

三元触媒開発夜話 2

静岡大学工学部 赤間 弘

1. はじめに

本稿は、シニア懇談会ニュース No.202 「三元触媒開発夜話」(2025.9.1) につづいて、三元機能の発見と三元触媒システムの開発および実車搭載までの経緯に関して、再度振り返ったものである。実は、前回に続いては、「三元触媒のその後の進展」として様々な技術展開に関してまとめてみるつもりであったが、三元触媒システムの成立間際の話を少しばかり詳しく振り返ってみると、色々と思いつくところと確認してみたい事が湧いてきて本稿に至った次第である。

前回、三元触媒技術について、社会的貢献は極めて大きく、ノーベル賞に十二分に値するはずだが、未受賞の『忘れられた偉業』と書かせていただいた。どこかの記事に書かれていた表現だが、“忘れられた・・・”という言い回しよりは、むしろノーベル賞の枠にハマ込むことができなかった、ということかも知れない、と思い直してみた。そこで、三元触媒システムの実車搭載までの経緯を少々詳しく、再度振り返り、その思うところを少々述べてみたい。

2. 三元触媒システムの成り立ち

世界初の三元触媒システム搭載車両は、**VOLVO 240 (1976年秋にUS市場投入)** であり、これには Engelhard 社の C. D. Keith と J. J. Mooney が関わっている。彼らこそが、三元触媒の発明者とされ、数々の受賞を受けている。例えば、2001年にはフィンランド技術アカデミーと共同で授与されるウォルター・アールストロム賞を受賞し、さらに2002年には米国特許商標庁から国家技術メダルを授与された。

“Three Way Function”に関する最初の報告は1971年のフォードの研究者らによると思うが¹⁾、Engelhard社でもほぼ同時期に、あるいはいち早くこの現象を掴んでいたようである。当時の日産の開発責任者であった中川良一氏の回想録²⁾によると、住友金属鉱山の友人を通じて、Engelhard社の情報を聞かされたと記されている。时期的には1970年手前であり、当時、中川氏が東大の化学の某教授に意見を求めた際に、変動の大きな自動車排ガスのような条件には触媒は使えない、と一蹴されたとの逸話があるように、触媒の専門家からみると排気浄化に触媒を使うことはナンセンスであり、その意味では、Keith と Mooney

はチャレンジングであったと言える。もっとも、当時は排気目標のクリアが絶対条件で、触媒の使い方に関する通念など気にしている場合ではない、という感覚だったのかも知れない。

東大の教授に一蹴されても中川氏は当時の日本エンゲルハルド社から Pt 触媒を取り寄せてテストを繰り返したと言う。これにより、ある程度の知見が得られたとは想像するが、触媒の偉い専門家に否定されたことで、尚も懐疑的であったことは想像に難くない。一方で、フォードやフォルクスワーゲンなどの情報がロバート・ボッシュなどのメーカーを通じて少しずつ聞かれるようになり、技術の方向性の気配は「触媒」へと傾いてきた。

国内メーカーに目を向けると、トヨタではエンジン燃焼によるアプローチとしてホンダの CVCC 技術や各種触媒の組み合わせ技術などを候補に挙げていたなかで、(三元)触媒技術を本命に据えていたようである。非常に有名なホンダの CVCC ではあるが、排気を収めるために出力がどうしても犠牲になる。トヨタの松本清氏の回想録³⁾には、エンジンは本来パワーを出すためのものであり、排気清浄化のためにパワーを犠牲にする技術には限界を感じた旨が記されている。確固たるポリシーを持っていたように思う。結果論だが、技術の先を読む眼がしっかりしており、何が主流技術になるのかを掴む力があつたと言える。対してホンダには、「エンジンの問題はエンジンで解決する」という強いこだわり、ポリシーがあつたようだ。それはそれで、ホンダの技術を世界に知らしめることになり、現在があるわけだ。

何が主流技術になるかを見通す眼の重要性は、私が呉のバブコック日立にいた頃、研究所の中島所長が口癖のように言われていたことを思い出す。同時期の排煙脱硝技術である「アンモニアを還元剤とするチタニア系触媒技術」も似た状況にあつたと言える。電子線を使う技術なども含めて多くの候補、そして触媒の選定に関する絞り込み、そして当時は触媒材料としては用いられていなかったチタニアの調達など数多くの困難があつたことをよく聞かされた⁴⁾。この技術に関しては、全く同じ特許が同日に、日立製作所-バブコック日立-三菱油化グループと武田薬品工業から申請されたという逸話があり、わが国の工業触媒の歴史総説と記録 -20 世紀からの伝言-(触媒学会)にもその経緯が記されている⁵⁾。

三元触媒システムに関しても、1970 年 当時に、全く解決の糸口が見いだせない状況にあつたとは言うものの、1970 年前にはフォードやフォルクスワーゲンの技術者たちは三元機能に気づき出したようだ。実は、それ以前に彼らは、米国ベンディックス社からの「電子制御による燃料噴射装置」の技術供与を受けており、フォルクスワーゲンはロバート・ボッシュ社と電子制御式燃料噴射装置を共同開発し、1968 年型 VW1600LE,TLE (TypeIII) に搭載している。この燃料噴射装置は元々エンジンの



出力 UP が目的であったが、空燃比制御の精度も大幅に向上できることがわかっていたのである。これが、“Three Way Function” 発見の呼び水となった。

三元触媒と言っても、触媒としては、何の変哲もない Pt 系触媒である。ところが、使う環境の制御によって“新規な機能：三元機能”を発揮することになる。フォードの Jones らによる論文中的図では、まだ転化率が低く A/F に対する浄化曲線もブロードであったように記憶している(3成分の転化率は高々30%程度であったように記憶、元の論文は紛失)、私なら、これで要求性能を達成できるのかどうかは確かに懐疑的にならざるを得ないだろうと想像する。しかし、Engelhard の Keith と Mooney らは、この現象は「使える」と踏んだのだ



ろう。そして、性能向上の見通しを持っていたのだろう。ロバート・ボッシュ社による O₂ センサーの開発も伴って、これらの技術を結集して彼らが作り上げた、世界初の三元触媒システムを搭載した VOLVO 240 が 1976 年に米国市場に投入された。

一方、国内では、トヨタが、ボッシュと技術提携をしていたデンソー（当時は日本電装）と共に電子制御式燃料噴射システム（EFI）の開発に取り組み、1977 年 6 月に国内初の三元触媒システムをクラウン

2000(M-EU)に搭載した。



また、日産は「電子制御式燃料噴射システム」（EGI）の研究開発を日立製作所と共同で取り組み、同年 1977 年 9 月に三元触媒システムを搭載したプレジデント（Y44）を市場投入した。

三元触媒システム技術には、触媒そのものよりもむしろ電子制御技術と A/F 制御のフィードバックのための O₂ センサー技術が不可欠の要素であった。

結局、日米独のメーカーが一丸となって（入り乱れて）三元触媒を用いる自動車排気浄化システムはつくりあげられていったと言える。

三元機能に関するデータはフォードでもフォルクスワーゲンでもほぼ同時期に得ていたと思う。そして彼らは、それを三元機能として明確に認識していたのだと思う。しかし、最初に三元触媒システムを成立させたのは、Engelhard の Keith と Mooney

であった。

三元機能の発見とシステムの成立に関して、技術的な視点から（独断を交えて）再度整理し直してみると、世界の主要な自動車メーカーと部品メーカーが混沌とした中で、自動車排気ガスの公害問題に取り組み、そして新たな“三元触媒システム技術”を成立させたことは一つの偉業と言える。もちろん、当時の政治的背景、状況、環境や行政の影響なども大いに作用したことも重要な要素である。ここから学ぶべきものは多い。それに関しては、朱穎らの論文にも論じられている⁶⁾。

3. 三元触媒から学ぶ技術開発の教訓

三元触媒システムの研究開発の経緯には数多くの教訓も詰まっている。幾つかのシンプルな教訓をあげてみよう。

大きな括りでは、①主流技術の要件を掴むこと、これには技術に関するポリシーを明確に持つことも重要、②触媒技術としては、触媒を使う環境に関して、従来の常識の外に、あるいは外にこそ解はあり得る、そして、③触媒の作動環境を制御するシステムとそれらを組み合わせる技術が不可欠、ということである。如何にも当たり前の単純な教訓ではあるが、近年の細かい活性点構造を追求する多くの触媒研究をみると、確かにサイエンスも重要、一方、触媒をどう使うか、使用環境をどうやって制御するかという（ケミカル）エンジニアリング的アプローチを攻める研究の希薄化を感じざるを得ない。

②に関しては私自身にとっても、身近な教訓になっている。実際、触媒を使う環境として、変動の有る環境で使用した方が高

い性能が得られることがある。「触媒は安定な条件で使用するもの」という概念を頑なに持つと折角の大魚を逃すことになる。三元触媒を例にとると、**A/F**の変動により浄化性能が高まる。非定常の条件を上手く活用することで反応成分の吸着と脱着を促進させることで高性能化できる。

そして、また、今更ながら、現場の実験データをしっかり読み込んで選択肢を広げることも重要である。有名なトヨタのNOx吸蔵還元触媒は、現場のデータをしっかり読み込み、その現象を理解することを怠らなかつた故に見いだされた旨聞いている。実は同じ頃日産でも同様のデータを得ていたのである。当時は、岩本先生によるCu-ZSM-5を切掛けとしてリーンNOx触媒の開発が世界的な一大ブームとなっており、猫も杓子もと言ってしまうのは悪いが、実に多くのメーカー、研究者たちが入り乱れて開発競争をしていた。我々も当時、シャシーダイナモやエンジンダイナモを用いてモード走行中のエンジン排気のパワーデータを日々取得していた。ターゲット車はフルリーンバーンではなく、パーシャル・リーンバーンを想定していたので、エンジンはリーンとストイキのモードで運転される。それゆえ、リーン条件に有効なCu-ZSM-5と通常ストイキに有効な三元触媒とを組み合わせた触媒システムを、手を変え品を変え評価を繰り返していた。この評価では三元触媒がリーンとストイキの変動幅の中でNOxを吸蔵して浄化する機能を有していることに気付くことはできない。しかし、Cu-ZSM-5単体での性能を確認する目的で、参照データを取得するために、逆に三元触媒のみで同様に運転した時にNOx浄化現象

がみられたのである。当時、エンジン実験の現場では多色ペンを用いたチャート用紙を使っていた。多くの線が入り乱れたチャート用紙から、十数%程度のNO_x浄化率が読み取れたように記憶している。リーンの部分は吸着で、ストイキになるとその一部が浄化されているように読み取れた。現場の実験担当者とそのような会話を交わした覚えがある。しかし、この段階では如何せんCu-ZSM-5を組み込んだシステムと比べて性能が低すぎた。この現象を活用してさらに高性能化を目指そうという考えには至らなかった。結局、Cu-ZSM-5に拘った結果、大きな選択肢を逃してしまったのである。選択肢というものは、可能性のある限り増やすべきである。その後の開発の進化において、このCu-ZSM-5+三元触媒のシステムは、結局は、どうしても浄化性能でNO_x吸蔵還元触媒（当時日産ではリーンNO_xトラップと呼んでいた）には敵わず終わってしまった。加えて、リーンNO_xトラップ触媒のベースは通常三元触媒である。NO_xの吸蔵材であるBa成分は三元触媒には既に一般的に添加されていた成分である。要は、特段新しい触媒を導入することなく、リーン・バーンエンジンでリッチスパイクを入れるだけでリーンNO_xを浄化できるということである。触媒の使い方だけの話である。…とは言え、実際にはそう簡単ではない。貯め込んだNO_xを放出させると共に高い効率でしっかりNO_xを浄化させなくてはならない。リッチスパイクを深く入れるとNO_x浄化率は高められるが、HC・COが増えるというトレードオフもある。また、元々排気浄化触媒はppmオーダーの低濃度の成分を浄化するも

のであり、瞬間的な高濃度ガス成分を一気に浄化しきるのは容易なものではない。瞬間に吐き出される高濃度ガス成分を十分に浄化するためには貴金属量を増すことになった。また、リッチスパイクはエンジンの運転性にも影響する。それらがジレンマとなる。高精度なリッチスパイク制御技術が要求される。

リーンNO_x触媒の思い出話が長くなってしまった。どこか記憶違いもあるかも知れない。ともかく、これらの経験は上述した③触媒の作動環境を制御するシステム技術の重要性、を喚起させるものになった。

いっぽう、新しい触媒や技術を社会実装することの難しさも痛切に感じた。当時、触媒としてのゼオライトを自動車触媒に適用した事例はなかった。実は当時、1990年代前半から既にHC吸着触媒の材料としてゼオライトを活用する研究開発も進められており、こちらは吸着材料としてのゼオライトであり、後に実用化に漕ぎ着けられている。一方、三元触媒を代替するようなことには非常に強い抵抗が感じられた。

既存勢力、既存技術を変えていく事の困難さは必ずついてまわる。新規の技術を実用化展開していくには、色々な方法論はあるかと思うが、静かに実績を一步一步確実に積み上げることが肝要である。そして、どのステージにあっても乗り越えるべきは“既存意識”だと思う。

参考文献

- 1) J.H.Jones,J.T.Kummer,K.Otto,M.Shelef and E.E.Weaver,*Environ.Sci.Techol.*, 5, 790(1971)
- 2) 中川良一,「技術余話 技術者魂—栄光の歴史を明日へ」, 日刊自動車新聞社

(1990/10月).

3) 松本清, ワケを知る—私の研究・開発—

4) 中島史登, 排煙脱硝プロセス用酸化チタン系触媒の開発, 触媒, 32(4), 236

(1990)

5) わが国の工業触媒の歴史 総説と記録-20世紀からの伝言- (触媒学会出版委員会編, 触媒学会, 2018), 第7脱硝 [1] 触媒開発と工業プロセス, p333-338 (松田臣平), [2] 触媒開発と知的所有権, p339-340 (古尾谷逸生)

6) 朱穎, 武石彰, 米倉誠一郎, 技術革新のタイミング: 1970年代における自動車排気浄化技術の事例, 組織科学 Vol.4 0No.3:78-92 (2007)

(2026年1月28日)

赤間弘: akama.hiroshi(a)shizuoka.ac.jp