

「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」  
中間評価報告書

平成22年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

平成22年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 村田 成二 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、別添のとおり  
評価結果について報告します。

## 目 次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	8
研究評価委員会委員名簿	9
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-18
2. 1 耐久性・信頼性向上のための基礎研究	
2. 2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	
2. 3 運用性向上のための起動停止技術開発	
2. 4 超高効率運転のための高圧運転技術の開発	
3. 評点結果	1-39
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1

## はじめに

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」の中間評価報告書であり、第25回研究評価委員会において設置された「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」（中間評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第26回研究評価委員会（平成22年11月11日）に諮り、確定されたものである。

平成22年11月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」

中間評価分科会委員名簿

(平成22年8月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	まつなが もりお 松永 守央	九州工業大学 学長
分科会長 代理	しもつ まさてる 下津 正輝	徳島文理大学 理工学部 機械創造工学科 教授
委員	いずみ まさあき 泉 政明	北九州市立大学 国際環境工学部 機械システム工学科 教授
	とくした よしたか 徳下 善孝	電源開発株式会社 技術開発センター 副部長
	なかがわ のぶよし 中川 紳好	群馬大学大学院 工学研究科 環境プロセス工学専攻 教授
	ひびの たかし 日比野 高士*	名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻 教授
	みやもと あきら 宮本 明*	東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：名古屋大学大学院工学研究科機械理工学専攻、東北大学大学院環境科学研究科環境動態論分野）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成22年7月1日改正)」第34条（評価における利害関係者の排除）により、利害関係はないとする。

## 審議経過

### ● 第1回 分科会（平成22年8月31日）

#### 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑

#### 公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

### ● 第26回研究評価委員会（平成22年11月11日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

資源の乏しい我が国にとって、多様なエネルギー資源を効率的に活用できる SOFC（固体酸化物形燃料電池）の開発は将来のエネルギーシステムの構築において重要である。SOFC 開発において、前プロジェクトの固体酸化物形燃料電池システム技術開発で課題が明確になり、それに基づいた計画が立てられ、各研究開発項目がしっかりとした目標意識を持って実施されており、いずれの研究項目も中間目標を概ねクリアしている。

また、SOFC の耐久性確保、コスト低減という非常に重要な課題を乗り越えるため、国内外の SOFC 開発動向を踏まえ、適切な目的・目標の設定と適格なプロジェクトリーダーの下、技術・知識を十分に備えた企業と大学・研究機関が協力し、実用化研究における問題を基礎研究グループが検証して解決に向けた方針を提示できる産官学連携体制が整備されている。これにより、SOFC において推測でしか説明できなかつたメカニズムが科学的に着実に実証されつつあり、実用化に向けた方向性が明確となる基盤が形成されている。

但し、中間目標（課題の解明と今後の方策）と最終目標（実用にかなり近い寿命とコスト）の間にかかなりの隔たりがあり、最終目標に向けたハードルは一層厳しくなる。また、コスト削減への道筋については再考することが望ましい。起動停止・負荷変動時の性能低下問題の解決は、本プロジェクトで掲げる集学的取り組みの効果が試される。

今後の SOFC の実用化において、2015 年前後の初期導入を計画通り実施できるかが大きな分岐点になると考えられる。初期導入時の小容量定置用システムの用途として、家庭用コージェネレーションを挙げているが、現在導入中の PEFC（固体高分子形燃料電池）との差別化をより明確にすることが望まれる。

#### 2) 今後に対する提言

将来にわたって重要となるクリーンで高効率な発電技術を我が国で確立し、この分野での国際競争力を高めることは重要である。今後は製造法の改善、各部材の改良、およびシステムの面から各機関が今以上の効率的な連携関係を構築し、実用化に繋げ、大きな産業分野への道筋をつけて貰いたい。

高温で発熱反応を行う SOFC では、局所温度による材料の変質が問題であり、熱の専門家によるシミュレーションが重要である。今後、化学や材料の専門家だけでなく、熱の専門家も開発グループに加えるべきではないかと考える。

なお、実用化に向けて SOFC の多様な形式を追求することの重要性は理解できるが、スタック材料のコスト評価が可能なデータが得られつつあることから、NEDO あるいは外部評価組織が低コスト化を含めた SOFC の形式の選定による集中化を検討する必要がある。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

SOFC はエネルギーと環境問題の解決には不可欠な手段の一つであり、将来のエネルギーシステムの構築において重要である。また、その実用化を考えた場合には、開発の効率化と迅速さが強く望まれている。しかしながら、20 年以上に及ぶ SOFC 開発でも未だ商用化に至っておらず、企業の独力では達成不可能であり、利害が錯綜する産業界をまとめ、潜在的なポテンシャルを有する大学・研究機関を束ねる役割として、NEDO の関与は必要である。

また、我が国の SOFC 技術開発は世界をリードできるレベルにあり、材料開発からシステム構築に至る産業基盤を有するわが国の特色を生かすことが可能な実用化技術開発であることから、今後も継続すべきである。

但し、SOFC ロードマップには 2015 年前後の小容量定置用システムの初期導入の有力な用途として家庭用コジェネレーションが挙げられているが、現在導入中の PEFC との差別化が不明確であり、今後、SOFC 形式の多様性を選別することにより、国家プロジェクトとして継続できる方策を講じることも検討の余地がある。

現在、世界的な CO<sub>2</sub> 削減の流れから、原子力発電が見直され、あるいは再生可能エネルギー利用やスマートグリッドも注目されている。燃料電池はエネルギーサイクルの中で「いつでも、どこでも、必要な量の電気を供給できる」という強みを強調して、SOFC の開発を行う意義に関する広報活動をさらに強化する必要がある。

### 2) 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトは、高い識見、リーダーシップがある適格なプロジェクトリーダーの下、適切な技術力・知識を保有する企業および大学・研究機関で構成され、頻繁な各種委員会を通じて相互に情報交換を行いながら、全体が統括されて進められている。また、他の NEDO プロジェクト「固体酸化物形燃料電池実証事業」との連携もなされ、可能な限り有効な情報を活用していこうとする姿勢がみられる。

特に、従来は企業が秘密事項としていた情報を産官学で共有して、問題解決に繋げる体制が構築されたことは、事業化に向けて極めて有効な手段を確立さ

れつつある点を評価したい。

しかしながら、システム開発を担当する企業の中には、用途設定が不明確な企業がある。頻繁に起動停止するような用途に高温で作動する SOFC を適用することの可否を、SOFC の用途、運転パターンを含めて再確認する必要がある。さらに、絞り込んだ用途に合わせた運転条件（起動停止・負荷変動条件）の設定を行い、その条件での技術開発に集中すべきである。

### 3) 研究開発成果について

世界でも究明がされていなかった多くの現象について、その特徴と解決策の方向性を示すなど、プロジェクト全体としては、最終目標の達成が期待できるデータが実証されつつあり、概ね中間目標を達成している。特に「基礎的・共通的課題のための開発研究」項目の成果は高く評価できる。

但し、小規模なシステムの運転試験では目標を達成しているが、出力を増大したシステムでは十分な達成度を得ているとは言えない。システムの構成、各部の材料、運転方法や制御方法など大型化に伴う新たな問題が出てくるものと予想される。最終目標は、4 万時間かつ起動停止 250 回の耐久性と、セルスタック製造コスト 5 万円/kW 程度の見通しを得ることであり、最終目標に向けたハードルは一層厳しくなる。今後の一層の努力が望まれる。

また、国際標準化に向けた取り組みが戦略的には不足している点が懸念される。成果を挙げている事例を参考にして、行動計画を策定することが望ましい。

### 4) 実用化、事業化の見通しについて

本プロジェクトの研究課題の中には世界をリードできるスタックや実証データが多くある。実用化のための耐久性、劣化は本研究プロジェクトにより着実に改善されている。

また、事業化を支えるには基盤技術や科学的根拠を保有する必要がある。本プロジェクトは、このような課題を解決する組織と運営が実践されている点が高く評価できる。

一方、市場に出すには、実際に使用する立場の側の意見を聞く必要がある。電力企業やガス企業だけでなく、自家発電を行っている企業には広く意見を求めるべきである。また、家庭用については PEFC との差別化をさらに明確にする必要がある。家庭用は、頻繁に起動停止を行う運転形態を考えると耐久性の面ではもっとも不利な用途と言える。本事業の結果を踏まえ、SOFC の適用がふさわしい出力規模、用途を明確にし、事業化のシナリオを立ててほしい。なお、コスト削減の見通しが明確になっていない。

SOFC の事業化においては、燃料電池の競合技術のみならず、エネルギーシ

システムにおける優位性を考慮した指針を確立する必要がある。このような観点は時代の情勢を反映することが多いため、NEDOとして優位性を立証できる情報を継続して把握できる体制の一層の強化を期待したい。

## 研究評価委員会におけるコメント

第26回研究評価委員会（平成22年11月11日開催）に諮り、了承された。研究評価委員会から以下のコメントが出された。

- 固体酸化物系燃料電池の実用化のためには、大型化による高効率化をターゲットにするべきである。今後、大型化を検討する際には、小規模なセル実験では出てこない熱的な問題が出てくることが考えられるので、研究チームに熱の専門家を入れていただきたい。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所 属、役 職
委員長	西村 吉雄	学校法人早稲田大学大学院 政治学研究科 (科学技術ジャーナリスト養成プログラム) 客員教授
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	オリンパスビジネスクリエイツ株式会社 事業企画本部 戦略探索部 探索2グループ シニアマネージャー
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	日本大学 法学部 教授
	大西 優	株式会社カネカ 顧問
	尾形 仁士	三菱電機エンジニアリング株式会社 相談役
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	小柳 光正	東北大学未来科学技術共同研究センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	架谷 昌信	愛知工業大学 工学部機械学科 教授・総合技術研究所所長
宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授	

## 第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

資源の乏しい我が国にとって、多様なエネルギー資源を効率的に活用できるSOFC（固体酸化物形燃料電池）の開発は将来のエネルギーシステムの構築において重要である。SOFC 開発において、前プロジェクトの固体酸化物形燃料電池システム技術開発で課題が明確になり、それに基づいた計画が立てられ、各研究開発項目がしっかりとした目標意識を持って実施されており、いずれの研究項目も中間目標を概ねクリアしている。

また、SOFC の耐久性確保、コスト低減という非常に重要な課題を乗り越えるため、国内外の SOFC 開発動向を踏まえ、適切な目的・目標の設定と適格なプロジェクトリーダーの下、技術・知識を十分に備えた企業と大学・研究機関が協力し、実用化研究における問題を基礎研究グループが検証して解決に向けた方針を提示できる産官学連携体制が整備されている。これにより、SOFC において推測でしか説明できなかつたメカニズムが科学的に着実に実証されつつあり、実用化に向けた方向性が明確となる基盤が形成されている。

但し、中間目標（課題の解明と今後の方策）と最終目標（実用にかなり近い寿命とコスト）の間にかかなりの隔りがあり、最終目標に向けたハードルは一層厳しくなる。また、コスト削減への道筋については再考することが望ましい。起動停止・負荷変動時の性能低下問題の解決は、本プロジェクトで掲げる集学的取り組みの効果が試される。

今後の SOFC の実用化において、2015 年前後の初期導入を計画通り実施できるかが大きな分岐点になると考えられる。初期導入時の小容量定置用システムの用途として、家庭用コジェネレーションを挙げているが、現在導入中のPEFC（固体高分子形燃料電池）との差別化をより明確にすることが望まれる。

#### <肯定的意見>

- 研究体制が上手く構成されており、各研究開発項目がしっかりとした目標意識を持っている。いずれの研究項目も中間目標を概ねクリアしている。特に評価すべきことは、企業と大学間の連携が効果的になされており、得られた研究成果に産業と学術両面で威力があったことである。
- 社会的価値も高く、わが国の競争力もあり、さらにリーダー、研究者の意欲も高いプロジェクトである。リーダーが基礎的な部分だけでなく、産業展開についてもしっかりと把握しているので、多くの機関が関係する割には、無駄の少ないプロジェクトとなっている。
- 本プロジェクトでは、国内外の SOFC 開発動向を踏まえ、適切な目的・目標

の設定と適格なプロジェクトリーダーの下、技術・知識を十分に備えた企業と大学・研究機関が協力し、SOFC 開発に集学的に取り組んでいる。耐久性・信頼性向上のための基礎研究、SOFC-GT ハイブリッドシステムでは世界トップレベルの幾つかの成果を出し、また、導入期のセルスタックコスト 5 万円/kW の見通しなど、中間目標は概ね達成されており、最終目標の達成の可能性も高いと評価できる。

○PL を中心とする研究開発体制が効率的に機能しており、実用化研究における問題を基礎研究グループが検証して解決に向けた方針を提示できる産官学連携体制が整備されている。このようなシステムにより、国家的なプロジェクトを推進する体制として模範となりうる成果を挙げつつある点を高く評価できる。

SOFC において推測でしか説明できなかったメカニズムが科学的に着実に実証されつつあり、実用化に向けた方向性が明確となる基盤が形成されている。

○SOFC の開発は、NEDO がテイクアップしてからでも凡そ 30 年近くなるのではなかろうか。困難な開発も大分進展してきた感じを受けた。セラミックスはえたいが知れないところもあり、今後、寿命や劣化を研究し克服していくには時間がまだまだ掛かる可能性がある。この長い期間に研究者の世代交代が進み、人材も豊富になって来たように思う。地道にやっていって欲しい。

○SOFC 開発において単セルでの評価では具体化しなかった課題が前プロジェクトのシステム技術開発で明確になり、それに基づいて、計画が立てられており、本プロジェクトの実施の必要性、国・NEDO が関与する十二分の理由がある。特にプロジェクトリーダーの下、大学と企業との連携がとられており、中間段階であるがかなりの成果が出ており、今後の最終目標に向けて事業を継続していくべきである。

○SOFC の耐久性確保、コスト低減という非常に重要な課題を乗り越えるため、これまで実績を積んできた企業と研究所、大学の関係者が一体となって取り組んでいる点が非常に意義深い。劣化要因解明と対策については一体化の取り組みの成果が出つつあり、確実な成果にするためにさらなる協力体制の推進と継続的な取り組みが望まれる。一部のシステムでは耐久性の最終目標のめどが立つなど、実用化のめどが立ちつつある。

#### <問題点・改善すべき点>

●今後の SOFC の実用化において、2015 年前後の初期導入を計画通り実施できるかが大きな分岐点になると考えられる。従って、本プロジェクトの主要項目もその初期導入に照準を合わせているものが多い。このような中で、初期導入時の小容量定置用システムの利用として、家庭用コジェネレーションを

挙げているが、現在導入中の PEFC との差別化をより明確にする必要がある。

- 中間目標（課題の解明と今後の方策）と最終目標（実用にかかなり近い寿命とコスト）の間にかかなりの隔たりがあるように感じられ、残りの二年間で最終目標がクリアできるか幾分不透明であった。
- 最も困難な点の 1 つは、インターコネクタに原因があることが判って来た。今後も開発を続けるには、この問題に速く見通しを付け、太陽光発電や風力発電等、先に実用されようとしている機器との棲み分け、SOFC の特徴を一般にアピールし、その位置付けを示すことが大切と思う。
- 中間評価までの活動については問題がないと判断できるが、国費の節約を考慮した SOFC 形式の選択と集中を検討すべきである。
- コスト削減の道筋が不透明である。
- 特に、大きな問題はない。

#### <その他の意見>

- ・ 産と学が密接に協力し成果が上がっているので、もっと協力を密にして、基礎を着実に深めるとともに、実用化への道を一層強化して欲しい。
- ・ 石炭は SOFC に取って 1 つの燃料に過ぎない。それに対する技術開発は、SOFC に新たな困難をもたらすことになる。現 SOFC プロジェクトとは別にすることが適当であると思う。まずは NG 等を燃料とした SOFC の実用化を図るべきである。
- ・ SOFC システムの起動停止・負荷変動時の性能低下問題の解決は、本プロジェクトで掲げる集学的取り組みの効果が試されるものと期待される。
- ・ 現状、課題としてあげる事項はないが、今後の研究開発において新たな課題が出てくることが想定され、NEDO と PL により、適宜、課題に対して適切に対処し、最終目標の達成に向け、頑張ってください。

## 2) 今後に対する提言

将来にわたって重要となるクリーンで高効率な発電技術を我が国で確立し、この分野での国際競争力を高めることは重要である。今後は製造法の改善、各部材の改良、およびシステムの面から各機関が今以上の効率的な連携関係を構築し、実用化に繋げ、大きな産業分野への道筋をつけて貰いたい。

高温で発熱反応を行う SOFC では、局所温度による材料の変質が問題であり、熱の専門家によるシミュレーションが重要である。今後、化学や材料の専門家だけでなく、熱の専門家も開発グループに加えるべきではないかと考える。

なお、実用化に向けて SOFC の多様な形式を追求することの重要性は理解できるが、スタック材料のコスト評価が可能なデータが得られつつあることから、NEDO あるいは外部評価組織が低コスト化を含めた SOFC の形式の選定による集中化を検討する必要がある。

### <今後に対する提言>

- ・ 厳しい国家財政ではあるが、日本の将来に向けての最重要課題の 1 つであるので、戦略的な支援を継続して欲しい。研究者もそれに応えて、是非、実用化に繋げ、大きな産業分野への道筋をつけて貰いたい。
- ・ 問題点が解明でき、解決法の見通しが立ったので、今後は製造法の改善、各部材の改良、およびシステムな面から最終目標のクリアを強く要望する。そのためにも、各機関が今以上の効率的な連携関係を構築していただきたい。
- ・ 全体として、中間目標への到達度は十分とは言い難い。それだけ困難な課題をクリアしようとしているということと考える。将来にわたって重要となるクリーンで高効率な発電技術を我が国で確立し、この分野での国際競争力を高めることは重要であることから、今後も継続して努力していただき、最終目標をクリアしていただきたい。
- ・ SOFC システムの開発にあたって、現在実証試験中のスマートグリッドへの適用性も、専門家の意見を取り入れて進めるべきと思う。そうすることにより、SOFC の負荷変動や起動停止の頻度を減らし、市場導入の早期化を図れる可能性もある。
- ・ 高温で発電反応(=発熱反応)を行う SOFC では、固体温度とその近辺を流れるガスの温度は同じではない。材料の変質は固体の局所温度に関する問題で、その温度が計測できない以上、熱の専門家によるシミュレーションが重要な手がかりを与える。化学や材料の専門家だけでなく、熱の専門家も開発グループに加えるべきではないかと思う。
- ・ 研究の後半になるに当たり、これまでの成果に基づき、課題の整理をし、最終目標の各項目に対するプライオリティ付けや、その他課題に対して NEDO、

PL のリードにより関係者との十分な議論をして進めていくことを希望します。

なお、燃料ガス中の不純物（特に石炭由来ガス・バイオマス由来ガス等）による影響が、実用化に向けてどのような課題を生じるのか、課題整理を希望します。

小型・業務用の SOFC への耐久性に関して、現状、4 万時間と起動停止 2 5 0 回の目標が個別検討となっているが、条件が AND である以上、その AND を満たす研究項目の設定が必要と思います。

- SOFC の形式は多様であるが、わが国独自の指針を確立してグローバル化を図る時期にあるため、各プロジェクト・SOFC 形式の相対評価基準の設定を希望したい。

#### <その他の意見>

- 知的財産に付いては、関係者の一致した認識の下で公表するもの、特許にするもの、完全に秘匿するものに分類して対処する必要がある。  
国際規格に付いては十分に準備され、その制定をリードして、我国の意見を出来るだけ反映させることが肝要である。
- 燃料電池の開発にあたって、過去に大きな蹉跌を経験している。その経験を踏まえて、コスト見積もりを本プロジェクトの主要テーマに挙げているが、資源が乏しく、他国に原材料調達を依存している我が国にあっては、原材料調達を戦略的に検討することも必要であると思う。
- 実用化に向けて SOFC の多様な形式を追求することの重要性は理解できるが、低電圧の FC において高温というデメリットがある SOFC を実用化するには、構造の選択も考慮に入れた計画立案が必要な時期にある。
- 劣化、耐久性という産業課題の解決に学界、官界、産業界のエースが集ったプロジェクトとなっている。実用化に繋げるとともに、学術レベルでも新規性を発揮するように尽力して欲しい。

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

SOFC はエネルギーと環境問題の解決には不可欠な手段の一つであり、将来のエネルギーシステムの構築において重要である。また、その実用化を考えた場合には、開発の効率化と迅速さが強く望まれている。しかしながら、20 年以上に及ぶ SOFC 開発でも未だ商用化に至っておらず、企業の独力では達成不可能であり、利害が錯綜する産業界をまとめ、潜在的なポテンシャルを有する大学・研究機関を束ねる役割として、NEDO の関与は必要である。

また、我が国の SOFC 技術開発は世界をリードできるレベルにあり、材料開発からシステム構築に至る産業基盤を有するわが国の特色を生かすことが可能な実用化技術開発であることから、今後も継続すべきである。

但し、SOFC ロードマップには 2015 年前後の小容量定置用システムの初期導入の有力な用途として家庭用コジェネレーションが挙げられているが、現在導入中の PEFC との差別化が不明確であり、今後、SOFC 形式の多様性を選別することにより、国家プロジェクトとして継続できる方策を講じることも検討の余地がある。

現在、世界的な CO2 削減の流れから、原子力発電が見直され、あるいは再生可能エネルギー利用やスマートグリッドも注目されている。燃料電池はエネルギーサイクルの中で「いつでも、どこでも、必要な量の電気を供給できる」という強みを強調して、SOFC の開発を行う意義に関する広報活動をさらに強化する必要がある。

#### <肯定的意見>

○SOFC の開発は将来のエネルギーシステムの構築において重要であるが、民間機関が単独で実施するリスクが極めて高いことから、NEDO 事業として継続して実施すべきである。

我が国の SOFC 技術開発は世界をリードできるレベルにあり、材料開発からシステム構築に至る産業基盤を有するわが国の特色を生かすことが可能な実用化技術開発であることから、今後も継続すべきである。

○SOFC はエネルギーと環境問題の解決には不可欠な手段の一つである。また、その実用化を考えた場合には、開発の効率化と迅速さが強く望まれている。よって、SOFC の研究開発には個別の企業で対応することは困難であり、NEDO からの支援は不可欠であると判断される。

○日本の技術の優位性を確立し、日本の産業振興に寄与するために、一つの企業では困難な耐久性・信頼性向上、コストダウンという課題に対し、共通課題を基礎的な視点から捉え、産官学連携体制で解明し、克服すべく取り組む

うとするところであり、公共性が高いことから **NEDO** 事業とすることは適当である。

- SOFC** 開発において、中型・大型システム開発への国・**NEDO** の支援・関与はその公共性、課題の困難度、長期間の開発期間等の観点から必要である。これらの研究開発において産学官の協力体制が必要であり、国際競争に勝つ上でも、国・**NEDO** の関与は必要である。

本事業の目的は、エネルギーイノベーションプログラムの趣旨にそった重要なものであり、地球環境問題解決の一手段として、現時点で実施することが必要なものである。

- 資源の乏しい我が国にとって、多様なエネルギー資源を効率的に活用できる **SOFC** は、将来重要なキーテクノロジーとなろう。しかしながら、20 年以上に及ぶ **SOFC** 開発でも未だ商用化に至っておらず、企業の独力では達成不可能であり、利害が錯綜する産業界をまとめ、潜在的なポテンシャルを有する大学・研究機関を束ねる役割として、**NEDO** の関与は必要である。

**NEDO** が実施中の本プロジェクトは、国が定めるエネルギーイノベーションプログラムに沿った活動であり、また、国内外の **SOFC** 開発動向およびエネルギー需給動向を調査した上で適切に目的設定がなされている。

- 産業界が国の支援なく進めるには、未だ時期尚早である。今、国の支援を得て進めることが、近い将来に大きな民間活力に繋がる。**NEDO** プロジェクトとしては格好の事業である。
- エネルギー資源や地球環境などの問題に共通する解決手段の 1 つとして、**SOFC** があると筆者は考えている。このような問題は国全体、世界共通の課題であり、国が方針を示すべきである。国プロとしてテイクアップするのは当然であると考える。

#### <問題点・改善すべき点>

- 国税を使う以上、どの段階まで現状の形で国が関与するかに付いては、微妙な問題があると思うので、近い将来充分検討する必要が在るのではないか。開発の完成度をよく見極めて、適切な形に移行すべきであろう。
- NEDO** が定める **SOFC** ロードマップには 2015 年前後の小容量定置用システムの初期導入が掲げられている。その小容量システムの有力な用途として家庭用コジェネレーションが挙げられているが、現在導入中の **PEFC** との差別化が不明確であり、多額の税金を投入して実施する以上、国民に対するより明確な説明が必要である。
- プレゼンや資料からでは、**SOFC** の開発において国際的な優位性、加えて **PEFC** の差別化が定量的に理解しづらかった。

- SOFC 形式の多様性を選別することにより、国家プロジェクトとして継続できる方策を講じることも検討の余地がある。
- 特になし。優れたリーダーのもとで順調に進んでいる。

<その他の意見>

- ・世界的な CO2 削減の流れから、原子力発電が見直され、あるいは再生可能エネルギー利用やスマートグリッドも注目されている。このような中で、燃料電池、更にはその中の SOFC の開発を行う意義をより PR することの必要性を感じた。
- ・上記のような立場にあり、意欲も高いが、基礎を深めるとともに、一刻も早く実用化することへの協力体制を強化して欲しい。日本が進んでいるといっても、差はわずかである。国際的な連携、標準化も視野にいれて、大きな産業に展開して欲しい。
- ・SOFC は、エネルギー資源の節約を目指す機器か、CO2 削減を目指す機器なのか。両用の説明に使われるが、効率が高いだけでは CO2 削減を目指すには、太陽光発電などと比較してインパクトが弱い。エネルギーサイクルの中で「いつでも、どこでも、必要な量の電気を供給できる」この機器の強みを強調したい。

## 2) 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトは、高い識見、リーダーシップがある適格なプロジェクトリーダーの下、適切な技術力・知識を保有する企業および大学・研究機関で構成され、頻繁な各種委員会を通じて相互に情報交換を行いながら、全体が統括されて進められている。また、他の NEDO プロジェクト「固体酸化物形燃料電池実証事業」との連携もなされ、可能な限り有効な情報を活用していこうとする姿勢がみられる。

特に、従来は企業が秘密事項としていた情報を産官学で共有して、問題解決に繋げる体制が構築されたことは、事業化に向けて極めて有効な手段を確立されつつある点を評価したい。

しかしながら、システム開発を担当する企業の中には、用途設定が不明確な企業がある。頻繁に起動停止するような用途に高温で作動する SOFC を適用することの可否を、SOFC の用途、運転パターンを含めて再確認する必要がある。さらに、絞り込んだ用途に合わせた運転条件（起動停止・負荷変動条件）の設定を行い、その条件での技術開発に集中すべきである。

### <肯定的意見>

- 最終目標の設定、技術開発のロードマップ、研究体制、PJ リーダーの統括力、成果のマネジメント等は高く評価できる。
  - PL を中心とするマネジメントが効果的に運用されている。特に、従来は企業が秘密事項としていた情報を産官学で共有して、問題解決に繋げる体制が構築されたことは、事業化に向けて極めて有効な手段を確立されつつある点を評価したい。
- SOFC 研究はエネルギーシステムの影響を強く受けるが、社会的情勢への対応も十分に考慮されている。
- 大学等の協力を得てミクロな視点での現象の解明と劣化対策の検討に取り込むことは信頼性確保には重要と考える。秘密情報等の観点から、産学の連携が大変難しいと予測されるが、PL が中心となって連携している努力が伺える。
  - 国内外の SOFC 技術動向を踏まえた適切かつ挑戦的な目標設定がなされ、本プロジェクトの最終目標達成時における、我が国の技術的優位性確保が予想される。

本プロジェクトは、適格なプロジェクトリーダーの下、適切な技術力・知識を保有する企業および大学・研究機関で構成され、頻繁な各種委員会を通じて相互に情報交換を行いながら、全体が統括されて進められている。また、他の NEDO プロジェクト「固体酸化物形燃料電池実証事業」との連携もなされ、可能な限り有効な情報を活用していこうとする姿勢がみられる。

また、技術開発と並行し、国際標準化を取り扱う NEDO プロジェクト「水素社会構築共通基盤整備事業」とも連携し、SOFC 国際市場における足場固めも進められている。

- PL は高い識見、リーダーシップがあり、メンバーも優れている。企業メンバーも豊かな経験を有するとともに、意欲も高い。
- 現ステージに対する目標は、明確に示されていると思う。新しい分析機器・技術を駆使して劣化原因の究明が進んでおり、その過程での産官学の連携も見事である。
- 評価項目において概ね妥当である。成果に対する内部での比較検証のための WG 開催も頻繁に行われており、評価は高い。

#### <問題点・改善すべき点>

- SOFC の用途、運転パターンについて再確認する必要がある。頻繁に起動停止するような用途に高温で作動する SOFC を適用することは本当に適当なのか。劣化の原因も起動停止そのものに起因することが有りそうで、作動パターンと用途を再検討し、低出力～高出力の変化で済ませるような用途を考えるべきである。
- 2015 年前後の SOFC システム初期導入にとって、本プロジェクトの成否は重大である。しかしながら、システム開発を担当する企業の中には、用途設定が不明確な企業がある。絞り込んだ用途に合わせた運転条件（起動停止・負荷変動条件）の設定を行い、その条件での技術開発に集中すべきである。
- 今回、情勢の見直しは、「ない」、とのことであり、本プロジェクトが先端を走っていることをうかがわせる所である。一方、一部海外メーカーによる小型機器での市販が行われていること、NEDO にて家庭用の SOFC 実証研究を実施していることから、これらの動向を追跡しつつ、研究開発中のシステムの実用化にむけて、各用途のユーザーとの情報交換の場を増やすことをコメントしたい。  
世界的に見ても一時の過熱気味の開発ブームが去り、落ち着いた研究開発が出来る段階であり、先行して実施すべき課題と、長期に構えて実施すべき課題の整理が今般の中間評価後には必要となるものと考えます。
- 費用対効果の観点から評価できるプロジェクトであることから、特に問題点はない。
- 残りの二年間にどの研究項目を重視し、そこに研究予算を集中するかという思い切った判断がなされていなかった。
- 特にない。

<その他の意見>

- 肯定的意見として産学の連携の努力をあげたが、本プロジェクトのローガンである集学的な取り組みとしての確実な成果とするには、今後とも連携の強化の努力が必用と考える。
- 「運用性向上のための起動停止技術」に対する予算が 2 社で年間 2700 万円～6900 万円と、研究開発項目中最も少額である。セルスタック更にはモジュールまで製作する開発内容に対する予算配分としては、やや危惧する。
- ユーザー側と思われる企業などでの運転試験結果も資料に記述されているが、かなりの専門家を擁していると思われる企業が殆どである。もっと経験を増やす為、使用パターンが異なる素人集団にも試用を依頼すべきではないか。SOFC、PEFC、太陽光、風力など新しいエネルギー機器の棲み分けの中で、SOFC の用途、運転パターンを検討する必要がある。
- 実用化への意欲、集学的な協力を更に高め、各要素技術の推進、事業化に邁進して欲しい。

### 3) 研究開発成果について

世界でも究明がされていなかった多くの現象について、その特徴と解決策の方向性を示すなど、プロジェクト全体としては、最終目標の達成が期待できるデータが実証されつつあり、概ね中間目標を達成している。特に「基礎的・共通の課題のための開発研究」項目の成果は高く評価できる。

但し、小規模なシステムの運転試験では目標を達成しているが、出力を増大したシステムでは十分な達成度を得ているとは言えない。システムの構成、各部の材料、運転方法や制御方法など大型化に伴う新たな問題が出てくるものと予想される。最終目標は、4万時間かつ起動停止 250 回の耐久性と、セルスタック製造コスト 5 万円/kW 程度の見通しを得ることであり、最終目標に向けたハードルは一層厳しくなる。今後の一層の努力が望まれる。

また、国際標準化に向けた取り組みが戦略的には不足している点が懸念される。成果を挙げている事例を参考にして、行動計画を策定することが望ましい。

#### <肯定的意見>

○プロジェクト全体としては、最終目標の達成が期待できるデータが実証されつつある。

成果の公表に関しては、大学はその機能を発現している。一方、企業においては知的財産権の確保にバラツキがみられるが、事業内容によってはノウハウを中心にした技術保持も必要な分野の方針の妥当性を認めたい。

○(1)から(4)はどの項目においても概ね達成している。特に、中間目標の達成度は 80%以上に達しており、成果は実用的また学術的にも世界最高水準にある。

○概ね中間目標を達成している。最終目標の達成には引続き努力が必要であるが、現在の協力体制を一層強化することにより、目標達成は可能と判断する。

○全体として概ね中間目標を達成している。特に「基礎的・共通の課題のための開発研究」項目の成果は高く評価できる。最終目標は、4万時間かつ起動停止 250 回（高圧運転技術に対しては除かれている）の耐久性と、セルスタック製造コスト 5 万円/kW 程度の見通しを得ることで、この挑戦的な高い目標の達成には今後の更なる進展が必要であるが、2015 年前後の初期導入のために是非達成してもらいたい。

○円筒形 SOFC 複合発電システムについては、耐久性の最終目標達成のめどが得られているなど、一定の成果が出ている。各成果は世界トップレベルと言える。

○設定された中間目標は、ほぼ達成している。特に、これまでの成果は、世界でも究明がされていなかった多くの現象について、その特徴と解決策の方向性を示せたと言える大きな成果である。

最終目標に向けては、まだまだ新たな課題が出てくる可能性が高く、予断を許さないが、本事業により大きなハードルを越えることが出来るものと期待している。

#### <問題点・改善すべき点>

- 小規模なシステムの運転試験では目標を達成しているが、出力を増大したシステムでは十分な達成度を得ているとは言えない。システムの構成、各部の材料、運転方法や制御方法など大型化に伴う新たな課題が出てくるものと思う。
- 例えば出力の大型化は、発電炉内の温度分布やセル毎の温度なども微妙に変える。発電部と非発電部では、同じ温度のガスを供給してもセル自体の温度は異なると思う。それを防ぐにはガス(冷却剤になる)の流し方や1個の炉に収容するスタックの数や配置を変えるなど、要求が出てくる可能性がある。その辺りの改善方法は示されていない。
- 中間目標であった課題の解明と今後の方策は、よく理解することができた。ただし、それを克服するために具体的にどうすべきかの方策が幾分不透明であった。
- 本プロジェクトにおいて、各企業でなされた特許申請は基本的に各企業に任せ、研究開発項目を超えたプロジェクト全体の包括的な管理が不十分に感じた。出来れば NEDO が専任の弁理士を雇用し、技術の特許性を分析しつつ、海外特許の必要性も含めて漏れのないよう進めるべきである。
- 国際標準化に向けた取り組みが戦略的には不足している点が懸念される。成果を挙げている事例を参考にして、行動計画を策定することが望ましい。
- 中間段階であり、ユーザーとの詳しい技術情報交換は難しい環境であるが、これまで以上に、ユーザーとの情報交換の場を増やして、SOFC の実用化に向けた改善への参考として欲しい。  
中間目標と最終目標との間の技術課題の困難度は、乖離が大きく、最終目標に向けたハードルは一層厳しくなると思われる。現時点での最終目標への道筋は一応適正と思料するが、開発過程において、時々実用化に向けた必要条件・十分条件の再確認をする場を設けることが必要と思います。
- 全体的には中間目標に対する到達度では満足できる部分は少なく、はたして最終目標が達成できるか不透明なところが多い。今後の一層の努力が望まれる。

#### <その他の意見>

- ・各委託先は非常に活発に成果を公表しており、公への情報発信としては良い

が、競争国もその情報を得ることになり、情報発信の管理が今後の問題になるのではと感じた。

- 現在、産学の連携は見事であるから、諸問題はいずれ解決すると思うが、開発のステージがモジュールの領域に達した今、化学や材料の専門家だけでなく、そろそろ熱・流体の専門家も加えて違った観点からの研究も行うべきではないか。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

本プロジェクトの研究課題の中には世界をリードできるスタックや実証データが多くある。実用化のための耐久性、劣化は本研究プロジェクトにより着実に改善されている。

また、事業化を支えるには基盤技術や科学的根拠を保有する必要がある。本プロジェクトは、このような課題を解決する組織と運営が実践されている点が高く評価できる。

一方、市場に出すには、実際に使用する立場の側の意見を聞く必要がある。電力企業やガス企業だけでなく、自家発電を行っている企業には広く意見を求めるべきである。また、家庭用については PEFC との差別化をさらに明確にする必要がある。家庭用は、頻繁に起動停止を行う運転形態を考えると耐久性の面ではもっとも不利な用途と言える。本事業の結果を踏まえ、SOFC の適用がふさわしい出力規模、用途を明確にし、事業化のシナリオを立ててほしい。なお、コスト削減の見通しが明確になっていない。

SOFC の事業化においては、燃料電池の競合技術のみならず、エネルギーシステムにおける優位性を考慮した指針を確立する必要がある。このような観点は時代の情勢を反映することが多いため、NEDO として優位性を立証できる情報を継続して把握できる体制の一層の強化を期待したい。

#### <肯定的意見>

○事業に先立ち、NEDO においてユーザーへのヒアリングを実施しており、ニーズに基づいた計画とし、その上で実用に必要な条件を明確にしている。それに基づき、最終目標の設定、その途中にある中間目標を今回達成しており、現時点では実現可能と思われる。

経済性においては導入普及の時期とも関わるためなんとも言えないが、小型システムは十分達成可能と期待している。

中容量以上のシステムでは、実施者の計画では、平成 25 年からユーザーに提供する予定とのことであり、実用化への道筋が明確になっている。

○本プロジェクトにおける研究対象がすべて実用化できると判断しないが、研究課題の中には世界をリードできるスタックや実証データが多くある。したがって、事業化の方針を誤らなければ、わが国独自の SOFC 技術の開発が十分に期待される。

事業化を支えるには基盤技術や科学的根拠を保有する必要がある。本プロジェクトは、このような課題を解決する組織と運営が実践されている点が高く評価できる。

○実用化のための耐久性、劣化は本研究プロジェクトにより着実に改善されて

いる。コストダウンについての研究も進んでいる。

- 最終目標の設定は **SOFC** の実用化を考えた場合、リーズナブルである。そのため、目標が達成された場合には、**SOFC** の早期事業化が大いに期待できる。これにより、エネルギーや環境問題への波及効果は大きなものであると判断される。
- 円筒形 **SOFC** 複合発電システムについては、耐久性の最終目標達成のめどが得られており、システム運転の信頼性の中間目標もクリアし、実用化に近づいている。
- 現状は、**SOFC** のセルがほぼ完成し、スタック化を図っている途上で劣化問題が浮上し、解決しつつある状況であると思う。複雑な反応問題に回帰させて現象の解決を図り、今判っている問題点は殆ど解決したと言える。その過程で産官とも研究者の世代交代が進行し、多くの人材が育ってきたことは喜ばしいことである。今後、試験過程で **SOFC** には更に問題が浮上すると考えられるが、これらの人材がその解決に迅速に対応されることを期待したい。
- 本プロジェクトの中の、長期運転における性能劣化に関しては、最終目標達成も可能で、起動停止や負荷変動の少ない用途への実用化の見通しは高いと判断できる。

**SOFC-GT** ハイブリッドシステムは、他機種と差別化できる高効率運転を可能にし、中規模容量発電機市場に与えるインパクトは少なくないと判断される。

#### <問題点・改善すべき点>

- 家庭用については **PEFC** との差別化が幾分不透明であった。中容量用についてはその他の競合発電に対する優位性がよく理解できなかった。
- SOFC** の事業化においては、**FC** の競合技術のみならず、エネルギーシステムにおける優位性を考慮した指針を確立する必要がある。このような観点は時代の情勢を反映することが多いため、**NEDO** として優位性を立証できる情報を継続して把握できる体制の一層の強化を期待したい。
- システム開発を担当する委託先には、ある程度用途を絞り込んでいる企業と未だ不透明な企業とがあるが、本プロジェクト終了後には早期に初期導入に入れるよう、委託先企業は用途を明確化すべきであり、**NEDO** もそのように指導すべきである。
- 市場に出すには、実際に使用する立場の側の意見を聞く必要がある。他の燃料電池の開発に於いては、それをどこまでされたか判らないが、**SOFC** は所謂本命の燃料電池であると考えられるので、電力企業やガス企業だけでなく、自家発電を行っている企業には広く意見を求めるべきと思う。

- 事業化までのシナリオは考えられているが、コストダウンの研究など更に改善して、実用化への道筋を強化することが期待される。
- コスト削減の見通しが明確になっていない。

<その他の意見>

- ・市場に出すには、SOFC の現特性からどの問題点をどの程度改善すべきかと言うことを、想定される用途ごとに検討し対応する必要がある。それによって実用化を早められる場合も有り得るのではないか。世間の認知を獲得することを考える必要があると思う。
- ・家庭用 SOFC システムの実証試験が行われているが、頻繁に起動停止を行う運転形態を考えると耐久性の面ではもっとも不利な用途と言える。本事業の結果を踏まえ、SOFC の適用がふさわしい出力規模、用途を明確にし、事業化のシナリオを立ててほしい。
- ・SOFC 開発には、材料、製造法、電気化学、機械、システムなど非常に広範囲の分野の技術者・専門家を必要とし、この開発を通して、複合分野の技術開発手法及び人材育成に効果が大いと考えられる。

## 2. 個別テーマに関する評価結果

### 2. 1 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

#### 1) 研究開発成果について

企業におけるスタック信頼性評価と大学・公的機関等における基礎技術研究の相互連携と情報交換が効率的に機能しており、製造法と性能劣化の関係を明確化し、新しい分析手法による実機分析などにより、世界に類を見ない素晴らしい種々の成果を出していると高く評価できる。

また、各形式において劣化原因として新規な知見を得ており、最終目標を達成する可能性が高く、これらの知見は着実に公表されている。加速試験による SOFC の寿命を予測する技術は極めて困難であるが、これまでの研究成果から、目的を達成できる可能性がある。

但し、熱力学的・化学的解析手法に関しては大きな進展がみられ実用化への見通しが得られつつあるが、機械的解析に関する成果がやや遅れ、現状の成果あるいは今後得ようとしている成果から、加速試験法、性能予測式の提案までどのように繋げられるかの具体的な展開について不透明な点がある。現状では現象観察に留まっている感があり、燃料電池性能との相関づけをより進め、主要な劣化因子を明確化することが望まれる。

また、アメリカおよびヨーロッパのみならず、近年、中国、韓国における SOFC の研究・開発が著しい進歩をみせている。研究成果の開示にあたっては、日本の SOFC メーカーの競争力低下を招かないよう知的財産権の確保を積極的かつ包括的に進めるべきである。

#### <肯定的意見>

- SOFC の電極や電解質を最高水準の技術で微視的に観察したことで、長時間運転で生じる新たな現象をいくつか発見した点は優れた成果といえる。
- 集学的アプローチにより、長期耐久性に関する中間目標は達成されていると判断できる。SOFC 各メーカーの協力の下、製造法と性能劣化の関係を明確化し、新しい分析手法による実機分析などにより、世界に類を見ない素晴らしい種々の成果を出していると高く評価できる。また、研究成果の公表も大変意欲的になされている。
- 企業におけるスタック信頼性評価と大学・公的機関等における基礎技術研究の相互連携と情報交換が効率的に機能しており、PL の機能が最大限に発揮されているプロジェクトとして高く評価できる。  
各形式において劣化原因として新規な知見を得ており、最終目標を達成する可能性が高い。また、これらの知見は着実に公表されている。  
加速試験による SOFC の寿命を予測する技術は極めて困難であるが、これま

での研究成果から、目的を達成できる可能性がある。

- 劣化機構解明、加速劣化方法の確立のために、多分野の優れた研究者がそれぞれの特徴を生かし、連携する集学的協力体制を確立し、それを基礎に、中間目標をほぼ達成している。
- 小出力のシステムについては、既にユーザーによる幾つかの試験運転を経験しており、実用化への課題は見えていると思う。もっと範囲を増やした試験運転を、出現した課題をクリアしながら、どんどん実施すべきと思う。  
このテーマについては、一部材料メーカと電池開発者の連携も必要である。
- 中間段階としては非常に良い成果を出しており、高く評価する。
- 劣化機構の解明、ならびに（定性的ではあるが）その対策がきちんと把握されていた。また、得られた成果は世界最高水準に達していると判断される。知的財産の取得や成果の普及は十分なされている。

#### <問題点・改善すべき点>

- 現状では現象観察に留まっている感がある。燃料電池性能との相関づけをより進め、主要な劣化因子を明確化することが望まれる。  
現状の成果あるいは今後得ようとしている成果から、加速試験法、性能予測式の提案までどのように繋がられるかの具体的な展開について不透明な点がある。
- 熱力学的・化学的解析手法に関しては大きな進展がみられ実用化への見通しが得られつつあるが、機械的解析に関する成果がやや遅れ、残る 2 年間での最終目標達成見通しはやや不透明である。  
アメリカおよびヨーロッパのみならず、近年、中国、韓国における SOFC の研究・開発が著しい進歩をみせている。研究成果の開示にあたっては、日本の SOFC メーカーの競争力低下を招かないよう知的財産権の確保を積極的かつ包括的に進めるべきである。一方で、本プロジェクトを更に発展させるための国外の研究情報の収集により力を入れるべきと思う。
- 耐久性の目標である電圧降下率 0.25%/1000 時間は、研究対象の形式すべてにおいて達成されているとは言えないが、劣化原因を究明して対策を講じる研究体制により、今後の展開により達成が期待できるため、さらに努力を継続して欲しい。
- 集学的協力体制を確立し、その成果は出てはいるが、各研究者のポテンシャルを考えると、更に大きな成果が期待できるのではないかと思う。実用化のための協力体制をさらに強化して、大きな成果を挙げるようにして欲しい。
- 最終目標を達成するための具体的な対策がまだ不透明であり、残りの二年間で目標をクリアできるかが疑問である。

- 知的財産は、開発当事者に帰するもの、NEDOも権利を分担すべきものなどが考えられる。前者を認めることは、担当者の励みにもなり開発を促進させるに有効である。共通認識の下で区分けをはっきりさせる必要があるのではないか。論文に付いては、発表内容に付いてノウハウを出さないよう慎重に考慮することが肝要である。
- 最終目標への達成可能性に関しては、まだまだ課題が明らかになる可能性があり、現状で十分とは言えないため、十分な研究者間の連携を深めて欲しい。

<その他の意見>

- ・SOFCシステムは高温で作動するだけに、熱的な問題が付き纏う。先にも記述したが、現メンバーの多くは化学、材料の専門家である。熱・流体の専門家を入れて発電炉内の温度分布やセルの温度分布に付いて、過渡現象も含めて検討し、改良を促進する必要があるのではないか。
- ・石炭ガス化ガス中の不純物成分の影響は、使用する石炭による不純物成分や濃度の影響が大きいいため、成果の意義を評価することは現状では判断しがたい。
- ・起動停止および負荷変動による性能劣化に対する取り組みとして、機械的解析が大きな役割を果たすと予想される。なかでも、材料の物性値（ヤング率、破壊応力、比熱、熱伝導率など）のデータ取得にあたっては、限定された材料のみではなく、類似材料の体系的なデータ作成までを希望したい。今後の成果が期待される。

## 2) 実用化、事業化の見通しについての評価及び今後の提言

大学や研究所が参画し、構成部位の微構造変化、化学組成変化等の詳細な分析を行い、劣化挙動に関する基礎的現象の把握とそれに基づく対応策の検討、性能予測を実施している体制は重要であり、優れた解析技術を駆使して現象のメカニズムを知ることが出来つつある。SOFC の寿命は、実用化には欠かせない要素であり、材料面での確信を得ることが重要な課題である。ここで得られた SOFC の基礎データは実用化への第一ステップであるが、今後における我が国の SOFC 開発への波及効果はかなり大きいと判断される。

但し、スタックの方式によっては、課題が多く存在しているので、更に集学的取り組みを強化するなど、最終目標を達成するための工夫も必要となる。加速劣化試験法の一般化は難しく、当面は個別現象ごとの試験法の提案でよいが、統合化についての努力も諦めずに追求して欲しい。

また、現状の最終成果の見通しとして、性能劣化の要因ごとの寿命推定方法の確立にとどまっており、実用化のために実機に対してどのように活用できるかをより明確にすべきである。

### <肯定的意見>

- 大学や研究所が参画し、構成部位の微構造変化、化学組成変化等の詳細な分析を行い、劣化挙動に関する基礎的現象の把握とそれに基づく対応策の検討、性能予測を行おうとする体制は重要である。一部の委員からは石炭ガス化ガスの早期適用の必要性の意見が出されたが、劣化率が大きくその原因が明らかになっていない現状では、劣化要因をひとつひとつ抽出していき、対策を検討していくことが重要である。
- 集学的取り組みのあり、スタックレベルでの劣化機構も徐々に明らかになり、対策も進んできている。スタック構造などによる優劣も徐々に明らかになり、優れた方式では、成熟度も高まり、実用化への道筋も広がってきている。
- SOFC の寿命は、実用化には欠かせない要素であり、産業技術として重要な課題である。ここで得られた SOFC の基礎データは実用化への第一ステップであるが、今後における我が国の SOFC 開発への波及効果はかなり大きいと判断される。
- 研究体制が効率的に機能しており、また実用化への課題解決の指針が明確である。したがって、本プロジェクトの成果が実用化技術の開発に貢献できる可能性が非常に高い。  
プロジェクトが実用化への指針となるコンセプトが明確であり、成果の活用が期待できるとともに、他のプロジェクトの模範となる研究体制と活動指針は高く評価できる。

- SOFC ユーザーの意見や市場分析などを反映した SOFC の初期導入スケジュールに向け、前プロジェクトの成果を反映させた重要テーマに絞り込んだ内容で実施されており、本研究成果の SOFC 実用化への貢献度は非常に高いと判断できる。  
本プロジェクトで導入された各種分析手法は、SOFC 開発以外の種々の技術開発において有効であり、波及効果は高い。
- これまでに把握した現象から、次々と困難が出てきているが、材料的な面では優れた解析技術を駆使して現象のメカニズムを知ることが出来つつある。SOFC の実用化は、材料面での確信を得ることがまず重要であることから、このような展開は歓迎できる。
- 中間評価での課題はほぼ達成していることから実用化へ大きな一步を獲得している。実用化に向けてのシナリオも明確に持っている研究グループもあり、期待できる。

#### <問題点・改善すべき点>

- 市場ではどんなニーズがあるか一応把握していると思う。しかし SOFC がどんな状況まで開発が進むと、つまり SOFC がどんな特性を示せばどんなニーズに対応できると言った検討は無いのだろうか。全て完璧でなければ使い物にならないと言うことはないと思うし、実用することで SOFC に対する要求が固まってくるのではないか。
- 残念ながら、現時点において実用化するにあたり、劣化機構の具体的な解決法が明確化されていなかった。
- 問題とすべき点は現状では少ないが、石炭ガス化ガス中の不純物成分の影響に関する研究は現状では基礎的な知見の収集に留めることが望ましい。
- 初期導入期の寿命 4 万時間、更に普及期の 9 万時間を推定できる加速試験方法の確立は重要であるが、現状の最終成果の見通しとして、性能劣化の要因ごとの寿命推定方法の確立にとどまっており、実用化のために実機に対してどのように活用できるかをより明確にすべきである。
- 耐久性において、4 万時間、起動停止 250 回の設定を AND とするときの確認方法等を明確にしてください。
- スタックの方式によっては、課題が多く存在しているので、更に集学的取り組みを強化するなどして、最終目標を達成するための工夫も必要となる。加速劣化試験法の一般化は難しく、当面は個別現象ごとの試験法の提案でよいと思うが、統合化についての努力も諦めずに追求して欲しい。

<その他の意見>

- SOFC 内部の熱流体解析・構造解析を数値シミュレーションする場合に、材料やガスについての精度の高い物性値が必要であり、本プロジェクトで行っている物性値の蓄積および物性値測定法の確立は、他の高温作動機器に適用できる成果ともなり、波及効果は大きい。
- Cr を含む耐熱金属を部品に使用すると、それから蒸発する Cr が劣化の原因になっている。この問題の解決方法には、まだ目処が付いていないように思う。耐熱金属には、通常 Cr が必要とされているので、解決には時間と新しい発想がいる。
- 産官学の連携体制が有効に機能するようにマネジメントに努力されているようである。種々の障害が予想されるが、実質的に有効に機能するように今後も NEDO、PL が配慮を続けて欲しい。

## 2. 2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

### 1) 研究開発成果について

普及段階におけるコスト予測の検討は非常に重要であり、本事業において材料メーカーと SOFC スタックメーカーが協力して各検討対象のセルの共通項と個別項目を整理し、原料・部材の開発を実施したことは大変有意義であり、高く評価できる。

また、耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料については、MnCo スピネル製膜法などにより、改良材により接触抵抗増加率を従来値の約半分にまで低減し、かつ表面処理の適用によりクロム蒸発の抑制を確認できたことは、ほぼ中間目標を達成しており、今後の見通しを立てられた点で評価できる。

コストに絡む問題として、材料の純度、不純物の問題がある。純度が高い材料は高コスト化につながる。必要な純度がどれ程かは SOFC の長期運転試験でしか的確な解答は得られない。設定したコストに整合する純度を把握し、その純度でどんな不都合が起こるかなどの検討を急ぐべきではないか。

また、耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料について、寿命や性能という観点から、今後は Cr 蒸発抑制、および低コスト原料中の微量不純物への対応をさらに見極める必要がある。

#### <肯定的意見>

- インターコネクタの開発については、寿命向上を支える新規な材料開発と基礎的知見が着実に得られている点は高く評価できる。また、成果を支えている産学連携体制も機能的である。  
低コスト化を図るスタック材料の研究成果は今後の方針を決定する上で貴重なデータである。なお、公表への貢献度は決して高くないが、わが国の技術的優位性を保持するための措置であると判断したい。
- 低コスト化に付いては、各方式ともストーリーは描けており、現状の見込みではかなりのコスト低減が出来ることになっている。期待される数値である。  
絵に描いた餅にならないよう努力して欲しい。
- 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料については、MnCo スピネル製膜法などにより中間目標を達成している。また、セルスタック材料の低コスト化についても分析が進み、出発原料の共通化の見通しなどの成果を得た。
- 改良材により接触抵抗増加率を従来値の約半分にまで低減し、かつ表面処理の適用によりクロム蒸発の抑制を確認できたことは、ほぼ中間目標を達成し

ており今後の見通しを立てられた点で評価できる。インターコネクタについては、改良材を用いることでコスト目標達成への道筋がある程度明確にされた。

- 普及段階におけるコスト予測の検討は非常に重要であり、本事業において材料メーカーと SOFC スタックメーカーが協力して実施したことは大変有意義であり、高く評価できる。
- 各検討対象のセルの共通項と個別項目を整理し、効率的な開発を進めており、低コスト化への成果を出している。いくつかの課題に対しても計画的に解決することとしている。最終目標の達成可能性は、概ね良好であり、まだ課題はあるが、計画的にすすめており、成果は期待できる。
- メーカー間で共通化できる原料・部材の開発が着実に進められている。また、共通化を妨げる課題に対する見通しも立っている。

#### <問題点・改善すべき点>

- 適用したコーティング膜へ拡散したクロムが、想定する運転時間内の後半で新たな劣化要因にならないかどうかの確認が必要であろう。  
低コスト化に関する自己評価においてスタックコスト 5 万円/kW 達成の見込みが得られたとあるが、微量成分の影響や組成ずれ等の課題が残っており、達成の見通しありという根拠が不明確。
- 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料について、今後は、Cr 蒸発抑制に目標をシフトすることになるが、集学的な協力体制を更に強化して、目標達成を実現する必要がある。セルスタック材料の低コスト化についても、低価格原料使用、工程改善に向けて、集学的な協力体制を更に強化して、目標達成を実現する必要がある。
- 寿命や性能という観点から、インターコネクタからの Cr 蒸発、および低コスト原料中の微量不純物への対応を今後さらに見極める必要がある。
- 低コスト化を図るスタック材料の研究成果は今後の方針を決定する上で貴重なデータであるので、SOFC の形式選定に活用する方向性を検討することが望ましい。
- 金属セパレータ使用における電極への Cr 被毒問題については、前プロジェクトの大きな成果であり、本プロジェクト開始前から分かっていたことである。この中間評価時点で課題として挙げ、最終目標の変更となった点は計画設定時の不備と言わざるを得ない。また、Cr 被毒抑制目標を新たに設定する代わりとして、接触抵抗目標値を上げたことに対しては、目標値を上げた場合の 2015 年前後の初期導入への影響を説明すべきである。
- ストーリーの中には現状で確信が持てないものもある。製造者と原料供給者な

どのコミュニケーションを図り、更に実験データを多く取得して確信が持てる値になるよう努力されたい。それには時間も掛かると思う。

<その他の意見>

- コストに絡む問題として、材料の純度、不純物の問題がある。純度が高い材料は値段も高い。必要な純度がどれ程かは SOFC の長期運転試験でしか的確な解答は得られない。設定したコストに整合する純度とはどれ位か、その純度でどんな不都合が起こるかなどの検討を急ぐべきではないか。
- 原料コストを低減するためには安価な材料を使う方法が最も効果的であるが、SOFC 性能に悪影響を及ぼす不純物混入の危険性も増す。この点は、恐らく本プロジェクト計画段階から予想された点であり、許容不純物量の明確化が最終成果として期待される。

金属セパレータに関して、中間評価報告書には記載されていない成果（例えば、熱サイクルによる機能変化や、Cu 添加した材料開発など）がある。最終報告書には余すことなく記載されることを望む。

## 2) 実用化、事業化の見通しについての評価及び今後の提言

インターコネクタは SOFC の実用化要素として重要であり、民間機関が開発中の SOFC に対する材料開発の方向性を支援する研究として意義がある。

また、SOFC 普及期の予想システムコストに対して、原材料および製造それぞれにおけるコスト目標が明確化されたことになり、今後の技術開発の道標あるいは商品としての見極めに大変効果があると評価できる。SOFC の低コスト化に向けての課題は、市場からのニーズが大きく、また目標をクリアできれば、産業界への波及効果は計り知れない。

一方、最近の技術開発では、性能・耐久性両者の向上のため、電極の多層化・材料の多様化が進んでいる。本プロジェクトでは、ある程度共通化できる材料に絞り込んだ開発になっており、本成果が今後の多様な材料に適用できるかが、実用化時の問題と考えられる。

なお、インターコネクタの研究の方針である表面処理技術の利用に関しては、SOFC の高温作動を考慮すると、表面処理効果が失効する時間的パラメータが重要となるため、実用化レベルでの適用には機能維持に対する相当の保証ができるデータの蓄積が必要である。

### <肯定的意見>

- 何を置いても、実施企業の中で研究開発担当者の世代交代が進んでいること、官学に於いても新しい分析技術やシミュレーション技術が出てきているなど、SOFC プロジェクトの波及効果と思われる現象が見られる。
- SOFC の低コスト化に向けて着実に研究が進展している。この研究課題は市場からのニーズが大きく、また目標をクリアできれば、産業界への波及効果は計り知れない。
- SOFC 普及期の予想システムコストに対して、原材料および製造それぞれにおけるコスト目標が明確化されたことになり、今後の技術開発の道標あるいは商品としての見極めに大変効果があると評価できる。  
本成果は、国内の SOFC メーカーのみならず、国外の SOFC メーカーに対しても恩恵があり、その波及効果は大きい。
- 本プロジェクトでは、産学連携で体制を構築し、研究者の集約、連携がうまく取れている。これにより人材の育成等の波及効果は非常に大きく、この分野での世界的な地位を一層強固とするであろう。  
ここでの成果がシステム構築において有意なものとなると思われ、SOFC の実用化に大いに貢献するであろう。
- インターコネクタは SOFC の実用化要素として重要であり、民間機関が開発中の SOFC に対する材料開発の方向性を支援する研究として意義がある。

スタック材料の低コスト化に関する研究では、従来の知見を超える成果が得られつつあり、SOFCの形式の選定に役立つ成果を挙げる可能性がある点を高く評価したい。

- インターコネクタ材の開発では国内外のSOFCのスタック、システムメーカーに供給することを想定して市場開拓の準備が進められている。  
低コスト化のための製造工程の改善の検討は、関連するセラミックス製品の製造コストの低減に波及効果が期待できる。
- 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料について、実機試験結果を集学的協力により開発にフィードバックするなどして、着実な進展が見られる。セルスタック材料の低コスト化についても分析が進み、出発原料の共通化の見通しなど実用化に向けて着実な検討が進められている。

#### <問題点・改善すべき点>

- 最終目標を念頭に入れて、低コスト、寿命、ならびに性能との見極めをいかに明確化するかが重要である。
- 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料について、Cr蒸発を中心に実用化に向けての課題克服が重要になる。さらに、集学的協力を強化するなどして実用化への歩みを加速して欲しい。セルスタック材料の低コスト化についても、実用化に不可欠な低価格原料使用、工程改善に向けて、集学的な協力体制を更に強化する必要がある。
- インターコネクタの研究の方針である表面処理技術の利用に関しては、SOFCの高温作動を考慮すると、表面処理効果が失効する時間的パラメータが重要となるため、実用化レベルでの適用には機能維持に対する相当の保証ができるデータの蓄積が必要である。  
スタック材料のコスト評価が可能なデータが得られつつあることから、参画団体の自己評価に留まることなく、NEDOあるいは外部評価組織が低コスト化を含めたSOFCの形式の選定を始める必要がある。
- 最近の技術開発では、性能・耐久性両者の向上のため、電極の多層化・材料の多様化が進んでいる。本プロジェクトでは、ある程度共通化できる材料に絞り込んだ開発になっており、本成果が今後の多様な材料に適用できるかが、実用化時の問題と思われる。
- 事業化に付いては、このまま行くと寿命・劣化・コストの問題に足を取られる可能性があるのではないかと懸念される。小スタックによる多くの長期発電試験を行って確認すべきことが多い。

<その他の意見>

- 埋蔵力や採掘国の関係から、SOFC 材料としては高価過ぎて適用困難な原料を挙げておくことも必要ではないかと思う。
- SOFC を開発することによって、副産物として得られたセラミックスの分析・解析、セラミックスの成型加工法など進歩は、今後大いに社会に役立つ技術である。

## 2. 3 運用性向上のための起動停止技術開発

### 1) 研究開発成果について

起動停止試験と出力変動試験の電圧低下率の目標は、起動停止技術（スタック構成と運転法）への取り組みと課題抽出がしっかりとなされ、当初の目的をほぼ達成しており、実用化への壁をひとつクリアしたと言える。

また、円筒形5kW モジュールにおいて、仕切り板の構造改良、運転条件の改良で劣化要因の発生を抑えることができるようになった点は評価できる。

しかしながら、最終目標をクリアするための方策がまだ具体性に欠ける。高温円筒縦縞型の開発では、電解質の粉末化という課題が明確にされたことが評価できるが、本質的な問題に発展するリスクがあることから、課題解決方法を早急に検討・実施する必要がある。

また、円形平板形では、熱・温度管理の難しさが発現したものとして、課題が提示されている。セル寸法拡大は当初計画通りとは言え、小型セルスタックの負荷変動時の損傷を解決できないままに、セル大型化を進めている現状からは、最終目標を達成できるとは判断しがたい。折角の集学的支援体制が本課題については十分に生かされておらず、研究開発体制の強化を図るべきである。

#### <肯定的意見>

○小規模店舗用の業務用途において、HSS で 1/3 負荷運転が、AC0kW 運転よりも経済的であるという試算は興味深く、SOFC 用途を検討する上での参考になる。

水素窒素素レスでの SOFC モジュール起動停止技術を確立したことは大きな成果の一つとして評価できる。

○起動停止による電位低下について種々の要因を明らかにし、電位低下の少ない運転条件を見出すことが出来た。

○報告された中では、平板型の小セルで目標がクリアできているが、サイズアップしたセルでは出来ていない。円筒型では概ね出来ているように思われる。

○起動停止試験と出力変動試験の電圧低下率の目標は、当初の目的をほぼ達成しており、実用化への壁をひとつクリアしたと言える。今後は経済性を考慮した課題設定が見通されている。

○高温円筒縦縞型の開発では、現状で耐久性の最終目標を達成しているとはいえないが、モジュールを使用した試験から解決すべき課題が明確となっており、今後の研究開発により目標を達成できる可能性がある。

成果の公表が十分とは言えないが、ノウハウを含めた技術情報の管理を優先する姿勢は重要と考えられ、これまでの方針を維持することが望ましい。

○起動停止技術（スタック構成と運転法）への取り組みと課題抽出がしっかり

となされている。また、それに向けての改善がある程度なされており、着実に成果が出ている。

- 円筒形 5 kW モジュールにおいて、仕切り板の構造改良、運転条件の改良で劣化要因の発生を抑えることができるようになった点は評価できる。

#### <問題点・改善すべき点>

- 中間目標を達成出来ていないケースも多く見られるので、集学的協力を促進するなどして、研究開発体制の強化を図るべきである。折角の集学的支援体制が本課題については十分に生かされていない。

- 2つのプロジェクトにおけるサイクル試験では、CSS と HSS の条件が異なっている。SOFC の形状が異なるため、それぞれの特性を発揮できる試験方法と考えることも可能であるが、実用化を想定すると試験条件の規格化も検討する必要がある。

高温円筒縦縞型の開発では、電解質の粉末化という課題が明確にされたことが評価できるが、本質的な問題に発展するリスクがあることから、課題解決方法を早急に検討・実施する必要がある。

中温円形平板型の開発では、実用化レベル以下のサイズの実証試験では当初の目標が達成されつつあるが、平板サイズの拡大による問題の解決が一部未達成である。

- 最終目標をクリアするための方策がまだ具体性に欠ける。特に電解質の粉末化に対する取り組み、またスケールアップした際の劣化改善を強く望む。また、実用的な観点から、LSGMC 電解質と SSC カソードの使用限界の見極めも必要である。

- セル寸法拡大は当初計画通りとは言え、小型セルスタックの負荷変動時の損傷を解決できないままに、セル大型化を進めている現状からは、最終目標を達成できるとは判断しがたい。

- 仕切り板の構造改良では、構造がより複雑化し、部材増によるコスト増や組み立て工程の複雑化による製造コスト増につながる可能性がある。よりシンプルな解決策を見出すことも検討すべきでないか。

電解質粉末化については早急に原因解明と対応策の検討が必用である。

円形平板形では 120mm セルにおいて中間目標達成としているが、セル損傷が見られるようであり未だ十分とは言えない。低コスト化を狙った 170mm セルでは中間目標の見通しすら得られておらず、結果として中途半端な状況である。円形平板形については低コスト化の問題を残したままでも、120mm セルで耐久性向上の課題追求に絞った方がよいのではないか。

- 平板型のセルスタックは、いわゆる火達磨運転をするタイプである。ガス流

の制御を適切に行わないとセル周辺部から電極の剥離が起こったりする。そこが実機で安定な運転が出来るのかどうかちょっと気になる。

<その他の意見>

- 開発スタックの目標とする用途を明確にし、それによって稼動仕様を設定してそれに合うように開発を進めて頂きたい。円筒型では、問題の原因に成りやすい金属の枠がなぜ必要なのか今一理解できない。セラミックス製の枠ではいけないのだろうか。
- セル損傷は、「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」の中で行われているアコースティックエミッション法の良い適用例になると思う。集学的手法でセル損傷原因の解明に期待する。
- 経済性向上のためのセルの大型化では、熱・温度管理の難しさが発現したもののとして、課題が提示されているが、現時点での可能最大寸法を評価検討することも必要と思う。

## 2) 実用化、事業化の見通しについての評価及び今後の提言

SOFC システムの実用化に向けての大きな課題は、モジュールの起動停止や負荷変動時の性能劣化であり、この課題解決のために、構造面と運転面から、要素試験と数値シミュレーションの併用で解決していく方針が明確になっている。

しかし、中間目標を達成出来ていないケースも見られるので、集学的協力を促進するなどして、研究開発体制の強化を図るべきである。中温円形平板型の開発では、コスト面から実用化に必要なと想定されているサイズでの耐久性試験結果が目標をクリアしておらず、セルの損傷を含めた課題を解決する技術開発が不可欠である。

本プロジェクト終了後、早期に初期導入に入れるよう、システム開発企業は用途をより絞り込み、現在採用している起動停止および負荷変動条件が適切であるか十分に検討すべきである。

また、実用化に向けて SOFC の多様な形式を追求することの重要性は理解できるが、低電圧の FC において高温というデメリットがある SOFC を実用化するには、構造の選択が必要な時期である点も一考の余地がある。

### <肯定的意見>

- 経済性を考慮すると大型化が必須であり、その観点では明確な目的を持って開発を進めており、最終目標を達成可能と期待している。
- 現時点での産業技術としての見極めが十分なされている。また、得られた成果は興味深く、その波及効果は大きいものと判断される。
- 産業技術としての見極めは概ね出来ている。起動停止による電位低下について種々の要因を明らかにし、電位低下の少ない運転条件を見出すことが出来た。
- SOFC システムの実用化に向けての大きな課題は、モジュールの起動停止や負荷変動時の性能劣化であり、この課題解決のために、構造面と運転面から、要素試験と数値シミュレーションの併用で解決していく方針が明確になっており、実用化の可能性はあると判断できる。また、この様な問題解決にあたって、本プロジェクトで掲げる集学的な取り組みの効果がおいに発揮されるものと期待される。
- 過酷な試験条件においても SOFC が稼働できるとの実証データが得られており、実用化に向けて本質的な問題がないことが実証されている。
- 今開発を進めている SOFC は、先にも記述した様に、そろそろ適した用途と その場合の技術的仕様をよく検討しなおすことが必要である。ここまで来ると、是非実用したい物である。

<問題点・改善すべき点>

- 寿命の問題、劣化の問題など、これらは何時までも続き、解決には長い時間を要する問題である。実用化するとき、(4万時間+熱サイクル250回)の両方をクリアすると言うことがどれ程の必要条件か検討されたい。
- 本プロジェクト終了後早期に初期導入に入れるよう、システム開発企業は用途をより絞り込み、現在採用している起動停止および負荷変動条件が適切であるか十分に検討すべきであり、NEDOもそのように指導すべきである。
- 中温円形平板型の開発では、コスト面から実用化に必要と想定されているサイズでの耐久性試験結果が目標をクリアしておらず、セルの損傷を含めた課題を解決する技術開発が不可欠である。
- 中間目標を達成出来ていないケースも多く見られるので、集学的協力を促進するなどして、研究開発体制の強化を図るべきである。折角の集学的支援体制が本課題については十分に生かされていない。
- 最終目標を念頭に入れて、寿命ならびに性能との見極めをいかに明確化するかが重要である。

<その他の意見>

- ・加速試験方法の確立にもよるが、それが困難な場合は、PEFCの実証試験のような事業を進めデータ蓄積を図る必要がある。そのためにも、2015年前後の初期導入時期を守るよう、開発項目の優先順位に配慮して実施してもらいたい。
- ・新たな問題の発覚で、耐久性の見通しがたてられない状況であるが、現時点では原因の解明と技術的な解決策の追求が重要であると考え。また、コスト面での見通しについても同様に、現時点では困難であっても技術の確立を優先して追究すべきと考える。
- ・現状の問題点では、解決方法がはっきりしている物もあるようであるが、金属ICのようにまだ明確でないものもある。一般にセラミックスと金属の高温での併用は例が少ない。本当に大丈夫か。耐熱金属にCrは付き物である。
- ・実用化に向けてSOFCの多様な形式を追求することの重要性は理解できるが、低電圧のFCにおいて高温というデメリットがあるSOFCを実用化するには、構造の選択が必要な時期である点も一考の余地がある。
- ・平板型での大型化においては、過去の事例でもガスリーク、出力低下等の問題にさらされた経緯もあり、同じ轍を踏むことのないように、頑張ってください。

## 2. 4 超高効率運転のための高圧運転技術の開発

### 1) 研究開発成果について

本事業で実施された SOFC-GT（ガスタービン）複合発電技術開発は、実用規模を想定したスタックを用いて実証試験を実施し、3000 時間の運転で、耐久性、熱サイクル耐性ともに目標値以上の良好の結果が得られている。マイクロガスタービンとの複合発電においても安全な運転停止を確認し、複合発電については効率、出力規模ともに世界のトップデータを得ている。

しかし、本プロジェクトの中の「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」は、主に常圧環境下で実施されており、高圧運転下における耐久性の検証が十分であるとは言い難く、最終目標である寿命、信頼性の点がまだ不透明である。今後の長期の実証試験において若干危惧される点として、システムとしての性能向上が挙げられ、さらなる努力を望む。

#### <肯定的意見>

- 前プロジェクトの課題解決により、中間目標を達成している。また、スタックレベルであるが、5000 時間以上の運転実績を達成し、電圧低下率も大幅に改善しており、成果は高く評価される。
- 3000 時間の運転で、耐久性、熱サイクル耐性ともに目標値以上の良好の結果が得られている。マイクロガスタービンとの複合発電においても安全な運転停止を確認し、中間目標を達成している。複合発電については効率、出力規模ともに世界のトップデータを得ている。
- マイクロガスタービンと組み合わせるための圧力範囲で、起動停止、緊急時の安全停止を可能とすることなどの高圧下での運転のためのシステム技術を確立するという中間目標を達成している。
- 中間目標をクリアしており、特に性能に関する成果は国際的にも最高レベルにある。
- 本事業で実施された SOFC-GT 複合発電技術開発は、前プロジェクトの未達成目標を先ずクリアすることから始めているとは言え、その成果は世界トップレベルに達したこと、また、緊急時のシステムの安全停止を可能にし、実用化へ大きな一歩を記したことは高く評価できる。  
今後、酸化・還元耐性強化セルを実装したモジュール導入、フェールセーフシステムの構築などを堅実に進めることにより、本事業の最終目標達成も見込めると判断できる。
- MGT とのコンビネーションは SOFC の究極の使い方の 1 つであり、最高の熱効率を得られる手段である。それだけにかかなり困難を伴うと思うが、現開発状況は中間目標をほぼクリアした状況である。今後期待したい。

○基礎研究における成果から耐久性劣化の原因となる箇所を解明しており、課題解決のための指針が明確となっている。

実用規模を想定したスタックを用いて実証試験を実施し、耐久性を含めた目標値をクリアする可能性の高い成果が得られている。

知的財産権の確保と成果の公表が着実に実施されている。

#### <問題点・改善すべき点>

- 出力や熱効率の達成もさることながら、システムの制御はかなり重要な問題である。充分検討されたい。今のところ起動停止を含む動作制御パターンの設定は明らかにされていない。企業ノウハウの属すると受け取っている。
- 本分担当者は、結果から見ると、他の課題の分担者と比べて、信頼性の高いセルスタックを開発している。その理由を集学的研究により速やかに解明して、その成果を開発が遅れている分担者も活用、全体の底上げ、実用化の促進に繋げるべきである。
- 最終目標である寿命、信頼性の点がまだ不透明である。また、システムとしての性能向上にさらなる努力を強く望む。
- 本プロジェクトの中の「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」は、主に常圧環境下で実施されており、高圧運転下における耐久性の検証が十分であるとは言い難く、今後の長期の実証試験において若干危惧される点である。
- 石炭ガス化ガスの利用が事業化に向けた最重要課題であると考えられることから、この課題への研究を重点的に進める必要がある。
- 改良セルスタックでの運転実績は今後の結果如何のところであるが、これまでの経験を活かし、長時間運転の耐久性確保、経済性確保を目指してください。

#### <その他の意見>

- ・前プロジェクトにおいて実証できなかった試験を自社負担で実施し、その成果が本プロジェクトの指針に反映されている点は評価できる。
- ・現時点までの学会・論文発表などが計 28 件と専門家への情報発信は活発になされているが、一方で、一般向け発信として、新聞・雑誌への掲載 2 件、展示会出展 1 回は、大きな成果だけにやや少ないように感じる。
- ・特許、論文はよく出ていると思う。

## 2) 実用化、事業化の見通しについての評価及び今後の提言

実用化規模の基盤となるスタックにおける発電試験が実施されており、セルスタックレベルの成果は目標を達成する水準にあることから、実用化が期待できる成果が得られている。また、SOFC-MGT（マイクロガスタービン）複合発電に対して、起動と緊急停止を含めた運転実績から、実用的な運転への信頼性技術が開発されつつある。更に信頼性を高め、コストダウンを進めるなどして、実用化への道を邁進して欲しい。

今後、中容量のSOFC-GT複合発電が事業として成立する可能性に対する市場調査が必要である。現状のPAFC（リン酸系燃料電池）に取って代わるだけでは、中規模容量発電機市場における今後の成長性が見えない。

また、大容量のSOFC-GTコンバインドシステムは、SOFCの有力な事業対象と考えられるが、石炭ガスの利用が重要な要素となるため、その対策についても研究を継続することが必要である。

### <肯定的意見>

- H25年度から、マイクロガスタービンとの複合発電システムを実用化するという明確な目標を立てている。現状では技術的には、順調に進んでいるようである。
- 実用化に向けて、かなり進んできていることを実感させる成果となっている。更に信頼性を高め、コストダウンを進めるなどして、実用化への道を邁進して欲しい。
- 現時点でのプロジェクト成果をみる範囲では、本プロジェクト終了直後からの事業化を期待できる。コストダウンの更なる努力は必要ではあるが、他機種と差別化できる高効率運転可能な本商品が中規模容量発電機市場に与えるインパクトは少なからずあると考える。
- 実用化に向けた地道な開発を続けていると思う。今まで得られている熱効率も他のどの燃料電池システムに比べて高く、我々の期待を裏切っていない。
- 実施者は平成25年にはユーザーに提供する計画を立てており、確実な実用化計画を立てて研究開発を進めており、実用化への期待は大きい。
- 実用化規模の基盤となるスタックにおける発電試験が実施されており、セルスタックレベルの成果は目標を達成する水準にあることから、実用化が期待できる成果が得られている。  
SOFC-MGT複合発電に対して、起動と緊急停止を含めた運転実績から、実用的な運転への信頼性技術が開発されつつある。  
事業化へのロードマップが明確であり、知的財産権の確保も適切である。
- 複合発電の技術が確立しつつあり、その実用化が現実味をおびてきた。今後

のスケールアップや信頼性向上を期待する。

<問題点・改善すべき点>

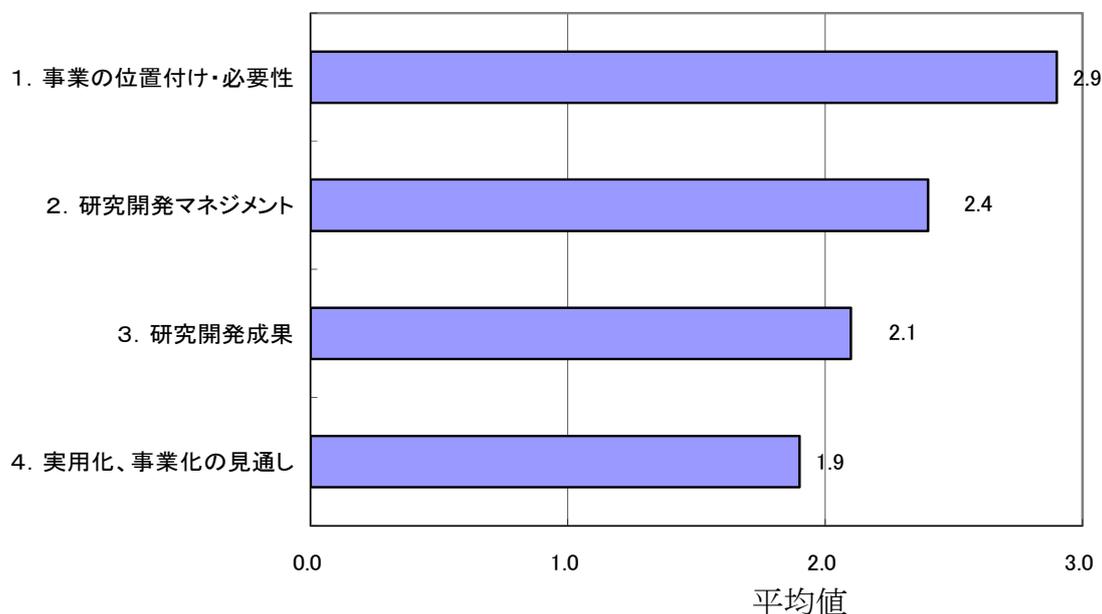
- 中容量の SOFC-GT 複合発電が事業として成立する可能性に対する市場調査が必要である。
- 本分担当者は、結果から見ると、他の課題の分担者に比べて、信頼性の高いセルスタックを開発している。その理由を集学的研究により速やかに解明して、その成果を開発が遅れている分担者も活用、全体の底上げ、実用化の促進に繋げるべきである。
- SOFC-GT システムの用途をもう少し詳しく示して貰いたい。現状の PAFC に取って代わるだけでは、中規模容量発電機市場における今後の成長性が見えない。
- 起動停止制御など、ソフト部分の開発が大切。小型システムで充分確認しながら進めることが大切である。
- 事業化に向けた寿命、信頼性、さらにコストについての見極めを強く望む。

<その他の意見>

- ・他の SOFC システムと同じスケジュールでは無理があるのではないか。
- ・大容量の SOFC-GT コンバインドシステムは、SOFC の有力な事業対象と考えられるが、石炭ガスの利用が重要な要素となるため、その対策についても研究を継続することが必要である。

### 3. 評点結果

#### 3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)						
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	A	A	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	A	A	A	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	2.1	A	A	B	B	B	B	C
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	B	B	B	B	B	B	C

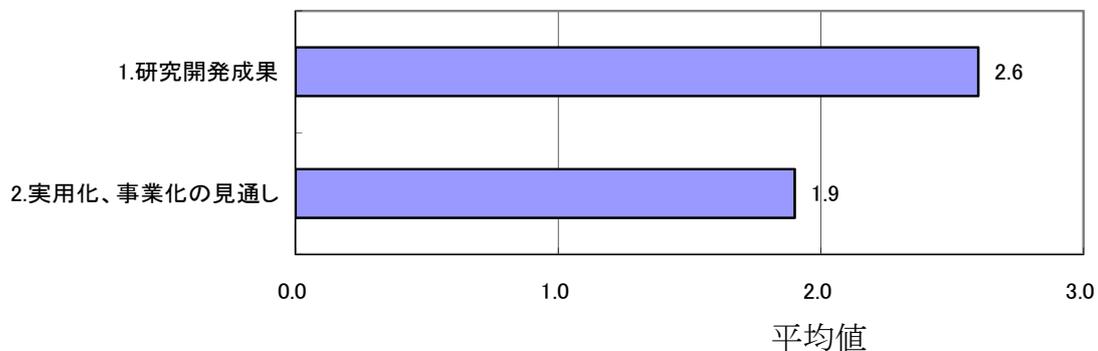
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

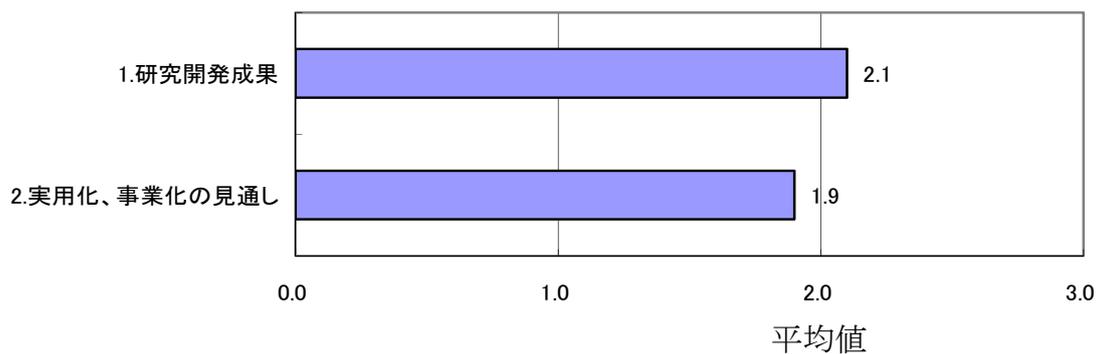
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

### 3. 2 個別テーマ

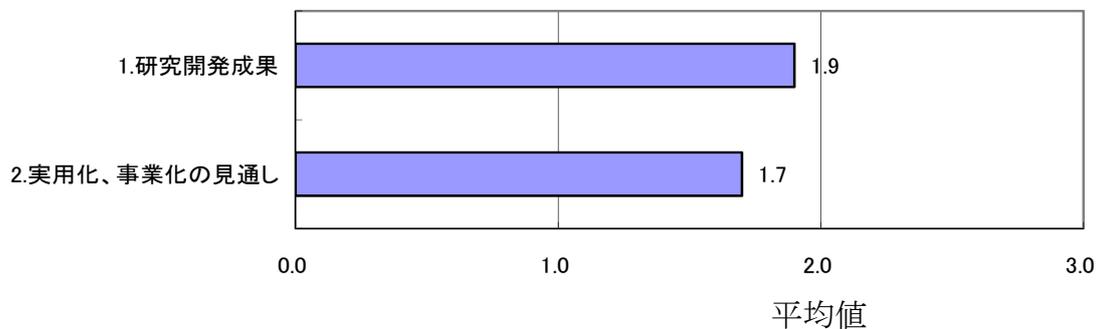
#### 3. 2. 1 耐久性・信頼性向上のための基礎研究



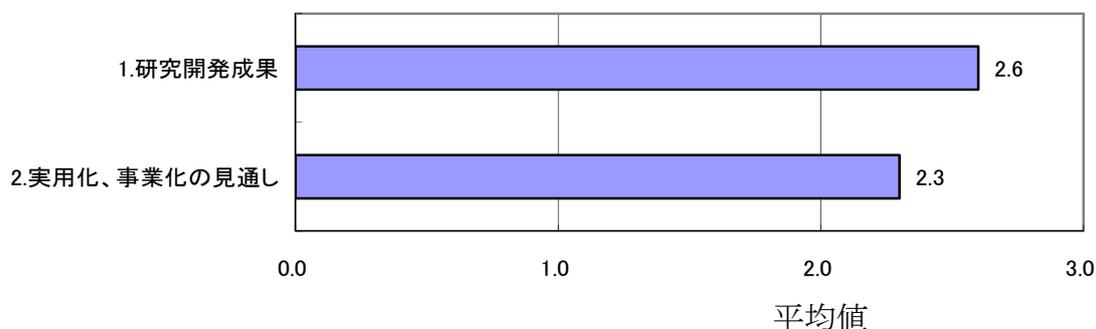
#### 3. 2. 2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発



#### 3. 2. 3 運用性向上のための起動停止技術開発



### 3. 2. 4 超高効率運転のための高圧運転技術の開発



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)						
3. 2. 1 耐久性・信頼性向上のための基礎研究								
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	A	B	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	A	B	B	B	B	C	C
3. 2. 2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発								
1. 研究開発成果について	2.1	A	B	B	B	B	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	B	B	B	B	B	B	C
3. 2. 3 運用性向上のための起動停止技術開発								
1. 研究開発成果について	1.9	B	B	B	B	B	B	C
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	B	B	C	C
3. 2. 4 超高効率運転のための高圧運転技術の開発								
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	A	A	B	B	B
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.3	A	A	B	B	B	B	B

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

#### 1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

#### 2. 実用化、事業化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明

## 第2章 評価対象プロジェクト

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」  
中間評価分科会(第1回)  
資料5-1

# 「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」

## 事業原簿

【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	------------------------------------

## - 目 次 -

### 概要

#### プロジェクト用語集

#### I. 事業の位置付け・必要性について

- 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性…………… I-1
  - 1.1 NEDO が関与することの意義…………… I-1
  - 1.2 実施の効果…………… I-6
- 2. 事業の背景・目的・位置づけ…………… I-8
  - 2.1 事業立案時点における背景…………… I-8
  - 2.2 SOFC 普及に向けた技術開発課題…………… I-11
  - 2.3 海外における SOFC 開発動向…………… I-14
  - 2.4 標準・規格・基準に係る状況…………… I-17
  - 2.5 事業の目的・位置付け…………… I-18

#### II. 研究開発マネジメントについて

- 1. 事業の目標…………… II-1
- 2. 事業の計画内容…………… II-2
  - 2.1 研究開発の内容…………… II-2
  - 2.2 研究開発の実施体制…………… II-8
  - 2.3 研究の運営管理…………… II-9
  - 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性…………… II-12
- 3. 情勢変化への対応等…………… II-12

#### III. 研究開発成果について

- 1. 基礎的・共通課題的のための研究開発…………… III-1
  - 1.1 耐久性・信頼性向上のための基礎開発…………… III-1
  - 1.2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発…………… III-30
    - 1.2.1 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発…………… III-30
    - 1.2.2 セルスタック材料の低コスト化技術開発…………… III-34

2. 実用性向上のための技術開発	III-48
2.1 運用性向上のための起動停止技術	III-48
2.1.1 運用性向上のための起動停止技術（高温円筒縦縞型）	III-48
2.1.2 運用性向上のための起動停止技術（中温円形平板型）	III-57
2.2 超高効率運転のための高圧運転技術	III-65

#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

1. 実用化、事業化の見通しについて	IV- 1
2. 波及効果	IV- 2

（添付資料）

- ・ イノベーションプログラム基本計画
- ・ プロジェクト基本計画
- ・ 技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）
- ・ 事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）
- ・ 特許論文リスト

# 概要

		最終更新日	22年8月19日
プログラム（又は施策）名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発	プロジェクト番号	P08004
担当推進部/担当者	新エネルギー部 担当者氏名 細井敬、中原貢 伊藤正紀、深江守（平成22年8月現在） 燃料電池・水素技術開発部 担当者氏名 高橋（康）、小林（晋）、横本（平成20年7月～21年3月） 担当者氏名 横本（平成20年7月～20年10月）		
0. 事業の概要	固体酸化物形燃料電池（SOFC）は、他の発電システムに比べて発電効率が大きく、また天然ガス・石炭ガス化ガス等多様な燃料に対応が可能であり、小規模分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を有している。本事業は、SOFCシステムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的とする。そのため、実用化・普及に必要な耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決するための基礎的・課題に関する研究開発、および SOFC システムの実用性を向上させる要素技術（運用性向上のための起動停止技術、超高効率発電のための高圧運転技術）の開発を行う。		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p><b>(1) 政策上の位置付け</b> 我が国が持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及により世界に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組むことが不可欠であるが、エネルギー技術開発には長期期間と大規模投資を必要とするとともに将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的に取り組むことは容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方が方向性を共有することで、長期にわたり軸のぶれない取組の実施を可能にすることを目指し、「エネルギーイノベーションプログラム」が制定されている。本事業は、この「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。</p> <p><b>(2) NEDO が関与する意義</b> NEDO が本事業と並行実施している「固体酸化物形燃料電池実証研究」（2007～2010 年度）では SOFC システムを一般家庭等の実負荷環境下に設置し、普及に向けた技術課題を抽出している。また、「水素社会構築共通基盤整備事業」（2005～2009 年度）では日本電機工業会（JEMA）「燃料電池国際標準化委員会」の下に「試験法調査 WG」を設立し、SOFC の安全試験法および性能試験法の国際標準化に向けた検討を行っている。このように、SOFC の普及には技術開発・実証・制度整備・標準化を一体的に実施する必要があり、民間企業の活動のみでは十分な研究開発が見込まれないことから、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントする NEDO の関与が不可欠である</p> <p><b>(3) 実施の効果</b> 2009 年に㈱富士経済が実施した国内市場規模の予測によると、2025 年の市場規模は家庭用 SOFC が 2,340 億円（導入台数 60 万台）、業務・産業用 SOFC が 123 億円（導入台数 2,100 台）となっている。 平均的な電力需要の一般家庭に SOFC システムを設置した際の CO<sub>2</sub> 削減量は約 1.3 トン/月となる。これに上記した 2025 年の家庭用 SOFC の市場規模を当てはめると、年間 78 万トンの CO<sub>2</sub> 削減効果が期待できる。また、電力事業用 SOFC であれば、高効率天然ガス火力発電としての FC/GT ハイブリッド発電および高効率石炭火力発電としての IGFC で約 30% の CO<sub>2</sub> 削減効果が期待できる。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて	<p>SOFC システムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目指す。</p> <p>研究開発項目・テーマとその最終目標（平成 24 年度末）を以下に示す。</p> <p>研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」</p> <p>(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究 4 万時間および起動停止 250 回の耐久性の見通し。加速劣化試験法の確立。</p> <p>(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発 普及期のセルスタック製造コストとして 5 万円/kW 程度の見通し。</p> <p>研究開発項目②「実用性向上のための技術の確立」</p> <p>(a) 運用性向上のための起動停止技術 4 万時間および起動停止 250 回の耐久性の見通し。</p> <p>(b) 超高効率運転のための高圧運転技術 4 万時間の耐久性の見通し。超高効率運転のための高圧運転技術の確立。</p>		
事業の目標	<p>SOFC システムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目指す。</p> <p>研究開発項目・テーマとその最終目標（平成 24 年度末）を以下に示す。</p> <p>研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」</p> <p>(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究 4 万時間および起動停止 250 回の耐久性の見通し。加速劣化試験法の確立。</p> <p>(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発 普及期のセルスタック製造コストとして 5 万円/kW 程度の見通し。</p> <p>研究開発項目②「実用性向上のための技術の確立」</p> <p>(a) 運用性向上のための起動停止技術 4 万時間および起動停止 250 回の耐久性の見通し。</p> <p>(b) 超高効率運転のための高圧運転技術 4 万時間の耐久性の見通し。超高効率運転のための高圧運転技術の確立。</p>		

事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額(百万円)
	耐久性・信頼性向上のための基礎研究	1,014	960	417			2,392
	原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	181	171	122			473
	運用性向上のための起動停止技術	59	69	27			155
	超高効率運転のための高圧運転技術開発	114	125	194			433
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額
	一般会計						
	特別会計(需給)	1,293	1,140	760			3,193
	加速予算(加速(補正))	75	185				260
	総予算額	1,368	1,325	760			3,453
	(委託)	1,195	1,131	539			2,500
	(助成) : 助成率△/□ (共同研究) : 負担率1/2	173	388	221			1,906
開発体制	経産省担当原課	省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギー対策課 燃料電池推進室					
	プロジェクトリーダー	(独) 産業技術総合研究所 横川晴美 招聘研究員					
	委託先	独立行政法人産業技術総合研究所 財団法人電力中央研究所 TOTO 株式会社 三菱マテリアル株式会社 関西電力株式会社 三菱重工業株式会社 国立大学法人 東北大学 国立大学法人 東京大学 国立大学法人 名古屋大学 国立大学法人 岐阜大学 国立大学法人 京都大学 国立大学法人 九州大学 日立金属株式会社 共立マテリアル株式会社 AGC セイミケミカル株式会社					
情勢変化への対応	特になし						
評価に関する事項	事前評価	20年度実施 担当部 燃料電池・水素技術開発部					
	中間評価	22年度 中間評価実施					
	事後評価	25年度 事後評価実施予定					

### 研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

#### (1) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

各 SOFC スタックについて、数千時間程度の長期間運転並びに起動停止実験を行い、発電特性と伴に試験後のセルスタックについて、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により劣化機構の解明とその対策立案に必要なデータの蓄積と評価を進めた。特に電気化学的性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを定量的に行うなど、貴重なデータを取得した。

具体的には、不純物蓄積濃度、界面元素移動量などを2次イオン質量分析計(SIMS)で測定して、反応速度論データの取得と相平衡計算、実験により劣化基礎データを集積した。また、SO<sub>2</sub> 被毒、CrO<sub>3</sub> 被毒を空気極に対して検討し、これらの供給量が加速劣化試験法のパラメータ指標として適用できることを解明した。

固体酸化物形燃料電池の耐久性・信頼性向上のために、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により、劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立を目指す。特に電気化学的性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを行う。

集束イオン・電子ビーム加工観察装置(FIB-SEM)による三相界面電極構造の変化と劣化との相関検討、透過電子顕微鏡(S-TEM)による微小領域における化学変化・構造変化の解析、種々の機械的性質の測定と解析を実機セルに適用し、共通的特徴を明らかにする伴に個別スタック毎の特徴を明らかにした。

また、各セルスタックの電圧低下とその劣化因子のパラメータとの関係を明らかにしながら、余寿命評価のための基礎式の構築を図った。

#### (2) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

##### (a) 金属インターコネクター材料の開発

インターコネクターの薄膜化及び耐久性向上に関する研究開発を行い、これまでに以下の成果が得られた。

##### 1) 合金組成の改良(耐酸化性の向上)

1次改良材の Mn 量を増加させることにより、Cr 蒸発を低減できるとともに、現状材(ZMG232L)より良好な耐酸化性、接触抵抗(1/2以下)を得ることができた。

##### 2) 表面処理適用による改良(Cr 蒸発の抑制)

2次改良材に MnCo スピネルコーティングを適用し、Cr 蒸発の大幅な抑制ができた。但し、コーティング膜中への Cr の拡散が観察された。

##### 3) 発電試験評価

コーティングを実施した現状材および2次改良材を用いて、3タイプのセル、スタック(平板形、円筒平板形、マイクロチューブ形)にて発電試験を実施し、合金組成の影響の把握。また、Cr 蒸発に及ぼす酸化膜の影響を確認し、改良の方向性に関する知見を得た。

##### 4) 通電効果メカニズム

現状材 ZMG232L は、Fe-22Cr モデル合金より酸化速度が遅かったが、モデル合金と同様、高電位側より低電位側の酸化膜成長が促進される傾向が見られた。

##### (b) セルスタック材料の低コスト化技術開発

スタックメーカーと材料メーカーが協力し、スタックコスト 5 万円/kW の可能性に関する検討及び各種試験を行い、これまでに以下の成果及び見通しを得た。

##### 1) 低コスト化への取組方針の決定

目標コスト(5 万円/kW)のスタックを実現するには、材料メーカーでは低価格出発原料の使用と製造工程改善が、スタックメーカーではセル高出力化、歩留向上、工数低減が挙げられた。また、仕様共通化や製造工程の共有化によるコストダウン効果も必要である。

##### 2) 低コスト化材料の開発

固相法と液相法のそれぞれで低コスト化に取組み、材料を試作した。固相法では、主に低価格出発原料と媒体攪拌ミルの使用を検討し、液相法では、主に低価格出発原料と粉碎溶媒の低コスト化を検討した結果、両製法ともに目標コスト達成の見通し、及び各製法で製造工程共通化の見通しが得られた。

課題として、低価格原料に含まれる微量成分の影響を評価して許容値を把握すること、粒度調整粉の高密度化、粉碎工程の改善、仮焼条件の調整(低温度化、時間短縮)が抽出された。

##### 3) スタックメーカーによる材料評価、材料共通仕様化の検討

空気極材料の LSM と LSCM は基礎物性が良好であり、組成及び出発原料の共通化の可能性が示された。SSC はセル評価で初期性能、耐久性ともに良好な結果が得られ、LSM、LSCM との製造工程共通化を検討している。LSCF では組成ずれや微細粒子が焼結特性に与える影響が課題として抽出された。

燃料極材料の Ni-セリア系は初期性能が良好であり、出発原料の共通仕様化の可能性が見出された。Ni-YSZ では異常粒成長が観察され、微量成分の影響の調査が必要であり、出発原料の見直しを含めた詳細検討が必要である。

### III. 研究開発成果について

	<p><b>研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」</b></p> <p><b>(1) 運用性向上のための起動停止技術</b></p> <p><b>(a) 高温円筒縦縞形燃料電池システムの起動停止技術</b></p> <p>10KW 級の SOFC システムの性能及び運用性を確保するために、システムへの熱サイクル負荷が大きい起動停止の発電試験及び実証試験を通じて以下の成果が得られた。</p> <p>1) 運転要因</p> <p>起動停止条件でのシミュレーションを行い、起動停止時の部材間温度差によるスタック集電部材の剥離現象の可能性を確認した。また、CSS スタック試験により、起動停止時の加熱冷却量とスタックの性能低下の相関を検証するとともに、起動時および停止時のガス温度・流量を段階的に増減させることで、集電部材の剥離応力低減の可能を見出した。</p> <p>2) 構造要因</p> <p>フレームで固定したスタック構造により、スタック集電部材の密着が向上し、熱サイクルによる性能低下を大幅に低減することができた。また、モジュールの構成要素である燃料分散構造・空気分散構造・ロッド気密構造・ロッド絶縁構造の要素試験からは、熱サイクルによる性能への劣化影響は少ないことを確認した。</p> <p>上記の運転要因および構造要因の評価結果から CSS 条件での目標達成の見通しを得た。</p> <p><b>(b) 中温円形平板形燃料電池システムの起動停止技術</b></p> <p>起動停止に伴う電圧低下の要因を抽出し、それらの対策を実施した。各対策の効果は確認できたものの、起動停止試験ではセルの劣化・破損が発生するなど解決すべき課題がある。</p> <p>1) 電圧低下の要因を抽出</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・放熱板等の電気抵抗の増加</li> <li>・放熱板上下セルの電圧低下</li> <li>・スタック内温度差拡大等</li> </ul> <p>2) 電圧低下対策を実施し、効果を確認</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・空気供給系の不具合があり、起動停止による電圧低下率は 8.5%/25 回 (目標値：1.0%/25 回)</li> </ul> <p>3) 緊急停止方法として、都市ガスや水素窒素などを用いずに、電圧低下を抑えて、装置を停止する方法を確立。</p> <p><b>(2) 超高効率運転のための高圧運転技術</b></p> <p>1) セルスタック要素技術開発</p> <p>燃料極高酸素分圧暴露時のセルスタック損傷防止のため、インターコネクタ高密度化等の改良を行ったセルスタックを試作、発電試験を実施した。燃料側還元性ガスが停止しても 900°C で 6 時間以上は亀裂発生に至らず、実運用条件ではそれまでに冷却すればよい。</p> <p>2) モジュール要素技術開発</p> <p>高圧運転対応・コンパクト化のために密充填構造のモジュールを計画し、最小単位のカートリッジ発電試験を実施した。発電特性・伝熱特性とも計画通りで、発電室温度を 850~950°C としたとき、端部の金属製燃料ヘッダの温度を 600°C 以下にできることを確認した。</p> <p>3) 複合発電システム要素技術開発</p> <p>継続研究で使用した SOFC モジュールとトヨタ自動車製マイクロガスタービン(MGT)を連携したシステム試験として、起動・定常運転・緊急停止を実施した。保護動作は正常に働き、SOFC・MGT を損傷することなく安全に運転停止可能であることを確認した。</p>	
	投稿論文	97 件
	特許	「出願済」20 件
	その他の外部発表	「研究発表、講演」346 件、「展示会への出展」9 件
IV. 実用化、事業化の見通しについて	本事業及び「固体酸化物形燃料電池実証研究」の研究成果により、SOFC システムの技術的信頼性が向上し、2015 年頃に家庭用 SOFC コージェネレーションシステムが初期導入時期を迎えることと予想される。	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成 20 年 3 月 作成
	変更履歴	平成 21 年 3 月 改訂 (研究項目名称の変更)

## プロジェクト用語集

用語	説明
圧力容器	円筒形セルを加圧状態にする容器。
カートリッジ	円筒形セルを集合させて燃料/空気の供給/集電を行う最小ユニット。
カレントインターラプター法	電池の発電状態から高速電流遮断器を用いて負荷を遮断し、測定電圧の時間応答特性により電気抵抗成分と物質移動抵抗成分に分離する方法。
界面抵抗	燃料電池構成材料間で生じる抵抗。
ガス焼成炉	高温の燃焼ガスを利用して電池材料を焼成するための設備。
起動バーナ	モジュールの昇降温時に使用し、燃焼ガスを供給する燃焼器。
共焼結	電極や電解質など構成部材の前駆体を同時に焼成（焼結）すること。
凝縮器	発電運転中に発生する燃料ガス中の水分を除去し、燃料再循環ガス中の水分を調整するための熱交換器。
金属管板	円筒形セルを吊り下げ支持する板材。
空気ブロフ	電池への空気および燃焼室への燃焼用空気を送風するためのブロフ。
空気予熱器	電池に供給する空気を高温の排ガスとの熱交換により予熱するための熱交換器。
グリーン	焼成前の構成材料の前駆体、造孔材、バインダーなどが混合された状態のもの。
シール性	電池性能に要求される緻密性を評価する指標。
支持膜式セル	電極または支持体の基板上に電解質が薄膜状に構成されるセル。逆に電解質が厚膜で自ら構造体になるものを自立膜式セルと呼ぶ。
焼成炉	電池材料の粉末または成形品を高温で焼成するための電池製造設備。
出力密度	単位面積辺りの出力。SOFC の性能を示すパラメータとして活用。
純水気化器	純水を水蒸気に変える装置。
水蒸気/炭素比 (S/C 比)	反応ガス中の水蒸気と炭素のモル比。
スラリーコート	構成材料の前駆体スラリーを塗布すること。スラリーの溶液中に浸漬するディップコート法やスクリーン印刷法などが含まれる。
接合強度	円筒形セルと異材を接合させた時の強度の指標。
セル	燃料電池の最小単位。TOTO の湿式円筒形 SOFC の場合は空気極支持管、空気極、電解質、燃料極から構成される。
セルサポートフォイル	合金薄板からなり、接合シール材により単セル単部と接合され、マニホールドに組み込まれる。単セルがマニホールド内に強固に固定されるのを防ぎ、合金と単セルの熱膨張率の違いに基づき発生する応力を（自身の変形により）緩和する。

用語	説明
脱硫器	燃料ガスとして使用する都市ガスに付臭材として含有している硫黄分は燃料電極の触媒毒となるため、硫黄分を除去する装置。
炭素析出	反応ガス中の炭素化合物の分解によって固体の炭素が系統内にたい積する現象。
電圧低下率	発電時間に対するセル電圧の低下の割合。
電気式燃料予熱器	モジュール入口の燃料ガスを補助的に電気ヒータで予熱するための熱交換器。
ドレンポット	発電時に発生するドレンを回収する容器。
内部改質	セルモジュール内で自己の発熱を利用して原燃料の改質を行うこと。
熱自立	発電システムの運転に適した温度の状態を、発電部分等からの発熱で維持でき、外部からの加熱が必要でない状態をいう。本プロジェクトではモジュールだけでなく燃料発生部である水蒸気改質部を組み合わせた構成での熱自立性の評価を行った。
燃焼式燃料予熱器	電池入口温度を燃焼ガスにより調整するための熱交換器。
燃料再循環ブロワ	燃料ガスを再循環し、電池に燃料ガスを供給するためのブロワ。
燃料利用率	供給燃料の内、燃料電池内で消費される燃料の割合。
燃料予熱器	電池に供給する燃料ガスを電池からの燃料系排ガスとの熱交換により予熱するための熱交換器。
パラメータ設計	複数のパラメータをもとにパラツキを低減させる条件を見出し、更に最適化を行う手法。
バンドル	セルを数本から十数本を接続し一体化したもの。モジュールを構成するための基本単位となる。現状の TOTO 製湿式円筒形 SOFC の場合は 2 並列×6 直列構造となっている。
モジュール	発電システムにおける発電容量に合わせて複数のバンドルまたはセルスタックを接続したもの。
連続焼成炉	搬出・搬入ラックと連続焼成炉から構成され、被熱物は搬出ラックから連続焼成炉へ自動で搬出され、さらに焼成された被熱物は自動で搬入ラックに保管される設備。
DSS	Daily Startup and Shutdown。
EPMA	電子プローブマイクロアナライザ。
LSCF	(La,Sr)(Co,Fe)O <sub>3</sub> 。ペロブスカイト型複合酸化物。
LSCO	(La,Sr)CoO <sub>3</sub> 。ペロブスカイト型複合酸化物。
LSM	(La,Sr)MnO <sub>3</sub> 。ペロブスカイト型複合酸化物。
OCV	Open Circuit Voltage。開回路電圧。
SDC	(Sm,Ce)O <sub>2</sub> 。サマリア添加セリア。 (サマリア：酸化サマリウム、セリア：酸化セリウム)
SEM	走査型電子顕微鏡。
SOFC 発電室	SOFC 本体を収納するための容器。
YSZ	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> 。イットリア安定化ジルコニア。 (イットリア：酸化イットリウム、ジルコニア：酸化ジルコニウム)

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 1. 1 NEDO が関与することの意義

#### (1) エネルギー政策上の位置付け

資源に乏しい我が国が将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し、「エネルギーイノベーションプログラム基本計画」(別添1)が2008年4月に制定された。「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」(以下、本事業という。)は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施している。

我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)・交通量の多い都市部等における地域環境問題(NO<sub>x</sub>、PM等)の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性・性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。

「新・国家エネルギー戦略」(経済産業省、2006年5月)では、新エネルギーイノベーション計画として燃料電池を新たなエネルギー経済を支える基幹技術と位置づけて戦略的・重点的に技術開発や実証を推進するとしている。また、総合資源確保戦略として石炭ガス化燃料電池複合発電の開発・普及を図るとしている。

「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(経済産業省、2008年3月)では、世界全体の温室効果ガス排出量を2050年までに半減するという目標の下、CO<sub>2</sub>排出量の大幅削減を可能とする21の革新技術が選定されているが、図1.1-1に示すように民生部門で定置用燃料電池が、運輸部門で燃料電池自動車を選定されている。また、発電・送電部門においても、高効率天然ガス火力発電としての燃料電池・ガスタービンハイブリッド発電(FC/GTハイブリッド発電)、高効率石炭火力発電としての石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)によるCO<sub>2</sub>削減が記載されている。

「環境エネルギー技術革新計画」(内閣府、2008年5月)では、低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略において定置用燃料電池および燃料電池自動車を開発の必要な技術として位置付けている。

「低炭素社会づくり行動計画」(2008年7月)では、定置用燃料電池について2020~2030年頃にコスト40万円/kW、耐久性9万時間まで向上させ本格普及を目指すとしている。

「エネルギー基本計画」(経済産業省、2010年6月)では、エネルギー源のベストミックスを確保するためには燃料電池の技術開発の促進と内外への普及拡大によって天然ガスシフトを推進すべきであること、燃料電池の普及に向けた最大の課題であるコストの低減に向けて基礎的な部分も含めた技術開発を推進するとしている。

「新成長戦略」（内閣府、2010年6月）では、燃料電池分野において日本が技術的優位性を有しており、戦略的な国際標準化を進めるとしている。

このように、「燃料電池」は継続して政策上の重要な技術分野となっている。



出典：経済産業省「Cool Earthーエネルギー革新技術計画」

図 1.1-1 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術

## (2) 研究開発政策上の位置付け

経済産業省は、政策を踏まえて、全ての研究開発プロジェクトを7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進しているが、前記したように、本事業はそのうちの一つ「エネルギーイノベーションプログラム」に含まれている。

我が国が持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及により世界に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組むことが不可欠であるが、エネルギー技術開発には長期間と大規模投資を必要とするとともに将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的に取り組むことは容易ではない。「エネルギーイノベーションプログラム」は、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方が方向性を共有し、長期にわたり軸のぶれない取組の実施を可能にすることを目指して制定されており、下記する5つの柱で構成されている。

- ① 総合エネルギー効率の向上
- ② 運輸部門の燃料多様化
- ③ 新エネルギー等の開発・導入促進
- ④ 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保
- ⑤ 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

本事業で開発対象としている固体酸化物形燃料電池（SOFC）は各種燃料電池の中で発電効率が最も高く、電池自体で燃料の内部改質が可能で天然ガス・石炭ガス化ガス等の多様な燃料に対応可能、高温排ガスを利用してのガスタービン等との複合発電システムの構築が可能である等の特長を有し、1kW級の家庭用システムから数100MW級の発電事業用プラントまで幅広い用途での実用化・普及が期待されている。しかしながら、ガスエンジンやガスタービン、日本が世界に先駆けて商品化した固体高分子形燃料電池（PEFC）の家庭用システム（エネファーム）等の競合技術と比べると、SOFCの現状技術レベルは性能面で同等以上のものが得られているものの、耐久性・信頼性、コスト、利便性に関しては市場要求とのギャップが大きい。とりわけ、早期の市場エントリーに向けては耐久性・信頼性の向上が重要であり、そのためにはSOFC内部における反応・劣化・物質輸送の現象とメカニズムを根本的に理解し、その知見を産学が共有して劣化対策の検討を進める必要があり、この取り組みを本事業において進めている。

以上のことから、本事業は、新エネルギー分野でのイノベーションを促進する高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発（上記③に該当）および化石燃料の有効かつクリーンな利用（上記⑤に該当）の施策として、エネルギーイノベーションプログラムの目標達成に寄与するものである。

### (3) NEDO の関与の必要性

燃料電池の普及には技術開発だけでなく、技術実証、制度の整備（規制見直し）および標準化が必要であり、図 1.1-2 に示すように、NEDO はこれらを一体的に実施している。SOFC に関しては、表 1.1-1 に示すように、本事業と並行して「固体酸化物形燃料電池実証研究」（2008～2010 年度）および「水素社会構築共通基盤整備事業」（2005～2009 年度）を推進してきている。

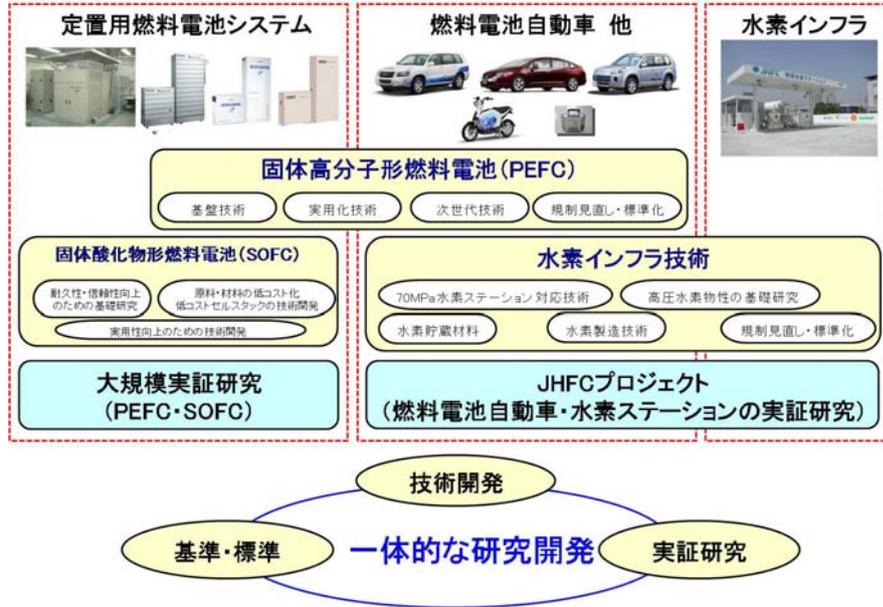
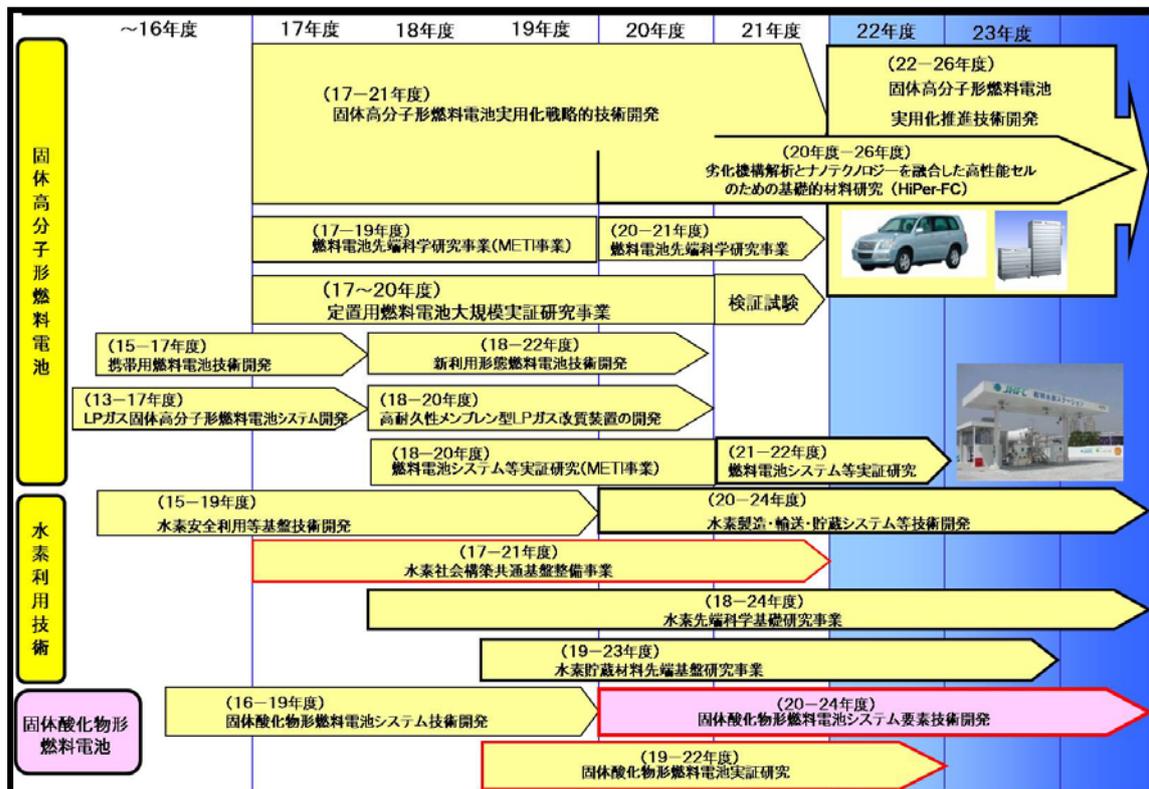


図 1.1-2 NEDO における燃料電池・水素技術開発の概要

表 1.1-1 NEDO 燃料電池・水素技術開発プロジェクトの年度展開



「固体酸化物形燃料電池実証研究」では、図 1.1-3 に示す研究体制スキームで SOFC システムを一般家庭等の実負荷環境下に設置し、取得された各種運転データについて評価・分析を行い、普及に向けた技術課題を抽出している。本実証研究では過去 3 年間（2007～2009 年度）で 0.7kW～8kW 級のシステム 132 台が運転されており、2010 年度は 0.7kW 級システム 101 台が設置される予定である。本実証研究において抽出された技術課題のうち、セルスタックの耐久性に係る課題については本事業にフィードバックされ、早期解決に導いていく取り組みが為されている。



図 1.1-3 「固体酸化物形燃料電池実証研究」の研究体制スキーム

一方、「水素社会構築共通基盤整備事業」では、定置用燃料電池システム（PEFC、SOFC）に係る規制の再点検に必要な技術開発、データ収集・提供等を行ってきた。これらの成果に基づいて SOFC システムに関しては以下に示す 6 項目の規制が見直しされている。

- ① 常時監視の不要化（電気事業法、2006 年 3 月）
- ② 不活性ガス置換義務の省略（電気事業法、2007 年 9 月）
- ③ 一般用電気工作物化（電気事業法、2007 年 9 月）
- ④ 設置届出義務の不要化（消防法、2010 年 3 月）
- ⑤ 設置保有距離の省略（消防法、2010 年 3 月）
- ⑥ 逆火防止装置の省略（消防法、2010 年 3 月）

また、「水素社会構築共通基盤整備事業」では、国際競争力を確保する観点から、日本電機工業会（JEMA）「燃料電池国際標準化委員会」の下に「試験法調査 WG」が設立され、PEFC を参考に、SOFC の安全試験法および性能試験法の国際標準化に向けた検討を行い、2009 年度末に国際標準との整合化原案がとりまとめられている（詳細は 2.4 を参照のこと）。

以上のように、燃料電池の普及には複数の関係する研究開発を連携・整合して進める必要があり、民間企業の活動のみでは十分な研究開発が見込まれないことから、新エネルギー・省エネルギーに係る国家プロジェクトをマネジメントする NEDO の関与が不可欠である。

## 1. 2 実施の効果

### (1) 経済効果

2009年に(株)富士経済が実施した国内市場規模の予測を家庭用 SOFC について図 1.2-1 に、業務・産業用 SOFC について図 1.2-2 に示す。市場は 2015 年頃から立ち上がり、2020～2025 年に普及が拡大すると予測されている。2025 年の市場規模は家庭用 SOFC が 2,340 億円（導入台数 60 万台）、業務・産業用 SOFC が 123 億円（導入台数 2,100 台）と予測されている。

なお、上記した業務・産業用 SOFC の市場規模には電力事業用 SOFC は含まれていない。電力事業用 SOFC の場合、1 基の出力規模として天然ガス焼き SOFC・ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムが数百 MW 級、石炭ガス化炉-SOFC-ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムが数十 MW 級と想定され、商用化された場合の市場規模は相当に大きくなるものと推測される。

以上のように、SOFC の市場規模は家庭用と業務・産業用を合わせて 2025 年で約 2,500 億円となっており、その経済効果への期待は大きい。

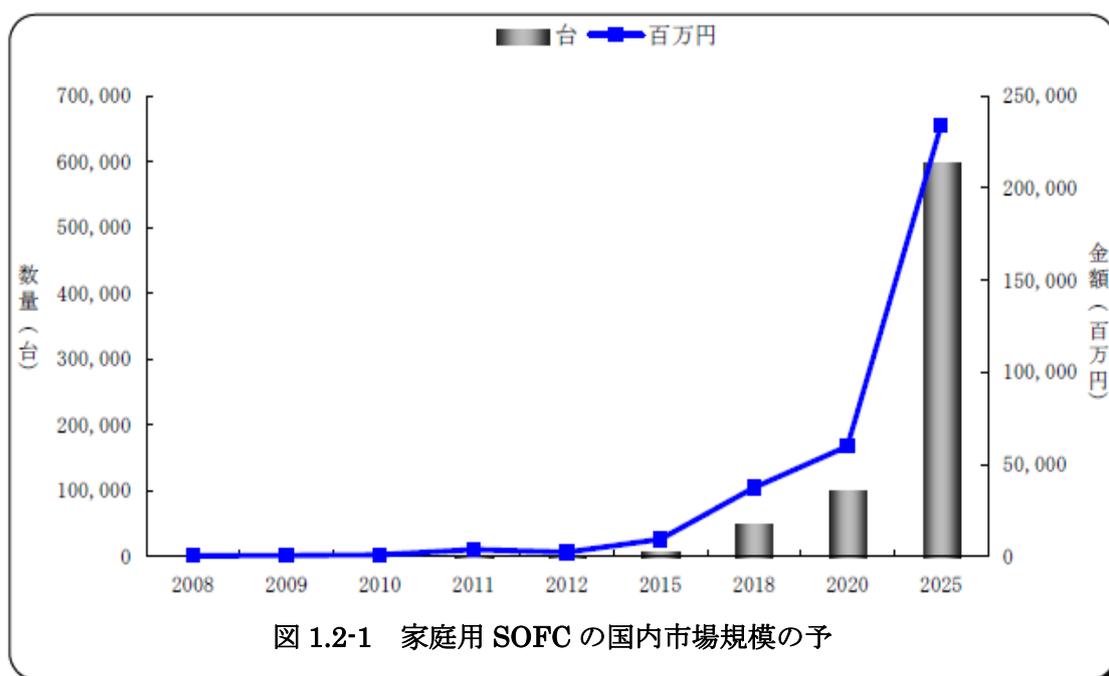


図 1.2-1 家庭用 SOFC の国内市場規模の予

出典：「2010年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」(株式会社富士経済)

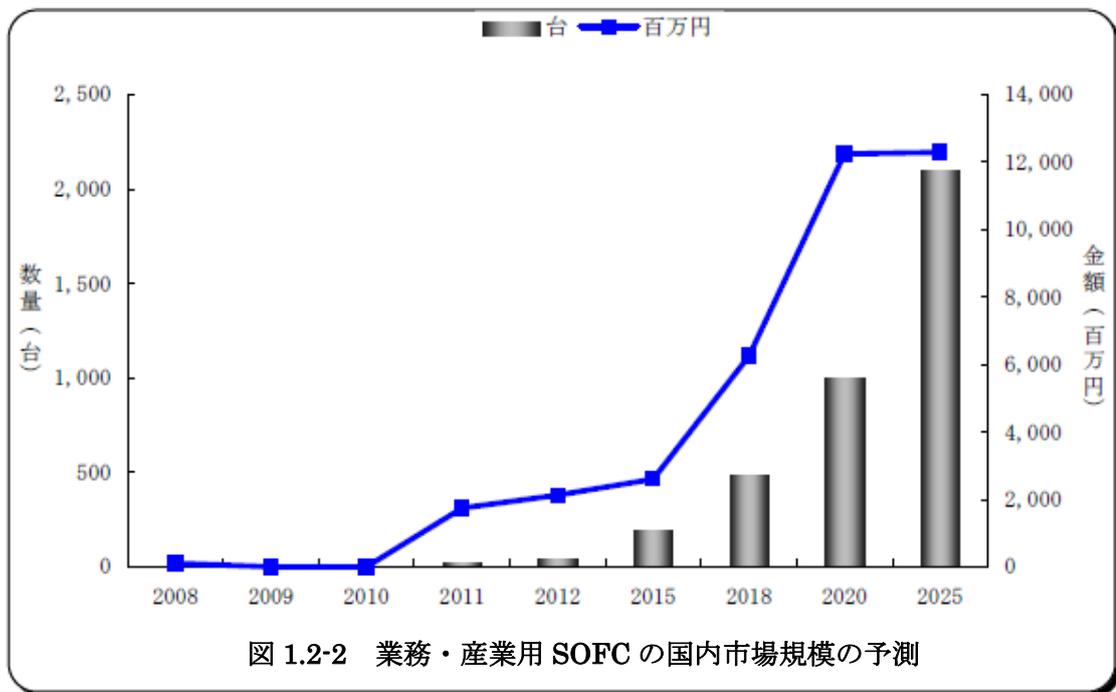


図 1.2-2 業務・産業用 SOFC の国内市場規模の予測

出典：「2010 年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」(株式会社富士経済)

## (2) CO<sub>2</sub>削減効果

前記した「固体酸化物形燃料電池実証研究」で取得された運転データを用いて試算すると、平均的な電力需要約 500kWh/月前後の一般家庭に SOFC システムを設置した際の CO<sub>2</sub>削減量は約 1.3 トン-CO<sub>2</sub>/月となる。これに前記した 2025 年の家庭用 SOFC の市場規模（導入台数 60 万台）を当てはめると、年間 78 万トンの CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

また、電力事業用 SOFC であれば、高効率天然ガス火力発電としての FC/GT ハイブリッド発電および高効率石炭火力発電としての IGFC で約 30%の CO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。さらに技術的には、これらを CO<sub>2</sub>回収・貯留 (CCS) と組み合わせることによって約 9 割～ゼロまで削減可能することができる。

## 2. 事業の背景・目的・位置付け

### 2.1 事業立案時点における背景

従前、我が国におけるSOFCの開発においてはスタック製造に開発努力が集中されてきたが、システム開発の重要性が認識され、平成16年度よりNEDO 事業として「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」が開始され、コジェネレーションシステム開発およびハイブリッドシステムの基盤的検討が行われて平成19年度に終了した。また、京セラなどは自社努力で家庭用システムの開発を平成13年頃より開始し、平成17年には大阪ガスのNEXT21において実住環境下での運転検証を行い、42～48%LHVという高いシステム効率を達成した。これらの成果を受け、NEDOは平成19年度より「固体酸化物形燃料電池実証研究」を開始した。

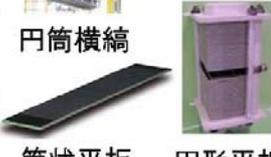
この実証研究においては、表2.1-1に示すように、過去3年間で0.7kW～8kW級のシステム132台が運転されており、今年度は0.7kW級システム101台が追加される予定である。システム提供者としては京セラ、トヨタ自動車・アイシン精機、新日本石油、TOTO、ガスター・リンナイ、日本特殊陶業の8社（6グループ）が参画している。これらの実証運転からSOFCは従来想定されていたよりもはるかに小さい容量でも高効率なシステムを実現でき、燃料改質系とセルスタックとの連結が簡便であるため負荷変動に対し即応性が強く、夜間の低負荷時にも良好な効率を維持し得るなど運用面での利点も明らかになりつつある。また、耐久性に関しても約2万時間の連続運転を超えるものも出てきている。しかしながら、本事業の立案段階にあった平成19年度においては、多数のシステムで性能劣化が顕著であり、中には数千時間と短時間で寿命となったものもあり、市場導入に求められる耐久性の確立に向けた総合的な劣化対策の検討を進める必要があると判断された。

設置運転事業者	システム提供者	設置台数				燃料	定格出力
		H19	H20	H21	H22(予定)		
大阪ガス	京セラ	20	25	12	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	23	41		
	TOTO	0	0	0	2		
東京ガス	京セラ	3	2	12	0	都市ガス	0.7kW
	ガスター・リンナイ	0	0	2	0		
	トヨタ・アイシン	0	0	4	11		
	TOTO	0	0	0	1		
北海道ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
西部ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
東京電力	京セラ	0	1	1	0	都市ガス	0.7kW
東北電力	京セラ	0	0	1	0	都市ガス	0.7kW
新日本石油	新日本石油	1	2	14	27	LPG	0.7kW
		1	1	1	1	灯油	
東邦ガス	トヨタ・アイシン	0	0	1	2	都市ガス	0.7kW
	日本特殊陶業	0	0	0	2		
TOTO	TOTO	0	2	6	10	都市ガス	0.7kW
		2	0	0	0		2kW
		0	1	0	0		8kW
合計		29	36	67	101		

他方、平成15年にNEDOのSOFC開発技術委員会がまとめた「SOFCの将来構想に関する提言」においては小容量システムの実用化を促進するのに必要な技術課題が整理され、導入期に最も重要な課題は信頼性の確立であることが明示された。

この提言に沿って、産業技術総合研究所、電力中央研究所およびSOFCのスタックメーカーが連携して、セルスタックレベルでの性能劣化現象の把握、劣化機構の解明、未だ劣化としては現れて来ない現象の把握を目的として、平成17年～19年度にNEDO事業「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」の研究テーマの一つとして「信頼性向上に関する研究開発」を行った。目標は、4万時間の耐久性を見通すのに必要な劣化率0.25%/1,000時間を達成すること、達成できない時にはその改善策を示すことであった。5,000～1万時間の連続運転における各スタックの劣化率（1,000時間あたり）は、表2.1-2に示すように、三菱重工工業製円筒横縞形が0.65～0.88%、TOTO製円筒縦縞形が1.6%、京セラ製筒状平板形が0.9～1.5%、三菱マテリアル製円形平板形が0.54～0.81%であり、いずれも0.25%の目標を達することができなかったものの、劣化に及ぼす諸因子の分析、今後の課題が抽出された。特に長時間運転後の各スタック部材を詳細に2次イオン質量分析計（SIMS）で解析した結果、従来ではスタックレベルでどのように現出するか不明であったクロム被毒が1万時間の長期間にわたって徐々に現れること、気相経由での不純物の混入が徐々に進行するため更なる長期間運転での耐久性との関連を明確化する必要があること等が明らかになった。

表2.1-2 「信頼性向上に関する研究開発」（H17～19）での5,000時間耐久性試験結果

スタックモジュール		平均劣化率 (%/1,000h)	主な劣化要因	スタック構造
高温型	円筒横縞	0.65～0.88	空気極界面でのCr被毒	 円筒縦縞
	円筒縦縞	1.6～1.67	燃料極の抵抗増加、異種界面での抵抗増大	
中温型	筒状平板	0.9～1.5	セル接続金属の酸化、劣化等による抵抗増大	 円筒横縞 筒状平板 円形平板
	円形平板	0.54～0.81	不純物による有効反応面積減少、燃焼域再酸化	

このような劣化挙動・信頼性向上課題における成果と課題の抽出を受け、NEDOにおいて平成19年度に「SOFC技術の現状と課題」編集委員会が組織され、国内外における劣化問題への取り組みの体制、連携関係、方法、進捗状況などを調査すると共に課題抽出が行われた。この委員会では、上記「信頼性向上に関する研究開発」では取り扱えなかった性能変化と物質移動過程をつなぐ電気化学的現象・モデルの重要性が確認されると共に、従来あまり考慮されてこなかった物質移動過程が生じた後の機械的性質の変化も重要であり、SOFCの耐久性・信頼性向上には異なる分野の知見を集学的に劣化問題に注入した総合的取り組みが必要であるとの指摘がなされた。

また、SOFCの用途として、都市ガスを用いたコジェネレーションシステムとハイブリッドシステム、石炭ガス化ガスを用いた高効率コンバインドシステムが想定されるが、「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」において、表2.1-3に示すように、10kW級システム2基、20kW級システム1基、200kW級システム1基の合計4基を開発し、3,000時間の耐久試験を実施した。その結果、発電効率などの性能面での目標は達成されたものの、耐久性に関して更なる向上が必要であることが確認された。また、業務用等の中小システムは運用性を向上させる起動停止技術の開発が必要であること、電気事業用の大型システムはガスタービンとの複合システム構築のための高圧運転対応技術の開発が必要であること等が確認された。さらに、既に欧米で検討が開始されて

いた石炭ガス化ガス中の不純物のSOFCへの被毒効果については、日本国内でも早急な対応をすることが重要であるとの認識が示された。

以上のような背景から、本事業は立案され、実施されることとなっている。

表2.1-3 「SOFCシステム技術開発」(H16~19)での3,000時間耐久試験結果

SOFCシステム		発電効率	劣化率	備考
コジェネレーションシステム	10kW級A	41%, HHV	1%/1,000h程度	10kW級システム 
	10kW級B	38%, HHV		
	20kW級	40%, HHV		200kW級システム 
コンバインドサイクルシステム	200kW級	52%, LHV		

## 2.2 SOFC 普及に向けた技術開発課題

NEDO は、燃料電池・水素技術開発事業の推進機関として産学の協力の下で研究開発を実施している。この技術開発事業を効率的かつ効果的に推進するには、常にステークホルダー（利害関係者）間で「技術開発シナリオ」を共有する必要がある。そのため、NEDO は、我が国の燃料電池・水素技術開発で取り組むべき技術課題を明確にして、技術開発の方向性を示すと共に、本分野における産業界、大学各層の的確な研究開発への取り組みを先導することを目的として、2005年に燃料電池・水素技術開発ロードマップを策定し、その後2年毎に改定作業を行っている。

本年6月改定の「燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010」に記載されたSOFCのロードマップを図2.2-1に示す。

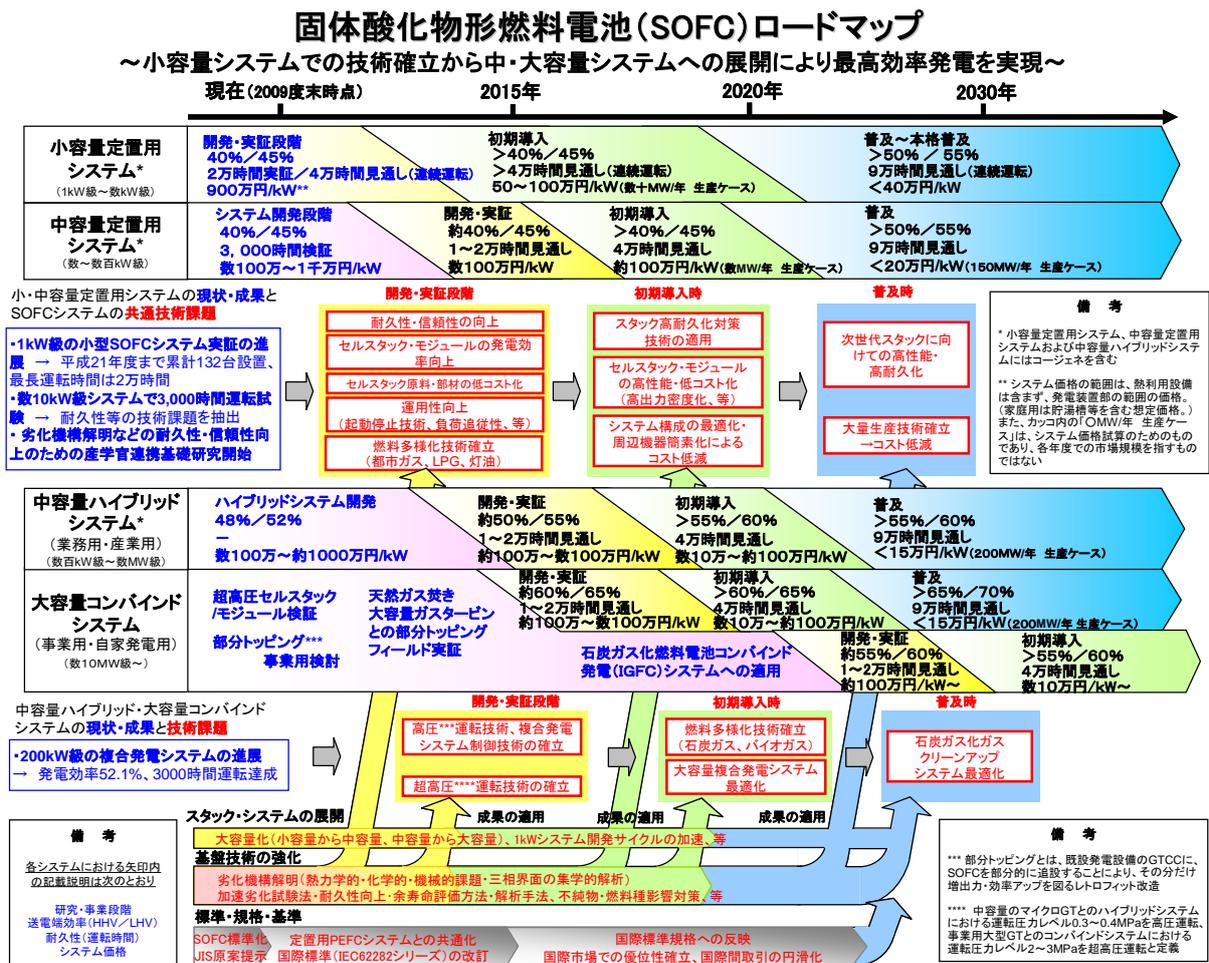


図 2.2-1 SOFC 技術開発ロードマップ

出典：「NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ2010」

図 2.2-1 に示すように、SOFC の実用化対象（用途）は小容量定置用システム、中容量定置用システム、中容量ハイブリッドシステム、大容量コンバインドシステムの4つに分類し、各システムに対応させたロードマップが策定されている。このロードマップの策定において考慮された各システムの初期導入期と普及期における開発目標仕様を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 SOFC システムの開発目標仕様

＜小容量定置用システム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	50～100万円/kW	40万円/kW以下
出力密度	0.2kW/L	0.4～1kW/L
発電効率	40%HHV/45%LHV以上	50%HHV/55%LHV以上
総合効率	75%HHV/82%LHV以上	80%HHV/89%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	負荷追従性、低負荷運転特性が良好であること	同左

＜中容量定置用システム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	約100万円/kW	20万円/kW以下
出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	40%HHV/45%LHV以上	50%HHV/55%LHV以上
総合効率	75%HHV/82%LHV以上	80%HHV/89%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

＜中容量ハイブリッドシステム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	約100万円/kW	15万円/kW以下
出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	50%HHV/55%LHV以上	55%HHV/60%LHV以上
耐久性	4万時間(連続運転、5年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

＜大容量コンバインドシステム＞

	初期導入期	普及期
システム価格	数10～100万円/kW	15万円/kW以下
出力密度	0.2～0.5kW/L	0.5～2kW/L
発電効率	60%HHV/55%LHV以上	65%HHV/70%LHV以上
耐久性	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し	9万時間(連続運転、10年)以上の見通し
その他	設置面積当りの容量 5～13kW/m <sup>2</sup>	設置面積当りの容量 13kW/m <sup>2</sup> 以上

表 2.2-1 に示した開発目標仕様に対して、各システム共に発電効率などの基本的な性能は現在ほぼ達成され、また SOFC は PEFC のように貴金属を用いず、製造プロセスも大量生産が可能な湿式法の適用に成功していることから、コストダウン実現の可能性は高い。よって、現状において最も重要度の高い課題は耐久性・信頼性の確保と実証であることが、ステークホルダー間の共通認識となっている。次いで重要度が高い課題として、本格普及に向けたコストダウン、効率向上、利便性の向上が挙げられている。なお、耐久性とコスト、効率、利便性はトレードオフの関係にあり、これらの課題解決のためには、反応・劣化・輸送機構の解明などの基盤技術開発、熱管理や燃料供給排出の最適化などシステム関連技術の開発、さらに、これらの取組みと同時に、利便性・運用性向上のための取組みが必要である。

以下に、これら技術課題を解決するために必要な取り組みについて、産学の有識者の見解は次の通りとなっている。

(1) 耐久性・信頼性の向上

SOFC は全て固体で構成されるため、本来劣化要因は少ない。米国 Siemens-Westinghouse 社が EVD 法で作成したセルは定常運転下で 7 万時間以上の耐久性を示した。しかし、その後、製造方法の低コスト化(湿式法の採用)、低温形セルとそのための新規材料の開発、負荷変動運転、燃料多様化など、コストダウンと性能向上のためのさまざまな研究開発が行われており、トレードオフの関係にある耐久性・信頼性の向上が重要な課題となっている。

SOFC の劣化については、金属インターコネクタ、シール材、新規材料(セリア系等)の材料起因、湿式法採用などによる製造方法起因、燃焼ガスへの空気混入、熱サイクル、負荷追従運転などのスタック運転状況起因、気相に存在する微量な不純物や原材料内の不純物起因など、様々な要因が存在する。これらに対して実システムの実証試験によって劣化に関するデータを蓄積するとともに、熱力学的・化学的・機械的解析、三相界面の微細構造変化の解析などの基礎研究を平行して行う必要がある。基礎的研究では劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする必要がある。さらに劣化対策を立案し、システム開発と連携してその効果の検証を行うとともに、劣化の加速試験方法を確立することが重要となる。

## (2) コストダウン

SOFC は貴金属等を用いないため、原材料コストに関しては他の燃料電池と比べて低く抑えられる。また、当初は製造コストが問題になったが、日本では既に高価な EVD などの乾式法から低価格で大量生産に適した湿式・焼結法を採用することに成功しており、耐久性が確保されれば、初期導入に向けてのコスト目標のハードルは高くない。しかし、本格普及に向けての更なるコストダウンについては、ランタン等、原料価格の高い成分を含む部材の薄膜化、湿式法を用いてさらに焼結回数を削減するなどの製造プロセスの低コスト化、出力密度の向上によるセル材料の大幅削減などの取組みを進める必要がある。コストダウンに関する大半の取組みは耐久性とトレードオフの関係にあるため、上記(1)の耐久性・信頼性向上に関する取組みと並行して進める必要がある。

## (3) 高効率化・出力密度の向上

出力密度の向上は、材料使用量の削減によるコストダウンに繋がるだけでなく、高効率化、利便性の向上など全てに共通する課題であり、耐久性とトレードオフの関係にある。したがって、その向上のためには、運転条件・熱管理の最適化からセルスタック構造・部材の最適化まで、総合的なシステム最適化への取組みが必要である。

そのためには、温度分布、電流密度分布、熱応力分布などの把握と解析が重要であり、内部状態の計測技術とともにモデリング・シミュレーション技術が重要となる。また、中容量以上のシステムではシステム最適化のための試作回数はコストと時間の制約から限られてくる。小容量システムの急速な発展には、システム最適化へ向けての試作のサイクルの短さが貢献しており、システム構築の最小単位(大型基本スタック)の最適化等、中大容量システムの開発へのフィードバック方法の検討も重要である。劣化等のデータの蓄積とともに、小容量システムにおける挙動のモデリングと、それを用いた中大容量システムの設計シミュレーションなどの方法も考えられる。またコストダウンと性能をより高いレベルで両立させるためには、電解質・電極・インターコネクタなどの新規材料の開発も中長期的課題として取組む必要がある。

## (4) 燃料多様性、利便性・運用性の向上

運用性向上のためには起動停止・負荷変動対応が必要である。小容量システムにおいては現在良好な負荷追従性が得られている。起動停止・負荷変動に対しては運転制御や熱管理などのシステム最適化に加えて、耐久性とトレードオフの関係にあることから、更なる耐久性の向上が課題である。

燃料多様化については、LPG や灯油への対応に向けた取組みが始まっており、小容量システムで現在実証データが蓄積されつつある。今後は、炭素の析出、不純物元素による劣化の克服が課題となる。また、高温排熱の高度利用として、高圧運転を含めてコンバインドサイクルの試験運転が進められている。中大型電源用には小容量システムよりさらに高い耐久性と信頼性が求められ、この実証のための改良と運転実績の蓄積が課題である。また、現状では都市ガスを燃料としたシステム開発が主流であるが、将来的な IGFC (石炭ガス化燃料電池複合発電) への適用に向けたセルスタック開発、高圧運転のデータ整備等も重要となっている。

## 2. 3 海外における SOFC 開発動向

### (1) 米国の動向

米国においては2001年よりエネルギー省 (DOE) 等の政府機関、民間企業、国立研究所・大学等が参加したプログラム「SECA (Solid State Energy Conversion Alliance)」においてSOFCの技術開発が進められてきた。SECAプログラムの第1期「低コスト化プロジェクト」(第1フェーズ～2005年まで)では、参画企業(GE、Delphi、Fuel Cell Energy、Acumentrics、Siemens、Cummins)による各スタックの実証と、それらに共通する性能・信頼性向上とコストダウンを目的とした基盤技術開発が進められた。その結果として、大量生産時コストで800ドル/kW以下、発電効率35%LHV以上、電池性能の低下率4%/1,000hrの中間目標が達成されている。第2期の「石炭ベースシステムプロジェクト」(第1フェーズ 2004～2008年、第2フェーズ2009～2010年)では、システム開発者がFuel Cell Energy、Siemens、DelphiおよびRolls Royce に絞られ、ガソリンや灯油とは全く性状の違う石炭ガス化ガスに対応した燃料極の研究、大容量コンバインドサイクルに対応したIGFCシステム研究、高圧が発電性能に及ぼす影響の研究等が進められている。この場合の開発目標は発電効率が50%HHV以上、コストが700ドル/kW以下となっている。

企業独自の開発としては、2001年設立のベンチャー企業Bloom Energyが100kW級のSOFCシステム(名称: ES-5000 Energy Server)の商品化に成功したことを2010年2月に発表している。技術の詳細は公開されていないが、動作温度800℃の25kW出力の発電モジュール4つで構成され、発電効率は50%LHV以上、販売価格は70～90万ドルとなっている。現在、Google、FedEx、Wal-Mart、eBayといった大手企業の構内で試験運転中であり、Bank of America、Coca-cola、Cox Enterprises (メディア大手)、Staples (オフィスサプライチェーン)等の施設への採用が決定しているとのことである。

この他に、金属材料支持型セルスタックの開発がLorence Berkley 国立研究所やカナダ Institute for Fuel Cell Innovationsで進められている。電解質はイットリア安定化ジルコニア (YSZ) から、スカンジウム安定化ジルコニア (ScSZ) +サマリウムドープセリア (SDC) などの高イオン伝導度酸化物膜の複合膜にシフトしつつある。いずれもスタック製造技術、電極材料のプロセッシングに特化して研究を進めており、実証段階には至っていない。また、NRC では600℃という低い作動温度でもクロム被毒が認められたという情報もある。

また、SOFC 関連の基礎研究としては、電極反応の素過程である電極表面での酸素の解離・脱吸着反応の情報を得るために、高次調和項を考慮した複素インピーダンス解析(ワシントン大)などの高度解析手法が研究されている。また、電極反応が主に起こる三相界面の分布を、イオンビームによる切削(FIB)と高分解能走査顕微鏡(SEM)を使って3次的にデータを取得し、それをコンピュータ上で復元する試みがArgonne 国立研究所およびノースウェスタン大学で行われている。

## (2) 欧州の動向

欧州において燃料電池・水素分野の技術開発は、欧州連合（EU）における科学分野の技術開発に関する財政的支援制度「Framework Programme for Research and Technological Development」の下で推進されている。このプログラムの予算推移を表 2.3-1 に示す。

また、このプログラムで取り扱われている SOFC 関係の技術開発プロジェクトを表 2.3-2 に示す。

表 2.3-1 Framework Programme for Research and Technological Development の予算推移

FP	Period	総予算 (M€)	エネルギー分野 (M€)	水素・燃料電池 (M€)
1	1984 - 1987	3,270	830	0
2	1987 - 1991	5,360	120	8
3	1990 - 1994	6,600	260	32
4	1994 - 1998	13,120	1,030	58
5	1998 - 2002	14,960	1,042	145
6	2002 - 2006	17,500	2,120	314
7	2007 - 2013	50,520	2,350	470

表 2.3-2 EU における SOFC 関係の技術開発プロジェクト

SOFCプロジェクト	プロジェクト目標	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
<b>■材料・構成部材の開発</b>									
Real SOFC	性能劣化低減セル								
SOFC600	低温動作セル								
SOFCSPRAY	低コスト化セル製法								
<b>■適用範囲の拡大</b>									
FLAME-SOFC	多種燃料対応CHP								
LARGE-SOFC	大型化システム								
<b>■バイオマス燃料の適用</b>									
BIOCELLUS	ガス精製等システム								
GREEN-FUEL-CELL	タール等対応システム								
BIO-SOFC	消化ガス対応システム								
<b>■輸送分野への適用</b>									
METHAPU	船舶用メタノールAPU								
<b>■コスト低減</b>									
DEMO-SOFC	低コスト化SOFC製造法								

表 2.3-2 に示すように、SOFC に関して様々な技術開発プロジェクトが推進されてきている。

例えば、SOFC の耐久性向上を目的とした「Real-SOFC」プロジェクトでは、劣化率の目標として 1.0%/1,000 時間が設定され、Hexis、Rolls Royce Fuel Cell、Juelich 研究所などのスタックが 10,000 時間の長期にわたって耐久性を評価された。その結果、Juelich 研究所のスタックが連続運転で 15,000hr 以上の耐久性を有することが確認された。しかしながら、100 回以上の熱サイクル試験では 20%以上劣化することも確認されており、電極構造と組成の組合せを適正化して劣化を低減することも検討されている。また、2007 年より開始した「SOFC600」

プロジェクトでは、移動体用補助電源（APU）を主なターゲットとした動作温度 600°C以下の金属支持 SOFC（Metal supported solid oxide fuel cell : MS-SOFC）の開発を進めている。現状は、電極面積 100cm<sup>2</sup>程度の MS-SOFC において動作温度 800°Cで出力密度 609mW/cm<sup>2</sup>、劣化率は 1%/1,000h 時間（2,000 時間の発電）が得られている。

企業の取り組みに注目すると、平板型 SOFC の開発が主流となっており、動作温度の低温化と金属サポートセルの開発が活発である。Ceramic Fuel Cells Limited（オーストラリアの企業であるが量産工場をドイツに保有。）は、70mm×70mm のセル 4 枚を 2×2 アレイに組み込んで大面積化を図った 2kW 級システム（名称：BlueGen）を開発しており、1.5kW 出力時の発電効率として 60%LHV を達成している。ドイツ、日本、イギリス、フランス、オランダ等においてフィールド試験による耐久性の検証を進めており、10,000 時間運転をクリアしたものも出てきているが、劣化率は 0.3%/1,000 時間と報告されてはいるが、実績値としては 1-2%/1000 時間と表明されている。また、Wärtsilä（フィンランド）は Topsoe Fuel Cells Ltd（デンマーク）より平板型スタックの提供を受け、天然ガス、バイオガス、埋立地ガス、メタノールを燃料に使用する定置用・船舶用の 20kW 級および 50kW 級システムを開発しており、前記した EU の開発プロジェクトに参加し、実証運転を行っている。発電効率は 20kW 級システムで 41～43%LHV（メタノール）、50kW 級システムで 47%LHV（天然ガス）が得られている。さらに、Staxera は電気出力が 1.1kW と 1.4kW の 2 タイプのシステムを商品化している。発電効率は 30%と低めではあるが、1.1kW システムで 5,000 時間、1.4kW システムで 1,000 時間を保証している。150 回のサーマルサイクルの検証も済んでおり、劣化率は 0.5%/1000 時間とのことである。Hexis は、円形平板型のセルを採用した 1kW 級システムを開発しており、セルの電気出力密度は 212mW/cm<sup>2</sup>（@0.7V、燃料利用率 82%）、発電効率は 30%、劣化率は 0.4%/1,000 時間となっている。各社のスタックいずれも今後更に耐久性を向上させる必要があるが、保証の設定や生産ラインを充実する会社も出てきており、普及に向けて着実に前進しているとの印象を受ける。

基盤技術に対する取り組みに関しては、Julich 研究所（ドイツ）と EMPA（スイス連邦素材研究所）が劣化観測手段の高度化について積極的に展開している。Julich 研究所においてはコンピュータ断層撮影（CT）、赤外カメラによるイメージング（短絡有無の検証）、X 線回折（残留応力、FIB 法による応力解析）、In situ 観測とアコースティックエミッション（熱サイクル、Redox）、SEM/TEMなどに注力している。EMPA においてはUSAXS（超小角X 線散乱法）、XANE（X 線吸収端構造法）、FIB によるナノCT、中性子によるスタックのCT スキャンなど、高額・大型機器を用いた研究が進められている。

## 2. 4 標準・規格・基準に係る状況

燃料電池の国際標準化活動は、1998年にIEC（International Electrotechnical Commission：国際電気標準会議）の中に設置されたTC105（Technical Committee 105：第105専門委員会）で進められており、これまでに8件のIEC規格（IEC62282シリーズ、燃料電池用語、燃料電池モジュール、定置用燃料電池システム－安全要件・性能試験法・設置要件、ポータブル燃料電池システム－安全要件、マイクロ燃料電池－性能試験法）が発行されている。これらの規格は、TC105の中に設置された11の作業会（WG）の中で検討が行われており、4つのWGで日本からコンビナを出しており、TC105の議長が日本人であることも合わせて、この分野で中心的な役割を果たしている。また、国内の標準規格であるJIS規格の制定は、2008年7月に安全基準など8件のJIS規格が発行され、一通り規格体系として整備された。現在は、国際認証制度なども念頭に入れながら、より詳細な内容を盛り込んだ技術内容を国際標準化していくことが重要となっており、2008年12月には小形PEFC性能試験法のJIS規格の内容をIECに新規提案した。今後は、定置用PEFCシステムの普及期において国際市場での優位性確立、国際間取引の円滑化を図るために、IEC62282シリーズの改訂作業の実施、国際標準化（IEC/TC105への新規提案）等に資する基準案の作成に取り組むことになっている。

一方、SOFCについても規格整備が必要となっており、10kW未満の小容量SOFCのJIS規格開発および関連JIS規格の見直し（7件）を行う目的で日本電機工業会（JEMA）「定置用燃料電池標準化委員会」の下に「SOFC標準化分科会」が設置され、SOFC標準化に向けた活動が開始され、2010年度末までに規格審議が終了する予定となっている。また、国際競争力を確保する観点から、NEDO事業「水素社会構築共通基盤整備事業」（2005～2009年度）において、JEMA「燃料電池国際標準化委員会」の下に「試験法調査WG」が設立され、標準化で先行する小形PEFCの標準化を参考に、SOFCの安全試験法および性能試験法の国際標準化に向けた検討が行われ、2009年度末に国際標準との整合化原案がとりまとめられている。今後は、国際標準化に向けた取り組みを定置用PEFCシステムと共通化し、小容量SOFCの国際市場での優位性確立、国際間取引の円滑化が図られる予定である。

## 2. 5 事業の目的・位置付け

本事業は、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するため、以下に示す基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的としている。

研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

- (a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究
- (b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

研究開発項目②「実用性向上のための技術の確立」

- (a) 運用性向上のための起動停止技術
- (b) 超高効率運転のための高圧運転技術

上記の各研究テーマは、その何れもが SOFC の市場導入において重要度の高い耐久性・信頼性の向上あるいは低コスト化の技術課題を取り扱うものであり、前記 2.1～2.4 で示した事業の背景、普及に向けた課題、海外動向、標準化・規格化の状況等に照らし合わせて見て妥当であると判断される。特に、耐久性・信頼性を向上させるため、別途進めている「固体酸化物形燃料電池実証研究」とも連携を取りながら、図 2.5-1 に示すような熱力学的・化学的・機械的解析および三相界面の微細構造解析による劣化機構の解明と加速劣化因子の抽出、劣化対策の立案・検証、余寿命評価式の確立等を産学が協調して進める本事業の取り組みは効果的であり、かつ新規性、先進性を有しているものと考えらる。

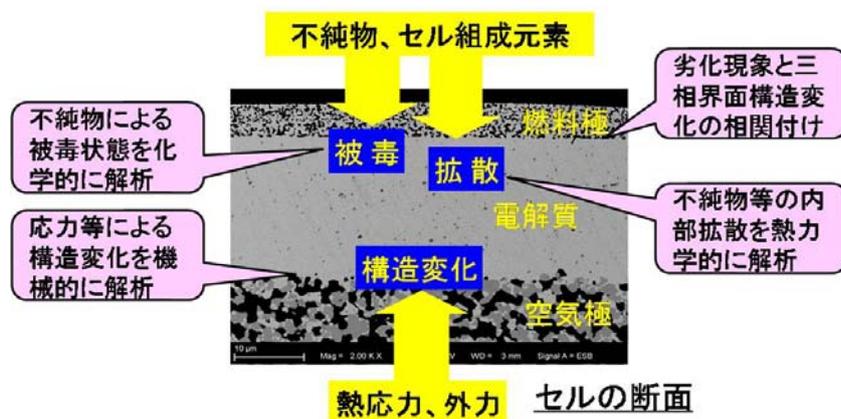


図 2.5-1 SOFC 耐久性・信頼性向上のための集学的取り組み

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

本事業の全体目的は、SOFC システムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することである。

本事業における研究項目・研究テーマとその最終目標（平成 24 年度末）を以下に示す。

#### 研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

##### (a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

4 万時間および起動停止 250 回の耐久性の見通し。加速劣化試験法の確立。

##### (b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

普及期のセルスタック製造コストとして 5 万円/kW 程度の見通し。

#### 研究開発項目②「実用性向上のための技術の確立」

##### (a) 運用性向上のための起動停止技術

4 万時間および起動停止 250 回の耐久性の見通し。

##### (b) 超高効率運転のための高圧運転技術

4 万時間の耐久性の見通し。超高効率運転のための高圧運転技術の確立。

上記に示した目標は、前記「I.事業の位置付け・必要性について」に記載した我が国における SOFC の市場導入シナリオ、技術開発ロードマップ（図 I -2.2-1 参照）、海外技術の動向等に照らし合わせて見て妥当であると判断される。

## 2. 事業の計画内容

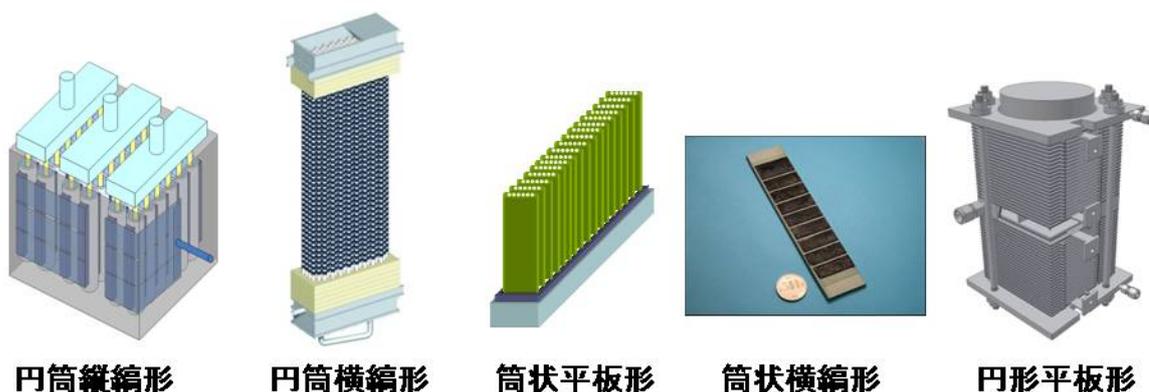
### 2. 1 研究開発の内容

#### (1) 「基礎的・共通的課題のための研究開発」の内容

##### (a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

複数のセルスタックメーカーと大学・研究機関が連携し、セルスタックの構造・製造法と劣化現象との相関を導出しながら、耐久性・信頼性の向上を図る基礎研究を行う。

検討対象のセルスタックは、図Ⅱ-2.1-1 に示すように、円筒縦縞形 (TOTO)、円筒横縞形 (三菱重工業)、円形平板形 (三菱マテリアル・関西電力)、筒状平板形 (京セラ)、筒状横縞形 (東京ガス) の 5 タイプである。これらセルスタックについて、各セルスタックメーカーと大学・研究機関が協力して、長期連続運転および起動停止運転を行い、性能低下を観測すると共に、運転後の解体調査し、劣化現象の把握と劣化機構の解明を行い、改良点などの抽出を行う。なお、「固体酸化物形燃料電池実証研究」に供されたセルスタックも解体調査の対象とする。



図Ⅱ-2.1-1 検討対象のセルスタック

本テーマの最終目標 (2012 年度末) および中間目標 (2010 年度末) は次の通りである。

○ 最終目標 :

4 万時間と起動停止 250 回の耐久性の見通し、および加速劣化試験法の確立。

○ 中間目標 :

熱力学的・化学的・機械的解析および三相界面の微細構造解析による劣化機構の解明と加速劣化因子の抽出、劣化対策の立案・検証、余寿命評価式の提案。

また、大学・研究機関を中心とした集学的な取り組みの概要を以下に示す。

① 熱力学的解析（産業技術総合研究所）

2 次イオン質量分析法(SIMS)を用いた拡散現象の分析を通じ、熱力学的な劣化要因の特定と劣化機構の解明に取り組む。

② 化学的解析（九州大学）

モデルセルの性能・耐久性試験による実験的評価と超高分解能顕微鏡観察による化学劣化メカニズム分析を通じ、化学的な劣化要因の特定と各因子の定量的評価手法を検討する。

③ 機械的解析（東北大学）

アコースティック・エミッション（AE）のウェーブレット解析などによるセル損傷のその場測定や運転時のセル変形や応力の発生に関する機械的解析を通じ、機械的な劣化要因の特定と各因子の定量的評価手法（セル構造体の機械特性シミュレーション手法）を検討する。

④ 三相界面劣化現象と微細構造変化の相関付け（京都大学、東京大学）

電気化学的に劣化したセルスタックの三相界面について、低加速電圧収束イオンビーム電子顕微鏡観察（FIB-SEM）や Raman 分光局所分析を通じ、三相界面近傍における微細構造変化と劣化の関係の明確化に取り組む。

⑤ 耐久性評価手法（電力中央研究所）

5,000～10,000 時間の耐久性試験の実施や耐久性試験データの解析を通じ、劣化要因の特定を行うと共に、種々の複合劣化要因を統合したセルスタックの余寿命評価式を検討する。

⑥ 石炭ガス化ガス中の微量成分影響調査(産業技術総合研究所、名古屋大学、岐阜大学)

石炭ガス化ガスに含まれる微量不純物（P、Na、S 等）の化学反応に伴う電極構造変化やセル発電特性への影響の有無について実験的・理論的な調査を実施する。

(b) 原料・部材の低コスト化および低コストセルスタック・モジュールの技術開発

金属インターコネクタ材料および電極材料を対象として（表Ⅱ-2.1-1）、複数のセルスタックメーカー（TOTO、三菱マテリアル、三菱重工業）と原材料・部材メーカー（日立金属、AGCセイミケミカル、共立マテリアル）が連携し、セルスタックの低コスト化を図る技術開発を行う。

表Ⅱ-2.1-1 低コスト化対象の原材料・部材

金属インターコネクタ材料		Fe-Cr系フェライト合金
セルスタック材料	燃料極	NiO-YSZ
		NiO-セリア
	空気極	(La,Sr)MnO <sub>3</sub>
		(La,Sr,Ca)MnO <sub>3</sub>
		(La,Sr)(Co,Fe)MnO <sub>3</sub>
		(Sm,Sr)CoO <sub>3</sub>

本テーマの最終目標（2012年度末）および中間目標（2010年度末）は次の通りである。

○ 最終目標：

普及期のセルスタック製造コストとして 5 万円/kW 程度の見通しを得る。

なお、普及時の生産規模としては以下を想定する。

- ・小容量（数 kW 未満）：生産数 5 万 kW/年レベル
- ・中容量（数十 kW～数百 kW）：生産数 15 万 kW/年レベル

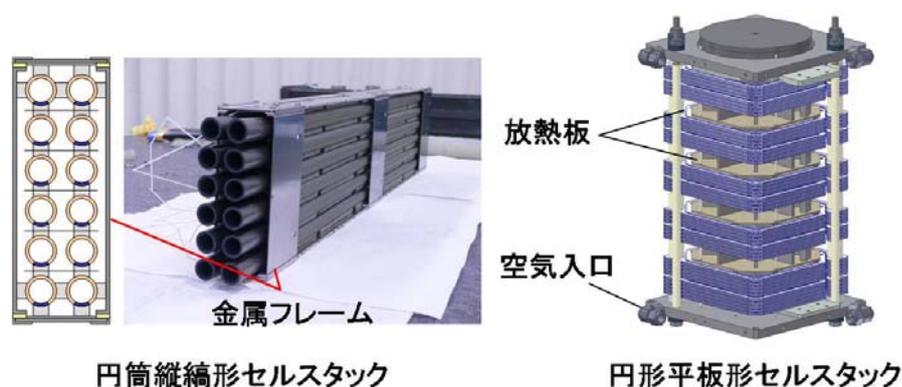
○ 中間目標：

セルスタックメーカーによる原料・部材の共通仕様の提案および低コスト化の課題抽出と解決方針の策定。

## (2) 「実用性向上のための研究開発」の内容

### (a) 運用性向上のための起動停止技術開発

中小容量の SOFC を業務用システムとして市場導入するには、DSS(Daily Start and Stop)、WSS(Weekly Start and Stop)、暖起動停止（ホットスタンバイ）、部分負荷運転等が可能であることが望ましい。そのための起動停止技術の開発を円筒縦縞形セルについて TOTO が、円形平板形セルについて三菱マテリアル・関西電力が担当し、安全かつ信頼性を有した起動停止方法の開発、セルスタック・発電モジュール構造の開発等を行う。開発対象のセルスタックを図Ⅱ-2.1-2 に示す。



図Ⅱ-2.1-2 検討対象のセルスタック構造

本テーマの最終目標（2012年度末）および中間目標（2010年度末）は次の通りである。

○ 最終目標：

5～10kW 級システムあるいは熱自立モジュールにおいて 4 万時間および起動停止 250 回の耐久性の見通し。

○ 中間目標：

起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造を確立する。

## (b) 超高効率運転のための高圧運転技術開発

数百 MW 級の天然ガス焼き SOFC-ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムの送電端発電効率は 70% (LHV) 以上が期待できる。また、石炭ガス化炉- SOFC-ガスタービン-蒸気タービン複合発電システムでも送電端発電効率は 60% (LHV) 以上が期待できる。このような超高効率の複合発電システムにおける SOFC の運転圧力は 2~3MPa の高圧となることから、これに適合させるための各種要素技術開発に三菱重工業が取り組む。

具体的には、高圧運転対応・コンパクト化を図った密充填構造カートリッジ(スタック集合体)を発電試験に供し、その構造健全性や耐圧性等を確認すると共に、図 II-2.1-3 に示すような複合発電システムとしての起動・定常運転・緊急停止時の保護インターロックの検証等を行う。

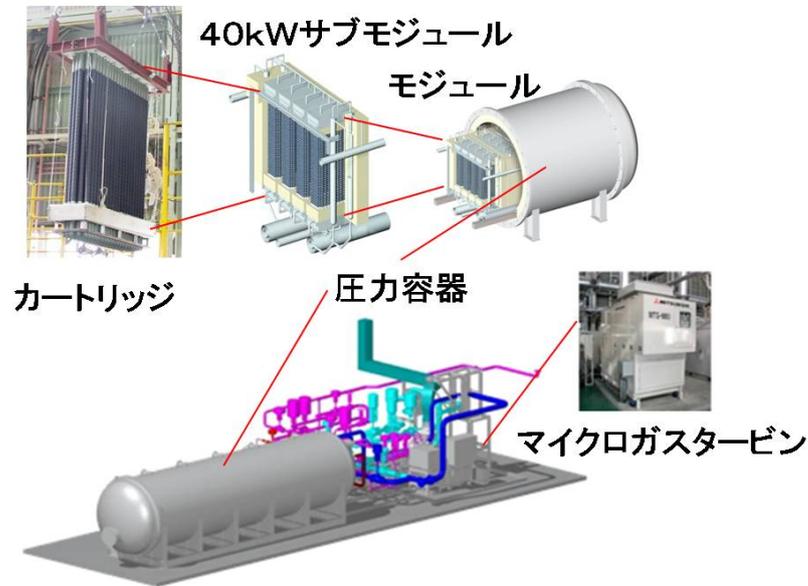


図 II-2.1-3 検討対象の SOFC-ガスタービン複合発電システム

本テーマの最終目標（2012 年度末）および中間目標（2010 年度末）は次の通りである。

○ 最終目標：

4 万時間の耐久性の見通しおよび超高効率運転のための高圧運転技術の確立。

○ 中間目標：

ガスタービンとの組合せに適う圧力範囲で、起動停止や緊急時の安全停止を可能とすること等、高圧運転のためのシステム技術の確立。

### (3) 研究開発スケジュール

本事業の研究開発スケジュールを表Ⅱ-2.1-2に示す。

表Ⅱ-2.1-2 研究開発スケジュール

研究開発項目	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
①基礎的・共通の課題					
(a) 耐久性・信頼性の向上のための基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長期運転と起動停止のセル内部機構への影響</li> <li>◆加速劣化試験法の検討</li> <li>◆発電に伴う微細構造変化のデータ解析</li> <li>◆性能表示式の策定、加速劣化試験法の検討</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆加速劣化試験法の適用検討</li> <li>◆寿命予測式の検討</li> </ul>	
(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆合金組成改良、表面処理適応による改良</li> <li>◆簡易耐久性評価技術による評価</li> <li>◆原料・部材の共通仕様候補の選定・試作・試作</li> <li>◆低コスト化に必要な技術課題の抽出</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長時間評価</li> <li>◆製造方法の確立、発電試験</li> </ul>	
②実用性向上					
(a) 運用性向上のための起動停止技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆起動停止試験による熱サイクル影響評価</li> <li>◆熱衝撃を緩和する構造検討(スタック、モジュール)</li> <li>◆要素試験の実施、起動停止条件の確立</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆システム設計</li> <li>◆システム運用性評価</li> </ul>	
(b) 超高効率運転のための高圧運転技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆セルスタック酸化還元サイクル耐性向上</li> <li>◆セルスタック・モジュールの耐差圧性向上</li> <li>◆要素試験の実施</li> <li>◆モジュール高圧運転対応・コンパクト化</li> <li>◆複合発電システム制御の信頼性向上</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆高圧下でのセルスタック発電特性試験</li> <li>◆複合発電システム試験</li> </ul>	

### (4) 研究開発予算の推移

本事業の研究開発予算（NEDO 負担額）の推移を表Ⅲ-2.1-3に示す。

表Ⅲ-2.1-3 研究開発予算（NEDO 負担額）の推移

研究開発項目	委託先	2008年度	2009年度	2010年度	合計
①基礎的・共通の課題(委託)					
(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究	産業技術総合研究所、電力中央研究所、TOTO、三菱マテリアル、関西電力、三菱重工業、東北大学、東京大学、名古屋大学、岐阜大学、京都大学、九州大学	1,015	960	417	2,392
(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	日立金属、TOTO、三菱マテリアル、三菱重工業、AGCセイミケミカル、共立マテリアル	180	171	122	473
②実用性向上(1/2共同研究)					
(a) 運用性向上のための起動停止技術	TOTO、三菱マテリアル、関西電力	59	69	27	155
(b) 超高効率運転のための高圧運転技術	三菱重工業	114	125	194	433
合計		1,368	1,325	760	3,453

## 2. 2 研究開発の実施体制

図 II-2.2-1 に本事業の実施体制を示す。

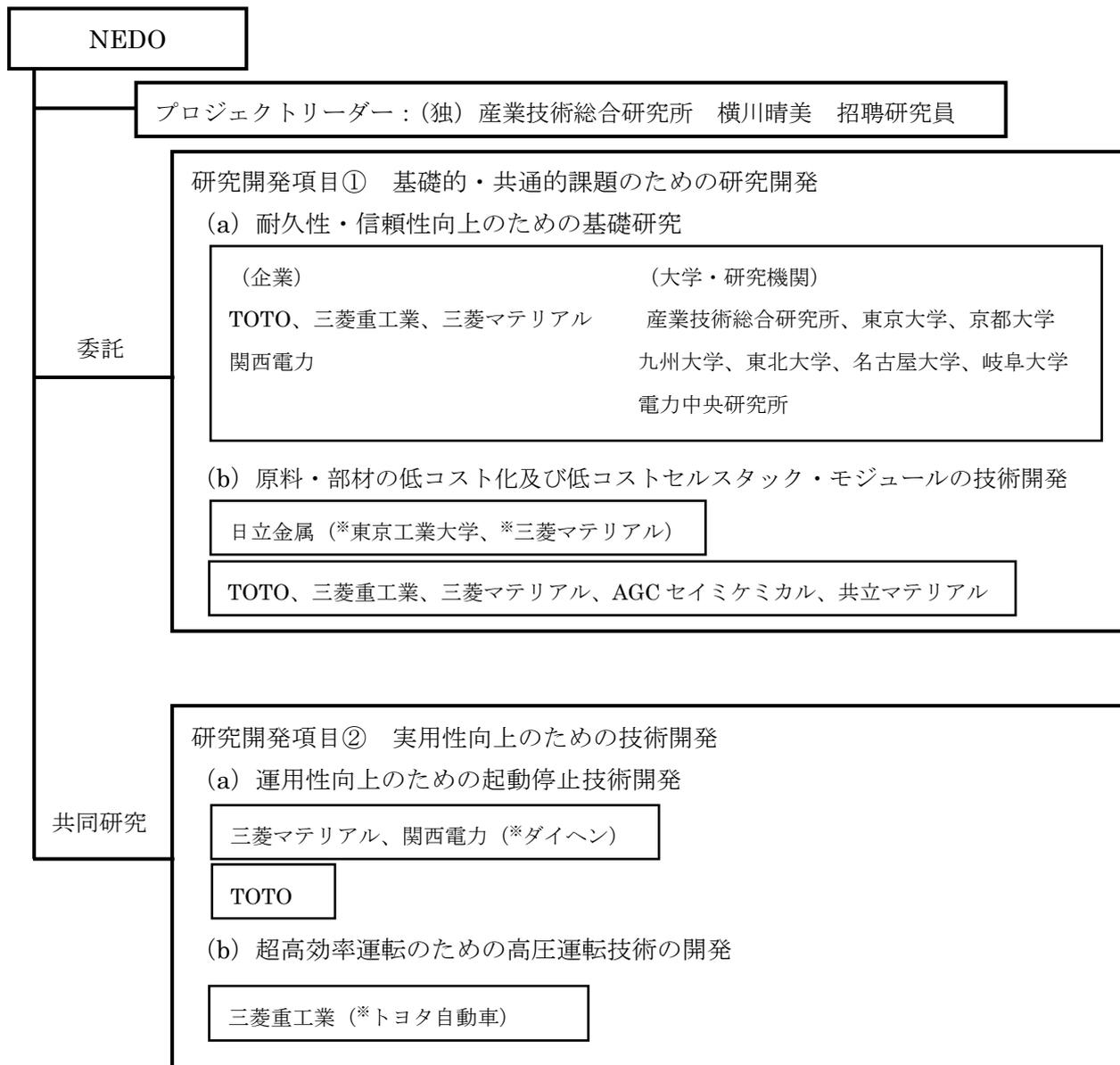


図 II-2.2-1 実施体制図

※再委託

本事業は NEDO がプロジェクトリーダー（PL）として委嘱した、産業技術総合研究所・エネルギー技術研究部門の横川晴美招聘研究員（兼務：東京都市大学特任教授）の下で実施する。横川氏は、SOFC の研究開発に 20 年以上関与し、熱力学への高度な知見を基本に SOFC の材料からシステムまでの幅広い知見を有し、我が国の SOFC の研究開発をリードしてきた第一人者である。最近では、2006 年に Fellow of The Electrochemical Society に推挙され、「熱力学データベース MALT の構築とその普及」に対して日本熱測定学会賞を受賞するなど、その研究成果や功績は世界的に広く認められている。また、前事業「固体酸化物形燃料電池システム技術開発／要素技術開発／信頼性向上に関する研究開発」の研究代表者としても高い知見と指導力を発揮し、優れた成果を挙げた。そのため、前事業で抽出された技術課題も把握しており、本事業の PL として最もふさわしい者と判断している。

## 2. 3 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切に運営管理を実施するものとしている。その具体的な取組みを以下に示す。

### (1) NEDO が運営する委員会

本事業のアドバイザーボードとして、表Ⅱ-2.3-1 に示す外部有識者委員で構成される「SOFC 推進助言委員会」を NEDO が運営している。表Ⅱ-2.3-1 に示すように、この委員会は年 2 回（半期に 1 回）の頻度でこれまで 4 回開催されている。この委員会には本事業の全委託先が参加すると共に、政策上の意向も反映するために経済産業省もオブザーバとして参加している。

この委員会においては、各委託先より研究開発の進捗状況について報告が為され、外部有識者委員より技術的な助言を受けると共に、事業全体の目標達成・効率的実施のための運営管理に関する助言・指摘を受けている。その結果、産学の連携が強化されており、例えば、「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」において大学・研究機関で取得されたデータ（劣化前後の三相界面の微細構造解析結果、不純物の影響評価結果等）がタイムリーに企業に提供される仕組みが整えられた。また、「実用性向上のための技術開発」における企業の課題についても、大学・研究機関と情報を共有し、共同で解決に取り組むこととなった。

表Ⅱ-2.3-1 「SOFC 推進助言委員会」の外部有識者委員

	氏名	所属、役職等
委員長	川口 修	慶應義塾大学 名誉教授
委員	山口 周	東京大学工学研究科 マテリアル工学専攻 教授
委員	高倉 毅	財団法人エネルギー総合工学研究所 研究顧問
委員	長野 克則	北海道大学大学院 工学研究科空間性能システム専攻 教授
委員	田畑 健	社団法人日本ガス協会 技術開発部長
委員	香川 公司	電気事業連合会 技術開発部 副部長

表Ⅱ-2.3-2 「SOFC 推進助言委員会」の開催実績

	開催日	場所	議題
第 1 回	2008 年 12 月 1 日	NEDO 川崎	全体計画について
第 2 回	2009 年 4 月 7 日	NEDO 川崎	2008 年度の成果について
第 3 回	2009 年 10 月 20 日	NEDO 川崎	2009 年度上半期の成果について
第 4 回	2010 年 4 月 23 日	NEDO 川崎	2009 年度の成果について

## (2) 委託先が運営する委員会等

### (a) 基盤コンソーシアム会議

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」に参画している大学・研究機関（産総研、九大、東北大学、京大、東大、電中研、名大、岐阜大）によって「基盤コンソーシアム会議」が運営されており、年 2 回の頻度で開催され、研究進捗に関する報告・討議が行われている。この会合には PL、NEDO および各スタックメーカーもオブザーバとして参加している。

また、この会議では、スタックメーカーから大学・研究機関に評価サンプル等の提供を行う際のスケジュール調整も行われており、共通の課題が多いセルスタックから優先的に評価する等、効率的な研究開発の推進を図っている。

さらに、海外から関係分野の研究者が来日した場合には臨時に会合を開催して情報・意見交換を行ったり、参加大学・研究機関間での情報共有化・連携を強化するための基礎研究討論会を開催している。

### (b) スタック高耐久化技術 WG

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」における長期耐久性試験の状況を確認することを目的として、「スタック高耐久化技術 WG」が運営されている。この WG は PL が主催し、産総研（事務局）、電中研、スタックメーカーおよび NEDO が参加し、年 4 回の頻度で開催している。

この WG では、耐久性試験の進捗に加えて、個別の劣化部位の報告・討議も行われる。また、産学の連携が進展した局面では、今後どのように各スタックメーカーと大学・研究機関が連携活動を行っていくかの調整も行うようにしている。

### (c) 金属インターコネクタ材料開発推進会議

「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」のうち、金属インターコネクタの開発を担当している日立金属によって外部有識者で構成される「金属インターコネクタ材料開発推進会議」が運営されている。この会議の外部有識者委員を表 II-2.3-3 に示す。この会議は年 2 回（半年に 1 回）の頻度で開催されており、日立金属、再委託先（東京工業大学、三菱マテリアル）、産総研、スタックメーカー数社および NEDO が出席している。日立金属より金属インターコネクタ材料の開発状況が報告されると共に、日立金属より提供された開発合金の評価結果等がスタックメーカーより報告されている。

表 II-2.3-3 「金属インターコネクタ材料開発推進会議」の外部有識者委員

	氏名	所属、役職等
委員長	横川 晴美	東京都市大学 総合研究所特任教授
委員	南口 誠	長岡技術科学大学 機械系 准教授
委員	鈴木 稔	大阪ガス株式会社 シニアリサーチャー

**(d) 低コスト化共通会議**

「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」のうち、低コスト化セルスタックの研究開発を担当する委託先により、「低コスト化共通会議」が運営されている。

この会議は年 4 回（四半期に 1 回）の頻度で開催され、材料メーカーとスタックメーカーが開発状況の報告・確認を行いながら、セル原材料の共通仕様の策定に向けた調整を行っている。

**(e) 実用性向上 WG**

「実用性向上のための技術開発」の各テーマの進捗状況を PL および NEDO が把握することを目的として、「実用性向上 WG」が年 4 回（四半期に 1 回）の頻度で開催されている。この WG グループには、必要に応じて「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」に参画している大学・研究機関も出席し、スタックの耐久性に係る情報等の共有化を図っている。

上記（1）および（2）に示した各種委員会等の開催実績をまとめて表 II-2.3-4 に示す。

**表 II-2.3-4 各種委員会等の開催実績**

	2008年度							2009年度									2010年度									
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
①SOFC推進助言委員会				○				○						○						○						
②基礎コンソーシアム会議			○						○				○							○	○	○				
③スタック高耐久化技術WG					○		○			○			○				○			○			○			
④金属インターコネクタ推進会議	○				○			○						○						○						
⑤低コスト化共通会議													○			○				○			○	○		
⑥実用性向上WG					○		○			○			○				○			○			○			

## 2. 4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

### (1) 実用化、事業化に向けたマネジメント

第 I 章「1. 1 NEDO が関与することの意義」に記載したように、燃料電池の普及には技術開発だけでなく、技術実証、制度の整備および標準化を一体的に進める必要があり、NEDO は本事業と並行して「固体酸化物形燃料電池実証研究」（2007～2010 年度）において SOFC システムの技術実証を、「水素社会構築共通基盤整備事業」（2005～2009 年度）において規制見直しと国際標準化の検討を進めてきている。

また、第 I 章「2. 2 SOFC 普及に向けた技術開発課題」に記載したように、NEDO は「SOFC 技術開発ロードマップ」を策定し、初期導入～普及までの技術開発課題、開発目標仕様等を整理し、ステークホルダー間で共有している。

さらに、2009 年 8 月には、SOFC システムが実際に実用化・商品化される際のユーザーとなるガス会社（大阪ガス、東邦ガス、西部ガス）、石油会社（新日本石油、出光興産、ジャパンエナジー）、電力会社（東京電力、北海道電力、東北電力、九州電力、電源開発）、その他日本電信電話、トヨタ自動車、日産自動車、燃料電池実用化推進協議会等が出席する意見交換会を開催し、開発の方向性や実用化に向けての戦略について議論している（今年度も秋に開催予定）。

### (2) 知財マネジメント

本事業の成果のうち、セルスタックの耐久性・信頼性の向上に係る知的財産は、各参画企業（セルスタックメーカ）の実用化・事業化において根幹となるものであり、重点的に確保するものとしている。なお、この場合においては、参画企業個別の戦略は尊重するものとしている。また、権利化した特許については逐次、報告書を NEDO に提出することを義務付け、NEDO において本事業の知的財産の権利化動向を把握するものとしている。

一方、大学・研究機関が主に実施する基礎的・共通的な研究で得られる解析評価・分析手法等に係る知的財産は、今後、「基盤コンソーシアム会議」において知的財産権取得の是非を議論し、権利化すべきものとそうでないものに仕分する予定である。また、国際標準化に資するデータについては日本電機工業会（JEMA）等の委員会・WG に対して積極的に提供するものとする。

## 3. 情勢変化への対応等

特になし。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 基礎的・共通的課題のための研究開発

##### 1. 1 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

###### (1) 事業概要

SOFCの開発は、材料間の化学的両立性、機械的両立性を保持しつつ材料選択、プロセッシング、スタック構造の開発の一体化された進展が必要とされる。近年、種々あるスタック構造についてそれぞれ大きな進展をとげ、実用的導入期への準備段階に入り、効率とともに耐久性・信頼性が重要な課題となっている。他方、燃料電池の劣化の把握、劣化機構の解明、改良の検証には多くの労力と長い期間が必要とされると予想され、早期に取り組むべき課題であることも「SOFC 将来構想に關提言」で指摘されてきたところである。

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」（平成 16 年度—19 年度）では、10kW～20kW 級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3,000 時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。特に、「固体酸化物形燃料電池要素技術開発」（平成 17 年度—19 年度）での「信頼性向上に関する研究開発」において耐久性・信頼性に関する問題点の把握と改良を行ってきた。その成果と課題を表Ⅲ-1.1-1 に示すまた、「固体酸化物形燃料電池実証研究」（平成 19 年度より開始）では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。

本計画では、前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」などで産業技術総合研究所および電力中央研究所が SOFC スタック製造会社と連携し行ってきたスタック・モジュールレベルでの劣化現象解明を更に継続深化するために、大学などの基礎研究を担う研究機関の参画を得集学的に取り組むこととともに、産官学の強固な連携の下に、4 万時間の耐久性(0.25%/1,000 時間以下の劣化率の実現) および 250 回の起動停止における耐久性・信頼性を見通しを得るために基礎研究を行うことを目的としている。また、最短の期間で長期間の耐久性を見通すために、従来 SOFC では難しいと指摘されてきた加速試験法についても検討することを目的としている。

###### (2) 事業目標（設定の理由も含め）

###### a. 目標

本事業全体の目標が 4 万時間の耐久性(0.25%/1,000 時間以下の劣化率の実現) および 250 回の起動停止における耐久性・信頼性を見通しを得ることであるため、本テーマ「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」では、スタックの長期運転を行うとともに、集学的取り組みを強化して劣化現象の物理化学的な総合的理解を得るとともに、加速試験に焦点を当てること、および、実証研究事業との強い連携を意識して、次の項目を実施することにした。

###### (a) スタック長期運転並びに起動停止時の信頼性評価

各スタック開発者が産総研と協力して、数千時間程度の長期運転並びに起動・稼働・停止実験を行い、劣化挙動を見極めると同時に劣化挙動の解析を行い、改良点などの抽出を行う。中間評価までに長期試験を複数回行うとともに短期的な運転と起動停止を連動させた試験を行い、性能低下を観測するとともに、試験後解体調査し、劣化現象の把握と劣化機構の解明を行う。

## (b) 劣化機構の解明、加速試験方法の確立

SOFC の耐久性・信頼性向上のために、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により、劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立を目指す。特に電気化学的性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを行う。またユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を確立する。

中間目標として、それぞれ劣化因子を系統的に測定したうえで、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。耐久性評価手法では、セルスタックレベルにおいて、劣化要因分析技術を確立し、ユーザーが容易に余寿命を評価できる余寿命式を提案する。

## (c) 統括とまとめ

PL および産総研が中心となり、スタックメーカー、産総研、電中研ならびに各大学における劣化機構解明の進捗状況をまとめ、集学的成果が得られるように常にプロジェクトの進捗状況を把握するとともに、取りまとめ業務を行う。

## b. 目標設定の経緯

スタックの耐久性（4 万時間耐久）の目標は、前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」で 4 万時間の耐久が未達であったことから再び 4 万時間が設定され、起動停止に関する目標は前プロジェクト「システム技術開発」において定置形の実用的な運用では起動停止に対する信頼性が重要であることから設定された。

長期間の耐久性を最短の検討時間で確立するためには、次のことが相補的に行われる必要がある。

- ① 少なくとも数千時間～数万時間の耐久試験並びに複数回の起動停止試験を実施して劣化率を測定し、その程度を把握する。
- ② 加速試験法の適用によって、試験期間を超えた長時間におよび耐久性を展望する。
- ③ 劣化機構解明を行い、加速試験法の基礎を与えると同時に、寿命予測法を確立する。

他方、SOFC の劣化現象には次のような特徴が認められる。

- ① スタック毎に劣化部位・挙動が異なる。したがって、ボタンセルだけの劣化挙動解析だけではダメで、実機セル、実スタック、実システムを用いた試験が不可欠となる。
- ② SOFC の場合には、包括的な加速劣化試験法の適用は困難であり、実際的には単一の加速劣化法はないと予想されている。たとえば、稼働温度を上げると全ての劣化現象が加速されるのであれば、容易になるが、低温化で加速される劣化もあるため、単純ではない。
- ③ 劣化機構解明なしの加速試験法は取り扱っている現象が複雑なため成立しない。このため、個別劣化現象の劣化機構解明が先決すべきものとなる。

本プロジェクトでの目標は、従って次のような構成になっている。

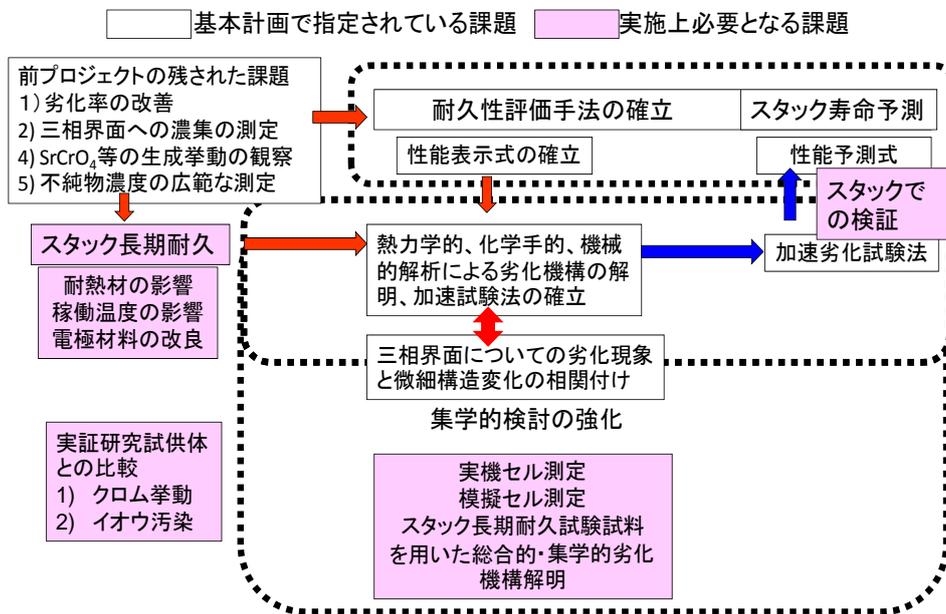
- ① 劣化機構解明から、加速試験法の立案と適用とをセットにした課題。「熱力学的解析」「化学的解析」、「機械的解析」のいずれも同種の目標となっている。異なる側面から劣化を検討することになるが、いずれの課題でも、パラメータとして変化させるべき物理量を基準にして加速試験を行うことを想定している。

- ② 三相界面における電極微構造と劣化とを関連づける課題では、加速劣化試験は想定はされていない。この課題では、電気化学的劣化現象に対してより総合的・集学的に対処することを想定しているためである。他の「熱力学的解析」「化学的解析」「機械的解析」も相互に三相界面グループと連携を図り、全体として統一のとれた発展をなされることを期待している。
- ③ 劣化機構解明の成果は、スタックに反映されなければならない。従って、そのためにはスタックの性能評価と微視的な性能評価との相関付けを明確にして置くとともに、性能の経時変化より劣化部位を明らかにすること、また劣化機構解明の成果を性能表示式に取り込むことによって寿命予測へ結びつけていくことが重要となる。

加速試験は、その適用性自身が未だ明確になっていないため、中間目標まではあまり複雑な現象を対象とせず、中間評価以降、複数の要因が絡む現象へと進展していくことが想定されている。

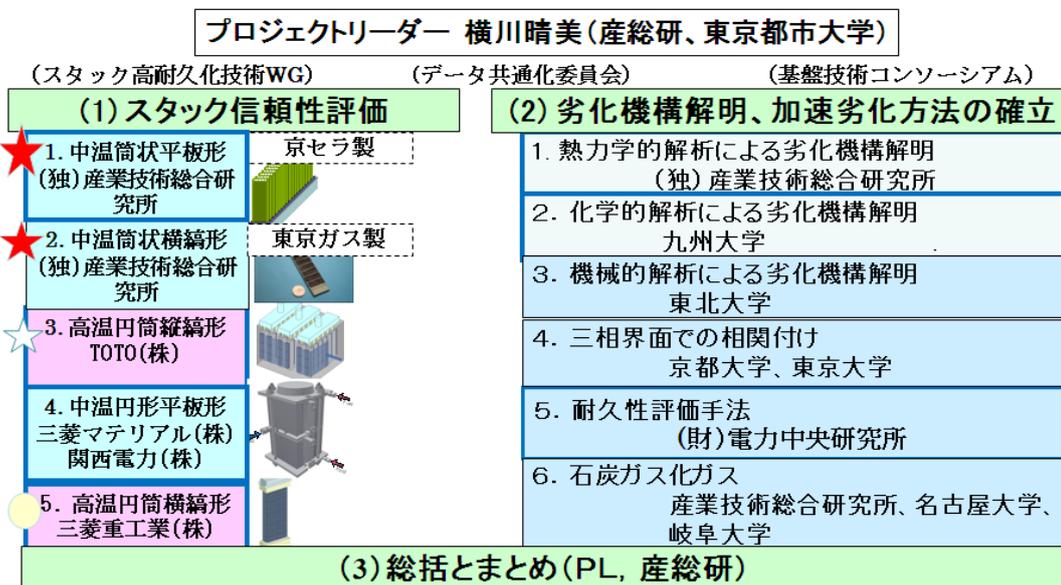
### c. 研究体制と研究スケジュール

基本計画で記載されている課題ならびに目標を遂行していくためには、スタックメーカー側との強力な産官学連携を推進する必要がある。課題的に表現すると図III-1.1-1 のようになる。それぞれのスタック自身の長期耐久性を行う試験の他、前プロジェクトで明らかになった個別課題の検討の他に、劣化現象の機構解明のためにはスタックレベル、実機セルレベルでの劣化現象をプロジェクト内で共有化するとともに、加速試験、性能予測などはスタックレベルでの検証も必要となる。



図III-1.1-1 基本計画に記載された課題と実施上必要となる課題並びに相互連携関係

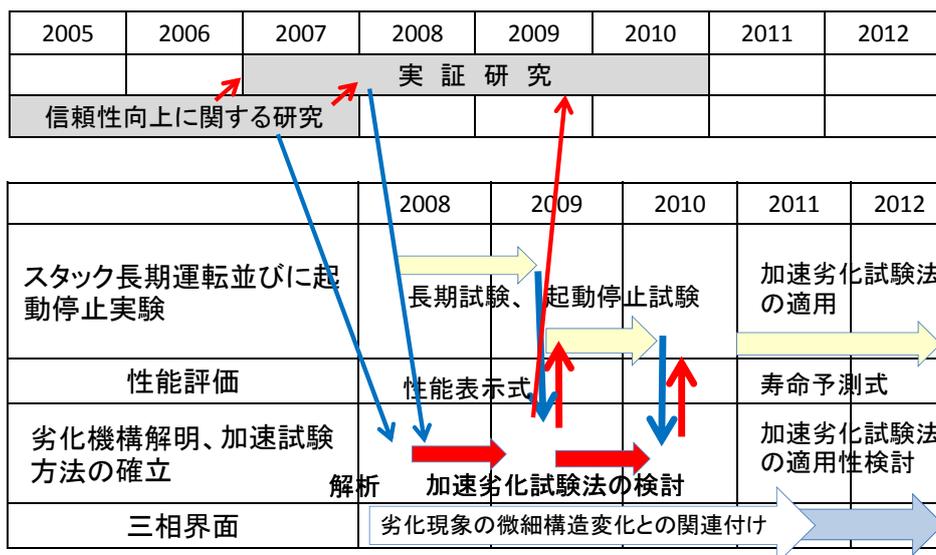
次に研究体制図を図Ⅲ-1.1-2に示す。上述したスタックに関連するものとしてスタック信頼性評価として5スタックが参画する。



図Ⅲ-1.1-2 研究体制図

実施開始当初は、スタック側と基盤側の相互連携があまり進展せず、有効な結果もでにくい状況であったので、産官学連携を強化するために、スタック側で既に手元にある長期耐久試験などの試料を組織的に基盤側へ提供するように調整し、連携が活発になるようにアレンジした。研究スケジュール並びにスタック側と基盤側の試料交換を軸にした連携関係を図Ⅲ-1.1-3に示す。

スタック改善と基盤技術開発の相互連携の模式図



図Ⅲ-1.1-3 研究スケジュールと連携関係

### (3) 事業成果

#### a. 事業成果、達成度

本プロジェクトで取り上げている5スタック構造のうち4スタック構造については、前プロジェクト「信頼性向上に関する基礎研究」で取り上げているので、各スタックの5,000時間以上運転した実績並びに今後の課題として残されたものを表Ⅲ-1.1-1に示す。

表Ⅲ-1.1-1 前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」成果と今後の課題

形式	平均劣化率 /1,000 時間	抽出された問題点
円筒横縞 (スタック)	0.83% 0.61%	Cr 被毒対策 (コーティング、クロム蒸発対策、耐性向上); 性能改善; Redox 対策
筒状平板 (スタック)	1.5% 0.9%	セル接続金属の耐久性向上 (材料、コーティング方法の検討); 劣化機構の解明と加速評価法の確立; Redox 対策
円筒縦縞 (モジュール)	1.6% 1.67%	不純物元素と耐久性の見極め; 廉価な断熱材の使用可能性; 電解質・インターコネクタの改良・最適化
円形平板 (モジュール)	0.54% 0.81%	不純物の供給源の特定; 劣化要因と劣化率との相関; より 長期的な現象の把握; 化学的・機械的相互作用; Redox 対策

5スタック構造について抽出された課題を解決するために新たに数千時間程度の長期間運転並びに起動停止実験を行うとともに、劣化現象解明を集学的に行うため、二次イオン質量分析計 (SIMS) による物質移動過程の調査・解析 (産総研)、FIB-SEM による電極構造の変化と劣化との相関の検討 (東大・京大)、S-TEM による微少領域における化学変化・構造変化の解析 (九大)、種々の機械的性質の測定と解析 (東北大学) を実機セルに適用し、共通的特徴を明らかにするとともに個別スタック毎の特徴を明らかにした。また、電極が関与する劣化現象の一般的モデルを構築し、加速劣化試験法の基盤を構築した。各スタック毎に明らかにされた劣化現象と製造工程との関連、改善法などについての整理を行った。

(a) スタック長期運転並びに起動停止時の信頼性評価

最初に、スタック劣化挙動解析と耐久性・信頼性の現状と課題を表III-1.1-2に示す。

表III-1.1-2 各スタック・モジュールにおける個別の試験結果、検討劣化要因および今後の課題

形式	前プロジェクト		耐久性試験結果	起動停止試験結果	検討劣化要因	今後の課題
	結果	抽出課題				
中温筒状平板形	1.5% /1,000h	空気極/電解質界面のSr拡散 セル接続金属の酸化被膜増大、Cr蒸発、不純物	0.7% /1,000h	0.01%/回	空気極中間層セル接続金属	コーティング法の検討；コーティング材の最適化
中温筒状横縞形	(参画せず)		0.31% /1,000h	0.008%/回	微小リーク 中間層Sr拡散 空気極Cr被毒	空気極中間層の一層の改良 不純物の影響の評価
高温円筒縦縞形	耐久性：1.7% /1,000h； 起動停止7.6%/12回)	電解質の安定性 酸化物IC安定性 燃料極	1.1% /1,000h	1.4% /CSS8回 +HSS47回	・電解質粉末化 ・燃料極Ni粒子移動、凝集 ・インターコネクタ緻密性不足 ・仕切り板からのリーク	・電解質粉末化および燃料極Ni粒子移動、凝集の原因究明と対策立案 ・インターコネクタ緻密性向上 ・仕切り板構造見直し
中温円形平板形	耐久性：0.51% /1,000h 3.6%/40回熱サイクル	電解質の信頼性 燃料極凝集 金属IC	0.30% /1,000h	0.045%/回	・燃料極中のNi凝集 ・セパレータからの金属の蒸発	・Ni凝集と劣化率との関連把握と対策 ・発電セルの破損防止対策
高温円筒横縞形	0.83% /1,000h	クロム被毒 空気極信頼性	0.76% /1,000h		・空気極 ・Cr被毒	・空気極中間層の最適化

以下では個別スタック毎の進捗状況を表で表す。

i. 中温筒状平板形耐久性の評価

表III-1.1-3 中温筒状平板形の進捗状況と展望

	プロジェクト開始時			現状	目標達成までの展望
	劣化率 2,000h以降	劣化要因	対策・改善		
単セル	0.55%/1000h	空気極/電解質界面でのSr拡散	・中間層組織改善 ・中間層厚み均一化	0.08%/1000h	・熱加速により4万時間後のSrの影響予測。 ・影響少ない。
スタック	1.5%/1000h	セル接続金属における酸化皮膜増大と抵抗増	・金属のコーティング改善中	0.7%/1000h	・コーティング法の検討。コーティング剤の最適化。 ・電流密度低減によるジュール熱低下。 ・上記改良により4万時間耐久(105)達成の見込み

ii. 中温筒状横縞形耐久性の評価

表III-1.1-4 中温筒状横縞形の進捗状況と展望

劣化現象	劣化要因 (特定出来た部分)	耐久性への 影響度	対策・改善	目標達成までの展望
局所再酸化	微小ピンホールが増大	(評価中)	影響・挙動の把握	微小ピンホール導入試験 (東北大)等により確認
電解質近傍での オーム損増大	空気極/電解質界面での Sr 拡散	大	反応防止層改善	2010 年度に改善効果検証
			反応性の抑制検討	現象機構などを検討
アノード過電圧 増加	燃料不純物	中	劣化の定量的把握	S 被毒試験 (九大) により影 響度把握、設計へ活用
上流・端部セル の劣化	空気極の Cr 被毒	小	Cr 供給源の 表面コーティング	一部済 2010 年度試験で更に改善

iii. 高温円筒縦縞形耐久性の評価

表III-1.1-5 高温円筒縦縞形の進捗状況と展望

劣化現象	劣化要因	耐久性への 影響度	対策・改善	目標達成までの展望
非発電部の電解 質粉末化	空気極からの元素拡散 など	極大	・製造条件見直しに よる元素拡散抑制	・劣化原因究明 ・対策セル分析、効果検証
燃料極中間層 Ni 粒子焼結、移動	現在調査中	大	・FIB-SEM、S-TEM で 分析中	・原因究明、対策立案
インターコネクタ/中間 層の微構造変化	・インターコネクタ緻密性不足 ・断熱材、金属からの不 純物元素の混入	中	・インターコネクタ膜 ・高充填化、ガス気 密性向上	・耐久試験による効果検証
燃料極中間層へ の Si, P の濃集	・断熱材、金属からの不 純物の混入	小	・断熱材使用量低減	・不純物の耐久性にもたら す影響の定量化

iv. 中温円形平板形耐久性の評価

表III-1.1-6 中温円形平板形の進捗状況と展望

劣化現象	劣化要因	耐久性への 影響度	対策・改善	目標達成までの展望
燃料極の 性能低下	・燃料極中の Ni の凝 集 (粗大化)	大	・燃料極の組成変化によ り焼結性を向上して Ni の 粗大化防止 ・燃料極焼結温度の上昇	これまでの改良により劣化 率低減を確認。Ni 凝集と劣化 との把握により、更なる耐久 性の向上が見込まれる。
セルの 破損	・電解質中の欠陥 ・セルの熱膨張収縮 ・セパレータが及ぼす 変形応力	大	・電解質均質性の向上に より高強度化 ・応力解析を実施予定	セル破損防止策と影響を研 究機関と連携して対策を進 めており、課題克服が見込ま れる。
不純物の 堆積	・燃料、空気から供給 ・セパレータ金属から の蒸発	中	・特定不純物(S)等の影響 を研究機関と調査中	不純物が燃料極中の Ni 凝集 を促す可能性について、研究 機関と精査しており、今後、 劣化に対する影響度が解明 される。

v. 高温円筒横縞形耐久性の評価

表III-1.1-7 高温円筒横縞形の進捗状況と展望

劣化現象	抽出された劣化要因	推定原因	耐久性への影響度	対策	目標達成のための展望
空気極過電圧と IR 損が増加	空気極/電解質界面での経時的な Cr の濃集	空気供給/排出用の金属管 (スタック試験装置固有) からの Cr 蒸発	大	・セラミックス管へ変更	Cr 堆積量の低減を確認
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LSM-YSZ 中間層の減肉</li> <li>・LSM-YSZ 界面 (中間層/電解質、中間層内) において、ポアが経時的に生成し増加</li> <li>・LSM-YSZ 中間層において Ca、Mn、Y の移動および Y 消失 <math>ZrO_2</math> 層 (m 相)、<math>(Ca, Sr)ZrO_3</math>、<math>(Zr, Mn, Ca, Y)O_2</math> 層、<math>(La, Sr, Ca, Y)MnO_3</math> 層の生成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気極導電層/中間層材料組成</li> <li>・製造条件 (焼成温度、膜厚等)</li> <li>・緻密な中間層</li> </ul>	大	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中間層材料 (LSM-YSZ から SDC へ) と製造条件を変更</li> <li>・中間層の多孔質化</li> </ul>	SDC 中間層の耐久性検証および劣化要因の抽出 →耐久性は改善されたが、中間層および中間層/導電層界面に緻密層形成、活性点にボイド生成
	電解質ラップ部インターコネクタの緻密度不足 (初期組織)	インターコネクタの焼結不足	小	焼結性向上により密度向上	対策済
	空気極寄りのインターコネクタにボイドが経時的に生成し増加	製造時にインターコネクタ粒界に拡散した Ca が移動	中	空気極組成、製造条件適正化	要素技術検討

## (b) 劣化機構の解明、加速試験方法の確立

この課題が最も重要な箇所であるが、本節では各課題の成果を個別的に示し、集学的な取り組みは、次節(c)総括とまとめて成果を示すこととする。

### i. 熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

5つの異なるSOFCスタックにおける不純物蓄積濃度、界面元素移動量などを二次イオン質量分析計(SIMS)で測定し、劣化との相関を明らかにした。反応速度論データの取得と相平衡計算、実験により劣化基礎データを集積した。加速劣化試験法として、SO<sub>2</sub>被毒、CrO<sub>3</sub>被毒を空気極に対して検討し、供給量が指標として適用できることを解明した。

表III-1.1-8 熱力学的解析の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
①「スタックの劣化挙動解析とまとめ」	(中間目標)スタックでの物質移動(不純物との反応)・劣化要因・機構の解明 (最終目標)電圧低下率0.25%/1000時間	<ul style="list-style-type: none"> <li>・前プロジェクトを受けて、改良セルを搭載したスタックの耐久試験後(2000-5000h)の不純物分析を SIMS でおこなった。</li> <li>・これまで検出された不純物について、劣化機構の体系化をおこなった(Cr 被毒及び S 被毒の例)。さらに、P、Cl 等の不純物についての影響を検討した。</li> <li>・スタック劣化要因の解明と対策の提言(当初電圧劣化率0.5%/1000h レベルから0.3%/1000h 以下を見通す段階へ)をおこなった。</li> </ul>
②「劣化基礎データの共通基盤化」	物質移動量測定・寿命予測に必要となる界面での元素・カチオン拡散係数、駆動力判断のための化学ポテンシャル図、などの劣化基礎データの集積	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気極((La,Sr)(Fe)O<sub>3</sub>)/中間層 Gd<sub>0.2</sub>Ce<sub>0.8</sub>O<sub>2</sub> 界面での元素相互拡散現象解明、拡散係数の集積(1000-1100oC の領域)をおこなった。→長期運転時の寿命、安定性予測を可能にする。</li> <li>・不純物が関与する構成材料界面での相平衡図(化学ポテンシャル図)を構築すると共に実験的な検証を行った。</li> <li>・燃料極酸化物、電解質材料における相変態現象を発見し、劣化に及ぼす影響について解明した。</li> </ul>
③「反応駆動力と輸送量を制御した加速劣化試験法の確立」	加速劣化試験法として適用できる指標の抽出	<ul style="list-style-type: none"> <li>・SO<sub>2</sub>による被毒の解析では、SO<sub>2</sub>濃度を1-100ppmで変化させ、(Sm,Sr)CoO<sub>3</sub> 空気極での電極性能低下との相関を解明した。</li> <li>・Cr 蒸気による劣化に関して、空気極材料による化学的反応性と電極反応機構の相違による Cr 蓄積分布、凝集量を解明すると共に寿命予測を検討した。</li> </ul>

## ii. 化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

一般不純物を一種類ずつ電池セルに供給して、1,000 時間前後の長時間耐久性を実測することで化学劣化メカニズムを分類体系化することができた (国際賞受賞)。並行して世界でも例のない、スタックメーカー5 社の実セルの被毒耐久試験を本格開始するとともに、長時間試験後の企業セルの電子顕微鏡 (STEM) 観察によって拡散を伴う化学劣化機構を明確化した。

表III-1.1-9 化学的解析の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
①化学的劣化メカニズムの解明と長時間被毒要因の体系化	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数ヶ月 (数千時間) スケールでの主要不純物種による劣化挙動とサイクル特性の測定評価</li> <li>・主要元素について、数千時間までの化学的劣化要因の体系化と加速試験法の提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・主要被毒種のうち、<u>硫黄、塩素、リン、ホウ素、シロキサン</u>については、<u>数十～最長 3,000 時間の被毒試験を実施し、性能変化と微細構造変化の実測結果から長時間被毒メカニズムを解明。</u></li> <li>・<u>アルカリ金属元素やアルカリ土類元素</u>についても短時間の被毒試験を開始。</li> <li>・被毒挙動の不純物濃度依存性から、<u>許容濃度を試算。</u></li> <li>・量子化学計算によって、<u>原子レベルでのミクロな被毒メカニズムを解明。</u></li> </ul>
②実燃料・用途対応型の次世代 SOFC の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・千時間までの電圧低下低減を実現できる耐被毒電極材料の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電極反応場を高く保持する<u>遷移金属成分添加アノードを開発し、3,000 時間までの耐久試験を実施して、硫黄による電圧低下の抑制効果を確認。</u></li> </ul>
③実セル・スタックレベルの被毒劣化モデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一次元の発電特性劣化モデルの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>燃料利用率を変えた被毒試験を実施し、システム上流から下流 (一次元) で硫黄被毒挙動に大きな差がないことを確認。</u></li> <li>・<u>実機での被毒挙動解明に向け、スタックメーカー5 社の実セルの被毒耐久試験を開始。</u></li> <li>・<u>長時間(1,000 時間まで)試験後の企業実セルの電子顕微鏡観察(STEM)で拡散種による化学劣化メカニズムを解明。</u></li> </ul>

### iii. 機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

スタックの機械的損傷の発生時期を AE 法によって特定するとともに、抽出した劣化因子に関する模擬セル試験装置を作製し、応力分布および形状変化の測定を実施した。これらの結果を再現するシミュレーションコードを開発し必要な基礎物性、機械的特性を取得・定式化した。

表III-1.1-10 機械的解析の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
①セル・スタック評価	機械的損傷が関与する劣化現象の特徴を抽出。負荷因子を把握し、劣化現象との対応関係を解明。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械的損傷の特徴をセルスタックの対称性に着目して整理した。実スタックでの損傷発生をアコースティックエミッション (AE) 法で検出する手法を開発した。</li> <li>・実スタックでの、<u>負荷因子と劣化現象の対応関係を調査</u>し、①強拘束スタックでの熱・化学膨張による応力発生とセルの破壊、②弱拘束スタックでの非対称セルの変形とセル間接合の劣化③薄膜電解質の初期欠陥周囲のガスリークと亀裂の伸展、を共通性の高い課題として抽出した。</li> </ul>
②模擬セルによる検証	機械的劣化現象の特徴を抽象化して再現する模擬セルと、負荷印加試験装置を試作。劣化因子の影響を定量評価する過負荷試験法を確立。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>強拘束平板模擬セルへの応力発生</u>をその場ラマン分光により評価した。また苛酷試験時の亀裂伸展を、位置分解 AE 法で明らかにした。基礎データと微細構造に基づく均質化応力計算により、これらの現象を半定量的に説明する結果を得た。より精密な計算にはクリープ変形の取扱が必要であることが分かった。</li> <li>・<u>弱拘束非対称模擬セルの形状変化</u>をレーザー変位計によるその場測定で定量化した。熱膨張と還元膨張による変形が異なる時定数で影響することがわかった。急速昇降温時のスタックの AE 測定を行い、初期変形時以降には接合が安定化することを確認した。</li> <li>・ピンホールを有する薄膜電解質の欠陥周辺部のラマン分光測定を行い、酸化還元とともに周辺の電解質の残留応力を測定し得ることを確認した。</li> </ul>
③基礎データ取得・整備	セルを構成する主要材料の物性データ、機械的特性データを整備・取得し、データベース化。必要な実験手法およびシミュレーション手法を開発・高度化。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<math>(La,Sr)(Co,Fe)O_3</math>、<math>(La,Sr)(Ga,Mg,Co)O_3</math>について酸素の不定比性および格子定数の測定を行い、欠陥平衡モデルに基づいて定式化した。</li> <li>・YSZ、ScSZ、<math>CeO_2-Gd_2O_3</math>、<math>CeO_2-Sm_2O_3</math>、<math>(La,Sr)(Ga,Mg,Co)O_3</math>について、共振法、スモールパンチ試験または4点曲げ試験を制御雰囲気下で実施し、弾性率と破壊強度を取得した。</li> <li>・Niサーメットの高温曲げ特性を測定し、高温還元雰囲気中で延性が生じることを見いだした。</li> <li>・構成材料の酸素不定比性、混合導電性、高温機械特性を考慮して酸素ポテンシャル勾配の形成と応力の発生を計算するコードを開発した。</li> <li>・電極の微細構造の影響を均質化法に基づいて取り入れる応力解析手法を開発した。</li> <li>・第一原理計算による Ni-YSZ 界面エネルギーの計算と、これに基づく粒子凝集の計算に着手した。</li> </ul>

iv. 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

SOFC の様々な作動条件下で起こる劣化条件を集積するとともに、劣化前後のセルを微細構造観察機器(FIB-SEM や FE-TEM) を用いて観察した。FIB-SEM を用いた電極の三次元再構築を行い、解析手法の精度評価、三相界面長さなどの構造パラメータと性能の相関評価、過電圧予測や電気化学ポテンシャル分布の予測を実施した。

表Ⅲ-1.1-11 三相界面の中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
1)各種運転条件での劣化挙動観察	様々な劣化条件下で、実セルまたはモデルセルの電気化学的な劣化挙動に関するデータを蓄積。得られた劣化条件を他の項目と共有。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・様々な条件下において起こる電気化学的な劣化・活性化挙動に関するデータ収集（アノード；・過剰水蒸気，酸化還元，炭素析出，カソード；LSM/YSZ 界面で起こる初期通電効果）</li> <li>・他の実施項目と劣化条件を共有し，研究を加速。</li> </ul>
2)セルの評価・診断と劣化要因の抽出	三相界面近傍の微細構造及び局所組成分析、結晶相の同定及び構造解析、表面組成分析等を行い、劣化速度パラメータに関連した現象を抽出。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIB-SEM を用いて劣化前後の電極の三相界面長さや構成成分の分布変化を定量化（過剰水蒸気および酸化還元劣化時）。</li> <li>・FE-TEM を用いて LSM/YSZ 界面のナノスケール微細構造および局所組成の解析を実施し，通電による格子欠陥の変化を明確化。</li> <li>・長時間運転試験に供した企業セル（5 社）の電極微構造変化を FIB-SEM を用いて定量化し，劣化要因との相関を明確化。</li> </ul>
3)三次元微構造の直接測定とデータベースの構築	FIB-SEM を用いてモデルセルの電極微構造の二次元スライス画像を取得する。画像処理により三次元電極構造を再構築し、構造データから微構造パラメータを集積。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FIB-SEM を用いて取得した二次元断面画像から三次元再構築画像を取得する手法を確立。</li> <li>・三相界面抽出法として領域拡張法および重心法を提案し、信頼性の高いデータを取得する手法を確立。</li> <li>・三相界面抽出法および屈曲度ファクタ定量法の精度検証を行い，精度が保たれる空間解像度を明確化。</li> <li>・同一セルから撮像領域の異なる三次元構造を再構築し，微細構造パラメータに及ぼす撮像サイズの影響を明確化。</li> </ul>
4)三次元微構造データに基づくシミュレーション技術開発	炭素析出およびRedoxによる劣化前後のモデルセルを用いた実験を行い，発電を行ったセルの微構造を観察し，得られた微構造パラメータをシミュレーションモデルに反映。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・取得した電極の微構造データを用いた平均化モデルによるアノード次元計算から過電圧を予測し，実測値と良い一致を示すことを明らかにした。</li> <li>・イオン・電子・ガス種の拡散と三相界面での電気化学反応を連立させた格子ボルツマン法による過電圧予測を行い，FIB-SEM再構築構造内の三次元ポテンシャル分布を予測。交換電流密度，気相拡散モデルの精度向上が課題であることを明らかにした。</li> </ul>

## v. 耐久性評価手法の確立

＜中間目標＞セルスタックレベルにおいて、劣化要因分析技術を確立し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を提案する。

以下の表のように、現状で実証試験に供される、または今後、実証試験が見込まれるセル・スタックを対象とし、5,000～8,000 時間程度の長期耐久性試験を通じてスタック性能を統一的手法で評価し、劣化部位がどこであるかを明らかにした。

表Ⅲ-1.1-12 耐久性評価手法進捗状況

セルメーカー	性能表示式の形式と 耐久性試験 $Ra = a_0 \times (P_{H_2})^\alpha \times (P_{H_2O})^\gamma$ $Rc = c_0 \times (P_{O_2})^\beta$	耐久性評価(性能評価データより) 電圧低下率(%/1000hr)				備考
		Anode $\eta_a$	Cathode $\eta_c$	Ohmic $\eta_{ir}$	Output V	
中温筒状平板形 (京セラ)	$\alpha = -0.5, \beta = -0.5, \gamma = 0$					・800℃、750℃共に内部抵抗増加が劣化主要因
	800℃試験(19K-2),8kh	0.07	0.08	0.84	0.98	
	750℃試験(20K-3),8kh	0.06	0.04	0.25	0.27	
	700℃試験(21K-2),1kh経過	-	-	-	-	
中温筒状横縞形 (東京ガス)	$\alpha = -0.5, \beta = -0.5, \gamma = 1.0$ (検討中)					・性能表示式開発
	775℃試験(21T-2),2kh	-	-	-	-	
高温円筒縦縞形 (TOTO)	$\alpha = -1.0, \beta = -1.0, \gamma = 0$ (暫定) TOTO社内試験,2.5kh	○	-	○		・取得データ精度が悪く、定性的評価を実施
中温円形平板形 (三菱マテリアル 関西電力)	$\alpha = -0.5, \beta = 0, \gamma = 1.0$					・性能表示式開発 ・改良セル2は長期安定性、改良セル3はレドックス耐性向上
	改良セル2(21M-3),6kh経過	-0.19	0.04	1.05	0.79	
	改良セル3(21M-4),6kh経過	0.50	0.00	0.78	1.31	
円筒横縞形 (三菱重工業)	$\alpha = -1.0, \beta = -0.5, \gamma = 0$					・4号機は空気導管にSUS管使用 ・6号機は空気導管にセラミックス管使用 ・7号機は空気極中間層にセリア系
	Cr被毒対策なし(4号機),10kh	-0.07	0.6	0.36	0.89	
	Cr被毒対策試験1(6号機),5kh	-0.15	0.84	0.07	0.76	
	Cr被毒対策試験2(7号機),5kh経過	0.00	-0.05	0.00	-0.11	

## vi. 石炭ガス化ガス中の微量成分の影響に関する調査研究

Factsage 等の熱力学平衡計算ソフトを活用して石炭固有の微量重金属成分と SOFC セル（アノード、電解質等）構成材料の間の反応挙動に関する予測（微量成分の個々の成分が単独存在している場合や複数成分が共存する場合）を行った。また、褐炭やバイオマスなどに含まれるアルカリ金属蒸気の還元雰囲気下での揮発挙動や Si との反応による固化反応に関する検討を行った。

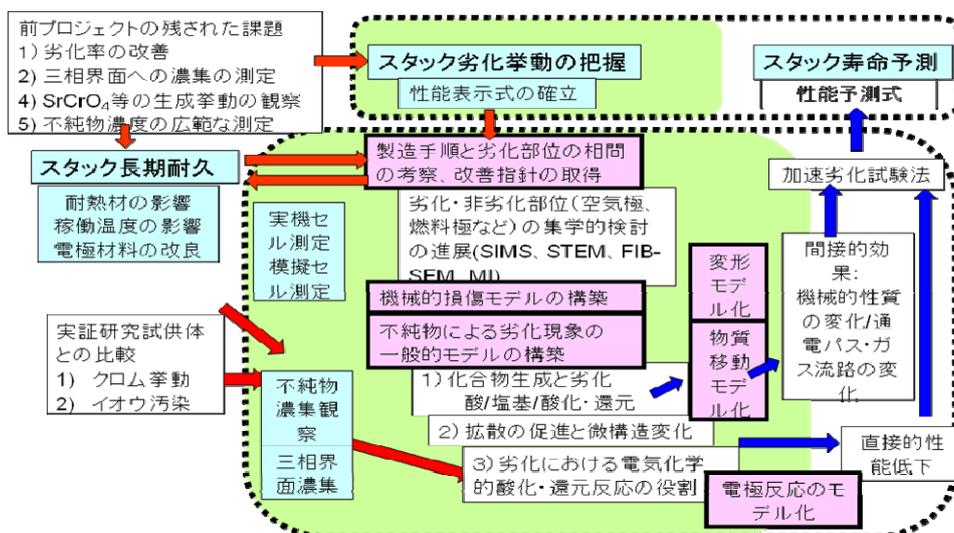
石炭ガス化ガス模擬ガスに種々の方法で微量重金属成分等をドープし、不純物曝露・発電試験を実施した。その結果、石炭中には Ni の溶融を促す成分や、Ni と反応し二次生成物を形成するものが存在することを明らかにした。

表Ⅲ-1.1-13 石炭ガス化ガスの中間目標、進捗および成果

研究開発項目	中間目標	中間評価までの進捗、成果
1) 熱力学的アプローチによる調査 (名大、岐大)	石炭に含まれる微量成分の石炭ガス化炉内およびガス化プロセスにおける揮発・凝縮特性および分配挙動を熱力学的に検討し、SOFC アノードガスへ混入し、電極の性能低下をもたらし得る成分の絞り込みを行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・石炭ガス化炉内で As、P、Se などの微量成分の素反応あるいは熱力学的平衡条件から揮発・凝縮特性およびその形態について明らかにし、炉内において P などは Se や As は生成ガス中に、P はスラグなどにそれぞれ分配されることを示した。</li> <li>・石炭部分酸化型気流層ガス化プロセスにおいて、微量成分を含む石炭構成成分のガスやスラグへの分配挙動に関するモデル化を行った。その結果、揮発性の高い Hg、Cd、As 等が生成ガス中に混入する可能性が高いことを示した。</li> <li>・Ni (電極構成材) が As、P などの微量純金属と反応し、二次的生成物を形成することを示した。</li> </ul>
2) 実験的アプローチによる調査 (産総研、名大、岐大)	石炭水蒸気ガス化で得た可燃性ガスあるいは EAGLE プロセスにおいて製造されている燃料の模擬ガスを用いた単セル発電試験を行い、発電性能に対する石炭ガス化ガス中微量成分の影響の有無、大小について調査を行う。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・石炭の水蒸気ガス化によって得たガスを用いた単セル発電試験において、著しい発電性能の低下と Ni の凝集が生じることが見出された。また低温灰化灰ペレット投入試験においても Ni の熔融・凝集が確認でき、石炭中微量成分によるアノードの化学的な劣化が生じることを実験的に示した。</li> <li>・炭酸ナトリウムペレット投入試験においてアノード表面への Si と Na と共晶物の析出が生じることを見出した。ガス中のわずかに存在する Si 蒸気と Na との反応生成物と考えられる。</li> </ul>

(c) 総括とまとめ

プロジェクト開始当初あまり定かでなかった産官学間の連携をよりスムーズにするために、PL と産総研が中心となってスタック側で問題視している劣化部位を、各基盤研究機関側の解析手段との関連で整理し、共通課題として取り組むべき課題を明確にした。各スタックと基盤側との連携は個別毎の対応と成らざるを得ないが、全体としてまとまる方向を常に意識して総合調整した。このようにしてまとめた劣化機構解明と加速試験法への流れの全体像を以下に示す。



図Ⅲ-1.1-4 劣化機構解明進捗状況のまとめ

### a. 製造過程と劣化部位の相関

スタック耐久性評価結果と劣化機構解明結果を統一的に把握するための重要なステップとして、製造工程と劣化との相関を検討したところ、興味深い相関が認められた。

スタックの製造から運転にいたるプロセスは次のようにいくつかの工程に分けられる。

- ① 電解質の緻密化過程。この工程で、支持体も同時に焼結過程を経る。電解質支持以外では、どちらかの電極が同時に成膜される。(電解質・電極界面 I)
- ② 残る電極膜の製造
- ③ セルの積層
- ④ 酸化ニッケルの還元
- ⑤ 運転の開始。長期間耐久時の不純物
- ⑥ 起動停止 (サーマルサイクル) の影響

いずれも電解質部分を緻密化するプロセスに続く電極層の焼き付け工程と深く関連していることを見いだした。

表III-1.1-14 製造工程と劣化部位の相関

	製造手順	空気極	電解質	燃料極	IC	接続	その他
中温筒状 平板形	燃料極支持型 電解質、IC 空気極	◎ 拡散				○	金属の空気中での使用 シール材使用 (低温部 位)
中温筒状 横縞形	支持体使用、燃料極、 電解質;IC;空気極	◎ 拡散					シール材低温部位で使 用 リークの克服
高温円筒 縦縞形	空気極支持型電解質、 IC 燃料極		● 燃料 極側	●		△	シールレス;燃料極側で 不純物濃度大、Cr 被毒 なし
中温円形 平板形	電解質支持 燃料極;空気極 金属 IC	反応	○	●		○	シールレス;金属 IC; 燃料、空気中での不純物 多い
高温円筒 横縞形	支持体使用 燃料極 電解質、IC 空気極	◎ 拡散 Cr				△	Cr 被毒検出 リークの改善

電解質と同時に成膜される部位

●:解決に取り組んでいる課題;◎解決策が見えてきた課題;

○:解決が必要な課題;△:注視している課題

### b. 局所平衡近似の適用と一般化された劣化モデルの構築

電極の劣化を取り扱う際に、水崎らが提唱し、横川らが空気極と電解質の化学的安定性解析に用いてきた局所平衡近似を全面的に取り上げた。電極物質に関連した成分と気相種との反応による化合物生成、吸着などによる拡散の促進、電気化学的活性点の直撃のほか、酸化・還元にともなう体積変化に起因する機械的不安定性も同じ近似で取り扱えるため、三相界面近傍の現象からより高次な現象まで取り扱える。また、近年米国エネルギー省 (DOE) の SECA (Solid State Energy Conversion Alliance) プログラムの中で精力的に行われている

石炭ガス化ガス中の不純物の影響も、このモデルを用いれば、石炭ガス固有の問題がより一般化されたモデルの中で他の現象と同じ手法で取り扱えるようになった。

これら二つの視点は、いずれも本プロジェクトの中で、対象としている組成変動、微構造変化、変形にともなう応力発生などの理解とモデル化を一体的に推進するのに非常に役立っており今後も更に充実すべきものと判断する。

## c. 成果の意義

### (a) 集学的取り組みにおける方法論の確立

#### i. 電解質・電極微構造の検討

前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」では SIMS を用いた不純物濃度の測定が成功裏に行われた他、異種界面近傍での化合物生成・相互固溶の観測に威力を発揮した。三相界面近傍での不純物濃集の測定を試み、良い結果を得たので、本プロジェクトでは三相界面に濃集する不純物の測定に焦点を当てた。三相界面領域では、FIB-SEM による三次元微構造の構築が予想以上に威力を発揮し、従来は全く手がつけられなかった現象を詳細に検討することが出来るようになった。特にナノサイズのポアが生成するような領域で、そのポアが閉じているか開いているかなどを FIB-SEM 解析で得られた三次元像より導出できた。同じ領域で STEM を用いた解析でどのような元素が拡散していく過程でどのような化合物を生成しているかが分かるようになった。またマイクロインデンテーションを適用することによりナノ領域での機械的性質を調べることができるので、ナノサイズポア形成の影響を調べることができた。このよう種々の測定手段を駆使することにより、よりの確により総合的に劣化現象を把握することが出来るようになった。

シミュレーション技術も重要な役割を担っている。「熱力学的解析」で蓄積している拡散データを用いて、長期的な構造変化を予想することができる。また、あまりデータの蓄積のない表面エネルギー・界面エネルギーの理論的な導出によって、より実機セルの挙動を理解出来るようになることが期待される。

#### ii. 機械的安定性に対する方法論の確立

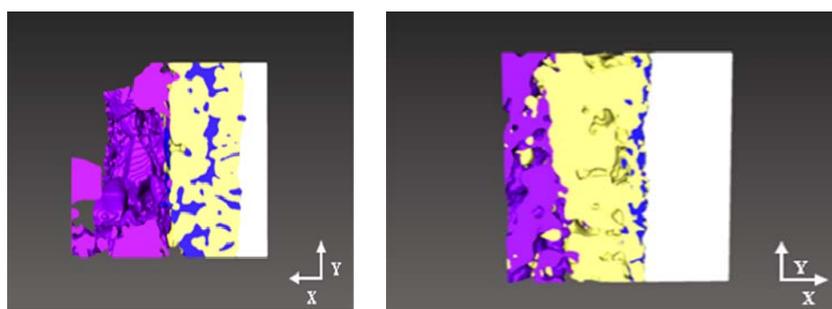
機械的な安定性がどのように運転中あるいは起動停止時に変化するかは、熱膨張に起因する体積変化とともに酸化・還元起因する体積変化をも考慮する必要がある。また、電極等の微細構造は応力分布の形成に重要なファクターとなるため、基礎物性データの集積とともに、FIB-SEM で得られた電極微構造データも必要となってくる。また、長期耐久後の信頼性の評価のためには、運転中に局所組成が変動する効果を取り入れる手法が有効であり、これには拡散データと反応性の情報とを用いることができる。このような基礎データと電極材料・電解質材料・インターコネクタ材料の欠陥の科学による理解を元にしたシミュレーションによって機械的安定性をより総合的に集学的に行うことが出来るようになった。

## (b) 共通課題の取り組み

各スタックで認められた劣化部位について集学的に検討し、劣化を生じさせている電極材料・電解質材料の変化の観測・解析を行い、物理化学的な総合的理解を試み、その克服策を検討してきた。以下では、材料別に関連する項目を整理して成果の意義を述べる。

### i. 中温筒状平板形空気極の改良と改良前後の解析

前プロジェクトにおいて中温筒状平板形の空気極構造の検討を行い、空気極と YSZ 電解質との反応防止用に挿入する希土類添加セリア層の中を Sr が拡散し、生成した SrZrO<sub>3</sub> が空気極劣化の一因となるのでは無いかとの課題抽出を行い、改善が施された。このセルでは、初期劣化はあるものの 1,000~2,000 時間以降では劣化しないことが確認された。中間層中の Sr の拡散と SrZrO<sub>3</sub> 相生成挙動を明確にするために、京大・東大グループが本プロジェクトの中で立ち上げた FIB-SEM を用いて中間層を含む空気極周辺の SEM 像を解析し、YSZ 電解質・Gd ドープセリアから SrZrO<sub>3</sub> を識別・分離することにより、SrZrO<sub>3</sub> 生成域を可視化しその三次元像を明らかにすることができた。FIB-SEM による電極構造に関する解析は数多く行われているが、このように劣化に直結する工学的に重要な反応生成物の可視化は世界的にも初めてであり、今後のさらなる適用のための基盤が構築された。



図III-1.1-5 FIB-SEM を用いた SrZrO<sub>3</sub> 生成域の可視化。

(改良前後の中間層を長時間稼働後に、比較したもので、左赤：空気極、中央黄：セリア；右白：電解質、紺：反応物)

この手法を中間層の改良前後の長時間耐久後試料に適用することによって、上図のような違いを明らかにすることができた。更に特定された生成域近傍での元素分析を行うことによって、成膜直後の状態と稼働中における SrZrO<sub>3</sub> 生成挙動との比較が可能となり、製造過程にフィードバックが出来るようになってきた。

また、このような中間層の利用は中温筒状横縞形あるいは高温円筒横縞形における空気極の改良とも密接な関係をもつ。特に中温筒状横縞形においてはほぼ類似の成膜法を採用しているため、相互比較も可能になっている。

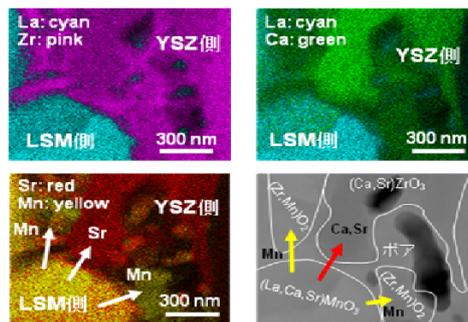
Sr の拡散経路としては、気相経由、粒界経由、表面経由が想定されるが、そのいずれが最も大きな寄与をしているかは、いまだ明確な実験的事実がない。産総研で行っている拡散対実験において、空気極ペレットと中間層ペレットに隙間がある場合とない場合とで拡散プロファイルが異なり、隙間がないと Sr ではなく La が拡散するという結果を得た。このため、Sr 拡散には気相が大きな寄与をしていることが示唆された。通常の成膜法ではセリア層が緻密に成らずポアが生成することから成膜法の重要性を示唆するものと思われる。

特に、中間層の形成、空気極の成膜はセル製造段階の最後で行われるため、比較的取り得る手段が多く、その良否を判定する材料が重要であるところに、このような SrZrO<sub>3</sub> 生成に直接関与する特徴を三次元的に明らかに出来るようになったことは、今後の中間層の改良のスピードアップに貢献するものと期待される。

## ii. 高温円筒横縞形空気極の劣化部位の解析

高温円筒横縞形の劣化挙動については前プロジェクトにおいて詳細に検討され、空気極の劣化は三相界面に濃集したクロムによる被毒では無いかと示唆された。本プロジェクトでは、さらに集学的に検討を行った。東大・京大グループによる FIB-SEM による空気極・YSZ 電解質界面での三次元像の解析においては、空気極を構成する LSM と YSZ とのコンポジット電極を個別に認識することはできなかったものの、空気極・電解質界面近傍に生成したマイクロポアを発見し、その三次元像化に成功した。東北大学におけるマイクロインデンテーションの実験ではこのように生成したマイクロポア周辺での微視的機械強度を測定し、ポア生成と機械的強度には相関が無いことを明らかにした。また、九州大学では STEM による空気極・電解質近傍での詳細な観察を行い、前プロジェクトで電中研が明らかにしていた中間層（活性層）の薄肉化、Ca の空気極から中間層の流入がどのような微視的過程で進行したのかを調べた。Ca 成分が流入してきたことにより (Ca,Sr)ZrO<sub>3</sub> 生成とともに Y 成分の LSM への移動、Mn 固溶 ZrO<sub>2</sub> の単離、ポアの生成が複合した現象であることを明らかにした。

本スタックにおいても空気極はセル・スタックの最後の工程で成膜される場所であるが、今回集学的に検討した現象の大本の原因としては、Ca 成分が意図しないにも関わらず中間層に流入していたことが挙げられる。工程管理の最適化が必ずしも良好ではなかったためと思われる。円筒横縞形では、セリア中間層の利用など種々の試みを行って空気極の改善を図っているところであるが、本プロジェクトで明らかにした現象・その原因は今後の改良に役に立つものと期待される。



図III-1.1-6 円筒横縞形空気極・電解質界面（5,000h 運転後）の詳細解析

## iii. ポア形成とその物理化学的理解

筒状平板形空気極中間層、円筒横縞形空気極・電解質界面でポアの生成、進展を観測したが、同様なポア形成は円筒横縞形酸化物インターコネクタ材中でも観察されている。このような現象が起こる背景には陽イオンの拡散機構が場所によって異なることが想定されることから、産総研における陽イオン拡散係数の実験的検討の他に、現在東北大学においてシミュレーションを行い総合的な理解を得る方向で検討している。

#### iv. ジルコニア系電解質の相変態的安定性の検討

ジルコニア (特に 8YSZ) は 1,000°C 以下の高温で保持するとイオン伝導度が減少しやがて一定値に落ち着くことは良く知られており、セルの初期劣化の一つとして想定されているものである。本プロジェクトでは 4 スタックがジルコニア系の電解質を用いているので、長時間運転後の電解質の相変態についてラマン分光を用いて産総研で測定を行った。

立方晶の正方晶への相変態はいずれもニッケルサーメット電極中のジルコニアで最も顕著に観測され更に燃料極と接触する電解質表面から数マイクロン奥まで認めることができた。これらは、上述の予想と整合しない結果となった。実機ではジルコニアの相変態によるイオン伝導度の低下による性能低下はあまり大きくないのではないかと推測され、今後更に注意深くこの相変態挙動を調べることにした。

円筒縦縞形では、いずれの測定箇所でも正方晶化がはっきりと観察され、更にこのスタックでは電解質の粉化という現象も観測されていることから、粉化領域の詳細な観察を九大に依頼し、更に粉化の機構解明については産総研、東北大学、TOTO とが協力して進めているところである。

#### v. 燃料極 I (高温処理済み)

アノードの劣化挙動は大きくスタックによって分かれた。燃料極を電解質と同時に製膜するスタックでは、ほとんどニッケルの凝集は認められず劣化率も低かった。筒状平板形では、ニッケル粒子径の時間変化を観測しており、初期 5 千時間で 25% 大きくなるものの、その後の成長はなく、安定的な状態に入ったと判断される。支持体方式の円筒横縞形でも筒状横縞形でも、支持体と電解質を一体化させる工程で燃料極を製膜するため、同様な熱処理が行われ、ニッケルの凝集はほとんど起こらない。

#### vi. 燃料極における予想外の Ni 凝集の観測と解析

他方、燃料極をセル製造工程の最後にするスタックでは今回大きなニッケルの凝集が認められた。図 III-1.1-7 に示した試料は、前プロジェクトで 3,000 時間運転した後に更に 3,500 時間自主運転したスタックにおける燃料極の解析結果を示す。

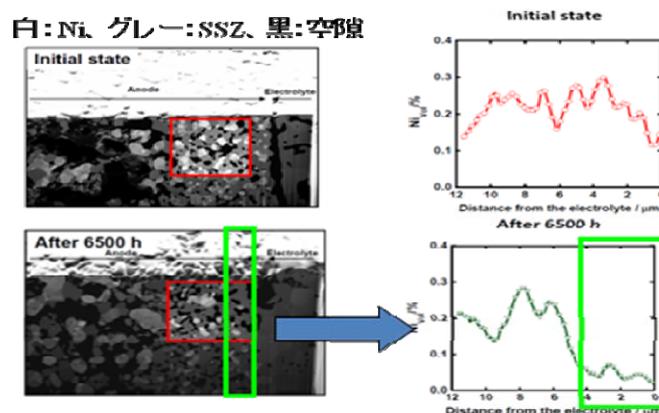


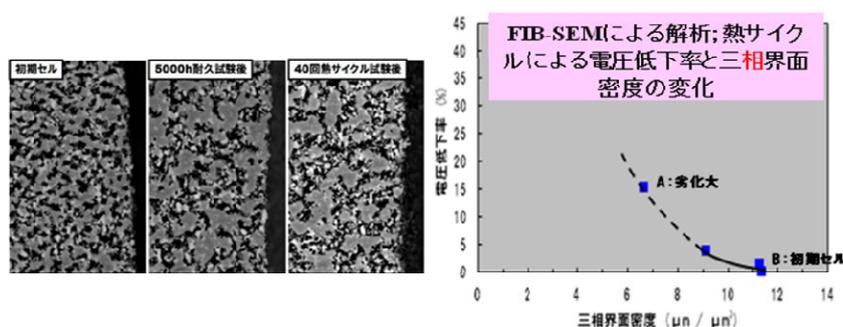
図 III-1.1-7 円筒縦縞形 6,500 時間運転後試料のニッケル凝集の FIB-SEM による解析

FIB-SEM の解析では、電解質と燃料極との界面が同じ視野に入るように調整したのち測定が行われ、ニッケルが存在する部分を分離しその分布を燃料極・電解質界面からの距

離で示すと上図のようにニッケルの凝集とともに、電解質界面からの後退が認められる。この駆動力は明らかに表面エネルギーであり、表面エネルギーが変化したかあるいは拡散が促進されたためと思われる。

更に、円形平板形においてもニッケルの凝集が顕著に観察された。

このスタックにおけるニッケルの凝集は、長期耐久試験後に観察されたばかりでなく、熱サイクル試験後に顕著なニッケルの凝集を示したことによる。上図で示したのは、顕著にニッケルが凝集している箇所を比較したものであるが、5,000時間の耐久と40回の熱サイクルとではほぼ同程度のニッケルの凝集を起こしていることが容易に見て取れる。ニッケルの凝集の駆動力は表面エネルギー、界面エネルギーなどの静的なエネルギー差であると想定されるものの、稼働温度以下への熱サイクルで凝集が加速されることは、単なるバルク拡散・表面拡散などの物質移動過程の他にその原因を求めるべきであろう。



図Ⅲ-1.1-8 円形平板形において観察されたニッケルの凝集  
(同一スタック内でも性能劣化に差が認められるが、ニッケルの形態変化と強い相関を示した。)

図の右側に示したものは、同一スタック内にあるものの性能劣化率が異なるものを抽出して FIB-SEM 解析を行ったものであるが、性能低下とニッケルの微構造変化（図では三相界面密度を使用）が強い相関を示していることが明らかになった。このことはニッケル凝集を促す速度論的要因・平衡論的要因が同一スタック内であっても場所の依存性が強いことを示唆している。産総研が測定した不純物の観点からみると、このスタックは S,P などの燃料極への堆積が他のスタックよりも平均していつも多いことが指摘できる。Ni-S 系、Ni-P 系における共融点の低下による影響などが強く示唆される。

#### vii. ニッケル凝集の今後の集学的取り扱い

上述したように京大・東大グループによる FIB-SEM を用いた三次元微構造変化の解析はニッケルの凝集がどのように起こったかを把握するうえでは極めて貴重な情報を提供している。このような実機レベルでの劣化電極を複数取り扱っているグループは他の国にはないので、今後とも有力なツールとなることが期待される。

ニッケルが凝集する機構を解明するに当たって、最も有力な考えは局所平衡モデルに基づいた考察であろう。今回取り上げた現象ばかりでなく、京大・東大グループで観察している水蒸気による凝集についてもその視野に入れる必要がある。特に、ニッケルの表面エネルギー、ニッケルと酸化物との界面エネルギーについての知見は乏しく、集学的に取

り組む必要が大いにある。表面・界面エネルギーの計算、硫黄などの効果などについては東北大学、九州大学現在検討を進めている。産総研においては、二元系相平衡で現れる共融現象が、実際の燃料電池雰囲気下でどのような温度、酸素分圧、燃料組成（化学ポテンシャル）の関数として現れるかを化学ポテンシャル図の構築を行って検討している。

更に、ニッケルの凝集による効果の全体像を把握するために、実機セルのようなファイブに調整された状態から、完全に焼結凝集してしまうまでの全プロセスを把握すべく、凝集モデルの構築に着手すべきものと考えている。産総研では、三次元的なサーメット電極では観察するのに多くの労力を必要とすることから、二次元化された条件下での形態観察を試みている。また、東北大学・九州大学では三次元における凝集モデルの構築に着手した。

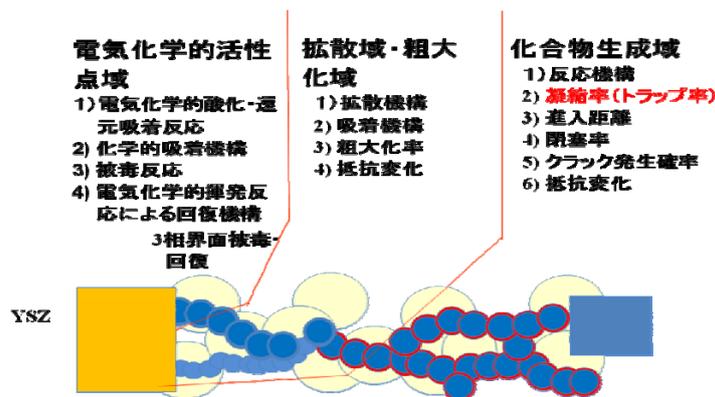
このような検討の中で、現在想定されている表面エネルギーが不純物あるいは水蒸気によってどの程度変化するのも含めて行うことができれば、適用範囲の広いモデルが構築出来るのではないかと考えられる。

### viii. 加速劣化試験法の準備

#### (i) 一般化されたモデルの構築

前プロジェクトから空気極の劣化に関する現象（特にクロム被毒）の整理と劣化機構解明を行い、その成果を元にして、本プロジェクトでは、気相によって移動してくる不純物の量が性能劣化を図る一つの大きな示票になること、さらには物理化学的な電極物質と不純物との相互作用を定量化することによっていくつかの領域に分類出来ることを考察してきた。

更に、近年米国 DOE の SECA プロジェクトにおいて、石炭ガス化ガスの利用が全面に押し出された結果、石炭ガス中に含まれる不純物のニッケル燃料極に与える影響が組織的に行われ、その結果が入手可能となったことを踏まえ、空気極で硬質したモデルを燃料極も含めた一般的な物理化学的モデルとして再構築した。電極と不純物との相互作用（水蒸気などの主成分との相互作用も含む）は次の 3 領域に分離することが出来る。



図III-1.1-9 一般化された不純物による性能劣化モデル

電極と不純物との相互作用（水蒸気等の主成分との相互作用含む）は、化合物の生成と関連する現象、拡散等による微構造変化及び電気化学的活性点への攻撃の 3 領域に分離できる。

### ① 化合物生成域

電極構成材料と不純物との相互作用が大きい場合、化合物を生成する。その反応速度が速ければ不純物気相種と電極材料が出会ったところで化合物が生成・成長し、この場所でトラップされたことになる。電極性能への影響を評価するには、トラップされないで通過する気相種の量を把握する必要がある。また、機械的性質の変化、ガスの電極層中の透過性、電極層中での電気伝導度の変化などを評価するためには、どのように生成領域が進展するかモデルが必要となる。これらの様相は、温度などの関数として評価されなければならない。

関連する物性として電極構成材料の拡散が挙げられる。化合物が生成し、成長していくためには電極成分の拡散が必要で、多くの場合この成分の拡散も促進されている可能性が大きい。状態図てきには、化合物生成域の隣には必ず固溶域あるいは吸着域が存在している。

### ② 拡散・焼結領域

前出のニッケルの凝集のように拡散が起こることによって、微構造が変化することが考えられる。拡散の大きさは、微量成分がどのように電極構成材料上に吸着するかによって依存すると思われる。電極の集電域では微構造の変化がどのように伝導度の変化に現れるかが重要となる。

空気極の場合でも凝集は起こるので、同様に拡散係数とその促進要因とが重要となる。また、前プロジェクトでも明らかになったように Na、S などの不純物濃度が上がった場合、合金のホットコロージョンのように微量の液体が生成し、反応性・拡散性に影響を及ぼすことも十分に想定される。

### ③ 電気化学活性点域

この領域では、電極物質との相互作用があまり強くなく途中でトラップされることもなく、活性点まで到達し、且つ吸着・凝縮・析出などのによって、直接電気化学的反応過程に関与している場所を直撃して電気化学過程を遅らせてしまうものである。一般的特徴として、極少量の不純物でも活性点の性能の低下をもたらす。このため、従来の検討ではこの原因物質を正確に実験的にとらえられているかが、ポイントとなる。

## (ii) 加速試験を想定した取り扱い

このようなことから、電極の性能低下につながる過程としては次の3通りが想定される。いずれも上記3領域と同じ範疇になる。本プロジェクトで採用している測定手段との比較で述べる。

### ① 電気化学的活性点直撃形

1,000ppm 以下の微量成分の測定が不可欠であり、現在のところ産総研が駆使している二次イオン質量分析計 (SIMS 分析) 以外での測定では有効な情報が得にくい。前プロジェクトでクロム被毒による性能低下の疑いが濃厚となった円筒横縞形空気極・電解質界面での九大での STEM による詳細な観測においてもクロムは見いだされていない。

直撃形の例として空気極ではランタンマンガンナイト系のクロム被毒、燃料極では硫黄被毒を挙げることができる。どちらも凝集物・吸着物が電気化学過程を阻害しているものの、その原因物質を検出するもには多くの困難を伴っている。相違点としては、

硫黄被毒は回復過程が頻出するということが挙げられる。クロム被毒の場合はまれである。この違いの原因として電気化学的な回復過程（揮発反応）があるかどうかを指摘できる。硫黄の場合吸着した硫黄が電気化学的に酸化されてSO<sub>2</sub>として揮発することが出来る。

② 微構造変化

電気化学的活性点近傍で微構造変化がおこれば、最も敏感に性能の低下につながるものと思われる。京大・東大における電極微構造の変化は十分にこの変化をとらえているものと思われる。測定対象として必ずしも電解質・電極界面における微構造変化を直接観察しているわけではない場合もあるが、それでも観測された微構造変化と性能低下との相関が良いのは、電極全体に起こっている変化が界面近傍での変化と良く対応しているからと思われる。

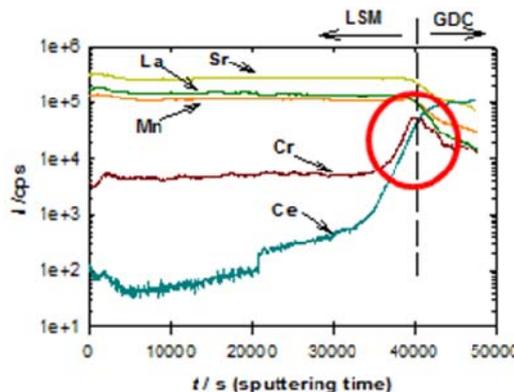
③ 化合物生成

電気化学的活性点が直接不純物と反応し変質すれば性能低下につながる。この場合性能低下には少量の不純物でも起こるため、どの程度の不純物が活性点に到達するかあるいはその前にトラップされるかが極めて重要な示票となる。たとえトラップ率が100%に近い場合でも、少量活性点に到達すれば性能低下につながる。

以上の観点に関する本プロジェクトの成果並びに今後の展開とし次のことを想定している。

- ① クロム被毒について活性点に付着・吸着した量と性能低下との相関を明らかにし、他の活性点直撃形（たとえばニッケルに対するP）の影響評価に用いる。この目的のために、クロム被毒の定量化を円筒横縞形のスタックレベルで明確化するとともに、ボタンセル段階でも産総研によるSIMSの定量測定と性能低下との相関関係を求める。

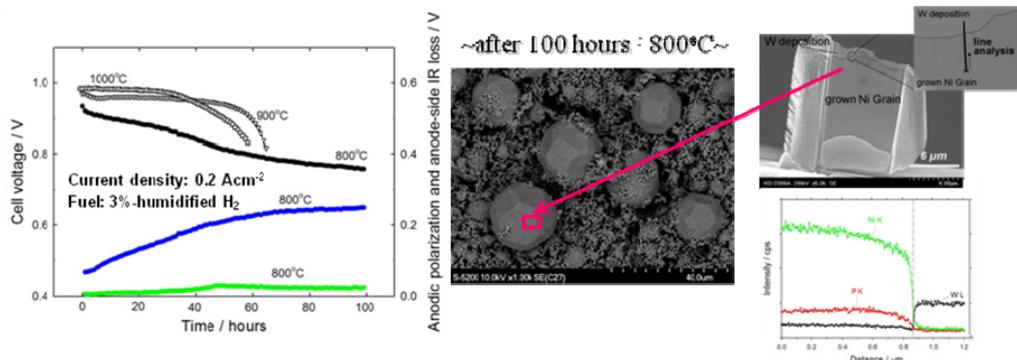
実機セル（円筒横縞形）を用いた評価では0.8%/1,000h程度の性能劣化を及ぼす時、三相界面に堆積したクロムの量は1万時間後に堆積層の厚さとして4nm程度であり、三相界面近傍の測定濃度とすると1,000ppm以下であった。従って、4万時間の耐久性を議論する場合には、この程度の堆積量を制御する必要がある。他の微構造の変化による性能低下も想定されるので、更に実機を用いて堆積量と性能低下との関係を明らかにするとともに、ボタンセルを用いて、加速（クロム供給量として）条件化での堆積挙動を明確にしているところである。



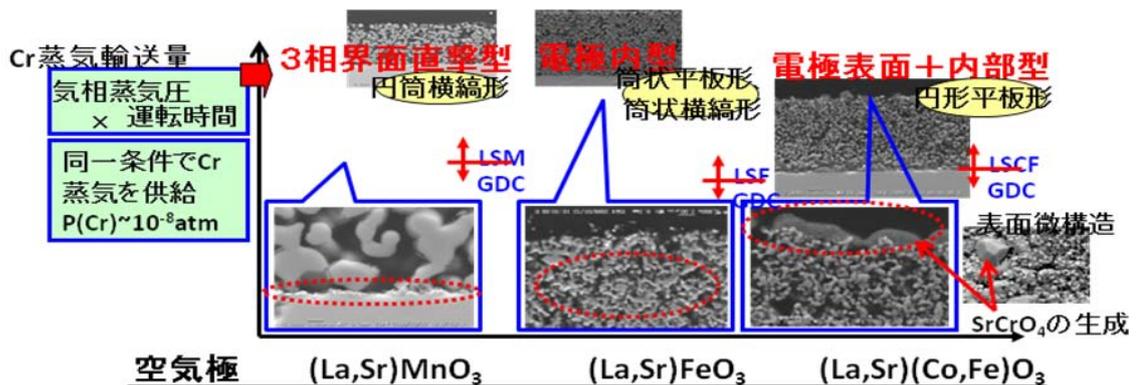
図Ⅲ-1.1-10 ボタンセルを用いたクロム堆積試験結果

(導入したクロムの14-15%が空気極中に堆積し、その半分程度は三相界面に堆積した。)

- ② 硫黄被毒については、局所平衡モデルからは燃料利用率が上がると思われ、固溶量が増加することが期待され、産総研による実機セルでの硫黄分析では燃料下流の利用率高い方が硫黄濃度が高いこともあることが認められている。このため、九州大学で行われている異なる実機セルを用いた硫黄の被毒実験においても燃料利用率の高い領域も検討対象としてその効果を明らかにする。
- ③ クロムに比し、活性点直撃形であるにも関わらず、硫黄の三相界面での濃集はSIMSによっても通常観測されない。電気化学的に酸化され二酸化硫黄として揮発するものと思われる。このような電気化学的副反応としての回復過程は工学的には重要であるので、今後もこの観点を踏まえ他の種々の不純物でのこの効果を検討する必要がある。
- ④ 化合物生成が直接影響するケースでは、共通して観測される事実として温度が低いほど性能低下が早期に現出することが指摘できる。九大で観測されたニッケル燃料極のリンによる影響ならびに産総研で行われた(Sm,Sr)CoO<sub>3</sub>電極のSO<sub>2</sub>による影響など同じ傾向を示している。



図III-1.1-11 リンによる被毒試験（九大）STEMによるNi:P=3:1であることを確認。



図III-1.1-12 異なる空気極におけるクロム堆積状況の確認。

- ⑤ 活性点まで到達する場合には多くの場合、電極全領域で同様な現象が起きていることが想定されるので、トラップ効果が大きい領域、三相界面での選択的凝縮、並びに電極全体で生じる凝縮・吸着現象をそれぞれモデル化して、加速劣化試験に備える必要が出てきた。

- ⑥ また、トラップ領域が現出する不純物に対しては、電気化学的に作用している電極内でのトラップに限らず、ガス導入経路上にある同種材料によってトラップし除去することも可能となるため、当該材料と不純物との化学的反応過程の知見が重要となる。また、このようなトラップ域がスタック構造の中に設定されているかは実用的には極めて重要であるとの知見を得るに至った。

#### ix. 石炭ガス化ガスの影響調査

一般化されたモデルが示している物理化学的展望は、そのまま石炭ガス化ガス中の不純物を扱う場合でも適用できることから、あらためて石炭ガス化ガス中の不純物の影響調査を行う方法論を再検討した結果、基本的には計画当初に保有していた認識は大きく違っただけではなかったこと、並びに前プロジェクトから本プロジェクトにかけての不純物の検討結果を踏まえ、石炭ガス化ガスグループとして再確認すべき課題として次のことが明らかになった。

- ① 石炭ガス化ガス中に含まれている不純物とセル構成材の化学的反応性はどれだけ電気化学的活性点近傍に到達する前にトラップできるかという観点から重要である。
- ② 石炭ガス化ガス中に含まれる不純物と前プロジェクト並びに本プロジェクトで測定してきた不純物とを比較すると、Na、P、S、Si、Cl等が共通である。この中で、Naの還元ガス中の化学的挙動についての考察は、固体酸化物形燃料電池分野よりも石炭ガス化分野の方が方法論的に進展していることが判明したので、同様な取り扱いをSOFC燃料極雰囲気でも適用するとどのようなようになるかをより明示的に検討することにした。また、リンは特に一般的な不純物としても混入してくるので、硫黄と同様その挙動を注視することとした。
- ③ ニッケルと不純物との相互作用は、単にニッケルとの金属間化合物を形成するばかりでなく、オキソ酸塩の生成、複合気相種の発生など複雑な様相を示しているため、多元系を構成する不純物として慎重な取り扱いを行うことにした。特に、簡単な水処理をただで直接導入した石炭ガス化ガスとニッケルとが強い相互作用を示し、大きなニッケルの凝集物が形成された。このような現象は、石炭の処理を変更した場合でも、再現性良く現出したため、その原因を突き止めることが重要である。最も可能性があるのは、Ni-P系あるいはNi-S系の共融物が生成したことが想定されるが、未だその原因を特定するに至っていない。

## x. 模擬セルを用いた加速試験法

機械的な評価においては、加速要因を単一し、単セルレベルで行うことが難しいことから、加速試験として模擬セルを用いて実機セルに近い形で評価することを行った。

一般化された不純物による劣化モデルと対応する考え方としては、同様に局所平衡近似を基礎にすることによって、

① 個々の材料レベルでの基礎データの取得と

局所平衡近似による記述を行うこと

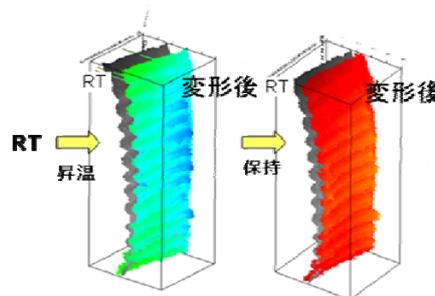
② 微構造データなどの形状データを本プロ

ジェクト内において共有することにより、

複雑形態の変形挙動を解析すること

③ スタックメーカーと緊密に連携し、十分に機械

的解析に耐える模擬セルを構築し、その検証実験を介して評価手法を確立すること



図III-1.1-13 熱膨張と還元膨張による変形をレーザー変位計で測定し解析する。

など行って来た。このような基礎的な物性値段階から組み上げる機械的変形解析は世界的にも類例がない。

本プロジェクトにおいては、長期耐久下における組成変動の影響も考慮に入れることは想定してはいるものの、まず最初に、熱膨張あるいは還元膨張（温度一定下で酸素分圧の変化に伴う体積変化）を対象にして変形・応力集中などをシミュレーション手法で検討した。また、実験的には、レーザー変位計による単セルの変形観測、AEの観察による変形・亀裂などの観測を実機セル・模擬セル段階で行った。

## c. 実証研究との連携

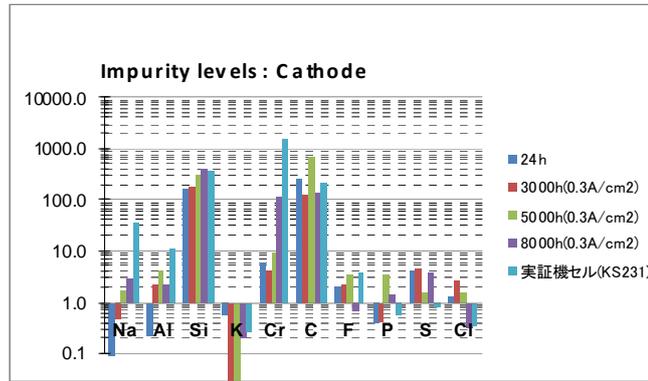
### (a) 劣化解析結果の取り込み

前プロジェクトからの経緯から言えば、「信頼性向上に関する研究開発」において実証研究に供されている筒状平板形の劣化挙動の解析が行われ、空気極中間層および接続金属関連の改善の必要性が認識された。その最初の改良機が、平成19年度実証機に対応する。劣化率が未だ1.5%/1,000H程度であった。その後も前プロジェクト並びに本プロジェクトの成果を取り入れて、改良が施され、実証機レベルでの耐久性の改善とともに性能の向上が図られた。

### (b) 実証研究試料の分析

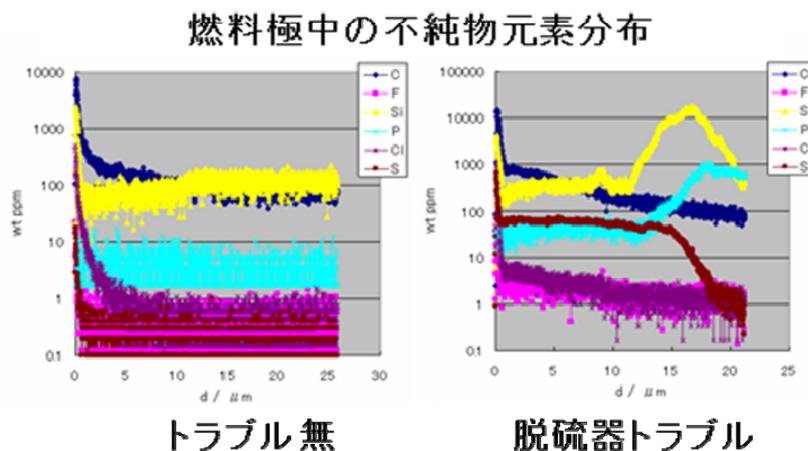
実証研究に供された機器は耐久性・信頼性の観点からみると貴重な資料を提供している。筒状平板形では、前プロジェクトおよび本プロジェクトでは水素を燃料としスタックを対象としているので、実証研究試料の分析によって、都市ガスの燃料処理系も含めたシステム由来の特徴を掴むことが出来る。最も顕著な特徴は空気極におけるクロム蓄積量が増えていることにある。クロム源としては、システムの用いている金属材料の酸化物スケールの他に、酸化物インターコネクタ中のクロムがシリカと反応して揮発した可能性も指摘できる。酸化物イオンターコネクタ上のシリコンの堆積量は他の測定値よりも大きかったた

め、後者が汚染源である可能性が高い。但し、空気極としては中温形活性空気極を用いているため、トラップ率が高く空気極の性能劣化としては現出していない模様である。



図Ⅲ-1.1-14 実証機セル空気極における不純物量と従来測定結果（スタック対象）との比較

円筒縦縞形の実証研究においては、たまたま脱硫機のトラブルが発生し、硫黄が混入した燃料が改質器に入り、改質触媒がダメージをうけた結果、通常とは異なる低改質率の燃料組成でセルの中に入った。燃料導入部においては燃料が剥離していたが、未だ剥離していない燃料極・電解質部分を SIMS で解析し図Ⅲ-1.1-15 のような結果を得た。硫黄濃度は通常であれば 1ppm 程度あるが、燃料極全体に 100ppm まで均一に分布していた。燃料極・電解質界面で硫黄濃度が低いのは、性能低下のために酸化物イオンと吸着硫黄が反応し、二酸化硫黄として揮発したためと思われる。硫黄濃度が減少している領域で、シリコンとリンの濃集が認められた。両元素とも燃料極全体に数倍から 10 倍程度通常の濃度よりも高くなっているのに加え、界面領域で更にその濃度の一桁以上濃集している。選択的に界面に濃集するとともに、硫黄のような揮発機構があまり作用していないことが推測される。いずれも、改質率が低いため、高濃度の水蒸気あるいは還元性の強い炭化水素成分によって発生源における気相濃度が上昇したためにセル内まで運ばれる量が増えたためと思われる。



図Ⅲ-1.1-15 円筒縦縞形実証研究中の脱硫機トラブルに起因する不純物の解析

## 4. まとめ及び課題、最終目標の達成見込み

### 4. 1 まとめ

- ① スタック製造法ならびに製造手順によって劣化が現れる部位が異なることを明らかにした。いずれも劣化あるいは微構造の変化が顕著に認められるのは、製造過程の最後に調整された部位である。これは製造時の状態から稼働条件化の状態へ物質移動過程を伴って変化する際に数千時間から1万時間程度の緩和時間が必要とされるためと理解される。
- ② 劣化部位を集学的に詳細に分析し物理化学的特徴を明らかにし、改善の指針を得た。空気極関連では酸化物中の拡散が重要な鍵となっている。燃料極においては、ニッケルの凝集が顕著に出るスタックと出ないスタックとに明確に分類できた。ニッケルの凝集を促進する機構についての検討・考察を開始した。
- ③ 不純物による劣化モードを一般化し、個別劣化の検討を一般化された視点から行うことができるようになった。新たに不純物の関与する電気化学的酸化・還元反応の重要性を認識した。また、化合物生成系ではどの程度化合物生成によって不純物がトラップされ、電気化学的活性点に到達する不純物がどのような化学種でどの程度の量かが重要であると認識するに至った。
- ④ 化学的・機械的相互作用の例として、熱膨張・化学（還元）膨張による変形と応力解析を行い実機挙動と比較検討した。

### 4. 2 今後の開発課題

共通課題としての劣化挙動の理解が深化したので、各スタックに固有な現象についての改善策を立案・検討していく。

- ① スタック試験後の解析を SIMS (元素移動、不純物)、FIB-SEM (微構造変化)、STEM (微小領域での化学変化) などによって集学的にすすめ、物理化学的原因究明から改善策の提示を行う。
- ② 基盤コンソ参画機関が提案する加速劣化試験法についての検討を開始し、適切な方法を選ぶ。
- ③ 長期試験および起動停止試験での耐久性・信頼性を見極めるとともに加速劣化試験法の適用を検討する。
- ④ 直接的、間接的劣化機構に基づいて、性能評価式の時間依存性に反映させる。

### 4. 3 最終目標達成見込み

#### (1) スタック耐久性

- ① 電解質において劣化要因を抱えているスタックについては、まだ検討の余地が多く、最終目標となっている4万時間耐久および250回の起動停止を同時に満足する改善策は未だ得られていない。
- ② 電解質緻密化プロセスの後に行われる（特にセルについての）製造過程に起因する劣化現象については、最適化の検討が十分に行われていなかったためと思われる、今回の劣化部位の特定、物質移動過程の詳細な検討により、改善の方向が明確に見いだされている場合が多い。特に筒状平板形においては、前プロジェクト「信頼性向上に関する研究開発」より詳細な検討と改善の試みが進んでいるため、成熟度がこの数年で

かなり上がってきたものと判断される。更に本プロジェクトで得た結果から精緻な改善を行う基盤が得られた。

- ③ スタック構造に起因する劣化が最後まで残る劣化部位とすることができる。従って、加速劣化試験法もスタック構造にあった方法を採用する必要があるのではないかと推測される。また、基盤担当機関が提案する加速劣化試験法をスタック段階で行いその妥当性を検討することは実施可能であろう。

## (2) 劣化機構解明と加速試験法の確立

- ① 三相界面と性能劣化との相関付けは、現在急ピッチに行われている。用いる電気化学反応関連データの精査が不可欠な段階に達しており、今後の検討によって、現在の適用性が更に高度化されると、相関付けのレベルが飛躍的に上がると期待される。
- ② セルの劣化部位の中で、本プロジェクトでは燃料極の凝集が顕著に観察され、その微構造変化を FIB-SEM の三次元構造データ取得により詳細に追うことが出来た。また、水蒸気による凝集への影響の観察、実機セル中の不純物測定なども行われているので、凝集機構を残されたプロジェクト期間で総合的に明らかにすることは可能であると判断される。
- ③ 不純物による電極構造の変化・電極性能の変化の定式化を空気極と燃料極のどちらでも同じ考えが適用できるという観点のもとで行うことができたので、個別劣化現象毎に加速劣化試験法を提案することは可能であろうと予測される。
- ④ スタックに起因する劣化は多くの場合機械的性質が大きく関わってくる。実機スタックは多くの場合かなり複雑であるため、その全容をシミュレーションする段階には未だ到達していないが、データ等の積み上げ、実機セル微構造の実験的取得の進展、シミュレーションの段階的取り扱いの進展が進んでいるので、加速試験法としての定式化も視野に入ってきている。
- ⑤ 性能評価式の基づいた寿命予測を行うためには、本プロジェクトで創出した一般化された劣化モデルに従えば、電気化学的性能が直接低下する領域では比較的容易に劣化挙動を性能表示式として表現することができると思われる。また、間接的に性能低下につながる場合には、より広範な現象を扱うモデル化が必要であろう。この分野の進展は前述のシミュレーション技術の段階的な進展と連動するものと思われる。

## 1. 2 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

### 1. 2. 1 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発

#### (1) 研究開発概要

平成 16 年度から 19 年度にかけて実施された「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」などにより、発電効率 40%HHV の達成や、大型システム化などの大きな成果が得られたが、各部材の耐久性・信頼性のさらなる向上と低コスト化が市場導入の技術課題として抽出されている。

金属インターコネクタ材料(\*1)には、「①作動温度での耐酸化性」、「②作動温度での電気伝導性」、「③電解質や電極材料に近い熱膨張係数」等の特性が要求される。日立金属では、1,000°C 作動が主流であった頃から Fe-Cr 系フェライト系合金に着目し、導電性を有する酸化膜を形成させつつ、作動温度での耐酸化性を向上させる研究に取り組み、Fe-22Cr 系フェライト合金 ZMG®232 を開発した。その後、作動温度の低下が進み、さらに金属インターコネクタ材料適用の可能性が高くなってきた。これに合わせて当社では ZMG232 の耐酸化性の改良に取り組み、不純物元素量を低減することにより耐酸化性を向上させた ZMG232L を開発してきた。

しかし、実用化促進のためには、各部材の耐久性の向上、低コスト化が必要とされている。金属インターコネクタに関する課題は、①耐久性と、②コストである。①の耐久性の課題については、「金属材料が作動温度で酸化され、酸化皮膜生成による接触抵抗が増加することによる発電性能の低下」、および「Cr 酸化皮膜から蒸発した Cr が蒸着し、セルが被毒することによる発電性能の低下」が挙げられる。②のコストの課題については、「SOFC 用に開発された特殊な Fe-Cr 系合金であるために生産量が少なく素材コストが高いこと」が挙げられる。

そこで、本事業では、SOFC の早期市場導入のため、「耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発」により、①金属インターコネクタの耐久性を向上させること、②種々のタイプのスタックに対する共通仕様とすること、③素材の低コスト化を実現すること、の 3 点により、低コスト燃料電池システムの市場導入を実現することを目的として、研究項目毎に中間目標を掲げ、開発を推進し、これを達成する見通しを得た。

\*1 インターコネクタ材料としているが、セパレータ材、集電部材も含む(以下、同様)

#### (2) 研究開発目標

本テーマでは、中温円形平板形、中温筒状平板形、マイクロチューブ形の 3 タイプのスタックメーカーに素材を提供し、発電試験評価を実施頂き、2 者会議や、全者を一同に介した開発推進委員会を開催し、合金改良へ結果をフィードバック頂く体制をとっている。また、本テーマの目標値は、スタックメーカー 3 社と協議して設定したものである。

耐久性については、各社からの共通の要望事項である、金属材料の接触抵抗増加率の低減とした。プロジェクト全体の目標である 4 万時間での電圧低下率 0.25%/1,000h 以下のうち、金属インターコネクタでの電圧低下率の目標値をスタックメーカー 3 社から提供いただき、電圧低下率から接触抵抗増加率に換算し、最も厳しい要求値を最終目標(<0.05mΩ・cm<sup>2</sup>/1,000h)、2 番目に厳しい要求値を中間目標(<0.2mΩ・cm<sup>2</sup>/1,000h)として採用した。コストについては、スタックコストに占める金属インターコネクタ用素材の割合、素材の希望コストを同 3 社から提供いただき、最も厳しい数値を最終目標として設定した(中間目標は、普及時に 5 万円/kW 程度のセルスタックを作る金属材料の 2 倍程度のコストの見通しを得ること、最終目標は、普及時に 5 万円/kW 程度のセルスタックを作る金属材料のコストの見通しを得ること、とした)。

### (3) 研究開発成果

#### a. 研究開発成果、達成度

##### (a) 耐久性の目標に対して

##### i. 合金組成の改良・・・接触抵抗の低減

金属インターコネクタ材料は隣接する電極・電解質等のセラミックス材料に近い熱膨張係数を要求されるため、フェライト系の金属材料である必要がある。しかし、SUS430等の市販合金では耐酸化性が不十分であることから、当社では平成17年に、市販合金の2倍以上の耐酸化性を有するFe-22Cr系フェライト合金ZMG232Lを自社開発した。ZMG232Lは、作動温度での良好な長時間耐酸化性、導電性を有し、その耐酸化性、導電性は競合材と同等以上である。

しかし、板厚が薄くなるほど酸化速度は速くなり、極めて薄い試験片条件では、短時間で異常酸化が発生するなど、ZMG232Lにおいても本プロジェクトの目標を達成するための耐酸化性は十分ではないため改良が必要である。本テーマではZMG232Lをベースにした合金組成の検討を中心に開発を進めた。目標は接触抵抗増加率低減であるが、接触抵抗は耐酸化性と強い相関があることから、アプローチは「耐酸化性の向上」として、改良を進めた。

SOFCカソード環境において、ZMG232Lは酸化皮膜を形成し、その構造は、表面から(Mn,Cr)<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/合金となる。ここで、(Mn,Cr)<sub>3</sub>O<sub>4</sub>層は、接触抵抗の低下、Cr蒸発の抑制に寄与する一方で酸化速度が速いために、耐酸化性を低下させる。また、異常酸化は、酸化の進行による合金内部のCr量の低下に伴う現象であることを自社研究にて見出していたため、Mn添加量の減少、Fe-22Cr系からFe-24Cr系への変更、Crの拡散に何らかの影響を及ぼすW添加を実施した合金を改良材として検討した。この結果、薄板での大幅な耐酸化性の向上が見られ、金属インターコネクタの寿命を3倍まで向上させることができた。

上記の耐酸化性の向上により、現行ZMG232L対比で接触抵抗増加率の大幅な低減が見られ、かつ中間目標0.2mΩ・cm<sup>2</sup>/1,000hに近づけることができた。また、接触抵抗は、酸化増量に比例することが分かっていること、および、酸化増量はMn量の調整により減少できることが分かっていることから、中間目標達成のための合金組成を見出すことができた。

##### ii. 表面処理適用による改良・・・Cr蒸発の抑制

SOFCに一般的に使用されるMnCoコーティングのCr蒸発抑制効果を試験片レベルで確認することを目的として研究を進め、コーティングなしの素材からCr蒸発が確認される加熱条件で、コーティング材からのCr蒸発が見られないことが確認できた。ただし、コーティング膜中に、Crが拡散する現象が見られたため、合金改良+表面処理の組合せによる更なる改良が必要である。

##### iii. 簡易耐久性評価技術

種々の酸化試験装置を導入、および、既存装置のn増しにより、金属インターコネクタの評価に関する簡易加速試験を確立した。

##### iv. 発電試験評価・・・一部、再委託

現行ZMG232L、および改良材を3タイプのスタックメーカーに提供し、発電試験を実施頂き、改良材の実機試験結果の適切なフィードバックにより、耐久性改良の焦点が明らか

になった。3社の共通事項は次の2点である。

- ① 改良材は現状材に比べて金属材料の表面抵抗(=劣化率)を低減できた。
- ② Cr蒸発によると思われる発電性能劣化が確認された。

#### v. 通電効果メカニズム…再委託

目的は現状材 ZMG232L 酸化挙動に及ぼす電流の影響を明らかにすることであり、Fe-22Cr モデル合金、ZMG232L とともに、低電位側にて酸化が加速される傾向が確認された。ただし、ZMG232L への電流の影響は非常に小さいことが明らかとなった。

#### (b) コスト目標に対して

中間目標達成のためのアプローチは、耐久性を向上させることで使用量を低減し、スタックコストにおける金属コスト削減につなげるということである。これまでの検討から、金属使用量とスタック寿命の関係を算出した結果、スタック寿命 4 万時間を達成するための金属使用量を約 50%まで削減でき、中間目標を見通せることが分かった。

### b. 成果の意義

#### (a) 合金組成の改良…接触抵抗増加率低減

スタックメーカの要求特性に近づけたことで SOFC の実用化に大きく貢献できると考える。

#### (b) 表面処理適用による改良…Cr 蒸発の抑制

まず、Cr 蒸発性の簡易的定量評価方法を確立したことが大きな成果である。コーティングなしの条件で、現行 ZMG232L と改良材 232J3 の Cr 蒸発量を比較評価すると、232J3 の Cr 蒸発量がやや多いことが確認された。よって、232J3 は、耐酸化性、接触抵抗は大幅に改善できたが、Cr 蒸発性はやや悪化したという位置付けを確認した上で発電試験に供することができた。

#### (c) 簡易耐久性評価技術

下記の発電試験評価と合わせて、金属インターコネクタの研究開発が大幅に迅速化された。

#### (d) 発電試験評価…一部、再委託

現行材、および改良材の発電試験結果の適切なフィードバックにより、耐久性改良の焦点が明らかになり、目標値の重点を Cr 蒸発抑制にシフトする必要性を認識できた。これにより、表面処理+合金改良の組合せによる更なる Cr 蒸発抑制の検討にいち早く着手することができた。

#### (e) 通電効果メカニズム…再委託

現行材の酸化への通電の影響を確認できたことは、発電試験結果の考察に有力な知見となる。

### c. 成果の最終目標の達成可能性

#### (a) 耐久性改良

接触抵抗増加率の最終目標達成のためには、抵抗増大の要因である酸化皮膜をより薄くする必要があるため、Cr 蒸発量の増大が容易に想像できる。最終目標に関しては、接触抵抗増加率は中間目標レベルとし、新たに、Cr 蒸発抑制に関して、合金改良+表面処理の組合せの最適化により、「現行 ZMG232L+本テーマで検討済の表面処理より低いレベ

ル」とすることを提案したい。なお、Cr 蒸発抑制に関する目標値については、来年度以降の計画確定までにスタックメーカ各社と協議の上で決定する。合金改良に関してはすでに改良に着手しており、Cr 蒸発抑制傾向を確認済みである。また、表面処理方法、材質について多岐に亘り検討していく。

#### (b) 低コスト化

現在、自社研究にて、現行 ZMG232L の低コストプロセスの開発を実施しており、その諸特性と低コスト化レベルの予測の精度を向上させている。改良合金にこれを適用することにより、コストの最終目標を達成できる「耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ」が開発できる見通しを得られることを検証する予定である。

### (4) まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

#### a. まとめ及び課題

##### (a) 成果

- ① 合金改良により、耐久性を大幅に向上させることに成功し、接触抵抗増加率に関する中間目標達成の見通しを得た。また、発電試験の結果の適切なフィードバックを受けることで、合金の目標達成に向けた方針が確定した。
- ② 耐久性を向上させ、金属使用量を低減させることで、スタックコストにおける金属材料コスト削減につなげる見通しを得た。

##### (b) 課題

- ① 合金改良＋表面処理の組合せの最適化により、接触抵抗の低下と Cr 蒸発抑制を両立させる。
- ② 自社開発中の低コスト化プロセスを適用し、素材の低コスト化を実現する。

#### b. 事業化までのシナリオ

本プロジェクトの実用化は、国内外における SOFC スタックメーカ等に、金属インターコネクタ材、集電部材、またはその加工部品を提供するところまでを指す。

##### ① 事業化の対象製品・サービス等

SOFC に使用される金属インターコネクタ材、金属集電部材、その他金属部材の素材、またはその加工部品を対象製品とする。海外において関税等の問題から現地生産が適すると判断される場合は知財権等の技術供与を行う場合も想定される。

##### ② 事業化の分野・事業内容

SOFC 用金属インターコネクタ、金属集電体等の金属部材の製造、販売。

##### ③ 事業化を想定する市場

顧客は SOFC のスタックメーカ、システムメーカ等。市場は、国内、海外の両方を想定。

## 1. 2. 2セルスタック材料の低コスト化技術開発

### (1) 研究開発概要

我が国の現在のSOFCに関する技術は低コスト製造技術については国際的にも優位なポジションにあるが、世界に先駆けて実用化していくためには、さらに低コスト製造技術の開発を推進するとともに、運用性などの実用性向上のための技術開発も実施し、早期に市場導入のための基盤技術を確立することが必要である。

前事業において、普及期に要求される高出力密度化を達成できる見通しを得たが、SOFCを事業化するには高出力タイプのセルの耐久性/信頼性を検証し課題を抽出するとともに、低コスト化（セル材料費のコストダウン/工数低減/歩留向上）を実現する必要がある。燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2008）によれば、普及期におけるシステム価格は、小容量タイプが生産数量5万kW/年レベルで40万円/kW、大容量タイプが生産数量15万kW/年レベルで20万円/kWであり、それぞれセルスタック化コストは5万円/kWを目標としている。この目標に対して、現状のスタック価格は10倍以上であり、セルスタックの低コスト化はSOFC事業化に対する主要課題となっている。

SOFCは大別してセルスタック、モジュール、システムから構成されるが、構成材料が全て固体のためにモジュールとシステムの設計思想に応じて様々な形状のセルスタックが開発されている。TOTO株式会社、三菱重工業株式会社および三菱マテリアル株式会社が開発しているスタックも円筒形あるいは平板形、高温形あるいは中温形と形状も作動温度も異なっている。しかし、適用している材料を比較検討した結果、空気極は全てペロブスカイト系材料であり、燃料極も全てNiと蛍石型構造の材料の混合粉と類似性が見出された。これらの材料を可能な限り共通仕様にするには技術ハードルが非常に高いが、材料メーカーとの連携を図りながら世界に先駆けて共通課題に取り組むことで、普及時の世界的な競争力を高められると期待できる。本事業においては、液相法（AGCセイミケミカル株式会社）と固相法（共立マテリアル株式会社）を適用し、材料の共通仕様化等を図り、普及期の目標コストを早期に達成できる見通しを立てると共に、低コスト材料を用いたセルスタック技術開発を行なうことを目的とした。

### (2) 研究開発目標（設定の理由も含め）

#### a. 中間目標（平成 22 年度）

- ① 各セルスタック開発機関がセルスタックを作製できる原料・部材の共通仕様を提案する。
- ② セル製造及びスタック化コスト等を分析して最終目標を達成するための原料・部材のコストを見積る。
- ③ 低コスト化に向けた技術開発課題を抽出する。
- ④ 低コストセルスタック開発方針を策定する。

#### b. 最終目標（平成 24 年度）

開発した技術により普及時においてセルスタック 5 万円/kW 程度の見通しを得る。なお、普及時とは以下の年間生産数を想定する。

小容量（数 kW 未満）：生産数 5 万 kW/年レベル

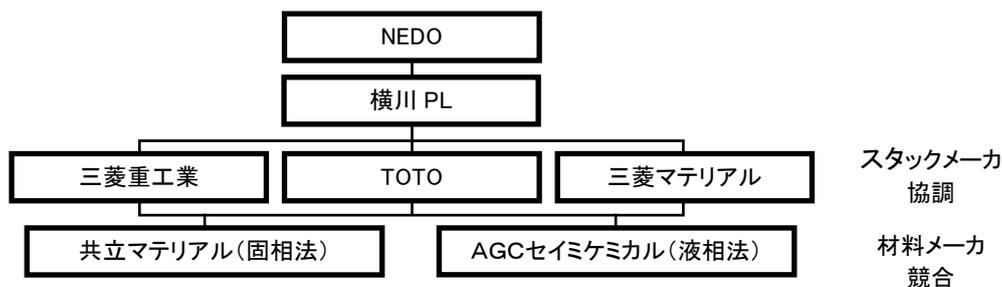
中容量（数十 kW～数百 kW）：生産数 15 万 kW/年レベル

### c. 目標設定の根拠

燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2008）に従い、現状予測される普及期の生産量 20 万 kW/年における目標スタック価格 5 万円/kW より設定した。

### d. 体制とスケジュール

研究開発体制とスケジュールを図Ⅲ-1.2.2-1、表Ⅲ-1.2.2-1 に示す。スタックメーカー3社は仕様の共通化等を実現するため協調し、材料メーカーは低コスト化を推進するため競合関係となる体制とし、組成均一性が高いが高コストである液相法と、組成均一性は低いが低コストである固相法の異なる2つの視点から検討した。



図Ⅲ-1.2.2-1 開発体制

表Ⅲ-1.2.2-1 研究開発スケジュール

	H20	H21	H22	H23	H24
材料メーカー	方針の設定とコスト分析	低コスト化材料の開発	中間評価	低コスト化材料製造方法の確立	技術課題抽出
スタックメーカー		低コスト化材料の評価(ペレット、ボタンセル) 共通仕様化の検討		セルスタック・モジュールレベルの試作/発電試験 共通仕様化の検討	

## (3) 研究開発成果

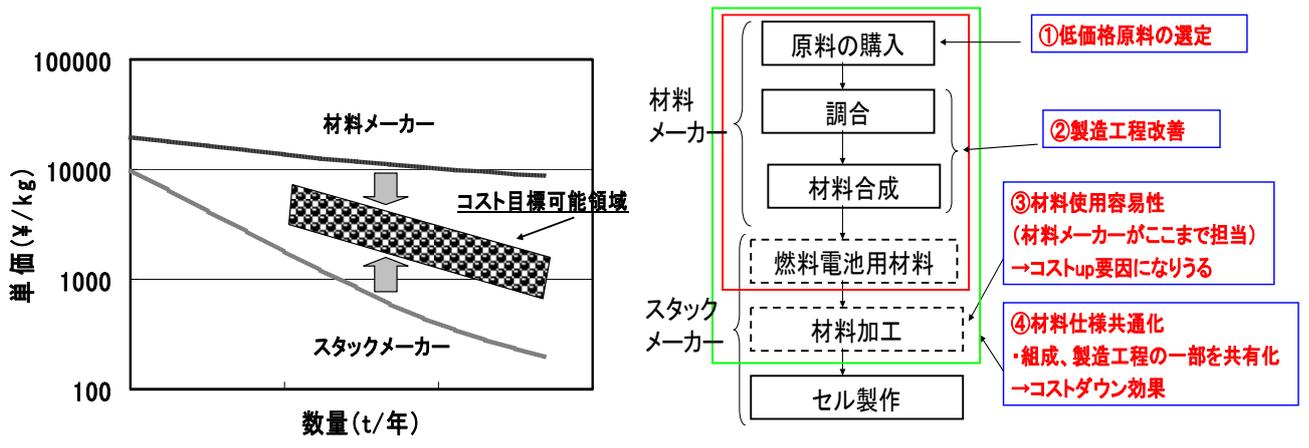
### a. コスト分析、目標コストの決定

スタックメーカーがスタックコスト、セル材料コストを分析し、スタック目標コスト 5 万円/kW を達成するための材料コストとして 1 万円/kW を得た。

スタックメーカーが使用しているセル構成材料を表Ⅲ-1.2.2-2 に示す。空気極材料は Mn 系と Co 系ペロブスカイト酸化物に、燃料極材料は Ni-YSZ 系と Ni-セリア系に大別できる。それぞれの材料について、材料メーカーでは従来の出発原料と製造工程を基準に量産時のコストを試算し、一方で、スタックメーカーでは現状の発電性能、現状工程で予測される量産時の歩留を基に材料に求められるコストを試算した。

表Ⅲ-1.2.2-2 スタックメーカーのセル構成材料

	高温形		中温形	
	円筒横縞形	円筒縦縞形	マイクロチューブ	円形平板形
	三菱重工	TOTO	TOTO	三菱マテリアル
空気極	(La, Sr, Ca)MnO <sub>3</sub> (LSCM)	(La, Sr)MnO <sub>3</sub> (LSM)	(La, Sr)(Co, Fe)O <sub>3</sub> (LSCF)	(Sm, Sr)CoO <sub>3</sub> (SSC)
電解質	ジルコニア系 (YSZ)	ジルコニア系 (ScSZ)	ランタンガレード系 (LSGM)	ランタンガレード系 (LSGMC)
燃料極	Ni-YSZ 系	Ni-YSZ 系	Ni-YSZ 系 + Ni-セリア系	Ni-セリア系



図Ⅲ-1.2.2-3 目標コストを実現するための方法

図Ⅲ-1.2.2-2 材料の製造量とコストの関係

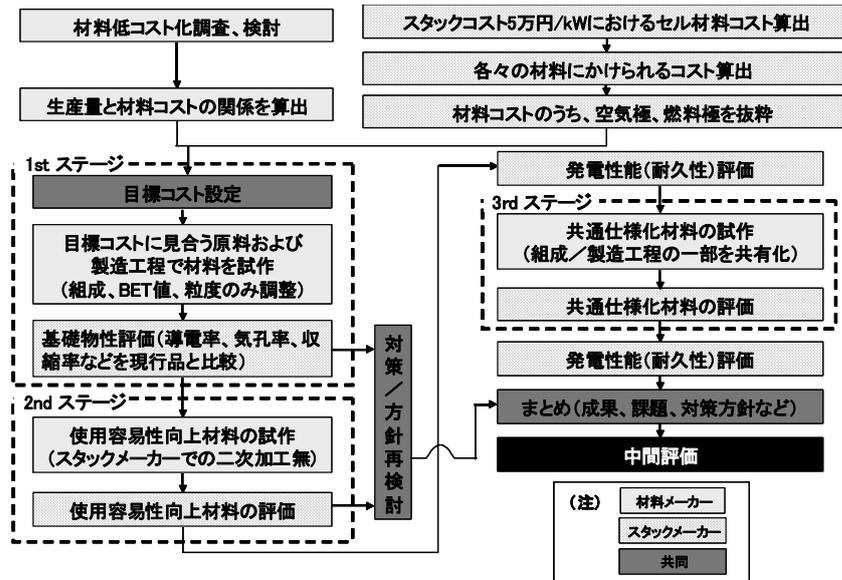
その結果、図Ⅲ-1.2.2-2 の実線に示されるように、いずれの材料においても材料メーカーとスタックメーカーが示した価格に接点が認められなかった。そこで、目標コストを実現するために、まず材料メーカーでは、低価格出発原料の使用、製造工程改善（図Ⅲ-1.2.2-3 参照）および出発原料の共通仕様化による購入量増加などの原料購入方法見直しを図った。一方、スタックメーカーはセル高出力化、歩留まり向上および工数低減を検討した。従来はスタックメーカーでセル作製前に混合や粒度分布調整などを行っていたが、材料メーカーが加工を行なって材料使用容易性を向上することにより、セル加工費が低減することも見込んだ。これは材料メーカーの加工費増加につながるかもしれないが、専門メーカーの技術力で安価に行なうことで、総コストを下げられる可能性を考慮したためである。さらには、材料組成、出発原料、製造工程などの共通化による使用量増加を図った。その結果、いずれの材料も努力目標で折り合いをつけることができた。

表Ⅲ-1.2.2-3 に本プロジェクトで検討する材料を示す。材料メーカーはスタックメーカー各社が採用している組成を試作し、スタックメーカーは他社組成も試験し、組成共通化の可能性を検討した。図Ⅲ-1.2.2-4 に低コスト材料の開発フローを示す。目標コストを設定後、1st ステージで基礎物性を評価、2nd ステージで使用容易性向上材料の評価、3rd ステージで共通仕様化について検討した。

表Ⅲ-1.2.2-3 開発する低コスト材料一覧

	組成	高温形		中温形	
		TOTO (高温)	三菱重工業	TOTO (中温)	三菱マテリアル
空気極	LSM	◎	○		
	LSCM	○	◎		
	LSCF			◎	○
	SSC			○	◎
燃料極	Ni-YSZ-1	◎	○	◎	
	Ni-YSZ-2	○	◎	○	
	Ni-セリア-1			◎	○
	Ni-セリア-2			○	◎

◎：スタックメーカー採用組成 ○：評価対象の組成



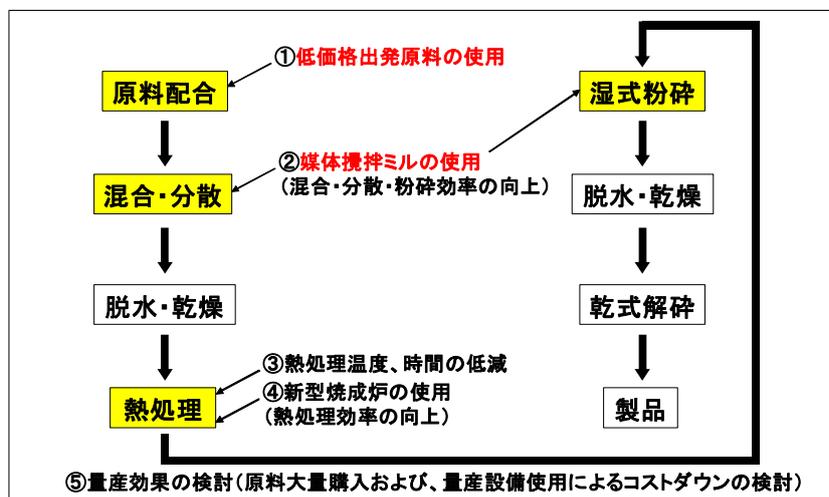
図Ⅲ-1.2.2-4 低コスト材料の開発方針

b. 低コスト化材料の開発

(a) 固相法による低コスト化技術開発

i. 固相法による低コスト化の取り組み

固相法の低コスト化への取り組みとしては、低価格出発原料の使用と、工程の改善を行っている。開発当初より、目標価格を達成する見込みのある低価格原料を用いて、図Ⅲ-1.2.2-5 に示す固相法の工程で各材料の開発を始めた。その後、低コスト化に向けた工程改善を検討し、着手している。



図Ⅲ-1.2.2-5 固相法工程フローおよび工程改善のポイント

工程改善についての成果としては、②では従来のボールミルを使用する工程から媒体攪拌ミルを使用する工程に変更し、混合・分散・粉碎の効率が約4倍に向上することを確認した。また③では、熱処理前の製品の調整や、熱処理の温度と時間の低減を図り、効率が向上することを確認した。

## ii. 材料の開発状況

各材料の開発状況を表Ⅲ-1.2.2-4 に示す。LSM、LSCM、LSCF、NiO-セリアについては、技術的課題はあるものの、目標コストの達成あるいは、それに近いコストまで開発が進んでいる。SSC と NiO-YSZ については、低価格出発原料を用いた材料を検討中であり、目標コストまではまだ開きがある。しかし、他の材料と同様に工程改善を行うことで目標コストを達成できる見込みである。

表Ⅲ-1.2.2-4 各材料の開発状況（固相法）

材料 (量産数量)	LSM・LSCM (1,000t/年)	LSCF (10t/年)	SSC (5t/年)	Ni-YSZ (1,000t/年)	Ni-セリア (100t/年)
低価格原料使用時の課題	・微量成分 ・組成、粉体特性合わせこみ	・微量成分	・微量成分	・微量成分 ・YSZ 粗大粒生成抑制	・微量成分 ・組成ばらつき
工程改善時の課題	・粒度調整粉の高密度化	・成型不良改善 ・焼結特性の合わせこみ	・工程改善品の特性確認	・YSZ 粗大粒生成抑制	・焼結特性の改善 ・焼結体内部の成分の偏析

### ① LSM、LSCM

LSM と LSCM では、標準粒径粉と粒度調整粉の 2 種類に取り組んでいる。標準粒径粉は組成、合成度、粉体特性については目標を満足していた。従来品とは異なり、微量成分も含まれているが、現在のところその影響は確認されていない。LSM、LSCM とともにスタックメーカーの評価でも導電率などの基礎特性に問題は無く、使用可能と判断された。また LSM と LSCM の組成共通化についてもスタックメーカーと共に検討中である。粒度調整粉については、粒径が大きく、密度の高い粉体を得ることが課題となっており、標準粒径粉と同様の製法で仮焼温度を高める方法で試作を進めている。粒度調整粉のコストは標準粒径粉よりも高くなる傾向であるが、今後、工程改善を行うことで目標コストは達成できる見込みである。

### ② LSCF

LSCF については、スタックメーカーの評価で成形不良や焼結性のミスマッチが確認され、この対策として、粒度分布の改善に取り組んでいる。現状の LSCF は仮焼後の状態が大きな塊で、硬度が高いため、粉砕時に大きな負荷がかかると共に、均一に粉砕されずに微細粒子が発生し、粒度分布が広がっている。現在、仮焼の条件を調整し、粉砕の負荷を軽くすることを検討中である。

### ③ SSC

SSC については、プロジェクト開始当初の低価格出発原料を用いた試作品の完成度が高く、スタックメーカーにおいてセルでの耐久性確認テストが進行中である。1,000 時間以上で大きな性能劣化は確認されておらず、微量成分の影響も確認されていないため、使用可能であると考えられる。初期の試作品の特性が良好であったため、工程改善はまだ行われていない。しかし、製造工程が Mn 系ペロブスカイト酸化物と同様のため、工程改善についても同様のコスト低減効果が見込まれる。

### ④ Ni-YSZ

Ni-YSZ については、プロジェクト開始当初に作製した低価格出発原料を用いた試作品の NiO と YSZ の粒子径が一致していなかった (NiO 粒子 > YSZ 粒子)。そのため、再度、低価格 NiO 原料の探索を行い、粒子径の調整を行った。この試作品をスタ

ックメーカーで評価した結果、焼結体内部に YSZ の粗大粒の生成が確認された。YSZ 粗大粒生成については、微量成分として材料内に存在している硫黄の影響と、YSZ と NiO の分散不足が原因である可能性がある。現在、硫黄含有量の少ない原料の選定と分散度向上の検討を進めている。

⑤ Ni-セリア

もう 1 つの燃料極材料である Ni-GDC は、Ni-YSZ と同様に NiO と GDC の粒子径が一致していなかった (NiO 粒子 > GDC 粒子) ので、Ni-YSZ で再度選定した低価格 NiO 原料を用いて試作を行った。この試作品において NiO と GDC の粒子径は概ね一致していたが、GDC 中に Gd 成分の偏在が確認された。この偏在は、原料混合時の分散が不足していることが原因と考え、媒体攪拌ミルを用いて分散度の向上を試みた。原料混合時の分散度を向上させた試作品については、Gd の偏在は改善された。

コストは現状の低価格出発原料を用いることと、工程改善で目標を達成する見通しである。

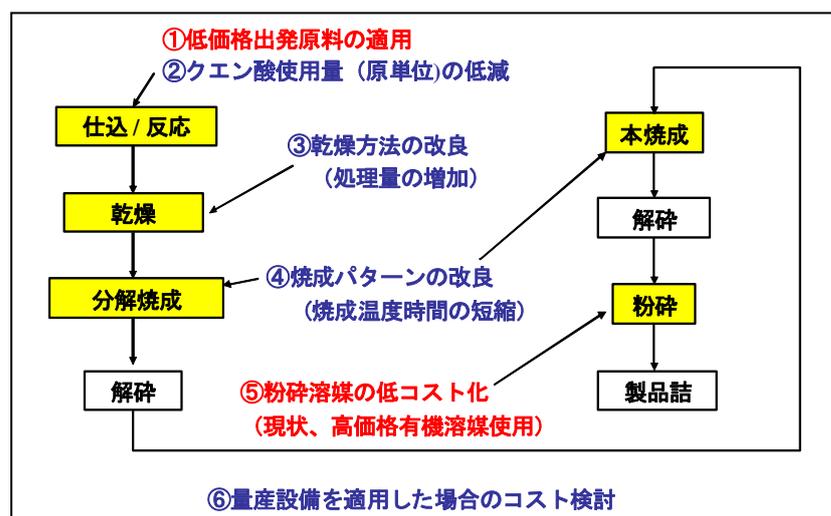
(b) 液相法による低コスト化技術開発

i. 液相法による低コスト化の取り組み

図Ⅲ-1.2.2-6 に液相法工程フローおよび工程改善のポイントを示す。液相法としては低コスト効果の大きい、低価格出発原料の各材料への適用と全ての材料共通での工程改善として粉碎溶媒の低コスト化の検討を行った。

ii. 材料の開発状況

各材料の開発状況を表Ⅲ-1.2.2-5 に示す。LSM、LSCM、LSCF、SSC、NiO-セリアについては、技術的課題はあるものの、目標コストの達成あるいは、それに近いコストまで開発が進んでいる。NiO-YSZ については、低価格出発原料を用いた材料を探索中であり、目標コストまではまだ開きがある。



図Ⅲ-1.2.2-6 液相法工程フローおよび工程改善のポイ

① LSM、LSCM

LSM、LSCM は、La、Sr、Ca、Mn の低価格原料を用いてクエン酸塩法によって合成を行った。低価格原料中の微量成分は LSM、LSCM に残留することが蛍光 X 線

分析によって確認された。また、X線回折によって LSM 中に  $\text{MnO}_2$  が約 1wt% 確認された。LSM、LSCM（標準粒径）はスタックメーカーで評価したところ導電率、収縮率等に問題はなく、使用可能であることがわかった。また、現状高価格な有機溶媒を用いている粉碎工程で、低価格な水を溶媒として用いる試みについては、若干の Sr 溶出を確認したが組成ずれへの影響は小さく、結晶相も単一相であることから LSM への水粉碎は適用可能と判断した。LSM、LSCM（粒度調整）に関しては、粒度調整工程に大幅なコスト削減を試みたが、粒子強度が低くその向上が課題となった。

表 III-1. 2. 2-5 各材料の開発状況（液相法）

材料 (量産数量)	LSM・LSCM (1,000t/年)	LSCF (10t/年)	SSC (5t/年)	Ni-YSZ (1,000t/年)	Ni-セリア (100t/年)
低価格原料使用時の課題	微量成分	微量成分、 異相	微量成分	焼結性、 単斜晶	粗大粒子
工程改善時の課題	粒子強度	水粉碎での元 素溶出	水粉碎での元 素溶出	焼結性	問題なし

## ② LSCF

LSCF は、課題達成のために Fe 原料で最も低価格である酸化 Fe を用いて合成を行った。しかし、通常の焼成温度より高温で焼成しても酸化 Fe が反応せずに残留することが X線回折によって確認された。また、酸化 Fe が残留した LSCF の導電率は低く、空気極材料として使用することが困難であることがわかった。このような状況から酸化 Fe 原料での検討を中止し、従来のクエン酸 Fe と低価格 La、Sr 原料を用いて合成を行った。LSM 同様、低価格原料中の微量成分は LSCF に残留することを確認した。また、X線回折により  $\text{La}_2\text{CoO}_4$  が約 3wt% 確認された。導電率は従来の LSCF の 1/4 程度であったが焼結性が原因であることが判明した。工程改善では粉碎時の溶媒に水を試したが、Sr 溶出によって組成がずれることが分かり、現状では LSCF に水粉碎を適用することは困難であると判断した。低価格 Fe 原料については入手したので試作を進める予定である。粉碎溶媒については更なる検討が必要である。

## ③ SSC

SSC は、Sm、Sr の低価格原料を用いて合成を行った。他の材料と同様、原料の微量成分は SSC に残留することを確認した。また、X線回折により  $\text{SrCoO}_{2.5}$  を約 2wt% 確認した。水粉碎については LSCF 同様 Sr の溶出が確認され、適用は困難であると判断した。SSC はスタックメーカーにてセル作製し評価したところ、従来品と同様な性能が得られている。耐久性についても良好な結果となっている。

## ④ Ni-YSZ

Ni-YSZ については、課題達成するような低価格な Ni、Zr 原料の入手が困難で達成度が低くなっている。入手した低価格原料を用いて合成したところ、YSZ の一部が単斜晶であることが X線回折によって確認された。Y の分散を高めること、アニール処理することで解決することができたが、各工程で約 5% コストが上がるということがわかった。工程改善では水粉碎にて若干の単斜晶相が確認された。スタックメーカーで評価したところ、焼結性に改善の必要があることがわかった。

## ⑤ Ni-セリア

Ni-セリア（GDC）については、低価格な Gd、Ce 原料の入手、また水粉碎によって元素溶出、不純物相などが確認されなかったことから目標達成の見込みを得た。スタックメーカーでセル作製し評価したところ、初期性能は従来材料と同等であったが、耐久性が低いことが確認された。原因として Ni 粗大粒子が関係していると考えている。Ni 粗大粒子は工程改善によって、解消できることを確認し、目標コスト内に収まる見通しを得た。

(c) 材料メーカーの開発における成果と課題

i. 成果

- ① 出発原料の共通化が達成できる見通しを得た。
- ② 固相法、液相法いずれの製法でも、各材料について目標コストを達成できる見通しを得た。
- ③ 固相法、液相法それぞれについて、製造工程共通化が達成できる見通しを得た。

ii. 課題

- ① 低価格原料に含まれる微量成分が導電率、焼結性、耐久性などに与える影響を評価し、許容値の把握、管理が必要である。
- ② 一部の材料については新規低価格原料の検討が必要である。
- ③ 製造工程に関して、粒度調整粉の高密度化、粉碎工程の改善、仮焼条件の調整（低温度化、時間短縮）が必要である。

c. スタックメーカーによる材料評価、材料共通仕様化の検討

スタックメーカーにおける中間評価までの材料評価のステージを 3 段階に分けて設定し、各材料の進捗状況の共有化を図りながら、プロジェクトを遂行した。表Ⅲ-1.2.2-6 にスタックメーカーによる材料評価の進捗状況を示す。

表Ⅲ-1.2.2-6 スタックメーカーによる材料評価の進捗状況

		H21年度		H22年度	
		3Q	4Q	1Q	2Q
空気極	LSM	◆2ndステージ 製造工程改善、使用容易性向上の検討			
	LSCM	◆2ndステージ 製造工程改善、使用容易性向上の検討			
	SSC	◆2ndステージ 耐久評価			
		◆3rdステージ LSM、LSCM組成共通化		◆3rdステージ SSC製造工程共通化	
	LSCF	◆1stステージ 技術課題整理、対策検討			
燃料極	Ni-YSZ	◆1stステージ 技術課題整理、対策検討			
	Ni-セリア	◆2ndステージ 耐久評価→原因調査と対策検討			

空気極材料については、LSM と LSCM は 2nd ステージで工程改善および材料使用容易性向上の検討が施された材料を評価中である。並行して、3rd ステージの組成共通化を検討している。また、SSC は 2nd ステージで材料の耐久性を評価中である。3rd ステージで LSM

と LSCM で検討された製造工程との共通化を検討する予定である。LSCF については、1st ステージであり、材料技術課題整理、対策検討を進めている。

燃料極材料については、Ni-YSZ については、1st ステージであり、材料技術課題整理、対策検討中である。Ni-セリアについては、2nd ステージで材料の耐久性を評価中である。経時的な電圧低下が認められているので原因調査と対策検討を進めていく予定である。

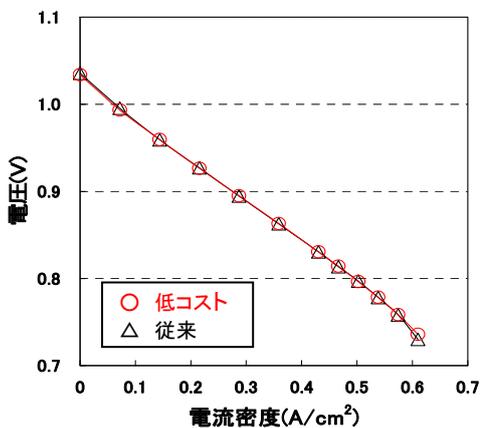
各々の材料ごとの詳細を以下で説明する。

## (a) 空気極材料

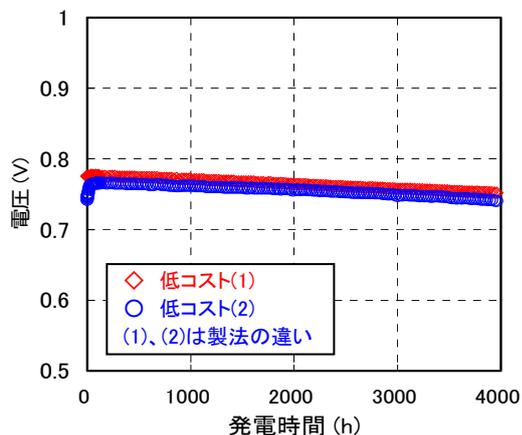
### i. SSC

固相法及び液相法で試作したSSCについて、スクリーン印刷法に適したスラリー作製条件を検討した結果、いずれの材料でも電極塗布は可能であった。LSGMC電解質との焼結試験では、SSCについては従来の焼成条件で焼結が可能であり、発電セル成型体を得ることができた。低コストSSCを空気極としたφ120mm円形平板形発電セルを作製し、水素を燃料として電気特性評価試験を行ない、従来の空気極材料を使用したセルと比較した。電解質、燃料極には従来の材料を用いた。図III-1.2.2-7の電流電圧特性が示すように測定した範囲（最大燃料利用率85%）において、従来セルと特性に有意差は見られなかった。また、一定電流密度での連続運転を行ない、電圧の変化を調べた。図III-1.2.2-8に示すように2枚のセルで実施している連続運転は約4,000時間を経過しているが、どちらも顕著な電圧低下は見られていない。

材料中に見られた微量成分は、焼結後のSSC空気極中でも検出された。作製初期及び、運転1,000時間後のセルについて分析した結果、微量成分の偏析や運転による明確な移動などは見られなかった。現在継続している耐久試験についても終了後に分析して変化を調べることを予定している。また、LSM、LSCMとの製造工程共通化による低コスト化を検討する。



図III-1.2.2-7 低コスト SSC 及び従来 SSC を使用したセルの電流電圧特性の比較



図III-1.2.2-8 低コスト SSC 使用セルの耐久性試験経過

### ii. LSM、LSCM

1st ステージとして一次試作材料の組成 (XRF)、線膨張挙動、角柱状ペレットでの導電率を計測した結果、低コスト材料は出発原料の影響により、従来の材料では検出されない微量成分が含まれることが分かったが、線膨張挙動、導電率には問題は認められなかった。このため一次試作材料(標準粒径粉)に従来使用している基準の粒度分布調整粉を混合し、セル形状の膜での導電率を計測した結果を図III-1.2.2-9 に示す。低コスト標準粒径粉を適

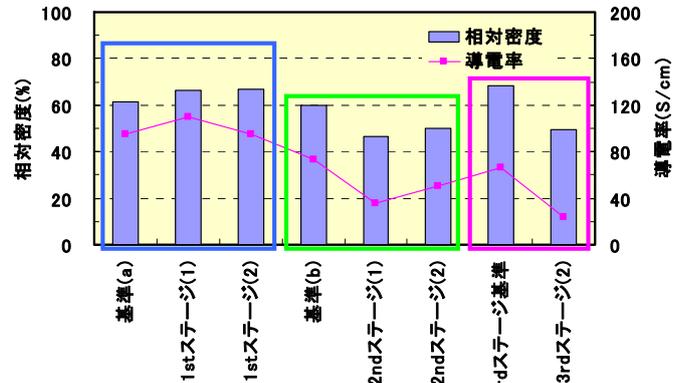
用した試作品の導電率（1st ステージ(1)、(2)）は、標準粒径粉、粒度分布調整粉共に従来材料を使用した膜（基準(a)）と同等であるため、セルスタックに適用可能と判断した。

2nd ステージとして材料使用容易性を向上するため、標準粒径粉、粒度分布調整粉ともに低コスト材料を使用し導電率を計測した結果（図Ⅲ-1.2.2-9）、導電率が大幅に低下した（2nd ステージ(1)、(2)）。空気極膜の相対密度が低下しているため、低コスト粒度分布調整粉の組織を観察した結果、空孔が多く認められた。このためセルスタックに適用するには、粒度分布調整粉の密度を高め、導電率を高める必要がある。

3rd ステージとして共通仕様化の可能性を検討するため、LSCM と LSM の共通組成化について検討した。高純度 LSM の標準粒径粉と粒度分布調整粉を独自に開発し、導電率を計測した。その結果、高純度粉であれば導電率の低下は 10%程度のため、共通組成にできる可能性が得られた。しかし、低コスト材料を使用すると導電率が低下するため、LSCM 同様、粒度分布調整粉の密度を高める必要がある（図Ⅲ-1.2.2-9）。今後は、SSC との材料製造工程の共通化について検討し、低コスト化を推進する。

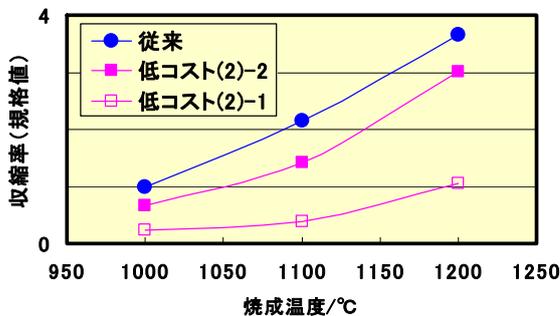
### iii. LSCF

一次試作粉でセルを試作したが、膜の剥離が観察された。焼結特性を従来品と比較したところ、収縮率が低いことが判明した（図Ⅲ-1.2.2-10）。LSM 開発時のデータから、焼結特性が低い要因として A サイト過剰組成 ( $y > 1$ ) になっていることが示唆された（図Ⅲ-1.2.2-11）。そこで、微量成分を調査した結果、表Ⅲ-1.2.2-7 に示すように、従来品と比較して低コスト品は Ce、Ba が多いことを確認した。

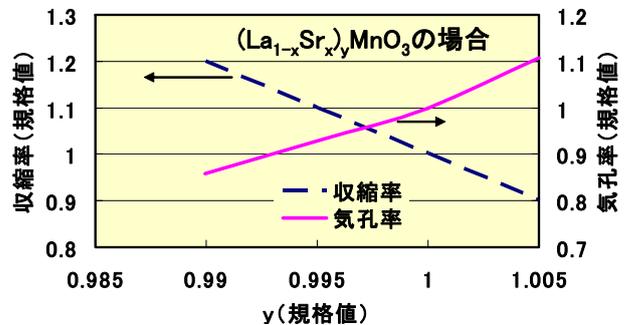


基準(a),(b)：標準粒径+粒度分布調整粉ともに従来材料  
 1stステージ：低コスト標準粒径+従来の粒度分布調整粉  
 2ndステージ：標準粒径+粒度分布調整粉ともに低コスト材料  
 3rdステージ基準：高純度LSM  
 3rdステージ(2)：製法(2)の低コストLSM  
 焼成温度：基準(a)>基準(b) = 3rdステージ基準

図Ⅲ-1.2.2-9 LSCM と LSM のセル形状の膜での導電率計測結果



図Ⅲ-1.2.2-10 LSCF 材料の焼結特性比較



図Ⅲ-1.2.2-11 LSM (y 値) と焼結特性

Ce、Ba は、LSCF:  $(La_{1-x}Sr_x)_y(Co_{1-z}Fe_z)O_3$  の一般式で表した場合、La サイト、すなわち、A サイトに固溶されるので、La と Sr の仕込み組成を  $y=1$  とした場合、Ce、Ba の影響で  $y>1$  になり、A サイト過剰組成となる。これが焼結特性を低下させた要因と推定している。A サイトに置換される微量成分を考慮した配合組成を検討中であり、微量成分含有に伴う課題が明らかになった。

表Ⅲ-1.2.2-7 LSCF の微量成

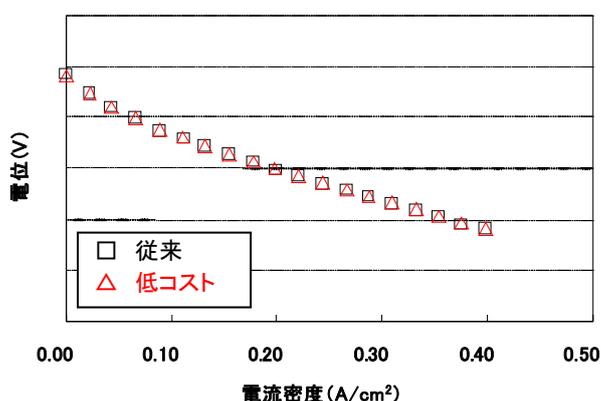
	Ce	Ba	S	Ca	Si
LSCF低コスト品	3000	6000	600	700	100
LSCF従来品	-	-	500	-	-
低価格La出発原料	9500	-	-	1400	-
低価格Sr出発原料	-	30000	900	700	-
低価格Co出発原料	-	-	1700	-	-
低価格Fe出発原料	-	-	600	-	100

(b) 燃料極材料

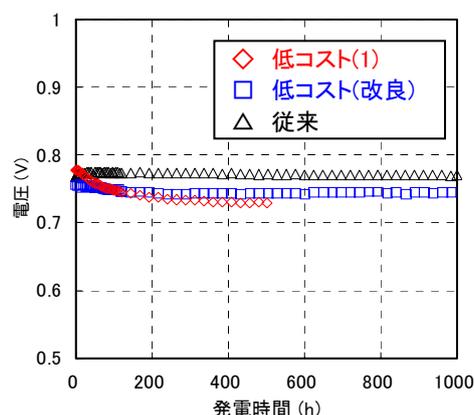
i. Ni-セリア

固相法及び液相法で試作した Ni-セリア-1、2 についてセルを試作したところ、いずれの材料でもセルの作製が可能であるとわかった。試作されたセルの性能評価では、図Ⅲ-1.2.2-12 に示すように、従来材料を用いた場合と有位差のない電流電圧特性が得られた。これより、Ni、セリアの出発原料の共通化の可能性が見出された。

低コスト Ni-セリア-2 材料については  $\phi 120\text{mm}$  円形平板形発電セルを用いて一定電流密度での連続運転を行なった。初期の試作セルでは従来材料を用いた場合と比べて電圧低下率が高い傾向が見られたが、電極作製時に材料の粉砕工程を加えたところ、図Ⅲ-1.2.2-13



図Ⅲ-1.2.2-12 低コスト Ni-セリア-1 及び従来材料を使用したセルの電流電圧特性の比較

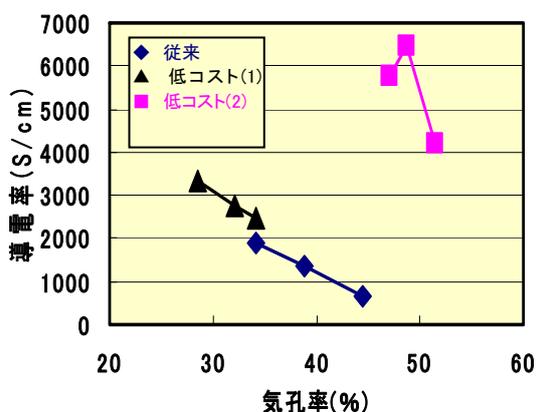


図Ⅲ-1.2.2-13 低コスト Ni-セリア-2 使用セルの耐久性試験経過

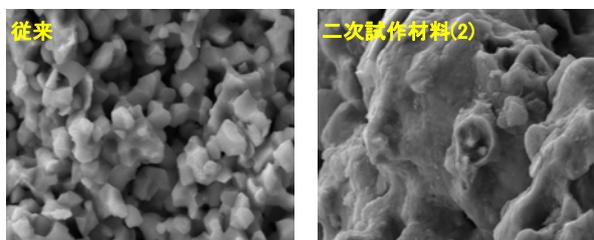
に示すように改善の傾向が見られている。

## ii. Ni-YSZ

一次試作粉で、異結晶種のジルコニア相の生成、導電率のばらつきと焼結特性に課題が認められた。材料メーカーで改良を施し、再度試作した。その結果、導電率が異常に高いものが得られた(図Ⅲ-1.2.2-14)。組織観察をした結果、低価格出発原料から作製したNi-YSZは、Ni粒子が熔融しYSZ粒子を覆う構造になっていることが分かった(図Ⅲ-1.2.2-15)。低コストNi-YSZ材料の微量成分を分析した結果、表Ⅲ-1.2.2-8に示すように、400ppm程度のSを含んでいることが判明した。NiはSを含むとNi-S共融物を比較的低温で生成する(図Ⅲ-1.2.2-16)可能性がある。今回の事象は、微量成分のSが含有することにより、還元時にNiの熔融が生じたものと示唆された。微量成分に伴う課題が確認されたので、原料由来の微量成分について調査を行う予定である。



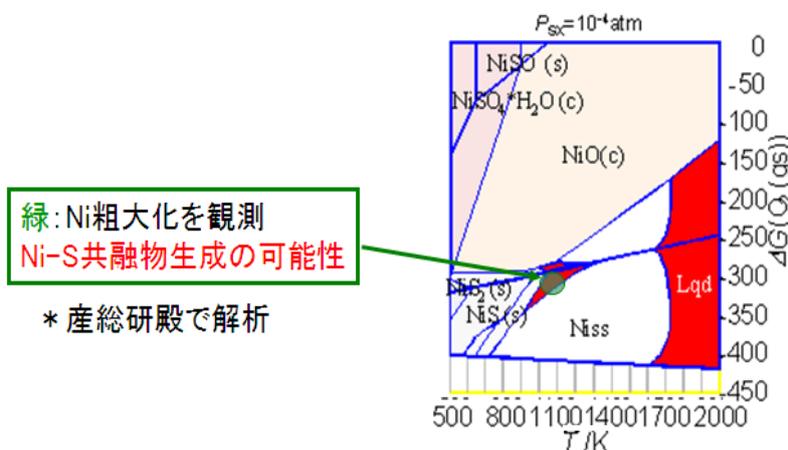
図Ⅲ-1.2.2-14 Ni-YSZ 導電率特性



図Ⅲ-1.2.2-15 Ni-YSZ の還元後微構造

表Ⅲ-1.2.2-8 Ni-YSZ (二次試作材料の微量成分の分析結果(ppm))

	Ca	S	Al	Fe
Ni-YSZ 試作品	600	400	200	200



図Ⅲ-1.2.2-16 Ni-S-O-H(-C)系の化学ポテンシャル図  
( $P_{H_2O}=0.5\text{atm}$ ,  $P_{CO_2}=0.25\text{atm}$ ,  $P_{Sx}=10^{-4}\text{atm}$ )

### (c) スタックメーカーにおける成果と課題

#### i. 空気極材料の成果

- ① SSC は初期性能、耐久性共に良好な結果が得られている。LSM、LSCM との製造工程共通化を検討する。
- ② LSM と LSCM は組成及び出発原料の共通化を実現できる可能性が示された。

#### ii. 燃料極材料の成果

- ① Ni-セリア系は初期性能が良好であり、出発原料の共通仕様化の可能性が見出された。

#### iii. 課題と対策

- ① LSCF の組成ずれが焼結特性に影響を及ぼすと共に、Ni-YSZ 中の微量成分（硫黄）による異常粒成長が観察されたため、微量成分の焼結特性、耐久性に対する影響を評価すると共に、許容値把握と管理が必要である。

### (4) 目標の達成度と成果の意義

得られた成果と目標に対する達成度および今後の課題を表Ⅲ-1.2.2-9 に示す。

表Ⅲ-1.2.2-9 成果のまとめ、目標に対する達成度と今後の課題

中間目標 (H22 年度)	成果	達成度	課題
各セルスタック開発機関がセルスタックを作製できる原料・部材の共通仕様を提案する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気極の LSM と LSCM、燃料極の Ni-セリア系で共通仕様化の可能性が得られた。</li> <li>・SSC は初期性能、耐久性共に良好、Ni-セリアの初期性能は良好</li> </ul>	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・LSM、LSCM の製造工程の SSC への展開</li> <li>・LSM、LSCM の粒度分布調整用材料の密度と強度の向上</li> <li>・Ni-セリア系の耐久性低下要因の究明</li> </ul>
セル製造及びスタック化コスト等を分析して最終目標を達成するための原料・部材のコストを見積る。	スタックコスト 5 万円/kW 以下が実現可能な空気極・燃料極材料の基本仕様を定めることができた。	◎	<ul style="list-style-type: none"> <li>・材料の更なる製造工程改善を行い、目標コストの実現可能性を検討する。</li> </ul>
低コスト化に向けた技術開発課題を抽出する。	製造条件 (LSCF における微細粒子や組成ずれ) や微量成分 (Ni-YSZ) の課題が抽出された。目標コストを実現する材料についての技術であり、低コストセルスタック開発方針に則っている。	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・微量成分の影響評価と閾値の検討</li> <li>①Ni-YSZ における Ni 粒成長 (微量 S の影響)</li> <li>②LSCF における組成ずれ →他の材料に対する影響評価</li> <li>・製造条件の見直し→LSCF における微細粒子発生の抑制</li> </ul>
低コストセルスタック開発方針を策定する。		○/ △ (LSCF, Ni-YSZ)	

◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成

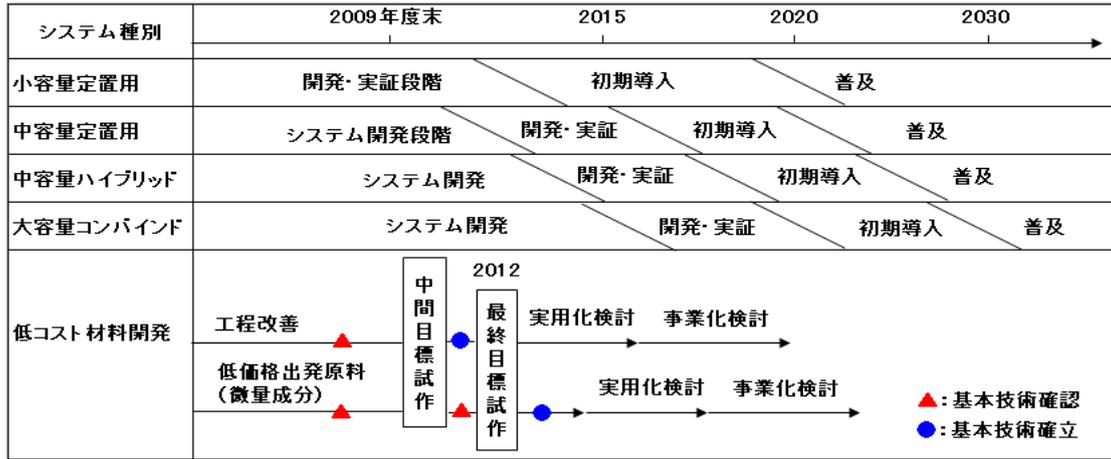
得られた成果の意義を以下に示す。

- ① スタックメーカー間で共通化が図られた世界初の成果である。
- ② 価格競争力をもつ材料仕様が明らかになり、材料メーカー、スタックメーカーに広く市場参入の可能性が開かれた。
- ③ 広い動作温度 (中温・高温)、種々のスタック構造 (円筒・平板) を特徴とする広範囲の SOFC に適用可能であり、高い汎用性をもつ。
- ④ 5 万円/kW の見込みが得られ、他の競合技術に対して優位性がある。

### (5) 成果の最終目標の達成可能性

工程改善については、これまでの検討結果から最終目標コスト達成への見通しが得られている。低価格出発原料に起因する微量成分の影響は、LSCF、Ni-YSZ で顕在化した但他的材料でも共通している可能性が高い。この課題については、大学/産総研と連携し基礎的な課題を解決することで、最終目標は達成可能と考える。

(6) まとめ及び課題、事業化までのシナリオ



SOFC システムを実用化することで、分散電源から事業用まで幅広い用途にわたる高効率発電装置の市場が創出されると共に、素材から組立にいたる幅広い産業の雇用拡大に貢献する。

## 2. 実用性向上のための技術開発

### 2. 1 運用性向上のための起動停止技術開発

#### 2. 1. 1 運用性向上のための起動停止技術開発（高温円筒縦縞型）

##### (1) 事業概要

SOFC は高い発電効率に加えシンプルな発電システムを構築することができ、高効率な分散型電源として期待されている。

これまで SOFC は、起動に大きなエネルギーが必要であることから起動停止や大きな負荷変動を伴わないベースロード負荷に対する運転に好適とされ、定負荷連続運転における性能評価を中心に開発を行ってきた。前事業において、発電効率 49%(HHV)、連続運転 5000 時間で電位低下率 1%/1000H 程度の耐久性能を実証した。実用化に際しては、夜間や週毎の定休日の低負荷運転やメンテナンスに伴う計画停止があり、耐起動停止特性が必要である。前事業で起動停止予備試験を行ったが、劣化が大きいことが確認され、起動停止特性の改善が必要と考えられた。

前事業での課題を解決するべく、本事業では実用上発生する起動停止モードとして冷起動停止（Cold Start-up and Stop ⇒CSS）および暖起動停止（Hot Stand-by and Start-up ⇒HSS）における熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃の影響を受けにくい起動停止条件を確立する。同時に起動停止に伴う性能低下要因の検証・定量化を行い効率的かつ効果的な改良を行い、熱衝撃の影響を受けにくいスタック・モジュール構造を開発する。

##### (2) 目標

<中間目標>

CSS、HSS を含めた起動停止を合計 50 回程度実施し、起動停止 250 回でスタックの電位低下率が 10%以下を見通せるモジュール構造を開発する。

電位低下率が 10%以上と推定された場合、モジュールにおける技術課題を明確化し、最終目標を達成させるための対策を立案する。

<最終目標>

5~10kW 熱自立モジュールにおいて、3000H~10000H の運転を行い、起動停止回数 250 回の見通しを得るとともに耐久性 4 万時間（電圧低下率 0.25%/1000H）の見通しを得る。

##### (3) 事業成果

###### a. 開発の進め方

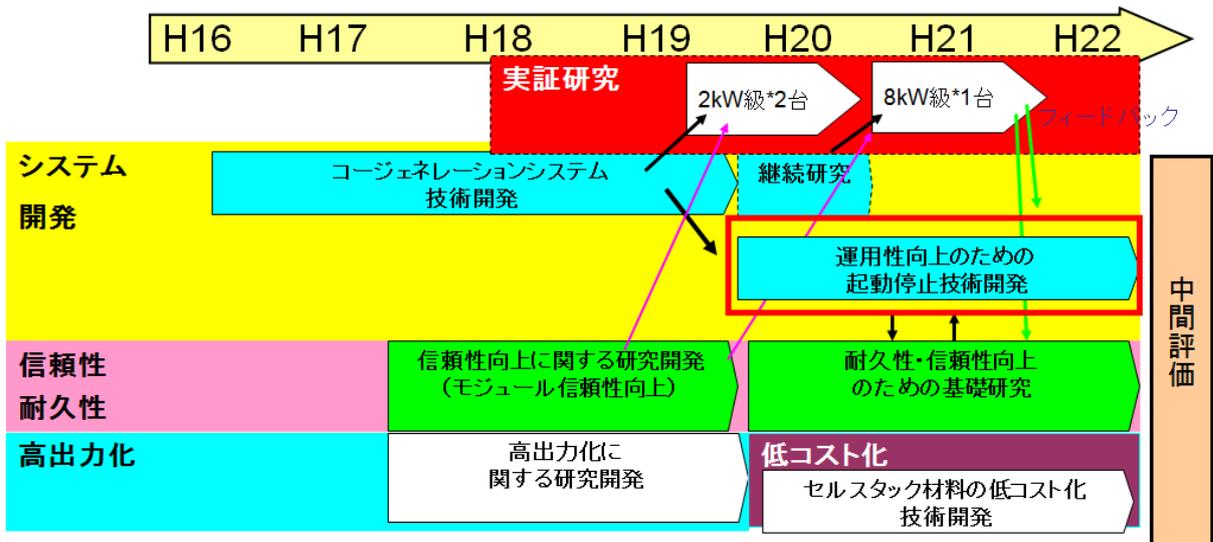
###### (a) 研究体制

本事業は、横川教授の下、NEDO から TOTO に委託された事業である。

###### (b) 委託事業の位置づけ

図Ⅲ-2.1.1-1 に委託事業の位置付けを示す。前事業（～H19 年）では、コージェネレーションシステム開発、信頼性・耐久性開発、高出力化に取り組み、H20 年からは前事業で明確になった技術課題に着手してきた。本事業は、システム開発で主要技術課題となった起動停止に関する技術開発を実施していく。また、前事業の成果を盛り込み、実証研究を通じてシ

システムの実証を H19、H20 年に行い、ここで得られた重要技術課題をフィードバックし、本事業の中で着手し、効率良い開発体制の中で実用化にむけた開発を推進した。



図Ⅲ-2.1.1-1 委託事業の位置づけ

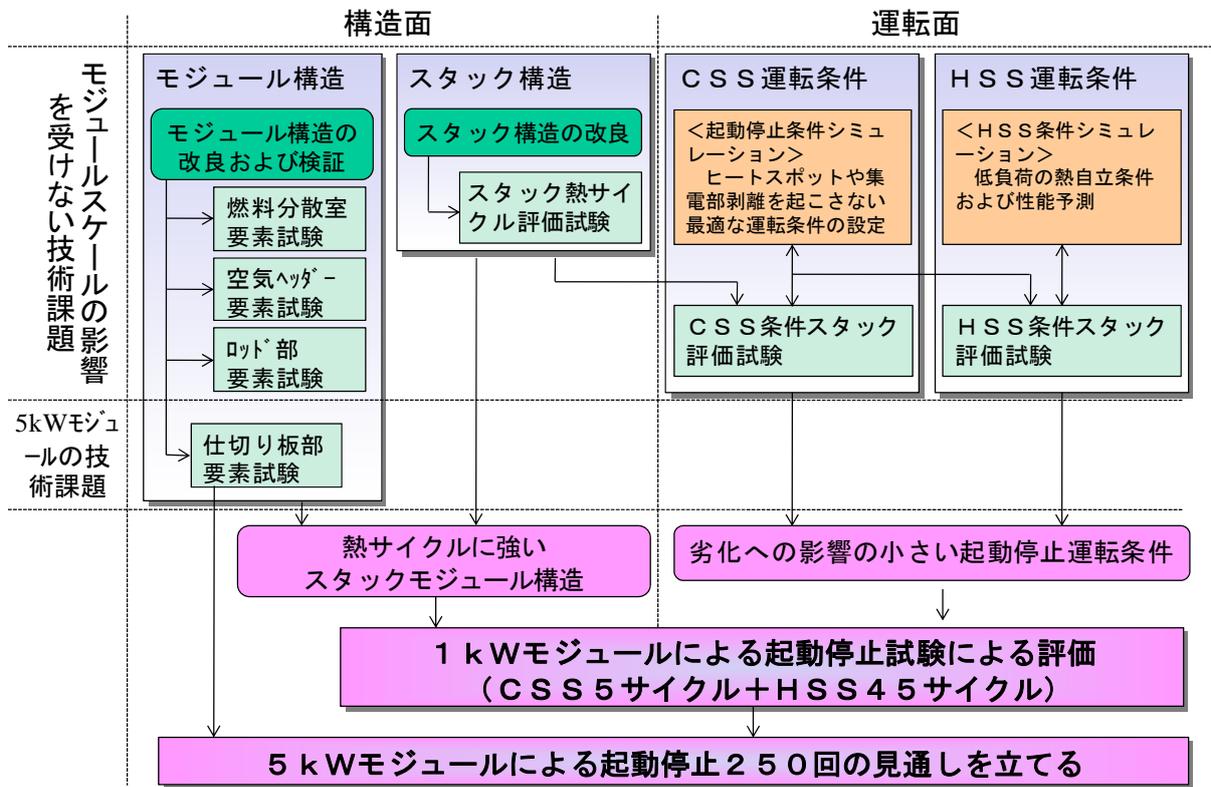
### (c) 本事業の進め方

図Ⅲ-2.1.1-2 に前事業を受けての開発の進め方を示す。セル、スタック、モジュールに分けて劣化要因の推定、切り分けを行った。その結果、長時間連続運転に伴う劣化の主要因はセル、起動停止に伴う劣化の主要因はスタック、モジュールであることが判明した。そこで、本事業では、スタック、モジュールの開発を推進することとした。なお、セル改善は耐久性・信頼性向上のための基礎研究で推進し、図Ⅲ-2.1.1-1 に示すように事業ごとに連携し効果的な開発を実施した。

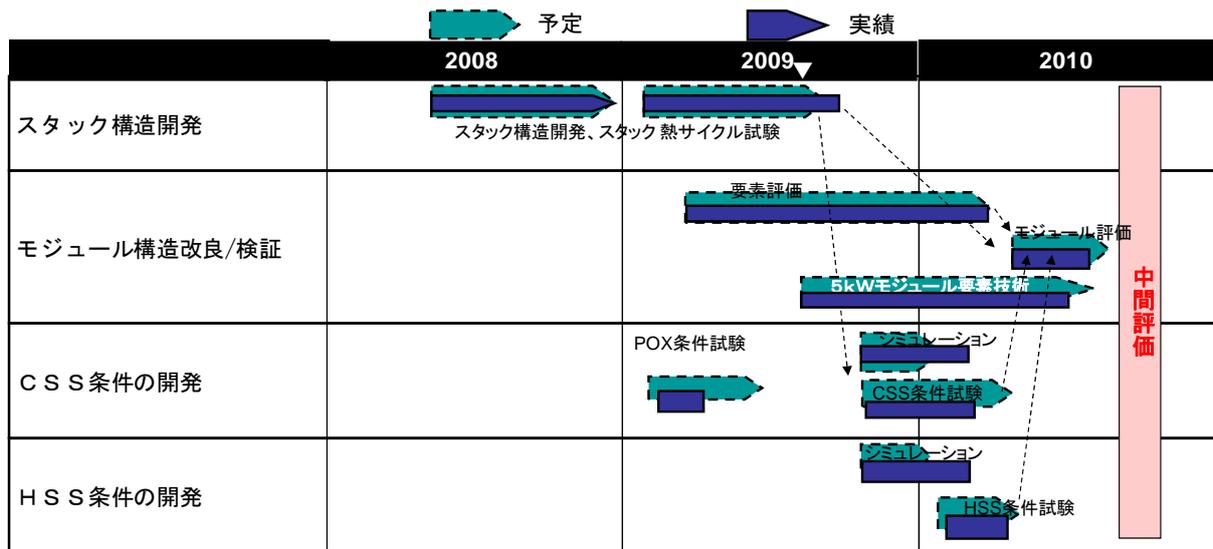
図Ⅲ-2.1.1-3 に本事業での課題解決の手順を示す。まず、基本構成単位となるスタック構造の改良を行い、改良したスタックを用いて CSS・HSS 運転条件の設定を行う。運転条件の設定にはシミュレーションを併用し最適な条件設定を行うこととする。また平行してモジュールの構成する各部位に対して、要素試験を実施し改善を図り、熱サイクルに強いモジュール構造を開発する。仕切り板部に関してはモジュールスケールの影響を受けやすい要素であるため、5kWスケールで検証を行う。これらのスタック・モジュール構造により 1kWモジュール(3スタックモジュール)を製作し、設定した最適な運転条件で CSS5 回+HSS45 回の起動停止試験により性能評価を行う。この結果と仕切り板の 5kWスケールの要素試験の結果から 5kWモジュールによる起動停止 250 回の見通しを立てる。本事業における中間評価までの研究スケジュールは図Ⅲ-2.1.1-4 に示すとおりである。予定に対して、概ね計画通りの実績となっている。



図Ⅲ-2.1.1-2 前事業を受けての開発の進め方



図Ⅲ-2.1.1-3 課題解決のアプローチ

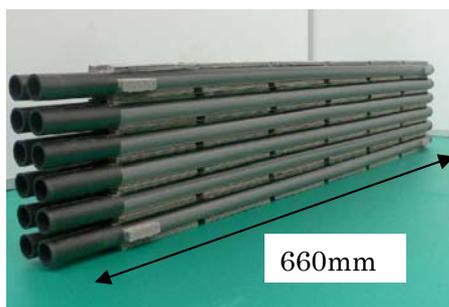


図Ⅲ-2.1.1-4 研究スケジュール

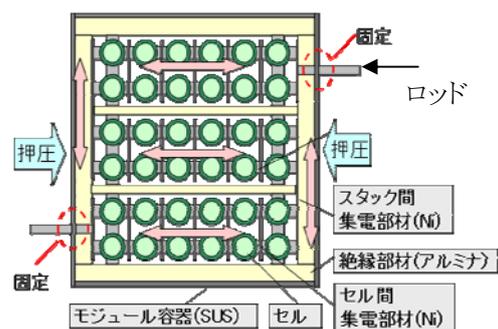
## b. スタック構造の開発

### (a) 従来のスタック構造の課題

図Ⅲ-2.1.1-5 に従来のスタック構造を示す。1 スタックは全長 660mm のセルが 12 本で 2 並列\*6 直列で構成され、セルは熱衝撃性に優れた円筒縦縞型デザインを採用している。複数のセルを集電部材で予め焼き付け接続し、このスタックをモジュール容器内に収納し、スタック間には集電材（主として Ni 板）を運転時の熱と押圧で焼き付け接続している。同構造では、起動停止に伴う熱サイクルにより部材間の熱膨張係数の違いにより、起動～運転～停止の過程でスタックの集電部材の接合部に引張り or せん断応力が発生し、焼き付けされた接合部分の強度を超えた場合集電不良による性能低下に至る（図Ⅲ-2.1.1-6）。さらに出力UPのためスタック数を増加させると部材間の熱膨張係数の違いによる変位量が大きくなり、スタックに加わる応力が増大し、スタック間またはセル間の接合部のダメージがより顕著となる。



図Ⅲ-2.1.1-5 従来のスタック構造



図Ⅲ-2.1.1-6 モジュール内の集電部材に発生する応力

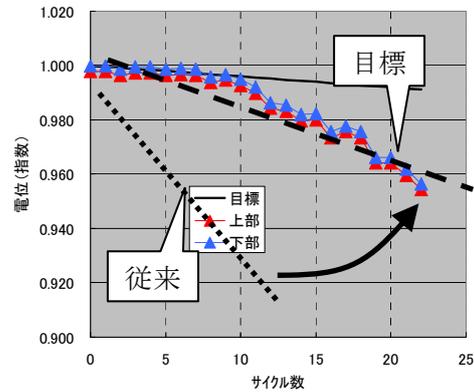
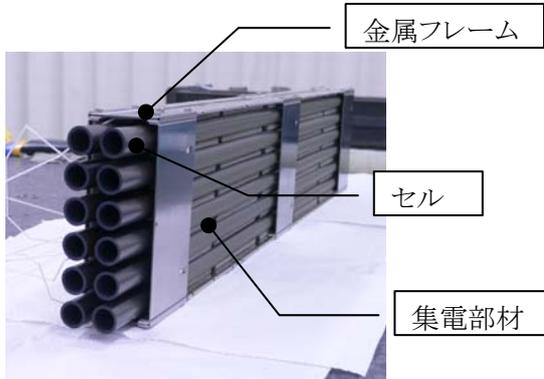
### (b) スタック構造の開発

従来のスタック構造の集電部の課題を解決するために、セルおよび集電部材を金属フレームで囲み固定化させたフレーム固定スタック構造を考案した。同構造では、以下のような機能を発揮する。

- ① 2 並列 6 直列の小規模範囲で集電に必要な応力を完結させるので、集電部材に発生

する応力を小さくかつ安定させることができる。

- ② ロッドやスタック間集電部材からスタックに伝わる応力を金属フレームで支持するため、出力アップのためモジュール内のスタック数を増加させても集電部材に伝わる応力は変わらない。また、セル集電部材の接合部に粘着Niペーストを使用することで、セルと集電部材間の接合強度を改善し、密着性を改善させた。



図III-2.1.1-7 フレーム固定スタック

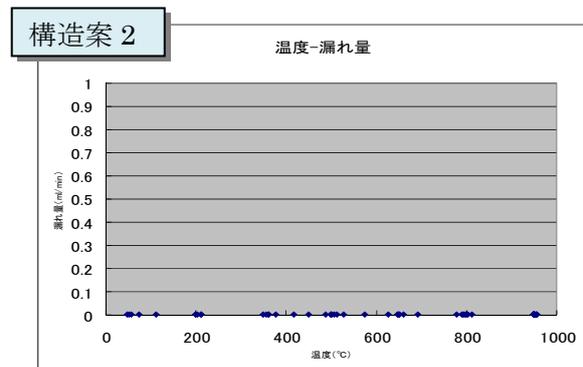
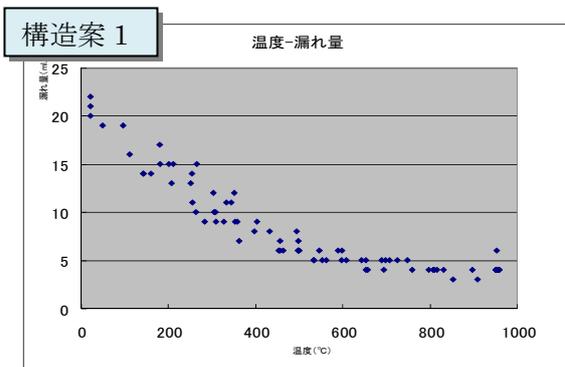
図III-2.1.1-8 フレーム固定スタック 熱サイクル試験結果

(c) スタック熱サイクル評価

フレーム固定スタックを電気炉で20サイクルの発電試験を行った。定格条件における電位の推移を図III-2.1.1-8に示す。従来のスタック構造と比較して、熱サイクルに伴う電位の低下は大幅に改善され、CSS目標の0.2%/cycleを達成する見通しが立った。

c. モジュール構造の開発

モジュールを構成する各部位について熱サイクル要素試験を行い、構造案1と構造案2を定量的に比較評価し、目標とする熱サイクル性能の見通しを立てることとした。3サイクル試験を行い、漏れ量をチェックした。図III-2.1.1-9、図III-2.1.1-10に示すように、構造案2とすることで漏れ量を大幅に低減させることができた。構造案1の漏れ量を算出したが性能への影響が出ないレベルのものであることが確認された。構造案2では絶縁耐久性、部品点数増に伴うコストアップの課題があったため、今回の1kWモジュール試験では、構造案1で試験を実施することとした。



図III-2.1.1-9 構造案1 温度と漏れ量の関係

図III-2.1.1-10 構造案2 温度と漏れ量の関係

#### (a) 仕切り板構造の開発 (5kW モジュール技術開発)

5kW サイズのモジュールを用いて 2008 年度に実証試験を行った。その結果、出力増加途中でセル損傷による性能低下が発生した。その原因を調査した結果、仕切り板の熱サイクルにおけるシール性能向上が、5kW サイズでの重要技術課題であることが明らかになった。そこで、仕切り板構造検討を 5kW サイズの模擬モジュール試験で行った。試験は、従来構造の仕切り板、改良構造 1、改良構造 2 および 1kW サイズの従来構造の 4 つを実施した。5kW モジュールおよび 1kW モジュールの同寸容器に SUS 管で構成した模擬セルスタックおよび仕切り板をセットし、電気炉内で室温⇄920℃の熱サイクルを与えた。燃料側に H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> を供給し、仕切り板上面の温度変化および発電室内の圧力変化を観測して仕切り板の劣化を評価した。その結果、改良構造 2 および 1kW サイズの従来構造では圧力および温度変化の観点で問題ないことを確認した。ただし、改良構造 2 は、複雑な構造のため、施工不良による機能低下が生じる可能性があることが示唆され、今後解決すべき課題があることも判明した。

#### d. CSS 運転条件の確立

本事業で開発したフレーム固定スタックを用いて、CSS 運転条件と性能低下の関連を評価した。評価は 1 スタックを用いて行った。実際のモジュールを模擬するべく、モジュールと同一構造を採用し、後述する 1kW モジュール試験と同等の温度分布や昇温速度が再現できるように試みた。

##### (a) アノードガス条件

アノード側は、都市ガス、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> の混合ガスを用いて、改質器で POX ガス（部分酸化ガス）を模擬したガスを生成した。

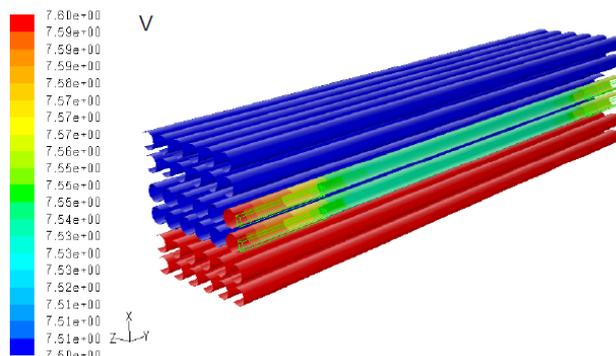
##### (b) CSS 試験条件および結果

フレーム固定スタックを搭載した 1 スタックモジュールにより、起動/停止における加熱/冷却の熱量を変化させ、目標を達成する条件の見極めを行った。起動条件、停止条件ともに 3 条件ずつ実施し、各条件とも 3 サイクル試験を行い、その平均電位低下率で評価した。その結果、起動/停止ともに加熱/冷却の熱量を増加させることで劣化速度が速まる傾向が見られたが、起動条件では一番条件の甘いもの、停止条件では 3 条件すべてで CSS 目標を達成できる見込みがあることがわかった。

##### (c) 性能低下の要因分析

起動条件試験では、厳しい条件の 2 つが性能低下していた。解体の結果、スタック端部の集電部材で剥離（全面積の 30%程度）が認められ、集電抵抗を高めていることが示唆された。そこで、スタック端部の 1/3 が集電不良した状況をシミュレーションした（図Ⅲ-2.1.1-11）。その結果、性能低下率とほぼ一致する結果が得られ、起動条件試験でのスタック性能低下は端部の集電抵抗増によるものと推測された。さらに、起動停止の際に集電部材の接触不良が発生するメカニズムを明らかにするために、起動および停止時のモジュールの昇温・降温過程をシミュレーションで評価した。その結果、スタックを構成する部材間で 100~130℃程度の温度差が生じ、高温強度を考慮した応力の値からセルと集電剤で剥離が生じる可能性があることがわかった。そこで、応力の発生を抑えるような運転条件を設定し再度シミュレーションで算出した。その結果、問題ないレベルの条件を設定することができ、本条件を CSS

運転条件に採用することとした。

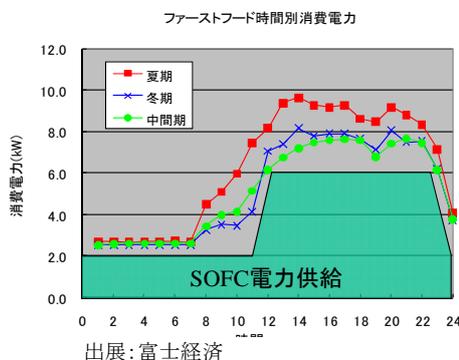


図III-2.1.1-11  
スタック端部 1/3 接触不良時の電位分布

### e. HSS 運転条件の確立

#### (a) 経済的な運転条件の設定

HSS の条件を設定するために、小規模店舗などの業務用途で夜間および休日における電力需要を調査した。図III-2.1.1-12 にファーストフード店における 1 日の時間別消費電力を示す。季節による差を考慮して昼間の需要のベース電力と夜間のベース電力を比較すると夜間は約 1/3 の電力需要となる。次に 1/3 負荷と 0 負荷のときの発電効率を算出した。定格でのシステムの発電効率 AC HHV40%として年間に CSS5 回、HSS45 回行われた場合、HSS で 1/3 負荷 (AC HHV35%) で運転と AC 0kW で運転したケースの年間平均発電効率を比較した。その結果、1/3 負荷運転の方が 2%程度経済的であることがわかり、本試験での HSS 運転条件を 1/3 負荷に設定することとした。



図III-2.1.1-12  
ファーストフード時間別消費電力

#### (b) HSS 試験結果

設定した HSS (1/3 負荷) に至る運転条件が性能に及ぼす影響を、1 スタックモジュールにより評価した。試験の結果、負荷上昇時において、燃料を先に多く流すパターンでの負荷変動試験が望ましいと判断した。

### f. スタックモジュール試験

前記試験で設定した CSS、HSS 条件で 1 スタックモジュールでの起動停止試験を行った。CSS および HSS 試験結果を図III-2.1.1-13、図III-2.1.1-14 に示す。

#### ① CSS 運転

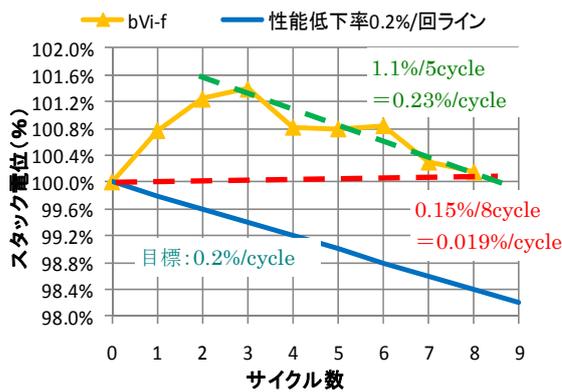
8cycle 実施し、初期に対して電位低下は認められなかった。3cycle 目で電位がピー

クとなっており、3cycle~8cycle で算出すると 0.23%/cycle であり、ほぼ目安としている目標どおりの結果であった。

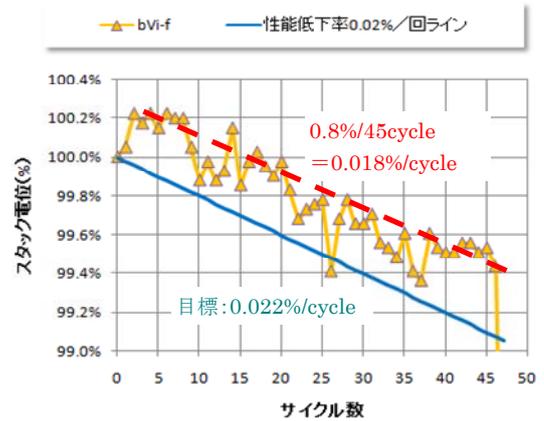
## ② HSS 運転

45cycle=416H での連続運転による性能低下:0.5% (1.3%/1000H) を差し引くと、HSS による性能低下は、0.3%/45cycle =  $\triangle 0.007\%/cycle$  であり、目標値 0.02%/cycle を上回る結果が得られた。

以上のように1スタック試験で、設定した CSS、HSS 運転での電位低下の目標を達成できたので、1kW (3スタック) モジュールで検証することとした。



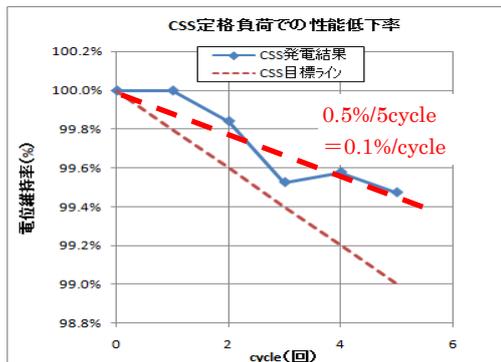
図Ⅲ-2.1.1-13 CSS 定格時の性能低下率



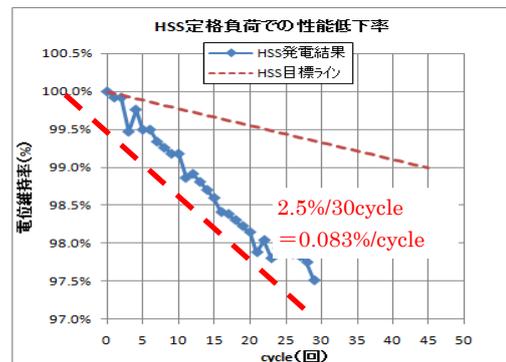
図Ⅲ-2.1.1-14 HSS 定格時の性能低下率

## g. 1kW モジュール試験

前述した改良スタックで3スタックを直列に並べ、上述した開発を施した1kWモジュールを製作した。前記、1スタックモジュール試験と同様の昇降温条件でCSS5回、HSS45回の試験を行った。図Ⅲ-2.1.1-15にCSS、図Ⅲ-2.1.1-16にHSSでの電位低下率を示す。CSS5cycleでは、電位低下率が0.1%/cycleであり、目標の性能低下率を達成した。一方、HSSでは、電位低下率が0.083%/cycleであり、目標とする低下率0.02%/cycleを下回る結果が得られた。現在、解体し原因究明中である。



図Ⅲ-2.1.1-15 CSS 定格時の性能低下率



図Ⅲ-2.1.1-16 HSS 定格時の性能低下率

## h. 研究成果まとめと達成度

表Ⅲ-2.1.1-1に研究成果のまとめと達成度を示す。スタックおよびモジュール構造の開発、CSSおよびHSS運転条件を設定し1スタックモジュール試験では目標達成できたが、1kWモジュールで一部目標達成できていない状況である。総合評価を△としている。

表Ⅲ-2.1.1-1 研究成果のまとめと達成度

項目	成果のまとめ	達成度
スタック構造の開発	フレーム固定スタックを考案し、CSS 0.2%/cycle の見通しを得た。	○
モジュール構造の開発	モジュールの各構成要素の耐熱衝撃性を評価・改良し目標達成の見通しを得た。	○
5kW モジュール要素技術開発	熱サイクル下でもセル周りの気密を維持する仕切り板構造を検証した。	○
CSS 条件の設定	シミュレーションを併用し集電部の接触不良を回避する運転条件を設定した。	○
HSS 条件の設定	経済性の高い HSS 条件を設定し、0.022%/cycle の見通しを得た。	○
1 スタックモジュール評価	上記構造・運転条件において、CSS 9cycle+HSS 45cycle を実施。目標達成。	○
1kW モジュール評価	上記構造・運転条件において、CSS 5cycle の目標は達成したが、HSS 45cycle において目標を下回り、低負荷運転時の課題を抽出した。	△
総合評価	1 スタックモジュール試験で CSS・HSS を含めた起動停止 50 回を行い、電位低下率 10%以下の達成見通しを得た。1kW モジュールにおいて HSS における課題抽出。	△

◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達、×：未達

#### (4) 成果のまとめおよび意義

成果のまとめと意義は以下のとおりである。

- ① 定格の 1/3 負荷の HSS 状態においても発電効率 40%HHV の高効率を達成できる見通しが立ち、かつ性能低下率が低いことを示せた。この成果は、起動停止を伴う業務用途の施設において年間平均発電効率で競合技術に対して十分な優位性を確保することができる。
- ② 業務用タイプの SOFC では、従来、一定負荷のベースロードへの適用を想定していたが、今回の成果により、システムを昼夜・休日で大きく負荷が変動する市場への拡張が可能となった。
- ③ 熱サイクルの影響を小さくする運転技術は、SOFC 起動停止における共通の課題であり、今回の成果は汎用性がある。

#### (5) 最終目標の達成までの課題と対策の方向性

最終目標を達成するための課題とその対策の方向性を以下に示す。最終目標は、5～10kW 熱自立モジュールにおいて、3,000～10,000 時間の運転を行い、起動停止回数 250 回の見通しを立てるとともに耐久性 4 万時間の見通しを得ることである。主要課題の電解質粉末化(耐久性、信頼性基礎で示した課題) 以外は現状の対策方向性で十分に達成できる見込みがあると考えている。

## 2. 1. 2 運用性向上のための起動停止技術開発（中温円形平板型）

### （1）研究開発概要

発電部門における省エネルギーおよび石油代替を促進するため、天然ガス、石炭ガス等を燃料とすることが可能であり、小規模分散型から大規模火力代替システムまで広い適用性を持つ、発電効率の高い固体酸化物形燃料電池（以下、SOFC という）は有効である。その SOFC を小・中規模分散型電源市場に投入できる SOFC コジュネレーションシステム（以下、システムという）として実用化するためには、これまでのプロジェクトにおいて実施してきた出力一定運転による耐久性の確認に加え、ホットスタンバイを含めた実用的な起動停止技術の向上が求められる。そのため、本研究では起動停止性能に優れたセルスタック、モジュール、システムの開発（設計・製作）及び緊急時の安全停止のための制御方法の開発を行う。

具体的にはスタックの構成を変えた数種の数 kW 級シングルスタックの発電試験を実施し、起動停止性能に優れたシングルスタックの仕様・構造を検討する。得られたシングルスタック構造を基に、マルチスタック発電モジュールの開発を行い、起動停止性能を確認する評価試験を実施する。更に、マルチスタック発電モジュールをシステムに組み込み、運用性の検証を実施する。

### （2）研究開発目標

#### a. 平成 22 年度中間目標

起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック構造を確立する。具体的にはシングルスタックモジュールでの起動停止試験を実施し、以下の見通しを得る。

電圧低下率 : 10%/250 回

また、成果の得られたセルスタック構造を基に、マルチスタックモジュールを設計、製作する。更に窒素水素レス運転における安全且つ安定した起動停止（昇温及び降温）方法を立案する。

#### b. 平成 24 年度達成目標

マルチスタック発電モジュールをシステムに組み込み、起動停止試験を実施し、以下の見通しを得る。なお、起動停止回数を決定するにあたり、週 1 回の待機運転（ホットスタンバイ運転または低負荷運転 40 回/年）、メンテナンスのための停止（1 回/2000 時間）、計画停電（3 回/年）、想定外停止（3 回/年）を想定し、4 万時間（約 5 年）で 250 回の起動停止回数を設定した。

耐久性 : 4 万時間（電圧低下率 0.25%/1000 時間）

起動停止回数 : 250 回（ホットスタンバイ運転を含む）

#### c. 開発体制及びスケジュール

図 III-2.1.2-1 に開発体制を、表

III-2.1.2-1 に開発スケジュールを示す。最終目標を達成するにあたり、スタック、モジュール、システムと段階を経て、開発を進める方針を取った。

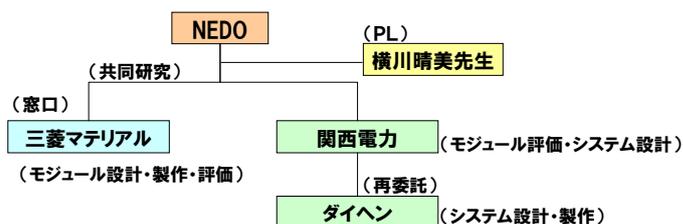


図 III-2.1.2-1 開発体制

表Ⅲ-2.1.2-1 開発スケジュール

開発項目	H20年度	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度
シングルスタックの設計・製作及び評価試験※	→				
マルチスタック発電モジュール設計・製作		→			
マルチスタック発電モジュールの評価試験				→	
システムの設計・製作				→	
システムの運用性検証試験					→

※：φ120mmセル（従来セル）・φ170mmセル（高出力セル）を用いたスタックにて開発を実施。

(2) 研究開発成果

a. 研究開発成果

(a) φ120mmセルを用いたスタック開発

耐久性・信頼性向上に関する基礎研究プロジェクトにおいて開発された「改良セル2」を用いたスタックにて起動停止試験及び出力変動試験を実施した。

改良セル2及びスタックの仕様を表Ⅲ-2.1.2-2に、試験結果を表Ⅲ-2.1.2-3及び表Ⅲ-2.1.2-4に示す。また、起動停止試験及び出力変動試験の運転条件を図Ⅲ-2.1.2-2及び図Ⅲ-2.1.2-3に示す。

40回の起動停止試験より求められる起動停止50回あたりの電圧低下率は5.0%と見込まれる。そのため、起動停止50回及び出力変動200回の電圧低下率は7.3%と見込まれ、中間目標に掲げている10%/250回を達成する見通しを得た。

なお、スタック構造に由来する電圧低下の要因としては、マニホールド部（シール部）の破損、垂直下や放熱板上下セルの電圧低下、セルの損傷、スタック構成部品内の電気抵抗の増大、スタック構成部品とセパレータ間の接触抵抗の増大などが分かった。

表Ⅲ-2.1.2-2 セル及びスタック仕様

セル種	セル外径	電流密度	セル積層枚数	出力
改良セル2	φ120mm	0.3A/cm <sup>2</sup>	46枚/スタック	DC1.2kW

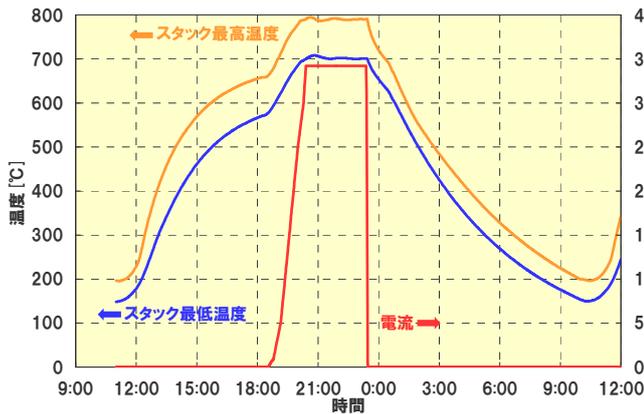
表Ⅲ-2.1.2-3 起動停止試験結果

電流密度	燃料利用率	スタック最高温度	電圧低下率	セル損傷枚数
0.3A/cm <sup>2</sup>	75%	780℃	4.0%/40回	0枚/46枚

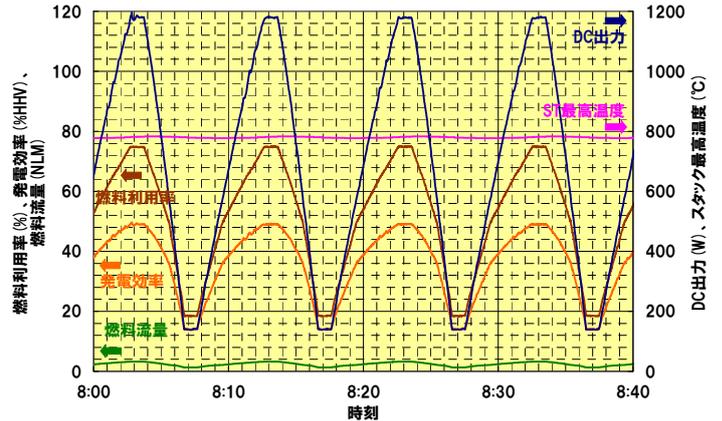
表Ⅲ-2.1.2-4 出力変動試験結果

電流密度※	燃料利用率	スタック最高温度	電圧低下率	セル損傷枚数
0.3A/cm <sup>2</sup>	75%	780℃	2.3%/200回	2枚/46枚

※：定格条件（100%電流時）における電流密度を示す。



図III-2.1.2-2 起動停止試験の運転条件  
(1日1サイクル)



図III-2.1.2-3 出力変動試験の運転条件  
(10分1サイクル)

(b) 水素窒素レスでの起動停止方法

前プロジェクトまでは水素窒素を用いてモジュールの起動停止を実施してきたが、実用化を考慮した際、水素窒素が不要とするのは必要不可欠な技術であると考えられる。そのため、単セル試験にて、供給ガス流量（都市ガス、水、空気）、セル温度、改質器温度をパラメータに水素窒素レスで起動停止できる条件を抽出した。なお、(c) viii. 項に記載の起動停止及び出力変動試験は水素窒素レスにて試験を実施している。本起動停止による問題は発生しなかった。

また、緊急停止時の停止方法についても検討し、何れの事象においても水素窒素レスで停止する方法を立案した。想定するトラブルとその停止方法（供給ガス）の一例を表III-2.1.2-5に示す。なお、(c) 項に記載の φ170mm セルスタックの起動停止試験は全て水素窒素レスにて起動停止を実施している。

表III-2.1.2-5 想定トラブルと停止方法

想定する主なトラブル	燃料極側	空気極側	結果
インバータ異常	改質ガス	空気	○ (現行システムで対応可能)
都市ガスブロワ異常	水 (常時)	空気 (常時)	○ (現行システムで対応可能)
都市ガス及び純粋ポンプ異常	水 (一時)	空気 (常時)	○ (現行システムで対応可能)
	水 (一時)	空気 (一時)	○ (現行システムで対応可能)
都市ガス及び空気ブロワ異常	水 (常時)	無	△ 空気停止は不可のため、最小の流量及び供給時間を抽出。供給方法についてはシステム設計時に検討。
停電	水 (一時)	無	

(c) φ170mm セルを用いたスタック開発

(a) 項に示す通り、φ120mm セルを用いたスタックにおいて中間目標の見通しを得たが、SOFC ロードマップ 2008 に挙げられている普及期のコスト目標を見通すためには、セルの高出力化を図り、モジュールの部品点数を削減することが必須である。そのため、将来のコストダウンを目的に、セルの大口径化及び高出力密度化を図ったスタックの開発を実施した。

具体的にはセルの外径を  $\phi 120\text{mm}$  から  $\phi 170\text{mm}$  に大きくし、セル一枚あたりの出力を約 4 倍に高めたセルを用いたスタック開発を実施した。セル及びスタックの仕様を表 III-2.1.2-6 に示す。

スタック設計は、これまで  $\phi 120\text{mm}$  セルスタックで上がっていた問題点及び  $\phi 170\text{mm}$  セルスタックで起動停止試験を実施し発現した問題点についての対策を行った。

表 III-2.1.2-6 セル及びスタック仕様

セル種	セル外径	電流密度	セル積層枚数	出力
改良セル 2	$\phi 170\text{mm}$	$0.58\text{A}/\text{cm}^2$	32 枚/スタック	DC3.2kW

### i. マニホールド部（シール部）の破損

起動停止を行うことでマニホールド部のシールが破損する可能性があることが前プロジェクトにて分かっている。そのため、マニホールド部の構造の見直しを実施した。マニホールド部にはシールのためのコーティングを行っているが、そのコーティング厚さにバラつきが生じていることが判明した。このバラつきがシールの破損に影響している可能性があるため、専用の治具を用い、厚さのバラつきを 1/10 程度まで低減した。また、セパレータの製作工程において、セパレータのアーム部及びマニホールド部を変形させてしまう可能性のある工程が確認された。その工程自体は除外できないので、変形を防止するセパレータ構造に変更した。更にはマニホールド部の傾きを防止するために、マニホールド部を締め付けるボルトの配置についても見直しを行った。この結果、マニホールド部からのリークは発生しなくなった。

### ii. 錘直下セルの電圧低下

起動停止や連続運転を実施することで錘直下のセルの電圧低下を大きいことが分かっている。また、要素試験によりスタック上部セル電圧が低下する要因として、加重不足が判明した。そのため、単セル試験にて必要な加重条件を見出し、スタックの錘重量を決定した。この結果、スタック上部セルにおいても他のセルと遜色ないセル電圧となった。

### iii. スタック内の温度差

平板形セルを積層したスタック構造の場合、スタックの中段部ほど温度が高く、スタック内の高さ方向に温度差が生じる。この温度差は高出力化セルを用いるとより顕著になる。そのため、スタックの高さ方向の温度差を低減させるために、スタック内に放熱板を複数枚設置することとした。温度低減効果の高い放熱板形状、設置位置について、スタック内の高さ方向の温度分布を均一化するように、シミュレーションにて決定した。スタック

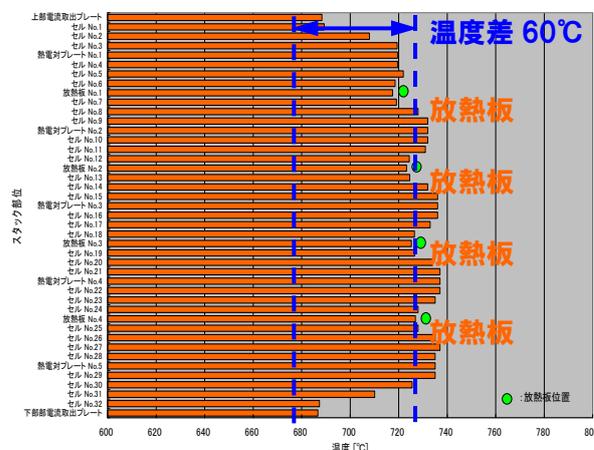
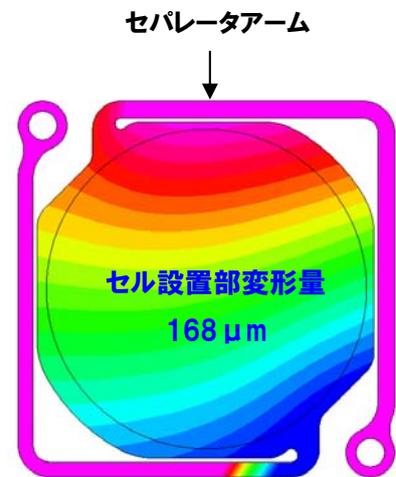


図 III-2.1.2-4 スタックの温度解析結果

クの温度解析結果を図Ⅲ-2.1.2-4に示す。この結果、スタック内の温度差は目標としていた60℃差（φ170mmセルにて仕様としている出力、効率を得るために必要な温度範囲）以内に収めた。

#### iv. セパレータ形状の見直し

セルの損傷や放熱板上下セル等の電圧低下の要因は、セパレータのセル設置部の不均一な変形が影響しているものと考えられ、当該部の変形量を小さくする（セパレータアームの剛性を小さくする）セパレータを開発することでφ120mmセルを用いたスタックでは一定の効果を得てきた。そのため、φ170mmセルを用いる本スタックにおいても、セパレータのセル設置部の変形量を小さくすることに主眼をおいて、セパレータの設計を行った。セパレータの変形解析結果の一例を図Ⅲ-2.1.2-5に示す。



図Ⅲ-2.1.2-5 セパレータの変形解析

しかしながら、現時点ではセルの損傷防止、放熱板上下セル等の電圧低下の防止に至っていない。

#### v. セルの損傷

iv. 項に記載のセパレータの形状変更に加え、セルの強度向上のために電解質スラリーの均質化や焼成条件の見直し、セルの欠陥をなくすための製造工程の改良やセルの全数検査等を実施した。それぞれに効果は確認できたものの、セルの損傷防止には至っていない。セル損傷の原因調査のために、セルの外径、電解質厚さ、電解質組成などをパラメータにして、東北大学殿にセルの応力解析を実施頂いた。結果、燃料極/電解質/空気極の還元膨張及び熱膨張の差がセルに大きな応力を与えていることが分かった。また、セル面内の温度分布もそれを強調する材料になっていることも分かった。今後は単セルでの予察試験を実施し、セル損傷を防止するスタック構成を検討する。

#### vi. スタック構成部品の電気抵抗の増加

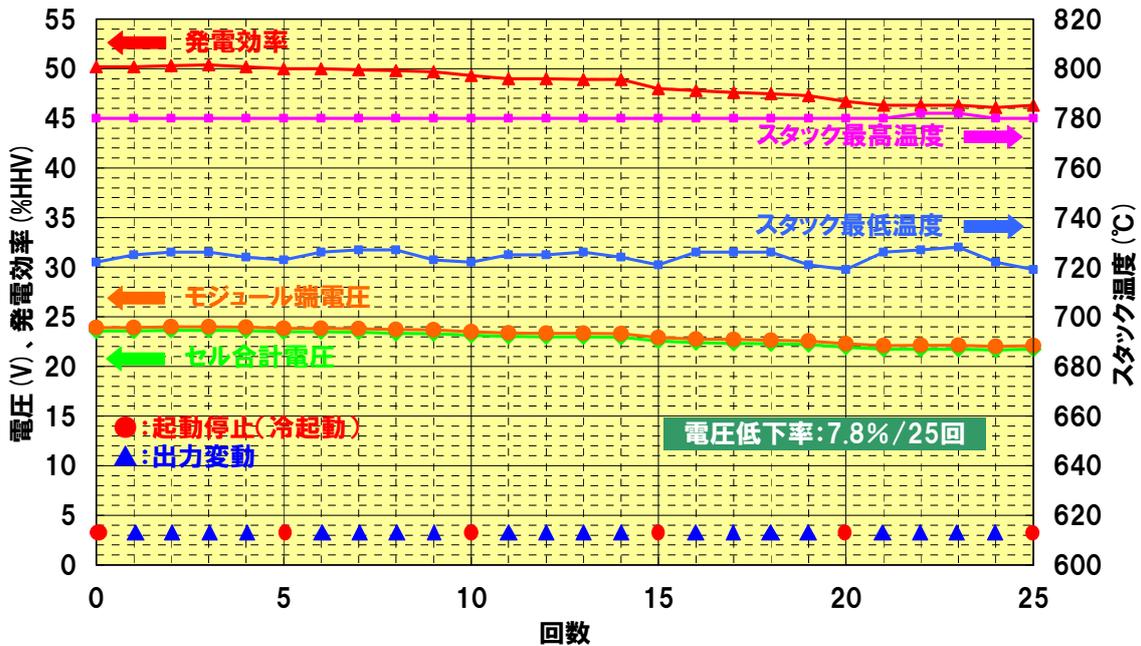
起動停止を実施することで、スタック構成部品内部及びスタック構成部品とセパレータ間の電気抵抗が増加することが分かった。そのため、スタック構成部品については可能な限り溶接を行わない構造を採用し、溶接構造を取らざる得ない部品については溶接脚長を増した。また、スタック構成部品とセパレータはスタック組立前に熱圧着し、密着性を高めた。結果、当該部の電気抵抗は大きく低減した。

#### vii. スタック内の温度差拡大

起動停止を実施することで、スタックの高さ方向の温度差が拡大することが分かった。これはスタックの低温部であるスタックの上下から空気を供給していることが原因と判明したため、空気の供給をスタックの高温部であるスタック中段部から供給する対策を行った。結果、温度差の拡大を防止した。

### viii. 起動停止及び出力変動試験結果

i～vii項に示す対策を施した φ170mm セルスタックにて起動停止 5 回と出力変動 20 回を組み合わせさせた試験を実施した。試験結果を図Ⅲ-2.1.2-6 及び表Ⅲ-2.1.2-7 に示す。起動停止 50 回及び出力変動 200 回の電圧低下率は 78%と見込まれた。中間目標を見通すためには、セル損傷や放熱板上下セルの電圧低下を改善する必要がある。また、本試験よりセル/集電体/セパレータ間の接触抵抗の増加も電圧低下の一要因と推測され、原因はスタック内に配置している放熱板とセパレータの変形能の不一致が問題と考えている。



図Ⅲ-2.1.2-6 起動停止・出力変動試験結果

表Ⅲ-2.1.2-7 起動停止及び出力変動試験結果

電流密度	燃料利用率	スタック最高温度	電圧低下率	セル損傷枚数
0.58A/cm <sup>2</sup>	78%	780°C	7.8%/25 回	2～6 枚/32 枚

#### (d) マルチスタックモジュールの設計・製作

(b) 項にて水素窒素レスで起動停止する条件を見出したが、その条件にはスタック温度と改質器温度の差を 100°C以内に保つことが含まれている。そのため、その温度条件を満たすことができるスタック及びモジュール内機器の配置を見出すために熱流体解析を実施し、マルチスタックモジュールを設計し、製作を実施した。

#### b. 達成度

φ120mm セルを用いたスタックにおいて、中間目標である電圧低下率 10%/250 回の見通しを得た。φ170mm セルを用いたスタックにおいては、中間目標である電圧低下率 10%/250 回の見通しを得るための問題点を抽出した。水素窒素レスで起動停止する方法を見出し、実モジュールでの試験も実施した。水素窒素レスでの起動停止が可能なマルチスタックモジュールの設計を熱流体解析コードを用いて行い、製作を実施した。達成度の一覧を表Ⅲ-2.1.2-8

に示す。

表Ⅲ-2.1.2-8 達成度一覧

項目	状況	達成度
起動停止試験を実施し電圧低下率 10%/250 回を見通す	φ 120mm セルスタック : 7.3%/250 回	○
	φ 170mm セルスタック : 7.8%/25 回 電圧低下の問題点の抽出を行った	△
水素窒素レスでの起動停止	方法の立案及び実モジュールでの試験実施	○
マルチスタックモジュールの設計・製作	水素窒素レス起動が可能なモジュール設計・製作を実施	○

### (3) 成果の意義

- ① 水素窒素レスでの起動停止（緊急停止を含む）が可能となり、簡素化及び低コスト化を図った SOFC システムを市場に供給が可能となった。
- ② 小・中規模の SOFC では、一定負荷のベースロードへの適用を想定していたが、今回の成果により、SOFC システムを大きく負荷が変動する市場への可能性が見出された。
- ③ 実際の運転において重要となる冷起動・熱サイクルにおける影響・課題の抽出を行うことができた。これらは、高温で作動する SOFC の実用化のための共通の課題として位置づけられる。

### (4) 成果の最終目標の達成可能性

φ 120mm セルを用いたスタックにおいては、起動停止 250 回での電圧低下率 10%以下の見通しを得ている。そのため、φ 120mm セルを用いた場合、最終目標は達成可能と考えている。

しかしながら、φ 120mm セルを用いた開発では、燃料電池・水素技術開発ロードマップ（2008）に記載のセルスタック化コストは 5 万円/kW（普及期）の見通しは困難である。このコスト目標を見通すためには、φ 170mm セルを用いたスタック開発が必須と考えられ、φ 170mm セルを用いたスタック開発を実施した。

現時点までに φ 170mm セルを用いたスタック構造における問題点として、セル損傷、放熱板上下セルの電圧低下、セパレータ/集電体/セル間の接触抵抗の増大が分かっている。セル損傷についてはセルの応力解析より、燃料極/電解質/空気極の熱膨張及び還元膨張の差が影響していると考えられる。またセル面内の温度差は、その影響を強調する材料となっている。また、放熱板上下セルの電圧低下や接触抵抗の増大はスタック内に配置している放熱板とセパレータの変形能の不一致が問題と考えている。そのため、これらの対策を検討し、要素試験にてその効果を検証する予定である。検証結果をスタック構造に反映することで、φ 170mm セルを用いたスタックにおいても起動停止による電圧低下率を 10%/250 回以下を見通すことが可能と考えている。

### (5) まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

#### a. まとめ

φ 120mm セルを用いたスタックにおいて、起動停止及び出力変動 250 回において、中間

目標である電圧低下率 10%以下の見通しを得た。

φ170mm セルを用いたスタックにおいては、起動停止及び出力変動 250 回において、電圧低下率 10%以下の見通しを得るための課題を把握した。

水素窒素レスでの起動停止方法を立案し、実モジュールでの試験を実施した。また、緊急停止方法についても検討し、何れのケースにおいても通常の停止時と同様に水素窒素レスで停止する方法を立案した。

水素窒素レスで起動停止が可能なマルチスタックモジュールの設計・製作を実施した。

## b. 課題

φ170mm セルスタックにおいて、起動停止及び出力変動での電圧低下率 10%/250 回を見通すためには、セル損傷の防止、放熱板上下セルの電圧低下防止、接触抵抗の低減が課題として挙げられる。セル損傷の防止は燃料極/電解質/空気極の熱膨張及び還元膨張の差が影響していると考えられ、更にはセル面内の温度差がその影響を強調する材料となっていることが分かった。放熱板上下セルの電圧低下防止、接触抵抗の低減は放熱板とセパレータの変形能の不一致が問題と捉えている。

## c. 事業化までのシナリオ

φ120mm セルを用いたスタックの技術面においては SOFC ロードマップ 2008 に沿った開発が可能であるが、コスト面においてはさらにコスト低減を図る必要がある。

その手段として、φ170mm セル（高出力セル）を用いたスタックの開発は有効であるものの、本スタックにおいて技術的な課題（セル損傷、接触抵抗増大等）が判明している。

これらの課題を対策検討し、要素試験等にてその効果を検証することにより耐久性向上を見通し、併せてコスト低減との両立を図り、実用化・事業化を SOFC ロードマップ 2008 に沿った形で推進していく予定である。

## 2. 2 超高効率運転のための高圧運転技術

### (1) 事業概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)はガスタービン複合発電と組み合わせることにより、極めて高い効率を実現することができる。数百 MW 級の火力発電用の天然ガス焼きガスタービン複合発電システムとの複合発電システムとして発電効率 70%(LHV)以上、数百から数千 kW 級の中小規模の SOFC-マイクロガスタービンハイブリッドシステムとして発電効率 55%(LHV)以上の発電システムが構成できる。当社では、平成 16～19 年度の委託研究「円筒形 SOFC コンバインドサイクルシステムの開発」にて、200kW 級の SOFC-マイクロガスタービンコンバインドサイクルの検証運転を実施し、200kW 以上にて発電効率 52%(LHV、送電端)を確認し、その後継続研究にて 3,000 時間の複合発電運転を実施し経時電圧低下がないことを確認したが、実用化に向けた信頼性向上等の課題も明らかになった。

本事業では、これまでの研究開発で明らかになった課題を解決し、更に高効率の SOFC 複合発電システムを実用化することを目的として、円筒形 SOFC セルスタック・モジュール・発電システムを対象とした、信頼性向上、高効率化・コンパクト化・簡素化及び高圧運転対応技術のための要素技術開発を実施する。

### (2) 目標

「中間目標」(平成 22 年度)

- ① マイクロガスタービンと組み合わせるための圧力範囲で、起動停止、緊急時の安全停止を可能とすることなどの高圧下での運転のためのシステム技術を確立する。

「最終目標」(平成 24 年度)

- ① 耐久性 4 万時間(電圧低下率 0.25%/1000 時間)の見通しを得る。
- ② 高効率運転のための高圧運転技術を確立する。

上記の目標を達成するために、下記の項目を実施する。

#### a. セルスタック要素技術開発

- ① 高圧運転環境下で想定される燃料-空気間高差圧運転状態・酸化還元サイクルに対して耐性の高いセルスタックを開発する。具体的には燃料極保護のための還元性ガスがシステム異常等により停止しても、セルスタックの損傷を回避できるように改良する。
- ② 改良したセルスタックの発電特性を、高圧状態も含めて、試験・評価する。
- ③ 長時間耐久性については、「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」に参画し、研究機関との連携で得られた成果を改善仕様に織り込み、最終目標を目指した電圧低下率の低減を図る。

#### b. モジュール要素技術開発

- ① 高圧運転状態での熱交換を考慮し、コンパクト化を図った密充填構造のカートリッジ(スタック集合体)の計画・設計・製作・試験を実施し、構造健全性、発電特性、伝熱・冷却特性、耐差圧性等の改良を確認し、実用的なモジュール(カートリッジ集合体)の設計を行う。

- ② 平成 23 年度以降に改良セルスタックを使用した密充填構造のモジュールを製作し、複合発電システムでの運転検証を実施する。

### c. 複合発電システム要素技術開発

- ① 起動停止や緊急時の安全停止等の過渡状態を含めたセルスタック・モジュール・マイクロガスタービン(MGT)保護のための制御・インターロックシステムを前プロジェクトの試験機から改良し、さらに一部に損傷が発生した場合の損傷拡大を抑制するシステムを構築する。
- ② その検証のため、平成 22 年度までに SOFC と MGT を組み合わせた状態でシステム要素試験を実施し、中間目標達成を確認する。
- ③ 密充填構造のモジュールを適用し、信頼性を確保した上でシステム全体のコンパクト化・簡素化を図った複合発電システムを平成 22 年度までに計画する。
- ④ 平成 23 年度以降に改良セルスタックを使用した密充填構造のモジュールにて複合発電システムを製作し、実用に向けた運転検証を実施する。

## (3) 事業成果

### a. 事業成果

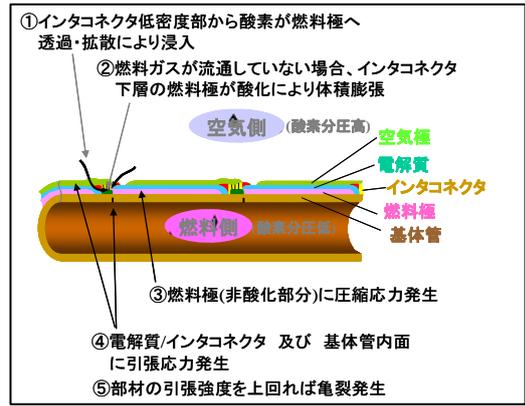
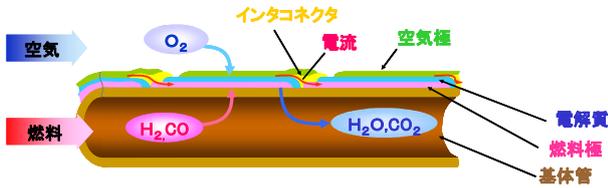
#### (a) セルスタック要素技術開発

##### i. セルスタック酸化還元サイクル耐性向上

円筒横縞形セルスタックを図Ⅲ-2.2-1 に、断面構造を図Ⅲ-2.2-2 に示す。円筒横縞形セルスタックでは、燃料を管内側、空気を管外側に流し、両者は緻密質の電解質膜とインタコネクタ膜で隔離している。円筒横縞形セルスタックでは、燃料極中のニッケルが酸素分圧によって金属ニッケル(Ni)と酸化ニッケル(NiO)との間で可逆変化し、体積が変化するため、発電に供して以降は、燃料側の酸素分圧を抑えて燃料極を金属ニッケルの状態に保つようにしている。燃料側の酸素分圧は、空気側からの酸素拡散浸入によって上昇する。発電運転中は燃料極側から絶え間なく燃料ガスが供給され浸入してきた酸素が即座に消費されるので燃料極は酸化されない。起動・停止操作中など発電していない状態でも、燃料極保護のために燃料系に還元性成分を含む置換ガスを流通できていれば燃料極は酸化されない。しかし、システム上の異常等により燃料ガスも置換ガスも供給できなくなった場合は、インタコネクタ膜端部の相対的に緻密度の低い部分から、燃料極側への酸素が浸入し、セルスタックの損傷が発生するおそれがある。損傷発生プロセスを図Ⅲ-2.2-3 に示す。



図Ⅲ-2.2-1 円筒横縞形セルスタ

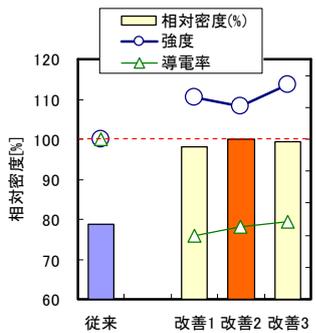


図Ⅲ-2.2-2 円筒横縞形セルスタック断面図

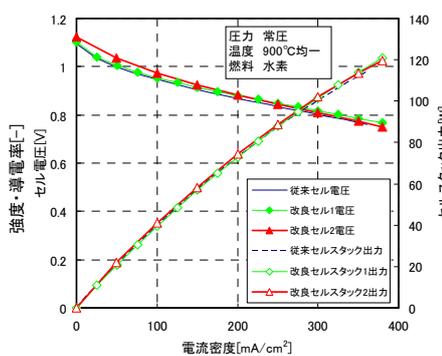
図Ⅲ-2.2-3 燃料極還元性ガス停止時のセルスタック損傷プロセス

そのような異常状態でもセルスタックが損傷しないようにするために、インタコネクタ膜の強度・緻密度の改良を実施した。インタコネクタの焼成条件を調整し、緻密度(相対密度)、強度及び導電率を単膜サンプルで計測した結果を図Ⅲ-2.2-4に示す。「改善2」では、相対密度は99%以上に向上し、強度も20%向上するものが得られた。導電率は従来品より低くなっているが、セルスタック全体の電気抵抗に対する影響が小さく、試作したセルスタックでの発電特性(図Ⅲ-2.2-5)は、従来品使用のものと同様であった。

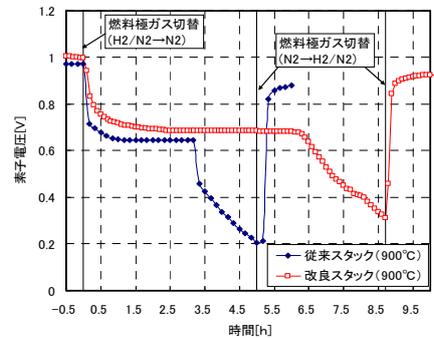
セルスタックの燃料側に窒素を通気して、亀裂発生までの時間を計測した結果を図Ⅲ-2.2-6に示す。「従来品」のセルスタックでは窒素通気開始3.2時間後に、「改良品」のセルスタックでは窒素通気開始6.2時間後に著しい電圧低下を検出し、その後燃料ガスを置換ガスに戻しても、もとの電位に復さなかったことから、その時点でインタコネクタに亀裂が発生したと考えられる。



図Ⅲ-2.2-4 インタコネクタ材の改善

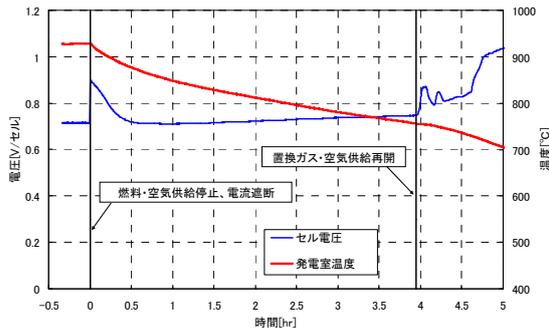


図Ⅲ-2.2-5 セルスタック発電特

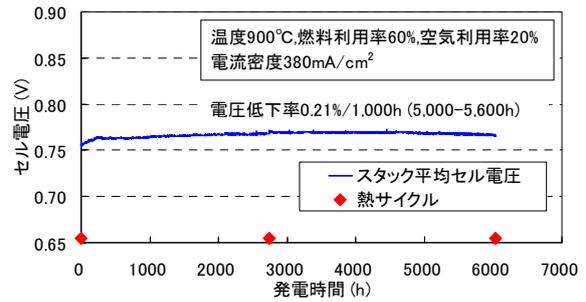


図Ⅲ-2.2-6 窒素通気試験

拡散リークによる酸素浸入は温度低下とともに急激に減少し、酸素浸入速度は600°C以下では無視できる程度となる。システム異常により還元性ガスが供給されなくなった場合は、6.2時間以内に安全な温度域まで降温することによりセルスタックの損傷を回避することができる。その検証のために、改良セルスタックを使用したカートリッジ(スタック48本の集合体)で、還元性ガス供給を停止する試験(図Ⅲ-2.2-7)を実施した。還元性ガス供給停止後4時間で、発電室温度は750°C程度まで低下し、電圧挙動からセルスタックの損傷は発生しなかったことが確認された。



図Ⅲ-2.2-7  
カートリッジガス停止試験



図Ⅲ-2.2-8 改善セルスタック電圧

## ii. セルスタック高圧発電・伝熱特性予測

高圧下でのセルスタック発電・伝熱特性について検討計算を実施している。火力発電用ガスタービンとの複合発電では、SOFCの運転圧力は1~2MPa-aとなるが、その運転圧力でも、必要な発電特性・伝熱特性、発電に支障の無い温度分布が確保できる計算結果が得られている。今後、セルスタックの高圧発電試験を実施し検証していく。

## iii. セルスタックの経時電圧低下率の改善

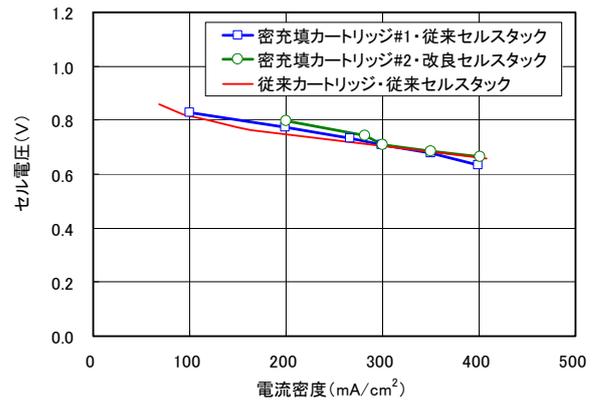
この項目は「基礎的・要素的技術開発」で取り組んでいる。前プロジェクトの経時セルサンプルを、プロジェクト参加研究機関にて分析・考察した結果を反映し、空気極中間層部での陽イオン移動の抑制を図ったセルスタックを試作し、約5,000時間の発電試験を実施した。平成21年度までに、経時電圧低下率0.21%/1,000時間(最終目標0.25%/1,000時間以下)のものが得られている。(図Ⅲ-2.2-8) 今後、改善されたセルスタックをカートリッジに適用して、長時間運転検証を進めていく計画である。

## (b) モジュール要素技術開発

高圧運転対応及びコンパクト化のため、セルスタック装填密度を1.7倍に増やした密充填形カートリッジを、設計・試作し、供試体2種類で発電試験を実施した。

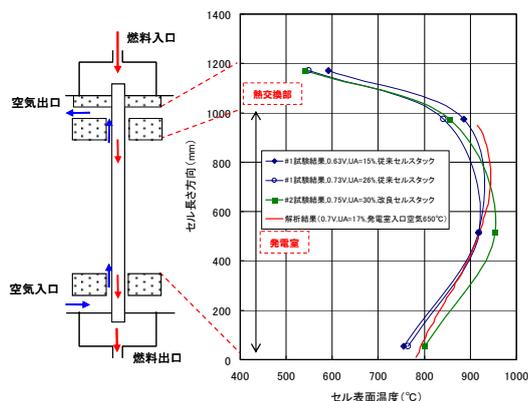
設計過程では、燃料ヘッダの金属製管板の応力解析を実施し、600°Cで4万時間以上の寿命を持つ設計としている。また、高圧下でのカートリッジ熱交換部伝熱特性、発電室内温度分布の予測計算を実施した。

設計に基づきカートリッジを試作し発電試験を実施した。#1 供試体では、従来セルスタックを48本集合して製作し、カートリッジ自体の伝熱・発電特性を計測した。#2 供試体では、酸化還元耐性を改善したセルスタックを使用し、#1 供試体の試験項目に加えて、システム異常による保護ガス流通停止時にセルスタックの損傷を回避できることを確認した。カートリッジの発電特性を図Ⅲ-2.2-9に示す。#1、#2とも従来カートリッジと同等の発電特性が得られることを確認した。各試験での発電室内温度分布を図Ⅲ-2.2-10に示す。計画運転条



図Ⅲ-2.2-9 カートリッジ発電特性

件では、発電室温度は 780～950℃の範囲、燃料ヘッダ温度は 500℃以下に維持できている。燃料ヘッダ温度が 600℃以下なので、4 万時間以上の寿命は確保されている。



図III-2.2-10 発電室内温度分布

(c) 複合発電システム要素技術開発

i. 複合発電システムの信頼性向上

SOFC-MGT 複合発電システムの系統を図III-2.2-11 に示す。定常運転時は、燃料系・空気系ともに SOFC とマイクロガスタービン(MGT)がつながって運転する。本プロジェクトでは、前プロジェクト及びその継続研究で得られた知見に基づき、システム信頼性向上のための保護動検討及び試験運転を実施した。

試験運転に先立ち、SOFC 及び MGT の保護要件を検討し、保護動作ロジックに展開した。SOFC 側の主な保護要件は、①直流電路短絡の防止、②燃料-空気間の過大差圧印加の回避、③燃料欠乏状態の回避、④酸素欠乏運転の回避、MGT 側の主な保護要件は、⑤燃焼器失火防止及び過大入熱回避、⑥MGT 過回転の防止、⑦圧縮機サージングの回避 が挙げられ、異常発生時にも保護要件が維持できるように保護動作ロジックを制作した。

その保護動作を適用し、前プロジェクト及びその継続研究で製作・使用した従来構造の SOFC サブモジュール(図III-2.2-12)とトヨタ自動車製の MGT(図III-2.2-13)を使用した試験装置で、複合発電システム試験運転を実施した。経過を図III-2.2-14 に示す。最初に MGT を都市ガスでの単独運転状態で起動・併入した。その後、MGT 圧縮機からの空気を SOFC に通気して、SOFC の昇温を開始した。SOFC 発電室温度が約 600℃に達した時点で SOFC を併入した。発電時間 65 時間のときに偶発的に緊急停止が発生したが、保護インターロックは正常に動作し、安全に停止した。

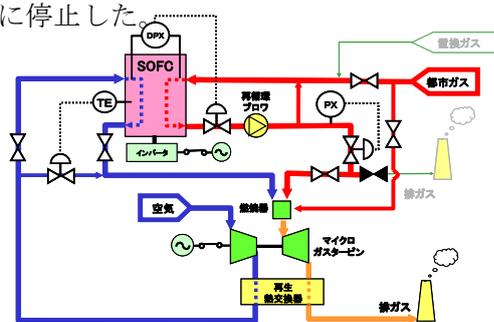


図 III-2.2-11 SOFC-MGT複合発電システム主系統



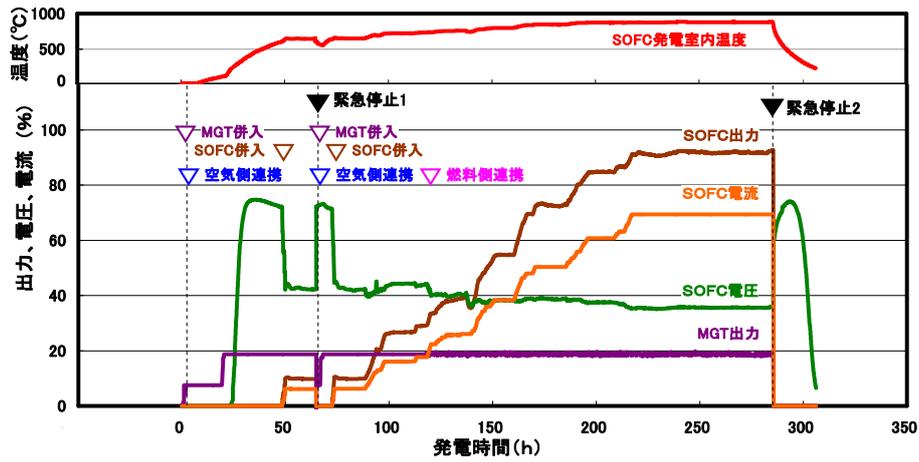
図Ⅲ-2.2-12  
SOFCサブモジュール(従来構造)



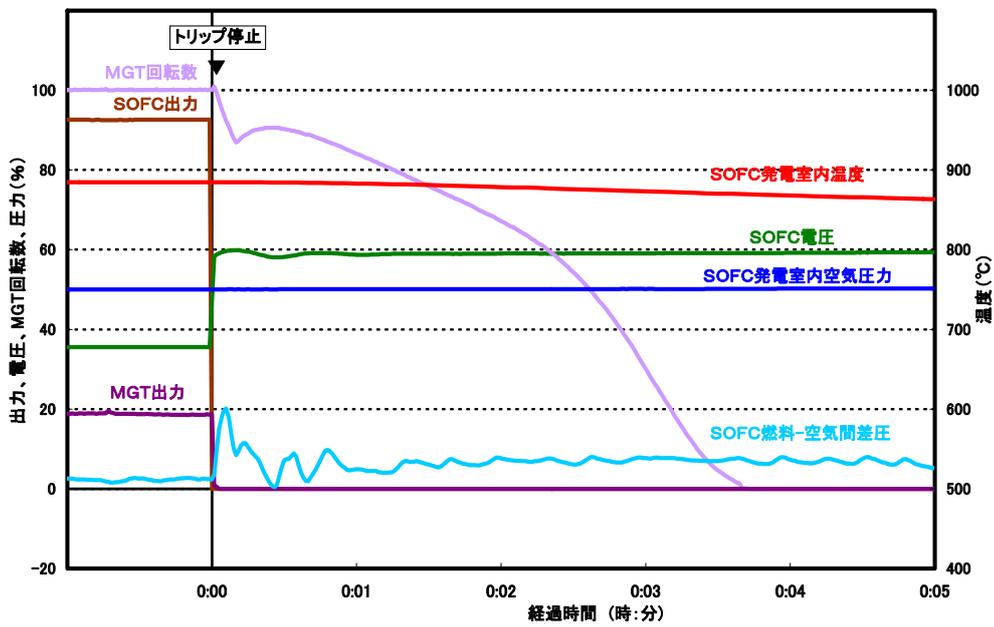
図Ⅲ-2.2-13  
マイクロガスタービン

その後、再度 MGT を起動・併入、空気側連携、SOFC 併入と進み、燃料側も連携して、複合発電運転モードに移行した。起動の過程及び定常運転状態で SOFC・MGT の状態に異常はなく、問題なく起動・定常運転ができることを確認した。なお、この試験に使用した SOFC セルスタック・モジュールは、前プロジェクト・継続研究から引き続き使用しているもので、累積運転時間 3,500 時間、停止再起動 6 回の履歴を持つが、性能低下は観測されていない。

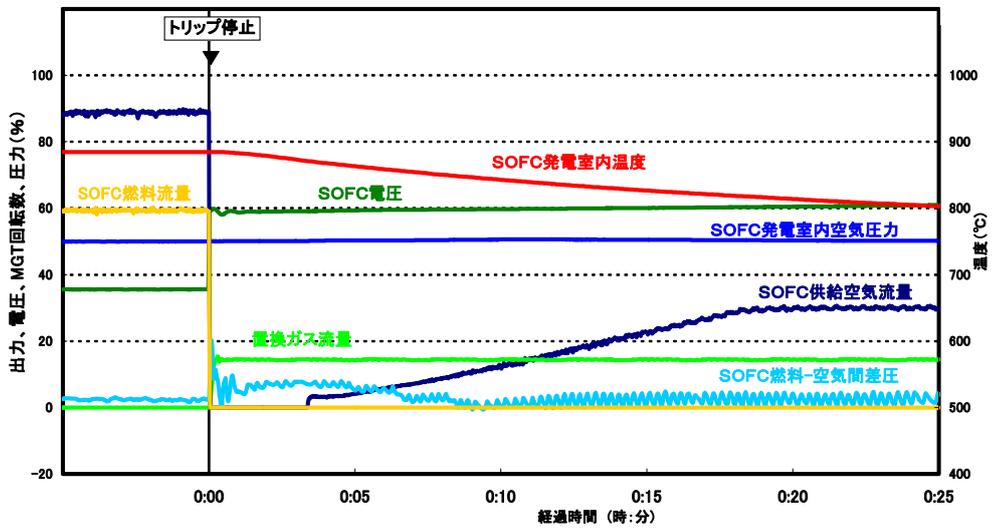
発電時間 285 時間にて、システムに意図的に緊急停止信号を入力した。保護インターロックは正常に動作し、SOFC モジュール・MGT を損傷することなく安全に停止した。緊急停止試験時の経過を図Ⅲ-2.2-15 及び図Ⅲ-2.2-16 に示す。緊急停止信号入力後直ちに、SOFC 出力と MGT 出力は遮断された。MGT 回転数は、負荷遮断 1 秒後に約 1%増速したが、その後降圧操作が働いて減速・停止した。SOFC 電圧は、負荷遮断 10 秒後には開回路電圧になった。SOFC 燃料は緊急停止信号入力と同時に供給が停止され、直ちに置換ガスが燃料系に供給された。SOFC への供給空気は、通常運転中は MGT 圧縮機から供給されていたが、緊急停止信号入力後直ちに MGT から SOFC への供給側、SOFC から MGT への排出側の遮断弁を閉にして、その圧力で空気が封じ込められた。緊急停止時には、燃料系のガス種切り替え、空気側の流通停止が自動で行われる。その状態でも燃料-空気間差圧は、一時的な変動はあるが規定値内であり、1 分程度で定常な制御状態に復した。差圧静定後、SOFC 空気側の酸欠状態を避けるために補助空気(計装空気)系から、空気を投入し始めた。この状態に移行しても、発電室内空気圧力は変化せず、燃料-空気間差圧も規定値内に制御され続けることを確認した。SOFC 発電室内温度について、負荷遮断・発電停止と同時に発熱が止まり、その後は置換ガス及び補助空気により冷却される状況が確認された。試験運転後、SOFC、MGT の損傷は観測されなかった。



図III-2.2-14 SOFC-MGT複合発電システム試験運転経過



図III-2.2-15 緊急停止試験時の経過(その1)



図III-2.2-16 緊急停止試験時の経過(その2)

この試験にて、起動・定常運転・緊急停止の状態、SOFC、MGT を損傷することなく安全に運転停止可能であることを確認し、中間目標を達成した。

## ii. 複合発電システムのコンパクト化・簡素化

実用を目指して、信頼性を維持した上でコンパクト化・簡素化を進めた、SOFC-MGT 複合発電システムの基本計画を実施中である。トヨタ自動車製の 50kW 級マイクロガスタービン及びコンパクト化した SOFC カートリッジを使用したモジュールを適用して配置計画を検討すると、前プロジェクトで製作した 200kW 級 SOFC-MGT コンバインドサイクルシステムと比べて、投影面積は約 1/2 になる見通しである。

平成 22 年度までの信頼性向上・高圧運転技術開発の成果に基づき、平成 23 年度以降に、実用を目指した 250kW 級 SOFC-MGT 複合発電実証機を設計・製作・運転を実施する計画である。

## b. 成果の意義

前プロジェクトでは、200kW 級 SOFC-MGT 試験機を製作・運転し、発電効率 52% (LHV 送電端)以上、最大出力 229kW-AC(発電端)と目標を超える成果を得た。その後、3,000 時間の運転を実施し、経時耐久性・熱サイクル耐性が目標値以上であることを確認した。

SOFC 複合発電については、米国 DOE プロジェクトで Siemens-WestingHouse 社(当時)が実施した例があるものの、前プロジェクト成果は効率・出力規模とも世界最高レベルである。

現プロジェクトでは、実用を目指して信頼性向上・高圧運転技術開発に取り組み、セルスタック・モジュールの信頼性向上・高圧運転技術開発に関する要素的成果を得るとともに、複合発電システム要素試験では、中間目標「起動停止・緊急時の安全停止を可能とする」ことを平成 21 年度までに実験的に確認し、中間目標を達成した。

現プロジェクト前半のこれらの成果を活用し、プロジェクト後半の H23~24 年度に計画している実証機検証を経て、数百 kW 級 SOFC-MGT 複合発電を実用に供することを目指している。

プロジェクト終了後の H25 年度から、SOFC-MGT 複合発電システムをユーザに提供する計画である。実用化により、数百 kW 級発電装置市場に極めて高効率で CO<sub>2</sub> 排出量の少ない新機種が投入され、ユーザにとって新たな選択肢が創造されるとともに、国内の原材料メーカを含めた雇用の拡大が促進されることが期待される。

## (4) まとめ及び課題

### a. これまでの成果

SOFC-ガスタービン複合発電システムの信頼性向上による高圧運転技術確立のため、SOFC 特有の要素であるセルスタック・モジュール、複合発電システムとしての要素試験を実施した。セルスタックでは、インタコネクタ高密度化等の改良により、実運用で想定される酸化還元サイクルを受けても損傷しないセルスタックを開発した。モジュールでは、高圧運転(ガス流速低下)対応のための密充填形モジュール・カートリッジを設計・製作し、これまでに 2 基 4 回の発電試験を実施して、健全性・発電特性・伝熱特性を評価した。システム要素試験では、3,000 時間以上発電した SOFC モジュールとトヨタ自動車製 MGT を連携し

たシステム試験として、起動・定常運転・緊急停止を実施した。保護動作は正常に働き、SOFC・MGTを損傷することなく安全に運転停止可能であることを確認し、中間目標を達成した。

#### b. 今後の課題

セルスタックについては、酸化還元耐性を改善したセルスタックのモジュールへの実装検証を進めるとともに、「基礎的・要素的技術開発」での経時電圧低下現象の解明の成果を受けて改善仕様に反映し、要素検証を経て実機適用を進めていく。

モジュールについては、実機での使用環境(運転圧力、起動停止頻度等)を想定してその状態での特性を把握するとともに、過酷試験・破壊試験を実施して限界を把握し、実機設計・運用方針に反映する。

信頼性・耐久性を高めたセルスタック・モジュールの運用限界に基づき、複合発電システム全体でのフェールセーフシステム構築し、SOFC-MGT複合発電システムを設計・製作し、平成23～24年度に計画している実証運転にて、発電効率及びシステムの健全性を検証する。

最終目標「高圧運転技術確立」に向けては、今後セルスタック・モジュールでの実圧試験を実施して、高圧性能・健全性を確認し火力発電用高圧ガスタービンとの連携の準備を整える。

最終目標「4万時間運転の見通し」に向けては、現プロジェクト「基礎的・共通的課題のための研究開発」の平成22年度までの成果を、セルスタック改善仕様に展開し、要素的検証を経て、順次実機に反映していくこととしたい。

## IV. 実用化、事業化の見通しについて

### 1. 実用化、事業化の見通し

本事業では、平成16～20年度に実施した「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」において明らかになった実用化に向けた課題である「耐久性・信頼性向上」、「低コスト化」、「実用性の向上」を中心に研究開発を推進してきている。また、本事業と並行実施している「固体酸化物形燃料電池実証研究」において実証運転されているSOFCシステムの耐久性に係る課題についても本事業にフィードバックされ、早期解決に導いていく取り組みが為されている。

「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」では、製造手順と劣化部位との相関を明らかにした上で、劣化部位を集学的に解析することにより、改善指針を得ることができた。また、不純物による劣化の一般的モデルを構築して、加速試験のベースとなる知見を得ることができた。さらに、化学的及び機械的相互作用として熱膨張や還元膨張を解析できた。

また、「原料・部材の低コスト及び低コストセルスタック・モジュールの開発」では、金属インターコネクタの耐久性を大幅に向上することができ、合金設計の方針を確立することができた。また、セルスタックの低コスト化を実現し得る材料の開発方針を決定することができた。

さらに、「運用性向上のための起動停止技術開発」では起動停止250回の耐久性達成の見通しが得られつつあり、「超高効率運転のための高圧運転技術」では起動停止や緊急時における安全停止動作を確認することができた。

家庭用SOFCシステムに関しては、本事業で得られた知見、例えば、空気極／電解質界面の中間層を改良することにより単セル耐久性が向上することや耐久性に対して電流密度依存性が強いこと等がフィードバックされ、その効果は「固体酸化物形燃料電池実証研究」において検証中であり、ここ数年のうちに初期導入時期を迎えるものと予想される。ただし、本格普及には量産化技術の構築やセル発電出力密度の向上、集電金属部の改良等が必要である。

また、小・中容量定置用SOFCシステムに関しては、本事業において起動停止における熱サイクルに強いモジュール構造が確認されつつある。ただし、実用化を実現するためには、低コストでこのモジュール構造を製作できることが必要であるとともに、セル発電出力密度向上とセルスタックの量産技術が重要である。

中容量定置用SOFC／GTハイブリッドシステムに関しては、本事業において平成23年あるいは平成24年にかけて実証機検証が計画されており、プロジェクト終了となる平成25年度からユーザーに提供する予定となっている。

以上のように、SOFCシステムの実用化にはいくつかの課題が残されているものの、残り2年間で本事業の最終目標が達成することにより、実用化・普及に向け大きく前進するものとする。

## 2. 波及効果

本事業は、SOFCについて熱力学的・化学的・機械的解析および三相界面の微細構造解析による劣化機構の解明と加速劣化因子の抽出、劣化対策の立案・検証、余寿命評価式の確立等を産学が協調して進めており、燃料電池、電気化学、材料科学・技術の進歩に大きく貢献するものである。その波及効果として以下の①～④が挙げられる。

### ① 低温形電気化学デバイスへの応用

局所抵抗近似に準拠したモデルの適用性は広く、他の高温デバイスあるいは低温形の電気化学デバイスにも応用が可能である。シミュレーション技術においては、通常の高温システムに必要な要素に加え、電気化学的反応と機械的安定性の評価が不可欠である。このような複雑なシステムのシミュレーション技術は、低温形電気デバイスなどにも適用できる。

### ② 電極微構造の解析技術

本事業で確立した電極微構造の三次元像の構築と利用あるいはSIMSによる局所的な濃集の観察は、どの工学的な分野にも応用できるものである。

### ③ 高温不純物解析技術

従来、不純物濃度は0.1%程度のものしか議論されてこなかった。本事業で取り扱ったように1ppmレベルで解析すると、大きな視野が開かれる。

### ④ プロジェクトマネジメントの他分野への適用

燃料電池のように競合技術が存在し、その技術に対向して導入メリットを勝ちとって行くためには、コスト低減とシステムの開発を同時並行的に行わなければ成らない。本事業では、本格的な産学の連携によって、先進的基盤技術を固めることで、このような技術の発展を促すことができている、他分野のプロジェクトにも応用できる。

## (添付資料)

- ・ エネルギーイノベーションプログラム基本計画..... 添付資料 1 - 1
- ・ イノベーションプログラムについて ..... 添付資料 1 - 2
- ・ 「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」基本計画 ..... 添付資料 2
- ・ SOFC ロードマップ詳細版 ..... 添付資料 3

### 事前評価資料

- ・ 事前評価書 ..... 添付資料 4 - 1
- ・ NEDO POST 3 ..... 添付資料 4 - 2
- ・ パブリックコメント ..... 添付資料 4 - 3
- ・ 特許論文リスト ..... 添付資料 5

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。以下に5つの政策の柱毎に目的を示す。

#### 1－Ⅰ. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1－Ⅱ. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が80%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1－Ⅲ. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1－Ⅳ. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時にCO<sub>2</sub>を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

#### 1－Ⅴ. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

## 2. 政策的位置付け

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画
5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### 3. 達成目標

#### 3-1. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

#### 3-2. 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。

#### 3-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

#### 3-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

2030年以降においても、発電電力量に占める比率を30～40%程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

#### 3-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

## 4．研究開発内容

### 4 - . 総合エネルギー効率の向上

#### 4 - - . 共通

##### (1) エネルギー使用合理化技術戦略的開発(運営費交付金)

###### 概要

省エネルギー技術開発の実効性を高めるために、シーズ技術の発掘から実用化に至るまで、民間団体等から幅広く公募を行い、需要側の課題を克服し得る省エネルギー技術開発を戦略的に行う。

###### 技術目標及び達成時期

中長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を構築し、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され技術開発が促進されるよう、超燃焼システム技術、時空を超えたエネルギー利用技術、省エネ型情報生活空間創生技術、先進交通社会確立技術、次世代省エネデバイス技術の技術群に重点化して、省エネルギー技術戦略に沿った技術開発を戦略的に推進する。

###### 研究開発時期

2003年度～2010年度

##### (2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業(運営費交付金)

###### 概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

###### 技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

###### 研究開発期間

2000年度～

##### (3) 研究開発型中小企業挑戦支援事業(スタートアップ支援事業)

###### 概要

省エネルギー対策に資する中小企業の優れた技術シーズ、ビジネスアイデアの事業化による創業・新事業展開を促進するため、実用化研究開発に要する経費(原材料費、直接人件費、機械装置費、知的財産取得費等)の一部を補助するとともに、補助事業を行う中小・ベンチャー企業等に対して中小企業基盤整備機構によるビジネスプランの具体化・実用化に向けたコンサルティング等を一体的に実施

する。

技術的目標及び達成時期

中小企業の技術開発を推進し、産業におけるエネルギー使用合理化技術の利用を図り、もって、中小企業の振興と経営の安定を促進する。

補助事業期間終了後2年後の採択企業の研究開発成果の事業化率50%を目標とするとともに、省エネルギー技術開発の高度化を戦略的に推進する。

研究開発期間

2004年度～

#### (4) 地域イノベーション創出エネルギー研究開発

概要

地域において新産業の創出に貢献し得るような最先端の技術シーズを基に、企業、公設試、大学等の研究開発資源を最適に組み合わせて形成された共同研究体が行うエネルギー使用の合理化並びに非化石エネルギーの開発及び利用に寄与する実用化研究開発の実施。

技術的目標及び達成時期

研究開発終了後3年後における成果の事業化達成率30%以上を目標とする。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(5) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

(6) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

### 4 - - . 超燃焼システム技術

#### (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(再掲)

概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

研究開発期間

2008年度～2017年度

#### (2) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発(運営費交付金)

概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、

カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

### (3) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

### (4) 植物機能を活用した高度モノ作り基盤技術開発

#### i) 植物利用エネルギー使用合理化工業原料生産技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、現在の化学工業プロセスに代わる、植物の有する有用物質生産能を活用した省エネルギー・低環境負荷型の工業原料生産プロセスへの変換を促進する。具体的には、工業原料の生産に関わる重要な物質生産プロセスに関する代謝系をゲノム情報に基づき解析するとともに、有用物質生産制御に必要な一連の代謝遺伝子群の発現を統一的に制御する技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、工業原料として有望なバイオマスとしてイソプレノイド、油脂などの有用物質生産に関わる代謝経路とその調節メカニズム及び生産物質の蓄積・移動に係るメカニズムの解析を行い、関連遺伝子情報を整備するとともに、統括的発現制御技術を開発する。

研究開発期間

2002年度～2009年度

(5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発(運営費交付金)

概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト

概要

大量の電力を必要とする従来のバッチ処理方式のチタン製錬法(クロール法)を、エネルギー効率の高い連続処理方式へ転換する抜本的なプロセス改善のための技術を開発する。また、併せて、成形性の高いチタン合金設計技術及び成形プロセス技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに省エネ型チタン新製錬プロセスの基盤技術を開発し、2010年までに実用化を目指す。また、本製錬技術により得られるチタンをベースとして、加工性、強度等をさらに向上させた合金設計・成形プロセス技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

(7) 革新的分離膜技術の開発

概要

河川水等の浄水工程における、微量の有害物質、微生物等の除去に係る水処理技術のうち、分離膜方式による高効率(省エネ)な分離技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2013年度末までに、現行の分離膜に比較して単位処理水量当たり50%のエネルギー削減を図る技術を確立する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

( 8 ) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発

i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発 ( 運営費交付金 )

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス ( モノ作り ) の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する ( バイオリファイナリー ) ための基盤技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

ii) 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 ( 運営費交付金 )

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御 ( デザイン化 ) することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

( 9 ) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業

概要

化学産業はそれ自身が裾野の広い産業というだけでなく、自動車、IT機器等の川下製品の部材として産業界・国民生活の様々な分野に深く関連している。従って化学業界において、省エネポテンシャルの大きい有望な技術シーズがありながら民間だけでは十分な研究開発投資が行われていない技術について、戦略的な研究開発支援を実施することにより、化学産業のみならず、各種最終製品、他産業においてエネルギー効率の改善を促進する。

#### 技術的目標及び達成時期

2007年度までに、化学分野の生産プロセスや、製品等に関する環境に配慮した省エネルギー技術の革新に向けて、国内・国際市場の創出・拡大も見据えつつ、将来の発展が有望な技術に関する研究開発を行うことにより、化学産業のみならず、我が国の省エネルギー対策に一層寄与する。

#### 研究開発期間

2004年度～2010年度

### (10) 高効率酸化触媒を用いた環境調和型化学プロセス技術開発プロジェクト

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、N-オキシ系触媒等の炭素ラジカル創生触媒を化学反応プロセスに適用し、製造工程の短縮や製造効率の向上を図ることで、温暖化効果ガスの排出抑制や省エネルギー効果など総合的なプロセスコストを低減させるため要素技術の開発を行う。

#### 技術的目標及び達成時期

2008年度までにカルボン酸、アルコール、ケトンなどの含酸素化合物製造プロセスに対し、N-オキシ系触媒を適用していくため、現状の触媒活性・選択性の向上、触媒の安定性・寿命の改善、触媒分離プロセスの効率化等を開発する。

#### 研究開発期間

2005年度～2008年度

### (11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発

#### 概要

製造エネルギーの低減を図ることができる革新的な繊維製品製造技術の開発や、使用することでエネルギー消費の低減が可能となる新たな繊維製品を開発。

#### 技術的目標及び達成時期

2009年度までに、以下の開発を行う。

炭素繊維製造エネルギー低減技術の研究開発

廃棄衣料のリサイクル技術及び高付加価値商品の開発

排水処理における余剰汚泥の減容化技術開発

次世代資材用繊維の開発

ポリエチレンテレフタレート製造エネルギー低減技術の開発

VOC含有廃棄物の溶剤回収及び再利用処理技術の開発

#### 研究開発期間

2005年度～2009年度

### (12) 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発（運営費交付金）

#### 概要

所用動力が少なく、汚泥発生も少ない嫌気性処理の利点と、良好な水質が得られる好気性処理の利点の双方の特長を生かし、かつ双方の欠点を克服した、省エネルギー性に優れた廃水処理技術を開発する。

#### 技術目標及び達成時期

2008年度までに、既存技術で廃水処理を行った際に発生する汚泥量の70%削減を実現し、廃水処理に要するエネルギーの70%削減を実現する廃水処理システムを開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

### (13) 高効率ガスタービン実用化技術開発

概要

省エネルギー及びCO<sub>2</sub>削減の観点から電力産業用高効率ガスタービンの実用化を目指し、大容量機(25万kW程度(コンバインド出力40万kW))の高効率化(52%～56%)のために1700級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術を適用した各要素モジュールの検証等を実施する。また、小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%～51%)のために有望とされている高湿分空気利用ガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの信頼性等の検証を行う。

技術的目標及び達成時期

1700級ガスタービン実用化技術開発：先端要素技術を活用した燃焼器、タービン、圧縮機等各モジュールの検証等を行い、送電端熱効率56%以上の達成が可能なことを確認する。

高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発：2011年までに軸流圧縮機の3.5%(空気重量比)吸気噴霧冷却技術、低NO<sub>x</sub>燃焼技術(運用負荷帯で10ppm以下)等を開発すると共に、実機に近い条件での要素機器の信頼性・耐久性を確認する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

### (14) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技術開発(運営費交付金)

概要

紙パルプ産業では、環境に関する自主行動計画に基づき、2010年度までに製品当たり化石エネルギー原単位を1990年度比13%削減し、CO<sub>2</sub>排出原単位を10%削減することを目指し、紙パルプ工程における省エネルギー対策を着実に進めているものの、より一層の省エネルギー対策を進めるためには、技術開発によるブレークスルーが必要となっている。紙パルプ産業は、エネルギー多消費型産業のひとつであり、紙パルプ工程での省エネルギー対策は波及効果が大きいことから、紙パルプ工程におけるエネルギー使用合理化に資する技術開発を提案公募により実施する。

技術的目標及び達成時期

京都議定書の第1約束期間中、又は、第2約束期間中を目途として実用化に至るような技術開発を行うことで、京都議定書の第1約束期間の目標を着実に達成するとともに、現在、検討が行われている第2約束期間に向けた省エネルギー対策の更なる深化を進めていく。

研究開発期間

2005年度～2010年度

- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発(4 - - 参照)
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発(4 - - 参照)
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - . 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)

##### 概要

従来の活性炭電極では不可能な高出力かつ高エネルギー密度の電気二重層キャパシタを実現するため、高度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いたキャパシタ電極の開発を行う。

##### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

##### 研究開発期間

2006年度～2010年度

- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 固体酸化物形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (9) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (13) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 省エネ型情報生活空間創生技術

- (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

##### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展により、ネットワークを流れるデータ量が大幅に増加する中で、IT機器による消費電力量の大幅な増大に対応し、環境調和型IT社会の構築を図るため、個別のデバイスや機器に加え、ネットワーク全体での革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

#### 技術的目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

#### 研究開発期間

2008年度～2012年度

### (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

#### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さらなる通信速度向上(100Gbps超)を実現するハードウェア技術、SFQ(単一磁束量子)スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発(運営費交付金)

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

#### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発(運営費交付金)

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、蛍光灯に代わる高効率照明として有機EL発光機構を用いるための技術開発課題(発光効率、演色性、面均一性、生産コスト)等を明らかにし、それをブレークスルーしうる技術シーズを抽出する。

#### 技術目標及び達成時期

2009年までに現在一般に普及している蛍光灯照明に代わる高効率照明としての必要スペックを達成するとともに、次世代照明として同じく期待されているLEDとの差別化要素を技術的に達成し、大面積/高スループット/低コストで量産するプロセス技術を開発する。また、現在蛍光灯の間接・拡散照明が用いられている照明機器を代替する有機EL照明を実用的なコストで製造できる技術を確認する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発(運営費交付金)

概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やナノ羽毛状構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から、製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを効率よく製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確認する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

(7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、近接場光の原

理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (8) 高環境創造高効率住宅用VOCセンサ等技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、住宅における換気負荷を最小化することによって省エネルギーを達成するため、VOCセンサ及びモニタリング併用型換気システム等を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、VOCに対して高選択性・高感度性・即応性を有するVOCセンサ及びVOCセンサを用いたモニタリング併用型換気システム等を開発する。

研究開発期間

2005年度～2008年度

#### (9) 革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、我が国鉄鋼業の約50%を占める建設市場において、建築物のメインフレームに高強度鋼を用いることで、鉄鋼部材の軽量化(リデュース)とそれに伴う輸送効率の向上、高強度化、非溶接化に伴う部材のリユース促進、製造・施工の省エネ・省力化等を図る。

同時に、柔剛混合構造(高強度鋼とダンパーの組み合わせ)技術の確立、関連法規への対応等により、震度7にも耐えうる新構造システム建築物の建設が可能となり、我が国で大きなリスクである大規模地震災害から国民を守り、安心安全社会の実現に寄与する。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、最大規模の地震(震度7)に対しても倒壊・損壊しない建築物を高強度鋼(800N/mm<sup>2</sup>級鋼材)とダンパーの組み合わせによる柔剛混合構造により実現を図るものであり、国土交通省や民間企業と連携してこの建築物のメインフレームに必要な高強度鋼部材、接合法等の開発を行う。主な研究開発目標は以下の通りである。

・震度7弾性新構造システム開発

- ・高強度部材の製造技術開発
- ・超高強度接合部品開発
- ・高強度部材の接合技術開発

研究開発期間

2006年度～2008年度

(10) 次世代光波制御材料・素子化技術(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - - . 先進交通社会確立技術

(1) エネルギーITS(運営費交付金)

概要

平成19年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」に基づき、運輸部門のエネルギー消費効率改善のため、自動運転・隊列走行技術、高度交通流制御技術等の省エネルギーに資するITS技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までにプローブ情報を利用した信号制御機能の実用化を図るとともに、2020年代に実用化が見通せる運転制御、隊列走行の基盤技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 革新的次世代低公害車総合技術開発(運営費交付金)

概要

大気環境・地球温暖化・エネルギー問題の同時解決に向けて、次世代の低公害車の技術開発を実施する。

特に、都市間の輸送に用いられる「都市間トラック・バス」を中心とした分野における要素技術の開発を自動車技術・燃料技術の両面から実施していく。

技術目標及び達成時期

平成20年度において、都市間の輸送に用いられる「都市間バス・トラック」を中心とした分野における次世代低公害車の要素技術を確立する。具体的には、以下のとおり。

- ・燃費向上率

貨物車 現行基準値に対して10%

乗用車 2015年基準値に対して20%

・排出ガス

貨物車 NOx：ディーゼル重量車のポスト新長期（挑戦目標）規制値

PM：ディーゼル重量車のポスト新長期規制値

乗用車 NOx：ガソリン車のポスト新長期規制値

PM：ガソリン車のポスト新長期規制値

研究開発時期

2004年度～2008年度

(3) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発（運営費交付金）

概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料（CFRP）の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、熱可塑性CFRP加工技術を開発する。

研究開発時期

2008年度～2012年度

(4) 次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代航空機用）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

研究開発期間

2003年度～2012年度

(5) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

#### (6) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発

概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の低コスト化技術等の研究開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ低コストであり、曲率の大きな部位の成形も行うことができるVaRTM(バータム)法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を低コストで確保する技術の研究開発・実証を行う。

研究開発期間

2008年度～2013年度

#### (7) 燃料電池システム等実証研究(4 - - 参照)

### 4 - - . 次世代省エネデバイス技術

#### (1) パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーを進めるために、シリコンよりも材料特性に優れたワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス機器システムの基盤技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、ワイドギャップ半導体デバイスを用いた高効率インバータ等の実用パワーエレクトロニクス技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

#### (2) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち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(運営費交付金)

概要

窒化物系化合物半導体は日本が強みを有し、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、今後のIT社会を支えとなることを期待されている分野である。しかし、既存のバルク単結晶基板成長技術やエピタキシャル成長技術では、従来の半導体では実現できない領域で動作可能なハイパワー、超高効率デバイス性能を十分に引き出すには至っていない。

これを突破するため、大学あるいは研究所を拠点に材料メーカー、デバイスメーカー、装置メーカー等が相互連携して、窒化物半導体の結晶欠陥低減技術やナノ構造作製技術等の革新を図り、これらデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減の実現を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

- ・ 基板技術（GaN、AlNバルク結晶作製技術）
  - 口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。
- ・ エピ技術（エピタキシャル成膜及び計測評価技術）
  - 低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。
  - 高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現
  - 高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発(MIRAI)(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード(微細化レベル)45nm以細の次世代低消費電力半導体を実現するため、微細加工の基盤技術やマスク(半導体素子製造過程で用いる原板)の低コスト化・製造時間短縮に必要な基盤技術の開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、マスク設計・描画・検査の各工程に共通的なマスクデータ処理技術、繰り返しパターンやパターン重要度を利用した描画・検査高速化技術等の基本的な開発及びEUVLマスク基盤技術として、許容欠陥の指標明確化、ブランクスの位相欠陥検査技術の確立等を完了する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

### (4) 半導体アプリケーションチッププロジェクト(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、情報通信機器、特に、情報家電の低消費電力化を実現できる半導体アプリケーションチップ技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、情報家電の低消費電力化を実現できるアプリケーション

チップ技術を開発する。

研究開発期間

2003年度～2009年度

(5) 次世代高度部材開発評価基盤の開発(CASMAT2)(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。半導体産業分野で、集積回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっているナノレベルでの材料間の相互影響を評価可能な統合部材開発支援ツールを開発する。これにより、集積回路の種類やデザインルールに応じて、配線形成用各種材料とプロセスの最適な組み合わせの提案技術(統合的材料ソリューション提案技術)を確立する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、半導体材料開発に貢献する材料評価基盤を構築するとともに、上記の統合的材料ソリューション提案技術を確立する。また、本プロジェクトを通して得られた基礎データ等については、プロジェクト実施期間中にデータを体系的に整理し、幅広く社会に提供を図る。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(6) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード45nm以降の半導体に対応するSoC(System on Chip)設計技術を開発する。具体的には、テクノロジーノード45nm以細の半導体の共通設計基盤技術開発として、DFM(Design For Manufacturing)基盤技術を中核とした設計及び製造の全体最適を確保する全く新しいSoC製造フローを開発する。

技術目標及び達成時期

テクノロジーノード45nm以細のSoC開発において製造性を考慮した共通設計基盤技術を確立し、システムLSIデバイスの省エネルギーを実現するとともに、設計生産性を従来予想に比べ2倍にすることを目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

4 - - . その他

(1) 希少金属等高効率回収システム開発

概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されている

ため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法（乾式製錬）で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現（省エネルギー効果：原油換算で約78万kl/年削減）
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上（インジウム0%→90%、ニッケル50%→95%、コバルト0%→95%、タンタル0%→80%、タングステン90%→95%、レアアース0%→80%）

研究開発期間

2007年度～2010年度

## （2）次世代構造部材創製・加工技術開発（次世代衛星基盤）

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、次世代の衛星技術として期待されている、準天頂衛星システム（移動中の利用者等に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にする新システム）の構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、航空機、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計のための基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術（産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等）の開発を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

## （3）高効率重金属処理剤研究開発

概要

重金属等によって汚染された土壌、飛灰、ばいじん、排水・廃液等を安全かつ経済的に処理する技術開発として、少量の使用で重金属等を安定的かつ効率的に捕捉できる複合金属汚染土壌のオンサイト処理に適した高性能の無機系重金属等処理剤及び自然環境への負荷が少ない新規有機系処理剤を開発する。

技術的目標及び達成時期

2008年度までに、飛灰における金属選択性が高く安価な重金属等処理・回収剤及び排水中における亜鉛や6価セレンなどを処理できる重金属等処理剤を開発する。

研究開発期間  
2003年度～2008年度

4 - . 運輸部門の燃料多様化

4 - - . 共通

- (1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) E3地域流通スタンダードモデル(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . G T L等の合成液体燃料

- (1) 革新的次世代低公害車総合技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 天然ガスの液体燃料化(G T L)技術実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - - . 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)
- (4) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 燃料電池システム等実証研究(4 - - 参照)

4 - - . 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

4 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

4 - - . 共通

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)

概要

新エネルギーの自立的普及に向けて、太陽光、風力、バイオマスなど新エネルギー分野でのイノベーションを促進すべく、高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発を実施する。具体的には以下の研究開発を実施する。

- A. 革新的な太陽電池の開発を実施する研究拠点を形成し、海外との研究協力等を行いながら、超長期の視野に立って、飛躍的な性能向上を目指した太陽光発電技術の開発を推進する。(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- B. 中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。(太陽光発電システム未来技術研究開発)

- C．2020年の目標発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、未来技術研究開発などで得られた要素技術開発の成果の内、実用化が期待できる太陽電池作製に係る技術について課題を設定し早期実用化を助成する。(太陽光発電システム実用化促進技術開発)
- D．電力供給源としての太陽光発電の信頼性を確立し、今後の太陽光発電システムの円滑な普及促進を図るため、太陽光発電システムの大量普及時に不可欠な性能評価技術やリサイクル・リユース技術等システムの共通基盤技術に係る研究等を実施する。(太陽光発電システム共通基盤技術研究開発)
- E．PVシステムの普及拡大のため、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の設備を有効利用しながら、認証制度にも資する複数台連系に係わる試験方法を確立する。(単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究)
- F．風力発電技術の国際的な動向を把握しつつ、我が国の複雑地形における風力発電利用上の各種課題を克服するための基礎から応用までの技術について研究開発を行う。具体的には我が国の厳しい風特性を反映した風特性モデルの確立及び高々度風況観測を簡便に行うためのリモートセンシング技術の精度検証・評価を行う。
- また、全国規模での落雷電流計測、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の検討及び実機規模での実雷による保護対策検証等を実施し、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。(次世代風力発電技術研究開発事業)
- G．我が国特有の海上特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適した洋上風況観測法や風力発電システムに関する技術開発とその実証を行なうと共に、環境影響評価システム手法を確立する。(洋上風力発電技術研究開発)
- H．バイオマスのエネルギー利用の促進を図るためには、発生地域が分散し、形状・性状が多種多様にわたるバイオマス資源を利用しやすい形態の有用エネルギーへ効率的に転換できる技術を開発する。(バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発)
- I．世界的にもベンチャー企業による太陽光発電、新型風力発電、燃料電池、バイオ燃料分野におけるイノベーション活動が活発化していることを踏まえ、詳細目標設定・多段階選抜形の米国SBI R制度を参考に特定のキーテクノロジーに対するベンチャーのチャレンジを強力に支援する。(新エネルギーベンチャー技術革新事業)

#### 技術目標及び達成時期

- A．2050年までに「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、変換効率40%超の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。
- B．2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト(14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度)、2030年頃に火力発電の発電コスト(7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度)の実現に向けた中・長期的な技術開発を行う。

- C . 2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。
- D . 2020年度の技術開発目標である発電コスト14円/kWhを目指し、中期的な視点での太陽光発電の普及拡大に資する。
- E . 2009年度末までに、電力系統側が受け入れ可能な、導入台数の制限のない能動型単独運転検出装置の試験方法を確立する。
- F . 2012年度までに、風力発電の基礎から応用までの技術について、国際的な動向を把握しつつ、我が国特有の気象・地形に起因する各種問題(風車耐久性等)を克服するための研究開発を行って、我が国の風車産業の振興に資するとともに、IEA RD&D WINDなどの最先端の国際的風力発電共同研究に研究成果を反映させる。  
また、2012年度までに、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。
- G . 2013年度までに、我が国の海象・気象条件に適した、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム及び環境影響評価の手法等の技術を確立する。
- H . 2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2008年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレイクスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。更に、2005年度より2009年度まで、バイオマスのエネルギー転換・利用技術等の分野において2030年の普及を目指した新規な革新的技術を開発するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。
- I . 潜在的なオプションの顕在化や関連産業分野の技術開発による技術革新により、新エネルギー導入促進技術オプションの多様化と経済性の向上に寄与する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (2) 新エネルギー技術フィールドテスト事業(運営費交付金)

### 概要

2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、新技術を活用した太陽光発電及び太陽熱利用システムの有効性の検証、バイオマス熱利用システムの性能・経済性等の検証、風車立地に必要な高所の風況データの収集・解析など総合的な新エネルギーフィールドテストを実施する。具体的には以下のフィールドテストを実施する。

- A . 新技術を活用した太陽光発電システム等を設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽光発電新技術等フィールドテスト事業)
- B . 新利用形態の太陽熱利用システムや未利用分野においてシステムを設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業)
- C . 広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱

利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行う。(地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業)

- D. 風力発電の導入目標(2010年度300万kW)を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。(風力発電フィールドテスト事業)

技術目標及び達成時期

- A. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- B. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度に改訂する。また、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- C. 一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性等の状況・データを収集・分析し、熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで汎用性の高い熱利用システムの確立し、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万KL)達成を目指す
- D. 2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) イノベーション実用化補助金(運営費交付金)

概要

科学技術基本計画における戦略的技術領域・課題にかかる技術課題等で石油代替エネルギーの製造・生成・利用に資する実用化開発を行う民間企業に対し助成支援する。

技術目標及び達成時期

助成事業終了後3年以上を経過した時点で25%の実用化達成率。加えて、知的資産経営の方針に対する審査時の評価を通じて、「技術等の知的資産を活かす経営の下で収益拡大を図る(技術を経営、収益につなげる)」意識を普及させる。

研究開発期間

2000年度～

### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)

概要

産業界や社会のニーズに応える石油代替技術のシーズの発掘とその育成、並びに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の若手研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって石油代替効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

#### 技術目標及び達成時期

独創性のある若手研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的石油代替技術の研究開発を促進する。本事業では革新的石油代替技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

#### 研究開発期間

2000年度～

### 4 - - . 太陽・風力

#### (1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

##### 概要

新たな電力供給方式として地上において様々な用途への応用が見込まれ、また、長期的には将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システムの中核的技術として応用可能な太陽光発電無線送受電技術を確立するため、安全性等を確保しつつ、太陽エネルギーを効率良く伝送するための要素技術等について研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに高効率半導体増幅回路の開発、複数フェーズドアレイパネルの統合による精密ビーム制御技術の開発、高効率受電整流回路の開発を目指すことにより、無線送受電技術の高効率化を図る。

#### 研究開発期間

2008年度～2010年度

### 4 - - . 電力系統制御・電力貯蔵

(1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(2) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

(3) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

### 4 - - . バイオマス・廃棄物・地熱等

(1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業(運営費交付金)

##### 概要

離島(全域)におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)の製造から給油までの大規模なフィールドテストを通じ、E3利用に関する社会システムモデルの構築と一般社会へ適用する際の技術課題の抽出を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2010年の「京都議定書目標達成計画」の導入目標(50万kl)に資するため、2009年度にE3利用の社会モデルを構築し、2011年度までにその検証を行う。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)

概要

地域に賦存する未活用の資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックすることによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

研究開発期間

2001年度～2009年度

(3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)

概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

研究開発期間

2005年度～2009年度

4 - - . 燃料電池

(1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能

化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)

概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構を電気化学(電極触媒反応、イオン移動、分子移動等)及び材料化学(溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等)の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(3) 新利用形態燃料電池技術開発(運営費交付金)

概要

ユビキタス社会に対応する燃料電池の実用化・普及拡大を図るため、小型可搬電源となり得る小出力燃料電池等の安全性確保等を目的とする基準・標準化研究開発及び燃料電池の用途開拓のための技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2010年までに、燃料電池の新利用形態、使用環境の拡がり等を考慮した高出力特性等の性能特性向上によって必要となる燃料容器等の周辺機器を含めたシステムの安全・環境基準の設定・標準化、規制緩和に資する試験データの取得、試験方法の開発及びこれらの規格・標準化に準じた新利用携帯用燃料電池技術を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(4) 高耐久性メンブレン型LPガス改質装置の開発(運営費交付金)

概要

高耐久性の水素透過型メンブレン(膜)を開発し、家庭用LPガス供給システムから高純度の水素を供給可能な高効率LPガス改質装置を開発する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、家庭用LPガス供給システムから燃料電池へ高純度の水素を供給する高効率かつ低コストでコンパクトなメンブレン型LPガス改質装置を開発する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(5) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)

概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は発電効率が高く、分散型電源として期待されるが、実用化・普及のためには耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決することが必要であり、材料開発や劣化要因解明など基盤的な要素技術の研究を行う。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、耐久性・信頼性の向上のための劣化要因解明等の基礎研究、低コスト化のための材料等や高出力セルスタックの開発、起動停止対応等の実用性向上のための技術開発を実施する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(6) セラミックリアクター開発(運営費交付金)

概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時(650以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証(出力性能2kW/部等)を行う。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(7) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)

概要

水素の製造・輸送・貯蔵等に係る機器やシステムについて、性能・信頼性・耐久性の向上や低コスト化を目指す水素利用技術の研究開発を行い、水素社会の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素製造・貯蔵・輸送・充填に関する機器やシステムの信頼性・耐久性向上、低コスト化、性能向上等実用化検証や要素技術開発、及び当該技術を飛躍的に進展させることができる革新的技術開発や調査研究などを行い、その成果を産業界に提供することにより、水素エネルギー初期導入間近の関連機器製造・普及技術として完成させ、水素社会の真の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(8) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)

概要

世界トップ水準の優れた研究者を中核に、国内外の研究機関・企業のバーチャルな連携の下、高圧水素貯蔵に比べよりコンパクトかつ効率的な水素貯蔵を可能とする水素貯蔵材料の性能向上に必要な条件等を明らかにすることにより、燃料電池自動車の航続距離の飛躍的向上を図る。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、水素貯蔵材料の基本原則、さらには水素貯蔵能力の革新的向上に必要な条件を明らかにすることにより、水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに輸送・貯蔵するための技術基盤を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(9) 水素先端科学基礎研究事業(運営費交付金)

概要

水素の輸送や貯蔵に必須な材料に関し、水素脆化等の基本原則の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端的研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原則の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

研究開発期間

2006年度～2012年度

(10) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)

概要

燃料電池の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度を目途に、安全性等に係るデータを取得し、そのデータを基に試験・評価手法の確立、国際標準の確立、規制の再点検を三位一体で進める。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(11) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)

概要

発電効率が高く、分散型電源として期待される固体酸化物形燃料電池(SOFC)の研究開発・実用化の促進のため、耐久性を始めとしたデータの取得・課題

抽出等のための実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、SOFCシステムの実証試験を数十～数百台規模で実施し、蓄積が不足している耐久性を始めとした実証データの取得・課題抽出等を行い、SOFC技術開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2007年度～2010年度

#### (12) 定置用燃料電池大規模実証事業(運営費交付金)

概要

定置用燃料電池コージェネレーションシステムの実用化開発を支援するため、量産技術の確立と実用段階に必要なデータ収集を行う大規模実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2008年度までに、定置用燃料電池を大規模かつ広域的に設置し、実使用条件下における耐久性等の運転データを取得・分析、コストダウンに向けた課題抽出を行い、製品改良へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2005年度～2008年度

#### (13) 燃料電池システム等実証研究

概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証走行や、高圧水素貯蔵システム、多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における水素利用の課題等を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得し、燃料電池自動車、水素ステーションの研究開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

### 4 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

#### 4 - - . 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

< 新型軽水炉 >

##### (1) 次世代軽水炉等技術開発

概要

2030年前後に見込まれる大規模な代替炉建設需要に対応するため、安全性・経済性、信頼性等に優れ、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発を行う

技術目標及び達成時期

2010年度までに、次世代軽水炉の実現に必要な要素技術開発等及びプ

ラント概念の成立性について見通しを得るための概念設計検討を行う。

研究開発期間

2008年度～2010年度（見直し）

#### < プルサーマルの推進 >

##### (2) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

概要

プルサーマルが当面のプルトニウム利用策として期待されていることを踏まえ、既存の軽水炉に比べ約3倍のプルトニウムを装荷することができる全炉心混合酸化物燃料原子炉に必要な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、原子炉の開発に必要な設計、解析、試験等を行い、全炉心混合酸化物燃料原子炉技術を確立する。

研究開発期間

1996年度～2011年度

#### < 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発 >

##### (3) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。そのなかで、次世代再処理工場から発生する高線量回収ウラン等を既存軽水炉燃料製造施設で取扱可能とする、次世代再処理工場と調和可能な回収ウラン等の除染技術について、調査・基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術候補の検討等を実施する。選定された技術については、プロセス試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、回収ウラン等の除染プロセスの候補技術の洗い出し及び候補プロセス技術の基礎試験を終了し、次世代再処理技術との適合性の検証を行い、プロセス試験を実施すべき除染プロセス技術を選定する。

また、2015年までに、選定した除染プロセス技術について工学化規模でのプロセス試験を行い、商業的に利用可能な転換前高除染技術としての実効性を検証する。

研究開発期間

2007年度～2015年度

#### < ウラン濃縮技術の高度化 >

##### (4) 遠心法ウラン濃縮技術開発

概要

我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、世界最高水準の性能を有するなど国際的に比肩し得る経済性と性能を有する新型遠心分離機を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国際役務価格\$100/kg SWU相当を目指して、現在実用化している金属胴遠心分離機の約5倍という高い分離性能や同遠心分離器を上回る寿命など国際的に比肩し得る技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を目指すとともに、最終仕様の新型遠心分離機を多数台用いたカスケード試験の実施により商用プラントとしての信頼性を確立し、運転要領の策定を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

#### < 回収ウラン >

##### (5) 回収ウラン利用技術開発

概要

六ヶ所再処理工場で回収される回収ウランを再濃縮し、再び軽水炉で利用するため、濃縮施設等既存施設への影響等を把握し、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発する。併せて劣化ウラン酸化固形化についても検討を行う。

技術目標及び達成時期

2012年頃までに、劣化ウランの取扱・管理の容易さや貯蔵効率を向上させるための劣化ウラン酸化固形化（再転換を含む）技術の研究開発を行い、同技術に係る基礎プロセスを確立する。2015年度頃までに、再処理により回収される回収ウランの濃縮が可能な商用遠心分離機の設計を確定する。

研究開発期間

2008年度～2015年度

#### < 共通基盤技術開発 >

##### (6) 革新的実用原子力技術開発費

概要

原子力発電及び核燃料サイクルに関する革新的かつ基盤的技術であって実用化につながる研究開発テーマを競争的環境の下で広く提案公募方式により募集し、将来の原子力技術の発展及び技術の多様化につながる研究開発を行う。

なお、実施に当たっては、研究開発の特性に応じて既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野の3分野を設け事業を実施する。

技術目標及び達成時期

2012年まで、既存技術分野、基盤技術分野、国際協力技術分野において個別テーマ毎に研究開発を実施する。

なお、既存技術分野は2008年度で終了となる。

研究開発期間

2000年～2010年（見直し）

#### 4 - - . 高速増殖炉（FBR）サイクル

##### (1) 発電用新型炉等技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。具体的には、実証炉に必

要な要素技術のうち、設計・建設段階において必要となる実プラント技術として、格納容器設計技術、耐震性評価技術、高温材料設計技術、保守技術の試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証炉の概念設計へ反映しうる設計基準データ等の技術的根拠を得る。

研究開発期間

2007年度～2010年度

(2) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - . 放射性廃棄物処理処分

(1) 地層処分技術開発

概要

) 地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分における共通的技术として、今後段階的に進められる処分地選定の際に重要となる地質等調査技術の高度化開発を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

高レベル放射性廃棄物処分に係る基盤技術として、人工バリア等の長期性能評価技術、処分場操業の際のオーバーパック溶接や搬送・定置等の遠隔操作技術の開発を行う。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

TRU廃棄物の地層処分に係る基盤技術として、高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性も念頭に、TRU廃棄物に固有に含まれる核種の閉じ込め技術や人工バリア等の長期性能評価技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

) 地層処分共通技術開発

2011年度までに、処分地選定の初期段階で必要となる地上からの調査技術のうち、特に沿岸域の環境や高精度での地下水評価等に係る調査評価技術の高度化・確証を行う。

) 高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

2011年度までに、人工バリア等の長期性能評価技術や遠隔操作等の工学技術について高度化を図り、幅広い地質環境に対応可能な技術選択肢と成立性を提示する。

) TRU廃棄物処分関連技術開発

2011年度までに、TRU廃棄物に固有に含まれるヨウ素129や炭素14の閉じ込め、高アルカリ環境下での人工バリアの性能評価等に関し、幅広い地質環境に対応可能なデータ・モデルの整備と技術選択肢の提示を行う。

研究開発期間

1998年度～2011年度

(2) 管理型処分技術開発

）地下空洞型処分施設性能確認試験

概要

T R U廃棄物や発電所廃棄物等の余裕深度処分において検討されている「地下空洞型処分施設」の成立性確認のため、実規模大の空洞を利用した総合的な確認試験を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、実規模大の空洞内にコンクリートピット等からなる地下空洞型処分施設を構築し、施工性や初期性能の総合的な確認を行う。

研究開発期間

2006年度～2011年

(3) 放射性廃棄物共通技術開発

概要

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物処分に係る国内外の最新知見の収集・分析、重要かつ基礎的な課題の抽出並びに研究を実施し、長期に及ぶ処分事業等を支える技術基盤の拡充を図る。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価に共通的な基盤情報として、生物圏における核種移行プロセスを評価するため、日本の風土を反映した核種移行パラメータ・モデルを整備する。

技術目標及び達成時期

）放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

2011年度までに、放射性廃棄物処分に共通的な重要基礎技術として、地質環境の長期安定性評価、人工バリアや岩盤の長期挙動評価等に係る知見を整備する。

）放射性核種生物圏移行評価高度化調査

2011年度までに、沿岸域の環境も含めたわが国表層環境への適用とT R U廃棄物に固有の核種等を考慮した、生物圏核種移行のモデルとデータベースを構築する。

研究開発期間

2001年度～2011年度

4 - - . 原子力利用推進に資する電力系統技術

(1) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)

概要

世界的にも我が国が最先端の技術力を有する次世代高温超電導線材を活用し、経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的な供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立を目指す。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、イットリウム系超電導線材を用いたS M E S、電力ケー

ブル、変圧器実現のための重要な技術開発を行い、各機器の成立性を実証する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)

概要

革新的な超電導送電技術を確立するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材を活用し、実用化のための実証試験及び評価を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

4 - - . その他電力供給安定化技術

(1) 風力発電電力系統安定化等技術開発(運営費交付金)

概要

大規模風力発電所等の普及拡大時において懸念される周波数変動等系統上の問題対策として、蓄電システムの併設による出力安定化技術を開発し、実態に応じたシステム稼働データの抽出や当該システムの有効性の検証を行う。

技術目標及び達成時期

長期実証運転を強いられた大容量システムの耐久性や信頼性を評価するため解体分析調査を行うことにより、当該技術の有効性を検証するとともに、そのシステムを確立する。

研究開発期間

2003年度～2008年度

(2) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)

概要

大規模太陽光発電を電力系統に連系した場合に課題となる系統安定化対策やピーク対策のための技術等を開発するとともに、その有効性を実証する。

また、国内外の先進的な次世代技術の価格性能を比較することを通じて技術開発を加速する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、下記の実証研究を行い、その有効性を確認する。

(イ) 蓄電池等を組み合わせた出力変動抑制システムの有効性。

(ロ) 発電出力のピーク制御(午後のピーク帯へのシフト)の有効性。

(ハ) 大型インバータによる高調波抑制システムの有効性。

(ニ) 国内外メーカーの太陽電池モジュールの特性比較を行い、性能、経済性等を比較・検証。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(3) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

蓄電池技術は、新エネルギーの出力安定化や燃料電池自動車(FCV)・ハイブリッド自動車(HEV)・電気自動車(EV)等の高効率次世代自動車に共通する重要なコア技術である。そこで、高性能蓄電システムに係る要素技術開発、新材料開発及び基盤技術の開発を行う。

A. 系統連系円滑化蓄電システム技術開発

B. 次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発

技術目標及び達成時期

A. 2010年度末において、寿命10年、コスト4万円/kWh、1MW規模のシステムおよび要素技術の確立と2030年において寿命20年、コスト1.5万円/kWh、20～30MW規模の蓄電システムを見通せる技術開発。また、新エネルギー対応の充放電パターン等、基礎データの整備、大型化に伴う安全性や寿命等の評価手法の確立。

B. 2011年度末において、電池開発では、0.3kWhモジュールを作製し、重量エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2000W/kg、寿命10年、コスト4万円/kWhを達成すること(条件:3kWhの組電池、100万台生産ベース)。電池構成材料及び電池反応制御技術の開発では重量エネルギー密度200Wh/kg、出力密度2500W/kg、コスト3万円/kWhを小型単電池で達成すること(上記と同条件)。また、電池周辺機器開発では、格段の高性能化、コンパクト化、低コスト化を達成すること。さらに、重量エネルギー密度500Wh/kgを見通せる新規概念・構造の蓄電池基礎開発の他、劣化・寿命診断法、安全性評価などの各種試験法等の開発およびそれら共通基盤技術の基準・標準化。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)

概要

従来の金属材料と比べ耐食性、耐久性、加工性などの飛躍的な向上が期待できる超高純度金属材料の発電プラント部材としての実用化を目指し、低コスト・量産化製造プロセス、及び加工・溶接技術等の開発を行い、部材としての実用特性の評価・検証を行う。

また、実用化に向けたフィージビリティ調査を行い経済性の評価等を実施するとともに、材料特性に関するデータベースの整備及びそれに必要な試験研究を行う。

技術目標及び達成時

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って

発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

#### 4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

##### 4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

###### (1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型ノ特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

###### (2) 石炭生産技術開発(クリーン・コール・テクノロジーの研究開発の一部)

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、低品位炭の有効利用、石炭生産性の向上のための研究開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、インドネシアにおいて低品位炭の有効利用を図ることを目標に、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を確立する。

研究開発期間

2001年度～2009年度

###### (3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセット

を完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

#### (5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

PALSARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化(アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等)を図る。

研究開発期間

1993年度～2010年度

(7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ(ASTER)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化(ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等)を図る。

研究開発期間

1987年度～2010年度

4 - - . 石油・天然ガスの有効利用技術

(1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術(自着火燃焼(着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNOx排出低減、熱効率が高い等の利点がある))に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。

また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

研究開発期間

2002年度～2011年度

(2) 石油精製高度機能融合技術開発

概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、我が国における他のコンビナートへの波及効果を含め、CO<sub>2</sub>排出量を63万トン/年削減可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

### (3) 将来型燃料高度利用技術開発

#### 概要

省エネ、二酸化炭素削減効果が見込まれる燃料電池自動車の燃料である高純度(99.99%以上)水素を安定的かつ経済的に供給することは重要である。石油は、その長所として豊富な水素供給余力と安価な水素製造技術及び全国に展開した災害に強いガソリンスタンドを保有している。これら石油の長所を活かした水素供給システムの確立により、水素社会の早期実現に貢献するものである。本事業では、製油所からの高純度水素供給技術開発とガソリンスタンドを拠点とする高純度水素製造技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

コスト低減のため製油所におけるナフサから高効率(80%以上)な高純度水素製造を可能とする新たな技術を開発する。また、供給地のガソリンスタンドにおいて有機ハイドライドから高純度の水素を高効率(80%)に取り出すための水素発生装置を開発する。また、脱硫後の灯油硫黄分を検出限界以下の10ppb以下とする脱硫剤の開発を行うとともに、貴金属使用量を2-3wt%から0.5wt%以下まで低減しても、従来と同等の高い性能が維持できる改質触媒を開発する。さらに、膜分離型反応器を用いた99.99%高純度水素の製造効率を80%、4万時間の耐久性が期待できる水素製造システムを開発する。

研究開発期間

2008年度～2010年度

### (4) 革新的次世代石油精製等技術開発

#### 概要

原油価格の高騰・高止まりや原油の重質化と製品需要構造変化等の石油を巡る大きな環境変化のなか、連産品である石油製品を今後とも長期的に安定化かつ効率的に供給するためには、製油所の更なる高度化に向けた技術の開発実用化が必要である。このため、非在来型原油を含めた重質油を原料として、製油所におけるボトムレス化、余剰となる分解留分の高付加価値等のためのプロセスや触媒技術等の開発を行う。また、次世代の技術シーズ創出のため、これまでの技術とは異なる発想により我が国唯一の革新的な新規触媒研究、新規膜分技術研究、新規製造プロセス研究等を産官学の連携等により実施する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに重質油対応型高過酷度接触流動分解技術(HS-FCC)については、3千BD規模(商業レベルの1/10規模)の実証研究を通じ、プロピレン収率20%以上(既存技術4%程度)、将来不足が予想される高オクタン価ガソリン基材(RON98(既存技術92程度))の製造を可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサー（COセンサー・メタンセンサー）を開発する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジーおよびMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性（数百PPM以下の故障率）、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

(6) 天然ガス未普及地域供給基盤確立実証試験（運営費交付金）

概要

天然ガスの供給手段が存在せず（パイプラインはもとよりサテライト供給でも採算が合わないため）石油等の燃料に依存している地方都市部の中小規模の天然ガス需要に対し、天然ガスハイドレートを利用した、新たな輸送技術を確認する。

技術目標及び達成時期

従来のLNGチェーンによる供給に係る投資コストに対し、そのコストを約1/4に低減する事が可能な天然ガスハイドレート（NGH）供給システムを2008年度までに確立する。

研究開発期間

2006年度～2008年度

(7) 天然ガスの液体燃料化（GTL）技術実証研究（運営費交付金）

概要

硫黄等を含まず排出ガスがクリーン、着火性が高いという特徴を有することから石油系燃料代替として期待されるGTLについて、天然ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を除去せず、原料として積極的に活用することから、従来利用が困難であったCO<sub>2</sub>を多く含むガス田からの天然ガスが利用可能、CO<sub>2</sub>除去装置が不要であることによる生産設備コストの低減が可能、といった強みを有する我が国独自のGTL製造技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証プラントによる運転研究（500バレル/日）を行い、商業規模でのGTL製造技術を確認する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- ( 8 ) 高耐久性メンブレン型 L P ガス改質装置の開発 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 9 ) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型 / 特別研究 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 1 0 ) 高効率ガスタービン実用化技術開発 ( 4 - - 参照 )

#### 4 - - . オイルサンド等非在来化石資源の利用技術

##### ( 1 ) メタンハイドレート開発促進委託費

###### 概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2 0 1 6 年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

###### 研究開発期間

2 0 0 1 年度 ~ 2 0 1 6 年度

##### ( 2 ) 革新的次世代石油精製等技術開発 ( 4 - - 参照 )

#### 4 - - . 石炭クリーン利用技術

##### ( 1 ) 革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

###### 概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電 ( I G F C ) の開発実証
- ・ 化学吸収法による C O 2 の分離・回収技術の実証
- ・ C O 2 を輸送するための船舶の設計
- ・ C O 2 を貯留するための発生源近傍における貯留ポテンシャルやコストの評価
- ・ 石炭ガス化から CCS まで一貫したトータルシステムの設計等を行う。

###### 技術目標及び達成時期

石炭ガス化については、2 0 0 9 年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスから C O 2 の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3 炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。また、C C S については、2 0 1 6 年度頃から C O 2 地中貯留の実証試験に着手する。

###### 研究開発期間

2 0 0 7 年度 ~ 2 0 1 2 年度

##### ( 2 ) 国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

###### 概要

石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>の削減技術について諸外国との実証普及事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、ゼロエミッション型石炭火力発電の実証プロジェクト(Future Genプロジェクト)への参画を通じた石炭ガス化・発電技術、CO<sub>2</sub>分離回収技術、CO<sub>2</sub>輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。また、将来のCO<sub>2</sub>の地中貯留に際しては、国民の正しい理解が不可欠であり、これを念頭においたゼロエミッション型石炭火力発電に係る普及啓蒙活動を積極的に実施する。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO<sub>2</sub>を分離する装置が不要であることから、比較的低コストで極めて大きなCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

研究開発期間

2007年度～2016年度

### (3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電(USC)は、蒸気温度の最高温度は630程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術(A-USC)の開発を行うものである。A-USCは、蒸気温度700級で46%、750級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレイス需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USCの技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度

### (4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)(クリーン・コール・テクノロジーの

## 研究開発の一部)

### 概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭ガス化、無灰化技術による転換効率向上に資する技術や石炭からの水素製造技術等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

### 技術目標及び達成時期

2008年度までに、

- ・ 石炭から合成ガスや軽質オイルを併産する高効率な石炭部分水素化プロセス技術を20t/日のパイロットプラント規模で確立する(石炭部分水素化熱分解技術の開発)

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発)

### 研究開発期間

1995年度～2008年度(2008年度見直し)

- ・ 戦略的石炭ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度
- ・ 石炭部分水素化熱分解技術 2003年度～2008年度

## (5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

### 概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

### 研究開発期間

1999年度～2009年度

## (6) 環境調和型製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

## 4 - - . その他共通

### (1) イノベーション実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

- ( 2 ) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 3 ) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 4 ) 燃料電池先端科学研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 5 ) 新利用形態燃料電池技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 6 ) 高耐久メンブレン型 L P ガス改質装置の開発( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 7 ) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 8 ) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 9 ) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 10 ) 水素社会構築共通基盤整備事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 11 ) 水素先端科学基礎研究事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 12 ) 固体酸化物形燃料電池実証研究 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 13 ) 定置用燃料電池大規模実証事業 ( 運営費交付金 )( 4 - - 参照 )
- ( 14 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 4 - - 参照 )

## 5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークアプローチの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

### 5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

### 5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 事業者支援補助金等による初期需要創出
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

### 5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

### 5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

## 6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム基本計画(平成16・02・03産局第6号)は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第8号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第10号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第12号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第11号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第13号)は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第14号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第9号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第17号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第12号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第13号)は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画(平成17・03・29産局第2号)は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・31産局第19号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第15号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号)、新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号)、燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号)、電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号)、原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

# イノベーションプログラムについて

平成21年4月27日  
経 済 産 業 省  
研 究 開 発 課

## 目次

イノベーションプログラムの概要	1
1. ITイノベーションプログラム	2
2. ナノテク・部材イノベーションプログラム	3
3. ロボット・新機械イノベーションプログラム	4
4. エネルギーイノベーションプログラム	
総合エネルギー効率の向上	5
運輸部門の燃料多様化	6
新エネルギー等の開発・導入促進	7
原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保	8
化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用	9
5. 環境安心イノベーションプログラム	10
6. 健康安心イノベーションプログラム	11
7. 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム	12

# イノベーションプログラムの概要

## 1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)

経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。

各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。

## 2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)

先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005 / 2006 / 2007 / 2008』)。

研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

## イノベーションプログラム(IPG)の21年度予算額 (総額: 1,966億円<sup>1)</sup>)

### IT IPG

ITコア技術の革新	94億円
省エネ革新	42億円
情報爆発への対応	44億円
情報システムの安全性等	63億円

21年度予算 244億円

### ナノテク・部材 IPG

ナノテク加速化領域	36億円
情報通信領域	28億円
ライフサイエンス・健康・医療領域	16億円
エネルギー・資源・環境領域	78億円
材料・部材領域	27億円
共通領域	4億円
21年度予算案	188億円

### ロボット・新機械 IPG

ロボット関連技術開発	38億円
MEMS関連技術開発	12億円

21年度予算 50億円

### 健康安心 IPG

創薬・診断技術開発	102億円
診断・治療機器・再生医療等の技術開発	28億円

21年度予算 130億円

### エネルギー IPG

総合エネルギー効率の向上	707億円
運輸部門の燃料多様化	278億円
新エネルギー等の開発・導入促進	369億円
原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保	268億円
化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用	479億円

21年度予算 1,281億円<sup>2</sup>

### 環境安心 IPG

地球温暖化防止新技術	60億円
3R	33億円
環境調和産業バイオ	57億円
化学物質総合評価	11億円
共通領域	4億円

21年度予算案 165億円

### 航空機・宇宙産業 IPG

航空機産業の基盤技術力の維持・向上	233億円
宇宙産業の国際競争力強化	87億円

21年度予算案 320億円

<sup>1</sup> 各イノベーションプログラムにおけるプロジェクトの重複を排除した額 <sup>2</sup> 各サブプログラムで重複があるため小計と一致しない

# 1.IT イノベーションプログラム

【平成21年度予算額 243.5億円】

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算) [20年度補正予算]

一般会計 特別会計

高度情報通信  
社会の実現

社会基盤を支えるIT技術。これらを活かし、イノベーションを創出するとともに、IT産業再編を睨み、選択と集中を図りつつ、持続的に競争力を強化する。

IT産業の国際  
競争力の強化

## 情報爆発への対応

今や知的活動時間に占める検索に費やす時間は、何と30%…。

これら情報爆発による課題を解決

ITの利活用による知の創造

### 情報大航海

26.0(41.1)

いつでもどこでもあらゆる場面で情報の検索・解析・活用環境を実現。

New ITとサービスの融合  
15.0(新規)

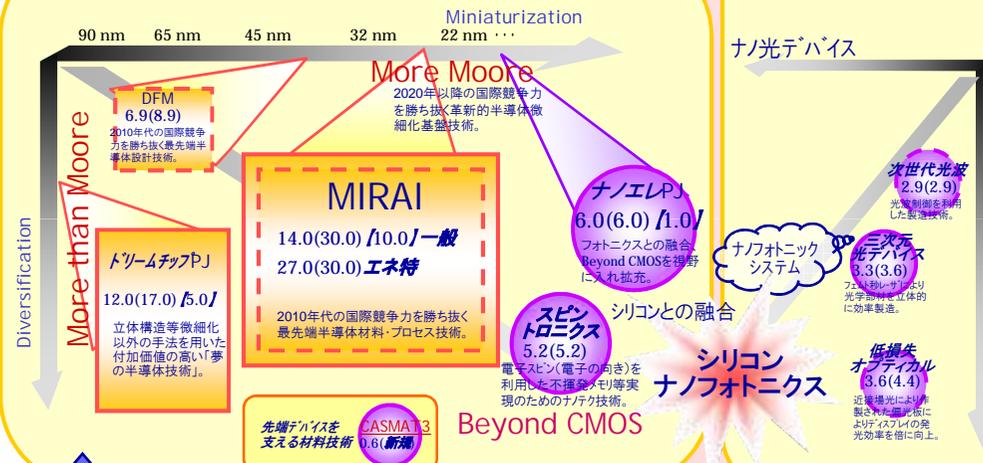
ITによる生活の質の向上

New 車載ITシステム  
3.0(新規)

## IT コア技術の革新

最終製品に占める半導体の価格割合はこの10年で3割以上増加。  
今後の製品付加価値を高めるコアデバイスの開発。

### 世界最先端デバイスの先導開発



### 光技術の革新利用

ナノ光デバイス

### 半導体アーキテクチャの革新

リコンフィギュラブル・チップやマルチコア・チップ等デジタル革命を支える新しいコンセプトによる半導体の現出。

次世代アーキテクチャ  
2.4(2.5)

アプリチップPJ  
10.0(14.0)

## 省エネ革新

インターネットの普及により、このままでは2020年には国内総発電量の4.5%がルータで消える…。

### 抜本的に解決

情報ネットワークシステムの徹底的省エネの実現

### グリーンIT

50.0(40.0) / 10.0 /

目指せ！  
エネルギー効率100倍。

次世代NWデバイス  
4.3(15.4) / 5.0 /

ネットワークルータの消費電力半減。

New 高効率住宅システム  
1.0(新規)  
ITを用いて住宅など最適に省エネ化

情報機器の徹底的省エネの実現

次世代大型ディスプレイ  
4.4(16.7) / 5.0 /

高精細大型ディスプレイの消費電力半減。

省エネを支えるプロセス基盤技術  
GaN(ナノエ) 3.7(8.6) / 3.6 /

## 情報システム・ソフトウェアの安全性・信頼性・生産性の向上とオープン標準の普及促進

ソフトバグ、ハッカー等により引き起こされる情報システムのダウンは、我が国経済に大損害を与える…。

安全性向上

IT5規格化  
1.0(1.4)

セキュアプラットフォーム  
8.0(8.0)  
情報システムの安全性確保。

信頼性向上

産学連携ソフトウェアの実践  
23.7(24.2)

ソフトウェア・エンジニアリングの抜本強化とそれを適用した高信頼な自動車用組込みソフトウェアプラットフォーム等開発。

生産性向上

オープンソフトウェア利用促進  
5.4(5.6)

オープン標準の普及促進。

IT投資基盤PJ  
4.0(8.0)  
特定産業向け共通プラットフォームへの構築。

## 2. ナノテク・部材イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：188億円】

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算) [20年度補正予算]

○あらゆる分野に対して高度化・不連続な革新をもたらすナノテクノロジー・革新的部材技術を確立する。

● 一般会計 ● 特別会計

○我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服を可能とする。



### IPGの目標

-ナノテクによる非連続技術革新-

世界に先駆けてナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を実現する。

-世界最強部材産業による価値創出-

我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る。

-広範な産業分野での付加価値増大-

ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る。

-エネルギー制約・資源制約などの課題解決-

希少金属などの資源制約の打破、圧倒的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す。

### 3. ロボット・新機械イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：50億円】

各プロジェクト毎の予算額は、21年度予算(20年度予算)

目的

製造プロセス・装置技術

注：は新規事業

融合化

複合化

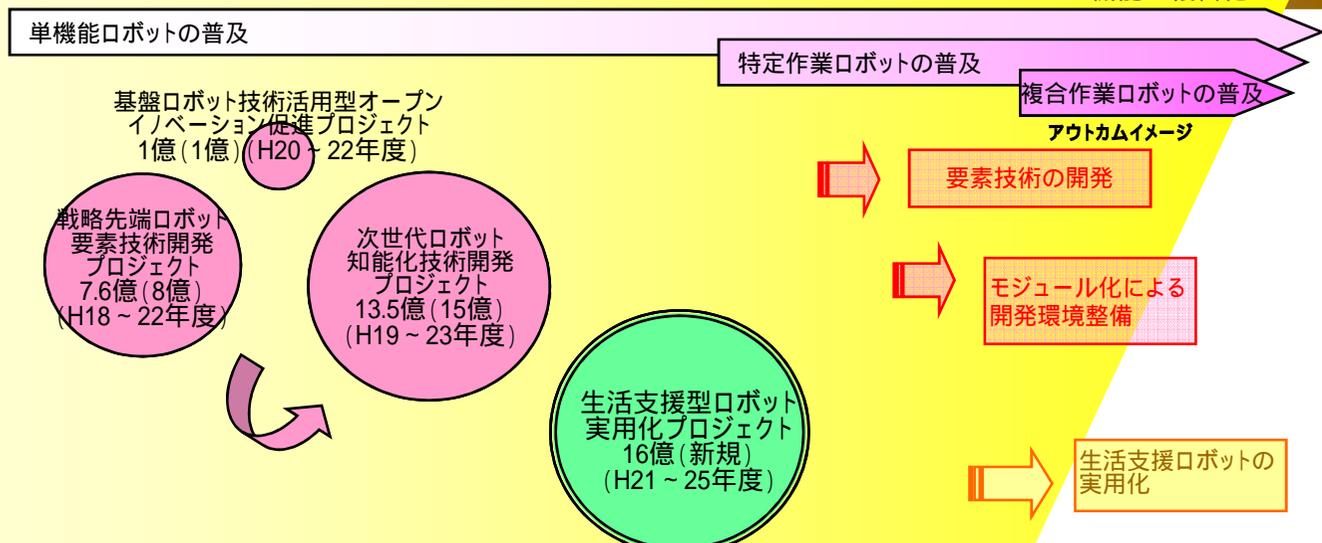
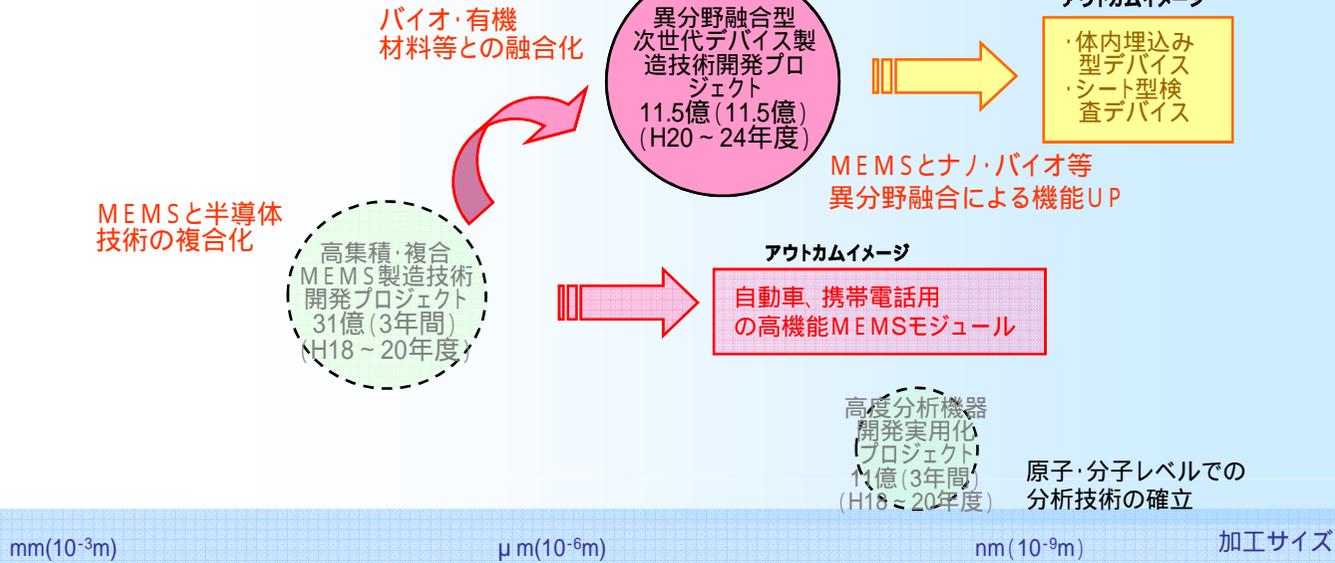
単品

基盤技術

システム化

実証

ロボット



我が国のものづくりを支える中核デバイスの国際競争力強化

ロボット技術の高度化を通じた生産性と生活の質の向上

# 4. エネルギーイノベーションプログラム 総合エネルギー効率の向上

【平成21年度予算案：707億円】

基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)[20年度補正予算]

背景

## 基礎研究

## 実用化研究

## 実証

目標

エネルギー資源の約8割を海外に依存する我が国にとってこれを効率的に利用することは、エネルギー政策上の重要課題である。

### 超燃焼システム技術

微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術  
5.4億円(11.0億円)[5.0億円]

希少金属等 高効率回収システム  
5.0億円(2.0億円)

**革新的省エネセラミック製造技術開発**  
2.4億円(新規)

環境調和型製鉄プロセス  
11.2億円(5.6億円)[10.0億円]

### 時空を超えたエネルギー利用技術

カーボンナノチューブ  
3.3億円(4.0億円)

キャパシタ開発  
3.3億円(4.0億円)

**革新型蓄電池先端科学基礎研究**  
30.0億円(新規)

水素貯蔵材料先端基盤研究  
10.0億円(9.1億円)[2.1億円]

### 情報生活空間創生技術

有機発光高効率照明  
1.6億円(3.6億円)[2.0億円]

低損失オプティカル新機能部材  
3.6億円(4.4億円)

超フレキシブルディスプレイ部材  
5.4億円(6.2億円)

グリーンITプロジェクト  
50.0億円(30.0億円)[10.0億円]

### 先進交通社会確立技術

サステナブルハイパーコンボジット  
6.4億円(3.2億円)

エネルギーITS  
10.8億円(8.5億円)

次世代構造部材創製・加工(航空機用)  
8.0億円(8.0億円)

環境適応型小型航空機用エンジン  
6.0億円(6.0億円)

### 次世代省エネデバイス技術

ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造  
3.7億円(5.0億円)[3.6億円]

MIRAI  
27.0億円(30.0億円)

半導体機能性材料の高度評価基盤開発  
0.6億円(新規)

半導体アプリケーションチップ  
10.0億円(14.0億円)

次世代プロセスフレンドリー設計  
6.9億円(8.9億円)

### 一般・共通・その他

エネルギー使用合理化産業技術研究助成  
12.8億円(14.6億円)

非化石エネルギー産業技術研究助成  
7.0億円(8.2億円)

省エネルギー革新技術開発(衛星用)  
70.0億円(69.0億円)

次世代構造部材創製・加工(衛星用)  
2.6億円(6.0億円)

新エネルギー技術実用化補助  
0.6億円(3.0億円)

化学技術創成  
8.9億円(24.7億円)

**低品位鉱石等革新的製錬プロセス**  
1.0億円(新規)

革新的マイクロ応場利用部材  
4.7億円(3.2億円)

革新的ガラス溶解プロセス  
4.0億円(3.5億円)

先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術  
7.4億円(2.0億円)

鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤  
5.0億円(10.0億円)[5.0億円]

**革新的製鉄プロセス**  
3.8億円(新規)

繊維関連次世代技術開発  
0.8億円(1.2億円)

高効率紙パルプ工程技術  
2.0億円(9.5億円)

高効率ガスタービン実用化  
16.4億円(5.4億円)

固体酸化物形水素製造・輸送・貯蔵燃料電池システム等技術開発  
12.0億円(13.5億円)[2.6億円]

要素技術開発  
13.6億円(17.0億円)[1.8億円]

固体高分子燃料電池実用化戦略的技術開発  
67.0億円(66.7億円)[7.5億円]

系統連系円滑化蓄電システム技術開発  
17.0億円(24.0億円)

イットリウム系超電導電力機器  
30.0億円(30.0億円)

噴流床石炭ガス化発電プラント  
12.0億円(20.7億円)

**環境調和型水循環技術開発**  
4.0億円(新規)

石油精製高度機能融合  
36.0億円(79.3億円)

発電プラント用超高純度金属材料  
3.0億円(3.9億円)

高温超電導ケーブル実証  
6.8億円(1.6億円)

大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証  
20.2億円(35.8億円)

固体酸化物形燃料電池実証  
7.2億円(8.0億円)

次世代高効率ネットワークデバイス技術開発  
4.3億円(10.4億円)[5.0億円]

マルテセラミックス膜新断熱材料  
2.0億円(3.2億円)[2.0億円]

次世代光波制御材料・素子化  
2.9億円(2.9億円)

次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術  
4.4億円(11.7億円)[5.0億円]

**次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業**  
1.0億円(新規)

炭素繊維複合材  
65.0億円(50.0億円)

次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発  
35.0億円(29.0億円)

燃料電池システム等実証研究  
9.9億円(13.0億円)

エネルギー消費効率を2030年度までに30%以上改善

# 4. エネルギーイノベーションプログラム 運輸部門の燃料多様化

【平成21年度予算案：278億円】

基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)[20年度補正予算]

背景

基礎研究

実用化研究

実証

目的

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が  
高く、その需給構造の次世代かは、将来に向けた対策が不可欠な課題となっている。

## バイオマス由来燃料

新エネルギー技術研究開発のうち  
バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発  
36.4億円(28.0億円)

**セルロース系エタノール  
革新的生産システム開発**  
7.8億円(新規)

バイオマスエネルギー  
地域システム化実験  
7.4億円(7.6億円)

バイオマス等未活用  
エネルギー実証試験  
5.1億円(7.3億円)

E3地域流通スタンダード  
モデル創成事業  
1.3億円(4.5億円)

## GTL等の合成液体燃料

天然ガスの液体燃料化  
(GTL技術実証研究)  
38.0億円(60.0億円)

## 燃料電池

燃料電池先端科学研究  
8.5億円(9.0億円)

水素貯蔵材料  
先端基盤研究  
10.0億円  
(9.1億円)  
[2.1億円]

水素製造・輸送・貯蔵  
システム等技術開発  
13.6億円  
(17.0億円)  
[1.8億円]

固体高分子形  
燃料電池実用化  
戦略的技術開発  
67.0億円  
(66.7億円)  
[7.5億円]

水素社会構築  
共通基盤整備  
9.0億円(14.0億円)

燃料電池システム等実証  
9.9億円(13.0億円)

## 電気自動車

**革新型蓄電池先端科学基礎研究**  
30.0億円(新規)

次世代自動車  
蓄電池技術開発  
26.1億円(29.0億円)

## その他・共通

非化石エネルギー  
産業技術研究助成  
7.0億円(8.2億円)

新エネルギー技術実用化補助  
0.6億円(3.0億円)

石油依存度を2030年までに80%程度とする

# 4. エネルギーイノベーションプログラム 新エネルギー等の開発・導入促進

【平成21年度予算案：369億円】

基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)[20年度補正予算]

背景

一次エネルギー供給にしろる新エネルギーの導入は、依然として割合が低い状況である。

基礎研究

実用化研究

実証

目的

太陽・風力

太陽光発電無線送受電  
1.5億円(1.0億円)

バイオマス・廃棄物・地熱等

新エネルギー技術研究開発  
79.6億円(77.0億円)[5.0億円]

セルロース系エタノール  
革新的生産システム開発  
7.8億円(新規)

新エネルギー技術  
フィールドテスト  
85.4億円(85.9億円)

バイオマスエネルギー  
地域システム化実験  
7.4億円(7.6億円)

バイオマス等未活用  
エネルギー実証試験  
5.1億円(7.3億円)

E3地域流通スタンダード  
モデル創成事業  
1.3億円(4.5億円)

電力系統制御・電力貯蔵

革新型蓄電池先端科学基礎研究  
30.0億円(新規)

次世代自動車用高性能  
蓄電システム技術開発  
26.1億円(29.0億円)

系統連系円滑化  
蓄電システム技術開発  
17.0億円(24.0億円)

大規模電力供給用太陽光発電  
系統安定化等実証  
20.2億円(35.8億円)

燃料電池

水素先端科学  
基礎研究  
11.3億円  
(17.5億円)  
[6.0億円]

水素貯蔵材料  
先端基盤研究  
10.0億円  
(9.1億円)  
[2.1億円]

将来型燃料高度利用  
5.1億円(6.0億円)

水素製造・輸送・貯蔵  
システム等技術開発  
13.6億円  
(17.0億円)  
[1.8億円]

固体高分子形燃料電池  
実用化戦略的技術開発  
67.0億円  
(66.7億円)  
[7.5億円]

固体酸化物形  
燃料電池実証研究  
7.2億円(8.0億円)

燃料電池システム等実証研究  
9.9億円(13.0億円)

セラミックリアクター開発  
3.5億円(4.5億円)

燃料電池先端  
科学研究  
8.5億円(9.0億円)

固体酸化物形  
燃料電池システム要素技術開発  
12.0億円(13.5億円)[2.6億円]

水素社会構築  
共通基盤整備  
9.0億円(14.0億円)

その他・共通

非化石エネルギー  
産業技術研究助成  
7.0億円(8.2億円)

新エネルギー技術実用化補助  
0.6億円(3.0億円)

経済性・出力安定性といった課題を克服し、新エネルギー等の自律的な普及を図る

# 4. エネルギーイノベーションプログラム 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

【平成21年度予算案：268億円】

基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)[20年度補正予算]

背景

地球温暖化対策やエネルギー安全保障の観点から、核燃料サイクルを含む原子力発電を推進する国際的な動きが急激に進展している。

基礎・基盤研究

実証・実用化開発

目的

## 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

回収ウラン利用技術開発  
0.9億円(1.0億円)

革新的実用原子力技術開発  
12.8億円(8.0億円)

次世代軽水炉等技術開発  
19.4億円(12.5億円)

使用済燃料再処理事業高度化  
16.0億円(新規)

遠心法ウラン濃縮技術開発  
8.0億円(11.0億円)

全炉心混合酸化物燃料技術開発  
30.0億円(30.0億円)

## 高速増殖炉(FBR)サイクル

高速炉再処理回収ウラン等  
除染技術開発  
5.4億円(6.0億円)

発電用新型炉等技術開発  
53.5億円(43.7億円)

## 放射性廃棄物処理処分

放射性廃棄物共通技術調査等  
5.4億円(6.4億円)

地層処分技術調査等  
36.5億円(36.8億円)

管理型処分技術調査等  
3.7億円(5.4億円)

## その他・共通

イットリウム系  
超電導電力機器技術開発  
30.0億円(30.0億円)

高温超電導ケーブル  
実証プロジェクト  
6.8億円(1.6億円)

## その他電力供給安定化技術

系統連系円滑化  
蓄電システム技術開発  
17.0億円(24.0億円)

大規模電力供給用太陽光発電  
系統安定化等実証  
20.2億円(35.8億円)

発電プラント用超高純度  
金属材料の開発  
3.0億円(3.9億円)

2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を30%以上とする

# 4. エネルギーイノベーションプログラム 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

【平成21年度予算案：479億円】

基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算)[20年度補正予算]

背景

化石燃料資源の太宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。

基礎研究

実用化研究

実証

目的

## 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

ASTER 5億円(0.6億円)  
ハイバースペクトルセンサ等 25.0億円(10億円)  
PALSAR 5億円(0.6億円)  
石油資源遠隔探知 14.8億円(16.0億円)  
石油精製物質等簡易有害性評価手法 2.5億円(2.5億円)  
石油・天然ガス開発・利用促進型大型研究 9.6億円(8.5億円)

## 石油・天然ガスの有効利用技術

石油・天然ガス開発・利用促進型特別研究 3.0億円(1.5億円)  
石油燃料次世代環境対策 9.1億円(10.7億円)  
次世代高信頼性ガスセンサー 1.0億円(1.0億円)  
将来型燃料高度利用 5.1億円(6.0億円)  
高効率ガスタービン実用化 16.4億円(5.4億円)

## メタンハイドレート等非在来化石資源の利用技術

メタンハイドレート開発促進 45.3億円(25.3億円)

## 石炭のクリーン利用技術

先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術 7.4億円(2.0億円)  
石炭ガス化利用 3.8億円(3.5億円)  
国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金 9.0億円(7.5億円)  
革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト 34.5億円(32.5億円)[10.2]  
革新的製鉄プロセス 3.8億円(新規)  
噴流床石炭ガス化発電プラント開発 12.0億円(20.7億円)

## その他・共通

水素先端科学基礎研究 11.3億円(17.5億円)[6.0億円]  
非化石エネルギー産業技術研究助成 7.0億円(8.2億円)  
燃料電池先端科学研究 8.5億円(9.0億円)  
水素貯蔵材料先端基盤 10.0億円(9.1億円)[2.1億円]  
固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発 12.0億円(13.5億円)[2.6億円]  
水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 13.6億円(17.0億円)[1.8億円]  
固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発 67.0億円(66.7億円)[7.5億円]  
新エネルギー技術実用化補助 0.6億円(3.0億円)  
燃料電池実証 燃料電池システム等実証研究 7.2億円(8.0億円) 9.9億円(13.0億円)  
水素社会構築共通基盤整備 9.0億円(14.0億円)

化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン有効利用の促進

# 5. 環境安心イノベーションプログラム

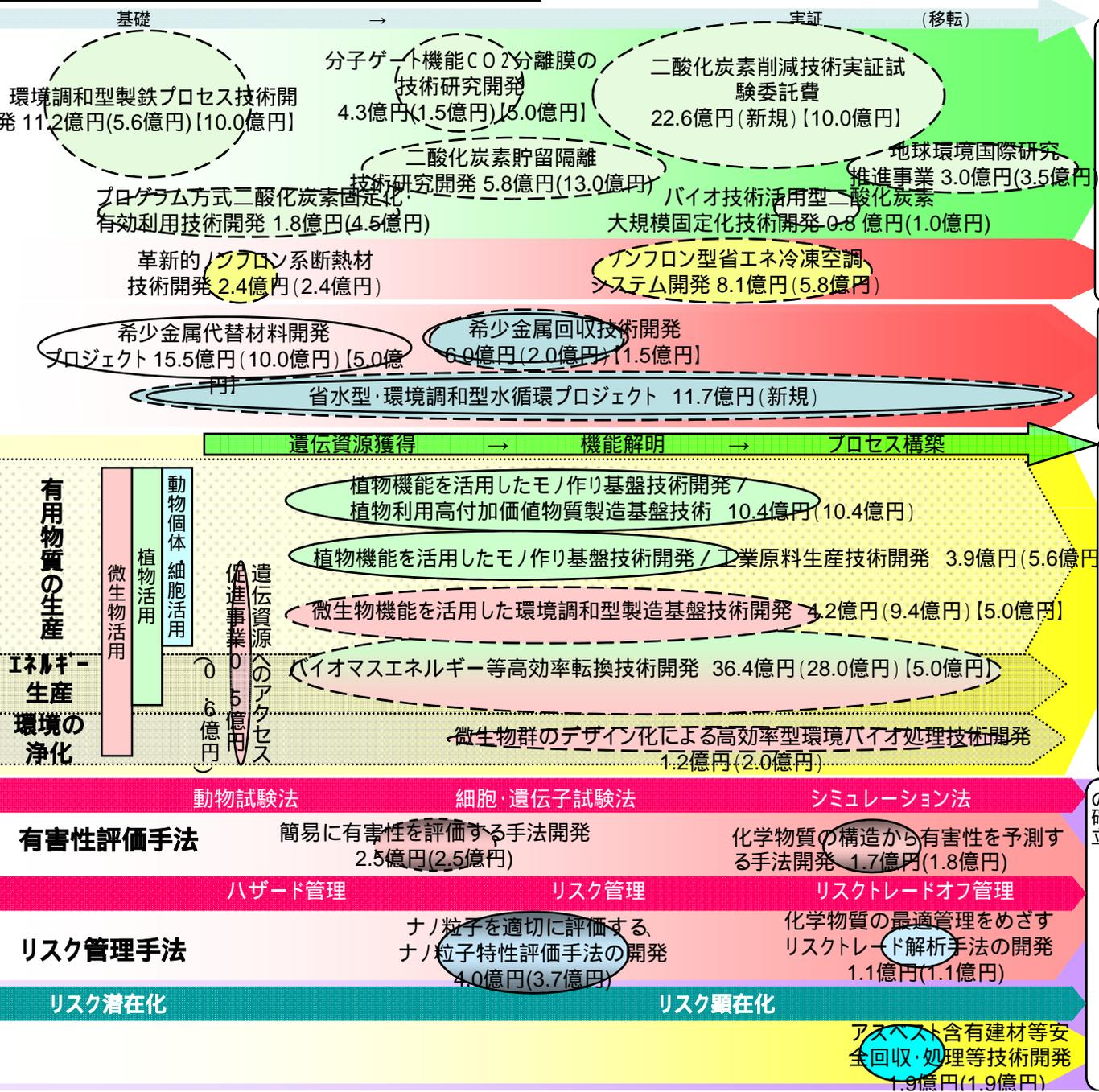
【平成21年度予算額: 165億円】

各プロジェクト毎の予算額は21年度予算(20年度予算) [20年度補正予算]

温室効果ガス削減目標達成への  
貢献  
向上循環利用率の最終処分量の削減  
環境に調和した循環型産業システムの創造  
化学物質の効果を極大にリスクを極小に

イノベーション事業  
イノベーション推進 革新的温暖化対策技術発掘実証プログラム4.0億円(4.2億円)

地球温暖化防止新技術  
資源制約克服/3R  
環境調和産業創造バイオ  
化学物質総合評価管理



温室効果ガスを抑制し持続的な経済成長の確保  
資源循環型社会の実現  
バイオ技術を活用した環境モノ作りの実現  
化学物質のリスクを総合的に評価し、適切に管理できる社会システムの確立

資源制約を克服し環境と調和した持続的な経済成長と安全・安心な国民生活の実現

# 6. 健康安心イノベーションプログラム

【平成21年度予算額：130.0億円】

各プロジェクト毎の予算額は、21年度予算(20年度予算)[20年度補正予算]

背景

創薬・診断シース探索 > ターゲットの絞込 > 化合物の探索・評価 > 前臨床 > 民間等による臨床開発

目的

創薬 診断技術開発の推進

医療機器 再生医療等 技術開発の推進

少子高齢化社会の到来

機能性RNA  
プロジェクト  
8.0億円(8.2億円)

ゲノム創薬加速化支援  
バイオ基盤技術開発  
28.0億円(28.0億円)

幹細胞産業応用促進技術開発  
10.0億円(新規)[10.0億円]

新機能抗体創製  
技術開発  
9.0億円(10.0億円)

糖鎖機能活用  
技術開発  
9.5億円(10.0億円)

基礎研究から臨床への  
橋渡し促進技術開発  
33.0億円(26.0億円)  
(うち、創薬、  
診断技術)

個別化医療の実現  
のための技術融合  
バイオ診断技術開発  
3.4億円(3.4億円)

ベンチャー育成  
臨床機関との一体的取組  
治験環境の整備  
厚労・文科 経産の連携

制度  
基盤

- ・バイオ事業化に伴う生命倫理問題等に関する研究 0.3億(0.4億円)
- ・バイオインダストリー安全対策調査 0.4億円(0.6億円)
- ・統合データベースプロジェクト 0.7億円(0.7億円)

要素技術開発

プロトタイプ試作

前臨床

臨床研究

分子イメージング機器  
研究開発プロジェクト  
8.3億円(9.6億円)

次世代DDS型悪性腫瘍  
治療システム研究開発  
4.3億円(4.6億円)

インテリジェント手術  
機器研究開発  
プロジェクト  
6.0億円  
(6.0億円)[2.0億円]

再生医療評価  
研究開発事業  
7.5億円(7.5億円)

基礎研究から臨床への  
橋渡し促進技術開発  
33.0億円(26.0億円)(再掲)  
(うち診断技術、治療機器  
再生・細胞医療技術)

福祉用具実用化  
開発推進事業  
1.0億円(1.1億円)

福祉機器  
再生医療  
(含む)

基礎研究

応用研究(前臨床含む)

臨床研究

制度  
基盤

- ・医療機器開発ガイドライン策定事業 0.5億円(0.6億円)
- ・福祉機器情報収集・分析・提供事業 0.2億円(0.2億円)

分子イメージング、DDSについては、  
薬剤開発を含む。

健康寿命の延伸

QOLの向上

新規産業の創出 国際競争力の強化

国民が健康で安心して暮らせる社会の実現

# 7. 航空機・宇宙産業イノベーションプログラム

【平成21年度予算案 320.1億円（うち財投出資 105億円）】  
各プロジェクト毎の予算額は21年度予算（20年度予算）

目的

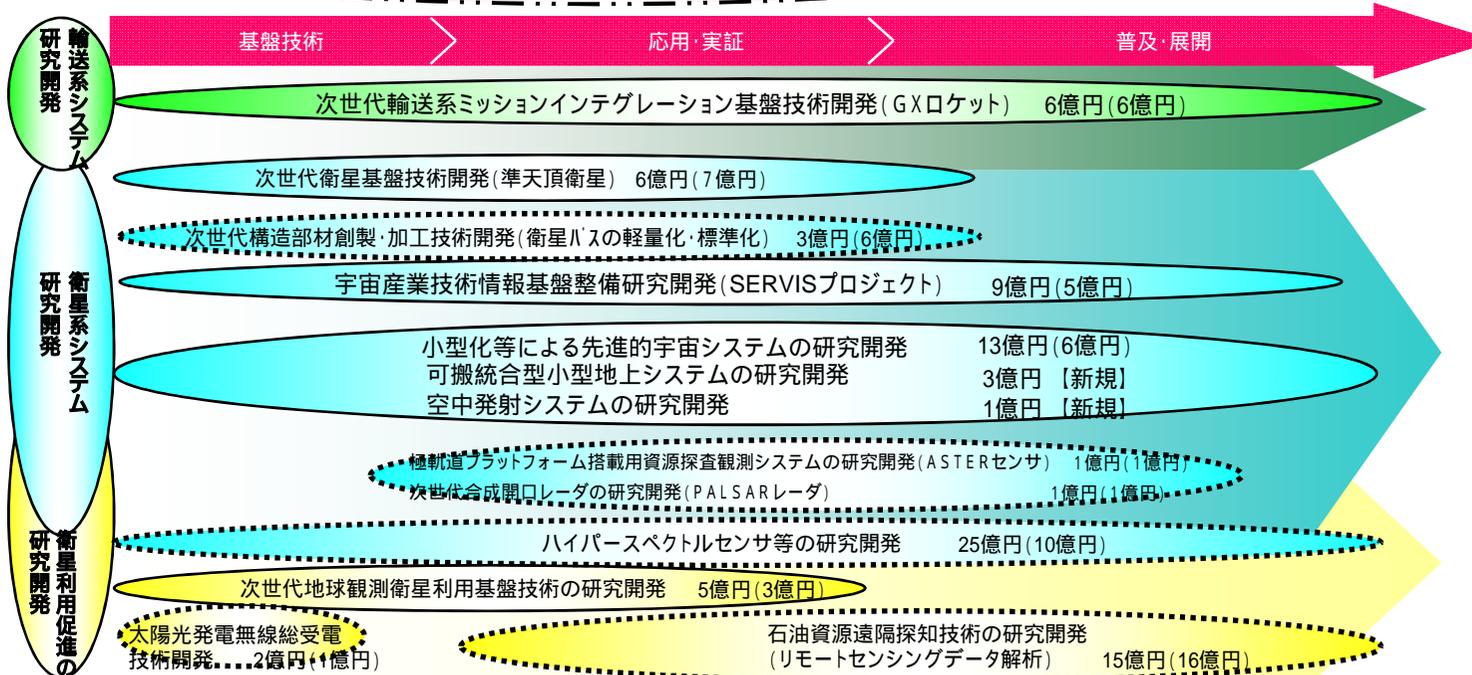
我が国航空機産業の  
基盤技術力の維持向上、  
中長期的な発展

我が国宇宙産業の  
国際競争力の強化

背景

安全性 環境適合性 経済性等の社会ニーズ  
航空機関連技術力の蓄積

高度情報化社会の実現、地球環境の保全、  
資源開発等の多様な社会ニーズ



## (エネルギーイノベーションプログラム)

## 「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」基本計画

燃料電池・水素技術開発部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施する。

燃料電池は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。第3期科学技術基本計画(2006年3月)においては「先進燃料電池システムと安全な革新的水素貯蔵・輸送技術」が戦略重点科学技術として選定されている。エネルギー基本計画(2007年3月)、次世代自動車・燃料イニシアティブ(2007年5月)においても燃料電池技術開発の重要性が述べられ、更には、Cool Earth－エネルギー技術革新計画に定置用燃料電池・燃料電池自動車が位置付けられている。

燃料電池の中でも固体酸化物形燃料電池は、発電効率が高く、天然ガス・石炭ガス等の多様な燃料にも対応が可能で、小型分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を持つことから実用化に高い期待が寄せられている。

そこで、本事業では、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的とする。なお、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下「NEDO技術開発機構」という)が別途実施している「固体酸化物形燃料電池実証研究」において実負荷条件での運転により抽出される技術課題についても必要に応じ本事業に取り込み実施する。

## (2) 研究開発の目標

最終目標[平成24年(2012年)度]

## ① 基礎的・共通的課題のための研究開発

固体酸化物形燃料電池の耐久性・信頼性向上のため、熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析により、劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立を行う。特に、性能に大きな影響を与える三相界面については、劣化現象と微細構造変化の相関付けを行う。またユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を確立する。

さらに、固体酸化物形燃料電池の早期の市場導入のために、セルスタック・モジュールの低コスト製造技術などの基盤技術を確立する。

## ② 実用性向上のための技術の確立

固体酸化物形燃料電池の実用性向上のために、運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術を確立する。

なお、研究開発項目ごとの研究目標(最終目標、中間目標)の詳細は別紙の研究開発計画に示す。

### (3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

#### 〔委託事業〕

##### 研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

###### a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

(i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

(ii) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

(iii) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

(iv) 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

(v) 耐久性評価手法の確立

###### b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

#### 〔共同研究事業〕

##### 研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」

運用性向上のための起動停止技術開発

超高効率運転のための高圧運転技術の開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO技術開発機構が、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究開発機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定し、実施する。

#### 研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

研究開発の高度化を図るため委託先決定後にプロジェクトリーダーを委嘱又は指名し、その下でそれぞれの研究テーマの達成目標を実現し、耐久性・信頼性向上の実現に寄与する研究開発を委託により実施する。

#### 研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」

複数の実施者による並行的・競争的に開発を行うことが重要なため、NEDO技術開発機構がそれぞれの研究テーマの達成目標を実現すべく研究開発マネジメントを実施する。なお、本研究項目は、実用化を指向した研究開発であるため民間企業等との共同研究(NEDO技術開発機構負担率1/2)を行う。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、四半期に一回程度、NEDO技術開発機構に設置する委員会等により外部有識者の意見を聴取し、プロジェクトの運営管理に反映させる等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成20年度から平成24年度までの5年間とする。

#### 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度、事後評価を平成25年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえて必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

#### 5. その他の重要事項

##### (1) 研究開発成果の取扱い

###### ① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

得られた研究成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

###### ② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業又は標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報(TR)制度への提案等を積極的に行う。

###### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発及び共同研究開発の成果に関わる知的財産権については「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規程等に基づき、原則として、すべて受託先に帰属させることとする。

##### (2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状况、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

##### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ハに基づき実施する。

##### (4) その他

「固体酸化化物形燃料電池実証研究」との連携を密にして効果的な研究開発を行うよう努める。

#### 6. 基本計画の改訂履歴

##### (1) 平成20年3月、制定

(2) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂。

(3) 平成21年3月、「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」の研究開発項目②から①への変更による改訂

## (別紙)研究開発計画

### 研究開発項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」

#### 1. 研究開発の必要性

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16年度－19年度)では、10kW級～200kW級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3000時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。また、「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成19年度より開始)では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。

これらの結果から、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに達していないことが重要な課題として明らかになっている。また、海外では基礎分野の研究において研究機関と企業の連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等の固体酸化物形燃料電池関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組み、基盤技術を確立することが必要である。

また、我が国の現在の固体酸化物形燃料電池の低コスト製造技術については国際的にも優位なポジションにあるが、世界に先駆けて実用化していくためにはさらに低コスト製造技術を推進し、早期に市場導入のための基盤技術を確立することが必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

##### a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

セルスタック内の物質移動、不純物との化学反応及び構造変化による劣化について、それぞれ熱力学的解析、化学的解析、機械的解析を用いて、ミクロの観点から劣化機構を解析する。特に、性能に大きな影響を与える三相界面については、微細構造を解明し、さらに性能劣化と微細構造の変化の相関付けを行う。また、マクロの観点から劣化機構を解析し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を開発する。なお、本研究は、セルスタックで実施する。

##### (i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

熱力学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。

##### (ii) 化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

化学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。

##### (iii) 機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立

機械的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。

##### (iv) 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。さらに、性能劣化と微細構造変化の相関付けを行う。

##### (v) 耐久性評価手法の確立

劣化要因分析技術とユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を確立する。

##### b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

固体酸化物形燃料電池の電極及び電解質などのセルスタック原料・部材について、セルスタック開発機関各様の仕様を可能な限り共通化して低コスト化を図るとともに、低コスト材料の開発を行う。さらに、共通化した原料・部材を用いてセルスタック・モジュールの低コスト化技術開発を実施する。なお、本開発は主にセルスタック・モジュールで実施する。

### 3. 達成目標

#### a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

##### 「最終目標」(平成24年度)

熱力学的解析、化学的解析及び機械的解析を用いてセルスタックの連続運転による劣化をミクロの観点から解明し、対策立案と効果検証を実施し、さらに加速試験方法を確立する。三相界面については、性能劣化と微細構造変化の相関付けも行う。また、マクロの観点から劣化機構を解析し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を確立する。

具体的には、以下の項目・内容を達成することにより、

- (i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- (ii) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- (iii) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- (iv) 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け
- (v) 耐久性評価手法の確立

◎耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。

◎起動停止回数250回の見通しを得る。

##### 「中間目標」(平成22年度)

#### (i) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

熱力学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。さらに、劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。

#### (ii) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

化学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。さらに、劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。

#### (iii) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

機械的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。さらに、劣化対策を立案し、その効果の検証を行うとともに加速劣化因子を抽出する。

#### (iv) 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。

#### (v) 耐久性評価手法の確立

セルスタックレベルにおいて、劣化要因分析技術を確立し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を提案する。

#### b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

##### 「最終目標」(平成24年度)

◎開発した技術により普及時においてセルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。

なお、普及時とは以下の年間生産数を想定する。

小容量(数kW未満): 生産数5万kW/年レベル)

中容量(数十kW~数百kW): 生産数15万kW/年レベル)

##### 「中間目標」(平成22年度)

◎各セルスタック開発機関がセルスタックを作製できる原料・部材の共通仕様を確定する。

◎セル製造及びスタック化コスト等を分析して最終目標を達成するための原料・部材のコストを見積る。

◎低コスト化に向けた技術開発課題を抽出する。

◎低コストセルスタック開発方針を策定する。

## 研究開発項目②「実用性向上のための技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

固体酸化物形燃料電池は、発電効率が高いこと及び多様な燃料に対応可能なことから、早期の実用化が望まれている。我が国の現在の固体酸化物形燃料電池に関する技術は国際的にも優位なポジションにあるが、世界に先駆けて実用化していくためには、運用性向上などの実用性向上のための技術開発を実施し、早期に市場導入のための基盤技術を確立することが必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

固体酸化物形燃料電池の実用性向上のために、運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術を開発する。

#### a) 運用性向上のための起動停止技術

固体酸化物形燃料電池を主にコージェネレーションシステムとして実用化するときに求められる運用性向上のための起動停止技術に関するもので、起動停止時間の短縮、緊急時の安全停止、実用的なホットスタバイのためのシステム開発を行う。主にセルスタック・モジュール(システム発電効率45%LHV程度を見込めるもの)を用いて開発を実施する。なお、開発成果は共同研究(委託)先のシステムを用いて確認する。

#### b) 超高効率運転のための高圧運転技術

超高効率運転のために固体酸化物形燃料電池をガスタービンと組み合わせるコンバインドサイクルシステムに係る高圧運転技術に関するシステム開発を行う。主にセルスタック・モジュール(システム発電効率50%LHV程度を見込めるもの)を用いて開発を実施する。なお、開発成果は本プロジェクトで開発するシステムを用いて確認する。

### 3. 達成目標

#### a) 運用性向上のための起動停止技術

「最終目標」(平成24年度)

◎耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。

◎起動停止回数250回の見通しを得る。

「中間目標」(平成22年度)

◎起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造を確立する。

#### b) 超高効率運転のための高圧運転技術

「最終目標」(平成24年度)

◎耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。

◎超高効率運転のための高圧運転技術を確立する。

「中間目標」(平成22年度)

◎マイクロガスタービンと組み合わせるための圧力範囲で、起動停止、緊急時の安全停止を可能とすることなどの高圧下での運転のためのシステム技術を確立する。

# S O F C ロードマップ詳細版

# SOFCロードマップ詳細版

○:一般、☆効率、□:耐久性、△:コスト、▽:利便性

SOFC-1

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
システム	定置用	<p>&lt;小容量定置用システム(家庭用コージェネ)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況:中温型(作動温度700°C~800°C)</li> <li>・材料レベルで大きく進展し、セル・スタック検証進行中</li> <li>・実証システムレベルの性能及び耐久性の検証進行中</li> <li>・灯油・LPGを燃料としたシステムが実証研究の段階</li> <li>・システム価格:約900万円/kW</li> <li>・スタック出力密度:0.1~0.2kW/L</li> <li>・耐久性:2万時間以上の運転実績/運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> <li>・システム効率: <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム発電効率 40%HHV/45%LHV</li> <li>・システム総合効率 75%HHV/82%LHV</li> </ul> </li> </ul>	<p>小容量定置用システムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽起動停止特性、負荷追従性の向上</li> <li>☆部分負荷運転制御性の向上</li> <li>△低コスト化</li> <li>△コンパクト化</li> <li>○システム評価手法の確立</li> <li>△メンテナンス方法の確立</li> </ul> <p>△更なる低コスト化(スタック本体、周辺機器)</p> <p>□長寿命化</p>	<p>小容量定置用システムの初期導入(1kW~数kW)</p> <p>(都市ガスにおける目標)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 50~100万円/kW</li> <li>△スタック価格 20万円/kW(生産ケース数十MW/年レベル)</li> <li>△スタック出力密度 0.2kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;40%HHV/45%LHV</li> <li>☆システム総合効率 &gt;75%HHV/82%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間4万時間以上(5年以上)の見通し</li> <li>○負荷追従性、低負荷運転特性が良好であること</li> </ul>	<p>小容量定置用システムの普及(1kW~数kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆▽高発電効率かつ利便性の高い小型システム</li> <li>△システム価格 &lt;40万円/kW</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.4~1kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>☆システム総合効率 &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul>
		<p>&lt;中容量定置用システム(業務用コージェネ)&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況:高温型(作動温度900~1000°C)及び中温型(同700~800°C)を利用</li> <li>・システム価格 数百万円~1,000万円/kW</li> <li>・スタック出力密度 &lt;0.1kW/L</li> <li>・耐久性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・海外では、EVD法円筒織形セルでは7万時間運転の実績</li> <li>・低コスト製造法によるセルでも長期安定性が期待されており、実証が必要</li> <li>・3,000時間以上の運転実績</li> </ul> </li> <li>・システム効率: <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム発電効率 40%HHV/45%LHV</li> <li>・システム総合効率 80%HHV/89%LHV</li> </ul> </li> <li>・設置面積当たり容量:5kW/m<sup>2</sup>レベル</li> </ul>	<p>中容量定置用システムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▽起動停止特性、負荷追従性の向上</li> <li>☆部分負荷運転制御性の向上</li> <li>□電気・熱出力最適化と運用効率向上</li> <li>△低コスト化</li> <li>△コンパクト化</li> <li>○システム評価手法の確立</li> <li>△メンテナンス方法の確立</li> </ul> <p>△更なる低コスト化、コンパクト化、□長寿命化</p> <p>▽石油系燃料、バイオガス等の燃料多様化への見通し</p> <p>☆□△▽システム検証と材料開発への反映</p>	<p>中容量定置用システムの初期導入(数~数百kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 約100万円/kW</li> <li>△スタック価格 30万円/kW(生産ケース 数MW/年レベル)</li> <li>△スタック出力密度 0.2~0.5kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 &gt;5~13kW/m<sup>2</sup></li> <li>☆システム発電効率 &gt;40%HHV/45%LHV</li> <li>☆システム総合効率 80%HHV/89%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> </ul> <p>○負荷追従運転可、低負荷運転特性が良好</p>	<p>中容量定置用システムの普及(数~数百kW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 &lt;20万円/kW(生産ケース 150MW/年レベル)</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 &gt;13kW/m<sup>2</sup>(PAFCと同レベル)</li> <li>☆システム発電効率 &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>☆システム総合効率 &gt;80%HHV/89%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul>
		<p>&lt;中容量ハイブリッドシステム&gt;</p> <p>高温型スタック高効率システム(SOFC+MGTハイブリッド、数百kW~数MW規模)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・状況:システムの検証と技術の蓄積に着手している段階</li> <li>・今後商用システムの構築が必要。</li> <li>・システム発電効率:48%HHV/52%LHV(200kW級システム)</li> <li>・耐久性3000時間運転実績(200kW級システム)</li> </ul>	<p>中容量ハイブリッドシステムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆△▽低コスト、コンパクト化のための出力密度向上</li> <li>☆ガスタービンとのハイブリッド技術のシステム化・制御技術・実証</li> <li>□燃料多様化</li> <li>□▽不純物耐久性の把握、対策</li> <li>□高圧力下での劣化挙動解析</li> <li>☆高温排熱の高度利用</li> </ul> <p>□単セル容量の向上によるシステムの簡素化と信頼性向上</p>	<p>中容量ハイブリッドシステムの初期導入(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△スタック出力密度 0.1~0.5kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 5~13kW/m<sup>2</sup></li> <li>☆システム発電効率 &gt;50%HHV/55%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</li> </ul>	<p>中容量ハイブリッドシステムの普及(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 &lt;15万円/kW(生産ケース 200MW/年レベル)</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>○設置面積当たり容量 &gt;13kW/m<sup>2</sup>(PAFCと同レベル)</li> <li>☆システム発電効率 &gt;55%HHV/60%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>☆石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p>
		<p>&lt;大容量コンバインド※(発電用)&gt;</p> <p>高温型スタック高効率システム(SOFC+GT+STトリプルコンバインド、数MW~数100MW規模)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・LNG(天然ガス)用</li> <li>・石炭ガス化ガス用(LNGに比べ効率はやや低い)</li> <li>・米国では石炭を用いた大型システムにも重点(FutureGen Coal RoadMap)</li> <li>・システムの大型化には未着手</li> </ul> <p>※:中容量の「ハイブリッド」と大容量の「コンバインド」は基本的に同じシステムを指しているが、本ロードマップでは、これまでの呼称を考慮し、中容量と大容量で表現を使い分けるものとした(コージェネでは「ハイブリッド」、電力事業者側は「コンバインド」の表現が一般的)</p>	<p>大容量コンバインドシステムの課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆△▽低コスト、コンパクト化のための出力密度向上</li> <li>☆▽高圧力稼働用スタック検証、高圧力運転技術、複合発電システムの制御技術(SOFCとGTの動的依存性の把握、起動停止、負荷変動制御、負荷追従方法)</li> <li>□▽燃料内不純物対応技術の開発</li> <li>☆高温排熱の高度利用</li> <li>□高圧力化での特性・耐久性確認(セル・スタック)</li> <li>☆□▽SOFCモジュール集積技術の確立</li> <li>▽メンテナンス性向上のためのシステムの最適化・検証</li> <li>▽□LNG、石炭ガス化ガス、重油などの適用性の検証(燃料内不純物対応技術開発)</li> <li>▽大容量システムにおける、最適容量の検討と反映</li> <li>□単セル容量の向上によるシステムの簡素化と信頼性向上</li> </ul>	<p>大容量コンバインドシステムの初期導入(既設LNGC/C発電設備へのSOFC部分トッピングによるリパワリングとしての初期導入からスタート:数MW以上)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 数10~約100万円/kW</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;60%HHV/65%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>☆石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p> <p>○☆▽石炭ガス化燃料電池コンバインド発電システム(IGFC)への適用</p>	<p>大容量コンバインドシステムの普及(数百kW~数MW)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>△システム価格 &lt;15万円/kW(生産ケース 200MW/年レベル)</li> <li>△スタック価格 5万円/kW</li> <li>△スタック出力密度 0.5~2kW/L</li> <li>☆システム発電効率 &gt;65%HHV/70%LHV</li> <li>□耐久性 運転時間9万時間(10年程度)の見通し</li> </ul> <p>☆石油系燃料、石炭ガス化ガス等、多様な燃料の利用への見通し</p> <p>○☆▽IGFC部分トッピング IGFC初期導入</p> <p>△システム価格 数10万円/kW~</p> <p>☆システム発電効率 &gt;55%HHV/60%LHV</p> <p>□耐久性 運転時間4万時間(5年程度)の見通し</p>

SOFC開発の特徴:スタック構造と材料、プロセスと密接に関連しているため、スタック開発者が材料開発からスタック開発まで行う、垂直統合化された体制で行われることが多い。スタック開発が開発全体を律していることが多い。

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
移動体・携帯用	<p>○携帯用小型システム 低温作動化材料、小型スタック構造の研究 システム検証に着手する段階</p> <p>スタック発電性能: 40W@700°C 耐久性 5,000時間</p>	<p>携帯用小型システムの課題</p> <p>【携帯用】 ☆燃料直接利用システム</p> <p>▽利便性の向上 ▽液体燃料導入法の検討 ☆断熱性の向上 ▽排ガス放出法の確立</p> <p>☆DME液体燃料の使用</p>	<p>小型(0.1~5kW) △スタック価格 50万円/kW ☆システム発電効率 &gt;20%HHV/22%LHV □耐久性 1~5年、実働時間1,000~5,000時間 起動停止回数 1,000~2,000回</p>		
		<p>▽スタックの小型軽量化 ▽起動停止対応セル素材、高断熱素材の開発 ▽起動時間短縮方法の検討 ▽耐衝撃構造の検討</p>	<p>内燃機関自動車・トラック用補助電源の初期導入</p> <p>【車載自動車用発電機(オルタネータ)代替】 (数百W~数kW) □耐久性 10年 実働時間 5,000時間 【専用エンジン発電機代替(鮮魚運搬用トラック・冷凍トラック・冷凍コンテナなど)】 (数kW~数十kW) □耐久性 10年 実働時間 数万時間</p> <p>☆液体燃料の使用</p> <p>○▽電気自動車の航続距離延長用電源としての実証</p> <p>電気自動車用電源の初期導入</p> <p>【電気自動車用発電機(航続距離延長用) (コミュータ用5kW、中・長距離用10kW~20kW) □耐久性 10年 実働時間 5,000時間</p> <p>電気自動車用電源の普及</p>		
システム関連技術	<p>&lt;移動体用&gt;</p> <p>○自動車搭載補助電源(APU)(米独で開発) 電気自動車の航続距離延長用電源への期待 鉄道用、船舶用、飛行機用補助電源への期待 トラック用駆動電源としての検討開始(米) 国内でもAPU向けのモジュール開発を実施 主として海外において小型スタック・システム、頻繁な起動停止、液体燃料導入法の検討 金属支持形低温スタックの検討</p>	<p>各種補助電源の課題</p> <p>▽指定された液体燃料への適用性(ガソリン、軽油など)検討 △低コスト化策の検討 ▽起動停止に優れた耐久性を示すスタック構造の検討、改良</p> <p>▽小型軽量化 ▽耐振動性の検討 ▽金属支持形低温スタックの検討 ☆システムの高効率化</p>	<p>内燃機関自動車・トラック用補助電源の普及</p> <p>【その他運輸用補助電源】 ○船舶・鉄道・航空用の補助電源の検討</p>		
		<p>○スタック・システム評価技術の確立・標準化</p> <p>○スタック・システム評価技術の検討 コージェネシステム用、コンバインドシステム用など</p>			

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
燃料電池 本体	モジュール /スタック /セル	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・製造:湿式焼結法はほぼ確立 押し出し成形&amp;スクリーン印刷・湿式法による低コスト技術開発</li> <li>・セル形式:円筒形(EVD法,湿式法)、MOLB形、平板形、円筒平板形</li> <li>・出力密度 体積出力密度:平板形で約0.2kW/Lレベル (海外では0.5kW/Lを実現)</li> <li>面積出力密度:0.1~0.35W/cm<sup>2</sup>程度</li> <li>・耐久性:海外ではEVD法YSZ円筒形セルで7万時間、システムで3万時間以上の耐久性実証 国内では低コスト製造方法・構造セルで2万時間以上 電圧低下率0.5~1.7%/1000h</li> <li>・材料:電解質材料、電極材料、インタコネクタ材料との適合性 安定性の検討が必要な状況</li> <li>・状況:劣化現象の把握が進められている</li> </ul>	<p>初期導入システム用スタック開発 (低コスト・高耐久性)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>☆△▽更なる低コスト・高出力密度化 □4万時間の耐久性見通しの確保</li> <li>○熱応力解析手法の確立</li> <li>○セル・スタックレベルでの温度や電流分布を 求める発電特性 や熱応力を求める解析手法 の確立</li> <li>○統一した評価方法の確立</li> <li>○システム実証による運転特性把握</li> <li>□各種運転モード・内部短絡などに起因する 劣化現象の把握</li> </ul> <p>実用段階セル・スタックの 耐久性・信頼性向上</p>	<p>中小容量(家庭・業務用等) 普及システム用スタック (要求性能は小容量・中容量 定置用システムの項参照)</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・出力密度 体積出力密度:平板形で0.5kW/Lレベル (海外では0.5kW/Lを実現)</li> <li>面積出力密度:0.3~1.3W/cm<sup>2</sup></li> <li>・耐久性:中温型での確認は1万時間未満 電圧低下率0.1~0.25%/1000h</li> <li>・状況: 効率向上、コスト低下などに資する有望な材料の探索・開発中 劣化現象に適切に対処するための共通基盤の構築が進行中 各種のセル形式と材料構成でセル及びスタックレベルの検証中 一部で小型システム化が進展(高集積セル、ハニカム形が開発 中、海外では金属サポート形やMEMS技術を用いたセルの研究 も行われている)</li> <li>○高温型 低コスト化には出力密度の格段の向上によるコンパクト化が 必要 中大容量システム用スタックについては、スタック構造の最適化 に関する検討が進められている</li> </ul>	<p>□耐久性の向上 △□スタック材料、構造の改良による 更なるコスト削減、信頼性向上</p> <p>初期導入システム用 スタック開発 (低コスト・高耐久性)</p> <p>△☆▽高出力密度化、信頼 性と低コスト化の同時達成 △コンパクト化 ○システムの開発・実証 □劣化機構解明、耐久性加 速 試験法確立 □△▽セル・スタックレ ベルでの温度や電流分布を 求める発電特性や、熱応力・反 応解析手法の確立 高圧力下特性評価・劣化挙動解明</p>	<p>中小容量(家庭・業務用等) 普及システム用スタック (要求性能は小容量・中容量 定置用システムの項参照)</p> <p>中容量等システム 初期導入用スタック (低コスト・高耐久性・コンパクト)</p>	中大容量システム 用スタック
		<p>&lt;長期的技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○低温型SOFC</li> <li>・低温化:550~700℃温度領域で稼働するSOFCの開発・検証が進 められている</li> <li>・金属支持スタックの開発が始まった。</li> <li>○中高温型</li> <li>・新規スタック構造の開発</li> </ul>	<p>☆△新規材料開発及びセル・スタック稼働温度 低温化への適用検討 (新規電解質開発、電極の低温での活性化)</p> <p>☆△新規製造プロセスの開発 (不活性ガス中での焼結法、低コスト製膜法)</p> <p>☆△新規スタックデザインの開発 (金属支持セル、コンパクト化、セル間接続技術)</p> <p>☆△薄膜化セルの耐久性の検討</p>	<p>▽起動時間の短縮 耐熱サイクル特性の改良 軽量化 ▽燃料導入法の簡便化 ☆△システム構成の簡略化</p> <p>☆△新規プロセスの検証、新規スタック構造の検証 ▽燃料導入法の革新と新規開発燃料極材料の検証</p>	移動体、携帯用、(小型定置用システム)に用いるスタック

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
燃料電池 本体	電解質	<実用段階技術> ・材料: イットリア安定化ジルコニア系電解質 (YSZ) はかなり成熟ランタンガレート系、Sc安定化ジルコニア系 (ScSZ) は、中温用を中心に実績 ・出力密度: YSZの薄膜化技術と高活性空気極の使用による高出力化・低温化の実績 ・製膜技術: 国内ではほとんどが湿式焼結法を採用海外では電着法なども検討されている	原料の低コスト化及び不純物制御 初期導入システム用 (低コスト) △中温型用電解質に用いられるガリウム及びビスマジウムの資源量・コストに関する評価 □中温型用電解質の強度・他部材との反応・薄膜化に起因する劣化要因の検討	普及システム用 (低コスト・高耐久性)	
		<次世代技術> ○中温型 ・材料: 新規電解質の探索が活発 ・新プロトン伝導体などの新規電解質 ・新規酸化物伝導体の開発 ・伝導特性と安定性の相関性解明 ○高温型 ・材料: 高出力化に適した電解質及び製造方法の開発が進められている	中温型 △▽低温化のための電解質開発 ☆△□低温用電解質の基礎物性研究 △□新規材料開発と安定性の向上 ○電解質薄膜化技術 新規材料を用いたスタックの検証へ 高温型 (ハイブリッド・コンパインド) ☆△▽高出力化に適した電解質及び製造方法確立	初期導入システム用 (大容量コンパインド) (高出力密度)	
	電極材料 (空気極)	<実用段階技術> ・材料: LaSrMn酸化物 (高温型) やLaSrCoFe酸化物とセリア中間層やSmSrCo酸化物 (中温型) などが利用されている ・耐久性: 電極が酸化還元を受けた際の構造破壊の対策の必要性周辺部材との固相反応による劣化、不純物による劣化の検討 ・性能: 既存電極改良による性能達成点見極め材料変更による性能、コスト、安定性等への効果の体系的整理が必要	初期導入システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性) △低コスト化が見込める電極材料のセルへの適用 ☆▽高出力密度化 △▽作動温度低温化 □電極の酸化還元による破壊の対策検討	普及システム用 (低コスト・高耐久性)	
		<次世代技術> ・材料: 低コスト材料、高出力密度化を実現できる材料の開発が進められている 低コスト電極材料としての粗製軽希土類の使用については、品質管理の問題で大きな進展なし LaNi酸化物系材料など ・耐久性: 大気中の不純物の影響の解明が必要	△定置用以外への適用拡大材料の開発 △▽作動温度低温化への材料開発	△□低コスト化と低温作動化などの両立性の検証	
	電極材料 (燃料極)	<実用段階技術> ・材料: Ni/YSZ系酸化物については実績 Ni-セリア系、Ni-ScSZ系サーメットも使用されている サーメット電極の酸化物の違いによる性能向上、コスト、安定性等への効果の体系的整理が必要 ・耐久性: ニッケルの焼結による劣化の対策検討 電極が酸化還元を受けた際の構造破壊の対策の必要性周辺部材との固相反応による劣化、不純物による劣化の検討 ・性能: 既存電極改良による性能達成点見極め材料変更による性能、コスト、安定性等への効果の体系的整理が必要	初期導入システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性) △低コスト化が見込める電極材料のセルへの適用 ☆▽高出力密度化 △▽作動温度低温化 □▽炭素析出を抑制できる燃料極材料の開発 □▽耐被毒燃料極の開発 □△▽耐レドックス特性の向上 □電極の酸化還元による破壊の対策検討	普及システム用 (低コスト・高耐久性・燃料多様化)	
		<次世代技術> ・材料: 酸化物燃料極は耐硫黄、耐炭素析出用として注目される ・耐久性: 硫黄・ハロゲン等不純物による被毒把握は基礎レベル不純物被毒現象、耐レドックス特性の解明が必要 (但し燃料からの脱硫技術は天然ガス、LPGなどでは既に確立) ・燃料多様化対応: 炭素析出を抑制する燃料極の材料研究開発が活発化、燃料としては、天然ガス、LPG、ガソリン、灯油、DME、エタノールを想定	△定置用以外への適用拡大材料の開発 △▽作動温度低温化への材料開発 □▽耐炭素析出、耐硫黄被毒酸化物など電極の開発	△□低コスト化と低温作動化などの両立性の検証 △□低コストと耐性との両立の検証	

分類	要素	技術の現状	課題と目標		
			2015年	2020年	2030年
燃料電池本体	インターコネクト	<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <p>○高温型</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>材料:ランタンク roma イト等酸化物の製造技術成熟度は高い</li> <li>SrTi系の高導電率化も取り組まれている</li> <li>湿式焼結法で製造したインターコネクトの耐久性・信頼性向上が進んでいる</li> <li>金属と伝導性酸化物の組み合わせによる接続構造の最適化製造技術:他の構成材料との共焼結法の確立、ガス炉焼成法の確立へ向けた研究開発中</li> <li>○中低温型(金属インターコネクト材)</li> <li>材料:フェライト系ステンレス等金属インターコネクト材など</li> <li>耐久性:インターコネクト材合金と空気、燃料・水蒸気との反応によるスケール生成現象の解明とその対応策が検討中</li> <li>酸化による導電率低下、浸炭による劣化、インターコネクト由来のCrによる被毒等の劣化対策が進行中、シール材との反応性の検討が必要</li> <li>金属と導電性酸化物の組み合わせによる接続構造の最適化</li> <li>コーティング技術:伝導性酸化物の選定、製膜法の選定</li> </ul>	<p>初期導入システム用 (高信頼性・高耐久性)</p>	<p>普及システム用 (低コスト・高耐久性・高信頼性)</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <p>フェライト系ステンレスを中心に種々の金属インターコネクト材が試験対象</p>	<p>□△新たな金属系インターコネクト材の開発</p>		
		<p>&lt;長期的技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>新規酸化物インターコネクトの開発</li> <li>低温スタック用インターコネクト材の検討が必要</li> <li>低温金属支持セルの設計、材料選択、製造法の検討</li> </ul>	<p>△新規酸化物インターコネクト材の開発</p> <p>△低温金属支持セルの設計、材料選択、製造法の検討</p> <p>△新規酸化物インターコネクト材の検証</p> <p>△低温金属支持セルスタックでの検証</p>		
燃料		<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>状況:都市ガス、LPG、灯油を使用</li> <li>急速な起動停止への対応が課題</li> <li>天然ガス付臭剤除去、灯油脱硫技術は既に進展</li> <li>都市ガス、LPG、灯油などの改質器を備えた燃料供給SOFCの実証</li> </ul>	<p>初期導入システム用 高信頼性燃料改質発電システム</p>	<p>□燃料内不純物対応技術開発(硫黄系、ハロゲン系等)</p> <p>○セル・スタックレベル検証</p> <p>□都市ガスや石油系燃料、バイオガス、石炭ガス化ガスの直接利用を目指して、燃料中の不純物に対する耐久性の確保</p>	
		<p>&lt;次世代技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>検討対象:ガソリン、軽油、DME、エタノール、石炭系ガス(石炭ガス化ガス、COGなど)、バイオガス</li> <li>燃料種の耐硫黄特性でシステム構成が異なる</li> <li>耐久性:硫黄被毒試験はセルレベル(高温ほど可逆的に回復)</li> <li>スタック作動温度を考慮した総合的対策は今後の課題</li> <li>硫黄系に対する被毒特性の把握</li> <li>燃料直接利用技術の検討</li> <li>低温改質技術の開発</li> </ul>	<p>□作動温度を考慮した総合的硫黄被毒対策</p> <p>□都市ガス、GTL、DMEの直接利用技術の開発</p> <p>□耐硫黄性燃料極の開発</p> <p>□排ガス処理によるCO濃度の低減</p> <p>☆□△▽石炭ガス化ガスへの適応性の検討</p>	<p>普及システム用 (高耐久性・燃料多様化)</p>	
		<p>&lt;長期的技術&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>燃料直接導入:基礎研究レベルの検討実施中</li> <li>炭酸ガス回収システム</li> </ul>	<p>▽炭酸ガス分離回収法の検討・最適化</p> <p>□炭酸ガス分離回収技術の検証</p>		
周辺機器		<p>&lt;実用段階技術&gt;</p> <p>○周辺機器(高性能断熱材、その他周辺技術)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>その他周辺技術:ブロー、コンプレッサー、ポンプ、パワーエレクトロニクス等</li> <li>地絡、短絡対策、トラブル時のシステム保護の必要性</li> <li>コスト:システムにおける周辺機器のコスト割合大</li> <li>状況:周辺機器、周辺部材の最適化は今後の課題</li> </ul>	<p>初期導入システム用 (高信頼性・高耐久性・低コスト・メンテナンス性)</p>		

# ＜共通的・基盤的課題＞

○：一般、☆効率、□：耐久性、△：コスト、▽：利便性

SOFC-6

分類	要素	技術の現状	課題と目標			
			2015年	2020年	2030年	
基盤的 テーマ	劣化説明	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・小容量システムについては、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに近づきつつあるが、中・大容量システムについては、依然、重要な課題となっている。また、海外では基礎分野の研究において研究機関と企業の連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構説明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等の固体酸化物形燃料電池関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組み、基盤技術を確立することが継続的に必要。</li> </ul>	<p>・熱力学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 熱力学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・化学的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 化学的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・機械的解析による劣化機構の解明、加速試験方法の確立 機械的解析を用いて、劣化因子を系統的に測定した上で、各因子が劣化に与える影響を定量的に評価し、劣化機構を明らかにする。更に劣化対策を立案し、その効果の検証を行う。また加速試験方法を確立する。</p> <p>・三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け 三相界面の微細構造の測定技術を確立し、微細構造の経時変化を明らかにする。さらに、性能劣化と微細構造変化の相関付けを行う。</p> <p>・耐久性評価手法の確立 劣化要因分析技術とユーザーが容易に余寿命を評価できるような余寿命式を確立する。</p>			
	シミュレーション・評価	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム特性：使用環境・運転条件・システム・スタック・構成材料が相互に影響を及ぼし合うことが理解されつつある。</li> <li>・システム検討：オンサイト発電、コージェネ、高効率ハイブリッドシステム、自動車用小型電源、航空機用補助電源等の種々のSOFC適用分野に関してシミュレーション進行中</li> </ul>	<p>・多種多様な使用環境・運転条件における実用システムのシミュレーションと評価</p> <p>・実証試験情報の共有と技術開発への反映、部材開発への反映</p> <p>・基礎研究成果に対するシステム、スタックの観点を含めた評価 (実用システムに適用されるレベルのもの)</p>			
	モジュール / スタック / セル	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特性把握：スタックレベルの系統的な研究は少数</li> <li>・理論的検討：構成材料界面、細孔での反応・物質移動検討活性化 物質・熱・電気の流れに関するモデリングがセル・スタック・モジュール各レベルで重要</li> <li>・解析技術：In situ解析技術(電気化学的方法、X線応力解析)とモデル電極による解析技術の適用が進行中</li> </ul>	<p>・セル・スタックレベルでの標準的試験方法の確立</p> <p>・単セルレベルとスタックレベルでの特性の差異に関する検討</p> <p>・セル・スタックにおける反応・物質移動と熱エネルギー移送の実験的・理論的把握</p> <p>・セル・スタックでの反応・物質移動の解析・評価技術の開発</p>			
	標準	<p>＜基盤的技術＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現行の改質型PEFCでのJIS試験法をベースに、国際標準との整合化も見据えてSOFCの性能試験法標準化に資する検討を行い、実機試験検証を通じて今後の国内外標準の改善に資する知見や実機データを蓄積。</li> </ul>	<p>＜試験項目＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・点火、燃焼試験</li> <li>・排ガス測定試験</li> <li>・負荷変動、負荷追従特性試験</li> <li>・耐風、耐雨試験 等</li> </ul>			
	規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電気事業法関連の規制見直し</li> <li>・常時監視の不要化</li> <li>・不活性ガスパージ省略</li> <li>・一般用電気工作物化</li> </ul>	<p>消防法関連の規制見直し</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・設置届出義務の撤廃</li> <li>・設置離隔距離の短縮</li> <li>・防火防止装置の省略</li> </ul>			

## 事前評価書

		作成日	平成20年2月25日
1. 事業名称 (コード番号)	固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発 (P08004)		
2. 推進部署名	燃料電池・水素技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1) 概要： 本事業では、①耐久性・信頼性向上のための基礎研究と、②実用性向上のための技術開発を実施して、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するために必要な基盤技術を確立する。</p> <p>①耐久性・信頼性向上のための基盤研究 (100%委託) ②実用性向上のための技術開発 (100%委託並びに50%共同研究)</p> <p>(2) 事業規模：事業費総額 70億円 (NEDO負担分：予定) 平成20年度 14億円 (NEDO負担分)</p> <p>(3) 事業期間：平成20年度～24年度 (5年間)</p>		
4. 評価の検討状況	<p>(1) 事業の位置付け・必要性 我が国におけるエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)・交通量の多い都市部等における地域環境問題(NO<sub>x</sub>、PM等)の解決のためには、国全体として省エネルギーを推進するとともに、新エネルギー技術の開発、コスト削減及び利便性や性能の向上に積極的に取り組むことが極めて重要である。本事業は、このような背景のもと、新エネルギー技術の開発等によってエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)等地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出、水素エネルギー社会の実現等を図ることを目的とする「新エネルギー技術開発プログラム」の一環として実施する。</p> <p>固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、化石燃料を使用する発電システムで最も高い発電効率が期待でき、天然ガス、石炭ガス化ガスの他にバイオガス等の多様な燃料に対応が可能であるうえに、小型分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を持ち、更に高価な白金触媒を必要としない等の優れた特徴を有している。これらの優れた特徴から、エネルギー供給の安定化及び効率化と地球温暖化問題及び地域環境問題を解決することができる可能性を持つ高効率発電システムとして実用化に高い期待が寄せられている。</p> <p>「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16年度～19年度)では、10kW級～200kW級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3000時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。また、「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成19年度より開始)では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。</p> <p>これらの結果から、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに達していないことが重要な課題として明らかになっている。また海外では、基礎分野の研究において研究機関と企業との連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等のSOFC関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組み、基盤技術を確立することが必要である。</p>		

## (2) 研究開発目標の妥当性

固体酸化物形燃料電池の実用化を目指して以下のような目標を設定する。普及時における技術レベルを念頭に置いた難易度の高い目標であり妥当と考える。

普及時とは以下の年間生産数を想定する。

小容量（数 kW 未満）：生産数 5 万 kW / 年レベル）

中容量（数十 kW ~ 数百 kW）：生産数 1 5 万 kW レベル）

### ① 耐久性・信頼性向上のための基盤研究

セルスタック内の物質移動、不純物との化学反応及び構造変化による劣化について、それぞれ熱力学的解析、化学的解析、機械的解析を用いて、ミクロの観点から劣化機構を解析する。特に、性能に大きな影響を与える三相界面については、微細構造を解明し、さらに性能劣化と微細構造の変化の相関付けを行う。また、マクロの観点から劣化機構を解析し、ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法を開発する。なお、本研究は、セルスタックで実施する。

「目標」

◎ 4 万時間（電圧低下率 0. 2 5 % / 1 0 0 0 時間）の見通しを得る。

◎ 起動停止回数 2 5 0 回の見通しを得る。

( i ) 熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

( ii ) 化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

( iii ) 機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立

( iv ) 三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け

( v ) ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法の確立

### ② 実用性向上のための技術開発

固体酸化物形燃料電池の実用性向上のために、セルスタック原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術、運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術を開発する。なお、本開発は、主にセルスタック・モジュールで実施する。

「目標」

◎ 普及時においてセルスタック 5 万円 / kW 程度の見通しを得る。

◎ 耐久性 4 万時間（電圧低下率 0. 2 5 % / 1 0 0 0 時間）の見通しを得る。

◎ 起動停止回数 2 5 0 回の見通しを得る。

◎ 超高効率運転のための高圧運転技術の確立

運用性向上のための起動停止技術及び超高効率運転のための高圧運転技術の開発は、システム発電効率（コージェネレーションシステム 4 5 % LHV、コンバインドサイクルシステム 5 0 % LHV）を達成できると見込めるモジュールを用いて実施する。なお、起動停止回数 2 5 0 回の見通し目標は、超高効率運転のための高圧運転技術に関しては適用しない。

## (3) 研究開発マネジメント

プロジェクトリーダーを設置するとともに、NEDO 技術開発機構に設置する技術委員会等、外部有識者の意見を適宜運営管理に反映させると共に、研究 3 年目の平成 22 年度に中間評価を実施する予定であり、マネジメントとして妥当である。

(4) 研究開発成果

我が国の固体酸化物形燃料電池システムは、世界的に比較して開発が進んだ状況にあり、このまま世界をリードし続けるためには基盤的な技術の確立が重要である。

本事業により、小型分散型電源としてのSOFC技術を確立し、格段の進展が達成された場合には大規模火力代替システムまで広い適応性を持つことが期待されるので、その波及効果は大きい。

(5) 実用化・事業化の見通し

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16-19年)及び「固体酸化物形燃焼電池実証研究」(平成19年度から開始)から抽出されている技術課題を本事業によって解決することで、実用化のために必要な基盤技術を整備することができ、固体酸化物形燃料電池の実用化に大きく貢献できる。また、近年、燃料多様化に関して石炭ガス化技術等でも着実な進展が見られることから、これらの技術の完成時に固体酸化物形燃料電池と組合せることで、多様な燃料に対応可能で、かつ小型分散型から大規模火力代替システムに至るまでの高効率発電システムを事業化でき、エネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題(CO<sub>2</sub>)等地球環境問題の解決、新規産業・雇用の創出等に大きく寄与するものと考えられる。

(6) その他特記事項

「SOFC将来構想に関する提言」(平成16年6月、NEDO技術開発機構 SOFC技術編集委員会)の内容を踏まえ、基礎分野から実用システムレベルまでの幅広い技術課題に、本事業は対応している。

5. 総合評価

本事業は、固体酸化物形燃料電池の実用化に不可欠な、耐久性・信頼性とコスト競争力、そして運用性の確保のための開発を実施するものであり、環境戦略やエネルギー戦略に対しても大きく寄与すると考えられることから、NEDO技術開発機構として実施することが適切と判断する。



### 研究テーマ名 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発

#### 研究目的

##### 背景:

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、化石燃料を使用する発電システムで最も高い発電効率が期待でき、天然ガス、石炭ガス化ガスの他にバイオガス等の多様な燃料に対応が可能であるうえに、小型分散型から大規模火力代替システムまで広い適応性を持ち、更に高価な白金触媒を必要としない等の優れた特徴を有している。これらの優れた特徴から、エネルギー供給の安定化及び効率化と地球温暖化問題及び地域環境問題を解決することができる可能性を持つ高効率発電システムとして実用化に高い期待が寄せられている。

「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」(平成16年度～19年度)では、10kW級～200kW級の燃料電池システムの技術開発を実施し、3000時間の耐久試験などにより、市場導入するために必要な技術課題を抽出した。また、「固体酸化物形燃料電池実証研究」(平成19年度より開始)では、小容量のシステムの実負荷条件での技術課題を抽出している。

##### 必要性:

上記背景により、耐久性・信頼性等が市場導入レベルに達していないことが重要な課題として明らかになっている。また海外では、基礎分野の研究において研究機関と企業との連携が強化され、研究開発が推進されている。従って、劣化機構解明などの耐久性・信頼性向上のための基礎研究を産学官等のSOFC関連の研究開発者が協力して戦略的に取り組むこと及び運用性・耐久性、コスト低減などの実用性向上のための技術開発を実施して、基盤技術を確立することが必要である。

##### 目的:

本事業では、固体酸化物形燃料電池システムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施して、その基盤技術を確立することを目的とする。

#### プロジェクトの規模

##### ○事業費と研究期間

事業費総額：70億円(予定)， 研究期間：5年

#### 研究内容

##### ○研究開発課題

固体酸化物形燃料電池システムを市場導入するための基盤技術の確立のために下記の研究開発を行う。なお、事業の運営にあたっては「固体酸化物形燃料電池実証研究」との連携を図る。

##### 「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」

- ①熱力学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ②化学的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ③機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ④三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け
- ⑤耐久性評価手法の確立

##### 「実用性向上のための技術開発」

- ⑥セルスタック原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発
- ⑦運用性向上のための起動停止技術開発
- ⑧超高効率運転のための高圧運転技術の開発

##### ○目標

##### 「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」

- 本研究は、セルスタックで実施する。
- ・4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。
- ・起動停止回数250回の見通しを得る。
- ①熱力学的解析、②化学的解析、③機械的解析による劣化機構の解明、対策立案と効果検証、加速試験方法の確立
- ④三相界面についての劣化現象と微細構造変化の相関付け
- ⑤ユーザーが容易に余寿命を評価できるような耐久性評価手法の確立

##### 「実用性向上のための技術開発」

- 本開発は、主にセルスタック・モジュールで実施する。
- ⑥普及時においてセルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。
- ⑦起動停止回数250回の見通しを得る。耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。
- ⑧超高効率運転のための高圧運転技術を確立する。耐久性4万時間(電圧低下率 0.25%/1000時間)の見通しを得る。



### 研究テーマ名 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発

## 固体酸化物形燃料電池を早期に市場導入するための 基盤技術の確立を目的とする。

### 耐久性・信頼性向上のための基礎研究

セルスタックの劣化機構の解明の  
ための基礎研究



円筒縦縞形セルバンドル



円筒横縞形セルと数100kW加圧モジュール

#### 「劣化要因」

1. 物質移動による劣化
2. 不純物による劣化
3. 微細構造の変化による劣化

セルスタックの劣化機構の解明  
と加速試験方法の確立

### 実用性向上のための技術開発

#### 低コスト化のための技術開発

セルスタック原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術  
開発

#### 起動停止及び高圧運転に関する 技術開発



数10kWコージェネシステム

運用性向上  
のための起  
動停止技術  
の開発



数100kWコンバインドサイクルシステム

超高効率運転の  
ための高圧運転  
技術の開発

### 実証研究との連携

「固体酸化物形燃料電池実証研究」から抽出される技術課題を機動的に取り  
込むことに留意して、市場導入するための基盤技術を効率的に確立する。

「固体酸化物燃料電池システム要素技術開発基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成 20 年 3 月 24 日  
N E D O 技術開発機構  
燃料電池・水素技術開発部

N E D O P O S T 3 において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成 20 年 2 月 25 日～平成 20 年 3 月 2 日

2. パブリックコメント投稿数＜有効なもの＞

計 0 件

以上

## (プロジェクト全体)

	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	6	13	1	20
論文	33	39	25	97
研究発表・講演	91	198	57	346
受賞実績	0	1	0	1
新聞・雑誌への掲載	0	2	1	3
展示会への出展	2	7	0	9

※平成22年7月31日現在

## ①基礎的・共通的課題のための研究開発

## (i) 信頼性・耐久性向上のための基礎研究

	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	2	0	0	2
論文	32	35	23	90
研究発表・講演	70	164	43	277
受賞実績	0	1	0	1
新聞・雑誌への掲載	0	0	0	0
展示会への出展	2	4	0	6

## ①基礎的・共通的課題のための研究開発

## (ii) 原料・材料の低コスト化及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発)

## a. 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発

	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	0	1	1	2
論文	0	0	1	1
研究発表・講演	1	2	3	6
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌への掲載	0	0	1	1
展示会への出展	0	1	0	1

(ii) 原料・材料の低コスト化及び低コスト化セルスタック・モジュールの技術開発)

b.セルスタック材料の低コスト化技術開発

	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	0	0	0	0
論文	0	0	0	0
研究発表・講演	7	16	3	26
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌への掲載	0	0	0	0
展示会への出展	0	1	0	1

②実用性向上のための技術開発

(i) 運用性向上のための起動停止技術 (a.高温円筒縦縞型)

	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	0	1		1
論文	0	0	0	0
研究発表・講演	5	1	1	7
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌への掲載	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0

②実用性向上のための技術開発)

(i) 運用性向上のための起動停止技術 (b.中温円形平板)

	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願		3		3
論文	0	0	0	0
研究発表・講演		7	3	10
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌への掲載	0	0	0	0
展示会への出展	0	0	0	0

②実用性向上のための技術開発

(ii) 超高効率運転のための高圧運転技術

	H 2 0	H 2 1	H 2 2	計
特許出願	4	8	0	12
論文	1	4	1	6
研究発表・講演	8	10	4	22
受賞実績	0	0	0	0
新聞・雑誌への掲載	0	2	0	2
展示会への出展	0	1	0	1

①基礎的・共通的課題のための研究開発

(i) 信頼性・耐久性向上のための基礎研究

課題 1-3) 高温円筒縦縞

－研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 12 月 15 日	第 4 回 FC EXPO in 大阪	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
2	平成 21 年 2 月 27 日	FC EXPO2009	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
3	平成 22 年 3 月 23 日	第 50 回セラミック協会年会	SOFC 運転下における Sc203-CeO2 安定化 ZrO2 の相変態とその機構	島津めぐみ
4	平成 22 年 6 月 23 日	Fourth International Conference on Science and Technology of Advanced Ceramics	The Effect of Manganese on Phase transformations of Sc203 and CeO2 co-doped ZrO2 during the Operation of Solid Oxide Fuel Cells	(TOTO) 島津めぐみ、樋渡研一、安藤茂、上野晃、(産業技術総合研究所) 山地克彦、岸本治夫、横川晴美、(東京工業大学大学院) 磯部敏宏、中島章、岡田清

－文献等、その他

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 8 月 1 日	FCDIC 燃料電池夏号	TOTO における定置型 SOFC の開発状況	樋渡 研一
2	平成 21 年 1 月 1 日	月刊クリーンエネルギー誌	TOTO における SOFC の開発と今後の展開	上野 晃

課題 1-4) 中温円形平板形

－研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 6 月 9 日	International Symposium on Durability and Reliability of Solid Oxide Fuel Cells	Investigation for Improved Durability of kW-class Module made up of a Disk-type Seal-less Stack	秋草順、江藤浩之
2	平成 20 年 7 月 4 日	8th European SOFC Forum	Disk-Type Seal-Less IT-SOFC CHP System Development	宮澤隆、細井敬、山崎啓、西脇太
3	平成 20 年 9 月 17 日	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium	Development of IT-SOFC Using Lanthanum Gallate Electrolyte	稲垣亨、西脇太、大西靖孝、加藤正樹、山崎啓、平田勝哉、秋草順、アベイカー、江藤浩之
4	平成 20 年 10 月 22 日	The 6th Asian Meeting on Electroceramics	Development of Intermediate-Temperature Solid Oxide Fuel Cells Using Doped Lanthanum Gallate Electrolyte	江藤浩之、アベイカー、秋草順、魚住学司、千歳範壽、稲垣亨、石原達己
5	平成 20 年 10 月 30 日	2008 Fuel Cell Seminar	Sulfur Poisoning of SOFC Cathodes	山地克彦、熊岳平、堀田照久、横川晴美、秋草順、江藤浩之、稲垣亨
6	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	ランタンガレート系電解質を用いた低温作動 SOFC の開発 (8)	佐藤基樹、平田勝哉、西本竹英、村上直也、江藤浩之、加藤正樹、加納二郎、西順也、西脇太、稲垣亨、石原達己
7	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 秋年次大会	中温円形平板形燃料電池の耐久性評価	江藤浩之、秋草順、魚住学司、川野光伸、稲垣亨
8	平成 21 年 10 月 6 日	SOFC-XI	Effect of SO2 Concentration on Degradation of Sm0.5Sr0.5CoO3 Cathode	K. Yamaji, Y. Xiong, M. Yoshinaga, H. Kishimoto, M. E. Brito, T. Horita, H. Yokokawa, J. Akikusa, M. Kawano

9	平成 21 年 11 月 17 日	2009 Fuel Cell Seminar	Progress in Development of IT-SOFC Based on Lanthanum Gallate Electrolyte	H. Eto, T. Akbay, K. Hirata, M. Sato, T. Inagaki, F. Nishiwaki
10	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	耐久試験及び、起動停止後の 1kW 級 SOFC スタックの劣化要因解析	秋草順, 江藤浩之, 上野大介, 川野光伸, 稲垣亨
11	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会	SSC カソードの SO <sub>2</sub> 被毒: 温度依存性に関する検討	山地克彦, 岸本治夫, 堀田照久, 横川晴美, 秋草順, 川野光伸

－文献等、その他

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 3 月 11 日	J. Electrochem. Soc Vol. 156, B588-B592 (2009)	Sulfur Poisoning of SOFC Cathodes	熊岳平, 山地克彦, 堀田照久, 横川晴美, 秋草順, 藤浩之, 稲垣亨

課題 1-5) 高温円筒横縞形

－研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 7 月 1 日	FCDIC 「燃料電池」 2008 年夏号	三菱重工業における SOFC 発電システムの開発状況	小林 由則
2	平成 20 年 9 月 18 日	2008 KOREA-JAPAN-CHINA SOFC SYMPOSIUM	Performance Improvement and Durability Test of Segmented-in-series Tubular Type SOFCs	富田 和男, 加幡達雄, 佃洋, 大隈滋, 宮本晃志, 山下晃弘
3	平成 20 年 10 月 15 日	4th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System	加幡 達雄
4	平成 20 年 10 月 21 日	技術情報センターセミナー燃料電池の開発動向と今後の展望～MCFC、PEFC、SOFCの開発最前線～	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の開発動向と今後の展開～SOFC・ガスタービンコンバインドサイクルシステムの開発動向～	小林 由則
5	平成 20 年 10 月 30 日	FC Seminar	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System with Tubular Type Cell-Stack	加幡 達雄, 西浦 雅則, 富田和男, 古賀 重徳, 眞竹 徳久, 安藤 喜昌, 小林 由則
6	平成 20 年 11 月 1 日	「エネルギーと動力」 Vol. 271	固体酸化物形燃料電池 (SOFC)-マイクロガスタービン (MGT) 複合発電システムの開発	加幡 達雄
7	平成 20 年 12 月 12 日	2008 年度ガスタービンシンポジウム	200kW 級 SOFC-MGT 複合発電システムの開発	加幡 達雄
8	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	円筒形 SOFC 高効率コンバインドサイクルシステムの開発	富田和男, 加幡達雄, 西浦雅則, 古賀重徳, 眞竹徳久, 安藤喜昌, 小林由則
9	平成 21 年 4 月 1 日	セラミックス誌 2009 年 4 月号特集「固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell) の進展、課題、展望」	三菱重工における固体酸化物形燃料電池 (SOFC) コンバインドサイクルシステム開発	玄後義
10	平成 21 年 5 月 12 日	FCDIC 第 16 回燃料電池シンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガスタービンコンバインドによる高効率発電システム	小林由則, 安藤喜昌, 加幡達雄, 西浦 雅則,
11	平成 21 年 7 月 9 日	化学工学会 関西支部セミナー「省エネルギー戦略-低炭素社会時代を切り開く省エネルギー技術-」	固体酸化物型燃料電池とガスタービンとのコンバインド高効率発電システム	小林 由則

12	平成 21 年 9 月 1 日	高温学会誌「燃料電池」特集号	大型 SOFC コンバインドサイ クルシステムの開発状 況と今後の展開	玄後 義, 小林 由則, 安藤 喜昌
13	平成 21 年 12 月 10 日	SOFC Seminar 2009 in Kyoto	Current Status and Future Prospects for Large-Scale SOFC Combined Cycle System	宮本 晃志
14	平成 21 年 12 月 11 日	産業技術総合研究所 環境・エ ネルギーシンポジウム	固体酸化物形燃料電池と ガスタービンの組み合わ せによる最高効率の火力 発電システムの開発状況	小林 由則
15	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	SOFC-ガスタービン複合 発電システムの開発	加幡 達雄, 西浦 雅則, 富 田 和男, 池田 浩二, 古賀 重徳, 宮本 晃志, 安藤 喜 昌, 小林 由則, 眞竹 徳久, 佃 洋, 末森 重徳
16	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	円筒形 SOFC 発電システム の信頼性向上	末森 重徳, 佃 洋, 眞竹 徳久, 富田 和男, 古賀 重 徳, 宮本 晃志, 西浦 雅則, 池田 浩二, 加幡 達雄, 安 藤 喜昌, 小林 由則
17	平成 22 年 1 月 22 日	第 38 回ガスタービン学会	SOFC-ガスタービン複合 発電システムの開発	安藤 喜昌, 小林 由則, 加 幡 達雄, 西浦 雅則, 池田 浩二, 眞竹 徳久,
18	平成 22 年 3 月 5 日	FC EXPO 2010 ～第 6 回 国際 水素・燃料電池展～	大型 SOFC コンバインド発 電システムの開発状況と 今後の展開	小林 由則
19	平成 22 年 6 月 10 日	日本機械学会動力・エネルギー シンポジウム	SOFC の加圧下における性 能向上とモジュール化に ついての研究	橋本彰、小阪健一郎、眞竹 徳久、木藪敏康、小林由則、 加幡達雄
20	平成 22 年 7 月 1 日	「クリーンエネルギー」誌 Vol. 19 No. 7	SOFC-マイクロガスター ビン複合発電システムの 開発	安藤喜昌、小林由則、池田 浩二、加幡達雄、西浦雅則、 眞竹徳久、
21	平成 22 年 7 月 1 日	FCDIC「燃料電池」2010 年夏号	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) とガスタービンの 組み合わせによる最高効 率の火力発電システムの 開発	小林由則
22	平成 22 年 7 月 15 日	くまもと技術革新・融合研究会 (RIST) フォーラム	SOFC-ガスタービン複合 発電システムの開発状況	西浦雅則

ー文献等、その他

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 2 月 1 日	粉体および粉末冶金第 56 巻第 2 号	Sr1-1.5xLaTiO3 の焼結性と 電気特性ならびに熱膨張挙 動に及ぼす La 置換の影響	佃 洋、大隈滋、富田和男
2	平成 21 年 5 月 1 日	日本ガスタービン学会誌 Vol. 37 No. 3	マイクロガスタービン- SOFC ハイブリッドサイクル	君島真仁、加幡達雄
3	平成 21 年 5 月 1 日	Electrochemistry(電気化学会 誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using an La0.5Sr0.5-xCaxMnO3 System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田和男、久留長生、 加幡達雄、佃洋、山下晃 弘、山崎陽太郎
4	平成 21 年 10 月 1 日	Electrochemistry(電気化学会 誌)	Structural Modification of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using Performance Simulation and the Effect of (Sm, Ce)O2	富田和男、久留長生、加 幡達雄、佃洋、山崎陽太 郎

			Cathode Interlayer on the Generation Characteristics under Pressurization	
5	平成 21 年 12 月 1 日	Electrochemistry(電気化学会誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs with an (La, Sr)CoO <sub>3</sub> System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田和男、山下晃弘、佃洋、加幡達雄、池田浩二、久留長生、山崎陽太郎
6	平成 22 年 5 月 1 日	日本機械学会 英文ジャーナル (Journal of Power and Energy Systems)	Study on Optimization and Scale-up of Pressurized Solid Oxide Fuel Cells.	橋本彰、小阪健一郎、眞竹徳久、木藪敏康、小林由則、加幡達雄、富田和男

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 20 年 12 月 11 日	特願 2008-315807	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
2	平成 20 年 12 月 22 日	特願 2008-325233	固体酸化物形燃料電池および固体酸化物形燃料電池システム	三菱重工業株式会社
3	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-331759	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
4	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-332046	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
5	平成 21 年 6 月 18 日	特願 2009-145015 号	固体電解質型燃料電池インターコネクタ用材料、固体電解質型燃料電池セル、及び、固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
6	平成 21 年 11 月 30 日	特願 2009-272760 号	燃料電池	三菱重工業株式会社
7	平成 21 年 12 月 21 日	特願 2009-289807 号	固体酸化物形燃料電池発電システム	三菱重工業株式会社
8	平成 21 年 12 月 21 日	特願 2009-289808 号	固体酸化物燃料電池及びその運転方法	三菱重工業株式会社
9	平成 21 年 12 月 25 日	特願 2009-296153 号	固体酸化物形燃料電池システム	三菱重工業株式会社
10	平成 22 年 2 月 26 日	特願 2010-043519 号	固体電解質燃料電池用セルチューブ、及び固体電解質燃料電池	三菱重工業株式会社
11	平成 22 年 2 月 26 日	特願 2010-043522 号	固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
12	平成 22 年 3 月 2 日	特願 2010-045906 号	燃料電池	三菱重工業株式会社

課題 2-1) 熱力学的解析 (1-1) 筒状平板形、1-2) 筒状横縞形耐久試験を含む)

－研究発表・講演－

No.	発表年月日	口頭発表(学会名)	発表題目	発表者
1	平成 20 年 7 月 2 日	8th European SOFC Forum	Oxygen Diffusivity in Oxide Scales of Fe-Cr Alloy Interconnects	堀田 照久、岸本 治夫、山地克彦、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美、馬場好孝、小笠原 慶、亀田治邦、松崎良雄、山下敏、安田信隆、上原 利弘
2	平成 20 年 7 月 3 日	8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Effect of Contamination on the Durability of SOFC Stacks and Modules in Real Operation Condition	横川 晴美、堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito
3	平成 20 年	Workshop on Thermodynamics of	Thermodynamics of SOFC	横川 晴美

	8月11日	Nano structured Materials and Materials under Exotic and Unusual Conditions	Materials	
4	平成20年7月2日	8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Stability of the Ni-base Anode for Hydrocarbon Fuels Containing Sulfur	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美
5	平成20年8月11日	Workshop on Thermodynamics of Nano structured Materials and Materials under Exotic and Unusual Conditions	Thermodynamics of SOFC Materials: Why bulk thermodynamics can be effectively applied to the interface chemistry in nano scales?	横川 晴美
6	平成20年9月18日	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium	Degradation of SOFCs from the Materials Chemistry Point of View	横川 晴美、堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito
7	平成20年10月6日	International Workshop on Accelerated Testing in Fuel Cells	Analysis of Impurity Levels of Components by SIMS for Degradation of Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久
8	平成20年10月8日	Fuel Cells Science & Technology 2008	Effects of impurities on the degradation and long-term stability for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美、堀 雄一、宮地 達
9	平成20年10月8日	Fuel Cells Science & Technology 2008	Anomalous Oxide Scale Formation under Exposure of Sodium Containing Atmospheres for SOFC Alloy Interconnects	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美
10	平成20年10月15日	214th ECS Meeting	Phase Transformation of the Scandia Stabilized Zirconia in the Ni-ScSZ Cermet Anode	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美
11	平成20年10月28日	2008 Fuel Cell Seminar & Exposition	Anode Degradation in SOFC : Fuel Impurity Effects on Nickel Component	岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、堀田 照久、Manuel E. Brito、横川 晴美
12	平成20年10月15日	International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells (CCT&FCs-2008)	Recent studies on durability of SOFC materials at AIST	山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
13	平成20年10月28日	2008 Fuel Cell Seminar & Exposition	Evaluation of Impurity Levels in Real SOFC Stacks and Modules	山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
14	平成20年12月9日	IUMRS-ICA2008	Reactivity of Alkaline with Oxide Scale Formed on Fe-Cr Alloy for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美
15	平成20年12月18日	第17回 SOFC 研究発表会	合金インターコネク用酸化物コーティングにおける同位体酸素拡散	堀田 照久、山地 克彦、横川 晴美、馬場好孝、亀田治邦、松崎良雄、山下 敏、安田信隆、上原利弘
16	平成20年12月4日	第34回固体イオニクス討論会	Ni-ScSZ サーメットアノードにおける ScSZ の相変態	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、Manuel E. Brito、吉永昌史、横川 晴美

17	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	不純物の反応駆動力と輸送量を制御した加速劣化試験法の検討	山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
18	平成 21 年 1 月 1 日	電気化学第 7 6 回大会	SOFC 単セル試験時の LSM/ScSZ 界面への白金の析出	山地 克彦、吉永昌史、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
19	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学第 7 6 回大会	SOFC 空気極における Cr 蓄積量と Cr 被毒の分析	堀田 照久、熊 岳平、吉永昌史、岸本 治夫、山地 克彦、Manuel E. Brito、横川 晴美
20	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学第 7 6 回大会	石炭ガス化ガス導入後の燃料極分析	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、Manuel E. Brito、吉永昌史、横川 晴美、倉本 浩司、鈴木善三
21	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	ACCELERATED DEGRADATION OF SOFC CATHODES BY Cr VAPORS	堀田照久、熊 岳平、吉永昌史、岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川 晴美
22	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Phase Transformation of ScSZ by Reduction of NiO-ScSZ Mixture	岸本治夫、吉永昌史、山地 克彦、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
23	平成 21 年 10 月 26 日	MS&T09	Thermal cycling effects on oxide scales formation of Fe-Cr alloys for SOFCs	堀田照久、吉永昌史、岸本治夫、山地 克彦、熊 岳平、M. E. Brito、横川 晴美
24	平成 21 年 11 月 5 日	CCT&FCS-2009	Anode Degradation Behaviour in Hydrocarbon Fuelled SOFCs	岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
25	平成 21 年 11 月 16 日	2009 Fuel Cell Seminar & Exposition	Effects of Impurities on the Degradation of SOFC Stacks	堀田照久、岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川 晴美
26	平成 21 年 12 月 7 日	第 3 5 回固体イオニクス討論会	純セリアの電子伝導特性	岸本治夫、熊岳平、山地 克彦、M. E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
27	平成 21 年 12 月 7 日	第 3 5 回固体イオニクス討論会	SOFC 空気極における Cr 被毒解析：Cr 蓄積分布と電極材料・過電圧	堀田照久、趙度衡、出来学、岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川 晴美
28	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	不純物が影響した劣化の解析と SOFC 耐久性の評価	堀田照久、山地 克彦、岸本治夫、M. E. Brito、横川 晴美、趙度衡、出来学
29	平成 22 年 2 月 14 日	TMS2010	Coating of Dense Oxide Layer on the Fe-Cr Alloys for Interconnects	堀田照久、岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川 晴美
30	平成 22 年 2 月 23 日	第 79 回 SOFC 研究会	SOFC における熱力学的解析	山地 克彦
31	平成 22 年 3 月 3 日	FC-EXPO2010 アカデミックフォーラム	産総研における SOFC 耐久性・信頼性向上のための基礎研究	堀田照久
32	平成 22 年 3 月 25 日	239th Americal Chemical Society National Meeting	Effect of Impurities on the Degradation of Solid Oxide Fuel Cells by SIMS Technique	堀田照久、岸本治夫、山地 克彦、M. E. Brito、横川 晴美
33	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	ニッケルサーメット中の安定化ジルコニアの相変態	岸本治夫、吉永昌史、山地 克彦、M. E. Brito、下之菌太郎、趙度衡、出来学、堀田照久、横川

				晴美
34	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	SOFC 空気極における Cr 被毒現象	趙度衡, 堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 下之藪太郎, 出来学, 吉永昌史, 横川晴美
35	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	PLD 法で作製したセリア/ 空気極の界面安定性およびカチオン拡散	出来学, M.E. Brito, 山地克彦, 岸本治夫, 吉永昌史, 趙度衡, 下之藪太郎, 堀田照久, 横川晴美
36	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学第 7 7 回大会	SOFC 用金属インターコネクットのコーティングと安定性	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美, 吉永昌史, 趙度衡, 出来学, 下之藪太郎
37	平成 22 年 5 月 19 日	第 1 7 回燃料電池シンポジウム	産総研における SOFC 信頼性・耐久性向上に関する基礎研究	岸本治夫、山地克彦、M.E. Brito、趙度衡、下之藪太郎、出来学、堀田照久、横川晴美
38	平成 22 年 6 月 15 日	ASME Fuel Cells2010	COATING OF SOFC METALLIC INTERCONNECTS AND THEIR OXYGEN DIFFUSIVITY	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美, 吉永昌史, 趙度衡, 出来学, 下之藪太郎
39	平成 22 年 6 月 17 日	CIMTEC 2010	Feasibility of liquid fuels for SOFC with Ni-base Anode	岸本治夫、山地克彦、M.E. Brito、堀田照久、横川晴美
40	平成 22 年 6 月 21 日	4th International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics	Electronic Conductivity of Scandia-stabilized Zirconia	下之藪太郎, 岸本治夫, 山地克彦, 趙度衡, 出来学, M.E. Brito, 堀田照久, 横川晴美
41	平成 22 年 6 月 29 日	European SOFC Forum	Interfacial Stability and Cation Diffusion across the LSCF/GDC Interface	出来学, M.E. Brito, 山地克彦, 岸本治夫, 吉永昌史, 趙度衡, 下之藪太郎, 堀田照久, 横川晴美
42	平成 22 年 6 月 29 日	European SOFC Forum 2010	General Considerations on Degradation of SOFC Anodes and Cathodes Due to Impurities in Gases	横川晴美、山地克彦、M.E. Brito、岸本治夫、堀田照久

— 論文 —

	発表年月日	誌上発表 (論文名)	発表題目	発表者
1	平成 20 年 7 月 1 日	Proceedings of 8th European SOFC Forum	Oxygen Diffusivity in Oxide Scales of Fe-Cr Alloy Interconnects	堀田 照久、岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川晴美、馬場好孝、小笠原慶、亀田治邦、松崎良雄、山下 敏、安田信隆、上原利弘
2	平成 20 年 7 月 1 日	Proceedings of 8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Effect of Contamination on the Durability of SOFC Stacks and Modules in Real Operation Condition	横川 晴美、堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito
3	平成 20 年 7 月 1 日	Proceedings of 8th European Solid Oxide Fuel Cell Forum	Stability of the Ni-base Anode for Hydrocarbon Fuels Containing Sulfur	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川晴美
4	平成 20 年	INTERNATIONAL JOURNAL OF	Anomalous Oxidation of	堀田 照久、岸本 治夫、

	7月1日	HYDROGEN ENERGY	Ferritic Interconnects in Solid Oxide Fuel Cells	山地 克彦、酒井 夏子、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美
5	平成20年 8月1日	Solid State Ionics	Interface reaction and cation transport behavior between perovskite oxides of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ and $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{FeO}_3$	岸本 治夫、酒井 夏子、堀田 照久、山地 克彦、Manuel Eduardo Brito、横川 晴美
6	平成20年 10月1日	Solid State Ionics	Rapid Phase Transformation of Zirconia in the Ni-ScSZ Cermet Anode under Reducing Condition	岸本 治夫、酒井 夏子、堀田 照久、山地 克彦、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川晴美
7	平成20年 10月1日	2008 Fuel Cell Seminar & Expositions abstracts	Anode Degradation in SOFC : Fuel Impurity Effects on Nickel Component	岸本 治夫、山地 克彦、熊 岳平、堀田 照久、Manuel E. Brito、横川 晴美
8	平成20年 10月1日	INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY	Effects of Si and Al Concentrations in Fe-Cr Alloy on the Formation of Oxide Scales in $\text{H}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$	堀田 照久、山地 克彦、横川 晴美、都地昭宏、上原利弘、小笠原 慶、松崎良雄、山下 敏
9	平成20年 10月1日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	Electronic Conductivity of 10 to 40 mol % $\text{Y}_{0.5}$ Doped $\text{CeO}_2$	熊 岳平、山地 克彦、岸本 治夫、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
10	平成20年 10月1日	2008 Fuel Cell Seminar & Expositions abstracts	Evaluation of Impurity Levels in Real SOFC Stacks and Modules	山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
11	平成20年 10月1日	2008 Fuel Cell Seminar & Expositions abstracts	Sulfur Poisoning of SOFC Cathodes	山地 克彦、熊 岳平、堀田 照久、横川 晴美、秋草 順、江藤 浩之、稲垣 亨
12	平成20年 12月1日	SOLID STATE IONICS	Diffusion of Oxygen in the Scales of Fe-Cr Alloy Interconnects and Oxide Coating Layer for Solid Oxide Fuel Cells	堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川 晴美、馬場好孝、小笠原 慶、亀田治邦、松崎良雄、山下 敏、安田信隆、上原利弘
13	平成20年 12月1日	Journal of Mining and Metallurgy	Generalized Ellingham Diagrams for Utilization in Solid Oxide Fuel Cells	岸本 治夫、山地 克彦、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
14	平成21年 1月1日	JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE	Destabilization of Cubic Stabilized Zirconia Electrolyte Induced by Boron Oxide under Reducing Atmosphere	岸本 治夫、酒井 夏子、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、Manuel E. Brito、横川晴美
15	平成21年 1月1日	ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS	Deposition of Platinum Particles at LSM/ScSZ/air Three Phase Boundaries Using Platinum Current Collector	熊 岳平、山地 克彦、岸本 治夫、Manuel E. Brito、堀田 照久、横川 晴美
16	平成21年 2月1日	ELECTROCHEMISTRY	Reaction Process in the Ni-SDC Cermet Anode	岸本 治夫、山地 克彦、堀田 照久、熊 岳平、Manuel E. Brito、吉永 昌史、横川 晴美
17	平成21年 5月1日	ECS Transactions	Anode Degradation in SOFC: Fuel Impurity Effects on Nickel	岸本治夫、山地克彦、熊 岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
18	平成21年 5月1日	ECS Transactions	Evaluation of Impurity Levels in Real SOFC Stacks and	山地克彦、岸本治夫、熊 岳平、M. E. Brito、堀田

			Modules	照久, 横川晴美
19	平成 21 年 7 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES	Effects of impurities on the degradation and long-term stability for Solid Oxide Fuel Cells	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, 熊岳平, M.E. Brito, 横川晴美, 堀雄一, 宫地 達
20	平成 21 年 6 月 1 日	JOURNAL OF POWER SOURCES	Anomalous Oxide Scale Formation under Exposure of Sodium Containing Atmospheres for SOFC Alloy Interconnects	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, 熊岳平, M.E. Brito, 横川晴美
21	平成 21 年 10 月 1 日	ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS	Determination of Chromium Concentration in Solid Oxide Fuel Cell	堀田照久, 熊岳平, 吉永昌史, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
22	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	ACCELERATED DEGRADATION OF SOFC CATHODES BY Cr VAPORS	堀田照久, 熊岳平, 吉永昌史, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
23	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	Phase Transformation of ScSZ by Reduction of NiO-ScSZ Mixture	岸本治夫, 吉永昌史, 山地克彦, M.E. Brito, 堀田照久, 横川晴美
24	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	Effect of SO <sub>2</sub> Concentration on Degradation of Sm <sub>0.5</sub> Sr <sub>0.5</sub> Co <sub>03</sub>	山地克彦, 熊岳平, 吉永昌史, 岸本治夫, M.E. Brito, 堀田照久, 横川晴美, 秋草順, 川野光伸
25	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transactions	Effects of Impurities Contained in Coal-Derived Syngas on the Performance of SOFCs	倉本浩司, 鈴木善三, 岸本治夫, 山地克彦, 堀田照久, 熊岳平, M.E. Brito, 横川晴美
26	平成 21 年 10 月 25 日	Proceedings of MS&T09	Thermal cycling effects on oxide scales formation of Fe-Cr alloys for SOFCs	堀田照久, 吉永昌史, 岸本治夫, 山地克彦, 熊岳平, M.E. Brito, 横川晴美
27	平成 22 年 1 月 1 日	ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS	Electronic Conductivity of CeO <sub>2</sub> : Its Dependence on Oxygen Partial	熊岳平, 岸本治夫, 山地克彦, 吉永昌史, 堀田照久, M.E. Brito, 横川晴美
28	平成 22 年 2 月 14 日	Proceedings of TMS2010	Coating of Dense Oxide Layer on the Fe-Cr Alloys for Interconnects of Solid Oxide Fuel Cells	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
29	平成 22 年 4 月 1 日	ECS Transactions	Effects of Impurities on the Degradation of SOFC Stacks	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
30	平成 22 年 5 月 1 日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	Chromium Poisoning and Degradation at (La, Sr)MnO <sub>3</sub> and (La, Sr)FeO <sub>3</sub> Cathodes for Solid Oxide Fuel Cells	堀田照久, 熊岳平, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
31	平成 22 年 6 月 1 日	JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY	Sulfur Poisoning on SOFC Ni Anodes: Thermodynamic Analyses within Local Equilibrium Anode Reaction Model	岸本治夫, 堀田照久, 山地克彦, M.E. Brito, 熊岳平, 横川晴美
32	平成 22 年 6 月 14 日	JOURNAL OF FUEL CELL SCIENCE AND TECHNOLOGY	COATING OF SOFC METALLIC INTERCONNECTS AND THEIR OXYGEN DIFFUSIVITY	堀田照久, 岸本治夫, 山地克彦, M.E. Brito, 横川晴美
33	平成 22 年 6 月 29 日	Proceedings of the European SOFC Forum 2010	Interfacial Stability and Cation Diffusion across the LSCF/GDC Interface	出来学, M.E. Brito, 山地克彦, 岸本治夫, 吉永昌史, 趙度衡, 下之菌

				太郎, 堀田照久, 横川晴美
34	平成 22 年 6 月 29 日	Proceedings of the European SOFC Forum 2010	General Considerations on Degradation of SOFC Anodes and Cathodes Due to Impurities in Gases	横川晴美, 山地克彦, M. E. Brito, 岸本治夫, 堀田照久

課題 2-2) 化学的解析 (発表等)

ー研究発表・講演ー

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 7 月 2 日	8th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland) <Poster>	Electrochemical Performance of Anode-Supported SOFCs Operated with Higher Hydrogen Fuels.	Yuji KAWAZOE, Yuusuke SHIRATORI, Kohei ITOH and Kazunari SASAKI
2	平成 20 年 7 月 3 日	8th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland)	Impurity Poisoning of SOFCs: Towards Understanding Chemical Degradation Mechanisms.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Junya YAMAMOTO and Kaori DOBUCHI
3	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	Effect of water vapor on long-term SOFC cathode performance.	金善恵, 大嶋敏宏, 白鳥祐介, 伊藤衡平, 佐々木一成
4	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	バイオガス直接供給時の SOFC の発電特性	白鳥祐介, 大嶋敏宏, 佐々木一成
5	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	実燃料ガス供給時の SOFC の被毒耐久性	幸英治, 芳賀健吾, 白鳥祐介, 伊藤衡平, 佐々木一成
6	平成 20 年 7 月 5 日	第 45 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	炭化水素燃料供給時の SOFC アノード複合材料の発電特性	荒木研太, 山本隼也, 白鳥祐介, 伊藤衡平, 佐々木一成
7	平成 20 年 9 月 5 日	Advances in Ceramic Science and Engineering (Switzerland) <Invited>	Fuel Cell Electrode Materials with Durability and Flexibility.	Kazunari SASAKI
8	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC の化学的耐久性に関する研究	佐々木一成, 芳賀健吾, 荒木研太, 幸英治, 川添雄司, 瓜生智愛, 金善恵, 土淵香織, 山本隼也, 周致霆, 的場武, 森博, 大嶋敏宏, 野尻能弘, 白鳥祐介, 伊藤衡平
9	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京) <ポスター>	炭化水素燃料供給時の硫黄系不純物による炭素析出促進効果に関する研究	川添雄司, 幸英治, 白鳥祐介, 伊藤衡平, 佐々木一成
10	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京) <ポスター>	アノード支持型 SOFC の硫黄被毒耐久性	瓜生智愛, 土淵香織, 芳賀健吾, 白鳥祐介, 伊藤衡平, 佐々木一成
11	平成 20 年 12 月 19 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京)	遷移金属添加ナノ構造制御 Ni アノードの電極特性と長時間被毒耐久性	荒木研太, 山本隼也, 芳賀健吾, 野尻能弘, 白鳥祐介, 伊藤衡平, 佐々木一成
12	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会 (京都)	固体酸化物形燃料電池の被毒耐久性	佐々木一成
13	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会 (京都) <ポスター>	アノード支持型 SOFC における硫化水素被毒挙動	瓜生智愛, 土淵香織, 芳賀健吾, 白鳥祐介, 伊藤衡平, 佐々木一成
14	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会 (京都) <ポスター>	SOFC カソードの被毒耐久性: SO <sub>2</sub> と水蒸気の影響	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari

				SASAKI
15	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム (東京)	固体酸化物形燃料電池の化学的耐久性に関する研究	佐々木一成、芳賀健吾、瓜生智愛、荒木研太、幸英治、川添雄司、山本隼也、金善恵、周致霆、的場武、大嶋敏宏、豊田美沙、野尻能弘、白鳥祐介、伊藤衡平、古山通久、横本克巳
16	平成 21 年 7 月 11 日	第 46 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	SOFC カソードの被毒耐久性:SO <sub>2</sub> と水蒸気の影響	劉潤茹、金善恵、大嶋敏宏、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
17	平成 21 年 7 月 11 日	第 46 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	固体酸化物形燃料電池の多様な微量不純物による被毒効果評価	芳賀健吾、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
18	平成 21 年 7 月 11 日	第 46 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	固体酸化物形燃料電池における交換電流密度の作動条件依存性	米倉嵩博、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
19	平成 21 年 7 月 30 日	日本学術振興会素材プロセッシング第 69 委員会第 2 分科会 (新素材関連技術) 第 63 回研究会 (東京) <依頼講演>	SOFC の被毒劣化機構とデータベース化	佐々木 一成
20	平成 21 年 9 月 4 日	トークショー・イン・九州 2009 (大分) <ポスター>	燃料電池高機能化・高耐久化のための実践的計算化学	小倉鉄平、石元孝佳、南雲亮、古山通久
21	平成 21 年 9 月 12 日	第 22 回九州電子顕微鏡技術研究会 (福岡) <特別講演>	水素エネルギー技術の現状と電顕研究への期待	佐々木一成、周致霆
22	平成 21 年 9 月 14 日	(社) 日本機械学会 2009 年度年次大会 燃料電池・水素技術の実用化に向けて (岩手)	高耐久化に向けた燃料電池電極材料の研究開発動向	佐々木 一成
23	平成 21 年 9 月 17 日	日本機械学会第 303 回講習会「新エネルギーシステムのフロンティア技術を学ぶ」-燃料電池・太陽電池・2 次電池の動向と最新技術-(大阪) <依頼講演>	水素利用と燃料電池について	佐々木一成
24	平成 21 年 10 月 1 日	(社) 日本簡易ガス協会講演会 (福岡) <依頼講演>	水素エネルギー時代における簡易ガス事業への期待	佐々木一成
25	平成 21 年 10 月 6 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Vienna, Austria)	Chemical Degradation and Poisoning Mechanism of Cermet Anodes in Solid Oxide Fuel Cells.	Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
26	平成 21 年 10 月 6 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Vienna, Austria) <Poster>	Performance and Long-term Durability of Nanostructured Ni Anodes Doped with Transition Metals prepared by Spray Mist Dryer.	Kenta ARAKI, Junya YAMAMOTO, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
27	平成 21 年 10 月 6 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (Vienna, Austria) <Poster>	Theoretical Study for Properties of SOFC Anode Using Three-Dimensional Porous Structure Simulator.	Teppei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO and Michihisa KOYAMA
28	平成 21 年 10 月 8 日	216th ECS Meeting with 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells, (Vienna, Austria) <Poster>	The Influence of Water Vapor and SO <sub>2</sub> on the Durability of Solid Oxide Fuel Cell.	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
29	平成 21 年 10 月 20 日	第 4 回「九大・北大 合同フロンティア・セミナー」(東京)	燃料電池を核にした水素エネルギー技術の現状と将来展望～究極の脱炭素社会実現に向けた九州大学の挑戦	佐々木一成

			～	
30	平成 21 年 10 月 23 日	水素エネルギー先端技術展 2009 九大・産総研専門セミナー 九州大 学・産総研における最新の研究動 向(北九州)	燃料電池高耐久化に向けた 電極材料研究	佐々木一成
31	平成 21 年 10 月 21 日 ～23 日	水素エネルギー先端技術展 2009(北九州)〈ポスター〉	燃料電池高機能化・高耐久 化のための実践的計算化学	小倉鉄平、石元孝佳、南 雲亮、古山通久
32	平成 21 年 10 月 30 日	「水素・燃料電池ワークショップ in Kitakyushu」 第 2 回化学工学 3 支部合同北九州大会(北九州) 〈依頼講演〉	水素科学のための理論手法 と水素・燃料電池への応用	古山通久
33	平成 21 年 11 月 9 日	The 4th Asian Conference on Electrochemical Power Sources(Taipei, Taiwan) 〈Invited〉	Chemical durability of SOFCs.	Kazunari SASAKI
34	平成 21 年 11 月 12 日	日本コンピューター化学会 2009 秋 季大会(仙台) 〈ポスター〉	燃料電池電極における硫黄 被毒に関する量子化学的解 析	小倉鉄平、石元孝佳、南 雲亮、古山通久
35	平成 21 年 11 月 24 日	大阪科学技術センター燃料電池部 会第 190 回定例部会(福岡)〈依頼 講演〉	SOFC の被毒耐久性に関する 研究	佐々木一成
36	平成 21 年 11 月 24 日	大阪科学技術センター燃料電池部 会第 190 回定例部会(福岡)〈依頼 講演〉	九州大学・産総研における 水素エネルギー研究への取 り組み	佐々木一成
37	平成 21 年 12 月 2 日	日本化学会産学交流フォーラム 2009 環境・資源・エネルギーの 将来展望と化学技術の貢献(東京) 〈依頼講演〉	水素エネルギー技術の現状 と将来展望	佐々木一成
38	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)〈ポ スター〉	SOFC アノード複合材料の 被毒耐久性	荒木研太、山本隼也、白 鳥祐介、伊藤衡平、佐々 木一成
39	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)〈ポ スター〉	SOFC の硫黄系不純物被毒 における炭化水素との複合 被毒効果	幸英治、芳賀健吾、白鳥 祐介、伊藤衡平、佐々木 一成
40	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)〈ポ スター〉	Influence of water vapor and SO <sub>2</sub> on the long-term durability of SOFC cathodes. (SOFC カソード の被毒耐久性:水蒸気と SO <sub>2</sub> の影響)	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
41	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)〈ポ スター〉	量子化学計算を用いた SOFC 燃料極における硫黄被毒解 析	小倉鉄平、石元孝佳、南 雲亮、古山通久
42	平成 21 年 12 月 18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会(東京)	SOFC の被毒耐久性に関す る研究～化学的劣化機構の 解明を目指して～	佐々木一成、芳賀健吾、 荒木研太、幸英治、米倉 嵩博、劉潤茹、金善恵、 的場武、大嶋敏宏、森博、 瓜生智愛、永井美徳、周 致靈、豊田美沙、野尻能 弘、小倉鉄平、白鳥祐介、 伊藤衡平、古山通久、横 本克巳
43	平成 22 年 2 月 4 日	Fuel Cell Symposium “Alternative Fuel Cell Materials and Devices” in International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka)	Alternative Electrode Materials for PEFCs and SOFCs: Perspectives and case studies.	Kazunari SASAKI
44	平成 22 年 2 月 4 日	Fuel Cell Symposium “Alternative Fuel Cell	Computational Chemistry for Fuel Cell Materials	Michihisa KOYAMA

		Materials and Devices” in International Hydrogen Energy Development Forum 2010(Fukuoka)	Design: Fundamentals and Applications to Industrial Problems.	
45	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010, Fukuoka<Poster>	Co-poisoning Effects by Sulfur Impurities and Hydrocarbons in SOFCs.	Eiji YUKI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
46	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010, Fukuoka<Poster>	Influence of Operating Condition on Exchange Current Density for SOFC Electrode Reactions.	Takahiro YONEKURA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
47	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010(Fukuoka) <Poster>	Performance and Long-term Durability of Nanostructured Ni Anodes Doped with Transition Metals Prepared by Spray Mist Dryer.	Kenta ARAKI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
48	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka) <Poster>	The Effect of Water Vapor and SO <sub>2</sub> on the Durability of SOFC Cathodes.	Run Ru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
49	平成 22 年 2 月 4 日	International Hydrogen Energy Development Forum 2010 (Fukuoka) <Poster>	Quantum Chemical Analysis for SOFC Anode Poisoning.	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO and Michihisa KOYAMA
50	平成 22 年 3 月 3~5 日	FCEXP02010 水素・燃料電池 研究発表大会~FC アカデミック フォーラム~(東 京) (口頭は 3 日のみ、ポスターは 全期間)	燃料電池高耐久化のための 実践的計算化学	古山通久、小倉鉄平、南 雲亮、石元孝佳
51	平成 22 年 3 月 19 日	平成 21 年度日本伝熱学会九州支部 講演会(福岡) <依頼講演>	水素エネルギー社会の実現 に向けた現状と展望につい て：世界の動向と九州グル ープの取り組み	佐々木一成
52	平成 22 年 3 月 27 日	日本化学会第 90 春季年会(大阪) <基調講演>	燃料電池を核とした水素エ ネルギー技術の現状と将来 展望	佐々木一成
53	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会(富山)	SOFC の化学的劣化機構に関 する研究	佐々木一成、芳賀健吾、 幸英治、荒木研太、米倉 嵩博、劉潤茹、大嶋敏宏、 瓜生智愛、永井美德、白 鳥祐介、伊藤衡平、古山 通久、横本克巳
54	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会(富山)	量子化学計算による SOFC 硫黄被毒劣化メカニズム解 析	小倉鉄平、石元孝佳、南 雲亮、古山通久
55	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会(富山)<ポ スター>	固体酸化物形燃料電池電極 における交換電流密度の作 動条件依存性	米倉嵩博、白鳥祐介、伊 藤衡平、佐々木一成
56	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会(富山) < ポスター>	SOFC の被毒耐久性における 燃料不純物種依存性	峯松大輔、芳賀健吾、野 尻能弘、白鳥祐介、伊藤 衡平、佐々木一成
57	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会(富山) <ポ スター>	SOFC 硫黄被毒の作動条件依 存性	芳住知勇、白鳥祐介、伊 藤衡平、佐々木一成
58	平成 22 年 5 月 19、 20 日	第 17 回燃料電池シンポジウム(東 京) <ポスター>	量子化学計算を用いた SOFC 燃料極における硫黄被毒ミ クロレベル解析	小倉鉄平、石元孝佳、古 山通久
59	平成 22 年 6 月 3 日	第 26 回化学反応討論会(広島) <ポ スター>	Adsorbed Sulfur Role for Hydrogen & Methane Dissociation on a Nickel	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Michihisa KOYAMA

			Surface	
60	平成 22 年 6 月 23 日	13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis (Miyagi) <Poster>	First Principles study for Sulfur Poisoning on an SOFC Anode	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA
61	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland) <Poster>	Water vapor and SO <sub>2</sub> poisoning effect on the long-term durability of SOFC cathodes.	Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA and Kazunari SASAKI
62	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum, Lucerne, Switzerland <Poster>	Sulfur Poisoning of SOFCs: Dependence on operational parameters.	Tomoo YOSHIKUNI, Eiji YUKI, Yusuke SHIRATORI and Kazunari SASAKI
63	平成 22 年 6 月 30 日	9th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland) <Poster>	Computational Study for Sulfur Poisoning on a SOFC Anode Using Density Functional Theory.	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA
64	平成 22 年 7 月 2 日	9th European SOFC Forum (Lucerne, Switzerland)	Chemical Durability of SOFCs: Influence of Impurities on Long-term Performance.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Daisuke MINEMATSU, Tomoo YOSHIKUNI, Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Michihisa KOYAMA and Katsumi YOKOMOTO
65	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	Durability of SOFC cathode under SO <sub>x</sub> poisoning.	Seon Hye KIM, 大嶋敏宏、白鳥祐介、佐々木一成
66	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	固体酸化物形燃料電池電極における交換電流密度の作動条件依存性	米倉嵩博、野尻能弘、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
67	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	SOFC の被毒耐久性における燃料不純物種依存性～アルカリ金属およびアルカリ土類金属の化合物を中心として～	峯松大輔、芳賀健吾、野尻能弘、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
68	平成 22 年 7 月 10 日	第 47 回化学関連支部合同九州大会 (北九州) <ポスター>	SOFC 硫黄被毒の作動条件依存性	芳住知勇、白鳥祐介、伊藤衡平、佐々木一成
69	平成 22 年 7 月 23 日	6th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (Hokkaido)	Density Functional Theory Studies of Sulfur Poisoning in Solid Oxide Fuel Cells: Role of Surface & Subsurface Sulfur atoms	Tepei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA

— 論文等 —

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 8 月	J. of Fuel Cell Sci. and Technol., Vol. 5, Iss. 3, 031212-1~8	Thermochemical Stability of Sulfur Compounds in Fuel Cell Gases Related to Fuel Impurity Poisoning.	Kazunari SASAKI
2	平成 20 年 9 月	Solid State Ionics, Vol. 179, Iss. 27-32, pp. 1427-1431	Poisoning of SOFC Anodes by Various Fuel Impurities.	Kengo HAGA, Shuichi ADACHI, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
3	平成 20 年 9 月	J. Electrochem. Soc., Vol. 155, Iss. 12, pp. B1233-B1239	Chlorine Poisoning of SOFC Ni-Cermet Anodes.	Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Kazunari SASAKI
4	平成 21 年 4 月	セラミックス、Vol. 44, pp. 287-290	SOFC 実用化に向けた長期安定性と化学的劣化機構の研究	佐々木一成、芳賀健吾

5	平成 21 年 9 月	エレクトロニクス実装学会誌、 Vol. 12, No. 6, pp. 505-510	燃料電池を核にした水素エ ネルギー技術と材料・デバ イス	佐々木一成、芳賀健吾
6	平成 21 年	ECS Transactions, 25(2), pp. 2031-2038	Chemical Degradation and Poisoning Mechanism of Cermets Anodes in Solid Oxide Fuel Cells.	Kengo HAGA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
7	平成 21 年	ECS Transactions, 25(2), pp. 2039-2048	Performance and Long-term Durability of Nanostructured Ni Anodes Doped with Transition Metals prepared by Spray Mist Dryer.	Kenta ARAKI, Junya YAMAMOTO, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
8	平成 21 年	ECS Transactions, 25(2), pp. 2859-2866	The Influence of Water Vapor and SO <sub>2</sub> on the Durability of Solid Oxide Fuel Cells.	Runru LIU, Seon Hye KIM, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
9	平成 22 年	J. of Fuel Cell Science and Technol., Vol. 7, pp. 021011-1~6	Degradation of Solid Oxide Fuel Cell Cathodes Accelerated at a High Water Vapor Concentration.	Seon Hye KIM, K. B. SHIM, C. S. KIM, Jyh-Tyng CHOU, Toshihiro OSHIMA, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO and Kazunari SASAKI
10	平成 22 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-51~7-60.	Chemical Durability of SOFCs: Influence of Impurities on Long-term Performance.	Kazunari SASAKI, Kengo HAGA, Daisuke MINEMATSU, Tomoo YOSHIKAZUMI, Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Kohei ITO, Michihisa KOYAMA and Katsumi YOKOMOTO
11	平成 22 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-148~7-155.	Water vapor and SO <sub>2</sub> poisoning effect on the long-term durability of SOFC cathodes.	Run Ru LIU, Yusuke SHIRATORI, Toshihiro OSHIMA and Kazunari SASAKI
12	平成 22 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-77~7-85.	Sulfur Poisoning of SOFCs: Dependence on operational parameters.	Tomoo YOSHIKAZUMI, Eiji YUKI, Yusuke SHIRATORI and Kazunari SASAKI
13	平成 22 年 6 月	Proceedings of 9th European Solid Oxide Fuel Cell Forum, pp. 7-128~7-134.	Computational Study for Sulfur Poisoning on a SOFC Anode Using Density Functional Theory	Teppei OGURA, Takayoshi ISHIMOTO, Ryo NAGUMO, Michihisa KOYAMA

### 課題 2-3) 機械的解析

#### －研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 9 月 16-18 日	日本機械学会 M&M2008 材料力学 カンファレンス (草津)	固体酸化燃料電池用セラ ミックスの機械的特性に及 ぼす還元処理の影響に関す る研究	武山陽平, 佐藤一永, 川 田達也, 橋田俊之, 水崎 純一郎
2	平成 20 年 9 月 17-20 日	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium (Pohang, Korea)	Reaction kinetics and electrochemical stress of SOFC gas electrodes	Junichiro Mizusaki, Keiji Yashiro, Kazuhisa sato
3	平成 20 年 10 月 14 日	Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science 2008 (PRIME 2008) (Honolulu,	Relationship between the reaction area and chemical capacitance in Ni-GDC cermet anode for	H. Watanabe, T. Nakamura, A. Unemoto, M. Sase, K. Amezawa, T. Kawada

		Hawaii, USA)	SOFC	
4	平成 20 年 10 月 23 日	第 1 回機能性酸化物エレクトロ ニクス研究会 (大阪)	Current status of SOFC technology and the functional oxides: electrode reaction and defect chemical nature	水崎純一郎
5	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC の機械的信頼性向上の ための基礎研究	川田達也, 佐藤一永, 古 山通久, 井口文匡, 八代 圭司, 雨澤浩史, 寺田賢 二郎, 湯上浩雄, 橋田俊 之, 水崎純一郎
6	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC の信頼性評価のための 機械的解析	佐藤一永, 八代圭司, 井 口史匡, 小山通久, 雨澤 浩史, 寺田賢二郎, 湯上 浩雄, 橋田俊之, 水崎純 一郎, 川田達也
7	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京)	セラミックス電解質・電極 材料の導電性と応力場: 特 に安定化ジルコニアとカソ ード酸化物材料について	泉徹, 鳴海涼, 佐藤一 永, 八代圭司, 橋田俊 之, 水崎純一郎
8	平成 20 年 3 月 15 日	日本機械学会東北支部第 43 期総 会講演会 (仙台)	燃料極支持型 SOFCs 用セリ ア系電解質薄膜の作製と評 価	丁常勝, 林宏飛, 佐藤一 永, 傳井美史, 井口真仁, 橋田俊之
9	平成 20 年 3 月 15 日	日本機械学会東北支部第 43 期総 会講演会 (仙台)	ゲル燃焼法を用いた SOFCs 用 LSCF パウダーのナノ作 製に関する研究	林宏飛, 丁常勝, 佐藤一 永, 傳井美史, 井口真仁, 橋田俊之
10	平成 21 年 3 月 19 日	第 51 回固体イオニクス研究会 (仙台)	SOFC 電極における” 電気化 学反応” と歪み場形成ーバ トラーボルマー式の再検証 が導く電極での化学反応律 速と酸化物の不定比組成が 生み出す場ー	水崎純一郎
11	平成 21 年 3 月 19 日	第 51 回固体イオニクス研究会, (2009), 仙台	SOFC の機械特性と固体イオ ニクス	井口史匡
12	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会 (京都)	Ni サーマット電極の有効反 応場解明と初期劣化現象	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨 澤浩史, 川田達也
13	平成 21 年 6 月 5 日	資源・素材学会東北支部平成 21 年度春季大会 (仙台)	燃料支持型 SOFC における 電気・機械的性能に及ぼす 燃料枯れの影響	陳韻吉, 佐藤一永, 橋田 俊之
14	平成 21 年 9 月 6-9 日	The 6th Petite Workshop on Defect Chemical Nature of Energy Materials (Damyang, Korea)	Determinant factor of oxygen nonstoichiometry for the perovskite-type oxide with mixed transition metals on B-site	Junichiro Mizuskaki, Masatsugu Oishi, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro
15	平成 21 年 9 月 6-9 日	The 6th Petite Workshop on Defect Chemical Nature of Energy Materials (Damyang, Korea)	Defect chemical approach to the research on integrity of interfaces in SOFC	T. Kawada, H. Watanabe, A Unemoto, K. Sato, K. Amezawa, M. Kurumatani, K. Terada
16	平成 21 年 9 月 11 日	2009 年電気化学会秋季大会 (東 京)	Ni-GDC サーマット燃料極の 微細構造と有効反応場, 劣 化モート・の関係	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨 澤浩史, 川田達也
17	平成 21 年 9 月 10-11 日	2009 年電気化学会秋季大会 (東 京)	高温 X 線回折測定による La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> NiO <sub>4+δ</sub> の結晶構 造解 析	中村崇司, 八代圭司, 佐藤一永, 水崎純一郎
18	平成 21 年 9 月 10-11 日	2009 年電気化学会秋季大会 (東 京)	燃料電池酸素極用ペロブス カイト型導電性酸化物 La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>1-y</sub> Fe <sub>y</sub> O <sub>3-δ</sub>	福田泰広, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
19	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会 (盛岡)	ナノインテンテーション 法による SOFC 電極/電解	伊藤英彬, 佐藤一永, 宇 根本篤, 雨澤浩史, 川田

			質界面の機械的特性評価	達也
20	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会 (盛岡)	共振法による SOFC 電解質 材料の機械的特性評価	櫛拓人, 佐藤一永, 宇根 本篤, 雨澤浩史, 川田達 也
21	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会 (盛岡)	AE 法と電気化学的手法を併 用した固体酸化物燃料電池 の劣化挙動評価	佐藤一永, 熊田圭吾, 橋田俊之, 水崎純一郎
22	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会 (盛岡)	SOFC 構成材料における不定 比性と機械特性の相関	中村崇司, 武山陽平, 福田泰広, 中山翔太, 八代圭司, 佐藤一永, 橋田俊之, 水崎純一郎
23	平成 21 年 9 月 13-16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会 (盛岡)	SOFC 構成セラミックスの機 械的特性に及ぼす酸素ポテ ンシャルの影響に関する研 究	武山陽平, 佐藤一永, 川 田達也, 橋田俊之, 水崎 純一郎
24	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大 会, 盛岡	雰囲気制御下でのセリア系 固体電解質のクリープと電 気化学特性	湯上浩雄, 井口史匡, 佐 藤一永, 橋田俊之
25	平成 21 年 9 月 18 日	化学工学会・第 41 回秋季大会(広 島)	固体酸化物形燃料電池にお ける機械特性の分子シミュ レーション	松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司
26	平成 21 年 9 月 29 日	第 104 回触媒討論会(宮崎)	分子シミュレーションを用 いた固体酸化物形燃料電池 (SOFC)における機械特性	松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司
27	平成 21 年 10 月 5 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Investigation of High Temperature Elastic Modulus and Internal Friction of SOFC Electrolytes Using Resonance Method	Takuto Kushi, Kazuhisa Sato, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
28	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Investigation on Oxygen Potential Distribution in a ZrO <sub>2</sub> -Based Solid Electrolyte by Using In-Situ Micro XAS Technique	K. Amezawa, T. Ina, Y. Orikasa, A. Unemoto, H. Watanabe, F. Iguchi, Y. Terada, T. Fukutsuka, T. Kawada, H. Yugami, Y. Uchimoto
29	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Classification of Mechanical Failures in SOFC and Strategy for Evaluation of the Operational Margins	T. Kawada, S. Watanabe, S. Hashimoto, T. Sakamoto, A. Unemoto, M. Kurumatani, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, K. Terada, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki
30	平成 21 年 10 月 6 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Electrochemical Analysis on Degradation in Ni-GDC Cermet Anode for SOFC	Hidetaka Watanabe, Atsushi Unemoto, Koji Ameszawa, Tatsuya Kawada
31	平成 21 年 10 月 4-9 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	High Temperature Defect Equilibrium, Solid State Properties and Crystal Structure of La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>1-y</sub> Fe <sub>y</sub> O <sub>3-δ</sub> (y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8) for Cathode of Solid Oxide Fuel Cells	Yasuhiro Fukuda, Shinichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
32	平成 21 年 10 月 4-9	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	High-Temperature Defect and Crystal Structure of	S. Nakayama, S. Hashimoto, K. Sato,

	日	(SOFC11) (Vienna, Austria)	Perovskite Type Oxide Ion Conductor La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> Mg <sub>0.15</sub> Co <sub>0.05</sub> O <sub>3-δ</sub>	K. Yashiro, K. Amezawa, J. Mizusaki
33	平成 21 年 10 月 4-9 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC11) (Vienna, Austria)	Oxygen Nonstoichiometry, Crystal Structure and Mechanical Properties of La <sub>2</sub> NiO <sub>4+δ</sub>	T. Nakamura, Y. Takeyama, S. Watanabe, K. Yashiro, K. Sato, T. Hashida, J. Mizusaki
34	平成 21 年 10 月 25-29 日	Materials Science&Technology 2009 Conference&Exhibition (Pennsylvania, USA)	B-Site Cation Mixing Effects on Chemical Stability and Defect Equilibrium of LaCrO <sub>3</sub> Based Perovskite-Type Solid Solutions	Junichiro Mizusaki, Masatsugu Oishi, Keiji Yashiro
35	平成 21 年 10 月 25-29 日	Materials Science&Technology 2009 Conference&Exhibition (Pennsylvania, USA)	Evaluation of Degradation Modes of a SOFC Electrode by Impedance Spectroscopy	T. Kawada, H. Watanabe, A. Unemoto, K. Amezawa
36	平成 21 年 10 月 27 日	とうほく 6 県新技術・新工法展示商談会 (豊田)	マルチフィジックス計算科学による燃料電池の性能・劣化解析と理論設計	久保百司
37	平成 21 年 10 月 27 日	とうほく 6 県新技術・新工法展示商談会 (豊田)	固体酸化物形燃料電池の現状と実用化に向けた取り組み	雨澤浩史
38	平成 21 年 11 月 10 日	第 5 回学際領域における分子イメージングフォーラム (調布)	特殊環境下におけるその場 X 線吸収分光法—固体酸化物形燃料電池材料の評価	雨澤浩史
39	平成 21 年 11 月 12 日	第 77 回 SOFC 研究会 (東京)	SOFC の信頼性・耐久性向上に向けた機械的解析	佐藤一永
40	平成 21 年 11 月 12 日	日本コンピュータ化学会 2009 秋季年会 (仙台)	コンピュータシミュレーションを用いた固体酸化物形燃料電池 (SOFC) における機械特性	松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司
41	平成 21 年 12 月 7 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	その場マイクロ X 線吸収分光法によるジルコニア系固体電解質における酸素ポテンシャル分布の評価	雨澤浩史, 伊奈稔哲, 折笠有基, 宇根本篤, 渡邊秀貴, 井口史匡, 福塚友和, 川田達也, 寺田靖子, 湯上浩雄, 内本喜晴
42	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	B サイト混合系ペロブスカイト型導電性酸化物の高温欠陥平衡・物性・構造	福田泰広, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
43	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	ペロブスカイト型酸化物イオン導電体 La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> Mg <sub>0.15</sub> Co <sub>0.05</sub> O <sub>3-δ</sub> の高温欠陥平衡と物性	中山翔太, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 雨澤浩史, 水崎純一郎
44	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	環境制御型走査電子顕微鏡 (ESEM) による固体酸化物燃料電池ガス電極の疑似運転条件下における動的観測	呉屋祐喜, 八代圭司, 佐藤一永, 水崎純一郎
45	平成 21 年 12 月 7-9 日	第 35 回固体イオニクス討論会 (大阪)	層状ペロブスカイト酸化物 Ln <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> NiO <sub>4+δ</sub> (Ln=La, Nd) の酸素不定比性と結晶構造変化	中村崇司, 八代圭司, 佐藤一永, 水崎純一郎
46	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 電解質材料の高温・制御雰囲気下における機械的特性評価	櫛拓人, 佐藤一永, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也, 松山健男, 中村美穂, 島崎智実, 久保百司
47	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 構成材料の破壊特性評価法の確立	渡辺智, 武山陽平, 八代圭司, 雨澤浩史, 橋田俊

				之, 川田達也, 坂本正, 橋本真一, 佐藤一永, 水崎純一郎, 井口史匡
48	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 作動時の電解質におけるポテンシャル分布と応力分布	車谷麻緒, 永井将文, 井口史匡, 湯上浩雄, 寺田賢二郎, 川田達也
49	平成 21 年 12 月 18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC の信頼性・耐久性向上のための機械的解析	雨澤浩史, 佐藤一永, 車谷麻緒, 井口史匡, 島崎智実, 橋本真一, 渡辺智, 坂本正, 宇根本篤, 八代圭司, 寺田賢二郎, 橋田俊之, 水崎純一郎, 湯上浩雄, 久保百司, 川田達也
50	平成 21 年 12 月 17-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会 (東京)	SOFC 用材料の結晶構造と酸素不定比性の研究 -La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> Mg <sub>0.15</sub> Co <sub>0.05</sub> O <sub>3-δ</sub> と La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>1-x</sub> FexO <sub>3-δ</sub> について-	橋本真一, 福田泰広, 中山翔太, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
51	平成 22 年 1 月 12 日	The Fourth General Meeting of Asian Consortium on Computational Materials Science - Virtual Organization (Sendai, Japan)	Theoretical Study on Mechanical Property of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) based on Molecular Dynamics Simulation	T. Matsuyama, M. Nakamura, T. Shimazaki, M. Kubo
52	平成 22 年 3 月 5 日	第 5 回固体イオニクスセミナー (岩沼)	電気化学的解析を用いた固体酸化物形燃料電池用 Ni-サーメット燃料極における劣化挙動評価	渡邊秀貴, 宇根本篤, 雨澤浩史, 川田達也
53	平成 22 年 3 月 13 日	日本機械学会東北支部第 44 期総会講演会 (仙台)	燃料極支持型 SOFC の性能特性に及ぼす GDC 電解質膜厚さの影響	丁常勝, 傳井美史, 井口真仁, 佐藤一永, 橋田俊之
54	平成 22 年 3 月 24-25 日	7th SYMPOSIUM ON FUEL CELL MODELING AND EXPERIMENTAL VALIDATION, Morges (Lausanne, Switzerland)	From Electrochemical to Mechanical Modeling of SOFC under Operation	T. Kawada, M. Kurumatani, K. Terada, S. Watanabe, S. Hashimoto, T. Sakamoto, A. Unemoto, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki
55	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)	固体酸化物形燃料電池における粒界が機械特性に与える影響の計算科学シミュレーション	松山健男, 中村美穂, 尾澤伸樹, 島崎智実, 久保百司
56	平成 22 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)	La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>1-x</sub> FexO <sub>3-δ</sub> の高温における熱的安定性と酸素不定比性	橋本真一, 福田泰広, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
57	平成 22 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)	SOFC 電極材料の疑似運転下における微細構造観察	八代圭司, 呉屋祐喜, 佐藤一永, 水崎純一郎
58	平成 22 年 3 月 29-31 日	電気化学会第 77 回大会 (富山)	液相法による LaGaO <sub>3</sub> 系ペロブスカイト型酸化物の 1000°C 以下における生成相	モハマド アシュロル, 中山翔太, 橋本真一, 佐藤一永, 八代圭司, 水崎純一郎
59	平成 22 年 4 月 19 日	SOFC Symposium on Impacts of Analyses on Microstructures of SOFC Electrodes (Tokyo, Japan)	Multi-scale electro-chemo-mechanical simulation of a single cell under SOFC operation	K. Terada, T. Kawada, K. Amezawa, K. Yashiro, K. Sato, J. Mizusaki, T. Hashida, H. Yugami,

				F. Iguchi, M. Kubo, A. Unemoto, H. Watanabe, T. Ushida, H. Aoyagi, M. Kurumatani
60	平成 22 年 5 月 2-6 日	The 12th Asian Conference on Solid State Ionics (ACSSI-12) (Wuhan, China)	Kinetics of high temperature gas electrode reaction on solid oxide electrolyte	Junichiro Mizusaki
61	平成 22 年 5 月 18 日	IV European Congress on Computational Mechanics (Paris, France)	Electro-chemo-mechanical analysis of PEN structure under sofc operation	K. Terada, M. Kurumatani, T. Ushida, H. Aoyagi, T. Kawada, K. Sato, H. Watanabe
62	平成 22 年 5 月 20 日	日本コンピュータ化学会 2010 春季年会 (東京)	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) における機械特性の粒界影響についての分子動力学計算	松山健男, 中村美穂, 尾澤伸樹, 島崎智実, 久保百司
63	平成 22 年 5 月 28 日	第 15 回計算工学講演会 (福岡)	固体酸化物形燃料電池の物理・電気化学連成マルチスケール解析	青柳広樹, 牛田貴士, 車谷麻緒, 寺田賢二郎, 川田達也, 雨澤浩史, 八代圭司, 佐藤一永, 宇根本篤, 渡邊秀貴
64	平成 22 年 6 月 14 日	the ASME 2010 Eighth International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference, (New York, USA)	High temperature mechanical properties of Ni-YSZ cermets for SOFC anode	Fumitada Iguchi, Hiromichi Kitahara, Hiroo Yugami
65	平成 22 年 6 月 15 日	The ASME 2010 8th International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference (New York, USA)	Evaluation of Mechanical Properties of SOFC Components by Nanoindentation Tests	H. Ito, K. Sato, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
66	平成 22 年 6 月 15 日	The ASME 2010 8th International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference (New York, USA)	Development of In-Situ Mechanical Testing Method for SOFC Components	Satoshi Watanabe, Kazuhisa Sato, Yohei Takeyama, Fumitada Iguchi, Keiji Yashiro, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, Tatsuya Kawada
67	平成 22 年 6 月 23 日	13th International Conference on Theoretical Aspects of Catalysis (Sendai, Japan)	Molecular Dynamics Simulation for the Mechanical Property of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)	T. Matsuyama, M. Nakamura, N. Ozawa, T. Shimazaki, M. Kubo

—論文—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年	Materials Science and Engineering: B, 148, pp. 73-76 (2008)	Preparation of SDC electrolyte thin films on dense and porous substrates by modified sol-gel route	Hongfei Lin, Changsheng Ding, Kazuhisa Sato, Yoshifumi Tsutai, Hiromichi Ohtaki, Mabito Iguchi, Chiharu Wada, Toshiyuki Hashida
2	平成 20 年	World Journal of Engineering, 5, pp. 344-345 (2008)	Synthesis of perovskite LSCF powders by citrate gel-combustion for SOFCs applications	Hongfei Lin, Changsheng Ding, Kazuhisa Sato, Yoshifumi Tsutai, Mabito Iguchi, Toshiyuki Hashida
3	平成 20 年	AIP Conference Proceedings, 987, pp. 30-34 (2008)	Synthesis of NiO-Ce0.8Sm0.2O1.9 composite nanopowders for solid oxide fuel cells	Changsheng Ding, Hongfei Lin, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida

4	平成 20 年	AIP Conference Proceedings, 987, pp. 35-38 (2008)	Synthesis and characterization of La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Co <sub>0.8</sub> Fe <sub>0.2</sub> O <sub>3</sub> nanoparticles for intermediate-low temperature solid oxide fuel cell cathodes	Changsheng Ding, Hongfei Lin, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida
5	平成 20 年	AIP Conference Proceedings, 987, pp. 54-57 (2008)	Ni-GDC anode-supported ceria electrolyte film and its application in solid oxide fuel cells	Hongfei Lin, Changsheng Ding, Keigo Kumada, Kazuhisa Sato, Yoshifumi Tsutai, Chiharu Wada, Toshiyuki Hashida
6	平成 20 年	AIP Conference Proceedings, 987, pp. 163-166 (2008)	Application of AE technique in properties evaluation of anode-supported ceria electrolyte thin film-based SOFCs	Hongfei Lin, Changsheng Ding, Keigo Kumada, Kazuhisa Sato, Yoshifumi Tsutai, Chiharu Wada, Toshiyuki Hashida
7	平成 20 年	Proceedings of 6th international fuel cell science, engineering & technology conference (ASME SOFC-VI), pp Fuelcell2008-65206 (2008)	Mechanical properties of ceria based oxygen ionic conductors for SOFC	Hiroo Yugami, Fumitada Iguchi, Kazuhisa Sato, Toshio Hashida
8	平成 21 年	Proceedings of Fuel Cell 2009-85238; pp. 671-676 (2008)	Evaluation Method for Mechanical Performance of Solid Oxide Fuel Cell Under Simulated Operating Conditions	Kazuhisa Sato, Knichi Fukui, Masayuki Numao, Toshiyuki Hashida, and Junichiro Mizusaki
9	平成 21 年	Solid State Ionics, 180, pp. 1220-1225 (2009)	Effect of Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> addition on the conductivity and elastic modulus of (CeO <sub>2</sub> ) <sub>1-x</sub> (YO <sub>1.5</sub> ) <sub>x</sub>	Kazuhisa Sato, Ken Suzuki, Keiji Yashiro, Tatsuya Kawada, Hiroo Yugami, Toshiyuki Hashida, Alan Atkinson, Junichiro Mizusaki
10	平成 21 年	セラミックス, 44, pp. 262-266 (2009)	固体酸化燃料電池 (SOFC) の最近の進展、課題そして展望	水崎純一郎
11	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 467-472 (2010)	Classification of Mechanical Failure in SOFC and Strategy for Evaluation of Operational Margin	T. Kawada, S. Watanabe, S. Hashimoto, T. Sakamoto, A. Unemoto, M. Kurumatani, K. Sato, F. Iguchi, K. Yashiro, K. Amezawa, K. Terada, M. Kubo, H. Yugami, T. Hashida, J. Mizusaki
12	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 345-348 (2010)	Investigation on Oxygen Potential Distribution in a ZrO <sub>2</sub> -Based Solid Electrolyte by Using In-Situ Micro XAS Technique	K. Amezawa, T. Ina, Y. Orikasa, A. Unemoto, H. Watanabe, F. Iguchi, Y. Terada, T. Fukutsuka, T. Kawada, H. Yugami, Y. Uchimoto
13	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 1673-1677 (2010)	Investigation of High Temperature Elastic Modulus and Internal Friction of SOFC Electrolytes Using Resonance Method	T. Kushi, K. Sato, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada

14	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 1939-1944 (2010)	Electrochemical Analysis on Degradation in Ni-GDC Cermet Anode for SOFC	H. Watanabe, A. Unemoto, K. Amezawa, T. Kawada
15	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 2573-2580 (2010)	High-Temperature Defect and Crystal Structure of Perovskite Type Oxide Ion Conductor La <sub>0.8</sub> Sr <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> Mg <sub>0.15</sub> Co <sub>0.0503</sub> -delta	Shota Nakayama, Shin-ichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Koji Amezawa, Junichiro Mizusaki
16	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 2573-2580 (2010)	High Temperature Defect Equilibrium, Solid State Properties and Crystal Structure of La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> Co <sub>1-y</sub> Fe <sub>y</sub> O <sub>3</sub> -delta (y=0.2, 0.4, 0.6, 0.8) for Cathode of Solid Oxide Fuel Cells	Yasuhiro Fukuda, Shin-ichi Hashimoto, Kazuhisa Sato, Keiji Yashiro, Junichiro Mizusaki
17	平成 21 年 10 月	ECS Transactions, 25(2), pp. 2573-2580 (2010)	Oxygen Nonstoichiometry, Crystal Structure, and Mechanical Properties of La <sub>2</sub> NiO <sub>4</sub> +delta	Takashi Nakamura, Yohei Takeyama, Satoshi Watanabe, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki
18	平成 22 年	Solid State Ionics, 181, pp. 292-299 (2010)	Structural analysis of La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> NiO <sub>4+δ</sub> by high temperature X-ray diffraction	Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
19	平成 22 年	Solid State Ionics, 181, pp. 402-411 (2010)	Thermally-induced and chemically-induced structural changes in layered perovskite-type oxides Nd <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> NiO <sub>4+δ</sub> (x = 0, 0.2, 0.4)	Takashi Nakamura, Keiji Yashiro, Kazuhisa Sato, Junichiro Mizusaki
20	平成 22 年 5 月	Proceedings of the 12th Asian Conference on Solid State Ionics, pp. 473-484 (2010)	Kinetics of high temperature gas electrode reaction on solid oxide electrolyte	Junichiro Mizusaki
21	平成 22 年 6 月	Proceedings of the ASME 2010 Eighth International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference, pp. FuelCell2010-33158 (2010)	Evaluation of Mechanical Properties of SOFC Components by Nano-Indentation Tests	Hikideaki Ito, Kazuhisa Sato, Atsushi Unemoto, Koji Amezawa, Tatsuya Kawada
22	平成 22 年 6 月	Proceedings of the ASME 2010 Eighth International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference, pp. FUEL CELL 2010-33280 (2010)	High temperature mechanical properties of Ni-YSZ cermets for SOFC anode	Fumitada Iguchi, Hiromichi Kitahara, Hiroo Yugami
23	平成 22 年 6 月	Proceedings of the ASME 2010 Eighth International Fuel Cell Science, Engineering and Technology Conference, pp. FUEL CELL 2010-33294 (2010)	Development of In-Situ Mechanical Testing Method for SOFC Components	Satoshi Watanabe, Kazuhisa Sato, Yohei Takeyama, Fumitada Iguchi, Keiji Yashiro, Toshiyuki Hashida, Junichiro Mizusaki, Tatsuya Kawada

－受賞実績－

No.	年月	発表先	題目	受賞者
1	平成 22 年 3 月	電気化学会学会賞・武井賞	「固体イオニクス基礎科学における理論モデル構築・測定法開発とその燃料電池・センサー開発への展開」	水崎純一郎教授（東北大学多元物質科学研究所）

課題 2-4) 三相界面

－研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	電極微細構造に起因した電池性能の劣化および活性化現象	松井敏明、飯田達也、村上幸太、キムジンヨン、池邊次男、菊地隆司、江口浩一
2	平成 21 年 3 月 15 日	日本機械学会関西支部 関西学生会平成 20 年度学生員卒業研究発表講演会	連続断面 SEM 画像を活用した SOFC 燃料極の 3 次元微細構造観察	林大甫、岸本将史、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
3	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会	高加湿下における固体酸化物形燃料電池の劣化挙動	岸田遼、キムジンヨン、松井敏明、江口浩一
4	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム	固体酸化物形燃料電池における電気化学的劣化現象と電極微細構造の相関	江口浩一、キムジンヨン、岸田遼、室山広樹、松井敏明
5	平成 21 年 6 月 3 日	第 46 回日本伝熱シンポジウム講演論文集 419-420, 2009	直接内部改質を行う中低温作動平板型 SOFC の数値解析	山本康弘、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
6	平成 21 年 6 月 3 日	第 46 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 421-422, 2009	SOFC 電極性能と反応領域に対する特性長さの影響	紺野昭生、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
7	平成 21 年 6 月 30 日	日本機械学会第 14 回動力・エネルギー技術シンポジウム	局所平衡に基づく固体酸化物形燃料電池燃料極の 3 次元数値シミュレーション手法の開発	菅野大輔、松崎勝久、手島久典、鹿園直毅、笠木伸英
8	平成 21 年 9 月 10 日	2009 年電気化学会秋季大会	SOFC の内部改質発電における電流密度と炭素析出挙動の相関	李懿軒、室山広樹、松井敏明、江口浩一
9	平成 21 年 9 月 10 日	2009 年電気化学会秋季大会	大電流負荷による SOFC の活性化	村上幸太、室山広樹、松井敏明、菊地隆司、江口浩一
10	平成 21 年 9 月 10 日	2009 年電気化学会秋季大会	Study on dynamic behavior of LSM electrode under cathodic polarization	Jun Yang, Hiroki Muroyama, Toshiaki Matsui, Koichi Eguchi
11	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会	電極構造パラメータを考慮した円筒型 SOFC の数値予測	臼井聡、西美奈、鹿園直毅、笠木伸英
12	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会	混合導電性多孔質空気極の 3 次元数値解析	松崎勝久、菅野大輔、鹿園直毅、笠木伸英
13	平成 21 年 9 月 16 日	日本機械学会 2009 年度年次大会	固体酸化物形燃料電池アノードの電気化学的酸化時の劣化挙動	高木 紀和、鹿園 直毅、笠木 伸英
14	平成 21 年 10 月 2 日	5th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems, (CD-ROM) FP-502, 2009.	Numerical Simulation of Intermediate-Temperature Direct-Internal-Reforming Planar SOFC	Hiroshi Iwai, Yasuhiro Yamamoto, Motohiro Saito, Hideo Yoshida,
15	平成 21 年 10 月 5 日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Quantitative Evaluation of Transport Properties of SOFC Porous Anode by Random Walk Process	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
16	平成 21 年	11th International	Quantification of Ni-YSZ Anode	H. Iwai, N.

	10月6日	Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Microstructure Based on Dual Beam FIB-SEM Technique	Shikazono, T. Matsui, H. Teshima, M. Kishimoto, R. Kishida, D. Hayashi, K. Matsuzaki, D. Kanno, M. Saito, H. Muroyama, K. Eguchi, N. Kasagi, and H. Yoshida
17	平成21年10月6日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Performance Deterioration of Ni-based Cermet Induced by Electrochemically-generated Steam in Anode	T. Matsui, R. Kishida, J.-y. Kim, H. Muroyama, and K. Eguchi
18	平成21年10月6日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Transient Response of LSM Electrode under Cathodic Polarization	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
19	平成21年10月6日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Effect of High Current Loading on the Performance Enhancement of SOFCs	K. Murakami, H. Muroyama, T. Matsui, R. Kikuchi, K. Eguchi
20	平成21年10月6日	11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells	Stability of Ni/Y-doped SrTiO <sub>3</sub> -YSZ Anode in Reduction-oxidation Cycles	T. Ikebe, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi
21	平成21年10月6日	Solid Oxide Fuel Cells 11 (SOFC-XI), Vienna	Three-Dimensional Numerical Simulation of Ni-YSZ Anode Polarization Using Reconstructed Microstructure from FIB-SEM Images	K. Matsuzaki, D. Kanno, H. Teshima, N. Shikazono and N. Kasagi
22	平成21年10月22日	Proc. 9th Kyoto - Seoul National Tsinghua University Thermal Engineering Conferene, pp. 125-130, 2009.	Quantitative Evaluation of Transport Properties of SOFC Porous Anode by Random Walk Process	Masashi Kishimoto, Hiroshi Iwai, Motohiro Saito, Hideo Yoshida
23	平成21年11月7日	日本機械学会 熱工学コンファレンス2009講演論文集 No.09-33, 115-116, 2009.	ランダムウォークによる拡散シミュレーションに基づくSOFC多孔質電極マイクロ構造の定量化	岸本将史、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
24	平成21年12月8日	第35回 固体イオニクス 討論会	Dynamic simulation of LSM electrode under cathodic polarization	Jun Yang, Hiroki Muroyam, Toshiaki Matsui, Koichi Eguchi
25	平成21年12月17日	第18回 SOFC 研究発表会	高加湿下での通電によるNi-YSZ アノードの電気化学的劣化及び微構造変化	岸田遼、室山広樹、松井敏明、江口浩一
26	平成21年12月17日	第18回 SOFC 研究発表会 講演要旨集, 64-67, 2009.	ランダムウォークによる拡散シミュレーションに基づくSOFC多孔質電極マイクロ構造の定量化	岸本将史、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
27	平成21年12月18日	第18回 SOFC 研究発表会	LSCF 空気極過電圧の三次元数値解析	松崎勝久、鹿園直毅、笠木伸英
28	平成21年12月18日	第18回 SOFC 研究発表会	3次元再構築に基づくアノード微細構造の定量化	岩井裕、鹿園直毅、松井敏明、手島久典、岸本将史、岸田亮、林大甫、松崎勝久、菅野大輔、齋藤元浩、室山広樹、江口浩一、笠木伸英、吉田英生
29	平成22年3月15日	日本機械学会関西支部 平成21年度学生員卒業研究発表講演会 講演前刷集, 1411, 2010	中低温作動SOFC燃料極における直接内部改質反応に関する基礎実験	濱野将人、森本健太郎、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
30	平成22年	第105回触媒討論会	固体酸化物形燃料電池の燃料極にお	江口浩一、岸田遼、飯

	3月25日		ける劣化現象	田達也、室山広樹、松井敏明
31	平成22年 3月29日	電気化学会第77回大会	高温下での通電によるNi-YSZアノードの劣化の定量的解析	岸田遼、室山広樹、松井敏明、江口浩一
32	平成22年 3月29日	電気化学会第77回大会	通電によるLSM/YSZ界面の微構造変化	見神祐一、室山広樹、松井敏明、江口浩一
33	平成22年 3月29日	電気化学会第77回大会	SOFC電極微細構造再構築と過電圧予測	鹿園直毅、菅野大輔、松崎勝久、笠木伸英
34	平成22年 5月19日	第17回燃料電池シンポジウム	SOFCにおける電気化学的劣化現象と電極微細構造変化の定量的解析	江口浩一、松井敏明、室山広樹、吉田英生、岩井裕、齋藤元浩、乾晴行、岸田恭輔、岡本範彦、笠木伸英、鹿園直毅、
35	平成22年 6月22日	日本機械学会第15回動力・エネルギー技術シンポジウム	LSCF空気極の三次元数値解析による過電圧予測	松崎勝久、鹿園直毅、笠木伸英
36	平成22年 6月22日	日本機械学会第15回動力・エネルギー技術シンポジウム	メゾスケール構造を有する燃料極支持型SOFCの発電特性に関する数値シミュレーション	紺野昭生、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
37	平成22年 6月22日	日本機械学会第15回動力・エネルギー技術シンポジウム	中低温作動平板型SOFC燃料極におけるメタンの水蒸気改質実験	森本健太郎、濱野将人、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
38	平成22年 6月22日	日本機械学会第15回動力・エネルギー技術シンポジウム	発電によるSOFC空気極微細構造の変化	嶋田康章、岸本将史、岩井裕、齋藤元浩、吉田英生
39	平成22年 6月30日	9th European SOFC Forum	Microwave Sintering for the Fabrication of Anode Support Solid Oxide Fuel Cells	Z. Jiao, N. Shikazono and N. Kasagi
40	平成22年 6月30日	9th European SOFC Forum	Microstructure Change of SOFC Anode Caused by Electrochemical RedOx Cycles	N. Takagi, Y. Nakamura, N. Shikazono and N. Kasagi

－論文－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成21年 2月	Electrochemistry, 77, 123-126 (2009)	Sudden Deterioration in Performance During Discharge of Anode-supported Solid Oxide Fuel Cells	T. Matsui, J.-y. Kim, R. Kikuchi, K. Eguchi
2	平成21年 7月	J. Power Sources, 195, (2010), 151-154	Performance of an anode support solid oxide fuel cell manufactured by microwave sintering	Jiao, Z., Shikazono, N., and Kasagi, N.
3	平成21年 9月	日本機械学会論文集, Vol. 76B, No. 763, pp. 418-419 (2010)	局所平衡に基づく固体酸化物形燃料電池燃料極の3次元数値シミュレーション手法の開発	菅野大輔、松崎勝久、手島久典、鹿園直毅、笠木伸英
4	平成21年 11月	J. Power Sources, 195, 955-961 (2010)	Quantification of SOFC anode microstructure based on dual beam FIB-SEM technique	H. Iwai, N. Shikazono, T. Matsui, H. Teshima, M. Kishimoto, R. Kishida, D. Hayashi, K. Matsuzaki, D. Kanno, M. Saito, H. Muroyama, K. Eguchi, N. Kasagi, and H. Yoshida
5	平成22年 2月	J. Electrochem. Soc., 157, B449-B454 (2010)	Simulation of Dynamic Response of Strontium-Doped Lanthanum Manganite under Cathodic Polarization	J. Yang, H. Muroyama, T. Matsui, and K. Eguchi,

6	平成 22 年 4 月	燃料電池, Vol. 9 No. 4, pp. 97-102 (2010)	SOFC 燃料極の三次元構造再構築と過 電圧予測	鹿園直毅、菅野大輔、 松崎勝久、高木紀和、 澄野慎二、笠木伸英
7	平成 22 年 4 月	J. Electrochem. Soc., 157, B665-B672 (2010).	Numerical Assessment of SOFC Anode Polarization Based on Three-Dimensional Model Microstructure Reconstructed from FIB-SEM Image	Shikazono, N., Kanno, D., Matsuzaki, K., Teshima, H., Sumino, S. and Kasagi, N.
8	平成 22 年 4 月	J. Electrochem. Soc., 157, B776-B781 (2010).	Performance Deterioration of Ni-YSZ Anode Induced by Electrochemically Generated Steam in Solid Oxide Fuel Cells	T. Matsui, R. Kishida, J. Y. Kim, H. Muroyama, K. Eguchi,
9	平成 22 年 5 月	Energy, doi:10.1016/j.energy.2 010.03.058, (2010)	Numerical simulation of intermediate-temperature direct-internal-reforming planar solid oxide fuel cell	Iwai H., Yamamoto Y., Saito M., Yoshida H.
10	in printing	Thermal Science and Engineering	スケール解析と数値計算による SOFC 電極内反応領域に関する検討,	紺野昭生、岩井裕 齋藤元浩、吉田英生

## 課題 2-5) 性能表示

### －研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 9 月	2008 Korea-Japan-China SOFC Symposium	Long-term Operations Test and Investigation on Stack Performance of Tubular-Type SOFC Stacks	浅野浩一、山本融、 安本憲司、森田寛、 吉川将洋、麦倉良啓、 渡辺隆夫、山下晃弘、 富田和男
2	平成 21 年 7 月	平成 20 年度 NEDO 成果報 告シンポジウム	耐久性信頼性向上のための基礎研究	吉川将洋
3	平成 21 年 10 月	the 216th ECS meeting (the 11th International symposium on SOFC:SOFC-XI)	Development of SOFC performance and durability evaluations technology	T. Yamamoto, H. Morita, M. Yoshikawa, F. Yoshiba, K. Asano, K. Yasumoto, Y. Mugikura
4	平成 21 年 11 月	日本における燃料電池の 開発(燃料電池開発情報 センター)	電力中央研究所における固体酸化物 形燃料電池の研究開発	安本 憲司
5	平成 21 年 11 月	2009 Fuel cell seminar & exposition	Development of SOFC performance evaluation technology	M. Yoshikawa, H. Morita, T. Yamamoto, F. Yoshiba, Y. Mugikura
6	平成 21 年 11 月	5th International conference on clean coal technology and fuel cells	R&D durability evaluation methods for solid oxide fuel cells	T. Watanabe, T. Yamamoto, F. Yoshiba, H. Morita, M. Yoshikawa, K. Asano, K. Yasumoto, Y. Mugikura, Y. Izaki
7	平成 21 年 12 月	3rd European fuel cell technology and applications conference	An analysis result of solid oxide fuel cell durability by electrode polarization model	Y. Mugikura, H. Morit a, M. Yoshikawa, F. Yoshiba, T. Yamamoto
8	平成 21 年	3rd European fuel cell	Recent fuel cell development at	T. Watanabe, Y.

	12月	technology and applications conference	CRIEPI	Izaki, Y. Mugikura, M. Yoshikawa, H. Morita, F. Yoshiba, M. Kawase, K. Asano
9	平成 22 年 5 月	燃料電池シンポジウム	SOFC 性能評価技術の開発(3)ー長期耐久性試験と性能表示式による評価ー	吉川将洋、麦倉良啓、安本憲司、山本融
10	平成 22 年 6 月	9th European solid oxide fuel cell forum	Investigation of SOFC performance and durability evaluations	T. Yamamoto, H. Morita, Y. Mugikura, D. Klotz, A. Leonide, A. Weber, E. Tiffée
11	平成 22 年 7 月	平成 21 年度 NEDO 成果報告シンポジウム	耐久性評価手法の検討に係る技術開発	吉川将洋

## 課題 2-6) 石炭ガス化ガス

### ー研究発表・講演ー

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 10 月 10 日	日本エネルギー学会第 45 回石炭科学会議、京都	石炭ガス化プロセスにおける微量金属成分の挙動解明	田谷幸洋、朝倉榮次、義家亮、成瀬一郎
2	平成 21 年 3 月 16 日	日本機械学会東海学生会第 40 回学生員卒業研究発表講演会、岐阜	石炭ガス化ガス中の微量金属成分による SOFC の劣化特性解明の基礎	一柳太郎、田谷幸洋、義家亮、成瀬一郎
3	平成 21 年 3 月 17 日	日本機械学会東海支部第 58 期総会講演会、岐阜	石炭ガス化条件における微量金属を含む微粒子の放出過程の解明	義家亮、田谷幸洋、成瀬一郎
4	平成 21 年 3 月 29 日	電気化学会第 76 回大会	石炭ガス化ガスによる SOFC 発電試験 (口頭発表)	倉本浩司、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
5	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム	石炭ガス化ガスを用いた SOFC 単セル発電試験 (口頭発表)	倉本浩司、松岡浩一、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
6	平成 21 年 9 月 16 日	化学工学会第 41 回秋季大会 (広島)	石炭ガス化ガスを用いた SOFC 発電試験における燃料ガス中不純物による燃料極材料の化学劣化挙動	倉本浩司、松岡浩一、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
7	平成 21 年 9 月 17 日	化学工学会第 41 回秋季大会、広島	石炭ガス化ガス中に含まれるセレン化合物の挙動評価	小林俊裕、成瀬一郎、義家亮、植木保昭、田谷幸洋、一柳太郎
8	平成 21 年 10 月 4 日	The 11th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XI) (Vienna, Austria)	Effects of impurities contained in coal-derived syngas on the performance of SOFCs (ポスター発表)	倉本浩司、松岡浩一、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、熊岳平、堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
9	平成 21 年 12 月 3 日	第 47 回燃焼シンポジウム、札幌	石炭ガス化過程における微粒子および微量成分の放出	義家亮、田谷幸洋、一柳太郎、植木保昭、成瀬一郎
10	平成 21 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会 (東京)	石炭ガス化ガス利用型 SOFC 発電システムを目指した基礎的調査研究	倉本浩司、松岡浩一、福島登志代、鈴木善三、岸本治夫、山地克彦、Brito. M. Manuel、趙度衡、堀田照久、横川晴美
11	平成 22 年 7 月 18 日	日本混相流学会年会講演会 2010 (浜松)	石炭ガス化ガス中微量金属の SOFC に与える影響	水谷晋、早川幸男、守富寛、神原信志、隈部和弘

－論文－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 10 月 4 日	ECS Transaction, vol. 25(2)、 pp. 2149-2154	Effects of impurities contained in coal-derived syngas on the performance of SOFCs (誌上発表)	倉本浩司、松岡浩一、 鈴木善三、岸本治夫、 山地克彦、熊岳平、 堀田照久、M. E. Brito、横川晴美
2	平成 22 年 5 月 17 日	Journal of Material Cycles and Waste Management, 12, 2 (2010) in press	Gaseous mercury oxidation behavior in homogeneous reaction with chlorine compounds	I. Naruse, R. Yoshiie, T. Kameshima, T. Takuwa,

①基礎的・共通的課題のための研究開発

(ii) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

耐久性を改良した低コスト金属インターコネクタ材料の開発

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 12 月 18 日	SOFC 研究発表会	SOFC 金属インターコネクタ材 ZMG232L の長時間酸化挙動	日立金属 安田信隆
2	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Long Term Oxidation Behavior of Fe-Cr Ferritic Alloy ZMG232L for SOFC Interconnects	日立金属 上原利弘
3	平成 21 年 10 月 5 日	SOFC-XI	Improvement of Oxidation Resistance of Fe-Cr Ferritic Alloy Sheets for SOFC Interconnects	日立金属 安田信隆
4	平成 22 年 5 月 19 日	第 17 回燃料電池 シンポジウム	SOFC 金属インターコネクタ材の 開発状況	日立金属 安田信隆
5		燃料電池開発情報セン ター「燃料電池」2010 年夏号	SOFC 用金属インターコネクタ材 ZMG232L	日立金属 安田信隆
6	平成 22 年 7 月 1 日	European Fuel Cell Forum	Development of A New Ferritic Alloy for SOFC Interconnects with Excellent Oxidation Resistance and Reduced Cr-evaporation	日立金属 安田信隆
7	平成 22 年 7 月 1 日	European Fuel Cell Forum	Effect of Mn-Co Spinel Coating for ZMG232L and Improved Fe-Cr Ferritic Alloy for SOFC Interconnects on Oxidation Behaviour and Cr-Evaporation	日立金属 上原利弘

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 21 年 9 月 16 日	特願 2009-214525	耐酸化性に優れた固体酸化物形燃料 電池用鋼	日立金属株式会社
2	平成 22 年 6 月 25 日	特願 2010-145373	耐酸化性に優れた固体酸化物形燃料 電池用鋼	日立金属株式会社

(ii) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発

セルスタック材料の低コスト化技術開発

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 9 月 22 日	SOFC システム要素 技術開発研究発表 会	セルスタック原料・部材の低コス ト化及び低コストセルスタッ ク・モジュールの技術開発	TOTO 株式会社、三菱重工業株式 会社、三菱マテリアル株式会 社、共立マテリアル株式会社、 AGC セイメイケミカル株式会社
2	平成 20 年 10 月 15 日	4th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System	加幡 達雄
3	平成 20 年 12 月 12 日	2008 年度ガスター ビンシンポジウム	200kW 級 SOFC-MGT 複合発電シス テムの開発	加幡 達雄
4	平成 20 年 12 月 15 日	第 4 回 FC EXPO in 大 阪	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
5	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発 表会	円筒形 SOFC 高効率コンバインド サイクルシステムの開発	富田 和男、加幡 達雄、西浦 雅 則、古賀 重徳、眞竹 徳久、安 藤 喜昌、小林 由則

6	平成 21 年 1 月 1 日	月刊クリーンエネ ルギー誌	TOTO における SOFC の開発と今後の展開	上野 晃
7	平成 21 年 2 月 27 日	FC EXPO2009	TOTO における SOFC の開発状況	上野 晃
8	平成 21 年 4 月	セラミックス誌 2009 年 4 月号 特集 「固体酸化物形燃 料電池 (Solid Oxide Fuel Cell) の進展、 課題、展望」	三菱重工における固体酸化物形 燃料電池 (SOFC) コンバインドサ イクルシステム開発	玄後 義
9	平成 21 年 5 月 12 日	FCDIC 第 16 回燃料 電池シンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガスタ ービンコンバインドによる高効 率発電システム	小林 由則、安藤 喜昌、加幡 達雄、西浦 雅則
10	平成 21 年 7 月 2 日	平成 20 年度 NEDO 成 果報告シンポジウ ム	セルスタック原料・部材の低コス ト化及び低コストセルスタッ ク・モジュールの技術開発	TOTO 株式会社、三菱重工業株式 会社、三菱マテリアル株式会 社、共立マテリアル株式会社、 AGC セイメイケミカル株式会社
11	平成 21 年 7 月 9 日	化学工学会 関西支 部セミナー「省エネ ルギー戦略 -低炭 素社会時代を切り 開く省エネルギー 技術-	固体酸化物型燃料電池とガスタ ービンとのコンバインド高効率 発電システム	小林 由則
12	平成 21 年 9 月 11 日	2009 年電気化学秋 季大会	低純度原料を用いた SOFC 材料合 成検討	伊藤孝憲、車田全盛、白崎紗央 里、横手武徳、古山博康、平井 岳根、藤江良紀
13	平成 21 年 12 月 10 日	SOFC Seminar 2009 in Kyoto	Current Status and Future Prospects for Large-Scale SOFC Combined Cycle System	宮本 晃志
14	平成 21 年 12 月 11 日	産業技術総合研究 所 環境・エネルギ ーシンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガスタ ービンの組み合わせによる最高 効率の火力発電システムの開発 状況	小林 由則
15	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発 表会	低純度原料を用いた SOFC 材料合 成検討	伊藤孝憲、車田全盛、白崎紗央 里、横手武徳、古山博康、平井 岳根
16	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発 表	ランタンガレート系電解質を用 いた低温作動 SOFC の開発 (9)	中村慎、佐藤基樹、平田勝哉、 魚住学司、村上直也、江藤浩之 加幡 達雄、西浦 雅則、富田 和 男、池田 浩二、古賀 重徳、 宮本 晃志、安藤 喜昌、小林 由則、眞竹 徳久、佃 洋、末 森 重徳
17	平成 21 年 12 月 17 日	第 18 回 SOFC 研究発 表会	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発	安藤 喜昌、小林 由則、加幡 達雄、西浦 雅則、池田 浩二、 眞竹 徳久
18	平成 22 年 1 月 22 日	第 38 回ガスタービ ン学会	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発	安藤 喜昌、小林 由則、加幡 達雄、西浦 雅則、池田 浩二、 眞竹 徳久
19	平成 22 年 2 月 12 日	SPring-8 成果公開 優先利用課題 2009B1003 利用報告 書	低純度原料を用いた固体酸化物 型燃料電池材料の合成検討にお ける低純度原料、合成された材料 の構造解析及び不純物の定量	伊藤孝憲、白崎紗央里
20	平成 22 年 3 月 5 日	FC EXPO 2010 ~第 6 回 国際水素・燃 料電池展~	大型 SOFC コンバインド発電シ ステムの開発状況と今後の展開	小林 由則
21	平成 22 年 3 月	FC EXPO 2010 ~第 6 回 国際水素・燃 料電池展~	NEDO ブースへセルスタック展示	三菱重工業株式会社、三菱マテ リアル株式会社
22	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回 大会	低純度原料により合成した (La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> )(Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> )O <sub>3-δ</sub> の長期 アニール効果—導電率、不純物—	伊藤孝憲、川田悦也、名田大志、 車田全盛、白崎紗央里、西田有 希、横手武徳、古山博康、平井 岳根、藤江良紀

23	平成 22 年 3 月 29 日	電気化学会第 77 回 大会	低純度原料により合成した (La <sub>0.6</sub> Sr <sub>0.4</sub> )(Co <sub>0.2</sub> Fe <sub>0.8</sub> )O <sub>3-δ</sub> の長期 アニール効果—結晶構造解析—	伊藤孝憲、川田悦也、名田大志、 車田全盛、白崎紗央里、西田有 希、横手武徳、古山博康、平井 岳根、藤江良紀
24	平成 22 年 4 月 7 日	SPring-8 重点産業 利用課題 2009B1837 利用報告書	赤外分光法を用いた固体酸化物 型燃料電池材料の劣化挙動の考 察	伊藤孝憲
25	平成 22 年 7 月 7 日	平成 21 年度 NEDO 成 果報告シンポジウ ム	セルスタック原料・部材の低コス ト化及び低コストセルスタッ ク・モジュールの技術開発	TOTO 株式会社、三菱重工業株式 会社、三菱マテリアル株式会 社、共立マテリアル株式会社、 AGC セイメイケミカル株式会社
26	平成 22 年 7 月 15 日	くまもと技術革 新・融合研究会 (RIST) フォーラム	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発状況	西浦 雅則

## ②実用性向上のための技術開発

### (i) 運用性向上のための起動停止技術 (a. 高温円筒縦筒形)

－研究発表・講演、文献等、その他－

1	年月	発表先	題目	発表者
2	平成20年 8月	FCDIC燃料電池夏号	TOTOにおける定置型SOFC の開発状況	樋渡 研一
3	平成20年 9月22日	SOFCシステム要素技術開発計画発表会	運用性向上のための起動停止技術 開発	阿部 俊哉
4	平成20年 12月15日	第4回FC EXPO in 大阪	TOTOにおけるSOFCの開発状況	上野 晃
5	平成21年 2月27日	FC EXPO2009	TOTOにおけるSOFCの開発状況	上野 晃
6	平成21年 7月2日	平成20年度NEDO成果報告シンポジウム	運用性向上のための起動停止技術 開発	阿部 俊哉
7	平成22年 7月7日	平成21年度NEDO成果報告シンポジウム	運用性向上のための起動停止技術 開発	阿部 俊哉

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 21 年 9 月 1 日	特願 2009-20143	燃料電池システム	TOTO

## ②実用性向上のための技術開発

### (i) 運用性向上のための起動停止技術 (b. 中温円形平板形)

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 5 月 12 日	第 16 回燃料電池シンポジウム	低温作動固体酸化物形燃料電池コジ ェネレーションシステム開発	衣笠 明 他
2	平成 21 年 7 月 2 日 2009/7/2	平成 20 年度 NEDO 成果報告シンポ ジウム	NEDO 燃料電池・水素技術開発	加藤 正樹
3	2 平成 21 年 9 月 23 日	11th Grove Fuel Cell Symposium	Development of IT-SOFC Based on lanthanum gallate electrolyte	D. Ueno, et. al.
4	平成 21 年 10 月 4-9 日	216th The Electrochemical Society Meeting (Solid Oxide Fuel Cell-XI)	Development of Disk-Type Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cell by KEPCO & MMC	F. Nishiwaki, et. al.
5	平成 21 年 11 月 16-19 日	International Conference on Power Engineering (ICOPE-09)	Development of IT-SOFC Based on lanthanum gallate electrolyte	D. Ueno, et. al.
6	平成 21 年 11 月 16-19 日	2009 Fuel Cell Seminar & Exposition	Progress in Development of IT-SOFC Based on Lanthanum Gallate Electrolyte	H. Eto, et. al.
7	平成 21 年 12 月 17-18 日	第 18 回 SOFC 研究発表会	ランタンガレート系電解質を用いた 低温作動 SOFC の開発 (9)	中村 慎 他
8	平成 22 年 5 月 19 日	第 17 回燃料電池シンポジウム	ランタンガレート系電解質を用いた 中温作動 SOFC の開発	小路 剛史
9	平成 22 年 6 月 17 日	第 29 回エネルギー資源学会	ランタンガレート系電解質を用いた 中温作動 SOFC の開発	北村 健太郎
10	平成 22 年 7 月 7 日	平成 21 年度 NEDO 成果報告シンポ ジウム	運用性向上のための起動停止技術開 発	平田 勝哉

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 22 年 3 月 26 日	2010-73046	燃料電池システム	三菱マテリアル 関西電力
2	平成 22 年 3 月 26 日	2010-73047	平板積層形の燃料電池	三菱マテリアル 関西電力
3	平成 22 年 3 月 26 日	2010-73048	平板積層形の燃料電池	三菱マテリアル 関西電力

②実用性向上のための技術開発

(ii) 超高効率運転のための高圧運転技術

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 20 年 7 月	FCDIC「燃料電池」2008 年夏号	三菱重工における SOFC 発電システムの開発状況	小林 由則
2	平成 20 年 9 月 18 日	2008 KOREA-JAPAN-CHINA SOFC SYMPOSIUM	Performance Improvement and Durability Test of Segmented-in-series Tubular Type SOFCs	富田 和男 加幡 達雄 佃 洋 大隈 滋 宮本 晃志 山下 晃弘
3	平成 20 年 10 月 15 日	4th International Conference on Clean Coal Technology and Fuel Cells	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System	加幡 達雄
4	平成 20 年 10 月 21 日	技術情報センターセミナー 燃料電池の開発動向と今後の展望～ MCFC、PEFC、SOFCの開発 最前線～	固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の 開発動向と今後の展開～SOFC・ガ スタービンコンバインサイクルシ ステムの開発動向～	小林 由則
5	平成 20 年 10 月 30 日	FC Seminar	Development of the 200kW class SOFC-MGT Combined Cycle System with Tubular Type Cell-Stack	加幡 達雄 西浦 雅則 富田 和男 古賀 重徳 眞竹 徳久 安藤 喜昌 小林 由則
6	平成 20 年 11 月	「エネルギーと動力」Vol. 271	固体酸化物形燃料電池 (SOFC)-マ イクロガスタービン (MGT) 複合発 電システムの開発	加幡 達雄
7	平成 20 年 12 月 12 日	2008 年度ガスタービンシンポジウ ム	200kW 級 SOFC-MGT 複合発電システ ムの開発	加幡 達雄
8	平成 20 年 12 月 18 日	第 17 回 SOFC 研究発表会	円筒形 SOFC 高効率コンバイン ドサイクルシステムの開発	富田 和男 加幡 達雄 西浦 雅則 古賀 重徳 眞竹 徳久 安藤 喜昌 小林 由則
9	平成 21 年 4 月	セラミックス誌 2009 年 4 月号 特集「固体酸化物形燃料電池 (Solid Oxide Fuel Cell) の進展、課題、展 望」	三菱重工における固体酸化物形燃 料電池 (SOFC) コンバインドサイ クルシステム開発	玄後 義
10	平成 21 年 5 月 12 日	FCDIC 第 16 回燃料電池シンポジウ ム	固体酸化物形燃料電池とガスター ビンコンバインドによる高効率発 電システム	小林 由則 安藤 喜昌 加幡 達雄 西浦 雅則
11	平成 21 年	化学工学会 関西支部セミナー「省エ	固体酸化物型燃料電池とガスター	小林 由則

	7月9日	エネルギー戦略「低炭素社会時代を切り開く省エネルギー技術」	ビンとのコンバインド高効率発電システム	
12	平成21年9月	高温学会誌「燃料電池」特集号	大型SOFCコンバインドサイクルシステムの開発状況と今後の展開	玄後 義 小林 由則 安藤 喜昌
13	平成21年12月10日	SOFC Seminar 2009 in Kyoto	Current Status and Future Prospects for Large-Scale SOFC Combined Cycle System	宮本 晃志
14	平成21年12月11日	産業技術総合研究所 環境・エネルギーシンポジウム	固体酸化物形燃料電池とガスタービンの組み合わせによる最高効率の火力発電システムの開発状況	小林 由則
15	平成21年12月17日	第18回SOFC研究発表会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	加幡 達雄 西浦 雅則 富田 和男 池田 浩二 古賀 重徳 宮本 晃志 安藤 喜昌 小林 由則 眞竹 徳久 佃 洋 末森 重徳
16	平成21年12月17日	第18回SOFC研究発表会	円筒形SOFC発電システムの信頼性向上	末森 重徳 佃 洋 眞竹 徳久 富田 和男 古賀 重徳 宮本 晃志 西浦 雅則 池田 浩二 加幡 達雄 安藤 喜昌 小林 由則
17	平成22年1月22日	第38回ガスタービン学会	SOFC-ガスタービン複合発電システムの開発	安藤 喜昌 小林 由則 加幡 達雄 西浦 雅則 池田 浩二 眞竹 徳久
18	平成22年3月5日	FC EXPO 2010 ～第6回 国際水素・燃料電池展～	大型SOFCコンバインド発電システムの開発状況と今後の展開	小林 由則
19	平成22年6月10日	日本機械学会動力・エネルギーシンポジウム	SOFCの加圧下における性能向上とモジュール化についての研究	橋本 彰 小阪 健一郎 眞竹 徳久 木藪 敏康 小林 由則 加幡 達雄
20	平成22年7月	「クリーンエネルギー」誌 Vol. 19 No. 7	SOFC-マイクロガスタービン複合発電システムの開発	安藤 喜昌 小林 由則 池田 浩二 加幡 達雄 西浦 雅則 眞竹 徳久
21	平成22年7月	FCDIC「燃料電池」2010年夏号	固体酸化物形燃料電池(SOFC)とガスタービンの組み合わせによる最高効率の火力発電システムの開発	小林 由則

22	平成 22 年 7 月 15 日	くまもと技術革新・融合研究会 (RIST) フォーラム	SOFC-ガスタービン複合発電シ ステムの開発状況	西浦 雅則
----	---------------------	--------------------------------	------------------------------	-------

－論文－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 21 年 2 月	粉体および粉末冶金第 56 巻第 2 号	Sr1-1.5xLaxTiO3 の焼結性と電 気特性ならびに熱膨張挙動に及 ぼす La 置換の影響	佃 洋 大隈 滋 富田 和男
2	平成 21 年 5 月	日本ガスタービン学会誌 Vol. 37 No. 3	マイクロガスタービン-SOFC ハ イブリッドサイクル	君島 真仁 加幡 達雄
3	平成 21 年 5 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using an La0.5Sr0.5-xCaxMnO3 System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男 久留 長生 加幡 達雄 佃 洋 山下 晃弘 山崎 陽太郎
4	平成 21 年 10 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	Structural Modification of Segmented-in-series Tubular SOFCs Using Performance Simulation and the Effect of (Sm, Ce)O2 Cathode Interlayer on the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男 久留 長生 加幡 達雄 佃 洋 山崎 陽太郎
5	平成 21 年 12 月	Electrochemistry(電気化学会誌)	Optimization of Segmented-in-series Tubular SOFCs with an (La, Sr)CoO3 System Cathode and the Generation Characteristics under Pressurization	富田 和男 山下 晃弘 佃 洋 加幡 達雄 池田 浩二 久留 長生 山崎 陽太郎
6	平成 22 年 5 月	日本機械学会 英文ジャーナル (Journal of Power and Energy Systems)	Study on Optimization and Scale-up of Pressurized Solid Oxide Fuel Cells.	橋本 彰 小阪 健一郎 眞竹 徳久 木藪 敏康 小林 由則 加幡 達雄 富田 和男

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 20 年 12 月 11 日	特願 2008-315807	固体酸化物形燃料電池	三菱重工業株式会社
2	平成 20 年 12 月 22 日	特願 2008-325233	固体酸化物形燃料電池および固体酸化物形 燃料電池システム	三菱重工業株式会社
3	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-331759	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
4	平成 20 年 12 月 26 日	特願 2008-332046	固体酸化物型燃料電池	三菱重工業株式会社
5	平成 21 年 6 月 18 日	特願 2009-145015 号	固体電解質型燃料電池インターコネクタ用 材料、固体電解質型燃料電池セル、及び、 固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
6	平成 21 年 11 月 30 日	特願 2009-272760 号	燃料電池	三菱重工業株式会社
7	平成 21 年 12 月 21 日	特願 2009-289807 号	固体酸化物形燃料電池発電システム	三菱重工業株式会社
8	平成 21 年	特願 2009-289808 号	固体酸化物燃料電池及びその運転方法	三菱重工業株式会社

	12月21日			
9	平成21年 12月25日	特願 2009-296153 号	固体酸化物形燃料電池システム	三菱重工業株式会社
10	平成22年 2月26日	特願 2010-043519 号	固体電解質燃料電池用セルチューブ、及び 固体電解質燃料電池	三菱重工業株式会社
11	平成22年 2月26日	特願 2010-043522 号	固体電解質型燃料電池	三菱重工業株式会社
12	平成22年 3月2日	特願 2010-045906 号	燃料電池	三菱重工業株式会社

－新聞・雑誌への掲載－

No.	発表年月日	発表媒体	発表内容
1	平成21年 10月1日	三菱重工ニュース(広報発表) ウェブ版・長 崎ニュース	SOFC-MGT 複合発電で3,000時間運転を達成
2	平成21年 10月2日	日刊工業新聞、日経産業新聞、電気新聞、 長崎新聞	SOFC-MGT 複合発電で3,000時間運転を達成

## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

エネルギーイノベーションプログラム

「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」  
(中間評価:2008-2010年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開)

2010年 8月31日

NEDO 新エネルギー部

1

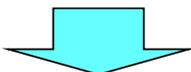
発表内容

公開

I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO細井
II. 研究開発マネジメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

「燃料電池」のエネルギー政策上の位置付け

新・国家エネルギー戦略	2006年5月	燃料電池を基幹技術として位置付け。石炭ガス化燃料電池複合発電を総合資源戦略として位置付け。
Cool-Earth エネルギー革新技術計画	2008年3月	燃料電池をCO2排出量の大幅削減を可能とする革新技術として選定。
環境エネルギー技術革新計画	2008年5月	燃料電池を低炭素社会実現に必要な技術と位置づけ。
低炭素社会づくり行動計画	2008年7月	2020～2030年に定置用燃料電池を本格普及を目指す。
エネルギー基本計画	2010年6月	低コスト化を進めて、燃料電池普及による天然ガスシフトを推進。
新成長戦略	2010年6月	日本がイニシアティブを取り、国際標準化を推進。



「燃料電池」は継続して、政策上の重要な技術分野となっている。

「Cool Earth エネルギー革新技術計画」

— 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術 —

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO2大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



※EMS: Energy Management System, HEMS: House Energy Management System, BEMS: Building Energy Management System

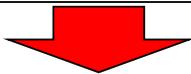
### 研究開発政策上の位置付け

#### 「エネルギーイノベーションプログラム」

- ・資源の乏しい我が国は、革新的なエネルギー技術の開発、導入普及により、次世代型のエネルギー利用社会の構築が不可欠。
  - ・政府が長期を見据えた技術進展の方向性を示し、官民が共有することで長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能。
- ⇒ 本事業はこのプログラムの一環として実施。

#### エネルギーイノベーションプログラムの5つの柱

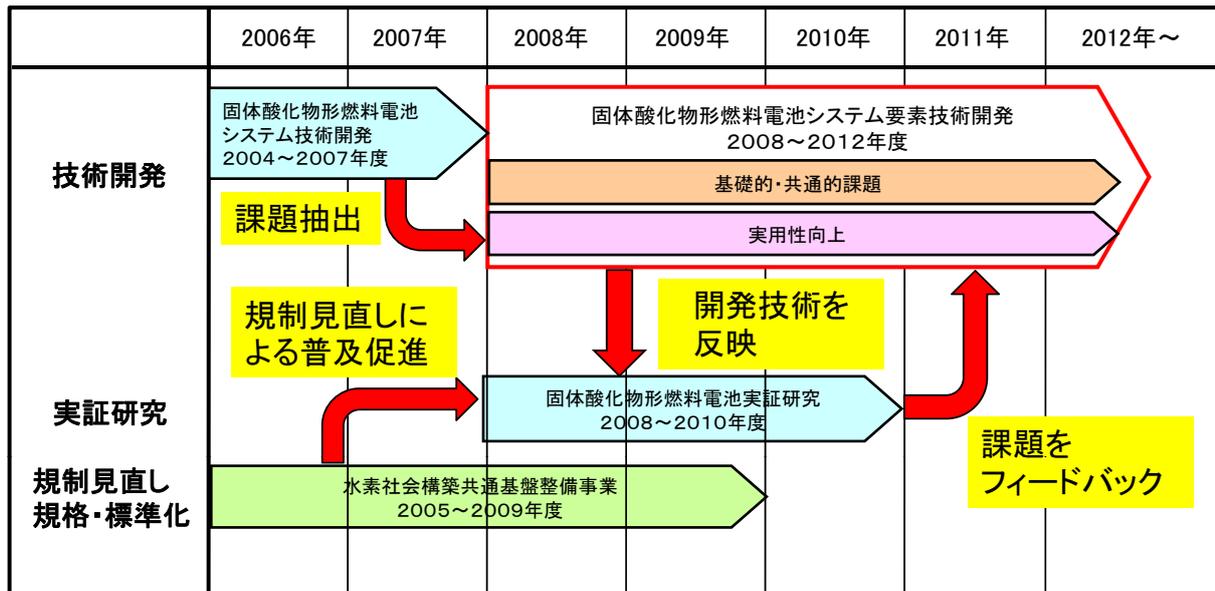
- ①総合エネルギー効率の向上
- ②運輸部門の燃料多様化
- ③新エネルギー等の開発・導入促進
- ④原子力等利用の促進とその大前提となる安全の確保
- ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用



本事業で開発対象としているSOFCは、

- 高効率かつ低コストを目指した先進的技術(③)
- 化石燃料(天然ガス、石炭等)の有効かつクリーンな利用技術(⑤)に該当する。

### NEDOの関与の必要性



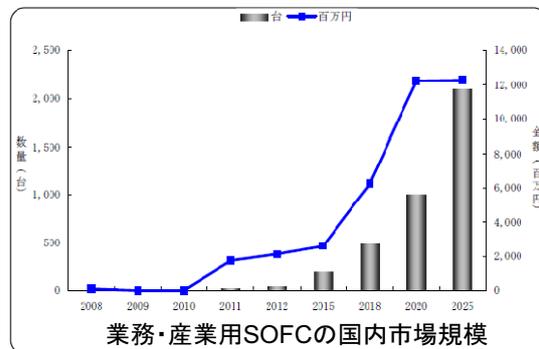
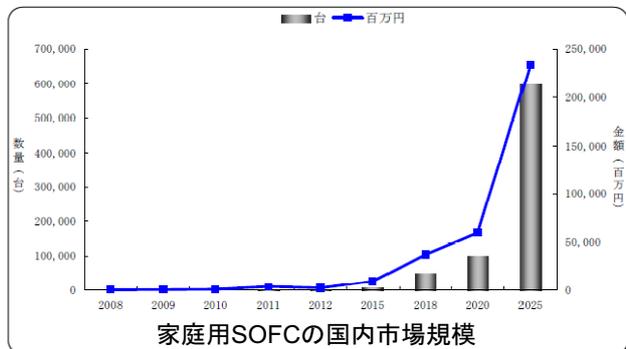
燃料電池の普及には、技術開発、実証、制度の整備・標準化を一体的に進める必要があり、これら複数の研究事業を連携・整合させて進める必要有り。

⇒ NEDOマネジメントが不可欠

## 実施の効果

### 【経済効果】

2025年のSOFC市場規模(家庭用+業務・産業用)は2,500億円。



出典:(株)富士経済「2010年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」

### 【CO2削減効果】

- ・2025年における家庭用SOFC(導入台数60万台)で78万トン。
- ・事業用SOFC/GTハイブリッド、IGFCで約30%の削減効果あり。

## 事業立案時点における背景

～前事業「信頼性向上に関する研究開発」の耐久試験結果～

※運転時間:5,000~1万時間

スタックモジュール		平均劣化率 (%/1,000h)	主な劣化要因	スタック構造
高温型	円筒横縞	0.65~0.88	空気極界面でのCr被毒	 円筒縦縞
	円筒縦縞	1.6~1.67	燃料極の抵抗増加、異種界面での抵抗増大	
中温型	筒状平板	0.9~1.5	セル接続金属の酸化、劣化等による抵抗増大	 筒状平板
	円形平板	0.54~0.81	不純物による有効反応面積減少、燃焼域再酸化	

- ・目標とした0.25%/1,000hの達成できなかった。しかし、劣化に及ぼす諸因子(Cr被毒、気相経由での不純物の混入等)が抽出された。
- ・H19年「SOFC技術の現状と課題」の発行に際して、SOFCの耐久性向上には異なる分野の知見を劣化問題に注入した集学的取組が必要であることが各有識者委員より指摘された。

### 事業立案時点における背景

～前事業「固体酸化物形燃料電池システム技術開発」のシステム試験結果～

SOFCシステム		発電効率	劣化率	備考
コジェネレーションシステム	10kW級A	41%, HHV	1%/1,000h程度	10kW級システム 
	10kW級B	38%, HHV		
	20kW級	40%, HHV		
コンバインドサイクルシステム	200kW級	52%, LHV		200kW級システム 

- ・各システム共に目標性能や3,000hの連続運転は達成した。しかし、耐久性に関して更なる向上が必要であることが確認された。
- ・また、業務用等の中小システムは運用性を向上させる起動停止技術、事業用の大型システムはガスタービンとのコンバインドシステム構築のための高圧運転対応技術の開発が必要であることが確認された。

### 事業立案時点における背景

～「固体酸化物形燃料電池実証研究」(H19年開始)～

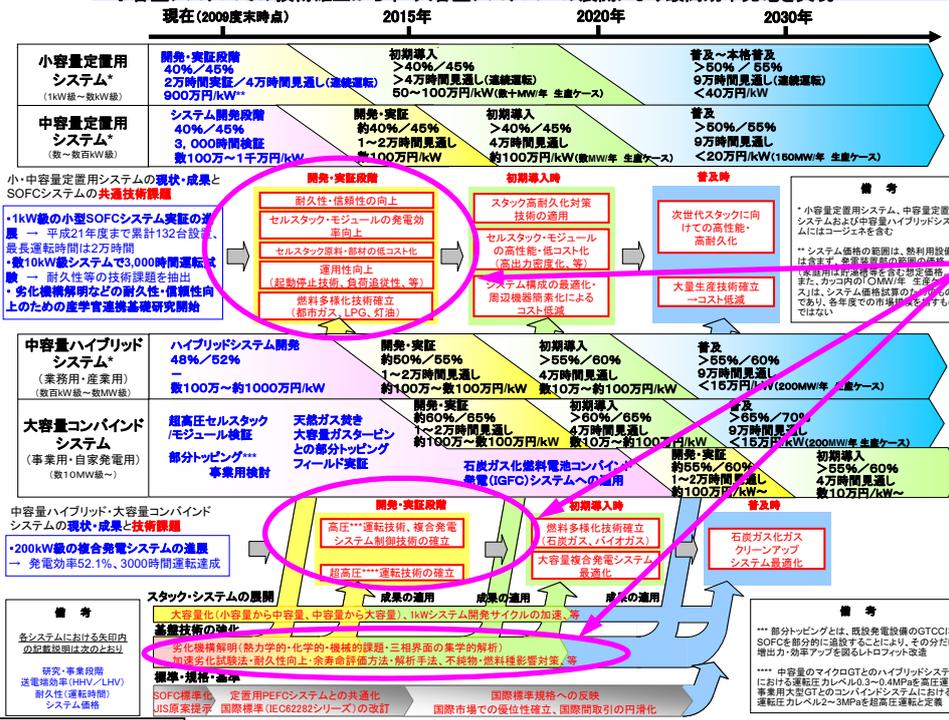
SOFC実証研究の導入・運転実績



設置運転事業者	システム提供者	設置台数				燃料	定格出力
		H19	H20	H21	H22(予定)		
大阪ガス	京セラ	20	25	12	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	23	41		
	TOTO	0	0	0	2		
東京ガス	京セラ	3	2	12	0	都市ガス	0.7kW
	ガスター・リンナイ	0	0	2	0		
	トヨタ・アイシン	0	0	4	11		
北海道ガス	TOTO	0	0	0	1	都市ガス	0.7kW
	京セラ	1	1	0	0		
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
西部ガス	京セラ	1	1	0	0	都市ガス	0.7kW
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
	東電電力	0	1	1	0		
東北電力	京セラ	0	0	1	0	都市ガス	0.7kW
	新日本石油	1	2	14	27		
	新日本石油	1	1	1	1		
東邦ガス	LPG	0	0	1	0	都市ガス	0.7kW
	灯油	1	1	1	1		
	トヨタ・アイシン	0	0	1	2		
TOTO	日本特殊陶業	0	0	0	2	都市ガス	0.7kW 2kW 8kW
	TOTO	0	2	6	10		
	TOTO	2	0	0	0		
合計		29	36	67	101		

本事業の立案段階にあったH19年度においては、多数のシステムで性能劣化が顕著であり、市場導入に求められる耐久性の確立に向けた劣化対策の検討が必要であると判断された。

## SOFC普及に向けた技術開発課題 ～「NEDO/SOFCロードマップ」(2010年6月改定)～



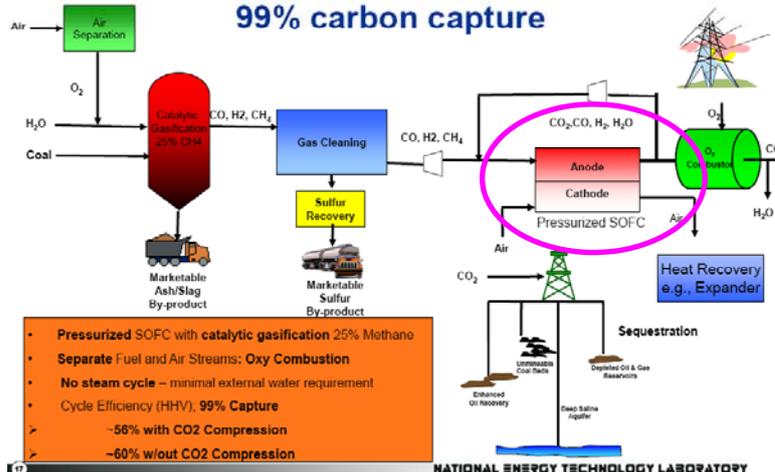
SOFC普及に向けた最優先課題であるとのステークホルダー間の共通認識。

本事業において基盤技術、要素技術の確立に取り組んでいる。

## 米国のSOFC開発動向

米国では2001年よりDOE、企業、国研・大学等が参加するSECAプロジェクトにおいて、SOFCの性能、耐久性、コストダウンを目的とした技術開発が進められてきた。現在は、石炭ガス化ガス複合発電に対応するための研究を中心に進められている。

### SECA Coal Based Systems near-zero water requirement 99% carbon capture



### 欧州のSOFC開発動向

欧州では、EUの財政的支援を受け、SOFC関係の様々なプロジェクトが推進されている。

SOFCプロジェクト	プロジェクト目標	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10
<b>■材料・構成部材の開発</b>									
Real SOFC	性能劣化低減セル								
SOFC600	低温動作セル								
SOFCSPRAY	低コスト化セル製法								
<b>■適用範囲の拡大</b>									
FLAME-SOFC	多種燃料対応CHP								
LARGE-SOFC	大型化システム								
<b>■バイオマス燃料の適用</b>									
BIOCELLUS	ガス精製等システム								
GREEN-FUEL-CELL	タール等対応システム								
BIO-SOFC	消化ガス対応システム								
<b>■輸送分野への適用</b>									
METHAPU	船舶用メタノールAPU								
<b>■コスト低減</b>									
DEMO-SOFC	低コスト化SOFC製造法								

### 標準・規格・基準に係る状況

#### 【国内規格整備】

JEMA「定置用燃料電池標準化委員会／SOFC標準化分科会」

- ・10kW未満SOFCのJIS規格制定および関連規格(7件)の見直しを実施。
- ・2010年度末までに規格審議が終了の予定。

#### 【国際標準化】

JEMA「燃料電池国際標準化委員会／試験法調査WG」

- ・PEFCを参考に、SOFCの安全試験法および性能試験法について検討。
- ・2009年度末に国際標準との整合化原案がとりまとめられた。
- ・今後は、PEFCシステムと共通化し、国際優位性の獲得を図る。

I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO細井
II. 研究開発マネージメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

II. 研究開発マネージメントについて 1. 事業の計画内容(研究開発の内容)

本事業の全体目的

SOFCシステムを早期に市場導入するために必要な基礎研究と要素技術開発を実施し、その基盤技術を確立する。

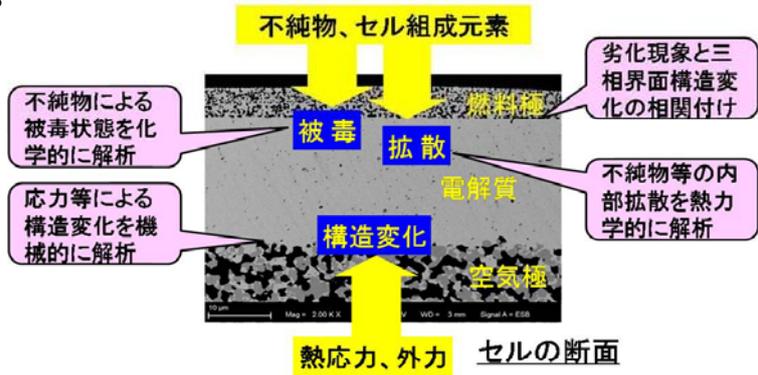
各研究項目・テーマの最終目標(2012年度末)

研究開発項目	研究テーマ	最終目標(2012年度)
①基礎的・共通的課題のための研究開発(委託)	(a)耐久性・信頼性向上のための基礎研究	・4万時間(劣化率0.25%/1000時間)および起動停止250回の耐久性 ・加速劣化試験法の確立
	(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	・普及時のセルスタック製造コストとして5万円/kW程度の見通し
②実用性向上のための研究開発(1/2共同研究)	(a)運用性向上のための起動停止技術	・4万時間(劣化率0.25%/1,000時間)および起動停止250回の耐久性
	(b)超高効率運転のための高圧運転技術	・4万時間(劣化率0.25%/1,000時間)の耐久性 ・超高効率運転のための高圧運転技術の確立

**研究項目①「基礎的・共通的課題のための研究開発」**  
**「(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究」**

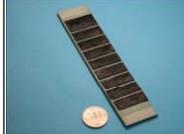
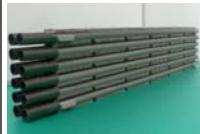
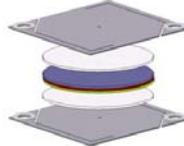
複数のセルスタックメーカーと大学・研究機関が連携し、各セルスタックの構造・製造法と劣化現象との相関を導出しながら、耐久性・信頼性の向上を図る基礎研究を実施。

- 最終目標(2012年度末)
  - ・4万時間と起動停止250回(電圧低下率10%/250回)の耐久性の見通し。
  - ・加速劣化試験法の確立。
- 中間目標(2010年度末)
  - ・劣化機構の解明
  - ・加速劣化因子の抽出
  - ・劣化対策の立案・検証
  - ・余寿命評価式の提案



**耐久性・信頼性向上のための集学的取組み**

**「耐久性・信頼性向上のための基礎研究」 検討対象セルスタック**

項目	京セラ	東京ガス	三菱重工業	TOTO	三菱マテリアル
セルスタック外観	 筒状平板形	 筒状横縞形	 円筒横縞形	 円筒縦縞形	 円形平板形
燃料極	Ni-YSZ	Ni-YSZ	Ni-YSZ	中間層/ Ni-YSZ	Ni-SDC
電解質	YSZ	YSZ	YSZ	ScSZ	LSGMC
空気極	DC (中間層) LSF系	SDC (中間層) LSCF	LSCM	LSM /中間層	SSC
動作温度	700~800℃	700~800℃	900~1000℃	900~1000℃	700~800℃

YSZ : イットリア安定化ジルコニア    ScSZ : スカンジウム安定化ジルコニア  
 LSF : (La,Sr)FeO3    LSCF : (La,Sr)(Co,Fe)O3    LSGMC : (La,Sr)(Ga,Mg,Co)O3  
 DC : doped CeO2    SC : (Sr, Sm)CoO3    SDC : Sm doped CeO2

**研究項目① 「基礎的・共通課題のための研究開発」  
「(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・  
モジュールの技術開発」**

複数のセルスタックメーカ(TOTO、三菱材料、三菱重工業)と原材料・部材メーカ(日立金属、AGCセイメイケミカル、共立材料)が連携し、セルスタックの低コスト化を図る技術開発を実施。

- 最終目標(2012年度末)  
普及期のセルスタック製造コストとして5万円/kW程度の見通し。  
(普及期の生産規模: 小容量 5万kW/年、中容量 15万kW/年)
- 中間目標(2010年度末)
  - ・セルスタックメーカによる原料・部材の共通仕様の提案
  - ・低コスト化の課題抽出と解決方針の策定。

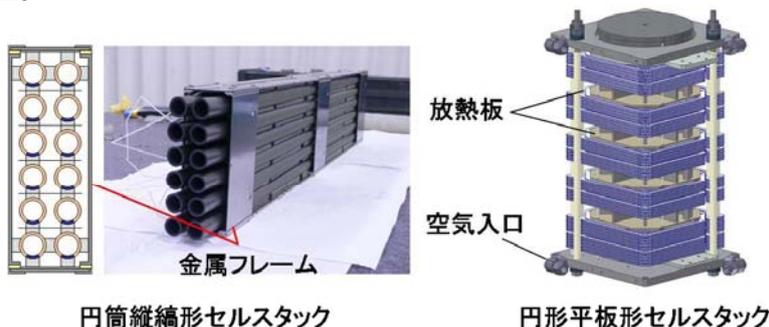
低コスト化対象の原材料・部材

金属インターコネクタ材料		Fe-Cr系フェライト合金
セルスタック材料	燃料極	NiO-YSZ
		NiO-セリア
	空気極	(La, Sr)MnO <sub>3</sub>
		(La, Sr, Ca)MnO <sub>3</sub>
		(La, Sr)(Co, Fe)MnO <sub>3</sub>
		(Sm, Sr)CoO <sub>3</sub>

**研究項目② 「実用性のための研究開発」  
「(a)運用性向上のための起動停止技術」**

中小容量のSOFCを業務用システムとして市場に導入するため、円滑で安全かつ信頼性を有した起動停止方法の開発、セルスタック・発電モジュール構造の開発等を実施。

- 最終目標(2012年度末)  
4万時間および起動停止250回の耐久性の見通し。
- 中間目標(2010年度末)  
起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造の確立。



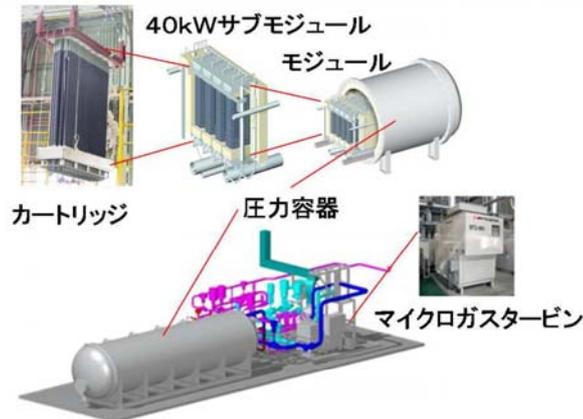
円筒縦縞形セルスタック

円形平板形セルスタック

**研究項目②「実用性のための研究開発」**  
**「(b) 超高効率運転のための高圧運転技術」**

超高効率の複合発電システムに適合させるための各種要素技術開発に取り組む。

- 最終目標(2012年度末)  
4万時間の耐久性の見通しおよび超高効率運転のための高圧運転技術の確立。
- 中間目標(2010年度末)  
ガスタービンとの組合せに適う圧力範囲で、起動停止や緊急時の安全停止を可能とすること等、高圧運転のためのシステム技術の確立。



**研究開発スケジュール**

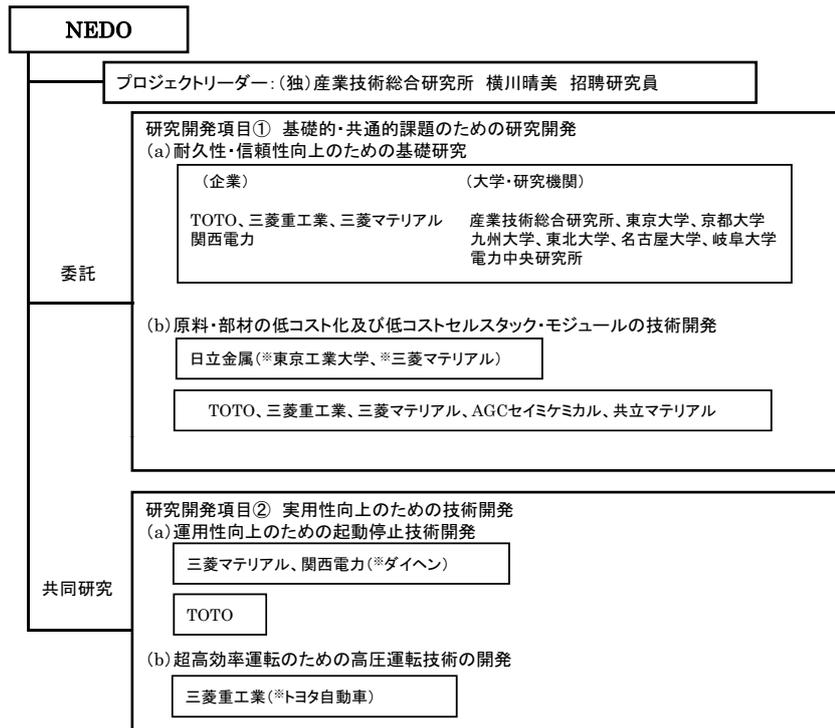
研究開発項目・テーマ	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度
①基礎的・共通の課題					
(a) 耐久性・信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長期運転と起動停止のセル内部機構への影響</li> <li>◆加速劣化試験法の検討</li> <li>◆発電に伴う微細構造変化のデータ解析</li> <li>◆性能表示式の策定、加速劣化試験法の検討</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆加速劣化試験法の適用検討</li> <li>◆寿命予測式の検討</li> </ul>	
(b) 原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆合金組成改良、表面処理適応による改良</li> <li>◆簡易耐久性評価技術による評価</li> <li>◆原料・部材の共通仕様候補の選定・試作・試作</li> <li>◆低コスト化に必要な技術課題の抽出</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆長時間評価</li> <li>◆製造方法の確立、発電試験</li> </ul>	
②実用性向上					
(a) 運用性向上のための起動停止技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆起動停止試験による熱サイクル影響評価</li> <li>◆熱衝撃を緩和する構造検討(スタック、モジュール)</li> <li>◆要素試験の実施、起動停止条件の確立</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆システム設計</li> <li>◆システム運用性評価</li> </ul>	
(b) 超高効率運転のための高圧運転技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆セルスタック酸化還元サイクル耐性向上</li> <li>◆セルスタック・モジュールの耐差圧性向上</li> <li>◆要素試験の実施</li> <li>◆モジュール高圧運転対応・コンパクト化</li> <li>◆複合発電システム制御の信頼性向上</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>◆高圧下でのセルスタック発電特性試験</li> <li>◆複合発電システム試験</li> </ul>	

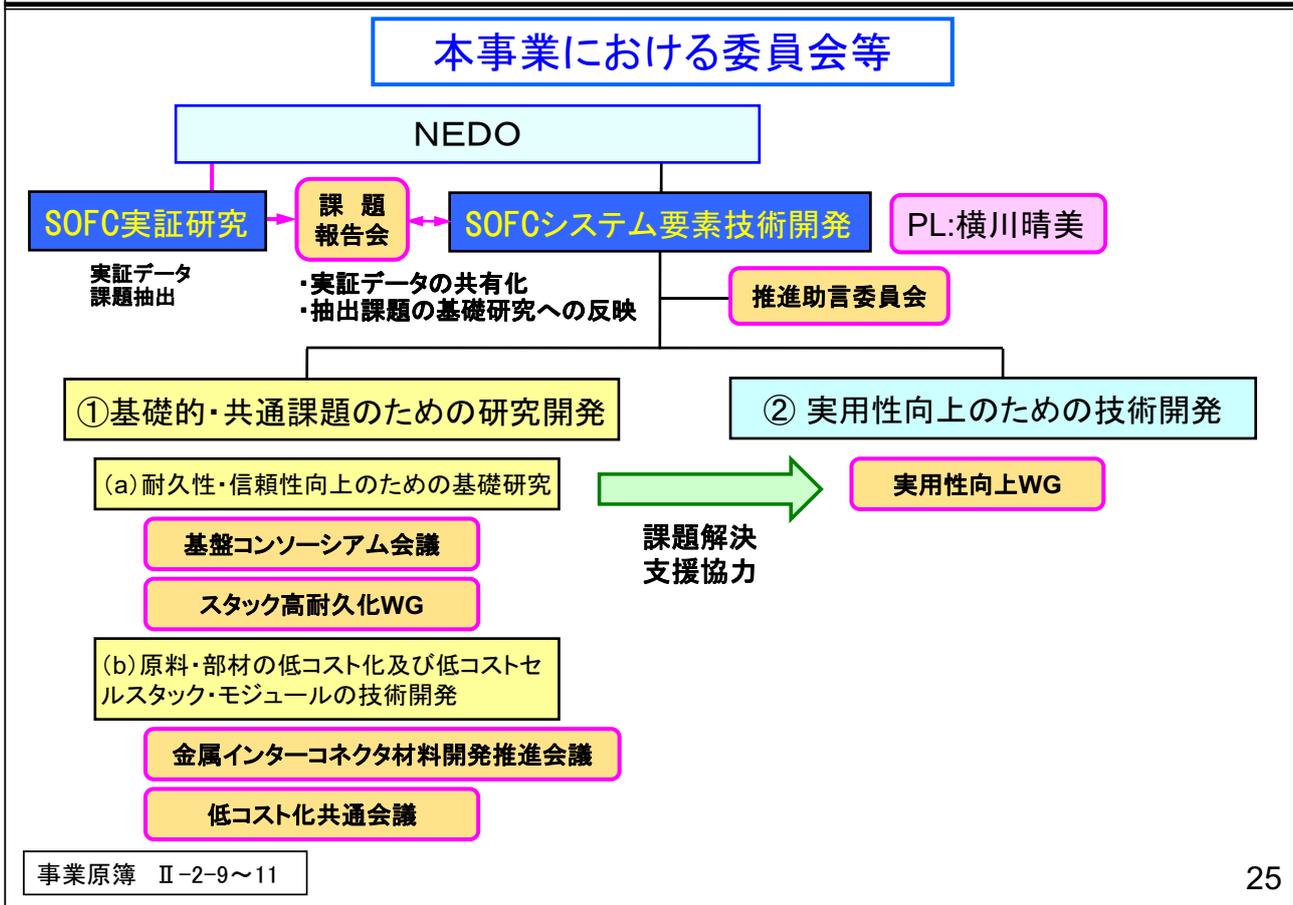
研究開発予算(NEDO負担額)の推移

(百万円)

研究開発項目	委託先/共同研究先	2008年度	2009年度	2010年度	合計
①基礎的・共通的課題 (委託:NEDO全額負担)					
(a)耐久性・信頼性向上のための基礎研究	産業技術総合研究所、電力中央研究所、TOTO、三菱マテリアル、関西電力、三菱重工業、東北大学、東京大学、名古屋大学、岐阜大学、京都大学、九州大学	1,014	960	417	2,392
(b)原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発	日立金属、TOTO、三菱マテリアル、三菱重工業、AGCセイミケミカル、共立マテリアル	181	171	122	473
②実用性向上 (共同研究:NEDO 1/2負担)					
(a)運用性向上のための起動停止技術	TOTO、三菱マテリアル、関西電力	59	69	27	155
(b)超高効率運転のための高圧運転技術	三菱重工業	114	125	194	433
合計		1,368	1,325	760	3,453

研究開発の実施体制





### 本事業における委員会等の開催実績

	2008年度								2009年度								2010年度							
	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8
①SOFC推進助言委員会				○				○						○						○				
②基盤コンソーシアム会議			○						○				○						○	○	○			
③スタック高耐久化WG					○		○			○			○				○		○			○		
④金属インターコネクタ材料開発推進会議	○				○			○						○						○				
⑤低コスト化共通会議													○			○			○			○	○	
⑥実用性向上WG					○		○			○			○				○		○			○		

①SOFC推進助言委員会: 外部有識者の意見やMETI/NEDOの意向を反映させる委員会  
 ②基盤コンソーシアム会議: 大学・研究機関を中心とした研究開発の進捗把握及び討議  
 ③スタック高耐久化技術WG会議: スタックメーカーを中心とした研究開発の進捗把握及び討議  
 ④金属インターコネクタ材料開発会議: 金属材料メーカーを中心として進捗把握および討議  
 ⑤低コスト化共通会議: 材料メーカーとスタックメーカーを中心とした研究開発の進捗把握及び討議  
 ⑥実用性向上WG: 「実用性向上のための技術開発」の進捗把握及び討議

事業原簿 II-2-9~11 26

**研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメント**

**【実用化・事業化に向けたマネジメント】**

- (1)「SOFC実証研究」において技術実証、「水素社会構築共通基盤整備事業」において規制見直し・国際標準化の検討を行っており、SOFCの市場導入・普及に向けて技術開発・実証・制度の整備を一体的に推進中。
- (2)「SOFC技術開発ロードマップ」を策定し、市場導入～普及までの技術課題、開発目標仕様等をステークホルダー間で共有。
- (3)SOFCシステムのユーザとなるエネルギー事業者(ガス、石油、電力会社等)と開発の方向性や実用化の戦略を議論。

**【知財マネジメント】**

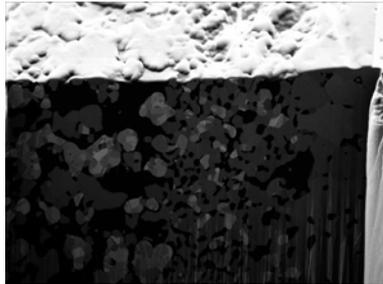
- (1)セルスタックの耐久性の向上に係る知的財産は、各参加企業の事業化において根幹となることから、重点的に確保する。ただし、参加企業個別の戦略を尊重。
- (2)大学・研究機関の基礎的・共通的研究で得られる知的財産は、今後、プロジェクト内で権利化の是非を議論し、権利化すべきものとそうでないものに仕分けする。
- (3)国際標準化に資するデータについては、JEMAの委員会・WG等に積極的に提供。

I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO細井
II. 研究開発マネジメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

・実施者が留意した事項

- ・強力な産官学連携の推進が達成できた。
- ・基礎的検討手段の高度化

FIB-SEMによる電極構造再構築



- ・個別課題間での連携

集学的取り組み

家庭用	小型定置用	中容量定置用	中容量ハイブリッド	
実証研究との連携		-		SOFCシステムレベル
(最終目標)4万時間の耐久性見通し、250回の起動停止の信頼性見通し				SOFCスタックレベル
起動停止 超高効率				
低コストインターコネクタ		低コスト材料		基礎的共通レベル
耐久性・信頼性向上のための基礎研究		集学的取り組み		

個別研究開発項目の目標と達成状況(その1)

	中間(最終)目標	成果	達成度	今後の課題
研究開発項目①基礎的・共通課題のための研究開発				
(a) 耐久性・信頼性向上のための基礎研究	劣化因子の系統的な検討と加速試験法の提案。三相界面微構造の測定技術の確立。劣化要因分析技術の確立。  (耐久性4万時間(電圧低下率0.25%/1000時間の見通し。起動停止回数250回の見通しを得る。))	・製造手順と劣化部位との相関を明らかにした。 ・劣化部位を集学的解析し改善指針を得た。 ・不純物による劣化の一般化モデルを構築し加速試験の基盤とした。 ・化学的・機械的相互作用として熱膨張・還元膨張を解析した	◎	・各スタック課題解決 ・集学的解析から改善策の提示 ・基盤側提案加速試験法の検討 ・スタックを用いた加速試験法の適用 ・直接的・間接的劣化機構の性能評価式への反映
(b) 原料・部材の低コスト及び低コストセルスタック・モジュールの開発				
(i) 低コスト金属インターコネクタ材料開発	共通仕様、コスト見積もり、課題抽出、開発方針策定	耐久性大幅改良。合金の目標達成に向けた方針確定。	◎	・合金改良+表面処理によるCr蒸発抑制 ・低コスト化プロセス
(ii) セルスタック材料の低コスト化技術開発	(セルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。)	目標が実現できる材料の開発方針が決定した。	○	微量成分の影響を評価し、閾値を設定する。

◎ 大幅達成 ○ 達成 △ 一部達成、× 未達

個別研究開発項目の目標と達成状況(その2)

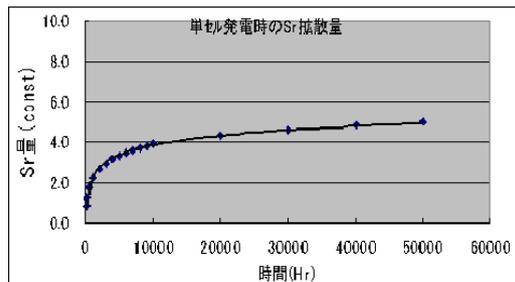
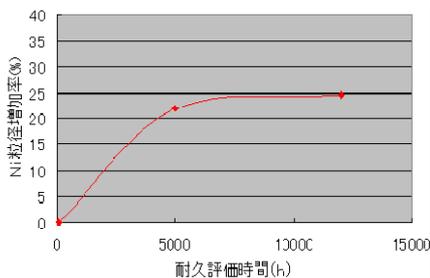
	中間(最終)目標	成果	達成度	今後の課題
<b>研究開発項目② 実用性向上のための技術開発</b>				
<b>(a) 運用性向上のための起動停止技術開発</b>				
(i) 円筒縦縞形 (TOTO)	起動停止による熱サイクルの影響評価、熱衝撃緩和構造の確立。	起動停止50回実施し、課題抽出できる見込み	△	・電解質粉末化 ・耐久運転中の起動停止250回の実証
(ii) 円形平板形 (三菱マテリアル-関西電力)	(耐久性4万時間の見通しを得る。起動停止回数250回の見通しを得る。)	起動停止250回における達成見通し	○	・セル破損、接触抵抗増大の対策 ・システムでの検証
(b) 超高効率運転のための高圧運転技術	起動停止、緊急時の安全停止など高圧下運転のためのシステム技術確立。  (耐久性4万時間、超高効率運転のための高圧運転技術)	中間目標「起動停止・緊急時の安全停止を可能とする」ことを平成21年度までに実験的に確認した。	◎	SOFC-MGT実証機での信頼性検証 セルスタック・モジュールの高圧での実圧検証。 基礎研究を反映したセルスタック耐久性検証

事業原簿 III1-56, 63, 72

◎ 大幅達成 ○ 達成 △ 一部達成、× 未達

家庭用コジェネレーションシステム(筒状平板形)の進展

	劣化率 2000h以降	劣化要因	対策・改善	劣化率 2000h以降	目標達成までの展望
単セル	0.55% /1,000h	空気極/電解質界面でのSr拡散	中間層組織改善 中間層厚み均一化	0.08% /1,000h	熱加速により4万時間後のSrの影響予測。影響少ない。
スタック	1.5% /1,000h	セル接続金属における酸化皮膜増大と抵抗増 接続合金、マニホールドなどの金属成分からのCr蒸発 構成部材、断熱材などからの不純物飛散	金属のコーティング改善中 集電金属以外の金属部コーティング 不純物飛散部の特定をし、部材等の改善中	0.7% /1,000h	コーティング法の検討。コーティング剤の最適化。電流密度低減によるジュール熱低下。上記改良により4万時間耐久(10%)達成の見込み



燃料極ニッケル凝集の時間変化

中間層中のSr拡散量の時間変化予測

低コスト(金属材料):改良合金のテスト=>クロム蒸発量の評価の必要性

事業原簿 III-1-31

中容量定置用、中容量ハイブリッドシステム

運用性の向上、高効率化の成果

- 1) 起動停止による熱サイクルの影響を評価し、熱衝撃緩和セルスタック・モジュール構造を確立に進展をみた。

共通的特徴: 熱応力による変形のスタック内での蓄積 = 基盤グループとの連携

- 2) マイクロガスタービンと組み合わせるための圧力範囲で、起動停止、緊急時の安全停止を可能とすることなどの高圧下での運転のためのシステム技術を確立することができた。

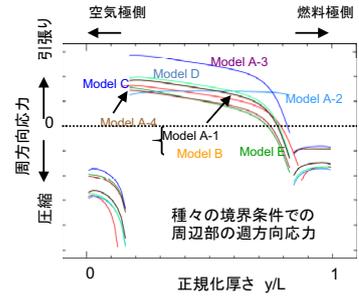
耐久性との連携

低コスト原料

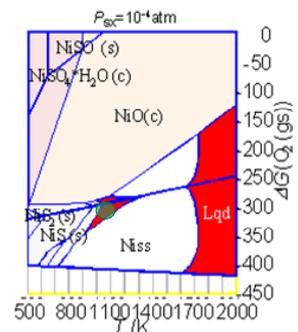
- 1) スタックメーカーでの共通仕様化が進展。
- 2) 不純物の地理扱いが焦点の一つ

耐久性との連携

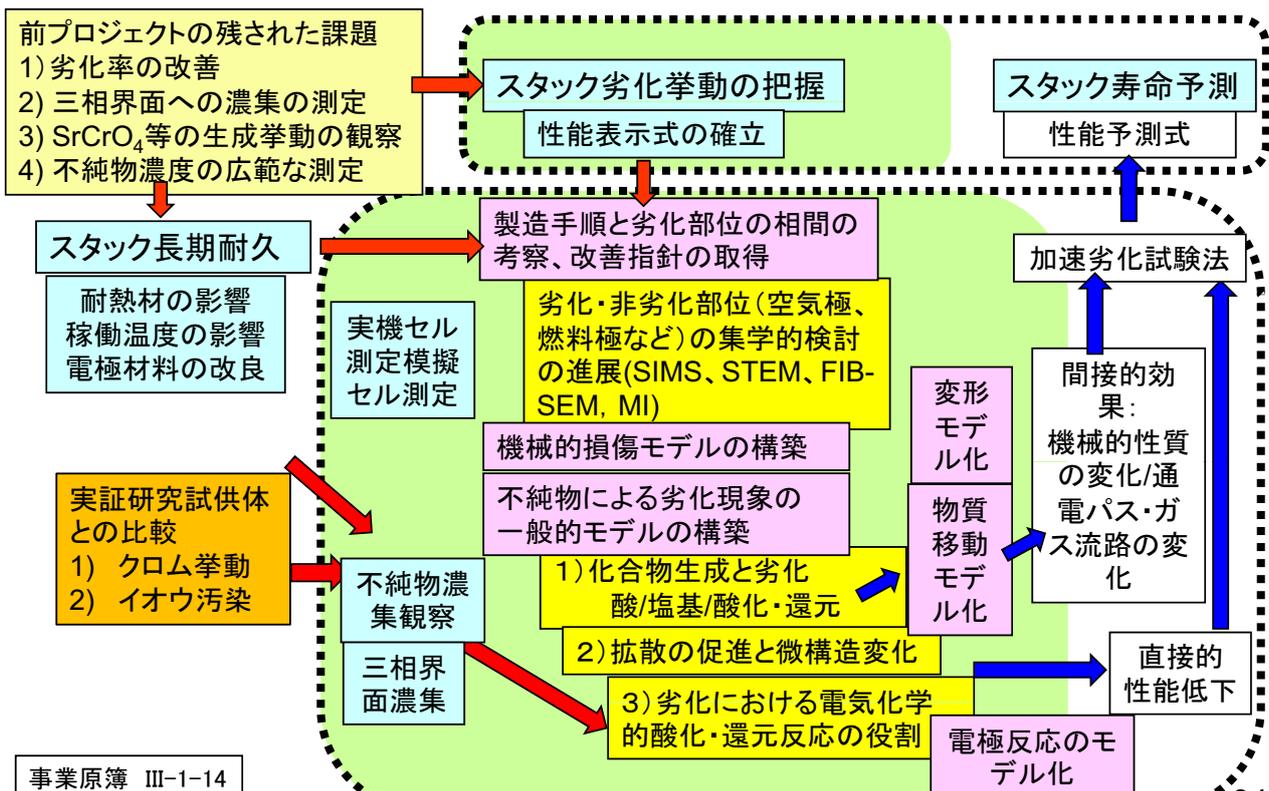
東北大による円形平板形の応力計算



産総研によるNi-S系状態図とNiの凝集

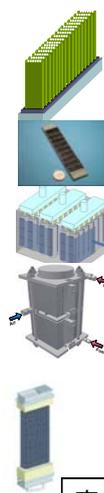


「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」～全体の進捗状況～



「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
～スタック耐久性に関する最終目標の達成状況～

■ 目標達成 ■ ほぼ目標達成 ■ 課題

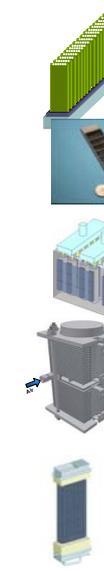


スタックメーカー	耐久試験電圧低下率(%/1000hr)				起動停止試験	
	空気極	燃料極	抵抗分	全体		
中温筒状平板形 (京セラ)	0.08	0.07	0.84	0.98	120回で1.2%	・耐久試験 850℃で、劣化が加速1
	0.04	0.06	0.25	0.27		
中温筒状横縞形 (東京ガス)	-	-	-	耐久試験 0.31%	100回で0.8% (2000時間耐久後)	
高温円筒縦縞形 (TOTO)	0.00※	0.22%※	0.88%※	耐久試験 1.1%	CSS8回、HSS47回のサイクルで、1.4%	※セルの集学的分析結果からの推定値
中温円形平板形 (三菱マテリアル、関西電力)	0.04	-0.19	1.05	0.79	・40回のサイクルで、1.8%まで改善	
	0.00	0.50	0.78	1.31		
円筒横縞形 (三菱重工業)	0.6	-0.07	0.36	0.89	平成22年後期に実施	・空気極改善により0.21%/1000hを実現
	0.84	-0.15	0.07	0.76		

事業原簿 III-1-13

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
～製造手順と劣化部位の相関～

● 解決に取り組んでいる課題 ◎ 解決策が見えてきた課題  
○ 改善が必要な課題 △ 注視している課題



	製造手順	空気極	電解質	燃料極	IC	接続	耐久性現状
中温筒状平板形 産総研	燃料極支持型 電解質、IC 空気極	◎ 拡散				○	金属の空気中での使用、シール材使用(低温部位)
中温筒状横縞形 産総研	支持体使用 燃料極；電解質；IC 空気極	◎ 拡散					シール材低温部位で使用 リークの克服
高温円筒縦縞形 TOTO	空気極支持型 電解質、IC 燃料極		● 燃料極側	●		△	燃料極側で不純物濃度大、Cr被毒なし
中温円形平板形 三菱マテリアル・関西電力	電解質支持 燃料極；空気極 金属IC	反応	○	●		○	シールレス；金属IC；燃料、空気中での不純物多い
高温円筒横縞形 三菱重工業(株)	支持体使用 燃料極；電解質、IC 空気極	◎ 拡散；Cr				△	Cr被毒検出 リークの改善

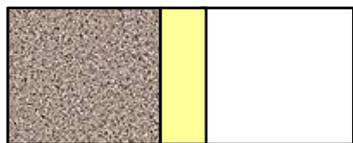
■ 電解質とほぼ同時に製膜される部位

事業原簿 III-1-15

「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」

～解決策が見えてきた課題～

LSF系空気極 YSZ電解質



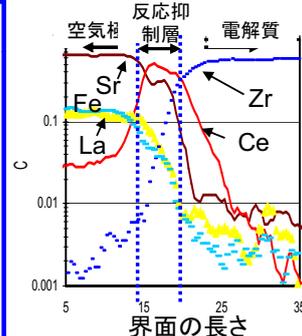
セリア中間層

背景

- 1) セリア・ジルコニア固溶体は中間組成でイオン伝導度が低い。
- 2) セリアの焼結度が悪いとSrが拡散してSrZrO<sub>3</sub>形成

前プロジェクト成果

5000h耐久後



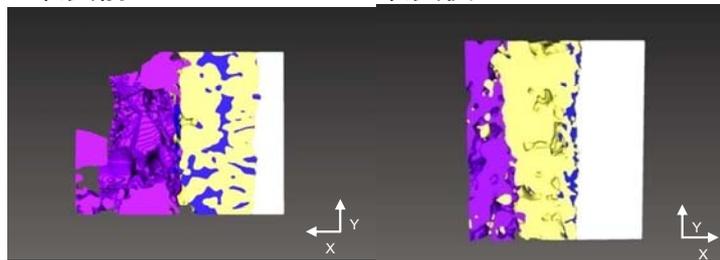
京大(FIB=SEM)による三次元像の構築とその実機への適用

中温筒状平板形の空気極中間層の最適化への貢献

SeZrO<sub>3</sub>相の可視化

改良前

改良後



「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」

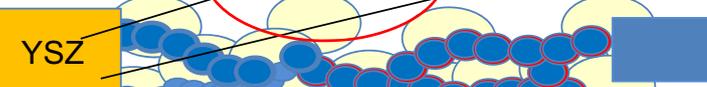
～新たに見いだされた課題(1)～

不純物による劣化の一般化されたモデルの構築

電気化学的活性点領域

拡散による微構造変化

化合物生成とトラップ効果



SIMSが有効

FIB-SEM、STEMが最も有効

シミュレーションの重要性

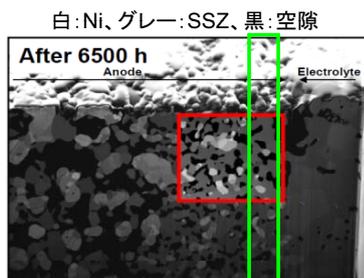
Niの凝集

- 1) 通常はバルク拡散によるので高温ほど顕著。
- 2) Ni凝集の促進効果がスタックによって現出

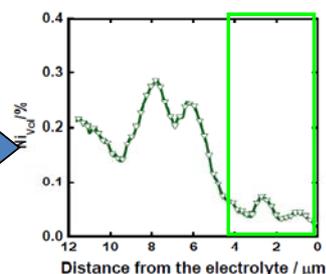
不純物; 添加物

京大(FIB=SEM)による三次元像の構築とその実機への適用

ニッケルの凝集と電解質・燃料極界面からの後退



After 6500 h

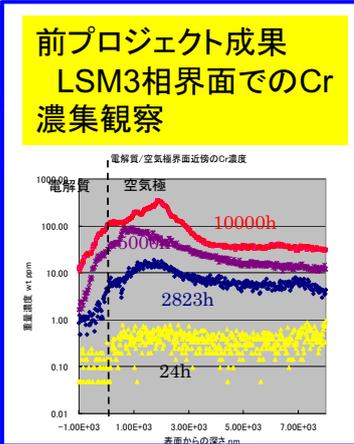


「耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」  
 ～新たに見いだされた課題(2)～

不純物による劣化の一般化されたモデルの構築

電気化学的活性点領域      拡散による微構造変化      化合物生成とトラップ効果

YSZ      SIMSが有効      FIB-SEM、STEMが最も有効      シミュレーションの重要性



産総研(SIMS)による三相界面濃集の測定とその実証機への適用

高温円筒縦縞形燃料極劣化の詳細解析  
 Sばかりでなく P, Siの重要性

燃料極中の不純物元素分布      燃料極 : 電解質

WT ppm

0 5 10 15 20 25 30

トラブル無

WT ppm

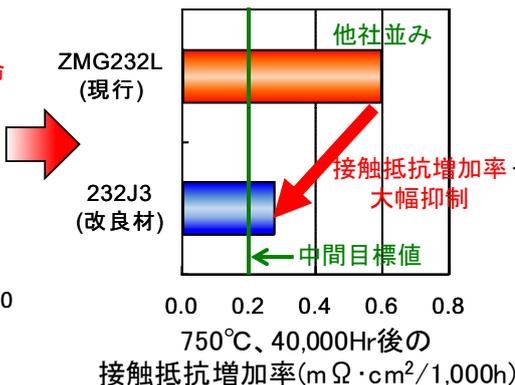
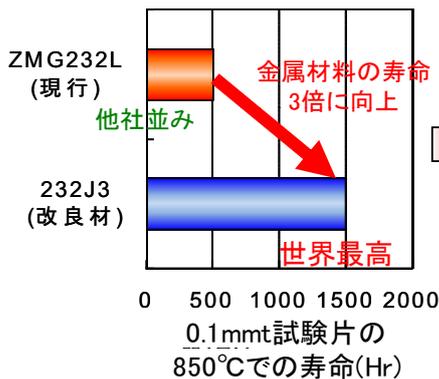
0 5 10 15 20 25

脱硫器トラブル

「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」  
 (a) 耐久性を改良した低コスト金属インターコネクト材料開発

項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題
1) 合金組成の改良 …接触抵抗増加率低減	<0.2mΩ・cm <sup>2</sup> /1000h	合金改良により 中間目標達成の見通し	○	Cr蒸発による発電性能低下抑制
2) 表面処理による改良 …Cr蒸発の抑制	Cr蒸発性の評価	表面処理による Cr蒸発抑制効果確認	○	合金+表面処理の組合せ選定
3) 発電試験評価	上記1,2)へフィードバック	上記1,2)の方針確定	○	上記1,2)の改良

スタックメーカー3社と協議し、発電性能に寄与する特性として、目標値設定

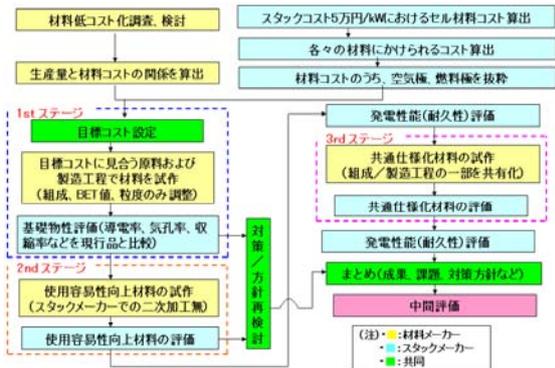


PAT: 2件(出願) 発表他: 9件

「原料・部材の低コスト化及び低コストセルスタック・モジュールの技術開発」

(b) セルスタック材料の低コスト化技術開発

中間目標(H22年度)	達成度	成果
各セルスタック開発機関がセルスタックを作製できる原料・部材の共通仕様を提案する。	○	スタックコスト5万円/kW以下が実現可能な空気極・燃料極材料の基本仕様を定めることができた。空気極材料、燃料極材料の共通仕様について検討し、技術課題を抽出するとともに、開発方針を策定した。
セル製造及びスタック化コスト等を分析して最終目標を達成するための原料・部材のコストを見積る。	◎	
低コスト化に向けた技術開発課題を抽出する。	○	
低コストセルスタック開発方針を策定する。	○/△	



事業原簿 III-1-37、41、46

【低コスト化開発方針】

【スタックメーカーによる材料評価の進捗状況】

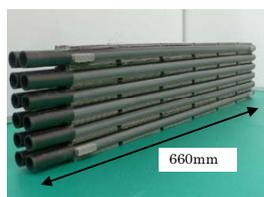
運用性向上のための起動停止技術(円筒縦縞形:TOTO)

**目標** CSS,HSSを含めた起動停止を合計50回程度 実施し、起動停止250回でスタックの電位低下率が10%以下を見通せるモジュール構造を開発する。  
電位低下率が10%以上と推定された場合、モジュールにおける技術課題を明確化し、最終目標を達成させるための対策を立案する

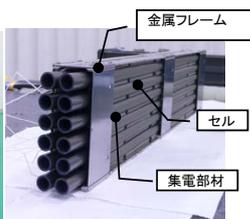
総合評価



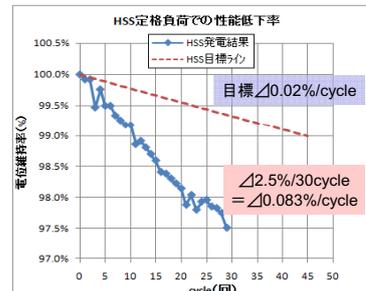
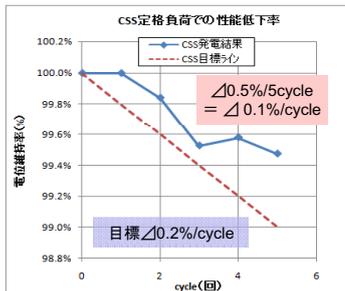
項目	成果のまとめ	評価
スタック構造の開発	フレーム固定スタックを考案し、CSS 0.2%/cycleの見通しを得た。	○
モジュール構造の開発	モジュールの各構成要素の耐熱衝撃性を評価・改良し目標達成の見通しを得た。	○
5kWモジュール要素技術開発	熱サイクル下でもセル周りの気密を維持する仕切り板構造を検証した。	○
CSS条件の設定	シミュレーションを併用し集電部の接触不良を回避する運転条件を設定した。	○
HSS条件の設定	経済性の高いHSS条件を設定し、0.022%/cycleの見通しを得た。	○
1スタックモジュール評価	上記構造・運転条件において、CSS 9cycle+HSS 45cycleを実施。目標達成。	○
1kWモジュール評価	上記構造・運転条件において、CSS 5cycleの目標は達成したが、HSS 45cycleにおいて目標を下回り、低負荷運転時の課題を抽出した。	△



従来型スタック構造



フレーム固定スタック構造 (改良型)

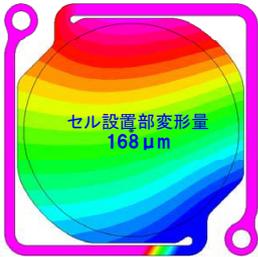


事業原簿 III-2-55~56

1kWモジュールでの起動停止試験結果(左図:CSS,右図:HSS)

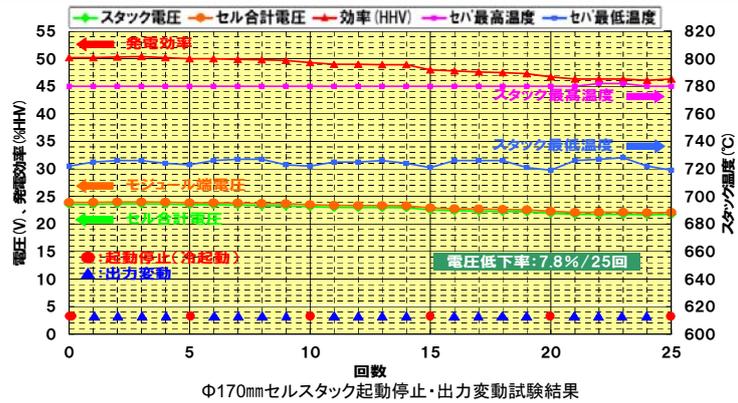
運用性向上のための起動停止技術(円筒平板形:三菱マテリアル-関西電力)

中間目標	成果	達成度	課題
起動停止出力変動試験を実施し電圧低下率10%/25回を見通す	Φ120mmセルスタック:7.3%/250回(起動停止5.0%/50回、出力変動2.3%/200回)。	○	低コスト化
	Φ170mmセルスタック:7.8%/25回(起動停止3.2%/5回、出力変動4.6%/20回)。 <電圧低下の原因抽出> ○セル損傷 ・電極/電解質の還元膨張・熱膨張の差 ・セル面内の温度差 ○放熱板上下セルの電圧低下、セル/集電体/セパレータ間の接触抵抗増大 ・放熱板によるセパレータの様な変形の阻害	△	セル損傷防止 接触抵抗増大防止
水素窒素レスでの起動停止	水素・窒素レスでの起動停止方法の立案及び実モジュールでの試験実施。 水素・窒素レスでの緊急停止方法の立案。	○	-
マルチスタックモジュールの設計・製作	水素窒素レスにて起動停止が可能なモジュールの設計・製作を実施した。	○	検証試験の実施



Φ170mmセルスタックのセパレータ変形解析例

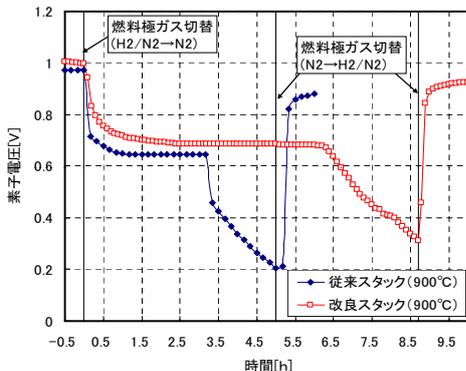
事業原簿 III-2-61~63



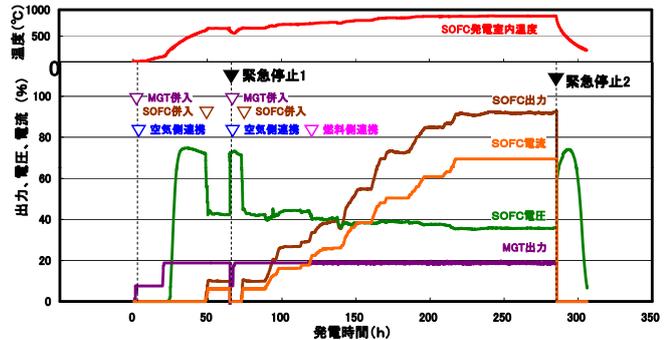
Φ170mmセルスタック起動停止・出力変動試験結果

超高効率運転のための高圧運転技術(三菱重工業)

実施項目	成果内容	自己評価
1)セルスタック信頼性向上	セルスタック酸化還元耐性向上、カートリッジ試験にて効果確認	◎
2)モジュール高圧運転対応・信頼性向上	密充填形カートリッジの健全性・発電特性・伝熱特性の実験的検証	○
3)複合発電システム信頼性向上	SOFC-MGT複合発電にて、起動・定常運転・緊急停止で安全に運転停止可能であることを確認	◎



従来スタックに比べ約2倍の耐久性を確認。



起動・定常運転・緊急停止を実施し、保護インターロックの正常動作を確認した。

事業原簿 III-2-67~71

知的財産権、成果の普及

	H20	H21	H22	計
特許出願(成立特許)	6	13	1	20 件
論文(査読付き)	33	39	25	97 件
研究発表・講演	91	198	57	346 件
受賞実績		1		1 件
新聞・雑誌等への掲載 ※1		2	1	3 件
展示会への出展	2	7		9 件

※1: 事業化関連含む

平成22年度7月31日現在

成果の普及

No.	発表日	タイトル	発表者	発表形態
1	平成21年 10月2日	SOFC-MGT複合発電で3,000時間運転を達成	三菱重工業(株)	三菱重工業ニュース (広報発表) ウェブ版・長崎 ニュース
2	平成21年 10月2日	SOFC-MGT複合発電で3,000時間運転を達成、 国内最長運転を達成	三菱重工業(株)	・日刊工業新聞、 ・電気新聞
3	平成21年 11月11日	家庭用新型燃料電池の実証実験	大阪ガス	日本経済新聞
4	平成21年 12月11日	次世代型、11月に実用化	大阪ガス	日本経済新聞
5	平成22年2 月17日	TOTO 投資 (茅ヶ崎工場へのセラミック部材量産化の設備 投資関連記事)	TOTO	日本経済新聞

最終目標達成の見通し(その1)

研究テーマ	最終目標(平成22年度末)	達成見通し
耐久性・信頼性向上に関する基礎研究	耐久性4万時間(電圧低下率0.25%/1000時間の見通し。起動停止回数250回の見通しを得る。 劣化機構解明、加速試験法の確立。劣化と微構造の相関、耐久性評価手法の確立。	一部電解質に課題のある点を除いて、製造手順に起因する劣化は解決できるであろう。スタック構造に起因する劣化の解決が最後まで残るであろう。 共通基盤的な劣化機構解明は大きく進展するであろう。個別劣化現象毎の加速試験法は可能であろう。機械的性質に関連した劣化の取り扱いは複雑であるが、加速試験法の提案はできるであろう。
低コスト金属インターコネクタ材料開発	セルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。	接触抵抗増加率とともにCr蒸発抑制を同時達成すべき課題と再設定することで耐久性の目標達成が見通せる。低コスト化の目標では、低コストプロセスを開発し改良材に適用することで達成の見込み。
低コストセル材料開発	セルスタック5万円/kW程度の見通しを得る。	ターゲットコストを設定し、試作・評価を行った結果、検出された微量成分の課題について、閾値を設定することにより、目標達成が可能。

最終目標達成の見通し(その2)

研究テーマ	最終目標(平成22年度末)	達成見通し
運用性向上のための起動停止技術開発(TOTO)	耐久性4万時間の見通しを得る。起動停止回数250回の見通しを得る。	起動停止50回において確認済。電解質粉末化対策および長時間運転と起動停止の関連評価・対策することで達成可
運用性向上のための起動停止技術開発(三菱マテリアル・関西電力)	耐久性4万時間の見通しを得る。起動停止回数250回の見通しを得る。	φ120mmセルスタックにて起動停止250回において見通しを確認済。 φ170mmセルスタックでは電圧低下の要因(セル破損、接触不良)分析し対策する必要あり。
超高効率運転のための高圧運転技術	耐久性4万時間(経時電圧低下率0.25%/1000時間以下)、超高効率運転のための高圧運転技術	基礎研究を反映して改善したセルスタックの数千時間の長時間試験にて耐久性を検証する。信頼性PJのセルスタック試験ではH22年度までに経時電圧低下率0.21%/1000時間の実績が得られている。 高圧運転技術については、セルスタック・モジュールの高圧での実圧検証にて性能・健全性を検証する。 250kW級SOFC-MGT実証機の運転試験にてシステム信頼性の検証を行う。 以上の取り組みで最終目標を達成するとともに、実用に向けたシステム信頼性の検証を行う。

I. 事業の位置付け・必要性	1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 2. 事業の背景・目的・位置付け	NEDO細井
II. 研究開発マネジメント	1. 事業の目標 2. 研究開発の内容 2.1 研究開発の内容 2.2 研究開発の実施体制 2.3 研究開発の運営管理 2.4 研究開発の実用化、事業化に向けたマネジメント	NEDO細井
III. 研究開発成果	1. 各テーマの進捗と中間目標の達成度 2. 成果の普及 3. 最終目標の達成可能性	横川PL
IV. 実用化、事業化の見通しについて	1. 実用化、事業化の見通し 2. 波及効果	横川PL

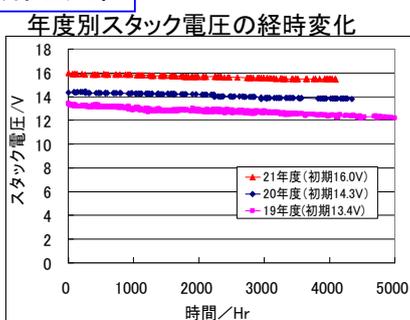
IV. 実用化、事業化の見通しについて

家庭用SOFCコジェネレーションシステムの導入

耐久性

形式	前プロジェクト		耐久性試験結果	起動停止試験結果	検討劣化要因	今後の課題
	結果	抽出課題				
中温筒状 平板形	1.5%/1000h	空気極/電解質界面のSr拡散 セル接続金属の酸化被膜増大、 Cr蒸発、不純物	0.7%/1000 h	0.01%/回	空気極中間層 セル接続金属	コーティング法の検討； コーティング材の最適化

実証研究成果



\* 耐久条件: 750°C 0.3A/cm<sup>2</sup> Uf=70%

スタックの主な改良点と劣化率

年度	スタックの主な改良点	劣化率 (%/1000hr)
H19	1) 金属のコーティング	-1.5
H20	1) セルの中間層組織改良 2) 金属のコーティング材料変更	-1.0
H21	1) 中間層厚み均一化 2) 金属のコーティング法改良	-0.7

スタックの初期性能の向上および耐久性向上に伴い、実証研究機の機器発電効率も向上

4万時間耐久から 9万時間耐久へ

スタック・システムの寿命を簡便に知る加速劣化試験法は存在しない。

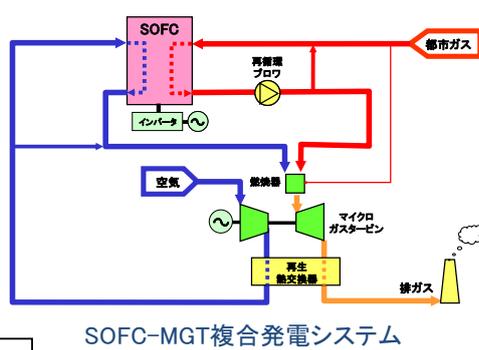
個別過程の物理化学的理解から長時間耐久予測(セル挙動、スタック挙動、システム挙動)

小・中容量定置用SOFCシステムの導入

本事業では、起動停止における熱サイクルに強いモジュール構造および運転方法を提供してきた。実用化に向けてこの成果をさらに低コストで実現することが必要であり、セルの発電出力密度の向上とセル/スタック/モジュールの量産化技術が重要である。

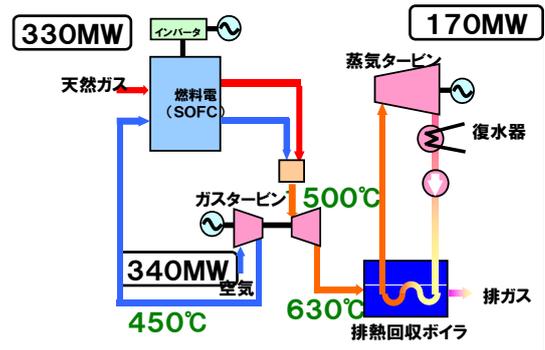
中容量定置用SOFC・GTハイブリッドシステムの導入

本事業におけるH23～24年度の実証機検証を経て、数百kW級SOFC-MGT複合発電を実用に供することを目指している。プロジェクト終了後のH25年度から、SOFC-MGT複合発電システムをユーザに提供する計画である。



SOFC-MGT複合発電システム

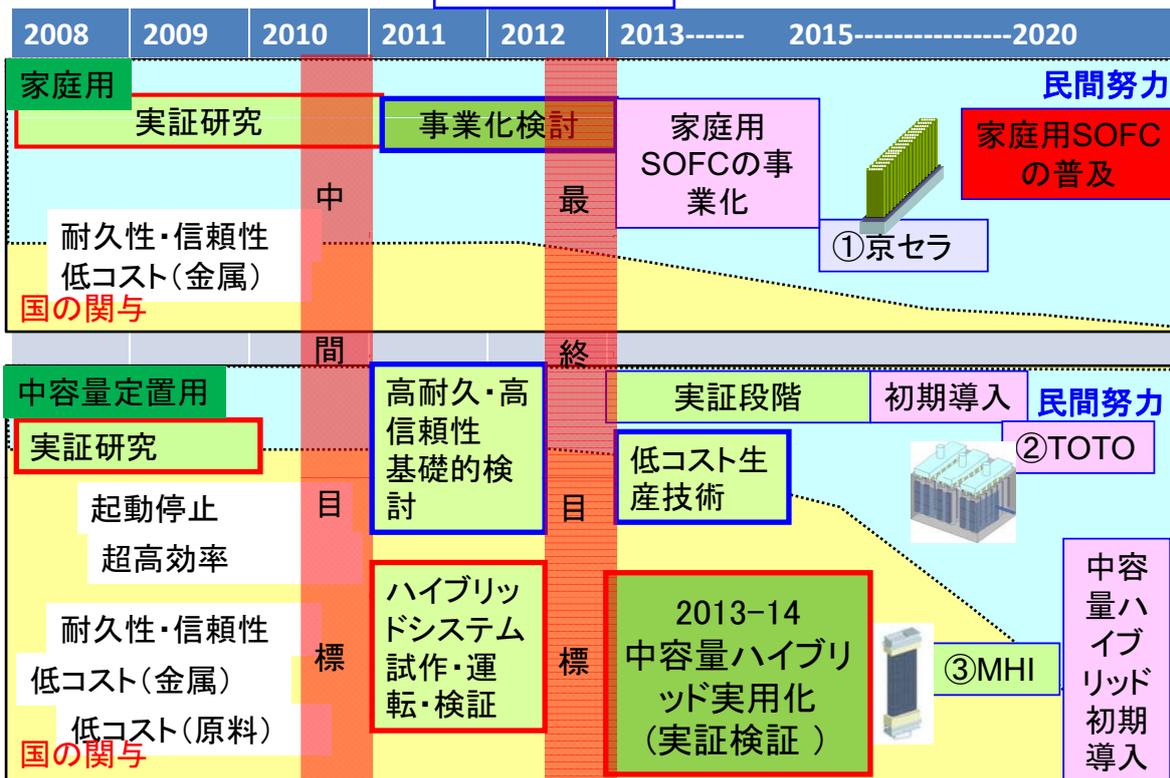
事業原簿 IV-1-1



事業用システム

51

事業化シナリオ

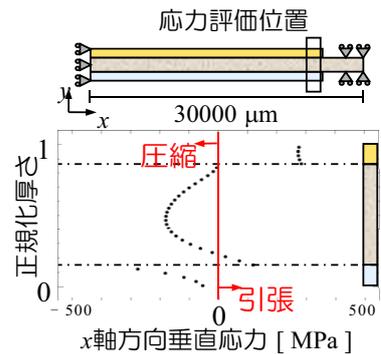
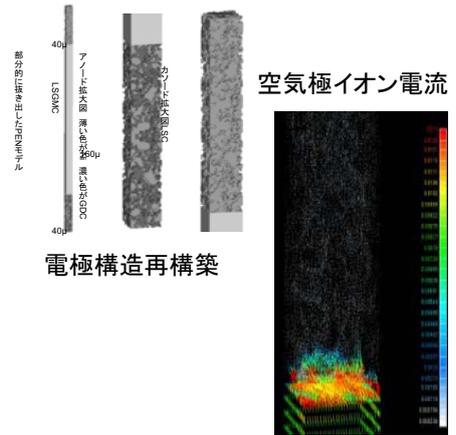


事業原簿 IV-1-1

52

## 波及効果

- (1) 低温形電気化学デバイス等への応用  
局所平衡近似に準拠したモデルの適用性は広い。  
複雑なシミュレーション技術(高温システム+電気化学的反応+機械的安定性の評価)
- (2) 電極微構造の解析技術  
本事業で確立した電極微構造の三次元像の構築と利用あるいはSIMSによる局所的な濃集の観察は、先進的。
- (3) 高温不純物解析技術  
1ppmレベルでの測定と解析技術
- (4) プロジェクトマネジメントの他分野への適用  
本事業では、本格的な産学の連携によって、先進的基盤技術を固めることで、このような技術の発展を促すことができた。他分野の研究開発にも応用できる。

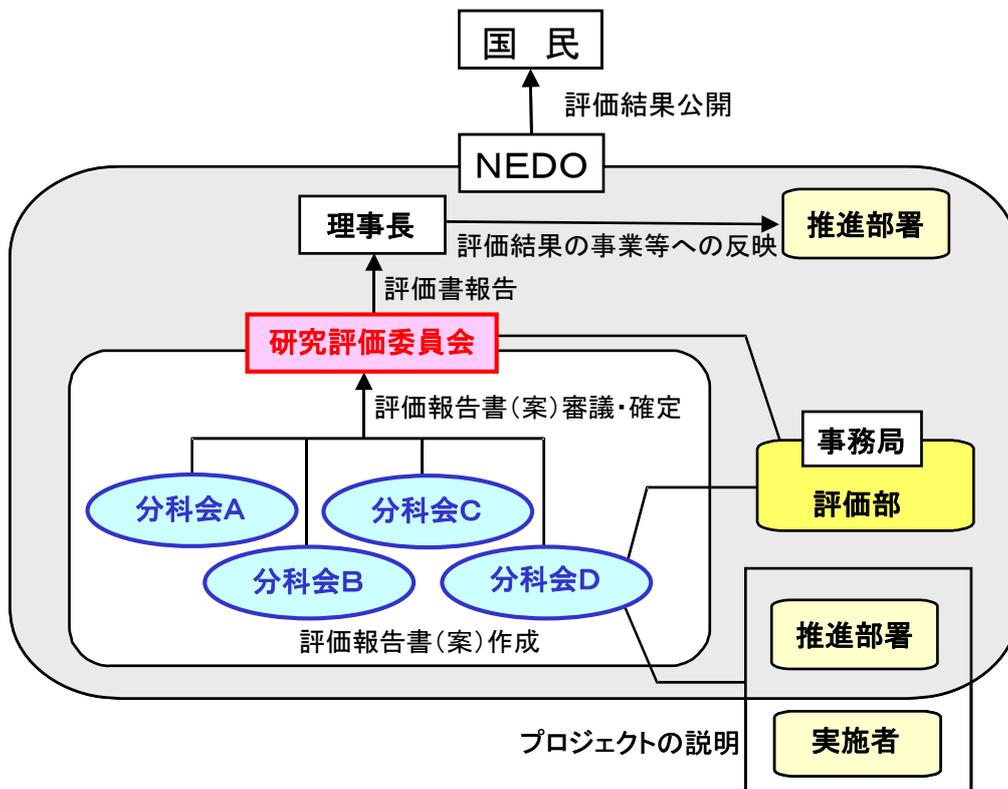


## 参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、  
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を  
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者
- ジャーナリスト

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構研究評価広報部が担当した。

## 3. 評価対象

平成20年度に開始された「固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべき者である。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料1-7頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ エネルギーイノベーションプログラムの目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 2. 研究開発マネジメントについて

#### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

#### (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 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ているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に

沿って国内外に適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

### 4. 実用化、事業化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

#### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 標準的評価項目・評価基準（中間評価）

2010. 3. 26

### 【中間評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの中間評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

##### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

##### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

## (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

## (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 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ているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

## (4)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

## (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確

になっているか。

## (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

## (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

## (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

## 4. 実用化、事業化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

(2)事業化までのシナリオ

- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

(3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

\*基礎的・基盤的研究開発の場合

## 2. 研究開発マネジメントについて

### (1)研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

### (2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・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ているか。
- ・研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。

- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### 4. 実用化の見通しについて

##### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

##### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

\* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1)研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

##### (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

##### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 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ているか。

- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (4)研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

### 4. 実用化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S 化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

#### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術  
総合開発機構（NEDO 技術開発機構）評価部が委員会の事務局  
として編集しています。

平成22年11月

NEDO 技術開発機構  
評価部

部長 竹下 満  
主幹 寺門 守  
担当 梶田 保之

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO 技術開発機構のホームページに  
掲載しています。

(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/index.html>)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地  
ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162