

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基本計画

1. 研究開発の目的目標・内容

(1) 研究開発の目的

我が国の強みである材料分野において、物質の機能・特性を十分に活かしつつ、材料創製技術と成型加工技術を一体化した技術及び製品化までのリードタイムを短縮化する生産システム技術等により、ユーザーへの迅速なソリューション提案（部品化、製品化）を可能とすることで、新市場及び新たな雇用を創出する高付加価値材料産業（材料・部材産業）を構築するとともに、我が国の国際的産業競争力の強化を図るため、我が国の産業競争力の基盤として、材料産業の高度化（部材化）、高付加価値化を目指し、2005年度までに情報通信機器の小型化、高集積化、省エネルギーを実現するマイクロ部材、機械部品等の高機能・高精度化等を革新的に向上させる新材料部材化技術を確立するとともに、研究生産システムを迅速化する技術を確立する「革新的部材産業創出プログラム」の一環として本プロジェクトを行う。

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。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。

マイクロ化学プロセスは超微細加工技術等によってつくられた幅数 μm から数百 μm を中心とするマイクロ空間を利用して化学反応が行われることを基本とする化学システムであり、マイクロ化学プラント技術とマイクロチップ技術に大別される。マイクロ化学プラント技術はエネルギー伝達や物質移動速度が格段に大きく、化学反応の効率を飛躍的に増大させる可能性を持っている。現在、化学産業は、資源・エネルギー・環境の面から質的な大変革が求められており、マイクロ化学プラント技術はそのための中心的かつ戦略的な技術として期待されている。また、マイクロチップ技術は、現在IC（集積回路）が大衆消費財や産業技術に普及しているのと同様に、複雑で高度な化学システムを広く普及させ、例えば超高速の分析・診断システムなどへの応用が大きなライフサイエンス市場を創出すると期待されている。

本プロジェクトでは、マイクロ化学プロセス技術の核となるマイクロ化学プラント技術及びマイクロチップ技術を確立するとともに、この両技術を統合しマイクロ化学プロセス技術を共通基盤化するためマイクロ化学プロセス技術の体系化（設計・製作・運転のための理論・技術体系の構築）を目的とする。この技術の確立により、化学産業の製造工程等の省エネルギー化に資する。

当該研究開発事業は、経済産業省において研究開発の成果が迅速に事業化に結びつき、産業競争力強化に直結する「経済活性化のための研究開発プロジェクト（フォーカス21）」と位置付けられており、次の条件のもとで実施する。

- ・技術的革新性により競争力を強化できること。
- ・研究開発成果を新たな製品・サービスに結びつける目途があること。

- ・比較的短期間で新たな市場が想定され、大きな成長と経済波及効果が期待できること。
- ・産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取組が示されていること。

本プロジェクトにおいては、具体的には、成果の実用化に向けた、実施者による以下のような取組を求める。

- ・マイクロ化学プラント技術及びマイクロチップ技術の実用化のため、システム化、ユーザーインターフェースの開発及び標準データの蓄積等を同時並行的に実施し、早期実用化を図る。

なお、適切な時期に、実用化・市場化状況等について検証する。

(2) 研究開発の目標

平成 17 年度までに、高効率マイクロ化学プロセス技術に係る基盤技術を開発し、マイクロ化学プラント技術及びマイクロチップ技術を確立する。

(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。

- マイクロ化学プラント技術開発
- マイクロチップ技術開発
- マイクロ化学プロセス技術の体系化

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、新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）が企業、民間研究機関、独立行政法人、大学等（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって研究開発実施予定者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、委託して実施する。

共同研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、東京大学大学院 工学系研究科 小宮山宏教授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。

（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別の研究開発能力、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部分はこの限りではない。）なお、実用化を目的とすることから、技術力を有する極力少数の企業による、役割分担の明確な開発体制が望ましい。

(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、プログラムの目的及び目標、並びに、本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。このため、必要に応じてNEDOに設置する技術検討会等、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 14 年度から平成 17 年度までの 4 年間とする。

4．評価の実施

N E D Oは、国の定める技術評価に係わる指針及びN E D Oが定める技術評価実施要領に基づき、技術的、実用化及び産業技術政策的観点の観点から、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等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成18年度に実施する。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) 研究開発成果の取り扱い

成果の普及

本事業の研究開発成果の実用化のため、参加する企業が関連する研究開発事業を自己負担でもって同時並行的に実施するものとする。また、得られた研究成果については、N E D O、実施者とも、学会発表、ホームページでの情報公開、シンポジウム開催等により普及に努めることとする。

知的基盤整備事業又は標準化との連携

得られた研究成果については、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並びに、必要に応じて標準情報(T R)制度への提案等を積極的に行う。

知的所有権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的所有権については、「新エネルギー・産業技術総合開発機構産業新エネルギー業務方法書」第43条の規定等に基づき、原則として、全て委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

N E D O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、産業技術政策動向、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、エネルギーの使用の合理化に関する法律(昭和54年法律第49号)第21条の2第1号に基づき実施する。

(4) その他

N E D O、実施者とも、研究開発の実施に関し、革新的部材産業創出プログラム内の各プロジェクト間の情報交換に努めるとともに、その取り組み方等を討議して、プログラム横断的な知識の構造化の円滑な推進に協力することとする。

研究開発成果の実施について、プロジェクトの参加者は、他の参加者の有する特許、ノウハウ等に関して、実施許諾を求める話し合いをすることができるものとする。ただし、その情報の開示等については、その情報に係る権利を有する参加者との交渉に依ることは当然とする。

6．基本計画の改訂履歴

(1) 平成 1 4 年 3 月、制定。

(2) 平成 1 5 年 3 月、本事業が経済活性化のための研究開発プロジェクト(フォーカス 2 1) に位置付けられたことに伴う、記載事項の改訂。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目 「マイクロ化学プラント技術開発」

1. 研究開発の必要性

我が国の強みである高付加価値材料産業において製品のライフサイクルの短命化に伴い研究開発期間の高速化が必須となっている。すなわち研究開発から生産までのリードタイムを大幅に短縮することが21世紀の高付加価値材料産業の競争力を強化するための課題である。高付加価値材料産業においては少量多品種の化学品を安定的に市場に供給することが産業競争力の源泉であり、そのための有効な革新的生産手法の開発が強く求められている。このような状況下において、エネルギー伝達や物質移動速度が格段に大きい等の特性を有するマイクロ化学システムは、化学反応・分析の効率化・高速化のための革新的な技術としてのみならず、新規特異反応場としても有効性が注目されている。特に、微小空間での特異性を生産技術へと応用するマイクロ化学プラント技術は従来の研究開発から工業的物質生産へのプロセスを根底から変革するものとして、化学分野のみならず関連する他分野などからも大きな期待が寄せられている。さらに、これまで化学プロセスの実用化までにはスケールアップに応じた各段階での実証試験研究が不可欠であったが、当該技術においては複数の装置を並列化する等のナンバリングアップにより工業的な物質生産への対応が可能となる等、革新的生産技術としての評価も高く、21世紀を担う生産手法になるものと期待されている。しかしながら、当該技術に関する研究開発は世界的に見てもいまだ途についたばかりであるため、これまでの化学プロセスには見られない新しい現象が認められてはいるものの、工業的実生産へと発展させるための化学工学的見地からの解析が遅れているため装置設計や操作手法等の共通基盤技術が未達である。このため、マイクロ化学プラント技術を工業的実生産可能な産業技術へと発展させるための共通基盤技術としてマイクロ空間での特性を生かした反応・混合・エネルギー伝達・分離を実現するマイクロ単位操作研究、及びマイクロ単位操作をシステムとして実用化するための生産プロセス化研究を実施する。

2. 研究開発の具体的内容

(1) マイクロ単位操作研究

マイクロ化学プラント技術を工業的実生産プロセスへと発展させるための単位操作であるマイクロリアクター、マイクロミキサー、マイクロエネルギー伝達器、マイクロ分離器について、化学工学的な観点から新規機器を開発するとともに、これら機器を組み合わせたマイクロ化学プラントを実現するための共通基盤技術の構築を行う。

(a) マイクロリアクター研究

マイクロ空間における基本特性を解析し、得られた結果を基に代表的反応器である界面反応型反応器、滞留時間制御型反応器、多段階型反応器、触媒担持型反応器のモデル化及び装置開発を行う。

(b) マイクロミキサー研究

マイクロ空間における基本特性を解析し、その特性を生かして代表的混合器である液液型混合器、気液型混合器のモデル化及び装置開発を行う。

(c) マイクロエネルギー伝達器研究

マイクロ空間における基本特性を解析し、その特性を生かして代表的エネルギー伝達器である熱、電場等のエネルギー供給・除去システムのモデル化及び装置開発を行う。

(d) マイクロ分離器研究

マイクロ空間における基本特性を解析し、その特性を生かして代表的分離器である膜分離型分離器、吸収型分離器、抽出型分離器、吸着型分離器のモデル化及び装置開発を行う。

(e) マイクロ基本特性の研究

(a) ~ (d) の研究において得られたマイクロデバイスを用いて、代表的な物質合成反応である酸化還元反応、熱反応、電解反応、イオン反応、光反応、有機金属触媒反応、ラジカル反応、重合反応による各種機能物質合成を検討し、マイクロ空間における反応速度制御性、分散・混合特性、空間拘束特性、熱・物質移動特性、界面制御特性を精密制御するためのマイクロデバイス設計論を確立する。

(2) 生産プロセス化研究

マイクロ化学プラント技術を実用化するためには個々のマイクロ単位操作技術及び単位操作技術を集積した結合系であるシステムの最適化が不可欠である。本研究では、マイクロ化学プラントを実現するためのマイクロデバイスの設計・集積化及び運転・保安管理に関する生産プロセス化技術の開発を行う。

(a) 単位操作の最適設計手法に関する研究

マイクロ単位操作研究において示された、各単位操作に関して最適なデバイスを提供するためのシミュレーション手法及び最適化手法を開発する。

(b) 単位操作の集積化法に関する研究

マイクロ化学プラントとして実用化に供するため各単位操作研究において得られたマイクロデバイスのナンバーリングアップや多段階合成に対応するための最適集積化法を開発する。

(c) 計測・制御システム構成決定手法の開発

並列構造を有する単位操作が直列に結合されたマイクロ化学プラントを対象に、計測・制御可能な箇所が限定されるという条件下での最適な制御構造の導出手法を開発する。また、装置の故障や触媒の劣化といった事態を的確・迅速に検知できる、モニタリングと異常診断手法を開発する。

3. 達成目標

マイクロ化学プラント技術の基盤技術を確立する。具体的には、以下に示す各種デバイスを試作し、実際に種々のマイクロ合成反応を実施していくことで、マイクロ化学プラント技術として必要なマイクロ単位操作技術、生産プロセス化技術を確立する。

(1) マイクロ単位操作研究

【中間目標】

(a) マイクロリアクター研究

数 μm のエマルジョンを利用した界面反応型、数百ミリ秒のオーダーで制御可能な滞留時間制御型マイクロリアクターを開発し、これによって、均一液相、液-液2相系反応を実現する

(b) マイクロミキサー研究

並流で混合するマイクロミキサーに関して、その混合特性の解析、モデル化を実施するとともに、装置内滞留時間0.1秒以下、等量混合で5リットル/時以上の条件を満たす、界面活性剤無しで均質なマイクロエマルジョンを製造可能な直交流型マイクロミキサーを開発する

(c) マイクロエネルギー伝達器研究

反応を伴わない系を対象に、装置内滞留時間 0.1 秒で 100 の温度変化が可能なマイクロ熱交換器を開発する

(d) マイクロ分離器研究

数十～数百 μm の径を有するマイクロハニカムおよび、非対称性膜による数十 μm の中空系の作製技術を開発する。また、これらの技術をもとに、従来の 5 倍以上の透過速度を有するマイクロ中空系膜分離装置を試作し、マイクロ化するメリットを明らかにする。

(e) マイクロ基本特性の研究

酸化還元反応、熱反応及び電解反応について装置モデルを開発し、それらの装置モデルをもとに、超微粒子製造、精密高分子製造、各種ファインケミカル製造、オンサイト型の各種環境浄化などに適用できる装置開発の指針を得る。

【最終目標】

(a) マイクロリアクター研究

解析に関しては、装置内での温度、濃度、流れの分布を考慮して設計に利用できるモデルを開発する。デバイス設計・操作論に関しては、0.1 秒オーダーでの滞留時間制御、あるいは 1 オーダーでの温度制御を実現できる界面反応型反応器、滞留時間制御型反応器、多段階型反応器を開発する。また、活性の劣化した触媒を交換可能な触媒担持型反応器を開発する。

(b) マイクロミキサー研究

マイクロ空間において 4 種類の様式（直交流、並流、向流、螺旋流）で混合するマイクロミキサーを開発すると共に、それらの混合特性を解析しモデル化する。高性能な生産用マイクロミキサーを開発するために、数十ミリ秒オーダーまでの混合時間の短縮や、界面物性を発現させるためにできるだけ低圧力損失で高い流速を実現できる厳密なマイクロ流路、混合ゾーンを有するデバイスを開発を行う

(c) マイクロエネルギー伝達器研究

マイクロ熱交換器および電場を利用したマイクロエネルギー伝達器について、設計に利用可能なモデルを開発する。また、装置内滞留時間 0.1 秒で 100 の温度変化が可能なマイクロ熱交換器を開発する。反応器として利用するマイクロ熱交換器については、従来型のマクロ熱交換器の 100 倍の熱伝達係数を実現し、反応温度制御が困難であった発熱反応の等温操作を実現する。また、電極間距離を従来型の電解装置の 1/10 以下とした、省エネ型電解合成装置を開発する。

(d) マイクロ分離器研究

マイクロ空間の利点である非平衡・速度型分離を利用した膜分離型分離器、吸収型分離器、抽出型分離器、吸着型分離器のモデル化を行う。また具体的装置としては、新規に開発するマイクロ非対称性膜の利用による従来の 5 倍以上の透過速度を有するマイクロ中空系膜分離装置、従来の 10 倍以上の接触面積を有するマイクロ吸収装置、一次流路のみで 10 万 m^2 / m^3 の表面積を持つマイクロハニカム型吸着装置、マイクロエマルジョンを利用した抽出装置を開発する

(e) マイクロ基本操作研究

(a)～(d)の研究を横断的に統合することにより、マイクロ空間内での反応速度制御性、分散・混合特性、熱・物質移動特性、界面制御特性と拘束空間（空間形状、サイズ）の関連性を明らかにし、各種機能物質の新規合成法を開拓すると共に、従来の 1/100 の反応器容積（滞留時間 1/100）で従来と同量の生産が可能な、高収率(90%以上)、高選択率(90%以上)システムを実現する。そして、マイクロ空間特有の物性を利用した酸化還元反応、熱反応、電解反応、イオン反応、光反応、有機金属触媒反応、ラジカル反応、重合反応に対する装置モデルを開発する

(2)生産プロセス化研究

【中間目標】

(a) 単位操作の最適設計手法に関する研究

マイクロ熱交換器に対する最適設計手法を確立する

(b) 単位操作の集積化法に関する研究

マイクロ化学プラントにおける分配器の基本設計を終え、反応を伴わない系を対象に 15 ユニットからなる模擬プラントを試作し連続運転を行う

(c) 計測・制御システム構成決定手法の開発

マイクロ化学プラントを対象とした、制御系最適配置選定アルゴリズムの開発において、制御結果やマイクロプラント内の異常の伝播を表現できる動的シミュレーションシステムを開発する

【最終目標】

(a) 単位操作の最適設計手法に関する研究

各種マイクロリアクター、マイクロミキサー、マイクロエネルギー伝達器等のマイクロ単位操作に対して、最適設計アルゴリズムとそのプロトタイプソフトウェアを開発する。また、最適設計手法を各種マイクロ単位操作に適用した結果から導出される一般使用条件下での装置の最適形状、サイズ値を決定し、汎用的なマイクロ単位装置を提案する

(b) 単位操作の集積化法に関する研究

流れの分配、装置内の温度分布、計測点配置等を考慮した集積化アルゴリズムを開発するとともに、それに基づく集積化支援ソフトウェアのプロトタイプを開発する。そして、代表的な系に対して、30 ユニット以上を制御して運用し、3 リットル毎時の生産を実現するマイクロ化学プラントを試作、運用する。また、マイクロ化学プラントで必要とされている機能をモデル化し、その機能に基づいて装置構造を導出する方法論を開発する

(c) 計測・制御システム構成決定手法の開発

マイクロ化学プラントを対象とした、制御系最適配置選定アルゴリズムを開発する。また、装置の故障や触媒の劣化等の異常を検出・診断できるシステムを開発する

研究開発項目 「マイクロチップ技術」

1. 研究開発の必要性

我国の重要な研究開発分野として位置づけられる「ライフサイエンス」や「環境」、「ナノ・材料」などの分野の発展には、化学技術はこれまでにない高度分散化と高速高効率化に向けた質的に桁違いの技術革新が要求される。たとえば、ナノテクノロジーやバイオテクノロジーでは、微量試料中の超微量物質や超微量濃度物質の分析、およびそれに要する高度な化学処理技術の開発は必須となる。また、環境分野では、ダイオキシンや環境ホルモン等、超微量で人体に長く悪影響を及ぼす物質の存在が注目され、こうした物質の迅速な検出分析法が重要である。しかしながら現状では、ダイオキシン計測法では検査時間として1週間以上必要とし、現地での即時計測には対応できていない。同様に、医療分野では、免疫診断など1~2日の計測時間を必要とする例が多く、迅速な診断・検査法の開発が必要である。こうした高速化が要求されかつ膨大な数に分散していく高度化学技術には、エレクトロニクス分野における大型計算機からパソコン・PDAへの転換と同様に、小型で携帯可能な分散型の化学処理システムが求められ、マイクロ化学チップはその最も期待される手段の一つであり、早急な実現が要求されている。

超精密微細加工技術を応用したマイクロ化学チップは、微小空間の物理的・化学的特性を利用し、超微量で桁違いに高速高効率な分析・化学プロセスに適するものと期待されている。この基礎技術をさらにデバイス・システム化する技術が確立されれば、化学プロセスを半導体と同様に集積化・システム化でき、それらを自由に組み合わせることにより多種多様な化学プロセスに迅速に対応できる。既に我が国では、化学反応や分子輸送、分離、精製、検出といった汎用化学操作をマイクロチップ中で実現する化学システムの基礎研究が世界に先駆けて進められており、また、もとより我国の先端的なマイクロマシニング技術を背景に、国際的にも我国が一頭地進んでいる。こうした状況から、基礎研究成果から産業技術基盤への発展を促す研究体制を整備・構築することが、この分野で我国が世界をリードするために最重要事項である。そのためには、産学官の有機かつ効率的連携の下、マイクロチップ化できる化学プロセスのより一層の高度化と体系化、それを支える高度なマイクロ反応制御、マイクロ化学処理技術、微細加工技術とシステム化技術等の開発を進めると共に、マイクロな空間の物理的・化学的特徴を理論的に把握して実験で検証することが必要である。

2. 研究開発の具体的内容

本研究ではマイクロ化学システムの基盤技術として、以下の観点から研究を進め、マイクロチップシステムの研究開発を行う。

(1) マイクロチップ微小空間内のマイクロ化学の研究： マイクロ化学チップ基盤技術の整備・開発を進めるため、マイクロ単位操作の整備とそれに基づいたプロセス設計支援システムの開発など現有技術の拡張と体系化を進める。さらに、多相層流界面現象や界面における熱・物質移動過程、および反応加速現象など、バルクとは異なるマイクロチップ内微小空間で起こる現象・化学反応の解明を進める。

(2) マイクロチップ上のマイクロ化学プロセスの研究： マイクロ分析チップの基盤技術開発として、混合、反応、濃縮、抽出、分離などの単位化学操作をチップ基板上に集積化・高度化するマルチ化学プロセス要素技術を開発する。さらにこれらを基に試料前処理、FIA、環境微粒子、免疫反応などの生化学分析並びに生体由来物質の解析チップを開発する。また分離技術として、膜分離およびオンチップトマトグラフィーを開発する。さらにチップに適した検出法として、オンチップ熱レンズ検出器などの新たな高感度検出法や既存超高感度分析装置とのインターフェース開発を行う。また、従来分析法との整合性・検定・信頼性評価のための分析標準について検討する。

(3) マイクロチップデバイスシステム技術の研究： マイクロ化学システムを設計するにあ

たり基礎となる流体解析および熱・物質移動・反応を含めた反応性流体解析のための実験的および理論的手法を確立し設計支援ツールを開発する。また、流体制御のためのマイクロポンプ、バルブ、コネクタ等の流体制御素子を、使用環境(温度、圧力、溶媒)に応じて、また試用形態(インライン、オンチップ)に応じて開発する。流体のモニターに必要なマイクロフローセンサー、温度センサー、圧力センサーなどもあわせて開発する。また、各種材料によるマイクロチップの生産技術、及びシステム化技術を開発する。

3. 達成目標

【中間目標】

下記(1)~(3)の研究項目につき、方法論、ソフトウェア、ハードウェアの基本構想または基本構造を確定し、要素技術では試作機を作製し、化学プロセス制御や流体制御などについては基本動作と性能を評価する。これらを持って、最終目標達成に向けプロジェクト後半の研究開発指針とする。

【最終目標】

マイクロチップシステム開発の基盤技術を確立する。また、具体的には下記(1)~(3)の研究の最終目標等を達成し、それらの応用研究として環境分析システム(従来比:大きさは1/100、反応処理時間1/10,000、トータル分析・合成時間1/100)、マルチ高速スクリーニングシステム(32検体/処理)、および多段合成システムの試作を仮想目標とする。デバイスを設計・検討するうえで、標準仕様として縦70mm、横30mmの長方形チップを想定し、マイクロチャンネル幅は数百nm~200 μ m程度とする。

研究項目別達成目標

(1) マイクロチップ微小空間内のマイクロ化学の研究

【中間目標】

チャンネル幅数百nm~200 μ m程度の微小空間化学プロセスについて、空間サイズに応じたミクロ現象解明に見通しを見つけ、プロセス設計法の概要を固める。

【最終目標】

チャンネル幅数百nm~200 μ m程度の微小空間化学プロセスの特徴および特異現象の解明、並びに現有技術の体系化を進めることによりプロセス設計法を確立し、ミクロ空間に対する方法論を高度化する。さらに、これらを基に新規プロセス開発の基盤を確立する。

(2) マイクロチップ上のマイクロ化学プロセスの研究

【中間目標】

既開発チップの高度化、未開発の濃縮、膜分離などのチップ化、および検出デバイスの方式を確定し試作を行う。

【最終目標】

(1)および(3)の流体解析で得られる成果を背景に、各種単位化学操作を実現する数cm角程度の大きさの高機能マイクロ化学デバイスを設計・作製する。また、nl領域の体積で単一分子レベルの検出ができる超高感度検出法のオンチップ化を実現する。これらを通して分析要素技術のマイクロチップ化を図る。

(3) マイクロチップデバイスシステム技術の研究

【中間目標】

コネクタ、バルブ、ポンプ、各種センサー等のマイクロ流体制御素子について、チップの外付型流体制御素子を開発し基本設計を確定する。また、CAD構築に必要な基本設計要素を確立する。

【最終目標】

コネクタ、バルブ、ポンプ、各種センサー等のマイクロ流体制御素子について以下の開発目標を達成する。また、これら素子のチップ上への実装法並びにマイクロチップの最適な生産方法を開発すると共に、これらマイクロチップシステムに必要なCADシステムを構築する。

流体制御素子共通目標

- ・ 水溶液系では、耐酸性用、耐アルカリ用
- ・ 有機溶媒系では、耐アルコール、耐極性溶媒、耐非極性溶媒
- ・ その他使用条件に適合する耐性、性能を有すること

流体制御素子個別目標

- ・ コネクタ： 耐圧 1MPa 以上
- ・ バルブ： 耐圧 1MPa 以上（正圧及び負圧）、切替分岐数 3 以上、流量調節可能なこと
- ・ ポンプ： 吐出圧 1MPa 以上、流量 1~10 μ l/min
- ・ センサー： チャンネル内の流体特性に影響を与えることなくマイクロチャンネル内並びにマイクロ流体素子内の温度、圧力、流量等が計測可能なこと

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目 「マイクロ化学プロセス技術の体系化」

1. 研究開発の必要性

マイクロ化学プロセス技術の開発においては、物質の微量処理やデバイスのマイクロ化に基づく特異的機能の発現(一種のプロセスの強化)が重要な着目点である。そして、同機能は物質やデバイスの属性に強く依存するものであるため、多様な対象への適用を目指したマイクロ化学プロセス技術に関する知識体系は柔軟性、拡張性、展開性を持った構造に創り上げることが好ましい。マイクロ化学プロセスを微量計測や分析に活用するマイクロチップ技術は既に実用化の段階に至っており、多くの革新的デバイスの開発が進められている。しかし各個別技術に関する情報の集積はあるものの、同情報の多様性により十分な知識の体系化は行われていないものと考えられる。一方、マイクロ化学プロセスを物質の生産に活用するマイクロ化学プラント技術に関しては、計測・分析の場合とほぼ同様のデバイスを使用するにも関わらず、システム化、プラント化における原材料・製品特定、反応・分離経路設計、モジュール連結設計、計測制御、運転管理、エネルギー供給等、多くの問題点が残されており、未だ実用化の状況には至っていない。マイクロ化学プロセス技術は、類似した構造のデバイスを計測・分析と生産の両者に効果的に適用できるという特徴を持つものであり、マイクロ化学プロセス技術の実用化を加速し、生産・計測・分析技術への展開を速やかに行うために、マイクロ化学プラント技術とマイクロ化学チップ技術に共通となる基盤技術開発を強化することが重要である。さらに、両者に共通した知識基盤とそれを土台とした柔軟性、拡張性のある知識体系が、新たな技術の展開のためにも必要である。

他方、マイクロ化学プロセス技術の知識の構造化を計ることが必要である。そして蓄積されたマイクロ空間での物質特性知識やデバイス構造知識をマイクロ加工・処理技術に関する知識と結び付けてモデル化し、シミュレーションを通して有用なプロセス機能が見出だせるような知識構造を設計することが期待されている。

2. 研究開発の具体的内容、

研究開発項目 マイクロ化学プラント技術、マイクロチップ技術の両研究グループと連携しつつ、マイクロ化学プロセスに係る共通基盤技術の体系を構築するためマイクロ空間における物質・構造特性解析及び加工・処理手法構築に関して得られる研究成果の集積を行い、それらの研究成果間の相互関係を明らかにするとともに応用し易い技術体系として整理する。また、マイクロ化学プラント技術とマイクロ化学チップ技術に共通となる膜利用マイクロリアクター技術、不斉合成・光学分割技術等の基盤技術の開発を強化し、マイクロ化学プロセス技術の体系化を促進し、知識データベースへのフィードバックを増強する。さらに、この技術体系を一般化するためのモデル化・シミュレーションを行う。

3. 達成目標

【最終目標】

マイクロ空間における物質・構造特性解析、加工・処理手法、モデル化・シミュレーションに係る技術を統合・構造化することにより(1)マイクロ空間物性論、(2)マイクロ移動現象論、(3)マイクロ化学反応論、(4)マイクロ単位操作論、(5)マイクロプロセス計測・制御・システム論、(6)マイクロ加工論を確立しそれらに関する知識データベースを作成する。

また、膜利用マイクロリアクター技術(水素透過速度： $1 \times 10^{-3} \text{ mol/m}^2 \cdot \text{sec}$ 以上)不斉合成・光学分割技術(分離効率：99%以上)等の共通基盤技術を開発する。