

■ 展望・解説 ■

自動車用代替エネルギーの特質について

Characteristics of Alternative Energy for Automobiles

佐波 義 友*

Yoshitomo Sanami



1. はじめに

わが国の自動車保有台数（四輪車）は1986年度の約4,800万台から1991年度に約5,900万台へと増加した。そして、5年後には約6,500万台に増加すると予測されている。このようなモータリゼーションの進展は、自動車が経済活動のみに限らず、個人生活に必要不可欠となっていることを示している。

また、自動車用燃料は今後ともガソリンと軽油が主体で、その需用量も増大すると見込まれている。なお、過去2回の石油危機に直面し、自動車への代替エネルギーの利用が種々検討された。しかし、その後、原油価格が安定化したために、需要が喚起されず、将来に向けての技術開発が進められてきた。

そして、近年、特に大気汚染防止対策および地球温暖化対策、さらに石油資源の温存のために、代替エネルギー自動車再び注目された。特に、わが国では、代替エネルギー自動車はNO_xおよび黒煙の削減に効果的で、合わせてCO₂の削減も可能なことから、現在、実用化に向けての試用が進められている。

本稿では、わが国での自動車用代替エネルギーについて、環境負荷、利便性、価格および資源量からの評価を行い、それぞれの特質を概括する。

2. 自動車の環境への係わり

自動車の排ガスによる大気汚染状況をみると、COおよび非メタン炭化水素の濃度は、ガソリン車への三元触媒の普及によって、環境基準を下回って概ね低い値である。また、SO₂についても、環境基準よりも低い。そして現在進行中の軽油の段階的低硫化対策は、将来さらに効果的と言えよう。

他方、NO₂は大都市およびその周辺で環境基準を達成することが出来ず、さらに、ディーゼル黒煙は以前から改善されず、横這い状態である。そして、近年の走行距離数および自動車保有台数の増加、ディーゼル車比率の増加、交通混雑の慢性化などにより、特に、NO_xおよび黒煙が増加傾向にあり、環境基準の達成が今後も難しいと予測された。

その結果、主としてディーゼル車を中心に、NO_xおよび黒煙を含む粒子状物質（PM）を削減するために、平成元年12月に短期および長期の2段階の厳しい低減目標が設定された。また、排ガス規制の強化に加え、電気自動車など低公害車の導入・普及についての制度面および研究開発などへの積極的な取組が打ち出された。この様に、わが国の排ガス対策は、NO_xの低減が重要な課題である。

他方、自動車からは燃焼によるCO₂が排出され、地球温暖化との絡みでその排出量が注目されている。なお、わが国のCO₂排出量は、1988年に約2.8億トン（炭素換算量）で、世界の約4.4%を占めている。その後、エネルギー消費量の増加に伴って増加し、1990年度は約3.17億トンと試算されている¹⁾。そして、約18%が運輸部門からで、自動車はその約90%を占めている。従って、わが国の全CO₂排出量の約16%が自動車からである。

代表的な車種別の排出量を表1に示す。この表から、総量では乗用車からが多く、一台当たりではトラックからが多い。今後、自動車の燃費改善によって、CO₂排出量が削減される可能性がある。しかし、自動車保有台数の増加あるいは交通渋滞などによって、実態は増加傾向にある。

* 三菱石油㈱研究開発部門執行役員付主席
〒210 川崎市川崎区扇町4-1

表1 既存車からのCO₂排出量 (抜粋) (H3年度)

	ディーゼル貨物車		ガソリン貨物車		ガソリン乗用車	
	普通	小型	小型	軽四輪	軽四輪	普・小型
保有台数 (万台)	228	388	262	1215	336	3018 ¹⁾
燃料消費量						
ガソリン (万kl/年)	—	—	385	747	165	3352
軽油 (万kl/年)	1840	657	—	—	—	(402)
一台当り (kl/年)	8.1	1.7	1.5	0.6	0.5	1.1
走行 km						
合計 (10億km/年)	72	60 ²⁾	33 ²⁾	85	21	307 ²⁾
1台当り (千km/年)	30.9	15.2	13.3	7.4	6.2	10.3
CO ₂ 排出量						
総排出量 (万t/年)	1305	466	243	472	104	2118
1台当り (t/年)	5.7	1.2	0.9	0.4	0.3	0.7
走行当り (g/km)	181	78	74	55	49	69

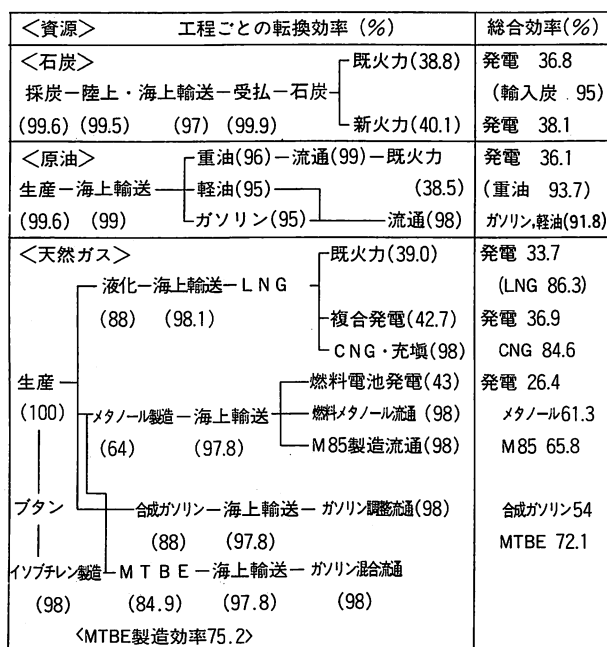
注: ¹⁾ D乗用車347万台は外数。 ²⁾ 燃料消費量で案分。 燃焼CO₂量: ガソリンは632g/ℓ, 軽油は709g/ℓ。
 他の乗用車 (D車 285万t/年, LPG車 134万t/年) のCO₂は外数。
 出典: 自動車輸送統計年報から試算。

3. 代替エネルギーの環境影響評価

3.1 エネルギー利用効率の評価

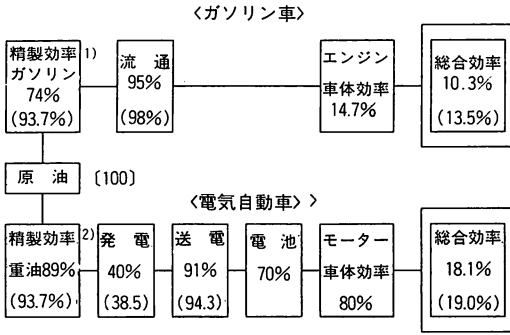
代替エネルギーについては、資源の採掘から輸送、転換などを含めた最終利用形態までのトータルな総合効率の評価が必要である。図-1に、化石燃料の工程ご

との転換効率とその積から求めた総合効率 (総発熱量ベース) を示す。この図から、自動車燃料については、ガソリンおよび軽油の総合効率が約92%と最も高く、CNG (圧縮天然ガス)、メタノール、合成ガソリンの順に低下する。メタノールと合成ガソリンは、転換に多くのエネルギーが消費され、資源の保有するエネ



注: 発電所熱効率 [新火力は松浦, 柳井の実績値。既火力はH3年度計画効率。燃料電池は目標値]
 出典: 文献 3, 天然ガス開発利用促進調査報告書

図-1 化石燃料の総合効率



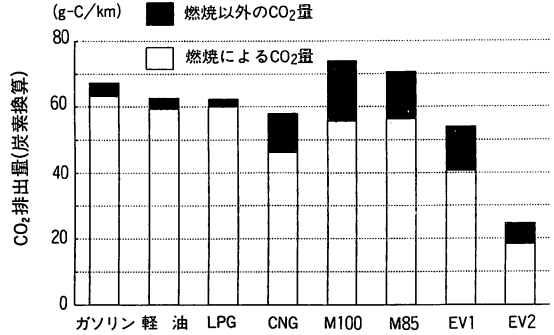
注：（ ）内の数値は図-1の熱効率を用いた結果。
 1) 生産・輸送・精製の効率。 2) 流通を含む。
 出典：SAE PAPER 740171

図-2 電気自動車とガソリン車のエネルギー効率

ギーのそれぞれ約61%および約54%しか最終的に利用できないためである。

自動車用燃料の最終的なエネルギー利用効率について、ガソリン車と電気自動車の例を図-2に示す。図の通り、ガソリン車では、エネルギーの一部が燃焼熱として逃げるために車体効率が悪く、理論的な総合効率は電気自動車よりも悪い。しかし、実際には、走行におけるエネルギー消費率を比較すると、走行状況および積載量によってはその差が小さくなる場合がある。

また、天然ガスおよびメタノールはいずれもオクタン価が高く、既存のガソリンエンジンに容易に利用できる。しかし、エンジンがガソリン用に最適に調整されているために、効率がいずれも多少低い。ただし、専用エンジンではいずれも効率が向上するとされている。また、いずれもセタン価が低く、ディーゼルエンジンに使用する場合には、補助着火装置を加えるなどの改造が必要となる。しかし、ディーゼルエンジンは従来のガソリンエンジンよりも効率が良いとされ、黒煙防止の利点も多く、天然ガスおよびメタノールの利用研究が進められている。



注：ガソリン、LPG車は790kcal/km、その他は711kcal/km、EV1は440Wh/km、EV2は200Wh/km。

図-3 代替エネルギー車からのCO₂排出量

3.2 温室効果ガスの評価

代替エネルギーの温室効果ガスは、その大部分が燃焼によるCO₂である。しかし、資源の生産、輸送、転換などで排出されるCH₄およびCO₂を含めたトータルな評価を行う必要がある。そこで、自動車の走行km当たりのトータルなCO₂排出量を試算した。試算の前提として、エンジンでの燃焼のCO₂量は、表2の真発熱量ベースの排出係数を用いた。また、燃料の製造に係わるトータルなCO₂量（総発熱量ベース）は、すでに報告された数値^{2),3)}を用いて推計した。

図-3の結果から、走行km当たりのCO₂排出量は、燃焼のCO₂量で比較すると、代替エネルギーはいずれもガソリンよりも少ない。しかし、トータルでは、代替エネルギーは燃焼以外のCO₂が比較的多く、CNGと電気はガソリンとの差が縮まる。そして、メタノールは転換工程でのCO₂が多く、トータルではガソリンよりも多くなる。なお、メタノールからのCO₂排出量の方が、ガソリンよりも幾分少ないとの米国の報告がある⁴⁾。これは、フレアーガス、リークメタン、長距離海上輸送、石油製品得率などの前提の違いによるものである。いずれにしても、グローバルな観点からは、

表2 代替エネルギーの燃焼によるCO₂排出量

	炭素 (wt%)	真発熱量 (kcal/kg)	総発熱量 (kcal/kg)	CO ₂ 排出量 (g/10*3kcal)	
				LHVベース(%)	HHVベース(%)
ガソリン	84.8	10,600	11,200	80.0 (100)	75.7 (100)
軽油	85.7	10,300	10,900	83.2 (104)	78.6 (104)
LPG ¹⁾	82.6	10,900	12,000	75.8 (95)	68.8 (91)
CNG ²⁾	76.1	11,800	13,000	64.5 (81)	58.5 (77)
M100	37.5	4,760	5,420	78.8 (98)	69.2 (92)
M85	44.2	5,600	6,200	78.9 (99)	71.3 (94)

注：¹⁾自動車用LPG（プロパン20%、ブタン80%）、²⁾都市ガス

燃焼のみのCO₂ではなく、トータルの評価を行う必要があり、今後、詳細な検討が必要であろう。

他方、わが国の発電所の平均CO₂排出量は90g/kWhで、電源のベストミックスが図られているので、諸外国に比べ比較的少ない。また、将来のわが国の電力供給計画には、原子力およびLNGなどの増加が見込まれている。このため、2010年度は72g/kWhと試算される²⁾。従って、将来は温室効果ガスの排出量が現状よりも低減する可能性があり、電気エネルギーの利用には好ましい状況といえる。

3.3 排気ガスの清浄性評価

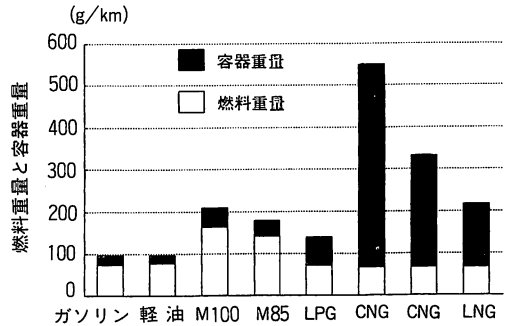
電気自動車の最大の長所は、走行中の排気ガスが全く無いことである。しかし、走行に必要な電力を発電する際に、発電所からは平均するとCO₂が90g/kWh、NO_xおよびSO₂がいずれも0.2g/kWh排出される⁵⁾。このため、電気自動車の走行km当たりの発電所からの排ガス量は、CO₂が約40g/km、NO_xが約0.09g/kmとなる。一方、ガソリン車のCO₂は63g/km、NO_xは0.25g/km（規制値平均値）である。従って、ガソリン車に比べると、電気自動車のCO₂は63%、NO_xは約35%に低減する。また、電気自動車からのSO₂の排出量は約0.09g/kmに相当し、ディーゼル車の約0.31g/kmに対して、約30%に低減する。なお、前提として、電気自動車のエネルギー消費率は440Wh/km、ガソリン車およびディーゼル車は790kcal/kmとした。天然ガスおよびメタノールを燃料とする自動車からのNO_xは少ないとされている。また、これらのディーゼル車からは黒煙が排出されないので、特に大型バスおよびトラックへの利用が期待されている。ただし、メタノールはその化学的特性から、腐食性、低温始動性、低温排ガス特性（未燃のメタノール、ホルムアルデヒド）などに問題があるが、技術的に解決されつつある。

さらに、二種類の燃料を使用する自動車（バイフューエル車、デュアルフューエル車）、およびモーターとエンジンを組合せたハイブリッド車などは、環境保全およびエネルギー源多様化から、大きな効果が得られると期待されている。なお、ハイブリッド車は、車自体でのベストミックスであり、導入効果が期待されている。

4. 代替エネルギーの利便性

代替エネルギーの利便性は、車の一充填走行距離および加速性能で評価できる。従って、車両総重量当たりのエネルギー搭載量および出力のいずれも大きいこ

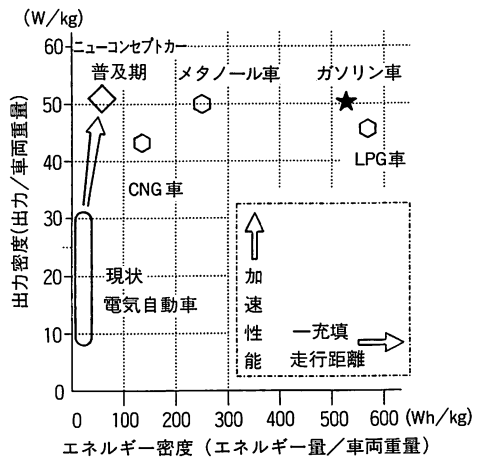
とが好ましい。エネルギー搭載量の比較のために、走行km当たりの燃料と容器の重量を試算し、図-4に示す。図の通り、CNGおよびLNGでは容器重量が大部分を占め、その軽量化が今後の重要な課題である。なお、メタノール系燃料は、発熱量がガソリンの約半分のため、燃料重量が約2倍となる。



注：燃料容器；液体は70ℓ×15kg、LPGは100ℓ×45kg、CNGは50ℓ×60kgと60ℓ×40kg（19.6MPa）、LNGは34ℓ×28kg。走行燃費は全て790kcal/km（HHV）

図-4 走行km当たりの燃料と容器の重量

出力73馬力、車両重量1トンのガソリン車およびその改造車を例にとり、車両重量当たりのエンジン、モーターの出力（出力密度）およびエネルギー搭載量（密度）を図-5に示す。この図から、メタノール車とCNG車は、ガソリン、LPG車に比較してエネルギー密度が小さく、一充填走行距離が短いという不便さがある。また、電気自動車は出力密度が小さく、加速性能が十分とはいえない。しかし、今後、電気自動車が改良さ



注：ガソリン車（73PS、1t）とその改造車。EVはNIRA研究叢書による。

図-5 自動車の出力密度とエネルギー密度

れ、ガソリン車と同様な出力密度が得られるならば、用途によっては車の性能よりも燃料の取扱いおよび充填の容易さで、利便性が評価されることとなる。

電気は、その利便性が最も優れている。しかし、移動する自動車にとっては、燃料タンクの代わりに、大型で重い大容量の蓄電池が必要となる。このため、車内スペースの減少および車体重量の増加によって、輸送効率が低下する場合がある。また、ガソリンを給油するような短時間では、十分な充電が出来ないなどの不便さがある。現在、最適な充電設備および高性能蓄電池の開発が進められている。そして、充電スタンドおよび車庫などでの充電システムが構築されれば、利便性がさらに高まるであろう。

CNG車の燃料は、都市ガス（主成分はメタン）を150～200気圧に昇圧し、自動車に搭載した高圧ポンペに充填して使用する。ポンペの中では、ガスは液体にならないため、十分なエネルギーを蓄えることが出来ない。従って、一充填走行距離が短い欠点がある。今後、充填所が整備されれば不便さが解消されるであろう。なお、充填作業はガソリンの給油と同様、簡単・迅速に行われている。

メタノールは液体燃料のため、その取扱いは便利である。現在はM100（メタノール100%）とM85（メタノール85%とガソリン15%混合）の二種類の燃料が検討されている。いずれも、発熱量がガソリンの約半分のために、燃料の補給回数が増える不便さがある。しかし、液体燃料である利点を活かし、事業者専用および商業用などの給油所が整備されれば、ガソリンと同等な燃料補給が可能となり、不便さが解消されよう。

自動車用のLPGは、プロパン20%とブタン80%程度の混合ガスを常温で加圧液化したものである。給油

は約5気圧程度で、ポンペに液体として充填する。現在、LPGステーションは全国に約1,900軒で、約32万台のLPG車に給油している。今後の代替エネルギー車への給油の利便性を計るための事例として参考となる。なお、ガソリンステーションは全国で約58,600軒である。

5. 代替エネルギーの価格

わが国のエネルギー価格を千kcal当たりの価格および自動車の走行km当たりの価格に換算し、表3に示す。また、ガソリン、軽油およびLPGには種々の税金が賦課されているので、市販価格（税込み）と税抜き価格について比較した。なお、都市ガスおよび電気には充填スタンドの経費が含まれていないなど、概略の比較である（軽油は新税とする）。

表3の通り、走行km当たりの価格は、ガソリンおよび深夜電力を除くと、他のエネルギーはほぼ同じである。ただし、現状の給油所経費（1.5～2円/km相当）を考慮すると、軽油が比較的安い。また、税抜き価格では、軽油、ガソリンおよびLPGが安く、コスト的には石油系燃料が代替燃料よりも安いといえる。

電気は他のエネルギーに比べて高い。しかし、電気自動車の走行エネルギー消費量を仮にガソリン車の48%とすると、走行km当たりの価格は表3の通り、電気が比較的安く、特に深夜電力が安くなる。従って、この安価な深夜電力を利用することによって、電気自動車の経済性が向上すると言われている。

しかし、従来の自動車用燃料には既に構築された配給網があるが、代替エネルギーにはなく、配給網を構築するためには多額な費用が必要となる。また、充填費用が加算され、さらに将来課税されることになれば、

表3 自動車用代替エネルギー価格

	ガソリン	軽油	都市ガス		メタノール	LPG	電気	
	レギュラー		家庭用	業務		自動車用	業務	深夜
市販価格 (税込み)	125 (¥/ℓ)	85 (¥/ℓ)	100 (¥/m ³)	80	43 (¥/ℓ)	65 (¥/ℓ)	17 (¥/kWh)	7
税金(¥/ℓ)	53.8	32.1	—	—	—	9.8	—	—
千kcal当りの価格 (¥/10 * 3 kcal)								
市販価格 (税抜き)	15.8 (9)	10 (6.2)	10 (10)	8 (8)	11 (11)	10 (9)	20 (20)	8 (8)
走行km当りの価格 (¥/km)								
市販価格 (税抜き)	12.5 (7)	7.9 (4.9)	8 (8)	6.5 (6.5)	9 (9)	8.4 (7)	7.5 (7.5)	3 (3)

注：エネルギー消費量を電気自動車は440Wh/km、他の車はガソリン換算0.10ℓ/kmと仮定（LHV）、ガソリン、軽油、LPGは給油所経費を含む。

代替エネルギーの市販価格は現在よりも高くなるであろう。従って、前記の市販価格の比較は現状の目安である。

他方、利用者側の代替エネルギー車に対する経済性評価は、単にエネルギー価格のみではなく、車両価格およびメンテナンス費用を含めた全般的なものと考えられる。特に、代替エネルギー車の車両価格は、現在開発段階のために既存車よりも相当高い。しかし、将来は、量産によるコスト低減が可能とされている。従って、代替エネルギー車を早期に普及させ、量産化による車両価格の低減を図ることが今後の大きな課題となろう。

6. 資源量からの評価

化石燃料の資源量を表4に示す。この表から、石油資源の可採年数は約45年である。他に未発見量および増進回収法（EOR）からの原油があり、それぞれ22年および11年の可採年数に相当する。またオリノコのヘビーオイルおよびカナダのオイルサンドなどの超重質油を加えると、石油は21世紀中葉までは十分利用可能である⁶⁾。他方、天然ガスの可採年数は約61年であるが、表4の通り、石油に匹敵する資源量があり、今後新規発見量の増加が見込まれている。さらに、石炭の埋蔵量は石油の約5倍で、将来のエネルギー資源として期待されている。

ここで、わが国の石油消費分野に占める自動車用燃料の割合を見ると、図-6の通り、約30%である。これは、電力、石油化学、民生および鉱工業がそれぞれ約14~16%に対してはほぼ倍である。このような自動車の石油製品需要に対する供給は、将来、超重質油からの燃料油製造技術を取り入れることにより、資源量的に十分可能であろう。

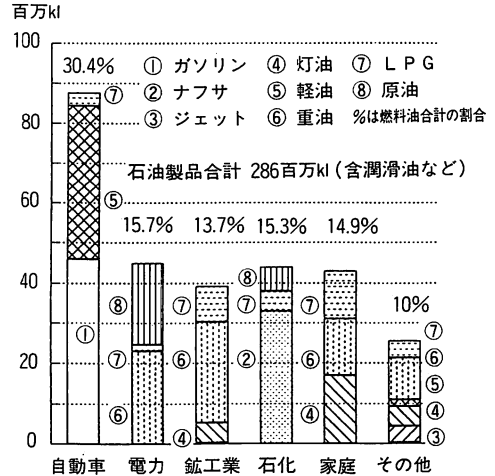
この様に、石油は資源量的には当面制約されること

表4 世界の化石燃料資源量（原油換算）

(億バレル)	原油	超重質油	天然ガス	石炭
生産量*	220	~2	125	244
埋蔵量*	9991	6250	7590	5.3兆
可採年数	45年	-	61年	217年
未発見量	4893	3940	7950	5.3兆
その他	EOR 2535	シェール油 6027	深層ガス ガス水和物	予想追加量 32.5兆
総資源量	1.7兆	1.6兆	1.6兆	43兆

* 生産量は1990年実績、埋蔵量は1991年1月現在。

出典：参考文献⁶⁾



注：その他は航空、農林水産、都市ガスなど。
出典：エネルギー生産需給統計年報から作成

図-6 石油の消費分野とその割合（平成3年度）

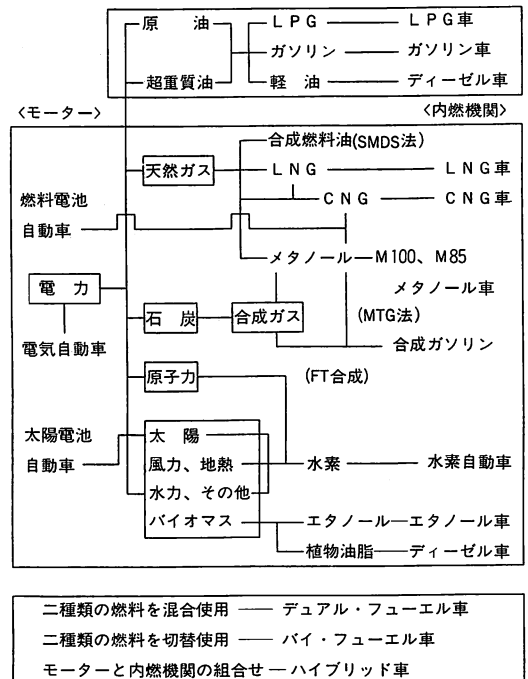


図-7 代替エネルギーの自動車への利用

はないとしても、将来に向けて延命を図ることが必要であろう。この点で、代替エネルギー車は、図-7の通り、単一あるいは複数のエネルギー源を利用できるため、資源の活用および多様化には効果的である。特に、電気自動車は石油、ガス、石炭をはじめ多様な資源の

表5 代替エネルギー所要量

	代替のための年間所要量		わが国の年間需要量 (H2年)
	ガソリン代替	軽油代替	
メタノール	7400万t	6300万t	174万t (世界 1932万t)
CNG	3000万t	2500万t	LNG輸入量 3563万t
電気*	2000億kWh	1700億kWh	電力10社電力量 6589億kWh

注：ガソリン4430万kl，軽油3520万kl，燃料は真発熱量換算。

*電気は自動車の効率を考慮し，ガソリン，軽油の1/2。

活用ができる。また，メタノール車は天然ガスおよび石炭からの合成ガスなどのガスエネルギーを液体として利用できる。さらに，異種の燃料および機関を組み合わせた自動車は，さらに資源の活用および多様化への対応が可能といえる。

7. 代替量のインパクト

ガソリンおよび軽油の全量を代替するための所要量をメタノール，CNGおよび電気について試算し，表5に示す。この表から，例えば，ガソリンの全量を代替するためには，メタノールが年間約7,400万t必要となり，わが国の需要量の約40倍そして世界の約4倍に相当する。またCNGでは，その所要量は年間約3,000万tで，わが国のLNG輸入量に匹敵する量となる。いずれも量的な問題以外に，海上輸送および国内受入れ・配送などに係わるインフラが大きな問題となる。そして，電気では，年間約2,000億kWhとなり，電力需要の約30%に相当する。深夜電力での供給範囲を大きく越え，大型発電所の建設を必要とする量である。また，大量の電池の再生利用が課題となろう。なお，軽油を代替するとなれば，その量はいずれもガソリン

代替量と同じく，相当量となる。

この様に，単一エネルギーで大量の自動車用燃料を代替することは難しく，既存のエネルギーシステムとの調和を図りながら，各種エネルギーのベスト・ミックスを構築する必要がある。

8. おわりに

自動車用代替エネルギーについて概括したが，現状でのそれぞれの特質比較となった。しかし，今後の実用化に向けて，明確な目的を設定し，より具体的な評価を進める必要がある。例えば，グローバルな視点では地球規模でのCO₂排出量削減対策であり，マクロにはわが国の資源状況を踏まえた資源の活用および多様化が主題となろう。他方，ミクロには，走行地域の大气汚染防止である。そして，これらに最適な自動車用代替エネルギーのベストミックスを構築する必要がある。その際には，利用者の利害を含め，用途別，地域別，走行状況別などを検討する必要がある。

今後，代替エネルギー車の開発および充填スタンドの整備などが進み，代替エネルギー車がより適格に評価され，燃料選択の範囲の拡大・多様化が図られることを期待したい。

参考文献

- 1) 森口，近藤，清水；わが国における部門別・起源別CO₂排出量の推計，エネルギー・資源，14巻，第1号（1993）。
- 2) 佐波，温室効果からみた自動車用燃料の比較，第9回エネルギーシステム・経済コンファレンス発表論文集，（1993）。
- 3) 重田，季報エネルギー総合工学，第13巻，第3号（1990）。
- 4) California Energy Commission Paper, March 1989.
- 5) 東京電力，環境行動レポート，1992年12月。
- 6) 佐波，資源量からみた化石燃料の供給量に関する一考察，ペトロテック，第16巻，第6号（1993）。