

触媒懇談会ニュース

触媒学会シニア懇談会

自動車会社における触媒技術の開発 (1) 三元触媒開発夜話

静岡大学工学部 赤間 弘

1. はじめに

本稿は 10 年前の 2015 年 7 月 24(金)～25(土)日に熱海で開催された第 46 回触媒サマーセミナーにてお話をさせていただいた内容を元に改めて振り返ったものである。当時の会告^{※)}にも記されているが、触媒サマーセミナーは、昭和 45 年から毎年夏に箱根にて 2 泊 3 日で行われており、私も学生時代を含め、当時まで 3 回ほど参加した記憶がある。夜はエンドレスで(おそらく朝に近い時間まで、私は途中リタイア)お酒を友として喧々諤々語り合い、しかし、翌朝は何事も無かったかのように講演会で、討論しあうという有様、若かりし当時の私は大御所先生たちのパワーを目の当たりにして驚いたことを記憶している。まさに、古き良き時代の触媒学会の象徴的な行事であった。しかし、世知辛い時代の波もあってか、46 回目は、場所も箱根から熱海へと移り、1 泊 2 日の短縮版でのセミナーと相成った。私としては、伝統の触媒サマーセミナーの復活をまた密かに願っている。

さて、自動車産業は今日の我が国の典型的な基幹産業であるが、技術の宝庫でもあった。サマーセミナーでの私の講演のタイトルは、「自動車会社における触媒技術の研

究開発—過去の振り返りとこれから—」であったが、当時日産自動車会社に身を置いていた私としては、自動車会社における技術の変遷を俯瞰する良い機会をいただいたとの思いで、社内外の諸先輩からの伝承をはじめ諸々の情報、さらには例えば会社の図書室の奥に眠っていた単行本などの情報も含めて自分なりに技術の変遷をまとめてみたものである。あれから 10 年を経た今、当時の技術の変遷を再度振り返り、その成り行きを振り返ってみることも価値有と内言して本稿を書き出した。

まずは、1960 年代～2020 年手前までの触媒関連技術の変遷を表 1 に示す。当時の筆者目線でまとめたための偏りをご容赦願いたい。メインの技術ストリームは排気浄化触媒ではあるが、関連するエンジン技術、燃料改質技術、定置式脱硝触媒技術、燃料電池やリチウムイオンバッテリー技術なども含めて記載した。技術名横の () 内の T、N、F などは自動車メーカー名を、また、頭文字の G、D はガソリン、ディーゼルを意味する。

※) [Microsoft Word - 第 46 回触媒サマーセミナー会告_150515.doc](#)

表1. 自動車会社における触媒・触媒関連技術の研究開発 年表

Year						
	1960	1970	1980	1990	2000	2010
	・公害問題	・マスキング法 ・53年規制		・短期規制	・新短期規制 ・新長期規制	・ポスト新長期規制
排気 触媒技術	・酸化触媒 +EGR	・三元現象(F) ・O ₂ センサー-A/F制御 ・三元触媒 実用化(T) ・O ₂ Storage ・ハニカムモノリス担体 ・耐熱性向上		・Pd-only触媒 実用化(N) ・HC-SCR 発表 リンNOx触媒 ・NSR触媒 実用化(T) ・D)酸化触媒 実用化 ・D)酸化触媒(ゼオ)	・HC吸着触媒 実用化(N) ・D)尿素-SCR系 (大型 ND) ・D)DPNR(T) ・DPF(SiC) ・インテリジェント 触媒(DH)	・D)クリーンディーゼル NSR系ポスト新長期対応(N) ・D)SULEVシステム HC-NOx吸着(N) ・D)クリーンディーゼル 尿素-SCR系 (乗用車へ拡大) ・D)Di-air(T) ・貴金属量低減 ・シングルナノ 触媒(M)
その他		・G無鉛化 ・CVCC(H) ・ロータリーエンジン ・Gタービン車 ・MeOH改質エンジン ・FC ・NH3-SCR(定置)		・燃料S分低減(脱硫) ・DIG(ガソリン直噴) ・D)直噴 ・D)コモンレール ・尿素-SCR(定置)	・OB燃料改質(for FC) メタノール改質 エタノール改質 ガソリン改質 SHIFT PROX ・PLASMA ・電場(Waseda) (産総研、Waseda)	・D)クリーンディーゼル 燃焼改善 CSF系(M) ・ガソリンEGR改質技術
電動車	・たま電気自動車 (1947年)		・FC小型化 (パワード)	・FCV試作(D) ・LiBEV販売 プレーリーJOY アルトラ(N) ・ハイパーミニ(N) ・ハイブリッド車	・FCV試作……	・FCV市販(T) ・BEV量産車(Leaf)

自動車への“触媒技術”の適用は、1970年代に実用化された排気浄化触媒に始まり、その後も絶え間ない改良が重ねられて発展してきた。その中心にある三元触媒技術は、現在でもエンジンの排気クリーン化には欠かせない主流技術となっている。一方、特に2000年代に入ってから、ゼロエミッションの推進及び更なるエネルギー高効率化を目指して、内燃機関(ガソリン、ディーゼル)の改良のみならず、燃料電池や二次電池などの技術を適用する動きが顕著となり、現在では、HCCI、可変圧縮比バルブ機構などを備えた高効率エンジン、各種ハイブリッド車に加え、燃料電池車(FCV)及びリチウムイオン電池を搭載したバッテリー電気自動車(BEV)も市場投入されるに至っている。特に、2024年時点での全世界の新車販売台

数に占める BEV・PHEV の比率は 22%にも達している(「Global EV Outlook 2025」)。一方、日本国内での同じく 2024 年時点での BEV・PHEV の比率は約 2.8%に過ぎず、国内では電気自動車への強い抵抗感が否めない。しかしながら、自動車会社はグローバルであり、上記の流れの中で触媒技術に関わる研究開発の様相は大きく転換しつつある。さて、今となっては、このような状況にはあるものの、再度、表 1 を眺めてみると、公害が深刻な社会問題化した 1960 年前半(昭和 30 年代)から 1970 年代にかけては、自動車メーカー各社は、かなり幅広く各種方策を試みたことがわかる。ホンダの CVCC エンジンは有名であるが、ガスタービン車、またマツダの代名詞(?)ともなっているロータリーエンジンを日産でもテストしていた。

さらには、FC までも検討したと聞く。この時期の技術開発というよりも、まさに Challenge は後の我が国の自動車、のみならず日本国内産業の技術を支える基盤になったのではないだろうか。この辺りの開発もやま話は、当時日産自動車での開発を推進していた中川良一氏著「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)に詳しく述べられている。本稿の多くの部分は、本書を参考にした。なお、中川良一氏は、「Three-way catalyst」を「三元触媒」とした邦訳者でもある。

以下、まずは、過去の激動の時期、特に、三元触媒が開発された 1960 年代後半～70 年代後半の頃まで遡って触媒技術の開発を振り返ってみたい。

2. 排気規制(マスキー法)と三元触媒技術の確立¹⁾

排気浄化触媒の開発は、1955 年(昭和 30 年)頃からの米国ロサンゼルスにおける光化学スモッグの公害問題に端を発する。その 10 年後の 1965 年(昭和 40 年)には、いわゆるマスキー法制定の動きが起こる。マスキー法は、モータリゼーションの拡大により、特にロサンゼルス地区の車の台数がその 40 年前の 10 倍に増えていることを根拠に、台当たりの排気規制成分を 1/10、即ち 90%もの低減率を求めるものであった。1969 年に環境保護庁(EPA)が発足した翌年、1970 年には大気清浄法改正法(マスキー法)が制定されたが、公害(光化学スモッグ)問題の顕在化から 15 年が経過していた。

国内においても、高度経済成長にあつて公害の問題は深刻化していたが、自動車排気規制については CO 規制が主体で、1968 年

時点でも当時の通産、運輸、厚生各省の担当官は HC、NOx 規制のことは知らないレベルであった。しかし、上記マスキー法制定の翌年 1971 年には、マスキー法の数値を焼き直した規制値が中央公害審議会で作られ、さらにその翌年には新設された環境庁で法制化された(昭和 50 年規制)。

マスキー法改定の時点でも、自動車メーカー各社は解決の見通しを持っておらず、まさに業界のクライシスとなったが、公害問題はそれだけ深刻な事態を呈していたとも言える。後発であった日本の自動車メーカーにとっては、国内と米国双方の規制に直面し、各社ともその解決に向けて全力を挙げてその解決策を模索していたものと思われる。

日産自動車でも全社を挙げて排気対策に取り組んだ。現在の総合研究所の前身である中央研究所が担当部署として組織され、エンジン側(従来エンジンの改良と新規エンジンの開発)及び触媒技術の 2 本柱の方針で研究開発が進められたが、この際、エンジン及び触媒共にあらゆる可能性が試されたと聞く。他のメーカーも同様な状況にあったことは想像に難くなく、この当時の研究、アイデアが日産総研においても、その後の研究開発の核・基盤になっていったように思われる。

当時、日産の開発責任者であった中川氏は、1950 年代半ばにはロサンゼルスで光化学スモッグの状況から規制導入の見通しを想定したが、その対策として白金系触媒が有効であるとのエンゲルハルト社の情報を住友金属鉱山の友人を通じて聞かされることになる。

1967 年には、米国で IIEC(産業間での排

気対策制御プログラム；共同研究組合）が、フォード、フォルクスワーゲン、フィアットなどの自動車メーカー、及びモービル、アモコ、アトランテック・リッチフィールド、サンなどの石油メーカーが参加して発足し、日本からは、日産、マツダ（当時 東洋工業）、三菱自工（当時 三菱重工）の 3 社が加入して対策に取り組んだ。この 3 年後にはトヨタも加入した。

当初の対策の方向性は、HC 及び CO の酸化は触媒反応器で、NO_x は EGR＋ベースメタル系還元触媒で対応するというものであった。IIEC 発足の翌年にあたる 1968 年には、[ペレット型酸化触媒（＋二次空気導入）＋排気再循環（EGR）]の組合せシステムとして排ガス浄化触媒が初めて自動車に搭載されている。

1970 年のマスキー法は、当初予想よりも厳しく、しかも規制値は、それまでの濃度規制ではなく、台・マイル当たりのガス重量での規制とされたため、大型車主体の米国メーカーには不利な条件となった。オイルショックの影響もあって小型車を主体としていた日本メーカーには、この状況を“危機は好機”と捉えられたと聞く。上記 IIEC においても 1973 年までが第 1 期を経て、1978 年までの第 2 期の頃には開発の主導権は日産を主体とした日本勢に移っていたようである。それでは、研究開発の現場の実際の状況はどうであったか。

白金系触媒に関するエンゲルハルド社の情報はあったが、当時の専門家は触媒方式に対して完全に否定的であった。中川氏が 1970 年頃に東大の化学の某教授に Pt 触媒に関して意見を聞きに行った際、“触媒というものは一定の状態で使うもので、自動車

の排気のように変化の激しいところに使うものではない”と一蹴されたとのエピソードが語られている。（東大の某教授とはどなただったのか？）

それでも、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が、対応技術の裏付けない規制に対し、当初は全く解決の見通は立っておらず、相当に苦しい状況であったことが伝えられている。

この状況の下、解決への糸口が見出される。1971 年のフォード社からの“Three Way Function”の報告、すなわち、貴金属触媒（Pt）を用いると、理論空燃比に極めて近い領域で CO、HC、NO_x の三成分の転化率が同時に高くなる現象である²⁾。同時期、1971 年の暮れ頃、R・ボッシュ社から日産の中川氏に、O₂ センサーを用いて排気雰囲気を実理論空燃比付近に電子制御すれば、触媒は還元にも酸化にも作用することができるとの話が持ち込まれたという。これが、電子制御による排気雰囲気制御の原型となった³⁾⁴⁾。1972 年の夏頃にはこのシステムの効果が確認され、三元触媒システムの骨格ができた。

さらにこの時期に、日産では日本石油（株）の協力を得て、ガソリンの無鉛化（≦ 0.3%）によって Pt 触媒の耐久性が確保されることを確認していた。ガソリンの無鉛化は、当時の公害問題への極めて鋭敏な反応という社会情勢の後押しによっても推し進められた。これで触媒技術の採用が決定づけられ、国内では昭和 50 年（1975 年）対策には目処がつけられた。

米国マスキー法に関しては、しかしながら、大型車主体の Big3 では未だ見通しが得られない状況にあり、日本で進められたガ

ソリン無鉛化に関しても石油大手メーカーは思い切った処置がとれず、かつオイルショックも重なって、施行が延期されていた。日本においても、昭和 50 年(1975 年)規制に対しては対応できるが、NOx 規制のより厳しい 51 年(1976 年)規制には当時対応できず、53 年(1978 年)に延期された。また、Pt 触媒を装着した 50 年規制対応車では EGR の影響もあり燃費悪化が避けられなかった。当時は排気と燃費の両立が難しい問題であった。加えて、Pt 触媒による触媒公害論、触媒の赤熱による発火といった風評も手伝って、触媒装着を取止めたメーカーさえあったという。

三元触媒の実用化における重要な触媒技術としては、Rh による NOx 還元能の強化、CeO₂ による O₂ ストレージ能(OSC)の活用及び ZrO₂ によるその強化があげられる。三元触媒は 1977 年に搭載された(トヨタ)。1979 年からはハニカムモノリス触媒が採用され、現在の基盤が構築された。

トヨタの松本清氏による開発の回想録⁵⁾によると、昭和 50 年/51 年規制は、予告された 45 年末時点では全く目途なしの状況であったが、“触媒法を最重点に位置づけた“という。それは、自分自身が実験時代に身に付けたエンジンに関する勘から、触媒システムは大幅なエミッション低減が可能な技術であると捉えていた。”仮に最終的に規制値を満足して、しかも性能的に余裕のあるシステムにしないと将来性はない“、との信念があったという。ホンダの有名な CVCC は、エンジンモディフィケーションのみで 50 年規制に対応できたが、51 年規制には燃費の問題、53 年規制では既に余裕がなく、酸化触媒を追加していくことになった。

三元触媒は、日米の深刻な公害問題を背景に生まれた技術であるが、そもそも形の無かった“触媒という解”を掴みかつモノにしたことは、当時の状況を想像すると驚きに近い感覚を持たざるを得ない。その突破口はフォード社の研究者が見出した“Three Way Function”ではあるが、三元触媒システムは、エンジン、制御、触媒及び燃料の全ての要素条件が揃うことが必須の総合技術であり、心臓部であるエンジンと一体をなす技術であるとも言える。日産では社内に排気浄化触媒を開発生産する体制を敷いたが、この時期には、加えて考え得るあらゆる可能性を模索した研究開発がなされた。どのメーカーも同様の状況にあったと想像されるが、日産でも、ロータリーエンジンなども含めた各種のエンジンはもちろん、ガスタービンから燃料電池、さらには燃料種にも可能性探求の範囲を広げ、燃料改質エンジンについての萌芽的研究さえもなされていた。’60 年～’70 年代の排気浄化技術を通じた一連の研究開発はその後の自動車メーカーの技術的基盤となったと言える。

以上、昭和 30 年代の公害問題から三元触媒の開発までの話をまとめてみた。文中にも記したが、視点の偏りの点はご容赦願いたい。三元触媒技術の社会的貢献は多大であり、ノーベル賞に十分に値するはずだが、未受賞であり、「忘れられた偉業」とも言える。世界初の三元触媒搭載車両は、ボルボ 240 (1976 年秋に US 市場投入)であり、これには Engelhard 社 (C.D.Keith and J.J.Mooney) が関わっている。日本勢では、トヨタが最初 (1977 年 6 月クラウン) に搭

載している。この辺りの状況をもう少し詳しく掘り下げてみることもこの“偉業”を知る上で有益かも知れない。

参考文献

- 1) 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).
- 2) J.H.Jones, J.T.Kummer, K.Otto, M.Shelef and E.E.Weaver, *Environ.Sci. Technol.*, 5, 790 (1971)
- 3) I.Gorille et al, *SAE paper*, No.750368 (1975)
- 4) J.G.Rivard, *SAE paper*, No.730005 (1973)
- 5) 松本清, ワケを知る—私の研究・開発—

※ 付録

以下に本稿の要点をまとめたパワーポイントシートを添付した。

公害問題と三元触媒システムの誕生

ペレット触媒とハニカム触媒



1. US カリフォルニア州 大気汚染と排気規制

- 1955年頃(S.30)ロサンゼルス近郊のモータリゼーション大気汚染による光化学スモッグの問題が顕在化
- 1965年大気汚染がさらに深刻化し、マスクー法の動き(E.S.Muskie上院議員が大気及び水質汚染特別委員長に就任)
- 目標値: HC, CO, NO_xの3成分をほぼ90%低減
根拠:『ロサンゼルス地区の車の数が40年前の10倍、ゆえに車両1台当たりの排ガス成分を1/10にすべし』
- 1967年 カリフォルニア州大気清浄法が可決
- 1970年 (S.45)に連邦規制(大気清浄法改正法: マスキー法)が制定:
HC, COは1975年に達成要求, NO_xは更に規制値を厳しくした上で1976年に達成要求

2. 国内の状況 排気規制の動向

- 1950年代 高度成長期に公害問題顕在化
- 1968年自動車に関してはCO規制のみ、この時点で当時の通産・運輸・厚生各省担当者はHC, NO_x規制のことは全く知らないレベル
※ 1970年日産中川良一氏(三元触媒の邦訳親)が排気への触媒の適用に関して東京大学の某教授(化学)に相談。全く相手にされず。
“触媒というものは車のような条件変動のあるところで使うものではない”
- 1971年マスクー法の数値を焼きなおしただけの規制値が中央公害審議会で作成
- 1972年に環境庁新設、規制値制定(S.50年規制)
- NO_x規制の厳しい51年('76)規制は、53年('78)に延期

3. 排気規制への対応

- 1970年(S.45)のマスクー法制定時点では、世界中のメーカーは解決の見通しを持たず
対応技術の裏付けない規制に対し、当初は解決の見通しは全く無い状態
考え得るあらゆる技術を試した。日産では中央研究所をつくり、そこが研究開発の受け皿
エンジン側の対策(ホンダCVCC、東洋工業ロータリーエンジンなど)も試みられた
排気触媒として、ベースメタル、活性炭など様々な材料が検討された→最終的に貴金属触媒へ
その他考え得る様々な技術が試された: 燃料電池、ガスタービン、各種燃料、燃料改質...
...その後の自動車会社の技術基盤となる
- 1967年USでIIEC(産業間での排ガス対策制御プログラム)への参加
フォード、ワーゲン、フィアット、モビル、アモコなど、日本からは日産、東洋工業(マツダ)、三菱重工(三菱自)が参加、トヨタは3年後参加
- 1968年 排ガス浄化触媒が初めて自動車に搭載された。
初期型は:『ペレット型酸化触媒(二次空気導入) + 排気再循環(EGR)』組合せシステム

4. 3元機能(Three Way Function)の発見

- 1971年Ford社:
貴金属触媒(Pt)を用いると、理論空燃比に近い領域でCO, HC, NO_xの3成分の転化率が高くなる現象

「Three Way Function」の発見

J.H.Jones, J.T.Kummer, K.Otto, M.Shelef and E.E.Weaver,
Environ.Sci. Technol., 5, 790 (1971)

- この頃、日産-日本石油で、ガソリン無鉛化(≦0.3%)によるPt触媒の耐久性確保を確認

5. 3元機能を支える技術

- 1971年暮、ボッシュ社から日産に、O₂センサーと電子制御によるエンジン排気のストイキ制御の提案あり。
翌年1972年 夏頃にシステム効果確認

⇒三元触媒システムの骨格技術が完成

- R・ボッシュ社 ; ジルコニアO₂センサー;
I.Gorille et al, *SAE paper*, No.750368(1975)
- ベンディックス社 ; A/F制御法;
J.G.Rivard, *SAE paper*, No.730005(1973)

6. 三元触媒の実用化に向けて

- 三元触媒の改良
1. Rhの追加によるNO_x還元能強化; Pt/Rh系触媒
2. CeO₂ (O₂ストレージ能)添加によるウインドウの拡大、ZrO₂によるCeO₂のO₂ストレージ能強化と安定化
CeO₂; O₂-Storage Capacity (OSC)
《The function of the respiratory system: 呼吸機能》

排気A/Fのストイキ付近へのエンジン燃焼制御は、実際にはリッチとリーチの間を激しく往復しながら制御されるため、ウインドウ拡大は実用的に重要

 - 1977年 三元触媒システムの実用化(トヨタ)
 - 1979年 ハニカム型モノリス触媒の採用

(2025年8月27日)

赤間弘: akama.hiroshi(a)shizupka.ac.jp