

## 自動車の環境・エネルギー技術に関わる将来展望

大聖泰弘\*

自動車の環境・エネルギーに関わる中長期的な技術について展望する。今後、ガソリン車やディーゼル車については、大幅な排気浄化を達成した上で、石油の消費削減や地球温暖化の抑制により重点を置いた研究開発が進められよう。具体的には、エンジンの燃費改善、車両の軽量化等を進めると同時に、電動化やバイオ燃料の活用、さらには自動車利用の見直しや高度化を進めれば、運輸部門は2030年では50%、2050年には70%のCO<sub>2</sub>削減が可能となろう。

### Perspectives on Future Motor Vehicle Technologies Associated with Environment and Energy

Yasuhiro DAISHO\*

This paper surveys the author's prospects for environment and energy-related motor vehicle technologies over the middle and long term. Once the proposed stringent vehicle emissions regulations have been attained, research and development for gasoline and diesel vehicles is likely to focus on reducing oil consumption and restraining global warming. Specifically, more efforts should be made to improve power system efficiency and reduce vehicle weight together with a shift toward electrification and biofuels. In addition, advanced intelligent transport systems would help us use the vehicle in more efficient and safer ways. These efforts would make it possible to reduce CO<sub>2</sub> in the transportation sector by 50% by 2030 and by 70% by 2050.

#### 1. はじめに

自動車は、人の移動や物資輸送の両面でわれわれの生活に利便性と豊かさをもたらすとともに、その関連産業は絶えず最新技術を開発・実用化しながら大きな規模を形成するに至っている。その一方で、石油を大量に消費し、都市の大気汚染成分や温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の主要な排出源とされている。このような状況にあって、先進国では、2010年前後に乗用車から重量車にわたる最終的な排出ガス規制の強化が実施される予定であり、これによって大気環

境問題は克服されるものと予想される<sup>1)</sup>。

おりしも、本年度から京都議定書の目標達成に向けた5年間の取り組みが開始されている。現在、わが国では、石油製品の約4割が自動車用燃料として利用され、輸送部門で排出されるCO<sub>2</sub>の全体の2割を占め、そのうちの9割近くが自動車から排出されているのが実情であり、その対策が喫緊の課題とされている。さらに中長期的には、モータリゼーションの進展が著しい新興国も含めて、温暖化の抑制と石油の消費削減に向けた一層の燃費改善技術の開発や燃料・エネルギーの多様化が必要とされている。このような課題に対しては以下に示す三つのアプローチが重要と考えられる。すなわち、

ガソリン車やディーゼル車における一層の燃費改善技術の開発

\* 早稲田大学大学院創造理工学研究科教授  
Professor, Dept. of Modern Mechanical Engineering,  
Graduate School of Science and Engineering, Waseda University  
原稿受理 2008年7月14日

従来車の性能を超える新たな動力システムや燃料・エネルギーの利用技術の開発  
自動車利用のあり方の見直しと高度化  
そこで、本稿ではこれらの視点から、京都議定書

上述の超低排出レベルの達成が難しく、コスト高も手伝って、残念ながら採用が見送られているのが現状であるが、わが国のメーカーが先導する技術として今後の再登場が強く望まれる技術である。

の目標を超えて、2030年から2050年にわたる自動車の環境・エネルギーの課題とその解決策について私見を交えて展望してみたい。

2. 従来車の改善

2-1 ガソリン車の燃費改善

ガソリン乗用車では、先進国共通の技術として、一段と精緻化した電子制御燃料噴射システムと三元触媒システムの組合せによって、NO<sub>x</sub>、炭化水素(HC)、COの3成分の低減が冷始動や暖機時での対策も含めてさらに大きく進展している。わが国では税制優遇も奏功し、HCとNO<sub>x</sub>の規制値に対して1/4レベルの超低排出ガス車が一般化しつつある。

今後、ガソリン車にとって燃費改善がより重要な課題となる。わが国では2010年度の燃費基準<sup>2)</sup>についてはすでに前倒し達成され、2004年度比で23.5%の燃費改善を求める2015年度の基準が提示されている<sup>3)</sup>。その対応技術としては、Table 1に示すように、吸排気弁等の可変機構の利用、直接噴射を含む燃料供給系制御の精緻化、変速システムの高効率化、過給システムによるエンジンのダウンサイジング、気筒休止、各部の摩擦や補機類損失の低減等があり、これらを効果的に複合化する必要がある。ちなみに、石油ショックを契機に制定された燃費基準の経緯を振り返ってみると、10年ごとに十数%から二十数%の燃費改善が達成されており、2015年以降さらに二十数%の改善に向けて漸近し、飽和域に達するものと予想される。

リーンバーン直接噴射方式は有力な燃費改善技術であるが、高い浄化率のNO<sub>x</sub>還元触媒が必要とされ、その性能維持のため石油業界の自主的な取り組みによって2005年から10ppm以下の低硫黄ガソリンが市場に導入されている。しかしながら、

Table 1 自動車の燃費改善技術

対象		技術	
エンジン	新方式	直噴ガソリン(G) ミラーサイクル	ハイブリッド化 リーンバーン(G)
	制御	アイドルストップ 空燃比、点火時期制御の高精度化(G)	減速時燃料カット
	機構	4弁化 可変弁機構(VVT等)による 可変気筒機構	可変ターボ過給 可変圧縮比 エンジンの小型化
	摩擦低減	潤滑特性の改善	運動部の軽量化
駆動・伝達系	ATの改善	無段変速機(CTV) ATの電子制御化	自動化MT ATの多段化
車体	軽量化(樹脂、軽金属、超高張力鋼の利用) 空気抵抗低減(高速時) 低転がり抵抗タイヤ		
その他	補機類の高効率化 廃熱の利用		

注) 燃費改善率 : 10%以上、 : 5~10%、 : 5%以下。  
G : ガソリン車、D : ディーゼル車。

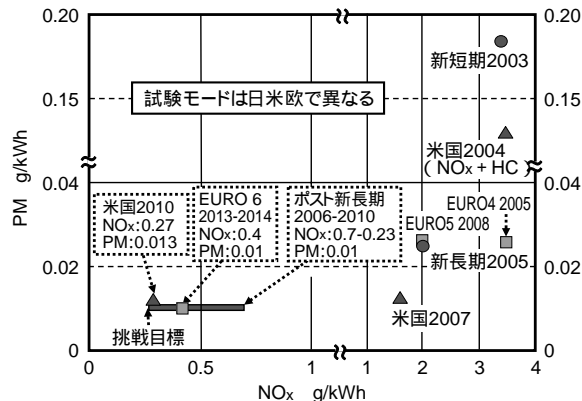


Fig.1 日米欧におけるディーゼル重量車のNO<sub>x</sub>とPMの規制

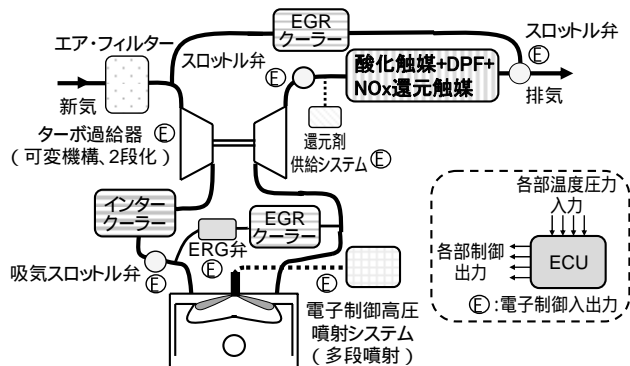


Fig.2 今後のディーゼル車の排出ガス対策の代表例

## 2-2 ディーゼル車の排出ガス対策と新たな燃焼方式<sup>4)</sup>

ディーゼルエンジンは燃費がよく、高出力、耐久性が要求されるトラック・バスにとって今後とも主要な原動機であり、ガソリンエンジンに比べて熱効率率が2～3割よくCO<sub>2</sub>の排出抑制に有効である。その反面、不均一な噴霧燃焼に起因して同時に排出されるNO<sub>x</sub>と黒煙・粒子状物質(PM)に対しては、2009年以降はガソリン車並のクリーン化が求められている。Fig.1に日米欧におけるディーゼル重量車の排出ガス規制の動向を示したが、これらは当面の究極的な目標であり、2015年以降には排出ガスの試験法や規制値の国際調和が図られ、大気環境への影響は克服されるものと予想される。

Fig.2に示すように、NO<sub>x</sub>対策として排気再循環(EGR)や噴射時期制御、燃費とPMの改善策として、可変ターボ過給システムや柔軟な電子制御が可能なコモンレール式の高圧噴射システムが活用される。また、排気後処理技術のうち、健康影響への懸念やEUで始まる粒子数規制への対応からディーゼルパーティキュレートフィルター(DPF)が不可欠である。さらに尿素SCR(選択還元触媒)あるいは吸蔵型NO<sub>x</sub>還元触媒の併用が必要となり、燃焼技術との役割分担や信頼耐久性の確保、システム全体のコスト抑制等の課題を克服する必要がある。

最近、予混合圧縮着火方式が注目され、きわめて希薄な混合気による低温着火燃焼を行わせて、NO<sub>x</sub>とPMの生成領域を避け、かつ燃費を維持しながら排気後処理の負担を大幅に軽減することがねらいとされている。その実現には、多段噴射方式が有用であるが、着火の制御が難しい上、高負荷条件ではきわめて急激な燃焼となるため、現状では部分負荷条件に限って一部で実用化されている。運転範囲の拡大とその制御方法の開発や詳細な現象の解明も今後の

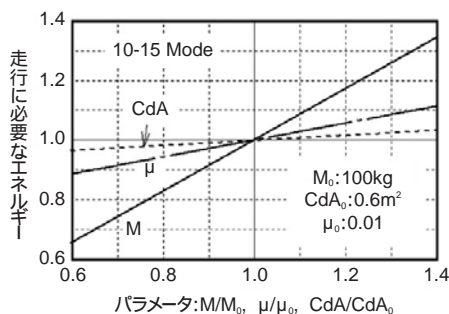


Fig.3 走行抵抗パラメータと走行エネルギー

の課題といえる。

この燃焼方式は、ガソリンエンジンでも、低速・低負荷での燃費改善と排気浄化をねらいとして実用化の可能性が追究され、混合気の成層化と火花点火を併用する方式も検討されており、ディーゼル乗用車の燃費に近づく可能性もある。

なお、EUでは、高性能化されたディーゼル乗用車が乗用車全体の約5割を占める状況にある一方、わが国ではスモークや騒音等の問題で敬遠され、市場から姿を消しているのが実情である。日米の次期規制適合車の市場投入を準備しているわが国のメーカーもあり、石油精製における製品バランスとCO<sub>2</sub>抑制の観点からも、登場が期待される場所である。それには高い浄化性能のNO<sub>x</sub>還元触媒の開発とシステム全体のコストダウンが鍵になる<sup>6)</sup>。

## 2-3 車両技術

軽量車を基準に車両重量、転がり抵抗、空気抵抗を無次元化し、これらが10-15試験モードの走行に必要なエネルギーに及ぼす影響について筆者が数値予測した例をFig.3に示す。この図から明らかのように、3者のうち車両の軽量化の燃費改善効果はきわめて大きく、これによって動力システムが小型化され、排気浄化の負担も軽減される効果がある。軽量化は、乗用車のみならず商用車でも積載量が増えるメリットがある。最近、鉄鋼メーカー33社によって国際的に取り組まれたULSAB-AVCの成果に見られるように、強度を従来比で2倍から3倍向上させた超高張力鋼によって安全性を確保しながら車重を20～30%減らして20数%の燃費向上が可能なことが実証されている<sup>5)</sup>。わが国の鉄鋼メーカーはこの分野で先行しており、部分的な採用が始まっているが、加工性やコスト、生産のグローバル化への対応等の課題を克服して一層の軽量化が進展することが望まれる。車両同士の衝突時のコンパティビリティ性も課題であろうが、軽金属やプラスチックの利用も含めて、衝突安全性や事故の未然防止を目指した先進的な安全技術の研究開発を促す動機づけにもなることを強調しておきたい。

## 3. 新たな動力システムと新燃料・エネルギーの利用

### 3-1 ハイブリッド車と電気自動車<sup>7)</sup>

かつて1990年代、米国カリフォルニア州に端を発するゼロエミッションビークル(ZEV)プログラムによって、電気自動車の開発ブームが起きたが、パ

バッテリーの性能や価格高の問題から消費者に受け容れられることなく今日に至っている。

最近、それに代わるものとしてバッテリー容量を大幅に減らした小型や超小型の電気自動車や燃費性能の向上をねらったハイブリッド自動車、燃料電池自動車等が登場することになった。これによって、Fig.4に示すような要素技術の研究開発が大きく進展することとなった。バッテリーに関しては、リチウムイオンバッテリーがエネルギー密度とパワー密度の両面で優れており、一層の高効率化と低コスト化が普及の決め手となる<sup>8)</sup>。

乗用車の大幅な燃費改善の技術としてはハイブリッド化が最も有力である<sup>9)</sup>。モーターによりエンジンの始動・停止、減速時の回生制動を行うマイクロ型、それに加えてパワーアシストを行うマイルド型(パラレル型)、さらにモーターと発電機を備えたフルハイブリッド(エンジンを発電のみに使うシリーズ型とパラレル・シリーズの両機能を持つデュアル型がある)に至るシステムがあり、燃費はこの順に改善される。ガソリンハイブリッド車は燃費が最大で倍近くにになり、ディーゼル車の燃費を超えるので、それをさらに上回るにはディーゼル車のハイブリッド化が決め手となるが、ディーゼル乗用車ではコスト増加が過大となり、実用化は容易ではないと予想される。なお、ディーゼルトラックの平行ハイブリッド車が登場しており、20%から30%の燃費改善を可能にしている。

小型電気自動車は現在の電源構成を考慮してWell-To-Wheel(一次資源・エネルギーの採掘からそれをもとにした燃料の生産、輸送、貯蔵、自動車の駆動にわたる総合特性)でのエネルギー効率とCO<sub>2</sub>排出量の両面で他の車種と比べてきわめて優位である。このことは、わが国における水素・燃料電池実証プロジェクトにおいて、各種の自動車の現時点でのWell-to-Wheelのエネルギー効率(Fig.5に示す)とCO<sub>2</sub>排出量を比較評価した結果からも明らかであろう<sup>10)</sup>。

なお、最近プラグインハイブリッド車と呼ばれる車種も実用化され始めている。外部電源とエンジンの発電によって充電して電動走行モードを兼ね備えたもので、その低CO<sub>2</sub>特性と外部充電コストが低いことを生かすとともに、ハイブリッドモードでの長距離走行を可能にしている。

3 - 2 新燃料・エネルギーの利用

ガソリンや軽油の使用量を補完する新たな燃料や

エネルギーの利用を進めることも、石油の消費削減やエネルギーの多様化、温暖化対策等の面で重要な取り組みである。その候補としては、Fig.6に示すような選択肢が挙げられる。上に述べた電気自動車の電気や燃料電池の水素もこれに含まれる。

再生可能な燃料としてバイオマスを原料としたバイオエタノールやバイオディーゼルがある<sup>11,12)</sup>。わが国では、使用過程車でも使える濃度としてそれぞれガソリンに3%、軽油に5%混ぜることが品質確保法により許容されている。バイオエタノールはサトウキビやトウモロコシその他の糖類やデンプン質、さらにはセルロース系の原料から種々の過程を経て発酵により製造される。バイオディーゼルは植物油やその廃油等をメチルエステル化したもので、燃焼特性が軽油と類似しているが、混合濃度が高くなると、PMが増加する場合がありますエンジンの再調整を含めた対策が必要である。

従来燃料と任意の割合で混合して使える利便性の一方で、最近食糧との競合が問題視され、それを回避すべきとする国際的な動向もあり、バイオエタノールでは、セルロース系の農業廃棄物、建築廃材、間伐材、草類等を利用する技術の開発が急がれている

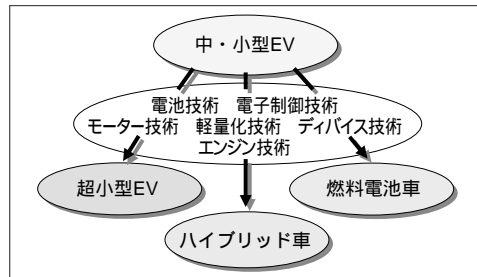


Fig.4 今度の電気自動車の発展

車両種類	1km走行当たり一次エネルギー投入量(10・15モード) 単位: MJ/km			
	0	1	2	3
FCV現状	[Bar chart showing energy consumption]			
FCV将来	[Bar chart showing energy consumption]			
ガソリン	[Bar chart showing energy consumption]			
ガソリンHV	[Bar chart showing energy consumption]			
ディーゼル	[Bar chart showing energy consumption]			
ディーゼルHV	[Bar chart showing energy consumption]			
CNG	[Bar chart showing energy consumption]			
BEV(Battery EV)	[Bar chart showing energy consumption]			

注) FCV現状: 「水素ステーション」「FCV」データはJHFC実証結果トップ値、その他データは文献トップ値により算出。FCV将来: FCVの将来FCシステム効率60%と文献トップ値により算出。電力構成: 日本の平均電源構成。

資料) JHFC、2006年3月。

Fig.5 各種自動車の走行距離当たりのエネルギー投入量(総合効率)の比較

る。また、これらを高温でガス化してFischer-Tropsch法により軽油に近い炭化水素成分を合成する方法もある。BTL( Biomass-to-Liquid ) と呼ばれ、天然ガスや石炭からの燃料合成法に使われている技術である。

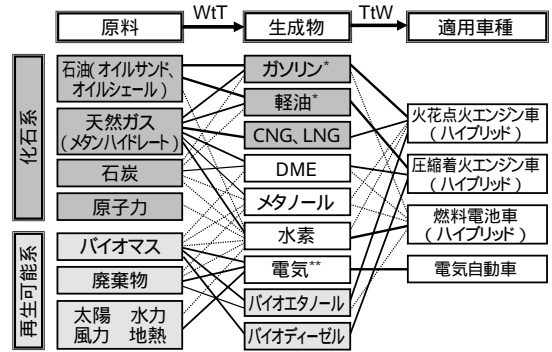
いずれにしても、国内におけるバイオマス資源量はそれほど豊富ではなく、利用は限定的にならざるを得ないのが現状である。当面、地域で生産してそこで消費するいわゆる地産地消の取り組みが中心となろうが、その一方で、これらの新たな燃料製造法の開発を通じて対外的に貢献しうる可能性に期待したい。

水素を燃料とする燃料電池自動車について付言しておく、水素の製造を石油や天然ガス、石炭等の化石燃料に依存する限り、CO<sub>2</sub>の削減効果は大きくないのが現状である。究極的には、石油への依存を脱却してCO<sub>2</sub>の排出を大幅に削減する資源をもとにした水素の供給を実現しなければならない。そのような条件が整えば、普及の可能性があるが、水素の貯蔵や供給、車載性、利便性ととも、燃料電池スタック自体の性能、信頼耐久性、コスト低減等についてもまだ克服すべき点が多く、国の支援を得て継続的に研究開発を行うことが必要な状況にある。

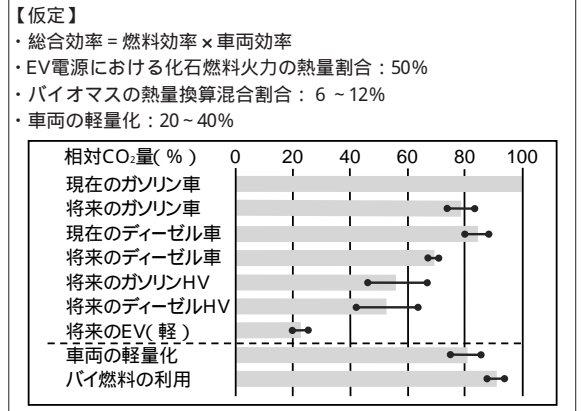
#### 4. 中長期的な燃料・エネルギーの多様化とCO<sub>2</sub>削減

ガソリン車とディーゼル車は、前述した最終的な排出ガス規制に適合した上で、燃費向上技術の発展・進化を続け、今後少なくとも20数年は主要な地位を保ち続けるものと予想される。それらの進展には、燃料性状の改善を前提に、燃焼技術と後処理技術に関わる要素技術の組合せの複合・最適化が不可欠である。

また、このような分野では、数値シミュレーション技術の高度化の必要性を強調しておきたい。エンジンシステムの研究では、数値流体コードに詳細な燃焼反応を組み込んだ数値モデルによって、燃焼現象や排出ガスの発生・浄化機構を理解するための一助とし、さらには、新たなエンジンシステムの設計や制御の最適化のためのツールとしての発展を目指すべきである。これによって多様化する機種に対応した開発の時間と労力、ひいては大幅なコスト削減が可能となり、製造工程も含めた包括的なCAEへの発展も可能となろう。



注) \*: 合成 (GTL, CTL, BTL)、 \*\*: 化石系による発電。  
Fig.6 自動車用将来燃料・エネルギーの生成ルート



資料) 現在のガソリン車基準、将来 : 2020 ~ 2030年、大聖。  
Fig.7 将来の各種乗用車のCO<sub>2</sub>の排出量比較

最後に、自動車から排出されるCO<sub>2</sub>の削減に関する筆者の将来予測を紹介しておきたい。まず、従来技術に加えて、ハイブリッド化、車両の軽量化、バイオ燃料等の利用等による将来のCO<sub>2</sub>削減を予測した結果をFig.7に示す。図中、印は現状、印は動力システムによって削減されるケース、印はその他の技術による削減ケースを示し、横バーは技術の相違による大まかな効果の幅を表す。さらに、これらのエンジンや車両、新燃料の技術に加えて、今後の一層の進展が期待される情報通信技術を活用した高度道路交通システム(ITS)の普及を前提として、各種の自動車の利用の見直しや高度化を含めた下記のような対策を講じることが不可欠である。

- ・ 交通流の円滑化と適切な交通量の抑制 ( 交通需要マネジメントの運用 : 公共交通機関の併用、カーシェアリング、パークアンドライド、ロードプライシング等 )
- ・ 貨物輸送の合理化と積載効率の向上
- ・ 鉄道輸送等への転換 ( モーダルシフト )

- ・低公害車の導入と普及拡大の施策（自動車税制のグリーン化等）
- ・自動車に依存した商習慣や生活様式の見直し（エコドライブの推進等）
- ・環境に配慮した長期的な都市・道路計画

これらを総合的に推進すれば、Fig.8に示すように、CO<sub>2</sub>の削減ポテンシャルとして、2030年で50%、2050年で70%程度可能になるものと予想される。さらに、今後の研究開発や政策の重要度の将来トレンドをFig.9に示す。図のようにモータリゼーションが急激に進展している新興国では、大気汚染の改善対策や温暖化対策の取組みは遅れざるを得ない一方、燃料の需要拡大に対応した脱石油の取り組みがより重要な課題となりつつある。わが国を含め先進国が開発した先進技術については、これらの新興国に対する積極的な導入が大いに期待される。

因みにわが国の自動車が排出するCO<sub>2</sub>は世界全体の約1%であり、これをさらに抑制する努力は必要であろうが、先進技術の広範な普及によってもたらされる地域の大气環境の改善や地球規模の環境・資源に関わる課題の解決に対する貢献はそれをはるかに上回るとは論を俟たないであろう。

参考文献

- 1) 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について（中央環境審議会 二～八次答申）1997～2005年
- 2) 2010年度乗用車等の燃費基準、<http://www.meti.go.jp/feedback/data/iscar00j.html>
- 3) 2015年度乗用車等の新しい燃費基準の最終取りまとめ、[http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/09/090202\\_2\\_.html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/09/090202_2_.html)
- 4) 大聖泰弘「今後のディーゼル車の排気浄化技術に関する動向」『No.19-06シンポジウム“ディーゼルクリーン化を目指す最新後処理・燃焼技術”』自動車技術会、2007年1月
- 5) ULSAB-AVCの取組み、<http://www.jfe-holdings.co.jp/release/nkk/0201/0131.html>
- 6) 『クリーンディーゼル乗用車の普及・将来見通しに関する検討会報告書』経産省、2005年、<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g50418b01j.pdf>

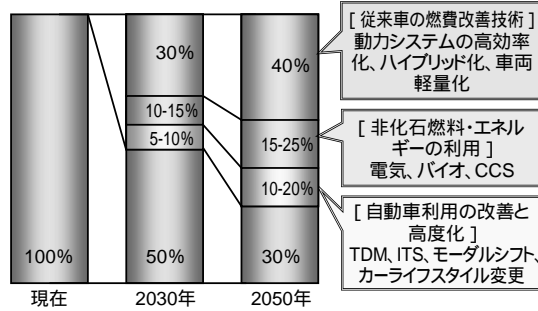


Fig.8 長期的な自動車CO<sub>2</sub>排出量の削減予測（大聖）

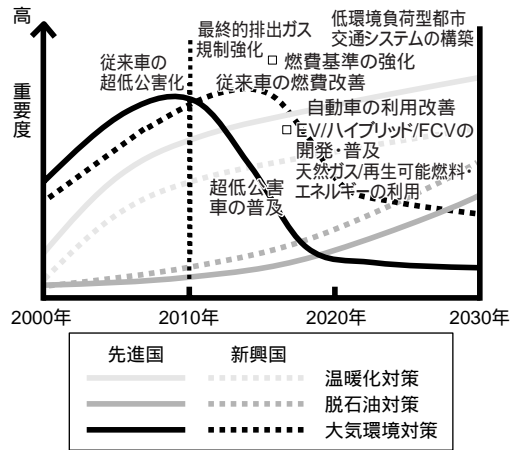


Fig.9 今後の自動車と燃料に関わる政策と研究開発の重要度

- 7) 逢坂、大聖他『電気自動車ハンドブック』丸善、2001年
- 8) 『次世代自動車用電池の将来に向けた提言』経産省、2006年
- 9) 木原、大聖『高性能ハイブリッド自動車の研究』山海堂、2005年
- 10) 水素・燃料電池実証プロジェクト、2002年～、<http://www.jhfc.jp/j/index.html>
- 11) 『輸送エコ燃料の普及拡大について（エコ燃料利用推進会議）』環境省、2006年、[http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf\\_ecofuel/](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/)
- 12) 大聖他『バイオエタノール最前線』（改訂版）工業調査会、2008年