

⑭ 低炭素交通社会に向けた新燃料自動車の方向性

—新燃料に適応した自動車用動力システムとその導入分野—

環境研究領域 佐藤由雄

1. 低炭素交通社会に向けて

我が国の交通社会は、大量生産—大量消費による高度経済成長期から今日に至るまで自動車に大きく依存してきたが、エネルギー資源問題、地球温暖化、さらには人口減少、高齢化問題に直面し、鉄道を含めたモーダルシフトを加速させた「低炭素交通社会」に向かう必要がある。

自動車分野では既存自動車の燃費向上をはじめとした低炭素化（CO₂低減）が進められているが、温室効果ガスの排出量を2020年までに25%、2050年までの早い時期に60~80%の削減（1990年比）を目指すとする中長期の目標が決定された場合、これを達成するためには既存車の燃費対策だけでは限界がある。自動車から公共交通輸送への移行（モーダルシフト）を推進し、なおかつCO₂排出量が限りなくゼロに近い自動車の開発と普及を促進する必要がある。

本報告では、環境負荷が小さく、燃料製造、流通、利用段階で発生するCO₂をほぼゼロ（CO₂フリー）とするポテンシャルを有する新燃料について調査した。また、それら新燃料の自動車用動力システムへの適応性と課題について検討し、新燃料自動車の適用範囲について考察した。

2. エネルギー資源と自動車用新燃料

2.1. 石油に代わるエネルギー資源と自動車用新燃料

ピークアウトを迎える石油及び石油ガスに代わるエネルギー資源として、図1に示すように天然ガス、石炭、木質系バイオマス、ゴミ、廃材、ウラン及び自然エネルギー（水力、風力及び太陽光等）が挙げられる。その中で、現時点では天然ガスと石炭は世界的に資源量が豊富で、比較的安定した供給が行える資源である。天然ガスと石炭からはCNG（圧縮天然ガス）、と合成燃料（DME[ジメチルエーテル]、FTD[FT合成による軽油]）及び水素が製造できる。また、火力発電用の資源として電気が得られる。一方、木質系バイオマスや廃棄物（ごみ、廃食用油、農業残渣、廃材等）からはエタノール、BDF（エステル化バイオディーゼル燃料）が製造されるが、ガス化・合成によりDME、FTD、水素の「次世代バイオマス燃料」が得られる。

2.2. 石油代替燃料自動車のCO₂排出量

CNG、合成燃料（DME、FTD）、水素及び電気は石油以外の多様なエネルギー資源から製造できるため、低炭素交通社会に向けては、これらの燃料のうち、CO₂排出量がより少なく、将来的にはCO₂フリーを見通せる燃料に移行していく必要がある。

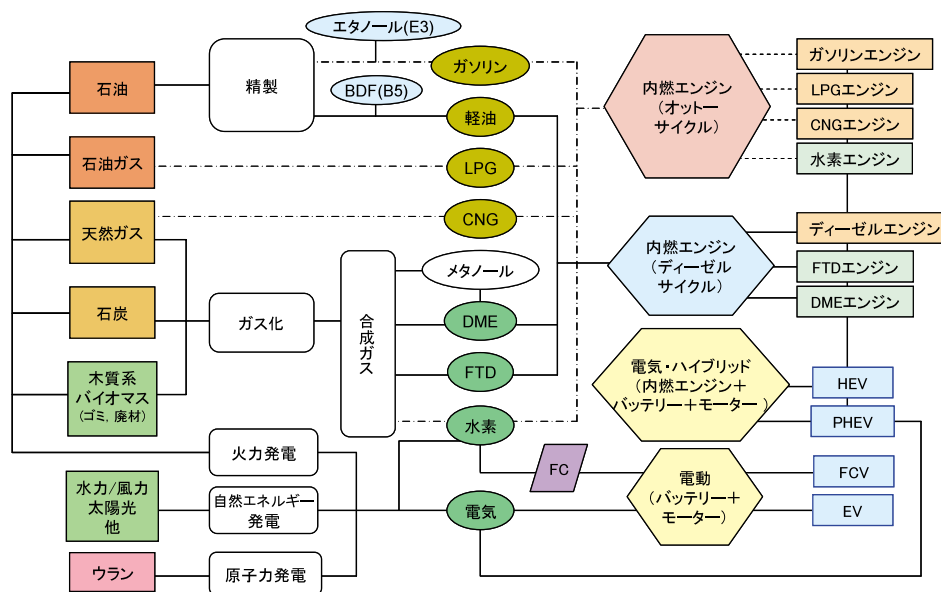


図1 エネルギー資源と自動車用燃料及び動力システム

石油代替燃料自動車の温室効果ガス、GHG 排出量 (WtW, g CO₂ eq/km) と製造、流通、利用段階で使用した全エネルギーの消費効率 (MJ/100km) の関係をまとめた EUCAR/EC/JRC/CONCAWE¹⁾の資料を図2に示す。この結果では、ガソリンのGHG と比べCNGは同等かやや少ない。エタノール (ex セルロース系) では1/4程度である。軽油のGHG に対し、化石資源から製造されるDME (ex 石炭)はほぼ同等、次にDME (ex 天然ガス)、FTD (ex 天然ガス)の順でGHGが多くなり、FTD (ex 石炭)は約2倍まで増加する。非化石資源 (バイオマス)とした場合、現時点ではBDF (エステル化)のGHGは軽油の約半分、エタノール (ex セルロース系)は約1/3である。それに対しDME (ex 木質系)とFTD (ex 木質系)はGHGがほぼゼロのポテンシャルを有している。また、図にはないが、木質系バイオマスと風力 (発電)をエネルギー資源として製造される水素を燃料とする内燃エンジン自動車と燃料電池自動車のGHGもほぼゼロである¹⁾。

一方、全エネルギー消費効率 (以後、効率と称す)は、ガソリンと軽油は長い時間をかけ徐々に改善されてきた経緯があるため最も高い効率を示す。CNGがそれに続くが、エタノール (ex セルロース系)の効率は現時点では極めて低い。軽油の効率と比べ、DME (ex 石炭, ex 天然ガス, ex 木質系)、FTD (ex 天然ガ

ス, ex 石炭, ex 木質系)、BDF (エステル化)の順で高い効率を示す結果となっている。

2.3. 電気自動車のCO₂排出量

国内で供給される電力のおよそ62% (2004年度)は石炭、石油、天然ガスを資源とする火力発電によるものであり、発電部門のCO₂のおよそ5割は石炭火力から排出される。現時点では電気自動車のWtW CO₂排出量は明らかにされていないが、電気自動車がCO₂排出面で圧倒的に優れた存在を示すためには、供給される電力の資源構成のうちバイオマスや自然エネルギーの比率を高めていく必要がある。電気を主な動力源とする鉄道についても同様のことがいえる。

2.4. 脱石油から非化石資源への段階的移行

以上から、自動車をCO₂フリーとする可能性の高い新燃料として、セルロース系エタノール及び木質系バイオマスから製造されるFTD、DME、水素が挙げられる。また、バイオマスや自然エネルギーから製造される電気も同様の可能性を有している。

これらバイオマスや自然エネルギー (非化石資源)から製造される新燃料 (電気を含む)の安定した供給体制を構築するには計画的、長期的な取り組みが必要である。図3に示すように、まずは従来燃料と比べてCO₂排出量がより少ない脱石油資源の燃料を使用し、段階的に非化石資源の燃料へと移行、拡大していくた

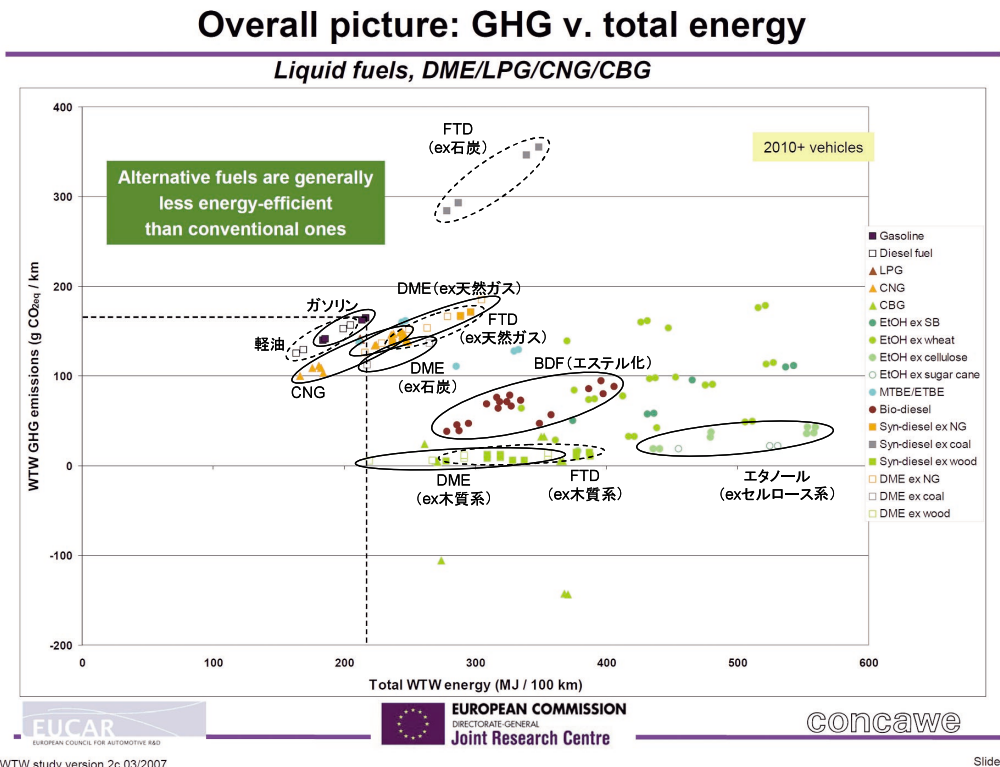


図2 GHG 排出量と全エネルギー消費効率 (WtW ベース)

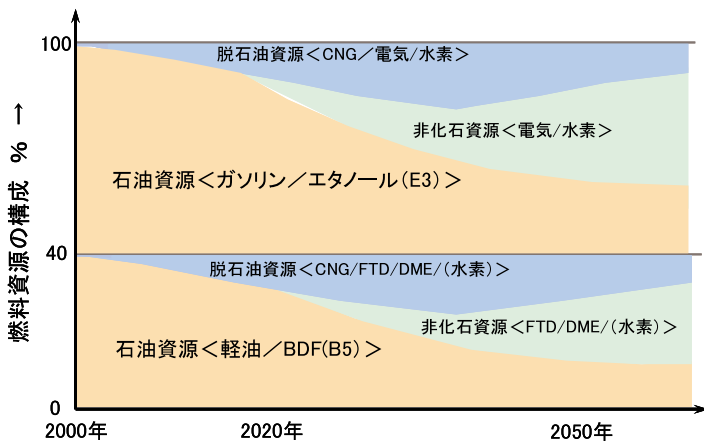


図3 脱石油から非化石資源への段階的移行

めの製造、流通、利用に関わる調査、検討、実証を今から始める必要がある。その際、エタノール、DME、水素は純物質であり電気も規格が定まっているので、資源が脱石油から非化石へと移行（多様化）しても製造、流通及び利用上（動力システムへの適応性など）の変更は比較的少なくスムーズに移行できると考える。FTDは炭化水素化合物であり水素化分解工程により炭素数が異なるため、燃料の規格化が必要となる。

3. 新燃料の動力システムへの適応性と課題

新燃料を適用する自動車の動力システムは、図1に示したように内燃エンジン（オットー/ディーゼルサイクル）、電気（バッテリー+モーター）及びこれらを組み合わせたハイブリッドシステムがある。

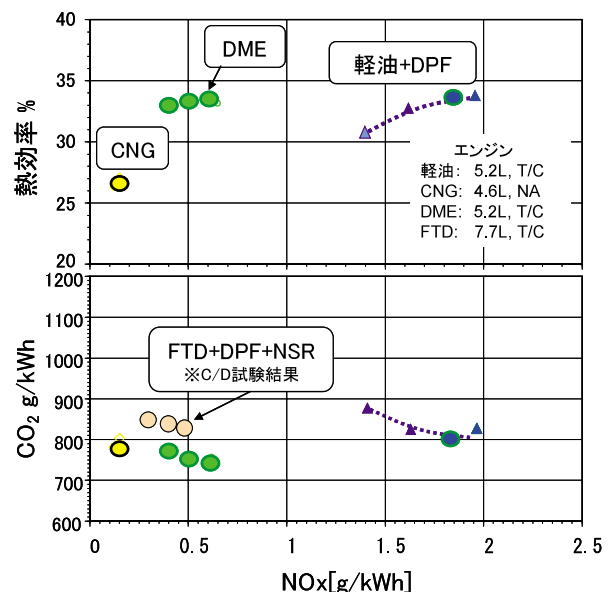
3.1. 内燃エンジンシステム

オットーサイクルに新燃料を用いる場合、エタノールでは車両及び充填所側の燃料供給系の部材対応が必要であるが、大量供給・利用し得る国内の生産システムが構築されていない現状では、当面は低濃度レベル（E3）の利用が適している。また、CNG、水素のガス燃料を用いる場合、既存車並みの航続距離を確保することが難しいため近距離用途あるいはハイブリッド用エンジンとして乗用車やコミュニティバスなどの利用が適している。短中距離走行の商用車用途として水素エンジンを高出力・高効率化し航続距離も確保するため、高圧水素ガスの筒内直接噴射式エンジン+液体水素タンクの研究開発が取り組まれている。

商用車用途としてディーゼルサイクルにFTD、DMEを適用した場合、既存の軽油エンジンと同等の出力、航続距離が得られる。ディーゼルサイクルエン

ジンは今後、一層のクリーン化と低燃費化（CO₂低減）の両立が要求される（NO_xの挑戦目標値[0.23g/kWh]規制と2015年燃費基準の達成）。FTD車ではディーゼル車と同様にPM、NO_x対策が必要となりDPF+NO_x触媒を用い更にFTD専用のエンジン変更を行えば2009年規制（NO_x:0.7g/kWh）に適合できる（図4）。DMEはPMを発生しないためDPFが不要で、しかもエンジン変更やNO_x触媒無しで2009年規制に適合できる（図4）というメリットがある。ただし液化燃料であるため燃料供給噴射系のDME対応が必要である。FTDは軽油との混合使用ができインフラ整備の問題は少ないが、DMEは液化燃料であり軽油用のインフラは使用できないためインフラの整備が課題である。今後、挑戦目標値レベルまで規制が進んだ場合のFTDあるいはDMEによる排出ガス、燃費（CO₂）、実用性、車両価格等のメリットの調査が必要である。

ディーゼルエンジンはDPF、NO_x後処理装置を含めて市販軽油の性状を前提に設計し生産されている。そのため、BDFを高濃度でディーゼルエンジンに適用する場合には、酸化安定性や低温流動性の違いなどにより燃料供給・噴射系、燃焼系、ひいては排出ガスへの悪影響が生じやすくなる。そのため、現時点ではB5の低濃度利用が品質確保法で定められている。植物油、動物油等を水素化処理あるいはガス化/FT処理したバイオ軽油も検討されているが、食物との競合、環境影響（森林破壊、水汚染）、低温流動性が劣るた



※「次世代低公害車プロジェクト」の資料をもとに筆者が作成

図4 CO₂、熱効率及びNO_xの比較(JE05, 重量トラック)

めそのための調整が必要とされるなど製造面と利用面での課題²⁾が残る。

3.2. 電気・ハイブリッドシステム

電気・ハイブリッド動力システムを搭載する自動車はバッテリーの進化が課題である。既存のガソリン車並みの走行時間と航続距離を実現するためにはバッテリーの大容量化、高出力化を進める（EV）か、または内燃エンジンあるいは燃料電池を搭載して車上でのバッテリー充電を行う動力システム（HEV, PHEV, FCV）にする必要がある。現時点のバッテリー性能ではEVとして軽自動車クラスに限定され重量車への適用は難しい。HEV, PHEV 及び FCV は従来のガソリン車の使用範囲内で用途（車両サイズや航続距離）に応じて選択されることになる。

一方、電気・ハイブリッド動力システムではバッテリーの劣化が避けられない。特にバッテリー走行割合の多いEV, PHEV では早期のバッテリー劣化が懸念されるため、耐久性が要求される重量トラックなどへの適用は難しい。適用範囲の拡大にはバッテリーの性能向上とともに劣化を抑制するための劣化メカニズムの解明と劣化対策技術を確立することが重要となる。また、バッテリーの大量廃棄による環境悪化を抑えるための方策（リサイクル等）を確立しておく必要がある。大量普及を想定し、資源制約の少ないバッテリーなどの要素部品の研究開発も進められている。

4. 低炭素交通社会に向けた新燃料自動車の導入分野

以上の調査検討をもとに、低炭素交通社会の実現に向け、2020年頃から2050年頃にかけて導入が期待される新燃料自動車（EV, HEV, PHEV, FCV, エタノール, BDF, FTD, DME, 水素）の適用範囲について考察した結果を図5に示す。

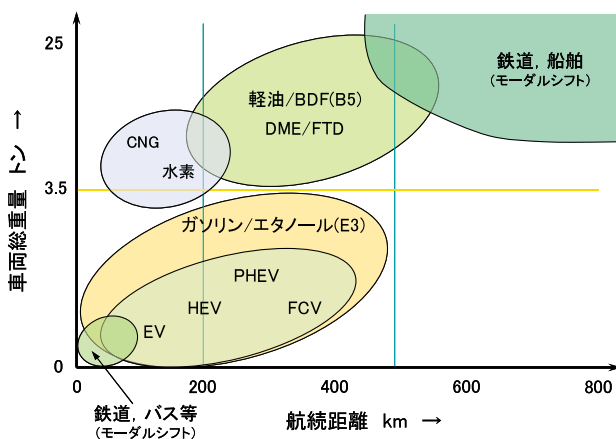


図5 低炭素交通社会に向けた新燃料自動車の導入分野

車両総重量が3.5トン以下の、主として乗用車や軽トラック、コミュニティバスなどの都市内及び近郊の短中距離用途にはガソリン/エタノール（E3）車でカバーできるが、用途に応じてEV, HEV, PHEV 及び FCV の展開が進むと考える。走行距離が200km程度以上ではHEV, PHEV 及び FCV のハイブリッド車が適している。移動距離が50km程度以下の都市内の移動手段等には自転車、オートバイの利用や自動車から鉄道（路面電車、LRT等）やバスなどへのモーダルシフトを一層促進する必要がある。

物流や公共輸送を担う車両総重量が3.5トン以上の商用車では、依然として内燃エンジン自動車が重要な役割を果たす。輸送距離が200km前後の短距離走行であれば当面はCNG自動車、長期的には水素エンジン自動車の展開が必要となる。300～500kmの中長距離輸送には、ディーゼル車と同等の出力、航続距離が確保できる軽油/BDF（B5）自動車を使用できるが、中長期的にはDME車、FTD車が展開される。500km程度以上の長距離の旅客、貨物輸送は、地球温暖化対策、環境対策に加え安全輸送やドライバーの負担軽減等の観点からも、自動車から鉄道、船舶輸送へのモーダルシフトを一層推進していかなければならない。

以上、低炭素交通社会の実現に向け、新燃料自動車の向かうべき方向性について述べてきたが、エネルギー資源、地球温暖化問題とは、現在の人間活動としての大量生産—大量流通—大量消費（多消費型の経済システム）と、それを通じて形成されている人間社会に因ることから、それらを変革すること無くして解決することができない問題であることを付言しておきたい。

参考文献

- 1) Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, A joint study by EUCAR / JRC / CONCAWE Overview of Results, JEC WTW study version 2c 03/2007, http://www.best-europe.org/upload/BEST_documents/environment/ies_jrc_concave_wtw_ppt_march2007.pdf#search='JEC%20WTW%20study'
- 2) トヨタのバイオ燃料への展望, 阪田一郎, BioFuels World 2009 Conference & Expo, 基調講演資料, 2009年7月24日