

# Readout

HORIBA Technical Reports

特集 自動車をはかる

January 1993 ■ No.6

---

## 低エミッションエンジンの展望

Outlook on Low-Emission Vehicular Engines

池上 詢

Makoto IKEGAMI

(Pages 12-16)

---

株式会社 堀場製作所



## 低エミッションエンジンの展望

## Outlook on Low-Emission Vehicular Engines

私たちがクリーンエンジンという言葉を使うとき、既存のエンジンを搭載した自動車が汚いガスをまき散らしているという認識がその背後に潜んでおり、現在のエンジンをやめてもっとクリーンなエンジンに取り替えればよいではないかという主張が込められています。したがって、たとえば電池とモーターを使って電気自動車にすれば有害物質は出ないだろうと考えます。電池に充電する電力は発電所で造られたもので汚染物質の発生量は少ないのですが、大変重くて高価でしかも寿命の点で到底現在のエンジンには打ち打ちできません。将来の零エミッション車として大きな努力が重ねられていますが、少なくともただちに電池をエネルギー源とする電気自動車に取って替わることはないでしょう。このような観点から、最初に現用のエンジンの意義と問題点についてお話しておきます。

自動車に使われているエンジンはほとんどが往復式で、シリンダの中をピストンが往復する構造のものです。ピストンによって気体を圧縮するとき仕事が費やされますが、膨張の直前で起こる爆発によって圧縮よりも大きな仕事が膨張行程で発生してその差がエンジンからとり出され、結果的に燃焼熱が仕事に変換されます。この種の往復式エンジンの特徴は次の3点に要約できます。

**(1) エンジンが間欠燃焼で働くこと。**

熱機関では原理的にサイクルの高温側の温度が高いほど熱効率、すなわち加えた熱量に対する発生仕事量が増加します。エンジンでは間欠燃焼が行われるため瞬間的にきわめて高温が発生し、高い熱効率が得られます。飛行機に使われるジェットエンジンのように連続燃焼を行わせるのがより合理的だと思われがちですが、そうするとタービンの羽根が常に高温に曝されて熱的強度を保つのが難しく、そのため耐熱性の高い高価な材料を使わなければなりません。それに対して往復式では燃焼ガス的高温が発生するのは一瞬で、残りの大部分の時間はガスが低い温度にあるためピストンやシリンダの温度は低く、熱的強度の問題はあまりありません。ただし、高温間欠燃焼のため使用できる燃料が限定されることと、連続燃焼に比べて燃焼の制御が難しいため排気の清浄さを保つのに多くの問題があります。このように高い熱効率をもつことと汚染物質の放出を減らすことは裏腹の関係にあります。

**(2) 燃焼ガスをそのまま作動媒体としていること。**

火力発電プラントや原子力発電所の蒸気エンジンでは作動流体として水と水蒸気を使い、燃焼熱や核反応で発生した熱をボイラーや熱交換器によって作動流体に伝えます。これに対し、自動車用の往復式エンジンは未燃焼のガスや燃焼ガスをそのまま作動流体として使うため熱交換器がなく、構造が簡単でしかも軽量の動力源です。この軽さのためこの種のエンジンは自動車のような移動機械に適しているのです。

**(3) 高速であること。**

(2)で述べた構造の簡単さと軽量さに加えて、高い回転数(1分間の回転回数)で



京都大学教授

池上 詢

Makoto Ikegami, Dr.

京都大学工学博士

〈略歴〉

1958年：京都大学工学部卒業  
 1963年：京都大学大学院工学研究科博士課程退学  
 1963年：京都大学工学部助教授  
 1978年：京都大学工学部教授

〈主な役職〉

日本学術会議熱工学研究連絡委員(1966～)  
 自動車技術会技術担当理事(1988～)  
 日本機械学会エンジンシステム部門運営委員長(1989～1991)  
 日本燃焼研究会理事(1990～)

〈受賞〉

日本機械学会賞論文賞(1975, 1977, 1987)  
 SAE Colwell Merit Award(1989)  
 FISITA Outstanding Paper Award(1990)

運転が可能のため、往復式エンジンはきわめてコンパクトな動力源です。単位時間に発生する仕事をパワーといい、回転数が2倍になるとパワーは倍になります。乗用車のエンジンでは回転数が6千に達することも珍しくありません。このためエンジンの重量の割に大きなパワーが得られます。

図1に現在のいろいろなエンジンや電池などの動力源の特性を示します。横軸のエネルギー密度は車両単位重量に対するエネルギー保有量で、この値が大きいほど航続距離が長いことに対応します。縦軸はパワー密度、すなわち車両単位重量に対するパワーで、この値が大きいほど高い巡航速度が得られます。すなわち、右上になるほど速くて長距離を走ることができ、往復式エンジンであるガソリンエンジンとディーゼルエンジンとはその辺りにあります。左下には各種の電池類があり、電池は往復式エンジンにくらべてパワーの割には10倍以上も重いわけです。しかも1回の充電で走ることのできる距離も10分の1以下に過ぎません。したがって、電気自動車は私たちがイメージしている車とはかなり違ったものになり、その前提が受け入れられないと普及しないでしょう。この例のようにエネルギー密度はガソリンや軽油などの化石燃料を使うものが圧倒的に高いのです。この点から電池と普通のエンジンを組み合わせるハイブリッド式電気自動車が登場するかもしれません。こうすると走行中の大気汚染物質が零にはなりません、大幅な減少を期待できます。また、最近話題となっているソーラーカーはクリーンさの点では良いのですが、パワー密度の点で電気自動車以上に難しく、実用化されるとしてもさらに遠い先でしょう。

現用エンジンの近くに位置しているガスタービンとスターリングエンジンは往復式エンジンに匹敵し、代替動力源の可能性がります。しかも連続燃焼であるため汚染物質の抑制が容易なことが大きな特徴です。しかし、いずれも価格の点ではき

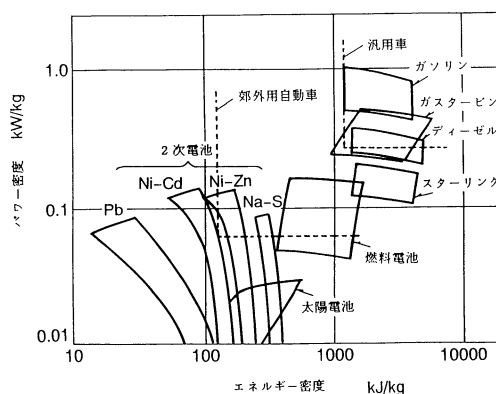


図1 各種パワープラントのパワー密度とエネルギー密度の関係<sup>1)</sup>  
 Power density versus energy density relationships for various power sources

わめて不利で、よほど別のメリットがなければ登場できないでしょう。燃料電池は燃料と空気を別々の電極から浸透させ電池内で酸化反応を行って直接電気を発生させるものです。エネルギー効率の点では優れており、発電にも使われ始めていますが、やはりパワー密度の点では決定的に劣っています。

新しいパワープラントや新型エンジンの発展を期し将来のポテンシャルを見極めることは大変重要なことで、現在その努力が精力的に展開されています。しかし、上記のように現時点ではやはり既存の往復式エンジンをクリーンエンジンにしてゆくことが大切です。そこで、この立場から環境問題との関連で現在のエンジンが抱える課題を眺めます。

地球環境問題	CO <sub>2</sub> , フロン, ハロン,
地球温暖化	メタン, N <sub>2</sub> O
オゾン層破壊	フロン, ハロン, H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> O
広地環境問題	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub>
酸性雨	
局地環境問題	HC, NO <sub>x</sub>
光化学スモッグ	
呼吸器障害	NO <sub>x</sub> , 微粒子(黒煙, 青白煙)
神経性障害	CO

表1 環境問題とそれに関する物質  
Environmental problems and  
the related pollutants

表1は現在の環境問題と関連する物質を示したもので、地球規模、広域環境および局地環境の問題に区分されています。このうち地球環境問題にはCO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの抑制とオゾン層破壊防止があり、エンジンに関係するのはCO<sub>2</sub>, メタン, 亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)です。CO<sub>2</sub>と地球温暖化の因果関係はかならずしも十分に立証されてはませんが、今から対策を講じておかないと取り返しのつかない事態になると懸念されます。この点からエネルギーの利用効率を高めることが大切で、それにはエンジンの熱効率の向上と省エネルギーの方策が鍵となります。広域環境問題は主に酸性雨に関係し、硫黄酸化物SO<sub>x</sub>と窒素酸化物NO<sub>x</sub>の低減が大切です。局地的問題としてはCO, NO<sub>x</sub>, すすなどの微粒子の生体への直接的影響と、車からのNO<sub>x</sub>および未燃炭化水素HCによる光化学スモッグの生成が問題です。ガソリン車は現在1960年代後半のレベルよりNO<sub>x</sub>, HC, COは10分の1以下に低減され、乗用車のみならずトラック、バスに使われるディーゼル車ではNO<sub>x</sub>が1/6~1/2.5に減りました。それにも拘らずわが国の大都市周辺では窒素酸化物の環境基準が満たされていません。このため主原因と目されているディーゼル車に対する規制は一層強化されます。カリフォルニア州では慢性的な光化学スモッグに悩まされており、自動車排気のNO<sub>x</sub>とHCに対する規制が格段に強化されます。

カリフォルニア州の規制の骨子は、94年車から従来の規制よりもNO<sub>x</sub>とHCをそれぞれ60%および40%削減し、さらにホルムアルデヒドの規制を全ての車に課すというもので、世界でもっとも厳しい規制となります。この規制では非メタン有機ガス(NMOG)を基準とし、炭素数12以下の炭化水素と炭素数5以下のケトン、アルデヒド、アルコール、エーテルを加えたものを炭化水素(HC)の規制値として使います。そのためには排気ガスの各種成分をオンラインで精度よく測定する必要があります。現在のガソリンエンジンでは触媒に頼って排気を浄化していますが、この規制では始動直後の1~2分間の触媒が機能し始めるまでのHCが大きな問題となります。始動時に通電加熱して触媒活性することが考えられていますが、もっとスマートな解決法が望まれ、エンジンが冷たい時でもHC自体の発生を抑制する手

段が検討されています。現在のガソリンエンジンのNO<sub>x</sub>については3元触媒のおかげで当面の問題は少ないものの、熱効率向上のためには燃料に比べて空気が過剰な状態で運転するリーンバーン運転が望ましく、それには酸素が多く存在する状態で働くNO<sub>x</sub>分解触媒が必要で、その開発がなされています。しかし、現在の浄化率は50%程度で、とても90%以上の浄化率をもつ3元触媒の性能には及びません。

ディーゼルエンジンについては当面NO<sub>x</sub>と微粒子の低減が最重点課題です。大形車両については千気圧以上の圧力で燃料を噴射する高圧噴射を中心技術として解決に向けて努力がなされています。同時に微粒子トラップ(捕集フィルター)やリーンバーンNO<sub>x</sub>分解触媒が検討され、さらに、燃料内の硫黄分の減少が進められています。とくに、微粒子にはすすなどの固形分のほかに有機溶媒に溶出する軽質微粒子やSO<sub>x</sub>が含まれており、その質量濃度を迅速かつ精度よく計測する希釈トンネルを使うサンプリング分析法が重要になります。高い熱効率を誇りしかも低質燃料が使えるディーゼルエンジンはもっとクリーンになって是非とも生き永らえて貰わねばなりません。

最後に、最近話題となっている代替燃料を使用するクリーンエンジンについて述べます。これは往復式エンジンにほとんど変更を加えないで石油系以外の燃料を使うものです。そのひとつのメタノールを中・大形ディーゼルに使うとNO<sub>x</sub>と微粒子を大幅に減少できます。エネルギーの節約は期待できませんが大都市周辺部の環境保全には役立つと思われます。水素と天然ガスも期待される代替燃料で、いずれも気体であるため車載には不便ですが、大気汚染物質の抑制に有効とみられます。とくに天然ガスは燃料の加工ロスが少なく、しかも20%以上のCO<sub>2</sub>の低減が見込まれており、エネルギーセキュリティの点でも有利なことが注目されています。

永いエンジンの歴史を振り返ってみると、よりクリーンでより高い熱効率をもち、よりパワーのあるエンジンがたゆみなく追求されてきました。クリーンエンジンのかけ声のなかでも、これまでのエンジンの延長線上にしか当面の回答はなさそうであり、その方向で取り組むことが大変重要です。その開発を支援する計測技術の高度化も大切なことです。将来的にみると電池をはじめとするクリーンな動力源がぜひとも必要であり、その方向への取り組みが期待されます。

#### 参考文献

- 1) 清田; 日本機械学会講演論文集 No. 924-2 (関西支部第67期総会講演会) (1993. 3), pp. 269-275

---

## Outlook on Low-Emission Vehicular Engines

So-called "clean" engines and power sources for vehicular use can be assessed by the ratio of power (or energy storage) to their weight. It is suggested that while most alternative power sources, including electric cells, do have a high potential for achieving cleaner vehicles, radical improvements are still needed to increase both mileage and the power-to-weight ratio.

The inherently high power-to-weight ratio and high fuel economy of conventional reciprocating engines means that they will continue to be relied upon as vehicular power sources in the future, albeit in cleaner versions. Thus, continuing efforts will need to be addressed to reducing air-pollutants from reciprocating engines without any concomitant sacrifice — and ideally with increases — in fuel economy.

It is also anticipated that vehicles powered by reciprocating engines will increasingly make use of alternative fuels. Of particular note are methanol, natural gas and hydrogen. Each of these alternative fuels has its own advantages in reducing pollutant emissions.





