



GSCN
Green & Sustainable
Chemistry Network

GSCNは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
活動を推進する組織です

GSCN was established in 2000 to promote research and development for the Environment and Human Health and Safety, through the innovation of Chemistry .

世界に通用する日本のグリーンケミストリー基準

GSCN 評価尺度 WG

主査 安井 至
(東京大学 生産技術研究所)



第一回 GSC 賞の選考が終わった。この GSC 賞は、他の国のグリーンケミストリーの評価とは全く違った新しい枠組みを含んでいる。それは、省資源・省エネルギー的な課題に対する定量的な評価手法として、ライフサイクルアセスメント (LCA) を採用していることである。

今回、GSC 賞の審査委員のひとりとして、アメリカのグリーンケミストリーの基準などを比較検討してみたが、化学の領域をやや離れ環境科学の分野に足を突っ込んでしまった人間には、諸外国の基準は、余り納

得のできるものではなかった。様々な概念が余り整理されることなく、ランダムに盛り込まれている。今後、地球の持続可能性がもっとも重要な環境問題であるはずだが、米国も、大統領が石油メジャーの代弁としか思えない発言をする国だけあって、どうも、古い概念に囚われているように思える。また、比較的新しく提案された Atom Efficiency といった概念にしても、化学者に対してなら容易に説明できる内容ではあっても、環境あるいは持続可能性との距離はまだ遠い。

化学工業が直面する問題はいくつかあるが、その一つが化学物質の社会的受容性だとしたら、表彰基準にしても、社会一般が容易に理解できる表現方法を用いる必要がある。今回用いた GSC 賞の評価の枠組みは、その資格があると信じている次第である。(連絡先: yasui@iis.u-tokyo.ac.jp)

合成化学、プロセス化学、そしてグリーンケミストリー

岡山理科大学工学部
大 寺 純 蔵

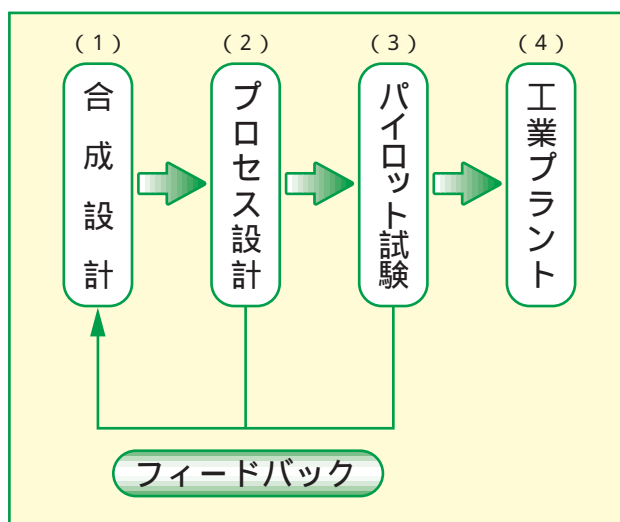
三題嚙めいた表題になってしまったが、本文の趣旨はグリーンケミストリーにおける合成化学者の役割について考えてみることにある。有害物質をまき散らしてきた元凶と見做されている化学工業は不要物質を周囲の環境中に排出しないプロセスの開発なくして生き残ることはできない。

グリーンケミストリーについてはそれぞれの立場により様々な受け止め方がある。モノ作りを使命とする合成化学にとっては、廃棄物を最小限にしつつ安全かつ短工程すなわち経済的な合成プロセスをいかに開発するかが最重点課題となる。

(1) 合成ルート設計、(2) プロセスの確定、(3) パイロット試験、(4) 工業プラントの建設、からなる化学製品の開発手順の中でこれまで(1)と(2)および(3)の担当者間の連携がややもすると十分ではなかった。(1)の段階で合成化学者は(2)以降の都合を考慮することなく合成ルート設計し、プロセス化学者は手渡された設計図の範囲内で最適化に取り組むのが普通である。この方式では基本設計は合成化学的には(言い換えればベンチ上では)ベストであってもプロセス化学的な要求に合致しにくいケースが生じやすい。したがって、グリーンプロセスの確立にあたっては合成ルート設計の段階からプロセス化学者さらにはエンジニアの意見が反映されることが肝要である。すなわち、実験室以降の工程を念頭に置き、(2)、(3)で形の悪い足に必死で靴を合わせるようなことは止めて、靴に合わせやすい足をデザインするように発想の転換が求められる。一例として、多段階からなる合成ルートにおいて、従来のように各ステップの反応を、個別に最適化するよりも、全段階の構成員のひとつととらえて他のステップとの調和をとりつつ最適化する(Integrated Chemical Process)ほ

うが操作が簡略化されるのみならず全収率が向上することを我々は明らかにした。さらには、目的物の分離、精製工程まで含むルート設計が最低基準となる日が遠からずやってくるであろう。その意味で、従来の単なる固相反応に代わり、Fluorous Biphase Technology やイオン性液体、フェイズタグを用いる多相系溶液反応が今後その重要性を一層増すであろう。

つまるところ、合成化学者がプロセス化学、さらにはエンジニアリングを理解し合成ルート設計にあたらないと、最初の段階でのボタンの掛け違いが後々まで尾を引くことになる。このような情勢のもとで、2002年から名古屋市立大学・塩入孝之名誉教授らの肝煎りで日本プロセス化学会が発足する。まことに当を得た企画であり、その発展に期待するところ大である。



(連絡先 : otera@high.ous.ac.jp)

生物触媒によるグリーンプロセスの開発

～フタロニトリル誘導品を例として

昭和電工（株）総合研究所
蒲池 晴美

生物触媒の工業的利用はグリーンプロセスの有力なツールであるが、経済的な側面から成功例は極めて限られてきた。しかし近年では周辺技術の進歩により、十分に現実的な化学プロセスとなりうるようになってきた。特に欧米の化学企業では、積極的に生物触媒プロセスを導入する傾向が強い。

生物触媒反応は特異な反応と思われがちだが、広義には有機合成反応の一種と見なすことができる。特異に見える原因は、生物触媒が物質の構造を厳密に認識した上で触媒作用を発揮するところにある。この認識力の高さは一方で汎用性の無さという側面を生むが、「必要な反応に必要な部分にのみ引き起こす」反応を実現し、工業プロセスを単純化できる可能性を秘めており、廃棄物量を削減することでトータルとして経済的かつ環境負荷の少ないプロセスを実現し得る。ここでは当社で最近行ったフタロニトリル誘導品の開発を一例として紹介する。

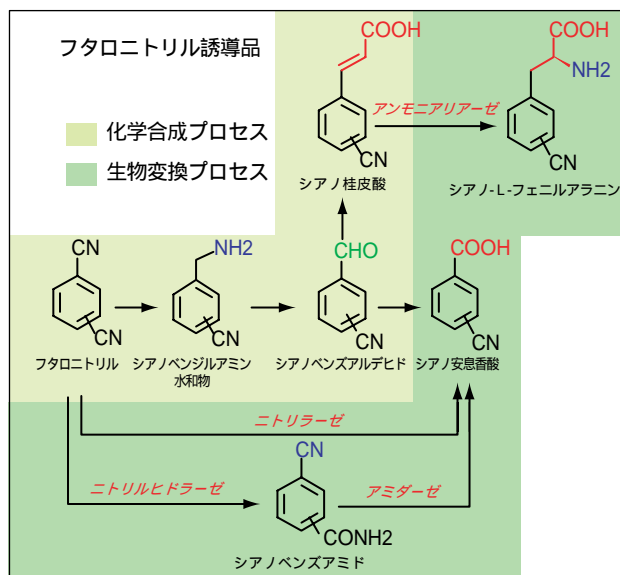
<フタロニトリルの選択的加水分解>

当社では各種のフタロニトリル誘導品の開発を行ってきた。その一つとして2つのニトリル基の一方のみを選択的に他の官能基に変換して一連の有用な合成原料を得る研究に取り組んだ。図中、シアノベンズアルデヒドまでは鋭意研究の結果合成法により選択的な変換反応が可能となったが、例えば、シアノ安息香酸は有機合成では多段階の反応の最後の生産物であり、各ステップを高い選択性で合成してもトータルの収率ダウンは避けられず、しかも廃棄物量もステップ数が増すだけ多くなる弱点があった。そこで生物触媒によるフタロニトリルの選択的加水分解反応を試み、十分に経済的なシアノ安息香酸新製造プロセスの開発に成功した。その反応は活性化した微生物を触媒とした常温水溶液中でのワンステップ反応である。さらに反応性を向上させる改良を微生物に施すことで、反応後の精製ステップを簡略化し、全工程での廃棄物量も削減ができ低コスト生産が可能となった。有機溶媒は全く用いず、廃水も通常の活性汚泥で処理可能なものとなった。

<非天然アミノ酸の不斉アミノ化製法>

光学活性な非天然アミノ酸の製法としては、有機合成反応で製造したラセミ体をエステルやアミドに誘導体化して選択的に加水分解する方法やヒダントイン法がある。これらの方法はラセミ体の半分は再利用を必要とする廃棄物となり、さらに誘導体化工程に付随した廃棄物が生じる。そこで当社ではアキラルな原料から不斉アミノ基付加反応により直接光学活性体を得ることを目指した。まずシアノベンズアルデヒドを有機合成反応でシアノ桂皮酸に変換し、これを原料とした。アミノ基付加酵素を持つ微生物を生物触媒として用い、光学純度99.9%以上の生産物を変換率80%以上で蓄積生産することに成功した。本反応はアミノ基脱離方向に偏った平衡反応であるため、高濃度アンモニア存在

下で反応を行う必要があり一見グリーンプロセスではない。しかし、当社はアンモニアを製造販売しているため効果的なアンモニア分離回収技術を有し、その技術を応用して生成物濃縮とアンモニア除去を効率的に同時に処理することで、本法をグリーンプロセスへと導くことができた。この生物触媒反応は多くの芳香族系非天然アミノ酸製造への適用が可能である。



合成と生化学の技術、その他各種の周辺技術が総合的に融合して初めて可能となる。研究開発の段階から各分野の研究者が知恵と情報を出し合い、最も良い選択をすることが重要である。将来は構造認識と触媒活性を持つ人工触媒の分子設計も可能となろう。そのようなテーラーメイド触媒が工業プロセスに登場するまで、生物触媒の研究は益々盛んになると思われる。また生物触媒を有効利用する周辺技術のさらなる進歩にも期待したい。

(連絡先; Harumi_Kamachi@sdk.co.jp)

化学研究者のためのグリーンケミストリー - の新12カ条

グリーン・サステイナブルケミストリーの要点として P. T. Anastas と J. C. Warner による12カ条がよく知られている。英国化学会の Green Chemistry の最新号に研究者のための新12カ条が提案されていたので紹介します。

Neil Winterton: "Twelve more green chemistry principles" Green Chemistry: December, G73-75 2001

化学技術は、持続的発展をいう前に廃棄物を減らすことで発展してきた。化学は物質の世界が働いている道筋を理解することに関わってきたが、過去よりもずっと大きくテクノロジー、環境、そしてそれに与えるヒトのインパクトを理解するための中心科学 (Central Science) となってきた。グリーン・ケミストリーは、有機化学とか、無機化学のように単に化学の一分野でなく、もっと広い持続性運動につながる環境、技術、社会的な目標を意味している。

グリーン・ケミストリーの定義としては Roger Sheldon の定義がよく知られている。また ACS の“環境科学と技術”の編集長 W. H. Glaze は、化学プロセスの“グリーン度”は、実用化の時点で評価すべきであるといっている。

グリーン・ケミストリーを適用しようとする化学者が研究を実施するうえで次の12点に意を配ると良い。

1. なるべく多くの副生物を同定し、可能なら定量する。
2. 収率だけでなく変換率、選択性、生産性、反応速度、原子利用効率を把握する。
3. プロセスの全体についてマスバランスを把握する。
4. 触媒、溶媒の損失量を把握する。
5. 危険な発熱の可能性を明らかにするための基礎熱化学を検討する。
6. 質量、エネルギーの移動限界を把握する。
7. 化学工学、プロセスエンジニアと相談する。
8. 化学種の選択に関するプロセス全般への影響を考える。
9. プロセスの持続性を検討する。
10. ユーティリティや他の資源の投入量を把握し最小化する。
11. 労働従事者の安全と廃棄物の最小化は両立しないこともある。
12. 個々の実験及び実験室全体について大気、水系、土壌へ排出されるすべての廃棄物を把握、監視、記録し最小にする。

GSC用語解説

ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment)

LCAと略称される。製品に関わる資材の調達から製造、使用、廃棄、リサイクルなどのすべてのプロセスにおいて、環境への負荷を定量的かつ客観的に評価する手法。従来は製品の使用や廃棄に伴う特定物質や有害物質の排出の有無、処理の容易性、使用後のリサイクルの容易性など特定のあるプロセスだけを評価範囲としたものが多かった。このため使用や廃棄の段階での環境への負荷が少なくても、原料採取、製造、流通の段階での環境への負荷が大きく、全体としては環境への負荷の低減には寄与しない製品が生産されてしまう可能性があった。

LCAの研究が進んでいるのはオランダ等の欧米諸国で、1980年代から試みが始まっている。実際の企業活動にLCAを活用している例としてボルボによるバンパーなどの部品の選択、スイスの生協団体・ミグロによる容器包装材の選定などがよく知られている。また、国際標準化機構 (ISO) による国際規格化が進行している。

グリーンケミストリーの12カ条 (Twelve green chemistry principles)

1. 廃棄物は「出してから処理ではなく」、出さない;
2. 原料をなるべく無駄にしない形の合成をする;
3. 人体と環境に害の少ない反応物、生成物にする;
4. 機能が同じなら、毒性のなるべく小さい物質をつくる;
5. 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害なものを;
6. 環境と経費への負担を考え、省エネを心がける;
7. 原料は枯渇性資源ではなく再生可能な資源から得る;
8. 途中の修飾反応はできるだけ避ける;
9. できるかぎる触媒反応を目指す;
10. 使用後に環境中で分解するような製品を目指す;
11. プロセス計測を導入する;
12. 化学事故につながりにくい物質を使う

[出典: P. T. Anastas, J. C. Warner 著、日本化学会・化学技術戦略推進機構訳編、グリーンケミストリー、丸善 (1999)]