

(第7章)ガソリンエンジン：燃料噴射技術について

山岡, 茂樹

Citation	産業技術歴史継承調査：調査報告書. 8; 133-144
Issue Date	1997-03
Type	Research paper
Textversion	Publisher
Right	このコンテンツは、「私的使用」や「引用」など、著作権法上認められている適切な方法にかぎり利用できます。その他の利用には、著作権者の事前の許可が必要です。

Placed: Osaka City University

第7章 ガソリンエンジン ー燃料噴射技術についてー

山岡茂樹

はじめに

技術進歩は工学的最適化へのアプローチの積み重ね、という側面を有している。この傾向は成熟した技術分野において特に顕著である。よって技術進歩は差し当たりインターナショナルな視点から解釈・評価されなければならない。

一方、技術も一つの社会的な存在である限り、工学的最適化が社会的最適化との間に醸成し得る乖離についてはエクスターナルな視点からのチェックが絶えず試みられる必要が在る。

以上の点に鑑み、本章では燃料噴射技術の進歩を通じて見たガソリンエンジンの発展及び現状を取り挙げる。

1 ガソリン噴射式エンジンの始まり

19世紀末の発明以来、しばらくの間、ガソリンエンジンの混合気形成は表面気化器によって行われて来た。これはガソリンの気化蒸気を作り出す蒸発装置であり、負荷・回転数の変動に対する応答性を著しく欠くものであった。

この欠点を除去したものがマイバッハによって考案された霧吹き式気化器である。霧吹き式気化器は気化器バレル内の絞り部（ベンチュリー）において吸入空気の色度を上げさせることで負圧を発生せしめ、ガソリンを吸い上げ、吸気中に霧吹き状に吹き出させる装置である。負荷変動に対してはベンチュリーの後方（エンジン本体側）に位置する絞り弁の開度調節によって応答性を確保する。

霧吹き式気化器の実用化以降、始動、軽～中負荷定速、加速、全負荷等、運転条件に応じて燃料、空気通路を複雑に絡ませ、その制御性を向上させる努力が傾けられた。結果的に気化器は極めて複雑な装置となったが、可動部分が少ないため、ゴミ等による閉塞さえ防止されれば非常に信頼性の高い技術としてその地位を確立した。

他方、負荷変動の少ない使用条件の下では、このように複雑なメカニズムによって制御性を高める必要性に乏しい。従って定速型の据付エンジン等においては燃料を吸気管に直接供給し、噴射（むしろ滴下）する方式が用いられた。これは恐らく、混合弁により空燃比制御を行ったガスエンジンの流儀に倣ったものであろう。又、重油を加熱してその蒸発ガスを吸収させたり、蒸発ガスを小形のシリンダ（ポンプ）で加圧し、シリンダ内に噴射

させる例もあった。但し後者における作動サイクルはオットーである。

純然たるガソリンエンジンにおいても、制御性に惑程度目をつぶるなら噴射（滴下）の方が容易である事は自明である。従ってエンジンを自作して人類初の動力飛行に挑んだライト兄弟においても、混合気形成はギヤポンプによる吸気管への連続噴射（滴下）によっていた（1903年2月17日初飛行）。

従って、ガソリンエンジンにおける燃料噴射はほとんどガソリンエンジンそのものの歴史と共に始まった、と称することさえ出来るのである。そして初期におけるガソリン噴射は全て連続噴射であった。気化器や現在のSingle Point Injection等の例を引くまでもなく、外部混合気形成によるエンジンにおいてはサイクル毎に燃料を計量・供給する必要はない。回転数と絞り弁開度によって規定される吸入負圧に順応して時間当り燃料供給量を滑らかに増減してやれば良いのである。

この点は内部混合気形成を行うディーゼルエンジンと全く異っており、ガソリンエンジンにおいてはディーゼル張りの精緻な噴射技術に頼る必然性はないのである。ところが、1930年代に入ってそのディーゼルエンジンの無気噴射技術が確立すると共に、これをガソリンエンジンに応用しようという意欲が現れ、他方ではガソリンエンジン独自の噴射方式の考案によってエンジン性能の向上を図る動きも生じ、ここに第2世代とも言うべきガソリン噴射技術が登場することになる。

2 気化器式エンジンの全盛期におけるガソリン噴射式エンジンの巻き返し

何故ガソリンエンジンにおいて敢えて燃料噴射が試みられたのか・・・理由は幾つかある。

先ず最大出力の向上。気化器式エンジンにおいては絞り弁全開時においてもベンチュリーでは吸気に絞りを与えるわけであるから、吸入行程における絞り損失の発生は免れない。これに対して噴射式エンジンにおいてはこれを排除することが出来る。

次に混合気分配の均一化。列型多気筒エンジンにおいては気化器からの距離の違いによって混合気分配に不均等を生じ易い。吸気管に対しては気化器より液状のガソリンが供給される。吸気管内で一部気化するが、当然、低沸点成分が気化し、高沸点成分は液状のまま流動する傾向が生じ、各シリンダ間に供給される混合気成分及び濃度の不均等を生ずる。又、液状ガソリンの流動ないし停留によってエンジンの応答性が損なわれる。吸気管噴射であってもMulti Point Injectionを採用すればこの弊害は除去される。

航空発動機においてはこの他に背面飛行時、或いは急降下へのダイブ時、即ちGの変動を伴う運動時に気化器油面の不安定を来し、エンジンの息つきを生ずることが問題であり、ガソリン噴射はその最も有効な解決策となる。

但し、経済巡航運転時にも約60%の負荷率で回る航空発動機においては、遥かに低い負荷率で常用される自動車エンジンの場合ほど気化器ベンチュリー部の絞りが強くない。従って第1のメリットはそれほど顕著には現れない。このあたりの損得勘定、気化器の改良、これが噴射式エンジンの発展を押えた歴史的背景である。

もうひとつ、気化器延命の方向に採用した副次的要因として両大戦間期に始まった機械式過給器の普及が挙げられよう。機械式過給器を気化器の後流に配することによって（通常そのようにする）、スクロール内で混合気に強い攪拌が加えられ、より均一な混合気を得られ易い。吸気管設計が適当であれば、過給は混合気分配性能向上の手段ともなるのである。それが気化器側に有利な技術であった所以である。

しかしながら、ディーゼルエンジンの祖国であるドイツにおいてはディーゼル燃料噴射の技術をガソリンエンジンに応用しようという努力が実を結んでいる。ロバート・ボッシュ（以下RB）に無気噴射ポンプのヒントを与えたメーカーでもあるユンカーズは航空ディーゼルを実用化させた唯一の企業であったが、その燃料噴射技術を自らの航空ガソリンエンジンに活かし、Jumo211系のエンジンを開発した。又、自動車用並びに航空（飛行船）用ディーゼルのパイオニアであるダイムラー・ベンツはRB社の噴射系を用いてJumo211と似た倒立V型12気筒水冷エンジンDB601系を開発した。いずれもディーゼルからの波及技術である。メカニズム的にもほとんどディーゼルのままであったが、ガソリンは軽油のごとき自己潤滑性を欠くため、ポンプエレメントに対しては高圧潤滑系が付加されている。

ディーゼル同様のメカニズムであるから、このドイツの2系列は共に筒内噴射（内部混合気形成）方式である。

一方、実用化という点ではドイツの2系列に遅れを取ったものの、アメリカでも様々な方式が試みられ、今日まで続くガソリン噴射エンジン改良の基本的アイデアの多くが実験されている。NASAの前身であるNACAにおいてはRBのポンプを用いた筒内噴射4サイクル単筒実験エンジンによる研究が進められ、後にこの研究はSAEに引き継がれた。これらは共に基礎研究であるが、負荷率と噴射時期との関連など、今日においても参考となる知見が得られている。又、実験が容易なため、4サイクルエンジンが用いられたが、実験に際しては2サイクルエンジンにおける掃気行程中の燃料の吹き抜け損失の発生を防

止する技術として筒内噴射を採用する可能性が念頭に置かれていた。

又、実用エンジンを用いた例としてはプラット&ホイットニー社が単列星型9気筒、ワスプエンジンを筒内噴射に変更した実験がある。ここでは実機メーカーらしく、デトネーションの心配の無い筒内噴射機関の特性を活かして水素添加法で得られた低オクタンのガソリンが試用に共されたという。

少し変わった所ではフォード社が、と言うよりむしろヘンリー・フォードが航空発動機開発に号令をかけ、V型12気筒、筒内噴射エンジンが試作されている。本機は筒内噴射のメリットを活かし、排気タービン過給機関であるにも拘らずバルブオーバーラップを大きく取り、空気のみを積極的に吹き抜けさせ、燃焼室回り、とりわけ排気弁の熱負荷を軽減する設計となっている。残念ながら航空発動機として制式採用されるには至らなかったが、本機をV8にカットしたエンジン（GAAV8）はアメリカ陸軍が初めて手にした満足すべき戦車機関となった。但し、筆者はその時点で無過給気化器式エンジンに変更されたのではないかと推測している。

先次大戦中、実用化されたガソリン噴射式航空発動技術の中で最も後世に影響を与えたのはベンディックスの製品である。これはロータリーポンプで加圧されたガソリンを吸気管内に連続噴射するもので、単純なだけに信頼性も高く、航空発動機用ガソリン噴射技術としては今日まで連続使用されているシステムである。この他、シェプラー、シモンズ及びエンジンメーカーのコンチネンタルあたりでも吸気管連続、時として間欠噴射が試みられ、一部実用化されたと思われる。

以上の内、とりわけドイツの2機種は戦闘機用主力エンジンでもあり、実機としては気化器式で通したロールス・ロイスのマーリンと共に航空発動機の秀作としてその名をとどめる作品でもある。しかし、筒内直噴射航空ガソリンエンジンの雄たるドイツの2系列も完成度、信頼性と言う点ではマーリンに一步及ばず、稼働率に関しては一層劣っていたように伝えられている。冷却系の被弾時の生存性向上策として敢えて倒立V型をしたことや、DB601系におけるローラーベアリングを用いたコネクティングロッドベアリング、クランクから90度振って取り付けられた機械式過給機（Jumoも同じ）、充排油式の流体継手を2段介した過給機駆動系など、ことごとくsimple is bestの逆を追求した機械としては、それも当然の帰結であった。ライバルのロールス・ロイスは大戦末期、マーリンより更に大出力の実用機、グリフォンを開発したがこれには吸気管連続噴射が採用されていた。やはり航空発動機としてはこのあたりが最適技術だったのであろう。

尚、DB601系エンジンは日本でも川崎航空機、愛知航空機でそれぞれ陸、海軍向けにライセンス生産されたが、多くは生産技術、材料技術上のトラブルに悩まされ、製品の稼働率自体も低かった。それでも（川崎の場合）三菱重工の製品を使った噴射系についてはほとんどトラブルが無かったという。これは後者にディーゼル燃料噴射技術の蓄積があったからである。

3 戦後の航空ガソリンエンジンと燃料噴射

大戦中のガソリン航射航空発動機技術界の実情がかくの如くであっただけに、又、大馬力ピストン航空発動機がワスプメジャー（2重星型14気筒2基タンデム28気筒）やターボサイクロン（2重星型18気筒ターボコンパウンド）のような3500PS級エンジンをもって終わりを告げただけに、戦後におけるガソリン噴射航空発動機はますます地味な存在となって行った。即ち筒内噴射は影をひそめ、ベンディックス、シモンズ、コンチネンタルの噴射式気化器並びに連続噴射方式（SPIとMPI）が主流を占めるようになり、間欠噴射はシモンズに例を見出すものの、これも比較的早い時期に姿を消す。

かくて、軽飛行機を主たる活躍の場として生き延びたコンチネンタル、ライカミング社製空冷水平対向4～8気筒エンジンにおいては最もシンプルな連続噴射方式が気化器の地位を奪い、現状ではこれが主流を占めるに至っているのである。

日本の自動車メーカーの中に航空発動機への進出を狙う動きがしばしば観察され、現用軽飛行機エンジンの技術的「後進性」に対する優越感とその動機付けに一役買っているように窺われる。しかし、航空発動機の運用状況、運転条件は自動車用機関とは大きく異なる上、自動車用機関の如き低負荷中心の運用においてのみ成立する3元触媒を用いた排出ガス浄化システムは航空発動機には適用され得ないが故に、現在、乗用車用ガソリンエンジンで主流となっている電子制御式燃料噴射が航空発動機に持ち込まれても何のメリットも発揮し得ない。戦争中に開発された機械式燃料噴射、それもシンプルな連続噴射技術は航空ピストン発動機用混合気形成システムとして完成の域に達した不動の技術なのである。

4 戦後の自動車用ガソリンエンジンにおける機械式燃料噴射

戦後すぐからヨーロッパでは自動車、特に乗用車用ガソリンエンジンの燃料噴射が注目されている。とりわけドイツではゴリアート、グートブロードなどといった2サイクル小排気量エンジン車においてディーゼル張りのプランジャーポンプを用いた燃料噴射が実用

化されている。いずれも当然のように筒内噴射であるが、少なくともゴリアートは掃気行程噴射であり、吹き抜け損失に係わる筒内噴射エンジンのメリットは追放されていた。これをテストした先達が「期待外れだった」と述懐する所以である。

又、これとは別にヘッセルマン機関と称する燃料噴射・電気点火機関が一時的に注目を集めている。本機関は多燃料機関としての一面も有しており、一見、戦後の情勢に適っていたように思われるが、メカニズム的に複雑でコストも嵩むため何時とはなしに忘れられていった。

同じ試みに軍用多燃料機関としてMANのM燃焼法ディーゼルをベースに開発された電気点火付M燃焼法、FM法がある。こちらは特殊機関としてジェット燃料（灯油）、ガソリンにも対応出来るディーゼルであったが、使用目的はあくまでも軍用に限られた。

ヨーロッパでは又、高級乗用車、スポーツカーに機械式燃料噴射が使用された。

この内、ベンツ300SLは筒内噴射を採用しており、丁度かつての航空発動機の廉価版といったエンジンを載せていた。噴射圧力も80~90気圧と、かなり高めの設定であった。

同様の列型ポンプを用いて吸気管噴射を行った例として、やや時代は下るが、ベンツ220SE、230SE及びボルシェ911あたりが著名である。シングルプランジャーポンプを用いた機械式連続噴射方式としてはRBのKジェットロニックがあり、これを採用したVWサンタナは一時、日産自動車でもライセンス生産されている。Kジェットロニックについては次節で取り挙げる。

又、イギリスのルーカスも吸気管噴射（MPI）をレーシングカー、スポーツカー用に開発している。燃料の加圧はロータリーポンプによって行われたようで、特異な分配機構で知られていた。これを搭載したジャガーDタイプはル・マンを制し、同じメカはマセラッティ・ポスターというスポーツカーにも用いられている。

一方、ヨーロッパにはやや遅れたもののアメリカにおいても60年代~70年代に様々な試みがなされている。

即ち、GMCは機械式連続噴射（ロータリーポンプを用いたMPI）、ベンディックスも同じタイプ（但しSPI）を世に送っている。

このような実用品と並んだフォードはPROCO、テキサコはTEXACOと称するいずれも筒内噴射法を開発している。NACA~SAE時代の流れを汲む研究成果であり、世界的にも注目を集めたが、狭い運転条件の下でしか良好な燃焼が得られないため、立ち消えとなっている。

最後に日本の例。

マツダは非常に早い時期に空冷4サイクル単気筒サイドバルブエンジンにRBタイプのポンプを用いた吸気管噴射の実験を行っている。技術的には戦時中のライセンスベンツエンジンからの派生かと思われるが、時代背景から見れば上記のゴリアート等の影響かも知れない。ともかく実験を行った。というだけのようである。

それ以外は本田のF1、トヨタの2000GTの一部など、レーサーかそれまがいの車に少数試用されたに止まる。モーターサイクルでも川崎が2サイクルレーサーに燃料噴射を試み、ガバナの3次元カムの加工に手こずったなどという言い伝えが残されている。もっとも、2輪においては旋回時に車体をバンクさせるため、横Gで気化器フロート室の油面が片寄ることは無く、機械式燃料噴射の使用例は世界的に見ても4輪を下回るようである。

これらの機械式噴射はディーゼル並、或いはそれ以下とは言え、概して高コストであり、信頼性も高くはなかった。従って高価なメカを作り込んでもペイする高級車、スポーツカー、レーサーが主たる使用車種となり、自動車技術一般への波及効果には欠けていた。そして、70年代中盤以来、問題になってくる排気ガス規制に対応出来る程の制御性を求めることは困難であった。

5 電子制御式ガソリン噴射の登場と発展

今回の電子制御式ガソリン噴射技術の出発点はベンディックスのエレクトロジェクタである。これは航空発動機に用いられてきたタイプの燃料加圧機構を用い、ノズル（インジェクタ）開閉を電子制御するシステムである。吸気管噴射のMPIであるが、点火信号をディストリビュータから拾い、制御装置より各気筒ノズルのソレノイドにバルブ開閉のパルス信号を送るシステムであるため、独立噴射（後述）に属する。当初、真空管を用いた制御回路開発が取り組まれ、ゲルマニウムトランジスタを用いる実用品がリリースされたのは1957年のことである。

しかし、この段階では現代的な電子制御燃料噴射方式の最大のメリットである空燃比制御の正確さは意識されるに至っておらず、実際問題としてエレクトロジェクタにもかかる効能は無かったから「こんな物も出来ます」程度の存在に終わっている。

続いて1967年、RB社が現代的電子制御ガソリン噴射の歴史に先鞭を付けることになる。即ちそのDジェトロニックによって吸入空気量を計量し（方式はスピード・デンシティー）これによって空燃比を電子制御する新しいシステムの1ページが拓かれたのである。

続いて1972年、R B社は機械式連続噴射、しかもシングルプランジャーポンプを用いるKジェトロニックを発表した。吸入空気の計量をマス・フロー方式として精度を高め、機構的な完成度の高さからヨーロッパを中心に愛用されたKジェトロニックではあるが、総合的なエンジンマネジメント、駆動系制御とエンジン制御との統合、という流れから見れば、機械式ガソリン噴射の極致として、或いは最後のあがきとして技術史にその名をとどめる存在と評価されよう。

事実、Kジェトロニック発表と同じ1972年、R B社は電子制御式間欠噴射方式の基本としてDジェトロニックに代わるべきLジェトロニックを登場させているのである。DとKの長所を統合したものがLである。吸入空気量の計算量はもちろんマスフロー式であり、燃料の加圧は一種のロータリーポンプによっている。現在でもこのLジェトロニックが電子制御式ガソリン噴射における基本となっており、主たる変更はエアフローメータ（吸入空気質量計測器）の多様化と制御の精緻化に見出される程度である。

行論の関係上、後者のみについて略述する。電子制御ガソリン噴射（MPI）における噴射時期は毎回転同時噴射、グループ噴射及び独立噴射に3区分される。後のものほど制御回路は複雑になる。毎回転同時噴射はクランク角360度毎に、つまりいずれかの気筒が吸入行程に入るタイミングで1回、当該気筒が膨張行程に入るタイミングで又1回・・・と燃料を噴射する方式である。各気筒はそれぞれ毎回転毎に燃料を噴射されるわけであるが、その内1回は吸気弁が閉じている所に燃料が溜り、次にその燃料と新たに噴射された燃料を吸入するのである。これは連続噴射に近い考え方であり、燃料の気化という点では2度に分けた方が容易なのでこんな方式が生み出されたとも言える。但し、シンプルな反面、噴射量の増大に対する応答性は犠牲とされざるを得ない。

グループ噴射は全気筒を2～3のグループに分け、各グループ毎に720度ごとに噴射を行わせる方式である。1サイクル分の燃料が1回で噴射されるため、応答性は前者に勝るものの、各グループ内で吸入行程に合わせた噴射を得る気筒は1つしかないため、次に述べる独立噴射よりは劣っている。

以上2例が吸気管噴射に限られるのに対して独立噴射は吸気管噴射にも筒内噴射にも適用可能である。これは各気筒の吸入行程に合わせたタイミングで噴射時期を制御するもので、筒内噴射を行おうとすれば必ず独立制御を用いることになる。日本の例としては84年のトヨタ・カリーナのリーンバーンエンジンがピエゾ・エレクトリック素子を用いたノックセンサ付の吸気管噴射、96年の三菱GDIが独立制御による筒内噴射に当たる。噴

射時期制御の面でこういった細かい発展が画されたのは低速でのピックアップを重視する自動車エンジンならではの現象である。

さて、既に見た通り、戦時におけるガソリン噴射電気点火機関の研究は窮極においては2サイクルガソリンエンジンにおける掃気行程中の燃料吹き抜け排除策としての期待を込めた試みであった。又、そこには空気のみを多少吹き抜けさせることによって2サイクルエンジンにおける熱負荷を低下させようという狙いもあった。80年代末期に入ると電子制御による噴射時期の大幅な操作が可能になったことを背景として海外では如上のアイデアを体現した2サイクルガソリンエンジン改良の研究が一種、流行となってくる。そして掃気ポート噴射、筒内噴射の実験データが専門誌を賑わわせるようになる。

丁度同じ頃、日本でもトヨタ及び富士重工が2サイクルコンセプトエンジンをモーターショー等に出品し、その将来性に期待が集まった。

トヨタのコンセプトエンジンS2（スーパーチャージド2ストローク）はDOHC4弁ヘッドを有する6気筒3ℓエンジンで、上方掃・排気、筒内噴射方式である。

富士重工のスーパー2ストロークV4は1.5ℓ90度V4エンジンで排気管制弁付ポート掃気、筒内噴射である。

いずれも参考出品であり、詳細、或いは実用性は不詳であるものの、メカニズム発達史、ないしコンセプト発達史的に見れば先次大戦中のアメリカの夢を一步手許に引き寄せようとする試みと言えよう。

96年、全く新たな技術という触れ込みで登場した筒内直噴ガソリンエンジン、三菱GD Iはこの業界にしては珍しい技術的ヒット作であった。その特徴は以下の通りである。

- ①MCA-JetからMVVへと継承されて来たタンブル（縦渦流）の利用技術から派生した逆タンブル・ポート及び独特の形状を有するピストンキャビティ。
- ②スワール・インジェクタと①とのマッチングによる燃料噴射の空間制御。
- ③コンピュータとスワール・インジェクタにセットされた高速ソレノイドをもってする噴射時期の最適制御（制御レンジは極めて広く、インジェクタノズル啓開点で見て都合270度ほどにもなる）。
- ④上記の全てを組み合わせたことによって可能となった部分負荷運転時の層状吸気。
- ⑤それによって可能となった絞り弁及びそれによって部分負荷運転時に生ずる吸気絞り損失の排除。
- ⑥5MPa（約51kg/cm）という筒内噴射にしてはかなり低い噴射圧直（cf.前掲ベンツ）。

こうした技術の集大成として登場したGDIについては実用時の燃費性能と最大出力の両立という点で市場での評価も高いようである。三菱に続いてトヨタは97年2月、同様のアイデアを盛り込んだ筒内噴射・層状給気エンジンD-4をリリースした。この他、日産、いすゞ、本田など、他社でも研究は行っており、日本機械学会、或いは自動車技術会では報告も散見される。しかし、商品化という点で、三菱は世界的にも1~2歩リードしているようである。

さて、目下、GDIを巡っては将来的に自動車用ガソリンエンジンはこの手のものに帰一して行くのか、吸気管噴射、或いは気化器方式に生き延びる余地は残されているのか、等、巷間、様々な憶測が飛び交っている。しかし、内燃機関技術史を貫くインターナリストティックな視点から見れば、それもガソリンエンジンが2サイクル筒内噴射層状給気方式へと遂げて行くべき進化の一齣に過ぎない、と観察することが至当であろう。

結び

GDIは吸気絞りによる空燃比制御そのものを行わないことで絞り損失の低減による熱効率向上をガソリンエンジンとして可能な極限まで進め、かくすることによって市場での高い評価を獲得することに成功した。それは現時点までの燃料噴射電気点火機関の歴史の頂点に立つものである。

だが、その圧縮比は14位になるのでは、という大方の予想（圧縮比向上による図示熱効率のゲインとフリクションロス増大との妥協点についての観測）を下回る12に止まっている。しかも、ハイオクタンガソリン指定であったという事実は、この数値があながち余裕ないし改善マージンを現するものではない、という推論に根拠を与える（トヨタD-4はレギュラー仕様で圧縮比10）。

それはピストン・キャビティーのエッジがホット・ポイントになっているからなのかも知れない。その一方で表面積の大きなキャビティーはタンブル生成と共に、大きなヒートロスの誘起によりエッジ部の温度低下に与っている、とする見方もある。いずれにしてもGDIやD-4が仲々きわどいバランスの上に成り立っていることが窺われる。

筒内噴射・層状給気エンジンはガソリンの気化熱を燃焼室内で利用できるため充填効率が高く取れ、最大出力の点でも有利である、とされている。しかし、過給が当然であったかつての航空発動機の場合ならともかく、自然吸気エンジンの場合、この気化熱を吸気管

内で利用するか燃焼室内で利用するかによる差は小さいのではなかろうか。事実、GDIエンジンのリットル馬力は83.3PS/ℓと決して突出した値ではない（D-4は72.5PS/ℓ）。これも高負荷運転時におけるオーバーヒート、過早着火への危惧から押さえた結果なのであろう。

それにしても、小型乗用車に150PSがらみ最大出力は不要である。絞り損失を低減するためだけならば、むしろ小排気量・小出力エンジンを搭載し、これを高い負荷率で運転する時間割合を高めてやるように仕向けければ良い。実用燃費という点から見れば、20年前のカローラの方がGDIギャランよりも高い位であろう。

さて、その革新性を謳われるGDIも個々の要素技術を見れば、長きに渡る内燃機関技術史のストックの上に成立したものである事が判った。又、少し距離を置けば、それを2サイクル筒内噴射・層状給気エンジンへの発展の一ステップ、と位置付けるべき根拠も見えて来る。確かに、このタイプの2サイクルエンジンが実用化されれば、フリクションロスの低減により正味熱効率は一層向上する。エンジン及び車輛小型化・軽量化による2次的なメリットも当然期待出来よう。但し、これはあくまでもインターナリスティックな見方である。

エクスターナリスティックな立場から観れば自ずと答えは違って来る。即ち、来るべき時代に求められる窮極の乗用車用原動機はそんなメカニズムの塊ではない。恐らくそれは定常的に運転される直噴ディーゼルエンジンを用いたハイブリッドシステムとなろう。或いは、その様な技術さえ存続が許されなくなる時代もさほど遠くないのかも知れない。この場合、近距離限定使用に対してはバッテリーカーの類だけが生き延びるのであろう。幾つかのメーカーが手掛けている燃料電池については未だにそれを次世代の主力と恃むに足るだけのデータが示されていないように思われる。現在のような自動車の使用形態を前提とする限り、環境負荷やエネルギー資源の面で将来を保証してくれるような技術は存在しないのである。少なくとも、ガソリンエンジンをどういじくった所で、そういった技術を捻り出せはしないのである。

プラット&ホイットニーのワスプ・メジャーやライトのターボサイクロン等、往時の大出力航空ピストンエンジンはジェットエンジンにその座を明け渡し、航空ピストンエンジンとしては僅かに小馬力エンジンのみが軽飛行機に安住の場を見出している。ライカミングとコンチネタルの作品に代表されるそれらのエンジンは構造的に標準化されており、噴射系を含め、決してかまびすしく自己主張したりはしていない。心ある人はそこに真に

成熟した技術を発見するであろう。

自動車業界においては、乗用車用エンジンが資本主義企業の戦略である製品差別化によって格好のアイテムであるのを良いことに、徒に複雑化したメカニズムが弄ばれ、オリジナリティーとして喧伝されて来た。simple is bestという法則は通用せず、使えないような大出力、1分間継続すれば事足りる（J I S規格）機械として意味をなさないような最高出力が珍重されて来た。

しかし、技術が本当の成熟への途を拒み続けることが許されなくなる時代はすぐそこまでやって来ている。工学的最適化はもはや社会的最適化の公準に途を譲るべきである。順列組み合わせ的技術のオリジナリティーをもってそれを拒否する材料たらしめることは出来ない。技術は欲望と製品差別化への従属から解放されねばならない。その上で追求されるオリジナリティーこそ、現代が求める技術のオリジナリティーなのである。