

「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度について	III-25

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	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-32
V-3. その他外部発表一覧	V-104
V-4. 出願特許一覧表	V-117

<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。

この様な背景下において、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
P L	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	根拠
(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、 σ 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	根拠
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、 σ 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	根拠
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。	◎	<p>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応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。この成果は平成19年度に特許出願している（研究項目A）。</p> <p>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き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）。</p>
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。	◎	<p>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）。</p>
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。	◎	<p>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）。</p>
4) 微小容積複合計測装置を開発する。	◎	<p>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（研究項目D）。</p>
5) 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。	◎	<p>限られた数の温度センサの配置問題を扱う手法を提案し、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）。</p>

【最終目標】

最終目標	達成度	根拠
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	根拠
<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。また両触媒とも、目的物中の低残留金属濃度(1 ppm程度)を達成する。</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、ブ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>(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	根拠
<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。 ・ 同様の用途である環状チオカーボネート類のオキシラン及びチイランへの CS₂ 挿入反応による合成において、原料転化率 99%、選択率 98% 及び原料転化率 100%、選択率 98% をそれぞれ達成した。 ・ 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</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>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。

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	根拠
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 μ m 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 μ m 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 μ m 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 μ m の光反应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。	○	<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。

【最終目標】

最終目標	達成度	根拠
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	○	<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

<p>電解装置を開発する。 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>		<p>95%を達成した。</p> <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。
<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の設計手法を確立する。</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。

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	根拠
<p>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。</p>	◎	<p>ニードル式、スワール型、衝突式など計4種類の高温高圧ミキサーを試作し、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、CO₂ガスを利用できるマイクロリアクタ</p>

		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置いて、高圧回転撹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℃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	根拠
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。

<p>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。</p>	◎	<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。
---	---	--

3. 2 ナノ空孔における協奏的反應場技術の開発

3. 2. a マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反應技術の開発

【中間目標】

中間目標	達成度	根拠
<p>3. 2. a-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。 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應場開発に必要な誘電特性データを集積する。</p>	○	<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。
<p>3. 2. a-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應技術を開発する。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) を達成する反應システムを設計する。</p>	○	<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。
<p>3. 2. a-3 マイクロ波加速によるマイクロリアクター触媒反應技術 (触媒量 0.1 モル%以内、反應時間 1 分以内) を開発する。</p>	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ マイクロリアクターで反應時間 1 分の定量的なカップリング反應を達成した。触媒量 0.1 モル%以内に向け調整中。(平成 20 年度

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。

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	根拠
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。	◎	<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）。

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	根拠
<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。</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、水を反応媒体、水素源とするフェニルボロン酸類の還元反応において転化率 99%以上、選択率 99%以上を達成した。（最終目標達成） ・水を反応媒体、酸素源とするフェネチルアセトアミドの酸化反応において転化率 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にするとともに、触媒反応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応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	根拠
<p>3. 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</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</p>

<p>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>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)一(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>	<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。</p> <p>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。</p> <p>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>

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」、「計測とキャラクタリゼーション」、「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※」、「計測とキャラクタリゼーション※」、「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。

- ・ N E D O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（N E D O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・新構造技術開発ーうち新材料・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、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) 高圧との協奏的応答場技術の開発

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応答場技術の開発

(a) マイクロ波およびマイクロリアクターとの協奏的応答場技術の開発

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応答場技術の開発

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応答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、後述の協奏的応答場技術を用いて、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。後述の協奏的応答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応答場技術の開発

(a) 外部エネルギー利用協奏的応答場技術の開発

- 1) 電場との協奏的応答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) 光との協奏的応答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。

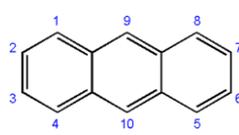
(b) マイクロリアクター、マイクロ波および反応媒体との協奏的反応場技術の開発

- 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ー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°C、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 に対する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℃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	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。 $Q \text{ (伝熱速度)} = U \text{ (総括伝熱係数)} A \text{ (伝熱面積)} \Delta T \text{ (温度差)}$
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アルとをクロスカップリングさせてアルキニル化アリアル（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	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。 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。
多孔質材料	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。
ダッシュマン反応	迅速混合性の評価を行なうための反応。 $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \quad (1)$ $5\text{I}^- + \text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ \leftrightarrow 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \quad (2)$ $\text{I}_2 + \text{I}^- \leftrightarrow \text{I}_3^- \quad (3)$ 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。
炭素アニオン種	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。
窒素吸着の測定	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。

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[$Al(O-iPr)_3$ など]やアミン化合物[$n-Bu_3N$ 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 $Re = \rho u L / \mu$ 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'-アゾビスイソプロピ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。
PEPPSI 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（2.45 GHz 帯では10～20 cm）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)

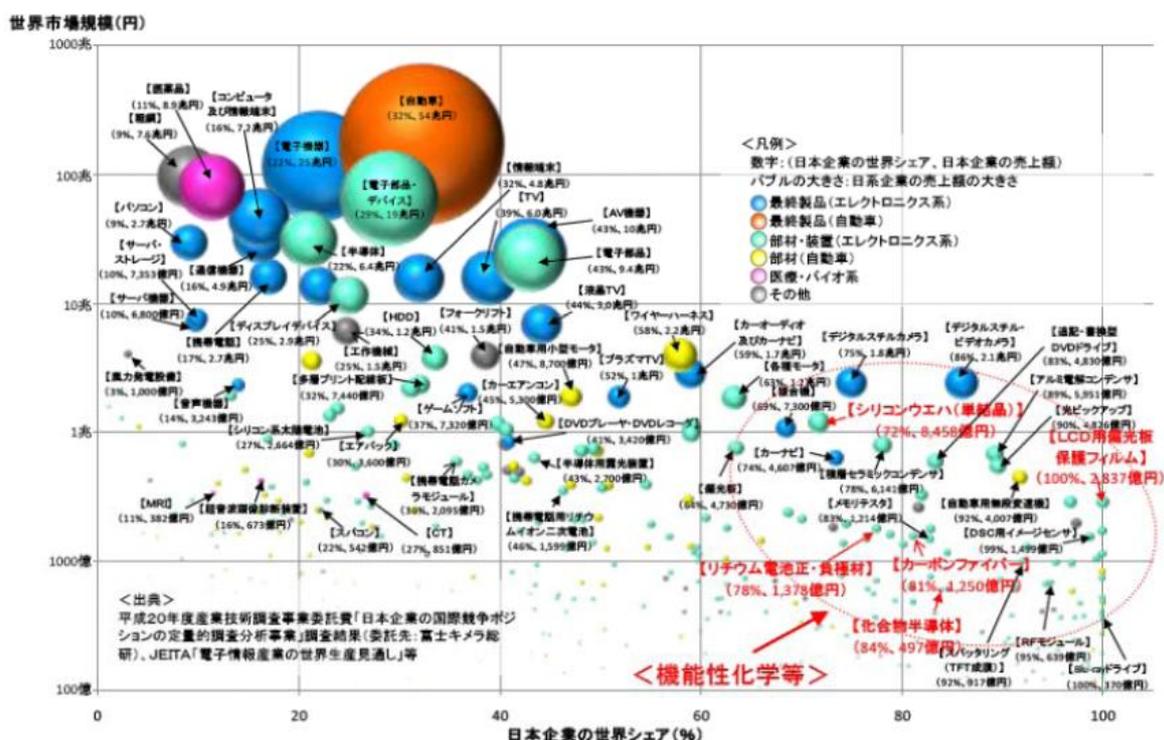


図1-1 主要製品・部材の市場規模と日本企業の世界シェア(2007年)

<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、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)

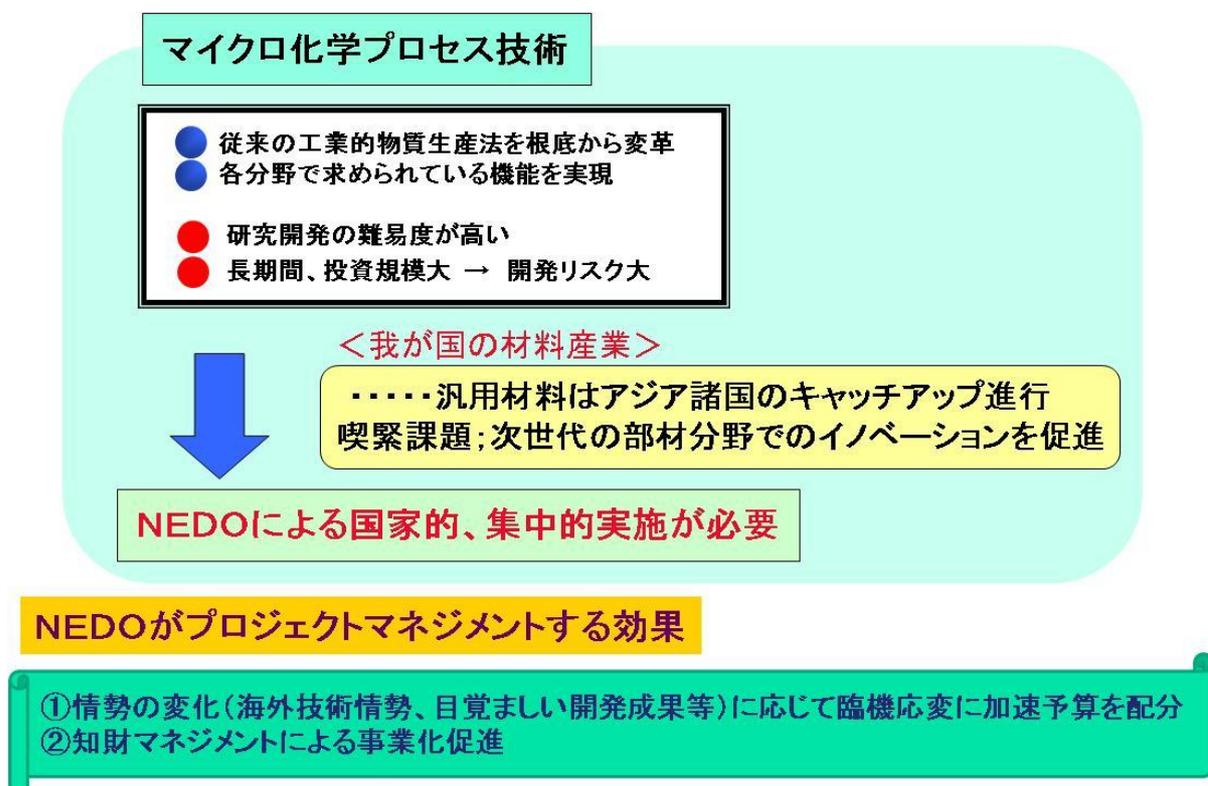


図1-2 NEDOが関与することの意義

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、環境的效果としては、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。

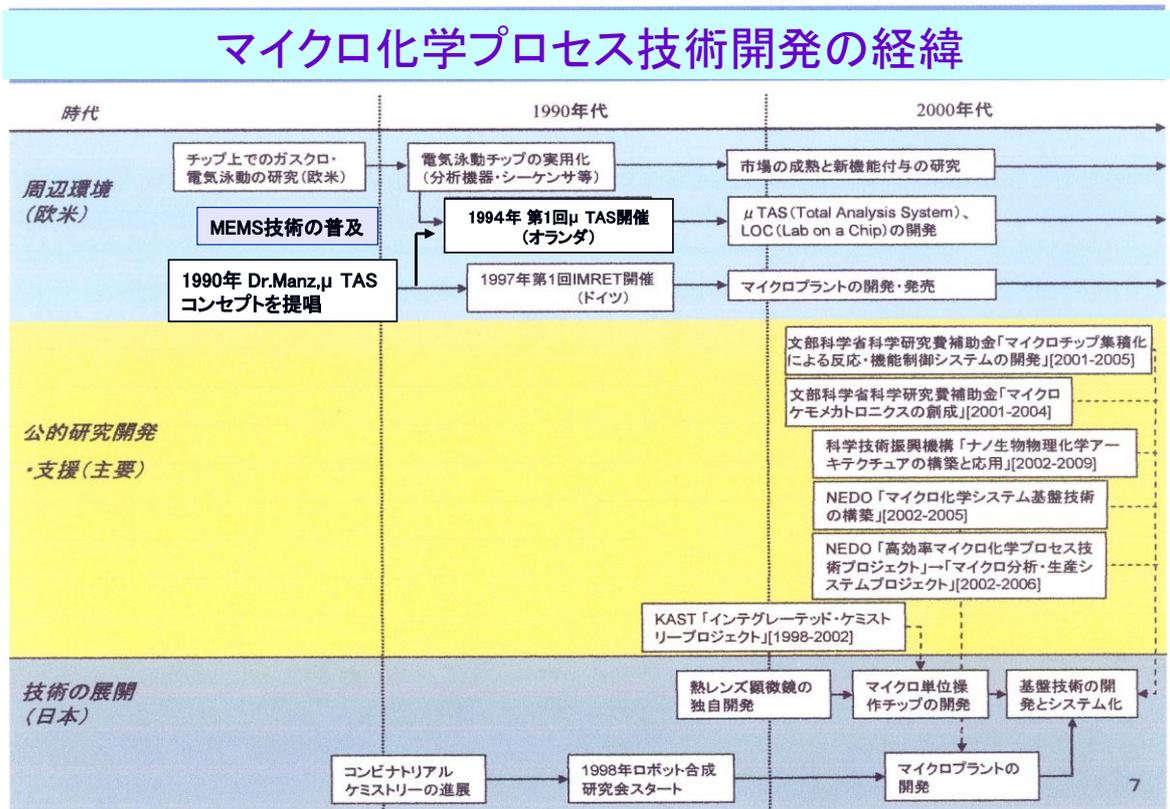
我が国では1990年代までに一部の大学で独自に研究が行われてきた。マイクロ化学プロセスの研究が取り上げられたのは、1998年、京大の吉田潤一教授がロボット合成研究会でマイクロリアクターの研究を⁴⁾、また東大の北森武彦教授がインテグレートド・ケミストリを提唱して連続フロー化におけるマイクロチップ技術の研究を開始⁵⁾されてからである。その後、数多くの研究所、大学がテーマとして取り上げて研究開発を積極的に取り組むようになった。

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。

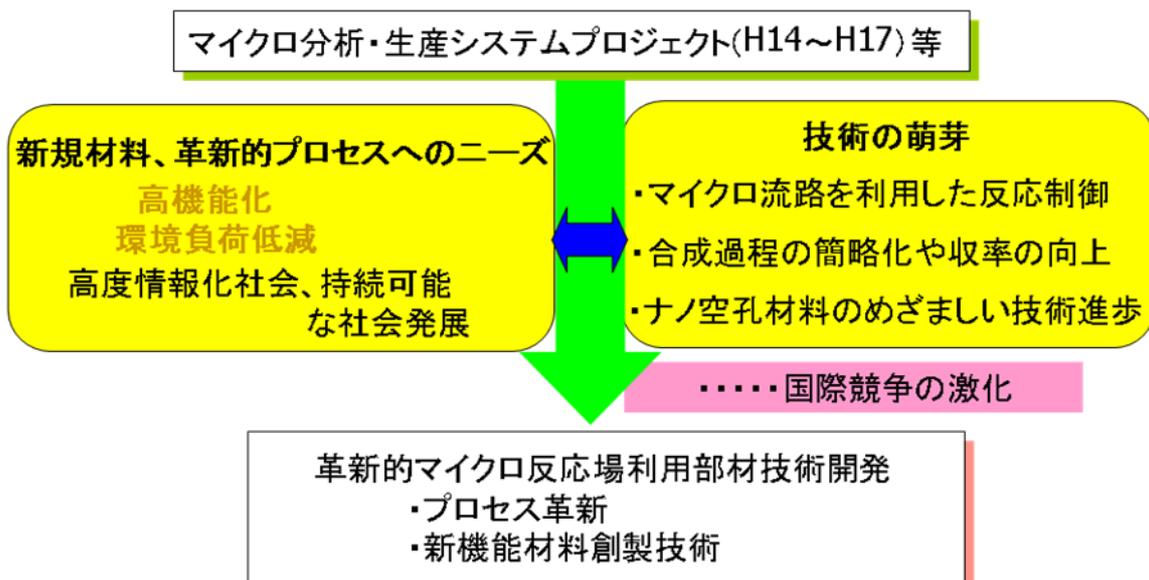
表 1-1 マイクロ化プロセス技術開発の経緯



(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)

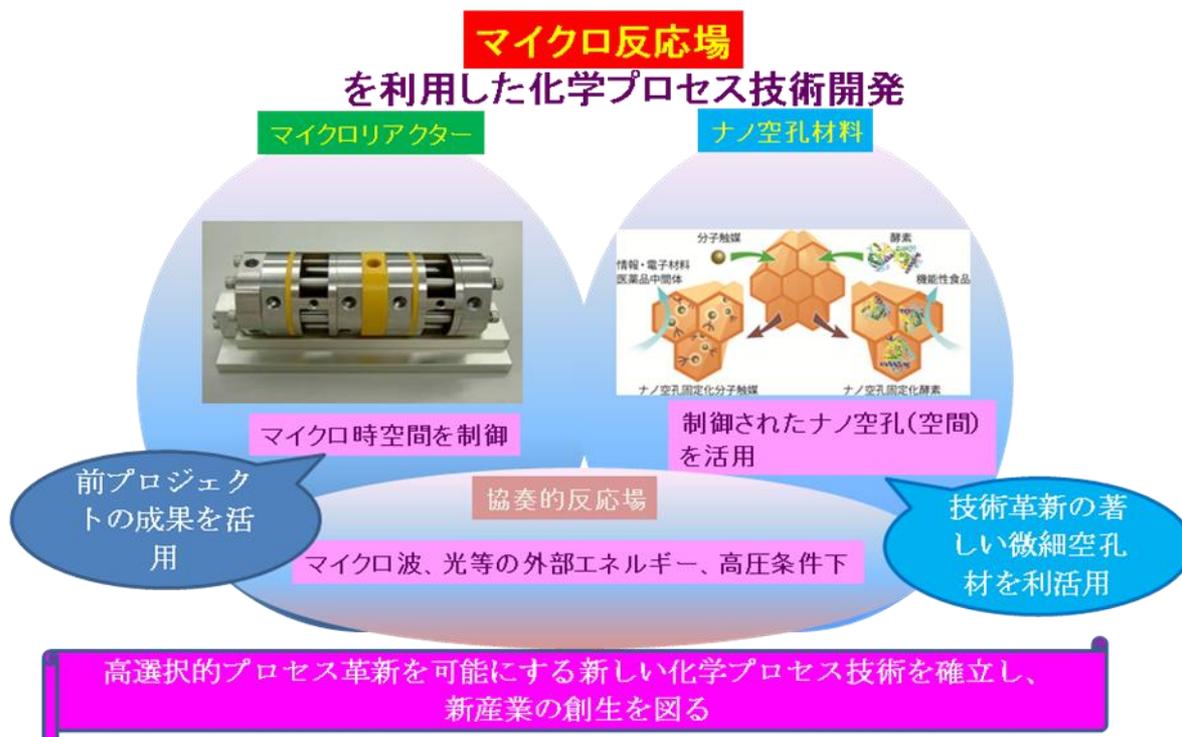
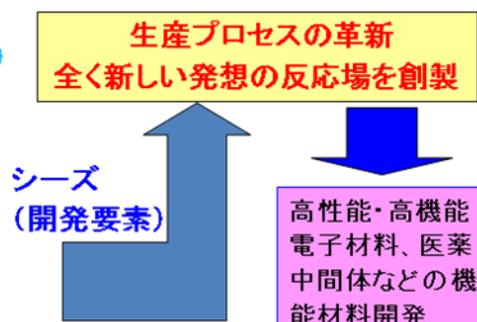


図 2-1 プロジェクト概要

■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

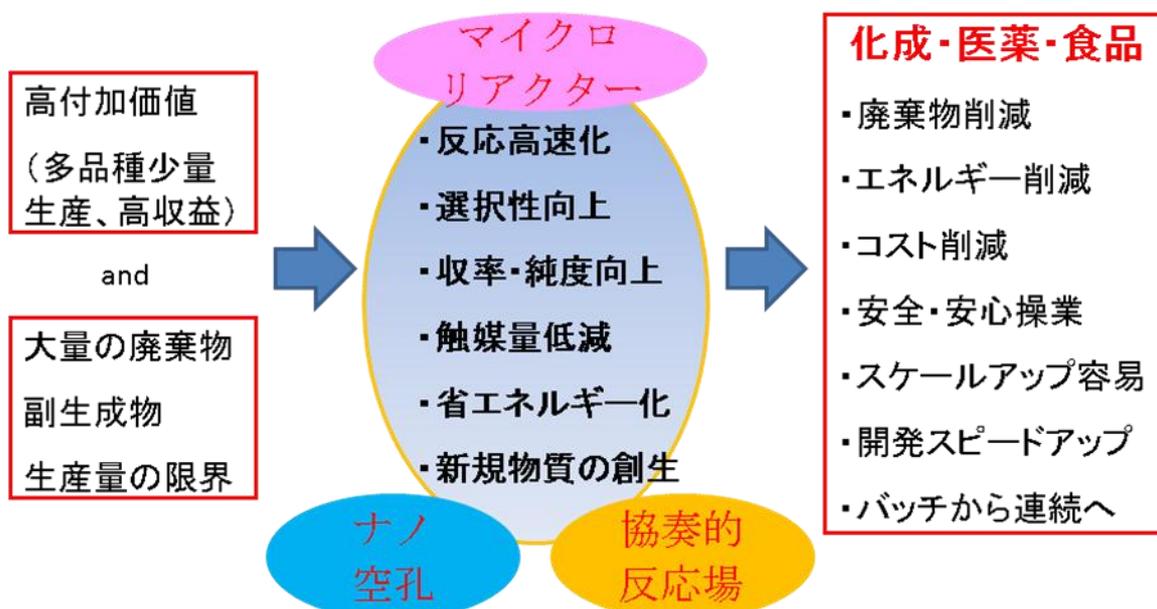


図 2-3 事業目的

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

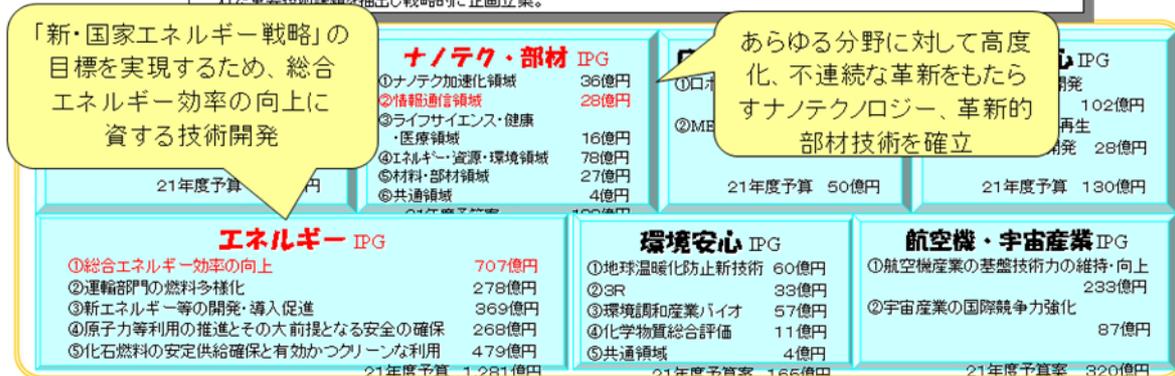
各段階における[擦り合わせ]の連鎖こそが我が国高度部材産業の強みとなっていることから、この擦り合わせ力の向上に資するようなプロジェクト体制（垂直連携）で実施することで、川下産業の競争力向上に貢献すること』を目的として実施した。

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。



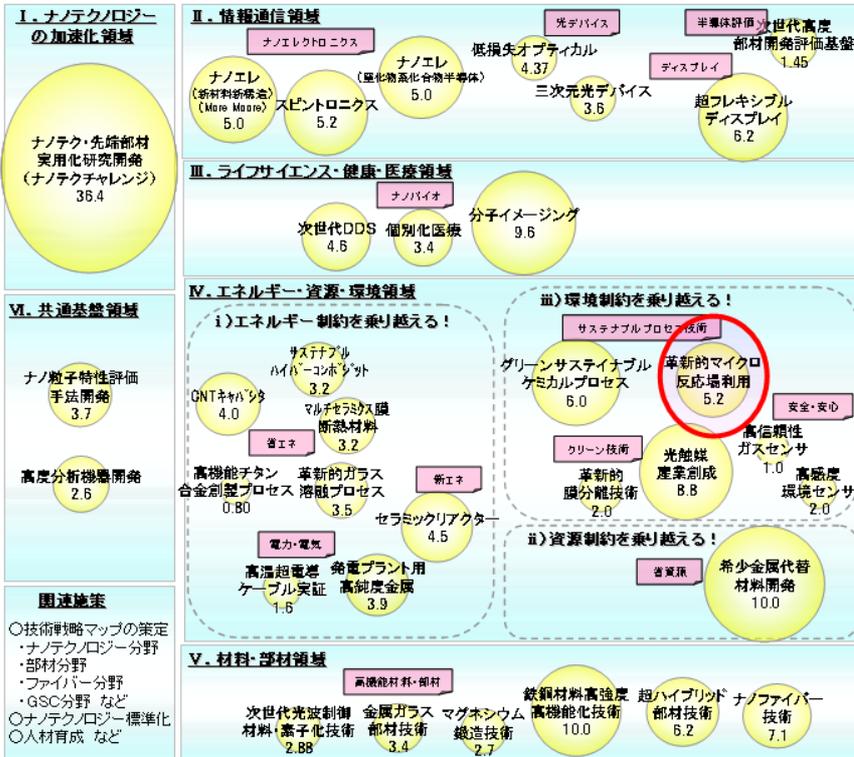
- 平成20年3月までは革新的部材産業創出プログラム及び省エネルギー技術開発プログラムの位置付けで実施

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。

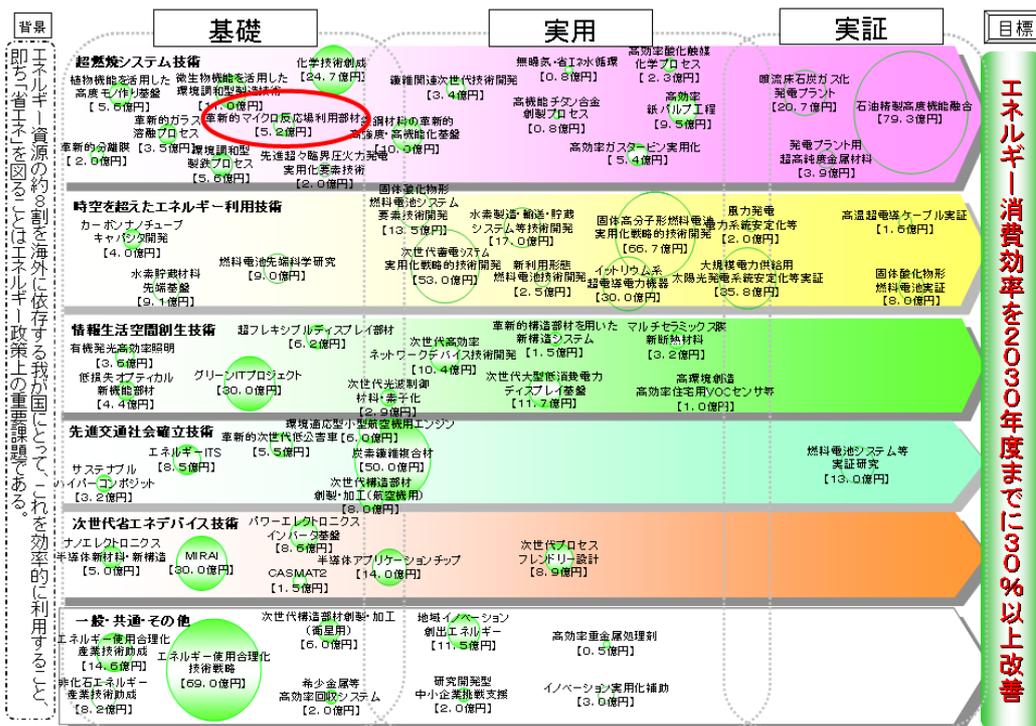


図 3-3 エネルギーイノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置付け

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									
		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									
		過酸化水素酸化:バルク/ファイ									
		低環境負荷型炭素炭素結合生成反応の利用									
高効率・高選択・低環境負荷反応	複合反応場・協奏的反應場用部材	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									
		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
		分子触媒									非貴金属(Fe, Co, Ni等)触媒の改良
		貴金属触媒の使用削減									助触媒の利用
		触媒									多相系反応の利用
		触媒リサイクル									ポリマー固定化技術確立
		固体触媒									固体超強塩基触媒プロセスの開発
		担持技術、新触媒、新触媒プロセス開発									触媒担持技術の開発
		酵素(生化学触媒)									抗体作成技術の開発
抗体作成技術開発、スケールアップ									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									
		分子触媒固定化技術の確立									有機・無機複合化
		ポリマー固定化触媒開発									メソポーラスシリカ固定化触
		シリカゲル固定化触媒開発									分子触媒-
		酵素固定化適用範囲の検討									導入可能な酵素・無機担体の組
		単一種の酵素導入									複数種類の酵素導入の実現
		酵素配列の長距離秩序の評価									酵素配列の短距
		助触媒効果の利用									局所極性制御
		局所極性制御									局所濃度制御
		分子触媒・酵素の吸着活性化									
反応の最適化	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。

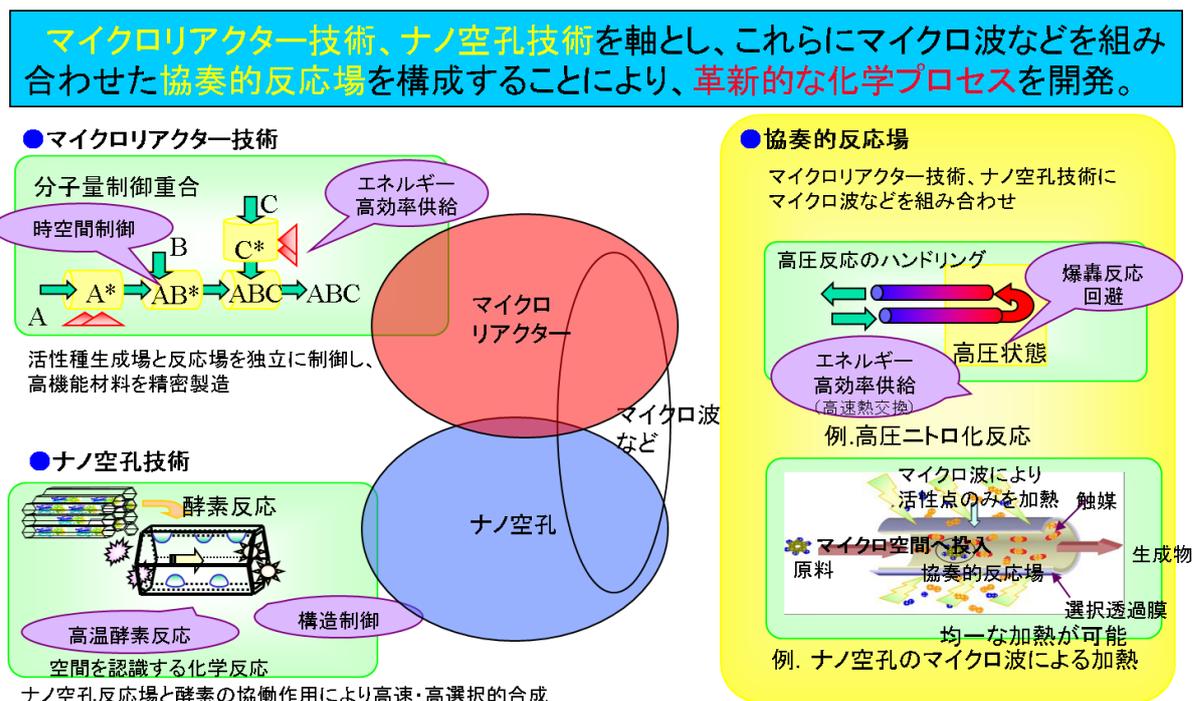


図 1-1 事業の目標

【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應場を分離し、急速混合、急速加熱・冷却、急速移動、極短反應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、ナノ空孔反應場と分子触媒・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、反應媒体等が提供する反應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	・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認し、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（ 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°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、水を反應媒体、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て用いることにより、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、後述の協奏的反応場技術を用いて、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。

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。

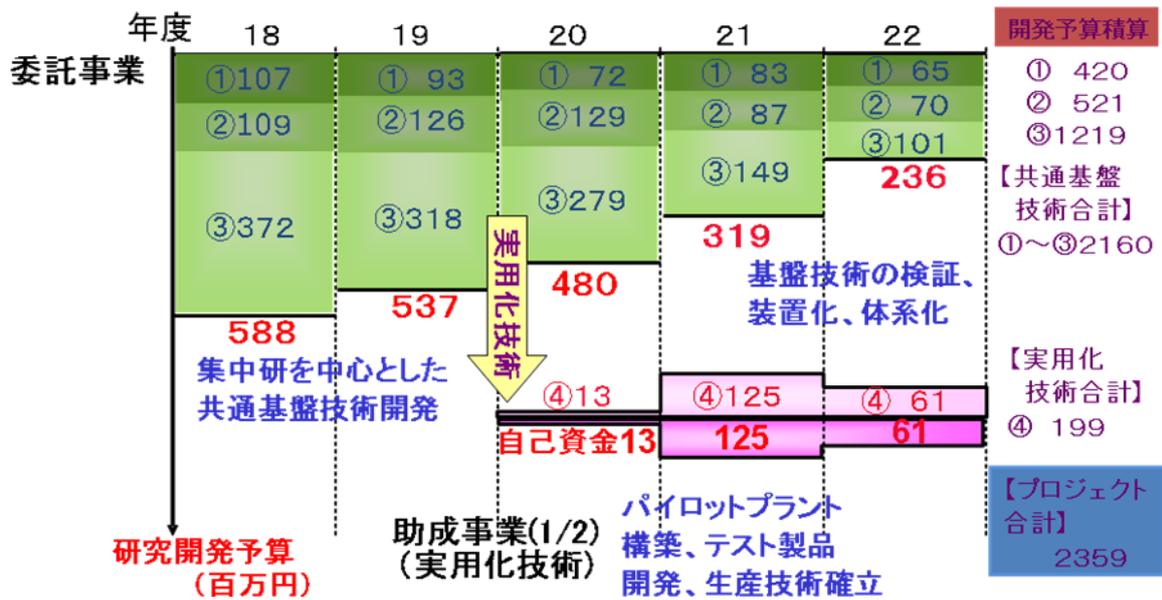
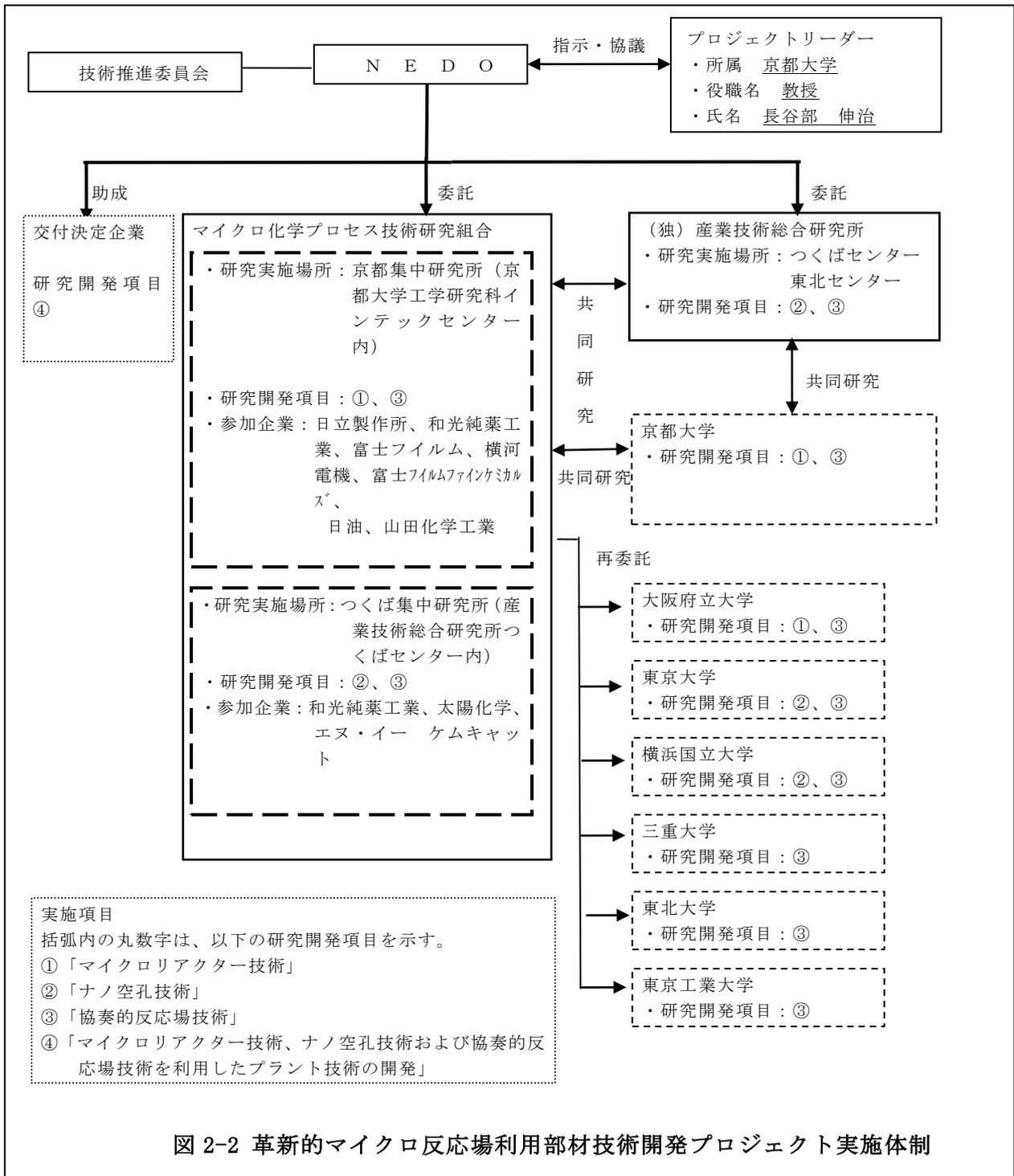


図2-1 開発予算推移

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。

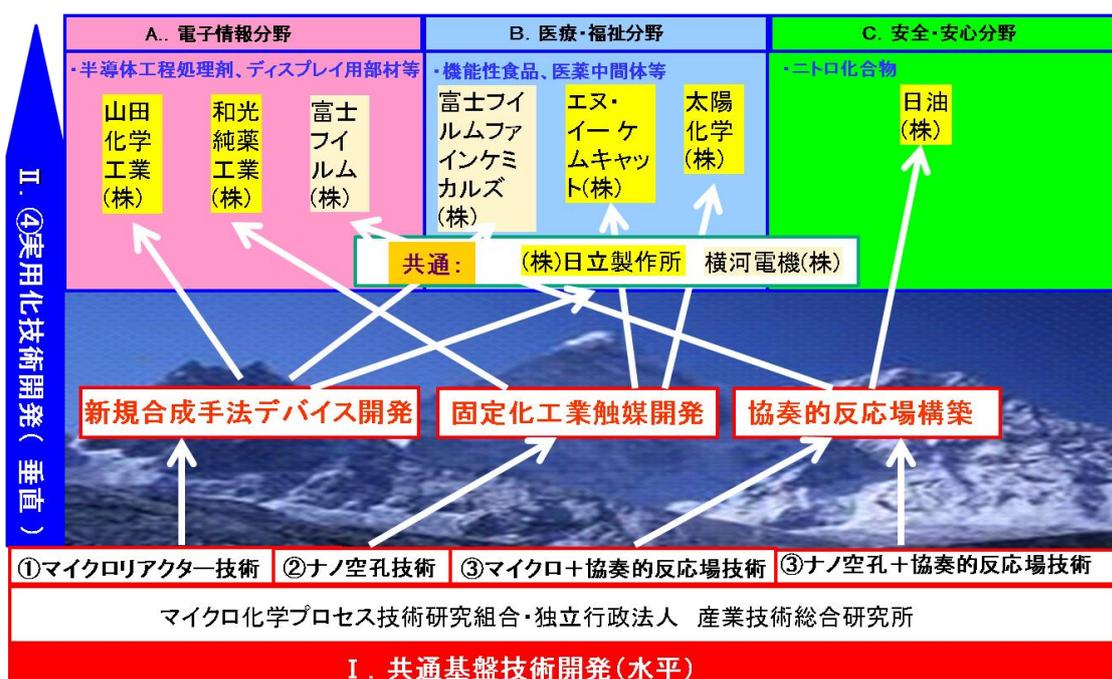


図 2-3 開発項目の位置付け

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、PRTR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

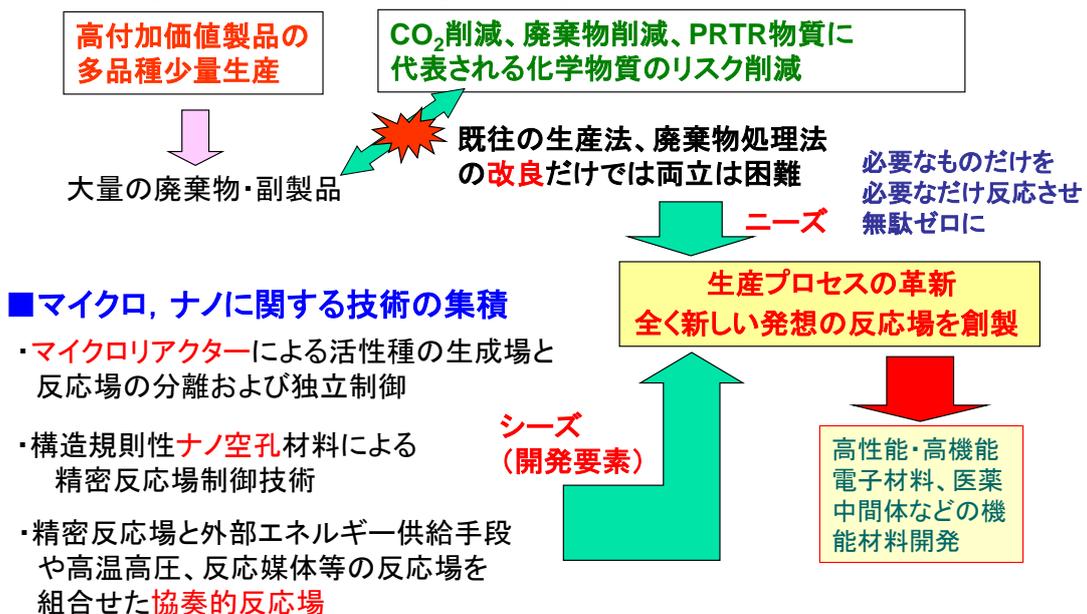


図1-1 マイクロリアクター・ナノ空孔技術の必要性

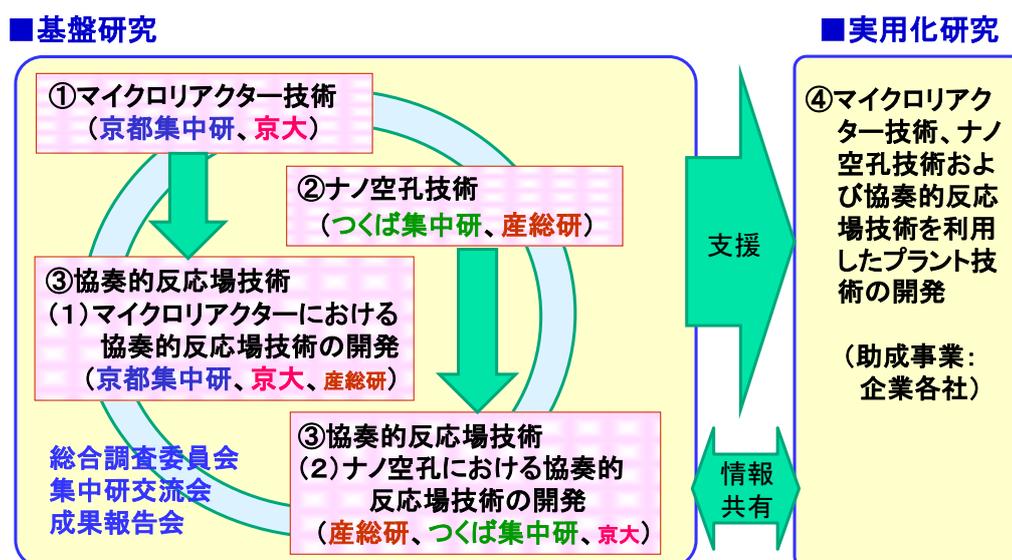
さらにマイクロリアクター（マイクロ化学プロセス）技術、ナノ空孔技術等の精密反応場技術と外部エネルギー供給手段や高温高圧、反応媒体等の反応場を組合せた協奏的反應場技術を確立することにより、革新的な化学プロセスの基盤技術が開発でき、プロセス革新と新機能材料創製技術の実現に大きく寄与すると考えられる。このような点をふまえ、本事業に取り組んだ。

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認すること、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。

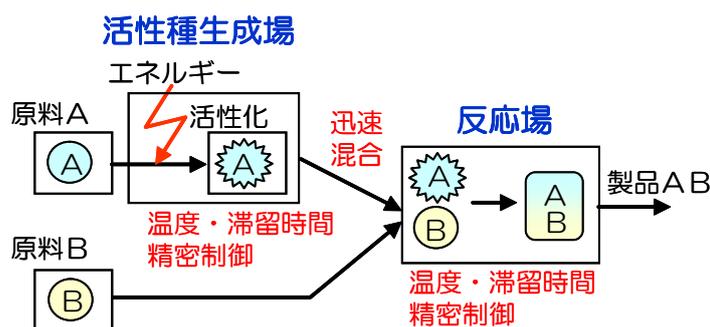


図2-1 活性種生成場と反応場の分離

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

		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。
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	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。	<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。
①-1-3 超炭素アニオン種の生成・反応技術	超不安定活性種として σ -ブロモ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。	<ul style="list-style-type: none"> σ-ブロモ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。
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	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。	<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。
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	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。	<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 $2\text{nm} \pm 0.2\text{nm}$ 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>微量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開発	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立すること、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。

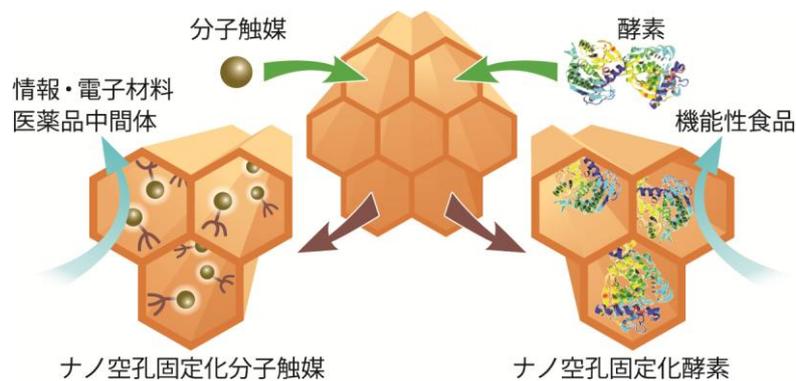


図2-2 分子触媒や酵素のナノ空孔への固定化

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。

<p>②-2: ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・食品関連機能性化学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。 	<ul style="list-style-type: none"> ・アミノ酸類合成酵素であるグルタミンナーゼを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ナーゼを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>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 	<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

	<p>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を行った。</p>	<p>メカニズムを提案した。また、4) メソポーラスシ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ンナーゼの開発	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	②-3-1: ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発	

	<ul style="list-style-type: none"> ・大孔径ナノ空孔材料（NPM）の大量合成、表面改質技術の開発、安全性評価 ②-3-2: ナノ空孔固定化分子触媒の開発 ・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 	<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。 ・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。
②-4: ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> ・AI^[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。

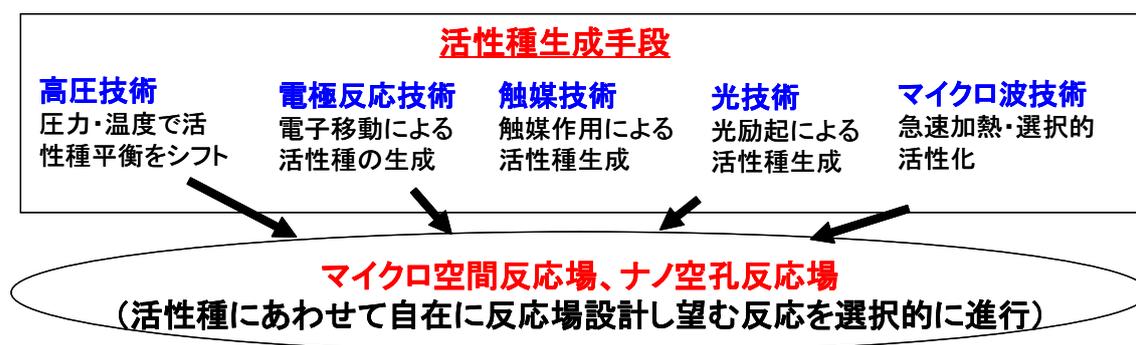


図 2 - 3 活性種生成手段と反応場

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

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 	<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

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 ・ 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 	<p>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> <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 の光反应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	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	<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	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	<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。
(B) 高温高压ガスを利用するマイクロデバイスの開発	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	<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。
(C) 高压/マイクロ技術による均相系、異相系反応設計	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	<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。
(D) ニトロ化プロセスへの展開のための基盤技術開発	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	<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°C 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応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、協奏的反応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応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）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 ・ナノ空孔反応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。

<p>③-2-b-1 水を化学原料、反応媒体とする高選択合成プロセスの開発</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・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"> ・協奏的反応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。
	③-2-b-2-4 ・規則性ナノ空孔材料固定マイクロリアクターの開発	<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。 ・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した状態にある。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認した。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、機能的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度について

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	根拠
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	根拠
(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 回以上の繰り返し使用を可能とする。	○	<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>(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ア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	根拠
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、	○	<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

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。		御による過飽和を制御する方法を提案した。
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	根拠
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。
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。	◎	<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）。
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。	○	<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。
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	◎	<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

<p>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>		<p>耐久性を達成した。</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。

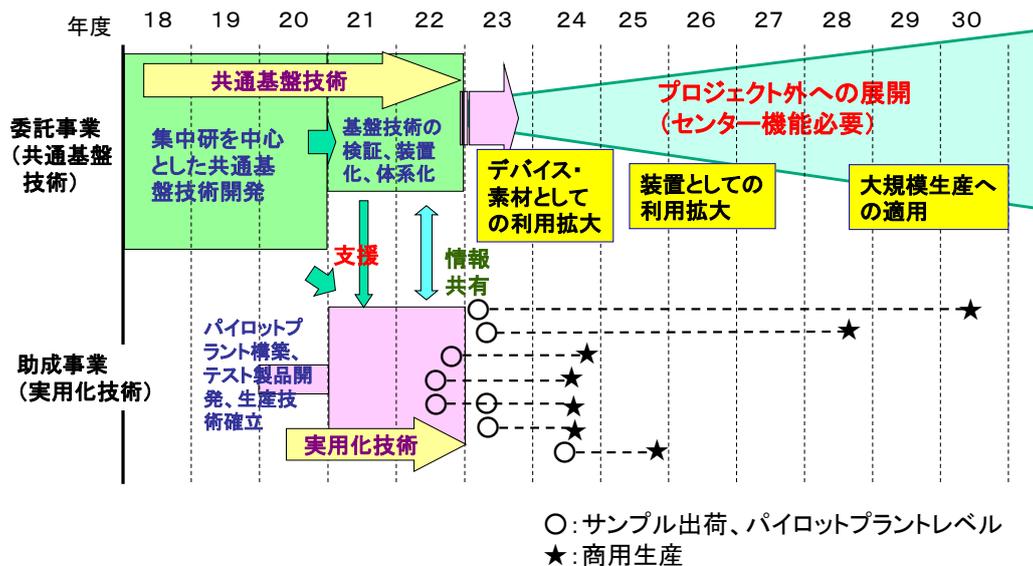


図 1 - 1 実用化の見通し

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)

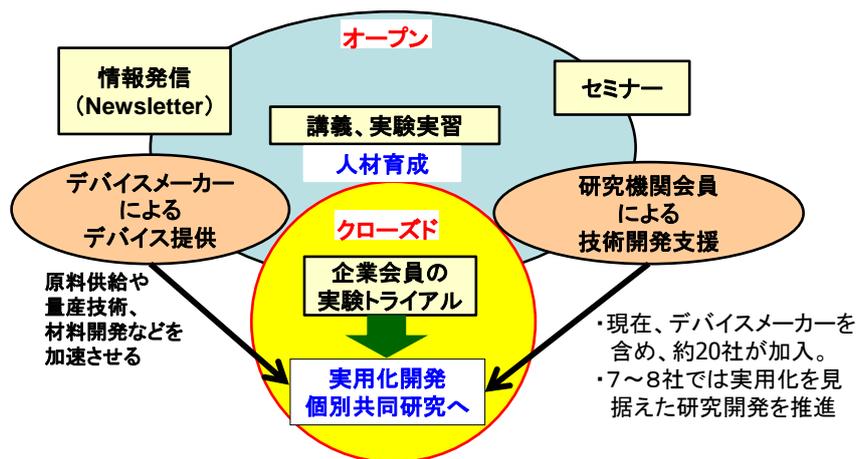


図 1 - 2 マイクロ化学生産研究コンソーシアムの構造

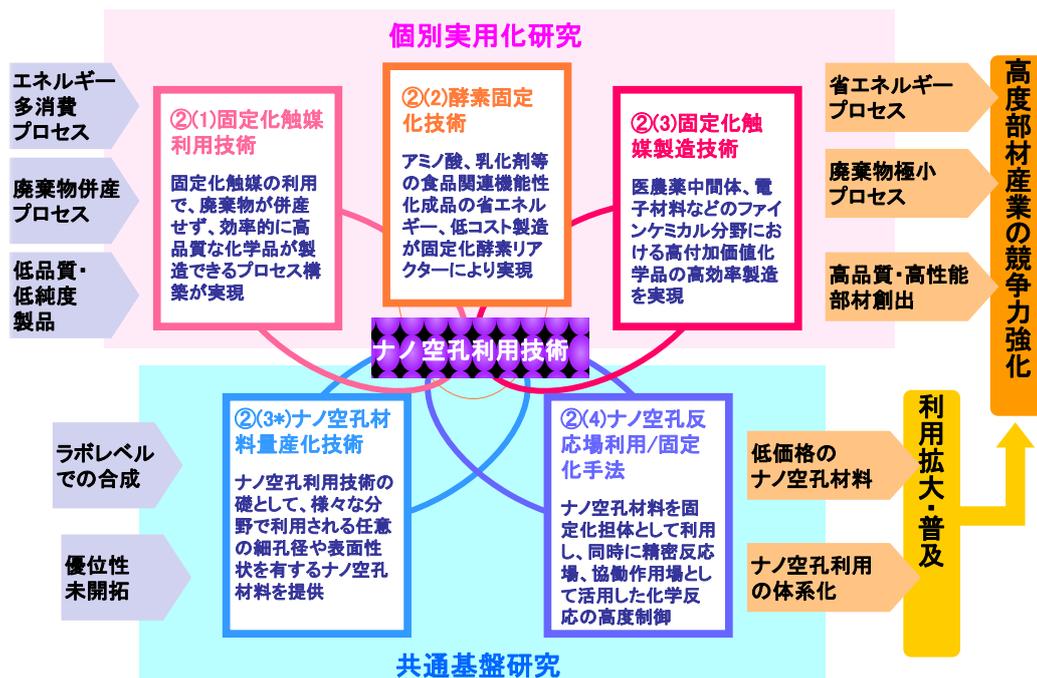


図 1-3 ナノ空孔研究における実用化推進、人材育成の体制

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。

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 ・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 	<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 が必要である。これらは、実用化の最終 	<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

<p>反応 ・ナノ粒子</p>	<p>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>	<p>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。</p>
---------------------	--	---

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	<p>a-1, 2, 3 ・誘電特性パラメータ測定手法 ・化学反应用リアクター</p>	<p>・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。</p>	<p>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</p>
協奏的 反応場 プロセス	<p>b-1 安定同位体標識部材 (重水素、重酸素)</p>	<p>・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。</p>	<p>・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。</p>
	<p>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</p>	<p>・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。</p>	<p>・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。</p>

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. Tanthapanichakorn, 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 Reaction in Supercritical Carbon Dioxide	J. Phys. Chem. B, 110, 1240-1248 (2006)	有	2006年
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 microhoneycomb by unidirectional freezing and freeze drying of hydrogel	Drying 2006 (I. Farkas ed.), Szent István University Publisher, Gödöllő, Hungary Vol. C, pp. 1817-1824	有	2006年
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-	有	2006年

			806		
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, ; S. Tokuoka, ; M. Sawamoto,	Halogen Donors in Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization: Control of the Equilibrium between Dormant and Active Species	Macromolecules 05-Jan-2008, Web Released.	有	2007年
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,	Operation policy for micro chemical plants	Chemical Engineering Journal, Vol. 135,	有	2008年

	M. Kano, S.Hasebe	with external numbering-up structure	Supplement 1, S131-S137		
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. Ushioji, 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 TTMS Using Microreactors	Org. 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, T. Ichimura,	Photocatalytic reactions in microreactors	Chem. Eng. J, 135 (2008) S303-308.	有	2008年
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	J. Photochem. Photobiol. A:Chemistry, 192 (2007) 166-171.	有	2007年

		a Microreactor			
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., and H. Inomata	Laser-Doppler vibrating tube densimeter for measurements at high temperatures and pressures	Reviews of Scientific Instruments	有	2007年
20	Y. Kubota, M. Yoshida, T. Tatsumi	Nanostructural modification of organic-tethered MCM-22 catalyst and its catalytic performance	Stud. Surf. Sci. Catal., 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	Catalysis Surveys from Asia, 11, 158-170	有	2007年
22	Y. Koyama, T. Ikeda, T. Tatsumi, Y. Kubota	A multi-dimensional microporous silicate that	Angew. Chem. Int. Ed., 47, 1042-1046	有	2008年

		is isomorphous to zeolite MCM-68			
23	Y. Kubota, C. Jin, T. Tatsumi	Performance of organic-inorganic hybrid catalysts based on <i>Ia-3d</i> mesoporous silica	Catal. Today, 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	Catalysis Today, 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	Chemical Engineering Journal, 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	Applied Catalysis A, 327, 278-286 (2007)	有	2007年
27	K. Mae	Advanced Chemical Processing Using Micro Space	Chemical Engineering Science, 62, 4842-4851 (2007)	有	2007年
28	K. Matsuyama, W. Tanthapanichakoon, N. Aoki, K. Mae	Operation of Microfluidic Liquid Slug Formation and Slug Design for Kinetics Measurement	Chemical Engineering Science, 62, 5133-5136 (2007)	有	2007年
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.	Laser-Doppler vibrating tube densimeter for measurements at high temperatures and pressures	Review of Scientific Instruments, 78, 115111 (2007).	有	2007年

	Sato, R. L. Smith, Jr., and H. Inomata				
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, J. Yoshida	Microflow System Controlled Carbocationic Polymerization of Vinyl Ethers	Chem. Asian J., 3, 1558-1567	有	2008年
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 Transition Metal Catalysts: From Dormant Species to Designed Catalysts for Precision Functional Polymers	Acc. Chem. Rec., 9, 1120-1132	有	2008年
12	M. Ishio, M. Katsube,	Active, Versatile, and	Macromolecules, 1,	有	2009年

	M. Ouchi, M. Sawamoto, Y. Inoue,	Removable Iron Catalysts with Phosphazene Salts for Living Radical Polymerization of Methacrylates	188-193		
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, S. Kumada, K. Sakeda, T. Suzuki, T. Ichimura,	Photocatalytic Reactions in Microreactors	Chem. Eng. J. 135S (2008), S303-S308	有	2008年
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,	Synthesis,	Journal of the American Chemical	有	2008年

	T. Yokoi, P. Wu, Y. Kubota, T. Tatsumi	crystallization mechanism, and catalytic properties of titanium-rich TS-1 free of extraframework titanium species	Society, 130, 10150-10164		
28	T. Shibata, S. Suzuki, H. Kawagoe, K. Komura, Y. Kubota, Y. Sugi, J.-H. Kim, S. Gon	Synthetic investigation on MCM-68 zeolite with MSE topology and its application for shape-selective alkylation of biphenyl	Microporous and Mesoporous Materials, 116, 216-226	有	2008年
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	Chem. Eng. J. 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	Catalysis Today, 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	Micro Total Analysis Systems 2008, 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.	Flow type densimeter with the vibrating tube for measurements at	Proc of 15 th International Conference on the	有	2008年

	Inomata	high temperatures and pressures	Properties of Water and Steam (VDI-GET)		
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 mixed aqueous system by microwave heating	Green Chemistry, 10, 799-805 (2008)	有	2008年
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	MiPS2008, proceedings, OP-11-b, 133-134	有	2008年

		supported platinum catalysts			
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. Sato & A. Laobuthee	Adventure in Inner Space: Microflow Systems for Practical Organic Synthesis	J. Res. Eng. Tech., 5, 375-391	有	2008年
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	有	2009年

			81-96 (Chapter 5)		
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 Applications. Volume 2 229-242 (Chapter 14)	有	2009年
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	Angew. Chem. Int. Ed., 48, 8063-8065	有	2009年

		Compounds in Microreactor Synthesis: Switch between Kinetic and Thermodynamic Control			
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 Pentamethylcyclopentadienyl (Cp*)-Iron Complexes: Highly Active and Versatile Catalysts for Living Radical Polymerization	Macromolecules, 2, 920-926	有	2010年
10	M. Ishio, T. Terashima, M. akoto Ouchi, and M. Sawamoto	Carbonyl-phosphine hetero-ligated half-metallocene iron(II) catalysts for living radical polymerization: concomitant activity and stability	Polymer Journal, 1, 17-24	有	2010年
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 Terminator/Inhibitor to Useful Initiator.	Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 16, 4194-4201	有	2009年
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,	An Automated-flow	Tetrahedron	有	2009年

	T. Fukuyama, M. T. Rahman, I. Ryu,	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	Letters		
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	Organic Process Research & Development, 14 (2010) 405-410	有	2010年
22	Y. Matsushita, M. Iwasawa, T. Suzuki, T. Ichimura	Multiphase Photocatalytic Oxidation in a Microreactor	Chem. Lett. , 38 (2009) 846-847	有	2009年
23	H. Nishihara, S. R. Mukai, S. Shichi and H. Tamon	Preparation of Titania-Silica Cryogels with	Materials Letters, 64, 959-961	有	2010年

		Controlled Shapes and Photocatalysis through Unidirectional Freezing			
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-catalyzed 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. Mizuguchi, S. Hamakawa, T. Hanaoka, T. Tsunoda	Enhancement in thermal stability and resistance to denaturants of lipase encapsulated in	Colloids Surf., B, 75, 478-482	有	2010年

	& F. Mizukami	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-phenylpyridinato) 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	Mater. Lett., 64, 959-961	有	2010年

		freezing		
--	--	----------	--	--

平成22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	Angew. Chem., Int. Ed. 49, 3720-3722	有	2010年
2	Aiichiro Nagaki Jun-ichi Yoshida	Controlled Polymerizations Using Microreactors	Kobunshi 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	Angew. Chem., Int. Ed. 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	Macromolecules 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	Chem. Eng. J. 167, 548-555	有	2011年
6	Jun-ichi Yoshida, Heejin Kim, Aiichiro Nagaki	Green and Sustainable Chemical Synthesis Using Flow Microreactors	Chem. Sus. Chem. 4, 331-340	有	2011年
7	Yoda H. ; Nakatani K. ; Terashima, T. ; Ouchi, M. ; Sawamoto, M.	Ethanol-Mediated Living Radical Homo- and Copolymerizations with Cp*-Ruthenium Catalysts: Active, Robust, and Universal	Macromolecules 14, 5595-5601.	有	2010年

		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	Macromolecules, 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	J. Am. Chem. Soc. 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	J. Polym. Sci. Polym. Chem., 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	Macromolecules, 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	Polym. Chem. 2, 341-347	有	2011年
13	Ida S. ; Ouchi, M. ; Sawamoto, M.	Designer Template Initiator for Sequence Regulated Polymerization: Systems Design for	Macromol. Rapid Commn. 2, 209-214	有	2011年

		Substrate-Selective 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	J Polym Sci Pol Chem, 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	J Polym Sci Pol Chem, 5, 1061-1069	有	2011年
16	S. R. Mukai, K. Mitani, S. Murata, H. Nishihara & H. Tamon	Assembling of nanoparticles using ice crystals	Materials Chemistry and Physics, 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	Journal of Materials Chemistry, 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)	Cat. Commun., 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	Synthesiology, 3, 137-146	有	2010年
20	H. Kawanami, M. Sato, M. Chatterjee, N.	Highly selective non-catalytic Claisen rearrangement in a	Chem. Eng. J., in press	有	2011年

	Otabe, T. Tuji, Y. Ikushima, T. Ishizaka, T. Yokoyama & T. M. Suzuki	high-pressure and high-temperature water microreaction system			
21	R. Javaid, H. Kawanami, M. Chatterjee, T. Ishizaka, A. Suzuki & T. M. Suzuki	C-C coupling reaction in water using tubular reactors with catalytic metal inner surface	Chem. Eng. J., in press	有	2011年
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,	Diphenylphosphino	J. Organomet.	有	2011年

	S. Onozawa, N. Fukaya, M. Ueda, Y. Takagi, T. Sakakura, and H. Yasuda	functionalization of mesoporous silica using tripodal linker units	Chem., 696, 1565-1569 (2011)		
27	K. Tsutsumi, K. Terao, H. Yamaguchi, S. Yoshimura, T. Morimoto, K. Kakiuchi, T. Fukuyama & I. Ryu	Diastereoselective [2+2] Photocycloaddition of Chiral Cyclic Enone and Cyclopentene Using a Microflow Reactor System	Chem. Lett. 39, 828-829	有	2010年
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	Angew. Chem. Int. Ed. 49, 7063-7067	有	2010年
29	H. Matsubara, Y. Hino, M. Tokizane & I. Ryu	Microflow Photo-radical Chlorination of Cycloalkanes	Chemical Engineering Journal 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	Catalysis Today 印刷中	有	2011年
32	T Ono, S Kobayashi,	Volumetric Behavior and Solution	Fluid Phase Equilibria 302, 55-59	有	2011年

	T Hoshina, Y Sato and H Inomata	Microstructure of Methanol-Water Mixture in Sub- and Supercritical State via Density Measurement and MD Simulation			
33	T. Yokoyama, R. Ishii, T. Itoh, K. Kitahata, S. Matsuura, T. Tsunoda, S. Hamakawa, T. Hanaoka, H. Nanbu & F. Mizukami	Synthesis of l-theanine using enzyme/mesoporous silica conjugates under high pH conditions	Mater. Lett., 65, 67-69	有	2011年
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.	Organic functionalization of	J. Organomet. Chem., 695, 2540-2542	有	2010年

	Onozawa, T. Sakakura & H. Yasuda	the surface of silica with arylsilanes. A new method for synthesizing organiceinorganic hybrid materials			
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. Choi, T. Sakakura & H. Yasuda	Selective synthesis of N-alkyl hydroxylamines by the hydrogenation of various nitroalkanes using supported palladium catalysts	PACIFICHEM 2010, proceedings, Abstract ID 799	有	2010年
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.	Ugi amine-derived P,	Tetrahedron, 67,	有	2011年

	Miyazawa	N- and P, P-ligands with N-alkyltriethoxysilyl tethers: synthesis and evaluation of mesoporous silica-supported Pd complexes in asymmetric allylic substitution reactions.	2139-2148		
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	無	2006年

			International Conference on Solvothermal Reactions (ICSTR-7)		
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, M. Iwasawa, T. Suzuki, T. Ichimura	Photocatalytic Oxidation and Alkylation Processes in Microreactors	IEEE Review on Advances in Micro, Nano, and Molecular Systems, Volume 2, in press.	無	2008年
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 using solid acid catalysts	GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) Proceedings pp583-584, 2008.	無	2008年
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	無	2008年

			Applications) Proceedings pp545-546, 2008.		
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21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22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	ファインケミカル, 39, 12, 18-23 (2010)	無	2010年

		と応用			
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ブンの検討	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O、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	O/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	O	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	O	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	O	2006年
6	前 (Plenary lecture)	Advanced chemical processing using micro space	19th International Symposium on Chemical Reaction Engineering & 9th International Conference on	O	2006年

			Microreaction Technology		
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 (2006.9, Potsdam).	P	2006年
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.	A new micromixer for instant mixing and heating under high pressure and	Proc. 9th International Conference on	0	2006年

	Arai,	high temperature	Microreaction Technology Topic 1, No. 4 (2006. 9, Potsdam).		
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 dual pipe	Proc. 9th International Conference on Microreaction Technology Topic 4, No. 35 (2006. 9, Potsdam).	P	2006 年
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	P	200 年

			Unsteady-state Processes in Catalysis, (2006. Osaka)		
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	高温高圧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・反応操作の設計	化学工学会第38回秋季大会、福岡	0	2006年
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	International Workshop on Micro	0	2007年

		Microdevices for Uniform Flow Distribution at High Flow Rates	Chemical Plants		
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 Mesostructured 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, 窪田, 辰巳	アミノ酸系界面活性剤を用いるメソポーラスシリカの合成とその構造制御	第 22 回ゼオライト研究発表会	0	2006年
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 Ia-3d 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	P	2006年

			Catalysis		
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 ーメタノールおよび水ーエ 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	2006年光化学討論会	P	2006年

		クターの有機合成反応への応用			
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ブチルエテン類の合成	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 高圧下における水- 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,	Design of Tubular Microreactors with Desired Product	International Conference on Microreaction	P	2006年

	S. Hasebe	Distribution	Technology (IMRET)		
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. Tatsumi	Synthetic investigation of zeolitic mesoporous titanosilicates by use of mesoporous carbon and their characterization	5th International Mesostructured Materials Symposium (5th IMMS)	P	2006年
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	O	2007年

平成19年度

番号	発表者	タイトル	学会名 (開催地)	O/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	O	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-リチウム 交換反応	日本化学会第87春季年会	O	2007年

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, ; M. Ishio, ;	Control of the Reversible	Polym. Prep. Jpn. 2007, 56(2), 2458.	0	2007年

	M. Ouchi ; M. Sawamoto,	Dormant-Active Equilibrium in Metal-Catalyzed Living Radical Polymerization toward Precision Control and Catalyst Dose Reduction			
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	The Fifth International Workshop On Micro Chemical Plants	0	2007 年

		freezing	(Kyoto, Japan)		
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 るニトロ化ナフタレン の合成	火薬学会 2007 年度 秋季研究発表会	0	2007 年
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	火薬学会 2007 年度 秋季研究発表会	0	2007 年

		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			
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, v	P	2007年
38	松下	Organic syntheses by photocatalytic reaction in microreactors	The 11th Korea-Japan Symposium on Catalysis	0	2007年
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	第 16 回化学とマイ	P	2007

		のためのマイクロ光反応場の開発	クロ・ナノシステム研究会		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, T. H. Khoo, Y. Okubo, and K. Mae	Enhanced Mass Transfer by Liquid-Liquid Slug Flow in Microchannels for Efficient	AIChE 2007 Spring Meeting	0	2007年
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,	マイクロ流路における	化学工学会第39回	0	2007

	K. T. Hong, T. Wiroon, 前	液液スラグ流を用いた 混合・抽出の迅速化	秋季大会		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	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
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,	新規アニオン性界面活性	第23回ゼオライト	0	2007

	辰巳, 窪田	剤を用いたメソポーラスシリカの合成	研究発表会		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, T. Yoda	Measurement for dielectric parameters in chemical reaction field	GSC-AON2007(1st Asian-Oceanian Conference on Green and Sustainable Chemistry) (Tokyo)	P	2007 年
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	第 100 回触媒討論	0	2007

		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	会 A		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	0	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	0	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	第 56 回高分子学会	P	2007

		ンズアルデヒド誘導体の加水分解反応	年次大会		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・・・-ジアミンからの環状アミン合成	有機合成シンポジウム	0	2007 年
98	Y. Kawanishi, T. Abe & A. Miyazawa	Luminescent Metal Complexes with Deuterated Ligands	2007 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience	0	2007 年
99	ユ、ガッダ、宮沢	水中での・・・-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	0	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	0	2007 年
103	H. Tamon, H. Nishihara & S. R. Mukai	Synthesis of titania-silica microhenycomb by unidirectional freezing	The Fifth International Workshop On Micro Chemical Plants (Kyoto, Japan)	0	2007 年
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 ニル基を有するブロモベン 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 を用いたジブロモアレーン 類の選択的ハロゲンーリチ 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シド 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,	Generation and Reactions of ortho-Bromophenyllithium without Benzyne Formation Using Microflow System.	The 10nd International Conference on Microreaction Technology, New	0	2008月

	T. Nokami, H. Okamoto, J. Yoshida		Orleans, US		
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	O	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 Polymerization of Styrene Derivatives	International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan	O	2008年
16	S. Nishii, A. Nagaki, J. Yoshida	Characterization of Mixing in Micromixers by Anionic Polymerization	International Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis (MiPS2008) Kyoto Terrsa, Kyoto, Japan	P	2008年
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	日本化学会第89春季 年会	O	2009年

		反応によるビアリアル合成			
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	0	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	0	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ー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	0	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	0	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	0	2008年
25	勝部, 寺島, 大内, 澤本	官能基配列制御ポリマー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	0	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	0	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ーハーフメタロセン型鉄錯体の配位子設計	第57回高分子学会年次大会	0	2008年
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ー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ー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,	ハロゲンドナーと金属触媒	第57回高分子討論会	0	2008年

	澤本	によるリビングラジカル重合ー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			
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ー高活性・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ー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ー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)	0	2008 年
45	T. Terashima, ; M. Ouchi, ;	Designer Polymers via Metal-Catalyzed Living	第 236 回アメリカ化学会	P	2008 年

	M. Sawamoto,	Radical Polymerization: End-Group Transformation, Sequence-Regulated Polymers, and Core-Functionalized Star Polymers	学会(フィラデルフィア)		
46	Ishio, M.; T. Terashima, ; M. Ouchi, M. Sawamoto,	Design of Novel Iron Catalysts for Living Radical Polymerization of Functional Methacrylates	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	0	2008 年
50	H. Matsubara, Y. Hino, I. Ryu	Highly Selective Radical Halogenation Reaction of Alkanes Using a Microflow Reactor under Photo-irradiation	Annual Meeting on Photochemistry 2008	P	2008 年
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 Synthesis	P	2008年
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.	Development of Model-based	International	0	2008年

	Kano, S. Nagahara, M. Kano, S. Hasebe	Monitoring System for Microreactors	Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis		
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, T. Yasukawa, K. Mae	Pinacol Rearrangement Reaction in Subcritical Water	Gordon Conference 2009, Hydrocarbon Processing	P	2008年
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	化学工学会第40回秋	0	2008年

		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	季大会		
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の混合特性・熱移動特性と設計論	化学工学会第74年会	0	2009年
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	化学工学会第74年会	0	2009年

		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）			
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オ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 Catalysts	The 15th International Symposium on Organosilicon Chemistry	P	2008 年
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、	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

	水上				
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	火薬学会2008年度秋季研究発表会	0	2008年

		ジニトロナフタレンの合成			
117	畑田、川崎、川崎、鈴木	高温高压水下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	O	2009年
119	畑田、川崎、川崎千、鈴木	高温高压水下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	O	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	O	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	O	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	O	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合物の還元カルボニル化反応	化学工学会第74年会	O	2009年
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	O	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 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,	A Continuous Flow Microwave-Assisted	IMRET10	P	2008年

	S. Hasebe	Microreactor System			
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 クロ/マイクロ階層構造ゼオラ イトモノリスの創製	第22回日本吸着学会 研究発表会	0	2008年
158	N. Yoswathananont, N. Sasagawa, Y. Fukuda,	Efficient Gas-Liquid-Solid Reduction and Oxidation Systems by Micro-Packed Bed	IMRET10, AIChE 2008 Spring National Meeting	0	2008年

	M. Sato	Reactor			
159	福田, ヨスバタナノ ン ヌンルタイ, 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 Sciences, San Diego	P	2008 年
168	Y. Sato, M. Iwasawa,	Photocatalytic	International	P	2008 年

	Y. Matsushita, T. Suzuki, and T. Ichimura	N-Alkylation of 4-Methoxybenzylamine in a Microreaction System	Symposium on Micro Chemical Process and Synthesis, Kyoto		
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	0	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 Microchemical 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	ICC 14 Pre-Symposium	0	2008年

		for effective oxidation reactions			
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	0	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	0	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	0	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.	Catalase encapsulated in mesoporous silica	The IUMRS International	P	2008年

	Hamakawa, T. Hanaoka, J. Mizuguchi, T. Tsunoda & F. Mizukami		Conference in Asia 2008 (IUMRS-ICA 2008)		
201	石井、伊藤、松浦、 濱川、花岡、水上	メソポーラスシリカへのカ タラーゼ酵素の固定化とそ の反応挙動	第 52 回粘土科学討論 会	P	2008 年
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	GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress	P	2008 年

		cylindrical cavity	on Microwave Energy Applications) (大津)		
209	飯塚、杉山、佐藤	Microwave effects in carbon-polyolefin composite	GCMEA 2008 MAJIC 1st (Global Congress on Microwave Energy Applications) (大津)	P	2008年
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	O	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.	Evaluation of Hydrolysis Reaction of Triglyceride Using a Microreactor	International Symposium on Micro Chemical Process	P	2008

	Tsunoda, T Hanaoka, F. Mizukami	Equipped with Lipase - Mesoporous Silica Conjugates	and Synthesis (MiPS2008)		
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	0/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 (WCCE8)	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アルリチウム種の発生・反応」	第56回有機金属化学討論会	0	2009年
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」	INCHEM TOKYO 2009	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21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合物へのエナンチオ選択的カルボリチオ化反応」	日本化学会第90春季年会	0	2010年
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	第58回高分子学会年次大会	P	2009年

		ポリマーの合成			
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 ビングラジカル重合系の 構築	第 58 回高分子学会 年次大会	P	2009 年
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 たり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	第 58 回高分子討論 会	P	2009 年

		のユニバーサル触媒の開発			
32	余田, 寺島, 大内 , 澤本	完全水系での遷移金属錯体によるリビングラジカル重合	第 58 回高分子討論会	P	2009 年
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	シーケ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	第 58 回高分子討論会	P	2009 年

		制御			
43	T. ;Fukuyama, M. T. Rahman, ; I. Ryu, ; I. Wienhöfer, C. ; A. Studer,	Microflow Radical Carboaminoxylations with Alkoxyamines	IMRET 11	P	2010年
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,	The Characterisation of Micro Dynamical Mixing	8th World Congress of Chemical	0	2009年

	K. Mae	Through Liquid Multiphase Reaction, 8th World Congress of Chemical Engineering	Engineering		
53	S. Tanigawa, N. Aoki, K. Mae	Control of Mass Transfer Rate in Slug Flow Using Turnover Index	11th International Conference on Micro Reaction Technology	P	2010 年
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	11th International Conference on Micro Reaction Technology	P	2010 年

		Process	Technology		
61	Y. Nagai, K. Mae	Production of Organic Nano Pigment in Organic Solvent by Rapid Heating and Cooling in Micro Reactor System	11th International Conference on Micro Reaction Technology	P	2010年
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. Shiroshta, 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	IMRET 11	P	2010年

		Micro Flow System			
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 析	第90回 日本化学 会年会	0	2010年
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44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 by a Novel Photocatalytic Microreaction System	The 4th International Conference on Green and Sustainable Chemistry	P	2009 年
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	P	2009 年

			Chemistry (AOGSC-2)		
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 Temperatures Via MD Simulation	AIChE 2009 Annual Meeting (Nashville)	0	2009年
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,	Preparation of Zeolite Particles by	6th Asian Aerosol Conference	0	2009年

	T. Suzuki and N. Sano	Ice-Templating			
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 とするパラジウム - 銀触 媒の合成とその触媒反応	日本化学会 第 90 春季年会	0	2010 年
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 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	International Symposium on Zeolites and	0	2009 年

		phenol-oxidation catalyst	Microporous Crystals (ZMPC2009)		
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	ヘキサソクラッキングに対する MCM-68 触媒中の Al 量の影響	第 39 回石油・石油化学討論会	0	2009 年
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サ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,	Further investigations on the promoting effect	12th Korea-Japan Symposium on	0	2009 年

	S. Inagaki, T. Tatsumi	of mesoporous silica on base-catalyzed aldol reaction	Catalysis		
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 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
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	0	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)	0	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	0	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	0	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	高分子学会関東支 部第 24 回茨城地区	P	2009年

		による高選択的な芳香族 ヒドロキシルアミン合成	「若手の会」交流会		
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	0	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	0	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	0	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	0	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ズ5 「21世紀の化学反応とプロセス」	P	2009年
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	第10回 GSC シンポジウム(東京)	P	2010年

		一効率評価			
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.	Deuteration isotope effect on nonradiative	18th International Symposium on	P	2009年

	Konno & Y. Kawanishi	transition of luminescent iridium complexes	Photochemistry and Photophysics of Coordination 173Compounds		
173	R. Kultyshev & A. Miyazawa	Synthesis of Mono- and Bis-Diphenylphosphinoferrocenyl 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 160 - 180 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、	酵素固定化マイクロリア クターを利用したエステ	化学工学会第75年会	0	2010 年

	遠藤	ル交換反応		
--	----	-------	--	--

平成22年度

番号	発表者	タイトル	学会等名称	O/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とその精密構造制御ポリマー合成への応用」	第59回高分子討論会	0	2010年
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	マイクロゲ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—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—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ゲル星型ポ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	マイクロゲル核星型ポ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の合成と重合場構築	第 59 回高分子討論会	0	2010 年
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 & N. Sano	Synthesis of macroporous zeolite monolith by ice-templating	10th International Conference on Fundamentals on Adsorption	P	2010年
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. M. Suzuki	Complete decomposition of azo-dye using Pd and Pd-Cu alloy coated microreactors under high-pressure and high-temperature water conditions	化学工学会第42回 秋季大会	0	2010年
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	平成22年度産総研 環境・エネルギーシ	P	2011年

		システムの開発	ンポジウムシリーズ 4		
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, I.	Application of a Continuous Microflow System to Radical Multi-Component Reactions	The 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem 2010)	P	2010 年
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・	マイクロフロー系により	日本化学会第91春	0	2011 年

	日野・柳	制御されたシクロアルカンの光ハロゲン化反応	季年会		
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 a Mesoporous Silica	ZMPC 2009	P	2009 年
61	T. Miyaji, S. Onozawa, N. Fukaya, M. Ueda, Y. Takagi, T. Sakakura, and H. Yasuda	Diphenylphosphino functionalization of mesoporous silica using tripodal linker units	TOCAT6 / APCAT5	P	2010 年
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	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

		熱の影響			
68	小野寺, 稲垣, 窪田	メソポーラスカーボンを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
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を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	光触媒を用いた高付加価	電気化学会第78回	0	2011年

	川原, A Hamza H. Ali	値化合物合成による光エネルギー変換	大会		
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. Fukaya, M. Ueda, Y. Takagi, T. Sakakura & H. Yasuda	Diphenylphosphino functionalization of mesoporous silica using tripodal linker units	TOCAT6 / APCAT5	P	2010年
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	0	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	0	2010年
87	T. Takahashi, K. Iwanami, S. Hayashi, T. Sakakura & H.	Characterization of silica-alumina and related catalyst materials using	Pacificchem2010	P	2010年

	Yasuda	solid-state NMR methods: The specific H ₂ O coordinated Al[VI] site in Al-MCM-41			
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	0	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和時間 τ の算定	第三回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム(福岡)	P	2010年
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	0	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 TM ₁₁₀ 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長	電子情報通信学会マイクロ波研究会	0	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	0	2010年
97	杉山、清水、小田	ウェルプレート用マイク	第三回日本電磁波エ	P	2010年

	島、大根田、望月、岡本、長島	ロ波照射機の開発とその特性	エネルギー応用学会シンポジウム		
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	0	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	0	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	International Workshop on	招待	2006年10月

		Process Intensification with Microreactor	Process Intensification in Fluid and Particle Engineering	講演	
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: Fast Chemical Synthesis in Microsystems	The Nagoya Medal of Organic Chemistry 2006, Nagoya International Center, Anex Hall, Japan	招待講演	2006年11月
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	「ゾルーゲル法による多孔体のも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	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	招待講演	2007年11月

		ユニットの開発	術」マイクロ化学プロセス		
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 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「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—」	招待講演	2008年2月
13	高橋、石内、上 林、小倉、内 籾、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ッシングの現状と将来展望	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 and Synthesis	国際会議開催	2008年9月
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	第3回 埼玉大-産総研 連携セミナー	招待講演	2009年12月

		体の合成と高選択的な触媒反応			
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	マイクロ波加熱有機合成のための複素誘電率の考察	平成 21 年科研費特定領域研究「マイクロ波特定領域研修会」	招待講演	2009年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 - Silver 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	"Ä Frontiers in Polymer Chemistry": A Symposium in Honor of Professor Roderic Quirk's Retirement	招待 講演	2010年5月

		Functional Polymers			
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 Functional Polymers via Metal-Mediated Living Radical Polymerization (Polymerisation)	Soft Matter Symposium to launch the Centre for Soft Matter Research of Durham University, Durham, UK	招待講演	2010年7月
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	The 38th Greek Polymer Society Symposium on Polymer Science and	招待講演	2010年10月

		Designed Functional Polymers by Living Radical and Cationic Polymerizations	Technology, Crete, Greece		
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化学の異分野融合を目指してー	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
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	The Fifth Mitsui Chemicals International Symposium on Catalysis Science (MICS 2011), Kisarazu, Chiba	招待講演	2011年3月

		Catalysis Science			
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	Pacificchem 2010	依頼講演	2010年12月

		carbon dioxide			
34	川波	コンパクト高温高圧水-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	高温高圧下での有機反応・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 (Pacifichem 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結反応の新展開	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	革新的マイクロ反応場利用部材技術開発PJ	ナノテク2011展	展示会	2011年2月
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	第三回日本電磁波エネルギー	招待	2010年

		クロ波加熱原理	ギー応用学会シンポジウム	講演	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	耐熱性グルタミナーゼ	★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	アリールヒドロキシ 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9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

	出願		キシルアミンの製造方法	総研
5	2010年2月15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	ヒドロキン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応用触媒	★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-ジアリール 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重大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えます。

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ている。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。