

化学工学研究連絡委員会
物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会
報告

未来社会を支える「統合的化学工学」の構築と
国際的ケミカルエンジニアの育成

平成12年2月28日

日本学術会議
化学工学研究連絡委員会
物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会

この報告は、第17期日本学術会議化学工学研究連絡委員会、ならびに物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会が、同専門委員会に設けられた化学工学教育・人材育成小委員会と化学産業の将来検討小委員会の審議結果を取りまとめて発表するものである。

[化学工学研究連絡委員会]

委員長	橋本 健治	(日本学術会議第5部会員、福井工業大学工学部教授、京都大学名誉教授)
委員	小川 浩平	(東京工業大学大学院理工学研究科教授)
	古崎 新太郎	(九州大学大学院工学研究科教授、東京大学名誉教授)

[物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会]

委員長	橋本 健治	(日本学術会議第5部会員、福井工業大学工学部教授、京都大学名誉教授)
幹事	新井 邦夫	(東北大学大学院工学研究科教授)
	三浦 孝一	(京都大学大学院工学研究科教授)
委員	今石 宣之	(九州大学機能物質科学研究所教授)
	片岡 健	(ダイセル化学工業(株)顧問、大阪府立大学名誉教授)
	幸田 清一郎	(東京大学大学院工学研究科教授)
	服部 忠	(名古屋大学大学院工学研究科教授)
	樋口 敬一	(三菱化学(株)監査役)
	福田 秀樹	(神戸大学大学院自然科学研究科教授)
	堀尾 正靱	(東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所教授)
	増田 優	(通商産業省工業技術院総務部技術審議官)

[物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会
化学工学教育・人材育成小委員会]

委員長	幸田 清一郎	(東京大学大学院工学系研究科教授)
委員	今石 宣之	(九州大学機能物質科学研究所教授)
	太田 道昭	((社)化学工学会事業企画室長)
	小川 浩平	(東京工業大学大学院理工学研究科教授)
	谷山 巖	(J S R(株)顧問)
	谷垣 昌敬	(京都大学大学院工学研究科教授)
	柘植 秀樹	(慶応義塾大学理工学部教授)
	中尾 真一	(東京大学大学院工学系研究科教授)
	長棟 輝行	(東京大学大学院工学系研究科教授)
	橋谷 元由	(日揮(株)渉外情報室参与)
	福島 俊之	(三井化学(株)生産技術部部長補佐)
	福島 洋	(通商産業省基礎産業局非鉄金属課総括班長)
	古崎 新太郎	(九州大学大学院工学研究科教授、東京大学名誉教授)
	堀尾 正勲	(東京農工大学大学院生物システム応用科学研究所教授)
	増田 優	(通商産業省工業技術院総務部技術審議官)
	安井 英夫	(鐘淵化学工業(株)取締役高砂工業所長)
	山口 俊男	((社)化学工学会事業企画室部長)

[物質創製工学研究連絡委員会化学プロセス工学専門委員会
化学産業の将来検討小委員会]

委員長	新井 邦夫	(東北大学大学院工学研究科教授)
委員	井田 久雄	(通商産業省中部通商産業局産業企画部長)
	池上 正	(旭化成工業(株)水島支社取締役支社長)
	泉 洋一郎	((財)化学技術戦略推進機構戦略推進部長)
	太田 道昭	((社)化学工学会事業企画室長)
	片岡 健	(ダイセル化学工業(株)顧問、大阪府立大学名誉教授)
	佐藤 晋	(ダイヤテックス(株)取締役)
	服部 忠	(名古屋大学大学院工学研究科教授)
	樋口 敬一	(三菱化学(株)監査役)
	福田 秀樹	(神戸大学大学院自然科学研究科教授)
	三浦 孝一	(京都大学大学院工学研究科教授)
	美濃 順亮	(花王(株)研究開発部門取締役)
	守谷 恒夫	(住友ベークライト(株)社長)
	山口 俊男	((社)化学工学会事業企画室部長)

(委員役職名は平成11年11月1日現在)

要 旨

(1) 作成の背景

- ・ 21世紀の我が国の化学産業は、環境調和・物質循環型社会の構築に貢献するとともに、大量生産・大量消費型の汎用製品から、多様で高機能な製品への事業構造変革を、厳しい国際競争の中で推進していかねばならない。そのためには、化学技術の高度化と適用領域の拡大、化学工学の再構築、ならびに国際的に活躍できる人材育成の推進について、抜本的な対策が求められている。本報告はそれらの課題についての検討結果と提言を纏めたものである。

(2) 現状および問題点

- ・ 環境調和・物質循環型社会を支え、化学産業の構造改革を推進するには、科学と工学が融合した質的にも高度で、広範囲の技術領域に対処できる「基盤技術」と呼ぶべき技術体系が必要である。それは、基礎研究と応用・開発研究を直線的に結合して産み出される技術ではなく、基礎研究・開発研究から生産プロセスに至る過程を統合的に整理・体系化することによって構築できる技術である。
- ・ 化学工学は、化学プロセスを要素技術に分解して、それらを種々の単位操作と反応工学として整理・体系化し、次いでプロセスシステム工学によってそれらを再構築する学術体系を構築してきた。しかし、今後は地球環境・物質循環から原子・分子レベルに至る多様なシステムの物質・エネルギー変換プロセスを対象にして、かつ物質創製にも貢献できる工学に再構築することが必要である。
- ・ 大学における技術者教育プログラム、および効率的・効果的な教育実施方法論が十分に確立されていない。また、技術者に対する生涯教育、国際的な相互認証による技術者の国際的流動化と権利擁護が行われていない。

(3) 改善策、提言等の内容

- ・ 環境調和・物質循環型社会の構築と化学産業の創成のために、基本的で共通性のある「基盤技術」の開発を産官学が連携して推進する必要がある。早急に構築すべき基盤技術として、以下の6つの課題をあげる。
 - ① 物質のメゾスコピックな構造を制御するための基盤技術
 - ② 高分子材料精密製造プロセスの基盤技術
 - ③ 触媒を利用する基盤技術
 - ④ 超臨界流体を用いる基盤技術
 - ⑤ バイオテクノロジーを用いる基盤技術
 - ⑥ 物質循環のための基盤技術

- ・ 基盤技術を確立するための工学体系として、「統合的化学工学」を構築する。それは次のような特性をもつ工学体系である。
 - ① 科学と工学を融合・統合した工学体系であり、物質創製、プロセス設計、操作条件の設定、装置設計という一連の業務に対処できる工学である。
 - ② 物質の生産と処理のための新しい場の開拓に貢献できる工学である。
 - ③ 高度な精密構造制御や微細加工技術の開発に貢献できる工学である。
 - ④ ミクロな現象の解明による新しい装置設計法の確立に応える工学である。
 - ⑤ 地球環境・物質循環という巨大なシステムから原子・分子レベルの微視的システムに至る多様なシステムの物質・エネルギー変換プロセスを対象にする工学である。

- ・ これらの基盤技術の開発を産官学が協力して実践し、かつ、その研究・開発の過程で得られる成果を「統合的化学工学」の構築に結実させるために、「化学技術統合研究機構」の設立を提言する。

- ・ ケミカルエンジニア教育、資格に関しては人材育成トータルシステムを提供できる実施体制が必要であり、その要として学会に基礎をおく「ケミカルエンジニア人材育成センター」の設立を提案する。このセンターはケミカルエンジニア教育プログラムの策定・審査・認定の機能を持ち、日本技術者教育認定機構（JABEE）と相補的に働き、技術者教育プログラム、技術者資格の国際的認証に関しても、この分野における中心的役割を果たす。さらに産学間の教育補完、技術者の生涯教育に対してネットワークの要としての役割を果たす。

目 次

第1部 未来社会を支える「統合的化学工学」の構築

1. 緒言
2. 従来の経緯と工学における化学分野の現状と課題
 - 2.1 第14期および第16期化学工学研究連絡委員会の提言と本報告書の目的
 - 2.2 工学における化学分野の現状と課題
3. 「統合的化学工学」体系の構築に向けて
 - 3.1 化学産業の発展と化学工学の役割
 - 3.2 化学技術に対する社会・産業からの期待と「基盤技術」の重要性
 - 3.3 「基盤技術」の確立と「統合的化学工学」の構築
4. 「化学技術統合研究機構」の設立に関する提言
 - 4.1 設立の趣旨
 - 4.2 目的
 - 4.3 体制と機能
 - 4.4 組織
5. おわりに

資料： 21世紀の化学技術における研究開発課題とその基盤技術

- ① 物質のメゾスコピックな構造を制御するための基盤技術
- ② 高分子材料精密製造プロセスの基盤技術
- ③ 触媒を利用する基盤技術
- ④ 超臨界流体を用いる基盤技術
- ⑤ バイオテクノロジーを用いる基盤技術
- ⑥ 物質循環を達成するための基盤技術

第2部 未来社会を支える国際的ケミカルエンジニアの育成

1. 緒言
2. 従来の経緯と本報告書の目的
3. 工学と技術を担う人材育成
 - 3.1 21世紀初頭の技術者を取り巻く状況
 - 3.2 従来の高等教育と技術教育
 - 3.3 あるべき技術者像
 - 3.4 あるべき技術者教育

4. ケミカルエンジニア資格と教育体制
 4. 1 エンジニア教育の国際化
 4. 2 ケミカルエンジニア教育のシステム
 4. 3 大学・大学院における工学教育
 4. 4 人材育成における学と産の相互協力体制
 4. 4. 1 インターンシップの推進
 4. 4. 2 大学における企業人講師の活用
 4. 4. 3 企業・社会人の再教育への大学の貢献
 4. 4. 4 企業への大学人派遣と研究・教育協力
5. ケミカルエンジニア人材育成センター構想
 5. 1 アクレディテーションと「統合的化学工学」教育
 5. 2 学と産の連携
 5. 3 生涯教育
6. 結言

謝辞

第1部 未来社会を支える「統合的化学工学」の構築

目次

1. 緒言
2. 従来 of 経緯と工学における化学分野の現状と課題
 2. 1 第14期および第16期化学工学研究連絡委員会の提言と本報告書の目的
 2. 2 工学における化学分野の現状と課題
3. 「統合的化学工学」体系の構築に向けて
 3. 1 化学産業の発展と化学工学の役割
 3. 2 化学技術に対する社会・産業からの期待と「基盤技術」の重要性
 3. 3 「基盤技術」の確立と「統合的化学工学」の構築
4. 「化学技術統合研究機構」の設立に関する提言
 4. 1 設立の趣旨
 4. 2 目的
 4. 3 体制と機能
 4. 4 組織
5. おわりに

資料：21世紀の化学技術における研究開発課題とその基盤技術

- ① 物質のメゾスコピックな構造を制御するための基盤技術
- ② 高分子材料精密製造プロセスの基盤技術
- ③ 触媒を利用する基盤技術
- ④ 超臨界流体を用いる基盤技術
- ⑤ バイオテクノロジーを用いる基盤技術
- ⑥ 物質循環を達成するための基盤技術

1. 緒言

20世紀においては、人類史上未曾有な科学・技術の発展によって、大量生産・大量消費の社会が出現し、人々は物質的豊かさを享受することが可能となった。しかし、急速な物質文明の発達、エネルギー・資源の枯渇、人口の大幅増加、地球環境問題の深刻化という三つの要因が複雑に交錯した極めて厳しい状況をひき起こしている。われわれは、このような状況を克服して将来にわたって人類社会の持続的発展を可能にする社会システムを実現しなければならない。そのためには、自然科学や工学のみならず社会科学も含めた学術の発展と、それらに基盤をおいた技術の発展が必要である。その中で、基礎化学、応用化学、化学工学と化学技術は、物質創製、ならびに物質変換とエネルギー変換に関する学術と技術であり、化学産業を支える基幹の科学・技術としての使命があると同時に、人類社会の持続的発展に貢献していく責務を負っている。

21世紀の化学産業は、従来の大量生産・消費型の汎用製品の生産から多様でかつ高機能な化学製品の生産へと構造変革が迫られている。このような社会と産業の状況に対応するためには、従来にも増して、科学と工学の融合による統合的視点に立った化学技術の体系化が要求される。また、化学産業を支える化学技術の内容も従来の枠組みを越えて拡大・高度化されねばならない。

一方、化学技術を支える化学工学は、主として化学プロセスを要素技術に分解して、それらを種々の単位操作と反応工学として整理・体系化し、次いでプロセスシステム工学によって、それらを再構成することにより独自の学術体系を構築してきた。しかし、拡大・高度化された化学技術の基盤の工学としての役割を果たすには、地球環境・物質循環といった巨大なシステムから原子・分子レベルの微視的システムに至る多様なシステムの物質・エネルギー変換プロセスを対象にして、かつ物質創製にも貢献できる工学に再構築することが必要である。それは、まさに、科学と工学の統合、ミクロとマクロの統合であり、「統合的化学工学」と呼ぶべき新しい工学の構築が要請されているのである。

上記のような観点に基づき、化学工学研究連絡委員会、および物質創製工学研究連絡委員会に設けられた化学プロセス工学専門委員会の「化学産業の将来検討小委員会」では、(社)化学工学会および(財)化学技術戦略推進機構の協力を得て検討を重ねた。その結果、21世紀前半の早い時期に地球環境調和・物質循環型社会を実現すると同時に、厳しい国際競争に打ち克ち、未来産業の創成を効果的、かつ効率的に遂行するためには、従来の化学工学体系を統合的視点に立って見直し、社会と産業の発展に効果的に対応できる「統合的化学工学」として再構築することが重要であるとの認識に達した。さらに、その構築は、学界独自で行えるものではなく、産・官・学が一体となって、社会と産業が必要とする基盤技術の開発作業を実践することにより始めて可能となるものであり、それを実践する機関として「化学技術統合研究機構」と名付ける新しい研究組織の設立を提言する。

2. 従来の経緯と工学における化学分野の現状と課題

2. 1 第14期および第16期化学工学研究連絡委員会の提言と本報告書の目的

日本学術会議化学工学研究連絡委員会では、かねてより、産官学が連携して境界領域にまたがる社会的諸問題について調査、討議を重ね、いくつかの横断的な重要課題を提起してきた。その成果として、第14期においては「地球生態工学」を提言し「地球環境産業技術研究機構」および「国際環境技術移転研究センター」の創設に、また、第16期では「環境調和型化学技術体系の創成を目指して」の提言を行い「化学技術戦略推進機構」の創設に寄与してきた。

第16期化学工学研究連絡委員会の報告書では、今後、社会の持続的発展と産業の国際競争力強化のため推進すべき技術として次の5分野を挙げ、新しい化学技術体系の構築の必要性を提案している。

- ① 共通基盤技術の研究の推進
- ② 戦略的基盤技術の研究の推進
- ③ 個別技術分野の技術革新への支援
- ④ 基礎研究の充実と創造性豊かな人材の育成
- ⑤ 技術基盤（テクノインフラ）の整備

化学プロセス工学専門委員会では、産官学のメンバーからなる「化学産業の将来検討小委員会」を設けて、第16期化学工学研究連絡委員会の提言を踏まえ、環境調和・物質循環型で、かつ、国際競争に打ち克てる化学産業の創成を効果的かつ効率的に実現するための具体的な方策につき、学術的、ならびに産業的な視点に立ち調査・検討した。

2. 1 工学における化学分野の現状と課題

自動車産業や電子産業等の多くの産業は用途の明確な製品群を対象としているため、製品開発（「何をつくるか」；“What to make”）と生産プロセス（「如何につくるか」；“How to make”）の関連が分かり易く、それらを支える工学の体系は両者が自ずと融合しており、産業の発展に対応して円滑に変革できる。

これに対し、化学産業は社会が必要とする物質を多様な原料から原子、分子の無数の組み合わせを利用して合成し、それを多様な製造設備・工程を用いて製品化している。したがって、「何をつくるか」と「如何につくるか」の対応関係は多様で、複雑である。

このような化学産業の特性から、それを支える学問体系として、主として「何をつくるか」に重点を置く基礎化学、応用化学と、主として「如何につくるか」に重点を置く化学工学が生まれてきた。我が国は、戦後、高分子製品をはじめとする各種化学製品の技術開発を、この両者を車の両輪として推進した結果、世界に並ぶ生産技術と化学製品群を有するに至っている。特に、我が国においては工学部に応用化学と化学工学が存在したことが、過去においては基礎化学、製品・用途開発分野と生産技術開発分野を効果的に結びつけ、化学産業の発展を促進さ

せるとともに、工学における化学分野の教育と人材の育成に貢献してきたと言えるであろう。

21世紀にあつて、化学と化学工学が環境調和・物質循環型社会の構築と、多様な化学産業の発展に対応していくには、基礎化学、応用化学と、化学工学の連携体制や学と産の組織的、継続的な情報交換が益々重要になってきている。しかるに近年、応用化学がより基礎化学を指向し、化学工学が生産技術側に偏る傾向が認められる。そのような状況を改善し、社会と産業の期待に応えるには、従来にも増して化学と工学の協調・融合による化学技術の体系化と手法の確立が要求される。この新しい化学技術は、従来の枠を越え拡大された技術領域を統合したものである。

もう一つの視点として、化学産業においては、「何をつくるか」と「如何につくるか」を、それぞれ個別の問題とみなして両者を直線的に結合するのではなく、研究開発の早い段階から生産に至る全過程で両者を統合しながら作業を進めることが求められている。即ち、製品開発と生産プロセスの構築の段階における相互の連携強化である。換言すれば、「何をつくるか」と「如何につくるか」の連携強化であり、それは科学 (Science) と工学 (Engineering) との高度な連携を意味することになる。この視点は、化学分野の学術においても必要である。

以上の視点から、化学工学においては、今後は単に「如何につくるか」の立場に留まらず、物理学、化学、生物学などの諸科学ならびに応用化学の成果を十分取り入れ、応用化学者とあい連携して「何をつくるか」の過程においても貢献して行かねばならない。それは、まさに、新たに体系化すべき化学工学、すなわち「統合的化学工学」が担うべき役割でもある。そのような統合的化学工学の構築を具体的に進めるために、後述する「化学技術統合研究機構」の創設が望まれる。

3. 「統合的化学工学」体系の構築に向けて

3. 1 化学産業の発展と化学工学の役割

学問は体系化された知識であつて、それにより知識が公共化され、時間的、空間的伝達が可能になり、世代と国境を越えて伝承されていく。もちろん、体系化の進め方は学問によって異なる。現象の理解を最終目標とする自然科学 (Science) においては、科学的発見や成果そのものが体系化に直接結びつく。これに対して、自然現象を応用して社会の発展に寄与することを目標とする工学 (Engineering) においては、その目標を達成するために開発された生産技術などの成果が工学として体系化されるまでにはかなりの時間遅れが存在するのが常である。ここに、工学では体系を意識的、恒常的に進化させる必要性が生じ、それを実現するシステムを構築する意義が存在する。

このような工学体系の構築が、産業の発展にとっていかに重要であったかを示す典型例は、約80年前の米国における化学工学の成立に見ることができる。当時の米国は、欧州に比べ化学産業では後進国であり、化学技術者の人材育成が急

がれていた。そこで、当時の化学プロセスの設備・工程を科学的に解き明かし、化学のみならず、物理も数学も用い、さらには経済的観点と分類学的手法をも導入して、今日の化学工学体系の原形を誕生させた。その後、基礎化学、応用化学の成果と化学産業で開発された技術を絶えず取り込み、化学工学を意識的、恒常的に発展させてきた。その結果、米国では、化学工学は多くの革新的プロセスを成立させる基盤技術を支える工学として貢献し、米国の化学産業の世界におけるトップランナーとしての地位を揺るぎないものとしている。

この米国の化学産業と化学工学体系の発展に見られるように、産業技術と工学体系の確立が相互に作用しあってお互いの発展を促進することは注目すべき事実である。この点において、我が国の化学産業では個別技術の革新のみに関心が集中し、革新的技術を生み出すための技術の体系化や、それを支える学問的環境の整備に極めて無関心であったと言わざるを得ない。

3. 2 化学技術に対する社会・産業からの期待と「基盤技術」の重要性

(1) 化学技術に対する社会からの期待

化学技術は化学産業の発展に重要な役割を果たしてきたが、今や地球環境保全のための技術という役割も期待されている。当然、化学産業自身にあっては、原料・エネルギー調達から製品の廃棄に至る製品のライフサイクル全般において、省資源、省エネルギー、環境調和、安全を考慮した化学プロセスを構築することが化学技術に期待されている。化学技術は地球環境保全、循環型社会システム・ゼロエミッション型システム実現のための重要な技術でもあり、廃棄物処理、資源リサイクル、ダイオキシン、内分泌攪乱物質など化学物質の取り扱いや安全に関連した諸問題の解決のキイテクノロジーである。

(2) 化学技術に対する産業からの期待

世界の化学産業は大きな変革の時期にある。素材型化学品の事業においては、世界市場における支配力強化のために経営規模の巨大化を戦略としている。一方、高機能な特性が要求される特殊化学品の事業では、顧客である先端産業との連携が従来にも増して強固になりつつある。また、高機能化学品の事業に関連した加工型化学品へ事業拡大を図る化学企業も少なくない。メディカル機器、エレクトロニクス機器などは、精密構造制御技術や微細加工技術を含んだ広範な化学技術を期待している。

(3) 期待される化学技術における「基盤技術」

一般に化学技術は、科学的要素と工学的要素で構成されている。現象を科学的に解明し、あるいは新しい現象を見出して、それを技術として育成するために必要な要素が科学的要素であり、現象を実用化するのに必要な要素技術とシステム化の技術が工学的要素である。工学的要素から成る要素技術には、現象を制御するために必要な、相平衡、輸送物性、反応速度などの各種データの蓄積とそれらの推算に係わる学術が含まれる。

21世紀の化学技術は、従来と比較してより広範囲の領域にわたる科学を基礎にしたものでなければならない。物理化学、無機・有機化学、高分子化学は言うまでもなく、量子化学、光化学、電気化学、生物化学、生化学、触媒化学、超臨界流体科学、地球化学などの幅広い自然科学を科学的要素とし取り入れなければならない。さらに、それらに付随して、界面・構造制御や超微粒子制御のような精密構造制御技術・微細加工技術も工学的要素として取り入れ、従来の個別的、断片的な技術を拡大・発展させたものでなければならない。

このように、科学と工学を基礎にして構築されるべき21世紀の化学技術は、数多く多岐にわたる。しかし、それらの中には、多くの産業領域からの要望が高く、環境調和・物質循環型社会を支え、化学産業を発展させる上で、より基本的で、かつ共通性がある技術が存在するはずである、それらは「基盤技術」と呼ばれるべき性格をもつ技術である。

(4) 早急に構築すべき「基盤技術」

本報告では、つぎのような「基盤技術」の確立が重要であると考えている。その概要を以下に述べる。内容の詳細については、“付属資料 21世紀の化学技術における研究開発課題とその基盤技術”を参照されたい。

① 物質のメソスコピックな構造を制御するための基盤技術

21世紀の我が国の化学産業においては、従来の石油化学のバルク製品に加えて高機能性材料製品の製造のウェイトが増大すると考えられる。そのとき、材料に求められる機能は、マクロな平均的な特性機能のみならず、ミクロ・メソスコピックな微細構造に由来する量子レベルの現象を制御する機能にまで及んでいる。現在、新規な機能性材料の創製に主眼がおかれたプロジェクトが実施されているが、微細構造の精密制御を、装置の最適設計、マクロな状態量・操作因子の最適化によって具現化する基礎技術の開発と学術基盤の体系化が急がれる。

② 高分子材料精密製造プロセスの基盤技術

高機能高分子材料の製造では、その組成と同時にミクロからマクロに至る構造が重要になり、その構造をどのように実現し、如何に制御するかが重要である。また、高分子材料の成形加工プロセスにおいては、一つの装置内で熔融、混合、反応、固化などの現象が同時に起こる複合操作が多く、それを設計・制御するための新しい方法論の確立が必要である。このように高分子材料精密製造プロセスの脱経験化、精密化を実現するには、ミクロな構造発現の機構を十分に理解し、かつ製造装置内の複合現象を解析し、その設計理論を組み込んだ基盤技術の整備が重要である。

③ 触媒を利用する基盤技術

化学プロセスの革新の鍵は新規触媒の開発にある。触媒表面の活性サイトの構造、および分子・電子レベルでの触媒反応の機構が解明されると最適触媒の設計が可能になるはずであるが、環境調和・物質循環型社会を早期に実現するために

は、知識ベース・システムやニューラルネットワーク・システムのような情報科学的方法を利用する工学的な触媒設計法の援用も必要である。また、これまで蓄積されてきた触媒化学の知見を、工学的視点に立って整理することも必要である。一方、超臨界流体の利用、反応分離プロセスによる熱力学的制約の緩和、循環流動層や酸素透過膜を用いる非エアロビク酸化反応場の採用、さらに、光反応場と固体触媒反応場を融合させた新たな反応場の創出など、新たな触媒反応場の利用により、触媒開発の負担を軽減してプロセス開発を加速することも重要である。このような視点にたった触媒を利用する基盤技術の構築が必要である。

④ 超臨界流体を用いる基盤技術

超臨界流体は、その物性の制御が容易であり、気相、液相では実現困難な機能の発現が可能であり、しかも、水や二酸化炭素などの環境に優しい物質を、種々の操作溶媒として使用することを可能にする。このような特性から、超臨界流体場における種々の新しい現象の発見やその化学技術への展開が期待される。すなわち、超臨界流体は、多くの分離に関する単位操作を革新するばかりではなく、溶液特性やミクロな溶液構造の制御性から晶析や反応などの新規な場としても期待される。しかし、超臨界流体の利用に際しては、高温・高圧条件に付随する操作性や経済性の向上、溶媒特性の制御技術など、開発すべき技術課題がいまだ数多く存在する。具体的には、超臨界相における平衡・輸送物性値の測定とデータベース化、流動、伝熱、相平衡、反応といった基礎的現象の測定と機構解明、溶媒機能を制御するための条件設定やプロセス設計に適用しうるデータの整理・定式化、などが必要である。さらに、超臨界流体を用いる新規な単位操作の開発も重要な課題である。これら研究成果を骨子とし、超臨界流体を用いる基盤技術を確立することが求められている。

⑤ バイオテクノロジーを用いる基盤技術

最近、バイオテクノロジーは医薬などの高付加価値化学製品のみならず化学製品の製造に適用されるようになり、環境への負荷の低減および省エネルギー効果が期待される。さらに、バイオマス資源からのエネルギー、CO₂固定化技術や環境修復技術、「組換え農作物」や「組換え種子」などによる新しいバイオ農作物の生産など、バイオテクノロジーの重要性が増している。このバイオテクノロジーを、広範囲の分野で適用できる基盤技術にするには、バイオプロセスにおける反応、分離、制御などの諸操作の設計・操作において、従来の化学工学的手法の適用に留まらず、生体分子の設計レベルを視野に入れた新たな設計手法を確立することが必要である。その実現には、分子生物学、生化学、微生物学や免疫学などの基礎科学の知識と遺伝子工学や細胞工学などの工学分野で開発された多くのツールを積極的に取り込んだ生物化学工学の創成が必要である。

⑥ 物質循環のための基盤技術

社会の持続可能な発展を実現するためには、高度な物質循環システムを構築する基盤技術の開発が必要である。その達成には、要素技術とシステム化技術の統

合が必要になる。廃棄物を資源として循環再利用するには、要素技術としては、化学・生物反応、分離、減容化、無害化、省エネルギーなどの技術が必要であり、システム化技術としては、環境、安全、エネルギー、経済性、ならびに LCA（ライフサイクルアセスメント）などの観点からの評価技術が含まれる。このような基盤技術の確立には、広範な学術、と技術を融合し統合化する必要がある。

3. 3 「基盤技術」の確立と「統合的化学工学」の構築

化学工学は、主として化学プロセスを対象にして、それらを要素技術に分解して横断的に眺めることによって、まず単位操作と反応工学として体系化し、ついでプロセスを再構成するためにプロセスシステム工学を体系化した。このように構築された化学工学は、石油化学工業の発展に大きく貢献してきた。しかし、21世紀には社会と産業からの化学技術への期待が一層高まり、それに応える新しい化学技術、すなわち基盤技術の確立が強く求められる。それに対応して、化学技術を支える化学工学も質的な変革を図り、新たな体系を構築して行かなければならない。このような21世紀に期待される新しい化学工学の特徴はおおよそ次のようなものであると考えられる。

第一に、新しい化学工学は、幅広い科学に基礎をおき、科学の成果を十分取り入れ、科学と工学を融合・統合した工学体系でなければならない。それは、化学プロセスを例にとるならば、従来の単位操作や反応操作に現れる単一的な要素技術あるいはそれらの線形結合的な技術ではなく、製品の特性発現という目的達成を念頭において、物質創製、プロセス設計、操作条件の設定、装置設計という一連の流れに対処できる工学である。

第二に、新しい化学工学は、精密反応場、超臨界流体場、触媒反応場、光反応場などの物質生産・処理のための新しい場の開拓に貢献できる工学でなければならない。これらの場において、新規な現象を発見・解明し、それを制御・利用できる工学の展開がいま産業界・社会から強く求められている。

第三に、産業界が今求めている重要な技術に、精密構造制御技術や微細加工技術がある。化学工学は、微細構造膜加工技術、超微粒子分散技術、製薬製剤技術やエレクトロニクス微細加工技術などの分野において、既に大きな役割を果たしつつあるが、新しい化学工学はより高度の精密構造制御や微細加工技術の開発にも貢献できる工学でなければならない。

第四に、当然のことであるが、化学工学にとっては、プロセスを構成する機器・装置・プラントも重要な研究・開発の対象である。新しい場を設定し、新しい操作を実行して、幅広い各種のプロセスに対応して行くには、従来の機器・化学装置の枠を越えた機器・装置の開発と設計法の確立が不可欠である。たとえば、温度、圧力などのマクロ物性の時間的・空間的分布と核生成、分子の自己組織化などの特性を左右するマイクロな現象との関連を解明した新しい装置設計法の確立が重要である。新しい化学工学はこれらの要請に応える工学でなければならない。

すなわち、適切な形式と構造をもった機器・装置を採用することが製品特性の発現を左右する。特に、環境適合性と経済性を考慮にいれ、時間的・空間的分布をも制御対象にした温度、圧力変化と製品特性を左右する操作場のマイクロな現象との関連の解明による新しい装置設計法の確立が重要である。化学工学はこれらの要請に応える工学でなければならない。

以上、新しい化学工学の在るべき姿と特徴について述べてきた。それは、従来は関係が希薄である考えられてきた概念、あるいは直線的に結合すれば十分であると考えられてきた概念を、互いに融合し新しく統合することを意図した化学工学の体系であり、その意味で「統合的化学工学」と呼ぶべき工学体系であり、従来の化学工学体系を超えるものである。この「統合的化学工学」の概念は、従来の「何をつくるか」から「如何につくるか」への直線的な開発スキームではなく、基礎研究、応用研究、開発研究および生産プロセスの手法を融合・統合した画期的な研究開発手法を産み出す可能性を併せ持っている。

化学工学が、上述のように質的な変革を遂げて「統合的化学工学」として再生することによって、化学工学の適用範囲を拡大することができ、それがさらに化学工学の進化・発展につながる。「統合的化学工学」は、物質とエネルギーの変換を伴う物理的・化学的・生物学的な各種プロセスに幅広く適用できるであろう。また、地球規模での物質循環・エネルギー変換を取り扱う巨視的プロセスから精密構造制御を取り扱う微視的プロセスまでの幅広い分野のプロセス、化学品以外の生産プロセスも「統合的化学工学」の対象になるであろう。さらに、生物機能利用プロセス、生体模倣プロセス、精密構造制御・微細加工プロセス、半導体製造プロセス、物質循環プロセス、環境保全プロセス、エネルギー変換プロセスにも適用範囲が拡大されて行くであろう。また、このような特徴をもつ「統合的化学工学」は、21世紀に必要とされるケミカルエンジニアの教育・育成にも大きく貢献するであろう。

過去のアメリカにおいて、化学工学と化学産業が相互に活力を与え合って、化学産業の興隆を成し遂げたように、「統合的化学工学」は上記の社会と産業の要請に応えつつ即効的かつ継続的に未来の化学産業の創成に貢献できる。このような「統合的化学工学」の学問体系は、大学の研究室における単なる学問上の興味による研究課題からは効果的、効率的には生まれるものではない。社会・産業から要望される化学技術の課題を対象にして、産官学が緊密に連携協力してそれらの技術の実現を根底から支える「基盤技術」を実際に確立する過程を通じて始めて、効率的に創成できるものである。換言すれば、基盤技術の確立を通して「統合的化学工学」の体系化を行い、体系化された「統合的化学工学」をさらに次の基盤技術の確立に適用する、という一連の作業によって始めて、社会・産業の要望に応える新しい工学体系が構築できる、と考えられる。

これらの一連の作業を効果的かつ効率的に実行するための適切な方策として、次に示す「化学技術統合研究機構」と名付ける研究組織の設立を提言する。

4. 「化学技術統合研究機構」の設立に関する提言

「化学技術統合研究機構」という組織体を設立しようとする趣旨は、以下の通りである。

4. 1 設立の趣旨

- (1) 基盤技術の確立と「統合的化学工学」の体系化の作業は、個々の技術課題について別個に行うのではなく、複数の課題について、相互に緊密に連携をとりながら同時に進めることが肝要である。その間、研究成果についての情報を相互に交換して討議・批判する作業を総合的にかつ継続的に実行することが必須である。
- (2) 上記の作業を効率的かつ迅速に進行させるために、産・官・学より派遣された化学工学、化学関連の工学の幅広い専門分野の研究者・技術者から構成される組織体を設けることが必要である。それによって、構成員相互の意見交換、討論に基づいた共通の認識が形成され、情報の共有化が進む。
- (3) 新しい組織は、「統合的化学工学」、および新しい技術開発手法の知的中心としての機能を持つとともに、産・官・学の間、技術開発手法・問題意識の共有化、人材の交流を促進する上でも効果が期待できる。その上、「統合的化学工学」の学習・実践および技術開発手法の修得により、次世代の化学技術を担う人材育成を行える。

以上のような活動は、個々の大学等の研究機関・企業間の情報交換や産・官・学の単なる共同研究・受委託研究では実行できない。関連する複数の産・官・学より派遣された研究者・技術者が集合して共同で作業することにより効率的に達成できる。

4. 2 目的

これまで述べてきた本研究機構の目的を要約すれば、以下の通りである。

- (1) 社会・産業からの要請に基づき、研究・技術課題を戦略的に策定し、その課題の達成に必要な化学技術とその基盤技術を明らかにする。(本報告書では、6つの基盤技術を早急に確立すべきであると提案している。)
- (2) それらの基盤技術を実践的に確立し、その成果を「統合的化学工学」の構築に結実させる。
- (3) 基礎研究、応用研究、開発研究の各研究段階を個別的あるいは直線的結合の形式で行うのではなく、それらを統合化することによって、化学技術を迅速かつ効果的に確立する技術開発手法を確立する。

4. 3 体制と機能

先に述べた設立の趣旨を具体化し、その目的を達成するために、本研究機構は以

下の体制と機能をもつ。

- (1) 本研究機構は、化学技術統合推進部門と、課題として設定された基盤技術ごとの複数の研究部門とからなる。
- (2) 化学技術統合推進部門は、本研究機構の中核的機能を担い、以下の機能を果たす。
 - ① 各研究部門における研究の進捗状況を把握し、研究の推進とそれらの統合化をはかり、研究機構全体の運営についての総合的管理を行う。
 - ② 大学等の研究機関、国公立の研究機関、関連する学協会、化学技術戦略推進機構、官民の調査機関等の協調・ネットワーク体制を築き、そのセンターとしての機能を果たす。
 - ③ 化学技術戦略推進機構と密接な関係を持ちながら活動を推進する。
 - ④ 構築された「統合的化学工学」および技術開発手法の知的中心としての機能を持つ。
 - ⑤ この部門を学会内に持つことも考えられる。
- (3) 各研究部門はそれぞれの基盤技術の確立とそれに関連した統合的化学工学の構築に当たる。各研究部門は、国公立研究所、大学等の既存の研究機関や研究組織を母体としたセンター組織とすることも考えられる。この場合、各研究部門は適切な場所に分散して存在することもある。
- (4) 本機構の構成員は、国内外の大学等の研究機関、関連する企業から派遣された、化学と化学工学を中心とした研究者・技術者からなり、構成員の任期は複数年とする。
- (5) 本機構における研究成果を展開・実施する場合、従事していた構成員は出身母体に関係なくその実践に参加することとし、それにより産学官間の人事の交流を図る。
- (6) 本機構は、統合的化学工学を学習・実践し、新しい技術開発手法を修得した人材を育成する機能を果たす。

4. 4 組織

本研究機構は以下のように、化学技術統合推進部門と複数の研究部門から構成される。

1. 化学技術統合推進部門
2. メゾスコピック構造精密制御工学研究部門
3. 高分子材料精密製造工学研究部門
4. 触媒分子反応工学研究部門

5. 超臨界流体工学研究部門
6. 生物工学研究部門
7. 物質循環工学研究部門

5. おわりに

21世紀の我が国の化学技術は、環境調和・物質循環型社会の構築に貢献し、多様で高機能な化学製品の生産への構造変革に対応することが求められている。そのためには、広範囲の技術領域に対処できる科学と技術が融合された高度な「基盤技術」の確立が必要である。それに対応して化学工学も、地球環境・物質循環といった巨大なシステムから科学と直結したマイクロな先端技術に至る物質・エネルギー変換プロセスを対象にして、かつ物質創製にも貢献できる「統合的化学工学」に再構築することが必要である。「統合的化学工学」の構築は、社会と産業が要望する基盤技術の実践的開発の作業を通じて結実するものであり、それを実践する機関として「化学技術統合研究機構」と名付ける新しい研究組織の設立を提言した。本研究機構が中心となり、大学などの研究機関、関連する学協会、(財)化学技術戦略推進機構、官民の調査機関などと協調し、ネットワーク体制を整備して活動することも必要である。