

触媒懇談会ニュース

触媒学会シニア懇談会

石化プロセスの触媒開発 — 時の流れ —

丁野 昌純

I 始めに

1965 年以降化学企業での石化プロセス/触媒の研究開発の体験を基にして、その視点から 20 世紀後半以降の日本の石油化学工業の時の流れ（変遷）を辿ってみた。その中で日本の石油化学の最盛期に関わった石化プロセス/触媒の研究開発から学んだこと、当領域のこれからの研究開発について思うことを、現役を離れた今若手の方々へのメッセージとして述べてみたい。

振り返れば 20 世紀末に「石油化学育成対策」が通産省より発表され日本の石油化学工業がスタートした。これを契機にエチレンコンビナートの創業が開始され、欧米からの導入技術をベースに日本の石油化学工業は化学企業の中核事業として成長していくことになる。この時期が日本の石油化学の勃興期であった。

1980 年代に入り日本の国際的地位が向上し、経済大国としての期待と要求が大きくなるにつれて日本の化学産業も世界のメガコンペティションの潮流に巻き込まれることになる。

この潮流の中で資源を持たない日本がこのハンデキャップを克服し世界に伍していくためには、世界に通用する独自の技術を持つことが必須の課題であった。当時事業基盤が充分でなかった化学企業にとっ

て大規模で収益の期待できる石油化学の技術開発は事業基盤の強化、拡大の上からも重要な事業戦略であった。

一方、石化プラントから排出される廃棄物、或いは使用する原料の有毒性に起因する環境・衛生問題が社会問題としてクローズアップされ、これに対応する新規プロセスの開発が加速された。また、石油危機に端を発した原料問題が顕在化し、安定かつ安価に供給可能な非石油系原料による原料転換プロセスの開発も進められた。

これらの要因に喚起され、1980 年初期から 21 世紀当初にかけて集中して革新的な石化プロセスの開発/工業化が達成されている。これを裏付けるように触媒学会誌 50 周年記念号に記載された資料からも“実用化された触媒技術”がこの時期に集中していることが分かる。

この結果得られた成果として日本の化学プロセス/触媒技術は学会の協力もあって飛躍的に向上し、世界で一流のポテンシャルを有するに至った。同時にこの開発/工業化を通して蓄積してきた基盤技術、人材はその後の事業活動の有用な技術的資産となったと思われる。

II 企業での研究開発の体験から学んだこと

1. 石化プロセス開発の背景

筆者が石化プロセスの開発に直接関わった時期は日本の石油化学工業の最盛期でもあり、主な化学企業は中核事業であった石化事業の強化、拡大を目指して研究開発に取り組んだ。当時開発テーマとして取り上げた石化製品はその企業にとってコア事業である場合が多く重要な事業戦略に関わってくるものが多かった。具体的には、*コア事業である石化製品事業の強化拡大、*川下事業（樹脂、機能製品等）の原料自給化対策、*エフロンビナートの効率的運用-各留分の有効活用等が挙げられる。

いずれにしても大型（汎用）化学製品の製造プロセスの開発は、企業の事業戦略に直接関わる場合が多いことから、開発計画の策定、実施に当たっては経営的見地から事前の十分な検討が重要であった。また工業化までの期間が長期に亘ることから、研究開発を効率的に進め工業化の確率を高めることも重要な課題であった。

2. プロセス主導の触媒開発の取り組み方について

現役時代に関わった開発事例を取り上げ、プロセス/触媒開発の取り組み方について体験から学んだことを述べてみたい。

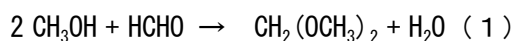
まずプロセス主導の触媒開発についての基本的な考え方は次の通りである。初期の反応探索、触媒探索を終えた後、目標とする製品のプロセスの選定に当り、前述した社会的要因も考慮し原料、生成物、反応ルート等を充分検討してプロセスを決定する。その後このプロセスを成立させるために要求される触媒性能は何かを模索、実証しながら触媒開発を進めていくことになる。更に開発の進展に応じて、エンジニアリングサイド、工場サイドと工業プロセスの視点から各工程の最適化が検討され、この要請に基づいた触媒の改良を行

なうことにより工業触媒技術を確立することになる。

以下、このプロセス主導の触媒開発に基づいた開発事例を簡単に説明する。

(1) 選択したプロセスの反応特性に適合できる触媒開発

—メチラールの酸化による高濃度ホルマリンの製造プロセス



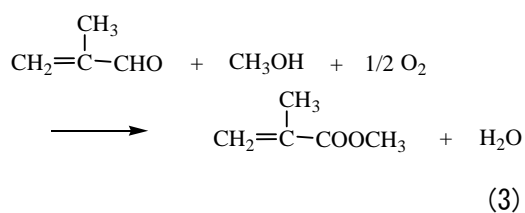
ポリアセタールの原料として取得する製品が100%濃度のホルムアルデヒドであることから、できるだけ高濃度のホルマリンを製造することにより脱水エネルギーを軽減するとともに水に関わる分離/回収工程を簡素化する必要があった。

これらの要求に適合できるプロセスとして取り上げたのがメタノール酸化法に対し高濃度のホルマリンが取得できるメチラール酸化プロセス(2)であった。

検討の結果、本反応はメタノール酸化反応と全く異なった反応特性を持っていることが分かり、この反応特性の解析の結果から、併発するメチラールの加水分解を如何に抑制するかが触媒開発のポイントであることがわかった。この知見に基づいて当初設定したプロセスに適合できる触媒の開発を進めることにより工業化を達成することができた。

(2) 気/液/固3相による液相酸化プロセスに適合できる貴金属触媒の開発

—メタクロレインの直接酸化プロセスによるMMAの製造プロセス



本反応(3)は先行プロセスであるACH法に対し、使用する原料、排出する副生物等の環境・衛生問題に充分対応することができること、同じく先行プロセスである直酸法に対し中間体のメタクリル酸に係わる諸問題がないことが本プロセスを取り上げた理由であった。

本反応は気/液/固3相からなる低温の液相反応であるため、攪拌或いは流動条件下で触媒粒子の溶解、磨耗による貴金属(Pd)の剥離、脱落等によるロスがないこと、反応中結晶構造の崩壊による劣化がないことが触媒開発の第一のターゲットであった。貴金属を使用する場合はppmオーダーのロスがあっても工業プロセスとしては成立しないことになる。

以上の要求に対応するため、新たに開発した高強度、高耐水性/耐溶剤性の担体に活性種をサブミクロン粒子内部に担持させることができる触媒調製法を開発することにより実質的にロスゼロの触媒を開発し工業化を達成することができた。

(3)工業プロセスとして要求される最適反応場への対応

—メタクロレインの酸化エステル化の液相酸化反応の場合

プロセスの工業化が近づいてくると事業性(採算性)の議論が始まりプロセスサイドからコスト削減のための更なるプロセスの簡素化、合理化の要請が出てくる。多くの場合その時点の触媒性能の範囲、限界を超えた過酷な反応場が要求され触媒への負荷が増大してくる。いわゆるプロセスサイドと触媒サイドのせめぎ合いが始まってくる。工業プロセスの最適反応場とは触媒サイドにとっては過酷な反応場ということになる。次に具体例を挙げた。

1)原料フィード量(t/hr・cat)のアップ — 原料のMacrの供給量をできるだけアップして製品MMAの生産量を上げる

ことによりコストダウン(固定費)、増収を図る。

2)Macr/CH₃OH比のアップ — 過剰のCH₃OHのリサイクル量を低減することによって用役費の低減(ロス原単位及びスチーム原単位の改善)を図る。

これらの要求は何れも触媒負荷の増大に繋がり、触媒構造の不安定化による触媒性能の劣化の原因となる。これらの要求に対処するため触媒調製法の見直しを行ない、結晶構造の欠陥のない高純度のPd₃-Pb₁金属間化合物の精密調製技術(化学的冶金法)を確立することにより、上記の過酷な反応場においても結晶構造を安定に維持することが可能となった。貴金属触媒の工業化において重要なことは精緻な元素レベルの触媒調製技術の確立が基本となることが分かった。

このようにプロセスサイドからの過酷な要求に臆することなく挑戦することにより触媒性能は一段とブラッシュアップされ工業触媒として成長していくことになる。工業触媒開発の過程においてこのような事態に幾度か遭遇したが、このせめぎ合いはプロセスの工業化を達成するための貴重な道程であったと思う。

Ⅲ これからの触媒開発について思うこと

1. 今後の日本の石油化学工業の行方 — 機能性化学品分野への事業構造転換

20世紀後半は日本の化学企業は主に独自の技術を武器として事業の強化、拡大を進めその存在感を示してきた。しかるに21世紀に入ってから世界は石油化学はその生産拠点、市場が多様化しボーダレス化様相を呈する時代となってきたため日本の石油化学のステイタスが喪失してきている。

その要因として生産拠点の点からは、産

油国である中東諸国が原料面で優位性を前面に出し、大量かつ安価に得られる非石油系原料（天然ガス）をベースとした大型の石化プラントを稼動しその製品が世界の市場に供給されるようになってきたことから、欧米の大手の化学企業は汎用石化事業の拡大戦略から後退し、中東との連携を進めていく傾向が強くなってきていることである。

一方市場、事業構造の点からみると、欧米諸国は彼ら自身の事業戦略として、機能製品を持つ企業との M&A 等によって資源の集中化を図りながら機能製品分野へと事業構造転換を加速してきている。またその事業戦略は単なる機能製品分野への転換だけではなく、例えば BASF は「Farbunt」というコンセプトによる関連する川上/川下事業の高度の連携によって新たなバリューチェーンを構築するというポートフォリオに基づく事業戦略の展開を進めている。

このように世界の石化製品の生産拠点、市場の流れが同一地域内では成立しなくなっていること、事業形態が従来の業種では定義できなくなっていることからみても世界の化学産業は多様化、ボーダレス化の時代となってきたと思われる。この世界のボーダレス化の潮流の中で日本の石油化学工業は明らかにそのステイタスを喪失してきていると言えるのではないだろうか。

このような状況の中で安価な原料、成長力のある市場を持っていない日本の石油化学工業がこの世界のボーダレス化の中で生き残り、新たな事業構造の変革に取り組んでいくためには、代替原料(Feedstock Alternatives)による独自のプロセス/製造技術の海外展開もあるが、日本の持ち味を生かした独自の機能性化学品を始めとする機能製品事業への転換を目指すこと

が重要となる。この機能性化学品の展開のキーワードとしては、M&A、成長の期待できる事業の育成/強化、グローバル化の推進となるだろうが、重要なことはその技術開発力を武器とすることによりグローバル展開を図ることであろう。

2. プロダクト主導のプロセス開発への移行 - プロダクト開発の難しさ

今後日本の石油化学が世界のボーダレス化の影響を受けて事業構造の変革に取り組んでいくためには、基本的には世界で戦える研究開発戦略の構築、研究開発力の強化が重要となる。

ここで筆者の経験を基にしてプロセス/触媒開発の視点から今後取り組むべき機能性化学品に関する研究開発課題について考えてみた。

今後日本の石油化学事業が機能性化学品事業へ移行していくのに際し、当領域の研究開発はプロダクト開発に重点が移っていくであろう。その結果基礎化学品の場合はプロセス主導の開発が主役であったが、機能性化学品の場合はプロダクト主導の開発が主役となってくる。

機能性化学品の開発が基礎化学品の場合と決定的に異なるのは、その製品を新たに市場に提供するために、その製品の特性/品質を把握して用途開発、市場開拓を進め工場生産に見合う市場（需要量）の見通しを得ることが目的となり、この見通しが得られない限り開発は完結せず企業化に踏み切ることはできないことである。従ってこの領域の開発においては、プロセス/触媒技術に注力するだけでなく製品の機能、特性更にはその市場性にも配慮することのできる複眼的視点を持つことが必要となる。例えば、筆者の体験した機能性化学品の場合（製品価格：1,000円/kg、目標とする生産量：1,000～3,000トン/

年)、製品の製造技術が確立し用途開発、市場開拓を開始してから事業化の見通しを判断するまで少なくとも2~3年は必要であった。

その上、この市場評価、市販の期間に必要な玉の融通をどのような方策で確保するかかも大きな課題であった。例えば10~50トン/年規模の委託製造による場合掛かる費用が販売予定価格の5~10倍になるためその負担に耐え切れず企業化を断念することになる場合もあった。

一方、機能性化学品の場合の触媒研究開発の取り組み方として、その活性/選択性の性能よりも製品の特性を特化するためのより精緻な触媒設計、触媒調製技術が必要であろうし、製品の分子構造を支配する触媒機能にも視点を置いた開発が重要になってくるであろう。

今後の機能性化学品の製造プロセスに関しては、触媒開発の狙いどころ、開発課題が基礎化学品の場合とは質的に変わってくるのではないだろうか。

3. 既存プロセスの触媒改良研究の効用

今後とも企業における触媒研究の重要な領域として既存プロセスの触媒改良研究がある。

日本の石油化学工業の最盛期に中核事業であった化学品の大型プラントの多くは現在も稼働を続け、プロセス/触媒技術の改良に努め事業収益に少なからず寄与しているものと思われる。

筆者の経験によると、大型プラントの触媒改良によるコストダウン効果は大きく、例えば、10万トン/年のプラントで1円/kgのコストダウンを達成したとしても1億円/年の利益を生み出すことになり当研究の開発費を補って余りあることとなる。

(1) 触媒道場としての触媒改良研究

このような状況にあるプラントを所有

している企業にとって、触媒改良研究は触媒開発者(特に若手)には工業触媒の基本的な技量を磨く格好の修練の場となり、触媒に関する基本的な考え方、触媒技術、実験/解析手法等を習得することができる。触媒改良研究の主目的はコストダウン対策である。コストダウンの課題としては、原料及び用役原単位の改善による比例費の削減、生産性向上、工程の簡素化等の改善による固定費の削減が挙げられる。これらの課題は全て触媒改良研究の主要課題と直結している。

(2) 触媒改良研究から得られること

1) 触媒の基本技術である触媒の調製技術、使用技術、評価技術、解析/分析技術を習得することが出来る。同時に触媒がプロセスの各工程とどのように関わっているかを知ることができプロセスに関する知識を習得することが出来る。

2) 取り組んでいる研究成果が関係する事業活動や事業展開にどう関わっているのかについての複眼的な視点や事業への参画意識を持つことができる。

3) 触媒改良研究は事業収益に直結しているだけに研究結果の正確度、信頼度が要求される。事実、触媒改良研究Gの触媒調製技術、解析/分析技術の緻密さ、正確さは非常に高い。例えば、データーの1%の実質収率のアップが確実にインタック収率のアップ、収益の向上に反映されることが要求されるからである。触媒改良研究は正に長期間に亘る一歩一歩の技術の積み重ねであるともいえる。

IV 終りに

1960年央以降の日本の石油化学工業の変遷とともに歩んできた現役時代の体験を基にして石化プロセス/触媒の研究開発

の視点からその時の流れを辿ってみた。思い起こしてみると、この時期は日本の石油化学工業は独自の技術を武器にしてその存在感を示すことのできた最盛期でもあり、当領域の研究開発者にとっては恵まれた環境であったと思う。

しかし、前述したように21世紀に入り世界の石油化学の生産拠点、市場が多様化、ボーダレス化の様相を呈してきたため日本の石油化学工業のステイタスが喪失してきている。

しかるに日本の主な化学企業は機能性化学品事業への転換が充分でなく、石油化学は創業以来ナフサの熱分解によるエチレンをベースとした連産品からの誘導品事業（主に基礎化学品）の呪縛から開放されているとは言えない。要は経営基盤を支える基礎化学品事業が収益源として必要不可欠であるという現状が機能性化学品事業への転換への足かせになっているという見方もできる。

世界の石油化学が前述したような変貌を遂げている環境の中で、将来このコンビナート方式による日本の石油化学はどのような影響を受けて変革していくのだろうか。それに伴い当領域の研究開発のターゲットはどのような方向に向かっていくのだろうか。

とは言え、触媒技術は新たな化学製品を市場に提供しているだけでなく、現在環境・エネルギー問題に挑戦するための基盤技術として積極的な研究開発が進められ実用化されている。現に工業触媒の出荷状況をもみても化学品関連が減少し、環境・エネルギー関連が増加の傾向にあることが分かる。更に触媒技術は世界的な社会問題になるであろう資源問題、食糧問題等へ挑戦をしていく基盤技術として期待される。

このように、触媒はこれらの社会貢献に繋がる基盤技術であることから、研究開発

の推進に当たっては研究のターゲット、進め方等のベクトルを揃えた上で組織的な連携を保ちながら戦略的に進めていくことが必要になってくるのではないかと思う。それを実現していくためには学・官・産が協力して各領域の情報交換及び人材の交流等相互の連携の方策を議論していくことも肝要であると思う。触媒学会には是非その先導的な一翼を担って頂くことを期待したい。

2010, 11, 10記