

「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」
事後評価報告書

平成23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23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 古川 一夫 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 | 7 |
| 研究評価委員会委員名簿 | 8 |
| | |
| 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 | 1-24 |
| 2. 1 マイクロリアクター技術 | |
| 2. 2 ナノ空孔技術 | |
| 2. 3 協奏的反応場技術 | |
| 2. 4 マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術 および協奏的反応場技術を利用したプラント技術 | |
| 3. 評点結果 | 1-42 |
| | |
| 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 |
| 参考資料2 評価に係る被評価者意見 | 参考資料 2-1 |

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、「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」の事後評価報告書であり、第28回研究評価委員会において設置された「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第30回研究評価委員会（平成23年11月24日）に諮り、確定されたものである。

平成23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

「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(平成23年8月現在)

| | 氏名 | 所属、役職 |
|------------|------------------|---|
| 分科会長 | これなが 伊永 たかし 隆史 | 首都大学東京 大学院理工学研究科 教授 |
| 分科会長 代理 | しょうじ 庄子 しゅういち 習一 | 早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 電子光システム学科 教授 |
| 委員 | せき 関 みのる 実 | 千葉大学 大学院工学研究科 教授 |
| | どうめん 堂免 かずなり 一成* | 東京大学 大学院工学系研究科 教授 |
| | にしもと 西本 たかひろ 尚弘 | 株式会社島津製作所 基盤技術研究所 Micro-Total Analysis Systems ユニット長 |
| | ふじい 藤井 てるお 輝夫* | 東京大学 生産技術研究所 教授 |
| | よしだ 吉田 としお 敏雄 | フルイドウェアテクノロジーズ株式会社 代表取締役社長 |

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：東京大学 総合文化研究所）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7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23年8月3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

- 現地調査会（平成23年7月19日）

- 日油株式会社 武豊工場（愛知県知多郡武豊町）

- 太陽化学株式会社 研究所、南部工場（愛知県四日市市）

- 第30回研究評価委員会（平成23年11月24日）

評価概要

1. 総論

1) 総合評価

本プロジェクトは、共通基盤技術と実用化技術のハイブリッド研究であり、その共通基盤技術としてマイクロリアクター、ナノ空孔、協奏的反応場を位置付けた意欲的な計画である点、および実用化技術の開発において共通基盤技術の成果を適切に取り入れた点が評価できる。マイクロチップ関連技術の流れとしても、前プロジェクトの分析・合成から本プロジェクトの化学工学への移行は極めて妥当である。全ての研究開発項目において、研究成果が最終開発目標をクリアしており、高く評価できる。学術的レベルも高く、また実用化が十分視野に入る成果が研究開発項目ごとに幾つか見受けられる。

一方、異なる技術体系であるマイクロリアクターとナノ空孔にマイクロ波を結合させたため、協奏的反応場技術等で本来の成果が見込めないままにプロジェクトが構成された箇所が目立ち、予備検討不足や不整合課題が見受けられた。

今後、本技術分野については、実用化を促進する観点から、大企業・上場企業中心への助成から研究開発力のある中小企業・非上場企業等への助成に移行して、空洞化を避け国際競争力の基盤を高めるため集中的に実施することも検討して欲しい。

2) 今後に対する提言

企業ではコスト認識がきわめて重要なため、高く売れなければ製品化しないのは言うまでもない。マイクロ反応場によって医薬品、化学品等を製造するプロセス開発を行う実用化技術の開発においては、装置コスト、製造コスト、維持メンテナンスなどに精通した製造技術者や事業企画者をプロジェクト初期から参画させ、コストを意識した開発を実施することが重要である。

国際的な流れを見ると中国などアジア諸国の追い上げが急であり、日本の優位性を確保するには、日本の持つ優れた材料工学、精密微細加工、マイクロ流体工学を有効に活用することも必要であろう。また、実用化・事業化に関して、各企業における「継続的かつ集中的な技術蓄積と人材育成」が必要であり、その継続的な取組に対する公的支援を期待する。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

本プロジェクトの中核となるマイクロリアクター技術およびナノ空孔技術は、

革新的な化学プロセスの構築に貢献するものであり、そのことが部材産業の競争力を強化するという意味において、ナノテク・部材イノベーションプログラムの目的達成のために大きく寄与するものと言える。同時に、本プロジェクトの中核技術がもたらすであろう反応エネルギーの効率的な投入、副生物・廃棄物の減少などによって、化学プロセスの省エネルギー化が進めば、エネルギーイノベーションプログラムの目的達成のためにも大きく貢献することになる。また、本プロジェクトの中核技術は、化学プロセスの革新にとって基盤的・普遍的なものの一つになる可能性が高い。幸いにも、我が国の技術的な蓄積は世界の最先端に近いところにある。従って、実用的な技術として確立する前の段階で、基礎的な研究開発投資を行い、国内の化学産業の国際的な競争力を高めることに繋げるといふ事業目的は妥当なものである。

しかし、マイクロリアクターまたはナノ空孔における協奏的反応場の共通基盤技術開発では、開発目標と達成状況が複雑多岐にわたり、予備検討および絞込みが不十分であったといわざるを得ない。

欧州との競争も重要であるが、中国等アジアの追従も無視できず、今後、国際水準の客観的な評価を定期的に行う必要を感じる。

2) 研究開発マネジメントについて

事業化に近いフェーズでの開発を含むプロジェクトであり、困難な部分も多かつたであろうが、全体としてマネジメントが適切に行われたといえる。特に、集中研のメリットを活かして、効率的な知識の共有を行ったことが、プロジェクト全体の成功につながったものと考えられる。また、共通基盤+実用化のハイブリッド研究の試みは実用化に向けた意欲が感じられる。

しかし、委託事業である共通基盤技術研究と助成事業である実用化技術開発との相乗効果を大きくするには、有益な情報交換が可能な仕組み作りが必要である。また、プロジェクト期間を通して、技術の全体像を俯瞰的に描く努力がもう少しなされても良かったであろう。すなわち、ここで開発された共通基盤技術が、どのような範囲に適用可能であるのか、その将来展開も含めたマップを描くことにより、技術の優位性や可能性がよりの確に示せるだけでなく、今後の発展にもつながるものと考えられる。

産学技術連携や実用化・産業技術化を担うファンディング及びマネジメントの公的機関として、プロジェクトの全期間を通して一人が責任を持ってプロジェクトを監視監督する NEDO のマネジメントが望まれる。

3) 研究開発成果について

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術ともに世界最高水準あるいは世界初

の成果がいくつか達成されている。これらの成果がそのまま実用化に繋がるかは、今後の課題ではあるが、当該分野において我が国が世界をリードできる程度の基盤はできたと判断する。また、成果の普及の観点から、論文数、学会発表も妥当である。特に、活性種の生成場と反応場を分離できるマイクロリアクター技術の開発はユニークであり、従来の反応器では実現が難しかったり多段反応プロセスであったものを、簡便かつ効率的に行える可能性があり、今後の展開が期待される。ナノ空孔に関しては、ナノ空孔反応場＋分子触媒の協働性を実現するための基礎技術を分解し、それぞれの有効性を確認している点で評価できる。協奏的反応場については、圧力・電子移動・触媒・光・マイクロ波（熱）等パラメータを整理し、その効果について評価した点が評価できる。

一方、個々の成果に対する化学工学的データ普遍化、汎用化の解析作業が必ずしも十分とはいえない。また、成果に基づいて描きうるプラントのイメージや運用サイクルなどを、もう少し俯瞰的に示すことができれば、技術の更なる普及につながるであろう。その意味では、成果全体をもう少し整理してみる必要がある。

今後、技術開示の問題点等はあると考えるが、今回の研究開発において実現された技術を、基盤的なものとして広く普及するための方策を検討することが望まれる。特に、共通基盤技術の成果はデータベース化あるいは体系化が強く望まれる。

4) 実用化の見通しについて

実用化に向けた基盤研究の実証およびパイロットプラントの作成など、産業化への道筋がある程度示されたことは評価できる。現時点では、まだ十分とは言えないが、マイクロ化学生産研究コンソーシアムを立ち上げて技術的フォローアップを計画している点は大いに評価できる。特に、ナノ空孔担体は、中小規模の市場を狙った最適な実施者が得られ、従来のアモルファスシリカよりも担体価格は上がるが高機能触媒のナノ細孔径制御担持体として商品価値が期待されるため、適切な市場規模の産業技術になるであろう。

しかし、実用化・事業化するために残されている課題も多い。連続運転時の操作安定性、規模の拡大、コスト削減など、個々の企業が今後も継続的に取り組む必要があり、コンソーシアムだけでなく、NEDOによるフォローアップも望まれる。また、個々の共通基盤技術の有効性は示されているものの、今後の産業化に向けてはいわゆるキラーアプリケーションが必要で、その探索は十分行われているとは言えない。

市場への販売ターゲット価格は、プロジェクト初期に明確にしておくことが望まれる。

研究評価委員会におけるコメント

第30回研究評価委員会（平成23年11月24日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

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 | 一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議（オリンパス株式会社 未来創造研 究所） 副議長（コーディネーター） |
| | 五十嵐 哲 | 工学院大学 応用化学科 教授 |
| | 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 |
| | 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 |
| | 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 |
| | 佐藤 了平 | 大阪大学大学院 マテリアル生産科学専攻 （システムデザイン領域担当） 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

本プロジェクトは、共通基盤技術と実用化技術のハイブリッド研究であり、その共通基盤技術としてマイクロリアクター、ナノ空孔、協奏的反応場を位置付けた意欲的な計画である点、および実用化技術の開発において共通基盤技術の成果を適切に取り入れた点が評価できる。マイクロチップ関連技術の流れとしても、前プロジェクトの分析・合成から本プロジェクトの化学工学への移行は極めて妥当である。全ての研究開発項目において、研究成果が最終開発目標をクリアしており、高く評価できる。学術的レベルも高く、また実用化が十分視野に入る成果が研究開発項目ごとに幾つか見受けられる。

一方、異なる技術体系であるマイクロリアクターとナノ空孔にマイクロ波を結合させたため、協奏的反応場技術等で本来の成果が見込めないままにプロジェクトが構成された箇所が目立ち、予備検討不足や不整合課題が見受けられた。

今後、本技術分野については、実用化を促進する観点から、大企業・上場企業中心への助成から研究開発力のある中小企業・非上場企業等への助成に移行して、空洞化を避け国際競争力の基盤を高めるため集中的に実施することも検討して欲しい。

〈肯定的意見〉

- 前期プロジェクトにおいて一定の成果を上げており、世界における日本の国際競争力を保つ上で必要な後継プロジェクトである。マイクロリアクター、ナノ空孔、協奏的反応場を共通基盤技術と位置付けた意欲的な計画である点、個々の課題についての目標を設定しその達成に向けて努力した点は大いに評価できる。また、実用化研究についても基盤研究の成果を取り入れて、目標達成に向けて努力した点で評価できる。
- マイクロチップ関連技術の流れとして、分析・合成から化学工学への移行は正しい。
- すべての項目において、研究成果が最終開発目標をクリアしており、達成度 100% という意味で高く評価できる。
- 本プロジェクトでは、概ね学術的レベルも高く、また実用化が十分視野に入る成果が各研究テーマごとにいくつか見受けられる。また、当初目標は全てのテーマについて達成されており、プロジェクトがほぼ順調に進行したと判断する。

- 「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」事業を実施した価値は疑う余地がない。
- 大学にマイクロ反応場デバイス作成装置を入れなかったことは、マイクロ反応場の製造プロセス技術開発で企業の役割が大きいことを示すうえで好ましい。
- 現地調査会の対象となったナノ空孔技術と協奏的高圧反応場技術とは、中小企業の事業および大企業内の中小規模事業であり、実用化の可能性があると思われた。
- 高温加熱流体を外力として利用したナノ微粒子の協奏的製造プロセス開発を担当した大企業は、事業前半の共通基盤技術の検討段階から現場技術経験者が参画し、既存プロセスに比べて3~10倍コストがかかることが判明したため、助成事業の参画を辞退し自腹での参加に変更したと聞いて、NEDO 事業本来のあり方を見た思いがするので、その企業姿勢を評価したい。
- マイクロリアクター技術およびナノ空孔技術を利用した新規反応プロセスの事業化をめざし、必要となる共通基盤技術開発、応用技術の実証、実用化研究に幅広く取り組み、投資額に見合った数多くの立派な成果を挙げたことは評価できる。
- 得られた成果の多くは世界の最先端・最高水準のもので、当該分野の国際競争力を著しく高める結果が得られている。
- 共通基盤技術開発では、原理的な側面や基礎データの蓄積、解析モデル、操作手法の提案など、波及効果の大きな成果を挙げており、特許取得、論文発表、書籍刊行、講習など、成果の普及・広報に取り組んだばかりでなく、当該分野の人材育成に積極的に取り組んだ点は評価できる。
- 実用化技術開発においては、本事業で取り組んだテーマの中から、いくつかのプロセスの事業化の見通しが明確になってきたことは、NEDO の事業として意義深いことである。
- それぞれの研究項目で技術レベルの高い研究成果が得られており、今後各領域での産業技術としての発展が期待できる。
- 最先端技術について、研究のための研究に陥らずに、これを基盤技術として確立しようとする意欲が感じられるプロジェクトであり、実際に具体的な実用化・事業化を意識しながら研究開発が進められ、目標も十二分に達成されている点で高く評価できる。
- 研究成果が全体として目標を達成していると判断する。
- 種々な専門分野の技術者をよくまとめて進められたと思う。

〈問題点・改善すべき点〉

- 本事業は、エネルギー特別会計を財源としたもので、予算獲得上の柔軟性はあるが、異なる三種類の技術体系であるマイクロ波とナノ空孔にマイクロリアクターを政策的に結合させたため、協奏的反応場技術等で本来の成果が見込めないままにプロジェクトが構成された箇所が目立ち、予備検討不足や不整合課題が見受けられた。
- 基礎基盤技術の成果を基に実用化技術を組み合わせてハイブリッド型体制のプロジェクトを構築した場合、どうしても選択と集中に欠けるため、産業技術の実用化を主目的としたプロジェクトの費用対効果に比べて不合理である。
- 協奏的反応場技術の開発では、総額 27 億円のうち、半分近い 12 億円が大学と公的研究機関に投じられたにもかかわらず、協奏的反応場技術の対象課題が多岐にわたって拡がった一方で、助成対象にふさわしい有望課題が乏しかったので、実用化まではほとんど進めず不十分な結果となった。
- 共通基盤技術から実用化技術への流れは比較的スムーズであったにもかかわらず、実用化促進のための基礎基盤技術へのフィードバックでは産学の連携がスムーズに進まなかったことは残念で、改善の余地があったはずである。
- マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術はいずれも重要テーマであり、個々の研究については成果が上がっている。しかし、全体が1つのプロジェクトと仮定すると、2つの技術の整合性は十分であったとは言えない。また、協奏的反応場技術に関しては、着想は理解できるが目標設定が曖昧で前述の2つのテーマとの整合性に欠け、プロジェクト期間内で十分その成果が実証されたとは言えない。
- 本事業には、マイクロリアクター技術とナノ空孔技術という2つの柱があるが、これらを一緒のプロジェクトで実施することは、それほど重要ではなかったと考えられる。両者に共通の考え方があることは理解できるし、両者を組み合わせることによって得られた成果も評価できるが、全体として、それほど優先度の高いことではなく、むしろ、組み合わせることによってプロジェクトの遂行に不要な努力を費やしているようにも見える。
- 本事業の元になったプロジェクトとの相違を強調するためなのか、「協奏的反応場」という概念に拘り過ぎているように見える。確かに、様々な反応系でマイクロリアクター技術とナノ空孔技術が革新的な役割を果たすことを実証することも必要であり、協奏的効果が重要な場合もある。加えて、結果として得られた成果はいずれも優れたものであり、国の支援がなければ短期間では成しえないものであったことも事実である。しかし、両技術の発展のためには、何より実用化・事業化例、それも、キラーアプリケーションとも言えるものの出現が待たれているところなので、共通基盤的技

術開発と実用化技術開発のバランスを取ることが重要であったのではないかと感じた。

- 本プロジェクトは二つの研究拠点で主として行われており、各研究拠点内では十分な連携が図られたと考えられるが、拠点間の連携による相乗効果的な成果はあまり見られない。二つの異なる内容の研究開発を同一プロジェクトで行うメリットをもう少し追及しても良かったのではないか。
- 市場創出効果は市場全体の何%という概算ではなく、詳細に検討すべきである。この検討の前提として、独自性の実現、ユーザーのメリット(価値)、応用範囲の広さ等を明かにした上で、市場に対する影響力を見積もることが必要。さらに単発の技術成果のみではなく、実用化後の各企業が継続して投資するに値する技術分野であることを明言して「事業化の見通し」とすべきであろう。
- 個々の目標は達成されているが、全体として事業の目的である国際競争力の強化や環境負荷の低減にどの程度寄与できたのか、あるいは今後寄与しうるのかについて、もう少し具体的に示してもよかったと思われる。
- 各技術テーマを無理矢理関連(連携)付けようとするところがあるように思われるが、個別に成果があればよしとしてもよいのでは。

〈その他の意見〉

- ・ マイクロチップ・リアクター・デバイス関連技術については、今後、大企業中心の助成から研究開発力のある中小企業の助成に移行して集中的に実施すべきである。
- ・ 中小企業または事業規模が中小規模の場合には、他委員の指摘にもされたとおり、研究と開発が一体となり事業化に邁進している実態がある程度理解できたが、大企業においてはマイクロ反応場が事業的規模に達しないため、実用化・産業技術化まで到達するには見通しが暗いことが明らかになった。
- ・ マイクロ反応場技術とナノ空孔技術が独立的に別建てになっていたため、マイクロチャンネル内にナノ空孔を造り込んだ反応場で触媒を機能させる触媒反応に関する技術検討をもっと広げた方がよかった。
- ・ 「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」における革新的という定義付けが事業の展開を阻害した可能性がある。本当に「革新的でなければ NEDO 事業の価値が無いのか」について事前に十分な討議がなされるべきで、たとえ革新性では劣る研究課題であっても、すでに当該技術を受け入れる社会環境が整っている実用化に近い課題を選定した方が、国際競争力の向上や近未来の国益としてはより大きい成果をあげることができたのではないかと思料される。

- 独立した2つの技術とそれに付随した2つの技術を束ねた形となっており、またテーマが多岐に渡っていて全体として統一的に評価することは難しい。
- 全体として事業の目的である国際競争力の強化や環境負荷の低減にどの程度寄与できたか、あるいは今後寄与しうるかについて、もう少し具体的に示すためには、プロジェクトの全体像ではなく、ここで取り扱った技術分野の全体像を描くことが必要である。

2) 今後に対する提言

企業ではコスト認識がきわめて重要なため、高く売れなければ製品化しないのは言うまでもない。マイクロ反応場によって医薬品、化学品等を製造するプロセス開発を行う実用化技術の開発においては、装置コスト、製造コスト、維持メンテナンスなどに精通した製造技術者や事業企画者をプロジェクト初期から参画させ、コストを意識した開発を実施することが重要である。

国際的な流れを見ると中国などアジア諸国の追い上げが急であり、日本の優位性を確保するには、日本の持つ優れた材料工学、精密微細加工、マイクロ流体工学を有効に活用することも必要であろう。また、実用化・事業化に関して、各企業における「継続的かつ集中的な技術蓄積と人材育成」が必要であり、その継続的な取組に対する公的支援を期待する。

〈今後に対する提言〉

- ・ 欧州の先行研究に引けを取らない技術的レベルに達していることは評価できるが、国際的な流れを見ると中国などアジア諸国の追い上げも急である。日本の優位性を確保するには、日本の持つ優れた材料工学、精密微細加工、マイクロ流体工学を有効に活用することが必要であり、今後化学工学的応用について有効性・市場規模を評価し、テーマを絞った上で総合的なプロジェクトとして企画することが必要と思われる。
- ・ 実用化・事業化に関して、今後世界的な競争力を維持していくために「特許による技術の保護」の他、各企業における「継続的かつ集中的な技術蓄積と人材育成」が必要である。それぞれの企業における継続的な取り組みをサポートできる取り組みを期待したい。
- ・ 本事業実施期間の 5 年間を通して、NEDO の事業担当者は少なくとも一人が責任を持って事業を監視監督する体制がとられていないことは事業評価上問題である。
- ・ NEDO 事業の事後評価分科会では、成功事例しか表に出ないので、助成事業に伴う附属資料として、失敗した事例もデータベース化して情報開示すべきである。
- ・ NEDO の実用化事業では、経験的な知識を共有することが重要で、月例委員会等何らかの形でプロジェクト外からも技術開発成果をマーケットにつなげることができるような有識者も交えて、積極的に意見を登用する工夫が欲しい。
- ・ この技術を今後につなげるためには、終了後のフォローアップ（調査ではなく支援）が重要であると考えられる。本プロジェクトで蓄積した特許・ノウハウ・設備・人材などを核にして、プロジェクト外の企業の事業化・実

用化、あるいは、新たな共通基盤的な技術開発・プロセス開発に繋げて、研究開発が途切れることなく、裾野を広げて行くことが必要で、そのためには、事業後のコンソーシアムの役割は重要であろう。研究開発費用ではなく、コンソーシアムの仕組みを維持するような支援を NEDO として（期限を区切って）続けることはできないかと感じた。

- ・ 事業化・実用化における課題は個別のプロセスによって異なり、コスト削減のための製造技術や材料開発のようなところにも踏み込む必要がある。その成果は、必ずしもそれほど革新的なことではないかもしれないが、内容が多岐に渡り、開発リスクも高い点を考えると、国の支援が必要な分野とも考えられる。
- ・ 今回得られた成果を参画機関以外にも広く普及させるための取り組みを継続すべきである。今回の成果の一つであるデバイスの設計に関する知見とデバイスを使用した上で得られたノウハウも広く活かせる形が良いのではないか。
- ・ 実用レベルでの当該技術に関わる一般的な課題を解決するための基盤技術を確立し、事業化を目指す企業等がこれを共有する仕組みを考える必要がある。大学の自己努力による取り組みも重要だが、昨今の経済状況の下で、真に国際競争力を強化するためには、そのような仕組みを公的に支援することも重要であろう。
- ・ 実用化を是非強力に進めて頂きたい。そのために、市場への投入価格ターゲットを達成するように、体制も事業担当が主体（研究部門でなく）で進める体制として欲しい。

〈その他の意見〉

- ・ 企業ではコスト認識がきわめて重要なため、高く売れなければ製品化しないのは言うまでもない。特に、実用化事業に企業研究者だけを参画させているようではコスト試算に対して甘いまま進んでいく傾向がある。マイクロ反応場によって医薬品、化学品等を製造するプロセス開発を行う実用化事業においては、装置コスト、製造コスト、維持メンテナンスなどに精通した製造技術者や事業企画者の参画が事業当初から不可欠である。
- ・ このコメント・評点票では NEDO 事業における評価項目に採用されていないため、追加質問によって、博士人材育成、博士研究員就業促進などの効果が大きいことが明らかになった。大学等研究機関の場合、前例踏襲の評価項目では論文数、学会参加回数、特許出願数などが研究成果と一般的に認められているが、特に大学の場合には、教育機関としての役割が半分以上あるにもかかわらず、大学に研究委託しておきながら教育成果を評価項目に入れないのは不平等である。よって、今後の NEDO 事業を大学へ

委託する場合には、基礎基盤研究に協力した修士・博士大学院生の育成数・内容・就職状況、ならびに研究に従事した博士研究員(ポスドク等)の就業促進結果などについて詳しい成果報告を求めて、必ず評価項目に追加したうえで、事業成果の一環として高いウェートをかけて厳しく評価すべきである。

NEDO 事業が多種多様にわたり過ぎていることも疑問であり、企業派遣の期限付き補助担当者に本来 NEDO 専任者が担当すべき委託事業の指導監督までを任せているケースも多い。そのため、例えば 5 年間の事業期間内に担当者が交代して責任ある監視体制が取れていなかったため、中間評価までは高い評価が得られていても研究成果の実用化終了評価において評価結果を落とすケースが目立つ。この点が速やかに改善されない場合は、結局、実用化まで到達する可能性が減ってしまうため、投入したエネルギー特会資金の無駄使いにもなりかねない。このことから、NEDO の事業数を専任者が責任をもって実用化を指導監督できる範囲にまで絞り込むことも視野に入れて、今後 NEDO 本来の在り方を検討しなければならないことは当然の帰結であろう。

- ・ 本評価委員会の目的ではないかも知れないが、投じた金額以上の効果が得られるかという視点に加えて、他のプロジェクトと較べた上で、投じた金額が相対的に妥当であったのか、という論点も必要であるように感じる。今回のプロジェクトでも、投じた金額に見合った素晴らしい成果が出ていることは疑いないが、限られた原資を何に使うべきか、という優先度の議論が必要であろう。一つのプロジェクトの規模(金額)を決めてから、内容を詰めて行ったように見えてはいけない。

1. 2 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

本プロジェクトの中核となるマイクロリアクター技術およびナノ空孔技術は、革新的な化学プロセスの構築に貢献するものであり、そのことが部材産業の競争力を強化するという意味において、ナノテク・部材イノベーションプログラムの目的達成のために大きく寄与するものと言える。同時に、本プロジェクトの中核技術がもたらすであろう反応エネルギーの効率的な投入、副生物・廃棄物の減少などによって、化学プロセスの省エネルギー化が進めば、エネルギーイノベーションプログラムの目的達成のためにも大きく貢献することになる。また、本プロジェクトの中核技術は、化学プロセスの革新にとって基盤的・普遍的なものの一つになる可能性が高い。幸いにも、我が国の技術的な蓄積は世界の最先端に近いところにある。従って、実用的な技術として確立する前の段階で、基礎的な研究開発投資を行い、国内の化学産業の国際的な競争力を高めることに繋げるという事業目的は妥当なものである。

しかし、マイクロリアクターまたはナノ空孔における協奏的反応場の共通基盤技術開発では、開発目標と達成状況が複雑多岐にわたり、予備検討および絞り込みが不十分であったといわざるを得ない。

欧州との競争も重要であるが、中国等アジアの追従も無視できず、今後、国際水準の客観的な評価を定期的に行う必要を感じる。

〈肯定的意見〉

- 本事業の中核となる技術（マイクロリアクター技術およびナノ空孔技術）は、革新的な化学プロセスの構築に貢献するものであり、そのことが部材産業の競争力を強化するという意味において、ナノテク・部材イノベーションプログラムの目的達成のために大きく寄与するものと言える。同時に、本事業の中核技術がもたらすであろう反応エネルギーの効率的な投入、副生物・廃棄物の減少などによって、化学プロセスの省エネルギー化が進めば、エネルギーイノベーションプログラムの目的達成のためにも大きな貢献をすることになるだろう。
- 本事業の中核技術は、産業化までには多くの解決課題を抱えており、その開発リスクを勘案すると民間活動に任せているだけでは国際的な競争に耐えられないものと予想される。また、技術の基盤性・普遍性から考えても公共性が高く、国（NEDO）が関与することに十分な妥当性があるものと考えられる。
- 本事業によってもたらされる効果が、将来、投じた予算を上回ることは疑いないと考えられる。

- 本事業の中核技術は、化学プロセスの革新にとって基盤的・普遍的なものの一つになる可能性が高く、幸いにも、我が国の技術的な蓄積は世界の最先端に近いところにある。従って、実用的な技術として確立する前の段階で、基礎的な研究開発投資を行い、国内の化学産業の国際的な競争力を高めることに繋げるという事業目的は妥当なものである。
- 革新的マイクロ反応場利用に関するナノテク・部材イノベーションプログラムは、民間活動の基礎基盤研究のみでは実施不可能なものであり、その重要性にかんがみて **NEDO** の関与が必要なことは明らかである。
- ナンバリングアップのプラント技術において、フローセンサー計測による閉そく検出を入れてナンバリングアップの最大適用数を 10 系列としたことは現実的で、かつ適正と判断される。なお、現状のマイクロ反応場技術範囲では 1 対 1 のポンピング適用技術域から免れられない。
- マイクロ反応場の利用による高収率・高純度生成に着目した優れた研究課題として注目されている分野であり、**NEDO** プロジェクトによる産学共同での系統的取り組みを行ったことは大いに評価される。一方、前プロジェクトにおいてその有用性は裏付けられており、今季はその進展および新しい展開がポイントとなる。マイクロリアクター技術については、本プロジェクトにより先行していた欧州と対等の立場になり、米国に比較して優位に立ったことが確認された。また、その成果が応用される道筋がある程度示された点は評価できる。
- マイクロリアクター技術は、今後の化学産業へどのように貢献できるかを見極めるためにも、国が関与して技術開発を行うことは妥当であった。また、ナノ空孔を利用する触媒技術は、実用化例がまだほとんどなく、その有用性を判断する為に国の事業として検討することは時期的に適切であった。
- 次世代部材分野でのイノベーション推進の目的のために、開発の難易度が高いものが含まれており、**NEDO** の関与は妥当である。
- これまでに蓄積されてきた基礎技術に基づいて、さらに実用化、事業化に近いところまで具体的な技術開発を行おうとするもので、事業の位置づけとしては適当なものである。
- 多品質少量生産で、各々の市場規模が小さいと、なかなか一企業では基盤技術開発ができない。その意味では、**NEDO** 事業として実施したのは妥当と考える。

〈問題点・改善すべき点〉

- 協奏的反応場の共通基盤技術開発では、「開発目標と達成状況」が複雑多岐にわたり、マイクロ波とマイクロリアクターの協奏では効果が無く、ナノ空孔とマイクロリアクターの協奏的反応場でも消化不良の傾向があり、成果といえるものは高圧とマイクロ空間を協奏させた組み合わせ程度しか無かったことは予備検討および絞込みが不十分であったといわざるを得ない。
- 当該事業費 27 億円に対して、それを実施することによりもたらされる効果が 4400 億円と説明されても、最終報告会での各プロジェクトのヒアリング結果からはにわかには信じ難いので、投じた予算との比較において十分であるとは到底言えない。
- マイクロスケールの流路内の物理的性質を熟知した流体力学系の研究者の参加があれば、さらに効率的研究が実現できるとともに、大きな技術的蓄積ができた可能性がある。本研究により得られた装置設計手法の確立は限定的であり、今後産業化を図るためには装置製作技術など実用化研究推進上不可欠な項目を盛り込む必要がある。
- マイクロリアクター技術およびナノ空孔技術が、それぞれ多くの解決課題を抱えている中で、「協奏的反応場」という切り口にやや拘り過ぎたかのように見える。
- 予算規模や課題の類似性などの点で止むを得ない事情があったように察せられるが、マイクロリアクター技術とナノ空孔技術を同一のプロジェクトの中に入れる必要はなかったのかも知れない。少なくとも本事業の成果からは、2つの技術開発を並列的・協調的に行う意義がそれほど大きかったとは言えない。
- 国際的競争力についての検証がやや弱いように見受けられる。技術としての優位性が個別のテーマ毎にもっとアピールされても良いのではないか。
- 強いて言えば、やや「マイクロリアクター」と「ナノ空孔」ありきの部分があったので、もう少し我が国が置かれている国際的な位置や、他の競合技術との比較などに関する具体的な整理があってもよかったと思われる。
- 利用、応用範囲の広い技術であると、特許を企業で出願し、ノウハウを持っていると、第三者は実施するに抵抗があるので広がらない。ライセンスポリシーを明確（ロイヤリティーの額等）にし、公表して第三者も実施し易い環境を作って欲しい。

〈その他の意見〉

- ・ 欧州との競争も重要であるが、中国等アジアの追従も無視できず、本研究

プロジェクトの国際水準の客観的な評価を定期的に行う必要がある。

- 革新的マイクロ反応場技術は製造プロセスのダウンサイジング化技術であるが、エネルギーイノベーションプログラムとして本当に機能するかどうかは、実際に単位生産量当たりのエネルギー原単位を比較してみるまでは不明である。

2) 研究開発マネジメントについて

事業化に近いフェーズでの開発を含むプロジェクトであり、困難な部分も多かったであろうが、全体としてマネジメントが適切に行われたといえる。特に、集中研のメリットを活かして、効率的な知識の共有を行ったことが、プロジェクト全体の成功につながったものと考えられる。また、共通基盤＋実用化のハイブリッド研究の試みは実用化に向けた意欲が感じられる。

しかし、委託事業である共通基盤技術研究と助成事業である実用化技術開発との相乗効果を大きくするには、有益な情報交換が可能な仕組み作りが必要である。また、プロジェクト期間を通して、技術の全体像を俯瞰的に描く努力がもう少しなされても良かったであろう。すなわち、ここで開発された共通基盤技術が、どのような範囲に適用可能であるのか、その将来展開も含めたマップを描くことにより、技術の優位性や可能性がよりの確に示せるだけでなく、今後の発展にもつながるものと考えられる。

産学技術連携や実用化・産業技術化を担うファンディング及びマネジメントの公的機関として、プロジェクトの全期間を通して一人が責任を持ってプロジェクトを監視監督する NEDO のマネジメントが望まれる。

〈肯定的意見〉

- 事業化に近いフェーズでの開発を含むプロジェクトであり、困難な部分も多かったと思うが、全体としてマネジメントが大変うまくなされたといえる。特に、集中研のメリットを活かして、効率的な知識の共有を行ったことが、プロジェクト全体の成功につながったものと考えられる。
- 集中研方式によるグループ内の研究者の連携が密にはかられた点が研究の効率化の面などから評価できる。また、基盤＋実用化のハイブリッド研究の試みは実用化に向けた意欲が感じられる。さらに研究加速財源の配分は有効な手段と思われる。
- 研究開発段階としては、集中研と産総研がよくまとめマネジメントしていると判断する。
- 全体を統括するプロジェクトリーダーとして適任者が選任され、十分に活躍できる環境が整備されていた。
- 研究開発目標の設定においては、内外の技術動向を検討した上で、戦略的かつ具体的・定量的に設定されたものと言える。
- 設定された研究開発目標の達成のためには、概ね妥当な予算配分と考えられる。
- 本事業より前のプロジェクトの成果に立脚した上で、本事業の研究開発目標が設定されたものと考えられる。

- 研究開発の実施体制は概ね妥当である。
- 本事業に参画した企業による成果の実用化・事業化につなげる戦略はおおよそ明確で妥当なものである。
- 各研究テーマの目標設定は、プロジェクト終了時の達成度から判断する限り適切であったと考えられる。また、ほとんどのテーマが実用化に向けた検討が個々の企業に置いて行われる状況であり、実用化に向けた戦略も妥当であったと判断する。
- 明確に実用化を目指した実施体制が取られている。ハイブリッド型で進めたことによる成果も、早期の実用化として見えつつある。

〈問題点・改善すべき点〉

- マイクロチップ分析・合成技術開発にかかる先行 NEDO プロジェクトの継続プロジェクトであり、その技術蓄積を実用化の観点から絞り込んで活用を図る必要性があるにもかかわらず、技術蓄積をもつ有識者を実用化に生かす工夫が無かった点で不十分である。
- ナノテク・部材イノベーションプログラムおよびエネルギーイノベーションプログラムの目標は、国に資金が潤沢にあれば様々実施した方がわが国の国際競争力強化に好適なのは当然で、エネルギー特会に頼って NEDO が実施したにもかかわらず、マイクロリアクターとナノ空孔のつながりなどで必然性、効率性に乏しい事業が一部あった。特に協奏的反応場技術の非効率性については NEDO がマネジメント力を発揮して無駄を削減し、中途段階でも費用対効果を大きく改善すべきであった。
- 産学の研究者集団だけで推進しても事業化がなかなか達成できないので、企業の事業部門が付いた形で参画することを条件に、NEDO が事業当初からマネジメントすべきであった。
- 知財マネジメントについては、国際競争力の強化をめざすのが国策であるが、特許化のプロフェッショナルが事業全体に監視しているわけでは無いので、世界に勝てるクレームを正確に押さえるために、各企業、各大学、産総研の知財に関する考え方の微妙な格差を事前に整理修正してから事業を推進すべきであった。
- マイクロ化学プロセス技術研究組合(MCPT)の立ち位置が不明確で、実施企業の選定段階における存在意義がよくわからなかった。しかし、ナノ微粒子の協奏的製造プロセスの開発を担当した大企業は、結果的に助成事業へ移行しなかったが、実施者として優れた資質をもつ企業と判断された。
- マイクロ反応場技術の情勢変化への対応策が、大学等への新規評価装置の導入（3.5 億円）で終わっているのは納得がいかない。導入したことで、導入しなかった場合に比べ、世界に先駆けてどのような成果が得られたの

かを明らかにすべきである。

- マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反応場技術について、個々には優れた成果が示されたが、各技術の整合性が取れていたとは考えられない。各技術間の連携について中間的な見直しの必要があったと思われる。また、研究加速財源の配分が3件に留まっており、この件数が増えるような努力をするべき余地があったのではないかと思われる。
- 研究開発項目のうち、①の「マイクロリアクター技術」、ならびに、②の「ナノ空孔技術」と較べると、③の「協奏的反応場技術」では、技術要素の異なる多くの研究開発目標を掲げ、結果として相対的に多くの予算を費やしているが、聊かバランスを欠いているように思われる。
- 技術開発の進捗に合わせて、少なくとも年1回程度は外部の有識者を加えた報告会等を開いて、多様な意見を取り入れるシステムを考えても良いように思われる。
- 共通基盤技術に関しては、想定される成果の受け取り手をアドバイザーのような立場で事業に関与させる方法もあったのではないか。
- 共通基盤技術の成果を実用化・事業化につなげるスキームに NEDO がどのように関わるのかが明確でない。
- 事業の進捗状況を計画立案段階から最後まで一貫して把握できる人物が NEDO のマネジメントや評価の側に居て、全体のバランスの調整を行う必要があったのではないか。
- 委託事業である基盤技術研究と助成事業である実用化研究の相乗効果を出すために、有益な情報交換が可能な仕組み作りが必要である。
- 報告の仕方の問題かもしれないが、プロジェクトを通して、当該技術の全体像を俯瞰的に描く努力がもう少しなされてもよかったかもしれない。すなわち、ここで開発された基盤技術が、どのような範囲に適用可能であるのか、その将来展開も含めたマップを描くことにより、技術の優位性や可能性がよりの的確に示せるだけでなく、今後の発展にもつながるものと考えられる。
- 実用化に向けて、本当にその企業が会社として実用化の方針を出し、体制を組んでいるのか、実施計画書に明確になっているのか再検討、チェックすべき。

〈その他の意見〉

- ・ 本事業実施期間の5年間を通して、一人が責任を持って事業を監視監督する NEDO のマネジメント体制が確立されていなかったことは、産学技術移転段階から実用化・産業技術化を担うファンディング・エージェンシーとしてゆゆしき問題である。

- マイクロリアクター技術とナノ空孔技術は分野的にはやや離れており、またそれぞれに協奏的反応場を構成するという全体のプロジェクトの概要であるが、必ずしも協奏的反応場として特定しなくても、より効率的な反応システムを構築する過程で類似の成果が得られた可能性はあるのではないか。

3) 研究開発成果について

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術ともに世界最高水準あるいは世界初の成果がいくつか達成されている。これらの成果がそのまま実用化に繋がるかは、今後の課題ではあるが、当該分野において我が国が世界をリードできるある程度の基盤はできたと判断する。また、成果の普及の観点から、論文数、学会発表も妥当である。特に、活性種の生成場と反応場を分離できるマイクロリアクター技術の開発はユニークであり、従来の反応器では実現が難しかったり多段反応プロセスであったものを、簡便かつ効率的に行える可能性があり、今後の展開が期待される。ナノ空孔に関しては、ナノ空孔反応場＋分子触媒の協働性を実現するための基礎技術を分解し、それぞれの有効性を確認している点で評価できる。協奏的反応場については、圧力・電子移動・触媒・光・マイクロ波（熱）等パラメータを整理し、その効果について評価した点が評価できる。

一方、個々の成果に対する化学工学的データ普遍化、汎用化の解析作業が必ずしも十分とはいえない。また、成果に基づいて描きうるプラントのイメージや運用サイクルなどを、もう少し俯瞰的に示すことができれば、技術の更なる普及につながるであろう。その意味では、成果全体をもう少し整理してみる必要がある。

今後、技術開示の問題点等はあると考えるが、今回の研究開発において実現された技術を、基盤的なものとして広く普及するための方策を検討することが望まれる。特に、共通基盤技術の成果はデータベース化あるいは体系化が強く望まれる。

〈肯定的意見〉

- マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術ともに世界最高水準あるいは世界初の成果がいくつか達成されている。これらの成果がそのまま実用化に繋がるかは、今後の問題ではあるが、当該分野において我が国が世界をリードできるある程度の基盤はできたと判断する。また、論文数、学会発表数、特許件数等も妥当である。
- ナノ空孔に関しては、ナノ空孔反応場＋分子触媒の協働性を実現するための基礎技術を分解し、それぞれの有効性を確認している点で評価できる。
- 協奏的反応場については、圧力・電子移動・触媒・光・マイクロ波（熱）等パラメータを整理し、その効果について評価した点は評価できる。
- 研究開発成果の質・量について解析すると、量的には十分な成果となっている。ただし、質的には対象が多岐にわたりすぎ、個々の成果に対する化学工学的データ普遍化、汎用化の解析作業が必ずしも十分とはいえないことが惜しまれる。

- 本事業の成果には、欧米の現状と比べて世界初あるいは世界最高水準のものが相当数あるが、その成果が市場の拡大または新しい市場の創造につながると期待できる製造プロセスは現時点ではほとんど見当たらない。
- 目標の達成度については、いずれの課題も目標値をクリアしており優れている。マイクロリアクターの基盤技術の確立のため、その系統的研究が見られた点も理解できた。活性種寿命・急速混合技術のトレードオフの検討および反応系の体系化、データベース化などの試みは、今後の研究進展に不可欠であると考えられる。
- 流体解析に基づいた構造改善やパイプレス構造による効率の向上は、マイクロリアクター設計の技術的蓄積に繋がる。また、センサーの一体化による異常検出はシステム化上有効な手法と考えられる。
- 全ての成果が目標値をクリアしているので、目標達成度は 100% である。
- いずれの成果も世界初あるいは世界最高水準のものであり、化学プロセスの革新という点で、新たな市場の創造や拡大（置き換え）に繋がるものと期待できる。
- マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術のいずれも新たな技術領域を開拓したと言える。
- 共通基盤技術の項目①および②の成果は、汎用性のある知見や手法を提示している。
- 設定された研究開発目標に対しては、投入された予算に見合った成果が得られている。
- 実用化技術の一部については、他の競合技術（既存の製造技術）に対して優位性があるものと期待される。
- 本事業の成果は、十分な数の特許出願によって権利確保の準備がなされ、同時に、多くの論文・書籍として、広く情報発信も行っていることは評価できる。
- 本事業終了後、集中研（京大と産総研）を核にコンソーシアムを組織し、成果の普及と事業化への道筋を支援しようとする試みは高く評価される。
- 得られた成果の一部は汎用性のある技術であり、今後、広い分野での活用が期待される。学会や展示会での広報など、普及活動を実施してほしい。
- それぞれの項目について、十分に目標をクリアしており、実用化・事業化を十分に意識した開発がなされた点は高く評価できる。
- マイクロリアクターは生成と反応を分離するというアイデアで特徴あり成果も出ていると判断する。

〈問題点・改善すべき点〉

- 成果に基づいて描きうるプラントのイメージや運用サイクルなどを、もう

少し俯瞰的に示すことができれば、技術のさらなる普及につながるのではないか。その意味では、成果全体をもう少し整理してみる必要があると思われる。

- 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はいっとも重要な評価項目であるが、第三者機関が決めた目標値や目標達成度では無いため、費用対効果から見て、クリアした目標値や目標達成度が成果目標として真に適正なのかに疑問が残る。第三者機関が決めるのではなく、クリア可能な目標値や目的達成度を NEDO 担当者やプロジェクトメンバー中心で事前に決定しているならば問題で、成果目標の決め方を公開すべきである。
- 課題の中には目標設定の妥当性についてやや疑問があるものも含まれている。
- 個々の項目に対して、各事例で目標を達成できているが、技術の汎用性の検証は十分とは言えない場合がある。
- 論文の発表は適宜行われていると判断されるが、基盤研究部分の特許申請は十分とは言えず、今後の実用化上の問題となる可能性がある。
- 一部の実用化技術についてのみ、経済性の検討が行われたに過ぎないため、本事業で得られた成果のみでは、他の競合技術と比較して優位性があるものか判断するのは難しい。
- マイクロリアクター技術あるいはナノ空孔技術は、主として既存の製造技術を代替するものと考えられるため、実用化・事業化のための詳細なコスト評価をしてみないとその優位性を論じることができないように考えられる。
- 多くの特許を出願しているが、それが知的財産としてどれほどの価値があるのかが不明である。
- 数多く発表されている論文が、どの研究項目あるいは成果と対応しているのかが判りにくい。特に重要な成果が記述されている論文をリストアップして、情報発信していくことはできないか。
- 成果を各企業に持ち帰った後は、本プロジェクトの中核研究拠点の関与がやや弱くなっているような印象を受ける。技術開示の問題点等はあると考えるが、実用化に向けては、より積極的に関与する仕組みを設けても良かったのではないか。
- 特許は多く出願されているが、問題は中身である。件数ではない（特許ノルマがある企業もある）。そこを評価すべき（クレームの内容）。

〈その他の意見〉

- ・ 共通基盤技術は、マイクロ反応場の基礎基盤研究となるものであるから、

データベース化と体系化が不可欠であるが、その取り組みが具体的に示されなかったことは遺憾である。

- 今後は、今回の研究開発において実現された技術を、基盤的なものとして広く普及するための方策を検討することが望まれる。
- 本事業の成果は、マイクロ反応場に関する基礎基盤研究の進展には役立つが、大企業を中心とした国内・国外市場の拡大または中小企業に適した新市場の創造につながるには時期尚早であり、研究成果は他の競合技術と比較して優位性があるとしても、成果に汎用性があるか、投入された予算に見合った成果が得られているかについては、不十分と判断される。
- 知財の確保、特に国際特許出願は、今後の実用化のための企業活動にとって重要である。主要な技術については確保されているはずであるが、プロジェクト全体として実用化までの範囲をカバーできるよう、プロジェクト開始当初から出願内容の計画を立てて進めることが必要である。

4) 実用化の見通しについて

実用化に向けた基盤研究の実証およびパイロットプラントの作成など、産業化への道筋がある程度示されたことは評価できる。現時点では、まだ十分とは言えないが、マイクロ化学生産研究コンソーシアムを立ち上げて技術的フォローアップを計画している点は大いに評価できる。特に、ナノ空孔担体は、中小規模の市場を狙った最適な実施者が得られ、従来のアモルファスシリカよりも担体価格は上がるが高機能触媒のナノ細孔径制御担持体として商品価値が期待されるため、適切な市場規模の産業技術になるであろう。

しかし、実用化・事業化するために残されている課題も多い。連続運転時の操作安定性、規模の拡大、コスト削減など、個々の企業が今後も継続的に取り組む必要があり、コンソーシアムだけでなく、NEDOによるフォローアップも望まれる。また、個々の共通基盤技術の有効性は示されているものの、今後の産業化に向けてはいわゆるキラーアプリケーションが必要で、その探索は十分行われているとは言えない。

市場への販売ターゲット価格は、プロジェクト初期に明確にしておくことが望まれる。

〈肯定的意見〉

- 実用化に向けた基盤研究の実証およびパイロットプラントの作成など、産業化への道筋がある程度示されたことは評価できる。現時点では、まだ十分とは言えないが、マイクロ化学生産研究コンソーシアムを立ち上げ技術的フォローアップを計画している点は大いに評価できる。
- ナノ空孔担体の製造プロセス技術は、最適な中堅企業の実施者を得られたため、従来のアモルファスシリカよりも担体価格は上がるが反応効率が大幅にアップするので、触媒反応における有機・無機高機能触媒のナノ細孔径制御担持体として商品価値があり、中小規模の産業技術になりうると認められた。
- いくつかの成果に関しては、各企業において今後実用化が十分見込めるオリジナルなものと判断する。
- 参加機関の研究者ならびに企業の努力により、実用化、事業化を十分に意識したかたちでプロジェクトが進められ、具体的な道筋が見えている事例が示されたことが高く評価できる。
- 事業化の計画が全てあり、推進すると期待する。
- 実用化研究として、適切な技術評価が行われており、今後の実用化に向けての課題も、おおよそ、明らかになっている。
- 現段階では限定的ではあるが、事業化の道筋が明確なテーマもあり、当該

企業の取り組みを高く評価したい。

- 共通基盤研究で得られた多くの成果は、これからマイクロリアクター技術あるいはナノ空孔技術の利用・応用を考えている企業にとって価値の高いものである。
- 集中研方式のプロジェクトの中で、当該技術に関わる多くの人材が育っているであろうことは想像に難くない。

〈問題点・改善すべき点〉

- 多くのテーマでは、実用化・事業化するために残されている課題も多い。連続運転時の操作安定性、規模の拡大、コスト削減など、個々の企業が今後も継続的に取り組む必要があり、コンソーシアムだけでなく、NEDOによるフォローアップも期待される。
- 個々の基盤技術の有効性は示されているが、今後の産業化に向けてはいわゆるキラアアプリケーションが必要で、その探索は十分行われているとは言えない。
- 市場への販売ターゲット価格を最初に明確にすること。
- 製品、部材は出来たが、コストダウンをしなければならないというのは、まだ技術が確立していないということである。コストターゲットをありきで、技術開発すべきだと考える。
- 高圧協奏反応場技術ではマイクロ反応場の革新性にこだわったため、イコーリングアップ技術によるデバイスのスケールアップでは満足といえず、マイクロ反応場のナンバリングアップ技術を用いてミリ秒反応の精密時間制御と過酷な協奏反応条件制御を追求しつつ安全性の高い技術開発を継続することが引き続き求められる。
- 高圧協奏反応場技術の実用化には、これまでは生産できなかった物質が出来るようになったのか、従来法に比べて製造コストはどう変わるのかなどの視点に加えて、作業の安全性や操作マニュアル(SOP)の安定性の確立において重要な視点となる。
- 高圧協奏反応場プロセスにおいては、爆発性物質の製造設備新設に慎重な姿勢を崩さないわが国消防法の規制制度において、踏襲する前例が無いために不利益を被る可能性があり、従来のバッチ設備に比べて不利は起こらないかなどについて、事前に消防当局と意見交換し解決しておくべき問題点が少なくない。
- 本プロジェクトで得られた成果、特に、共通基盤技術開発の成果に関しては、ノウハウの形に留まっているものも多いと推定される。また、本事業の経費を使って多くの研究設備が購入・開発されて来ている。これらは、今後、コンソーシアムに参加する研究者・企業の中で共有されて行くもの

考えられるが、プロジェクトリーダーやサブリーダーの研究グループの少数の研究者の熱意に頼るだけではなく、もう少し長期的な仕組みも必要であるように思われる（ダーウィンの海は広い）。

- いくつかの成果に関しては、一応実用化までのロードマップ的なものはできているが、実際にスケジュール通りに行くのがやや難しいと思われる成果も見受けられる。
- 強いて言えば、事業化の観点から、現存技術あるいは競合技術との比較や、国際的な優位性などへの言及がもう少しあってもよかったと思われる。

〈その他の意見〉

- ・ 研究開発から実用化までを4段階に分けて考えると、基礎科学研究（推進機関 JSPS）5年、課題解決型基盤研究（JST）5年、橋渡し研究（JST）／技術移転（NEDO）5年、実用化・産業技術化（NEDO）5年で、周辺環境の認知度向上も含めて合計20年が必要とされる。このうち、NEDOは後半の10年間を担うファンディング・エージェンシーであるから、マイクロチップ新展開から15年、マイクロリアクター新展望から10年が経過した今日、いよいよ実用化の収穫期に入るわけであるが、ナンバリングアップ技術を始め未解決の実用課題をまだ抱えている。この間、NEDOが果たしてきたマイクロ関連産業技術化に向けた役割の棚卸総決算が必要である。その作業無しには、マイクロ化ダウンサイジング関連産業技術の補助・助成事業はいったん止めるべきである。
- ・ 本事業の成果は、マイクロ反応場基礎基盤研究の進展には役立つが、大企業を中心とした国内・国外市場の拡大または中小企業に適した新市場の創造につながるには社会環境の認知度からみて時期尚早であり、5年以内に限れば実用化はあまり期待できないと判断された。
- ・ ナノ空孔技術を用いて実用化された触媒技術は非常に限られているので、本プロジェクトの成果のいくつかを是非とも実用プロセスにまで育ててもらいたい。
- ・ 波及効果（技術的・経済的・社会的）については、プロジェクト内（できれば計画時）で詳細に検証すべきである。実施項目、実施企業によって事情は異なるであろうが、プロジェクト全体として共通する部分には各種 MOT (Management Of Technology) の考えを取り入れ、市場と成果についての関係を（根拠を明確にした）上で共有しておくことが望まれる。
- ・ 実用レベルでの当該技術に関わる一般的な課題として、現時点でもいくつか明らかになっているものがあるので、それらを解決するための基盤技術を確立する努力を続けるべきと思われる。

2. 個別テーマに関する評価結果

2. 1 マイクロリアクター技術

「研究開発成果」、「実用化の見通し」、「今後に対する提言」

マイクロ反応場の革新性を追求するため、時間軸で2ケタ下げたミリ秒単位の反応にこだわって扱ったことは評価に値する。日本の化学装置産業の競争力向上に寄与する。特に、活性種寿命に注目した反応解析法による高効率・高収率生成は応用範囲が広く、その系統的な研究を続けることにより汎用性が広がればその波及効果が大いに期待される。また、マイクロ化と高速混合技術により寿命の短い活性種の利用を可能とする点で本研究の成果を十分に引き出せると考えられる。活性種の生成場・反応場の分離は有効な方法であり、装置設計上重要な発想となっている。パイプレス型反応器と温度絶縁機構の導入は性能向上に大いに貢献すると考えられる。

しかし、細い流路の閉塞が避けて通れないのであれば、交換や切り替えなどのシステム開発、閉塞を遅らせる材料を含めた装置の製造技術・加工技術の開発とそのコスト削減など、実用化にあたっては、マイクロリアクター技術を応用して生産規模拡大を可能にするナンバリングアップの一括ポンピング技術が未解決であり、まだ多くの課題が残されている。

今後も、有機合成分野の研究者と密接に連携することにより、より広範な応用が広がるであろう。また、実用化推進、人材育成のための体制としてのコンソーシアム（京都大学）の活動成果が期待される。

〈肯定的意見〉

- マイクロ反応場の革新性を追求するため、時間軸で2ケタ下げたミリ秒単位の反応にこだわって扱ったことは評価に値する。日本化学産業の競争力向上に寄与する。
- マイクロリアクターの有効性を引き出す研究例が多く示されている。特に活性種寿命に注目した反応解析法による高効率・高収率生成は応用範囲が広く、その系統的な研究を続けることにより汎用性が広がればその波及効果が大いに期待される。
また、マイクロ化と高速混合技術により寿命の短いラジカル種の利用を可能とする点で本研究の成果を十分に引き出せると考えられる。
- 活性種の生成場と反応場を分離できるマイクロリアクター技術の開発はユニークであり、従来の反応器では実現が難しかったり多段反応プロセスであったものを、簡便かつ効率的に行える可能性があり、今後の展開が期待される。
- 先行のマイクロチップ前プロジェクトで扱わなかった研究課題に絞って、

マイクロリアクター反応場の産学共通基盤技術を研究開発したことは、継続性と実務経験を無駄している一方で、新たな可能性に挑戦したものと評価できる。

- 活性種の生成場・反応場の分離は有効な方法であり、装置設計上重要な発想となっている。パイプレス型反応器と温度絶縁機構の導入は性能向上に大いに貢献すると考えられる。さらにセンサーを組み込んだ監視システムの実現は安定なリアクターを構成する上で不可欠である。
- 全ての成果が目標値をクリアしている。目標達成度は100%である。
- 不安定活性種を経由する反応において、活性種の生成場と反応場を分離し、滞留時間（温度）と収率の関係をマッピングすることにより、活性種の寿命を体系的に評価することを可能にした手法の提案、および、この手法を用いた種々の有機リチウム活性種の寿命に関する体系的データは、マイクロリアクター研究の一里塚とも言うべき世界初の成果であり、今後の研究開発にとって、波及効果のある価値の高いものと考えられる。
- マイクロリアクターにおける混合状態の記述モデルを提案し、反応器の設計手法を提示したことは、マイクロリアクター研究にとって重要な成果の一つである。
- 提案した新規なマイクロリアクター設計手法に基づいてデザインしたパイプレスアセンブルデバイスを用いて、ナノ粒子生成における核生成と粒子成長の場を分離し、高いナノ粒子生成収率が達成できることを実証した成果は、モデルの実用性を検証した成果として意義深いものと考えられる。
- 並列化プロセスの閉塞診断を容易にするための状態推定システムの考え方は、マイクロリアクターの実用化では避けて通れないものであり、将来が期待される研究成果である。
- いずれの成果も、マイクロリアクター技術の実用化には不可欠の視点から実施された汎用性のある基盤的要素技術に関するものであり、将来において、実用化・事業化に繋がるものと期待できる。
- 研究開発目標に対しては、おおむね予算に見合った成果が得られている。
- 本テーマの成果は、特許としての権利化、論文発表による公表、人材育成の促進など、様々な形で社会への波及効果があるものと評価できる。
- マイクロ反応器の形状設計手法を確立したのは、実用化という点からも大変評価する。すでに実用化しているもの、それに近いものが数点あることは素晴らしいことである。
- 制御・診断システムの開発成果は、実用化のための連続運転モニタに対して有効な技術であり、評価できる。
- 活性種生成と反応場を分離し、マイクロスケールならではの高速混合を利

用するアイデアを実証し、具体的な実用化へのシナリオを示した点は評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- マイクロリアクター技術において、安定的な長期間の連続運転に関わる制御・監視システムの構築は大きな課題であるが、本プロジェクトで設定したテーマの中では、その部分の比重はそれほど大きいとは言えない。また、細い流路の閉塞が避けて通れないのであれば、交換や切り替えなどのシステム開発、閉塞を遅らせる材料を含めた装置の製造技術・加工技術の開発とそのコスト削減など、実用化にあたっては、まだ多くの課題が残されているように思われる。
- マイクロリアクターの技術開発では、閉そくが起こりにくい装置の開発が第一義的に重要であるが、現状ではフローセンサー計測を入れて機械の制御を行うレベルであり、数時間毎に閉そくが起こったらユニット全部を取り替えるしかないので、マイクロ反応場技術の本来のあるべき姿には程遠いといわざるを得ない。
- マイクロリアクター装置に対する原料供給は、現在のところ、原料溶液毎にポンプを1台ずつ使うしかない既存技術から脱出できるブレイクスルー技術が無い場合、マイクロ反応場本来の特色を生かせるナンバリングアップの革新的技術が提案されなかったことは、実用化技術開発をめざすプロジェクトとしては不満足である。
- マイクロリアクター本体や高速混合部等において3次元的な構造の最適化は行われておらず、構造上はまだ改良の余地があると思われる。マイクロリアクターを外注することは研究の効率を上げる点では優れているが、製作される流路構造に制限があり、理想的なマイクロリアクター構造を評価する上では限界を感じる。
- センサーの組み込みは実用的であるが計測ポイントが限られているため、きめ細かい制御が求められる場合はセンサー構造・流路への実装方法の改善が望ましい。
- 流体操作と装置設計の最適化で革新的新しい化学工学が実現できるという結論であるが、そのためには装置製作技術を持った研究者・企業との密な共同研究の必要性があると思われる。
- 本プロジェクトの成果によって、マイクロリアクター技術の可能性が飛躍的に拡大したことは疑いないが、当然のことながら、この技術が他の競合技術（既存の製造技術）に対して優位性があると一概に言い切ることはいえない。どのような場合に優位性があるのかについて、本プロジェクトの

成果だけでは明確に判断はできない。

- 本プロジェクトで検討された反応は比較的限られているので、より広範な反応にどのように適用できるかを更に検討する必要があるだろう。
- 滞留時間制御に関連して、流量制御がどれくらい精密に行えているのか、基盤技術として、もう少し詳細な検討が必要であったかもしれない。
- 「閉塞」が最も大きい問題であることが明らかになっているが、これを回避あるいは早期に復帰させる一般的な方策を検討してもよかったのではないか。
- リアクター材料の開発には、時間がかかると思われる。早く材料メーカーと連携して進めて欲しい(進めていると思うが、さらに強化して欲しい)。

〈今後に対する提言、その他の意見〉

- ・ 今後有機合成分野の研究者と密接に連携することにより、より広範な応用が広がる可能性があるのではないか。
- ・ 実用化推進、人材育成のための体制としてのコンソーシアム（京都大学）の活動成果が期待される。本プロジェクトの成果普及の意味でも重要である。
- ・ 次のステップとして、「閉塞問題」を含め、長時間運転ならびに並列化技術について、さらに一般化した検討ができれば、技術を広く普及させる際に役立つと思われる。
- ・ 京大の産学連携コンソーシアムをスタートしたことは素晴らしいが、実用化のためには事業部門の責任者が推進役となって欲しい。そのようになっているようであるが再確認して欲しい。
- ・ 特許のライセンスポリシーを明確にしておくこと（実用化企業が安心して製品化できるように）。
- ・ マイクロリアクター技術は、10kg／バッチの化学品生産量を持つ平均的パイロットプラント、3トン／年の生産量を持つ最小の化学製造プラントまで到達するにはまだ相当の時間を要するので、その間は事業部門との連携に力を注ぎ、国際競争力を養うことはもとより、化学産業の将来に備えて、大量生産へむすびつくマイクロ反応場の装置と操作法の標準化を達成し、一気に展開力をつけるべきである。
- ・ 現状の部品を組み上げたシステム構成を改善するためには、材料工学・機械工学・電子工学分野等を生かし、日本が得意とする統合化・集積化技術に基づいたシステム化研究が必要と思われる。
- ・ 本事業終了後、京都大学でコンソーシアムを組織し、成果の普及と事業化への道筋を支援しようとする試みは重要である。マイクロリアクター技術

の実用化には、まだ少し時間が掛かりそうなので、コンソーシアムのような取り組みを国（NEDO）が側方支援する仕組みがあれば、これまでの投資が生きて来るのではないか。

2. 2 ナノ空孔技術

「研究開発成果」、「実用化の見通し」、「今後に対する提言」

ナノ空孔技術は、実用化イメージ・出口イメージが明確になっており、最適な中規模市場を狙っている企業が実施者として参画しているため、ナノ空孔担体の早期の製品化が可能であろう。特に、適度な大きさのナノ空孔の安定供給可能な合成手法が短期で完成したことは評価される。ナノ空孔反応場と分子触媒の組み合わせにより収率の高い化学合成が実現されており、その有効性が確認された点も優れている。ナノ空孔の表面処理による長寿命化・固定化触媒など、実用化へ向けた意欲的な基礎研究も行われている。

一方、実用化への見通しを強く求められているために止むを得ない点はあるが、ナノ空孔を実現する方法論をもう少し広く検討してもよかったであろう。

ナノ空孔反応場の化学工学的適用範囲については未知である。今後は、本研究テーマで開発されたナノ空孔利用技術を起点として、特定の材料や製法のみ限定するのではなく、技術をさらに幅広く適用可能なものに展開することが望まれる。

〈肯定的意見〉

- ナノ空孔技術は、実用化イメージ・出口イメージが明確になっていることと、実施者として最適な中堅企業を得たため、ナノ空孔担体の生産・販売については早期に製品化が可能と判断した。
- 大孔径ナノ空孔の安定供給可能な合成手法が短期で完成したことは評価される。ナノ空孔反応場と分子触媒の組み合わせにより収率の高い化学合成が実現されており、その有効性が確認された点は優れている。ナノ空孔の表面処理による長寿命化・固定化触媒など、実用化へ向けた意欲的な基礎研究も行われている。
- ナノ空孔技術のシリカ母体は、塩基性になると担体が壊れるので、安定化に成功したシリカ表面処理技術は安全性も高く、評価に値する。
- ナノ空孔触媒技術は、ノーベル化学賞で一躍脚光を浴びたクロスカップリング反応の画期的ツールとなる可能性を秘めていることが示唆された。しかし、期間内では検討不足もあるので、マイクロ反応場装置の利用者が増えて、アイデアを増やす努力が求められる。
- 全ての成果が目標値をクリアしており、目標達成度は 100% である。
- 大孔径の規則性メソポーラスシリカの量産化技術は世界初のものであり高く評価できる。
- ナノ空孔反応場を利用した分子触媒あるいは酵素触媒による機能性物質の合成反応は、高い転化率・選択率あるいは安定性を実現しており、ナノ空

孔技術の実用化に大きく近づいた成果と言える。

- ナノ空孔固定化触媒技術では、触媒成分のリーチングを世界最高レベルに抑制することに成功しており、ナノ空孔技術の可能性を高めるものとして評価できる。
- ナノ空孔反応場を利用した反応制御に関する知見は当該技術の有効性を高めるものとして期待できる。
- いずれの成果も、ナノ空孔技術の実用化に直接結びつく、汎用性の高い基盤的要素技術として評価でき、実用化イメージが比較的はっきりしているものである。
- 研究開発目標に対しては、おおむね予算に見合った成果が得られている。
- 特許の出願件数、論文発表による公表件数も十分である。
- 人材育成などの波及効果もある程度まで期待できる。
- メソポーラス構造を製作する独自技術をもとにして、ほぼ実用に達するところまで開発が進められたことは評価できる。
- ナノ空孔材料を利用して、高選択的な合成法の基盤技術を確立したのは評価できる。特に、芳香族ヒドロキシルアミン合成、環状サルファイト合成に、成果が認められる。リチウム電池、半導体洗浄剤の高効率合成プロセスに期待する。
- 本プロジェクトで目標とした反応やナノ空孔材料の合成では、世界最高水準の研究成果が達成されている。また、いくつかの研究成果は実用化にも期待を持たせるものである。
- ナノ空孔合成から触媒、酵素の協働作用技術は、実用化が明確にイメージされており、実用化のための助成事業に繋がっている点で評価できる。

〈問題点・改善すべき点〉

- 実用化への見通しを強く求められているためにやむを得ない点はあるが、ナノ空孔を実現する方法論をもう少し広く検討してもよかったのではないか。
- ナノ空孔技術が有効である触媒や反応の種類と細孔径の関係など、当該技術の利点だけでなく、同時に適用限界も明らかになっていると考えられるが、これらは成果としては見えて来ない。
- ナノ空孔を用いた場合、温度・圧力等反応条件の制限等、材料特性的な性質が実用化の範囲を狭める可能性がある。ナノ空孔反応場の化学工学的適用範囲については未知であり、ナノ空孔の特性を有効に利用することができるマイクロリアクターの系統的検討が必要である。
- ナノ空孔技術の実用化イメージ・出口イメージに基づいて、開発の各段階

でマイルストーンを明確にしたうえで、それを踏まえて、引き続き高機能素材化の研究開発が行われる見通しは立っているのかについて、明確なロードマップが担当企業役員から具体的に示されなかったのは残念である。

- マイクロ反応場を用いた合成反応時に、クロスコンタミネーションが無かったのは朗報である。
- 本プロジェクトでは比較的实现可能なテーマに絞って検討を行ったような感があり、もう少し多くの反応の検討を行えば、たとえ結果が良好でなくても、より有用な研究成果が得られた可能性がある。
- 実用化(上市)までに製造コストをクリアしなければならない課題が多い。製品、部材の市場での価格が明確になっているようだが、この価格で製造できる技術を開発しなければ、開発の成果があったとはいえない。コストありきで技術開発をすべき。

〈今後に対する提言、その他の意見〉

- ・ 今後は、本プロジェクトで開発されたナノ空孔利用技術を起点として、特定の材料や製法のみには限定するのではなく、技術をさらに幅広く適用可能なものに展開することが望まれる。
- ・ 開発体制（実用化に向けて）の見直しと、特許出願件数が多いが問題は中身（請求範囲）である。これも見直し、本当に世界に誇れる特許か評価すべし。
- ・ ナノ空孔技術は、（１）ナノ空孔担体自体の製造・販売事業を主目的とするビジネスモデルが中堅企業で構想されている一方で、（２）ナノ空孔に有機・無機系の高機能触媒を担持した自社技術でリラクゼーション効果をもつ物質の大量合成に成功しているため、健康補助食品の製造・販売でも期待されている。加えて、（３）ナノ空孔体に付加価値の高い有機・無機系の触媒を担持した高付加価値製品の製造・販売でもニーズがあることが確認されている。（４）同業他社等からの担体単独や、高機能触媒担持担体の引き合いも多いと聞くが、同社にとっては初事業であり、大企業と比べると高度人材が社内に十分居るとは言えないのが気がかりである。
- ・ 事業化計画において、市場予測がさまざま行われているが、マーケティングとしては初歩的なもので、今後はさらに専門的なマーケット調査を進める必要がある。
- ・ ナノ空孔とマイクロリアクターの融合化による高機能反応場の実現についても今後広く検討すべきと考える。
- ・ 本事業で蓄積した技術・ノウハウ・資産は、産総研におけるコンソーシアムを組織することによって、継続的に開発・事業化を図るように口頭で説

明があったが、具体的な姿は見えていない。NEDO による支援の仕組みも必要となろう。

- ナノ空孔材料の実用的な応用は世界的に活発に行われているが、なかなか難しい分野である。本プロジェクトの成果をベースにして、世界に先駆ける実用化の例をいくつか実現して欲しい。
- 制御されたナノ空孔材料は、プロジェクトにおける応用例の他にも多用途に使えるものと思われる。知財を確保した上での成果の積極的普及を図る取り組みを継続していただきたい。

2. 3 協奏的反応場技術 (1 マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発/2 ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発)

「研究開発成果」、「実用化の見通し」、「今後に対する提言」

種々のエネルギーを外部から与える「協奏的反応場」のコンセプトは大変重要なもので、具体的な実証を行った点は評価できる。高圧の協奏的反応場については、当初より実用化が明確にイメージされており、実用化のための助成事業に繋がっている点で評価できる。マイクロ波とナノ空孔の協奏的反応場技術開発では、誘電特性パラメータの測定やエネルギー利用効率の高いマイクロ波照射技術の開発など、基盤技術開発に繋がる成果も上げているが、実用化という観点からは、反応装置の構造やマイクロ波照射方法などに課題が多く残されているように見える。本研究の実施により、マイクロ反応場関連分野の研究開発のみならず、マイクロ波やナノ空孔と融合した先端研究開発分野の人材育成を促進するなどの波及効果も生じている。

一方、協奏的反応場の有効性を示すために、いくつかの適用例を実現しようとして、全く反応条件の異なる多種類の装置を個別に開発する必要があったかどうかは疑問である。協奏的反応場というユニークな反応場を構築することに主眼を置いたために、必ずしもマイクロ反応場やナノ空孔の特徴と十分にマッチングしていない適用例も見受けられる。

〈肯定的意見〉

- 各種エネルギーを外部から与える「協奏的反応場」のコンセプトは大変重要なもので、具体的な実証を行った点は評価できる。
- 高圧/マイクロ協奏的反応場基盤技術については、当初より実用化が明確にイメージされており、実用化のための助成事業に繋がっている点で評価できる。
- 協奏的反応場技術プロジェクトの実施により、マイクロ反応場関連分野の研究開発のみならず、マイクロ波やナノ空孔と融合した先端研究開発分野の人材育成を促進するなどの波及効果を生じている。
- マイクロスケールの反応場の圧力・電子移動・触媒・光・マイクロ波(熱)等を評価できる実験系を構築し、その効果を系統的検討した点はマイクロリアクターの実用化を進める上で評価できる。ニードル型の温度制御ユニットを開発し、短時間で条件パラメータを制御できる高温高圧マイクロ反応場の実現や、多段反応を構成できる反応システムの構築など装置の工夫がなされ、協奏的反応場の利点の例が示されている。
- マイクロ波の応用に関しては、化学反応場の誘電特性測定法・マイクロ波の効率的導入方法について検討するなど、装置開発の技術的蓄積を進めている

る。また、ナノ空孔との複合的効果がある程度示され、一部実用研究に移行している点は評価できる。

- マイクロリアクターおよびナノ空孔における協奏的反応場技術開発の全ての成果が最終目標をクリアしており、目標達成度は100%である。
- マイクロ波、電気、光、熱などの外部エネルギーを効率的に利用するマイクロリアクターでは、それぞれ、協奏的な反応場の効果を実証できており、マイクロリアクター技術をより汎用性のあるものとして位置付ける上で評価できる成果である。
- 高圧とマイクロ流路の協奏的反応場の利用では、高温・高圧という過酷な環境に耐える材料を利用して、高速混合が可能な新規な反応システムを考案し、実用性の高い反応への適用に成功していることは、高く評価できる。
- マイクロ波とナノ空孔の協奏的反応場技術開発では、誘電特性パラメータの測定やエネルギー利用効率の高いマイクロ波照射技術の開発など、基盤技術開発に繋がる成果も上げており、評価できる。
- 超臨界水などの溶媒効果とナノ空孔の協奏的な反応場の構築は、応用例として評価できる結果が得られている。
- 一部の成果は、実用化イメージが比較的是っきりしており、具体的なアプリケーションの実現に一步近づいたものと言える。
- 特許の出願件数、論文発表による公表件数も十分である。
- 人材育成などの波及効果もある程度まで期待できる。
- 光やマイクロ波を用いた協奏的反応場の構築は、これまでになかったようなユニークな反応器を提案できており成果が上がっていると判断する。
- マイクロ波による電磁波シミュレーションと熱流体シミュレーションに基づく形状設計法を開発し、それを確かめるため実験装置を開発し、検証したことは非常に評価する。またマイクロ波の効果も検証、他のエネルギー、電気、光についても一応の目標が達成しているので評価する。ナノ微粒子製造プロセスの設計手法を確立したのはよい。

〈問題点・改善すべき点〉

- 研究開発目標に対しては、おおむね予算に見合った成果が得られているものの、協奏的反応場の有効性を示すために、いくつもの適用例を実現しようとして、全く反応条件の異なる多種類の装置を個別に開発する必要があったかどうかは疑問である。結果として、目標達成のために、多額の費用と時間・労力を費やしているが、どれか一つに注力するやり方もあったのではないか。成果は評価できるものであるが、協奏的反応場ということが、

マイクロリアクター開発において現時点で優先度の高いものであったのかどうか検証する必要がある。

- マイクロ波とナノ空孔の協奏的反応場技術は、実用化という観点からは、反応装置の構造やマイクロ波照射方法などに課題が多く残されているように見える。
- 協奏的反応場というユニークな反応場を構築することに主眼を置いたために、必ずしもマイクロ反応場やナノ空孔の特徴と十分にマッチングしていないような感じもする。
- マイクロ波、光エネルギー利用装置については量産対象として有効な物質が選定されていない。当初から「何に使えば有効なのか」実用化の見通しを得て開始するべき。
- マイクロリアクターの利点を活かすと言う観点から、どのようなエネルギーを外部から与えるべきか、という議論があってもよかったのではないかな。
- 達成された成果はいわゆる **proof-of-concept** の段階であり、実用化については、もう少し段階を踏む必要があると思われる。
- たとえば、それぞれの外部エネルギーについて、適用可能範囲を示すなど、技術を普及させる上で大事な情報を集約しておく必要がある。
- コストに合う製品開発、低コスト化を今問題とするのは逆である。これが達成されないと何もならない。
- 実用化が5年後とか、大量生産が2020年というのは企業として実用化する体制、資金を企業方針として確立しているとのことであるが、強力に推進して欲しい。
- テーマが多すぎて、全てを達成させる推進は少し無理があるのではないかな。
- ③-1 高圧協奏反応場マイクロリアクター技術の実用化においては、ジニトロ化合物からジイソシアナート化合物合成への実用化イメージ・出口イメージはある程度明確になっているが、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、それを踏まえて引き続き研究開発が行われる見通しは立っているかについてはまだ不明確といわざるを得ない。
- ③-1 マイクロリアクターによる協奏的反応場技術の開発事例として、特殊な膜などが検討されたが、高品質製品の実用化までには時間がかかると判断された。
- ③-2 ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発では、医薬品、洗浄処理剤などが検討されたが、現時点で実用化の見通しが立っているとは認め難かった。
- マイクロ波・光等種々の反応パラメータ抽出のため、実験結果の解析に基

づく理論的考察が不足しているように感じられる。また、各パラメータの制御により大きな効果が得られた事例は多いとはいえ、反応系を制御したマイクロリアクターの優位性を示すには至っていない。

- マイクロ波利用のエネルギー効率について解析が不足しており、加熱効果に絞って考えると他の手法（例：光）との優位性が明確とは言えない。実用的な装置開発上マイクロ波の効果を多面的に評価することが必要である。

〈今後に対する提言、その他の意見〉

- ・ ③協奏的反応場技術を入れてなければ、本プロジェクトは事業目的を達成できなかったかどうかを考えると、マイクロ波とマイクロリアクターとの協奏的反応場技術を入れなくても、NEDO 本来の目的は大部分達成され、しかも費用対効果に優れたプロジェクトとしての評価を得ることはできたのではないかと感じる。特に、協奏的反応場技術を含まなかった方が全体としてまとまりがあり、すっきりとしたプロジェクトになったはずである。
- ・ 協奏的反応場を利用した高効率マイクロリアクターを実用なレベルまで引き上げるためには、統合的なシステム化を進めることが不可欠で装置開発を平行して進めることが求められる。
- ・ 協奏的反応場を利用したマイクロリアクターは装置コストや材料・作製技術の課題も多く、装置コストに見合った製品開発が重要となろう。コンソーシアム等を通じて、貴重な成果を有効に事業化に繋げて頂きたい。
- ・ 協奏的反応場はより広い視点で様々な反応器や触媒に応用可能であるはずであり、本研究の成果はそのような分野にも応用展開できるようにして欲しい。
- ・ 本項目は、実用化の観点から考えるとやや基礎的な検討に寄っているが、国のプロジェクトとしては、こうした検討を進めることが重要である。今後も、協奏的反応場技術に関する検討がさらに進められることを期待したい。
- ・ 世界初、特許出願が多い（外国出願も）が、本当に世界に誇れる特許なのか再検討して欲しい。特に設計手法は出願してあるのか、これはノウハウなのか（どちらにするのか事業戦略で決めて欲しい）。また、これのライセンスポリシーはどうか。

2. 4 マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術

「研究開発成果」、「実用化の見通し」、「今後に対する提言」

プロジェクト全体の中での予算比率が少ないにも拘わらず、実施企業は成果を挙げている。個々の研究について見てみるとマイクロ反応場およびナノ空孔ともに基礎研究で得られた成果の有効性を利用した内容になっており、実用化の道筋がある程度示されている。実用化へ向けたハードルは研究課題ごとに差があるが、概ねクリアできる見通しが見えている。特に、ナノ空孔技術については、中堅企業の事業方針や事業規模とマッチングするので早期の実用化が望める。

しかし、事業化に向けては、自動運転や長時間運転時の信頼性とナンバリングアップに関わるプラントメンテナンスの煩雑性の回避などが課題であろうが、これらについては今後、更なる検討が必要である。短期的事業化を目指すという観点からは、一部の達成目標の設定の妥当性に疑問が残る。また、コスト検討、市場の予測など、見積もりの甘さがあるケースも見られる。

マイクロリアクター・ナノ空孔の利点を有効かつ安定的に長時間生かすには、今後のサポート体制が不可欠であり、マイクロ化学生産研究コンソーシアムが有機的に機能することを期待する。国際競争力の確保は、シーズとニーズが噛み合った有機的なコンソーシアムの構築に掛かっている。

〈肯定的意見〉

- いずれの研究テーマも自己資金 50%の助成事業であり、本プロジェクトの中での予算比率も少ないにも拘わらず、十分な成果を挙げている。
- 個々の研究について見てみるとマイクロ反応場およびナノ空孔ともに基礎研究で得られた成果の有効性を利用した内容になっており、実用化の道筋がある程度示されている。実用化へ向けたハードルは研究課題ごとに差があるが、概ねクリアできる見通しが見えている。
- ナノ空孔技術については、当該中堅企業の事業方針や事業規模とマッチングするので早期の実用化が望める。
- 実用化研究の成果は、全て最終目標をクリアしており、目標達成度は100%である。
- 活性種生成場・反応場分離マイクロリアクターによる新規機能性部材の開発では、これまで極低温が必要であった反応を0°Cで実現しており、マイクロリアクターによる生産が有効な新規プロセスとして評価できる。今後、実用化に向けた安定生産の検証、コスト削減に期待したい。
- 大孔径ナノ空孔材料の量産技術開発は、既にパイロットプラントによる試

験生産に入っており、コスト的にも実用化に供することができる点で、本プロジェクトのナノ空孔技術に関する実用化研究の中核的成果として高く評価できる。

- 酵素固定化ナノ空孔触媒による食品関連機能性化学品の生産は、ナノ空孔反応場における触媒安定化の効果が明確にされ、コスト的にも実用化が可能な立派な成果である。部分的でも良いので、現行プロセスの置き換えに繋げて欲しい。
- ナノ空孔材料を利用した機能性化学品合成反応のための工業触媒開発では、コスト低減とスケールアップに成功し、サンプル配布できる段階に達していることは、重要な成果の一つとして評価できる。従来法に対する優位性もあることから、顧客企業との連携の中で、上市・事業化を着実に進めて頂きたい。
- ナノ空孔触媒を用いた有機窒素化合物の合成プロセスの開発では、目的性能を有する新規物質生産速度の目標値をクリアしており評価できる。今後、ユーザーニーズに合わせたコスト削減に期待したい。
- 光環化付加の反応のためのマイクロフローリアクター開発では、安定的な流れを維持するためのプロセス的な工夫に成功していることを高く評価したい。今後の連続運転安定性の検証や生産量増大などの進展に期待できる。
- マイクロ波利用マイクロリアクターのための汎用プラントの開発研究では、4つの反応場で並列的にマイクロ波加熱の連続反応を実現するという世界初のプロセスの構築に成功し、目標を達成している。今後、この装置に適した実用的な反応系を選択し、プラント販売を含む事業化が行われることに期待したい。
- マイクロリアクターによるニトロ化合物の製造プロセス開発では、高温・高圧で爆発の危険がある反応を安全に実施するための装置を開発し、スケールアップと連続運転に成功していることは高く評価できる。本プロセスの企業化が期待されるだけでなく、マイクロリアクターの産業安全面での利点の実証という意味で波及効果も大きいものと考えられる。
- 特許の出願件数、論文発表による公表件数も適切に行われている。
- 開発に関わった企業に当該分野の基本的な考え方を理解する専門家(人材)が育成されるなどの波及効果もある程度まで期待できる。
- 企業に持ち帰って開発を継続しているいくつかのテーマは、実用化の可能性があり今後期待する。
- 各社とも実用化に向けて精力的に取り組まれており、成果が得られている。今後の継続した取り組みと成果を活用した事業展開に期待する。
- 各成果ともに、事業化の見通しも含めて良く検討がなされており、一部は

実用レベルに達したものも見受けられたことは、高く評価できる。

- 1) ジアリアルエテン類の量産化技術：ジアリアルエテンの量産化達成は世界初で評価する。
- 2) ナノ空孔材固定化酵素を用いた連続反応設備：開発目標を一応達成しているので評価する。事業化スケジュールの課題解決は本年度と来年度ということで、これは是非達成して欲しい。
- 3) 工業用触媒の製造プロセス技術：既にサンプル提供済で評価する。コスト低減も評価する。上市予定も明確でよい。
- 4) アルキルヒドロキシルアミンの合成：ターゲットを絞った開発はよい。実用化の見通しも早くてよい。
- 5) 複数の光源と温度センサーを有するラボ検証装置：送液技術で世界初の技術を開発したことは評価する。H23 年中にユーザー評価に供することを評価する。
- 6) マイクロ波利用協奏的マイクロリアクター汎用プラント：マイクロリアクターとマイクロ波をハイブリッドした連続フロー方式の開発は評価できる。
- 7) 高圧との協奏反応場技術：アミノ化合物の市場が大きいので、早く参入して欲しい。事業化までのスケジュールができており評価でき、問題ないと考える。

〈問題点・改善すべき点〉

- 事業化に向けては、自動運転や長時間運転時の信頼性とナンバリングアップに関わるプラントメンテナンスの煩雑性の回避などの課題があると思われるが、これらについては、今後さらなる検討が必要と思われる。
- 短期的実用化を目指すという観点からは一部の達成目標の設定の妥当性に疑問が残る。また、コスト検討、市場の予測など、見積もりの甘さがあるケースも見られる。
- マイクロリアクター技術については、合理的なコストを実現できる製造プロセス設計と生産量確保の側面からみた場合に、ナンバリングアップ技術を完全にクリアするブレイクスルー技術が出現していない以上、ポンピングは1対1対応とならざるを得ないため、比較可能な製造原価での生産量確保が難しい技術状況にある。そのため、当面は量的な生産量確保は対象外とし、高付加価値製品に限った対応がターゲットとなる。生産量増強においてコストおよび装置上の問題点に対する課題解決策を創出する努力が産学ともに求められている。
- 高圧協奏反応場技術については、仮にナンバリングアップに成功してコス

ト面をクリアできたとしても、閉そく等による作業安全性の問題点が完全にクリアされたわけでは無いので、大企業内の中小規模事業として既存プロセスと置き換えてマイクロ製造プロセスが成立するかどうかについては未解決の課題をまだ残している。

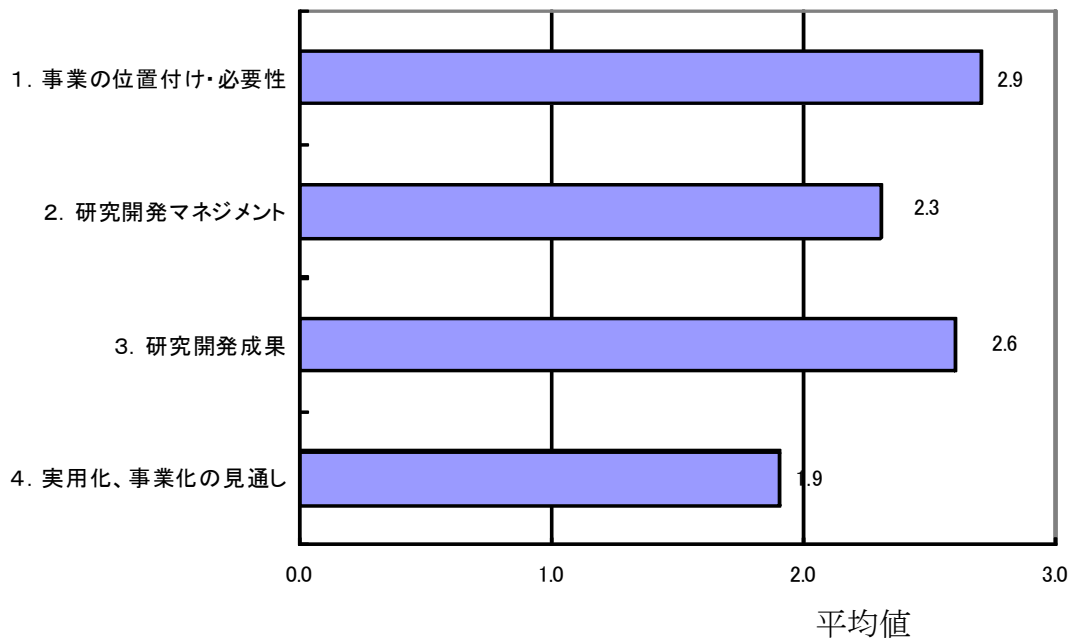
- 実用化に向けた実証的実験あるいはパイロットプラントはほぼ完成しているが、化学物質の安定的な製造に結び付けるには十分な装置技術的な裏づけが必要である。
- いくつかのテーマでは、事業化への道筋が明確になっており、本事業の成果として意義深いことと考えられるが、コスト面から事業化まで時間の掛かりそうなテーマもある。コスト評価を早い段階で行い、実用化研究としてよりも、共通基盤技術開発として実施した方が適切であったテーマがあるかもしれない。本プロジェクトでは、実用化・事業化に、それほどの資金も投入していないので、もう少し課題数を絞って取り組むこともできたように感じた。
- いくつかのテーマに関しては、企業で研究を継続するにしても現時点ではコスト的な問題のために実用化が難しいものもある。今後さらなる効率化が望まれる。
- 実用化の課題とその解決策が必ずしも明確になっているとは言えない部分もある。今後、汎用性のある技術として、後進の企業も含めて効率的に展開していくため、可能な範囲で公開できるような取り組みを継続していただきたい。
- 1) ギアリアルエテン類の量産化技術：用途が明確でない、早くターゲットを絞ること。事業化のスケジュールも5年後ということで、企業としてもっと早く事業化しないと継続するのかが疑問である。市場予測も中途半端に感じる。
2) ナノ空孔材固定化酵素を用いた連続反応設備：用途拡大の可能性が期待されるが、市場、業界とよく連携を取ってください。
3) 工業用触媒の製造プロセス技術：用途が多岐で、市場も大きい。販売戦略、体制、ルート等、当然検討されていると思いますが、さらなる強化をお願いします。開発目標値が低かったのではないかと。
4) アルキルヒドロキシルアミンの合成：もっとシェアを確保して欲しい。
5) 複数の光源と温度センサーを有するラボ検証装置：早く実機での生産評価をして欲しい。
6) マイクロ波利用協奏的マイクロリアクター汎用プラント：3年後からの売上げ規模からして、実際に製作する部門（会社）に早く任せることを考えて欲しい。

〈今後に対する提言、その他の意見〉

- ・ マイクロリアクター技術によるジアリールエテン合成については、5時間以上の連続運転に成功しているが、市場の成立しているフotonモード光メモリについては性能不足で市場投入ができず、それに続く製品供給可能先の光駆動アクチュエータや蛍光スイッチングなどのフォトメカニカル機能の市場は未成立のため、当面は低コスト化可能なサンプル提供を着実に継続していくしかないだろう。
- ・ 基盤研究で得られたマイクロリアクター・ナノ空孔の利点を有効にまた、安定的に長時間生かすには、今後のサポート体制が不可欠でありマイクロ化学生産研究コンソーシアムが有機的に機能することを期待する。国際競争力の確保は、シーズとニーズが噛み合った有機的なコンソーシアムの構築に掛かっている。
- ・ マイクロリアクター技術やナノ空孔技術を利用した化学プロセスの実用化・事業化には、まだ少し時間が必要である。特に、いくつかの先行プロセスが成功を収めるまでは、新規参入者を増やし技術の裾野を広げることも必要で、コンソーシアム活動などを通じた NEDO によるフォローアップが期待される場所である。
- ・ 当該技術がなければ製造できない物質を対象とできれば良いが、そうでなければ、コスト試算をしっかりと行い、コスト低減が必要な部分はどこかを早い段階で見極めることが重要であろう。特に、マイクロリアクター技術の場合には、収率・転化率が向上し、副生物が減り、反応ステップや溶媒使用量が減少するという点だけでは、従来技術に対する優位性を示すことはできず、装置の製造・運転コストや安定性（信頼性）などを含めて議論する必要があると考えられる。
- ・ コストに問題のあるテーマもあると書いたが、国のプロジェクトで行う場合、現時点ではコスト的に困難でも重要な将来技術と判断すればプロジェクトに入れることも必要であろう、その意味で、コスト的に問題がありそのようなテーマも、技術的には今後期待が持てる十分な成果が得られたと判断する。
- ・ 今回のプロジェクトで得られた成果が各実施企業のコア技術として育成されていくよう、NEDO のフォローを期待する。
- ・ 事業化ステップでは、難しいこともあるかもしれないが、実用上の問題点を整理して、その解決策を基盤技術として蓄積することが望まれる。

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) | | | | | | | |
|--------------------|-----|--------|---|---|---|---|---|---|--|
| | | A | A | A | B | B | A | A | |
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 2.9 | A | A | A | B | B | A | A | |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 2.3 | B | B | B | B | B | A | A | |
| 3. 研究開発成果について | 2.6 | B | A | A | B | A | A | B | |
| 4. 実用化、事業化の見通しについて | 1.9 | B | B | B | C | B | B | B | |

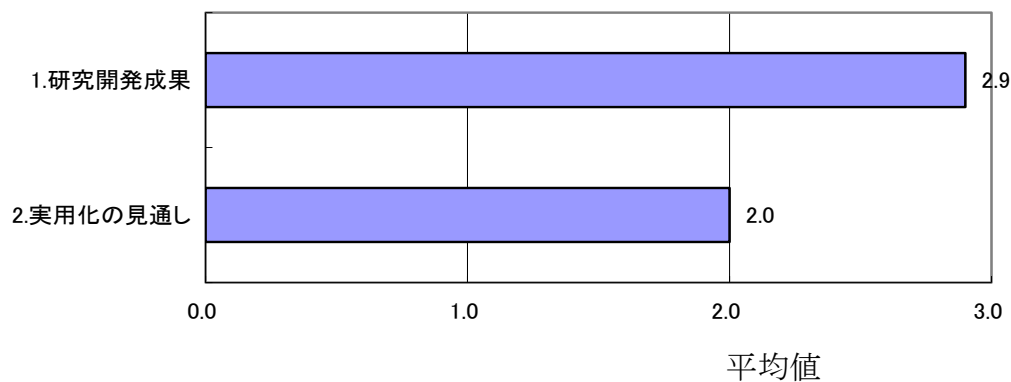
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

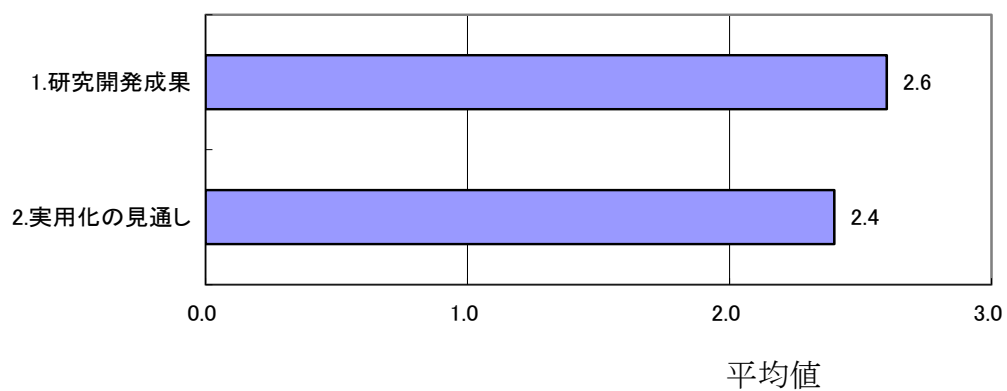
| | |
|--------------------|--------------------|
| 1. 事業の位置付け・必要性について | 3. 研究開発成果について |
| ・非常に重要 →A | ・非常によい →A |
| ・重要 →B | ・よい →B |
| ・概ね妥当 →C | ・概ね妥当 →C |
| ・妥当性がない、又は失われた →D | ・妥当とはいえない →D |
| 2. 研究開発マネジメントについて | 4. 実用化、事業化の見通しについて |
| ・非常によい →A | ・明確 →A |
| ・よい →B | ・妥当 →B |
| ・概ね適切 →C | ・概ね妥当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

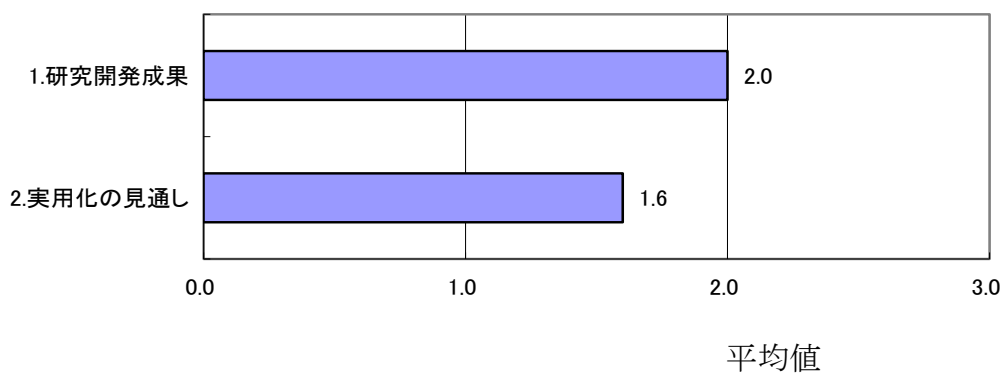
3. 2. 1 マイクロリアクター技術



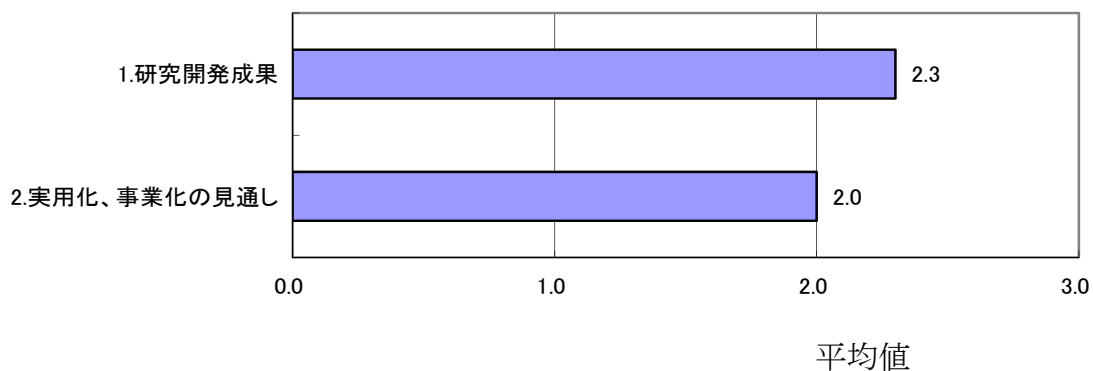
3. 2. 2 ナノ空孔技術



3. 2. 3 協奏的反応場技術



3. 2. 4 マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を用いたプラント技術



| 個別テーマ名と評価項目 | 平均値 | 素点 (注) | | | | | | | |
|---|-----|--------|---|---|---|---|---|---|--|
| 3. 2. 1 マイクロリアクター技術 | | | | | | | | | |
| 1. 研究開発成果について | 2.9 | A | A | A | B | A | A | A | |
| 2. 実用化の見通しについて | 2.0 | B | B | B | C | B | A | B | |
| 3. 2. 2 ナノ空孔技術 | | | | | | | | | |
| 1. 研究開発成果について | 2.6 | B | A | B | B | A | A | A | |
| 2. 実用化の見通しについて | 2.4 | B | A | B | A | B | A | B | |
| 3. 2. 3 協奏的反応場技術 | | | | | | | | | |
| 1. 研究開発成果について | 2.0 | C | A | B | C | B | A | B | |
| 2. 実用化の見通しについて | 1.6 | C | B | C | C | B | B | B | |
| 3. 2. 4 マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発 | | | | | | | | | |
| 1. 研究開発成果について | 2.3 | B | A | B | C | A | A | B | |
| 2. 実用化、事業化の見通しについて | 2.0 | B | B | B | C | B | A | 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 | | 2. 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 |

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。

「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」

事業原簿

【公開版】

| | |
|-----|--------------------------------------|
| 作成者 | 新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部 |
|-----|--------------------------------------|

革新的マイクロ反応場利用部材技術開発プロジェクト事業原簿（公開版）

目次

概要

プログラム・プロジェクト基本計画

プロジェクト用語集

I. 事業の目的・政策的位置付けについて

| | |
|--------------------------|-----|
| I-1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性 | I-1 |
| I-1. 1 NEDOが関与することの意義 | I-1 |
| I-1. 2 実施の効果（費用対効果） | I-3 |
| I-2. 事業の背景・目的・位置付け | I-3 |
| I-2. 1 事業背景 | I-3 |
| I-2. 2 事業目的 | I-5 |
| I-2. 3 事業の位置付け | I-7 |

II. 研究開発マネジメントについて

| | |
|-------------------------------|-------|
| II-1. 事業の目標 | II-1 |
| II-2. 事業の計画内容 | II-2 |
| II-2. 1 研究開発の内容 | II-2 |
| II-2. 1. 1 研究開発項目と各項目における達成目標 | II-2 |
| II-2. 1. 2 全体スケジュールと予算 | II-13 |
| II-2. 2 研究開発の実施体制 | II-14 |
| II-2. 3 研究の運営管理 | II-16 |
| II-3. 情勢変化への対応 | II-20 |
| II-4. 中間評価結果への対応 | II-21 |
| II-5. 評価に関する事項 | II-22 |

III. 研究開発成果について

| | |
|----------------------------|--------|
| III-1. 事業全体の成果 | |
| III-1. 1 プロジェクトの背景 | III-1 |
| III-1. 2 成果の概要 | III-3 |
| III-1. 3 成果の普及、広報について | III-21 |
| III-1. 4 成果の最終目標の達成可能性について | III-25 |

IV. 実用化の見通しについて

| | |
|-----------------------|------|
| IV-1. 共通基盤における実用化の見通し | IV-1 |
|-----------------------|------|

V. 成果資料

| | |
|----------------|-------|
| V-1. 論文一覧表 | V-2 |
| V-2. 学会発表等一覧表 | V-31 |
| V-3. その他外部発表一覧 | V-103 |
| V-4. 出願特許一覧表 | V-115 |

<参考資料1> 事前評価書

<参考資料2> パブリックコメント

参考資料1-1

参考資料2-1

概 要

| | | | |
|--------------|---------------------------------------|-----------|--------|
| | 作成日 | 平成23年8月3日 | |
| プログラム名 | ナノテク・部材イノベーションプログラム、エネルギーイノベーションプログラム | | |
| プロジェクト名 | 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発 | プロジェクト番号 | P06035 |
| 事業担当推進部室・担当者 | 電子・材料・ナノテクノロジー部 主査 上松 靖 | | |

0. 概要

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術等の反応場技術および反応媒体、エネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場技術を利用し、これまでにない革新的な化学プロセスの基盤技術を開発し、プロセス革新と新機能材料創製技術を実現することで、部材産業の競争力を強化する。

1. 事業の目的・政策的位置づけについて

【NEDO が関与する意義】

マイクロリアクター、ナノ空孔等の反応場利用部材製造技術は、従来の工業的物質生産の方法を根底から変革するものとして、化学産業だけではなく関連する医療、製薬、バイオ関連、食品産業などからも大きな期待が寄せられている。さらに、省資源や省エネルギーに貢献し環境に優しい革新的技術としての評価も高く、21世紀に欠くことのできない科学技術になるものと予想されている。また、今後、15年程度を見据え、燃料電池、情報家電、医療・福祉／安全・安心、環境・エネルギー等の各分野で求められている機能を実現するためには、これらの各分野で必要な部材の技術課題の解決に向けて、産官学の連携を強力に推進することが求められている。その反面、研究開発の難易度が高く、開発リスクが高いことが予想される。

以上の背景、理由により、民間投資のみに任せるのではなく、NEDOにて、産学の科学的知見を結集し、これらの技術課題の解決にあたりと共、材料産業から部材産業への転換を促進することにより、我が国産業の国際競争力を強化し、また、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図る事業方針に基づき、国家的、集中的プロジェクト実施が必要である。

【実施の効果（費用対効果）】

研究開発費用： 5年間で約27億円

(1)期待される市場： 情報通信、電子機器・家電、医療、バイオ、環境等

(2)経済波及効果： 4400億円程度

(3)省エネルギー効果： 30万kWh/年程度（原油換算）

【事業の背景・目的・位置づけ】

マイクロ化学プロセスのコンセプトは海外で生まれたものであるが、我が国は現在研究開発に積極的且つ組織的に取り組んでおり、マイクロ分析・生産システムプロジェクト(H14～H17)では、マイクロ流路を利用した温度均一性や混合均一性といった空間均一性により反応制御が可能であることを見いだした。さらに検討した結果、活性種の生成場を反応場から分離し、それぞれを独立に制御することにより、合成過程の簡略化や収率の向上など極めて効率的な化学品製造技術に繋がることが明らかになった。また、近年メソポーラスシリカに代表される構造規則性ナノ空孔材料の技術進歩がめざましく、化学品製造のための反応場としての利用が期待されるようになった。

このような背景下において、本プロジェクトは、マイクロリアクター（マイクロ化学プロセス）技術、ナノ空孔技術等の反応場技術および反応媒体、エネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場技術を利用した革新的な化学プロセスの基盤技術を開発し、後述のようなプロセス革新と新機能材料創製技術を実現することを目的とする。

本プロジェクトは、「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の中で特に「川上・川中・川下の各段階における[擦り合わせ]の連鎖こそが我が国高度部材産業の強みとなっていることから、この擦り合わせ力の向上に資するようなプロジェクト体制（垂直連携）で実施することで、川下産業の競争力向上に貢献すること」を目的として実施した。また同時に、我が国エネルギー供給の効率化に資する「エネルギーイノベーションプログラム」の一環としても本プロジェクトに取り組んだ。

2. 研究開発マネジメントについて

【事業の目標】

本事業は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、超臨界流体など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プロセスを開発した。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬品中間体などの機能性材料の開発を行った。

（個別テーマの具体目標は本文に記載）。

【事業の計画内容】

| 研究開発項目 | | スケジュール | | | | |
|----------------|---|---|-----|-----|-----|-----|
| | | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
| 共通 基盤 技術 | ① マイクロリアクター技術 | 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立 | | | | |
| | | 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と 生産システム化に関する共通基盤技術の開発 | | | | |
| | ② ナノ空孔技術 | ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔固定化触媒の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の開発 | | | | |
| | ③ 協奏的反応場技術 | マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発 | | | | |
| 実用 化 技術 | ④ マイクロリアクター技術、 ナノ空孔技術および 協奏的反応場技術を 利用したプラント技術 の開発 | 活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築 ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用した プラント技術の開発 | | | | |
| | | 外部エネルギー利用協奏的反応場技術の開発 高圧との協奏的反応場技術の開発 ナノ空孔子における協奏的反応場技術の開発 | | | | |

【開発予算（単位：百万円）】

| 開発項目*) | | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
|--------|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| 予算 | ① | 107 | 93 | 72 | 83 | 65 |
| | ② | 109 | 126 | 129 | 87 | 70 |
| | ③ | 372 | 318 | 279 | 149 | 101 |
| | ④ | | | 13 | 125 | 61 |
| 総予算額 | | 588 | 537 | 493 | 444 | 297 |

*) ①マイクロリアクター技術、②ナノ空孔技術、③協奏的反応場技術、④実用化技術
(①～③は委託事業、④は助成事業<助成率1/2>)

【開発体制】

| | |
|-------|--|
| 運営機関 | 独立行政法人新エネルギー産業技術総合開発機構 |
| PL | 京都大学 長谷部 伸治 |
| 委託先 | マイクロ化学プロセス技術研究組合 独立行政法人産業技術総合研究所 |
| 共同研究先 | 京都大学 |
| 再委託先 | 大阪府立大学、東京大学、横浜国立大学、三重大学、東北大学、 東京工業大学 |
| 助成先 | 日油株式会社、和光純薬工業株式会社、株式会社日立製作所、 山田化学工業株式会社、エヌ・イー ケムキャット株式会社、 太陽化学株式会社 |

【情勢変化への対応】

実用化技術（マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発）の助成事業化を平成20年度より随時開始した。

【中間評価への対応】

「産学官一体となり、有機合成、触媒化学、反応工学、化学工学の専門家が協奏して新しい概念と成果を創出しており、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反応場構築ともに、中間での研究成果も目標を達成している項目がほとんどで全体として順調に研究開発が進展していると判断する。」とされ、概ね現行通り実施して良いとの評価であった。

また、今後に対する提言として「今後は実用化研究が主体となると考えるが、個々の目標は明確であり、プロジェクト終了時点で実用化可能となるテーマが少しでも多くなるように期待する。なお、マイクロリアクター技術とナノ空孔技術の開発が、やや独立に行われている感があり、マイクロ波利用など、共通開発要素を中心としてより協力を密にして相乗効果が表れることを期待する。」とされた。

このため、マイクロリアクター技術/協奏的反応場技術の開発を進める京都集中研究所研究者とナノ空孔技術/協奏的反応場技術の開発を進めるつくば集中研究所研究者との協力を密にする方策として、交流会（ジョイントミーティング等）を半年に1回以上実施した。

3. 研究開発成果について

1) マイクロリアクター技術

1. 1 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立

【中間目標】 (◎：大幅達成、○：達成、△：一部未達成)

| 中間目標 | 達成度 | 内容説明 |
|---|-----|---|
| (a) 活性種生成・反応場の精密制御技術に基づく新規合成手法ならびにデバイスを開発する。たとえば新規合成手法およびデバイスを合わせて2件以上開発する。 | ◎ | 非対称ジアリールエテンの合成手法、クロスカップリングによるビアリール類の合成手法、 <i>o</i> -二置換ベンゼンの新合成手法、ラジカル重合の新技术、熱および光ラジカル反応の新技术を開発した。また、そのためのデバイスも開発した。これらの成果は、コンセプトの妥当性を示す例として必要十分であり、目標をクリアしている。 |
| (b) 各種活性種に対して、その寿命を考慮した急速混合技術を開発する。 | ◎ | 寿命の短い不安定なアリールリチウム種の生成と反応に対応できる急速混合可能なT字型マイクロミキサーを開発した。 |

【最終目標】

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|-------------------------------------|-----|--|
| 各種活性種に対して、その寿命と望ましい急速混合技術の関係を体系化する。 | ◎ | 等高線マップを用いて収率に対する活性種の寿命（温度）と滞留時間の関係を求める方法を確立した。そして、非対称ジアリールエテンの合成、クロスカップリングによるビアリール類の合成、 <i>o</i> -二置換ベンゼンの新合成、求電子性の官能基を有するベンゼン類の合成、ラジカル重合、熱および光ラジカル反応などの合成反応を行い、各種活性種の寿命とそれを制御可能な（急速混合技術に基づく）滞留時間との関係を体系化した。 |

1. 2 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発

【中間目標】

| 中間目標 | 達成度 | 内容説明 |
|---|-----|--|
| 1) 短滞留時間多段混合反応器を開発する。たとえば4種類の物質を各部の滞留時間0.05秒以下で逐次混合可能な反応器を開発する。 | ◎ | ニードル式、対向式の2種類の混合様式を提案し、基本混合性能をシミュレーションにて検証し、それに基づいて混合ユニットを製作。混合性能試験から、数ミリ秒で完全混合できることを確認した。開発した混合パーツはアセンブル構造となっている。4段以上数十ミリ秒オーダーの短時間から数秒の滞留時間まで対できる逐次混合可能なパイプレスの反応器システムを2種類開発した。この成果はH19年度に特許出願している(研究項目A)。一方、ナノ粒子などの異相系においては、マイクロスラグ流を用いた反応器を開発し、スラグ内の物質を数ミリ秒で完全混合で□る操作法を開発した。以上目標値を大幅に上回る成果が得られた。この成果は特許出願(特願2007-210487)している(研究項目C)。 |
| 2) 急速混合可能な温度制御機能付き反応器を開発する。たとえば混合時間0.05秒以下で偏差1℃以下の温度制御可能な反応器を開発する。 | ◎ | 対向式マイクロミキサーの混合部を直接熱交換する構造のアセンブルパーツを開発し、温度の異なる原料が数ミリ秒オーダーで急速混合すると同時に、0.1℃以内に直ちに反応温度に温度制御できることを示した。温度調節能力は対□に合わせてパーツを選択することで、対応可能な構造となっており、幅広い反応を対象とできる。以上、目標値を大幅に上回る成果が得られた(研究項目A、B)。 |
| 3) 急速昇降温可能な温度制御機能付き反応器を開発する。たとえば20℃/10ミリ秒以上の昇降温、±0.3℃以内の温度制御が可能な反応器を開発する。 | ◎ | 上記ニードル式混合パーツと反応部熱交換パーツを提案し、それをパイプレスで組み合わせた反応器を開発した。粒子製造実験などから、混合部で40000℃/秒、反応部で反応熱の発生に対して±0.3℃以内温度制御可能であることを確認した(研究項目A、B)。 |
| 4) 微小容積複合計測装置を開発する。 | ◎ | 複数の情報を同時計測できる小デッドスペースのデバイスアタッチ型計測装置を開発し、目標は達成された。この成果は特許出願(特願2007-050172)を行った(研□項目D)。 |
| 5) 流路の閉塞状態を検知可能 | ◎ | 限られた数の温度センサの配置問題を扱う手法を |

| | | |
|-----------------|--|--|
| な状態監視システムを開発する。 | | 提案し、流量、温度などの状態量に対して、推定誤差 10%以下の状態監視システムを開発し目標を達成した（研究項目D）。 |
|-----------------|--|--|

【最終目標】

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|---|-----|---|
| 1) 活性種生成場と反応場の分離に必要な特性である、急速昇降温、精密温度制御、短滞留時間等が可能なマイクロ反応器の形状設計手法を開発する。 | ◎ | 混合器を設計する基本的なモデルとして有効セグメントモデルを提案し、形状との定量的な関係を導出することで、所望の混合速度、加熱、除熱速度を有するマイクロリアクターを演繹的に設計する方法論を確立した。これによって、これまで経験的に行われてきた反応器の設計が、有機合成反応などの活性種寿命に対応して厳密に設計可能となった。（研究項目A） |
| 2) 急速混合および短滞留が可能で、広範囲な活性種寿命に柔軟に対応できるデバイスコンポーネントを開発するとともに複数のパイロットプラントへ実装し、その性能を検証する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 衝突、屈曲構造を有した急速混合が可能な形状の混合流路を提示した（研究項目A）。 ・ 開発してきた各種マイクロデバイスパーツを組み合わせた反応器を開発し、有機合成の連続試験から既往の技術に比べ収率の大幅な向上を確認した。（研究項目B）。 ・ 異相系においても核生成と粒子成長を完全に分離することによる単分散ナノ粒子の合成すること、マイクロリアクター直列システムで任意の粒径のナノ粒子を製造することに成功した（研究項目C）。 ・ これらの装置は数百トン／年の生産能力を有し、活性種生成、反応の場を分離した生産用マイクロリアクターとしては世界初である。以上、実用化へ供与できるレベルで目標を達成する成果が得られた。 |
| 3) 開発した計測装置を用いた制御・監視システムを開発し、実験プラントへの実装と性能検証を行う。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 対象の物理モデルからプロセスモデル（状態空間モデル）を構築し、少数の管壁温度測定情報から未知の状態量を推定するシステムを開発し、マイクロ装置で実証した。 ・ 4 並列 2 液混合型マイクロリアクターシステムを構築し、10 時間以上の連続運転を行ない、安定動作を確認するとともに、閉塞検出方法について性能評価からシステムの妥当性を検証した（研究項目D）。 |

2) ナノ空孔技術

【中間目標】

| 中間目標 | 達成度 | 成果 |
|---|-----|--|
| <p>(1)情報・電子関連機能性化学品として有用なヘテロ化合物の製造において、ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を活かすことにより、現行プロセスに対する優位性を明らかにする。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、現行プロセスに対して優位な原料転化率 50% 以上、選択率 80% 以上を達成する。</p> | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・半導体洗浄剤として有用な有機ヒドロキシルアミン合成において、ニトロ化合物の選択水素化による芳香族ヒドロキシルアミン合成に対し、アミノ基で表面修飾したメソポーラスシリカ担持白金触媒を用いることにより、原料転化率 99%、選択率 97% を達成。 ・電子デバイス用化成品として有用な環状イオウ酸エステル合成において、エポキシドへの SO₂ 挿入反応に対し、メソポーラスシリカにアンモニウム塩を固定化した触媒を用いることで、原料転化率 94%、選択率 95% を達成。 |
| <p>(2)食品関連機能性化学品の合成酵素について、ナノ空孔材料への固定化と活性の発現により、現行の非回収プロセスに対して優位が明らかとなる多数回の繰り返し使用を可能とする。たとえば、アミノ酸等の合成酵素では現行プロセスより優位性が明らかとなる 25 回以上の繰り返し使用を可能とする。</p> | ◎ | <p>アミノ酸類合成酵素であるグルタミンナーゼについて、ナノ空孔材料への固定化と活性の発現により、現行プロセスより優位性が明らかとなる 25 回の繰り返し使用を達成した。</p> |
| <p>(3)分子触媒に近い反応効率を達成するとともに触媒リーチング抑制技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応触媒では、低反応性基質を用いて収率 80% 以上を達成する。不斉水素化触媒では、分子触媒の不斉収率(ee)の 80% 以上を達成する。また両触媒</p> | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・炭素-炭素結合形成反応触媒では、ナノ空孔材料に多点結合可能な配位子の開発に成功、鈴木カップリング反応に対し、プロモ体基質を用いて収率 80% 以上を達成。 ・不斉水素化触媒では、多点結合型配位子を用いて、分子触媒と同等の不斉収率(95% ee)を達成。 ・鈴木カップリング反応触媒では、リーチングによる目的物中の残留金属濃度が検出下限 |

| | | |
|--|----------|---|
| <p>とも、目的物中の低残留金属濃度（1 ppm 程度）を達成する。</p> | | <p>値（1.4 ppm）以下。不斉水素化触媒では、数 ppm のオーダーであるが、平成 20 年度末までに 1 ppm 程度を達成できる見込み。</p> |
| <p>(4) ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用発現について、実例を示す。また、ナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法開発の指針を明らかにする。</p> | <p>○</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ ナノ空孔反応場と分子触媒（もしくは孤立活性点）との協働作用の実例として、1) アルミニウム含有メソポーラスシリカ触媒によるシアノシリル化反応及び3成分ストレッカー型反応、2) 鈴木カップリング反応におけるポリエチレングリコール修飾効果を見出した。 ・ アリルシランを用いた固定化反応において、固定化効率が向上する条件（溶媒等）を見出し、分子触媒の有効な固定化手法開発の指針を明らかにした。 ・ ナノ空孔固定化リパーゼについて、酵素活性の失活抑制をもたらす協働作用発現の実例を示すことができた。 ・ ナノ空孔と酵素間のサイズや表面性状制御により、酵素の有効な固定化手法開発の指針を明らかにした。 |

【最終目標】

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|--|----------|--|
| <p>(1) ヘテロ化合物の製造において、ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を最大限活かすことにより、転化率、選択率を実用レベルまで向上させる。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、実用化の目途となる原料転化率 80% 以上、選択率 90% 以上を達成する。</p> | <p>◎</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ リチウムイオン電池の電解液添加剤などとして有用な環状サルファイト類のエポキシドへの SO₂ 挿入反応による合成において、原料転化率 99%、選択率 95% を達成した。 ・ 半導体洗浄剤などとして有用な有機ヒドロキシルアミン類のニトロ化合物の部分水素化による合成において、芳香族ヒドロキシルアミンについては原料転化率 99%、選択率 97%、脂肪族ヒドロキシルアミンについては原料転化率 99%、選択率 98% を達成した。 |
| <p>(2) 食品関連機能性化学品の合成酵素について、ナノ空孔材料への固定化と活性の</p> | <p>◎</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ アミノ酸等の合成酵素について実用化の指標となる 50 回以上の繰り返し使用を可能とすることに成功し、最終目標を達成した。 |

| | | |
|---|----------|---|
| <p>発現により、実用レベルの繰り返し使用を可能とする。たとえば、アミノ酸等の合成酵素では実用化の指標となる50回以上の繰り返し使用を可能とする。</p> | | |
| <p>(3) 分子触媒レベルの反応効率を達成するとともに実用可能レベルの触媒リーチング抑制技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応触媒では、低反応性基質を用いて収率90%以上を達成する。不斉水素化触媒では、分子触媒と同等の不斉収率(ee)を達成する。また両触媒とも、目的物中の残留金属濃度について、実用化の目途となる0.2 ppm以下を達成する。</p> | <p>◎</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・炭素-炭素結合形成反応触媒では、鈴木カップリング反応において、低反応性クロロ体基質を用いて収率95%を達成した。 ・不斉水素化触媒では、類似の分子触媒と同等の高い反応転化率(>99%)と高い不斉収率(95% ee)を達成した。 ・炭素-炭素結合形成反応触媒では目的生成物中の残留Pd濃度を、不斉水素化触媒では目的生成物中の残留Rh濃度を、それぞれ0.2 ppm以下に抑えることに成功した。 |
| <p>(4) ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用発現について、協働作用発現機構のモデルを提案する。また、工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法を開発する。</p> | <p>◎</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ナノ空孔反応場と分子触媒（もしくは孤立活性点）との協働作用発現の実例として、Al-MCM-41触媒によるシアノシリル化反応、3成分ストレッカー型反応、向山アルドール反応を見出した。ナノ空孔内に存在する配位圏が大きく開いたAl^{IV}サイトが強いルイス酸点として機能する協働作用発現機構を提案した。また、鈴木カップリング反応におけるポリエチレングリコール修飾効果を見出した。 ・ナノ空孔内への分子触媒の有効な固定化手法として、安定で取り扱いが容易なアリアルシラン類を用いる方法を開発した。 ・ナノ空孔反応場と酵素との協働作用発現について、ナノ空孔の特性（サイズ適合性や高多孔性）が酵素の特性（立体構造や活性挙動）に作用するモデルを提案し、その作用によって生じる各種の有用な効果（安定性や活性低下の抑制、基質濃縮による活性向上）の実例を実験的に提示できたことにより目標達成。 |

| | | |
|--|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> ・酵素とナノ空孔材料との吸着挙動や活性挙動について系統的に検討し、酵素触媒担体として求められるナノ空孔材料の選定のための有効な指針を得たことにより、工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への酵素の有効な固定化手法を開発できたため目標達成。 |
|--|--|---|

3) 協奏的反応場技術

3. 1 マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

3. 1. a 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立

【中間目標】

| 中間目標 | 達成度 | 内容説明 |
|---|-----|--|
| 1) 電極間距離が短くエネルギー効率に優れたマイクロ電解装置を開発する。たとえば電極間距離が100 μm以下のマイクロ電解装置を開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・電極間隔 100 μm 以下の装置を作成した。 ・対象とした反応系において文献での最高収率 (69.5 %) に匹敵する収率 (66 %) を得た。 ・エネルギー効率を考慮した反応器構造、副生する気泡の除去機構に関し特許出願を行った。 |
| 2) エネルギー効率の高いマイクロ光反応装置を開発する。たとえば光路長が100 μm以下のマイクロ光反応装置を開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・光路長 20~100 μm の光反応用マイクロリアクターの作成手法を開発し、実際に種々の反応器を作成した。 ・フェノールの酸化分解を例にとり、光路長が反応効率に与える影響を整理した。 |
| 3) 外部エネルギー利用装置設計のための外部エネルギー・熱流体シミュレーション技術を開発する。たとえば マイクロ波利用装置の形状設計に利用可能なマイクロ波・熱流体シミュレーション技術を開発する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・電磁波シミュレーションと熱流体シミュレーションを連成させたシミュレーション技術を開発した。 ・シミュレーションに基づき設計・製作した装置によるシミュレーション精度の検証を行い、提案したシミュレーション法が設計に利用可能であることを示した。 |
| 4) マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノサイズ粒子合成装置を開発する。たとえば有機ナノ粒子 (50 nm以下) を安定分散した有機溶 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・高温溶媒を直接反応液と混合させ、瞬時に加熱する構造の連続反応装置を開発し、平均粒子サイズ Mn = 49 nm の反応液を得ることに成功した。 |

| <p>媒分散液を合成可能にするエネルギーを出力できる装置を開発する。</p> | | |
|--|-----|---|
| <p>【最終目標】</p> | | |
| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
| <p>1)活性種制御に基づく高効率の実用的マイクロ電解プロセスを開発する。たとえば電流効率が90%以上のマイクロ電解装置を開発する。</p> <p>トルエン誘導体の酸化、アミン誘導体の酸化に関するパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。</p> | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・アミン誘導体の酸化反応で、転化率ベースで89%、収率ベースで87%を達成した。 ・トルエン誘導体の酸化反応では電流効率95%を達成した。 ・パイロットスケールの連続運転用マイクロ電解システムを制作し、連続運転を実施した。 |
| <p>2)高転換率の実用的光反応合成プロセスを開発する。たとえば転換率が90%以上の光反応合成プロセスを開発する。</p> | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・芳香族アルデヒドの一段合成で収率91%達成した。また、無水マレイン酸の光二量化反応において、原料リサイクル構造を有するプロセスを構築し、転換率90%以上を達成した。 ・実用化の最大の課題である閉塞を防止する機構として、窒素導入によるスラグ流実現と超音波照射を組み合わせることにより、長時間の連続運転を達成した。 |
| <p>3)外部エネルギー・熱流体シミュレーション技術を利用した外部エネルギー利用装置設計手法を開発する。たとえばマイクロ波・熱流体シミュレーション技術を利用したマイクロ波利用装置の形状設計法を開発する。</p> | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・電磁波シミュレーションと熱流体シミュレーションを連成させたシミュレーションに基づく形状設計法を開発した。 ・開発した設計法に基づきマイクロ波利用マイクロリアクターを作成し、設計通り水に対して吸収効率95%を達成した。 ・温度制御機能付きマイクロ波利用反応器を開発した。そして、マイクロ波の効果が、局所加熱による反応率の向上であることを明らかにした。 |
| <p>4)有機化合物の溶媒への溶解性と温度の関係を整理し、マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノ粒子製造プロセス</p> | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・有機化合物の溶媒への溶解性と温度の関係を整理し、外部エネルギーを用いたナノ粒子製造プロセスの設計手法として温度制御による過飽和を制御する方法を提案した。 |

スの設計手法を確立する。

3. 1. b 高圧との協奏的反応場技術の開発

【中間目標】

| 中間目標 | 達成度 | 内容説明 |
|--|-----|---|
| 1) 高圧反応場に対応したマイクロリアクター(使用可能圧力 50MPa 以上) および急速昇温可能 (100°C/10 ミリ秒以上) な装置を開発する。 | ◎ | ニードル式、スワール型、衝突式など計 4 種類の高圧高温ミキサーを試作し、600°C、圧力 50MPa で使用可能であること、400°C 以上の流体を数ミリ秒で完全混合、温度均一にできることを示した。さらに、これをもとに、50MPa 以上、600°C までの高温高圧水あるいは、高圧 CO、CO ₂ ガスを利用できるマイクロリアクターシステムのプロトタイプを完成し、安全に操作できることを確認した。 |
| 2) 従来より 10% 以上耐食性に優れた高圧用マイクロリアクターを開発する。 | ◎ | SUS のミキサー、反応器、高圧配管、継ぎ手の内部にチタン管をはめ合いで装着する方法を開発し、全く腐食しないことを検証した。また、高温高圧下でのニトロ化反応の連続実験で 3N 硝酸を 5 時間流通させた実験でも腐食のないことを検証した。以上より、目標値を大幅に上回る成果が得られた。 |
| 3) 高圧との協奏的反応場によって各種高機能材料生成に関して、従来技術と比較して、短時間で反応収率を増加させる技術を開発する。 | ◎ | ニトロ化物製造に主眼をおいて、高圧回転攪拌型マイクロリアクターを開発し、現行の混酸法に比べてニトロ化反応収率を向上させることを検証した。次に、モノニトロ化、ジニトロ化の活性種生成、反応場を分離した多段高圧マイクロプロセスを開発し、200°C 以上の高温という従来不可能であった反応条件下で安全にニトロ化を実施し、高収率を達成。さらに、上述の高温高圧耐食マイクロ反応システムを用いて、世界で始めて硝酸と高温高圧水のみ(硫酸フリー)で 90% 以上のニトロ化に成功した。一方、高温高圧水マイクロシステムにて溶剤フリーで数種類の有用物質を高収率で合成すること、高圧 CO ₂ のもと表面機能付加した高分子微粒子を製造することも示した。ニトロ化反応に関しては、平成 20 年度から実用化研究に進んでおり、目標は順調に達成している。特許 3 件出願。 |

【最終目標】

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|--|-----|---|
| 1) 高圧、腐食性流体中で使用可能なマイクロリアクターと短時間で混合・反応停止できるマイクロリアクターからなるシステムを開発する。たとえば50MPa 以上で混合時間0.01 秒以下のマイクロリアクターからなるシステムを開発する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> チタニア内挿管などを新たに開発し、500℃、50MPa までの超臨界水中で腐食性流体を扱えるマイクロ製造プロセスを開発し、連続運転で実証した。 各種高圧マイクロ混合デバイスを開発し、50MPa 以上で混合時間数ミリ秒で完全混合可能なミキサーを有するマイクロシステムを開発した。 |
| 2) 高圧との協奏的反応場によって各種高機能材料生成のための選択的反応技術を開発する。たとえば高機能材料として芳香族化合物、選択的反応技術としてニトロ化反応技術を開発する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> 高圧マイクロ反応システムを用いて、芳香族・脂肪族に関わる3種類のクライゼン転位反応で選択率100%を実証した。 硝酸アセチルによる低温ニトロ化反応を実施し収率100%（選択率100%）を実現できる高圧マイクロ反応技術を確立した。 開発したマイクロシステムを用いて、世界で初めて、硫酸フリーでの超臨界水中での芳香族のニトロ化反応を30時間の連続運転を実施し、迅速なスタートアップ、シャットダウン、安全操業、定常的な収率維持を実証し、実用化への目途をつけた。 高圧気液マイクロリアクターシステムを開発し、既往技術では困難であったニトロ化物の直接カルボニル化に成功した。 |

3. 2 ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

3. 2. a マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発

【中間目標】

| 中間目標 | 達成度 | 成果 |
|---|-----|---|
| 3.2a-1 室温から可能な限り高い温度まで、反応器内に充填した物質の誘電特性が高精度で測定可能な評価装置を開発する。たとえば、温度範囲として常温～300℃の範囲で比誘電率、誘電体損失角が±5%の精度で測定できる装置を開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 測定精度（変動係数）が0.6%以内の高精度測定法と単一系・混合系合わせて1300点以上のデータ収集、また、室温～200℃以上での温度可変自動測定法を開発した。 |

| | | |
|--|---|--|
| 上記装置を用いてナノ空孔およびマイクロリアクター等との協奏的反応場開発に必要な誘電特性データを集積する。 | | |
| 3.2a-2 誘電体特性データを用いてマイクロリアクター触媒反応技術を開発する。投入エネルギーに対して高い内部温度上昇効率（たとえば、70%以上）を達成する反応システムを設計する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 円筒共振器型照射器の作成と共振周波数調整法を実証・実用化した。70%熱変換効率に向け調整中。 |
| 3.2a-3 マイクロ波加速によるマイクロリアクター触媒反応技術（触媒量 0.1 モル%以内、反応時間 1 分以内）を開発する。マイクロリアクターを用いて転換率 90%以上の実用展開可能な触媒反応技術を開発する。滞留時間を制御可能なマイクロリアクターを開発する。 高い反応率と選択率で位置異性体を合成する触媒反応技術を開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> マイクロリアクターで反応時間 1 分の定量的なカップリング反応を達成した。触媒量 0.1 モル%以内に向け調整中。（平成 20 年度に達成予定）。不均一触媒反応に関しては転換率 90%以上の実用展開可能な触媒反応技術を開発した。 芳香族修飾反応（アルキル化、アシル化）にてマイクロ波を用いた協奏的反応場により、従来の外部加熱を用いる方法に比べ、反応速度等で、2~10 倍の向上。 |

【最終目標】

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|---|-----|--|
| 3. 2. a-1 反応系の特徴を考慮したマイクロリアクター設計手法を確立する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> 誘電特性パラメーターの測定により加熱時の誘電特性変化傾向を把握し、マイクロリアクター形状の最適化に反映させた。 |
| 3. 2. a-2 40%以上のエネルギー有効利用（現状 20~30%）を可能とするマイクロ波照射技術を開発する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> 電磁界強度とリアクター形状を考慮して整合させ、マイクロ波エネルギーを効率よく供給するリアクターを実証した。 自動整合器の利用と反応場の誘電特性の制御により、高いマイクロ波エネルギー投入効率（水で 99.9%、トルエンで 92.6%）と高いエネルギー有効利用率（装置の消費電力エネルギーのうち反応場の加熱に利用できたエネルギーの割合、水で 51%、アニソール反応系で 42%）を達成した。 |
| 3. 2. a-3 実用レベルの転化率で選択的に位置異性体を合成する触媒反応技術（たとえば、機能性高分子原料となる多 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> マイクロリアクターに対するマイクロ波照射で迅速かつ低触媒量（反応時間 1 分、触媒量 0.1 モル%以内）で定量的なカップリング反応を達成した。不均一触媒反応では触媒の溶出を抑えて定量的に進行する実用展開可能な触媒反応技術を開発した。 |

| | | |
|---|--|--|
| <p>官能性化合物の合成では転化率 40% 以上かつ選択率 70%以上) を開発する。</p> | | <ul style="list-style-type: none"> ・ マイクロ波とナノ空孔触媒による芳香族修飾反応（アルキル化、アシル化）で転化率 40% 以上かつ選択率 70%以上を達成した（2,6-ジアルキルナフタレンの合成で転化率 86%、選択率 70%、分子内アシル化では、転化率、選択率ともに 90%以上）。 |
|---|--|--|

3. 2. b マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術の開発

【中間目標】

| 中間目標 | 達成度 | 成果 |
|---|-----|---|
| <p>3.2.b-1 特異的なマイクロ波吸収能をするナノ空孔触媒を反応媒体（超臨界流体、極性溶媒等）と組み合わせた協奏的反應場技術を構築する。例えば、水反應媒体、水素源、酸素源とする還元反應（転化率、選択率 60% 以上）、酸化反應（転化率、選択率 40% 以上）を達成する触媒技術を開発する。</p> | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・ マイクロ波官能性の高い活性炭に担持された金属パラジウム触媒や金属ルテニウム触媒を用いて、水を反應媒体、水素源とするフェニルボロン酸類の還元反應において転化率 99% 以上、選択率 99% 以上を達成した。（最終目標達成） ・ 水を反應媒体、酸素源とするフェネチルアセトアミドの酸化反應において転化率 77%、選択率 92% を達成した。（中間目標達成） |
| <p>3.2.b-2 研究開発項目②（1）—（3）で実施するナノ空孔反應場利用技術に適用可能なマイクロリアクター、マイクロ波および反應媒体利用についての技術課題を明確にするとともに、触媒反應における協奏的反應場利用の基盤技術を開発する。</p> | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・ ナノ空孔固定化触媒を用いた環状イオウ酸エステル合成にマイクロ波加熱を適用することで、原料転化率、選択率ともに向上することを明らかにした。効率的なマイクロ波の照射が技術課題の一つである。 ・ ナノ空孔反應場とマイクロ波による協奏的反應場において、鈴木カップリング反應の初速度が向上することを確認した。マイクロ波加熱と通常加熱の差を明確にするためには、マイクロ波照射装置の攪拌・温度制御が重要であるという技術課題を明らかにした。 ・ ナノ空孔反應場利用技術にマイクロリアクターを適用し、ナノ空孔固定化マイクロリアクターの稼働を実証した。 ・ ナノ空孔固定化酵素マイクロリアクターの開発に成功し、蛍光物質を用いたリパーゼの加水分解評価手法を開発した。 |

【最終目標】

| 最終目標 | 達成度 | 成果内容 |
|--|----------|---|
| <p>2. 2. b-1 マイクロ波エネルギーを高い効率で吸収するナノ空孔触媒を活用した実用レベルの高選択触媒反応技術を開発する。たとえば、水等の反応媒体を化学原料とする還元反応、酸化反応において95%以上の転化率、選択率を達成する。</p> | <p>◎</p> | <p>フェニルボロン酸類から置換ベンゼン類への還元において、転化率99%、選択率99%を達成。 ジアミノアルカンから環状アミンへの変換において転化率99%、選択率99%を達成。 芳香族アルデヒド、ケトン類の酸素-重酸素交換において、重酸素導入率95%を達成。 水素-重水素交換反応において、50種以上の化合物において重水素導入率95%以上を達成。</p> |
| <p>3. 2. b-2 研究開発項目②(1)―(3)で実施するナノ空孔反応場利用技術に適用可能なマイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術を適用し、実用レベルでの性能を達成する。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作成用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反応場利用により、実用化の目途となる原料転化率80%以上、選択率90%以上を達成する。また、アミノ酸等の合成酵素について、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反応場利用により、実用化の目途となる50回以上の繰り返し利用を可能とする。さらに、協奏的反応場利用により、炭素-炭素結合反応触媒性能として、低反応性基質を用いて収</p> | <p>◎</p> | <p>有機窒素化合物、有機硫黄化合物の製造に関しては、研究項目2. 2. 1で達成目標値を達成。環状イオウ酸エステル合成においてマイクロ波加熱と組み合わせることにより原料転化率および選択率の向上が見られた。 アミノ酸合成酵素-ナノ空孔材料複合体を担持した流通式マイクロリアクターを用いたアミノ酸の連続合成反応を行い、バッチ式反応50回以上に相当する繰り返し耐久性を達成した。 協奏的反応場利用による炭素-炭素結合反応触媒としてシリカ系またはカーボン系規則性多孔体に担持したPd触媒を合成しマイクロ波と組み合わせることによって、オイルバス加熱では低収率でしか得られない鈴木カップリング生成物(炭素-炭素結合反応生成物)を93%以上の収率で得ることに成功した。 分子触媒と同等の不斉収率(ee)を研究項目2. 2. 1で最終目標値を達成。</p> |

| | | |
|--|--|--|
| 率 90%以上、不斉水素化触媒の性能として、分子触媒と同等の不斉収率 (ee) を達成する。 | | |
|--|--|--|

4) マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発

詳細は事業原簿【非公開版】に掲載

5) 全体の成果資料

- ・論文投稿 「査読付き」 177件、「その他」 25件
- ・特許 「出願済」 73件
- ・その他の外部発表 103件

4. 実用化、事業化の見通しについて

本プロジェクトは、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反応場を幅広く工業的に利用可能とするためのプラント技術の開発を、以下の実用化研究として行った。

(1) マイクロリアクター技術

- ・活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築

(2) ナノ空孔技術

- ・ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用したプラント技術の開発

(3) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

- ・外部エネルギー利用協奏的反応場技術の開発
- ・高圧との協奏的反応場技術の開発

(4) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

- ・マイクロ波およびマイクロリアクターとの協奏的反応場技術の開発
- ・マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体との協奏的反応場技術の開発

個々の内容については、非公開資料「IV. 実用化の見通しについて」に記述する。

本プロジェクトでは、実用化研究と並行して共通基盤技術に関する研究を継続して進めた。事業化の成功率を向上させるために、助成事業が本格化した21年度以降、プロジェクトとして、基盤技術研究で開発された技術（シーズ）を実用化研究にスムーズに適用できる仕組み、また実用化研究の問題点（ニーズ）を共通基盤技術研究にフィードバックする仕組みが行える体制の構築を行った。また、事業化拡大の観点では本プロジェクト参加企業のみでは不十分であり、プロジェクト外へも積極的に展開する必要がある。そのために、基盤技術の十分な構築とともにプロジェクト非参加企業が本プロジェクトの成果を利用できる仕組み（たとえば、共同利用センター）の構築についても検討を進めた。このような活動を通して、成果の事業化の拡大を図っていく予定である。

5. 基本計画に関する事項

作成時期 : 平成18年3月 作成
変更履歴 : 平成18年6月 (研究開発責任者<プロジェクトリーダー>決定)
平成20年7月 (イノベーションプログラム基本計画制定により、
「(1) 研究開発の目的」を記載)

ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画（抜粋）

1. 目的

このプログラムは、情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなど、あらゆる分野に対して高度化あるいは不連続な革新（ジャンプアップ）をもたらすナノテクノロジー及び革新的部材技術を確立するとともに、その実用化や市場化を促進することで、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等を可能とすることを目的とする。

2. 政策的位置付け

○第 3 期科学技術基本計画（2006 年 3 月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進 4 分野）の一つに指定されていて、優先的に資源配分することとされている。
- ・我が国の材料技術は、基礎研究から応用研究、素材、部材の実用化に至るまでの全ての段階において世界のトップレベルを堅持しており、我が国製造業の国際競争力の源泉となっている。

○「イノベーション 25」（2007 年 6 月閣議決定）

- ・「ナノテクノロジー・材料分野」は、中長期的に取り組むべき課題として、「1. 生涯健康な社会形成」、「2. 安全・安心な社会形成」、「4. 世界的課題解決に貢献する社会形成」、及び「5. 世界に開かれた社会形成」の分野に位置付けられている。
- ・所要の措置を講じていくことが必要である事項として以下の点が指摘されている。
 - ・学際領域・融合領域における教育等人材育成、拠点形成
 - ・社会受容を促すための積極的な取り組み
 - ・知的財産確保のための戦略的な取り組み

○「経済成長戦略大綱」（2006 年 7 月財政・経済一体改革会議）

- ・「我が国の国際競争力の強化」の取り組みとして、高度な部品・材料産業やモノ作り中小企業の強化が掲げられている。
- ・「技術戦略マップ」の活用等により、ユーザー企業との垂直連携による研究開発を推進することを通して、我が国経済発展の基盤である高品質、高性能な部品・材料産業の強化を図ることが今後の取組として記載されている。

○「新産業創造戦略 2005」（2005 年 6 月経済産業省）

- ・部材分野は、新産業群の創出を支える共通基盤技術として位置づけられている。
- ・「高度部材・基盤産業」の集積を形成していることが、「ものづくり」に不可欠な基盤技術のネットワーク化を通じた現場レベルでの迅速かつ高度な摺り合わせを可能としており、我が国「ものづくり」の強みの源泉となっていると記載されている。

3. 達成目標

- ・世界に先駆けて、ナノテクノロジーを活用した非連続な技術革新を実現する。
- ・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。
- ・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。
- ・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。

4. 研究開発内容

[プロジェクト]

I. ナノテクノロジーの加速化領域

ナノテクノロジーを活用した不連続な技術革新を加速・促進する。

(1) 異分野異業種融合ナノテクチャレンジ（運営費交付金）

①概要

革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種異分野の連携で行う部材開発に対して支援を行い、燃料電池、ロボット、情報家電、健康・福祉・機器・サービス、環境・エネルギー・機器・サービスの5分野に資するキーデバイスの実現を目指す。

②技術目標及び達成時期

マテリアル・プロセス研究、加工・計測技術研究、昨今の環境意識向上に対応した研究、社会課題を解決するための基盤技術研究に加え、異分野等の融合研究を推進することにより、2011年度までにナノテクノロジーの産業化のための基盤的技術を確立し、実用化を図る。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ナノテク・先端部材実用化研究開発（運営費交付金）

①概要

新産業創造戦略の趣旨に則り、革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種・異分野の連携で行うデバイス化開発の支援を行うため、

○ナノテクノロジー活用による材料・部材の高度化を図る先導的研究開発（ステージⅠ）

○ナノテクノロジー研究成果の部材等への課題設定型実用化により目指した開発支援（ステージⅡ）

について提案公募を実施する。

②技術目標及び達成時期

2010年頃に想定される半導体微細加工の限界を克服するため、分子・原子を1つずつ制御し部品部材に組み上げる「ボトムアップ型」のナノテクノロジーなど革新的な

ナノテクノロジー等の活用により、情報家電・ロボット、燃料電池等新規産業5分野等において、従来の性能・効率を大幅に改善するナノテク・先端部材技術を開発し、我が国が優位にあるナノテクノロジーを基盤とした国際的な産業競争力を強化することを目標とする。

③研究開発期間

2005年度～2011年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（関連施策）

ナノテクノロジーは、情報通信、環境、エネルギーなどの分野における科学技術の進歩や課題解決に貢献する重要な技術シーズである。そのため、ナノテクノロジーの研究開発と一体となった関連施策を実施することで、その成果を市場に出していくことが重要である。主な関連施策を、以下に示す。

〔技術戦略マップ〕

- ・NEDO及び経済産業省では、技術戦略マップを策定、毎年改訂し、ナノテク・部材分野の将来の方向性を見定めながら、合理的かつ効果的な研究開発プロジェクトを推進しているところ。また、技術戦略マップを活用して、多様な連携（川上川下の垂直連携、異業種間の水平連携など）による研究開発を促進、支援し、当該分野の技術革新を促進する。

〔サンプル提供・実用化促進〕

- ・NEDOでは、実施するナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクト成果のサンプルを対象として、それらを活用した用途の開発、実用化ないし製品化提案を有する企業とのマッチングを図ることで、プロジェクトの事業化を促進する取組みを実施しているところ。

〔基準・標準化〕

- ・ナノテクノロジーの標準化については、研究開発プロジェクトを推進する上で、適切な活動（国際規格ISO/IEC、日本工業規格JIS、その他）を実施し、我が国のナノテクノロジー分野の研究開発、産業活動の効率向上を図り、研究開発の成果が社会で普及する環境を整備する意味でも重要である。これまでの主な取組みについては、下記のとおり。
- ・2005年5月にナノテクノロジーの標準化に向けてISO/TC229の設立がされ、「用語と命名法」、「計測とキャラクターゼーション」、「健康・安全・環境」の3つのWGにおいて、国際標準化の策定に向けて議論が開始された。
- ・また、2007年6月にシンガポールで開催された第5回総会以降、「材料規格」の分科会の設立に向けて対応しているところ。
- ・さらに、2006年9月にはナノテクノロジーに関する電気電子技術の標準化に向けてIEC/TC113が設立され、「用語と命名法※」、「計測とキャラクターゼーション※」、「性能評価」の3つのWGにおいて、国際標準化の策定に向けて議論が開始されている。（なお、※はISO/TC229とのジョイントWGとなっている。）

〔広報〕

- ・ナノテクノロジーに関する先端技術及び製品等の世界最大の展示会である「nano tech」が毎年日本で開催されている。2002年に開催された第1回以降、出展者来場者ともに増加傾向にあり、近年は海外、とくにヨーロッパ・アジア等の出展が目立つようになってきている。

〔社会受容〕

- ・ナノテクノロジーの社会受容に対する取組みは、ナノテクノロジーの産業化を推進するため、例えば工業ナノ粒子のキャラクタリゼーション技術や人の健康や環境に及ぼす影響など、潜在的な課題に関する知見を蓄積する取組みが重要である。
- ・経済産業省では、2006年度から「ナノ粒子特性評価手法の研究開発」を開始し、工業ナノ粒子の有害性評価手法、また、そのリスク評価手法の確立を目標としたプロジェクトを開始しているところ。

〔人材育成〕

- ・経済産業省では、「製造中核人材育成事業」を実施しており、産学連携による波及効果の高い人材育成プログラムを開発、実践している。ナノテクノロジー関連の人材育成プログラムも複数実施しているところ。

(例) ナノテク製造中核人材の養成プログラム

概要：情報家電、燃料電池、ロボット、医療機器、バイオ等の応用分野において、その産業の基盤と創出を支える中堅企業を対象として、「基礎加工技能・技術、特殊な要素技能・技術に習熟し、製造技術の高度化を図る人材」及び「豊富なナノ加工プロセスの知識や先端機器を使いこなすノウハウ等を習熟し、製造現場の技能・技術を統括できず人材」を育成するもの。

- ・NEDOでは、我が国の産業技術の発展のため、先端分野や融合分野の技術を支える人材の育成と、人的交流の面から産学連携を促進するための「場」の形成を促進する取組みを実施している（NEDO特別講座）。具体的には、優れた成果を生み出しつつあり、大学が技術の中核となっている研究開発プロジェクトをコアプロジェクトとし、そのプロジェクトリーダーの所属大学に拠点を設置し、関連技術の人材育成、人的交流の拡大、周辺研究の実施を行うもの。ナノテクノロジー関連の研究開発プロジェクトも複数実施しているところ。

〔他省庁との連携〕

- ・総合科学技術会議／連携施策群において、「ナノバイオテクノロジー」「ナノテク研究推進と社会受容」が設置され、関係省庁と連携して実施しているところ。
- ・経済産業省が実施する研究開発プロジェクトにおいては、文部科学省など他省庁との連携の可能性について検討を行い、研究開発プロジェクトの立案、推進しているところ。

(例) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発—うち新材料・新構造ナノ電子デバイスプロジェクト、希少金属代替材料開発プロジェクト など

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り実施されるもの（事業に（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。

7. 改訂履歴

- (1) 平成12年12月28日付け制定。
- (2) 平成14年2月28日付け制定。材料ナノテクノロジープログラム基本計画（平成12・12・27工総第16号）は、廃止。
- (3) 平成15年3月10日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成14・02・25産局第8号）は、廃止。
- (4) 平成16年2月3日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成15・03・07産局第1号）は、廃止。
- (5) 平成17年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成16・02・03産局第7号）は、廃止。
- (6) 平成18年3月31日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成17・03・25産局第4号）は、廃止。
- (7) 平成19年4月2日付け制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成18・03・31産局第13号）は、廃止。
- (8) 平成14年2月28日付け制定。
- (9) 平成15年3月10日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成14・02・25産局第9号）は、廃止。
- (10) 平成16年3月7日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成15・03・07産局第5号）は、廃止。
- (11) 平成17年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成16・03・07産局第5号）は、廃止。
- (12) 平成18年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成17・03・25産局第3号）は、廃止。
- (13) 平成19年4月2日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成18・03・31産局第14号）は、廃止。
- (14) 平成20年4月1日付け、ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画制定。ナノテクノロジープログラム基本計画（平成19・03・20産局第1号）および革新的部材プログラム基本計画（平成19・03・19産局第4号）は、本イノベーションプログラム基本計画に統合することとし、廃止。

エネルギーイノベーションプログラム基本計画（抜粋）

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CO₂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-I. 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-II. 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-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-IV. 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-V. 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

(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）

①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。

②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。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

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-I. 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-II. 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-III. 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-Ⅳ. 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-Ⅴ. 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。

(ナノテク・部材イノベーションプログラム・エネルギーイノベーションプログラム)

「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」基本計画

ナノテクノロジー・材料技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えているが、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など）を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。

そこで本プロジェクトは、『部材分野の技術戦略マップを活用し、将来の部材の基盤技術の方向性を見定めるとともに、材料関係者だけでなく多様な連携（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携等）による基盤技術開発を支援することで、部材分野の技術革新を促進すること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の中で、特に『川上・川中・川下の各段階における[擦り合わせ]の連鎖こそが我が国高度部材産業の強みとなっていることから、この擦り合わせ力の向上に資するようなプロジェクト体制（垂直連携）で実施することで、川下産業の競争力向上に貢献すること』を目的として実施するものである。また同時に、我が国エネルギー供給の効率化に資する「エネルギーイノベーションプログラム」の一環としても本プロジェクトを行う。

今後、15年程度を見据え、燃料電池、情報家電、医療・福祉／安全・安心、環境・エネルギー等の各分野で求められている機能を実現するためには、これらの各分野で必要な部材の技術戦略マップにおいて示された技術課題の解決に向けて、産学の連携を強力に推進することが求められている。このため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。）は、産学の科学的知見を結集し、これらの技術課題の解決にあたりと共に、材料産業から部材産業への転換を促進することにより、我が国産業の国際競争力を強化し、また、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の中で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図る事業方針に基づき、以下のプロジェクトを実施する。

革新的マイクロ反応場利用部材技術開発プロジェクトは部材産業の競争力を強化するため、革新的な化学プロセスの開発を目指すものである。部材分野の技術マップにおいてはマイクロリアクター、マイクロ空間利用化学合成、反応場制御技術に対応する。

本プロジェクトはマイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、および各種の反応場、エネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を利用し、革新的な化学プロセスを開発することを目的とする。

(2) 研究開発の目標

本事業は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、超臨界流体など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プロセスを開発する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬品中間体などの機能性材料を開発する。

【共通基盤技術】

①マイクロリアクター技術

マイクロリアクター中の活性種の生成場と反応場を分離し、急速混合、急速加熱・冷却、急速移動、極短反応時間制御などにより、活性種の化学反応を制御する基盤技術を確立する。これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬品中間体などの製造に必要な材料を開発する。

②ナノ空孔技術

ナノ空孔を有する材料を利用して分子触媒・酵素を固定化し、ナノ空孔反応場と分子触媒・酵素の協働作用を活かす高選択的な合成法の基盤技術を確立する。また、これらの技術を展開し、機能性化学品を開発する。

③協奏的反応場技術

マイクロ波、光、電場等のエネルギー供給手段、あるいは高温高圧、反応媒体等が提供する反応場とマイクロリアクター、ナノ空孔との協奏的反応場を制御する基盤技術を開発する。また、協奏的反応場を応用した、機能性化学品を開発する。

【実用化技術】

④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反応場を幅広く工業的に利用可能とするためのプラント技術を開発する。

(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。

【共通基盤技術】

① マイクロリアクター技術

② ナノ空孔技術

③ 協奏的反応場技術

【実用化技術】

④ マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発

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、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率

的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDO技術開発機構が委託先決定後に指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）国立大学法人 京都大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授 長谷部 伸治を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

本研究開発において、NEDO技術開発機構が主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した①②③の事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される研究開発内容に示した④の事業は助成（助成率1/2）により実施する。

（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、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的および目標、並びに、本研究開発の目的およ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、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成18年度から平成22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、成果の技術的意義なら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20年度、事後評価を平成23年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて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

・成果の普及

研究開発成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

・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、知的基盤整備また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。

・知的財産権の帰属

委託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26条の規定等に基づき、原則として、すべて委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・経済的状況、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2号及び3号に基づき実施する。

(4) その他

産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、円滑な技術移転を促進する。

本事業は委託および助成事業を並行して推進する。委託事業は基盤技術の構築と応用を目指し、助成事業は実用化を目指した研究開発を実施する。

本研究によって得られたあらゆる知的財産、また本研究の過程または成果に基づき開発したプログラム、サンプルもしくは装置などの成果物について、本プロジェクト外（国内外）への供試・開示については、事前にプロジェクトリーダーとNEDO技術開発機構に連絡する。

その際に、NEDO技術開発機構が申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成18年3月 制定。

(2) 平成18年6月、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）決定に伴い改訂。

(3) 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。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目①「マイクロリアクター技術」

1. 研究開発の必要性

マイクロリアクターは急速熱交換、急速混合、精密温度制御、極短滞留時間などの特長を有し、化学操作を厳密に行う場として優れた反応場である。

しかしながら、活性種の生成と反応が同一の場で進行する従来のマイクロリアクター技術では、反応場の精密制御による反応率の向上や副生成物の発生抑制には限界があった。本研究開発ではマイクロリアクター技術において活性種の生成場と反応場を分離し、独立に制御することにより、複雑な構造を有する目的物質を、高効率かつ高選択率で合成・製造する革新的なマイクロリアクター技術を開発しようとするものである。これらの技術を用いて電子材料、医薬品中間体など高性能・高機能物質・材料の製造に必要な基盤技術を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため原則として下記の内容の研究開発を実施する。

(1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立

現状では、多くの反応において活性種の生成場と反応場が同一空間内で実施されている。一般に活性種の生成と反応に望ましい場の条件は異なるため、これらを同一空間内で行う限り、条件を精密に制御しても目的物質の選択率等には限界がある。これを打破するには、理想的には活性種の生成場と反応場を物理的に分離し、それぞれの最適条件で操作することが求められる。この活性種の生成場と反応場の分離効果は、扱う活性種の安定性・寿命によって大きく異なる。そこで、まず、カチオン、ラジカル、アニオン、結晶核などの活性種の生成場と反応場の滞留時間、混合時間、温度の精密制御の基本技術を確立し、活性種の生成場と反応場の分離が効果のある対象化合物群の明確化を行う。そして、この基本技術に基づく新規合成手法ならびにデバイスを、各種活性種の寿命を考慮して開発する。

(2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発

活性種生成場と反応場の最適条件は一般に異なる。したがって、活性種の生成場と反応場の分離を達成するには、連続流路内で複数の条件を精密に制御できる構造のデバイスが不可欠である。従来のマイクロリアクター技術においても、急速に混合する技術や急速に昇温する技術は開発されてきた。しかしながら、これらは単独の機能を重視したものが主であった。たとえば急速混合が可能でも次の操作までの滞留時間を1秒以下に制御できないデバイスでは、反応性が高く不安定な活性種(半減期百ミリ秒以下)を生成させた場合には、生成した活性種の大半が無駄に消失あるいは副反応として消費されてしまう。よって、活性種の生成場と反応場の分離を達成するには、精密に制御可能な複数の場を有するデバイス、あるいは結合部の滞留時間が無視できる構造の精密に制御可能な場を有するデバイスを、対象活性種の寿命や反応時間、発熱量を考慮して開発する必要がある。反応基質と活性種の急速混合、活性種生成場最適温度から活性種反応場最適温度へのオーバーシュートのない急速昇降温等を想定すると、分子拡散、比熱などの物性上の制約を勘案して、少なくとも数十ミリ秒以内の混合、数十℃/ミリ秒以上の昇降温速度まで可能な技術にまで高める必要がある。そのためには、試行錯誤によるデバイス開発では限界があり、システムティックなデバイス設計手法を開発する必要がある。また、滞留時間や昇降温時間が短くなると連続的にプロセスを運転することも従来のプロセスに比べはるかに困難にな

る。よって、生産システム化を達成するために必要なマイクロ計測技術や制御技術も不可欠である。

以上の観点に基づき、短滞留時間を精密に制御可能な多段混合反応器の開発、急速混合可能な温度制御機能付き反応器の開発、急速昇降温可能な温度制御機能付き反応器の開発、およびモデルに基づく反応器形状設計手法の開発を行う。さらに、外部エネルギー供給活性種生成場に対する集積化構造の提案、マイクロプラントに適した計測装置の開発、マイクロプラントに適した制御・管理システムの開発を行う。

3. 達成目標

(1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立

[中間目標 (平成20年度末)]

- (a) 活性種生成・反応場の精密制御技術に基づく新規合成手法ならびにデバイスを開発する。たとえば新規合成手法およびデバイスを合わせて2件以上開発する。
- (b) 各種活性種に対して、その寿命を考慮した迅速混合技術を開発する。

[最終目標 (平成22年度末)]

- (a) 各種活性種に対して、その寿命と望ましい急速混合技術の関係を体系化する。

(2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発

[中間目標 (平成20年度末)]

- (a) 短滞留時間多段混合反応器を開発する。たとえば4種類の物質を各部の滞留時間0.05秒以下で逐次混合可能な反応器を開発する。
- (b) 急速混合可能な温度制御機能付き反応器を開発する。たとえば混合時間0.05秒以下で偏差1℃以下の温度制御可能な反応器を開発する。
- (c) 急速昇降温可能な温度制御機能付き反応器を開発する。たとえば20℃/10ミリ秒以上の昇降温、±0.3℃以内の温度制御が可能な反応器を開発する。
- (d) 微少容積複合計測装置を開発する。
- (e) 流路の閉塞状態を検知可能な状態監視システムを開発する。

[最終目標 (平成22年度末)]

- (a) 活性種生成場と反応場の分離に必要な特性である、急速昇降温、精密温度制御、短滞留時間等が可能なマイクロ反応器の形状設計手法を開発する。
- (b) 急速混合および短滞留が可能で、広範囲な活性種寿命に柔軟に対応できるデバイスコンポーネントを開発するとともに複数のパイロットプラントへ実装し、その性能を検証する。
- (c) 開発した計測装置を用いた制御・監視システムを開発し、実験プラントへの実装と性能検証を行う。

研究開発項目②「ナノ空孔技術」

1. 研究開発の必要性

高度部材産業を支える機能性化学品の高効率合成には、高選択性を有する分子触媒、酵素などの利用が必須である。一方、均一相で作用する分子触媒、酵素は生成物への混入を避けることが困難である上、十分な熱的、化学的安定性が得られず、広範な工業的利用には至っていない。分子触媒、酵素の上記問題点を克服し、さらなる触媒性能の向上につなげるためには、ナノ空孔を精密反応場として活用すること、あるいはナノ空孔を有する材料を固定化担体として用い、併せてナノ空孔や担体表面を協働作用場として活用することが必要である。固定化触媒についてはこれまでも多くの研究例が存在するが、触媒性能や安定性での課題が多く、実用化まで至った例は極めて限られている。

本研究開発では、ナノ空孔を利用した反応場の基盤技術を開発し、電子材料、医薬品中間体など高性能・高機能物質・材料の製造に必要な基盤技術を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため原則として下記の内容の研究開発を実施する。

(1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発

情報・電子関連機能性化学品を高品質かつ低コストで製造するためには、安価なガスと有機化合物との直接反応といった革新的な高効率プロセスが必須であり、分子触媒とともにナノ空孔の特異な反応場環境を利用した分子移動制御が重要となる。このため、たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料として有用なヘテロ化合物を高効率で製造するためのナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を活かした反応制御技術を開発する。

(2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発

菌体を利用する食品関連機能性化学品の製造では生体触媒としての使用が困難であり、生体触媒の本体である酵素の繰り返し使用を可能とする技術が求められている。同時に、現状技術レベルでは酵素の反応特異性、安定性の向上が高効率製造のためのボトルネックとなっている。上記課題を同時に解決し、食品関連機能性化学品（たとえばアミノ酸類）を高効率で製造するために、酵素をナノ空孔材料に固定し、併せてナノ空孔の持つ反応場の特性と酵素機能を協働的・複合的に利用する技術を開発する。

(3) ナノ空孔固定化触媒の開発

医薬品中間体などの合成反応の多くは、難易度の高い炭素-炭素結合形成反応や不斉合成反応であり、金属錯体などの分子触媒が有効である。しかし、生成物中への残留金属の混入を抑制する（たとえば1 ppm以下）ことが困難なため、現在まで実用化例は多くない。上記課題を解決するために、炭素-炭素結合形成反応や不斉合成反応を高効率で促進するナノ空孔固定化触媒を製造するためのナノ空孔材料の制御、分子触媒の設計、分子触媒のリーチング抑制技術を開発する。

(4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立

上記(1)～(3)に共通の基盤技術として、ナノ空孔材料の構造、形態、表面特性等の制御、固定化に適した分子触媒、酵素の設計、分子触媒のリーチング抑制あるいは酵素の繰り返し使用回数の増加を可能にするための固定化手法の開発等を行い、ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用を活か

した高度な反応制御を達成する。

3. 達成目標

(1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発

[中間目標 (平成20年度末)]

情報・電子関連機能性化学品として有用なヘテロ化合物の製造において、ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を活かすことにより、現行プロセスに対する優位性を明らかにする。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、現行プロセスに対して優位な原料転化率 50%以上、選択率 80%以上を達成する。

[最終目標 (平成22年度末)]

ヘテロ化合物の製造において、ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を最大限活かすことにより、転化率、選択率を実用レベルまで向上させる。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、実用化の目途となる原料転化率 80%以上、選択率 90%以上を達成する。

(2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発

[中間目標 (平成20年度末)]

食品関連機能性化学品の合成酵素について、ナノ空孔材料への固定化と活性の発現により、現行の非回収プロセスに対して優位が明らかとなる多数回の繰り返し使用を可能とする。たとえば、アミノ酸等の合成酵素では現行プロセスより優位性が明らかとなる 25 回以上の繰り返し使用を可能とする。

[最終目標 (平成22年度末)]

食品関連機能性化学品の合成酵素について、ナノ空孔材料への固定化と活性の発現により、実用レベルの繰り返し使用を可能とする。たとえば、アミノ酸等の合成酵素では実用化の指標となる 50 回以上の繰り返し使用を可能とする。

(3) ナノ空孔固定化触媒の開発

[中間目標 (平成20年度末)]

分子触媒に近い反応効率を達成するとともに触媒リーチング抑制技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応触媒では、低反応性基質を用いて収率 80%以上を達成する。不斉水素化触媒では、分子触媒の不斉収率 (ee) の 80%以上を達成する。また両触媒とも、目的物中の低残留金属濃度 (1 ppm 程度) を達成する。

[最終目標 (平成22年度末)]

分子触媒レベルの反応効率を達成するとともに実用可能レベルの触媒リーチング抑制技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応触媒では、低反応性基質を用いて収率 90%以上を達成する。不斉水素化触媒では、分子触媒と同等の不斉収率 (ee) を達成する。また両触媒とも、目的物中の残留金属濃度について、実用化の目途となる 0.2 ppm 以下を達成する。

(4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立

[中間目標 (平成20年度末)]

ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用発現について、実例を示す。また、ナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法開発の指針を明らかにする。

〔最終目標（平成22年度末）〕

ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用発現について、協働作用発現機構のモデルを提案する。また、工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法を開発する。

研究開発項目③「協奏的反応場技術」

1. 研究開発の必要性

高速かつ高選択的に目的製品を製造する革新的な化学プロセスの開発のためには、間接的な熱供給による単独の反応場技術の利用のみでは限界がある。そこで、マイクロリアクターやナノ空孔反応場技術などの物理的な空間場制御技術に、高温高圧、反応媒体（超臨界流体、極性溶媒等）等の反応場、あるいはマイクロ波、光、電場等の外部エネルギー供給手段などの特異な効果を発現できる独立した反応場を加えた協奏的反応場技術の開発が必要である。

本研究開発ではマイクロリアクターのもつ温度、滞留時間、混合時間の精密制御技術やナノ空孔による協働触媒技術を基盤技術とした協奏的反応場技術を開発し、電子材料、医薬品中間体など高性能・高機能材料の製造に必要な基盤技術を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため原則として下記の内容の研究開発を実施する。

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

(a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立

外部エネルギーとして電気あるいは、光、レーザー、超音波、マイクロ波を利用する反応を協奏的マイクロ反応場で実施し、協奏的反応の効果を明確にし、その結果をモデル化して協奏的反応場を選択する時の指針を提供する。また、シミュレーションシステムにより活性種発生場および協奏的マイクロ反応場内の状態を予測し、さらに活性種計測技術を駆使して活性種の発生を制御する手法を開発する。

具体的な協奏的反応場として以下を検討する。

電極反応において、電極間距離の短いマイクロ電解装置の開発、およびマイクロ電解プロセスの開発を行う。また、光反応において、マイクロ光反応装置の開発、および光反応合成マイクロプロセスの開発を行う。さらに、マイクロ波利用に関して、マイクロリアクターとの協奏的反応場を利用した反応装置の開発を行う。また、微少時間負荷が可能というマイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーの特徴を生かしたナノサイズ粒子合成マイクロ反応装置、および反応プロセスの開発を行う。

(b) 高圧とマイクロ流路の協奏的反応場構築技術の開発

高圧反応場では物質の物性、活性種の生成・反応速度を圧力操作で自在に変化できる。この高圧反応場に対応できるマイクロリアクターおよび急速昇温可能な装置を開発し、各種活性種を製造可能な高圧・マイクロ協奏場での活性種生成技術を確立する。また高温・高圧で特に問題となる腐食性について検討し、従来より耐蝕性に優れたマイクロリアクター構造を提示する。

(2) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

(a) マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発

マイクロ波エネルギーを有効活用するためには反応基質および触媒（ナノ空孔材料）の誘電特性を把握し、十分に制御されたマイクロ波を供給する必要がある。そこで、反応条件下における反応基質および触媒の誘電特性を測定する誘電特性評価装置を開発する。当該装置によって集積したデータを活用し、さらにマイクロリアクターと組み合わせることにより高選択性、高エネルギー効率が得られるマイクロ波利用触媒反応技術を開発する。

(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術の開発

ナノ空孔とマイクロリアクター、マイクロ波、反応媒体（超臨界流体、極性溶媒等）からなる協奏的反応場技術および触媒技術を開発する。

3. 達成目標

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

(a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立

[中間目標（平成20年度末）]

- 1) 電極間距離が短くエネルギー効率に優れたマイクロ電解装置を開発する。
たとえば電極間距離が $100\mu\text{m}$ 以下のマイクロ電解装置を開発する。
- 2) エネルギー効率の高いマイクロ光反応装置を開発する。たとえば光路長が $100\mu\text{m}$ 以下のマイクロ光反応装置を開発する。
- 3) 外部エネルギー利用装置設計のための外部エネルギー・熱流体シミュレーション技術を開発する。
たとえば マイクロ波利用装置の形状設計に利用可能なマイクロ波・熱流体シミュレーション技術を開発する。
- 4) マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノサイズ粒子合成装置を開発する。たとえば有機ナノ粒子（ 50nm 以下）を安定分散した有機溶媒分散液を合成可能にするエネルギーを出力できる装置を開発する。

[最終目標（平成22年度末）]

- 1) 活性種制御に基づく高効率の実用的マイクロ電解プロセスを開発する。たとえば電流効率が90%以上のマイクロ電解装置を開発する。
- 2) トルエン誘導体の酸化、アミン誘導体の酸化に関するパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。
- 3) 高転換率の実用的光反応合成プロセスを開発する。たとえば転換率が90%以上の光反応合成プロセスを開発する。
- 4) 外部エネルギー・熱流体シミュレーション技術を利用した外部エネルギー利用装置設計手法を開発する。たとえばマイクロ波・熱流体シミュレーション技術を利用したマイクロ波利用装置の形状設計法を開発する。
- 5) 有機化合物の溶媒への溶解性と温度の関係を整理し、マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノ粒子製造プロセスの設計手法を確立する

(b) 高圧との協奏的反応場技術の開発

[中間目標（平成20年度末）]

- 1) 高圧反応場に対応したマイクロリアクター（使用可能圧力 50MPa 以上）および急速昇温可能（ $100^\circ\text{C}/10$ ミリ秒以上）な装置を開発する。
- 2) 従来より10%以上耐蝕性に優れた高圧用マイクロリアクターを開発する。
- 3) 高圧との協奏的反応場によって各種高機能材料生成に関して、従来技術と比較して、短時間で反応収率を増加させる技術を開発する。

[最終目標（平成22年度末）]

- 1) 高圧、腐食性流体中で使用可能なマイクロリアクターと短時間で混合・反応停止できるマイクロリアクターからなるシステムを開発する。たとえば 50MPa 以上で混合時間 0.01 秒以下のマイクロリアクターからなるシステムを開発する。

- 2) 高圧との協奏的反応場によって各種高機能材料生成のための選択的反応技術を開発する。
たとえば高機能材料として芳香族化合物、選択的反応技術としてニトロ化反応技術を開発する。

(2) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

(a) マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発

[中間目標 (平成20年度末)]

- 1) 室温から可能な限り高い温度まで、反応器内に充填した物質の誘電特性が高精度で測定可能な評価装置を開発する。たとえば、温度範囲として常温～300℃の範囲で比誘電率、誘電体損失角が±5%の精度で測定できる装置を開発する。
- 2) 上記装置を用いてナノ空孔およびマイクロリアクター等との協奏的反応場開発に必要な誘電特性データを集積する。
- 3) 上記誘電体特性データを用いてマイクロリアクター触媒反応技術を開発する。たとえば、マイクロ波加速によるマイクロリアクター触媒反応技術(触媒量0.1モル%以内、反応時間1分以内)を開発する。マイクロリアクターを用いて転換率90%以上の実用展開可能な触媒反応技術を開発する。滞留時間を制御可能なマイクロリアクターを開発する。投入エネルギーに対して高い内部温度上昇効率(たとえば、70%以上)を達成する反応システムを設計する。また、高い反応率と選択率で位置異性体を合成する触媒反応技術を開発する。

[最終目標 (平成22年度末)]

- 1) 実用的マイクロ波利用触媒反応技術を開発する。たとえば、反応系の特徴を考慮したマイクロリアクター設計手法を確立する。また、40%以上のエネルギー有効利用(現状20～30%)を可能とするマイクロ波照射技術を開発する。また、実用レベルの転化率で選択的に位置異性体を合成する触媒反応技術(たとえば、機能性高分子原料となる多官能性化合物の合成では転化率40%以上かつ選択率70%以上)を開発する。

(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術の開発

[中間目標 (平成20年度末)]

- 1) 特異的なマイクロ波吸収能を有するナノ空孔触媒を反応媒体(超臨界流体、極性溶媒等)と組み合わせた協奏的反応場技術を構築する。たとえば、水を反応媒体、水素源、酸素源とする還元反応(転化率、選択率60%以上)、酸化反応(転化率、選択率40%以上)を達成する触媒技術を開発する。
- 2) 研究開発項目②(1)～(3)で実施するナノ空孔反応場利用技術に適用可能なマイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用についての技術課題を明確化するとともに、触媒反応における協奏的反応場利用の基盤技術を開発する。

[最終目標 (平成22年度末)]

- 1) マイクロ波エネルギーを高い効率で吸収するナノ空孔触媒を活用した実用レベルの高選択触媒反応技術を開発する。たとえば、水等の反応媒体を化学原料とする還元反応、酸化反応において95%以上の転化率、選択率を達成する。
- 2) 研究開発項目②(1)～(3)で実施するナノ空孔反応場利用技術にマイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術を適用し、実用レベルでの性能を達成する。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反応場利用により、実用化の目途となる原料転化率80%以上、選択率90%以上を達成する。また、アミノ酸等の合成酵素について、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反応場利用により、

実用化の目途となる 50 回以上の繰り返し使用を可能とする。さらに、協奏的反応場利用により、炭素-炭素結合形成反応触媒の性能として、低反応性基質を用いて収率 90%以上、不斉水素化触媒の性能として、分子触媒と同等の不斉収率 (ee) を達成する。

研究開発項目④「マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発」

1. 研究開発の必要性

新規に開発した機能性化学品を製品用途に展開するためには、各化学品に対応した製造技術の開発が必要不可欠である。本研究開発はマイクロリアクターの特徴である精密制御可能な反応場、ナノ空孔反応場による協働触媒技術および物理的な空間場制御技術とエネルギー供給手段、反応媒体を組み合わせた協奏的反応場を幅広く工業的に利用可能とし、電子材料、医薬品中間体などの機能性化学品を、生産可能とするプラント技術を開発する。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため原則として下記の内容の研究開発を実施する。

(1) マイクロリアクター技術

(a) 活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築

事業化候補の新規機能性部材を創成、もしくは従来ある部材の製造コストを削減可能なマイクロパイロットプラントを構築し、実用化検証を行なう。たとえば、複数の化合物を別々に活性化し、その活性種を順次、連続的に反応系に導入することでジアリールエテン類や芳香環・ヘテロ芳香環ダイマー・オリゴマー等の新規電子材料部材製造用機能性化学品を合成する活性種生成場・反応場分離型マイクロリアクタープラントを開発する。とくに有機金属活性種生成／高速カップリング反応／高速冷却等を組み合わせた活性種生成場・反応場分離型マイクロリアクタープラントを中心に開発を行う。

(2) ナノ空孔技術

(a) ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用したプラント技術の開発

事業化候補の情報・電子関連機能性化学品（たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物あるいは有機硫黄化合物）を、ナノ空孔材料と分子触媒との協働効果を利用して、安価な原料から高効率で工業的に製造するための技術を開発する。また、事業化候補の食品関連の機能性化学品（たとえば、アミノ酸類）を、ナノ空孔材料と酵素を組み合わせることで用いることにより、高効率かつ低コストで工業生産するための技術を開発する。より具体的には、アミノ酸製造にあたり高価な原料の安価な原料への転換を可能とするために必要な、補酵素類を製造するための技術を開発する。さらに、事業化候補として機能性化学品合成反応（たとえば、炭素-炭素結合形成反応や不斉合成反応）を高効率で促進可能なナノ空孔材料に活性金属を固定化した工業触媒製造技術を開発する。

(3) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

(a) 外部エネルギー利用協奏的反応場技術の開発

外部エネルギーとして、電気あるいは、光、レーザー、マイクロ波を利用する反応を協奏的マイクロ反応場で行うマイクロパイロットプラントを構築し、実用化検証を行なう。たとえば、電極反応について、活性種が発生する際の電流効率が低い製造プロセスの構築、および各種材料の酸化反応に関するパイロットプラントの構築を行う。また、光化学反応のパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。さらに、マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノサイズ粒子合成装置を組み込

んだナノ微粒子を連続製造可能なプラントを開発する。

(b) 高圧との協奏的反応場技術の開発

高機能材料を製造するパイロットプラントを構築し、数時間の連続運転を達成する。

(4) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

(a) マイクロ波およびマイクロリアクターとの協奏的反応場技術の開発

各種遷移金属触媒カップリング反応のパイロットプラントを構築し連続運転を実施する。

(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体との協奏的反応場技術の開発

ナノ空孔触媒とマイクロリアクター、マイクロ波あるいは反応媒体とからなる協奏的反応場に適したプロセスを開発する。これにより情報・電子材料、食品および医薬品中間体等各種機能性化学品の高効率製造技術を構築する。

3. 達成目標〔最終目標（平成22年度末）〕

(1) マイクロリアクター技術

(a) 活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築

活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築を行う。たとえば、非対称ジアリールエテン誘導体製造などの新規機能性部材を対象に、連続反応転換率40%を実現する合成技術を確立するとともに、3kg/月スケールのパイロットプラントを開発する。また、芳香環・ヘテロ芳香環ダイマー・オリゴマー等の電子材料部材製造用機能性化学品の位置選択的合成技術に関して、製造コストを現行の2/3に低減できるプラントを開発する。以上、新規機能性ニーズに対応できる活性種生成場・反応場を分離したマイクロ反応技術に基づくパイロットプラントを2機以上構築し、部材製造コストの30%削減、実用化検証を行う。

(2) ナノ空孔技術

(a) ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用したプラント技術の開発

情報・電子関連機能性化学品、食品関連機能性化学品を、高効率かつ低コストで工業生産するためのプラント技術を開発する。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物について、後述の協奏的反応場技術を用いて、1ユニット当たりの生産能力10g/分以上の反応システムを開発する。

食品関連の機能性化学品等の製造プロセスにおいて、補酵素合成系を利用するプロセスの実用性を実証する。また、機能性化学品合成反応を高効率で促進可能な工業触媒製造技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応用ナノ空孔固定化触媒または不斉合成反応用ナノ空孔固定化触媒について、パイロットスケールでの製造を実証する。後述の協奏的反応場を活かしたナノ空孔固定化触媒利用システムを開発する。

(3) マイクロリアクターと協奏的反応場技術の開発

(a) 外部エネルギー利用協奏的反応場技術の開発

- 1) 電場との協奏的反応場技術の開発においては、たとえば、3種以上の材料の酸化反応に関するパイロットプラントを構築し、連続運転を行う。
- 2) 光との協奏的反応場技術の開発においては、たとえば、光環化付加、光異性化等のパイロットプ

ラントを構築し、連続運転を実施する。

- 3) マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたパイロットプラントを構築する。たとえば、有機ナノ粒子を連続製造可能で、粒子サイズ 50 nm 以下、濃度 1 wt % 以上、50 t/年以上のパイロットプラントを開発する。

(b) 高圧との協奏的反応場技術の開発

- 1) 反応性に富んだ活性種であるニトロ基を基軸にした高機能材料を製造する実証プロセスを構築し数時間の連続運転を実施する。

(4) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

(a) マイクロ波およびマイクロリアクターとの協奏的反応場技術の開発

- 1) 実用的各種遷移金属触媒カップリング反応のパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。

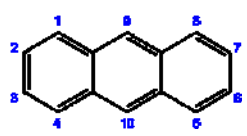
(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体との協奏的反応場技術の開発

- 1) ナノ空孔を利用した各種協奏的反応場を活用した、電子・情報材料、食品等各種機能性化学品の高効率製造システムを構築する。

「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」プロジェクト用語集

(五十音順)

《あ行》

| 用語 | 解説 |
|-------------|--|
| アプリケーション | ここではキャビティに反応容器を組み込んだ状態を呼ぶ。電磁界に対する考慮に加えて反応工学の要素も加えた考察が必要となる。 |
| 安定同位体 | 同じ原子番号を持つ元素の原子において質量数が異なるもののうち、放射壊変を起こさず安定に存在するもの。 |
| 安定同位体標識標準物質 | 生体内における薬物の代謝や食品中の残留農薬等を分析する際に必要とされる標準物質の一部を安定同位体で置換したもの。安定同位体サロゲートとも呼ばれる。 |
| アントラセン | 化学式 $C_{14}H_{10}$ で表される、ベンゼン環が 3 個縮合した多環芳香族炭化水素。融点は 218 °C、沸点は 342 °C で、昇華性がある。超臨界二酸化炭素によく溶けて測定例も多いため、溶解度測定装置の検証に用いられる。  |
| イオン液体 | ある種の有機イオンを骨格とした物質であり、融点が低く室温付近でも液体状態で存在することもある。有名なのはイミダゾリウム塩であり、様々なアニオン種との組み合わせが報告されている。近年では多様な用途に適応できる可能性が注目され、電解質、環境調和型の新規反応溶媒として注目を集めている。 |
| イオン交換膜 | 溶液中のイオンを選択的に透過させることができる膜。アニオンのみを透過させるアニオン交換膜と、カチオンのみを透過させるカチオン交換膜がある。 |
| 異常診断 | 化学プロセスでは、プロセスが望ましい状態にあるか否かを常に把握しなければならない。計測端から得られる温度や圧力の情報をもとに、プロセスが正常な状態にあるか否かを判断することを「異常検知」、また異常が発見されたとき、その箇所を特定する作業を「異常診断」と呼ぶ。 |
| インコネル | インコ社(International Nickel Company)の商品名であり、ニッケルをベースとし、鉄、クロム、ニオブ、モリブデン等の合金元素量の差異によってインコネル 600、インコネル 625、インコネル 718、インコネル 750X 等様々なものに分けられる。インコネルは耐熱性、耐蝕性、耐酸化性、耐クリープ性などの高温特性に優れており、スペースシャトル、原子力産業、産業用タービンの各種部品、航空機のジェットエンジン、身近なものでは自動車用的高级マフラーなど様々な分野で使用されている。 |

《か行》

| 用語 | 解説 |
|------------|---|
| 外部加熱 | 反応容器などに熱エネルギーを与え、熱伝導により反応容器内の物質を加熱すること。ガスバーナーで試験管を熱することによって試験管内の物質を加熱する場合がその例である。本研究では回分式反応器を砂浴を用いて加熱し、反応生成種とその収率を内部加熱による結果と比較する。 |
| 界面反応 | マイクロチャンネル内の流れは、レイノルズ数が小さく、層流が形成しやすい。また流れが安定して秩序構造を維持しやすく、気-液、液-液、固-液界面を利用した効率的な反応、反応物の分離が行えるといった性質を持つ。この界面を利用することによる反応効率の向上、特異な反応の発現が期待される。 |
| 可観測性 | 状態変数のすべてを直接観測できない場合、システムの入出力情報を用いて内部の状態を知る必要が生じる。これを保証するのが可観測性である。可制御性と可観測性は、システムの構造に固有な性質であって、システム構造理論の中核を成している。 |
| 隔膜 | 電解合成において、陽極と陰極の間を仕切る膜のこと。陽極生成物と陰極生成物が混合、反応するのを防ぐ役割を果たす。 |
| 過剰モル体積 | 溶液を構成する純成分のモル体積 V_m^0 とそのモル分率 X の積を全構成成分について総和したものを、混合溶液のモル体積 V_m から差し引いた量。2成分溶液の過剰モル体積 V_m^E は $V_m^E = V_m - (X(1)V_m^0(1) + X(2)V_m^0(2))$ で表される。本研究では過剰モル体積を見積もることにより、混合溶液の体積挙動に対する異種分子間相互作用を調べた。 |
| 加水分解反応 | 1分子の化合物に水1分子が反応し、2分子の同じかあるいは異なる化合物を生成する反応。 |
| 活性 | 酵素が化学反応を促進する能力。 |
| カタラーゼ | 過酸化水素を酸素と水に分解する反応を促進する酵素。動物、植物、微生物の好氣的細胞に広く分布する。 |
| カチオン性界面活性剤 | 水中で解離したとき陽イオンとなる物質である。アンモニウム塩やピリジニウム塩などが一般的であり、逆性石鹼として用いられる。また、細菌（表面に負の電荷を帯びたものが多い）を吸着し洗い流す作用があるため、殺菌剤、抗菌剤としても広く使用されている。 |
| カルベン配位子 | 価電子を六個しか持たず、電荷を持たない二配位の炭素を持つ化学種で金属に配位する化合物のこと。 |
| カルマンフィルタ | 状態方程式が線形差分方程式で表される線形離散時間システムの状態変数の推定、即ち状態推定を行うためのフィルタ。 |
| 気-液相互層 | 互いに混ざり合わない気体、液体を連続的に送ることによって形 |

| | |
|--------------------|--|
| | 成される層。管径や流速等の条件が揃うと定常的に形成される。液体の部分は独立した反応場として振舞う。 |
| 気液平衡 | 気相と液相からなる相平衡状態をいう。二成分系以上の場合、気相と液相の組成は異なっており、気相は低沸点成分に富む組成となる。超臨界二酸化炭素を含む系では、超臨界二酸化炭素に富む気相と液相の気液平衡を示し、温度や圧力によって、均一相と相分離（気液平衡）を制御できる。 |
| 気管内滴下試験 | 被験動物の気管内に直接化学物質を滴下する事により、塵肺の危険性を調べる試験。 |
| 規則性多孔体 | マイクロ孔（直径 < 2 nm）、メソ孔（直径 2~50 nm）が規則配列した構造をもつ物質。マイクロ孔（マイクロポア）をもつ規則性多孔体の代表例はゼオライト。メソ孔（メソポア）をもち、主成分がシリカのものを「メソポーラスシリカ」という。このとき、「規則性」を意味する言葉は入らないが規則性を持つことが前提となっている。 |
| 基質 | 酵素によって作用を受ける化合物。例えば、カタラーゼが働く反応の場合、過酸化水素が基質ということになる。 |
| 機能アSEMBL型マイクロリアクター | 混合部、反応部、加熱・冷却部など各機能を有するマイクロユニットをパイプレスで集積したリアクター。この機能ユニットを適切に組み合わせることで各種反応に最適の反応器を作り上げる。 |
| キャビティ | 電磁界を考慮すべき空間を示す。キャビティの種類を選定することで電磁界のどのモードを使うかが選択される。キャビティ内部に存在する電界および磁界を測定あるいは解析することにより、マイクロ波エネルギーが効率よく対象（この場合反応場）に当たっているかが考察できる。 |
| 求電子置換反応 | 有機化学において、ベンゼンなどの芳香環に求電子剤が攻撃し、主に水素と置き換わる形式で進む化学反応のことである。ニトロ化反応、フリーデル・クラフツ反応など、さまざまな芳香族化合物の合成反応が含まれる。 |
| 均一系触媒(分子触媒) | 反応物相と触媒相が同じ相であり反応物と触媒が均一系として存在するもの。 |
| 金属－ハロゲン交換反応 | 有機ハロゲン化物のハロゲン部位を金属と交換する反応のこと。アルキルリチウムと有機ハロゲン化物との間のハロゲン－リチウム交換反応など。ハロゲン－リチウム交換反応はアリアルリチウムの合成法として有名である。リチウム化合物の多くは室温では熱不安定で、高い反応性を有し、また空気中の湿気とすら反応する性質を有する。 |
| 金属－水素交換反応 | 有機化合物の炭素－水素結合を炭素－金属結合にかえる反応。通常炭素－水素結合は安定のために進行しにくいのだが、ヘテロア |

| | |
|----------------|---|
| | リール基の α 位などは、金属-水素交換反応によりアリールリチウムを生成することが知られている。 |
| 金属アルコキシド | アルコールのヒドロキシ基が金属に置換された物質。適当な酸、塩基触媒下で、加水分解、縮重合により金属酸化物を生成する。ゾルーゲル法の出発物質として用いられる。 |
| 空洞共振器摂動法 | 特定の周波数で共振する空洞共振器を用いた複素誘電率の測定法。摂動法では、空の管を入れた場合とサンプルの管を入れた場合の共振ピークの変化より、複素誘電率を算出する。一回の測定で特定の周波数における値しか得られない反面、純水等の標準物質を必要とせず、測定精度も高い。 |
| クエット流 | 二枚の互いに平行な平面のうち片側の平面がもう一方に対して動くときに平面間の粘性流体に生じる層流。流体に働く粘性抵抗と平面に平行な圧力勾配により生じる。回転同心二重円筒では、内筒の回転数が閾値を超えるとテイラー渦を生じる。 |
| クライゼン転位反応 | アリル基と酸素との結合の切断、アリル基末端の炭素とビニル基末端の炭素との間の結合の生成、 π 結合の移動が反応中間体を経ずに一度に起こる。すなわちペリ環状反応の一種であり、その中でも [3,3]-シグマトロピー転位に属する反応である。 |
| グラッシーカーボン | 炭素電極の代表的なもの。硬く稠密で、液が内部に浸透しにくい。リボン状のグラファイトが、絡みあった構造をとっているといわれる。 |
| グルタミナーゼ | アミドヒドラーゼ酵素の一種で、一般にグルタミンからグルタミン酸を生成する。今研究課題に於いては、低温塩基性条件下逆反応を起こす事により L-グルタミンから L-テアニンを合成する。 |
| グルタミナーゼ間接活性評価法 | 一般にグルタミナーゼ活性は、グルタミン溶液にグルタミナーゼを加え一定時間でのグルタミン酸生成量によりグルタミナーゼの活性を求める。しかし酵素サンプルの破壊検査であり繰り返し使用実験には向かず、又グルタミン酸の酵素活性を測定する関係上テアニンの酵素活性とは必ずしも一致しない。 |
| クロスカップリング反応 | 2つの構造の異なる化学物質を選択的に結合させる反応のこと。特に、それぞれの物質が比較的大きな構造を持っているときに用いられることが多い。天然物の全合成などで多用される。 |
| 蛍光観察法 | 蛍光物質などで標識した観察試料を特定の波長の光で励起して、発生する蛍光を検出する観察方法。 |
| 顕微分光法 | 分光器および光検出器を顕微鏡に設置し、顕微鏡視野内の微小領域における観察試料のスペクトル情報（吸収、蛍光など）を取得する分光測定法。 |
| 高圧水銀ランプ | 点灯中の水銀蒸気圧が 100k - 1,000kPa (1 - 10 気圧) 程度のもので、高輝度放電ランプ (HID ランプ) の一種である。幾つかの輝 |

| | |
|----------------------------------|--|
| | 線を持つ連続光を発生し、主に 254, 365nm の紫外線の強度が強い。有機光化学反応や水の殺菌などに用いられる。 |
| 高温・高圧水（亜臨界水、超臨界水） | 臨界温度、臨界圧力を超えた水（それぞれ、374℃、22.1MPa）を超臨界水という。亜臨界水に厳密な定義はないが、臨界点よりも少し低い温度領域の水を差す。本研究開発ではこれら亜臨界水ならびに超臨界水を含め、高温・高圧水と呼ぶ。 |
| 酵素 | 生体内の化学反応を促進する物質。生物のほとんどすべての反応に関与し、生命の維持に役立っている。多くの酵素はタンパク質で構成されている。 |
| 構造規定剤 | 水熱合成でゼオライトを作製する際に結晶構造を決めるために使用する物質で、SDA（Structure Directing Agent）と称されることが多い。代表的な構造規定剤として、水酸化テトラプロピルアンモニウムなどのアンモニア化合物がよく知られている。 |
| 酵素活性（mmol/h・mg） （mmol/h・担体 g） | 酵素の目的物の反応活性を示す。一般に酵素が 1 時間に反応し生成した目的物のモル量で示す。研究では非固定酵素 1mg に換算して評価するが、プラント化に向けた評価等では固定化酵素の担体も含めた重量で比較する例もある。尚 Fig.7 においては担体も含めた固定化酵素 1g に対しての反応量を示している。 |
| 光路長 | 光が進む距離に屈折率をかけたもの。バッチ式での光反応では光路長が長すぎるため、不均一な照射状態となり、しばしば低反応率や長時間を引き起こす。 |
| 固体強塩基触媒 | 固体表面が塩基性を示し、それが塩基触媒として働くもの。 |
| 固体酸触媒 | その表面が酸性を示し、酸塩基触媒作用を有する物質。シリカアルミナやゼオライトが典型である。重合、縮合、クラッキング、異性化、不均化、アルキル化、水和、脱水、エステル化など多くの反応に有効である。 |
| 固定化酵素 | 酵素自体は nm サイズのタンパク質であり、基質に溶解しない場合でも凝集等による失活が起こりやすく繰り返し使用は困難な場合が多い。そのため高価な酵素の場合、樹脂等の表面に酵素を付着させ使用し、酵素の連続使用を行う。この樹脂への付着を酵素の固定化、この樹脂を固定化酵素とよぶ。今研究課題の様に空孔内へ酵素を付着させる例では回収プロセスの向上だけでなく熱等への耐久性の向上を目的とする研究もある。 |
| 固定化分子触媒 | 均一系触媒に分類される錯体や配位子を担体上に固定化した触媒。 |
| 混酸法 | 特に硝酸と硫酸の混合物を反応剤として利用する反応方法。硝酸、硫酸以外の 2 種類以上の酸の混合物も混酸であるが、この場合は何と何の混酸という言い方がされる。 |

《さ行》

| 用語 | 解説 |
|----------------|--|
| 細菌を用いる復帰突然変異試験 | ヒスチジンを合成出来ないサルモネラ菌を化学物質に曝すことにより、元のヒスチジンを合成するサルモネラ菌へ復帰変異した数を指標とする試験。発がん物質等のスクリーニング目的に Ames 教授らによって開発された為、Ames 試験とも言う。 |
| 細孔 | 固体表面には凹凸が形成されているが、凹部の深さが直径よりも深いものを細孔と定義。細孔の直径、形、容積、細孔径分布が吸着に重要な影響を与える。細孔はその直径の大きさによってマクロ孔 (> 50 nm)、メソ孔 (2~50 nm)、ミクロ(マイクロ)孔 (0.5~2 nm)、ウルトラミクロ孔 (< 0.5 nm)に分類される。 |
| サセプター | マイクロ波の吸収度合いが大きく、マイクロ波エネルギーを効率的に熱に替える材料を指す。 |
| 残存活性 | 酵素活性が何らかの理由で失活した時、初期状態時の酵素活性との比較で酵素活性がどの程度残っているかを示す値。%で示す。固定化酵素の評価の場合、初期状態は未固定の酵素、比較は固定化された酵素のそれぞれの酵素活性を求め、残存活性より固定化の要素によりどの程度失活したかの目安とする。 |
| ジアリールエテン | 立教大学入江教授が開発したフォトクロミズムを示す化合物(フォトクロミック化合物)。繰り返し耐久性や高速応答性に優れていることから、次世代メモリへの応用などが期待されている。 |
| シアノシリル化 | カルボニル化合物(アルデヒド類、ケトン類)とトリアルキルシリルシアニドとの反応。有機合成上重要な炭素-炭素結合生成反応の一つであるとともに、生成物であるシアノヒドリンシリルエーテル化合物は、ファインケミカルズ合成中間体として非常に有用である。 |
| 失活 | 熱、pH、塩濃度、溶媒など置かれた条件の変化により酵素を構成するタンパク質の立体構造が変わり、その活性を失うこと。 |
| 時空間収率 | バッチ反応とフロー反応の比較として用いられるパラメータの一種。単位時間、単位体積あたりの生産量や収率として表現される。 |
| 支持電解質 | 電解合成の際、溶液に電気伝導性を与えるために加える電解質のこと。電極付近で電気二重層を形成することにより、液中での電位勾配を抑える効果もある。 |
| シラノール基 | 一般に Si-OH 基の事をいう。メソポーラスシリカは表面にシラノール部位が多く存在し、塩基性に曝された場合この部位より構造が崩れ、最終的に溶解する。そのためシラノール基を他の酸化金属等で減少させる事で塩基性への耐性が若干向上する事は知られている。 |
| シランカップリング剤 | 官能基部位とアルコキシド部位を持ったシラン化合物であり、ガ |

| | |
|--------------|---|
| | ラス等導入先のシラノール基と脱水結合する事でシリカの表面へ機能性官能基を導入する際に用いられる。 |
| シリンジポンプ | 高圧に耐えるシリンジを使ったポンプ。特に流量の安定性に優れている。代表的な TELEDYNE ISCO 社の製品では、69MPa まで加圧することが可能である。超臨界二酸化炭素の加圧送液にもよく用いられているが、流路と減圧部の設計、運転条件によって、圧力と流量の安定性が影響される。 |
| 修正ペクレ数 (Pe*) | 本研究において新しく提案した液滴移動速度 u 、液滴長さ L 、液滴径 d 、拡散係数 D を用いて $Pe=ud^2/(LD)$ で表される液滴内の混合を表す無次元数。循環流により移動する物質と分子拡散により移動する物質の比と理解され、循環流による液滴内の混合速度の増幅度を表す。 |
| 状態空間モデル | 制御工学において、物理的システムを入力と出力と状態変数を使った一階連立微分方程式で表した数学的モデル。 |
| ジュール熱加熱 | 電流が流れると導体の温度が上がる。温度を一定に保つときは熱が導体の外に流れ出す。この熱をジュール熱という。電流によって発生する熱の大きさは、流れる電流の二乗と導体の電気抵抗に比例する。この原理を用いて金属の加熱を行なう方法。 |
| 硝酸アセチルニトロ化法 | 20世紀初頭より、硝酸アセチルは強力なニトロ化剤であることが知られている。しかしながら、急熱により爆発性を示すことから、工業的規模のニトロ化反応には用いられていない。水によって加水分解され酢酸と硝酸になる。 |
| 衝撃起爆性 | 火薬類に瞬間的な力学的負荷を与えたときに、火薬類が爆発的に反応を起こす性質。起爆時の衝撃の大きさで等級分けした指標を、その火薬類の衝撃起爆感度という。 |
| シングルモード | マイクロ波の照射方法の一種であり、マイクロ波を定常波として存在させる。マイクロ波の照射対象に対応して定常波の最大振幅の位置に対象を配置するため、均一で効率のよい照射が可能となるが、その一方で照射空間が制限されるため、一度に合成される量が限られている。 |
| 進行波、反射波 | マイクロ波発生装置から照射空間方向へ進行する波とその逆方向の波。通常、整合器を用いて反射波が最小となる状態で実験を開始する。マイクロ波が被加熱媒体に十分吸収される状況であれば、反射波はほとんど観測されない。 |
| 水蒸気結晶化 | シリカーアルミナなどの原料に構造規定剤を加え、水と試料を接触しないようにオートクレーブに入れ、100°C以上の水蒸気雰囲気下でゼオライト化する方法で、SAC (Steam-Assisted Crystallization) と称される。 |
| 水冷式冷却管 | 高圧水銀ランプからは紫外線と共に大量の熱が発せられるため、 |

| | |
|--------------------|--|
| | 内部ジャケット型の冷却管に水を流して冷却する必要がある。また、この材質を PYREX とすること 280nm 以下の波長の光をカットするフィルターとしても活用できる。 |
| 数値流体力学 (CFD) | ある空間内の物質や熱の流れを数値計算で求める方法。空間を多くの小領域に分割し、各小領域に含まれる流体の質量や運動量の収支に関する連続の式を基礎に解かれる。マイクロデバイス内は流れが層流になることが多いことから、現実に近い計算を行うことが可能である。 |
| スクアラン | 炭素の数が 30 個の飽和炭化水素。 |
| 鈴木カップリング反応 | パラジウム触媒と塩基などの求核種の作用により、ハロゲン化アリールとアリールホウ酸からカップリング化合物を生成する反応のこと。比較的安全なホウ酸誘導体を使用するため、現在ジアリール化合物の合成法としてしばしば用いられる反応のひとつである。 |
| スワールミキサー | 複数の流体を混合するときに、ミキサー内部で旋回流を積極的に誘起させるように流体の導入方向・位置や分割数などを考慮した混合器。 |
| 静電紡糸 (エレクトロスピンニング) | 高分子溶液などの粘性溶液に高電圧 (数～数十 kV) を印加し、キャピラリーから糸状に噴出させる技術。噴出後の溶媒の蒸発により、直径数十 nm から数 μ m のファイバーが作製できる。 |
| ゼオライト | 結晶中に微細孔を持つアルミノ珪酸塩の総称。Si-O-Al-O-Si の構造が三次元的に組合わさることによって骨格を形成し、骨格中の分子レベルの細孔に水や有機分子などいろいろな分子を吸着する。さまざまな性質を持つゼオライトが人工的に合成されており、分子ふるい、イオン交換、触媒、吸着剤に利用されている。 |
| 斥力的相互作用 | 水溶液中の溶質 (両親媒性物質) 分子内の疎水基周囲に水分子が近づくと、溶質分子と水分子が互いに退け合うように遠ざかる相互作用。本研究における高温高圧下の混合溶液に対する過剰モル体積が正の場合は、この相互作用が支配的であると考えられる。 |
| セプラ | ビフェニルテトラカルボン酸二無水 (BPDA) とジアミンとの縮重合による、全芳香族系ポリイミド樹脂の成形体である。耐熱性、機械的特性、電機特性、摺動特性、機械加工性、耐放射線性、耐薬品性、耐水性に優れているため、広範囲の分野での用途に使用可能。 |
| 染色体異常試験 3 | 化学物質を含む培養液で細胞を培養し、染色体に異常がないか調べる試験の事。上記 Ames 試験は細菌に体する変異体の検査であり、動物に対するそれとは一致しない場合もあるため併用する事で人体への安全性をより詳しく検査する事となる。 |
| 総括伝熱係数 | 単位面積・単位時間・単位温度差当たりの貫流熱量。熱交換器の |

| | |
|------------|---|
| | <p>伝熱能力を表す指標であり、一般的に U で記し、下記の式で表される。</p> $Q (\text{伝熱速度}) = U (\text{総括伝熱係数}) A (\text{伝熱面積}) \Delta T (\text{温度差})$ |
| 相平衡 | 互いに混じり合わない異なった相が、平衡状態（組成や物性が変化しない状態）にあること。気相と液相（気液平衡）、液相と液相（液液平衡）、固相と気相（固気平衡）などがある。 |
| 菌頭カップリング反応 | パラジウム触媒、銅触媒、塩基の作用により末端アルキンとハロゲン化アリールとをクロスカップリングさせてアルキニル化アリール（芳香族アセチレン）を得る化学反応のこと。芳香族アセチレンの合成法として頻繁に用いられる反応の一つである。 |
| ゾルーゲル法 | 金属アルコキシドの加水分解、重縮合によって微粒子が懸濁したゾルとなり、最終的に流動性を失ったゲルが得られることを利用してアモルファス材料を作製する方法。①適当な鋳型を利用することで自由に成型可能、②低温で均一なゲルが作製可能、③原料組成を変えることでゲル構造を制御可能という特徴をもつ。 |

《た行》

| 用語 | 解説 |
|----------|---|
| 滞留時間 | <p>流路内を反応物質が滞在している時間で、反応が進行する。反応器容積を流量で割ることで平均的な滞留時間が算出される。</p> <p>フロー式反応に於いては、反応容器の中を基質溶液が通過する過程で反応が進行するとき、溶液が反応容器の入り口から出口まで通過するのに要する時間。</p> |
| 多孔質材料 | <p>内部に無数の微小な空孔をもつ材料のことを指す。空孔の大きさや、空孔が連結しているか、あるいは独立しているかによってさまざまなタイプのものが知られており、空孔による材料の軽量化、気体や液体の透過性、触媒の担体などの応用研究が行われている。</p> |
| ダッシュマン反応 | <p>迅速混合性の評価を行なうための反応。</p> $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \quad (1)$ $5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ \leftrightarrow 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \quad (2)$ $\text{I}_2 + \text{I}^- \leftrightarrow \text{I}_3^- \quad (3)$ <p>上記（１）、（２）式の反応は共に迅速であるが、反応（１）が最も迅速である。混合が迅速である程、I_2及びI_3^-の生成量が減少する。従って、I_3^-のUV吸光度が低いほど混合が良好と評価される。</p> |
| 炭素アニオン種 | <p>有機リチウムやグリニャール試薬など、炭素－金属結合を有する化合物はリチウムやマグネシウムにより分極しており、あたかも炭素アニオン等価体として働く。</p> |
| 窒素吸着の測定 | <p>窒素ガスの等温線を測定すること。この測定により粉体の表面積や、細孔径の分布がわかる。</p> |

| | |
|---------------|---|
| 中心衝突型マイクロミキサー | 前ら(<i>Chem. Eng. Technol.</i> 28 , 324 (2008)) が前期のマイクロプロジェクトで開発したもので、複数のマイクロ流路に分割された流体の流れを1点で衝突させ、衝突によるせん断力を利用して、迅速混合を実現するタイプのマイクロミキサー。粒子の閉塞が起こりにくいという利点を持つ。 |
| 超臨界流体 | 臨界点以上の温度、圧力に置かれた流体。臨界点以上では気-液界面が存在しなくなり、超臨界流体は気体の拡散性と液体の物質溶解性を併せ持つ。特に、二酸化炭素の臨界点は 304.1 K、7.38 MPa であり、比較的穏やかな条件で超臨界状態にできることから、超臨界抽出や超臨界乾燥などに利用されている。 |
| 超臨界水 | 臨界点 (374°C・22MPa) を越えた水の状態。圧力をいくらかけても液体相が出現しない流体が超臨界流体(不凝縮性流体)と定義され、水の場合、「超臨界水」と呼ばれる。温度、圧力を変化させることにより大きく密度など物性値が変化する。 |
| 超臨界二酸化炭素 | 臨界温度・圧力 (31°C・7.4MPa) を越えた、二酸化炭素の状態を言う。臨界温度を超えていることから、いくら圧力をかけても二酸化炭素の液体相が出現しない。無毒、不燃性、そして安価である二酸化炭素は、35°C程度にすると超臨界流体となるため、室温に近い状態で利用可能という特徴があり、従来の有機溶媒の代替として注目されている。 |
| テイラー・クエット流れ | 互いに回転する同軸二重円管間の隙間における流れで、流体内部には速度勾配に比例したせん断力が発生する。回転数を上げていくと、層流からテイラー渦流れへと遷移する。 |
| テイラー数 | テイラー・クエット流れにおいて、隙間を d 、円筒半径を R 、円筒速度を U 、流体の動粘度を L とした場合、 $Ta = U^2 d^3 / L^2 R$ で定義される無次元数。 $Ta = 1700$ 程度で乱流へ遷移する。 |
| 添加物(助触媒) | リビングラジカル重合における遷移金属触媒をさらに活性化させる化合物。一般に、金属アルコキシド[Al(O- <i>i</i> Pr) ₃ など]やアミン化合物[<i>n</i> -Bu ₃ N など]等を用い、重合速度や制御の向上が期待できる。最近では、水溶性添加物(アミノアルコールなど)による触媒除去も注目されている。 |
| 電解合成 | 電極との電子のやり取りにより、化合物を酸化・還元する合成方法。従来の酸化剤・還元剤を用いる合成方法とは異なり、原理的に廃棄物を伴わないことから、グリーンプロセスとして期待されている。 |
| 電流効率 | 陽極反応または陰極反応によってある化学反応を引き起こす際、その電極に通じた全電気量のうち目的の反応のために消費された電気量の割合をいう。電気量の一部が目的とする反応以外の反応に消費されるなどすると、電流効率は 100%に達しない。 |

| | |
|---------------|---|
| 電流密度 | ある電極上で電極反応が生じている時、電極反応により消費・生成される電流値をその電極の表面積で割った値、すなわち単位面積当たりの電流値を電流密度と呼ぶ。一般的には電極を平板とみて計算するため、電流密度が同等でも比表面積や厚さ、電解液の量や濡れ方などにより実際の反応面積当たりの電流密度は変化する。 |
| 等電点 | +あるいは-の荷電を有している分子において分子内の電荷の和がゼロになり、溶媒中で安定する pH 値。 |
| 凍結乾燥 | 氷点以下の温度で水分を凍結し、操作圧力 100 Pa 程度の真空中で水分を昇華乾燥する乾燥方法。低温で操作されるために、材料の物理的、化学的性質が損なわれにくいことなどから、医薬、食品等に広く用いられている。 |
| ドーマント種・アクティブ種 | リビング重合における生長末端の活性種(アクティブ)と休止種(ドーマント)のことで、アクティブ種とドーマント種の平衡をドーマント側に偏らせることで、重合が制御される。 |
| 導波路 | 電磁波を伝達させる金属製の管。電磁波の周波数によって適した大きさがあり、本課題では主に WRJ-2 規格 (開口部 109.2mm x 54.6mm) が用いられている。 |
| トリグリセリド | トリアシルグリセロール。中性脂肪の一種。1分子のグリセロールに3分子の脂肪酸がエステル結合したもの。 |

《な行》

| 用語 | 解説 |
|-----------|---|
| 内部加熱 | マイクロ波などを用いて反応容器内の物質に直接エネルギーを与えることによって分子運動を促進させ加熱すること。電子レンジによる加熱は、この内部加熱の最たる例である。本研究ではマイクロ波による反応種への加熱を行い、反応生成種とその収率を外部加熱による結果と比較する。 |
| ナノ空孔材料 | nm 規模の構造規則性空孔を有する無機材料。粒径は通常 1 μ m 以上である。孔径が 2-50 nm のものを特にメソポーラス材料とよぶ。更に今研究課題では構造材質がシリカ(SiO ₂)のメソポーラスシリカを用いている。 |
| ナンバリングアップ | プロセスの処理能力を増やす方法には、構成要素である装置サイズを大きくするスケールアップと、サイズは変えずに系列を増やすナンバリングアップがある。ナンバリングアップは、さらに装置系列自体を増やす外部ナンバリングアップと、装置内で流路を増やす内部ナンバリングアップに分けられる。 |
| 二酸化炭素の資源化 | 光触媒によって無機物を犠牲還元剤なしで、水のみによって還元する反応がいくつか報告されている。特に二酸化炭素を還元してメタノール、蟻酸、メタンなどを生成する反応は地球温暖化ガス |

| | |
|-----------|---|
| | である二酸化炭素の資源化という観点からも注目されている。 |
| ニトロニウムイオン | ニトロニウムイオン NO_2^+ ニトロニウムイオンは非常に強力な求電子剤であり、芳香族化合物と反応してニトロ化合物を生じる。 混酸中では、硝酸 1 分子と硫酸 2 分子から 1 分子のニトロニウムイオン NO_2^+ が生じる。 |

《は行》

| 用語 | 解説 |
|-----------|--|
| 配位子 | 孤立電子対を持つ基を有しており、この基が金属と配位結合し、錯体を形成する。配位する基としてはアミノ基、フォスフィノ基、カルボキシル基、チオール基などがある。 |
| はめあい | 穴と軸とが相はまりあう関係のこと。それらの直径の大小によって、すきまばめ、しまりばめ、中間ばめに大別される。JIS に規定されている最小の許容寸法差は $10\mu\text{m}$ であるが、数値により指定することもできる |
| 発泡樹脂 | 内部に微細な気泡を持つ樹脂。軽量性、絶縁性に優れる。発泡法としては、高圧下で樹脂に CO_2 などの気体を溶解させ、減圧により気泡を生成させる物理発泡、樹脂内部に分散させた発泡剤の分解による化学発泡がある。 |
| 光化学反応 | 光励起によって生じる励起分子は、基底状態分子と比べ非常に高いエネルギーや異なる電子配置、また異なった構造を持ち得る。結合の開裂や生成は光化学過程の特徴のひとつであり、また熱化学反応では得ることのできない、特有の反応生成物も期待される。 |
| 光触媒 | 光を照射することにより化学反応を促進させる作用を示す物質の総称。通常の触媒プロセスでは困難な化学反応が常温で進行する場合や光エネルギーを蓄える反応が生じる場合がある。典型的な光触媒は半導体であり、 TiO_2 のような金属酸化物半導体が多く用いられている。半導体はそのバンドギャップエネルギー以上の光を吸収すると、価電子帯の電子が伝導帯に励起され、価電子帯には正孔ができる。この電子と正孔が強い酸化・還元能力を持ち、化学反応を引き起こす。 |
| 光ファイバー温度計 | マイクロ波の影響を受けない材料でできており、マイクロ波照射空間内での温度測定が可能である。一例として、光ファイバー先端に接着した蛍光物質に閃光をあて、蛍光輝度の減衰を測定し緩和時間を温度に換算する方法がある。 |
| 微分干渉観察法 | 光の干渉現象を利用して、無染色の試料を光が通過する際の屈折率の違いや、標本表面の形状による光路差を明暗のコントラストに変えて観察する方法。明視野顕微鏡では観察が困難である透明 |

| | |
|----------------|---|
| | な試料を観察することが可能。位相差観察よりも、厚い標本に適している。 |
| 非理想性 | 溶液の熱力学的特性が理想混合に対して偏倚する性質。非理想性を考察する手段として、過剰モル体積などの過剰モル量を計算することによって、溶液内分子間相互作用を考察する。 |
| 比誘電率 | 電界により空間（単位体積当り）に貯蔵されているエネルギーの指標であり、複素誘電率の実数部分（上記式の ϵ' ）を示し、静電場中における誘電体の比誘電率に相当し、分極のしやすさ（蓄える電気量の大きさを示す）を表す。真空の誘電率との比をとり、比誘電率 ϵ' で表せることが多い。一般的に、次の複素数で表される。 $\epsilon^* = \epsilon' - j \epsilon''$ （ ϵ^* ：複素誘電率、 ϵ' ：比誘電率、 ϵ'' ：比誘電損率） |
| 比誘電損率 | 誘電体に交流電場をかけたとき、分極が周波数に追従できなくなり、その遅れ分が熱エネルギーとして失われる。そのときに散逸するエネルギー量の指標であり、比誘電率 ϵ' と誘電正接 $\tan \delta$ を掛けた値で表される。 |
| 氷晶テンプレート法 | 湿潤ゲルを一方向に凍結させた際に、分相により形成される柱状の氷晶をテンプレートとして、ハニカム状、繊維状などの多孔体を形成する方法。 |
| ビルドアップとブレイクダウン | 微粒子を形成するには、塊状のもの（バルク）を砕いて小さくする粉碎法（ブレイクダウン）と分子から微粒子を形成するビルドアップの2法がある。ビルドアップもその状態から、液相法、気相法に分けられる。 |
| 不均一触媒 | 反応物相と触媒相が異なるもので、一般的には反応物相が液体あるいは気体で触媒が固体の場合が多い。化学物質を大量に生産するとき、生成物の分離や、触媒の性能の維持が容易であるという理由から、不均一系の触媒が多く用いられている。不均一触媒の中には、白金やパラジウム、酸化鉄のような単純な物質から、ゼオライトのような複雑な構造の無機化合物、あるいは金属錯体が固定化されたものなどがある。 |
| フォトクロミズム | 光的作用により分子量が変化せずに吸収スペクトルの異なる二つの状態を可逆的に生成する現象。スピロピランやジアリールエテン、フルギドなどが有名である。 |
| フォトンモード | これまでの光メモリは光エネルギーを一旦熱エネルギーに変換利用するヒートモード記録と呼ばれる。それに対し光エネルギーをそのまま光反応に用い物性変化を誘起して記録する方式をフォトンモード記録という。フォトンモードは高感度、高速記録が可能であり、さらに熱拡散、物質移動を伴わないため微細スポッ |

| | |
|----------------------|--|
| | ト形成が可能である。そのため光の特性を利用し多重記録が可能などの、将来の光記録方式として期待されている。 |
| 複素誘電率 | 交流電場中に誘電体をおいたとき、双極子をもつ誘電体は電場の変化にリアルタイムに追従せず、位相の遅れを生じる。この時の交流電場を複素数 (E^*) で記述した場合、誘電体の誘電率 ($\epsilon^* = D^*/\epsilon_0 E^*$ 、 D^* は電束密度、 ϵ_0 は真空中の誘電率) も複素数となり、複素誘電率 ($\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''$) と呼ばれる。 |
| 不斉水素化反応 | 還元剤によって化合物に水素原子を付加する還元反応を水素化反応というが、その中でも特に水素原子を付加することにより分子内に不斉点を作り出す還元反応。 |
| ブラックライト | 長波長の紫外線を放射するライト。通常は 365 nm にピークを持つ紫外光を発光する。 |
| プラズモン吸収 | 表面プラズモン共鳴に由来する特定の光の波長を、金属ナノ粒子が吸収する作用のこと。吸収波長は、粒子の種類やサイズに依存する。例えば、10 nm の金粒子は 525 nm に吸収波長を持つため、その分散液は鮮やかな赤色を示す。 |
| ヘック反応 (Heck 反応) | パラジウム錯体を触媒としてハロゲン化アリアルまたはハロゲン化アルケニルでアルケンの水素を置換する反応である。ヨードベンゼンをアクリル酸メチルと酢酸パラジウムを反応させると、ケイ皮酸メチルが生成する。芳香族オレフィンの合成法として頻繁に用いられる反応の一つである。 |
| 芳香環、ヘテロ芳香環ダイマー・オリゴマー | ベンゼンを代表とする環状不飽和有機化合物が 2 (ダイマー) ~ 比較的少数 (オリゴマー) 結合した重合体のこと。炭化水素のみで構成されたものを芳香環、環構造に炭素以外の元素を含むものをヘテロ芳香環と呼ぶ。また、芳香環が 2 つ結合したものをビアリアルと呼ぶ。 |
| ポジティブリスト制度 | 2006 年 5 月 29 日に施行された食品中に残留する農薬、動物用医薬品の全てに基準値を設け、基準値を超える農薬、動物用医薬品の残留が認められる食品の流通を禁止する制度。 |
| ポリアミック酸 | 酸二無水物とジアミン化合物との反応によって得られる高粘性液体状のポリマーである。さらに加熱して縮合し、ポリイミドへと変換される。 |
| ポリイミド | ポリアミック酸 (後述) の脱水縮合によって合成される。耐熱性や機械強度、電気絶縁性に優れており、フィルム、コーティング剤など多岐にわたる分野において用いられる。 |
| ポリエチレングリコール | -CH ₂ CH ₂ O-構造を繰り返し単位に持つポリマー。油にも水にも溶けやすい両親媒性を有するポリマー。 |
| ポリグリセリンエステル | 食品添加物の界面活性剤である。様々な食品に使われており人体への安全性については疑う余地はない。環境に関しても活性汚泥 |

| | |
|--|---|
| | により分解出来るため、メソポーラスシリカの合成に用いた場合排水の扱いが容易になる。 |
|--|---|

《ま行》

| 用語 | 解説 |
|-------------|--|
| マイクロ空間反応場 | マイクロ空間とは、通常サブミリ（マイクロメートル）オーダーの空間で、この空間を用いた反応場をマイクロ空間反応場と言う。通常知られる反応場（フラスコ等）に比べ、スケールが圧倒的に小さく、体積あたりの表面積が非常に大きいため、高速反応が可能となり、新現象、新反応を発見する確立が増大すると期待されている。 |
| マイクロリアクター | マイクロメートルオーダーの流路を有する反応器。微小な空間に由来する高い熱交換効率、迅速な混合が可能であるといった特長を有する。 |
| マイクロフローシステム | マイクロリアクターによる反応は、従来のバッチ式反応器とは異なるフロー系すなわち反応液をリアクター内へと流し入れて連続的に反応させるといった方法をとる。この反応系をマイクロフローシステムという。 |
| マイクロミキサー | マイクロメートルオーダーの流路を利用して迅速な混合を行なう混合器。流路サイズの微小化はもとより、流体の薄層化、分割・合流の繰り返しなど基本的には拡散距離を短くすることにより、迅速な混合を実現している。マイクロミキサーの性能として、混合速度とともに混合の均一さについても重要である。 |
| マイクロスラグ流 | 数十～数百マイクロメートルの流路内を交じり合わない2液を交互に送ることで有機相、水相とも砲弾状の形で流路内を移動する。このとき、壁面との摩擦力で各相内で循環流が生じ、迅速に混合が起こる。 |
| マイクロ波 | 一般的には波長 100 μm～1m、周波数 0.3～3000GHz の電磁波を指す。マイクロ波の発振には、マグネトロン、クライストロン、ジャイロトロンなどが用いられる。一般的には通信に影響の無い 2.45GHz(波長 12.2cm)が用いられる。誘電損失が大きな物質を選択的に加熱することが知られており、近年では有機合成での使用例が多く報告されている。 |
| マイクロ波加熱 | マイクロ波によって発生する、分子内での電気双極子の回転、振動による内部発熱のこと。一般的な熱伝導による加熱とは原理が大きく異なる。マイクロ波加熱を利用した装置としては電子レンジが広く使用されている。 |
| マイクロ波照射装置 | ここではアプリケーションにマイクロ波の発振機能まで組み合わせた状態を呼ぶ。発振器から得られたマイクロ波エネルギーは立体回路を通じてアプリケーションに伝送され、キャビティ内部に設置さ |

| | |
|-------------|---|
| | れた反応場にて反応を進行させる。 |
| マスフローコントローラ | 気体の温度・圧力の影響を受けず精密な流量計測・制御が可能な装置。特にマイクロ化学の分野では極微量の気体を高精度で送ることが要求されるため、よく利用される。 |
| マッチング | 回路を流れるマイクロ波は、異なる部品との接続ごとに電圧／電流比（インピーダンス）が整合していなければ、接続箇所において不整合分は反射が起こり、その先にエネルギー伝送されない。反応場を内包しているアプリケーションはインピーダンスが規格化されていないため、整合させるためにチューナーを接続する。この整合操作をマッチングと呼ぶ。立体回路ではスタブチューナーあるいはEHチューナーが用いられる。 |
| マルチモード | マイクロ波のもう一つの照射方法であり、シングルモードとは相反する性質を持つ。すなわち、ランダムかつ非定常的な照射であるが、大きな照射空間を確保できる。その性質ゆえ大量合成が容易であり操作性が良好であるが、再現性には乏しいとされる。 |
| 水ガラス | 珪酸ナトリウムの水溶液をさす。接着剤や洗剤、シリカゲル等の原料として用いられており、安価で扱いやすい物質である。ナトリウムを多く含むため、ナノ空孔材料の合成に用いる際は残留しない様後処理を行う必要が有る。 |
| 水の分解 | 光触媒を用いて水を太陽光で直接分解し水素燃料を製造するプロセスは、安価で簡便な方法であり、研究開発が活発に行われてきた。太陽光には紫外線はわずか（約3%程度）しか含まれていないため、太陽光のエネルギー変換のために可視光応答性光触媒とそれを用いた効率的な反応系の開発が焦点となっている。 |
| メソ孔 | 直径2～50nmの細孔を持つ多孔質材料で、重さ1gでも1,000m ² にもおよぶ大きな表面積を持つのが特徴。工業的にも触媒や吸着剤などの素材として優れた特性を有している。 |
| メソポーラス | 「メソ孔があいた」という意味。 |
| メソポーラスアルミナ | 細孔径が2～50 nmの範囲のものを、メソ細孔（メソポア）とよぶ。メソ細孔からなるアルミナをメソポーラスアルミナとよび、通常は、適当な鋳型剤の存在下、アルミニウムアルコキシドをアルミニウム源とするゾルーゲル反応で合成される。 |
| メソポーラスシリカ | シリカを材質として、均一で規則的な細孔（メソ孔：IUPACによる定義は径が2～50nmの細孔）を持つ物質のこと。 |
| メタ配向性 | 配向性とはベンゼン環上の親電子置換反応において置換基が及ぼす反応位置選択性を言い表す化学用語である。すなわち、各種置換基があるときに、その置換基の種類に応じてオルトおよびパラの位置に反応が起きやすい場合（オルト-パラ配向性）と、メタの位置に反応が起きやすい場合（メタ配向性）がある。また |

| | |
|--|---|
| | 当該位置への反応が促進される場合（活性化基）と、他の位置への反応が抑制され結果として当該位置への反応が比較的起きやすい場合（不活性化基）に分けられる。 |
|--|---|

《や行》

| 用語 | 解説 |
|---------|--|
| 有機顔料 | C、H、O、Nなどからなる有機分子が色調を持ち、分子間の強い相互作用により構造物を形成した結果、水にも有機溶剤にも非常に溶けにくい状態となったものを顔料という。一方、染料は溶剤に溶けて分子状で存在している。 |
| 有機金属反応剤 | 金属と炭素との化学結合を含む化合物であり、代表的な有機金属反応剤として有機マグネシウム化合物、有機リチウム化合物、有機ホウ素化合物、有機亜鉛化合物などが挙げられる。 |
| 誘電緩和時間 | 物質に外部電場をかけたときに、物質内の双極子が外部電場に沿って配向するまでの時間。または、外部電場を取り去ったときに物質内の双極子の配向が電場を全くかけていない状態に戻るまでの時間。溶液中の分子の回転運動に関する知見だけでなく、溶液内反応特性を表す指標としても用いられる。 |
| 誘電正接 | エネルギー損失の度合いを表す指標であり、比誘電率と比誘電損失率の比 ($= \epsilon'' / \epsilon'$) で表される。 |
| 誘電損失係数 | 複素誘電率の虚数部分（上記式の ϵ'' ）を示し、この値が大きいほど、誘電体中でのエネルギー損失が大きい。マイクロ波による誘電体の加熱では、マイクロ波エネルギーから熱エネルギーへの変換されやすさの指標となる。 |
| 誘電率 | 電場中におかれた物質中に生じる分極の大きさを表す量である。交流電場中では、周波数が増加するにつれて物質中の双極子が電場の変化に追従できなくなり、誘電率は小さくなる。溶液中の分子の配向相関に関する知見だけでなく、溶液内反応特性を表す指標としても用いられる。 |
| 溶解度 | ある溶質が、一定量の溶媒に溶ける限界量をいう。超臨界二酸化炭素を含む系では、一定温度圧力において固体溶質が超臨界二酸化炭素に溶ける限界量（固体溶解度・固気平衡）をさすことが多い。超臨界二酸化炭素に対する溶解度は、一般にモル分率で表示される。 |

《ら行》

| 用語 | 解説 |
|--------------|---|
| ラジカルカルボニル化反応 | 例えば、アルキルハロゲン化合物からハロゲンがラジカル的に引き抜かれるとアルキルラジカルが生成する。生成したアルキルラジカルが一酸化炭素と反応するとアシルラジカルとなる。このアシルラジカル中間体を経る種々の反応をラジカルカルボニル化 |

| | |
|------------|--|
| | 反応という。 |
| ラテント顔料 | 簡単な処理で再顔料化可能な溶媒可溶性化合物であり、顔料の性質を潜在化 (latent) させた化合物である。潜在顔料とも呼ばれる。代表的なものは、有機顔料分子構造中のイミノ基に <i>t</i> -ブチルオキシカルボニル基 (<i>t</i> -BOC 基) 等の可溶化基を導入した構造の化合物である。 <i>t</i> -BOC 基は加熱で分解・ガス化 (二酸化炭素とイソブテン) し、再顔料化後残存しない。 |
| リーチング | 反応中に担体に担持されている触媒成分の一部、あるいは全部が反応液中に流出すること。 |
| 立体回路 | マイクロ波を目的とする反応器に照射する際に発振器から反応器 (= 負荷) の間を導波管でつないだ場合、これを立体回路とよぶ。導波管内は電界と磁界が伝播すると共に、導波管内部表面にも電流が流れるため、この電流を遮断するように導波管を切断あるいは短絡してしまうと電波漏洩、遮断、反射などが起こる。したがって化学反応装置を作成する際には電磁気学的な構造を十分に理解する必要がある。 |
| リビング重合 | 開始反応と生長反応のみ起こり、停止反応や移動反応が起こらない重合法。開始が生長に比べ速く起こる場合、重合率に比例して分子量が増加し、得られたポリマーの数平均分子量は、開始剤一分子からポリマーが得られると仮定した理論分子量に合う。ブロックポリマーなど種々の一次構造有する高分子の精密設計が可能となる。 |
| リビングラジカル重合 | 上記リビング重合法において、成長活性種がラジカルである重合法。触媒としては、遷移金属錯体、ニトロキシド、など様々な系が開発されており、各種ラジカル重合性モノマーのリビング重合が可能となっている。特に、官能基を有するモノマーの直接重合も可能であることから、機能性高分子合成において大変有効である。 |
| リパーゼ | 脂肪を分解する反応を促進する酵素。普通は特にトリグリセリドを分解して脂肪酸を遊離するトリアシルグリセリドリパーゼを指す。消化液に含まれ脂質の消化を行う酵素であり、生物の細胞で脂質の代謝に関与する。 |
| ルテニウム | リビングラジカル重合における、代表的な触媒のひとつ。官能基耐性が高く、触媒活性、重合制御共に優れるため、機能性高分子の合成に有効である。また、重合のみならず、種々の有機反応(水素化など)においても触媒作用を示し、幅広い有機反応にも触媒として用いることが可能である。 |
| レイノルズ数(Re) | 流体の密度 ρ 、代表速度 u 、代表長さ L 、流体の粘度 μ を用いて $Re = \rho uL / \mu$ で表される流れの状態を表す無次元数。マイクロリア |

| | |
|--|---|
| | クターにおいて代表長さ L にはチャンネル径を用いる。流体の慣性力と粘度との比と理解され、流れの状態（層流と乱流）の整理に使用される。 |
|--|---|

《アルファベット、数字》

| 用語 | 解説 |
|---------|--|
| AIBN | ラジカル反応開始剤:N,N'-アゾビスイソブチロニトリルの省略形である。熱や光でアゾ結合が切れてシアノイソプロピルラジカルが生成し、ラジカル反応が開始する。 |
| CP/MAS | 固体 NMR の測定方法。CP(Cross Polarization: 交差分極)/MAS(Magic Angle Spinning)。 ¹³ C や ²⁹ Si 等の低感度核種の観測感度を大幅に向上させる事ができる。 |
| CV 値 | Coefficient of Variation の略。平均値に対する標準偏差の割合で、ここでは、作成した粒子の単分散性の評価指標として用いている。CV 値が 10 %以下であれば、単分散性に優れた粒子であると言える。 |
| DD/MAS | 固体 NMR の測定方法。DD(Dipolar Decoupling)/MAS(Magic Angle Spinning)。CP/MAS の場合よりも大幅に感度は低下してしまうが、環境が異なる核種の組成比に比例したシグナルの強度を得ることができる。 |
| E-ファクター | グリーンサスティナブルケミストリーを評価する指標の一つで、省資源性を示す指標である。E-ファクターは副生成物量（すなわち産業廃棄物量と等しい）を目的生成物量で除した値である。一般的に石油化学製品では約 0.1、一般化成品で 1~5 以下、ファインケミカルで 5~50 以下、医薬・農薬で 25~>100 の値を取るといわれている。 |
| EPMA | 電子プローブマイクロ分析 (Electron Probe Micro Analysis)の略で、細く絞った高エネルギーの電子線を試料に照射して、試料から出てくる各種信号(二次電子、反射電子、特性X線)を利用してその場所の組成や元素の分布を解析する手法。 |
| EXAFS | 広域 X 線吸収微細構造 (Extended X-ray Absorption Fine Structure) の略で、試料に X 線を照射し、吸収端より高エネルギー側のスペクトルをフーリエ解析することにより構造に関する情報を得る分析手法。 |
| FSM | Folded-Sheet Mesoporous Material. 早稲田大学と豊田中央研究所により初めて合成されたナノ空孔材料。界面活性剤のミセルを鋳型として合成される、ハニカム状の均一なナノ空孔 (2~10 nm) が規則的に配列化したメソポーラスシリカであり、大きな比表面積 (~ 1000 m ² /g) と細孔容積 (~ 1 cm ³ /g) を有する。 |

| | |
|------------------------------------|--|
| H-D 交換反応 | 金属、酸、アルカリ等を利用して物質の水素を重水素で置換する反応。物質の特定の位置に天然存在比以上の同位体を導入する場合に用いられる。 |
| La Mer モデル | 溶質濃度と核生成・粒子成長との関係を与えるモデルで、単分散粒子生成の原理を探るために多く用いられる考え方。La Mer が提案した閉鎖溶液系の溶質濃度と時間の関係を示す、いわゆる La Mer diagram に基づいている。 |
| LED (Light Emitting Diode) 発光ダイオード | エレクトロルミネセンス効果を利用し、正方向に電圧を印加することで発光する半導体。寿命は白熱電球に比べてかなり長く、半永久的に使える。材料を選ぶことで、赤外領域から可視光域、紫外領域で発光するものまで製造することができる。他の多くの光源と異なり、紫外線や赤外線を含まない光を得ることもできる。 |
| On-Water 反応 | 水中でエマルジョンとして進行し、有機溶媒中や無溶媒中と比較してより大きな反応速度を示す、ある種の有機反応である。この効果は長い間知られていたが、2005 年に K.B.シャープレスらがこの現象を系統的に研究し、その有用性を示したことから、近年、注目を浴びている。 |
| PEPSSI TM -SIPr | York 大学の Mike Organ 教授らが開発した均一系有機パラジウム触媒であり、 P yridine- E nhanced P recatalyst P reparation S tabilization and I nitiation の頭文字をとって命名された。 正式名称は(1,3-Bis(2,6-diisopropylphenyl)imidazolidene)(3-chloropyridyl) palladium(II) dichloride。 |
| PFA | フッ素樹脂の一種で、パーフルオロアルコキシアルカンの略。テトラフルオロエチレンとパーフルオロアルキルビニルエーテルとの共重合体である。PTFE と異なり、透明度が高く、熔融成型が可能なのが特徴である。また、PTFE よりやや硬いため、機械加工が容易である。 |
| PMMA | ポリメタクリル酸メチル。代表的なアクリル樹脂であり、透明性が高く、ガラスの代替品や光学材料に用いられている。 |
| PTFE | 代表的なフッ素樹脂で、ポリテトラフルオロエチレンの略。製品名はテフロン [®] 。連続使用耐熱温度は 260℃とされる。非粘着性、低摩擦特性などにも優れており、マイクロ波を透過する材料の一つである。 |
| Redlich_Kister 式 | 溶液の過剰モル量に対する組成依存性を溶液のモル分率で相関する式。溶液の過剰モル量 Y^E は定数 A, B, C およびモル分率 X を用いて $Y^E = X(1-X) \times [A + B(1-2X) + C(1-2X)^2]$ で表される。本研究では高温高圧下における過剰モル体積の組成依存性を解析し、係数 A, B, C の温度・圧力依存性などから諸物性値の予測手法を検討する。 |

| | |
|---------------|--|
| PVP | poly(N-vinyl-2-pyrrolidone)の略。金属ナノ粒子の表面に吸着し、粒子同士の凝集を防ぐ保護剤として多く用いられている。 |
| SBA-15 | 非イオン性界面活性剤 P123 をテンプレートに酸性条件下合成した規則性メソポーラスシリカ。ヘキサゴナル構造を有し、Stucky, G. D. らによってその合成法が報告された (Stucky, G. D., et al. Nature,396, 1998, 152)。 |
| SBA、MSU | いずれもメソポーラスシリカの一種。合成法や平均細孔径、規則性構造の差異により特性に差がある。 |
| SEM | 走査型電子顕微鏡の略称。微粒子の集まった状態が見て取れる。一方、TEM も良く用いられるがこちらは透過型電子顕微鏡の略称。微粒子の分散状態、表面状態の観察に適している。 |
| STEM | 走査透過電子顕微鏡のことで、細く絞り込まれた電子ビームを試料に走査させ、試料から透過してきた電子を検出し、これを信号として像を形成する固体の観察装置。 |
| Stöber 法 | 代表的なシリカ粒子の製造法。アルコキシシランの加水分解・縮重合反応を、塩基触媒下で行なうことによって、粒子径が 100-500 nm の範囲であれば、比較的容易に単分散粒子を調整可能である。 |
| TE10 | 矩形の導波路をマイクロ波が進む時、電界が横波となって伝播するモードで、腹となる場所が長辺方向、短辺方向にそれぞれ 1, 0 個存在する。したがって長辺中心が最も電界が高く、長辺端部では電界が 0 になる。電界は短辺方向に沿って発生しているので短辺方向ではどの場所も一定となる。進行方向にも腹、節があるが時間と共に移動するため平均では一定となる。 |
| TEOS | テトラエチルオルソシリケート $\text{Si}(\text{OCH}_2\text{CH}_3)_4$ 。アルコキシドであり酸性又は塩基性条件で加水分解してシラノール $\text{Si}(\text{OH})_4$ となり凝集、脱水して SiO_2 となる。ナノ空孔材料の合成でも扱いやすさ等により一般に用いられるが、揮発性であり引火点は低く、且つ静電気を帯びやすいため、工場等での大量使用には安全対策が必要である。 |
| TG | 熱重量分析 (Thermogravimetric Analysis: TG) は、温度を変化させながら、あるいは一定の温度に保って、試料の重量変化を測定する測定方法で、測定装置は試料ホルダー、測温系、加熱炉、天秤部、これらの制御回路からなる。 |
| Tishchenko 反応 | 水酸化ナトリウムや水酸化カリウムなどの強塩基の作用により、アルデヒド 2 分子の酸化・還元反応でエステルを生成する反応。通常、ベンゼンなどの芳香族炭化水素中で行われる。 |
| TMSCN | トリメチルシリルシアニド $(\text{CH}_3)_3\text{SiCN}$ 。 |
| TOF | 単位時間(1h)中に触媒 1mol あたり反応した基質の mol 数 (mol/mol・h)。 |

| | |
|--------------------|--|
| TM020、TM011、TM010、 | 円筒型の空洞共振器の中に発生する電磁界の形状は波長や反射方向によっていろいろな形となりうるが、空洞と波長がオーダーとして近い長さ（2.45GHz帯では10～20cm）では特定の形で振動が起こり、電界と磁界が交互に生成する共振状態となる。TM020モードでは磁界が円筒を横波となって伝播する際、定在波の節（あるいは腹）となる場所が円周方向、半径方向、円筒軸方向にそれぞれ0, 2, 0個ある。同じくTM011モードでは0, 1, 1個存在する。TM020モードでは磁束密度の高い円筒中心軸に、またTM011モードでは円筒底面中心内部にそれぞれ強い電界が発生するため、ここにサンプルを置くことによって大きく変化する電磁界から複素誘電率を測定する。TM010モードも同じく円筒中心軸の電界強度が高いため、中心軸に沿って流路を作成する。 |
| 3成分ストレッカー型反応 | 1850年にストレッカーにより報告された反応（カルボニル化合物とアンモニア及びシアン化水素との反応）の変法であり、カルボニル化合物およびアミンとトリアルキルシリルシアニドとの反応。炭素-炭素結合、炭素-窒素結合を同時に生成させる重要な合成反応の一つであるとともに、生成物である α -アミノニトリル化合物は、アミノ酸などへ容易に変換でき、ファインケミカルズ合成中間体として非常に有用である。 |
| 4級アルキルアンモニウム塩 | メソポーラスシリカの原料化合物。主にナノ空孔の形成に用いられる。排水に高濃度で含まれるが、微生物等には毒性が強く、活性汚泥等では分解出来ないため、大量合成では特殊な除去工程を行い低濃度で排水する必要がある。又工程によっては製品に微量残留する場合がある。 |

I. 事業の目的・政策的位置付けについて

I-1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

I-1.1 NEDOが関与することの意義

我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えている。(図1-1)

主要製品・部材の市場規模と日本企業の世界シェア(2007年)

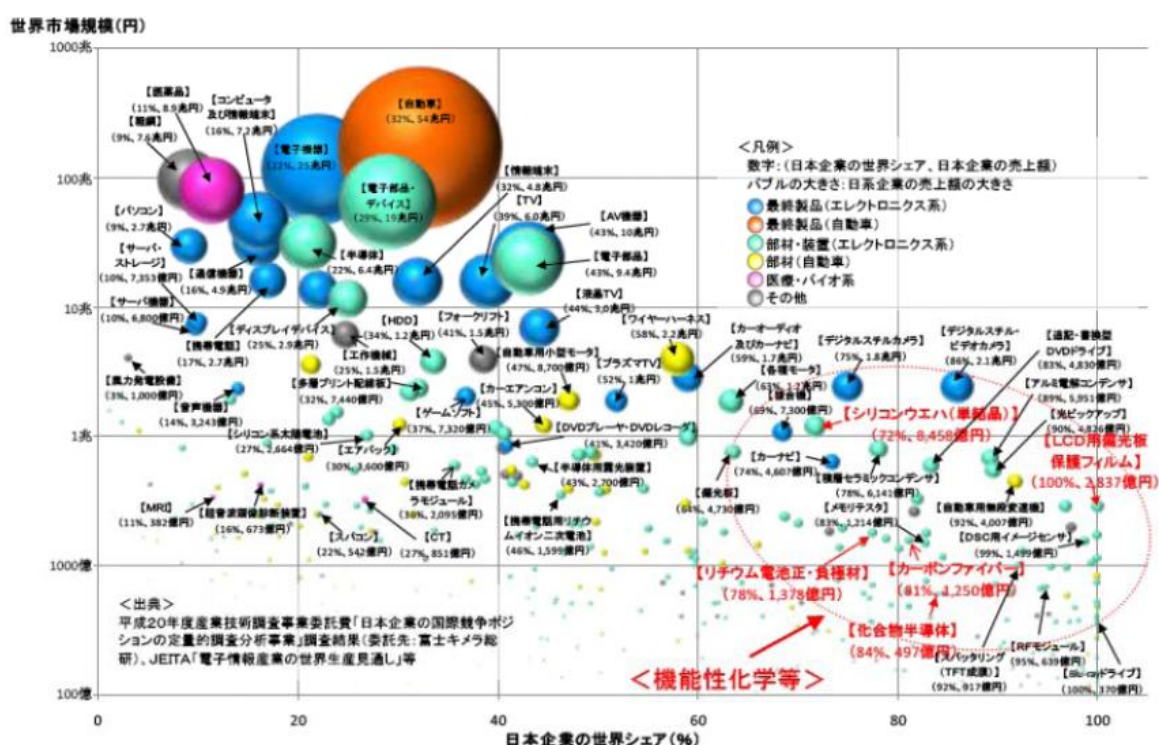


図1-1 主要製品・部材の市場規模と日本企業の世界シェア(2007年)

<出展: 化学ビジョン研究会報告書 化学ビジョン研究会 平成22年4月>

その一方で川下産業との取引のオープン化やユーザーとの連携の希薄化に伴い、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化(川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など)を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。

近年の超微細加工技術の飛躍的な発展に伴い、金属、ガラス、プラスチック等の基板上にナノ、マイクロスケールの空間を自由に設計・加工することが可能となりつつある。これらナノ、マイクロスケールの微小空間を流れる流体中においては、空間を占める体積よりも表面積が相対的に増大すること、あるいは安定な層流条件の実現により、マイクロ空間中での速い物質移

動や高効率なエネルギー伝達等の従来にはない特徴を有することが知られている。微小なマイクロ空間を活用し、流体を高速、高精度に扱うマイクロ化学プロセス技術は、反応・分析・計測の効率化・高速化のための革新的な技術としてのみならず、新規な特異反応場としても注目を集めている。また、近年メソポーラスシリカに代表される構造規則性ナノ空孔材料の技術進歩がめざましく、化学品製造のための反応場としての利用が期待されるようになった。

上記観点からマイクロ化学プロセス技術は従来の工業的物質生産の方法を根底から変革するものとして、化学産業だけではなく関連する医療、製薬、バイオ関連、食品産業などからも大きな期待が寄せられている。さらに、省資源や省エネルギーに貢献し環境に優しい革新的技術としての評価も高く、21世紀に欠くことのできない科学技術になるものと予想されている。

また、今後、15年程度を見据え、燃料電池、情報家電、医療・福祉／安全・安心、環境・エネルギー等の各分野で求められている機能を実現するためには、これらの各分野に必要な部材の技術課題の解決に向けて、産官学の連携を強力に推進することが求められている。その反面、研究開発の難易度が高く、開発リスクが高いことが予想される。

以上の背景、理由により、民間投資のみに任せるのではなく、NEDOにて、産学の科学的知見を結集し、これらの技術課題の解決にあたり、材料産業から部材産業への転換を促進することにより、我が国産業の国際競争力を強化し、また、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図る事業方針に基づき、国家的、集中的プロジェクト実施が必要である。(図1-2)

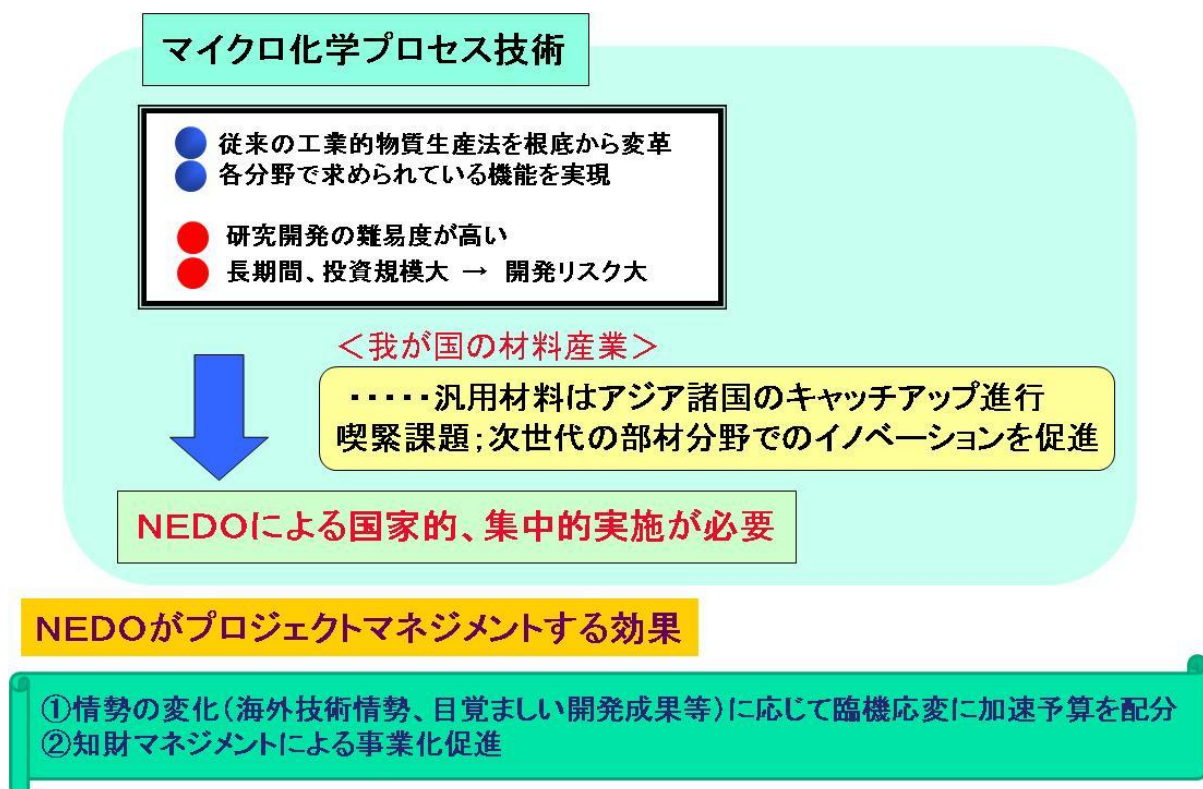


図1-2 NEDOが関与することの意義

I-1. 2 実施の効果（費用対効果）

(1) 研究開発費用：5年間で約27億円

(2) 効果：本事業の成果は、情報通信、電子機器・家電、医療、バイオ、環境等の各種の分野において幅広く応用可能であるが、特に、付加価値の高い、ファインケミカルを中心とした化学産業（香料、化粧品、触媒、電子材料等）や医薬品産業への応用が期待され、2002年市場規模において4.4兆円程度と推定され、10%の置き換えを想定すると、4400億円程度の市場創出効果が見込まれる。また、環境的効果としては、省エネ、廃棄物の削減、二酸化炭素削減、化学反応の安全性向上等の幅広い効果が期待される。

以下に、機能性エステル類を例にして省エネルギー量を説明する。機能性エステルやアミド類は医農薬中間体や電子・情報関連化学品として極めて重要であるが、原料であるカルボン酸等の低い反応性のため、塩化チオニルによる活性化工程を含んでいる。例えば、環状イオウ酸エステル類の場合では、塩化チオニルによる原料活性化を行うが、低収率の生産プロセスである。これは、複雑なプロセスかつ大量の副生物やハロゲン、酸を含む廃棄物を生じ、低エネルギー効率、高Eファクターとなる。一方、マイクロリアクター、ナノ空孔固定化触媒とマイクロ波を組み合わせた協奏的反応場を利用すると、選択的に原料および触媒を活性化でき、反応効率・収率が著しく増大するプロセスとなる。加えて、塩化チオニルやアルカリ中和剤など不要となり、Eファクターを限りなく極小化することができる。従来プロセスでは、塩素、中和用の苛性ソーダの製造に必要なエネルギーは、1t/年で1651 kWhである。協奏的反応場利用技術の適用により、消費エネルギーは加熱に要するエネルギーのみとなるので、36 kWh、すなわち2.2%に減らせることが可能となる。そこで、協奏的反応場利用技術の導入によるファインケミカルズの製造の省エネルギー率を97.8%として見積もる。本事業が目的とする協奏的反応場利用技術は、電子・情報関連環状イオウ酸エステル類の製造に限らず、医農薬原料用機能性エステル製造等の課題も解決するものである。一般に複数工程からなるファインケミカルズ製造を平均5工程¹⁾として、そのうち1工程において例示のエステル化反応と同等の反応効率の向上があれば、全体として $97.8\%/5=19.6\%$ の省エネルギー化が達成されることになる。ファインケミカルズのエネルギー原単位は石油化学製品のエネルギー原単位の15倍、ファインケミカルズの生産量は2000千t/年と推定すると、ファインケミカルズ製造について、エネルギー原単位 $=0.557 \times 15=8.65$ kL-原油/t-ファインケミカルズとなり、エネルギー消費量 $=8.65 \times 2,000=17,300$ 千kL-原油/年と見積もることができるので、100%普及した場合の全体の省エネルギー効果としては、 17300 千kL-原油/年 $\times 0.196=3390$ 千kL-原油/年となる。ここで、2030年度に10%の工程置き換えを仮定とすると、約30万KL/年（原油換算）となる。

I-2. 事業の背景・目的・位置付け

I-2. 1 事業背景

マイクロ化学プロセス技術開発の経緯は、1980年後半から半導体製造工技術が汎用品にも普及し始めると共に欧州、米国を中心に開始された。即ちこの技術を駆使したマイクロ空間流路を製

作して主にDNAの分析を対象に用いられ、盛んに研究開発が行われるようになった。また1990年にDr. Manz氏がチップ上に単位操作を集積して分析、合成を行う概念、 μ TAS (micro Total Analysis) を提案した²⁾。ドイツのDr. Erheld氏を中心に、FZK研究所、IMM等のスピンオフ企業においては、化学合成を行うためのマイクロリアクター、ミキサー、熱交換器等が、精力的に研究開発されて、一部は製品化までにこぎつけている³⁾。そして現在では、企業、研究所、大学等が参加した数多くのプロジェクトがドイツを中心に進行中である。

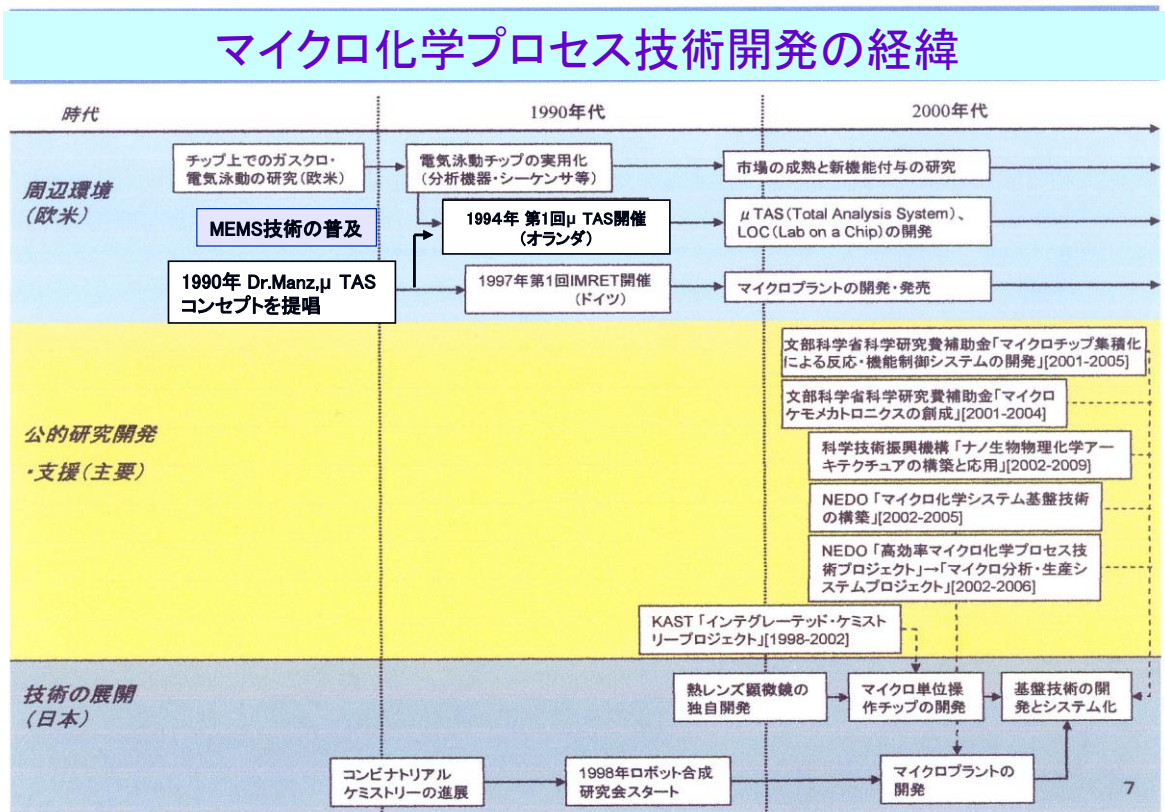
我が国では1990年代までに一部の大学で独自に研究が行われてきた。マイクロ化学プロセスの研究が取り上げられたのは、1998年、京大の吉田潤一教授がロボット合成研究会でマイクロリアクターの研究を⁴⁾、また東大の北森武彦教授がインテグレートド・ケミストリを提唱して連続フロー化におけるマイクロチップ技術の研究を開始⁵⁾されてからである。その後、数多くの研究所、大学がテーマとして取り上げて研究開発を積極的に取り組むようになった。

このようにマイクロ化学プロセスのコンセプトは海外で生まれたものであるが、我が国は現在研究開発を積極的に、且つ組織的に取り組んでおり、マイクロ分析・生産システムプロジェクト(H14～H17)では、マイクロ流路を利用した温度均一性や混合均一性といった空間均一性により反応制御が可能であることを見いだした^{6),7)}。さらに検討した結果、活性種の生成場を反応場から分離し、それぞれを独立に制御することにより、合成過程の簡略化や収率の向上など極めて効率的な化学品製造技術に繋がること明らかになった。

しかし、欧米では一部実用プラントが立ち上がるなど、実用化に向けての動きが急速に進展しつつあり、また、アジア地域においても、韓国などが当該技術に注目しており、引き続き予断を許さない技術競争が展開される可能性が高い背景下にある。(表 1-1)

また、メソポーラス材料、ゼオライト等のメソ・ナノスケールの空孔材料についての研究は古くからなされており、1993年に早稲田大・豊田中央研究所、米モービルR&Dによって相次いで開発成功が発表されたナノスケールのメソ多孔体については、その制御性から産業への有効活用が期待されている。これらのナノ空孔材料の固定化触媒への応用については、特に近年その研究が盛んになってきたところである⁸⁾。さらに、マイクロリアクターの協奏反応(例として、固定化触媒、マイクロ波、超高温、超低温)の研究についてはそれほど多くの事例はないが、ドイツ Technische Univ. Chemnitz-Zwickau の Wieβmeier らによるマイクロリアクターを用いた不均一触媒反応や、カナダ ヨーク大学等のマイクロ波利用マイクロリアクターなど海外研究⁹⁾が中心である。

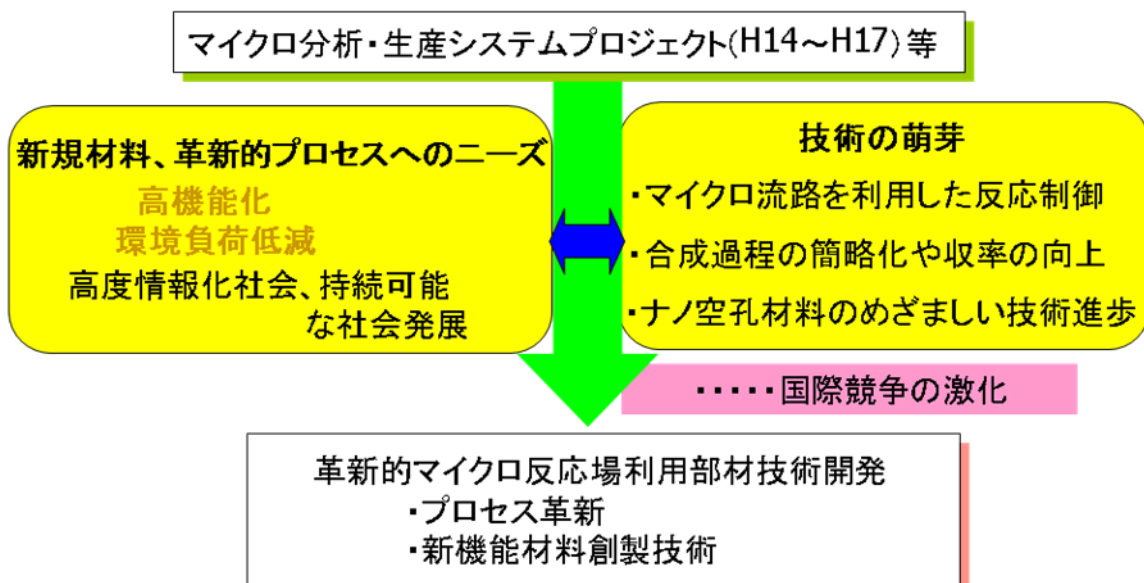
表 1-1 マイクロ化プロセス技術開発の経緯



(文部科学省科学技術政策研究所 NISTEP REPORT No.89 の資料に基づいて作成)

I-2. 2 事業目的

このような背景の下、NEDOでは「マイクロ分析・生産システム プロジェクト」(平成14年度～平成17年度)を立ち上げ、マイクロ化学プロセス技術の技術確立を目指し、①マイクロ化学プラント技術の開発、②マイクロチップ技術の開発、③マイクロ化学プロセス技術の体系化に関する基盤研究開発を行った。



本プロジェクトは、「マイクロ分析・生産システム プロジェクト」の成果を基に、実用化に向けた研究開発を加速するため、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、および各種の反応場、エネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を利用した革新的な化学プロセスの基盤技術を開発し、後述のようなプロセス革新と新機能材料創製技術を実現することを目的とした。(図 2-1、図 2-2、図 2-3 参照)

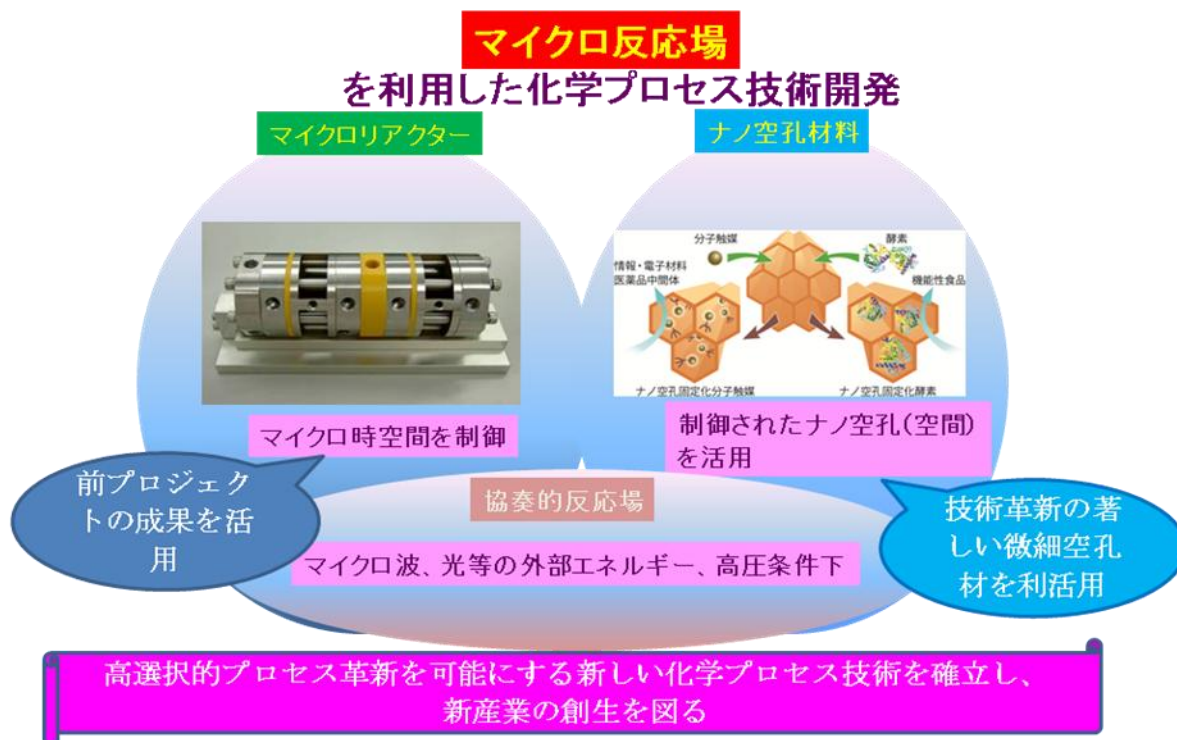
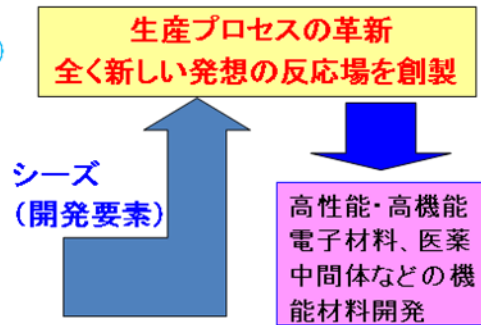


図 2-1 プロジェクト概要

■マイクロ、ナノに関する技術の集積

- ・マイクロリアクターによる活性種の生成場と反応場の分離および独立制御(前身PJの成果)
- ・構造規則性ナノ空孔材料による精密反応場制御技術(素材製造技術の発展)
- ・精密反応場と外部エネルギー供給手段や高温高圧、反応媒体等の反応場を組合せた協奏的反應場



<従来技術との比較>

| 少量多品種生産技術 | 生産性 | 精密制御 | 収率・純度 | コスト | 技術成熟度 |
|-----------|-----|------|-------|-----|-------|
| マイクロ反応場 | ○～△ | ◎ | ◎ | △ | △ |
| バッチ処理 | ◎～△ | △ | △ | ○ | ○ |

図 2-2 背景

■マイクロ、ナノ技術を活用した生産技術革新

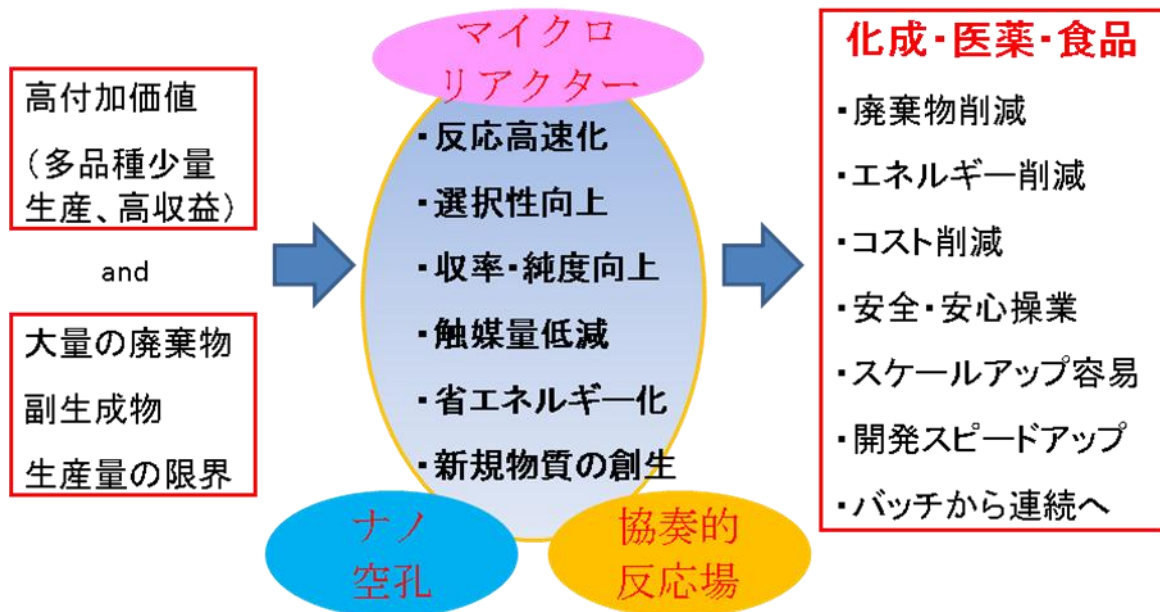


図 2-3 事業目的

I-2.3 事業の位置付け

本プロジェクトの研究開発プログラムにおける位置付けを(図 3-1)に示した。本プロジェクトは『部材分野の技術戦略マップを活用し、将来の部材の基盤技術の方向性を見定めるとともに、材料関係者だけでなく多様な連携(川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携等)による基盤技術開発を支援することで、部材分野の技術革新を促進すること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」(図 3-2)の中で、特に『川上・川中・川下の

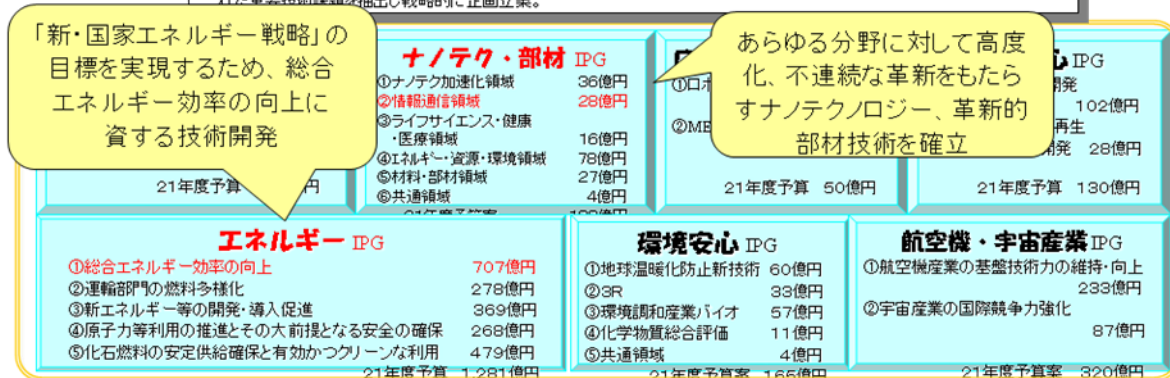
各段階における[擦り合わせ]の連鎖こそが我が国高度部材産業の強みとなっていることから、この擦り合わせ力の向上に資するようなプロジェクト体制（垂直連携）で実施することで、川下産業の競争力向上に貢献すること』を目的として実施した。

また同時に、我が国エネルギー供給の効率化に資する「エネルギーイノベーションプログラム」の一環としても本プロジェクトを取り組んだ（図3-3）。

技術戦略マップにおけるマイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、および各種の反応場、エネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を利用した革新的な化学プロセス開発の位置付けを（図3-4）に示す。

研究開発プログラム(イノベーションプログラムに改編)の中で実施 イノベーションプログラムについて 第27回研究開発小委員会(平成21年4月27日)資料

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。



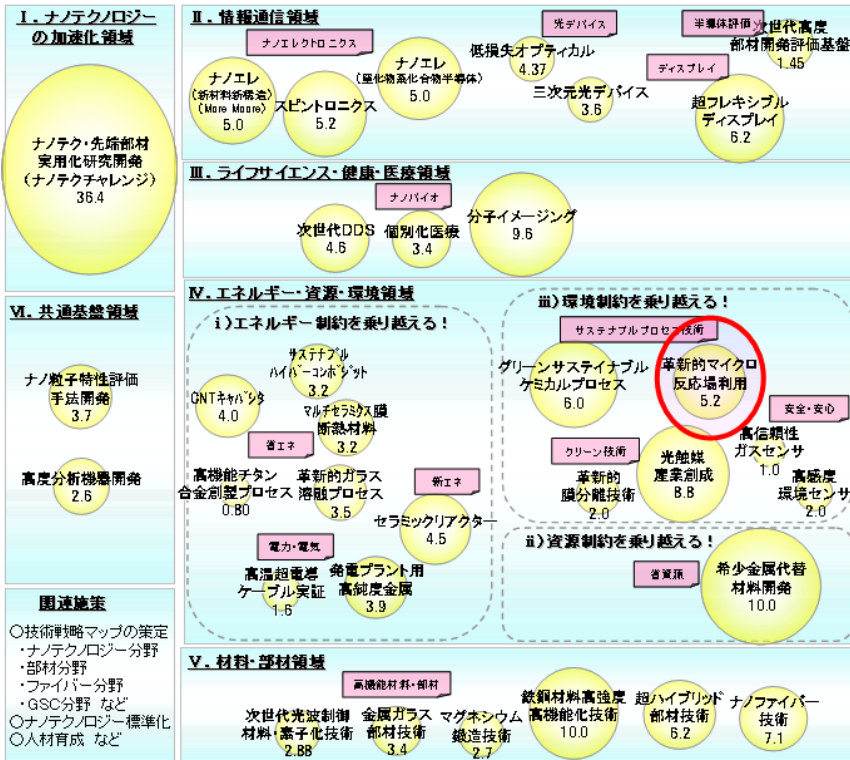
- 平成20年3月までは革新的部材産業創出プログラム及び省エネルギー技術開発プログラムの位置付けで実施

図3-1 研究開発プログラムにおける本プロジェクトの位置付け

ナノテク・部材イノベーションプログラム

【平成20年度予算額:184.5億円】

- 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！
- 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！



IPGの目標

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！

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！

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！

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！

図 3-2 ナノテク・部材イノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置付け

エネルギーイノベーションプログラム

【20年度予算額 817億円】
※基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

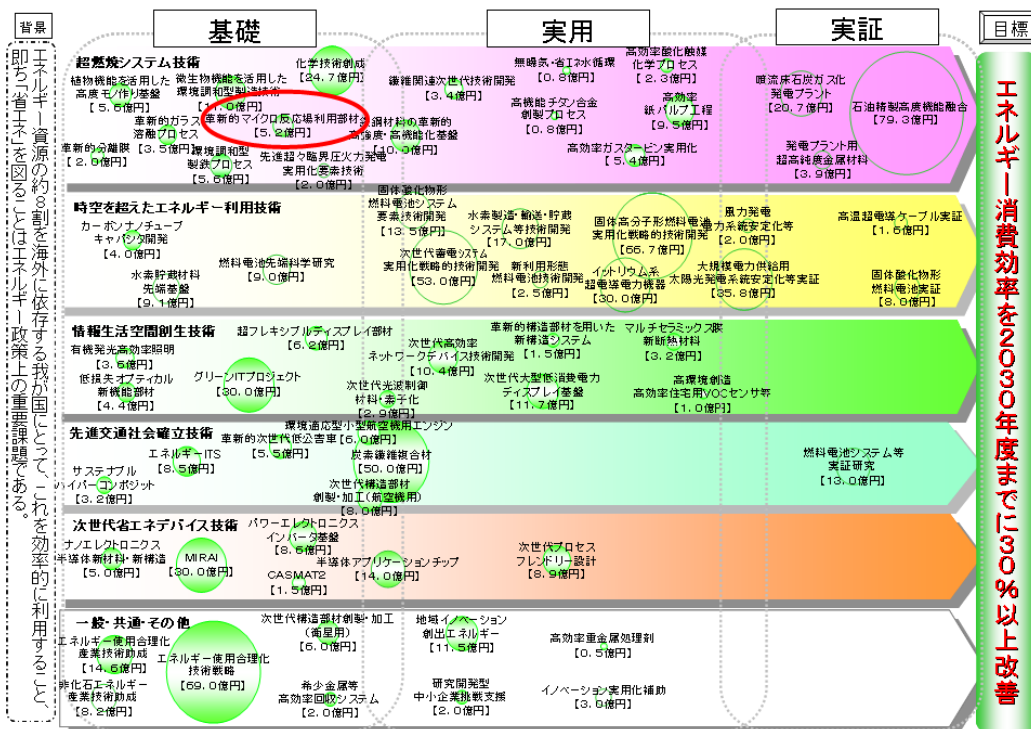


図 3-3 エネルギーイノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置付け

| 対象部材 | | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------|--|----------------|----------------|----------------------------|------|-----------|--|
| 出口から部材に対し求められる機能 | 求められる機能を発現する高度部材 | 研究開発の方向性 | | | | | | | | | | |
| | | マイクロ空間(ナノ反応場)／マイクロリアクタ複合化 | 反応場での安定性向上 | | | 反応場複合化による | | | | | | |
| | | MW/超臨界流体、イオン性液体・マイクロリアクタ複合化 | 耐圧性MW透過材料の開発、加工(MW-超(重)臨界複合化) | | | | | | | | | |
| | | 集積反応場、並列多重方式集積及び直列シーケンス方式集積構造 | 複合化効果の確認と説明 | | | 複合化の問題抽出 | | | | | | |
| | | 反応剤(反応開始剤) | 環境負荷の低い酸化剤を活用できる新触媒の開発 | | | 酸化反応、還元反応などがより温和な試薬・触媒・条件で実施できる(反応開始剤) | | | 空気(酸素)酸化:NHPI触媒などラジカル反応の利用 | | | |
| | | 触媒 | 分子触媒 | 活性・選択性向上 | 低環境負荷型炭素炭素結合生成反応の利用 | | | | | | | |
| | | | | 貴金属触媒の使用削減 | 非貴金属(Fe, Co, Ni等)触媒の改良 | | | 助触媒の利用 | | | | |
| | | | 触媒リサイクル | 多相系反応の利用 | | ポリマー固定化技術確立 | | バッチ系でのリサイクルの確立 | | | | |
| | | 固体触媒 | 担持技術、新触媒、新触媒プロセス開発 | 固体超強塩基触媒プロセスの開発 | | | | | | | 触媒担持技術の開発 | |
| | | 酵素(生化学触媒) | 抗体作成技術開発、スケールアップ | 抗体作成技術の開発 | | | | | | | 抗体触媒の | |
| 触媒固定化ナノ・マイクロ空間部材(メソポーラス材料、ゼオライト、シリカゲル、CNT、層状化合物等)触媒 | 多様なマイクロ空間への触媒の固定、安定化、長寿命化技術の確立 | 分子触媒固定化技術の確立 | ポリマー固定化触媒開発 | | | シリカゲル固定化触媒開発 | | 有機・無機複合化 | | | | |
| | | 酵素固定化適用範囲の検討 | 単一種の酵素導入 | | 酵素配列の長距離秩序の評価 | | メソポーラスシリカ固定化触媒 | | | | | |
| | | 分子触媒・酵素の吸着活性化 | 導入可能な酵素・無機担体の組合せ | | 複数種類の酵素導入の実現 | | 分子触媒・酵素の配列の短距離 | | | | | |
| 反応の最適化 | 助触媒効果の利用 | 局所極性制御 | | 局所濃度制御 | | 分子触媒・酵素の吸着活性化 | | | | | | |
| | 反応条件等の最適化(単一酵素導入型) | 最適反応器の開発(単一酵素導入型) | | | | | | | | | | |

図 3-4 技術戦略マップにおける本プロジェクトの位置付け

参考文献

- 1) 北泰行、平岡哲夫編；“創薬化学－有機合成からのアプローチ”，第 12 章，東京化学同人（2004 年）
- 2) A. Manz, N. Graber, H. M. Widmer, Sens. Actuators, 244（1990）
- 3) みずほ情報総研株式会社；“革新的マイクロ反応場利用部材技術開発プロジェクト（マイクロリアクター技術およびナノ空孔技術）に関する周辺動向調査” NEDO平成 17 年度成果報告書，19-23（2006）
- 4) 吉田潤一 “マイクロリアクター新時代の合成技術”，シーエムシー出版（2003）
- 5) 北森武彦 “インテグレートッド・ケミストリー”，シーエムシー出版（2004）
- 6) “革新的部材産業創出プログラム／マイクロ分析・生産システムプロジェクト” NEDO平成 17 年度成果報告書（2008）
- 7) “革新的部材産業創出プログラム「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」” NEDO平成 15 年度～平成 16 年度成果報告書（2007）
- 8) みずほ情報総研株式会社；“革新的マイクロ反応場利用部材技術開発プロジェクト（マイクロリアクター技術およびナノ空孔技術）に関する周辺動向調査” NEDO平成 17 年度成果報告書，66-89（2006）
- 9) みずほ情報総研株式会社；“革新的マイクロ反応場利用部材技術開発プロジェクト（マイクロリアクター技術およびナノ空孔技術）に関する周辺動向調査” NEDO平成 17 年度成果報告書，32-35（2006）

II. 研究開発マネジメントについて

II-1. 事業の目標

本事業は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、超臨界流体などを組み合わせた協奏的反應場を構成することにより、これまでにない革新的な化学プロセスを開発した。(図 1-1) さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬品中間体などの機能性材料への展開を図った。

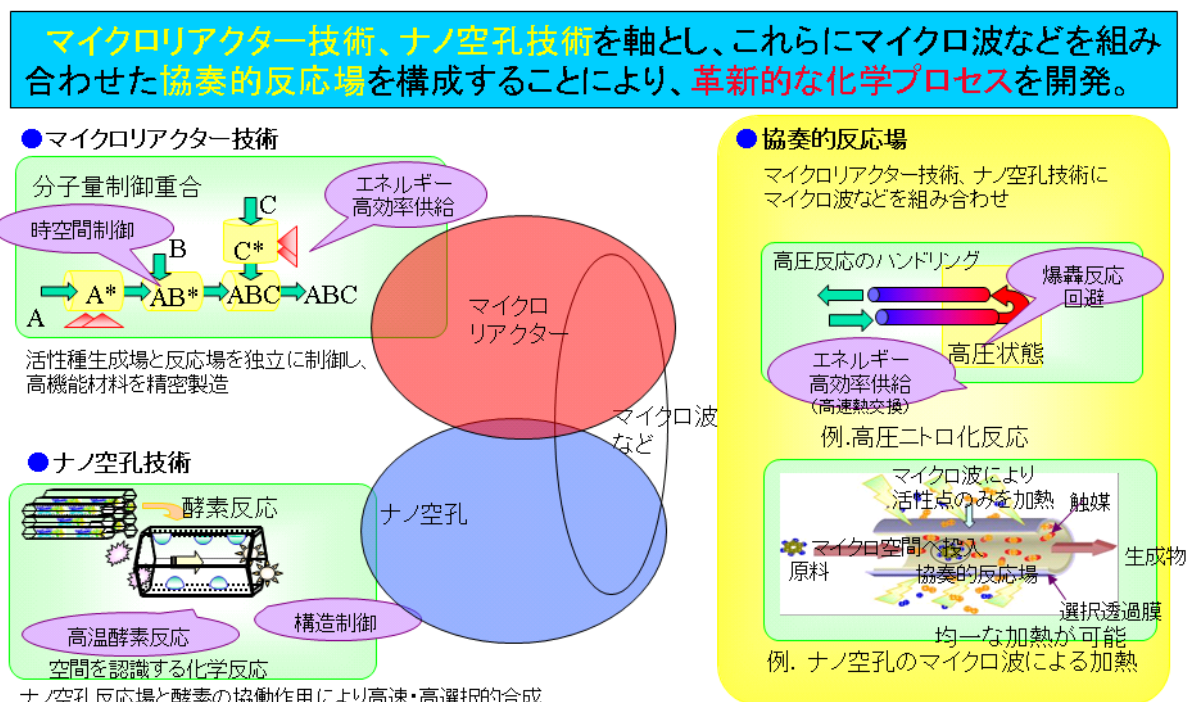


図 1-1 事業の目標

【共通基盤技術】

① マイクロリアクター技術

マイクロリアクター中の活性種の生成場と反応場を分離し、急速混合、急速加熱・冷却、急速移動、極短反応時間制御などにより、活性種の化学反応を制御する基盤技術を確立する。これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬品中間体などの製造に必要な材料を開発した。

② ナノ空孔技術

ナノ空孔を有する材料を利用して分子触媒・酵素を固定化し、ナノ空孔反応場と分子触媒・酵素の協働作用を活かす高選択的な合成法の基盤技術を確立する。また、これらの技術を展開し、機能性化学品を開発した。

③ 協奏的反應場技術

マイクロ波、光、電場等のエネルギー供給手段、あるいは高温高圧、反応媒体等が提供する反応場とマイクロリアクター、ナノ空孔との協奏的反應場を制御する基盤技術を開発した。また、協奏的反應場を応用し、機能性化学品を開発した。

【実用化技術】

④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反応場を幅広く工業的に利用可能とするためのプラント技術を開発した。なお、市場に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき当該実用化研究開発については、助成事業で実施した。

II-2. 事業の計画内容

II-2.1 研究開発の内容

II-2.1.1 研究開発項目と各項目における達成目標

以下に研究開発項目と最終目標を一覧にして示した。

| | 研究開発項目 | 最終目標 | コメント | |
|-----------|--|--|--|--|
| 共通基盤技術開発 | ①マイクロリアクター技術 | (1)反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立 | ・各種活性種の寿命と望ましい急速混合技術の関係を体系化 | ・マイクロリアクターの体系化及び④と連動して、実用上必要なレベルの目標を設定 |
| | | (2)活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発 | ・活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計の要素技術の確立 | |
| | ②ナノ空孔技術 | (1)ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 | ・ナノ空孔と分子触媒との協働作用を活かして実用レベルの目標を設定 | ・ナノ空孔を実用化する上で重要な反応を抽出。④と連動して、実用上必要なレベルの目標を設定 |
| | | (2)ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 | ・ナノ空孔反応場と酵素の協働作用を活かして合成酵素の実用レベルの目標を設定 | |
| | | (3)ナノ空孔固定化触媒の開発 | ・分子触媒レベルの反応効率及び触媒リーチング抑制の実用レベルの目標を設定 | |
| | | (4)ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の開発 | ・協働作用発現機構のモデル提案及び工業触媒へ応用可能な固定化手法の開発 | |
| ③協奏的反応場技術 | (1)マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発 | ・種々の反応場を用いた製造プロセス技術の開発及び実証 | ・協奏的反応場を実用化する上で重要な反応を抽出。④と連動して、実用上必要なレベルの目標を設定 | |
| | (2)ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発 | ・②(1)～(3)+マイクロリアクター、マイクロ波及び反応媒体利用触媒反応技術を適用して、実用レベルの目標を設定 | | |
| 実用化技術 | ④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発 | (1)マイクロリアクター技術 (2)ナノ空孔技術 (3)マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発 (4)ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発 | ・実用化のために必要最低限のスペックを設定。 | ・基本計画の目標の他に、各社は自主目標を設定 |

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、以下の研究開発を実施した。

研究開発項目①「マイクロリアクター技術」

1. 研究開発の必要性

マイクロリアクターは急速熱交換、急速混合、精密温度制御、極短滞留時間などの特長を有し、化学操作を厳密に行う場として優れた反応場である。

しかしながら、活性種の生成と反応が同一の場で進行する従来のマイクロリアクター技術では、反応場の精密制御による反応率の向上や副生成物の発生抑制には限界があった。本研究開発ではマイクロリアクター技術において活性種の生成場と反応場を分離し、独立に制御することにより、複雑な構造を有する目的物質を、高効率かつ高選択率で合成・製造する革新的なマイクロリアクター技術を開発しようとするものである。これらの技術を用いて電子材料、医薬品中間体など高性能・高機能物質・材料の製造に必要な基盤技術を開発した。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため、原則として下記の内容の研究開発を実施した。

(1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立

現状では、多くの反応において活性種の生成場と反応場が同一空間内で実施されていた。一般に活性種の生成と反応に望ましい場の条件は異なるため、これらを同一空間内で行う限り、条件を精密に制御しても目的物質の選択率等には限界がある。これを打破するには、理想的には活性種の生成場と反応場を物理的に分離し、それぞれの最適条件で操作することが求められる。この活性種の生成場と反応場の分離効果は、扱う活性種の安定性・寿命によって大きく異なる。そこで、まず、カチオン、ラジカル、アニオン、結晶核などの活性種の生成場と反応場の滞留時間、混合時間、温度の精密制御の基本技術を確立し、活性種の生成場と反応場の分離が効果のある対象化合物群の明確化を行った。そして、この基本技術に基づく新規合成手法ならびにデバイスを、各種活性種の寿命を考慮して開発した。

(2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発

活性種生成場と反応場の最適条件は一般に異なる。したがって、活性種の生成場と反応場の分離を達成するには、連続流路内で複数の条件を精密に制御できる構造のデバイスが不可欠である。従来のマイクロリアクター技術においても、急速に混合する技術や急速に昇温する技術は開発されてきた。しかしながら、これらは単独の機能を重視したものが主であった。たとえば急速混合が可能でも次の操作までの滞留時間を1秒以下に制御できないデバイスでは、反応性が高く不安定な活性種（半減期百ミリ秒以下）を生成させた場合には、生成した活性種の大半が無駄に消失あるいは副反応として消費されてしまう。よって、活性種の生成場と反応場の分離を達成するには、精密に制御可能な複数の場を有するデバイス、あるいは結合部の滞留時間が無視できる構造の精密に制御可能な場を有するデバイスを、対象活性種の寿命や反応時間、発熱量を考慮して開発する必要がある。反応基質と活性種の急速混合、活性種生成場最適温度から活性種反応場最適温度へのオーバーシュートのない急速昇降温等を想定すると、分子拡散、比熱などの物性上の制約を勘案して、少なくとも数十ミリ秒以内の混合、数十℃/ミリ秒以上の昇降温速度まで可能な技術にまで高めることが必要である。そのためには、試行錯誤によるデバイス開発では限界があり、システムティックなデバイス設計手法を開発する必要がある。また、滞留時間や昇降温時間が短くなると連続的にプロセスを運転することも従来のプロセスに比べはるかに困難になる。よって、生産システム化を達成するために必要なマイクロ計測技術や制御技術も

不可欠である。

以上の観点に基づき、短滞留時間を精密に制御可能な多段混合反応器の開発、急速混合可能な温度制御機能付き反応器の開発、急速昇降温可能な温度制御機能付き反応器の開発、およびモデルに基づく反応器形状設計手法の開発を行った。さらに、外部エネルギー供給活性種生成場に対する集積化構造の提案、マイクロプラントに適した計測装置の開発、マイクロプラントに適した制御・管理システムの開発を行った。

3. 達成目標

(1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立

[中間目標 (平成 20 年度末)]

(a) 活性種生成・反応場の精密制御技術に基づく新規合成手法ならびにデバイスを開発する。たとえば新規合成手法およびデバイスを合わせて 2 件以上開発する。

(b) 各種活性種に対して、その寿命を考慮した迅速混合技術を開発する。

[最終目標 (平成 22 年度末)]

(a) 各種活性種に対して、その寿命と望ましい急速混合技術の関係を体系化する。

(2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発

[中間目標 (平成 20 年度末)]

(a) 短滞留時間多段混合反応器を開発する。たとえば 4 種類の物質を各部の滞留時間 0.05 秒以下で逐次混合可能な反応器を開発する。

(b) 急速混合可能な温度制御機能付き反応器を開発する。たとえば混合時間 0.05 秒以下で偏差 1℃以下の温度制御可能な反応器を開発する。

(c) 急速昇降温可能な温度制御機能付き反応器を開発する。たとえば 20℃/10 ミリ秒以上の昇降温、±0.3℃以内の温度制御が可能な反応器を開発する。

(d) 微少容積複合計測装置を開発する。

(e) 流路の閉塞状態を検知可能な状態監視システムを開発する。

[最終目標 (平成 22 年度末)]

(a) 活性種生成場と反応場の分離に必要な特性である、急速昇降温、精密温度制御、短滞留時間等が可能なマイクロ反応器の形状設計手法を開発する。

(b) 急速混合および短滞留が可能で、広範囲な活性種寿命に柔軟に対応できるデバイスコンポーネントを開発するとともに複数のパイロットプラントへ実装し、その性能を検証する。

(c) 開発した計測装置を用いた制御・監視システムを開発し、実験プラントへの実装と性能検証を行う。

研究開発項目②「ナノ空孔技術」

1. 研究開発の必要性

高度部材産業を支える機能性化学品の高効率合成には、高選択性を有する分子触媒、酵

素などの利用が必須である。一方、均一相で作用する分子触媒、酵素は生成物への混入を避けることが困難である上、十分な熱的、化学的安定性が得られず、広範な工業的利用には至っていない。分子触媒、酵素の上記問題点を克服し、さらなる触媒性能の向上につなげるためには、ナノ空孔を精密反応場として活用すること、あるいはナノ空孔を有する材料を固定化担体として用い、併せてナノ空孔や担体表面を協働作用場として活用することが必要である。固定化触媒についてはこれまでも多くの研究例が存在するが、触媒性能や安定性での課題が多く、実用化まで至った例は極めて限られている。

本研究開発では、ナノ空孔を利用した反応場の基盤技術を開発し、電子材料、医薬品中間体など高性能・高機能物質・材料の製造に必要な基盤技術を開発した。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため、原則として下記の内容の研究開発を実施した。

(1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発

情報・電子関連機能性化学品を高品質かつ低コストで製造するためには、安価なガスと有機化合物との直接反応といった革新的な高効率プロセスが必須であり、分子触媒とともにナノ空孔の特異な反応場環境を利用した分子移動制御が重要となる。このため、たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料として有用なヘテロ化合物を高効率で製造するためのナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を活かした反応制御技術を開発した。

(2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発

菌体を利用する食品関連機能性化学品の製造では生体触媒としての使用が困難であり、生体触媒の本体である酵素の繰り返し使用を可能とする技術が求められている。同時に、現状技術レベルでは酵素の反応特異性、安定性の向上が高効率製造のためのボトルネックとなっている。上記課題を同時に解決し、食品関連機能性化学品（たとえばアミノ酸類）を高効率で製造するために、酵素をナノ空孔材料に固定し、併せてナノ空孔の持つ反応場の特性と酵素機能を協働的・複合的に利用する技術を開発した。

(3) ナノ空孔固定化触媒の開発

医薬品中間体などの合成反応の多くは、難易度の高い炭素-炭素結合形成反応や不斉合成反応であり、金属錯体などの分子触媒が有効である。しかし、生成物中への残留金属の混入を抑制する（たとえば 1 ppm 以下）ことが困難なため、現在まで実用化例は多くない。上記課題を解決するために、炭素-炭素結合形成反応や不斉合成反応を高効率で促進するナノ空孔固定化触媒を製造するためのナノ空孔材料の制御、分子触媒の設計、分子触媒のリーチング抑制技術を開発した。

(4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立

上記(1)～(3)に共通の基盤技術として、ナノ空孔材料の構造、形態、表面特性等の制御、固定化に適した分子触媒、酵素の設計、分子触媒のリーチング抑制あるいは酵素の繰り返し使用回数の増加を可能にするための固定化手法の開発等を行い、ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用を活かした高度な反応制御を達成した。

3. 達成目標

(1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発

〔中間目標（平成 20 年度末）〕

情報・電子関連機能性化学品として有用なヘテロ化合物の製造において、ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を活かすことにより、現行プロセスに対する優位性を明らかにする。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、現行プロセスに対して優位な原料転化率 50%以上、選択率 80%以上を達成する。

〔最終目標（平成 22 年度末）〕

ヘテロ化合物の製造において、ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を最大限活かすことにより、転化率、選択率を実用レベルまで向上させる。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、実用化の目途となる原料転化率 80%以上、選択率 90%以上を達成する。

(2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発

〔中間目標（平成 20 年度末）〕

食品関連機能性化学品の合成酵素について、ナノ空孔材料への固定化と活性の発現により、現行の非回収プロセスに対して優位が明らかとなる多数回の繰り返し使用を可能とする。たとえば、アミノ酸等の合成酵素では現行プロセスより優位性が明らかとなる 25 回以上の繰り返し使用を可能とする。

〔最終目標（平成 22 年度末）〕

食品関連機能性化学品の合成酵素について、ナノ空孔材料への固定化と活性の発現により、実用レベルの繰り返し使用を可能とする。たとえば、アミノ酸等の合成酵素では実用化の指標となる 50 回以上の繰り返し使用を可能とする。

(3) ナノ空孔固定化触媒の開発

〔中間目標（平成 20 年度末）〕

分子触媒に近い反応効率を達成するとともに触媒リーチング抑制技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応触媒では、低反応性基質を用いて収率 80%以上を達成する。不斉水素化触媒では、分子触媒の不斉収率（ee）の 80%以上を達成する。また両触媒とも、目的物中の低残留金属濃度（1 ppm 程度）を達成する。

〔最終目標（平成 22 年度末）〕

分子触媒レベルの反応効率を達成するとともに実用可能レベルの触媒リーチング抑制技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応触媒では、低反応性基質を用いて収率 90%以上を達成する。不斉水素化触媒では、分子触媒と同等の不斉収率（ee）を達成する。また両触媒とも、目的物中の残留金属濃度について、実用化の目途となる 0.2 ppm 以下を達成する。

(4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立

〔中間目標（平成 20 年度末）〕

ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用発現について、実例を示す。また、ナノ

空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法開発の指針を明らかにする。

〔最終目標（平成 22 年度末）〕

ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用発現について、協働作用発現機構のモデルを提案する。また、工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法を開発する。

研究開発項目③「協奏的反応場技術」

1. 研究開発の必要性

高速かつ高選択的に目的製品を製造する革新的な化学プロセスの開発のためには、間接的な熱供給による単独の反応場技術の利用のみでは限界がある。そこで、マイクロリアクターやナノ空孔反応場技術などの物理的な空間場制御技術に、高温高圧、反応媒体（超臨界流体、極性溶媒等）等の反応場、あるいはマイクロ波、光、電場等の外部エネルギー供給手段などの特異な効果を発現できる独立した反応場を加えた協奏的反応場技術の開発が必要である。

本研究開発ではマイクロリアクターのもつ温度、滞留時間、混合時間の精密制御技術やナノ空孔による協働触媒技術を基盤技術とした協奏的反応場技術を開発し、電子材料、医薬品中間体など高性能・高機能材料の製造に必要な基盤技術を開発した。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため、原則として下記の内容の研究開発を実施した。

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

(a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立

外部エネルギーとして電気あるいは、光、レーザー、超音波、マイクロ波を利用する反応を協奏的マイクロ反応場で実施し、協奏的反応の効果を明確にし、その結果をモデル化して協奏的反応場を選択する時の指針を提供する。また、シミュレーションシステムにより活性種発生場および協奏的マイクロ反応場内の状態を予測し、さらに活性種計測技術を駆使して活性種の発生を制御する手法を開発した。

具体的な協奏的反応場として以下を検討を実施した。

電極反応において、電極間距離の短いマイクロ電解装置の開発、およびマイクロ電解プロセスの開発を行った。また、光反応において、マイクロ光反応装置の開発、および光反応合成マイクロプロセスの開発を行った。さらに、マイクロ波利用に関して、マイクロリアクターとの協奏的反応場を利用した反応装置の開発を行った。また、微少時間負荷が可能というマイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーの特徴を生かしたナノサイズ粒子合成マイクロ反応装置、および反応プロセスの開発を行った。

(b) 高圧とマイクロ流路の協奏的反応場構築技術の開発

高圧反応場では物質の物性、活性種の生成・反応速度を圧力操作で自在に変化できる。この高圧反応場に対応できるマイクロリアクターおよび急速昇温可能な装置を開発し、各種活性種を製造可能な高圧・マイクロ協奏場での活性種生成技術を確立した。また高温・

高圧で特に問題となる腐食性について検討し、従来より耐蝕性に優れたマイクロリアクター構造を提示した。

(2) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

(a) マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発

マイクロ波エネルギーを有効活用するためには反応基質および触媒（ナノ空孔材料）の誘電特性を把握し、十分に制御されたマイクロ波を供給する必要がある。そこで、反応条件下における反応基質および触媒の誘電特性を測定する誘電特性評価装置を開発した。当該装置によって集積したデータを活用し、さらにマイクロリアクターと組み合わせることにより高選択性、高エネルギー効率が得られるマイクロ波利用触媒反応技術を開発した。

(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術の開発

ナノ空孔とマイクロリアクター、マイクロ波、反応媒体（超臨界流体、極性溶媒等）からなる協奏的反応場技術および触媒技術を開発した。

3. 達成目標

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

(a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立

〔中間目標（平成 20 年度末）〕

- 1) 電極間距離が短くエネルギー効率に優れたマイクロ電解装置を開発する。
たとえば電極間距離が $100\ \mu\text{m}$ 以下のマイクロ電解装置を開発する。
- 2) エネルギー効率の高いマイクロ光反応装置を開発する。たとえば光路長が $100\ \mu\text{m}$ 以下のマイクロ光反応装置を開発する。
- 3) 外部エネルギー利用装置設計のための外部エネルギー・熱流体シミュレーション技術を開発する。たとえば マイクロ波利用装置の形状設計に利用可能なマイクロ波・熱流体シミュレーション技術を開発する。
- 4) マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノサイズ粒子合成装置を開発する。たとえば有機ナノ粒子（ $50\ \text{nm}$ 以下）を安定分散した有機溶媒分散液を合成可能にするエネルギーを出力できる装置を開発する。

〔最終目標（平成 22 年度末）〕

- 1) 活性種制御に基づく高効率の実用的マイクロ電解プロセスを開発する。たとえば電流効率が90%以上のマイクロ電解装置を開発する。
- 2) トルエン誘導体の酸化、アミン誘導体の酸化に関するパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。
- 3) 高転換率の実用的光反応合成プロセスを開発する。たとえば転換率が90%以上の光反応合成プロセスを開発する。
- 4) 外部エネルギー・熱流体シミュレーション技術を利用した外部エネルギー利用装置設計手法を開発する。たとえばマイクロ波・熱流体シミュレーション技術を利用したマイクロ波利用装置の形状設計法を開発する。
- 5) 有機化合物の溶媒への溶解性と温度の関係を整理し、マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノ粒子製造プロセスの設計手法を確立する

(b) 高圧との協奏的反応場技術の開発

[中間目標 (平成 20 年度末)]

- 1) 高圧反応場に対応したマイクロリアクター (使用可能圧力 50MPa 以上) および急速昇温可能 (100°C/10 ミリ秒以上) な装置を開発する。
- 2) 従来より 10%以上耐蝕性に優れた高圧用マイクロリアクターを開発する。
- 3) 高圧との協奏的反応場によって各種高機能材料生成に関して、従来技術と比較して、短時間で反応収率を増加させる技術を開発する。

[最終目標 (平成 22 年度末)]

- 1) 高圧、腐食性流体中で使用可能なマイクロリアクターと短時間で混合・反応停止できるマイクロリアクターからなるシステムを開発する。たとえば 50MPa 以上で混合時間 0.01 秒以下のマイクロリアクターからなるシステムを開発する。
- 2) 高圧との協奏的反応場によって各種高機能材料生成のための選択的反応技術を開発する。
たとえば高機能材料として芳香族化合物、選択的反応技術としてニトロ化反応技術を開発する。

(2) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

(a) マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発

[中間目標 (平成 20 年度末)]

- 1) 室温から可能な限り高い温度まで、反応器内に充填した物質の誘電特性が高精度で測定可能な評価装置を開発する。たとえば、温度範囲として常温～300°Cの範囲で比誘電率、誘電体損失角が±5%の精度で測定できる装置を開発する。
- 2) 上記装置を用いてナノ空孔およびマイクロリアクター等との協奏的反応場開発に必要な誘電特性データを集積する。
- 3) 上記誘電体特性データを用いてマイクロリアクター触媒反応技術を開発する。たとえば、マイクロ波加速によるマイクロリアクター触媒反応技術 (触媒量 0.1 モル%以内、反応時間 1 分以内) を開発する。マイクロリアクターを用いて転換率 90%以上の実用展開可能な触媒反応技術を開発する。滞留時間を制御可能なマイクロリアクターを開発する。投入エネルギーに対して高い内部温度上昇効率 (たとえば、70%以上) を達成する反応システムを設計する。また、高い反応率と選択率で位置異性体を合成する触媒反応技術を開発する。

[最終目標 (平成 22 年度末)]

- 1) 実用的マイクロ波利用触媒反応技術を開発する。たとえば、反応系の特徴を考慮したマイクロリアクター設計手法を確立する。また、40%以上のエネルギー有効利用 (現状 20~30%) を可能とするマイクロ波照射技術を開発する。また、実用レベルの転化率で選択的に位置異性体を合成する触媒反応技術 (たとえば、機能性高分子原料となる多官能性化合物の合成では転化率 40%以上かつ選択率 70%以上) を開発する。

(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術の開発

[中間目標 (平成 20 年度末)]

1) 特異的なマイクロ波吸収能を有するナノ空孔触媒を反応媒体（超臨界流体、極性溶媒等）と組み合わせた協奏的反應場技術を構築する。たとえば、水を反応媒体、水素源、酸素源とする還元反應（轉化率、選擇率 60%以上）、酸化反應（轉化率、選擇率 40%以上）を達成する触媒技術を開発する。

2) 研究開発項目②（1）-（3）で実施するナノ空孔反應場利用技術に適用可能なマイクロリアクター、マイクロ波および反應媒体利用についての技術課題を明確化するとともに、触媒反應における協奏的反應場利用の基盤技術を開発する。

[最終目標（平成 22 年度末）]

1) マイクロ波エネルギーを高い効率で吸収するナノ空孔触媒を活用した実用レベルの高選擇触媒反應技術を開発する。たとえば、水等の反應媒体を化学原料とする還元反應、酸化反應において 95%以上の轉化率、選擇率を達成する。

2) 研究開発項目②（1）-（3）で実施するナノ空孔反應場利用技術にマイクロリアクター、マイクロ波および反應媒体利用触媒反應技術を適用し、実用レベルでの性能を達成する。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反應場利用により、実用化の目途となる原料轉化率 80%以上、選擇率 90%以上を達成する。また、アミノ酸等の合成酵素について、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反應場利用により、実用化の目途となる 50 回以上の繰り返し使用を可能とする。さらに、協奏的反應場利用により、炭素-炭素結合形成反應触媒の性能として、低反應性基質を用いて収率 90%以上、不斉水素化触媒の性能として、分子触媒と同等の不斉収率（ee）を達成する。

研究開発項目④「マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反應場技術を利用したプラント技術の開発」

1. 研究開発の必要性

新規に開発した機能性化学品を製品用途に展開するためには、各化学品に対応した製造技術の開発が必要不可欠である。本研究開発はマイクロリアクターの特徴である精密制御可能な反應場、ナノ空孔反應場による協働触媒技術および物理的な空間場制御技術とエネルギー供給手段、反應媒体を組み合わせた協奏的反應場を幅広く工業的に利用可能とし、電子材料、医薬品中間体などの機能性化学品を、生産可能とするプラント技術を、助成事業により実施した。

2. 研究開発の具体的内容

目標を達成するため、原則として下記の内容の研究開発を実施した。

（1）マイクロリアクター技術

（a）活性種生成・反應場を分離したマイクロプラントの構築

事業化候補の新規機能性部材を創成、もしくは従来ある部材の製造コストを削減可能な

マイクロパイロットプラントを構築し、実用化検証を行った。たとえば、複数の化合物を別々に活性化し、その活性種を順次、連続的に反応系に導入することでジアリールエテン類や芳香環・ヘテロ芳香環ダイマー・オリゴマー等の新規電子材料部材製造用機能性化学品を合成する活性種生成場・反応場分離型マイクロリアクタープラントを開発した。とくに有機金属活性種生成／高速カップリング反応／高速冷却等を組み合わせた活性種生成場・反応場分離型マイクロリアクタープラントを中心に開発を行った。

(2) ナノ空孔技術

(a) ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用したプラント技術の開発

事業化候補の情報・電子関連機能性化学品(たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物あるいは有機硫黄化合物)を、ナノ空孔材料と分子触媒との協働効果を利用して、安価な原料から高効率で工業的に製造するための技術を開発した。また、事業化候補の食品関連の機能性化学品(たとえば、アミノ酸類)を、ナノ空孔材料と酵素を組み合わせることで用いることにより、高効率かつ低コストで工業生産するための技術を開発した。より具体的には、アミノ酸製造にあたり高価な原料の安価な原料への転換を可能とするために必要な、補酵素類を製造するための技術を開発した。さらに、事業化候補として機能性化学品合成反応(たとえば、炭素-炭素結合形成反応や不斉合成反応)を高効率で促進可能なナノ空孔材料に活性金属を固定化した工業触媒製造技術を開発した。

(3) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

(a) 外部エネルギー利用協奏的反応場技術の開発

外部エネルギーとして、電気あるいは、光、レーザー、マイクロ波を利用する反応を協奏的マイクロ反応場で行うマイクロパイロットプラントを構築し、実用化検証を行なった。たとえば、電極反応について、活性種が発生する際の電流効率が高い製造プロセスの構築、および各種材料の酸化反応に関するパイロットプラントの構築を行った。また、光化学反応のパイロットプラントを構築し、連続運転を実施した。さらに、マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノサイズ粒子合成装置を組み込んだナノ微粒子を連続製造可能なプラントを開発した。

(b) 高圧との協奏的反応場技術の開発

高機能材料を製造するパイロットプラントを構築し、数時間の連続運転を達成した。

(4) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

(a) マイクロ波およびマイクロリアクターとの協奏的反応場技術の開発

各種遷移金属触媒カップリング反応のパイロットプラントを構築し連続運転を実施した。

(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体との協奏的反応場技術の開発

ナノ空孔触媒とマイクロリアクター、マイクロ波あるいは反応媒体とからなる協奏的反応場に適したプロセスを開発した。これにより情報・電子材料、食品および医薬品中間体等各種機能性化学品の高効率製造技術を構築した。

3. 達成目標〔最終目標(平成22年度末)〕

(1) マイクロリアクター技術

(a) 活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築

活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築を行う。たとえば、非対称ジアリールエテン誘導体製造などの新規機能性部材を対象に、連続反応転換率 40%を実現する合成技術を確立するとともに、3kg/月スケールのパイロットプラントを開発する。また、芳香環・ヘテロ芳香環ダイマー・オリゴマー等の電子材料部材製造用機能性化学品の位置選択的合成技術に関して、製造コストを現行の 2/3 に低減できるプラントを開発する。以上、新規機能性ニーズに対応できる活性種生成場・反応場を分離したマイクロ反応技術に基づくパイロットプラントを 2 機以上構築し、部材製造コストの 30%削減、実用化検証を行う。

(2) ナノ空孔技術

(a) ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用したプラント技術の開発

情報・電子関連機能性化学品、食品関連機能性化学品を、高効率かつ低コストで工業生産するためのプラント技術を開発する。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物について、後述の協奏的反應場技術を用いて、1 ユニット当たりの生産能力 10 g /分以上の反応システムを開発する。

食品関連の機能性化学品等の製造プロセスにおいて、補酵素合成系を利用するプロセスの実用性を実証する。また、機能性化学品合成反応を高効率で促進可能な工業触媒製造技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応用ナノ空孔固定化触媒または不斉合成反応用ナノ空孔固定化触媒について、パイロットスケールでの製造を実証する。後述の協奏的反應場を活かしたナノ空孔固定化触媒利用システムを開発する。

(3) マイクロリアクターと協奏的反應場技術の開発

(a) 外部エネルギー利用協奏的反應場技術の開発

- 1) 電場との協奏的反應場技術の開発においては、たとえば、3 種以上の材料の酸化反応に関するパイロットプラントを構築し、連続運転を行う。
- 2) 光との協奏的反應場技術の開発においては、たとえば、光環化付加、光異性化等のパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。
- 3) マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたパイロットプラントを構築する。たとえば、有機ナノ粒子を連続製造可能で、粒子サイズ 50 nm 以下、濃度 1 wt % 以上、50 t /年以上のパイロットプラントを開発する。

(b) 高圧との協奏的反應場技術の開発

- 1) 反応性に富んだ活性種であるニトロ基を基軸にした高機能材料を製造する実証プロセスを構築し数時間の連続運転を実施する。

(4) ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発

(a) マイクロ波およびマイクロリアクターとの協奏的反應場技術の開発

- 1) 実用的各種遷移金属触媒カップリング反応のパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。

(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体との協奏的反應場技術の開発

- 1) ナノ空孔を利用した各種協奏的反応場を活用した、電子・情報材料、食品等各種機能性化学品の高効率製造システムを構築する。

Ⅱ-2. 1. 2 全体スケジュールと予算

全体スケジュール

| 研究開発項目 | | スケジュール | | | | |
|----------------|---|---|-----|-----|-----|-----|
| | | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
| 共通 基盤 技術 | ① マイクロリアクター技術 | 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立 | | | | |
| | | 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発 | | | | |
| | ② ナノ空孔技術 | ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔固定化触媒の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の開発 | | | | |
| | ③ 協奏的反応場技術 | マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発 | | | | |
| 実用 化 技術 | ④ マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発 | 活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築 ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用したプラント技術の開発 | | | | |
| | | 外部エネルギー利用協奏的反応場技術の開発 高圧との協奏的反応場技術の開発 ナノ空孔子における協奏的反応場技術の開発 | | | | |

開発予算

(百万円)

| | 開発項目*) | H18 (実績) | H19 (実績) | H20 (実績) | H21 (実績) | H22 (実績) | 総額 |
|------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| 予算 | ① | 107 | 93 | 72 | 83 | 65 | 420 |
| | ② | 109 | 126 | 129 | 87 | 70 | 521 |
| | ③ | 372 | 318 | 279 | 149 | 101 | 1219 |
| | ④ (助成) | | | 13 | 125 | 61 | 199 |
| 総予算額 | | 588 | 537 | 493 | 444 | 297 | 2359 |
| 加速予算 | | 178 | 68 | 107 | | | 352 |
| 総計 | | 766 | 605 | 600 | 444 | 297 | 2711 |

*) ①マイクロリアクター技術、②ナノ空孔技術、③協奏的反応場技術、
④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術及び協奏的反応場技術を利用した
プラント技術

本事業の開発予算推移を図2-1に示す。

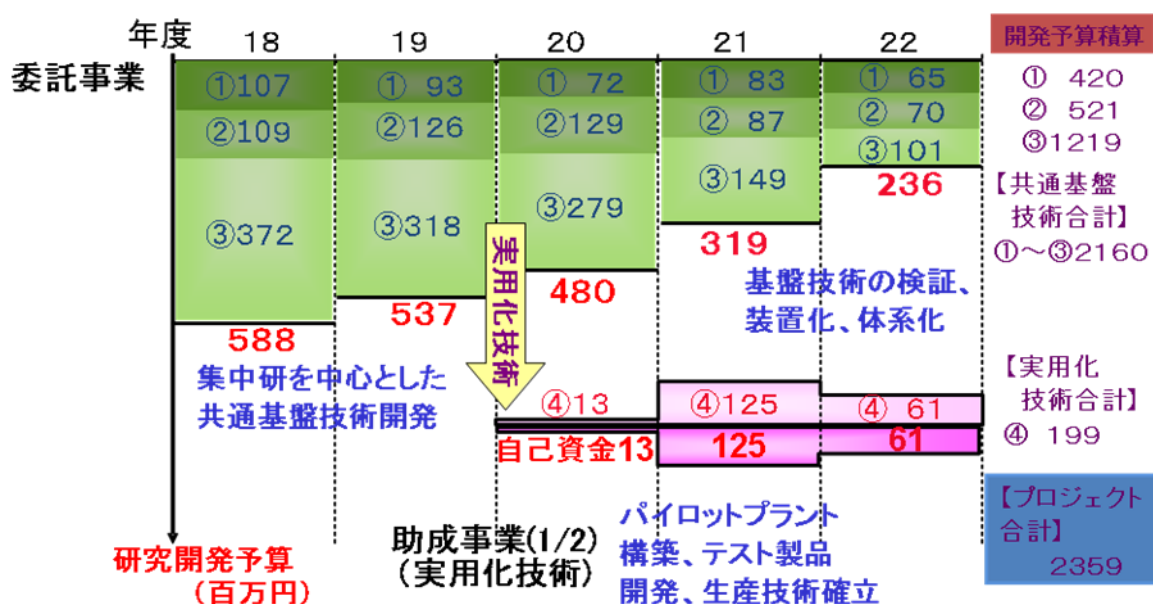
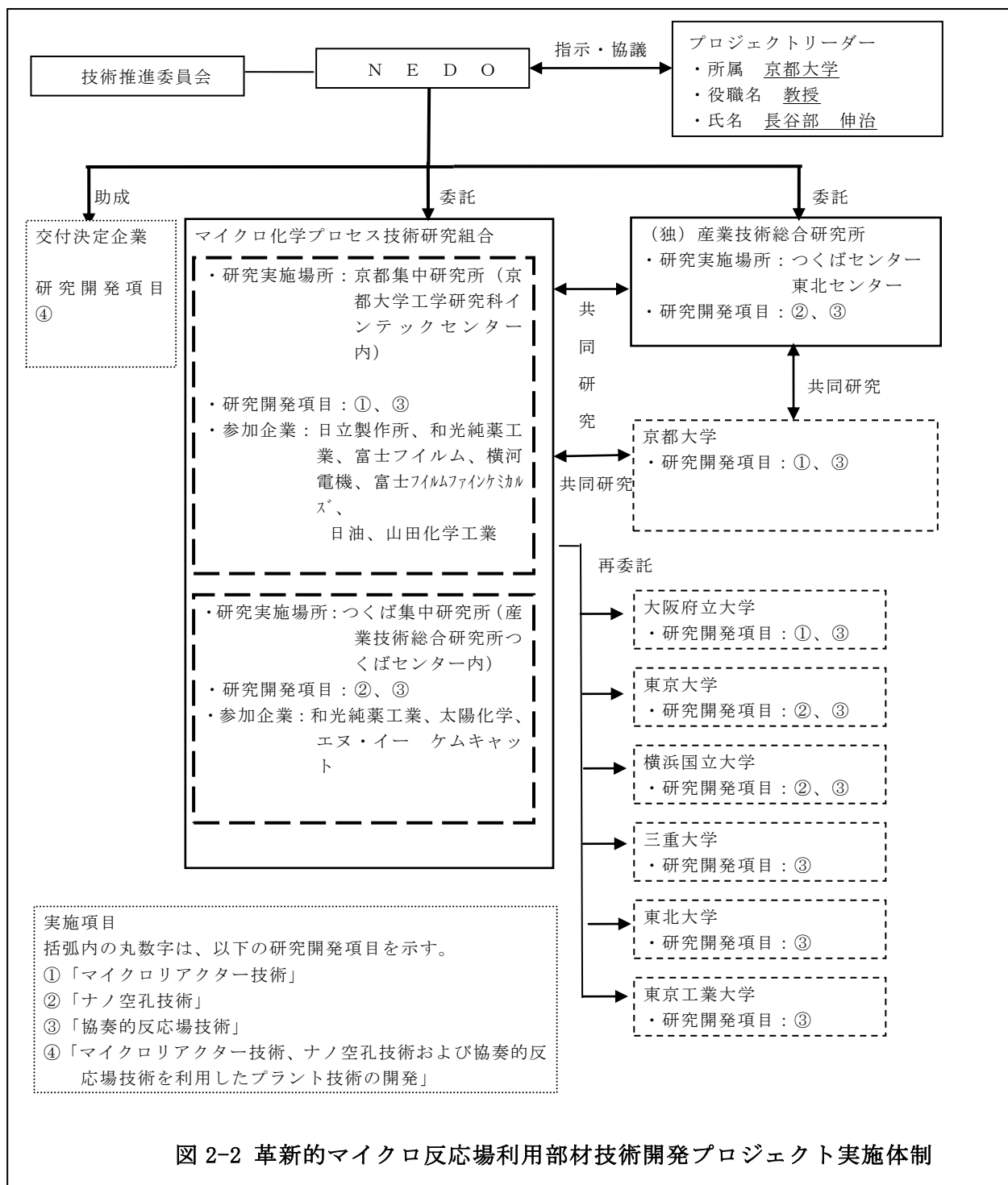


図2-1 開発予算推移

II-2.2 研究開発の実施体制

上記の目的を達成するため、国立大学法人 京都大学 教授 長谷部 伸治をプロジェクトリーダーとし、独立行政法人 産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門長 島田 広道をサブリーダーとして、以下の実施体制で事業を推進した。(図2-2)

実施体制



また、図 2-3 は、研究開発項目で整理した体制である。本プロジェクトでは、その期間の前半に基盤技術の構築に注力し、その成果を使って後半では、市場に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される④の事業を、助成（助成率 1/2）により実施した。平成 20 年度より日油株式会社、平成 21 年度よりエヌ・

イーケムキャット株式会社、太陽化学株式会社、山田化学工業株式会社、和光純薬工業株式会社、株式会社日立製作所が助成事業を開始した。

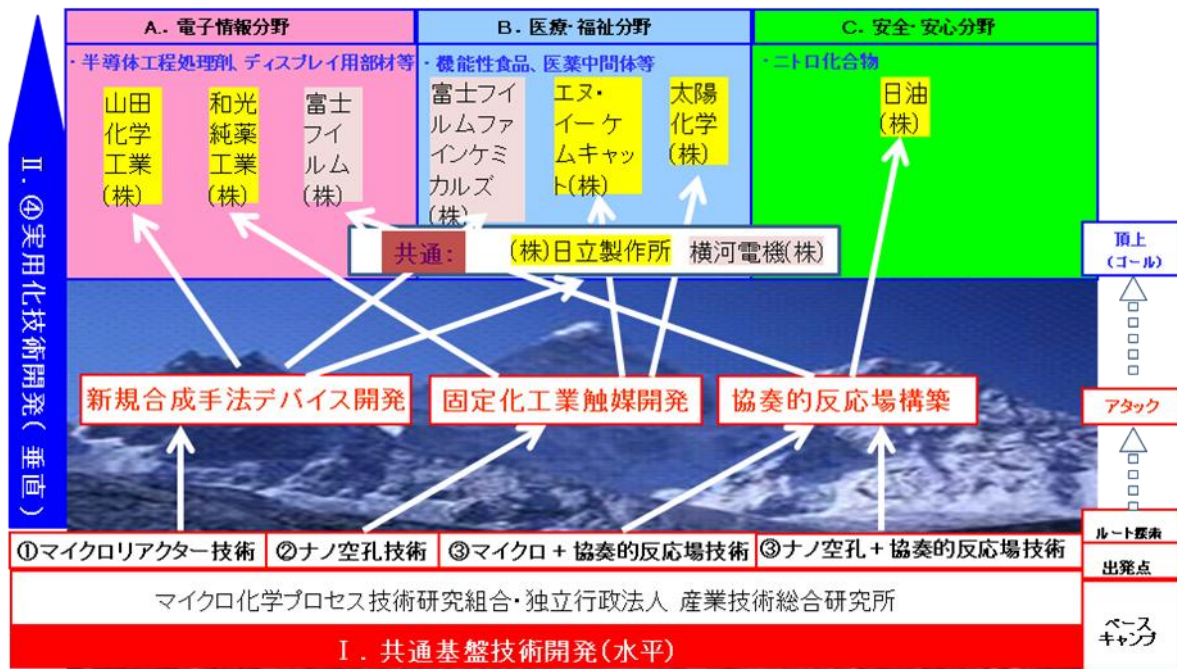


図 2-3 開発項目の位置付け

II-2.3 研究の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、本プログラムの目的、並びに、本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施した。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させた。

また、プロジェクト運営管理にあたり、特に以下の点に留意した。

1. プロジェクトのマネジメント

(1) 情報管理

- ・プロジェクト内で実用化、事業化のアウトプットが重複しない体制を構築

(2) 基盤技術研究+実用化研究のハイブリッド型

- ・基盤技術研究成果が直ぐに実用化、事業化に結びつくように、開発進捗の著しいテーマについては、助成事業として支援

(3) 目覚ましい成果の期待できるテーマに関しては、研究加速財源を配分

2. 知財のマネジメント

(1) 企業による出願

- ・特許に関しては、プロジェクト終了時にスムーズな事業化に繋がるよう出願時より企業に帰属するよう取り決めを実施。また、ノウハウについては各企業で特許出願の良否を判断した。

プロジェクトリーダー

NEDO が実施・管理を行う当該プロジェクトのより効率的な研究開発の推進を図るため、研究開発の現場において指示・指導・調整の任にあたり、研究開発計画原案の策定、研究成果のとりまとめ等の役割をプロジェクトリーダー（P L）として国立大学法人 京都大学 教授 長谷部 伸治のもと、本プロジェクトを推進した。

P L の役割を以下に挙げる。

表 3-1 プロジェクトリーダー（P L）の役割

| | |
|--------------------|---|
| 組織関係 | <ul style="list-style-type: none"> ● 研究体の研究室の設置、廃止等の組織構成の決定 ● 研究体のサブ研究リーダーの選任と解任 |
| 研究体所属研究者関係 | <ul style="list-style-type: none"> ● 大学、産総研、企業が提出する研究者候補リストの中からの研究体所属研究者の選任 ● 研究体所属研究者の任期の設定および変更に関する調整 ● 研究体所属研究者の担当研究項目の決定 ● その他研究体所属研究者の総合的な統括 |
| 予算、研究場所、研究設備および装置等 | <ul style="list-style-type: none"> ● 実施時における予算の配分の調整 ● 研究体の活動に割り当てられた研究場所の配分、模様替え等の調整 ● 研究設備および装置等の使用範囲等の調整 |
| 研究計画および報告 | <ul style="list-style-type: none"> ● 年度毎の概算要求案（年間研究計画書案、実施計画書案の策定） ● 研究計画の変更（実施計画書変更申請案の策定） ● 軽微な研究計画の変更（実施計画書変更届出書の策定） ● 研究経過の報告（成果報告書案、その他必要に応じた研究報告書案の策定） ● 研究終了報告（研究終了報告書案の策定） |
| 研究評価 | <ul style="list-style-type: none"> ● 研究内容の研究体内での評価 ● 研究者の研究体内での評価 |
| 研究成果 | <ul style="list-style-type: none"> ● 別途定める研究体知的財産権取扱規程の施行およびその遵守に関する指導管理 ● 論文発表等による公開を、知的所有権による保護に優先させるか否かの判断 |
| 第三者との共同研究、研究者等の招聘 | <ul style="list-style-type: none"> ● 第三者との共同研究の実施と管理（①共同研究および共同研究契約に対する要望事項の取り纏め、②共同研究契約書案の策定、③各種報告書案の策定） ● 外部研究者（産総研、大学、企業等）の調整および選任 |
| その他 | <ul style="list-style-type: none"> ● 研究体の研究活動推進のための総合調整 ● 経済産業省、NEDO、大学、企業に置かれた各種関係会議への対応、総括 ● ワークショップ、シンポジウム等、事業計画の策定および実施 |

技術推進委員会

技術推進委員会は平成19年度から1回開催され、その開催実績を下記に示した。

第一回技術推進委員会

- ・評価の実施時期
平成19年4月23日
- ・評価手法
外部有識者による評価
- ・評価事務局
NEDOナノテクノロジー・材料技術開発部（現：電子・材料・ナノテクノロジー部）
- ・評価項目・基準
評価項目を以下に示す。
 - 1) マイルストーンについて
 - 2) 研究開発成果について
 - 3) 実用化の見通し

第一回技術推進委員会外部有識者委員

| | 氏名（敬称略） | 所属・役職 |
|----|---------|-------------|
| 委員 | 吉田 邦夫 | 東京大学 名誉教授 |
| 委員 | 瀬田 重敏 | 東京農工大学 客員教授 |
| 委員 | 松方 正彦 | 早稲田大学 教授 |
| 委員 | 小坂田 耕太郎 | 東京工業大学 教授 |

（敬称略・順不同）

総合調査研究委員会

プロジェクト全体での包括的な研究内容に関する討議とその進捗状況の把握、問題点の検討を目的に、総合調査研究委員会を実施した。開催実績を下記に、また、委員名簿を表3-2に示した。

総合調査研究委員会の開催実績

○平成18年度

第一回：平成18年12月25日

包括的に研究内容の進捗状況を把握すると共に、研究内容の方向付けに関する討議と問題点等を検討

第二回：平成19年3月12日

18年度の研究進捗状況と成果について把握すると共に、次年度（19年度）における研究実施計画等を検討。

○平成19年度

第三回：平成20年3月14日

19年度の研究進捗状況と成果について把握すると共に、次年度（20年度）における

研究実施計画等を検討。また、平成 20 年度に予定される中間評価に向けた諸準備について討議。

○平成 20 年度

第四回 : 平成 21 年 2 月 3 日

平成 20 年 8 月に実施された「中間評価」結果での指摘（両集中研間での連携緊密化）に対する対処方法について討議。また、現行複数年度契約（18 年度-21 年度）の 2 年間延長（22 年度まで）による 21 年度・22 年度の研究実施計画等を検討。

○平成 21 年度

第五回 : 平成 22 年 2 月 1 日

平成 22 年度予算案が改要求になり、概算要求時に比して 3 割削減となった状況を踏まえ実施計画内容を討議し、プロジェクト基本計画の見直し要請などは行わないことを確認。

○平成 22 年度

第六回 : 平成 23 年 1 月 24 日

プロジェクトにおいて取得した研究開発資産の処分案について検討し、原案通り N E D O へ要望することを了承。また、最終成果報告の取り纏め方法を検討。「事後評価」の対応について想定されるスケジュール等を確認。

表 3-2 : マイクロ化学プロセス技術研究組合 総合調査研究委員会 委員名簿

(平成 23 年 1 月 24 日現在)

| 委員 | 氏名 | 所属・役職名 等 |
|------|--------|---|
| 委員長 | 長谷部 伸治 | 京都大学 大学院工学研究科 化学工学専攻 教授 |
| 副委員長 | 島田 広道 | (独) 産業技術総合研究所 つくばセンター 次長 |
| 委員 | 前 一廣 | 京都大学 地球環境学堂 地球親和技術学部 教授 |
| 委員 | 吉田 潤一 | 京都大学 大学院工学研究科 合成・生物化学専攻 教授 |
| 委員 | 安田 弘之 | (独) 産業技術総合研究所 環境化学技術研究部門 分子触媒グループ長 |
| 委員 | 杉山 順一 | (独) 産業技術総合研究所 ナノシステム研究部門 主任 研究員 |
| 委員 | 高木 由紀夫 | エヌ・イー ケムキャット (株) 化学触媒事業グループ 化学触媒技術センター センター長 |
| 委員 | 飯沼 芳春 | 山田化学工業 (株) 開発部長 |
| 委員 | 磯崎 克己 | 横河電機 (株) 先端技術研究所 所長 |
| 委員 | 田中 巧 | 和光純薬工業 (株) 化成品事業部 化成品開発本部長 取締役執行役員 |

成果報告会

プロジェクトの研究開発成果を関係者全員が報告し、技術的な観点で討議し、今後の進め方に反映させることを目的に、成果報告会を実施した。開催実績を下記に示す。

成果報告会の開催実績

- 第一回 : 平成 19 年 6 月 13 日 於) (社) 日本化学会 化学会館
- 第二回 : 平成 21 年 6 月 29 日 於) (社) 日本化学会 化学会館
- 第三回 : 平成 23 年 3 月 5 日 於) 明治大学 紫紺館

その他

京都、つくば両集中研間の情報交換及び共同研究の促進を目的として、ジョイントミーティングを実施した。

(平成19年3月24日、平成19年6月13日、平成19年10月23日 開催)

更に、マイクロリアクター技術/協奏的反応場技術の開発を進める京都集中研究所研究者とナノ空孔技術/協奏的反応場技術の開発を進めるつくば集中研究所研究者との協力を密にするため、交流会を実施した。

交流会の開催実績を下記に示す。

- 第1回 平成20年12月18日 於: つくば市 産総研第5事業所内 5-1棟内会議室
- 第2回 平成21年6月29日 於: 東京 日本化学会 化学会館内会議室
- 第3回 平成21年10月21日 於: 京都市 京都大学桂キャンパス 桂インテックセンター内会議室
- 第4回 平成22年11月1日 於: 東京 中央大学 駿河台記念館内会議室
- 第5回 平成23年3月5日 於: 東京 明治大学 紫紺館内会議室

また、各集中研内での報告会については毎月実施した。

II-3. 情勢変化への対応

プロジェクトの運営管理として、進捗状況や技術推進委員会の結果をふまえ、目覚ましい技術的成果を上げ、年度内に更なる追加配分を行い、加速的に研究を進捗させることにより、当該技術分野における国際競争上の優位性が確立できることが期待されるテーマに関して、研究加速財源の配分を行った。加速財源の配分実績を以下にまとめた。

研究加速財源の配分の実績

○ 平成18年度

| 開発項目 | 加速案件 | 金額 |
|------|---------------------|--------|
| ①、③ | 高速反応解析装置の導入 | 35 百万円 |
| ② | 分子触媒単離装置 | 10 百万円 |
| ② | 固定化分子触媒解析装置(固体NMR) | 88 百万円 |
| ② | ナノ空孔構造解析装置の導入 | 11 百万円 |
| ③ | 高温高圧デバイス検証システムの導入 | 22 百万円 |
| ③ | 加熱炉の導入 | 3 百万円 |
| ③ | ベクトルネットワークアナライザーの導入 | 11 百万円 |

○ 平成19年度

| 開発項目 | 加速案件 | 金額 |
|------|-------------------------|--------|
| ① | 多目的ミゼットプラント(反応時間制御型)の導入 | 26 百万円 |
| ② | 反応熱量計、安全性評価試験 | 17 百万円 |
| ② | 触媒成分性能評価装置の導入 | 14 百万円 |
| ② | 低周波数プローブの導入 | 12 百万円 |

○ 平成20年度

| 開発項目 | 加速案件 | 金額 |
|------|------------------------|--------|
| ① | 温度・滞留時間可変迅速評価システムの導入 | 14 百万円 |
| ① | 連続合成装置実験用原料試薬の委託合成 | 9 百万円 |
| ② | 高圧反応解析用高分解能NMR装置の導入 | 52 百万円 |
| ③ | 連続測定型ガスクロマトグラフ質量分析計の導入 | 10 百万円 |
| ③ | 電磁界エネルギー供給評価装置の導入 | 22 百万円 |

II-4. 中間評価結果への対応

平成20年8月4日に「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」中間評価分科会(分科会会長:五十嵐 哲 工学院大学教授)により中間評価が実施され、同分科会の中間評価報告書は第18回研究評価委員会(平成20年9月24日開催)において了承された。

同分科会報告書では、総合評価として「産学官一体となり、有機合成、触媒化学、反

応工学、化学工学の専門家が協奏して新しい概念と成果を創出しており、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反応場構築ともに、中間での研究成果も目標を達成している項目がほとんどで全体として順調に研究開発が進展していると判断する。」とされ、概ね現行通り実施して良いとの評価であった。

また、今後に対する提言として「今後は実用化研究が主体となると考えるが、個々の目標は明確であり、プロジェクト終了時点で実用化可能となるテーマが少しでも多くなるように期待する。なお、マイクロリアクター技術とナノ空孔技術の開発が、やや独立に行われている感があり、マイクロ波利用など、共通開発要素を中心としてより協力を密にして相乗効果が表れることを期待する。」とされた。

このため、マイクロリアクター技術/協奏的反応場技術の開発を進める京都集中研究所研究者とナノ空孔技術/協奏的反応場技術の開発を進めるつくば集中研究所研究者との協力を密にする方策として、交流会（ジョイントミーティング等）を半年に1回以上実施することとした。

交流会の開催実績を下記に示す。

| | | | | |
|-----|-------------|--------|------------|----------------|
| 第1回 | 平成20年12月18日 | 於：つくば市 | 産総研第5事業所内 | 5-1棟内会議室 |
| 第2回 | 平成21年6月29日 | 於：東京 | 日本化学会 | 化学会館内会議室 |
| 第3回 | 平成21年10月21日 | 於：京都市 | 京都大学桂キャンパス | 桂インテックセンター内会議室 |
| 第4回 | 平成22年11月1日 | 於：東京 | 中央大学 | 駿河台記念館内会議室 |
| 第5回 | 平成23年3月5日 | 於：東京 | 明治大学 | 紫紺館内会議室 |

II-5. 評価に関する事項

NEDOは、国の定める技術評価に係わる指針及びNEDOが定める技術評価実施要領に基づき、技術及び実用化の観点から、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などについて、外部有識者による研究開発の中間評価を平成20年度、事後評価を平成23年度に実施した。

Ⅲ. 研究開発成果について

Ⅲ-1. 事業全体の成果

Ⅲ-1.1 プロジェクトの背景

1) プロジェクトの背景

我が国の化学産業の進む方向として、汎用化成品の生産から高付加価値製品の多品種少量生産への転換が叫ばれて久しい。高付加価値製品の生産においては、工程数が増えまた反応も複雑になることから、大量の廃棄物や副製品が生じることが避けられない。一方、CO₂削減、廃棄物削減、PRTP物質に代表される化学物質のリスク削減が求められている。

このような状況で、高付加価値製品を廃棄物をできるだけ出さないように生産するためには、既往の生産法、廃棄物処理法の改良では困難であり、生産プロセスの革新や全く新しい発想での反応場の創製が求められるようになってきた。

マイクロ化学プロセスのコンセプトは海外で生まれたものであるが、我が国においても十数年前より研究開発に積極的且つ組織的に取り組んできた。特に、平成14～17年度に実施された「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」では、マイクロ流路を利用した温度均一性や混合均一性といった空間均一性により反応制御が可能であることを見いだした。そして、この特徴を利用することにより、これまでに比べオーダーの異なるレベルでの収率の向上や副製品の削減、エネルギー消費量の削減の可能性が提示された。この成果をさらに検討した結果、活性種の生成場を反応場から分離し、それぞれを独立に制御することにより、合成過程の簡略化や収率の向上など極めて効率的な化学品製造技術に繋がること became 明らかになった。また、近年メソポーラスシリカに代表される構造規則性ナノ空孔材料の技術進歩がめざましく、化学品製造のための反応場としての利用が期待されるようになった。

■次世代化学産業に何が求められているか

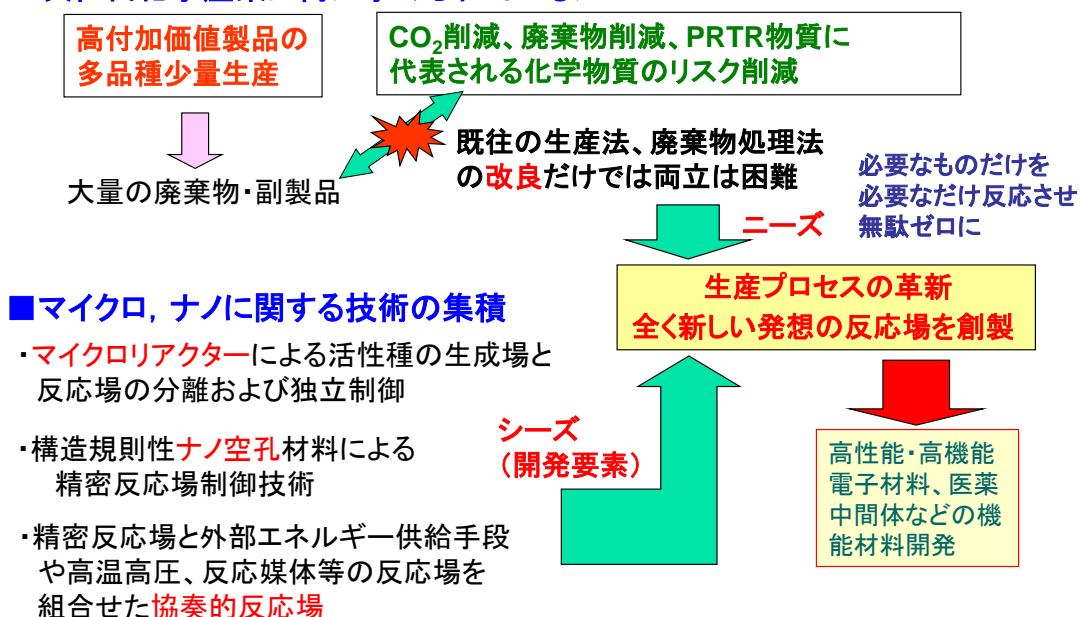


図1-1 マイクロリアクター・ナノ空孔技術の必要性

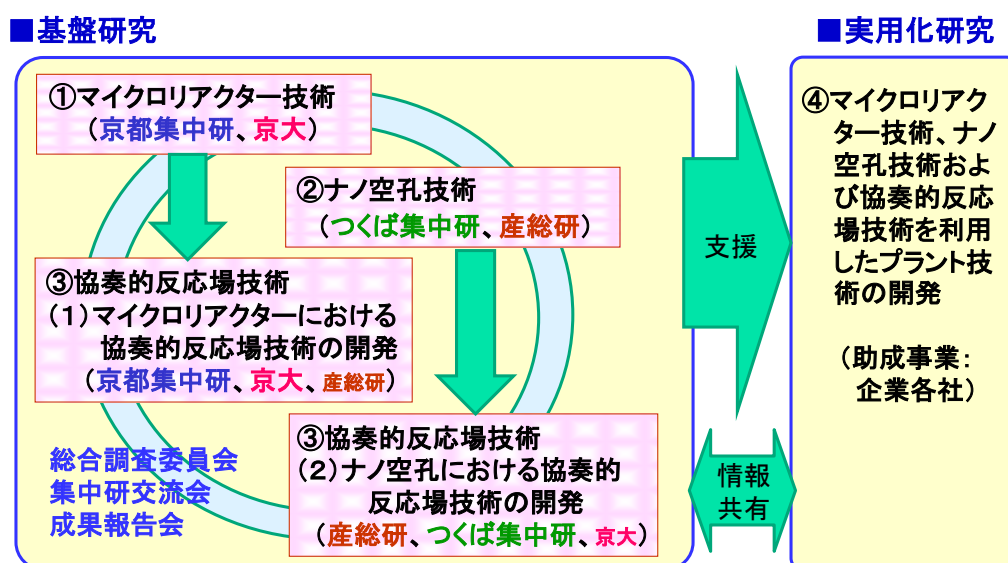
さらにマイクロリアクター（マイクロ化学プロセス）技術、ナノ空孔技術等の精密反応場技術と外部エネルギー供給手段や高温高圧、反応媒体等の反応場を組合せた協奏的反應場技術を確立することにより、革新的な化学プロセスの基盤技術が開発でき、プロセス革新と新機能材料創製技術の実現に大きく寄与すると考えられる。このような点をふまえ、本事業に取り組んだ。

2) 研究開発項目と体制

本プロジェクトは、①マイクロリアクター技術、②ナノ空孔技術、③協奏的反應場技術の3つの基盤研究テーマと、実用化研究である④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反應場技術を利用したプラント技術の開発、から構成される。③協奏的反應場技術については、さらに（1）マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発と、（2）ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発、に分け、研究を遂行した。基盤研究は、京都とつくばに設置した集中研究所において、企業からマイクロ化学プロセス技術研究組合に出向した研究員と京都大学及び産業技術総合研究所の研究員が協力して行った。また、一部の内容については、東北大学、東京大学、東京工業大学、横浜国立大学、三重大学、大阪府立大学に再委託した。

研究開発項目と、それを主に担当した研究機関を図1-2に示す。研究はつくばと京都で分かれて行ったが、総合調査委員会、集中研交流会、成果報告会を頻繁に開催し、相互の意思疎通と研究成果の共有を図った。

基盤研究の成果をふまえ、平成20年度より（多くの企業は平成21年度より）実用化研究を開始した。実用化研究は各企業がそれぞれの企業内で実施したが、実用化研究担当研究者と基盤研究担当研究者が密に連絡が取れる体制を維持し、確実に目標が達成できるよう配慮した。以下、各研究開発項目毎に成果の概要を説明する。



集中研：マイクロ化学プロセス技術研究組合集中研究所

図1-2 研究開発項目と体制

Ⅲ-1.2 成果の概要

1. マイクロリアクター技術

(1) 成果の概要

本研究開発項目の目的は、マイクロリアクター中で活性種の生成場と反応場を分離し、急速混合、急速加熱・冷却、急速移動、極短反応時間制御などにより、活性種の化学反応を制御する基盤技術を確立すること、およびその技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬品中間体などの製造に必要な材料を開発することである。図2-1に基本となる反応系のコンセプトを示す。望ましい物質のみを活性化することで、効率や選択率の向上が期待できる。

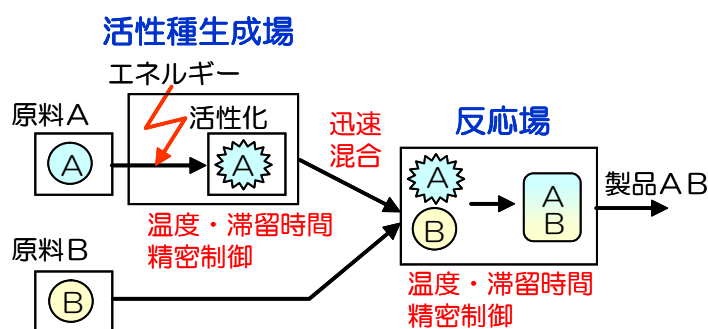


図2-1 活性種生成場と反応場の分離

この目的を達成するため、1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立、2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発、の2つの項目に関する研究を実施した。前者は、活性種生成場と反応場を分離するというコンセプトが効率よく利用できる実用的反応系の探索と急速混合技術の開発・評価に関する研究である。異なる2つのアリアル基をもつ非対称型ジアリアルエテンの合成に成功するなど、従来法では合成できない種々の物質の合成に成功しており、上記のコンセプトの妥当性を検証している。また、後者は、活性種生成場と反応場を分離するというコンセプトに基づくデバイス、システム開発に関する研究である。中間目標として設定された混合時間や昇降温速度を上回る様々な構造のデバイス開発に成功している。これらのデバイスは他の研究開発項目で既に利用されている。

本研究開発項目に関して得られた成果を、研究開発小項目毎に、表2-1にまとめる。

表2-1 研究開発項目①の成果のまとめ

| 研究開発項目 | 研究開発内容 | 顕著な成果 |
|------------------------------|---|--|
| ①-1-1 炭素アニオン種の生成・反応技術の集積化 | マイクロリアクターを用いて、炭素アニオン種の発生と反応場を分離するとともに、このプロセスを集積化することにより、炭素アニオン種を用いた機能性材料の革新的製造法を開発する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ混合器4つ、マイクロチューブリアクター4つを集積化した装置を開発し、異なる2つのアリアル基をもつ非対称型ジアリアルエテンの合成に成功した。また、連続合成装置の構築も行った。 ・さらに、様々なヘテロアリアル化合物のハロゲン-リチウム交換反応と生成したリチウム種を使ったジアリ |

| | | |
|---|--|--|
| | | <p>ールエテン合成の各段階の反応条件最適化を行うことで、各種活性種の安定性や反応性の違いに基づく、対称および非対称ジアリールエテンの高効率なマイクロリアクター合成の基盤技術を構築した。</p> |
| <p>①-1-2 有機金属と触媒を用いたマイクロ協奏場反応技術開発</p> | <p>触媒を用いて有機金属活性種と求電子化合物とのクロスカップリング反応を行うためのマイクロ協奏場反応技術の開発を行う。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ハロゲン-リチウム交換反応を 0 °C で、クロスカップリング反応を 50 °C で行うことにより対応するクロスカップリング生成物を 72% の収率で得ることに成功した。また、ミゼットプラントを構築した。 |
| <p>①-1-3 超炭素アニオン種の生成・反応技術</p> | <p>超不安定活性種として σ-ブromoフェニルリチウム種を選び、その制御技術の開発を行う。そして、その技術をもとに、活性種の寿命と混合を含めたマイクロフロー系による制御の関係を体系化する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> σ-ブromoフェニルリチウム種を -78 °C で発生させ、分解させることなく親電子剤反応させることのできるマイクロフローシステムを構築した。また、温度と滞留時間のマッピング法を確立した。さらに、集積化マイクロフロー系を用いることによりハロゲン-リチウム交換反応および親電子剤との反応を 2 回連続して行い、σ-二置換ベンゼンを効率よく合成する方法を開発した。 アルコキシカルボニル基、シアノ基、ニトロ基等の求電子性の高い官能基をもつアリールリチウム種（超不安定アニオン種）を発生させ、分解させることなく親電子剤反応させることのできるマイクロフローシステムを構築した。 滞留時間-温度マップのデータに基づき、各種不安定有機リチウム活性種寿命に基づく効率的分子変換を行うための基本技術を確立した。 |
| <p>①-1-4 炭素ラジカル種の生成・反応技術 (i) ドーマント種を用いる方法</p> | <p>触媒量のキャッピング剤を用いて炭素ラジカル種とドーマント種との平衡を構築し、この平衡反応を利用して炭素ラジカルを実質的に安定化することにより、活性種生成場と反応場の分離技術の開発を行う。</p> | <ul style="list-style-type: none"> トリチルクロライドによるラジカル生成平衡制御法や、ルテニウムやニッケル錯体の高活性・高実用性触媒を用いたリビングラジカル重合を開発した。 |
| <p>①-1-4 炭素ラジカル種の生成・反応技術 (ii) 高速熱移動および光反应用いるラジカル生成と反応</p> | <p>熱および光によるラジカル反応を例としてとりあげ、マイクロリアクター技術においてラジカル活性種の生成場と反応場を最適制御することにより、目的物質を高効率かつ高選択率で合成・製造するための基盤技術を構築する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> マイクロ空間の熱伝達効率を活用したマイクロフロー系と、分解しやすいラジカル開始剤を併用することにより、滞留時間 1 分でのラジカル発生と水素化が連鎖的に進行することを明らかにした。また、マイクロリアクターで光照射を効率的に行うことにより、この反応の新しい制御法を開発した。 |

| | | |
|--|--|---|
| <p>①-2-A 急速混合、急速加熱冷却マイクロデバイスの開発と設計論</p> | <p>急速混合、急速加熱・冷却等の性能を満足する混合ユニット構造を2種類提案し、要求性能を検証する。また、マイクロミキサーの形状まで含めた設計法を開発する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ノズルタイプの混合一体型イオンジェネレーター構造を提案した。 ・数ミリ秒の混合性能、40000℃/秒以上の昇降温、±0.1℃以内の温度制御実現した（生産用としては世界トップレベル）。 ・急速混合を可能とする形状まで含めた混合デバイス設計手法を確立し、これまで経験的に設計していたマイクロリアクターを論理的に設計可能にした。 |
| <p>①-2-B 活性種生成場と反応場を集積した多段マイクロリアクターの開発</p> | <p>独立制御された活性種生成場と反応場をパイプレスで結合した機能デバイスアSEMBル型多段マイクロリアクターを開発し、その性能を実証する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・機能集積型のマイクロデバイスを2種類開発し、有機合成の連続試験で既往技術より大幅な性能向上を確認した（活性種生成、反応場を分離した生産用マイクロリアクターとしては世界初）。 |
| <p>①-2-C 異相系での活性種生成手法と活性種生成に適した装置開発</p> | <p>粒子生成系の安定限界核生成技術の開発と、スラグ流を利用した高分子活性種生成法の開発を行う。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロリアクターによる核生成制御で2nm±0.2nmの単分散ナノ粒子の製造に成功した。 ・マイクロスラグ流を利用した操作法で数ミリ秒の急速混合、0.1℃以内の発熱反応制御に成功し、高分子分子量分布の均一化を達成した。 ・マイクロリアクターを直列配置することで、ナノ粒子径を任意に制御する操作法を開発した。 |
| <p>①-2-D マイクロプラントに適した精密制御・管理システムの開発</p> | <p>微小容積複合計測装置の開発、ならびに、状態監視システムの開発を行う。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・小デッドスペースで複数の情報を一箇所で計測できるデバイスアタッチ型の計測装置を開発した。 ・対象の物理モデルを用いた少数の管壁温度測定情報から未知の状態量を推定するシステムを開発し、マイクロ装置で実証した。 ・4並列2液混合型マイクロリアクターシステムを構築し、10時間以上の連続運転を行ない、安定動作の確認と、閉塞検出方法について性能を評価しシステムの妥当性を検証した。 |

(2) 成果の意義

研究開発項目①－1に関して、得られた成果は以下の様な意義を有する。

- ・市場創出効果（市場拡大、創造）への期待
各種機能性材料や医薬品中間体を高機能化・高性能化し本来持っている極限的な性能を発揮させるための精密反応技術、さらには、製造につなげるための迅速生産技術、から成る統合的な革新的基盤技術としての利用が期待できる。
- ・世界初もしくは最高水準か
化学合成において目的物を選択的に得るために、超不安定炭素アニオン種の生成場と反応場を分離し、効率的分子変換を行うための本基盤技術は、世界初の技術である。
- ・あらたな技術領域開拓への期待
各種機能性材料や医薬品中間体の高機能化に向けた新規化合物の合成にも、本技術を積極的に利用することが期待できる。
- ・汎用性
広範囲の反応に利用可能である。
- ・競合技術と比較しての優位性
競合技術は存在しない。

研究開発項目①－2に関しては、マイクロミキサーはミリ秒オーダーの混合完結可能で目標値を大幅に上回っている。また、世界で初めて形状まで考慮したマイクロミキサーの設計法を確立し、それに基づいて設計したマイクロリアクターで実際の有機合成反応の連続実験にて優れた結果を得て実プロセスへの適用を確認できた。このように、最終目標を達成できたことにより、数百トン／年のレベルで活性種生成場と活性種反応場を独立かつ厳密に制御し、有機合成からナノ粒子の異相系まで多種多様の系に柔軟に対応可能な生産用マイクロデバイスを世界始めて提示できるとともに、次世代精密製造プロセス分野の基盤技術として世界をリードできるレベルにまで高めることができたと判断できる。成果の意義を表2－2にまとめる。

表2－2 開発項目①－2の成果の意義のまとめ

| 開発技術 | 意義 |
|--------------------|--|
| 急速混合、急速加熱冷却デバイスの開発 | 数ミリ秒以内に完全混合、加熱冷却できるマイクロデバイスで、1台で年間百トン（従来技術の数十倍の生産能力：世界最高水準）生産可能なデバイスを開発した。これによって、生産技術としての展開を容易にした。 |
| アセンブリマイクロリアクターの開発 | 合成反応の素反応毎に異なる温度条件で厳密に反応制御でき、かつパイプレスで任意にアセンブリできるマイクロリアクターは世界初である。これにより、高機能製品の厳密製造が可能になった。 |
| マイクロリアクターの形状設計手法 | 混合部形状まで考慮した定量的設計法を世界で初めて確立し、これまでの個人の直感的な設計から脱皮し、マイクロリアクター技術に |

| | |
|------------------------------------|---|
| 開発 | 技術汎用性を初めて付与した。 |
| マイクロプラント に適した精密制御・管理システムの 開発 | マイクロの特徴を考慮した状態推定システムを開発した。また、並列化プロセスの閉塞診断法を開発した。これらは、マイクロ化学プロセスを実用化し、長期間連続運転する際には不可欠な技術である。 |

2. ナノ空孔技術

(1) 成果の概要

本研究開発項目の目的は、ナノ空孔を有する材料を利用して分子触媒・酵素を固定化し、ナノ空孔反応場と分子触媒・酵素の協働作用を活かす高選択的な合成法の基盤技術を確認すること、およびその技術を展開し、機能性化学品を開発することである。規則的なナノ空孔に分子触媒や酵素を固定化することにより、活性・選択性の向上や長寿命化が期待できる（図2-2）。

この目標を達成するため、(1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発、(2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発、(3) ナノ空孔固定化触媒の開発、(4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立、の4項目に関する研究を実施した。

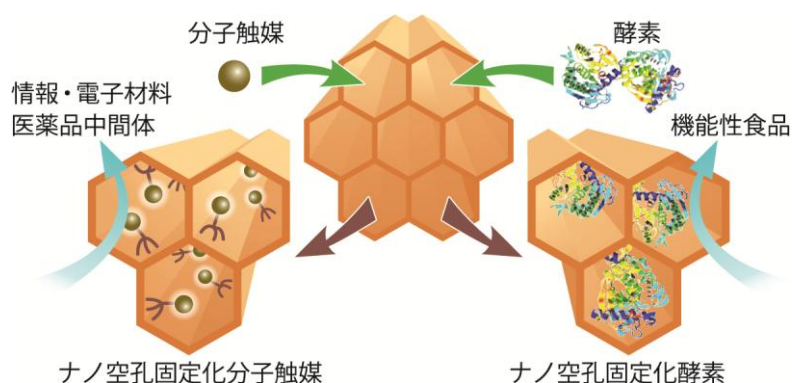


図2-2 分子触媒や酵素のナノ空孔への固定化

本研究開発では、上記目標をより効果的かつ効率的に達成するために、

- ②-1 ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発
- ②-2 ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発
- ②-3 ナノ空孔固定化触媒の開発
- ②-4 ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立

の4つの研究開発項目を設定するとともに、「②-3 ナノ空孔固定化触媒の開発」の中で、

- ②-3-1 ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発
- ②-3-2 ナノ空孔固定化分子触媒の開発

の2つの研究開発小項目を設定して進めた。

「②-3-1 ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発」では、分子触媒、酵素の固定化担体として最適な性質を持つよう孔径および空孔内表面性状を制御可能な無機ナノ空孔材料

量産技術を開発する。また、ナノ空孔材料のスムーズな社会への導入（実用化）を行うために、健康被害などの安全性の評価試験についても併せて実施する。これにより、孔径および空孔内表面性状が制御されたナノ空孔材料が「②-1」、「②-2」、「②-3-2」、「②-4」、あるいは後述の「③協奏的反応場技術（2）ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発」に大量に提供され、各研究開発の効率化が図られるとともに、実用化への加速が期待される。

「②-3-2 ナノ空孔固定化分子触媒の開発」では、基本計画の「(3) ナノ空孔固定化触媒の開発」に沿って、活性・選択性が高く触媒成分のリーチングが少ないナノ空孔固定化分子触媒の開発を行う。尚、「②-3-1 ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発」については、平成20年度末をもって終了した。

本研究開発では、②-1、②-2、②-3-2が個別基盤研究に、②-3-1、②-4が「②ナノ空孔技術」及び「③協奏的反応場技術（2）ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発」の共通基盤研究に位置付けられる。さらに、②-1、②-2、②-3-1、②-3-2は個別の実用化出口を有する一方、②-4はナノ空孔反応場利用の拡大、普及に寄与する。

上記に基づき、研究開発を実施した結果、細孔径を有するナノ空孔材料合成法およびその大量合成技術の開発、分子触媒や酵素の細孔への固定化技術の開発、固定化された触媒の活性や選択性での優位性の検証、固定化酵素の繰り返し使用の可能性の実証、固定化された触媒のリーチング抑制技術の開発等について顕著な成果をあげることができた。得られた成果を、表2-3にまとめる。

表2-3 研究開発項目②の成果のまとめ

| 研究開発項目 | 研究開発内容 | 顕著な成果 |
|----------------------------|--|--|
| ②-1:ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・情報・電子関連機能性化学品として有用なヘテロ化合物、具体的には i) 環状サルファイト類、ii) 有機ヒドロキシルアミン類を高効率で製造するためのナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を活かした反応制御技術の開発を行った。 ・メソポーラスアルミナ担持金属触媒の開発を行った。 | <ul style="list-style-type: none"> ・エポキシドへの SO₂ 挿入反応にアンモニウム塩またはアミン/メソポーラスシリカ触媒を用いることで、環状サルファイト類を高効率（収率 96%）で合成することに成功した。触媒の固定化が生成物の精製効率向上に有効であった。 ・芳香族ニトロ化合物の部分水素化に白金/アミン/メソポーラスシリカ触媒を用いることで、協働効果により芳香族ヒドロキシルアミンを高効率（収率 95%）で合成することに成功した。また、脂肪族の場合、パラジウム/メソポーラスシリカ触媒を用いて高効率（収率 98%）合成に成功した。 ・硫酸イオンを含むメソポーラスアルミナ担体を開発、パラジウムを担持した触媒がビアール化合物の合成に有効であることを実証した。 |
| ②-2:ナノ空孔 | <ul style="list-style-type: none"> ・食品関連機能性化学 | <ul style="list-style-type: none"> ・アミノ酸類合成酵素であるグルタミナーゼを |

| | | |
|-----------------------------------|--|--|
| <p>反応場と酵素の協働作用技術の開発</p> | <p>品の合成酵素をナノ空孔材料に固定化し、併せてナノ空孔の持つ反応場の特性と酵素機能を協働的に利用する技術の開発を行った。</p> | <p>ナノ空孔材料に固定化するための表面改質技術を開発した。さらに当該固定化グルタミンアゼをL-テアニン生成反応に適用し、実用化レベルの酵素活性を保持しながら50回繰り返し使用することに成功した。</p> |
| <p>②-3: ナノ空孔固定化触媒の開発</p> | <p>②-3-1: ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・最適な孔径および空孔内表面性状が制御された無機ナノ空孔材料の製造と量産化技術の開発を行った。 <p>②-3-2: ナノ空孔固定化分子触媒の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・活性・選択性が高く触媒成分のリーチングが少ないナノ空孔固定化分子触媒を設計・合成し、i) 鈴木カップリング反応、ii) 不斉水素化反応で性能評価を行った。 ・ナノ空孔材料の設計及び表面修飾技術の開発を行った。 | <ul style="list-style-type: none"> ・安全かつ安価な化学品を用いたナノ空孔材料製造技術を開発し、その表面性状制御技術を確立した。また、ナノ空孔材料の安全性評価試験を世界で初めて行い、食品添加物に許可されている非結晶質シリカと比較して同等以上の安全性を持つことを見出した。 ・分子触媒能を有する官能基をナノ空孔材料に強固かつ均質に固定化することのできる多点結合型リンカーを開発した。 ・多点結合型リンカーを利用して、鈴木カップリング反応や不斉水素化反応に対して活性・選択性が高く触媒成分のリーチングが少ないナノ空孔固定化分子触媒を開発した。 ・Cubic (Ia-3d) 構造の新型メソポーラスシリカ (MCA) および 2d-hexagonal な FSM-16 に対し、酸性の有機基を固定化すると、過酸化水素による環状オレフィンのジヒドロキシル化に有効な触媒となることがわかった。さらに表面の残留シラノールをトリメチルシリル基でキャップすると、劇的に触媒活性が向上することを見出した。 |
| <p>②-4: ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・上記②-1～②-3 に共通の基盤技術として、ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用を活かした高度な反応制御技術の開発、分子触媒のリーチング抑制あるいは酵素の繰り返し使用回 | <ul style="list-style-type: none"> ・ナノ空孔反応場と分子触媒（もしくは孤立活性点）との協働作用発現の実例として、Al 含有メソポーラスシリカ (Al-MCM-41) が、1) カルボニル化合物のシアノシリル化、2) 3成分ストレッカー型反応、3) 向山アルドール反応に優れた触媒活性を示すことを見出した。配位圏が大きく開いた Al^{IV} サイトが強いルイス酸点として機能することで反応を触媒するメカニズムを提案した。また、4) メソポーラ |

| | | |
|--|-----------------------------------|---|
| | <p>数の増加を可能にするための固定化手法の開発を行った。</p> | <p>スリカをポリエチレングリコール (PEG) で表面修飾することで、鈴木カップリング反応に対する固定化 Pd 錯体触媒の活性が大幅に向上することを見出した。</p> <ul style="list-style-type: none"> 安定で取り扱いが容易なアリアルシラン類を用いてシリカ表面の有機修飾が可能なこと、特定のアリアルシランを用いた場合、MW 照射によって反応が顕著に加速されることを見出した。 ナノ空孔への固定化が、各種安定性（繰り返し安定性や有機溶媒安定性、酵素阻害剤、阻害酵素安定性）や凝集抑制による活性向上に効果が見られることを実証した。また、表面改質が安定性や活性向上を促進することを明らかにした。 ナノ空孔への酵素固定化について、ナノ空孔材料と酵素の吸着挙動の系統的な検討から固定化に好適なナノ空孔材料の条件を明らかにした。 |
|--|-----------------------------------|---|

(2) 成果の意義

研究項目②に関して得られた成果の意義を表 2 - 4 に示す。

表 2 - 4 研究開発項目②の成果の意義のまとめ

| 研究開発項目 | 研究開発 | 成果の意義 |
|-----------------------------|--|--|
| ②-1: ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 半導体洗浄剤用有機ヒドロキシルアミン合成触媒の開発 Li 電池電解液用含イオウ環状化合物合成触媒の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 従来技術の 4 分の 1 以下の廃棄物量（世界最高水準）。従来技術と比較して安価かつ高効率での製造が可能に。 従来技術の 8 倍の性能（世界最高水準）。触媒活性での協働効果は、新たな化合物群合成への展開が期待。 |
| ②-2: ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 | サプリメント用 L-テアニン合成固定化グルタミナーゼの開発 | 菌体法に替わる酵素を用いた機能性アミノ酸の生産が可能に。従来法に比較して低コスト生産が可能、機能性アミノ酸市場の拡大が期待。 |
| ②-3: ナノ空孔固定化触媒の開発 | <p>②-3-1: ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 大孔径ナノ空孔材料 | <ul style="list-style-type: none"> 安価で安全性の高いナノ空孔材料の量産化を |

| | | |
|-----------------------------------|--|---|
| | <p>(NPM) の大量合成、表面改質技術の開発、安全性評価</p> <p>②-3-2: ナノ空孔固定化分子触媒の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・リーチングを極小化した鈴木カップリング、不斉水素化触媒の開発 | <p>実現（世界初）、ナノ空孔材料を用いた機能性材料市場の創出。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分子触媒と同等の収率・選択性を維持しつつ、生成物中への触媒金属成分の Leaching を 0.2 ppm 以下（世界最高レベル）に抑制可能な高性能固定化分子触媒を実現。 |
| <p>②-4: ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・ Al^[IV] 活性点を賦与した NPM 触媒の機能解明 ・ NPM 固定化各種酵素の機能解明 ・ 触媒・酵素の新規な固定化手法開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 規則性メソ細孔が反応促進に必須となる精密合成反応を例示、細孔内に特異な活性点が存在することを実証。 ・ 酵素の安定化や活性の最大化に貢献、広範囲の産業用酵素に適用できるため、本技術の発展が期待。 ・ 従来型シランカップリング剤の代替として、化学的に極めて安定なアリアルシランが利用可能であることを発見。 |

3. 協奏的反應場技術

(1) 成果の概要

本研究開発項目の目的は、マイクロ波、光、電場等のエネルギー供給手段、あるいは高温高圧、反応媒体等が提供する反応場とマイクロリアクター、ナノ空孔との協奏的反應場を制御する基盤技術を開発すること、およびそれらの協奏的反應場を応用した、機能性化学品を開発することである。

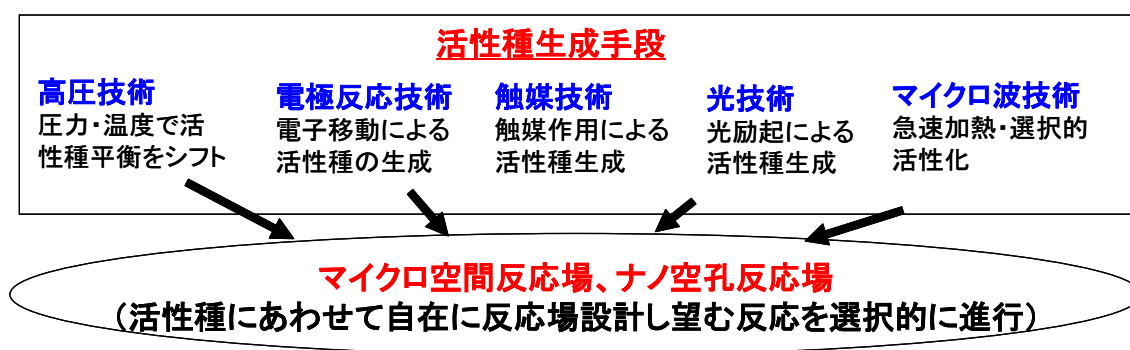


図 2 - 3 活性種生成手段と反応場

この目的を達成するため、

1. マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発
 - a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立
 - b) 高圧との協奏的反應場技術の開発
2. ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発

a) マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発
 b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術の開発
 の4項目に関する研究を実施した。

研究項目 1-a)では、基本計画の達成目標を考慮し、マイクロリアクターとマイクロ波、電気エネルギー、光エネルギーとの協奏的反応場を対象とした装置開発と有用な反応系の探索、および有機ナノ粒子合成にターゲットを絞った装置開発と実際の合成反応系の確立を目指して研究を進め、全ての項目で中間目標、最終目標を達成した。

研究項目 1-b)では、高圧反応場に対応した温度制御可能な反応器の開発と最終目標にあげられている芳香族化合物、ニトロ化化合物の高効率合成を目標として研究を進めた。高圧下、温度差 400℃以上の流体を数ミリ秒で完全混合、温度均一にできる高温高圧ミキサー、回転攪拌型のマイクロリアクター、耐食マイクロデバイス、継ぎ手の開発に成功し、ニトロ化プロセスでは平成 20 年度より実用化研究に着手した。本研究開発項目についても全ての項目で中間目標、最終目標を達成した。

研究項目 1-a)、1-b)に関して得られた成果を、表 2-5 に示す。

表 2-5 研究開発項目③-1の成果のまとめ

| 研究開発項目 | 研究開発内容 | 顕著な成果 |
|-----------------------------------|--|--|
| ③-1-a-1: マイクロ波等との協奏的反応場の構築と活用 | <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ波・熱流体シミュレーション技術の開発 ・マイクロ波利用反応装置の開発 ・マイクロ波利用等温反応器の開発 ・モデル反応によるマイクロ波の効果の実証 | <ul style="list-style-type: none"> ・熱流体および電磁波シミュレーションを活用したマイクロ波利用装置の形状設計法を確立し、この形状設計法を用いてフロー処理型のマイクロ波化学反応装置を開発した。 ・一定出力のマイクロ波を照射しながら反応液の温度を一定に制御可能な熱交換型温度制御リアクターを開発した。 ・菌頭カップリング反応をモデル反応として従来加熱とマイクロ波加熱で温度を同じにして比較した。そして、マイクロ波加熱の方が高収率となる理由は、パラジウム触媒がマイクロ波を吸収して局所的に高温になることが原因と考えられることを明らかにした。このことによりマイクロ波の局所加熱による反応促進効果を明らかにした。 |
| ③-1-a-2: 電気エネルギーを用いたマイクロ協奏場反応技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・電極間距離が 100 μm 以下のマイクロ電解装置の開発 ・大量生産を指向したデバイスの開発 ・活性種制御に基づく高効率の実用的マイ | <ul style="list-style-type: none"> ・電極間隔 100 μm 以下の装置を開発し、文献の最高収率 (69.5%) に匹敵する収率 (66%) を得た。 ・反応初期には流速が遅く、反応終盤には流速が速くなる特徴的な流れを実現できる円盤状の流路、および副生する気泡を速やかに除去できる機構を考案し、装置を試作した。 |

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| | <p>クロ電解プロセスを開発</p> <ul style="list-style-type: none"> トルエン誘導体の酸化、アミン誘導体の酸化に関するパイロットプラントを構築 | <ul style="list-style-type: none"> トルエン誘導体の酸化反応において95%の、またアミン誘導体の酸化反応において89%の電流効率を達成した。 パイロットスケールの連続運転用マイクロ電解システムを制作した。 |
| ③-1-a-3 光エネルギーを用いたマイクロ協奏場反応技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> 100 μm以下の光路長を含む様々な光路長デバイスの作成と、光路長と反応時間の関係の明確化 光二量化反応を対象に、転換率90%以上の光反応合成プロセスを開発する。 マイクロリアクターの特長を生かした光反応に適した3系以上の反応系の提示 | <ul style="list-style-type: none"> 光路長20~100 μmの光反応用マイクロリアクターの作成手法を開発し、実際に種々の反応器を作成した。 フェノールの酸化分解を例にとり、典型的なフロー、光照射条件のもとで、反応効率の流路深さ依存性をシミュレートし、流路深さが反応効率に与える影響を整理した。 無水マレイン酸の光二量化反応において、固体排出技術の確立によって連続的なフロー反応を実現し、リサイクルを行うことで転換率90%を達成すると共に、残存原料の低減によってバッチ反応器では得られない品質の製品を得た。 不斉増感反応、光触媒による酸化・還元、アルキル化に対して、マイクロ光反応場の優位性を明らかにした。 |
| ③-1-a-4：ナノ微粒子形成におけるマイクロ協奏場反応技術開発 | <p>外部エネルギーの特徴を生かしたナノサイズ粒子合成マイクロ反応装置、および反応プロセスの開発を行う</p> | <ul style="list-style-type: none"> 外部エネルギーを用いたナノサイズ粒子合成装置として、有機顔料ナノ粒子（平均粒径50 nm以下）を安定分散した有機溶媒分散液を合成可能なエネルギーを出力できる装置を開発した。 有機化合物の溶媒への溶解性と温度の関係を整理し、外部エネルギーを用いたナノ粒子製造プロセスの設計手法として温度制御による過飽和を制御する方法を提案した。 |
| (A) 高温高圧水を利用する耐食マイクロデバイスの開発 | <p>急速混合、急速加熱、耐食性のある高温高圧デバイスの開発</p> | <ul style="list-style-type: none"> 各種高圧マイクロ混合デバイスを開発し、50MPa以上で混合時間数ミリ秒で完全混合可能なミキサーを有するマイクロシステムを開発した。 チタニア内挿管などを新たに開発し、500℃、50MPaまでの超臨界水中で腐食性流体を扱えるマイクロ製造プロセスを開発し、連続運転で実証した。 |

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| <p>(B) 高温高压ガスを利用するマイクロデバイスの開発</p> | <p>各種ガス中での相平衡基礎データ取得、高压ガス/マイクロ反応システム構築</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・高精度相平衡連続測定装置を世界で初めて開発し各種基礎物性データを取得した。 ・高压ガス/マイクロ反応システムを構築した。 ・高压気液マイクロリアクターシステムを開発した。 |
| <p>(C) 高压/マイクロ技術による均相系、異相系反応設計</p> | <p>無触媒、高温高压水での各種有機合成反応。ニトロ化反応による選択性制御、高压マイクロノズルによる高機能微粒子製造</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・種々の有機合成反応で多段温度・圧力可変による世界初の合成手法を示し、現行法に比較して格段の高効率、E-ファクター低減を実現した。開発した手法は高い汎用性を持つ。 ・高収率・高選択率アシル化反応技術を応用した硝酸アセチルによる安全な高収率・高選択率低温ニトロ化反応を開発し、安定した合成を実現した。 ・クロスカップリングにおいて、世界で最も短時間での合成技術を開発した。 |
| <p>(D) ニトロ化プロセスへの展開のための基盤技術開発</p> | <p>現行混酸法の高効率化、高温高压水/マイクロ反応技術の展開、ニトロ化を起点、終点とする高機能材料製造プロセスの検討</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・完全耐食攪拌式マイクロリアクターを開発し現行法より格段の高効率を達成した。 ・多段高压マイクロプロセスで 200℃以上の高温でのニトロ化を実施し、モノニトロ化、ジニトロ化の活性種生成、反応場の分離に成功した。 ・開発したマイクロシステムを用いて、世界で初めて、硫酸フリーでの超臨界水中での芳香族のニトロ化反応に成功し、小型装置で30時間の連続運転を実施し、迅速なスタートアップ、シャットダウン、安全操業、定常的な収率維持を実証し、実用化への目途をつけた。 ・既往技術では困難であったニトロ化物の直接カルボニル化に成功した。 |

研究項目③-2-a)では、協奏的反応場に供する外部エネルギーとしてマイクロ波の有効利用を中心に、複素比誘電率測定装置の開発と誘電特性パラメータの集積、およびマイクロリアクターを利用した触媒反応技術の開発を中心に研究を進めた。空洞共振器を用いた複素比誘電率測定装置を開発し、これを用いて1300点以上のデータを収集し評価した。また、不均一触媒を用いた菌頭カップリング反応において滞留時間1分で転化率100%、収率100%の反応成績を達成可能なマイクロ波利用反応システムを開発した。芳香族修飾反応では、ナフタレン誘導体の合成において、最終目標値(転化率40%、選択率70%)を上

回る成績で 2,6-ジアルキルナフタレンの合成に成功した。以上の結果により、最終目標を達成した。

研究項目③-2-b)では、ナノ空孔とマイクロリアクター、マイクロ波、反応媒体（極性溶媒、超臨界流体）の組合せによる協奏的反應場技術の開発を目指して研究を進めた。水を反応媒体、原料とする高選択合成プロセス開発では、重水を用いた高速重水素導入プロセスを開発した。本プロセスは、従来法と比較して、高い重水素導入率と大幅な反応時間の短縮を可能にした。また、マイクロ波を選択的に吸収するメソポーラスカーボンの合成に成功し、マイクロ波照射下での鈴木カップリング反応において反応が加速されることを見いだした。さらに、酵素-ナノ空孔材料複合体を流路内壁に担持したマイクロリアクターを開発した。マイクロ流路に固定化された酵素は、連続送液を繰り返してもバッチ式反応に相当する酵素活性を保持できることを実証した。以上の結果により、最終目標を達成した。 研究項目③-2-a)、③-2-b)に関して得られた成果を、表 2-6 に示す。

表 2-6 研究開発項目③-2の成果のまとめ

| 研究開発項目 | 研究開発内容 | 顕著な成果 |
|--------------------------------------|--|---|
| ③-2-a-1 化学反応場の誘電特性パラメーター測定手法の開発 | ・反応場に協奏的な効果を付与するための誘電特性パラメーター測定手法の開発 | ・有機液体材料、粉体材料、混合多相材料を対象に-198~350℃の広域な温度で誘電特性の評価を行うとともに、緩和時間等から理論的な解釈を行った。 ・空洞共振器摂動法による高精度測定法および温度可変プローブ反射法による自動測定法を開発し、協奏的反應場の設計に必要なデータ収集を行った。 |
| ③-2-a-2 マイクロ波を利用した化学反应用リアクター技術の開発 | ・ナノ空孔とマイクロ波の協奏的反應場効果をもたらすリアクターの作成 | ・電界強度を高める共振器型キャビティとマグネトロン発振の注入帰還制御実証機を作成し、高い温度上昇率を測定した。 ・装置の簡素化と効率向上の均衡をとり、整合器を不要とするフローリアクターでマイクロ波エネルギー利用効率 70%を達成した。 ・自動整合器付リアクターの開発と反應場の誘電特性の制御により、高いマイクロ波エネルギー投入効率と高いエネルギー有効利用率（装置の消費電力エネルギーのうち反應場の加熱に利用できたエネルギーの割合）を達成した。 |
| ③-2-a-3 ナノ空孔利用マイクロリアクター触媒反応技術の開発 | ・ナノ空孔利用マイクロリアクター触媒反応技術の開発 ・ナノ空孔反應場を用いた芳香族修飾反応 | ・触媒量 0.1 モル%、滞留時間 1 分間のマイクロリアクターで定量的な菌頭カップリング反応を達成した。 ・ナノ空孔触媒とマイクロ波照射を利用した高効率芳香族修飾反応（アルキル化、アシル化等）を開発した。 |
| ③-2-b-1 水を化学原料、反応媒体とする高選択合成 | ・水を反応媒体、水素源とする還元反応 ・水を反応媒体、酸素源とする酸化反応 | ・協奏的反應場でのジアミノアルカンから環状アミンへの変換において、水は水素源、酸素源として作用し、反応を加速することを明らかにした。 ・ポーラスな高分子固体酸触媒を充填したマ |

| | | |
|---|---|---|
| <p>プロセスの開発</p> | <ul style="list-style-type: none"> 水を反応媒体、水素源、酸素源とする両末端ジアミノ化合物からの直接環化反応と重水素標識 農薬原体や動物用医薬品の直接標識（重水素化）と光機能材料の重水素標識、特性評価 | <ul style="list-style-type: none"> マイクロリアクター中での酸素-重酸素交換が著しく加速されることを明らかにした。 水素-重水素交換がマイクロ波加熱により反応の加速と重水素含率の向上に有効であることを明らかにした。 一部の重水素標識化合物が質量分析用標準物質として市販に向けた準備を開始した。 OLED 発光材料の配位子に重水素を導入することにより、発光効率、耐光性が向上することを明らかにした。 |
| <p>③-2-b-2 ナノ空孔反応場利用技術に適用可能な協奏的反応場利用の基盤技術開発</p> | <p>③-2-b-2-1</p> <ul style="list-style-type: none"> ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術への協奏的反応場の適用 | <ul style="list-style-type: none"> ナノ空孔固定化触媒とマイクロ波加熱との併用により、原料転化率および選択率がともに向上した。 メソポーラスアルミナが超臨界二酸化炭素中でも強塩基性を示し、Tishchenko 反応を効率よく進行させることを世界で初めて実証した。 |
| | <p>③-2-b-2-2</p> <ul style="list-style-type: none"> ナノ空孔固定化触媒へのマイクロ波エネルギー供給の適用 | <ul style="list-style-type: none"> シリカ系規則性多孔体を担体とした Pd 触媒において、誘電損失係数が大きくマイクロ波吸収性が高い触媒ほど、マイクロ波照射下での鈴木カップリング反応を促進することを明らかにした。 カーボン系規則性多孔体を担体とした Pd 触媒において、マイクロ波感受性の異なる種々の基質・触媒・溶媒の適切な組み合わせにより選択加熱効果を発現させ、細孔内に効率的な不均一反応場を構築することに成功した。また、溶媒の半減深度の相違を利用し、効率的な反応場を細孔内または外表面にスイッチングできることを明らかにした。 |
| | <p>③-2-b-2-3</p> <ul style="list-style-type: none"> ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術への協奏的反応場の適用 | <ul style="list-style-type: none"> 酵素-ナノ空孔材料複合体を流路内壁に担持したマイクロリアクターの開発に成功した。 マイクロ流路に固定化された酵素は、連続送液を繰り返してもバッチ式反応に相当する酵素活性を保持できることを実証した。 |
| | <p>③-2-b-2-4</p> <ul style="list-style-type: none"> 規則性ナノ空孔材料固 | <ul style="list-style-type: none"> 規則性ナノ空孔材料固定マイクロリアクターの作製方法を確立した。 |

| | | |
|--|--|--|
| | 定マイクロリアクターの開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・また、固定化した分子触媒や酵素は高い活性を持ち、協奏的反応場としての機能を有することを明らかにした。 |
| | ③-2-b-2-5 ・ナノ空孔利用マイクロリアクター触媒反応技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・ゾルーゲル重合と一方向凍結を組み合わせた氷晶テンプレート法を利用して、シリカゲルをバインダーとして光触媒粒子、ゼオライト粒子、グラファイト粒子、カーボンナノファイバーを 100,000 m²/m³ 以上の流路面積/流路容積比をもつマイクロハニカムおよび繊維に成形することに成功した。 ・氷晶テンプレート法を用いてアルミニウムを含有したモノリス状シリカゲルを作製し、構造規定剤を用いた結晶化により結晶化度 100%、圧縮強度 11Mpa のゼオライトモノリスを作製することができた。 |

(2) 成果の意義

研究開発項目③-1-a に関しては、各中間目標、最終目標とも完全に達成した。特に、マイクロ波利用マイクロリアクター開発においては、その設計法の確立のみならず、温度制御可能なこれまでにない形式の装置を開発した。この内容を含め、外部エネルギーとの協奏的反応場技術として世界をリードできるレベルにまで高めることができたと判断する。また、研究開発項目③-1-b に関しても、当初の予定通り進捗し、最終目標項目を全て達成した。すでに平成 20 年度からは日油㈱にて、ニトロ化プロセスの実用化研究に着手し一定の成果を得ている。得られた成果で特に顕著なものは、高圧下、温度差 400℃以上の流体を数ミリ秒で完全混合状態、均一温度にできる高温高圧ミキサー、耐食マイクロデバイス、継ぎ手の開発は世界でも類をみない新規性、独自性を有しており、高温高圧/マイクロ技術に関して、世界レベルに比べ大きく抜き出た状態にある。また、高温高圧水+硝酸のみでニトロ化反応を実証した点は、これまでの常識を覆す世界初の画期的な反応技術として特筆できる。

以上の成果の意義を表 2-7 にまとめる。

表 2-7 開発項目③-1 の成果の意義のまとめ

| 開発技術 | 意義 |
|----------------------|---|
| マイクロ波利用連続マイクロリアクター | <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ波利用装置の形状設計法を確立したことにより、様々な条件での生産において、マイクロ波を有効に利用できる（効率90%以上）連続反応器形状を提案できるようになった。 ・一定出力のマイクロ波を照射しながら反応液の温度を一定に制御可能な反応器を開発した。このような反応器は世界でも例が無く、この装置を用いることにより、マイクロ波が反応に与える影響を、厳密に評価できるようになった。 |
| 電気エネルギー利用連続マイクロリアクター | <ul style="list-style-type: none"> ・反応器内の反応液濃度分布を考慮した反応器形状、副生する気泡を速やかに除去できる機構を提案した。マイクロ化した際の利点を生かし、欠点を克服する構造を示すことにより、今後電気エネルギーの利用反応器を迅速に設計できるようになった。 ・高電流効率（90%）が得られることを示すことにより、新たな利用促進が期待できる。 |
| 光エネルギー利用連続マイクロリアクター | <ul style="list-style-type: none"> ・反応器内の固体を排出する技術を確立した。これにより、連続マイクロ化の利点である固体が生成する対象に対しても、十分実用に耐えうるプロセスが構築可能であることを示した。 ・不斉増感反応、光触媒による酸化・還元、アルキル化に対して、マイクロ光反応場の優位性を明らかにすることにより、新たな利用を促した |
| ナノ微粒子生産用連続マイクロリアクター | <ul style="list-style-type: none"> ・有機顔料ナノ粒子（平均粒径 50 nm 以下）を安定分散した有機溶媒分散液をビルドアップ法で合成した。これにより、後工程が脱溶媒工程のみで製品となる、全く新しい画期的な微粒子合成法構築の目処が立った。 |
| 高圧耐蝕マイクロリアクターシステム | <ul style="list-style-type: none"> ・50MPa 以上高圧、腐食性流体中で使用可能で、10 ミリ秒以下の短時間で混合・反応停止できるマイクロリアクターからなるシステムを開発した。達成スペックは、既存技術では存在せず世界初である。これによって、非常に過酷な反応条件でも実施可能となり、これまで実施できなかった合成反応を安全かつ厳密に制御可能。 |
| 各種高機能材料生成のための反応技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> ・高圧水反応場をマイクロリアクター技術でサブミリ秒オーダーで厳密制御し、これまで製造できなかった各種反応で99%の収率を実証（世界トップレベル）。この反応法の提示により、低 E-factor で高機能製品の製造が可能になった。 |
| ニトロ化反応技術 | <ul style="list-style-type: none"> ・これまでの混酸法に対して、高圧水マイクロ反応場で、世界で初めて硫酸フリーで選択的にニトロ化物を製造した（高温高圧水中でのニトロ化反応は世界で実施例なし）。また、既存技術では制御が非常に困難で爆発の危険性をもつニトロ化製造に関して、上記システムを利用して、安全かつ安定して連続製造できることを |

| | |
|--|--|
| | <p>実証した。さらに、スタートアップ、シャットダウンも 10 分程度のマクロ装置では不可能な制御性を実現した。これにより、ニトロ化物製造が、各段に容易になり、ニトロ化物を経由する反応の革新が期待できるようになった。</p> |
|--|--|

研究開発項目③-2-a、③-2-bとも最終目標を達成した。重水素標識部材に関して、一部の標識化合物についてはすでに市販が開始され実用化を達成した。さらに、OLED用部材としての有用性を明らかにし、材料メーカーと実用化に向けた取り組みが開始している。また、顕著な成果としてナノ空孔触媒を充填したマイクロフローリアクターとマイクロ波照射を組み合わせることにより、滞留時間1分で転化率、選択率とも100%で園頭カップリング反応を実施可能なことを実証した。さらに、マイクロリアクターの流路表面に多様なナノ空孔反応場を導入する手法を開発し、これを用いた酵素固定化マイクロリアクター、分子触媒固定化マイクロリアクターへと研究展開することにより、従来のバッチ式反応プロセスよりも高い反応成績を示すことを明らかにした。

研究項目③-2に関して得られた成果の意義を、表2-8にまとめた。

表2-8 開発項目③-2の成果の意義

| 研究開発項目 | 開発技術 | 成果の意義 |
|---------|---|--|
| ③-2-a-1 | <ul style="list-style-type: none"> 複素比誘電率測定装置の開発。 1300点以上のパラメーターを収集し評価。 | <ul style="list-style-type: none"> ノウハウ蓄積により機能性材料合成ユーザの市場創出が期待。 マイクロ波利用技術の領域開拓に貢献。 |
| ③-2-a-2 | <ul style="list-style-type: none"> 自動整合器付きリアクターを開発。 | <ul style="list-style-type: none"> リアクターの高効率化によりマイクロ波化学反応の市場創出が期待される。 |
| ③-2-a-3 | <ul style="list-style-type: none"> 反応時間1分での定量的なカップリング反応を達成。 ナフタレンのアルキル化反応において転化率87%かつ2,6-体選択率70%。 | <ul style="list-style-type: none"> フロー系にマイクロ波照射を組み込んだ反応システムを用いると反応時間の劇的な短縮が可能 広い応用性がありマイクロ波化学反応技術の領域開拓に貢献。 |
| ③-2-b-1 | <ul style="list-style-type: none"> 高速重水素標識法を開発。一部の重水素標識部材について市販に向けた準備を開始。 | <ul style="list-style-type: none"> 種々の芳香族化合物に適用可能な汎用性の高い手法である。また、電子材料用部材として発光素子寿命の向上に有効であることが確認され、新たな技術領域の開拓が期待される。 |
| ③-2-b-2 | <ul style="list-style-type: none"> 鈴木カップリング反応に適した高効率触媒系・反応場を開発。 酵素-ナノ空孔複合体をマイク | <ul style="list-style-type: none"> マイクロ波による炭素担体の局所加熱に関して得た知見は、高性能触媒設計の指針となる。 精密条件制御による酵素触媒の物質生産 |

| | | |
|--|---|--|
| | <p>ロ流路に固定化したマイクロリアクターを開発。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ流路への規則性ナノ空孔表面導入手法を開発。 ・高い流路面積／流路容積比を有するマイクロハニカム、繊維の形成に成功。 | <p>効率の向上手法を提示</p> <ul style="list-style-type: none"> ・作製したナノ空孔材料固定マイクロリアクターは汎用性が高く、触媒を必要とする複雑な合成プロセスへの応用に適している。 ・マイクロ流路の in-situ 構築への寄与と世界初の結晶化度 100%のゼオライトモノリスの作製 |
|--|---|--|

4. マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発

基本計画における本項の目標は、「マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反応場を幅広く工業的に利用可能とするためのプラント技術を開発する。」である。この目標を達成すべく、実用化研究を実施した。得られた成果を以下に箇条書きで示す。

- 1) マイクロ空間と高圧の協奏的反応場にてニトロ化合物の生成と転換に関するプロセスを組み立て小規模多品種型生産体制を構築
- 2) マイクロ反応場を利用し、ジアリールエテン類の量産化技術を開発
- 3) 処理量増大を目的として、4つの反応場で並列してマイクロ波により加熱処理できるマイクロ波利用協奏的マイクロリアクター汎用プラントを開発
- 4) ナノ空孔材固定化酵素を用いた連続反応設備を導入、機能性食品の環境負荷低減且つ低コスト生産に成功
- 5) 複数の光源と温度センサーを有するラボ検証装置を用い、生産性の向上と長時間連続安全運転を確認
- 6) ナノ空孔に活性金属を固定化した工業触媒製造技術を開発
- 7) アルキルヒドロキシルアミンの合成において、Pd触媒の活性変化及び耐久性を検証し、リサイクルが50回可能であることを確認

本項目の具体的な成果については、「Ⅲ－２．研究開発項目毎の成果」【非公開】に記す。

Ⅲ－１．３ 成果の普及、広報について

本プロジェクトに関する成果の対外的な発表状況を以下にまとめる。具体的な内容は、資料編を参照されたい。

表３－１ 公表成果数（プロジェクト全体：実用化研究は含まず）

| 年度 | 論文 | | 学会発表等 | | その他外部発表 (招待講演、解説記事、新聞発表、出展等) | 特許出願 (内、外国出願) |
|----------|-----|-----|-------|------|---------------------------------|------------------|
| | 査読有 | その他 | 口頭 | ポスター | | |
| 平成 18 年度 | 17 | 2 | 44 | 41 | 16 | 5 (1) |
| 平成 19 年度 | 32 | 3 | 71 | 33 | 19 | 23 (1) |
| 平成 20 年度 | 46 | 10 | 158 | 75 | 5 | 18 (3) |
| 平成 21 年度 | 36 | 4 | 87 | 92 | 16 | 15 (2) |
| 平成 22 年度 | 46 | 6 | 62 | 38 | 47 | 12 (0) |
| 総計 | 177 | 25 | 422 | 279 | 103 | 73 (6) |

表３－２ 公表成果数（研究開発項目①）

| 年度 | 論文 | | 学会発表等 | | その他外部発表 (招待講演、解説記事、新聞発表、出展等) | 特許出願 (内、外国出願) |
|----------|-----|-----|-------|------|---------------------------------|------------------|
| | 査読有 | その他 | 口頭 | ポスター | | |
| 平成 18 年度 | 3 | 0 | 15 | 16 | 10 | 3 (1) |
| 平成 19 年度 | 14 | 0 | 30 | 7 | 7 | 1 (0) |
| 平成 20 年度 | 17 | 0 | 73 | 22 | 0 | 3 (2) |
| 平成 21 年度 | 21 | 0 | 28 | 43 | 0 | 1 (0) |
| 平成 22 年度 | 18 | 0 | 26 | 11 | 29 | 0 (0) |
| 総計 | 73 | 0 | 172 | 99 | 46 | 8 (3) |

表３－３ 公表成果数（研究開発項目②）

| 年度 | 論文 | | 学会発表等 | | その他外部発表 (招待講演、解説記事、新聞発表、出展等) | 特許出願 (内、外国出願) |
|----------|-----|-----|-------|------|---------------------------------|------------------|
| | 査読有 | その他 | 口頭 | ポスター | | |
| 平成 18 年度 | 4 | 0 | 8 | 6 | 1 | 2 (0) |
| 平成 19 年度 | 8 | 1 | 11 | 7 | 3 | 11 (3) |
| 平成 20 年度 | 7 | 3 | 23 | 13 | 1 | 6 (2) |
| 平成 21 年度 | 6 | 2 | 21 | 14 | 3 | 2 (0) |
| 平成 22 年度 | 10 | 1 | 4 | 9 | 1 | 4 (0) |
| 総計 | 35 | 7 | 67 | 49 | 9 | 25 (5) |

表 3-4 公表成果数 (研究開発項目③-1)

| 年度 | 論文 | | 学会発表等 | | その他外部発表 (招待講演、解説記 事、新聞発表、出展 等) | 特許出願 (内、外国出 願) |
|----------|-----|-----|-------|------|---|----------------------|
| | 査読有 | その他 | 口頭 | ポスター | | |
| 平成 18 年度 | 6 | 2 | 16 | 15 | 3 | 0 (0) |
| 平成 19 年度 | 10 | 2 | 21 | 14 | 6 | 4 (0) |
| 平成 20 年度 | 17 | 0 | 44 | 18 | 1 | 4 (1) |
| 平成 21 年度 | 3 | 0 | 21 | 16 | 2 | 4 (2) |
| 平成 22 年度 | 8 | 1 | 17 | 11 | 8 | 0 (0) |
| 総計 | 42 | 5 | 119 | 70 | 20 | 12 (3) |

表 3-5 公表成果数 (研究開発項目③-2)

| 年度 | 論文 | | 学会発表等 | | その他外部発表 (招待講演、解説記 事、新聞発表、出展 等) | 特許出願 (内、外国出 願) |
|----------|-----|-----|-------|------|---|----------------------|
| | 査読有 | その他 | 口頭 | ポスター | | |
| 平成 18 年度 | 4 | 0 | 5 | 4 | 2 | 1 (0) |
| 平成 19 年度 | 2 | 0 | 9 | 5 | 3 | 10 (0) |
| 平成 20 年度 | 5 | 7 | 18 | 22 | 3 | 5 (1) |
| 平成 21 年度 | 6 | 2 | 17 | 19 | 11 | 8 (0) |
| 平成 22 年度 | 10 | 4 | 15 | 11 | 9 | 9 (0) |
| 総計 | 27 | 13 | 64 | 61 | 28 | 33 (1) |

本プロジェクト参加研究者が中心となり、平成19年1月29-30日、第5回マイクロ化学プラント国際シンポジウム (組織委員長:長谷部伸治(本プロジェクトリーダー)、主催:マイクロ化学プロセス技術研究組合(本プロジェクト委託者)と京都大学マイクロ化学システム高等研究院)を京都で開催し、本プロジェクトの成果を発信した(図3-1)。また、平成20年9月11-13日、マイクロ化学プロセスと合成に関する国際シンポジウムを上記と同様の体制で実施し、本プロジェクトの成果を発信した。



図 3-1 第5回マイクロ化学プラント国際シンポジウム 会場風景

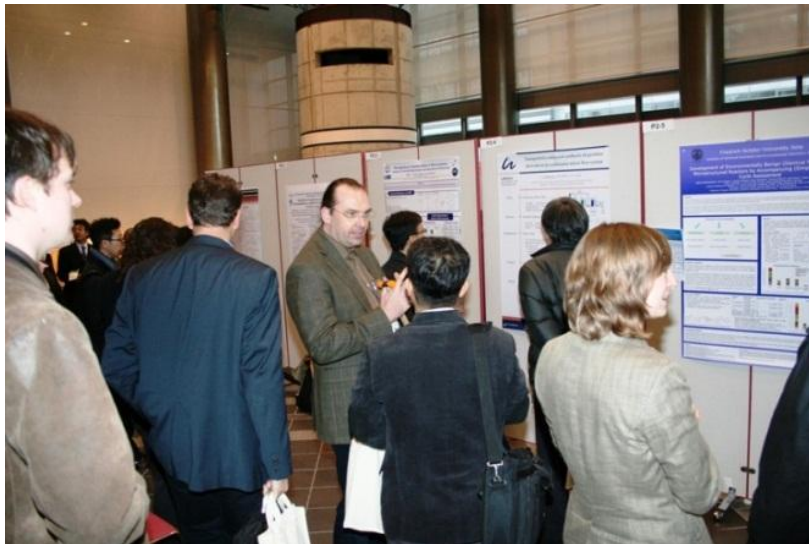


図 3 - 2 IMRET 11 ポスター発表会場風景

マイクロ化学に関する最大の国際会議（IMRET）は、これまで米国と欧州で交替で開催されてきた。本プロジェクトを含め日本におけるマイクロ化学に関する研究の活性が認められ、平成 22 年 3 月 8 - 11 日、京都において第 11 回マイクロ反応技術に関する国際会議（IMRET 11）が開催された（組織委員長は、本プロジェクトの共同研究者である前一廣京都大学教授。参加者数は 321 名（内 海外 26 カ国 118 名）でこれまでの IMRET 史上最大）。主催は化学工学会であったが、本プロジェクト関係者が中心となり運営し、本プロジェクトの成果を発信した（図 3 - 2）。

国内では、2007 年、2009 年に開催された INCHEM TOKYO プラントショー（図 3 - 3）にて広報活動を実施した。また、国際ナノテクノロジー総合展・技術会議には 2008 年から 4 年間出展し、活動状況を発信した。

さらに、本プロジェクトに携わる研究者が、本プロジェクト期間中に国内外で 56 回の招待講演、依頼講演を行い、本プロジェクトの成果の発信と技術の普及を図った。



図 3 - 3 INCHEM TOKYO 2007 プラントショー 出展風景

本プロジェクトにかかわる分野を日本において進展させるためには、単に広報するのみならず、この分野の研究者を育成することが不可欠である。そのような観点から、本プロジェクト関係者が中心となり、「産業人材育成パートナーシップ事業」に「マイクロ化学プロセス人材育成事業」として応募した。平成20-21年度の期間で採択され、講義や実習を行うと共に、そのテキストを作成した。表3-6に実施したコースと教科内容を、また図3-4に作成したテキストとDVDを示す。マイクロ化学プロセス構築時に必要な基礎的な技術について、DVDを用いて自習できるようにしている。図3-4に示したものの以外に、実験用テキストおよびCFDシミュレーション用テキストを作成した。

表3-6 マイクロ化学プロセス人材育成事業のカリキュラム

| | 科目名 | コマ数 (90分) |
|-----------------|---------------------------|--------------|
| マイクロ化学プロセス入門コース | マイクロ化学プロセス入門 | 3 |
| マイクロ化学プロセス実践コース | マイクロ合成化学 | 12 |
| | マイクロ化学工学 | 12 |
| | マイクロ化学プロセス実習(基礎実験) | 12 |
| | マイクロ化学プロセス演習(CFDシミュレーション) | 8 |
| | マイクロ化学プロセス特論Ⅰ(デバイス・装置) | 3 |
| | マイクロ化学プロセス特論Ⅱ(適用事例) | 3 |



図3-4 マイクロ化学プロセス人材育成テキスト

Ⅲ－１．４ 成果の最終目標の達成可能性について

表４－１から４－４に各研究開発項目とその成果、達成度を示す。これらの表に示すようにすべての項目で最終目標を達成できている。なお、実用化技術である研究開発項目④については、「Ⅲ－２．研究開発項目毎の成果」を参照されたい。

表４－１ 研究開発項目①の最終目標に対する達成度

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|--|-----|--|
| 1a) 各種活性種に対して、その寿命と望ましい急速混合技術の関係を体系化する。 | ○ | 等高線マップを用いて収率に対する活性種の寿命（温度）と滞留時間の関係を求める方法を確立した。そして、非対称ジアリールエテンの合成、クロスカップリングによるビアリール類の合成、 <i>o</i> -二置換ベンゼンの新合成、求電子性の官能基を有するベンゼン類の合成、ラジカル重合、熱および光ラジカル反応などの合成反応を行い、各種活性種の寿命とそれを制御可能な（急速混合技術に基づく）滞留時間との関係を体系化した。 |
| 2a) 活性種生成場と反応場の分離に必要な特性である、急速昇降温、精密温度制御、短滞留時間等が可能なマイクロ反応器の形状設計手法を開発する。 | ◎ | 混合器を設計する基本的なモデルとして有効セグメントモデルを提案し、形状との定量的な関係を導出することで、所望の混合速度、加熱、除熱速度を有するマイクロリアクターを演繹的に設計する方法論を確立した。これによって、これまで経験的に行われてきた反応器の設計が、有機合成反応などの活性種寿命に対応して厳密に設計可能となった。 |
| 2b) 急速混合および短滞留が可能で、広範囲な活性種寿命に柔軟に対応できるデバイスコンポーネントを開発するとともに複数のパイロットプラントへ実装し、その性能を検証する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・ 衝突、屈曲構造を有した急速混合が可能な形状の混合流路を提示した。 ・ 開発してきた各種マイクロデバイスパーツを組み合わせた反応器を開発し、有機合成の連続試験から既往の技術に比べ収率の大幅な向上を確認した。 ・ 異相系においても核生成と粒子成長を完全に分離することによる単分散ナノ粒子の合成すること、マイクロリアクター直列システムで任意の粒径のナノ粒子を製造することに成功した。 ・ これらの装置は数百トン／年の生産能力を有し、活性種生成、反応の場を分離した生 |

| | | |
|---|---|--|
| | | 産用マイクロリアクターとしては世界初である。以上、実用化へ供与できるレベルで目標を達成する成果が得られた。 |
| 2c) 開発した計測装置を用いた制御・監視システムを開発し、実験プラントへの実装と性能検証を行う。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> 対象の物理モデルからプロセスモデル（状態空間モデル）を構築し、少数の管壁温度測定情報から未知の状態量を推定するシステムを開発し、マイクロ装置で実証した。 4 並列 2 液混合型マイクロリアクターシステムを構築し、10 時間以上の連続運転を行ない、安定動作を確認するとともに、閉塞検出方法について性能評価からシステムの妥当性を検証した。 |

◎：大幅達成、○：目標達成、△：一部未達

表 4-2 研究開発項目②の最終目標に対する達成度

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|---|-----|--|
| (1) ヘテロ化合物の製造において、ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用を最大限活かすことにより、転化率、選択率を実用レベルまで向上させる。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作製用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物または有機硫黄化合物の製造において、実用化の目途となる原料転化率 80%以上、選択率 90%以上を達成する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> リチウムイオン電池の電解液添加剤などとして有用な環状サルファイト類のエポキシドへの SO₂ 挿入反応による合成において、原料転化率 99%、選択率 97%を達成した。 半導体洗浄剤などとして有用な有機ヒドロキシルアミン類のニトロ化合物の部分水素化による合成において、芳香族ヒドロキシルアミンについては原料転化率 99%、選択率 96%、脂肪族ヒドロキシルアミンについては原料転化率 99%、選択率 98%を達成した。 |
| (2) 食品関連機能性化学品の合成酵素について、ナノ空孔材料への固定化と活性の発現により、実用レベルの繰り返し使用を可能とする。たとえば、アミノ酸等の合成酵素では実用化の指標となる 50 回以上の繰り返し | ○ | <ul style="list-style-type: none"> アミノ酸等の合成酵素について実用化の指標となる 50 回以上の繰り返し使用を可能とすることに成功し、最終目標を達成した。 |

| | | |
|--|----------|---|
| <p>返し使用を可能とする。</p> | | |
| <p>(3) 分子触媒レベルの反応効率を達成するとともに実用可能レベルの触媒リーチング抑制技術を開発する。たとえば、炭素-炭素結合形成反応触媒では、低反応性基質を用いて収率 90%以上を達成する。不斉水素化触媒では、分子触媒と同等の不斉収率 (ee) を達成する。また両触媒とも、目的物中の残留金属濃度について、実用化の目途となる 0.2 ppm 以下を達成する。</p> | <p>○</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 炭素-炭素結合形成反応触媒では、鈴木カップリング反応において、低反応性クロロアリール基質を用いて収率 95%を達成した。 • 不斉水素化触媒では、類似の分子触媒と同等の高い反応転化率 (>99%) と高い不斉収率 (95% ee) を達成した。 • 炭素-炭素結合形成反応触媒では目的生成物中の残留 Pd 濃度を、不斉水素化触媒では目的生成物中の残留 Rh 濃度を、それぞれ 0.2 ppm 以下に抑えることに成功した。 |
| <p>(4) ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素との協働作用発現について、協働作用発現機構のモデルを提案する。また、工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法を開発する。</p> | <p>○</p> | <ul style="list-style-type: none"> • ナノ空孔反応場と分子触媒（もしくは孤立活性点）との協働作用発現の実例として、Al-MCM-41 触媒によるシアノシリル化反応、3成分ストレッカー型反応、向山アルドール反応を見出した。ナノ空孔内の配位圏が大きく開いた Al^{IV}サイトが強いルイス酸点として機能する協働作用発現機構を提案した。また、鈴木カップリング反応におけるポリエチレングリコール修飾効果を見出した。 • ナノ空孔内への分子触媒の有効な固定化手法として、安定で取り扱いが容易なアリアルシラン類を用いる方法を開発した。 • ナノ空孔反応場と酵素との協働作用発現について、ナノ空孔の特性（サイズ適合性や高多孔性）が酵素の特性（立体構造や活性挙動）に作用するモデルを提案し、その作用によって生じる各種の有用な効果（安定性や活性低下の抑制、基質濃縮による活性向上）の実例を実験的に提示できたことにより目標達成。 • 酵素とナノ空孔材料との吸着挙動や活性挙動について系統的に検討し、酵素触媒担体として求められるナノ空孔材料の選定のための有効な指針を得たことにより、工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への酵素の有効な固 |

| | | |
|--|--|-------------------|
| | | 定化手法を開発できたため目標達成。 |
|--|--|-------------------|

◎：大幅達成、○：目標達成、△：未達

表4-3 研究開発項目③-1の最終目標に対する達成度

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|---|-----|---|
| a-1) 活性種制御に基づく高効率の実用的マイクロ電解プロセスを開発する。たとえば電流効率が90%以上のマイクロ電解装置を開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・アミン誘導体の酸化反応で、転化率ベースで89%、収率ベースで87%を達成した。 ・トルエン誘導体の酸化反応では電流効率95%を達成した。 |
| a-2) トルエン誘導体の酸化、アミン誘導体の酸化に関するパイロットプラントを構築し、連続運転を実施する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・パイロットスケールの連続運転用マイクロ電解システムを制作し、連続運転を実施した。 |
| a-3) 高転換率の実用的光反応合成プロセスを開発する。たとえば転換率が90%以上の光反応合成プロセスを開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・芳香族アルデヒドの一段合成で収率91%達成した。また、無水マレイン酸の光二量化反応において、原料リサイクル構造を有するプロセスを構築し、転換率90%以上を達成した。 ・実用化の最大の課題である閉塞を防止する機構として、窒素導入によるスラグ流実現と超音波照射を組み合わせることにより、長時間の連続運転を達成した。 |
| a-4) 外部エネルギー・熱流体シミュレーション技術を利用した外部エネルギー利用装置設計手法を開発する。たとえばマイクロ波・熱流体シミュレーション技術を利用したマイクロ波利用装置の形状設計法を開発する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・電磁波シミュレーションと熱流体シミュレーションを連成させたシミュレーションに基づく形状設計法を開発した。 ・開発した設計法に基づきマイクロ波利用マイクロリアクターを作成し、設計通り水に対して吸収効率95%を達成した。 ・温度制御機能付きマイクロ波利用反応器を開発した。そして、マイクロ波の効果が、局所加熱による反応率の向上であることを明らかにした。 |
| a-5) 有機化合物の溶媒への溶解性と温度の関係を整理し、マイクロ波、超音波、光などの外部エネルギーを用いたナノ粒子製造プロセス | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・有機化合物の溶媒への溶解性と温度の関係を整理し、外部エネルギーを用いたナノ粒子製造プロセスの設計手法として温度制御による過飽和を制御する方法を提案した。 |

| | | |
|--|---|---|
| スの設計手法を確立する。 | | |
| b-1) 高圧、腐食性流体中で使用可能なマイクロリアクターと短時間で混合・反応停止できるマイクロリアクターからなるシステムを開発する。たとえば 50MPa 以上で混合時間 0.01 秒以下のマイクロリアクターからなるシステムを開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・チタニア内挿管などを新たに開発し、500℃、50MPa までの超臨界水中で腐食性流体を扱えるマイクロ製造プロセスを開発し、連続運転で実証した。 ・各種高圧マイクロ混合デバイスを開発し、50MPa 以上で混合時間数ミリ秒で完全混合可能なミキサーを有するマイクロシステムを開発した。 |
| b-2) 高圧との協奏的反應場によって各種高機能材料生成のための選択的反應技術を開発する。たとえば高機能材料として芳香族化合物、選択的反應技術としてニトロ化反應技術を開発する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・高圧マイクロ反應システムを用いて、芳香族・脂肪族に関わる 3 種類のクライゼン転位反應で選択率 100% を実証した。 ・硝酸アセチルによる低温ニトロ化反應を実施し収率 100%（選択率 100%）を実現できる高圧マイクロ反應技術を確立した。 ・開発したマイクロシステムを用いて、世界で初めて、硫酸フリーでの超臨界水中での芳香族のニトロ化反應を 30 時間の連続運転を実施し、迅速なスタートアップ、シャットダウン、安全操業、定常的な収率維持を実証し、実用化への目途をつけた。 ・高圧気液マイクロリアクターシステムを開発し、既往技術では困難であったニトロ化物の直接カルボニル化に成功した。 |

◎：大幅達成、○：目標達成、△：未達

表 4-4 研究開発項目③-2 の最終目標に対する達成度

| 最終目標 | 達成度 | 内容説明 |
|--|-----|---|
| a-1) 実用的マイクロ波利用触媒反應技術を開発する。たとえば、反應系の特徴を考慮したマイクロリアクター設計手法を確立する。 | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・誘電特性パラメーターの測定により加熱時の誘電特性変化傾向を把握し、マイクロリアクター形状の最適化に反映させた。 |
| a-2) 40% 以上のエネルギー有効利用（現状 20~30%）を可能とするマイクロ波照射技術を開発する。 | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・電磁界強度とリアクター形状を考慮して整合させ、マイクロ波エネルギーを効率よく供給するリアクターを実証した。 ・自動整合器の利用と反應場の誘電特性の制御により、高いマイクロ波エネルギー投入 |

| | | |
|---|---|--|
| | | <p>効率（水で 99.9%、トルエンで 92.6%）と高いエネルギー有効利用率（装置の消費電力エネルギーのうち反応場の加熱に利用できたエネルギーの割合、水で 51%、アニソール反応系で 42%）を達成した。</p> |
| <p>a-3) 実用レベルの転化率で選択的に位置異性体を合成する触媒反応技術（たとえば、機能性高分子原料となる多官能性化合物の合成では転化率 40% 以上かつ選択率 70% 以上）を開発する。</p> | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロリアクターに対するマイクロ波照射で迅速かつ低触媒量（反応時間 1 分、触媒量 0.1 モル% 以内）で定量的なカップリング反応を達成した。不均一触媒反応では触媒の溶出を抑えて定量的に進行する実用展開可能な触媒反応技術を開発した。 ・マイクロ波とナノ空孔触媒による芳香族修飾反応（アルキル化、アシル化）で転化率 40% 以上かつ選択率 70% 以上を達成した（2,6-ジアルキルナフタレンの合成で転化率 86%、選択率 70%、分子内アシル化では、転化率、選択率ともに 90% 以上）。 |
| <p>b-1) マイクロ波エネルギーを高い効率で吸収するナノ空孔触媒を活用した実用レベルの高選択触媒反応技術を開発する。たとえば、水等の反応媒体を化学原料とする還元反応、酸化反応において 95% 以上の転化率、選択率を達成する。</p> | ○ | <ul style="list-style-type: none"> ・フェニルボロン酸類から置換ベンゼン類への還元において、転化率 99%、選択率 99% を達成。 ・ジアミノアルカンから環状アミンへの変換において転化率 99%、選択率 99% を達成。 ・芳香族アルデヒド、ケトン類の酸素-重酸素交換において、重酸素導入率 95% を達成。 ・水素-重水素交換反応において、50 種以上の化合物において重水素導入率 95% 以上を達成。 |
| <p>b-2) 研究開発項目②（１）－（３）で実施するナノ空孔反応場利用技術に適用可能なマイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体利用触媒反応技術を適用し、実用レベルでの性能を達成する。たとえば、半導体デバイスプロセス処理剤、電子デバイス作成用化学品材料などとして有用な有機窒素化合物また</p> | ◎ | <ul style="list-style-type: none"> ・有機窒素化合物、有機硫黄化合物の製造に関しては、研究項目 2. 2. 1 で達成目標値を達成。環状イオウ酸エステル合成においてマイクロ波加熱と組み合わせることにより原料転化率および選択率の向上が見られた。 ・アミノ酸合成酵素-ナノ空孔材料複合体を担持した流通式マイクロリアクターを用いたアミノ酸の連続合成反応を行い、バッチ式反応 50 回以上に相当する繰り返し耐久性を達成した。 |

| | | |
|--|--|--|
| <p>は有機硫黄化合物の製造において、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反応場利用により、実用化の目途となる原料転化率 80% 以上、選択率 90% 以上を達成する。また、アミノ酸等の合成酵素について、超臨界流体あるいはマイクロリアクターの協奏的反応場利用により、実用化の目途となる 50 回以上の繰り返し利用を可能とする。さらに、協奏的反応場利用により、炭素-炭素結合反応触媒性能として、低反応性基質を用いて収率 90% 以上、不斉水素化触媒の性能として、分子触媒と同等の不斉収率 (ee) を達成する。</p> | | <ul style="list-style-type: none"> ・ 協奏的反応場利用による炭素-炭素結合反応触媒としてシリカ系またはカーボン系規則性多孔体に担持した Pd 触媒を合成しマイクロ波と組み合わせることによって、オイルバス加熱では低収率でしか得られない鈴木カップリング生成物（炭素-炭素結合反応生成物）を 93% 以上の収率で得ることに成功した。 ・ 分子触媒と同等の不斉収率 (ee) を研究項目 2. 2. 1 で最終目標値を達成。 |
|--|--|--|

◎ : 大幅達成、○ : 目標達成、△ : 未達

IV. 実用化の見通しについて

IV-1. 共通基盤技術における実用化の見通し

本プロジェクトは、3項目に関する共通基盤技術研究とその成果に基づく実用化技術研究から成り立っている。

本プロジェクトの基盤技術研究と実用化技術研究の関係、および実用化の見通しを、図1-1にまとめる。本プロジェクトでは、実用化技術研究と並行して共通基盤技術に関する研究も継続して進めた。実用化という観点では本プロジェクト参加企業のみでは不十分であり、プロジェクト外へも積極的に展開する必要がある。見通しとしては、平成23-24年頃に本研究の成果は、デバイス・素材としての利用が拡大し、平成27年頃までには、装置としての利用が進むと見込まれる。そして、平成30年頃には成果は大規模生産に適用できるレベルまで完成されたものになっていると予想される。このようにしていくためには、プロジェクトの成果を今後も社会に発信し続け、また新しい技術を開発し続けていかねばならない。言い換えれば、本プロジェクトの内容を発信し続ける「センター機能」が必要である。

この様な考えから、京都大学の教員が中心となり、平成23年5月に「京都大学マイクロ化学生産研究コンソーシアム」を設立した。このコンソーシアムでは、マイクロ化学に関する新しい情報の発信、啓蒙のためのセミナー、マイクロ化学プロセス人材育成事業で作成したテキストを用いた講義や実習、デバイスメーカーと化学企業との出会いの場の提供等に加え、本プロジェクトで利用した機器を用いて会員企業が独自の実験を行う場の提供も行えるよう構想している(図1-2参照)。このような活動を続けることにより、本プロジェクトに係わらなかった多くの研究者に本プロジェクトの成果を提供できる。

ナノ空孔を有する材料を利用して分子触媒・酵素を固定化し、ナノ空孔反応場と分子触媒・酵素の協働作用を活かす高選択的な合成法の基盤技術を確立した。図1-3に示すように、今後は、より広範囲の機能性化学品、機能性食品の製造等への適用について更なる検討を進め、ナノ空孔利用技術の体系化をより深めるとともに、ナノ空孔材料の一層の低価格化を実現することで、ナノ空孔利用が普及・拡大し、ファインケミカルズ製造プロセスにおける省エネ化、廃棄物極小化、高品質・高性能部材の新規創出につながることで、更には高度部材産業の競争力強化につながることを期待される。

表1-1から表1-4に、基盤技術開発における、実用化の問題点や波及効果をまとめる。

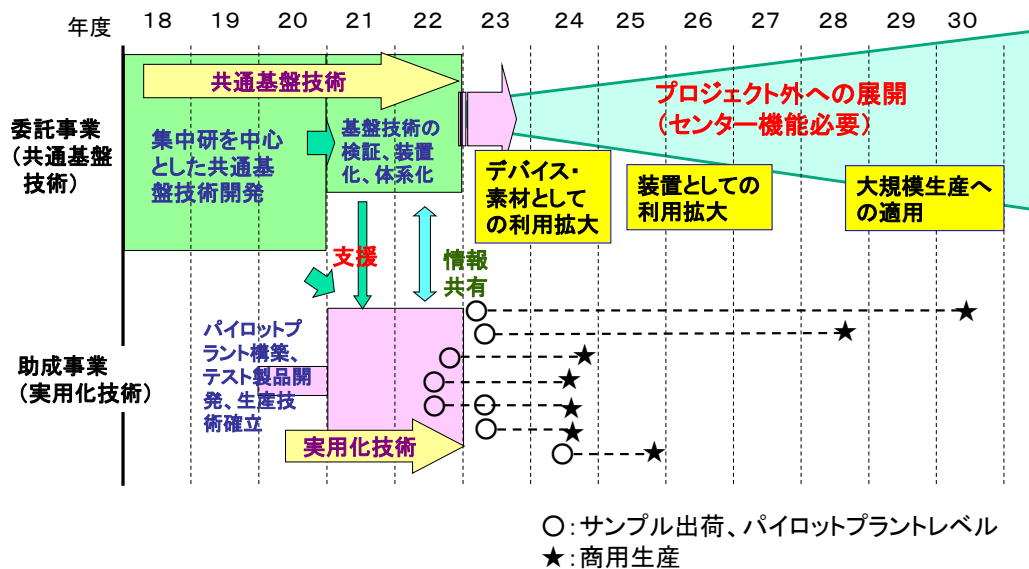


図 1 - 1 実用化の見通し

京都大学 マイクロ化学生産研究コンソーシアム (H23.5 スタート)

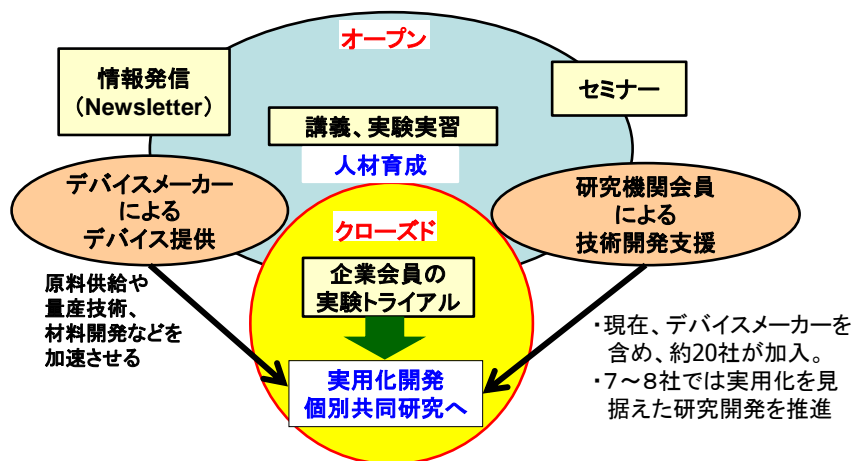


図 1 - 2 マイクロ化学生産研究コンソーシアムの構造

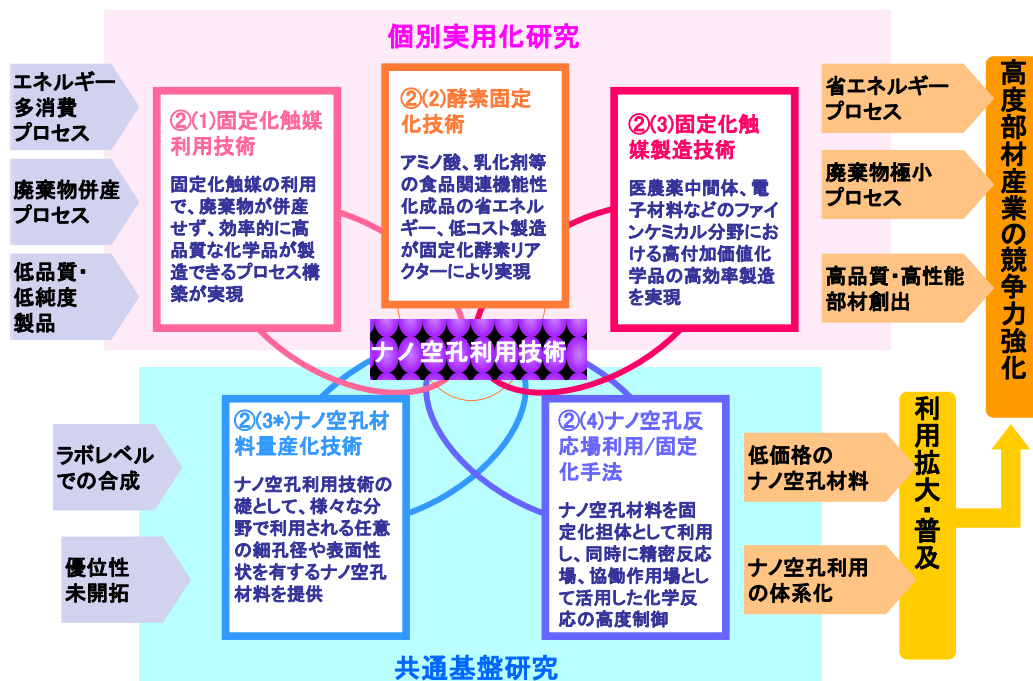


図 1-3 ナノ空孔研究における実用化推進、人材育成の体制

実用化研究では、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反應場を幅広く工業的に利用可能とするためのプラント技術を開発することを目的に研究を進め、平成20年度より1件、平成21年度より5件、平成22年度より1件の実用化研究が実施された。図1-1の○と★は、各社がサンプル出荷やパイロットプラントレベルの生産を開始する時期、および本格生産を予定している時期を示している。この図からわかるように、何社かは平成24年度にも本格生産を予定しており、本プロジェクトが成功裏に終了したことが伺える。個々の実用化研究の実用化の見通しについては、「IV. 実用化の見通しについて」を参照されたい。

表 1-1 研究開発項目①の実用化への課題と波及効果

| 研究開発項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、 シナリオ | 波及効果 |
|---------------------------------|--|---|
| ①-1 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立 | <ul style="list-style-type: none"> 既存反応プロセスの効率化だけでなく、これまでのバッチ型プロセスでは合成困難な化合物群合成に積極的に利用することが、本技術の有用性や利用価値を飛躍的に向上させる上で重要。 各種機能性材料や医薬品中間体の高機能化に向けた新規化合物の合 | <ul style="list-style-type: none"> 短寿命活性種を利用した広範囲の反応の工業プロセス実現。 |

| | | |
|---|---|---|
| | 成に本技術を積極的に利用していくことが実用化の道を開く上で重要。 | |
| ①-2 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 開発した基盤技術はすでに実用化に提供されているが、今後さらに拡大するには、1) 原料供給技術、リアクター材料開発、2) 量産技術開発、3) マイクロデバイス用計測制御機器開発が重要。 すでに数千トン/年クラスのプロトタイプ設計済みで、2011年4月に京大に設立した産学連携コンソーシアムにて開発推進（向こう5年で実用化済みも含め10件程度は実用化と推測）。 | <ul style="list-style-type: none"> PJ 外企業を中心に2社にて、商品販売中。他5社でも商品化、実機開発レベルに到達。 本質安全、プロセス1/10コンパクト化、装置によって製品品質制御などの特徴から今後の日本の化学産業の国際的優位性と保つ日本オリジナルな新技術に。 |

表1-2 研究開発項目②の実用化への課題と波及効果

| 研究開発項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、 シナリオ | 波及効果 |
|---|---|--|
| ②-1: ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 ・洗浄剤/電池添加剤 | ナノ空孔固定化触媒を利用して、廃棄物が併産しないプロセスを構築。触媒の再利用、再活性化により製造コストを低減し、現行品よりも安価で高品質な製品を供給。 | <ul style="list-style-type: none"> 従来技術より廃棄物が削減され、環境負荷が低減。 Li 電池市場への安価で高品質な電池添加剤の提供。 |
| ②-2: ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 ・サプリメント等 | サプリメント製造用酵素のナノ空孔への安定的固定化に成功。スケールアップ化に必要な成形技術の開発、通液反応条件の最適化が課題。 | 食品関連化学品の高効率生産プロセスの普及・拡大を加速。 |
| ②-3-1: ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発 ・バイオリアクター等 | 製造量を増やすことでの低価格化が課題。部材化（膜化、紙や繊維への導入、ハニカム化）、様々な分野への用途展開についても検討。 | 触媒・酵素固定化担体、吸着剤、ドラックデリバリー等医療用材料としての利用拡大。 |
| ②-3-2: ナノ空孔固定化分子触媒の開発 ・ファインケミカルズ製造触媒等 | 高い反応性・選択性と金属溶出抑制の性能を併せ持つ世界トップレベルの触媒。既存触媒に比して製造コストが高い点が課題。触媒製造コストの低減を図り、供給体制を整備。 | 医農薬中間体、電子材料などのファインケミカル分野における高付加価値化学品の製造プロセスを高効率化。 |

| | | |
|---|---|---|
| <p>②-4: ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・利用拡大/普及等 | <ul style="list-style-type: none"> ・協働作用場としてのナノ空孔利用の体系化、不斉源で表面修飾した触媒による不斉合成への展開。 ・酵素活性を最大化する固定化技術を確立。固定化酵素による化成品の生産へと展開。 ・安定なシラン化合物による触媒固定化技術を開発。基質の適用範囲の拡大へと展開。 | <ul style="list-style-type: none"> ・各種ファインケミカルズの高効率 ・低環境負荷製造プロセスの実現。 ・高品質、高性能部材の創出。 ・革新的ハイブリッド材料開発への発展。 |
|---|---|---|

表 1 - 3 研究開発項目③-1 の実用化への課題と波及効果

| 研究開発項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、 シナリオ | 波及効果 |
|--|---|--|
| <p>1. a 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ波、電気エネルギー、光エネルギー利用装置の普及 ・ビルドアップ型微粒子製造 | <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ波、光エネルギー利用装置に関しては実用化段階。適切な規模で量産の対象となる物質の選定が課題。この問題解決には、装置を普及させ、利用者増をはかる必要がある。 ・電気エネルギー利用装置に関しては、量産のための並列化技術開発が必要。 ・ビルドアップ型微粒子製造に関しては、基本技術は完了。コストに合う製品開発、低コスト原料開発が鍵。 | <ul style="list-style-type: none"> ・連続式マイクロ波利用反応器の普及により、反応に対するマイクロ波の効果がより明確になる。その結果、局部加熱効果を利用した様々な効率的な反応が提案される可能性がある。 ・連続式光反応装置の普及により、R&D が効率的に進められ、様々な効率的な反応が提案される可能性がある。 |
| <p>1. b 高圧との協奏的反応場技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ニトロ化合物製造 ・イソシアナート ・医農薬中間体製造 ・芳香族、脂肪族アシル化(エステル化、アミド化など) | <ul style="list-style-type: none"> ・すでにニトロ化を対象に実用化研究に一定の成果を得ているが、広範囲の対象に対して実用化を推進するには、 ①チタンライニングのインコネル管・継ぎ手による耐酸性能の長時間での耐食性の実証、 ②化成品製造を視野に入れた量産化技術の課題の解決 <p>が必要である。これらは、実用化の最終段階であり、ニトロ化の実機開発を推進している日油と連</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・PJ 外企業とクロスカップリング技術の製造技術開発を推進 (2015 年までにベンチプラント実証、サンプル出荷、2020 年までに大量生産予定。 ・高圧での熱移動の迅速化、苛酷な条件で容易な操作、耐食構造、スタートアップ/シャットダウンが容易、高圧水の特異な反応場を自在に制御などの特徴から、触媒フリー、溶剤フリーといった省エネルギー・省資源型 |

| | | |
|---|-----------------------|-------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ・クロスカップリング反応 ・ナノ粒子 | 携し5年後には実用化達成を目標に推進する。 | 有機合成、ナノ粒子製造などを誘導。 |
|---|-----------------------|-------------------|

表1-4 研究開発項目③-2の実用化への課題と波及効果

| | 研究項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、 シナリオ | 波及効果 |
|--------------------|---|---|---|
| マイクロ波利用技術 | a-1, 2, 3 <ul style="list-style-type: none"> ・誘電特性パラメータ測定手法 ・化学反应用リアクター | <ul style="list-style-type: none"> ・広い温度域(液体窒素温度～350℃)における有機材料、触媒の誘電特性パラメータの測定に成功。今後は、測定確度の向上、高誘電損失材料等へと展開。 | <ul style="list-style-type: none"> ・成果を基にして誘電率測定システムの開発 ・小型マイクロ波照射装置の開発 |
| 協奏的 反応場 プロセス | b-1 安定同位体標識部材 (重水素、重酸素) | <ul style="list-style-type: none"> ・一部重水素標識化合物について市販に向けた準備を開始。今後は、本手法の適用範囲の拡大と重水素標識部材としての用途拡充。 | <ul style="list-style-type: none"> ・OLED材料としての耐久性向上を実証し、材料メーカーとの共同研究を開始。 |
| | b-2 <ul style="list-style-type: none"> ・炭素-炭素結合生成触媒 ・酵素固定化ナノ空孔触媒 ・酵素固定化マイクロリアクター ・触媒固定化マイクロリアクター | <ul style="list-style-type: none"> ・鈴木カップリング反応に適した高効率触媒系・反応場を開発。今後は具体的な高機能部材へと展開。 ・ナノ空孔固定化酵素を開発、今後はマイクロ流路への配列制御、流路あたりの処理量増大を図り、ファインケミカルズへと展開。 | <ul style="list-style-type: none"> ・本研究開発において得られた知見を元に、関係する企業との連携を図ることにより、医薬中間体、電子材料等のファインケミカルズの製造プロセスを加速。 |

V. 成果資料

成果資料総括表

| | V-1 論文 | | V-2 学会発表等 | | V-3 その他外部 発表 | V-4 特許出願 |
|------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------------|-------------|
| | V-1-1 査読付 | V-1-2 査読無し | 学会発表 等口頭 | 学会発表等 ポスター | その他外部 発表 | 出願特許 件数 |
| 平成18年 度 | 17 | 2 | 44 | 41 | 16 | 5 |
| 平成19年 度 | 32 | 3 | 71 | 33 | 19 | 23 |
| 平成20年 度 | 46 | 10 | 158 | 75 | 5 | 18 |
| 平成21年 度 | 36 | 4 | 87 | 92 | 16 | 15 |
| 平成22年 度 | 46 | 6 | 62 | 38 | 47 | 12 |
| 総計 | 177 | 25 | 422 | 279 | 103 | 73 |

V-1. 論文一覧表

V-1-1. 査読付論文一覧表

平成18年度

| 番号 | 著者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|--|---|--|----|-------|
| 1 | N. Daito, N. Aoki, J. Yoshida, K. Mae | Selective Condensation Reaction of Phenols and Formaldehyde using Micromixers Based on Collision of Fluid Segments | Ind. Eng. Chem. Res., 45(14), 4954-4961(2006). | 有 | 2006年 |
| 2 | N. Aoki, K. Mae | Improvement of Product Yield and Selectivity in Microreactors by Combining Fluid Segments of Different Concentrations and Sizes | Studies in Surface Science and Catalysis, 159, 641-644, Elsevier Science, Amsterdam(2006). | 有 | 2006年 |
| 3 | W. Tanthapanichakoon, K. Matsuyama, N. Aoki and K. Mae | Design of microfluidic slug mixing based on the correlation between a dimensionless mixing rate and a modified Peclet number | Chem. Eng. Sci., 61(22), 7386-7392(2006) | 有 | 2006年 |
| 4 | H. Nagasawa, T. Tsujiuchi, T. Maki, K. Mae | Controlling Fine Particle Formation Processes Using a Concentric Microreactor | AIChE J., 53(1) 196-206 (2007) | 有 | 2006年 |
| 5 | T. Seki, M. Onaka | Sulfated Mesoporous Alumina: A Highly Effective Solid Strong Base Catalyst for the Tishchenko | J. Phys. Chem. B, 110, 1240-1248 (2006) | 有 | 2006年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|-------|
| | | Reaction in Supercritical Carbon Dioxide | | | |
| 6 | T. Seki, T. Nakajo, M. Onaka, | The Tishchenko Reaction: A Classic and Practical Tool for Ester Synthesis | Chem. Lett. (Highlight Review), 35, 824-829 (2006) | 有 | 2006年 |
| 7 | T. Seki, S. Ikeda, M. Onaka | Synthesis of Sodium-doped Mesoporous Alumina and its Superbase Catalysis for Double Bond Migration of Olefins | Micropor. Mesopor. Mater., 96, 121-126 (2006). | 有 | 2006年 |
| 8 | T. Seki, M. Onaka | Heterogeneous strong base catalysis in supercritical carbon dioxide by mesoporous alumina and sulfated mesoporous alumina | Catalysis Surveys from Asia, 10, 138-150 (2006) | 有 | 2006年 |
| 9 | T. Yokoi, Y. Sakamoto, O. Terasaki, Y. Kubota, T. Okubo, T. Tatsumi | Periodic arrangement of silica nanospheres assisted by amino acids | J. Am. Chem. Soc., 128, 13664-13665 (2006). | 有 | 2006年 |
| 10 | Y. Goto, Y. Fukushima, Y. Kubota, Y. Sugi | Mesoporous materials from leached calcium silicates with hollow structure | J. Porous Mater., 13, 147-152 (2006). | 有 | 2006年 |
| 11 | H. Nishihara, S. R. Mukai, Y. Fujii, T. Tago, T. Masuda and H. Tamon | Preparation of monolithic SiO ₂ -Al ₂ O ₃ cryogels with inter-connected macropores through ice templating | Journal of Materials Chemistry 16(31), pp. 3231-3236 (2006) | 有 | 2006年 |
| 12 | S. R. Mukai, H. Nishihara and H. Tamon | Porous microfibers and microhoneycombs synthesized by ice templating | Catalysis Survey from Asia 10(3-4), pp. 161-171 (2006) | 有 | 2006年 |
| 13 | H. Tamon, H. Nishihara and S. R. Mukai | Synthesis of titania-silica | Drying 2006 (I. Farkas ed.), Szent | 有 | 2006年 |

| | | | | | |
|----|-------------------|---|--|---|-------|
| | | microhoneycomb by unidirectional freezing and freeze drying of hydrogel | István University Publisher, Gödöllő, Hungary Vol. C, pp. 1817-1824 | | |
| 14 | 松下、熊田、若林、酒田、市村 | Photocatalytic Reduction in Microreactors | Chemistry Letters, 35(2006)410-411 | 有 | 2006年 |
| 15 | 市村、松下、大場、熊田、酒田、鈴木 | Photoreactions in Microreactors | Micro Total Analysis System 2006, Society for Chemistry and Micro-nano Systems, 1, (2006)804-806 | 有 | 2006年 |
| 16 | 松下 | マイクロリアクターによる光触媒反応 | Electrochemistry, 75(2007)9-13 | 有 | 2006年 |
| 17 | 片岡、遠藤、原田、大森 | Fabrication of Mesoporous Silica Thin Films inside Microreactors | Mater. Lett., 62 , 723-726 | 有 | 2006年 |

平成19年度

| 番号 | 著者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|---|---|-------------------------------------|----|-------|
| 1 | H. Usutani, ; T. Tomida, ; A. Nagaki, ; H. Okamoto, ; T. Nokami, ; J. Yoshida, | Generation and Reactions of σ -Bromophenyllithium without Benzyne Formation Using a Microreactor | J. Am. Chem. Soc 129, 3046-3047 | 有 | 2007年 |
| 2 | A. Nagaki, ; Y. Tomida, ; H. Usutani, ; H. Kim, ; N. Takabayashi, ; T. Nokami, ; H. Okamoto, ; J. Yoshida, | Integrated Micro Flow Synthesis Based on Sequential Br-Li Exchange Reactions of <i>p</i> -, <i>m</i> -, and σ -Dibromobenzenes | Chem. Asian J. 2, 1513-1523 | 有 | 2007年 |
| 3 | C. Uchiike, ; T. Terashima, ; M. Ouchi, ; T. Ando, ; M. Kamigaito, ; M. Sawamoto, | Evolution of iron catalysts for effective living radical polymerization: Design of phosphine/halogen Ligands in $\text{FeX}_2(\text{PR}_3)_2$ | Macromolecules 2007, 40, 8658-8662. | 有 | 2007年 |
| 4 | M. Ouchi, ; | Halogen Donors in | Macromolecules | 有 | 2007年 |

| | | | | | |
|----|---|--|--|---|-------|
| | S. Tokuoka, ; M. Sawamoto, | Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization: Control of the Equilibrium between Dormant and Active Species | 05-Jan-2008, Web Released. | | |
| 5 | M. Kano, T. Fujioka, O. Tonomura, S. Hasebe, and M. Noda | Data-Based and Model-Based Blockage Diagnosis for Stacked Microchemical Processes | Chemical Engineering Science, Vol.62, Issue 4, pp. 1073-1080 | 有 | 2007年 |
| 6 | O. Tonomura, T. Tominari, M. Kano, S. Hasebe | Operation policy for micro chemical plants with external numbering-up structure | Chemical Engineering Journal, Vol.135, Supplement 1, S131-S137 | 有 | 2008年 |
| 7 | H. Tamon, H. Nishihara and S. R. Mukai | Controlling micromorphology of silica gels by unidirectional freezing and freeze drying | Proc. 5th Asia-Pacific Drying Conf. (G. Chen ed.), World Scientific, Singapore Vol. 2, pp. 853-858 | 有 | 2007年 |
| 8 | Y. Ushiogi, T. Hase, Y. Iinuma, A. Takata, J. Yoshida | Synthesis of photochromic diarylethenes using a microflow system | Chemical Communications 2947-2949, (2007) | 有 | 2007年 |
| 9 | T. Fukuyama, ; M. Kobayashi, ; M. T. Rahman, ; N. Kamata, ; I. Ryu, | Spurring Radical Reactions of Organic Halides with Tin Hydride and TMSS Using Microreactors | Og. Lett. 2008 | 有 | 2008年 |
| 10 | T. Fukuyama, ; M. T. Rahman, ; M. Sato, ; I. Ryu, | Adventures in Inner Space: Microflow Systems for Practical Organic Synthesis | Synlett, 15, (2008). | 有 | 2008年 |
| 11 | 松下 | マイクロリアクターによる光触媒反応 | Electrochemistry, 75 (2007) 9-13. | 有 | 2007年 |
| 12 | Y. Matsushita, N. Ohba, S. Kumada, K. Sakeda, T. Suzuki, | Photocatalytic reactions in microreactors | Chem. Eng. J, 135 (2008) S303-308. | 有 | 2008年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|-------|
| | T. Ichimura, | | | | |
| 13 | Y. Matsushita, T. Ichimura, N. Ohba, S. Kumada, K. Sakeda, T. Suzuki, H. Tanibata, and T. Murata | Recent progress on photoreactions in microreactors | Pure Appl. Chem., 79 (2007)1959-1968. | 有 | 2007年 |
| 14 | Y. Matsushita, N. Ohba, S. Kumada, T. Suzuki, T. Ichimura, | Photocatalytic N-alkylation of benzylamine in microreactors | Catal. Commun, 8 (2007) 2193-2196. | 有 | 2007年 |
| 15 | K. Sakeda, K. Wakabayashi, Y. Matsushita, T. Ichimura, T. Suzuki, T. Wada, Y. Inoue | Asymmetric Photosensitized Addition of Methanol to (R)-(+)-(Z)-Limonen in a Microreactor | J. Photochem. Photobiol. A:Chemistry, 192 (2007) 166-171. | 有 | 2007年 |
| 16 | Y. Matsushita, N. Ohba, T. Suzuki, T. Ichimura | N-Alkylation of amines by photocatalytic reaction in a microreaction system | Catalysis Today, 2008 | 有 | 2008年 |
| 17 | T. Seki, M. Onaka | Elucidation of Basic Properties of Mesoporous Alumina through the Temperature-programmed Desorption of Carbon Dioxide and Heterogeneous Basic Catalysis of Mesoporous Alumina for the Knoevenagel Reaction in Supercritical CO ₂ | J. Mol. Catal. A. Chemical, 263, 115-120 (2007). | 有 | 2007年 |
| 18 | T. Seki, S. Ikeda, M. Onaka | Unique Property of Active Base Sites on Mesoporous Alumina | Stud. Surf. Sci. Catal., 172, 337-340 (2007) | 有 | 2007年 |
| 19 | T. Aida, A. Yamazaki, M. Akutsu, T. Ono, A. Kanno, T. Hoshina, M. Ota, M. Watanabe, Y. Sato, R. L. Smith, Jr., | Laser-Doppler vibrating tube densimeter for measurements at high temperatures and pressures | Reviews of Scientific Instruments | 有 | 2007年 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|-------|
| | and H. Inomata | | | | |
| 20 | Y. Kubota, M. Yoshida, T. Tatsumi | Nanostructural modification of organic-tethered MCM-22 catalyst and its catalytic performance | <i>Stud. Surf. Sci. Catal.</i> , 170 , 629-634 | 有 | 2007年 |
| 21 | Y. Kubota, Y. Sugi, T. Tatsumi | Organic-inorganic hybrid catalysts based on ordered porous structures for carbon-carbon bond forming reactions | <i>Catalysis Surveys from Asia</i> , 11 , 158-170 | 有 | 2007年 |
| 22 | Y. Koyama, T. Ikeda, T. Tatsumi, Y. Kubota | A multi-dimensional microporous silicate that is isomorphous to zeolite MCM-68 | <i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> , 47 , 1042-1046 | 有 | 2008年 |
| 23 | Y. Kubota, C. Jin, T. Tatsumi | Performance of organic-inorganic hybrid catalysts based on <i>Ia-3d</i> mesoporous silica | <i>Catal. Today</i> , 132 , 75-80 | 有 | 2008年 |
| 24 | K. Yube, M. Furuta, K. Mae | Selective Oxidation of Phenol with Hydrogen Peroxide Using Two Types of Catalytic Microreactor | <i>Catalysis Today</i> , 125, 56-63 (2007) | 有 | 2007年 |
| 25 | N. Aoki, K. Yube, K. Mae | Fluid Segment Configuration for Improving Product Yield and Selectivity of Catalytic Surface Reactions in Microreactors | <i>Chemical Engineering Journal</i> , 133, 105-111 (2007) | 有 | 2007年 |
| 26 | K. Yube, M. Furuta, N. Aoki, K. Mae | Control of Selectivities of Phenol Hydroxylation Using Microstructured Catalytic Wall Reactors | <i>Applied Catalysis A</i> , 327, 278-286 (2007) | 有 | 2007年 |
| 27 | K. Mae | Advanced Chemical Processing Using Micro Space | <i>Chemical Engineering Science</i> , 62, 4842-4851 (2007) | 有 | 2007年 |
| 28 | K. Matsuyama, W. Tanthapanichakoon, | Operation of Microfluidic Liquid Slug Formation and | <i>Chemical Engineering Science</i> , 62, 5133-5136 | 有 | 2007年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|-------|
| | N. Aoki, K. Mae | Slug Design for Kinetics Measurement | (2007) | | |
| 29 | K. Mae, A. Suzuki, T. Maki, | A New Micromixer with Needle Adjustment for Instant Mixing and Heating under High Pressure and High Temperature | Journal of Chemical Engineering of Japan, 40, 1101-1107 (2007) | 有 | 2007年 |
| 30 | T. Aida, A. Yamazaki, M. Akutsu, T. Ono, A. Kanno, T. Hoshina, M. Ota, M. Watanabe, Y. Sato, R. L. Smith, Jr., and H. Inomata | Laser-Doppler vibrating tube densimeter for measurements at high temperatures and pressures | Review of Scientific Instruments, 78, 115111 (2007). | 有 | 2007年 |
| 31 | K. Iwanami, J.-C. Choi, B. Lu, T. Sakakura & H. Yasuda | Remarkable acceleration of cyanosilylation by the mesoporous Al-MCM-41 catalyst | Chem. Commun., 2008, 1002-1004 | 有 | 2008年 |
| 32 | S. Kataoka, A. Endo, A. Harada, Y. Inagi, T. Ohmori | Characterization of Mesoporous Catalyst Support on Microreactor Walls | Appl. Catal. A-Gen., 342, 107-112 | 有 | 2008年 |

平成20年度

| 番号 | 著者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|---|--|-------------------------------|----|-------|
| 1 | J. Yoshida, A. Nagaki, T. Yamada | Flash Chemistry: Fast Chemical Synthesis Using Microreactors | Chem. Eur. J., 14, 7450-7459 | 有 | 2008年 |
| 2 | A. Nagaki, Y. Tomida, J. Yoshida, | Microflow System Controlled Anionic Polymerization of Styrenes. | Macromolecules, 41, 6322-6330 | 有 | 2008年 |
| 3 | A. Nagaki, T. Iwasaki, K. Kawamura, D. Yamada, S. Suga, T. Ando, M. Sawamoto, | Microflow System Controlled Carbocationic Polymerization of Vinyl Ethers | Chem. Asian J., 3, 1558-1567 | 有 | 2008年 |

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|--------|
| | J. Yoshida | | | | |
| 4 | A. Nagaki, N. Takabayashi, Y. Tomida, J. Yoshida | Synthesis of Unsymmetrical Biaryls by Means of Mono-Selective Reaction of polyhaloarenes Using Integrated Micro Flow System | Org. Lett., 18, 3937-3940 | 有 | 2008 年 |
| 5 | A. Nagaki, H. Kim, J. Yoshida | Aryllithium Compounds Bearing Alkoxy carbonyl Groups. Generation and Reactions Using a Microflow System. | Angew. Chem., Int. Ed., 47, 7833-7836 | 有 | 2008 年 |
| 6 | M. Ouchi, S. Tokuoka, M. Sawamoto | Halogen donors in metal-catalyzed living radical polymerization: Control of the equilibrium between dormant and active species | Macromolecules, 3, 518-520 | 有 | 2008 年 |
| 7 | K. Nakatani, M. Ouchi, M. Sawamoto, | Terminal umpolung in metal-catalyzed living radical polymerization: Quantitative end-capping of carbon-halogen bond via a modifier monomer | Macromolecules, 13, 4579-4581 | 有 | 2008 年 |
| 8 | K. Nakamura, S. Nishitsuji, M. Takenaka, M. Ouchi, M. Sawamoto, | Architecture dependence of thermal fluctuation effects on the order-disorder transition of block copolymer melts | Polymer, 12, 2979-2984 | 有 | 2008 年 |
| 9 | M. Ouchi, M. Ito, S. Kamemoto, M. Sawamoto, | Highly active and removable ruthenium catalysts for transition metal-catalyzed living radical polymerization: Design of Ligands and cocatalysts | Chem. Asian. J., 8-9, 1358-1364 | 有 | 2008 年 |
| 10 | C. Uchiike, M. Ouchi, T. Ando, M. Kamigaito, M. Sawamoto, | Evolution of Iron Catalysts for Effective Living Radical Polymerization: P-N Chelate Ligand for Enhancement of Catalytic Performances | J. Polym. Sci. Part A. Polym. Chem., 20, 6819-6827 | 有 | 2008 年 |
| 11 | M. Ouchi, T. Terashima, M. Sawamoto,. | Precision Control of Radical Polymerization via | Acc. Chem. Rec., 9, 1120-1132 | 有 | 2008 年 |

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|-------|
| | | Transition Metal Catalysts: From Dormant Species to Designed Catalysts for Precision Functional Polymers | | | |
| 12 | M.Ishio, M.Katsube, M.Ouchi, M.Sawamoto, Y.Inoue, | Active, Versatile, and Removable Iron Catalysts with Phosphazene Salts for Living Radical Polymerization of Methacrylates | Macromolecules, 1, 188-193 | 有 | 2009年 |
| 13 | A. Sugimoto, T. Fukuyama, Y. Sumino, M. Takagi, I. Ryu | Microflow Photo-Radical Reaction Using a Compact Light Source: Application to the Barton Reaction Leading to a Key Intermediate for Myricic Acid A | Tetrahedron | 有 | 2009年 |
| 14 | N. Aoki, R. Kitajima, C. Itoh, K. Mae | Microreactor for Synthesis Via Intermediates with Assembled Units Enabling Rapid Operations | Chemical Engineering & Technology, 31 (8), 1140-1145 (2008) | 有 | 2008年 |
| 15 | Y. Okubo, T. Maki, N. Aoki, Teng H. Khoo, Y. Ohmukai, K. Mae | Liquid-Liquid Extraction for Efficient Synthesis and Separation by Utilizing Micro Spaces | Chemical Engineering Science, 63 (16), 4070-4077 (2008) | 有 | 2008年 |
| 16 | N. Aoki, K. Mae | Nonisothermal Design of Fluid Segments for Precise Temperature Control in Microreactors | Chemical Engineering Science, 63 (20), 5035-5041 (2008) | 有 | 2008年 |
| 17 | Y. Okubo, H. Higashimura, K. Mae | Oxidative Dimerization of Phenol Based on Micromixing in Single- And Two-Phase Systems | Industrial & Engineering Chemistry Research, 47 (19), 7154-7160 (2008) | 有 | 2008年 |
| 18 | 松澤、富樫、長谷部 | フロー処理型マイクロ波化学反応装置の開発に関する基礎検討 | 日本機械学会論文集 B 編 75 巻、750 号、316-322 | 有 | 2009年 |
| 19 | S. R. Mukai, H. Nishihara and H. Tamon | Morphology Maps of Ice-Templated Silica Gels Derived from Silica Hydrogels and Hydrosols | Microporous Mesoporous Mater., 116, 166-170. | 有 | 2008年 |
| 20 | Y. Matsushita, N. Ohba, | Photocatalytic Reactions in | Chem. Eng. J. 135S | 有 | 2008年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|--------|
| | S. Kumada, K. Sakeda, T. Suzuki, T. Ichimura, | Microreactors | (2008), S303-S308 | | |
| 21 | Y. Matsushita, N. Ohba, T. Suzuki, T. Ichimura, | N-Alkylation of Amines by Photocatalytic Reaction in a Microreaction System | Catalysis Today, 132(2008)153-158 | 有 | 2008 年 |
| 22 | Y. Matsushita, Y. Sato, N. Ohba, N. Usami, T. Suzuki, T. Ichimura | Multiphase Photocatalytic Reactions in a Microreaction System | Micro Total Analysis Systems 2008, 2 (2008) 1257-1259 | 有 | 2008 年 |
| 23 | T. Hoshina, T. Ono, T. Aida, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Flow type densimeter with the vibrating tube for measurements at high temperatures and pressures | Proc of 15 th International Conference on the Properties of Water and Steam (VDI-GET) | 有 | 2008 年 |
| 24 | T. Hoshina, T. Ono, T. Aida, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Flow type densimeter with the vibrating tube for measurements at high temperatures and pressures | Proc of 15 th International Conference on the Properties of Water and Steam (VDI-GET) | 有 | 2008 年 |
| 25 | J.-C. Wang, Y. Masui, K. Watanabe, M. Onaka | Highly Efficient Cyanosilylation of Sterically Bulky Ketones Catalyzed by Tin Ion-exchanged Montmorillonite | Adv. Synth. Catal. 351, 553-557 | 有 | 2009 年 |
| 26 | S. K. Jana, Y. Kubota, T. Tatsumi | Cobalt-substituted polyoxometalate pillared hydrotalcite: Synthesis and catalysis in liquid-phase oxidation of cyclohexanol with molecular oxygen | Journal of Catalysis, 255, 40-47 | 有 | 2008 年 |
| 27 | W. Fan, R.-G. Duan, T. Yokoi, P. Wu, Y. Kubota, T. Tatsumi | Synthesis, crystallization mechanism, and catalytic properties of titanium-rich TS-1 free of extraframework titanium species | Journal of the American Chemical Society, 130, 10150-10164 | 有 | 2008 年 |
| 28 | T. Shibata, S. Suzuki, | Synthetic investigation | Microporous and | 有 | 2008 年 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|-------|
| | H. Kawagoe, K. Komura, Y. Kubota, Y. Sugi, J.-H. Kim, S. Gon | on MCM-68 zeolite with MSE topology and its application for shape-selective alkylation of biphenyl | Mesoporous Materials, 116, 216-226 | | |
| 29 | Y. Kubota, Y. Koyama, T. Yamada, S. Inagaki, T. Tatsumi | Synthesis and catalytic performance of Ti-MCM-68 for effective oxidation reactions | Chemical Communications, 44, 6224-6226 | 有 | 2008年 |
| 30 | T. Shibata, H. Kawagoe, H. Naiki, K. Komura, Y. Kubota, Y. Sugi | The alkylation of naphthalene over MCM-68 with MSE topology | Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 297(2), 80-85 | 有 | 2009年 |
| 31 | Y. Matsushita, N. Ohba, S. Kumada, K. Sakeda, T. Suzuki, T. Ichimura, | Photocatalytic Reactions in Microreactors | <i>Chem. Eng. J.</i> 135S (2008), S303-S308 | 有 | 2008年 |
| 32 | Y. Matsushita, N. Ohba, T. Suzuki, T. Ichimura, | N-Alkylation of Amines by Photocatalytic Reaction in a Microreaction System | <i>Catalysis Today</i> , 132(2008)153-158 | 有 | 2008年 |
| 33 | Y. Matsushita, Y. Sato, N. Ohba, N. Usami, T. Suzuki, T. Ichimura | Multiphase Photocatalytic Reactions in a Microreaction System | <i>Micro Total Analysis Systems 2008</i> , 2 (2008) 1257-1259 | 有 | 2008年 |
| 34 | 松下 | マイクロ流路内の光反応 | 光化学, 39 (2008) 93-101 | 有 | 2008年 |
| 35 | T. Hoshina, T. Ono, T. Aida, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Flow type densimeter with the vibrating tube for measurements at high temperatures and pressures | Proc of 15 th International Conference on the Properties of Water and Steam (VDI-GET) | 有 | 2008年 |
| 36 | Xinhua Qi, Masaru Watanabe, Taku M. Aida, and Richard L. Smith, Jr. | Catalytical conversion of fructose and glucose into 5-hydroxymethyl- furfural in hot compressed water by microwave heating | Catalysis Communications, 9, 2244-2249 (2008). | 有 | 2008年 |
| 37 | Xinhua Qi, Masaru Watanabe, Taku M. Aida, and Richard L. Smith, Jr. | Catalytic dehydration of fructose into 5-hydroxymethylfurfural by ion-exchange resin in | Green Chemistry, 10, 799-805 (2008) | 有 | 2008年 |

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|--------|
| | | mixed aqueous system by microwave heating | | | |
| 38 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | Selective synthesis of <i>N</i> -aryl hydroxylamines by the hydrogenation of nitroaromatics using supported platinum catalysts | Green Chem., 11, 1385-1390 | 有 | 2009 年 |
| 39 | T. Itoh, R. Ishii, S. Matsuura, S. Hamakawa, T. Hanaoka, T. Tsunoda, J. Mizuguchi & F. Mizukami | Catalase encapsulated in mesoporous silica and its performance | Biochem. Eng. J., 44, 167-173 | 有 | 2009 年 |
| 40 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | Promotive effects of the addition of amines for the selective hydrogenation of nitroaromatics over supported platinum catalysts | ICC 14 Pre-Symposium Kyoto 2008, proceedings, OA203, 48 | 有 | 2008 年 |
| 41 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | Promotive effects of the addition of amines for the selective hydrogenation of aryl nitro compounds over supported platinum catalysts | MiPS2008, proceedings, OP-11-b, 133-134 | 有 | 2008 年 |
| 42 | K. Hiroki, M. Hatori, H. Yamashita, J. Sugiyama | Efficient Synthesis of 1-Tetralones from 4-Arylbutyric Acids by Combined Use of Solid Acid Catalysts and Microwave Irradiation | Chemistry Letters, 37(3), 320-321, 2008 | 有 | 2008 年 |
| 43 | K. Hiroki, Y. Ichikawa, H. Yamashita, J. Sugiyama | Rapid Microwave-Promoted Synthesis of Polyurethanes from a Fluorene Unit-Containing Diol and Diisocyanates | Macromol. Rapid Commun., 29(10), 809-814, 2008 | 有 | 2008 年 |
| 44 | S. Ummartyotin, S. Sangngirn, N. Koonsaeng, N. Yoswathananont, M. | Adventure in Inner Space: Microflow Systems for Practical Organic Synthesis | J. Res. Eng. Tech., 5, 375-391 | 有 | 2008 年 |

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|-------|
| | Sato & A. Laobuthee | | | | |
| 45 | S. R. Mukai, H. Nishihara & H. Tamon | Morphology maps of ice-templated silica gels derived from silica hydrogels and hydrosols | Micropor. Mesopor. Mater., 116, 166-170 | 有 | 2008年 |
| 46 | 片岡、遠藤、大山、大 森 | Enzymatic reactions inside a microreactor with a mesoporous silica catalyst support layer | Appl. Catal. A-Gen., 359, 108-112 | 有 | 2008年 |

平成21年度

| 番号 | 著者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|--------------------------|--|--|----|-------|
| 1 | J. Yoshida, A. Nagaki, | Liquid Phase and Liquid/Liquid Phase Reactions: Addition and elimination reactions | Micro Process Engineering, Volume 2: Devices, Reactions and Applications. Volume 2 81-96 (Chapter 5) | 有 | 2009年 |
| 2 | J. Yoshida, A. Nagaki, | Liquid Phase and Liquid/Liquid Phase Reactions: Oxidations and reductions | Micro Process Engineering, Volume 2: Devices, Reactions and Applications. Volume 2 229-242 (Chapter 14) | 有 | 2009年 |
| 3 | J Yoshida, A. Nagaki, | Gas Phase and Gas/Liquid Phase Reactions : Substitution | Micro Process Engineering, Volume 2: Devices, Reactions and Applications. Volume 2 131-140 (Chapter 8) | 有 | 2009年 |
| 4 | J Yoshida, A. Nagaki, | Polymerization: Cationic Living Polymeriation | Micro Process Engineering, Volume 2: Devices, Reactions and | 有 | 2009年 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|-------|
| | | | Applications. Volume 2 229-242 (Chapter 14) | | |
| 5 | J Yoshida, A. Nagaki, | Microflow Systems for Organic Synthesis: A New Synthetic Chemistry from Space Controlling Time. | Kagaku, 64 , 22-26 | 有 | 2009年 |
| 6 | A. Nagaki, N. Takabayashi, Y. Tomida, J. Yoshida, | Synthesis of Unsymmetrically Substituted Biaryls via Sequential Lithiation of Dibromobiaryls Using Integrated Microflow Systems. | Beilstein J. Org. Chem., 5 , No16, 1-11 | 有 | 2009年 |
| 7 | A. Nagaki, H. Kim, J. Yoshida | Nitro-Substituted Aryl Lithium Compounds in Microreactor Synthesis: Switch between Kinetic and Thermodynamic Control | Angew. Chem. Int. Ed., 48 , 8063-8065 | 有 | 2009年 |
| 8 | A. Nagaki, H. Kim, C. Matuo, J. Yoshida | Generations and Reactions of Cyano-Substituted Aryllithium Compounds Using Microreactors | Org. Biomol. Chem., 8 , 1212-1217 | 有 | 2010年 |
| 9 | M. Ishio, T. Terashima, M. Ouchi, and M. Sawamoto | Carbonyl-Phosphine Heteroligation for Pentamethylcyclopentadi enyl (Cp*)-Iron Complexes: Highly Active and Versatile Catalysts for Living Radical Polymerization | Macromolecules, 2 , 920-926 | 有 | 2010年 |
| 10 | M. Ishio, | Carbonyl-phosphine | Polymer Journal, 1 , | 有 | 2010年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|--------|
| | T. Terashima, M.akoto Ouchi, and M. Sawamoto | hetero-ligated half-metallocene iron(II) catalysts for living radical polymerization: concomitant activity and stability | 17-24 | | |
| 11 | T. Terashima, M. Ouchi, T. Ando, and M. Sawamoto | Thermoregulated phase-transfer catalysis via PEG-armed Ru(II)-bearing microgel core star polymers: Efficient and reusable Ru(II) catalysts for aqueous transfer hydrogenation of ketones | Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2, 373-379 | 有 | 2010 年 |
| 12 | M. Ouchi, T. Terashima, and M. Sawamoto | Transition Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization: Toward Perfection in Catalysis and Precision Polymer Synthesis | Chemical Reviews, 11, 4963-5050 | 有 | 2009 年 |
| 13 | K. Nakatani, T. Terashima, and M. Sawamoto | Concurrent Tandem Living Radical Polymerization: Gradient Copolymers via In Situ Monomer Transformation with Alcohols | Journal of the American Chemical Society, 38, 13600-13601 | 有 | 2009 年 |
| 14 | S. Ida, T. Terashima, M. Ouchi, and M. Sawamoto | Selective Radical Addition with a Designed Heterobifunctional Halide: A Primary Study toward Sequence-Controlled Polymerization upon Template Effect | Journal of the American Chemical Society, 31, 10808-10809 | 有 | 2009 年 |
| 15 | K. Nakatani, M. Ouchi, and M. Sawamoto | Antithetic Function of Alcohol in Living Cationic Polymerization: From | Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 16, 4194-4201 | 有 | 2009 年 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|-------|
| | | Terminator/Inhibitor to Useful Initiator. | | | |
| 16 | I.C.Wienhofer, S., A.; M.T.Rahman, T.Fukuyama, I.Ryu, | Microflow Radical Carboaminoxylations with a Novel Alkoxyamine | Organic Letters | 有 | 2009年 |
| 17 | T.Fukuyama, M.T.Rahman, N.Kamata, I. Ryu, | Radical Carbonylations Using a Continuous Microflow System | Beilstein Journal of Organic Chemistry | 有 | 2009年 |
| 18 | A.Sugimoto, T.Fukuyama, M.T.Rahman, I.Ryu, | An Automated-flow Microreactor System for Quick Optimization and Production: Application of 10-and 100-Gram Order Productions of a Matrix Metalloproteinase Inhibitor Using a Sonogashira Coupling Reaction | Tetrahedron Letters | 有 | 2009年 |
| 19 | T.Fukuyama, T.Kippo, I.Ryu, T.Sagae, | Addition of Allyl Bromide to Phenylacetylene Catalyzed by Palladium on alumina and its Application to a Continuous Flow Synthesis | Research on Chemical Intermediates | 有 | 2009年 |
| 20 | Y. Okubo, K. Mae | Process Intensification Using a Two-Phase System and Micromixing for Consecutive and Reversible Reactions | AICHE Journal, 55 , 1505–1513 | 有 | 2009年 |
| 21 | T. Horie, M. Sumino, T. Tanaka, Y. Matsushita, T. Ichimura, J. Yoshida | Photodimerization of Maleic Anhydride in a Microreactor Without Clogging | <i>Organic Process Research & Development</i> , 14 (2010) 405-410 | 有 | 2010年 |
| 22 | Y. Matsushita, | Multiphase | Chem. Lett. , 38 | 有 | 2009年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|---------------------|
| | M. Iwasawa, T. Suzuki, T. Ichimura | Photocatalytic Oxidation in a Microreactor | (2009) 846-847 | | |
| 23 | H. Nishihara, S. R. Mukai, S. Shichi and H. Tamon | Preparation of Titania–Silica Cryogels with Controlled Shapes and Photocatalysis through Unidirectional Freezing | Materials Letters, 64 , 959-961 | 有 | 2010年 |
| 24 | S. Inagaki, K. Takechi, Y. Kubota | Selective formation of propylene by hexane cracking over MCM-68 zeolite catalyst | Chemical Communications 2010, 46, DOI: 10.1039/B925408K | 有 | 2010年 (web 版) |
| 25 | S. Ito, H. Yamaguchi, Y. Kubota, M. Asami | Mesoporous aluminosilicate-cataly zed allylation of aldehydes with allylsilanes | Tetrahedron Letters, 50 (24), 2967-2969 | 有 | 2009年 |
| 26 | S. Ito, H. Yamaguchi, Y. Kubota, M. Asami | Mukaiyama Aldol Reaction Catalyzed by Mesoporous Aluminosilicate | Chemistry Letters, 38 (7), 700-701 | 有 | 2009年 |
| 27 | S. Inagaki, K. Takechi, Y. Kubota | Selective formation of propylene by hexane cracking over MCM-68 zeolite catalyst | Chemical Communications, 46 , 2662-2664 | 有 | 2010年 |
| 28 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | Selective synthesis of <i>N</i> -alkyl hydroxylamines by the hydrogenation of nitroalkanes using supported palladium catalysts | ChemSusChem, 3 , 1166-1168 | 有 | 2010年 |
| 29 | K. Iwanami, T. Sakakura & H. Yasuda | Efficient catalysis of mesoporous Al-MCM-41 for Mukaiyama aldol reactions | Catal. Commun., 10 , 1990-1994 | 有 | 2009年 |
| 30 | T. Itoh, R. Ishii, S. Matsuura, J. | Enhancement in thermal stability and resistance to | Colloids Surf., B, 75 , 478-482 | 有 | 2010年 |

| | | | | | |
|----|---|--|--|---|-------|
| | Mizuguchi, S. Hamakawa, T. Hanaoka, T. Tsunoda & F. Mizukami | denaturants of lipase encapsulated in mesoporous silica with alkyltrimethylammonium (CTAB) | | | |
| 31 | T. M. Gadda, X-Y. Yu & A. Miyazawa | Ru/C catalyzed cyclization of linear ω -diamines to cyclic amines in water. | Tetrahedron, 66 , 1249-1253. | 有 | 2010年 |
| 32 | T. Abe, A. Miyazawa, H. Konno & Y. Kawanishi | Deuteration isotope effect on nonradiative transition of <i>fac</i> -tris(2-phenylpyridi nato) iridium (III) complexes. | Chem. Phys. Lett. 491 , 199-202. | 有 | 2010年 |
| 33 | S. Matsuura, R. Ishii, T. Itoh, S Hamakawa, T. Tsunoda, T Hanaoka, F. Mizukami | On-chip encapsulation of lipase using mesoporous silica: A new route to enzyme microreactors | Mater. Lett., 63 , 2445-2448 | 有 | 2009年 |
| 34 | S. Matsuura, R. Ishii, T. Itoh, T Hanaoka, S Hamakawa, T. Tsunoda, F. Mizukami | Direct visualization of hetero-enzyme co-encapsulated in mesoporous silicas | Micropor. Mesopor. Mater., 127 , 61-66 | 有 | 2010年 |
| 35 | 片岡、竹内、原田、 山田、遠藤 | Microreactor with mesoporous silica support layer for lipase catalyzed enantioselective transesterification | Green Chem., 12 , 331-337 | 有 | 2010年 |
| 36 | H. Nishihara, S. R. Mukai, S. Shichi & H. Tamon | Preparation of titania-silica cryogels with controlled shapes and photocatalysis through unidirectional freezing | Mater. Lett., 64 , 959-961 | 有 | 2010年 |

平成 2 2 年度

| 番号 | 著者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|--|--|--|----|--------|
| 1 | Jun-ichi Yoshida, Aiichiro Nagaki | Building Addressable Libraries as Platforms for Biological Assays by an Electrochemical Method | <i>Angew. Chem., Int. Ed.</i> 49 , 3720-3722 | 有 | 2010 年 |
| 2 | Aiichiro Nagaki Jun-ichi Yoshida | Controlled Polymerizations Using Microreactors | <i>Kobunshi</i> 59 , 569-573 | 有 | 2010 年 |
| 3 | Aiichiro Nagaki, Akira Kenmoku, Yuya Moriwaki, Atsushi Hayashi, Jun-ichi Yoshida | Cross-Coupling in a Flow Microreactor. Space Integration of Lithiation and Murahashi Coupling | <i>Angew. Chem., Int. Ed.</i> 49 , 7543-7547 | 有 | 2010 年 |
| 4 | Aiichiro Nagaki, Atsuo Miyazaki, Jun-ichi Yoshida | Synthesis of Polystyrenes-Poly(alkyl methacrylates) Block Copolymers via Anionic Polymerization Using an Integrated Flow Microreactor System | <i>Macromolecules</i> 43 , 8424-8429 | 有 | 2010 年 |
| 5 | Aiichiro Nagaki, Atsuo Miyazaki, Yutaka Tomida, Jun-ichi Yoshida | Anionic Polymerization of Alkyl Methacrylates using Flow Microreactor Systems | <i>Chem. Eng. J.</i> 167 , 548-555 | 有 | 2011 年 |
| 6 | Jun-ichi Yoshida, Heejin Kim, Aiichiro Nagaki | Green and Sustainable Chemical Synthesis Using Flow Microreactors | <i>Chem. Sus. Chem.</i> 4 , 331-340 | 有 | 2011 年 |
| 7 | Yoda H.; Nakatani K.; Terashima, T.; Ouchi, M.; | Ethanol-Mediated Living Radical Homo- and Copolymerizations with Cp*-Ruthenium | <i>Macromolecules</i> 14 , 5595-5601. | 有 | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|-------|
| | Sawamoto, M. | Catalysts: Active, Robust, and Universal for Functionalized Methacrylates | | | |
| 8 | Fukuzaki, Y.; Tomita, Y.; Terashima, T.; Ouchi, M.; Sawamoto, M. | Bisphosphine Monoxide-Ligated Ruthenium Catalysts: Active, Versatile, Removable, and Cocatalyst-Free in Living Radical Polymerization | <i>Macromolecules</i> , 14 , 5989-5995 | 有 | 2010年 |
| 9 | Ida S.; Ouchi, M.; Sawamoto, M. | Template-Assisted Selective Radical Addition toward Sequence-Regulated Polymerization: Lariat Capture of Target Monomer by Template Initiator | <i>J. Am. Chem. Soc.</i> 42 , 14748-14750 | 有 | 2010年 |
| 10 | Ida S.; Terashima T. Ouchi, M.; Sawamoto, M. | Selective Single Monomer Addition in Living Cationic Polymerization: Sequential Double End-Functionalization in Combination with Capping Agent | <i>J. Polym. Sci. Polym. Chem.</i> , 15 , 3375-3381 | 有 | 2010年 |
| 11 | Nakatani K.; Terashima, T.; Ouchi, M.; Sawamoto, M., | End-Functionalization with Alcohols in Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization through Umpolung of Growing Carbon-Halogen Bond | <i>Macromolecules</i> , 21 , 8910-8916 | 有 | 2010年 |
| 12 | Hibi Y.; Tokuoka S.; Terashima, T.; Ouchi, M.; Sawamoto, M., | Design of AB divinyl "template monomers" toward alternating sequence control in metal-catalyzed living radical polymerization | <i>Polym. Chem.</i> 2 , 341-347 | 有 | 2011年 |
| 13 | Ida S.; Ouchi, M.; Sawamoto, M. | Designer Template Initiator for Sequence Regulated Polymerization: Systems Design for Substrate-Selective | <i>Macromol. Rapid Commun.</i> 2 , 209-214 | 有 | 2011年 |

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|-------|
| | | Metal-Catalyzed Radical Addition and Living Radical Polymerization | | | |
| 14 | Ishio M.; Ouchi, M.; Sawamoto, M. | Dicarbonyl Pentaphenylcyclopentadienyl Iron Complex for Living Radical Polymerization: Smooth Generation of Real Active Catalysts Collaborating with Phosphine Ligand | <i>J Polym Sci Pol Chem</i> , 2 , 537-544 | 有 | 2011年 |
| 15 | Terashima, T.; Ouchi, M.; Ando, T. Sawamoto, M. | Oxidation of sec-alcohols with Ru(II)-bearing microgel star polymer catalysts via hydrogen transfer reaction: Unique microgel-core catalysis | <i>J Polym Sci Pol Chem</i> , 5 , 1061-1069 | 有 | 2011年 |
| 16 | S. R. Mukai, K. Mitani, S. Murata, H. Nishihara & H. Tamon | Assembling of nanoparticles using ice crystals | <i>Materials Chemistry and Physics</i> , 123 , 347-350 | 有 | 2010年 |
| 17 | H. Mori, K. Aotani, N. Sano & H. Tamon | Synthesis of a hierarchically micro-macroporous structured zeolite monolith by ice-templating | <i>Journal of Materials Chemistry</i> , Accepted | 有 | 2011年 |
| 18 | R. Javaid, H. Kawanami, M. Chatterjee, T. Ishizaka, A. Suzuki & T. M. Suzuki | Fabrication of microtubular reactors coated with thin catalytic layer (M=Pd, Pd-Cu, Pt, Rh, Au) | <i>Cat. Commun.</i> , 11 , 1160-1164 | 有 | 2010年 |
| 19 | 鈴木、川波、川崎、 畑田 | コンパクトプロセスの構築 | <i>Synthesiology</i> , 3 , 137-146 | 有 | 2010年 |
| 20 | H. Kawanami, M. Sato, M. Chatterjee, N. Otabe, T. Tuji, Y. Ikushima, T. Ishizaka, T. Yokoyama & T. M. Suzuki | Highly selective non-catalytic Claisen rearrangement in a high-pressure and high-temperature water microreaction system | <i>Chem. Eng. J.</i> , in press | 有 | 2011年 |
| 21 | R. Javaid, H. Kawanami, M. | C-C coupling reaction in water using tubular | <i>Chem. Eng. J.</i> , in press | 有 | 2011年 |

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|--------|
| | Chatterjee, T. Ishizaka, A. Suzuki & T. M. Suzuki | reactors with catalytic metal inner surface | | | |
| 22 | T. Ono, S. Kobayashi, T. Hoshina, Y. Sato & H. Inomata | Volumetric Behavior and Solution Microstructure of Methanol-Water Mixture in Sub- and Supercritical State via Density Measurement and MD Simulation | Fluid Phase Equilibria 302 , 55-59 | 有 | 2011 年 |
| 23 | 横山・北畑・松浦・ 石井・伊藤・角田・ 濱川・花岡・南部・ 水上 | Synthesis of l-theanine using enzyme/mesoporous silica conjugates under high pH conditions | Material Letters, 65 , 67-69 | 有 | 2011 年 |
| 24 | N. Fukaya, S. Onozawa, M. Ueda, K. Saitou, Y. Takagi, T. Sakakura, and H. Yasuda | Design and Synthesis of New Linker Units for Covalently Immobilizing Organic Functional Molecules | CHEMISTRY LETTERS, 39, 402-403 (2010) | 有 | 2010 年 |
| 25 | N. Fukaya, S. Onozawa, M. Ueda, T. Miyaji, Y. Takagi, T. Sakakura, and H. Yasuda | Application of Tripodal Linker Units to Immobilized Rhodium Complex Catalysts for Asymmetric Hydrogenation | CHEMISTRY LETTERS, 40, 212-214 (2011) | 有 | 2011 年 |
| 26 | T. Miyaji, S. Onozawa, N. Fukaya, M. Ueda, Y. Takagi, T. Sakakura, and H. Yasuda | Diphenylphosphino functionalization of mesoporous silica using tripodal linker units | J. Organomet. Chem., 696, 1565-1569 (2011) | 有 | 2011 年 |
| 27 | K. Tsutsumi, K. Terao, | Diastereoselective [2+2] Photocycloaddition of | Chem. Lett. 39 , 828-829 | 有 | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|---|--|--|---|--------|
| | H. Yamaguchi, S. Yoshimura, T. Morimoto, K. Kakiuchi, T. Fukuyama & I. Ryu | Chiral Cyclic Enone and Cyclopentene Using a Microflow Reactor System | | | |
| 28 | K. I. Min, T. H. Lee, C. P. Park, Z. W. Wu, H. H. Girault, I. Ryu, T. Fukuyama, Y. Mukai & D. P Kim | Monolithic and Flexible Polyimide Film Microreactors for Organic Microchemical Applications Fabricated by Laser Ablation | <i>Angew. Chem. Int. Ed.</i> 49 , 7063–7067 | 有 | 2010 年 |
| 29 | H. Matsubara, Y. Hino, M. Tokizane & I. Ryu | Microflow Photo-radical Chlorination of Cycloalkanes | <i>Chemical Engineering Journal</i> 167 , 567–571 | 有 | 2011 年 |
| 30 | Y Takenaka, T . Kiyosu, J Choi, T Sakakuraa and H Yasuda | Selective Synthesis of <i>N</i> -alkyl Hydroxylamines by Hydrogenation of Nitroalkanes using Supported palladium catalysts | ChemSUSChem 10 号、1166-1168 | 有 | 2010 年 |
| 31 | Y Takenaka, T Kiyosu, G Mori, J Choi, T Sakakuraa and HYasuda | Selective hydrogenation of nitroalkane to <i>N</i> -alkyl hydroxylamine over supported palladium catalyst | Catyalysis Today 印刷中 | 有 | 2011 年 |
| 32 | T Ono, S Kobayashi, T Hoshina, Y Sato and H Inomata | Volumetric Behavior and Solution Microstructure of Methanol-Water Mixture in Sub- and Supercritical State via Density Measurement and MD Simulation | <i>Fluid Phase Equilibria</i> 302 , 55-59 | 有 | 2011 年 |
| 33 | T. Yokoyama, R. Ishii, T. Itoh, K. Kitahata, S. Matsuura, T. Tsunoda, S. Hamakawa, T. Hanaoka, H. Nanbu & | Synthesis of l-theanine using enzyme/mesoporous silica conjugates under high pH conditions | <i>Mater. Lett.</i> , 65 , 67-69 | 有 | 2011 年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|--------|
| | F. Mizukami | | | | |
| 34 | N. Fukaya, M. Ueda, S. Onozawa, K. K. Bando, T. Miyaji, Y. Takagi, T. Sakakura & H. Yasuda | Palladium complex catalysts immobilized on silica via a tripodal linker unit with amino groups: Preparation, characterization, and application to the Suzuki–Miyaura coupling | J. Mol. Catal. A., in press. | 有 | 2011 年 |
| 35 | K. Iwanami, H. Seo, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | Al-MCM-41 catalyzed three-component Strecker-type synthesis of alpha-aminonitriles | Tetrahedron, 66 , 1898–1901 | 有 | 2010 年 |
| 36 | S. Onozawa, N. Fukaya, K. Saitou, T. Sakakura & H. Yasuda | PEG modification effect of silica on the Suzuki–Miyaura coupling reaction using silica-immobilized palladium catalysts | Catal. Lett., in press | 有 | 2011 年 |
| 37 | N. Fukaya, H. Haga, T. Tsuchimoto, S. Onozawa, T. Sakakura & H. Yasuda | Organic functionalization of the surface of silica with arylsilanes. A new method for synthesizing organiceinorganic hybrid materials | J. Organomet. Chem., 695 , 2540-2542 | 有 | 2010 年 |
| 38 | N. Fukaya, H. Yamashita, H. Haga, T. Tsuchimoto, S. Onozawa, T. Sakakura & H. Yasuda | Microwave-assisted organic functionalization of silica surfaces: Effect of selectively heating silylating agents | J. Organomet. Chem., 696 , 825-828 | 有 | 2011 年 |
| 39 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, G. Mori, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | Selective synthesis of N-alkyl hydroxylamines by the hydrogenation of nitroalkanes using supported palladium catalysts | TOCAT6/APCAT5, proceedings, IP22-080, 175 | 有 | 2010 年 |
| 40 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, G. Mori, J.-C. | Selective synthesis of N-alkyl hydroxylamines | PACIFICHEM 2010, proceedings, Abstract | 有 | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|-------|
| | Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | by the hydrogenation of various nitroalkanes using supported palladium catalysts | ID 799 | | |
| 41 | H. Yamashita, Y. Mitsukura, H. Kobashi, K. Hiroki, J. Sugiyama, K. Onishi and T. Sakamoto | Microwave-assisted regioselective alkylation of naphthalene compounds using alcohols and zeolite catalysts | Appl. Catal. A: Gen., 381 , 145-149 | 有 | 2010年 |
| 42 | H. Yamashita, Y. Mitsukura and H. Kobashi | Microwave-assisted acylation of aromatic compounds using carboxylic acids and zeolite catalysts | J. Mol. Catal. A: Chem., 327 , 80-86 | 有 | 2010年 |
| 43 | R. Kultyshev & A. Miyazawa | Ugi amine-derived P, N- and P, P-ligands with N-alkyltriethoxysilyl tethers: synthesis and evaluation of mesoporous silica-supported Pd complexes in asymmetric allylic substitution reactions. | Tetrahedron, 67 , 2139-2148 | 有 | 2011年 |
| 44 | Y. Suzuki, A. Miyazawa & Y. Kawanishi | Efficient ¹⁶ O- ¹⁸ O Isotope Exchange Reaction of Carbonyl compounds in Aqueous Organic Solvents Catalyzed by Acidic Resin. | Chemical Engineering Journal, 167 , 531-535. | 有 | 2011年 |
| 45 | T. Gadda, Y. Kawanishi & A. Miyazawa | Microwave-assisted Ullman-type coupling reactions in alkaline water | Synthetic Communications, accepted | 有 | 2011年 |

| | | | | | |
|----|--|---|-------------------------------------|---|-------|
| 46 | S. Matsuura, R. Ishii, T. Itoh, S Hamakawa, T. Tsunoda, T Hanaoka, F. Mizukami | Immobilization of Enzyme-Encapsulated Nanoporous Material in a Microreactor and Reaction Analysis | Chem. Eng. J., 167 , 744-749 | 有 | 2011年 |
|----|--|---|-------------------------------------|---|-------|

V-1-2. 査読無し論文一覧表
平成18年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|--|--|---|----|-------|
| 1 | T. Ono, T. Hoshina, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Volumetric behavior of alcohol aqueous solutions at supercritical region | Proceedings of the Joint Meeting of the 8th International Symposium on Hydrothermal Reactions (ISHR-8) and 7th International Conference on Solvothermal Reactions (ICSTR-7) | 無 | 2006年 |
| 2 | T. Ono, T. Hoshina, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Volumetric behavior of alcohol aqueous solutions at supercritical region | Proceedings of the Joint Meeting of the 8th International Symposium on Hydrothermal Reactions (ISHR-8) and 7th International Conference on Solvothermal Reactions (ICSTR-7) | 無 | 2006年 |

平成19年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|------------------------------------|---|---|----|-------|
| 1 | Y. Matsushita, N. Ohba, S. Kumada, | Photocatalytic Oxidation and Alkylation | IEEE Review on Advances in Micro, Nano, and | 無 | 2008年 |

| | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|---|-------|
| | M. Iwasawa, T. Suzuki, T. Ichimura | Processes in Microreactors | Molecular Systems, Volume 2, in press. | | |
| 2 | 窪田 | 界面化学現象を利用す る無機-有機ハイブリッ ド触媒の合成 | 化学と教育, Vol. 55, No. 5, pp. 232-235 (2007) | 無 | 2007年 |
| 3 | 横井, 窪田, 辰巳 | 左巻きおよび右巻きの シリカ細孔を創り分け る | 未来材料, Vol. 7, No. 3, pp. 36-43 (2007) | 無 | 2007年 |

平成20年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|---|---|--|----|---------------------|
| 1 | 宮治、上田 | 固定化分子触媒の開発 | 触媒, 50, 5, 442-443 (2008) | 無 | 2008年 |
| 2 | 佐藤、小田部、辻、 松嶋、川波肇、マヤ チャタジー、横山、 生島、鈴木 | Highly-Selective and High-Speed Claisen Rearrangement induced with Subcritical Water Microreaction in the Absence of Catalyst | Green Chemistry | 無 | 2009年 (Accepted) |
| 3 | T. Hoshina, T. Ono, T. Aida, Y. Sato, and H. Inomata. | Flow type densimeter with the vibrating tube for measurements at high temperatures and pressures | 15th International Conference on the Properties of Water and Steam (Berlin, Germany) | 無 | 2008年 |
| 4 | 満倉、山下、廣木、 杉山、大西、坂本 | Microwave-assisted selective alkylation of naphthalene compounds using zeolite catalysts and alcohols | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) Proceedings pp641-643, 2008. | 無 | 2008年 |
| 5 | 山下、廣木、羽鳥、 杉山 | Efficient microwave-assisted synthesis of 1-tetralones from 4-arylbutyric acids | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) | 無 | 2008年 |

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|-------|
| | | using solid acid catalysts | Proceedings pp583-584, 2008. | | |
| 6 | 山下、小橋、杉山、廣木、市川 | Measurement of dielectric parameters of organic compounds for microwave-assisted chemical processes and its application to organic synthesis | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) Proceedings pp651-652, 2008. | 無 | 2008年 |
| 7 | 杉山、岡本、安田 | Microwave heating of organic liquids in TM010 cylindrical cavity | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) Proceedings pp915-918, 2008. | 無 | 2008年 |
| 8 | 飯塚、杉山、佐藤 | Microwave effects in carbon-polyolefin composite | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) Proceedings pp545-546, 2008. | 無 | 2008年 |
| 9 | S. Matsuura, T. Itoh, R. Ishii, T. Tsunoda, S Hamakawa, T Hanaoka, F. Mizukami | Direct visualization of enzymes encapsulated in mesoporous materials | Nanoporous Materials (Proceedings of the 5th International Symposium), 687-696 | 無 | 2008年 |
| 10 | H. Shimodaira, T. Abe, Y. Kawanishi & A. Miyazawa | Microwave-assisted H-D exchange reaction of Heterocyclic aromatic compounds | Proceedings of GCMEA2008MAJIC 1st, 627-628. | 無 | 2008年 |

平成 2 1 年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|---|---|---|----|--------|
| 1 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, K. Bando, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | EXAFS study of local structure of platinum species in platinum on mesoporous silica catalysts | Photon Factory Activity Report 2008 Part B, 26 , 14. | 無 | 2010 年 |
| 2 | 小野澤、深谷、坂倉、安田 | 表面修飾型固定化触媒の開発と鈴木カップリング反応への適用 | ファインケミカル, 38 , 32-36 | 無 | 2009 年 |
| 3 | 杉山 | 広域温度で誘電特性を測定する共振器の開発 | 信学技報, MW2009-79, pp31-36, 2009. | 無 | 2009 年 |
| 4 | 杉山 | 共振器で測定した複素誘電率による位相遅れ δ の評価 | 信学技報, MW2009-159, pp11-16, 2010. | 無 | 2010 年 |

平成 2 2 年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 発表誌名 | 査読 | 発表年 |
|----|---------------------------|--|----------------------------------|----|--------|
| 1 | 大久保・柳・横山・南部 | メソポーラスシリカの量産化とナノ空間材料の魅力 | 表面, 48 , 15-23 | 無 | 2010 年 |
| 2 | 深谷 | 多点結合型リンカーを利用した新しい固定化分子触媒の開発と応用 | ファインケミカル, 39, 12, 18-23 (2010) | 無 | 2010 年 |
| 3 | 岩浪、高橋、坂倉、安田 | Al-MCM-41 触媒によるカルボニル化合物のシアノシリル化 | 触媒, 52 , 450-452 | 無 | 2010 年 |
| 4 | 杉山 | 共振器による緩和時間 τ の算定と加熱デバイス内の温度上昇挙動 | 信学技報, MW2010-28, pp13-18, 2010. | 無 | 2010 年 |
| 5 | 杉山、清水、小田島、大根田、望月、岡本、長島、太田 | 矩形 TM110 共振器を用いたコンビナトリアルケミストリー用マイクロ波照射機の特性 | 信学技報, MW2010-10, pp51-56, 2010. | 無 | 2010 年 |
| 6 | 杉山、山崎、森池、鈴木、瀬川、加藤、藤井 | 水溶液のマイクロ波迅速濃縮における円筒型オープンへの検討 | 信学技報, MW2010-161, pp51-56, 2011. | 無 | 2011 年 |

V-2. 学会発表等一覧表 (口頭発表は0、ポスター発表はP)

1) 平成18年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 学会名 | 0/P | 発表年 |
|----|--|--|--|-----|-------|
| 1 | 潮木 | Synthesis of Photochromic Diarylethenes Using a Microflow System | 9 th International Conference on Micro Reaction Technology (IMRET 9) | P | 2006年 |
| 2 | 潮木 | Synthesis of Photochromic Diarylethenes Using Microflow System | The 5 th International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 2007年 |
| 3 | 白谷、富田、野上、吉田 | Generation and Reactions of <i>ortho</i> -Bromophenyllithium Using a Microreactor | 第10回国際有機化学京都会議 IKCOC-10 | 0 | 2006年 |
| 4 | 柳 | 新反応メディアとマイクロデバイスによる効率合成 | ロボット・マイクロ合成研究会 | 0 | 2006年 |
| 5 | 前(基調講演) | マイクロ空間を利用した環境調和型技術への挑戦 | 日本セラミック協会 第19回秋季シンポジウム | 0 | 2006年 |
| 6 | 前(Plenary lecture) | Advanced chemical processing using micro space | 19th International Symposium on Chemical Reaction Engineering & 9th International Conference on Microreaction Technology | 0 | 2006年 |
| 7 | 前(Invited lecture) | Potential of Process Intensification with Microreactor | International Workshop on Process Intensification in Fluid and Particle Engineering | 0 | 2006年 |
| 8 | 前 | 多機能型マイクロリアクターによる触媒反応制御 | 触媒、48(8), 570-574(2006) | 0 | 2006年 |
| 9 | W. Tanthapanichakorn, N. Aoki, K. Matsuyama, K. Mae | Operation of microfluidic liquid slug formation and slug design for kinetics measurement | Proc 19th International Symposium on Chemical Reaction Engineering, No. 59 | P | 2006年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|--------|
| | | | (2006. 9, Potsdam). | | |
| 10 | T. Maki, S. Kudo, N. Kitao, K. Mae | A new compact microreactor without CO shift converter for producing hydrogen in high yield by steam reforming of methanol | Proc. 9th International Conference on Microreaction Technology Topic 3 (2006. 9, Potsdam). | P | 2006 年 |
| 11 | N. Daito, N. Aoki, J. Yoshida, K. Mae | Synthesis of bisphenol F using micromixers based on collision of fluid segments | Proc. 9th International Conference on Microreaction Technology Topic 1, No. 1 (2006. 9, Potsdam). | P | 2006 年 |
| 12 | K. Yube, M. Furuta, K. Mae | Development and design of catalytic microreactors for heterogeneous oxidation | Proc. 9th International Conference on Microreaction Technology Topic 1, No. 3 (2006. 9, Potsdam). | P | 2006 年 |
| 13 | K. Mae, A. Suzuki, T. Maki, H. Sato, K. Arai, | A new micromixer for instant mixing and heating under high pressure and high temperature | Proc. 9th International Conference on Microreaction Technology Topic 1, No. 4 (2006. 9, Potsdam). | 0 | 2006 年 |
| 14 | K. Mae, H. Nomura | Production of various fine metallic soap particles using a microreactor | Proc. 9th International Conference on Microreaction Technology Topic 4, No. 34 (2006. 9, Potsdam). | 0 | 2006 年 |
| 15 | T. Tsujiuchi, H. Nagasawa, T. Maki, K. Mae | Control of nuclei formation and aggregation processes for nano-particles using a microreactor with same axle | Proc. 9th International Conference on Microreaction | P | 2006 年 |

| | | | | | |
|----|---|--|--|---|-------|
| | | dual pipe | Technology Topic 4, No. 35 (2006. 9, Potsdam). | | |
| 16 | T. Maki, F. Nakanishi, T. Hayashi, Y. Okubo, K. Mae | Control of particle size distribution through polymerization using a micromixer/tube reactor system | Proc. 9th International Conference on Microreaction Technology Topic 4, No. 38 (2006. 9, Potsdam). | P | 2006年 |
| 17 | N. Aoki K. Mae | Nonisothermal Design of Fluid Segments for Precise Temperature Control in Microreactors | 2006 AIChE Annual Meeting, San Francisco, CA, USA | P | 2006年 |
| 18 | N. Aoki, K. Mae | Effects of Fluid Segment Sizes on Temperature Profile and Mixing in Microreactors | Proc. 5 th International Conference on Unsteady-state Processes in Catalysis, (2006. Osaka) | P | 2006年 |
| 19 | T. Maki, H. Kono and K. Mae | Improvement of Selectivity for Catalytic Reaction by Design of Microreactor | Proc. 5 th International Conference on Unsteady-state Processes in Catalysis, (2006. Osaka) | P | 200年 |
| 20 | K. Yube, M. Furuta, and K. Mae | Selective Oxidation of Phenol with Aqueous Hydrogen Peroxide over TS-1 Using Catalytic Microreactors | Proc. 5 th International Conference on Unsteady-state Processes in Catalysis, (2006. Osaka) | P | 2006年 |
| 21 | 前, 牧, 鈴木, 伯田, 新井, 猪股 | 高温高压マイクロミキサーの開発 | 化学工学会第38回秋季大会、福岡 | 0 | 2006年 |
| 22 | 青木, 前 | 非等温系における流体セグメントに基づいた混合・反応 | 化学工学会第38回秋季大会、福岡 | 0 | 2006年 |

| | | | | | |
|----|---|--|---|---|--------|
| | | 操作の設計 | | | |
| 23 | 牧, 林, 中西, 大久保, 前 | マイクロ重合反応システム を用いた高分子微粒子の粒 径制御の試み | 化学工学会第 38 回 秋季大会、福岡 | 0 | 2006 年 |
| 24 | T. Maki, H. Kono and K. Mae | Improvement of Catalytic Reaction by Periodic Operation and Design of Microreactor | The Fifth International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 2007 年 |
| 25 | N. Aoki, K. Yube and K. Mae | Effects of Fluid Segment Configuration on the Selectivity of Catalytic Surface Reactions in Microreactors | The Fifth International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 2007 年 |
| 26 | H. Maeta, T. Sato, H. Nagasawa and K. Mae | New Synthetic Method of Organic Pigment Nano Particle by Micro Reactor System | The Fifth International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 2007 年 |
| 27 | 加納, 藤岡, 殿村, 長谷部, 野田 | Data-Based and Model-Based Blockage Diagnosis for Stacked Microchemical Processes | Chemical Engineering Science | 0 | 2007 年 |
| 28 | 前中, 殿村, 永原, 加納, 長谷部 | Compartment Model-based Design of Plate-fin Microdevices for Uniform Flow Distribution at High Flow Rates | International Workshop on Micro Chemical Plants | 0 | 2007 年 |
| 29 | T. Yokoi, T. Yamada, T. Tatsumi, Y. Kubota | Catalytic performance of amino- functionalized mesoporous silica synthesized by a novel synthesis route using an anionic surfactant | 5th Tokyo Conference on Advanced catalytic Science and Technology (TOCAT5) | 0 | 2006 年 |
| 30 | S. Inagaki, Y. Kubota, P. Wu, T. Tatsumi | Preparation of interlayer-expanded Al-MWW-type zeolite by silylation | 5th Tokyo Conference on Advanced catalytic Science and Technology (TOCAT5) | P | 2006 年 |

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|--------|
| 31 | Y. Kubota, H. Maekawa, S. Miyata, T. Tatsumi, Y. Sugi | Hydrothermal synthesis of metallosilicate SSZ-24 from metallosilicate beta as precursors | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2006) | 0 | 2006 年 |
| 32 | T. Yokoi, Y. Yamataka, Y. Ara, Y. Kubota, T. Tatsumi | Synthesis of chiral mesoporous silica by using designed chiral anionic surfactant | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2006) | 0 | 2006 年 |
| 33 | Y. Ara, Y. Yamataka, S. Sato, T. Yokoi, Y. Sakamoto, O. Terasaki, Y. Kubota, T. Tatsumi | Synthesis of Novel Mesoporous Silica by using Newly Designed Amino Acid Derivative as a Surfactant | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2006) | P | 2006 年 |
| 34 | S. K. Jana, Y. Kubota, T. Tatsumi | GaCl ₃ -grafted SBA-15: synthesis and acid catalysis in liquid-phase organic transformations | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2006) | P | 2006 年 |
| 35 | Y. Kubota, K. Hirose, P. Wu, T. Tatsumi | Asymmetric epoxidation catalyzed by (salen)Mn(III) complex loaded on MWW analogue | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2006) | P | 2006 年 |
| 36 | C. Jin, Y. Kubota, T. Tatsumi | Synthesis, modification, and catalytic performance of cubic Ia-3d mesoporous silica | 5th International Mesoporous Materials Symposium (5th IMMS) | P | 2006 年 |
| 37 | 窪田, 前川, 宮田, 杉, 辰巳 | ベータ型メタロシリケートを前駆体とするメタロシリケート SSZ-24 の合成と触媒性能 | 第 98 回触媒討論会 | 0 | 2006 年 |
| 38 | 佐藤, 荒, 横井, 窪 | アミノ酸系界面活性剤を用いる | 第 22 回ゼオライト研究 | 0 | 2006 年 |

| | | | | | |
|----|--------------------------------|--|--|---|--------|
| | 田, 辰巳 | メソポーラスシリカの合成とその構造制御 | 発表会 | | |
| 39 | 小山, 池田, 辰巳, 窪田 | MCM-68 類似の新規マイクロポーラス結晶の合成とポスト処理 | 第 22 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2006 年 |
| 40 | 小野, 金, 辰巳, 窪田 | 大孔径 <i>Ia-3d</i> メソポーラスシリカの合成・修飾と触媒特性 | 第 22 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2006 年 |
| 41 | 窪田, 金, 小野, 辰巳 | Synthesis, modification and catalytic performance of mesoporous silica containing thiol and sulfuric acid moieties | Joint Meeting of the 1 st Asian-Oceanian Conference on Green and Sustainable Chemistry and the 7 th Annual Green and Sustainable Chemistry Symposium (GSC-AON2007) | P | 2006 年 |
| 42 | 石丸, 辰巳, 窪田 | メソポーラスシリカを用いたクマリン誘導体の合成 | 日本化学会第 87 春季年会 | 0 | 2007 年 |
| 43 | 田門 | Synthesis of titania-silica microhoneycomb by unidirectional freezing and freeze drying of hydrogel | 15 th International Drying Symposium (Budapest, Hungary) | 0 | 2006 年 |
| 44 | ヨスバタナノン ヌ ンルタイ、光安、笹 川、佐藤 | Continuous Microflow Reactor for Multiphase Reactions | Fifth International Conference on Unsteady-State Processes in Catalysis | P | 2006 年 |
| 45 | 大西、大江、ヨスバ タナノン ヌンルタ イ、佐藤 | Surface Functionalization of Polymer Supports by Palladium Metal Catalyst | The Fifth International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 2007 年 |
| 46 | 大西、大江、ヨスバ タナノン ヌンルタ イ、佐藤 | 微粒子表面へのパラジウム触媒の固定 | 日本化学会第 87 春季年会 | P | 2007 年 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|-------|
| 47 | T. Hoshina, T. Ono, T. Aida, T. Matsushita, M. Watanabe, Y. Sato, R. L. Smith Jr. , and H. Inomata | Volumetric Behavior of Water-Alcohol Mixture at 673.15K under high pressures. I Methanol and Ethanol solutions | AIChE 2006 Annual Meeting (San Francisco, U. S. A.) | P | 2006年 |
| 48 | 小野, 保科, 相田, 渡 邊, 佐藤, 猪俣 | 400℃ 高压化における水 -メタノールおよび水-エ タノール混合溶液の体積挙 動 | 第29回溶液化学シン ポジウム | 0 | 2006年 |
| 49 | 松下, 岩沢, 熊田, 鈴 木, 市村 | Photocatalytic Oxidation and Alkylation Processes in Microreactors | Proceedings of IEEE-NEMS 2007 | 0 | 2007年 |
| 50 | 松下, 大場, 熊田, 酒田, 鈴木, 市村 | Photocatalytic Reaction in Microreactors | Chemical Engineering Journal | P | 2007年 |
| 51 | 松下, 市村 | マイクロリアクターを用い た光反応 | 分析化学 | 0 | 2007年 |
| 52 | 松下 | Multiphase Photocatalytic reactions in Microreactors | 1 st European Chemistry Congress | 0 | 2006年 |
| 53 | 松下 | Photocatalytic Reaction in Microreactors | 9 th International Conference on Microreaction Technology | 0 | 2006年 |
| 54 | 酒田 | Microreactors Applied to Stereoselective Photoreactions | 9 th International Conference on Microreaction Technology | 0 | 2006年 |
| 55 | 松下 | マイクロリアクターの特性 を利用した光反応 | 2006年光化学討論会 | 0 | 2006年 |
| 56 | 大場 | 光触媒担持型マイクロリア クターの有機合成反応への 応用 | 2006年光化学討論会 | P | 2006年 |
| 57 | 岩沢 | マイクロリアクターを用い た多相流による光化学反応 | 2006年光化学討論会 | P | 2006年 |
| 58 | 市村 | Research on Photoreactions in Microreactors | 1 st International IUPAC Conference on Green-Sustainable Chemistry | 0 | 2006年 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|-------|
| 59 | 松下 | マイクロフロー型リアクターの特性を利用した光触媒反応 | 2006年電気化学秋季大会 | 0 | 2006年 |
| 60 | 松下 | マイクロフロー系による光反応の収率と選択性の向上 | 分子構造総合討論会 2006 | 0 | 2006年 |
| 61 | 松下 | マイクロリアクターによる光触媒反応 | 第98回触媒討論会 | 0 | 2006年 |
| 62 | 松下 | Organic Reactions in a Photocatalytic Microreaction System | 第5回マイクロ化学プラント国際ワークショップ | 0 | 2007年 |
| 63 | 松下 | Application of Photocatalytic systems to Organic synthesis | 1 st Asian-Oceanian Conference on Green and Sustainable Chemistry | P | 2007年 |
| 64 | 岩沢 | Multiphase Photocatalytic Reactions in Microreactors | 1 st Asian-Oceanian Conference on Green and Sustainable Chemistry | P | 2007年 |
| 65 | 潮木 | 連続式反応装置を用いるジアリールエテン類の合成 | 日本化学会第86春季年会 | 0 | 2006年 |
| 66 | N. Yoswathananont, H. Mitsuyasu, N. Sasagawa, M. Sato, | Continuous Microflow Reactor for Multiphase Reactions | Fifth International Conference on Unsteady-State Processes in Catalysis USPC, Osaka 2006 | 0 | 2006年 |
| 67 | T. Ono, T. Hoshina, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Volumetric behavior of alcohol aqueous solutions at supercritical region | Joint Meeting of ISHR-8 and ICSTR-7 2006 | P | 2006年 |
| 68 | T. Hoshina, T. Ono, T. Matsushita, T. Aida, M. Watanabe, Y. Sato, R. L. Smith, Jr., and H. Inomata | Volumetric Behavior of Water-Alcohol Mixtures at 673.15 K under High Pressures. I. Methanol and Ethanol Solutions | AIChE 2006 Annual Meeting (San Francisco, U.S.A.) | 0 | 2006年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|--------|
| 69 | 小野・保科・相田・ 渡邊・佐藤・猪股 | 400 ° C 高压下における水- メタノールおよび水-エタ ノール混合溶液の体積挙 動 | 第 29 回溶液化学シ ンポジウム(山形) | P | 2006 年 |
| 70 | Y. Sato, R. L. Smith, Jr., H. Inomata, and K. Arai | Batch Microreactors for Continuous Processing of Biomass, Polymers, and Particle Forming Reactions in Water at High Temperatures and Pressures | The 5th International Workshop on Micro Chemical Plants (Kyoto, Japan) | P | 2007 年 |
| 71 | O. Tonomura, T. Takase, M. Kano, S. Hasebe | Systematic Procedure for Designing a Microreactor with Slit-type Mixing Structure | European Symposium on Computer Aided Process Engineering (ESCAPE) and International Symposium on Process Systems Engineering (PSE), | 0 | 2006 年 |
| 72 | T. Tominari, T. Fujioka, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Operation Policy and Blockage Diagnosis for Micro Chemical Plants with External/Internal Numbering-up | International Conference on Microreaction Technology (IMRET) | 0 | 2006 年 |
| 73 | T. Takase, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Design and Flow Analysis of Passive Micromixers | International Conference on Microreaction Technology (IMRET) | P | 2006 年 |
| 74 | O. Tonomura, S. Nagahara, M. Kano, S. Hasebe | Design of Tubular Microreactors with Desired Product Distribution | International Conference on Microreaction Technology (IMRET) | P | 2006 年 |
| 75 | S. Hasebe | Industrial Production by Micro Chemical Plants | ・ TAS 2006 Conference | 0 | 2006 年 |

| | | | | | |
|----|---|--|---|---|-------|
| 76 | K. Maenaka, O. Tonomura, S. Nagahara, M. Kano, S. Hasebe | Compartment Model-based Design of Plate-fin Microdevices for Uniform Flow Distribution at High Flow Rates | International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 2007年 |
| 77 | H. Ishiuchi, M. Kamibayashi, Y. Takahashi, M. Naijo, T. Ohta and . Ito | Peripheral Devices of a Glass Microreactor | The Fifth International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 200年 |
| 78 | T. Ohnishi, K. Ohe, N. Yoswathananon, M. Sato, | Surface Functionalization of Polymer Supports by Palladium Metal Catalyst, | The Fifth International Workshop on Micro Chemical Plants, MCPT, Kyoto 2007 | P | 2007年 |
| 79 | Y Sato, R. L. Smith, Jr., H. Inomata, and K. Arai | Batch Microreactors for Continuous Processing of Biomass, Polymers, and Particle Forming Reactions in Water at High Temperatures and Pressures | The 5th International Workshop on Micro Chemical Plants (Kyoto, Japan) | P | 2007年 |
| 80 | 宮沢、ガッダ | 水中でのアミン類の脱水素 加水分解反応 | 有機合成シンポジウ ム | 0 | 2006年 |
| 81 | 金原、窪田、辰巳 | メソポーラスカーボンの合 成・修飾と電気化学特性 | 石油学会第49回年会 (特別講演, 受賞講 演, 第55回研究発表 会) | 0 | 2006年 |
| 82 | 金原、辰巳、窪田 | 白金担持規則性多孔体カー ボンの調製, キャラクターゼ ーションおよび触媒特性 | 第22回ゼオライト研 究発表会 | 0 | 2006年 |
| 83 | M. Hinode, T. Yokoi, P. Wu, Y. Kubota, T. Tatsumi | A novel type of mesoporous titanosilicate replicated from mesoporous carbon | Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2006) | P | 2006年 |
| 84 | M. Hinode, P. Wu, T. Yokoi, Y. Kubota, T. | Synthetic investigation of zeolitic mesoporous | 5th International Mesostructured | P | 2006年 |

| | | | | | |
|----|----------------------------|--|--------------------------------|---|-------|
| | Tatsumi | titanosilicates by use of mesoporous carbon and their characterization | Materials Symposium (5th IMMS) | | |
| 85 | 片岡, 原田, 遠藤, 稲木, 山本, 中岩, 大森 | マイクロ流路内壁へのメソポーラスシリカ薄膜形成 | 化学工学会第72年会 | 0 | 2007年 |

平成19年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 学会名 (開催地) | 0 / P | 発表年 |
|----|---|---|---|-------|-------|
| 1 | A. Nagaki, H. Kim, Y. Tomida, H. Usutani, N. Takabayashi, T. Nokami, H. Okamoto, J. Yoshida | Sequential Br-Li Exchange Reactions of Dibromobenzenes using Microflow Systems | The Fourth International Symposium on Integrated Synthesis | P | 2007年 |
| 2 | A. Nagaki, H. Usutani, Y. Tomida, H. Okamoto, T. Nokami, J. Yoshida | Generation and Reactions of ortho-Bromophenyllithium without Benzyne Formation Using Microflow System | The 14th International Symposium on Organometallic Chemistry Directed Towards Organic Synthesis | P | 2007年 |
| 3 | A. Nagaki, Y. Tomida, H. Usutani, H. Okamoto, T. Nokami, J. Yoshida | Generation and Reactions of ortho-Bromophenyllithium without Benzyne Formation Using Microreactor. | The 5rd International Workshop on Micro Chemical Plants | P | 2007年 |
| 4 | H. Usutani, Y. Tomida, T. Nokami, J. Yoshida | Generation and Reactions of ortho-Bromophenyllithium Using Microreactors | The 10th International KYOTO Conference on New Aspects of Organic Chemistry | P | 2007年 |
| 5 | 臼谷, 富田, 永木, 岡本, 野上, 吉田 | マイクロフローシステムを用いた <i>o</i> -ジブロモベンゼンの選択的モノリチオ化 | 日本化学会第 87 春季年会 | 0 | 2007年 |
| 6 | 富田, 永木, 臼谷, 吉田 | マイクロフローシステムを用いたブロモベンゼン類のハロゲンーリ | 日本化学会第 87 春季年会 | 0 | 2007年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|-------|
| | | チウム 交換反応 | | | |
| 7 | J. Yoshida | Flash Chemistry: Fast Chemical Synthesis in Microsystems | International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2007 | 0 | 2007年 |
| 8 | S. Tokuoka, ; M. Ishio, ; M. Ouchi, ; M. Sawamoto, | Correlation among Monomers, Leaving Halogens, and Metal Complexes in Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization: A Systematic Survey of Initiating Systems | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(1), 223 | 0 | 2007年 |
| 9 | M. Ishio, ; M. Ouchi, ; M. Sawamoto, Y. Inoue, | Novel Iron Catalysts for Living Radical Polymerization: A Ligand-Based Catalyst Design for Activity and Versatility | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(1), 225 | 0 | 2007年 |
| 10 | Y. Tomita, ; M. Ouchi, ; M. Sawamoto, | Novel Multinuclear Ruthenium Complexes for Living Radical Polymerization | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(1), 224. | 0 | 2007年 |
| 11 | M. Ito, M. Ouchi, ; M. Sawamoto, | Removable and Active Ruthenium Catalysts for Living Radical Polymerization | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(2), 2454. | 0 | 2007年 |
| 12 | Y. Tomita, ; M. Ouchi, ; M. Sawamoto, | Active Ruthenium Catalyst for Living Radical Polymerization: Multinucleation and Ligand-Design | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(2), 2455. | 0 | 2007年 |
| 13 | M. Ishio, ; M. Ouchi, ; M. Sawamoto, | Novel Half-metallocene Iron Catalysts for Living Radical Polymerization of Functional Monomers | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(2), 2456. | 0 | 2007年 |
| 14 | A. Kubo, ; T. Terashima, M. Ouchi, ; M. Sawamoto, | Evolution of Nickel Catalysts for Living Radical Polymerization: Structural Design with Ligand | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(2), 2457. | 0 | 2007年 |
| 15 | S. Tokuoka, ; | Control of the | Polym. Prep. Jpn. | 0 | 2007年 |

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|--------|
| | M. Ishio, ; M. Ouchi, ; M. Sawamoto, | Reversible Dormant-Active Equilibrium in Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization toward Precision Control and Catalyst Dose Reduction | 2007, 56(2), 2458. | | |
| 16 | M. Ouchi, ; M. Ishio, ; S. Ida, ; M. Ito, ; M. Kubo, ; S. Tokuoka, ; Y. Tomita, T. Terashima, M. Sawamoto, | Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization toward Ultimate Efficiency and Versatility upon Molecular-Level Precision Control | Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(2), 2738-2739. | 0 | 2007 年 |
| 17 | O. Tonomura, T. Takase, M. Kano, S. Hasebe | Optimal Shape Design of Pressure-Driven Microchannels using Adjoint Variable Method | International Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels (ICNMM) | 0 | 2007 年 |
| 18 | T. Tominari, S. Nagahara, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Optimal Sensor Location and State Estimation for Tubular Microreactors | International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes (PSE ASIA) | 0 | 2007 年 |
| 19 | O. Tonomura, T. Takase, M. Kano, S. Hasebe | CFD-based Shape Optimization of Microchannels Using Adjoint Variable Method | International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes (PSE ASIA) | P | 2007 年 |
| 20 | O. Tonomura, S. Nagahara, M. Kano, S. Hasebe | Optimal Sensor Location and State Estimation for Microreactors | AIChE Annual Meeting | 0 | 2007 年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|--------|
| 21 | H. Tamon, H. Nishihara and S. R. Mukai | Synthesis of titania-silica microhenycomb by unidirectional freezing | The Fifth International Workshop On Micro Chemical Plants (Kyoto, Japan) | 0 | 2007 年 |
| 22 | H. Tamon, H. Nishihara and S. R. Mukai | Controlling micromorphology of silica gels by unidirectional freezing and freeze drying | 5th Asia-Pacific Drying Conference (Hong Kong) | 0 | 2007 年 |
| 23 | 田門 | ゾルーゲル法による多 孔体のモルフォロジー とナノ構造の階層制御 | (社)化学工学会 第 40 回秋季大会 展望講演 | 0 | 2007 年 |
| 24 | 潮木 | マイクロフローシステ ムを用いたジアリール エテンの合成 | 第 1 回有機フォ トクロミズムシ ンポジウム | 0 | 2007 年 |
| 25 | 潮木 | マイクロフローシステ ムによる多様なジアリール エテンの合成 | 日本化学会第 87 春季年会 | 0 | 2007 年 |
| 26 | Y. Ushioji | Synthesis of Photochromic Diarylethenes Using a Microflow System | The 4th International Symposium on Integrated Synthesis | P | 2007 年 |
| 27 | Y. Ushioji | Synthesis of Photochromic Diarylethenes Using a Microflow System | The 7th International Symposium on Photochromism | P | 2007 年 |
| 28 | 小倉, 太田, 古屋, 鈴木, 高橋, 前 | マイクロ空間を用いた ニトロ化合物の生成IV - セグメンテッドフロ ーによるニトロ化ナフ タレンの合成 | 火薬学会 2007 年 度春季研究発表 会 | 0 | 2007 年 |
| 29 | 小倉, 太田, 高橋, 古屋, 竹林, 前 | マイクロ空間を用いた ニトロ化合物の生成と 転換 V. - 回転攪拌型マ イクロリアクターによ | 火薬学会 2007 年 度秋季研究発表 会 | 0 | 2007 年 |

| | | | | | |
|----|-------------------------------|--|---|---|--------|
| | | るニトロ化ナフタレンの合成 | | | |
| 30 | 上林, 太田, 高橋, 前 | マイクロ空間を用いたニトロ化合物の生成と転換 VI. - 触媒を担持した気液反应用マイクロリアクタの開発とアニリン合成への応用 | 火薬学会 2007 年度秋季研究発表会 | 0 | 2007 年 |
| 31 | 太田, 高橋, 上林, 依田, 小倉, 前 | 等価なポリニトロフラーレンの気液反応型マイクロリアクタを用いた接触水素添加反応の研究 | 火薬学会秋季研究発表講演会 | 0 | 2007 年 |
| 32 | 松澤 | フロー型マイクロ波化学反応装置の開発 | 化学工学会第 39 回秋季大会 | 0 | 2007 年 |
| 33 | 松澤 | マイクロ波化学反応装置による連続フロー反応 | 化学工学会第 73 年会 | 0 | 2008 年 |
| 34 | 小林, Rahman, Md. Taifur, 福山, 柳 | マイクロリアクターによる迅速ラジカル反応 | 日本化学会第 87 春季年会ハイライト講演 | 0 | 2007 年 |
| 35 | 松下 | Photosynthesis Of High-Value Added Compounds In A Microreaction System | The 11th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences Photoreactions in Microreactors | P | 2007 年 |
| 36 | 松下 | Photoreactions in Microspace | The XXIIIrd International Conference on Photochemistry | P | 2007 年 |
| 37 | 岩澤 | Multiphase Photocatalytic Reactions in Microreactors | The XXIIIrd International Conference on Photochemistry , vv | P | 2007 年 |
| 38 | 松下 | Organic syntheses by | The 11th | 0 | 2007 年 |

| | | | | | |
|----|----|--|--|---|-------|
| | | photocatalytic reaction in microreactors | Korea-Japan Symposium on Catalysis | | |
| 39 | 松下 | Application of Photocatalytic Microreaction Systems to Organic Synthesis | 1 st Asian-Oceanian Conference on Green and Sustainable Chemistry | P | 2007年 |
| 40 | 岩澤 | Multiphase Photocatalytic Reactions in Microreactors | 1 st Asian-Oceanian Conference on Green and Sustainable Chemistry | P | 2007年 |
| 41 | 松下 | Organic Reactions in a Photocatalytic Microreaction System | The 5th Micro-chemical plant international workshop | 0 | 2007年 |
| 42 | 松下 | Photocatalytic Oxidation and Alkylation Processes in Microreactors | The 2nd Annual IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems | 0 | 2007年 |
| 43 | 松下 | Microreaction System For Photosynthesis Of High-Value Added Compounds | 1st International Symposium of Nanomedicine -from Basic to Applications- and 2nd Molecule-Based Information Transmission and Reception | P | 2007年 |
| 44 | 松下 | マイクロリアクターの特性を利用した光反応の効率、選択性の向上 | 光化学討論会 2007 | 0 | 2007年 |
| 45 | 岩澤 | 光触媒による多相流での二酸化炭素の資源化反応 | 光化学討論会 2007 | P | 2007年 |

| | | | | | |
|----|---|---|---------------------------------|---|-------|
| 46 | 宇佐美 | マイクロリアクターを用いた光環化反応 | 光化学討論会 2007 | P | 2007年 |
| 47 | 松下 | 多相流を用いた光触媒反応 | 第100回触媒討論会 | 0 | 2007年 |
| 48 | 松下 | マイクロリアクターの性質を用いた光触媒反応の効率の向上 | 第99回触媒討論会 | 0 | 2007年 |
| 49 | 松下 | マイクロリアクターによる光触媒反応の制御 | 日本化学会第87回春季年会 | 0 | 2007年 |
| 50 | 松下 | 高付加価値化合物合成のためのマイクロ光反応場の開発 | 第16回化学とマイクロ・ナノシステム研究会 | P | 2007年 |
| 51 | 大西、大江、ヨスバタナノンヌルタイ、佐藤 | 微粒子表面へのパラジウム触媒の固定 | 第87日本化学会春季年会 日本化学会, 吹田 2007. | 0 | 2007年 |
| 52 | 笹川、ヨスバタナノンヌルタイ、佐藤 | マイクロフロー系の反応システムを用いるアルコールの酸化反応, | 第87日本化学会春季年会 日本化学会 吹田 2007. | 0 | 2007年 |
| 53 | 菅尾、ヨスバタナノンヌルタイ、田中、金子、佐藤 | マイクロフロー系とパラジウム含有ペロブスカイト触媒を用いる菌頭カップリング反応, | 第87日本化学会春季年会 日本化学会 吹田 2007 | 0 | 2007年 |
| 54 | T. Hoshina, T. Ono, M. Ota, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Volumetric behavior of methanol, ethanol, and 1-propanol aqueous solutions in supercritical region | 化学工学会第39回秋季大会(札幌) | 0 | 2007年 |
| 55 | X. Qi, M. Watanabe, T. M. Aida, and R. L. Smith, Jr. | Microwave-assisted catalytical conversion of carbohydrates into 5-hydroxyfurfural in hot compressed water | 第3回バイオマス科学会議(京都) | P | 2008年 |
| 56 | 保科・佐藤・猪股 | 高温液体条件下でのメタノール水溶液の誘電物性に対する温度効果 | 化学工学会第73回年会(静岡) | 0 | 2008年 |
| 57 | N. Aoki, | Enhanced Mass Transfer | AIChE 2007 | 0 | 2007年 |

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|-------|
| | T. H. Khoo, Y. Okubo, and K. Mae | by Liquid-Liquid Slug Flow in Microchannels for Efficient | Spring Meeting | | |
| 58 | T. Maki, J. Kitada, K. Mae | Production of zirconia nanoparticles using a microreactor with same axle dual pipe | AIChE 2007 Annual Meeting | 0 | 2007年 |
| 59 | 伊東, 北島, 青木, 前 | 流体セグメントの配置 によるマイクロ流路表 面での触媒反応の選択 性向上 | 化学工学会第 39 回秋季大会 | 0 | 2007年 |
| 60 | 青木, K. T. Hong, T. Wiroon, 前 | マイクロ流路における 液液スラグ流を用いた 混合・抽出の迅速化 | 化学工学会第 39 回秋季大会 | 0 | 2007年 |
| 61 | 牧, 林, 中西, 大 久保, 前 | マイクロ流路内の液滴 を利用した高分子重合 と高分子微粒子製造法 の検討 | 化学工学会第 39 回秋季大会 | 0 | 2007年 |
| 62 | 牧, 北田, 前 | 二重管型マイクロリア クターによるジルコニ ア粒子の作製と粒子径 制御 | 化学工学会第 73 年会 | 0 | 2007年 |
| 63 | 前, 長谷部, 吉田 | 次世代プロダクション テクノロジーとしての マイクロ化学技術 | 化学工学会 INCHEM 東京 2007 産学マッチング フォーラム | 0 | 2007年 |
| 64 | 渡邊, 清本, 前, 宮 原 | マイクロデバイスを用 いた Pt ナノ粒子の形成 機構 | 化学工学会第 72 年会, A117, 京 都, 2007年3月. | 0 | 2007年 |
| 65 | 渡邊, 清本, 吉田, 前, 宮原 | マイクロデバイスを用 いた Pt ナノ粒子の連続合 成 | 粉体工学会第 42 回技術討論会, 19, 東京, 2007 年6月. | 0 | 2007年 |
| 66 | 渡邊, 清本, 吉田, 前, 宮原 | マイクロミキサーを用 いた単分散 Pt ナノ粒子 の連続合成 | 第 60 回コロイド および界面化学 討論会, 3C12, 松本, 2007年9 月. | 0 | 2007年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|-------|
| 67 | 渡邊, 清本, 吉田, 前, 宮原 | イクロデバイスを用い たPtナノ粒子の連続合 成 | 粉体工学会第42 回技術討論会, 19, 東京, 2007 年6月. | 0 | 2007年 |
| 68 | 渡邊, 清本, 吉田, 前, 宮原 | マイクロミキサーを用 いた単分散Ptナノ粒子 の連続合成 | 第60回コロイド および界面化学 討論会, 3C12, 松本, 2007年9 月. | 0 | 2007年 |
| 69 | Y. Kubota, C. Jin, T. Tatsumi | Performance of organic-inorganic hybrid catalysts based on <i>Ia-3d</i> mesoporous silica | 11th Korea-Japan Symposium on Catalysis | 0 | 2007年 |
| 70 | 佐藤, 横井, 辰巳, 窪田 | アスパラギン誘導体を用いた AMSの合成とキャラクタリゼ ーション | 第100回触媒討論 会 | 0 | 2007年 |
| 71 | 藤田, 横井, 辰巳, 窪田 | 新規アニオン性界面活性剤 を用いたメソポーラスシリカ の合成 | 第23回ゼオライト研 究発表会 | 0 | 2007年 |
| 72 | 小山, 池田, 辰巳, 窪田 | MSE構造を有する新規ゼオ ライトの合成とポスト処理 | 第23回ゼオライト研 究発表会 | 0 | 2007年 |
| 73 | 稲垣, F Weibin, 横井, 窪田, 辰巳 | ゼオライト層状前駆体の層 間への有機基修飾 | 第23回ゼオライト研 究発表会 | 0 | 2007年 |
| 74 | Y. Kubota, M. Yoshida, T. Tatsumi | Nanostructural modification of organic-tethered MCM-22 catalyst | 15th International Zeolite Conference | P | 2007年 |
| 75 | 石丸, 窪田 | 有機基修飾シリケートを用い た酸塩基触媒反応 | 第8回GSCシンポ ジウム | P | 2007年 |
| 76 | 山田, 小山, 稲垣, 窪田 | Ti-MCM-68の合成と酸化 触媒性能 | 第101回触媒討論 会 | 0 | 2008年 |
| 77 | 小山, 池田, 稲垣, 横井, 辰巳, 窪田 | YNU-2ゼオライト前駆体の ポスト処理 | 第101回触媒討論 会 | 0 | 2008年 |
| 78 | J. Sugiyama, H. Yamashita, H. Kobashi, K. Hiroki, | Measurement for dielectric parameters in chemical reaction field | GSC-AON2007(1st Asian-Oceanian Conference on Green and Sustainable | P | 2007年 |

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|-------|
| | T. Yoda | | Chemistry) (Tokyo) | | |
| 79 | 杉山、山下、小橋、 廣木、依田 | マイクロ波化学反応を想定した誘電特性評価 | 日本化学会第87春季年会 | 0 | 2007年 |
| 80 | J. Sugiyama, H. Yamashita, H. Kobashi, K. Hiroki, T. Yoda | Measurement for dielectric parameters in microwave reactions | 3rd International Conference on Green and Sustainable Chemistry (Delft) | P | 2007年 |
| 81 | 片岡、遠藤、 原田、稲木、 山本、中岩勝、大森 | メソ多孔体を担持したマイクロリアクターの作製と反応特性 | 化学工学会 (札幌) | 0 | 2007年 |
| 82 | J. Sugiyama, H. Yamashita, H. Kobashi, K. Hiroki, T. Yoda | Measurement for dielectric parameters in microwave reactions | 3rd International Conference on Green and Sustainable Chemistry (Delft) | P | 2007年 |
| 83 | 工藤, 増井, 尾中 | 酢酸パラジウムを原料とするアルミナ担持パラジウム触媒の調製と鈴木-宮浦カップリング反応への適用 | 第100回触媒討論会A | 0 | 2007年 |
| 84 | D. Kudo, Y. Masui, M. Onaka | Preparation of Pd/Al ₂ O ₃ Catalyst from Pd(OAc) ₂ and its Application for the Suzuki-Miyaura Coupling | 第14回有機合成指向有機金属化学シンポジウム | P | 2007年 |
| 85 | 竹中、清洲、崔、 坂倉、安田 | メソポーラスシリカ担持白金触媒を用いた水素還元による芳香族ヒドロキシルアミン合成 | 第100回触媒討論会 | 0 | 2007年 |
| 86 | 竹中、清洲、崔、 坂倉、安田 | 部分水素化による高選択的ヒドロキシルアミン合成 | 平成19年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ4 | P | 2008年 |
| 87 | 竹中、清洲、崔、 坂倉、安田 | 部分水素化による高選択的ヒドロキシルアミン合成 | 第8回GSCシンポジウム | P | 2008年 |
| 88 | 岩浪、崔、坂倉、 安田 | Al-MCM-41を触媒とするカルボニル化合物の高効率シアノシリル化 | 日本化学会第88春季年会 | 0 | 2008年 |

| | | | | | |
|-----|------------------------------------|---|---|---|--------|
| 89 | 岩浪、崔、魯、坂倉、安田 | Al-MCM-41 を触媒とするカルボニル化合物の高効率シアノシリル化 | 第 8 回 GSC シンポジウム | P | 2008 年 |
| 90 | 岩浪、崔、魯、坂倉、安田 | Al-MCM-41 を触媒とするカルボニル化合物の高効率シアノシリル化 | 第 18 回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会 | P | 2007 年 |
| 91 | 岩浪、崔、魯、坂倉、安田 | Al-MCM-41 を触媒とするカルボニル化合物の高効率シアノシリル化 | 第 100 回触媒討論会 | O | 2007 年 |
| 92 | 岩浪、崔、魯、坂倉、安田 | Al-MCM-41 を触媒とするカルボニル化合物の高効率シアノシリル化 | 第 53 回有機合成化学協会関東支部シンポジウム | O | 2007 年 |
| 93 | 小野澤、深谷、斉藤、坂倉、安田 | 表面修飾型固定化触媒の合成と鈴木カップリング反応への適用 | 日本化学会第 88 春季年会 | P | 2008 年 |
| 94 | 鈴木、川西、宮沢 | マイクロ波照射によるベンズアルデヒド誘導体の加水分解反応 | 第 56 回高分子学会年次大会 | P | 2007 年 |
| 95 | 安倍、川西、宮沢 | 重水素化された Ir(ppy) ₃ の発光特性 | 第 20 回配位化合物の光化学討論会 | P | 2007 年 |
| 96 | 安倍、川西、宮沢 | ジューテリウム化された燐光発光性イリジウム錯体の性質 | 錯体化学討論会 | P | 2007 年 |
| 97 | 宮沢、ガッダ | 水中での α,ω -ジアミンからの環状アミン合成 | 有機合成シンポジウム | O | 2007 年 |
| 98 | Y. Kawanishi, T. Abe & A. Miyazawa | Luminescent Metal Complexes with Deuterated Ligands | 2007 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience | O | 2007 年 |
| 99 | ユ、ガッダ、宮沢 | 水中での α,ω -ジアミンからの環状アミン合成 | 第 8 回 GSC シンポジウム | P | 2008 年 |
| 100 | 安倍、川西、宮沢 | 有機耐光材料の重水素化効果 | 日本化学会第 88 春季年会 | P | 2008 年 |
| 101 | 川西、安倍、宮沢、今野 | 重水素化イリジウム錯体の発光特性 | 日本化学会第 88 春季年会 | O | 2008 年 |
| 102 | 片岡、遠藤、原田、稲木、山本、中岩、大森 | メソ多孔体を担持したマイクロリアクターの作製と反応特性 | 化学工学会第 39 回秋季大会 | O | 2007 年 |
| 103 | H. Tamon, H. Nishihara & S. | Synthesis of | The Fifth | O | 2007 年 |

| | | | | | |
|-----|------------------------------|---|--|---|-------|
| | R. Mukai | titania-silica microhenycomb by unidirectional freezing | International Workshop On Micro Chemical Plants (Kyoto, Japan) | | |
| 104 | 松浦、伊藤、石井、 角田、濱川、花岡、 水上 | 酵素反応場を有するナノ 空孔材料担持マイクロリ アクターの開発 | 化学工学会 第7 3年会 | 0 | 2008年 |

平成20年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 学会名 | 0/P | 発表年 |
|----|---|--|---|-----|-------|
| 1 | Y. Ushioji, T. Hase, Y. Iinuma, A. Takata, and J.i Yoshida | Synthesis of Photochromic Diarylethenes Using a Microflow System | The 10th International Conference on Microreaction Technology (IMRET 10) | 0 | 2008年 |
| 2 | Y. Ushioji, T. Hase, Y. Iinuma, A. Takata, and J. Yoshida | Synthesis of Photochromic Diarylethenes Using a Pilot Plant System | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) | 0 | 2008年 |
| 3 | 潮木 | マイクロリアクターの実用 化 ～マイクロフローシステム によるジアリールエテンの 合成～ | 第4回 桂インテッ クセンター研究成果 報告会 | 0 | 2008年 |
| 4 | 富田、永木、吉田 | 「スチレン類のマイクロフ ロー精密アニオン重合反応」 | 日本化学会第88春季 年会、東京 | 0 | 2008年 |
| 5 | 富田、永木、臼谷、金、 高林、吉田 | 「マイクロフローシステム を用いた二置換ベンゼン類 のコンビナトリアル合成」 | 日本化学会第88春季 年会、東京 | 0 | 2008年 |
| 6 | 永木、金、吉田 | 「マイクロフローシステム を用いたアルコキシカルボ ニル基を有するプロモベン ゼン類のハロゲンーリチウ ム交換反応」 | 日本化学会第88春季 年会、東京 | 0 | 2008年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|--------|
| 7 | 永木、高林、吉田 | 「マイクロフローシステムを用いたジブromoアレン類の選択的ハロゲン-リチウム交換反応」 | 日本化学会第 88 春季年会、大阪 | 0 | 2008 年 |
| 8 | 永木、滝沢、吉田 | 「マイクロフローシステムを用いたエポキシシラン類の脱プロトン化反応」 | 日本化学会第 88 春季年会、大阪 | 0 | 2008 年 |
| 9 | 西井、永木、吉田 | 「マイクロフローシステム精密重合におけるマイクロミキシングの効果」 | 日本化学会第 88 春季年会、大阪 | 0 | 2008 年 |
| 10 | 滝沢、永木、吉田 | 「マイクロフローシステムを用いたスチレンオキッド類の脱プロトン化反応」 | 日本化学会第 88 春季年会、大阪 | 0 | 2008 年 |
| 11 | A. Nagaki, H Usutani, Y. Tomida, Heejin Kim, N. Takabayashi, T. Nokami, H.Okamoto, J. Yoshida | Generation and Reactions of ortho-Bromophenyllithium without Benzyne Formation Using Microflow System. | The 10nd International Conference on Microreaction Technology, New Orleans, US | 0 | 2008 月 |
| 12 | Y. Tomida,A. Nagaki, H. Usutani, Heejin Kim, N. Takabayashi, T. Nokami, H. Okamoto, J. Yoshida | Sequential Integration of Br-Li Exchange Reactions Using Microflow Systems | The 10nd International Conference on Microreaction Technology, New Orleans, US | P | 2008 年 |
| 13 | 富田、永木、吉田 | 「スチレン類のマイクロフロー精密アニオン重合反応」 | 第 57 回高分子学会年次大会、横浜 | 0 | 2008 年 |
| 14 | 西井、永木、吉田 | 「マイクロフローシステム精密重合における混合の効果」 | 第 57 回高分子学会年次大会、横浜 | P | 2008 年 |
| 15 | Y. Tomida,A. Nagaki, J. Yoshida | Microflow System Controlled Anionic Polymeization of Styrene Derivatives | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan | 0 | 2008 年 |
| 16 | S. Nishii,A. Nagaki, | Characterization of Mixing in | International | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|----|----------------|--|---|---|-------|
| | J. Yoshida | Micromixers by Anionic Polymerization | Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan | | |
| 17 | 富田、永木、吉田 | 「精密構造制御ポリマー合成を指向したスチレン類のマイクロフロー精密アニオン重合反応」 | 第55回有機金属化学討論会、大阪 | P | 2008年 |
| 18 | 永木、高林、富田、吉田 | 「マイクロフローシステムによるジブromoアレーン類の選択的ハロゲン-リチウム交換反応」 | 第55回有機金属化学討論会、大阪 | P | 2008年 |
| 19 | 見目、永木、吉田 | マイクロフローシステムを用いたクロスカップリング反応によるビアリアル合成 | 日本化学会第89春季年会 | O | 2009年 |
| 20 | 徳岡、寺島、大内、澤本 | 金属触媒によるリビングラジカル重合におけるハロゲンドナー:新規重合制御法の開発 | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |
| 21 | 中谷、寺島、大内、澤本 | リビングラジカル重合による末端官能性ポリマーの精密合成 | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |
| 22 | 伊田、寺島、大内、澤本 | 精密鋳型リビングラジカル重合-リビングカチオン重合によるポリマー組込型開始剤の合成とその効果 | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |
| 23 | 小島、寺島、大内、澤本 | リビングラジカル重合による星型ポリマーのマイクロゲル核精密制御:高選択的機能場の構築 | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |
| 24 | 野村、伊藤、寺島、大内、澤本 | 金属担持型マイクロゲル星型ポリマー触媒によるリビングラジカル重合 | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |
| 25 | 勝部、寺島、大内、澤本 | 官能基配列制御ポリマー-リビングラジカル重合によるテレケリックオリゴマーの合成とその鎖延長 | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |
| 26 | 伊藤、寺島、大内、澤本 | リビングラジカル重合におけるシクロペンタジエニル型ルテニウム触媒:高活性・除去可能触媒を目指して | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |
| 27 | 偉士大、寺島、大内、澤本 | リビングラジカル重合における鉄触媒の開発-ハーフメタロセン型鉄錯体の配位 | 第57回高分子学会年次大会 | O | 2008年 |

| | | | | | |
|----|-----------------|--|---------------|---|-------|
| | | 子設計 | | | |
| 28 | 久保, 寺島, 大内, 澤本 | リビングラジカル重合における高汎用性ニッケル触媒の開発－錯体構造と触媒活性 | 第57回高分子学会年次大会 | 0 | 2008年 |
| 29 | 富田, 寺島, 大内, 澤本 | リビングラジカル重合における多核・高機能ルテニウム錯体の開発 | 第57回高分子学会年次大会 | 0 | 2008年 |
| 30 | 山本, 寺島, 大内, 澤本 | リビングカチオン重合を用いた官能基配列制御ポリマーの合成と機能 | 第57回高分子学会年次大会 | 0 | 2008年 |
| 31 | 偉士大, 寺島, 大内, 澤本 | リビングラジカル重合における鉄触媒の開発－配位子設計による触媒の高活性化・高汎用化 | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 32 | 富田, 寺島, 大内, 澤本 | 二金属触媒系によるリビングラジカル重合：高効率触媒系を目指して | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 33 | 徳岡, 寺島, 大内, 澤本 | ハロゲンドナーと金属触媒によるリビングラジカル重合－ハロゲンドナーと触媒の設計による高活性・高汎用重合系の創成 | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 34 | 余田, 寺島, 大内, 澤本 | 遷移金属錯体による水・アルコール均一系での機能性モノマーのリビングラジカル重合 | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 35 | 中谷, 寺島, 大内, 澤本 | アルコールを鍵試薬とするリビングラジカル重合による機能性高分子の創成 | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 36 | 小島, 寺島, 大内, 澤本 | リビングラジカル重合によるインプリントマイクロゲル核星型ポリマー～テンプレート架橋剤による核空間精密制御と高選択的分子認識～ | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 37 | 野村, 寺島, 大内, 澤本 | 金属担持型マイクロゲル星型ポリマー触媒によるリビングラジカル重合：一星型ポリマーの設計による高機能触媒の開発 | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 38 | 寺島, 大内, 澤本 | 遷移金属触媒によるリビングラジカル重合の最先端－高活性・高汎用性触媒開発から高機能・配列制御ポリマーへ | 第57回高分子討論会 | 0 | 2008年 |
| 39 | 山本, 寺島, 大内, 澤本 | リビングカチオン重合を用いた配列制御ポリマーの合成 | 第57回高分子討論会 | P | 2008年 |

| | | | | | |
|----|--|---|---------------------------------------|---|--------|
| 40 | 富田, 寺島, 澤本 | 遷移金属錯体を用いたジビニルモノマーのリビングラジカル環化重合 | 第 57 回高分子討論会 | P | 2008 年 |
| 41 | 田中, 寺島, 大内, 澤本 | パラジウム錯体を用いた精密ラジカル重合系の開発 | 第 57 回高分子討論会 | P | 2008 年 |
| 42 | 早田, 寺島, 大内, 澤本 | シラノール基を脱離基とする機能性モノマーのリビングラジカル重合—テンプレートによるモノマー連鎖配列制御に向けて | 第 57 回高分子討論会 | P | 2008 年 |
| 43 | 伊田, 寺島, 大内, 澤本 | リビングカチオン重合による官能基配列制御ポリマーの合成—精密鋳型重合と連鎖配列制御に向けて | 第 57 回高分子討論会 | P | 2008 年 |
| 44 | M.Sawamoto,; T.Terashima,; M.Ouchi, | System Design and Materials Synthesis via Metal Catalyzed Living Radical Polymerization | 第 236 回アメリカ化学会(フィラデルフィア) | O | 2008 年 |
| 45 | T.Terashima,; M.Ouchi,; M.Sawamoto, | Designer Polymers via Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization: End-Group Transformation, Sequence-Regulated Polymers, and Core-Functionalized Star Polymers | 第 236 回アメリカ化学会(フィラデルフィア) | P | 2008 年 |
| 46 | Ishio, M.; T.Terashima,; M.;Ouchi, M.Sawamoto, | Design of Novel Iron Catalysts for Living Radical Polymerization of Functional Mathacrylates | 第 236 回アメリカ化学会(フィラデルフィア) | P | 2008 年 |
| 47 | S.Ida,; T.Terashima,; M.Ouchi,; M.Sawamoto, | Template-Assisted Living Radical Polymerization: Synthesis of Polymer-Built-In Initiators via Living Cationic Polymerization and Their Template Effect in Sequence Regulation | 第 236 回アメリカ化学会(フィラデルフィア) | P | 2008 年 |
| 48 | K.Nakatani,; T.Terashima,; M.Ouchi,; M.Sawamoto, | End-Functionalized Polymers by Quantitative Alkoxy-Capping in Metal Catalyzed Living Radical Polymerization: Umpolung of Terminal Carbon-Halogen Bond by a Modifier Monomer | 第 236 回アメリカ化学会(フィラデルフィア) | P | 2008 年 |
| 49 | A.Sugimoto, T.Fukuyama, I.Ryu | Compact Execution of the Barton Reaction Using Micro-Flow Reactor | Annual Meeting on Photochemistry 2008 | O | 2008 年 |
| 50 | H.Matsubara, Y.Hino, I.Ryu | Highly Selective Radical Halogenation Reaction of | Annual Meeting on Photochemistry 2008 | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|----|--|--|--|---|-------|
| | | Alkanes Using a Microflow Reactor under Photo-irradiation | | | |
| 51 | I. Ryu | Adventures in Inner Space : Microflow Systems for Practical Organic Synthesis | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008年 |
| 52 | I. Ryu | Microflow Systems: Another Means to Improve Efficiency in Organic Synthesis | Optimising Organic Reaction Conference | 0 | 2008年 |
| 53 | 柳 | 新デバイス創造による合成の快適化 | フローマイクロ合成研究会 第19回公開講演会 | 0 | 2008年 |
| 54 | N. Aoki, R. Kitajima, C. Itoh, K. Mae | Microreactor for Synthesis Via Intermediates with Assembled Units Enabling Rapid Mixing | AIChE 2008 Spring Meeting (IMRET 10) | 0 | 2008年 |
| 55 | O. Tonomura, S. Nagahara, M. Kano, S. Hasebe | Fluid Distribution and Blockage Diagnosis in Parallel Microchannel Configurations | AIChE 2008 Spring Meeting (IMRET 10) | 0 | 2008年 |
| 56 | M. Kubota, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Characterization of High Heat and Mass Transfer in T-Shaped Microreactors and Its Optimal Design | AIChE 2008 Spring Meeting (IMRET 10) | 0 | 2008年 |
| 57 | K.Mae | Potential of Microreactor for Hydrogen Production (Keynote lecture) | NIMS2008 conference, Link-6 Fuel Cell Materials Meet Hydrogen | 0 | 2008年 |
| 58 | O. Tonomura, S. Nagahara, M. Kano, S. Hasebe | Sensor Location for Effective Fault Diagnosis in Micro Chemical Plants | Fifth International Conference on Foundations of Computer-Aided Process Operations | P | 2008年 |
| 59 | N. Aoki, M. Kawanari, K. Mae | Microreactor Comprising Pipe-free Assembling of Units for Multi-step Reactions via Intermediates | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008年 |
| 60 | Y. Okubo, K. Mae | Process Intensification Using Two-Phase System and Micromixing | International Symposium on Micro Chemical Process and | P | 2008年 |

| | | | | | |
|----|---|--|---|---|-------|
| | | | Synthesis | | |
| 61 | T. Maki, T. Wada, K. Mae | Particle Size Control of Au Nanoparticles by a Multistage Reaction System with Series of Micromixers | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008年 |
| 62 | S. Watanabe, K. Fujimoto, K. Mae, M. Miyahara | Synthesis of Pt Nanoparticles with Controlled Size and Shape Using a Micromixer | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008年 |
| 63 | O. Tonomura, J. Kano, S. Nagahara, M. Kano, S. Hasebe | Development of Model-based Monitoring System for Microreactors | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008年 |
| 64 | M. Kubota, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Development of a Reduced-order Model of T-shaped Microreactors with Secondary Flow | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008年 |
| 65 | M. Tsujimoto, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | CFD Analysis of Electrochemical Microreactors | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | P | 2008年 |
| 66 | J. Kano, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | CFD Analysis and Design of a Microreactor: Toward Precise Control of Intermediate Concentrations of Consecutive-Parallel Reactions | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | P | 2008年 |
| 67 | N. Aoki, R. Kitajima, C. Itoh, K. Mae | Evaluation of Microreactor for Multi-step Synthesis with Assembled Units Enabling Intermediates | International Workshop on Process Intensification 2008 | 0 | 2008年 |
| 68 | S. Hasebe | Micro Chemical Plants: The Way to Process Intensification | International Workshop on Process Intensification 2008 | 0 | 2008年 |
| 69 | O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | CFD-Based Shape Optimization of Pressure-Driven Microchannels via Adjoint Formulation | AIChE Annual Meeting | 0 | 2008年 |
| 70 | A. Inada, I. Hasegawa, | Pinacol Rearrangement Reaction | Gordon Conference 2009, Hydrocarbon | P | 2008年 |

| | T.Yasukawa, K. Mae | in Subcritical Water | Processing | | |
|----|---|--|---|---|-------|
| 71 | 渡邊・堀・前・宮原 | マイクロミキサーを用いた単分散シリカ粒子の合成 | 化学工学会第40回秋季大会 | 0 | 2008年 |
| 72 | 青木・川成・前 | 改良機能アSEMBル型マイクロリアクターの性能評価 | 化学工学会第40回秋季大会 | 0 | 2008年 |
| 73 | 和田・牧・前 | マイクロリアクターを用いた核生成・粒子成長過程の制御による金ナノ粒子の粒径制御 | 化学工学会第40回秋季大会 | 0 | 2008年 |
| 74 | 久保田・殿村・加納・長谷部 | 2次流れを伴うT字マイクロリアクタの効率的設計に向けた近似モデルの開発 | 化学工学会第40回秋季大会 | 0 | 2008年 |
| 75 | 加納・殿村・加納・長谷部 | 中間体の濃度制御を目的としたマイクロリアクタ設計 | 化学工学会第40回秋季大会 | 0 | 2008年 |
| 76 | 殿村・永原・加納・長谷部 | マイクロ化学プロセスの流体集配構造と閉塞診断 | 化学工学会第40回秋季大会 | 0 | 2008年 |
| 77 | 辻本・殿村・加納・長谷部 | CFDシミュレーションによるマイクロ電解リアクタの特性解析と設計 | 化学工学会第40回秋季大会 | 0 | 2008年 |
| 78 | 渡邊, 堀, 前, 宮原 | 中心衝突型マイクロミキサーによる単分散シリカ粒子の合成 | 粉体工学会2008年度秋期研究発表会 | 0 | 2008年 |
| 79 | K. Fujimoto, S. Watanabe, K. Mae, and M. Miyahara | Continuous Synthesis of Pt Nanoparticles with Controlled Size and Shape using a Micromixer | 8 th Japan-Korea Symposium on Materials and Interfaces | P | 2008年 |
| 80 | 牧・林・大久保・前 | マイクロ流路内のスラグ流を利用した高分子重合 | 化学工学会姫路大会 | 0 | 2008年 |
| 81 | 藤本, 渡邊, 前, 宮原 | マイクロミキサーによるPtナノ粒子の合成と粒径・形状制御 | 化学工学会姫路大会 | 0 | 2008年 |
| 82 | 渡邊, 藤本, 前, 宮原 | マイクロミキサーを用いたPtナノ粒子の合成と形状制御 | 第46回粉体に関する討論会 | 0 | 2008年 |
| 83 | 青木・伊東・前 | マイクロ空間内での電解による活性種生成・反応操作法の検討 | 化学工学会第74年会 | 0 | 2009年 |
| 84 | 吉田・青木・前 | 流体衝突による対流効果に着目したマイクロデバイス | 化学工学会第74年会 | 0 | 2009年 |

| | | | | | |
|----|--------------------------|--|-------------------------------------|---|--------|
| | | の混合特性・熱移動特性と設計論 | | | |
| 85 | 稲田・長谷川・安川・横山・佐藤大・生島・川波・前 | 亜臨界水中でのピナコール転位反応の速度解析 | 化学工学会第74年会 | 0 | 2009年 |
| 86 | 前 | 新規マイクロリアクターの開発とそれを用いた反応制御法に関する研究（化学工学会研究賞受賞講演） | 化学工学会第74年会 | 0 | 2009年 |
| 87 | 久保田・殿村・加納・長谷部 | Reduced-order model を用いた T 字マイクロリアクタ設計 | 化学工学会第74年会 | 0 | 2009年 |
| 88 | 永木、宮崎、富田、吉田 | アルキルメタクリレート類のマイクロフロー精密アニオン重合反応 | 日本化学会第 89 春季年会、東京 | 0 | 2009 年 |
| 89 | 永木、高林、富田、吉田 | マイクロフローシステムを用いたジブロモビリアル類の連続的ハロゲン-リチウム交換反応による非対称ジ置換ビリアル類の合成 | 日本化学会第 89 春季年会、東京 | 0 | 2009 年 |
| 90 | 金熙珍、永木、吉田 | マイクロフローシステムを用いたニトロ基を有するヨードベンゼン類のハロゲン-リチウム交換反応 | 日本化学会第 89 春季年会、東京 | 0 | 2009 年 |
| 91 | 永木、高林、吉田 | マイクロフローシステムを用いた Pd 触媒によるアリールリチウム種のビニルハライド類とのクロスカップリング反応 | 日本化学会第 89 春季年会、東京 | 0 | 2009 年 |
| 92 | 富田、永木、吉田 | 精密構造制御ポリマー合成を指向したスチレン類のマイクロフロー精密アニオン重合反応 | 日本化学会第 89 春季年会、東京 | 0 | 2009 年 |
| | 富田、永木、吉田 | マイクロフローシステムを用いたアリールリチウム種の共役エンイン化合物へのカルボリチオ化反応 | 日本化学会第 89 春季年会、東京 | 0 | 2009 年 |
| 93 | 深谷、小野澤、上田、高木、斉藤、坂倉、安田 | Design and Synthesis of New Linker Units for Covalently Immobilizing Molecular | The 15th International Symposium on | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|-------------------------------|--|--|---|-------|
| | | Catalysts | Organosilicon Chemistry | | |
| 94 | 深谷、小野澤、上田、 高木、斉藤、坂倉、 安田 | Design and Synthesis of New Linker Units for Covalently Immobilizing Molecular Catalysts | ICC 14 Pre-Symposium | P | 2008年 |
| 95 | 竹中、清洲、崔、 坂倉、安田 | Promotive Effects of the Addition of Amines for the Selective Hydrogenation of Nitroaromatics over Supported Platinum Catalysts | ICC 14 Pre-Symposium | 0 | 2008年 |
| 96 | 深谷、小野澤、上田、 高木、斉藤、坂倉、 安田 | Design and Synthesis of New Linker Units for Covalently Immobilizing of Molecular Catalysts | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) | P | 2008年 |
| 97 | 竹中、清洲、崔、 坂倉、安田 | Promotive Effects of the Addition of Amines for the Selective Hydrogenation of Aryl Nitro Compounds over Supported Platinum Catalysts | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) | 0 | 2008年 |
| 98 | 深谷、小野澤、上田、 斉藤、高木、坂倉、 安田 | 多点結合型リンカーを利用 した固定化分子触媒の開発 (1) | 第102回触媒討論会 | 0 | 2008年 |
| 99 | 上田、小野澤、深谷、 斉藤、高木、坂倉、 安田 | 多点結合型リンカーを利用 した固定化分子触媒の開発 (2) | 第102回触媒討論会 | 0 | 2008年 |
| 100 | 竹中、清洲、崔、 坂倉、安田 | Pt/SiO ₂ 触媒を用いた水素還 元による芳香族ヒドロキシ ルアミン合成 | 第102回触媒討論会 | 0 | 2008年 |
| 101 | 清洲、竹中、崔、 坂倉、安田 | オキシランへの二酸化硫黄 挿入反応による環状亜硫酸 エステル合成 | 第38回複素環化学討 論会 | P | 2008年 |
| 102 | 深谷、小野澤、上田、 高木、斉藤、坂倉、 安田 | 多点結合型リンカーを利用 した新しい固定化分子触媒 の開発 | 平成20年度産総研環 境・エネルギーシン ポジウムシリーズ3 | 0 | 2009年 |

| | | | | | |
|-----|---|---|---------------------------------|---|--------|
| 103 | 竹中、清洲、崔、坂倉、安田 | 部分水素化による高選択的ヒドロキシルアミン合成 | 平成 20 年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ 3 | 0 | 2009 年 |
| 104 | 横山、北畑、松浦、石井、伊藤、角田、濱川、花岡、南部、水上 | メソポーラスシリカ固定化グルタミナーゼを用いたテアニン合成 | 第24回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2008年 |
| 105 | 佐藤、川波、横山、生島、鈴木、松嶋 | 水・マイクロ反応場による連続有機合成 | 化学工学会沖縄大会 | 0 | 2008 年 |
| 106 | 川波、X. W. Natarajan、S. Venkataramanan、石坂、横山、生島 | 金ナノ粒子担持チタニア触媒による超臨界二酸化炭素中でのアルコールの酸化反応 | 化学工学会沖縄大会 | 0 | 2008 年 |
| 107 | 佐藤、川波、横山、生島、鈴木、松嶋 | 水およびマイクロ反応場を利用した連続有機合成 | 化学工学会第 40 回秋季大会 | 0 | 2008 年 |
| 108 | 川波、松嶋、佐藤大、横山、生島 | 高温高压水-マイクロ空間協奏反応場による超高効率有機合成法の開発 | 化学工学会第 40 回秋季大会 | 0 | 2008 年 |
| 109 | 松嶋、佐藤、浦、横山、川波、生島 | 亜臨界水を利用した糖類の変換反応 | 化学工学会第 40 回秋季大会 | 0 | 2008 年 |
| 110 | 佐藤、松嶋、横山、鈴木、生島、川波 | 高温高压マイクロ空間協奏反応場による物質変換反応～超高速炭素-炭素カップリング・高速アシル化反応等 | 東北/関東「環境とものづくり」技術交流フェア in 東京 | P | 2008 年 |
| 111 | 川波、鈴木、佐藤、Javaid Rahat、Alfred Tanaka、横山、生島 | 水・マイクロ空間協奏反応場による革新的高選択的合成法の開発 | 平成 20 年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ 3 | P | 2009 年 |
| 112 | 川波、佐藤、松嶋、横山、鈴木重、生島 | 高温高压水-マイクロ空間協奏反応場による超高速・高選択率ヘックカップリング反応 | 化学工学会第 74 年会 | 0 | 2009 年 |
| 113 | 稲田、長谷川、安川、横山、佐藤、生島、川波、前 | 亜臨界水中でのピナコール転位反応の速度解析 | 化学工学会第 74 年会 | 0 | 2009 年 |
| 114 | 若生、畑田、鈴木、若嶋、川崎 | Ti ライニングニトロ化反応システムによる高温高压水条件下のナフタレンの多価ニトロ化 | 化学工学会第 40 回秋季大会 | 0 | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|--|---|--|---|--------|
| 115 | 畑田、鈴木、若生、 若嶋、川崎 | 高温高压水条件下の流通式 Ti ライニングニトロ化反応 システムと連続ピリジンの ニトロ化 | 化学工学会第 40 回秋 季大会 | 0 | 2008 年 |
| 116 | 畑田、鈴木、川崎、 川崎、太田 | 高温高压水条件下の連続マ イクロ反応システムによる ジニトロナフタレンの合成 | 火薬学会 2008 年度秋 季研究発表会 | 0 | 2008 年 |
| 117 | 畑田、川崎、川崎、 鈴木 | 高温高压水による芳香族 化合物の無触媒ニトロ化反 応プロセス | 東北/関東「環境と ものづくり」技術交 流フェア in 東京 | P | 2008 年 |
| 118 | 稲田、長谷川、安川、 前 | Pinacol Rearrangement Reaction in Subcritical Water | Gordon Research Conference on Hydrocarbon Resources | 0 | 2009 年 |
| 119 | 畑田、川崎、川崎千、 鈴木 | 高温高压水による芳香族 化合物の無触媒ニトロ化反 応プロセス | 平成 20 年度産総研環 境・エネルギーシン ポジウムシリーズ 3 | P | 2009 年 |
| 120 | 畑田、鈴木、川崎、 川崎 | 高温高压水マイクロリアク ターによる 1-ニトロと 2 -ニトロナフタレンのニト ロ化反応生成物の解析 | 化学工学会第 74 年会 | 0 | 2009 年 |
| 121 | 依田、古屋、竹林、 陶究、太田、前 | 極微小容積可変型試料飽和 溶解装置を用いた金属錯体 の溶解度測定 | 化学工学会第 40 回秋 季大会 | 0 | 2008 年 |
| 122 | T. Furuya, S. Yoda, Y. Takebayashi, K. Sue, T. Ohta, K. Mae | Variable-Volume View Cell with Ultra Low-Volume for the Measurements of High-Pressure Phase Equilibria | American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Meetings, 2008 Annual Meeting | 0 | 2008 年 |
| 123 | S. Yoda, T. Furuya, Y. Takebayashi, K. Sue, T. Ohta, K. Mae | Solubility Measurements of Anthracene to Supercritical Carbon Dioxide Using Both Variable-Volume View Cell with Ultra Low-Volume and HPLC Technique | American Institute of Chemical Engineers (AIChE) Meetings, 2008 Annual Meeting | 0 | 2008 年 |
| 124 | 竹林、陶、依田、 古屋、太田、前 | 二酸化炭素+アセトニトリ ル混合溶媒中でのニトロ化 | 化学工学会第 74 年会 | 0 | 2009 年 |

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|--------|
| | | 化合物の還元カルボニル化反応 | | | |
| 125 | 山下、小橋、満倉、深谷、上田、小野澤、坂倉、安田 | 2. 45GHz 帯における有機・無機系化合物の複素誘電率測定とマイクロ波照射触媒反応への応用 | 日本化学会第 89 春季年会 | 0 | 2009 年 |
| 126 | Y. Masui, K. Teramura, T. Tanaka, M. Onaka | The Structure and Reactivity for the Metathesis of an Organorhenium Catalyst Supported on ZnCl ₂ -modified Mesoporous Alumina | 特定領域研究「協奏機能触媒」第 2 回国際シンポジウム | P | 2008 年 |
| 127 | 尾中 | メソ細孔を有する固体塩基物質の調製法と新しい活用方法-メソポーラスアルミナ・メソポーラスマグネシア- | 触媒学会奈良地区講演会 | 0 | 2008 年 |
| 128 | Y. Masui, M. Onaka | ZnCl ₂ -modified Mesoporous Alumina Support: Its Structural Property and Application to the Organorhenium Catalyst for Olefin Metathesis | International Symposium on Creation and Control of Advanced Selective Catalysis (ICC14 Pre-Symposium) | 0 | 2008 年 |
| 129 | J. -C. Wang, Y. Masui, K. Watanabe, M. Onaka | Highly Efficient Cyanosilylation of Carbonyl Compounds by Tin Ion-exchanged Montmorillonite (Sn-Mont) | International Symposium on Creation and Control of Advanced Selective Catalysis (ICC14 Pre-Symposium) | P | 2008 年 |
| 130 | 尾中, 増井, 及川 | 有機レニウム-固体酸の組み合わせによる不均一系メタセシス触媒作用 | 第 2 回日本化学会関東支部大会 (2008) | 0 | 2008 年 |
| 131 | J.-C. Wang, Y. Masui, K. Watanabe, M. Onaka | Efficient Cyanosilylation of Sterically Bulky Ketones catalyzed by Tin Ion-exchanged Montmorillonite (Sn-Mont) | 第 102 回触媒討論会 | 0 | 2008 年 |
| 132 | 青木, 關, 増井, 尾中 | メソポーラスマグネシアの調製とその塩基触媒特性 | 学術創成研究・第 3 回ナノ空間触媒フォーラム | 0 | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|-------------------------------|--|--|---|--------|
| 133 | 尾中 | 二次元粘土シリケート層間に形成された塩化スズオキシドナノ粒子が示す固体酸触媒機能 | 特定領域研究「協奏機能触媒」第5回公開シンポジウム | P | 2008年 |
| 134 | M. Tomita, Y. Masui, M. Onaka | A Computational Study on Formaldehyde Encapsulated in Fajasite Zeolites | International Workshop on Synthesis and Applications of Mesoporous Materials | P | 2008年 |
| 135 | 小林・増井・尾中 | ゼオライト細孔中での不安定 μ -無置換アルジミンの安定捕捉と、その求電子反応性の活用 | 第103回触媒討論会 | 0 | 2009年 |
| 136 | 窪田, 小山, 池田, 辰巳 | Synthesis and post-synthetic silylation of MCM-68 (MSE)-type silicate | 235th ACS National Meeting | 0 | 2008年ね |
| 137 | 窪田, 小山, 山田, 稲垣, 辰巳 | Synthesis and catalytic performance of Ti-MCM-68 for effective oxidation reactions | Pre-Symposium of 14th International Congress on Catalysis | 0 | 2008年 |
| 138 | 稲垣, 窪田, 辰巳 | Interlayer expansion of layered MWW precursor via the vapor-phase silylation | 14th International Congress on Catalysis | 0 | 2008年 |
| 139 | 稲垣, 小山, 池田, 窪田 | 新規ゼオライト前駆体 YNU-2P の調製とポスト処理による骨格構造の安定化 | 第102回触媒討論会 (B講演) | 0 | 2008年 |
| 140 | 山田, 稲垣, 窪田 | MSE構造を有する新規ゼオライトの合成とポスト処理 | 第102回触媒討論会 (A講演) | 0 | 2008年 |
| 141 | 窪田, 稲垣 | 多次元細孔ゼオライト MCM-68 およびその類縁体の合成とポスト処理 | 第102回触媒討論会 (A講演) | 0 | 2008年 |
| 142 | 山口, 稲垣, 窪田 | 有機基修飾シリケートを用いた酸塩基触媒反応 | 第102回触媒討論会 (A講演) | 0 | 2008年 |
| 143 | 窪田, 稲垣, 小山, 山田 | Ti-MCM-68 の合成と酸化触媒性能 | 創立50周年記念シンポジウム 第38回石油・石油化学討論会 | 0 | 2008年 |
| 144 | 山田, 稲垣, 窪田 | YNU-2 ゼオライト前駆体のポスト処理 | 第24回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2008年 |
| 145 | 受川, 小野, 稲垣, 窪田 | スルホ基固定化メソポーラスシリカを触媒とするシクロヘキセンの酸化反応 | 第24回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2008年 |
| 146 | 稲垣, 横井, 魯, 辰巳, 窪田 | ポスト処理によるゼオライト前駆体 YNU-2P の骨格構造の安定化 | 第24回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2008年 |

| | | | | | |
|-----|---|--|---|---|--------|
| 147 | M. Matsuzawa, S. Togashi, S. Hasebe | A Continuous Flow Microwave-Assisted Microreactor System | IMRET10 | P | 2008 年 |
| 148 | M. Matsuzawa, S. Togashi, S. Hasebe | A Continuous Flow Microwave-Assisted Microreactor System | MiPS2008 | 0 | 2008 年 |
| 149 | 松澤、富樫、長谷部 | フロー型マイクロ波化学反 応装置における温度制御に 関する検討 | 化学工学会 第 74 年会 | 0 | 2009 年 |
| 150 | 日之内、菅、吉田 | 有機電解合成用積層型隔膜 付きマイクロリアクターの 制作 | 第 32 回 有機電子移 動化学討論会 | P | 2008 年 |
| 151 | T. Hinouchi, S.Suga, J. Yoshida | Development of Micro Electrolysis Reactor | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis MiPS2008 | P | 2008 年 |
| 152 | 阿蘇、西原、向井、 田門 | 氷晶テンプレート法を用い た環境浄化用チタニアシー リカ繊維の創製 | 分離技術会年会 2008 | 0 | 2008 年 |
| 153 | 青谷、宮本、田門 | 氷晶テンプレート法を利用 したゼオライトナノ粒子の マイクロ繊維化 | 分離技術会年会 2008 | 0 | 2008 年 |
| 154 | H. Tamon, M. Fujitani and T. Suzuki | Preparation of Zeolite-Silica Microhoneycomb by Ice-Templating | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008 年 |
| 155 | H. Tamon, Y. Aso, H. Nishihara and S. R. Mukai ³ | Preparation of Titania-Silica Fibers by Unidirectional Freezing of Hydrogels | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | P | 2008 年 |
| 156 | 青谷、田門 | 氷晶テンプレート法を用いたマ クロ/マイクロ階層構造ゼオラ イトモノリスの創製 | 化学工学会第 40 回秋 季大会 | 0 | 2008 年 |
| 157 | 青谷、田門 | 氷晶テンプレート法を用いたマ | 第 22 回日本吸着学会 | 0 | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|--|--|--|---|--------|
| | | クロ／マイクロ階層構造ゼオライトモノリスの創製 | 研究発表会 | | |
| 158 | N.Yoswathananont, N. Sasagawa, Y. Fukuda, M. Sato | Efficient Gas-Liquid-Solid Reduction and Oxidation Systems by Micro-Packed Bed Reactor | IMRET10, AIChE 2008 Spring National Meeting | 0 | 2008 年 |
| 159 | 福田, ヨスバタナノン ヌシルタイ, 佐藤 | マイクロフロー系へのマイクロ波加熱による菌頭反応の迅速化 | 日本化学会第 89 春季年会 | 0 | 2009 年 |
| 160 | 堀江、角野、田中、吉田 | Photo-Dimerisation of Maleic Anhydride Using a Continuous Flow System | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | P | 2008 年 |
| 161 | Y. Matsushita, N. Ohba, M. Iwasawa, Y. Satoh, T. Suzuki, T. Ichimura | A Continuous Flow Microreaction System for Photosynthesis | The 5th Asian Photochemistry Conference, Beijing | 0 | 2008 年 |
| 162 | T. Ichimura, Y. Matsushita, N. Ohba, M. Iwasawa, I. Komori, N. Usami, Y. Satou, and T. Suzuki | Recent Progress on Photoreactions in Microreactors | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis, Kyoto | 0 | 2008 年 |
| 163 | Y. Matsushita, N. Ohba, N. Usami, Y. Satoh, T. Suzuki, T. Ichimura | Multiphase Photocatalytic Reactions in a Microreaction System | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis, Kyoto | 0 | 2008 年 |
| 164 | 松下、宇佐見、佐藤、鈴木、市村 | マイクロリアクターを用いた光反応プロセスの強化 | 2008 年光化学討論会 (大阪) | 0 | 2008 年 |
| 165 | 松下、佐藤、鈴木、市村 | 気液固三相流を用いた光触媒反応 | 第 102 回触媒討論会 (名古屋) | 0 | 2008 年 |
| 166 | 松下、宇佐見、佐藤、鈴木、市村 | マイクロリアクターの特性を用いた光反応 | 化学工学会第 40 回秋季大会 (仙台) | 0 | 2008 年 |
| 167 | Y. Matsushita, N. Ohba, N. Usami, Y. Sato, T. Suzuki, T. Ichimura | Multiphase Photocatalytic Reactions in a Microreaction System | The 12th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|---|--|---|---|-------|
| | | | Sciences, San Diego | | |
| 168 | Y. Sato, M. Iwasawa, Y. Matsushita, T. Suzuki, and T. Ichimura | Photocatalytic N-Alkylation of 4-Methoxybenzylamine in a Microreaction System | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis, Kyoto | P | 2008年 |
| 169 | Y. Matsushita, N. Ohba, N. Usami, Y. Satou, T. Suzuki, T. Ichimura | Photoreactions in a Microreaction System | XXII IUPAC Symposium on Photochemistry 2008, Gothenburg, Sweden | P | 2008年 |
| 170 | 宇佐美・堀江・松下・ 鈴木・市村 | UV-B 紫外発光ダイオードによ るマイクロ反応システム | 2008年光化学討論会 (大阪) | P | 2008年 |
| 171 | 佐藤・岩澤・松下・ 鈴木・市村 | 光触媒担持マイクロリアクター を用いた有機合成反応 | 第24回化学反応討論 会(札幌) | P | 2008年 |
| 172 | T. Ogura, T. Ohta, Y. Takahashi, K. Mae | An Experimental Study on Nitration of Naphthalene Using Dynamically Rotating Axis Microreactor | AIChE 2008 Spring Meeting (IMRET 10) | P | 2008年 |
| 173 | T. Ogura, T. Ohta, Y. Takahashi, K. Mae | Development of Dynamical Mixing Microreactor for Liquid-Liquid Multiphase Reaction | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | O | 2008年 |
| 174 | T. Furuya, S. Yoda, Y. Takebayashi, K. Sue, T. Ohta, K. Mae | Variable-Volume View Cell with Ultra Low-Volume for the Measurements of High-Pressure Phase Equilibria | AIChE 2008 Annual Meeting | O | 2008年 |
| 175 | S. Yoda, T. Furuya, Y. Takebayashi, K. Sue, T. Ohta, K. Mae | Solubility Measurements of Anthracene to Supercritical Carbon Dioxide Using both Valuable-Volume View Cell with Ultra Low Volume and HPLC Technique | AIChE 2008 Annual Meeting | O | 2008年 |
| 176 | A. Inada, I. Hasegawa, T. Yasukawa, K. Mae | Pinacol Rearrangement Reaction in Subcritical Water | Gordon Conference 2009, Hydrocarbon Processing | P | 2009年 |
| 177 | 依田・古屋・竹林・陶・ 太田・前 | 極微小容積可変型試料飽和 溶解装置を用いた金属錯体 の溶解度測定 | 化学工学会第40回秋 季大会 | O | 2008年 |
| 178 | 小倉・高杉・太田・ 高橋・前 | 動的攪拌効果を有するマイ クロリアクターの開発 | 化学工学会第74年会 | O | 2009年 |

| | | | | | |
|-----|--|---|--|---|-------|
| 179 | 稲田・長谷川・安川・ 横山・佐藤・ 生島・川波・前 | 亜臨界水中でのピナコール 転位反応の速度解析 | 化学工学会第74年会 | 0 | 2009年 |
| 180 | 竹林・陶・依田・ 古屋・太田・前 | 二酸化炭素+アセトニトリル 混合溶媒中でのニトロ化合 物の還元カルボニル化反応 | 化学工学会第74年会 | 0 | 2009年 |
| 181 | S. Nagamine*, Y. Tanaka, T. Hoshino, M. Oshima | TiO ₂ Hollow Nanofibers Templated by Electrospun Polymeric Nanofibers | Third International Conference on Processing Materials for Properties (PMP-III) | 0 | 2008年 |
| 182 | T. Hoshina, T. Ono, T. Aida, M. Watanabe, Y. Sato, and H. Inomata | Flow type densimeter with the vibrating tube for measurements at high temperatures and pressures | 15th International Conference on the Properties of Water and Steam (Berlin, Germany) | 0 | 2008年 |
| 183 | 小林・保科・佐藤・ 猪股 | 高温高圧下における水-メタノール および水-エタノール混合系 の体積挙動 | 化学工学会第40回秋 季年会(仙台) | 0 | 2008年 |
| 184 | 小野・小林・保科・ 佐藤・猪股 | 分子動力学シミュレーショ ンを用いた高温高圧アルコ ールの体積挙動 | 化学工学会 第74回年会 | 0 | 2009年 |
| 185 | 上林、高橋、太田 | 触媒を必要とする気液反応 用マイクロリアクターの開 発 | 日本材料学会 第57 期学術講演会 | 0 | 2008年 |
| 186 | 前、永井 | Production of Organic Nano Pigment in Organic Solvent by Rapid Heating and Cooling in Micro Reactor System | International Symposium on Micro chemical Process and Synthesis | P | 2008年 |
| 187 | 窪田、小山、池田、 辰巳 | Synthesis and post-synthetic silylation of MCM-68 (MSE)-type silicate | 235th ACS National Meeting | 0 | 2008年 |
| 188 | 窪田、小山、山田、 稲垣、辰巳 | Synthesis and catalytic performance of Ti-MCM-68 for effective oxidation reactions | ICC 14 Pre-Symposium | 0 | 2008年 |
| 189 | 稲垣、窪田、辰巳 | Interlayer expansion of layered MWW precursor via the vapor-phase silylation | 14th International Congress on Catalysis (ICC 14) | 0 | 2008年 |

| | | | | | |
|-----|--|---|--|---|--------|
| 190 | K. Iwanami, J.-C. Choi, B. Lu, T. Sakakura & H. Yasuda | Remarkable acceleration of cyanosilylation by mesoporous Al-MCM-41 catalyst | The 14th International Congress on Catalysis | P | 2008 年 |
| 191 | K. Iwanami, J.-C. Choi, B. Lu, T. Sakakura & H. Yasuda | Remarkable acceleration of cyanosilylation by mesoporous Al-MCM-41 catalyst | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | O | 2008 年 |
| 192 | 岩浪、徐、崔、坂倉、 安田 | Al-MCM-41 を触媒として用 いる 3 成分ストレッカー型反 応 | 第 19 回日本化学会関 東支部茨城地区研究 交流会 | P | 2008 年 |
| 193 | 岩浪、徐、崔、坂倉、 安田 | Al-MCM-41 を触媒として用 いる 3 成分ストレッカー型反 応 | 第 102 回触媒討論会 | O | 2008 年 |
| 194 | 岩浪、徐、崔、坂倉、 安田 | Al-MCM-41 を触媒として用 いる 3 成分ストレッカー型反 応 | 第 55 回有機合成化学 協会関東支部シンポ ジウム | O | 2008 年 |
| 195 | 高橋、岩浪、坂倉、 安田 | Al-MCM-41、アモルファスシ リカアルミナ触媒中の Al(III) の固体 NMR による局所構造 解析 | 第 58 回錯体化学討論 会 | P | 2008 年 |
| 196 | 高橋、岩浪、坂倉、 安田 | シリカアルミナ系触媒材料 の ^{27}Al NMR の CP 実験と HETCOR 実験 | 第 44/9 回固体 NMR・ 材料フォーラム | P | 2008 年 |
| 197 | 高橋、岩浪、坂倉、 安田 | シリカアルミナ系触媒材料 の活性点近傍の局所構造解 析 | 第 47 回 NMR 討論会 | P | 2008 年 |
| 198 | 高橋、岩浪、林、坂 倉、安田 | シリカアルミナ系触媒材 料の固体 NMR による局所構 造解析 | 産総研環境・エネル ギーシンポジウムシ リーズ 5 | P | 2009 年 |
| 199 | 小野澤、深谷、斉藤、 坂倉、安田 | 表面修飾型固定化触媒の開 発と鈴木カップリング反応 への適用 | 第 9 回 GSC シンポジ ウム | P | 2009 年 |
| 200 | T. Itoh, R. Ishii, S. Matsuura, S. Hamakawa, T. Hanaoka, J. Mizuguchi, T. Tsunoda & F. Mizukami | Catalase encapsulated in mesoporous silica | The IUMRS International Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008) | P | 2008 年 |
| 201 | 石井、伊藤、松浦、 | メソポーラスシリカへのカ | 第 52 回粘土科学討論 | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|--|--|--|---|--------|
| | 濱川、花岡、水上 | タラーゼ酵素の固定化とその反応挙動 | 会 | | |
| 202 | T. Itoh, R. Ishii, T. Hanaoka, F. Mizukami, S. Matsuura, J. Mizuguchi & T. Tsunoda | Effective immobilization of an enzyme, lipase, in mesoporous silica | 6th International Mesoporous Materials Symposium (IMMS2008) | P | 2008 年 |
| 203 | 廣木、羽鳥、山下、杉山 | 固体酸触媒とマイクロ波照射を用いたテトラロン類の迅速合成 | 日本化学会第 88 春季年会 | P | 2008 年 |
| 204 | 山下、杉山、小橋、廣木、市川 | マイクロ波化学プロセス開発のための複素誘電率の測定と応用 | 日本化学会第 88 春季年会 | P | 2008 年 |
| 205 | 満倉、山下、廣木、杉山、大西、坂本 | Microwave-assisted selective alkylation of naphthalene compounds using zeolite catalysts and alcohols | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) (大津) | P | 2008 年 |
| 206 | 山下、廣木、羽鳥、杉山 順 | Efficient microwave-assisted synthesis of 1-tetralones from 4-arylbutyric acids using solid acid catalysts | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) (大津) | P | 2008 年 |
| 207 | 山下、小橋、杉山、廣木、市川 | Measurement of dielectric parameters of organic compounds for microwave-assisted chemical processes and its application to organic synthesis | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) (大津) | P | 2008 年 |
| 208 | 杉山、岡本、安田 | Microwave heating of organic liquids in TM010 cylindrical cavity | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) (大津) | P | 2008 年 |
| 209 | 飯塚、杉山、佐藤 | Microwave effects in carbon-polyolefin composite | GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|--------|
| | | | Applications) (大津) | | |
| 210 | 杉山、高島、山崎 | Observation Waveguide for Microwave Irradiation to Flow Reactors | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) (京都) | P | 2008 年 |
| 211 | 山下、廣木、羽鳥、杉山 | 固体酸触媒とマイクロ波照射を用いたテトラロン類の高効率合成 | 第9回 GSC シンポジウム (東京) | P | 2009 年 |
| 212 | 満倉、山下、廣木、杉山、大西 清高、坂本 哲雄 | マイクロ波照射とゼオライト触媒を用いたアルコールによるナフタレン化合物の選択的アルキル化反応 | 第9回 GSC シンポジウム (東京) | P | 2009 年 |
| 213 | 杉山、岡本、安田 | 円筒導波管型マイクロ波照射装置によるフロー反応時の集中加熱 | 日本化学会 第 89 春季年会 (千葉) | 0 | 2009 年 |
| 214 | 山下・小橋・満倉・杉山・深谷・上田・小野澤・坂倉・安田 | 2.45GHz 帯における有機・無機系化合物の複素誘電率測定とマイクロ波照射触媒反応への応用 | 日本化学会 第 89 春季年会 (千葉) | 0 | 2009 年 |
| 215 | 満倉、小橋、山下 | マイクロ波照射とゼオライト触媒を用いたカルボン酸による芳香族化合物の迅速アシル化反応 | 日本化学会 第 89 春季年会 (千葉) | 0 | 2009 年 |
| 216 | 堀内、中尾、中川、宮沢 | パラジウム/カーボンナノポーラスコンポジットの合成と触媒作用 | ナノ学会第6回大会 | 0 | 2008 年 |
| 217 | 安倍、川西、宮沢、今野 | 有機 EL 材料としての重水素化イリジウム錯体の発光特性評価 | 第21回配位化合物の光化学討論会 | P | 2008 年 |
| 218 | 安倍、川西、宮沢 | 低分子耐光安定剤の重水素化効果 | 高分子の崩壊と安定化研究会 | 0 | 2008 年 |
| 219 | H. Shimodaira, A. Miyazawa, T. Abe & Y. Kawanishi | Microwave-assisted H-D exchange reaction of heterocyclic aromatic compounds | Global Congress on Microwave Energy Applications | P | 2008 年 |
| 220 | 鈴木、川西、宮沢 | マイクロ波加熱によるアルデヒド基の同位体交換 | 日本化学会第2回関東支部大会 | 0 | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|--|--|--|---|--------|
| 221 | A. Miyazawa, Y. Kawanishi, T. Abe & H. Shimodaira | Microwave-assisted H-D exchange reaction of aromatic compounds | Microwave and Flow Chemistry Conference 2009 | P | 2009 年 |
| 222 | 宮沢、クルチシェフ | 末端アジド基を有するアルコキシシランの合成と反応 | 日本化学会春季年会 | O | 2009 年 |
| 223 | 山口、稲垣、窪田 | 界面化学現象を利用する無機-有機ハイブリッド触媒の合成 | 石油学会第 51 回年会 (第 57 回研究発表会) 第 13 回 JPIJS ポスターセッション | P | 2008 年 |
| 224 | 谷、稲垣、窪田 | 鈴木カップリング反応における規則性多孔体およびマイクロ波の効果 | 石油学会第 51 回年会 (第 57 回研究発表会) 第 13 回 JPIJS ポスターセッション | P | 2008 年 |
| 225 | 藤田、横井、辰巳、稲垣、窪田 | アニオン性ジェミニ界面活性剤を用いたメソポーラスシリカの物理化学特性 | 第 24 回ゼオライト研究発表会 | O | 2008 年 |
| 226 | 山下、小橋、満倉、深谷、上田、小野澤、坂倉、安田 | 2.45GHz 帯における有機・無機系化合物の複素誘電率測定とマイクロ波照射触媒反応への応用 | 日本化学会第 89 春季年会 | P | 2008 年 |
| 227 | S. Matsuura, T. Itoh, R. Ishii, T. Tsunoda, S Hamakawa, T Hanaoka, F. Mizukami | Direct visualization of enzymes encapsulated in mesoporous materials | NANOPOROUS MATERIALS-V | P | 2008 年 |
| 228 | S. Matsuura, T. Itoh, R. Ishii, T. Tsunoda, S Hamakawa, T Hanaoka, F. Mizukami | A New On-Chip Assembly of Enzyme-Mesoporous Material Conjugates | 6th International Mesoporous Materials Symposium (IMMS 2008) | P | 2008 年 |
| 229 | S. Matsuura, R. Ishii, T. Itoh, S Hamakawa, T. Tsunoda, T Hanaoka, F. Mizukami | Evaluation of Hydrolysis Reaction of Triglyceride Using a Microreactor Equipped with Lipase - Mesoporous Silica Conjugates | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) | P | 2008 |
| 230 | 松浦、石井、伊藤、濱川、角田、花岡、水上 | ナノ空孔材料担持マイクロリアクターの作製と酵素反応への適用 | 化学工学会 第 40 回秋季大会 | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|--------------------|---|---|---|-------|
| 231 | 片岡、遠藤、原田、 稲木、大森 | Fabrication and Reaction Properties of Mesoporous Silica Thin Films inside Microreactors | 10th International Conference on Microreaction Technology | 0 | 2008年 |
| 232 | 片岡、遠藤、山本、 中岩、大森 | Mesoporous Silica Thin Films inside Microreactors | International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis | 0 | 2008年 |
| 233 | 片岡、遠藤、大山、 大森 | マイクロ流路内メソポーラ スシリカ薄膜を触媒担体と した酵素反応評価 | 日本化学会第89春季年会 | 0 | 2009年 |

平成21年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 学会等名称 | O/ P | 発表年 |
|----|---|--|---|---------|-------|
| 1 | T. Hase, Y. Ushioji, A. Takata, Y. Iinuma, J. Yoshida | Synthesis of Photochromic Diarylethenes Using Pilot Plant Systems | 8th World Congress of Chemical Engineering (WCCES) | P | 2009年 |
| 2 | J Yoshida, A. Nagaki, | Flash Chemistry: Fast Chemical Synthesis in Microflow Systems | Proceedings of the Seventh International ASME Conference on Nanochannels, Microchannels and Minichannels (ICNMM2009) | 0 | 2009年 |
| 3 | 吉田 | 「フラッシュケミストリ ー: マイクロリアクターを 用いる高速化学合成」 | 九州大学先導研講 演会 | 0 | 2009年 |
| 4 | 吉田 | 「フラッシュケミストリ ー: マイクロリアクターを 用いる高速有機合成」 | 有機合成化学協会 関西支部幹事講演 会 | 0 | 2009年 |
| 5 | 永木、金、高林、富 田、吉田 | 「マイクロフローシステ ムを用いた不安定アリ ールリチウム種の発生・反 | 第56回有機金属化 学討論会 | 0 | 2009年 |

| | | | | | |
|----|---|--|--|---|--------|
| | | 応」 | | | |
| 6 | 金、永木、吉田 | 「マイクロフローシステムを用いたアルコキシカルボニル基を有するブロモベンゼン類のハロゲン-リチウム交換反応」 | 第 56 回有機金属化学討論会 | P | 2009 年 |
| 7 | 永木、吉田 | 「有機合成反応へのマイクロリアクターの利用」 | I N C H E M T O K Y O 2 0 0 9 | 0 | 2009 年 |
| 8 | 吉田 | 「フラッシュフローケミストリー: ミクロ構造をもつフロー型反応器中での超高速反応を利用する有機合成」 | 平成 2 1 年度有機合成化学北陸セミナー | 0 | 2009 年 |
| 9 | H. Kim, A. Nagaki, J. Yoshida, | Generation and Reactions of Aryllithium Compounds Bearing Alkoxy carbonyl Groups: Using a Microflow System | Eleventh International Kyoto Conference on New Aspects of Organic Chemistry | P | 2009 年 |
| 10 | J. Yoshida, | Flash Chemistry. The Concept and Some Applications | The German Environment Foundation (DBU) Workshop Nobel Process Windows in Chemical Engineering | 0 | 2009 年 |
| 11 | A. Nagaki,H. Kim, Y. Tomida, N. Takabayashi, H. Usutani, J. Yoshida | Generation and Reactions of Unstable Aryllithiums Using Integrated Microflow Systems | The 11nd International Conference on Microreaction Technology | P | 2010 年 |
| 12 | H. Kim,A. Nagaki, J. Yoshida | Aryllithium Compounds Bearing Alkoxy carbonyl Groups. Generation and Reactions Using a Microflow System | The 11nd International Conference on Microreaction Technology | P | 2010 年 |
| 13 | 金、永木、吉田 | 「マイクロリアクターシステムを用いた有機リチウム種の共役エンイン化 | 日本化学会第 90 春季年会 | 0 | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|----------------|---|-----------------|---|--------|
| | | 合物へのエナンチオ選択的カルボリチオ化反応」 | | | |
| 14 | 松尾、永木、吉田 | 「マイクロリアクターシステムを用いた脱プロトン化反応によるリチウムアルキリデンカルベノイド種の発生と反応」 | 日本化学会第 90 春季年会 | 0 | 2010 年 |
| 15 | 永木、土井、富田、高林、吉田 | 「マイクロリアクターシステムを用いたジプロモピリジン類のハロゲン-リチウム交換反応」 | 日本化学会第 90 春季年会 | 0 | 2010 年 |
| 16 | 永木、金、森脇、吉田 | 「マイクロリアクターシステムを用いたアルコキシカルボニル基を有するアリールリチウム種の発生・反応」 | 日本化学会第 90 春季年会 | 0 | 2010 年 |
| 17 | 偉、寺島、大内、澤本 | 高活性・高汎用性ハーフメタロセン型鉄錯体を用いたリビングラジカル重合 | 第 58 回高分子学会年次大会 | 0 | 2009 年 |
| 18 | 寺島、大内、澤本 | 遷移金属錯体を用いたリビングラジカル重合における触媒進化-高活性触媒から機能性触媒と機能性高分子への展開 | 第 58 回高分子学会年次大会 | 0 | 2009 年 |
| 19 | 中谷、寺島、大内、澤本 | 有機触媒を活性化剤とするリビングカチオン重合 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 20 | 山本、寺島、大内、澤本 | リビングカチオン重合を用いた配列制御ポリマーの精密合成-温度制御によるモノマー配列制御 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 21 | 中谷、寺島、澤本 | タンデムリビングラジカル重合-in-situ モノマー変換によるグラジエントポリマーの合成 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 22 | 富田、寺島、大内、澤本 | 超高活性 RuCp*触媒-触媒量低減可能な高汎用性リ | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |

| | | | | | |
|----|-----------------|---|-----------------|---|--------|
| | | リビングラジカル重合系の構築 | | | |
| 23 | 余田,寺島,大内,澤本 | アルコール/水溶媒を用いた遷移金属錯体によるリビングラジカル重合-機能性モノマーの精密重合及びリサイクル可能な触媒系の開発 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 24 | 徳岡,寺島,大内,澤本 | ハロゲンドナーと金属触媒の組み合わせによるリビングラジカル重合 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 25 | 伊田,寺島,大内,澤本 | 連鎖配列制御に向けた高選択的ラジカル付加反応と鋳型開始剤の開発 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 26 | 小島,寺島,澤本 | リビングラジカル重合による核機能化星型ポリマー-マイクロゲル核の設計による分子認識と触媒機能 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 27 | 野村,寺島,澤本 | 金属錯体担持マイクロゲル星型ポリマー触媒を用いたリビングラジカル重合-高活性・高機能マイクロゲル反応場の構築 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 28 | 深江,山本,寺島,澤本 | リビングラジカル重合による自己組織化架橋剤を用いた刺激応答性星型ポリマーの合成 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 29 | 福崎,富田,寺島,大内,澤本 | リビングラジカル重合における非対称キレート配位子型高活性触媒の開発 | 第 58 回高分子学会年次大会 | P | 2009 年 |
| 30 | 偉士大 宗紀,寺島,大内,澤本 | 高活性・高汎用性を有するリビングラジカル重合鉄 [Fe(II)] 触媒の設計 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 31 | 余田,寺島,大内,澤本 | アルコール中での高活性金属錯体リビングラジカル重合:機能性モノマーへのユニバーサル触媒の開発 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 32 | 余田,寺島,大内,澤本 | 完全水系での遷移金属錯 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |

| | | | | | |
|----|---------------------------------------|---|--------------|---|--------|
| | 本 | 体によるリビングラジカル重合 | 会 | | |
| 33 | 福崎,大内,澤本 | キレート配位子設計による高活性リビングラジカル重合触媒 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 34 | 田中,寺島,大内,澤本 | リビングラジカル重合触媒による選択的ラジカル分子付加と連鎖配列制御 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 35 | 日比,大内,澤本 | ナフタレン骨格をテンプレートとする配列制御ラジカル重合 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 36 | 伊田,寺島,大内,澤本 | 鋳型開始剤を用いた高選択的ラジカル付加反応と連鎖配列制御 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 37 | 早田,寺島,大内, 誠 澤本 | シークエンス制御重合基盤モノマーの分子設計：認識、切断、機能性基の導入 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 38 | 中谷,寺島,澤本 | In-Situ モノマー変換によるタンデムリビングラジカル重合：新規グラジエントポリマー | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 39 | 野村,寺島,大内,澤本 | 金属マイクロゲル星型ポリマー触媒によるリビングラジカル重合：反応場設計による高活性化・高機能化 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 40 | 森,寺島,澤本 | リビングラジカル重合による星型ポリマー触媒：核内配位子と架橋空間の設計 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 41 | 深江,寺島,澤本 | リビングラジカル重合と自己組織化架橋剤による刺激応答性マイクロゲル星型ポリマー | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 42 | 伊田,寺島,大内,澤本 | リビングカチオン重合系による選択的カチオン分子付加反応と連鎖配列制御 | 第 58 回高分子討論会 | P | 2009 年 |
| 43 | T.;Fukuyama, M. T.Rahman,; I.Ryu,; | Microflow Radical Carboaminoylations with | IMRET 11 | P | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|---|--|---|---|--------|
| | I.Wienhöfer, C.; A.Studer, | Alkoxyamines | | | |
| 44 | T Fukuyama,.; Y.;Yonamine, Y.Hino,; N.Kamata,; Y.Kajihara,; I.Ryu, | [2+2] Photocycloaddition Reaction Using an Energy-Saving Photo-Microflow System | IMRET 11 | P | 2010 年 |
| 45 | 與那嶺、 R, M. Abid、福山、 柳 | マイクロリアクターを用 いた光ラジカル環化反応 | 日本化学会第 90 春 季年会 | 0 | 2010 年 |
| 46 | 前 | プロダクトエンジニアリ ングを指向したマイクロ 化学工学の展開 | 化学工学会第 41 回 秋季大会 | 0 | 2009 年 |
| 47 | 梅井・小西・青木・ 前 | 迅速混合を可能にするマ イクロ流路形状の探索 | 化学工学会第 41 回 秋季大会 | 0 | 2009 年 |
| 48 | 古屋・竹林・依田 智・陶・太田・前 | 体積可変高圧相平衡測定 装置による二酸化炭素+ア セトニトリル系臨界軌跡 の測定 | 化学工学会第 41 回 秋季大会 | 0 | 2009 年 |
| 49 | 渡邊・藤本・前・宮 原 | マイクロミキサーを用い た Pt ナノ粒子の合成と形 状制御 | 化学工学会第 41 回 秋季大会 | 0 | 2009 年 |
| 50 | 和田・牧・前 | マイクロリアクターを用 いたナノ粒子の制御と反 応モデルの検討, 第 2 回 化学工学 3 支部合同北九 州大会 | 第 2 回 化学工学 3 支部合同北九州大 会 | 0 | 2009 年 |
| 51 | Y.Takebayashi, K.Sue, S.Yoda, T.Furuya, T. Ohta, K Mae. | Carbonylation of Nitrobenzene to Phenylisocyanate in Supercritical CO ₂ + Acetonitrile Mixture | 8th World Congress of Chemical Engineering | 0 | 2009 年 |
| 52 | T.Ogura, T.Ohta, Y.Takahashi, K.Mae | The Characterisation of Micro Dynamical Mixing Through Liquid Multiphase Reaction, 8th World Congress of Chemical Engineering | 8th World Congress of Chemical Engineering | 0 | 2009 年 |
| 53 | S. Tanigawa, N. Aoki, K. Mae | Control of Mass Transfer Rate in Slug Flow Using | 11th International Conference on | P | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|--|---|---|---|--------|
| | | Turnover Index | Micro Reaction Technology | | |
| 54 | R. Umei, A. Yoshida, , N. Aoki, K. Mae | Design Method of Micromixer Integrating Fluid Collision Effect as Diffusion Length Reduction | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | P | 2010 年 |
| 55 | S. Watanabe, T. Shiroshita, K. Mae, M. Miyahara | Synthesis of Monodisperse Silica Nanoparticles Using a Micromixer | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | P | 2010 年 |
| 56 | T. Yasukawa, K. Ooyachi, K. Mae | Synthesis of Pyruvic Acid and Derivatives Using Micro Flow System | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | P | 2010 年 |
| 57 | T. Wada, T.Maki, K. Mae | Control of Nuclei Formation and Particle Growth for Nanoparticles by a Multistage Reaction System with Series of Micromixers | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | P | 2010 年 |
| 58 | Y. Takebayashi, K. Sue, S. Yoda, T. Furuya, K.Mae | Direct Carbonylation of Nitrobenzene to Phenylisocyanate with Microreaction System | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | P | 2010 年 |
| 59 | K. Matsuyama, K Mine, H. Kubo, K. Mae | Design of Micromixer for Emulsification and Application to Conventional Commercial Plant for Cosmetic | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | O | 2010 年 |
| 60 | T. Ogura, T.Ohta, Y. Takahashi, K. Mae | The Use of Microreaction Technology for Safer Aromatic Nitration Process | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | P | 2010 年 |
| 61 | Y. Nagai, K. Mae | Production of Organic Nano Pigment in Organic Solvent by Rapid Heating and Cooling in | 11th International Conference on Micro Reaction Technology | P | 2010 年 |

| | | Micro Reactor System | | | |
|----|--|--|--|---|--------|
| 62 | 渡邊・城下・堀・前・宮原 | マイクロミキサーを用いた単分散シリカ粒子の製造とその特性検討 | 第 62 会コロイドおよび界面化学討論会 | P | 2009 年 |
| 63 | S. Watanabe, T. Shiroshita, K. Mae, and M. Miyahara | Synthesis of Monodisperse Silica Nanoparticles Using a Micromixer | 11th International Conference on Microreaction Technology (IMRET 11) | P | 2010 年 |
| 64 | 渡邊・藤本・前・宮原 | マイクロミキサーを用いた Pt ナノ粒子の合成と形状制御 | 化学工学会第 75 年会 | 0 | 2010 年 |
| 65 | O. Tonomura, S. Nagahara, J. Kano, M. Kano, S. Hasebe | Sensor Location for Effective Fault Diagnosis in Micro Chemical Processes | International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes (ADCHEM) | 0 | 2009 年 |
| 66 | J. Kano, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | State and Parameter Estimation for Tubular Microreactors Using Particle Filter | ICROS-SICE International Joint Conference 2009 | 0 | 2009 年 |
| 67 | O. Tonomura, M. Kubota, M. Kano, S. Hasebe | Design of T-shaped Microreactors by Reduced-Order Approach | 10th International Symposium on Process Systems Engineering (PSE) | 0 | 2009 年 |
| 68 | L. Wang, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Simplified Model-based Design for T-shaped Microreactors with Secondary Flow | 化学工学会第41回秋季大会 | 0 | 2009年 |
| 69 | O. Tonomura, N Nishiyama, M.Kano, S. Hasebe, Y. Tanaka | Uniform Fluid Distribution and Blockage Diagnosis in Externally Parallelized Microreactors | AICHE 2009 Annual Meeting | 0 | 2009 年 |
| 70 | J. Kano, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | On-Line Monitoring of Tubular Microreactors Using Particle Filter | AICHE 2009 Annual Meeting | 0 | 2009 年 |

| | | | | | |
|----|--|---|------------------------------|---|--------|
| 71 | L. Wang, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Simplified Model-Based Design and Shape Optimization for T-Shaped Microreactors with Secondary Flow | AIChE 2009 Annual Meeting | 0 | 2009 年 |
| 72 | 加納・殿村・加納・ 長谷部 | 粒子フィルタを用いたマ イクロリアクタ状態推定 システム | 化学工学会第75年 会 | 0 | 2010年 |
| 73 | O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe, | CFD-based Shape Optimization of Pressure-Driven Microchannels | IMRET-11 | P | 2010 年 |
| 74 | L. Wang, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Development of Lamellar Model for Non-Isothermal T-Shaped Microreactors with Secondary Flow | IMRET-11 | P | 2010 年 |
| 75 | J. Kano, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | State and Parameter Estimation for Tubular Microreactors Using Particle Filter | IMRET-11 | P | 2010 年 |
| 76 | Y. Tanaka, K. Isozaki, O. Tonomura, M. Kano, S. Hasebe | Development of Flow Distribution Unit and Blockage Diagnosis System for Externally Parallelized Microreactors | IMRET-11 | P | 2010 年 |
| 77 | M. Matsuzawa, S. Togashi, S. Hasebe | Isothermal Reactor for Continuous Flow Microwave-assisted Chemical Reaction | IMRET11 | P | 2010 年 |
| 78 | 松澤、富樫、 長谷部 | フロー処理型マイクロ波 化学反応装置用温度制御 リアクターの開発 | 化学工学会第75年 | 0 | 2010 年 |
| 79 | 堀江、角野、田中、 松下、市村、吉田 | Photo-Dimerisation of Maleic Anhydride with Micro Flow System | IMRET 11 | P | 2010 年 |
| 80 | 堀江、倉持、鈴木、 松下、田中、市村 | 過渡吸収法を用いた無水マ レイン酸の光二量化反応に おける反応メカニズムの解 | 第90回 日本化学 会年会 | 0 | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|---------------|--|--|---|--------|
| | | 析 | | | |
| 81 | 松下 | 環境負荷低減型新規酸化プロセスのためのマイクロ反応デバイス | 化学工学会 第 75 年会 | 0 | 2010 年 |
| 82 | 酒井 | 光触媒担持マイクロリアクターを用いた香料合成 | 日本化学会第 90 春季年会 | 0 | 2010 年 |
| 83 | Y. Matsushita | Highly Selective and Environmentally Benign Photocatalytic Reaction Processes in Microstructured Devices | IMRET11 | 0 | 2010 年 |
| 84 | T. Ichimura | Photoreactions in Microreactors | IMRET11 | 0 | 2010 年 |
| 85 | N. Honma | Microstructured Devices for Photochemical Synthesis | IMRET11 | P | 2010 年 |
| 86 | Y. Fukazawa | Photocatalytic Recycling of Carbon Dioxide in Microreactors | IMRET11 | P | 2010 年 |
| 87 | Y. Matsushita | Environmentally Benign Photochemical Synthesis in Microstructured Devices | Nano/Molecular Photochemistry and Nanomaterials for Green Energy Development | 0 | 2010 年 |
| 88 | 松下 | マイクロリアクターを用いた環境負荷低減型新規光反応プロセスの開発 | フローマイクロ合成研究会 第 4 4 回研究会 | 0 | 2009 年 |
| 89 | 関根 | 光触媒担持マイクロリアクターを用いた有機化合物の選択的酸化反応 | 第 3 回分子科学討論会 | P | 2009 年 |
| 90 | 佐藤 | 光触媒マイクロリアクターを用いたグリーン合成 | 光化学討論会 2009 | P | 2009 年 |
| 91 | 松下 | マイクロ光反応システム実用化のためのアプローチ | 光化学討論会 2009 | 0 | 2009 年 |
| 92 | 松下 | 光触媒担持マイクロリアクターによるグリーン合成 | 化学工学会 第 41 回秋季大会 | 0 | 2009 年 |
| 93 | N. Ohba | Carbon Dioxide Utilization | The 4th | P | 2009 年 |

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|--------|
| | | by a Novel Photocatalytic Microreaction System | International Conference on Green and Sustainable Chemistry | | |
| 94 | T. Ichimura | Novel Microreaction System for Photochemical Green Synthesis | The 4th International Conference on Green and Sustainable Chemistry | 0 | 2009 年 |
| 95 | Y. Matsushita | Micro Reaction System for Photochemical Reactions | International Conference on Photochemistry | 0 | 2009 年 |
| 96 | Y. Matsushita | Photochemical Synthesis in a Microreaction System | 2009 AIChE Spring National Meeting | 0 | 2009 年 |
| 97 | S. Kobayashi, T. Hoshina, T. Ono, Y. Sato, H. Inomata | Measurement and analysis of volumetric behaviors for water-methanol mixtures in sub- and supercritical region | AIRAPT22 & HPCJ-50 (Tokyo) | P | 2009 年 |
| 98 | T. Ono, S. Kobayashi, T. Hoshina, Y. Sato, H. Inomata | Unique Solvent Properties of alcohol+water mixture at high temperatures | The joint conf. of the 4 th International Conf. on Green and Sustainable Chemistry (GSC-4) and the 2 nd Asian-Oceanian Conf. on Green and Sustainable Chemistry (AOGSC-2) | P | 2009 年 |
| 99 | 保科・佐藤・猪股 | 高温液体条件下における水-エタノール混合溶液の誘電物性および分子配向相関 | 化学工学会第 41 回 秋季大会 (広島) | 0 | 2009 年 |
| 100 | H. Inomata, T. Ono, T. Hoshina, Y. Sato | Solvent Properties of Water+Methanol Binary Mixture at High | AIChE 2009 Annual Meeting (Nashville) | 0 | 2009 年 |

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|--------|
| | | Temperatures Via MD Simulation | | | |
| 101 | T. Hoshina, Y. Sato, H. Inomata | Dielectric constants of water-alcohol liquid mixtures at high temperature up to 200 °C | 4th International Young Researcher Symposium on Chemical-Environmental-Biomedical Technology (Taiwan) | 0 | 2009 年 |
| 102 | 保科・河崎・ 小野・佐藤・猪股 | 高温アルコール水溶液の誘電物性評価と溶液構造 | 第 10 回 GSC シンポジウム (東京) | P | 2010 年 |
| 103 | 小林・小野・保科・ 佐藤・猪股 | 高温高圧アルコール水溶液を対象とした密度・粘度同時測定装置の開発 | 第 10 回 GSC シンポジウム (東京) | P | 2010 年 |
| 104 | 小野・小林・保科・ 大田・佐藤・猪股 | 分子動力学シミュレーションを用いた高温高圧アルコール水溶液の不均一性の解析 | 化学工学会第 75 年会 (鹿児島) | 0 | 2010 年 |
| 105 | 田門、青谷、森、 佐野 | 氷晶テンプレート法を用いたマクロ/ミクロ階層構造ゼオライトモノリスの創製 | 化学工学会第 41 回 秋季大会 | 0 | 2009 年 |
| 106 | 赤塚、佐野、田門 | ゲルの一方向凍結による多孔質シリカ繊維の作製 | 化学工学会第 41 回 秋季大会 | 0 | 2009 年 |
| 107 | H. Tamon, Y.Aso, H. Nishihara and S. R. Mukai | Preparation of Titania-Silica Fibers by Unidirectional Freezing of Hydrogels | Energy Efficiency and Air Pollutant Control Conference | 0 | 2009 年 |
| 108 | H. Tamon, M. Fujitani, T. Suzuki and N. Sano | Preparation of Zeolite Particles by Ice-Templating | 6th Asian Aerosol Conference | 0 | 2009 年 |
| 109 | 青谷、森弘、佐野、 田門 | 一方向凍結を用いたゼオライトモノリスの創製 | 第 23 回日本吸着学会研究発表会 | P | 2009 年 |
| 110 | Y. Fukuda, M. Matsuzawa, M. Sato | Sonogashira Coupling Reaction with a Single-mode and a Multi-mode Microwave Irradiation in a Continuous-flow System | IMRET11 | P | 2010 年 |
| 111 | 金子・佐藤 | 無機多孔質材料を担持体 | 日本化学会 | 0 | 2010 年 |

| | | | | | |
|-----|---|---|---|---|--------|
| | | とするパラジウム - 銀触媒の合成とその触媒反応 | 第 90 春季年会 | | |
| 112 | 福田・金子・松澤・佐藤 | シングルモード・マルチモードマイクロ波加熱とマイクロリアクターを組み合わせたフロー式反応システムを用いる菌頭カップリング反応 | 日本化学会 第 90 春季年会 | 0 | 2010 年 |
| 113 | 中田・Y. Nungruethai・佐藤 | マイクロフロー式反応装置を用いるアルキンからアルケンへの選択的接触水素化反応 | 日本化学会 第 90 春季年会 | 0 | 2010 年 |
| 114 | S. Inagaki, M. Niimura, M. Hayashi, T. Tatsumi, Y. Kubota | Effect of Hydrophobicity in the Baeyer-Villiger Oxidation of Cyclohexanone on Dealuminated Zeolite Beta Catalysts | 6th world congress on Catalysis by Acids and Bases (ABC-6) | 0 | 2009 年 |
| 115 | 稲垣, 笠間, 窪田 | 層剥離 MWW へのスルホ基の固定化とその固体酸触媒特性 | 石油学会第 52 回年会(第 58 回研究発表会) | 0 | 2009 年 |
| 116 | Y. Kubota, A. Ono, S. Inagaki, T. Tatsumi | Modification of mesoporous silica as a catalyst for tert-butylation of carboxylic acid | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2009) | P | 2009 年 |
| 117 | T. Yamada, Y. Koyama, S. Inagaki, Y. Kubota | Improvement of hydrophobicity of Ti-MCM-68 as a phenol-oxidation catalyst | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2009) | 0 | 2009 年 |
| 118 | 武智, 稲垣, 窪田 | Al-MCM-68 を触媒としたヘキサンのクラッキング | 第 104 回触媒討論会 (A 講演) | 0 | 2009 年 |
| 119 | 金子, 稲垣, 窪田 | TON 型ゼオライトの形態制御と触媒活性 | 第 104 回触媒討論会 (A 講演) | 0 | 2009 年 |
| 120 | 山田, 稲垣, 窪田 | 疎水化した Ti-MCM-68 触媒を用いるフェノールの酸化反応 | 第 104 回触媒討論会 (A 講演) | 0 | 2009 年 |
| 121 | 武智, 稲垣, 窪田 | ヘキサンのクラッキングに対す | 第 39 回石油・石油 | 0 | 2009 年 |

| | | | | | |
|-----|--|--|---|---|--------|
| | | るMCM-68 触媒中の Al 量 の影響 | 化学討論会 | | |
| 122 | 渡部垣, 窪田 | 四環性酸無水物から誘導した構造規定剤を用いるモルデナイト微結晶の合成 | 第 39 回石油・石油化学討論会 | 0 | 2009 年 |
| 123 | 新村, 稲垣, 窪田 | 骨格組成を制御したゼオライトベータ触媒による Baeyer-Villiger 酸化 | 第 39 回石油・石油化学討論会 | 0 | 2009 年 |
| 124 | 池田, 稲垣, 岡, 窪田 | MSE 型ゼオライト前駆体 YNU-2P のスチーム処理による構造変化の解析 | 第 25 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2009 年 |
| 125 | 山田, 小山, 佐藤, 稲垣, 窪田 | Ti-MCM-68 の調製と疎水化による酸化触媒としての高機能化 | 第 25 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2009 年 |
| 126 | 稲垣, 北村, 窪田 | スルホ基およびメルカプト基を固定化した層剥離MWWを触媒とするビスフェノール A 合成 | 第 25 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2009 年 |
| 127 | 受川, 稲垣, 窪田 | スルホ基固定化メソポーラスシリカを触媒とするシクロヘキセンのジヒドロキシル化 | 第 25 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2009 年 |
| 128 | 山口, 稲垣, 窪田 | 赤外分光法によるアミン固定化 SBA-15 触媒上でのアルドール反応の観測 | 第 25 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2009 年 |
| 129 | Y. Kubota, T. Yamada, H. Yamaguchi, S. Inagaki, T. Tatsumi | Further investigations on the promoting effect of mesoporous silica on base-catalyzed aldol reaction | 12th Korea-Japan Symposium on Catalysis | 0 | 2009 年 |
| 130 | Y. Kubota, T. Yamada, K. Takechi, S. Inagaki | Catalytic reactions for fine-chemicals synthesis over multi-dimensional, large-pore zeolites with MSE topology | International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2009 (C&FC2009) | 0 | 2009 年 |
| 131 | K. Takechi, T. Yamada, S. Inagaki, Y. Kubota | Catalysis over large-pore molecular sieves with MSE topology | Post-Symposium of ZMPC 2009 | P | 2009 年 |
| 132 | 山口, 稲垣, 窪田 | 界面化学現象を利用する無機-有機ハイブリッド触 | 石油学会第 51 回年会 (第 57 回研究発 | P | 2008 年 |

| | | | | | |
|-----|--|--|---|---|--------|
| | | 媒の合成 | 表会) 第 13 回 JPIJS ポスターセ ッション | | |
| 133 | 谷、稲垣、窪田 | 鈴木カップリング反応に おける規則性多孔体およ びマイクロ波の効果 | 石油学会第 51 回年 会 (第 57 回研究発 表会) 第 13 回 JPIJS ポスターセ ッション | P | 2008 年 |
| 134 | 藤田、横井、辰巳、 稲垣、窪田 | アニオン性ジェミニ界面 活性剤を用いたメソポー ラスシリカの物理化学特 性 | 第 24 回ゼオライト 研究発表会 | O | 2008 年 |
| 135 | 山下、小橋、満倉、 深谷、上田、小野 澤、坂倉、安田 | 2.45GHz 帯における有機・無機系化合物の複素誘 電率測定とマイクロ波照 射触媒反応への応用 | 日本化学会第 89 春 季年会 | P | 2008 年 |
| 136 | 稲垣、谷、小野寺、 窪田 | メソポーラスカーボン担 持パラジウム触媒による 鈴木-宮浦カップリング 反応でのマイクロ波加熱 の効果 | 第 104 回触媒討論 会 (B 講演) | O | 2009 年 |
| 137 | 及川、稲垣、窪田 | 高比表面積をもつカーボ ンナノケージの合成と電 極材料への応用 | 第 25 回ゼオライト 研究発表会 | O | 2009 年 |
| 138 | 稲垣、及川、山本、 窪田 | 規則性メソポーラスカー ボンの EDLC 特性 | 第 23 回日本吸着学 会研究発表会 | O | 2009 年 |
| 139 | 竹中 | 固定化白金触媒を用いた ニトロ化合物の水素還元 による高選択的な芳香族 ヒドロキシルアミン合成 | 高分子学会関東支 部第 24 回茨城地区 「若手の会」交流会 | P | 2009 年 |
| 140 | Y. Takenaka, T. Kiyosu, J.-C. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda | Selective hydrogenation of aryl nitro compounds by platinum-silica as a catalyst | Symposium on Creation of Functional Materials 2009 | P | 2009 年 |
| 141 | T. Yokoyama, R. Ishii, T. Itoh, S. Matsuura, T. Tsunoda, S. Hamakawa, T. Hanaoka & F. Mizukami | Syntheses of l-theanine using glutaminase immobilized on a mesoporous silica | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals (ZMPC2009) | P | 2009 年 |

| | | | | | |
|-----|-------------------------------------|---|---|---|--------|
| 142 | 深谷、小野澤、上田、斉藤、高木、坂倉、安田 | 多点結合型リンカーを利用した新しい固定化分子触媒の開発と応用 | 第 10 回 GSC シンポジウム | P | 2010 年 |
| 143 | K. Iwanami, T. Sakakura & H. Yasuda | Efficient catalysis of mesoporous Al-MCM-41 for Mukaiyama aldol reactions | 11th International Conference on Microreaction Technology | P | 2010 年 |
| 144 | 岩浪、坂倉、安田 | Al-MCM-41 触媒を用いる向山アルドール反応 | 第 20 回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会 | P | 2009 年 |
| 145 | 岩浪、坂倉、安田 | Al-MCM-41 触媒を用いる向山アルドール反応 | 第 104 回触媒討論会 | O | 2009 年 |
| 146 | 岩浪、坂倉、安田 | Al-MCM-41 触媒を用いる向山アルドール反応 | 第 57 回有機合成化学協会関東支部シンポジウム | O | 2009 年 |
| 147 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | Al-MCM-41 における RAPT-CPMAS-CPMG 実験 | 第 45 回固体 NMR・材料フォーラム | P | 2009 年 |
| 148 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | Al-MCM-41 の固体 NMR による構造解析-化学処理による Al の配位構造変化 | 第 59 回錯体化学討論会 | O | 2009 年 |
| 149 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | ²⁷ Al 固体 NMR による Al-MCM-41 の表面 Al 種の配位数変化の観測 | 第 48 回 NMR 討論会 | O | 2009 年 |
| 150 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | シリカーアルミナ系触媒材料の固体 NMR による局所構造解析 | 産総研ナノテク・材料総合部会研究発表会 | P | 2010 年 |
| 151 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | シリカーアルミナ系触媒材料の固体 NMR による局所構造解析 | 第 10 回 GSC シンポジウム | P | 2010 年 |
| 152 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | シリカーアルミナ系触媒材料の固体 NMR による局所構造解析 | 産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ 5 | P | 2010 年 |
| 153 | 深谷、羽賀、土本、小野澤、山下、小橋、坂倉、安田 | シリカゲル担体への有機修飾基固定化の新規手法開発 | 日本化学会第 89 春季年会 | O | 2009 年 |
| 154 | 石井、伊藤、松浦、角田、濱川、花岡、水上 | 種々のメソポーラスシリカへのリパーゼ酵素の固定化とその活性 | 平成 21 年度 産総研環境・エネルギーシンポジウムシリー | P | 2009 年 |

| | | | | | |
|-----|----------------------|---|--|---|-------|
| | | | ズ5 「21世紀の化学反応とプロセス」 | | |
| 155 | 石井、伊藤、松浦、角田、濱川、花岡、水上 | 種々のメソポーラスシリカへのリパーゼ酵素の固定化とその活性 | 第53回粘土科学討論会 | P | 2009年 |
| 156 | 杉山 | 広域温度で誘電特性を測定する共振器の開発 | 電子情報通信学会マイクロ波研究会(東京) | O | 2009年 |
| 157 | 杉山 | マイクロリアクターの電磁界シミュレーション | 第3回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム(東京) | P | 2009年 |
| 158 | 杉山 | マイクロ波帯における有機材料の複素誘電率温度相関 | 第3回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム(東京) | O | 2009年 |
| 159 | 杉山 | 高温および低温における誘電特性測定用共振器の開発 | 第3回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム(東京) | O | 2009年 |
| 160 | 杉山 | 共振器で測定した複素誘電率による位相遅れ δ の評価 | 電子情報通信学会マイクロ波研究会(東京) | O | 2010年 |
| 161 | 杉山 | 複数の共振器を用いた緩和時間 τ の算定 | 電子情報通信学会総合大会(宮城) | O | 2010年 |
| 162 | 杉山 | 有機材料のマイクロ波による昇温挙動とエネルギー効率評価 | 第10回GSCシンポジウム(東京) | P | 2010年 |
| 163 | 杉山 | Microwave Electromagnetic Field Simulation for Flow Reactors in a Rectangular Waveguide | 11th International Conference on Microreaction Technology (IMRET11) (京都) | P | 2010年 |
| 164 | 山下、羽鳥、小橋 | マイクロ波照射と固体酸触媒を用いたフリーデル・クラフツ型反応による機能性芳香族化合物の合成 | 第3回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム(東京) | P | 2009年 |

| | | | | | |
|-----|--|---|--|---|-------|
| 165 | 満倉、小橋、山下 | カルボン酸とゼオライト触媒を用いた芳香族化合物のマイクロ波アシル化反応 | 第3回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム(東京) | P | 2009年 |
| 166 | 山下、小橋、満倉、羽鳥 | マイクロ波化学反応のための誘電率測定と応用 | 平成21年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ5 | P | 2010年 |
| 167 | 山下、羽鳥 | マイクロ波照射と固体酸触媒を用いたアルコール類による Friedel-Crafts 型反応 | 第10回GSCシンポジウム | P | 2010年 |
| 168 | 満倉、山下 | マイクロ波照射とゼオライト触媒を用いたカルボン酸による芳香族化合物の効率的アシル化反応 | 第10回GSCシンポジウム | P | 2010年 |
| 169 | 山下、小橋、羽鳥 | マイクロ波化学反応のための複素誘電率測定と応用 | 日本化学会第90春季年会 | P | 2010年 |
| 170 | 満倉、羽鳥、山下 | マイクロ波と固体酸触媒によるフリーデル・クラフツ型反応を利用したフラン誘導体の効率的合成 | 日本化学会第90春季年会 | P | 2010年 |
| 171 | 杉山 | マイクロリアクターのマイクロ波電磁界解析 | 産総研シンポジウム(茨城) | P | 2010年 |
| 172 | T. Abe, A. Miyazawa, H. Konno & Y. Kawanishi | Deuteration isotope effect on nonradiative transition of luminescent iridium complexes | 18th International Symposium on Photochemistry and Photophysics of Coordination 173Compounds | P | 2009年 |
| 173 | R. Kultyshev & A. Miyazawa | Synthesis of Mono- and Bis-Diphenylphosphinoferrrocenyl Ethyl Amine Ligands Containing N-Alkyltriethoxysilyl Tethers for immobilization on Mesoporous Silica. | 15th IUPAC Symposium on Organometallic Chemistry; Directed towards Organic Synthesis | P | 2009年 |

| | | | | | |
|-----|--|--|--|---|-------|
| 174 | Y. Kawanishi, Y. Suzuki & A. Miyazawa | Efficient 16O - 18O Isotope Exchange Reaction of Benzaldehyde in Aqueous Organic Solvents Catalyzed by Acidic Resin. | 11th International Conference on Microreaction Technology | P | 2010年 |
| 175 | 松浦、石井、伊藤、濱川、角田、花岡、水上 | 酵素内包ナノ空孔材料のマイクロリアクターへの実装と反応解析 | 第24回生体機能関連化学シンポジウム, 第12回バイオテクノロジー部会シンポジウム | 0 | 2009年 |
| 176 | S. Matsuura, R. Ishii, T. Itoh, S Hamakawa, T. Tsunoda, T Hanaoka, F. Mizukami | Immobilization of Enzyme-Encapsulated Nanoporous Material in a Microreactor and Reaction Analysis | 11th International Conference on Microreaction Technology (IMRET 11) | P | 2010年 |
| 177 | 片岡、遠藤、大山、大森 | Mesoporous Silica Thin Film for Immobilizing Enzymes inside Microcapillary Tube | International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals | P | 2009年 |
| 178 | 片岡、竹内、原田、山田、遠藤 | Microreactor Containing Mesoporous Silica Thin Film for Enzymatic Reactions | 11th International Conference on Microreaction Technology | P | 2010年 |
| 179 | 片岡、竹内、原田、山田、大森、遠藤 | 酵素固定化マイクロリアクターを利用したエステル交換反応 | 化学工学会第75年会 | 0 | 2010年 |

平成22年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 学会等名称 | 0 / P | 発表年 |
|----|-------------|---|---------------|-------|-------|
| 1 | 金、永木、吉田 | 「マイクロリアクターを用いたニトロ基を有するアリールリチウム種の発生ならびに反応」 | 第57回有機金属化学討論会 | P | 2010年 |
| 2 | 永木、宮崎、富田、吉田 | 「マイクロリアクターを用いたアニオン重合 | 第59回高分子討論会 | 0 | 2010年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|--------|
| | | とその精密構造制御ポ リマー合成への応用」 | | | |
| 3 | Heejin Kim, Aiichiro Nagaki, Jun-ichi Yoshida | Nitro-Substituted Aryl Lithium Compounds in Microreactor Synthesis: Switch between Kinetic and Thermodynamic Control | The Sixth International Symposium on Integrated Synthesis (ISIS-6) | P | 2010 年 |
| 4 | Atsuo Miyazaki, Aiichiro Nagaki, Yutaka Tomida, Jun-ichi Yoshida | Controlled Anionic Polymerization of Styrenes and Alkyl Methacrylates Using Flow Microreactor Systems | The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010) | 0 | 2010 年 |
| 5 | Heejin Kim, Aiichiro Nagaki, Jun-ichi Yoshida | Generation and Reactions of Aryllithiums Bearing an Electrophilic Functional Group Using Flow Microreactor Systems | The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010) | 0 | 2010 年 |
| 6 | 大内, 偉 宗紀, 余 田, 福崎, 澤本 | 金属触媒によるリビング ラジカル重合の新展開ー 超高活性水溶性触媒と鉄 触媒 | 第 59 回高分子学会 年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 7 | 伊田, 大内, 澤本 | 連鎖配列重合に向けた高 選択的鑄型ラジカル反応 | 第 59 回高分子学会 年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 8 | 中谷, 寺島, 澤本 | タンデムリビングラジカル 重合ーアルコールによる モノマー変換を利用した グラジエントポリマー の新規合成法 | 第 59 回高分子学会 年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 9 | 野村, 寺島, 澤本 | ミクログル核に金属錯体 を導入した星型ポリマー によるリビングラジカル 重合ー核内反応場設計に よる特異的高度重合制御 | 第 59 回高分子学会 年次大会 | P | 2010 年 |
| 10 | 早田, 大内, 澤本 | 側鎖官能基の配列制御精 密ラジカル重合ー切断可 能な認識部位を組み込ん だ基盤モノマーの分子設 計 | 第 59 回高分子学会 年次大会 | P | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|--------------------|--|-----------------|---|--------|
| 11 | 田中, 大内, 澤本 | 一分子付加ラジカル反応制御による機能性基配置制御重合 | 第 59 回高分子学会年次大会 | P | 2010 年 |
| 12 | 余田, 大内, 澤本 | 超高活性親水性ルテニウム触媒による完全水中リビングラジカル重合 | 第 59 回高分子学会年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 13 | 福崎, 大内, 澤本 | 非対称キレート配位によるリヒンクラシカル重合触媒の高活性化: ルテニウム、ニッケル、鉄錯体の万能配位子の開発 | 第 59 回高分子学会年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 14 | 日比 裕理, 大内 誠, 澤本 光男 | 剛直芳香族環をテンプレートとする配列制御ラジカル重合 | 第 59 回高分子学会年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 15 | 深江, 寺島, 澤本 | イオン結合型架橋剤によるマイクロケル星型ホリマーの合成と刺激応答機能 | 第 59 回高分子学会年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 16 | 森, 寺島, 澤本 | マイクロケル核星型ホリマー触媒の高機能化: 核内空間の精密設計 | 第 59 回高分子学会年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 17 | 伊田, 大内, 澤本 | モノマー認識鋳型開始剤を用いた連鎖配列制御ラジカル重合 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 18 | 日比, 大内, 澤本 | 配列組込テンプレートモノマーの分子設計と配列制御ラジカル重合 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 19 | 横井, 大内, 澤本 | リヒンクラシカル交互共重合による官能基の交互配列制御とその協調機能 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 20 | 中谷, 大内, 澤本 | 立体規則性カチオン重合に向けたヘテロ原子を用いた分子設計 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 21 | 福崎, 大内, 澤本 | 非対称キレート配位子型重合触媒の設計 - 鉄 [Fe(II)] 錯体の高活性化とモノマー認識 | 第 59 回高分子学会年次大会 | 0 | 2010 年 |
| 22 | 小西, 大内, 澤本 | 切断型ターゲッティング開始剤による精密重合: 切断性ブロックポリマー | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|--|--|---|---|--------|
| | | の合成と重合場構築 | | | |
| 23 | 川邊, 寺島, 大内, 澤本 | PEG 側鎖の選択的カチオン相互作用を利用した多重制御精密ラジカル重合 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 24 | 深江, 寺島, 大内, 澤本 | イオン集積マイクロゲル核を有する新規星型ポリマーの合成と機能 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 25 | 甲田, 寺島, 大内, 澤本 | 高選択的分子認識に向けたフルオラスマイクロゲル核星型ポリマーの分子設計 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 26 | 森, 寺島, 大内, 澤本 | 金属触媒含有キラルマイクロゲル核星型ポリマー: 高機能不斉反応触媒の設計 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 27 | 辻田, 大内, 澤本 | 高分子鑄型によるアセトアルデヒドの連続アルドール反応: 立体規則性ポリビニルアルコールの合成 | 第 59 回高分子討論会 | 0 | 2010 年 |
| 28 | 大内, 澤本 | System Design toward Sequence Regulated Polymerization | MACRO2010 43rd IUPAC World Polymer Congress | 0 | 2010 年 |
| 29 | 伊田, 寺島, 大内, 澤本 | Toward Sequence Regulated Polymerization: Selective Radical Reactions with Designed Template Initiators | MACRO2010 43rd IUPAC World Polymer Congress | P | 2010 年 |
| 30 | 中谷, 寺島, 澤本 | Tandem Catalysis for Living Radical Polymerization and Transesterification: Precision Syntheses of Gradient Copolymers | MACRO2010 43rd IUPAC World Polymer Congress | P | 2010 年 |
| 31 | H. Mori, K. Aotani, N. Sano & H. Tamon | Synthesis of monolithic zeolite microhoneycomb by ice-templating | 11th International Conference on Microreaction Technology | P | 2010 年 |
| 32 | H. Tamon, K. Aotani, H. Mori & | Synthesis of macroporous zeolite | 10th International Conference on | P | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|--|---|----------------------------|---|-------|
| | N. Sano | monolith by ice-templating | Fundamentals on Adsorption | | |
| 33 | 赤塚、渡邊、森、田門 | ゲルの一方向凍結によるゼオライト繊維の作製 | 分離技術会年会 2010 | P | 2010年 |
| 34 | 田門、渡邊、赤塚、森、佐野 | 一方向凍結と水蒸気結晶化を利用したゼオライト繊維の作製 | 化学工学 3 支部合同 徳島大会 | 0 | 2010年 |
| 35 | 赤塚、渡邊、森、田門 | 一方向凍結と水蒸気結晶化を利用したゼオライトモノリスの作製 | 第 24 回日本吸着学会研究発表会 | P | 2010年 |
| 36 | 田門、赤塚、森、佐野 | 一方向凍結と水蒸気結晶化を用いたマクロ/マイクロ階層構造ゼオライトモノリスの創製 | 化学工学会第 76 年会 | 0 | 2011年 |
| 37 | 中田・金子・佐藤 | マイクロフロー式反応装置を用いるアルキンの選択的接触水素化反応の制御 | 日本化学会 第 91 春季年会 | 0 | 2011年 |
| 38 | 久米・佐藤 | マイクロ波加熱によるエステル化反応におけるモレキュラーシーブスの効果 | 日本化学会 第 91 春季年会 | 0 | 2011年 |
| 39 | 浦西・佐藤・小島 | フロー系における固定化リパーゼを用いたアルコールの速度論的光学分割 | 日本化学会 第 91 春季年会 | P | 2011年 |
| 40 | 山下・佐藤・松澤 | マイクロ波加熱を組み込んだマイクロフロー法を用いた不均一触媒による菌頭カップリング反応 | 日本化学会 第 91 春季年会 | 0 | 2011年 |
| 41 | 竹林、陶、依田、古屋、前 | 気液接触型マイクロリアクタを用いたニトロベンゼンの直接カルボニル化反応 | 化学工学会第 42 回 秋季大会 | 0 | 2010年 |
| 42 | 畑田、鈴木 (明)、川崎、川波 | 耐久性と操作性を改良した高温高压水条件下の Ti-lining ニトロ化用反応装置 | 化学工学会 第 42 回 秋季大会 | 0 | 2010年 |
| 43 | R. Javaid, H. Kawanami, M. Chatterjee & T. | Complete decomposition of azo-dye using Pd and Pd-Cu alloy coated | 化学工学会第 42 回 秋季大会 | 0 | 2010年 |

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|-------|
| | M. Suzuki | microreactors under high-pressure and high-temperature water conditions | | | |
| 44 | 川波、佐藤、チャタジー、鈴木(明)、鈴木(敏重) | 高温高压水-マイクロリアクターを用いるクライゼン転位 | 化学工学会第42回秋季大会 | 0 | 2010年 |
| 45 | 河崎、小林、小野、保科、佐藤、猪股 | 高温高压下における密度・粘度同時測定装置の開発 | 化学工学会第42回秋季大会 | 0 | 2010年 |
| 46 | 河崎、小野、保科、佐藤、猪股 | 高温液体条件下におけるアルコール水溶液の誘電特性評価 | 分離技術会年会 | P | 2010年 |
| 47 | 川波、佐藤(正)、チャタジー、石坂、横山、鈴木(明)、鈴木(敏) | 高温高压水-マイクロリアクターを用いるクライゼン転位の検討 | 第51回高压討論会 | 0 | 2010年 |
| 48 | 畑田、鈴木(明)、川崎、川波 | 高温高压水条件下のニトロ化反応用マイクロリアクターシステム | 第51回高压討論会 | 0 | 2010年 |
| 49 | 川崎 | 高压マイクロデバイスとその応用について | 産学官連携フェア2010みやぎ | 0 | 2010年 |
| 50 | Y. Takebayashi, K. Sue, S. Yoda, T. Furuya & K. Mae | Direct carbonylation of nitrobenzene to phenylisocyanate with microreaction system | AIChE Annual Meeting 2010 (Salt Lake City) | 0 | 2010年 |
| 51 | 川波 | 超コンパクト高温高压水-マイクロリアクターシステムの開発 | 平成22年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ4 | P | 2011年 |
| 52 | Fukuyama, T.; Rahman, M. T.; Ryu, I. | Continuous Catalyst Recycling System Using Microreactor and Ionic Liquid, and Its Application to 100-Gram Scale Synthesis of Matrix Metalloproteinase Inhibitor's Precursor | The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010) | 0 | 2010年 |
| 53 | Fusano, A.; Fukuyama, T.; Ryu, | Application of a Continuous Microflow | The 2010 International | P | 2010年 |

| | | | | | |
|----|---|--|---|---|--------|
| | I. | System to Radical Multi-Component Reactions | Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010) | | |
| 54 | Kajihara, Y.; Fukuyama, T.; Ryu, I.; Studer, A. | Nitroxide-Mediated Radical Polymerization of Methyl Methacrylate Using a Microflow Reactor | The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010) | P | 2010 年 |
| 55 | Mukai, Y.; Fukuyama, T.; Ryu, I. | Koch-Haaf Reaction Using a Hastelloy-Made Microreactor | The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010) | P | 2010 年 |
| 56 | Terao, K.; Tsutsumi, K.; Yamaguchi, H.; Yoshimura, S.; Nishiyama, Y.; Morimoto, T.; Kakiuchi, K.; Fukuyama, T.; Ryu, I. | Diastereoselective [2+2] Photocycloaddition of Chiral Cyclic Enone and Cyclopentene Using a Microflow Reactor System | The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010) | P | 2010 年 |
| 57 | 梶原・福山・STUDER, Armido・柳 | マイクロ空間でのニトロキシド媒介によるリビングラジカル重合 | 日本化学会第91春季年会 | 0 | 2011 年 |
| 58 | 時實・松原・日野・柳 | マイクロフロー系により制御されたシクロアルカンの光ハロゲン化反応 | 日本化学会第91春季年会 | 0 | 2011 年 |
| 59 | 横山・北畑・松浦・石井・伊藤・角田・濱川・花岡・南部・水上 | メソポーラスシリカ固定化グルタミンナーゼを用いたテアニン合成 | 第24回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2008 年 |
| 60 | 横山・北畑・松浦・石井・伊藤・角田・濱川・花岡・南部・水上 | Synthesis of L-theanine using Glutaminase Immobilized on Mesoporous Silica | ZMPC 2009 | P | 2009 年 |
| 61 | T. Miyaji, S. Onozawa, N. Fukaya, M. Ueda, | Diphenylphosphino functionalization of mesoporous silica using | TOCAT6 / APCAT5 | P | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|---------------------------------------|--|-----------------------------|---|--------|
| | Y. Takagi, T. Sakakura, and H. Yasuda | tripodal linker units | | | |
| 62 | 宮治、深谷、上田、小野澤、坂倉、高木、安田 | 多点結合型リンカーを利用した新しい固定化分子触媒の開発 | 第 48 回固体 NMR・材料フォーラム | P | 2010 年 |
| 63 | 竹中 | Selective synthesis of <i>N</i> -alkyl hydroxylamines by the hydrogenation of nitroalkanes using supported palladium catalysts | TOCAT6, Sapporo, 2010 July. | P | 2010 年 |
| 64 | 竹中 | Selective synthesis of <i>N</i> -alkyl hydroxylamines by the hydrogenation of various nitroalkanes using supported palladium catalysts | Pacificchem 2010, Hawaii | P | 2010 年 |
| 65 | 竹中 | 二酸化硫黄とエポキシドの環化付加反応による環状スルファイト合成—均一系触媒への固定化 | 第 107 回触媒討論会 | 0 | 2011 年 |
| 66 | 小野寺, 稲垣, 窪田 | マイクロ波加熱による鈴木カップリング反応への基質・溶媒・触媒担体の影響 | 第 106 回触媒討論会 (A 講演) | 0 | 2010 年 |
| 67 | 小野寺, 稲垣, 窪田 | Pd/mesoporous carbon を触媒とした鈴木-宮浦カップリング反応におけるマイクロ波加熱の影響 | 第 4 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム | 0 | 2010 年 |
| 68 | 小野寺, 稲垣, 窪田 | メソポーラスカーボンに触媒担体に用いた鈴木カップリング反応におけるマイクロ波の加熱効果 | | 0 | 2010 年 |
| 69 | 河崎, 小野, 保科, 佐藤, 猪股 | 高温液体条件下におけるアルコール水溶液の誘電特性評価 | 分離技術会 (東京) | P | 2011 年 |
| 70 | 河崎, 小林, 小野, 保科, 佐藤, 猪股 | 高温高圧下における密度・粘度同時測定装置の開発 | 化学工学会第 42 秋季大会 | 0 | 2011 年 |
| 71 | 小野寺, 稲垣, 窪田 | マイクロ波加熱による鈴木カップリング反応への | 第 106 回触媒討論会 (A 講演) | 0 | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|--------|
| | | 基質・溶媒・触媒担体の影響 | | | |
| 72 | 小野寺、稲垣、窪田 | Pd/mesoporous carbon を触媒とした鈴木-宮浦カップリング反応におけるマイクロ波加熱の影響 | 第 4 回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム | 0 | 2010 年 |
| 73 | 小野寺、稲垣、窪田 | メソポーラスカーボンに触媒担体に用いた鈴木カップリング反応におけるマイクロ波の加熱効果 | 第 26 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2010 年 |
| 74 | 稲垣、及川、山本、横尾、窪田 | 規則性メソポーラスカーボンの炭化度が電極特性に与える影響 | 第 26 回ゼオライト研究発表会 | 0 | 2010 年 |
| 75 | 松下、大川原、本間 | 光触媒担持マイクロリアクターを用いた環境負荷低減型新規合成プロセス | 化学とナノ・マイクロシステム研究会 | P | 2010 年 |
| 76 | 深澤、松下、大川原、磯崎、鈴木 | マイクロリアクターを用いた二酸化炭素の光触媒還元反応 | 光化学討論会 2010 | P | 2010 年 |
| 77 | 松下、深澤、大川原、磯崎、鈴木 | 光触媒担持マイクロリアクターを用いた医薬品原料の合成 | 光化学討論会 2010 | 0 | 2010 年 |
| 78 | Y Matsushita, YFukazawa, Ookawara, Y Kimura | Microreaction System for Highly Selective and Environmentally Benign Photocatalytic Synthesis of Aromatic Aldehydes | 13 th Asia Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress | 0 | 2010 年 |
| 79 | 松下, S Eid, 大川原, A Hamza H. Ali | 光触媒を用いた高付加価値化合物合成による光エネルギー変換 | 電気化学会第 78 回大会 | 0 | 2011 年 |
| 80 | Y Matsushita, Y Fukazawa, T Isozki, T Suzuki | PHOTOCATALYTIC SYNTHESIS OF HIGH VALUE ADDED COMPOUNDS IN MICROSTRUCTURED DEVICES | IUPAC Photochemistry 2010 | P | 2010 年 |
| 81 | 竹中、清洲、森、崔、坂倉、安田 | 二酸化硫黄とエポキシドの環化付加反応による環状サルファイト合成—均一系触媒のシリカへの固定化効果 | 第 107 回触媒討論会 | 0 | 2011 年 |
| 82 | T. Miyaji, S. Onozawa, N. | Diphenylphosphino functionalization of | TOCAT6 / APCAT5 | P | 2010 年 |

| | | | | | |
|----|---|---|--|---|--------|
| | Fukaya, M. Ueda, Y. Takagi, T. Sakakura & H. Yasuda | mesoporous silica using tripodal linker units | | | |
| 83 | 岩浪、高橋、坂倉、安田 | Al-MCM-41 触媒によるカルボニル化合物のシアノシリル化 | 第 21 回日本化学会 関東支部茨城地区研究交流会 | P | 2010 年 |
| 84 | 岩浪、高橋、坂倉、安田 | Al-MCM-41 触媒によるカルボニル化合物のシアノシリル化 | 第 106 回触媒討論会 | O | 2010 年 |
| 85 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | Al-MCM-41 にある特異な六配位 27Al サイトの MQMAS による P _Q 値の推定 | 第 48 回固体 NMR・材料フォーラム | P | 2010 年 |
| 86 | 高橋、岩浪、林、坂倉、安田 | 固体 NMR による Al-MCM-41 ならびに類似触媒材料中の Al の配位環境解析 Solid-state NMR analysis of coordination environment of Al in Al-MCM-41 and related catalyst materials | 第 49 回 NMR 討論会 | O | 2010 年 |
| 87 | T. Takahashi, K. Iwanami, S. Hayashi, T. Sakakura & H. Yasuda | Characterization of silica-alumina and related catalyst materials using solid-state NMR methods: The specific H ₂ O coordinated Al[VI] site in Al-MCM-41 | Pacificchem2010 | P | 2010 年 |
| 88 | 深谷、羽賀、土本、小野澤、山下、小橋、坂倉、安田 | アリアルシラン類を用いたシリカゲルの有機修飾におけるマイクロ波照射による反応加速 | 日本化学会第 90 春季年会 | O | 2010 年 |
| 89 | 石井、伊藤、松浦、角田、濱川、花岡、水上 | メソポーラスシリカへのリパーゼ酵素の固定化とその活性 | 平成 22 年度 産総研 環境・エネルギー シンポジウムシリーズ 4 「21 世紀の化学反応とプロセス」 | P | 2011 年 |
| 90 | 杉山 | 円筒空洞共振器による緩 | 第三回日本電磁波エ | P | 2010 年 |

| | | | | | |
|-----|--|---|---------------------------------|---|--------|
| | | 和時間 τ の算定 | エネルギー応用学会シンポジウム (福岡) | | |
| 91 | 杉山 | 誘電体における温度と ϵ 、 δ 、 τ 、 σ の解釈 | 産総研環境化学技術研究部門交流会 (茨城) | P | 2010 年 |
| 92 | 杉山 | 共振器による緩和時間 τ の算定と加熱デバイス内の温度上昇挙動 | 電子情報通信学会マイクロ波研究会 | O | 2010 年 |
| 93 | 山下、満倉、羽鳥、小橋 | マイクロ波化学反応による機能性化学品の合成 | 平成 22 年度産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ 4 | P | 2011 年 |
| 94 | 山下、羽鳥、満倉 | マイクロ波照射と固体酸触媒による脱水的フリーデル・クラフツ型反応を利用したシクロヘキセノン類の合成 | 日本化学会第 91 春季年会 | P | 2011 年 |
| 95 | 杉山、清水、小田島、大根田、望月、岡本、長島、太田 | 矩形 TM110 共振器を用いたコンビナトリアルケミストリー用マイクロ波照射機の特性 | 電子情報通信学会マイクロ波研究会 | O | 2010 年 |
| 96 | 杉山、宮本、田中、町田、末松、玉光 | ポリフルオレン合成におけるマイクロ波照射効果 | 電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会 | O | 2010 年 |
| 97 | 杉山、清水、小田島、大根田、望月、岡本、長島 | ウェルプレート用マイクロ波照射機の開発とその特性 | 第三回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム | P | 2010 年 |
| 98 | 杉山、山崎、森池、鈴木、瀬川、加藤、藤井 | 水溶液のマイクロ波迅速濃縮における円筒型オーブンの検討 | 電子情報通信学会マイクロ波研究会 | O | 2011 年 |
| 99 | 宮沢、川西、下平、前田 | ニトロイミダゾール類の高速重水素標識 | 第 4 回日本電磁波エネルギー応用学会 | O | 2011 年 |
| 100 | T. Abe, A. Miyazawa, H. Konno & Y. Kawanishi | Enhancement of emission properties of metal complexes through ligand deuteration. | PACIFICHEM2010 | P | 2011 年 |

V-3. その他外部発表一覧表(招待講演、解説記事、新聞発表等)

平成18年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 招待講演、解説記事、新聞発表等 | 発表形式 | 発表年月 |
|----|--------|---|--|--------|----------|
| 1 | 辰巳, 窪田 | らせん状のシリカ多孔体を作製 —— 東工大・横国大本体も細孔も規則的、左巻きと右巻きも制御 | 日経ナノビジネス | 雑誌記事 | 2006年8月 |
| 2 | 吉田 | マイクロリアクターを活用する合成化学 | 有機合成夏期セミナー 有機合成化学協会関西支部、大阪市立大学文化交流センター | セミナー講演 | 2006年9月 |
| 3 | 松下, 市村 | 東工大、新マイクロリアクターを開発、流路内に光触媒薄膜 | 化学工業日報 | 新聞 | 2006年9月 |
| 4 | 前 | Advanced chemical processing using micro space | 19th International Symposium on Chemical Reaction Engineering & 9th International Conference on Microreaction Technology | 招待講演 | 2006年9月 |
| 5 | 前 | マイクロ空間を利用した環境調和型技術への挑戦 | 日本セラミック協会第19回秋季シンポジウム | 招待講演 | 2006年9月 |
| 6 | 前 | Potential of Process Intensification with Microreactor | International Workshop on Process Intensification in Fluid and Particle Engineering | 招待講演 | 2006年10月 |
| 7 | 柳 | 新反応メディアとマイクロデバイスによる効率合成 | ロボット・マイクロ合成研究会第16回公開講演会(東京) | 招待講演 | 2006年10月 |
| 8 | 吉田 | Flash Chemistry: Sustainable and Fast Chemical Synthesis Through Microreactors. | Gratama Workshop 2006, Chemistry, Chemical Technology, and Biotechnology for a Sustainable Society, Awaji Yumebutai, Japan | 招待講演 | 2006年10月 |
| 9 | 吉田 | Flash Chemistry: | The Nagoya Medal of Organic | 招待 | 2006年11月 |

| | | | | | |
|----|-----------|---|---|------|----------|
| | | Fast Chemical Synthesis in Microsystems | Chemistry 2006, Nagoya International Center, Anex Hall, Japan | 講演 | |
| 10 | 吉田 | Flash Chemistry: Sustainable and Fast Chemical Synthesis through Microreactors. | 6th ANQUE International Congress of Chemistry "Chemistry and Sustainable Development", Puerto de la Cruz, Tenerife, Spain | 招待講演 | 2006年12月 |
| 11 | 市村、松下 | 微細流路で効率数百倍 光使う化学反応 | 日経産業新聞 | 新聞発表 | 2007年1月 |
| 12 | 柳 | マイクロリアクター (紹介記事) | 日刊工業新聞 | 新聞発表 | 2007年3月 |
| 13 | 吉田 (受賞講演) | Flash Chemistry: Fast Chemical Synthesis in Microsystems | 第12回名古屋メダルセミナー | 受賞講演 | 2006年 |
| 14 | MCPT、産総研 | 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発PJ | ナノテク2008展 | 展示会 | 2008年2月 |
| 15 | 宮沢 | 水を化学原料、反応媒体として利用したマイクロ波化学プロセス | マイクロ波応用技術研究会 | 招待講演 | 2006年8月 |
| 16 | 宮沢 | 新規反応場を利用した合成化学 | 第53回界面科学部会秋季セミナー | 招待講演 | 2006年11月 |

平成19年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 招待講演、解説記事、新聞発表等 | 発表形式 | 発表年月 |
|----|-------|---|----------------------------|------|---------|
| 1 | 前 | マイクロ空間の特徴を活用した精密操作法と微粒子製造への展開 | KRI 特別講演会 | 招待講演 | 2007年5月 |
| 2 | 日立製作所 | 「マイクロ波を照射する方式を用いて、連続して薬液の化学反応を可能にする技術を開発」 | 日刊工業新聞 化学工業新聞 日経産業新聞 | 新聞発表 | 2007年9月 |

| | | | | | |
|----|-------------------|---|---|----------------|--------------|
| 3 | 田門 | 「ブルーゲル法による多孔体のモルフォロジーとナノ構造の階層制御」 | (社)化学工学会 第39回 秋季大会 | 招待 講演 | 2007年9月 |
| 4 | 澤本 | Metal-Catalyze Living Radical Polymerization: Designed Catalysts and Precision Polymer Materials | 2007-Aquitaine Conferences (Aquitaine, France) | 招待 講演 | 2007年 10月 |
| 5 | 産総研、MCPT | 高温高圧水を用いたニトロ化合物合成システム、マイクロリアクターデバイス等 | Inchem Tokyo 2007 | 展示会 講演 | 2007年 10月 |
| 6 | 柳 日馨 | 有機合成の刷新：新反応・新媒体・新デバイス | 第50回記念有機化学白鷺 セミナー（堺） | 招待 講演 | 2007年 11月 |
| 7 | 吉田 | マイクロリアクターを用いる高分子合成 | 第16回ポリマー材料フォーラム 高分子学会、タワーホール船堀 東京 | 招待 講演 | 2007年 11月 |
| 8 | 高橋 | ニトロ化合物合成用マイクロリアクターの要素ユニットの開発 | INCHEM TOKYO2007 併設企画 産・学・官マッチングフォーラム「化学品製造革新技術」マイクロ化学プロセス | 招待 講演 | 2007年 11月 |
| 9 | 前 | マイクロリアクターによる水素製造技術 | 触媒学会「水素の製造と利用のための触媒技術研究会」シンポジウム | 招待 講演 | 2007年 12月 |
| 10 | 吉田 | Flash Chemistry: Fast Chemical Synthesis in Microsystems. | International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2007, Nanyang Technological University, Singapore | 招待 講演 | 2007年 12月 |
| 11 | 田門 | 「氷晶テンプレート法による細孔制御」 | 分離技術 38(1)、2-7 | 雑誌 解説 記事 | 2008年1月 |
| 12 | 竹中、清清洲、 崔、坂倉、安 | 部分水素化による高選択的ヒド | 平成19年度産総研環境・エネルギーシンポジウム | 招待 講演 | 2008年2月 |

| | | | | | |
|----|----------------------------|--------------------------------|--|---------|----------|
| | 田 | ロキシルアミン合成 | シリーズ4「21世紀の化学反応とプロセス—バイオマス原料の新たな展開—」 | | |
| 13 | 高橋, 石内, 上林, 小倉, 内籐, 太田, 伊東 | ガラス製マイクロリアクターの周辺機器の開発とその応用 | 三重大学創造開発研究センター研究報告書 | 大学内レポート | 2008年1月 |
| 14 | 前 | マイクロ化学プロセスの現状と将来展望 | 岡山県産業振興財団 都市エリア産学官連携促進事業「平成19年度研究成果報告会」基調講演 | 招待講演 | 2008年2月 |
| 15 | 窪田 | 規則性多孔体触媒を用いる有機反応 | 固定化触媒のルネッサンス, 第12章, シーエムシー (2007.7.23) | 成書 | 2007年7月 |
| 16 | 窪田 | 有機無機ハイブリッド多孔体 | 環境調和型新材料シリーズ 触媒材料, 各論4.4, 日刊工業新聞社 (2007.10.31) | 成書 | 2007年10月 |
| 17 | 窪田 | 高活性ゼオライト触媒——横国大グループが開発骨格にチタニウム | 化学工業日報 一面 (2008.3.14) | 新聞 | 2008年3月 |
| 18 | MCPT、産総研 | 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発PJ | ナノテク2008展 | 展示会 | 2008年2月 |
| 19 | 宮沢、川西、下平 | マイクロ波利用技術 | NanoTech2008 | 展示 | 2008年2月 |

3) 平成20年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 招待講演、解説記事、新聞発表等 | 発表形式 | 発表年月 |
|----|--|----------------------|---|------|------------------------------------|
| 1 | T.Ichimura, Y.Matsushita, K. Sakeda, T. Suzuki | Photoreactions | in <i>Microchemical Engineering in Practice</i> , ed. By T. R. Dietrich | 招待講演 | Blackwell Publishing, Oxford, 2009 |
| 2 | MCPT、産総研 | 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発PJ | ナノテク2009展 | 展示会 | 2009年2月 |
| 3 | MCPT, 京大 | M i P S 2 0 0 8 | International Symposium on Micro Chemical Process | 国際会議 | 2008年9月 |

| | | | | | |
|---|-------------|----------------------------------|---------------------|------|---------|
| | | | and Synthesis | 開催 | |
| 4 | Y. Takenaka | 「21世紀の化学反応と分子触媒～基礎研究と製品をつなぐ架け橋～」 | 第19回フレッシュマンゼミナール | 招待講演 | 2008年5月 |
| 5 | 安倍、川西、宮沢 | 有機EL用重水素化イリジウム錯体の発光特性と評価 | テクノロジーショーケース in つくば | 技術紹介 | 2009年1月 |

4) 平成21年度

| 番号 | 発表者 | タイトル | 招待講演、解説記事、新聞発表等 | 発表形式 | 発表年月 |
|----|--|--------------------------------|--|------|----------|
| 1 | T. Ichimura, Y. Matsushita, K. Sakeda, T. Suzuki | Photoreactions | <i>Microchemical Engineering in Practice</i> , ed. by T. R. Dietrich, John Wiley & Sons, Hoboken(成書) | 成書 | 2009年8月 |
| 2 | MCPT、産総研 | 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発PJ | ナノテク2010展 | 展示会 | 2010年2月 |
| 3 | 竹中 | ユニークな構造を有する金属錯体の合成と高選択的な触媒反応 | 第3回 埼玉大-産総研 連携セミナー | 招待講演 | 2009年12月 |
| 4 | 竹中 | 水素化による高選択的な有機ヒドロキシルアミン合成 | 産総研ブックス07「きちんとわかる環境共生化学」グリーン・サステイナブルケミストリー | 著書 | 2010年2月 |
| 5 | 高橋 | 'ともしびてらす' 固体NMRで見る触媒材料 | 国際高分子基礎センター講演会 | 招待講演 | 2010年3月 |
| 6 | 杉山 | マイクロ波加熱による化学反応のための装置開発と複素誘電率変化 | 科学技術交流財団「電磁波を用いたプロセスプラズマの産業応用実用化のための研究会」 | 招待講演 | 2009年6月 |
| 7 | 杉山 | マイクロ波加熱 | 平成21年科研費特定領域研 | 招待 | 2009年 |

| | | | | | |
|----|----------------------|--|-------------------------------------|------|--------------|
| | | 有機合成のための複素誘電率の考察 | 究「マイクロ波特定領域研修会」 | 講演 | 8月 |
| 8 | 杉山 | マイクロ波加熱の原理と化学応用 | 信州大学 来訪学者講演会 | 招待講演 | 2009年 12月 |
| 9 | 杉山 | マイクロ波加熱の原理と化学応用 | 学芸大学 講演会 | 招待講演 | 2010年 2月 |
| 10 | 山崎、杉山 | マイクロ波照射装置 | テクニカルショウヨコハマ | 出展 | 2010年 2月 |
| 11 | 杉山 | マイクロ波加熱の原理と化学応用 | 静岡ファルマバレーセンター | 招待講演 | 2010年 3月 |
| 12 | 満倉、山下、小橋、廣木、杉山、大西、坂本 | マイクロ波照射とゼオライト触媒を用いたアルコールによるナフタレン化合物の選択的アルキル化反応 | 月刊ファインケミカル, 38 (12), 11-16 | 解説記事 | 2009年 11月 |
| 13 | 松浦 | 酵素内包メソポーラスシリカの性質と応用 | 産総研 コンパクト化学プロセス研究センター 研究成果発表会 | 講演 | 2009年 12月 |
| 14 | 松浦 | 酵素リアクター開発に向けたナノ空孔材料と酵素の高度複合化 | 第6回 E&E フォーラム 環境・エネルギー分野研究交流会 | 講演 | 2010年 2月 |
| 15 | 松浦 | 酵素リアクター開発に向けたナノ空孔材料と酵素の複合化 | 石油学会ジュニアソサイアティ (JPIJS) 北海道・東北地区 講演会 | 依頼講演 | 2010年 2月 |
| 16 | 田門 | 氷晶成長を利用した多孔質材料のモルフォロジーとナノ構造の階層制御 | 岡山地区化学工学懇話会 特別講演会 | 招待講演 | 2009年 6月 |

平成22年度

| 番号 | 講演者 | タイトル | 招待講演、解説記事、新聞発表等 | 発表形式 | 発表年月 |
|----|------------------|---|--|------|----------|
| 1 | J Yoshida | ArS+ Initiated Addition of ArSSAr to Dienes via Intramolecular C-C Bond Formation | 217 th ECS Meeting、Manuel M. Baizer Award Symposium on Organic Electrochemistry | 招待講演 | 2010年4月 |
| 2 | 吉田 | マイクロフロー合成化学の魅力「時間」を「空間」で制御する新しい合成化学 | 新学術領域研究 第2回若手シンポジウム | 招待講演 | 2011年6月 |
| 3 | 吉田 | 時間を空間で制御する合成化学 | 近畿化学協会合成部会フロー・マイクロ合成研究会第23回公開講演会 | 講演会 | 2011年7月 |
| 4 | J Yoshida | Flash Chemistry Fast Chemical Synthesis in Flow Microreactors | Ischia Advanced School of Organic Chemistry | 招待講演 | 2010年9月 |
| 5 | J Yoshida | Flash Chemistry Fast Chemical Synthesis in Flow Microreactors. | The 14th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences | 招待講演 | 2010年10月 |
| 6 | Jun-ichi Yoshida | Iterative Molecular Assembly Based on the Cation-Pool Method. Convergent Synthesis of Dendritic Molecules | First German-Japanese Symposium on Electrosynthesis | 招待講演 | 2010年10月 |
| 7 | 吉田 | フラッシュケミストリー 時間を空間で制御する新しい合成化学 | 名古屋メダルセミナー 2010年特別企画 —Sliver Medalistsの集い— 「我が国の明日を拓く有機合成化学」 | 招待講演 | 2011年10月 |
| 8 | J Yoshida | Synergy between Organic Electrochemistry and Flow Microreactor Chemistry | PacifiChem 2010, Green Electrochemistry | 招待講演 | 2010年12月 |

| | | | | | |
|----|---------------------|---|---|----------|--------------|
| 9 | Jun-ichi Yoshida | Flash chemistry using flow microreactors | PacifiChem2010. Achieving Efficiency in Organic Reactions via Greener Processes and Practices | 招待 講演 | 2010年 12月 |
| 10 | 吉田 | 電解酸化とマイ クロリアクター を利用する芳香 族ヨウ素化合物 の製造プロセス | ヨウ素学会シンポジウム | 招待 講演 | 2011年1月 |
| 11 | 吉田 | フローマイクロ 合成化学の魅力 時間を空間で制 御する新しい合 成化学 | 基幹研 - 京大シンポジウ ム | 招待 講演 | 2011年1月 |
| 12 | 吉田 | フローマイクロ 合成の魅力 | 新学術領域研究第3回若 手シンポジウム | 招待 講演 | 2011年2月 |
| 13 | 澤本 | Frontiers in Metal-Mediated Living Radical Polymerization: Catalyst Design and Precision Functional Polymers | "Ä Frontiers in Polymer Chemistry": A Symposium in Honor of Professor Roderic Quirk's Retirement | 招待 講演 | 2010年5月 |
| 14 | 澤本 | Transition Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization: Precision Functional Polymers via Designed Catalysts | The 2nd International Symposium on Polymer Materials Science and Technology, Harbin, China | 招待 講演 | 2010年5月 |
| 15 | 澤本 | Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization for the Precise Synthesis of Functional Macromolecules | MACRO2010 43rd IUPAC World Polymer Congress | 招待 講演 | 2010年7月 |
| 16 | 澤本 | Precision | Soft Matter Symposium to | 招待 | 2010年7月 |

| | | | | | |
|----|----|--|--|------|----------|
| | | Functional Polymers via Metal-Mediated Living Radical Polymerization (Polymerisation) | launch the Centre for Soft Matter Research of Durham University, Durham, UK | 講演 | |
| 17 | 澤本 | Tailor-Made Functional Polymers via Metal-Mediated Living Radical Polymerization | The 74th Prague Meeting on Macromolecules entitled “Contemporary Ways to Tailor-Made Polymers” (PMM2010), Prague, Czech Republic | 招待講演 | 2010年7月 |
| 18 | 澤本 | Precision Polymer Materials via Living Radical Polymerization | The 3rd EuCheMS Chemistry Congress, Nürnberg, Germany | 招待講演 | 2010年8月 |
| 19 | 澤本 | Precision Synthesis of Topologically Designed Functional Polymers by Living Radical and Cationic Polymerizations | The 38th Greek Polymer Society Symposium on Polymer Science and Technology, Crete, Greece | 招待講演 | 2010年10月 |
| 20 | 澤本 | Precision Synthesis of Functional Polymers and Star Polymers by Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization | KIST-Kyoto Bilateral Symposium on Polymer Synthesis, Seoul, Korea | 招待講演 | 2010年11月 |
| 21 | 澤本 | キラル多分岐高分子ー精密ラジカル重合による機能性高分子合成ー | 第14回 VBL シンポジウム「キラルナノ化学・ソフトナノ化学、プロセスの新展開」、名古屋大学、名古屋市 | 招待講演 | 2010年11月 |
| 22 | 澤本 | 遷移金属錯体による精密ラジカル重合ー有機金属化学と高分子 | 理研シンポジウム「有機金属化学研究の最前線」、和光市 | 招待講演 | 2010年11月 |

| | | | | | |
|----|----|---|--|------|--------------|
| | | 化学の異分野融合を目指してー | | | |
| 23 | 澤本 | Advanced and Smart Polymeric Materials via Metal-Mediated Living Radical Polymerization | The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010), Honolulu, HA, U.S.A. | 招待講演 | 2010年 12月 |
| 24 | 澤本 | Precision Radical Polymerization with Transition-Metal Catalysis: A Bridge between Polymer Chemistry and Catalysis Science | The Fifth Mitsui Chemicals International Symposium on Catalysis Science (MICS 2011), Kisarazu, Chiba | 招待講演 | 2011年3月 |
| 25 | 澤本 | Precision Polymeric Materials by Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization | The 241st Spring ACS National Meeting & Exposition, Anaheim, CA, U.S.A. | 招待講演 | 2011年3月 |
| 26 | 大内 | Advanced Catalysis in Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization: High Catalytic Activity for Functional Monomers and Rising Active Iron Catalysts | The 240th Fall ACS National Meeting & Exposition, Boston, U.S.A. | 招待講演 | 2010年8月 |
| 27 | 田門 | 吸着技術の現状と将来展望 | 分離技術会年会 2010 | 依頼講演 | 2010年6月 |
| 28 | 田門 | 氷に学ぶモノづくりー氷晶成長を利用した多孔体の作製ー | テクノメートコープ 第10回公開講演会 | 依頼講演 | 2010年 12月 |
| 29 | 佐藤 | 最近のフロー・マイクロ合成に関するトピックス | 近畿化学協会・合成部会・フロー・マイクロ合成研究会 | 招待講演 | 2010年7月 |

| | | | | | |
|----|-----------------------|---|--|------|----------|
| 30 | 川波 | FDG の短時間合成法 | CPhI Japan 2010 | 依頼講演 | 2010年4月 |
| 31 | 川波 | 高温高压水を用いる有機反応 | 第15回東北ジョイント夏季セミナー | 依頼講演 | 2010年7月 |
| 32 | 川波 | 高温高压化での有機反応 | 住友精化株式会社講演会 | 依頼講演 | 2010年8月 |
| 33 | H. Kawanami | Production of linear alkane via hydrogenative ring opening of furfural derived compound in supercritical carbon dioxide | Pacificchem 2010 | 依頼講演 | 2010年12月 |
| 34 | 川波 | コンパクト高温高压水-マイクロ反応装置の開発 | (独)産業技術総合研究所 E&E フォーラム | 依頼講演 | 2010年10月 |
| 35 | 川波 | 高温高压下での有機反応・合成反応～水と二酸化炭素～ | 宇部興産株式会社講演会 | 依頼講演 | 2011年2月 |
| 36 | 柳 | マイクロリアクターによる連続フロー型有機合成の進歩 | マイクロ化学プロセス分科会講演会 | 招待講演 | 2010年11月 |
| 37 | Fukuyama, T.; Ryu, I. | Energy-Saving Photoreaction System Using Microreactor and Compact Light Source | The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem 2010) | 招待講演 | 2010年12月 |
| 38 | 柳 | 一酸化炭素を組み込む多成分連続反応の新展開 | 第27回有機合成夏期セミナー | 招待講演 | 2010年9月 |
| 39 | 柳 | 21世紀の化学製造はフロー系で: 巨大プラントとの決別 | 大阪府立大学理学部公開セミナー; 21世紀における化学のあるべき姿とは | 招待講演 | 2011年1月 |
| 40 | MCPT、産総研 | 革新的マイクロ | ナノテク 2011 展 | 展示 | 2011年2月 |

| | | | | | |
|----|-------|---|---|------|----------|
| | | 反応場利用部材 技術開発PJ | | 会 | |
| 41 | 伊藤、水上 | メソポーラスシリカ内包酵素 | 「酵素利用体系～基礎・解析から改変・高機能化・産業応用まで」, NTS Inc, ISBN978-4-86043-271-3 | 成書 | 2010年4月 |
| 42 | 杉山 | マイクロ波有機化学の装置設計と材料の物性測定－化学屋にとってのMW加熱反応装置－ | IEEE MTT-S Kansai Chapter ワークショップ | 招待講演 | 2010年7月 |
| 43 | 杉山 | 誘電体におけるマイクロ波加熱原理 | 東京理科大 | 招待講演 | 2010年11月 |
| 44 | 杉山 | 数式からみたマイクロ波加熱原理 | 第三回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム | 招待講演 | 2010年11月 |
| 45 | 杉山 | 温度上昇にともなう複素誘電率と電磁界分布の変化－加熱されると加熱されやすさはどう変わるか－ | 安全セミナー | 招待講演 | 2010年11月 |
| 46 | 杉山 | マイクロ波特性評価装置の開発：マイクロ波エネルギーの化学分野への応用 | 第3回産総研ナノシステム連携促進フォーラム | 招待講演 | 2010年3月 |
| 47 | 川西 | 有機EL材料－発光効率向上、長寿命化に向けて－ | 化学技術戦略推進機構、環境分科会講演会 | 依頼講演 | 2010年10月 |

V-4. 出願特許一覧表(★：幹事会社)

平成18年度

| 番号 | 出願日 公開日 | 出願番号 公開番号 | 出願に係る特許等 の表題 | 出願人 |
|----|--------------------------------|---|----------------------|---------------------------------------|
| 1 | 2007年2月9日出願 2008年8月28日公開 | 特願2007-031346 特開2008-195639 | 0-二置換芳香族化合物の製造方法 | 富士フイルムファインケミカルズ、★富士フイルム、和光純薬工業、山田化学工業 |
| 2 | 2007年2月28日出願 2008年9月18日公開 | 特願2007-050172 特開2008-215873 | センサユニット及びマイクロリアクシステム | ★横河電機、京都大学 |
| 3 | 2007年3月12日 2009年8月11日登録 | USP7572927 87 特願2007-031346の 米国出願 特許番号 USP7572927 | 0-二置換芳香族化合物の製造方法 | 富士フイルム |
| 4 | 2007年3月27日出願 2008年10月2日公開 | 特願2007-081040 WO2008/117844 A1 | アリールヒドロキシアミンの製造法 | ★和光純薬工業、産総研 |
| 5 | 2006年11月9日 2008年5月29日 | 特願2006-304011 特開2008-120705 | フルオレン誘導体の効率的製造方法 | 産総研 |

平成19年度

| 番号 | 出願日 公開日 | 出願番号 公開番号 | 出願に係る特許等 の表題 | 出願人 |
|----|------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------|
| 1 | 2007年8月6日出願 2009年2月26日公開 | 特願2007-204555 特開2009-38984 | 耐熱性グルタミンアゼ | ★太陽化学、産総研 |
| 2 | 2007年8月10日出願 2009年2月26日公開 | 特願2007-210487 特開2009-39699 | 多段混合マイクロデバイス | 富士フイルム |
| 3 | 2007年9月18日出願 2009年10月2日 | 特願2007-240585 特願2007-081040と | アリールヒドロキシアミンの製造法 | ★和光純薬工業、産総研 |

| | | | | |
|----|--|--|---------------------------------------|-------------------|
| | 公開 | 併せ国際出願 WO2008/117844 A1 | | |
| 4 | 2008年2月6日出願 2009年8月20日公開 | 特願 2008-025824 特開 2009-183195 | 耐アルカリ性グルタミナーゼ | ★太陽化学、産総研 |
| 5 | 2008年3月3日出願 2009年9月17日公開 | 特願 2008-052115 特開 2009-209399 | 電極及び反応器 | 横河電機 |
| 6 | 2008年3月3日出願 2009年9月17日公開 | 特願 2008-052132 特開 2009-209400 | 反応器 | 横河電機 |
| 7 | 2008年3月7日出願 2009年10月8日公開 | 特願 2008-057594 PTC 出願公開 WO2009/110531 A1 | 有機無機複合材料及びその利用 | ★エヌ・イー ケムキヤット、産総研 |
| 8 | 2008年3月13日出願 2009年10月1日公開 | 特願 2008-064075 特開 2009-219947 | フロー反応装置及び方法 | ★和光純薬工業、京都大学 |
| 9 | 2008年3月27日 | PCT/JP2008/055850 特願 2007-081040 の 外国出願 CN101663265A | アリアルヒドロキシ ルアミンの製造法 | ★和光純薬工業、産総研 |
| 10 | 2008年3月31日出願 2009年3月26日 2011年1月27日 2011年1月12日 | 特願 2008-093480 米欧日国際出願 米国公開 米国出願番号 12/935,446 米国公開番号 US2011/001696 7A1 欧州出願番号 09727879.0 公開番号 EP2273180A1 | 流体分配装置、マイクロプラント、流体分配装置の設計方法及び流路閉塞検知方法 | 京都大学、富士フイルム、★横河電機 |

| | | | | |
|----|---------------------------|--|-----------------------------|----------|
| | 2010年10月8日 | 日本国国際公開 国際出願番号 2010-505771 公開番号 WO2009123009 | | |
| 11 | 2007年9月12日 | 特願 2007-236610 特開 2008-264762 | 有機カルボニル化合物のシアノシリル化触媒 | 産総研 |
| 12 | 2007年7月19日 | 特願 2007-187728 特開 2009-022862 | 固体触媒 | 産総研 |
| 13 | 2007年8月13日 | 特願 2007-211154 特開 2009-044963 | カタラーゼ複合体 | 産総研 |
| 14 | 2007年12月5日 2009年6月2日 | 特願 2007-314837 特開 2009-138073 | フルオレン含有ポリウレタン及びその効率的製造方法 | 産総研 |
| 15 | 2007年12月27日 2009年7月16日 | 特願 2007-335785 特開 2009-155273 | 環状ケトンの製造方法 | 産総研 |
| 16 | 2008年1月15日 2009年7月30日 | 特願 2008-005584 特開 2009-167267 | フルオレン含有ポリエステル の効率的製造方法 | 産総研 |
| 17 | 2007年5月11日 | 特願 2007-130182 特開 2008-280300 | 環状アルキレンイミンの製造法 | 大陽日酸、産総研 |
| 18 | 2007年7月19日 | 特願 2007-187725 特開 2009-023933 | 含窒素有機珪素化合物 | 産総研 |
| 19 | 2007年12月10日 | 特願 2007-318292 特開 2009-137911 | 芳香族化合物の位置選択的重水素化法 | 産総研 |
| 20 | 2007年7月19日 | 特願 2007-187725 特開 2009-023933 | 炭素担持貴金属ナノ粒子触媒の製造法 | 産総研 |
| 21 | 2008年2月1日 | 特願 2008-023130 特開 2009-184928 | 重水素化された芳香環または複素環を有する化合物の製造法 | 大陽日酸、産総研 |
| 22 | 2008年3月31日 | 特願 2008-093482 特開 2009-242343 | 重水素化されたイミダゾールの製造法 | 大陽日酸、産総研 |
| 23 | 2007年5月16日 | 特願 2007-130182 特開 2008-284433 | マイクロリアクターおよびその製造方法 | 産総研 |

平成20年度

| 番号 | 出願日 公開日 | 出願番号 公開番号 | 出願に係る特許等 の表題 | 出願人 |
|----|---|---|---|--------------------------------------|
| 1 | 2008年7月11日出願 2010年2月18日公開 | 特願 2008-181562 特開 2010-37322 | 環状亜硫酸エステルの製造方法 | ★和光純薬工業、産総研 |
| 2 | 2008年8月4日 | 特願 2007-210487 の 米国出願 12/185250 | MULTISTAGE-MIXING MICRODEVICE | FUJIFILM Corporation (富士フイルム株式会社) |
| 3 | 2008年09月10日出願 2010年3月25日公開 | 特願 2008-232518 特開 2010-065129 | 有機顔料の製造方法、 それにより得られる 有機顔料及びその分散液 | 京都大学 ★富士フイルム |
| 4 | 2008年9月30日出願 2010年4月15日公開 | 特願 2008-253718 特開 2010-083982 | 有機顔料微粒子の製造方法、それにより得られる有機顔料微粒子、その分散液、及びその組成物 | 富士フイルム |
| 5 | 2008年10月24日出願 2010年6月3日公開 | 特願 2008-274898 特開 2010-120935 | 多環式化合物の製造方法 | 富士フイルムファインケミカルズ |
| 6 | 2008年11月21日 | 特願 2008-297801 特願 2008-181562 の 優先権主張出願 | 環状亜硫酸エステルの製造方法 | ★和光純薬工業、産総研 |
| 7 | 2009年2月16日出願 2010年9月2日公開 2011年2月18日出願審査請求 | 特願 2009-032524 特開 2010-192147 | マイクロ波加熱装置 および加熱方法 | 日立製作所 |
| 8 | 2009年2月6日出願 2010年8月19日公開 | 特願 2009-026804 特開 2010-180184 | マイクロリアクターを用いるビニル置換アリアル化合物の製造方法 | 和光純薬工業 |
| 9 | 2009年3月7日出願 | 特願 2008-057594 PCT/JP2009/54128 | 有機無機複合材料およびその利用 | ★エヌ・イー ケムキヤット、産総研 |
| 10 | 2008年3月27日 | Wo2008/117844 A1 | アリアルヒドロキシ | ★和光純薬工業、産総研 |

| | | | | |
|----|---------------------------|--|---------------------------------------|-------------------|
| | | 特願 2007-081040 の 米国出願 US-2010-0113830-A1 | ルアミンの製造法 | 研 |
| 11 | 2009年3月26日 欧州出願 | EPC 09727879 特願 2008-093480 の欧州出願 | 流体分配装置、マイクロプラント、流体分配装置の設計方法及び流路閉塞検知方法 | 京都大学、★富士フイルム、横河電機 |
| 12 | 2009年3月26日 米国出願 | USP12/935446 特願 2008-093480 の米国出願 | 流体分配装置、マイクロプラント、流体分配装置の設計方法及び流路閉塞検知方法 | 京都大学、★富士フイルム、横河電機 |
| 13 | 2008年5月7日 | 特願 2008-121239 特開 2009-268965 | α -アミノニトリルの製造触媒 | 産総研 |
| 14 | 2008年4月24日 2009年11月12日 | 特願 2008-113317 特開 2009-263265 | アルキルフェノール異性体の製造方法 | 産総研、新日鐵化学 |
| 15 | 2008年4月24日 2009年11月12日 | 特願 2008-113316 特開 2009-263264 | 2,6-ジアルキルナフタレンの製造方法 | 産総研、新日鐵化学 |
| 16 | 2009年3月11日 | 特願 2009-057427 | 芳香族ケトンの製造方法 | 産総研 |
| 17 | 2009年1月30日 | PCT/JP2009/ 051643 WO 2009/096555 | 重水素化された芳香環または複素環を有する化合物の製造法 | 大陽日酸、産総研 |
| 18 | 2008年8月14日 | 特願 2008-209105 特開 2010-041973 | 酵素-シリカ系ナノ多孔材料複合体担持マイクロリアクター及びその製造方法 | 産総研 |

平成21年度

| 番号 | 出願日 公開日 | 出願番号 公開番号 | 出願に係る特許等の 標題 | 出願人 |
|----|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------|------------|
| 1 | 2009年6月23日 出願 2011年1月13日 公開 | 特願 2009-149099 特開 2011-005369 | マイクロ処理装置 | 横河電機 |
| 2 | 2009年9月16日 出願 | 特願 2010-529637 | イソシアナート化合物の製造方法 | ★日油、産総研 |
| 3 | 2010年3月3日 出願 | 特願 2010-46811 | 流体分配装置及びマイクロプラント | ★横河電機、京都大学 |
| 4 | 2010年3月31日 | 特願 2010-83802 | N-アルキルヒドロ | ★和光純薬工業、産 |

| | | | | |
|----|---------------------------|---------------------------------------|---|----------|
| | 日出願 | | キシルアミンの製造方法 | 総研 |
| 5 | 2010年2月15日 日出願 | 10153644.9 特願 2009-032524 の欧州出願 | MICROWAVE HEATING DEVICE AND HEATING METHOD | 日立製作所 |
| 6 | 2010年2月16日 日出願 | 12/706033 特願 2009-032524 の米国出願 | MICROWAVE HEATING DEVICE AND HEATING METHOD | 日立製作所 |
| 7 | 2009年3月12日 | 特願 2009-058934 特開 2010-209030 | 有機無機複合材料 の製造方法 | 産総研 |
| 8 | 2009年5月11日 2011年1月13日 | 特願 2009-153353 特開 2011-7716 | 広域温度対応型複 素誘電率測定用空 洞共振器 | 産総研 |
| 9 | 2009年7月8日 2011年1月27日 | 特願 2009-161357 特開 2011-16748 | 芳香族化合物の製 造方法 | 産総研 |
| 10 | 2009年7月8日 2011年1月27日 | 特願 2009-161328 特開 2011-16747 | ヒドロキシ芳香族 誘導体の製造方法 | 産総研 |
| 11 | 2009年12月4日 | 特願 2009-276300 | フラン類の製造方 法 | 産総研 |
| 12 | 2010年2月25日 | 特願 2010-039475 | フラン誘導体及び その製造方法 | 産総研 |
| 13 | 2010年2月26日 2010年10月21日 | 特願 2010-041350 特開 2010-235588 | 芳香族ケトンの製 造方法 | 産総研 |
| 14 | 2010年3月5日 | 特願 2010-049134 | 含酸素環状化合物及 びその製造方法 | 産総研 |
| 15 | 2010年2月10日 | 特願 2010-027539 | 重酸素化されたカル ボニル化合物の製造 方法 | 大陽日酸、産総研 |

平成22年度

| 番号 | 出願日（西暦年月日） | 出願番号 公開番号 | 出願に係る特許等の 標題 | 出願人 |
|----|---|----------------|-----------------------------------|-------------------|
| 1 | 2010年7月22日出願 | 特願 2010-164663 | ビアリアル化合物の製造方法及びそれに利用可能なマイクロ波反应用触媒 | ★エヌ・イー ケムキャット、産総研 |
| 2 | 2010年7月21日出願 2010年3月31日出願の2010-83802と併せて国内優先出願 | 特願 2010-164282 | N-アルキルヒドロキシルアミンの製造方法 | ★和光純薬工業。産総研 |
| 3 | 2011年3月31日 | 特願 2011-078961 | 環状トリチオカーボネートの製造方法 | 産総研、★和光純薬工業 |
| 4 | 2011年3月4日 | 特願 2011-047239 | 固定化リパーゼを含む懸濁液及びその利用方法 | 産総研 |
| 5 | 2010年7月8日 | 特願 2010-156253 | 1, 5-ジケトン類及びその製造方法 | 産総研 |
| 6 | 2010年7月8日 | 特願 2010-156242 | シクロヘキセノン類及びその製造方法 | 産総研 |
| 7 | 2010年11月1日 | 特願 2010-244988 | シクロアルキルベンゼン類及びその製造方法 | 産総研 |
| 8 | 2010年11月11日 | 特願 2010-252442 | 1, 1-ジアリアルエテン及びその製造方法 | 産総研 |
| 9 | 2010年11月11日 | 特願 2010-252424 | 芳香族アシル化合物の製造方法 | 産総研 |
| 10 | 2011年1月19日 | 特願 2011-008899 | 含酸素環状化合物及びその製造方法 | 産総研 |
| 11 | 2011年3月4日 | 特願 2011-047281 | マイクロ波照射下での有機化合物の効率的製造方法 | 産総研 |

| | | | | |
|----|----------------|----------------|-------------------------------|----------|
| 12 | 2010年9月29 日 | 特願 2010-219324 | 重水素化された イミダゾール誘導 体の製造方法 | 大陽日酸、産総研 |
|----|----------------|----------------|-------------------------------|----------|

事前評価書

| | | | |
|------------|---|-----|--------------|
| | | 作成日 | 平成17年10月 26日 |
| 1. 事業名称 | 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発 ／マイクロリアクター技術およびナノ空孔技術 (新産業創造高度部材基盤技術開発・革新的部材産業創出プログラム) | | |
| 2. 推進部署名 | ナノテクノロジー・材料技術開発部 | | |
| 3. 事業概要 | <p>(1) 概要 一般の化学反応では反応分子が空間内を運動しながら衝突あるいは触媒に吸着することが端緒となる。複合反応系では、反応分子の自由な運動により各種中間活性体を経て多種類の生成物が生じてしまう。「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することにより、化学反応の高度制御が可能となる。本事業では上記反応場の効果的利用方法の基盤技術を開発し、以下のようなプロセス革新と新機能材料創製技術を実現する。</p> <p>①プロセス革新 中間体合成・精製工程の簡略化、収率・純度の向上、高活性種の安全反応等</p> <p>②新機能材料製造技術開発 高性能・高機能電子材料、新規医薬中間体等の製造技術開発 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。</p> <p>(2) 事業規模：総事業費 30億円 (平成18年度事業費6億円)</p> <p>(3) 事業期間：平成18年度～22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 マイクロ分析・生産システムプロジェクト(H14～H17)では、マイクロ流路を利用した温度均一性や混合均一性といった空間均一性により反応制御が可能であることを見いだした。さらに検討した結果、活性種の生成場を反応場から分離し、それぞれを独立に制御することにより、合成過程の簡略化や収率の向上など極めて効率的な化学品製造技術に繋がること明らかになった。また、近年メソポーラスシリカに代表される構造規則性ナノ空孔材料の技術進歩がめざましく、化学品製造のための反応場としての利用が期待されるようになった。</p> | | |

(2) 研究開発目標の妥当性

[目標]

本事業では①マイクロリアクター、②ナノ空孔を反応場として利用する基盤技術開発を実施する。

①マイクロリアクター技術

- ・ マイクロリアクター中の活性種の生成場と反応場を分離し、急速混合、急速加熱・冷却、急速移動、極短反応時間制御などにより、活性種の化学反応を制御する基盤技術を確立する。これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの製造に必要な部材を開発する。
- ・ マイクロ波、高温高圧場、触媒機能壁面等とマイクロリアクターとの協奏的反応場を利用し、医薬中間体等を高効率に生産する部材を開発する。

②ナノ空孔技術

- ・ メソポーラスシリカなどのナノ空孔に触媒を固定化し、ナノ空孔反応場と触媒の協働作用を活かした高速、高選択的合成法基盤技術を確立する。これにより、高性能の電池用部材、高機能界面活性剤などの製造技術開発を行う。
- ・ ナノ空孔に酵素等の生体機能性触媒をハイブリッド化し、高温安定性や耐有機溶媒性を高め、機能性化学品の生産プロセスの省エネルギー化や廃棄物削減を実現する。
- ・ 超臨界流体、イオン性液体、マイクロ波等と分子触媒を固定したナノ空孔との協奏的反応場を利用し、各種の機能性化学品製造技術を開発する。

[妥当性]

協奏的反応場を活用し、反応プロセスのシンプル化（低コスト化）、反応速度の高速化、収率・純度の飛躍的向上、高活性種の安全反応等のプロセス革新を行うことにより、新しい機能材料の創製、医薬中間体の新規選択的合成等が可能となり、新産業創生、国際競争力の強化が期待される。施策目標の実現として重要な役割を有している。

部材分野の技術マップ上の位置付けは以下のとおり。

I 材料創製技術－「医療・福祉／安全・安心分野」における【医薬中間体・原体】－不斉合成部材（キラル化合物の選択的合成）および少量精密合成用部材（微量合成）、高効率合成部材（合成・分離効率向上）として求められるマイクロリアクタに該当

II 共通基盤技術－「サステナブル技術」における【選択的合成】－反応場制御技術および高性能触媒に該当

(3) 研究開発マネジメント

公募を実施し、最適な研究開発体制を構築する。産学独の連携を図り、効率的な研究開発体制とする。また、プロジェクト開始後、3年目に中間評価（ステージゲート）を実施し、実用化の可能性を判定し、以降の体制を見直す。

(4) 研究開発成果

①マイクロリアクター技術

- ・ 高性能・高機能電子材料製造部材の開発
- ・ 医薬中間体製造部材の開発

②ナノ空孔技術

- ・ 高性能電池用部材、医農薬中間体等の高効率製造法の開発
- ・ 耐熱性・安定性の高いナノ空孔固定化分子触媒、酵素触媒の開発

(5) 実用化・事業化の見通し

化学メーカー、装置メーカー、ユーザーとの摺り合わせにより、課題を明確にし、最終ユーザーの要望に応えるべく、資源を集中して開発を行う。2008年には開発テーマを絞り込み、より具体的な開発目標を設定し、2013年には実用化の見通しである。

(6) その他特記事項

本事業の成果を適用することによって期待される経済波及効果は、部材分野（電子材料合成、医薬中間体合成等）、環境分野（プラスチックのモノマー化等）等において4.4兆円程度と見込まれる。

また、本事業の成果により、ファインケミカル等の製造プロセスにおける消費エネルギーの削減、E-ファクターの低減が期待され、2030年における省エネ効果は30万k1/年（原油換算）と推定される。

5. 総合評価

NEDOの実施する事業として適切であると判断する。

<革新的マイクロ反応場利用部材技術開発/マイクロリアクター技術

およびナノ空孔技術>

投稿No.5

2005/11/21 (月) 0:56

次世代の化学プロセス技術としてマイクロリアクタは注目されていて、ドイツでは実用にむけたプロジェクトがいくつか立ち上がっています。日本でもこのような技術をはぐくむことは是非とも必要と考えます。

これまでのマイクロ分析・生産システムプロジェクトでは、いくつかの興味深いマイクロリアクタの活用方法が見出されているようですが、これを実用に結びつけるための研究開発を続けることは化学産業の発展に重要と考えます。

研究内容を拝見しますと、基盤技術の開発に主眼がおかれているように見受けられます。新しい可能性を探るのは、極めて重用と考えます。

一方で、実用プロセスを構成するために必要な周辺技術や、解析技術、実証実験なども課題として重要と思います。これらの検討課題をプロジェクトのどこかで取り上げてくだされば、産業へマイクロリアクタが浸透する速度を高めることが出来ると思います。

ナノ空孔技術は極めて広い技術範囲を取り上げておられるように感じます。マイクロリアクタと同じプロジェクトで扱い、しかも産業技術への展開を考えるのであれば、マイクロリアクタと関連させることで大きなメリットが発揮されそうなテーマを絞ったほうが良いと思います。

投稿No.4

2005/11/20 (日) 16:42

本プロジェクトをぜひ推進すべきであると考えます。マイクロ反応場利用部材技術開発/マイクロリアクター技術に関しては日本は比較的進んでいると考えられ、今後とも優位な位置をキープするため研究の推進が望まれます。

これに対して、ナノ空孔技術についてはヨーロッパ、韓国、中国などにおいても技術開発がかなり進んでおり、早急にプロジェクトを立ち上げる必要があると思われます。光技術との融合、医薬品の保存への応用、イオン液体の利用などが重要戦略ではないかと思ひます。

投稿No.3

2005/11/19 (土) 21:52

本プロジェクトの研究分野の対象として触媒材料開発等に見られる気相反応場としてのナノ空間構造の利用が挙げられているが、今日では触媒反応のみならず、溶液反応場としても特異的な現象が期待できることが明らかにされつつある。ナノ空間に存在する構造的に制約を受けた液体が通常の液体

と異なる挙動を示すことが体系的に明らかにされつつある。この状況の下、これまでの現象論的な研究から、これらのナノ反応場を液体反応場として無機・有機合成の両面から検討を加えることは今後のナノ反応場の概念をさらに拡充することができるかと期待され、溶液反応に資する制約空間内を反応場として「ナノリアクター」を称する研究は、徐々に増加傾向にある。

我々は100nm程度の閉鎖空間における溶液内反応によって、結晶化度の高い金属酸化物高次構造体を作製している。これらの特異的な構造を有する生成物がもつ反応性は、センサ、エネルギー変換材料、光学材料等に資する材料の新たな材料物性の制御方法の展開をもたらすことが期待され、本プロジェクトにおいて期待するところは非常に大きい。

ナノ空間における液体構造については、近年溶液化学の分野でも注目されつつあり、学術的にも国内外の多くの国際会議において注目されている。提案プロジェクト概要に提案されている主たる課題は触媒分野や反応場制御を目的とした内容が中心であるが、溶液内反応における空間制御も加えることにより、是非積極的に展開すべきプロジェクトであると思われる。

また、本プロジェクトにて提案されている概念は多岐にわたり、主に化学プロセス中心の展開が期待されているようであるが、分子レベルでの反応機構に対する基礎的な概念の構築は未だ十分ではなく、無機・有機の分野をとわず基礎的研究についても検討すべき課題は十分に残っていると思われる。

投稿No.2

2005/11/18 (金) 15:09

従来の合成反応は熱エネルギーと触媒を利用したものが大部分である。しかし、光やレーザーが新規のエネルギー源として、最近、注目を集めている。たとえば、光触媒は新規のキーテクノロジーとして実用化が進み、それに対する期待は益々高まっている。

これまでに、光と新規の反応場であるマイクロリアクターを複合させた合成システムとして、我々は光不斉反応にマイクロリアクターを応用し、有用な異性体のみを選択的に合成するための研究を行ってきた。モデル反応系を用いて不斉増感反応の速度、収率の実験検証を行った結果、バッチ式の反応容器の場合と比べ極めて反応効率がよく、またマイクロ反応場の特徴の一つである高い比表面積の効果によって副反応が抑制できる系のあることが明らかとなってきた。その機構を解明し、光反応に最適化したマイクロリアクターを設計し、高収率、高選択率の反応プロセスの実現を目指し、一層、研究を進めたい。

投稿No.1

2005/10/31 (月) 14:00

ぜひこのプロジェクトを進めていただくようお願い申し上げます。

表記の技術、私はマイクロリアクターを利用することにより革新的な技術の開発が可能である分野を一つ検討中です。

私が現在進めている研究分野(生体分子関係)にマイクロリアクターを応用するものです。

これは、マイクロリアクターを用いることにより初めて可能になり、なおかつ、実現可能性が極めて高いと考えられる技術です。

時期が来れば詳細をご紹介させていただきたいと思います。

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。

公開

革新的マイクロ反応場利用部材技術開発プロジェクト

事後評価分科会 概要説明資料 (2006年度～2010年度 5年間)

5. プロジェクト全体の概要について

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

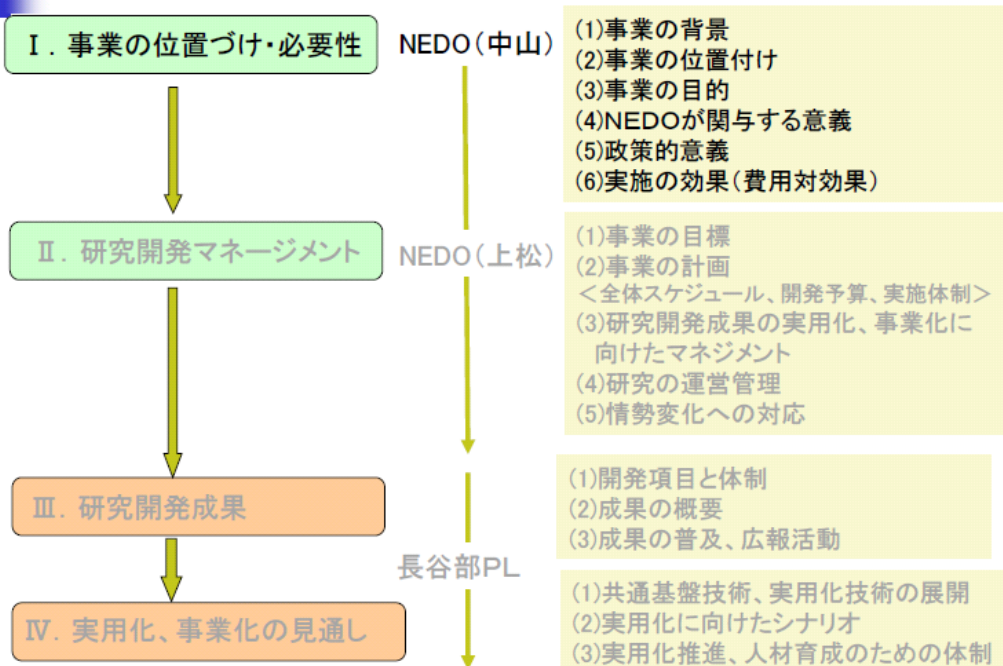
電子・材料・ナノテクノロジー部

平成23年8月3日(水)

1/53

概要説明 報告の流れ

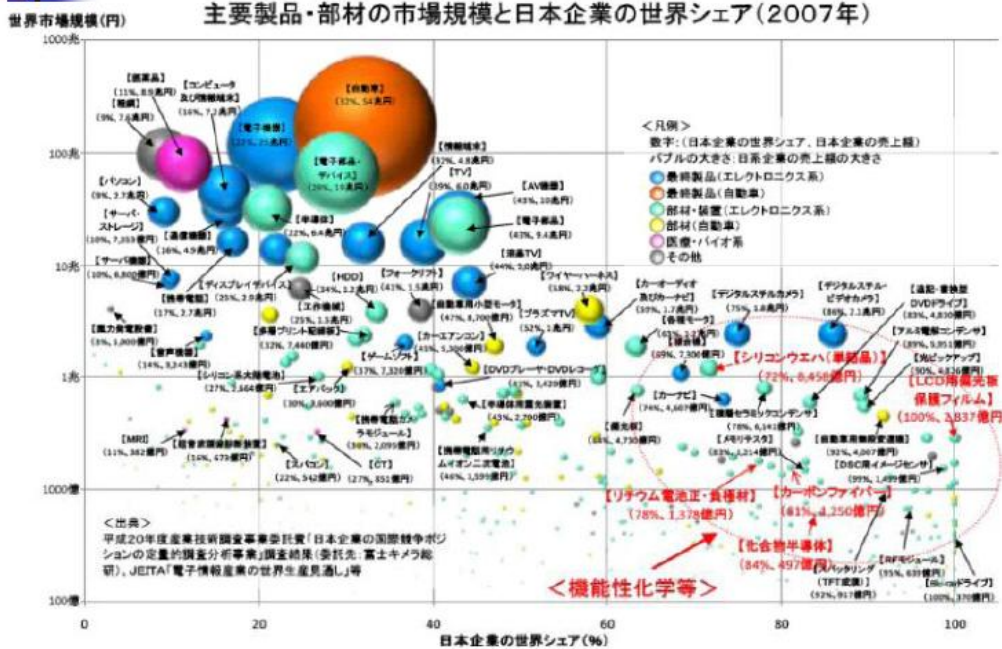
公開



2/53

I. 事業の位置付け・必要性

(1) 事業の背景

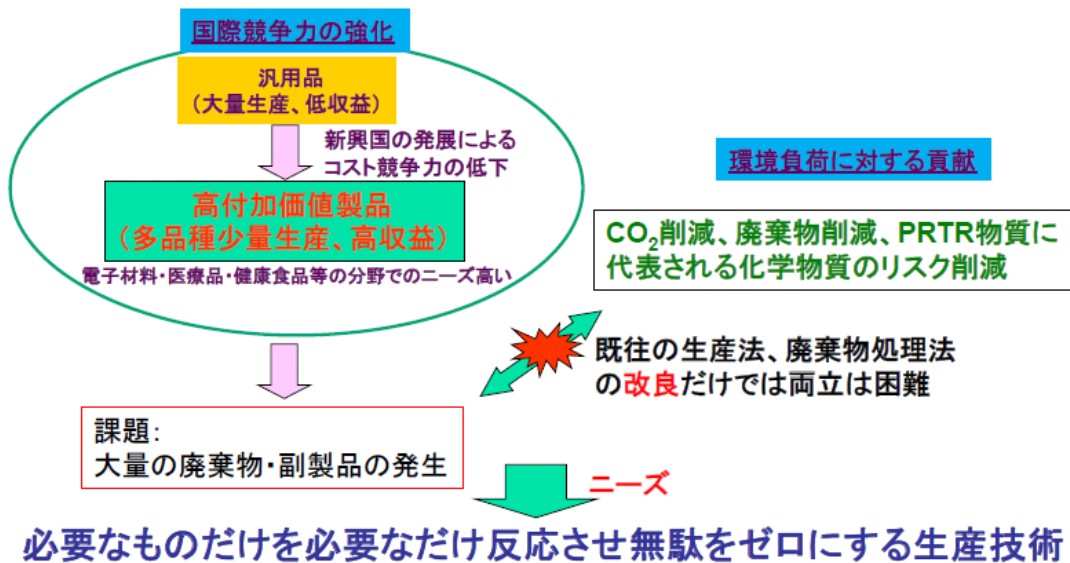


公開

I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その1)

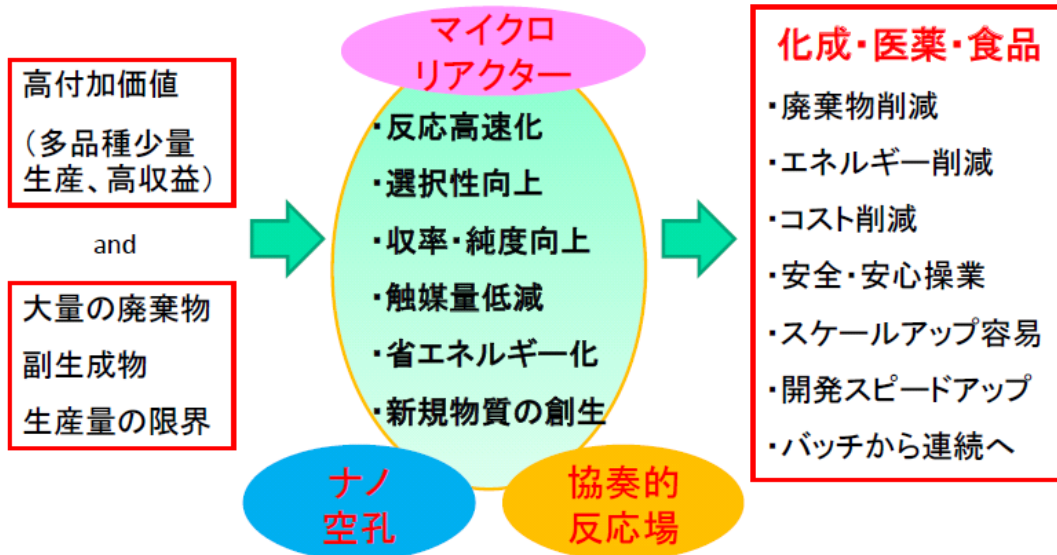
■次世代化学産業に何が求められているか



I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その2)

■マイクロ、ナノ技術を活用した生産技術革新

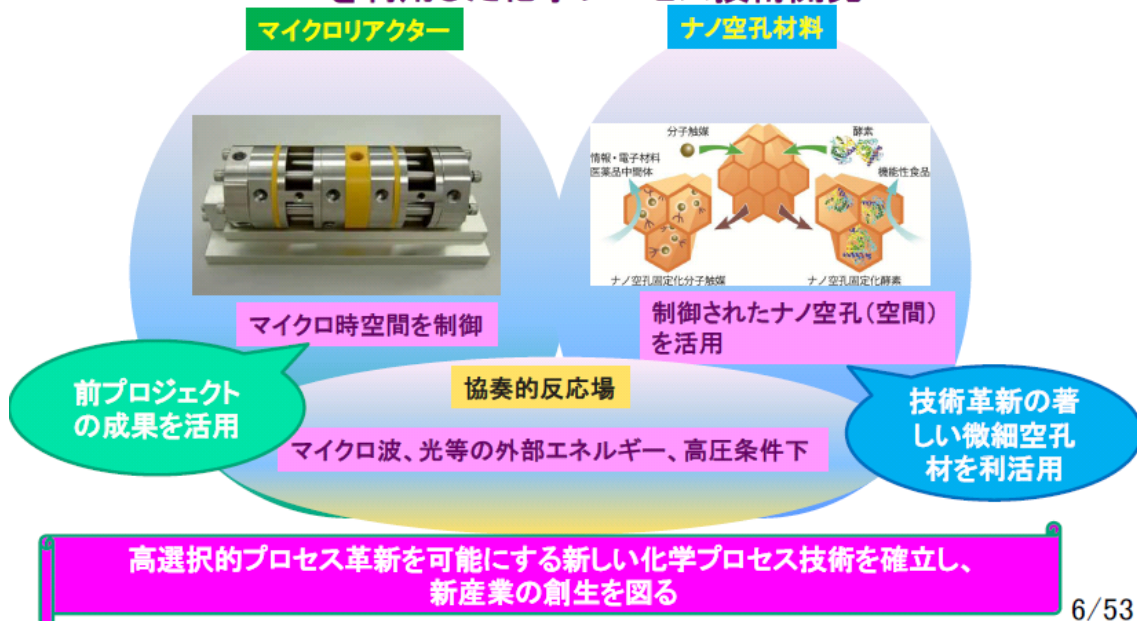


I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その3)

マイクロ反応場

を利用した化学プロセス技術開発

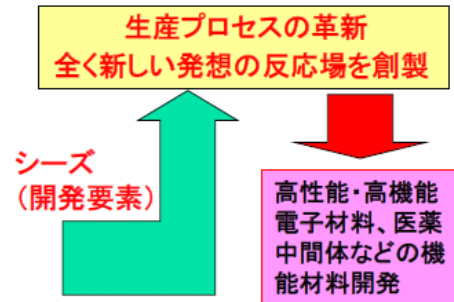


I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その4)

■マイクロ, ナノに関する技術の集積

- ・マイクロリアクターによる活性種の生成場と反応場の分離および独立制御
- ・構造規則性ナノ空孔材料による精密反応場制御技術
- ・精密反応場と外部エネルギー供給手段や高温高圧、反応媒体等の反応場を組合せた**協奏的反應場**



<従来技術との比較>

| 少量多品種生産技術 | 生産性 | 精密制御 | 収率・純度 | コスト | 技術成熟度 |
|------------------|-----|------|-------|-----|-------|
| マイクロ反応場 (連続生産可能) | ○~△ | ◎ | ◎ | △ | △ |
| バッチ処理 | ◎~△ | △ | △ | ○ | ○ |

7/53

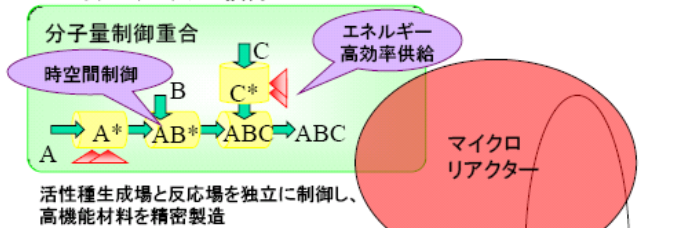
公開

I. 事業の位置付け・必要性

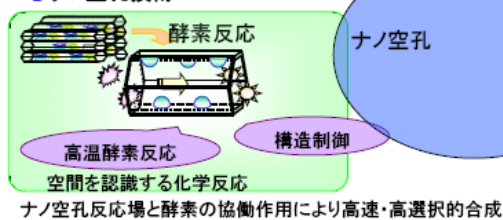
(3) 事業の目的

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらにマイクロ波などを組み合わせた**協奏的反應場**を構成することにより、**革新的な化学プロセス**を開発。

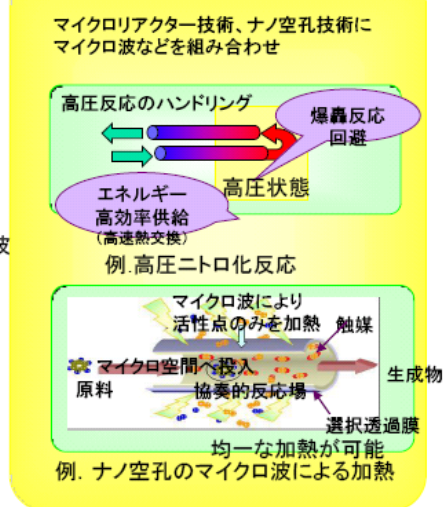
●マイクロリアクター技術



●ナノ空孔技術



●協奏的反應場



8/53

公開

I. 事業の位置付け・必要性

(4) NEDOが関与する意義

マイクロ化学プロセス技術

- 従来の工業的物質生産法を根底から変革
- 各分野で求められている機能を実現
- 研究開発の難易度が高い
- 長期間、投資規模大 → 開発リスク大

<我が国の材料産業>

……汎用材料はアジア諸国のキャッチアップ進行喫緊課題;次世代の部材分野でのイノベーションを促進

NEDOによる国家的、集中的実施が必要

NEDOがプロジェクトマネジメントする効果

- ①情勢の変化(海外技術情勢、目覚ましい開発成果等)に応じて臨機応変に加速予算を配分
- ②知財マネジメントによる事業化促進

9/53

公開

I. 事業の位置付け・必要性

(5) 政策的意義(その1)

研究開発プログラム(イノベーションプログラムに改編)の中で実施イノベーションプログラムについて 第27回研究開発小委員会(平成21年4月27日)資料

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。

「新・国家エネルギー戦略」の目標を実現するため、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発

| ナノテク・部材 IPG | |
|-------------------|-------|
| ①ナノテク加速化領域 | 36億円 |
| ②情報通信領域 | 28億円 |
| ③ライフサイエンス・健康・医療領域 | 16億円 |
| ④エネルギー・資源・環境領域 | 78億円 |
| ⑤材料・部材領域 | 27億円 |
| ⑥共通領域 | 4億円 |
| 21年度予算案 | 188億円 |

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

21年度予算 50億円

| IPG | |
|--------|-------|
| ①IPG | 102億円 |
| ②再生 | 28億円 |
| 21年度予算 | 130億円 |

エネルギー IPG

| | |
|--------------------------|---------|
| ①総合エネルギー効率の向上 | 707億円 |
| ②運輸部門の燃料多様化 | 278億円 |
| ③新エネルギー等の開発・導入促進 | 369億円 |
| ④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 |
| ⑤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 |

環境安心 IPG

| | |
|-------------|-------|
| ①地球温暖化防止新技術 | 60億円 |
| ②3R | 33億円 |
| ③環境調和産業バイオ | 57億円 |
| ④化学物質総合評価 | 11億円 |
| ⑤共通領域 | 4億円 |
| 21年度予算案 | 165億円 |

航空機・宇宙産業 IPG

| | |
|--------------------|-------|
| ①航空機産業の基盤技術力の維持・向上 | 233億円 |
| ②宇宙産業の国際競争力強化 | 87億円 |
| 21年度予算案 | 320億円 |

- 平成20年3月までは革新的部材産業創出プログラム及び省エネルギー技術開発プログラムの位置付けで実施

10/53

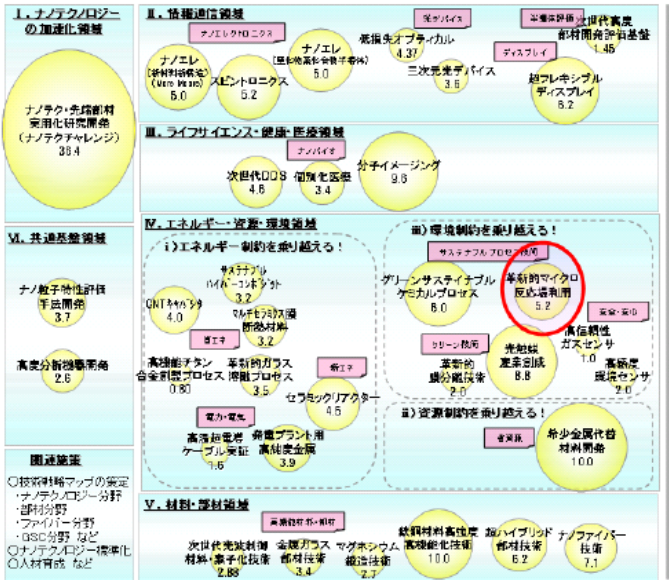
公開

I. 事業の位置付け・必要性 (5) 政策的意義(その2)

ナノテク・部材イノベーションプログラム

【平成20年度予算額:184.5億円】

○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！
○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！



IPGの目標

世界に先駆けてナノテクノロジーを活用した非連続な技術革新を実現する！

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！

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！

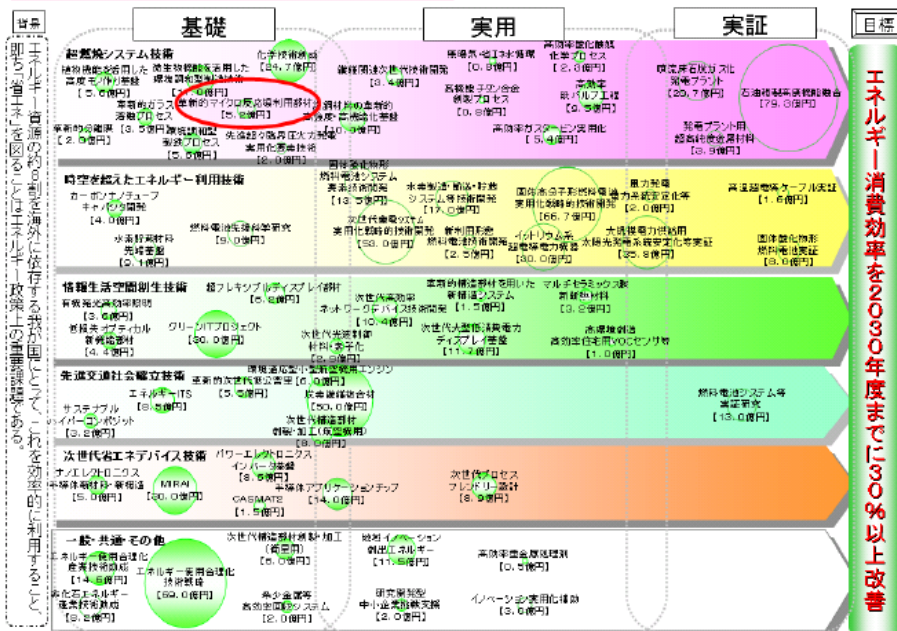
希少金属などの資源制約の打破、革新的な省エネルギー社会の実現など、解決困難な社会的課題の克服を目指す！

公開

I. 事業の位置付け・必要性 (5) 政策的意義(その3)

エネルギーイノベーションプログラム

【20年度予算額:81.7億円】
※基礎、実用、実証の区分内は、任意に配属。



公開

I. 事業の位置付け・必要性

(6) 実施の効果(費用対効果)

■ 市場・省資源効果

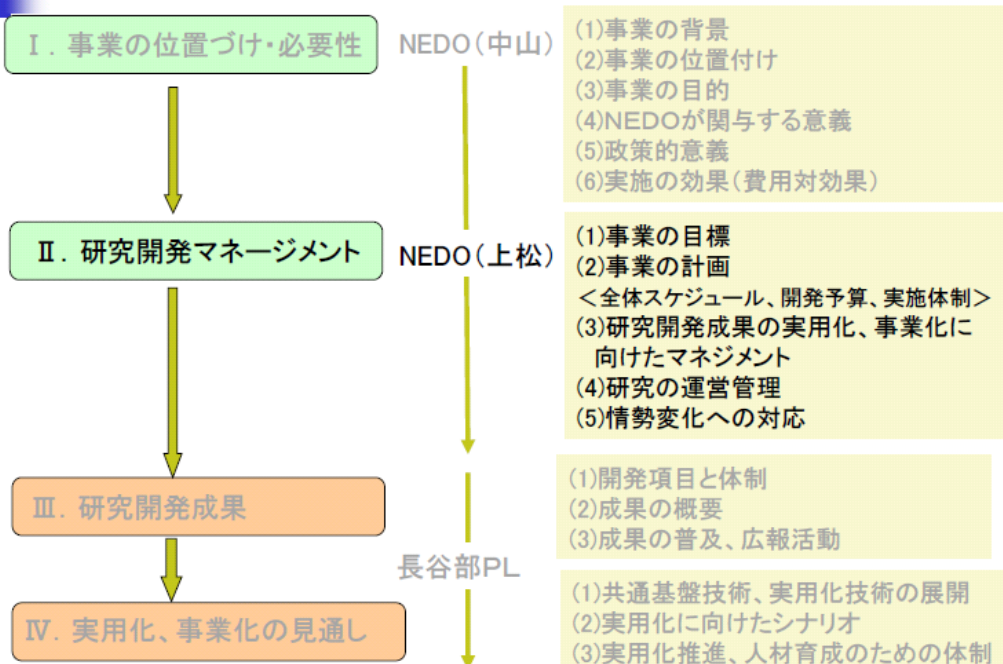
| | |
|----------|--|
| 研究開発費用 | 5年間で約27億円(H18~H22) |
| 期待される市場 | 情報通信、電子機器・家電、医療、 バイオ、環境など |
| 市場創出効果 | 約4400億円 [2020年] |
| 省エネルギー効果 | 約30万kl/年(原油換算) ※ファインケミカル製品の10%として仮定 |

* 効果の根拠については事業原簿 PI-1 参照下さい。

13/53

概要説明 報告の流れ

公開



14/53

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(1) 事業の目標

| | 研究開発項目 | 最終目標 | コメント | |
|------------------------|--|--|--|---|
| 共通基盤技術開発 | ①マイクロリアクター技術 | (1)反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立 | ・各種活性種の寿命と望ましい急速混合技術の関係を体系化 | |
| | | (2)活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発 | ・活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計の要素技術の確立 | |
| | ②ナノ空孔技術 | (1)ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 | ・ナノ空孔と分子触媒との協働作用を活かして実用レベルの目標を設定 | ・ナノ空孔を実用化することで重要な反応を抽出。④と連動して、実用上必要なレベルの目標を設定 |
| | | (2)ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 | ・ナノ空孔反応場と酵素の協働作用を活かして合成酵素の実用レベルの目標を設定 | |
| | | (3)ナノ空孔固定化触媒の開発 | ・分子触媒レベルの反応効率及び触媒リーチング抑制の実用レベルの目標を設定 | |
| | ③協奏的反応場技術 | (1)マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発 | ・種々の反応場を用いた製造プロセス技術の開発及び実証 | ・協奏的反応場を実用化することで重要な反応を抽出。④と連動して、実用上必要なレベルの目標を設定 |
| (2)ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発 | | ・②(1)～(3)+マイクロリアクター、マイクロ波及び反応媒体利用触媒反応技術を適用して、実用レベルの目標を設定 | | |
| 実用化技術 | ④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発 | (1)マイクロリアクター技術 (2)ナノ空孔技術 (3)マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発 (4)ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発 | ・実用化のために必要最低限のスペックを設定。 ・基本計画の目標の他に、各社は自主目標を設定 | |

15/53

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(2) 事業の計画

<全体スケジュール>

| 研究開発項目 | スケジュール | H18 | H19 | H20 | H21 | H22 |
|------------|---|---|--|-----|-----|-----|
| | | ① マイクロリアクター技術 | 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発 | | | |
| 共通基盤技術 | ② ナノ空孔技術 | ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔固定化触媒の開発 | | | | |
| | | ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の開発 | | | | |
| ③ 協奏的反応場技術 | マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発 | | | | | |
| | ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発 | | | | | |
| 実用化技術 | ④ マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反応場技術を利用したプラント技術の開発 | 活性種生成・反応場を分離したマイクロプラントの構築 ナノ空孔反応場と分子触媒、酵素を利用したプラント技術の開発 外部エネルギー利用協奏的反応場技術の開発 高圧との協奏的反応場技術の開発 ナノ空孔子における協奏的反応場技術の開発 | | | | |

(テーマ毎の目標と設定背景は後述)

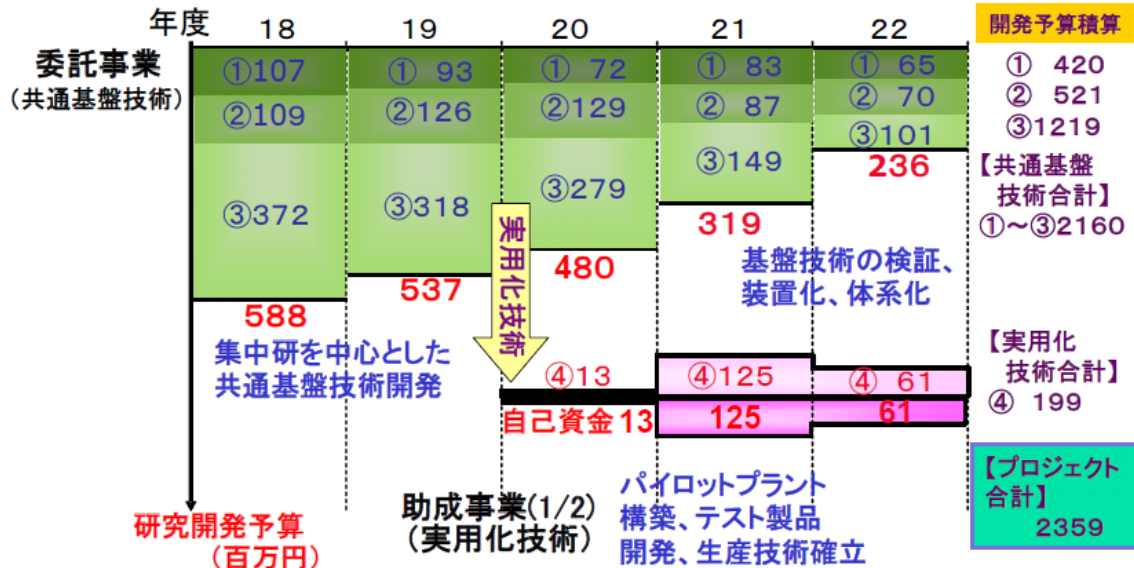
16/53

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(2) 事業の計画

<事業の計画内容 開発予算>

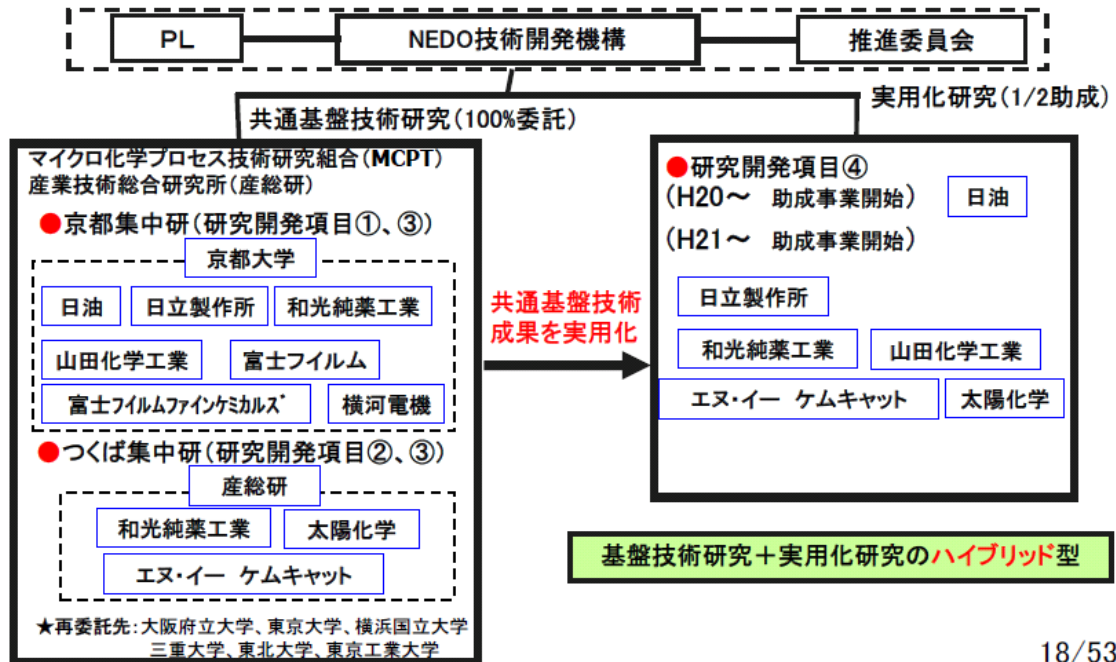


公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

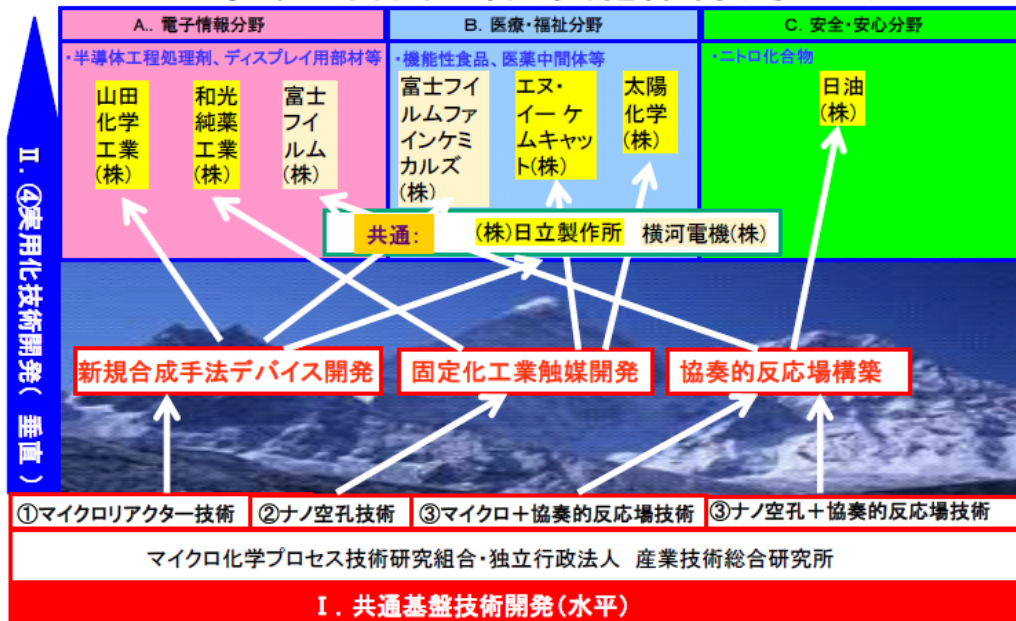
(2) 事業の計画

<事業の計画内容 実施体制(その1)>



公開 II. 研究開発マネジメントについて
(2) 事業の計画

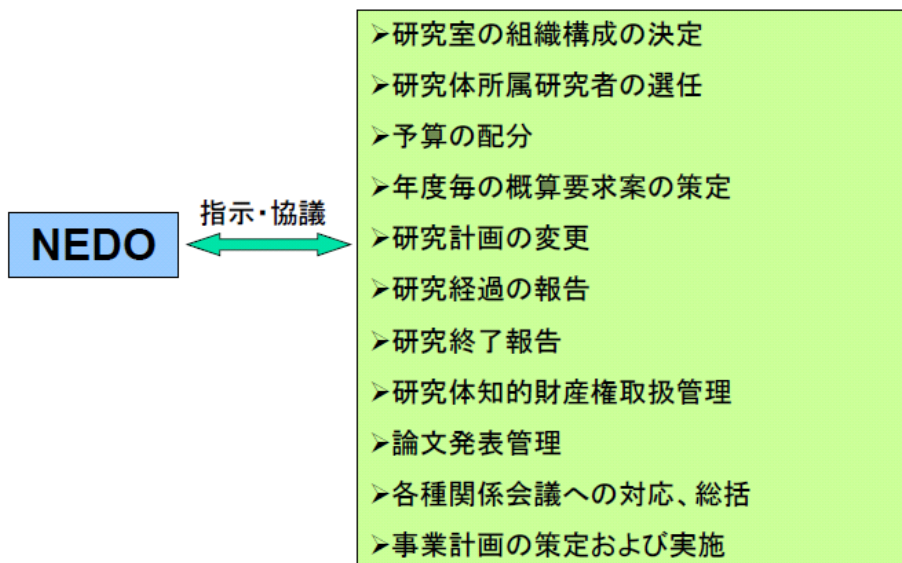
＜事業の計画内容 実施体制(その2)＞



公開 II. 研究開発マネジメントについて
(2) 事業の計画内容

＜PLの役割＞

長谷部PL：効率的なプロジェクト推進のため、研究開発を統括



公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発成果の実用化、事業化 に向けたマネジメント

1. プロジェクトのマネジメント

(1) 情報管理

・プロジェクト内で実用化、事業化のアウトプットが重複しない体制を構築

(2) 基盤技術研究+実用化研究のハイブリッド型

・基盤技術研究成果が直ぐに実用化、事業化に結びつくように、開発進捗の著しいテーマについては、助成事業として支援

(3) 加速予算

・目覚ましい成果の期待できるテーマに関しては、研究加速財源を配分

2. 知財のマネジメント

(1) 企業による出願

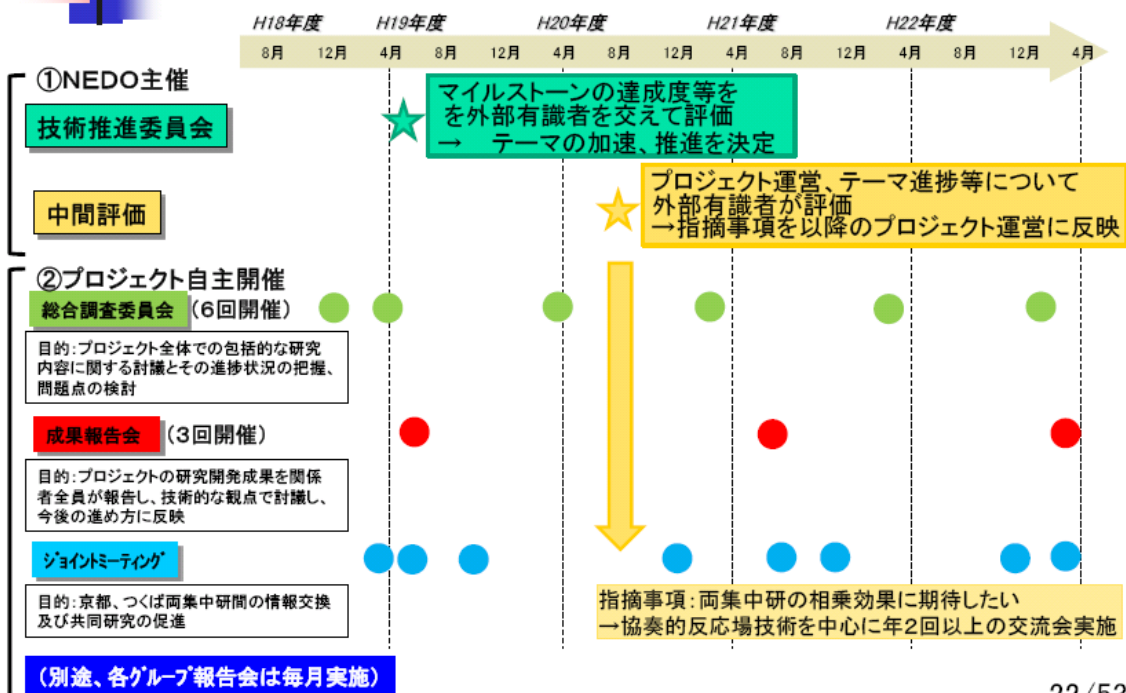
・特許に関しては、プロジェクト終了時にスムーズな事業化に繋がるよう出願時より企業に帰属するよう取り決めを実施

・ノウハウについては各企業で特許出願の良否を判断。

21/53

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて (4) 研究の運営管理



22/53

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(5) 情勢変化への対応

● 情勢の変化、著しい進捗があったテーマに、重点的に研究加速財源を配分

<H18年度加速案件(178百万円)>

- 開発項目①,③ 高速反応解析装置
- 開発項目② 分子触媒単離装置
固体NMR
ナノ空孔構造解析装置
- 開発項目③ 高温高圧デバイス検証システム
加熱炉
ペタルネットワークアナライザー

【国際競争力強化】

・強力な競合相手である欧州で本年に入り着実な成果を挙げているとの報告あり。
特に9月にドイツで開催されたマイクロ化学関係の国際会議(IMRET 2006)においてコンソーシアム企業の独デグサ社による触媒コーティングマイクロリアクター試作の発表などがなされており、欧州の旗艦R&Dプロジェクトの進展に対して手遅れにならないよう本プロジェクトの研究開発を加速する必要があると判断。

<H19年度加速案件(68百万円)>

- 開発項目① 多目的ミゼットプラント
(反応時間制御型)
- 開発項目② 反応熱量計、安全性評価試験
触媒成分性能評価装置
低周波数プローブ

【実用化への加速】

・②、③「ナノ空孔固定化触媒の開発」において、今年度9月までに鈴木カップリング反応におけるパラジウムのリーチングが1.5 ppmと非常に少ない触媒開発に成功し、既に今年度目標の20ppm以下を大幅に達成し、中間目標(20年度末)の1ppmにあと一步という目覚ましい成果を挙げ、実用化に向けた研究開発の加速を実施。

<H20年度加速案件(107百万円)>

- 開発項目① 温度・滞留時間可変迅速評価システム
高周波分析装置
- 開発項目② 高圧反応解析用高分解能NMR装置
- 開発項目③ 連続測定型ガスロ・質量分析計
電磁界エネルギー供給評価装置

【実用化への加速】

開発したナノ空孔固定化分子触媒を用いて、最終目標値(原料転化率80%以上、選択率90%以上)を上回る反応成績(原料転化率88%、選択率94%)を早期に達成。(平成20年7月:特願2008-181562)。SO₂からの環状イオウ酸エステル合成では世界最高レベル。高圧SO₂ガス雰囲気下、実反応温度下(室温~150℃)での反応挙動をその場観察できる高圧反応解析用高分解能NMR装置を導入することにより、早期実用化を目指すため加速を実施。

加速予算合計 : 353(百万)

23/53

概要説明 報告の流れ

公開

I. 事業の位置づけ・必要性

NEDO(中山)

- (1)事業の背景
- (2)事業の位置付け
- (3)事業の目的
- (4)NEDOが関与する意義
- (5)政策的意義
- (6)実施の効果(費用対効果)

II. 研究開発マネジメント

NEDO(上松)

- (1)事業の目標
- (2)事業の計画
<全体スケジュール、開発予算、実施体制>
- (3)研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメント
- (4)研究の運営管理
- (5)情勢変化への対応

III. 研究開発成果

長谷部PL

- (1)開発項目と体制
- (2)成果の概要
- (3)成果の普及、広報活動

IV. 実用化、事業化の見通し

- (1)共通基盤技術、実用化技術の展開
- (2)実用化に向けたシナリオ
- (3)実用化推進、人材育成のための体制

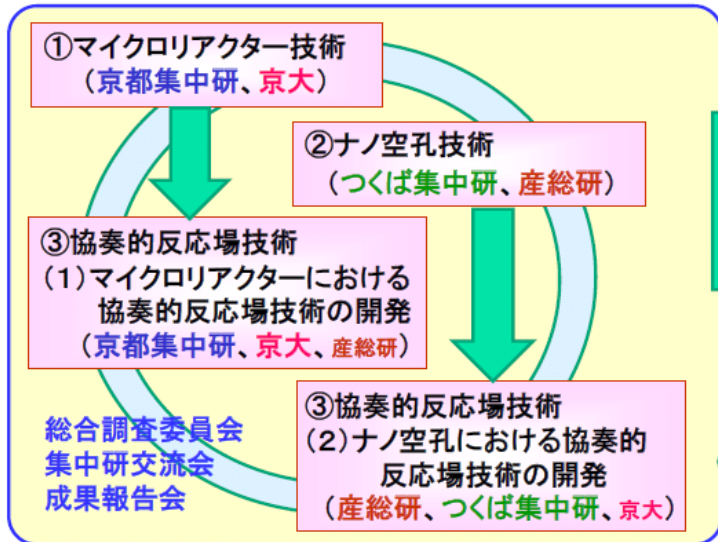
24/53

Ⅲ. 研究開発成果

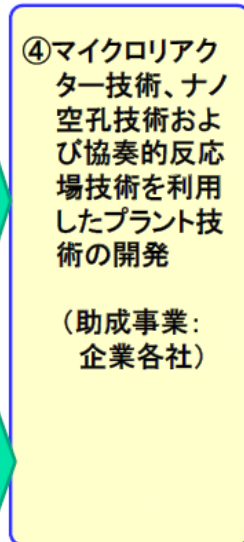
公開

1) 研究開発項目と体制

■ 基盤研究



■ 実用化研究



集中研：マイクロ化学プロセス技術研究組合集中研究所

25/53

2) 成果の概要

① マイクロリアクター技術

公開

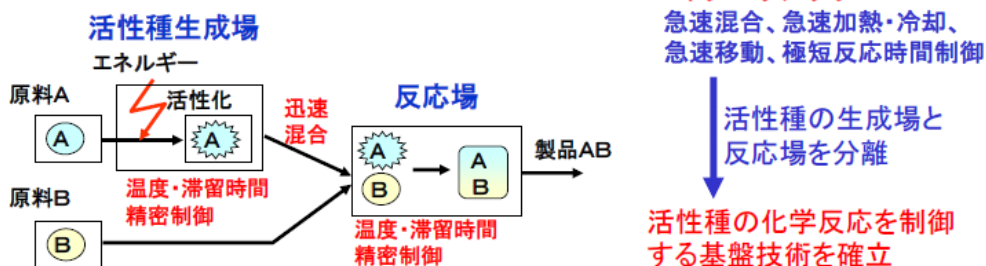
① マイクロリアクター技術

MCPT、京大、阪府大(再)

■ 研究開発の目標

マイクロリアクター中の活性種の生成場と反応場を分離し、急速混合、急速加熱・冷却、急速移動、極短反応時間制御などにより、活性種の化学反応を制御する基盤技術を確立する。これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬品中間体などの製造に必要な材料を開発する。

■ 活性種生成場と反応場の分離



反応系探索 + デバイス + プロセス技術 → 迅速な実用化

26/53

開発目標と達成状況

公開

MCPT、京大、阪府大(再)

(1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立

| 最終目標 | 達成度 | 根拠 |
|------------------------------------|-----|--|
| (a) 各種活性種に対して、寿命と望ましい急速混合技術の関係の体系化 | ○ | ・生成物の収率を温度-滞留時間に対してマッピングすることにより各温度での活性種の寿命評価法を確立 |

(2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発

| 最終目標 | 達成度 | 根拠 |
|--|-----|--|
| (a) 急速昇降温、精密温度制御、短滞留時間等が可能なマイクロ反応器の形状設計手法を開発 | ◎ | ・流体セグメントサイズという新パラメータにより混合状態を記述できるモデルを構築し、マイクロ反応器の形状まで考慮した設計法を世界で初めて提示、確立 |
| (b) 広範囲な活性種寿命に対応できるデバイスコンポーネントの開発 | ○ | ・デバイスコンポーネントをパイプレスでアセンブルするマイクロリアクターを開発するとともに実際の反応系で実証 |
| (c) 制御・監視システムを開発し、実験プラントへ実装 | ○ | ・少数の測定情報から未知の状態量を推定するシステムを開発し、実験マイクロで実証。 ・並列システムの閉塞検出方法を開発し、実験により妥当性を検証 |

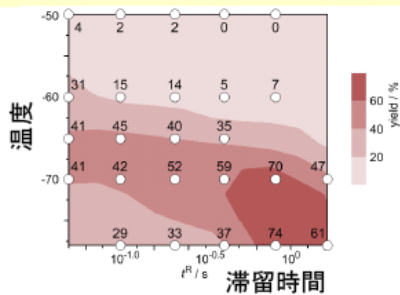
◎: 大幅達成、○: 目標達成、△: 未達 27/53

開発目標と達成状況

公開

MCPT、京大、阪府大(再)

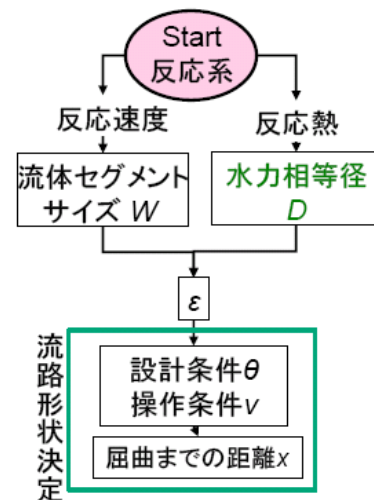
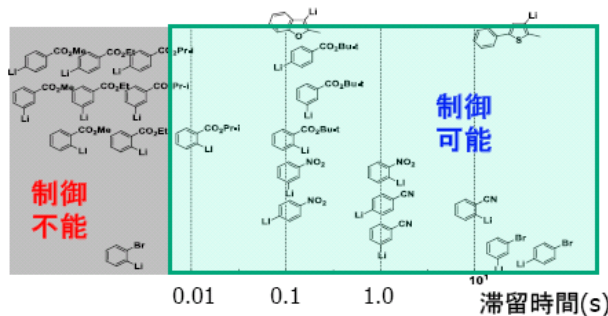
(1)(a) 寿命と望ましい急速混合技術の関係の体系化



(2)(a) マイクロ反応器の形状設計手法を開発

エネルギー散逸率
 $\epsilon = \text{圧力損失} / (\text{密度} \times \text{滞留時間})$

マイクロデバイス
 経験的に設計
 ↓
 世界で初めて形状設計法を確立



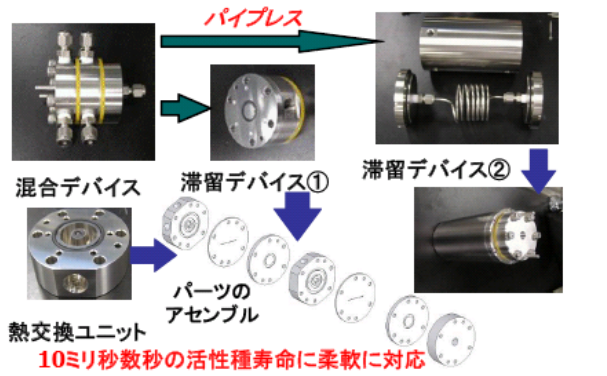
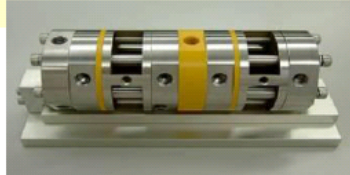
28/53

公開

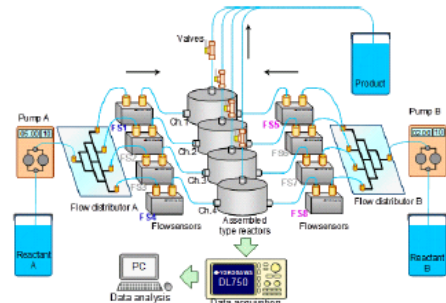
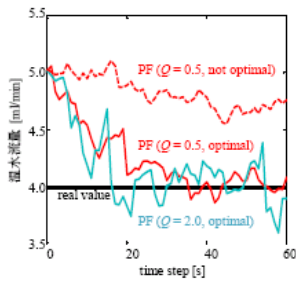
MCPT、京大

開発目標と達成状況

(2)(b) 広範囲な活性種寿命に対応できるデバイスコンポーネントの開発



(2)(c) 制御・監視システムを開発し、実験プラントへ実装



29/53

公開

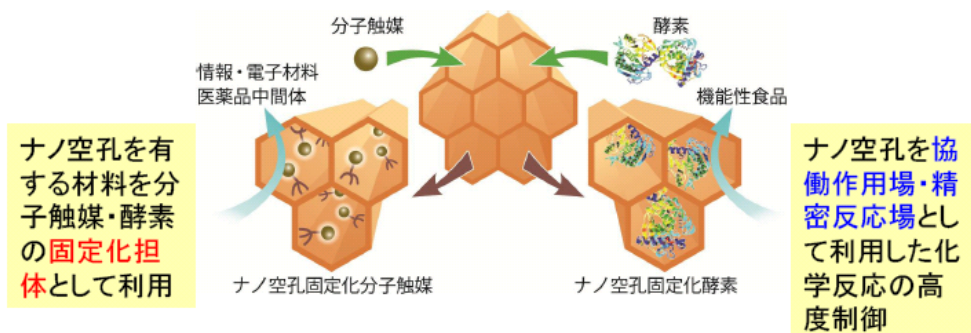
MCPT、産総研、東大(再)、横浜国大(再)

②ナノ空孔技術

■基本計画の目標

ナノ空孔を有する材料を利用して分子触媒・酵素を固定化し、ナノ空孔反応場と分子触媒・酵素の協働作用を活かす高選択的な合成法の基盤技術を確認する。また、これらの技術を展開し、機能性化学品を開発する。

■規則的ナノ空孔へ分子触媒、酵素を固定化



30/53

開発目標と達成状況

公開

MCPT、産総研

(1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発

| 最終目標 | 達成度 | 根拠 |
|---|-----|---|
| ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用の優位性により、転化率、選択率を実用レベルまで向上させる。 | ◎ | ・有機ヒドロキシルアミン類の合成において、 転化率99%、選択率98% 。 ・環状サルファイト合成において、 転化率99%、選択率97% 。 |

(2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発

| | | |
|------------------------------|---|---|
| 酵素固定化により、実用レベルの繰り返し使用を可能とする。 | ○ | アミノ酸等の合成酵素について実用化の指標となる 50回以上 の繰り返し使用。 |
|------------------------------|---|---|

(3) ナノ空孔固定化触媒の開発

| | | |
|--|---|--|
| 分子触媒レベルの反応効率を達成し、かつ実用可能レベルの触媒リーチング抑制技術を開発する。 | ○ | ・鈴木カップリングで クロロ体基質 を用いて 収率95% 、不斉水素化では 不斉収率95% ee 。 ・目的物中の 残留金属濃度0.2 ppm以下 。 |
|--|---|--|

(4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立

| | | |
|---|---|--|
| 協働作用発現機構のモデルを提案、また工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法を開発する。 | ○ | ・Al-MCM-41空孔内の 歪んだAl^{IV}サイト がルイス酸点として機能する協働作用発現機構を提案。 ・ アリアルシラン 類を用いた新規な有機基固定化手法を開発。 ・ナノ空孔特性(サイズ適合性 や 高多孔性)が酵素特性(立体構造や活性挙動)に作用するモデルを提案。 |
|---|---|--|

◎: 大幅達成、○: 目標達成、△: 未達

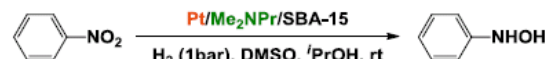
31/53

開発目標と達成状況

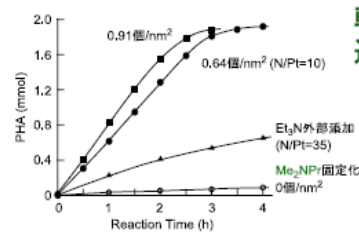
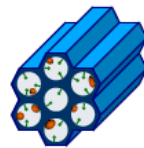
公開

MCPT、産総研

(1) 有機ヒドロキシルアミン類の合成



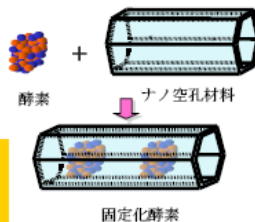
シリカ上に白金とアミノ基が隣接することで、芳香族ヒドロキシルアミンが**高効率**で生成!

Pt/Me₂NPr/SBA-15

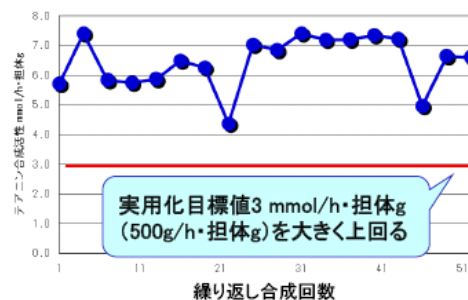
転化率: >99%
選択率: 96%

収率: 96%

(2) ナノ空孔固定化グルタミナーゼ



アミノ酸の合成酵素で**50回以上**の繰り返し使用を達成!



繰り返し合成回数

32/53

開発目標と達成状況

公開

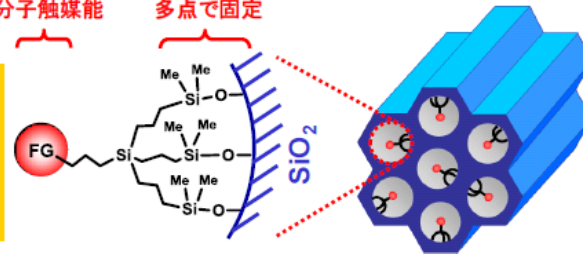
MCPT、産総研

(3)ナノ空孔固定化分子触媒

分子触媒能

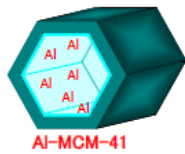
多点で固定

・多点結合により有機部位のリーチングを大幅抑制
(従来型 約50% → 6%)
・鈴木カップリング、不斉水素化で金属リーチング 0.2 ppm以下!

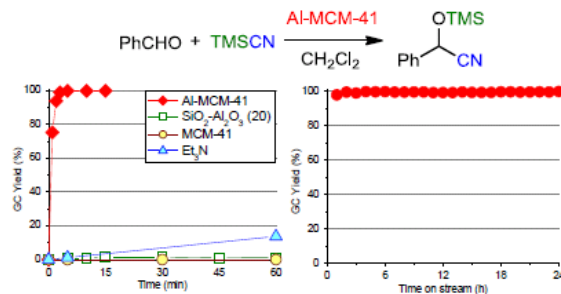


ナノ空孔固定化分子触媒

(4)ナノ空孔反応場利用技術



シリカ骨格内のAlと規則性メソ細孔構造が重要!(協働効果)



Al-MCM-41触媒によるシアノシリル化

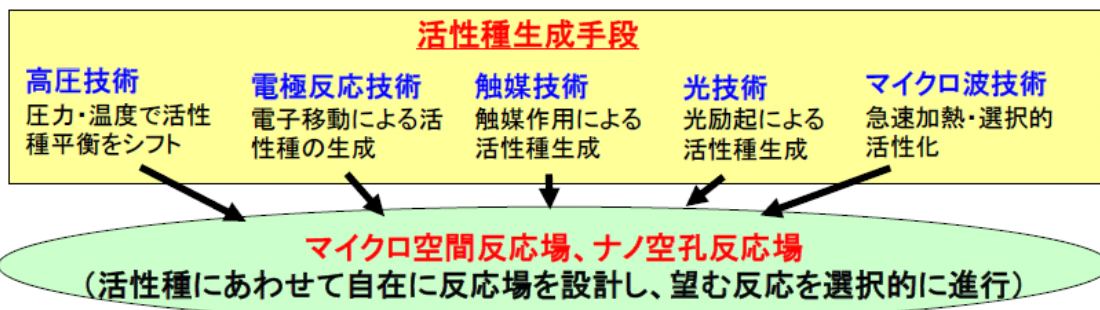
33/53

③協奏的反應場技術

公開

■基本計画の目標

マイクロ波、光、電場等のエネルギー供給手段、あるいは高温高压、反応媒体等が提供する反応場とマイクロリアクター、ナノ空孔との協奏的反應場を制御する基盤技術を開発する。また、協奏的反應場を応用した、機能性化学品を開発する。



■研究項目

1. マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発
2. ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発

34/53

③協奏的反應場技術

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

公開

MCPT、京大、産総研、東工大(再)、
東北大(再)、三重大(再)

(a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立

| 最終目標 | | 根拠 |
|---------------------------|---|--|
| 1) 電流効率が90%以上の電解プロセス開発 | ○ | ・トルエン誘導体の酸化反応では 電流効率95%達成 |
| 2) パイロットプラントでの連続運転 | ○ | ・ ミゼットプラントを構築し、連続運転を実施。 |
| 3) 転換率が90%以上の光反応合成プロセスの開発 | ○ | ・芳香族アルデヒド合成で 収率91%達成 ・ 閉塞防止機能開発 により、長時間の連続運転を達成 |
| 4) マイクロ波利用装置の形状設計法の開発 | ◎ | ・ 電磁波と熱流体シミュレーション連成形状設計法 開発 ・ 温度制御機能付き マイクロ波利用反応器開発 |
| 5) ナノ粒子製造プロセスの設計手法の確立 | ○ | ・温度制御による過飽和を制御する方法をベースとした 設計手法を提案 |

(b) 高圧との協奏的反應場技術の開発

| 最終目標 | 達成度 | 根拠 |
|---------------------------------|-----|---|
| 1) 50MPa以上で混合時間0.01秒以下の耐食システム開発 | ○ | ・ 500°C、50 MPaまでの超臨界水中で腐食性流体 を扱えるマイクロ製造プロセスを開発し、連続運転で実証 |
| 2) 各種高機能材料生成のための選択的反應技術の開発 | ◎ | ・クライゼン転位反応で 選択率100% を実証。 ・ 世界で初めて、硫酸フリーでの超臨界水中での芳香族のニトロ化反応 に成功 |

◎: 大幅達成、○: 目標達成、△: 未達 35/53

③協奏的反應場技術

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

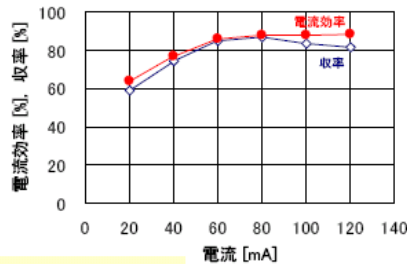
開発目標と達成状況

公開

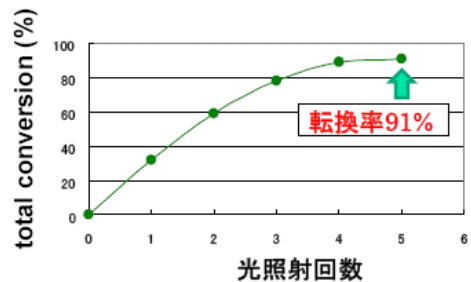
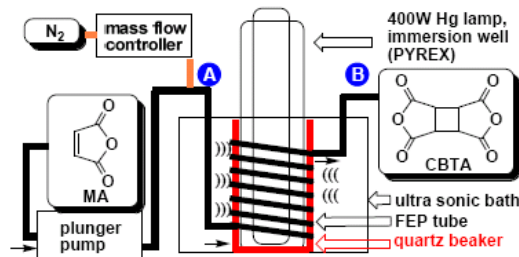
MCPT、京大、東工大(再)

(a)1) 電流効率が90%以上の電解プロセス開発

(a)2) パイロットプラントでの連続運転



(a)3) 転換率が90%以上の光反応合成プロセスの開発



36/53

③協奏的反應場技術

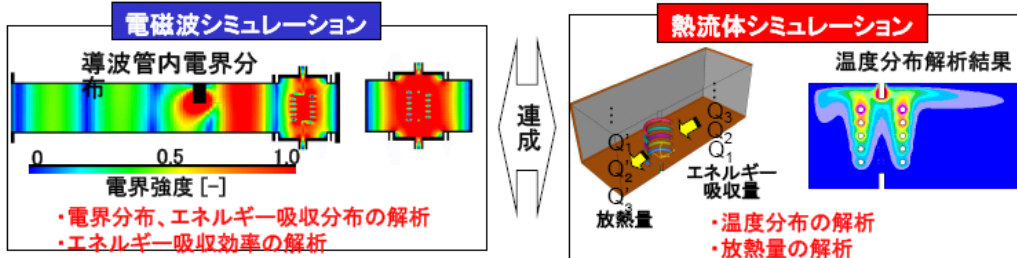
(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

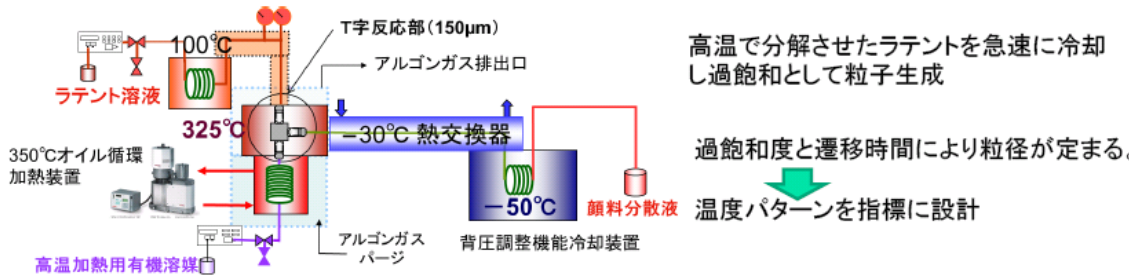
公開

MCPT、京大

(a4) マイクロ波利用装置の形状設計法の開発



(a5) ナノ粒子製造プロセスの設計手法の確立



37/53

③協奏的反應場技術

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

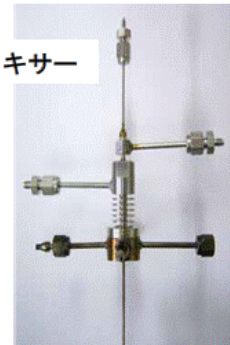
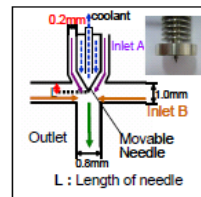
公開

MCPT、京大、産総研、三重大(再)

(b1) 50MPa以上で混合時間0.01秒以下の耐食システム開発

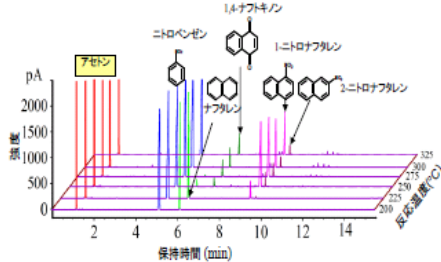


ニードル式高温高圧マイクロミキサー



(b2) 各種高機能材料生成のための選択的反應技術の開発

ナフタレンのニトロ化結果



これまでの常識を覆し、ニトロ化反応が高温高圧水下、希硝酸を窒素源として硫酸フリー・無触媒で進行(世界初)

250°C・40MPaで実用化ターゲットのニトロナフタレンが91%と高収率

38/53

③協奏的反應場技術

(2)ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

公開

産総研、MCPT、京大、阪府大(再)、東大(再委託)、横国大(再委託)

(a)マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発

| 最終目標 | 達成度 | 根拠 |
|--|-----|--|
| 反応系の特徴を考慮したリアクター設計手法を確立する | ◎ | 加熱時の誘電特性変化傾向を基に、温度・組成変化に追従したシステムの設計法を確立。さらにリアクター・反応場設計に役立つ 誘電特性パラメータ1300点を測定 。 |
| 40%以上のエネルギー有効利用を可能とするマイクロ波照射技術を開発する。 | ○ | 最高99.9%のエネルギー投入効率(反応場へのマイクロ波投入効率)および 最高51%のエネルギー有効利用率 (装置の消費電力量に対する利用率)を可能にする照射技術を開発。 |
| 実用レベルの転化率(40%以上)選択的に位置異性体を合成する触媒反応技術を開発する。 | ◎ | 機能性化学品製造に関わる芳香族修飾反応で、 転化率および選択率がともに最高90%以上となる触媒反応技術を開発 。 |

(b)マイクロリアクター、マイクロ波及び反応媒体利用触媒反応技術の開発

| 最終目標 | 達成度 | 根拠 |
|---|-----|--|
| 水を反応媒体、原料とする反応において95%以上の転化率と選択率 | ○ | 95%以上の転化率、選択率を達成、一部の物質において 99%の転化率、選択率 を達成。 |
| アミノ酸の合成酵素において、50回以上の繰り返し利用を可能とする。 | ◎ | アミノ酸合成酵素—ナノ空孔材料複合体を担持したマイクロリアクターを用い、 パッチ式反応50回以上に相当する繰り返し耐久性 を達成した。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 有機窒素化合物、有機硫黄化合物の製造において転化率80%以上、選択率95%以上 炭素炭素結合生成触媒性能として低反応器室を用いて収率90%以上。 不斉水素化触媒の性能として、分子触媒と同等の不斉収率を達成。 | — | これらの最終目標は②ナノ空孔技術で達成済み。 |

◎:大幅達成、○:目標達成、△:未達 39/53

③協奏的反應場技術

(2)ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

公開

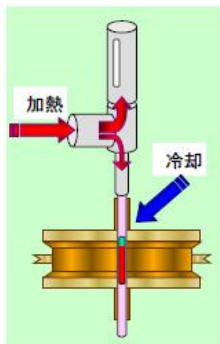
産総研、MCPT、阪府大(再)

■主な研究成果

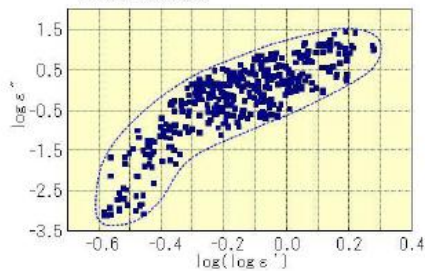
③(2)(a)

1)複素比誘電率測定装置

-196~350°Cの範囲で複素比誘電率(比誘電率、非誘電損率)の測定が可能。

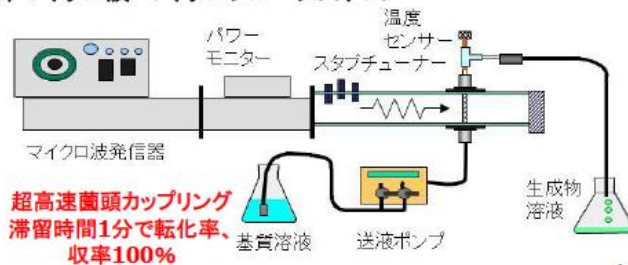


2)誘電特性パラメータの収集(空洞共振器法)



1300点(単一系700、混合系600)のデータを収集

3)マイクロ波-マイクロフローシステム



超高速菌頭カップリング
滞留時間1分で転化率、収率100%

③協奏的反應場技術

(2)ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発

公開

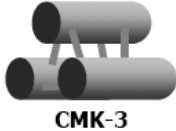
開発目標と達成状況

産総研、MCPT、横国大(再)

■主な研究成果

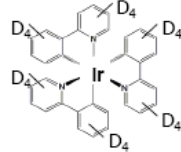
③(2)(b)

2)メソポーラスカーボン

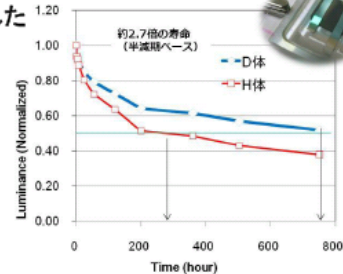


Pd/CMK-3はマイクロ波照射下での鈴木カップリングに高い活性

1)重水素化部材を使用したOLED発光素子

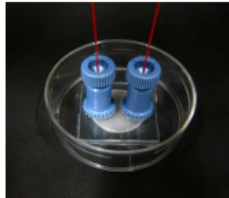


重水素化発光材料



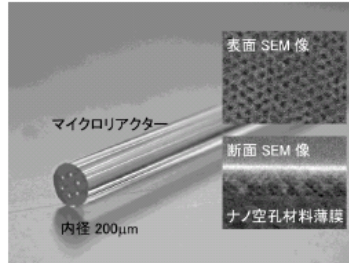
OLED素子寿命の向上

3)ナノ空孔反応場とマイクロリアクター技術の融合



グルタミナーゼ固定化マイクロリアクター

酵素活性の維持に有効



規則性ナノ空孔材料をマイクロリアクター内壁に形成

リパーゼ固定マイクロリアクター
→ 対バッチ比800倍の活性
分子触媒マイクロリアクター
→ 対バッチ比10倍の活性

41/53

④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反應場技術を利用したプラント技術の開発

④マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術および協奏的反應場技術を利用したプラント技術の開発

公開

日油、山田化学、日立、太陽化学、和光純薬、エヌイー・ケムキャット

■基本計画の目標

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反應場を幅広く工業的に利用可能とするためのプラント技術を開発する。

■得られた成果

- 1) マイクロ空間と高圧の協奏的反應場にてニトロ化合物の生成と転換に関するプロセスを組み立て小規模多品種型生産体制を構築
- 2) マイクロ反應場を利用し、ジアリールエテン類の量産化技術を開発
- 3) 処理量増大を目的として、4つの反應場で並列してマイクロ波により加熱処理できるマイクロ波利用協奏的マイクロリアクター汎用プラントを開発
- 4) ナノ空孔材固定化酵素を用いた連続反應設備を導入、機能性食品の環境負荷低減且つ低コスト生産に成功
- 5) 複数の光源と温度センサーを有するラボ検証装置を用い、生産性の向上と長時間連続安全運転を確認
- 6) ナノ空孔に活性金属を固定化した工業触媒製造技術を開発
- 7) アルキルヒドロキシルアミンの合成において、Pd触媒の活性変化及び耐久性を検証し、リサイクルが50回可能であることを確認

42/53

3) 成果の普及、広報活動

公開

■ 成果の公表(プロジェクト全体)

| | 論文 | | 学会等発表 | | その他外部 発表 (招待講演、解 説記事、新聞 発表、出展等) | 特許 出願 (内、外国 出願) |
|-----------|------------|-----------|------------|------------|---|--------------------------|
| | 査読付 | 査読無 | 口頭 | ポスター | | |
| 平成18年度 | 17 | 2 | 44 | 41 | 16 | 5(1) |
| 平成19年度 | 32 | 3 | 71 | 33 | 19 | 23(1) |
| 平成20年度 | 46 | 10 | 158 | 75 | 5 | 18(2) |
| 平成21年度 | 36 | 4 | 87 | 92 | 16 | 15(2) |
| 平成22年度 | 46 | 6 | 62 | 38 | 47 | 12(0) |
| 総計 | 177 | 25 | 422 | 279 | 103 | 73(6) |

43/53

3) 成果の普及、広報活動

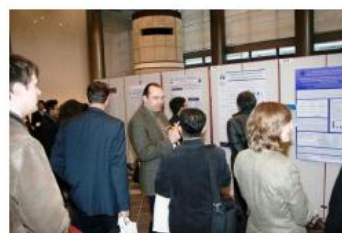
公開

■ 成果の発信

- ・第5回マイクロ化学プラント国際シンポジウム(H19.1.29-30) 主催:MCPT
- ・マイクロ化学プロセスと合成に関する国際シンポジウム(H20.9.11-13) 主催:MCPT
- ・第11回マイクロ反応技術に関する国際会議(IMRET 11, H22.3.8-10)
主催:化学工学会(本プロジェクト関係者が中心となり運営)
参加者数:321名(内 海外26カ国118名)
- ・INCHEM TOKYO プラントショーにて成果をPR (H19、H21)
- ・国際ナノテクノロジー総合展・技術会議にて成果をPR (4回:H20~H23)
- ・研究期間全体で、56回の招待講演、依頼講演



INCHEM TOKYO プラントショー



IMRET 11

44/53

3) 成果の普及、広報活動

公開

■人材教育

本プロジェクト関係者が中心となり産業人材育成パートナーシップ事業に応募
H20-21年度実施

マイクロ化学プロセス人材育成事業

I マイクロ化学プロセス入門コース

- 1 マイクロ化学プロセス入門(3)

II マイクロ化学プロセス実践コース

- 1 マイクロ合成化学(12)
 - 2 マイクロ化学工学(12)
 - 3 マイクロ化学プロセス実習(基礎実験)(12)
 - 4 マイクロ化学プロセス演習(CFDシミュレーション)(8)
 - 5 マイクロ化学プロセス特論 I (デバイス・装置)(3)
 - 6 マイクロ化学プロセス特論 II (適用事例)(3)
- ()内はコマ数



テキストと自習用ビデオ

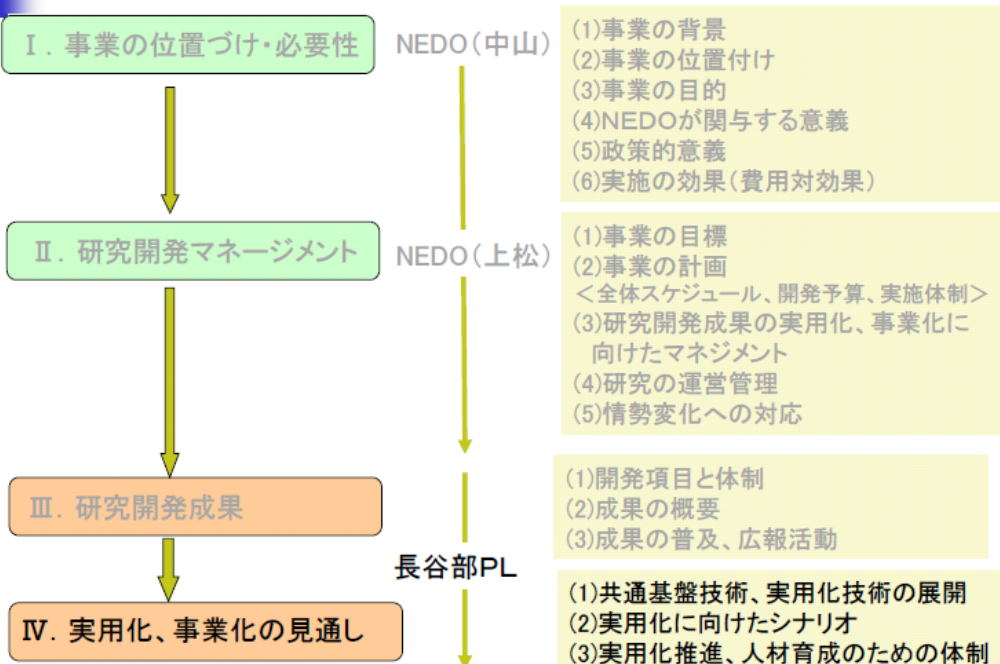


H22年度より自立化

45/53

概要説明 報告の流れ

公開

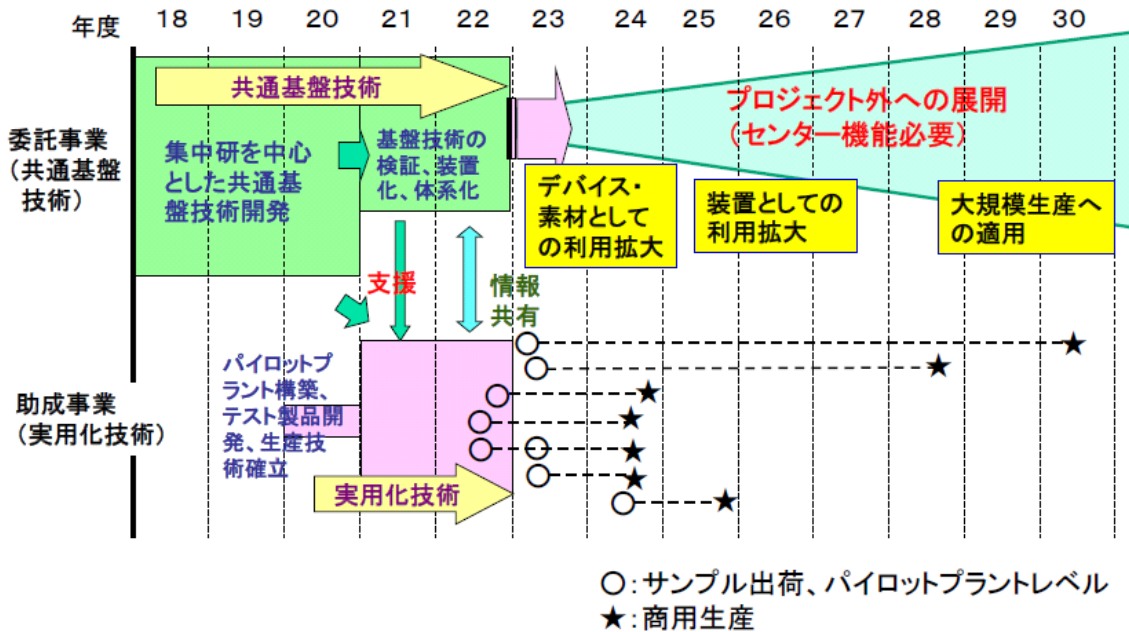


46/53

IV. 実用化・事業化の見通し

1) 共通基盤技術、実用化技術の展開

公開



47/53

2) 実用化に向けたシナリオ

① マイクロリアクター技術

公開

MCPT、京大、阪府大(再)

| 研究項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、シナリオ | 波及効果 |
|--|--|--|
| ①(1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立 | <ul style="list-style-type: none"> 既存反応プロセスの効率化だけでなく、これまでのバッチ型プロセスでは合成困難な化合物群合成に積極的に利用することが、本技術の有用性や利用価値を飛躍的に向上させる上で重要。 各種機能性材料や医薬品中間体の高機能化に向けた新規化合物の合成に本技術を積極的に利用していくことが実用化の道を開く上で重要。 | <ul style="list-style-type: none"> 短寿命活性種を利用した広範囲の反応の工業プロセス実現。 |
| ①(2) 活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と生産システム化に関する共通基盤技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 開発した基盤技術はすでに実用化に提供されているが、今後さらに拡大するには、1)原料供給技術、リアクター材料開発、2)量産技術開発、3)マイクロデバイス用計測制御機器開発が重要。 すでに数千トン/年クラスのプロトタイプ設計済みで、2011年4月に京大に設立した産学連携コンソーシアムにて開発推進(向こう5年で実用化済みも含め10件程度は実用化と推測)。 | <ul style="list-style-type: none"> PJ外企業を中心に2社にて、商品販売中。他5社でも商品化、実機開発レベルに到達。 本質安全、プロセス1/10コンパクト化、装置によって製品品質制御などの特徴から今後の日本の化学産業の国際的優位性と保つ日本オリジナルな新技術に。 |

48/53

② ナノ空孔技術

公開

MCPT、産総研

| 研究項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、シナリオ | 波及効果 |
|--|--|---|
| ②(1): ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 ・洗浄剤/電池添加剤 | ナノ空孔固定化触媒を利用して、廃棄物が併産しないプロセスを構築。触媒の再利用、再活性化により 製造コストを低減 し、現行品よりも安価で高品質な製品を供給。 | ・従来技術より廃棄物が削減され、環境負荷が低減。 ・Li電池市場への安価で高品質な電池添加剤の提供。 |
| ②(2): ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発 ・サプリメント等 | サプリメント製造用酵素のナノ空孔への安定的固定化に成功。 スケールアップ化 に必要な成形技術の開発、通液反応条件の最適化が課題。 | 食品関連化学品の高効率生産プロセスの普及・拡大を加速。 |
| ②(3*): ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発 ・バイオリアクター等 | 製造量を増やすことでの 低価格化 が課題。 部材化 (膜化、紙や繊維への導入、ハニカム化)、様々な分野への用途展開についても検討。 | 触媒・酵素固定化担体、吸着剤、ドラックデリバリー等医療用材料としての利用拡大。 |
| ②(3): ナノ空孔固定化触媒の開発 ・ファインケミカルズ製造触媒等 | 高い反応性・選択性と金属溶出抑制の性能を併せ持つ世界トップレベルの触媒。既存触媒に比して製造コストが高い点が課題。 触媒製造コストの低減 を図り、供給体制を整備。 | 医農薬中間体、電子材料などのファインケミカル分野における高付加価値化学品の製造プロセスを高効率化。 |
| ②(4): ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立 ・利用拡大/普及等 | ・協働作用場としてのナノ空孔利用の 体系化 、不斉源で表面修飾した触媒による不斉合成への展開。 ・酵素活性を最大化する固定化技術を確立。固定化酵素による化成品の生産へと展開。 ・安定なシラン化合物による触媒固定化技術を開発。基質の適用範囲の拡大へと展開。 | ・各種ファインケミカルズの高効率・低環境負荷製造プロセスの実現。 ・高品質、高性能部材の創出。 ・革新的ハイブリッド材料開発への発展。 |

49/53

③ 協奏的反応場技術

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

公開

MCPT、京大、産総研、東工大(再)、
東北大(再)、三重大(再)

| 研究項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、シナリオ | 波及効果 |
|---|--|---|
| (1) (a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立 ・マイクロ波、電気エネルギー、光エネルギー利用装置の普及 ・ビルドアップ型微粒子製造 | <ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ波、光エネルギー利用装置に関しては実用化段階。適切な規模で量産の対象となる物質の選定が課題。この問題解決には、装置を普及させ、利用者増をはかる必要がある。 ・電気エネルギー利用装置に関しては、量産のための並列化技術開発が必要。 ・ビルドアップ型微粒子製造に関しては、基本技術は完了。コストに合う製品開発、低コスト原料開発が鍵。 | <ul style="list-style-type: none"> ・連続式マイクロ波利用反応器の普及により、反応に対するマイクロ波の効果がより明確になる。その結果、局部加熱効果を利用した様々な効率的な反応が提案される可能性がある。 ・連続式光反応装置の普及により、R&Dが効率的に進められ、様々な効率的な反応が提案される可能性がある。 |
| (1) (b) 高圧との協奏的反応場技術の開発 ・ニトロ化合物製造 ・カルボニル化 ・医農薬中間体製造 ・芳香族、脂肪族アシル化(エステル化、アミド化など) ・クロスカップリング反応 ・ナノ粒子 | <ul style="list-style-type: none"> ・すでにニトロ化を対象に実用化研究で一定の成果を得ているが、広範囲の対象に対して実用化を推進するには、 ①チタンライニングのインコネル管・継ぎ手による耐酸性能の長時間での耐食性の実証、 ②化成品製造を視野に入れた量産化技術の課題を解決していく必要あり。 <p>これらは、実用化の最終段階であり、ニトロ化の実機開発を推進している日油と連携し5年後には実用化達成を目標に推進する。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・PJ外企業とクロスカップリング技術の製造技術開発を推進(2015年までにベンチプラント実証、サンプル出荷、2020年までに大量生産予定) ・高圧での熱移動の迅速化、苛酷な条件下で容易な操作、耐食構造、スタートアップ/シャットダウンが容易、高圧水の特異な反応場を自在に制御などの特徴から、触媒フリー、溶剤フリーといった省エネルギー・省資源型有機合成、ナノ粒子製造などを誘導 |

50/53

③協奏的反応場技術

(2) ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

公開

産総研、MCPT、京大、阪府大(再)、東大(再)、横国大(再)

| | 研究項目 実用化・出口イメージ | 実用化に向けての解決課題、シナリオ | 波及効果 |
|-----------------------|---|---|---|
| 利用 マイクロ 技術 波 | (a)-1, 2, 3 ・誘電特性パラメータ 測定手法 ・化学反応用リアクター | ・広い温度域(液体窒素温度~350°C)における有機材料、触媒の誘電特性パラメータの測定に成功。今後は、測定精度の向上、高誘電損失材料等へと展開。 | 成果を基にして ・誘電率測定システムの開発 ・小型マイクロ波照射装置の開発 |
| 協奏的 反応場 プロセス | (b)-1 安定同位体標識部材 (重水素、重酸素) | 一部重水素標識化合物については、 市販に向けた準備を開始 。今後は、本手法の適用範囲の拡大と重水素標識部材としての用途拡充。 | ・OLED材料としての耐久性向上を実証し、 材料メーカーとの共同研究を開始 。 |
| | (b)-2 ・炭素-炭素結合生成触媒 ・酵素固定化ナノ空孔触媒 ・酵素固定化マイクロリアクター ・触媒固定化マイクロリアクター | ・鈴木カップリング反応に適した高効率触媒系・反応場を開発。今後は具体的な高機能部材へと展開。 ・ナノ空孔固定化酵素を開発、今後はマイクロ流路への配列制御、流路あたりの処理量増大を図り、ファインケミカルズへと展開。 | 本研究開発において得られた知見を元に、関係する企業との連携を図ることにより、医薬中間体、電子材料等の ファインケミカルズの製造プロセスを加速 。 |

51/53

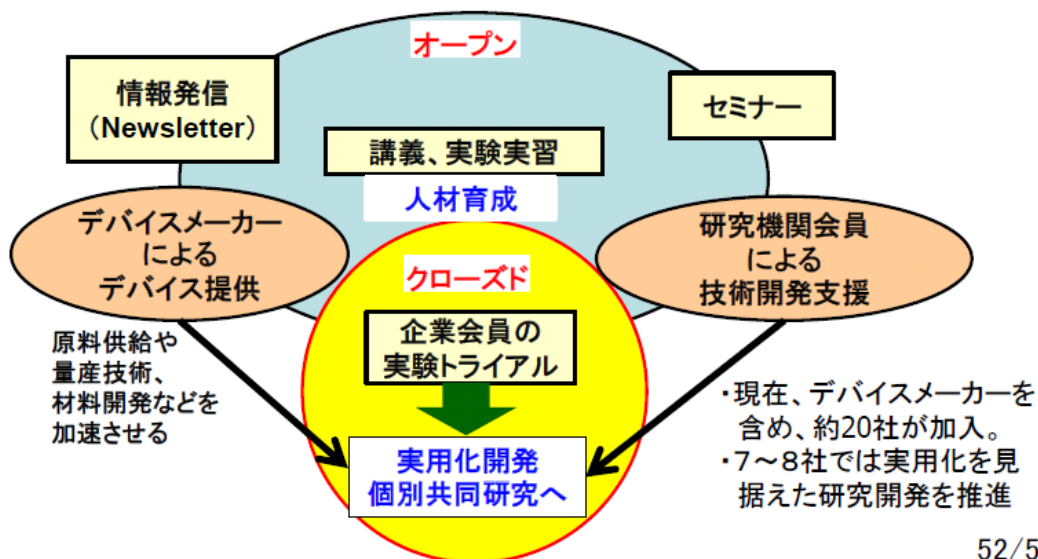
3) 実用化推進、人材育成のための体制

① マイクロリアクター

公開

■ センター機能の構築

京都大学 マイクロ化学生産研究コンソーシアム (H23.5 スタート)



52/53

3) 実用化推進、人材育成のための体制

公開

② ナノ空孔

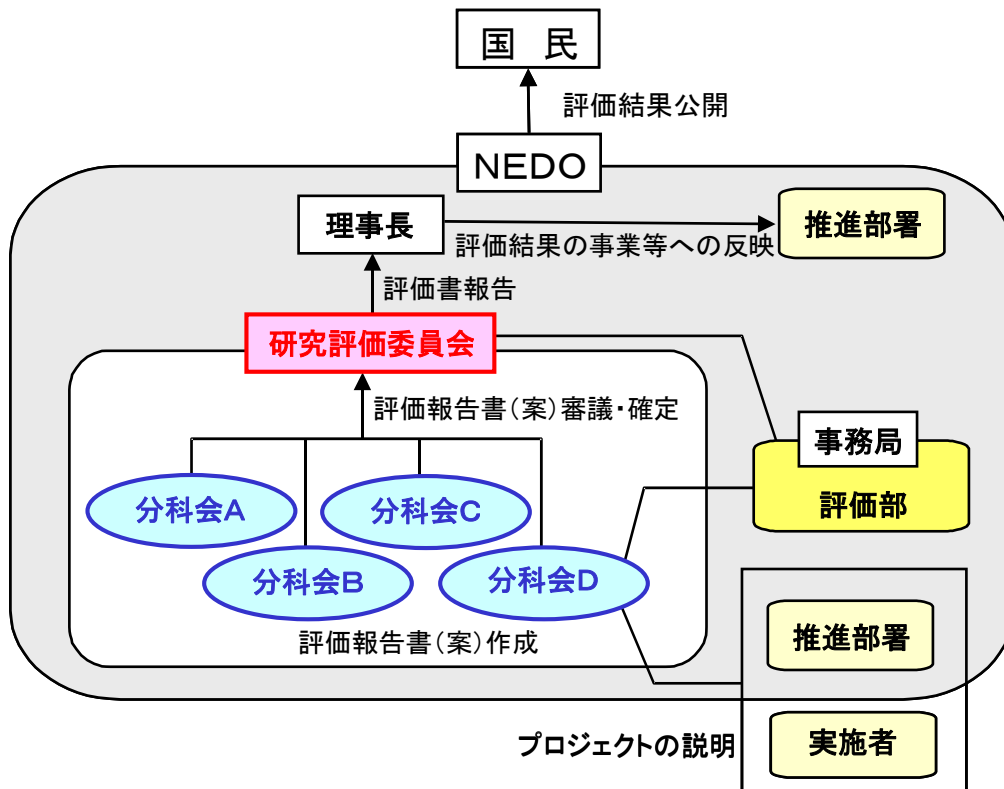


参考資料 1 評価の実施方法

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評価部が担当した。

3. 評価対象

平成18年度に開始された「革新的マイクロ反応場利用部材技術開発」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

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ものである。』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

- ・ 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。
- ・ 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。

標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

【事後評価 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事後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。
- ・ 研究管理法を介する場合、研究管理法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)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。(※)

(※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」)

- ・ 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。

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

- ・ N E D O後継プロジェクト、N E D O実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 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)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 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。

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。

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) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 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。

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。

参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

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）評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成23年11月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 内田 裕

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/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