グリーンケミストリーと 新化学産業創造

河本 光明*

Green Chemistry for New Business Development

Mitsuaki Komoto*

Green sustainable chemistry(GSC) program promotes the research, development, and implementation of innovative chemical technologies that accomplish pollution prevention and chemical risk reduction. Supporting and promoting the research and development of innovative green sustainable chemical technologies is the main part of GSC program. Also, it is important for Japanese industry to develop new businesses using the output of GSC research & development.

Key words: green sustainable chemistry (GSC), chemical risk reduction, environment industry promotion, "The Valley of Death" in technology innovation

はじめに

化学物質が人と環境に与えるリスクに対する社会的な関心は近年特に高まっており、社会全体のシステムにおいて化学物質によるリスクを低減する努力が必要となっている。

一方、我が国産業は、欧米やアジア各国との国際競争が激化するなかで生き残りをかけた厳しい変革期にある。好むと好まざるに拘らず、研究開発や事業化において「国際競争」を意識せざるを得ない状況になっている。

グリーン・サステナブル・ケミストリー(GSC)は、「製品設計、原料選択、製造方法、使用方法、リサイクルなど製品の全ライフサイクルを見通した技術革新により「人と環境の健康・安全」「省資源・省エネルギー」などを実現する化学技術」と定義されている。また、「化学に関わるものが、自らの社会的責任を自覚し、化学技術の革新を通して「人と環境の健康・安全」を目指し、持続可能な社会の実現に貢献する」ことが基本理念とされている。

このように GSC の概念は理念的かつ包括的であり、化学にかかわる研究者らによる多様で独創的な取組みの促進が期待されている。しかし、我が国の産業が現在抱える課題の観点からみると、特に喫緊の課題も多い。

* 経済産業省製造産業局機能性化学品室

* Director, Fine Chemicals Office Manufacturing Industries Bureau Ministry of Economy, Trade and Industry (METI)

以下においては今後の GSC の取組みに対する期待と重点分野について私見をまとめることとしたい。

1. 社会から許容されなくなる化学物質

世界の化学者によるたゆまぬ努力の結果、現在 10 万を上回る数の化学品が世界を流通していると言われている。化学物質がこれまでの人類の生活水準の向上に果たしてきた役割は計り知れないほど大きい。しかし近年では、化学物質の負の側面に対する懸念が日増しに大きくなっていることを認識する必要がある。

ヨーロッパ連合(EU)は昨年、従来の化学品規制の抜本的強化案を打ち出した。「EU 化学白書」と呼ばれる文書で公表されたこの規制案は、1 トン以上の製造・輸入量がある 3 万に及ぶ既存化学物質について EU 当局に登録を行い、製造・輸入総量に応じた安全性試験データの提出を義務付けるものである。また、発がん性の疑い等のある 1400 あまりの物質について、上市の禁止や用途規制等が検討されている。

我が国の化学品規制では、企業に安全性データの提出が求められるのは基本的に毎年 300 物質あまりの新規化学物質のみであり、また既存化学物質のうちで安全性試験が終了しているのは 1300 物質あまりである。

こうした日本や国際的な化学品規制の現状から考えると、数十万人の化学産業の雇用が失われるとも言われる EU の大幅な規制強化提案は、EU のみならず世界の産業界にも大きな影響を与えるものである。

しかしここでの問題は、最終的な規制がどのようなものになるかではなく、「これほどの強力な規制が提案さ

れるほどに化学物質は社会的に許容されない状況になっている」という現実の衝撃である。

EU 当局による説明によると、今回の提案は、環境保護団体や消費者団体はもちろん、EU の一般国民までが化学物質への規制を強化することを望んでいる、という現実が背景にあると言う（もちろんドイツなど国によっては多少の温度差がある）。

EU とは状況が多少違うものの、近年我が国でも化学物質の安全性に関わる問題が社会的な関心と呼んでいる。昨年度から施行された各工場からの化学物質の排出量を公表する PRTR 制度（化学物質排出把握管理促進法）も、国民の化学物質のリスクに対する認識を高めることになると思われる。

こうした世界の動向をみると、20 世紀大きく発展を遂げた「化学」であるが、21 世紀に入り「社会への許容という大きな壁」に直面していると言えるだろう。

「人と環境の健康・安全への貢献」を主要な目標のひとつとする GSC であるが、その活動の成果が研究現場に留まり、化学を専門とする関係者内での自己満足に終わってはますます社会との乖離が深まることになる。研究成果を研究現場に留まらせることなく、社会の中で具体的に実用化し、環境と調和した新産業として創造していくことが GSC に関わるものの使命ではなかろうか。

しかし、これまでの多くの経験からすると、規制により強制的に導入が図られる分野を例外とすれば、環境・安全分野における研究成果を実際に産業の中で実用化に移すことは簡単ではないという現実もある。

「規制により強制的に新技術導入を図ればよい」という乱暴な意見もあり得るが、現下の喫緊の課題である我が国産業の国際競争力強化という視点も踏まえるならば、社会ニーズを捉え、市場メカニズムを活かせる GSC の重点分野や戦略的な対応を推進することが重要である。

そのためにも、まずは化学産業をとりまく状況を今一度よく分析することが必要であると考ええる。

2. 化学産業に対する社会ニーズの変化と競争激化

21 世紀における我が国製造業、特に素材産業を取り巻く環境は 20 世紀とは大きく異なるものとなる。

日本はすでに成熟社会となり、人口も横ばいから近い将来減少に向かおうとするなか、日本社会は物質的にはほぼ飽和状態となってきた。その一方で日本の周辺諸国での生産（供給）能力は急速に拡大を続けている。日本の製造業にとっては、社会に物質（モノ）のあふれる 21 世紀は非常に厳しい世紀のように思える。

しかし、我々の社会の中を良く見ると、「もっと情報を自由に活用したい」、「長く健康で暮らしたい」、「もっ

と安全できれいな環境で暮らしたい」といった、IT、健康・医療（バイオ）、環境分野でのニーズは引き続き非常に大きなものがある。これからの日本の化学産業は、ますますこれらの「ニーズ」を中心に展開する以外の道はないと思われる。

20 世紀の産業の供給サイド中心の発想を抜本的に改め、IT、健康・医療、環境分野などでの「ニーズ」を化学ビジネスにも取り込むことが必要となる。

我が国の主要化学企業 43 社の調査によると、43 社の 2001 年度の総売上高約 27 兆円のうち、これまで化学産業の発展を支えてきた石油化学部門の売上の総計は全体の 20% を切るまでに至っている。その一方で、医薬品を含めた機能性化学品部門の売上比率はほぼ 50% にまで達している（図 1）。

出所: 各社決算短信(2002年3月期)より機能性化学品室作成
図1 主要化学企業の部門別売上高比率 (2002年3月期決算)

このため、機能性化学品部門に化学産業の将来の期待がかかる場所である。しかし、機能性化学品部門の内訳をみると、半導体、液晶材料といった情報電子材料、インキ・塗料、医薬・農薬など非常に多種多様な分野に渡っており、ひとつひとつの市場は小さく、また製品のライフサイクルも短くなっている（図 2）。

出所: 各社決算短信(2002年3月期)より機能性化学品室作成
図2 主要化学企業の機能性化学品部門売上げの内訳

こうした機能性化学品分野では、ユーザー産業が抱えるニーズを的確に捉えて製品の機能に組み込む技術力が

非常に重要になってきている。

経済産業省の「機能性化学産業研究会」報告によると、機能性化学産業について、「化学技術を基盤においた物質・材料(マテリアル)技術の強みを発揮することにより、ユーザー産業にソリューションを提案できる産業(ソリューション提案型産業)」を「機能性化学産業」として定義すべきであるとした。

一方、機能性化学品市場には国内企業のみならず欧米大手化学企業やアジアの化学企業が大学して参入してきている。日本の化学産業はこれまで国内での競争が主体であったが、これからはこれらの海外企業との競争に打ち勝つ「競争戦略」を持つことが必須課題となっている。

昨今の情報電子材料部門等の動向をみると、相対的に付加価値の高い機能性化学品部門においてでさえ韓国、台湾勢の追い上げを受けており、ターゲットマーケットで圧倒的な技術・市場優位を築かない限り、安定的に収益を上げることのできる期間はますます短くなっていることがわかる。

多額の開発コストがかかる製品の投資回収期間が短くなるということは、機能性化学品を将来の柱に据えたいと考える化学企業にとっては重大な死活問題につながる話である(表1)。

これからの化学産業にとっては、研究開発プロセスの効率化を進め、技術革新の「スピードアップ」を図る戦略構築が重要な課題となっている。

3. 新市場創出を阻害する「死の谷」の克服

我が国では90年代以降において「技術革新能力」が著しく低下していることが指摘されている。我が国の経済成長に占める技術進歩の貢献の割合は90年代に大きく低下し、OECD諸国の中でも最低のグループに属している(図3)。

我が国の科学技術研究費の投資額(In Put)はGDP比率でみて世界の最高レベルにあることを考えると、研究投資の成果が具体的に産業化に結びつけるシステムが有効に機能していないことが明白である。

ここで、米国における技術政策の研究者のあいだで指摘される、「基礎研究」と「技術商業化」との間にある「死の谷(The Valley of Death)」に関する議論を紹介したい。

これは、いくら連邦政府が膨大な資金を投入し、基礎研究を支援してその成果が得られたとしても、それを実際の商業化(技術革新)に結び付けていく段階の初期において資金や人材の確保が困難であるために、多くの技術成果がこの段階で商業化が断念されている(「死の谷」となっている)ことを表している(図4)。

米国は、70年代後半には対日貿易赤字が急拡大するなど、産業の国際競争力喪失という現実と直面したこともあり、80年代以降の国益(national interest)として産業の国際競争力強化を追求してきた。

その基本戦略は「産学連携強化による基礎研究成果の商業化促進」であった。1985年「産業競争力委員会」は有名な「ヤングレポート」と呼ばれる報告書を当時のレーガン大統領に提出した。そこには、「基礎的研究によってもたらされた科学の成果を商業的製品や工程に結びつける「システム」を作り上げる必要がある」との提言があった。「バイ・ドール法」と呼ばれる法律により、国が大学に助成して得られた特許は、(それまで国の所有とされていたものが)大学自身の所有へと大方針転換が行われた。膨大な額の政府支援研究から得られる特許を手にした大学は、徐々にそれを企業に技術移転して対価を得る活動を始めるようになり、2000年には6300を超える特許を大学が申請している。大学から技術移転される技術の3分の2はベンチャー・中小企業向けとなっており、2000年の1年間で454社のスタートアップ企業が大学の技術をもとに創り出された。

しかし、いくら大学が多くの特許を取得したとしてもその技術が社会のなかで実用化されとは限らない。米国でも実際に特許料収入を生んでいる技術はごく一部に限られている。また、毎年多くのハイテク・ベンチャー企業が大学から生まれているが、実際に技術を実用化し、成功を収める企業数は半数以下と言われている。

表1

研究開発リードタイム及び製品ライフサイクルの短縮化の状況(事業分野別) (単位:年)							
	開発リードタイム			製品ライフサイクル			
	10年前	5年前	現在	10年前	5年前	現在	
鉄鋼	4.3	3.0	2.6	13.1	11.1		9.4
非鉄	3.5	2.3	1.6	7.5	5.7		3.8
化学	4.7	3.3	2.1	9.1	6.4		4.6
繊維	4.2	3.5	2.4	5.8	4.8		4.1
窯業・土石製品	4.5	3.2	2.4	13.0	10.6		9.6
材料産業平均	4.2	3.1	2.2	9.7	7.7		6.3
製造業平均	4.3	3.6	3.0	11.1	8.9		8.1
(出所)経済団体連合会「産業技術力強化のための実態調査」(1998年9月)を基に作成

←減少 民間研究開発投資の対売上高比率の変化 増大→

図3 主要国の民間研究開発投資と経済成長における技術進歩との関係 (80年代と90年代の比較)

こうした現実から、「基礎研究」と「技術商業化」との間にある「死の谷」という概念が生まれてきた。そして、いかにして多くの基礎研究成果を「死の谷」を越えさせて実際に社会で実用化させるかを目標として、大学、地域政府、連邦政府などで多くの取り組みがなされるようになっていった。

ITやバイオテクノロジーのように市場において技術に対するニーズが明確となっている分野とは異なり、GSCを含む環境・安全関連技術分野においてこそ、上述の「死の谷」の問題を深刻に考える必要がある。

「GSCの研究成果をどのように「死の谷」を越えさせ、社会で実用化して活かして行くのか?」。これこそGSCに関わる産学官が総力を挙げて取り組むべき課題ではないだろうか。

4. 環境・エネルギー産業発掘戦略

大幅に低下する我が国の産業競争力に危機感を抱いている小泉政権では、内閣官房が中心となって、昨年12月にフロンティアの拡大と生産資源のダイナミックな再配分を通じた産業競争力強化を目指した「産業発掘戦略」と呼ばれるアクションプログラムを策定した。

従来は経済産業省など個々の省庁で産業振興プログラムを作ることはあったが、省庁間の壁もあって政府としての一体的な取組みにまでは発展してこなかった。こうした反省にも立って初めて内閣主導で全省庁横断的なプログラムが策定されたものである。

なかでも環境・エネルギー分野においては、①地球温暖化問題、②廃棄物処理問題、③エネルギー問題への対応などを例として取り上げ、環境・エネルギー産業は環境への負荷の少ない持続可能な社会経済システムの形成に重要な役割を担うものであり、技術の開発・普及、市場の創出に向けた取組みを強化するとした。

具体的な方向としては以下の3つの方向が示された。

(1) 技術のグリーン化

(目標)

環境・エネルギー技術の革新に向けての高い目標を乗り越えようとするチャレンジを産業競争力の源泉とし、環境・エネルギー産業の発展につなげていく。

(取組みの方向)

(出典) 商務省 ATP プログラムホームページより

図4 技術革新を阻む「死の谷」(The Valley of Death)

研究開発においては明確な目標を設定するとともに、標準化戦略、規制改革などとパッケージで実用化を見据えながら開発を進めていく。

競争的研究資金等による基礎研究のみならず産業発掘を促すような、より実用化に近い研究の充実を図る。

企業のチャレンジとそれによる技術革新を促進するため、省エネルギー法のトップランナー基準、グリーン購入法の基準、自動車排出ガス規制について、技術革新を促すような高い基準に設定する。

情報不足が技術の開発・普及の制約とならないよう、技術情報、製品情報(LCA: life cycle assessment 等)に関するデータベースの構築を図る。さらに、実用段階にありながら普及が進んでいない環境技術について、その環境保全効果・省エネ効果等について客観的評価を行い、その結果を情報提供する。

研究開発プロジェクトの推進にあたっては、研究への参画を通じて若手研究者の育成事業が図られるよう、研究費によるポストドクター、大学院生等の雇用等を図る。また、科学技術基本計画で示された競争的研究資金の倍増目標について、環境・エネルギー分野でも実現する。

我が国の高い技術力が企業活動等に最大限結びついていくような環境整備を図るため、創業に係るコスト、リスクを大幅に軽減させ、新規事業を抜本的に振興する。

(2) 産業のグリーン化

(目標)

製品・サービスの環境配慮化と環境経営の全産業への浸透を徹底的に押し進め、「メイド・イン・ジャパン」を環境配慮型製品・サービスの代名詞として国際的に認知させる。

(取組みの方向)

利益創出に資する企業の環境経営は産業競争力の源泉であり、これを市場がプラスと評価し、環境経営の実践が競争力に寄与するような基盤を整備する。

環境経営の基盤としての経済社会システムへの環境配慮が、環境エネルギー産業の創出を促す大きな効果を有しているため、環境経営事業を核とした地域経済の活性化や街づくりの推進を政府として支援し、街づくりにおける環境配慮の組み込みを進める。

また、従来の枠にとらわれないゼロベースでの資源、エネルギー消費の効率向上を図りつつ、産業間融合、産業と地域社会による新しい取組みを促進する。

さらに、産業のグリーン化を実現するため、新たな技術や市場の創造を促進するよう、制度作りや各種の支援、公共インフラの整備等を行う。その際、構造改革特別区構想を効果的に活用する。

(3) 市場のグリーン化

(目標)

製品・サービスや企業に関する環境情報の開示・提供の一層の推進と、消費者等への環境・エネルギー教育・学習の飛躍的拡充により、日本市場を環境配慮の度合いで製品・サービスや企業を厳しく選別するグリーン市場に切り替え、日本市場を制するものが世界市場を制するような環境整備を推進する。

(取組みの方向)

環境配慮型製品の需要拡大に繋がる仕組みを構築するため、設備投資支援、環境配慮方製品・サービスの購入に係る支援等を行う。また、グリーン購入法の基本方針を見直し、特定調達品目の拡大により公的部門の環境物品・役務の調達を一層推進するとともに、技術革新を促すような高い基準の設定および情報の提供を行う。

環境製品・サービスに関する情報の普及を促進し、評価を高める。例えば、エコプロダクツや環境ラベルに係る情報データベースの充実を図る。

また、環境に配慮した製品・3R(reduce, reuse, recycle)製品が市場において適正に評価・認知されるためには、消費者に対する製品情報の提供・品質保証することが重要であり、環境配慮要素(リサイクル率・有害物質含有量等)とともに、製品性能、化学組成、安全性等の基準、試験評価方法等を設定する。併せて、例えば製品の環境効率特性(製品性能÷環境負荷)や新旧製品における環境効率性の向上倍率を示す指標の開発や活用について検討する。

企業の環境経営の促進には、市民、消費者、地方公共団体、民間団体等の連携が重要であり、市民等への企業の環境経営の取組みに関する情報の開示の促進や意見交換の場の創出を図る。さらに、市場で資金を運用する際に投資対象の収益だけでなく環境配慮の取組みなど社会的側面を考慮して投資先を選定するSRI(社会的責任投資)を促進する。

5. 実用化への具体的シナリオを持つことが重要

我が国の産業は、国際競争を強化しつつ環境と調和した製品やプロセスを社会に供給していくという困難な課題に挑戦している。

理念的で包括的なGSCは、原料、プロセス、製品開発、廃棄、リサイクルと、様々な段階における様々な研究活動が対象となる。しかし社会に具体的な成果をもって貢献するとの観点からは、個々にGSCを活用する製品イメージを明確化し、実用化へのシナリオを持った活動を推進すべきである。

経済産業省では平成15年度から、ライフサイエンス、環境技術など重点4分野において具体的な新規産業創出

につながる事が期待されるプロジェクトを選定し、「FOCUS 21 プロジェクト」として重点的に予算配分を行っている。

ここでは、同プロジェクトのうち GSC に関連する技術開発事業の一例として「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」を紹介する。

「マイクロ分析・生産システムプロジェクト」

(概要)

今後我が国化学産業は、国際競争力を高めつつ、より付加価値の高い機能性化学品分野の比重を高めていく必要がある。

しかし、現在の医薬品原体・中間体をはじめとした機能性化学品の製造プロセスの多くは、大量の有機溶剤を使用する一方で反応得率の低い、言わば「非 GSC プロセス」であり、より効率の高い、環境と調和したプロセス構築が求められている。

数百ミクロンからナノスケールの微小空間を化学反応に利用することにより、反応温度制御性、反応効率、選択性等に優れた化学プロセスの構築が可能になる。またこうしたマイクロ化学プロセスは基礎研究の成果を短期間で実プロセスに展開することが可能となり、将来の化学産業の競争力強化の観点からも重要である。

このため、平成 14 年度から 17 年度の 4 年間で「高効率マイクロ化学プロセス技術」を開発する(図 5)。

多量消費・多量廃棄型
従来型生産システム

マイクロ化学プラント

図 5 GSC による 21 世紀型化学プロセスの革新

本研究開発により 2010 年には新たな市場 8100 億円が作り出されることが期待されている。

6. GSC による新化学産業創造を

言うまでもなく GSC への取組みは単に研究開発を実施すること自体が目的ではなく、「人と環境の健康・安全」「省資源・省エネルギー」といった社会の要請に具体的に応えていくことが目的である。

21 世紀我が国産業が直面している困難な問題を解決し、新たな化学産業創造に向けて、GSC が大きな役割を果たすことを期待している。

(2003 年 2 月 17 日受理)

PROFILE

河本光明 経済産業省機能性化学品室長

〔経歴〕 京都大学化学工学科卒、1984 年通商産業省(現経済産業省)入省。経済企画庁、資源エネルギー庁、工業技術院、JETRO ニューヨークセンターなどを経て 2002 年 7 月より現職。〔専門〕 産業技術政策、R&D 政策、化学・環境・エネルギー政策