

特集

民生・運輸部門における省エネルギーの方向

自動車の省エネルギー

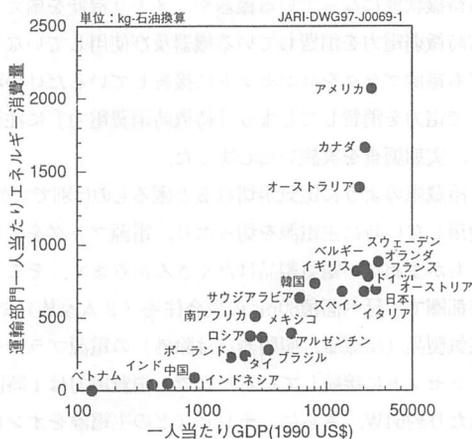
Energy Saving on Automobile

岩井 信夫*
Nobuo Iwai

1. まえがき

1997年12月、気候変動枠組み条約第3回締約国会議(温暖化防止京都会議)が開催され、先進諸国は、2008~2012年の温室効果ガスの総排出量を1990年に比べて平均で5%削減することに合意した。我が国の削減率は6%である。かつて、自動車排ガス中のCO₂は、地球環境の専門研究者を除いては、大気汚染に関与しない物質であった。1990年の国連環境会議(地球サミット)開催以降、CO₂は、地球温暖化物質として、NO_x、黒煙等の粒子状物質と肩を並べる環境汚染物質となった。自動車の走行時に排出されるCO₂は、燃料種類を同一とすると燃料消費と比例関係にある。自動車の省エネルギー対策、すなわち燃費対策は、従来からの資源経済的な事情に加えて地球温暖化に直接関連し、国際的な整合性を考慮しつつ検討せざるを得ない状況となった。図-1¹⁾に示す通り、運輸部門の1人当たりのエネルギー消費量は1人当たりの国内総生産(GDP)、すなわち豊かさとはほぼリンクしている。先進国では運輸部門の主流を自動車が担っている。経済活動の低迷は省エネルギーに繋がるといえるが、技術開発あるいは生活様式の変化により、豊かさを維持しつつ省エネルギーを推進する方法もある。

本誌での筆者の分担は、自動車の省エネルギー技術とユーザの選択である。自動車部門の省エネルギーの推進は、自動車利用法等のソフトウェアを主体とする方法と自動車単体の技術開発等ハードウェアを主体とする方法がある。ここでは、先ず、自動車部門のエネルギー消費の実態と省エネルギー政策について紹介し、ついでユーザの選択を意識した自動車の燃費向上技術の動向について解説する。

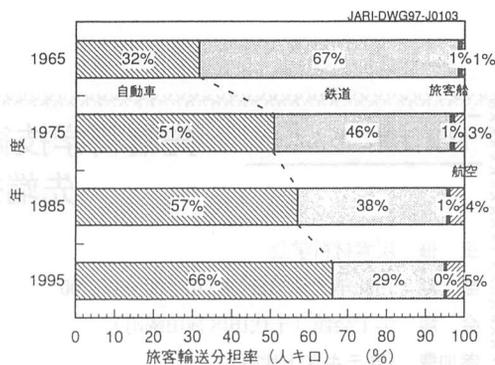


出典：Energy Balances of OECD Countries 1994-1995
Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-1995より作成

図-1 経済状態と運輸部門エネルギー消費(1995年)

2. 自動車部門のエネルギー消費と省エネルギー政策

自動車の役割は軟らかく言えば、ドライブ、デート、通勤あるいは買い物、荷物運び等様々であるが、硬く



出典：陸運統計要覧より作成

図-2 旅客輸送機関別分担率

* (財)日本自動車研究所 エンジン・環境研究部部長
〒305-0822 つくば市荻間2530

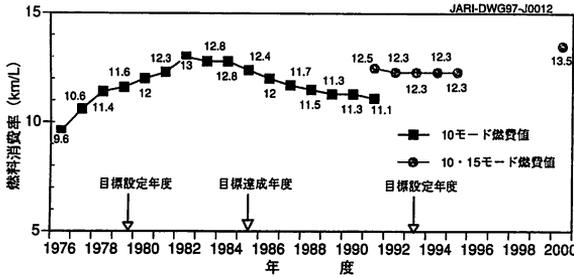
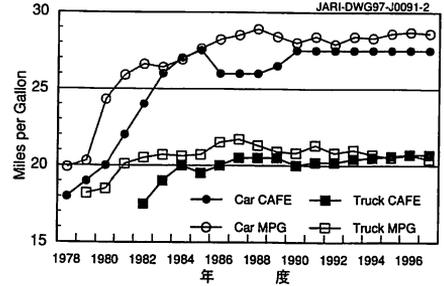
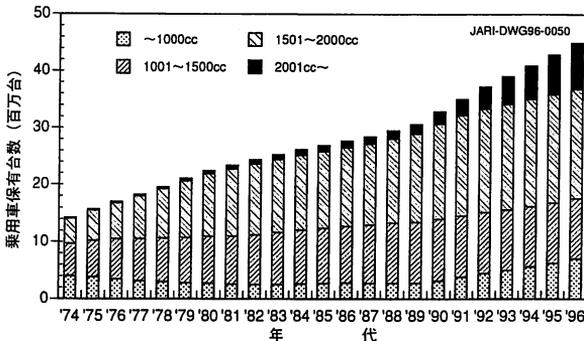


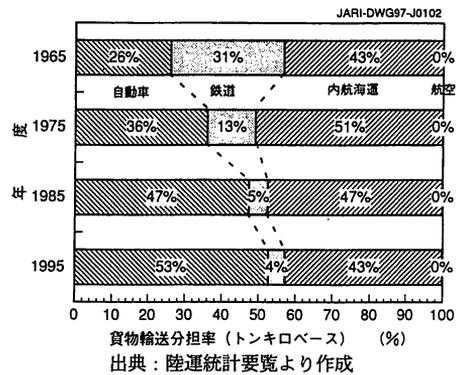
図-3 ガソリン乗用車(新車)の燃費平均値の推移(加重調平均)



出典：Transportation Energy Databook 17より作成
図-4 米国CAFE規制と燃費動向



出典：主要国自動車統計より作成
図-5 排気量別ガソリン乗用車保有台数の推移



出典：陸運統計要覧より作成
図-6 貨物輸送機関別分担率

言えば、旅客輸送と貨物輸送である。自動車部門の省エネルギーを議論する際には、先ず、旅客輸送と貨物輸送に占める自動車の分担率とその過去の推移を検討しておく必要がある。

我が国の旅客輸送機関別分担率を億人キロベースでまとめ図-2¹⁾に示す。旅客輸送では、全輸送量に対し、自動車が66%を占め、その割合は年々増加している。図-3¹⁾は我が国、図-4¹⁾は米国のガソリン車の燃費動向の推移を示したものである。図-4¹⁾におけるCAFEは企業平均燃費の規制値で、MPGはその実勢値を示す。ここ10年の燃費平均値の傾向では、米国はほぼ一定の値で推移し、我が国では年々悪化の一途をたどる傾向が見られる。我が国の排気量別ガソリン乗用車の保有台数の推移をまとめ図-5¹⁾に示す。ここ10年の傾向は、保有台数の増加、特に排気量2L以上の乗用車の保有台数の増加が見られる。また、生活様式の変化によりRV車の増加が自動車の大型化に拍車をかけて、燃費悪化の要因となっている。

貨物部門の輸送機関別分担率をトンキロベースでまとめ図-6¹⁾に示す。貨物輸送では、全輸送量に対し、自動車が53%を占め、その割合は年々増加している。

これら我が国の旅客輸送部門および貨物輸送部門の

統計データを見る限り、自動車部門総合の輸送量およびエネルギー消費量は増加の一途をたどり、国全体の省エネルギー化は明るい材料が見あたらないといえる。先に述べた、温暖化防止京都会議の締約を履行するためには抜本的かつ総合的な対策が必要である。我が国ではガソリン乗用車の燃費を2010年度までに95年度比で20%改善することが決定されている。ディーゼル車の燃費目標に関しては乗用車が1998年度、重量車が2000年度に設定される見込みである。海外でも、表1¹⁾に示すとおり、政府あるいは自動車工業会を主体に長期目標値を設定する等の努力がなされている。また、表2¹⁾に示す通り、経済措置による省エネルギー促進として、燃費あるいは排出ガスを基準とする課税法も実施あるいは検討されている。

3. 自動車の燃費特性

自動車の燃費は重い・軽いの車両重量、箱形・流線型等の空気抵抗、加減速の状況、登り・下りの路面勾配の状況、走行速度、エンジン・駆動系の方式等で変化する。近年市販されたほぼ全ての乗用車について、走行パターンを10~15モードに固定し、燃費を整理し

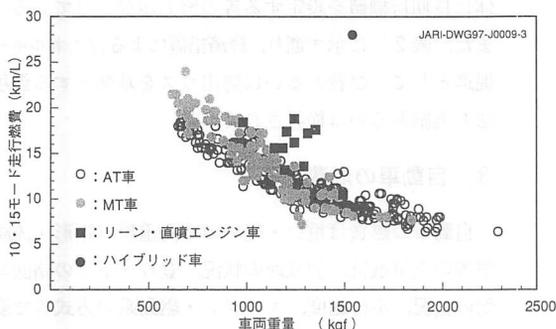
表 1 各国の自動車燃費対策

国名	燃費目標
オーストラリア	2000年までに新規登録車の平均燃費を8.2L/100mとし、ボランティア“Code of Practice”を含んでいる。
カナダ	新車の平均燃費としてアメリカと同様の燃費基準を設定している。乗用車は8.6L/100km, 小型トラックは11.5L/100km。
デンマーク	21世紀初頭までにガソリン乗用車は5L/100km, ディーゼル乗用車は4.5L/100kmを計画している。また green user fee を導入計画がある。
EU	2005年までにガソリン乗用車の燃費を5L/100km, ディーゼル乗用車4.5L/100kmとすることを提案している。
フランス	フランス自動車工業会は2005年までに国内で販売される乗用車に対してCO ₂ 排出量を150g/km, その後、120g/kmまで削減することを明言している。
ドイツ	ドイツ自動車工業会は燃費消費量を2005年までに1990年比で25%改善することを宣言している。なお産業界と政府の間のこの自発的な宣言は、2000年に先立ち更新される。
スウェーデン	VolvoはEU内で販売される乗用車の燃費に対して、1990年から2005年までに25%改善することを宣言している。
オーストリア	新規登録車の平均燃費を1995年から2005年までに25%改善する。
スイス	1996年から2001年に15%燃費向上し、2001年の燃費目標値を6.8L/100kmにすることを宣言している。
イギリス	イギリス工業会は2005年までに1993年比で10%の燃費向上することを宣言している。
アメリカ	新車の平均燃費基準が1975年に導入された、基準値13L/100km (1987年) から8.3L/100km (1990年) まで引き上げられて、新車の平均燃費11.1L/100km (1978年) から7.7L/100km (1990年) となっている。
中国	2000年までに燃費基準を6-7L/100kmとし、これを満たさない新車車両の生産、輸入が禁止される。

出典：Transport, Energy and Climate Change, IEA (1997)

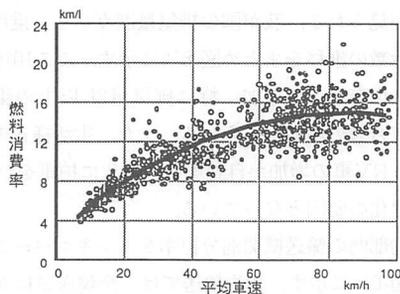
表 2 欧州各国の低燃費車導入促進策の例

デンマーク	課税基準として、所有より使用を優先させる税制を検討中。									
オランダ	省エネルギー効果があり環境に優しい車の販売を促進するために、課税基準として車の重量、CO ₂ 排出量等とする税制を検討中。									
オーストリア	1992年、従来の新車販売税 (32%) を、燃費を課税基準とする税制に変更。具体的な税率 (%) は以下の通り。									
	燃費 (r/100km)	10 以上	9	8	7	6	5	4	3	2
	ガソリン車 (%)	36.8	34.4	32.0	29.6	27.2	24.8	22.4	20.0	20.0
	ディーゼル車 (%)	36.8	36.8	34.4	32.0	29.6	27.2	24.8	22.4	20.0
フランス	エンジンとトランスミッションを課税基準とする現行の基本道路税の見直しを検討中。方針としては、総収収は不変、燃費 (L/100km) を基準とすることをベースに、より効率的なものとする。10年以上の中古車の買い換えに、1台当たり5,000フランの報奨金を補助。1994年2月から1995年6月まで実施し、40万台の中古車を処分。									
ドイツ	自動車税の課税基準を、エンジン気筒容積から大気汚染物質の排出量へ変更する。1994年から総重量3.5 t 以上のユーティリティ車へ適用。更にこの課税基準を、乗用車、軽量商業車及びオートバイへの適用を検討している。ガソリン車の税額は以下のとおり。 現行案 DM13.2/気筒容積100cc DM33.2/気筒容積100cc (触媒なし) DM38.8/気筒容積100cc (85年以前の登録車) DM41.6/気筒容積100cc (86年以降の登録車) DM13.2/気筒容積100cc (90年排ガス適合車) DM10.0/気筒容積100cc (97年排ガス適合車) 97年街ガス適合車よりさらに30%以上クリーンな車に対しては、さらに最大DM25-600の優遇控除あり。									
カナダ	オンタリオ州では、6L/100km以上の燃費車に対して \$55-3300 の販売税を、逆に同燃費以下の車には \$75 の還付金を出している。									
イタリア	10年以上使用した中古車の更新促進のためのインセンティブを検討中。									



出典：自動車ガイドブックより作成

図-7 ガソリン乗用車の燃費



資料：日本自動車研究所

図-8 燃料消費率と平均車速との関係

た結果を図-7¹⁾に示す。10~15モードは我が国の都市走行を代表した走行モードで、新型車両の排出ガスと燃費の認証試験に使用されている。図の横軸が車両重量で、縦軸が燃費 (km/L) である。同図より、自動車の燃費を総括すると以下のことが言える。

- ・車両重量が大きくなると燃費が悪化する。自動車のダウンサイジングあるいは軽量化は燃費向上に大きな効果がある。

- ・全体のデータ群から突出している車は、リーンバーンおよび直接噴射ガソリン搭載車とハイブリッド自動車である。中でもハイブリッド自動車突出し、実在する最軽量車に比較しても最も燃費の優れた車となっている。

- ・AT (オートマチックトランスミッション) 車とMT (マニュアルトランスミッション) 車を比較するとMT車のほうが燃費の良い傾向が見られる。

図-4¹⁾に示した米国の燃費向上は、主として自動車のダウンサイジングによるものである。小型車指向へのユーザの生活様式変化はマスの効果があり、自動車部門の省エネルギーに貢献する最大の方法と言えよう。米国のPNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles) ではトールクラスの燃費を、3倍の34km/Lとする開発計画が進行中である。この計画は、当初、米国の自動車メーカーのCAFE規制強化の代替案として開始されたが、現在では米国自動車産業の国際競争力強化のナショナルプロジェクトとしての意味が強くなっている。計画の中ではCFRP (炭素繊維強化樹脂) およびアルミニウム等の軽量材料を用いて現状1469kgの車両重量を約2000ポンドの889kgに低減する技術開発が含まれている。軽量材料の使用は、レーシングカーや航空機では常識化し、大衆商品である自動車への導入の問題点はコスト増加である。エアバック等の安全が商品となる時代は既に到来した。大型車が売れる今日、燃費が商品となる社会構造をいかに作るかも課題の一つである。

自動車の燃費は走行形態によっても変化する。図-8²⁾はアイドリング、加速、定常あるいは減速走行を含む各種のショートトリップの平均車速と燃費との関係を整理したものである。統計的に平均車速が70~80 km/h付近で最も燃費の良い結果が得られている。これは、それ以上の高速では空気抵抗が増加して燃費が悪化すること、それ以下の低速では、加減速の割合が増加して減速時のブレーキによって運動のエネルギーを熱として放散してしまうこと、さらに低速になると

アイドリングの割合が増加することおよび低負荷でエンジンの熱効率が低い条件を使用することによるものである。ユーザとしての感覚でも市街地走行よりも高速道路のほうが燃費が良いことは経験済みである。したがって、立体交差、信号制御、ITS (Intelligent Transportation System) 等を利用する交通流の円滑化は、輸送効率の向上のみならず自動車部門の省エネルギーに大きく貢献するといえる。これらインフラへの投資は未来への資産創りである。その最適方法は都市構造の形態によって変わる。インフラ投資は省エネルギー以外にも様々な目標と思惑がある。目標を設定し、費用対効果が最大となる施策を期待する。

4. 自動車のハードウェアとしての燃費向上技術

自動車の燃費向上技術とNO_xの関係の概念を図-9に示す。図の横軸は三元触媒付きのガソリン車 (TWC) を基準とした燃費向上効果である。この中には既に実用化されている技術と、開発中の将来技術が含まれるが、その両者含めて主な技術の燃費向上効果を解説する。

4.1 均一混合気希薄燃焼

均一混合気希薄燃焼は吸気ポートで燃料を噴射し、希薄で均一な混合気を燃焼させる。NO_xの生成を抑える燃焼の希薄化とエンジンの安定性が開発の課題であったが、NO_x触媒の装着も含めて克服し、1995年頃から市販されている技術である。希薄燃焼により、三元触媒付きのガソリン車に比べて1.1~1.2倍の燃費向上効果が得られる。

4.2 直噴ガソリン

直噴ガソリンはシリンダ内にガソリンを直接噴射し、部分負荷では点火プラグの周りに濃い混合気を形成さ

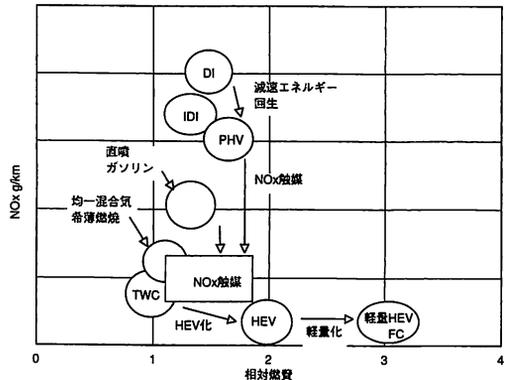


図-9 自動車の燃費向上技術とNO_xとの関係

せ、全体としては希薄混合気で燃焼させる。そのため燃焼の安定性が向上し、上記の均一混合気よりもさらなる希薄燃焼と大量の排ガス再循環EGRが可能となる。

図-10³⁾ は三菱自動車工業のGDIの混合気形成制御の例である。中負荷、中速回転速度以下の領域が示されている。エンジンの負荷と回転速度により希薄成層混合気 (Stratified)、希薄均一混合気 (Homogeneous Lean)、理論空燃比混合気 (Stoichiometric)、さらに図の範囲外となるが高負荷では理論空燃比よりも若干濃い空燃比の4層に分けて燃料噴射量と噴射時期の制御がなされている。図-11³⁾ は図-10と同様の座標で燃費の向上効果を示したものである。燃費向上効果は、アイドリングを含む低速、低負荷の希薄成層混合気の領域が最も高く、最大で40%が得られている。高負荷では通常のエンジンと同様となる。したがって、燃費の向上効果は、市街地走行では1.2~1.3倍が得られるが、高速高負荷を多く含む走行条件では半減する。直噴ガソリンエンジンは、我が国では、1996年より市販され、ポピュラーな存在となっている。以前から多くの内外の研究者によって開発が進められてきたが実用化までの技術を育成したのは我が国の自動車会社のみである。この分野は、燃焼解析、要素部品等も含めて日本がリードする技術の一つである。

4.3 ディーゼルエンジン (DI, IDI)

ディーゼルエンジン (直接噴射DI, 副室式IDI) 搭載する自動車はNO_xと粒子状物質排出等の大気汚染物質排出の主役とされている。しかし、ディーゼルエンジンは実用化されている原動機の中では最も高い熱効率で、CO₂の意味では地球環境に優しい原動機といえる。三元触媒付きのガソリン車に比較し、副室式ディー

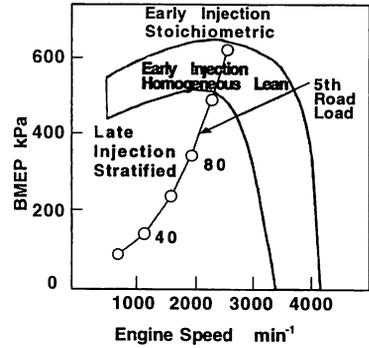


図-10 Combustion mode calibration

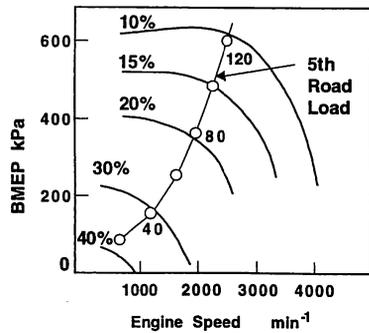


図-11 Fuel economy improvement (base : 6 G74 MPI)

ゼルが約1.3倍、直接噴射式ディーゼルが約1.3~1.4倍の燃費が得られる。図-12⁴⁾ はガソリンエンジン (2L) と直噴ディーゼルエンジン (1.9L, ターボ) の熱効率を比較したものである。ガソリンエンジンに比較してディーゼルエンジンは最大の熱効率が高いのみならず、例えば熱効率30%以上の面積が広いことから、エンジンの欠点である低負荷での熱効率の低下が

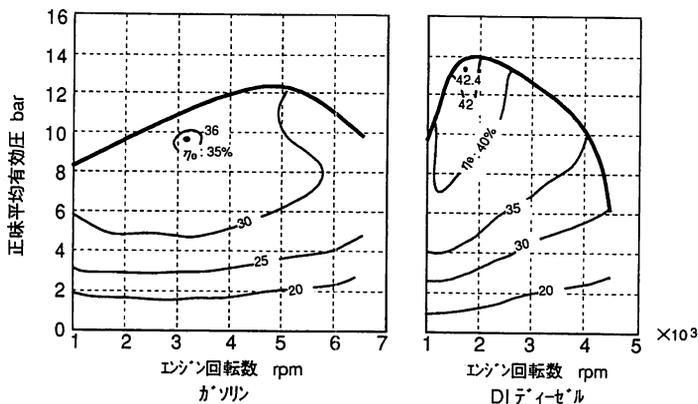


図-12 乗用車用エンジンの正味熱効率マップ

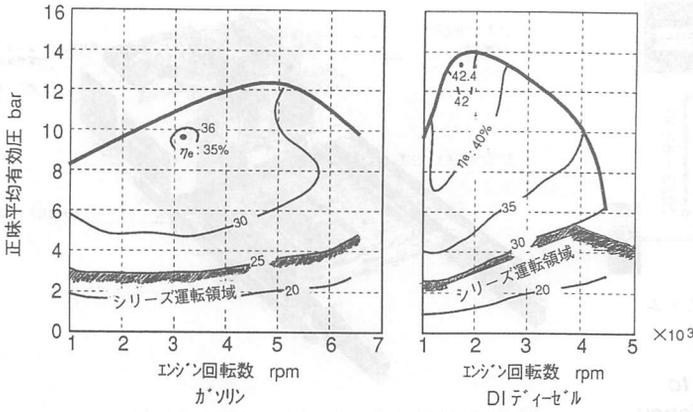


図-13 シリーズタイプの運転領域

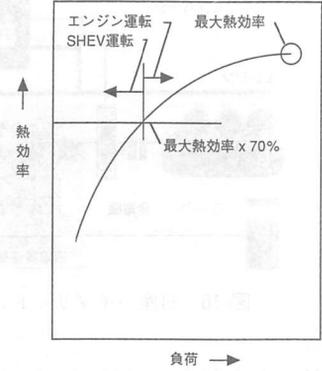


図-14 シリーズ・パラレルハイブリッドの運転範囲の概念

少ない特長がある。欧州では100km走行当たり3L (33.3km/L)の低燃費車の開発計画がある。開発の焦点は小型直噴ディーゼルエンジンである。

ディーゼルエンジンの高い熱効率の特長を活かすつ、無煙、低NO_xが達成できればその欠点克服となる。無煙を実現する燃料候補の一つがDME (ジメチルエーテル)である。従来排気煙とトレードオフ関係にあったNO_xも、排気煙の増加を考慮することなく制御でき、大量EGR等を利用してNO_xを削減できる。また、天然ガス等から硫黄分10ppm以下で合成する合成軽油もNO_x触媒にとって有力な武器となる。合成軽油のプラントはSASOL, SHELL, EXXON, Syntroleum等で既に稼働している。米国のPNGVでは1997年にプロトタイプ開発用の要素技術の絞り込みを行った。その中でハイブリッド用原動機として合成燃料・4気筒・小型直噴ディーゼルが採用された。また、我が国では昨年より軽油の硫黄分が500ppm以下に規制されている。ディーゼルエンジンの排出ガス規制は来世紀も繰り返し強化され、排出ガス後処理装置の装着も必須になものと考えられる。その際には軽油中の硫黄

分のさらなる低下が必要となり、石油・自動車両業界のより一層の密なる協力なしには乗り切れない。

4.4 ハイブリッド電気自動車

ハイブリッド自動車はエンジンとモータ等の補助動力源を組み合わせたものでその構造により(1)シリーズタイプ、(2)パラレルタイプ、(3)シリーズ・パラレルタイプに大別できる。

(1) シリーズタイプ

シリーズタイプは電気自動車にエンジン発電機を搭載したもので、エンジンは発電専用、電動モータは自動車の駆動専用である。

・レンジエクステンダ

レンジエクステンダは蓄電池の補助充電用に小型エンジン発電機を搭載し、基本的に商用電源を利用する電気自動車の航続距離を延長するタイプである。瞬間的なエネルギー収支の面では小型エンジン発電機の発生するエネルギーでは自動車を走行させることができない。東北電力のウエーブ等がこれに当たる。

・自立型

自立型は、大型のエンジン発電機を搭載し、商用電

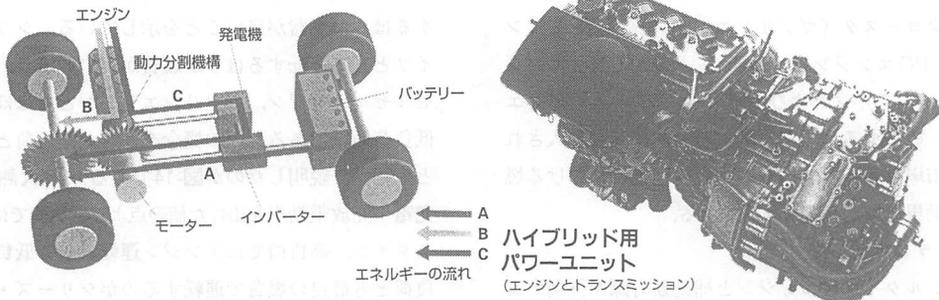


図-15 トヨタプリウスのハイブリッドシステム

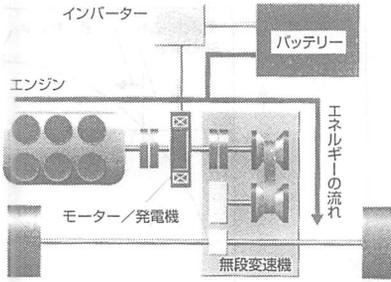


図-16 日産ハイブリッドシステム

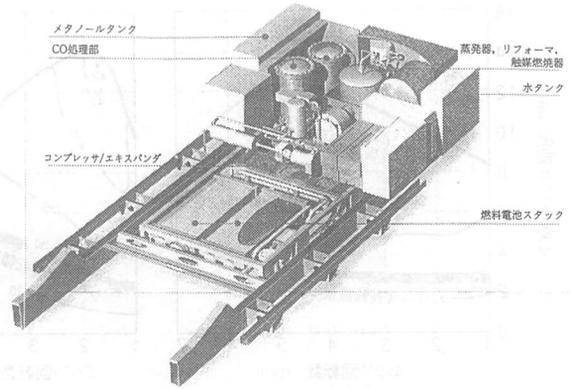
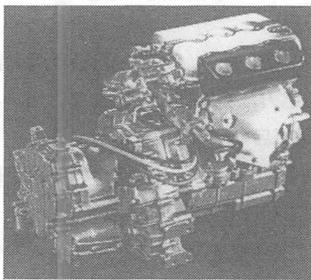
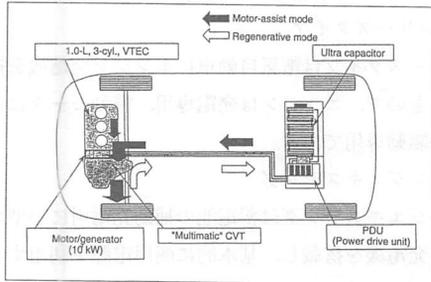


図-18 NECAR 3のメタノール改質燃料電池システムの構成

Honda Integrated Motor Assist to attain the world's top fuel efficiency



IMA power pack comprises a direct gasoline injection inline three-cylinder engine, assisted by an electric motor and driving via a CVT. Generated and regenerated electric energy is stored in an ultra-capacitor unit. Honda aims at attaining 30 km/L on Japan's 10/15 mode cycle, or 3.31 L/100 km.



System layout of the IMA.

図-17 本田IMAシステム

源には頼らず、発電したエネルギーのみで自動車を走行させるタイプである。発電機駆動のエンジンは熱効率の高い領域のみで定常運転され、蓄電池の充電状態によってON/OFFされる。開発の目的は内燃機関自動車の超低公害化と燃費の向上である。最近の開発例はトヨタコースタ（ガソリンエンジン）、三菱キャンター（LPGエンジン）、三菱シャリオ（CNGエンジン）、Volvoのバスおよびトラック（ガスタービンエンジン）等がある。一部、地方自治体に試験導入された他は市場導入されていない。市街地走行における燃費向上効果は概ね1.2~1.3倍である。

(2) パラレルタイプ

パラレルタイプはエンジンと補助動力源を併用する方式である。開発の目的は、減速時のエネルギーを蓄

電池、フライホイール、圧縮ガス等に蓄え、加速時に回生利用して内燃機関自動車の低公害化と燃費の向上を図ることである。我が国では、大型車の分野で既に実用化され、日野が電気式、三菱、いすゞおよび日産ディーゼルが蓄圧式である。市街地走行における燃費向上効果は図-9にPHVとして示すごとく概ね1.2倍である。

(3) シリーズ・パラレルタイプ

シリーズ・パラレルタイプは上記のシリーズタイプとパラレルタイプの両者の機構を持ち、原動機の負荷等によって最適な運転モードを選択し運転する方法である。

既存の内燃機関の熱効率率は、図-12に示したように回転速度と負荷の範囲において、高熱効率の条件から、アイドリングの熱効率ゼロの条件まで存在する。図-13は図-12⁴⁾に加筆したもので、最高熱効率点でエンジンを運転し、発電・充放電効率を70%に設定した際の等熱効率曲線とその際に得られる出力の線である。これらの線で囲まれる範囲より下の領域は、エンジンよりもシリーズタイプとして運転するほうが燃費が良いことを示し、範囲より上の領域は、エンジンで運転するほうが燃費が良いことを示している。シリーズタイプとして運転するほうが燃費が良い領域は、ディーゼルエンジン、ガソリンエンジンともほぼ同一の低負荷領域である。この概念をエンジン負荷と熱効率との関係で説明したのが図-14である。最大熱効率に発電・充放電効率を掛けた値の点より低負荷ではシリーズタイプ、高負荷ではエンジン運転として低負荷、高負荷とも最良の燃費で運転するのがシリーズ・パラレルハイブリッド自動車（SPHV）の方法である。

図-15に示すトヨタプリウス⁵⁾がこれに当たる。また、パラレルベースではあるが、CVT（無段変速機）と組み合わせて、高負荷のエンジン走行ではエンジンの高効率点を利用し、低負荷ではモータで走行するシステムも開発されている。図-16⁶⁾に日産の例、図-17⁷⁾に本田の例を示す。みかけ上はパラレルタイプであるが、エンジン走行時に電池あるいはウルトラキャパシタに充電すると考えれば、エネルギーフロー的にはシリーズ・パラレルタイプと同一である。燃費の向上効果は図-9にSPHVとして示すごとく概ね2倍である。将来技術としては、これらの方式の軽量化を進め、燃費3倍の可能性もある。

4.5 燃料電池自動車

燃料電池自動車は電気自動車に燃料電池発電器を搭載したものである。燃料電池には多くの種類があるが、自動車用には、常温で作動すること、高い電流密度が得られること、メンテナンスフリーであること、耐振性、耐衝撃性に強いこと、低負荷から高負荷までの高効率運転が可能なこと、水点下に放置可能なことなどが要求される。これらの要件を満足するのが固体高分子型（PEFC：Polymer Electrolyte Fuel Cell）あるいはPEM：Proton Exchange Membrane）、次いで可能性があるのが直接メタノール型（DMFC：Direct Methanol Fuel Cell）である。

前述した電気自動車およびハイブリッド自動車は市場導入の段階であるのに対し、燃料電池自動車は試作車による研究段階である。最近の開発例では圧縮水素⁸⁾および水素吸蔵合金を燃料とする個体高分子膜の水素燃料電池自動車⁹⁾が試作された。後者ではチタン系の水素吸蔵合金に約2kg（ガソリン換算約7.2L）の水素を貯蔵し、250kmの走行が可能である⁹⁾。この走行燃費はガソリン換算で34.5km/Lとなる。

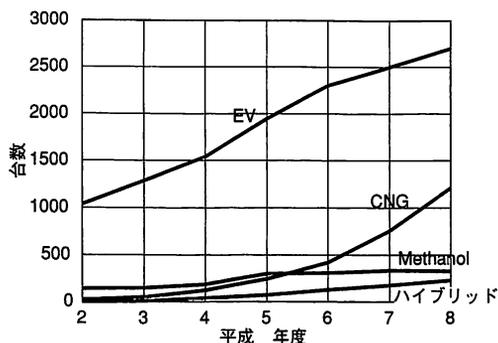


図-19 日本のクリーンエネルギー自動車普及状況

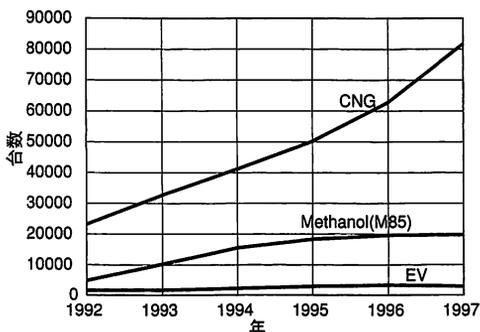
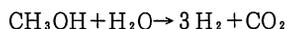


図-20 米国のクリーンエネルギー自動車普及状況

1997年の東京モータショウには、図-18¹⁰⁾にシステムの構成を示すメタノール改質型の燃料電池自動車の試作車が発表された。メタノールを燃料としたのは水素の供給に関するインフラストラクチャの問題解決を意識したものである。メタノールの場合には、以下の反応を利用してオンボードで水素を製造し、PEFCの燃料とする。



メタノール中の炭素原子は燃料電池の反応には寄与せず、改質反応を継続させるための熱の供給に寄与す

表3 各種ローエミッション車の比較

		排出ガス				車両性能	
		都市環境			地球規模	出力	航続距離
		NOx	CO/HC	禁煙 (PM)	CO ₂		
現行車	ガソリン自動車	○	○	○	○	○	○
	ディーゼル自動車	▲~△	○	▲	◎	△	◎
	LPG自動車	○	○	○	○	△	△~○
代替エネルギー車	ハイブリッド自動車	△	○	△	◎	△	◎
	ディーゼルー電気自動車	△	○	△	◎	△	◎
	ディーゼルー蓄圧自動車	△	○	△	◎	△	◎
	天然ガス (CNG) 自動車	○	○	○	◎	△	▲
	メタノール自動車	○	○	○	○	○	△
	オートタイプディーゼルトタイプ	△	○	○	○	△	△
電気自動車	☆	☆	☆	☆	▲	▲	
水素自動車	○	☆	☆	☆	△	▲	
ソーラーカー	☆	☆	☆	☆	▲	▲	

ガソリン自動車を基準 (○) とした場合の相対比較, 劣る▲←△←○→◎→☆優れる。ハイブリッド自動車は、制動エネルギー回生を主とするタイプを示す。

ることとなる。この水素を生成する反応はメタノールのみではなく基本的に天然ガスあるいはガソリン等の炭化水素でも可能である。図中にCO処理部が示してあるが、実在する数ppmのCOでも水素極用の白金触媒の表面にCOが吸着し触媒を被毒することが知られている。この対策のためCOを除去することが必要となる。水素PEFCの負荷応答性は十分満足できることが確認されている。それに加えてメタノール等改質燃料電池システムの場合には改質器の起動特性、負荷応答性等の動特性を満足することが要求され、今後の開発課題の一つでもある。

改質器を必要としない直接メタノール型燃料電池は、燃料電池そのものの研究が必要で、試作車を作る段階には至っていない。開発には多くの課題が残されている。

5. 代替燃料自動車

自動車のCO₂削減方法には、炭素原子の少ない石油代替燃料を使う方法もある。1994年12月16日、我が国の総合エネルギー対策推進閣僚会議では石油代替エネルギーの供給目標を達成するため、新エネルギー導入大綱を制定した。この大綱の中で、自動車関連分野では天然ガス自動車、電気自動車、メタノール自動車、ディーゼル代替LPG自動車およびハイブリッド自動車がクリーンエネルギー自動車と定義され、その積極導入が決定された。購入補助等の国の助成措置も実施され、1997年度に46億円、1998年度に106億円が予算化されている。また、米国では1990年改正の大気浄化法および1992年制定のエネルギー政策法によりクリーンエネルギー自動車の開発導入が政策的にも推進されている。

表3¹³⁾はクリーンエネルギー自動車(ローエミッション車)の排出ガス、性能等の比較を(株)日本自動車工業会にてまとめたものである。我が国と米国の普及状況を図-19および図-20に示す。我が国では1997年にハイブリッド電気自動車プリウスが市販されたが、このデータは入っていない。普及の増加率が高いクリーンエネルギー自動車は両国とも天然ガス自動車である。日本が約6千9百万台、米国が2億8百万台の自動車保有台数を考慮するとクリーンエネルギー自動車の普及率は、それぞれ、0.007%および0.2%の極僅かな割合である。環境対策あるいはエネルギー対策はマスの効果が必要であり、それに貢献できる市民権の獲得は今後の課題である。

5.1 天然ガス自動車

1995年12月には天然ガス自動車の大臣認定が解除され、天然ガス自動車は通常の自動車と同様に登録できるようになった。現在ではほとんどの自動車メーカーにて市販され、また、購入時の補助金の体制も整っている。天然ガスの車載貯蔵システムには、圧縮天然ガス(CNG)、液化天然ガス(LNG)、吸蔵天然ガス(ANG)が考えられるが、実用化あるいは検討されている約百万台の世界の天然ガス自動車のほとんどがCNGである。

CNG容器の取扱に関しては、1997年4月に高压ガスの取締法が改正され、車載容器の検査項目が緩和された。これによりCNG自動車が普及しやすい基盤の一部が整った。従来鋼鉄製で、車両重量の増加を招いていたCNG容器も繊維強化アルミライナあるいは炭素繊維等のオールコンポジット容器の登場により軽量化が図られた。オールコンポジット容器使用時の容器も含めたエネルギー密度は鋼鉄製容器使用時の約1/3となり、LNG使用時とほぼ同等となった。

LNG自動車は米国を中心に約千台が走行している。自動車の種類は、LNGのボイルオフガスの消費の点から毎日定期的に運行する大型トラックおよびバスが多い。LNG自動車のエンジン技術は基本的にCNG自動車と同一である。LNGとCNGの異なる技術要件は燃料供給系である。我が国の天然ガスはメタンの濃度が概ね90%弱のLNGとして輸入されている。メタンの沸点は-162°Cで、LNG中に混在する残りのエタン、プロパン等の沸点よりも低い。そのためメタンのみが先に蒸発し、LNG中のメタンの濃度が減少する煮詰まり(ウエザリング)と呼ばれる現象が発生する。LNG自動車の先駆者である米国の場合には、メタン濃度が95%以上のLNGを利用し、ウエザリングの問題を減少させている例が多い。

5.2 アルコール自動車

アルコール自動車の開発動向は、1980年代のエタノール混合ガソリンのガソホルを初めとする低濃度混合から、ニート(アルコール100%)を含む高濃度混合(高濃度メタノール燃料)へと重点が移行した。アルコールエンジンの研究開発のドライビングフォースも、潜在的な石油代替エネルギー開発の要求に加えて大気環境保全が重点思考された。ライトデューティは排気の光化学反応性が低いこと、ヘビーデューティはNO_xとPM低減の両立を図る手段としてとが着目され、いずれも高濃度メタノール燃料が利用された。現在、我

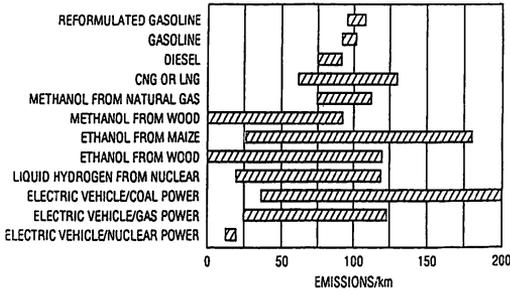


図-21 Ranges of greenhouse gas emissions per kilometer for cars using alternative fuels. (Source : Adapted from OECD 1993)

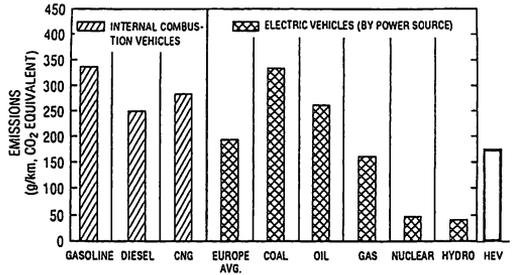


図-22 Life-cycle greenhouse gas emissions for electric vehicles in OECD Europe for the year 2000. (Source : Adapted from OECD 1993)

が国では勘石油産業活性化センターにて研究調査事業、運輸低公害車普及機構にてリースによる普及事業が推進されている。

米国ではFFV (Flexible Fuel Vehicle) のアルコール自動車市場導入されている。アルコールとガソリンは理論混合比が大きく異なり本来互換性の無い燃料で、従来それぞれの燃料を専用使用する自動車として開発されてきた。FFVは燃料中のアルコールとガソリンの濃度を検出し、それに合わせて燃料噴射量を制御することによって両燃料あるいはその混合物でも走行を可能とする自動車である。FFVは燃料供給のインフラ整備が進むまでの導入を補う有効な方法で1990年代のオートタイプアルコール自動車研究開発の特記事項である。

5.3 電気自動車

我が国に於ける最近の電気自動車の開発は、昭和40年代のモータリゼーションの進展にともなう大気汚染問題の克服に端を発すると言える。昭和46年には通産省工業技術院により電気自動車の大型プロジェクトが始まり、官民協力の研究開発事業として昭和51年まで継続された。今日の我が国の電気自動車の技術は、このプロジェクトによって創生期が養われたと言っても過言ではない。その当時の技術は直流電動機、鉛電池が中心であったが、最近の電気自動車の技術は、以下に述べる通り大きく変貌を遂げた。

1990年代に入るとGMのインパクト、新日鐵と東京R&D共同開発のNAV、東京電力のIZA、日産のFEV、国立環境研究所のルシオール等の、高性能化に開発の焦点を当てた電気自動車が開発された。低損失タイヤ、駆動系の高効率化と軽量化、電池ユニットの収納を考慮に入れた車体構造等の技術が採用された。1997年の東京モータショーでは内外の自動車メーカーよ

り小型コミュータの電気自動車が出品された。この車は、来世紀の省エネルギー技術を先取りしたコンセプトと言え、リチウムイオン電池あるいはニッケル・水素電池の高性能電池が採用されている。

米国カリフォルニア州では、大気汚染、特に光化学スモッグの深刻な問題がある。光化学スモッグは日本では光化学オキシダントと呼ばれることも多く、その物質はオゾンである。オゾンは、自動車等から排出される揮発性有機化合物と窒素酸化物から光化学反応によって生成される。カリフォルニア州政府では、内燃機関自動車の排出ガス規制強化等と併せて、ZEV (Zero Emission Vehicle) の導入を義務付けた。ZEVとは排出ガスの無い自動車であるが、具体的には電気自動車である。電気自動車の導入では、発電所の排出ガスを注視する必要があるが、これは、特に揮発性有機化合物の排出が少ない特長を持つ。この規制は、1998年より一定以上の販売台数を持つ自動車メーカーに対して3%のZEVの販売を義務付けるものであった。日本の自動車メーカーでは、トヨタ、日産、本田、マツダがこれに該当する。しかし、現状では電気自動車の開発の遅れから一步後退し、1998~2000年の間に3750台のフリートの実施に関する覚え書きを各自動車メーカーとの間で交わし、販売の義務化は2003年より10%へと修正された。その覚え書きでは、トヨタ、日産、本田、マツダの4社合計で1998年が334台、1999年が669台、2000年が670台のフリートを実施することになっている。日米の自動車メーカーは、着実にZEV規制への対応準備を始めている。

6. クリーンエネルギー自動車のCO₂削減効果

自動車のCO₂の排出は燃料製造・輸送過程と走行過

程を合わせて評価する必要がある。図-21²⁰⁾はガソリン、ディーゼル、天然ガス、メタノール、エタノール、水素および電気自動車の各種クリーンエネルギー自動車のCO₂の相対的排出特性を燃料製造・輸送過程と走行過程を合わせて比較したものである。電気自動車は、走行過程ではCO₂を排出しないが発電過程にてCO₂を生成する。CO₂の生成量は、発電方式によって異なる。同図には幅のある形で示してあるが、同じ代替燃料自動車でも、CO₂の排出量は、ケースによって既存のガソリンおよびディーゼル自動車よりも多い場合と少ない場合がある。棒グラフの中央値は一般論として言われている値と概ね一致する。中央値でガソリンに比較して概ね30%以上のCO₂の削減率が得られる代替燃料自動車は木材原料のメタノールおよびエタノール自動車、原子力利用の水素自動車および原子力利用の電気自動車である。

また、図-22²¹⁾は特に電気自動車に注目し、ガソリン、ディーゼル、天然ガス自動車それぞれのCO₂排出量と比較したものである。ガソリン代替天然ガス自動車は燃料中の水素/炭素比から、走行過程では約28%のCO₂の削減が期待できる。しかしディーゼル代替として利用する際には、特に低負荷での熱効率が低下し、CO₂の削減効果と相殺される。電気自動車の導入により、石炭火力の多い場合にはCO₂の排出量は増加し、原子力、水力の多い場合には減少する。原子力発電の多いフランス、水力発電の多いカナダ等の国々では電気自動車の普及促進はCO₂の排出削減に効果がある。欧州全体および我が国では、電気自動車の自動車単位走行距離当たりのCO₂排出量はガソリン車の約60%、ディーゼル車の約80%である。ハイブリッド自動車のCO₂排出量は燃費(km/L)を2倍と仮定して筆者が原図に加筆したものである。現状技術ではハイブリッド自動車が最もCO₂の排出が少ないシステムと言えよう。

7. まとめ

以上、自動車の省エネルギーについて自動車利用等

のソフトウェアと技術開発のハードウェアの両面について述べてきた。省エネルギーの問題は地球環境と直接リンクする。ハードウェアでは日本の技術が世界を一步リードし、国際貢献が可能な側面も見られる。環境と生活の質を保持するためには今後とも多くの知恵と技術開発が必要である。我が国のエネルギー・自動車関係者が国際貢献できることを期待し、本書のむすびとしたい。

また、ソフトウェアの分野では、(財)日本自動車研究所、エンジン・環境研究部、湊清之主任研究員より資料の提供を得た。同氏のご協力に感謝を申し上げる。

文 献

- 1) (財)日本自動車研究所、自動車と地球環境問題に関する研究、補助事業報告書、平成10年3月
- 2) 樋口、地球環境問題と自動車技術、自動車と地球環境ワークショップ95、平成7年11月
- 3) 宮本、パジェロ用V6 3.5L GDIエンジンの開発、自動車技術会シンポジウム、次世代エンジン技術を考えよう、1998年3月
- 4) 村中、自動車用エンジンは熱効率50%を超えられるか、自動車技術会シンポジウム、次世代エンジン技術を考えよう、1998年3月
- 5) 阿部他、乗用車用産型ハイブリッドシステムの開発、自動車技術会学術講演会前刷集No.975、(1997)等
- 6) 日産自動車広報資料
- 7) Automotive Engineering, December 1997, p49
- 8) Daimler Benz: NECAR II-Driving without Emissions. Fuel Cells-The Key to a Mobile Future
- 9) トヨタ自動車: EVS13資料(1996)
- 10) DAIMLER BENZ, NECAR 3, A Methanol Car Hits the Road
- 11) (財)日本自動車工業会、豊かな環境を次の世代に
- 12) Comparison of Relative Environmental Impacts of Alternative and Conventional Motor Fuels, IEA, (Sep. 1995)