

クリーンエネルギー自動車の将来展望

岩井 信夫*

1. ま え が き

電気自動車等クリーンエネルギー自動車の開発導入の意義は、①CO₂等地球温暖化物質排出総量の削減、②石油資源の枯渇に対処する石油代替エネルギーの開発および③都市の大気環境悪化への対応等である。また、今後発展途上国の急激な経済成長が予想されるため、来世紀には、より一層増した石油代替エネルギー利用、省エネルギー・高効率化および低公害化が要求される。

1994年12月16日、わ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。平成8年度(平成9年3月末)の普及台数は以下の通りである。

・電気自動車	2,700台
・天然ガス自動車	1,211台
・メタノール自動車	327台
・ハイブリッド自動車	228台

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た。1997年の普及台数は以下の通りである。

・電気自動車	3,925台
・CNG自動車	81,747台
・LNG自動車	955台
・メタノール(M85)自動車	19,787台
・メタノール(M100)自動車	130台
・エタノール(E85)自動車	5,859台
・エタノール(E95)自動車	341台
・LPG自動車	273,000台

本稿は、特集「電気自動車とその関連技術」の一部として、電気自動車の環境対策、省エネルギー等の特性を他の天然ガス自動車、ハイブリッド自動車等のクリーンエネルギー自動車のそれと比較し、それらの自動車の将来展望を含めて解説するものである。

2. 自動車用石油代替エネルギーの候補

石油代替の炭素源は、石炭、天然ガス、メタンハイドレード、オイルシェール、オイルサンドおよびリニューワブルのバイオマス資源等がある。メタンハイドレードは、深海の高圧低温下で水分子とメタン分子が水素結合しているものである¹⁾。

これらの炭素源の中で自動車用燃料として直接利用可能なものは天然ガス、エタノールおよびバイオディーゼル油のみで、他の炭素源は合成燃料製造の原料として用いられる。圧縮天然ガス(CNG)は既に実用化され、今後の技術として検討する必要があるのはむしろ液化天然ガス(LNG)である。

合成ガソリンおよび合成軽油は既存のエンジンシステムをそのまま利用できる価値の高い新燃料でいくつかの製造法がある。南アフリカ共和国の

* Nobuo Iwai 財団法人日本自動車研究所 第一研究部
部長 主席研究員 工学博士
Future Outlook of Clean Energy Vehicles

SASOLでは石炭を原料としてガソリン、灯・軽油を製造中である。マレーシアではロイヤルダッチシェル法により天然ガスを原料にベンゼンおよび硫黄を含まないガソリン、灯・軽油を製造中である。ニュージーランドでは、モービル法により天然ガスを原料としてメタノールを経由したガソリンを合成して稼働したが、現在は休止している。合成燃料は、代替エネルギーの他に低公害の意味を持つ。特に合成軽油は、硫黄分をほとんど含まないことから、今後普及する触媒付きディーゼル車にとっては重要な意味を持つ。大量普及にはほど遠いが、将来の低公害燃料候補として注目される。

メタノールはあらゆる炭素源から製造できる液体燃料で、燃料電池も含めて将来燃料としての研究が実施されている。ジメチルエーテル(DME)は、沸点が -25°C で常温では気体であるが数気圧の圧力で液体になること、最近天然ガスから直接製造可能なプロセスが開発されたこと、セタン価が高いこと、排気煙を生成しないことからディーゼル代替の合成燃料として最近注目されている²⁾。

3. 環境対策への貢献

3.1 クリーンエネルギー自動車のCO₂排出特性

各種クリーンエネルギー自動車の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1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

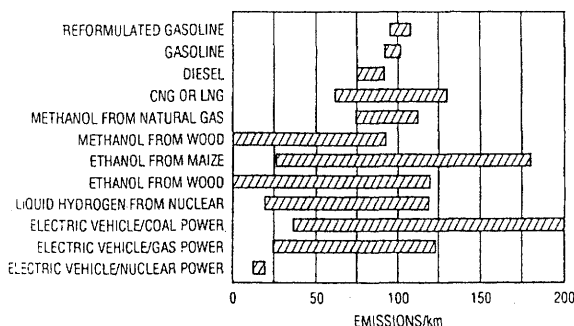


図1 Ranges of greenhouse gas emissions per kilometer for cars using alternative fuels. (Source: Adapted from OECD 1993)

走行過程を合わせて比較したものである³⁾。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い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2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³⁾。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因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いえよう。

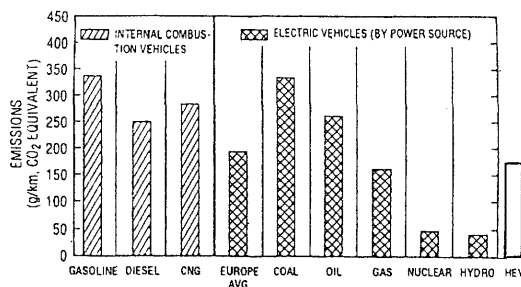


図2 Life-cycle greenhouse gas emissions for electric vehicles in OECD Europe for the year 2000. (Source: Adapted from OECD 1993)

3.2 自動車大気汚染物質排出の削減効果

平成9年11月、中央環境審議会では、2000年以降に表1⁴⁾に示す自動車排出ガス規制の強化を実施すると第二答申がまとめられた。また同答申では、2005年頃を目途に、さらに半減することを検討するとされている。その背景には、ガソリン車の排出ガスレベルの実態が、現行ガソリン車の昭和53年規制と比較して大幅に低減して

いることが挙げられる。クリーンエネルギー自動車の開発導入の目的の一つに排出ガスの低減がある。環境庁では電気、天然ガス、メタノール、ハイブリッド自動車の4車種を低公害車として位置付け、その導入を促進してきた。図3は、将来排出ガス規制値とクリーンエネルギー自動車の現状値のイメージをNO_xに関して示したものである。従来、電気自動車のNO_xはガソリン車の約1/10

表1

ガソリン・LPG自動車の排気管排出ガスの許容限度設定目標値

			試験方法						達成時期
			ホットスタート			コールドスタート			
			現行*1	目標値	削減率	現行*1	目標値	削減率	
シャシベース			10・15モード(g/km)			11モード(g/test)			
乗用車	NO _x	昭和53	0.25	0.08	▲68%	4.40	1.40	▲68%	平成12 (2000)
	HC	昭和50	0.25	0.08	▲68%	7.00	2.20	▲69%	
	CO	昭和50	2.10	0.67	▲68%	60.0	19.0	▲68%	
軽貨物車	NO _x	平成2	0.50	0.13	▲74%	5.50	2.20	▲60%	平成14 (2002)
		平成10	0.25		▲48%	4.40		▲50%	
	HC	昭和50	2.10	0.13	▲94%	13.0	3.50	▲73%	
		平成10	0.25		▲48%	7.00		▲50%	
	CO	昭和50	13.0	3.30	▲75%	100	38.0	▲62%	
		平成10	6.50		▲49%	76.0		▲50%	
軽量車 (~1.7t)	NO _x	昭和63	0.25	0.08	▲68%	4.40	1.40	▲68%	平成12 (2000)
	HC	昭和63	0.25	0.08	▲68%	7.00	2.20	▲69%	
	CO	昭和63	2.10	0.67	▲68%	60.0	19.0	▲68%	
中量車** (1.7t~ 3.5t)	NO _x	平成6	0.40	0.13	▲68%	5.00	1.60	▲68%	平成13 (2001)
	HC	昭和50	2.10	0.08	▲96%	13.0	2.20	▲83%	
		平成10	0.25		▲68%	7.00		▲69%	
CO	昭和50	13.0	2.10	▲84%	100	24.0	▲76%		
	平成10	6.50		▲68%	76.0		▲68%		
エンジンベース			ガソリン13モード(g/kWh)						
重量車 (3.5t~)	NO _x	平成7	4.50	1.40	▲69%				平成13 (2001)
	HC	平成4	6.20	0.58	▲91%				
		平成10	1.80		▲68%				
CO	平成4	102	16.0	▲84%					
	平成10	51.0		▲69%					

*1 上段は現行規制値(平均値)、下段は告示済みの次期規制(平均値)

*2 従来の区分は、中量車は1.7t超え2.5t以下、重量車は2.5t超え

ディーゼル特殊自動車の許容限度設定目標値

	測定方法	窒素酸化物	炭化水素	一酸化炭素	粒子状物質	時期
19kW以上 37kW未満	C1モード	8.0g/kWh	1.5g/kWh	5.0g/kWh	0.8g/kWh	平成16 (2004)
37kW以上 75kW未満	C1モード	7.0g/kWh	1.3g/kWh	5.0g/kWh	0.4g/kWh	
75kW以上 130kW未満	C1モード	6.0g/kWh	1.0g/kWh	5.0g/kWh	0.3g/kWh	
130kW以上 560kW未満	C1モード	6.0g/kWh	1.0g/kWh	3.5g/kWh	0.2g/kWh	

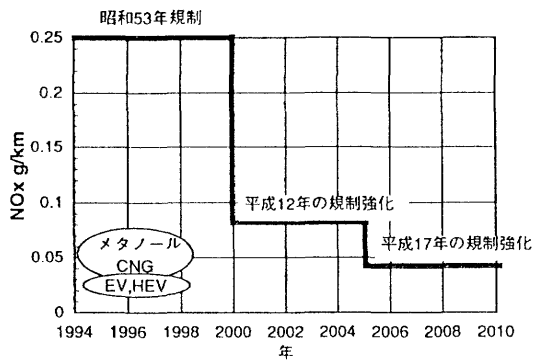


図3 ガソリン・LPG車の将来排出ガス規制値(NO_x)とクリーンエネルギー自動車の現状値のイメージ

といわれてきた。しかし、2000年以降の規制強化により、電気自動車等のクリーンエネルギー自動車の排出ガスレベルはガソリン車と比較して大差が無くなる可能性がある。

米国カリフォルニア州の排出ガス規制は、わが国の将来排出ガス規制の先取りともいえる。図4はカリフォルニア州の例ではあるが、それぞれの燃料種毎の燃料製造時(Fuel Cycle)と走行時(Vehicle)の排出ガスの総和、すなわち総燃料サイクルエミッション³⁾の比を示したものである。我が国の状況と比較して、燃料製造・輸送過程、発電過程、走行モード等が異なるが、一応の参考にはなる。同図より、それぞれの排出ガスの種類毎に得意な燃料種があることが解る。すなわち、NO_xは天然ガス自動車、COおよびROG(Reactive Organic Gas)は電気自動車(EV)が最も低い総燃料サイクルエミッションとなる。わが国の大都市の環境問題はNO_xとPMに代表される。

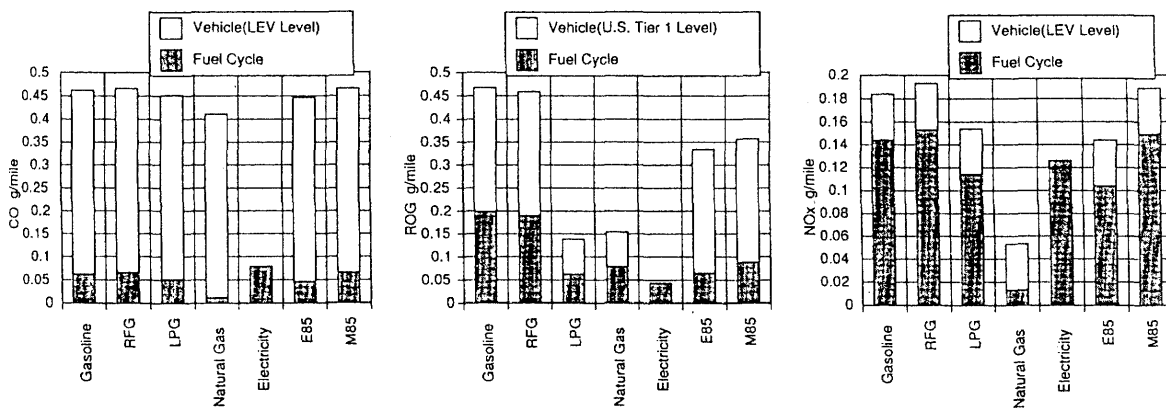


図4 総燃料サイクルエミッション(2000年のカリフォルニア州)

カリフォルニア州に代表される米国の環境問題はオゾンである。オゾンはROGとNO_xの光化学反応によって生成される。ZEV(Zero Emission Vehicle)の規制は電気自動車からのROGが少なくなることに着目したもので、NO_xの特性に注目したのではない。図5はTLEV(Transitional Low Emission Vehicle)およびLEV(Low Emission Vehicle)のガソリン、ULEV(Ultra Low Emission Vehicle)のCNG、LEVのM85のオゾン生成量を比較したものである⁵⁾。電気自動車と

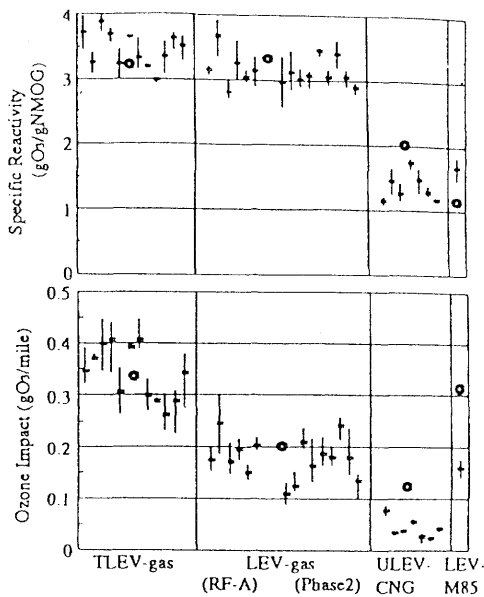


図5 Comparison of in-house and CARB reference data in terms of SR and ozone impact values. Legend: ● in-house data in Table 2; | variability for repeated measurement; * average value for repeat; RF-A and Phase 2 - gasolines types.

は比較できないが、同図の範囲では ULEV-CNG が最もオゾン生成量が少ないといえる。

先に述べた 2000 年からの規制強化には、米国カリフォルニア州の認証方法と同様に 8 万 km の耐久が要求されている。図 6 はカリフォルニア州の認証の例を示したもので、M85 は TLEV まで、CNG は LEV および ULEV まで適合した実績がある。電気自動車の低公害性に匹敵する内燃機関

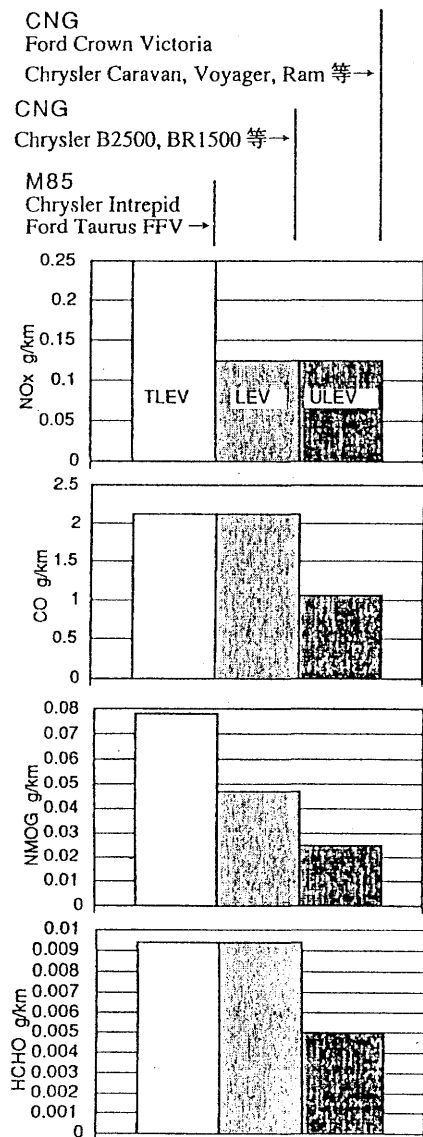


図 6 米国、カリフォルニア州の乗用車排出ガス規制値(5万マイル耐久値)と販売された CNG 車および M85 車(規制値は g/mile を g/km に変更して表現)

自動車も登場しつつある。電気自動車の低公害性が、他の自動車に比較して将来とも絶対的に優位であるとはいいい切れない。

4. 高効率化への挑戦

既存の自動車は最大熱効率が概ね 30~40% のエンジンを搭載している。しかし、アイドリングおよび低負荷では熱効率ゼロもしくはそれに近い条件で運転され、減速時にはブレーキ操作により運動のエネルギーを熱エネルギーに変換して放散される。そのため、実走行時のエンジンの熱効率は大幅に低下する。10-15 モードの熱効率は、概ね 15% 前後である。したがって、エンジンの運転条件からアイドリングおよび低負荷をなくして高負荷のみで運転すること、減速時の制動エネルギーを回生すること、あるいは高負荷から低負荷まで高効率で運転できる原動機とすること等によって熱効率 30~40% の条件のみで運転することが可能となる。また排気エネルギーで発電器を駆動して電気エネルギーとする等のボトムリングサイクルの併用によりさらに高い熱効率を得る可能性がある。この概念を実現する方法が電気と内燃機関の技術を組み合わせたハイブリッド自動車である。

4. 1 クリーンエネルギーハイブリッド原動機システムの概念

ハイブリッド自動車は、例えばエンジンと電動モータの二つの動力源を持ち、目的に応じてそれぞれの最も効率的な使い方をし、省エネルギーと低公害性を両立しようとするものである。

先に述べた通り、既存のエンジンを搭載した自動車は、アイドリングも含めた低負荷の走行頻度が多い条件にて熱効率が悪化する。図 7⁶⁾はその現象をエンジン負荷(軸平均有効圧, PME)とエネルギー消費率(BSEC)との関係で説明したもので、火花点火 CNG エンジンとディーゼルエンジンが併記してある。火花点火 CNG エンジンのエネルギー消費率はディーゼル代替に比較して PME が 8 bar 付近の高負荷ではほぼ同等、2 bar 付近の低負荷では約 30% 増大していることが分かる。そこで、低負荷でのエンジン運転を電動モータに代替し、省エネルギー性の向上を図るコンセプトがクリーンエネルギーハイブリッド自動車である。

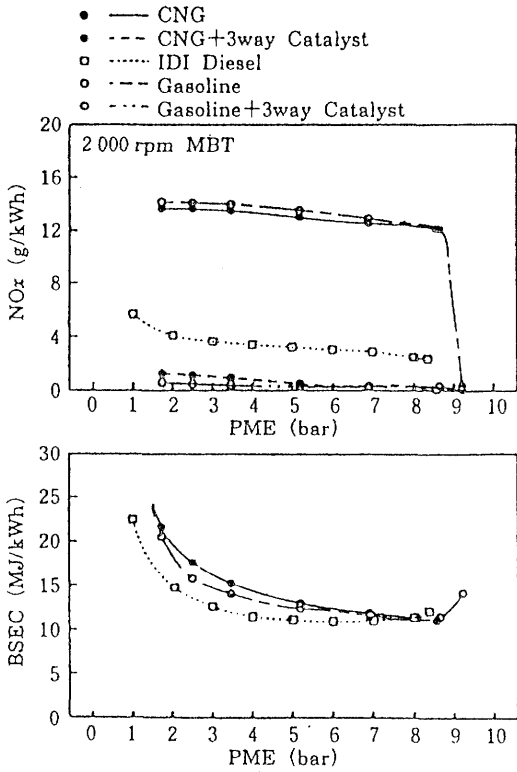


図7 CNG, ガソリン, ディーゼルエンジンのエネルギー消費率⁶⁾

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8である。火花点火天然ガスエンジンとディーゼルエンジンの最大熱効率点はほぼ同等である。天然ガスエンジンを発電機の駆動用を使用し、最大熱効率点で運転すると、最大熱効率に発電・充放電効率を掛けた図中に SHEV(シリーズハイブリッド電気自動車)として横線で示す熱効率となる。同図より、SHEVの熱効率は低負荷ではエンジン運転よりも優位であるが高負荷では劣っていることがわかる。そこで、低負荷では SHEV、高負荷ではエンジン運転とすれば低負荷、高負荷とも最良の燃費で運転でき、省エネルギーと低公害性を両立することになる。これがクリーンエネルギー・シリーズ・パラレルハイブリッド自動車(SPHV)の概念である。

4.2 ハイブリッド自動車の燃費向上効果の予測

自動車の走行モードは停止、加速、定常、減速

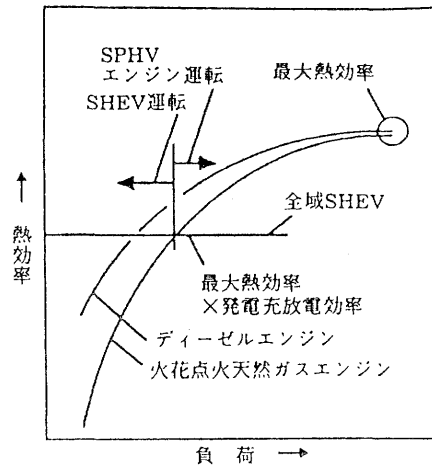


図8 クリーンエネルギーハイブリッド原動機の運転範囲の概念

の4モード分類で構成される。ハイブリッドシステムの燃費向上効果はそれぞれの走行モード分類毎の燃料消費量削減効果を累積すれば予測することができる。

図9は車両重量が変化しても加速性能が変化しないよう動力機構およびエネルギー貯蔵媒体の性能を与え、10-15モードの燃費を数値シミュレーションにより予測したものである。計算に用いた車両は車両総重量1.8トンのミニバンである。この値を基に発電・充放電効率を与え、制動力回生、

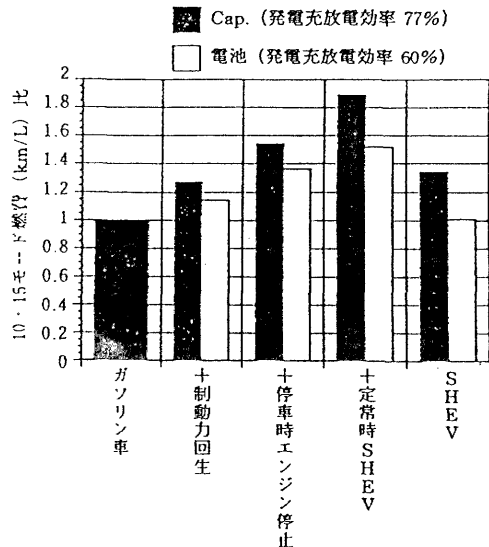


図9 ハイブリッドシステムの10-15モード燃費改善予測 (GVW1.8tのガソリンミニバンを基準、要素の出力、質量の変化を考慮)

停車時エンジン停止，定常時 SHEV および全域 SHEV のシステムを順次付加してそれぞれの燃費向上効果を予測した。同図には5条件が示してあるが，全て車両重量が異なっている。補助動力機構およびエネルギー貯蔵媒体の出力密度は最新の値を使用している。同図に示す結果では，ウルトラキャパシタを用いて発電・充放電効率を77%として与えた場合には，制動力回生，加速の高負荷時にエンジン運転，停車時のエンジン停止および低負荷定常時のシリーズ方式を組み合わせたいわゆる SPHV は基準のガソリン自動車に比較して約1.9倍の燃費性能が得られている。この予測値は，用いたエンジンの燃費マップ，各種の効率，係数等によって異なってくる。車両重量の軽減，エンジンの熱効率向上，電気系構成要素の効率向上により2倍以上の燃費性能を得ることも可能である。電気自動車にエンジン発電機を搭載した SHEV では1.35倍の結果である。燃費の向上の利点もあるが，エンジンを定常で運転することによる低公害化の利点も合わせ持つ。

4.3 高効率自動車の可能性

電気自動車，内燃機関自動車，さらにハイブリッド自動車の省エネルギー性は，資源の採掘から走行までの総合効率で議論する必要がある。

図10の左図は，内燃機関，電気自動車，SHEV および SPHV のハイブリッドシステム，固体高

分子型(PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)の水素および天然ガス燃料電池について横軸に負荷，縦軸に走行時の効率をとり，比較したものである。ここでの最大効率率は，ディーゼルエンジン42%，水素PEFC55%，天然ガスPEFC42%，ハイブリッドシステムの発電・充放電・モータの効率70%および電気自動車の充放電・モータの効率55%として示している。内燃機関の場合には現状で最も効率の高いディーゼルエンジンの例を示したが，エンジンをセラミックスによって遮熱化し，高温の排気をターボコンパウンド発電等によって利用すればさらに高効率となる。電気自動車の充放電・モータの効率55%は，交流受電端を基準とし，一充電走行距離試験の平均値の実績から与えたものである。

ここで与えた電気自動車の充放電・モータの効率55%は，ハイブリッドシステムの発電・充放電・モータの効率70%よりも低い。その理由は電池の使用状態が異なるためである。ハイブリッド自動車の電池の充電状態は，概ね50~80%のSOC(State of Charge)で管理され，回生時の大電流の受け入れと高効率の充電が可能である。さらにSHEVの場合には電池を経由しないでモータを直接駆動し，見かけ上100%の電池の充放電効率となる条件も含んでいる。それに対し電気自動車の場合には，SOCが100%付近から使用され，回生時の大電流の受け入れと高効率の充電に不利

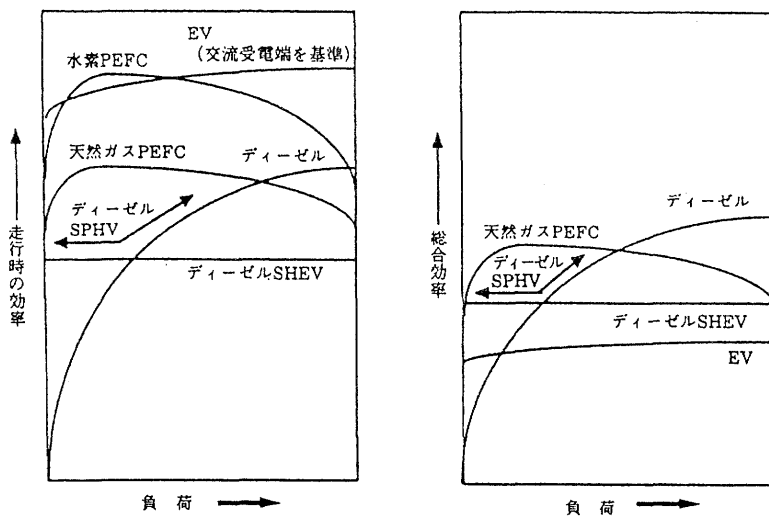


図10 負荷と走行時の効率および総合効率

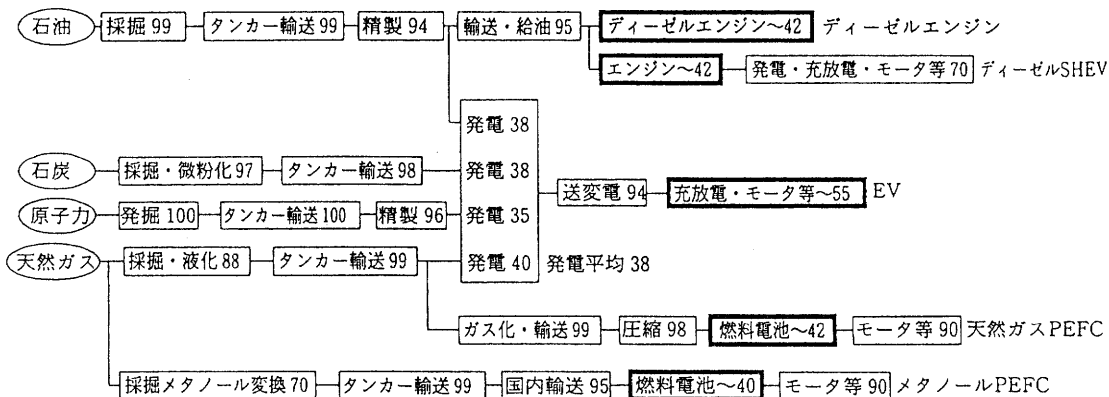


図11 総合効率試算のためのエネルギーフロー(文献⁷⁾を参考に作成)

な条件を含むこととなり、ハイブリッドシステムに比べて充放電の効率が低下する。電気自動車のさらなる高効率化には充電方法の管理が一つの課題といえる。

図10の右図は図11に示す資源の採掘から燃料の製造・輸送⁷⁾および走行時の効率までを考慮に入れて総合効率を比較したものである。原動機の省エネルギー性はこの総合効率で議論する必要がある。総合効率は、図11に示す太線枠の値すなわち原動機の効率を負荷によって変化させて試算している。燃料電池の場合には水素、天然ガスあるいはメタノールを燃料とするPEFCが考えられるが、図11の右図は比較的高効率でかつインフラストラクチャの面からも実現性の高い天然ガスPEFCを例に取り示してある。

同図より、総合効率の序列は低負荷と高負荷で変わることがわかる。低負荷で相対的に最も高い総合効率を得られるのは天然ガスPEFCである。天然ガスPEFCは、高負荷でも相対的に比較的高い総合効率を得られている。高負荷で相対的に最も高い総合効率を得られるのはディーゼルエンジンである。ディーゼルエンジンとハイブリッドシステムを組み合わせたディーゼルSPHVは、低負荷でも比較的高い効率が得られ、低負荷および高負荷とも高い総合効率を得られるシステムといえる。

以上述べたとおり、電気自動車と内燃機関の技術を組み合わせたSPHVと燃料電池自動車は高効率自動車の高い可能性を持つといえる。いずれも発展型の電気自動車である。前者のSPHVは

最近乗用車の駆動系ユニットの位置に発電機と駆動用モータを装着してコンパクトにまとめ^{8,9)}、燃費(km/L)を2倍とする⁹⁾システムが提案され、注目が集められている。

6. まとめ

以上、環境と効率を論点に電気自動車と各種のクリーンエネルギー自動車と比較し、それぞれの自動車の特長分野と将来展望について述べてきた。それらの次世代自動車の中には、市販が開始されたものから試作段階のものまで多くのレベル差がある。これらが、社会に受け入れられるためには、今後とも技術開発が必要である。本稿が将来の低公害、省エネルギー、石油代替の自動車開発の指標となれば幸いである。

文献

- 1) 兼子, メタンハイドレードとその将来性, エネルギー総合工学, Vol.20, No.1 (1997年4月)
- 2) Workshop: Dimethyl-ether as an automotive fuel, TNO report, (1997. 2. 26)
- 3) Comparison of Relative Environmental Impacts of Alternative and Conventional Motor Fuels, IEA, (Sep. 1995)
- 4) 中央環境審議会, 今後の自動車排出ガス対策のありかたについて(第二次答申), 平成9年11月21日
- 5) Kunimi, et al.: Three-Dimensional Air Quality Simulation study on Low-Emission Vehicles in Southern California, Atmospheric Environment Vol.31, No.2 (1997)
- 6) 長島他, 天然ガスエンジンの開発, (財)日本機械学会第4回環境工学シンポジウム講演論文集, p.219, (1994年6月)
- 7) 小林他, 将来のエネルギーと自動車, 自動車技術, Vol.50, No.1, (1996)
- 8) Yamaguchi et al.: Dual System-Newly Development Hybrid System, EVS13, (Oct. 1996)
- 9) 阿部他, 乗用車用量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)

高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発

—通産省・NEDOによるプロジェクト—

岩井 信夫

(財)日本自動車研究所)

MITI/NEDO Advanced Clean Energy Vehicle Project

Nobuo IWAI

(Japan Automobile Research Institute, JARI)

Key words : Hybrid Vehicle, Alternative Fuel, Fuel Economy, Fuel Cell

1. 研究開発の背景と目的

天然ガス自動車、電気自動車等のクリーンエネルギー自動車は航続距離、燃料供給に起因する走行地域等の制約があり、また、走行条件によっては既存車よりも燃費が悪化する等の問題がある。そのため、クリーンエネルギー自動車の開発にはより広く一般に受け入れられる新しいコンセプトが求められている。すなわち、低公害と高効率を合わせ持つ「高効率クリーンエネルギー自動車」のコンセプトである。欧米においても、燃費の大幅向上のための官民共同研究 (Car of Tomorrow, PNGV等) のプロジェクトがあり、将来技術に向けての研究開発が進められている。

本研究開発は、平成9年度から7年計画で新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の事業として発足し、石油代替のクリーンエネルギーを用いて低公害性を維持しつつ、走行エネルギー消費を少なくとも既存車の1/2にし、併せてCO₂の排出を1/2以下にする自動車を開発するものである。

2. 最終目標

- ・プロトタイプ車を試作する。
- ・燃料には石油代替燃料を用いる。
- ・走行エネルギー消費率およびCO₂の排出率を既存車の1/2以下とする。
- ・排出ガスの低減目標は、環境庁の定める低公害車の技術指針値が変更された時点で定めることとする。

3. 研究期間

平成9年度～平成15年度

平成11年度には中間評価を実施し、最終年度にはプロトタイプ車を試作する。

4. 研究開発体制

本プロジェクトは、図4.1に示すとおり、通産省の補助を受け、NEDOからの(財)日本自動車研究所 (JARI) への委託および同研究所からの複数の自動車メーカー、シンクタンクへの再委託により実施される。

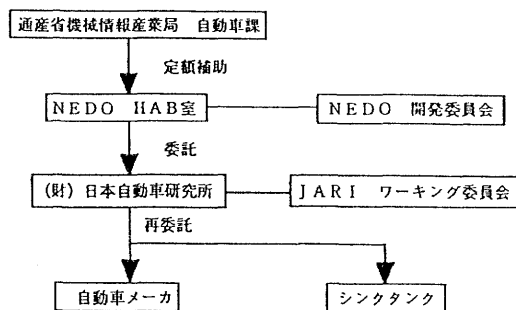


図4.1 研究開発体制

5. 研究開発概要

高効率クリーンエネルギー自動車を実現するため表5.1に概要を示す研究開発を実施する。

(1) 乗用車

- ・メタノール改質型燃料電池自動車
- ・フライホイールバッテリー搭載、ANGシリーズハイブリッド自動車

(2) 2トン積みトラック

- ・CNG自己着火セラミックエンジン、キャパシタ/バッテリー併用、排気エネルギー回収技術併用シリーズハイブリッド自動車
- ・CNG希薄燃焼エンジン、リチウムイオン電池搭載、シリーズ/パラレルハイブリッド自動車

(3) 路線バス

- ・LNGミラーサイクルエンジン、キャパシタ搭載、シリーズハイブリッド自動車
- ・ジメチルエーテルエンジン、フライホイールバッテリーあるいはキャパシタ搭載シリーズハイブリッド自動車

(4) 合成ガソリン、合成軽油の調査

- ・性状、コスト、燃料サイクルのエネルギー効率、供給能力、安全性、合成/製造技術の調査
- ・燃料サンプルの性状、組成分析
- ・エンジン性能および排出ガス実験

6. 各社開発の高効率クリーンエネルギー自動車

各社が開発する高効率クリーンエネルギー自動車の概要を表6.1と図6.1に示す。

表5.1 高効率クリーンエネルギー自動車の研究開発概要

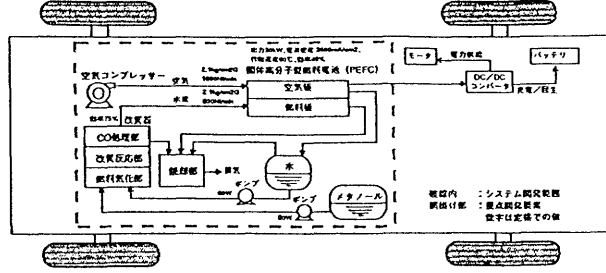
開発車両	ハイブリッド自動車の研究開発					合成燃料の調査		
	乗用車		2トン積みトラック		路線バス		エンジン実験	
燃料の種類	メタノール	ANG	CNG		LNG	DME	合成ガソリン	合成軽油
火花点火機関		本田技術研究所 SHEV		三菱自動車工業 SPHV	日産ディーゼル工業 SHEV		トヨタ自動車	
圧縮着火機関			いすゞセラミックス研究所 SHEV			日野自動車工業 SPHV		トヨタ自動車
燃料電池	日産自動車 SHEV							
エネルギー貯蔵	バッテリー	FWB	バッテリー, Cap.併用	Li-Ion電池	Cap.	FWBあるいはCap.		
主な技術開発内容	<ul style="list-style-type: none"> ・メタノール改質器 ・空気コンプレッサ等燃料電池用要素技術 ・燃料電池自動車制御システム技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・FWB ・ANG技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・天然ガス自己着火セラミックエンジン ・排気エネルギー回収技術併用SHEV機構 ・Cap. 	<ul style="list-style-type: none"> ・Li-Ion電池を用いたSPHV機構 ・希薄燃焼天然ガスエンジン 	<ul style="list-style-type: none"> ・LNGミラーサイクルエンジン ・Cap.を用いたSHEV機構 	<ul style="list-style-type: none"> ・FWBあるいはCap.を用いたSPHV機構 ・DMEエンジン 	<ul style="list-style-type: none"> ・性状、供給能力、合成/製造技術等の調査 ・燃料サンプルの性状分析 ・エンジン性能および排出ガスエンジン実験 	

ANG：吸蔵天然ガス、CNG：圧縮天然ガス、LNG：液化天然ガス
 SHEV：シリーズ方式、SPHV：シリーズ/パラレル併用方式
 FWB：フライホイールバッテリー、Cap.：キャパシタ、DME：ジメチルエーテル

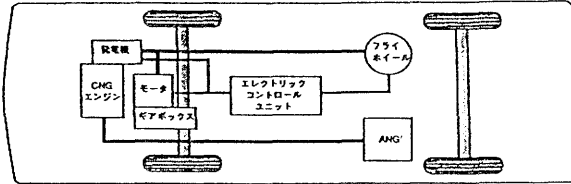
表 6.1 高効率クリーンエネルギー自動車の各社開発概要

No.	項目	日産自動車	本田技術研究所	いすゞテック研究所	三菱自動車工業	日産ディーゼルの工業	日野自動車工業
1	研究項目	メタノール燃料電池ハイブリッド自動車 (シリーズ方式)	CNGエンジン搭載ハイブリッド自動車 (シリーズ方式)	セラミックス高効率クリーンエネルギートラック (シリーズ方式)	リーンバーンCNGエンジン搭載ハイブリッドトラック (シリーズ/パラレル併用方式)	LNGハイブリッドバス (シリーズ方式)	DMEエンジン搭載ハイブリッドバス (シリーズ/パラレル併用方式)
2	主なハイブリッド要素	燃料電池・バッテリー	エンジン・フライホイールバッテリー	エンジン・キャパシタ	エンジン・バッテリー	エンジン・キャパシタ	エンジン・フライホイールバッテリーあるいはウルトラキャパシタ
3	車種	乗用車	乗用車	トラック	トラック	路線バス	路線バス
4	技術向上	2倍(対同クラスのガソリン車)	2倍(対長期規制適合ディーゼルエンジン搭載同等クラス車)	2.5倍(対現行ディーゼルエンジン搭載2トントラック)	2倍以上(対従来ガソリン車)	2倍以上(対ディーゼル車)	2倍(対現行ディーゼル車)
	使用燃料	ANG(吸着天然ガス)	CNG	主にCNG	メタノール	LNG	DME(ジメチルエーテル)
	排出ガス	排出ガスの低減目標は、環境庁の定める低公害車の技術指針が変更された時点で定めることとする。					
5	開発内容	<ul style="list-style-type: none"> 動力源には、固体高分子燃料電池(PEFC)を用いて、高い効率を実現する。 燃料にはメタノールを用い、改質器により水素に変換してPEFCに供給する。 酸素は、コンプレッサで圧縮した空気から供給する。 改質器は、水蒸気改質と部分酸化を組み合わせて、自動車用として最適なものを開発する。 PEFCをバッテリーと組み合わせてシリーズ式ハイブリッドとし、制動エネルギーを回生させる。 自動車用制御システム及びシステム要素技術の研究開発。 	<ul style="list-style-type: none"> 基本的に低エミッションである天然ガスエンジンとフライホイールバッテリーを組み合わせることでライフサイクルを通してクリーンかつ長寿命な車両を開発する。 天然ガスの貯蔵には、LNGのような大規模な低温貯蔵装置もCNGのような高圧タンクも必要ない吸着剤を用いるANG技術を採用する。 	<ul style="list-style-type: none"> セラミックス製燃焼室と遮熱構造により、冷却系を取り除いた軽量、コンパクトなエンジンを開発する。燃焼室には、開閉付きの副燃焼室を設け、CNG、メタノールなどの燃料を使用できる多燃料エンジンとする。 排気エネルギーを回収するタービン発電機を用いて高い熱効率を実現する。 車軸に付けられた高速電動機により駆動するシリーズ式ハイブリッドとする。 エンジンの最高出力は、高速走行時や登坂時に要求される出力を上回る値に設定する。また、発電電力は、常にバッテリーを經由せずに電動機に伝え、エネルギーの損失を防止する。 充放電効率の高いキャパシタを用い、制動エネルギーの回生効率を向上させる バッテリーは補助的に用いて小型化し、システム全体の重量低減と短距離のエンジン停止走行を可能とする。 	<ul style="list-style-type: none"> CNGを燃料としたリーンバーンエンジンを開発する。 シリーズ/パラレル併用ハイブリッド機構を開発する。 エネルギー貯蔵システムは、リチウムイオン電池などの各種高性能バッテリーを中心に、キャパシタなどの活用も検討する。 制動エネルギーをモーターで再生する高効率回生システムを開発する。 都市内走行主体の積載量2トン級トラックの排出ガスクリーン化、超低燃費化を図る。 シリーズ/パラレル切り換えの基本制御は、各種走行条件に応じて最も効率的に行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 高効率のLNGミラーサイクルエンジンを開発する。 コンデンサ型蓄電装置(エネルギーキャパシタシステム)を開発する。 高効率同期モーター/発電機を用いたシリーズ式ハイブリッド機構の開発。 LNG利用による天然ガスバスの軽量化、利便性改善、輸送効率向上(ノンステップ化、乗車定員増、航続距離向上)。 LNG・シリーズハイブリッドに最適車両構造の開発。 	<ul style="list-style-type: none"> DME燃料ディーゼルエンジンで黒煙、NOx、PMの発生を大幅に低減する。 シリーズ/パラレル併用ハイブリッド機構を採用し、超低燃費化を図る。 エネルギー回生の有効活用は蓄電技術に左右されるので、ハイブリッドシステムに適した蓄電技術、例えばウルトラキャパシター、フライホイールバッテリー等について研究を行い、エネルギー回生の有効な手段を確立し、自動車の総合効率を向上させる。

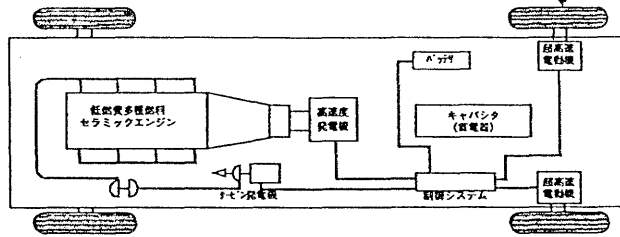
日産自動車



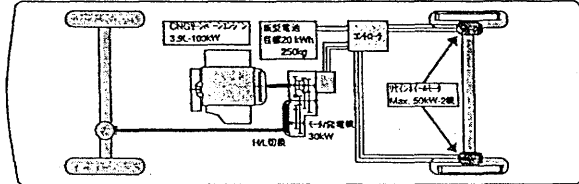
本田技術研究所



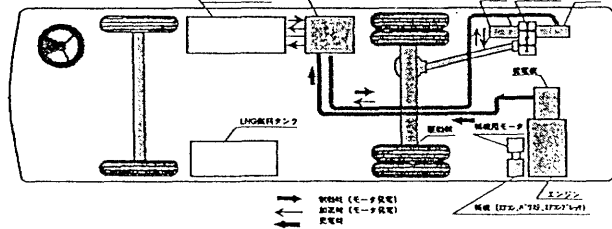
いすゞセラミックス研究所



三菱自動車



日産ディーゼル



日野自動車

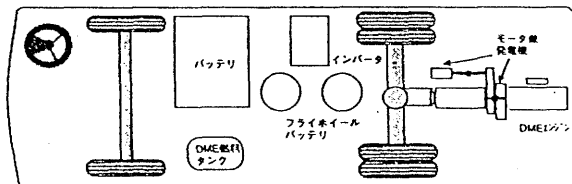


図 6.1 高効率クリーンエネルギー自動車の各社開発概要

7. エネルギー消費率およびCO2排出率

本プロジェクトにおいて開発している6種の車両は、車種と燃料種が異なるため、走行時と燃料ライフサイクルの両者でそのエネルギー消費率およびCO2排出率を比較し、設定した開発目標の省エネルギーおよびCO2削減効果について検討した。

図7.1および図7.2は走行時のエネルギー消費率およびCO2排出率を示すものである。各車両の開発目標は走行時で約1/2のエネルギー消費率およびCO2排出率となる。また、それぞれの開発車両の目標値はほぼ1本の直線上にあり車両重量でほぼ整理できる。同図から、1台当たりの削

減効果の絶対値は大型車両のほうが大きく、大型車のハイブリッド化は省エネルギーおよびCO2削減効果に大きな効果がある。

各種エネルギーあるいは燃料のエネルギーフローを図7.3に示す。このエネルギーフローを基に、燃料ライフサイクルのエネルギー消費率およびCO2排出率を求めた結果を図7.4および図7.5に示す。天然ガスを原料とするメタノール、DMEは燃料製造時の効率低下により、石油系、天然ガス系と比較して、省エネルギーおよびCO2削減効果が少ない燃料といえる。ただし、リニューラブル資源からの製造法もあり、これらも合わせて検討する必要がある。

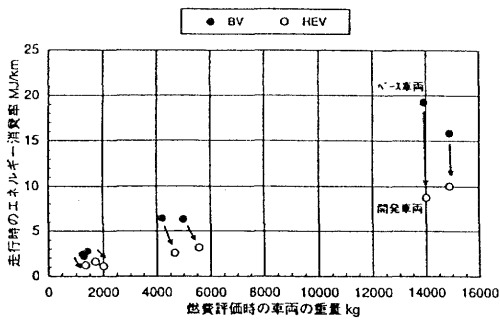


図7.1 走行時のエネルギー消費率

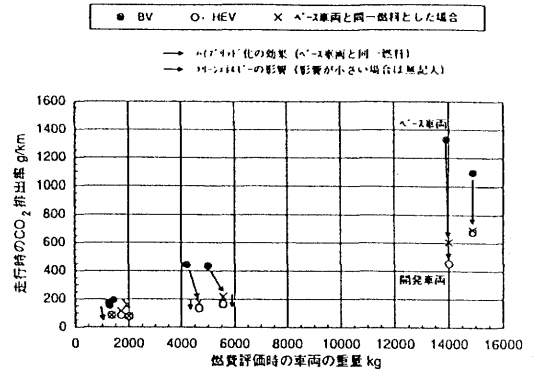
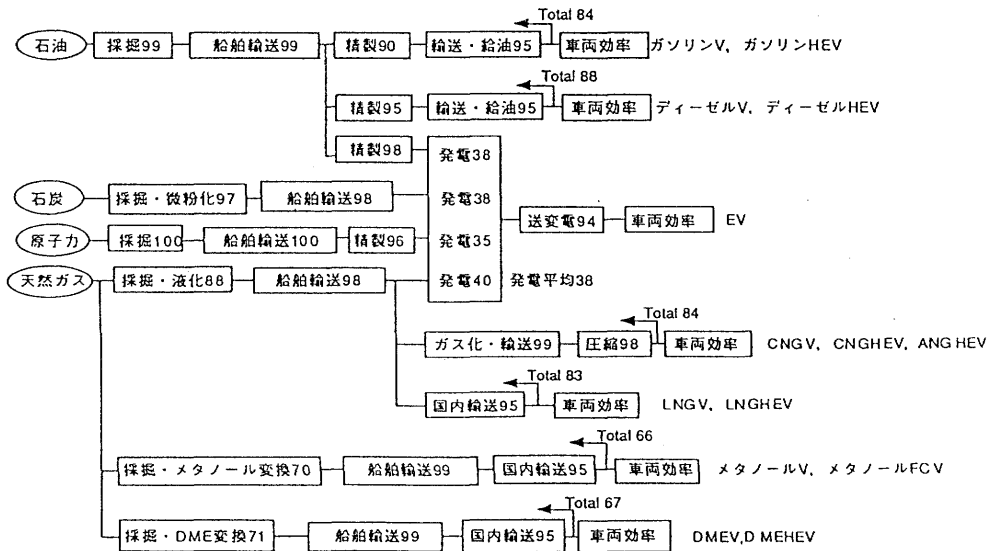


図7.2 走行時のCO2排出率



備考 数字は%

「小林 紀ほか：各種自動車の効率およびCO2排出の検討、自動車技術会学術講演会前刷集、No.9639030」と「TNOレポート」を基にJARIが作成

図7.3 各種エネルギーあるいは燃料のエネルギーフロー

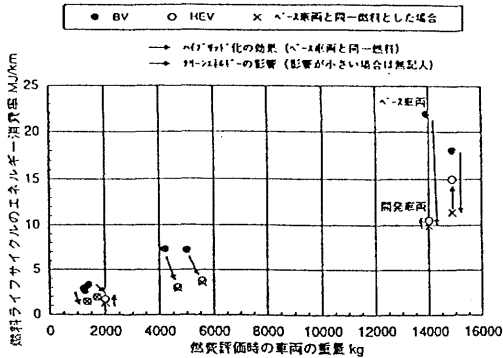


図7.4 燃料ライフサイクルのエネルギー消費率

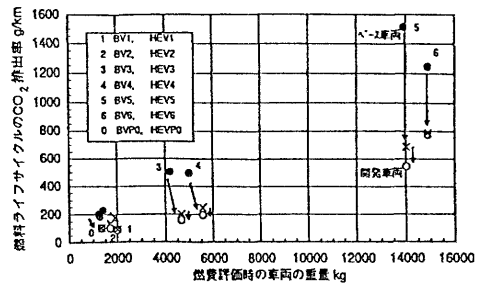


図7.5 燃料ライフサイクルのCO2排出率

8. 合成燃料の調査

8.1 調査目的

合成燃料は、将来、エネルギー事情等により導入される可能性がある。合成ガソリン、合成軽油の性状がガソリンおよびディーゼルエンジンの排出ガス・燃費・エンジン性能へ与える影響を調査し、エンジン側から燃料性状への要求特性を明らかにする。

8.2 合成燃料の性状

合成燃料の性状は、原料の種類と用いているプロセスにより異なる。プラント規模で開発が行われた代表的な合成ガソリンと合成軽油の性状を図8.1および図8.2に示す。

(1) 合成ガソリン

石炭直接液化法は硫黄分および窒素分濃度が高い短所がある。石炭間接液化法(SASOL)はオクタン価が低い短所がある。最終製品は改質してオクタン価を向上させてい

表8.1 代表的な合成ガソリンの特性

プロセス 項目	石炭直接液化	石炭間接液化 SASOL	天然ガス 間接液化 Mobil-MTG
組成、%			
パラフィン	16	60	55
オレフィン	6	32	12
ナフテン	55	1	7
芳香族	19	0	28
その他の 有機物	4	8	
硫黄	0.5~1.5	10ppm	
窒素	0.2~1.0	15ppm	
オクタン価	80	35	93
比重		0.733	
R90%		170℃	

R90% ; 分留量が90%に達する温度

る。天然ガス間接液化法 (Mobil-MTG) はオクタン価が高く、ガソリン基材として優れている。

(2) 合成軽油

石炭直接液化法は芳香族炭化水素成分濃度が高い。また、低セタン価、高硫黄分濃度のため実用には適さない。間接液化法は、石炭・天然ガスの原料種を問わず、低硫黄、高セタン価でディーゼル燃料として優れている。

9. まとめ

本計画は、燃費を大幅に向上させるハイブリッド機構とクリーンエネルギーを組み合わせた省エネルギー・低公害自動車を日本のナショナルプロジェクトによって開発しようとするものである。計画実施の過程で、多くの技術が開発されるものとする。この技術開発により次世代の自動車社会に貢献できれば幸いである。

表8.2 代表的な合成軽油（ディーゼル油）の特性

プロセス 項目	石炭 直接液化	石炭 間接液化 SASOL	天然ガス間接液化		
			Shell	EXXON	Syntroleum
組成、%					
芳香族	62	<3	<1	<1	N/D
硫黄	0.5 ~1.5	<1ppm	N/D	<10ppm	N/D
セタン価	10	>70	75	74	76
比重		0.780	0.780	0.780	0.780
Flash Pt			88℃	81℃	
Cloud Pt				-12℃	1℃
R90%					340℃
IBP			200℃		
FBP			360℃		

N/D; Not Detectable