

未来一考：触媒科学に期待する

永原 肇

1. はじめに

2つの大きな変化が急速に起こりつつある。一つは IT, ICT, AI 等の技術および IoT による、人、社会、産業の活動形態の変革であり、もう一つは ESG 投資, SDGs, パリ協定等を社会的要請および事業機会と認識する価値観の変化である。

後者の重要部分である気候変動対策促進 (GHG 削減) は、先々の不透明感は強いが、省資源、省エネルギーと捉えれば好ましいことである。一方 1997 年に京都議定書を採択したホスト国の日本、および長年にわたり同様の価値観で努力してきた日本の技術者にとっては、この状況に違和感も募る。忘れてならないのは後者が EU の入念なビジネス戦略を内包して提起された面が強いことである。日本はどうすればよいのだろうか。

2. 待機する技術

1990 年前後のバブル崩壊に伴い、多くの資産が泡と消え、高い社会コストが残った。人件費、建設費、用益費、等々どれをとっても概ね海外より高く、化学企業に眼を向ければ国内大型新事業への投資意欲は徐々に衰え、既存事業の改良と海外展開に活路を求めた。海外展開は概ね脇が甘く、多くの技術流出をも伴った。資金があれば自国での新事業より、完成された他国の事業を取り込む M&A へと企業のメンタリティが移行している。国の施策も滞った感否めない。この 20 数年は、未来の社会や経済を支える良い技術や必要な新技術の日本での具現化 (社会実装) が牛歩の歩みに陥った期間ともいえるだろう。

足元はどうかといえば、日本のプラント建設費は世界一高いと推測され、用益等のコストもすこぶる高い。しかし高齢化や人口減から派生する過酷な諸問題はすぐそこまで来ており、天災の潜在リスクを抱える日本が GDP の維持・成長を目指すのであれば、現状の延長に解は無い。

さて、この 20 数年の間、化学企業は新技術の開発を怠ってきたわけではない。断続的に培われた技術は冬眠もしくは待機している。国やアカデミアも同様で、具現化を伴わない中での資源、エネルギー、環境分野での研究開発実績は悲観するものではない。残念なのは具現化の蓄積不足である。具現化したものは人を新たな発想へ誘う。進歩とはその繰り返してである。それを先ず日本国内で進めなければ相乗効果、相乗効果も減殺してしまうだろう。

では具現化 (社会実装) は進むのだろうか。

3. 社会実装とは「間に合う」こと

優れた技術、構想も間に合わなければ社会的には無意味

である。「間に合う」とは単に急ぐことではない。必要なパーツを揃え実現しようとする意志の結果である。

日本はあらゆるコストが高いことを含め、経済的な社会実装が進まない言い訳が山ほど存在する。この言い訳を緩和しなければならない。バイアスは価値観再構成であり、価値観をビジネスに転換する知恵であり、社会が必要とする時期に間に合わせる意思である。投資採算判断指標の推算過程でこの価値観をどのように織り込むか、国や企業の理念、意思、自律性が問われる時代に入った。待機する技術群や新技術の社会実装が加速されるかはそれらにかかっている。一方で初期投資を一段と抑制する技術と工夫が切望される。研究開発も同様であり、早い段階からのエンジニアリングとの協働は必須である。また多様性と分散を許容し、地域やサプライチェーンを考慮した中小実装を積み重ねることが、大きな流れを生むことになるだろう。小さく生んで大きく育てるのである。

上記は今後あらゆる施策にも求められることになると思う。進むという認識、進ませるという覚悟が必要である。化学、触媒科学 (化学) に携わる者にも同様に求められる。

4. エネルギー、原料問題と触媒

日本のエネルギー自給は当面不可能である。一部自給への道である再エネの拡大、浸透を進めるには、その活用手段としての再エネ水素が必須である。有効なガスグリッドを構築してこなかった日本は、エネルギー蓄積・輸送媒体として水素やアンモニアを利用し、化学原料にも再エネ水素を用いる時代を鮮明に描く必要があり、新旧触媒技術が果たす役割の重要性については言うまでもない。

水素製造法候補であるアルカリ水電解 (電極は触媒そのもの) は大型化に限界があるので、能力を上げるには数を増やすことになるが、逆に小規模でも条件が揃えば実装の可能性もある。また再エネ水素は power to power だけでなく、化学原料として用いれば再エネ水素自体の価値を上げ、実装促進に寄与する。地方分散型の産業育成とも相性が良い。水素を利用する化学が再エネを助長するのである。基幹の実装を周辺誘導品から助長していく考え方は普遍性があり、視点として極めて重要である。

一方日本は液化天然ガス (LNG) の一大輸入国であり、JERA による年間輸入量は約 3,500 万トン²⁾で、事業会社としては世界最大規模である。最近では東京ガスによる米国シェールガスの長期契約購入も開始された。こうした企業活動が水面下で日本を支えていて、LNG 購入ノウハウは蓄積されている。

長く日本で続けられてきたゼオライト研究の成果でもあるエタンの転換利用技術は、実装の有無はともかく候補³⁾が揃っており、技術によってはバイオエタノールの投入も

可能なのだが、安価なエタン購入の道は見えないので技術は海外に出てしまうだろう。さらに日本は今後ナフサ自体が不足する危険性が高い。石化業界は実はナフサ価格の乱高下に翻弄されることはあっても、原料調達そのものに苦勞したことはなく、国産ナフサが減少すればナフサの調達に乗り出さなければならなくなる。いかに誘導品が強い日本の化学といえども、源流の弱みがさらに増すのでは将来はない。天然ガス価格は一時の乱高下はあるにせよ、熱量ベースで原油の概ね 1/4~1/2 であり、メタンを原料とする化学が切望されるのである。

メタンから合成ガスを経て、FT 合成によって炭化水素類を得る方法は著名だが、建設費、生産コストが道を阻んできた。望まれるのは C2 以上の炭化水素への直接転換である。その先は他の技術が賄ってくれる。メタノールへの直接転換も合成ガスのスキップであり好ましいが、世界のメタノールプラントは CO を経由して 1 プラント百万トン/年以上の規模で安価に生産されており、典型的な規模の優位性と相対する技術が求められる。メタノールを買ってくれば良いという議論と常に直面するからである。この点、C2 以上の炭化水素はナフサクラッキングとの比較になるので、実現すればインパクトは量りしれない。触媒科学の力量が試される、きわめて重要な課題である。

5. 二酸化炭素の化学

二酸化炭素からの化学品大量合成は尿素以外に量的に少なく、GHG 削減効果は微々たるものである。しかし二酸化炭素をカルボニルソースととらえれば、重要かつ大量の需要が存在する。典型的なカルボニルソースはカーボネート群であり、これが安価に製造できれば、その反応性を利用する新たな C, N, O の化学の発展が期待できる。もともと石化コンビナートは誘導品があって成立し、誘導品が強いから日本の石化が成立している。二酸化炭素化学誘導品が充実していけば、小規模ながら CCS を助長することになる。CCS があって CCU があるのではなく、コロニーのように成長した二酸化炭素由来化学品生産が CCS をより経済的に後押しするのである。このコロニーを筆者は CCC (Carbon dioxide Chemical Complex) と呼んでいる。

また、二酸化炭素と水素からエタン等を直接合成することができれば素晴らしい。メタンからエタン等への反応の困難さは C-H 結合の強さと等価性にあるが、二酸化炭素の水素化過程であれば中間体に関して別の考え方ができるかもしれない。例えば、触媒反応を分割し、中間体を触媒と共に捕捉したのちに次の反応を行わせる方法論はないだろうか。一段で進行させる通常の触媒概念から離れるのである。エタンの直接合成は炭酸ガスと再エネ水素から「化学原料の部分自製」という局面の転換を内包している。触媒科学者の一考をお願いしたい。

6. 光化学の再考

固体光触媒研究は日本が最先端を走っているといわれる。プラズモン現象を利用する新たな光化学も進展している。多くは人工光合成を目指すものである。一方、LED 等の進化に伴い、光強度増強や波長制御は格段に容易になってき

ている。もともと光化学は熱では進行しない反応を扱って進歩した。太陽光に執着するだけが光化学ではないだろう。光触媒で培われた知見は、有用な化学品合成へ独特で新しい道を拓くのではないかと思うがいかがだろうか。

7. 触媒研究とエンジニアリング

学理の探求は人間の根源的欲求であり、元々「無償の遊戯性」があって大発見につながるのだと思う。生き活きとした遊戯性の許容は国力そのものであり、アカデミアがこれを維持していくことが切に望まれる。

一方触媒は生産活動の源流にあって社会を支えており、研究開発の一部は具体性と基本的な実装可能性の議論を必要とする。競争的資金の導入により、社会実装を謳う提案が増加しているが、実装は触媒だけではできない。エネルギー収支やコストを重要視するエンジニアリングが必須である。これなしでは研究目標を最初から間違えることになりかねない。社会実装に夢を持つ研究者ならば是非真剣に考えていただきたい。エンジニアリングが有する多様かつ現実的な知見と方法論を少なからず知るべきである。企業研究者や化学工学専門家等との日常的議論が助けになるだろう。この行動が学際連携の底流として好ましい。大学が二極分化してもよい。実装に深く傾注する研究者が増えることが日本には必要である。

また触媒の働きはマクロ環境としての反応場で大きく変わることは自明である。気相、液相、気液相、相間移動等とともに、反応形式として固定床、流動床、攪拌槽、反応蒸留等々があるが、超臨界場、マイクロ波照射環境、電場環境などの提案もあり、多種多様である。反応場の選択はエンジニアリングの出発点でもある。また反応条件や反応場が変われば、研究者の視点が大きく変わることもあろう。変われば解析手段も理論も変化する。触媒科学はそういう側面を多く残しているのではないか。多様な反応場を柔軟に試してみる、そういう姿勢も求められる。

8. おわりに

日本に視点を置いて述べた。日本は約 70 年の間隔を置いて今、明治初期、戦後復興時の次の「第 3 の維新」の時代に入ったのではないだろうか。日本の伝統や文化は技術者の内奥にも色濃く投影され、独特の課題解決策を生むだろう。欠点と思われるのは自律的、戦略的に先進実装ができない腰の重さであり、今はその腰を上げる時である。日本における諸課題解決策は成就すればいずれ輸出されることになる。世界的貢献、地球規模の貢献はそれではなされるのである。技術者は各々の領域で解決策の提供者であることが望まれる。触媒研究者は社会源流の一端を担う設計者たる可能性と責任を有している。

維新なのだから大胆な発想と柔軟な行動を期待したい。

文献

- 1) 日本機械輸出組合レポート 2018 年
- 2) 新聞記事等より著者推定
- 3) 日本特許第 5562245 号 (旭化成) など