

総括

Summary

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*

Prospects on Future Motor Vehicle Technologies Associated with Environment and Energy

Yasuhiro Daisho

Synopsis

Prospects are described on environment and energy-related motor vehicle technologies over the middle and long terms. Once the proposed stringent vehicle emissions regulations have been attained, research and development for gasoline and diesel vehicles will have to focus on reductions in oil consumption and global warming mitigation. Specifically, more efforts should be made to improve power system efficiency and reduce vehicle weight together with a shift toward electrification and biofuels. Moreover, advanced intelligent transport systems would help us use the vehicle in more efficient and safer ways. These efforts would make it possible to reduce CO₂ emissions in the transportation sector by 50 % in 2030 and by 70 % in 2050.

1. はじめに

自動車は、人の移動や物資輸送のための不可欠な手段として、われわれの生活に利便性と豊かさをもたらしてきた。また、その関連産業は絶えず新たな技術を開発・実用化しながら大きな産業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、都市の大気汚染物や温室効果ガスである CO₂ 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おおむね克服されるものと予想される¹⁾。

折しも、本年度から京都議定書の目標達成に向けた 5 年間の取組が開始されている。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使われ、輸送部門で排出される CO₂ 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る。さらには、モータリゼーションの進展が著しい新興国も含めて石油の需要が大きく伸びている状況にあって、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。

そこで、本稿ではこれらの視点から、京都議定書の目標を超えて、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方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、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_x、炭化水素 (HC)、CO の 3 成分は、冷始動や暖機時における対策も含めてさらに大きく進展している。わが国では自動車のグリーン税制も奏功し、NO_x と HC 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り、大気環境への影響は大幅に抑制されている。

今後は、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²⁾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³⁾。その対応技術としては、Table 1に示すように、吸排気弁系などの可変機構の利用、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などがある。これらを効果的に組み合わせる必要があり、その際、エンジンの運動部品を含めた燃焼システムに対しては、軽量化、高剛性、耐熱性を含めた耐久信頼性の要求が一段と高まるものと予想される。

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、1978年から次期の2015年基準に至る過程で、10年ごとに10数%から20数%の燃費改善が達成されており、2015年以降さらに20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、三元触媒システムの代わりに高い浄化率のNO_x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組によって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、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。当面は、三元触媒シ

ステムの利用を前提として理論混合比燃焼を行う直噴ガソリンエンジンが普及するものと予想される。

2. 2 ディーゼル車の排出ガス対策と新たな燃焼方式⁴⁾

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流であり続ける原動機であり、ガソリンエンジンに比べて熱効率が2~3割よくCO₂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_x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全面的に克服されるものと予想される。

Fig.2に示すように、NO_x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、可変機構付きや多段化したターボ過給システムとともに電子制御によって柔軟な多段噴射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ている。今後、高過給化と高圧噴射化が一段と進むものと予想され、噴射圧は、現状の200MPa前後から、将来は300MPa近い圧力が要求される可能性もあり、関連部品の高剛性化や信頼・耐久性の要求に応える必要がある。

Table 1. Technologies for Improving Fuel Economy.

Improvement ◎ : 10% < ○ : 5-10% □ : 5%

Items		Technologies
Engine	New concept	◎ Direct-injection ◎ Hybridization ◎ Miller cycle ○ Lean burn ◎ Downsizing with turbocharging
	Control	○ Stopping engine at idle □ Precise fueling and ignition timing □ Variable valve mechanism (VVM)
	Pumping loss reduction	◎ Modulated displacement □ Four valves □ Variable Valve Mech.
	Friction reduction	□ Improving lubrication □ Lightweight moving parts
Drivetrain		○ CVT ○ Automated MT □ Lockup mechanism
Vehicle		◎ Lightweight materials ◎ Low air drag □ Low rolling resistance tires

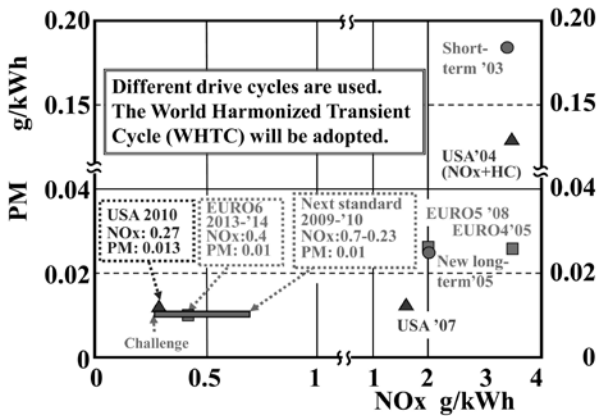


Fig.1. Heavy-duty Diesel Vehicle Emissions Standards in Japan, the EU and the U.S.A..

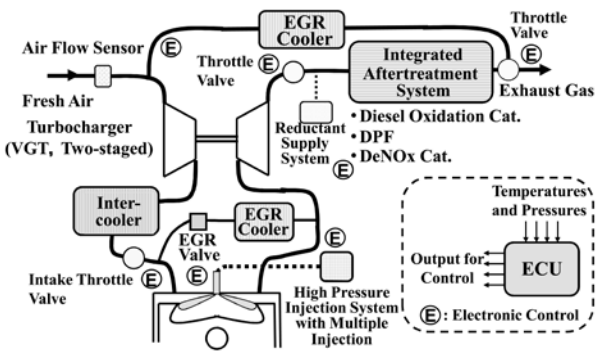


Fig.2. Typical Advanced Diesel Emission Control System.

また、排気後処理技術のうち、健康影響への懸念やEUにおけ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_x還元触媒を併用し、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などの課題を克服する必要があるが、いずれはメーカーを超えて最適なシステムへと収斂するものと予想される。

最近、予混合圧縮着火方式が注目されている。極めて希薄な混合気による低温着火燃焼を行わせて、NO_x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、高負荷条件では極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、ディーゼルエンジンの燃焼技術への接近が興味深いところである。ガソリン乗用車は上述した技術の実用化によって一層の燃費向上が可能であり、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などの問題で敬遠され、排出ガス対策の高コスト化もあって市場から姿を消しているのが実情であった。わが国では、日産自動車(株)がポスト新長期規制に適合したディーゼル乗用車を昨年市場に投入し、さらに米国の次期規制への適合も予定しており、他のメーカーも追随する動きがある。わが国の場合、石油精製における製品バランスとCO₂抑制の観点からも、登場が期待される場所であるが、本格的な普及には、高い浄化性能のNO_x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⁵⁾。

2. 3 車両技術

さらに、車両の軽量化も極めて重要な燃費向上技術である。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、3者のうち軽量化の燃費改善効果はきわめて大きいことが明らかである。これによって車両の運動性能が向上することはもちろん、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という好循環もたらされる。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とりくまれた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%の燃費向上が可能であることが実証されている⁶⁾。わが国の鉄鋼メーカーはこの分野で先行しており、採用が部分的に始まっている。その他には、アルミニウムなどの軽金属やCFRPを含むプラスチックの利用も進められている。それぞれの特徴を活かし、形成・加工の難しさやコスト増加、生産のグローバル化への対応などの課題を克服した上で普及が進むことが望まれる技術である。

その際、車両同士の衝突時のコンパティビリティ性（共存性）を確保することも課題となる。具体的には、

対人への加害性や、軽量車に衝突する際の重量車が与えるダメージを最小限にする構造の適正化が求められる。このような車両の軽量化は、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付けにもなることを強調しておきたい。

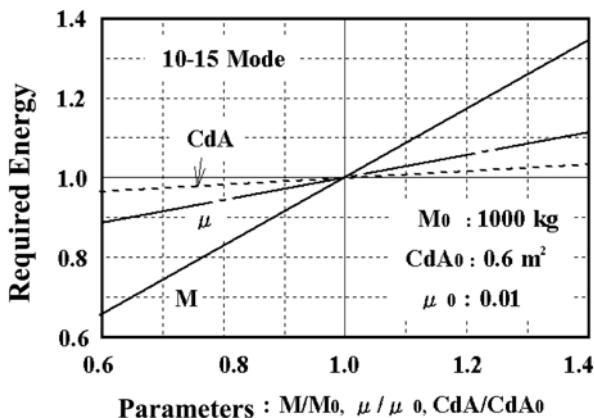


Fig.3. Effects of Resistance Parameters on Required Energy.

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⁷⁾

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、バッテリーの性能が不十分で高価なことから本格的に普及す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図ったハイブリッド自動車、燃料電池自動車が登場するようになった。これによって、Fig.4に示すように、バッテリーやモータをはじめ、各種のインバータ、コンバータなどの電子デバイスや制御方法を含めたパワーエレクトロニクス、車両の軽量化、さらにはハイブリッド用エンジンや燃料電池システムの研究開発が大きく進展することとなり、わが国はこれらの面で技術的にリードしている。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今後の普及の決め手となる⁸⁾。また、モータは水冷方式として出力性能を高め、ネオジムなどを使った高効率の永久磁石同期型が主流に

なっている。

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⁹⁾。方式としては以下のようなもの

- ①マイクロハイブリッド：モータによりエンジンの始動・停止と減速時の回生制動を行って充電する機能を持ち、燃費改善は5～10%程度。
- ②マイルドハイブリッド：マイクロ型に機能に加えてパワーアシストを行う方式（パラレル型）で、燃費改善は20～50%程度。
- ③フルハイブリッド：モータと発電機を備えたハイブリッド（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り、燃費改善は30～100%程度。

ガソリンハイブリッド車は燃費が最大で倍近くになり、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排出ガス対策も含めて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、域内物流用のディーゼルトラックのパラレルハイブリッド車が国内各社からすでに登場しており、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CO₂排出量の両面で他の車種と比べて極めて優位である。このことは、Fig.5に示すように、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 のエネルギー効率とCO₂排出量を比較評価した結果からも明らかであろう¹⁰⁾。

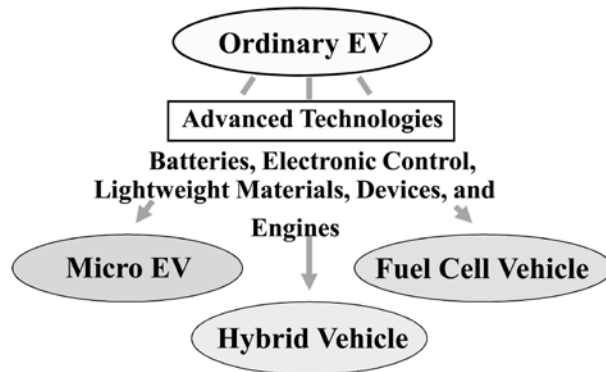


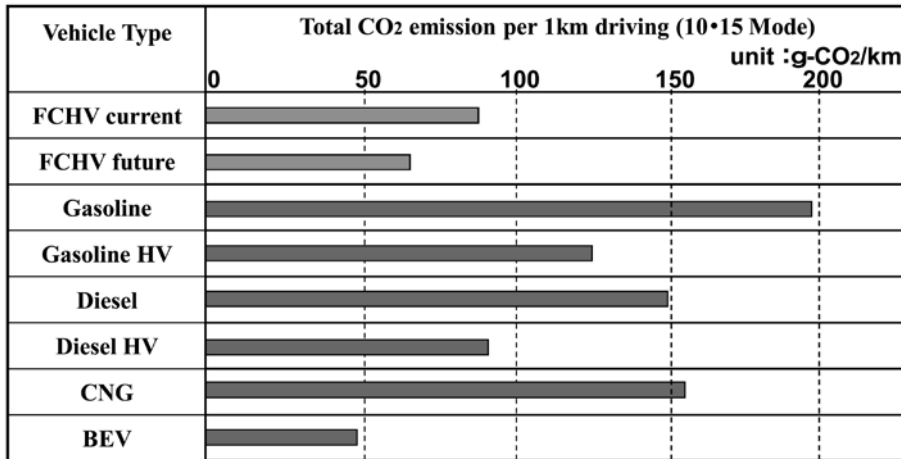
Fig.4. Variations of the Electric Vehicle.

なお、最近プラグインハイブリッド車と呼ばれる車種も内外で実用化され始めている。外部電源で充電した電力で走行するモードとハイブリッド走行するモードを兼ね備えたもので、その低CO₂特性と外部電力の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。しかしながら、最適なバッテリーの搭載量は走行距離によって異なり、重量増加のためにEVよりもエネルギー消費は増加する傾向がある。

3. 2 新燃料・エネルギーの利用

ガソリンや軽油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、温暖化対策などの面で重要な取組である。その候補としては、Fig.6 に示すような多様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为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^{11),12)}。バイオエタ



FCHV current: "hydrogen station" and "FCHV" data are calculated by using JHFC demonstration top, while other data are calculated by published top.
 FCHV future: calculated by using FCHV future efficiency 60% and published top.
 Electric power sources: Japan Mix

Fig.5. "Well to Wheel" CO₂ Emissions. - JHFC, May, 2006 -

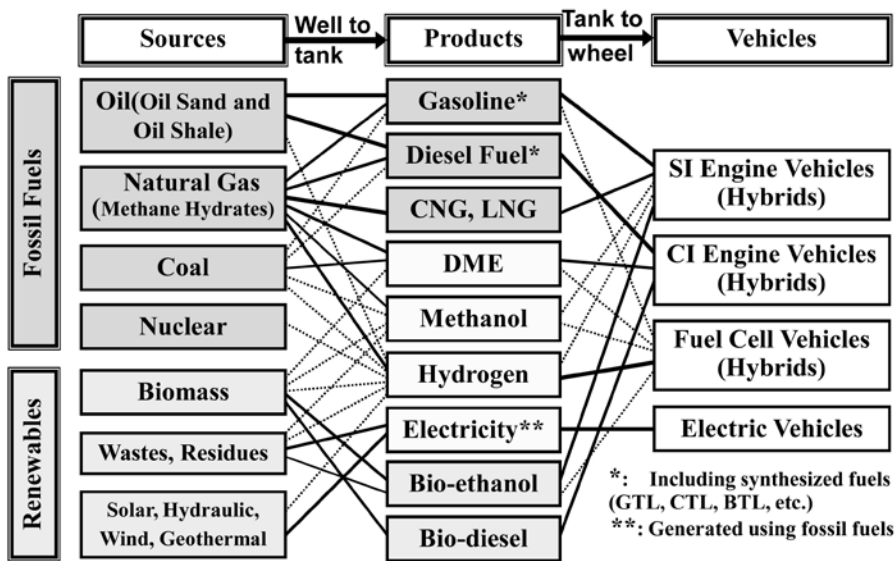


Fig.6. Sources and Products for Future Vehicle Fuels.

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など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。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。

従来燃料と任意の混合比で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、草類などを利用する技術の開発が急がれている。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消費するいわゆる地産地消の取組が中心となろうが、その一方で、これらの新たな燃料製造法の開発と技術供与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、その製造を石油や天然ガス、石炭などの化石燃料に依存する限り、CO₂の削減効果は大きくないのが現状である。究極的には、化石資源の依存を脱却してCO₂の排出を大幅に削減する原料をもとにした水素の供給システム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、コスト低減などについてもまだ克服すべき点が多く、国の支援を得て研究開発を長期的に継続すべき状況にある。

4. 中長期的な展望とまとめ

ガソリン車とディーゼル車は、日米欧において2010年前後に予定されている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。

それらの従来技術に加えて、ハイブリッド化、車両の軽量化、バイオ燃料などの利用などによる将来のCO₂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。さらには、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進める必要がある。それには、交通流の円滑化や適切な交通量の抑制、貨物輸送の高効率化、公共交通機関の利用促進、鉄道輸送へのシフト、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など) が含まれる。

これらを総合的に推進すれば、Fig.8 に示すように、CO₂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 に示すが、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は遅れざるを得ない状況にある一方、燃料の需要拡大に対応した脱石油の取組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して積極的に活用されることが大いに期待される。わが国の自動車が排出するCO₂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、先進技術の新興国への普及によってもたらされる地球規模の環境・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からである。

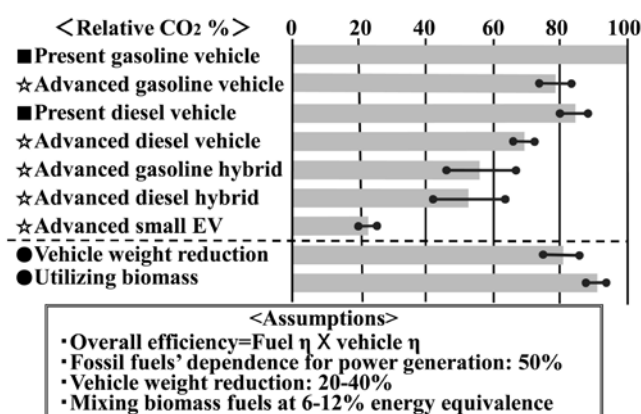


Fig.7. CO₂ Reduction Technologies for Passenger Cars in 2020-2030 (Baseline: Present gasoline vehicle).

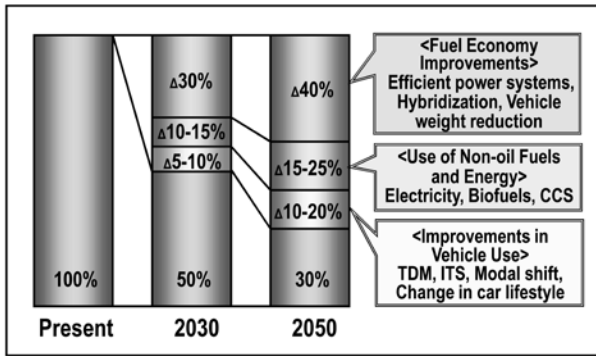


Fig.8. Projected Long-term Reduction in Motor Vehicle CO₂ Emission in Japan (Y. Daisho).

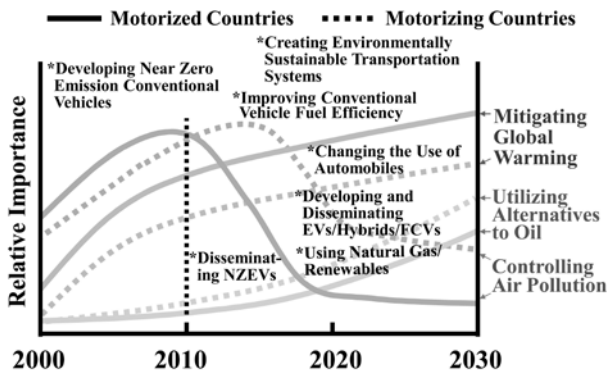


Fig.9. Relative Importance of Policy and R&D for Future Vehicles and Fuels.

(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.
- 2) 2010 年度乗用車等の燃費基準, <http://www.mlit.go.jp/jidosha/sesaku/environment/ondan/ondan.htm>
- 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
- 4) 大聖泰弘: 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).
- 5) 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, <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g50418b01j.pdf>
- 6) ULSAB-AVC の取組み, <http://www.jfe-holdings.co.jp/release/nkk/0201/0131.html>
- 7) 逢坂哲弥, 大聖泰弘: 電気自動車ハンドブック, 丸善, (2001).

- 8) 報告書: 次世代自動車用電池の将来に向けた提言, 経産省, (2006).
- 9) 木原良治, 大聖泰弘 「高性能ハイブリッド自動車の研究」 山海堂, (2005).
- 10) ホームページ: 水素・燃料電池実証プロジェクト: <http://www.jhfc.jp/j/index.html>
- 11) 報告書: 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, http://www.env.go.jp/earth/ondanka/conf_ecofuel/
- 12) 大聖泰弘, 三井物産: バイオエタノール最前線 (改訂版) 工業調査会, (2008).