

一橋大学イノベーション研究センター

東京都国立市中2-1
<http://www.iir.hit-u.ac.jp>

本ケースの著作権は、筆者もしくは一橋大学イノベーション研究センターに帰属しています。本ケースに含まれる情報を、個人利用の範囲を超えて転載、もしくはコピーを行う場合には、一橋大学イノベーション研究センターによる事前の承諾が必要となりますので、以下までご連絡ください。

【連絡先】一橋大学イノベーション研究センター研究支援室
TEL: 042-580-8423 e-mail: chosa@iir.hit-u.ac.jp

株式会社デンソー¹
電子制御式ガソリン噴射装置 (EFI²) の開発・事業化

2011年9月

関東学院大学経済学部
一橋大学イノベーション研究センター
伊藤誠悟

¹ EFIの開発当時の社名は日本電装であったが、本稿では現在の社名のデンソー(1996年に社名変更)で標記を統一する。

² 今日では、一般化している『EFI』という言葉が初めて登場したのは1968年である。それまでは電気式ガソリン噴射装置や電気噴射装置と呼ばれていたものを電子制御式ガソリン噴射システム、すなわちEFI (Electronically Controlled Fuel Injection) と呼ぶようになったのである。EFIとなったのは当時、機械式をIFI(Intermittent Fuel Injection)、連続噴射をCFI(Continuous Fuel Injection)と略しており、頭文字を電気式という意味のEに代えたためであった。当初はElectricのEだったが、後にElectronicのEとなった。厳密に言えば「EFI」はトヨタ自動車の登録商標であるが、電子制御式ガソリン噴射システムの呼び名として一般化しているため本稿本稿では「EFI」という名称を用いる。

1. はじめに

電子制御式ガソリン噴射が登場したのは1951年である。米国のベンディックスの航空宇宙部門に勤めていた技術者ロバート・サットンが、飛行機を長時間にわたって背面飛行させるために開発したのが最初である。この電子制御式ガソリン噴射は機械式の欠点を補うものとして期待された。そして、ベンディックスは6年後の1957年に「Electrojector」という商品名で電子制御式ガソリン噴射装置を発表した³。

ベンディックスの発表の5年後、電子制御式ガソリン噴射の開発に着手したボッシュが着目したのは、定常時・過渡時を含めた全運転領域での空気と燃料との混合比（以下、空燃比）の制御性の高さという点であった。ボッシュの着眼の背景には、1950年代半ば以降の米国において大気汚染問題がクローズアップされたことがあった⁴。

こうした動きを背景に、1964年、フォルクスワーゲンの技術トップがロバート・ボッシュ社（以下、ボッシュと略す）を訪問し、従来に比べ、飛躍的に空燃比制御性の良い燃料供給装置を開発してほしいという要請をした。この要請を受けてボッシュが選んだ方法の1つが、ベンディックスが送り出していた電子制御式のガソリン噴射装置だった。空燃比の適合精度の良い電子制御式なら、将来の排出ガス規制をクリアする可能性があるかと判断したからである。そして、ボッシュはベンディックスと特許契約を交わして開発に着手し、1968年モデルのフォルクスワーゲン1600に搭載する電子制御式ガソリン噴射システムを完成させたのである。

デンソーのガソリン噴射に関する開発の源流は、1960年代初頭の機械式ガソリン噴射装置の開発である。その開発がベースとなり、1972年に初期型の電子制御式ガソリン噴射システム（以下、「EFI」）を実用化した。初期のEFIの上市ではボッシュに遅れをとったデンソーであったが、1977年7月に画期的なシステムを世に送り出す。O₂センサによるフィードバック方式EFIと三元触媒という自動車産業で初となるシステムで、デンソーは当時

³ ベンディックスはこの電子制御式ガソリン噴射を搭載性の良いエンジン出力向上装置と考えていた。開発当時は出力向上が第一に求められており、排出ガス有害成分削減への注目は低かったのであろう。

⁴ 1950年代後半には米国政府とカリフォルニア州政府の双方から大気汚染の調査レポートが提出されて、自動車メーカーに排気対策を求める動きが盛んになってきた。1960年にはカリフォルニア州で自動車汚染防止法が成立し、1968年モデルから排気浄化装置の取り付けが義務付けられることになった。これに危機感を抱いたのがフォルクスワーゲンをはじめとする欧州メーカーだった。

世界で一番厳しい排出ガス規制であった1978年度のいわゆる『53年規制』をクリアすることに成功したのである。

そしてその後、デンソーはインジェクタ、フューエルポンプ、電子制御ユニット(ECU; Electronic Control Unit)⁵、O₂センサなどのコンポーネント⁶の性能を向上し続け、EFIの商品性を向上し、EFI搭載車を広く社会に浸透させる。

本稿では、デンソーのEFIの開発・事業化をその源流である機械式ガソリン噴射装置の研究開発に遡り、経時的に記述する。その大きな流れは、機械式ガソリン噴射装置への取り組みに始まり、初期のEFIであるD-EFIの開発、その改良製品であるL-EFI、そして現在のEFIの原型となる三元触媒と組み合わせたEFI+O₂センサのフィードバック制御式EFI⁷へと続く。更にエンジン総合制御システムとしてのEFIが完成する。そしてその後、主要コンポーネントの進化がある。

⁵ 以下ではECUで統一する。

⁶ コンポーネントとはEFIを構成する部品のことを指している。EFIの部品は単体で自動車メーカーに提供することがあるため、本稿ではEFIの部品のことを「コンポーネント」と表現する。インジェクタ、フューエルポンプなどがコンポーネントにあたる。

⁷ O₂センサと組み合わせた噴射単機能のものをフィードバック制御式EFIとする。エンジン制御とは、燃料噴射・点火時期・アイドル回転数・スロットル開度等、複数機能の同時制御をいう。

2. デンソー及び EFI に関する予備的知識

2.1 デンソー

デンソーは、ボッシュに次ぐ世界第2位の自動車部品メーカーである。デンソーはトヨタ自動車の他、日本の自動車メーカーほとんどすべて、および海外の主要な自動車メーカーに自動車部品を納入している。2010年3月期でのデンソーの売上高(連結ベース)は2兆9,767億円となっている⁸。

デンソーが手がけている製品は、スタータ、オルタネータなどの電装品、ラジエータ、エアコンなどの熱機器、インジェクタ、フューエルポンプ、O₂センサなどのエンジン機能品、メータ、ナビ、ETC などのボデー機能製品と多岐にわたっている。取り扱っている新車用自動車部品の製品数は80品目以上ある。2009年時点の調査では、そのうち20品目が世界シェア1位となっており、2位、3位の製品を含めると32品目にもなる(図表1：製品別市場シェアランキング参照)。

図表 1 製品別市場シェアランキング(2009 年時点)

品目	1位	2位	3位
スタータ	デンソー	ヴァレオ(仏)	ボッシュ(独)
オルタネータ	ヴァレオ	デンソー	ボッシュ
ラジエータ	デンソー	ビステオン(米)	ヴァレオ
フューエルポンプ(EFI)	デンソー	ボッシュ	愛三工業
インジェクタ(EFI)	ボッシュ	デンソー	ケーヒン(日)
O ₂ センサ	日本特殊陶業	ボッシュ	デンソー
EFI-ECU	ボッシュ	デンソー	コンチネンタル(独)
メータ	コンチネンタル	デンソー	日本精機
エアコン(HVAC)	デンソー	ヴァレオ	BEHR(独)
コンプレッサ	デンソー	サンデン(日)	ビステオン
電動ファン	デンソー	ビステオン	ヴァレオ
バスエアコン	松芝	デンソー	THERMOKING(米)
エアバッグECU	デンソー	TRW(米)	コンチネンタル
ワイパーシステム	デンソーアスモ(デンソー子会社)	ボッシュ	ヴァレオ
ウオッシャーモータ	デンソーアスモ	ミツバ(日)	コンチネンタル
ウインドモータ	デンソーアスモ	ボッシュ	ミツバ

出所) デンソー資料を基に著者が作成

⁸ デンソーは産業用ロボットやバーコードリーダーなども手がけているが、自動車部品事業の割合は連結売上高比率で98%を越えている(2011年3月期)。

デンソーは、トヨタ自動車工業⁹の電装部門として事業をスタートした会社である。その源流は1935年の電装品の研究開始である。終戦後の混乱を経て、1949年にトヨタ自動車工業より電装部門とラジエータ部門が分離・独立する形で「日本電装」が誕生する。

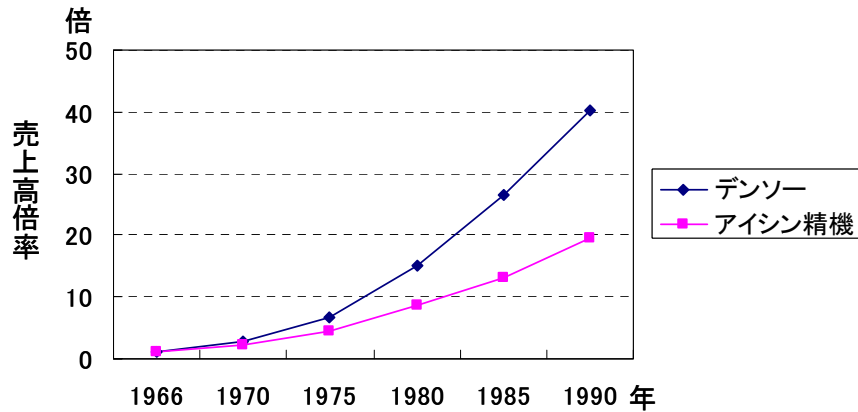
トヨタ自動車工業から分離・独立直後のデンソーは、その創業当初から経営が困難を極め、資金繰りは逼迫し、倒産の危機に瀕する。この危機を全体の3分の1という大規模な人員整理の末に何とか乗り切り、そして朝鮮戦争の「特需景気」により経営危機から脱した。

しかし、技術的には世界に大きく立ち遅れていたため、積極的な設備投資と技術導入を行った。1952年、当時資本金がやっと9,000万円になった会社であったが、1億6000万円もの最新鋭製造設備を北米や欧州から導入する決断をした。更に、翌年の1953年にはボッシュと技術援助契約を締結し、最先端製品技術はもとより、生産技術から経営方法まで学んだ。このような経営努力が功を奏し、その後に訪れる高度経済成長、そしてモータリゼーションの波に乗り、次々に新製品を開発して新工場を建設し、生産設備を拡充させていった。

そして、1970年以降デンソーの事業規模拡大が加速していった。図表2（売上高の経時的変化）は、1966年を1として1990年までの5年刻みで売上高が何倍になったかを示している。同じくトヨタ自動車を主要顧客とする大手自動車部品メーカーのアイシン精機と比較すると、1970年以降に事業成長の差が大きくなっていることがわかる。この発展の背後には、いくつかの代表的な製品がある。EFIはエアコン、Ⅲ型オルタネータなどと並びデンソーの事業発展を支えた代表的な製品（システム）の1つであった。

⁹ 現在のトヨタ自動車。1982年にトヨタ自動車工業とトヨタ自動車販売が合併してトヨタ自動車となった。

図表 2 売上高の経時的変化



	1966年	1970年	1975年	1980年	1985年	1990年
デンソー	1	2.72	6.63	15.12	26.57	40.32
アイシン精機	1	2.24	4.53	8.59	13.09	19.61

出所) 各社有価証券報告書のデータに基づき筆者作成。

2.2.エンジンの電子制御とは

エンジンの電子制御とは、電子回路で構成した電子制御ユニット ECU (Electronic Control Unit) を用いて燃料噴射制御¹⁰、点火時期制御¹¹、アイドル回転数制御¹²、EGR 制御¹³などを行うことにより、エンジンを最適な状態で作動させるものである。

¹⁰ エアフローメータと呼ばれるセンサでエンジンに吸入される空気量を測定し、その空気量に応じた最適な燃料量をコンピュータによって計算する。計算された量の燃料をインジェクタと呼ばれる燃料噴射弁にエンジンの吸気管に噴射する制御を行うものである。エンジンシリンダ内に吸入される空気と燃料の比率 (空燃比) を制御する目的は、排出ガスを浄化する触媒を有効に働かせるためである。触媒の有効性は空燃比によって大きく左右されるので、それが有効に作用する理論空燃比 (14.7 対 1) 付近に保つ必要がある。そのため排気管に酸素センサを取り付けて排気中の酸素の濃度を測定し、理論空燃比よりも燃料が酸素の量に対して濃いか薄いかを判断し、濃い場合には燃料噴射量を減らし、薄ければ増やすという制御をコンピュータが行う。

¹¹ 遠心式ガバナーや吸気管負圧を利用したバキュームコントローラーによる機械的な進角に代わるもので、エンジンの回転数と負荷の状態をセンサで検知し、点火時期を制御するものである。イグナイタへの通電時期をコンピュータによって制御するため、機械的な進角装置より細かな点火時期制御が可能となる。エンジンの状態により点火してから最高爆発圧力に達する時間が変化するため、点火時期を進めたり、遅らせたりして、エンジン出力の効率性を上げる。

¹² エンジン運転中にアクセルペダルを離している状態をアイドリング状態という。アイドリング状態ではエンジンは何も仕事をしていないので、アイドル回転数は低ければ低いほど燃費は良くなる。しかし、使用年数の経過とともにエンジンの調子が変わり、アイドル回転数も不安定となる。アイドル回転数が安定していないと不快な振動の発生や発進時のエンスト、燃費の悪化などの現象が生じる。このような問題を解決する目的で、コンピュータによる最適なアイドル回転数の自動制御が導入された。この制御は、スロットルバルブと並列に空気のバイパス通路を設け、この通路に取り付けられた ISCV (アイドルスピードコントロールバルブ) の開度をコンピュータによって調整し、バイパス空気流量を変えて回転数を制御するものである。

¹³ 排出ガスの適量を吸気管に戻すと燃焼温度が下がり、NO_x (窒素酸化物) を減少させられる。この効果

エンジンを制御する主な狙いは、エンジンが吸入する空気の量に対するガソリンの混合比率（燃料噴射量制御）や爆発のタイミング（点火時期）を精緻に制御することによってエンジンの性能（出力と燃費）と排出ガス浄化を両立させることにある。ピストンが上死点（ピストンがシリンダの最上端にきた位置）の若干手前でちょうど点火することで完全燃焼の状態に近づけ、また最も理想的な空気とガソリンの混合比率を常に保ちつつ、三元触媒と組み合わせることで、エンジンの出力を損なうことなく、排出ガス中の炭化水素（HC）、一酸化炭素（CO）、窒素酸化物（NO_x）を同時に削減する。燃料噴射と点火時期を精緻に制御することで初めて可能になる。

この複雑な制御をマイコンにより電子的に行うようになったのは、1970年代半ばのことである。自動車先進国で悪化の一途をたどっていた大気汚染問題に対処するために厳しくなった排出ガス規制に応えるためであった。米国では、民主党のマスキー上院議員が提案した自動車排出ガス規制が1970年12月に議会で承認された。いわゆるマスキー法である。それは、5年後の1975年からHCとCOの排出量を従来基準の1/10まで削減し、翌1976年から更にNO_xも1/10に削減するという厳しい規制であった¹⁴。機械工学的アプローチでも、HCとCOの発生を何とか基準内に抑えることは可能であっても、同時にNO_xの発生を抑えることは不可能であると考えられていた¹⁵。よりきめ細かい制御が可能になるマイコンをエンジンに初めて応用しようとする試みがここから始まった。といっても当時のマイコンの能力はまだ限られていたし、-30℃から+80℃と

を狙い現在のエンジンの多くは排出ガス中のNO_xを減らすために、排出ガスの一部を吸気管に戻している。ところが、吸気管への戻しが多すぎると燃焼が不安定になり、戻し量が少なすぎるとNO_xが減少しない。排出ガス中のNO_xを削減するという機能を実現するためには、排出ガスの戻り量をコンピュータのよって正確に制御する必要がある。

¹⁴ マスキー法はその後規制緩和と実施延期が繰り返された。1973年に開かれた米国EPA（環境保護庁）の公聴会では、ビッグスリーをはじめとする世界の主要な自動車メーカーはマスキー法の延期を求めた。EPAも規制緩和の必要性を認め、1973年の公聴会の後、マスキー法の施行を一年延期した。その後も議会での法案修正やEPAの方針見直しなどが続き、結局、マスキー法の元来の基準がカリフォルニア州において達成されるのは1989年、米国全土において完全に達成されるのは1994年になってのことである。

¹⁵ 炭化水素（HC）と一酸化炭素（CO）の発生を抑えるには、完全燃焼させることが必要である。完全燃焼時には理論上炭化水素（HC）と一酸化炭素（CO）は発生しない。一方、完全燃焼させると排出窒素酸化物（NO_x）は増加するという背反があった。76年規制をクリアするには、燃焼室のガスを理想空燃比に保ち、点火時期をコントロールすることで燃焼効率を高めることが必要であった。1971年2月に本田技研工業が発表したCVCCエンジンは、75年規制を達成することはできたが、76年規制の基準値を満たすことは無理だろうとみられていた。

いう広い温度条件範囲や厳しい振動条件に耐えうる信頼性の確保と300個以上もの電子部品で構成する ECU(エンジンコントロールユニット)を車両に搭載するのは至難の業であった。

2.3.EFI 前史

2.3.1. ガソリン噴射への第一歩

1959年デンソーは、電装品分野で1953年に技術提携したボッシュとガソリン噴射装置について議論を交わしていた。ボッシュはガソリン噴射に対して次のような見解を持っていた。

「ガソリン噴射は、馬力が向上するし、燃費も良くなる。低速トルクも向上できる。それは、マニホールド（吸気管）の設計が自由になること、空燃比の調整が容易なことによる」（『デンソー50年史』318-319頁）

将来的にはガソリン噴射にならざるを得ないという考えは、デンソーも同じであった。デンソーは1957年以来、ボッシュからの技術導入によりディーゼルエンジン用燃料噴射ポンプの生産を行っており、この技術を活かせばガソリン噴射の開発は十分に可能であると判断し、機械式ガソリン噴射の実現へ向けた第一歩を踏み出した。

開発を担当したのは民生ディーゼル（現在の日産ディーゼル）出身で、噴射ポンプ技術部長を経て1964年に噴射ポンプ事業部の事業部長になった藤平右近¹⁶、1963年にトヨタよりデンソーに移り翌年に次長となった須田壽¹⁷、同じく開発係長となった藤澤英也¹⁸である。その後、大森徳郎¹⁹（1965年入社）、小林久徳²⁰（1966年プリンス自動

¹⁶ 噴射ポンプ事業部・事業部長（当時）

¹⁷ 噴射ポンプ事業部・噴射ポンプ技術部次長（当時）

¹⁸ 噴射ポンプ技術部・係長（当時）

¹⁹ 噴射ポンプ技術部・担当エンジニア（当時）

²⁰ 噴射ポンプ技術部・担当エンジニア（当時）

車工業より転職)、小川王幸²¹ (1967年入社) が加わった。このメンバーが中心となって僅か数人の噴射ポンプ部開発課でデンソーの機械式ガソリン噴射の研究が進められたのである。

2.3.2.ガソリン噴射ポンプの研究

デンソーは機械式ガソリン噴射装置の本格的な開発を開始する少し前より、ガソリン噴射の研究を継続していた。藤澤は1957年の入社後間もなくゴリアート用ポンプの噴射特性の調査に携わり、それ以降ガソリン噴射に絶えず関係していた。

ドイツのゴリアートの乗用車には、ガソリン噴射ポンプ搭載の2サイクルエンジンが使用されていた。市販開始は1952年のことである。このエンジンは、当時自動車レースで圧倒的な強さを誇っていたベンツのレーシングエンジンの技術を、市販の乗用車に応用したものであった。ガソリン噴射ポンプは、ベンツのレーサーに搭載されていたガソリン噴射ポンプと同じ型式でボッシュ製K型ポンプであった。

ボッシュ製のガソリン噴射ポンプに関連する図面はボッシュからデンソーに送られてきていた。ゴリアートに続いてボッシュ製のK型ガソリン噴射ポンプはベンツの300Lや220SE、230SLにも搭載されることになるが、ディーゼルの噴射ポンプに関する技術援助契約によって入手できた。

藤澤が中心となって行った当時の調査では、これらガソリン噴射の噴射弁は、開弁圧が45気圧程度の外開弁でディーゼル用とは異なるタイプの噴射弁が使われているなど、ガソリン噴射ポンプの基本的な特性や設計がわかった。

そして、1957年の夏には、トヨタ自動車とガソリン噴射に関する共同研究が始まった。当時トヨタ自動車には特殊研究室という組織があり、ガソリン噴射等の研究を行っていた。藤澤はトヨタ自動車の特殊研究室の研究を支援した。この特殊研究室では、スポーツカーをイメージしてガソリン噴射エンジンの開発が進められた。研究成果は、EFIエンジンの開発・事業化として実を結ぶこととなる。

初代 EFI エンジン開発で大きな役割を果たすこととなる篠田和夫 (当時、トヨタ自

²¹ 噴射ポンプ技術部・担当エンジニア (当時)

自動車工業エンジン技術部係長)と三好健雄(同担当エンジニア)に受け継がれた²²。これは、EFIエンジン開発でのトヨタ自動車との協業の礎となった。

2.3.3. 軽自動車向けガソリン噴射装置の開発

1966年2月、藤平と須田はある人物の訪問を受けた。富士重工三鷹製作所の技術部長・秋山良雄である。訪問の趣旨は、スバル360に搭載する2サイクルエンジンの排気対策用にガソリン噴射装置を開発してほしいという依頼であった。デンソーは、早速、須田をヘッドに開発をスタートした。

1957年以来、ガソリン噴射の研究を重ねていたデンソーであったが、ガソリン噴射の研究は1965年には既に中断していた。藤澤や大森はこの当時はカーエアコン用のコンプレッサーの開発に従事していた。そのコンプレッサーの量産に目処がたったちょうどその時期に富士重工からガソリン噴射装置の開発依頼があったのである。

2サイクルエンジン用のガソリン噴射装置の開発で役に立ったのがゴリアートの調査で使った増速器であった²³。また、倉庫にあったベンツ300Lや230SL用のノズルも貴重な開発資産となった。これらはガソリン噴射の初期調査時期にボッシュからデンソーが入手したものである。デンソーはこれらの開発資産とゴリアートの調査以降積み重ねてきていた独自のポンプ技術をスバル360の2サイクルガソリン噴射エンジンの開発に活用した。

スバル360用のガソリン噴射装置の開発では、富士重工の三鷹製作所と共同してエンジン適合テストが行われた。デンソーでも富士重工からスバル360を借りて適合テストを行ったが、それ以外にも三鷹製作所に泊りがけで出向き、エンジンを回した。スバル360試作車のテストでは、排出ガス有害成分の削減に機械式ガソリン噴射装置が有効であることが示された。4モード試験で、炭化水素の排出量が気化器(キャブレタ)の10

²² トヨタ自動車とのEFIの協業は、1968年2月、大森がトヨタ自動車に長期出張し、トヨタ最初のEFI試作エンジンの吸気管を設計、試作することから始まる。

²³ ディーゼル用噴射ポンプのテスターで2サイクル用噴射ポンプを駆動するには、2.5倍位の増速器が必要である。

分の1、一酸化炭素濃度が3分の2まで低減したのである。排出ガス規制をクリアするという点ではきわめて有効な方法であると言えた。

この噴射装置は、富士重工に続いてスズキ、三菱、ダイハツでも実用化のための開発が行われ、2サイクルエンジンメーカーすべてがこのデンソー製の噴射装置を通じてガソリン噴射の搭載を検討することとなった。しかし、2サイクルエンジンへのガソリン噴射装置の搭載は実用化されなかった。その理由は、機械式噴射装置では、フューエルポンプの燃料調節棒とエンジンの空気量調整弁を機械的なリンク機構で正確に連結させねばならないこと、更に軽自動車用360cc エンジンの必要とする1回噴射量は極少量で、原理的には実現するはずの精度の良い空燃比調量を要求される幅に収めることが困難であった。機械式ガソリン噴射では越えられない壁であった。

デンソーの機械式ガソリン噴射は、実用化されることはなかった。機械式ガソリン噴射の開発・事業化という視点に立つと、この開発は失敗だったとも言える。しかし、この開発プロセスを通じた経験は、藤澤、小林、大森、小川ら技術者の知識となり、EFIを生み、育てることに役立つことになるのである。EFIの開発に役立った知識の一例として、大森は次のように語っている²⁴。

「富士重工の三鷹製作所を始め、スズキの浜松本社や三菱の水島製作所、ダイハツの池田本社のエンジン実験室へ、何度も出張して立会いテストをした。噴射エンジンの開発では、エンジン技術者と噴射装置の技術者の共同立会いテストが当たり前だと思っていた。(中略)立会いテストを通じた自動車会社の技術者との技術交流により、エンジン屋さんには、噴射装置の性能でなくエンジンや車の性能を示す言葉で話すことが大事だということが良くわかった。これがポンプ開発課の開発のシステム志向を進めた。」

²⁴ 2010年6月のデンソー本社（愛知県刈谷市）での筆者インタビュー。

2.3.4. レース用噴射装置の開発と機械式の限界認知

日本の自動車レースの本格的な展開は1963年に始まる。この年、第1回日本グランプリが鈴鹿サーキットで行われ、その歴史がスタートした。デンソーの機械式ガソリン噴射はレースでも試みられた。トヨタ自動車は2000GTの競争力を高めるべく、燃料供給システムを気化器（キャブレタ）からガソリン噴射へ変更する計画を立て、デンソーへガソリン噴射装置の開発を依頼してきた。

2サイクルエンジンでは1回転に1回噴射しなければならない。すなわち、2サイクルエンジン用ガソリン噴射装置はエンジンのクランク軸と等速で駆動しなければならない。ところが、4サイクルエンジンでは2回転に1回の噴射ですむ。したがって、4サイクルエンジン用としてガソリン噴射装置を使えば2サイクルエンジンの2倍のエンジン回転数に耐えられる。デンソーには高速回転するレースエンジンとはいえ、4サイクルエンジン用ガソリン噴射装置の開発は容易と思われた。トヨタ自動車からの申し出を受諾し、レース用噴射装置の開発を行うことを決めた。

レース用のガソリン噴射装置は、2サイクルエンジン時代の立体カム式でスタートした。だが、使ってみての感想は、予想以上に大きくて重く、レース場での調整が難しい。このため、連続噴射式を開発して欲しいという要望が出た。連続噴射とは、旧中島飛行機時代の航空エンジンに採用された噴射装置の流れを汲んだもので、プリンス自動車工業に在籍していた頃から小林が研究を重ねていたものであった。

この噴射装置は、エンジン単体試験でも走行テストでも決定的な問題点は発見されなかったが、若干の不安定さがあった。やがて不安定さの原因がわかり、安定性を確保できたのはグランプリのメインイベントが過ぎた後であった。

その後、レースといえども部分負荷性能が重要と見直され、再び直列&プランジャーの噴射ポンプを立体カムで制御するタイプに戻る事となった。

1968年5月の第5回日本グランプリは、日産から R381が3台、ポルシェが2台、それにトヨタ7が4台出走した。トヨタ車はエンジン油圧系の故障、タイヤのパンク、リヤ・シャフトの折損などのトラブルに見舞われて良い成績にはならなかった。この時、デン

ソーが手がけていたガソリン噴射装置は表面にこそ出なかったものの、レース直前までアイドル不調などが何度となくあり、安定性に乏しい状態であった。

軽自動車向けガソリン噴射装置、レース用噴射装置の開発など、デンソーの噴射ポンプ事業部の技術者は、機械式ガソリン噴射装置の研究に没頭した。同時に、ポンプだけでなく、スバル360の2サイクルエンジンを使って、薄い空燃比でも安定な燃焼を実現するために独自の新たなアイデアの燃焼室を次々と試作・搭載して実験し、エンジン燃焼の研究に積極的に取り組んだ。層状給気エンジンこそが究極のエンジンという思いがあったからである。

試験・実験も開発者自身が担当した。ポンプ事業部技術者の試験方法は、技能者にエンジンテストを依頼し、技術者は技能者のとったデータを受け取って、そのデータを検討していた。しかし、ガソリン噴射装置の開発者は、試作品を自ら組付け、テストし、更に自らエンジンを回して出力・燃費の計測、空燃比・排出ガスの分析を行ったのである²⁵。これにより、自分達が開発したポンプをエンジン側からも評価できるようになった。

機械式ガソリン噴射装置の限界がわかり始めたのもこの頃だった。それらは、「①目標とする空燃比適合の精度が実現できないため、技術的に妥協せざるを得ない。②搭載に際しエンジンの改造が大きくなり、フレキシビリティが少ない。③コストアップが大きい。」などである。しかし、こうした機械式ガソリン噴射研究での貴重な経験が、やがて本格的な電子制御式ガソリン噴射装置の開発で生きることとなるのである。

< 2節のまとめ >

デンソーの EFI である前身の機械式ガソリン噴射の開発では、ディーゼルポンプ以来の地道な研究が活かされた。加えて、デンソーには、自動車の知識を持った人材が存在した。ディーゼルエンジンの知識を持っていた民生ディーゼル出身の藤平、2サイクルエンジン技術で有名な技術者であったトーハツ出身の須田、プリンス自動車工業で乗

²⁵ 自動車メーカーでは当たり前のことであったであろうが、当時のデンソーには斬新なことであった。

用車のエンジン設計をしていた小林らである。

この時期は2サイクルエンジンの自動車メーカーとガソリン噴射での協業を経験した。ガソリン噴射装置自体は実用化に至らなかったが、その失敗からは、エンジンの燃焼に関する知識や自動車メーカーのエンジニアの考え方など多くを学んだ。

3. 機械式から電子制御方式への転換

3.1. EFI 開発プロジェクトの発足

デンソーが EFI 開発に本格的に乗り出したのは1967年である。前述の通り、機械式ガソリン噴射の研究は一貫して続けられてきたが、いわゆる電子制御式のガソリン噴射の本格的開発が始まったのはこの年であった。

ボッシュは1967年に電子制御式ガソリン噴射システム・Jetronic を開発し、1967年7月号の『オートモーティブニュース』に Jetronic の情報を掲載した。そして、1968年モデルのフォルクスワーゲンに搭載することを明らかにしたのである。こうした動きが引き金となって、デンソーの開発研究部担当常務の北野多喜雄²⁶は須田に EFI 開発のスタートを指示した。

1967年9月18日、EFI プロジェクトの第1回会議が開かれた。プロジェクトチームは機械系、電子系の部門を交えた混成チームであった。開発方針が議論され、次のことが決まった。4サイクル1,000～2,000cc クラスエンジンを目標とする。実験用のエンジンを多気筒エンジンにするか単気筒エンジンにするかは須田の判断に委ねる、1968年度中に実車走行、1969年度に排出ガス浄化目標を達成する。

上記以外にもさまざまな議論が行われた。まず燃料噴射の制御方式をボッシュと同じグループ噴射にするか、オリジナルの独立噴射にするかが議論された。当時、北野は将来的には電子部品は IC 化が進み圧倒的に低価格になると強く予見し、デンソー独自の方式を指示した。更に討論の末、エンジン側のどのような要求にも応えられるようにデンソー独自の4気筒独立噴射方式を前提とした開発を進めることに決定した。

²⁶ 開発研究部担当常務（当時）。

エンジン制御システムの要（かなめ）となる ECU は、各種センサからの情報に基づく確かな指令を瞬時にアクチュエータへ伝える他、システム全体の作動状態を正常に保つ役割も担う。ボッシュの D-Jetronic（VW1600に搭載した装置）はトランジスタ、抵抗、コンデンサという簡素な回路でエンジンを制御する方式だったが、デンソーは将来を見越して IC を使った回路を独自に設計して、独立噴射のために複数のパルス発生回路を制御する方式を採用した。そして、車載製品特有の厳しい温度条件（ -30°C ～ $+80^{\circ}\text{C}$ ）と広い電源電圧の変動に耐える ECU の開発を進めた。

EFI の重要な機能部品である ECU の開発では、ECU 開発を直接担当する電子技術者とシステム開発技術者の連携が良かった。デンソーは伝統的に事業部を超えた協力や調整がスムーズな会社であったが、EFI の開発ではその組織的な強みが遺憾なく発揮された。EFI のシステムも IC の技術も発展途上にあり不確実性の高い技術開発の時代であったから、IC 部門が社内になく外部の企業への依存を強いられていたのならば、デンソーの EFI の立ち上がりは遅れていたかもしれない。

3.2. トヨタ自動車への提案

デンソーは、着手を決めてからたった2ヵ月で全構成部品の図面とエンジンの吸気マニホールドの改造図面を出図し、試作品を完成させた。

1968年の3月、エンジンを使ったデンソー社内での試験がスタートした。期待した試験の結果はデンソー開発陣を完全に失望させるものであった。想定していた性能が全く得られなかったのである。独自で作ったマニュアル・コントロール装置の単体性能も、計測してみると結果は無残の一言に尽きた。インジェクタをボッシュ製のものに代えてみるなど思いつくことはすべてトライしてみたものの、結果は同じように思わしくないものだった。

しかし、機械式での悔しい思いを経験した開発陣は、考えられるあらゆる方法を試みることで、1ヵ月余りの短期間で驚くべき進歩を遂げた。1968年5月に報告された試験結果では、ボッシュタイプのインジェクタで性能を達成する見込みをつけたのである。

評価の結果は、ガソリン噴射の開発を機械式から電子制御式へとシフトさせたデンソーの開発陣の決断に自信を与えるものであった。特に、機械式の欠点とされた加工精度の限界による燃料調量のバラツキを、電子制御によって解決する見通しがついたことは開発陣を元気づけた。

次の問題はどのメーカーに使ってもらうかである。デンソーの開発陣は最大顧客であるトヨタ自動車しかないと考えた。日産自動車は既にボッシュのシステムで開発を進めているとの情報もあり、トヨタ自動車への提案を急ぐ必要があった。もしトヨタ自動車がEFI搭載エンジンの開発を決定し、同社の車両開発計画に反映されれば、デンソーのEFIの開発は本格化する。そのためにはまず、トヨタの関心を喚起しなければならなかった。須田たちはトヨタ自動車にEFIの提案書を届けた後、すぐにトヨタ車を購入し、自ら必要な箇所を改造し、実験車に仕立てた。一目でEFIの良さがわかる仕掛けを作ったのである。

気化器（キャブレタ）付きの車とそのエンジンを試作品でEFI化した車を比べてみれば、空燃比の適合精度と、排出ガスは明瞭な差を示した。デンソーの仕立てた車に乗ったトヨタ自動車の開発陣はデンソーの提案を受け入れた。当時、トヨタ自動車社内ではEFIの可能性を信じる技術者は少なかったが、技術トップの判断で、EFI車を製品化計画として正式にスタートすることが承認され、1971年にモニター車の発売、1972年に量産発売という日程もすぐさま決定された。

EFI開発でのトヨタ自動車との協業の提案はもちろんデンソーであった。ほぼ同時期にEFIの開発に取り組んでいた日本電子機器（後にユニシアジェックス、現在は日立オートモティブシステムズ）では、EFI開発は日産自動車为主导していた。

1968年6月からは実車テストの計画も立ち上げた。EFIを構成する全部品を試作し、テストを行い各部品の取り付け位置を決定していった。そして1968年7月3日のトヨタ自動車との打ち合わせでは、いくつかの問題はあるものの実車での試験が可能なレベルにまで達したことが確認された。

3.3.EFI 化の実現と新たな課題

トヨタ自動車の開発プロジェクトにおけるエンジンを使った試験も本格化していった。トヨタ車用の第1次試作品による実車試験が行われ、以後次々と試験が重ねられていった。

デンソー内ではエンジンの入念な試験や評価を行っていたものの、実際にトヨタ自動車に持ち込んでみるといくつかの不具合が発生し、その対策に迫られた²⁷。

1969年2月にはトヨタのコロナマークⅡを使い、名神高速の名古屋、岡崎近辺の主要道路で実車試験を実施し、同年の10月にはモータショーにも出展した。そして1970年にモニターテストを開始した。これは当時のデンソー常務北野の「モニター車は不可欠である」との強い想いにより、トヨタ自動車へ働きかけて、実現したものである。

東京と名古屋で一般のモニターを募集し、実際に電子制御式ガソリン噴射へ改造した車を使ってもらうのである。トラブルも多かったが、トヨタ自動車とデンソーの技術者は時にはユーザーの自宅まで行って不具合へ対応した²⁸。こうして得られたデータはすべて次の改良に活かされ、EFIの実用化を大きく前進させた。また、自動車エンジンに対するエンドユーザーの要望を直接聞く機会ともなり、デンソーの技術者の自動車エンジンに対する視野を広げることとなった。

1971年、デンソーの手がけたEFIはインジェクタをボッシュからの購入で賄ったものの、トヨタ自動車のコロナに装着されて登場した。更に翌1972年には、技術提携先のボッシュの技術を参考にして改良したD-EFI²⁹がモデルチェンジしたマークⅡに搭載され発売された。

一方でD-Jetronicの限界も見え始めていた。D-EFIに使われたD-Jetronic方式は、

²⁷ 例えば燃料切れである。当時の本館前の広場で試験を行ったところ、コーナーを回るたびに燃料切れが発生したのである。改良を施したものの直らない。そこで試験車のガソリンタンクの中が見えるように上部に透明なガラス板を付け、トランクにスタッフが乗り込んで、走行中の燃料がどのように動いているのかも調べた。最終的に、旋回による遠心力で燃料が偏り燃料切れを起こすことがわかった。サブタンクを設けて解決できたのであるが、のちにフォルクスワーゲンを調べたところサブタンクがついていたという後日談があった。（「EFI事始め」）

²⁸ 東京でモニターを依頼した医師の自宅へトヨタ自動車とデンソーの技術者が訪問した時には、「わざわざ技術者が訪ねてきてくれた」ということで、苦情というより感激されたこともあった（「EFI事始め」）。

²⁹ このDは圧力（ドルック=Druck）を意味する。

空燃比の制御をスピードデンシティと呼ばれる方法で行う。すなわち、マニホールド内の圧力を測定してエンジンのシリンダ内に充填される空気量を推定し、これに合った燃料を噴射するのである。

しかし、マニホールド内の圧力を測定するだけでは限界があった。なぜならばエンジンが吸入する空気の量は、厳密にはマニホールド内の圧力だけでは決まらず、流れによって生ずる慣性効果や車輛が高地に登った際に生じる大気圧低下によって生まれる排気管側の圧力の変化でも変わってしまうからである。マニホールド内の圧力によってではなく、もっと直接的に空気量を測定する方法が求められていた。

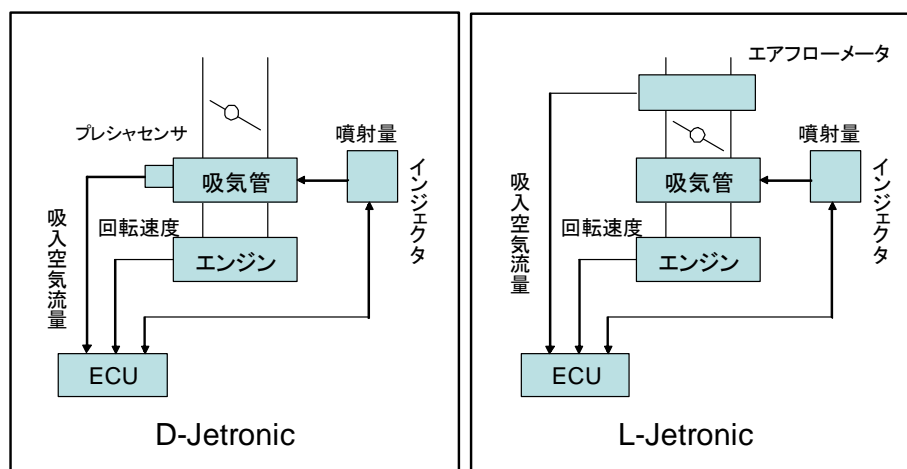
3.4.新方式への取り組み

ボッシュはベンディックスの **Electrojector**、**D-Jetronic** に続く第三世代とでもいえる **L-Jetronic**³⁰ を発表した。**L-Jetronic** はエンジンの吸入管の途中にバネで支えられた「じゃま板」を置き、空気流によるモメンタムを「じゃま板」とバネの釣り合い位置によって検出して空気流量を測定する方法を採用している。この方法を使えば走行中の空燃比の変動をこれまでの **D-Jetronic** と比べて、半分に改善することができ、空燃比マッチングの精度を高めることが容易であった（図表3参照）。

技術面でボッシュに追いついたと思っていたデンソーの技術者には、少なからず衝撃があった。ボッシュの市場を見通す構想力とその構想を具現化する技術力の高さを目の当たりにし、ボッシュの偉大さを再認識したのである。

³⁰ この L は空気計量（ルフトメンゲ=Luftmenge）を意味する。

図表3 L-Jetronic と D-Jetronic の比較



出所) デンソー(2000)『デンソー50年史』を参考に筆者作成

1972年にボッシュは L-Jetronic とともに機械式のガソリン噴射装置である K-Jetronic も発表した。ポルシェ911の1973年モデルに搭載されることになるこの K-Jetronic をデンソーも導入すべきではないかと社内で議論となった。

K-Jetronic も L-Jetronic と同じく吸入空気を直接計量するマス・フロー方式であり、システムの構成部品を集積化しているほか、電子部品を使用していないため、故障時でも従来の化器（キャブレタ）と類似の技術で対応でき、何よりコストの安さが最大の魅力だった。ワイヤーハーネスや ECU が無い分トータルコストが安く、ボッシュもこの点を最大の売り物にしていた。

トヨタ自動車との打ち合わせでもこの点が議論された。当時、トヨタ自動車側も、従来の機械技術のシステムであり取り扱いが良くしかも安いという K-Jetronic をデンソーも手がけるべきではないかと主張した。EFI の開発には当時既に前向きなトヨタ自動車であったが、機械系の技術者の間には、電子制御に対する懐疑的な見方は根強く残っていたのである。

L-Jetronic をボッシュと追加提携することがほとんど決まっていたし、更にもその上で K-Jetronic を手がけるとなれば開発パワーの余力の問題もあり、デンソーとしては決断

をしかねていた。開発現場での検討でも意見が分かれた³¹。

結局、話し合いによって L-Jetronic か K-Jetronic の優劣を決めることはなかった。「まずは自らの手で作ってみてから決める」というデンソーの創業以来の方針が優先されたのである³²。実施した評価の結果は、K-Jetronic ではやはり限界があるということだった。そして、デンソーは L-EFI に経営資源を集中する決断を下した。

燃料供給装置に対する将来の最大のニーズは排気対策の手段であり、それは三元触媒との組み合わせで初めて達成可能となる。その組み合わせを機能させるためには、O₂ センサでフィードバック制御を行う必要があり、電子制御が必須である。これがその理由であった。この ECU 部分で製品の多様性を吸収するという決断は、結果的にコンポーネントの固定化につながった。

1973年にデンソーは L-Jetronic に関して正式にボッシュと契約を交わした。デンソーの開発プロジェクトチームはすぐに L-Jetronic 方式による EFI の開発に着手した。この L-EFI の開発の鍵となったのが専用 IC の開発であった。デンソーは1970年にハイブリッド IC 専用工場を建設し、自動車用カスタム IC では独自の技術を徐々にではあるが蓄積しつつあった。

そして2年後の1975年にデンソーは、L-Jetronic に基づいた L-EFI の開発に成功した。その L-EFI をトヨタ自動車の6気筒 M-E エンジンに搭載し1975年の排出ガス規制をクリアしたのであった。

³¹ 開発現場では次のような意見があった。「列型立体カム式ポンプの調量精度の問題も、K-Jetronic がマス・フロー方式を採用しているというのなら解決できるのではないか。安くつくのなら、ぜひともやるべきだ」、「いや、D-EFI の開発の経過を見ると、排出ガス対策にはエンジンの空燃比制御における過渡時の空燃比の制御が一番大切だということがわかる。その過渡時における制御を正確にやるにはやはり、電子制御が必要になるのではないか」、「K-Jetronic にもいずれ ECU が必要になるということか」、「そうだ。だからコスト面でも変わらなくなるだろう」、「将来、フィードバック制御になったら、電子制御が必須になり、そうすると ECU を付けないといけない」、「1つの燃焼に必要な燃料噴射時間は 200ms、これは 4 気筒エンジンにおける 600rpm アイドルの場合の 1 サイクルの時間だけど、この時間中噴き続けるなんて無理だ。霧化良く噴けるはずがない。きっと噴霧の質で困ると思う。特に量産したら絶対駄目だよ。D-Jetronic や L-Jetronic は 2ms で噴くんだ」（以上、「EFI 事始め」より）

³² 「EFI 事始め」

< 3 節のまとめ >

デンソーは独立噴射方式を前提とした ECU の開発を決めた。

トヨタ自動車を開発のパートナーとして D-EFI の開発がスタートした。この共同開発は、デンソーが提案した。開発着手のイニシアチブがサプライヤー側にあったことは、日産自動車と日本電子機器の共同開発とは対照的であった。

モニター車を導入して市場でテストしたことは、不具合対策のためエンドユーザーとの直接対話につながり、自動車に対するデンソー技術者の視野を広げた。

ボッシュから機械式の K-Jetronic が発表された後も、デンソーは電子制御式に資源を集中した。デンソーは自動車メーカーがエンジン制御に求める多様な要望に対して ECU を介したエンジン適合で対応するという方針を決め、そのためのエンジン適合能力蓄積に集中した。また、この方針によりコンポーネント・レベルでのカスタマイズを最小限に抑えることが可能となりコンポーネントの固定化につながった。

4. EFI の事業化と普及

4.1. 世界一厳しいとされた『53 年規制』への挑戦

省燃費を行いつつ排出ガス規制をクリアすること、これは1970年代後半においてすべての自動車メーカーに課せられた最重要課題であった。デンソーの最大の取引先であるトヨタ自動車もその例外ではなかった。むしろ技術と商品の両立にどの自動車メーカーよりもこだわったのがトヨタ自動車であった。

「排出ガス規制はいわば技術的には未踏の領域であり、これまでの技術の延長線上では解決できない問題であった。特に CO (一酸化炭素)、HC (炭化水素)、NO_x (窒素酸化物) という 3 つの成分は、空気とガソリン噴射の混合比如何によっては相反する発生状態を示し、三成分を同時に減少させることは至難の業であった。また、排出ガス対策を施した車両を商品として市場に出す以上、これに付随して発生するエンジン出力の低下、燃費や運転性能の悪化、対策部品の劣化、更には

コストアップなどの諸問題もあわせて解決しなければならなかった」（『トヨタ自動車 50 年史 創造限りなく』 597-598 頁）

排出ガスに含まれる三成分のうち、燃費を改善しようとする NO_x が増え、 NO_x を低減させようとする 燃費 が悪くなるという相反の関係がある。これを解決するには、まず燃料と空気の比率を最も理想的な状態（理論空燃比）にし、 CO と HC はできるだけ発生源で抑え、更に三元触媒で一括後処理する方法が本命視されていた。逆の言い方をすれば、三元触媒を使用する上で混合気を理想の空燃比に保つことが必要条件だったのである。EFI が世界一厳しいといわれた日本の1978年度の排出ガス規制（53年規制）をクリアする手段となるには、 O_2 センサの開発が不可欠であった³³。

O_2 センサ開発においては、トヨタ自動車と豊田中央研究所との強力な共同開発が重要な役割を果たした。デンソーがものづくりを中心とした開発を、トヨタ自動車が車両での性能評価と信頼性試験評価を、豊田中央研究所が解析をそれぞれ担当し、この未知の技術の開発にあたった。その開発は困難を極めたが、6年に及ぶ研究開発期間を経てようやく製品化された。

この O_2 センサの開発のおかげで、EFI に付け加えられたフィードバック制御によって三元触媒を100%働かせる道が開けた。エンジンの排出ガスを制御できる燃料供給の新しいシステムが開発され、排気規制対応策の1つの標準ができあがったのである。排出ガス規制の高いハードルをクリアするためにトヨタ自動車、豊田中央研究所と行った共同開発は、各社の役割分担はあったものの実態は企業の壁を超えて技術者が一体となって行われた。また、エンジンのフィードバック制御の共同開発を経験したことにより、デンソーの技術者は高度で幅広いエンジンについての知識を得ることとなった。

1977年7月、EFI システムは、三元触媒と組み合わせて、トヨタクラウンに搭載され、市販された。 O_2 センサによるフィードバック方式 EFI と三元触媒という自動車産業で

³³ O_2 センサは排気管の集合部に取り付けられ、排出ガスの酸素濃度を精密に測り、ECU に信号を送る役割を持っている。酸素濃度をきめ細かく測定できれば、その数値にしたがって燃料の量を制御し、理想の空燃比に近づけることができる。

初となるシステムで、1978年度のいわゆる『53年規制』をクリアすることに成功したのである。

4.2.EFI の販売拡大作戦

当時、顧客であるトヨタ自動車は数多い車種の全てを53年規制に対応させるための開発に多忙を極めていた。デンソールの EFI の開発グループは、この機会に完成したばかりの EFI をできるだけ多くの車種に採用してもらうため、トヨタに積極的に協力して EFI の適合開発を連日深夜におよぶまで行った。

しかし、1977年から1980年までに実際に EFI 化が実現した車種はクラウン（1977年7月発売）とマーク II（1980年5月発売）の高級車と、カローラ、セリカ、コロナの内スポーツエンジンを搭載した高価格車種（1978年5月～9月発売）のみに限定され、1800cc や1500cc 以下のいわゆる大衆車には拡大採用されなかった。その理由は EFI システムの価格が期待値よりは高いとトヨタ自動車が感じていたことに尽きた。

そこで、デンソールは EFI をトヨタ自動車以外の自動車メーカーに売り込むことを企画した。当時の日本国内ではトヨタ自動車対日産自動車の図式があった。デンソールは日産自動車へ売り込むことは差し控えたが、その他の自動車メーカーには積極的にこのシステムを持ち込んで紹介し、車両の開発に参画した。1980年マツダ、1985年スズキ、1987年ダイハツ、1988年富士重工業と着実に顧客を開拓していった。

デンソールは、このシステムを広く使ってもらうために、開発の出発点であった比較的大きいクラスの乗用車に限らず軽自動車に販路を広げる作戦を立てている。軽自動車といえども走る、曲がる、止まるといった自動車の機能は大きい車と何ら異なるものではない。したがって、燃料供給システムに求められる基本機能も大型車と変わりはない。ただし、車両価格が低いので相対的に EFI を廉価にしなければ採用してもらえない。小さな軽自動車エンジンにふさわしいように複数のコンポーネントの一体化・集積化による部品点数の削減やコンポーネントの機能を一部削って代わりに ECU のソフトウェアでこれを補うなどの工夫を重ね、徐々に軽自動車にも採用される見込みが立ってきた

34. 軽自動車という最小レベルの車への採用が起り始めると、高級車と軽自動車にはさまれたクラスの車種への EFI の搭載が進んだ。それは、軽自動車にすら搭載されているエンジンの新制御機能を上位クラスの車種に搭載しないわけにはいかないと、自動車メーカーの開発者たちが考える空気の醸成にデンソーが成功したと理解できる。1984年と1985年は年間平均130万台程度の販売実績であったが、軽自動車への搭載が本格化した1986年以降は約250万台と販売台数が倍近くに達した³⁵。

軽自動車に EFI の搭載を実現する前に、デンソーは EFI の普及促進に欠かせない技術を開発している。空燃比の制御精度を圧倒的に改善する制御技術である学習制御の実用開発である。

当時の制御技術の分野では、マイコンの進歩に伴って、新しい制御アプローチが提案され始めていた。そのような中で、生物の知能や振舞いをヒントとする知的制御が提案され、学習制御という概念が発表されていた。デンソーの開発チームは、この学習制御に着眼した。

「O₂センサフィードバック制御は、O₂センサが活性である時のみ作動する。エンジンの運転を停止すると制御は停止し、再びエンジンを作動させると、また一からフィードバック制御を繰り返す。O₂センサフィードバック制御が作動している時、エンジンが正に今作動している運転領域で理論空燃比に対応する排出ガスになるような補正を常に行っている。この補正值情報をエンジンの運転領域別に学習（メモリに記憶）しておく。エンジンを再び作動させた時に、運転領域に対応して学習し記憶した適正な値を再現すれば、吸入空気量の検出誤差や各種センサ、インジェクタの製造誤差や経時劣化によって生じる燃料噴射量誤差を自動的に補正できる。」このような制御構想に至ったのである

³⁴ デンソーではカークーラにおいても、クラウンの次に大衆車のカラーラをターゲットにして戦略的に拡販を行った。そして、この施策は功を奏しカークーラで確固たる地位を固める礎を築くことができた。（『日本電装 35 年史』、2008 年 9 月の筆者インタビュー）。当時のカークーラはライン装着ではなく市販品であった。EFI の普及戦略は、高級車の次に最も価格帯の低い車両（例えば軽自動車）への拡販を行い、その間にある大衆車やミドルクラスの車種に普及を加速させるという作戦が功を奏した「直納品」での典型例である。

³⁵ 台数は ECU 換算。

しかし、この構想を実現するには、学習した値を ECU 内のメモリー (RAM: Random Access Memory) に保存し、エンジンがキーにより停止しても、メモリーの記録が消えないで残る仕組みが必要であった。この課題に対して、デンソーの技術者たちは、エンジンがキーにより停止した後も、バッテリーに直結した電源線から ECU のメモリーに電源を供給して記憶を維持する機構を開発した。電源バックアップ RAM と称する技術である。このような開発経緯で EFI の空燃比学習制御の技術が完成したのである。

この学習制御機能付 O₂センサフィードバック制御こそ、EFI システムに新たに部品を追加したり、部品の特性バラツキを過度に厳しくすることなく、その後、年々厳しくなった米国の排気規制に合格できる、理論空燃比への精緻な燃料噴射量制御を可能にした技術であった。また、この技術は、EFI の大衆車への拡販を企図した SPI (シングルポイントインジェクション)³⁶、廉価 EFI³⁷や前述の軽自動車用 EFI を成り立たせるために欠くことのできない中核技術であった。

EFI 開発の技術者の努力が実り、ECU 単位として数えたデンソーの EFI システムの生産数量は、1980年には29万台であったが、1990年には422万台と14.6倍に伸びた。デンソーのこのシステムのシェアは60~64%で推移した。これは EFI システムを顧客とともに車両に適合するという開発の成果であった。

³⁶ 従来の気化器を取り外してマニホールドのその位置に搭載できるよう全高 100mm の SPI ボディ(スロットバルブ、暖機用空気追加弁、インジェクタ、燃料圧力調整器等をコンパクトに集積一体設計したもの)を開発した。制御のための空気量検出センサとしては、1975年に D-EFI から L-EFI へ変えて一度は捨てた圧力センサを再度活用することを試みた。理由はコストと小型であり、D-EFI のアナログ IC 回路時代の空燃比制御性の悪さをマイコンによるきめ細かいデジタル制御に加えて O₂センサによる学習制御で解決しようと考えたからである。また、コストが安く小型であることも大衆車用のシステム用センサとして適していた。この SPI システムは、顧客である自動車メーカー2社の2機種の大衆車に採用されて実用化されたが、それ以上伸びることはなかった。やはりインジェクタを各気筒に付けて出力が出るよう吸気管設計の自由度があるマルチポイントインジェクション (MPI) のメリットは捨て難く、コストと性能のトレードオフによる妥協ではなく、MPI システムでの低コスト要求が強かったようである。この SPI システムは、EFI 事業拡大に大きく貢献はしなかったが技術的にはコスト低減技術の開発の点で大きな波及効果をもたらした。

³⁷ SPI の開発で D-EFI+学習制御機能付 O₂センサフィードバック制御+三元触媒のシステムが 53 年排出ガス規制に対応できるポテンシャルがあることは実証された。SPI でできるなら MPI でも可能だと考えられた。また、複数の構成部品の集積一体化設計による部品点数の削減とそれによるコスト低減や例えば燃料圧力調整器のように要求性能を見直して新たに小型化設計してコスト低減したり ECU の筐体を従来のアルミダイキャストからめっき鋼板のプレス品に替えるなど簡素化やコスト低減の技術が生まれた。これらの技術をもとに、コストを徹底追求した小型で搭載性の良い MPI で D-EFI+学習制御機能付 O₂センサフィードバック制御の廉価 EFI システムを大衆車として開発した。

<4 節のまとめ>

排出ガス規制の高いハードルをクリアするためのキーコンポーネントは、O₂センサであった。O₂センサの開発は、デンソー、トヨタ自動車、豊田中央研究所の技術者が企業の壁を超えて一体となって行われた。6年越しで完成したエンジンのフィードバック制御の開発過程で、デンソーの技術者は自動車メーカーのエンジン技術者の考えがずいぶん理解できるようになった。

デンソーは EFI が高級車に限定されることを避けるため、意図的に低価格の軽自動車への搭載を促した。この戦略は功を奏した。軽自動車への普及により高級車と軽自動車には含まれたクラスの車での採用が円滑に進んだ。

軽自動車の EFI 化を可能にした背後には、デンソーの独自技術である学習制御の開発があった。この学習制御技術は、軽自動車の EFI 化に貢献したのみでなく、デンソーの EFI システムを技術的優位に立たせ、EFI 事業の発展の重要な要因の一つとなった。

5. コンポーネントの進化

EFI は十数点のコンポーネントで構成された集約したシステムである。各コンポーネントをつなぎ合わせるだけではシステム製品として機能しない。機能させるためには、各コンポーネントの機能の切り分けと各機能をつなぐためのルールを明確にする必要がある。EFI はシステム製品であると表現したのは、機能の切り分けと機能間のインターフェースが明確になっているシステムだからである³⁸。

つまり、EFI はモジュール・アーキテクチャ型のシステムであるといえる。ここで注意しないといけないのは、構成部品間はモジュール・アーキテクチャの構造をしているが、上位システム、つまりエンジンシステムに対してはすり合わせが必要（インテグラル・アーキテクチャ）なことである。

³⁸ デンソーからすれば、構成部品（コンポーネント）が機能独立・自己完結するように意図的に設計した製品システムということになるのであろう。

EFI はこのような特徴があるため気化器（キャブレタ）からの代替を促すには2つの活動が必要となった。ひとつは、上位システムとのすり合わせによるエンジンシステム全体としての機能向上である。もうひとつは、EFI の構成部品である各コンポーネントの機能・性能向上である。

以下では、各コンポーネントの機能・性能向上に着眼して、デンソールの開発活動を記述する。

5.1.画期的なフューエルポンプの開発

5.1.1 羽根車式ポンプの完成

1970年代前半にボッシュから技術導入して製造したフューエルポンプは、構造上の問題を抱えていて、多くの市場品質問題により採算割れの原因となっていた。この問題を打開する新しい構造を持った製品が求められていた。フューエルポンプにおける最大の問題は騒音であったが、これを解決するため、技術陣はそもそもフューエルポンプとは何かという原点に戻って品質機能分析を行い、品質とコストで世界一を目指そうという攻めの目標を設定した。

そして、デンソーはフューエルポンプの騒音苦情とそれに伴う不採算という欠点を完全に解消するために、1979年8月に新型ポンプの開発を開始した。新型ポンプは全く新しい発想で行うこととし、今までのように対処療法的な改良改善はしないという明確な方針で臨んだ。

開発開始から1年かけて、従来のローラーベーンポンプとは全く異なる構造の羽根車式のポンプに的が絞られた。その後、試行を繰り返し、当初の図面では表現し切れていなかったノウハウをあらためて図面に盛り込むなどの努力の末、1983年4月に出荷可否決定会議で出荷許可が出た。2年前にトヨタ自動車を採用を予定したカローラに搭載する目処がようやく立ったのである。

1983年に、量産が開始されると、市場の評価は想像以上に高かった。4月に量産を開始し、12月にはそれまで毎月数件は寄せられていた音のクレームが皆無となり、採算性

も劇的に向上した。デンソーは販売量を増やしたい一心で、この新型ポンプを日本の自動車メーカー各社に対して売り込みを行った。真っ先に使いたいと言いだしたのが三菱自動車であった。新型ポンプ（以下、C型ポンプ）はデンソーが提案したのではあるが、トヨタ自動車の車両開発プログラムの下でポンプの開発も進められ、無事出荷に至ったものである。それゆえこのポンプを他の自動車メーカーに売場合はトヨタ自動車の許可が必要であった。三菱自動車に売りたいというデンソーの申し入れは、トヨタ自動車の担当次長との電話でのやり取りだけで意外にあっさり許可された³⁹。

この件を皮切りに、日本国内でこれまでデンソーの旧型ポンプを使っていた顧客は1年の間にすべてC型ポンプの採用を決めた。これで各社が多かれ少なかれ悩んでいた騒音問題の解消に寄与することができた。デンソーはインジェクタなどで海外（特に米国）の自動車メーカーと関係があることから、そのつながりを利用して海外にもC型ポンプを売り込むことを考えた。

GMのビューイック部門では騒音で困っていることがわかってきた。何度か足を運ぶうちに、騒音の苦情を訴えてくるユーザーへの対策品としてデンソーのC型ポンプを使いたいという話にまとまってきた。それが1984年の10月には標準採用の話に進展した。

しかし、ある米国顧客には、「(ボッシュの)KP9に比べればデンソーのC型ポンプは大き過ぎる。使おうという興味もない」（小林,2003）と頭から相手にされなかった。デンソーの技術者は、このような顧客の発言に対し衝撃を受けた。その発言は、騒音の静かなポンプの開発を目指して頑張り、日本中の顧客が喜んで採用してくれたことに慢心していたと気付かせるものであった。

³⁹ 許可が簡単に下りた理由として、系列のA社とデンソーとをフューエルポンプの生産で共存させなければという意図が作用して、デンソーが第3の会社に売る希望を聞き入れたのではないかと想像できた（小林,2003）。

5.1.2.世界で通用するポンプの開発

デンソーは C 型ポンプを小型にするための挑戦を始めた。しかし、羽根車式のポンプは小型にすればするほど性能の確保が困難になると予測された。モータの回転数も一段と高くしなければならぬため、どの程度小型化すれば良いかという水準決めは困難を極めた。競合相手の出方も考え、ポンプの外径が40mm を越えないという目標を定めて設計を始めた。

そして、1986年末に新型フューエルポンプ H38の設計がほぼ固まり、生産準備が正式に決まった。次の年には国の内外の顧客に対してこのポンプを紹介する作戦を立てて展開した。まずは最大の顧客であるトヨタ自動車に対して、この小型フューエルポンプを開示することである。トヨタ自動車への説明の際に重要だったのは、この新型ポンプが、従来の C 型ポンプに類似しているとみなされて販売に制約が加えられないようにすることであった。

トヨタ自動車をはじめとして日本の自動車メーカー各社は当面 C 型のポンプでかなり満足していた。そこへデンソーが、頼みもしないのに小型のフューエルポンプを開発して売り込みにきたのである。デンソーからは、C 型では世界市場においてシェアを失うという危機感、米国顧客の要求から開発をスタートしたこと、その顧客へこれを開示すればその顧客と密接な関係のある日本メーカーへ情報が流れるだろう。そして、早晩日本の自動車メーカー各社はこの小型ポンプの存在を知ることになるだろうなどという話が語られた。デンソーのこの説明で、トヨタ自動車は全面的な理解を示した⁴⁰。

そして、この新しいポンプを世界中の顧客に対して自由に紹介し、採用を働きかけることがスタートされた。デンソーは、国内の自動車メーカー各社の車両モデル変更時に採用されるように、十分なリードタイムをとって新しいポンプの紹介活動に入った。海外では、当時のビッグ3である GM、フォード⁴¹、クライスラーに対して積極的な提案

⁴⁰ 小林(2003)

⁴¹ それまで使っていたフューエルポンプで何ら問題はないと言っていた米国顧客で変化が起き始めていた。その顧客の車でフューエルポンプに起因する騒音の苦情が急激に増加して、すべてのクレーム項目の中でトップになっていた。その苦情の対策を急げという命令が経営陣から担当部署にかかっていたのである。これまで大きくて使えないと相手にされなかった C 型でも良いから、クレーム対策のためなら

活動を行った。

日本の自動車メーカー各社のうち C 型を使っていた企業には、それが H38で更に小さくなるというメリットがあると大きく歓迎された。米国の各社も積極的に評価に入った。

販売開始後、H38フューエルポンプは、日産自動車を除く他すべての日本の自動車メーカーに採用された。その後も H38の競争優位は持続し、1997年には世界の EFI 車両（約3300万台）のうち、約33%のシェアを獲得した。しかも、このフューエルポンプの技術は要望に応じて多くの競合メーカーへもライセンス供与したのでデンソー製品の中で最も特許料収入の多い製品となった。

5.2.新たなインジェクタの開発

53年規制と前後して、EFI もかなり普及するようになってきていた。それでも市場からのクレームは存在し、そのクレームの中にはガソリンの噴射量が減ってエンジンの調子が悪くなるというものが散見された。これはインジェクタからのガソリン噴射量が減少することによるものである。ガソリン噴射量の減少は、インジェクタの先端に何らかの堆積物が付着し通路穴の面積が小さくなることで生じる。

フォードは、ボッシュの他多くのサプライヤーと取引があることから世界の有力サプライヤーの技術・開発動向を熟知している自動車メーカーであった。そのフォードからも堆積物による噴射量の低下の起きにくいインジェクタの要望があった。

フォードの要望に対応するために、何とか堆積物に対して耐性のあるインジェクタができないものかと事業部をあげて議論を重ねた。議論の中で、堆積物の付いた状態を再現させてみようということになった。実際にエンジンを運転してこれを再現させるとなると大変な時間と、労力が要る。そこで、堆積した状態を模擬したものを作ってみたり、強引に堆積させてみたり、塗料のスプレーをインジェクタの先に吹きつけたり、インジェクタの先端を薄く溶いた塗料の液に浸してみたりなど、さまざまな工夫をした。そし

採用するというほどの態度の変わりようであった。(小林,2003)

て、分解して付着の具合を何度も見ているうちに、知恵がついてきたのであった。

そのノウハウを活かして生まれたのが内部調量式のインジェクタである。弁部の下流にあるニードルのピンは、弁を通過した燃料がぶつかって円錐状に広がるだけの機能を残して周囲を広くとり、多少の堆積物が付着しても噴射量に影響が出ないようにできた。このインジェクタは **TOSK** インジェクタと名付けられた⁴²。

デンソーは **TOSK** インジェクタをフォードに紹介した。デンソーが新製品を真っ先にフォードへ持ち込んだ点は高く評価された。そして、フォードの反応は「直ちにフォード社内でテストに供する。車両開発のプログラムに乗せるから価格の見積もりと生産可能時期を示せ」ということであった(小林,2003)。

1988年2月に、フォードとの間で「1990年式車両に採用する。そのためのインジェクタの生産開始は1989年とする」という旨の合意がなされた(小林,2003)。1987年4月に紹介して、その後サンプルの提出、フォード側における各種試験を一通り終了し、採用の決定まで10ヵ月という速さで仕事が進んだ。これを見てもフォードがデンソーの今回の提案を高く評価したことが推測される。

この **TOSK** インジェクタは国内の自動車メーカーにも広く採用された。しかし、**TOSK** インジェクタは特定の顧客の要求に対応してカスタマイズすることはなかった。それは次のエピソードからもうかがい知れる⁴³。

大手自動車メーカーの一角である A 社はデンソーのインジェクタに対してカスタマイズを要求した。カスタマイズ自体はそれほど難しいものではなかったが、デンソーはこの要望を断った。その背景にはデンソーの **EFI** のコンポーネントに対するポリシーがあった。すなわちデンソーは、**EFI** のコンポーネントはどの自動車メーカーに対しても同じもの（デンソーの標準製品）を提供し、**EFI** システムとしての製品適合は電子制御によって行うというものであった⁴⁴。A 社はデンソーのインジェクタ工場の見学まで

⁴² 当時、毎週議論に加わったり、実験をしてデータを集めたりした人達の姓の頭文字を組み合わせ、語呂が良く変な意味を持たないことを確かめて「**TOSK** インジェクタ」とした（2007年3月の筆者インタビュー）。

⁴³ このエピソードはデンソー関係者の複数の人のコメントによる。

⁴⁴ **EFI** のコンポーネントが完全に1種類しかないというわけでない。デンソーが戦略的に廉価なコンポ

行ったが、デンソー製の採用を断念し、結局は自社の系列サプライヤーにカスタマイズしたインジェクタを作らせたのであった。そして A 社はインジェクタ以外の主要コンポーネントはデンソーから調達し、A 社で内製した ECU によってエンジン適合を行うこととなった。

TOSK インジェクタは1989年に生産を開始し、その後12年の間に総数5,200万本が生産された。そして、TOSK インジェクタはデンソーに多大な利益をもたらした。

< 5 節のまとめ >

フューエルポンプやインジェクタといったコンポーネントの進化を促したのは、フォードなどトヨタ自動車以外の顧客からの要望であった。コンポーネントの進化には、デンソーの幅広い顧客とのつきあいが貢献した。

デンソーは顧客からのコンポーネントのカスタマイズ要求に対して、あくまで ECU を介したエンジン適合にこだわり、その顧客からの要請を断った。コンポーネントは固定化して ECU 部分で多様性を保持するというデンソーのポリシーを貫いた結果であった。

6. EFI の普及を加速させた特許戦略

6.1. EFI の特許取得

EFI の開発・事業化過程でデンソーは多くの特許を取得した。2サイクルエンジン用機械式ガソリン噴射の開発においてさえ、噴射装置に関する特許だけでなく、エンジンの低温始動時の燃料供給方法や、アイドリング時にアイドル空燃比だけを微調整する方法など、制御方法に関しても多くの特許を取得している。

デンソーの積極的な特許取得を背後には、須田や藤澤の特許に対する関心の高さがあった。EFI はいずれも気化器（キャブレタ）を代替し、全ての自動車に標準的に搭載され

コンポーネントを開発し、販売することもある。そのコンポーネントは特定の自動車メーカーからの要望に対するカスタム製品ではなく、デンソーの戦略的行動により開発された製品である。

るエンジン制御システムになるという信念を持っており、デンソー製の EFI を幅広い顧客に普及を促進する段階では特許資産が重要な役割を果たすと感じていたようである。

EFI の開発が軌道に乗り始めた1970年代初め頃には、開発課の課員には、一人当たり年間7件とか8件の特許を出願するという目標が設定された。現実には、現場の技術者は未知の技術開発に挑んでおり、多忙を極めていた。そこで、月に一度、全員が風邪をひいて休んだとして、丸一日全ての業務を止めて全員で特許を書く日を作るなど、組織的に特許出願に取り組んだ。

特許出願では、技術者自身が発案した技術の出願だけでなく、その技術に対抗する代替技術や周辺技術について網羅的に出願することを組織として義務付けた。当時の課員であった大森は EFI での特許出願に対する取り組みを次ように振り返っている。

「技術の独占、有効な権利化は、自分が発案した技術（Ace）の出願だけでは不十分。その技術に関する King、Queen、Jack と、Joker の全て出願し、権利化して初めて達成できる。」と上司から指導された。いまでいう、特許出願 Map の思想を、40 年前に既に EFI 開発部隊は指導され、実行していたことになると思う。

6.2.EFI に関連する特許の種類

デンソーが取得した EFI 関連の特許は3つの類型に分けることができる。第一に、コンポーネント単体の構造に係わる特許（①）である。第二に、コンポーネントをエンジンに搭載する時の搭載方法に関する特許（②）である。最後は、制御方法に関するシステム特許（③）である。

①の代表的なものは、前出のフューエルポンプに関する特許である。フューエルポンプを製造する国内の複数の競合企業と、米国の自動車メーカーへ特許を許諾し、多額のライセンス料を得た。②は噴射燃料圧力調整器の背圧室とエンジンの吸気管を空気パイ

で接続方法を権利化したものが代表格である。そして、③は O₂センサによるフィードバック制御、学習制御、点火時期、ノッキング、アイドルスピード制御など制御方法に関する多岐に渡る特許を有している。デンソーの競合企業へのライセンス供与は③の特許によるものが多い。そして、③分野の重要な特許を多く保有することは、自動車メーカー各社にデンソーの高度なエンジン適合能力をアピールするのにとっても有効であった。

6.3.特許戦略の成果

積極的な特許出願するという組織的な活動によってもたらされた直接的な成果は、競合各社からライセンス収入を得るということでもたらされた。EFIの装着率は、年を追う毎に高い伸びを示した。ライセンス対象のEFIシステムが急速に増加することでライセンス収入も飛躍的に増加し、事業収益に貢献した。

それ以上に重要な効果は、顧客である自動車メーカーへの売り込みの際に、有効な武器となったことである。新しい製品の採用に関しては、自動車メーカーは、大抵の場合、複数の部品サプライヤーを競わせる。いわゆる開発コンペをする。コンペでは、部品サプライヤー各社は、自社のシステムの特徴、技術的な優位性をアピールする。その際に、エンジン制御に関する課題を解決する有効な技術特許を含めてプレゼンテーションをすると商談が格段と有利に展開される。特に、制御方法に関する特許については、システムサポート力があることの証明として理解されて、受注する際の有力な武器となることが幾度となくあったのである。

<6節のまとめ>

EFIの開発・事業化の過程でデンソーは多くの特許を取得した。デンソーが取得したEFI関連の特許は、コンポーネント単体の構造に係わる特許のみでなく、コンポーネントをエンジンに搭載する時の搭載方法に関する特許、制御方法に関するシステム特許など広範囲に及んだ。

特許を積極的に取得していくという戦略的な活動は、競合各社からライセンス収入を得るといった直接的な収益への寄与の以外にも、間接的な効果をデンソーにもたらした。エンジン制御に関する問題を解決する有効な特許を保有していることは、開発コンペにおいて自社のシステムの独自性、技術的優位性を示す有力な武器となったのであった。

7. EFI 事業化の総括

7.1. EFI 事業の成果

機械式ガソリン噴射装置をスタートに、D-EFI、L-EFI、そして O₂センサを用いたフィードバックシステムへと進歩してきた EFI は、1990年代以降更に広く社会へ浸透していった。デンソーにおける EFI の事業成果を以下にまとめる⁴⁵。

1981年から1990年まで、すなわちちょうど日本経済のバブル絶頂期前の10年間は、日本の自動車生産は海外進出などの影響はあるものの平均年率2パーセントずつ台数を伸ばしていた。デンソーの売上高の伸長は5,174億円から1兆3,700億円で平均年率11%である。これに対して EFI を構成する全コンポーネントの売上合計は186億円から1,527億円になり、平均年率は26%となっている。そして、2003年には売上高合計が約4,000億円に達し、2003年にはデンソーの総売上の17%を占めるまでに成長している。

(図表4参照)

図表 4 EFI 事業の売上高

	売上高	全社売上に占める割合
1980年	186億円	4%
1990年	1,527億円	11%
2003年	約4,000億円	17%

出所) 小林(2003)と小林(2005c)を参考に筆者作成

⁴⁵ EFI の事業成果に関するデータは小林(2003)と小林(2005c)から抽出している。

生産数量で見れば、同期間にシステム数は平均年率29%、コンポーネントではフューエルポンプが同30%、インジェクタが同25%の伸びである。この実績はサプライヤーとしての功績が認められた結果であるといえる。

世界市場で自動車メーカー各社に採用された数量による市場シェアで見ると、1998年時点では、フューエルポンプが19%で1位、O₂センサが24%でボッシュに次いで2位、インジェクタは13%でボッシュ、デルファイに次ぐ3位、ECU⁴⁶は9.3%でデルファイ、ビステオン、ボッシュが前に控えていて4位であった。図表5は2004年時点の主要コンポーネント（世界市場）の順位をまとめたものである。

図表5 主要コンポーネントの世界ランキング（2004年時点）

コンポーネント	1位	2位	3位	4位
フューエルポンプ	デンソー	ボッシュ	ビステオン	シーメンス
O ₂ センサ	デンソー	日本特殊陶業	ボッシュ	デルファイ
ECU	デルファイ	デンソー	シーメンス	ボッシュ
インジェクタ	ボッシュ	デンソー	シーメンス	デルファイ

出所) 筆者インタビューより作成

7.2.EFI 事業の波及効果

EFI の登場はデンソーの組織に重要な変化をもたらした。この EFI システムは10数点に及ぶコンポーネントを電氣的に結合して成り立っている。EFI システムを有効に機能させるには、エンジンの状態を検出してそれをもとにエンジンの目的に合わせて燃料を供給するという論理の設計を行う必要がある。そして、その EFI を実際のエンジンを使って実験し、必要な論理を開発し、設計したコンポーネントによって論理構成通りに機能することを実証しなければならない。そのためには、これらの論理開発とエンジ

⁴⁶ デンソーがシステム開発で主体を演じたとしても ECU の生産は必ずしもシステム開発と 1 対 1 ではない。ECU は自動車メーカー系列の企業で生産するものもあるから、必ずしもシステムを開発した企業の生産量に数えられない。このような事情が含まれる ECU の順位であるため、システムを開発するときのデンソーの関与はもう少し大きいと考えられる。

ン適合性の検証を専門に実行する組織が必要になった。この組織が開発する対象は、モノ（ハードウェア）ではなく論理（制御仕様）である。

このように設計図を描かない技術部組織は、それまでのデンソーの中には存在しなかった。この組織は自動車メーカーのエンジン開発部隊とほとんど同じような機能と能力を持ったものであり、顧客のエンジンや車両の開発に対して技術上の提案を行う。顧客の依頼に応じて、部品屋よりもむしろエンジン屋に近い機能を持って対応するのである。

このエンジン周りの制御開発だけを行う部隊を設けたことにより、デンソーは自動車メーカーとエンジンに関して話ができるようになった。そして、自動車メーカーとの間でエンジンの課題についてやり取りを重ねるうちに、自動車メーカーはデンソーに対してエンジン適合上の課題を相談するようになった。自動車メーカーと一体となってそれらの課題の解決を図る過程で、デンソーのエンジン適合に関する知識は更に深まっていった。自動車エンジンということでは同じであっても、各自動車メーカーによってエンジンの設計思想は異なっている。デンソーは多様な顧客のエンジンを EFI 化するプロセスを通じて、顧客毎になぜ設計仕様が違うのかを理解するに至った。この部隊のエンジン適合知識の蓄積は、特性の異なる多様なエンジンに EFI をマッチングさせる能力をデンソーにもたらしたのであった。

コンポーネントの開発過程では、組織を越えた機能横断的な取り組みが成果をもたらした。前述したように、フューエルポンプの開発は電子制御式ガソリン噴射のコンポーネントの中でも最先端を走ってきた。これはボッシュの二番煎じではなく、デンソーが顧客の切なる要求に応じて商品の企画から洗い直したものである。新しいポンプはただの羽根車が回るだけで性能を確保しようというものである。製造現場にいる人にとっては何とも得体の知れない代物であった。設計の立場としてもすべての現象が完全に解かっているわけではないから、試行錯誤に頼るしかない部分があった。生産技術や製造の現場と設計の担当部署が協力して試作品を作り、実験を繰り返しながら設計図面で表し切れない部分を補い、不備を修正しつつ、設計や製造のノウハウを現場で積み上げていくしかなかった。このような機能を越えた一体の活動は、1970年代に本格化するデン

ソールのコンカレントエンジニアリングと同期した動きであり、デンソールの競争力を支える組織能力の源泉となっている。

謝辞

本稿の執筆にあたり、多くの方々から多大な支援をいただいた。特に、藤澤英也氏(株式会社デンソー元常務)、大森徳郎氏(株式会社デンソー元副社長)、衣川眞澄氏(株式会社デンソー)、調尚孝氏(株式会社日本自動車部品総合研究所)には大変お世話になった。とくだんの見返りもないにもかかわらず、お忙しい時間を割いてインタビューご協力いただいた。あらためて心から感謝を申し上げたい。

参考文献・資料

- 相田洋・荒井岳夫『NHK スペシャル 新・電子立国 [第2巻] マイコン・マシンの時代』日本放送協会、1996年。
- デンソー（2000）『デンソー50年史』株式会社デンソー。
- デーゼル機器（1981）『デーゼル機器40年史』デーゼル機器株式会社。
- 藤沢英也（1976）「燃料噴射装置の動向」『自動車技術』Vol.30, No.5, 327-333頁。
- 藤澤英也（2005）『私とコモンレール - U2 開発のレール - 』鈴置印刷。
- 藤澤英也（2009）「コモンレールインジェクションシステム」『エンジンテクノロジーレビュー』Vol.1, No.1, 92-99頁。
- 藤沢英也・小林久徳（1973）「排気ガス対策からみたガソリン噴射装置」『自動車技術』Vol.27, No.4, 411 - 419頁。
- 藤沢英也・小林久徳・小川王幸・棚橋敏雄（1993）『新電子制御ガソリン噴射』山海堂。
- 藤平右近（1958）「ガソリン機関の燃料噴射機構について」『自動車技術』Vol.12, No.6, 224-229頁。
- 小林久徳（2003）『体験的商品開発論』理工評論出版。
- 小林久徳（2004）「燃料噴射ポンプの世界制覇（1）」『LEMA』No.477, 61-67頁。
- 小林久徳（2005a）「ガソリン噴射の世界制覇（2）」『LEMA』No.478, 77-82頁。
- 小林久徳（2005b）「ガソリン噴射の世界制覇（3）」『LEMA』No.479, 43-48頁。
- 小林久徳（2005c）「ガソリン噴射の世界制覇（4）」『LEMA』No.480, 97-100頁。
- 日本電子機器（1993）『日本電子機器20年史』日本電子機器株式会社。
- 日本電装（1964）『日本電装15年史』日本電装株式会社。
- 日本電装（1974）『日本電装25年史』日本電装株式会社。
- 日本電装（1984）『日本電装35年史』日本電装株式会社。
- 小川王幸・東條重樹（1987）「燃料噴射ノズルの現状と将来」『自動車技術』Vol.41, No.10, 1141-1149頁。

須田寿（1967）「ガソリン噴射装置（その1）」『内燃機関』Vol.6,No.63,54-61 頁。

須田寿（1967）「ガソリン噴射装置（その2）」『内燃機関』Vol.6,No.65,85-91 頁。

須田寿（1967）「最近のガソリン噴射」『モーターファン』4月号, 111-125 頁。

須田寿（1970）「ガソリン噴射の問題とその改善」『自動車技術会講演会資料』,23 -32 頁。

須田寿（1973）「最近のガソリン噴射装置」『機械の研究』Vol.25,No.1,203-211 頁。

須田壽（監修）（1999）『EFI 事始め - 電子制御式燃料噴射装置の開発をめぐる物語』日本電装株式会社。

武石彰・伊藤誠悟（2007）「東芝：自動車エンジン制御用マイコンの開発」『一橋ビジネスレビュー』Vol.55(3), 116-136 頁。

トヨタグループ史編纂委員会（2005）『絆：豊田業団からトヨタグループへ』トヨタグループ史編纂委員会。

トヨタ自動車（1987）『創造限りなく：トヨタ自動車 50 年史』トヨタ自動車。

トヨタ自動車（2001）『トヨタをつくった技術者たち』トヨタ自動車技術管理部。

トヨタ自動車工業（1978）『トヨタのあゆみ』トヨタ自動車工業。

全国自動車整備専門学校協会（2005）『電装品構造』山海堂。

ゼクセル（1991）『ゼクセル 50 年史（1939～1990）』株式会社ゼクセル。

ゼクセル（2000）『ゼクセル 60 年史（1939～2000）：ボッシュとともに』株式会社ゼクセル。