

革新的マイクロ反応場利用部材技術開発プロジェクト

事後評価分科会 概要説明資料 (2006年度～2010年度 5年間)

5. プロジェクト全体の概要について

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
電子・材料・ナノテクノロジー部

平成23年8月3日(水)

概要説明 報告の流れ

I. 事業の位置づけ・必要性



II. 研究開発マネジメント



III. 研究開発成果



IV. 実用化、事業化の見通し

NEDO

長谷部PL

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

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

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

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

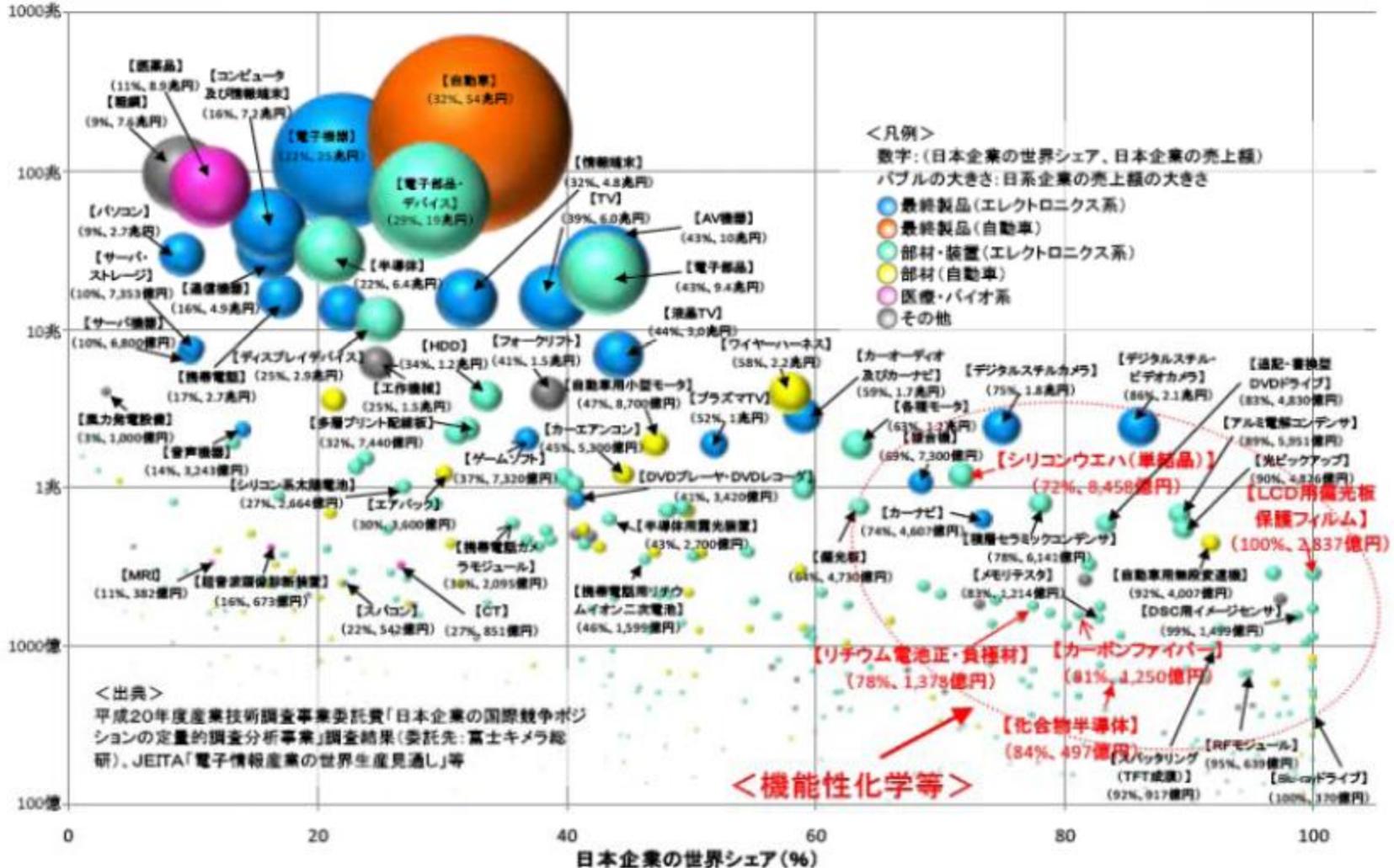
公開

I. 事業の位置付け・必要性

(1) 事業の背景

主要製品・部材の市場規模と日本企業の世界シェア(2007年)

世界市場規模(円)



公開

I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その1)

■次世代化学産業に何が求められているか

国際競争力の強化

汎用品
(大量生産、低収益)

新興国の発展による
コスト競争力の低下

高付加価値製品
(多品種少量生産、高収益)

電子材料・医療品・健康食品等の分野でのニーズ高い

環境負荷に対する貢献

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

既往の生産法、廃棄物処理法
の改良だけでは両立は困難

課題:
大量の廃棄物・副製品の発生

ニーズ

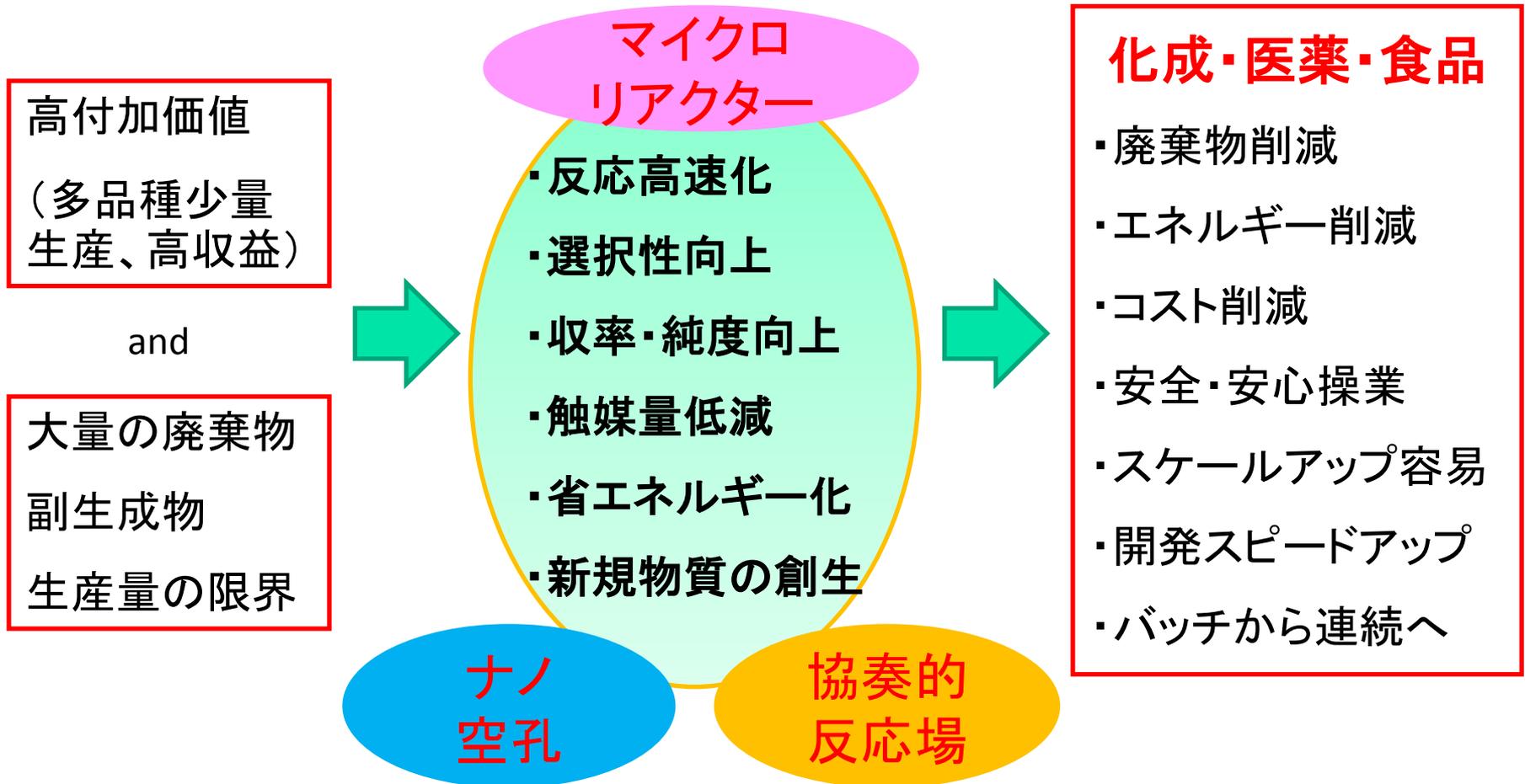
必要なものだけを必要なだけ反応させ無駄をゼロにする生産技術

公開

I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その2)

■ マイクロ、ナノ技術を活用した生産技術革新



公開

I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その3)

マイクロ反応場

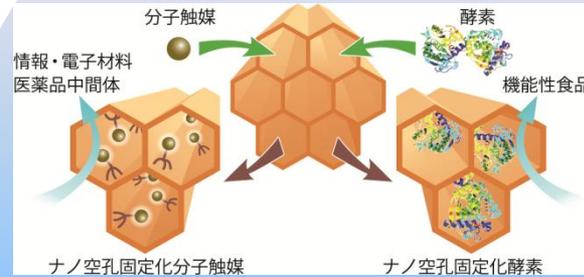
を利用した化学プロセス技術開発

マイクロリアクター



マイクロ時空間を制御

ナノ空孔材料



制御されたナノ空孔(空間)を活用

前プロジェクトの成果を活用

協奏的反応場

マイクロ波、光等の外部エネルギー、高圧条件下

技術革新の著しい微細空孔材を利活用

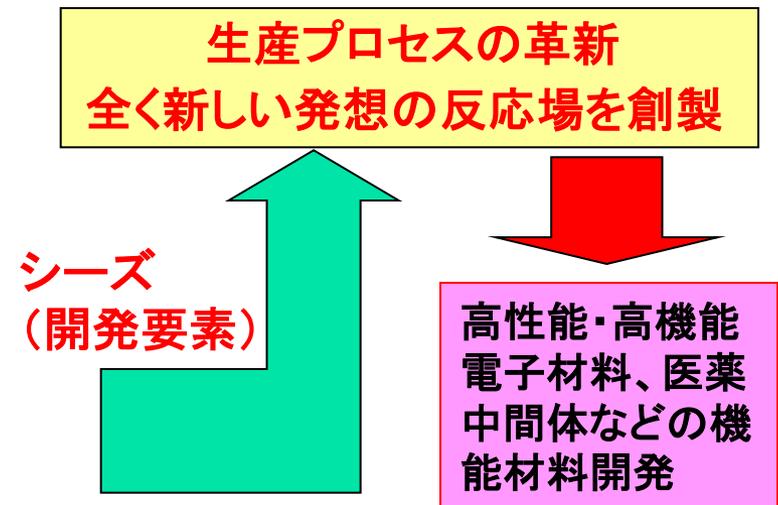
高選択的プロセス革新を可能にする新しい化学プロセス技術を確立し、新産業の創生を図る

I. 事業の位置付け・必要性

(2) 事業の位置付け(その4)

■ マイクロ, ナノに関する技術の集積

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



<従来技術との比較>

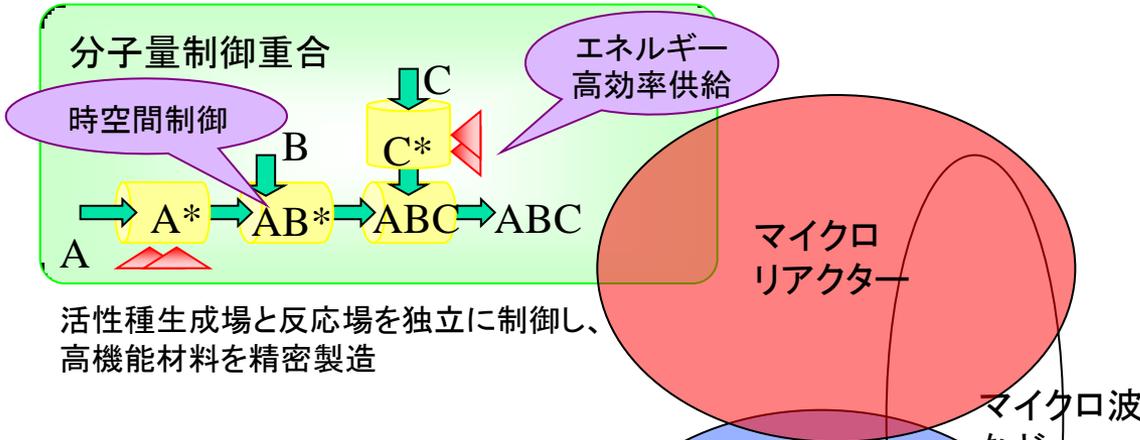
少量多品種 生産技術	生産性	精密 制御	収率・純度	コスト	技術成熟度
マイクロ反応場 (連続生産可能)	○～△	◎	◎	△	△
バッチ処理	◎～△	△	△	○	○

I. 事業の位置付け・必要性

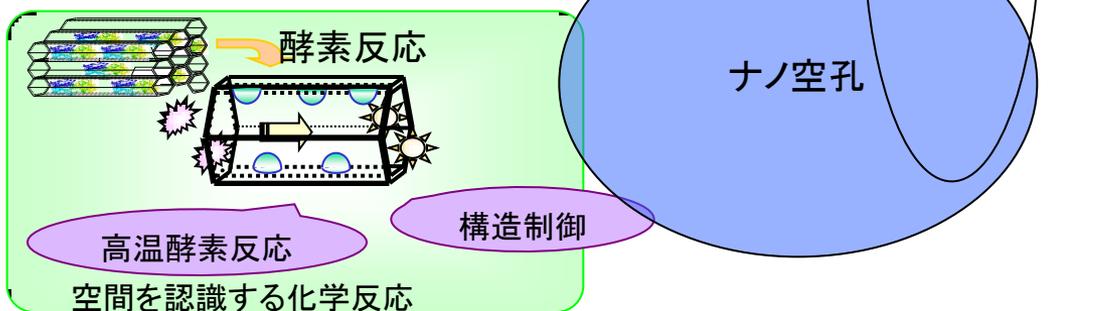
(3) 事業の目的

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

●マイクロリアクター技術



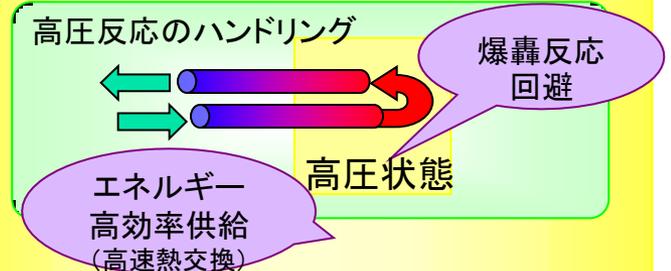
●ナノ空孔技術



ナノ空孔反応場と酵素の協働作用により高速・高選択的合成

●協奏的反應場

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術にマイクロ波などを組み合わせ



例. 高圧ニトロ化反應



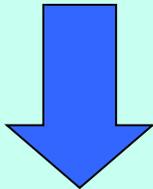
例. ナノ空孔のマイクロ波による加熱

I. 事業の位置付け・必要性

(4) NEDOが関与する意義

マイクロ化学プロセス技術

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



<我が国の材料産業>

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

NEDOによる国家的、集中的実施が必要

NEDOがプロジェクトマネジメントする効果

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

公開

I. 事業の位置付け・必要性

(5) 政策的意義(その1)

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

1. 「イノベーションプログラム」の中での体系的推進 (Inside Management & Accountability)
 - 経済産業省の全ての研究開発プロジェクトは、政策目標毎に7つの「イノベーションプログラム」の下で体系的に推進。
 - 各プログラムの中で、政策目標に向けたプロジェクトの位置付けと目標の明確化、市場化に必要な関連施策(規制改革、標準化等)との一体化を図り、イノベーション実現に向け各プロジェクトを効果的に推進。
2. 「技術戦略マップ」に基づく戦略的企画立案 (Outside Communication & Networking)
 - 先端産業技術動向を把握し、国が取り組むべき技術課題とイノベーションの道筋を明確化するため、産学官で協働するロードマッピング手法を導入(『技術戦略マップ 2005/2006/2007/2008』)。
 - 研究開発プロジェクトの選定に当たっては、イノベーションプログラムにおける政策目標を基に技術戦略マップに位置付けられた重要技術課題を抽出し戦略的に企画立案。

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

21年度予算案 188億円

ナノテク・部材 IPG

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

あらゆる分野に対して高度
化、不連続な革新をもたら
すナノテクノロジー、革新的
部材技術を確立

21年度予算 50億円

心 IPG

- | | |
|---------|---------|
| ①心 IPG | 102億円 |
| ②心 IPG | 再生 |
| ③心 IPG | 開発 28億円 |
| 21年度予算案 | 130億円 |

21年度予算 130億円

エネルギー IPG

- | | |
|--------------------------|---------|
| ①総合エネルギー効率の向上 | 707億円 |
| ②運輸部門の燃料多様化 | 278億円 |
| ③新エネルギー等の開発・導入促進 | 369億円 |
| ④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保 | 268億円 |
| ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用 | 479億円 |
| 21年度予算 | 1,281億円 |

環境安心 IPG

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

航空機・宇宙産業 IPG

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

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

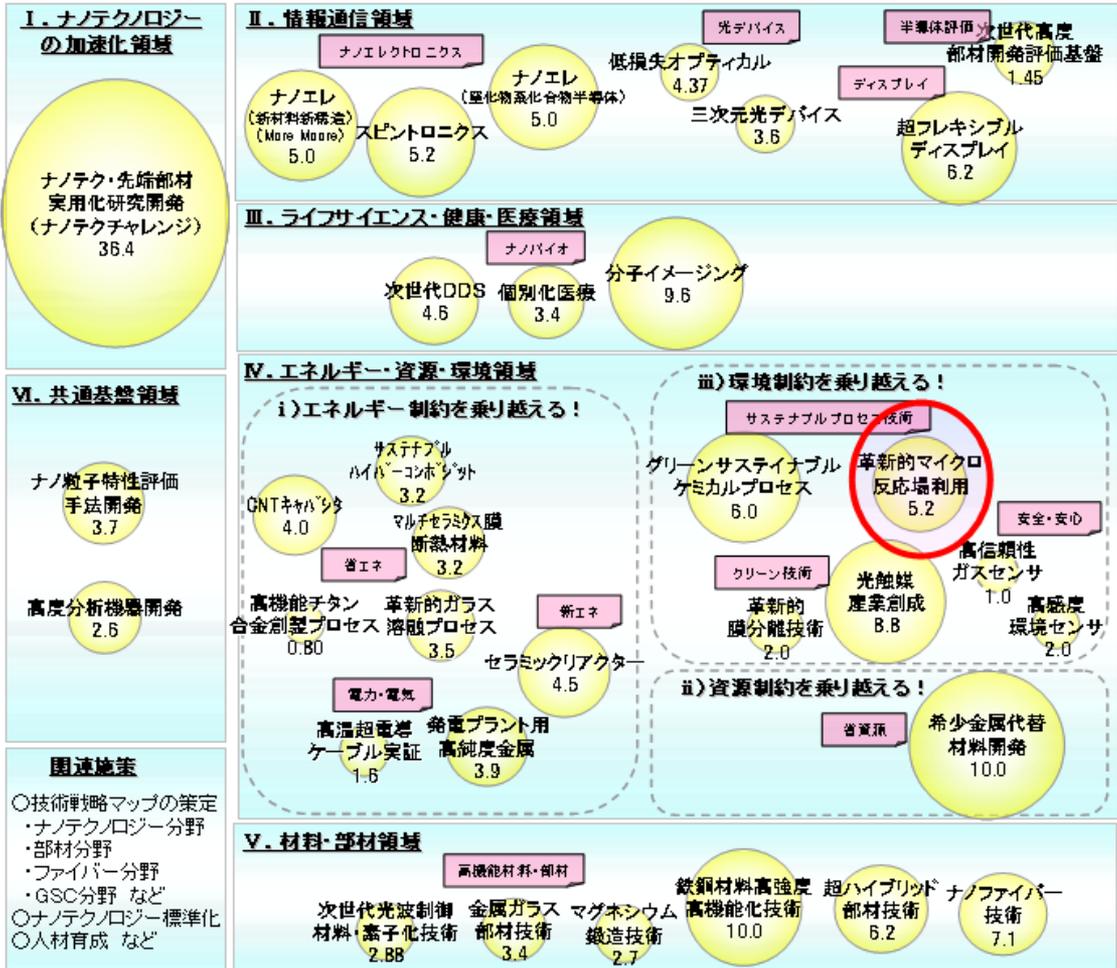
I. 事業の位置付け・必要性

(5) 政策的意義(その2)

ナノテク・部材イノベーションプログラム

【平成20年度予算額:184.5億円】

- あらゆる分野に対して高度化・不連続な革新をもたらすナノテクノロジー・革新的部材技術を確立！
- 我が国産業の国際競争力の維持・強化や解決困難な社会的課題の克服！



IPGの目標

世界に先駆けてナノテクノロジーを活用した非連続な技術革新を実現する！

我が国部材産業の強みを更に強化することで、他国の追随を許さない競争優位を確保するとともに、部材産業の付加価値の増大を図る！

ナノテクノロジーや高機能部材の革新を先導することで、これら部材を活用した情報通信、ライフサイエンス、環境、エネルギーなどの幅広い産業の付加価値の増大を図る！

希少金属などの資源制約の打破、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！

公開

I. 事業の位置付け・必要性 (5) 政策的意義(その3)

エネルギーイノベーションプログラム

【20年度予算額 817億円】

※基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。

背景

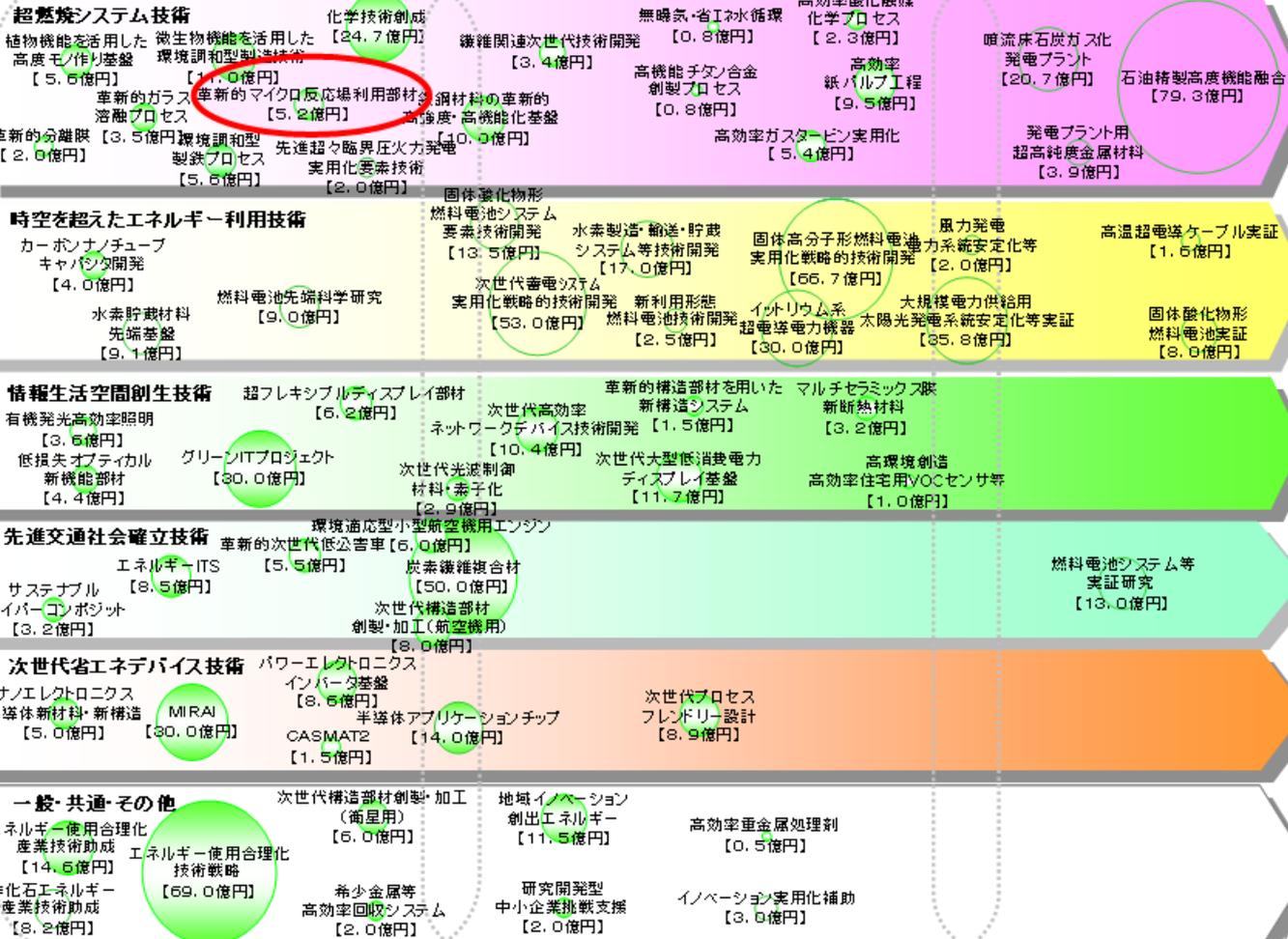
エネルギー資源の約8割を海外に依存する我が国にとって、これを効率的に利用すること、即ち「省エネ」を図ることはエネルギー政策上の重要課題である。

基礎

実用

実証

目標



エネルギー消費効率を2030年度までに30%以上改善

I. 事業の位置付け・必要性

(6) 実施の効果(費用対効果)

■ 市場・省資源効果

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

* 効果の根拠については事業原簿 P I -1 参照下さい。

概要説明 報告の流れ

I. 事業の位置づけ・必要性



II. 研究開発マネジメント



III. 研究開発成果



IV. 実用化、事業化の見通し

NEDO

長谷部PL

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

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

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

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

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(1) 事業の目標

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

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(2) 事業の計画

＜全体スケジュール＞

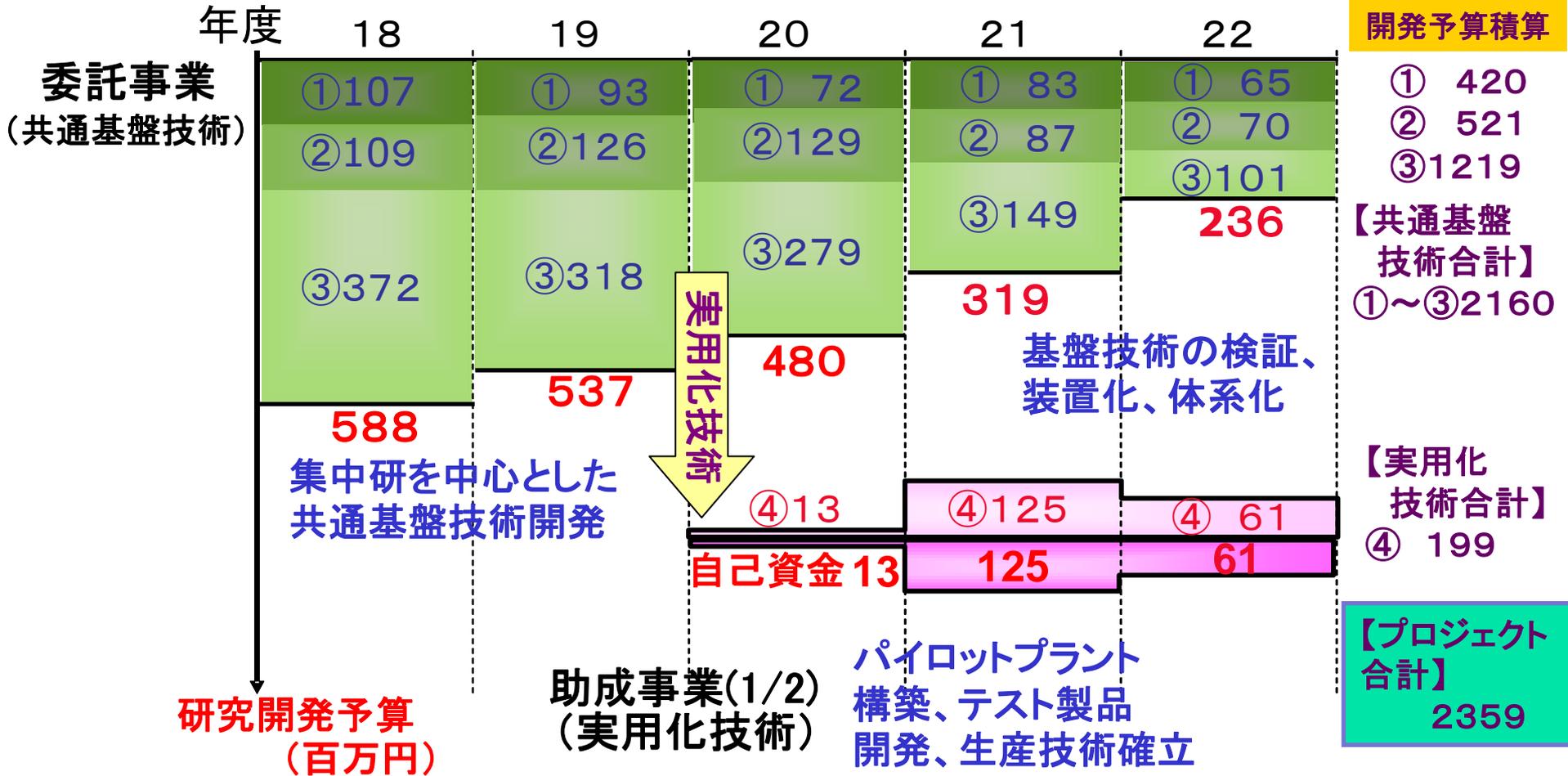
研究開発項目		スケジュール				
		H18	H19	H20	H21	H22
共通 基盤 技術	① マイクロリアクター技術	反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立				
		活性種生成場と反応場を分離した反応装置設計と 生産システム化に関する共通基盤技術の開発				
	② ナノ空孔技術	ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発				
		ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発				
		ナノ空孔固定化触媒の開発				
		ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の開発				
	③ 協奏的反応場技術	マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発				
		ナノ空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				

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(2) 事業の計画

<事業の計画内容 開発予算>



公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(2) 事業の計画

<事業の計画内容 実施体制(その1)>

PL

NEDO技術開発機構

推進委員会

共通基盤技術研究(100%委託)

実用化研究(1/2助成)

マイクロ化学プロセス技術研究組合(MCPT)
産業技術総合研究所(産総研)

● 京都集中研(研究開発項目①、③)

京都大学

日油

日立製作所

和光純薬工業

山田化学工業

富士フイルム

富士フイルムファインケミカルズ

横河電機

● つくば集中研(研究開発項目②、③)

産総研

和光純薬工業

太陽化学

エヌ・イー ケムキャット

共通基盤技術
成果を実用化

● 研究開発項目④

(H20～ 助成事業開始)

日油

(H21～ 助成事業開始)

日立製作所

和光純薬工業

山田化学工業

エヌ・イー ケムキャット

太陽化学

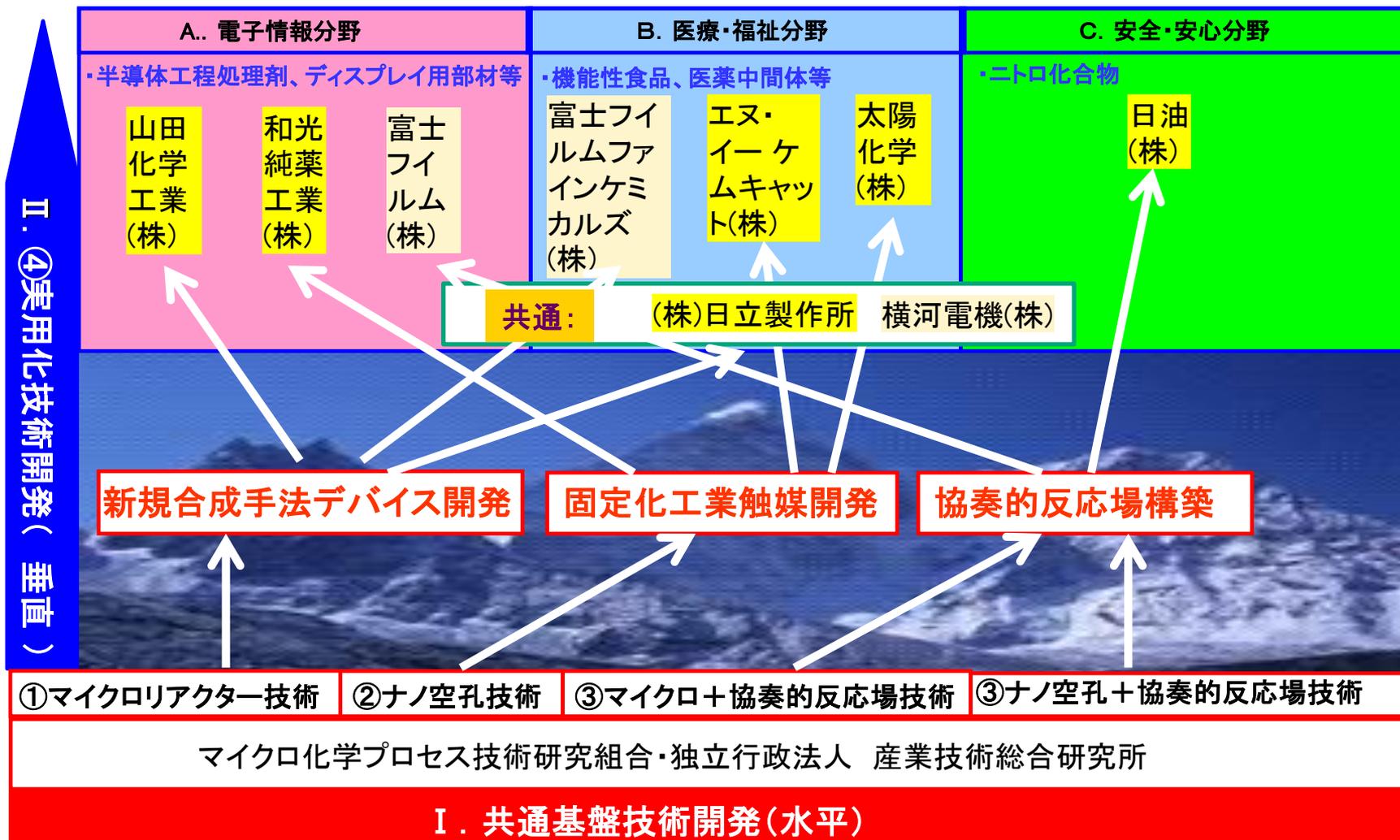
基盤技術研究+実用化研究のハイブリッド型

★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

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて (2) 事業の計画

＜事業の計画内容 実施体制(その2)＞



公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(2) 事業の計画内容

<PLの役割>

長谷部PL：効率的なプロジェクト推進のため、研究開発を統括

NEDO

指示・協議



- 研究室の組織構成の決定
- 研究体所属研究者の選任
- 予算の配分
- 年度毎の概算要求案の策定
- 研究計画の変更
- 研究経過の報告
- 研究終了報告
- 研究体知的財産権取扱管理
- 論文発表管理
- 各種関係会議への対応、総括
- 事業計画の策定および実施

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(3) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメント

1. プロジェクトのマネジメント

(1) 情報管理

- ・プロジェクト内で実用化、事業化のアウトプットが重複しない体制を構築

(2) 基盤技術研究＋実用化研究のハイブリッド型

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

(3) 加速予算

- ・目覚ましい成果の期待できるテーマに関しては、研究加速財源を配分

2. 知財のマネジメント

(1) 企業による出願

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

公開

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(4) 研究の運営管理

H18年度 H19年度 H20年度 H21年度 H22年度
8月 12月 4月 8月 12月 4月 8月 12月 4月 8月 12月 4月 8月 12月 4月

①NEDO主催

技術推進委員会

中間評価

②プロジェクト自主開催

総合調査委員会 (6回開催)

目的: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

成果報告会 (3回開催)

目的: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

ジョイントミーティング

目的:京都、つくば両集中研間の情報交換及び共同研究の促進

(別途、各グループ報告会は毎月実施)

★
マイルストーンの達成度等を外部有識者を交えて評価
→ テーマの加速、推進を決定

★
プロジェクト運営、テーマ進捗等について外部有識者が評価
→ 指摘事項を以降のプロジェクト運営に反映



指摘事項:両集中研の相乗効果に期待したい
→ 協奏的応答場技術を中心に年2回以上の交流会実施

Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

(5) 情勢変化への対応

● 情勢の変化、著しい進捗があったテーマに、重点的に研究加速財源を配分

<H18年度加速案件(178百万円)>

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

【国際競争力強化】

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

<H19年度加速案件(68百万円)>

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

【実用化への加速】

・②-3-2「ナノ空孔固定化触媒の開発」において、今年度9月までに鈴木カップリング反応におけるパラジウムのリーチングが1.5 ppmと非常に少ない触媒開発に成功し、既に今年度目標の20ppm以下を大幅に達成し、中間目標(20年度末)の1ppmにあと一歩という目覚ましい成果を挙げ、実用化に向けた研究開発の加速を実施。

<H20年度加速案件(107百万円)>

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

【実用化への加速】

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

概要説明 報告の流れ

公開

I. 事業の位置づけ・必要性



II. 研究開発マネジメント



III. 研究開発成果



IV. 実用化、事業化の見通し

NEDO

長谷部PL

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

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

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

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

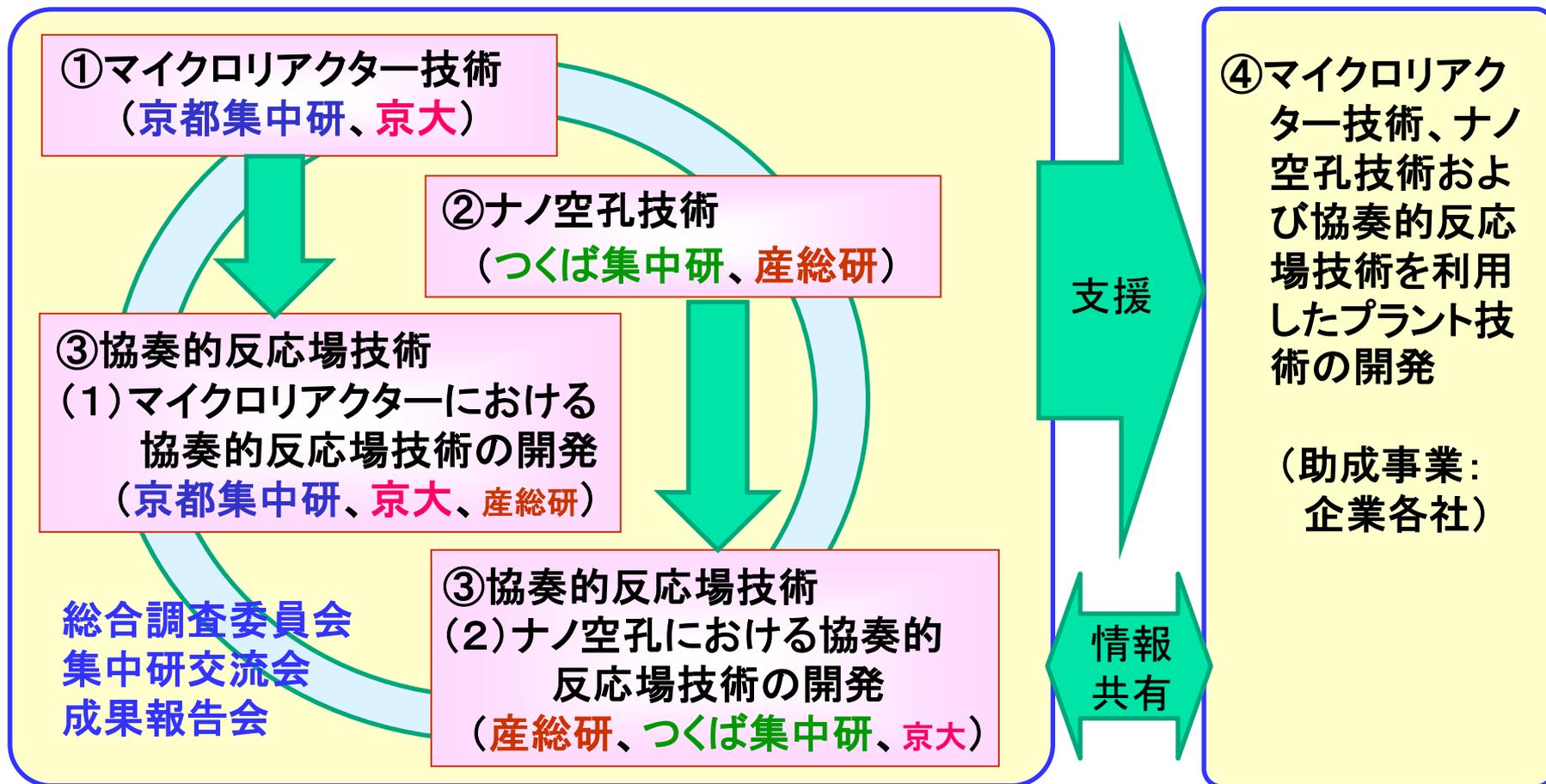
Ⅲ. 研究開発成果

公開

1) 研究開発項目と体制

■ 基盤研究

■ 実用化研究



集中研：マイクロ化学プロセス技術研究組合集中研究所

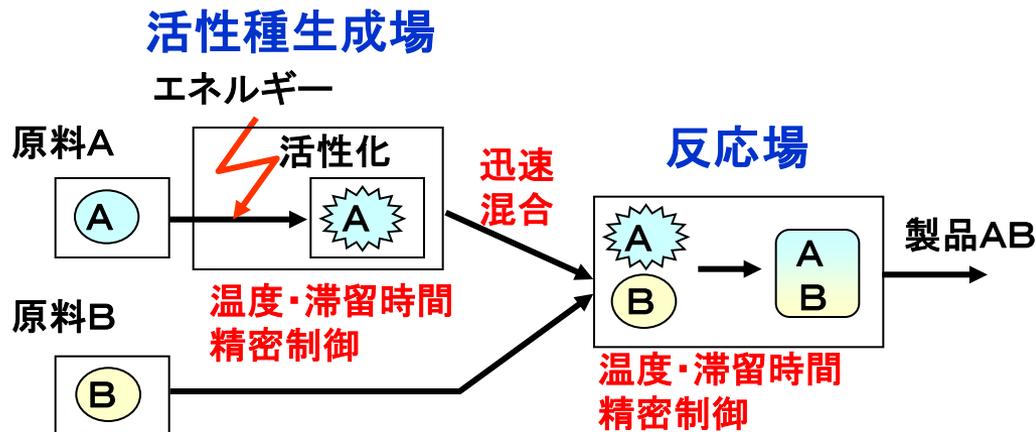
2) 成果の概要

①マイクロリアクター技術

■研究開発の目標

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

■活性種生成場と反応場の分離



マイクロリアクター

急速混合、急速加熱・冷却、
急速移動、極短反応時間制御

活性種の生成場と
反応場を分離

活性種の化学反応を制御
する基盤技術を確立

反応系探索 + デバイス + プロセス技術 → 迅速な実用化

開発目標と達成状況

MCPT、京大、阪府大(再)

(1) 反応剤・触媒等を用いた活性種生成・反応技術の確立

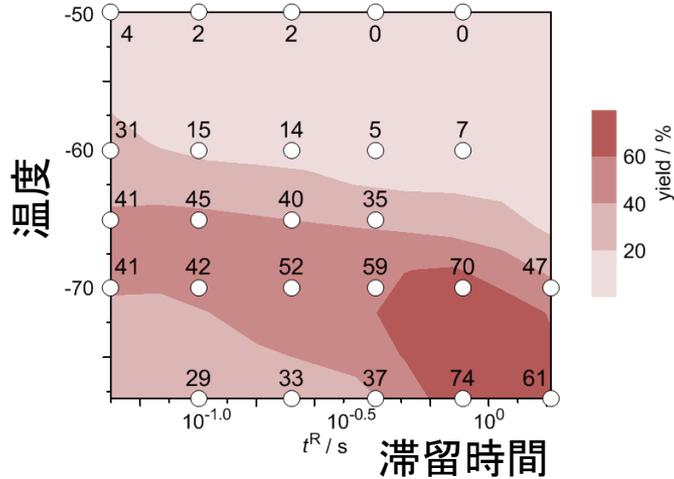
最終目標	達成度	根拠
(a) 各種活性種に対して、寿命と望ましい急速混合技術の關係の体系化	○	・生成物の収率を温度-滞留時間に対してマッピングすることにより各温度での活性種の寿命評価法を確立

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

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

開発目標と達成状況

(1)(a) 寿命と望ましい急速混合技術の関係の体系化



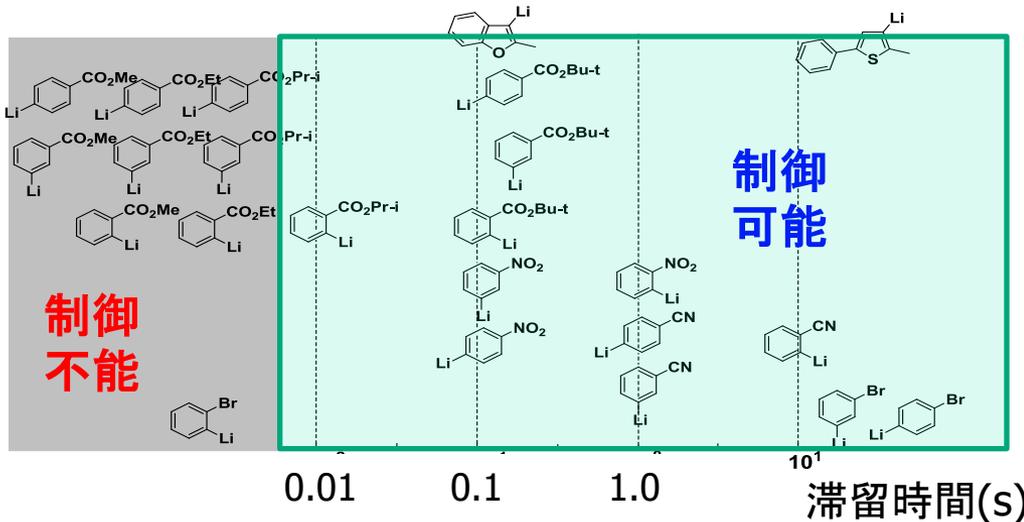
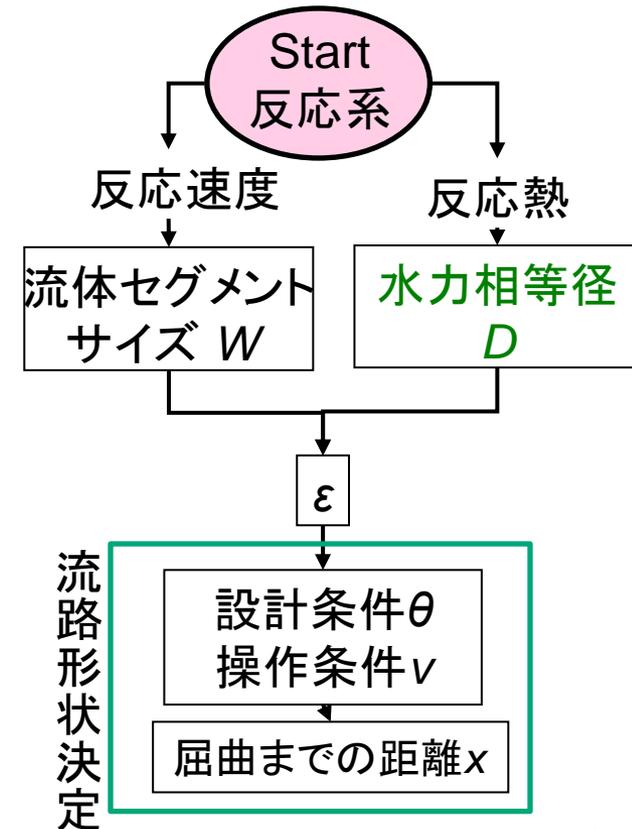
(2)(a) マイクロ反応器の形状設計手法を開発

エネルギー散逸率

$$\varepsilon = \text{圧力損失} / (\text{密度} \times \text{滞留時間})$$

マイクロデバイス
経験的に設計

世界で初めて形状設計法を確立

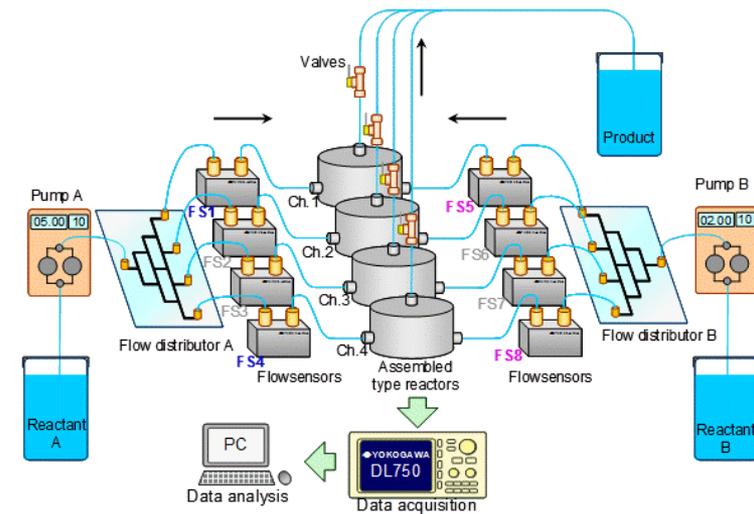
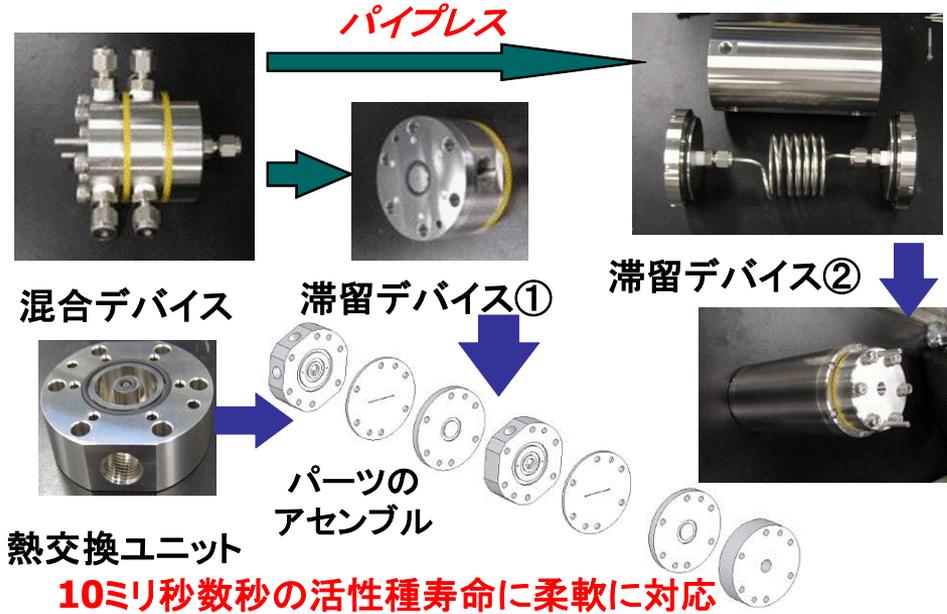
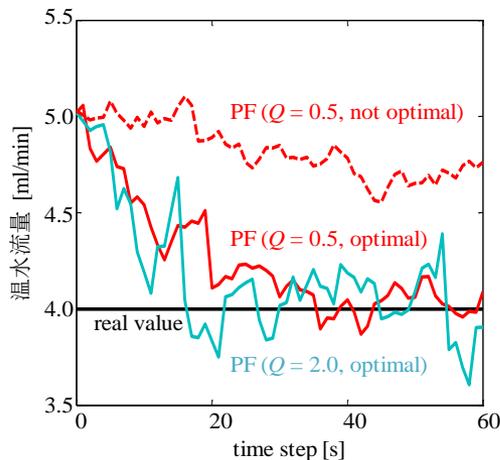


開発目標と達成状況

(2)(b) 広範囲な活性種寿命に対応できるデバイスコンポーネントの開発



(2)(c) 制御・監視システムを開発し、実験プラントへ実装



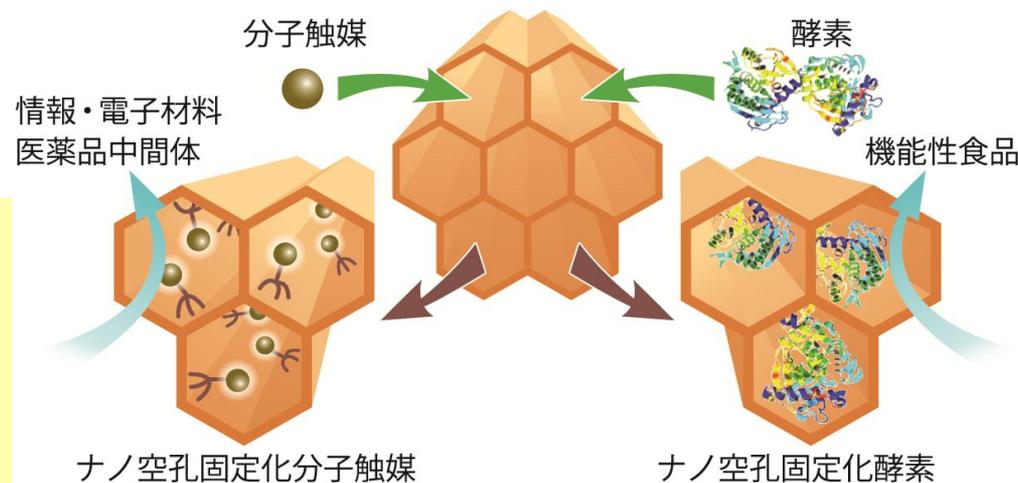
②ナノ空孔技術

MCPT、産総研、東大(再)、横浜国大(再)

■基本計画の目標

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

■規則的ナノ空孔へ分子触媒、酵素を固定化



ナノ空孔を有する材料を分子触媒・酵素の固定化担体として利用

ナノ空孔を協働作用場・精密反応場として利用した化学反応の高度制御

開発目標と達成状況

(1) ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発

最終目標	達成度	根拠
ナノ空孔反応場と分子触媒との協働作用の優位性により、転化率、選択率を実用レベルまで向上させる。	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・有機ヒドロキシルアミン類の合成において、転化率99%、選択率98%。 ・環状サルファイト合成において、転化率99%、選択率97%。

(2) ナノ空孔反応場と酵素の協働作用技術の開発

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

(3) ナノ空孔固定化触媒の開発

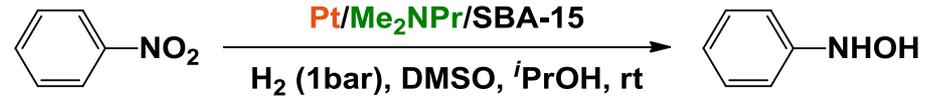
分子触媒レベルの反応効率を達成し、かつ実用可能レベルの触媒リーチン抑制技術を開発する。	○	<ul style="list-style-type: none"> ・鈴木カップリングでクロロ体基質を用いて収率95%、不斉水素化では不斉収率95% ee。 ・目的物中の残留金属濃度0.2 ppm以下。
---	---	--

(4) ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立

協働作用発現機構のモデルを提案、また工業触媒へ応用可能なナノ空孔内への分子触媒、酵素の有効な固定化手法を開発する。	○	<ul style="list-style-type: none"> ・Al-MCM-41空孔内の歪んだAl^{IV}サイトがルイス酸点として機能する協働作用発現機構を提案。 ・アリアルシラン類を用いた新規な有機基固定化手法を開発。 ・ナノ空孔特性(サイズ適合性や高多孔性)が酵素特性(立体構造や活性挙動)に作用するモデルを提案。
---	---	--

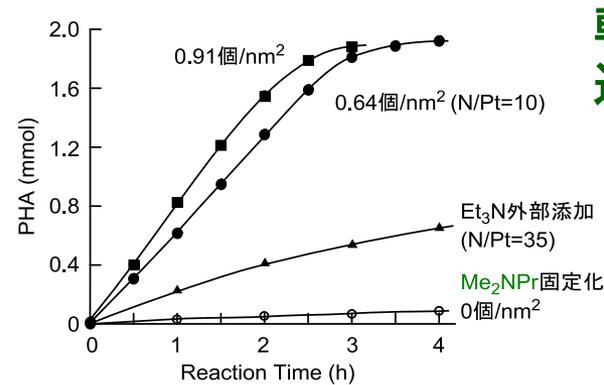
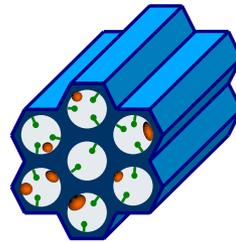
開発目標と達成状況

(1) 有機ヒドロキシルアミン類の合成



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

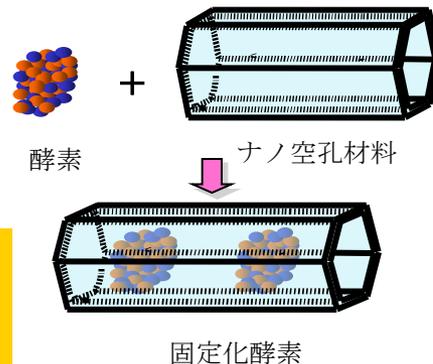
Pt/Me₂NPr/SBA-15



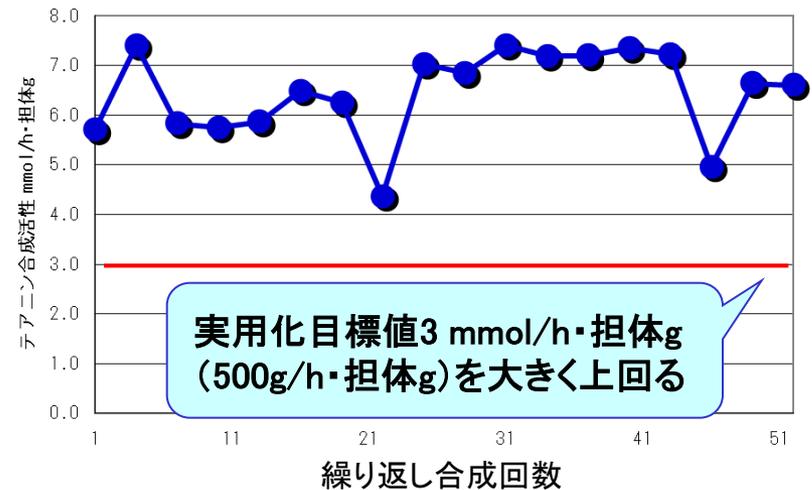
転化率: >99%
選択率: 96%

収率: 96%

(2) ナノ空孔固定化グルタミナーゼ



アミノ酸の合成酵素で50回以上の繰り返し使用を達成！



実用化目標値3 mmol/h・担体g (500g/h・担体g)を大きく上回る

開発目標と達成状況

(3) ナノ空孔固定化分子触媒

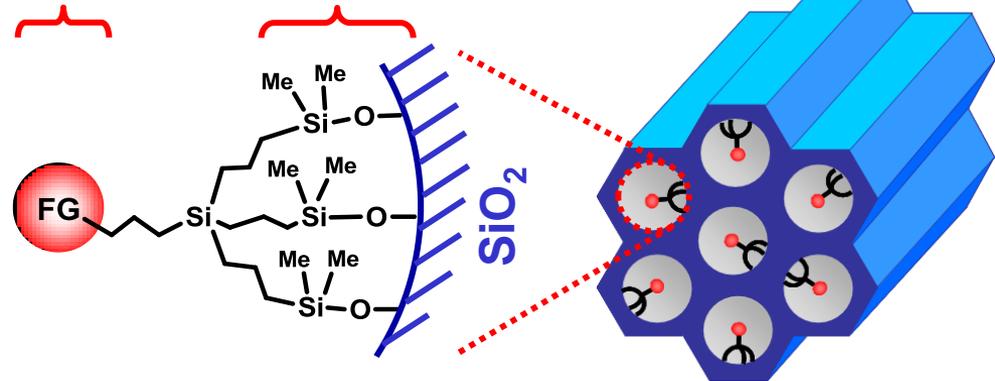
・多点結合により有機部位のリーチングを大幅抑制

(従来型 約50% → 6%)

・鈴木カップリング、不斉水素化で
金属リーチング 0.2 ppm以下！

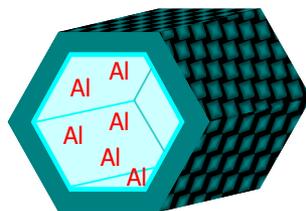
分子触媒能

多点で固定



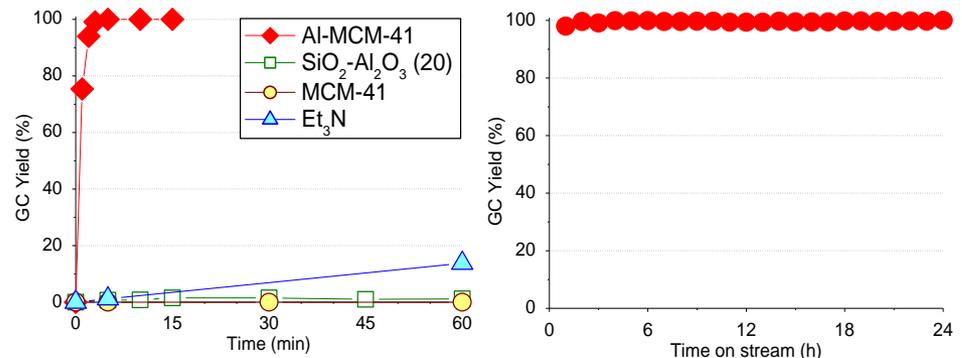
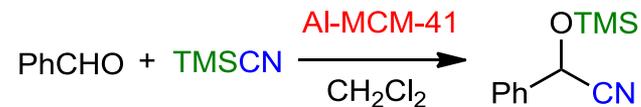
ナノ空孔固定化分子触媒

(4) ナノ空孔反応場利用技術



Al-MCM-41

シリカ骨格内のAlと規則性メソ細孔構造が重要！（協働効果）



Al-MCM-41触媒によるシアノシリル化

③協奏的反応場技術

■基本計画の目標

マイクロ波、光、電場等のエネルギー供給手段、あるいは高温高圧、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。

活性種生成手段

高圧技術

圧力・温度で活性種平衡をシフト

電極反応技術

電子移動による活性種の生成

触媒技術

触媒作用による活性種生成

光技術

光励起による活性種生成

マイクロ波技術

急速加熱・選択的活性化

マイクロ空間反応場、ナノ空孔反応場

(活性種にあわせて自在に反応場を設計し、望む反応を選択的に進行)

■研究項目

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

③協奏的反應場技術

(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

公開

MCPT、京大、産総研、東工大(再)、
東北大(再)、三重大(再)

(a) 外部エネルギーを用いた活性種生成・反応技術の確立

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

(b) 高圧との協奏的反應場技術の開発

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

◎: 大幅達成、○: 目標達成、△: 未達

③協奏的反應場技術

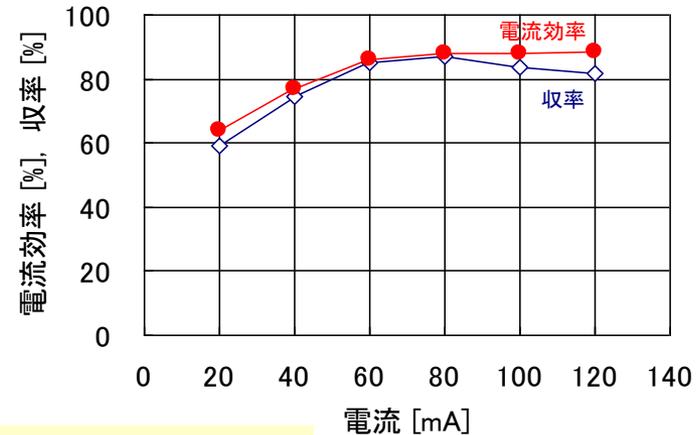
(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

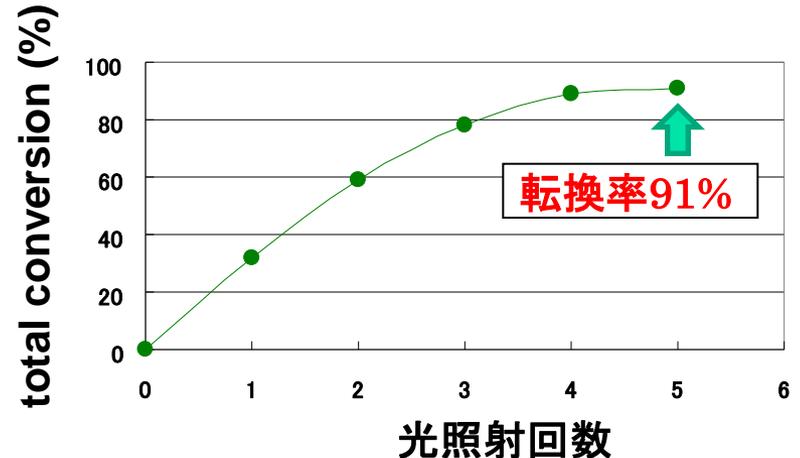
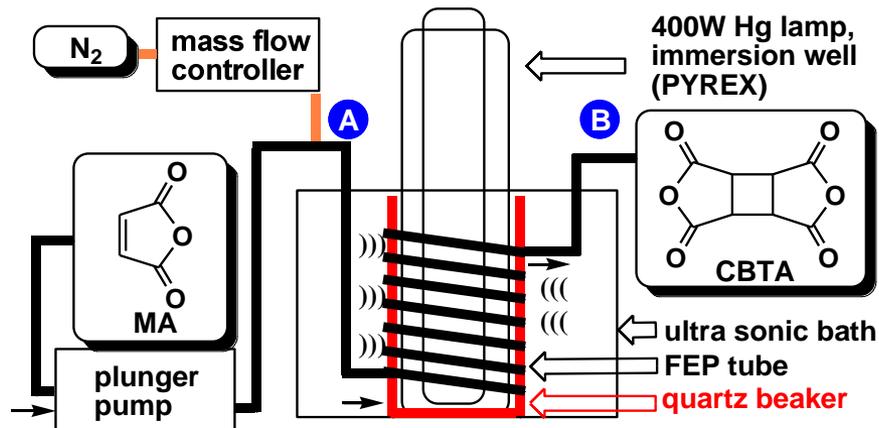
公開

MCPT、京大、東工大(再)

- (a)1) 電流効率が90%以上の電解プロセス開発
- (a)2) パイロットプラントでの連続運転



- (a)3) 転換率が90%以上の光反応合成プロセスの開発



③協奏的反應場技術

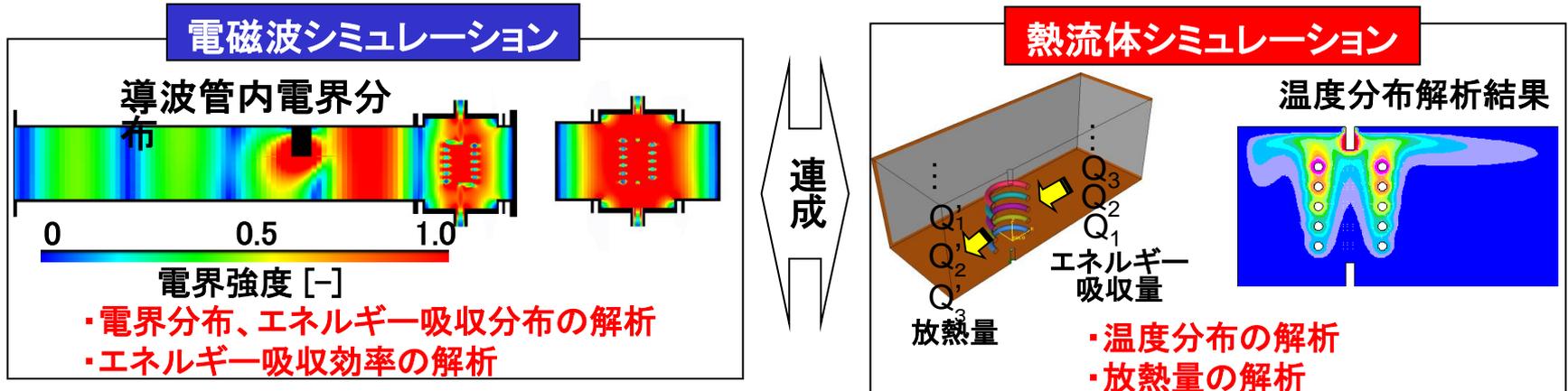
(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

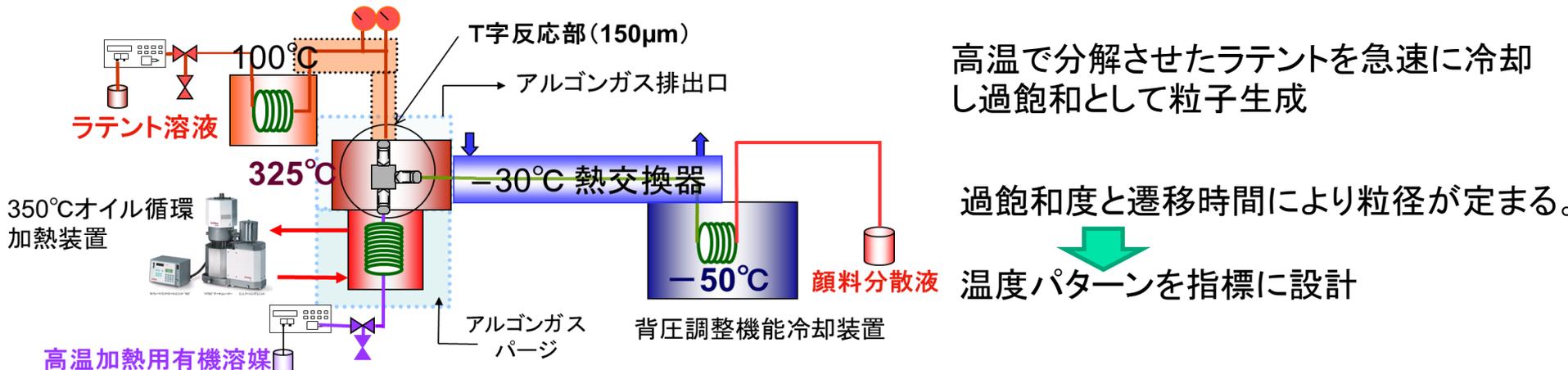
公開

MCPT、京大

(a)4) マイクロ波利用装置の形状設計法の開発



(a)5) ナノ粒子製造プロセスの設計手法の確立



③協奏的反應場技術

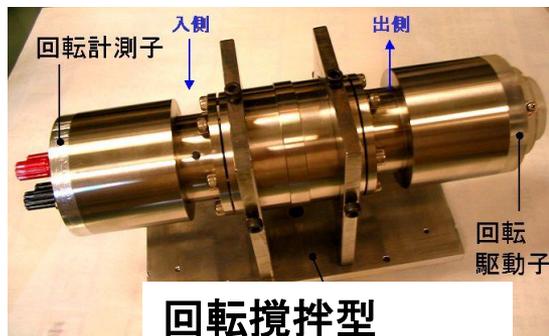
(1) マイクロリアクターにおける協奏的反應場技術の開発

開発目標と達成状況

公開

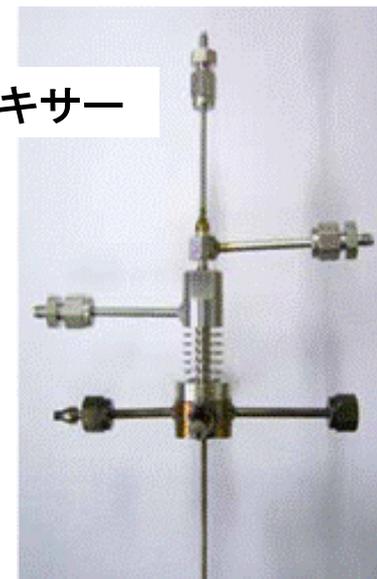
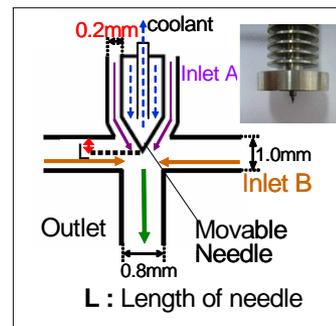
MCPT、京大、産総研、三重大(再)

(b)1) 50MPa以上で混合時間0.01秒以下の耐食システム開発



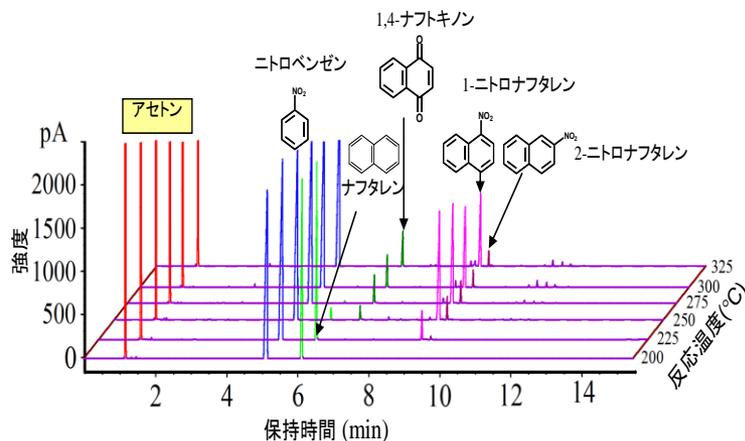
回転攪拌型
マイクロリアクター

ニードル式高温高压マイクロミキサー



(b)2) 各種高機能材料生成のための選択的反應技術の開発

ナフタレンのニトロ化結果



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



250°C・40MPaで実用化ターゲットのニトロナフタレンが91%と高収率

開発目標と達成状況

産総研、MCPT、京大、阪府大(再)、東大(再委託)、横国大(再委託)

(a)マイクロ波、マイクロリアクター利用触媒反応技術の開発

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

(b)マイクロリアクター、マイクロ波及び反応媒体利用触媒反応技術の開発

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

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

公開

日油、山田化学、日立、太陽化学、
和光純薬、エヌイー・ケムキャット

■基本計画の目標

マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術、協奏的反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。

■得られた成果

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

3) 成果の普及、広報活動

公開

■ 成果の公表(プロジェクト全体)

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

3) 成果の普及、広報活動

公開

■ 成果の発信

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



INCHEM TOKYO プラントショー



IMRET 11

3) 成果の普及、広報活動

公開

■ 人材教育

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

マイクロ化学プロセス人材育成事業

I マイクロ化学プロセス入門コース

- 1 マイクロ化学プロセス入門(3)

II マイクロ化学プロセス実践コース

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

()内はコマ数



テキストと自習用ビデオ



H22年度より自立化

概要説明 報告の流れ

公開

I. 事業の位置づけ・必要性



II. 研究開発マネジメント



III. 研究開発成果



IV. 実用化、事業化の見通し

NEDO

長谷部PL

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

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

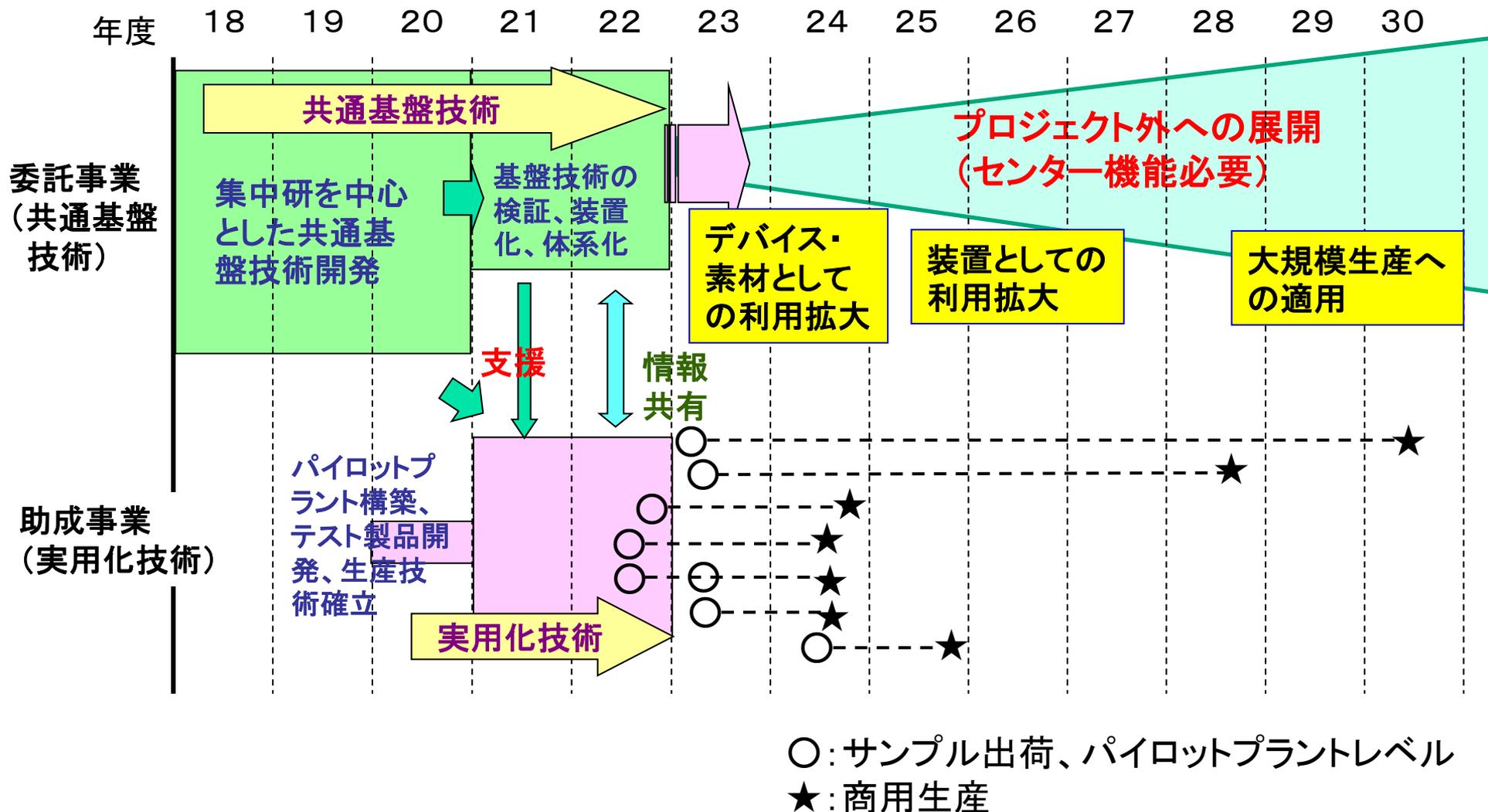
- (1)開発項目と体制
- (2)成果の概要
- (3)成果の普及、広報活動

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

IV. 実用化・事業化の見通し

1) 共通基盤技術、実用化技術の展開

公開



2) 実用化に向けたシナリオ

公開

① マイクロリアクター技術

MCPT、京大、阪府大(再)

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

②ナノ空孔技術

公開

MCPT、産総研

研究項目 実用化・出口イメージ	実用化に向けての解決課題、シナリオ	波及効果
②(1): ナノ空孔反応場と分子触媒の協働作用技術の開発 ・洗浄剤/電池添加剤	ナノ空孔固定化触媒を利用して、廃棄物が併産しないプロセスを構築。触媒の再利用、再活性化により 製造コストを低減 し、現行品よりも安価で高品質な製品を供給。	<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*): ナノ空孔材料の製造・量産化技術の開発 ・バイオリアクター等	製造量を増やすことでの 低価格化 が課題。 部材化 (膜化、紙や繊維への導入、ハニカム化)、様々な分野への用途展開についても検討。	触媒・酵素固定化担体、吸着剤、ドラックデリバリー等医療用材料としての利用拡大。
②(3): ナノ空孔固定化触媒の開発 ・ファインケミカルズ製造触媒等	高い反応性・選択性と金属溶出抑制の性能を併せ持つ世界トップレベルの触媒。既存触媒に比して製造コストが高い点が課題。 触媒製造コストの低減 を図り、供給体制を整備。	医農薬中間体、電子材料などのファインケミカル分野における高付加価値化学品の製造プロセスを高効率化。
②(4): ナノ空孔反応場を利用した反応制御技術の確立 ・利用拡大/普及等	<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。

③協奏的反応場技術

(1)マイクロリアクターにおける協奏的反応場技術の開発

公開

MCPT、京大、産総研、東工大(再)、
東北大(再)、三重大(再)

研究項目 実用化・出口イメージ	実用化に向けての解決課題、シナリオ	波及効果
<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反応 ・ナノ粒子 	<ul style="list-style-type: none"> ・すでにニトロ化を対象に実用化研究で一定の成果を得ているが、広範囲の対象に対して実用化を推進するには、 <ol style="list-style-type: none"> ①チタンライニングのインコネル管・継ぎ手による耐酸性能の長時間での耐食性の実証、 ②化成品製造を視野に入れた量産化技術の課題を解決していく必要あり。 <p>これらは、実用化の最終段階であり、ニトロ化の実機開発を推進している日油と連携し5年後には実用化達成を目標に推進する。</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ・PJ外企業とクロスカップリング技術の製造技術開発を推進(2015年までにベンチプラント実証、サンプル出荷、2020年までに大量生産予定) ・高圧での熱移動の迅速化、苛酷な条件で容易な操作、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

③協奏的反応場技術

(2)ナノ空孔における協奏的反応場技術の開発

公開

産総研、MCPT、京大、阪府大(再)、東大(再)、横国大(再)

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

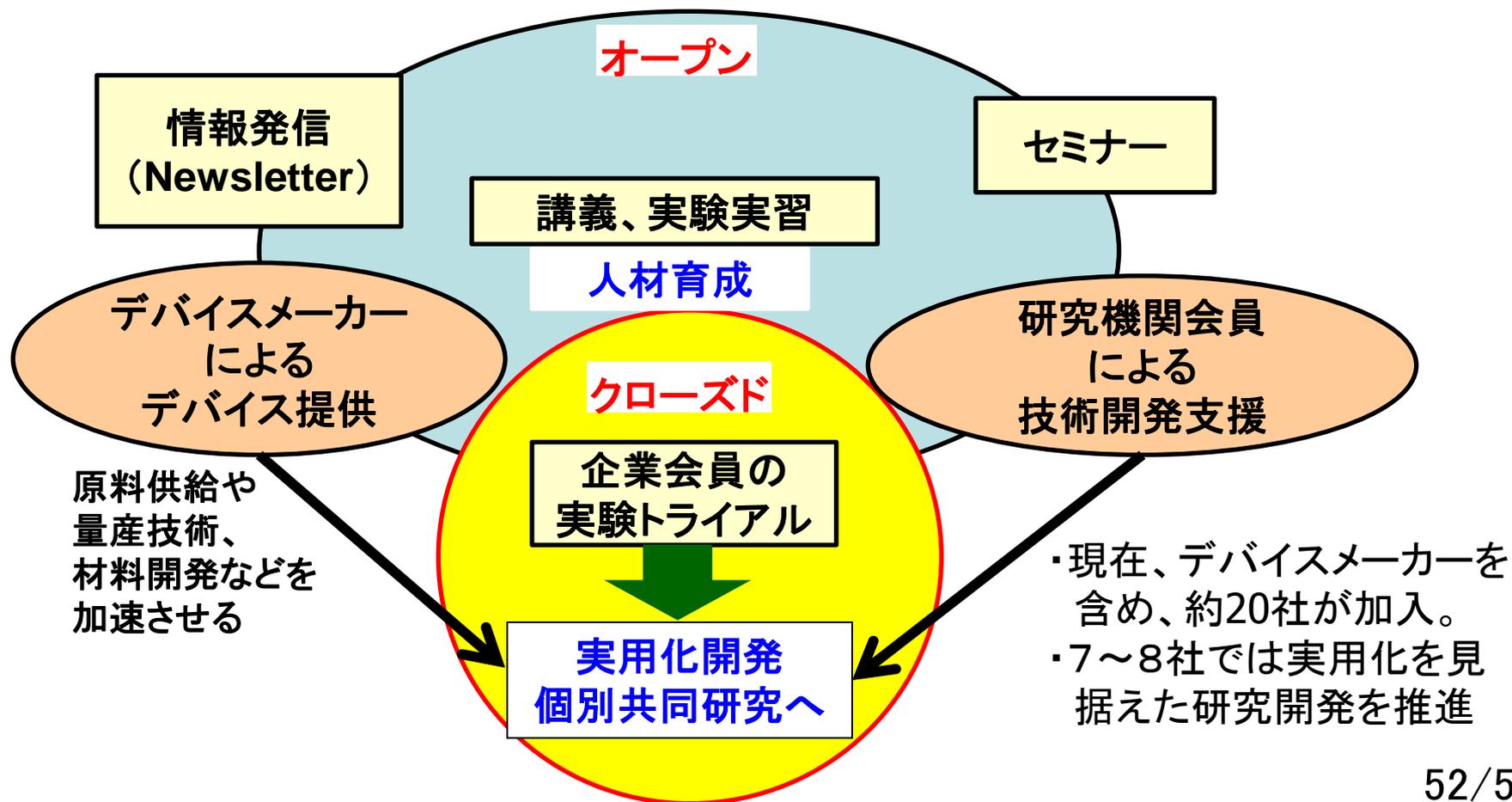
3) 実用化推進、人材育成のための体制

公開

① マイクロリアクター

■ センター機能の構築

京都大学 マイクロ化学生産研究コンソーシアム (H23.5 スタート)



3) 実用化推進、人材育成のための体制

公開

② ナノ空孔

