ADMER 及び河川中分布予測モデル (AIST-SHANEL、他) を用い、PRTR データに基づいて大気中濃度マップの作成ならびに河川中濃度推計を実施し、最終的に各種環境モニタリングデータ、大気中及び河川中濃度分布推定データを総合的に評価し、20 物質について、ヒト摂取量を推定した。

以上の結果、平成 16 年度までに 104 物質について放出シナリオ文書の作成、環境中濃度の推定及び人の摂取量推定を行った。また、平成 15 年度までに 84 物質について放出シナリオ文書の作成、環境中濃度の推定及び人の摂取量推定を行っており、中間目標を達成している。

研究開発項目③「リスク評価、リスク評価手法の開発及び管理対策のリスク削減効果分析」のうち、初期リスク評価の実施及び初期リスク評価書の作成については、平成 16 年度に新たに 20 物質の初期リスク評価書の作成を行い、合計 104 物質の初期リスク評価書 (暫定版) が作成された。なお、平成 15 年度までに 84 物質について初期リスク評価書を作成しており、中間目標は達成されている。

詳細リスク評価手法の開発については、クロスメディアアプローチによる環境媒体と摂取媒体中濃度の解析手法の開発について、平成 16 年度は、沿岸生態系評価モデルの改良・検証を進めた。リスク管理対策のリスク削減効果分析の一貫として、社会経済分析手法開発について、平成 16 年度は、これまでに開発した、リスクの種類、年齢、リスク認知等の属性の違いが支払い意志額に与える影響

を同時に推計する手法や時間損失法、標準儲け法等の手法を基にガイドラインの素案を作成した。

詳細リスク評価については、平成 16 年度に新たに 4 物質（アクリロニトリル、塩ビモノマー、アルコールエトキシレート、イルガロール）についての詳細リスク評価書を作成した。また、中間目標は達成されている。

平成 15 年度に引き続き、リスク管理に関する製造企業の自主管理状況、自治体の取組状況等を調査結果を基に、化学物質リスク評価・管理指針（ガイドライン）を作成した。

平成 17 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター長 中西 準子氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「有害性情報の整備及び有害性評価分析」については、平成 17 年度は、内外の既存の有害性データベース等からリスク評価の対象物質に関する有害性データを収集し、試験動物種、試験期間、標的器官、エンドポイント等の情報を整理し、25 物質について無毒性量等を算出し、有害性評価書を作成した。この結果、平成 17 年度までに合計 129 物質について有害性評価書を作成した。なお、平成 15 年度までに 84 物質の有害性データ収集・整備、有害性評価書作成がなされ、中間目標は達成されている。

研究開発項目②「暴露情報の整備及び暴露評価手法の開発」のうち、暴露情報の整備については、平成 17 年度は、化管法 PRTR 制度対象物質に関する情報の収集・整理として、「生産量」、「排出量」、「用途別使用量」、「物理化学性状」等の物質情報を収集・整理し、30 物質について、放出シナリオ文書として排出経路データシートを作成した。暴露評価手法の開発については、広域大気中分布予測モデル(AIST-ADMER)は、平成 17 年度は全国版の広域大気中分布予測モデルのサブグリッドモジュールの改良とインターフェイスの骨格構築を行った。

河川中分布予測モデル(AIST-SHANEL)については、日本の主要な広域水系（利根川・荒川水系、淀川水系、木曾川水系など全 13 水系）に拡張するための開発を実施した。

暴露量の推定とマップの作成については、平成 17 年度は、AIST-ADMER 及び河川中分布予測モデル(AIST-SHANEL、他)を用い、PRTR データに基づいて大気中濃度マップの作成ならびに河川中濃度推計を実施し、最終的に各種環境モニタリングデータ、大気中及び河川中濃度分布推定データを総合的に評価し、30 物質について、ヒト摂取量を推定した。以上の結果、平成 17 年度までに 134 物質について放出シナリオ文書の作成、環境中濃度の推定及び人の摂取量推定を行った。

研究開発項目③「リスク評価、リスク評価手法の開発及び管理対策のリスク削減効果分析」のうち、初期リスク評価の実施及び初期リスク評価書の作成については、新たに 30 物質の初期リスク評価書を作成し、合計 134 物質の初期リスク評価書（暫定版）を作成した。詳細リスク評価手法の開発については、クロスメディアアプローチによる環境媒体と摂取媒体中濃度の解析手法の開発については、沿岸生態系評価モデルの改良・検証を進めた。リスク管理対策のリスク削減効果分析の一貫として、社会経済分析手法開発を継続している。平成 17 年度は、前年度までに開発したコンジョイント分析を利用して、健康リスクの削減の対象として世代間のトレードオフを調査するとともに、子供安全の公共財的側面に対する支払意思額の調査を行った。詳細リスク評価については、新たに 4 物質（塩素化パラフィン、ビスフェノール A、塩ビモノマー、アクリロニトリル）について評価書を作成した。化学物質リスク評価管理技術指針の策定については、初期リスク評価書の解説書として化学物質リスク管理ガイドを作成した。

平成 18 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター長 中西 準子氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、平成 18 年度は、内外の既存の有害性データベース等からリスク評価の対象物質に関する有害性データを収集し、試験動物種、試験期間、標的器官、エンドポイント等の情報を整理して、16 物質について有害性評価書を作成した。

研究開発項目②のうち暴露情報の整備については、平成 18 年度は、化管法対象物質に関する情報の収集・整理として、「生産量」、「排出量」、「用途別使用量」、「物理化学性状」等の物質情報を収集・整理し、16 物質について、放出シナリオ文書として排出経路データシートを作成した。暴露評価手法の開発については、重金属の排出量推計機能を追加した河川中分布予測モデル（AIST-SHANEL 金属版）を公開するとともに、解析可能解像度を向上させるなど大幅にバージョンアップした全国版広域大気濃度予測モデル（ADMER Ver. 2）を完成し、公開した。摂取量の推定については、16 物質について推定を実施した。

研究開発項目③については、研究開発項目①及び②を踏まえ、16 物質について初期リスク評価書を作成した。詳細リスク評価書については、平成 17 年度に引き続き、10 物質（アルコールエトキシレート、トリブチルスズ代替物質群、ベンゼン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド、6 価クロム、ニッケル、クロロホルム、オキシダント、亜鉛）について評価書を作成した。また、平成 17 年度に引き続き「クロスメディアアプローチによる環境媒体と摂取媒体中濃度の解析手法」の開発を継続し、日本の重要港湾を含めた沿岸海域における生態リスク評価モデルの開発を完結させた。平成 17 年度に引き続き、健康影響についての支払意思額及び非死亡影響の定量的評価に関するアンケート調査結果を踏まえて、リスク管理対策のリスク削減効果分析の一環として社会経済分析手法を継続し、社会経済分析手法ガイドラインを完成させた。さらに、平成 17 年度に引き続き、化学物質リスク管理ガイドライン（仮称）を作成し、完成させた。

《7》既存化学物質安全性点検事業の加速化〔平成12年度～平成18年度〕

〔中期目標期間実績〕

平成15年度は、大阪大学大学院薬学研究科 教授 西原 力氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、平成15年度は「化学物質の製造・輸入に関する実態調査（平成13年度実績）の確報値」から原則年間生産・輸入量100t以上の既存化学物質（構造が特定できる1から5類及び10類）を調査し約50物質の構造式を追加入力した。

分解性予測システムに関しては、記述子の選定のために現行の部分構造記述子の算出と出現頻度の比較、未設定部分構造の抽出と出現頻度の確認を行い、平成15年度までに2から5類及び10類の物質について現行の予測システムによる検証結果などをもとに予測フローの改良及びSAR式の再計算を実施した。さらにシステム開発に重要と考えられる約100物質の簡易分解度試験を実施した。平成15年度は新たに中間体予測手法の検討のため反応データベースの作成と部分構造に着目した中間体判別手法の開発を実施した。入力された構造式から構造分類等を自動で解析し経験則フローやSAR予測式にあてはめ予測値を計算するプロトタイプシステムを開発した。

蓄積性予測システムに関しては既存の生物濃縮データを基に約750物質を骨格構造と部分構造で分類した後、LogPow-BCFの相関を解析し分類毎に相関式を開発した。相関式に関して新規物質による相関式の検証を実施した。また、logPowの計算値と実測値の比較・解析した。さらに、物質をlogPによるBCF推算可能物質と推算対象外とに部分構造で分類する方法を検討した。分解性および蓄積性予測のプロトタイプシステムを利用し、一次推計を実施した。

これにより、中間評価の目標を達成した。

研究開発項目②については、試験実施候補物質（112物質）のうち分解度試験24物質、濃縮度試験10物質、分配係数試験20物質、及び物理化学的性状試験24物質を完了した。これにより、中間評価の目標を達成した。

中間目標については、数値目標を含めて全て達成された。

中間評価の結果、「より複雑な化学物質にも適用できるような要素技術の導入」という指摘を受け、これを実現化するために研究開発実施体制の見直しを実施した。

平成16年度は、大阪大学大学院薬学研究科 教授 西原 力氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、研究開発項目②で得られた既存点検データ40物質の構造式と分解性・蓄積性等の点検データを追加入力した。さらに、インターネット一般公開システムで類似構造情報として開示予定の既存点検済み物質データの確認を行った。

分解性予測システムに関しては、記述子の選定のために現行の部分構造記述子の算出と出現頻度の比較、未設定部分構造の抽出と出現頻度の確認を行い、2から5類及び10類の物質について現行の予測システムによる検証結果などをもとに予測フロー及びSAR式の改良を実施した。さらにシステム開発に重要と考えられる約100物質の簡易分解度試験を実施した。また、平成15年度までに改良・開発した中間体判別を含む予測フロー等を導入した自動計算システム開発を行った。

蓄積性予測システムに関しては既存の生物濃縮データを基に約750物質を骨格構造と部分構造で分類した後、LogPow-BCFの相関を解析し分類毎に相関式を開発した。相関式に関して新規物質による相関式の検証を実施した。また、logPowの計算値と実測値の比較・解析を行った。さらに、平成15年度までに検討したlogPによるBCF推算可能物質と推算対象外とに部分構造で分類する方法を検証し、logP-BCF相関が低い物質に対して例外性判断フローを開発し新規物質で検証した。

加水分解予測システムの開発としては、基本設計を完了した。加水分解予測システムは既存及び新規化学物質のデータからの加水分解性物質の変化物のデータを対象として、既存化学物質の加水分解の試験方法を確立し、数物質の加水分解の実験データの収集を実施した。また、計算においては加水分解性の尺度として活性化エネルギー等の計算を15物質以上実施した。

生分解性予測及び蓄積性予測システムにおいては新たに平成14年度以降の新規化学物質を用いた検証及び改良支援を実施した。

研究開発項目②については、試験実施候補物質（112物質）のうち分解度試験19物質、濃縮度試験7物質、分配係数試験及び解離定数試験を延べ20物質、及び物理化学的性状試験20物質を完了した。

平成17年度は、大阪大学大学院薬学研究科 教授 西原 力氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「定量的な構造活性相関（SAR）手法による化学物質特性予測システムの構築」

（1）「予測システムの開発」

既存及び新規に得られる分解性・蓄積性等のデータを定量的な構造活性相関手法の検討用データベースとして引き続き補充・整備した。平成17年度は予測システム開発に重点をおいた。分解性予測システムに関しては、部分構造記述子の追加と物質分類法の検討によるシステムの改良、並びに、生分解による分解生成物の有無の判定及び構造の特定を可能にする機能を追加し、システムによる検証等を実施して、精度の向上を図った。広く外部からの意見を採り入れるため、平成16年度に開発した一般公開用の分解性予測システム試用版をインターネット上に公開した。蓄積性予測

システムに関しては、現存の生物濃縮データを基に logPow-BCF の相関を再解析・検証し、相関式に関する精度の向上を図り、平成 15 年度に構築したプロトタイプの改良を図るとともに、分解性予測システムとともにインターネット上に公開した。また、両システムともに、既存点検への適用範囲（条件）を明確にするため、未点検物質と点検済み物質の類似性の比較を実施した。

(2) 「予測システムの検証、及び加水分解予測機能の開発」

平成 16 年度に引き続き、新規化学物質の情報を活用し、平成 15 年度に構築した分解性及び蓄積性予測システムのプロトタイプの検証を行い、当該システムの改良を支援した。また、他の既存システムとの比較から当該システムの長所、短所を把握した。さらに、エステル、アミド、ハロゲン化合物を対象とした、加水分解実験を実施して活性化エネルギーを測定し、量子化学計算との相関を応用した加水分解予測システムを開発完了した。

研究開発項目② 「既存化学物質に関する分解性、蓄積性試験等の実施と安全性の確認」

行政ニーズ及び予測システムの精度向上の観点から試験対象物質を選定し、分解度試験 23 物質、濃縮度試験 8 物質、分配係数試験及び解離定数試験を延べ 14 物質について確認試験を実施した。その他、物理化学的性状試験も継続して実施した。

平成 18 年度は、平成 17 年度に引き続き、大阪大学大学院特任教授 西原 力氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目① 「定量的な構造活性相関 (SAR) 手法による化学物質特性予測システムの構築」

(1) 「予測システムの開発」

分解性・蓄積性等の検討用データベースを引き続き補充・整備した。分解性予測システムに関しては、物質分類法の検討によるシステムの改良、並びに、生分解による分解生成物の有無の判定及び構造の特定を可能にする機能を追加した。蓄積性予測システムに関しては、現存の生物濃縮データを基に logPow-BCF の相関を再解析・検証し、相関式に関する精度の向上を図った。平成 17 年度に公開した分解性・蓄積性予測システムプロトタイプの改良を図った。また、予測精度の向上を目的とした検討及び開発を行い、分解性・蓄積性予測システムの最終版を完成した。さらに、分解性・蓄積性予測システムの最終版を用いて、平成 15 年度に一次推計を実施した物質に新規に取得したデータを追加し、約 3200 物質の予測計算を実施した。全体的な予測精度は約 90% となった。また、類似構造検索システムを完成し、使い勝手を向上させた。

(2) 「予測システムの検証、及び加水分解予測機能の開発」

エステル等の化学物質の水による加水分解予測システムを開発した。このシステムは、基本となる化学物質の反応モデルをデータベースに登録する必要があり、システムを効率良く利用するために、反応モデルを自動的に整備し登録するシステムを完成させた。

加水分解予測システムの検証及び確認として、開発した加水分解性予測システムを用いて、引き続き検証を実施した。また、予測失敗の原因となった予測反応モデルの修正・確認等を行った。平成 17 年度に開発した生分解性・蓄積性予測システムプロトタイプ及び市販ソフトを用いて、難分解かつ高蓄積と予測された未試験既存化学物質から加水分解部位を持つ物質を選び、加水分解性予測を実施し、変化物予測を実施した。

新規化学物質による生分解性予測システムの検証及び改良の支援として、OECD の(Q)SAR 行政利用のための原則では、外部確認による実績が、システムの重要評価項目の一つとして制定されているため、生分解性予測システムの外部確認を実施した。また、生分解予測システムの検証を実施し、システムの改良支援を実施した。

研究開発項目② 「既存化学物質に関する分解性、蓄積性試験等の実施と安全性の確認」

平成 17 年度に引き続き、早急な安全性確認が求められる物質を対象とする分解性、蓄積性及び物理化学的性状試験等の実施を継続した。原則年間生産・輸入量 100 t 以上の物質にて、早急な点検が必要な 97 物質のうち、分解性試験物質数 21、蓄積性試験物質数 9、分配係数試験物質数 15 (うち、解離定数測定物質数 4、強塩基性物質数 2) を試験した。

《8》高精度・簡易有害性 (ハザード) 評価システムの開発 [平成 13 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、名古屋市立大学大学院医学研究科教授 白井 智之氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目 「遺伝子解析手法の活用による簡易な長期毒性予測手法の開発」

(1) マイクロアレイ作製の研究では、4 種類の肝発がん物質を投与したラットの肝臓、腎臓、脾臓および大腸の 4 臓器から抽出した 15,762 クローンからなる cDNA ライブラリーを作製した。平成 13 年度と 14 年度に作製したラット cDNA ライブラリー約 40,000 クローンの塩基配列について既知遺伝子との同源性検索を行い、UniGene ID に基づき塩基配列が重複しない 12,222 クローンを見いだした。平成 13 年度の解析結果や市販マイクロアレイ、文献情報等を踏まえて EST の重複除去等を行い、12,222 クローンから約 8,200 遺伝子を選択した。この遺伝子を PCR 法により増幅し、スライドガラスにスポットして cDNA マイクロアレイ ver.2 を開発した。また、オリゴアレイ作製に向けて、オリゴヌクレオチドの設計方法、オリゴ長、基板、ハイブリ条件など基本仕様を検討し、試

作アレイによる遺伝子発現条件の検討を実施した。

(2) 実験方法標準化の研究では、cDNA マイクロアレイ ver.2 及びアフィメトリックスの GeneChip を用いて麻酔条件、臓器切り出し幅を最適化し平成 15 年度に 45 種類の発がん性および非発がん性物質について 28 日間反復投与試験を実施し、毒性データ、遺伝子発現プロファイルデータの収集を行った。

(3) アレイインフォマティックスの研究では、毒性や遺伝子発現量などの実験データをデータベースサーバーで一元管理するデータ登録・管理システム、および遺伝子のアノテーション情報を公開データベースから自動収集・更新するシステムを開発した。

また、遺伝子情報から発がんマーカー遺伝子を探索する解析ツールおよび、遺伝子発現プロファイルデータのサンプリング機能、クラスター分析、主成分分析等のデータマイニングに必要なデータ登録・管理システムとのインターフェースを検討し、現状プログラムの改良点を抽出した。発現プロファイルなどの数値情報について、インフォマティックスでは未入手の情報を除きほぼ DB 化を完了し、cDNA マイクロアレイ ver.2 に搭載したクローンの中から発がん物質に特異的な応答を示す遺伝子セットを選別した。これらの遺伝子セットを用いて発がん性予測を実施したところ、96.2%の高い一致率が得られ、遺伝子発現による発がん性予測の有効性が明らかとなり、中間目標を達成した。

(4) 基礎的研究 (イ) タンパク質発現研究では、二次元ディフュゼンシャル電気泳動法(2D-DIGE)によりタンパク質発現の定量比較解析を行った。対照群と投与群で発現量に差が認められたタンパク質を同定し、データベース化した。(ロ) 正常組織と前がん病変組織の間で遺伝子発現の違いを検索するため、F344 ラットに誘発した前がん病変である GST-P 陽性細胞巣とその周辺の正常領域における肝細胞の遺伝子発現の差異について解析し前がん病変で特異的に発現変動している遺伝子を選定した。(ハ) 新規に開発された希土類蛍光ラベル剤を用いる DNA マイクロアレイ測定法を開発することを目的として、数種類の希土類蛍光錯体を DNA に効率よく標識する方法を検討し、BPTA によるオリゴ DNA の直接標識において 85%の標識率を得ることに成功した。(ニ) 遺伝子発現量データから発がん性予測に有用なマーカー遺伝子セットを抽出するため、平成 13 年度および 14 年度に収集した遺伝子発現量データを用いて時系列の遺伝子発現プロファイルデータを解析するため一括学習型アルゴリズム SOM の改良を行った。また、GO の利用による時系列データの解析を行った。中間目標については、数値目標を含めて全て達成された。

中間評価の高い評価結果を受けて、研究開発を継続して推進することとした。

平成 16 年度は、名古屋市立大学大学院医学研究科教授 白井 智之氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目「遺伝子解析手法の活用による簡易な長期毒性予測手法の開発」

- ① マイクロアレイ作製の研究では、これまでに製作した cDNA マイクロアレイ (NEDO_ToxArray I、II) の搭載遺伝子と、平成 15 年度に行ったオリゴアレイの予備検討結果等に基づき、搭載遺伝子の種類を含めたオリゴアレイ (NEDO_ToxArray III) の詳細仕様を決め、そのハイブリダイゼーション条件等の最適化を図り、オリゴアレイを作製した。
- ② 実験方法標準化の研究では、変異原性及び発がん性の有無が既知の 10 種類の化学物質について、cDNA マイクロアレイ (NEDO_ToxArray II) およびオリゴアレイ (NEDO_ToxArray III) を用いて動物実験を実施し、遺伝子発現プロファイルデータを収集した。オリゴアレイについては、更に 15 化学物質について動物実験を実施し、遺伝子発現プロファイルデータを収集した。
- ③ アレイインフォマティックスの研究では、各種の手法を用い、またパスウェイを考慮しながら発がん予測精度を評価し、予測手法の確立に向けた検討を進めた。同時に、発がん性予測用遺伝子セットのパスウェイを整理し、実験で得られた遺伝子発現情報や病理所見等のデータ、公開データベースの自動収集から得られたアノテーション等を総合的に利用可能なデータベースを構築した。
- ④ タンパク質発現解析の研究では、有害性評価の補完情報を収集するため、タンパク質発現プロファイルを集積し、データベース化した。
- ⑤ 基礎研究では、毒性予測システムの精度向上及び有害性評価の補完情報を収集するため、ラットとヒトの肝細胞での遺伝子発現プロファイルの比較を行った。発現プロファイルの予測技術の高感度化のための蛍光色素とその測定方法の開発を行った。
- ⑥ 国内外の技術動向に関して調査を実施し、将来の実用化のためのシナリオの検討を行った。また、外部有識者による年 2 度の推進委員会を実施した。

平成 17 年度は、名古屋市立大学大学院医学研究科教授 白井 智之氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目「遺伝子解析手法の活用による簡易な長期毒性予測手法の開発」

- ① マイクロアレイ作製の研究では、本プロジェクトでの最終仕様であるオリゴアレイ (NEDO_ToxArray III) について更なる改善に向けた検討と製品化に向けた仕様の設定を行った。
- ② 実験方法標準化の研究では、オリゴアレイ (NEDO_ToxArray III) を用いて変異原性及び発がん性の有無が既知の 60 種類の化学物質での遺伝子発現プロファイルデータを収集した。(平成 16 年度 25 物質と合わせ、本プロジェクトで取り扱う 85 物質全てのデータを取得した)。
- ③ アレイインフォマティックスの研究では、解析手法、パスウェイ等の多角的な視点からの評価に耐える解析システムを確立した。またマイクロアレイ測定データから発がん性を予測するアルゴリ

- ズムを開発し判定システムを開発した。
- ④タンパク質発現解析の研究では、タンパク質同定データの取得を完了しタンパク質発現と発がん性との関連を解析した。これによりタンパク質発現から発がん性を予測するアルゴリズムを開発し、アレイインフォマティクスの研究で構築した評価システムの補完を検討した。
 - ⑤本プロジェクトで構築した、動物実験～遺伝子発現評価～毒性判定の一連の評価システムをブラインドテストを実施して検証し、80-90%の予測率を得た。

《9》化学物質総合リスク評価管理システムの開発 [平成13年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 理事 茂木 保一氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目「化学物質総合リスク評価管理システムの設計及び開発」

- (1) システムの要件整理と設計については、「システム全体設計」として、システム全体の要件・機能整理を行い、基本設計書を作成した。「システム開発」として、システム全体設計を踏まえ、テストサイトを開発し立ち上げるとともに、このサイトを用いたモニター調査、アンケート、ヒアリングなどを行い、この結果からシステム設計を見直すとともに、これをもとにテストサイトの改良を行った。「リスクコミュニケーションに必要な調査、分析等」として、前記のモニター調査などとあわせて、化学物質のリスクコミュニケーション及び本システムに関するニーズを調査し整理した。さらに、他のプロジェクトの成果を体系的に公表していくために必要なリスクコミュニケーション関連情報を収集、整理して、用語集、Q&A等を作成した。
- (2) 共通電子様式の設計、開発については、「設計」として、他プロジェクトから得られるデータを統一的に整理してライブラリーに格納するため、共通電子様式の概念設計を行った。更に、「化学物質のリスク評価及びリスク評価の開発」プロジェクト成果物である「初期リスク評価書」を材料として、共通電子様式の設計を実施した。

「開発」として、上記1.の設計により、「化学物質のリスク評価及びリスク評価の開発」プロジェクト成果物である「初期リスク評価書」及び本プロジェクトで整備する用語集などのデータを対象に、共通電子様式の開発を行った。

- (3) 化学物質総合情報ライブラリーの構築については、「設計」として、化学物質総合情報ライブラリーの設計では、基本的に「化学物質のリスク評価及びリスク評価の開発」プロジェクト成果物である「初期リスク評価書」を基礎データとし、共通電子様式を含むデータベース等の設計を行った。「開発」として、設計に従い、「初期リスク評価書」のデータベース化とデータベース化を行う際に必要な共通電子様式の開発を行い、コンテンツとして「初期リスク評価書」及び用語集などのデータの一部の格納を行った。

中間目標については、全て達成された。

中間評価の高い評価結果を受けて、研究開発を継続して推進することとした。

平成16年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 理事 茂木 保一氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目「化学物質総合リスク評価管理システムの設計及び開発」

- (1) システムの要件整理と設計、開発

①システム全体設計と一部開発

システム全体の要件・機能整理を行って、作成した基本設計を踏まえ、テストサイトを開発し立ち上げるとともに、このサイトを用いたモニター調査、アンケート、ヒアリングなどを行った。この結果からシステム設計を見直すとともに、これをもとにテストサイトをベースに機能の改良・追加を行った。

②リスクコミュニケーションに必要な調査、分析等

前記のモニター調査などと合わせて、化学物質のリスクコミュニケーション及び本システムに関するニーズを調査し整理した。これを踏まえ、一般の理解を支援する情報として、製品情報や解説情報、簡易評価体験ツールなどの仕様を検討し、その開発を進めた。

- (2) 共通電子様式の設計、開発と総合情報ライブラリーの整備

①共通電子様式

他プロジェクトから得られるデータ等を統一的に整理した総合ライブラリーの機能の充実に向け、概念設計を行った。特に、「化学物質のリスク評価及びリスク評価の開発」プロジェクト成果物である「初期リスク評価書」を材料として、共通電子様式自動作成システム試作モデルの設計を実施した。また、「初期リスク評価書」及び用語集などのデータの様式の改良を行い、その管理ツールの開発などを進めた。

②化学物質総合情報ライブラリーの構築

化学物質総合情報ライブラリーの設計では、基本的に「化学物質のリスク評価及びリスク評価手法の開発」プロジェクト成果物である「初期リスク評価書」を基礎データとし、共通電子様式を含むデータベース等の追加設計を行った。また、コンテンツとして「初期リスク評価書」及び用語集などのデータの一部の格納を行い、理解支援情報である製品情報や解説情報の整備に着手した。

平成 17 年度は、独立行政法人製品評価技術基盤機構 理事長 御園生 誠氏をプロジェクトリーダーとし、化学物質総合リスク評価管理システムの全体設計に基づき、最終的なシステムを完成し、一般公開した。

研究開発項目「化学物質総合リスク評価管理システムの設計及び開発」

(1) システム設計の具体化と開発

①システム全体設計と開発

これまでの設計を踏まえ、システムで提供する情報の内容、利用者への提供の方法などにつき決定し、設計拡張と開発を行った。テストサイトについては、モニター希望者への先行的な公開を経た後、一般公開を行った。公開サイト上では、先行公開から常時アンケートを設置し、得られた意見より、改善項目、問題点等を整理し、プロジェクト終了時まで継続的に機能改良及び内容充足を行い、全体システムを完成させた。

②リスクコミュニケーション支援機能等の整備

化学物質に関するリスクコミュニケーションを支援するために必要なシステム機能として、これまでの検討結果を踏まえ、解説情報、製品情報、リスクコミュニケーション事例、リスク評価体験ツール等の機能改良及び内容拡充を行い、双方向性を持つ機能として、問合せ窓口の設置、ニュースレターの発行とお知らせ配信等を行い、一般公開した。

(2) 共通電子様式の設計、開発と総合情報ライブラリーの構築

「化学物質のリスク評価及びリスク評価の開発」プロジェクトの「初期リスク評価書」の項目に加え、国内外の関連データベース及びデータ収集の取組等を踏まえた、化学物質管理におけるデータ共有等に広く汎用可能な共通電子様式への拡張を検討し、追加設計及び開発を行った。他プロジェクト成果物についても、本システムへの取り込みの方式などを決定し、確定したものを総合情報ライブラリーに登録した。また、リスクコミュニケーションの推進と化学物質の情報の基盤整備に有用な関連データとして、用語集や解説情報、製品情報などの独自の理解支援情報を拡充・整備し、ライブラリーの全体構成を完成させ、一般公開した。

《10》超臨界流体利用環境負荷低減技術研究開発 [平成 12 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、東北大学 教授 新井 邦夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①について「有機合成プロセス技術の研究」では、超臨界二酸化炭素反応場を利用し、水素化反応技術、環状炭酸エステルの高効率合成プロセス、有機合成を指向した酵素触媒を用いた新規バイオプロセス、各種のフッ素置換したホスフィン(リン系化合物)を配位子とする有機金属錯体触媒(金属と有機化合物からなる物質)を用いた有機合成反応(ジエン類のヒドロホルミル化反応)の開発を行い、超臨界反応場の反応特性や触媒の有効性を明らかにし、実用化に有用な基盤技術の拡充を図った。また、超臨界メタノール反応場を利用した芳香族化合物の高選択的有機合成、2-アミノ化合物及びフェノール化合物の N-メチル化反応等、超臨界反応場における最適触媒の探索や最適反応条件を見出し、実用化に必要な課題の解決を図った。さらに、超臨界水反応場を利用したオレフィン水和反応プロセスの開発では、反応活性、選択率が最適な反応条件を見出した。固体酸触媒を用いた超臨界・亜臨界水中の固体触媒反応については、固体酸触媒の添加効果と反応機構を明らかにするとともに、超臨界水中での各触媒の安定性に関する評価、他の反応系への拡張の検討を行い、実用化のための基盤技術の拡充を行った。「材料プロセッシング技術の研究」では、超臨界二酸化炭素等を利用して金属微粒子を溶解ポリマー中に均一に分散させる技術、超臨界反応場におけるポリマーの溶解性、浸透性、粘性、膨脹性、相分離に関するメカニズムを解明し、汎用化に必要な物性推算法やシミュレーションプログラムを開発し、実用化のための基盤技術を整備した。また、超臨界水反応場を利用した材料プロセッシング技術では、チタン、バリウム等の化学種の溶解平衡に基づく粒子生成機構を明らかにするとともに、チタン系複合酸化物の粒子径制御手法の検討を行い、高機能材料創成に資する技術を開発した。「エネルギー・物質変換技術の研究」では、流通型超臨界水反応装置を導入して有機固形物が酸化・分解する際の流動挙動を測定し、流動シミュレーションによる反応工学モデルの構築を行い実用化プロセスへの展開を図った。

具体的には、ポリエン(分子内に多くの二重結合をもつ不飽和炭化水素の総称)及びポリカーボネート(CO₂と二価アルコール等の縮合重合体によるポリエステル)の変換反応において、反応生成物を高い選択性で生成する反応条件を選定するとともに、プロセスの設計手法、シミュレーションモデル、プラスチック-水スラリー系の高圧供給技術等、実用化の課題解決に有用な基盤技術データベースの整備を図った。「超臨界水酸化雰囲気、還元雰囲気下に適した装置材料の選定技術の開発」では、超臨界水環境下における包括的な腐食特性評価及び割れ感受性評価試験を実施し、腐食データの整備を図った。得られた試験結果及び文献調査結果に基づいて腐食特性マップを作成し、実用化プロセスにおける長寿命化構造材料選定に資した。

研究開発項目②については、高温高圧下で酸素等の高圧ガス供給システムの安全技術、超臨界流体物性推算法、シミュレーターを開発し、研究開発項目①から得られる基礎、工学データと合わせ、産官学が利用できる実用化に資する超臨界流体に関するデータベースの整備を図った。

研究開発項目③については、国内外における最新の関連機関の技術動向調査を行い、研究開発項目①及び②での成果との相互連携を図ることによって、研究開発の促進を図った。

当PJ成果を利用した実用プロセス実現の観点から、実用化に資する基盤技術を加速的に整備するために、プラントシミュレーターを追加して実施していく。

平成16年度は、東北大学 教授 新井 邦夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

本プロジェクトの最終年度である平成16年度は、有機溶媒を大量に消費・排出する既存化学プロセスを省エネルギー、省資源、低環境負荷型プロセスに改善する目的で、超臨界流体が有する優れた反応場特性を利用した新しい化学プロセスを構築するための工学的基盤技術を確立することに成功した。

研究開発項目①「超臨界流体プロセスの技術開発」において、「有機合成プロセス技術の研究」では、1)超臨界二酸化炭素反応場を利用した合成反応として、a) *o*-クロロニトロベンゼンの選択的水素化反応、b)環状炭酸エステルの高効率合成プロセス、c)有機合成を指向するバイオプロセス、および d)新規な触媒反応の開発として各種のフッ素置換したホスフィン(リン系化合物)を配位子とする有機貴金属錯体触媒(金属と有機化合物からなる物質)を用いたヒドロホルミル化反応に応用し、選択性発現メカニズム、触媒失活メカニズム等超臨界反応場の反応特性や触媒の有効性を明らかにし、実用化に有用な流通連続反応プロセス化に必要なデータを収集して、プロセス化の基盤技術を確立した。また、2)超臨界メタノール反応場における有機合成反応において、a)2-アミノ化合物及びフェノール化合物のN-メチル化反応等、超臨界反応場における高選択的かつ長寿命の触媒開発や最適反応条件を見出し、プロセス化の基盤技術を確立した。さらに、3)超臨界水反応場を利用した水和反応プロセスの開発において、a)オレフィンの水和反応をモデルとして超臨界水中での化学反応機能、超臨界水の溶媒物性を解明にするとともに、触媒を使用せず、かつ高速・高選択な合成方法を確立し、精製エネルギーコストを従来より半減できる革新的な省エネルギーオレフィン水和プロセスを構築した。さらに、固体酸触媒によって反応が促進されることが期待される各種の有機合成反応系における工学的データを収集し、革新的新規合成手法に応用できる基盤技術データの拡充を行った。

「材料プロセスング技術の研究」では、1)超臨界二酸化炭素を利用した高分子材料の創成技術については、超臨界二酸化炭素とポリマー混合系における粘性低下機構の解明、溶融粘度のオンライン計測技術の開発等を行い、a)ポリマー可塑化・加工の実用化プロセスを構築した。また、b)これらのプロセスに必要な超臨界流体中での高分子材料のガラス転移点、融点等の熱物性データ、溶融粘度、界面張力、拡散係数等の超臨界流体とポリマー混合系の工学物性に関する基盤データ整備を行い、データベースの蓄積・整備・充実化を行った。さらに c)超臨界二酸化炭素中の溶融ポリマーの可塑化及び相分離現象を解明し、また、d)プロセス操作条件の最適化と、製品材料の物性予測が可能なシミュレーションプログラムを開発した。2)超臨界水反応場を利用した無機微粒子合成プロセス技術については、多段階フィード法、温度勾配法などの粒子径・分布の制御方法、粒子生成・成長機構のモデル化手法を開発し、超臨界流体場での無機粒子の連続合成プロセスを構築した。

「エネルギー・物質変換技術の研究」では、1)超臨界水反応可視化システムを用いて、炭素粒子の超臨界水酸化反応をX線観察し、シミュレーションモデルに必要な反応速度データを取得した。また、2)上記反応速度データを利用して、超臨界水酸化プロセスの反応容器の設計等に適用できるシミュレーションプログラムを開発した。具体的には、3)ポリ塩化ビニル及びポリカーボネート等の廃棄物を、それぞれ、ポリエチレン(分子内に多くの二重結合をもつ不飽和炭化水素の総称)及びビスフェノールA(ポリカーボネート原料)へ物質変換するプロセスの操作条件最適化に役立て、プラスチックを連続的に供給し、超臨界反応での生成物を連続的に取り出すプロセスを構築した。4)さらにプラスチック-水スラリー系の高圧供給システム開発に関して、スラリー送液挙動等を明らかにし、粉碎されたプラスチック廃棄物を水とともに、スラリー状で超臨界反応場へ供給できるシステムを構築した。5)超臨界水酸化雰囲気、還元雰囲気下に適した装置材料の選定技術の開発では、腐食データの蓄積を図るとともに材料腐食、及び応力腐食割れ感受性評価、腐食のメカニズムを解明し、得られた試験結果及び文献調査結果に基づいて腐食特性マップを作成し、実用化プロセスにおける長寿命化構造材料選定指針を確立した。

研究開発項目②「基礎基盤技術の開発」では、1)超臨界流体の基礎基盤、2)工学基盤に関するデータの取得と収集を行い、3)高温高圧下で酸素等の高圧ガス供給システムの安全技術、4)超臨界流体物性推算法、5)超臨界プロセスシミュレーターを開発し、研究開発項目①から得られるデータと合わせ、産官学が利用できる実用化に資する超臨界流体に関する約4万項目に及ぶデータベースを構築し、産総研超臨界センターで、テストサイトを立ち上げ、一般公開することに成功した。

研究開発項目③「超臨界流体技術の調査研究」では、国内外における最新の関連機関の技術動向調査を行い、研究開発項目①及び②での成果との相互連携を図ることによって、実用化へ向けての課題抽出などが行え、研究開発の促進が図れた。

《11》超臨界流体を用いたダイオキシン等難分解性化学物質の無害化技術の開発 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、超臨界二酸化炭素による焼却飛灰中のダイオキシン類について、抽出ベンチプラントにおける実証試験をおこない、99%以上の抽出率を得た。抽出されたダイオキシン類を吸着させた活性炭を、超臨界水分解ベンチプラントを用いて分解試験をおこない、ダイオキシン類の完全分解を確認

した（両プラント分解率 99.98%）。また、ダイオキシン類に汚染された焼却炉の解体残渣についても、無害化試験を実施し、分解率 99%以上を達成した。

研究開発項目②については、実 PCB 機器を PCB 特措法に基づき自治体より入手し、総合試験装置を用いて分解試験をおこない完全分解を確認した（分解率 99%以上）。実用化に向けたプロセスの最適化の検討、安全性評価及び腐食に関する検討をおこなった。

研究開発項目③については、超臨界二酸化炭素を用いたダイオキシン類の抽出工程について、ダイオキシンを抽出後に減圧吸着をおこなった時の吸着挙動について、溶解度計算及び検証試験を行い、基礎的な知見を得た。またダイオキシン類の活性炭への吸着挙動を確認するために、模擬物質による吸着量の試験を継続して実施し、吸着量と分子量の関係及び溶質濃度の影響について検討した。また超臨界水分解時における反応速度及び反応生成物履歴に関してダイオキシン類模擬物質を用いた試験を実施し分解反応機構の解明を行った。

また、外部有識者による研究開発内容へのコメント抽出等を実施し、装置検討を含む総合的な調整、本技術の市場性及び社会的受容性に関する調査を行った。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

最終年度である平成 16 年度は、超臨界流体を用いたダイオキシンや PCB を主とした難分解性化学物質の無害化技術を確立した。

研究開発項目①「有害化学物質の複合型超臨界水分解技術の開発」においては、抽出工程の前処理工程となる酸処理技術につき、超臨界二酸化炭素抽出層に供給可能な酸洗浄前処理設備を製作し、重金属分離、カルシウム回収、塩素分離が可能であることを確認した。また、プロセスの安全性向上を目的として、吸着圧力条件等の操作による吸着容器と分解容器の統合化を検討し、検討結果に基づき総合的な連続試験を実施し、プロセス全体の最適化を図り、さらに最終的な省エネルギー性能とコストを算出することにより、事業終了後の実用化への展開を視野に入れた最終目標を達成した。また、超臨界流体の抽出及び分解特性に関する基礎的知見の体系化を図った。

（開発目標：最終分解率（＝抽出率×分解率）99%以上を達成した。）

研究開発項目②「有害化学物質の直接型超臨界水分解技術の開発」においては、総合試験装置を用いた PCB 含浸固形物の処理実証試験を実施するとともに、プロセスの最適化を図った。同時に安全性及び寿命性についてエンジニアリングデータを蓄積し、体系化を行った。

（開発目標：最終分解率 99%以上を達成した。）

研究開発項目③「解体廃炉のダイオキシン濃度等の状況及び今後見込まれる市場性等に関する調査」に関しては、ダイオキシン対策特別措置法の施行に伴い、排出基準を満たさない焼却炉については暫時解体し、適正処理が必要となる。したがって、当該プロジェクトの成果の実用化・事業化に資する観点から、係る廃炉のダイオキシン濃度等に関する調査を行い、併せて今後 1200 本程度が廃炉と見込まれる市場に関して規模及び計画等を調査し、複合型超臨界水分解技術による焼却炉解体残渣処理の市場ポテンシャル、実用化する上での課題などを明らかにした。

《12》次世代化学プロセス技術開発 [平成 9 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目「分離・合成連続化プロセス技術開発」

(1) 多相系触媒反応プロセス技術の開発では、機能化学品合成について以下の技術開発を実施した。

(i) 「有機相/フルオラス相(弗素系溶剤)2 相系」では新規多弗素系ルイス酸触媒を開発し、エステル化、Bayer-Villiger 反応による医薬品原材料の合成に対してベンチスケール連続装置により基本データを取得し、概念設計を行った。(ii) 「有機相/水相 2 相系での水溶性金属錯体触媒反応」では水溶性ホスフィン錯体触媒によるチグリン酸(香料)の不斉水素化反応に対して、既存触媒に比べ活性で 3 倍、触媒リサイクルが可能となり、汎用性の基礎合成技術を確認した。一方、錯体触媒による不飽和アミン(機能性ポリマー)の選択水素化やイオン性流体(BMIM・PF₆)によるニトリル合成では、触媒リサイクルの基礎技術を確認した。オレフィンへのメタノール付加反応による新規エーテル合成(THF、MTBE 代替溶媒)では、実用化技術を確認するとともに事業化(パイロット試験)について検討を行った。(iii) 「有機相/触媒相/水相 3 相系での相間移動触媒反応」では、複合錯体触媒によるオレフィンの過酸化水素によるエポキシド合成では、分離容易な触媒相を確認し、原料として環状オレフィン、鎖状オレフィン等を検討し、回分式ベンチ反応装置により基本プロセス構築に必要なデータを取得した。

(2) 新固体酸触媒プロセス技術の開発「オレフィンのオリゴメリゼーション」では、C10 オレフィンによるオリゴマー合成に対して無機、有機担体触媒(金属量/基質量: 1mol%以下)で転化率が 90%以上、2~4 量体オリゴマー選択率が 70%以上のポリマー等固定化触媒系を開発した。また、混合ブテン類のオリゴマー合成(溶剤、潤滑油等)ではジルコニア担持酸化触媒やヘテロポリ酸触媒により、転化率 99%、3~4 量体オリゴマー選択率 78%、初期触媒寿命 12 時間以上の性能を有する触媒を開発し、実用化プロセスの目処を付けた。「双環芳香族化合物類の合成」では、アルキル化、環化脱水触媒機能を持ち合わせシリカ担持ヘテロポリ酸触媒により、テトラロン(医薬品原料中間体)等を原料として一段~二段反応で、収率 70%以上を達成し、実用化の見通しを得た。また、均一系

ルイス酸触媒では 3-アリアルプロピオン酸の脱水環化によるインダノン合成(医薬品中間体)において 10mol%以下の触媒量で収率 75%以上を達成するポリマー等固定化触媒の開発に見通しを得た。

「ヒドロキシカルボン酸の合成」では、アルデヒドを原料としたヒドロキシカルボン酸やアミノ酸合成において、貴金属錯体(ホスフィン配位パラジウム)と助触媒(ルイス酸)により最適化された活性点を有するポリマー等固定化触媒により、選択率 80%以上、反応収率 80%以上、触媒寿命 200 時間以上を達成した。「ベンジルアルコールの合成」では、トルエンを一段酸化でベンジルアルコール(染料、香料原料)に転化できる Mn-MCM41 触媒を開発し、転化率 5%以上、選択率 25%以上、初期触媒寿命 50 時間以上を達成する触媒を開発し、当初開発目標をほぼ達成することができた。

本研究開発の最終成果として、いずれのテーマにおいても既存の触媒に比べて活性、選択性の面で優れるばかりでなく、1) 多相系触媒反応プロセス技術の開発では触媒の循環回数が 10 回以上できることから、従来プロセスに比べて大量に用いられていた有機溶媒などの大幅削減が期待できる、2) 新固体酸触媒プロセス技術では、新しい固体酸の利用によるハロゲン溶媒の削減やプロセスの簡易化による大幅な省エネ効果が期待できる、プロセスの実用化にそれぞれ見通しをつけることができた。

<非プログラム プロジェクト・事業>

《13》アスベスト含有建材等安全回収・処理等技術開発 [平成 19 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

各テーマ毎の平成 19 年度業務実績は、以下の通りである。

1) アスベスト分析(検出・定量分析)技術開発については平成 19 年度採択に該当テーマなし。

2) アスベスト回収・除去技術開発(主に、湿式吹き付けアスベスト等を対象とする技術)

①遠隔操作による革新的アスベスト除去ロボットの開発

湿式吹き付けアスベスト除去ロボットの開発に着手し、効率良く剥離・除去することの出来る先端装置の基本仕様を絞り込み、それらの取り付けアタッチメントの試作モデルを試作し、ロボット全体のシステムとして基本動作を確認した。また、剥離したアスベスト含有建材の移載装置を設計・試作し、移載実験を実施した。さらに、高度遠隔操作システムとして無線操作による遠隔移動カメラシステムを試作し、改良に着手した。実用化に向けて、必要な仕様確認・市場調査を実施した。

②高性能アスベスト剥離・回収・梱包クローズ型処理ロボットの開発

遠隔ティーチングによる自動剥離を可能とするマニピュレータ制御システムについて検討し、移動昇降台車にマニピュレータを搭載した剥離ロボットシステムを試作して性能確認実験を実施した。剥離装置は各種方式について検討し、粗剥離から仕上げまで対応可能な剥離装置を試作した。部分チャンバ、圧縮装置についてはシステムに適合した装置構成について検討した。

3) アスベスト廃棄物の処理・再資源化技術開発(安全・高効率な大量処理技術開発)

①オンサイト・移動式アスベスト無害化・資源化装置の開発

150kW 誘導加熱装置の処理効率向上と安全性の確保に向けて、破碎、予備乾燥、放熱抑制、攪拌、熱回収、集塵の各種予備試験や調査を行い、その成果をもとに周辺装置を設計・製作した。150kW 誘導加熱装置と周辺装置を一体化させたシステムを開発し、飛散性アスベスト廃棄物の熔融・無害化試験を実施し、トレーラ架装における課題を抽出した。

②低温過熱蒸気によるアスベスト無害化・資源化装置の開発

基礎試験を実施し、その結果を踏まえ、パイロット装置(バッチ式)を製作、試験を実施し、無害化を確認した。同時に来年度、連続処理する為の検討、装置の改造設計等を実施した。また、処理物の化学成分分析からセメント原料化の可能性を確認した。さらに処理物の無害性評価も実施中。

③マイクロ波加熱によるアスベスト建材無害化装置の開発

マイクロ波加熱小型試験装置を試作し、マイクロ波照射・加熱方法、処理建材搬送のためのセッター、処理建材の積層方法の最適化を実施し、コスト低減・処理能力を改善した実用化装置の基本設計を行った。処理対象建材の適応拡大を狙い、住宅用化粧スレート瓦以外の建材の処理可能性のラボ試験を実施した。

さらに、再資源化のため、処理後建材の物性を解析した。市場調査を実施し、ビジネスモデル策定に必要な情報を収集した。

《14》緊急アスベスト削減実用化基盤技術開発 [平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

(1) 「簡易偏光判定装置(PVS)の改良による建材中アスベスト検出技術の研究開発」

コンバータレンズと CCD 素子の小型化により、100~700 倍の高倍率、高精度観察を実現。また新照明スイッチング方式により判定画像を高コントラスト化し、アスベストの判定を容易にした。さらに、530nm 検板組込みによりアスベストの伸長判定機能が付加され、3 種のアスベストの判別を可能とした。無飛散サンプリング装置の試作もを行い、安全な試料採取を可能とした。

(2) 「水溶性塩基染料の吹き付けによるアスベスト有無の簡易判別法」

多数の染料の中から、アスベスト(クリソタイル)を染色する特異な染料を 2 種見出した。また、建材中のアス

ベストを選択的に染色するために、特殊な前処理技術も開発した。この結果、アスベスト含有量に対応した染色面積が得られるようになり、現場測定が可能で低コストなアスベスト検出方法としての基本技術を確立した。アモサイト、クロシドライトの染色材料の探索が、今後の課題である。

(3) 「シール材の非石棉代替製品に関する寿命推定実証技術の研究開発」

化学プラント等の高温条件下で従来使用されてきたアスベストシール材の代替製品である複合型うず巻きガスケット及び複合型グラウンドパッキンのシール寿命について、450～600℃の温度領域では、短時間の高温加速試験によって、構成素材である膨張黒鉛の酸化消失速度をもとに推定し得ることを示した。

(4) 「高温用非アスベストガスケット・パッキンの開発」

耐熱性・ガスバリア性に優れた粘土膜と黒鉛系材料（膨張黒鉛）からなる、耐熱性・耐久性・耐薬品性に優れた複合素材を開発し、ガスケットとしての取扱性を向上させるため、ステンレスのフック板を、粘土膜と膨張黒鉛の複合素材で挟み込んだガスケットを試作し、実際のエチレンプラントに組み込んだ評価用配管接合部において実証評価を実施した。

その結果、使用温度範囲-240℃～650℃（酸化雰囲気ガスで長期使用の場合は上限 420℃、無酸化雰囲気ガスでの長期使用の場合は上限 800℃）のアスベスト含有製品並みの優れた取扱性を有する、高温用非アスベストガスケット「クリアマテックス」の開発に成功し、サンプル出荷を開始した。

(5) 「オンサイト式（移動式）溶融・無害化処理システムの研究開発」

アルカリ融剤を併用した誘導加熱による飛散性のアスベスト含有保温材の低温溶融処理技術を開発し、小型でトレーラーに搭載可能なアスベスト溶融・無害化処理システムを試作、検証し、アスベスト溶融・無害化技術を確立した。

(6) 「吹き付けアスベスト無人化除去・回収工法の実用化に関する研究開発」

ビル解体時の乾式系吹き付けアスベスト除去・回収を、高圧噴射ノズルの装着されたロボットを作業区域外からの遠隔操作により行い、除去されたアスベスト含有廃棄物を安全に効率的に回収するシステムを組合せ、吹き付けアスベスト除去・回収工事の省人化・省コスト化に取り組んだ。

実際の吹き付けアスベスト除去作業区域を模擬した実証施設において、試作したアスベスト剥離・除去ロボットを操作して実証試験を展開し、ロボット自体の改造、高圧水噴射ノズルの最適化、剥離作業の高速化に成功するとともに、剥離した建材の効率的回収システムの基本的な構築を終了した。

(7) 「吹付けアスベストを安全に剥離・圧縮・梱包できるクローズ型処理システムの研究開発」

ビル改修時において、吹き付けアスベストを、安全に剥離・圧縮・梱包する処理システムの開発に取り組んだ。

自動化に適した、吹き付けアスベストの剥離工具を開発し、それらを装着し効率的にアスベスト剥離が可能な遠隔操作マニピュレータの基本仕様を確定した。除去したアスベスト含有建材廃棄物をホッパーで受け、圧縮機で圧縮固化するシステムを構築した。粉塵の飛散を防止するためにマニピュレータとホッパーの周囲を覆う部分チャンパーおよび陰圧吸引する集塵装置を試作し、これらの全システムによる効率的アスベスト回収の実証試験を実施した。

《15》石油製品総合管理推進事業 [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目「リスク評価システム開発」

- (1) 標準的リスク評価手法の開発として「フィジカルリスク評価」、「ヒト健康・環境影響評価」、「作業現場での直接暴露評価」、「リスクマネジメント」の各モジュールの詳細な構成や適用方法などを決定し、設計を完了させた。また、これを統合した全体システムの構成を決定した。下記(3)で完成したソフトウェアを用い、評価手法の妥当性の検証と機能確認を行った。
- (2) 標準的データベースについては、これまでに行ったデータ収録に加え、包括的なデータベースとしての確認とシステム機能強化にあたり必要な項目追加などを行った。データの件数としては、PRTR 対象物質として包括名称物質を除き 443 種その他、OECD/HPV (高生産化学物質) データ 100 種を採録し、更に EPA/AEGL から急性毒性データ 70、フィジカルリスク関連データ 110 を追加した。
- (3) 評価手法の設計を終了した各モジュールについて、コンピュータソフトウェアの開発を行い、順次完成度の検証を行い、システムを完成させた。また、ユーザのシステムの取扱いを支援する説明書の作成を行った他、本システムで採用した手法の詳細と適応性などを公開する技術解説書の作成を行った。
- (4) 評価システム開発の進捗にあわせて、企業や業界団体を対象とした講習会・説明会の開催や具体的事例による事例研究などを行い、リスクコミュニケーションツールとしての活用方策について明確にするとともに、ユーザー要件の確認などを行った。また、システム完成後の有効な普及活動に関しての計画立案を行った。
最終年度として、リスク評価システムのコンピュータソフトウェア、技術解説書などを完成し、初期の目標を達成した。

④次世代低公害車技術

[中期計画]

低公害車の開発等により環境面における懸念を払拭するため、2010 年において超低燃費でゼロ又はゼロに近い排出ガスレベルの次世代低公害車の普及等を目指し、既存車と比較し燃費を大幅に向上させ、極めて低い水準の排出ガスレベルを達成すべく、大型車を中心とした次世代低公害車技術の開発や、高品質・高付加価値の液体燃料等の製造を行う基盤技術等の開発を行う。

<次世代低公害車技術開発プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》カーボンナノファイバー複合材料プロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<3>環境分野 ①温暖化対策技術 地球温暖化防止新技術プログラム《6》参照]

《2》固体高分子形燃料電池システム技術開発 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<5>エネルギー分野 ①固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用技術 新エネルギー技術開発プログラム(一部)《4》参照]

《3》石油精製汚染物質低減等技術開発 [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、既存軽油深度脱硫装置への適用を目的とした触媒開発において、初期活性にて最終目標(軽油中の硫黄分15ppm以下)の達成が見込める開発触媒の実用化に必要な技術検討、すなわち、触媒の活性評価、調製技術確立、触媒寿命評価、プロセス条件提示等を実施した。硫化水素分離システムの開発及びそのシステムへの適用を目的とした触媒開発において、初期活性にて最終目標(軽油中の硫黄分15ppm以下)の達成が見込める開発触媒を含めた最適システムの実用化に必要な同様の技術検討を実施した。

研究開発項目②については、最終目標条件(軽油中の硫黄分15ppm以下)における低硫黄軽油の品質を評価するとともに、製品軽油としての品質適正化に関する技術を検討した。また、国内外の低硫黄軽油品質及びディーゼル排気ガス後処理装置における軽油品質の影響を調査した。

最終年度として、規制動向を踏まえ実質成果とし硫黄分10ppm以下の軽油が製造できる触媒及びプロセス技術を確立し、更なる軽油の低硫黄化の対応に資することができた。

《4》高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発 [平成9年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年に、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、最終のフライホイールバッテリー(250Wh)モデルを開発し、5万回転の性能を確認し、実証化試験を終えた。吸着天然ガスシステムについては、燃料容器システムを試作し、天然ガス貯蔵性能を確認した。排ガス後処理技術の開発及び関連技術調査については、排ガス後処理システムの改良及び性能確認を実施し実用上の課題抽出を行った。また、尿素SCRの排出ガスが公道走行に問題ないことを確認して、9月より全車両4台の走行試験を行った。

研究開発項目②については、クリーン燃料(天然ガスおよびDME)エンジンの適合開発を完了し、また、各ハイブリッド要素の開発およびマッチングを最適化した。最終年度の本年は、開発エンジンを搭載して、各社の開発ハイブリッドシステムにしたがって、ハイブリッドトラックおよびバスの各車両試作を完了、都内走行モードを代表する運転モードテストにより、燃費は約2倍、排出ガスは新短期規制値の4分の1レベルの最終目標値達成を確認した。

研究開発項目③については、開発を進めた商用車ハイブリッドの市場導入の可能性、普及条件などに関する調査を行い、プロジェクト成果の導入方策のシナリオを纏めた。また、次世代低公害車と自動車燃料に関する調査研究については、平成22年を想定した、自動車技術の動向と、それに対応する、燃料選定のシナリオを作成した。また、平成14年度に日産ディーゼル工業(株)がキャパシタハイブリッドトラックを発売したが、これに加えて三菱ふそうトラック・バス(株)も大型バスを平成16年2月から販売を開始した。

《5》高効率・超低公害天然ガス自動車実用化開発 [平成13年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度に、以下の研究開発を実施した。

2t車の開発においては、平成14年度に実施した台上基礎試験結果をベースに、車載を目的とした検討・改良試験を行い、実用走行可能な車載用エンジンを完成させた。また、模擬ガス基礎試験によりNOx触媒・酸化触媒システムの排出ガス低減ポテンシャル及び燃費への影響レベルを確認した。更に、筒内直接噴射エンジン及び燃料供給システム・後処理システムを搭載した車両を完成させた。また、車両での走行試験で検出された課題は、並行して実施する台上試験により原因の絞り込み・対策の効果検証を行い、車両完成度向上を効率良く行うことにより、実用化レベルの高い車両を開発した。4t車の開発においては、筒内直接噴射システム、燃焼システム及びバルブタイミング制御システムの改良設計・製作を行い、燃費、排出ガスを一層改善し、車両搭載エンジンの仕様を決定した。NOx触媒・酸化触媒の低公害技術の改良開発を行い車両搭載するシステムを完成させた。車両搭載エンジン及び車両の設計・製作を行い、完成した車両による走行試験・性能評価を行った。以上の開発を行い、「開発目標」である①効率向上G13モードでの二酸化炭素排出率で800→640g/kWh以下（ディーゼル車の効率以上）、燃費（軽油換算）6.6→8.2km/L ②排出ガスの低減「超低公害排出ガスレベル」NOx:0.85、CO:16、NMHC:0.18 [g/kWh]以下を達成した。

《6》固体高分子形燃料電池システム技術開発 [平成12年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<5>エネルギー分野 ①固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術 新エネルギー技術開発プログラム（一部）《4》参照]

⑤民間航空機基盤技術

[中期計画]

航空機・エンジン等の国際共同開発への参画、並びに環境適合等の要請に対応した民間航空機及びエンジン開発への取組を通じた基盤技術力の強化を図るため、材料・構造関連技術及びシステム関連技術等の中核的要素技術を開発する。また、材料・構造・システム単位による要素技術を活用し、機体及びエンジンの完成機開発のために必要な全機統合技術を開発・実証する。

<民間航空機基盤技術プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》環境適応型高性能小型航空機研究開発【課題助成】 [平成15年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「軽量化・低コスト化に資する先進材料／加工・成形技術」については、軽量化及び低コスト化を目的に、FSW (Friction Stir Welding: 摩擦攪拌接合) 及び VaRTM (Vacuum assist Resin Transfer Molding: 真空パック RTM 製法) 技術開発に取り組んだ。また、胴体構造及び尾翼構造を適用対象部位に設定し、構造設計技術・加工プロセス・適用効果等を検討すると共に、航空機製造プロセスの低コスト化技術開発に着手した。

研究開発項目②「低抵抗化を実現する先進空力設計技術」については、上期に策定した、CFD を用いて高い遷音速揚抗比を実現する翼型、高揚力装置の特性を、風洞試験で評価した。機体の摩擦抵抗を評価するツールの検証、及び検証用のデータを取得するための解析または風洞試験を実施した。MDO (Multidisciplinary Design Optimization; 複数拘束条件下での最適化) 技術を用いた形状最適化手法に関する研究では、プログラムをほぼ完成し、試用を開始した。T 尾翼遷音速フラッタ特性解析ツールの開発に着手し、開発の資となる風洞試験を実施した。

研究開発項目③「画像・情報処理技術を活用して、操縦容易性を向上させるコックピット・システム技術」については、上期に策定したヒューマン・エラーの誘発を極力排除することを狙ったコックピット・レイアウト初期仕様やディスプレイ・システム初期仕様を具現化した実寸大簡易モックアップを作成し、パイロット・インタフェースに関する初期評価を実施した。並行して、試作機に搭載するコックピット・システムを供給するサプライヤとの仕様協議を開始、コストを抑制しつつ、標記目的を達成する仕様の策定を開始した。

研究開発項目④「電子制御技術を活用した軽量・低コスト操縦システム技術」については、設定した初期機体仕様を踏まえ、設定した複数案のトレードオフ検討の一環として、飛行性・操縦性に関する要求事項を具体化すると共に、基礎フライト・シミュレーション試験を計画、試験を開始した。

研究開発項目⑤「大規模機械システムの設計・製造の短時間化・低コスト化のための最新の CAD/CAM 技術の航空機

設計・製造への適用」については、設計・製造の短時間化・低コスト化を目的とする最新 CAD/CAM 技術適用につき、(a)高精度 3次元モデルの実現性（実現手法）、(b) 3次元モデルと（部品表等）付随情報の電子化とこれらの一元管理の実現性、(c)製品仕様（構成情報）の電子的管理手法の実現手法の 3レベルでの実用化検証を開始した。

なお、平成 17 年度までの複数年度交付決定を実施した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「軽量化・低コスト化に資する先進材料／加工・成形技術」については、FSW(Friction Stir Welding)及び VaRTM(Vacuum-assisted Resin Transfer Molding)の両技術の適用性や今後の開発課題を明らかにした。また、板金部品の高精度化について必要となる技術開発課題を明らかにした。

研究開発項目②「低抵抗化を実現する先進空力設計技術」については、CFD を用いて高い遷音速揚抗比を実現する翼型、高揚力装置を策定した。機体の摩擦抵抗を評価するツールの検証を実施した。MDO (Multidisciplinary Design Optimization; 複数拘束条件下での最適化) 技術を用いた形状最適化手法に関する研究では、プログラムを完成し、外形形状策定への適用を開始した。ウイングマウントナセル付主翼フラッタ解析ツールの検証に資する風洞試験模型の仕様を策定した。

研究開発項目③「画像・情報処理技術を活用して、操縦容易性を向上させるコックピット・システム技術」については、平成 15 年度に策定したコックピット仕様をベースに基本設計を行った。コックピットの全体レイアウトを設定し、主計器の表示レイアウト及び表示ロジックの検討を実施した。パイロット・インタフェース評価の基礎となるパイロット・ワークロードの評価手法については、開発作業を実施中である。

研究開発項目④「電子制御技術を活用した軽量・低コスト操縦システム技術」については、基礎フライト・シミュレーション試験を実施し、飛行性・操縦性に関する要求仕様を設定した。更に、設定した要求仕様を満足する操縦システム・アーキテクチャを設定した。また、飛行制御ロジックを設定するとともに、基本フライト・シミュレーション試験の構想を立案した。

研究開発項目⑤「大規模機械システムの設計・製造の短時間化・低コスト化のための最新の CAD/CAM 技術の航空機設計・製造への適用」については、最新 CAD/CAM 技術の航空機設計・製造への適用に関して、(1)機体形状高効率策定、(2)設計作業支援システム、(3)バーチャル・ファクトリー／バーチャル・マニュファクチャリングの 3レベルでの実用化検証を実施した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「軽量化・低コスト化に資する先進材料／加工・成形技術」については、FSW(Friction Stir Welding)及び VaRTM(Vacuum-assisted Resin Transfer Molding)の成立性や実用性を検証した。規定適合性証明に向けた試験計画を策定し、加工設備仕様設定などの試作機適用準備を進めた。また、平成 16 年度に引き続き、部品加工の高精度化等による航空機製造の低コスト化を目指した研究を実施して所望の成果を得た。

研究開発項目②「低抵抗化を実現する先進空力設計技術」については、策定された機体要求仕様／性能目標等を反映し、翼型・高揚力装置、推進系配置等を改良、特性を評価するための風洞試験に着手した。風洞試験においては、先進画像計測技術や風洞試験技術（計測技術）改善の成果を適用した。また、MDO (Multidisciplinary Design Optimization) 技術を用いた形状最適化手法に関して開発中のプログラムを高度化し、機体外形形状設定に適用した。さらに、ウイングマウント形態主翼フラッタ風洞予備試験を実施し、予備試験の結果を反映して、本試験用の模型を設計した。

研究開発項目③「画像・情報処理技術を活用して、操縦容易性を向上させるコックピット・システム技術」については、平成 16 年度にまとめた基本仕様を見直して技術的成立性を確認すると共に、サプライヤとの協議等を通じて、基本仕様確定フェーズに移行するために必要な仕様を定義した。また、パイロット・インタフェース評価の基礎となるパイロット・ワークロード評価ツールの有用性に目処をつけた。

研究開発項目④「電子制御技術を活用した軽量・低コスト操縦システム技術」については、平成 16 年度に設定した操縦システム・アーキテクチャ及び飛行制御ロジックに基づき、機体特性に対応した飛行制御則の基本検討を実施し、その有効性評価を目的とした基本フライト・シミュレーション試験のツールを整備した。

研究開発項目⑤「大規模機械システムの設計・製造の短時間化・低コスト化のための最新の CAD/CAM 技術の航空機設計・製造への適用」については、大規模システム向けのデジタル開発環境を構成する個別ツールの調査結果を踏まえて設計プロセス構想を策定、開発に着手した。進捗・適合性管理システムも同様に構想を策定して開発に着手した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

後述の要素技術開発と並行し、平成 17 年度に設定した機体仕様（機体構想）に対する市場の反応、風洞試験結果、エンジン・装備品サプライヤとの調整結果等を踏まえて機体仕様／外形形状をアップデートした。

要素技術開発として、

研究開発項目①「先進材料／加工・成形技術」については、FSW(Friction Stir Welding)、VaRTM(Vacuum-assisted Resin Transfer Molding)について、各種試験等を通じて成立性・実用性を検証するとともに、試作機適用準備を進めた。部品高精度化等による低コスト化を目指す製造技術も同様に各種試験を実施して適宜スペック化を進め、試作機適用に目処をつけた。また、複合材主翼を想定した RTM 等の技術開発と、メタル主翼を想定した FSW 等の技術開発を並行して実施した。

研究開発項目②「先進空力設計技術」については、風洞試験にて CFD 設計技術の妥当性を検証し、改修して外形形状

アップデート作業に適用した。また、開発した風洞試験（計測）技術を風洞試験で活用し、平成 19 年度に実施する風洞試験での適用に先立って改良した。ウイングマウント形態への適用を可能とした MDO (Multidisciplinary Design Optimization) 技術を用いた形状最適化手法を機体外形状アップデート作業に適用した。ウイングマウント形態主翼フラッタ風洞試験を実施し、遷音速フラッタ解析ツールの精度を検証した。これらの結果を踏まえて、解析ツールを改修し、機体仕様詳細化の過程で適用した。

研究開発項目③「コックピット・システム技術」については、これまでにまとめたコックピット構想を基に、コックピット・レイアウトなど構成要素の成立性を事前確認しながら仕様定義を進めた。この一環として、コックピットシミュレータを用いて設計妥当性の検証を目的に試験を実施した。並行して、規定適合性証明に要する試験計画を策定した。また、ワークロード評価ツールの妥当性を検証し、設計及び規定適合性証明用ツールとしての有用性について目処付けを行った。

研究開発項目④「軽量・低コスト操縦システム技術」については、フライト・シミュレーション試験ツールを用いて基本パイロット・シミュレーション試験を実施し、操縦システム仕様の Handling Quality 特性等を取得して設計要求への適合性を評価する。当該試験結果と機体仕様見直し結果を踏まえ、操縦システム仕様を見直した。

研究開発項目⑤「CAD/CAM 技術の航空機設計・製造への適用」については、平成 17 年度に設定したデジタル・エンジニアリング構想をベースに、その後の技術進歩、汎用システム開発/適用状況の変化等を踏まえて、製品ライフサイクル全体を対象とするプロセス/システム全体構想を見直した。プロジェクト・マネジメント効率化を目標とする、進捗・適合性等の管理システムについても、上述の全体構想の一部として構想を見直した。

平成 19 年度は、後述の要素技術開発と並行し、平成 18 年度に更新した機体外形状に基づいて装備品サプライヤ等と共同で構造・装備仕様詳細化を進めるとともに、当該外形形状の空力特性、運航性能・運航コスト等の競争力を評価した。顧客要求、耐空性規定、運航性能目標、製造コスト目標等との適合性を総合評価し、成立性を確認した後に外形形状及び対応する機体基本仕様を定め、試作機へ適用ができる水準に達した。

要素技術開発として、

研究開発項目①「先進材料/加工・成形技術」については、機体軽量化及び低コスト化を目的に開発してきた FSF (Friction Stir Welding) 金属構造、RTM (Resin Transfer Molding) 及び VaRTM (Vacuum assisted RTM) 工法等による複合材構造について、各種試験等を通じて成立性・実用性を検証すると共に、規定適合性証明に必要な試験計画の策定、加工設備仕様設定などの試作機適用準備を進めた。低コスト製造技術も同様に各種試験を実施してスペック化を進め、試作機適用の準備を進めた。

研究開発項目②「先進空力設計技術」については、平成 18 年度に見直した機体外形状について風洞試験模型を設計・製作し、詳細風洞試験を実施し、空力特性・性能を評価すると共に、CFD 設計技術の妥当性を検証した。

MDO (Multidisciplinary Design Optimization) 技術を用いた形状最適化手法を実機設計に適用し、有効性を確認した。

平成 18 年度に開発を完了した非粘性解析ツールを粘性解析ツールに拡張して精度向上を図った。フラッタ確認風洞試験やフラッタ飛行試験において、模型や実機のフラッタ発生兆候を計測データから同定するフラッタ速度推定手法を開発した。

研究開発項目③「コックピット・システム技術」については、これまでにまとめたコックピット構想を元に、関連する装備品サプライヤと協議し、コックピット・レイアウトなど構成要素の成立性を確認しながら基本仕様を定義した。設計妥当性の評価・検証を目的に、モックアップやコックピットシミュレータ等を用いて試験を実施し、結果を基本仕様に反映した。並行して、規定適合性証明に要する試験計画を見直した。また、ワークロード評価ツールの妥当性検証を進めるとともに、設計・規定適合性証明用ツールとして試行し、結果を基本仕様に反映した。

研究開発項目④「軽量・低コスト操縦システム技術」については、操縦システム・シミュレーション試験ツールを用いて、操縦システムの代表的な故障状態及び乱気流中を想定した Handling Quality 評価試験を実施し、規定適合性を確認した。当該試験結果と機体仕様更新結果を踏まえ操縦システム仕様を見直した。また、規定適合性証明に必要な地上試験及び飛行試験の初期計画を策定した。

研究開発項目⑤「開発・生産システムの効率化」については、デジタル開発環境の全体構想を踏まえて、実機開発適用時期が早いデジタル・エンジニアリングプロセス/システム構想の具体化を推進し、構成要素となる個別プロセス・ツールの開発・検証を進めた。プロジェクト・マネジメント効率化を目標とする、進捗・適合性等の管理システムについても、上述の全体構想に基づいて各構成要素の具体化、プロセス/システムの開発・検証を進め、試作機開発本格化の準備を整えた。

《2》環境適応型小型航空機用エンジン研究開発【課題助成】[平成 15 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、航空機用エンジンの動向調査（技術・市場等）及びエンジン要素技術検討を行った。具体的には、以下に示す技術開発等を実施することにより、将来的に要求されるエンジンシステム概念並びに仕様を設定し、それを実現するための具体的技術課題及び目標を設定するとともに研究開発計画を立案した。

研究開発項目「小型航空機用エンジンの市場・技術動向調査およびエンジン要素技術検討」については、(1)小型航空機用エンジンの動向調査について、国内外のエアライン、機体メーカー等を調査することにより、対象とするエンジン/機体の市場性、技術動向、規制動向等を調査した。また、(2)エンジン要素技術検討について、小型航空機用エンジンの動向調査結果を踏まえて、目標とすべきエンジンシステムの概念並びに仕様を検討し、エンジン構成要素であるファン、圧縮機、燃焼器、タービン及び制御システム等について、目標エンジン仕様を満足させるためのフィジビリティ検討を実施するとともに、早期の技術的見極めが必要とされる一部の要素については要素試験用供試体を設計製作し、基礎試験等を実施した。さらに、フィジビリティ検討並びに基礎試験の結果を目標エンジンシステムの仕様等にフィードバックした。(1)、(2)項の検討結果を踏まえ、第2期研究開発で研究対象とすべき技術課題を洗い出すとともに目標を明確化し、解決方法を立案した。小型航空機用エンジンの市場・技術動向調査、及びエンジン要素技術検討の結果を踏まえ、エアライン等ユーザーの要求及び社会的要求を的確に反映した目標とすべきエンジン概念並びに仕様を設定するとともに、その実現に必要な具体的な要素技術課題及び目標を設定し研究開発計画を策定した。

平成16年度は、直接運航費低減技術および環境適応技術について、基礎・要素試験計画、供試体設計および一部製作を実施した。また、エンジンシステム技術において、顧客ニーズ調査および技術動向調査も予定どおりに実施し、市場・技術についてのニーズ・動向、各分野の研究開発結果を反映してエンジン全体システムの第1次基本設計を完了した。主要な成果を以下に示す。

- (1) 直接運航費用低減技術； 高流量化・ハブ側高圧力比化ファン技術、および高負荷翼列設計シンプル高性能化圧縮機技術について、それぞれ、空力設計を実施し、回転リグ試験機の設計・製作に着手した。マイクロスパークコーティングおよびリニアフリクション溶接技術について加工試験・強度評価を一部実施した。高負荷段数削減タービン設計技術については、空力設計を実施し、回転リグ試験機の設計・製作に着手した。シンプル高冷却効率構造設計・製造技術については冷却構造設計を実施し試験装置の設計・製作に着手した。さらに、冷却構造のテストピース加工試験を一部実施した。先進単結晶材質製造技術については、合金成分の最適化、鋳造試験を一部実施した。高揚力化低圧タービン空力設計技術については、低速回転リグ試験による基本特性取得を実施した。インテリジェント化技術について、性能劣化評価手法の検討とシミュレーションによる評価・検証を一部実施した。低コストモニタリングセンサの設計と試作を実施した。また、低コストECUシステムの設計、試作に着手した。
- (2) 環境適応技術； 騒音低減技術について、ファン部の低騒音化設計を完了し、ファン騒音試験機の設計・製作に着手した。シンプル低NOx燃焼技術について、燃焼器の設計を完了し、燃料噴射弁単体・燃焼器ライナの試作試験等を一部実施しセクタ試験機の設計製作に着手した。さらに、燃焼器形態の選定方法の検討を完了した。
- (3) エンジンシステム技術； 欧米市場の潜在顧客ニーズ・運行実態の把握を行った。国際環境規制に関する動向調査を実施すると共に、主要なエアライン、機体メーカー等を訪問して顧客ニーズ・運航実態の把握を行った。また、国内外の技術情報入手・整理して、個別要素技術のトレンド等、関連する技術動向を調査した。市場ならびに技術動向の調査結果や各研究開発テーマにおいて実施された空力設計、構造設計、低騒音化設計、低NOx化設計などの結果を適宜反映して第1次基本設計を完了した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成16年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成16年2月5日に公募の事前周知を行い、平成16年3月18日に公募を開始、平成16年4月16日に公募を締め切り、平成16年5月26日に選定結果の通知を行った。

平成17年度は、直接運航費低減技術および環境適応技術における基礎・要素試験を実施し、試験結果にもとづき最終評価試験に向けた設計手法の評価・検証をおこなった。また、エンジンシステム技術において、より詳細な潜在顧客のニーズ調査および技術動向調査を実施し、それらの結果並びに各分野の研究開発結果を反映してエンジン全体システムの第2次基本設計を完了した。

平成17年度の主要な成果を以下に示す。

- (1) 直接運航費用低減技術； 高流量化・ハブ側高圧力比化ファン設計技術、及び高負荷翼列設計シンプル高性能化圧縮機技術について、それぞれ、リグ試験を実施し設計手法の評価・検証した。また、マイクロスパークコーティング技術及びリニアフリクション溶接技術について加工試験・強度評価を実施した。
高負荷段数削減タービン設計技術については、回転リグ試験機を設計・製作した。シンプル高冷却効率構造設計・製造技術については、冷却試験を実施して設計手法の評価・検証を行った。また、冷却構造のテストピース加工試験・評価を実施し、翼形状構造の加工試験を行った。先進単結晶材質製造技術については、合金成分最適化を行い鋳造試験に着手した。高揚力化低圧タービン空力設計技術については、高速回転リグを設計・製作した。インテリジェント化技術について、性能劣化評価手法の検討とシミュレーション評価・検証を行った。また、低コストモニタリングセンサの試験・評価を実施した。さらに、低コストECU (Electronic Control Unit) システム設計を実施して試作試験を実施した。
- (2) 環境適応技術； 騒音低減技術については、ファン騒音試験機を製作するとともに、ファン騒音試験の一部を実施する。また、排気ノズル部低騒音化設計を実施し、排気ノズル試験機の製作に着手する。シンプル低NOx燃焼技術については、急速混合形態、部分希薄形態および部分過濃形態の燃焼器について、昨年度に引き続き燃料噴射弁単体・燃焼器ライナの試作試験等を実施し、選定試験用のセクタ試験供試体を製作し、予備試験を実施した。
- (3) エンジンシステム技術
新興アジア市場の潜在顧客ニーズ・運行実態をより詳細に把握した。また、主要なエアラインに加えて機体メーカー等を訪問して詳細な実態把握をおこない、将来期待される小型航空機用エンジンの市場動向、環境規制動向を含む社会的な要求を明らかにした。

また、国内外の技術情報入手・整理して、個別要素技術のトレンド等、関連する技術動向を調査するとともに、

最終エンジン形態の技術的競争力を評価するための技術情報収集に着手した。さらに、機体搭載の影響、エンジン外部抵抗等エンジン全体システムとしての成立性、市場調査結果、技術動向調査結果を反映しつつ、各研究開発テーマにおいて実施の空力設計、構造設計、低騒音化設計、低 NOx 化設計などの結果を適宜反映して第 2 次基本設計を行った。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

- (1) 直接運航費用低減技術；高流量化・ハブ側高圧力比化ファン設計技術については、空力性能試験を実施して改良設計の効果を把握し空力設計手法を評価した。また、ブレード等の強度・寿命評価及びブレード飛散後の応答予測手法の検討を行い、試験により予測精度を検証した。また、低コストシンプル化製造技術については、マイクロスパークコーティングによる翼部品形状での加工試験・強度評価等を実施するとともに、リニアフリクション溶接を用いて模擬ブリスクを試作し強度評価を行った。高負荷段数削減タービン設計技術については、試験を実施して段数削減に必要な空力設計技術を確認した。シンプル高冷却効率構造設計・製造技術については、冷却性能を評価するとともに翼形状で加工試験・強度評価等を行った。サーマルバリアコーティングについては、実タービン翼への施工・評価を行った。先進単結晶材翼製造技術については、翼形状での casting 試験を実施して低コスト化、製造性向上を確認した。高揚力化低圧タービン空力設計技術については、インタラクション試験、高速空力回転試験を実施して空力性能の評価を行った。インテリジェント制御技術については、センサ交換等への対応ロジックの検討・評価、多機能電子部品及びその周辺回路の試作／評価試験結果を基に ECU モジュールを試作し評価試験を実施した。
- (2) 環境適応技術；ファン騒音低減技術については、昨年度の騒音試験結果も踏まえ低騒音化改良設計した統合 OGV、ファン動翼等の製作を行った。製作した翼を昨年度に製作したファン騒音試験機に組み込み無響室で試験を実施し、低騒音化効果を確認した。ジェット騒音低減技術については、低騒音化設計した排気ノズルの無響風洞試験を実施し、低騒音化効果を確認した。これらの結果を基に小型航空機用エンジンの低騒音化目標に対する評価を行った。急速混合形態、部分希薄形態及び部分過濃形態の低 NOx 燃焼器について、セクタ試験供試体による選定試験を実施した。試験結果を基に、セクタ試験ならびにアニュラ燃焼器試験を実施して ICAO 規制値やその他燃焼器目標性能に対する評価を行った。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

インテグレーション技術開発：

(ア) エンジンシステム特性向上技術

a. 全体システムエンジン実証

第 2 期（平成 16 年度から平成 18 年度まで）に実施した目標エンジン基本設計結果を反映して、デモエンジンの基本設計、一部の試験機材準備、製造工程確認試験及び設計確認試験を行った。エンジン仕様目標値の達成のため、通常のエンジン構造設計に求められる高信頼性や長寿命に加え、燃料消費率低減として (a) チップクリアランス適正化設計技術、(b) 各要素間マッチング・空力インターフェース適正化設計技術、(c) 冷却空気流れ適正化設計技術、重量／コスト／整備費削減として (a) 段数・翼枚数削減・シンプル化設計技術、(b) 高温部品低整備費化設計技術、(c) 低整備費化構造設計技術、に重点を置いて設計を行った。

b. 関連要素実証

第 2 期で開発した革新的要素技術の実形態、実作動環境での特性を確認するため、ファン、圧縮機、燃焼器について関連要素試験の準備を行うとともに、一部試験に着手した。

(イ) 耐久性向上技術

ディスク・シャフト材料について実機の仕様を想定した素材を製作し、材料データベース取得のための材料試験に着手した。同様に国産単結晶合金についても、データベース取得のための材料試験を開始した。

(ウ) 耐空性向上技術

高流量化・ハブ側高圧力比化ファンについて、鳥打ち込み試験供試体設計、試験機材準備に着手した。また、ファン動翼破断構造リグ供試体設計に着手するとともに、供試体設計のためのロータダイナミクス及び軸受試験を行った。寿命管理部品の寿命評価技術については、温度予測精度向上、疲労寿命予測精度向上に必要なデータを試験により取得した。ロータ健全性要求を満足するために必要となるロータの過回転数予測技術については、供試体設計を行い、試験に着手した。

《3》次世代航空機用構造部材創製・加工技術開発 [平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

国内外の現状技術の調査及び技術課題の整理、並びに要素技術及び所要設備の整備などを主として実施した。非加熱成形技術については、電子線硬化、紫外線硬化、可視光硬化の各プロセスについて非加熱成形用素材開発の要素技術（素材の組成と機械的特性、取扱性等特性との相関等）の構築、内部品質評価装置、及び成形プロセス各装置の仕様設定・導入、並びに部材成形システム全体の仕様設定・概念設計などを実施した。構造健全性診断技術については、光周波数変調ブリルアン散乱光計測技術、ピエゾ-FBG センサーによる BOX 構造損傷検出技術、及び先進グリッド構造によるネットワーク型 FBG (Fiber Bragg Grating: ブラッグ格子型光ファイバ) センサー技術について、適用部位と要求条件の設定、所要診断ソフトの開発などを実施した。また、マグネシウム合金部材技術については、マグネシウム casting 合金及びマグネシウム粉末合金技術について、各合金素材及びプロセスのパラメトリックスタディ、条件設定並びに所要試験装置の仕様設定・設計、導入などを実施した。さらに、併行して本プロジェクトで開発する材料技術データのデータベース構築案の策定を行うと共に、開発材料の評価法検討に向けた基礎特性データを取得した。

《4》環境適応型次世代超音速推進システムの研究開発 [平成11年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発課題①「低騒音化技術の開発」については、革新吸音構造材開発・適用技術の開発及び革新CFD利用低騒音空力技術の開発を実施した。開発技術を適用した排気ノズルを搭載したターボエンジンの騒音試験等によりジェット騒音低減効果を、また、騒音低減改良静翼のリグ試験等によりファン騒音低減効果を把握した。取得された騒音特性データを目標エンジンの飛行状態騒音特性に換算し、騒音低減目標に対する評価を行った。

研究開発課題②「NOx排出削減技術の開発」については、環境適合型燃焼技術の開発、AI燃焼制御技術の開発及び革新耐熱燃焼器ライナ適用技術の開発を実施した。開発した希薄予混合・予蒸発(LPP)方式低NOx燃焼器の高圧アニュラ燃焼試験等を実施し、NOx排出量削減目標に対する評価を行った。

研究開発課題③「CO₂排出抑制技術の開発」については、三次元繊維強化材大型構造適用技術の開発、耐熱先進材構造損傷許容設計技術の開発、擬似多孔質構造極微細空冷技術の開発及び大規模系分散制御技術の開発を実施した。MMC(Metal Matrix Composite:金属基複合材料)ファンロータ、CMC(Ceramics Matrix Composite:セラミクス基複合材料)ペーン、CMCシュラウド、単結晶タービンブレード、断熱・耐酸化コーティング、タービンディスク、トランスピレーション冷却構造、先進冷却構造、FADEC、スマートセンサ等について、エンジン試験、リグ試験、設計検証等を実施し、開発技術の健全性を確認した。また、CO₂排出量抑制目標に対する評価を行った。

研究開発課題④「環境適合型エンジンシステム技術の開発」については、エンジンシステム研究及びエンジン統合実証研究を実施した。2次空気研究等を実施するとともに、各研究項目の成果を反映して最適なエンジンシステムとなるエンジン仕様を設定し、低騒音目標、NOx排出削減目標、CO₂排出抑制目標の達成を、期間を平成16年6月末まで延長し確認した。ターボエンジン騒音試験、HTCE(High Temperature Core Engine:高温コアエンジン)エンジン試験を実施し、個々の要素技術の検証、エンジン全体構造健全性の実証を行った。

《5》革新的軽量構造設計製造基盤技術開発 [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「一体成形ボックス結合型構造方式の開発」

主翼構造について剛性確認試験、終極荷重試験、残留強度試験及び破壊試験の結果から、供試体は試験荷重に耐え十分な残留強度を有していることが判明し、米国航空局のFAA基準を満足することを確認した。主翼前縁構造については、鳥衝突試験の結果、SPFパネルが大きく変形し一部に亀裂(50mm長)が生じたが、構造の貫通破壊は無く懸案事項であった防水ダクトの完全閉塞も無かった。一方、雹衝突試験ではSPFパネルが局所的に変形したのみであった。以上より、米国航空局のFAA基準を満足することを確認した。軽量化については部品点数削減率と重量軽減率で評価した。その結果、主翼構造ではそれぞれ55%と21%、前縁構造ではそれぞれ88%と6%の削減となり、最終目標値をクリアした。

研究開発項目②「大型一体鋳造・FRP(強化プラスチック)複合技術」機首構造については、サンドイッチ与圧外板技術を用いて実物大供試体組立(直径3.5m×長さ3.5m)を完成させ、損傷特性試験を行った。その結果、米国航空局のFAA基準を満足することを確認した。軽量化については部品点数削減率と重量軽減率で評価した。その結果、機首構造ではそれぞれ82%と11%の削減となり最終目標値を達成した。

研究開発項目③「革新的軽量構造高効率設計技術」胴体構造については、アルミ合金溶接技術(FSW法)を適用して供試体を製造し、胴体構造の成立性を従来のリベット結合供試体と比較して検証した。パネル座屈試験ではFSWパネルの方が7%程度強度が高いことを確認した。パネルせん断試験では両者同等の強度特性を示した。パネルき裂進展特性はFSWパネルの方が遅いことが分かった。また、き裂が一定値に達した時の残留強度は両者同等であることを確認した。以上より、試験結果の妥当性を検討した結果、妥当であることを確認し、FSW接合による構造の成立性を確認した。軽量化については部品点数削減率と重量軽減率で評価した。その結果、胴体構造ではそれぞれ52%と5%の削減となり最終目標値を達成した。複合材長期寿命予測法については、加速試験手法及び統計的解析手法を基に信頼度要求を入れた長期寿命解析法を開発した。これにより衝撃負荷による層間剥離が疲労強度に及ぼす影響の評価が出来るようになった。複合材強度評価技術については、挿入型治具を使用する層間破壊靱性試験法において最適パラメーターとして縫合糸体積含有率を用いることにより層間破壊靱性値が評価出来ることを確認した。また衝撃後圧縮強度評価法により、縫合することにより衝撃後圧縮強度が上昇することを明らかにした。主翼サブコンポーネントを用いて実飛行荷重模擬疲労試験を行った結果、損傷進展がないことを確認した。

< 4 > ナノテクノロジー・材料分野

[中期計画]

広範な科学技術の飛躍的な発展の基盤となる技術を確立するため、ナノテクノロジー、革新的部材創製技術等の課題について重点的に取り組むこととし、以下のような研究開発を推進するものとする。

① ナノテクノロジー

[中期計画]

物質のナノレベル制御により、物質の機能・特性の飛躍的向上や大幅な省エネルギー化・環境負荷低減を実現することによって広範な産業技術分野に革新的な発展をもたらすため、超微細構造等を制御することで発現する新機能を有する材料を創製するとともに、それらを可能とする共通のプロセス技術の開発、並びにナノレベルでの加工・計測技術を開発し、加えて、それらのデータを知的基盤化・モデリング化し、知識の構造化を図る。さらに、次世代情報通信システムに向けた、新規ナノデバイス・材料等の開発や、ナノ・バイオの融合により、新たな医薬品・遺伝子解析装置等の開発を行う。

< ナノテクノロジープログラム >

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》 ナノエレクトロニクス領域

《1》-1 ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 — 窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発 [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高品質大口径単結晶基板の開発」

溶液攪拌を熱対流および育成容器の揺動により実施したところ、揺動回数の増加に伴い、成長ステップの間隔が長くなり、平坦性がより向上するなど、溶液攪拌条件と結晶表面状態に相関があることが明らかとなった。また、n型不純物として期待されるSi、Ge、Sn、Oを添加し育成条件の検討を行うため、不純物検討用小型育成装置を導入した。

研究開発項目②「高品質大口径エピタキシャル成長技術の開発」

加圧、超高速バルブスイッチングが可能な装置の実現のため、作業者と綿密に打ち合わせを行い、2気圧(=大気圧+1気圧)まで加圧可能な装置を設計した。また、バルブスイッチング速度に関しては、オン、オフにかかる時間が10m秒のバルブを選定した。また、既存のMOVPE装置を用いて、光弾性測定装置により、成長中の基板のそり測定を実施した。

研究開発項目③「窒化物半導体基板上電子デバイスの評価」

有極性、及び無極性窒化物半導体エピ構造での横型電子デバイスを作製・評価していくための、①FET及びTEGパターン設計(マスク設計)、②FETのプロセス検討(試作への適用)を実施した。また、GaNエピタキシャルウエハを用いた横型デバイス試作を行うため、水銀プローブ装置を導入しウエハ状態でのCV測定によりHEMTのキャリアプロファイルを非破壊評価する手法を確立した。また、エピ開発グループから供給された有極性GaN基板上AlGaN/GaN系HEMTエピを用いて、基本HEMTデバイスの試作を完了した。

《1》-2 スピントロニクス不揮発性機能技術プロジェクト [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

独立行政法人産業技術総合研究所 エレクトロニクス研究部門副研究部門長 安藤 功児氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

平成18年度は、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「スピンRAM基盤技術」

MgO系TMR素子において、室温で410%のTMR比を実現するとともに、MgOトンネル障壁の信頼性を約1000倍向上させ、32Mbレベルまでの信頼性を確保できる目処を得た。またスピントルクおよび磁気緩和定数の新しい評価手法を開発するとともに、100nmオーダーのTMR素子を安定して作製する技術を用いて、高Ku記憶層材料を持つTMR素子のスピン注入磁化反転の検討を行い、低電流化への指針を得た。

研究開発項目②「スピン新機能素子設計技術」

新ストレージ・メモリデバイス設計技術として、単一磁壁の移動を利用したメモリセルのナノ秒ダ

イナミクス評価を行い、最大で 60m/sec に相当する磁壁移動速度を得た。このときの電流密度は $1 \times 10^8 \text{A/cm}^2$ 台であった。また複数磁壁移動型ストレージの原理動作実証を開始し、電流磁界による強磁性細線への磁壁注入（書き込み原理実証）、ならびに読み取り用 TMR 素子付細線における磁気抵抗効果の観測（読み出し原理実証）に成功した。

不揮発性スピン光機能素子設計技術として、スピン光メモリ素子の基本設計を行った。幅 $3 \mu\text{m}$ の (Ga, Al)As リブ光導波路の上に GaAs 光検出器を作製し、さらにその上にサブ μm サイズの強磁性金属ピラーを作製する技術を開発した。また光導波路特性の偏光依存性を評価する装置を作製した。これを用いて導波路の光透過率に及ぼす強磁性金属のサイズの影響を明らかにした。

また、スピン能動素子設計技術として、スピントルク方式スピントランジスタの基本設計を行うと共に、直径 100nm 程度のピラー状に加工した CoFeB/MgO/CoFeB 低抵抗 TMR 素子を用いて負性抵抗の出現を実証した。またハーフメタル電極方式スピントランジスタに関しては、Co₂MnSi エピタキシャル薄膜を用いて最大 570% の TMR 比を実現するとともに、素子の加工技術を開発した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「スピン RAM 基盤技術」

- ・減衰（ダンピング）定数測定装置の測定範囲を拡大して、TMR 記憶層材料の最適化を行い、 $0.9 \times 10^6 \text{A/cm}^2$ の低電流密度で磁化反転する記憶層母材を開発した。これを用いて TMR 素子アレイを試作し、素子特性のばらつきとその主因を解明した。また、TMR 積層構造検討等の加速により 1Gb レベルでの信頼性を確保し、特性ばらつきを低減する成膜技術を確立した。実験結果を説明する記録保持特性の計算手法を構築し、記録保持特性を下げずに反転電流を低減する新規積層構造を見出した。

研究開発項目②「スピン新機能素子設計技術」

- ・新ストレージ・メモリデバイス設計技術について、TMR 読み取り部と磁壁移動書き込み部を統合した素子を試作し、書込・読取動作を確認した。さらに、スピントルクの磁壁駆動効率向上による素子最適化に向けて、垂直磁化の面内磁化に対する優位性を明らかにし、垂直磁化素子の電流による動作および磁壁の安定保持化を確認した。複数磁壁移動型ストレージに関しては、ヒートシンクによる放熱構造を有する試料を作製し、温度上昇を低減した状態における、高周波測定用プローバー付磁気力顕微鏡（MFM）による磁壁移動観察と、ナノ秒ダイナミクス測定装置による評価により、安定な磁壁移動状態を実現するための指針を得た。
- ・不揮発性スピン光機能素子設計技術について、100nm サイズの Fe ピラーを (Al, Ga)As 光導波路上に作製する技術を確立した。さらに、(Al, Ga)As 光導波路に形成した溝に Fe ピラーを形成し、その磁化方向を 6.6dB の信号ノイズ比で読み出すことに成功した。また半導体導波路上の磁化方向を磁気トンネル接合電極を用いて検出することにも成功した。さらに光ファイバー干渉計を用いて、導波路中の固有モードの位相差を $\lambda/20$ 以上の精度で制御する技術を確立した。
- ・スピン能動素子設計技術について、TMR 素子（二端子素子構造）で、室温において 1 より大きい電力増幅度を実現した。さらに磁壁移動型の三端子素子を作成し、トランジスタの基本動作の測定が可能であることを示した。ハーフメタル電極方式スピントランジスタに関しては、三端子素子構造の作製技術を確立し、得られた三端子素子を用いてトランジスタ動作に伴う信号検出実験を行い、トランジスタ動作を原理的に実証した。

《2》材料領域

《2》－1 精密高分子技術（高機能高分子実用化技術の研究開発）[平成 13 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①一次構造制御技術においては、リビングラジカル重合についてメタアクリレート系及びポリスチレンーポリプロラクトン系のブロック共重合体合成検討を継続し、ABA 型ブロック共重合体の構造とエラストマーとしての基本物性の相関解明を進めた。また、アクリル酸エステル系及びスチレン系について水中での懸濁リビングラジカル重合を可能とする金属触媒を開発し、重合条件についても見通しを得た。プロピレンの担持型イソタクチックリビング重合触媒の設計検討を継続して進めた。ブタジエン連鎖とスチレン連鎖からなる立体特異性ブロック共重合技術の開発に進展を見た。また、イソブレンモノマーからの環化重合の検討を開始した。共役ジエンを連鎖移動剤として用いた末端官能基化及びプロピレンー共役ジエン共重合反応を利用した末端官能基化について検討を進め、ポリプロピレンの側鎖・内部および末端への二重結合の導入技術を開発した。固相重合を用いた縮合系高分子の一次構造制御技術はポリカーボネートの原料となるプレポリマー等の効率的合成法及び重合法の開発を引き続き進め、触媒担体等を用いて利用効率の高い触媒の開発に大きな進捗を見た。アモルファス分子材料の合成とその機能化技術では液晶性多分岐高分子の効率的合成法の検討を進めると共に、構造と物性（液晶性、アモルファス安定性）との相関について検討を継続し、目指す機能の発現の手がかりを得た。ポリエーテルケトンにおける分子量・分子量分布の精密制御、酸化カップリング重合による位置選択的重合および多分岐ポリエステル、芳香族ポリエーテル等の合成技術の検討を進め、低誘電

損失材料の開発に繋がる成果等を得た。

研究開発項目②三次元構造制御技術においては、合成したブロック共重合体を用いてマイクロ相分離の検討を進め、ポリεカプロラクトン-ポリエチレン2元ブロック共重合体の高次構造の制御に関する知見を得た。また、分子設計に基づき合成したブロック共重合体を用いてマイクロ相分離の検討を行い、ナノレベルのポア構造制御の可能性を見いだした。結晶性高分子の合成検討を行うと共に結晶化制御因子の影響等の検討を進めた。また、配向結晶化に係る検討を進め、結晶性高分子同士のラメラの直行配向制御に関する知見を得た。併せては配向過程や結晶化過程等の構造形成過程の解明に向けて分光学的な解析の検討を行ない、ラマン分光法によるその場計測の可能性に手がかりを得た。芳香族高分子溶液に磁場を印加して分子鎖を配向制御することによって、厚み方向に著しい熱伝導率を有するフィルムが調製できた。本系については、平滑なフィルムの調製条件を整備するとともに、フィルム物性に及ぼす分子量依存性を調査した。

研究開発項目③表面・界面構造制御技術においては、分子構造因子の解明と特性制御を進め、モデル系高分子膜の走査型粘弾性顕微鏡(SVM)を用いた解析を進めた。材料の合成を進めると共に表面構造制御、接着機構の解析、表面親水・疎水性の制御法を継続検討し、高分子材料の接着性に関して、着目すべき深さ領域を明らかにした。結晶化過程の解析に基づく造剤剤の結晶化性能の評価を検討し、PP ポリプロピレンの結晶凝集構造微細化がマクロな力学特性の向上に与える効果を見出した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目：①一次構造制御技術

ア．制御ラジカル重合

研究課題(1) リビングラジカル重合：(メタ) アクリレートブロック共重合体、ポリスチレン-ポリカプロラクトン共重合体等の合成検討を継続するとともに分子構造の最適化、物性評価等を行った。また、オレフィンモノマーと極性モノマーとの精密制御ラジカル重合、水中懸濁重合における新規錯体触媒と重合系の開発、生成共重合体の物性評価などについても研究開発を進めた。

イ．配位重合

研究課題(1) オレフィンの立体特異的リビング重合：プロピレンの担持型リビング重合触媒並びに立体特異的リビング重合触媒の設計検討を継続して進め、イソ特異的重合のリビング性ならびにシジジオ特異的重合選択性に進展を見た。

研究課題(2) 共役ジエンの立体特異的リビング重合：イソプレンの環化重合技術の検討を継続して進めた。

研究課題(3) ポリプロピレンの官能基化：共役ジエンを連鎖移動剤として用いた末端官能基化、プロピレン-共役ジエン共重合反応を利用した末端官能基化及び有機金属化合物を連鎖移動剤とした末端官能基化について検討を進めた。

研究課題(4) 炭化水素系ビニルモノマーと極性基含有モノマーとの共重合：平成 15 年度に引き続き水酸基含有立体規則性ポリプロピレン合成について大量合成及び機能評価のための検討を進め、大量合成に適した触媒の絞込みに有用な知見を得た。さらに末端アミノ化立体規則性ポリプロピレン合成について触媒構造や重合条件のより詳細な検討を行い、分子量の制御及び主鎖の立体・位置選択性の向上を図った。

ウ．縮重合

研究課題(1) 固相重合を用いた縮合高分子の一次構造制御技術：酸化的カルボニル化によるポリカーボネート合成において、触媒固定化によるターンオーバー数の向上、溶出触媒量の低減を検討し、触媒の絞込みに進捗をみた。

ポリマー精製法の検討及び得られたポリマーの特性検討等に着手した。また、末端反応性オリゴマーや大環状オリゴマー等のプレポリマーを用い、固相重合による高分子量縮合系高分子の合成を行うとともに、プレポリマーの効率的合成法を検討し、それらの結果を踏まえて、大型重合装置を導入し固層縮重合に関する検討を開始した。

研究課題(2) アモルファス分子材料の合成とその機能化技術：低分子コレステリック液晶系の検討を進め、新規ネマチック液晶とカイラル剤との相溶によって、コレステリック液晶のフィルム固定化を行い、光学三原色(RGB)の選択反射膜の獲得に成功した。また、共役系多分岐構造高分子についてフェニレンビニレンユニットを骨格に有する高分子の合成について検討を継続した。また、ヘテロ元素導入技術では、パラジウム触媒を用いた構造規則的重合におけるモノマーの拡張検討を行なった。

研究課題(3) 縮合系高分子の一次構造を精密に制御するための基本反応の開発：引き続き単分散のポリアミドの合成検討を進め、多分散ポリアミドとの物性の違いを明らかにする。また、メソポーラス材料等を用いて、フェノール誘導体の位置選択的重合による得られる高分子の空間構造の制御等、低誘電損失材料の開発を目指した検討を継続する。

以上のうち、研究課題(2)の共役系多分岐構造高分子およびヘテロ元素導入技術については、中間評価の結果を受けて平成 16 年度上期で研究開発を中止した。

研究開発項目：②三次元構造制御技術

研究課題（１）マイクロ相分離構造制御：分子設計に基づき合成したブロック共重合体を用いてブロック共重合体が自己組織的に形成するナノスケールのシリンドラードメイン構造の制御を検討するとともに、構造制御に及ぼす外的因子の効果や構造の拡張を検討した。これらの知見を踏まえて、ブロック共重合体のマイクロドメインを利用した規則的なナノ空洞を有する材料の研究開発に大きな進捗を見た。

平成 17 年度は、高分子合成及び構造評価の基盤技術をさらに進展させるとともに、光・電子材料、構造材料、高強度繊維等の高機能・高性能を実現する高分子材料を開発し、実用化の見通しをつけることを目的に、本プロジェクトを推進した。それらの主たる実績は以下の通りである。

- ・新規リアクティブプロセッシング技術の利用により、高速変形を受けると柔らかくなるという特異な粘弾性特性を有するポリアミド系ナノアロイの開発を進めた。自動車部品としての実用特性を評価して、従来材料比、優位性を実証した。また、ユーザーへのサンプルワークを進めた。また、超臨界二酸化炭素を注入し、押出機中での超臨界状態を実現した。また、連携下に、3次元 TEM 観察により、ドメイン中での特異な連結構造の形成を確認した。
- ・可とう性非ハロゲン難燃材料の開発において、課題であった臭気やべたつきを改善することで、目標性能を達成する材料が得られた。量産化検討として中量試作機を用いた材料混練および電線試作を行った結果、加工性に課題が残るものの可とう性に優れ規格特性もほぼ満足するものが得られた。現在更なる物性改良、加工性改善を実施中である。連携下に、ゴム/ポリオレフィンの相構造解明を進めた。

平成 18 年度は、以下の 12 の実用化技術開発テーマにおいて、共通基盤技術開発テーマと連携することによって、最終年度に向け、ほぼ目標達成の目処が得られた。

- ・自動車用構造材料：高 L/D 押出機を使用して開発した高速変形を受けると柔らかくなるという特異な粘弾性特性を有するポリアミド系ナノアロイの実用特性評価とユーザーワークに注力した。自動車用部品の実用特性評価として、日本自動車研究所で円筒状成形品を使用して高速落錘衝撃試験を実施し、本開発材料は従来材料比、大荷重かつ高速度の衝撃吸収性に優れることを実証した。ユーザーワークに関しては、自動車関連メーカー以外への展開も推進し、あるスポーツ用品メーカーでは実用化に成功した。また高 L/D 押出機への超臨界二酸化炭素注入検討を進め、押出機の広範囲で超臨界状態を実現させることで高性能化することに成功した。共通基盤技術グループとの連携研究に関して、特に三次元 TEM (3D-TEM) 観察によりドメイン中での特異な連結構造の形成を確認し、その構造周期を小角 X 線散乱解析により確認した。
- ・可とう性電線被覆材：課題であった耐油性やべたつきを改善することで目標性能を達成する材料が得られた。また、混練工程を検討した結果、二軸押出機を用いて連続的に材料を作製する手法を確立した。電線試作を行い、可とう性に優れ、目標を満足するものが得られた。実用化の見通しをつけるため、量産性検討、信頼性評価やコストダウンを進めた。共通基盤技術グループとの連携においては、三次元 TEM によるモルフロジーの形成の確認、AFM の弾性率マッピングによる反応前後の相反転や弾性率の変化を観察した。
- ・高性能ダイボンド：半導体実装に適したダイボンドを開発中。構造周期と剥離強度の関係を明らかにした。
- ・絶縁フィルム：エンブラアロイのリアクティブプロセッシングのメカニズムを明らかにし、実用化基礎検討を完結できた。
- ・水性塗料材料：定量的な水酸基導入を可能とし、水性エマルジョン化を実証した。
- ・高耐熱光学材料：優れた耐熱性と低複屈折率を有する材料の合成に成功した。
- ・低誘電損失材料：熱硬化 PPE について、量産化に適した不均一系カップリング重合法を開発した。
- ・ホログラム記録材料：光記録評価において高感度化に成功、繰り返し記録性についても基礎評価を行った。
- ・反射防止膜材料：ブロック共重合体テンプレートと超臨界二酸化炭素利用のナノ多孔体の研究を継続した。
- ・超撥水・撥油材料：撥水性材料において、実用化に向け、ヘイズ値を低減しながら大面積に塗工できる組成を適正化した。
- ・接着性制御技術：接着性低下メカニズムを解明し、接着性向上の指針を得ることができ、実用化の目処付けができた。本技術を製品（空気量センサー）に適用した。
- ・高強度繊維：超高分子量化、熔融構造制御等の技術検討の結果、引張強度 1.7GPa を達成した。

平成 19 年度は、以下の 10 の実用化技術開発テーマにおいて、共通基盤技術開発テーマと連携することによって、最終目標を達成し、実用化の見通しが明確になった。

- ・超撥水・撥油材料：撥油性材料の開発に注力し、高分子材料表面への凹凸形状の作成条件の最適化を行い、最終目標を達成した。
- ・自動車用構造材料：世界で初めて、特異な粘弾性特性（衝撃吸収特性）を有するポリアミド系ナノアロイおよび耐衝撃性 50kJ/m² 以上かつ現行材以上の耐熱性を有するポリアミド系ナノアロイの開発に成功し、自動車部品等の複数用途のサンプルワークを積極展開した。ユーザーの良好な評価結果から、実用化の見通しを確実にした。
- ・可とう性電線被覆材：目標（硬さが 4MPa（10%モジュラス）以下、難燃性が JIS60° 傾斜燃焼試験で合格レベル）を達成し、量産性検討、信頼性評価、コストダウン策から、実用化の見通しを明確にした。
- ・高性能ダイボンド：剥離強度 1.0kN/m 以上の接着性を有する高信頼性極薄ダイボンドを開発し、実用化の見通しを得た。
- ・水性塗料材料：JIS5400 合格レベルの目標を達成し、実用化の見通しを得た。
- ・高耐熱光学材料：高耐熱・低線膨張率高分子材料等の開発と機能の解明を進め、ガラス代替材として機能する高性能ポリマーの実用化の見通しを得た。
- ・低誘電損失材料：積層板をはじめとした電子部品の小規模試作を実施し、実用化への見通しを得た
- ・ホログラム記録材料：多重記録、感度、繰り返し記録性の評価結果から、ホログラム記録材料としての実用特性を満足することが明らかになった。

- ・反射防止膜材料：最終目標の屈折率 1.3 以下の超低屈折率ポリマー薄膜が得られた。実用化に向け、耐傷性改善が今後の課題。
- ・高強度繊維：製造量アップを進め、ユーザーにおける良好なタイヤコード評価結果から、実用化の見通しを明確にした。

《2》－2 発電プラント用超高純度金属材料の開発 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、公募により委託先を決定し、プロジェクトリーダーの指名を行ったうえで研究開発を開始した。

研究開発項目①「超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発」では、精錬技術の開発として、水素化物および水素ガスを用いた溶解試験、溶解材の成分分析、材料特性評価試験により、溶鋼中の酸素を減らす効果を確認した。迅速分析技術について国内外の調査を行うと共に、方法毎の分析時間と精度に関するデータ取得を行った。超高純度材料溶解用耐火材の開発については、現状の CaO 系耐火材の課題である短期間での劣化が組成、組織、水分の吸収等に大きく依存することを明らかにした。耐火材と溶鋼との反応性評価試験及び耐久性を向上させたルツボの製造試験を実施し、計画どおりに新規耐火材に見通しをつけられる見込み。さらに、大型の新規耐火材作製に係る研究のために、高温・高真空焼成炉の製作を開始した。これらの結果から最適な精錬方法等の目処付けを行うとともに、新型溶解装置について、真空系設備、電源設備等の基本仕様の検討を開始した。

研究開発項目②「開発材による部品製造技術の開発及び実用性評価」においては、従来方法で溶製した超高純度 Fe-Cr 合金を用いて電力部材の使用雰囲気中での耐環境性評価試験、発電機器で使用される熱交換器等の試作試験及び製造性の評価を実施し、ターゲットの絞込みを達成できる見込み。海外研究機関での水素脆化等の評価も行った。

部材製造技術及び実用特性の評価に関しては、従来手法で作製した超高純度 Fe-Cr 合金により、熱間、冷間圧延に関する基礎試験、溶接試験を実施し、製作した溶接継手の特性評価を行うと共に、薄板およびチューブ試作材の作製を通じて製造性に関するデータを取得した。さらに、実用化戦略検討のために開発対象部材に係る技術動向、産業分野でのニーズ、産業への効果（効率、環境負荷等）等を調査した。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発」

超高純度金属材料溶解用ルツボ・耐火材の開発では、溶鉄中への不純物の溶出が少なく耐久性の優れた新規耐火材の開発に見通しをつけることができ、既存のカルシア系ルツボをベースにした改質型ルツボの開発を行い、強度、耐久性について良好な結果を得るとともに新規耐火材をベースにした新型ルツボの製造設備を導入した。

新規精錬技術の開発では、水素製錬技術に着目し、水素の吹き込み位置、吹き込み量等を検討し、溶鉄中の酸素の低減に大きな効果があることを明らかにした他、100kg 級の大型真空誘導溶解炉を製作・設置した。また、迅速分析技術に関しては、発光分光分析法等を用いた超高純度金属材料に対応できる迅速分析の装置化ならびに分析サンプルの処理技術等に見通しをつけることができた。

研究開発項目②「開発材による部品製造技術の開発及び実用性評価」

電力部材としてのターゲット選定と評価試験は、高温耐食性に着目し、熱交換器への適用可能性について評価を実施した。

部材の製造技術に関しては、発電プラントの機器の製作で多用される溶接技術の開発として、鉄クロム系合金の板材及び溶接材料（溶加材：ワイヤー）を作製し、超高純度金属材料に適したシールド方法の検討、溶接継手の作製を行い、継手特性の評価を実施した。また、チューブの製造試験を実施し、試作材の評価を実施した。

実用特性の評価に関しては、ベローズ及び熱交換器の長時間の耐久性の評価等を実施し、発電プラント部材としての可能性を評価できた。また、試作したチューブ材については、廃棄物発電ボイラ、石炭ガス化炉等を模擬した高温腐食環境での評価試験等を実施した。

平成 19 年度は、中間評価を行い、目標及び研究責任者が曖昧、情報発信やユーザーによる評価が必要といった指摘を受けた。このため、開発対象部材を絞り込み、目標を数値化するとともに研究責任者をプロジェクトリーダーに一本化し、計画的な情報発信及びユーザーによる評価を行うよう計画を変更した。

研究開発項目①「超高純度金属材料の低コスト・量産化製造技術の開発」

超高純度金属材料溶解用ルツボ・耐火材の開発では、平成 18 年度に開発した URC (Ultra Refined Ceramics) 技術を用いて、従来の CaO 耐火材の課題である耐久性を向上させ、溶解試験に用いるルツボ、タンディッシュ、押棒、ノズル等の部品の製造技術を確立した。開発した URC コーティング CaO ルツボは、高真空誘導溶解炉で 10 回の溶解試験に使用したが顕著な損傷もなく、従来 CaO ルツボの 3 倍以上の耐久性を実証した。これにより、URC 技術により製造したルツボ、タンディッシュ等の部品が超高純度金属材料の高真空溶解条件での使用が可能であることが確認できた。

新規精錬技術の開発では、高真空誘導溶解炉を用いて、純 Fe、Fe-20Cr 系合金の溶解試験を実施した。脱酸材 (Al) を添加しない条件で、純 Fe の C, N, S のガス成分濃度が 6ppm 程度、脱酸材を添加した Fe-20Cr 合金の C, N, O, S 濃度は 33ppm 程度であり、最終目標達成の目処が得られた。さらに、迅速分析技術に関しては、サンプル抽出法及び分析前処理法を含めた一連の迅速分析システムの基本設計

の検討を行った。

研究開発項目②「開発材による部品製造技術の開発及び実用性評価」

部品製造技術の開発では、Fe-20Cr-3Mo-2W 系合金の TIG 溶接試験、継手特性評価試験、SCC 試験等を実施した。また、これらの材料を用いた配管曲げ試験、薄板製造性評価試験等を実施した。この結果、適用対象部材である煙突ライナー、廃棄物発電プラント過熱器管製造に必要な加工性を有することが確認できた。

実用特性の評価では、高真空誘導溶解炉及び汎用溶解炉で溶解した Fe-20Cr-3Mo-2W 系及び Fe-20Cr-2Mo-2W-2Al 系合金の硫酸露点及び廃棄物発電プラント環境での耐環境性評価、時効特性評価、強度特性評価等を実施した。

《2》－3 カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「カーボンナノチューブ量産化技術開発」においては、単層カーボンナノチューブの優れた物理・化学特性を保持したまま、配向高密度化した固体の開発に成功した。また、初めて大面積金属板上に直接大量の単層カーボンナノチューブを合成する技術を開発した。(安価なニッケル合金基板上での合成に成功し、A4 サイズの金属板の全面に均一な単層カーボンナノチューブ構造体を合成することに成功した。)

研究開発項目②「カーボンナノチューブキャパシタ開発」においては、高出力型キャパシタの開発を目指すカーボンナノチューブ電気二重層キャパシタ開発に関しては、as grown サンプルをプレス法、ペーパー法により高密度シート(0.2-0.5 g cm⁻³)を得た。また、高密度シートをバインダーフリーで集電体(エッチングアルミニウム箔)へ接合することに成功した。

高容量型キャパシタ開発を目指したコンポジット電極開発に関しては、高容量を発現する活物質の探索を中心に検討した。(ポリフルオレンに注目し、代替カーボン(ケッチェンブラック、多層カーボンナノチューブ)とのコンポジット化を試みた。)得られたコンポジット電極は平成 18 年度目標(150 F/g)を上回る 160 F/g というエネルギー密度を示した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「カーボンナノチューブ量産化技術開発」

(1) 触媒・助触媒・基板の研究

Fe コロイドを用いたウェットプロセス触媒の形成方法を開発し、純度 99.99%以上の SWNT 成長を確認した A4 サイズのパーコーティング、キャップコーティングによる塗布方法を開発した。

(2) 大面積化カーボンナノチューブ合成技術の開発

小型 CVD 炉での実験結果と流体シミュレーションの結果を用いて大型 CVD 合成炉のシャワー形状を設計し、A4 サイズ触媒基板(従来の 140 倍の面積)を合成することに成功した。

(3) 長尺化・高効率カーボンナノチューブ合成技術の研究

スーパーグロース法の最適化、新しいプロセスの模索、より高活性の触媒開発、触媒失活のメカニズムの解明等を行い、高さ 1 センチのフォレストの合成に成功した。

(4) 構造制御カーボンナノチューブ合成技術の研究

成長雰囲気中のガス分析を行い、CO が触媒寿命に大きな影響を与えることを見出した。CO と水分を添加することで制御した状況で長寿命成長を発現させることに成功した。

(5) キャパシタ最適カーボンナノチューブ探索及び合成技術の研究

層カーボンナノチューブフォレストに開口処理を施し、キャパシタとして 60%の電気容量の増加を達成。

(6) 単層カーボンナノチューブ標準化のための計測評価技術の開発

UV 吸収、蛍光発光法、ラマン分光法を用いた単層ナノチューブの直径評価技術を開発し、得られた結果を ISO 標準化にむけたワーキングドラフトに反映させた。

研究開発項目②「カーボンナノチューブキャパシタ開発」

(1) デバイス製造技術の開発

SG-SWCNT 構造体を低抵抗で集電体に接合するための技術として、平成 19 年度に導入した電極表面処理装置による SG-SWCNT 構造体/集電体界面処理を検討し、出力密度の向上を確認した。

(2) 高性能化技術開発

平成 19 年度に導入した小型キャパシタ寿命評価解析装置を用い、セルの耐電圧を試験したところ、従来活性炭電極を用いたセルに比べ高い耐電圧(3V 以上)を有することを明らかにした。

(3) コンポジット電極開発

コンポジット電極開発に関しては、フルオレンやチオフェンなどの有機ポリマーを活物質とした SG-SWCNT コンポジット電極を作製し、20-30 Wh L⁻¹ のエネルギー密度を発現することを確認した。

《2》－4 三次元光デバイス高効率製造技術 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①デバイス化加工用ガラス材料技術

(1) デバイス加工用ガラス材料技術

シリカ、アルミノシリケート、アルカリシリケート、ボロシリケートガラスについて、フェムト秒レーザー照射後のレーザー集光点でのダイナミクスを過渡レンズ法(TrL method)により調べ、屈折率変化の温度、圧力や密度変化の振幅等の組成およびパルスエネルギー依存性に関する基礎データを取得した。

(2) 三次元光学デバイス用ガラス材料技術

屈折率差が 0.01 以上得られると予測できる材料の検討について、シリケート系ガラスで異なる(種類・量の)修飾酸化物成分を含有する光学ガラス(ボロシリケート系、バリウムシリケート系、チタノシリケート系、ランタノシリケート系)を選定した。

サブミクロン異質相の屈折率測定方法について検討を行い、面分解能 $50\mu\text{m}$ 以下で屈折率を評価できる装置を調査した。またそれらの中で面分解能 $1\mu\text{m}$ 以下で評価できる装置を確認した。

(3) 三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術

シリカガラスについて、パルスエネルギー、パルス幅、走査速度および繰り返し周波数と直性導波路における屈折率変化量および散乱強度との関係を調査し、パルスエネルギー：数マイクロジュール、パルス幅：400fs (対物入射前)、繰り返し周波数：200～250fs 程度が逐次導波路描画では適していることを確認。また、パルスエネルギー：0.6 μJ 、走査速度：500 μm 、繰り返し周波数：250k 及びパルス幅：400fs で作製した直線導波路において、1.4 μm 近傍で伝送損失 0.1dB/m の導波路を作製した。

研究開発項目②三次元加工システム技術

(1) 三次元加工システム技術

ホログラムを作製する際、加工時間を短縮しつつも、ホログラムによる再生像の品位を下げないためには、4 階調以上のホログラムであれば、十分な解像度を持つ再生像が得られることが分かった。

三次元立体パターンを加工するためには、レーザー照射光線と直行する平面内に結像させて被加工物を移動させる方法についてシミュレーションにより検討した。結果として、三次元的に異なる距離で結像できることが分かった。具体的に位相型ホログラムを作製し、2つの異なる距離及び3つの異なる距離で結像することを確認した。

(2) 波面制御三次元加工システム技術

CGH(Computer Generated Hologram)を生成するアルゴリズムを調査検討し、実際にプログラムを開発した。CGH データから EB 加工用データへの自動生成プログラムを開発した。

短期間(約 1 日)でバイナリー型ホログラムを製作できるホログラム製作プロセスを開発した。

以上で構築したシミュレーションシステムを用いて三次元像形成用ホログラムを設計し、このデータを基に今回開発した EB 加工プロセスによりホログラムを作製した。製作したホログラムは計算に近い像を再生でき、開発したシミュレーションシステムとホログラム製作プロセスの有効性を確認できた。

ビームプロファイラを用いたホログラム評価システムを設計・構築し、シミュレーションシステムを基に作成した三次元ホログラムを評価し、計算に近い再生像を確認でき、三次元ホログラムの可能性を実証した。

(3) 空間光変調器三次元加工システム技術 (浜松ホトニクス株式会社)

薄膜蒸着装置の立ち上げと薄膜作成のための準備を行った。高屈折率物質として Nb2O5、低屈折率物質として SiO2 の成膜条件の検討および得られた薄膜の光学特性の評価を行った。この評価から取得したデータを元にミラー設計プログラムを作成し、設計した薄膜を実際に試作して再現性が良好であることを確認した。また作成した薄膜に対しフェムト秒レーザー用いた実験を行い、誘電体ミラーの破壊しきい値が 150GW/cm²、透明導電膜の破壊しきい値が 260GW/cm² であり薄膜単体の耐光性は良好であった。

フェムト秒レーザー光の位相の空間分布(波面)を動的に変化させるフェムト秒レーザー光波面制御モジュールの主要部分である LCOS-SLM の一次試作品製作に着手し、まずは LSI 回路概要設計を行った。

研究開発項目③三次元加工システム応用デバイス技術

(1) 三次元光学デバイス技術

三次元光学デバイスとして特に光学ローパスフィルターについて、入射光波長、異質相の形状・配置・屈折率、CCD のピクセルサイズなどをパラメーターとして種々の条件下でシミュレーションにより回折効率、空間周波数の Nyquist 特性、製作用の公差を解析した。

また、実際に異質相による回折格子を試作し、光学ローパスフィルターとしての適用可能性を検討した。

(2) 三次元光回路導波路デバイス技術

多光束干渉露光や波面制御素子等を用いた一括描画システムの構築を一部実施した。
繰り返し周波数やパルスエネルギー等の特性が異なるレーザー照射システムの移設を行い、
様々な条件下でのレーザー照射実験が実施可能な環境を構築した。

加工対象のガラスに外部圧力や加熱を行なうことで、フェムト秒レーザーの照射によって発生する
衝撃波や熱の拡散に変化が起ると考えられる。外部圧力や加熱がフェムト秒加工に及ぼす影響を
調べ、光導波路作製に最適な条件を探るために、外部加圧・加熱装置の立上げを行なった。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「デバイス化加工用ガラス材料技術」

1) デバイス加工用ガラス材料技術

フェムト秒レーザー照射による異質相形成（屈折率変化）のメカニズム解明と基礎データ取得
（ガラス材料依存性及びレーザー照射条件依存性等）を実施し、屈折率変化メカニズムを明らかに
するとともに、ヤング率及びポアソン比が大きいガラス組成ほど屈折率変化閾値が低く、より大き
な屈折率変化が起こる傾向にあることを見出した。これらの結果は、一括加工に適したガラス材料
の開発・選定において有効な指針となる。さらに、本技術の検討を通して、フェムト秒レーザー照
射（100kHz 以上）により局所的な三次元イオン交換及びそれに伴う屈折率変化が誘起可能である
ことを新たに認めた。

2) 三次元光学デバイス用ガラス材料技術

組成の異なる複数の光学ガラスに対して、集光レンズとレーザーパワーを変化させて、フェムト
秒レーザー光を照射することにより逐次照射加工（ライン、ライン&スペース）し、ライン断面方向
の屈折率差を定量位相顕微鏡で評価した。その結果、母材との屈折率差を 0.01 以上取れる透明な
ガラス材料を開発した。

3) 三次元光回路導波路デバイス用ガラス材料技術

伝送損失因子の特定とその低減化検討により、合成石英ガラス及び一部のホウケイ酸塩ガラスに
おいて伝送損失：0.1 dB/cm の光導波路形成を実現し、年度目標を達成した。また、パルス照射遅
延システムを構築し、逐次描画法と一括描画法とにおける損失への影響の違いを調べた結果、両者
では熱拡散及び熱蓄積に明確な差異が認められ、その結果生じる屈折率変化領域の形状やサイズの
乱れを制御することが、一括描画における直線導波路の損失低減に重要であることを明らかにした。

研究開発項目②「三次元加工システム技術」

1) 三次元加工システム技術

ガラスホログラムとフェムト秒レーザーを使用した三次元光デバイス加工システムの設計と構築
を行った。このシステムと次項 2) で述べるホログラム作製技術と設計技術を駆使して、直線導
波路型としての異質相を形成する CGH (Computer Generated Hologram) を介してフェムト秒パルス
レーザーをシリカガラスに照射し、ガラス内部に断面が $9 \pm 0.9 \mu\text{m}$ の棒状異質相と 3 次元ホログラ
ムを用いてガラス内部の $60 \mu\text{m}$ 角の立方体内に光軸方向に分布する 2 点の異質相を一括照射により
形成した。これらの実験により、製作したデバイスの基本情報から設計に必要な加工基礎データを
取得した。

2) 波面制御三次元加工システム技術

ホログラム設計環境として、高性能 CPU を搭載した計算機器を用いて HPC (High Performance
Computing) 基盤システムを構築し、これらを基にホログラム生成の速化（従来比 3 倍以上）を確認し
た。また反復計算を基にした最適化手法を検討し、実際に再生像質の改善を統計的に確認した。平
成 18 年度に続きガラスホログラムの製作が可能な製作環境を構築し、8 段ホログラムが製作可能
であることを確認した。また、製作したホログラム単体での精度評価方法の検討を開始した。

3) 空間光変調器三次元加工システム技術

光波面制御モジュールの主要部分である LCOS-SLM の一次試作を行った。高出力なフェムト秒レ
ザーに耐光性を持たせるため、薄膜技術を用いて入射光と反射光の位相をずらす位相シフト層を
LCOS-SLM 内部に導入し（特許出願）、 $30\text{GW}/\text{cm}^2$ の耐光性を達成した。また変調速度 30Hz で光位相
変調度 π ラジアンの中間目標も達成する見込みである。またこの LCOS-SLM を内蔵した光波面制御
モジュール実験機を作成し、同試作機開発（平成 20 年度予定）のための評価をおこなった。波面
制御技術及びホログラムパターンの計算手法の開発に関しては、LCOS-SLM に新たに設計したホロ
グラムを書き込み、読み出しレーザー光を三次元的に多点に分岐することができた。また加工対象
におけるレーザー光の集光点の個数が変動しても各集光点のレーザー光のエネルギーをほぼ一定に
するための方法を開発した（特許出願）。

研究開発項目③「三次元加工システム応用デバイス技術」

1) 三次元光学デバイス技術

平成 18 年度に引き続き、多点描画での異質相形成に関する実験データの取得と光学ローパスフ
ィルタの計算機シミュレータによる検討とを行った。さらに、これらの結果に基づき、1 枚のガラ
ス中に光学ローパスフィルタを多点描画にて作成し、方向無依存性が実現されていることを確認し
た。

2) 三次元光回路導波路デバイス技術

光学設計用シミュレーションソフトを利用し、空間光変調素子を中心とする波面制御工学系を構
築した。さらに、光学系のケラレ除去や CGH の高解像度化を実施し、多点同時描画においてライン

状にガラス内部（表面近傍）への異質相形成が可能であることを確認した。逐次描画による直線導波路において、レーザ照射条件制御により、目標であるコア径 $9\mu\text{m}$ の直線導波路を描画し、伝送損失 0.1dB/cm の導波路を描画することができた。

《3》 ナノテクノロジー・材料分野推進基盤領域

《3》-1 ナノ計測基盤技術 [平成13年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

新たな標準物質を開発することを目的に、独立行政法人産業技術総合研究所 計測標準研究部門 部門長 田中 充氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

平成15年度には、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「微小要素物理特性の計測基盤」においては、粒子質量分析装置のプロトタイプを設計・試作し、時間応答特性の異常を解消したことで高速化がなされていることを確認した。また、超臨界流体を利用したナノ粒子発生装置について性能評価実験を行った。動的光散乱法により 100nm の市販標準微粒子を計測し、相対誤差 5% 以下の不確かさの範囲内で一致する結果を得た。また、SEC-MALS 法における各不確かさをモデル計算により推定した。散乱光と蛍光の分光データのコインシデンスを取ることで、粒子気泡識別計数を行い、顕微鏡法との比較を含む不確かさ評価実験を行った。

研究開発項目②「空孔の計測基盤」においては、普及型陽電子寿命測定装置に放射性同位元素陽電子源を取り付け、ビーム発生試験、パルス化試験を行った。適切な動作パラメーターを用いることにより、ナノメートル空孔を検出、測定できることを実証した。安定性、均一性にすぐれた多孔質シルセスキオキサン薄膜試料を作成し、陽電子寿命の値決めを行った。気体吸着測定データと比較・検討することにより、この試料が標準試料に要求される条件を満足していることを明らかにした。

研究開発項目③「表面構造の計測基盤」については、シリコンおよび白金上の金およびアルミニウムについて膜厚の異なる数種類の薄膜試料を製作し、放射光励起光電子分光法を用いて電子の有効減衰長の高精度測定を行った。そのデータを元に薄膜試料の作製条件について、最適条件を決定した。標準スペクトルデータベースの新規データの取得を続けるとともに、新たに増設したオージェ分析用電子銃を用いた高エネルギー分解能オージェスペクトルの取得準備を進めた。放射光および実験室装置で得られた実用材料およびデータベースのスペクトルのバックグラウンドを解析するとともに、スペクトルの深さ方向の解析性能を高めるために、解析アルゴリズムの拡張を行った。

また、直感的な操作が可能なユーザーインターフェースを開発した。

研究開発項目④「熱物性の計測基盤」については、ピコ秒サーモリフレクタンス法によりモリブデン・ニオブ金属多層膜を測定し、各層の熱拡散率と界面熱抵抗を評価し、多層膜の実効熱拡散率を決定できる計測技術を開発した。またスパッタリング法によりモリブデンをガラス基板上に成膜し、薄膜熱拡散率標準物質を試作した。さらに示差方式レーザフラッシュ法により、コーティングの熱拡散率を計測する技術を開発した。中間赤外放射計装置を導入し、放射測定の波長域及び温度域の拡大に取り組むとともに、赤外放射計測装置の精度・信頼性向上に不可欠な赤外光学系評価技術の高度化を図った。ドクターブレード法によりジルコニア-アルミナ系コーティング標準物質を開発し、膜厚精度が $\pm 5\%$ 以内、面方向の熱物性均質性が $\pm 5\%$ 以内で、 $1,200^\circ\text{C}$ において熱安定性を有する標準試料を作製した。均質性評価装置を高精度化するための改良を行い、均質性評価の実用計測技術として完成させた。熱電デバイスをを用いた精密温度制御システムを用いたレーザ干渉式変位検出装置の試作・改良を行い、固体材料の熱膨張・光学特性を高分解能で計測・校正する計測システムを開発した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「微小要素物理特性の計測基盤」

前年度試作した粒子質量分析装置プロトタイプの分級特性の試料流量、および電極回転数依存性等を評価するとともに、静電噴霧法により不純物粒子バックグラウンドの少ない気中粒子発生が可能であることを確認した。動的光散乱法により 100nm 、 70nm および 50nm の標準微粒子を液相中で高精度に計測し気相中で計測された値とよく一致することを確認した。さらに、 $2\text{-}10\mu\text{m}$ 粒径域において、蛍光法のバックグラウンド計数を削減し、微小粒子画像計数装置を用いた顕微鏡法との比較により、蛍光法の計数の信頼性を評価した。

研究開発項目②「空孔の計測基盤」

普及型陽電子寿命装置のビーム強度を改善することを目的として、陽電子減速材の検討を行った。タングステン、ニッケル、レニウムなどの金属、各種微粒子を用いた減速材の効率、陽電子放出エネルギー分布を測定した。その結果、タングステンメッシュと微粒子を組み合わせ、その表面状態を制御することにより、従来使用していたタングステン単結晶フォイルと比べて1桁程度高い陽電子放出率が得られることが明らかとなった。平成15年度に開発したナノ空孔計測用標準試料の安定性評価を行い、安定性確保には乾燥空気あるいは乾燥窒素中での保管が必要であることを明らかにした。

研究開発項目③「表面構造の計測基盤」

金およびアルミニウム薄膜を作成し、放射光を用いた光電子分光スペクトルから 100 eV から 1000 eV の範囲で各物質中での電子の有効減衰長を測定した。実用材料への応用としてジルコニア系ナノ粒子触媒について放射光を用いた光電子分光による深さ方向の組成分析、状態分析を行った。バック

グラウンド解析では、計算に用いる固定パラメータ値の妥当性を調べ、パラメータ値がある範囲の時だけ実際に物理的意味のある解が得られることがわかった。また、厚さが既知の表面層がある実試料の解析を開始した。炭化物や窒化物などの非酸化物系の無機化合物を中心に新規にスペクトルの取得を行うほか、既に取得した化合物についても測定条件を改めてスペクトルの取得を行った。

また、データベースの閲覧環境としてユーザーがインタラクティブに条件を定めて WEB ブラウザ上でスペクトルを表示できるソフトウェアの試作版を制作した。

研究開発項目④「熱物性の計測基盤」

前年度試作した薄膜標準サンプルの熱拡散率のばらつきを測定するとともに、より均質で再現性の高い標準薄膜を作成するために、膜質制御システムを導入し系統的に成膜条件を変えた厚さ 100nm の Mo 薄膜を作製・評価した。またピコ秒サーモリフレクタンス法による測定範囲を室温から 600°C の温度まで拡大するための試料温度制御装置を導入し、さらに本課題の加速として、膜厚 100nm 以下の薄膜に対してサブミクロンスケールの面内方向分解能で熱拡散率を計測するフェムト秒サーモリフレクタンス法熱物性分布測定装置を開発した。コーティング標準試料の開発では、スラリー調整装置を導入し、ジルコニア系コーティング膜および基材の作製における主条件を決定した。また、示差方式レーザフラッシュ法によりコーティングの熱拡散率計測を行うための重要な要素技術である試料表面の黒化処理法の開発に着手し、試作した黒化膜を新たに導入した熱重量分析装置により評価した。熱・光学特性計測システムの開発では、nL 積測定用追加ユニットを導入し総合的な測定性能評価を進めた。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「微小要素物理特性の計測基盤」：粒子質量の絶対測定が可能な装置を設計・試作し、その予備的性能評価を行った。同時に、加速財源によって、高速回転型粒子質量分析装置を試作し、電極回転数 7000RPM 以上において 20 nm 粒子の分析が可能であることを確認した。また、30-100nm の粒径範囲で気相中電気移動度分析法と液相中動的光散乱法による粒径値づけ技術を確認し、測定結果が不確かさの範囲で整合することを確認した。PFG-NMR により測定した 30nm の標準粒子の粒径が気相測定値と一致することを確認した。さらに、2 μ m 領域のコンタミネーションを抑制した清浄水中微小粒子計数装置を作成し、2-10 μ m 粒径域における液中粒子数濃度の測定の不確かさを評価した。

研究開発項目②「空孔の計測基盤」：普及型陽電子寿命測定装置で得られるデータの信頼性の向上を目指して、従来のアナログ装置をデジタルオシロスコープに変更した測定系を構築し、時間軸の校正を行った。プラズマ CVD 装置を完成させ、珪素系原料に炭化水素を添加して作製した薄膜試料を熱処理することによりサブナノメートル空孔を導入した。空孔サイズと作製条件の関係から、空孔形成メカニズムを考察した。多孔質試料の小角散乱測定のための X 線散乱測定装置の本体部分を整備した。

研究開発項目③「表面構造の計測基盤」：これまで作製した薄膜について得られた有効減衰長のデータの不確かさを評価するために試料作製や光電子分光スペクトル測定の再現性の確認を行った。また作製した薄膜試料について SEM や TEM による膜厚および一様性の評価を行った。無機化合物の XPS 及び高エネルギー分解能オージェスペクトルを取得し、データベースに追加およびデータの更新を実施した。表面層の厚さを変えた試料のバックグラウンド解析を進めた。表面層内の電子の走行距離が数 nm 程度では、計算結果に見られる損失関数のピーク位置に再現性があり物性同定に利用可能である。また、ピークに無関係なバックグラウンド成分の推定法の開発により、従来の高運動エネルギー側からの直線外挿よりも現実的で妥当な推定結果が得られた。

研究開発項目④「熱物性の計測基盤」：本項目の実用成果としてナノ秒薄膜熱物性測定装置の普及が今後期待されることから、その校正を目的としたサブナノ秒パルスレーザーを用いたナノ秒薄膜熱物性測定標準器を開発し窒化チタン薄膜により性能評価を行った。薄膜標準物質の候補として、厚さ 400nm から 1 μ m の窒化チタン薄膜を作製した。また前年度開発したフェムト秒サーモリフレクタンス法熱物性分布測定装置の加熱光、測温光のビーム径を評価し、測温光のビーム径が 710nm であることから、サブミクロンスケールの分解能で熱物性測定が可能であることを確認した。コーティング標準物質の開発では、遮光膜作製装置を導入してジルコニア系コーティング標準試料の開発・評価を進めた。さらに、溶射法により耐熱合金上にジルコニアをコーティングした試料を作製し、標準試料としての適性を検討した。また、示差方式レーザフラッシュ法によりコーティングの熱拡散率計測を行うための重要な要素技術である試料表面の黒化処理について、開発した手法で試作した試料について室温でテスト測定を行い、良好な結果を得た。熱・光学特性計測システムの開発では総合的な測定性能の向上を図るとともに、数種の光学ガラスについて単一試験片における熱膨張率および nL 積の実測試験を行った。また、小試験片評価用追加ユニットを導入し動作試験を行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「微小要素物理特性の計測基盤」：粒子質量分析装置について、電圧を時間的に連続走査が可能な高速測定技術を開発した。30nm 以下の単分散粒子発生に適した標準物質の探索を行うとともに、粒子特性評価に適用可能な多分散粒子発生装置を試作した。また、20-30nm の粒径範囲で液相中動的光散乱法によって求めた粒径値と PFG-NMR 法により求めた粒径値が不確かさの範囲内で整合することを確認した。さらに、15 μ m を中心とする粒径範囲において、市販粒子数濃度標準液値づけを行い、サンプルの全量計数が可能で、粒径 500nm 粒子まで適用可能な高感度蛍光検出計数装置及び気泡抑制技

術を開発した。

研究開発項目②「空孔の計測基盤」：プラズマ CVD 法で珪素系原料に炭化水素を混合して作製した薄膜を異なった方法で処理することにより、空孔構造の異なる多孔質薄膜を作製できることを示した。普及型陽電子寿命測定装置のパルス化条件の最適化を行いサブナノ空孔測定に十分な時間分解能を達成した。さらに、装置の小型化を検討するための陽電子ビーム小型化試験装置を設計・開発した。X線散乱測定装置本体にX線散乱測定用試料アライメント装置を付属させ、多孔質薄膜試料の小角散乱測定を行った。また、超高感度ガス吸着測定のための、偏光解析装置を整備した。さらに、陽電子寿命測定比較委員会を設立し、2つの試料について陽電子寿命測定の実験所間の比較試験を実施した。

研究開発項目③「表面構造の計測基盤」：アルミニウム薄膜試料について SEM や TEM および化学分析により膜厚や表面状態の評価を行い、その値を用いて光電子分光測定実験データを解析し有効減衰長を求めた。また、標準薄膜候補試料として Au 薄膜を試作し、その膜厚や表面状態について同様に評価解析を行い、100 eV から 1000 eV のエネルギー範囲で有効減衰長を求めた。無機化合物（酸化物・窒化物など）に加え、金属のスペクトルも取得してデータベースにデータを追加した。表面層の厚さを変えた試料のバックグラウンド解析では、極薄い場合に下地層からの微小なオージェピークなどの干渉で解析が妨害されている可能性が出てきたため、表面層が十分厚い試料について、解析を行った。

研究開発項目④「熱物性の計測基盤」：ナノ秒薄膜熱物性測定標準器の不確かさ評価を行い、時間制御の不確かさが 90ps、時間原点の不確かさが 100ps であることを確認した。昨年度作製した薄膜標準物質候補である厚さ 400nm、600nm、1 μ m の窒化チタン薄膜（各 25 個）について全数の熱拡散率測定を行い、1ロット内の均質性評価および安定した供給方法の検討を行った。フェムト秒サーモリフレクタンス法熱物性分布測定装置の測定温度領域の低温側への拡張を行った。

コーティング標準物質の開発では、ジルコニア系コーティング標準試料を作製し、導入した比熱容量測定装置と示差方式レーザーフラッシュ法により、熱伝導率の評価を行った。溶射法によるコーティング標準試料作製条件を確立した。また、示差方式レーザーフラッシュ法による計測技術と黒化処理方法の評価を継続して行い、基材から剥がすことなくコーティング部の熱拡散率を測定する技術を開発した。

熱・光学特性計測システムの開発では測定の実験環境の安定性および再現性を向上させるために、それらに対する外的環境（主に外気温度）の影響を評価した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「微小要素物理特性の計測基盤」：

予定通り、基本計画に示された目標（標準物質とその校正技術）を達成。すなわち、(1) 1fg から 1000fg (fg = フェムトグラム)の質量範囲で適用可能な粒子質量校正技術基準を作成、(1') 粒子質量標準の供給技術整備、(2) 1nm から 100nm のサイズ範囲における粒径および高分子分子量の校正技術基準作成、(2') 粒径標準物質の供給技術整備、(2'') 高分子分子量標準物質の供給技術整備、(3) 500nm から 10000nm の粒径範囲における粒子数濃度校正技術基準の作成とその標準物質の供給技術整備、を完了した。

さらに、平成 17 年度加速資金で 0.1fg に拡張した質量範囲についても、適用可能な粒子質量校正技術基準を作成し、粒子質量標準の供給技術を整備した。

研究開発項目②「空孔の計測基盤」：

予定通り、基本計画に示された目標（標準試料とその校正技術）を達成。すなわち、直径数 nm 以下の微細空孔の測定に十分な時間分解能を有する陽電子寿命測定校正技術の確立、直径数 nm 以上の空孔での陽電子 3 光子消滅割合の校正のための技術基準の作成、ナノ空孔標準試料の供給技術整備と高精度計測技術基準の作成を完了した。

研究開発項目③「表面構造の計測基盤」：

予定通り、基本計画に示された目標（標準試料とデータベース整備）を達成。すなわち、(1) 波長可変の高精度表面組成の深さ方向分析法について、表面から 2nm 以下の領域について深さの不確かさ 0.2nm を達成、(1') ナノ材料評価技術基準の作成、(1'') 深さ方向分析用標準試料の供給技術を整備、(2) X 線光電子分光標準スペクトルデータの整備を 15 元素 50 化合物について実施、を完了した。

研究開発項目④「熱物性の計測基盤」

予定通り、基本計画に示された目標（標準物質とその校正技術）を達成。すなわち、(1) 薄膜・コーティングの熱拡散率を合成標準不確かさ (1 σ) 10%以内で絶対測定する技術基準の作成、(2) 熱拡散率・比熱容量・熱伝導率標準物質の供給技術整備、(3) 膨張率等の熱光学特性を 0.02 \times 10⁻⁶K⁻¹ の分解能で校正する技術基準作成、を完了した。

《3》－2 ナノ粒子特性評価手法の研究開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、工業ナノ粒子がヒトの健康と環境に及ぼすかもしれない潜在的な影響に関する知見の収集・整備に努める一方で、リスク評価に必要な物理化学的特性をはじめとした工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション手法、環境濃度、環境放出発生源、環境中の運命と挙動等の解析技術を含む暴露評価手法、及び基礎的な有害性評価手法を開発するとともに、これらを用いた工業ナノ粒子のリスク評価手法を確立することを目的に、独立行政法人産業技術総合研究

- 所 化学物質リスク管理研究センター長 中西 準子 氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。
- 研究開発項目①「工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション手法の開発」については、工業ナノ粒子の調製技術（分級、分散、捕集効率等）の開発およびキャラクタリゼーション手法（物理化学的特性、濃度、サイズ、サイズ分布、形状、構成成分、凝集状態）の開発に着手した。
- 研究開発項目②「工業ナノ粒子の暴露評価手法の開発」については、排出シナリオ、環境中挙動モデルおよび暴露シナリオを構築するための調査および試験を開始した。
- 研究開発項目③「工業ナノ粒子の有害性評価手法の開発」については、吸入暴露および経皮暴露試験の開発に着手するとともに、体内動態のモデル化シミュレーション技術、および既存の有害性試験を補足・修正する方法（必要に応じ新たな試験方法）の開発に着手した。
- 研究開発項目④「工業ナノ粒子のリスク評価及び適正管理の考え方の構築」については、工業ナノ粒子（カーボンナノチューブ、フラーレン、酸化チタン）について、用途、使用量、有害性、暴露に関する既存文献データの収集整理、およびナノテクノロジーについて人文社会科学的な研究のレビュー整理を行った。

平成 19 年度は、工業ナノ粒子がヒトの健康と環境に及ぼすかもしれない潜在的な影響に関する知見の収集・整備に努める一方で、リスク評価に必要な物理化学的特性をはじめとした工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション手法、環境濃度、環境放出発生源、環境中の運命と挙動等の解析技術を含む暴露評価手法、及び基礎的な有害性評価手法を開発するとともに、これらを用いた工業ナノ粒子のリスク評価手法を確立することを目的に、独立行政法人産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター長 中西 準子氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

- 研究開発項目①「工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション手法の開発」については、工業ナノ粒子の調製技術（分級、分散、捕集効率等）の開発及びキャラクタリゼーション手法（物理化学的特性、濃度、サイズ、サイズ分布、形状、構成成分、凝集状態）の基礎的開発を行った。
- 研究開発項目②「工業ナノ粒子の暴露評価手法の開発」については、初期排出シナリオ文書を作成するとともに、作業環境や発生源近傍における初期暴露シナリオ案を作成した。
- 研究開発項目③「工業ナノ粒子の有害性評価手法の開発」については、体内動態のモデル化シミュレーション技術、及び既存の有害性試験を補足・修正する基礎的方法を開発した。
- 研究開発項目④「工業ナノ粒子のリスク評価及び適正管理の考え方の構築」については、工業ナノ粒子（カーボンナノチューブ、フラーレン、酸化チタン）のプロジェクトにおける初期の結果を集約するとともに、ナノテクノロジーの潜在的リスクと利便性を踏まえた上で社会的に受容され利用されるための、制度設計に関する基礎的提言案を提出した。

《4》 ナノバイオテクノロジー・生体材料領域

《4》－1 次世代 DDS 型悪性腫瘍治療システムの研究開発事業 [平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《9》参照]

《4》－2 深部治療に対応した次世代 DDS 型治療システムの研究開発 [平成 19 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《10》参照]

《4》－3 生活習慣病超早期診断眼底イメージング機器研究開発プロジェクト【課題助成】 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《11》－1参照]

《4》－4 悪性腫瘍等治療支援分子イメージング機器研究開発プロジェクト【委託・課題助成】 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《11》－2参照]

《4》－5 染色体解析技術開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《5》参照]

《4》－6 バイオ診断ツール実用化開発 [平成 18 年度～平成 20 年度] 【課題助成】

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《6》参照]

《5》 ナノテクノロジー実用化開発

《5》－1 ナノテク・先端部材実用化研究開発 【委託・課題助成】 [平成 17 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下のとおり実施した。

1. 平成 17 年度上期公募において以下のとおり業務を実施した。

応募件数 54 件は（応募機関総数 128（内訳：大学 42（32.8%）、研究所 25（19.5%）、企業 61（47.7%））であった。一機関当たりの応募件数の最高は産総研の 16（12.5%）、次は東北大学の 5（3.9%）であった。革新的ナノテクノロジーの内訳はナノインプリント 26.6%、薄膜成長 46.9%、自己組織化 27.3%、ナノ空間 69.5%、計測 27.4%であった。キーテクノロジーの内訳は燃料電池 28.1%、ロボット 14.1%、情報家電 70.3%、健康福祉 43.8%、環境・エネルギー 61.7%であった。

採択案件は 6 件、採択率は 11.1%であった。具体的には「ナノ傾斜構造を有する高強度光触媒繊維による POPs 排水無害化技術の研究」、「超高密度 HDD のためのナノオーダー制御高性能トンネル磁気抵抗素子の開発」、「有機顔料ナノ結晶の新規製造プロセスの研究開発」、「大面積・高スループットナノインプリント装置・プロセス技術及び新デバイス応用に関する研究開発」、「単一ナノ物質の原子分解能高精度組成分析システムの研究開発」、「パーソナル QOL システムのための CNT 超高感度生体分子センサーの研究開発」を採択した。採択機関総数は 18（内訳：大学 6（33.3%）、研究所 2（11.1%）、企業 10（55.6%））であった。採択機関の応募機関に対する割合は、大学 14.3%、研究所 8.0%、企業 16.4%、全体 14.1%であった。革新的ナノテクノロジーの内訳は、ナノインプリント 16.7%、薄膜成長 66.7%、自己組織化 0%、ナノ空間 61.1%、計測 55.6%であった。キーテクノロジーの内訳は、燃料電池 38.9%、ロボット 16.7%、情報家電 55.6%、健康福祉 55.6%、環境・エネルギー 33.3%であった。

2. 平成 17 年度下期公募においては、以下のとおり業務を実施した。

応募件数 61 件は（応募機関総数 172（内訳：大学 48（27.9%）、研究所 31（18.0%）、企業 93（54.1%））であった。一機関当たりの応募件数の最高は産総研の 18（10.5%）、次は東北大学の 6（3.5%）であった。革新的ナノテクノロジーの内訳は、ナノインプリント 20.4%、薄膜成長 26.2%、自己組織化 29.1%、ナノ空間 66.9%、計測 41.28%であった。キーテクノロジーの内訳は、燃料電池 22.1%、ロボット 11.1%、情報家電 49.4%、健康福祉 51.74%、環境・エネルギー 58.1%であった。

採択案件は 10 件、採択率は 16.4%であった。具体的には「低抵抗・高イオン拡散性ナノポーラス電極による高出力型 2 次電池の研究開発」、「遷移金属酸化物を用いた超大容量不揮発性メモリとその極微細加工プロセスに関する研究開発」、「電界印加ナノインプリント法による 30nm 級微細構造体形成法の研究開発」、「ナノ薄膜技術を応用したロボットのための集積多軸触覚センサの開発」、「環境調和型電力機器実現のためのナノコンポジット絶縁材料の研究開発」、「自己組織化有機単分子膜を用いた、電界効果トランジスタ型マイクロチップ pH センサおよびバイオセンサの開発」、「ナノダイヤモンドコーティングを施したポリフェニレンサルファイド（PPS）樹脂の射出成型品」、「ナノ細胞マッピング用ダイヤモンド・ナノ針の研究開発」、「省貴金属触媒を活用した産業機械用 DPF の研究開発」、「ナノ多孔質粒子分散低誘電率基板とダメージフリー実装技術による超高性能半導体実装」を採択した。採択機関総数は 35（内訳：大学 7（20.0%）、研究所 5（14.3%）、企業 23（65.7%））であった。採択機関の応募機関に対する割合は、大学 14.6%、研究所 16.1%、企業 24.7%、全体 20.34%であった。革新的ナノテクノロジーの内訳は、ナノインプリント 25.7%、薄膜成長 40.0%、自己組織化 20%、ナノ空間 54.3%、計測 11.43%であった。キーテクノロジーの内訳は、燃料電池 25.71%、ロボット 22.9%、情報家電 54.3%、健康福祉 45.7%、環境・エネルギー 31.43%であった。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

1. 平成 18 年度上期公募において以下のとおり業務を実施した。

応募件数は 48 件（応募機関総数 133（内訳：大学 32（24.0%）、研究所 20（15.0%）、企業 81（60.1%））であった。一機関当たりの応募件数の最高は産総研の 13（9.0%）、次は東北大学の 7（5.3%）であった。革新的ナノテクノロジーの内訳は、ナノインプリント 9.8%、薄膜成長 27.1%、自己組織化 28.6%、ナノ空間 60.2%、ナノファイバー技術 25.6%、計測 36.7%であった。キーデバイスの内訳は、燃料電池 20.3%、ロボット 22.6%、情報家電 51.9%、健康福祉 62.4%、環境・エネルギー 60.9%であった。

採択案件は 8 件、採択率は 16.7%であった。具体的には、「ナノコンポジット型ヒドロゲルを用いた新規医療部材の実用化研究開発」、「電子デバイスのための CNT を用いたナノスプリング接点接続の研究開発」、「超高密度強誘電体記録の実用化研究」、「超高性能ポリマー・エレクトレットを用いた振動型発電システムの開発」、「Point-of-Care バイオチップ診断装置の研究開発」、「高配向性 CNT を用いたナノ構造制御による低電圧駆動高分子アクチュエータの研究開発」、「ナノ構造ファイバーを適用した遮熱、耐熱、快適性に優れた先進消防服の開発」、「カーボンナノチューブ FED による停電時駆動可能な多機能情報表示装置の開発」を採択した。採択機関総数は 23（内訳：大学 2（8.7%）、研究所 3（13.0%）、企業 18（78.3%））であった。採択機関の応募機関に対する割合は、大学 6.5%、研究所 16.8%、企業 22.8%、全体 18.0%であった。革新的ナノテクノロジーの内訳は、ナノインプリント 30.4%、薄膜成長 26.1%、自己組織化 26.1%、ナノ空間 60.9%、ナノファイバー技術 17.4%、計測 26.1%であった。キーデバイスの内訳は、燃料電池 17.4%、ロボット

43.5%、情報家電 60.9%、健康福祉 78.3%、環境・エネルギー52.2%であった。

2. 平成 18 年度下期公募において以下のとおり業務を実施した。

応募件数は 50 件（応募機関総数 153（内訳：大学 42（27.5%）、研究所 24（13.1%）、企業 87（56.9%））であった。一機関当たりの応募件数の最高は産総研の 13（8.5%）、次は東北大学の 7（4.6%）であった。革新的ナノテクノロジーの内訳は、ナノインプリント 13.1%、薄膜成長 19.6%、自己組織化 37.3%、ナノ空間 51.6%、ナノファイバー技術 20.3%、計測 40.5%であった。キーデバイスの内訳は、燃料電池 11.1%、ロボット 11.1%、情報家電 56.9%、健康福祉 55.6%、環境・エネルギー55.5%であった。

採択案件は 13 件、採択率は 26%であった。具体的には、「高性能無鉛圧電アクチュエータの開発」、「ダブルデッカー型シルセスキオキサンを用いたナノハイブリッド材料の実用化研究開発」、「ナノコンポジット超電導バルク材を用いた NMR 用小型無冷媒超電導磁石の開発」、「高スピン偏極率材料を用いたスピン MOS F E T の研究開発」、「原子レベル薄膜成長によるシリコン基板上の窒化物結晶成長技術と素子化技術の研究開発」、「タンパク質マルチ分画システムのためのナノ分離素子の開発」、「自己治癒力を誘導する抗感染性カテーテルの開発」、「金属ナノ粒子マイクロバンプのインクジェット形成と高輝度 LED の高放熱実装」、「モバイル電子機器用非白金系電極材料の研究開発」、「高周波アンテナ対応超常磁性金属ナノ粒子分散型新規磁性誘電部材の開発」、「ナノテクベースのバイオセンサと光増強蛍光・SPR 検出型モバイル分析機器の開発」、「ナノシートカーボン複合電極を用いる高出力薄膜二次電池の研究開発」、「ダイヤモンド電子銃を搭載した電子ビーム描画装置の開発」を採択した。採択機関総数は 41（内訳：大学 8（19.5%）、研究所 6（14.6%）、企業 27（65.9%））であった。採択機関の応募機関に対する割合は、大学 19.1%、研究所 25.0%、企業 31.0%、全体 26.8%であった。革新的ナノテクノロジーの内訳は、ナノインプリント 12.2%、薄膜成長 24.4%、自己組織化 36.6%、ナノ空間 68.3%、ナノファイバー技術 7.3%、計測 36.6%であった。キーデバイスの内訳は、燃料電池 4.9%、ロボット 9.8%、情報家電 58.5%、健康福祉 56.1%、環境・エネルギー56.1%であった。

3. 平成 18 年度には、中間評価を以下のとおり実施した。

中間評価を実施し 16 件中 15 件が継続となった。このうち 6 件については、評価結果を受けて計画を一部変更した。例えば、事業化シナリオを明確にすべきという指摘を受けたテーマについては、製品化・市場導入に係る計画を見直した。

平成 19 年度は、以下のとおり実施した。

1. 平成 19 年度上期公募において以下のとおり業務を実施した。

応募件数は 40 件（応募機関総数 121（内訳：大学 41（33.9%）、研究所 9（7.4%）、企業 71（58.7%））であった。一機関当たりの応募件数の最高は産総研の 7 件、（5.8%）、次は東北大学の 4 件（3.3%）であった。革新的ナノテクノロジーの内訳はナノインプリント 8.3%、精密ビーム加工技術 9.1%、薄膜成長 33.9%、自己組織化 19.0%、ナノ空間 35.5%、ナノファイバー技術 18.2%、高度材料界面制御技術 23.1%、計測 24.8%であった。キーデバイスの内訳は燃料電池 14.9%、ロボット 14.9%、情報家電 57.0%、健康福祉 43.8%、環境・エネルギー50.4%であった。

採択件数は 7 件、採択率 17.5%であった。具体的には、「ナノキャピラリー構造を有する大容量電解コンデンサの研究開発」、「自己組織化ナノバターニング法によるナノ狭窄磁壁型 HDD 磁気ヘッド素子の開発」、「ナノバイオテクノロジーによる高機能人工関節摺動部材の研究開発」、「非対称ナノハニカム構造を持つ高機能癒着防止膜とその自己組織化製造プロセスの開発」、「ボトムアップ構造制御されたナノカーボン・ポリマー複合化薄膜を用いた抗血栓性医療機器の開発」、「ナノ粒子分散制御による高機能・高性能窒化ケイ素ベアリングの開発」、「DLC 層と半導体単結晶膜との分子間力接合を使った LED プリントヘッドの開発」を採択した。採択機関総数は 25（内訳：大学 8（32.0%）、研究所 2（8.0%）、企業 15（60.0%））であった。採択機関の応募機関に対する割合は大学 19.5%、研究所 22.2%、企業 21.1%、全体 20.7%であった。革新的ナノテクノロジーの内訳はナノインプリント 0%、精密ビーム加工技術 0%、薄膜成長 56.0%、自己組織化 28.0%、ナノ空間 56.0%、ナノファイバー技術 16.0%、高度材料界面制御技術 40.0%、計測 28.0%であった。キーデバイスの内訳は燃料電池 0%、ロボット 12.0%、情報家電 68.0%、健康福祉 60.0%、環境・エネルギー28.0%であった。

2. 平成 19 年度下期公募においては、以下のとおり業務を実施した

応募件数は 36 件（応募機関総数 104（内訳：大学 33（31.7%）、研究所 14（13.4%）、企業 57（54.8%））であった。一機関当たりの応募件数の最高は産総研の 9（8.6%）、次は東京大学の 6（5.7%）であった。革新的ナノテクノロジーの内訳はナノインプリント 11.1%、精密ビーム加工技術 8.3%、薄膜成長 41.7%、自己組織化 27.8%、ナノ空間 16.7%、ナノファイバー技術 13.9%、高度材料界面制御技術 58.3%、高次組織制御技術 27.8%、計測 33.3%であった。キーデバイスの内訳は燃料電池 16.7%、ロボット 11.1%、情報家電 72.2%、健康福祉 55.5%、環境・エネルギー69.4%であった。

採択案件は 4 件、採択率 11.1%であった。具体的には、「セルロースシングルナノファイバーを用いた環境対応型高機能包装部材の開発」、「スライドリング・マテリアルを用いた先端高分子部材の開発研究」、「単層カーボンナノチューブの大量合成と透明電極の研究開発」、「深紫外線発光ダイオードの研究開発」を採択した。採択機関総数は 13（内訳：大学 3（23%）、研究所 2（15.2%）、企業 8（61.5%））であった。採択機関の応募機関に対する割合：大学 9.1%、研究所 14.3%、企業 14.0%、全体 12.5%、革新的ナノテクノロジーの内訳はナノインプリント 0%、精密ビーム加工技術 0%、薄膜成長 50.0%、自己組織化 50.0%、ナノ空間 0%、ナノファイバー技術 50%、高度材料界面制御技術 75.0%、高次組織制御技術 50%、計測 0%であった。キーデバイスの内訳は燃料電池 0%、ロボット 25.0%、情報家電 75.0%、健康福祉 50.0%、環境・エネルギー75.0%であった。

3. 平成 19 年度には、絞り込み評価（ステージゲート）及び中間評価を以下のとおり実施した。

具体的には、ステージゲートでは、9 件中 2 件（「超高密度 HDD のためのナノオーダー制御高性能トンネル磁気抵抗素子の開発」、「自己組織化有機単分子膜を用いた、電界効果トランジスタ型マイクロチップ pH センサおよびバイオセンサの開発」）がステージⅡに移行した。「超高密度 HDD のためのナノオーダー制御高性能トンネル磁気抵抗素子の開発」については、平成 19 年度に日本 IBM 科学賞（エレクトロニクス分野）及び朝日賞を受賞した。また、平成 19 年度

に実施した中間評価においては、20件中16件が継続となった。このうち4件については、評価結果を受けて計画を一部変更した。例えば、実用化を加速するため現研究体制に出口側の有識者・専門家を入れるべきという指摘を受けたテーマについては、体制内にアドバイザーを加えるよう計画を変更した。

《6》 ナノマテリアル・プロセス技術

《6》－1 ナノメタル技術 [平成13年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目① ナノ領域金属材料組成・組織制御技術

- (1) 超高純度化技術・高浄化技術 超高真空浮遊帯溶融炉(FZ炉)によるFe、Cr合金の更なる高純度化を推進中である。
- (2) 有用元素添加・組織制御技術 Cr合金のDBTT改善に関してはCr濃度の適正化が有効であることを確認した。
- (3) ナノオーダー元素分析技術 Fe中の27元素について高精度ICP-MSによる定量下限100ng/g以下の微量分析手法の開発を確立した。
- (4) 超高純度金属材料の特性研究 50～60Cr-Fe系固溶強化型合金の機械的特性、耐環境性、ならびに製造特性の試験を継続実施中である。

研究開発項目② 計算科学と技術の体系化 平成13～14年度の全データを登録した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目① 「ナノ領域金属材料組成・組織制御技術」

- (1) 超高純度化技術・高浄化技術 高周波真空溶解炉を用いて種々合金の更なる高純度化を進めた。
- (2) 有用元素添加・組織制御技術 種々の溶解条件で溶解した23種類の35～60Cr-Fe系合金、Ni合金等について、純度、組成、添加元素の種類と濃度、鍛造・熱間加工・熱処理の条件、および、これらが組織に及ぼす影響等(再結晶温度、結晶粒度、硬度など)について調べ、多数の貴重なデータを得た。靱性改善のためCr濃度を適正化したCr-Fe系合金を中心とし、DBTT(脆性-延性遷移温度)改善とクリープ強度について分析を行った。
- (3) ナノオーダー元素分析技術 Fe中の不純物元素につき高精度ICP-MSによる微量分析手法により、Be、In、Ti、Sについて、定量下限100ng/g以下の分析手法を実現した。又、イオン交換法等汎用性のある分離・濃縮法の適用範囲を見極めた。ガス分析に関しては、O、Nの前処理改善によるブランク値低減の検討を行った。高純度Fe中の微量C、Sに関する国内外共同分析の継続と、O、Nに関する国内外共同分析を実施した。
- (4) 超高純度金属材料の特性研究 機械的特性、耐環境性、ならびに製造特性の検討により、50～60Cr-Fe系合金に関しては、靱性に影響を及ぼす因子として、純度、Cr濃度、添加元素、微細析出物、ならびに組織形態の影響を明らかにした。一方、20～40Cr-Fe系合金に関しては、純度、Cr濃度ならびに添加元素の影響等を明らかにした。また、応力腐食割れ特性評価の高度化のため、環境因子(溶存酸素、PH、変動応力、ひずみ等)の影響を精密に評価できる応力腐食割れ試験装置の第2ステップを導入した。超高純度高温合金の各種特性評価を開始した。

研究開発項目② 「技術の体系化」

物質系データベースに引き続き分析系データベースを構築し、全システムを完成させた。

研究開発項目③ 「超高純度Cr-Fe合金の実用化技術(F/S)」

国内外の電力部材用高温材料及び耐食材料の研究動向を調査し、超高純度Cr-Fe系合金の適用可能用途を考察した上で、高温高圧水中での使用を想定した成分の20Cr-3Mo-2W-Feについて、重量2トンの高純度素材を作製した。

真空誘導溶解炉を用いた100kg級の中型インゴット溶製技術確立及びその製造性(塑性加工性、溶接性、組織の均質化等)・応用特性の考察をはじめ、試作2トン高純度材はSUS316Lと比較して引張強度、疲労強度、靱性等の機械的性質は同等、各種環境での化学的特性は大幅に優れていることを確認した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

A. 超高純度金属材料分野

超高純度化技術に関しては、CC炉溶解等を用いて金属の高純度化、特に脱酸過程について調べた。有用元素添加に関し、CC炉溶解において超高純度Feへの2, 4ppm Bの均一な添加に成功した。また、国際ラウンドロビン分析テスト(RRT)用として、高周波溶解により高純度のFe-5ppm N, Fe-15ppm N, Fe-25ppm N合金試験片の作製を完了した。

Fe中の不純物元素分析技術に関しては、本プロジェクトの目標(必要とする全不純物元素の80%につき定量下限100ng/g以下)達成にあと4元素と迫り、本年度はLi、Pについて目標レベルを実現した。ガス成分O、N分析に

についても標準試料を開発し、国際 RRT を実施した。

特性研究に関しては、50～70Cr-Fe 系合金において本 PJ の目標のクリープ破断強度（650℃×130MPa，10，000hr 以上）を達成した。また、靱性支配因子を明らかにすることができ、優れたクリープ強度、耐食性と一定の靱性を有するタービンプレード用新規合金開発の目処を得た。Ni 系合金において、靱性、強度等の機械的特性の制御手段を把握し、タービンディスク用新規合金開発を目標に技術進展をみた。

B. 実用金属材料分野

鉄系) ナノ Cu 粒子析出制御により、強度・延性バランスに優れる新規鋼材を得た。ナノ Cu 粒子析出状態に関する TEM、OTAP、SR-XAFS 等のデータと Cu 析出挙動に関わる計算科学予測との対応を体系的に整理し、鋼材の強度・延性バランスの最大化が図られる時効処理条件を確立した。さらに、従来にない大幅な延性向上のメカニズム追求のため、分子動力学法による Cu 析出物と転位との相互作用の素過程を解析する手法を確立した。

銅系) 添加物の析出制御、粒界・界面構造制御による合金組織と特性の関係を系統的に整理し、引張強度と導電性を両立させる指導原理を得た。また、ナノ結晶粒創製技術の検討では、Cu-Be 合金に匹敵する強度、導電率を兼ね備えた組織制御銅合金を得た。ナノ薄膜組織制御技術の開発においては、Cu-Ti 合金の高圧アニール埋込法により、自己バリア形成能を有し、従来のメッキ法と同等の抵抗値を有する配線材料とプロセスを確立した。

アルミ系) 実験によるクラスター形成と熱力学的エネルギー変化を計算結果と対比し、析出型合金における計算機シミュレーションモデルの高精度化を図ると共に、PFZ 組織の安定性に関するシミュレーションをおこない、昇温熱処理による PFZ 組織の変化の特徴を形成メカニズム別に明らかにした。

C. 実用金属材料工具鋼分野

新ナノ組織工具鋼の大型化・量産化のために、効率的な原料粉末の製造条件および種々の固化成形法の製造条件を検討した。また、通常の組織サイズの鋼と比較するために、得られた新ナノ組織工具鋼の靱性評価を行った。さらに、新ナノ組織工

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

A. 超高純度金属材料分野

CC 炉を用いて Fe を Ar 2.7×10^{-4} Pa (200 Torr) 雰囲気中で上吹き水素精錬することにより、Fe 中の C を 50～70 ng g⁻¹ に低減することに成功した。Fe を超高真空中で CC 炉溶解することにより P を 99 ng g⁻¹ にすることに成功した。Fe 中の S については上記 Fe を水素ガス中で浮遊帯溶融精製することにより低減を試みた。

水素脆性問題などの観点から、現在、より緊急性の高い Fe 中の極微量水素定量技術開発のために必須である Fe 中に 1 ppm および 0.1 ppm オーダーの微量 H を含む Fe-H 共同分析試料の作製への挑戦に重点を置いた。0.1 ppm オーダー H の試料の作製、その経時変化など貴重なデータを得た。開発した超高真空仕様改良型水冷銅ルツボを用いて 60Cr-Fe 合金を溶製した結果、開発ルツボがスカル削減に有効であることが明らかになった。

Fe 中の As, Cs, Ga, Rb S について分析手法を開発し、累計 62 不純物元素について定量下限 100 ng g⁻¹ 以下を実現し、プロジェクト目標を超過達成した。H については、国際 RRT を推進するための実施体制を整えた。共同分析に用いた試料について、標準化を進める案を作成した。

強度、靱性、ならびに製造性等の観点から合金成分を検討し、タービンプレード用としては 50Cr-3W-3Ni-0.12Nb-Fe が、またタービンディスク用としては 33W-5Cr-0.005B-Ni が最適であることを明らかにした。平成 17 年度までに作製した各種 Cr-Fe, Fe-Cr 合金を用い、耐熱ベローズ、熱交換器、エキゾーストマニホールド、水素タンク、海水部材、冷却付きブレード等を試作し、現用材をはるかに上回る実用特性を確認した。

B. 実用金属材料分野

平成 17 年度までで研究開発を完了した。

C. 実用金属材料工具鋼分野

新ナノ組織工具鋼の大型化・量産化を目指した原料粉末の効率的かつ適正な製造条件を確立するために、ボールミル処理時間の変更やボールの変更を行った。新規固化成形法について探索および条件出し実験を実施した。新強化物質の分散状態を変更して高温強度や延性・靱性を評価し、強度-延性バランスの調整を行った。サンプル評価では、新ナノ組織工具鋼の金型への適用を見据え、切削性等の加工性評価を行った。

《6》-2 ナノコーティング技術 [平成 13 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ナノコーティング・プロセッシング技術」においては、以下の研究開発を実施した。ナノ複合構造コーティング形成の統合化プロセッシング技術をめざした各プロセス技術の高度化を進め、PVD 原料供給システムを導入したハイブリッド熱プラズマスプレーシステム装置におけるジルコニア膜合成のプラズマ発生制御、EB-PVD 装置におけるナノ複合セラミックス膜等合成の精密制御、CVD 装置におけるジルコニア膜合成の反応精密制御等を実現した。

研究開発項目②「ナノコーティング材料機能・構造の設計・制御技術」においては、以下の研究開発を実施した。ナノ複合セラミックス膜、新規ナノセラミックス膜等を金属基板上に基板温度精密制御システムを装備した EB-PVD 装置等によって合成の柱状・羽毛状結晶制御の高度化を進めた。ナノ複合セラミックス皮膜の低熱伝導度化と熱的安定性を達成した。セラミックス膜と基板の耐剥離性・酸化挙動を向上させるバリア層の開発および電極特性を向上させる界面制御技術の開発に成功した。開発材料の特性向上を目的とした、微構造変化観察技術、皮膜-金属界面ナノ構造解析を高度化し、EB-PVD 膜のナノ構造安定性を明らかにした。

研究開発項目③「ナノコーティングパフォーマンスの解析・評価技術」においては、以下の研究開発を実施した。セラミックスと金属界面の第一原理計算、欠陥を含む界面力学現象の分子動力学計算、界面のき裂・欠陥の非連続有限要素法計算技術を連携したフルマルチスケール界面力学設計技術を開発した。酸化雰囲気、熱暴露環境下で静的・動的試験により、実使用環境下での損傷・劣化の加速試験に成功し、熱遮蔽コーティングの剥離挙動の定量的解析が可能となった。

コーティング特性変化を支配する材料パラメータを求め、開発材料のスクリーニング手法および健全性及び寿命評価方法に必要なナノコーティング評価技術開発を進めた。

研究開発項目④「異種材料界面に関する材料ナノテクノロジー技術の体系化」においては、以下の研究開発を実施した。ナノコーティング技術（セラミックス膜構造）に係わる技術体系化を進めると共に、ナノコーティング技術の波及効果（プロセスコスト）について調査研究を行った。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ナノコーティング・プロセッシング技術」ナノコーティング統合化プロセッシング技術の構築に向け、ハイブリッド熱プラズマスプレーシステム装置によってジルコニア膜および金属膜を、EB-PVD 装置によってジルコニア/アルミナのナノ複合膜・界面層を、レーザーCVD 装置によって高品質ジルコニア膜合成に成功し、いずれのプロセスにおいても 50nm オーダーのナノ構造制御の高精度化を達成した。

研究開発項目②「ナノコーティング材料機能・構造の設計・制御技術」ビーム出力、基板回転、基板温度を最適制御したナノ複合ジルコニア膜、アルミナ膜、ペロブスカイト系セラミックス膜等を合成することができた。ナノ複合セラミックス皮膜において、約 1W/mK 以下の低熱伝導率、約 1300°Cにおける熱的安定性、界面特性（耐酸化抵抗）を約 40%向上を達成した。そして、添加元素によるナノポア安定化効果および緻密膜による酸素進入阻止効果という新コーティング材料開発の重要指針を得た。ジルコニア膜等の微構造変化観察技術を進め、膜および界面のナノ構造（ナノポア、ナノギャップ、結晶方位等）を明らかにした。

研究開発項目③「ナノコーティングパフォーマンスの解析・評価技術」セラミックスと金属界面の第一原理計算、欠陥を含む界面力学現象の分子動力学計算、界面き裂・欠陥の非連続有限要素法計算の連携モデルを強化したフルマルチスケール界面力学設計技術を開発し、セラミックス/金属界面の理想強度を導出することができた。実使用を模擬した環境下での損傷・劣化の加速試験やコーティング特性変化評価試験における物理・化学的要因の定量的取扱いを高精度化し、本プロジェクト開発の EB-PVD 法によるジルコニア膜コーティング材料の持つ特長と利点を明らかにした。これら知見を①および②の研究開発項目にフィードバックすることにより、ナノコーティング研究開発を促進することができた。

研究開発項目④「異種材料界面に関する材料ナノテクノロジー技術の体系化」EB-PVD およびレーザーCVD によるナノセラミックス膜構造データを体系化（知識の構造化）し、かつナノコーティング技術の体系化（重要項目の抽出）を進め、さらに評価技術を中心に本プロジェクト成果の適用分野等の調査を進めた。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ナノコーティング・プロセッシング技術」においてはハイブリッド熱プラズマスプレーシステムに PVD・CVD 機能を付加したナノコーティング統合化プロセッシング技術を構築し、達成目標である約 50cm²面積、500μm/h 合成速度、50nm オーダーナノ複合構造形成を実現した。EB-PVD およびレーザーCVD についても目標を達成した。統合プロセス等によるジルコニア膜合成サンプルの熱伝導率を評価し、1.0W/Km の低熱伝導率の結果を得た。

研究開発項目②「ナノコーティング材料機能・構造の設計・制御技術」においては EB-PVD 装置等によってナノ複合ジルコニア膜とアルミナ膜等を複層化させ、目標である 1.0W/Km 以下の熱伝導率、1400°C級の熱的安定性を達成した。また、開発材料の熱サイクル試験等による界面特性等の最適制御技術を構築した。微構造変化観察技術により、複合化した機能とナノ構造、とくにナノポアの構造の関係を明らかにした。

研究開発項目③「ナノコーティングパフォーマンスの解析・評価技術」においてはセラミックス/金属界面の第一原理計算、界面力学の分子動力学計算、き裂・欠陥の非連続有限要素法計算の連携させ、目標であるナノマクロ（nm～μm）のフルマルチスケール計算機シミュレーションによるコーティングと基材及び界面の特性解析・評価技術を確立した。EB-PVD 法等によって合成した本プロジェクト開発のナノコーティング材料について 1400°C級の実使用模擬環境下での損傷・劣化の加速試験やコーティング特性変化評価試験を実施し、目標である 1400°C級、力・熱負荷環境下でのコーティング及び界面劣化モデル・寿命予測方法を確立し、現用評価システムよりも短時間で評価可能なシステムを完成した。そして本結果を①および②の研究開発項目にフィードバックして、ナノコーティング材料・プロセス開発の成果を促進させた。

研究開発項目④「異種材料界面に関する材料ナノテクノロジー技術の体系化」においては達成目標である、研究項目①、②で得られるコーティング材料のプロセス条件や組織と健全性、信頼性の関連性についてデータベースを構築した。ナノコーティング開発材料の各種プロセスによるナノ構造および特性・性能データを中心としたナノコーティング技術の体系化を推進し、コーティング工学の有効性を明らかにした。また、本プロジェクト成果の適用が可能な応用・市場分野の調査を進めた。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ナノコーティング・プロセッシング技術」においては、統合化を完成したハイブリッド熱プラズマス

プレーシステムおよびレーザーCVDによって、熱遮蔽コーティング用ナノ構造セラミックス膜材料を合成し、熱サイクル試験による耐剥離性などの特性を明らかにした。

研究開発項目②「ナノコーティング材料機能・構造の設計・制御技術」においては、EB-PVD装置等によって50nmオーダーのナノ複合構造化・積層構造化により、室温～800℃級（界面付近温度）における高耐剥離性と高耐酸化性を実現し、本プロジェクト開発材料において、1W/Km以下の熱伝導度性、1400℃級の熱的安定性、熱サイクル試験等による界面特性を同時に満たす最適制御技術を完成させた。ペロブスカイト系およびジルコニア系のセラミックス膜をナノ複層化させた開発材料において、電極特性と熱サイクル特性の最適制御技術を完成させた。これらナノ構造化した開発材料を用いて、約1000℃でのその場観察技術を確立した。

研究開発項目③「ナノコーティングパフォーマンスの解析・評価技術」においては、セラミックス/金属界面のフルマルチスケール界面力学設計技術を完成させ、コーティング材料のナノ・マクロ実験結果と比較検証した。本プロジェクト開発のナノコーティング材料の熱遮蔽コーティング用途におけるパフォーマンスを解析・評価し、①および②の研究成果の課題を明らかにすると共にナノコーティング材料の開発を促進させた。そして、1400℃級擬似環境試験と非破壊検査技術を組み合わせた損傷・劣化のその場検出とコーティング信頼性保障システムを確立し、ISO規格に提案に向けて構築した。

研究開発項目④「異種材料界面に関する材料ナノテクノロジー技術の体系化」においては、ナノコーティングに係わるプロセス技術、設計・制御技術、並びに、評価技術に関する「コーティング工学」を確立した。

《6》－3 ナノガラス技術 [平成12年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

中間評価で、「プロジェクトを現行どおり実施するように」と評価を受けた。実験の一部でCd(カドミウム)使用があり、環境汚染対策のために他の材料に変えるよう指摘があり、他の材料に変更し所望の成果を得た。また、実用化を意識した周辺技術の戦略的特許(含む海外)を取得するよう指摘があった。平成15年度は15件(海外1件)出願した。

研究開発項目①「超微粒子分散等構造制御技術」

- (1) 異質相微細析出技術: LiO₂-AlO₂-S₃iO 系ガラスでフッ素成分の導入と組成の検討を行い、光路長の温度係数を $1.14 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 、熱膨張係数を $13 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ に低下できた。
- (2) 超微粒子分散技術: アミノ基を有するアルコキシドで ZnSe 超微粒子をガラス中に封入、発光波長 480nm、発光効率 4% の超微粒子分散ガラス蛍光体を作製した。

研究開発項目②「高次構造制御技術」

- (1) 周期構造形成技術: ダイシングで 50 μm 、FIB(収束イオンビーム)で 5 μm 程度の高さの多層膜三角プリズムの形成を確認した。寸法精度および屈折率差の中間目標値は達成した。異質相の物性、異質相とガラスの破壊挙動との関係、異質相の強度に及ぼす効果、そして異質相のクラック進展抑制効果などから高強度化のメカニズムを検討し、母材の曲げ強度に比較して 1.5 倍以上の相対強度を持つガラスの作製条件を確立した。
- (2) 有機-無機ハイブリッド技術: ガラスマトリックス中への導電性有機高分子等の均一分散及び剪断力を利用し、導電性有機高分子を配向率 14% で膜面と垂直方向に配向できた。シリカマトリックス中に分子分散させた液晶分子を電場によって配向制御し、導入した液晶分子が配向率 25% 以上で膜面と垂直方向に配向することを傾斜偏光赤外分光法で確認した。
- (3) 外部場操作技術: シリカガラスを対象とし、炭酸ガスレーザー照射により、屈折率差 1.5% 以上の約 30 μm 径の隆起構造の形成に成功した。

研究開発項目③「三次元光回路材料技術」

- (1) 低損失光導波路用材料技術: SiO₂ 系ガラス膜に N(窒素)を所望量添加することで比屈折率差 Δ を最大 2.8% のガラス膜を作製できた。この膜で埋め込み型導波路を実現し、波長 1.55 μm で導波損失 0.045 dB/cm 以下を得た。中間評価の指摘事項であった Cd 元素を含有しないガラス材料を探索し、曲率半径 200 μm の曲げ半径をもつ導波路の形成に必要な、10% 以上の比屈折率差を超短パルスレーザー照射により実現できる材料を開発した。5 層の直線立体導波路を作製し、波長 1.55 μm での導波損失は 0.15 dB/cm 以下であった。高速で異質相を形成できる新手法の原理を確認した。
- (2) 大容量光メモリ用材料技術: 集光機能材料の屈折率変化メカニズムの究明並びに光ディスクでの集光機能効果実証試験を行ない、レーザー照射による透過率変化が熱による変化と一致していることより、熱の効果が大きいこと及び 5ns 以下の応答速度と、約 30% の透過率変化を確認した。1% の波長差に対して従来に比べ約 10 倍の分散性能を有する高分散ナノガラスデバイスを試作した。

研究開発項目④「技術の体系化」: 実測した酸化物ガラス系において、計算機シミュレーションによるガラス中の構造単位の整理と、構造単位が希土類イオンの発光特性に与える影響を調べた。ミクロンからナノサイズの結晶あるいは分相に関連したガラスの合成方法とその物性に関する文献調査を行い整理した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超微粒子分散等構造制御技術」

- (1) 異質相微細析出技術

- (ア) 光路長温度係数を $1.10 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ まで低下させることができ、このときの線熱膨張係数は $9.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ であったが、高圧力印加下における結晶化処理により、今年度中に目標を達成する予定。
- (イ) 希土類イオン含有オキシハライドガラス組成について引き続きフェムト秒レーザー照射実験と熱処理により任意の空間に異質相を析出させ、微細構造を電顕で調べた。
- (2) 超微粒子分散技術
 - (ア) セレン化亜鉛超微粒子は、発光効率 20% を得た。現行の遷移元素分散蛍光体の 2 倍の輝度が達成できた。
 - (イ) Zn-K 端の XANES に対して第一原理計算 (FP-LAPW) を行い、ZnFe₂O₄ 系ナノ薄膜の局所構造を解析することで、この薄膜のフェリ磁性的挙動との関連性を解明した。
 - (ウ) LB 法で独自に作成した金単分子薄膜の Au 粒子同士の固定化を検討し、励起光強度とポンプ・プローブ法フェムト秒レーザーパルス装置を用いて 応答時間を調べ、最高応答時間は 2 ps 以下を目指す。
 - (エ) 2 種の Er³⁺+Pr³⁺希土類イオンと LaF₃・YF₃・La_xY_{1-x}F₃ 結晶中のエネルギー移動速度の定量化を行った。
 - (オ) 半導体ナノ微粒子ドーパガラスの非線形性が強くマトリックスの影響を受け、そのブルーシフト量が非線形光学効果の大きさを決めていることを明らかにした。エレクトロルミネッセンスの青色発光には、未だ至っていないが、フォトルミネッセンスで SnO₂ ナノ微粒子分散ガラス膜で青色発光を確認し、エレクトロルミネッセンスの測定を行う予定である。
 - (カ) Eu³⁺からの強い発光が得られた 5SnO₂-95SiO₂ ガラス (700°C 加熱) では、分散させた SnO₂ ナノ粒子の粒径分布偏差/平均粒径は TEM 観察より約 0.03 であることが分かった。また、薄膜において Eu³⁺と ZnO 半導体ナノ微粒子の SiO₂ ガラス内への閉じ込めが可能となり、エネルギー移動機構による Eu³⁺発光を観測した。
 - (キ) SiO₂ 積層微細加工磁性半導体ナノ構造の磁場中発光において、巨大磁気光学特性を調べた結果、リソグラフィードット構造で 43 meV、自己組織化量子ドットで 19 meV の励起子巨大ゼーマン効果を観測した。また、ファラデー回転測定装置の光学系の設計を行い、独自の仕様を満たす電磁石の設計・製作を終了した。

研究開発項目② 「高次構造制御技術」

- (1) 周期構造形成技術
 - a. 高次構造化材料技術
 - (ア) 多層膜高次構造を形成させる技術や超微細周期構造を作製する技術により屈折率差、寸法精度、位置精度等の目標を達成した。
 - b. 高強度化ガラス材料技術
 - (ア) 高強度化のメカニズムを考察し、異質相の形成条件の最適化によって 1.8 倍以上の強度を持つ条件を見出した。
- (2) 有機-無機ハイブリッド技術
 - a. 導電性膜技術
 - (ア) ガラスマトリックスと導電性有機高分子のハイブリッド化にその構造を制御し、配向率 30% を達成した。
 - b. 気孔配向膜技術
 - (ア) 液晶分子を電場によって配向制御し、膜面と垂直方向への配向率が 40% 以上であることを確認した。
- (3) 外部場操作技術
 - (ア) Er:Cr:YSGG レーザー照射の条件探索により、直径 9~10 μm 径の領域に微細化することに成功した。

研究開発項目③ 「三次元光回路材料技術」

- (1) 低損失光導波路用材料技術
 - a. 光導波路用材料技術
 - (ア) 導波路の損失要因を分析し、その支配的要因を究明した。またフォトリソグラフィ法、レーザー直接描画法、電子線直接描画法を比較検討し、電子線直接描画法が低損失化に適していることを明らかにした。
 - b. 三次元光回路形成用材料
 - (ア) ZnS 含有ガラスへの超短パルスレーザー照射により半導体微粒子の 3 次元微細周期構造を形成し、波長 3μm において反射率 75% を達成した。この結果は、半径 36 μm で光路を曲げられるデバイスの実現が可能であることを示している。
- (2) 大容量光メモリ用材料技術
 - a. 大容量光メモリディスク用集光機能材料 (F21 へ移行済み)
 - b. 大容量光メモリヘッド用ガラス材料技術
 - (ア) スラブ導波路内部に三角形の深溝回折格子を埋め込んだ高分散回折光学素子を作製し、1% の波長差に対する出射角度の変化は 3.4° (従来の 50 倍以上) に達した。

研究開発項目④ 「技術の体系化」

a. ガラス組成と特性・機能との相関

(ア) 酸化物ガラス中の Er³⁺イオン周囲の原子配列とそのイオンの示す光学特性の計算機シミュレーションを再度行った。これを基にして、これまでの実測による蛍光スペクトルと計算により得られるスペクトルのガラス組成の関係を整理した。

(イ) 半導体ナノ微粒子ドープガラスで量子閉じ込め効果にマトリックスが重要な働きをすることを見出し、三次の非線形光学効果の測定により、吸収端のブルーシフト量が三次の非線形形の大きさを左右していることを明らかにした。エレクトロルミネッセンスでは、青色の発光には至っていないが、SnO₂ ナノ微粒子ドープガラス膜が青色のフォトルミネッセンスを示すことを明らかにした。

(2) ガラス合成プロセスと特性・機能との相関

(ア) 石英導波路基板上に Si 立方体共振器を作製した。近赤外センサを用いて、波長 1.5 μm 帯導波路伝搬光の共振器による散乱を観測し共振器と導波路の一体化を確認した。共振波長光の蓄積と Q 値を確認するために光学的評価を行っている。

(イ) 石英基板上に導波路と各種形状の部品を作製し、光蓄積の効果を系統的に明らかにした。

(ウ) ZnO 半導体超微粒子分散ガラス薄膜のゾルゲル合成に成功した。添加した Eu³⁺イオンからの発光が得られたが、ZnO 酸素欠乏性欠陥からのブロードな発光も見られた。SnO₂ 系とは明らかに発光挙動が異なり、両者の発光メカニズムを分光学的／電子顕微鏡学的データとともに体系化した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超微粒子分散等構造制御技術」

(1) 異質相微細析出技術

(ア) 光路長温度係数を $1.10 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ まで低下させることができ、このときの線熱膨張係数は $-9.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ であったが、高圧力印加下における結晶化処理により、今年度中に目標を達成する予定。

(イ) 希土類イオン含有オキシハライドガラス組成について引き続きフェムト秒レーザー照射実験と熱処理により任意の空間に異質相を析出させ、微細構造を電顕で調べた。

(2) 超微粒子分散技術

(ア) セレン化亜鉛超微粒子は、発光効率 20% を得た。現行の遷移元素分散蛍光体の 2 倍の輝度が達成できた。

(イ) Zn-K 端の XANES に対して第一原理計算 (FP-LAPW) を行い、ZnFe₂O₄ 系ナノ薄膜の局所構造を解析することで、この薄膜のフェリ磁性的挙動との関連性を解明した。

(ウ) LB 法で独自に作成した金単分子薄膜の Au 粒子同士の固定化を検討し、励起光強度とポンプ・プローブ法フェムト秒レーザーパルス装置を用いて 応答時間を調べ、最高応答時間は 2ps 以下を目指す。

(エ) 2 種の Er³⁺+Pr³⁺希土類イオンと LaF₃・YF₃・La_xY_{1-x}F₃ 結晶中のエネルギー移動速度の定量化を行った。

(オ) 半導体ナノ微粒子ドープガラスの非線形性が強くマトリックスの影響を受け、そのブルーシフト量が非線形光学効果の大きさを決めていることを明らかにした。エレクトロルミネッセンスの青色発光には、未だ至っていないが、フォトルミネッセンスで SnO₂ ナノ微粒子分散ガラス膜で青色発光を確認し、エレクトロルミネッセンスの測定を行う予定である。

(カ) Eu³⁺からの強い発光が得られた 5SnO₂-95SiO₂ ガラス (700°C 加熱) では、分散させた SnO₂ ナノ粒子の粒径分布偏差/平均粒径は TEM 観察より約 0.03 であることが分かった。また、薄膜において Eu³⁺と ZnO 半導体ナノ微粒子の SiO₂ ガラス内への閉じ込めが可能となり、エネルギー移動機構による Eu³⁺発光を観測した。

(キ) SiO₂ 積層微細加工磁性半導体ナノ構造の磁場中発光において、巨大磁気光学特性を調べた結果、リソグラフィードット構造で 43 meV、自己組織化量子ドットで 19 meV の励起子巨大ゼーマン効果を観測した。また、ファラデー回転測定装置の光学系の設計を行い、独自の仕様を満たす電磁石の設計・製作を終了した。

研究開発項目②「高次構造制御技術」

(1) 周期構造形成技術

a. 高次構造化材料技術

(ア) 多層膜高次構造を形成させる技術や超微細周期構造を作製する技術により屈折率差、寸法精度、位置精度等の目標を達成した。

b. 高強度化ガラス材料技術

(ア) 高強度化のメカニズムを考察し、異質相の形成条件の最適化によって 1.8 倍以上の強度を持つ条件を見出した。

(2) 有機-無機ハイブリッド技術

a. 導電性膜技術

(ア) ガラスマトリックスと導電性有機高分子のハイブリッド化にその構造を制御し、配向率 30% を達成した。

- b. 気孔配向膜技術
 - (ア) 液晶分子を電場によって配向制御し、膜面と垂直方向への配向率が 40%以上であることを確認した。
- (3) 外部場操作技術
 - (ア) Er:Cr:YSGG レーザー照射の条件探索により、直径 9~10 μm 径の領域に微細化することに成功した。

研究開発項目③ 「三次元光回路材料技術」

- (1) 低損失光導波路用材料技術
 - a. 光導波路用材料技術
 - (ア) 導波路の損失要因を分析し、その支配的要因を究明した。またフォトリソグラフィ法、レーザー直接描画法、電子線直接描画法を比較検討し、電子線直接描画法が低損失化に適していることを明らかにした。
 - b. 三次元光回路形成用材料
 - (ア) ZnS 含有ガラスへの超短パルスレーザー照射により半導体微粒子の 3 次元微細周期構造を形成し、波長 3 μm において反射率 75%を達成した。この結果は、半径 36 μm で光路を曲げられるデバイスの実現が可能であることを示している。
- (2) 大容量光メモリ用材料技術
 - a. 大容量光メモリディスク用集光機能材料 (F21 へ移行済み)
 - b. 大容量光メモリヘッド用ガラス材料技術
 - (ア) スラブ導波路内部に三角形の深溝回折格子を埋め込んだ高分散回折光学素子を作製し、1%の波長差に対する出射角度の変化は 3.4 $^\circ$ (従来の 50 倍以上) に達した。

研究開発項目④ 「技術の体系化」

- a. ガラス組成と特性・機能との相関
 - (ア) 酸化物ガラス中の Er³⁺イオン周囲の原子配列とそのイオンの示す光学特性の計算機シミュレーションを再度行った。これを基にして、これまでの実測による蛍光スペクトルと計算により得られるスペクトルのガラス組成の関係を整理した。
 - (イ) 半導体ナノ微粒子ドープガラスで量子閉じ込め効果にマトリックスが重要な働きをすることを見出し、三次の非線形光学効果の測定により、吸収端のブルーシフト量が三次の非線形の大きさを左右していることを明らかにした。エレクトロルミネッセンスでは、青色の発光には至っていないが、SnO₂ ナノ微粒子ドープガラス膜が青色のフォトルミネッセンスを示すことを明らかにした。
 - (2) ガラス合成プロセスと特性・機能との相関
 - (ア) 石英導波路基板上に Si 立方体共振器を作製した。近赤外センサを用いて、波長 1.5 μm 帯導波路伝搬光の共振器による散乱を観測し共振器と導波路の一体化を確認した。共振波長光の蓄積と Q 値を確認するために光学的評価を行っている。
 - (イ) 石英基板上に導波路と各種形状の部品を作製し、光蓄積の効果を系統的に明らかにした。
 - (ウ) ZnO 半導体超微粒子分散ガラス薄膜のゾルゲル合成に成功した。添加した Eu³⁺イオンからの発光が得られたが、ZnO 酸素欠乏性欠陥からのブロードな発光も見られた。SnO₂ 系とは明らかに発光挙動が異なり、両者の発光メカニズムを分光学的/電子顕微鏡学的データとともに体系化した。
- なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

《6》－4 ナノカーボン応用製品創製プロジェクト【F 2 1】[平成 14 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

- 研究開発項目① 「構造制御・量産技術」加圧流動床プロセスにおいて純度 90%のカーボンナノチューブ (以下 CNT) を 250g/h の生成速度で連続製造が可能となり目標を達成した。気相流動法では鉄触媒系において目標の CNT 収率 1.0%を達成し、4 時間の連続生成運転が可能となった。CO₂ レーザーアブレーション法ではカーボンナノホーン (以下 CNH) が従来の 100 倍の生成速度 100g/h (純度 90%) で製造可能となった。
- 研究開発項目② 「物理・化学的機能制御技術」単層 CNH にナノスケール窓を付与するナノ窓創製制御の精密化により比表面積が 380~1440m²/g まで制御可能となった。CNT 分散剤として導電性ポリマー (ポリアニリンスルホン酸) を適用することにより導電性透明フィルムの形成が可能となった。CNT の樹脂中分散については溶液中の分散と混練装置による分散とを組み合わせることで可能となった。メッキ法により単層 CNT を大量に付着させることが可能となりセパレータなどの導電性基板に容易に CNT 薄膜を形成できるようになった。芳香族基としてナフタレンやピレンを用いた新規ポリマーにより高濃度で単層 CNT を可溶化できることが判明した。CNH に白金触媒を担持させた電極を用いた燃料電池により従来の 5 倍の最大セル出力密度 (50mW/cm²) を達成した。
- 研究開発項目③ 「電氣的機能制御技術」ドライプロセスとサイズ分級に関する独自技術により直径 5nm \pm 10%の触媒

微粒子の作製に成功し、この微粒子を用いて CNT 平均直径 5nm を達成した。CVD 低温成長として Co 系薄膜触媒の利用により 450℃までの低温化を達成した。方向制御として垂直方向から±5%以内、長さ制御として±10%以内を達成した。0.4μm 角の触媒島（鉄/酸化アルミ担持体）による単層 CNT のサブミクロン位置制御熱 CVD 成長を実現した。配線ビアの低抵抗コンタクトの実現のために Ni/Ti 層を導入し、CVD 成長同時形成により従来（15MΩ）よりも 2 桁低い低抵抗コンタクト（134kΩ）の作製に成功した。

研究開発項目④「構造評価技術」高分解能型透過電子顕微鏡により目標としていた単原子レベルの元素分析に成功した。

ナノレベル加工技術についてはイオン線、電子線両者について検討中である。

研究開発項目⑤「技術の体系化」実験ノート（※1）として平成 14 年度ナノカーボン報告書の中から 50 件の実験値データファイルを「知識の構造化」プラットフォームに登録した。

※1 材料技術の知識の構造化プロジェクトで開発している実験データを容易に入力可能な統合システム。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①構造制御・量産技術

気相流動法プロセス用の触媒として、逆ミセル法触媒を発展させた Fe-Mo 系ナノカプセル触媒を開発してきたが、本触媒の高濃度化により、目標値である収率 10%以上（現在市販されている HiPCO 法の 1000 倍）を達成した。基板上的単層カーボンナノチューブ（SWNT）の構造制御成長技術「スーパーグロース」を開発し、従来法の 1000 倍に達する超高密度成長および、様々なパターン成長に成功した。さらに、本合成技術の成長メカニズムの解明、条件の改良を行い、基板の大型化を進め、大量合成の可能性を検証中である。

研究開発項目②物理・化学的機能制御技術

ナノカーボン開孔制御技術では、単層カーボンナノホーン（SWNH）を硝酸処理および加熱処理することにより、比表面積 1300m²/g の開孔が可能となった。水溶性 SWNT の合成精製技術では、SWNT をベンゼンジアゾニウム化合物と反応させることにより、金属性 SWNT と半導体性 SWNT に分離溶解が出来る可能性を見出した。ナノチューブ超薄膜作成技術では、直流電場による SWNT のメッキに成功し、半導体性 SWNT が優先的にメッキされることを確認した。燃料電池用電極の開発では、最大出力密度として 70mW/cm²を達成し、試作した燃料電池一体型ノート PC を WPC EXPO においてデモ展示した。

研究開発項目③電氣的機能制御技術

配線ビアでは、微粒子触媒活性による CNT 高密度化を検討し、TiCo 微粒子で 1011 台/cm²の CNT 密度を得た。トランジスタ応用では、リソグラフィ手法を応用した鉄触媒微粒子の位置と寸法の同時制御技術を開発し、CNT の位置は±5nm、直径 1.3nm に対して±0.4nm の精度を実現した。

研究開発項目④構造評価技術

高感度分析技術の開発では、目標としていた「単原子レベルの元素分析」に成功し、世界最高レベルに到達した。さらに化学組成のマッピングに加えて、電子状態のマッピングにも成功した。ナノ材料の切断整形法として収束電子線法を検討し、CNT の切断に成功した。

研究開発項目⑤技術の体系化

データベースに基づき、CVD 法で SWNT を合成する条件を示す相図を作成することのできる簡便な合成支援シミュレータを開発することを目的として、触媒 CVD プロセス（CCVD）による SWCNT 成長の 1 次元円環モデルのチューニング（パラメータ間の関係等）を行った。また、知識の構造化プロジェクトとの連携により、研究開発で収集、解明される特性データ、評価方法等が体系的に整理されたデータベースの構築を行った。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

カーボンナノチューブ（CNT）の量産技術において、生産量が 2kg/日以上となり目標を達成した。スーパーグロース技術については、CNT 品質（純度、直径等）の改善により均一性の向上を図り、平成 16 年度に比べて再現性（CVD 成功率）が 50%から 95%に改善され、生産量では 10 倍（0.3g/日）を達成した。

燃料電池用電極については、最大出力密度が 100mW/cm²となり目標を達成し、平成 19 年年商品化の目処がたった。透明導電性フィルムについては、従来品に比べて導電性が 1~2 桁、透過率が 15%向上し、工業化製造プロセスへの目処がたった。燃料電池用セパレータについては、強度と成型性において目標を達成した。導電性については達成度 70%であったが、実用化には問題のないレベルであった。

配線ビアについては、450℃以下の低温成長と許容電流密度 2.5X106A/cm²以上を達成し、タングステン並の低抵抗ビアを実現した。また、ビア応用として、高熱伝導特性を生かした放熱バンプについてその有効性を実証した。トランジスタ応用については、電界を用いた方向制御により、方向精度±14°以内で CNT 成長が可能となった。半導体性 CNT を選択して用いることにより、電界効果移動度 1140cm²/Vsec を実測し、将来の高集積微細トランジスタへの適用可能性を見いだした。

《6》－5 ナノ粒子の合成と機能化技術 [平成 13 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「シングルナノ粒子の高速合成技術の研究開発」

- ・電子機能素子、光機能素子、構造体材料については、ナノ粒子を製造する合成装置を導入し、シングルナノ粒子合成条件の確立のため、気相及び液相の各種合成法によりモデル粒子を用いた試験を実施した。その結果、電子機能性粒子の磁性複合ナノ粒子、金および銀ナノ粒子、構造体材料用のシリカナノ粒子について、粒子径の制御ができ変動係数を小さくできる合成法を確立した。光機能性粒子については、CVD(気相反応合成法)による GaN(窒化ガリウム)、ホットソープ法(液相合成法)による CdSe(カドミウムセレン)を合成し、特性の想定が可能となった。
- ・磁性複合ナノ粒子、高温高圧水熱、希土類化合物ナノ粒子の合成については、ナノ粒子の製造とその制御条件の最適化、得られたナノ粒子の特性把握を実施している。
- ・ナノ粒子の分級・回収システム技術については、ナノ粒子の膜透過による分級試験の最適化を、有機溶媒系で γ -アルミナ膜を用いて、ろ過条件、ナノ粒子分散状態について検討した。
- ・ナノ粒子の合成過程を解析する技術として、動力学的シミュレーション技術の開発に取り組んだ。動力学的シミュレーションは、粒子合成装置内における初期核発生過程・核成長過程のシミュレーションを開発し、その精度の検証と向上検討を実施した。

研究開発項目②「シングルナノ粒子の表面修飾・薄膜化技術の研究開発」

- ・ナノ粒子の表面修飾技術については、電子・情報素子、光機能素子および構造材料向けナノ粒子を極性溶媒や水に良好に分散させることのできる表面修飾材の検討を実施した。 dendritic 基を付加した導電性ポリマーによる光機能性ナノ粒子の表面修飾により機能強化を図るために発光特性、導電性などの機能の発現を確認した。
- ・薄膜化技術については、RF(高周波)プラズマを用いたナノ粒子配列制御および Fe ナノ粒子の 2 次元規則配列技術の開発に取り組んだ。薄膜作製は、液相塗布、気相堆積、高分子複合の各手法で粒子配列挙動の検討を実施した。また、気相で合成し、帯電させた粒子を、帯電させたドットやラインの各種パターン上に選択的に吸着させ、ナノ粒子の精密な配列パターンを形成する技術を開発した。シリカナノ粒子とポリスチレン粒子の懸濁液を基板上に高速で塗布し、加熱してポリスチレン粒子を除去して、細孔が高秩序に配列したポーラスシリカの薄膜形成技術を開発した。また、インクジェット法によりナノ粒子分散液をパターン状に高速で吐出して、ナノ粒子配列パターンを作製する技術開発を行った。
- ・RF プラズマを用いたナノ粒子配列制御は、イオン化 CVD 装置で SiO₂ の非凝集ナノ粒子を合成し、RF プラズマ場によるナノ粒子トラップ、Si 基板上への静電沈着により、ナノ粒子を配列技術を開発した。さらにナノ粒子を 2 次元配列する技術の確立に向け検討を実施した。また、シリカで被覆された Au や Fe ナノ粒子を最密充填した後、シリカを除去して Au や Fe ナノ粒子の規則配列構造の形成を検討した。また、ナノ粒子懸濁液のレオロジー特性について検討し、膜透過における高速せん断場でのナノ粒子凝集体の形成に関する知見を得た。

研究開発項目③「シングルナノ粒子を用いた機能素子の作製と機能評価」

- ・電子・情報素子、光機能素子、構造体材料について、モデル粒子の製造条件を検討した。
- ・電子・情報素子については、合成された FePt 粒子の磁性特性の発現を確認し、さらにアニール温度の最適化等の検討を実施した。
- ・光機能素子については、ナノ粒子薄膜を用いた光特性を把握した。
- ・構造体材料については、ポリスチレン樹脂やエポキシ樹脂中にシリカナノ粒子を化学的および機械的に均一に分散できる条件を確立し、力学物性、耐熱性、難燃性などを的確に評価できるようになった。また、ポリエステル樹脂の重合反応と同時にナノ粒子を合成する in-situ 反応により均一分散物を得る条件を見出した。更に、半導体ナノ粒子薄膜の光物性の解析を実施した。

研究開発項目④「ナノ粒子の合成と機能化技術の体系化」

- ・シングルナノ粒子の高速合成技術及び表面修飾・薄膜化技術の開発、機能素子の作成・評価でのデータ取得の基軸となる各工程を代表するに必要十分な特性の抽出を行うために、各工程の解析と、プロセス条件と構造との相関について検討した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「シングルナノ粒子の高速合成技術の研究開発」

- ・電子機能素子、光機能素子、構造体材料については、シングルナノ粒子合成条件の確立のため、気相及び液相の各種合成法によりモデル粒子を用いた試験を実施した。その結果、電子機能性粒子の磁性粒子、金および銀粒子、構造体材料用のシリカ粒子について、粒子径の制御ができ変動係数を小さくできる合成法を確立し、目標達成に向けての大量合成法の検討に着手した。光機能性粒子については、CVD(気相反応合成法)による GaN(窒化ガリウム)、ホットソープ法(液相合成法)による CdSe(カドミウムセレン)、ZnO(酸化亜鉛)、噴霧熱分解法による Y2O3:Eu(ヨーロッパウムをドープした酸化イットリウム)を合成し特性を測定できるようになった。
- ・磁性複合ナノ粒子、高温高圧水熱、希土類化合物ナノ粒子の合成については、ナノ粒子の製造とその制御条件の最適化、得られたナノ粒子の特性把握を実施した。
- ・ナノ粒子の分級・回収システム技術については、ナノ粒子の膜透過による分級試験の最適化を、有機溶媒系で γ -アルミナ膜を用いて、ろ過条件、ナノ粒子分散状態について検討した。
- ・ナノ粒子の合成過程を解析する技術として、動力学的シミュレーション技術の開発に取り組み、粒

子合成装置内における初期核発生過程・核成長過程のシュミレータを開発し、その精度の検証と向上検討を実施した。

研究開発項目②「シングルナノ粒子の表面修飾・薄膜化技術の研究開発」

- ・ナノ粒子の表面修飾技術については、電子・情報素子、光機能素子および構造材料向けナノ粒子を極性溶媒、水およびポリマーに良好に分散させることのできる表面修飾材の検討を実施した。精密重合法を用いて、ナノ粒子表面と結合可能なポリマーを重合し、金属ナノ粒子の表面修飾に適用したところ、凝集割合が全粒子個数の10%以下の樹脂複合材料を作成することが可能となった。
- ・薄膜化技術については、薄膜作製、RF（高周波）プラズマを用いたナノ粒子配列制御および Fe ナノ粒子の2次元規則配列技術の開発に取り組んだ。薄膜作製は、液相塗布、気相堆積、高分子複合での粒子配列挙動の検討を実施した。また、気相で合成し、帯電させた粒子を、帯電させたドットやラインの各種パターン上に選択的に吸着させ、ナノ粒子の精密な配列パターンを形成する技術を開発し、ドット径 50nm の配列パターン上にナノ粒子を配列させることに成功した。SiO₂ 粒子とポリスチレン粒子の懸濁液を基板上に高速で塗布し、加熱してポリスチレン粒子を除去して、数 100nm の細孔が高秩序に配列した数 cm サイズのポーラスシリカ薄膜形成技術を確立した。また、プリンティング技術によるパターン形成とインクジェット法によるナノ粒子分散液をパターン上に高速で吐出する技術を組み合わせ、ドット状等各種のナノ粒子配列パターンを作製する技術を開発した。
- ・有機ナノ粒子の液晶特性を利用した配列技術を検討し、高度な偏光特性の発現を目指した検討を実施した。
- ・RF プラズマを用いたナノ粒子配列制御は、イオン化 CVD 装置で SiO₂ の非凝集ナノ粒子を合成し、RF プラズマ場によるナノ粒子トラップ、Si 基板上への静電沈着により、ナノ粒子の配列技術を開発した。さらにナノ粒子を2次元配列する技術の確立に向け検討を実施した。また、シリカで被覆された Au や Fe ナノ粒子を最密充填した後、シリカを除去して Au や Fe ナノ粒子の規則配列構造の形成を検討した。

研究開発項目③「シングルナノ粒子を用いた機能発現の評価」

電子・情報素子、光機能素子、構造体材料について、モデル粒子の製造条件を検討した。

- ・電子・情報素子については、合成された FePt 粒子の磁性特性の発現を確認し、さらにアニール温度の最適化等の検討を実施した。一方、磁性体機能評価装置をより高磁場で測定できるように改造し、磁性体薄膜の磁気特性を高精度に評価する技術の確立に取り組んだ。
- ・光機能素子については、半導体ナノ粒子薄膜等の光特性を把握した。更に、半導体ナノ粒子薄膜の光物性につき、構造モデルに計算化学技術を適用して解析を実施した。
- ・構造体材料については、ポリスチレン樹脂やエポキシ樹脂中に SiO₂ 粒子を化学的および機械的に均一に分散できる条件を確立し、耐熱性について目標達成の目処をつけた。水酸化マグネシウムナノ粒子を使用することにより、難燃性についても目標達成の目処がでてきた。また、ポリエステル樹脂の重合反応と同時にナノ粒子を合成、分散する in-situ 反応により均一分散物を得る条件を見出した。
- ・新しい機能（熱電特性等）を有するナノ粒子の合成と機能発現に向けた検討を実施した。

研究開発項目④「ナノ粒子の合成と機能化技術の体系化」

- ・シングルナノ粒子の高速合成技術及び表面修飾・薄膜化技術の開発、機能素子の作成・評価でのデータ取得の基軸となる各工程を代表するに必要十分な特性の抽出を行うために、各工程の解析と、プロセス条件と構造との相関について検討した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

①「シングルナノ粒子の高速合成技術の研究開発」

電子機能素子の磁性ナノ粒子、金および銀ナノ粒子、構造体材料のシリカナノ粒子、光機能材料の半導体ナノ粒子、蛍光体ナノ粒子については、粒子径の制御ができ変動係数を小さくできる大量合成技術を確立し、目標 100 g/hr の大量合成の目処をつけた。また、プラズマ CVD 法によって、GaN ナノ粒子の合成に成功した。ナノ粒子の解粒・分球・回収技術などのハンドリング技術についても、ピーズミル法や溶融混練法など実用化できるレベルにすることができた。

②「シングルナノ粒子の表面修飾薄膜化技術の研究開発」

表面修飾技術として、精密重合法によって、ナノ粒子表面と結合可能なポリマーを重合し、ナノ粒子の表面を修飾する技術、および半導体ナノ粒子をシリカで被覆する技術を確立し、処理能力 100g/hr の目処をつけた。液相からのナノ粒子配列について、粒子間の反発力、基板との相互作用等配列制御因子を総合的に把握した。気相からのナノ粒子配列について、静電配列制御を用いた要素技術を確立した。

③「シングルナノ粒子を用いた機能発現の評価」

気相で合成された FePt ナノ粒子の磁性特性の発現と磁気異方性を確認した。耐熱樹脂については、連続小型溶融混練装置を用い、溶融樹脂中でナノ粒子の合成反応を行うことにより、樹脂単体のガラス転移温度における弾性率について、目標値を達成した。更に、難燃樹脂については、水酸化マグネシウムナノ粒子とエポキシ樹脂の複合化で V-0 の難燃化を達成した。PET の高強度化においても、異方性のナノ粒子との複合化で強度の目標値を達成した。

④「ナノ粒子の合成と機能化技術の体系化」

ナノ粒子の合成・構造制御・機能評価にいたる過程の分析と特性を抽出整理し、体系化を行った。

《6》－6 ナノ機能合成技術〔平成13年度～平成17年度〕

〔中期目標期間実績〕

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ナノシミュレーション技術」においては、以下の研究開発を実施した。

- 1) 10 ナノメートルの3次元ナノ構造体の安定構造を予測するシミュレーション技術を開発し、単分子膜においては複雑な大規模系の計算が可能であること、液晶においてはシアノビフェニル系の液晶総転移のシミュレーションに有効であることを実証した。
- 2) 数値局在基底を用いたオーダーN密度汎関数法を開発した。
- 3) 分子センシング機能に関わる分子認識機能、電気伝導機能の理論予測を行った。
- 3) 遮断KKR法によりオーダーN計算機コードの開発をすすめ、100 ナノメートルから1ミクロンの膜厚（原子層にして500～5,000層）をもつ磁性超構造の各層を第一原理電子状態計算によりセルフコンシステントに計算することを可能にした。この方法を用いて強磁性鉄/スピン密度波状態クロム/強磁性鉄の三層超構造の電子状態、磁気状態の理論予測を行い、界面の電子状態密度の対象性の違いで説明が可能と分かった。

研究開発項目②「ナノ機能材料の創製と機能実証技術」においては、以下の研究開発を実施した。

(a) 電子・スピン機能材料創製と機能実証技術：

- 1) 室温超高磁場応答材料における素子作製プロセスに改良を加え、ウェットプロセスで磁場感度100%/30mTを、かつ安定に示す素子の作製に成功した。
- 2) スピン注入に関して100%以上の目標達成率を目指し、半導体中でのスピン緩和を評価する手法の開発を目指した結果、2次元電子ガス中の励起子の振舞いを、時空間分解で評価出来るようになった。
- 3) 高スピン偏極強磁性材料（閃亜鉛鉱型クロム・ヒ素）と半導体（ガリウム・ヒ素）のヘテロ界面において、原子変位または拡散による不規則性が生じても、界面でのスピン偏極率がほとんど低下しないことを第一原理計算により明らかにした。また、このヘテロ界面に生じるショットキー障壁の高さを第一原理計算に基づいて定量的に評価した。
- 4) 局所磁気計測手法を開発するための、超高磁場応答磁性薄膜をナノプローブ上に形成する手法を開発した。（特許準備中）
- 5) 平成14年度に性能評価を行った放射光光電子分光法を用いたナノ構造磁性体評価装置を用いて、空間分解能40nmを達成した。また、ミクロンからサブミクロン領域のメズスコピック磁性体の磁区観察を行い、メズスコピック磁性体特有のvortex構造（※2）の磁区構造がシミュレーション結果を良く再現していることを明らかにした。
- 6) スピントロニクス関連の国際会議における招待講演を行うと同時に、海外の有力研究機関におけるスピントロニクスに対する研究の取組について情報の交換を行い、更に共同研究の可能性を探った。

(b) 分子機能材料創製と機能実証技術：

- 1) 理論的知見にもとづき、核酸塩基の捕捉に伴う電子状態変化が期待される機能分子として、水素結合性ホストや配位結合性ホストを π 電子共役性骨格で結合した種々のオリゴマーを設計・構築し、A、T、Gとの結合を溶液系で確認した。一部の機能分子について、表面結合性基を有する誘導体の構築ならびに表面導入実験を行い、表面分子の化学反応前後の電子状態・モルホロジー変化について、SPMやXPS等の表面分析手法を用いた検討を開始した。
- 2) シャドー蒸着法を応用し、ナノメートルオーダーのギャップを有するナノギャップ電極を種々作製した。 π 電子共役性オリゴマーのナノギャップ電極への化学的固定を行い、ノイズ低減やモジュレーション法の検討を行うことにより、極めて少数の分子の電気特性を反映した微弱な電気信号の検出に成功した。
- 3) 金属上に孤立した機能分子の電子状態や構造を明らかにするため、SERS活性（※3）を指標とする単一分子分光法の高感度化を検討した。金属微粒子同士が接する界面近傍で極めて増強度の高い信号が得られることを明らかにした。
- 4) 平成15年度上半期に行った中間評価の際に、進捗が順調でないとして評価された超高感度DNAセンシングについてはシミュレーショングループとのコラボレーションを集中的に実施した。

(c) ナノ構造作製技術：

- 1) 走査プローブを用いたナノ構造形成においては、加工幅15nmの安定したプローブ酸化プロセスを実現するため温度湿度が広範囲にわたって制御でき、かつ10nm程度の高い位置再現性が確保できる環境制御型走査プローブ顕微鏡を開発した。さらに、酸化において本質的な役割を演ずるピコアンペア以下のファラデー電流を高いS/Nで計測するシステムを完成させ、陽極酸化電流の測定に成功した。計測したファラデー電荷が陽極酸化物の体積と良い一致をみせることを確認し、電流計測が陽極酸化のプロセス制御に有効なパラメータであることを明らかにした。この結果をもとに、シミュレーターに反映させることを目的に、シリコンのプローブ陽極酸化の機構にかかわる数値モデルの精密化を行った。また、数種類の磁性材料の陽極酸化加工に成功した。
- 2) レーザーアブレーションによるナノ構造の作製に関して、コア径（5-20nmの任意の粒径）、シ

エル厚み、結晶性、形状などが厳密に制御された Ni/NiO コア・シェル・ナノ粒子の作製に成功した。その磁気特性のサイズ依存性を解析して、粒径の減少に伴って超常磁性的な磁気特性を観測した。

※2 磁性体構造内のそれぞれの磁区が渦を巻くような関係で繋がった構造で漏れ磁場が小さくなる特性を持つ。

※3 SERS とは Surface Enhancement Raman Spectroscopy (表面増強ラマン分光) の略。SERS 活性とはラマン効果の増強を示すこと。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ナノシミュレーション技術」

- ・分子センシング機能予測を目的に、自己集合単分子膜-水系の界面での水分子浸透とそれに伴う特異分子配向と動力学を明らかにした。
- ・有機材料の凝集状態での高次構造予測のため、直径 20nm 以上の大規模ナノ構造体への適用に必要な計算を高速化した。
- ・分子センシング機能の理論予測のため、分子ワイヤによる水素結合型と金属配位型の分子捕捉方法について、分子認識機能および電気伝導の理論的評価を検討した。実験との比較を通じ理論予測の有効性を示した。
- ・平成 15 年度に開発した遮断 KKR 法で、サブミクロンサイズ膜厚超構造の第一原理計算を可能とする計算機コードを発展させた。新たに 3 次元的超構造に対してオーダー N 第一原理電子状態計算が可能な計算機コードの開発を開始した。

研究開発項目②「ナノ機能材料の創製と機能実証技術」

(a) 電子・スピン機能材料創製と機能実証技術

- ・室温超高磁場応答材料の開発では、磁気抵抗スイッチ効果のしきい値電圧を約 10V に低減した。
- ・高スピン偏極機能材料ヘテロナノ構造の物質設計では、強磁性金属から半導体へ注入されたスピン偏極電子の動的過程を量子論的に評価するため 2 種類の計算手法の開発に着手した。また、上記多層膜構造の磁気光学効果を第一原理計算で定量評価し、紫外領域に特徴的な磁気光学特性を見出した。
- ・高スピン偏極機能材料ハイブリッドナノ構造の開発では、スピン注入効率の高い量子井戸の設計を確立した。また、直径 30nm の磁性・非磁性結合量子ドットでは、円偏光度で 20 % のスピン注入を実現した。さらに、Co 強磁性体細線と磁性半導体量子井戸のハイブリッドナノ構造を作製し、Co 細線から生じる局所磁場で半導体励起子スピン偏極に成功した。
- ・局所磁気計測手法の開発では、超高磁場応答磁性薄膜のナノプローブ上形成プロセスを最適化し、10nm 以下の空間分解能を持つ磁気力顕微鏡を開発した。
- ・局所スピン分光計測手法の開発では、当プロジェクト開発の放射光光電子分光法によるナノ構造磁性体評価装置で分析評価適用範囲を広げた。
- ・ナノ磁性体プロセス機能の設計と実証では、Fe を含む磁性体表面の化学反応設計と、その検証に成功した。
- ・金属ナノワイヤーの新規機能設計と実証では、両端を金属電極で担持された 3d 遷移金属ワイヤーの電子状態からその輸送現象を設計する手法を開発した。
- ・マイクロマグネティクス・シミュレーションによるナノ構造磁性体の機能設計とその実証に必要なシステムを構築した。
- ・国際会議の招待講演を通じ、海外有力研究機関でのスピンエレクトロニクス研究情報を交換し、共同研究の可能性を探った。

(b) 分子機能材料創製と機能実証技術

- ・水素結合性ホストや配位結合性ホストを π 電子共役性骨格とつないだ種々のオリゴマーを理論設計・構築している。標的分子との水素結合が、導電性に関与する分子軌道に影響することが分かり、溶液中でブチルチミンとの水素結合体形成が確認された。
- ・チオール基を有するピピリジン誘導体をコンタクトプリンティング (CP) 法により金表面に吸着し、パラジウム捕捉の前後に起こる顕著な表面電位変化を、KFM 測定で明らかにした。アミン添加下の脱離反応による吸脱着サイクルを、電気化学測定等で確かめた。NEXAFS を用い CP 法と溶液浸漬法で調製した分子膜の分子配向を調べた。CP 法のピピリジン膜が電位検知に適している。
- ・昨年度開発のナノギャップ電極を用い、機能分子の導電性測定と分子捕捉による電気的変化を検討した。また、電極に架橋する分子の数を制限するため、ナノスケールの電極幅を持つナノギャップ電極の作製手法を新たに開発した。

(c) ナノ構造作製技術

- ・ナノ構造形成では、高精度ステージの安定制御で、走査プローブ (15nm 幅) 加工範囲 $1 \times 1 \mu\text{m}$ 当たり 1nm の位置精度を達成した。カーボンナノチューブ探針による加工精度を高めるため、湿度条件を調べ、最適条件 (40~50%) の指針を得た。3 次元的加工では、酸化物体積の制御とラストスキャン法を開発し、3 次元加工を可能にした。また、高精度位置決めによりプローブ電流計測の有効性を明らかにした。
- ・レーザーアブレーションによる複合ナノ構造作製技術では、①形状・結晶性・サイズ・組成・コア/シェル比が制御されたプラチナ合金/酸化膜系複合ナノ粒子の作製に成功し、交換相互作用に

起因する特異な磁気特性を確認した。②配向・間隔を制御し、粒子堆積の高次複合機能構造を形成するプロセス装置を試作した。③磁性金属を含む多元系ナノ粒子構造作製のため、複数ターゲットにレーザーを同時照射する機構を作製し、ZnTe 薄膜への Ni ドープ量制御を確かめた。レーザーアブレーションで堆積された SiO_x 薄膜を固相成長させて Si ナノ結晶を析出し、磁性不純物の Mn をドープする手法も試み、SiO_x の x の制御で Mn 発光が可能となった。④各種デバイス応用では、粒子表面の反応性を調べるため、Ni ナノ粒子と NiO_x ナノ粒子の酸素反応をサイズ毎に検討した。ニッケル 20-30 量体に酸素分子が付加し Ni 原子が蒸発するプロセスで安定な Ni16010 の生成を見いだした。

研究開発項目③「ナノ構造機能相関理論の一般化技術」

- (a) 構造機能相関理論の構築・ナノ物質の電気・磁気・光学機能を多体電子論で検討し、分子スピン状態の光制御、巨視的量子状態の制御、ナノ構造の電荷分極などの理論的予測をした。
- (b) ナノ構造機能相関の一般化
 - ・電子・スピン材料系の一般化では、Fe 合金と特定ガスからなる系の総エネルギーを理論計算し、系の反応進行性を検討した。その結果、3d 元素 Ni-Fe 合金系で、反応性イオンエッチングプロセス設計に成功し、当該エッチングプロセスの有効性を確認できた。
 - ・更に、機能相関理論の一般化を加速するため、理論設計-実証ループを強相関電子材料系へ適用する。そこで、実験装置とプロセス設計を検討した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) ナノシミュレーション技術

直径 20nm 以上の大規模ナノ構造体への分子シミュレーション技術の適用可能性を確認し、自己集合単層膜の分子認識機能および分子凝集系の液晶秩序構造に関して、実験との比較を通じて有効性を実証した。第一原理計算を用いて分子センサー機能の理論的評価を行い、実証実験との比較で有効性を示した。また、遮蔽グリーン関数法を用いたオーダーN 電子状態計算のプログラムを一般化し、(1) 任意の複雑な 2 次元ユニットセルを持ち 1 次元方向に 1000 層程度の構造を持った大規模系の計算を可能とし、(2) さらに、フルポテンシャル・グリーン関数法に適用することによってオーダーN フルポテンシャル電子状態計算を可能にした。

(2) ナノ機能材料の創製と機能実証技術

(2-1) 電子・スピン機能材料創製と機能実証技術

超高空間分解能を持つ、磁気計測手法用の走査型カンチレバー作製プロセスを開発することに成功した。スピン偏極電子の輸送現象に関する計算を実施し、また現象論的モデルに従って高性能磁気抵抗素子開発の指針を得た。遷移金属酸化物を用いた、電界印加による抵抗変化型不揮発性メモリ動作の実証に成功した。

(2-2) 分子機能材料創製と機能実証技術

導電性骨格と、核酸塩基を捕捉可能なレセプター部位を併せ持つ機能分子を用いて、ナノギャップ型ならびに分子膜型の分子機能化電極を構築し、双方において分子認識に伴う有意な電気特性変化を複数例確認した。これら機能分子ならびに分子機能化電極について、第一原理法やモデル理論に基づくシミュレーションを行い、理論予測の有効性を確認した。

(2-3) ナノ構造作製技術

走査プローブを用いたナノ構造形成では、カーボンナノチューブ探針を用いた陽極酸化の安定性を実験・理論の両面から検討し、15nm 幅の安定加工を確立した。また、10 μ m 角の大面積加工、バイアス電圧制御による酸化膜立体構造の作製にも成功した。さらに、酸化物を電気光学的に評価し、シリコンでは陽極酸化膜が自然酸化膜と同等であることを確認した。また、レーザーナノプロトタイプピニング技術の開発では、昨年度までに開発したプロセスを用いて、構造機能予測に基づいて設計した金属・合金/酸化物系コア・シェル粒子集合構造、不純物添加半導体分散構造等の高次複合ナノ構造を、材料種や構造パラメータを変化させつつ作製して、その構造と電子・スピン機能や光機能との相関を評価した。

《6》-7 材料技術の知識の構造化 [平成 13 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「知識基盤データベースの構築」においては、ナノ材料開発に必要な特許、文献情報の収集を実行した。(ナノ材料文献、17,000 件、ナノ材料関係日本公開特許、22,500 件。) 統合データベースシステムを整備し、縦 PJ からの系統データ、展開実験データを格納し (130 系統)、ナノテクノロジープログラム内で公開した。これらのデータを俯瞰して理解するための可視化ツールを作成した。さらに、ナノテクノロジー用語集 (25,000 語)、上下関係つけた同義語 (50,000) を作成した。

研究開発項目②「モデリングエンジン及び推論エンジンの開発」においては、分野別知識において、ミクロからマクロまでパラメーターで一貫して動くコンテンツを実装した。インプット、アウトプットの相関性で特にナノテクノロジーで重要な、ランジュバン、ブラウニアン動力学の導入をはじめ、粒子配列、ナノ組織形成など個別のシミュレーションについては、目標値の精度を達成し、引き続き拡充した。OCTA など、公知のプラットフォームとの連携を図った。

研究開発項目③「知識基盤プラットフォームの開発」については、オントロジーによる機能木から、実際のユーザーが分野別知識のシステムに入るまでのインターフェース機能を、「System Pro, System Fun」で行う仕組みを利用することにより、発明・発想支援を行う仕組みの開発を引き続き実施した。オントロジ

一等体系化された語彙の目標数及び、分類された知識概念の目標数を達成し、オントロジー・システムを増強した。自然言語処理による、トピックマップの生成、関係性の抽出に関するツールの開発に着手した。電子辞書、電子ハンドブックの部分の電子ソースを各種入手した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「知識基盤データベースの構築」

前回に引き続きナノ材料開発に必要な特許、文献情報の収集を実行した。(ナノ材料文献、37000 件、ナノ材料関係日本公開特許、23000 件。) 統合データベースシステムを整備し、縦 PJ からの系統データ、展開実験データの格納と公開を続行した。(140 系統) さらに、平成 15 年度作成した、ナノテクノロジー用語 (25000 語)、上下関係をつけた同義語 (50000) を自然言語エンジンに組み込んだ。

研究開発項目②「モデリングエンジン及び推論エンジンの開発」

分野別知識において、ミクロからマクロまでパラメーターで一貫して動くコンテンツを実装し、パラメーター間の関係性ならびに何が分って何が分からないかを俯瞰的に理解ができる可視化ツールを作成した。またインプット、アウトプットの相関性で得た、ナノテクノロジーで重要な、ランジュバン、ブラウニアン動力学の導入をはじめ、粒子配列、ナノ組織形成など個別のシミュレーション引き続き拡充した。企業ニーズに応えるために、材料のナノ単位構造とその物性 (機能/構造相関) データベース (700 文献) およびナノコンポジットのプロセス/構造/物性、データベースを作成し実装した。モデリングおよび推論エンジン構築の核となる軸だしを行い、3 系列のプロセス/構造空間を作成した。FePt 磁性材料、CNT のような具体的なターゲットの開発に適用を行い、それらが有効であることを確かめた。

平成 17 年度は、材料種を限定せずに、プロセス・構造・機能及びそれらの関連という観点から、データベース及びモデリング、並びに、これらを実装したプラットフォームの開発を行うことによって、材料技術の知識を構造化し、材料開発の基盤として利用できるように構築することを目的に、東京大学大学院工学研究科教授 山口 由岐夫氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

知識基盤データベースの構築については、データベースの登録数を引き続き増やした。特に統合データベースについては、他プロジェクト (ナノカーボン、ナノ粒子関連) を中心に実装した。また、ナノ材料のデータ登録に加え、ナノ構造の単位物性、ナノコンポジット、ナノデバイスなど製品に関わる文献、特許の登録を行った。具体的には、それらをナノ単位構造物性データベース、ナノコンポジットデータベースとして格納した。また二次データベースの構造についても引き続き開発を進めた。

次に、データ間の統合と関係性の統合的抽出を行い、平成 17 年度第 1 四半期は、特にナノ粒子、ナノカーボン領域の文献・特許・縦プロジェクトデータに焦点を絞ったデータの収集とデータベース化に注力した。ナノ粒子プロジェクトおよびナノカーボンプロジェクトの成果を、知識ネットワークのシステムに格納し、ナノテク・インデクス・オントロジー、および学術の知識ネットワーク、これまで作成した知識の構造化プラットフォームのコンテンツ間を連結させることができる関係性のデータベースシステムを作成した。また、これまでの成果について、企業による試験利用を継続し、必要な領域のデータ収集とデータベース化を進めた。

モデリングエンジン及び推論エンジンの開発については、プロトタイプの精度検証のため展開実験データを引き続き強化した。これらの結果をもとに、ナノ粒子及びナノカーボンの 2 プロジェクトと共同してナノ材料開発手法について共同作業を行った。また、これまで開発した自然言語処理による検索エンジン (KS エンジン) のインターフェースの改良を継続して行ない、各種データソースからの情報収集の効率化を図った。

知識基盤プラットフォームの開発については、前述で開発したデータベース及びエンジンを産業技術基盤として提供するために知識基盤プラットフォームの仕様を引き続き検討した。また、平成 16 年度中間評価結果に基づき、外部有識者より構成される委員会を設置し、平成 17 年度第一四半期中に知識の構造化プラットフォームの有効性を検証する評価を行い、それ以降の方針を決定した。

《7》【ナノ加工・計測技術】

《7》-1 次世代量子ビーム利用ナノ加工プロセス技術 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「無損傷ナノ加工技術の開発」について、

ア) 無損傷ナノ加工技術の開発では、種々のサイズからなるクラスターイオンを磁性材料に照射し、照射条件 (エネルギー、照射角度) と表面状態との関連を探索した。超平坦化にむけた最適条件を確立するためにクラスターサイズ及び種類変更等の照射実験を行い、クラスター種及びサイズの SiC に対するエッチングレートや到達平坦度への影響を調査した。クラスターサイズ選別を目的として、二段電極による高周波電界法でクラスター装置を用いて原理実証試験を実施。本方式によるクラスターサイズ選別に関する基礎的な要素実験を行った。また別の手法として静磁界質量分離法 (SM) を持つクラスターイオンビーム装置の設計および製作を行い、本装置を用いて、無損傷ナノ加工を実現するためのクラスターサイズ高精度制御を行い、ビーム輸送効率・質量分解能などを検討した。

イ) 無損傷ナノ加工技術の体系化では、実際のクラスター照射による損傷形成実験と衝突シミュレーションの比較から、損傷形成過程のメカニズムの検討を行った。得られたデータを基に損傷低減に必要な照射条件の抽出を行った。

研究開発項目②「超高速・高精度ナノ加工技術の開発」について、

ア) 超高速ナノ加工技術の開発では、シリコン表面に種々のクラスタービームを照射、表面除去加工した際のシリコン除去速度の測定を行った。また原子間力顕微鏡を用いて照射前後の多結晶シリコン表面突起部形状の詳細評価を行った。

イ) 高精度ナノ加工技術の開発では、エッチングマスクのさらなる探査と、フォトニック結晶形成に必要な高精度加工に関する制御パラメータの検討を行った。また、高精度加工に関して、クラスター照射条件としてビーム入射角度の検討から表面ラフネスが著しく低減する新しい現象を発見した。この超低ラフネス加工法を応用することによってフォトニック結晶などを高アスペクト比で、かつ高精度に加工できる目処をつけた。

ウ) 超高速・高精度ナノ加工技術の体系化では、高速・高精度ナノ加工が可能な反応性ガス材料のクラスターの生成法を検討し、新しいビーム種として大電流酸素クラスターイオンビームの生成に成功した。これを用いて酸素クラスターイオンビームによる加工に関する基礎的データが得られた。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「無損傷ナノ加工技術の開発」について、加工損傷の極めて少ない磁性材料表面を得るために、損傷低減に必要なガスクラスターイオンビーム (GCIB) 照射条件を確立。具体的にはビーム中に含まれる高速中性 Ar の膜中への侵入を防止した。また組成ずれに関しては、クラスターイオン照射時の表面での選択酸化が関連していることが判明した。さらに、低入射角照射により、加工表面粗さ 0.6nm、損傷深さ 3nm の低損傷エッチングを達成した。化合物半導体である SiC 基板を超平坦化加工では、平均表面粗さが 0.7nm に低減されかつ、パーティクルのほとんどない (30 個以下/ウェハ) 表面に加工することに成功し、パーティクルモニター用 SiC 基板という新しい応用分野を開拓した。また処理速度の点では、6 インチ SiC ウェハを 4 時間/枚で処理することが可能となった。クラスターサイズを制御したビーム発生技術においては、静磁界分離法で、クラスターサイズ分布幅を従来機に比べ 1/20 することに成功。シリコン基板等への照射を行い、損傷におけるクラスターサイズ依存性を検討し、無損傷加工が可能であることを世界で初めて明らかにした。また高周波偏向電界をもちいるサイズ選別法では、クラスターサイズ 100 以上の広範囲なサイズを選別できる小型サイズ選別技術を考案。

研究開発項目②「超高速・高精度ナノ加工技術の開発」について、

ア) 超高速ナノ加工技術の開発では、反応性クラスターイオンビームがモノマーイオンより数千倍高いスパッタ率を有することを見だし、超高速加工が実現できることを示した。高速な超平坦化処理が求められる多結晶シリコンに対し、アルゴンクラスタービーム照射条件の調整により平均表面凹凸を 5nm に低減できることを実証。さらにスパッタ率の高い反応性 SF6 ビームによる化学エッチングの援用により、0.2mA のイオン電流が発生できる装置で、中間目標加工速度 (3 μ m/min.) に到達した。

イ) 高精度ナノ加工技術の開発では、高い選択比を有するマスク材の開発にも成功し、高精度ナノ加工技術に必要な要素技術を確立した。クラスターイオン照射により表面だけでなく加工側面も平坦化可能 (パターン巾 250nm 以下で側壁粗さが 1nm 以下) であることを初めて実証し、ナノレベル精度を実現できる加工技術として有効であることを示した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「無損傷ナノ加工技術の開発」についての実績は以下の通り。

ア) 無損傷ナノ加工技術の開発では、クラスター照射条件を高精度に制御し、磁性体を加工損傷量 3nm 以下で超平滑表面を形成できる加工条件を確立した。さらに、実特性である磁気的性質が照射後の表面酸化によって影響されることを明らかにした。複合クラスタープロセスを行い、重金属汚染のない半導体グレードの SiC 基板を試作し、SiC 表面の平坦度ならびに表面欠陥を低減した。また、実用化に向かい外部評価を検討している。高周波を使う新型のサイズ選別装置を設計し、高いサイズ選別能力を持つ装置を試作した。また、クラスターイオンのサイズ、電荷、エネルギーを測定できる手法を開発した。

イ) 無損傷ナノ加工技術の体系化では、静磁界によるクラスターサイズ分離手法により、従来の 1/20 のサイズ分布幅を持つクラスターイオンビームの発生に成功し、クラスター構成原子 1 つあたりのエネルギーが数 eV/atom 以下で照射損傷が大きく減少することを実験的に明らかにした。さらに、電荷・質量比やエネルギーの真空度依存性についても検討を開始した。

研究開発項目②「超高速・高精度ナノ加工技術の開発」についての実績は以下の通り。

ア) 超高速ナノ加工技術の開発では、種々のクラスターイオンによる加工表面状態の違いを明らかにし、照射における主要なパラメータの最適化を行った。また、ポリシリコン上に MOS ダイオードを試作し、照射条件と電気特性の関係を評価した。

イ) 高精度ナノ加工技術の開発では、フォトニック結晶の高性能化および実用化に重要である多層膜や複合材料の高精度ナノ加工について検討し、クラスター種や照射角度等の加工条件と加工パターン形状との関係を明らかにした。また、既存の微細加工プロセスとの複合プロセスの検討を行い、

クラスター特有の照射効果との相乗効果を活かしたプロセスを提案した。

ウ) 超高速・高精度ナノ加工技術の体系化では、種々の反応性ガス (SF₆、CF₄、CH₂F₂ 等) からクラスターイオンビームを生成し、スパッタ率などの加工特性を明らかにした。また、高加速照射装置を用いて最大 80keV のエネルギーのクラスターイオンビーム生成を行い、高加速エネルギー領域でのスパッタ率のデータを収集した。

平成 17 年 9 月に東京にて、第 6 回クラスターイオン・次世代量子ビームプロセス技術に関する国際ワークショップを開催した。この国際ワークショップでは、国内外研究者間の情報交換を盛んに行い、当該プロジェクトの研究開発成果の普及を図るとともに、競合技術や周辺分野の技術動向を収集した。また、平成 17 年 5 月に超微細加工技術展(日刊工業新聞社主催)、平成 18 年 2 月には nano tech 2006 国際ナノテクノロジー総合展において、当該研究の成果物を展示すると共に、研究成果を取りまとめたポスターを掲示、説明することにより、研究成果の普及に努めた。平成 17 年 9 月には、トルコで開催されたイオンビームによる表面改質国際会議 SMMIB で、基調講演等を行うと共に当該事業の成果の発表や、GCIB に関する展示ブースで各社の研究内容を紹介するなど、当該技術の普及に努めた。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「無損傷ナノ加工技術の開発」

ア) 無損傷ナノ加工技術の開発

Ar-GCIB を入射角 80° にて斜め照射することにより、平均面粗さ 0.5nm、加工損傷 0.7nm のナノ加工技術を開発した。さらに、保護膜形成などを施した実磁性膜の磁気特性について評価した結果、従来技術と比較して被加工材への磁気特性に影響がほとんどゼロとなるナノ加工ができていたことが確認された。また、最終工程に O₂ 混合ガス GCIB 照射することで、平坦度 0.3nm でかつ、6 インチ SiC ウェハ換算の GCIB 処理速度が 11.8 枚/日となる無損傷ナノ加工が達成され、実用パーティクルモニターウェハとして重要な擬似パーティクル数評価を行った。クラスターサイズ選別装置については、電極構造等の改良により選別分解能 1.52eV/atom となる小型・高性能の選別装置が完成し、実用化のための基本技術を確立した。さらに、実用化に不可欠な重金属汚染のない高度清浄プロセスに必要な要素技術として高真空機材の必要性を明らかにした。

イ) 無損傷ナノ加工技術の体系化

複合材料系に特有の組成ずれや構造欠陥に関する評価を行うとともに、実用上問題となっている表面酸化過程を実験及び計算の両面から明らかにした。また、これまでに得られた知見の集約、体系化を進め、プロセス最適化を行うために必要なデータ、指針をまとめた。

研究開発項目②「超高速・高精度ナノ加工技術の開発」

ア) 超高速ナノ加工技術の開発

多結晶シリコンを薄膜形成したウェハに、ガス種 SF₆ の GCIB をクラスターサイズ 550、入射角 87° の斜め照射することにより、加工速度 10.6 μm/分の超高速ナノ加工が可能となった。さらに、試作した多結晶シリコン薄膜トランジスタの高性能化を検証した。

イ) 高精度ナノ加工技術の開発

パターン幅 100nm 以下での高精度ナノ加工を行い、垂直表面でも平均表面粗さ 0.3nm の高精度ナノ加工が可能で、フォトリソグラフィ等の次世代光デバイスの加工に適用できることを実証した。

ウ) 超高速・高精度ナノ加工技術の体系化

高エネルギーの反応性ガスクラスターを用いて、種々の材料の加工基本特性を調べ、高真空化することにより、クラスターのエネルギーロスを低減できることを確認した。また、クラスターサイズとスパッタ速度の関係について分子動力学法で解析するとともに、2 次イオンを使った実験と比較検討を行い、新たなモデルを提案した。さらに、これまでに蓄積した加工結果や分析結果とシミュレーションによる結果を総合的に解析することにより、超高速・高精度ナノ加工技術の体系化を行った。

クラスターイオンビーム関連技術の普及を目指した会議を設置するとともに、国際シンポジウム「クラスターイオンビーム・次世代量子ビームワークショップ」を開催し、成果の発表・周知を図った。さらに、有識者により構成された技術戦略グループを組織し、本研究開発における成果の評価や関連技術との比較検討を行い研究戦略指針とする(研究戦略調査)とともに、重点分野については国内外の特許出願を推進した。さらに、国際学会「イオン注入に関する国際会議 (IIT2006)」、「加速器の応用に関する国際会議 (CAARI2006)」、「イオンビームによる材料改質に関する国際会議 (IBMM2006)」に参加し、産業ニーズや本技術に係る産業動向を調査研究した。

《7》-2 ナノレベル電子セラミックス材料低温成形・集積化技術 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「プロセス基盤技術の開発」について、プロセス基礎メカニズムの解明については、原料粉体の機械特性や表面特性を評価するためナノメートルの空間分解能でトポグラフィー像観察とナノインデンテーション測定が切替可能な基本装置の試作を完了し、微粒子を基板上で単分散する手法を確立するこ

とで、世界で初めて粒子径 0.5 μm 前後の超微粒子（原料粒子）1 個単位での圧縮破壊強度の計測に成功した。また、セラミックス薄膜を評価できる超音波力顕微鏡(UAFM)用のマイクロプローブを試作し、AD 法で形成したアルミナ膜表面の粒子結合状態の評価や PZT 厚膜の微細なドメイン構造が観察できることを確認し、上記圧縮破壊強度の計測と合わせて、原料粒子と膜特性の関連データを取得した。プロセス高度化技術の開発については、インプロセス、ポストプロセスでの各種エネルギー援用装置を用いて成膜実験を行い、膜の電気特性の改善、大面積化、微細パターンニング、平坦化処理に関する指針を得た。特に圧電材料については、従来のバルク値を得るためのプロセス温度の低温化（850 $^{\circ}\text{C}$ ）および薄膜値を得るためのエネルギー援用法による低温化（500 $^{\circ}\text{C}$ ）に成功した。また成膜メカニズムの検討結果により、アルミナコーティングに関してバルクレベルの特性（ビッカース硬度 2000Hv、体積抵抗率 1014 $\Omega \cdot \text{cm}$ ）を常温プロセスで達成するなど、平成 15 年度下期の設定目標を達成した。

研究開発項目②「応用プロセス・機能部材化技術の開発」については、各種応用部材、すなわちイ）高性能圧電機能部材、ロ）高周波機能部材、ハ）電気光学機能部材のそれぞれについて、AD 法に適した材料組成、原料粒子特性、成膜条件、ポストプロセス条件の最適化を進め、基本的な機能デバイスの 1 次試作を終了した。研究開発項目①において、圧電材料に関する研究の進捗が大きかったため、特に本プロセスによる圧電厚膜を応用した MEMS 光スキャナー（高性能圧電機能部材）の 1 次試作品については、動作速度 33kHz、ミラー振角 30 $^{\circ}$ と、現時点で世界最高性能を実現することに成功した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「プロセス基盤技術の開発」に関して以下の実績を得た。これまで得られた成膜モデルと原料粒子評価技術をもとに、原料微粒子調整技術や複合微粒子構造の影響などを検討し、さらなる成膜効率、膜特性向上につながる基本的な条件を明らかにした。また、シミュレーション技術では、種々の条件下における基板近傍でのエアロゾル流の挙動を解析し、大面積成膜装置 2 次試作に向けて、ノズルやチャンバーの最適設計のための基礎データを取得した。またアルミナ材料について約 1 $\mu\text{m}/\text{min}$ の成膜速度で 10cm 角以上の大面積成膜に成功した。プロセス高度化技術では、平成 15 年度に 2 次試作したレーザー援用装置やプラズマ援用装置などの局所加熱エネルギー援用により、金属基板上への高速成膜で強誘電体材料について、従来比で 50%以上という従来薄膜法ではなし得なかった電気特性の改善に成功した。微細パターンニングについては、最小線幅：50 μm 、積層膜厚精度で膜厚に対して $\pm 5 \sim 9\%$ 以下、表面/界面粗 (Ra) 50nm 程度を実現した。

研究開発項目②「応用プロセス・機能部材化技術の研究開発」に関しては以下の実績を得た。AD 法を用いてチタン酸バリウム系強誘電体材料を銅基板上に常温成膜し、エンデバットキャパシター構造を形成することに成功した。結晶性に優れたセラミック粒子を用い、成膜時のセラミック粒子の衝突速度を制御することで、最高 400 の誘電率層の室温成膜を実現した。これは、現行材料であるセラミックス/樹脂複合材料の誘電率の約 10 倍である。この常温形成した誘電体層を用いたコンデンサで、世界最高値の容量密度、約 300nF/cm 2 を達成することができた。この成果は様々な携帯機器の小型化、高周波化に貢献することが期待される。また、AD 法で用いる原料粉の組成制御および製造プロセスを改良することにより、102pm/V という大きな電気光学定数を持つ緻密で透明な膜を製造することに成功した。

この値は、従来の高速光変調器に用いられてきた電気光学薄膜材料であるニオブ酸リチウムの約 6 倍の値である。これにより、変調のための駆動電圧や変調素子の長さを従来の 1/6 に下げることが可能になる。現在は、更なる特性向上のため、膜の微構造と電気光学特性を遠赤外分光装置で解析中である。

以上をもって①②の両項目に関し、中間目標値をほぼ達成、中間評価で高い評価を得た。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「プロセス基盤技術の開発」の実績は以下の通り。昨年度に引き続き原料粒子単体の機械的強度測定と成膜シミュレーションによる解析を行った。これにより、成膜特性と結晶異方性に強い相関があることを明らかにし、成膜プロセス体系化への見通しを得た。AD 膜の構造を明らかにし、低温プロセスにおける電気特性改善の指針を得た。レーザー加熱式エネルギー援用法により、圧電膜の特性を従来に比べて 30%以上向上させた。微細パターンニングでは、レジストマスクを用いてほぼ目標数値のパターン線幅を実現した。さらに、大面積成膜装置の 2 次試作をほぼ完了した。

研究開発項目②「応用プロセス・機能部材化技術の開発」の実績は以下の通り。圧電応用部材開発として、圧電膜型アクチュエータや超音波デバイスなどを試作した。また、インクジェットアクチュエータのインク吐出実験に成功、液滴吐出速度 9m/s、耐久性：10 億パルス駆動確認を確認した。光スキャナーの耐久性評価を行い、1000 億回までの安定動作を確認した。圧電駆動型の磁気光学素子の開発では、構造解析シミュレーションによる最適構造を求めた。また磁気研磨による磁気光学層の表面平滑化を検討した。高周波機能部材の研究開発として、誘電率 80~400 の高周波キャパシタ膜の形成に成功、耐久性評価を開始した。高周波フィルター膜の開発では、Q 値 200 の誘電体膜を開発した。イメージングセンサ開発においては、被膜積層モデルの耐環境評価を行った。電波吸収体の開発については、従来のグラニューラ薄膜に匹敵する高いノイズ抑制効果を実現した。電気光学機能部材の開発においては、電気光学定数を昨年度より 50%向上した。また、THz 領域の新しい誘電率評価手法を実現した。超高速小型変調器の基本構成の集積化に着手、2 次デバイスの試作を製作しその動作を確認した。さらに、高周波機能デバイス開発動向の調査を行い、当該開発の技術動向、技術的知見の収集ならびに

類似代替技術の調査を行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「プロセス基盤技術の開発」では各種機能部材化のための低温成形／複合・集積化応用プロセスに共通な基盤技術を確立した。このため、以下の開発に取り組み、平成 18 年度最終目標の諸特性を達成した。(ア) プロセス基礎メカニズムの解明では、平成 17 年度に引き続き、原料粒子や各種成膜条件などプロセス素過程が成膜／成形体の微細構造や電気、機械、光学特性に及ぼす影響を解明し、適用材料に応じた最適制御手法、プロセス技術としての体系化を完了した。また (イ) プロセス高度化技術の開発では、上記メカニズム解明の結果に基づき、原料粒子の制御、エネルギー援用法等の併用により結晶サイズと欠陥制御を実現した。また、レーザー援用法、微細パターニング手法については、平成 17 年度に実用デバイスレベルで適用評価した結果に基づき改良を施し、2 次試作した大面積成膜装置に組み込み、量産レベルを考慮した成膜試験を完了した。

研究開発項目②「応用プロセス・機能部材化技術の研究開発」では、研究開発項目①を応用展開して各機能デバイスを開発、実用指標での評価を行い技術有効性を見極めを行った。このため (ア) 高性能圧電機能部材の開発、(イ) 高周波機能部材の開発、(ウ) 電気光学機能部材の開発に関して、平成 17 年度に 2 次試作したデバイスを製品レベルの装置に組み込み、デバイスレベルで温度特性、動作安定性、耐久性などの性能を評価、課題抽出を完了した。

《7》－3 3D ナノメートル評価用標準物質創成技術 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「面内方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」において、AFM (原子間力顕微鏡) とレーザー干渉計を駆使した高精度評価技術の開発としては 1 軸の干渉計を組み立て実験的に標準偏差で 0.04nm まで低減できることを実証し、XY ステージに使用する PZT の運動性能を評価した。この成果を受け、よう素安定化 He-Ne レーザーにオフセットロックした He-Ne レーザーを光源とした XY 軸差動型干渉計モジュールを設計・試作した。既存の AFM を用いて三菱電機株式会社先端技術総合研究所で試作した試料でピッチ 100nm、80nm、60nm、50nm、40nm の面内方向スケールを測定・評価した。また、産業界の最近のニーズにより、100nm ピッチ試料を試験的に供給することを目的にプロジェクトを加速して 193nm レーザーを用いたピッチ校正システムの設計試作を開始した。面内方向スケール校正用候補標準物質の開発としては、持ち回り測定用試料として、シリコン基板でピッチ 100nm と 60nm の 2 種類、深さ 100nm のサンプルを設計し、電子描画法で作製した。

研究開発項目②「深さ方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」においては、高精度積層膜構造評価技術の開発としては、積層膜の膜厚を値付けするためのトレーサブル XRR (X 線反射率測定装置) の開発を開始し、当該装置に組み込むための試料平面度モニタリングシステムおよび角度校正システムを設計し試作した。また、試料の歪みが膜厚評価の不確かさに与える影響について検討を行い、試料の形状を考慮した解析システムのプロトタイプを作成した。深さ方向スケール校正用候補標準物質の開発としては、シリコン酸化物の薄膜候補標準物質の開発においては、広い面積で均一な膜厚・膜質を有するオゾン酸化膜の作製が不可欠であることから、4 インチ～8 インチ基板に対応できる大面積酸化炉を試作・開発した。

この酸化炉を前年度開発のオゾン供給システムと接続し、オゾン供給圧力や供給配管 (ヘッド) の形状、および供給オゾンガスの排気方式、さらに試料基板の加熱温度、加熱方式など、酸化膜作製条件と得られる膜厚・膜質の関係について検討し、4 インチ相当の面積で厚さ 5.2nm、厚さのばらつき $\pm 0.3\text{nm}$ 以内の均一なオゾン酸化膜の作製を実現した。また、化合物半導体系の超格子候補標準物質を開発するために平成 14 年度評価結果を基に、層間均質性向上を目指して超格子物質の試作を行い、その構造を評価した。その結果、0.35nm 未満の層間均質性を得た。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「面内方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」において、T-AFM (Traceable Atomic Force Microscope, トレーサブル原子間力顕微鏡) を開発している。T-AFM メインユニットにレーザー干渉計ユニットを組み込み、AFM による計測装置として動作させるための AFM コントローラを設計・試作した。レーザー干渉計の光源としてオフセットロックレーザーシステムを構築したことにより、 $2 \times 10E-10$ の周波数安定性が得られ、レーザー干渉計の性能仕様に十分見合うことを確認した。また、ピッチ測定における走査速度、走査方向、ピッチの決定法などを実験的に調べた。さらに、産業界の最近のニーズを受け、当初予定には含まれていなかった光回折法を用いた 100nm ピッチ校正装置を完成させた。144nm および 100nm ピッチ試料の予備測定の結果、測定の繰り返し性が数 pm レベルであり、試験的な供給が可能であることを確認した。面内方向スケール校正用候補標準物質の開発としては、持ち回り測定用試料として 100nm ピッチと 60nm ピッチ試料を電子線描画法によって作製し、既存の差動方式レーザー干渉計搭載型測長 AFM 装置を用いて校正を行った。測定及び不確かさ評価の結果は、ピッチ値 100.03nm で拡張不確かさ ($k = 2$) 0.23nm、ピッチ値 60.02nm で拡張不確かさ ($k = 2$) 0.22nm であった。更に持ち回り測定の技術規約を設定した。また、50nm ピッチの面内方向スケールを電子線描画法で試作するとともに、最小目盛 25nm ピッチの面内方向スケールの候補として超格子構造の試料を設計・試作した。

研究開発項目②「深さ方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」において、高精度積層膜構造評価技術の開発として積層膜の膜厚を値付けするためのトレーサブル XRR(X 線反射率測定装置)の開発を行い、国家角度標準と同等の性能を有し、かつ、機構を単純化したゴニオメーターを含む、トレーサブル XRR の主要部分の開発に成功した。更に、試料の形状を考慮した解析システムの高度化を行い、実用に耐える処理速度を実現した。

深さ方向スケール校正用候補標準物質の開発においては、シリコン酸化物の薄膜候補標準物質の供給に向けた作製法・保管法に関して、オゾン流量増大による酸化膜成長の高速化、各種制御雰囲気における安定保管法の検討を開始した。また、前年度開発した大面積オゾン酸化炉を拡張する形で基板搬入室、試料搬出室、酸化膜試料保管庫とそれらを基板搬送機構で連結した大面積酸化反応制御保管装置を開発し、多数個試料作製・供給に向けたシステムを整備した。また、中間目標である構造評価用サンプルの試験的供給に向けて、ウェハー全面において膜厚の均質性が 1/2 分子層未満の GaAs/AlAs 超格子物質の作製に成功した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「面内方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」において、面内方向スケールを評価するための高精度計測・校正装置、トレーサブル AFM (Traceable Atomic Force Microscope, T-AFM) の開発を行っている。試作した AFM コントローラの制御プログラムを開発し、3 次元プローブスキャナ、測長用 3 軸レーザ干渉計、原子間力検出ユニットが連携して動作するためのインターフェースを開発し、動作確認を行った。また、二次元グレーティングの国際比較への参加を通して、ファイブピッチ測定における不確かさを低減できるピッチ解析法を検討した。さらに、波長 193 nm の深紫外レーザによる光回折式ピッチ校正装置において、屈折率データベースのない 193 nm 波長を直接校正する波長校正装置を製作し、動作確認を行うと共にシステムの自動化を行った。製品ベースの 100 nm ピッチ試料を、長さ標準へのトレーサビリティを確保しながら校正できることを確認し、測定の不確かさ評価を進めた。本システムにより 100nm ピッチまでの実用的な供給が可能であることを確認した。面内方向スケール校正用候補標準物質の開発としては、電子線描画法によって作製された面内方向スケール(100, 60nm ピッチ)を用いて国内持ち回り測定を行った。技術規約書が参加機関により承認され測定が開始された。平成 18 年 1 月末現在で測定は残り 1 機関のみである。面内方向スケールの認証標準物質頒布に先立ち校正サービス(依頼試験)の範囲を最小 200nm ピッチから 50nm ピッチに拡大する要件を満たすため、面内方向スケール(100, 50nm ピッチ)の二国間比較を行った。幹事は産総研、参加機関は独国物理工学研究所(PTB)である。技術規約書が国際度量衡局(BIPM)初め関係機関に承認され、平成 18 年 1 月より比較測定を開始した。GaAs/InGaP 超格子構造を有した面内方向スケール(25nm ピッチ)のピッチ測定を行った。平均ピッチが 25.24nm、拡張不確かさ($k = 2$)が 0.29nm であった。測定の結果を受け、スケール配置を最適化した GaAs/InGaP 超格子のほかに Si/SiO₂ 超格子を利用した面内方向スケール(25nm ピッチ)の設計・試作を行った。

研究開発項目②「深さ方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」において、高精度積層膜構造評価技術の開発として、積層膜の膜厚を値付けするためのトレーサブル XRR(X 線反射率測定装置)の角度走査の不確かさについて検証し、1 秒以下の不確かさで校正可能であることを確認した。また、アバランシェ効果を利用した反射 X 線強度検出システムを付加し、減衰機構を利用しない広ダイナミック測定を可能とするとともに測定中における候補標準物質のパーティクル等による汚染を防ぐための環境整備を行った。シリコン系極薄酸化膜の膜厚評価に対してアジアパシフィック地域における国際比較を主導した。更に VAMAS の枠組みにおける、XRR を用いた膜厚評価の国際比較に GaAs/AlAs 超格子候補標準物質が採用された。深さ方向スケール校正用候補標準物質の開発においては、シリコン酸化物の薄膜候補標準物質の供給に向けた作製法・保管法に関して、酸化膜成長の高速化のために毎分 1 リットル供給の世界最大級のオゾン流量増大装置を開発した。各種制御雰囲気における安定保管法の検討を行い液中保管による試料の長期安定保管・清浄輸送方法を開発した。また試料が汚染された場合の試料表面清浄化方法について加熱法・オゾン処理法・オゾン水洗浄法等の検討比較を開始した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「面内方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」

(1) 原子間力顕微鏡とレーザー干渉計を駆使した高精度評価技術の開発

面内方向スケールに対して長さ標準にトレーサブルな校正を行うためのトレーサブル AFM の試作と高精度化を行い、日本品質保証機構(JQA)に対して技術移管を行い、JQA では平成 18 年 7 月より、レーザー回折計を用いて、計量法登録事業者精度(JCSS)による面内方向スケール校正サービスを開始した。

(2) 面内方向スケール校正用候補標準物質の開発

面内方向スケールの整合性を確認するため複数の測定器による検証および、二国間での測定値比較を行ったところ極めて良い一致が見られた。さらに、より高精細な面内方向スケール製造技術の開発を行い目標レベルに至った。

研究開発項目②「深さ方向スケール校正用標準物質創成技術の研究開発」

(1) X 線、電子線などのビーム技術を駆使した高精度積層膜構造評価技術の高度化について検討し、トレーサブル X 線反射率測定装置(XRR)を中核とした膜厚の値付け方法を確立した。また、化合物半導体系標準物質として GaAs 系材料、シリコン半導体系標準物質として Si 系極薄膜の候補標

準物質を生産し構造評価を実施した。さらに構造評価方法の不確かさの評価では、目標とする不確かさ1分子層厚以下の標準物質の開発を実現した。

国際シンポジウム SMAM2 は産総研の主催、新エネルギー・産業技術総合開発機構の共催により、2件の基調講演と16件の招待講演、64件のポスター発表が行われ、アメリカ、ヨーロッパ、アジア13カ国から246名の参加を得て、5月25日～26日の2日間活発な意見交換が行われた。

《7》－4 機能性カプセル活用フルカラーリライタブルペーパープロジェクト【F21】[平成14年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「カプセル成形技術」については、粒径は、十分な反射濃度を得るため、上限値を当初の目標値(50 μm)より大きい100 μm にする必要があることが判明した。カプセル壁厚はカプセル粒径の5%を想定しており、上限値を5 μm とした。カプセル粒径および粒径分布の制御については、転相乳化+アクリルポリマー/架橋材によるカプセル壁形成方法などの粒径制御、粒径の単分散化、およびカプセル壁厚の制御に見通しをつけた。また微小硬度計によるカプセル壁の力学特性評価から、モノマーの種類によりカプセル壁の強度制御が可能であることを明らかにした。コロイドスコープ AFM(原子間力顕微鏡)により、TiO₂粒子同士、TiO₂粒子/カプセル壁間の斥力、引力を直接測定する事を可能にした。カプセル技術の体系化については、ナノ機能粒子の内包を前提とする各種カプセル形成方法について、その形成機構を解明する事に目標を変更し、各種方法について、カプセル壁の形成に影響を与える主要な制御因子を抽出した。

研究開発項目②「ナノ機能粒子表面物性制御技術」は白色度の検討から、粒径を、当初の目標値(200nm)より更に大きい1,000nmを目標値とした。また表示素子として高速応答性の期待できる粉流体については、0.5 μm ～5 μm とする目標とした。粒子の作成については、粒径の制御因子等を明らかにし、必要な粒子の作成を可能にした。粒子の帯電については、酸・塩基ポリマーを利用する酸塩基解離法、荷電を有するポリマーで粒子を被覆する方法、トナーの帯電調整剤と粒子とを複合化する方法等により帯電の符号(正/負)、帯電量を制御する見通しを得た。

粒子の分散安定化のためには、シリカ粒子に疎水基を導入する、粒子を樹脂で被覆する、カップリング剤により粒子の表面処理を行う、粒子表面に分散剤を吸着させる等の検討を行い、Isopar(市販の炭化水素系溶媒)などの非極性溶剤中に、粒子を分散させる事を可能にした。さらに高速応答性の表示素子に用いる粉流体を目指し、乳化重合によるポリマー粒子、顔料(黒:カーボン、白:酸化チタン)、およびシリカ微粒子から成る複合粒子について、最適な粒径(白:0.3 μm 程度等)作成、帯電特性を制御する事を可能にした。

研究開発項目③「ナノ機能性粒子のカプセル成形技術を用いた画像表示材料の開発と機能評価技術」においては、1粒子系の電気泳動型モデル表示素子について、印加電圧による反射率、泳動電流を測定し、粒子の泳動特性を決める粒子(電位、粒径、被覆ポリマー種)、溶剤(粘度、誘電率)、表示素子構造(セルギャップ、電極表面の樹脂被覆)等の要因解析を行った。粒子(ミクロンサイズ)が泳動している様子を観察する装置、泳動電流により粒子の移動度を求める装置も開発した。エレクトロクロミック型表示素子に必要な、赤、青、黄に発色する材料を見出した。カプセル配列については、モデル粒子を用いて電着法、印刷法を検討し、熱収縮フィルムを用いる印刷法で、単層かつ充填率92%を達成した。なお熱転写法については、レーザー描画装置を導入し、モデル粒子での検討をスタートした。電極については、ディスペンサー+三軸ロボットにより、ガラス基板上に線幅50 μm 以下パターンを描くことに成功した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「カプセル成形技術」

カプセル粒径および粒径分布の制御については、各種手法により電気泳動粒子を内包させたカプセルについて、粒径制御、粒径の単分散化、およびカプセル壁厚制御の検討を行い、見通しをつけた。さらにラジカル重合法を適用する事で、粉粒体を内包する中空カプセル作成の見通しをつけた。カプセル壁厚測定については、二波長レーザーによる光散乱測定装置を開発し、モデル系で散乱理論との一致を確認し、非破壊での測定に見通しを得ているが、さらにクライオミクロトム/SEM、レーザー顕微鏡による断面観察によるカプセル壁厚測定を可能にした。コロイドスコープ AFM(原子間力顕微鏡)により、高分子分散剤、カップリング剤等で表面処理した粒子に関して、粒子同士、粒子/カプセル壁間の斥力、引力を直接測定し、表面処理により、粒子間相互作用、あるいは分散安定性等が制御可能であることを明らかにした。カプセル技術の体系化については、相分離法、溶媒抽出法、界面重合法、コアセルベーション法、in-situ 重合法、界面反応法による無機(シリカ)カプセル等の各種カプセル形成方法について、ナノ機能粒子を内包するカプセルの形成機構を解明する事を目標に検討を行い、内包の可否、および内包の条件等を明確にした。

研究開発項目②「ナノ機能粒子表面物性制御技術」

先行技術に対し、当プロジェクトの電気泳動方式のリライタブルペーパーが、性能/特許面で優位性を発揮するため、非泳動性浮遊白色粒子/泳動性着色(黒色)粒子から成る「白色微粒子分散型1粒子移動方式」を提案し、平成16年度に特許出願した。粒子の作成については、分散(沈殿)重合法に

よる酸化チタン、カーボンブラック・ポリマー複合粒子、O/O乳化物の液中乾燥法による染料・ポリマー複合粒子、アルコキシシランなどの珪素化合物を利用するシリカ複合粒子等の検討を行ない、粒径の制御因子等を明らかにし、白、黒以外の三原色の粒子が作成できるようになって来た。粒子の帯電については、酸・塩基ポリマーを利用する酸塩基解離法、荷電を有するポリマー/界面活性剤を粒子表面に物理吸着させる方法、荷電を有するポリマー/界面活性剤と染料とを複合化する方法、トナーの帯電調整剤と粒子とを複合化する方法 等により帯電の符号(正/負)、帯電量を制御する見通しを得た。粒子の分散安定化のためには、シリカ粒子に疎水基を導入する、粒子を樹脂で被覆する、カップリング剤により粒子の表面処理を行う、粒子表面に分散剤を吸着させる等の検討を行い、Isopar などの非極性溶剤中に、粒子を分散させる事を可能にした。これらの電気泳動粒子については、分散物として「くし型電極セル」に注入し、顕微鏡下で泳動特性を観察すると共に、白粒子については着色媒体を用いる1粒子系、黒粒子については標準白粒子を用いる2粒子系の分散物として、「電気泳動セル」に注入して電気泳動特性を評価し、問題点を明らかにして改良の方針を得た。また両親媒性マクロモノマーを用いる、非極性溶媒中での分散重合により、数百 nm に粒径制御された良好な分散安定性を示すポリビニルナフタレン分散物を作成し、「白色微粒子分散型1粒子移動方式」の電気泳動表示素子が可能であることを実証した。さらに高速応答性の表示素子に用いる粉流体を目指し、乳化重合によるポリマー粒子、顔料(黒:カーボン、白:酸化チタン)、およびシリカ微粒子から成る複合粒子を湿式で作成し、粒径、帯電特性を制御する事を可能にすると共に、乾式粒子複合装置を導入して、乾式でも作成することを可能とした。なお作成した粒子を分散物とするための分散装置、粒子表面観察のための表面形状測定装置、粉流体の流動性、電気特性を測定する装置等を導入した。

研究開発項目③「ナノ機能性粒子のカプセル成形技術を用いた画像表示材料の開発と機能評価技術」

2 粒子系の電気泳動方式表示素子について、印加電圧による反射率、泳動電流を測定し、粒子の泳動特性を決める粒子(電位、粒径、被覆ポリマー種)、溶剤(粘度、誘電率)、表示素子構造(セルギャップ、電極表面の樹脂被覆)等の要因解析を行い、最終的に提案している1粒子移動方式を実現させた。また、黒粒子のみならず、三原色の粒子により電気泳動特性を確認し、最終年度のフルカラー表示への見通しをつけた。なおこの測定を行うために、セルギャップ、電極面積等の精度の高い評価用表示セルを作成する設備、印加電圧による表示素子の反射率/泳動電流を同期させて測定する評価装置を開発した。さらに表示セル内で実際に粒子(ミクロンサイズ)が泳動している様子を観察する装置、泳動電流により粒子の移動度を求める装置も開発し、更に実際の系に近い濃厚系での電位測定を可能にした。エレクトロクロミック型表示素子について、赤、青、黄の発色材料を含むセルを三層に重ねた単純マトリクス方式の重層表示素子を作成し、この方式でフルカラーが実現しうることを実証した。なおクロストークを避ける方法として、これらのエレクトロクロミック材料を、カプセルゲルに閉じ込め、発色させる事に成功した。カプセル配列については、配列素材をモデル粒子からカプセル粒子に進化させ、アプリケーションによる塗布法、電着法、版を用いる印刷法を検討し、いずれも単層かつ最密充填に近いカプセルの配列に成功した。なお熱転写法については、レーザー描画装置を導入し、モデル粒子、カプセルでの検討をスタートした。電極材料については、ディスペンサー+三軸ロボットにより、ガラス基板上に線幅 50 μm 以下パターンを描くことに成功し、素子の電極間の界面抵抗を低減させるための“Surfactant”層用に有効な材料を見出した。アクティブ素子については、微小粒子と基板の相互作用を制御することで Colloidal Lithography による有機 SIT の作成に成功し、現在動作特性の解析、問題点の抽出を行った。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

プロジェクトの最終年度に当り、研究開発項目「カプセル成形技術」、「ナノ機能粒子表面物性制御技術」に関する個々の最終目標を達成した。

研究開発項目①「カプセル成形技術」

転相乳化法、IJ 法、MC 法、および SPG 膜乳化法により単分散エマルジョンを調整し、界面重合法、相分離法等の手法によりカプセル化する事で、最終目標の特性を有するカプセルの作成に成功した。これに従い4種類(三原色+黒)のカプセルを作成してカラー表示を行い、カラーフィルターを用いる電気泳動方式、あるいは偏光板を用いる反射型液晶では原理的に難しい 50%以上の白反射率と明るいカラー表示を実現した。またフレキシブル化を実現した事で、フルカラーリライタブルペーパー実用化の展望を開いた。

研究開発項目②「ナノ機能粒子表面物性制御技術」

分散重合、逆相乳化/液中乾燥法等により顔料/高分子複合粒子を合成し、酸塩基解離、あるいは界面活性剤の吸着によって粒子の帯電を制御する事で、最終目標の電気泳動性カラー粒子の開発に成功した。また分散重合、ストーパー法により、最終目標の非泳動性白粒子の開発にも成功した。これらの粒子表面はポリマーで被覆されている事から、粒子/粒子、粒子/カプセル壁間の相互作用が小さく、予想通りカプセル壁に取込まれる事なく内包する事が可能であった。さらに中空カプセルに内包可能な白/黒の粉流体を作成し表示性能を確認する事で、画素を分ける隔壁不要の気中移動方式の可能性を開いた。

《8》 ナノテク実用化開発

《8》－1 高効率UV発光素子用半導体開発プロジェクト【F21】【課題助成】[平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、当該プロジェクトの公募手続きについては、平成16年3月19日に公募を開始、平成16年4月19日に公募を締め切り、平成16年6月2日に選定結果の通知を行った。

以下の実用化開発を支援した。

研究開発項目①「AlN単結晶基板製造技術の確立」において、

- (1) HVPE法単結晶開発
 - ・HVPE反応制御装置を設計・導入し、成長実験を開始した。
 - ・GaN基板上にAlGaIn層30 μ m厚の成長を行い、X線回折、PL評価で組成と単結晶成長を確認した。
- (2) 溶液成長法単結晶開発
 - ・小型高周波炉で1cm角6H-SiC基板上に最大で30 μ m厚のAlN単結晶膜を成長した。
 - ・冷却のつばを用いた基礎試験で、1cm角6H-SiC基板上にAlNのエピ成長を確認した。
- (3) 昇華法単結晶開発
 - ・昇華炉設備導入：大型炉導入(12月)、要素実験用小型炉を導入した(1月)。
 - ・基礎実験：SiC基板上へAlNを成長し、X線回折で単結晶を確認した。サイズは10mm角200 μ mまで成長。成長速度は \sim 600 μ m/hrまで可能であることを確認した。
- (4) フラックス法単結晶開発
 - ・育成条件の最適化により、1cm角の低欠陥GaN結晶を育成した。大型化技術試験装置を設計・導入した。
 - ・AlN育成用フラックスを探索してCa-Sn系、Mg-Sn系フラックスを見だし、テンプレート上へのAlNエピ成長を確認した。
- (5) CMP基板研磨
 - ・AlNエピ基板研磨精度 $Ra \leq 0.1$ nmを達成した。
 - ・研磨表面物性：エピ成長して問題なし。酸化防止効果の確認法を確立した。
- (6) プラズマCVM研磨
 - ・アルミナ被覆回転電極を使用した大気圧塩素プラズマによるGaN基板の加工を確認した。
 - ・加工後の基板表面の組成分析から基板表面への反応生成物付着を防止できることを確認した。また、X線回折で表面歪み層の除去が示された。

研究開発項目②「AlN系深紫外レーザダイオードの開発」において、

- (7) エピタキシャル・LD試作評価
 - ・既存炉での実験を通してAlN成長用の新規MOCVD装置の仕様を決定、平成17年1月に完成した。ただし、高温成長に対応するため、導入後も装置の一部を改造する予定。
 - ・既存炉によるデバイス構造エピ成膜と素子化により、平成16年度目標として世界最短波長となる発振波長345nm以下のLDを試作した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「AlN単結晶基板製造技術の確立」において、

- (1) HVPE法単結晶開発
 - ・Alソースの反応を制御し、基板表面へのAl輸送方法を確立した。
 - ・AlGaIn結晶の成長を確認した。成長結晶の結晶学的、光学的評価を実施した。
 - ・上期末までに中間的なサンプルを基板研磨チームに提供した。
- (2) 溶液成長法単結晶開発
 - ・溶液成長によるAlN単結晶のエピ成長を確認した。結晶育成炉を導入し、Alエピタキシャル成長を確認した。
 - ・成長結晶の結晶学的評価を実施した。
- (3) 昇華法単結晶開発
 - ・設備立ち上げを完了し、基礎データ・課題を抽出した。
- (4) フラックス法単結晶開発
 - ・GaN結晶を利用した大口径化の研究を進めるとともに、AlN育成のための新規フラックスを発見し平成17年度目標サイズを達成した。核発生制御検討用小型実験装置を設計・製作し、AlN結晶成長機構の検討を開始した。
 - ・上期末までに中間的なサンプルを基板研磨チームに提供した。
- (5) CMP基板研磨
 - ・エピ成長しても問題のない表面物性を確認。酸化防止の1次試験を完了した。
 - ・プラズマCVM研磨チームにサンプルを提供した。
- (6) プラズマCVM研磨
 - ・GaNにおいてエッチピットの発生を抑制する条件を確立、表層をナノオーダーで除去するプロセスを実現した。

- ・ AlN エピ基板および AlN バルク基板に対してプラズマ加工を実現した。

研究開発項目②「AlN 系深紫外レーザーダイオードの開発」において、

(7) エピタキシャル・LD 試作評価

- ・ 平成 16 年度導入の新 MOCVD 装置を超高温成長用に改造した。既設装置で代替基板上的の高品質結晶成長を実現し、新 MOCVD 装置にて結果をトレースした。
- ・ 新 MOCVD 装置で発信波長 335nm LD の試作を達成した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「AlN 単結晶基板製造技術の確立」

(1) HVPE 法単結晶開発

HVPE 法による大口径化試験および低転位化試験においては、平成 18 年度の目標達成の目途が得られるとともに、テンプレートでの AlGaIn 基板提供を行った。

(2) 液成長法単結晶開発

結晶育成条件の最適化を図り、大口径化試験ならびに低転位化試験においては、平成 18 年度の目標達成の目途が得られ、テンプレートおよび自立基板での AlN 基板提供を行った。

(3) 昇華法単結晶開発

成長条件の最適化を進め大口径化試験ならびに低転位化試験において平成 18 年度の目標が達成され、AlN 自立基板の提供を行った。

(4) フラックス法単結晶開発

育成条件の最適化を図り、大口径化試験では平成 18 年度の目標達成の目途が得られたが、大口径化での低転位化試験においては課題を残した。

(5) CMP 基板研磨

基板チームより提供された AlGaIn および AlN 基板材料を用いた CMP 基板研磨試験において、GaIn 研磨の成果を活用し平成 18 年度の目標を達成し、エピチームへ研磨基板の提供を行った。

(6) プラズマ CVM 研磨

先行評価による GaN の CVM 研磨では面精度の向上の効果を確認したが、AlN に対する効果については成果を得ていない。

研究開発項目②「AlN 系深紫外レーザーダイオードの開発」

(1) エピタキシャル・LD 試作評価

高品質なエピタキシャル成長試験を目的として成長装置の改造に取り組み、エピタキシャル成長試験を行うと共に発光素子の試作を行い紫外発光を確認した。

《8》－2 ダイヤモンド極限機能プロジェクト【F21】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「伝導制御技術の確立」

(1) ナノドーピング技術の開発

- (i) ホウ素ドーピングによる p 形半導体の開発において、室温のキャリア濃度（ホール濃度）が $10^{15}/\text{cm}^3$ と高く、移動度が $1,000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ である良好な半導体の成膜が可能となった。
- (ii) リンドープによる n 形半導体の開発において、欠陥や不純物の混入を低減させることにより、移動度が $650\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ を示す良質な半導体膜の成膜が可能となった。
- (iii) 新しいガス原料（テルチアリ・ブチル・ホスフィン）を用いて、良好な n 型半導体特性を示す成膜技術が開発できた。

(2) ナノ表面界面制御技術の開発

酸素終端表面と金属との良好な界面制御技術を開発した。全光分光法によってダイヤモンドからの電子放出特性を計測し、NEA（負電子親和力）による電子放出特性を確認した。

研究開発項目②ダイヤモンドデバイスの開発と試作評価

(1) 放電陰極：

- (i) 放電電圧の最大の決定要因であるイオンによる二次電子放出効率 γ をオープンセルによる放電特性測定から推定する技術を確認し、アンドープ多結晶ダイヤモンド膜が、従来の金属陰極材料に比べ桁以上高い γ を示すことを実証した。①－(2) との連携により、上記ダイヤモンド膜が単結晶と同様に負性電子親和力特性を示すこと、さらに電子照射による二次電子放出効率 δ も単結晶並みに高いことを明らかにした。これらにより、アンドープ多結晶膜の表面は放電陰極として必要な性能を具備していることを明らかにした。
- (ii) さらに、①－(1) との連携により、単結晶でのショットキーバリアダイオード（SBD）試作・評価による伝導制御技術評価を行った。その結果、放電陰極として必要な伝導度付与のため行う B あるいは P のドーピングは、そのほとんどがダイヤモンドの結晶格子に入り、結晶性を損ねることは少ないことが示された。

以上を総合し、次年度以降に向けた放電陰極開発の指針が得られた。さらに初年度設備としてイオン照射により直接的に γ を評価する放電陰極評価設備の導入を完了し、電極上多結晶ダイヤ

モンド膜の形成を行うための放電陰極形勢設備（CVD）の導入・稼動を完了し、多結晶膜の形成を確認した。

(2) ナノスケール用加工電子源：

(i) ダイヤモンドを尖鋭な同一形状に加工する際に高さばらつきを 10%以内とする技術を開発した。

(ii) 36 個のダイヤモンド電子源の先端に電流を分割供給する電極の試作に成功、引出し電極付きの配列されたダイヤモンド電子源から $12\text{mA}/\text{mm}^2$ の電子放出密度を実測した。

(3) 高周波トランジスタ：

(i) pip デバイス作製に必要な、大面積で均一な p 型ドーピング技術の開発に必要な装置仕様を検討し、発注した。装置納入までの期間、既存装置により電気抵抗抵抗率を $6.8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ に低減する条件を把握した。

(ii) 選択成長による短チャンネル形成技術を開発し、チャンネル長 50nm を達成し、最終目標を大幅に上回る高周波トランジスタ実現の可能性を示した。本技術はヘテロエピタキシャルダイヤモンドを基材とした pip デバイス作製プロセスに使用可能である。

(iii) 高周波デバイスに関する検討を行なった結果、ゲート絶縁膜の絶縁破壊電圧の向上が最も重要な課題と結論し、蒸着成膜・後処理方法を改良し、絶縁破壊電界を従来の $1.2 \times 10^6 \text{V}/\text{cm}$ から $3 \times 10^6 \text{V}/\text{cm}$ 以上に向上させた。さらに、 $0.2 \mu\text{m}$ のゲート作製プロセスの開発を行い、電子ビームリソグラフィおよびエッチング技術による T 形ゲート電極構造作製技術を開発することにより、ゲート幅の狭隘化が可能となり、23GHz の高周波トランジスタを作製した。またダイヤモンド電界効果トランジスタで最高の相互コンダクタンス ($165\text{mS}/\text{mm}$) を達成した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「伝導制御技術の確立」においては、

p 形半導体の開発において、室温のキャリア濃度が $10^{12} \sim 10^{15}/\text{cm}^3$ の広い範囲で、 $1000\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ の移動度を示す半導体の成膜を可能とした。また $10^{17}/\text{cm}^3$ のキャリア濃度で、 $2\Omega \text{cm}$ の低抵抗化に成功した。またフォスフィンを用いて高濃度な n 形半導体を成膜し、比抵抗の低減 ($1.3 \times 10^4 \Omega \text{cm}$) に成功した。Ti/Pt/Au の MESA 構造を用い低抵抗 ($1.3 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$) な p 形半導体のオーミック接触の開発に成功した。

1) ナノドーピング技術の開発

結晶欠陥や不純物の低減により、室温移動度が $660\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ を示す良質な半導体成膜が可能となった。また電荷キャリア測定法により、単結晶 CVD 膜のドリフト速度、移動度、平均自由行程等が測定可能となった。

2) ナノ表面界面制御技術の開発

Ir 上の選択ヘテロエピタキシャル成長技術を開発し、ピラミッド型のダイヤモンド粒子を規則的に成長させることに成功した。また SES 解析法により表面伝導層の電子状態と NEA の確認及びフェルミ準位の確認に成功し、伝導層及び電子放出機構の解析が大きく前進した。

研究開発項目②「ダイヤモンドデバイスの開発と試作評価」においては、

1) 放電灯陰極：現行 Ni 電極の 140 V に対し、90V での放電が可能となり、最終目標を達成するとともにオープンセルでの評価試験を開始した。

2) ナノスケール用加工電子源：微細加工技術とデバイス化技術の進展により、50nm 以下の先端半径と 10%以内の高さ均一性を達成した。n 形ダイヤモンドやエミッタ構造形成設備等の活用により、最大 $190\text{mA}/\text{mm}^2$ までの電子放出に成功した。研究加速財源によりナノエミッタ位置制御装置を導入して、実装技術の開発に着手した。

3) 高周波トランジスタ

成膜条件最適化により、p 形層の低抵抗化 ($6.8 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}$) を可能とし、また Al₂O₃ をゲート絶縁膜に用いることで、 $3.6 \times 10^6 \text{V}/\text{cm}$ の高耐電界を得た。更にデバイス構造の改良やプロセス技術の開発が進展した。またゲート絶縁膜の改良、イオン照射による低抵抗化及びゲート幅狭隘化により、最大動作周波数 36GHz の MISFET の作製に成功した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「伝導制御技術の確立」：基本計画に示した目標値は全て達成済。

i) p 形半導体（ホウ素ドーパ）の開発において、室温で $0.1\Omega \text{cm}$ の低抵抗化に成功し、さらにキャリア濃度が $1\text{E}15/\text{cm}^3$ で、 $1350\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ と極めて高い移動度を示す良好な半導体の成膜が可能となった。

ii) 従来不可能であった (001) 面へのリンドーピングが可能になり、 $1\text{E}18/\text{cm}^3$ の濃度で、n 形半導体の $500\Omega \text{cm}$ の低抵抗化に成功した。

iii) n 形半導体の (100) 面上に、Ti/Pt/Au (600°C) の MESA 構造を作成し、従来にない低抵抗 ($6.6 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$) な p 形半導体のオーミック接触の開発に成功した。さらに、高い電流密度を有し低い ON 抵抗である、実用に適した高性能ショットキーダイオードの試作に成功した。

iv) 全光電子放出率分光法を確立し、水素化ダイヤモンド表面の負性電子親和力を確認し、電子親和力の変化を各種表面処理状態と対応づけた。

研究開発項目②ダイヤモンドデバイスの開発と試作評価：基本計画に示した目標値は全て達成済。

- 1) 放電灯陰極： ダイヤモンド成膜条件と放電ガス組成の最適化により、オープンセル放電では陰極損失(陰極降下電圧)を、現状陰極材料(ニッケル 140V)に対して最大 60%以上低減(50V)することに成功した。さらに、三次元形状陰極基材へのダイヤモンド膜形成及びドーピング制御技術を開発し、ガラス封入管によるダイヤモンド放電灯を試作して、信頼性試験や実用化に向けた開発を開始した。
- 2) ナノスケール用加工電子源： ダイヤモンドのナノ加工技術や電極形成技術を開発し、224mA/m²という高電流値の電子放出(従来材料:LaB6 の数十倍)に成功し、高速ナノ描画用の高電流密度電子源を実現した。また、微小エネルギー分散による高収束性を活かし、低温大電流電子源として、国内の電子描画装置メーカーと評価を開始。さらに均一高精度な加工技術を開発し、ビーム輝度の向上および信頼性の確認により製品化を目指す。
- 3) 高周波トランジスタ： Al₂O₃ を絶縁ゲート膜に用いることにより、3.0×10⁶ V/cm の高耐電界が得られ、成膜条件の最適化により、p 形ダイヤモンド層の低抵抗化(5×10⁻³Ωcm)が可能になり、高周波トランジスタの要素技術を確立した。さらにヘテロエピ膜上に、pip 電界効果トランジスタを試作し、特性評価を開始した。また、ダイヤモンド高周波トランジスタでは、世界最高の遮断周波数(ft)30GHz と世界最大発振周波数(f_{max})50GHz を有する MISFET の開発に成功した。さらに、1GHz で出力電力密度 2.14W/mm の高出力を確認し、Si LDMOS, GaAs MESFET の最大電力密度を凌駕した。

《8》－3 カーボンナノチューブ FED プロジェクト【F 2 1】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 3 > 環境分野 ①温暖化対策技術 地球温暖化防止新技術プログラム 《8》参照]

《8》－4 デバイス用高機能化ナノガラスプロジェクト【F 2 1】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度には、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高密度 DVD 用集光機能ナノガラス薄膜の開発」

- (1) ナノガラス薄膜の基本組成・構造の検討：光ディスクに適用可能な新規ナノガラス組成検討を行い、これまで検討を行ってきたコバルト酸化物(Co₃O₄)を上回る透過率変化を有する鉄酸化物(Fe₂O₃)材料を見出した。奈良先端大と共同で測定光学系の最適化を行い、Z-scan 法による非線形性測定、波長最適化などを行った。また東北大学と共同で計算機シミュレーションにより、Co₃O₄ 薄膜の軌道計算、電子遷移状態、加熱によるバンド構造変化などを明らかにした。
- (2) 高速大容量化技術の検討：スパッタリング時の面内ばらつきを改善するため、既設の「ナノ構造制御成膜装置」に「光ディスク均一成膜設備」を新規に導入し、φ120mm の膜厚の面内ばらつきを導入前の 22.2%から 5.8%と大幅に改善した。また研究のスピードアップと高効率化をさらに図るために、「光ディスク評価装置」を導入して、既存の Blu-ray Disc の評価を行い、装置性能の確認、並びに光ディスク評価手法の最適化を検討した。

研究開発項目②「光導波ナノガラスデバイス用ガラスの開発」

- (1) ガラス膜材料および膜形成方法の検討・開発：プラズマ CVD 法により、Δ2.0～4.0%の SiO₂-GeO₂ コア用ガラス膜を形成し、膜状態の損失を評価した結果、ドーパント濃度によって大きな変化が見られないことを確認した。また、RF スパッタリング法およびプラズマ CVD 法においては、濃度とパーティクル発生数との間に相関が無いことを確認した。
また、偏光依存性損失への膜応力に起因した歪の影響を明らかにするため、「ガラス歪測定装置」について仕様を検討した。さらに、水酸基(OH 基)混入の起源を解明するため、「OH 基吸収測定用分光装置」を導入し、基板および膜中 OH 基濃度を検出できる見通しを得た。
- (2) 光回路形成技術の検討・開発：長尺導波路(Δ2.5%、67cm)を試作して、コア側面荒れの相違による損失特性および OH 基吸収損失の評価を実施し、現状の光回路形成方法における損失に与える荒れと OH 基の影響を確認した(全損失 0.07～0.09dB/cm、荒れによる影響 0.01～0.02dB/cm、OH 基吸収損失 0.08dB/cm)。また、成膜プロセスで生じる応力歪が偏光依存性損失に与える影響を調べるため、微小領域の複屈折を定量評価できる技術を開発した。

研究開発項目③「高波長分散ナノガラスデバイス用ガラスの開発」

- (1) ガラス膜材料作製技術：多層膜の構成材料として Ta₂O₅、SiO₂ をイオンプレーティング蒸着法で成膜することにした。材料ごとに単層膜を成膜し、分光エリプソメトリーにより複素屈折率を評価し、またフィゾー干渉計を用いて、各材料を成膜したガラス基板の面精度を測定した。また平坦性や内部応力を評価し、本デバイス用ガラス膜形成に問題ないことを確認した。
- (2) 微細加工技術：深溝回折格子加工用に誘導プラズマ方式の反応性イオンエッチング装置を選択し立上げた。
- (3) 評価技術：収束イオンビーム加工装置による Ta₂O₅、SiO₂ 多層膜の加工条件を確立し、電子顕微鏡による各ガラス膜材料の膜厚の精密評価を可能にした。また、前記ガラス膜材料を形成した

10~30mm 角のガラス表面に対して、平坦性を評価できる測定条件を確立した。

- (4) 高波長分散光学素子の試作・評価：本デバイスの構成要素の動作解析として、厳密解に近い電磁波解析が可能な RCWA (厳密結合波解析) 法を選択、これを用いたシミュレータを導入し立上げた。各構成要素の材料屈折率、厚さなどのばらつきも考慮し概略設計、公差計算を行い、原理確認および設計検証を行うためのサンプル設計を完了、試作を開始した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高密度 DVD 用集光機能ナノガラス薄膜の開発」

(1) ナノガラス薄膜の基本組成・構造の検討

ナノガラス組成、構造を開発すると共に、フォトニッククリスタル構造を有する多層薄膜構造を最適化した。また、平成 15 年度に見いだした材料を基に光ディスク構造によるナノガラス組成、構造の最適化検討を行い、応答速度 5ns 以下で屈折率変化 20%以上を達成した。

(2) 高速大容量化技術の検討

集光機能性ナノガラス薄膜搭載光ディスク評価の加速のため、光ディスク評価に関して高い技術を有する(株)日立製作所研究開発本部ストレージテクノロジーセンターを研究実施場所として追加し、同開発本部と密接にコンタクトしながら評価を進めた。大容量光ディスクパッシベーションシート形成条件の最適化を行い、Blu-ray Disc 仕様の光ディスクが作製可能になった。これを用いて光ディスクを作製し、最小記録ピット長 60nm、回転線速度 10m/s の可能性検討を行った。また、書換型ナノガラス光ディスク用レーザーアニール装置を導入し、レーザーアニールによる特性向上検討を開始した。

(3) 高信頼化・低消費電力化技術の検討

上記の新規材料開発、フォトニッククリスタル構造化、低反応性保護膜の検討などにより、低消費電力化の検討を行い、再生パワー1.5mW 以下での非線形性を確認できた。また、記録パワー4mW で書き込み可能な記録膜上にナノガラス薄膜を形成して特性を評価し、屈折率変化が 20%以上であることを確認した。さらに共同実施先の東北大学未来科学技術共同研究センターと共同で、シミュレーションによる高信頼化の検討を行い、ポリカーボネートの含水率、乾燥プロセス最適化、反応性低減に関する指針を得た。

研究開発項目②「光導波ナノガラスデバイス用ガラスの開発」

(1) ガラス膜材料および膜形成方法の検討・開発

ガラス膜中に添加するドーパント濃度を 2.0~4.0%まで増加した場合の膜の損失要因を解明するため、電子ビーム蒸着法や RF スパッタリング法、プラズマ CVD 法等により膜を形成し、ドーパント濃度と膜中に含まれる異物および損失の関係を調査した。この結果、損失 0.01dB/cm の見通しを得た。また、熱処理による OH 基低減に関して検討し、波長 1.383 μ m における OH 基による損失を 0.045dB/cm に低減できた。

(2) 光回路形成技術の検討・開発

熱処理によるコア側面の平坦化について検討を実施した結果、伝搬損失を低減し、損失低減効果は 0.01dB/cm であることを確認した。また、さらに低損失化を図るため、損失要因がコア-クラッド界面の応力差にあると仮定して、コア形状による伝搬損失変化について検討した結果、コア幅を広くすることで伝搬損失を 0.02dB/cm 以下に低減できることを確認した。

(3) デバイスの試作検討

導波路の $\Delta=0.8\%$ 、チャンネル数 24 \times 24、チャンネル間隔 100GHz にて、原理確認のための多入力・多出力アレイ導波路型周回性波長フィルタの予備試作を実施し、周回特性が得られることを確認した。また、今後の問題となる損失ばらつき低減のための対策構造案を考案した。フィルタ素子の実用化において重要な波長分散および偏波モード分散特性については、評価系の立ち上げを図り、系が正常に動作することを確認した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

①「高密度 DVD 用集光機能ナノガラス薄膜の開発」

(1) ナノガラス薄膜の基本組成・構造の検討：

新規ナノガラス組成として、Fe203-Ga203 系薄膜を開発し、5mW のレーザー照射で複素屈折率変化量 70%を達成した。ナノ秒ポンププローブ法により応答速度を測定したところ、応答速度は 5ns 以下であった。またフェムト秒オーダーでの応答を確認した。また「ナノ構造制御成膜設備」に自公転回転機構を付与することにより、直径 120mm ϕ の光ディスク全面における特性ばらつきを 3.8%と低減した。

(2) 高速大容量化技術の検討：

青紫色半導体レーザー (波長：405nm) と高 NA レンズ (開口数：0.85) とを組み合わせた 27GB-DVD において、回転速度 4.56m/s で 2T 最短マーク (139nm) の変調度 5.8 倍、回転速度 10m/s で 2.5 倍を達成した。また記録ピットサイズ 75nm に対して CN 比 40.2dB、60nm に対して CN 比 35dB を達成し、集光機能効果による大容量化の効果を実証した。

(3) 高信頼化・低消費電力化技術の検討：

上記集光効果が生じる条件下で、再生動作保証 106 回以上を達成した。また本ナノガラス薄膜の再生法として新規なパルス再生法を開発し、再生時の平均レーザーパワー1mW 以下、記録時のパルスレーザーパワー5mW 以下で超解像効果を実証できた。

②「光導波ナノガラスデバイス用ガラスの開発」

- (1) ガラス膜材料および膜形成方法の検討・開発：
平成 16 年度に目標は達成したので、終了。
- (2) 光回路形成技術の検討・開発：
損失のコア幅依存性の要因検討として、マッチングオイルクラッド、応力緩和層の挿入、コア高さの検討を実施し、損失要因がコア脇に形成される低密度部に起因した微小歪であることを明らかにし、作製プロセスおよびコア形状の適正化により屈折率差 Δn 2~4%の範囲で導波路損失を 0.02dB/cm 以下（波長 1.260~1.360、1.460~1.626 μm ）にできることを確認した。
ガラスエッチングの面内分布低減として、光回路加工精度ばらつきのものである WSi 膜エッチング手法の改善を実施するとともにガラスエッチング条件の検討を実施し、ガラスエッチング後の光回路コアパターン加工精度 $\pm 0.02\mu\text{m}$ 以下を実現した。更に実用化に向けて、スプリッタ素子への技術適用検討を実施し、面内分布低減プロセスの適用により損失ばらつきが低減可能なことを確認した。
- (3) デバイスの試作検討：
多入力・多出力のアレイ導波路型周回性波長フィルタの試作として、低損失ポート範囲拡大のための狭ピッチ化・狭ギャップ化の設計・試作検討を行い、チャンネル数 32x32、チャンネル間隔 100GHz にて挿入損失 4.5dB 以下、クロストーク-25dB 以下、波長分散 $\pm 5\text{ps/nm}$ 以下、偏波モード分散 0.3ps 以下を年度末までに実現見込み。
- ③「高波長分散ナノガラスデバイス用ガラスの開発」
- (1) ガラス膜材料作製技術：
高波長分散素子用の多層膜成膜(4 μm 超)を行い、標準サンプル(石英ガラス基板、サイズ 6×4×t1mm 使用)において、 $\lambda/10$ 以下(使用波長 1520-1570nm)の透過波面収差を実現した。
- (2) 微細加工技術：
電子線リソグラフィ技術とガラス材料に対する高密度プラズマドライエッチング技術の開発を行い、使用波長(波長 1520-1570nm)よりも小さい 1000nm ピッチで、アスペクト比が 10 以上、デューティ比が 0.5 程度の溝加工が可能な微細加工技術を得た。
- (3) 評価技術：
干渉計を用いた光学評価により表面平坦度、形状を $\lambda/10$ 以下の精度で測定できる評価法を用いて、高波長分散光学素子の表面形状の評価を行い、プロセスチューニングへフィードバックを行った。本評価法を応用し、回折光の波面収差の評価系を構築し、評価を行い、同様にプロセスチューニングへフィードバックした。また、直径 2.5mm (0.1") 以下程度の狭い領域において、波長分散特性、損失特性、偏光特性を評価できる評価系を作製し、高波長分散光学素子の面内分布評価に適用した。
- (4) 高波長分散光学素子の試作・評価：
高波長分散光学素子を試作し、使用波長(波長 1520-1570nm)において、効率 $\geq 90\%$ 、偏光依存損失特性 $\leq 0.08\text{dB}$ 、波長分散 1.5mrad/nm を満足する光学素子を得た。

《8》-5 ディスプレイ用高強度ナノガラスプロジェクト【F21】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<3>環境分野 ①温暖化対策技術 地球温暖化防止新技術プログラム 《9》参照]

《9》ナノバイオ

《9》-1 ナノ医療デバイス開発プロジェクト【F21】[平成 16 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《19》参照]

《9》-2 細胞内ネットワークのダイナミズム解析技術開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《16》参照]

《9》-3 先進ナノ・バイオデバイスプロジェクト【F21】[平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《25》参照]

《9》－4 ナノ微粒子利用スクリーニングプロジェクト【F21】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《26》参照]

《9》－5 タンパク質相互作用解析ナノ・バイオチッププロジェクト【F21】[平成11年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《27》参照]

《9》－6 ナノカプセル型人工酵素運搬体製造プロジェクト【F21】 [平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《28》参照]

《9》－7 微細加工技術利用細胞組織製造プロジェクト【F21】 [平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ①健康・医療基盤技術 健康安心プログラム 《29》参照]

②革新的部材創製技術

[中期計画]

材料の高度化・高付加価値化を図るため、マイクロ部材技術、機械部品等の高機能・高精度化技術を開発することを目指し、材料創製技術と成形加工技術を一体とした技術を開発する。また、研究開発から製品化までのリードタイムの短縮化が可能な生産システム技術や、複数材料の最適統合化技術等を開発する。

<革新的部材産業創出プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》世界トップレベルの材料技術と多様な連携による摺り合わせの連鎖という、我が国製造業固有の強みを促進する研究開発

《1》－1 高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発【委託・課題助成】
[平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「複合化金属ガラスによる硬磁性・ナノ構造部材技術」

- ・1平方インチ当たり600ギガビットの超高密度パターン形成を可能にする優れた粘性流動加工性と高密度磁気記録に適した軟磁性特性を有するFe基金属ガラスの合金探索を行い、ドットピッチ150nm、ドット径50nmのナノパターンが得られる目処を得た。
- ・上記軟磁性Fe基金属ガラス上への硬磁性Co/Pt合金多層膜の成膜による硬磁性複合化金属ガラスの合金創製を行い、垂直磁化特性が得られることを確認した。
- ・FIB直接加工による超高密度パターン形成用金型の作製条件を検討し、ドットピッチ75nm、ドット径30nmの金型を試作した。
- ・上記金型と軟磁性Fe基金属ガラスによる超高密度パターンインプリント条件の基礎的検討を実施した。

研究開発項目②「複合化金属ガラスによる高強度・超々精密部材技術」

- ・圧縮強さ1650MPa以上で塑性伸び5%以上の高強度で塑性変形能を持つ複合化金属ガラスの合金探索を実施した。
- ・直径0.3mm以下で寸法公差±2μm以下の超々精密ギヤ等の成形のための超精密プレス加工技術としてシェービング加工の基礎的検討を行い、加工速度は3m/min以下が適していることを明らかにした。

研究開発項目③「複合化金属ガラスによる高強度・高導電性部材技術」

- ・引張強度1200MPa以上で導電率30%以上の高強度で高い電気伝導性を持つ複合化金属ガラスを創製するために必要なマトリックスの金属ガラスの合金探索を行った。

- ・上記金属ガラスの粉末化、高導電性金属フィラーとの混合およびホットプレス等による固化・成形条件の基礎的検討を行い、金属ガラスマトリックス中に導電性材料が分散している複合組織を得た。
- ・板厚が 0.1mm 程度で板幅が 10mm 以上の精密薄板作製のための精密圧延技術として、ガラス転移温度直下となる 450℃以下の温間圧延の基礎的検討を実施した。

《1》－2 循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト【委託・課題助成】[平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、東京大学先端科学技術研究センター長（現 東京大学工学部教授） 橋本 和仁氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発等を実施した。

2－1 研究開発事業

プロジェクト全体として、体制の立ち上げ・整備を実施し、共通設備の整備、定例会議（2 回/月）の開催等集中研としての機能をスタートさせた。

【研究開発項目①】光触媒共通サイエンスの構築

新規光触媒材料として多電子還元反応触媒を担持した高感度可視光応答型光触媒を発見。従来のドーピングタイプ型光触媒に比べ約 7 倍の高活性化（分解速度/単位照度）を確認した。

【研究開発項目②】光触媒基盤技術の研究開発

水熱合成法、スパッタ法を中心とした調整条件、成膜条件を検討し、基本条件の設定を完了した。

【研究開発項目③】高感度可視光応答型光触媒利用部材の開発

性能評価システムとして流通法による評価システムを各事業者で整備。これにより各事業者において共通的な性能評価が可能となった。また、抗菌・抗ウイルス性能評価の一端としてインフルエンザウイルスへの殺菌効果を確認し、今後殺菌のメカニズムを詳細に検討する。内装材の実基材評価を目的とした実証住宅を建設した。

【研究開発項目④】酸化チタンの新機能開拓

超撥水コーティング膜構成として異なる粗さの組合せ（シリカクレータ＋ペーマイト）が耐久性向上に有効であることが判明した。

【研究開発項目⑤】光触媒新産業分野開拓

PFC ガス除去システム用フィルターの開発において PFC ガス分解に適したフィルターの選定を実施した。

2－2 人材育成・異分野融合拠点化事業

「新しい環境・エネルギー科学創成のための人材育成・異分野融合拠点化事業」を実施した。人材育成事業は、NEDO 特別講座として、東京大学教養部で文系理系 1, 2 年を対象とした、全学ゼミナール（研究ゼミ 3 講座、体験ゼミ 3 講座）を開講した。また、異分野融合研究事業の公募を行い、9 研究テーマ（実験系 7 テーマ、非実験系 2 テーマ）を採択し、実施した。

2－3 標準化事業

可視光応答型光触媒の標準化活動として NOx、VOC、悪臭の分解性能評価方法の JIS 化、ISO 化を検討し、基本的試験条件（試験環境、照度、光源）についてほぼ目途が得られた。また、アジア地区での連携を深める目的で第 1 回アジア光触媒標準化会議を開催。アジア各国での研究開発、製品化状況につき情報交換等を行った。

《1》－3 マルチセラミックス膜新断熱材料の開発【委託・課題助成】[平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「多孔質セラミックス粒子合成技術の開発」

水ガラスを原料としてシリカからなる多孔質セラミックス粒子を合成した。同粒子の粉末の構造解析、熱伝導率や圧縮特性の測定等を行い、高真空下において 0.002W/mK という極めて小さな熱伝導率を有するなどの成果を得た。また、表面処理や粒子系を変化させた粉末を合成し、粒子構造、圧縮特性、熱伝導率等と合成条件との関係を明らかにした。

研究開発項目②「ナノ構造セラミックス膜コーティング技術の開発」

電子ビーム物理蒸着 (PVD) 法を用いて、ジルコニア、チタニア、シリカ等の酸化物セラミックス膜を合成し、合成条件を変化させた膜の構造評価解析を行い、ナノオーダーの気孔や隙間等の有無を明らかにした。また、石英基板上に合成したナノ構造セラミックス膜の赤外線反射率や光透過性等を測定した。

研究開発項目③「透明多孔質セラミックス合成技術の開発」

超臨界乾燥 (エアロゲル) 法によって、ナノフラクタル多孔構造を有するシリカベースの透明多孔質セラミックスを合成した。また、熱伝導率、圧縮特性、光学特性等を評価し、光透過率が約 90% という極めて優れた透明性の成果を得ることができた。また、キセロゲル法等の他の手法による透明多孔質セラミックスの合成と特性評価等の成果も得た。

研究開発項目④「複合化技術及び真空セグメント化技術の開発」

多孔質セラミックス粒子、ナノ構造セラミックス膜等を複合・真空化する超断熱壁用の構成材料として、ポリマー単層、ポリマー複層、ポリマー/無機複合層等を比較検討した。透明多孔質セラミックス、ナノ構造セラミックス膜等を、ガラス板によって超断熱窓用に封止・真空化する技術を検討した。

研究開発項目⑤「超断熱壁材料の開発」

多孔質セラミックス粒子の現状の製造工程の物質収支等のプロセスパラメーターを測定し、連続生産プロセスを開発した場合のコストダウン可能性を検証した。その結果、原料コスト等量産化によりコストダウンできない項目がないことを確認した。また、量産化プロセスを概念設計し、コストダウンの為に開発が必要となる要素技術を抽出した。抽出された要素技術は、連続式エマルジョン化装置、高効率固液分離装置の選定、廃エマルジョンの分解剤などであった。

《1》－4 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発【委託・課題助成】[平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

【共通基盤技術】

研究開発項目①「高級鋼材の革新的溶接接合技術の基盤開発」

「(1)クリーンMIG溶接プロセス技術の開発」については、第1課題であった純Ar中での溶接安定化を検証した。

「(2)ファイバーレーザー、レーザー・アークハイブリッド溶接適用基盤技術の開発」については、板厚12mmの安定した突合せ貫通裏波溶接を達成した。

「(3)高強度鋼、低温用鋼厚板のための高強度・高靱性溶接金属の開発および溶接継手信頼性評価技術の研究」については、溶接時の二相凝固が観察可能であることや、残留 γ による靱性と疲労寿命向上効果を確認する等の成果を上げることができた。

「(4)溶接継手特性に優れた耐熱鋼の合金設計指針提示と長時間クリープ強度予測法の開発」については、サブGr内での共通試料の作成とそれによる組織評価に着手し、従来よりも2桁程度低いひずみ速度領域の変形挙動をとらえることに成功した。

「(5)溶接部水素侵入による低温割れ機構の研究」については、従来研究ではわからなかった、①刃状転位だけでなくせん転位も水素の輸送に大きく関与、②ひずみ速度 $10^{-5}/s$ 以下の遅い場合だけでなく、 $10^{-3}/s$ オーダーでも水素が転位に輸送されることを明らかにした。

研究開発項目②「先端的制御鍛造技術の基盤開発」

「(1)鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究」については、数ナノメートルサイズのVC析出粒子のサイズ分布および析出量の定量評価を行う手法を確立する等の成果を上げた。

「(2)組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術の開発」については、VC析出の構築、変態速度の定式化、結晶流成長速度の定式化等を達成した。

「(3)高強度鍛造材のき裂発生・伝播メカニズム解明」については、介在物・き裂の3次元観察技術とその可視化および高精度き裂観察が可能な磁場顕微鏡システムの高精度化を達成した。

【実用化技術】

研究開発項目③「高級鋼材の革新的溶接接合技術の開発」

「(1)クリーンMIG技術の極低温用鋼・980MPa級鋼への適用性究明と継手性能評価」は、極低温用鋼ではクリーンMIG溶接との比較検討のため、TIG溶接継手データを収集した。また、980MPa級高強度鋼ではプラズマMIG溶接の適正溶接条件範囲の検討並びに現行のMAG溶接との比較を実施した。

「(2)レーザー、レーザー・アークハイブリッド溶接技術の980級高強度厚鋼板への適用と、制御手法、継手性能評価法の提示」は、レーザー溶接の実用化評価と実証のため、溶接現象モニタリング装置を導入し、各種モニタリング因子の挙動を把握した。また、レーザー溶接中に溶接金属に吸蔵される拡散性水素量を把握するため測定試験方法を立案した。

「(3)予熱・後熱なしに低温割れの抑止を可能とする980MPa級鋼用の溶接材料の開発」は、基礎検討用鋼材14鋼種を製作し、耐割れ性及び機械的特性に及ぼす溶接金属成分の影響を検討した。

「(4)熱処理なしで割れない9Ni系低温用鋼用溶接材料の開発」は、シールドガスが純Arで形成された共金系溶接金属のシャルピー衝撃値と溶接入熱、溶着速度の関係につきデータベース化を完了した。

「(5)溶接継手特性に優れた耐熱鋼の合金設計」については、耐熱鋼開発のために、既存鋼のクリープ試験を開始した。併せて、高精度クリープ強化予測法の開発のために、プラットフォーム構築に有効なデータベースを選定、抽出し、欧州ECCCにおける解析法の検討や、CDM組織劣化モデリングのために、転位密度測定による損傷パラメータ化に着手した。

「(6)980MPa級継ぎ手の水素侵入による低温割れの解明・信頼性確保のための予測手法の構築」については、鋼中の炭素と水素との相互作用エネルギー及びTiC炭化物の水素トラップ状態の第一原理計算に着手し、前者では最近接では強い反発力を持つことを、後者ではTiC中の炭素空孔が強い水素トラップ能を持つことを明らかにした。さらに、980MPa級溶接金属模擬試料を作成し、その組織解析に着手するとともに、980MPa級金属の残留応力測定に着手した。

研究開発項目④「先端的制御鍛造技術の開発」

「(1)高強度化・傾斜機能付与のための合金設計・プロセス開発」については、VC析出強化制御を主体とした高強度化・傾斜機能付与のための合金設計・プロセス開発として、VC析出強化量の飽和現象の原因を解明するとともに、冷却速度制御により析出強化量を大幅に増加させることに成功した。また、0.6%以上のV量でも高強度化することを確認し、さらには低温域で加工を加えることによりHV20程度高強度化することに成功した。細粒強化を主体とした高強度化・傾斜機能付与のための合金設計・プロセス開発としては、平均粒径1 μ m以下の微細フェライトと球状セメンタイトの混合組織の造り込みに成功した。

「(2)組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステムデータベースの構築」については、ベース鋼に関して、加熱時のVC固溶量データベース、初期加熱時の逆変態 γ 粒径データベース、再結晶挙動データベース、変態予測データベースとして等温変態線図を採取し、モジュール作成につなげた。

「(3)転動疲労メカニズム解明と非金属介在物組成・サイズ制御指針提示」については、疲労メカニズム明確化及び寿命予測式構築のため、酸化物系介在物の影響調査用の共通試験材を用い、超音波探傷技術と転動寿命試験との組合せにより、介在物起点の転動疲労過程の評価、寿命評価に着手し、データ取得を進めた。

《1》－5 マグネシウム鍛造部材技術開発プロジェクト【委託・課題助成】[平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

【委託】研究開発項目①

鍛造用素材についての調査を行って、試作品に対象とするマグネシウム合金を選定した。試作部品を5種類選定し、金型を設計、製作して、鍛造部品を試作し、その評価を行ってデータを集積した。併せて素材の組織観察も行いデータを集積した。

【委託】研究開発項目②

マイクロ組織解析などにより、添加元素が耐熱性、動的再結晶挙動、鍛造加工性に及ぼす効果を系統的に理解可能な積層欠陥エネルギーに着目した整理方法を提案した。

【委託】研究開発項目③

工場内スクラップとして、マグネシウム廃棄物の発生状況及び処理状況について現状調査を行った。

有機不純物除去技術に関し、バッチ式過熱水蒸気雰囲気除去実験装置を試作して基礎データを取得した。また、スクラップ中に含まれるマグネシウムの分離技術を実験により検討した。粉塵爆発実験による安全性評価に着手した。固体リサイクルに関しては実験を用いて組織と機械的特性などについて調べた。

【助成】研究開発項目⑤

耐熱マグネシウム合金のチューニングを行い、鍛造を付加することで硬さ、引張り強さが向上することを確認した。

研究開発項目④、⑥、⑦

結果として、平成18年度にはおこなわず、平成19年度に実施予定。

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「マグネシウム試作鍛造部品の評価、解析、データ集積」

試作鍛造部品の組織解析、特性評価を行い、鍛造部材高度化のための課題を明確にした。一工程で組織制御(結晶粒微細化)と成形を行なう鍛造プロセスを提案し、そのプロセスによる試作鍛造を行いデータを蓄積した。

研究開発項目②「マグネシウム合金鍛造加工における微細組織と変形機構との関連性の解明」

連続鍛造材(AZ91合金、AZX911合金)に対して、高温圧縮試験を行ない、動的再結晶挙動を考察した。動的再結晶により結晶粒が微細化した連続鍛造材は、室温で優れた機械的特性を示すとともに、300 $^{\circ}$ Cで超塑性特性を示した。また溶質元素濃度のゆらぎがMg合金の動的再結晶挙動におよぼす影響、溶質元素の存在状態がMg合金の高温変形挙動におよぼす影響をTEMなどを用いて調べた。

研究開発項目③「マグネシウム合金のリサイクルに係る課題抽出」

有機不純物処理に関しては、バッチ式過熱水蒸気処理雰囲気除去実験装置の連続運転化改造を行い、基礎データ取得した。安全性評価では、昨年度の発火データを充実するとともに、プラスチック、無機物共存下での発火データを取得し、実リサイクルプロセス中におけるデータ取得に展開した。過熱水蒸気処理されたAZ31工場内スクラップ材を固化、成形し評価した。

研究開発項目④「マグネシウム合金の鍛造用ビレット調整技術開発」

連続鍛造システムの研究開発に必要な鍛造設備、および実験用熱処理装置の導入を完了した。また、既存合金(AZ91、AZX911合金)ビレットの堅型半連続鍛造において、溶湯温度、鍛造速度、冷却水量など、鍛造条件と結晶粒径、第2相組成、分布等の鍛造組織との関係を調査、整理した。

研究開発項目⑤「マグネシウム合金の鍛造部材開発(輸送用機器、ロボット)」

・耐熱ACM522合金及びそのチューニング合金の物性評価及び機械的特性評価を実施し、当面の目標

である 150℃100 時間 0.1%でのクリープ強度として、アルミ ADC12 合金を上回る 100MPa を達成した。

・鍛造前処理（予歪み+加熱）でビレット結晶粒を微細化することに成功し、二輪車用ピストン、自動車用防振ゴム部品、ロボット部品の鍛造試作を行った。

研究開発項目⑥「マグネシウム合金の鍛造部材開発（情報家電用機器）」

鍛造素材として、0.5mm A4サイズの薄板鍛造が可能となり、薄板ダイカスト鍛造品の曲げ特性試験により十分な曲げ特性を有することが判明した。

温間単発プレスによる鍛造プレス加工により、ボス・リップ形状を有した携帯電話機構部品を圧延材薄板から成形することが可能になった。

研究開発項目⑦「マグネシウム合金のリサイクルに係る技術開発」

工場内発生する切削屑及び切削切粉マグネシウム合金を対象とした表面付着有機物を過熱水蒸気で連続除去する連続式表面処理剤除去装置の計画、設計、製作を行った。

《1》－6 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発【委託・課題助成】[平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度には、国立大学法人 東京工業大学 教授 谷岡 明彦をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

具体的には

【共通基盤技術】

研究開発項目①「電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発」については、大型装置開発の最重要課題であったノズル開発にブレークスルーが見られると共に加速増額予算措置もあり、不織布状材料、コーティング、フィラメントにおける高速連続製造達成及び直径のばらつきが均質な超極細繊維材料製造に対する目途が立ち、平成 18 年度目標を上回る成果が得られた。

研究開発項目②「ナノ溶融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発」においては、大型装置による超微細混練・紡糸技術、炭素高速不融化・焼成技術、結晶構造制御技術等の確立を目指した装置の設計と製作を行い、装置の導入及び性能評価を行った。さらに既存の試作機により紡糸、不融化、焼成、結晶化試験を行い大型高速化に向けてこれまでにない進んだ知見を得た。

【実用化技術】

研究開発項目③「高性能、高機能電池用部材の開発」

(1) 電界紡糸法及び炭素化技術を利用した超極細炭素繊維の製造を行い、パッシブ型燃料電池用の複合電極製造を行った。

(2) 小型蓄電池の開発については、電極及びナノ溶融紡糸により得られた炭素超極細繊維を用いて電池性能に関する試験を行った。

(3) ナノ溶融分散紡糸法により薄型電池電極用の炭素超極細繊維を製造し電池性能の計測及び最適化を行った。

研究開発項目④「高性能、高機能フィルター用部材の開発」

(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発に関してはフィルターに最適な材料の絞込みを行い電界紡糸法による超極細繊維製造の最適な条件設定を行なった。

(2) 超耐熱性無機フィルターの開発に関しては電界紡糸法による無機材料紡糸の最適条件の設定、無機超極細繊維の製造及びフィルターとしての基礎性能評価を行った。

(3) 耐熱性有機フィルターの開発に関しては電界紡糸法による耐熱性高分子紡糸の最適条件の設定、耐熱性超極細繊維の製造及びフィルターとしての基礎性能評価おこなった。

研究開発項目⑤「高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発」

(1) スーパークリーンルーム用部材の開発に関しては電界紡糸法による高性能・高強度有機高分子紡糸による超極細繊維製造と基本性能の評価を行った。

(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発に関しては電界紡糸法を用いて透湿性や撥水性等の機能を中心とした平面型高機能部材の開発と性能評価を行った。

平成 19 年度は、繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化し、革新部材を創出することを目的に、国立大学法人 東京工業大学 教授 谷岡 明彦をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

【共通基盤技術】

①電界紡糸法における繊維高機能化、大型装置化技術の開発

(1) 大型電界紡糸装置基盤技術の開発

大型電界紡糸装置開発のための新規ノズルの性能試験、溶媒回収試験を行い、より高速化を目指した装置設計、部品の絞りこみ、装置組み立てと、大型装置による紡糸試験を行った。その結果平成 19 年度目標値を上回る成果が得られると共に、加速増額予算措置もあり、溶媒及び繊維塵回収が非常に容易となるだけでなくコレクターや走行系に優れたシステムを開発することができた。また次年度から開始される微小部や三次元コーティングや三次元成型大型装置開発に対する指針が得られた。

(2) 電界紡糸法における繊維高機能化技術の開発

大型電界紡糸装置を利用した各種高分子や無機材料等による繊維の高機能化技術の開発と高機能繊維の性能及び構造評価を行った。その結果実用化技術開発において必要な物性や構造に関わるデータを集積することができ、この方面の研究開発を促進することができた。

②ナノ熔融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

(1) ナノ熔融分散紡糸法による炭素超極細繊維製造技術の開発

高分子との混練りにより炭素繊維前駆体を製造しこれを用いてヨウ素不融化を行い得られたデータの解析とこれに基づく炭化試験を行う。さらに得られた炭素超極細繊維の構造及び物性評価を行なった。この結果平成 19 年度目標値を上回る成果が得られた。さらに実用化技術開発における薄型電池の研究開発を促進することができた。

【実用化技術】

③高性能、高機能電池用部材の開発

(1) パッシブ型燃料電池の開発

電界紡糸法及び炭素化技術による超極細炭素繊維を利用した複合電極製造により製造した電池の性能試験を行い平成 19 年度目標を達成できた。

(2) 小型蓄電池の開発

ナノ熔融分散紡糸法により製造した炭素超極細繊維を使用して小型蓄電池を組み立て性能の評価を行い平成 19 年度目標値を達成できた。

(3) 薄型電池の開発

ナノ熔融分散紡糸法により製造した炭素超極細繊維を使用し薄型電池を組み立て性能評価を行い平成 19 年度目標を達成できた。

④高性能、高機能フィルター用部材の開発

(1) 超超純水製造プロセスフィルターの開発

フィルターに最適な材料を用いて電界紡糸法による超極細繊維を製造し、フィルター性能の初期試験を行い平成 19 年度目標を達成できた。

(2) 超耐熱性無機フィルターの開発

電界紡糸法を用いて無機超極細繊維を紡糸し試験用フィルターを組み立て、基本的な性能評価を行い平成 19 年度目標を達成できた。

(3) 耐熱性有機フィルターの開発

電界紡糸法を用いて耐熱性超極細繊維を紡糸し試験用フィルターを組み立て、基本的な性能評価を行い平成 19 年度目標を達成できた。

⑤高性能、高機能医療衛生・産業用部材の開発

(1) スーパークリーンルーム用部材の開発

電界紡糸法による高性能・高強度有機高分子超極細繊維製造を行いスーパークリーンルーム用部材としての基本的な性能の評価を行い平成 19 年度目標を達成できた。

(2) ヒューマンインターフェース医療衛生部材の開発

電界紡糸法を用いて平面型高機能部材の開発の開発をさらに進め、微粒子除去、透湿性、撥水性等の性能評価を行い平成 19 年度目標を達成できた。

《1》－7 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発【委託・課題助成】[平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「マイクロリアクター技術」

- (1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立に向け、簡易デバイスを用いた非対称ジアリールエテンの合成、クロスカップリング反応条件を検討した。活性種が分解する前に反応可能なマイクロリアクターシステムを構築した。
- (2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発として、3～4 種類の物質を順次迅速に混合するデバイスを開発し、また「マイクロプラントに適した精密制御・管理システムの開発」等を推進した。

研究開発項目②「ナノ空孔技術」

- (1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発として、有機硫黄化合物及び有機窒素化合物の合成に有効な分子触媒を合成し、活性を評価した。
- (2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発として、グルタミンナーゼの安定固定化、細孔径の 4～14 nm の領域での任意の制御に成功した。
- (3) ナノ空孔固定化触媒の開発として、炭素－炭素結合形成反応用触媒、不斉水素化反応用触媒の検討を行い、強固な固定化が可能な金属配位子の合成に成功した。
- (4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立に向け、塩基触媒反応に対して大幅な加速効果が得られることを見出し、有効性を明らかにした。

研究開発項目③「協奏的反応場技術」

- (1) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

- (a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立
 - マイクロ電解装置の作成に向け、フィルター構造、隔膜構造に関する 15 種以上の実験データを取得・評価し、設計指針を得た。
 - 複数の光路長を同時に検討できる光反応デバイスを作成し、高圧水銀ランプを光源とした光反応に関する約 10 種のデータを収集した。
 - マイクロフロー反応に最適なマイクロ波発生装置の改造を終え、急速な昇温の効果を確認した(約 10℃/秒)。また、装置内のエネルギー分布を解析するマイクロ波シミュレーションと熱流体シミュレーションを連成させた。
 - ナノ微粒子形成においては、赤色顔料 PR-254 のラテント化修飾基を検討し、マイクロリアクター加熱により分解率 90%以上を達成できる見込みを得た。また高速加熱、高速冷却を可能とする多段反应用マイクロリアクターを試作し、性能評価中。
 - (b) 高圧との協奏的反応場技術の開発
 - 高温高圧水マイクロリアクターの試作において、「シリンジポンプ」を導入し、変動のない一定流量の送液を実現させた。高温高圧水を利用したニトロ化反応を行うべく、安全な実験装置を構築し、ベンゼン及びトルエンに対してニトロ化反応の進行を検証した。
 - 高温高圧マイクロ試験システムを完成させ、試作した高温高圧マイクロミキサーの試験を実施し、当初目標を大幅に上回って中間目標であった数十ミリ秒の混合を達成した。
 - ナフタレンのニトロ化反応を耐蝕性に優れたマイクロリアクターで実証し、硫酸混酸系の反応に関して反応条件の最適化、選択性向上策の検討、反応生成物の同定による危険因子の抽出を行った。
- (2) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発
- (a) マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発
 - 誘電特性の測定結果を元に電界シミュレーションを行い、内部へ適切にマイクロ波が導入され、かつ外部に漏洩しない構造を設計して、導波路構造型リアクターの製作を行った。
 - 0-クレーゾールから m-クレーゾールへの転換を元としたアルキル転位反応について、ゼオライト触媒による効率の良いナノ空孔反応場作成の条件を明らかにした。熱供給源として、局所的な高温化が可能なナノ空孔反応場を用いた「フローリアクター」の製作を行った。
 - (b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術の開発
 - 水を酸素源とする酸素導入反応では、種々のアミン類からケトン類への変換とイオン交換樹脂によるオキシム類の加水分解反応によるアルデヒドへの変換を達成した。また、水を水素源とする水素導入反応では、フェナジンの重水素導入が進行し短時間で重水素標識化合物が合成できることを明らかにした。
 - マイクロ波および超臨界二酸化炭素利用についての評価をするために必要となる装置を設計、試作し、ナノ空孔触媒への適用可能性に関する評価を行なった。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「マイクロリアクター技術」

- (1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立
 - 高収率で目的の非対称ジアリールエテン(収率 53%)、ビフェニル類(収率 75%)が得られることを見出した。また連続プロセスの反応条件確立のための連続合成装置を試作した。また、ルテニウムとニッケル錯体による、高活性かつ高官能基耐性を有し、さらに容易に除去可能な触媒も開発した。
- (2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発
 - 電気化学反応を用いたイオンジェネレーターと一体型反応器および流路の異なるアセンブル型ミキサーを試作し、伝熱・混合実験からマクロ装置よりオーダー大きい高熱交換機能、高い断熱機能を達成した。また、中心衝突型リアクターによる強還元剤添加という装置・操作形式による単分散ナノ粒子生成を提案・実証した。

研究開発項目②「ナノ空孔技術」

- (1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発
 - 有機硫黄化合物の合成に有効な分子触媒を見出した。有機窒素化合物の合成では、芳香族系の場合にナノ空孔固定化白金触媒が極めて高活性かつ高選択的であることを見出し、最終目標(転化率 80%以上、選択率 90%以上)をも上回る成果が得られた。
- (2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発
 - 90%以上の高い活性残存率を有する固定化グルタミンナーゼを開発することに成功した。
- (3) ナノ空孔固定化触媒の開発
 - 炭素-炭素結合形成反応においては、リーチングを数 ppm にまで抑えた触媒の開発に成功した。
- (4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立
 - ナノ空孔触媒を用いた炭素-炭素結合形成反応において、ナノ空孔サイズが触媒活性に大きく影響を与えること、有機基によるナノ空孔内の表面修飾は、同様の有機基を反応系中に共存させるより有効であること等を明らかにした。

研究開発項目③「協奏的反応場技術」

- (1) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

マイクロ波、光エネルギー、電気エネルギー、高圧等の協奏的反応場における各種のマイクロリアクターを試作した。

(2) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

化学反応リアクター内部を想定した誘電特性の測定やラポレベルでのナノ多孔体固定化マイクロリアクターの稼働の実証等の検討を行った。

《1》－8 次世代高度部材開発評価基盤の開発【課題助成】[平成18年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、研究課題「半導体デバイスにおける多層配線の評価技術とパッケージ工程までの一貫した評価基盤の確立」については、以下の3項目の研究開発を実施し、平成18年度目標を達成することができた。(実施体制：次世代半導体材料技術研究組合)

①Low-k材料のダメージ耐性評価方法の開発

各種のLow-k材料を用いて、装置メーカーにてUVキュアをおこない、Low-k材料の機械強度と誘電率などを評価した。また低圧CMPについて同様に評価し、UVアニール装置と低圧CMP装置を選定、発注し、クリーンルームへの設置を完了した。さらに、Low-k材料の耐性強化のため、NEDOより借用したプラズマCVD装置の設置を完了した。一方、45nmノード対応膜厚のLow-k材料を用いた配線構造を試作して、加工プロセス上の課題を抽出した。

②統合部材開発支援ツール(TEG)の開発

65nmノード対応多層配線マスク(最小寸法90nm)を用いて45nmノードで想定される膜厚での配線試作を行い、材料-材料間、材料-プロセス間の相互影響、さらにパッケージプロセスを評価した。その結果を基にTEGマスクの修正をおこなうとともに、45nmノードの対応の評価ができるマスクの設計を完了した。

③パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立

パッケージの仕様を検討して、対象パッケージをMCPを含むWBGGAおよびFCBGAに決定した。パッケージプロセス全般の技術動向を調査して、材料特性に強く影響されるプロセスおよび信頼性の評価に対応する装置を選定、発注し、クリーンルームへの設置を完了した。

組立てプロセス評価：再配線用メッキ装置、DAFつきダイシングテープ装置、ダイボンダー、ワイヤボンダー

パッケージ信頼性評価：リフロー炉、オープン、高温高湿槽、HAST槽、マイグレーション装置、冷熱衝撃試験装置

また、その他のパッケージプロセスについては技術動向、実績を考慮して複数の外注先に試作を依頼し、結果を解析して外注先を決定した。

平成19年度は、研究開発項目「半導体デバイスにおける多層配線の評価技術とパッケージ工程までの一貫した評価基盤の確立」については、以下の3項目の研究開発を実施し、平成19年度目標を達成することができた。

①Low-k材料のダメージ耐性評価方法の開発

45nmノードに対応したLow-k材料を用いて、UVアニール、CVD装置による積層膜構造、低圧CMPなどの新しいプロセスにおけるダメージ低減効果を評価した。Low-k材料についてはUVアニールすることによって比誘電率(k値)の低下と弾性率の向上を、CVD条件の最適化によって積層膜の誘電率低下を、低圧CMPによって配線表面の平坦性の向上をそれぞれ達成した。改良材料を用いてプロセス条件の最適化を進め、単膜から2層配線構造における45nmノードに対応した材料評価基準を作成した。さらに多層配線を試作して課題を抽出した。

②統合部材開発支援ツール(TEG)の開発

最小寸法80nmの多層配線、パッケージ組立て用の試作TEGを用いて、2層配線ウェーハおよびパッケージを試作して、TEGマスクの機能を検証し、課題を抽出した。得られた知見から、45nmノード以降の材料評価にも対応可能な多層配線評価用、CMP工程評価用、パッケージ工程評価用の3種の材料評価用第一次TEGマスクを完成した。

③パッケージ工程までの一貫した材料評価方法の確立

対象パッケージをMCP(Multi-Chip Package)とFCPKG(Flip-Chip Package)等として平成18年度に導入した装置を活用し、再配線プロセスからパッケージ試作、信頼性評価までの全体フローを外注も含めて整備した。その結果から新たに必要となった評価解析装置を導入して、TEGを用いて試作した配線ウェーハからパッケージを製作し、電気特性などの評価によりパッケージのダメージと材料特性との相関関係を検証した。結果を配線構造における材料評価基準にフィードバックすることにより、配線工程とパッケージ工程の評価方法の改良を進めた。

《1》－9 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発【委託・課題助成】[平成18年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、以下のとおり実施した。

【委託】の平成18年度実績

①有機TFTアレイ化技術の開発

(1)有機半導体部材の開発

3-ヘキシルポリチオフェンを主要材料としボトムコンタクト型のTFTを作製・評価。移動度向上には分子の凝集制御が効果的。TEG1試作に向け素子構造を検討、有機半導体、絶縁、電極・配線部材などの表面構造を評価。

- (2) 絶縁部材の開発
ポリビニルピロリドンが薄膜での絶縁性が高く有望。
 - (3) ソース、ドレイン部材の開発
PEDOT/PSS等の有機導電体と銀ナノ粒子を用いインク化検討。
 - (4) 配線部材の開発
同上
 - (5) 画素電極部材の開発
ITO、PEDOT/PSS、ポリアニリンの基本特性を評価。
 - (6) 層間絶縁部材の開発
ポリビニルピロリドンが高い絶縁性を示し、インク化や製造プロセス開発等に有望。
 - (7) 保護膜部材の開発
単独膜のガスバリア性を評価。
 - (8) 版材の開発
PDMS系版材の機械的特性を確認、31種類の溶剤膨潤率を測定・改良検討実施。非PDMS系版材では、31種の溶剤中約8割弱の溶剤に対し膨潤率、水系インクへの濡れ性を確認。L/S 1 μ mのプロセス開発用6インチSiウエハーマスター版作製。
 - (9) 有機TFTアレイ化技術の開発
 μ CPプロセス開発のための6インチプリンターを開発・導入。
インクジェット法の情報収集、 μ CP法、スクリーン印刷法等との比較検討。ディップペンの仕様として、スクラッチリソグラフィーを検討。ソース・ドレイン電極部材をブランケットから除去・転写する技術を開発、チャンネル長10 μ m形成を実現。
 - (10) フロントパネルの検討
電気泳動型や電子粉流体型等の表示方式の研究開発動向を調査。
- ②マイクロコンタクトプリント技術の開発
- (1) パターニング技術の開発
4インチ対応の市販装置を6インチ対応に改良。配線のパターニングと画素電極のパターニングでは、表面処理装置やSAM等を用いた表面制御を検討、印刷特性を評価。平成18年度導入の接触角測定装置を用い表面やインクを評価。ゲート絶縁膜用材料として、ポリビニルフェノール等の印刷性評価。パッシベーション膜としてエポキシ・シリコンハイブリッド樹脂インクを用い、 μ CPで膜厚2 μ mを4インチサイズで印刷。ソース・ドレイン電極となる金のバタ膜上にアルカンチオールを μ CPで印刷・エッチングするプロセスを実施。
 - (2) コンタクトプリンターの開発
プロセス条件を基に、A4プリンター精度仕様検討に着手。
 - (3) バックプレーンパネル化技術の開発
単素子のTFT素子作製・評価、有機半導体とSD電極部材の課題を抽出。
- 【助成】の18年度実績
- ③高度集積部材の開発
- (1) フロントプレーン高度集積部材の開発
光学フィルムと光学用粘接着材料等の素材とフレキシブルカラーフィルタ等の個別部材の集積化を可能とするための要因を検討し、高度集積部材を作製するための加工方法を選定。
 - (2) バックライト高度集積部材の開発
光学フィルムおよび光学用粘接着材料等の素材と、超薄型バックライト部材等の個別部材の集積化を可能とするための要因を検討し、高度集積部材を作製するための加工方法を選定。
 - (3) バックプレーン高度集積部材の開発
TFTを転写法によりロールフィルム上に搭載する方法と、フィルム基板上に直接TFTを形成する直接法の2つの方式の検討を開始。
- ④ロール部材パネル化要素技術の開発
- (1) ロールtoロールによる配向膜形成技術の開発
光配向剤の塗布性の検討を開始した。光配向膜をパターン化する装置の仕様を検討、基本仕様を決定し、設計図を検収、装置を発注した。
 - (2) シール形成技術の開発
シール剤に関する信頼性評価試験及びロール基板上的のアラインメントマークの検討を開始した。
 - (3) 液晶層形成技術の開発
微小スポットのセルギャップを測定可能にする設備仕様の検討を行い、基本仕様を決定し、設備を導入した。
 - (4) 上下貼合技術の開発
シール技術、液晶層形成技術、上下基板貼合技術を検討するための装置仕様を検討。基本仕様を決定し、設計図の検収、装置を発注した。
 - (5) パネル切断技術の開発
パネル切断に関する方式の検討を行い、基板切断装置の基本仕様を決定した。
 - (6) ロール部材洗浄技術の開発
ロールtoロール対応の洗浄技術の一つとして常圧プラズマによる方法、設備の検討を行い、基本仕様を決定し、設備を導入した。

(7) 配向膜インライン検査装置の開発

光配向膜の配向性検査について、その方式の探索を進めた。(継続中)

平成 19 年度は、以下のとおり実施した。

委託の平成 19 年度実績

研究開発項目①「有機 TFT アレイ化技術の開発」

(1) 有機半導体部材の開発

構造制御有機 TFT において移動度 $10^{-3}\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、配列制御有機 TFT において $0.05\text{cm}^2/\text{Vs}$ を達成した。TFT 素子構造の比較と課題抽出を行い、BGBC と BGTC を選択した。

(2) 絶縁部材の開発

150°C 以下での成膜性と表面平滑性に優れた絶縁性を有する材料について、シリコーン樹脂やポリビニルフェノール系の絶縁材料を検討し、表面平滑性 $\leq 20\text{nm}$ 、固有抵抗値 $\geq 1014\ \Omega\ \text{cm}$ のインク材料を得た。

(3) ソース、ドレイン部材の開発

200°C 以下で焼結を可能とする金属インクの製造技術を開発し、 $10\ \mu\text{m}$ ルールでのパターン形成を可能にした。

(4) 配線部材の開発

光干渉方式三次元非接触表面形状計測システムを活用し、インクのパターニング性評価の高精度化及び迅速化を図りインク組成の最適化を促進した。

(5) 画素電極部材の開発

μCP (Micro Contact Printing) 法に適したインク化技術の開発を推進し、大面積化に向けて課題を抽出するとともに、結果をインク化技術、装置設計等へフィードバックした。

(6) 層間絶縁部材の開発

成膜検討及びそれに必要な材料の開発を、配線部材の開発と連携して行った。下地部材との親和性が良好となるように検討を進め、曲率半径 $\leq 30\text{mm}$ に於いて、ひび割れのない絶縁材料を開発した。

(7) 保護膜部材の開発

有機-無機ハイブリッドタイプや、1層または複数層での成膜評価を実施し、下層にフッ素系樹脂を用い、上層にポリビニルアルコール (PVA) 系ポリマーが 20nm 以下の良好な表面平滑性を示す保護膜部材を開発した。

(8) 版材の開発

大面積印刷を可能とする、 μCP 法に適した PDMS 系版材を開発することを目的とし、機械的特性を確認、これに基づいた改良を行い、転写性、再現性を向上した。

(9) 有機 TFT アレイ化技術の開発

μCP プロセス開発のための 6 インチプリンターを開発・導入した。

有機溶媒系のインクで $5\ \mu\text{m}$ のパターニングを行うための環境制御法や、材料のインク化法を評価、確立した。また、ディップペン法によるパターニングの問題点を抽出し、更に、ベンチトップ・モレキュラープリンターを導入し、高スループットなパターニングに必要なインクやパターニング条件探索を開始した。

(10) フロントパネルの検討

各種フロントパネル方式を検討し、本プロジェクトで開発するバックプレーンの駆動実証に使用する候補方式を選定した。

研究開発項目②「マイクロコンタクトプリント技術の開発」

(1) パターニング技術の開発

マイクロコンタクトプリンターを導入し、転写印刷法と μCP 法を融合する方法を実現するために、必要に応じて一部改造を行う。既存装置で得られた課題は装置開発へフィードバックした。また、転写印刷法と μCP 法を融合する方法を実現するための装置改造を進めた。

(2) コンタクトプリンターの開発

開発小型 (6 インチ) プリンターを立ち上げ、改善・改良を行ない、平面印刷法、コンプレッション印刷法、オートフォービシティ法の基本技術確立を行なった。また、ロール印刷法の基本構想を行い、小型ロールプリンターの設計を進めた。A4 サイズプリンターの複数の基本構想・仕様に対して、各々シミュレーションを行い、実現可能性を評価し、A4 サイズプリンターの設計を行った。

(3) バックプレーンパネル化技術の開発

各構成部材とパターニング技術開発の進展にあわせ、これらの組み合わせによる TEG1 単素子の試作とプロセス検討を行った。最適な部材とプロセスの組み合わせにより、単素子での移動度 $0.05\text{cm}^2/\text{Vs}$ 、ON/OFF 比 5 桁を達成した。さらに、全構成要素の組み合わせとなる TEG2 およびそのアレイ化について、試作と課題抽出を実施した。

助成の 19 年度実績

研究開発項目③「高度集積部材の開発」

(1) フロントプレーン高度集積部材の開発

平成 18 年度に選定した高度集積部材を作製するための加工方法に基づいて設計されたロール

ツーロール対応設備を導入した。また、素材の検討として集積部材に用いる材料の評価を行った。これにより高度集積部材に用いる素材の選定を行った。

(2) バックライト高度集積部材の開発

平成 18 年度に選定した高度集積部材を作製するための加工方法に基づいて設計されたロールツーロール対応設備を導入した。また、素材の検討として集積部材に用いる材料の評価を行った。これにより高度集積部材に用いる素材開発へのフィードバックを行った。

(3) バックプレーン高度集積部材の開発

バックプレーン高度集積部材に用いる素材の検討を進め、これを選定した。また、部材化を行うための設備については、平成 18 年度に設計を終了し、これを発注し設備を制作した。

《1》－10 低損失オプティカル新機能部材技術開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

東京大学大学院工学系研究科教授 大津 元一氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

研究開発項目①「基盤技術研究開発」

ナノ構造部材数値解析シミュレーション技術について、ナノ構造体間の近接場相互作用を数値解析する、近接場光領域と伝搬光領域を統合したシミュレーション技術の開発に着手し、低損失偏光制御部材等、オプティカル新機能部材を基盤設計するシミュレータシステムの基本構成を決定し、素子構造・パラメータの最適形状探索に着手した。ナノ構造部材作製技術について、MBE 装置や観察・評価装置、スパッタ装置、高精度電流制御メッキ装置を導入し、ナノ構造素子用微小粒径金属薄膜や金属細線作製等のナノ構造部材作製プロセスの基礎検討を開始した。これにより、数十ナノメートルレベルの偏光制御部材等、オプティカル新機能部材仕様に対応した材料と加工精度のナノ構造部材を作製する方策を検討した。ナノ構造部材評価技術について、ナノ構造部材に発現する近接場光の特性評価技術開発に着手し、高分解能のラマン分光法等を検討し、近接場プラズモンの導波評価装置を立ち上げ、100nm 以下の空間分解能でプラズモンの状態を評価する手法として、ラマン散乱効果を増強する方策とした。ナノ構造部材オプティカル新機能応用技術として、ナノ構造部材に発現する近接場光近接場光を信号キャリアとして室温で動作する光論理ゲート素子の基盤検討に着手し、基本的な作成手順を明確にした。さらに伝搬光と近接場光およびナノ構造素子間を接続する近接場光導波技術開発に着手し、近接場光導波機能を実現する数十ナノメートル以下のナノ粒子等のナノ構造を検討した。

研究開発項目②「ナノ構造を用いた偏光制御部材研究開発」

ナノ構造を用いた偏光制御部材設計技術として、近接場相互作用を近似的に表現するモデル化に着手し、解析的手法に基づく局所領域の光学特性計算が可能な基本計算手法、および偏光制御部材の光学特性評価技術の検討に着手した。ナノ構造を用いた偏光制御部材作製技術開発に着手し、高性能集束イオンビーム装置を立ち上げると共に、電子ビーム露光・フォトリソグラフィ技術、RIE 技術、薄膜作製技術や材料技術などナノ構造の加工法検討、最適化検討を行った。

平成 19 年度には、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「基盤技術研究開発」

- ・ナノ構造部材数値解析シミュレーション技術について、平成 18 年度に検討したシミュレータの基本構成に基づき、近接場光領域と伝搬光領域の統合シミュレーション手法を用いて、特性の定量的評価技術の開発に着手し、近接場光から伝搬光領域までのシミュレーションが可能な手法を獲得した。また、並列計算対応 FDTD プログラムを最適化できるような拡張に着手し、遺伝的アルゴリズム等を試行した。
- ・ナノ構造部材作製技術について、偏光素子を作製する要素技術については、微小粒径金属薄膜作製技術、電子ビーム露光、RIE ドライエッチングが基板埋込ナノ構造金属作製技術に適切であること、また、金(Au)の電気めっき、無電解めっき技術が金属縦細線作製技術に適用可能であることがわかった。光論理ゲート素子を作製する要素技術については、MBE 技術により化合物半導体量子ドット作製可能であることを示した。また、ナノ構造部材の要素試作のひとつとして Z 型偏光素子(幅 60nm、高さ 100nm)を試作し、これを用いて微小領域の光学特性を評価することにより、この微小領域光学特性評価法が有効なことがわかった。
- ・ナノ構造部材評価技術について、平成 18 年度に検討、着手したナノ構造部材に発現する近接場光によるプラズモンの増強効果特性を調べる高空間分解能の増強ラマン分光法や増強発光法を実施してプラズモンの状態の評価を開始した。
- ・ナノ構造部材オプティカル新機能応用技術について、光論理ゲート素子の基礎検討を継続し、半導体量子ドットによる縦構造最適配列作製技術、素子化に向け基礎的な加工技術を確認した。

研究開発項目②「ナノ構造を用いた偏光制御部材研究開発」

- ・ナノ構造を用いた偏光制御部材設計技術について、平成 18 年度に着手した近接場相互作用のモデル化および偏光制御部材の光学特性評価技術に基づき、統合計算技術の開発およびそれによるシミュレーション結果と動作原理基礎実験との比較を行い、位相変化量について関連のあることを確認した。
- ・ナノ構造を用いた偏光制御部材作製技術として、平成 18 年度に着手した偏光制御部材作製技術よ

り、偏光制御部材の試作に適合する作製技術を抽出するとともに、ナノ構造を用いた偏光制御部材設計技術において検討したナノ構造体を試作（30 μ m 角サイズ）し、材料、構造パラメータについてのシミュレーション結果と光学特性（位相変化量）とを比較し、相関のあることを確認した。また、実用化レベルの大きさの素子（数mm角サイズ）を作成するための準備を行った。

《1》－11 次世代光波制御材料・素子化技術【委託・課題助成】[平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①

リン酸塩系及び硼珪酸塩系ガラスにおいて、屈折率 1.6 以上、屈伏点 500 $^{\circ}$ C以下、透過率（波長 400nm 厚さ 3mm）80%以上の組成を開発した。更に、酸化ビスマス含有ガラスの基礎的物性を収集するとともに、透過特性変化の原因解明を行った。また、イオン交換法によりガラス表面のガラス転移温度を 20-80 $^{\circ}$ C低下させることができた。

研究開発項目②

a) 電子線描画法では周期 300-500nm の 1~2 次元レジストパターン、及び周期 10 ミクロンの鋸歯状レジストパターンを形成した。干渉露光法では、波長 325nm の He-Cd レーザを用い、周期 480nm 溝深さ 870nm の 1 次元周期構造を 17mm 角の範囲で均一に形成した。波長 266nm の紫外線レーザを用い、周期 250nm の構造を、約 10mm 角の平面へパターンニングすることに成功した。また、ロイドミラー光学系とマスクアライナーを一体化した光学系で、干渉縞周期を 0.1nm の精度で制御できることを確認した。

b) シリコン基板に塗布したレジストに、X 線リソグラフィによって周期 300nm アスペクト比 1 以上の 2 次元錘形構造を形成し、ニッケル電鍍モールドを作製することに成功した。また、モールド基材にコーティング元素を注入し、その上に成膜することによって、傾斜組成層をもった貴金属コーティングを行う一連の、モールド表面への離型膜の形成テストを実施できる目処がたつた。

EB 描画とドライエッチングによって、グラッシーカーボンの加工を行い、周期 500nm、溝深さ 700nm の一次元周期構造を持つモールドを作製した。これを用いてガラスに矩形構造を転写し、可視光の位相差が発生することを確認した。また、上記ニッケル電鍍モールド等を用いて、ガラスへの 2 次元錘形の転写を行い、転写率の観点からの最適成形条件をほぼ明らかにした。

光波シミュレーション技術に関しては、光線追跡と電磁場解析を組み合わせた光波シミュレーターの基本部分を作成した。また、電磁場解析に基づく素子形状の効率的な最適化手法の探索を開始した。成形プロセスについては、ガラス/モールド界面などでの分子挙動解析のためのプログラミングを開始し基本動作を検証した。さらに、流動解析ソフトのガラス成型への適用に着手し、基本動作を検証した。

研究開発項目③ 「偏光分離素子の開発」

平成 21 年度から実施を予定している。

研究開発項目④ 「屈折・回折複合素子の開発」

平成 20 年度から実施を予定している。

研究開発項目⑤ 「広帯域無反射離素子の開発」

平成 21 年度から実施を予定している。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目① 「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」

a) リン酸塩系ガラスにおいては、屈折率 1.68 以上、屈伏点 490 $^{\circ}$ C以下のガラス組成候補を見出した。また、屈折率 1.65 以上、アッペ数 48 以上、屈伏点 490 $^{\circ}$ C以下の高屈折率・低分散ガラス組成を見出した。ホウ酸塩系ガラスにおいては、屈折率 1.68 以上、屈伏点 490 $^{\circ}$ C以下のガラス組成候補を見出し特許を出願した。

b) イオン交換により、ガラス表面層の屈伏点を約 70~250 $^{\circ}$ C低下させ、モールド法によってその表面に周期 500nm の 1 次元周期構造を形成することに成功し、特許を共願した。

c) リン酸塩系ガラスの高屈折率化を目的に、主に、酸化ビスマス添加リン酸塩ガラスの組成と屈折率及び屈折率分散の関係を調べた。酸化ビスマス添加リン酸塩ガラスにおいて、吸収ピーク波長が組成に依存し、屈折率は密度と吸収ピーク波長に依存することを見出した。これらガラスの構造を調べ、構造の観点から屈折率の組成依存性を検討した。さらに、上記ガラスの屈伏点、密度、吸収端波長等をまとめた。ホウ酸塩ガラス及びリン酸塩ガラスにおいて、プレス時に問題となる着色現象と組成の関係について調査を開始した。

研究開発項目② 「サブ波長微細構造成型技術の研究」

a) 新規に導入したナノ機械加工装置を用い、周期 17 μ m、高さ 9 μ m で直線状鋸歯構造を形成したニッケルモールド表面に、イオンビームスパッタ法で離型膜を形成後、ガラス表面への転写に成功した。また、同心円鋸歯構造の形成にも着手した。

b) 微細パターン形成技術として、以下の 4 つの成果が得られた。

- (1) 電子線描画プログラムの改善によって、反射防止構造のベースとなる周期 300nm の 2 次元ドットパターンをレジスト表面に昨年度の 1/10 の時間で描画できた。
- (2) 紫外干渉露光法によって、周期 290nm、15mm 角の 1 次元及び 2 次元のレジストパターンを平面及び曲面上に形成できた。
- (3) 3 光束干渉露光法を検討し、10mm 角の平面基板上に周期 250nm の 3 角格子構造の高コントラストを擁するレジストパターンを形成できた。
- (4) レジストへの露光光学系の構成を検討し、1 次元周期構造において格子周期微調精度 0.1nm の可能性を実証した。

以上の微細レジストパターン形成技術及びドライエッチング技術については、耐熱性、機械的強度に優れたモールド材料である炭化ケイ素平板に微細加工を施す技術を開発し、特許出願した。炭化タンゲステンへの微細加工にも成功した。さらに、電鍍技術を用いて、周期 300nm、高さ 300nm、20mm 角の 2 次元錘形ニッケルモールドの試作に成功した。また、イオンビームスパッタ装置、貴金属イオン注入装置によって、金属あるいはセラミックの離型膜を形成し、アスペクト比の大きな周期構造の成型・離型を可能にした。

得られた炭化ケイ素モールドを用いて、周期 300nm、高さ 280nm、大きさ 6mm 角の矩形構造を形成し、可視域の透過光に位相差が発現することを確認した。また、周期 300nm、高さ 290nm、大きさ 15mm 角の 2 次元錘形構造をガラス表面に形成し、垂直入射の反射率 0.2%、入射角 50 度の反射率 1%以下を達成した。さらに、ニッケルモールドによって 20mm 角のガラス成型に成功し、入射角度 50 度付近まで反射率 1.5%以下を達成した。一方、ナノ機械加工で作製したニッケルモールドを用いて、周期 2 μ m で、段差 1 μ m の鋸歯構造のガラス成型に成功した。さらに、高温レオロジー装置を立ち上げ、離型時のガラスとモールドとの間に生じる力について定量的な評価を行う目処が立った。

- c) 自動光学設計ソフトウェアの開発を目的として、光線追跡と電磁場解析を組み合わせた大面積光学部材光波解析シミュレータを作成することによって表面無反射構造をもつ直径 5mm 以上のレンズの光学特性を数分で解析することを可能にし、高 NA 非球面レンズの表面に無反射構造を付加することで発生する波面収差を評価することに成功した。さらに、電磁場解析に基づく表面微細構造の簡易型高速自動設計ソフトの基本プログラムを開発し、曲面や傾斜を有する格子構造の最適設計を可能にした。
- d) 微細構造成型メカニズム解析に関して、ガラスの分子挙動のシミュレーション解析プログラムを開発し、モールド周辺部分での分子挙動解析を行った。また、ガラス成型時のプロセス条件を用いてマクロな流動解析を行い、成形性について実験との比較を行なった。さらに、マクロな流動解析により成型性のパターン形状依存性の予測を行った。これらにより、成型時の課題の抽出と、成型プロセス・材料評価設計の指針を得た。

研究開発項目③「偏光分離素子の開発」研究開発項目③の偏光制御機能を持った光ピックアップ系偏光分離素子の実用化に当たり、既存のガラス材料と粗いモールド成形技術では実現不可能なことが判明した。そこで研究開発項目①で開発する高屈折低屈伏点ガラスと研究開発項目②で開発するモールド微細成形加工技術が、平成 20 年度までに中間目標値に達し、これらを活用することを前提として、平成 21 年度から研究開発項目③をスタートすることとした。

研究開発項目④「屈折・回折複合素子の開発」鋸歯構造モールドの作製とガラス成型および分散制御ガラスに関する研究進捗が目標値を達成したため、平成 20 年度から助成事業を開始することにした。

研究開発項目⑤「広帯域無反射離素子の開発」研究開発項目⑤の広帯域で入射角に依存しない無反射広帯域無反射素子（撮像素子系）の実用化開発に当たり、既存のガラス材料と粗いモールド成形技術では実現不可能なことが判明した。そこで研究開発項目①で開発する高屈折低屈伏点ガラスと研究開発項目②で開発するモールド微細成形加工技術が、平成 20 年度までに中間目標値に達し、これらを活用することを前提として、平成 21 年度から⑤の研究開発をスタートすることとした。

《1》－12 高温超電導ケーブル実証プロジェクト [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<5>エネルギー分野 ②新エネルギー技術 電力技術開発プログラム 《22》参照]

《2》材料プロセス革新技術

《2》－1 セラミックリアクター開発 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高性能材料部材化技術の開発」低温作動を可能とする電極材料として合金系の作成と特性評価を行い、耐熱性向上の指針が得られた。また、電極焼成炉を導入して高イオン伝導性電解質材料へのナノ粒子複合化技術の適用を進める等により、従来 700℃以上で得られていた発電性能レベルを 600℃以下で実現すると共に、実用セルサイズで 0.3W/cm² 以上 (750℃) の性能発現を達成した。さらに、電

極と電解質の界面における同時焼成時の反応状態を明らかにし、最適化への指針が得られた。

研究開発項目②「マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発」サブミリ径及びミリ径の多層チューブ作成、及び多孔体電極マトリックスへの2～3次元構造化プロセス検討に着手した。シート同時焼成やマイクロ集積成形（押出やモールド等）のプロセス技術を開発、高度化することにより、高性能のマイクロチューブセル、マイクロハニカム構造の電極及び電解質部材の作製に成功した。また、インターフェース部材の最適プロセス検討によりフレキシブル絶縁シートを開発し、さらにマニホールドの設計試作を行った。

研究開発項目③「評価解析技術開発及びプロトタイプ実証」単セルチューブやキューブ、モジュールに対する、マイクロマクロスケールの電気的及び機械的特性解析手法の適用性検討に着手し、モデル単セルや試作マイクロチューブセル（ミリ～サブミリ径）を用いた電気化学的評価を実施した。また、加圧モジュール適用性評価技術の開発として、単セル加圧評価装置を設計・試作し、ガスリーク試験を実施した。さらに実用ニーズに対するスペック検討として、車両用アプリケーションへの適用可能性検証を目的とした応用別ベンチマークに着手した。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高性能材料部材化技術の開発」

ナノ粒子複合化技術を適用した酸化物・金属系の低温活性燃料極部材開発等を進め、電極組成評価装置を用いたNi-GDC電極の性能向上等により、セリア系セルの低温高性能化（600℃で最高出力0.8W/cm²）で小面積セルにて中間目標を超える性能レベルを達成、量産型粒子処理装置による開発材料の量産化検討を進めた。また、電極-電解質界面制御による分極抵抗の大幅低下を可能とした。

研究開発項目②「マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発」

シート積層-同時焼成プロセスや押出-コーティングプロセス等の検討により、マイクロチューブの集積スタック化（キューブ）製造技術の最適化を進め、集電構造解析やマイクロチューブ/カソード接合における低欠陥プロセスを開発、さらにキューブ気孔率向上と導電特性の両立により、ガス透過係数の5倍向上を達成した。模擬キューブを用いたコンセプト実証では、中間目標値の0.5W/cm³を超える体積出力密度を実現した。一方、マイクロハニカム型キューブ製造プロセス開発では、サブミリセル構造の同時形成に成功、年度達成目標及び中間目標値を超える256セル/cm³の高密度集積を達成した。さらにマイクロ～マクロ集積加工装置によるキューブの高精度加工により性能評価を実施、急速起動性能（5分で定常運転）達成等により、空気極支持型セルの優位性を確認した。一方、キューブ接続に向け、高耐酸化性の合金導電シート材作製プロセスを確立すると共に、ガスシール性と多孔質電極への浸透抑制を両立した絶縁シートの開発に成功、差圧式ガス透過率評価装置により高精度評価を実施した。

研究開発項目③「評価解析技術開発及びプロトタイプ実証」

作動温度や燃料利用率、集電方法等をパラメーターとした評価を実施、セルでの良好な発電性能を確認し、技術課題の抽出を進めた。また、単セルの加圧評価により加圧条件下で優れた性能発現が可能であることを初めて実証した（650℃、0.7MPaで0.77W/cm²@1.71A/cm²、燃料利用率51%）。一方、適用先としてのAPU（車両用補助電源）における燃料多様化・システム設計の基本検討を行い、セルのレドックスサイクル試験や機械的評価検討を進め、評価法の確立を図る等、中間目標達成に向けた年次計画内容を達成した。

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高性能材料部材化技術の開発」

低温作動用銀系空気極材料の開発を進めるとともに、低温高活性燃料極部材としてセリア系材料へのナノ粒子複合化技術を適用することにより、実用サイズセル650℃作動で0.3W/cm²の中間目標を達成するとともに、セルスタックモジュール化技術開発への材料部材供給を実施した。また、空気極-電解質-燃料極の組合せにおける電池性能と反応を調べ、GDC電解質とNi-YSZ、Ni-GDC電極組合せ時のアノード性能への電解質の影響や、セリア系サーメットでの性能向上等の知見が得られた。

研究開発項目②「マイクロ集積化及びセルスタックモジュール化技術の開発」

インクジェットによる電極コーティングや積層プロセスの検討、及びセリア電解質を用いたカソード支持形セルの3層共焼結等を行うとともに、径0.8～2mmの高性能マイクロチューブセルを1cm³径キューブに集積し、空気極マトリックスの高導電性多孔体化及び集電部の導電性向上を進めた結果、中間目標値の0.5W/cm³を超え、最終目標値の一つである、発電出力2W/cm³（550℃）に達する高い特性を示すキューブ型セルバンドルを実現した。また、キューブ連結モジュール化を試み、キューブ内での直列スタック化プロセスを開発し、2.5V（出力1.0W/cm³時）が500℃以下でも可能であることを実証した。さらに、ハニカム型キューブ内で目標値（100セル以上）の高集積化と同時に、発電性能として中間目標の0.5W/cm³（650℃）の体積出力密度を達成し、急速起動や繰返起動停止への安定性を見通しを得るとともに、実効性の高いハニカムユニットの直列接続技術の開発に成功した。一方、セル集積キューブの接続インターフェースとして導電シートと導電ペーストの併用により、集積時抵抗損失で中間目標値である5%以下（4.21%界面抵抗：6.2mΩ・cm²（500℃））を達成し、シール材の軟化挙動解析による融着温度条件の最適化や、高精度でのシール手法の検討を進めた。リアクターの水素製造への適用可能性については、水蒸気電解における水蒸気分圧の関係を明らかにした。

研究開発項目③「評価解析技術開発及びプロトタイプ実証」

ガス供給方式やガスシール、集電方法等の検討を行い、キューブの発電試験における空気供給や集

電条件等の改良により、650℃以下で体積出力密度 3.2W/cm³ に達する高出力特性を実証するとともに、プロトタイプモジュールの評価手法を開発し、4キューブ接続モジュールを模擬したセル集積体において最大 37.5W を得る等、高出力化の指針を得た。セル・スタックの熱機械的評価手法、集電や熱伝導等のシミュレーションを実施し、サーマルコントロールの実現に向けたシミュレーション解析等により、プロセス技術開発側への検討指針を提起した。また、加圧下におけるモジュール発電における電極及び集電体の特性向上とそのメカニズムを解明した。さらに、加熱冷却スケジュールや酸化還元条件変化における、材料及び部材界面の安定性評価に着手するとともに、家庭用コジェネ、自動車用 APU への適用性の検討を進めスペックの明確化を行った。

なお、平成 19 年度に実施した中間評価においては、材料開発及び部材化技術開発からプロトタイプ実証までの各実施者間のさらなる連携が、十分に行えるような体制とすることが望ましく、また、特性評価解析の条件をできる限り統一化し、熱自立・起動停止および改質法などにも配慮した発電装置としての最終仕様を早期に設定すべきである、との指摘を受けた。そのため、実施体制の再編（材料開発—モジュール構築—プロトタイプ実証の各々の責任分担明確化と連携強化を実施）、実施者が個別に設定していたセル・スタック・モジュールの評価解析条件を、モデルモジュールの評価条件を基準として統一、各適用対象のニーズスペックを明確化し、発電装置としての最終仕様を確立するよう、計画を変更した。

また、モジュール化及びスタック化する場合の集電・シール技術開発と、量産を睨んだプロセス開発は、本プロジェクトの重要課題であるので、さらに加速して検証するべきである、との指摘を受け、これらの技術開発に研究資源を重点配分すべく、計画を変更した。

《2》－2 超電導応用基盤技術研究開発（第Ⅱ期）[平成 15 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：< 5 > エネルギー分野 ②新エネルギー技術 電力技術開発プログラム 《2 1》参照]

《3》 実用化事業

《3》－1 ナノテク・先端部材実用化研究開発 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 4 > ナノテクノロジー・材料分野 ①ナノテクノロジー ナノテクノロジープログラム 《5》－1 参照]

《4》 材料プロセス革新技術

《4》－1 精密部材成形用材料創製・加工プロセス技術 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高易加工性金属系新材料の開発」においては、電解析出法で作製した Ni-W 合金めっき材料に関して試作を実施し、その強度および靱性、組成、結晶粒径について評価を進めた。任意の点で成形前においてビッカース硬さ (Hv) 650、引っ張り強度 1,300Mpa の材料開発を達成した。また、成形加工において、試験的に 180° 曲げでも破断しない材料特性を確認した。本項目は既に最終目標を達成し、本成果を基にベンチャーが起業し、商品化を検討中。

研究開発項目②「高精密金属型材料創製・加工技術の開発」においては、高精密金属材料として、超微粒タングステンカーバイド粉末の試作において、直接炭化の適正化により BET 法換算粒子径で 96nm の粉末を作製する条件を見いだした。また 0.3μm 級タングステンカーバイド原料粉末を使用し、粒径 0.3μm 級、硬さ 2,040HV (94.0 HRA 相当)、抗折力 4.7Gpa の合金を得た。さらに金型高精密加工技術において、切削加工精度：0.1μm (隣接する V 溝の中心間距離)、放電加工精度：0.3μm (丸穴の直径) を達成した。このように、素原料条件、焼結プロセス条件と高精密金型加工性の因果関係を明確にし、高精密金型を試作した。また、DLC において機能性硬質薄膜の特性評価も進めている。(本項目の全ての中間目標を達成)

研究開発項目③「高精密部材成形加工技術の開発」においては、LSI マイクロテストプローブのプローブピッチ、インクジェットノズルの穴直径、超多心光コネクタの隣接する V 溝の中心間距離、丸穴の直径等を検証対象として高精密部材の試作を行った。また、成形性予測技術においては、充填工程でピンに作用する力、硬化冷却工程での樹脂特性 (フィラー粒径分布)・成形条件 (圧力) と転写性の関係について、シミュレーション解析による基礎検討を実施し、材料の高精密加工特性と成形加工条件、金型の諸特性との因果関係を明確にした。(本項目の全ての中間目標を達成)

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

1) シミュレーションによる電流分布均一化技術を基に、極間距離と分割アノード形状の最適化により、Ni-W 合金の厚肉化技術を確立した。

2) 3) 任意の点で成形前においてビッカース硬さ (Hv) 650、引っ張り強度 1300MPa の材料開発を達成した。また、成形加工において、試験的に 180° 曲げでも破断しない材料特性を検証した。合金中の W 含有量 17~23at%、結晶粒サイズが 5nm の合金が最も優れた曲げ特性を有することを検証し、研究開発を完了した。

研究開発項目②「高精密金属金型材料創製・加工技術の開発」

- 1) 高精密金型材料として、超微粒 WC 粉末の試作において、直接炭化の中間生成物の粉碎および二次炭化後の粉碎・分級により、BET 値 5.5m²/g (粒径 70nm 以下) で低酸素量の超微細粉末を開発した。
- 2) 80nm の WC 粉末を用い、ハイブリット焼結において硬さ 2550Hv の超硬合金を試作した。さらに、高精密金型加工技術の開発において、平面研削 ELID 加工で Ra5~7nm の表面精度が得られた。平行ピンの円筒研削加工では、ピン直径精度 70nm が得られた。
- 3) 4) 超硬合金表面に形成した DLC 膜への FIB ディンプル加工による油の潤滑効果向上を目的として、ピンオンディスク試験を行い、パターン形状により特性が大きな影響を受けることを見出した。
- 5) インクジェットノズルの穴の直径精度で±0.2μm を達成した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

平成 17 年度は、材料が成形加工され部材・部品となった時点で、材料として有していた特性及び機能を最大限発揮できるように、成形加工時の材料特性変化を見込んだ材料創製技術と、その材料の最適な成形加工技術との一体的研究開発を実施することを目的に、財団法人金属系材料研究開発センター特別研究員 (東京大学名誉教授) 林 宏爾氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高易加工性金属系新材料の開発」においては、開発完了した高強度・高靱性を発現する高易加工性金属系新材料の普及実用化を図るため、バネやピンなどのマイクロ部材に利用することを前提とした、銅ワイヤーの表面に Ni-W 電析合金を被覆した材料に対して種々の特性 (ヤング率、電気伝導率等) の評価を行った。

研究開発項目②「高精密金属金型材料創製・加工技術の開発」においては、高精密金型材料として、超微粒 WC 粉末の試作において、中間生成物作製過程における炭化炉内での被処理物の滞留時間および処理量の適正化により、平均粒径で 70nm の WC 粉末を開発した。また、粒成長抑制剤の VC 添加において、直接炭化前の段階でバナジウム塩水溶液を原料酸化タングステン粉末にドープし、VC が均一に分散させる条件を見出した。また、70nmWC 粉末を使用し、粒成長抑制剤添加方法や合金焼結条件を改良し、WC の平均結晶粒径が世界最小となる 100nm の高精密金型用超硬合金を開発した。さらに、高精密金型加工技術の開発において、微細放電加工技術の向上により、微細径ピン金型の径寸法の真円度が、ある条件下において±0.1μm を実現した。ナノインデンテーション試験機を用いて、研削加工された超硬合金の加工変質層を評価する方法を検討した。WC 粒径と耐磨耗特性等の関係を解明する評価測定を実施した。

研究開発項目③「高精密部材成形加工技術の開発」においては、インクジェットノズルの成形加工技術において、テーブルラップの条件の最適化を行うことにより、バリとダレがない品質を確保できるようになった。また、パンチの耐久性については DLC の有無及び成膜条件の違いによる金型耐久性評価を行った。小型多心コネクタ成形品穴間寸法精度において±0.4μm を達成した。さらに、小型多心コネクタ用金型ピンの疲労試験と摩耗試験を実施した。また、成形性予測技術として、樹脂硬化特性、成形時条件を考慮した、金型キャビティ内の樹脂流動シミュレーションモデルを構築し、その普遍性について検討した。

平成 18 年度は、共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る目的で、東京大学名誉教授 林 宏爾氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を行った。

研究開発項目①「高易加工性金属系新材料の開発」

開発完了した高強度・高靱性を発現する高易加工性金属系新材料(Ni-W)の LSI テストプローブ以外の応用検討のため、丸線化技術を調査した。

研究開発項目②「高精密金属金型材料創製・加工技術の開発」

平成 17 年度までの事業内容を踏まえて実証化に向けた、次の項目を実施した。

- 1) WC 粉末の粉碎・分級条件および粒成長抑制剤の直接炭化過程の適正化により、粒度分布のシャープな 70nm の WC 粉末を安定して製造する技術を確立した。
- 2) インクジェットノズル用パンチと光多心コネクタ用金型等に対応した焼結条件を導出し、0.1μm 級超微粒超硬合金を安定して製造する技術を確立した。
- 3) 円筒研削、放電加工技術において加工工程の最適化により、目標精度を達成し、その寸法精度に安定して加工する技術を確立した。
- 4) 0.1μm 超微粒超硬合金の V 溝加工の目標精度を達成し、平面研削においては加工変質層の評価・低減方法の把握により、nm レベルで仕上がる研削技術を確立した。
- 5) 金型表面性状 (DLC 膜、FIB 加工による修飾) と金型耐久性(疲労・摩耗)との関係を解明し、耐久性を向上させ、安定した金型表面処理技術を確立した。
- 6) 疲労特性、耐摩耗特性と破断面を含むミクロ組織との関係を導出し、超微粒超硬合金の疲労破壊メカニズムを解明した。

研究開発項目③「高精密部材成形加工技術の開発」

- 1) 0.1μm 級超微粒超硬合金を用いた金型の耐久性評価や成形シミュレーション解析により、金型材

- 料設計、表面処理と成形特性との関係を解明し、最適形状の金型を用いて、目標の成形精度を達成し、信頼性の向上した成形加工技術を確立した。
- 2) 樹脂流動可視化により金型内の樹脂流動を微細転写し、観察・解析し、成形予測シミュレーション解析を実証解明し、成形性を高精度に予測する技術を確立した。

《4》－2 金属ガラスの成形加工技術 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超精密部材組織制御技術」

- ・鉄基金属ガラスと平行してニッケル基金属ガラスの最適成分探索を行った。透過型電子顕微鏡による局所観察を行い、ナノ構造・ナノ組織に関する微細構造解析を進めた。
- ・鉄基金属ガラスおよびニッケル基金属ガラスを用いて射出成型装置による太陽キャリアギヤの試作を行い、いずれも転写性が優れていることを確認したが、鉄基金属ガラスはもろいため、完全な形のギヤが得られなかった。一方、ニッケル基金属ガラスでは幅広い条件で完全な形のギヤを得た。また、急速加熱加工試験を行い、加熱速度の増加が金属ガラスの超塑性加工に及ぼす影響を調査した。
- ・ニッケル基金属ガラスを用いた2.4mm太陽キャリアギヤをマイクロモータに組み込んで性能評価を実施し、従来の機械加工によるギヤよりも耐磨耗性に優れており、より長寿命であることを確認した。(中間目標を達成)

研究開発項目②「輸送機器用構造部材成形加工技術」

- ・チタン基およびジルコニウム基金属ガラスの最適成分探索を行った。また、ガラス相マトリックス中にナノ結晶分散析出させた合金の探索を行い、伸び、強度共に優れたチタン基合金を開発した。また計算化学法によるシミュレーションを実施すると共にナノ構造・ナノ組織に関する微細構造解析を進めた。
- ・チタン基およびジルコニウム基金属ガラスの板材 casting 試験により、酸素、窒素、炭素のコンタミネーションの影響を調査した。ジルコニウム基については大型部材の casting に目処がしたが、チタン基は、現状ではなお多くの課題があることが判明した。また、双ロール casting を用いた casting 試験も実施した。
- ・ジルコニウム基金属ガラス casting 板を用いて、スラットトラックカバーの粘性加工試験を実施し、ほぼ目標形状を有する試験用部材の成形に成功した。
- ・摩擦攪拌接合時の温度制御システムが完成し、本格的な基礎検討を開始した。また、接合温度を適正範囲に制御することで、ジルコニウム基金属ガラス板材の突合せ接合に成功した。
- ・評価試験用部材として航空機用構造部材(スラットトラックカバー)を選定し、粘性加工試験により製作した部材の性能の評価を実施した。
- ・チタン基およびジルコニウム基金属ガラスの最適成分探索を行い、直径2mmの丸棒として casting 法にて製作可能とした。また、溝急冷圧延装置により、直径1mmの丸棒連続線材を製作した。
- ・ジルコニウム基金属ガラスの丸棒連続線材を用いて、高周波過熱を利用したコイル装置により、外形8mmのコイルスプリングの製作に成功した。
- ・Mg系合金を電磁振動下で熔融・凝固した。X線回折試験で電磁振動の付与により、金属ガラス形成能の向上につながる可能性があることが認められた。

研究開発項目③「高精度計測機器機能部材成形加工技術」

- ・鉄基、ニッケル基、チタン基およびジルコニウム基金属ガラスの最適成分探索を行った。溶解した金属ガラス合金試料を液体急冷薄帯または casting 丸棒として作成し、ガラス形成能、機械的特性、物理的特性等を評価し、材料成分をさらに絞り込んだ。また計算化学法によるシミュレーションを開始し、さらにナノ構造・ナノ組織に関する微細構造解析を進めた。コリオリ流量計用として、中空丸棒として casting 法にて製作可能とした。
- ・チタン基およびジルコニウム基金属ガラス試料を金属ガラスパイプ作製装置等を用いて、ほぼ単相状態の金属ガラスパイプの成型加工に成功した。
- ・上記で製作された金属ガラスパイプを用いて、コリオリ流量計を試作し、性能を評価した結果、従来のステンレス製パイプに比べ2～3倍の感度特性が得られることを確認した。(中間目標を達成)
- ・ニッケル基およびジルコニウム基金属ガラスを用いて、溶湯加圧鍛造装置および金型 casting により圧力センサの評価用ダイアフラム成型加工試験を行い、試験用部材を製作した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超精密部材組織制御技術」

- ・ニッケル基およびジルコニウム基等の金属ガラス合金において、高強度で表面平滑性が改善された最適合金成分探索を行った。計算機科学法等によるシミュレーションを実施した。ナノビーム電子回折等により、微細構造解析を進めた。
- ・ダイカスト用精密金型及び実験用射出成型器を用い、超精密歯車を試作した。高精度連続射出成型器改造ならびに精密多数個取金型製作を実施して、超精密歯車の連続射出成型実験を開始した。超塑性加工性能を評価した。

- ・試作したマイクロギヤードモータが、従来比で 30 倍以上の寿命であることを確認した。世界最小の直径 1.5mm のマイクロギヤードモータを開発した。

研究開発項目②「輸送機器構造部材成形加工技術」

- ・チタン基およびジルコニウム基等の金属ガラス合金において、高強度かつバルク材が製造可能な最適合金成分を探索した。高純度合金製造装置を製作して、コンタミネーションの影響を軽減し、ガラス形成能の向上を図った。高サイクル疲労試験および破壊靱性値測定試験を実施した。計算機科学法等によるシミュレーションを実施した。透過型電子顕微鏡による局所観察等を行い、微細構造解析を実施した。
- ・ジルコニウム基金属ガラスについて大形板材製造が可能との見通しを得た。双ロール式幅広板材製造装置を製作した。
- ・輸送機器構造模擬部材の成形加工基礎試験として、塑性流動成形特性を評価した。
- ・摩擦撈拌接合法によりジルコニウム基金属ガラスの重ね接合試験を実施した。
- ・溝急冷圧延装置により、ジルコニウム基金属ガラスにおいて、線径 2mm の丸棒連続線材の安定な作製条件を確立し、コイルスプリングを製作した。
- ・金属ガラススプリング部材の特徴を活かす用途・製品ターゲットの調査および検討を実施した。
- ・Mg 系合金を電磁振動下で熔融・急冷することにより、金属ガラス形成能が向上することを明らかにした。

研究開発項目③「高精度計測機器機能部材成形加工技術」

- ・チタン基、鉄基、ニッケル基およびジルコニウム基等の金属ガラス合金において、高強度、軽量、かつ軟磁性特性が良好な最適合金成分探索を実施した。計算機科学法を用いたシミュレーションおよび微細構造解析を実施した。
- ・急速冷却機構を備えた水冷式吸引 casting 用金型等により、直径 2mm の中空丸棒を作製した。金属ガラス製パイプをコリオリ流量計に適用し、従来に比べ 28.5 倍の感度を得た。金属ガラス薄肉パイプ連続作製装置を製作した。
- ・溶湯加圧鍛造法および精密塑性結合法により、圧力センサ用のダイヤフラムを成形加工した。無歪精密加工法によりダイヤフラムの精密加工および精度評価を実施した。
- ・上記ダイヤフラムを用いて圧力センサ素子を作製し、従来に比し 3 倍以上の感度を得た。溶湯加圧鍛造装置の改造ならびに金型の製作を実施した。連続成膜機構付のシリコン薄膜低温形成装置を製作した。
- ・鉄基金属ガラスにおいて、金属ガラス形成能を高め、かつ磁場中熱処理法により飽和磁束密度の最終目標を達成した。
- ・軟磁気特性を高める製法、および熱処理法を理論的に考察し、低保持力および低鉄損の発現メカニズムを解明した。
- ・鉄基金属ガラスのヨーク材を用いて評価用ステージを製作し、リニアアクチュエータの駆動試験を実施した。
- ・金属ガラス磁性材料の特徴を活かす用途・製品ターゲットの調査・検討を実施した。

研究開発項目④「知識・技術基盤の整備」

- ・材料・機能特性データ、制御技術及び成形加工技術に関する基礎データの調査ならびに蓄積を実施した。データベースソフトを作成した。

なお、当該研究開発プロジェクトは中間評価を実施し、その結果をプロジェクトの運営に反映した。

当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超精密部材組織制御技術」

- ・ニッケル基およびジルコニウム基金属ガラスの最適成分探索を行った。計算機科学法によるシミュレーションおよびナノビーム電子回折により微細構造解析を進めた。
- ・金属ガラス製超精密歯車の連続多数個取り製造および量産要素技術を確立した。
- ・ギヤヘッドのオール金属ガラス化による性能向上を目指し、ニッケル基およびジルコニウム基金属ガラスを用いて、射出成型法により太陽キャリア、遊星歯車、出力軸キャリアを作製し寿命評価を行った。
- ・急速加熱法およびマイクロ casting 法を用いて、低粘性流動下での高速変形の可能性を確認した。
- ・直径 1mm 以下のマイクロギヤードモータの基本設計およびギヤの試作を行った。
- ・新たにマニピュレータシステムを設計・製作し、微細な組立てを半自動化できる量産要素技術を確立した。

研究開発項目②「輸送機器構造部材成形加工技術」

- ・高強度な板状素材および丸棒線材が安定的に製造可能な材料成分の探索を行った。
- ・チタン基金属ガラスの腐食挙動および疲労特性を調査した。
- ・双ロール casting 設備を改造し、ジルコニウム基金属ガラスで長さ約 5m、幅約 30cm の大型板材の作製に成功した。
- ・摩擦撈拌接合法およびパルス通電法による金属ガラス板材の接合を検討した。
- ・航空機用構造模擬部材試作のため、ジルコニウム基金属ガラス板材の粘性流動加工を行って加熱方

法を検討した。

- ・自動車用スプリング部材試作のため、ジルコニウム基およびチタン基金属ガラスの丸棒線材によりコイルスプリングを作製した。
- ・溝ロールと電磁振動付与プロセスを組み合わせた連続電磁振動プロセスを開発し、鉄基金属ガラス棒材の連続作製に着手した。

研究開発項目③「高精度計測機器機能部材成形加工技術」

- ・チタン基、ニッケル基、ジルコニウム基および鉄基金属ガラスの最適成分探索を行い、材料成分をさらに絞り込んだ。
- ・コリオリ流量計に用いる直径 2mm のチタン基金属ガラス薄肉パイプを連続作製するための鑄造条件の適正化を行った。
- ・溶湯加圧鍛造装置の製造条件見直しを行い、さらに品質の安定を図ったニッケル基およびジルコニウム基金属ガラスダイアフラムを試作した。また、金属ガラスダイアフラムの試作に射出成型法を適用し、ネットシェイプ製造およびダイアフラムの小型化が可能となることを確認した。
- ・金属ガラス薄肉パイプを用いたコリオリ流量計の流量評価を簡易化するシステムを構築した。金属ガラス薄肉パイプの特徴を活かす波動式コリオリ流量計を新たに考案した。
- ・金属ガラス製ダイアフラムを用いて試作した圧力計の動圧耐久試験を実施し、金属ガラス製ダイアフラムが製品として要求される 1000 万回の耐久試験をクリアできることを明らかにした。
- ・鉄基金属ガラスにおいて、コバルトを添加した組成で高い金属ガラス形成能を発現するとともに、磁歪が極めて小さくなる合金を見出した。
- ・鉄基金属ガラスの優れた軟磁気特性を最大限活かすため、可飽和コアを利用した磁気センサの開発に着手した。

研究開発項目④「知識・技術基盤の整備」

- ・データベースの構築およびデータ入力を完了し試運用を開始した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超精密部材組織制御技術」

ニッケル基及びジルコニウム基等の金属ガラスについて、以下の基礎試験を実施した。

- ・試験用部材の性能評価結果を反映して、従来の同種結晶金属材料に比して、強度や平滑性、成形性等がさらに改善された金属ガラス合金の材料成分探索ならびに材料成分の絞り込みを行った。
- ・部材連続成形加工における品質安定化を図った高精度連続射出成形機用金型を製作し、準量産規模での超精密歯車の連続成形試験を行い、量産化を前提とした生産要素技術、品質安定化技術およびコストダウン技術の開発を行った。
- ・可能な限り金属ガラス部材で構成したマイクロギヤードモータの寿命評価試験を実施し、従来の鋼製歯車に比し、300 倍以上の寿命があることを確認した。
- ・直径 1mm 以下のマイクロギヤードモータに適用可能な超々精密歯車の要素技術検討を実施した。
- ・マイクロコンピュータシステムを用いた組立機構の機械化技術を直径 1.5mm のマイクロギヤードモータ微細組立に適用し、自動組み立てのための要素技術の開発を実施した。

研究開発項目②「輸送機器構造部材成形加工技術」

チタン基およびジルコニウム基等の金属ガラスについて、下記の基礎試験を実施した。

- ・試験用部材の性能評価結果を反映して、大型板材および丸棒連続線材が安定して鑄造可能な高強度金属ガラス合金の材料成分探索ならびに材料成分の絞り込みを行った。
- ・双ロール式幅広板材作製装置により、W200×L350×t1mm の大型板材製造技術を確立し、同時に量産化を目指して品質安定化を図った。また、溝急冷装置により、直径 1.8×L1300mm の丸棒線材作成技術を確立し、同時に量産化を目指して品質安定化を図った。
- ・金属ガラス幅広板材に対し、摩擦攪拌接合技術、パルス通電接合技術およびレーザ接合技術を適用し、夫々の技術で接合が可能なることを実証した。また、要求される継ぎ手強度が得られることを確認した。
- ・高速バルジ成形プロセスにより、金属ガラス製模擬部材の粘性流動成形技術を確立した。また、丸棒線材にセンターレス加工を施し、線径均一化、および表面性状向上を図れる技術を確立した。同時に、成形工程を従来比で 1/3 以下に短縮できることを確認した。
- ・航空機用構造部材としてのスラットトラックカバー（翼部品）の成形加工において、成形工程を従来比で 1/3 以下に短縮できる技術を確立し、量産化に必要な要素技術を開発した。また、高周波加熱を利用した急速加熱コイルリング法により、丸棒線材を用いた自動車用バルブスプリングの成形加工技術を確立し、性能評価及び量産化を目指した基礎要素技術の検討を実施した。
- ・直径 4mm のチタン基ナノ結晶線材を用いて自動車用バルブスプリングを試作し、実環境試験による性能評価を実施した。
- ・金属ガラス合金において、強磁場中で交流電流を通電することで電磁振動を与えながら凝固させることにより、ガラス形成能を向上させる技術を確立した。また、鉄基金属ガラス合金において、直線状の線材を連続製造する技術を確立した。

研究開発項目③「高精度計測機器機能部材成形加工技術」

チタン基、鉄基、ニッケル基、ジルコニウム基等の金属ガラスについて、以下の基礎試験を実施した。

- ・試験用部材の性能評価結果を反映して、高強度かつ軽量で、計測精度の向上が図れ、さらに軟磁性特性が良好な金属ガラス材料成分の探索ならびに成分の絞り込みを行った。
 - ・連続自動パイプ作製装置により、外径 2mm、肉厚 0.2mm、長さ 190mm の超薄肉金属ガラスパイプを、安定した品質で連続作製できる技術を開発した。
 - ・圧力センサ用ダイアフラムの溶湯加圧鍛造成形技術および精密塑性結合技術をさらに改善し、品質安定化技術の確立を図るとともに、量産化に必要な基礎要素技術の検討を実施した。
 - ・磁性金属ガラス厚板を対象とした水冷式双ロール型による成形加工技術の開発を実施した。
 - ・直径 2mm の金属ガラスパイプにおいて、肉厚をさらに 0.075mm に薄肉化し、試作コリオリ流量計に適用して、従来比で 50 倍以上の感度が得られることを確認した。
 - ・レーザアニール法によるシリコン薄膜低温形成条件をさらに改善し、歪ゲージの品質安定化を図った。また、動圧耐久性試験を実施して、1 千万回以上の耐久性があることを確認した。
 - ・新たに Co 基の金属ガラス合金を開発し、零磁歪特性を示すことを確認した。この金属ガラス合金を磁気センサに応用し、高感度歪み検出装置を試作して、1nm のごく微小な変位が高感度で検出できることを実証した。
 - ・ダイアフラムの欠陥検査用研磨装置を導入して、インライン検査手法の開発を実施した。
 - ・精密射出成形法により直径 2.5mm のダイアフラムを作成し、性能評価を行うとともに、量産化のための要素技術検討を実施した。
- 研究開発項目④「知識・技術基盤の整備」
- ・データベースをインターネット上で公開し、本プロジェクトで得られた材料・機能特性データ及び成形加工技術に関する基礎データ等の成果の公報、普及を実施した。

《5》超高温耐熱材料 MGC の創製・加工技術研究開発 [平成 13 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「MGC 部材複雑成形性向上の開発」

実環境評価試験に供試するタービン静翼部材および燃焼器パネル部材の形状を選定するとともに、新規ブリッジマン装置によりそれらの部材の鋳造条件を検討して、部材を試作した。加えて、部材の形状付与を有する鋳型を試作して評価した後に、鋳型の改良試作を行った。また、実環境評価試験により取得したデータにより部材の実用性を評価するとともに、高温機器のうち工業炉についてその市場規模および技術動向を調べた。

研究開発項目②「MGC 部材信頼性向上の開発」

部材から切り出した試験片での、1,700℃におけるクリープ評価および耐エロージョン・コロージョン評価を行うとともに、ガスタービン部材として要求される耐久性実証のための組成・組織および複合構造の検討を実施した。

研究開発項目③「実環境評価試験」

平成 14 年度に引き続き既存設備の改修を行うとともに、翼部高温試験装置の高温改修設計を行い、翼部高温試験装置にタービン静翼部材を組み込んで 1,500℃までの機能確認試験を実施した。また、平成 14 年度に引き続き冷却構造伝熱試験装置に燃焼器パネル部材を組み込んで冷却効率に関する基礎データを取得するとともに、燃焼環境下で同部材の温度分布が評価できるセクタ燃焼器の設計・製作を行い、セクタ燃焼器の 1,500℃までの機能確認試験を実施した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「MGC 部材複雑成形性向上の開発」においては、平成 15 年度の実環境評価試験の結果を基に、タービン静翼部材および燃焼器パネル部材の改良設計を行うとともに、新規ブリッジマン装置によりそれらの改良部材の鋳造条件を検討して、改良部材を試作した。加えて、平成 15 年度のまでの鋳型成形の結果を基に、改良部材用鋳型の試作を行った。また、平成 15 年度の改良部材の実環境評価試験データを基に改良部材の強度を評価するとともに、MGC 部材の早期実用化シナリオ策定のため、工業炉等の高温機器への MGC 部材の適用性について調査を行った。

研究開発項目②「MGC 部材信頼性向上の開発」においては、部材から切り出した試験片にて、クリープ特性等を評価するとともに、耐エロージョン・コロージョン特性の定量的評価のため、水蒸気を含む高温、高速の燃焼ガスの影響を調べ、ガスタービン等の高温機器部材として要求される耐久性向上のための組成・組織および複合構造を検討した。また、MGC 材料の特徴および優位性を明確にするため、これまでの取得データを基に、MGC と他の高温材料との特性の比較検討を行った。

研究開発項目③「実環境評価試験」においては、改良試作した MGC タービン静翼部材をタービン静翼高温試験装置に組み込み、ガス温度 1700℃一定の条件下での高温ガス流試験を実施し、改良タービン静翼部材の健全性評価のためのデータを取得した。また、改良試作した MGC 燃焼器パネル部材を冷却構造伝熱試験装置ならびにセクタ燃焼器供試体に組み込み、ガス温度 1700℃一定の燃焼環境下での改良パネル部材の健全性評価のためのデータを取得した。

平成 17 年度は、超高温耐熱材料である MGC (Melt-Growth Composite) 部材の耐久・信頼性の向上を図るとともに、複雑な形状の部品を鋳造できる技術を開発し、超高温耐熱部材を試作することによって、その技術確認を行うことを目的に、ガスタービン実用性能向上技術研究組合専務理事 横井 信哉氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発

を実施した。

研究開発項目①「MGC 部材複雑成形性向上の開発」においては、平成 16 年度の実環境評価試験の結果を基に、タービン静翼部材及び燃焼器パネル部材の改良設計を行うとともに、新規ブリッジマン装置によりそれらの改良部材の鋳造試作、組織制御等部材製造条件の最適化を通じて、複雑形状部材の鋳造技術ならびに鋳型成形技術の確立を図った。また、改良部材の実環境評価試験により取得したデータを基に改良部材の強度を評価するとともに、平成 16 年度に引き続き、工業炉等の高温機器への MGC 部材の適用性について調査を行い、MGC 部材の早期実用化シナリオを明確にした。

研究開発項目②「MGC 部材信頼性向上の開発」においては、部材から切り出した試験片にて、クリープ特性、疲労特性を評価するとともに、水蒸気を含む高温、高速の燃焼ガスの影響も含め、これまでの結果を踏まえ、部材の耐久性を向上させるための材料組成・組織及び複合構造に関する設計指針をまとめた。また、他の高温材料との比較検討を行い、MGC 材料の特徴及び優位性を明確にした。

研究開発項目③「実環境評価試験」においては、改良試作した MGC タービン静翼部材ならびに MGC 燃焼器パネル部材について、最高ガス温度 1,700°C として、温度を時間的に変化させた動的条件での実環境評価試験を行い、構造健全性を評価するとともに、高温耐熱部材としての実用性を確認した。

《6》マイクロ分析・生産システムプロジェクト【F21】[平成 14 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①マイクロ化学プラント技術開発

(1) マイクロ単位操作研究

(a) マイクロリアクター研究に関し、界面反応型反応器の開発では、多重同軸型マイクロチューブデバイスを開発・試作し、各種マイクロ中空微粒子、TiO₂ 微粒子の創成を実証した。ハロゲン化銀微粒子(AgCl)合成について、平均粒子径 110nm の微粒子を形成し、従来法(乱流法)(134nm)より小さい微粒子形成の可能性を確認した。多段階型反応器の開発では、平成 14 年度に抽出した界面反応型反応器および滞留時間制御型反応器を 2 個組み合わせさせたシステム構築における技術的課題の解決を図り、複数のマイクロリアクターを連結したシステムの設計指針を検討し、連続グリニヤ反応用や宿重合用等の各種有機合成用マイクロリアクター開発に着手した。「有機リチウム反応用マイクロリアクター」の開発において、マイクロミキサーと滞留時間の適正化により、反応温度 0 度で、ハロゲン-リチウム交換反応を高収率で行う条件を確立した。

(b) マイクロミキサー研究に関し、エマルジョン製造用直交流型ミキサーの開発では、400 μm の流路幅の分離分割方式と縮流を組み合わせさせたミキサー(YM-1)を試作し、液液系、気液系で壁面材質、段数等の影響と流量、濃度、界面活性剤の有無などの操作条件の影響を各種指標から評価し、海外製ミキサーとの性能比較を行った結果、優位性を確認した。液-液均相系混合用直交流型ミキサーの開発では、独自に開発したミキサー(YM-2)及び海外製ミキサーを用いて均相系の混合を行い、分割混合方式を取り入れた独自開発ミキサーの優位性を確認した。液-液二相系拡散混合用並流・向流型ミキサーの開発では、機械加工で放射状の流路を作成し中心で衝突させて混合するミキサー(KU-MCPT ミキサー)を試作し、各種反応を実施することでその混合特性、固体析出系への適用を検討した。

(2) 生産プロセス化研究

(a) 単位操作の最適設計手法に関する研究では、プレートフィン型マイクロ単位操作の設計問題を、装置内滞留時間及びチャンネル間滞留時間分布を制約・評価項目に加えて定式化した。

(b) 単位操作の集積化に関する研究では、集積化に影響を与える因子を明らかにし、各因子が支配的な条件下で、生産プロセスとして望ましい集積化構造を提案した。

(c) 計測・制御システムに関する研究では、CFD シミュレーションの結果と、既存のプロセスシミュレーターでの計算結果を比較した結果、マイクロ装置では装置壁を伝わっての伝熱の影響が大きく、新たに「壁ユニット」の考えを提案した。

研究開発項目②「マイクロチップ技術開発」

(1) マイクロチップ微小空間内のマイクロ化学の研究

(a) 交差型マイクロチャンネルによるエマルジョン生成に関する研究では、ガラス基板のマイクロチャンネルの加工法として、機械加工に加えてエッチング加工を取り入れ、液滴生成への影響を検討し、生成条件の解明に着手した。パイレックスガラス基板に幅 20~80 μm のマイクロチャンネルを製作し、最小で直径約 20 μm の O/W(oil-in-water)液滴の生成を確認し、目標値をクリアした。

(2) マイクロチップ上のマイクロ化学プロセスの研究

(a) HPLC の研究では、コネクタの高耐圧化、高圧カラム充填技術に関する検討を行い、ワンチップ化に着手した。カラム長 50mm にて理論段数 1,700 段を達成し、目標値をクリアした。

(b) オンチップ型熱レンズ顕微鏡では、セルフオックマイクロレンズを組み込んだチップを作成し、熱レンズ分光法による測定・評価に着手した。性能評価により、小型かつ高感度の定量分

析に見通しを得た。設計装置サイズ：250×150×60mm（電源部含まず）の試作品を作成した。

(3) マイクロチップデバイスシステム技術の研究

(a) ポンプの研究では、高圧対応マイクロポンプのマクロモデルを設計・製作して、安定送液方法について検討した。

(b) 材料生産技術の研究（プラスチック）では、前年度選択したモデルとしての免疫チップを試作、射出成形方法の改良をおこなった。

平成 16 年度は、複数年度契約を継続して以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①マイクロ化学プラント技術開発

(1) マイクロ単位操作研究

(a) マイクロリアクター研究 精緻界面を利用した界面反応型、数百ミリ秒のオーダーで制御可能な滞留時間制御型マイクロリアクターを開発した。これによって、均一液相、液-液 2 相系反応、微粒子製造反応において、逐次反応の厳密制御、微粒子粒径の厳密制御を実現した。一方、マイクロセグメントの概念を提唱し、反応と混合の関連性を形状という因子まで考慮して考える手法を確立した。

(b) マイクロミキサー研究 昨年度までに開発したミキサーに加えて、新たに柔軟性に富んだ中心衝突型ミキサーを開発し、生産用デバイスとして種々の均相系反応、粒子生成反応で顕著な効果があることを明らかにした。また、マイクロミキシングの論理的な考え方を明らかにし、これに基づくマイクロミキサー設計の指針を提示した。更に、気泡分散型マイクロミキサーに関しては、先に開発した YM-1 を改良したミキサーを用いて実験を実施し、気泡数は多くないが、100nm 程度の気泡を安定的に分散できることを見いだした。

(c) マイクロエネルギー伝達器研究 反応を伴わない系を対象に、装置内滞留時間 0.1 秒で 100℃の温度変化が可能なマイクロ熱交換器を開発した。また、マイクロ光化学リアクターを用いた光不斉増感反応に関する基礎的知見を得た。更に、支持電解質を必要としない電気化学マイクロリアクターを開発した。

(e) マイクロ基本特性の研究

①酸化還元反応、熱反応及び電解反応について装置モデルを開発し、それらの装置モデルをもとに、超微粒子製造、精密高分子製造、各種ファインケミカル製造などに適用できる装置開発の指針を得た。又、各種マイクロデバイスを用いた各種機能性物質合成では、次の「反応及びその実現を目指すデバイス開発等」に関する研究を実施した（「有機リチウム反応用」「不安定中間体制御用」「ラジカル重合用」「重縮合用」「有機金属反応用」「触媒的酸化反応用」「酸素酸化反応用」「金属微粒子合成用」「有機微粒子合成用」「縮合反応用」）

②マイクロ生産デバイス設計論の確立では、前年度の成果を踏まえ、汎用機能性マイクロチャンネル用の設計・開発に資する方針等の検討を行った。

(2) 生産プロセス化研究

(a) 単位操作の最適設計手法に関する研究マイクロ熱交換器に対する最適設計手法を確立した。

(b) 単位操作の集積化法に関する研究 マイクロ化学プラントにおける分配器の基本設計を終え、反応を伴わない系を対象に 15 ユニットからなる模擬プラントを試作し連続運転を行なった。

(c) 計測・制御システム構成決定手法の開発マイクロ化学プラントを対象とした、制御系最適配置選定アルゴリズムの開発において、制御結果やマイクロプラント内の異常の伝播を表現できる動的シミュレーションシステムを開発した。

(d) マイクロ分離器研究 膜分離型分離器では、マイクロ水素分離装置を試作し、200℃の高温でも水素を分離可能であることを示した。吸収型分離器では、前年度までに開発した迅速濃縮方式を数種の分離・濃縮に適用し、最終目標（従来の 5 倍以上の透過速度を有するマイクロ中空糸膜分離装置、10 倍以上の接触面積を有するマイクロ吸収装置の開発）を達成した。抽出型分離器では、YM-1 ミキサーによって抽出能に関しては前年度に目標値に達成しているため、相分離装置を試作した。その結果、疎水性の壁面と親水性の壁面で流路を挟み込むことによって、有機相と水相を迅速に分離できる可能性を見いだした。吸着型分離器では、冷媒挿入速度を制御することで、流路サイズが 4 μm 程度、百万 m²/m³（目標の 10 倍）をもつマイクロハニカムを製作することに成功した。

平成 17 年度は、プロジェクトリーダーが、小宮山学長の公務多忙により交替し、京都大学の吉田教授、東京大学の北森教授、東京工業大学の黒田教授の 3 プロジェクトリーダーの体制となり、前年度に引き続き計画に沿った研究開発を行った。

マイクロ化学プラント技術開発では、まずマイクロリアクター研究においてはセグメント形状や配置などの因子を考慮した設計方程式を確立し、マイクロ反応器を精緻に設計する手法を開発した。また、触媒失活を防止できる触媒担持型マイクロリアクターを開発し、任意に生成物の選択率を制御する方法を示した。マイクロミキサー研究に関しては、中心衝突型のパーツ変更で非等量混合が可能であることを確認するとともに、混合特性と操作条件を相間できる実験式を提示した。これによって、希望の混合時間を得るのに必要なパーツの選択とその流量条件を決定可能となった。また、大量生産用の同軸型マイクロリアクターのナンバリングアップタイプのリアクターを開発し、ナンバリングアップしても同等の粒子性状が得られることを確認した。電場エネルギー伝達器については、支持電解質を用いないマイクロフロー型電気化学リアクターを開発し、芳香族側鎖の酸化を効率よく行うことに成功した。低周波の機械的振動エネルギーを含めた気液二相流の物質移動促進技術の比較検討を行うことにより最適な促進技術を見出した。次にマイクロ抽出器開

発では、抽出操作の直後に疎水性、親水性などの壁面と接触させることで迅速相分離可能なことを明らかにした。また、吸着型分離器開発においては、前年度すでに最終目標を達成しており、本年度は種々の原料から表面積・容積比を任意に制御した分離用のマイクロハニカムモジュールの製造する技術を確認した。これによって、各種分離操作に対応できることを示した。

また、マイクロデバイスを用いたプロセスが、連続運転に耐えることを実証プラントにより証明した。具体的には、マイクロチューブリアクターを用いたラジカル重合実証プラントで現行法よりも分子量分布の狭い重合体が得られること、滞留時間制御デバイスを用いたスワン酸化用実証プラントで現行法のような超低温を必要とせず室温付近で効率よく反応が行えること、中心衝突型デバイスを用いた超微粒子合成用実証プラントで現行法よりも粒径分布の狭い微粒子が得られること、リチウムハロゲン交換反応用実証プラントで通常マイナス 80℃付近で行なう反応を室温付近で行えること、重縮合用実証プラントにより現行法よりも分子量分布の狭い重合体が得られること、過酸化水素酸化用実証プラントによりクロム酸を用いることなく安全な酸化反応が可能なること、縮合用実証プラントで、非等量混合反応器によるビスフェノール類の反応が可能なることを実証した。

《7》次世代半導体ナノ材料高度評価プロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、複数年交付決定を行い、以下の研究開発に助成を実施した。

- (1) 今後主流となる300mmウェーハの製造プロセスに対応する装置機器、検査・解析機器を選定すると共に、詳細な仕様を決定し、クリーンルームに導入した。また、装置メーカーと共同でプロセスおよび材料評価用装置の最適稼働条件を設定し、300mm対応装置で形成した各種材料単体の評価が実施できることを確認した。
- (2) 各種の対象材料について、現在参加企業で行われている評価方法の課題及び業界・学会情報を整理すると共に、材料毎の評価項目と新たに開発する評価方法を検討し、今後の材料評価の実施手順を策定した。また、組合企業から提供された材料の一部について、策定した手順に従い評価を開始した。
- (3) TEG開発のためのマスク設計環境の整備を完了した。また、配線評価および材料評価 TEG に組み入れる機能項目を検討し、マスク設計を行った。配線 TEG については、第一次マスクの製作を完了すると共に、一部の TEG について試作および動作の検証を完了した。さらに、組合員企業から提供された材料を用いて材料評価 TEG の試作にも着手した。

平成16年度は、平成15年度に実施した研究成果を踏まえ、半導体材料開発に有効な評価方法、TEGマスクの改良設計、提案部材を用いた多層配線工程以降のプロセス構築の研究を助成した。

研究開発項目①評価方法の開発

300mmウェーハを用いて、配線工程以降の半導体製造プロセスを実行し、半導体材料へのプロセス負荷を抽出した。半導体製造プロセスへの適応性を検討することにより、材料単体の評価方法の妥当性を検証した。また、「次世代半導体材料・プロセス基盤技術開発(半導体 MIRAI プロジェクト)」と共同で Low-k 材料の空孔評価手法等の研究開発に着手した。

研究開発項目②開発支援ツールの開発

配線 TEG 第一次マスクについては、半導体配線プロセス試作によって動作と機能を検証した。得られた結果から第二次マスクを設計製作し、プロセス試作を通して電気特性や信頼性を評価中である。評価結果を解析し、材料開発にフィードバックするための特性評価が可能な TEG 設計に着手した。

研究開発項目③部材提案と実用化研究

特性の異なる各種材料を評価することにより、各材料に適した 90nm ノードの配線プロセス構築を行った。これらの結果から 65nm ノード配線プロセス構築のために評価する材料を選定し、プロセスの最適化の検討に入った。塗布型バリア材などの新しい部材提案を行って配線性能の向上の可能性を検討した。また、これらの研究成果を基に、組合員とデバイスメーカーや装置メーカーと実用化研究を開始し、組合員における研究開発の促進を図った。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

(1) 課題 I

材料評価方法の標準化については、材料単体、一層配線、多層配線、配線信頼性のステップ毎に、微細環境下のナノレベルでの材料-材料間、材料-プロセス間の相互影響を考慮した試作、評価を行い、結果を材料メーカーに報告するとともに材料改良の指針を発信した。材料のプロセスダメージを検証し、材料毎に最適プロセスを設定した。さらにこれらの知見を有効に生かして、上記のステップ毎に評価基準書を作成し、材料-プロセスという統合部材に関する評価基盤の確立を行った。

(2) 課題 II

開発支援ツール(TEG)の開発については、65nm ノード用 TEG を設計して、プロセス毎の形状と電気特性を測定して、個々の相関を検証することによって TEG マスクの精度と機能を改良し、多層配線用 TEG、CMP 専用 TEG、パッケージまでの後工程用 TEG を完成した。これらの TEG を用いて評価することによって、統合部材に関する評価基盤の確立を推進した。

(3) 課題 III

①新しい部材提案とその検証については、低誘電率の塗布膜を積層することによる低誘電率配線構造を提案し、その優位性、課題などを検証するとともに、ポリマー膜/Si 系膜の多層ハイブリッド配線構造を提案して、性能の検証を行った。また、これらの配線構造については、パッケージ化までのプロセスについて評価を行い、問題点

の抽出をおこなった。

- ②課題1と課題2で実施した成果を踏まえて、改良された材料の実用化研究が参加材料メーカーから提案された。材料メーカー、材料ユーザーと一体となった実用化研究を実施して、材料採用に貢献した。

《8》シナジーセラミックス [平成6年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高温エネルギー材料技術」

ガスタービン用静翼のモデル部材にて性能発現を実証するとともに、高温特性に優れたφ100×100mmの円筒モデル部材を作製し、1,400℃における残存強度を500MPa以上とする最終目標の特性発現を確認した。高温燃焼ガス用フィルターのモデル部材において性能発現を確認し、一次元ナノ貫通孔気孔膜を持つフィルターメンブレンの作製に成功した。試験片を用いた1,500℃級ガスタービン実機模擬環境の熱サイクル負荷試験で、被覆層の剥離寿命2倍以上（現行材比）を達成した。

研究開発項目②「超精密材料技術」

窒化物系、酸化物系、炭化物系セラミックス材料により、高速回転軸受を想定したモデル部品において性能発現を実証した。高耐摩耗性と放電加工性の要素技術を統合したモデル部品として、精密セラミックス型を作製し、その型を用いた微細加工ガラス部品の作製が可能であることを確認した。乾式摩擦で0.3以下の摩擦係数等の目標値を達成した材料により、燃料噴射ノズルを対象として、損傷性、摩擦・摩耗の観点から部品としての有用性を実証した。シムの模擬試験片を用いてエンジン潤滑条件を模擬したカムフォロワー試験機による摩擦試験を進め、特に加速試験によって表面修飾膜の耐久性を評価した。ピストンリングとして、ピストンに装着可能な可とう性を有し、機械的強度と熱伝導性に優れ、また、摩擦係数が現状材料に比べて低減できる材料開発とモデル部材製作を行った。また、実機環境下を模擬した摩擦評価を通じて既存リングに比しての有用性を確認した。

研究開発項目③「高機能能動材料技術」

400℃以上で作動し酸素共存下での窒素酸化物の転化率50%以上の性能を発現する浄化材料の開発と、自己完結型のシステム作動の可能性を実証した。ハニカムセルの発電性能向上を目指し、空気極の作製条件および材料を改良した結果、出力密度は0.73 kW/Lと目標を超える性能を達成した。また、廃棄物発電を想定し、腐食ガスへの曝露処理後のセル性能を評価した結果、性能劣化は認められず、このセルの耐食性が高いことを確認した。無機・有機ハイブリッドの構造制御を行って、ガスやイオンの選択的物質吸着機能や透過機能の向上と共に適用部材としての評価を行った。特に、光透過率を80%以上、NO₂ガスの吸着選択率を3.0以上とした材料に関し、環境センシング材料としての総合的な評価を行った。抵抗率¹⁻¹⁰Ωm、許容注入エネルギー510J/cc等の目標特性を持ったモデル素子（直径40mm、厚さ10mm）を作製した。このモデル素子を用いて小型抵抗器を試作して性能を検証し、実用的材料であることを示した。

研究開発項目④「先端評価・設計技術」

微視き裂の発生モデルを、き裂面の接触の効果が重畳可能なモデルへと拡張した。本モデルを用いて、多孔質炭化ケイ素の破壊挙動をシミュレーションした結果、応力ひずみ関係の非線形性や、上昇型のR曲線挙動には、き裂面接触の効果よりも微視き裂発生の方が大きいことを明らかにした。次いで、アルミナ多孔体と緻密体の接合材に対して解析を行い、実験結果の解析的検証に成功した。シナジーセラミックス部材の機械的性質やマイクロ・マクロ応力場、破壊起点を連続的に予測する部材モデリング技術を開発し、代表的な微構造に対応した解析方法を提案した。また、異なる微構造を有する2つの多孔体の組合せからなる接合部材をモデル化し、開発技術によって各部の等価弾性係数と部材に働く応力場や破壊挙動、破壊起点がコンピュータ上で予測できることを示した。

界面やき裂先端の近傍でマイクロな不均質性を考慮しつつ、マイクロ構造とマクロ特性の双方の相関を考慮した新しい3次元モデリング・応力解析のため、均質化法と有限要素重ね合わせ法を併用した新しいマルチスケール法を確立した。また、材料内部に生じる3次元マイクロ応力分布の定量的評価と可視化のための新しい手法を開発し、集中研と共同で実用的ソフトウェアV-SEMを完成させ、一般に広く公開した。

< 5 > エネルギー分野

[中期計画]

「安定供給の確保」、「環境への適合」及びこれらを十分配慮した上での「市場原理の活用」というエネルギー政策目標の同時達成を効率的に実現するため、新エネルギー技術、省エネルギー技術等の課題について重点的に取り組むこととし、以下のような研究開発を推進するものとする。

① 固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用技術

[中期計画]

燃料電池自動車、定置用燃料電池等の早期の実用化・普及に向け、固体高分子形燃料電池の要素・素材のシステム化技術等の開発を行い、実用化が見通せる信頼性の確立、コストの低減、及び多様な利用形態への適用に貢献するとともに、実用化・普及に資するべく、安全性・信頼性等の基準・標準など普及基盤の整備、リチウム電池等の関連技術の開発を行う。さらに、安全かつ低コストな水素の製造・利用に係る技術を確立するため、水素の安全技術の確立及び水素燃料インフラ関連機器の開発を行う。

< 新エネルギー技術開発プログラム >

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発 [平成17年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「基礎的・共通的課題に関する技術開発」では公募により5件のコンソーシアム型プロジェクトを採択し、研究開発を開始した。

- ・水管理によるセル劣化対策の研究
- ・固体高分子形燃料電池内の物質・反応分布の分析・可視化システム開発とMEA・セル設計への応用
- ・固体高分子形燃料電池セルの劣化メカニズム解析と余寿命評価手法の開発
- ・固体高分子形燃料電池スタックの劣化・解析基盤研究
- ・セル劣化要因の基礎研究とMEA耐久性の解析

研究開発項目②「要素技術開発」では、公募により6件の単独実施テーマ、1件の共同実施テーマ、3件のコンソーシアム型プロジェクトを採択して以下のような研究開発を実施した。

- ・高温低加湿運転用のフッ素系電解質膜材料開発のための、膜・MEA劣化の要因抽出と劣化メカニズム推定。
- ・炭化水素系電解質膜での新たな電解質ポリマ構造設計。
- ・DMFC用炭化水素系バイнда開発と触媒ペースト微分散化検討。
- ・ラジカル捕捉層形成MEAの最適化構造検討。
- ・スタックのガスケット及び電解質膜のクロスリーク量低減に向けた検討。
- ・定置用燃料電池システムの低コスト化・高性能化のための電池スタック主要部材に関する基盤研究開発（電池スタック主要部材の高信頼化・高ロバスタ化に関する研究開発）：電解質膜・MEAの高信頼化・高ロバスタ化のための、新規電解質膜の試作。
- ・家庭用燃料電池システムの周辺機器の技術開発：周辺機器の共用スペックの整理と機器の方式に応じた材質、形状、検出方式、構造等の要素技術開発。
- ・定置用燃料電池改質系触媒の基盤要素技術開発：卑金属触媒等の活性、耐久性向の検討。

研究開発項目③「実用化技術開発」

公募により、定置用燃料電池の市場形成を確実にするため基礎的部材の生産技術等の実用化技術開発10テーマを採択し、研究開発を開始した。

実用化を促進するために必要な、電極触媒、膜・電極接合体、セパレータ、周辺機器について、生産技術に関する開発を開始した。具体的には、超少量白金系触媒担持カーボン粉末を用いた電極適用基礎技術の確立、セパレータについては、組成の選定および最適化、成形方法・条件の確立、膜・電極接合体については、構造の最適化および生産プロセスの検討を行った。また周辺機器として、ダイアフラムポンプの長寿命化の検討を行った。

研究開発項目④「次世代技術開発」

公募前に研究開発提案の事前説明の機会を設けて提案テーマの方向性、技術レベル等が公募の趣旨にあうか等について確認をして公募を行い、31件を採択して研究開発を開始した。酸化物や炭化物などを用いた白金代替触媒の開発（低コスト化）、イオン性液体や無機固体酸塩等新規電解質膜の開発（高性能化）、GDL中の物質移動メカニズム解析（高性能化）、金属セパレータの新規被覆技術開発（耐久性向上）、陽電子消滅法や三次元電子顕微鏡等を利用した評価技術開発（高性能化）等について

て予備実験や事前検討実験を実施し、研究開発方向の確認や研究開発プロセスの検討を行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「基礎的・共通的課題に関する技術開発」

自動車用燃料電池を始めとする固体高分子形燃料電池システム、スタック、セルそれぞれのレベルでの耐久性・経済性・性能の向上に資する基礎的・共通的課題解決のための基礎的研究を実施した。特に、スタック劣化解析基盤研究においては、起動停止条件及び高電流密度条件にて、定常運転時の劣化を加速できることを見出した。

研究開発項目②「要素技術開発」

格段の経済性・耐久性・効率の向上を可能とする固体高分子形燃料電池の電極、電解質膜（膜・電極接合体を含む）、セパレータ、周辺機器、改質器等における高リスクな要素技術の開発を行った。

特に、定置用燃料電池システムの低コスト化・高性能化のための電池スタック主要部材に関する基盤技術開発においては、電解質膜・MEA の高信頼化・高ロバスト化のため、運転条件変動の耐久試験を開始し、MEA 仕様・変動要因の影響を検討し、劣化解析を実施した。さらに改良膜を試作し、ロバスト性の実証を開始した。

また、家庭用燃料電池システムの周辺機器の技術開発においては、回転機を中心に、各補機メーカーが共通仕様要求（流量、揚程、温度などの条件）を満足し得る周辺機器を開発し、補機消費動力の低減も確実に進展した。耐久性に関しては、回転系の機器で、空気軸受、キャンド型＋樹脂系軸受など新たな要素技術が適用され 4 万時間以上の見通しを得ることができた。更に、当初コスト見込み値に対して、顕著なコストダウン効果を見通すことができた。

研究開発項目③「実用化技術開発」

定置用燃料電池の市場形成を確実にするための燃料電池スタック、膜・電極接合体やセパレータ等の部材、周辺機器等の基礎的な部材の生産技術等の実用化技術開発を実施した。

具体的には、超少量白金系触媒担持カーボン粉末を用いた電極適用基礎技術の確立、セパレータについては、組成の選定および最適化、成形方法・成形条件の確立、膜・電極接合体については、構造の最適化および生産プロセスの検討を行った。また周辺機器として、ダイヤフラムポンプの長寿命化の検討を行った。

研究開発項目④「次世代技術開発」

固体高分子形燃料電池の本格普及期に必要なと考えられる要素技術を支える革新的基礎・基盤技術の充実、高性能・低コストな次世代燃料電池のための新規材料の開発等を実施した。また、公募を実施し、新規研究テーマ 9 件を採択した。

新材料の開発においては、脱白金触媒の開発について、新規なカーボン系触媒、酸化物触媒等の開発を、電解質材料については、新規なイオン液体、炭化水素系電解質材料等の開発を行った。計測評価技術においては、中性子ラジオグラフィを用いたカソード面内結露水の動的挙動のその場観察や、超音波による水分計測、三次元 TEM による電極触媒の立体的観察、ERS や陽電子消滅法による電解質劣化メカニズム等を検討した。計算科学による電極反応機構の解析では、第一原理計算を用いた電解質劣化メカニズム解析、燃料極の耐 CO 被毒性の検討、酸素極での酸素還元活性向上機構の検討、水素分子の解離吸着反応などを解析した。

平成 19 年度は、中間評価を実施して、事業全体の進め方及び各テーマにおける目標の妥当性・達成度、課題解決の見通し、体制の妥当性について検討した。その結果、適切な運営管理によって概ね着実に進展しており、成果は着実に得られていると評価された。中間評価を受けて、目標未達の 1 件を中止した。また、5 年間の目標を前倒しで 3 年で達成した 2 件を終了した。さらに、翌年度以降取り組むべき課題について検討した結果、5 件の技術課題について新たに追加公募を実施することとした。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「基礎的・共通的課題に関する技術開発」

固体高分子形燃料電池の耐久性・経済性・性能の向上に資する基礎的・共通的課題の解決を図るため、コンソーシアム型プロジェクト 5 件を実施した。特に「固体高分子形燃料電池内の物質・反応分布の分析・可視化システム開発と MEA セル設計への応用」においては、発電中の MEA 面酸素分圧を光学的に計測、新規開発の感温試薬を用いた温度分布可視化にも成功した。赤外光吸収法による水分の計測原理も確認しており、酸素・水分・温度の 3 成分同時計測・可視化の目途を立てた。

また、「固体高分子形燃料電池スタックの劣化解析基盤研究」においてはアノードガス切替え法、電圧サイクル法、高電流密度運転法、の 3 方式それぞれについて、劣化加速手法を実証するとともに、その仕様を公開した。また、主要な劣化因子であるガス拡散性低下及び耐 CO 被毒性低下のメカニズム解明を通して、これらの劣化加速手法の合理性を検証した。

研究開発項目②「要素技術開発」

産学連携コンソーシアム型（3 機関以上）で 3 テーマ、共同実施型（2 機関）で 1 テーマ、単独型（1 機関）で 6 テーマを実施した。

特に、「定置用燃料電池改質系触媒の基盤要素技術開発」においては、起動停止耐久に優れかつ安価な革新的な触媒開発及びその運用方法の開発を実施した。開発した改質触媒、CO 変成触媒及び CO 選択酸化触媒それぞれの開発目標である、耐久性：1 万時間、DSS：1 千回、コスト：1 万円（材料費）を達成出来るめどを得た。また、これらの各開発触媒を組み合わせた連結評価を実施して、所定の性能が安定して得られることを確認した。これにより、本開発技術を実システムに適用できる見通

しを得た。

また、「家庭用燃料電池システムの周辺機器の技術開発」においては、更なるコスト低減の達成並びに本格量産を考慮した研究開発を進め、第3次試作機の開発と最終評価を行い、最終的には、当初コスト見込み値（41万円@1万台/年）に対して、顕著なコストダウン（11万円@1万台/年）を見通すことができた。同時に、周辺機器の低コスト化を加速するために、本事業では、継手を中心に本事業参画以外の新たな補機メーカーの活動を促し、更には、補機メーカーと中小企業との連携推進のための活動を進め、幾つかの企業間で、試作品提供・評価などを実施した。

「高性能炭化水素系電解質膜の研究開発」においては、高温・低加湿対応の炭化水素系電解質膜を開発するために、ポリマー高次構造制御コンセプトに基づいた電解質膜（TSM膜）の開発による力学特性の飛躍的向上を図り、フッ素系電解質膜MEAと同等の発電性能と物理的耐久性（起動停止サイクル）を示し、20倍の化学的耐久性（OCV評価）を発現することに成功した。

研究開発項目③「実用化技術開発」

燃料電池システムの実用化を促進するために必要な、電極触媒、膜・電極接合体、セパレータ、周辺機器について、生産技術に関する合計8件の開発を実施した。具体的には、電極触媒については、超少量白金系触媒担持カーボン粉末を用いた電極と従来電極との生産性比較検討、セパレータについては、素材改良やサイズアップ、成形サイクル短縮とともに性能実証試験を行い、膜・電極接合体については、膜の生産プロセス（膜製法）において製膜速度向上により安定的かつ連続作成技術の確立、シールフレーム付き接合体の生産プロセスにおいて量産性確認試作を実施し品質及び性能・耐久性の確認を行った。また周辺機器として、ダイアフラムポンプの長寿命化の検討を行った。

特に「高強度な波板形状薄肉カーボンセパレータ」については、カーボン材料特有の特有の耐食性、導電性、軽量性を保持しつつ、高強度化を図ることにより、柔軟性、ハンドリング性に優れた最薄部厚み0.2mmの波板形状セパレータの量産技術を開発した。

研究開発項目④「次世代技術開発」

前年度に引き続き、固体高分子形燃料電池の本格普及期に必要なと考えられる要素技術を支える革新的基礎・基盤技術の充実、高性能・低コストな次世代燃料電池のための新規材料の開発等として、新材料の開発においては、脱白金触媒の開発について、新規なカーボン系触媒、酸化物触媒等の開発を、電解質材料については、新規なイオン液体、炭化水素系電解質材料等の開発を行った。計測評価技術においては、中性子ラジオグラフィを用いたカソード面内結露水の動的挙動のその場観察や、超音波による水分計測、三次元TEMによる電極触媒の立体的観察、ERSや陽電子消滅法による電解質劣化メカニズム等を検討した。計算科学による電極反応機構の解析では、第一原理計算を用いた電解質劣化メカニズム解析、燃料極の耐CO被毒性の検討、酸素極での酸素還元活性向上機構の検討、水素分子の解離吸着反応などを解析した。なお、公募を実施して新規研究テーマ12件を採択した。また、年度末にテーマ評価を行い、有望と思われるものについては研究の継続を決定した。

《2》新利用形態燃料電池標準化等技術開発【委託・課題助成】[平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「標準化研究開発」

公募を実施し、研究テーマ1件を採択した。また、国際標準化(IEC/TC105等への提案)、規制緩和(国連 危険物輸送に関する勧告などへの提案)に資するメタノール型燃料電池の安全性試験データの取得、性能試験方法の開発、燃料カートリッジの互換性に関する基準案作成を実施した。

研究開発項目②「性能特性向上研究開発」

公募を実施し、研究テーマ5件を採択した。具体的な研究内容は、パーソナル機器のコードレス化を実現する燃料電池技術の開発、ポータブル機器用燃料電池の性能特性向上研究開発、小型移動体用高性能燃料電池システムの研究開発、純水素型燃料電池を搭載する移動式電源車及び小型・軽量水素供給システムの開発、FC構内運搬車及び水素供給システムの開発であり、予備実験や事前検討を踏まえ、研究開発方向の確認や試作品仕様の検討を行った。

平成19年度は、国際標準化(IEC/TC105等への提案)、規制緩和(国連 危険物輸送に関する勧告などへの提案)に資するメタノール型燃料電池の安全性試験データの取得、性能試験方法の開発、燃料カートリッジの互換性に関する基準案作成を実施した。

国際標準化では、IECのマイクロFCに関する3つの規格のうち1つがIS(国際標準)発行となった。残り2つについても各国との調整を進めた結果、平成20年度中にIS発行となる予定である。

規制緩和では、ICA0において水素吸蔵合金中の水素とポロハイドライドの航空機客室内への持込が認められた。

研究開発項目②「性能特性向上研究開発(助成事業)」

平成18年度の設計、製品構想を元に、具体的にハードウェアを試作し、その性能を評価するためのデータを取得した。また、一部の開発テーマについては、フィールドテストの実施や展示会への試作機の出展などを行った。

《3》高耐久性メンブレン型LPガス改質装置の開発 [平成18年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、プロジェクト基本計画に基づき、公募によって実施者を選定し、研究開発を開始した。

①高耐久性水素分離膜（メンブレン）の開発

水素分離膜について、基材に無電解めっき法でPd薄膜を生成し、その欠陥について表面及び断面からの解析を実施して欠陥の生成原因を推定した。部分剥離を防止して耐久性を向上させるためにセラミック基材の基材表面層の細孔径、めっき条件を変化させて界面構造を調べた。また、改質ガス中に水素と共存するガス（CO、CO₂、メタン等）が水素分離膜の劣化に与える影響を解明するための試験を実施した。膜を担持する基材について、支持体の成形条件及び表面層の形成条件を検討した。

②LPガス改質装置の開発

LPガス改質装置を高効率・コンパクトにするためにメンブレンリアクターの反応プロセスモデルを構築し、シミュレーション解析を行ったほか、平成19年度に試作するLPガス改質装置のための加熱システム、脱硫システムの開発及びCO除去技術の評価などを実施した。また、メンブレン型改質装置用の600℃程度までの温度において高活性かつ炭素析出に強い改質触媒を開発するために、ルテニウム系を中心とする2成分系触媒についての探索と評価も行った。

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

①高耐久性水素分離膜（メンブレン）の開発

平成18年度に得られた知見を元に、実機サイズであるφ30×L300mmメンブレンを開発し、性能試験を実施して平成19年度の透過性能の目標である110Nml/min・cm²・atm^{1/2}を確認するとともに、試験後の試作品の解析を行って透過水素純度低下の原因の確認および対策を実施した。

②LPガス改質装置の開発

研究項目①で開発したメンブレンを用いてLPガス改質装置を試作して性能評価および耐久試験を行った。試験結果により、平成19年度の改質効率の開発目標に対する課題を明らかにするとともに、反応器のレイアウト等の一部については、配置の最適化等の課題解決を行った。これにより、平成19年度の改質効率の目標である80%（HHV）を達成した。

耐久性の目標である1,000時間の耐久性確認の実施については、平成19年度中の確認には至らず、継続して耐久試験を実施中。

《4》固体酸化物形燃料電池システム技術開発 [平成16年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

a) システム技術開発

平成16年2月10日に公募の事前周知を行い、4月5日に公募を開始、5月7日に公募を締め切り、6月18日に選定結果の通知を行って以下の研究開発を実施した。

研究開発項目a-①「コジェネレーションシステム開発」については4つのグループを採択した。システム基本計画、熱収支バランス計算等を行いシステム基本性能を確認し、システム設計を行った。この設計に基づき、システムの製作を開始した。

研究開発項目a-②「コンバインドサイクルシステム開発」については1社を採択した。

システム基本計画、熱収支バランス、圧力計算等を行い、システム基本性能を机上で確認し、システム設計を行った。この設計に基づき、システムの製作を開始した。

研究開発項目a-③-1「固体酸化物形燃料電池システム性能評価技術の開発」については1グループを採択した。研究開発が実施されている固体酸化物形燃料電池システムに関する情報を収集し、評価手法に関する原案を作成した。

研究開発項目a-③-2「固体酸化物形燃料電池システム性能評価用システムの製作」については、採択者がなく、また、再公募においても採択が見込めないことから、a-③-1において評価用実システムを準備することにした。

平成17年度は、要素技術開発について、公募により実施機関を選定し研究開発を開始した。

a) システム技術開発

研究開発項目a-①「コジェネレーションシステム開発」については、各種システム要素試験（起動性検証、周辺機器の最適化等）、モジュールレベルでの要素試験（高性能化、大面積化、量産化等）、実機を想定した模擬システム試験等を実施した。

研究開発項目a-②「コンバインドサイクルシステム開発」については、モジュールレベルでの要素試験（高性能化、セルの大型化、量産化等）、40kW級サブモジュールでの発電性能試験、並びに運転制御技術の検証を実施した。

研究開発項目a-③「固体酸化物形燃料電池システム性能評価技術の開発」については、評価・測定項目の抽出を行い、試験方案・解析手法を立案した。また、評価用1kW級SOFCシステムを導入し、性能測定技術の事前検証を実施した。

b) 要素技術開発

- 研究開発項目 b-①「信頼性向上に関する研究開発」については、試験装置の構築及び、参照セルの作製を実施した。並行して劣化の早期検出に必要な試料サンプリング方法の検討、微量成分の分析性能の把握、分析への影響因子の解明を開始した。
- 研究開発項目 b-②「高出力化に関する研究開発」については、分極抵抗低減検討、構成部材の物性調査、材料探索、製造方法の検討、セルの試作等を進め、初期性能評価を開始した。
- 研究開発項目 b-③「適用性拡大に関する研究開発」について、平板型 SOFC ホット・モジュールの開発については、スタック部品の削減、ホット・モジュール構成要素の重量軽減を進めて一次試作を行った。SOFC の耐被毒長寿命化技術の開発については、多様な不純物種の影響調査を実施した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

a) システム技術開発

研究開発項目 a-①「コジェネレーションシステム開発」

湿式円筒形 20kW 級システムの開発については、モジュール急速起動用バーナと 10kW 級発電モジュールの評価を実施するとともに、20kW 級コジェネレーションシステムの設計と製作を実施した。数十 kW 級円形平板形低温作動 SOFC システムの開発については、直流での出力 12.6kW と発電効率 50%HHV を達成した 10kW モジュールについて、起動時のスタック間温度を低減させるための改良等を進めるとともに、このモジュールを搭載した 10kW 級コジェネレーションシステムの設計と製作を実施した。アノードサポート・チューブ型 10kW 級システムの開発については、平成 17 年度に開発した 5kW 級 1/2 モデルで課題抽出と改良を行い、その結果を反映した 10kW 級 SOFC コジェネレーションシステムの設計と製作を実施した。

研究開発項目 a-②「コンバインドサイクルシステム開発」

40kW 級 SOFC サブモジュールとマイクロガスタービンの連携運転を検証するとともに 200kW 級 SOFC-マイクロガスタービンコンバインドサイクルシステムの設計と製作を実施した。

研究開発項目 a-③「固体酸化物形燃料電池システム性能評価技術の開発」

現場において発電効率を正確に測定することのできる可搬型効率測定器を開発した。1kW 級の SOFC の発電試験を行って、平成 17 年度に立案した試験方案・解析手法を検証した。

b) 要素技術開発

研究開発項目 b-①「信頼性向上に関する研究開発」

1～2kW 級モジュールにて、約 5,000 時間の運転（ヒートサイクル含む）を実施した。明らかとなった技術課題に対する机上検討/要素試験を行い、その対策を次期モジュールに反映させた。また解放後のモジュールからサンプリングした試料に対して、SIMS 等による解析を進め、劣化現象のメカニズム解明に着手した。

研究開発項目 b-②「高出力化に関する研究開発」

更なるセルの高出力化を図るため、分極抵抗低減検討、電極材料の開発、薄膜化による導電率向上、製造方法の検討、セルの試作等を進め、最適化を検討し、発電性能評価を実施した。

研究開発項目 b-③「適用性拡大に関する研究開発」

短時間で起動可能な平板型 SOFC ホット・モジュールの開発については、スタック部品の削減、ホット・モジュール構成要素の重量軽減を進めて三次試作まで製作し、検証した。また短時間での起動対策を講じたセルを開発し、強度確認実験を行った。SOFC の耐被毒長寿命化技術の開発については、熱力学平衡論、速度論、実試験（H₂S 供給）などの手法を用いた多方面からの被毒メカニズム解析を実施した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

a) システム技術開発

研究開発項目 a-①「コジェネレーションシステム開発」

湿式円筒形 20kW 級システム、数 10kW 級円形平板形低温作動 SOFC システム、アノードサポート・チューブ型 10kW 級システムを製作し、性能試験を実施した。

特に数 10kW 級円形平板形低温作動 SOFC システム及びアノードサポート・チューブ型 10kW 級システムについては、最終目標である発電効率：40%以上（定格時、送電端、HHV）及び総合効率：80%以上（HHV）を達成するとともに、3,000 時間の耐久試験も完遂した。このときの電圧劣化率は 1%/1000 時間程度であった。これらの試験から耐久性・信頼性向上のために必要な技術課題を抽出し、実用化への課題を明確にすることができた。

湿式円筒形 20kW 級システムについては、性能試験中のトラブルにより目標は未達であったが、未達となった原因究明とその対策を実証し、実用化への課題をより明確化した。

研究開発項目 a-②「コンバインドサイクルシステム開発」

性能試験において、世界最高効率（52.1% AC/LHV）を達成した。3000 時間の耐久試験はシステム不具合により未達であったが、未達となった原因究明とその対策を実証し、実用化への課題をより明確化した。

研究開発項目 a-③「固体酸化物形燃料電池システム性能評価技術の開発」

試作した測定システムを用いて、10kW SOFC システムについて 3000 時間以上にわたり、発熱量、燃料流量、電力、発電効率を測定した。特に発電効率の測定不確かさについては 1pt 以下を達成し、実用化へ向けた開発に欠かせない性能評価技術を確認することが出来た。

またエネルギーフロー解析およびシステムを構成する機器毎の性能解析が可能なシステム解

析ツールを用いて 1kW 級システムの 2000 時間程度の連続試験を実施し、システム経時性能低下解析に本ツールを適用し、解析結果をメーカーにフィードバックした。

b) 要素技術開発

研究開発項目 b-①「信頼性向上に関する研究開発」

二次イオン質量分析 (SIMS) による不純物測定を系統的に行い、セル内への製造時における不純物の混入、運転時における空気、水、燃料からの混入、スタック内材料からの混入を明らかにし、今後の対策の必要性を明示した。

劣化率 0.25%/1000 時間は達成できなかったが、各スタック毎に劣化改善策を明らかにした。特に、物質移動現象ばかりでなく、三相界面近傍での化学変化、機械的性質の変化も検討する必要性を確認した。

研究開発項目 b-②「高出力化に関する研究開発」

空気極・燃料極、電解質の最適化 (構造の微細化、薄膜化等) を行い、それぞれのセル特性において目標となる $0.43\text{W}/\text{cm}^2$ を達成した。またスタックレベルでの発電試験においても、高出力化を確認した。

研究開発項目 b-③「適用性拡大に関する研究開発」

・急速起動ホットモジュール開発については、中間評価にて目標をほぼ達成したため、平成 18 年度で終了することとした。

・SOFC の耐被毒長寿命化技術の開発について

多様な燃料不純物種・燃料種による初期の影響を明らかにした。また、被毒耐久性の加速試験方法の検討、被毒耐久性に関するデータベースの構築とともに、長寿命化に資する手法や材料の開発を行った。多様な燃料不純物種・燃料種による初期の影響を明らかにした。また、被毒耐久性の加速試験方法の検討、被毒耐久性に関するデータベースの構築とともに、長寿命化に資する手法や材料の開発を行った。

《5》セラミックリアクター開発 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲: <4> ナノテクノロジー・材料分野 ② 革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム II 材料プロセス革新技術《2》-1 参照]

《6》水素貯蔵材料先端基盤研究事業 [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 主幹研究員 秋葉悦男氏をプロジェクトリーダーとし、公募により選定した実施者により以下の研究開発を実施した。

① 金属系水素貯蔵材料の基礎研究

金属系材料の評価手法として X 線回折、陽電子消滅法などの in situ (その場) 測定手法の進展を図るとともに、構造評価に着手した。また、米国ロスアラモス国立研究所と共同で、中性子散乱による、ナノ構造をもつ材料の構造解析にも着手した。

② 非金属系水素貯蔵材料の基礎研究

無機系ナノ複合水素貯蔵材料の合成技術・分析・評価手法および TEM (透過電子顕微鏡法) 等を用いた in situ 観察・分析手法の確立を図るとともに、反応機構解明に着手した。

③ 水素と材料の相互作用の実験的解明

③-1 高輝度放射光を用いた水素と材料の相互作用の実験的解明

水素と材料の相互作用を構造、磁性、ダイナミクス、電子・磁気構造、反応機構の観点から高輝度放射光などを活用した計測に必要な装置等を導入・整備し、相互作用の機構の解明に着手した。

③-2 中性子実験装置による水素貯蔵材料に関する共通基盤研究

水素貯蔵材料評価用中性子全散乱装置の設計を行い、遮蔽体等の安全設備の建設から着手した。全散乱装置のデータ解析に関わる国際ワークショップ (SABAC2008) に参加し、データ解析手法についても調査、検討を開始した。

④ 計算科学による水素貯蔵材料の基盤研究

計算科学的手法を水素貯蔵材料へ応用するための基礎的検討に着手した。特に第一原理計算と分子動力学的研究を組み合わせることで水素貯蔵の過程を視覚化することの端緒を付けた。

《7》水素先端科学基礎研究事業 [平成 18 年度～平成 24 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、公募により実施者を選定し、独立行政法人産業技術総合研究所 水素材料先端科学研究センターセンター長 (九州大学 副学長) 村上 敬宣プロジェクトリーダーの下、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高圧水素物性の基礎研究」

高圧域における水素物性の測定技術を開発し、同物性データを取得することを目的として、バーネ

ット式 PVT データ測定装置、細管式水素粘性係数測定装置、溶解度測定装置の設計及び製作を行った。
研究開発項目②「高圧/液化による金属材料等の水素脆化の基本原理の解明と材料強度特性に関する研究」

オーステナイト系ステンレス鋼、低合金鋼、炭素鋼材料における疲労き裂進展等に及ぼす水素の影響を調査し、同疲労破面や同引張破面をマイクロレベルで解析した結果、水素脆化は、格子脆化・脆性破壊ではなく、すべり集中による延性破壊を示唆するデータを得た。

研究開発項目③「液化・高圧化状態における長期使用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究」

高圧水素研究における実験環境を整備するとともに、高圧水素ガス雰囲気中の材料への最大水素侵入量に関する評価方法（水素侵入評価法）を開発した。またオーステナイト系ステンレス鋼の水素による疲労き裂進展は、加工（成形・溶接・表面修飾等）誘起マルテンサイト変態、き裂の直線化、すべりの局在化等で引き起こされるあるいは加速されることを見いだした。加えて、フレットング疲労、溶接継手疲労に関する試験技術・評価法の開発にも着手した。

研究開発項目④「高圧水素トライボロジーの研究」

関連技術の国内外動向を調査し、水素トライボロジーに関する技術課題を整理した。また常圧水素雰囲気中における軸受、バルブ、シール等摺動材料の基礎データを取得した。

研究開発項目⑤「材料等内の水素拡散、漏洩などの水素挙動シミュレーション研究」

水素雰囲気中の材料の疲労強度劣化メカニズムを解明するために、分子動力学法による解析を実施した結果、水素の存在有無に応じ、き裂進展挙動に差異が生じることが確認できた。

平成 19 年度は、プロジェクトリーダーの元で、世界最先端の高圧水素材料研究設備の整備を実施するとともに、以下の研究開発を実施した。

①高圧水素物性の基礎研究

平成 18 年度に開発した PVT、粘性係数、溶解度測定装置を用いて、1MPa 以下の低圧領域における測定を開始し、既存の文献値や理論値と比較することにより計測精度を確認した。併せて、測定装置の遠隔操作システムを付加し、次年度以降に実施予定の高圧環境下における物性値測定が可能であることを確認した。さらには、次年度から実施予定の熱伝導率測定のための数値シミュレーション及び予備実験を実施した。

②高圧/液化による金属材料等の水素脆化の基本原理の解明と材料強度特性に関する研究

平成 18 年度に引き続いて、き裂先端近傍をはじめとした材料中の水素濃度測定法を開発するとともに、新たに、き裂先端近傍の組織・強度測定法を開発した。さらにそれを疲労き裂進展に及ぼす水素の影響を分析する研究に応用し、水素脆化の基本メカニズムを検討した。

③液化・高圧化状態における長期使用及び加工（成形・溶接・表面修飾）、温度などの影響による材料強度特性研究

ステンレス鋼、低合金鋼の水素による疲労き裂進展加速は、加工誘起マルテンサイト変態、すべりの局在化、荷重荷重速度が重要因子であることを見出した。部品・部材を念頭に、水素環境中の疲労特性に及ぼす加工ひずみ、切欠きの影響を評価したほか、非金属材料（ゴム・樹脂）の試験環境を整備した。

④高圧水素トライボロジーの研究

平成 18 年度に引き続いて水素雰囲気中のトライボロジーに関する国内外の技術動向を調査し、技術課題の整理・抽出を纏めた。また低圧水素雰囲気中での軸受、バルブ、シール等摺動材料の基礎データを蓄積するとともに試験条件の妥当性を確認した。

⑤材料等内の水素拡散、漏洩などの水素挙動シミュレーション研究

平成 18 年度に引き続いて、材料内のき裂進展における水素の影響を再現するプログラムを開発、適用するシミュレーションモデルを構築するとともに、3次元水素拡散シミュレーションを実施し有効に起動することを確認した。

《8》水素安全利用等基盤技術開発 [平成 15 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、固体高分子形燃料電池の初期段階の普及を円滑に進めるため、以下の水素に係わる規制の再点検を目的とした安全技術と水素エネルギー導入の推進と導入効果を上げることを目的とした実用化技術の開発を行った。

研究開発項目①「安全技術」車両関連機器に関しては、許容欠陥確認試験、水素ガスサイクル試験などのデータ収集を行い、圧縮水素自動車燃料装置用容器および容器附属品の技術基準を策定した。水素インフラに関しては、規制再点検に資する水素拡散、燃焼などのデータを取得するとともに、水素スタンド構成機器の安全性検証および性能検証を実施し、水素スタンド設置に係る技術的例示基準の原案の策定を行った。

研究開発項目②「実用化技術」圧縮水素容器を試作し、70MPa 級容器実現に必要な技術とデータの蓄積を図った。液体水素タンクを試作し、ボイルオフガスを水素吸蔵合金で回収できることを確認した。水素インフラ用 70MPa 級関係技術については圧縮機、ディスペンサー、圧力計、可撓性配管の要素技術を検討し、開発の課題の整理を行った。液体水素関係技術では、液体水素コンテナの実走行試験で性能を確認した。水素スタンド用水素製造技術に関しては水素分離型改質器による移動式水素製造装置の開発、オートサーマル製造装置の開発により起動停止時間短縮、装置の小型化、燃料多様化技術の目処を得た。

共通基盤技術開発では、水素の基礎物性に関して開放空間での爆発実験を行い、水素爆発現象を予測・計算が可能となった。金属材料に関しては、引張特性、低ひずみ速度引張特性、疲労特性、疲労亀裂伝播特性、水素吸収特性などを求め 35MPa 級圧縮水素自動車燃料装置用容器等の例示基準の技術根拠とした。検知技術に関して半導体水素センサで目標性能を確認できた。実用化技術として貯蔵材料では Mg、Li、Al を中心とした合金系は、目標以上の水素吸蔵能力を

確認し、放出温度の低減化を検討した。炭素系貯蔵材料は、水素貯蔵能力の高精度な評価が可能となった。他に水素の製造・輸送・貯蔵・充填等の全段階に係わる技術研究を行った。

液体水素容器についてはボイルオフの低減技術の開発のため、ボイルオフガス回収調圧システムの基本構成の検討を行い、全体システムの基本フローを作成した。また、大気圧下におけるボイルオフ特性試験を実施した。100MPa 級水素圧縮機の開発のために密着性を向上した改良型シリンダを設計、製作した。

液体水素ポンプに関してはシール材の調査、ポンプ基本設計、誘導モーターの性能向上のための詳細設計を実施した。水素スタンド向け改質装置の研究開発では、長期連続運転試験のための機器の調整、プログラムの動作確認、装置の整備を実施した。実用化に関する共通基盤技術としての水素貯蔵材料については、水素吸蔵量 5.5wt% 以上の新材料開発を目標として、合金系、リチウム水素化物、炭素系材料の試作評価をしており、初期吸蔵量として目標値をクリアする材料も試作した。今後も耐久性向上・水素放出温度低温化等の検討を実施していく。

革新先導技術に関して、CO₂ 回収型昇圧純水素製造装置の小規模試験、発酵菌を用いた水素製造装置の小規模試験等他 9 件の概念検討・基礎試験を実施した。

国際標準 (ISO/TC197)、国際協力 (IEA) の活動として、研究者の派遣等の活動を行った。また、水素エネルギー社会構築のために経済性・外部便益を加味したシナリオ作りを行い、影響因子の特定と感度分析を行った。

平成 16 年度は、固体高分子形燃料電池の初期段階の普及を円滑に進めるため、以下の水素に係わる規制の再点検を目的とした安全技術と水素エネルギー導入の推進と導入効果を上げることを目的とした実用化技術の開発を行った。

研究開発項目①「安全技術」車両関連機器に関しては、許容欠陥確認試験、水素ガスサイクル試験などのデータ収集を行い、圧縮水素自動車燃料装置用容器および容器附属品の技術基準を策定した。水素インフラに関しては、規制再点検に資する水素拡散、燃焼などのデータを取得するとともに、水素スタンド構成機器の安全性検証および性能検証を実施し、水素スタンド設置に係る技術的例示基準の原案の策定を行った。

研究開発項目②「実用化技術」圧縮水素容器を試作し、70MPa 級容器実現に必要な技術とデータの蓄積を図った。液体水素タンクを試作し、ボイルオフガスを水素吸蔵合金で回収できることを確認した。水素インフラ用 70MPa 級関係技術については圧縮機、ディスペンサー、圧力計、可撓性配管の要素技術を検討し、開発の課題の整理を行った。液体水素関係技術では、液体水素コンテナの実走行試験で性能を確認した。水素スタンド用水素製造技術に関しては水素分離型改質器による移動式水素製造装置の開発、オートサーマル製造装置の開発により起動停止時間短縮、装置の小型化、燃料多様化技術の目処を得た。

共通基盤技術開発では、水素の基礎物性に関して開放空間での爆発実験を行い、水素爆発現象を予測・計算が可能となった。金属材料に関しては、引張特性、低ひずみ速度引張特性、疲労特性、疲労亀裂伝播特性、水素吸収特性などを求め 35MPa 級圧縮水素自動車燃料装置用容器等の例示基準の技術根拠とした。検知技術に関して半導体水素センサで目標性能を確認できた。実用化技術として貯蔵材料では Mg、Li、Al を中心とした合金系は、目標以上の水素吸蔵能力を確認し、放出温度の低減化を検討した。炭素系貯蔵材料は、水素貯蔵能力の高精度な評価が可能となった。他に水素の製造・輸送・貯蔵・充填等の全段階に係わる技術研究を行った。

将来的に有望な革新的・先導的技術については、水素利用、水素製造、水素輸送・貯蔵に係る計 10 テーマについて検討した。国際共同研究については平成 16 年 7 月 20 日から 9 月 10 日まで公募を行い、11 件の研究テーマについて 10 月 22 日に選定結果を通知して実施中。水素エネルギー技術に係る国際標準の提案・構築作業の支援、国際協力としての IEA における研究協力等の活動、水素エネルギーシステムの普及や水素インフラ整備等シナリオ策定の活動を行った。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「車両関連機器に関する研究開発」

水素搭載量の増大が見込める研究開発を行った。圧縮水素容器の高圧化技術について、質量水素貯蔵密度 5% 級の 70MPa 級圧縮容器の製造技術を確立し、液体水素関連では、車載用液体水素容器システムの実規模システム開発のための基礎データを取得した。

研究開発項目②「水素インフラに関する研究開発」

70MPa 級圧縮水素や液体水素に係る要素技術開発を実施した。70MPa 級関連技術では高圧水素ガスの流量計の試作・性能検証を行い、目標達成の見通しを得た。液体水素関係ではポンプの効率向上を目指した試作・性能検証を行い、40MPa 級ポンプの設計に着手した。コンテナについては取得データの解析により、運用効率向上の見通しを得た。水素製造関連ではコンパクト化に向けて触媒一体化モジュールを試作し、触媒性能を含めてその有効性を検証した。

研究開発項目③「水素に関する共通基盤技術開発」

基盤横断的技術の開発として、水素貯蔵材料では合金系と無機系材料で水素吸蔵量 5.5wt% 以上の試作に成功した。水素製造に関しては、水電解セル製作にホットプレス法を用いることにより、セル製作コストを 30% 削減できる見通しを得た。水素検知技術では検知濃度範囲 100ppm~4% を実現できる見通しを得た。その他、革新技術、国際共同研究及び水素導入シナリオの研究を行い、水素導入シナリオについては導入シナリオ策定の基礎となる成果を得た。

また、中間評価結果を反映し、貯蔵に関する技術分野で委託先間の連携強化、産業界と委託先間の情報交換の場を設け、研究成果が出やすい研究運営を図った。

平成 18 年度は、水素エネルギー社会早期実現のため、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる研究開発を行った。研究開発項目①「車両関連機器に関する研究開発」

圧縮水素容器の高圧化技術については、シール構造の性能評価試験を実施し、ゴム製 O リングとして、ニトリルゴムとエチレンプロピレンゴムが有望であることを見出した。また、減圧弁の耐久性能評価試験装置を開発した。液体水素関連では、ボイルオフ回収用水素吸蔵合金、回収用水素吸蔵合金

タンク及びスタックシミュレータに関し検討した。また、車載液体水素タンクとボイルオフガス調圧システムの性能確認試験、ボイルオフガス回収試験を実施した。

研究開発項目②「水素インフラに関する研究開発」

次世代水素インフラで重要となると予想される 70Mpa 級の圧縮水素や液体水素に係る要素技術開発を行った。具体的には、圧縮機、蓄圧器、流量計、ディスペンサーなど 70Mpa 級関連技術、液体水素の移送に関連する技術、起動停止時間の短縮及び設備面積の削減を目的とした水素スタンド用水素製造技術開発を行った。特に、100MPa 級水素圧縮機の開発においては、吐出圧力 100MPa、容量 300Nm³の水素圧縮機の詳細設計、組み立て、メカニカルランニング試験を終了し、性能検証試験を開始した。

研究開発項目③「水素に関する共通基盤技術開発」

水素貯蔵材料については、平成 17 年度末までに検討した水素貯蔵材料のさらなる性能向上と実際のシステムとして完成させるため検討を行った。特に、高容量水素吸蔵合金の開発において、150℃以下で 5.5mass%以上の水素吸蔵目標に対し、特に本年度は、300℃、6.2mass%と高容量の合金開発を行った。また、液体水素に関連する技術、その他の革新技術、水素検知技術、国際共同研究及び水素導入シナリオの研究を行った。

また、水素製造や水素インフラ関連技術分野についても貯蔵分野と同様に、委託先間の連携強化、産業界と委託先間の情報交換の場を設け、研究成果が出やすい研究運営を図った。

平成 19 年度は、水素エネルギー社会早期実現のため、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる研究開発を行った。

研究開発項目①「車両関連機器に関する研究開発」

燃料電池自動車用高圧タンクについては 70MPa 対応タンク技術を確立し、最終目標を達成した。高圧タンクと水素吸蔵合金を組み合わせたハイブリッドタンクについてはコンセプトモデルを製作し、その基本特性を確認した。

研究開発項目②「水素インフラに関する研究開発」

次世代水素インフラで重要となると予想される 70Mpa 級の圧縮水素等に係る要素技術開発を行った。具体的には、圧縮機、蓄圧器、流量計、ディスペンサーなど 70Mpa 級関連技術、起動停止時間の短縮及び設備面積の削減を目的とした水素ステーション用水素製造技術開発を行った。

水素製造装置としては水素分離型改質器としてシステム効率 80%（水素圧 0.03MPa 時）を達成した。また固体高分子型水電解として目標である効率 80%を達成し、装置コスト 72 万円/(Nm³/h)の見通しを得た。

また 70MPa 級用水素ステーション機器として目覚ましい成果を挙げたものとしては以下の事例が挙げられる。

- ・圧縮機においては容量：300Nm³/h で断熱効率 73%を達成した。
- ・充てん機においては充填精度±1%を達成した。
- ・可撓性ホースにおいては 4 倍耐圧を達成した

研究開発項目③「水素に関する共通基盤技術開発」

水素貯蔵材料については、平成 18 年度末までに検討した水素貯蔵材料のさらなる性能向上と実際のシステムとして完成させるための検討を行った。有効水素貯蔵量 5.5wt%、放出温度 150℃以下を達成する可能性を見いだした。また、水素製造や水素インフラ関連技術分野についても貯蔵分野と同様に、委託先間の連携強化、産業界と委託先間の情報交換の場を設け、研究成果が出やすい研究運営を図った。

国際共同は平成 18 年度に採択した水素に関する先進的技術開発 12 件について引き続き実施しその成果報告会を開催した。特に、水素ガスパイプラインでは、再委託先であるノルウェー産業科学技術研究所にてパイプライン高速亀裂伝播試験を世界で初めて行い、東京大学で開発した高速亀裂伝播数値モデルの計算結果が良い一致を示すことを確認できた。

国際標準については日本側の要望を反映すべく 8 つの作業部会にエキスパートを派遣した。例えば、水素発生装置（改質器）の作業部会では日本提案の「効率計算式」が採用され、国際規格原案作成に向け作業中である。また、IPHE で情報を収集するとともに、IEA については 7 部門にエキスパートを派遣し情報交換に努めた。また、水素経済社会への移行シナリオを検討した。

《9》水素社会構築共通基盤整備事業 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

(1) 燃料電池性能評価法の標準化

水素中不純物の影響評価法、耐久性評価法、水素流量計及び水素排出量の測定法を検討した。参照電極付き標準セルを開発した。

(2) 水素・燃料電池自動車の安全性評価

自動車用圧縮水素容器例示基準の緩和のための 35MPa 用データを取得した。70MPa 用圧縮水素容器、液体水素容器及び水素容器搭載車両の調査検討を行うとともに、急速充填、火災暴露などの影響を評価した。

研究開発項目②「定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- (1) 定置用固体高分子形燃料電池に係わる安全性確保のためのデータ収集
加圧防止装置の省略時及び可燃性ガス検知器省略時の安全性に関するデータ収集を行った。また、電磁両立性のうちのエミッションレベルの評価を行った。
- (2) 次世代型燃料電池に係わる基準・標準化検討のためのデータ収集
定置用 SOFC を導入し、規制再点検の根拠データ取得を行った。

研究開発項目③「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- (1) 水素スタンド等に係る基盤整備
35MPa 用では、安全装置の作動試験を行い安全装置の有効性を確認し、追加の安全対策として自主基準を作成した。70MPa 用では、スタンドのモデルを作成し、各種機器の仕様の検討、評価試験機的设计及び国内外の調査を行った。
- (2) 水素雰囲気下における材料の安全性検証
70MPa 車載容器ならびに水素供給設備用材料を評価するための、機械試験機を開発・設計し、製作を開始した。例示基準の新候補材料として新組成のステンレス材料の研究を行った。アルミ材料については水蒸気分圧制御環境下 SSRT 試験法で、6061 系合金のほか高強度アルミ合金についてデータを取得した。
- (3) 水素基礎物性の把握
トンネル内での水素ガス漏洩・拡散・爆発実験を実施し、影響を把握した。高圧水素の放出による静電気帯電、着火、燃焼、爆発に至る過程の現象解明のための実験・解析を行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- (1) 燃料電池性能評価法の標準化では、外部研究機関とのクロスチェック試験による単セル発電評価方法の妥当性確認、水素循環系での不純物濃縮挙動や付臭剤被毒低減技術に関する調査を行い、ISO/TC197/WG12（水素燃料仕様）の技術仕様書（TS14687-2）の国際標準化のために必要となるデータを取得した。また、水素流量計や脈動減衰器の開発、燃料電池自動車の燃費試験を行い、ISO/TC22/SC21（電気自動車）の国際規格案（DIS23828）策定に必要なデータを取得した。
- (2) 水素・燃料電池自動車の安全性評価では、上限圧力をパラメータとする水圧サイクル試験や極端温度環境下での液圧サイクル試験、水素ガスを用いたプレクール急速充填試験を実施し、圧縮水素容器の安全検討に必要な基礎データを構築するとともに、車両の引火・火災試験などにより消防救助活動のマニュアル策定に資する基礎データを取得した。
- (3) ISO/TC22/SC21（電気自動車）、ISO/TC197（水素技術）、SAE（米国自動車技術会）、FCTESQA（Fuel Cell TEsting, Safety and Quality Assurance）など関連する国際標準、国際基準策定活動に参画し本事業の成果を反映させた。

研究開発項目②「定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

システムの簡素化や過剰な安全装置の省略等のために定置用固体高分子形、固体酸化物形及び純水素駆動形燃料電池システムの安全性に係わるデータ収集を完了した。性能試験方法等に係わるデータは、固体高分子形については継続し、その他は収集を開始した。

研究開発項目③「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- (1) 水素スタンド等に係る基盤整備では、液体水素漏洩実験結果を踏まえた液体水素スタンドのリスク評価を纏めた。また、70MPa 充填対応水素スタンドのリスク評価のためのスタンドモデルを作成した。既存ガソリンスタンドと併設方式の水素ステーションの安全検証を開始した。また、蓄圧器等高圧水素雰囲気下における材料の健全性評価のため、超高圧疲労試験装置を日本製鋼所に導入し、今後実施予定の 70MPa 用材料評価の準備を実施した。
- (2) 水素雰囲気下における材料の安全性検証では、特に、70MPa 級車載容器ならびに高圧水素供給設備用配管、バルブ、継手用材料等の機械特性及び疲労特性データを取得・蓄積することにより、たとえば、SUS316L の材料組成範囲から拡大可能な範囲を絞り込めることを確認した。また、非金属材料、液体水素用構造材料、極低温ガス環境下での材料の基礎物性を取得し、水素特性試験装置の整備を行った。加えて、実証済水素ソテーション（WE-NET 高松水素ステーション）機器の解体調査を実施すると共に、自動車工業会等関連業界からの要望を基に、候補材料を絞り込み、疲労特性データ等取得を追加実施した。
- (3) 高圧水素の爆発現象等の詳細な解明、及び水素を安全に利用するための技術を確立すること等を目的とし、主として、着火、爆燃等に関する基盤的な研究・解析を実施し静電気帯電・放電を含む着火過程のメカニズムを解明するために、実験・検証等を行った。

平成 19 年度は、中間評価を実施し、ほとんどの項目について中間目標をほぼ達成した。特に 2015 年の市場立ち上げに向けて、自動車、スタンド、機器材料等関係産業と共有したスケジュールを進めるべく、70MPa 級の燃料電池自動車用高圧水素タンクの安全検証に着手し、市場化への確実な一歩を踏み出したと評価された。一方で、一部未達となった定置用燃料電池の性能試験方法については共通試験法を検証中であり、今後精力的に適用し評価することとした。同じく一部未達となった水素燃焼・拡散挙動等基礎物性データ把握については基礎的分野ながら成果反映先を明確にして推進することとした。

研究開発項目①「燃料電池自動車に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- (1) 燃料電池性能評価法の標準化
参照極付きセル、不純物や付臭剤の水素循環系での挙動、発電性能低下の加速条件などについて

調査し、燃料品質規格の策定、水素の安全な取り扱いのためのデータを取得した。また、車両改造不要な燃費計測手法の高精度化、耐久性評価法の検討を実施した。

(2) 水素・燃料電池自動車の安全性評価

自動車用圧縮水素容器については、寒冷地での使用を想定した極端温度環境下での液圧サイクル試験、環境温度をテストパラメータとする急速充填試験、水素ガスを用いた疲労試験準備などを実施し、技術基準の合理化検討に資するデータを得た。

車両に関しては、事故時の消火・救助活動マニュアル策定に資するデータ取得を進めた。

(3) 国内外での基準・標準化活動

国内においては燃料電池自動車（FCV）基盤整備委員会において活動方針の審議、ドラフト作成およびコメント作成を行い、国内基準・標準作りへ反映させた。

国外においては ISO、SAE（米国自動車技術会）、FCESQA、UN-ECE など関連する国際標準、国際基準策定活動に参画し本事業の成果を反映させた。

研究開発項目②「定置用燃料電池システムに係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- ・定置用固体高分子形燃料電池システムの耐久性評価試験方法に資するデータの取得を引き続き実施した。また、寒冷地仕様システムの性能試験方法を開発・推進した。
- ・定置用固体酸化物形燃料電池システム／定置用純水素駆動形燃料電池システムの性能試験方法の開発・データ収集を実施した。
- ・定置用燃料電池システムの系統連系時における課題抽出
1kW 級以外の分散電源における系統連系時の課題検討状況調査を完了。また、既存電力供給設備との系統連携における省力化を目的に複数台連携時の単独運転検出機能が干渉しにくいと考えられる方式について、解析シミュレーション及び実験にて検証した。
- ・国内外の標準化活動

国内外の基準・標準化に関する情報収集及び IEC/TC105 と JIS との相互成果の反映を推進した。

研究開発項目③「水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発」

- (1) 「水素インフラに関する技術研究」においては、70MPa 級充填対応水素スタンドのリスク評価、同スタンドディスペンサーの安全検証、同スタンド蓄圧器材料の安全性検証を継続して実施した。また、普及型のモデルスタンドについて、想定される事故を抽出しリスク評価を行うとともに、安全検証課題を抽出した。
- (2) 「水素用材料基礎物性の研究」においては、自動車工業会等関連業界からの要望に基づく候補材料拡大に関し、70MPa 級車載容器ならびに高圧水素供給設備用材料等の機械特性及び疲労特性データを継続取得・有効性を評価した。また、非金属材料、液体水素用構造材料、極低温ガス環境下での材料の基礎物性を継続取得した。
- (3) 「水素用アルミ材料の基礎研究」については、燃料電池自動車や水素スタンド等関連業界の要望に基づき、たとえば高圧圧縮水素容器ライナーに使用される高強度材料や部品材料の候補拡大を目的として、各種アルミ系合金の疲労特性、疲労き裂進展特性、靱性評価、水素侵入量と水素脆化との相関等安全設計に資するデータを取得し、候補材料の有効性を評価した。
- (4) 「水素基礎物性の把握」については水素取扱い機器の普及を推進させるための具体的な方策の一つとして、「水素の有効利用ガイドブック」の作成・まとめに集中し、例えば、本分野に関する国内外動向、並行して進められている当事業内の他の研究開発や他事業等の成果も引用するなど、収録・整備すると共に、利用者に向けた情報提供方法（配布、講習会等）について検討した。
- (5) 「水素安全利用技術の基盤研究」については、水素スタンド等関連施設からの高圧水素ガス漏洩時における水素噴流内着火性評価に関する解析手法を確立した。また、水素による静電気帯電・放電・着火特性の解析を行い、消火設備の有効性を評価すると共に、水素スタンド等関連施設の安全性向上のための指標を提示した。

《10》 固体酸化物形燃料電池実証研究 [平成 19 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、公募を行って助成先を決定した後、日本全国に 29 台の定置用燃料電池を設置し、燃料電池システムの運転状況等に関するデータを取得した。

《11》 定置用燃料電池大規模実証研究事業 [平成 17 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するために取るべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 i) 企業化・実用化を見据えての技術開発業務に係る追加的特記事項 ⑤ 参照]

《12》次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発 [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「要素技術開発」

高性能リチウムイオン電池とその構成材料及び周辺機器の開発を行うために新規に公募を行い、研究開発テーマ12件を採択した。

(1) 電池開発

プラグインハイブリッド自動車等の次世代クリーンエネルギー自動車を想定した高エネルギー密度と高出力密度の両立を図る事の出来る高性能リチウムイオン電池の開発を開始した。電極材料の組成など要素技術の開発、電池の設計等を実施した。

(2) 電池構成材料及び電池反応制御技術の開発

高性能リチウムイオン電池の電極材料、電解質等の開発として、電極材料や電解質材料の探索、絞り込み、合成、改良、評価等を実施した。

(3) 周辺機器開発

リチウムイオン電池への高効率な充電制御を可能とする電池利用技術の開発を開始した。充電制御に不可欠なコンバータなど要素技術の開発、SOC均等化回路の開発等を実施した。

研究開発項目②「次世代技術開発」

革新的な二次電池の構成とそのため材料の開発及び電池反応技術を開発するために新規に公募を行い、研究開発テーマ11件を採択した。

革新電池の可能性のある電極材料、電解質等の新材料探索、反応メカニズムの解析、デンドライド等の発生及び抑制の検討等を開始した。

研究開発項目③「基盤技術開発」

リチウムイオン電池の共通・基盤的な研究開発を行うため、新規に公募を行い、研究開発テーマ1件を採択した。

リチウムイオン電池の加速寿命試験方法の検討、劣化要因の解明と抑制方法の検討、安全性試験方法の開発、車載用リチウムイオン電池の国際標準化の検討、リチウムイオン電池の輸送に関する国際規制の緩和の検討等に着手した。

《13》燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、燃料電池自動車等のエネルギー効率及び負荷応答性等のさらなる向上に資する車載用高性能リチウム電池の実用化を図るため、以下の研究開発を実施した。なお、当該プロジェクトについては複数年契約を実施した。

研究開発項目①「車載用リチウム電池技術開発」

マンガン系の開発では、マンガン溶出の改善効果のある正極材料を開発し、10Ah級単電池の基本設計に適用した。ニッケル系の開発では、入出力密度、エネルギー密度を向上させた正極、負極材料を開発し、10Ah級単電池の基本設計に適用した。複合系の開発では、安全性、長寿命、高出力化に適する電池材料を選択し、5Ah級単電池の基本設計に適用した。各系において、5～10Ah級単電池での初期特性試験により、平成15年度目標(1800W/kg、50Wh/kg)を達成する見通しである。

研究開発項目②「高性能リチウム電池要素技術開発」

(i) 正極材料

スピネルマンガン系による被覆技術の開発では、長寿命化をはかる材料製造法の検討、表面被覆が可能な金属系材料・焼成条件の検討を実施した。新規材料では、充放電特性向上ため、材料作成条件の検討・サイクル寿命の検討を実施した。

(ii) 負極材料

被覆技術の開発では、Sn、Siの合成方法の検討を行った。窒化物系では、合成方法の検討、添加物の検討を行い、合成材料の高容量化・サイクル寿命を確認した。初期容量では480mAh/kg以上を示した。

(iii) 電解質材料

難燃性・高分子系電解質では、電気的性能の優れる電解液(イオン性液体)を選定した。また、固体化技術において機械強度の改善、イオン導電性の向上を図った。

全固体電解質(イオン伝導性セラミック)では、薄膜形成法の検討を通じて界面抵抗低減を図った。

(iv) セパレータ材料

耐熱セパレータの試作により、候補材料の選定・収縮率の低い配合比率の抽出を行った。また、PTC機能電極の試作により、カーボン・ポリエチレン系を構成材料とする候補材料を選定した。

(v) 電池総合特性評価技術、加速的耐用年数評価技術

電池総合特性評価のための試験法・評価項目に基づく、小容量電池による試験等により、電池総合特性評価技術の検討を行った。加速的耐用年数評価のための試験法に基づく、小容量電池による

試験での検討を行い、容量保持率については高い温度条件でより劣化が加速する傾向を明らかにした。

平成 16 年度は、燃料電池自動車等のエネルギー効率及び負荷応答性等のさらなる向上に資する車載用高性能リチウム電池の実用化を図るため、以下の研究開発を実施した。なお、当該プロジェクトについては平成 16 年度に中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

研究開発項目①「車載用リチウム電池技術開発」

マンガン系の開発では、平成 15 年度に開発した 10Ah 級単電池を用い、モジュール構造の検討に着手し、小型軽量化のために制御回路用集積回路を開発した。ニッケル系の開発では、6Ah 級の単電池を開発し、出入力密度の向上と長寿命化を図った。またモジュール電池の一次仕様を決定し、先行的に試作評価を行った。複合系の開発では、高性能化した電極材料、軽量化した部材および最適化した構造を開発して高性能化を図り、6Ah 級単電池を開発した。各系において、6~10Ah 級単電池での初期特性試験により、平成 16 年度目標（最終目標 1800W/kg、70Wh/kg を見通すこと）を達成する見通しである。

研究開発項目②「高性能リチウム電池要素技術開発」

(i) 正極材料

被覆型スピネルでは、30C の放電で初期容量の 50% を達成した。新規材料では、鉄含有系材料が 60°C で 150mAh/g の容量を有し、既存正極に比べ高温サイクル特性に優れることを見いだした。

(ii) 負極材料

被覆技術の開発では Sn、Si の合成法の検討を行い、サブミクロンレベルの Si を採用し、黒鉛との複合化により大幅な寿命増加に繋がることを確認した。

(iii) 電解質材料

難燃性・高分子系電解質では、安全性と電気化学的性能とを両立する電解質として、常温溶融塩系電解質および難燃性・自己消火性混合液体電解質を選定し、組成の最適化を図った。また、固体化技術においては、高分子材料などの材料設計および固形化手法の探索を行うとともに薄膜化技術を検討した。全固体電解質では、固体電解質中における電極性能を大幅に改善し、リチウムイオン伝導性固体電解質の粒径微粒子化を図った。

(iv) セパレータ材料

耐熱セパレータの一次試作を行い、150°C での低収縮性を見通すことが可能な候補材料の選定を行った。また PTC 機能電極の試作により、140°C 付近で電極内抵抗が非線形に増大する機能の発現を確認した。さらにこれらの電池部材としての機能を確認した。

(v) 電池総合特性評価技術、加速的耐用年数評価技術

電池総合特性評価のための試験法・評価項目、並びに加速的耐用年数評価のための試験法に基づき、電池総合特性評価技術の検討を行い、性能評価試験マニュアル案を作成して実規模単電池の初期性能評価試験を行った。また、電池の劣化について正極及び負極それぞれの劣化因子の特定を行った。

平成 17 年度は、燃料電池自動車等のエネルギー効率及び負荷応答性等のさらなる向上に資する車載用高性能リチウム電池の実用化を図るため、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「車載用リチウム電池技術開発」

マンガン系の開発では、10Ah 級単電池のエネルギー密度向上とともに、4 セルモジュール構造の軽量、小型化を推進し、小型軽量に結びつく集積回路を用いた制御システムを開発した。ニッケル系の開発では、6Ah 級単電池の高性能化ならびに長寿命化を図るとともに、10 セルモジュール構造を設計、製作し、初期性能向上を図った。複合系の開発では、6Ah 級の単電池をもとに高性能化をはかり、10Ah 級単電池を開発した。電池管理装置の最適化による電池システムの信頼性の向上、組電池の大型化等を検討した。

各系において、6~10Ah 級単電池での初期特性試験により、最終目標(1800W/kg、70Wh/kg を見通すこと)を達成する見通しである。

研究開発項目②「高性能リチウム電池要素技術開発」

(i) 正極材料

被覆技術では、Al ドープスピネルを用いて黒鉛負極へのサイクル劣化が少ない事を確認した。また、ZnO 被覆スピネルでもレート特性が良好なことを確認した。新規材料では、60°C において 220mAh/g の初期放電容量を有する鉄含有 Li₂MnO₃ 系材料の作製に成功した。

(ii) 負極材料

被覆技術の開発では、シリコン系材料で通常の粒径の黒鉛中に、サブミクロン程度の Si 粒子を分散し、500mAh/g で 400 サイクル以上の容量を確認した。

(iii) 電解質材料

難燃性・高分子系電解質では、常温溶融塩系電解質および難燃性・自己消火性混合液体電解質について、最終組成の最適化を図った。また、両技術の融合についての可能性を見出した。全固体電解質では、LiCoO₂ と硫化物系固体電解質の界面に修飾層を介在させることにより、正極における界面インピーダンスを 1/50 にまで低減し、出力電流密度を 10mA/cm² にまで高めることに成功した。

(iv) セパレータ材料

耐熱セパレータ、PTC 機能電極の二次試作を行い、試作部材を使用した電池の特性評価を行った。

またこれら各々を使用した電池の安全機能の一次評価を行い、耐高温性、耐過充電性を有することを確認した。

(v) 電池総合特性評価技術、加速的耐用年数評価技術

電池総合特性評価のための試験法・評価項目に基づき、実規模単電池、モジュール電池による電池総合特性評価技術の検討を行った。加速的耐用年数評価に用いる加速係数を求めるため、小容量電池による加速寿命試験を開始するとともに、実規模単電池の耐用年数評価を行うための加速寿命試験を開始した。

電池の劣化（出力劣化の主因子である正極劣化）については、劣化正極表面に NiO 類似立方晶等が生成していることを見出した。さらに、電池劣化に伴い、充放電過程での電池の熱挙動が変化することを見出した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「車載用リチウム電池技術開発」については、単電池、モジュール電池の性能向上、電池材料の基礎技術開発及び電池管理装置の開発を継続して、車載システムへの展開を考慮したモジュールの設計、制御システムの開発を実施した。

その結果、モジュール電池の特性評価を通じて、車載システムとして出入力密度 1800W/kg、エネルギー密度 70Wh/kg の最終目標値達成した。また、車載想定試験をモジュール電池で行い、実用化可能性の検証、燃料電池自動車等へのリチウム電池搭載の優位性、有効性を確認した。

研究開発項目②「高性能リチウム電池要素技術開発」については、以下の内容を行った。

(i) 正極材料

被覆技術では、Al ドープスピネルを用いてサイクル特性の向上を図るとともに、金属酸化物 (ZnO) 等の被覆技術による電池特性劣化防止について検討した。新規材料開発では、製造条件、化学組成の更なる最適化を行うとともに、最終作製条件の設定、10C を超える動作を見通した。さらに高出力化の検討・改善を行い、60C での動作を見通した。

最終的には、酸素構造安定化スピネル (Li_{1.05}Al_{0.15}Mn_{0.804}) が最終年度の目標値（容量 100mAh/g 以上、60℃容量保持率 99.95%/cycle）を越えることを実験的に確認し、目標を達成した。

(ii) 負極材料

Si/黒鉛複合体負極にさらなる改良を行い、リチウムイオン電池負極として実用化することを目指した。また、サイクル劣化抑制技術の開発を行い長寿命化、ハイレート化を目指した。その結果として、500mAh/g の容量で 400 サイクルという小型電池として実用化可能なレベルへと寿命を伸ばすことに成功した。

最終的には、この負極をスピネル正極と組み合わせたリチウムイオン電池は 20C での急速充電が可能であり、放電に関しては目標とした 60C での放電が可能であることを確認し、レート特性に関する目標値を達成した。

(iii) 電解質材料

難燃性・高分子系電解質を用いた小型実電池を作製し、高性能・高信頼性電池としての電解質の信頼性を評価した。また、正極活物質/固体電解質界面、並びに修飾層を介在させた界面を作製し、修飾層介在による高出力化の機構を明らかにし、C/LiCoO₂ 電池において 5mA/cm² を達成した。

(iv) セパレータ材料他

電気化学特性、安全機能評価結果の解析により PTC 機能電極及び耐熱セパレータの改良を行い、電池特性向上と安全性確保が両立する構成を検討し、本電極及びセパレータの有効性を実証した。

(v) 電池総合特性並びに加速的耐用年数評価技術

電池総合特性評価のための試験法・評価項目に基づき、実規模単電池、モジュール電池の電池総合特性評価試験を行った。小容量電池、実規模単電池による加速寿命試験を行い、実規模単電池の耐用年数評価を行った。また、劣化電池の正極表面に生成した化学種の定量を試み、出力劣化との相関、劣化機構の解明を進め、加速的耐用年数評価法の加速係数との相関を検証した。

《14》高効率高温水素分離膜の開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「分離膜微細構造制御及び化学組成制御技術」では研究開発を継続し一部材料系で中間目標値を達成した。シリカ系分離膜では液相・気相プロセスとも中間目標値を達成した。水素親和性材料を複合化したコンポジット膜の開発を開始し、Ni ナノ粒子分散シリカ膜で He に対する水素の優先透過性能を示した。非酸化物系分離膜の開発では、ポリマープレカーサーの設計・合成、中間層及び分離活性層の開発を継続し、数 nm からサブ nm サイズの多孔質構造制御技術を高度化し耐熱性分離膜の合成基礎技術を確立した。分離膜支持基材の開発では製造条件と多孔構造、機械的及びガス透過特性の関係を検討し、アルミナ系ではキャピラリー、チューブラータイプとも水素透過率の中間目標値と機械的特性を両立させる基盤技術を確立し、SiC 系でもチューブラータイプの合成基礎技術を確立した。支持基材開発に不可欠な微細構造、耐熱・耐水蒸気性、熱的・機械的特性の評価装置・手法の開発を継続するとともに、無機膜技術の最新動向を調査し研究開発の一層の効率化を図った。

研究開発項目②「膜モジュール化技術」では以下の研究開発を実施した。分離膜集積化基盤技術では、低応力接合と

耐熱シールに関する基礎技術を確認し支持基材を集積したバンドルを試作した。分離膜モジュール製造プロセス技術では、液相反応プロセスを利用した自動スプレー製膜装置及び上記バンドルを用いた気相反応プロセスによるキャピラリーミニモジュールを試作し合成プロセスの有効性を確認した。分離膜/基材と改質反応触媒の複合化技術では、市販メタン水蒸気改質反応用触媒の形態や担持状態と改質性能の評価を継続し、500℃では Ru 及び Rh 系触媒が有効であることを見出した。模擬膜を用いた膜反応器での特性を評価し上記触媒の改質効率中間目標値達成への有効性を確認した。膜反応器システム要素技術では、改質ガス中の CO 低減化技術の開発を継続し白金担持ジルコニア触媒膜の CO 選択酸化への有効性を見出し、中間目標値達成への基礎技術を構築した。

反応熱供給技術の開発を開始しバンドル形状と熱供給方法につき基礎的知見を得た。膜モジュール設計の支援技術では、ガス流動状態計算、物質移動及び膜透過計算、熱移動及び熱応力計算、改質反応計算を継続し、膜モジュール設計の基礎的知見を集積した。膜モジュール設計シミュレーションシステム開発を開始し、上記計算データの取込みとモジュール設計技術の高度化を図った。開発技術の早期実用化の具体的な指針を得るため、燃料電池システムへの適用性及びその他分野への波及効果等の調査を継続実施した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「分離膜微細構造制御及び化学組成制御技術」においては、開発を継続し、シリカ系、シリカ複合酸化物系及び多元素系ナノコンポジット膜で中間目標を達成した。また Si-O 膜と Si-Ni-O 系では、500℃の水蒸気雰囲気下でも優れた水素選択透過性を示す分離膜を開発した。ナノコンポジット膜の開発では、500℃での水素透過率が 10^{-7} mol/msPa オーダーで、He に対して 100 以上、窒素に対して約 3000 の水素選択透過性を実現した。その他、非酸化物系分離膜の開発では、ポリマープレカカーサーの設計・合成と、中間層と分離活性層の合成基礎技術を確認した。支持基材の開発では、最適化検討を継続し機械特性も両立させる製造技術を確認した。また水素分離膜の微細構造、耐熱性及び耐水蒸気性、水素分離膜支持基材の熱及び機械特性の評価手法・装置の開発を継続するとともに、技術動向を調査して研究開発の効率化を図った。

研究開発項目②「膜モジュール化技術」においては、開発を実施し中間目標を達成した。分離膜集積化基盤技術では、低応力接合と耐熱シール基礎技術を用い支持基材を集積したバンドルを試作した。分離膜モジュール製造プロセス技術では、自動スプレー製膜装置とキャピラリーミニモジュールの試作を継続して、合成プロセス最適化に必要なデータを集積した。更にモジュール実証試験前倒し着手のため、研究加速財源で多孔質支持基材製造用装置とミニモジュール製膜装置を導入し、歩留向上と製膜技術の高度化を図った。分離膜/基材と改質反応触媒の複合化技術では、膜反応器の各種パラメータと性能の関係を検討し、高性能水素分離膜を用いた場合は、濃度分極が問題となることを明らかにし、これを回避するため膜と触媒の配置に付き基礎的知見を得た。膜反応器システム要素技術では、CO 低減化技術の開発を継続し、Pt 担持ジルコニア触媒膜を開発した。また反応熱供給技術の開発を実施して、バンドル構造の内部温度分布への影響に付き基礎的知見を得た。膜モジュール設計の支援技術を継続して、膜モジュール設計因子に関する知見を集積した。更に膜モジュール設計シミュレーションシステム開発も継続して、分離膜モジュール構造最適化システム等を開発した。また早期実用化の指針を得るため、燃料電池システムへの適用性及びその他分野への波及効果等の調査を継続した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「分離膜微細構造制御及び化学組成制御技術」：シリカ (Si-O) 系、シリカ複合酸化物 (Si-M-O) 系および多元素系ナノコンポジット膜を対象とした微細構造制御及び化学組成制御技術の開発を継続した。シリカ (Si-O) 系膜では、500℃での水素透過率が 1.3×10^{-7} mol/m²sPa で透過係数比、 α (H₂/N₂) は 2300 となり、最終目標値を達成した。Si-Ni-O 系では、従来の Si-O 系では実現が困難な、500℃での高温での水蒸気雰囲気下 (90kPa~400kPa) においても優れた水素選択透過性を示す分離膜の開発に成功した。分離膜支持基材の開発は、アルミナを対象として、キャピラリータイプ (直径 5mm 未満)、およびチューブラータイプ (直径 5mm 以上) の製造技術の向上を図った。なお、これらの分離膜および多孔質支持基材の研究開発に必要な不可欠となる、水素分離膜の微細構造、耐熱性及び耐水蒸気性、水素分離膜支持基材の熱的特性や機械的特性についての新たな評価装置・手法の開発を継続するとともに、平成 17 年度加速財源により水素分離膜評価装置を導入して、試作した分離膜の水素透過メカニズム検証に着手した。また、無機膜技術の最新動向調査を実施した。

研究開発項目②「膜モジュール化技術」：分離膜集積化基盤技術、分離膜モジュール製造プロセス技術、分離膜/基材と改質反応触媒の複合化技術、膜反応器システム要素技術および膜モジュール設計の支援技術の各要素技術を開発し、最終目標のほとんどを達成した。残件は、「500℃以上に応用可能なシール技術、低応力接合技術の開発」に関し、モデル試料 (単管膜) で達成したが、小規模モジュールでの評価が継続中である。

膜反応器システム要素技術では、バンドル外周から与えた反応熱とバンドル内部の温度分布に及ぼすバンドル構造の影響についての知見の集積を図った。

膜モジュール設計の支援技術では、ガスの流動状態の計算、および改質反応計算を継続実施して、膜モジュール設計の重要因子に関する知見の集積を継続した。さらに膜モジュール設計シミュレーションシステムの開発も継続して、試作モジュール構造の最適化計算を開始した。また、開発技術の燃

料電池システムへの適用性、およびその他分野への波及効果等の調査を継続するとともに、新たに開発メンブレンモジュール適応性に関する調査を実施した。

分離膜集積化基盤技術では、確立された低応力接合・耐熱シール基礎技術を用いて、3～19本の支持基材を集積化したバンドルの試作に成功した。分離膜モジュール製造プロセス技術では、気相反応プロセスによるキャピラリーミニモジュールの試作を継続するとともに、液相反応プロセスを利用した自動スプレー製膜装置の試作、および液相反応、および反応プロセスを組み合わせた複合プロセス技術の検討を実施して、モジュールの試作に対応可能な基礎技術を確立した。分離膜/基材と改質反応触媒の複合化技術では、500℃の低温でも有効なルテニウム (Ru) 系触媒を用いて、膜反応条件の最適化を図った。

研究開発項目③「小規模モジュールシステム実証研究」：本項目は、当初計画より前倒しで、一部を着手した。本年度は、実証試験用小規模モジュールの試作を開始するとともに、小規模モジュール実証試験、および膜反応器試験の操作条件を検討した。一方、膜反応器試験についても、高圧下での反応操作条件の確認を行った。さらに、試作した小規模モジュールの動作試験に着手した。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「分離膜微細構造制御及び化学組成制御技術」：開発候補膜については、高温水素選択透過性能にかかわる材料因子や、透過機構の解明を図るための分離膜の合成と評価を実施した。一方、小規模モジュール実証試験に用いるキャピラリーおよびチューブラーの両タイプのアルミナ系多孔質支持基材については、下記③の実証試験を通じて、その性能評価を実施する。このような研究開発を通して、最終目標の性能を有する分離膜部材の製造技術を確立した。外部へのサンプル供試の積極的な対応（ブランドメーカー等）と、無機膜技術の最新動向調査も実施した。

研究開発項目②「膜モジュール化技術」：必要な要素技術を確立し、さらに、小規模モジュール実証試験を通じて、開発技術の早期実用化に向けたデータの蓄積、課題の明確化を推進した。さらに、技術委員会開催、水素製造システム計算の実施、調査研究を通して、早期実用化のための具体的な指針を得た。

研究開発項目③「小規模モジュールシステム実証研究」：アルミナ系基材にシリカ系膜を製膜した分離膜を開発対象材料系として、キャピラリータイプ、チューブラータイプの2種類の小規模モジュールを製作し、膜モジュールシステム性能評価試験および膜反応器システム性能評価試験の最終目標の達成を確認した。膜モジュールシステム性能評価試験においては、従来予定していたドライ環境下での高温試験に加えて、高温水蒸気雰囲気下での試験を実施して、開発技術の早期実用化に向けたモジュール性能データを蓄積した。

《15》携帯用燃料電池技術開発【委託・課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、携帯用燃料電池の実用化を促進するために必要な各種材料及び技術開発、電池・補機類・電源モジュール等の試作等を行い、電池・補機類・電源モジュール等評価、システムの検証を行うための公募を実施し、助成先として日本電気株式会社並びに株式会社日立製作所、日立マクセル株式会社及び日立電線株式会社の3社の共同提案の2件を採択し、低メタノール透過電解質膜材料開発、高効率電極触媒材料開発、膜/電極接合技術開発、薄型・軽量セパレータ開発、燃料供給・補充技術開発、中間生成物処理技術開発、超小型実装技術開発、周辺回路技術開発、周辺補機類技術開発等の基礎検討を行った。

平成16年度の助成事業においては、携帯用燃料電池の実用化を促進するため、以下の技術開発を行った。

- ・試作機を開発するため、周辺回路技術及びそれを用いた制御システム、周辺補機類技術、燃料補充技術等を開発し、燃料電池をメイン電源とするノートパソコンを実現した。さらにその試作機の動作を実証し、実動作環境での実用性試験を開始した。
- ・高エネルギー密度化の実現に向けて、新型電解質膜技術及び燃料供給技術の開発を行い、カートリッジの燃料濃度30%を達成した。
- ・セルバックからのホルムアルデヒド排出量が室内濃度指針値を満足することを確認した。
- ・パネル電池電源のプロトタイプを製作し電池性能、環境試験などの動作実証を行った。
- ・積層型についてスタックを作成し、設計とおりの発電特性を示すことを確認し、1200時間の発電環境で問題がないことを確認した。
- ・発電時には中間生成物が発生するが、メタノール透過性が低い膜を使用することでカソードでのホルムアルデヒド、ギ酸の生成を低減できる事を確認した。
- ・燃料供給技術検討において、メタノール消費特性から発電挙動の解析及びカートリッジ仕様の検討を行った。

委託事業では、安全性・環境性能及び性能試験方法並びに法規制に関する調査研究を行った。規制緩和に対しては安全性が優先するため、安全性に係る基盤データ（耐気圧特性、耐温度特性、耐振動特性、耐衝撃特性等）の取得を行った。また環境性能及び性能試験についても試験方法の検討を行い、データ取得を開始した。

なお、平成15年12月の国連危険物輸送専門家小委員会で、日本などが支持したメタノールを燃料とする燃料電池カートリッジが採択された。このため今後はICA0、IATA等へ規制緩和の提案を行う。

平成17年度の助成事業においては、携帯用燃料電池の実用化を促進するため、以下の技術開発を行った。

- ・実証機試作では、燃料電池一体型ノートPCを開発した。この試作機は、PCの動作（PCの起動、停止、負荷状況）に応じて発電状態をコントロールする自律制御機能が確立されており、燃料電池スタックの小型軽量化をすすめるため、新薄型平面スタック構造を開発した。さらに、発電セルへの燃料供給方式の改良等により燃料利用効率を平成16年

度の2倍以上に向上させた。この結果、カートリッジの燃料濃度を60vol%以上に向上させることができた。そして、これらの技術を組み合わせた小型電池パックを試作して、目標とする400Wh/kgの重量エネルギー密度を達成した。

- ・パネル型プロト機の動作評価を行った。締め付け圧の均一化によりパネル電源の抵抗を従来の40%に低減できた。また、消費電力15W級のモバイルノートPCの駆動を確認した。
- ・電池電源の連続使用における最適燃料濃度/量を求め、メタノール透過性が低いMEAに適した燃料供給技術を確認した。これにより、モバイルノートPCの消費電力(JEITA測定法実測10W)で15時間使い続けることにより、Liイオン電池同等以上のエネルギー密度300Wh/L(=10W x 15h / 電源体積0.5L)を達成できることが判った。
- ・薄型積層の高出力パネル電池を試作し評価を行った。ナノメタル導電処理を施した本開発品は、発電環境を模擬したギ酸浸水環境下において、1500時間経過後も面抵抗に大きな変化がないことが判った。この電池構造は、試作補機類による出力損失が従来積層型の約1/3から約1/10に低減できることが判った。
- ・これまでの中間生成物評価を元に貴金属フィルターの設置を提案し、ホルムアルデヒド及びギ酸の排出量が低減可能であることが確認された。

委託事業では、主として性能試験方法に係る項目の検討を進めた。なお単セルだけでなくマイクロ燃料電池システムの検討も行っている。またICA0への緊急対応事項として、当初計画外の耐衝撃特性(落下性能)に取り組んだ。このデータは審議に反映され、日本などが支持したメタノールなどを燃料とする燃料電池カートリッジが持ち込み可能となった。

《16》LPガス固体高分子形燃料電池システム開発事業〔平成13年度～平成17年度〕

[中期目標期間実績]

平成15年度は、高効率かつ小型化したLPガス固体高分子形燃料電池システムを開発し、早期実用化を図るため以下の技術開発を実施した。

研究開発項目①「改質の要素技術開発」については、

(1) 脱硫剤の開発

異なる吸着特性を持つゼオライト系と金属系の脱硫剤を組み合わせ、実運転条件下での寿命評価を行った結果、ゼオライト系については、通過硫黄量の多さから4,000時間を経過する前に脱硫剤が破過したものの、金属系脱硫剤については、模擬運転条件下にて平成15年度目標(0.05ppm以下)を達成した。これらの研究結果を基に脱硫剤の組み合わせについての最適化を進めている。また、この脱硫剤の実機想定サイズでの寿命試験を行うための反応管も製作している。

(2) 改質触媒の開発

長期連続運転方式において、耐硫黄性改質触媒の開発を目指して、耐硫黄性に関するルテニウム系改質触媒への第三成分の添加効果について検討した。その結果、遷移金属を2%添加した触媒が従来比1.8倍の耐硫黄性を示すことを見出した。起動・停止運転方式において平成14年度に開発した改質触媒について、加速条件下及び実運転相当条件下での寿命評価及び寿命推定方法の検討を実施し、3倍加速条件下での運転については約4,000時間で終了させ、実運転相当条件下での寿命試験についても4,000時間に達した。触媒寿命の推定検討に関しては、寿命推定の基礎となる、触媒の劣化に及ぼす劣化因子と考えられる硫黄、熱、コークの影響を把握するため、モデル実験と実運転を実施中である。

(3) 触媒燃焼併発型改質触媒及び水素供給システムの開発

1kW級家庭用燃料電池に必要な水素発生能力(約1Nm³/h)を有する改質反応装置を用いて改質の酸素源として空気を用いた結果、窒素は改質に悪影響がないことが判明した。また、基準添加量としてはS/C=2.5を設計に反映させることとした。改質触媒の寿命に関しては、DSS運転にて試験時間3,000時間で水素発生量が必要な水素発生量(約1Nm³/h)以下となった。

(4) メンブレンリアクターシステムに関する各要素技術について検討し、これらを集成してリフォーマーを製作し、その評価を開始した。メンブレンリアクターの寿命に重要な影響を及ぼすメンブレンの劣化原因を検討した結果、グレイン相互を強固に結合するために、熱処理等の手法の組み合わせることによって、耐久性の向上が見込まれた。

研究開発項目②「LPガスの燃料電池への適応性評価試験」については、

(1) 燃料電池本体との適応性研究

(i) 評価用燃料電池の試作と評価

袖ヶ浦研究室にて開発中の脱硫剤及び改質触媒を用いて、水素製造システムを設計試作し、改質部の温度変動の解決等により、改質プロセス効率71%程度、発電効率34%(AC送電端効率LHV)程度が見込まれた。

(ii) LPガス品質の影響に関する調査・検討

ボンベの切替によるLPガス供給における品質変動の詳細検討及び燃料電池用LPガス供給方法の検討を実施し、切替圧力を高めることで硫黄濃度変化を小さく抑えることができる可能性を見出した。自動切替において設定圧力を制御することで、切替時における硫黄リークを抑制できる可能性が示された。

(2) 総合調査研究

LPガス等を燃料とする燃料電池システム技術に関して調査し、現状で最も進んでいると見られるシステムに係る情報収集等を行った。中間評価結果を踏まえ、基本計画の目標値の修正、プロジ

エクトマネジメント強化のための研究推進委員会の開催等の見直しを行った。

平成 16 年度は、高効率かつ小型化した LP ガス固体高分子形燃料電池システムを開発し、早期実用化を図るため以下の技術開発を実施した。

①LP ガスの燃料電池への適応性評価研究（熱利用も含めたトータルシステムとしての適応性研究）

- 1) 水蒸気改質技術の開発
 - a) 「脱硫剤の開発」については脱硫剤の改良を実施し、実機サイズ条件下での寿命評価及び性能確認を行い、最終目標としている硫黄濃度 0.05ppm 以下を 4,000 時間以上維持した。
 - b) 「改質触媒の高活性化・長寿命化に係る検討」については、燃料電池システムの起動停止操作における触媒の劣化因子の抽出を行った。
 - c) 「改質触媒の寿命推定・評価方法に係る検討」については、触媒の寿命推定方法の妥当性と精度を向上させるために、7,000 時間の連続運転評価を行った。
 - d) 「改質器及び水素製造システムの開発」については、設計の見直しを行い、温度及び流れ分布の均一性向上を図り、75%を上回る改質プロセス効率を得た。
- 2) 触媒燃焼併発型改質触媒及び水素供給システムの開発
CO 処理工程を含むシステム全体での起動特性の評価と改良検討を実施し、予熱状態からの起動時間が 10 分以内であることを確認した。また、触媒について 7,000 時間の耐久性を確認した。
- 3) 薄膜型メンブレンリアクターの開発
すべての要素技術について改良を行い、改質効率の向上を図った。また、メンブレン管を熱処理することにより、耐久性を大幅に向上させる技術を確立し、300 時間程度の耐久性を確認した。

②総合調査研究

- 1) 省エネ性、経済性及び導入普及試算に関する調査
競合する競合する家庭用コージェネレーション機器として、ガスエンジンコージェネレーションシステム及び CO₂ ヒートポンプ給湯機等を対象に省エネ性、経済性及び導入普及試算を算定し、この結果を比較検討した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

①LP ガスの燃料電池への適応性評価研究（熱利用も含めたトータルシステムとしての適応性研究）

- 1) 水蒸気改質技術の開発
 - a) 「脱硫剤の開発」については、実使用（5℃～70℃程度）を想定し、この範囲での温度変化の影響を検討した。具体的に、5℃、20℃、50℃の 3 点において加速試験を行い、いずれの温度においても 4000 時間の寿命の見通しを得た。また、実運転相当条件下では 9000 時間の耐久性を確認した。
 - b) 「改質触媒の高活性化・長寿命化に係る検討」については、平成 16 年度に検討した起動停止操作方法に基づき、単管反応器により長期の起動停止運転を実施し、触媒の寿命評価を行った結果、20,000 時間程度の寿命を有するものと推定された。
 - c) 「改質触媒の寿命推定・評価方法に係る検討」については、10,000 時間の長期連続運転を行った触媒を分析し、寿命推定方法についての検討を行った。
 - d) 「改質器及び水素製造システムの開発」については、水素製造システム及び燃料電池スタックを組み合わせた燃料電池システムの起動停止運転を行った。また、触媒の加速試験及び水素製造システム容器の寿命推定を実施し、20,000 時間の耐久性についての見通しを得られた。
- 2) 触媒燃焼併発型改質触媒及び水素供給システムの開発
水素供給システムの開発については、平成 16 年度に製作した試作機の試験結果をもとに、よりコンパクトにしたプロトタイプ機を製作、評価し、改質効率向上を目指した。
- 3) 薄膜型メンブレンリアクターの開発
メンブレンリアクターに関するすべての要素技術について改良を行った。特にメンブレンの耐久性の改善に向けた研究を継続し、耐久性向上に資する処理方法を見出した。

②総合調査研究

- 1) 省エネ性、経済性及び導入普及試算に関する調査
競合する家庭用コージェネレーション機器との省エネ性、経済性について種々の運転パターンを想定した試算を行い、導入普及の可能性及び課題を明らかにした。また、家庭におけるエネルギー消費形態に合致する最も効率的な運転パターンについて検討した。

《17》 固体高分子形燃料電池システム技術開発 [平成 12 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

[研究開発項目①「固体高分子形燃料電池要素技術開発等」については中間評価実施]

固体高分子形燃料電池の高性能化、高耐久化、桁レベルのコスト低減を実現しうる画期的な技術の開発のため、現状技術の改良・改善とは異なるブレイクスルー等を伴った研究開発を実施して革新的な技術の確立を図る。また、生産技術の面からも固体高分子形燃料電池の大幅なコスト低減化技術の確立を図る。

研究開発項目①「固体高分子形燃料電池要素技術開発等」については以下に記載する代表的な開発項目の 1 つまたは複数について実施した。

- (1) 要素技術研究

従来よりも桁レベルの高性能化、高耐久化、コスト低減に向けた、反応、劣化等のメカニズムの解明及び電極触媒、担体、膜、MEA、セパレータ等の材料、構造等の開発を行った。電極触媒については、耐 CO 被毒性を有する合金設計により電極触媒を試作し、性能評価を実施した。白金使用による高コスト化、資源制約を解消するために、白金使用量低減、代替触媒の開発等の開発項目について研究開発を行った。電解質膜については、高温耐熱性膜材料と高耐久性技術を融合した膜を新たに試作し、飛躍的な改善が確認された。また改良した触媒層 2 層化 MEA の試作、評価・検討を実施した。カーボン樹脂モールドセパレータについては、熱硬化系・熱可塑性材料によるテストピースを試作し、改善性の評価を実施した。低メタノールクロスオーバー、高電導度な膜性能を持つ DMFC 用新規膜の試作・評価・検討を実施した。

また、燃料電池水素技術開発部において燃料電池技術審査委員会を設置し、技術評価規定に基づき中間評価を実施した。

平成 14 年度追加公募「次世代燃料電池の技術開発」については、これまでの概念にとらわれない電解質膜、触媒（電極及び改質）、電極接合体（MEA）、その他素材、構造等の研究を実施した。

電解質膜については、中温・無加湿で電導度の高い新規構造の膜を考案、試作した。触媒については、カーボン担体に着目し低白金触媒を試作した。MEA については、低コスト型の新規構造を有する MEA を考案、試作した。また、得られた開発成果について、成果報告会を開催した。

なお、次世代燃料電池の技術開発については、当初平成 14 年度～平成 15 年度の 2 年間の予定で実施していたが、さらなる研究の進展が期待されるものについて、研究期間を 1 年間延長することとした。更に、平成 15 年度追加公募を実施し、平成 15 年 9 月 12 日に公募を開始、平成 15 年 10 月 14 日に公募を締め切り、平成 15 年 11 月 26 日に選定結果の通知を行い、9 件の提案を採択した。

(2) 制御技術研究

(1) で得られた要素技術を用いて、システムを構築した場合の制御技術や機器相互の連携、空気・水質管理等に関する研究を実施し、従来よりも高効率かつ高性能なシステム制御技術の見通しが得られた。

研究開発項目②「固体高分子形燃料電池システム化技術開発」については、固体高分子形燃料電池について、大幅なコスト低減化技術の確立を図る生産技術に関する技術開発を行っている。平成 15 年度は、電池システムの実用化を促進するために必要な、電池スタック・燃料改質器・補機・システム技術に関する開発を行った。具体的には、低白金担持電極のルテニウム合金化による耐 CO 被毒性の向上、炭化水素系高分子膜の耐久性確認試験を行い、4,000 時間以上の連続運転を実施し耐久性確認を行った。一方、金属セパレータの開発においては、大量生産、低コスト化に向け、耐食性金属の薄板化開発、加工性向上、耐食性金属からの溶出イオンの影響など連続試験での耐久性について検討を行った。さらに、都市ガス改質システムにおいては、貴金属使用量低減、改質器の効率向上と信頼性向上、PSA 式改質システムにおいては小型化と CO 部分酸化除去器の性能確認を行った。また周辺補機として、内部循環型水処理装置システムや量産型ガス昇圧器の性能確認および向上を図った。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「固体高分子形燃料電池要素技術開発等」については、従来よりも桁レベルの高性能化、高耐久化、コスト低減に向けた、反応、劣化等のメカニズムの解明及び電極触媒、担体、膜、膜・電極接合体（MEA）、セパレータ等の材料、構造等の開発を行った。電極触媒については、耐 CO 被毒性を有する合金設計により電極触媒を試作し、性能評価を実施した。MEA については、ガス拡散層、ガス透過防止膜、運転条件等の検討により格段の長寿命化に成功した。実サイズセルでの評価で劣化率 2mV/1,000h を達成し耐久性を大幅に向上させた。高温耐性フッ素系電解質膜については、100℃で 4,000 h の耐久性を確認した。セパレータについては、熱硬化系材料を用いた圧縮成形法により、200 円/枚と従来コスト比 1/100 で作成できる見通しを得た。劣化メカニズムの解明においては、ガスのクロスリーク挙動と MEA の劣化挙動の関連性を検討した。劣化診断評価のための評価ツールとして、発電状態での電池劣化の評価手法を検討した。また、平成 16 年度は、スタックレベルでの劣化解析のため追加公募を 8 月 16 日から 9 月 15 日まで行い、10 月 7 日に選定結果通知を行って産官学連携により、初期劣化現象の把握とスタック寿命評価方法の確立に係わる劣化解析基盤研究を実施した。「次世代燃料電池の技術開発」においては、平成 15 年度までの研究成果を評価し、さらに継続することにより進展が期待できる 15 テーマについて継続実施した。さらに、次世代形燃料電池に最適な材料、部材設計、機械的システム、量産加工技術、システム制御等をあらゆる学術領域からのアプローチで解決すること、さらには燃料電池の反応メカニズムや物質移動を科学的に明らかにすること等を目的に、「先導的基礎技術研究開発」を平成 16 年 9 月 22 日から 10 月 22 日まで公募し、25 テーマの研究について 12 月 7 日に選定結果を通知して追加実施した。

研究開発項目②「固体高分子形燃料電池システム化技術開発」については、固体高分子形燃料電池の大幅なコスト低減化を図るための生産技術に関する開発を行った。燃料電池システムの実用化を促進するために必要な、燃料電池スタック・燃料改質器・補機・システム技術に関する開発を行った。具体的には、低白金系触媒担持電極の開発においては連続運転性能確認と実用サイズでの生産技術の確立を、金属セパレータの開発においては、耐食性金属からの溶出イオンの影響など連続試験での耐久性性能確認を行った。また、燃料改質システムにおいては、貴金属使用量低減、改質効率向上と耐久性向上を図り、水素分離型改質システムにおいては、性能向上（低負荷領域含む）と耐久性性能確認を行った。また補機として、流量制御型ガス昇圧器の性能向上を図った。さらに、システム全体としては、燃料電池スタ

ック、改質器、インバータ等の個々の効率向上により、システム総合効率の向上を図った。

《18》固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備事業 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

固体高分子形燃料電池システムの実用化・普及のため、以下の安全性・信頼性等の評価試験を通じたデータ収集・評価手法の検討、その評価試験体・試験装置の製作、基準・国内外標準の提案を実施した。

研究開発項目①「固体高分子形燃料電池要素技術開発等」については以下に記載する代表的な開発項目の1つまたは複数について実施した。

(1) 要素技術研究

平成15年度は、従来よりも桁レベルの高性能化、高耐久化、コスト低減に向けた、反応、劣化等のメカニズムの解明及び電極触媒、担体、膜、MEA、セパレータ等の材料、構造等の開発を行った。電極触媒については、耐CO被毒性を有する合金設計により電極触媒を試作し、性能評価を実施した。白金使用による高コスト化、資源制約を解消するために、白金使用量低減、代替触媒の開発等の開発項目について研究開発を行った。電解質膜については、高温耐熱性膜材料と高耐久性技術を融合した膜を新たに試作し、飛躍的な改善が確認された。また改良した触媒層2層化MEAの試作、評価・検討を実施した。カーボン樹脂モールドセパレータについては、熱硬化系・熱可塑性材料によるテストピースを試作し、改善性の評価を実施した。低メタノールクロスオーバー、高電導度な膜性能を持つDMFC用新規膜の試作・評価・検討を実施した。また平成15年度は、燃料電池水素技術開発部において燃料電池技術審査委員会を設置し、技術評価規定に基づき中間評価を実施した。

平成14年度追加公募「次世代燃料電池の技術開発」については、これまでの概念にとらわれない電解質膜、触媒（電極及び改質）、電極接合体（MEA）、その他素材、構造等の研究を実施した。電解質膜については、中温・無加湿で電導度の高い新規構造の膜を考案、試作した。触媒については、カーボン担体に着目し低白金触媒を試作した。MEAについては、低コスト型の新規構造を有するMEAを考案、試作した。また、得られた開発成果について、成果報告会を開催した。なお、次世代燃料電池の技術開発については、当初平成14年度～平成15年度の2年間の予定で実施していたが、さらなる研究の進展が期待されるものについて、研究期間を1年間延長することとした。

更に、平成15年度追加公募を実施し、平成15年9月12日に公募を開始、平成15年10月14日に公募を締め切り、平成15年11月26日に選定結果の通知を行い、9件の提案を採択した。

(2) 制御技術研究

(1)で得られた要素技術を用いて、システムを構築した場合の制御技術や機器相互の連携、空気・水質管理等に関する研究を実施し、従来よりも高効率かつ高性能なシステム制御技術の見通しが得られた。

研究開発項目②「固体高分子形燃料電池システム化技術開発」については、固体高分子形燃料電池について、大幅なコスト低減化技術の確立を図る生産技術に関する技術開発を行っている。平成15年度は、電池システムの実用化を促進するために必要な、電池スタック・燃料改質器・補機・システム技術に関する開発を行った。具体的には、低白金担持電極のルテニウム合金化による耐CO被毒性の向上、炭化水素系高分子膜の耐久性確認試験を行い、4,000時間以上の連続運転を実施し耐久性確認を行った。一方、金属セパレータの開発においては、大量生産、低コスト化に向け、耐食性金属の薄板化開発、加工性向上、耐食性金属からの溶出イオンの影響など連続試験での耐久性について検討を行った。さらに、都市ガス改質システムにおいては、貴金属使用量低減、改質器の効率向上と信頼性向上、PSA式改質システムにおいては小型化とCO部分酸化除去器の性能確認を行った。また周辺補機として、内部循環型水処理装置システムや量産型ガス昇圧器の性能確認および向上を図った。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

固体高分子形燃料電池システムの実用化・普及のため、以下の安全性・信頼性等の評価試験を通じたデータ収集・評価手法の検討、それらを基にした基準・国内外標準の提案を実施した。

研究開発項目①「自動車用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備」について、

(1) 性能試験方法の検討

- ・燃費試験方法：圧力法で、内部ガス平均温度を代表する表面の計測箇所を明確化し簡便化を図った。
- ・燃料電池本体（スタック）試験：85kW級など大型スタックの最大出力試験を実施し、小型スタック（数kW級）と同等の再現性のある電流－電圧特性（誤差 $\pm 0.7\%$ ）測定条件を決定した。

(2) 燃料性状規格の検討

- ・水素中不純物の性能影響評価：新規に、メタノール等の10時間運転試験を実施した。一酸化炭素など影響力の大きい不純物の100時間の連続運転を実施した。
- ・水素用付臭剤の検討：候補物質5種類について100時間の連続運転を行った。

(3) 安全性試験方法の検討

- ・燃料系部品の評価：急速充填による高圧容器の安全性調査を実施し、充填時間－容器内部温度の関係指標を得た。

- (4) 国内外基準/標準化に関する調査
 - ・ ISO/TC22/SC21 (電気自動車)：燃費試験法をNWIP (New Work Item Proposal) した。
 - ・ ISO/TC197/WG12 (水素仕様)：日本が議長国となり審議が進行中。
 - ・ 高压ガス保安法：圧縮水素自動車燃料装置用容器例示基準案策定に本事業のデータを提示した。
 - ・ その他：IPHE、FCTESTNET などの標準化活動に試験データなどを提示した。

研究開発項目②「定置用固体高分子形燃料電池システム普及基盤整備」については、

- (1) 基本性能試験方法に関する検討
 - ・ 燃料電池システムの基本性能試験方法の検討：基本性能、耐環境性能、耐久性、環境性に関するデータ収集および試験方法の検討を行った。
 - ・ 国内外基準/標準化対応策定時に生じた基本性能試験方法に関する要望や指摘に対し、必要なデータ収集を行った。
- (2) 安全性試験方法に関する検討
 - ・ 燃料電池システムの安全性試験方法の検討：電気安全等に関するデータ収集および試験方法の検討を行った。
 - ・ 国内外基準/標準策定時に生じた安全性試験方法に関する要望や指摘に対し、必要なデータの収集を行った。
- (3) 国内外基準/標準化に関する調査
 - ・ IEC 及び JIS 等の案等の詳細検討を行った。
 - ・ 国内外基準/標準化等に関する会議に参加し、事業の成果を反映させた。
 - ・ 国内外基準/標準化に関し、技術全般や動向等の調査研究を行った。

<非プログラム プロジェクト・事業>

《19》燃料電池関連技術人材育成調査研究事業 [平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、燃料電池・水素技術開発の研究者拡充及び人材育成に資することを目的に、大学院における人材育成に対する産業ニーズ、大学シーズ等の調査研究を行うとともに、水素の取り扱いに関する現場安全教育に関する事例調査などの産業界における水素安全教育の実態調査を実施した。

②新エネルギー技術

[中期計画]

2010 年における長期エネルギー需給見通しの達成に資するため、太陽光、風力、バイオマス、廃棄物発電、天然ガスコージェネレーション等の新エネルギーの開発・導入・普及等を目指し、太陽電池の低コスト化・高効率化等の製造技術、太陽光発電システムに係る研究開発等を行い、また、太陽・風力・バイオマス等の新エネルギーについて、実証のためのフィールドテスト及びこれら新エネルギーを既存の電力系統に安定的に連結するための電力系統連系技術の開発を行う。さらに、バイオマスの各種気体・液体燃料への転換技術、廃棄物を用いた発電技術、天然ガスコージェネレーション技術等の開発を行う。また、定置用の中・大型燃料電池として高効率発電設備やコージェネレーション等の分散型電源分野への適用が期待できる固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 等の開発を行う。

<新エネルギー技術開発プログラム>

[中期目標期間実績]

第 1 期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》新エネルギー技術研究開発 [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「新エネルギーベンチャー技術革新事業」[平成 19 年度～平成 23 年度]

太陽光発電技術分野、バイオマス技術分野、燃料電池・蓄電池技術分野、風力・その他未利用エネルギー技術分野について、技術課題を設定し公募を実施した。その結果、155 件の提案から各々の技術分野で 4 件、10 件、4 件、4 件を採択して事業を開始した。事業実施に当たっては、外部専門家を活用しつつ個別の技術経営支援を実施し、事業の効率的・効果的運営に努めた。また、年度末にはステージゲート評価を実施し、太陽光発電技術分野では 2 件、バイオマス技術開発分野では 3 件、燃料電池・蓄電池分野では 1 件、風力・その他未利用エネルギー分野では 1 件について研究の継続を決定した。

研究開発項目②「バイオマスエネルギー高効率転換技術研究開発」[平成 16 年度～平成 24 年度]

イ) バイオマスエネルギー先導技術研究開発

公募により 6 件の採択を行い、平成 17 年度及び 18 年度に採択した 18 件とともに研究開発を実施した。

「ワンバッチ式バイオエタノール製造技術の研究開発」では、ナノ空間形成法による木質成分の活性化、自立型並行複発酵微生物の研究開発によって、省エネルギー型の湿式粉碎技術、並行複発酵微生物の開発に目途を付けることが出来た。「膜分離プロセス促進型アルコール生産技術の研究開発」では、ブタノール生産について、遺伝子制御によるブタノール生産の制御可能性を確認すると共に、シリコンゴムコーティングした管状シリカライト膜を用いた浸透気化分離法によるブタノール濃縮を行い、30℃、500rpm 条件下にて、ブタノール濃度 1% (w/w) の供給液を 38% (w/w) で回収できた。また、回収液は二層に分離しており、上層には 83% (w/w) のブタノール濃度で回収されるなど、研究で著しい成果が得られた。

なお、平成 18 年度に採択した 15 件については、平成 19 年度末に技術委員会で 6 件程度の研究開発の継続を決定した。また、同時に 24 件全てについて、2015～20 年頃までにセルロース系エタノール製造コスト 40 円/L 及びエネルギー回収率 0.35 等を実現するテーマの加速・継続を審議し、4 件の加速を決定した。

ロ) バイオマスエネルギー転換要素技術開発

平成 17 年度、18 年度に採択した 16 件の研究開発を実施した。

「植物性油脂の精製に用いた廃白土に残留する植物油からのバイオディーゼル燃料製造技術の開発」では、食用油脂の精製工程から排出される廃白土に含まれる植物性油脂から Lipase を用いて BDF を低コストに製造するべく、ラボスケール実験において BDF 生成後スラリーを濾過し、廃白土ケーキをヘキサンによって洗浄・抽出することにより BDF を 90%以上回収できることを確認した。

「水熱分解法と酵素分解法を組合せた農業残渣などのセルロース系バイオマスの低コスト糖化技術の開発」では、水熱分解法と酵素分解法を組み合わせた糖化技術の確立を図るべく、温度 160～280℃、圧力 15～25MPa、処理時間 0.5～2 分の水熱条件下での糖類（原料濃度 1.5～10wt%）及びリグニンモデル化合物の分解安定性の調査を行い、低濃度域（～3wt%）においては高温ほど糖回収には好適であり、加水分解が糖過分解よりも顕著に進行することが分るなど、研究で著しい成果が得られた。

研究開発項目③「太陽光発電システム未来技術研究開発」[平成 18 年度～平成 24 年度]

基本計画の研究項目ごとに設定した課題に対し、平成 18 年度に開始した 37 件に、公募により 2 件のテーマを追加して研究開発を実施した。

また、基本計画に基づき、平成 20 年 1 月に中間テーマ評価を行って継続又は中止の判断を行い、平成 20 年度以降の研究体制の見直しを行った。平成 19 年度採択分を除く太陽電池の種類ごとに研究分科会を設け、プロジェクトリーダー及び実施者間での情報交換等により進捗状況の把握、研究方針のチェック等を行った。

(イ) CIS 系薄膜太陽電池

高効率化技術又は軽量基板上への太陽電池の形成プロセス要素技術の開発を目的として 4 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中で、「大面積 CIGS 太陽電池の高性能化技術の研究開発」においては透明導電膜の電気的・光学的特性を最適化することにより 10cm 角の CIGS 太陽電池で変換効率 15.1%（平成 19 年度中間目標 15%）を達成すると同時に、フレキシブル太陽電池の開発においても分布・濃度・安定性の点で優れた特徴を持つ Na 制御法の開発により小面積のチタン箔基板上で 16.6%（平成 19 年度中間目標 15%）を達成するなどの成果を得た。

(ロ) 薄膜シリコン太陽電池

生産性向上技術又は高効率化技術の開発を目的として 5 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発」において、光学制御機能の開発を行って短絡電流向上に成功し、中間目標の安定化効率達成に向けた要素技術を確立するなどの成果を得た。

(ハ) 色素増感太陽電池

高効率化技術、耐久性向上技術、モジュール化技術の開発を目的として 7 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「高効率・集積型色素増感太陽電池モジュールの研究開発」において、電子移動素過程の解析、色素吸着状態の解析を実施し、効率 11.3%（5mm 角）を達成すると共に 5cm 角集積型モジュールにおいても効率 7.9%を達成した。また、「高耐久性色素増感太陽電池モジュールの研究開発」においては、30cm×10cm 相当のサブモジュールを用いて 1000h の耐久性を確認した。

(ニ) 次世代超薄型シリコン太陽電池

高効率化技術及び関連プロセス技術の開発を目的として 6 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「未来型超薄型多結晶シリコン太陽電池の研究開発」において、低反射テクスチャー構造の開発により、100μm 厚、15cm 角多結晶シリコン太陽電池を試作し、変換効率 16.7%を達成した。

(ホ) 有機薄膜太陽電池

高効率化技術及び耐久性向上技術の開発を目的として 4 件のテーマについて継続して研究開発を行った。この中では、「タンデム型高効率・高耐久性有機薄膜太陽電池の研究開発」において、タンデム型に向けた単位セル開発では、ブレンド技術による膜の高緻密化により低分子系セルの変換効率向上が認められ、多層輸送層による高分子系 1cm²セルで変換効率 3.6%が得られた。

(ヘ) 次世代技術の探索

太陽光発電システムの大幅な低コスト化・高性能化・長寿命化が実現可能と考えられる次世代技術の探索を目的として 11 件のテーマについて継続するとともに、平成 19 年度には安全・安心に長期間利用できる新材料太陽電池という観点も含めて公募を行い、新たに 2 件採択して計 13 件の研究開発を行った。この中では、「スクリーン印刷/焼結法を用いた非真空 CIS 太陽電池の製造技術開発」において材料系の検討、焼結プロセスの最適化等によりプロセスの安定性が見出され、変換効率 3.1%を得た。

研究開発項目④「太陽光発電システム共通基盤技術研究開発」[平成 18 年度～平成 21 年度]

イ) 新型太陽電池評価技術の開発

「太陽電池評価技術の研究開発」においては、可変スペクトルソーラシミュレータの光学系基本設計における性能検証が完了した。

「発電量評価技術の研究開発」においては、太陽電池モジュールの発電量定格のモードと計算法(発電量定格)の開発として、ラウンドロビン計測により得られた実測データを基に、発電量定格技術の検証と精度評価ができた。さらに国際標準の規格決定に向けて当該審議に参加した。

ロ) PV 環境技術の開発

1 件の技術開発、1 件の調査研究を実施した。技術開発の「高リサイクル性新型モジュール構造の開発」においては、薄膜系太陽電池に共通するリサイクル性の高いフレームレス構造のモジュールを試作するなどの成果が得られ、テーマとしての最終目標を達成して研究を終了した。「太陽光発電システムのライフサイクル評価に関する調査」においては、現状の太陽光発電システムのライフサイクル評価及び環境性の評価方法が得られた。

ハ) 太陽光発電技術開発動向等の調査

「太陽光発電技術開発動向等の調査」においては、海外における研究開発動向や技術開発プログラム等の最新動向を把握し、太陽光発電技術の開発状況、開発課題、開発アプローチの方向に関する調査・検討などを行って、太陽光発電技術開発の効率的・効果的推進に寄与した。

研究開発項目⑤「太陽エネルギー新利用システム技術研究開発」[平成 17 年度～平成 19 年度]

「太陽熱エネルギー利用集中システムの実用化モデルの研究開発」では、新吸着冷凍機に関する実証試験装置の設計・製作等を実施し実証試験施設建設に併せてシステムを設置、実証実験を行った。また、セントラル部分でのミキシング技術及び可変リミッタの研究開発に関して全体システムの設計及び実証試験を行い、実用化モデルの立案等の成果が得られた。

「通年利用型ソーラー給湯・空調換気システムの研究開発」では、デシカント換気装置に関する評価実験を行い、設計値通りの効果の有無について確認を行った。水集熱式装置に関しては、全体連携システムにおいて、各要素実験の結果を踏まえた実証試験システムを構築し、長期フィールド実験を行い、全体システム実用化へ繋げる開発を行い、目標としていた効率向上 20%以上を達成した。

「空気集熱式ソーラー除湿涼房システムの研究開発」では、補助熱源エアコンとデシカント空調機との協調運転システム組み込み試験の冷房期間連続自動運転を行い、データ解析により冷房太陽熱依存率及び補助熱源 COP を算出し、効果を明らかにした。集熱板加工法の開発については、自動製造器の開発を行った。また、低コストユニット集熱器の試作器による実証試験を実施し、目標としていた従来と比較して 10%以上の効率向上を達成した。

「太陽熱木質系材料乾燥技術の研究開発」では、木材乾燥装置に関しては、実証プラントの性能解析、評価、改善・改良を行い、実用化運転マニュアルの作成を行った。おが粉乾燥装置に関しては、ベルトコンベヤー式乾燥装置からのデータ収集、解析、架台の把握及び改良・改善を行い、装置を開発し、またおが粉乾燥実証プラントの設計建設及び実証試験を行った。その結果として目標である湿潤基準で含水率 21.6%のおが粉を 8.6%まで乾燥させるという能力を持った木材乾燥システム及びおが粉乾燥システムを開発した。

「太陽エネルギー高温集熱利用高効率ハイブリッド冷暖房システムの研究開発」では、空調制御システムに関して、実証試験による検証を行い、全体のとりまとめを行った。その結果として開発目標であったシステム効率 COP1.9 等を得られるシステムを確立した。

「空気集熱式ソーラー空調システムの利用率向上と適用範囲拡大に関する研究開発」では、デシカント再生技術、ハンドリング部(制御部含む)及び集熱パネルの高効率化に関して、実証運転を行い、データ解析・評価を実施し、全体のとりまとめを行った。さらに、目標である冷房出力 20%以上、協調運転による省エネ 30%以上を達成した。

研究開発項目⑥「太陽光発電システム実用化加速技術開発」[平成 17 年度～平成 19 年度]

テーマについて継続して研究開発を実施し、いずれも本年度をもって研究開発を終了した。

「微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」においては、生産時のランニングコスト低減及び歩留まり向上の技術開発における目標を達成し、生産ラインの実証試験データのまとめ、評価を行った結果、最終目標である装置稼働率 75%以上、性能歩留まり 80%以上の生産性の目処を得た。

「シリコン回収及び再生技術開発」においては、切削・研磨系などから回収したスラッジより結晶シリコン太陽電池用原料に適した品質目標(6N 相当)に達する再生技術を開発し、目標コスト(年産 600 t 時に 3 千円以下/kg)に適用製造プロセスの目処を得た。

「固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの量産技術開発」においては、球状シリコン製造と太陽電池セル化、さらに固定式集光型基板への実装工程における超高速量産技術を開発し、所定量産時のモジュール製造コスト(年産 10 万 kW 時に 100 円以下/Wp)を検証した。

「太陽光・蓄電ハイブリッドシステムの技術開発」においては、ハイブリッドパワーコンディショナの小型化や構成機器間通信インターフェースの最適化を図ると共に、目的別蓄電池の最適容量や充放電制御方式を研究し発電コスト低減に向けた最適な蓄電池管理システムを開発した。

《2》新エネルギー技術フィールドテスト事業 [平成 19 年度～平成 26 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 ii) フィールドテスト業務及び海外実証業務等 ① 参照]

《3》大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証研究 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 i) 企業化・実用化を見据えての技術開発業務 ③ 参照]

《4》E3 地域流通スタンダードモデル創成事業 [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 ii) フィールドテスト業務及び海外実証業務等 ④ 参照]

《5》バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業 [平成 14 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 ii) フィールドテスト業務及び海外実証業務等 ② 参照]

《6》バイオマスエネルギー地域システム化実験事業 [平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 ii) フィールドテスト業務及び海外実証業務等 ③ 参照]

《7》系統連系円滑化蓄電システム技術開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

①実用化技術開発

既設の風力発電データを取得し、蓄電池導入の予備検討として出力特性の解析を行った。また、電池の大型化のための技術検討も開始した。

②要素技術開発

電池の各構成部材について、材料及びその製法、構造等の改良のための研究開発を開始した。

③次世代技術開発

低コスト・長寿命化のために、新規材料等に関する研究開発を開始した。

④共通基盤研究（基礎調査）

規格・基準等を調査して開発電池に必要な技術要件を把握するとともに、NEDO 事業で収集した太陽光・風力の発電データ等をもとに各種評価方法について調査・検討を行った。さらに、電池を構成する要素についても資源調査を行って、価格動向や安定供給について検討した。

平成 19 年度は、プロジェクト全体の責任者として京都大学 教授 小久見 善八氏をプロジェクトリーダーとし、実用化技術開発、要素技術開発、次世代技術開発及び共通基盤研究についてサブリーダーを設置して研究開発を実施した。

①実用化技術開発

新エネルギー発電に適用する大型蓄電システムの構築に向けて、発電データ等の実運用データを入手して、それをもとに出力安定化制御や蓄電状態の検出に関する検討など、蓄電池の大型化のための技術検討を継続するとともに、

充放電制御及び運用管理技術についても検討を行った。その結果、ニッケル水素電池については、100kW 級蓄電システムを製作して風力発電サイトに設置し、実際の風力発電データに基づいた出力平滑化試験および電池の充電状態を精度よく把握する蓄電池モニタシステムの実運用下での検証を開始した。またリチウムイオン電池の大型化については、5kW モジュールを最小構成単位とし、電力変換装置の要求仕様にあわせて安全でかつ柔軟な対応が可能な直列接続列（バック）を並列接続することとし、統合的な運用管理が可能なハードウェア構成とした。

②要素技術開発

2010年時の目標である、システムコスト4万円/kWh、寿命10年の実現を目指し、蓄電技術の構成要素である正負極材料や電解質、セパレータのほか、セル容器、端子、モジュール筐体などについて、低コストで長寿命な材料やその製造方法の検討を行う等、電池の各構成部材について、材料及びその製法、構造等の改良のための研究開発を継続して実施した。また、蓄電セルのバランス制御方法や直並列構成についても検討を行ない、セルレベルあるいはモジュールレベルでの検討を開始した。その結果、リチウム電池では、8Ah 級ラミネート電池の一次試作で80Wh/kg（従来比14%向上）を達成や、新規負極材（ $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ）の検討により100mAh/g以上の特性をコンスタント得た他、モジュールに新規に開発した樹脂製筐体を適用することによりモジュールでの比容量を120Wh/gとするなどの成果を得た。また、キャパシタについては、新型設計により12Wh/kgのエネルギー密度を達成した。

③次世代技術開発

正極は高容量で安定な材料について、負極は低コストな炭素系や高安全な高電位材料について、電解質は安全性の高い固体高分子系の材料について研究開発を行なう等、2030年時の目標である、システムコスト1.5万円/kWh、寿命20年の実現を目指し、蓄電技術を構成する正極・負極・電解質について、低コスト化・長寿命化に向けて革新的な新規材料の研究開発を実施した。その結果、チタニア系負極で初期容量250mAh/g、XIII族、XIV属元素の2電子反応で210mAh/gの初期容量を達成した。また、新規な固体ポリマー電解質においても、各々0.5mS/cm@30℃、1.2~0.08mS/cm@80~-10℃等の成果を得た。更に、公募を実施し、3件の研究テーマを追加するとともに、平成20年3月にステージゲート評価を実施して、研究成果及び今後の事業展開などについて審議し、継続して研究を実施するテーマとして9件中7件を選定した。

④共通基盤研究

前年度に得られた調査結果を基に公募を実施し、委託先を選定の上、本プロジェクトで開発する蓄電技術の評価方法の検討を開始した。平成19年度は主にコスト、寿命、安全性、性能について、既存の規格・基準を調査するとともに、開発者等へのヒアリングを実施して評価方法に関する現状の課題を抽出した。

《8》新エネルギー等地域集中実証研究 [平成15年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 i) 企業化・実用化を見据えての技術開発業務 ⑥ 参照]

《9》風力発電電力系統安定化等技術開発 [平成15年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 i) 企業化・実用化を見据えての技術開発業務 ④ 参照]

《10》風力発電系統連系対策助成事業 [平成19年度～平成24年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 ii) フィールドテスト業務及び海外実証業務等 ⑤ 参照]

《11》集中連系型太陽光発電システム実証研究 [平成14年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 i) 企業化・実用化を見据えての技術開発業務 ② 参照]

《12》太陽光発電システム未来技術研究開発 [平成18年度]

[中期目標期間実績]

薄膜シリコン太陽電池、CIS系薄膜太陽電池、色素増感太陽電池、次世代超薄型シリコン太陽電池、有機薄膜太陽電池、次世代技術の探索の6つの研究項目毎に設定した課題（一部テーマについては課題を含めた提案公募）に対して新

規研究開発テーマを公募し、研究開発を開始した。

《13》太陽光発電システム実用化加速技術開発 [平成17年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、平成17年2月17日に公募の事前周知を行い、3月30日に公募を開始、6月6日に公募を締め切り、1件を採択して共同研究を開始した。さらに追加公募を行って合計3件を採択して共同研究を開始した。

研究開発項目①「高フィルファクタ太陽電池対応型高効率インバータ技術開発」では、高フィルファクタの太陽電池に最適化したインバータの設計検討を行い、その結果を基に家庭向け規模のパワーコンディショナーを試作/評価した。

研究開発項目②「微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発」では、「微結晶Si高速製膜電極」および「製膜ユニット高周波電力給電部および高周波電源」を導入し、生産ランニングコスト低減技術、及び歩留まり向上技術の基礎的検討を行った。

研究開発項目③「固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの量産技術開発」では、超高速・大量球状セル化量産技術の基礎的検討と、集光型セルの高効率についての検討を行った。

研究開発項目④「シリコンの回収および再生技術開発」では、廃溶液中に分散したシリコンを回収する技術および再生する技術について、基礎的な検討を行った。

平成18年度は、平成17年度に採択した以下の4件の研究開発テーマを引き続き実施した。

①高フィルファクタ太陽電池対応型高効率インバータ技術開発

②微結晶タンデム太陽電池の低コスト化製造技術開発

③固定式集光型球状シリコン太陽電池セルの量産技術開発

④シリコンの回収および再生技術開発

①については、目標のインバータ変換効率を達成し、平成18年度で終了した。

また、新規テーマの公募を行い、以下の1件を採択し研究を開始した。

⑤太陽光・蓄電ハイブリッドシステムの技術開発

《14》太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 [平成18年度]

[中期目標期間実績]

研究項目毎に設定した課題（一部テーマについては課題を含めた提案公募）に対して新規研究開発テーマを公募し、委託先の決定を行い、以下の研究開発を開始した。

①新太陽電池性能評価技術の開発

②PV環境技術の開発

③太陽光発電技術開発動向調査等

《15》太陽エネルギー新利用システム技術研究開発事業 [平成17年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度には、公募により6件の研究開発テーマを採択し研究開発を開始した。

①「太陽熱エネルギー利用集中システムの実用化モデルの研究開発」では、公共施設（高齢者施設等）及び集合住宅への普及拡大を目的として3つのシステムについて設計を行い、要素試験装置（新吸着冷凍機や蓄熱槽等）の製作を開始した。

②「通年利用型ソーラー給湯・空調換気システムの研究開発」では、福祉・教育及び集合住宅を対象とし、従来の太陽熱利用給湯・床暖房システムに比べて付加価値の高い太陽熱利用型デシカントシステム及び水冷煤式集熱システムの設計を行い、各要素試験装置の製作を開始した。

③「空気集熱式ソーラー除湿涼房システムの研究開発」では、公共施設や産業施設を対象とし、夏期の余剰熱を有効利用するために、デシカント冷房（涼房）システムの建物冷熱源の調査・全体システムの設計及び要素試験装置の製作を開始した。

④「太陽熱木質系材料乾燥技術の研究開発」では、木材産業において、効率の良い太陽熱パッシブ利用を導入するために、全体システムの設計を行うとともに、木材乾燥及びおが粉乾燥に関する試験装置の製作を実施した。

⑤「太陽エネルギー高温集熱利用高効率ハイブリッド冷暖房システムの研究開発」では、公共施設を対象とし、各要素試験装置（吸収冷凍機やヒートポンプシステム等）の設計・製作及び運転を開始し、また全体システムに関する詳細設計を開始した。

⑥「空気集熱式ソーラー空調システムの利用率向上と適用範囲拡大に関する研究開発」では、集合住宅を対象とし、デシカントシステムに関する設計を開始し、各要素試験装置の設計・製作及び運転を開始した。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「太陽熱エネルギー利用集中システムの実用化モデルの研究開発」では、公共施設（高齢者施設）及び集合住宅への普及拡大を目的として、導入するシステム全体の施工図の作成及び設置工事に伴う調整を進めている。

研究開発項目②「通年利用型ソーラー給湯・空調換気システムの研究開発」では、従来の太陽熱利用給湯・床暖房シ

システムに比べて付加価値の高い太陽熱利用型デシカントシステムの運転方法最適化のための実験及び解析と水冷煤式太陽熱利用システムにおける試作機製作を行い、大型試作機の設計を開始した。

研究開発項目③「空気集熱式ソーラー除湿涼房システムの研究開発」では、デシカントモジュールの開発及び最適な制御アルゴリズムの開発を行い、建設中の事務所庁舎への導入検討を開始した。

研究開発項目④「太陽熱木質系材料乾燥技術の研究開発」では、完全パッシブ太陽熱利用木材乾燥装置を試作し、実証試験を行い改良を開始した。

研究開発項目⑤「太陽エネルギー高温集熱利用高効率ハイブリッド冷暖房システムの研究開発」では、全体及び計測システムの設計を行い、ソーラー要素試験、吸収式冷凍機要素試験を実施し、実証試験用システムの製作を開始した。

研究開発項目⑥「空気集熱式ソーラー空調システムの利用率向上と適用範囲拡大に関する研究開発」では、デシカント空調ユニットを開発試作し、実験を行った。高性能空気集熱版の試作を行い実験を開始した。また、補助熱源エアコンのデシカント空調機との協調運転のシステム工事を開始した。

《16》バイオマスエネルギー高効率転換技術開発 [平成13年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「石炭・木質バイオマス混焼技術の研究開発」

- ・昨年度に製作・据付を完了した燃焼試験設備を用い、燃焼試験の実施及び試験結果の評価を実施した。
- ・既設石炭火力発電所への導入を想定した検討を行い、1) 灰中の未燃分を5%以下 (JISフライアッシュ規格値) を達成、2) 基準石炭と同等の燃焼速度を得るには、2mm以下に粉砕することが必要、3) 5%混焼時の発電効率の低下を0.5%未満に留める事が可能であることを確認した。

研究開発項目②「有機性廃棄物の高効率水素・メタン醗酵を中心とした二段醗酵技術研究開発」 [中間評価実施]

- ・食品系廃棄物、難分解性有機物 (紙類を含む生ごみ等) の有機性廃棄物の最適な可溶性条件の把握、及び優先的に水素生産する複合微生物群 (マイクロフローラ) の馴養を行い最適な水素発生条件の把握を行うとともに、メタン発酵菌の固定化単体への固定化特性を把握し、検証用のトータルシステムに使用する各リアクタの仕様を決定し、つくば市/産総研に設置を進めた。
- ・醗酵残渣の複合水熱技術の研究開発を開始した。
- ・技術評価委員会による中間評価では、順当な成果と評価されたが、実用化に向けたより一層の研究開発が期待されている。

研究開発項目③「高効率二段醗酵による有機性廃棄物のエネルギー転換技術開発」

- ・既存菌株群から麦焼酎粕に対してブタノール生産性の高い菌株の探索等を行い、無機膜を用いた菌の濃縮試験を実施した。また、醗酵の運転指標の探索研究として、ABE発酵の前処理である糖化工程の改良試験、麦焼酎粕の発酵阻害回避の条件を探索した。

研究開発項目④「セルロース系バイオマスを原料とする新規なエタノール醗酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発」 [中間評価実施]

- ・連続硫酸加水分解処理、糖と硫酸の分離システムを開発し、凝集性酵母用連続醗酵装置及び蒸留・膜脱水装置を出水工場に設置した。
- ・スケールアップの課題探索の為にABE連続醗酵装置とメタン醗酵装置、ブタノール生成物からメチルエステル回収の為にブタノール回収装置を製作した。また、得られたBDFとメタンガスの二元燃料の燃料試験を行った。
- ・新規に開発した高活性セルラーゼ酵素を酵母に発現させた“アーミング酵母”に、凝集性やキシロース発酵性、エタノール耐性・耐熱性付与のための基礎研究を実施した。また、新規なザイモモナスの開発を進め、酵母との比較検討をした。
- ・エタノール醗酵で得られたもろみ液を無機膜抽出・無機膜脱水したエタノールを用いた自動車燃料適用試験を行った。
- ・技術評価委員会による中間評価では適切な目標・バランスの取れた研究開発体制と評価され、進捗も順調と判断された。

研究開発項目⑤「木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発」

- ・ベンチ試験装置 (燃焼器、付帯計装設備) の製作、据付を完了し、バイオマス供給装置、流動層ガス化炉、高温フィルター、燃焼器等の個々の性能確認試験を実施し、バイオマスガス化反応特性・生成ガス性状等を把握するとともに、システム全体の燃焼性能確認試験を実施し、空気比: 0.33以下で目標冷ガス効率75%以上の結果を得た。
- ・高知県内の5-製材工場内のエネルギー使用状況調査を行い、本システムの導入の可能性を検討した。
- ・平成16年度までの複数年契約を行った。

研究開発項目⑥「バイオマスの低温流動層ガス化技術の開発」 [中間評価]

- ・タール分解触媒のスクリーニングを行い、小型試験装置 (気泡流動層、循環流動層) を用いた触媒のガス化特性、タール分解特性、触媒再生特性等を評価した。
- ・大型試験装置 (気泡流動層) を用いたタール分解性能確認試験等を行ったが、中間目標の数値に達成

しなかった。

- ・技術評価委員会による中間評価の結果、平成 15 年度末をもって開発を中止した。

研究開発項目⑦「バイオマスの高速ガス化方式によるメタノール等気体・液体燃料への高効率エネルギー転換技術開発」

- ・中部電力川越火力発電所構内に 2t/d 噴流床ガス化メタノール製造試験装置の据付けを完了し、杉材を用いた単一バイオマスガス化運転を行った。
- ・メタノール合成触媒の耐久性検討ならびにダム流木等の多種バイオマスのガス化特性試験等を行った。
- ・平成 16 年までの複数年契約を行った。

研究開発項目⑧「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」

- ・ガス化基礎特性試験を行い、砂層温度 600～700℃でガス改質が可能であることを確認した。
- ・触媒フィルタの基礎試験を行い、水蒸気添加量と COS 分解性能の関係等の基本特性を把握した。
- ・潜熱回収技術に関連した要素試験研究を行った。
- ・排水中のアンモニアからの水素回収では NH₃ 分解触媒の性能を把握した。
- ・平成 16 年度までの複数年契約を行った。

研究開発項目⑨「有機物の分解促進による下水汚泥高効率嫌気性消化システムの開発」

- ・室内実験によりオゾン酸化による下水汚泥・消化汚泥の改質状況確認及び基礎物性確認を行った。
- ・下水処理場におけるフィールドテスト開始に向け、濾過型の汚泥濃縮システム、下水二次処理水を冷却源とする省エネルギー型オゾン処理システムを進め、パイロット装置を製作した。
- ・下水汚泥、嫌気性消化汚泥を対象にオゾン酸化を効率化するために、汚泥中の無機物の分析・蓄積機構の解明を行い、各種無機物質除去技術の検討を進めた。
- ・平成 16 年までの複数年契約を行った。

研究開発項目⑩「高含水バイオマスの高効率改質脱水技術を用いたガス化システムの開発」

- ・コーヒー焙煎滓の油中改質脱水基礎試験を、120℃～210℃の温度範囲で触媒として水酸化カルシウムを添加し、脱水温度と脱水率、脱水温度とバイオマス分解率等の関係及びその性状を把握した。
- ・固気混相流数值解析法を用いて流動床の性能解析を実施し、ガス化炉の基本構造を検討した。
- ・ガス化システムではバッチ式熱分解ラボ試験を行い、変化、炉内温度分布、ガス転換率等の基礎特性を把握した。コールドモデル試験機（ベンチスケール規模の透明プラスチック製の試験機で、ガスの挙動・固体粒子の挙動を目視で確認する。）の燃焼部、ガス化部の詳細設計の検討を実施した。
- ・平成 16 年度までの複数年契約を行った。

研究開発項目⑪「二段階反応法によるバイオディーゼル燃料（BDF）製造技術の研究開発」

- ・廃食用油等の加水分解工程及びエステル化反応工程における最適処理温度、圧力条件の検討を目的として二段階超臨界反応方式基礎実験装置を設置し、菜種油を対象に加水分解反応、エステル化反応等の基礎実験データ（反応温度、圧力、メタノール添加比等）の取得を開始した。
- ・ベンチ実験装置（基礎実験装置の 100 倍の能力）の製作を開始した。
- ・廃油脂類等の原料市場調査、製品 BDF の適用性評価等の調査及び欧米の BDF 動向を調査した。
- ・平成 16 年度までの複数年契約を行った

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「木質系バイオマスによる小規模分散型高効率ガス化発電システムの開発」24kW 級ベンチ試験設備を利用し、ガス化炉から発生する低発熱量ガスの燃焼性確認試験、および、その燃焼器とガスタービン、熱交換器を連係させた全体システムの改造を行い、性能確認試験を実施し最終目標値（冷ガス効率 75%、発電端効率 20%）に達したことを確認した。また、開発システムの要求仕様調査ならびに導入可能性調査を実施して、実証試験案を検討した。

研究開発項目②「バイオマスの高速ガス化方式によるメタノール等気体・液体燃料への高効率エネルギー転換技術開発」中部電力川越火力発電所構内の 2t/d 噴流床ガス化メタノール製造試験装置を用いて、数種類の木質系バイオマス（杉、広葉樹、パーク、伐採木、流木、建築廃材）のガス化総合試験運転を実施し、幅広いバイオマスに対応できるようデータをまとめ、最終目標値（冷ガス効率 75%、メタノール収率 50wt%）に達したことを確認した。また、プラント全体の効率化運転の為のデータを採取するとともに運転の最適制御に不可欠な精製ガスのオンラインモニタリングシステムを試験プラントに適用し、原料収集からメタノール製造・利用に関する全体システムの実証試験案を検討した。さらに、実験室規模でのガス化特性試験を多種類の木質系バイオマスにより実施し、パイロットプラントとの整合性を確認した。

研究開発項目③「高効率二段階発酵による有機性廃棄物のエネルギー転換技術開発」焼酎粕と生ごみを対象としてベンチスケール試験装置による前処理、ABE 抽出発酵、ブタノール回収、メタン発酵の確認試験、及びシステムの検証を行った。更にブタノール高生産性菌種を選定し最適プロセスを確立した。また、有機性廃棄物から燃料への転換率 55%以上、有機性廃棄物の分解率 80%以上に達することを確認し、最終目標値のトータルエネルギー回収率が 70%以上に達することを確認した。

研究開発項目④「有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵を中心とした二段階醗酵技術研究開発」実生ごみ検証用連続水素・メタン醗酵装置をつくば市の産業技術総合研究所に建設し平成 16 年 7 月から検証試験運転を開始した。この装置を用いて二段階醗酵に適した廃棄物系バイオマスを対象に、複合微生物群を用いた醗酵試験を実施した。水素ガス転換量向上のため、廃棄物の可溶化条件、水素生成菌の探索、リア

クター内の菌叢解析等を行った。高温メタン生成微生物定量法の開発及び光照射による高温メタン醗酵の促進効果を確認した。水素・メタン醗酵から生じる残渣処理のための複合水熱運転条件を把握した。

研究開発項目⑤「セルロース系バイオマス为原料とする、新規なエタノール発酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発」主に建築廃材と草本系バイオマス（稲わら等）を対象にした連続前処理設備を新規に設置して、前年度に設置したエタノール生産量：4 L/h（木材処理量：約 300 kg/d）規模の連続試験プラント（エタノール醗酵・ハイブリッド濃縮脱水／蒸留＋膜分離）を用いて、新規に開発した酵母とザイモモナス等の各々について比較検討するとともに、燃料適用性試験のための無水エタノールを製造した。また、建築廃材中の CCA（防腐剤：Cr, Cu, As）の除去に関して、化学的処理技術及び前処理において分離されるリグニンの燃焼試験、前処理行程から発生する廃液を生物処理して循環再使用するシステム等の周辺技術の研究開発を行った。さらに、原料調査を含む周辺動向調査、及び長期安定連続運転を含むシステム最適化研究を行った。平成 14 年 12 月に策定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」に基づき、引き続きバイオマス由来の自動車燃料（バイオマスエタノール及び BDF 等）の自動車への適用性の試験研究（燃料適合性試験、自動車排出ガス試験、燃料蒸発ガス試験、フリート走行試験他）を行った。

研究開発項目⑥「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」要素試験結果に基づきシステム効率の検証を行った。ガス化基礎試験により最適なガス化改質条件を把握した。汚泥改質ガス中 COS、HCN の触媒フィルタによる分解性能及び助触媒の効果を把握した。潜熱回収要素試験を実施し、その結果に基づき試作したホット試験装置でほぼ所定の性能が出る事を確認した。排水中アンモニアからの水素回収では、NH₃ の吸収・放出性能の把握、水素転換触媒の耐久性を確認した。また、実証試験設備の設計、製作、試運転を実施した。システム適用性調査では国内外の最新技術及び動向調査、及び開発技術の要求仕様の調査を実施した。

研究開発項目⑦「有機物の分解促進による下水汚泥高効率嫌気性消化システムの開発」室内実験により得られた室内実験データを基にパイロット実験装置の製作・設置を完了し、北見市、十日町市の下水処理場においてフィールドテストを開始した。また、国内下水道処理施設の調査の結果を基に開発技術の適合性及び経済性を把握する調査を実施した。

研究開発項目⑧「高含水バイオマスの高効率改質脱水技術を用いたガス化システムの開発」油中改質脱水試験により、油中改質条件、油中脱水条件による改質バイオマスの性状変化、改質脱水過程で起こる現象を把握するとともに、Ca 触媒の担持試験を実施した。バッチ式ガス化試験により、ガス化速度に対する温度、滞留時間等の影響を把握した。連続式ガス化試験によって、バイオマスに担持した Ca 触媒により生成ガスの冷ガス効率が向上することを確認した。コールド試験装置により砂の循環特性を把握した。また、反応特性の解明とモデリング、及び数値解析による炉内流動解析を実施した。

研究開発項目⑨「二段階反応法によるバイオディーゼル燃料（BDF）製造技術の研究開発」基礎実験装置を用いて各種の食用油に対する加水分解工程及びエステル化反応工程における反応条件の最適化検討を行った。また、ベンチ実験装置を設置し、典型的な食用油を用いた反応特性解析・材料評価等のデータを取得した。

研究開発項目⑩「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」

バイオマスエネルギー転換要素技術開発について平成 16 年 2 月 12 日に公募の事前周知を行い、4 月 15 日に公募を開始、5 月 14 日に公募を締め切り、6 月 22 日に選定結果の通知を行って 8 件のテーマを採択した。委託先との協議により前項に示す個別目標を設定後、研究開発を開始した。

- (1) 固体酸化物電解セルを用いたバイオガスからの高純度水素製造プロセスの開発／炭素析出抑制技術研究用の単セル電解試験装置と改質評価装置を試作した。硫黄被毒抑制技術研究用の脱硫評価装置を試作した。
- (2) 消化ガスからのメタン回収及び精製用 VPSA プロセスの研究開発／消化ガス中の微量有害物質の調査、ゼオライト候補材の調査、小型カラム試験装置による精製用吸脱着材の選定、及び新規ゼオライトの開発を実施した。また、ベンチ試験装置の設計・製作を実施した。
- (3) 中圧水蒸気による下水汚泥の高効率燃料転換技術の研究開発／水分分離特性、臭気低減特性、及び下水汚泥中の硫黄の挙動について確認した。
- (4) バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発／バイオマス直噴燃焼試験装置を設計・設置した。
- (5) バイオマスガス化プロセスにおけるガス精製技術の開発／高機能炭素系充填材の基礎試験を実施した。ガス精製装置の設計に必要なガス組成、タール濃度等のデータをガス化試験装置により確認し、ガス精製装置の設計・製作を実施した。小型除塵装置を用いたバイオマスの燃焼試験を行い、燃焼条件、ダスト性状、除塵温度、ろ過速度等の基礎的な除塵条件を把握した。また、除塵性能確認試験装置の製作を実施した。
- (6) バイオマス廃棄物からの高効率メタン製造・高度排水処理技術の開発／メタン発酵前処理技術の最適化研究、発酵の高効率化の研究を実施し、最適反応条件、メタン発酵特性を把握した。前処理＋メタン発酵装置の設計を実施した。消化液の分解試験を行い、目標値を達成する基礎的条件を見出した。また、連続式超臨界水酸化装置の設計を実施した。
- (7) ゼオライト膜によるバイオマスエタノール濃縮の研究開発／エタノール濃縮に適した多孔質材料機材の検討を行った。

(8) マルチ振動ミルによる木質バイオマスの高効率微粉碎技術の研究開発/バッチ試験データに基づき連続試験装置の設計・製作を完了した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「有機性廃棄物の高効率水素・メタン発酵を中心とした 2 段階醗酵技術研究開発」

つくば市の産業技術総合研究所に建設した実生ごみ検証用連続水素・メタン醗酵装置の検証運転を実施した。有機性廃棄物から高効率に気体燃料を取り出す技術を開発し、水素・メタン二段醗酵システムを確立した。また、目標であるシステム全体でのエネルギー回収率 55%以上を確認した。

実生ごみのマイクロフローによる可溶性・水素発酵技術を確立し、非殺菌・マイクロフローで連続 $1 \text{ mol-H}_2/\text{mol-hexose}$ 以上の生成が可能であった。

メタン発酵技術において、実ごみの滞留時間 15 日以内、有機物分解率 80%以上を達成し、高速・高分解リアクター開発のめどをつけた。

研究開発項目②「セルロース系バイオマスを原料とする、新規なエタノール発酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発」

主に建築廃材と草本系バイオマス(稲わら等)を対象に、平成 15 年度に設置したエタノール生産量: 4L/h (木材処理量: 約 300kg/d) 規模の連続試験プラント(エタノール醗酵・ハイブリッド濃縮脱水/蒸留+膜分離)を用いて、新規に開発した酵母とザイモナス等の各々について連続発酵試験を実施するとともに、燃料適用性試験のための無水エタノールを製造した。さらに、原料調査を含む周辺動向調査、及び長期安定連続運転を含むシステム最適化研究を行った。

また、前年度に引き続きバイオマス由来の自動車燃料(バイオマスエタノール及び BDF 等)の自動車への適用性の試験研究(燃料適合性試験、自動車排出ガス試験、燃料蒸発ガス試験、8 万 km のフリート走行試験他)を行い、バイオエタノールが E3、E10 へ適用可能であることを検証した。

研究開発項目③「下水汚泥の高効率ガス変換発電システムの開発」

前年度からの下水汚泥のガス化基礎特性試験を元の実証試験設備の試運転・運転を実施し、最適な砂層温度、ガス改質温度を把握・システム全体の性能評価等を実施した。汚泥改質ガス中 COS 、 HCN の触媒フィルタによる分解性能及び助触媒の効果を把握した。潜熱回収試験を実施し、試作した試験装置でほぼ所定の性能が出る事を確認した。排水中アンモニアからの水素回収では、 NH_3 の吸収・放出性能の把握、水素転換触媒の耐久性を確認した。システム適用性調査では、欧州の最新技術及び動向、及び開発技術の要求仕様の調査ならびに、運転課題の検討・導入課題等の調査を実施した。

研究開発項目④「有機物の分解促進による下水汚泥高効率嫌気性消化システムの開発」

下水汚泥の嫌気性消化におけるメタン転換率を向上させるために、高温消化、中温消化、高温消化と中温消化の併用、の 3 つの生物処理条件を検討した。システムの消費動力を低減するための関連機械の試作検討とともにシステムのモデル化を実施し、エネルギー回収率と LCCO_2 が最良となる適用規模と条件を試算した。

研究開発項目⑤「高含水バイオマスの高効率改質脱水技術を用いたガス化システムの開発」

バイオマススラリーの加圧・加熱処理条件とバイオマスの改質・脱水性状の関係を把握した。油中脱水工程でガス化触媒を高分散担持する技術を確立し、ガス化速度に与える効果を確認した。タール生成の抑制方法について確認した。コーヒー滓、バガス、茶滓等のバッチ式ガス化試験を実施し、ガス特性を明らかにした。また、熱バランスの成立条件の確立およびガス化条件の最適化を行った。コールド試験で、所定の粒子循環量が達成可能であることを確認するとともに、摩耗特性を明らかにした。小型連続試験装置で最適なガス化炉形状の検討を行い、更に冷ガス効率を向上可能であることを確認した。

熱分解特性と物理モデルの解明、ガス化反応速度の測定・反応速度モデルの構築を行った。システム解析ツールを構築し、ガス化炉の性能解析と全体システムの熱効率解析を行った。

研究開発項目⑥「二段階反応法によるバイオディーゼル燃料(BDF)製造技術の研究開発」

基礎実験装置を用いて反応条件の最適化検討を行った。基礎実験装置の条件をフィードバックして、ベンチ実験装置により 3 種類の廃油脂を用いた BDF 製造実験を実施した。製造した BDF の分析を行い、最終目標をクリアできることを確認した。また、製造した BDF については実車試験を行い、基礎的な評価データを取得した。

研究開発項目⑦「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」

公募した 12 テーマと合わせて 20 テーマの研究開発を行った。

- (1) 固体酸化物電解セルを用いたバイオガスからの高純度水素製造プロセスの開発
- (2) 消化ガスからのメタン回収及び精製用 VPSA プロセスの研究開発
- (3) 中圧水蒸気による下水汚泥の高効率燃料転換技術の研究開発
- (4) バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発
- (5) バイオマスガス化プロセスにおけるガス精製技術の開発
- (6) バイオマス廃棄物からの高効率メタン製造・高度排水処理技術の開発
- (7) ゼオライト膜によるバイオマスエタノール濃縮の研究開発
- (8) マルチ振動ミルによる木質バイオマスの高効率微粉碎技術の研究開発
- (9) 触媒懸濁スラリーによる家畜排泄物の高効率高温高圧ガス化技術の研究開発
- (10) 加圧流動床ボイラにおける下水汚泥混焼技術の研究開発
- (11) 高含水バイオマス省エネルギー蒸発脱水技術の研究開発

- (12) バイオマスガス化副生物の効率的回収・リサイクルによる高効率化要素技術の開発
- (13) 多燃料・多種不純物対応乾式ガス精製システム研究開発
- (14) バイオマス資源の有効利用のための熱輸送システムの研究開発
- (15) バイオマスエネルギー転換プロセスのゼロエミッション化と持続可能なエネルギーのリサイクルの要素技術開発
- (16) バイオマスの高効率セメント燃料化技術の研究開発
- (17) 小型バイオマスガス化発電装置の研究開発
- (18) 都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素技術開発
- (19) マルチバイオマスフェュエル対応ロータリーエンジンガスコージェネレーションシステムの開発
- (20) セメントキルンに併設する廃棄物系バイオマスの効率的エネルギー回収システムの研究開発

研究開発項目⑧「バイオマスエネルギー先導技術研究開発」

公募を行い、下記の9テーマを採択して研究開発を開始した。

- (1) 新規エタノール発酵細菌のゲノム情報に基づくリグノセルロース連続糖化並行発酵技術の研究開発
- (2) 低エネルギー密度バイオマス燃料のエンジンにおける利用技術の研究開発
- (3) 微生物固体発酵による高効率なリグノセルロース完全利用システムの開発
- (4) 白蟻共生系セルラーゼ遺伝子群の麹菌による大量発現系の構築とそれを用いた木質バイオマスの高度糖化・利用技術の開発
- (5) 褐色腐朽菌を利用した木質バイオマス変換技術の開発
- (6) 選択的白色腐朽菌-マイクロ波ソルボリシスによる木材酵素糖化前処理法の研究開発
- (7) 荒漠地における持続可能型バイオマスエネルギー資源創出技術の研究開発
- (8) 発酵法によるバイオマスからの水素生産収率改善技術に関する研究開発
- (9) バイオマスガス化におけるタール分解とアルカリ・アルカリ土類金属処理技術に関する研究開発

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」

公募した9テーマと合わせて28テーマの研究開発を行った。

- (1) 固体酸化物電解セルを用いたバイオガスからの高純度水素製造プロセスの開発／電解セルの炭素析出条件の把握、電解特性に対する炭素析出の影響を検討するとともに脱硫後の残留硫黄成分による改質触媒及び電解セルの電解特性への影響を調査した結果、単セルの電解電圧 0.5V 以下を達成する見込みを得た。また、40W 用電解試験装置、ガス供給装置を試作し、模擬・実ガス運転を実施した。
- (2) 中圧水蒸気による下水汚泥の高効率燃料転換技術の研究開発／平成 17 年度に設置した中圧水蒸気処理設備を用いて、下水汚泥の燃料化実験および中圧水蒸気処理した下水汚泥の燃料品質評価を実施し、汚泥単独処理でエネルギー回収効率 58%、硫黄化合物臭気 1/10 以下を達成した。
- (3) バイオマス直噴燃焼式小型発電システムの研究開発／燃焼方法を検討し、灰のヘッドへの付着防止策を検討した。また、スターリングエンジンを用いた発電実験を実施し、バイオマス燃焼効率 99%以上、NOx エミッション 350ppm (6%O₂) 以下を達成するとともに、商用規模で発電端効率 20% (LHV) 以上達成の見込みを得た。
- (4) バイオマスガス化プロセスにおけるガス精製技術の開発／高機能炭素系充填剤のスクリーニングと操作条件の最適化を行い、タールの除去性能評価等を行った結果、タール除去率 90%以上を達成した。また、長期試験を含む多品種混合バイオマスの除塵性能試験を実施し、パルスの最適条件等の検討およびタール性状、析出特性等について検討を行った結果、精製ガスのダスト濃度 0.1g/m³ (NTP) 以下を達成した。加えて、除塵設備の有害物質の残留挙動を調査し、運用上問題ないことを確認した。
- (5) バイオマス廃棄物からの高効率メタン製造・高度排水処理技術の開発／平成 17 年度に導入したメタン発酵前処理設備および高度廃液処理設備を用いたバイオマス廃棄物からの高効率メタン製造・高度排水処理試験を行った結果、可容化率 70%以上、メタン生成量 35Nm³/ton、発酵液中の有機物分解率 TOC<80ppm 以下、T-N<30ppm 以下を達成した。
- (6) ゼオライト膜によるバイオマスエタノール濃縮の研究開発／成膜条件の最適化を行った結果、エタノール透過速度 3L/m²・h、濃縮能力 10→90vol%を達成した。また、大型膜の製造技術の研究開発を実施した。
- (7) マルチ振動ミルによる木質バイオマスの高効率微粉碎技術の研究開発／粉碎試験のデータを取得し、振動ミルから発生する熱エネルギーの回収について検討した結果、150μm 以下の木粉製造について従来技術と比較した場合、単位消費エネルギー当たりの生産性を 3~5 倍に向上させるとともに、ロッド型およびボール型振動ミルの省エネルギー効果を 40%以上向上させた。
- (8) 触媒懸濁スラリーによる家畜排泄物の高効率高温高圧ガス化技術の研究開発／高温高圧ベンチ試験機を用いて、触媒懸濁スラリーによる家畜排泄物の高効率高温高圧ガス化技術の最適化試験を実施し、鶏糞とガス化助剤の混合比を変化させてガス化効率等について検討した。
- (9) 加圧流動床ボイラ (PFBC) における下水汚泥混焼技術の研究開発／汚泥スラリー化のメカニズム解析および CWP の製造試験を行い、最適なスラリー化条件を決定するとともに、最適なシステム構成について検討した。また、事業性調査の一貫として設備設置に係わる関連法規の調査およびパイロ

ット試験装置の設計・製作、発電設備へや環境への影響評価を行った。

- (10) 高含水バイオマス省エネルギー蒸発脱水技術の研究開発／バイオマスエネルギーに関する動向調査、要素技術の調査を実施し、VCC 乾燥装置への適用を検討するとともに乾燥装置の設計・製作を実施した。
- (11) バイオマスガス化副生物の効率的回収・リサイクルによる高効率化要素技術の開発／ガス化炉の数値シミュレーションやモデル試験等により、実機規模へのスケールアップを図るとともに、チャー回収システムの最適化検討を行った。また、高温フィルタ等により回収したチャーをガス化炉へリサイクルするため、高温での圧力シールを考慮したバイオマスチャー供給方法を開発した。
- (12) 多燃料・多種不純物対応乾式ガス精製システム研究開発／成形ハロゲン化物吸収剤の改良、亜鉛系脱硫剤の有機硫黄化合物に対する除去特性の最適化、ならびに各種不純物共存下での重金属除去剤の性能評価を行った。さらに、実機条件での不純物除去剤の性能を模擬ガス化ガスにより評価し、乾式ガス精製システムの最適化に向けた性能把握を行った。
- (13) バイオマス資源の有効利用のための熱輸送システムの研究開発／高性能蓄熱装置の大型化を検討し、パイロットスケールの蓄熱装置の設計・製作を実施するとともに、蓄熱モニターリング手法および負荷変動追従制御方法を開発した。パイロット試験装置による総合試験を実施し、熱回収率90%以上、回収温度90℃以上を達成した。また、熱需要調査に基づいた経済性検討を実施した。
- (14) バイオマス焼却灰の再資源化による持続可能なバイオマス生産の要素技術開発／硫酸アルミニウムと酸化カルシウム等の添加によって規制物質溶出抑制したバイオマス燃焼灰をフィチン酸などの金属とのキレート作用を有する生分解性物質とともに粒状化した土壤改良材の性能（安全性と効果）を研究室レベルで評価した。
- (15) バイオマスの高効率セメント燃料化技術の研究開発／燃焼基礎解析試験装置を用いて各種バイオマス原料の燃焼性試験を実施し、燃焼特性を把握した。また、小型乾燥試験装置を用いて乾燥速度・物性分析を実施した。さらに、各種粉砕方法の調査結果に基づき、最適方式の小型粉砕／分級試験装置の仕様を決定した。
- (16) 小型バイオマスガス化発電装置の研究開発／木質バイオマスの搬送試験、ガス化の最適化およびガスエンジン発電機の開発を行った。搬送試験では広範囲のバイオマス資源に対応可能な装置を開発し、ガス化の最適化ではコンパクトで高効率なガス化装置を開発した。また、ガス化条件の最適化を行うとともに、ガスエンジン発電機を発生量に変動のある低カロリーガスで効率よく運転できる制御システムを構築した。これらの各試験の知見によって最終的に小型ガス化発電装置のパイロットプラントを設計した。
- (17) 都市バイオマス収集システムを活用するためのエネルギー転換要素技術開発／前年度実施内容の継続と緑地管理由来バイオマスの受入・ハンドリング技術の開発、汚泥脱水物と緑地由来バイオマスの混合燃焼試験、混合燃料の基礎燃焼試験、燃焼解析・総合評価等を実施した。
- (18) 公募を行い、下記の9テーマ（内3件は、条件付）を採択して研究開発を開始した。条件付採択の3件は、3月15日の「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」事業性評価委員会で継続の可否を審議し、⑦のみ継続とした。
 - ①植物性油脂の精製に用いた廃白土に残留する植物油からのバイオディーゼル燃料製造技術の開発
 - ②産業用ディーゼル機関における廃食油バイオディーゼル燃料の利用技術開発
 - ③下水汚泥固体燃料化技術の開発
 - ④バガス等の熱水処理による自動車用エタノール製造技術の研究開発
 - ⑤キノコ菌床の高効率糖化発酵技術の開発
 - ⑥水熱分解法と酵素分解法を組合せた農業残渣等のセルロース系バイオマスの低コスト糖化技術の開発<条件付採択テーマ>
 - ⑦固体触媒を用いて副産物グリセリンを有効活用するバイオディーゼル燃料製造技術の開発
 - ⑧バイオマスを利用した超好熱菌による水素生産の研究開発
 - ⑨植物油を原料とするエコ軽油精製の研究開発

研究開発項目②「バイオマスエネルギー先導技術研究開発」

平成17年度採択テーマ9件に加えて新たに15件のテーマを採択して実施するとともに、原則平成18年度で終了する平成17年度採択テーマのうち、顕著な研究成果を上げているテーマ3件について、引き続き平成20年度まで継続して実施することを決定した。

また、ポスト京都議定書対応として、食料と競合しないセルロース系バイオマス（農業残渣を含む）からのエタノール製造技術に係わる研究開発に重点化した。

《17》太陽光発電技術研究開発

[中期目標期間実績]

2010年（平成22年）における長期エネルギー需給見通し累積482万kW導入目標の達成、更に長期的には、2010年（平成22年）以降における一層の大量普及実現等のため、太陽電池の低コスト化、高効率化などの製造技術、太陽光発電システムなどに係る技術の研究開発を目的とし、以下の研究開発を実施した。

《17》－1 革新的次世代太陽光発電システム技術研究開発 [平成13年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、2010年以降での太陽光発電の大量普及に向けて既存の業務用電力料金に匹敵する発電コスト（15円/kWh以下：太陽電池製造コスト換算50円～75円/W）実現の可能性を確認するため、具体的な技術課題として、ナノ構造制御シリコン太陽電池、色素増感太陽電池の高性能化・イオンゲル擬固体化・完全固体化技術、Cat-CVD法^{*1}による太陽電池製造技術、SiGe多結晶を基板にしたSi/SiGe太陽電池、めっきプリカーサー^{*2}を用いたCuInS₂薄膜太陽電池、シート型ベータ鉄シリサイド太陽電池、球状シリコン太陽電池、ワイドギャップ微結晶SiC薄膜太陽電池、カーボン系薄膜太陽電池、有機薄膜太陽電池、高効率カルコゲナイド系太陽電池、ラテラル結晶化薄膜シリコン太陽電池等について、また新規課題としてIII-V-N系窒化物半導体量子ナノ構造太陽電池、CuZnSnS系新型薄膜太陽電池、メカノケミカルプロセスによるカルコパイライト系太陽電池製造、ファイバ型太陽電池、結晶系SiGe薄膜太陽電池、粒状シリコン太陽電池について、要素技術の開発等と当該要素技術の実用化へ可能性の見極めを行った。その結果色素増感では有機合成色素を用いて世界最高の変換効率8.3%を、球状シリコン太陽電池で変換効率10.7%を達成するなどの成果を得た。

^{*1} Cat-CVD法：ホットワイヤー法とも言われ、CVDで製膜するときの原料ガスの分解に、ヒーター線を触媒として利用する方法。

^{*2} メッキプリカーサー：メッキ技術を用いて作成したCIS太陽電池の中間形成物＝前駆体

平成16年度は、2010年以降での太陽光発電の大量普及に向けて既存の業務用電力料金に匹敵する発電コスト（15円/kWh以下：太陽電池製造コスト換算50円～75円/W）実現の可能性を確認するため、具体的な技術課題として、色素増感太陽電池の高性能化及びイオンゲル擬固体化技術、ワイドギャップ微結晶SiC薄膜太陽電池、ナローギャップ結晶系SiGe薄膜太陽電池、ラテラル結晶化薄膜シリコン太陽電池、カーボン系薄膜太陽電池、有機薄膜太陽電池、高効率カルコゲナイド系太陽電池、メカノケミカルプロセスを用いたカルコパイライト系薄膜太陽電池、汎用原料を使用したCZTS光吸収層による新型薄膜太陽電池、III-V-N系窒化物半導体を用いた量子ナノ構造太陽電池、ファイバ型太陽電池、粒状シリコン太陽電池、酸化物系薄膜太陽電池、窒化インジウム系薄膜太陽電池等について要素技術の探索等と当該要素技術の可能性の見極めを行った。その結果、色素増感太陽電池では10.5%、有機薄膜太陽電池で4%の世界最高水準の変換効率を得るなどの成果を得た。また、最近の太陽光発電技術の開発動向やこれまでの当該研究開発の成果等に基づき次世代太陽光発電技術開発への先導的な研究開発を実施する。またこれまでの成果などに基づき、薄膜シリコン系太陽電池、CIS系化合物太陽電池、色素増感太陽電池、結晶シリコン太陽電池及び太陽光発電システムの各分野において次世代技術開発に向けた先導的研究開発を平成16年3月25日に公募の事前周知を行い、6月10日に公募を開始、7月20日に公募を締め切り、8月31日に選定結果の通知を行って着手した。

平成17年度は、「シーズ探索研究」では色素増感太陽電池の高性能化、ワイドギャップ微結晶SiC薄膜太陽電池、ナローギャップ結晶系SiGe薄膜太陽電池、有機薄膜太陽電池、メカノケミカルプロセスを用いたカルコパイライト系薄膜太陽電池、汎用原料を使用したCZTS光吸収層による新型薄膜太陽電池、III-V-N系窒化物半導体を用いた量子ナノ構造太陽電池、ファイバ型太陽電池、酸化物系薄膜太陽電池、窒化インジウム系薄膜太陽電池等について要素技術の探索及び可能性の見極めを行った。その結果、ワイドギャップ微結晶SiC窓層を用いた薄膜シリコンセルで開放電圧0.85Vを得た。III-V-N系窒化物半導体量子ナノ構造セルでは、変換効率14%を得た。

「先導的研究開発」では薄膜シリコン系太陽電池、CIS系化合物太陽電池、色素増感太陽電池等に関する次世代技術への先導研究を行った。その結果、薄膜結晶シリコン形成で製膜速度3.3nm/sを得た。また多接合用トップセルの開放電圧は従来0.95Vに対し1V以上に向上した。さらに微結晶SiGe膜形成で製膜速度1.2nm/s、かつ欠陥密度 $10^{16}/\text{cm}^3$ を得て目標を達成した。CIS系化合物太陽電池では、ZnMgOバッファ層を用いたCIGS太陽電池で14%が得られた。色素増感太陽電池結晶では、小面積セルで世界最高効率10.8%を、また10cm角モジュールで世界最高クラスの効率8.4%を達成した。シリコン太陽電池では、マルチワイヤソーによるスライス技術開発で70μm厚さの薄板切出しに成功した。

《17》－2 先進太陽電池技術研究開発 [平成13年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下のとおり実施した。

- i) 「シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発」においては、新型電極によるVHFプラズマCVD製膜技術の高速均一製膜技術を開発し、微結晶シリコンの製膜速度2.1nm/sという高速製膜条件で初期変換効率11%以上を得るとともに、均一な大面積高周波プラズマの発生を実現でき、1m角級大面積基板で製膜速度2.7nm/sで膜厚分布±30%以下を達成した。
- ii) 「CIS系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発」においては、セレン化法によるCIS(Cu(In,Ga)(Se,S)₂)薄膜製造プロセスにおいてCu/III族比の最適化等要素技術を高度化し、30cm×120cmの大面積基板モジュールで、最大変換効率13.2%、平均変換効率11.0%を得た。多元蒸着法によるCIS系太陽電池の製造技術では、0.8μm/分以上の高品質CIGS膜高速製膜技術を開発し、ステンレス基板上に形成したCIGSサブモジュールで変換効率13.3%を達成した。
- iii) 「超高効率結晶化合物系太陽電池モジュール製造技術開発」においては、集光用の高効率セル製造技術では、光照射強度に対する構造最適化等を実施し、InGaP/InGaAs/Ge3接合セルで500倍集光下で38.9%の変換効率を得られた。集光システムの開発では、500倍集光のためのレンズ、モジュール（レシーバー）、2軸追尾システム等を開発し、実日射下において幾何集光倍率400倍、7056cm²の大面積モジュールで変換効率28.1%を得た。本課題については中

間評価の結果実用化の可能性が低いとの指摘を受け、システムとしての評価を残して 15 年度で開発終了することとした。また、先進太陽電池技術の実用化における技術的課題、周辺技術の状況等についての調査を実施した。

平成 16 年度は、以下のとおり実施した。

- i) 「シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発」においては、アモルファスシリコン/中間層/シリコン結晶系薄膜太陽電池構造の 3600cm² の試作モジュールで初期効率 13% を得た。また、大面積均一製膜技術を開発し、910mm×455mm の大面積基板で薄膜多結晶シリコンの膜厚分布±3% を実現すると共に、シリコン薄膜高品質化技術ではプラズマ CVD における給電ロス低減化等により高速・大面積均一製膜を実現し、1.4m×1.1m の大型基板で製膜速度 2.5nm/s、膜厚分布±15% を得た。
- ii) 「CIS 系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発」においては、セレン化法製造プロセスで、Cu/Ⅲ族比の最適化等要素技術を高度化し、30cm×120cm の大面積一体型基板でモジュールの平均変換効率 12.0% を得た。多元蒸着法では CIS 薄膜の欠陥低減技術を検討し、変換効率 15% 実現への方向性を得た。
- iii) 「超高効率結晶化合物系太陽電池モジュール製造技術開発」においては、集光用の InGaP/InGaAs/Ge 3 接合セルで変換効率 31% の高性能を得た。また、セルの表面グリッド電極間隔の最適化により 100~500 倍集光下で 37% 程度の変換効率を得た。500 倍集光モジュールでは、5445cm² の大型モジュールでの屋外実証評価でシステム変換効率 31.5 ±1.7% (25℃換算、実性能約 28%) という世界最高効率を確認した。また、屋外曝露試験を実施し、フレネルレンズでは 30 年以上、追尾装置でも 20 年相当の耐久性を確認、発電量は従来の多結晶シリコン太陽電池モジュールに比べ単位面積当たり約 2 倍であった。本テーマは平成 16 年度で中間評価での課題であった性能評価を確認し、目標性能を得て完了する。また、先進太陽電池技術の実用化における技術的課題、周辺技術の状況等についての調査を実施した。

平成 17 年度は、以下のとおり実施した。

- i) 「シリコン結晶系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発」
VHF プラズマ CVD での高速均一製膜技術、ハイブリッド構造における透明中間層大面積化技術、高スループット化要素技術等の開発をさらに進め、3,600cm² 以上の面積のプロトタイプモジュールで変換効率 12%、モジュール製造コスト 100 円/W の要素技術を完成させ、それぞれの目標を達成した。
- ii) 「CIS 系薄膜太陽電池モジュール製造技術開発」
セレン化法による大面積サブモジュールの高品質安定製造技術、多元蒸着法によるステンレス基板を用いた高性能セル製造プロセス等の開発を進め、3,600cm² 以上の面積のプロトタイプモジュールで平均変換効率 13% 以上を達成する要素技術を完成させた。またモジュール製造コスト 100 円/W の要素技術についても目標を達成した。
先進太陽電池技術の早期実用化における技術的課題、周辺技術の技術動向、開発動向等について調査・検討を行い、整理した。

《17》－3 国際協力事業 [平成 5 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、IEA の太陽光発電プログラム等に関する国際協力を推進するため、IEA 太陽光発電プログラムに従い、平成 15 年 10 月ドイツで開催された IEA 太陽光発電プログラム執行委員会に出席し、太陽光発電プログラムの運営に関する討議・方向付けを行うと共にタスク I、II、III、VIII、IX の活動に参加し、各タスクの進捗状況を確認し、参加国との情報交換等を行った。

平成 16 年度は、IEA 太陽光発電プログラムに従い継続した活動を実施した。平成 16 年 5 月フィンランド、同年 10 月フランスで開催された IEA 太陽光発電プログラム執行委員会に出席し、太陽光発電プログラムの運営に関する討議・方向付けを行い、今後の活動方針としてタスク II はフェーズ 3 へ、タスク IX はフェーズ 2 への移行を承認し、タスク III は 2005 年に新タスク X II (タスク III 延長ワークプランのフェーズ 3) への移行予定とした。また、タスク X 「都市規模での系統連系 PV の応用」には、2005 年後半より参加することとした。各タスクの会議などを通して、参加国との情報交換や、進捗状況の確認を行った。これらの状況について、IEA PVPS のタスクとしての報告書をタスク毎に NEDO から公表した。

平成 17 年度は、国際エネルギー機関・太陽光発電システム研究協力実施協定 (IEA PVPS) に従い継続した活動を実施した。平成 17 年 4 月オーストラリア、同年 10 月フランスで開催された IEA PVPS 執行委員会に出席し、運営に関する討議・方向付けを行い、今後の活動方針としてタスク VIII はフェーズ 3 へ移行し、タスク III から移行したタスク X I の新規設立を承認した。昨年執行委員会で表明した通りタスク X (都市規模での系統連系 PV の応用) は公募で委託先を決定し、今秋から参加を開始した。各タスクの会議などを通して、参加国との情報交換や進捗状況の確認を行った。これらの状況について、IEA PVPS のタスクとしての報告書をタスク毎に公表した。

《18》太陽光発電システム普及加速型技術開発 [平成 12 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下事業を実施した。

平成 15 年度の提案公募については平成 15 年 10 月 20 日に公募の事前周知を行い、平成 15 年 11 月 21 日に公募を開始し、平成 15 年 12 月 22 日に公募を締め切り、「太陽電池用高品質多結晶シリコン製造技術の開発」、及び「低コスト薄膜多結晶 Si の量産型製膜装置開発」の 2 件の採択を決定して平成 16 年 2 月 3 日に選考結果の通知を行い、共同研究を開始した。

研究開発項目①「太陽電池用シリコン原料の低コスト・量産化技術開発」では、中型反応装置を用いて亜鉛還元反応

によるシリコン製造条件の検討を行い、連続で約 150 時間の連続製造運転を達成した。反応率は亜鉛ベースで 70%程度であるが、原料供給量を増加させることで改善が図れる見込みである。製造したシリコンで太陽電池セルを作製し、品質的に問題のないことを確認した。大型反応装置の設置が完了したので、今後、大型装置での最適運転条件の検討、確立を目指す。また、塩化亜鉛の回収については、電解試験装置での予備実験データを基に、大型電解装置の設計を行った。

研究開発項目②「フィルム基板アモルファス太陽電池の量産化技術開発」では、トップ及びボトムセルの i 層を製膜速度 30nm/分で連続形成した 40cm×80cm サイズの新型セル (SCAF 構造) において、8%の安定化効率を得る高速製膜技術を確立した。また、製膜室内のパウダー発生の制御、及び電極構造の改良等により、1000セル連続製形成の実用性を確認した。

研究開発項目③「結晶シート太陽電池の高効率化技術開発」は、平成 15 年度上期に新規にスタートした開発テーマで、表面に凹凸のある結晶シート基板を用いた太陽電池セルの電極形成の印刷方法について検討し、均等な厚さの電極を形成することに成功した。また、結晶シート基板改質について、裏面電極形成時の熱処理の高速化を検討し、従来に比べてセル変換効率で 0.5 ポイント向上することができた。

平成 16 年度は、3 月 25 日に公募の事前周知を行い、6 月 10 日に公募を開始、7 月 20 日に公募を締め切り、8 月 31 日に選定結果の通知を行って、「熔融析出法による太陽電池用シリコン製造技術の開発」、及び「単結晶および多結晶シリコンの表面反射率低減処理技術開発」の 2 件の採択して共同研究を開始した。

研究開発項目①「太陽電池用シリコン原料の低コスト・量産化技術開発」では、昨年度導入した大型の四塩化珪素の亜鉛還元反応装置で、熱応力の影響による装置の歪対策、装置形状の改良などを行い、最適運転条件を検討した。また、副生する塩化亜鉛の回収では、小型電解実験装置の結果に基づき大型電解装置を設計・製作した。また、このプロセスで試作したシリコンでセルを試作し、従来のシリコンとほぼ同等の太陽電池性能を得た。

研究開発項目②「結晶シート太陽電池の高効率化技術開発」では、シートプロセスで製造した基板を用いた結晶シリコン太陽電池の高性能セル化技術と基板改質技術を開発し、これらの技術を結晶シート太陽電池のセルラインに適合させる検討を行った。これまでの検討でシート方式の基板では世界最高の平均セル変換効率 14.7%を得た。

研究開発項目③「太陽電池用高品質多結晶シリコン製造技術の開発」では、小型実験凝固炉で最適製造条件 (ルツボ離型材と塗布方法、及びドーパント/雰囲気濃度の影響等) について検討し、拡散長が広範囲で 600 μm 以上の高品質インゴットが得られた。また、これをベースに製作した大型凝固炉での製造条件を検討し、平均拡散長 250 μm 以上のサンプルが得られた。試作したサンプルで製作した太陽電池で 19%以上のセル変換効率 (1cm²) を得た。

研究開発項目④「低コスト薄膜多結晶 Si の量産型製膜装置開発」では、小型基板 4 枚装入実験装置での面内、面間均一性確保の条件を検討し、実サイズ基板 8 枚を装入するパイロット実験機に展開した。同実験機において性能確認とコストダウン仕様の検証を実施するとともに工学的解析を用い、量産機における設備、運転条件確立、及びコストの検討を行い、目標のタクト 180 分以下、1m角ハイブリッドモジュールでの変換効率 12%以上を達成する目処を得た。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「熔融析出法による太陽電池用シリコン製造技術の開発」では、シミュレーションの結果を基に設計した熔融析出の大型反応器 (φ 500mm×5000mL) を製作し、析出実験を行った。

研究開発項目②「単結晶及び多結晶シリコンの表面反射率低減処理技術開発」では、150mm□の基板複数を同時に処理出来る量産実験装置を製作し、結晶シリコンの反射率を低減する表面処理 (テクスチャ処理) について 125mm□および 150mm□の基盤複数を処理する条件を検討し、目標を達成した。

《19》太陽光発電システム共通基盤技術研究開発 [平成 13 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「太陽電池評価技術の研究開発」では、Si 結晶系太陽電池モジュールの複合加速劣化試験を実施し、低温側で劣化が進むことを明らかにした。屋外暴露試験および太陽光発電システムの長期運用劣化状況を調査・分析するとともに、モジュール校正のため、放射照度の場所むら±1%以内の性能を 1 m²の有効照射面積で実現した。多接合太陽電池モジュール評価では照射光のスペクトル合致度の制限波長域 (700nm～800nm) の近似度改善、各層の電流バランスの評価精度への影響検証等を行った。CIS、色素増感太陽電池について、プレ光照射効果、IV 特性測定時間等の条件に関する知見を得るとともに、屋外データ計測を進めた。

研究開発項目②「太陽光発電システム評価技術の研究開発」では、「動作点マトリックス法」によるアレイ構成最適化手法を考案し、システム設計シミュレーションモデルの高精度化と日陰推定手法の統合を進めた。能動的アレイ診断技術については、モジュール暗 I-V 特性・インピーダンス特性の変化に着目し、適用可能性を検証した。また、複面アレイの代表面換算による日射量推定という概念により、複面設置システムの発電量が概ね良好に推定できることを確認した。アレイやインバータの変換効率に関しては、季節変動を除外した長期的経時変化を検出する手法を考案した。

研究開発項目③「太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等の研究開発」では、結晶 Si 系太陽電池モジュールのアルカリ溶液等を使用した EVA 分解技術によるセル取り出し法の開発を行い、リユース処

理品の長期信頼性評価を開始した。二重封止構造モジュールについては、単セルを9セルに拡張して試作を行い、電気的特性と耐候性、回収容易性の優れた材料を選定した。CIS系薄膜太陽電池モジュールについては、スクレーピング装置による基板ガラスの回収実験を行い、この回収ガラスを使用して90%以上の出力が得られることを確認した。太陽電池モジュール用ガラスについては、薄膜Si系太陽電池から回収したガラスカレットを板ガラス原料として使用する実験を行い、含有率10%まではガラス製品の品質にほとんど影響を及ぼさないことが判明した。適正処理のための社会システムの研究については、太陽電池モジュール回収に関与すると想定される業界について調査し、太陽電池リサイクルシステム全体像の青写真及びガイドラインの骨子を示した。

研究開発項目④「太陽光発電システムの電磁環境性に関する研究開発」では、平成14年度に作成した試験手法試案の改良を行い、測定時のパワーコンディショナ運転条件と、エミッション測定条件を実験的に検討し、実際の使用条件等を考慮した太陽光発電システムの電磁環境性ガイドライン案を作成した。この案に基づいて現行パワーコンディショナの電磁環境適合性を評価した結果、太陽光発電システムの電磁環境適合性を確保するためには、シールド箱とフィルターの利用が技術指針として必要となることを示した。本テーマは当初目標を達成し、平成15年度で開発を終了した。なお、本件については、中間評価の結果、順調に開発が進捗しているとの評価を受け、現行どおり、当初計画に従って開発を進めることとされた。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「太陽電池評価技術の研究開発」では、太陽電池の性能評価技術として、新型太陽電池（CIS系薄膜、Si薄膜多接合型、色素増感型など）の安定化効率測定手法、誤差解析とデータ解析手法など、屋内評価装置による新型太陽電池の評価技術を開発した。日本の標準供給機関として基準セル・モジュール性能の国際比較に参画し、評価技術に高い評価を得た。また、複合加速試験装置を用いた結晶シリコンモジュールの加速劣化試験では短絡電流の低下の原因を検討した。

研究開発項目②「太陽光発電システム評価技術の研究開発」では、太陽光発電システム設計技術のプロトタイプをWeb上で一般公開してユーザからの意見などをもとに改良した。また、日陰や複面サイトにおけるモジュール配列、システム制御（最適動作点）の最適化を検討し、これらに基づきシステム構成最適設計技術を開発した。実規模システムを用いて検証中である。太陽光発電システム設置時及び運用時等の検査・性能診断システムを開発した。またシステム技術の基礎情報として、全国115サイトでのデータ計測を継続し、性能変化、不具合状況とその原因等について検討を継続した。

研究開発項目③「太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等の研究開発」では、太陽電池モジュールのガラス資源の回収について、ガラスを破砕しない処理プロセスを確立し、回収率を前年の58%から76%まで向上プロセス完成させた。Siの回収処理については処理コストの低減に向けて、酸処理法とEVA除去のための加熱法の改善を行った。また、CIS材料の分離回収については安価なドライプロセスの可能性について検討し、良好な見通しを得た。また、これらの結果をベースにリサイクル・リユースシステム構築に向けた課題の抽出を行った。

また、太陽光発電技術に関する動向のほか、太陽光発電システムの設計や性能評価に不可欠な標準日射データの精度向上手法、太陽光発電システムの付加価値、非住宅分野の太陽光発電システム技術に関する調査を実施した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「太陽電池評価技術の研究開発」では、これまで実施してきた絶対放射計に基づく高精度な基準セル校正技術について検討した結果、現在の校正値の精度が国際レベルにあることが実証された。また新型太陽電池セル評価技術の開発を継続し、これに基づき、タンデム型多接合太陽電池の評価手順や評価装置の確立と目標とする精度を達成した。その他CIS太陽電池や色素増感太陽電池の校正技術に関する技術要件を抽出した。また複合加速劣化試験では屋内試験装置による加速試験と屋外曝露試験とを比較分析し整合のある加速係数を導出した。

研究開発項目②「太陽光発電システム評価技術の研究開発」では、住宅用を主とした個別システムの最適設計手法を実験的に検証し、最適化を図った。また施工時の検査等に必要な技術要件を整理すると共に、性能診断適用範囲を明確化した。これらを基に設計・診断ツールをまとめた。また、全国各地にある太陽光発電システム（113ヶ所）の実運転データからシステムの損失要因を定量化し、長期運転性能評価の基礎データをまとめた。加えて、発電量定格（エナジーレーティング）評価技術に必要な分光放射データの計測体制を整え、一部データを収集した。

研究開発項目③「太陽光発電システムのリサイクル・リユース処理技術等の研究開発」では、結晶系太陽電池モジュールからのシリコン及びガラスの回収技術及び経済性評価について、自動車や家電品の処理費用と同等レベルの処理技術を確立した。またアモルファスシリコン系およびCIS系太陽電池モジュールのリサイクル処理技術についても目標コストに収まる処理プロセスの開発を完了した。これと並行し、使用後の太陽光発電システムを適正処理するための社会システム構築に向けた方向付けを提示した。

また、海外の太陽光発電技術及び施策に関する動向、標準日射データの精度を向上したデータベース（MET=PV3）の構築、非建造物分野における太陽光発電システムの導入ポテンシャル等、太陽光発電システム導入に資する調査研究を行った。

<電力技術開発プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《20》超電導電力ネットワーク制御技術開発 [平成16年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、2月10日に公募の事前周知を行い、3月26日に公募を開始、4月26日に公募を締め切り、6月3日に選定結果の通知を行った。

研究開発項目①「SMESシステムの開発」

低コスト大容量変換システム開発については、機器設計、制御性等のシミュレーション解析、コスト分析を行った。金属系を上回る高磁場酸化物系 SMES コイルの設計製作については、Bi2212 ラザフォード導体を用いたコイルを試作し、製作性や基礎性能の検証を行った。高信頼性極低温冷凍機の開発については、80K 無摺動冷凍機の冷却部の構造最適化検討や装置試作、20K 冷凍機の試作を行った。高耐電圧伝導冷却電流リードシステムについては、システム全体の設計検討を実施した。また、電流リード・冷凍機の同軸一体構成及び低接続抵抗技術の基礎試験を実施した。

実系統連系試験によるシステム性能検証については、試験実施候補場所の負荷変動補償シミュレーションを行い、実施場所を決定するとともにパイロットシステム仕様を確定した。

システムコーディネーション技術開発では、100MW 級 SMES システムの要求仕様をまとめ、それを基にシステムの設計検討に着手した。また、安定化制御ロジックを検討した。

研究開発項目②「SMESシステムの適用技術標準化研究」

SMES システムの適用拡大や円滑化を図るための施策、調査・検討の具体的進め方を整理するとともに、SMES システムの目的用途等について調査を進めた。また、SMES システムの適用効果について定量的に評価するための解析モデル調査・作成及び標準化範囲の設定に着手するとともに、SMES の試験法の標準化に向けた各種超電導機器の試験法調査他を実施した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「SMESシステムの開発」

- (1) 低コスト大容量変換システムの開発では、各種方式について機器設計、制御性等のシミュレーション解析、コスト分析を行い、電圧型大容量変換素子直並列方式を製作、性能評価することに決定し、素子製作を行った。
- (2) 高磁場酸化物系 SMES コイルの開発では、高磁場酸化物系線材を用いたコイルを試作し、製作性や基礎性能を検証した。
- (3) 高信頼性極低温冷凍機の開発では、80K 無摺動冷凍機の冷却部の構造最適化検討や装置試作、20K 冷凍機の試作を行った。
- (4) 高耐電圧伝導冷却電流リードシステム開発では、システム全体の設計検討を行った。また、電流リード・冷凍機同軸一体構成の高温部冷却技術及び低接続抵抗技術の基礎試験を行った。
- (5) 実系統連系試験によるシステム性能検証では、試験実施候補場所の負荷変動補償シミュレーションを行い、実施場所を決定するとともに検証する SMES システムの仕様を確定した。
- (6) システムコーディネーション技術開発では、100MW 級 SMES システムの要求仕様をまとめ、システムの設計検討とともにコスト分析に着手した。また、安定化制御ロジックについて、デジタルシミュレーションにより安定化効果を評価した。

研究開発項目②「SMESシステムの適用技術標準化研究」

- (1) 電力用途、産業用途及び海外における市場ニーズ・経済性を調査した。
- (2) SMES システムの用途別適用効果について定量的に評価するための SMES および競合技術の解析モデル調査・作成、制御対象となる変動現象などの模擬方法の検討・データ収集を行い、シミュレーション解析、適用効果の評価に着手した。
- (3) 標準化範囲の設定に着手し、試験法の標準化に向け、既存の貯蔵装置やケーブル、変圧器、発電機など各種超電導機器の試験法調査、データ収集を実施した。
- (4) 国内外における SMES (開発段階を含む) の試験実績の調査と取りまとめに着手した。

研究開発項目③「超電導フライホイールシステムの開発」

50kWh、1000kW 級のパイロットシステムの基本設計を進め、軸受部の構成、周辺のシールド方法、各部の材質の最適化などを検討した。また、基礎特性評価試験装置の設計・製作を行った。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「SMESシステムの開発」

システム構成技術開発のうち、高磁場酸化物系 SMES コイルの開発は、伝導冷却型 Y 系積層コイル等を試作し、電流輸送特性等の評価を行った。高信頼性極低温冷凍機の開発は、80K 無摺動冷凍機における性能向上や、20K オイルレス冷凍機の最適化により、それぞれ目標出力を達成した。高耐電圧伝導冷却電流リードシステムの開発は、3kA 級同軸一体型高温部を設計・試作するとともに、低温側の冷却方式は直列型システムを考案し、設計・試作を行った。また、酸化物超電導体構成部、真空容器貫通部の試験・評価を行った。

実系統連系運転試験によるシステム性能検証は、10MVA/20MJ 級 SMES システムの電力変換システムの製作、工場試験とともに、超電導コイルシステムの製作、クライオスタットの組立ておよび工場試験を実施した。また、実系統連系運転試験項目、基本性能試験項目などを整理するとともに、負荷変

動補償制御、系統安定化制御についての事前シミュレーション解析により、SMES システムの制御応答性及び制御手法について確認した。

システムコーディネーション技術開発では、SMES 出力の位相補正を考慮した系統安定化制御ロジックを開発し、Y法によるデジタル解析を行うとともに、SMES アナログモデルと系統解析シミュレータを組合せたアナログ解析を行い検証した。また、100MW 級 SMES システムの設計検討、ライフサイクルコストの検討を実施した。

研究開発項目②「SMES システムの適用技術標準化研究」

電力用途、産業用途 SMES について、市場ニーズの調査結果から得られた用途における市場規模を想定した。また、用途・規模別の経済性評価を行うため、ライフサイクルコスト算定手法を検討した。競合技術との比較・評価を行うため、適用効果のシミュレーション解析を実施した。さらに、既存の貯蔵装置等の試験法調査を行い、その調査結果を参考に SMES システムの試験法、評価法の検討を実施した。

研究開発項目③「超電導フライホイールシステムの開発」

基礎特性評価試験装置を用いて、超電導磁気軸受の浮上力特性、回転抵抗などの基礎特性を測定し、パイロットシステムの設計に資することを確認できたため、50kWh、1MW 級のパイロットシステムの製作設計を進め、本体の製作を開始した。また、東京大学との共同実施にて、回転損失の解析を行った。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「SMES システムの開発」

システム構成技術開発のうち、酸化物系 SMES コイルの開発は、Y 系コイルと変換器と組み合わせで基礎検証試験を実施し、Y 系 SMES の成立性を検証した。高信頼性極低温冷凍機の開発は、80K 無摺動冷凍機の耐久試験より 2 万時間の冷凍性能を確保できることを確認した。また、20K オイルレス冷凍機は、平均故障間隔 2 万時間以上の信頼性を検証するとともに、20K 能力可変冷凍機を試作し信頼性能の評価を行った。高耐電圧伝導冷却電流リードシステムは、同軸部と HTS (高温超電導線材) 部を組み合わせた試験・評価により耐電圧 DC15kV 以上を検証し、構成・仕様のまとめを行った。実系統連系試験は、10MVA/20MJ 級 SMES システムを試験サイト (古河日光事業所) へ設置し、基本特性試験を実施すると共に、2 万回以上の実動作によるシステム性能の検証試験を実施した。システムコーディネーション技術開発では、100MW 級 SMES システムのライフサイクルコスト目標 (負荷変動補償用 14 万円/kW、系統安定化用 5 万円/kW) を達成する基本設計を行い、用途別にデータの整理、標準システムの設計を行った。

研究開発項目②「SMES システムの適用技術標準化研究」

市場規模想定や経済性分析などから、期待される用途、適用効果の評価を行った。また、SMES の用途別標準システムおよび試験法、評価法のデータなどの体系化を行い資料作成を行った。併せて、競合技術の解析モデルによるシミュレーション計算を行い、SMES システムの適用効果の比較・評価により SMES システムの位置付けを確認した。さらに、実用化の時点で必要とされる SMES システムの試験法を提案するとともに、実系統連系試験結果をもとに試験法、評価法の見直し及びとりまとめを行い、標準化に資する資料の作成を行った。

研究開発項目③「超電導フライホイールシステムの開発」

パイロットシステムを完成させ、初期性能として、スラスト負担荷重あたり軸受損失 (含冷凍機損失) が 0.34W/kg、変換器を含む総合効率 (往復) が 85% と、それぞれ基本計画の目標値である 0.5W/kg 以下、72% 以上であることを確認した。また、この設計は、コストを 2 億円/50kWh (4,000 円/Wh) 以下にできるものである。一方、試験サイトにおいて 2 ヶ月の連続運転と定格出力の 1 割以上の入出力を 503 回実施し、連続動作試験におけるシステムの安定性を確認した。すなわち、基本計画の目標はすべて達成し、汎用的に使用されるフライホイールの早期実用化を図る目的を果たした。

《21》超電導応用基盤技術研究開発 (第Ⅱ期) [平成 15 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

- (1) 高性能長尺線材プロセス開発では、ハステロイ基板上に IBAD 法 (イオンビームアシスト蒸着法) で 100m 以上の配向中間層を実現するとともに、PLD 法 YBCO により世界に先がけて 100m 全長で $J_c=0.8\text{MA}/\text{cm}^2$ 、 $I_c=38\text{A}$ の長尺特性 Y 系線材を開発した。また、PLD 法 CeO_2 を IBAD 上に蒸着する新たな中間層技術で従来の IBAD 層よりも優れた配向度の長尺化にも成功し、80m 級の間層線材を得た。この基板の 40m 長にわたり YBCO を作製し、 $1.6\text{MA}/\text{cm}^2$ の高 J_c を得ることに成功した。高速・安定成長技術開発では、リールトゥーリールの連続成膜技術を用い、第 1 中間層上に、5m/h で CeO_2 第 2 中間層を PLD 法により成膜して、全長にわたって X 線 ϕ スキャンの半値幅が 9° 以下の高度に 2 軸配向した中間層を 55m 長にわたり作製した。この高速作製基板上に、YBCO 超電導体層を 10m 長にわたり CeO_2 第 2 中間層上に PLD 法で連続成膜を行い、全長で X 線 ϕ スキャンの半値幅が $8\sim 9^\circ$ の高度な 2 軸配向を得た。特性向上技術開発では、膜厚と配向度の最適組み合わせの検討が可能になり、 J_c で $2\text{MA}/\text{cm}^2$ 、 I_c で 100A を越えるものが得られた。
- (2) 低コスト長尺線材プロセス開発では、超電導層形成技術開発のうち化学液相法による超電導層形成技術に関しては、高速プロセスが可能な新規原料を開発し、これを用いた厚膜試料での焼成条件の適正化により 292A の高臨界

電流、 I_c 、を実現した。化学気相法では、既存の6段CVD装置を用いた各種配向金属基板上での成膜実験を開始し、 $2.2\text{MA}/\text{cm}^2$ 、の J_c を得るとともに厚膜化により $I_c > 100\text{A}$ を確認した。金属基材技術開発では、高強度合金材料の配向テープ化のための加工プロセス、熱処理プロセスの検討を行い、NiWテープについて、ほぼ完全な(200)配向テープが得られた。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高性能長尺線材プロセス開発」では、ハステロイ基板上にIBAD法で200m以上の配向中間層付基を実現した。このセリアキャップ層付基板上にPLD法により、世界に先がけて105m全長で臨界電流 $I_c = 126\text{A}$ のY系線材を開発した。高速・安定成長技術開発に関しては、新たなマルチブルーム・マルチターンPLD法を開発し、長さ46mの線材を3m/hの高速で作製し、かつ、 I_c も182Aの高い値を得ることに成功した。特性向上技術開発に関しては、短尺試料で300Aの高 I_c 値を得た。機器開発提供用線材作製に関しては、本プロジェクト内の各開発機関に対して、数百mのIBADまたはセリア付基板を提供した。また、超電導交流基盤技術開発プロジェクトに、幅4mm、総長で40m以上を提供し、ケーブル開発に使用された。

研究開発項目②「低コスト長尺線材プロセス開発」では、NiWテープにおいて、3at%W添加金属材料を用いて $\Delta\phi < 8^\circ$ を持つ250m長尺基板材作製に成功した。化学液相法による超電導層形成技術に関しては、焼成条件の適正化等により短尺試料で413Aの高臨界電流を実現した。リールトゥーリール式焼成において、90Aのエンドトゥーエンド I_c 特性を有する16m線材作製に成功した。また、100m対応炉での均一焼成の基礎条件を明らかにした。化学気相法では、模擬長尺線材において200mの焼成を行い平均で66Aの I_c 特性を確認した。Ho系超電導材料の両面・幅広成膜による低コスト化技術開発では、中間層では面内配向度 $\Delta\phi = 5.8^\circ$ 、表面粗度 $R_a = 6\text{nm}$ の特性を有する100mの長尺中間層形成技術を確認した。また、この中間層上にPLD法でHoBCO膜100m長線材を作製し、38~118Aの I_c 特性を確認した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高性能長尺線材プロセス開発」

CeO_2 キャップ層付基板上にPLD法によりYBCO層を蒸着し、世界に先がけて212m全長で臨界電流 $I_c = 245\text{A}$ のY系線材を開発した。また、高配向の CeO_2 キャップ層付基板を用いて、人工ピン、Re系超電導線材の検討もを行い、短尺試料で522Aの高 I_c 値を得た。また、3Tの磁場中において I_c で20A(J_c で $1.4 \times 10^5\text{A}/\text{cm}^2$)を得た。

研究開発項目②「低コスト長尺線材プロセス開発」

化学液相法による超電導層形成技術に関して、短尺試料で508A/cm幅の I_c (高臨界電流)を、25mで $I_c = 100\text{A}$ ($J_c = 0.8\text{MA}/\text{cm}^2$)を、また16m長線材で $I_c = 128\text{A}$ を得た。全MOD膜を目指した検討では、MOD法による拡散防止CeZrO層上にPLD法による CeO_2 キャップ層を配した構造において J_c で $1\text{MA}/\text{cm}^2$ 以上の特性を得た。金属基材技術開発では、NiWテープにおいて $\Delta\phi < 6^\circ$ で $R_a = 2\text{nm}$ を持つ200m長尺基板材作製に成功した。裏打ち技術を開発し0.2%耐力で350MPaを、クラッド材では100m長基板で1100MPaを実現した。

研究開発項目③「長尺線材評価・可加工性技術開発」

長尺線材用磁気光学装置を完成させ、各種線材を評価した。ホール素子法では臨界電流値とともに n 値の測定を可能とした。電磁気特性評価に関しては、各種評価法を複合的に適用して得られた総合的知見を線材作製プロセスにフィードバックした。過電流パルス通電による試料の劣化を調べ、最高温度600K以下では劣化がほとんど起こらないことを明らかにした。また、伝導冷却型ソレノイド及びパンケーキ型小型コイルを試作し、設計通りの特性を確認した。

研究開発項目④「高温超電導材料高度化技術開発」

YをGdで置換したGdBCO超電導材について、Ba欠乏組成を原料として用いる事が安定成膜及び高臨界電流密度化に有効であることを見出した。また、酸素処理条件の最適化を行なうとともに、超電導層への炭素混入により著しく酸素の導入が阻害されることを見出した。高酸素濃度化が特性向上に有効であることを見出した。線材間接合について、安定化銀層を介した低抵抗接続(接合部抵抗： $10\text{n}\Omega/\text{cm}^2$)に成功した。

平成18年度は、財団法人国際超電導産業技術研究センター超電導工学研究所副所長兼線材研究開発部長 塩原 融氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

①線材作製技術開発：200mクラスのGdBCO線材において全長 $I_c = 210\text{A}$ 、及び線材長の大部分で300Aを超える特性を得た。また3Tでの I_c として最終目標値を超える21A以上の特性を得た。さらに10m/hの超電導層作製の高速化を達成した(高性能長尺線材プロセス開発)。またMOD法による短尺 I_c で $735\text{A}/\text{cm}$ (世界最高)を得るとともに、200m長線材の両端 I_c で201Aを得た。MOCVD法では短尺 I_c で294A、197m長尺線材で90A/cm以上の特性を得た。また配向性基板による線材全長で概ね150A以上の I_c 特性を得た(低コスト長尺線材プロセス開発)。また直接通電法での500Aまでの I_c 評価技術、ホール素子法での5時間以内で1km長の線材評価技術等を実現した。また I_c の反復歪み特性評価や線材表面色による温度測定技術を開発した(長尺線材評価・可加工性技術開発)。また高い磁場特性のGd系線材の組成、成膜条件などの検討を行い、2-3倍の成膜速度向上の見込みを得る等、最適化検討で得られた結果をプロセスにフィードバックした(高温超電導材料高度化技術開発)。

②機器要素技術開発：レーザーによる素線加工技術開発を進めるとともに、Gd系ソレノイドコイルを作製し、64Kにおいて1.2T、5.2Kで5.2Tの磁場を得た(機器共通基盤要素技術開発)。また線材の分割、複合化技術を開発するとともに、分割線材を用いた0.3m非スパイラル1kA級モデル導体を製作し $0.054\text{W}/\text{m}$ @1kAの世界最小の交流損失

を達成した。(超電導ケーブル要素技術開発)。また分割線材及びコイルでの低損失化を確認するとともに、Y系超電導変圧器の概念設計を行い、システム構成を導出した。(超電導変圧器要素技術開発)。また、モーター全体の基本設計を行うとともに、レーストラック形状での樹脂含浸コイル化技術を開発した。(超電導モーター要素技術開発)。また線材抵抗と限流特性、温度上昇の関係を明らかにするとともに、高抵抗安定化材複合技術を開発し、さらにモデルコイルにより3.8kV印加での限流動作を実証した。(超電導限流器要素技術開発)。またインペラー形状を決定するとともに、熱交換器の試算とインペラー形状解析結果と併せて、試作する冷凍機の設計を行った。(高性能冷凍機要素技術開発)。

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

- ①線材作製技術開発：GdBCO線材において504m長の線材の両端 $I_c=300A$ 以上(70cm刻みでの全長測定結果からの算出)を得て目標を達成した。また3Tでの I_c として目標値を超える30.4A以上の特性を得た。さらに超電導線製造速度として目標の5m/h以上を達成した(高性能長尺線材プロセス開発)。また500m線材用大型焼成炉を用いて焼成した250m長線材の平均的な I_c 値、及び500m炉内のサンプル点での短尺 I_c 値として300Aレベルを得、最終目標である500m長で300Aの達成を見込める結果を得た。極低コスト線材においては56m長、 $I_c=200A$ にてコスト見込み3円/Amの目標を達成した。(低コスト長尺線材プロセス開発)。また線材長500m級の I_c 評価法として既存技術の改良や超高感度のSQUID法の開発を行うと共に伝熱特性、機械特性他種々の評価技術の開発を進め、線材製造時の I_c 劣化要因を解明等を実現した。(長尺線材評価・可加工性技術開発)。またインサイドブルームPLD法や人口ピン技術による特性向上や線材の拡散接合法等の技術開発を行い、線材の高 I_c 化、製造の高速化や歩留まり向上等を実現した。(高温超電導材料高度化技術開発)。
- ②機器要素技術開発：細線加工線材の特性評価技術を開発すると共に接合技術の開発により線材 I_c の改善を行い、線材の機器応用を促進する技術開発を行った。(機器共通基盤要素技術開発)。また試作した20m長超電導ケーブルの過電流試験において導体に劣化がないことを確認するとともに接続抵抗目標値 $0.6\mu\Omega$ (@5kA)に対し $0.05\mu\Omega$ (@5kA)と目標を達成した。また極低コスト線材導体化技術を確立した。実用化には導体の多層化、より大電流化したケーブルの実現と評価が必要だが、本要素技術開発の目標達成により、実用化に向けたケーブル実現の見通しを得た(超電導ケーブル要素技術開発)。また変圧器実現の為に耐電圧条件を確認し、線材細線化技術+巻線技術による低交流損失化技術(特許出願)を開発し、1kA級並列導体超電導コイルにより素線間分流の均一化を確認して目標を達成した。今後実用化に向け大電流と低損失化とを更に高いレベルで実現することが必要であるが、本要素技術開発により実現に向けての見通しを得られた(超電導変圧器要素技術開発)。また超電導変圧器技術を応用した低損失電機子コイルを試作すると共に、超電導回転界磁コイルを開発し、7.5kW超電導回転界磁方式モーターを製作した。今後界磁コイルの高効率化、冷却技術の低コスト化等の課題があるが、今回の成果及びBi系での開発実績の活用と今後の開発の積み上げにより実現可能との見通しを得た。高性能冷却方式については窒素での冷凍動作を実現した。今後ネオンによる低温域での動作実現が課題であるが、制御技術の向上により実現できるとの見通しを得た(超電導モーター要素技術開発)。また4並列巻線限流器コイルにて I_c の50%定常通電にて問題がないことを確認し、線材高抵抗化技術、限流性能と併せ目標を達成した。今後実用化の為に実際の系統につなぐための長期評価が必要であるが、これについては長期実証試験を計画中である。また高電圧階級限流器の適用へ向けては、素線の大電流化、コイル化技術、交流損失の低減化技術などが必要であるが、これらについては本要素技術開発で実現の見通しを得ており、耐電圧化についても絶縁方式の組合せで実現の見通しである(超電導限流器要素技術開発)。またネオンを作動流体として70Kで目標の2kWを超える2.75kWの冷凍能力を持つ膨張タービン式冷凍機を開発して目標を達成し、COP=0.047を得た。今後タービン方式コンプレッサーの開発による冷却効率の向上と冷却システム全体の小型・軽量化等が必要だが、中心となるタービンについては、本要素技術開発により実現の見通しが得られた(高性能冷凍機要素技術開発)。

《22》高温超電導ケーブル実証プロジェクト [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

平成19年度は、公募により委託先を選定するとともに、住友電工 畑良輔氏をプロジェクトリーダーに指名して研究開発に着手した。

研究開発項目①「高温超電導ケーブルの総合的な信頼性研究」

高温超電導ケーブルの重要要素技術の検証では、高温超電導導体の特性評価として、低損失型のビスマス線材を用いて短尺導体の試作・評価を行い、交流損失値は、 $1W/m/1$ 相@2kA以下であり、中間目標値のレベルを達成した。また、ケーブル導体に、 $10\sim 31.5kA$ 、 $0.5\sim 2sec$ の短絡電流を通電し、臨界電流値に劣化がないなど良好な結果が得られた。大電流接続部の単相モデルにおいて、2kAを通電し、電気抵抗が $1\mu\Omega/1$ 相以下であることを確認した。これらの結果も踏まえて、66kV級の中間接続部、終端接続部について検討を行い、構造について設計を行った。トータルシステム等の開発においては、実証試験場所として東京電力(株)旭変電所構内を選定し、高温超電導ケーブルシステムのレイアウト検討、遮断器等変電システムの構成、実証ケーブルの概要についてまとめた。運転・監視システム、付帯機器に関しては、運転・監視システム等の構成概念をまとめた。送電システム運転技術に関しては、実証場所での雷サージ特性、短絡電流条件などを解析計算及び過去の事例を調査し、超電導ケーブルの仕様にフィードバックさせた。また、平常時の運転制御方法の概念検討、異常時モードの整理を行った。実系統における総合的な信頼性の検証においては、実証試験場所について66kV級実系統の候補地から、電流容量、負荷状況、システム構築の実現性等を考慮し、東京電力(株)変電所構内を選定した。その実証試験場所での環境、系統条件等を整理し、実証試験の基本方針

をまとめた。

研究開発項目②「超電導ケーブルの適用技術標準化の研究」

高温超電導ケーブルの標準化研究においては、標準化を行うべき項目について調査を行い、それらの項目を抽出し整理した。

高温超電導ケーブルの適用技術研究においては、各構成機器（ケーブル、終端接続部、中間接続部、冷却システム、運転・監視システム、保護・遮断システム等）に関して、高温超電導ケーブルの固有の事象について整理し、課題について整理を行った。また、高温超電導ケーブルシステムの適用効果、導入効果の評価項目を整理した。

《23》新電力ネットワークシステム実証研究 [平成16年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとすべき措置 (2) [新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等] (ア) 新エネルギー・省エネルギー導入普及関連業務等の推進方針 i) 企業化・実用化を見据えての技術開発業務 ① 参照]

《24》発電プラント用超高純度金属材料の開発 [平成17年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ①ナノテクノロジー ナノテクノロジープログラム 《2》-2 参照]

<非プログラム・プロジェクト 事業>

《25》固体酸化物形燃料電池の研究開発 [平成13年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、固体酸化物形燃料電池(SOFC)の実用化のため、以下の排熱を燃料改質に用い安定的な発電を行う熱自立モジュールの開発等を実施した。

研究開発項目①「熱自立モジュールの技術開発」：湿式円筒形については、新型バンドルの量産に向けた小口量産設備(連続成膜機、連続焼成炉)による新型バンドルの試作を行い安定した成膜が行えることを確認した。熱自立モジュールプロトタイプ2号機(目標5.8kW)の発電性能評価を行い、モジュール内温度分布(300K)が大きいことに起因し出力が目標値よりも低いことが判明したため、熱自立モジュールプロトタイプ2号機の改造を実施しモジュール内温度分布が99Kとなることを確認した。また、実用小型SOFCシステムの検討を行った。

研究開発項目②「熱自立モジュールの技術開発」：一体積層形については、10kW級モジュールの制御性についてダミー電池を使った検証を実施し、仕様を満足することを確認した。次に、実電池を組み込んだ発電試験を実施したが、平均セル電圧が目標よりも低いことが判り、この原因の調査を行い原因を推定し改造に着手した。なお、長期運転は本原因調査のため235時間の連続運転で中断した。内部改質モジュールの開発において改質特性データの取得を目的に平成15年度はスチームカーボン比率(S/C値)3, 2, 1.5における出力密度の影響調査を実施した。電池製造コスト低減に向けた生産性向上の検証のための電池試作に着手した。

研究開発項目③「適用性拡大に関する要素研究」：耐熱衝撃性平板形セル・スタックの研究については、金属セパレータを用いた13cm角セル20層スタックでの200°C/hr熱サイクル性を確認した。5cm角スタックでの耐久性向上については、金属部材に(La, Sr)CoO₃をコーティングし電圧劣化率1%/1,000hr以下の確認に着手した。13cm角スタックで動作温度750°C、電流密度0.2A/cm²の条件下で、発電電圧0.7Vの達成をした。また、13cm角セルを用いた1kW級スタックの試作では、13cm角セルの反りが大きいスタック構造を変更するとともに本スタック構造における性能評価に着手した。

平成16年度は、固体酸化物形燃料電池(SOFC)の実用化のため、以下の熱自立モジュールの開発等を実施した。

研究開発項目①「熱自立モジュールの技術開発」：湿式円筒形については、新型バンドルの量産に向けた量産設備(連続成膜機等)による試作を行い安定した品質のセル製作が行えることを確認した。熱自立モジュール-1の耐久性試験を行い、1400時間までは一定条件下で電圧低下率0.1%/1000hを確認した。さらに、燃料配管部分を改良し温度分布の改善を図った熱自立モジュール-2にて、初期性能を評価した結果、0.7V@0.2A/cm²を確認した。

研究開発項目②「熱自立モジュールの技術開発」：一体積層形については、10kW級実電池での試験に先立ち、部分的に1トレイン試験を行った結果、集電抵抗増加の懸念が確認された。この知見に基づき、全トレインを組み込んだ4トレイン試験では、集電構造の改良を加え10kW級発電検証試験を行った。この結果、集電構造改良およびトレイン組立方法の改良により、前年度より性能改善が図られ、0.7V@0.2A/cm²を確認した。内部改質モジュールの開発においては、S/C値=2における電池の温度特性データを取得した。また、S/C値=2で約1000hの連続運転を行い、出力密度0.24W/cm²一定で長時間運転可能であることを確認した。

研究開発項目③「適用性拡大に関する要素研究」：耐熱衝撃性平板形セル・スタックの研究については、金属セパレータを用いた 13cm 角セル 20 層スタックでの 200°C/hr 熱サイクル性を確認し、セル破損、OCV 劣化がおこらないことを確認し、スタックの耐熱衝撃性を実証した。5cm 角スタックでの耐久性向上については、1500 h 以上の連続運転を行い性能劣化が見られないことを確認した。また、13cm 角 20 層スタックを 4 基組み合わせた 1kW 級スタックを試作した。構成要素となる 20 層スタックにおける発電特性と熱サイクルによる破損がないことを確認した。

《26》 熔融炭酸塩形燃料電池発電技術開発 [平成 12 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は熔融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合 理事 安江 弘雄をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「要素技術開発」については、(i) 高性能・高圧スタック技術開発スタック高積層化技術の問題点への対応として前処理装置の改造を行った。電池材料の改良および長寿命化の課題である Ni 短絡遅延効果の高い部材については、平成 14 年度成果に基づく最適化を検討すると共に、入手可能となった前期プロジェクトの成果であるスタック材料の性能評価等を実施した。また、改良カソードの原料となる被覆ニッケルの量産技術を確立するとともに電極性能向上を検討し、更に高性能、長寿命化を目指し、次世代型として期待される材料の基礎データを収集した。(ii) ショートスタックによる信頼性評価単セルを用い、Ni 短絡加速寿命試験を行い対策別の寿命延伸効果を確認した。また、実条件での長時間連続発電試験を 28,000 時間以上継続し、内部抵抗と電圧低下量の関係等を明らかにした。(iii) 加圧小型発電システムの開発電池と改質器を同一圧力容器内に配置したモジュール構造の実証、および電池とガスタービンを組み合わせたシステムの実証のために運転圧力 0.3MPa 程度の加圧小型発電システムの開発を進めた。総合調整運転中、スタック電圧に不具合が発生したスタックを工場に持ち帰り、原因究明、補修を行い、再度、川越試験所にて運転試験を行った。また、対策検証用スタックの性能確認では 155kW の出力を達成した。これまでの試験結果に基づき、さらなるコンパクト化を目指した商用発電システムの設計を行った。

研究開発項目②「高性能モジュール開発 (750kW 級、運転圧力 1.2MPa 程度、川越 MCFC 発電試験所にて実施)」については、(i) 高性能モジュール用機器およびプロセスの開発スタック高積層化への対策を全て盛り込み、検証用スタックを製作するとともに、新たに判明したガスリークの課題にも対応した。その成果を反映したスタックの設計・製作を開始し、モジュール内の機器及び周辺機器 (BOP) の詳細設計と製作を実施し、川越試験所に据付を開始した。(ii) 高性能モジュールの運転・評価加圧小型発電システムにおける補修スタック、検証用スタックの発電試験を実施し、高性能モジュール検証設備の据付に伴う共通設備との取り合い検討や法対応等の発電試験の準備を実施した。

研究開発項目③「その他の研究開発」については、(i) 実用システムの経済性評価と概念設計これまでの調査結果、経済性・環境影響度等の検討を基に、初期導入分野として有望な分野の選定を行い、その経済性の検討を実施した。導入方策については、経済性と市場の観点から有望な初期導入市場と初期導入への課題を示した。

平成 16 年度は、熔融炭酸塩型燃料電池発電システム技術研究組合理事 安江 弘雄氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「要素技術開発」

(i) 高性能・高圧スタック技術開発

スタック高積層化技術の問題点であったガスリークは、前処理時の温度分布とガスケット厚さを最適化し、125 セルスタックにてその効果を確認するとともに Ni 短絡遅延効果の高い部材の開発を行った。また、改良カソード材料の量産技術の検討と評価を実施するとともに、更に高性能、長寿命化を目指した材料開発の基礎データを蓄積した。

(ii) ショートスタックによる信頼性評価

単セルによる Ni 短絡加速寿命試験では、標準電解質板 γ -LiAlO₂ をベースに Ni 溶出低減対策や α -LiAlO₂ 電解質板材への変更による寿命を評価した。この結果、40,000 時間の寿命の見通しを得た。長期寿命確認試験では、37,000 時間を超える連続運転に成功し、長期間にわたり性能及び寿命を維持できることを実証した。

(iii) 加圧小型発電システムの開発

加圧小型発電システムの調整運転試験において、運転圧力 0.3MPa、負荷電流密度 1,800A/m²、出力 155kW を達成した。試験結果に基づき、商用発電システムの設計で、2MW 級のバイオマスガス化ガスを燃料としたシステムと 150kW 級のシステムの検討を行った。

研究開発項目②「高性能モジュール開発」

(i) 高性能モジュール用機器およびプロセスの開発

高積層化技術の問題点の対策を反映したスタックとモジュール内の機器及び周辺機器の詳細設計・製作・総合調整を行った。また、商用発電プラント向けの中規模 MCFC/GT コンバインドシステムの設計として、天然ガスを計画燃料とする MCFC 発電設備でバイオガス燃料を使用する場合の仕様をまとめた。

(ii) 高性能モジュールの運転・評価

加圧小型発電システムは運転計画を立案し、交流出力 125kW で累積発電時間 4,839 時間を実施した。その間に熱効率の評価データを取得して送電端効率 41.0%HHV を確認した。試験結果の取り纏めを実施中。高性能モジュールは運転計画を立案し、557 時間の発電試験により性能評価データを得た。試験結果の取り纏めを実施中。また、試験設備のユーティリティ等の保守管理を行った。

研究開発項目③「その他の研究開発」

(i) 実用システムの経済性評価と概念設計

エネルギー産業を始めとした幅広い分野における様々な適用形態等を調査・分析すると共に、経済性・環境影響度の検討を行い、実用機への展開のための導入シナリオと課題を明らかにした。

《27》高効率廃棄物ガス変換技術開発 [平成 13 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は以下の事業を実施した。

研究開発項目①ガス変換システムでは、「熱分解プロセスの最適化技術開発」について、木材、RDF、実ごみに依らず、[H₂O]/[C]≧約 1.0 でガス化炉温度を安定に保つことが出来、ガス化炉の砂層温度を低くすることで、ガス化炉圧力を低く抑えることが出来、安定ガス化を実現した。バグフィルタにおいてダイオキシン濃度は、約 1/1000 以下に除去できる結果を得た。また、「ガス改質・熔融プロセスの最適化技術開発」については、熔融部、改質部の最適操炉温度を把握し、改質炉滞留時間、反応温度最適化により改質酸素供給量を削減した。酸素、蒸気、熱分解ガスの攪拌促進により、カーボンガス化率を 99%に向上し、ガス化効率を向上させた。さらに、「改質ガスの顕熱回収技術及び回収エネルギーの利用技術の開発」については、オーステナイト系ステンレス耐熱鋼 3 種に対し、実機環境における長時間暴露試験 (700～850℃ 3000 時間) の材料評価試験及び高温空気予熱器の性能検証試験を実施し、高温空気予熱器の材料として SUS310S をはじめとするオーステナイト系ステンレス鋼の採用が可能であることを確認した。

研究開発項目②高効率ガスエンジン発電技術では、標準熱量ガスにおいてガスエンジン単体の発電効率が目標値を上回る 37.3%を達成した。ガスエンジンにガスを供給するシャフト炉型ガス変換実証施設から排出される回収金属、スラグが十分リサイクル可能であることを確認した。

研究開発項目③最適化調査研究では、トータルシステムの検討・評価を行うため、個別に開発してきた 4 方式のガス変換発電システムのシステム解析プログラムの相互間の調整・改良を行い、解析確度を向上させると共に統合化を行った。既設火力発電設備へのガス供給システムの発電性能、経済性、開発課題等を検討した。

研究開発項目④システム適合性調査では、最近の廃棄物処理環境の変化に伴う問題・対策を調査・検討するため、自治体を中心に第 3 次のアンケート調査を実施した。一方、民間参入型の事業化のスキームを検討し、PFI 等の事例調査を実施した。また、第 3 回廃棄物発電セミナーを行った。今回は 2 日間とし、初日は IEA バイオマスエネルギー分科会との共催で国際セミナーとした。

③省エネルギー技術

[中期計画]

2010 年における長期エネルギー需給見通しの達成に資するため、2001 年 6 月の総合資源エネルギー調査会省エネルギー部会の報告を受け策定された「省エネルギー技術戦略」を踏まえ、民生・運輸・産業分野において、省エネ効果の高い基盤技術等の開発や、周辺技術の不足や製品化技術の問題により実用化が遅れているものについては、その実用化を支援するための研究開発を行う。さらに、製品化し市場へ導入するのに有効性・信頼性を実証する必要があるものについては、実機ベースでのデータ収集及び技術改良等の実証研究を行う。

また、その実施に当たっては、技術的波及効果が大きいテーマに重点を置くとともに、エネルギーの使用の合理化に関する法律におけるトップランナー規制の実効性を高めるため、その対象機器に関連した技術開発を推進する。

<省エネルギー技術開発プログラム>

[中期目標期間実績]

第 1 期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》提案公募型

《1》-1 エネルギー使用合理化技術戦略的開発 (先導研究フェーズ) [平成 15 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下のとおり実施した。

先導研究フェーズにおいて、平成 15 年度に新規採択した 13 テーマを含め、計 37 テーマを実施した。平成 15 年度に終了した 13 年度採択の 16 テーマについては、年度末のプレ事後評価において、優良 11 テーマ、合格 4 テーマ (合格

率 93%)、合格ライン未達 1 テーマと評価された。優良評価を受けたテーマのひとつの「CO₂ 空調機用二相流膨張機・圧縮機の開発」では、寒冷地向け CO₂ ヒートポンプ空調機の高効率化に向け、気液二相流膨張機と膨張機・圧縮機・電動機の一軸直結化技術を開発し、年間暖房効率 107% を達成した。これにより燃焼式暖房機のトップランナー目標値である暖房効率 86% に対して、約 1.25 倍の効率を実現した。

平成 14 年度採択 8 テーマの中間評価においては、優良 1 テーマ、合格 5 テーマ (合格率 75%)、合格ライン未達 2 テーマとされた。合格ラインに到達しなかった 2 テーマのうち、「環境応答型ヒートミラーの研究開発」については、新規調光ガラスの開発については、当初目標はクリアしたが、オフィス全体の熱シミュレーションを大規模かつ総合的に実施した結果、上記到達レベルをもってしても当初目標とした冷暖房に対しては効果が乏しく、省エネルギー効果が期待できないことから研究継続は適当でない判断し、当年度で中止することとした。もう一つの合格ライン未達テーマ「分散電源による特定区域への直流多端子配電システム構成の研究開発」については、事業化の可能性が低い評価を受けたことから、計画を大幅に縮小し、実用化の姿を明確にした上で、事業化に結びつく要素に絞り込んで継続することとした。

平成 16 年度は、以下のとおり実施した。

先導研究フェーズにおいて、平成 16 年度に新規採択した 5 テーマを含め、計 25 テーマを実施した。

このうち、省エネルギー電力変換器の高パワー密度・汎用化研究開発に追加的に予算を配分した。これにより、導入したフォトレジスト用塗布/現像/ベーク装置により、電気特性を揃えた大面積チップの SiC 素子の歩留まりを、現状の 10% から 50% 以上に改善することができるため、研究開発全体としての進捗の加速、及び最終目標である有効チップ面積 1mm² の素子での検証を効率的に行うことが可能となった。

平成 16 年度に終了した 8 テーマについては、年度末のプレ事後評価において、優良 3 テーマ、合格 4 テーマ (合格率 88%)、合格ライン未達 1 テーマと評価された。優良評価を受けたテーマのひとつの「ナノ複合構造制御による省エネルギー対応型高機能・超低熱伝導断熱材料の開発」では、新規に開発した繊維-粉体系のナノ複合粒子結合により、室温において 0.015W/(m・k)、1,000°C の高温領域において 0.025W/(m・k) と、特に高温領域では類のない低熱伝導率を有する断熱材を実現した。

平成 15 年度採択 12 テーマの中間評価においては、優良 4 テーマ、合格 6 テーマ (合格率 83%)、合格ライン未達 2 テーマとされた。合格ライン未達の 2 テーマについては研究内容の見直しを行うこととした。

平成 17 年度は、以下のとおり実施した。

先導研究フェーズにおいて、平成 17 年度に新規採択した 12 テーマを含め、計 28 テーマを実施した。

平成 17 年度に終了した 11 テーマについては、年度末のプレ事後評価において、優良 7 テーマ、合格 1 テーマ (合格率 73%)、合格ライン未達 3 テーマと評価された。優良評価を受けたテーマのひとつの「コアードビームによるキーホール内三次元エネルギー投入の最適化 (三菱重工業(株))」では、軽量化に有効なアルミ合金の加工効率及び加工品質向上とランニングコスト低減を狙いとして、高効率・高吸収の半導体レーザと高輝度のファイバーレーザを組合せたコアードビームを利用する研究開発を実施し、トータル変換効率 24% と高い溶接能力・溶接品質を実現した。

平成 16 年度採択 5 テーマの中間評価においては、優良 2 テーマ、合格 2 テーマ (合格率 80%)、合格ライン未達 1 テーマとされた。合格ライン未達の 1 テーマについては研究内容の見直しを行うこととした。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

先導研究フェーズにおいて、平成 18 年度に新規採択した 24 テーマを含め、計 52 テーマを実施した。平成 18 年度に終了した 9 テーマについては、年度末のプレ事後評価において、優良 5 テーマ、合格 2 テーマ (合格率 88%)、合格ライン未達 1 テーマと評価された。優良評価を受けたテーマのひとつである「照明用高効率有機 EL 技術の研究開発と実用化先導調査研究 (山形大学、他 2 団体)」では、輝度ならびに効率を高度化することにより有機 EL を照明用に使用することで、白熱灯代替により画期的な省エネ効果を発揮することが期待される。この製造方法ならびにパネル製造技術を開発した。

平成 17 年度採択 19 テーマの中間評価においては、優良 15 テーマ、合格 4 テーマ (合格率 100%) 合格ライン未達はなしであった。

平成 19 年度は、以下のとおり実施した。

先導研究フェーズにおいて、平成 19 年度に新規採択した 14 テーマを含め、計 44 テーマを実施した。うち、平成 19 年度に研究期間が終了した 12 テーマについては、プレ事後評価において、優良 9 テーマ、合格 2 テーマ (合格率 91%)、合格ライン未達 1 テーマと評価された。優良評価を受けたテーマのひとつである「省エネ超高速インターコネクトを実現する光導波路技術の研究開発」では、高分子光導波路を用いた低消費電力超高速光データ伝送を実現する技術開発することにより電気伝送データバスの抵抗や容量等によって消費されていた電力を大幅に削減することが期待される。

平成 18 年度採択 18 テーマの中間評価については、優良 10 テーマ、合格 7 テーマ (合格率 94%)、合格ライン未達 (今年度で契約中止) は 1 件であった。

また、平成 18 年度終了 11 テーマの事後評価では、優良 4 テーマ、合格 2 テーマ (合格率 55%)、合格ライン未達 5 テーマと評価された。

事前調査においては、平成 19 年度に新規採択した 5 テーマを含め、計 13 テーマを実施した。平成 19 年度 6 月に終了した 5 テーマについては、事後評価において、優良 0 テーマ、合格 0 テーマ (合格率 0%)、合格ライン未達 5 テーマ、平成 19 年度 3 月に終了した 3 テーマについては、事後評価において、優良 1 テーマ、合格 1 テーマ (合格率 66%)、合格ライン未達 1 テーマと評価された。

また、平成 18 年度 3 月終了 5 テーマの事後評価では、優良 1 テーマ、合格 2 テーマ (合格率 60%)、合格ライン未達 2 テーマと評価された。

《2》超燃焼システム技術

《2》-1 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発 [平成18年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、嫌気性処理と好気性処理の双方の長所を生かし、かつ双方の欠点を克服した新規の嫌気性-好気性廃水処理システムの研究開発について、産業技術総合研究所生物機能工学研究部門 中村和憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「前段嫌気性処理技術の開発」

パイロットプラントのUASB(Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (50m³/d)を設計・製作した。また、ラボテストにより有機物分解に及ぼす水温の影響評価および有機物のマスバランス把握のためのデータを取得・解析した。

研究開発項目②「後段好気性処理技術の開発」

パイロットプラントのDHS(Down-flow Hanging Sponge) (50m³/d)を設計・製作した。長期運転に適したDHS担体およびDHS担体支持構造等を開発し、パイロットプラントに設置した。また、有機物負荷量、入口濃度変動による処理水質への影響などの基礎データを取得した。

研究開発項目③「処理システムの開発」

③-1「廃水処理トータルシステムの開発」

嫌気-好気反応槽の適用廃水種拡大を目的とし、ラボスケールの嫌気-好気反応槽による有機性廃水試験を行った。また、嫌気-好気反応槽の大腸菌等衛生工学的特徴の評価手法を確立した。さらに、嫌気-好気反応槽に保持される微生物生態の特性を代謝活性試験、分子生物学的手法を用いて評価した。

③-2「下水処理分野への適用に関する研究開発」

UASB-DHSシステムからの処理水をより高度に処理して水質を安定化させるのに適した砂ろ過技術の基礎的開発を行うため、ラボスケールの実験装置を製作して模擬廃水を用いて室内で運転して実験を行った。

③-3「嫌気性処理技術の動向と国内産業における適用性総合調査研究」

本研究開発の成果を広く普及させるため、我が国、および諸外国における特許調査、文献調査、有識者からの聞き取り調査等により嫌気処理の技術動向を把握した。

平成19年度は、嫌気性処理と好気性処理の双方の長所を生かし、かつ双方の欠点を克服した新規の嫌気性-好気性廃水処理システムの研究開発について、産業技術総合研究所生物機能工学研究部門 中村和憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「前段嫌気性処理技術の開発」

パイロットプラントのUASB (50m³/d)を設計・製作した。低有機物濃度、難溶解性有機物を含む廃水を処理可能な技術確立するため、UASB実証プラントによる試験を行い、最適な無加温メタン発酵条件および嫌気微生物を高密度に保持できる嫌気反応槽構造を検討した。また、無加温嫌気処理における有機物分解特性および有機物分解に関わる微生物の生態学的特性を把握した。さらに、低濃度廃水処理メタン発酵プロセスにおける有機物分解過程やマスバランスの把握と、有機物分解の安定化や効率化のための嫌気排水処理制御方法の研究を実施した。

研究開発項目②「後段好気性処理技術の開発」

パイロットプラントのDHS (50m³/d)を設計・製作した。充填密度が高く、経済的な生物担体の構造と施工技術確立のため、DHS実証プラントによる試験を行い、高濃度の微生物を保持しながら廃水の供給や通気を適切に行う構造を検討した。また、有機物負荷量、入口濃度変動による処理水質への影響などの基礎的な特性を解明した。

研究開発項目③「処理システムの開発」

③-1「廃水処理トータルシステムの開発」

実証プラントの運転管理を実施し、前段嫌気性処理と後段無曝気好気性処理を有効に組み合わせる装置制御方法および安定性について研究開発を行った。また、システム完成後の市場導入を円滑にすると同時に導入市場を拡大するため、各種廃水を対象とした処理試験によって処理特性を把握した。

③-2「下水処理分野への適用に関する研究開発」

本研究開発の下水処理分野への適用のために、本研究によって開発する廃水処理システムからの処理水の水質変動が大きい場合は変動を吸収して放流水質を安定化させ、生物化学的酸素要求量(BOD)15mg/L以下を安定的に達成可能とする後処理システムの研究開発を行った。下水処理への適用性について、ラボスケール及びベンチスケール実験並びに実証プラントによる実験・検討を行った。また、実証プラントの運転データの解析結果及び処理妨害物質の影響に関するラボスケール及びベンチスケール実験結果に基づいてUASB-DHSシステムの、下水処理分野への適用性に関して評価を行った。

③-3「嫌気性処理技術の動向と国内産業における適用性総合調査研究」

本研究開発の成果を広く普及させるため、我が国、及び諸外国における嫌気処理技術の技術動

向調査と並行して、アンケート調査、訪問調査等により本開発技術の市場動向を把握した。

《2》－2 植物の物質生産プロセス制御基盤技術開発 [平成14年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：＜1＞ライフサイエンス分野 ②生物機能を活用した生産・処理・再資源化プロセス技術 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム《1》参照]

《2》－3 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発 [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：＜1＞ライフサイエンス分野 ②生物機能を活用した生産・処理・再資源化プロセス技術 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム《2》参照]

《2》－4 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発 [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：＜1＞ライフサイエンス分野 ②生物機能を活用した生産・処理・再資源化プロセス技術 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム《3》参照]

《2》－5 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発【委託・課題助成】 [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：＜4＞ナノテクノロジー・材料分野 ②革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム 《1》－7参照]

《3》時空を超えたエネルギー利用技術

《3》－1 超高効率天然ガスエンジン・コンバインドシステム技術開発 [平成17年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超高効率ガスエンジンの開発」

(1) 新燃焼方式による効率向上技術の開発

- ・吸入・圧縮工程の流動シミュレーションをするためのCFD解析用メッシュを作成し、シリンダ内混合気分布形態の予備計算を行い新燃焼方式の達成のための知見を得た。
- ・水素炎イオン化検出器（FID）を購入し単気筒試験において筒内の燃料ガス濃度分布計測の準備を行った。
- ・筒内光学燃焼解析装置を発注し、単気筒試験における筒内の光学燃焼解析の備備を行った。
- ・成層混合気形成のための供試ガス供給方式を机上検討し、最適な方式を検討した。
- ・高圧ガス噴射弁、制御装置等の構成部品の設計製作に着手した。
- ・成層化混合気形成に関する単気筒試験を行うべく、各供試ガス供給方式の設計・製作を進めた。
- ・既設の単気筒試験機及び補機設備、計測制御システムの改造設計並びに改造を行った。

(2) エンジンコンパクト化技術開発

高圧縮比、高燃焼圧力に十分な信頼性を有し、かつ軽量コンパクトで製品競争力のあるガスエンジン専用のV型多気筒エンジンのコンセプトをまとめた。

研究開発項目②「ガスエンジンコンバインドサイクルの開発」

ハイブリッド過給機により、高効率ガスエンジンの排気エネルギーで駆動するハイブリッドターボコンパウンドシステムについて性能シミュレーションを実施した。

研究開発項目③「実機試験用エンジンの設計」

多気筒実証試験設備としての8シリンダ機関及び補機設備、計装制御システムの設計製作を開始した。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超高効率ガスエンジンの開発」

新燃焼方式による効率向上技術として、以下の開発を行った。

- ・平成17年度の予備計算から得られた知見をベースとした詳細計算を行い、新燃焼方式に適したガス供給方式の設計方針を示した。

- ・高圧燃料ガス圧縮機を購入し、供試ガス供給方式が異なる場合の濃度分布計測を行い、最適な成層燃焼の検討に必要な基本データの取得とその評価を行った。
 - ・購入した筒内光学燃焼解析装置を用いて、いくつかの混合気形成が異なる場合の試験について光学燃焼解析を行い、最適な成層燃焼の検討に必要なノッキング発生位置などの評価を行った。
- エンジンコンパクト化技術開発として、多気筒実証試験設備としての 18 シリンダ機関及び補機設備、計装制御システムの設計製作を引き続き行った。

研究開発項目②「ガスエンジン・コンバインドシステムの開発」

- ・二流体サイクルの性能シミュレーションを行い、蒸気注入システムの基本設計を決定し、噴射弁単体試験設備を製作した上で機能確認を行った。
- ・平成 17 年度から継続してハイブリッドターボコンパウンドシステムについての性能シミュレーションを実施し、エンジン効率、過給機出力、排気駆動タービン回収出力の各バランス点における効率を算出した。その結果、8MW 級実機で 2% (6MW 級実証試験機で 1.7%) の発電効率向上が見込まれることが判った。
- ・ガスエンジン二流体サイクルとハイブリッドターボコンパウンドシステムの経済性を含めた実用化のための事前評価を行うとともに、多気筒実証試験設備に組み込むための設計を行った。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超高効率ガスエンジンの開発」

1. 新燃焼方式による効率向上技術の開発
ノッキングを回避するための新燃焼方式（混合気濃度分布制御＋排気再循環）を確立した。また、これを実現する燃料供給方式の実用化開発を行った。
2. エンジンコンパクト化技術開発
従来のガスエンジン構造や設計の考え方を見直し、効率向上に伴う筒内圧力上昇などに対して信頼性を確保した仕様に改良した。
3. エンジン単体の実証試験
1. で抽出した適性仕様を単気筒試験で確認し、6MW 級実証機で発電効率を実証した。また、2. の成果は 6MW 級実証機の設計製作に反映し、1. の開発技術とともに効率向上を目指した。

研究開発項目②「ガスエンジン・コンバインドシステムの開発」

1. 二流体サイクルの単気筒試験及び実用性評価
本邦初となる超臨界の熱水のガスエンジン気筒内への噴射弁を新規開発し、単気筒試験にて効果を確認した。
2. ハイブリッドターボコンパウンド技術の実用化評価
発電機を直結したハイブリッド過給機を設置し、排気エネルギーの一部を用いて発電し、エンジン本体の発電分とあわせて高効率化に取り組んだ。また、1. の二流体サイクルの効果と比較した結果は、ほぼ同等であったが経済性および早期実用化の観点から、2. の方式を実証試験用として選択した。
3. コンバインドシステムの実証試験
実証機に 2. のハイブリッドターボコンパウンド技術を適用し、6MW 級実証機を用いて発電効率を実証した。

《4》省エネ型情報生活空間創成技術

《4》－1 揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発 [平成 17 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授 柳澤 幸雄氏をプロジェクトリーダーし、以下の研究開発を実施した。

プロジェクト実施にあたり、基本計画、実施方針を全面的に見直しを行いプロジェクト名称、目的、目標等について変更した。

プロジェクト名称：揮発性有機化合物対策用高感度検出器の開発 [平成 17 年度～平成 20 年度]

近年の住宅は高气密化により、室内の壁紙、家具等から放散される有害な揮発性有機化合物の効果的な対策のためには、総揮発性有機化合物（以下、T-VOC とする。）を検出すると同時に有害性が指摘されている代表的なものを選択的に検出し、これらを複合的に管理するための揮発性有機化合物対策用高感度検出器の技術を開発することを目的とする。この高感度検出器を用いることにより、揮発性有機化合物を的確に管理し、快適で健康的な室内空気環境を実現するとともに、併せて換気量を最小限に抑えることで省エネルギー化の推進に貢献する。具体的な研究開発目標は以下のとおり。

- ①揮発性有機化合物対策用高感度検出器の研究開発では、T-VOC の計測に加え、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン等の複数の VOC 濃度を個別に計測できるセンサ（含むセンサ群）で、室内濃度指針値に対して 1/10 の検出感度を持ち、室内 VOC 濃度を短時間の間隔で繰り返し測定が可能で、しかも安価なセンサ技術の開発を行う。
- ②揮発性有機化合物対策用高感度検出器利用のための周辺技術調査では、揮発性有機化合物の発生源、発生物質の解明、その放散挙動の解明、モニタリング性能評価およびその手法について調査を行う。

研究開発項目①「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の研究開発」については、ホルムアルデヒド系、芳香族系

VOC 用、T-VOC 用のセンサ素子に用いるセンシング材料候補の特性評価及びその高性能化のデータ等の蓄積を行い、センシング材料候補を選定した。さらに、芳香族系 VOC 用素子に最適な電極パターンに関するデータを取得するとともに、プラズマ CVD における基本成膜データを蓄積し、プロセス設計を行った。また、チップ実装法による実装プロセスおよび使用材料等を設計した。

研究開発項目②「揮発性有機化合物対策用高感度検出器利用のための周辺技術調査」では、寝室を対象に化学物質の発生源、発生物質、放散挙動のシミュレーションを行うための初期条件を設定するとともに、持ち込み家具や家電製品から発生する化学物質の放散挙動を把握し、ホルムアルデヒド濃度分布の数値解析とその可視化を実施した。また、シミュレーション検証に用いるセンサ仕様の検討と既存センサを対象にスクリーニング評価を実施した。さらに、室内及び躯体内部における T-VOC 汚染発生状況の基礎データを収集、整理した。また、戸建て木造住宅を対象に、典型的な揮発性有機化合物成分組成とそれぞれの濃度比を定めた「基準 T-VOC ガス」の暫定案を提示した。

平成 18 年度は、東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授 柳澤 幸雄氏をプロジェクトリーダーし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の研究開発」としては、平成 17 年度に選択したホルムアルデヒド用、芳香族系揮発性有機化合物用及び総揮発性有機化合物（以下、「T-VOC」と言う。）用のセンサ素子候補材料を中心に、ガス濃縮素子を用いずにガス選択性及び検出感度の平成 18 年度目標値を達成した外熱式センサ素子を開発した。応答性、繰り返しモニタリング性については、測定温度および測定ガス濃度に依存するが、一定の条件内では目標を達成できる見込みを得た。さらに、デバイス化の研究開発として芳香族系揮発性有機化合物用及び T-VOC 用ヒーター内蔵基板の基本技術を開発した。また、チップ実装法及びディスペンサ法によるアレイ化手法の検討を行い、最適な方法を決定した。

研究開発項目②「揮発性有機化合物対策用高感度検出器利用のための周辺技術調査」では、室内を構成する主要な部材や家電製品を対象に有機化合物発生の境界条件を設定し、室内化学物質濃度分布のシミュレーション（数値解析）を行うと共に、大型チャンバーを用いて化学物質濃度を直接測定し、計算された化学物質濃度と比較することにより精度の検証、及び化学物質の濃度分布を可視化することによって検出器の設置する位置の仮設定を行った。また、平成 17 年度及び 18 年度調査から得た空気汚染の状況と動向に関する資料に基づき、T-VOC ガスセンサ開発のための暫定 T-VOC ガスの提案と多数室系の空気環境の性能評価に関する理論的な整理と検証実験等を重ねて、予測技術の精度検証を行うと共に、住宅を対象とした換気シミュレーションの検討を行い、空気環境保全とエネルギー消費量削減の観点からの評価を試行した。さらに、本事業で開発を目指している揮発性有機化合物対策用検出器に要求される測定対象成分及び応答性に係わる基礎データを収集した。

平成 19 年度は、東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授 柳澤 幸雄氏をプロジェクトリーダーし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「揮発性有機化合物対策用高感度検出器の研究開発」としては、ホルムアルデヒド用、芳香族系揮発性有機化合物用及び総揮発性有機化合物（以下、「T-VOC」という。）用の各素子に対して、感度、選択性、応答性、繰り返しモニタリング性について、ほぼ目標値を達成し、最終目標スペックを満たすヒーター内蔵型素子を作製した。また安定性に対する目標の中で、1ヶ月のヒステリシスと感度安定性についての目標値を達成した。デバイス化では、チップ実装法及びディスペンサ法によるアレイ化手法の検討を行い、芳香族系揮発性有機化合物用、アルデヒド用及び T-VOC 用センサ素子のデバイス化基本技術を開発した。また、センサ駆動回路を設計、作製し、デバイスと組み合わせてプロトタイプを試作して、基幹技術の実用性を確認した。

研究開発項目②「揮発性有機化合物対策用高感度検出器利用のための周辺技術調査」では、モニタリングを利用した基本的な換気システムを提案し、実大住宅での実証実験を通してシステム制御アルゴリズム及び検出器設置位置の検証を行うことで、モニタリング併用型換気システムモデルを提案した。また、平成 17、18 年度に引き続き、鉄骨構造建物等における室内空気汚染の水準と多様性に関する調査を実施し、センサ開発要件となる実態資料を整備するとともに、実大の実験住宅を用いて多数室系の空気環境の性能評価に関する実験を試行し、実験・評価技術の検証を行った。さらに、上記の実態資料等に基づき、住宅を対象とした換気シミュレーションを行い、空気環境保全とエネルギー消費量削減の観点からの評価を実施した。また、フィールド調査をとおして開発検出器に要求される測定対象成分及び応答性に係わる基礎データを収集するとともに、実居住空間におけるリアルタイムモニタリングにより、居住者の行動による T-VOC 濃度変動データを収集し、換気設備制御アルゴリズムを提案した。

《4》－2 有機発光機構を用いた高効率照明の開発 [平成 19 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

平成 19 年度は、民間企業等に広く公募を行い、実施者を選定し、松下電工株式会社 技監 菺田 卓哉をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「生活用照明を代替する高性能照明光源の開発」

- ・高演色性マルチユニット素子構造の技術開発として、平均演色評価数 Ra=90 以上で、輝度 1,000cd/m²、かつ、効率 35lm/W 以上の初期特性を有し、輝度半減寿命 1 万時間以上の有機 EL 照明光源を開発すべく、スペクトル全般に渡る広範な発光を実現可能な発光ユニットの基本構成を検討

した。また、光学シミュレーション手法を活用して、光取り出しに優れたデバイス構造設計を行った。

- ・有機 EL の寿命支配要因の解明として、界面での電荷注入性評価方法の検討、赤外分光光度計用試料表面測定ユニットや分光エリプソメーター等の測定環境の整備を行った。

研究開発項目②「高演色性光源デバイスの省資源型製造プロセス技術の開発」

- ・大気圧下での薄膜層形成技術の開発として、極薄膜均一塗布プロセスの基本方式を検討し、参考値として、面内の一部における膜厚 $50\text{nm} \pm 6\%$ (50mm/s 時) の薄膜均一性を達成した。
- ・省資源型の高速蒸着プロセス技術の開発として、高効率蒸着機構として、ホットウォールの設計及び基板への熱影響の評価・解析を行い、基板温度を 100°C 以下に制御する条件を抽出した。
- ・封止プロセス技術の開発として、伝熱/放熱特性を考慮した固体封止プロセスの基本方式を発光面積 45mm 角の白色発光素子を用いて、初期輝度 $3,000\text{cd}/\text{m}^2$ の輝度加速試験条件下で 2,000 時間の安定点灯を確認した。

《4》－3 デジタル情報機器相互運用基盤プロジェクト

《4》－3－1 デジタル情報機器の統合リモート管理基盤技術の開発【F 2 1】[平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 2 > 情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《1 2》－1 参照]

《4》－3－2 無線 LAN スポット分野・情報家電分野 [平成 15 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 2 > 情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《1 3》－1 参照]

《4》－4 次世代大型低消費電力プラズマディスプレイ基盤技術開発【課題助成】[平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 2 > 情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《8》参照]

《4》－5 次世代大型低消費電力液晶ディスプレイ基盤技術開発【課題助成】[平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 2 > 情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《9》参照]

《4》－6 高機能化システムディスプレイプラットフォーム技術開発【F 2 1】【課題助成】[平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 2 > 情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《1 1》参照]

《4》－7 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発 [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：< 2 > 情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《7》参照]

《4》－8 マルチセラミックス膜新断熱材料の開発【委託・課題助成】[平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ②革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム《1》－3参照]

《4》－9 次世代光波制御材料・素子化技術【委託・課題助成】[平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ②革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム《1》－11参照]

《4》－10 低損失オプティカル新機能部材技術開発 [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ②革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム《1》－10参照]

《4》－11 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発【委託・課題助成】[平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ②革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム《1》－4参照]

《4》－12 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発【委託・課題助成】[平成18年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ②革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム《1》－9参照]

《5》先進交通社会確立技術

《5》－1 自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発 [平成15年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、複数年交付決定を行い、以下の研究開発に助成を実施した。

研究開発項目①「ハイサイクル一体成形技術」において、

- (1)「超高速硬化型成形樹脂の開発」では、CFRPの設計データベース構築を目的としてにおいて、力学的な基本物性データを取得した。また、樹脂の硬化メカニズム解明において、自動車材構造部材としてハイサイクル樹脂を実用化する場合の課題抽出及び硬化反応メカニズムおよび化学構造を解明するとともに樹脂の組成を机上検討した。
- (2)立体成形賦形技術の開発では、自動車構造部材に適する基材の形態を絞り込みをした。また、2次元基材を3次元に賦形する基礎実験、および基材固定による物性への影響を定量化した。

研究開発項目②「異種材料との接合技術の開発」において、

- (1)「スチール、アルミ等/複合材料接着技術の開発」では、接合強度試験機等の導入を行なうとともに、解体性接着剤のスクリーニングを実施した。また、接合部設計において、シートアンカー部の設計を行ない、試作したシートアンカー接合部の試験を実施し、設計および成形の妥当性を検証した。

研究開発項目③「安全設計技術の開発」において

- (1)「樹脂の動的解析技術の開発」では、静的条件で圧縮破壊する角柱の荷重-変位挙動を精度10%以内でシミュレーションできる解析モデルを構築した。
- (2)「スチール、アルミ等/複合材料ハイブリッド構造体の設計・解析技術の開発」では、接着剤層(接着剤層の非線形性)、及び金属の非線形性/塑性変形を考慮した3次元モデルによる、ハイブリッド部材の破壊解析モデルを構築した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「超ハイサイクル一体成形技術」

「超高速硬化型成形樹脂の開発」・CFRP の設計データベース構築において、部材設計の拠り所となる設計データの取得を開始した。・成形樹脂の開発において、部材設計の拠り所となる設計データ取得を開始した。・実証試験の対象部材となる、ドアパネルの形状設計を開始した。

「立体成形賦形技術の開発」・基材のカットパターンや構成を FEM シミュレーションにより決定し、ドアの自動賦形工程に目処を得た。・構造材料の基礎検討として、RTM 一体成形サンドイッチパネルの機械的特性・耐久性データ取得を開始した。・(拡幅多軸) 基材製造装置の調査・仕様を決定し、導入・組立・調整を行った。

「高速樹脂含浸成形技術の開発」・高速樹脂含浸のコンセプトを実証完了すると共に、ドアパネルを対象とする樹脂含浸時間 2.5 分の高速樹脂注入実証試験の目処を得た。

研究開発項目②「異種材料との接合技術の開発」

・疲労試験、耐環境性試験、組合せ応力下での接着強度を測定する強度試験を実施し、構造用接着剤の物性データベースを充実させた。・コキュア接着技術の開発において、試験片レベルでのコキュア接着モデル試験を実施し、その実用性を確認した。

・接合部設計において、ドア接合部の要求性能を明確化し、ドア接合部の設計を開始した。

研究開発項目③「安全設計技術の開発」

・角柱の動的解析技術の確立において、シミュレーション技術を確立すると共に、動的解析を開始した。・プラットフォームの 1 次設計を開始した。・アルミ/CFRP ハイブリッドインパクトビーム試験体の試作、衝撃試験を実施し、構成の最適化を図った。

研究開発項目④「エネルギー吸収技術の開発」

・大型自動車部材の衝撃試験が可能な試験機的设计・製作を完了した。

・CFRP ベルトを製作し、CFRP ベルトの性能評価を実施した。・多軸ステッチ基材を用いて引抜き成形による角柱を製作・試験し、動的エネルギー吸収量 100kJ/kg の目処を得た。

平成 17 年度は、東レ株式会社複合材料研究所長 佐藤 卓治氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ハイサイクル一体成形技術」においては、炭素繊維強化複合材料 (CFRP) を適用し、更に数分オーダーの成形サイクルを目的として、超高速硬化型成形樹脂、立体成形賦形技術、高速樹脂含浸成形技術を開発検討し、ドアパネル(プラットフォームの 1/3 大) を対象として、基材配置 1 分、樹脂含浸時間 2.5 分を達成し、従来の RTM 成形技術では達成し得ない成形サイクル時間 10 分を試作実証した。

研究開発項目②「異種材料との接合技術の開発」においては、大量生産型の自動車分野に適合可能で、しかも長期信頼性が確保できる環境に優しいスチール、アルミ等と樹脂の接合技術を目的として、構造用接着剤の物性データベースを充実させ、接合部の簡易解析モデル化、解析法を適正化し、その応用として自動車構造設計基準を満たすドア接合部の設計を実施した。また接合時間の短縮及び接合部の寸法精度確保のため、実車体組立に必要な接着工法に関し、具体的に検討を開始した。

研究開発項目③「安全設計技術の開発」においては、衝突後の変形や破壊をシミュレーションし、乗員への影響を定量化できる新規な軽量/安全設計・解析技術を開発し、エネルギー吸収技術を確立するために、「樹脂の動的解析技術」、「スチール、アルミ等/複合材料ハイブリッド構造体の設計・解析技術」、「エネルギー吸収技術」を開発し、プラットフォームの 1 次設計を完了した。

研究開発項目④「リサイクル技術の開発」においては、付加価値の高い樹脂 (CFRP) とスチール、アルミ等との分離技術、及び再加工程を開発し、5 分以内で分離可能な解体性接着剤を見いだすと共に、3 回以上リサイクル可能な樹脂製自動車部品の試作を実施した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ハイサイクル一体成形技術」

・平成 17 年度に開発した耐熱性ハイサイクル成形樹脂を改良し、平成 17 年度に引き続いて該樹脂 CFRP の環境・耐久性試験および疲労試験を実施した。さらに、耐熱環境下疲労試験装置ならびに自動車構造材劣化モニタリングシステムを導入し、耐久性評価の可能性を検討した。ハイサイクル成形樹脂 CFRP の設計データベース構築において、汎用ハイサイクル樹脂として技術確立するため、耐薬品性、耐候性などの環境・耐久性試験を継続実施し、部材設計の拠り所となる設計データを取得完了耐熱ハイサイクル成形樹脂が実用性のある成形性を有していることをパネルモデルを用いて試験実証した。

・平成 17 年度までに導入した多軸ステッチ基材製造装置群を用いて、ハイサイクル一体成形に適した新規基材の開発、試作を行った。自動化装置実証室において、自動基材裁断装置で最適形状に裁断後、立体賦形検討に供した。ドアパネルの自動立体賦形装置や賦形基材搬送装置を製作、設置した。それぞれ有効性をドアパネル成形プロセスで検証して、賦形・搬送工程の自動化基本技術を確立すると共に、成形品の取り出し・搬送までの自動化もモデル装置で基礎検討した。

・多孔板樹脂溜まり方式の改良検討を実施し、車体構造に適用予定のサンドイッチ構造体の一体成形法を検討した。プラットフォームの多孔板樹脂溜まり方式用の樹脂板の作製を検討するため、真空・圧空・賦形装置を導入し、作成可能性を検討した。最終成形品の寸法精度向上を目的に、高精度測定可能な 3 次元形状測定機を導入して、ドアパネル部材を用いた検証を開始し、賦形・成形方法の改良の指針を得た。

研究開発項目②「異種材料との接合技術の開発」

大量生産型の自動車分野に適用でき、しかも長期信頼性が確保できる環境に優しいスチール、アルミ等（金属）／CFRP 部材用の接合技術を開発した。

- ・平成 17 年度の長期暴露試験に引き続き、クリープ試験などを含む長期暴露試験（2 次）を実施し、構造用接着剤の物性データベースを完成させた。、ブラットフォーム接合部（サスペンション取付部）の設計を完了した。設計したブラットフォーム接合部が、最終目標である現行スチール同等以上の要求性能を満たしているか強度試験を実施し、設計および成形の妥当性を検証した。接着工法に関する情報の調査や、現状の接着工法による接着部の内部欠陥の有無を非破壊検査することによって該工法の問題点の抽出等を実施した。その結果を基に、自動車部材に適用可能な工法を絞り込むことによって適正な接着工法のコンセプトを確立し、短時間に欠陥なく接着剤を大面積に塗布可能な接着工程のプロセス設計を開始した。

研究開発項目③「安全設計技術の開発」

- 前面衝突、斜め衝突、及び側面衝突などの動的現象における CFRP 部材の変形やエネルギー吸収量を、金属部材と同等レベルでシミュレーション化可能とする解析技術の開発を実施すると共に、前面衝突でのエネルギー吸収量がスチール比 1.5 倍 (25kJ) を達成するブラットフォーム設計を開始した。
- ・実験結果とシミュレーション結果との整合性向上のための平成 17 年度モデル改良および追加試験を新たな仕組みで連携強化して実行し、目的達成の目途を得ると共に、エネルギー吸収量向上を目指して圧縮部材の形状検討を開始した。平成 17 年度モデルの改良および追加試験を実施して、衝撃負荷を受けるハイブリッド構造体の大変形および破壊挙動を精度 5 % 以内で予測可能な計算手法を確立するとともに、実物大ハイブリッド材の衝撃曲げ試験の結果を、解析モデル改良にフィードバックしてブラットフォームの設計に活用した。
 - ・ブラットフォーム／前面衝突に適する圧縮型エネルギー吸収部材の最適化を目的として、動的（時速 60km/h）エネルギー吸収 110kJ/kg の角柱創出のためのメカニズム解明と実証試験（3 次）を行い目標達成の目途を得た。
 - ・アルミ／CFRP ハイブリッド構造の解析手法を利用して、レインフォース部材の設計、試作を実施し、衝撃試験にて評価を行い、金属／複合材料ハイブリッド構造体の部材設計技術を確立した。車体構造体の設計及び CFRP 製衝撃吸収部材の試作を行って衝撃試験に供した。CFRP 車体による衝撃試験の結果を車体構造 2 次設計に反映して、最終年度に検証するブラットフォームによる軽量・安全性能の達成見通しを得た。

研究開発項目④「リサイクル技術の開発」

- リサイクルの基礎技術となる、部材を構成する付加価値の高い樹脂（CFRP）と金属とを分離する技術、ならびに再加工程を開発した。
- ・平成 17 年度の長期暴露試験に引き続き、長期暴露試験（2 次）を実施した。有力解体性接着剤を絞り込むと共に、解体性接着剤の適用可能部位の選定、効果的な適用方法を検討し、廃棄部品削減を目的としての部材のリユース可能性、およびサービス性向上を目的としての部材取替えの可能性を検討した。解体性接着剤の実用性を確立する目的で、改良解体性接着剤の開発を継続検討した。
 - ・成形工程と材料特性改善による環境負荷の低下を、平成 17 年度までに手法確立した対スチール競争力計算に取り入れて、環境負荷計算の精度向上を行い、開発グループへのフィードバックを行った。CFRP 粉砕片と樹脂を溶融一体化し、リサイクル材料の高性能化（2 次）の検討を行い、材料として 3 回以上リサイクル可能な条件を提示すると共に、航空機分野も含めた CFRP 廃棄物の再加工程適用方針を明らかにした。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「ハイサイクル一体成形技術」

- ・平成 18 年度までに確立した樹脂含浸技術並びに立体賦形技術を使って、ブラットフォーム（3m²）を試作した。賦形シミュレーション・含浸シミュレーションを実行し、ブラットフォーム成形において、成形サイクル時間 10 分を達成した。

研究開発項目②「異種材料との接合技術の開発」

- ・スチール、アルミ等と、繊維強化複合材料の接着において、-40～80℃で引張りせん断試験法で接着強度 20MPa となる接着剤を見出した。また、CFRP 自動車を想定した自動車部品において、アンカー強度を数値解析を用いて評価した。Tsai-Hill の破壊強度予測を用いることでシミュレーションの精度が向上した。自動車部材製造工程に適合した、短時間に大面積部位へ欠陥なく接着剤を塗布可能な接着工程の設計を完了した。

研究開発項目③「安全設計技術の開発」

- ・「③-1 樹脂（CFRP）の動的解析技術」については、圧縮型エネルギー吸収部材解析で予測精度 5 % 以内を検証した。また、パイプの積層をモデル化した解析を用いて、層間はく離の影響を評価した。
- ・「③-2 金属／ハイブリッド構造体の設計・解析技術」については、ハイブリッド構造体解析で予測精度 5 % を検証した。さらに、シミュレーションから、最適形状のアルミ梁を評価した。その結果、体積同等の場合、Ⅲ型のアルミが最適であることがわかった。さらに、本シミュレーションを基にした実験の結果、実験結果と解析は 10 % 以内の精度で一致した。
- ・「③-3 エネルギー吸収技術」については、台車実験にてエネルギー吸収量スチール費 1.89 倍を実証し、また、スチール比 51 % 軽量化を解析で検証した。

研究開発項目④「リサイクル技術の開発」

- ・易解体性を追及するべく、解体性接着剤の開発を行った。CFRP／金属において5分以内での解体を達成した。
- ・3回以上リサイクル可能なバッテリーブラケットを作製した。さらに、繊維の解繊と強度の影響を評価した。

《5》－2 革新的次世代低公害車総合技術開発 [平成16年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、公募により事業者を選定し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「新燃焼方式の研究開発及び燃料の最適化」

大型、小型エンジンを想定した単気筒エンジンの設計・試作が終了し、噴霧状況を可視化できる解析手法を適用しながらの燃焼試験を開始した。高圧噴射・過給・EGR技術の最適化をおこなうことで、従来の燃焼方式でNO_xとPMの排出量を低減することができた。また、予混合圧縮着火燃焼シミュレーターの仕様選定を行った。さらに、新燃焼方式に組み合わせる後処理技術の設計を実施した。特に、排熱回収機能を有する触媒コンバーターの効果をシミュレーションで検証した。

研究開発項目②「GTLを用いたエンジン技術の開発」

高セタン(70以上)をベースに3種類の燃料を製作して排気量4Lのエンジンに適用し、排気性能を通常の軽油の場合と比較評価し、全負荷性能に大きな差がなく、目標値に対しては未達であったものの排気の低減効果が見られた(NO_xは同等結果)。

研究開発項目③「革新的後処理システムの開発」

尿素SCRシステムとして、尿素的分解を低温領域で実施できる触媒種類の調査を実施し、200℃未満の温度で活性のあるものを発見した。尿素とNOとの比率と低減率との関係を把握した。また、アンモニアスリップの現象について確認をした。

NO_x吸蔵還元システムとして、低温活性タイプの新規な吸蔵還元触媒を試作し、効果の検証を行った。ナノサイズの触媒もあわせて試作し、比表面積を大幅に向上することが出来た。また、NO_x還元性能にNO/NO₂比が影響することを実験データで確認した。

DPFシステムの開発として、排ガス温度の低い条件下で再生効率を上げるために、プラズマアシスト型のDPFの設計を行い、効果検証を実施した。また、ナノサイズの触媒の試作を実施して大きさを調べた。プラズマ反応器の設計を完了し、電源・装置類の製作を開始した。電気化学的なNO_x・PM同時低減技術開発として、雰囲気温度450℃で固体電解質を通過する酸素イオンによってPMの酸化ができることを実験で検証した。NOの同時還元については、実験装置の基本設計を終えた。より、低温化を実現するために新しい固体電解質の選定を開始した。

研究開発項目④「次世代自動車の総合評価技術開発」

排ガスの希釈率と温度条件を変化させたときの測定データへの影響度合いを把握した。また、PM計測システムの構成技術について、そのシステムの設計を終了した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「新燃焼方式の研究開発及び燃料の最適化」

大型、小型エンジンを想定した単気筒エンジンを試作し、噴霧状況を可視化できる解析手法を適用しながらの燃焼試験を実施した。燃焼シミュレーションを利用して高負荷領域での新燃焼条件の最適化を進め、制御技術を決めた。また、カムレスバルブ駆動システムの試作を行った。小径ノズルと高圧噴射が新燃焼方式に適していることがわかり、群噴孔の有効性もわかった。

研究開発項目②「GTLを用いたエンジン技術の開発」

高セタン(70以上)をベースに3種類の燃料を製作して軽油と混合し、排気量2L～8Lのエンジンに適用した場合の排気性能を通常の軽油の場合と比較評価した。結果は、全負荷性能に大きな差がなく、PMの低減効果が見られた(NO_xは同等結果)。この結果をうけて、GTL燃料仕様(案)を策定した。

研究開発項目③「革新的後処理システムの開発」

尿素SCRシステムについて、尿素的分解を低温領域で実施できる触媒種類の調査を実施し、200℃未満の温度で活性のあるものを明らかにすることができた。また、尿素由来の未規制物質の排出データを取得した。

NO_x吸蔵還元システムについては、低温活性タイプの新規な吸蔵還元触媒を試作し、効果の検証を行った。ナノサイズの触媒も併せて試作し、加熱処理後も比表面積を維持できることが可能となった。また、低温でのNO_x除去性能に関して、中間目標を達成するラボデータを得ることができた。既存の触媒の弱点であった硫黄被毒について、新開発の触媒では被毒のないことを実証した。DPFシステムについては、排ガス温度の低い条件下で再生効率を上げるために、プラズマアシスト型のDPFの設計を行い、効果検証を実施した。プラズマ発生現象の解析により電極形状を最適化したプラズマ反応器を試作し、10～15モードでのPM除去率を測定した。また、SCR触媒と組み合わせた場合の影響をシミュレーションし、それぞれの配置方法、位置等についての最適値を得た。

研究開発項目④「電気化学的なNO_x・PM同時低減技術」

多孔質の固体電解質を用いてPMとNO_xの両方を除去できることを実証した。また、白金を使用しない電極の開発を行い、白金と同等以上の除去率が得られた。より低温化を実現するために新しい固

体電解質を選定して試作し、効果を検証した。

平成 18 年度は、中間評価では良い評価を得たが、一部計画を変更して継続すべきとのコメントを踏まえ基本計画・実施方針を部分改訂した。中間目標を 9 テーマともに達成の見込みで、一部前倒して目標を達成することができた。

研究開発項目①「新燃焼方式の研究開発及び燃料の最適化」

燃焼モデルを改良したエンジンシミュレータを利用して多気筒エンジンシステム仕様を設計した。

また、新燃焼方式に適した燃料仕様を示すことができた。

研究開発項目②「GTL を用いたエンジン技術の開発」

当初予定していた成果が得られたので、平成 18 年度で計画通り研究開発を終了した。

研究開発項目③「革新的後処理システムの研究開発」

尿素 SCR、NO_x 吸蔵還元、DPF 及びその他の新しいコンセプト（固体電解質を使った）の後処理システムそれぞれの評価を進め、実排ガスにおける浄化率の向上ができたが、低温での浄化率向上の課題が残った。

研究開発項目④「次世代自動車の総合評価技術開発」

個数基準計測法による PM 高精度計測・校正技術における大幅な精度向上ができ（3%以内の精度実現した）、平成 19 年度からの校正サービス開始の目途が立った（世界初の実績）。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「新燃焼方式の研究開発及び燃料の最適化」

最終目標達成を実証するための多気筒エンジンシステムをエンジンシミュレータにより検討し、単気筒エンジン試験による検証も実施し、平成 18 年度までに開発してきた新要素技術である「幾何学的高圧縮比+カムレス+超高压噴射、3 段過給+高効率 DeNO_x 触媒」の組み合わせが有望であることを実証した。また、平成 18 年度策定した最適燃料を用いて新燃焼方式の先進技術（カムレス&超高压噴射）評価を行い、低エミッション運転領域の拡大、低負荷時に燃費・排気が良好な、燃焼方式を実証し、多気筒エンジン用最適燃料改質指針を示すことができた。

二波長レーザー吸収散乱法解析プログラムを新しく開発し、燃料噴霧への空気導入の期待できる群噴孔の仕様を求めることができた。従来の予混合低温燃焼（PCCI）での課題（CO・HC の排出、燃焼騒音等）を解決し、かつ、低 NO_x・PM で燃費の良い新燃焼方式の条件を低負荷から中負荷まで見いだした。

研究開発項目②「GTL を用いたエンジン技術の開発」

平成 18 年度で終了。

研究開発項目③「革新的後処理システムの研究開発」

・尿素 SCR システム

プラズマ反応 2 段方式によるプラズマアシスト選択的触媒還元を開発、基礎評価を実施し、排ガス低温（150℃にて NO_x 低減率 44% に到達できた。

低温活性の向上及び能力向上を狙った前段 DOC 及び SCR 触媒容量増量 SCR 触媒システムを試作、機能評価を実施し、SCR システム単独で目標浄化率 90% を達成した。また、昨年度までのすす酸化モデルに NO 酸化反応を新たに加えることでモデル精度向上が図れた。

・NO_x 吸蔵還元システム

シングルナノ触媒は、実排ガス評価に用いるフルサイズハニカム触媒製造のため中量生産を行い、少量生産と同等物性を有することを確認した。また、優れた耐硫黄被毒性能を確認した。メゾポーラス触媒粉末をコアハニカム触媒化し、その浄化性能を確認した。

また、CO-SCR に NH₃-SCR の複合型触媒システムを検討し、最適な複合化触媒の抽出と配置の最適検討を実施した。

・DPF システム

新たに PM 捕集機能と良好な放電空間の特性を有するハイブリッド型プラズマ反応器を開発、試作し、10-15 モード走行の排ガス評価を実施。PM 最終目標をクリアできた。（0.0039g/Km 目標 0.005g/Km）また、反応器圧損も目標をクリアできた。また、PM 酸化の影響要因、組成変化及びプラズマ反応器中の PM 挙動を解析し、プラズマ PM 除去メカニズムを解析した。

・電気化学的な NO_x・PM 同時低減技術

実排ガスを用いた多孔質固体電解質による PM・NO_x 同時低減効果を確認した。PM は目標達成の見込みがしたが、NO_x 低減効果は不十分。GDC を電解質とした低温作動型セルを開発し、反応温度 300℃で 50% の NO_x 分解率を得た。

研究開発項目④「次世代自動車の総合評価技術開発」

過渡 PM 個数濃度計測法の評価試験準備はでき、過渡 PM 成分計測法も目標感度をほぼ達成できた。また、PM 高精度計測・校正技術については、一次標準器が完成し、国内校正サービスも開始できた。来年度の最終総合評価に必要な計測技術はほぼ準備完了できた。また、尿素 SCR の健康影響を調査するために、実験用小動物（ラット）を用いた尿素 SCR エンジン排ガスの短期間吸入暴露試験を実施し、従来エンジンと比べて概ね軽減されていることを確認できた。

研究開発項目⑤「バイオマス燃料利用に関する動向及び技術課題の調査」

バイオディーゼル燃料や DME（ジメチルエーテル）のディーゼル燃料への適用について、NEDO の過去に実施した報告書及び他の研究事例の調査によりそのポテンシャルを把握し課題を整理できた。

なお、平成 18 年度に実施した中間評価における「各テーマの進捗を見定めた上で研究成果を総合化して最大の効

果をあげるため、エンジン燃焼・燃料・後処理の技術連携を一層推進していただきたい」との指摘に対応して、コンピュータシミュレーションによるエンジン燃焼と後処理チームの各技術要素の統合・連携を図るなどナジー効果をだすべく運営を行った。また、「開発目標の評価について、JE05、JC08 だけでなく、オフサイクル対策の観点から、多様な試験モードでの排ガス浄化性能についても検討・確認することが肝要である。」との指摘に対応してオフサイクルの議論を行った。

《5》－3 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発【課題助成】[平成 15 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<3>環境分野 ⑥民間航空機基盤技術 民間航空機基盤技術プログラム《2》参照]

《5》－4 カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ①ナノテクノロジー ナノテクノロジープログラム《2》－3参照]

6. 世代省エネデバイス技術

《6》－1 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発【課題助成】[平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《1》参照]

《6》－2 マスク設計・描画・検査総合最適化技術開発 [平成 18 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《4》参照]

《6》－3 次世代半導体材料・プロセス基盤技術 (MIRAI) プロジェクト【F 2 1】 [平成 13 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《3》参照]

《6》－4 極端紫外線 (EUV) 露光システム開発プロジェクト【F 2 1】[平成 14 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《6》参照]

《6》－5 ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 ー窒化物半導体・エピタキシャル成長技術の開発 [平成 19 年度～平成 23 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ①ナノテクノロジー ナノテクノロジープログラム 《1》－1参照]

《6》－6 半導体アプリケーションチッププロジェクト

《6》－6－1 情報家電用半導体アプリケーションチップ技術開発【F 2 1】【委託・課題助成】[平成 17 年度～平成 21 年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《3》参照]

グラム《10》-1参照]

《6》-7 パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発 [平成18年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《2》参照]

《6》-8 次世代高度部材開発評価基盤の開発【課題助成】 [平成18年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ②革新的部材創製技術 革新的部材産業創出プログラム《1》-8参照]

《7》その他

《7》-1 高度機械加工システム開発事業【F21】【委託・課題助成】 [平成17年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<6>新製造技術分野 ①新製造技術 新製造技術プログラム《2》参照]

《7》-2 エコマネジメント生産システム技術開発【F21】【課題助成】 [平成17年度～平成21年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<6>新製造技術分野 ①新製造技術 新製造技術プログラム《3》参照]

《8》産業部門

《8》-1 バイオプロセス実用化開発 [平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ②生物機能を活用した生産・処理・再資源化プロセス技術 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム《7》参照]

《8》-2 生分解・処理メカニズムの解析と制御技術開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<1>ライフサイエンス分野 ②生物機能を活用した生産・処理・再資源化プロセス技術 生物機能活用型循環産業システム創造プログラム《5》参照]

《9》民生部門

《9》-1 フォトニックネットワーク技術の開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《14》参照]

《9》-2 次世代FTTH構築用有機部材開発プロジェクト【F21】【課題助成】 [平成16年度～18年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、当該プロジェクトの公募手続きを、平成16年3月19日に公募を開始、平成16年4月19日に公募を締め切り、平成16年6月2日に選定結果の通知を行った。

以下の実用化開発を支援した。

研究開発項目①「高機能プラスチック光ファイバー(POF)の開発」

1) 新材料(フッ素系新ポリマー等)の開発

POF の伝損失 10dB/km 以下を達成するための理論的解析を行い指針を得た。上記指針を満足する新規高 Tg ポリマーを 2 種見出し、試作を実施。併せて既知ポリマーで有力な候補材料を見出した。上記指針を満足する新規ドーパントを 1 種見出した。種々の新規ドーパント試作実施。

2) 連続押出技術開発によるマルチコア POF の開発

低曲げ損 POF としてマルチコア GI-POF の試作実施。屈折率 1.337 以下の材料をダブルクラッド層に用いると、目標の曲げ損を達成する可能性を確認した。

研究開発項目②「有機光回路部材の開発」

1) 実装構造を取り込んだ光導波路作製が可能な簡便な技術の開発

デバイス設計に必要な光線追跡法、多層膜フィルタ特性計算プログラムを作成、マルチモードデバイス用シミュレータ作成。初年度の平成 16 年度は大口径マルチモード光導波路の設計、作製を実施。マルチモード光導波路の低コスト実装については、モノリシック実装のための曲げ導波路の設計、評価項目の検討、低コストピグテール化の具体的手法を検討し提案。水平光回路からの光垂直取り出し回路設計では、曲げによる方式の基礎実験ならびにシミュレーションによりマルチモード導波路での設計検証。コア材、コア径、コアの壁面荒さをコントロールした導波路を短時間に作製できた。自己形成導波路技術では、コア径 700 μm の大口径光導波路の低損失化に目処をつけ、損失約 0.1dB/cm を達成した。溶液注入からピグテールデバイス完成まで要する時間が約 10 分程度に短縮。レーザー直接加工法による検討では、コア系の拡大検討を行い、工法の工夫により 200 μm \times 80 μm を加工可能。レーザー照射により、損失を増大させることなく屈折率を上昇可能とできるポリイミド構造を見出した。LMM 法の検討では、120 μm の大口径導波路の作製可能性を得た。導波路デバイス（フィルム）の耐熱性が 150 $^{\circ}\text{C}$ 10 秒の最終目標値を達成。信頼性において最終目標の達成可能性を得た。

2) 有機光回路の評価基準確立

簡易チップ及び簡易評価法開発のため、マルチモードの基礎特性評価を行うと共に、PD スライディング法による簡易ロス評価及び導波路壁面簡易評価の基礎検討を行った。簡易評価チップに関してはコア径 50-700 μm の各種平行導波路の標準チップを作成し、これらを用いてマルチモード導波基礎特性の検討を行った。シングルモード光入射角度と励起モードとの関係、モードノイズの基礎特性等検討した。簡易評価法の検討では、PD スライディング法に関して取得したデータを解析、検討を行い有効性の範囲について知見を得ることが出来た。導波路壁面状態の簡易評価法に関しては、低次及び高次の入射モードを用いることにより壁面状態を評価できる目処を得た。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高機能プラスチック光ファイバー（POF）の開発」においては、新材料の開発として新ドーパントとして、含塩素フッ素系アルカン類を使用し、損失 9dB/km 達成した。新ポリマーとして、新規環状フッ素系ポリマーが高 Tg かつ、ダブルクラッド材として有力であること判明した。そのポリマーを用い、損失 24dB/km、曲げ損失 R5 で 0.1dB 達成。併せて高帯域(5Gbps)確認した。低コスト可能な新規重合技術の開発に成功。低コスト型パイロット重合装置を導入した。フッ素樹脂に対して、高相溶性かつ高屈折率である 2 種の新規ドーパント合成成功（特許出願中）した。連続押出技術開発による高機能 POF の開発として小型連続押出装置導入し、本装置により高帯域 POF(10G100m 伝送)試作実施した。マルチコア GI-POF の押出試作実施し、127 心マルチコア POF 試作に成功した。損失 48dB/km、曲げ損 R5 で 0.2dB を得た。

研究開発項目②「有機光回路部材の開発」においては、光導波路損失簡易評価法として、45 $^{\circ}$ カットにより光路長を変える検討を行い、カットバック法に比べて約 1/10 の測定時間短縮を達成し、従来、カットバックにより測定した損失データと同じ高精度の測定結果を得た。壁面粗さの異なる光導波路により、モード別入射による簡易壁面評価技術の検証を行い、表面粗さとモード別損失の関係を明らかにした。

BPM プログラムと自作した光線追跡プログラムを活用し、次世代 FTTH ネットワークで必要となる、2 波 WDM 用合分波素子設計・試作、1 芯双方向素子試作を行い、損失 3dB 以下と良好な結果を得ている。また、4 分岐器の設計・作製を行い過剰損失 3dB と良好な結果を得ている。

POF を用いたマンション構内ネットワーク構成、およびそのネットワーク構成に必要な光回路部品とその損失許容値を提案した。提案にあたって、必要な光回路部品を作製し、その損失や接続マージンを実測することにより提案値に無理がないことを確認した。低コスト実装については、実測したマージンを満たす効率的な製造法を提案した。

水平光回路からの光垂直取り出し回路設計に関しては、曲げによる方式の試作検証の結果、目標値である特性（帯域 2.5Gbps、波長 850nm、780nm (VCSEL)、曲げによる損失 1.5dB 以下)を達成した。光回路と光受発光素子との無調芯光結合設計に関しては、有機導波路収納 MT 型コネクタを想定した構造による検証を行い作製が可能であることを確認した。弊社提案の高次モード簡易励振についてその有用性の検証を行い、伝播モードによる伝播損失が導波路側壁の粗さと関連するという知見を得た。

直接露光法及びソフトリソグラフィ法が導波路作成プロセスとして最適であることを見出した。ソフトリソグラフィ法での評価用デバイス作製の検討を行い、ダイシング及びマイクロディスペンサを使用した導波路作成法を新たに考案（特許 2 件出願済）した。その技術を用いてコア 2 壁面の壁面粗さを 200 \AA ~2000 \AA の間で制御した導波路を作成し、壁面粗さと導波損失との関係が定量的に解析できた。また、導波路の信頼性試験での損失増大原因として材料及び導波路構造（壁面粗さ）の 2 つの要因を分離できる道筋を立てた。一方、開発済みのフッ素化ポリイミドを改良し、850nm において

0.3dB/cmの導波路を作成できた。

自己形成導波路技術では、コア径 700 μm の大口径光導波路の低損失化を達成した。光ファイバ接続損失を含む 14mm 長の直線導波路挿入損失は波長 525~850nm において 0.14dB 以下であり、実装状態での伝送損失 0.1dB/cm を達成した。また、高生産性を実現するためにプロセスの改良や双方向照射による『光はんだ現象』を利用することにより溶液注入からピグテールデバイス完成まで要する時間が約 260 秒程度に短縮でき、目標 5 分以内を達成した。さらに、この方法により導波路の位置精度を 10%以内で安定させることが可能となった。高温信頼性についても着手を行い、85°C85%の湿熱環境下で 1000 時間以上の耐久性を実現した。量産化検討においても、受発光素子を実装した導波路形成「筐体レスクラッド置換法」によりデバイス作製時間を短縮し目標 5 分以内を達成。且つ、位置精度 10%以内にする仕様を固めることが出来た。

LAMM 法導波路技術では、コア径 120 μm 以上の大口径光導波路として、波長 850nm 以下の可視光域における伝搬損失値 0.06dB/cm(最終目標値 0.1dB/cm 以下)、耐熱性 150°C 10 分の耐久性確認(最終目標値 10 秒)を実験的に実証し、導波路作製法の仮決定を確認した。長期信頼性は、高温高湿信頼性(85°C-85%RT) 1000 時間の評価は伝搬損失変化量が 0.1dB(最終目標値 0.3dB 以下)、高温信頼性(100°C Dry) 1000 時間の評価では、伝搬損失変化量が 0.1dB(最終目標値 0.3dB 以下)となり、長期信頼性の確保を実証した。また、分岐導波路の基礎的な検討活動を追加し、分岐による光過剰損失 0.5dB/cm(最終目標値 2dB)も実証した。尚、有識者による進捗状況ヒアリングにおいて、ポリマー光回路を低コストに作製する技術の一つとして、レーザー直接加工技術は、目標未達のため、平成 18 年度 1 月以降中止とした。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

①高機能プラスチック光ファイバー (POF) の開発

平成 17 年度までの研究成果を更に発展させ、事業化に資する高機能 POF(低伝損、低曲げ損、低コスト)の目処をつけた。

1) 新材料(フッ素系新ポリマー等)の開発

ダブルクラッド POF およびマルチコア POF 用の新ドーパントおよび新ポリマーを試作した。本新材料を用いた高機能 POF を試作し、低コスト化の目途を得た。

2) 連続押出技術によるマルチコア POF 及びダブルクラッド POF の開発

新規連続押出装置を設計、導入し、本装置による高機能 POF の試作を実施し、低コスト化の実証を行った。また新重合法のパイロット設備も導入し、連続重合を行うことにより低コスト可能である事を確認した。開発した新規高性能ダブルクラッド POF で曲げ半径 5mm における損失の増加が 0.2dB 以下、伝送損失値 10dB/km 以下を達成し目標値をクリアすることができた。また POF を用いた FTTH 用商品群の開発(ケーブル等)を行い、FTTH 用モデル施工および耐久評価の試験を実施し実用化の目途を得た。またフッ素系 POF の IEC 国際規格化を行った。なお FTTH 用商品群の開発および国際規格化は追加課題として取り組み成果をあげた。

②有機光回路部材の開発

1) 実装構造を取り込んだ光導波路作製が可能な簡便な技術の開発

FTTH で必要とされるデバイスである大口径のルキナに対応した 4 分岐器、分波器(導波路、フィルタ位置の詳細設計)等の試作と特性最適化を行い、2 波長分波器を設計、作製し、次世代 FTTH 用ネットワーク構成の仕様を満足することを確認した。また、2.5Bps の映像信号伝送デモも行った。

低コスト実装については、マルチモードの高い位置ずれ許容値と、プラスチックの高い加工性を利用した、簡易実装技術の検証を行い、割りスリーブタイプの簡易実装法を提案確立した。また、新規簡易分波器を設計開発した。水平光回路からの光垂直取り出し回路設計において、光路変換方式を用いた送信機および受信機を想定した光部品の試作を行い、帯域 2.5Gbps、波長 850nm 帯、曲げによる損失 1.5dB 以下を達成した。

自己形成導波路技術では、コア径 120 μm の導波路安定形成技術の確立と伝送損失の低下を進めることにより、WDM デバイスとしての挿入損失 3dB 以下を達成した。また、プロジェクトで決められた信頼性仕様を満たす材料系とデバイス構造を確立し、波長選択フィルタや光ファイバーを実装した状態での高信頼性化を達成した。伝送損失 0.1dB/cm 以下、85°C85%で 1000 時間の耐久性を実証した。また、3 波長多重デバイスの高精度形成と実装&簡易評価が一連で行なえる高生産性装置の開発を行い、2.5Gbps の伝送デモを行った。

LAMM 法機能性高分子光導波路の作製検討を行い、ONU に適合した導波路作製プロセスの改良や適正化を行った。650-900nm の波長において、伝送損失 0.06 dB/cm、85°C85%で 2000 時間の耐久性を実証した。以上、2 種の簡易低コストな新規光回路作製技術を確立した。

2) 有機光回路の評価基準確立

簡易評価チップに関しては、実装構造も取り込んだ簡易評価法の開発を行い、画像認識法により実装も含んだ簡易評価技術を確立した。従来評価法に比べ評価時間 1/10 の簡易評価法を確立した。評価基準の確立に関しては、マルチモード導波路の標準評価法を確立し、マルチモードポリマ光回路の評価基準を策定した。規格化に関しては、基準認証プロジェクトの提案に結びつけた。

③有機光回路パッケージング技術の開発

1) 光源、受光器、光導波路を一体パッケージング可能な熱エンボス技術の開発

光導波路素子と光部品を一体接合できる光導波路加工を可能とする、レーザー励起重合による高位置合せ精度かつ簡便な光導波路加工技術を開発、試作し、本熱エンボス技術を確立した。また、光機能等を有する部品と光導波路の一体接合化技術を確立し、低損失な複合導波路を試作した。

《10》運輸部門

《10》-1 自動車軽量化のためのアルミニウム合金高度加工・形成技術 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高成形性自動車用板材料の開発」においては、温間圧延プロセスをシミュレートする温間加工シミュレーターにより温間圧延最適加工条件を検討し、その条件で温間圧延を実施した。また、温間異周速圧延機では、適切な剪断変形を与える異周速圧延条件の検討を行なった。中間目標値である r 値 >0.9 達成の目処を得た。

研究開発項目②「アルミニウム/鋼ハイブリッド構造の開発」においては、接合技術分野では、スポット溶接法、MIG溶接法、超音波溶接法を用いてハイテンを含む各種鋼とアルミニウムおよび各種アルミニウム合金の接合試験を行ない、中間目標値に達する強さを有する接合部が得られた。異種金属での腐食防止についても、下地処理と塗装により防止可能であることを確認した。また、評価解析技術分野では、実構造体の接合部を想定した解析モデルを構築し十分な精度のシミュレーションが可能であることを検証するとともに、簡易型ハイブリッド構造体の試作とその強度評価を行った。

研究開発項目③「高信頼性ポーラスアルミニウム材料の開発」においては、連続発泡処理、凝固処理技術及び粉末冶金法を利用してポーラスアルミニウムの気泡の微細均一化、気孔率制御、母材強度向上を行い、中間目標であるエネルギー吸収量 5kJ/kg なる高機能化を達成した。又ポーラス複合体の衝撃エネルギー性能に関するデータベースを構築、整備するとともに、三次元複雑形状における破壊挙動の実測およびモデル解析により、衝撃エネルギー性能を予測できる技術を確立し、実フレーム部材への適用を可能とした。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高成形性自動車用板材料の開発」

- ・温間異周速圧延で、コイル圧延による圧延条件検討を行ない、圧延率をさらに上げることにより r 値 1.1 を達成した。また、熱処理条件の基礎データ取得を完了した。
- ・ r 値を維持しつつ強度を向上させる検討では、多段熱処理プロセスにて高BH性を実現し、目処を得た。
- ・熱処理条件の基礎データ取得を完了し、データベース化した。
- ・板材料の特性評価として、成形性および曲げ性評価方法を確立した。
- ・温間圧延技術において、圧延集合組織を維持できる合金組成・溶体化処理条件等を明らかにし、平均伸び $=4\%$ 向上、 Δr 値半減させた。また、 r 値を維持しつつ強度を向上させる技術について検討し、Al-Si-Mg系合金の複雑な時効挙動が解明できる見通しを得た。
- ・高精度モニタリング装置を導入し、データ取得可能な状況を構築した。
- ・ r 値に寄与しやすい結晶方位の有無について検討し、等速工程のみの場合よりも Δt 値低減・伸びが向上することを確認した。

研究開発項目②「アルミニウム/鋼ハイブリッド構造の開発」

- ・表面改質等の検討を行い、開発に目処を得た。
- ・スポット溶接法の改善で、平均剥離強度約 1.1kN/spot まで強度を改善した。
- ・ $1\sim 1.5\mu\text{m}$ 程度の薄いIMC(接合界面の化合物)を広範囲に生成することで接合強度を向上・安定化でき、また、IMCの成長抑制に鋼材中のSi等の成分が作用していることを突き止めた。
- ・異種金属接触腐食防止技術で、接合材同士の電位差を極力小さくするためにZn系めっき法と接合部を遮断する方法に絞り込んで実験を開始した。
- ・接合の安定化等改良を実施し、Al合金/鋼ハイブリッド板材の製作を行った。
- ・FEMモデルを開発し、接合部応力を解析することによって、必要な接合強度や構造体全体の破壊挙動を予測する技術を開発した。
- ・落錘試験装置にて、衝撃特性を評価解析する技術を開発した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高成形性自動車用板材料の開発」

- ・温間異周速圧延の平均 r 値 1.27 を達成した。
- ・オンライン塗油装置とブラシロールを使用し、従来よりも均一な表面品質が得られた。
- ・温間異周速圧延材は、通常圧延材と同等の密着曲げが可能であったが、若干の肌荒れが生じた。
- ・温間域での絞り成形性を評価した。
- ・成形性評価を行うための部材評価装置を導入し、開発材のプレス成形可否検討を開始した。
- ・潤滑性能評価装置の開発を行った。
- ・自動車用材料として高成形性と高強度特性に優れた合金の創製中である。
- ・温間異周速圧延材のバークハード(BH)性は従来材より低く、溶体化処理温度や予備時効条件を最適化で改善された。
- ・結晶粒ごとに引張変形時の方位変化とひずみ量を調査し、実際の変形量が初期結晶方位に依存した。
- ・陽電子消滅法および3D-アトムプローブ法を用いて時効析出挙動を解明した。

- ・温度及び板厚の非接触モニタリング試験を実施した。
 - ・平均 r 値と限界絞り比は正の相関関係にあった。
- 研究開発項目②「アルミニウム／鋼ハイブリッド構造の開発」
- ・点接合、線接合ともに自主目標値を達成した。
 - ・接合性に優れた鋼材等の材料設計指針を提示した。
 - ・異種金属接触腐食防止技術として、接着の併用と亜鉛めっき鋼板の活用を抽出した。
 - ・ルーフとフロントサイドメンバに関して軽量化率 40%を達成する目途を得た。
 - ・接合部を含むルーフ構造体の試作と評価を行った。
 - ・接合部特性予測手法に関する研究を行った。
- 研究開発項目③「高信頼性ポーラスアルミニウム材料の開発」
- ・エネルギー吸収量最終目標 8kJ/kg 達成の目処を得た。
 - ・1m 超の中・長尺複雑形状型発泡体の試作した。
 - ・ピラー等では、アルミ型材で曲げ剛性、曲げ強度が 2～3 倍に向上することを確認した。
 - ・機械的特性影響因子の解明やデータベース化した。
 - ・複合部材化を行い、機械的特性に及ぼす影響を把握し、複合部材の性能予測技術を高度化した。
 - ・数値解析を行い、強度低下欠陥判定技術を蓄積した。
 - ・ポーラス内部立体構造の観察、可視化を可能とした。
 - ・破壊原因の特定とメカニズムの解明を行い、破壊抑制策を提示した。
 - ・構造データと機械的特性の相関を明確にした。
 - ・再利用材を原料としたプリカーサーの発泡現象を観察し、発泡挙動や機械特性に及ぼす影響を把握した。
 - ・成果を国際学会 MetFoam2005 に発表、展示した。
- 平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。
- 研究開発項目①「高成形性自動車用板材の開発」
- ・500mm 幅の温間異周速圧延材において平均 r 値 1.2 を達成。他の特性もほぼ従来材並みだった。
 - ・500mm 幅のコイルを温間異周速圧延で製造する技術を確立した。
 - ・角筒絞り及びフェンダーモデル型を用いた成形性評価試験で温間異周速圧延材の成形性が従来材より優れていることを確認した。
 - ・アルミニウム板材のプレス加工様式としてサーボプレスによるプレスモーション制御及び／またはしわ押え圧制御を提案した。
 - ・高性能モニタリングシステムとして、レーザー超音波法により温度及び板厚をオンラインで計測する技術を開発した。
 - ・恒温制御圧延した 5083 合金は温間成形性に優れ、強度も高いことを確認した。
 - ・板断面の ODF から r 値を高精度予測する技術を開発し r 値と深絞り性に相関があることを確認した。
- 研究開発項目②「アルミニウム／鋼ハイブリッド構造の開発」
- ・ルーフ及びフロントサイドメンバに適した接合プロセスを提案し、それぞれの接合の推奨条件を提示した。
 - ・接合界面の IMC 厚さの適正値を明らかにし、添加成分等の効果についても検証した。
 - ・異種金属接触腐食防止対策として、亜鉛めっき、シーリング等を提案し、おおよそ 10 年の耐久性があることを示した。
 - ・ルーフモデル、フロントサイドメンバモデルを試作し、現状の技術以上の強度があることを確認した。
 - ・継ぎ手構造等の強度データを蓄積し DB とした。
 - ・強度及び衝撃特性のシミュレーションを行った
- 研究開発項目③「高信頼性ポーラスアルミニウム材料の開発」
- ・中・長尺の複雑形状型発泡体としてセンターピラーモデルを試作し、製造条件を確立するとともにレインフォース省略の可能性を示唆した。
 - ・連続発泡体の製造技術を確立した。
 - ・ポーラスアルミニウムの特性支配因子として気泡径に着目し、品質保証方法として巨大気泡径の存在確率を明示し、密度管理での品質保証を提案した。
 - ・クラッシュボックスモデルにおいて接着、圧入の効果を検証した。また、FEM により性能を予測できることを示した。
 - ・ポーラスアルミ合金の固溶析出状態を確認した。破壊に至る因子を明らかにし、抑制策の指針を得た。
 - ・リサイクル材として切削屑からプリカーサーを作成する方法を開発し、粉末からのプリカーサーと同等なことを確認した。

《10》－2 環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、700℃程度で 90%/パスと同等の歪蓄積効果を実現できる革新的な歪蓄積技術プロセスを開発する観点から、粗加工工程での静水圧高速鍛造大歪加工技術、仕上加工工程での超高速多段仕上加工技術、仕上後加工工程での複合歪付与技術に取り組み、個別に実証試験装置を設計・製作し、随時データ収集を行った。

研究開発項目②のうち、スーパーサーメットロールについては、各種層構造でのせん断応力測定を実施した。超微細炭化物分散型ロールについては、各種条件での材料を製作し特性評価した。潤滑技術については、グリースペース潤滑剤及び液状コロイド系潤滑剤の 2 分野において各種潤滑剤の摩擦係数制御の可能性等を評価した。

研究開発項目③については、少なくとも溶接部及び熱影響部の極小化または接合温度の極低温化する必要があることから、前者としての母材冷却等を組み合わせたレーザー接合、後者としての低温拡散接合、その中間的な手法としての摩擦攪拌接合において、溶接部強度を中心にデータ収集した。

研究開発項目④については、マクロプロセスモデル⇄ミクロスケール

モデル⇄ナノスケールモデルを連結したマルチスケールモデリングを採用し、工業生産時のプロセス設計に利用できるツールを完成させることを目指し、個別要素技術の研究開発に着手した。

また、実用化を加速するために自動車鋼材としての適合性の評価を追加して実施した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高度大歪加工技術」については、700℃程度で 90%/パスと同等の歪蓄積効果を実現できる革新的な歪蓄積技術プロセスを開発する観点から、粗加工工程での静水圧高速鍛造大歪加工技術、仕上加工工程での超高速多段仕上加工技術、仕上後加工工程での複合歪付与技術に取り組み、個別に実証試験装置を設計・製作し、随時データ収集を行ってきた。平成 16 年度終了時点では、各工程における超微細粒鋼化に及ぼす影響が把握でき、その方向性が明らかとなる見込みである。

研究開発項目②「革新的ロール・潤滑技術」のうちスーパーサーメットロールについては、耐面圧性 2500MPa を確保するため、各種層構造での引張り強度；1000MPa 以上が確保出来る技術的確立を果たした。また、超微細炭化物分散型ロールについては、耐摩耗性向上（現状のセミハイスロールの 5 倍）を達成した。潤滑技術については、グリースペース潤滑剤及び液状コロイド系潤滑剤の 2 分野において各種潤滑剤の摩擦係数制御研究を推進。摩擦係数制御として 0.4~0.1 間の制御技術のめどが得られた。

平成 16 年度までの 2 テーマの研究成果をもとに、研究計画に沿ってテーマの絞り込みを検討し、スーパーサーメットロールおよび液状コロイド系潤滑剤の研究を継続することで決定した。

研究開発項目③「革新的接合技術」については、少なくとも溶接部及び熱影響部の極小化または接合温度の極低温化する必要があることから、前者としての母材冷却等を組み合わせたレーザー接合、後者としての低温拡散接合、その中間的な手法としての摩擦攪拌接合において、溶接部強度を中心にデータ収集である。平成 16 年度時点では、小試験片で、それぞれの接合方法の超微細粒鋼に対する有効性が確認でき、接合条件等検討の方向性が明らかとなった。

研究開発項目④「計算科学を応用した大歪加工モデル」については、マクロプロセスモデル⇄ミクロスケールモデル⇄ナノスケールモデルを連結したマルチスケールモデリングを採用し、工業生産時のプロセス設計に利用できるツールを完成させることを目指し、個別要素技術の研究開発に着手した。平成 16 年度では、歪速度 300 (1/sec) という世界初の高歪速度試験機の設置を行い、シミュレーションモデルの高精度化のための組織形成機構解明の新しい研究段階に入った。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成 16 年度中間評価を実施し、その結果を適切に反映した。

平成 17 年度は、高度大歪加工技術について、700℃程度にて 90%/pass と同等の歪蓄積効果を実現すべく、粗加工工程での静水圧高速鍛造大歪加工技術、仕上加工工程での超高速多段仕上加工技術、仕上後加工工程での複合歪付与技術に取り組み、個別に実証試験装置を設計・製作し、データ収集を行った。平成 17 年度には金属組織の精密制御を目的とした加熱炉や圧延直後部材冷却能力増強等の設備を導入し、年度終了時点では各工程におけるプロセス条件の粒径の超微細化に及ぼす影響を把握し、200mm 幅超微細粒鋼板を用いた 2 次加工部材試作試験を推進している。

革新的ロール・潤滑技術については、スーパーサーメットロールにおいて耐面圧性 2,500MPa を確保するため、各種層構造での引張り強度；1,000MPa 以上を確保出来る技術を確立した。また潤滑技術については、液状コロイド系潤滑剤において摩擦係数の制御に関する検討を進めた結果、0.4~0.1 間に制御できるめどが得られた。

革新的接合技術については、溶接部及び熱影響部の極小化または接合温度の極低温化の観点からレーザー接合、低温拡散接合、摩擦攪拌接合の各々において、溶接部強度を中心にデータを収集した。また 2 次加工部材試作に開発対象を広げ、大型接合設備を導入して年度末より大型試験片での接合条件の検討に着手した。

計算科学を応用した大歪加工モデルについては、マクロプロセスモデル、ミクロスケールモデル及びナノスケールモデルを連結したマルチスケールモデリングを採用し、工業生産時のプロセス設計に利用可能なツールを完成させることを目指した。歪速度 300 (1/sec) の高歪速度試験機を活用しシミュレーションモデルの高精度化のための組織形成機構解明の研究を推進した。

平成 18 年度は、高度大歪加工技術で、静水圧高速大歪加工、超高速多段仕上加工、複合歪付与の各プロセス技術条件について引き続き検討を行い、1.2~1.5t、300w のサンプル鋼板製作に成功、各々の生産時プロセス条件及び実機設計仕様を提示した。

革新的ロール・潤滑技術では、引張強度 1,000MPa を越える φ620 スーパーサーメットロールの試作に成功の他、優れた耐焼付性を確認した。また液状コロイド潤滑剤では熱間圧延評価試験機及び超高速多段圧延試験機において圧延時の摩擦係数とその挙動を評価し、目標とする性能が得られていることを確認した。

革新的接合技術については、低温拡散接合、FSW、レーザ接合のいずれにおいても接合強度、靱性、疲労強度において目標値或いはそれ以上のレベルを得た。

計算科学を応用した大歪加工モデルでは、ミクロスケールモデル、ナノスケールモデルに対する検討を継続、金属組織形態と粒径の実測データとの整合性を高め、マイクロマクロ錬成モデルでは圧延負荷/粒径予測精度は $\leq 20\%$ と、目標を達成した。またこれらモデルを用いたシミュレーションにより高速鍛造機、多段圧延機、複合歪付与機の各装置について実機の基本仕様を提示した。

また試作した超微細粒鋼板を用いて、接合やプレス加工を含めた2次加工部材試作試験を行い、自動車用部材としての可能性を実証した。

その他大手自動車会社から委員の派遣を頂き、自動車用材料検討委員会を2回/年開催、将来想定されるユーザーとしての立場から有意義なご意見を頂いた。

《10》-3 低摩擦損失高効率駆動機器のための材料表面制御技術の開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、複数年契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「潤滑膜の構造・特性及び生成機構の解明のための評価・解析技術に関する研究」トライボロジー特性と境界潤滑膜の関係を把握する上で不可欠な境界潤滑膜性質の評価方法として TOF-SIMS 等を用いた分析技術、生成機構の評価方法、表面降伏領域計測による接触機構評価方法等、主要な8件を確立した。小型サンプルを用いた摩擦摩耗試験機による評価方法では摺動面、境界潤滑膜および摩耗量を実機あるいは実機模擬試験機と比較し、試験条件を修正した。具体的にはベルト CVT 用に、ベーンオンディスク試験で、境界潤滑膜の組織、厚さを実機と同じに再現する条件を得た。ベルト CVT、水圧機器、タービン軸受の摺動部環境において境界潤滑膜あるいは変質層等の形成と影響因子を確認した。CVT についてはトライボロジー特性との関連性も把握した。これらにより各機器システムの目標トライボロジー特性実現の指針と摺動部の基礎的モデルを検討した。

研究開発項目②「CVT 動力伝達システムの最適効率化に関する研究」模擬試験機により摩擦特性を $\pm 5\%$ 以内でシミュレートでき、摩耗量も実機を再現した。モデル構築に必要な境界潤滑膜膜厚、変形抵抗、表面皮膜硬さと摩擦係数のデータを実機及び模擬試験で実測し蓄積した。エレメント/プーリ間の混合潤滑解析を実施し接触部の表面形状の影響を把握した。プーリの表面粗さの制御および開発油 A1 の併用で摩擦係数 0.12 (現状 0.11 に対し約 10%向上) が得られた。

研究開発項目③「高効率高耐久水圧機器システムに関する研究」ポンプ、シリンダ、バルブ摺動部構造を模擬可能な摺動試験装置を製作。計算と実験により、実機が再現できることを確認した。境界潤滑膜の断面構造、摺動部移着物の観察、膜厚測定法を確立した。

DLC 系および CrSiN 系小型サンプル試験において比摩耗量の中間目標を越える $10^{-7}\text{mm}^3/\text{Nm}$ を達成する膜制御条件を把握。DLC 系皮膜は、単要素模擬試験において中間目標を越える $10^{-7}\text{mm}^3/\text{Nm}$ の比摩耗量が得られた。浸漬および分極試験により皮膜、基材ともに腐食等の劣化がないことを確認した。

研究開発項目④「耐高面圧複合軸受システムに関する研究」低回転ターニング運転およびタービン回転の昇速モードと降速モードの模擬試験機的设计・製作を完了し、摺動条件を決定した。PEEK 系複合材料においては、表面層が塑性変形し難く、かつ境界潤滑膜を形成することが明らかとなった。PEEK 系複合材料は、中間目標を上回る $29\text{kgf}/\text{cm}^2$ (2.9MPa) の負荷に対し良好な耐焼き付き性を示した。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「潤滑膜の構造・特性及び生成機構の解明のための評価・解析技術に関する研究」

- ・ CVT 摺動環境下ブロックオン試験を行い、摺動面断面を TEM 観察し、境界潤滑膜の成分や結晶性の変化に関しデータを得た。水圧機器については走査型プローブ顕微鏡 (SPM) を導入、Ag 等をモデル物質として検討、境界潤滑膜の塑性変形挙動と共に膜厚、硬度等の測定条件について知見を得た。
- ・ 摩擦試験機をラマン分光器に接続、動作確認を実施、更に DLC 膜を用いた摩擦試験に適用し、摩擦相手の表面状態や DLC 膜質の違いによる表面状態への影響について知見を得た。
- ・ 力学モデルについては摩擦係数を流体潤滑項と境界潤滑項とに分離、後者については Halling の理論式の妥当性を検討。このためには潤滑膜せん断強度、基板有効硬さの測定技術が重要なので検討を継続中。また PEEK 複合材軸受の TOF-SIMS 分析から摩擦中の物質の移着状況が観測され、本法の有効性が示された。

研究開発項目②「CVT 動力伝達システムの最適効率化に関する研究」

- ・ 添加剤については摩擦面生成物の差異を詳細に解析、TEM、XPS を使用した境界潤滑膜形成過程について知見を得た。その他通電法による解析装置を導入、評価に着手。
- ・ 境界潤滑膜の解析データより摩擦係数向上には硫化物が大きく関与するものと思われる、これは摺動試験でも裏付けられた。
- ・ 表面微細形状の効果については前年度迄の知見から模擬摺動試験機にて μ -V 特性を評価の結果、平均粗さと Sm 値の小さいほど高摩擦係数となることが判った。この表面形状作りこみのためスーパーフィニッシュを選定、トライアル加工を開始。
- ・ 潤滑油についてはこれまでの環境制御因子研究結果から Ca スルホネートを基礎添加剤とし、これにイミド系、P 系及び S 系添加剤を配合することによって高摩擦化と耐磨耗性との両立を図った。

イルを試作した。

- ・模擬摺動試験機と実機 box 試験機の μ -V 特性を比較検討した結果、耐久試験相当摺動距離後の場合も含め $\pm 5\%$ 以内の精度で計測可能であり、境界潤滑膜成分でも両者はほぼ同等であることが SEM-EDX 分析により示された。これにより CVT 実機の摺動環境をラボ的に模擬する試験方法に見通しがついた。本試験機により前記試作オイルを評価したところ、市販品に対し安定して 10% 以上高い摩擦係数を示した。

研究開発項目③「高効率高耐久性水圧機器システムに関する研究」

- ・水環境要素を検討の結果、摩擦係数・摩擦量に影響を及ぼす要素として、水道水中 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 及び温度の影響が大きい事、また、圧力、溶存酸素の影響は小さい事が判明した。
- ・ピストン摺動試験装置においてピストンに DLC 皮膜表面処理、シリンダに銅系材料を用い、ピストン-シリンダ間の隙間は $20\sim 30\mu m$ およびピストン側を凸球形状、シュー側を凹球形状にした組合せとした耐久試験を行い、比摩擦量 $\leq 10^{-8} mm^2/kgf$ になることを確認した。
- ・CrN 及び CrSiN 膜について広範囲な荷重、滑り速度条件下で摺動試験を実施継続中。DLC 皮膜を施したポンプ模擬摺動耐久試験を実施、基材表面粗さの影響を調査、比摩擦量 $\leq 10^{-8} mm^2/kgf$ を得た。
- ・耐キャビテーションについては ASTM 準拠の方法にて試験を実施、最大損傷速度期、減速期となる条件を把握した。なお人工水道水中 12 ヶ月浸漬試験にて各種皮膜 (CrN, CrSiN, DLC) においてコーティング欠陥部からの優先的腐食は認められず。
- ・DLC 皮膜の耐剥離強度は内部応力の大きさに相関、膜中水素は相手材磨耗量低減及び摩擦係数減に寄与 (但し相手材にもよる) することが判明。DLC 皮膜密着性については製膜条件の適正化によりそれを向上させた。
- ・DLC 皮膜を施したポンプ、シリンダ及びバルブの実機を設計製作、耐久試験を進めている。
- ・トライボケミカル生成物せん断強度測定については評価解析 G と共同で SPM を用いた測定に着手。環境水中成分、材料の影響についてはアルコール添加水潤滑下、含 Si 材料の磨耗特性について調査。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

潤滑膜の構造・特性及び生成機構の解明のための評価・解析技術に関する研究においては、境界潤滑膜の塑性変形高度、剪断強さの測定方法とその妥当性について検討を進めた。また真実接触面積を正確に求めるために垂直負荷方式ナノインデントの導入準備を行った。ラマン分光による構造解析、光干渉による膜厚、TOF-SIMS による化学構造等の各種評価技術について検討を進めた。膜厚、光学定数の精密測定を目的とした分光エリプソメータについては測定上問題点の抽出と対策を進めた。すべり接触下真実接触面積については光学的測定上問題点を改善、平成 16 年度に提示した焼付きモデルについてはこれを高面圧下軸受への適用を試み、焼付き過程で生ずる現象の評価データから理論的裏付けを得た。摩擦モデル構築については Halling の有効硬さの式への修正を検討し、見通しを得た。

CVT 動力伝達システムの最適効率化に関する研究においては油種の違いによる境界潤滑膜の硬度や摩擦係数との相関を調べ、TEM, AES 等で分析を行った。また模擬摺動試験器を用い、実機耐久試験相当条件下にて摩擦係数の約 10% の向上を確認した。プーリの微細表面テクスチャーの量産レベル加工機としてスーパーフィニシャーを設備導入した。

高効率高耐久性水圧機器システムに関する研究においては、DLC 皮膜に対する水環境温度上昇の耐摩耗性への影響、水中添加物のキャビテーション特性への影響、膜内応力・膜厚の耐剥離製への影響について検討を行った。また DLC 皮膜処理を行った水圧シリンダ及び水圧バルブの耐久試験において比摩擦量 $< 10^{-6} mm^2*/Nm$ を達成した。

耐高面圧複合軸受システムに関する研究においては、PTFE 粒径を微細化した PEEK 中分散性改善効果による焼付面圧向上を確認した。平成 16 年度にて製作した長期信頼性評価軸受試験器を用いて長期信頼性評価試験を実施し、最終目標：1.5MPa 面圧の 50% 向上 (2.25MPa) を達成した。また実用化を指向したスラスト軸受試験器を製作した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

潤滑膜の構造・特性及び生成機構の解明のための評価・解析技術に関する研究では、TOF-SIMS、TEM、ナノインデント、ナノスクラッチ等各種評価分析手法を用いて CVT、水圧機器、軸受における境界潤滑膜を解析した。一方突起押込量を考慮した摩擦の力学モデル及び臨界圧力の概念による焼き付きモデルについて更なる検討を進めた。これらのデータ及び理論から、各システムのトライボロジ的挙動の説明ができることが判り、突起密度等のパラメータが表面設計指針となることが示された。

CVT 動力伝達システムの最適効率化に関する研究では、これまで最適化を進めてきたプーリー加工表面テクスチャと CVT 油との組合せにおいて模擬摺動試験機及び実機 BOX 試験機にて検証試験を行い、摩擦係数向上効果として 21% を得た。またプーリー表面加工は各条件検討の結果、量産レベル程度にまで効率アップ可能の見通しを得た。開発した CVT 油については懸念された摩耗増大、疲労寿命低下といった問題点は生じていないことが確認できたので今後実車耐久性を確認できれば市場投入可能の見通しである。

高効率高耐久性水圧機器システムに関する研究では DLC, CrSiN 等の皮膜を施した各種水圧システムで耐久試験を実施し、何れも比摩擦量 $10^{-6}\sim 10^{-8} mm^2*/Nm$ を得、目標を達成した。水環境については、温度、溶存成分等の与える影響を検討し、管理ポイントを明らかにした。量産化については DLC 膜の各種部品への適用可能性に関し検討を行い、製膜コストについては実用域との見通しである。

耐高面圧複合軸受システムに関する研究では開発した PEEK 系樹脂をパッドに適用したスラスト軸受を試作し、実機運転条件にて試験を行い、目標面圧 5.9MPa で十分な耐性を確認した。その他機器への本軸受材料の適用については、検討の結果、水車、発電機、ポンプ等に見通しを得ている。

《11》横断部門

《11》-1 低消費電力型超電導ネットワークデバイスの開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《15》参照]

《11》-2 積層メモリチップ技術開発プロジェクト【F21】【課題助成】[平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、以下の研究開発を行った。

- ①本プロジェクトの推進に必要な装置に関して、調査及び必要な性能の確認実験を基に選定し、業者への発注が完了するとともに、一部納入された装置でプロセス実験を先行開始した。
- ②積層プロセス技術に関して、各項目の基礎検討と今後の検討に必要な各種TEGの設計が完了した。
- ③積層チップの設計に関して、積層に伴う独自課題を抽出・解決するとともに、積層の優位性を活用する基本設計が完了し、具体的な詳細設計を開始した。

平成17年度は、以下のとおり実施した。

- ①積層プロセス技術に関して、本プロジェクトの推進に必要な主要装置をすべて揃え、チップ研削、バンプ形成、ボンディング等の各種要素技術を立ち上げ、試作ラインを構築した。
- ②9層の積層TEGを試作、プロトタイプ試作のためのプロセス条件を設定。各項目の検討に必要な各種TEGを試作、評価を行い、プロトタイプ試作のための設計基準を設定した。
- ③積層チップの設計に関して、プロトタイプ試作のための貫通電極の仕様策定を行う共に、DRAMコアを制御するための回路設計を完了した。

平成18年度は、以下のとおり実施した。

- ①積層用として設計したDRAM(プロトDRAM)チップとインターフェース回路として設計したASIC(ISSP)チップをインターポーザ基板(SMAFTI)の両面に搭載したパッケージを試作してDRAMのリード/ライト動作が3Gbps以上で出来ること確認した。
- ②ポリシリコン貫通電極を設けた50 μ m厚さのプロトDRAMチップを試作し、SnAg/CuとAu/Niバンプで8層積層した積層DRAM(メモリ容量4Gbit)を試作し、貫通電極を介して各層間が電氣的に接続できることを確認した。
- ③本試作を行うことにより、インターフェース回路を専用チップにした場合、従来の4Gbitモジュールと比較して33%の消費電力削減が可能な設計データを得ることができた。ただし、この場合はインターフェースチップで6.6Wの発熱が生じるので、冷却フィン取り付けの必要性をシミュレーション解析した。

《11》-3 高効率UV発光素子用半導体開発プロジェクト [平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ①ナノテクノロジー ナノテクノロジープログラム《8》-1参照]

《11》-4 大容量光ストレージ技術の開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《18》参照]

《11》-5 窒化物半導体を用いた低消費電力型高周波デバイスの開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ①高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム《16》参照]

《11》-6 高効率有機デバイスの開発 [平成14年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

山形大学工学部機能高分子工学科教授 城戸 淳二氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。平成16年度に産業技術総合研究所 光技術研究部門グループ長 鎌田 俊英氏、東芝松下ディスプレイテクノロジー株

式会社技監 茨木 伸樹氏、千葉大学工学部教授 工藤 一浩氏をプロジェクトリーダーに加え、以下の研究開発を実施した。

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「大画面ディスプレイの開発」

新材料の合成により世界最高水準（平成 16 年 2 月時点）の発光効率を持つ青色燐光素子の開発に成功した。また、マルチフォトンエミッション素子技術においては、発光層積層に伴う発光特性の解析を進め、内部量子効率 100%超の見通しを得た。

研究開発項目②「フレキシブルディスプレイの開発」

有機アクティブ発光素子の材料と構造を最適化したデバイス試作を行い、最大発光輝度 10,000cd/m²以上を確認し、有機 EL と有機トランジスタを組み合わせたデバイスとして世界最高レベルを達成した。（平成 16 年 2 月時点）。また、高速有機トランジスタを試作し素子構造最適化の見通しを得た。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「大画面ディスプレイの開発」

発光層を重ねることにより発生フォトンを増やすマルチフォトン技術を用いて単位電流当たりの発光効率を発光層の数に比例して増やすことができることを実証した。30lm/W を超える白色発光素子の実現など中間目標として掲げた値はすべて達成した。大面積実装技術の開発においては、リニアソース検討用の大面積蒸着装置を用いてリニアソース成膜法の実験を行った。さらに、中間評価後に新たに設定された、印刷製法を用いた高効率成膜プロセス及びディスプレイ化技術の開発においては、ディスプレイメーカー材料メーカー垂直連携の体制を整え研究開発を開始した。

研究開発項目②「フレキシブルシートディスプレイの開発」

低分子系の材料の分子構造とトランジスタ特性、印刷トランジスタに適した可溶性低分子材料の開発とその構造と電気的特性の実験・評価などを行った。縦型高速有機トランジスタの開発に関しては、パネル実証を強化するためディスプレイメーカーを追加し、実用化への流れを明確にするための体制強化を行った。また、印刷トランジスタに関しては、アライメントフリー技術など世界に先駆けた技術の開発に成功しただけでなく、その開発要素の一部でもある、可溶性材料の領域で今後に大きな期待がもてるブレークスルー技術の開発に成功し、世界最高水準の移動度を持つプリンタブル有機トランジスタの開発に成功した。

なお、本研究開発プロジェクトは平成 16 年度に中間評価を実施し、その結果を踏まえて、基本計画を改訂するとともに、追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「大画面ディスプレイの開発」

高効率発光素子・材料の研究開発：発光層を重ねることにより発生フォトンを増やすマルチフォトン技術を用いて単位電流当たりの発光効率を発光層の数に比例して増やすことができることを実証した。また世界最高水準の発光効率を持つ青色燐光材料の合成に成功、30lm/W を超える白色発光素子の実現など中間目標として掲げた値はすべて達成し、平成 18 年度末の最終目標 50lm/W の有機白色発光素子の達成に向けてより高効率な白色発光素子の開発、素子寿命（輝度半減時間）10 万時間相当の達成のための研究開発を進めた。

印刷製法を用いた高効率成膜プロセス及びディスプレイ化技術の開発：ディスプレイメーカー材料メーカー垂直連携の体制を整え研究開発を開始した。平成 17 年度には、低分子系材料のインク化技術について課題抽出を行い、光取り出し技術の課題抽出と併せてパネル化実証の準備を進めた。この結果、光取り出し基礎検証では中間目標の 1.6 倍の光取り出し効率改善を得た。また、本技術を導入した 21 型フルカラーパネルを試作し、表示に成功した。

研究開発項目②「フレキシブルシートディスプレイ」

有機アクティブ発光素子の開発：平成 17 年度は縦型有機発光トランジスタの性能向上を実施し、輝度 300cd/m²（前年度の 30 倍）を達成するとともに 60 フレーム動作が十分可能な応答速度（立ち上がり時間 64μ秒）を実現した。また、2～4 インチクラス、QCIF～QVGA パネルに相当する解像度でのインクジェット成膜技術と発光特性の確認、封止用高分子保護膜形成技術を確認した。

縦型高速有機トランジスタ技術の開発：平成 17 年度は新規縦型有機トランジスタ構造を開発し、遮断周波数 200kHz、on/off 比 3 桁以上の電気特性を実証した。また、フレキシブル基板上での縦型有機トランジスタ動作の実証、複数素子を組み合わせた論理回路の基礎特性の確認を行った。

プリンタブル有機トランジスタ技術の開発：アライメントフリー技術など世界に先駆けた技術の開発に成功しただけでなく、その開発要素の一部でもある、可溶性材料の領域で今後に大きな期待がもてるブレークスルー技術の開発に成功し、世界最高水準の移動度を持つプリンタブル有機トランジスタの開発に成功した。平成 17 年度には、パネル TFT としての低電圧駆動、安定動作など素子の高信頼化技術に注力しパネル実現のための技術要素の追い込みを行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「大画面ディスプレイの開発」

高効率発光素子・材料の研究開発については、ワイドエネルギーギャップおよび高移動度の各種新規材料の開発に成功し、世界最高の発光効率を持つ青色、緑色、赤色のリン光素子を実現した。さらに、世界最高レベルの効率（63lm/W）を有する白色リン光素子を実現した。マルチフォトン技術を用いて、半減寿命 20 万時間相当の長寿命素子を実現するとともに、内部量子効率 200%以上の超高効

率発光素子を実証した。また界面制御により、4～8 倍程度に長寿命化した有機 EL 素子を実現した。

印刷製法を用いた高効率成膜プロセス及びディスプレイ化技術の開発については、酸化物と複合化させた非高分子系インクを開発し、可溶化／不溶化制御により、発光素子の目標効率 15cd/A を達成。ナノテク回折方式を開発し、フォトルミネッセンスで 2.37 倍の光取出し効率改善を実現。高分子特性検証において、輝度半減寿命 20,000 時間を達成（ピーク輝度 500cd/m²、初期輝度 150cd/m²での換算値）。凹凸散乱光取出し構造を採用した 21 型 WXGA 有機 EL ディスプレイを試作、表示性能を改善した。

研究開発項目②「フレキシブルシートディスプレイ」

有機アクティブ発光素子の開発については、縦型有機発光トランジスタの性能向上を実施し、輝度 1000cd/m²以上、輝度 on/off 比 10 の 5 乗以上を達成し、目標の実用輝度で 256 階調制御を達成した。また、塗布プロセスで作成したフレキシブル基板上素子の動作を実証し、低コスト化の可能性を示した。さらに、縦型有機トランジスタ駆動の 4 インチ、QCIF パネル試作を行った。

縦型高速有機トランジスタ技術の開発については、縦型有機トランジスタ構造を改良し、遮断周波数 1.4MHz を実現し、目標の 30MHz に向けた設計指針を示した。

プリンタブル有機トランジスタ技術の開発については、塗布半導体薄膜の高品質形成プロセス技術を開発して、世界最高値となる移動度 2.7cm²/Vs を達成。上記半導体と絶縁膜および保護膜を全て塗布形成した液晶パネル駆動用有機 TFT アレイ (W/L=50um/8um、240x320x3 画素、80ppi) の試作に成功し、パネル駆動用としては世界最高の移動度 (最高値)1.6cm²/Vs を達成した。さらに、移動度ばらつき 6%以内を達成する半導体塗布形成技術の開発に成功した。

《11》－7 MEMS 設計・解析支援システム開発プロジェクト [平成 16 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

[後掲：<6>新製造技術分野 ①新製造技術 新製造技術プログラム《4》参照]

《11》－8 高効率熱電変換システムの開発【課題助成】 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発に助成を実施した。

研究開発項目①「熱電変換モジュールの開発」高効率熱電変換モジュールの実現に向けた、熱電素子材料の選定、素子化焼結技術開発、温度域に最適化を図るカスケード技術開発等を行い、試験素子・モジュールの試作及び評価を行った結果、カスケードモジュールにおいて熱電変換効率 10.3%を達成し、中間目標値の 12%の達成見通しを得た。定型 300℃級モジュール評価装置を完成した。また、定型 700℃級モジュール評価装置を開発した。

研究開発項目②「熱電変換システムの開発」熱電変換モジュールのシステム適用に関するモジュールへの詳細仕様の検討、課題の抽出、経済性等の評価を行い、それらを踏まえてシステム設計・試作システムの性能を評価し、実用化に向けて計画通り進捗した。熱電変換システムの適用候補であるコージェネレーションシステムの調査を行い、熱電適用効果のシミュレーション条件を整理した。

平成 16 年度は、エネルギー有効利用の観点から、民生及び産業の分野から発生する小規模・分散型の未利用排熱の熱エネルギーを熱電変換素子によって電気エネルギーとして利用することのできる熱電変換モジュール及びシステム技術の実用化を目的に、以下の研究開発を支援した。

研究開発項目①「熱電変換モジュールの開発」においては、熱を電気に変換する素子材料の開発及び熱電変換効率向上の開発を行い、それらの熱電素子を用いた熱電変換モジュールの開発を実施した。具体的には、熱電素子の材料組成の検討、添加材の絞込み、電子移動度の最適化、素子形状の最適化、素子化焼結技術開発等を通して熱電変換効率の高効率化を行うとともに、モジュール化技術を構築するため、温度域に最適化を図るカスケード技術、温度損失の低減技術の開発を行い、平成 16 年度実施の中間評価における中間目標である熱電変換モジュール効率：12%（モジュール両端の温度差は 550℃を基準とし、その他の温度差のときは換算する）を達成した。あわせて耐久性向上のための熱応力緩和技術等の開発を行った。また、熱電変換モジュールの開発において必要不可欠なモジュール性能の評価技術の開発として、定型 700℃級モジュール評価装置の高度化を行い、定型 300℃級モジュール評価装置と合わせて、中間評価のために、開発した熱電変換モジュールの統一かつ公正な性能評価に供した。さらに、熱電変換モジュールの信頼性・耐久性評価に関する調査を行うとともに、開発モジュールの耐久性の確認、及び普及のための調査の一環として、試作品提供を平成 16 年度より開始した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「熱電変換モジュールの開発」においては、熱電素子の材料組成の検討、添加材の絞込み、電子移動度の最適化、素子形状の最適化等を通して熱電変換効率の高効率化を行うとともに、モジュール化技術を構築するため、温度域に最適化を図るカスケード技術、温度損失の低減技術を開発し、熱電変換モジュールの最終目標効率 15%の目処をつける研究開発を行った。（目標効率はモジュール両端の温度差 550℃を基準とし、その他の温度差のときは換算する。）平成 17 年度末にて 12.1%を達成してい

る。

平成 17 年度は耐久性向上のための熱応力緩和技術等の開発に重点をおき、コージェネレーションシステムに要求される熱負荷の繰り返し回数 3,000 回を目標に試験を実施し、その目処を得た。さらに、熱電変換モジュールの性能評価技術の開発として、定型 700℃級モジュール評価装置の高温域の精度向上を図った。

熱電変換モジュールの信頼性・耐久性評価手法については、評価手法の絞り込みを行い、最終年度にまとめる。さらに普及のための調査の一環として試作品提供を平成 16 年度に引き続き行った。

研究開発項目②「熱電変換システムの開発」においては、要素技術の開発及びシステム設計、システムの試作を行うとともに、耐久性も含めた開発システムの評価・改良を行った。これらを通じ、個別開発システムの最終目標の達成に向けて、伝熱技術の高度化ならびにシステム全体のコストダウンにつながる製造・製法・利用法の開発などを含めた総合的なシステム開発を進めた。

特に、コージェネレーションシステム等、有望なシステムに適用した場合の効果を定量的、総合的に評価するために、実証装置、試作機器等を準備して最適なシステム構成の検討を行った。また、熱電変換システムの普及の条件及び社会的効果について調査するために、熱電発電フォーラム等を開催した調査を実施した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「熱電変換モジュールの開発」については、熱電変換モジュールの最終目標効率である 15%の目処を確立した。(目標効率はモジュール両端の温度差 550℃を基準とし、その他の温度差のときは換算する)。また、統一かつ公正なモジュール性能の評価技術の確立および熱電変換モジュールの信頼性・耐久性の確認を実施した。普及のための調査の一環として、一部モジュールの試作品提供を進めた。

研究開発項目②「熱電変換システムの開発」については、熱電変換モジュールの性能を有効に活用するための熱交換要素技術等を確立し、実用化に向け個々のシステムごとに定められた最終評価における熱電変換システム目標値の目処を確立した。また、コージェネレーションシステム等、有望なシステムに適用した場合の効果を定量的、総合的に評価し、熱電変換システムの普及の条件及び社会的効果についての調査を進めた。

《12》エネルギー使用合理化技術戦略的開発

《12》-1 高効率小型天然ガスコージェネ技術開発 [平成 15 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、平成 15 年度～平成 16 年度の複数年度契約を締結し、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「単気筒エンジン等による燃焼技術の開発」

- (1) 燃焼成立条件の把握として、吸気温度、当量比、EGR 量及び圧縮比等の条件下における HCCI 燃焼成立条件を把握するため、単気筒エンジンを用いて運転データの計測を開始した。また、運転データ解析のための燃焼計測解析装置を準備した。
- (2) 燃焼制御技術の開発のため、スワール流動等の影響を測定する装置とシミュレーションモデルの構築を行った。
- (3) 過給技術の開発として、HCCI エンジンに適した小型高効率過給機を製作し、混合・供給技術の開発として、吸気温度、当量比及び EGR 量の各制御装置を製作した。

研究開発項目②「多気筒エンジンの開発」

エンジン試験状態を精度良く再現できる高精度実験システムの製作を開始した。また、単気筒エンジン等による燃焼技術の開発で得られた知見や燃焼シミュレーション結果を取り込み、HCCI 運転が可能のように適正な圧縮比とエンジン強度を有するエンジンの設計・製作を開始すると共に、サイクルシミュレーションモデルを構築した。さらに、目標の当量比を制御し、各気筒のバラツキを減少できる混合装置の設計・製作を開始した。

研究開発項目③「排ガス対策技術の開発」

排ガス触媒の耐久評価が可能な装置の設計・製作を開始した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

技術開発項目①「単気筒エンジン等による燃焼技術の開発」

単気筒エンジンの他、試作した周辺装置を使用し、燃焼時の吸気温度及び空燃比等の燃焼条件を変化させた運転データの解析結果をもとに、燃焼成立条件を把握した。

技術開発項目②「多気筒エンジンの開発」

多気筒エンジンに吸気温度の制御、混合装置を搭載し、データ取得と改良を加えて中間目標であるエンジン熱効率 35% (LHV) 以上、NOx 排出濃度 150ppm (O₂=0%換算) 以下を達成した。

技術開発項目③「排ガス対策技術の開発」

排ガス触媒の耐久評価が可能な装置を製作し、触媒単体の性能評価を行う。さらに、触媒評価結果をもとに、多気筒エンジン用排ガス触媒システムの設計・製作・評価を行った。

研究開発項目④「エンジンシステムの評価」

多気筒エンジンをベースに、周辺各装置を組み込んだエンジンシステム評価装置の設計・試作を行

った。さらに、エンジンシステムに負荷装置、自動計測システムなどを組み込み、耐久試験が可能なシステム評価装置を設計・試作した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

技術開発項目①「単気筒エンジン等による燃焼技術の開発」

単気筒エンジンで、燃焼計測解析装置を用いて、吸気温度、当量比、EGR 量及び圧縮比等の各種条件下における運転データを計測し、そのデータの解析を行った結果をもとに予混合圧縮自着火の燃焼成立条件を把握した。更に、多気筒機関の各部の設計に反映させた。多気筒エンジンの三次元流動解析により過給状態における燃料供給方式が HCCI 燃焼に与える影響を明確化するとともに、都市ガス 13A 内の組成の変動が HCCI エンジンの性能に与える影響を明らかにした。また、過給機の最終試作を行い、最終試作過給機搭載での機関性能、排気特性を明確にするとともに、運転条件の最適化及び始動方法の検討を行った。

技術開発項目②「多気筒エンジンの開発」

平成 16 年度に製作した高精度実験システムと混合装置及び多気筒エンジンを用いて、内部 EGR 及び圧縮比の変更等エンジン基本性能の改善試験を行い、定格の条件下で安定運転できる制御方法を確立し、最終目標であるエンジン熱効率 38% (LHV) 以上、NOx 排出濃度 100ppm (O₂=0%換算) 以下を達成した。また、多気筒エンジンの構造の簡素化を図るため、平成 16 年度に製作した可変動弁装置の知見をもとに、簡易でコンパクトな可変動弁装置の設計・製作を行い、基本性能の改善試験の中でその評価を行った。

技術開発項目③「排ガス対策技術の開発」

排ガス触媒評価装置を用いて実施した触媒単体の耐久評価試験の結果に基づき、排ガス触媒システムの改善を行い、エンジンの耐久試験に供して排ガス触媒システムの評価と技術確立を行った。

研究開発項目④「エンジンシステムの評価」

実用条件下におけるエンジンの信頼性及び排ガス組成の確認、並びに排熱回収量の推定などを含めた総合評価を行った。

研究開発項目⑤「実用化に関する調査研究」

実用化に向け、新規特許調査及び関連技術調査等を行った。

《12》－2 省エネルギー型廃水処理技術開発 [平成 13 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、オゾン処理を組み込んだリン除去プロセスの連続運転実施の設計・構築を完了し、試験を開始した。有害物質高度処理プロセスの検証については、染色モデル排水と実排水で得られた結果との比較を行い、併用効果の予測方法や最適操作条件について検討した。また、実証プラントにおける懸濁物質除外設備の必要性、生物分解性向上の評価方法等について検討をおこなった。促進酸化法の高効率化については、実廃水への適用に向けたユニット型高効率促進酸化処理装置を試作し、基板洗浄廃水の連続処理実験を行った。オゾン反応槽の諸条件の基礎データ採集、およびシミュレーションの検証を実施するための連続試験装置の作成、調整を実施した。病原性微生物の不活化特性については、下水処理実験プラント処理水を用いた連続処理特性実験により、各種特性調査を把握した。

研究開発項目②については、高濃度オゾン処理による副生成物の評価手法と生成機構について、エストロゲンスクリーニングアッセイと Ames アッセイ、ならびに化学分析による同定・定量により、安全性指標について整理した。副生成物の抑制について、下水処理実験プラント処理水を用いた連続処理特性実験により、内分泌攪乱化学物質の除去特性、臭素酸イオン等の副生成物生成特性に及ぼすオゾンガス濃度の影響、処理水 pH の影響について特性調査を実施した。

研究開発項目③については、高濃度オゾンガスの異常分解に対する特性を解明するため、種々の特性を有する放電を用い、放電電圧、放電の持続時間、エネルギー量など異常分解誘起要因特性とオゾン異常分解の関係を検討した。また、オゾン利用安全基準作成に向けて、適用範囲、安全基準の構成内容等の検討を行った。

研究開発項目④については、平成 16 年度、平成 17 年度に埼玉県産業技術総合センターにておこなう染色工場排水の処理装置の仕様について検討し、基本設計を完了した。また、平成 17 年 3 月から開催される愛知万博における実証試験装置について、処理フロー、設備規模及び配置等に関する検討を行った。

中間目標については、数値目標を含めて全て達成された。

中間評価の結果、「省エネルギー性環境調和性を証明するために、使用薬剤などを加えた LCA などを指標に入れるべき」という指摘に対して、実証試験における難分解性有害物質除去プロセスについては、使用薬剤量、使用電力等について LCA 的評価を実施することとした。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高濃度オゾン利用技術の研究開発」

基盤的研究で得られた技術・システム成果を活用し、生物処理工程、オゾン処理工程、リン回収工程を合理的に組み合わせたシステムの最適設計を検討した。これに基づき、万国博覧会での一般廃水および工場廃水として染色廃水を対象とした総合実証試験装置の設計・製作をおこなった。本技術の適用廃水に対する省エネルギー性評価と最適仕様について、実証試験データ収集等に基づく

検討を行った。また、実証試験データに基づき、環境負荷要因を明確にした LCA 的評価方法について、比較対照技術を含めた実機設計仕様を検討した。

また、染色工場を想定した廃水処理技術においては、パイロットプラント試験を実施し、難分解性物質除去などの処理特性を評価するデータ採取を行った。また、廃水水質変動におけるオゾン注入率最適制御確立にむけたバックデータを採取した。

研究開発項目②「安全な高濃度オゾン利用技術システムの研究開発」

オゾン反応により生成する有害な副生成物を制御して安全性を確保するため、生物学的分析及び化学分析を用いて、オゾン処理副生成物における安全性関与因子等を明確にし、安全な処理方法について検討し、プロセスの仕様への反映を図った。また、各種オゾン反応条件で生成される副生成物の抑制を可能とする運転制御方法について検討し、実証試験装置の運転条件に反映した。

研究開発項目③「高濃度オゾン利用基準の研究・策定」

高濃度オゾンの利用における危険要因等の検討、オゾンの異常分解装置調整・異常分解特性等の検討を行うとともに、愛知万博実証試験を念頭に、リスク評価に関する調査をおこない、安全利用基準の評価と検証をおこなった。また、産官学の実践的及び学術的経験者からなる「高濃度オゾン利用研究専門委員会」（委員長：徳山大学学長 杉光英俊教授）を設置し、医学・薬学・化学・工学など総合的見地から審議した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「高濃度オゾン利用技術の研究開発」

万博会場において一般廃水を対象とした実証試験（平成 17 年 3 月～9 月）を、また、染色工場において昨年から継続して実施している産業廃水を対象とした実証試験（平成 17 年 12 月完了）を行った。実証を通じて得られたデータを解析し、基礎研究において得られた成果と比較、ほぼ予定通りの性能を得られたことがわかった。また、シミュレーションモデルとの比較・検討についても予定通りの性能を得られている。また、実証試験設備に対しプロセスの省エネルギー性評価についても評価を行い、目標とした省エネルギー率 40%についても達成した。

研究開発項目②「安全な高濃度オゾン利用技術システムの研究開発」

染色工場での実証試験サンプルをもとに、これまでに検討を行ってきた評価手法を検証するとともに、副生成物発生量と運転に係わる操作指標との関係を検証し、オゾン処理における副生成物に係わる安全性を明確化した。また、病原性微生物付着効果と副生成物である臭素酸イオン濃度、内分泌攪乱化学物質除去性を総括的に評価し、副生成物抑制のためのオゾン最適注入条件についても検証し、副生成物の発生を低レベルに抑えながらオゾン処理の有用性を確保できることが明らかになった。

研究開発項目③「高濃度オゾン利用基準の研究・策定」

高濃度オゾンガスの安全性について、不純物（NO 等）混入が爆発性に及ぼす影響を検討した。「高濃度オゾン利用研究専門委員会」において、万博、染色工場での実証試験、および浄水処理場において導入されているオゾン処理設備をもとに、昨年度作成した「オゾン利用に関する安全管理規準」について検証、見直しを行った。また、使いやすい規準とするために、適用対象者（製造者、販売・施工者、利用者）を区分し、構成を見直した。また、世界的な普及を目指すため、英語版を作成した。

<革新的温暖化対策技術プログラム（一部）>

[中期目標期間実績]

第 1 期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《13》産業用コージェネレーション実用技術開発 [平成 11 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「耐熱セラミック部材開発及び評価試験」については、ハイブリッドガスタービン用セラミック部品の変形抑制のための成形条件を確立し、設計公差 0.5mm を達成した。また、各種評価試験（運転耐久試験、10,000 時間クリープ試験、疲労試験、SCG 試験※1、FOD 試験※2、曝露試験等）を通じて体系的なデータ蓄積を図り、セラミック部品およびハイブリッド構造の改良設計・製作に反映するとともに、信頼性評価技術を確立した。また、セラミック水蒸気減肉問題のメカニズム解明並びに対策コーティングの開発を行い、その効果を実証した。

研究開発項目②「健全性・信頼性研究」については、運転耐久試験を実施し、タービン入口温度：1,280℃においてガスタービン出力：8,330kW、エンジン熱効率：34.1%を達成した。あわせて排ガス NOx 特性についても法令基準値を大きく下回る 60ppm(O₂=0%換算)を達成した。また、運転耐久試験を累積 1,000 時間実施し、ハイブリッドガスタービン技術を確立するとともに、この運転実績から 4,000 時間以上の健全性・信頼性について見通しを得た。

研究開発項目③「システム総合評価」については、ハイブリッドガスタービン技術の実用化及び普及への諸課題調査ならびに、適用分野拡大への諸課題調査等を行い、開発した技術が市場に普及・拡大するシナリオを策定するとともに、開発側へ反映を図った。

研究開発項目④「国際協力事業（IEA）」については、国際共同研究に参加し、セラミック部材の機械的特性および原料粉体特性について評価手法と標準化に関する研究を行い、研究成果を IEA 執行委員会に報告を行った。今後委託先においてハイブリッドガスタービンを自家発電設備に変更し継続して運転耐久試験を行

い、データ蓄積を図るとともに商品化開発を行い早期実用化を図る。

※1 SCG 試験：Subcritical Crack Growth（低速き裂成長による損傷）

※2 FOD 試験：Foreign Object Damage（外部飛来物による損傷）

《14》高温空気燃焼制御技術研究開発 [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「微粉炭焚ボイラーにおける高温空気燃焼制御技術の開発」については、燃焼試験炉（小型リジェネ炉）での微粉炭燃焼試験により、燃焼条件の最適化によりNOxの生成量：100ppm（O₂換算）以下の達成、高燃料比炭（半無煙炭：燃料比7.4）の安定着火・保炎の確認、設備費20%の削減、発電効率の3%向上、燃焼シミュレーションの構築等を行った。今後実用化を図るため、大型ボイラーによる燃焼特性の把握と運転制御技術開発等を行った。

研究開発項目②「高温化学反応プロセスにおける高温空気燃焼制御技術の開発」については、基礎小型燃焼試験装置による燃焼試験を実施し、燃焼特性と伝熱特性を把握し最適な燃焼器の配置を確認するとともに、高温空気燃焼による安定燃焼制御技術を確立した。あわせてスチームリフォーマーのふく射部熱効率82%、外部燃料消費量30%削減、環境負荷物質（NOx、CO₂）の30%削減を達成した。更に設計シミュレータ設計手法を確立し、高温空気燃焼制御技術を応用した新型商用大型水素リフォーマーの設計を行い、20%のダウンサイジングを確認した。さらに1.2MW級燃焼器を開発し燃焼特性・制御方法を確立し、実用化に向けた大型装置（1.7MW級燃焼器）への適用を可能とした。今後実用化を図るため、実機レベルの実験プラントを作製し、実用化フェーズの開発を行った。

研究開発項目③「廃棄物焼却プロセスにおける高温空気燃焼制御技術の開発」（流動層燃焼における廃棄物の高温空気燃焼特性の把握）については、流動層ベンチ実験装置の燃焼試験により、流動層での安定した高温空気燃焼を実現するとともに、最適運転制御を確立し、補助燃料の約55%の削減、環境負荷物質（NOx）の20%削減を達成した。あわせて、流動層内燃焼モデルシミュレータを開発した。今後実用化を図るため、下水汚泥焼却用高温空気熱交換器の開発等を行った。

研究開発項目④「高温空気燃焼基盤技術の確立」については、高温空気燃焼技術の基盤に係わる11件の研究を実施し、基礎燃焼現象の解明等を行い応用研究への反映を図った。

研究開発項目⑤「環境負荷物質低減対策調査」については、ダイオキシン類、亜酸化窒素の発生抑制に関する基礎研究を行い、生成メカニズムを解明するとともに効果的な排出抑制方策を構築した。

<次世代低公害車技術開発プログラム（一部）>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《15》高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発 [平成9年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<3>環境分野 ⑤次世代低公害車技術 次世代低公害車技術開発プログラム 《4》参照]

《16》高効率・超低公害天然ガス自動車実用化開発 [平成13年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<3>環境分野 ⑤次世代低公害車技術 次世代低公害車技術開発プログラム 《5》参照]

<非プログラム・プロジェクト 事業>

《17》重要地域技術研究開発

《17》-1 溶接技術の高度化による高効率・高信頼性溶接の技術 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

(1) 溶接プロセスシミュレーションモデルの開発

(i) シミュレーションモデルの開発として以下の事項を実施した。

①溶接プロセスシミュレーションモデルの開発については、アークプラズマモデルで従来シミュレーションが困難であったHeガスにも対応できるようにし、モデルの汎用性を高めた。

②溶融池対流モデルの開発については、溶融池変形モデルにエネルギー方程式をリンクさせ、自由表面と直角方向の力が働く場合の溶融池対流モデルを開発した。

③溶接プロセスモデルについては、TIGモデル、MAGモデルの更なる高度化を進めた。

- (ii) 組織シミュレーションモデルの開発高精度変形予測プログラムの開発については、材料特性予測は原質部についてはほぼ終了し、材料特性予測モデルの開発では 950MPa 級鋼の多層盛り溶接金属の組織と機械的特性の評価を行うために、前年度に決定した単パス溶接の適正条件で、多層盛り溶接金属原質部を模擬した試験片を作成し、更にこの試験片の変態温度を求めて再熱部を再現するための熱サイクルを決定した。溶接金属の組織解析は、任意のサイト数を発生できる粒界・粒内混合核生成型の組織発達過程計算モジュールと面積率の算出モジュールを作成した。
 - (iii) 溶接変形予測シミュレーションモデルの開発として、微小変形理論に基づく 3次元熱弾塑性解析プログラムを低減積分法により改良した結果、3次元熱弾塑性解析プログラムとその予測精度の妥当性が明らかになり、力学モデル構築の際に非定常計算機能を有するプロセスモデルの有効性が示唆された。併せて、計算速度アップ新理論構築、データベースを用いた変形予測を行った。
 - (iv) モデルの統合化として、T 字隅肉および V 開先付き平板突き合わせ MAG 溶接について構築した。ウイービング、多層に対応可能な MAG 溶接プロセスモデルと汎用の溶接変形モデルをパソコン上で統合し、プロセスから溶接変形までを予測・推定出来る計算手法をほぼ確立した。更に、開発予定の 3つのモデルおよび統合化システムの出口に関して調査を実施すると同時に、各社の溶接関連技術者から情報調査を実施した。また、ソフトウェアの販売やコンサルティングを行う事業体設立の可能性を調査中である。
- (2) 溶接現象の解析
- i) 物性値の測定・収集を行った。プラズマ環境下における表面張力、比熱・融点、固相線温度、液相線温度、融解潜熱について測定、そのデータを収集し、収集したデータについては検証を行うと共に産総研「分散型データベース」に整理した。
 - ii) 溶接現象の観察については溶融池内の湯流れと溶込み現象の解析、高速度カメラを使用した溶融池表面挙動観察を行い、得られた溶融池表面の温度計測結果とシミュレーション結果との照合を実施したところ、温度がほぼ一致していることが確認できた。また X線透過法での観察を行い、プロセスシミュレーションの溶融池形態が、高 S 鋼板の場合、計算結果と異なることについて溶接金属の蒸発現象が影響しているらしい観察結果を得た。
 - iii) 溶接欠陥生成機構の検討として、レーザ溶接欠陥発生機構の解析、溶融池にトラップされた気泡の解析、欠陥発生機構の解明(高圧下での挙動解析)、溶接欠陥データ収集を行った。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

溶接技術が関連する広範囲な産業分野の技術革新に貢献することを目的として、大阪大学接合科学研究所教授 野城清氏をプロジェクトリーダーとして、高効率・高信頼性溶接シミュレーションソフトの開発を実施した。具体的には、溶接施工条件と方法、溶接時の溶接部組織と材料特性との関係の予測及び溶接時の変形の予測に関するシミュレーションソフトを開発し、それら 3つのソフトの統合化を行った。

研究開発項目① シミュレーションモデルの開発

- i) 溶接プロセスシミュレーションモデルの開発
アークプラズマモデル、溶融池の対流モデル、溶接プロセスの熱伝導モデルを構築すると共に、実験によりモデルの検証を行った。これらの個別モデルをベースに統合化システムのプロトタイプのモデル化を行った。
- ii) 溶接部組織シミュレーションモデルの開発
490MPa 級鋼については溶接金属部の組織を予測できるシミュレーションモデルを開発した。また、特性については計算された金属組織から特性を予測できるシステムを構築した。950MPa 級鋼については、特性発現金属組織に対する溶接条件の影響を検討するとともに、溶接金属組成の検討を行い、特性を維持出来る条件を提示した。
- iii) 溶接変形予測シミュレーションモデルの開発
高精度変形予測プログラムの開発については、平成 15 年度までに開発したモデルの妥当性の検証実験を行い、高精度モデルを完成させた。計算速度アップ新理論構築に関しては、大温度増分法に基づく FEM プログラムを完成させた。データベースに基づく溶接変形予測システムの開発に関しては、平成 15 年度提示した固有変形データベース構築法の実験での検証を実施した。
- iv) モデルの統合化
3つのシミュレーションモデルを相互にリンク可能なソフト・モジュールとして整備し、これらのモジュールをリンクさせることにより、統合化システムをパソコン上で実現し、システムの機能を確認・検証した。また、これらシステムの出口を明らかにするとともに、ソフトウェアの販売やコンサルティングを行う事業体設立の可能性を調査した。

研究開発項目② 溶接現象の解析

- i) 物性値の測定
物性測定では、プラズマ環境下における表面張力を改良した装置で測定、信頼性を高めた。また、物性データを収集し、データの整備を図った。
- ii) 溶接状態の観察
溶接状態の観察についても、開発した各種観察装置を用いて溶融池表面および溶融池内部の観察を行い、観察結果の定量化を行った。
- iii) 欠陥生成機構の解明
アーク溶接時の気泡の生成挙動を解析し欠陥の生成機構を解明すると共に、欠陥防止技術を開発した。また、溶接実施工時の溶接欠陥に関するデータ収集および欠陥の分類を行い、発生要因を明らかにした。

《18》エネルギー使用合理化工作機械等技術開発 [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度に、以下の研究開発を実施した。

①環境対応形研削加工システムの研究開発

研究開発項目①「環境対応形研削加工システムの研究開発」については、研削時の消費エネルギー低減を狙いとして、ECOLOG 研削を主体としたドライ・ミニマムクーラント供給方式等の成果を取り入れた省エネ研削盤を試作し、シャフト部品テストピースの連続研削加工実験を行った。その結果、多量のクーラントを供給する従来研削盤と比較して、研削点に供給するクーラント量1/100で同等の研削性能であることを確認し、また最終目標である研削加工時の消費エネルギー50%減を達成した。

研究開発項目②「ミニマムクーラント供給に関する研究」については、ノズルと磁石の微小隙間にクーラントを充填させて磁石面に巻き付かせることにより、クーラント供給量を低減するフローティングノズル方式の基本性能評価を実施し、ノズル穴径、高さ、隙間に大きく影響される事を確認した。また、自社製の円筒研削盤にて実加工評価を行い、高研削能率領域では従来の1/5程度のクーラント供給量で同等の研削能率が得られる事を確認した。

研究開発項目③「研削エネルギーの低減に関する研究」については、研削エネルギーの低減を目的に、ツルアー仕様、周速度比、切り込み量等のツルーイング条件と研削性能の関係を評価し、低表面粗さ領域では設置方向を変化させることにより研削抵抗を低減できる事を確認した。また、自社製研削盤にて実加工による検証を行い、研削抵抗が低下する事を確認した。

②ドライ切削用耐摩耗・潤滑性被覆工具の開発

研究開発項目①「耐摩耗性潤滑膜の研究」については、独自仕様の成膜装置を用いた耐摩耗性潤滑膜の合成において、成膜装置内複数ターゲットを使用した同時スパッタと炭化水素ガス反応スパッタからなる複合プロセスによりカーボンとタングステンカーバイトへ第3成分(Ti, Cr等)を混入できる成膜条件を求めた。これにより非晶質CW中に第3成分として、TiN結晶を分散した新規複合膜(TiN/CW)を合成した。また、耐摩耗性潤滑膜において、結晶性TiNを中間層としたTiN/CW膜との組み合わせが耐摩耗性と潤滑性に優れている事が判った。

研究開発項目②「耐摩耗性潤滑膜被覆工具の開発」については、10φ超硬合金製ドリルに最適化膜を成膜し、鋼材のドライ切削試験として潤滑性(切削抵抗)と耐摩耗性の評価を行った。試験の結果、切削抵抗の上昇が、カーボン系潤滑膜と同等で、かつ硬質膜被覆ドリルと比べて少ない潤滑性を示した。これは非晶質CW中にナノメータサイズのTiN微粒子が分散した効果である。また、TiNを中間層とし、潤滑性と耐摩耗性及び超硬合金製工具表面との付着力を同時に満足する好適な組合せを得た結果、目標切削長40mに対して31mであったが、市場導入後、平成22年時点において省エネ効果は11,701k1が見込める。引き続き、目標達成に向けて膜厚とTi/CW組成の最適化を行い、合わせて平成17年を目標に実用商品化へと展開した。

《19》エネルギー使用合理化海洋資源活用システム開発 [平成11年度～平成15年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度に、以下の研究開発を実施した。

海洋深層水の有する低温安定性、清浄性、富栄養性等の特性を十分に活かした、大量取水による多目的・多段階利用の開発実証を行い、併せて海域還流後のCO₂固定等、環境影響評価技術についても確立し、国内沿岸域の深層水利用適地それぞれの立地条件に応じた最適利用形態を提示するために実施した。

モデル実証研究として、

研究開発項目①深層水取水技術開発で、管路設置構造形式の選定では、複数の国内立地条件に合致した直径2m級管路設置構造形式に対し、構造設計や施工法の検討及び経済性について要素技術分野毎に整理し、実規模恒久的な構造物に関する実証実験について技術を整理した。その結果、管路長3,000mで取水量10万～100万m³/日の取水システムについて最適管径を求めた。管材料の選定では、鋼管、ポリエチレン複合管等の管材料について、着底管路、一点係留方式及び多点係留方式の浮遊管路の管路設置構造に合致した管断面仕様について設計検討を実施し、立地毎の最適な条件を選定した。

研究開発項目②資源・エネルギー利用技術研究で、冷熱源代替技術については、深層水の低温・清浄特性を利用した、低温貯蔵、空調システム、冷凍システム、シャーベット海水氷製造の各システムについて技術検討と共に実証運転結果を解析し省エネルギー効果の定量化と経済性評価を実施した。また、資源有効利用技術では、濃縮塩水と脱塩深層水の効率的製造技術における省エネルギー効果の定量化と効果についての評価を実施した。

基盤研究として、

研究開発項目③環境影響評価技術等研究では、深層水の取放水に伴う炭酸ガス収支計算と評価の実施を行った。その他、取水側では生物連行、放流側では温度影響、赤潮検討を実施し発生の状況を評価把握した。これらの知見をもとに環境モニタリング項目の選定とマニュアル化を完成した。海域肥沃化研究では、適正水温での放流での海藻の成長促進効果を検討した。また、放流と拡散の状況を検討し、システム構

造へのフィードバックにより影響評価システム化を行った。

研究開発項目④立地条件別最適システム設計・評価では、深層水利用における実用化適地の立地条件調査に基づき、システム構成要素技術の評価を実施した。既設並びに新設の火力発電所を中核とした多目的多段階利用システムの最適利用形態に対する国内実用化適地の調査結果を基に適地での実態調査と最適システムの設計評価を実施し、最適な実用化システムを提案した。

④環境調和型エネルギー技術

[中期計画]

環境に調和したエネルギーの技術開発を推進するため、環境負荷を低減する石炭利用技術（クリーン・コール・テクノロジー）の開発を行うとともに、その他の化石燃料についても環境負荷低減等の利用技術を開発する。

また、エネルギー分野以外の分野の技術であっても、エネルギー分野に関連する技術にあつては、新エネルギー・省エネルギー政策も踏まえ、行うものとする。

<燃料技術開発プログラム>

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》精密高分子技術（高機能高分子実用化技術の研究開発）[平成13年度～平成19年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<4>ナノテクノロジー・材料分野 ①ナノテクノロジー ナノテクノロジープログラム《2》-1参照]

《2》高機能簡易型有害性評価手法の開発 [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<3>環境分野 ③化学物質のリスク評価・管理技術 化学物質総合評価管理プログラム《3》参照]

《3》高性能ハイパースペクトルセンサ等研究開発プロジェクト [平成19年度～平成23年度]

[中期目標期間実績]

[再掲：<2>情報通信分野 ④宇宙産業高度化基盤技術 宇宙産業高度化基盤技術プログラム《4》参照]

《4》高効率天然ガスハイドレート製造利用システム技術実証研究 [平成18年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

地方都市の中小規模需要や簡易ガス事業者に対する新たな天然ガスの供給手段を提供するため、ガスハイドレート化技術を利用した天然ガス供給システムを確立することを目的に、三井造船株式会社天然ガスハイドレート室 室長 内田和男氏をプロジェクトリーダーとして、研究開発を行った。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目① 多成分系の混合ガスハイドレート製造技術開発

柳井発電所における液化天然ガス(LNG)を原料とする7成分混合ガスハイドレート製造設備について、高圧ガス保安法を適用し、プロセスフローダイアグラム、P&ID 作成などの基本設計を実施し、プロットプランを決定した。

付加的な脱水駆動力として、差圧を付加した加圧脱水試験を実施し、処理能力増大の見込みが得られた。

ペレタイザー脱水機能の高度化については、脱水基礎試験装置およびNGH 供給装置モデル試験機を製作。

研究開発項目② 未利用冷熱利用による天然ガスハイドレート(NGH)生成熱除去技術開発

冷熱利用のための中間冷媒をプロパンとし、既設 LNG 系統との取合い条件を確定、NGH 製造設備の基本設計に反映した。

研究開発項目③ 高圧下で製造したペレットの連続冷却・脱圧技術開発

NGH 圧密体のマテリアルシール特性および排出性を確認する基礎試験装置を製作し、試験を実施した。

研究開発項目④ NGH 配送・利用システムの開発

再ガス化方法に関する検討および試験研究を行い、システムコンセプトを決定。再ガス化コンセプトに従い、配送・再ガス化容器およびガス利用システムの基本計画を実施。小規模一般ガス需要家向けガス利用システムに関しては、ガス需要量調査の実施及び超小型付臭システムの基本計画を実施。

超小型付臭システムについては予備試験を実施した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①多成分系の混合ガスハイドレート製造技術開発

柳井発電所における LNG を原料とする 7 成分混合ガスハイドレート製造設備について、高圧ガス保安法を適用し、プロセスフローダイアグラム、P&ID 作成などの詳細設計及び製作を実施し、平成 19 年 7 月現地工事を着工し、土建・機器据付をほぼ完了し、配管、電気・計装工事を継続した。

付加的な脱水駆動力として、差圧を付加した加圧脱水試験を実施し、実証試験装置の 4 倍の処理能力が得られた。

ペレタイザー脱水機能の高度化については、脱水基礎試験装置及び NGH 供給装置モデル試験機によりペレット成型時の排水状況を確認した。

研究開発項目②未利用冷熱利用による NGH 生成熱除去技術開発

冷熱利用のための中間冷媒をプロパンとし、生成・脱水系及び冷却・脱圧系の 2 冷媒系の詳細設計、製作、据付を実施した。

研究開発項目③高圧下で製造したペレットの連続冷却・脱圧技術開発

一軸圧縮の基礎試験装置により、成型圧とシール性能の関係を確認した。

研究開発項目④NGH 配送・利用システムの開発

小型ローリー試験により再ガス化時のブリッジ防止のための構造、循環水の注入方法を決定。ペレットコンテナ A については、詳細設計を終え、製作に着手するとともに貯蔵容量を増大するペレットコンテナの詳細仕様を検討中。ペレットコンテナ B については、ガス需要調査に基づき所要容量を決定し、詳細仕様を検討中。小規模一般ガス需要家向けガス利用システムに関しては、超小型付臭システムを開発し、付臭制御確認試験を実施した。また、大口需要家相当の設備での利用を調査対象として、冷熱・分解水利用方法調査及び冷熱利用シミュレーション方法の検討を実施した。

《5》無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 [平成 18 年度～平成 22 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、コークス炉 1 門分の石炭乾留ガス量の 1/10 容量程度 (数 10m³N/h) の実ガスを用いる試験装置を製作するための準備として下記の項目を実施した。

研究実施項目①実用化試験 I (実ガス試験)

(1) コークス炉実ガスデータ解析及び改質炉流動解析

コークス炉実ガスデータ解析を行い、そのデータに基づく改質炉の熱流動解析を実施し、改質反応特性を把握した。

(2) パイロット試験装置の設計

解析結果等に基づき、コークス炉 1 門分のガス量の 1/10 容量程度 (数 10m³N/h) の実ガスを用いる試験装置 (パイロット試験装置) の設計を行った。

(3) パイロット試験装置の設置準備

装置等設置場所の選定、既存構造物撤去および整備工事を実施した。

(4) パイロット試験装置の製作 (一部装置)

パイロット試験装置の計測装置等の一部試験装置を製作した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①実用化試験 I (実ガス)

パイロット試験による実験については、設備の安全性の観点から機器仕様の見直しを実施し、それに伴い実ガス試験の実施を平成 20 年度に延期した。平成 19 年度は、パイロット試験の実ガス試験等に資するために、ラボスケールの模擬ガス試験を実施し、データ収集、解析等を実施した。

研究開発項目②実用化試験 II (システム検討試験)

パイロット試験装置によるシステム検討試験準備のために、試験装置の基本設計 (改質反応解析及び流動解析を含む) を実施した。

研究開発項目③事業性評価 (FS)

本技術を導入した場合の、省エネルギー効果及び CO₂ 削減効果についての詳細検討を実施した。また、経済性評価及びアジア地域 (特に中国) に対する本技術の導入可能性調査を実施した。

研究開発項目④実用化試験結果のまとめと実証機計画策定

小型炉試験の結果を反映して、本技術をコークス炉へ適用するための抽出課題に対する具体的対策を検討した。

《6》ハイパーコール利用高効率燃焼技術開発 [平成 14 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究項目 1 については、

- ・ハイパーコールサンプルを約 100kg 製造した。
- ・ハイパーコールの新規用途開発を行い、微粉炭火力発電の原料、製造還元用炭材および非鉄金属精錬用炭材として

適用できる可能性を見いだした。

研究項目 2 については、

- ・吸着剤を用いた場合の水銀除去特性および溶出特性を明らかにした。
- ・既存の排ガス処理設備における除去特性をまとめた。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、

- ・亜瀝青炭に対する炭酸水処理の効果を見出した。
- ・ハイパーコール中の残留金属の形態を明らかにするとともにキャラクタリゼーション法を確立した。
- ・ハイパーコールが良好な軟化溶解性を示すこと、軟化溶解性の制御方法として温和な酸化処理が有効であることを明らかにした。
- ・連続製造設備 (BSU) における沈降槽オーバーフローおよびアンダーフローの連続操作によるハイパーコール連続製造の目処を得、また、オーバーフローからの溶剤回収装置として、既設の減圧フラッシュャーを常圧用のスプレードライヤーとして改造し、オーバーフローからの連続溶剤回収操作の目処を得た。
- ・連続製造設備を立ち上げ、瀝青炭を原料としたハイパーコールサンプル約 70kg を製造した。
- ・バッチ方式でアルカリ濃度 0.5ppm 以下を達成した。

研究開発項目②については、

- ・ハイパーコールの粉砕特性、HGI (ハードグループインデックス) 特性および基礎燃焼特性を明らかにした。
- ・ハイパーコール凝集物の解砕方法を明らかにした。
- ・ハイパーコールの貯蔵方法、搬送方法およびガスタービンへの供給方法を確立した。

研究開発項目③については、

- ・既存の微粉炭火力発電設備 (156MW) における機器仕様及び経済性を検討し、一般炭を燃料とした場合に比べて有利であることを明らかにした。
- ・既存の加圧流動床複合発電設備を対象に、ハイパーコールと一般炭の最適な混合比率を明らかにした。
- ・触媒存在下においてハイパーコールは一般炭に比べガス化反応速度が極めて速いことを明らかにした。
- ・ハイパーコールは、コークス製造用炭材、直接還元鉄製造用炭材および非鉄金属精錬用還元剤への用途展開が可能であることを明らかにした。
- ・ハイパーコール製造設備、ハイパーコール発電システムおよびトータル発電システムの概念設計、経済性評価、LCA による CO₂ 負荷評価を行った。

なお、当該研究開発プロジェクトは、平成 16 年度に中間評価を実施し、その結果、計画を一部変更して実施した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

技術開発項目①ハイパーコール製造技術開発

- ・亜瀝青炭に対する炭酸水処理の効果を見出し、その実験結果と分子シミュレーションを組み合わせた解析により熱時抽出機構を提案するに至り、亜瀝青炭からも 60%以上の高収率でハイパーコールが製造できる可能性を明らかにした。
- ・低品位炭中に含まれる金属カルボキシレート量と熱時抽出率が高い相関関係を有することを見出し、低品位炭からハイパーコールを製造するための炭種選定指標として、原炭中の金属カルボキシレート量が利用できることを初めて提案した。
- ・連続製造設備を立ち上げ、瀝青炭を原料としたハイパーコールサンプル約 400kg を製造した。
- ・上記連続製造装置による運転実績を踏まえ、2 段沈降方式によるハイパーコール連続製造試験装置を製作、設置し、オーバーフロー、アンダーフロー両方の連続式溶剤回収システムを含むプロセスフローからなる連続製造装置 (BSU) の基本システムを完成させ、本格的な連続製造試験実施の目処を得た。

技術開発項目②ハイパーコールのハンドリング性評価及び燃焼性評価

- ・ハイパーコールの粉砕試験、HGI (ハードグループインデックス) 試験および基礎燃焼試験を行いそれぞれの特性を評価した。
- ・ハイパーコールのハンドリング性、貯蔵性を評価し、貯蔵方法、搬送方法およびガスタービンへの供給方法を明らかにした。
- ・燃焼シミュレーションによりガスタービンの燃焼完結の可能性及び翼への灰の影響を明らかにした。

技術開発項目③ハイパーコールの用途開発

- ・既存の加圧流動床複合発電設備 (中国電力大崎火力 250MW) を対象に、ハイパーコールと一般炭の混炭のスラリー特性を検討し、実機に適用可能なスラリーであることを明らかにした。
- ・触媒存在下におけるハイパーコールガス化基礎試験を行い、一般炭に比べハイパーコールはガス化反応速度が極めて速いことを明らかにした。
- ・ハイパーコールの良好な軟化溶解性を利用し、ハイパーコールを添加したコークスの製造試験を実施することにより、ハイパーコールを少量添加した場合はコークス強度が高まること、またハイパーコール大量添加した場合は劣質炭の配合比率を向上できる可能性が見いだされた。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①ハイパーコール製造技術開発

- ・ 2 段沈降方式によるハイパーコール連続製造試験装置を製作、設置し、連続製造装置 (BSU) の基本システムを完成させ、プロセス設計データを取得した。
- ・ 連続製造装置の運転研究を通じ、ハンドリング性、燃焼性および冶金分野における炭材性能試験用のハイパーコールサンプル約 2,200kg を製造した。
- ・ ハイパーコール製造過程における微量金属の除去に関する基礎的検討を行った。
- ・ 微量金属の削減の中の脱アルカリ技術について滞留時間がアルカリ除去率に及ぼす影響の定量的評価を行った。

研究開発項目②ハイパーコールのハンドリング性評価及び燃焼性評価

- ・ ハイパーコールの加圧下での燃料前処理系システム検討を行った。
- ・ GT について空気配分の適正化を図った低 NOx 模擬燃焼器を試作し還元剤投入の試験燃焼を行った。

研究開発項目③ハイパーコールの用途開発

- ・ コークス用途開発の基盤研究として、ハイパーコールの配合による熱軟化性および強度向上のメカニズムの解明を大学への再委託研究も含めて実施した。
- ・ 日本鉄鋼協会参画企業の知見を活用して、ハイパーコールのコークス製造用添加剤としての適用性評価・検討し、高強度のコークスが得られることや、劣質炭を多量に配合した場合でもコークス強度を維持できることが確認できた。
- ・ ハイパーコールのチタン、シリコン等の非鉄金属精錬用還元剤としての適用性を検討した。
- ・ 既存の PFBC を対象に、ハイパーコールと一般炭の混炭のスラリー特性を検討し、実機に適用可能なスラリーであることを明らかにした。
- ・ 微粉炭バーナによるハイパーコール燃焼試験および副生炭燃焼試験・検討を実施した。
- ・ ハイパーコール普及の一つの方法としてバイオマスとの混焼を検討した。
- ・ ハイパーコール及び副生炭の微粉炭火力への実用化導入、非鉄金属向け用途開発および新規用途に関する最新技術動向を調査した。
- ・ 触媒を用いたハイパーコールガス化試験データを取得し、650～750℃の低温にて触媒ガス化が進行すること、触媒リサイクルが可能であることを確認した。

研究開発項目④総合評価

- ・ ハイパーコール製造設備、ハイパーコール発電システムおよび経済性評価を行い、これまでの検討結果の精度を向上させた。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①ハイパーコール製造技術開発

- ・ ハイパーコールの性状、化学構造、灰分組成、各種反応性に関するデータベースを構築した。
- ・ 連続製造試験装置 (BSU) を使い、ハイパーコール収率 60%以上の目標を 2 炭種でクリアした。また、灰分濃度 200ppm 以下の目標を 3 炭種で達成し、運転ノウハウ、プロセス設計データを取得した。
- ・ 連続式ハイパーコール製造装置を用いて、ハイパーコールを約 2 トン製造し、利用技術の開発に供給した。
- ・ H-Y 型ゼオライトが脱アルカリ性能を有し、目標値である Na+K<0.5ppm、Ca<2ppm を達成できる見通しを得た。

研究開発項目②ハイパーコールのハンドリング性評価及び燃焼性評価

- ・ ハイパーコールの加圧下での燃料前処理系システム検討を行い、水冷構造の採用等により、ハンドリング可能であることを確認した。
- ・ 燃焼効率 99%以上を達成し、リッチ・リーン燃焼及び還元剤投入により NOx 値 150ppm を実現した。翼摩耗量の簡易評価手法を確立し、灰分 200ppm 以下で平均粒径が 2 μ m レベルであれば商用機としての可能性を見出した。

研究開発項目③ハイパーコールの用途開発

- ・ 触媒ガス化マクロ分析試験装置による反応速度解析及び触媒性能分析を行い、十分なガス化反応速度が得られることを確認した。また、連続式ガス化装置で連続運転化を評価し、連続運転が可能であることを確認した。
- ・ ハイパーコールの配合による熱軟化性及び強度向上のメカニズムを解明した。粘結材としてハイパーコールを利用することで、ドラム強度 (DI) 87 以上の高強度コークスを製造の見通しを得た。
- ・ ハイパーコール及び副生炭ともに Ti、Si 等の非鉄金属用炭材の適用可能性を確認した。

《7》 戦略的炭ガス化・燃焼技術開発 (STEP CCT) [平成 19 年度～平成 24 年度]

《8》 微生物を利用した石油の環境安全対策に関する調査 [平成 17 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下のとおり実施した。

調査項目①石油関連施設の微生物腐食対策技術調査

石油関連設備の腐食部分等から微生物を採取し、調査を行った。まず、採取試料について DNA を抽出し微生物群集解析を行い、複数の微生物、特に硫酸還元菌を確認した。ついでこれら試料中微生物の培養法の検討の上、鉄試料上での微生物の培養を行い複数の微生物を培養し、特定の試料から強い腐食性を有する嫌気性菌を得た。この菌による腐食部分の構造の観察、電位変化などの確認などを行い、微生物による腐食に関する基礎的な情報を得た。

調査項目②石油の国際輸送における海洋汚染の微生物浄化技術調査

微生物の石油分解性能を調査するための標準的な擬似的石油汚染条件を設定した。また、インドネシアと日本の沿岸海中の石油分解菌の実験室における増殖及び解析を行い、分類学的位置の同定を行った。ついで、この標準擬似汚染試料と海浜模擬実験装置により、日本沿岸海水での石油分解の基礎実験を行い、石油の分解、増殖微生物増の分離及び解析並びに分離した石油分解菌での石油分解の特性の基礎調査等を実施した。

平成 18 年度は、以下のとおり実施した。

調査項目①「石油関連施設微生物腐食対策」については、設備材料を石油・ガス関連施設内等に設置し、腐食の進行度の異なる材料について微生物群集を解析し、腐食部分に生育する微生物種を解明するとともに、腐食部分の構造を電子顕微鏡観察し、鉄酸化物を同定した。また、収集した腐食サンプル及び腐食菌が存在すると思われる環境より収集した微生物の純粋培養を行い、メタン生成菌や硫酸還元菌の他に、ヨード酸化細菌等、腐食に関係すると思われる微生物の分離・培養を実施した。分離した微生物に関しては、分類学的同定等、微生物の基礎的な性状を解明した。更に、純粋培養できた硫酸還元菌等で腐食試験を実施し、腐食との関係を明らかにした。また、微生物の付着でバイオフィームが形成された試料の電気化学的測定にて、腐食動向を推定した。

調査項目②「石油の国際輸送における海洋汚染対策」については、日本国内およびインドネシア沿岸の海水を採取し、その中の石油分解菌・乳化菌を集積・分離した。また、分離した菌についてはその分類学的同定等を行い、その菌の基本的性状を明らかにすると共に、分離した石油分解菌については、様々な炭化水素の分解能力等を調べ、その代謝経路等の解析を行い、更には、石油分解菌・乳化菌を栄養塩存在下で培養後、油分抽出及び培養液を濃縮し、これを用いて石油分解代謝物の安全性テストを行うための予備的な調査を行った。インドネシアでは、タンク内に原油で汚染された砂利を置き、海浜に見立てた状況で石油分解実験を行って、石油分解の進行と微生物集団の変化を調査した。また、バイオレメディエーションにおける新たな評価法として、浄化現場の mRNA の変動を解析する方法 (community transcriptome 法) 等の検討を行い、試行した。

平成 19 年度は、以下のとおり実施した。

調査項目①「石油関連施設の微生物腐食対策技術調査」としては、平成 18 年度に分離した腐食性メタン生成菌単独、或いは硫酸還元菌との共培養における腐食能力の活性化条件、腐食の進行メカニズム、最適培養条件、嫌気的条件下での安定的保存条件、及び生理学的性状を調査した。腐食性メタン生成菌を単独で培養した場合と硫酸還元菌との共培養の場合では、共培養において腐食が促進され、主要な腐食原因菌はメタン生成菌と推定された。好気性微生物と嫌気性微生物の共存腐食試験では、バイオフィームはヨウ素イオン酸化細菌による腐食には保護効果を示さないことを確認した。腐食部分の微小構造の調査では、腐食性メタン生成菌と硝酸塩還元菌との共培養の場合で腐食が促進され、更にタールエポキシ樹脂塗膜欠陥部の激しい腐食と塗膜の劣化剥離現象を新たに見出した。MIC1-1 株は硝酸塩還元菌で硝酸塩存在下で腐食能を示し、乳酸等の添加で腐食能力が活性化することを確認した。2-bromoethanesulfonic acid (BES) を鉄腐食性メタン生成菌に加え、試験することによって、腐食メカニズムに関する新たな知見を得た。嫌気的条件下では、嫌気性微生物による腐食試験を実施し、メタン生成菌単独ではコントロールの 16 倍、混合系では 70 倍の腐食が起こることが判明した。好気性微生物の腐食試験で菌体表面に生理学的性状として、ヨウ素を濃縮させる機構を持つと推定される知見を得た。KA1 株と OS7 株のゲノムの完全解読をほぼ完了した。分離・培養した腐食菌の保存と関連情報のデータベース化と腐食性メタン生成菌固有の遺伝子の絞込みに着手した。腐食低減調査でグルタルアルデヒドがメタン生成菌の腐食阻害効果が高いことを確認した。

調査項目②「石油の国際輸送における海洋汚染の微生物浄化技術調査」では、平成 18 年度までにインドネシア海域から 600 株の石油分解菌を単離し、原油分解菌として報告のない 51 属の石油分解単離株について、分類学的、及び乳化作用に関する機能 (炭化水素の分解能力) を調べ、同じ *Alcanivorax* 属に分類された菌でもアルカンの資化能力が著しく異なるグループの存在を明らかにした。また、平成 18 年度に引き続き、新規バイオレメディエーション評価法をバイオレメディエーション実験に応用して有効性を確認し、*Alcanivorax* の炭化水素分解系遺伝子がバイオレメディエーションの指標になるデータを得た。さらに平成 18 年度までに菌の乳化活性を測定する方法を確立し、海浜模擬装置浄化実験中に得たサンプルから、高い乳化作用をもつものを確認した。日本とインドネシアの海浜模擬試験で 6 種類の栄養塩種、無添加区と栄養塩の組み合わせ、添加時期を検討し、徐放性栄養塩と分解を活性化する栄養塩の組み合わせにより分解速度が速くなることがわかった。また、現場活躍菌として、*marinobacter* 属が同定された。石油分解菌・乳化菌の安全性評価に関する調査では、ジャワメダカ卵を用いて原油、ムース化油及び原油分解液の毒性実験を行い、油分上昇に伴う卵死亡率の上昇が認められた。なお、最小油分濃度でも高い毒性が観察され、PAHs 以外の成分 (PAHs 分解産物を含む) の寄与が示唆された。また、バイオレメディエーション実施前の天然フロラを調査した。

《9》多目的石炭ガス製造技術開発（EAGLE）〔平成10年度～平成21年度〕

〔中期目標期間実績〕

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①について、平成14年度に実施した基本特性把握試験で得られたガス化炉廻り物質収支・熱収支データを基に、試験条件の変化による性能変化を定量的に整理した。また、ガス化炉の安定運転に対する目安としての中間目標をクリアした。負荷変化試験を行い、プラントの制御特性を把握すると共に、運用上の制限や設備の追従性、生成／精製ガス性状の変化等について検証を行った。APC機能、ガスタービン燃料切替・負荷遮断、ガス化炉ランバック等、制御機器のチューニングを実施し、システムとして最適な制御技術確立の検討を実施した。酸素吹き石炭ガス化システムを更に効率化・コンパクト化するための高度化対応技術として、バルブの高度化について、試験運転の結果を反映しつつ有効かつ合理的な詳細設計及び機器の製作を実施した。

研究開発項目②については、小型試験炉（1t/d）等により炭種拡大試験（安価な高水分炭）を行い、ガス化性能、ガス化反応性及び微粉炭の粉砕性・流動性を評価した。また、ガス化時にH₂S、CO₂の他にSO₂が発生するかどうか、ガス化試験により評価すると共に、ガス化雰囲気中における当該物質の分析手法についても検討した。石炭利用基盤技術開発において開発中の噴流床ガス化シミュレーションモデルを利用し、パイロットプラントの炭種別性能予測を実施した。

中間目標については、プロジェクト全体としての研究開発目的について、酸素吹きガス化技術の優位性の明確化及び社会的な情勢変化に応じたものにすべきとの指摘を受け、プロジェクト全体としての目的の見直し及びプロジェクト名称の変更を実施した。また、実用化への促進及び実施体制強化等についての指摘についても、改善措置を実施中である。

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「パイロット試験設備による研究」

- (1) 長時間連続石炭ガス化運転を実施し、各機器の信頼性及各部の摩耗・腐食状況について検証を行った。
- (2) 各種ガス化試験を通じて制御機器等の調整を行い、システムとして最適な制御技術、運転技術の検討・検証を行った。
- (3) 多炭種対応試験として2炭種目のガス化確認試験を行い、ガス化特性および環境特性並びに燃料特性等を把握した。
- (4) 試験運転に支障を来たさぬ様、パイロット試験設備（借上設備を含む）に対して必要な保守・修繕を行った。
- (5) ガス化炉高度化対応技術（更なる効率化・コンパクト化）について、詳細設計、機器製作等を実施した。
- (6) 石炭ガス化シミュレータの有効性、スケールアップ検討に対する適用可能性を検証した。

研究開発項目②「支援・調査研究」

- (1) 小型試験炉（1t/d）等により炭種拡大試験（安価な高灰分炭）を行い、ガス化性能、ガス化反応性及び微粉炭の粉砕性・流動性を評価した。
- (2) 小型試験炉によるガス化試験時に得られたチャーの分析結果から、石炭中のC1がチャーに濃縮している事が判明した。C1は金属材料を腐食させる物質であることから、ガス化過程におけるC1の挙動を明らかにするため、[チャー中C1の吸着特性の検討] [ガス化過程におけるC1挙動]を評価した。
- (3) 噴流床ガス化シミュレーションモデルを利用し、パイロットプラントの炭種別性能予測を実施した。

平成15年度に実施した中間評価において、『NEDOプロジェクトとMETIプロジェクトに分かれていることから生じる不都合がないよう最大限の配慮がなされること。』『石炭ガス化とガス精製は両者一体となつて開発を進めるべきで、現状の二つに分かれた体制は見直すべき。』との指摘を受けたため、今後、試験研究の円滑な推進及び実用化への加速を図るために、ガス精製技術開発（METIプロジェクト）の実施内容を「多目的石炭ガス製造技術開発（EAGLE）」の中に取り込み、マネジメントの一本化を図った。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「パイロット試験設備による研究」

- (1) 新たな1炭種についてガス化確認試験を実施し性能把握を行った。
- (2) ガス化確認試験の実施に支障をきたさないように、パイロット試験設備に必要な保守・修繕を行うと共に、電気事業法に定められた法定点検を実施した。
- (3) ガス化確認試験を通し、プラントの制御特性の把握並びに抽気連携にむけた基礎試験を実施した。
- (4) 高度化対応技術開発項目である
 - ・高度化粉体弁機能確認試験の実施し対象弁の機能について確認した
 - ・バーナ噴出速度増大試験においてスケールアップに必要な運転条件における設備性能の検証を行った
 - ・空塔速度増大試験においてスケールアップに必要な運転条件における設備性能の検証を行った
- (5) スケールアップに向けた高度化対応試験、炭種変更による性能試験並びに定期点検等を通じた

設備確認の成果についてとりまとめを行った。

研究開発項目②「支援・調査研究」

- (1) 平成 17 年度は、平成 16 年度に引続き小型試験炉 (1t/d) 等により炭種拡大試験を行い、ガス化性能、ガス化反応性および微粉炭の粉碎性・流動性を評価した。
- (2) 石灰石添加におけるスラグ流下特性の把握並びに、EAGLE 高度化試験結果の解析を行った。
- (3) 基盤研究で開発した噴流層ガス化シミュレータ、性能解析ツール等を用いて、EAGLE 性能試算を実施した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「パイロット試験設備による研究」

- (1) 新たな 2 炭種のガス化確認試験を実施し、開発目標である 5 炭種全てにおいてガス化特性及び環境特性並びに燃料特性を把握した。
- (2) 空気分離装置－ガスタービン間の抽気連係試験を行いプラントの制御特性を把握するとともに、運転制限や設備の追従性、所内電力量の推移等プラント総合性能検証を行った。
- (3) ガス化確認試験を通じて一体化粉体弁の機能特性を確認した。
- (4) ガス化パイロット試験設備の運転を通じて得られた成果のとりまとめを行った。

研究開発項目②「支援・調査研究」

- (1) 小型試験炉やラボ試験を通じてガス化安定運転に重要なスラグ流下特性、対象石炭の粉碎性、微粉炭の物性、ガス化性能などについてガス化への適用炭種拡大の検討を行った。
- (2) 基盤研究で開発した噴流層ガス化シミュレータ、性能解析ツール等を用いて、EAGLE 適用炭の性能試算を実施した。さらに、EAGLE パイロットプラント運転研究における課題に対し、管状電気炉等による評価・検討・解明を実施し、パイロットプラントの運転支援を行った。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

平成 19 年度より、STEP-2 に着手し以下の事業を実施した。

研究開発項目① パイロット試験設備の改造

高灰融点炭へガス化炉設備を適用するため、ガス化炉の耐熱性の強化（冷却効果の向上）を目的とした設備の設計・製作を実施した。

研究開発項目② CO₂ 分離回収設備の建設

酸素吹石炭ガス化炉から生成される石炭ガスからの CO₂ 分離回収システムの確立を目的に、EAGLE 生成ガス量の約 10% (1,000m³N/h) 容量を処理する CO₂ 分離回収試験設備の設計、製作および基礎工事を実施した。

研究開発項目③ パイロット設備による運転研究

ガス化炉改造前後で改造効果を比較するため、改造前のガス化炉を用いガス化試験を実施し、ガス化特性、運用特性を把握（ベースデータの取得）した。

上記ベース炭のガス化試験と併せて、常圧チャーリサイクル試験を行い、チャー抽出し、チャー・石炭混合供給方法について確認し、実証機適用技術の見極めを行った。

また、試験運転に支障を来さぬ様、パイロット試験設備（借上設備を含む）に対し必要な保守・修繕を行った。

なお、平成 19 年度に実施した中間評価においては、STEP1 の研究開発項目の目標を全て達成しており、優良の評価を得られた。

《10》重質残油クリーン燃料転換プロセス技術開発 [平成 13 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、a) FT 合成用新規触媒の開発において、混合 Co 系触媒で各種担体を検討し、シリカが最も高性能であることを明らかにした。加えて、アルカリ金属を微量添加した有機 Co 塩系触媒の活性を検討し、超臨界条件下で連鎖成長確率 $\alpha = 0.91$ (@CO 転化率 90%) を達成する触媒を開発した。また、今後の触媒改良の指針を整理した。b) FT 合成方法の開発において、超臨界固定床 FT 合成技術が従来の固定床 FT 合成技術、スラリー床 FT 合成技術に対し、CO 転化率、連鎖成長確率とも優位性があることを確認した。更に経済性のある実用条件を検討し、超臨界条件ないし生成油を循環溶媒に用いても優位性のある条件があることを見出した。

研究開発項目②については、微結晶ゼオライトとアモルファス固体酸を複合化した担体の構成比率を検討した。これにより、触媒性能を飛躍的に向上させることに成功し、軽油選択性 75% を得た。新規の微結晶ゼオライトの量算法を検討し、実生産量を経済的に満足する条件を確立した。また、今後の触媒改良の指針を整理した。

研究開発項目③については、FT 合成技術と水素化分解技術の開発成果に基づき、軽油収率 41% を得た。これを基に、ATL 製造プロセスの物質収支と製造コストを算出するシステム、および経済性を評価するシステムを用いて、経済性を評価した結果、現行軽油価格に対し、5 円/L 高いものとなった。これについて更に経済性向上させる課題抽出を行い、研究計画に反映した。

最終年度として、数値目標を全て達成したが、実用化のために更に経済性を向上させる必要があり、外部有識者による評価を踏まえて、技術開発期間を平成 18 年度まで延長することとした。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①FT 合成技術

a) FT 合成用新規触媒の開発

細孔径を最適化したシリカ担体にジルコニアを薄膜担持し、微量のアルカリを添加して担体の酸量を調整した。これに金属コバルトを担持することで、連鎖成長確率：0.91 を維持したまま、CO 分解率を向上させることに成功した。

b) FT 合成方法の開発

溶媒比 10 の亜臨界 FT 合成条件にて副生する水蒸気によるコバルト触媒の酸化劣化が顕著であった。安定運転のためには 2 段反応プロセスとし、各反応塔での CO 分解率を 70%以下に抑え、かつ 2 段目反応塔前で水蒸気を分離することで安定運転を達成することを見出した。

研究開発項目②水素化分解技術

高純度微結晶ゼオライトの実験室スケールでの製造法を見出した。微結晶ゼオライトとボリアを複合化した担体の最適化を行い、触媒活性を飛躍的に向上させることに成功し、軽油選択性 77%を得た。

研究開発項目③実用化に関する技術検討

目標パフォーマンスを踏まえた設備投資額を積算し、経済性評価を行った結果、現状原油価格 35 \$/バーレルにおいて、経済性達成の可能性があることがわかった。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「FT 合成技術」

(1) FT 合成用新規触媒の開発

シリカ担体にジルコニアを薄膜担持し、硝酸コバルトを用いてコバルトを 30%担持した触媒を開発し、連鎖成長確率：0.91 (CO 転化率 70%時) を満足した。また、溶媒比 (溶媒/生成油) を 10 以下に低減できることも明らかにした。

(2) FT 合成プロセスの開発

亜臨界 FT 合成条件において、溶媒比 6 まで下げても触媒性能に影響しないことを確認した。この時の循環溶剤として nC10~nC12 が適していることを見出した。また、循環溶剤中にオレフィンが含有すると連鎖成長が促進することを見出し、プロセスフローの決定に有効な知見が得られた。

研究開発項目②「水素化分解技術」

高純度微結晶ゼオライトの実製造において問題となると考えられるシードの合成を実製造装置を用いて行い、問題点を把握した。高純度微結晶ゼオライトとボリアを複合化した担体の最適化を行い、軽油選択性を 78%まで向上させた。

研究開発項目③「実用化に関する技術検討」

原油価格の上昇による重質残油処理のメリットとして、従来の設備投資額よりも約 120 億円高くても ATL プロセスの経済性が成り立つことがわかった。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「FT 合成技術」

a) FT 合成新規 Co 系触媒の開発

- ・シリカ外表面にジルコニアを薄膜上に担持した担体に、更に Co を外表面に担持した高性能エグシエル触媒を開発した。
- ・シリカ担体の細孔径は 100 Å が最適であることが明らかにした。

b) FT 合成プロセスの開発

- ・循環溶剤比を 6 まで削減可能との見通しを得た。
- ・2 段目の反応において混在する水の影響は無いことを明らかにした。
- ・開発触媒の寿命は 8000 時間以上であると予想される。

研究開発項目②「水素化分解技術」

- ・開発したハイブリッド触媒の商業試製を行い、製造法を確立するとともに、ラボ品と同等の性能を再現することができることを確認した。
- ・2 段反応の後段分解触媒の酸性質を弱めることで、軽油選択性 80%を達成することができた。

研究開発項目③「実用化に関する技術検討」

- ・重質残油 (アスファルト) の需要が年々減少し、ATL プロセス開発の重要性が高まることが分かった。
- ・開発した ATL 技術はすでに GTL として商業化されている技術に対して同等以上に高いレベルであると評価された。
- ・開発した ATL プロセスの経済性は最近の機材の高騰による設備費の増加により、現状では経済的に商用化が困難であると試算された。

《 1 1 》 石炭利用プロセスにおける環境への影響低減手法の調査 [平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下の 3 項目のテーマについて、調査を行った。

- ① 微量成分の挙動解明に係る調査
文献調査や小型燃焼炉を用いて Hg の一部と Se、B の挙動解析手法について検討を行い、挙動予測手法の課題について検討を行った。
- ② 計測・分析手法に係る調査
B、Se に関するガス状微量成分分析用吸収液性能や小型試験炉における燃焼排ガスによる分析精度を確認し、分析手法を確立する上での課題を抽出した。
- ③ 高度除去技術に係る調査
微量成分 (Hg) に関連した規制動向や分析手法の文献調査やラボスケール試験装置を用いた Hg 補足特性の検証を行い、今後の開発課題、目標値の検討を行った。

<非プログラム プロジェクト・事業>

《12》インドネシアにおける低品位炭液化実証事業 [平成19年度～平成25年度]

[中期目標期間実績]

本事業は、インドネシアが計画している石炭液化の商業化をサポートを行うための事業であり、インドネシア側がサポートを受けるための条件（商業プラント建設のための事業実施会社を設立、あるいは事業会社の指定）についてインドネシア側が事業実施体制等を協議している段階であり、未だ実施体制が整っていないことから、平成19年度事業を見送りとした。

《13》クリーン・コール・テクノロジー推進事業 [平成4年度～]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、石炭利用に伴う CO₂、SO_x、NO_x 等の発生に起因する地球環境問題への対応、エネルギー需給の安定化への対応を図るため、クリーン・コール・テクノロジー (CCT) 開発における動向調査を実施した。また、IEA 執行委員会における情報交換、民間企業等（プラント、電力、商社、海運業、鉄鋼、資源開発、大学・研究機関、NPO、マスコミ）を集めた CCT 推進のための会議の開催等を実施した。

平成16年度は、石炭利用に伴う CO₂、SO_x、NO_x 等の発生に起因する地球環境問題への対応、エネルギー需給の安定化への対応を図るため、クリーン・コール・テクノロジー (CCT) 開発における動向調査を実施した。また、IEA 執行委員会における情報交換を実施し、国内関係者への情報提供を行った。

調査案件①『石炭ガス化を核とするコプロダクションシステムに関する調査』は、石炭ガス化、ガス化ガスからの発電、水素製造、合成燃料製造、CO₂ 分離回収を対象として複数のシステムを想定し、優位性の比較および評価を行った。また、CO₂ 回収型 IGCC を対象に、ガス化炉酸素濃度、CO₂ 回収率および CO₂ 回収方式をパラメータとして最適システムを選定し、CO₂ 除去率と発電原価の関係を把握した。

調査案件②『次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査』は、(1) プロセスシミュレーションによる効率計算を実施し、エクセルギー再生型 A-IGCC および A-IGFC システムの効率を予測した。(2) エクセルギー再生可能なガス化炉として 2 塔式ガス化炉を提案し、プロセス計算によりその操業条件の目安を得た。(3) システムに伴うガスクリーンアップ技術に関し、湿式ガス精製システムでは高効率は期待できず、乾式ガス精製システムの開発が不可欠であることを明らかにした。

調査案件③『既設微粉炭火力発電プラントへの酸素燃焼技術の適用に関する調査』は既設微粉炭火力発電プラントを豪州 CS エネルギー所有のカライド A 発電所に選定し、酸素燃焼技術を適用した場合の改造内容、CO₂ 回収の経済性等を調査した。

調査案件④『石炭ガス化による鉄・電力・水素コプロダクションに関する調査』は「製鉄所における石炭ガス化ガスの効率的脱硫プロセスに関する調査」と「石炭ガス化還元ガスによるシャフト炉を用いたセミ還元鉄製造に関する調査」に分けて、(1) 還元ガス比率の向上、(2) 石炭ガス化ガスのシャフト炉での脱硫性能、(3) 還元性能の把握、(4) セミ還元鉄の性状把握のそれぞれについて得られたデータに基づき、シャフト炉設計を踏まえたコプロダクションプロセスの F/S を行った。

なお、平成16年度に追加した 2 テーマについては以下の通り、公募を実施し、採択した。

【公募1】石炭ガス化を核とするコプロダクションシステムに関する調査

事前周知：平成16年6月23日

公募開始：平成16年7月7日

公募締切：平成16年7月21日

選定通知：平成16年7月26日

【公募2】次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査

事前周知：平成16年6月23日

公募開始：平成16年7月9日

公募締切：平成16年7月23日

選定通知：平成16年7月28日

平成17年度は、以下のとおり実施した。

調査案件①「産業間連携に係る石炭ガス化を核とする発電・水素・CO₂ 分離回収システムに関する調査」

石炭ガス化と CO シフト反応を組み合わせにより、CO₂ 回収型の発電システムを検討し、CO₂ の分離回収システムの適用の可能性について検討を行い、その技術的課題を抽出した。

調査案件②「次世代高効率石炭ガス化発電プロセスの開発に関する調査」

粒子シミュレーション、試験装置によるガス化反応特性、コールドモデルによる流動特性把握等を行い高濃度高速粒子循環システムによる石炭ガス化炉の設計に関する検討並びに乾式ガス精製技術の詳細調査及び効率評価を行い高濃度高速粒子循環システムによる低温石炭ガス化炉の実用化に向けての課題を抽出し評価・検討を行った。

調査案件③「既設微粉炭火力発電プラントへの酸素燃焼技術の適用に関する調査」

既設の発電所に酸素燃焼技術を適用する際の改造内容の検討、ならびにプラントの運用性検討を行い、本方式によるCO₂回収の有用性について検討した。

調査案件④「無触媒石炭乾留ガス改質技術を用いた産業間連携によるクリーン燃料製造に関する調査」

無触媒石炭乾留ガス改質技術の事業性や中国への展開に関する可能性を検討した。

調査案件⑤（期中新規）「石炭利用プロセスにおける微量成分に関するアジアを中心とする動向調査」

石炭利用プロセスにおける微量成分の挙動、排出量の現状を整理し、データベース化すると共に、国内外における環境規制動向を調査しアジア大での石炭燃焼プロセスの環境影響低減のための調査課題、研究開発課題の低減を図った。

調査案件⑥（期中新規）「革新的非平衡プラズマラジカル系を用いた高効率石炭利用技術に関する調査」

石炭を非平衡プラズマによって活性化させ、排熱利用温度でラジカル連鎖によりガス化すると共に、排熱温度で作動する触媒によって気相反応生成物を制御することで高付加価値な生成物を得るシステムについて、実験や文献等を通して各要素技術の検討ならびにシステム全体の構築に向けた課題に関する調査を実施した。

調査案件⑦（期中新規）「産業間連携によるコークス炉ガスからの有用化学物質合成に関する調査」

コークス炉ガスおよび廃ガスから回収したCO₂を利用して、ベンゼンを合成する技術の可能性について検討した。

平成18年度は、以下のとおり実施した。

(1) CCT 開発等先導調査

調査案件①「芳香族水素化溶剤を用いた褐炭からの高性能粘結炭製造に関する技術調査」（改題）については、水素化溶剤を用いた褐炭からの高性能粘結炭転換技術の試験調査を行い、実用化に向けた課題の抽出、実用化見通しや経済効果等の検討を行った。

調査案件②アジア地域における石炭液化技術の導入可能性に関する調査

調査案件③BCL プロセスによるインドネシア石炭液化技術協力に関する調査

調査案件④「革新的非平衡プラズマラジカル系を用いた高効率石炭利用技術に関する調査」については、排熱利用温度におけるラジカル連鎖反応の検討並びに高付加価値化を担う触媒等の調査を行いプラズマラジカル系における反応場の特性を把握した。

また、期中に新規調査として以下の調査を実施し、技術開発動向の情報入手、技術検討及び実施可能性等を検討した。

調査案件⑤「含窒素溶剤を用いた褐炭からの高性能粘結炭製造に関する技術調査」

調査案件⑥「気流層石炭ガス化・精製の乾式システムに関する技術調査」

調査案件⑦「中国での循環流動層ボイラにおけるN₂O低減によるCDM可能性調査」

調査案件⑧「次世代高効率石炭ガス化技術に関する調査」

調査案件⑨「中国における石炭焚きボイラ普及可能性調査」

調査案件⑩「インドにおける石炭燃焼灰利用事業実施可能性調査」

(2)「IEAの各種協定に基づく技術情報交換」では、各国からの提案について調査された情報について国内関係者への提供を行なった。

(3) その他 CCT 推進事業（CCTに関する普及・啓発のための事業等については、石炭利用に関する啓発を目的として、CCTの最新技術を調査し石炭Q&Aの冊子として編集（改訂版）した。

平成19年度は、石炭利用に伴い発生するCO₂、SO_x、NO_x等による地球環境問題への対応、及びエネルギー需給の安定化等への対応を図るため以下の調査研究等を実施した。

(1) クリーン・コール・テクノロジー(CCT)開発等先導調査

調査案件①「革新的非平衡プラズマラジカル系を用いた高効率石炭利用技術に関する調査」においては石炭の非平衡プラズマ場における反応性を検討した。

調査案件②「気流層石炭ガス化・精製の乾式システムに関する技術調査」ではガス化・乾式精製システムの調査を行うとともに、ガス化発電システム適用時の効率等の検討調査を実施した。

調査案件③高度CO₂、H₂分離回収技術調査として、「石炭火力ゼロ・エミッション化に関する動向調査」として、CCSおよびCO₂分離回収技術を含めた各要素技術の開発動向、技術課題等を調査した。

調査案件④「石炭ガス化における大型酸素製造技術に関する調査」を実施した。

(2)「IEAの各種協定に基づく技術情報交換」では、各国からの提案について調査された情報について国内関係者への提供を行った。

(3) その他 CCT 推進事業としては、CCTに関する普及・啓発のためにCCT推進事業報告会を開催するなど、CCTの普及に向けた事業を行った。

《14》石炭利用基盤技術開発 [平成12年度～平成16年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①については、反応モデルの精緻化について、ガス化の初期反応である揮発化反応について、新しい国産の揮発化モデルを昨年度から継続開発を実施した。加圧揮発化チャーのガス化反応性について、加圧ドロップチューブファーネス（DTF）等で測定し、シミュレータに組み込むチャーのガス化反応速度の検討を実施した。また、ガス化反応速度へのチャー物性、鉱物質、ガス化雰囲気等の影響を定量的に評価した。灰付着モデルの精度向上について、伝熱特性評価試験炉の付着物を分析し、炉内の粒子挙動を定量的に解析し、熱回収部の灰付着メカニズムの検討を実施した。また、灰の焼結メカニズムの解明では、高温・加圧下の灰の生成挙動を観察した。ガス化炉伝熱モデルの開発について、熱回収部の伝熱モデル開発のため、中型実験装置を用いて、ガス温度・流速と熱伝達率の関係を継続把握を実施した。

研究開発項目②については、小中型試験装置で得られたデータを用いてシミュレータの検証を行い、予測精度の向上を図るとともに、灰の付着・成長予測シミュレータの開発を実施した。また、東北大学ベースのガス化シミュレーションソフトの開発に着手、及びガス化シミュレータの公開モジュールの作製（フリーエントベースと東北大学ベース）を平成14年度から継続して実施した。

研究開発項目③総合データベースの拡充については、標準炭の選定収集について、新たに10炭種を選定し、調達した。標準炭の物性及び反応データの入力については、標準炭10炭種の一般分析、物性データ、反応データ等を取得した。

< 6 > 新製造技術分野

[中期計画]

我が国の生命線ともいべき経済力の源泉であり、我が国でしかできない高精度加工技術が存在する等世界的にも最高水準にある製造技術を更に高度化するとともに、こうした技術を幅広い産業分野に応用するため、新製造技術、ロボット技術等の課題について重点的に取り組むこととし、以下のような研究開発を推進するものとする。

①新製造技術

[中期計画]

我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化、新たな高付加価値産業を生み出す環境の整備、省エネルギー部品の実現等のため、我が国に蓄積された半導体製造技術やマイクロマシン技術を活用し、情報通信、医療・バイオ、産業機械など多様な分野におけるキーデバイスとして期待が高まっている MEMS (Micro Electro-Mechanical System) の製造技術の開発、新規加工プロセス技術の開発、並びに設計・製造現場における技能・ノウハウを情報技術を活用してソフトウェア化・データベース化する技術等の開発を行う。

< 新製造技術プログラム >

[中期目標期間実績]

第1期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》高集積・複合 MEMS 製造技術開発プロジェクト【委託・課題助成】[平成18年度～平成20年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「MEMS/ナノ機能の複合技術の開発」については、ナノ機械構造体、バイオ材料及びナノ材料を所定の領域に選択的に形成するのに適した方法を探索するとともに、ナノ機能との融合デバイス及びその製造プロセスのフィジビリティスタディを行った。

研究開発項目②「MEMS/半導体の一体形成技術の開発」については、半導体とのモノリシック製造技術及び配線技術の基本プロセスフローをフィックスした。

研究開発項目③「MEMS/MEMSの高集積結合技術の開発」については、多層MEMS集積化技術の基本プロセスフローをフィックスするとともに、多層ウエハレベル接合体の低ストレスダイシング技術に関しては、最適なダイシング方法の探索を行った。

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

1) 助成事業

研究開発課題①MEMS/ナノ機能の複合技術の開発

Auメッキ液へのCNTの均一分散技術を確立し、RFスイッチの接点材として低抵抗かつ高硬度な特性が得られた。

研究開発課題②MEMS/半導体の一体形成技術の開発

(1) MEMS-半導体プロセス統合モノリシック製造技術：マルチセンサ化のための平面駆動型構造を試作し、更に立体構造型の形成技術の検討にも着手した。

(2) MEMS-半導体縦方向配線技術：装置・レシピの条件検討により、 $\phi 10\mu\text{m}$ 、アスペクト比50の貫通孔加工を達成した。溶融金属充填法により、クランク形状の微細孔内部にAu-Snを完全充填することに成功した。

(3) MEMS-半導体横方向配線技術：再構築ウエハを構成するデバイスにダメージを与えない低温集積プロセスをエポキシ樹脂で実現した。

研究開発課題③MEMS/MEMSの高集積結合技術の開発

(1) 異種材料多層MEMS集積化技術：デモ実験により接合実験を行い、位置合わせ精度目標を満たすことを確認した。

(2) ビルドアップ型多層MEMS集積化技術：積層デバイス形状による各機能ウエハ性能確認のための3層構造1チップ実装デバイスの試作を完了した。

2) 委託事業

研究開発課題①MEMS/ナノ機能の複合技術の開発

(1) 選択的ナノ機械構造体形成技術：スタンピング転写法による高精度位置決め技術を確立し、AuのナノパターンによるSPR(表面プラズモン共鳴)信号の計測に成功した。

(2) バイオ材料の選択的修飾技術：血管内皮細胞増殖因子(VEGF)を検出するための分子認識素子として、フルオレセインを導入した分子認識素子が目標を満足することが分かった。実際に開発したデバイスをを用いてVEGFを検出できることを、SPR法と蛍光法を用いて確認し、シグナルを検出することに成功した。

(3) ナノ材料の選択的形成技術：架橋型のCNT構造体やカンチレバーを再現性よく形成可能な製造技

術を開発した。また共振周波数を評価するための光励起型振動測定評価装置を開発した。

研究開発課題②MEMS/半導体の一体形成技術の開発

(1) MEMS - 半導体プロセス統合モノリシック製造技術

幅：約 100nm～500nm、電極-ワイヤ間ギャップ：約 50nm～200nm の Si ナノメカニカル構造体を完成した。線幅 150nm の Si ナノワイヤの試作に成功した。Si ナノワイヤピエゾ抵抗素子を応用した世界最小クラス(0.5mm 角)の 3 軸加速度センサの設計開発に着手した。

(2) MEMS-半導体横方向配線技術

インクの表面濡れ性や熱伝導、表面段差の異なる様々な基材に対し、世界で初めてレーザ援用効果で、高い描画速度、描画厚みを維持する中、線幅を 1/3～1/7 程度に縮小できることを実証した。厚さ 100 μ m の Si チップを電気的に接続するためのチップ乗り越え配線(配線幅：20 μ m、配線間隔：30 μ m)の形成に成功した。

研究開発課題③MEMS/MEMS の高集積結合技術の開発

3 種類以上の多層構造に対してレーザ誘起熱応力による内部加工での切断を実証した。内部加工されたウエハを均等に切断・分離するための装置を開発した。

研究開発課題④高集積・複合 MEMS 知識データベースの整備

知識データ累積登録件数が 1000 件を突破した。プロジェクト終了後の Web 上での一般公開に向けて、検討を開始した。

研究開発課題⑤ファイン MEMS システム化設計プラットフォームの研究開発

櫛歯(角速度センサ、アクチュエータ 3 種類)、梁 2 種類、平行平板 2 種類、磁気回路、振動子等価回路モデル(計 10 件)のコンテンツを作成した。

《2》高度機械加工システム開発事業【F 2 1】【委託・課題助成】[平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、NEDOPOST3 により、公募開始 1 ヶ月前の事前周知を行い、公募、技術委員会等を実施して実施先を選定した。

1) 助成事業

①量産品の高度機械加工システムの開発

<ギアケースの内面加工技術>

・製作部品が完成し、機械完成後の機能・性能の実験解析及び実切削対象ワークの加工精度評価において実験及び評価の段取りを考慮することにより、平成 17 年度の計画に対しては概ね計画を達成した。

<複合加工技術>

・傾斜研削方式の評価を実施し。機械装置としては砥石軸が ± 90 度旋回が可能な多自由度機構を考案と砥石自動交換装置の基本検討を実施した。

②少量生産品の高度機械加工システムの開発

新クランプ機構の設計は完了したが、ワーク取付用 2 軸ロータリーテーブルの設計、C 軸、W 軸の 2 軸を有する主軸頭の設計は未達となった。

③高度機械要素の開発

モータ、ベアリング等の各主要要素および主軸本体、状態モニタリングについてはほぼ完了したが、何点かさらに検討すべき課題が明確になった。

主軸旋回機構は、仕様の決定が完了した。

④高度制御・補正技術の開発

インテリジェント主軸ユニットの設計・試作・評価は、軸受状態のセンシングに関して、潤滑状態の良否判定ができるかの検討が完了した。

びびり等の加工異常を検出・判定するアルゴリズムを確立した。

2) 委託事業

①機械加工システムの新構造部材の開発

I. 高剛性高減衰能構造材料と評価技術の開発

炭素濃度が高くかつマトリックスがパーライトの片状黒鉛鋳鉄が、振動の周波数に係らず高い減衰能を示すことを明らかにした。工作機械設計支援手法については、概念設計評価手法と詳細な構造変形の計算を組み合わせた工作機械設計支援ツールの基本構成を決定した。

II. 軽量高剛性構造材料と評価技術の開発

概要設計及び本体(圧力容器部分)の詳細設計が完了した。

ポーラス炭素鋼を使用して工作機械の構造体を構成する場合に必要な板状ポーラス炭素鋼の溶接技術は、溶接方法の絞り込みが完了した。

②高機能摺動部材と評価技術の開発

摺動特性は、炭素濃度、熱処理等の製造条件よりも、摩擦相手材料による影響の方が大きいこと及び摩擦低減効果があることを明らかにしたが、潤滑油と表面との吸着メカニズムの解明は未達となった。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

①量産品の高度機械加工システムの開発

<ギアケースの内面加工技術>

本開発テーマの主体となるギアケース内面切削工具・駆動ソフトを搭載した切削システムの設計、試作を完了した。

<複合加工技術>

機械装置としてはレーザ焼き入れシステム、多自由度機構の原理実証用の装置、砥石自動交換装置等を試作し、特性を実験的に確認した。

②少量生産品の高度機械加工システムの開発

種々の新クランプ機構について構造強度解析と試作、2軸ロータリーテーブル、及び2軸を有する主軸をまとめた7軸制御機械に必要な制御ソフトの開発を行った。

③高度機械要素の開発

各主要要素の試作評価を実施するとともに、主軸ユニット、主軸旋回機構の設計製作を終了した。

④高度制御・補正技術の開発

インテリジェント主軸ユニット内蔵センサの試作、主軸ユニット内蔵制御回路・通信インタフェース設計、インテリジェント主軸ユニット設計等を行った。

2) 委託事業

①機械加工システムの新構造部材の開発

I. 高剛性高減衰能構造材料と評価技術の開発

ヤング率、減衰率共に大きい鋳鉄系材料とその作製条件を明らかにし、大型モデル鋳造体の試作を行った。開発材料の特性を考慮しつつ、工作機械を設計・評価するための手法の検討を行い、工作機械の概念設計支援ツールの基本骨格を開発した。

II. 軽量高剛性構造材料と評価技術の開発

気孔率 20~30%のロータス型ポーラス炭素鋼を作製して、種々の特性評価を行った。また、ロータス型ポーラス炭素鋼を連続鋳造できる装置を作製した。

②高機能摺動部材と評価技術の開発

Fe-Mo 合金では低摩擦・低摩耗であること、ディンプルパターンは摩擦係数低減・安定化に効果的であることを確認した。さらに数値計算によって摩擦特性のパターニング形状寸法依存性を示すことが可能となった。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

高付加価値製品の高効率加工に資する高度機械加工システムを開発し、我が国製造業の国際競争力維持・強化を図ることを目的に、中部大学総合工学研究所長・教授 稲崎一郎氏をプロジェクトリーダーとして、以下の研究開発を実施した。

1) 助成事業

研究開発項目①量産品の高度機械加工システムの開発

<ギアケースの内面加工技術>

第1行程機、第2行程機による工程集約一体型加工の実証試験を行い、高精度化、省スペース化、設備費低減、ランニングコスト削減が実現されたことを確認した。

<複合加工技術>

製作した複合加工機により、設備コスト、消費電力等のランニングコストをそれぞれ従来比 2/3 以下、製造ライン変更期間 6ヶ月を従来比 1/3 の2ヶ月以内とできることを実証した。

研究開発項目②少量生産品の高度機械加工システムの開発

1クランプで6面加工が可能な段取りが可能な7軸制御機械を完成したことにより、スペース生産性の向上と高精度金型製作時間のトータルリードタイムを従来比 1/3 を実現した。

研究開発項目③高度機械要素の開発

開発した主軸及び旋回ユニットを実加工機に搭載して、加工機の加工評価を実施した。

研究開発項目④高度制御・補正技術の開発

びびり振動等の加工異常を検出して回転数自動制御する等の高度適応制御機能等を搭載したインテリジェント主軸ユニット完成させ、加工精度向上、工具コスト低減等を実現した。

2) 委託事業

研究開発項目①機械加工システムの新構造部材の開発

I 高剛性高減衰能構造材料と評価技術の開発

一次共振周波数において、現用鋳鉄の 3~3.5 倍の剛性を有した構造材料を開発、この開発素材を用いて機械構造部材同等サイズの部材を製作し、実機性能評価を行った。

II 軽量高剛性構造材料と評価技術の開発

実用連続鋳造装置によりロータス型ポーラス炭素鋼の製造技術を開発し、全長 800mm の長尺ロータス型ポーラス炭素鋼を安定製造できるようになった。

研究開発項目②高機能摺動部材と評価技術の開発

コーティング種による混合~境界潤滑領域での摩擦安定性および摩擦低減効果を確認した。また、パターニングによる摩擦低減効果を確認し、パターン最適化の方向性を明らかにした。

《3》エコマネジメント生産システム技術開発【F 2 1】【課題助成】〔平成 17 年度～平成 19 年度〕

〔中期目標期間実績〕

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

①製品ライフサイクルを考慮した設計支援システムの研究

設計時点で製品ライフサイクルを検討する仕組み実現のため以下の研究を実施した。品質劣化評価のためのプロダクトモデリングの記述方式を検討した。それにより劣化故障解析と影響度評価に基づく基本メンテナンス計画手順の詳細化と妥当性を確認した。また、部品リユース促進のための「部品一組立品情報表現」を提案した。さらに、自動車機能部品の現状調査を実施した。

②生産施設における有害化学物質漏出モニタリングシステムの研究開発

脂質膜チップの原理を確認し、耐久性を向上させた新型脂質膜センサの問題点の把握を行った。新型センサ用フローセルの一次試作を終了した。汚染土壌中の重金属の移動性を予測するため、重金属の存在形態を把握し、評価方法の基礎検討を完了した。国際共同環境モニタリング実証実験（日本、カナダ、オーストラリア）に向けた準備会議を 12 月にカナダで開催した。

③住宅・建設分野におけるライフサイクルを考慮した循環型設計・生産システムの開発

埋め込まれた電子タグを利用して、省資源・省エネルギーを推進するためのシステム設計を行った。システムは生産プロセスの応用及び、建築物ライフサイクルへのアクティブ制御技術の応用を拡張して展開した。また、インスペクションロボットの開発や、ビジュアル技術など建築物ライフサイクルの管理、運用に資する要素技術の検討を行った。

④自律拡張型エコデザインシステムに関する研究開発

発電プラントに対するライフサイクルデータ管理に関わる以下 2 点について検討した。(1)環境対応型モデル化手法、(2)図面データ妥当性チェック方法。また三次元データ最新性維持方式とウォークスルー技術の検討を行った。さらにこれら実施項目に関する事例の収集と問題点を分析した。一部、プロトタイプの開発を実施した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

①製品ライフサイクルを考慮した設計支援システムの研究

劣化を含むプロダクトモデリング手法を一般化し、品質劣化評価と信頼性評価手法を確立する。劣化故障解析とメンテナンスデータ管理のアルゴリズムを開発した。また、部品リユースのための部品情報表現と再利用時の更新方法を検討し、プロトタイプソフトの開発にも着手した。

②生産施設における有害化学物質漏出モニタリングシステムの研究開発

新型脂質膜センサのデバイス及び模擬データベースを試作した。脂質膜チップ検出用デバイスを試作した。平成 17 年度に引き続き BCR 逐次抽出法による重金属の地盤内における移動性の検討と評価を行った。観測井戸の最適配置方法の検討を行った。バイオセンサ用観測井戸のフィルター層構造を検討した。さらに国際共同環境モニタリング実証実験（カナダで実施する計画）を実施した。

③住宅・建設分野におけるライフサイクルを考慮した循環型設計・生産システムの開発

建築物ライフサイクルの管理と運用にアクティブ制御技術の応用を拡張し、展開するシステム設計を継続した。それにより埋め込まれた電子タグを利用して、最終年度における省資源・省エネルギー推進実証試験への準備を行った。電子タグによる対象物の測位、インスペクションロボットの適用について検討した。ビジュアル技術など建築物ライフサイクルの管理と運用に資する要素技術の開発を行った。さらに電子タグへの建築物への利用に際しての建設業サイドからユーザ標準化の要求項目をリストアップした。

④研究項目「自律拡張型エコデザインシステムに関する研究開発」

発電プラント向けクラスライブラリメンテナンス方針を検討した。建設時物量評価ツールについて検討した。設計状態変更・可視化ツールを開発した。以上により、発電プラント向けの実証実験に利用可能なツールを開発した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

①製品ライフサイクルを考慮した設計支援システムの研究

劣化を含むプロダクトモデリング手法の一般化、品質劣化評価と信頼性評価手法を考案し、劣化故障解析とメンテナンスデータ管理のアルゴリズムを開発した。また、部品リユースのための部品情報表現と再利用時の更新方法を検討し、プロトタイプソフトの開発を行った。

②生産施設における有害化学物質漏出モニタリングシステムの研究開発

平成 18 年度に引き続き、脂質膜センサのデバイスを試作し、地下水を用いた検証実験を行った。その結果、目標値である揮発性有機化合物 (VOC) の検出感度 100ppb をほぼ達成した。また、脂質膜チップを用いたバイオセンサを試作し、VOC に対して 50ppb 程度の感度があることを確認した。また、カナダで実施する予定であった国際共同環境モニタリング実験については、国内での実施に変更し技術の向上を行った。

③住宅・建設分野におけるライフサイクルを考慮した循環型設計・生産システムの開発

建築物ライフサイクルの管理と運用にアクティブ制御技術を応用し、展開するシステムの開発を行った。3 次元のセンシングシステムを開発し、戸建て住宅に電子タグを利用して、センシングの実証実験を行った。

④自律拡張型エコデザインシステムに関する研究開発

今年度は主として 3D の可視化ツールの開発を行った。これによって、発電プラント向けの設計等における最適化・効率化を進めることができるようになった。

⑤エコマネジメント機械加工システムに関する研究開発

仮想切削にまで拡張したエネルギー使用効率最大化スキームを確立した。弊社技能職者に工具のみ前提条件として

作成したNCデータに対し、「加工時間」で80%の削減が期待できる条件を導き出した。主軸動力増加などの増加要因と安全係数「1/2」を加味しても40%程度の省エネ効果が期待できる。

《4》MEMS設計・解析支援システム開発プロジェクト [平成16年度～平成18年度]

[中期目標期間実績]

平成16年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「MEMS用設計解析支援ソフトの開発（知識データベースを含む）」

ソフトについては、基幹となる全体設計及び各機能詳細設計は完了した。

- (1) フレームワークソフトの開発
マスク作成機能に関するユーザ要求仕様書、及び逆問題解析ソフトマスクデータのインタフェース機能仕様書の作成を完了した。
- (2) 機構解析シミュレータの開発
システム評価においては、機構解析シミュレータ全体に対する機能、仕様の検討評価を完了した。各個別モジュールの機能検証方法および検証用構成作成方法を策定した。
- (3) プロセス解析ツールの開発
システム評価においては、プロセス解析ツールに対する機能、仕様の検討評価を完了した。また、各個別モジュールの機能検証方法および検証用構成作成方法を策定した。
- (4) 機能拡張ソフトの開発
- (4) -1 プロセス逆問題解析ソフトの開発
現有プロセス設計・マスク作成ツールの課題抽出、及びプロセス設計解析機能に関するユーザ要求仕様書の作成を完了した。プロセスデータ採取については、プロセスデータ項目の調査と仕様策定、及び基板と薄膜の断面形状加工特性に関するプロセス逆問題解析用プロセスデータ採取を完了した。
- (4) -2 接合実装解析ソフトの開発
接合・封止データ採取については、陽極接合と半田接合に関して、策定したデータベース仕様に沿ったデータ採取法の開発を完了した。
- (4) -3 電磁波解析ソフトの開発
機能検証モデルによる機能試験・評価を実施した結果、研究レベルの手法であることが判明し、平成16年度で中断することにした。
- (5) 知識データベースの開発
知識データベースの構成に期す枠組みの検討を行い、概念設計および詳細設計を完了した。MEMS設計に関わる知識データ（知識・知見）を情報として、第1次の集約を完了した。

研究開発項目②「MEMS用材料・プロセスデータベースの開発」

材料特性のデータ収集を開始し、標準マスクパターン設計および処理手順フローの作成、治工具の製作を行い、プロセスデータ測定の準備を完了した。

計測・補間手法の確立では、次年度に向けた疲労試験システムの基本的な設計を完了した。また、シリコン部材が接触時に生じる微小な形状変化を測定した。

なお、当該研究開発プロジェクトは平成16年度追加的に予算を配分し、事業を加速した。

平成16年2月20日に公募の事前周知を行い、平成16年3月19日に公募を開始、平成16年4月19日に公募を締め切り、平成16年6月10日に選定結果の通知を行った。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

①研究項目「MEMS用設計解析支援ソフトの開発（知識データベースを含む）」

プログラム開発に関しては7割以上を完成し、目標を達成した。

②研究項目「MEMS用材料・プロセスデータベースの開発」

機械特性データ取得については計画どおり進め、目標を達した。

計測・補間手法の確立では、シリコン及びシリコン以外の材料に関して、接触圧力、接触回数と接触面積の関係を定量的に検討を行った。

知識データベースと整合を図った、概念設計及び詳細設計を踏まえ、材料・プロセス（知識）データベースシステムの開発を完了した。

③研究項目「ナノインプリント加工・解析システムの開発」

(1) 熱・光ナノインプリント加工解析システムの開発

1) 熱ナノインプリント加工解析システムの開発

型の最適化、ナノインプリント・プロセス解析技術、塑性加工関連、材料試験関連の知識を体系化し、これに基づいたプロセス解析モデル構築を完了した。また、解析モデルに基づいた、熱ナノインプリント・プロセス解析シミュレータを開発し、標準試験片によるナノインプリント実験結果とシミュレーション結果の評価検証を完了した。

2) 光ナノインプリント加工解析システムの開発

光ナノインプリント・プロセスに対応した電磁波解析プログラムの解析モデル構築、及び検証モデルの検討を完了した。

また、解析モデルに基づいた電磁波解析プログラムの開発、及びMEMS-ONEへの組込みを行うとともに

に、検証モデルを用いた電磁波解析プログラムのシミュレーション結果の評価を完了した。

3) フレームワークソフトの改修

熱ナノインプリント加工解析シミュレータと光ナノインプリント加工解析システムの FDTD 法電磁波解析プログラムに対応するためのプレ・ポスト機能を開発する。今年度は開発機能の要件調査、仕様検討・取り纏め、プログラム開発・単体テストを完了した。

(2) データベースの構築

ナノインプリント用の代表的な樹脂物性データベースの構築と、代表的な樹脂に対するシミュレーション結果の検証を完了した。また、関連する知識データを整理・集約した。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

①研究項目「MEMS 用設計解析支援ソフトの開発（知識データベースを含む）」

最終的に以下の機構について、2 社以上で試作実測したものと比較して、プロセス解析ツールと機構解析シミュレータを用いて、所量の解析精度を 50%以上とした。

②研究項目「MEMS 用材料・プロセスデータベースの開発」

データについての計測は、基準温度を設定し、最小限の温度範囲として常温から 200℃の範囲で、少なくとも 50℃刻みにデータを取得した。

計測手法については計測の精度を 90%以上とした。

③研究項目「ナノインプリント加工・解析システムの開発」

標準型の形状に対する実測値と予測値の解析精度を 50%以上とした。ナノインプリント加工・解析システムに必要な樹脂及びニッケル材金型物性データを収集した。また、標準型を用いたナノインプリント実験評価方法を確立した。

④研究項目「回路集積化 MEMS シミュレータの開発」

サーボ・フィードバック付き加速度センサを検証モデルとして、この検証モデルに必要な機構要素モデルを作成し、サーボ電子回路と合わせた連成シミュレーションを行って、解析値の解析精度を実証した。

《5》 デジタル・マイスタープロジェクト（ものづくり・IT 融合化推進技術の研究開発） [平成 13 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「加工全般にわたる技能の技術化に関する研究開発」については、独立行政法人産業技術総合研究所や公設試験研究機関の連携を中心にして 15 加工法について加工技術情報集積を行った。また、データベース活用機能については、突合せ検索、絞込み検索の改良により広範囲の加工分野への適用を進めると共に、シソーラス検索機能を新たに開発した。鋳造、鍛造、金属プレス、切削、研削、研磨、レーザ加工（除去）、レーザ溶接、物理・化学蒸着の各分野については、情報集積 WG のサブワーキンググループの活動と連携した共同実験や調査活動を行った。その結果、平成 15 年度中に 1,000 シート以上のデータを新たにデータベース化するとともに、平成 15 年度上期に引き続き加工技術データベースとして Web 閲覧機能を技術評価版として公開し、500 名以上の会員が利用するに至っている。

研究開発項目②「設計・製造支援アプリケーションのためのプラットフォームの研究開発」については、システム構造、構成等に関する規約の整備、ソフトウェア部品群の開発、基幹情報の共有、有効利用のための機能開発の 3 項目について、継続・発展させた研究開発を行った。この結果、ネットワーク内の分散されたプラットフォーム間での連携機能を実現した。また、製品データ管理機能として、工程情報の共有化支援機能を開発し、企業における評価を開始した。平成 15 年度上期に引き続き 3 次元形状情報の品質確認機能の機能拡張を行った。さらに、現在まで開発したプラットフォームおよび 3 次元形状情報の品質確認機能の評価キットを配布し、評価を実施した。

また、上記 2 テーマの相互連繋を図り一体的な研究開発を進めるため、プロジェクトの政策的な視点からの調査研究を推進会議で、技術的な視点からの調査研究を統合システム WG でそれぞれ行った。その結果、研究開発項目①及び研究開発項目②の統合化を実現するための仕組みを設計し、一部機能の実現と実用化に向けて研究開発の加速化を図るため、中小製造業との共同開発を進めた。また、ホームページで成果を普及するとともに、ものづくりシンポジウムを東大阪で開催した。

なお、平成 15 年度上期に実施した中間評価の結果、システムの具体的な最終形を決め、実用化に向けた主要な課題を明確にして、人力と資力をそれらへ重点的に配分し、できる限り前倒しで進めることが望ましいとの指摘を受けた。これを受け、システムの具体的な最終形、最終的な利用形態のイメージを明確化し、開発課題の絞り込みを行うとともに、中小製造業ユーザとの連携開発によってシステムの評価・検証を実施し、実用化に向けた開発の促進を図った。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「加工全般にわたる技能の技術化に関する研究開発」においては、産業界や公設試験研究機関との連携を中心にして、平成 15 年度までに作成してきた機械部品の高品位・高付加価値加工を行うために必要な加工技術情報集積の充実・拡張を図った。また、平成 15 年 6 月に評価版として公開した加工技術データベースを、利用者からのアンケート結果（平成 15 年 12 月実施）に基づき、GUI の改良を中心に行って平成 16 年 4 月に正式版第 1 版を公開した。ユーザ登録者数は 2152 名。（平成 17 年 1 月 31 日現在）また、データベース活用機能は、突合せ検索機能を強化し、トラブルの対策法を迅速に

検索可能なトラブルシューティング機能を開発した。利用企業数が多くまた注目度の高い切削、研磨、アーク溶接、レーザー溶接、レーザー切断の5加工法について、企業における具体的加工業務に適用することにより提供情報の有効性やシステムの機能性などの評価検証を実施した（5企業）。研磨においては、データベースの情報を基に新研磨技術を自社技術化して新ビジネスへの展開が可能となることを実証でき、その他4加工法については、実施企業で経験の少ない難加工実施時等にデータベースを利用することにより適正条件を迅速に設定できることが確認できた。

研究開発項目②「設計・製造支援アプリケーションのためのプラットフォームの研究開発」においては、システム構造、構成等に関する規約の整備、ソフトウェア部品群の開発、基幹情報の共有、有効利用のための機能開発の3項目について、継続・発展させた研究開発を行った。この結果、ファイアウォールで保護された事業所間や企業間でのデータ共有機能の開発により、設計変更情報の通知・管理等機能を実現した。そして、精密機械加工企業におけるバーコード印刷機能等の実業務コンポーネント群を使用した工程管理システムの構築および精密切削加工組立企業の技術情報活用システムの構築等による、プラットフォームおよびコンポーネント群の検証評価を実施した。

平成14年度に開発着手した3次元形状情報の品質確認機能の機能拡張を行い、企業における評価とともに、自動車工業会のホームページで性能が公表された。

さらに、現在まで開発したプラットフォーム、3次元形状情報の品質確認機能、および工程情報共有機能簡易版の評価キットを配布し、評価を実施した。

平成17年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「加工全般にわたる技能の技術化に関する研究開発」においては、熟練技能者がトラブル対策を行う場合に原因把握の判断基準とする着眼点並びに原因と対策を表形式にまとめると自動的に閲覧し易いブラウザ表示をするテンプレートを作成し、トラブルシューティングツールキットとしてまとめた。また、熟練技能者が加工実施する一連の流れにおいて、判断のポイントとそこで考えたこと、判断結果を表形式に記録し、自動的に閲覧し易いブラウザ表示をするテンプレートを作成し、作業事例分析ツールとしてまとめた。これらのツールを用いてレーザー切断、切削（フライス、ドリル、旋削加工）、研磨においてトラブルシューティングデータベースを構築し、また切削の正面フライス、エンドミル、ドリル加工について作業事例分析データベースを構築して加工技術データベース上に公開し、その有効性を実証した。これらのツールは、企業において自社の熟練技術者のノウハウ経験を記録し、自社内で閲覧共有するために用いることを容易に実行可能とする。また、加工技術データベースの普及を目的として各地の公設試や商工会議所の協力のもと各地に赴いて普及セミナーを20回開催し、また中小企業総合展などの展示会に3回出展した。平成18年1月31日現在、加工技術データベースのユーザ登録者数は4,119名、データシート数は約9,500である。また、平成18年1月にはユーザに対しWebアンケートを実施し、553名からの回答数を得、加工技術データベースの利用拡大を確認した。

研究開発項目②「設計・製造支援アプリケーションのためのプラットフォームの研究開発」においては、アプリケーション情報管理機能として、アプリケーションに対するライセンス設定機能、アプリケーションモジュールに対するパスワードロック機能、アプリケーションモジュールの分割保存・読込機能を開発したほか、アプリケーション情報のXML入出力機能を拡張した。また、アプリケーション開発効率を向上させるため、コンポーネントレベルでの実行トレース機能を開発した。新規のコンポーネントとしては、3次元CADデータを利用するアプリケーションの開発を可能とする、形状モデル管理機能コンポーネントの他、キーイベントハンドラやマウスイベント等のコンポーネントを開発した。プラットフォーム普及のため、各県公設試の協力を得てセミナーや講習会を実施するとともに、公設試研究員による。

プラットフォームの民間企業への導入を進めた。プラットフォームの機能と効果を検証するため、ソフトウェアベンダーによる製造業務用アプリケーション開発試験を実施し、従来と比べてアプリケーション開発工数が60%以上削減できることを実証した。

《6》MEMSプロジェクト【F21】【課題助成】[平成15年度～平成17年度]

[中期目標期間実績]

平成15年度は、以下の研究開発を実施した。

「RFスイッチ製造技術の開発」については、各種成膜装置、エッチング装置の立上げが完了し、寸法計測速度の高速化検討を行い、必要な機種を選定が完了した。固着の起きにくい金属材料の選定を行い、平成15年度の目標の開閉回数2億回を達成した。また、パッケージ材料の選定と、構造を検討することにより、TEGによる目標損失0.1dB（10GHz）を達成した。

「光可動ミラー製造技術の開発」について、高精度ミラーの加工要素技術や加工面の測定技術、加工技術課題の取組みを開始し、目標内部応力の10MPaを達成した。リソグラフ及びエッチングの目標加工精度、最小加工寸法約1μm（平面パターン）、エッチング深さ100μm以上を達成した。光可動ミラーの精密制御方式として目標角度分解能の0.01°以下は達成した。ミラーの信頼性評価技術の検討を行い、目標ミラー特性評価として反射率95%を達成した（@λ1.5μm）。

「超小型MEMSセンサ製造技術の開発」については、ウエハーレベルパッケージングのための要素技術とそれに必要なインフラの立上げが完了した。要素技術開発として、微細貫通孔配線電極形成技術の開発を行い、厚み300μmのシリコンウエハに形成する貫通孔として10μmφを達成した。また、金属中間層接合技術と、有機樹脂中間層接合技術の

開発を実施した結果、金属中間層結合は接合時の加圧条件を選択することにより十分な接合強度を得ることが出来たが、有機樹脂中間層接合法は金属中間層結合強度の 1/10 程度であり、低温結合に適した結合方式として金属中間層結合方式を 2 方法から選択した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「RF スイッチ製造技術の開発」

高精度 3 次元加工技術開発については、各種成膜条件およびエッチング条件について詳細に検討を行い、トップデータとして加工精度 1 % 以下を達成した。接点固着防止技術開発については、固着の起きにくい金属材料の製作プロセスを確立し、開閉回数 5 億回を達成した。低損失パッケージ技術開発については、損失の少ないパッケージ技術を確立するとともにパッケージングプロセスを検討することにより、トップデータとしてデバイスにてパッケージ損失 0.1dB (@10GHz) を達成した (0.09dB)。

研究開発項目②「光可動ミラー製造技術の開発」

高精度 3 D 加工技術開発については、高精度ミラーの加工要素技術や加工面の測定技術について詳細な検討を行い、アレイ化したミラー 100 μm 角以上の面積に渡って 10nm 程度の平坦度を達成する目処を得た。高精度制御技術開発については、高精度な角度制御センサとして静電容量方式を決定して、プロトモジュールの試作を行い、角度分解能 0.005 度以下を確認した。信頼性の計測・評価技術開発については、ミラーの信頼性および動的評価を開始した。

研究開発項目③「超小型 MEMS センサ製造技術の開発」

貫通孔配線・電極形成技術開発については、シリコンウエハにおいて、径 10 μm ϕ 、深さ 400 μm の微細な貫通孔を形成できた。また、それに埋め込んだ電極を形成する方法として Cu メッキを選定した。ウエハ低温接合技術開発については、ウエハを低温で接合する方法として表面活性化による常温接合を選定した。センサ、回路一体化技術開発については、常温バンパ接合で一体できる目処を得た。また、次年度に超小型センサの試作検証を行うために必要な信号処理 IC 回路を設計し、試作まで完了した。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「RF スイッチ製造技術の開発」

高精度 3 次元加工技術開発においては、加工条件を確立して、量産レベルで加工精度 1 % を実現した。接点固着防止技術開発においては、固着の起きにくい金属材料の製作プロセスを確立し、開閉回数 10 億回を達成した。低損失パッケージ技術開発においては、損失の少ないパッケージ技術を確立し、量産レベルでパッケージ損失 0.1dB (@10GHz) を達成した。

研究開発項目②「光可動ミラー製造技術の開発」

光可動ミラーの加工要素技術とそれをアレイ化するための加工技術課題に取り組み、トータルな可動ミラーモジュールの加工技術を確立した。また、光可動ミラーを 0.002 度以下の精度で自由に角度制御できる高精度角度制御技術を単体ミラーでは確立した。これらの技術を用いて試作した最終光 SW モジュールにおいて、光可動ミラーの可動回数が 100 億回以上可能なことを示した。

研究開発項目③「超小型 MEMS センサ製造技術の開発」

貫通孔配線・電極形成技術は、厚み 500 μm のシリコンウエハに 10 μm ϕ の貫通孔形成を達成する。配線電極埋め込みについては、Cu を貫通孔に埋め込む安定した工程を確立した。表面活性接合によるウエハレベルパッケージを用いたセンサ・回路一体モジュールを試作検討し、サイズ 1/10 の小型化を検証した。一貫工程の構築を 3 軸加速度センサとジャイロセンサを用いて試作検証した。

研究開発項目④「MEMS デバイスの研究開発」

スマートスキンの実現を目指す MEMS アレイとその信号接続方法の研究、マイクロ走査型顕微鏡の研究開発、超小型 6 軸フォースセンサの研究開発については、それぞれ目標とするデバイスの開発試作を完了した。

《7》 インクジェット法による回路基板製造プロジェクト【F 2 1】【課題助成】 [平成 15 年度～平成 17 年度

[中期目標期間実績]

[再掲： < 2 > 情報通信分野 ① 高度情報通信機器・デバイス基盤関連技術 高度情報通信機器・デバイス基盤プログラム 《2 4》参照]

《8》 クラスタライオンビームプロセステクノロジー [平成 12 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「大電流クラスタライオンビーム発生・照射技術の開発」については、種々のクラスタライオンビームプロセスに適用できる大電流クラスタライオンビーム発生技術を確立し、出力 1mA の大電流の発生に成功し、30×30cm² の基板の処理が出来る実用装置を開発した。またシミュレーションからクラスタライオンにより実現される平坦化プロセスのメカニズムを明らかにした。薄膜形成技術では各層膜厚を±3Å程度の精度で制御し、成膜中のフィルターの透過率変化を精密に計測し、高精度に膜厚制御を行う光学式膜厚計と安定な多層成膜を実現する技術を確立した。

研究開発項目②「クラスターイオンビームによる材料プロセス技術の開発」については、半導体プロセス技術の実用化に不可欠な要素技術の開発にむけて、ホウ素クラスター注入を試行しそれにより、接合深さ 20nm 以下の極浅半導体接合を形成できる半導体表面改質技術を開発した。マスク用ダイヤモンド薄膜加工では、X 線リソグラフィー用薄膜に求められている表面粗さをクリアする照射条件を確立し、実際の X 線露光に適用可能なレベルまで到達した。ダイヤモンドドライカーボン膜（超硬質膜）及び、光学薄膜形成においては、それぞれビッカース硬度 5000kg/mm²以上 表面平均粗さ 1nm 以下を有する超硬質炭素膜形成技術、および界面あらかさ 1nm 以下、波長シフトの無い光学多層薄膜形成技術を確立した。

<非プログラム プロジェクト・事業>

《1》中小企業基盤技術継承支援事業 [平成 18 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「技術・技能の継承・共有化ツール（加工テンプレート）の開発」については、

1) 鍛造、鋳造、めっき、熱処理についての加工テンプレートの開発

鍛造、鋳造、めっき、及び熱処理を対象とした加工テンプレートの試用版の開発を実施し、加工法特有の技能に関わる用語の収集と、技能抽出のための加工テンプレート各 2 例を構築し、手法の有効性確認を行った。

2) 金属プレス、切削の 2 加工についての加工テンプレートの開発

金属プレス、切削の各加工法の特徴を明確にし、パラメータの抽出を経て各加工テンプレート 2 例を構築し、手法の有効性を確認を実施した。

研究開発項目②「工程・製造設計支援アプリケーション構築技術開発」については、業務分析&アプリケーション設計支援ツールおよび次世代 MZ Platform について、テーブル計算処理の自動作成、XML とのインタフェースなどの基本機能の開発と、一部の動作評価を実施した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「技術・技能の継承・共有化ツール（加工テンプレート）の開発」については、

1) 鍛造、鋳造、めっき、熱処理についての加工テンプレートの開発

加工法毎に新たに 5 種類の技能を対象に選びその技能を抽出する手法および明示的に表現するための指標を検討し、指標の値を抽出・表現するツールとしての加工テンプレートを開発した。さらに加工テンプレート毎にそれぞれ 2 社以上の協力企業において構築した鍛造テンプレートを試用し、技術・技能の継承・共有化の対象となる「勘どころ」の具体的事例の集積を試みた。

2) 金属プレス、切削の 2 加工についての加工テンプレートの開発

金属プレス、切削の各加工法について、新たに 5 種類ずつの技能を対象に選び、パラメータの抽出を経て各加工テンプレートを構築し、更にそれぞれ 2 社以上の協力企業において、構築した手法の有効性を確認した。

研究開発項目②「工程・製造設計支援アプリケーション構築技術開発」については、業務分析&アプリケーション設計支援ツール及び次世代 MZ Platform について、企業現場での利用を想定した機能の検討とソフトウェアの実装を行った。

②ロボット技術

[中期計画]

我が国に蓄積されたロボット技術の活用範囲を家庭や福祉施設を含めた幅広い分野に拡大するため、中小・ベンチャー、異業種を含む多様な主体によるロボット開発の活性化の基盤となるハードウェア及びソフトウェアの基盤技術等を開発する。

<21 世紀ロボットチャレンジプログラム>

[中期目標期間実績]

第 1 期中期目標期間中には以下のとおり実施した。

《1》人間支援型ロボット実用化基盤技術開発 [平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「リハビリ支援ロボット及び実用化技術の開発」

1) 筋トレ支援ロボットの開発：自動負荷調整を実現できる機構及び制御方式の検討を行い、原理試作ロボットの設計・試作と評価を行った。また、ADL、QOL の評価方法の検討に基づく評価基準書を作成した。

2) 上下肢訓練ロボットの開発：上肢訓練ロボットに関して、臨床での経験に基づき、麻痺側の上肢に運動のきっかけを教えるために必要とされる機能を実装し、評価と検証を行った。また、下肢訓

練ロボットに関して、装具足継手と人体足関節のトルクをそれぞれ分離して計測できる歩行計測評価システムの原理を明らかにした。

- 3) 手指上肢リハビリ支援ロボットの開発：遠隔操作インタフェースハンドを含め、機構の設計・製作、イメージトレーニングの必要機能の整理と基本ソフトの開発等の第1次試作を行った。

研究開発項目②「自立動作支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) 歩行補助ロボットの開発：股関節継手付長下肢装具の内側に股/膝/足関節駆動モータを配した動力部と下肢運動を操作する杖部を有する歩行補助ロボット及びロボット用トレッドミル歩行分析・訓練システムを製作し、歩行分析を行った。
- 2) 上肢機能支援ロボットの開発：上肢機能支援の作業対象の特定を行うとともに、上肢機能支援ロボットの各ユニット（ハンド、アーム、センサ、操作部）を基礎実験により評価した。
- 3) ロボットスーツの開発：運動支援機能、環境適応機能及び安全性に関する基本検討を行うとともに、検討結果に基づいたプロトタイプロボットの仕様検討・設計を行った。

研究開発項目③「介護動作支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) トイレアシストロボットの開発：仕様を決定し、トイレアシスト機能コンポーネントの設計・製作を行うとともに、各機能要素の試作を行った。また、予備的実証試験を実施した。

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「リハビリ支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) 筋トレ支援ロボットの開発：実証評価のためのプロトタイプロボットの設計・製作を行い、実証評価に向けて評価・改良を実施した。
- 2) 上下肢訓練ロボットの開発：臨床試験可能な上肢訓練ロボット及び下肢訓練ロボットを試作し、少数のモデル患者を対象とした試用を行った。
- 3) 手指上肢リハビリ支援ロボットの開発：ロボットの改良と機能追加の二次試作を行い、コンプライアンス調整機能と計測機能を実現した。

研究開発項目②「自立動作支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) 歩行補助ロボットの開発：ロボットを装着した対麻痺患者の歩行分析を行うとともに、各種センサの最適配置検討、制御精度向上等を行った。
- 2) 上肢機能支援ロボットの開発：ロボットの各ユニット（ハンド、アーム、センサ、操作部）を統合した1次試作機の設計・製造と評価を行った。
- 3) ロボットスーツの開発：運動支援機能、環境適応機能、操作支援機能等を開発し、これらを適用したプロトタイプロボットを開発した。

研究開発項目③「介護動作支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) トイレアシストロボットの開発：機能コンポーネントによる評価に基づき、各機能要素を組み込んだ第1次試作機の詳細設計・試作と評価及び介護現場における第1次実証実験を行った。

平成19年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「リハビリ支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) 筋トレ支援ロボットの開発：改良したロボットを用いてトレーニングプログラム及びトレーニングプロトコルを開発し、実証実験によってその有効性を実証した。
- 2) 上下肢訓練ロボットの開発：安全性を十分に検討したロボットを用いて実証試験を実施し、訓練方法の検討と効果及び意欲喚起に与える影響を確認した。
- 3) 手指上肢リハビリ支援ロボットの開発：リハビリ支援システムの第3次試作を行い、実証試験により運動機能回復の評価方法を確立するとともに効果を確認した。

研究開発項目②「自立動作支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) 歩行補助ロボットの開発：4次試作機を設計・製造し、実証試験を実施して安全性、有効性を確認した。
- 2) 上肢機能支援ロボットの開発：二次試作機の仕様を策定し、設計、製造及び機能評価を行った。倫理委員会による審査を有効に活用して倫理問題の事前摘出と対策を実施し、実証試験を円滑に実施した。
- 3) ロボットスーツの開発：開発したプロトタイプロボットを用いて実証試験を実施し、自立動作支援に係るロボットの効果を検証した。安全性や性能の評価基準策定に資するデータを蓄積した。

研究開発項目③「介護動作支援ロボット及び実用化技術の開発」

- 1) トイレアシストロボットの開発：最終成果機の設計・製作を行い、介護動作評価システムを構築し、第2次実証試験にてその有効性を検証した。

《2》戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト [平成18年度～平成22年度]

[中期目標期間実績]

平成18年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「次世代産業用ロボット分野」については、柔軟物ハンドリング技術、人間・ロボット協働型セル生産システム化技術等をコアとするミッションについて設定し、必要となる要素技術開発に着手した。

研究開発項目②「サービスロボット分野」については、コミュニケーション技術、マニピュレーション技術、移動技術等をコアとするミッションについて設定し、必要となる要素技術開発に着手した。

研究開発項目③「特殊環境用ロボット分野」については、レスキューロボットに要求される探索技術、産業廃棄物を対象とするロボット技術等をコアとするミッションについて設定し、必要となる要素技術開発に着手した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

なお、プロジェクトリーダーであった谷江和雄氏のご逝去に伴い、産業技術総合研究所 知能システム研究部門長 平井成興氏を新しいプロジェクトリーダーとして委嘱し、実用的なロボット開発の更なる発展を目指し、プロジェクトを推進した。

研究開発項目①「次世代産業用ロボット分野」

- (1) 「柔軟物も取扱える生産用ロボットシステム」について、(ア) 自動車生産ラインにおける柔軟物取り付け作業の自動化、(イ) 簡易な教示が可能な高機能マニピュレーション技術の開発、(ウ) FA 機器組立ロボットシステムの研究開発
- (2) 「人間・ロボット協調型セル生産組立システム」について、(ア) 先進工業国対応型セル生産組立システムの開発、(イ) コンパクトハンドリングシステムを備えた安全な上体ヒューマノイド

研究開発項目②サービスロボット分野

- (1) 「片付け作業用マニピュレーション RT システム」について、(ア) 乱雑に積層された洗濯物ハンドリングシステムの研究開発、(イ) 食器洗浄・収納パートナロボットの研究開発
- (2) 「高齢者対応コミュニケーション RT システム」について、(ア) 快適生活支援 RT システムの開発、(イ) 自律機能と遠隔対話を融合した知的インタラクションに基づく対話ロボットの開発、(ウ) 行動会話統合コミュニケーションの実現、
- (3) 「ロボット搬送システム」について、(ア) 環境情報の構造化を利用した搬送ロボットシステムの開発、(イ) 全方向移動自律搬送ロボット開発、(ウ) 店舗応用を目指したロボット搬送システムの研究開発

研究開発項目③特殊環境用ロボット分野

- (1) 「被災建造物内移動 RT システム」について、(ア) マニピュレータを有する高機能クローラユニットの研究開発、(イ) 半自律高機能移動ロボット群による被災建造物内の情報インフラ構築と情報収集システムの開発、(ウ) 閉鎖空間内高速走行探査群ロボット
- (2) 「建設系産業廃棄物処理 RT システム」について、(ア) 次世代マニピュレータによる廃棄物分離・選別システムの開発、(イ) 廃材分別を考慮した環境対応型解体作業支援ロボットの研究開発
それぞれのミッションにおいて平成 18 年度の開発を踏まえ、開発した技術・機能を実装するプロトタイプ・ロボットシステムの設計及び試作を行った。

《3》次世代ロボット共通基盤開発プロジェクト [平成 17 年度～平成 19 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「画像認識用デバイス及びモジュールの開発」

- ・画像認識用デバイスの開発では、基本アーキテクチャ設計、画像演算回路や画像入出力／メモリ制御回路等の主要回路の論理設計を行うとともに、FPGA を搭載した検証用ボードを開発し、各回路の基本動作の検証を完了した。
- ・画像認識モジュール用の RT ミドルウェア開発では、画像認識モジュール(DSP)向けの RT ミドルウェア層の設計・実装を行い、DSP 上の RT コンポーネント同士の連携、DSP と CPU 上の RT コンポーネントの相互連携を実現し、その評価から、次年度以降に解決すべき課題や問題点を抽出した。
- ・平成 19 年度の実証研究に向けて、実証ロボットシステムとの整合性の調査、実証ソフトウェアの仕様設計を完了した。

研究開発項目②「音声認識用デバイス及びモジュールの開発」

- ・音声認識用デバイス及びデバイスを搭載した音声認識モジュールのハードウェア開発を完了し、音声認識モジュールに搭載するアルゴリズムの開発に着手した。
- ・平成 19 年度のロボットシステムを用いた実証実験に向けて、種々の音声認識環境による音声認識データの収集・評価を行った。

研究開発項目③「運動制御用デバイス及びモジュールの開発」

- ・運動制御用デバイスの開発では、運動制御用システム LSI (M-RMTP チップ)の基本設計を完了するとともに、システム LSI 及びモジュールに搭載するソフトウェアの開発を行った。
- ・RT ミドルウェアの開発では、視覚認識、音声認識、運動制御及び組込システム用の RT コンポーネントを開発し、画像認識、音声認識及び運動制御の各モジュールを効率的に RT コンポーネント化するためのインタフェースなどの仕様を明らかにするとともに、開発支援機能等の RT ミドルウェアの高機能化を行った。
- ・平成 19 年度に運動制御モジュールの機能検証を行うためのインターフェース等の基礎検討を行った。

平成 18 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「画像認識用デバイス及びモジュールの開発」

- ・FPGA 検証ボードを用いて画像認識用デバイスの詳細回路の論理設計と論理検証を完了し、ASIC の

レイアウト設計と製作を行った。

- ・平成 17 年度の成果を受けて、画像認識モジュール向けの RT ミドルウェアの改良を行うとともに、開発した ASIC を搭載した画像認識モジュールの設計、試作を行い、RT ミドルウェア上での動作検証、性能評価を実施した。
- ・平成 19 年度の実証研究に向けて、実証ロボットシステムのハードウェア、ソフトウェアの基本設計を完了した。

研究開発項目②「音声認識用デバイス及びモジュールの開発」

- ・音声認識モジュールへの各種アルゴリズムの搭載、動作検証を実施した。
- ・各機能の RT コンポーネント化を完了し、ロボットシステムに音声認識モジュールを搭載した実証評価に着手した。

研究開発項目③「運動制御用デバイス及びモジュールの開発」

- ・運動制御用システム LSI (M-RMTP チップ) を製造し、動作検証及び評価を行うとともに、運動制御モジュールの開発を行った。
- ・ロボットシステムに運動制御モジュールを搭載して RT コンポーネントとして動作させるための周辺ハードウェア、ソフトウェアを開発した。

平成 19 年度は、以下の研究開発を実施した。

なお、プロジェクトリーダーであった谷江和雄氏のご逝去に伴い、産業技術総合研究所知能システム研究部門副研究部門長 比留川博久氏を新しいプロジェクトリーダーとして委嘱した。

研究開発項目①「画像認識用デバイス及びモジュールの開発」

- ・画像モジュールをロボットに搭載し有効性を検証した。また、応用ソフトウェアとして顔検知、人検知、ステレオ計測等の高次の視覚認識処理を RT コンポーネントとして実装した。
- ・開発した画像モジュールを RT ミドルウェアが実装された 5 種類のロボットに搭載し、実証動作実験を行い有効性を検証した。

研究開発項目②「音声認識用デバイス及びモジュールの開発」

- ・RT コンポーネントとしての音声認識モジュールを実証ロボットに組み込み、有効性を検証した。
- ・RT ミドルウェアを実装した 5 種類の実証ロボットに適用して、日常生活空間において、不特定話者により音声指示された行動を実現できることを実験的に実証した。

研究開発項目③「運動制御用デバイス及びモジュールの開発」

- ・M-RMTP (Motion Responsive Multi Threaded Processor) をメインプロセッサとしてモジュール開発を行っていたが、製造上の原因により不具合が多発した。このため、プロジェクト期間内に多数のロボットを実証させるに足るだけのモジュールの数を完成させることが困難な見通しとなった。これに対処するため、M-RMTP は動作可能な個体により性能評価をすることにとどめ、他の市販プロセッサを新規に採用し直して新たな構成の運動制御モジュールを開発し直した。新モジュールは M-RMTP 版よりは性能が劣るものの、通信制御プログラムの高速化等の対処により実証ロボットを実用的に動作できる性能を確保し量産性にも優れたものになった。当初計画の実時間対応高速通信ドライバ、高速 CORBA を実現し、ネットワーク環境を構築して、広く今後の応用を可能とする環境を整えた。
- ・新モジュールに RT ミドルウェアを実装して、RT コンポーネントとして動作させるための周辺ハードウェア、ソフトウェアを開発し、実働ロボットの運動制御用モジュールとして動作することを実証評価した。
- ・新モジュールを RT ミドルウェアが実装された 6 種類の実証ロボットに組み込んで有効性を検証した。

《4》次世代ロボット実用化プロジェクト【一部 F 2 1】【委託・課題助成】[平成 16 年度～平成 17 年度]

[中期目標期間実績]

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

- 研究開発項目①「実用システム化推進事業」について、助成事業において、研究開発を実施し、技術開発をほぼ完了した。掃除ロボットについて、屋外において走行経路を敷設準備することなく、自律制御走行により掃除を遂行する清掃ロボットを実現するための研究開発を実施した。警備ロボットについて、屋外で通行者が存在する環境で移動する能力を持ち、屋外での火災感知能力や自律的判断に基づく注意喚起機能及び無線を用いた遠隔監視機能等の警備機能や案内能力を有する警備ロボットを実現するための研究開発を実施した。チャイルドケアロボットについて、子供の相手をして、育児や託児の負担を軽減し、また、子供の見守りを行うようなチャイルドケアロボットを実現するための研究開発を実施した。接客ロボットについて、高度なコミュニケーション能力（音声・映像情報を活用した情報提供及び多言語認識機）を有する接客ロボットを実現するための研究開発を実施した。次世代インテリジェント車いすについて、屋内外でシームレスに位置把握を行える測位システムと自律走行技術による介助者なしで目的地まで安全に到達することができる車いすロボットを実現するための研究開発を実施した。委託事業として上記開発技術を実装した各ロボットの実証試験機を製作し、平成 17 年 3 月 25 日から開催の「愛・地球博」会場において実証試験を開始した。

研究開発項目②「プロトタイプ開発支援事業」については、今後の産業競争力強化とロボット関連ビジネスの振興につなげていくことを目的として、当該 63 件のロボット技術をプロトタイプとして委託事業により開発を行った。なお、8つのワーキンググループ（ネットワークロボティクス・RT ミドルウェア、体験型、屋外熟練作業、特殊環境、医療福祉、パートナー、パフォーマンス、ヒューマノイド）に分類して、プロジェクトの効率的・効果的な推進を実施した。

平成 16 年 1 月 20 日に公募の事前周知を行い、平成 16 年 2 月 25 日に公募を開始、平成 16 年 3 月 25 日に公募を締め切り、平成 16 年 6 月 3 日に選定結果の通知を行った。

平成 17 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「実用システム化推進事業」については、平成 16 年度に研究開発を実施し、長期実証試験の為の実証機を製作した 5 分野 8 種類のロボットについて、平成 17 年 3 月 25 日から開催の「愛・地球博」会場において実証試験を 6 ヶ月間実施した。各ロボットの实証試験にて、掃除ロボットについては清掃経路生成技術、外誘導技術、障害物検出技術、警備ロボットについては環境に適応した移動能力（段差乗り越え能力等）、屋外環境に対応した警備能力（火災検知能力、不審物検出機能等）、案内機能、チャイルドケアロボットについては識別能力、コミュニケーション能力、チャイルドケア能力、接客ロボットについては多言語認識システム、状況判断動作機能、来場者案内誘導システム、次世代インテリジェント車いすについては自律走行制御技術、障害物検出・回避技術、測位システムについて、実証データを取得し、新たな課題等を抽出した。その後、実証試験の結果をふまえた改良研究等を実施した。

研究開発項目②「プロトタイプ開発支援事業」については、「愛・地球博」での実証試験の実施前に、各プロトタイプロボットの実機に係る最終調整等を実施した。今後の産業競争力強化とロボット関連ビジネスの振興につなげていくためにロボットの幅広い普及のための課題を抽出することを目的として、「愛・地球博」の場において実証試験を実施した。「愛・地球博」会場における実証試験の場所として、平成 17 年 6 月 9 日から 19 日までモリゾーキョコロッセにて実施し、その後に常設展示が可能な複数台のロボットについてはロボットステーションにおいても実施した。その際、実証データを取得し、新たな課題等を抽出した。その後、実証試験の結果をふまえた改良研究等を実施した。

研究開発項目③「成果普及広報事業」については、人間協調・共存型ロボットシステム研究開発（平成 10～14 年度）プロジェクトの研究開発成果である HRP-2 の技術を利用したロボットのデモンストレーションを「愛・地球博」会場において 6 ヶ月間行った。また、2005 国際ロボット展、ロボットフェスティバル in 銀座において、ロボットのデモンストレーションを行った。

《5》ロボットの開発基盤となるソフトウェア上の基盤整備 [平成 14 年度～平成 16 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、以下の研究開発を実施した。

アプリケーション開発支援に関するシナリオ検討に基づくデモシステムを研究開発した。アプリケーションのひとつとして RT 要素が室内に分散配置されている RT スペースを想定して、必要となる様々な RT 要素モジュールの開発を進めるとともに、それらをアプリケーションとして統合するサービスを集めた共通ファシリティ、コンフィギュレーションツールの開発を進めた。RT 要素を組み合わせた RT スペースをデモシステムとして実際に構築することでミドルウェアプログラムが果たす役割を示した。

平成 16 年度は、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「RT オープンアーキテクチャと普及システムの調査研究」において、RT (Robot Technology) モジュールのインタフェース仕様をプロジェクト実施者以外の会員企業のロボットに適用し、更なる高度化に資する改善要求を踏まえて策定した。また、成果普及に向けては、今後の国内コンソーシアム形成に係る提案を行うとともに、OMG (Object Management Group : 代表的な標準化推進のための非営利団体) において日本主導で活動グループ (Robotics Domain SIG) を正式に発足させ、国際標準仕様原案作成を目指して、今後、ロボット技術の標準化活動を本格化していく基盤を構築した。

研究開発項目②「RT ミドルウェアの基本機能に関する研究開発」については、ハードウェアを含めてモジュール化した RT 基本要素、RT 協調要素を使って、RT ミドルウェア基本機能実証システム（モジュール化された機能部品として同じ制御ソフトウェアで動作する産業用ロボット、ヒューマノイドの腕実証システム）の実証試験を実施し、開発した RT ミドルウェアの有効性を確認した。開発した RT ミドルウェアを、オープンなロボットアーキテクチャを実現する基盤ソフトウェア技術として、機能部品のモジュール化を基本としたロボット用の RT ミドルウェア (Open RTM-aist) として、評価用に一般公開リリースした。

研究開発項目③「RT ミドルウェアのアプリケーション実現機能に関する研究開発」については、アプリケーションシステムのロボット用プログラム開発を支援するためのアプリケーション実現機能に関するミドルウェアプログラムを開発し、技術検証のため、空間内に分散配置されたロボット要素の連携により生活支援を行う RT スペースという具体的なアプリケーションシステムを構築し、その実証試験として、将来有望なアプリケーションのひとつの例として、居住空間にセンサやアクチュエータなどのロボット要素を分散配置し、これらのロボット要素が協調して動作することで生活を支援するロボットシステム (RT スペース) を構築した。構築した RT スペースにより居住空間内のロボット要素を連携動作

させるアプリケーションプログラムを簡単に開発できるようになることが確認された。さらに、第三者の理解を促しプロジェクト成果を普及するためにミドルウェアの働きを可視化するソフトウェアを作成した。

< 7 > 各分野の境界分野・融合分野及び関連分野

[中期計画]

急速な知識の蓄積や新知見の獲得によって、異分野技術の融合や、新たな技術領域が現れることを踏まえ、上記のライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料及びエネルギー等にまたがる分野、境界分野、標準化・知的基盤整備等について、機動性・柔軟性を持って研究開発を推進するものとする。例えば、半導体プロセスやマイクロマシン・センサ技術の融合領域である MEMS 技術や、微細加工技術、材料構造制御技術、計測・分析技術等の融合領域であるナノテクノロジー、情報処理技術とバイオテクノロジーの融合領域であるバイオインフォマティクス、エネルギー変換技術と材料技術の融合領域である燃料電池技術等の各種融合分野や、今後出現が予想される新たな技術領域・境界分野における研究開発に取り組む。加えて、これらの関連分野における研究開発や、産業技術・エネルギー技術全般に係る標準化・知的基盤整備等に資するよう所要の活動を行う。

< 非プログラム プロジェクト・事業 >

[中期目標期間実績]

計画に基づき以下の事業を実施した。

《1》安全・安心な社会構築に配慮した知的基盤整備事業

[中期目標期間実績]

産業の発展・活性化に繋がる知的基盤の整備をより推進するため、平成 19 年度より「知的基盤創成・利用促進研究開発事業」、「計量器校正情報システムの研究開発」、「ナノ計測基盤技術開発」等と大括り化し、「安全・安心な社会構築に配慮した知的基盤整備事業」として運用した。具体的な実績は以下のとおり。

《1》－ 1 知的基盤創成・利用促進研究開発事業 [平成 11 年度～]

[中期目標期間実績]

広範な分野での産業の活性化及び新規産業の創出に資するため、知的基盤として活用される技術及び機器等の開発並びにデータ等の整備及び利用技術開発を実施した。

平成 15 年度は、計画に基づいて 6 テーマの研究開発を実施した。

平成 16 年度は、計画に基づいて 5 テーマの研究開発を実施した。

平成 17 年度は、計画に基づき 7 テーマの採択を行い、研究開発を実施した。

平成 18 年度は、計画に基づき平成 17 年度に採択した 7 テーマの他 12 テーマの採択を行い、19 テーマについて研究開発を実施した。

平成 19 年度は、計画に基づき平成 18 年度から継続している 17 テーマについて研究開発を実施した。

《1》－ 2 計量器校正情報システムの研究開発 [平成 13 年度～平成 20 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、計画に基づいて 8 分野の研究開発を実施した。具体的な実績は以下のとおり。

時間標準：国家標準による二次標準器の遠隔時間校正をこのプロジェクトで開発されたシステムを使って、測定時間 1 日に対し 10^{-12} 以下の不確かさで達成した。時間周波数の遠隔校正に用途を特化し、市販のものより廉価な GPS 受信機とデータ送信のための装置の開発を開始した。

長さ標準・波長：光コムと波長安定化光源とを組み合わせた光周波数計測システムの不確かさ評価を進めビート検出部・周波数計測部など周波数計測システムそのものによる不確かさは 1kHz 以下であることを確かめることができた。光ファイバを使った波長標準などの伝送を目指して基礎実験を行った。また、線幅 500Hz 以下、繰り返し周波数の安定度 10^{-11} 以下のモード周期ファイバレーザを開発した。

長さ標準・光ファイバ応用：前年度に実現した不確かさを計測現場においても実現するため、タンデム型低コヒーレンス干渉計の熱的影響の評価・改良を行うとともに、低反射率標準器にも応用するために測定の高 SN 比化を行った。

次に、光通信帯 $1.56\mu\text{m}$ の ASE 低コヒーレンス光源と簡易型光波干渉計による長さ測定に取り掛かり、 $20.0\mu\text{m}$ の段差片を用いて 25km 長の光ファイバの場合で $0.2\mu\text{m}$ 、53km 長の光ファイバで $0.3\mu\text{m}$ のばらつきで長さ情報の伝送ができた。

電気標準・直流：商用電源が利用できる地球上の任意の場所において電圧標準の供給を可能にするため、GPS 周波数を基準として利用し 10K 冷凍機による動作が可能なジョセフソン電圧標準システムを確立をめざした。平成 15 年度は、小型冷凍機によって動作する実用的 1V プログラマブル・ジョセフソン電圧標準システムを開発するとともに、5V の発生電圧を有するチップの開発を開始した。今後チップ及び実装系におけるマイクロ波リターンロスの解析と改善及びプロセス技術の改良を行うことにより 10K において 10V の出力をもつ素子を開発できる見通しを得た。また、4K における精密評価システムを開発した。

電気標準・交流：交流電圧標準の遠隔校正における信頼性の向上を目的として、ファスト・リバース DC 方式を用いたインターネット対応型 AC-DC トランスファー標準用校正装置を開発した。国内外の標準研究機関及び標準供

給機関との間で、遠隔校正 (2-5V, 10Hz - 1MHz) の実証試験を実施した。

AC-DC 標準校正システムの実用化を目指した最終形のプロトタイプ三号機の開発を行った。また、同装置の jcss 校正への適用を目指して、日本電気計器検定所 (JEMIC) との間で遠隔校正の実証試験を開始した。

放射能標準：インターネットを利用した双方向画像通信技術と遠隔操作技術を利用し、通常の標準核種の他、医療用の短半減期核種やガス状放射性核種などの移動困難な放射線源、及び Ge 検出器などの移動困難な特定二次用測定機器の遠隔校正技術 (不確かさ 0.3%以内) を開発を進めた。ガス状放射性核種の標準確立のため、放射性ガス絶対測定システムの実証試験を実施を進めた。NaI (Tl) シンチレータ、液体シンチレーションカウンタ、荷電粒子測定装置などの移動困難な特定二次用測定機器について、測定機器のコントロールと測定データの取得をインターネット経由で実行した。

平成 16 年度は、計画に基づいて 4 分野の研究開発を実施した。具体的な実績は以下のとおり。

時間標準：GPS コンピュー方式周波数遠隔校正システムの開発を行い、日本国内 (つくば (AIST) - 大阪間、つくば (AIST) - 沖縄間) で性能評価を実施した。その結果、シングルチャネル方式受信機で 1 日平均で 1×10^{-12} 、マルチチャネル方式受信機で、 5×10^{-13} 以内の不確かさで周波数遠隔校正が実施できることを明らかにした。同実測値に加え、各種誤差要因に起因する不確かさの大きさの評価を行い、実測値の根拠を明らかにした。

長さ標準・波長：通信帯の安定化レーザと光周波数コムを組み合わせた光周波数計測システムを使って通信帯での安定化レーザの校正業務を準備した。レーザ管内の温度・機械特性を改善した超高安定なモード同期ファイバレーザ装置を作製し、また、水素メーザに同期した PLL 回路を用いることにより、その繰り返し周波数に 8.5×10^{-13} の安定度 (積分時間 $\tau=1$ 秒) を得ることに成功した (目標数値 1×10^{-12} を達成した)。さらに、レーザからの光コム出力信号の 150km 光伝送実験を行い、光伝送に用いる光増幅器から発生する自然放出光雑音と光ファイバ中の光カー効果との相互作用により、光コム伝送信号に数 kHz のスペクトル広がりが生じることを明らかにした

長さ標準・光ファイバ応用：光通信帯 1.55 μm の ASE 低コヒーレンス光源と簡易型近赤外光波干渉計を試作して長さ測定に取り掛かり、103km 長の光ファイバを用いて、呼び寸法 50mm のブロックゲージを 65nm のばらつきで測定できた。また、実際に敷設されている情報通信用光ファイバ網を利用し、47km の光ファイバを通して呼び寸法 100mm のブロックゲージの遠隔校正を行い、測定のばらつきは約 90nm を達成した。フェムト秒パルスレーザによる光コムモード間ビート (周波数標準にトレーサブル) を利用した光波距離計の開発を開始し、位相測定器や評価系の誤差にのみ制限され、周期誤差のない高精度測定を実現した。

電気標準・直流：窒化ニオブを電極素材とするジョセフソン素子を約 33 万個集積したプログラマブル・ジョセフソン電圧標準素子を作製し、周波数 16GHz のマイクロ波を照射することにより 9K において約 8V の電圧を発生させることに成功した。また、プログラマブル・ジョセフソン標準を精密に評価するために、4.2K (液体ヘリウム中) で 0.9V の電圧を発生させ、現行の国家標準としてのジョセフソン電圧標準と比較した結果 $4.3 \times 10^{-9}\text{V}$ 以内で一致していることを確認して国際会議 CPEM 2004 に報告した。

電気標準・交流：インダクタンス測定システムにおいて、中心的役割を果たす「同軸スキャナ」のプロトタイプ機の開発に成功した。また、Lab View を用いた自動測定プログラムの開発にも着手し、初期バージョンの開発を完了した。開発したプロトタイプ機およびプログラムソフトの動作確認を行なったところ、良好な結果を得た。

放射能標準：複数の機関の所有する医療用放射能測定装置について、日本アイソトープ協会 (岩手県) と放射線医学総合研究所 (千葉県) において、核医学診断に用いられる短半減期の F-18 を用いて遠隔校正実験を行った。荷電粒子測定装置用仲介線源を作製し、日本アイソトープ協会の所有する特定二次標準器 (荷電粒子測定装置) の校正を遠隔校正システムを用いて行った。これにより、移動困難な特定二次標準器を遠隔的に校正することができた。

平成 17 年度は、計画に基づいて 4 分野の研究開発を実施した。具体的な実績は以下のとおり。

時間標準：平成 16 年度に構築したシステムをベースにして、申請者と AIST との間の周波数遠隔校正システムの自動運用化を図る。国内数地点 (北海道、東北、関西、九州、沖縄) に GPS 従属発振器 (GPS DO) 監視用システムを設置し、取得データをつくば (AIST) へ自動送付し、GPS DO 利用の利便性追求の技術的基礎データの取得を開始した。

さらに、校正の不確かさの向上を目指して搬送波位相利用の可能性の検討をおこなった。国家標準による二次標準器の遠隔時間校正をこのプロジェクトで開発されたシステムを使って、測定時間 1 日に対し 10^{-12} 以下の不確かさで達成した。

長さ標準・波長：引き続きアセチレン安定化レーザと光周波数コムを組み合わせた光周波測定システムの総合的な評価を行い不確かさ $10^{-10} \sim 10^{-11}$ の光周波数計測システムを確立した。光ファイバを用いた波長基準の伝送の可能性を調べるために、光周波数コムや安定化レーザを光ファイバで伝送し、その特性を調べた。通信帯の分野の国際会議 (たとえば ECOC など) に参加して成果発表、情報収集などを行った。

光コム信号の線幅広がりや光パワー依存性を詳細に調べるとともに、伝送距離を 150km から 500km に拡大し、伝送距離と伝送信号のスペクトル歪みの関係をより詳細に測定した。ペクトルの無歪み伝送のための最適条件を明確にした。さらに、光通信分野の国際会議 (ECOC など) に参加して成果発表、情報収集などを行った。

光コムと波長安定化光源とを組み合わせて不確かさ $10^{-10} \sim 10^{-11}$ の光周波数計測システムを確立する。また、線幅 10 Hz 以下、繰り返し周波数の安定度 10^{-12} 以下のモード同期ファイバレーザを開発した。

長さ標準・光ファイバ応用：異なる二点間にある測長用低コヒーレンス干渉計を 3km 長の光ファイバで連結し、産総研の長さ標準によって実用長さ標準器を遠隔で絶対校正できる標準供給システムを開発し、0.05 $\mu\text{m}/0.25\text{m}$ の

測定不確かさを達成する。また、フェムト秒パルスレーザのモード間ビートを利用した距離測定技術を開発し、光ファイバを用いた遠隔校正法によって0.5ppmの測定不確かさを達成した。

電気標準・直流：GPS周波数を基準として利用し10K冷凍機による動作が可能なジョセフソン電圧標準システムを開発する。また、プログラマブル・ジョセフソン電圧標準システムを用いて一次認定校正事業者との間でe-trace実証実験を実施する。国際度量衡標準局(BIPM)との国際比較も実施。商用電源が利用できる地球上の任意の場所において電圧標準の供給を可能にするため、GPS周波数を基準として利用し10K冷凍機による動作が可能なジョセフソン電圧標準システム(電圧：最大10V)を確立し、不確かさ0.1ppmを達成した。

電気標準・交流：同軸スキャナの改良、測定プログラムのデバック及び安定な標準仲介器の開発を行い、インダクタンス測定システムの完成。また、遠隔校正のために必要なサーバーの構築等、ネットワーク環境の整備を行い、外部事業所に協力を依頼して、遠隔校正の実証実験を行った。遠隔校正によるインダクタンス標準仲介器の標準不確かさ50ppm以下を達成した。

放射能標準：インターネットを利用した双方向画像通信技術と遠隔操作技術を利用し、医療用放射能測定装置の遠隔校正の実証を行った。平成17年度には、認定事業者から、一般ユーザーに対する遠隔校正を試みた。また、放射線については、放射線医学総合研究所との間で、指頭型検出器を仲介器とした、遠隔制御システムの開発を行った。中性子については、速中性子フルエンス標準用の遠隔校正用仲介検出器の開発を行った。

平成18年度は計画に基づいて7分野の研究開発を実施した。具体的な実績は以下のとおり。

時間標準：国家標準による二次標準器の遠隔時間校正をこのプロジェクトで開発されたシステムを使って、測定時間1日に対し 10^{-12} 以下の不確かさで達成した。また、遠隔校正の普及のため、エンドユーザー向け機器の開発を開始した。

長さ標準・波長：ビート周波数の高周波数化の基礎実験を行い、光波の波面精度の光学系の開発と位相測定の高精度化に関する検討を行った。また、フェムト秒パルスレーザの環境安定性を向上させ、周波数の安定性に対する影響を調べ、韓国標準研との屋外比較測定を行った。

長さ標準・光ファイバ応用：平成18年度は、表面が曲面となっているリングゲージの測定実験を行った。また、リニアスケールの校正装置やブロックゲージの簡易型校正装置の整備を行うとともに、低コヒーレンス干渉縞信号検出の高速化や真空セルによる空気屈折率の自動補正の実験を行った。

電気標準：インダクタンス標準において、校正事業者とユーザーの間で、遠隔校正の実証実験を実施し、その結果から従来の持込校正に比べて不確かさの範囲で差異のないことを確認した。また実証実験を通して、実用化に向けての問題点を明らかにした。

放射能標準：多チャンネル波高分析器を中心にした放射線計測専用モジュール、ICタグ及びICタグ書き込み装置で構成する模擬校正システムを試作し、システムの妥当性を確認した。また、熱中性子フルエンス率に関する遠隔校正試験を行い、熱中性子スペクトルの違いによる遠隔校正への影響とその補正方法について検討を行った。

三次元測定器標準：任意・微細形状用三次元測定機の校正・評価手順に関して改良を要する点の洗い出しを行った。さらに、通常サイズの三次元測定機を微細形状用三次元測定機に見立て、評価手順の検証を行った。また、遠隔校正に必要な仲介器の具体的な形状、形式を考案した。

振動・加速度標準：可搬式加振器の開発を行った。また遠隔校正に必要な振動加速度計用チャージアンプの校正装置を開発し、不確かさ0.05%未満を達成した。

圧力標準：平成18年度は、遠隔圧力校正に適したプロトコル(測定手順)の開発を進め、気体差圧と液体圧力の各圧力範囲において遠隔校正実験を行った。

平成19年度は計画に基づいて7分野の研究開発を実施した。各分野における具体的な実績は以下のとおり。

時間標準：フェムト秒パルスレーザのモード間ビートを利用した距離測定技術において、高い位相安定性を実現し、また、光学ヘッド部と電装部を分けた分離型試作機を設計・作成し、境安定性と波面精度を向上させた。

長さ標準(光ファイバ応用)：標準干渉計を作製し、リングゲージ用の干渉測定装置を評価した。また、白色干渉縞の高速測定装置を作製し、リニアスケールを高速かつ高精度に校正する技術開発を行った。

電気標準：キャパシタンス標準、交流抵抗標準において、遠隔校正システムを作製し、校正事業者とユーザーの間での実証実験を実施した。また、インダクタンス標準の実証試験を行うとともに、LCR(インダクタンス(L)、キャパシタンス(C)、抵抗(R)測定装置)メータの遠隔校正を実現するための装置の開発を行い、遠隔校正システムの試験を開始した。

放射能標準：ガンマ線及びベータ線用のサーベイメータについて、ICタグ付仲介標準線源を使用した遠隔校正システムの開発を行った。また、速中性子の遠隔校正において、中性子スペクトルを利用し、補正の高精度化を行った。

三次元測定器標準：低熱膨張材料製ゲージを、任意・微細形状用三次元測定機の遠隔校正用仲介器として作製・安定性評価実験を行い、小さな不確かさを得た。また、微細形状用三次元測定機の評価実験を行った。

振動・加速度標準：可搬式加振器とコントローラを用いた普及型振動加速度校正装置の開発を行った。また、制御を全て自動化した2次校正装置を開発し、作製した。

圧力標準：気体差圧及び液体圧力において複数のデジタル圧力計と圧力発生器を搭載した仲介器を改良し、遠隔圧力校正に適した測定手順を開発した。また、仲介標準器の長期安定性、環境の変化に対する影響量の特性を評価することにより、小さな不確かさによる遠隔校正技術の基礎を得た。

なお、平成18年度に実施した中間評価において指摘された問題点・改善すべき点については、19年度実施方針及び19年度実施計画に反映を行った。

《2》基盤技術研究促進事業 [平成 13 年度～]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、継続分 66 件、新規分 17 件の事業を実施した。また、中間評価を実施した 29 件（対象案件数については、平成 15 年度計画策定時より変更が生じた）については、その結果を踏まえ必要に応じ試験研究の効果的かつ円滑な実施に向けた助言を行うとともに、うち 6 件について平成 16 年度以降の試験研究内容修正に向けての対応を図った。

平成 16 年度は、継続分 75 件の事業を実施した。中間評価を実施した 40 件については、その結果を踏まえ、必要に応じて研究の効果的かつ円滑な実施に向けた助言を行うとともに、うち 2 件については平成 17 年度以降の研究内容の修正を行い、1 件については中止とした。

事後評価を実施した 8 件については、その結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。

事業の成果普及・広報のため、成果展示会を開催した（東京ビッグサイト：12 月 1 日～3 日）。

平成 17 年度は、継続分 62 件の事業を実施した。

中間評価を実施した 3 件については、その結果を踏まえ、必要に応じて研究の効果的かつ円滑な実施に向けた助言を行った。

事後評価を実施した 11 件については、その結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。

事業の成果普及・広報のため、成果展示会を開催した（東京ビッグサイト：11 月 15 日～18 日）。

平成 18 年度は、継続分 31 件の事業を実施した。

事後評価を実施した 31 件については、その結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。

平成 19 年度は、継続分 3 件の事業を実施した。

事後評価を実施した 28 件については、その結果を踏まえ、必要に応じて今後の事業化に向けた助言を行った。

《3》イノベーション実用化助成事業（次世代戦略技術実用化開発助成事業） [平成 19 年度～]

[中期目標期間実績]

[再掲：本文 2. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する目標を達成するために取るべき措置 (1) [研究開発関連業務] (ウ) 実用化・企業化促進事業 参照]

《4》地中等埋設物探知・除去技術開発 [平成 14 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

地雷埋設地域において、現地の作業者が対人地雷を安全かつ効率的に探知・除去することを可能とする対人地雷探知・除去機器について、民間企業等が実施する以下の実用化開発を支援した。

平成 15 年度は、①携帯型対人地雷探知器の開発について、国内実証試験等を経て、試作機を完成させた。②車両型地雷等探知機の開発について、国内実証試験等を経て、試作機を完成させた。③対人地雷除去機の開発について、国内実証試験等を経て、試作機を完成させた。

平成 16 年度は、アフガニスタンでの現地試験を実施した。模擬地雷での試験では、平坦な場所、凹凸のある場所、傾斜地、岩盤の多い場所とアフガニスタン特有の環境での地雷処理能力テストを実施した。どの地形においても概ね 90%と高い除去率であった。また、不発弾等を想定した対爆試験も実施した。多少の備品が破損する程度で、対爆性にも問題無いことが確認できた。最終試験として、地雷原にて実際に対人地雷の除去を実施した。この現地試験の結果から得られた主な改良事項は、地雷処理時の粉塵発生量は膨大でその粉塵による摺動部のトラブル対応として粉塵対策が必要であることが確認できた。また、不発弾等により破損した備品の交換等の修理時間の短縮のため、交換作業の簡略化についても対策検討する。

昨年 10 月に行われたアフガニスタン大統領選挙による治安悪化のため、約 3 ヶ月間中断したこともあり、現地試験の終了時期が平成 17 年 2 月中旬と大幅に遅くなった。この実証試験より得られた結果をもとに行う改良は、平成 17 年度に入ってから行った。

平成 17 年度は、平成 16 年度事業であるアフガニスタン向け機材の改良を継続実施した。これは、平成 16 年 10 月に行われた大統領選挙による治安悪化により試験が約 3 ヶ月間中断し、現地試験の終了が平成 17 年 2 月中旬と大幅に遅れたためである。その改良も平成 17 年 9 月には概ね終了した。

平成 17 年度事業では、平成 16 年度までに開発してきた機材を基に、アフガニスタンには無い「植生のある地域」を対象とした機材の改良開発を実施した。

平成 18 年度は、平成 17 年度に植生のある地域に対応できるよう改良した試作機について、世界の代表的な地雷国でかつ植生地域であるカンボジア等において行われた実証試験をもとに、そこで得られた結果を踏まえ更なる改良研究を行った。

研究開発項目①「携帯型対人地雷探知器の開発」については、電磁波センサ・金属探知複合探知機の機器信頼性向上のために金属探知部を基板化して高温・多湿等に対する耐久性を向上させた。また、国内外において、種々の土質や温度条件でデータベースを蓄積してソフトに反映することにより、チューニング機能を付与した。開発された複合探知器は自社内試験地及びスリランカ・カンボジアにおける実証テストに

供し、この結果をもとに安全かつ効率的な対人地雷探知器として使用できるよう改良を施した。主な改良点は、小柄体格者が使いやすいような小型軽量化、誤認率低減のためのモニター視認性向上と音声認識導入である。

研究開発項目②「車両型地雷等探知機の開発」については、地雷探知装置搭載車両の開発、遠隔操作型探知システムの開発、モジュラー構造の開発等を行った。さらに、地雷探知の確実を目的として、各種土壌条件下の安定な目標識別能力を確保するべく、目標識別処理方式の検討及び処理アルゴリズム改良を行った。また、開発された車両型探知機は実証テストを行い、走行性の改良を行うことにより現地で対人地雷の安全かつ効率的な探知が可能な機器とした。

研究開発項目③「対人地雷除去機の開発」については、過酷な使用環境に対して機器の耐久性を高める各種保護部材の開発、対人地雷と混在している対戦車地雷に対する耐爆性向上、植生伐採地での効率的運用に対応できる仕様の開発等を行った。開発された対人地雷除去機はカンボジアにおいて行われた種々の実証テストの結果をもとに更なる改良を行い、現地で対人地雷の安全かつ効率的な除去が可能な機器とした。

《5》産業技術実用化開発助成事業（次世代戦略技術実用化開発助成事業）[平成 17 年度～平成 18 年度]

[中期目標期間実績]

平成 17 年度は、年 2 回の公募を行い、新規に 33 件を採択し事業を実施した。

このうち 12 件については、中間評価を実施し、その結果を踏まえ、必要に応じて事業化の効果的かつ円滑な実施に向けた助言を行った。

なお、研究成果の波及効果及び事業化やその見通し等について、助成事業終了後 5 年間、毎年その進捗状況の調査及び評価を確実に実施することとしている。

平成 18 年度は、年 2 回の公募を行い、新規採択を 22 件、継続分 33 件の事業を実施した。

このうち 12 件については、中間評価を実施し、その結果を踏まえ、必要に応じて事業化の効果的かつ円滑な実施に向けた助言を行った。

また、平成 17 年度採択案件について 12 件について延長評価を実施した。

《6》エネルギー・環境国際共同研究提案公募事業 [平成 12 年度～平成 15 年度]

[中期目標期間実績]

平成 15 年度は、事業の最終年度として平成 14 年度からの継続事業 14 件の国際共同研究テーマを計画通り実施した。また、平成 16 年度に実施する事後評価実施に向けた準備を行った。

別表 1-1

決算報告書（総計）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	745,365	745,365	-
国庫補助金	243,915	277,366	33,451
都道府県補助金	1,938	2,159	221
受託収入	23,545	31,518	7,973
政府出資金	31,690	23,727	△ 7,963
貸付回収金	12,035	17,570	5,535
業務収入	116,660	136,672	20,012
その他収入	11,459	12,351	893
計	1,186,607	1,246,728	60,121
支出			
業務経費	849,128	843,996	△ 5,132
国庫補助金事業費	243,915	277,366	33,451
施設整備費	1,397	1,015	△ 383
受託経費	23,545	31,518	7,973
借入金償還	6,618	6,618	△ 0
支払利息	909	909	△ 0
一般管理費	63,715	58,474	△ 5,241
その他支出	759	90	△ 669
計	1,189,986	1,219,986	30,000

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-2

決算報告書（一般勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	184,212	184,212	-
国庫補助金	13,540	34,210	20,670
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	7,807	16,596	8,789
政府出資金	10	10	-
貸付回収金	-	-	-
業務収入	119	886	767
その他収入	1,183	1,264	81
計	206,872	237,178	30,307
支出			
業務経費	175,147	175,654	506
国庫補助金事業費	13,540	34,210	20,670
施設整備費	-	-	-
受託経費	7,807	16,596	8,789
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	10,300	9,447	△ 854
その他支出	10	10	-
計	206,805	235,916	29,112

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-3

決算報告書（電源利用勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	115,973	115,973	-
国庫補助金	28,365	30,793	2,429
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	-	-	-
業務収入	238	1,142	904
その他収入	1,986	883	△ 1,103
計	146,561	148,791	2,230
支出			
業務経費	107,257	106,528	△ 729
国庫補助金事業費	28,365	30,793	2,429
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	10,890	10,242	△ 648
その他支出	-	-	-
計	146,512	147,563	1,051

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-4

決算報告書（エネルギー需給勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	445,180	445,180	-
国庫補助金	202,010	212,363	10,353
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	15,738	14,922	△ 816
政府出資金	80	80	-
貸付回収金	176	186	9
業務収入	121	2,312	2,192
その他収入	3,217	4,234	1,017
計	666,522	679,277	12,755
支出			
業務経費	432,796	431,909	△ 887
国庫補助金事業費	202,010	212,363	10,353
施設整備費	-	-	-
受託経費	15,738	14,922	△ 816
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	15,667	14,974	△ 693
その他支出	80	80	-
計	666,291	674,248	7,957

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-5

決算報告書（基盤技術研究促進勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	31,600	23,637	△ 7,963
貸付回収金	-	-	-
業務収入	136	676	540
その他収入	1,059	1,701	641
計	32,795	26,014	△ 6,782
支出			
業務経費	31,949	26,323	△ 5,626
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	874	822	△ 52
その他支出	-	-	-
計	32,823	27,144	△ 5,678

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-6

決算報告書（研究基盤出資経過勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	-	-	-
業務収入	941	920	△ 21
その他収入	25	25	1
計	966	946	△ 20
支出			
業務経費	-	-	-
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	22	13	△ 9
その他支出	-	-	-
計	22	13	△ 9

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-7

決算報告書（鉱工業承継勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	6,047	6,873	826
業務収入	747	1,073	326
その他収入	914	962	47
計	7,708	8,907	1,200
支出			
業務経費	2	0	△ 2
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	6,618	6,618	△ 0
支払利息	909	909	△ 0
一般管理費	815	588	△ 227
その他支出	30	-	△ 30
計	8,374	8,115	△ 259

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-8

決算報告書（石炭経過勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	1,938	2,159	221
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	5,812	10,511	4,700
業務収入	12,185	25,208	13,023
その他収入	1,247	1,436	189
計	21,182	39,315	18,133
支出			
業務経費	15,486	14,277	△ 1,209
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	11,018	9,196	△ 1,822
その他支出	1	-	△ 1
計	26,504	23,473	△ 3,032

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-9

決算報告書（特定アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	-	-	-
業務収入	37,034	36,601	△ 434
その他収入	11	8	△ 3
計	37,045	36,608	△ 437
支出			
業務経費	35,076	34,684	△ 393
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	1,945	1,878	△ 66
その他支出	-	-	-
計	37,021	36,562	△ 459

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-10

決算報告書（アルコール製造勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	-	-	-
業務収入	35,220	34,975	△ 244
その他収入	1,797	2,312	516
計	37,016	37,288	271
支出			
業務経費	24,274	25,942	1,669
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	1,397	1,015	△ 383
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	9,716	9,072	△ 644
その他支出	638	-	△ 638
計	36,025	36,029	4

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-11

決算報告書（一般アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	-	-	-
業務収入	68,409	70,591	2,182
その他収入	14	66	52
計	68,424	70,658	2,234
支出			
業務経費	65,637	66,945	1,308
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	2,448	2,230	△ 218
その他支出	-	-	-
計	68,085	69,175	1,090

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 1-12

決算報告書（特定事業活動等促進経過勘定）

（単位：百万円）

区 分	予 算 額	決 算 額	差 額
収入			
運営費交付金	-	-	-
国庫補助金	-	-	-
都道府県補助金	-	-	-
受託収入	-	-	-
政府出資金	-	-	-
貸付回収金	-	-	-
業務収入	7	6	△ 1
その他収入	6	6	1
計	12	12	0
支出			
業務経費	-	-	-
国庫補助金事業費	-	-	-
施設整備費	-	-	-
受託経費	-	-	-
借入金償還	-	-	-
支払利息	-	-	-
一般管理費	21	12	△ 9
その他支出	-	-	-
計	21	12	△ 9

※ 百万円未満四捨五入のため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-1

貸借対照表 (総計)

(単位：百万円)

資産		負債	
I 流動資産	945,864	I 流動負債	674,327
現金及び預金	724,978	運営費交付金債務	119,808
有価証券	75,107	未払金	490,900
貸付金	33,750	その他流動負債	63,617
未収金	68,549	II 固定負債	101,219
その他流動資産	43,478	長期借入金	13,654
II 固定資産	389,253	退職給付引当金	24,259
有形固定資産	71,800	鉱害賠償担保預り金	8,599
減価償却累計額	△ 7,460	受託事業預り金	17,793
無形固定資産	581	その他固定負債	36,911
投資その他の資産	324,330	負債計	775,546
		純資産	
		I 資本金	770,322
		II 資本剰余金	1,940
		III 利益剰余金	△ 212,692
		純資産計	559,570
資産合計	1,335,117	負債・純資産合計	1,335,117

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-2

損益計算書 (総計)

(単位：百万円)

経常費用		経常収益	
業務費	1,148,456	運営費交付金収益	744,500
給与手当	7,406	業務収益	105,228
外部委託費	650,073	受託収入	18,134
補助事業費	361,296	補助金等収益	292,355
請負費	7,847	資産見返負債戻入	591
その他	121,832	財務収益	3,519
一般管理費	49,665	雑益	10,006
給与手当	20,375		
減価償却費	719		
その他	28,570		
財務費用	882		
雑損	4,289		
経常費用合計	1,203,293	経常収益合計	1,174,335
臨時損失	4,316	臨時利益	4,341
		当期総損失	28,932

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-3

貸借対照表 (一般勘定)

(単位：百万円)

資産		負債	
I 流動資産	134,666	I 流動負債	123,069
現金及び預金	113,672	運営費交付金債務	28,402
有価証券	500	未払金	94,621
貸付金	-	その他流動負債	44
未収金	18,181	II 固定負債	3,522
その他流動資産	2,312	長期借入金	-
II 固定資産	7,536	退職給付引当金	-
有形固定資産	3,486	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	△ 329	受託事業預り金	2,627
無形固定資産	4	その他固定負債	894
投資その他の資産	4,374	負債計	126,591
		純資産	
		I 資本金	11,965
		II 資本剰余金	△ 154
		III 利益剰余金	3,799
		純資産計	15,610
資産合計	142,202	負債・純資産合計	142,202

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-4

損益計算書 (一般勘定)

(単位：百万円)

経常費用		経常収益	
業務費	223,492	運営費交付金収益	183,960
給与手当	888	業務収益	-
外部委託費	139,430	受託収入	14,654
補助事業費	80,071	補助金等収益	34,236
請負費	805	資産見返負債戻入	108
その他	2,296	財務収益	222
一般管理費	9,380	雑益	1,761
給与手当	4,273		
減価償却費	111		
その他	4,995		
財務費用	0		
雑損	723		
経常費用合計	233,597	経常収益合計	234,943
臨時損失	8	臨時利益	151
当期総利益	1,488		

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-5

貸借対照表（電源利用勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	127,772	I 流動負債	123,460
現金及び預金	116,393	運営費交付金債務	28,133
有価証券	200	未払金	95,285
貸付金	-	その他流動負債	41
未収金	10,342	II 固定負債	1,427
その他流動資産	836	長期借入金	-
II 固定資産	5,413	退職給付引当金	-
有形固定資産	4,262	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	△ 359	受託事業預り金	-
無形固定資産	0	その他固定負債	1,427
投資その他の資産	1,510	負債計	124,888
		純資産	
		I 資本金	4,682
		II 資本剰余金	△ 165
		III 利益剰余金	3,780
		純資産計	8,297
資産合計	133,185	負債・純資産合計	133,185

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-6

損益計算書（電源利用勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	136,460	運営費交付金収益	115,775
給与手当	642	業務収益	-
外部委託費	115,266	受託収入	-
補助事業費	18,175	補助金等収益	30,777
請負費	964	資産見返負債戻入	104
その他	1,411	財務収益	137
一般管理費	10,208	雑益	1,750
給与手当	4,596		
減価償却費	108		
その他	5,503		
財務費用	0		
雑損	594		
経常費用合計	147,263	経常収益合計	148,545
臨時損失	4	臨時利益	150
当期総利益	1,427		

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-7

貸借対照表 (エネルギー需給勘定)

(単位：百万円)

資産		負債	
I 流動資産	360,455	I 流動負債	334,704
現金及び預金	316,385	運営費交付金債務	63,272
有価証券	1,000	未払金	271,292
貸付金	185	その他流動負債	138
未収金	39,221	II 固定負債	19,677
その他流動資産	3,663	長期借入金	-
II 固定資産	26,555	退職給付引当金	-
有形固定資産	8,815	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	△ 1,062	受託事業預り金	15,166
無形固定資産	12	その他固定負債	4,511
投資その他の資産	18,791	負債計	354,381
		純資産	
		I 資本金	25,519
		II 資本剰余金	△ 318
		III 利益剰余金	7,428
		純資産計	32,629
資産合計	387,011	負債・純資産合計	387,011

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-8

損益計算書 (エネルギー需給勘定)

(単位：百万円)

経常費用		経常収益	
業務費	644,910	運営費交付金収益	444,765
給与手当	3,039	業務収益	56
外部委託費	369,348	受託収入	3,480
補助事業費	252,028	補助金等収益	212,822
請負費	3,519	資産見返負債戻入	358
その他	16,974	財務収益	615
一般管理費	15,154	雑益	5,112
給与手当	6,899		
減価償却費	392		
その他	7,862		
財務費用	0		
雑損	2,226		
経常費用合計	662,291	経常収益合計	667,211
臨時損失	158	臨時利益	239
当期総利益	5,000		

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-9

貸借対照表（基盤技術研究促進勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	14,164	I 流動負債	7,008
現金及び預金	8,352	運営費交付金債務	-
有価証券	5,020	未払金	6,973
貸付金	-	その他流動負債	35
未収金	684	II 固定負債	909
その他流動資産	107	長期借入金	-
II 固定資産	45,114	退職給付引当金	909
有形固定資産	26	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	△ 3	受託事業預り金	-
無形固定資産	0	その他固定負債	0
投資その他の資産	45,091	負債計	7,918
		純資産	
		I 資本金	228,612
		II 資本剰余金	0
		III 利益剰余金	△ 177,251
		純資産計	51,360
資産合計	59,278	負債・純資産合計	59,278

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-10

損益計算書（基盤技術研究促進勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	26,322	運営費交付金収益	-
給与手当	139	業務収益	15
外部委託費	25,956	受託収入	-
補助事業費	-	補助金等収益	-
請負費	21	資産見返負債戻入	-
その他	204	財務収益	910
一般管理費	804	雑益	1,481
給与手当	389		
減価償却費	1		
その他	413		
財務費用	0		
雑損	2		
経常費用合計	27,129	経常収益合計	2,407
臨時損失	57	臨時利益	-
		当期総損失	24,779

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-11

貸借対照表（研究基盤出資経過勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	4,855	I 流動負債	1
現金及び預金	3,948	運営費交付金債務	-
有価証券	900	未払金	1
貸付金	-	その他流動負債	0
未収金	0	II 固定負債	0
その他流動資産	6	長期借入金	-
II 固定資産	6,843	退職給付引当金	-
有形固定資産	1	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	0	受託事業預り金	-
無形固定資産	0	その他固定負債	0
投資その他の資産	6,842	負債計	1
		純資産	
		I 資本金	28,599
		II 資本剰余金	2,617
		III 利益剰余金	△ 19,519
		純資産計	11,696
資産合計	11,698	負債・純資産合計	11,698

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-12

損益計算書（研究基盤出資経過勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	-	運営費交付金収益	-
給与手当	-	業務収益	-
外部委託費	-	受託収入	-
補助事業費	-	補助金等収益	-
請負費	-	資産見返負債戻入	-
その他	-	財務収益	22
一般管理費	12	雑益	0
給与手当	1		
減価償却費	0		
その他	11		
財務費用	0		
雑損	0		
経常費用合計	12	経常収益合計	22
臨時損失	1,643	臨時利益	561
		当期総損失	1,071

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-13

貸借対照表（鉱工業承継勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	36,461	I 流動負債	6,430
現金及び預金	12,539	運営費交付金債務	-
有価証券	2,198	未払金	94
貸付金	20,799	その他流動負債	6,336
未収金	694	II 固定負債	14,106
その他流動資産	229	長期借入金	13,654
II 固定資産	72,800	退職給付引当金	451
有形固定資産	13	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	△ 1	受託事業預り金	-
無形固定資産	0	その他固定負債	0
投資その他の資産	72,788	負債計	20,537
		純資産	
		I 資本金	91,964
		II 資本剰余金	210
		III 利益剰余金	△ 3,451
		純資産計	88,724
資産合計	109,261	負債・純資産合計	109,261

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-14

損益計算書（鉱工業承継勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	32	運営費交付金収益	-
給与手当	-	業務収益	466
外部委託費	-	受託収入	-
補助事業費	-	補助金等収益	-
請負費	-	資産見返負債戻入	-
その他	32	財務収益	972
一般管理費	578	雑益	16
給与手当	183		
減価償却費	0		
その他	394		
財務費用	881		
雑損	2		
経常費用合計	1,495	経常収益合計	1,455
臨時損失	70	臨時利益	295
当期総利益	184		

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-15

貸借対照表（石炭経過勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	172,331	I 流動負債	22,218
現金及び預金	93,066	運営費交付金債務	-
有価証券	65,288	未払金	18,892
貸付金	12,764	その他流動負債	3,325
未収金	603	II 固定負債	46,812
その他流動資産	608	長期借入金	-
II 固定資産	182,162	退職給付引当金	10,739
有形固定資産	7,982	鉱害賠償担保預り金	8,599
減価償却累計額	△ 129	受託事業預り金	-
無形固定資産	2	その他固定負債	27,474
投資その他の資産	174,306	負債計	69,030
		純資産	
		I 資本金	320,586
		II 資本剰余金	△ 249
		III 利益剰余金	△ 34,874
		純資産計	285,462
資産合計	354,493	負債・純資産合計	354,493

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-16

損益計算書（石炭経過勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	20,918	運営費交付金収益	-
給与手当	-	業務収益	739
外部委託費	70	受託収入	-
補助事業費	11,021	補助金等収益	14,517
請負費	2,239	資産見返負債戻入	20
その他	7,586	財務収益	615
一般管理費	8,543	雑益	502
給与手当	2,847		
減価償却費	31		
その他	5,663		
財務費用	0		
雑損	586		
経常費用合計	30,047	経常収益合計	16,394
臨時損失	1,163	臨時利益	236
		当期総損失	14,579

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-17

貸借対照表（特定アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	40,899	I 流動負債	40,504
現金及び預金	30,686	運営費交付金債務	-
有価証券	-	未払金	1,393
貸付金	-	その他流動負債	39,111
未収金	9	II 固定負債	194
その他流動資産	10,203	長期借入金	-
II 固定資産	-	退職給付引当金	159
有形固定資産	-	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	-	受託事業預り金	-
無形固定資産	-	その他固定負債	34
投資その他の資産	-	負債計	40,698
		純資産	
		I 資本金	97
		II 資本剰余金	-
		III 利益剰余金	103
		純資産計	200
資産合計	40,899	負債・純資産合計	40,899

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-18

損益計算書（特定アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	34,683	運営費交付金収益	-
給与手当	-	業務収益	36,600
外部委託費	-	受託収入	-
補助事業費	-	補助金等収益	-
請負費	-	資産見返負債戻入	-
その他	34,683	財務収益	7
一般管理費	1,887	雑益	1
給与手当	78		
減価償却費	-		
その他	1,808		
財務費用	-		
雑損	-		
経常費用合計	36,570	経常収益合計	36,609
臨時損失	-	臨時利益	19
当期総利益	58		

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-19

貸借対照表（アルコール製造勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	32,179	I 流動負債	10,792
現金及び預金	19,467	運営費交付金債務	-
有価証券	-	未払金	3,513
貸付金	-	その他流動負債	7,279
未収金	1,919	II 固定負債	13,611
その他流動資産	10,793	長期借入金	-
II 固定資産	42,322	退職給付引当金	11,387
有形固定資産	47,213	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	△ 5,573	受託事業預り金	-
無形固定資産	561	その他固定負債	2,223
投資その他の資産	120	負債計	24,403
		純資産	
		I 資本金	43,376
		II 資本剰余金	-
		III 利益剰余金	6,722
		純資産計	50,098
資産合計	74,502	負債・純資産合計	74,502

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-20

損益計算書（アルコール製造勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	32,403	運営費交付金収益	-
給与手当	2,694	業務収益	34,975
外部委託費	-	受託収入	-
補助事業費	-	補助金等収益	-
請負費	298	資産見返負債戻入	-
その他	29,411	財務収益	5
一般管理費	2,340	雑益	1,824
給与手当	822		
減価償却費	73		
その他	1,445		
財務費用	-		
雑損	152		
経常費用合計	34,897	経常収益合計	36,804
臨時損失	1,209	臨時利益	2,284
当期総利益	2,983		

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-21

貸借対照表（一般アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	30,225	I 流動負債	16,240
現金及び預金	8,300	運営費交付金債務	-
有価証券	-	未払金	1,938
貸付金	-	その他流動負債	14,301
未収金	1	II 固定負債	724
その他流動資産	21,923	長期借入金	-
II 固定資産	-	退職給付引当金	612
有形固定資産	-	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	-	受託事業預り金	-
無形固定資産	-	その他固定負債	111
投資その他の資産	-	負債計	16,964
		純資産	
		I 資本金	12,919
		II 資本剰余金	-
		III 利益剰余金	341
		純資産計	13,261
資産合計	30,225	負債・純資産合計	30,225

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-22

損益計算書（一般アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	68,426	運営費交付金収益	-
給与手当	-	業務収益	70,591
外部委託費	-	受託収入	-
補助事業費	-	補助金等収益	-
請負費	-	資産見返負債戻入	-
その他	68,426	財務収益	1
一般管理費	2,264	雑益	24
給与手当	282		
減価償却費	-		
その他	1,981		
財務費用	-		
雑損	-		
経常費用合計	70,691	経常収益合計	70,617
臨時損失	-	臨時利益	64
		当期総損失	9

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-23

貸借対照表（特定事業活動等促進経過勘定）

（単位：百万円）

資産		負債	
I 流動資産	2,327	I 流動負債	0
現金及び預金	2,166	運営費交付金債務	-
有価証券	-	未払金	0
貸付金	-	その他流動負債	0
未収金	0	II 固定負債	234
その他流動資産	160	長期借入金	-
II 固定資産	505	退職給付引当金	-
有形固定資産	-	鉱害賠償担保預り金	-
減価償却累計額	-	受託事業預り金	-
無形固定資産	-	その他固定負債	234
投資その他の資産	505	負債計	234
		純資産	
		I 資本金	2,000
		II 資本剰余金	-
		III 利益剰余金	597
		純資産計	2,597
資産合計	2,832	負債・純資産合計	2,832

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 2-24

損益計算書（特定事業活動等促進経過勘定）

（単位：百万円）

経常費用		経常収益	
業務費	81	運営費交付金収益	-
給与手当	-	業務収益	5
外部委託費	-	受託収入	-
補助事業費	-	補助金等収益	-
請負費	-	資産見返負債戻入	-
その他	81	財務収益	9
一般管理費	12	雑益	0
給与手当	0		
減価償却費	-		
その他	11		
財務費用	-		
雑損	-		
経常費用合計	93	経常収益合計	14
臨時損失	-	臨時利益	337
当期総利益	258		

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-1

キャッシュ・フロー計算書（総計）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	85,525
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 110,227
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	19,515
IV 資金増加額	△ 5,186
V 資金期首残高	67,135
VI 資金期末残高	56,937

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-2

キャッシュ・フロー計算書（一般勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	20,264
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 21,907
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	758
IV 資金減少額	△ 884
V 資金期首残高	10,595
VI 資金期末残高	9,711

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-3

キャッシュ・フロー計算書（電源利用勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	16,546
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 16,760
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	△ 159
IV 資金減少額	△ 374
V 資金期首残高	11,767
VI 資金期末残高	11,393

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-4

キャッシュ・フロー計算書（エネルギー需給勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	56,618
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 58,720
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	1,720
IV 資金増加額	△ 380
V 資金期首残高	10,952
VI 資金期末残高	10,571

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-5

キャッシュ・フロー計算書（基盤技術研究促進勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	△ 25,434
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 262
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	23,636
IV 資金減少額	△ 2,060
V 資金期首残高	7,087
VI 資金期末残高	5,026

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-6

キャッシュ・フロー計算書（研究基盤出資経過勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	1,180
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	1,899
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	-
IV 資金減少額	3,080
V 資金期首残高	367
VI 資金期末残高	3,448

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-7

キャッシュ・フロー計算書（鉱工業承継勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	7,297
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 2,385
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	△ 7,050
IV 資金増加額	△ 2,137
V 資金期首残高	4,177
VI 資金期末残高	2,039

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-8

キャッシュ・フロー計算書（石炭経過勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	△ 1,200
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 1,707
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	△ 1
IV 資金増加額	△ 2,908
V 資金期首残高	12,654
VI 資金期末残高	9,746

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-9

キャッシュ・フロー計算書（特定アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	5,290
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 5,370
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	-
IV 資金増加額	△ 79
V 資金期首残高	546
VI 資金期末残高	466

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-10

キャッシュ・フロー計算書（アルコール製造勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	5,757
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 5,673
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	-
IV 資金増加額	84
V 資金期首残高	1,983
VI 資金期末残高	2,067

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-11

キャッシュ・フロー計算書（一般アルコール販売勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	△ 659
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	1,100
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	-
IV 資金増加額	440
V 資金期首残高	1,959
VI 資金期末残高	2,400

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。

別表 3-12

キャッシュ・フロー計算書（特定事業活動等促進経過勘定）

（単位：百万円）

I 業務活動によるキャッシュ・フロー	△ 136
II 投資活動によるキャッシュ・フロー	△ 440
III 財務活動によるキャッシュ・フロー	610
IV 資金増加額	33
V 資金期首残高	31
VI 資金期末残高	65

※ 百万円未満切り捨てのため、合計と一致しない場合があります。