

## 特集

## クリーン自動車をめざして

## 総説：クリーン自動車をめざして

## Overview on the Development and Implementation of Clean Vehicles

大 聖 泰 弘\*

Yasuhiro Daisho

## 1. クリーン自動車の必要性

わが国の大都市では、種々の対策にもかかわらず、環境基準を越えるNO<sub>2</sub>や浮遊粒子状物質濃度が長年にわたって観測されている。経済活動の拡大による自動車の交通量の増大や、燃費がよい反面NO<sub>x</sub>や微粒子を多く排出するディーゼル車の増加などが、その理由として挙げられている。そこで、平成元年に出された中公審の最終答申に基づき、ディーゼル車に対して短期（平成5年～6年に実施）と長期（一部の車種のみ平成9年からの実施が決定）の目標値が設定され、一層の規制強化が行われることになった。

しかしながら、特に首都圏や阪神地区などの大都市地域では、このような規制のみでは不十分と予想され、一層のNO<sub>x</sub>改善をねらいとして、昨年12月に「自動車から排出される窒素酸化物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」（いわゆる自動車NO<sub>x</sub>法）が施行される運びとなった。同法では、2000年での環境基準の達成を目標に、事業者におけるNO<sub>x</sub>低減効果のある自動車の使用合理化や、より低NO<sub>x</sub>の車両への転換を促進する車種規制とならんで低公害車（クリーン自動車）の普及促進がうたわれている。

一方海外に目を転じると、同じように大気環境の悪化に悩む米国では、1990年、カリフォルニア州において、低公害車（Low Emission Vehicles, 略してLEV, 低排出ガス車とも呼ばれる）プログラムが策定されている。これは、下記のような各ランクに分けられた低公害車の排出ガス基準を設け、段階的により低公害な車両への転換を目指すもので、極めて意欲的な取組みとして注目される。

暫定低公害車（Transitional LEV : TLEV）  
低公害車（LEV）

超低公害車（Ultra-LEV: ULEV）

無公害車（Zero Emission Vehicle : ZEV）  
このうち、ULEVまでの低公害車は技術的に対応可能な見通しが得られているが、ZEVについては、今のところ電気自動車が唯一の候補であり、その実現を困難視する向きもある。具体的には、1998年から一定規模以上のメーカーに対して総生産台数のうち2%についてZEVを製造・販売することを義務付け、段階的にその割合を10%まで引き上げることが要求されており、今後その成否と実効を巡って大いに議論されるものと予想される。

また、1990年、連邦政府により自動車の排出ガス規制の強化を目的に大気浄化法の改正が行われる一方、1992年にはエネルギー政策法が制定され、アルコール、天然ガス、LPG、水素、電気等の代替エネルギーの利用が求められている。

このような内外の状況にあって、本特集では、ガソリン車やディーゼル車等の従来車における一層のクリーン化の可能性を探るとともに、各種の低公害車の現状と将来について展望することをねらいとした。特にこの総説では、これらと比較して、普及のための課題と今後の見通しについて述べることにする。

## 2. クリーン自動車の条件

低公害車は、1970年代前半に起きたオイルショックが契機となり、石油への過度のエネルギー依存に対する反省から、石油代替エネルギー車として欧米各国で登場し、テスト的に利用された経緯がある。したがって、当然ながら排気がクリーンであることが低公害車の第一条件であるが、エネルギーの多様化に資する「石油代替性」も条件に加えてよいであろう。上述した米国の取組みにもこのような二つの条件が含まれていることを指摘しておきたい。

また、一昨年（1997年）の地球環境サミットで合意された地球温暖化防止のため、その要因物質であるCO<sub>2</sub>の排出が

\* 早稲田大学理工学部機械工学科教授  
〒169 東京都新宿区大久保3-4-1

表1 低公害車の条件

条 件	排気清浄性	石油代替性	低CO <sub>2</sub> 性	低燃費性	低騒音性
電 気 自 動 車	◎	○	◎	◎	◎
ハイブリッド自動車	○	—	○	○	○
天然ガス自動車	○	◎	○	□	□
メタノール自動車	○	◎	□	□	□
水 素 自 動 車	◎	△	△	□	□

◎:非常に優れている ○:優れている □:普通 △:劣る

少ないこと、あるいはその効果をもたらす低燃費性も条件として考えられる。さらに、原動機の騒音が少ないことも低公害性に加えたい。現在、このような条件を満たし、開発段階あるいは実用段階にあるものとして、本特集の各論では、表1に示した低公害車を取り上げてそれぞれの現状と将来について解説する。

### 3. 従来車について

#### 3.1 ガソリン車

ガソリン車は未規制時に比べて90%以上のNO<sub>x</sub>低減を求めた昭和53年規制によって、大幅な排気浄化を達成している。この規制への適合の過程では、種々の燃焼方式や後処理システムが開発されたが、現在では、燃料と空気を理論混合比で燃焼させることでNO<sub>x</sub>、CO、炭化水素を同時に低減する三元触媒装置とNO<sub>x</sub>低減効果の大きい排気再循環法とを組み合わせた対策法が最も一般化している。

一方、一昨年に自動車による石油の消費節減の観点から、省エネルギー法が改正され、ガソリン乗用車に対して2000年までに車種平均で8.5%の燃費改善が各メーカーに求められることになった。今後は、走行抵抗の低減や車体の軽量化、動力・駆動系の損失低減とならんで、低燃費指向の燃焼技術であるリーンバーン（希薄燃焼）方式等を対象に技術開発が推進されるものと予想される。リーンバーン方式では、三元触媒に代わってリーンNO<sub>x</sub>還元触媒が必要とされ、その開発を目指して各所で活発に研究が行われている。この燃焼方式とNO<sub>x</sub>還元触媒の組合せにより、三元触媒システム並のNO<sub>x</sub>低減が実現できるか否かが今後の大きな開発課題といえよう。

なお、わが国ではガソリンエンジンをベースに同様の排気対策を施したLPG車がタクシーを中心に約30万台使われている。LPGは石油随伴ガスであるため、輸入に依存しているわが国の場合、石油代替性を期待することはできないが、最近、その低公害性に着目し、

ディーゼル代替車として、小型のLPGトラックやごみ清掃車が開発されている。熱効率はガソリン車と同等で、ディーゼル車には劣るが、燃料費としてはガソリンよりも割安になる。また、既存のLPGスタンドが利用できること、燃料系統や三元触媒システムなどすでに実用化された技術が援用できる点等がメリットといえる。

#### 3.2 ディーゼル車

一方、ディーゼル車は、トラック、バスをはじめ商用車や乗用車にも幅広く利用されており、燃費がよく、CO<sub>2</sub>の排出が少ないことが大きな長所である。最大の課題は今後の規制強化に対応したNO<sub>x</sub>と微粒子の一層の低減であり、対策に当たっては、各種の燃焼技術と後処理技術を活用し、システムとしての耐久・信頼性を配慮して完成度を高めることが必要とされている<sup>1)</sup>。具体的には、①燃料噴射の高圧化と電子制御化、②排気再循環システムの採用、③吸気系や燃焼室形状の改善、④微粒子低減のための酸化触媒やパティキュレートフィルターの実用化など、解決すべき課題が多い<sup>1)</sup>。ディーゼル車のNO<sub>x</sub>に対しては、長期規制によって未規制レベルから7～8割の低減が要求されているが、ガソリンエンジン並の排気浄化は、ディーゼルエンジン固有の燃焼特性に起因して極めて困難とみられる。将来、一層のNO<sub>x</sub>浄化が求められれば、NO<sub>x</sub>還元触媒等の後処理システムが必要となろうが、その実用化には相当の研究の集積を要するものと予想される。したがって、ディーゼル車に対しては、低公害車への代替によるクリーン化が現実的な方策として大いに期待されるところである。

### 4. 各種のクリーンエネルギー

各種クリーン自動車の詳しい説明は後の各論に譲るとして、その重要な条件である石油代替性や使用される燃料・エネルギーの資源性を含めた特徴について以下に述べる。

#### 4.1 電気

電気自動車は、モーターで走るので排気を出さない点でクリーン度が最も高く、米国においてZEVと呼ばれている所以である。もちろんバッテリーへの充電の電源は発電所から供給されるが、わが国では火力発電所の排気対策が十分に行われているので、これを考慮した全体で見ても低公害性が高いといえる。また、わが国の火力発電の割合は約6割であり、相対的に石油依存度が低く、CO<sub>2</sub>の排出も少ないといえる。

なお、最近開発されたモーター・バッテリーとエンジンを組み合わせたハイブリッド車は、モーターによりエンジンの負担を軽減することで燃費と排出ガスの改善効果をねらったものである。

また、太陽電池で走るソーラーカーも電気自動車の一種である。内外でレースが行われ、化石燃料を使わないクリーン性によってシンボルの存在となっている。しかしながら、電気への変換効率が低く、パワーが小さい上、日射がないと使えず、製造コストがまだ極めて高いこと等難点が多く、一般車としての実用性は乏しい。むしろ電気自動車の補充システムとしての利用が現実的であろう。

#### 4.2 天然ガス

天然ガスはメタンを主成分とするクリーンな燃料である。これまではガソリン車の代替燃料として諸外国で利用されてきた例がほとんどで、全世界の保有台数は約100万台と推計されている。約70%が中東以外の地域から分散して産出され、非石油燃料としてエネルギーの多様化と安定供給の点で好ましい燃料とされている。C1個にHが4個の組成であり、CO<sub>2</sub>の排出が3割程少ないという利点もある。その埋蔵量は、熱量換算で石油の埋蔵量の約76%に相当し、しかも可採年数は約60年と見積もられ、石油に比べて10数年長いとされている。

また、近年、メタンと水が結合したメタンハイドレートの存在が深海底や永久凍土層において確認されている。埋蔵地域や量の把握、その採掘方法の開発等の課題はあるものの、将来かなり長期にわたって利用できる可能性もあり注目されている。

天然ガスを200気圧程度の高圧でポンペに詰めた圧縮天然ガス(CNG)が最も一般的な使用形態である。その他に液化したもの(LNG)や吸着貯蔵するやり方があるが、前者は保冷が難しく、後者は重量の増加が難点である。

#### 4.3 メタノール

メタノールは、主に天然ガスから製造されている。現在、ホルマリン等の化学製品の原料として広く使われているが、石油代替性と含酸素燃料としてのクリーン性を備えた燃料であり、最近ではガソリンのオクタン価向上剤であるMTBEの原料としての需要もある。

容積当りの発熱量は石油の約半分ではあるが、液体であるため貯蔵・可搬性に優れている。また、バイオマスや都市ゴミ、廃材などからガス化のプロセスを経てメタノールを合成するテストプラントが最近開発されており、再生可能なエネルギー媒体としての性格も持っている。また、後述するように、将来水素が安く得られるようになれば、これからメタノールを製造し利用することも可能である。

現状では、メタノールの燃料としてのコストが軽油の熱量に換算して2~3割高いが、天然ガスの産出地で製造の規模と効率を上げ、より大型のタンカーで輸送すれば、大幅にコストが低減できるとの予測もある。

なお、バイオマスから得られるエタノールは再生可能な代替燃料であり、排気清浄性もあるが、現状では生産コストが高く自動車用燃料として本格的に利用するには無理がある。

#### 4.4 水素

水素は、燃焼において炭化水素、CO、CO<sub>2</sub>、黒煙を出さない点では極めてクリーンであり、その意味では理想的な燃料といえる。貯蔵法としては、気体として高圧ポンペに充填する方法、低温で液化する方法、メタルハイドライドを用いた金属吸着法がある。しかしながら、現状では、その製造に石油や天然ガスが使

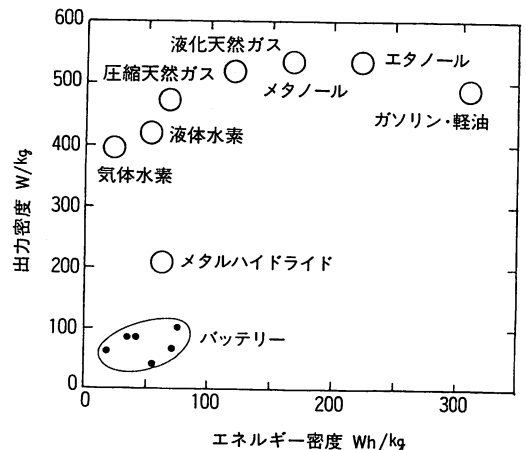


図-1 各種低公害車のエネルギー密度と出力密度

われ、多量のエネルギーを消費するため燃料経済性に乏しい上、結果的にCO<sub>2</sub>を多量に出すことも欠点である。将来、太陽エネルギーや水力、原子力等の電力により水素が安価に得られるようになれば有望な燃料といえよう。

4.5 エネルギー密度と出力密度

各種燃料について述べたが、エネルギーの可搬性とエンジンやモーターから取り出される出力をそれぞれエネルギー密度と出力密度として比較したものを図-1に示す<sup>2)</sup>。やはり、現状では電池は他に比べて極めて重く、さらに高性能の電池の開発が必要であり、気体燃料もエネルギー密度が小さいことが避けられない。したがって、低公害性ととも、取り出せるパワーや一回の燃料充填（あるいは充電）による航続距離の制約にも配慮して、当面はそれぞれの適性に合った分野で利用すること、すなわちある程度の「棲み分け」が必要であろう。

5. 低公害車の普及に向けて

5.1 適性に合った利用分野

各種の低公害車を従来車と比較したものを表2に示したが、上述した「棲み分け」の観点から、利用分野を概略的に示すと図-2のようになる。また、それと同時に、走行範囲と普及台数に見合った燃料供給設備や充電設備を適切な場所に配置することが望まれる。その具体的な取組みとして、通産省の主導により、このような設備を2000年までに2000箇所設置することを目指したエコステーション2000計画が立案されている。

5.2 普及のための施策

自動車NO<sub>x</sub>法に基づく特定地域での低公害車普及目標台数を表3に示した<sup>2)</sup>。このような普及を2000年での環境基準達成のための方策の一つとしており、各自治体での今後の取組みが期待される。その際、普及の初期段階では、適切な行政上の施策を講じることが重要な課題である。すなわち、①車両の購入や燃料供給設備の費用、燃料費等に対する公的助成や税制上

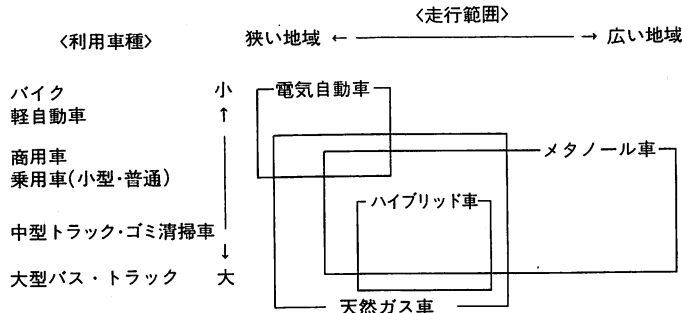


図-2 低公害車の利用分野

表2 従来車と各種低公害車の比較

比較車	NOx	黒煙 (PM)	航続距離*	利用車種 (現在普及台数)	車両価格
従来車					
ガソリン車	○	◎	0.8	乗用車 商用車	1.0
ディーゼル車	△	▲	1.0	トラック バス 商用車	1.0
LPG車	○	◎	0.7	乗用車(タクシー) (30万)	1.1
ディーゼル代替LPG車	○	◎	0.8	小型トラック ゴミ清掃車(数)	1.2
電気自動車	◎	◎	0.2	軽自動車 小型車 (1540)	3~10
ディーゼルハイブリッド車	□	○	1.1	路線バス ゴミ清掃車 (60)	1.5
天然ガス車	○	◎	0.3	小型車 バス (240)	2~3
オットータイプメタノール車	○	◎	0.8	乗用車 商用車 (70)	2~3
ディーゼルタイプメタノール車	○	◎	0.9	トラック バス 商用車 (200)	2~3

◎:非常に優れている ○:優れている □:普通 △:劣る ▲:かなり劣る  
\*:ディーゼル車を1.0として比較(メタノール車は燃料タンク倍増とする)

表3 6都府県における低公害車普及目標<sup>2)</sup>

自治体	目標台数
埼玉県	5万台程度
千葉県	3万3千台程度
東京都	7万5千台程度 (指定低公害車31万台程度)
神奈川県	5万~10万台程度
大阪府	6万台程度
兵庫県	2万台程度

の優遇措置や、②燃料の取扱いや車両の安全性に関わる法制度の整備、③量産効果による車両コストの低減につながる先導的な導入計画の具体化等が必要である。これらについては、すでに検討され、実施に移される事例も増えつつある<sup>2)</sup>。

なお、今年6月、東京都では、メーカーに対して低公害車の指定を受ける制度を設けている。指定車の購入に当たって助成を実施するもので、低公害車の普及促進を意図した具体的な試みとして注目される。

### 5.3 利用者とメーカーの協力

低公害車は、車両としての性能や利便性の点で従来車に比べて多少なりとも劣る面があることはやむを得ない。車種により完成度に差があることも事実であるが、将来性を無視して優劣を付けることは好ましくない。使用過程ではじめて現れるトラブルもあり、走行実績を積み上げながら改善していく努力が必要である。それには、利用者サイドの理解とメーカー側の積極的な技術対応が前提条件となることはいうまでもない。ガソリン車やディーゼル車がかつてそうであり、程度の差こそあれ今もそうであることを想起されたい。

また、表2に示したように、現状では、車両コストが従来車の1.5~3倍することが普及の大きな障害要因となっており、公的助成の負担が過大になっている。量産効果も含め、製造工程でのコスト低減の努力が期待される所である。アンケート調査によると、2割程度の価格増であれば、環境改善のために購入したいとする自治体や事業者が極めて多いことを付け加えておきたい。コストダウンを図りながら、これらの公

的機関や比較的規模の大きいバスや運送事業者から、中小事業者や一般ユーザーへと普及を拡大していくことが望まれる。

## 6. おわりに

今後とも、ガソリン車やディーゼル車は主要な自動車としての地位を保ち続けるであろう。これに対して、代替燃料はガソリントイプ車に使える石油代替性があり、ディーゼルトイプ車では低公害性が発揮されるので、両者を合わせた適正な規模で需要が拡大・維持されれば、燃料の製造と流通に関わるコストの低減につながるものと予想される。従来車に対して環境・エネルギーの両面で補完するものとしてその役割を評価し、普及に努めることが必要であり、このことは社会経済的な観点からも得策と考えられる。

もちろん、低公害車の普及だけでなく、排出ガス規制の強化、車種規制、物流の合理化、交通流の改善・抑制等の施策による効果が奏功してはじめて、都市全体の環境改善が実現することはいうまでもない。

付言すると、低公害車はまたない環境改善のための宣伝カーといえよう。その普及が契機となり、市民生活のなかで環境に優しいライフスタイルが芽生えることを期待したいものである。また、昨年、米国のエネルギー省によってクリーンシティプログラムが提案されている<sup>1)</sup>。特定のモデル市を選び全米で25万台の低公害車を導入し、関連するエコビジネスを創出して市全体のクリーン化とエネルギーの代替を図ろうとするもので、大変興味深い試みとして紹介しておきたい。

### 参考文献

- 1) 自動車排出ガス低減技術に関する第3次報告書、環境庁(1993)
- 2) 低公害車地域普及促進方策検討会・最終報告書環境庁(1994)
- 3) Amann, C. A.; The Passenger Car and the Greenhouse Effect, SAE Paper No. 902099 (1990)
- 4) Mallgrave, F. X.; Clean Cities - A Partnership between Government and Industry, 10th International Symposium on Alcohol Fuels (1993)