

2. 新燃料自動車の導入分野と普及に関する調査研究

－ 研究開発の方向性と普及に向けた課題検討 －

環境研究領域 ※佐藤由雄 後藤雄一 成澤和幸 阪本高志 山本敏朗
石井 素 川村淳浩 野内忠則 及川 洋

1. 調査研究のねらい

本調査研究では、我が国の自動車分野における「資源・環境問題」に対応するため、石油系燃料に代わる新燃料を用いた自動車の導入分野と普及に向けた基本的方向性を提案する。それに向け、当所で実施している新燃料自動車に関わる試験調査、研究開発及び技術基準等策定の支援業務等で得られた一連の成果や知見を活用するとともに、各種調査を行い新燃料自動車の導入の前提条件や普及の阻害要因などの課題を抽出・整理する。

調査研究の開始にあたり、本稿では先ず「資源・環境問題」の共通理解を述べ、次に、石油系燃料の現状と予測をもとに、「再生可能エネルギー」への転換に向けた新燃料自動車の研究開発の現状と課題、方向性について検討した。

2. 「地球温暖化と資源枯渇」問題と解決に向けた基本的方向性

石油系燃料を内燃エンジンに使用することで人間活動にともなう移動や物流を担ってきた自動車の歴史は、今日、「地球温暖化と資源枯渇」という問題に直面し大きな転換点をむかえつつある。

人間は自然を対象化することにより石油や天然ガスという燃料資源を自然から採取し、生産、流通、消費、廃棄の過程を人間社会の中で営んできた。しかし、ここに来て、生態系の不可逆的破壊と資源の枯渇の問題が顕在化している。こうした社会的問題が人間社会の中で解決しえず、地球温暖化のように自然の中に発現されたところに「地球温暖化と資源枯渇」問題が成立している。従って、この問題の解決は、資源の採取から廃棄に至る社会システムを見直すことにある。その上で、人間と自然の関係において、現在の地球のエ

ネルギー循環の外にある地下資源（石油、天然ガス、LPガス、石炭、ウラン）の利用を減らし、持続可能な社会を実現していくため、地球のエネルギー循環の輪の中に存在する「再生可能なエネルギー」（一般に太陽エネルギー、風力、波力、小中規模水力、地熱、さらには太陽エネルギーを取り込んだ炭化水素化合物を含んだバイオマスや太陽光発電による水素などが含まれる）に転換していく必要がある。

石油系燃料から再生可能エネルギーを資源とする燃料への転換には、社会システムの変更や新たな技術開発がともなうため長期的な課題となるが、短中期的には石油系燃料の消費を抑制し石油系以外の地下資源（天然ガス、石炭、ウラン）を有効利用（低炭素燃料、CO₂排出抑制、高効率燃焼、ゼロエミッション、高実用性をWell to Wheelベースで実現）することや社会的取り決め（CO₂排出権取り引きなど）を利用することも必要となる。

「地球温暖化と資源枯渇」問題の解決は簡単ではないが、人間社会が持続可能かどうか問われている現在、不可能と思える難題であっても正面から、しかし柔軟に取り組んでいく必要がある。本調査研究では、新燃料自動車の導入を将来の「再生可能エネルギーへの転換」という基本的方向性の中に位置づけ、それに向けた技術的可能性、課題等について検討していく。

再生可能エネルギーへの移行の時期や転換可能なエネルギー量などについての検討は次報以降とする。

3. 石油系燃料の現状と今後

軽油の消費量は1997年を境に減少に向かい2005年には1990年（京都議定書基準年）レベルとなった。ガソリンも2004年にはピークアウトしたが、1990年レベルになるには2010年以降との見方もある。また、

LPガスの消費量は1991年を境に減少している。こうした状況をうけ、運輸部門全体のCO₂排出量は1990年以降増加した後、2001年をピークとして減少傾向に転じ、自動車分野からのCO₂排出量(2005年時点、1990年比)は、トラックとバス・タクシーでは減少しているが、自家用自動車では増加している。

我が国においては、長期的にはガソリン、軽油、LPガスの総使用量は減少に向かうと見られる。その主な要因を以下にあげる。我が国の総人口は、2006年をピーク(1億2,774万人)に2030年には1億1,800万人程度になると予測されている。これに伴い高齢者比率は、2000年度の17%から2030年度の約30%ま

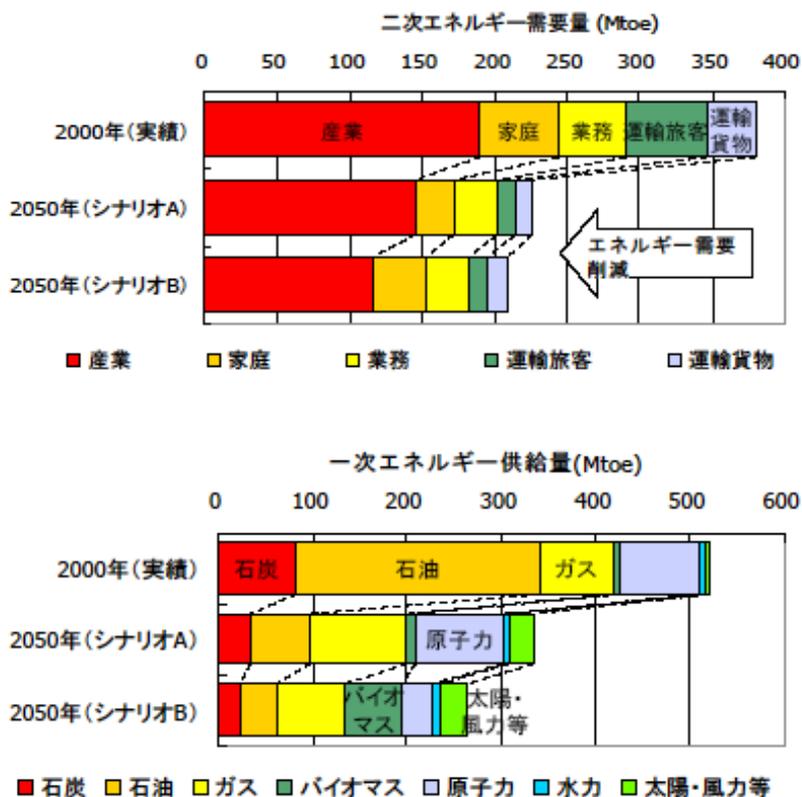


図1 2050年までにCO₂排出量の70%削減を可能とする需要削減・供給側エネルギー構成例⁽¹⁾

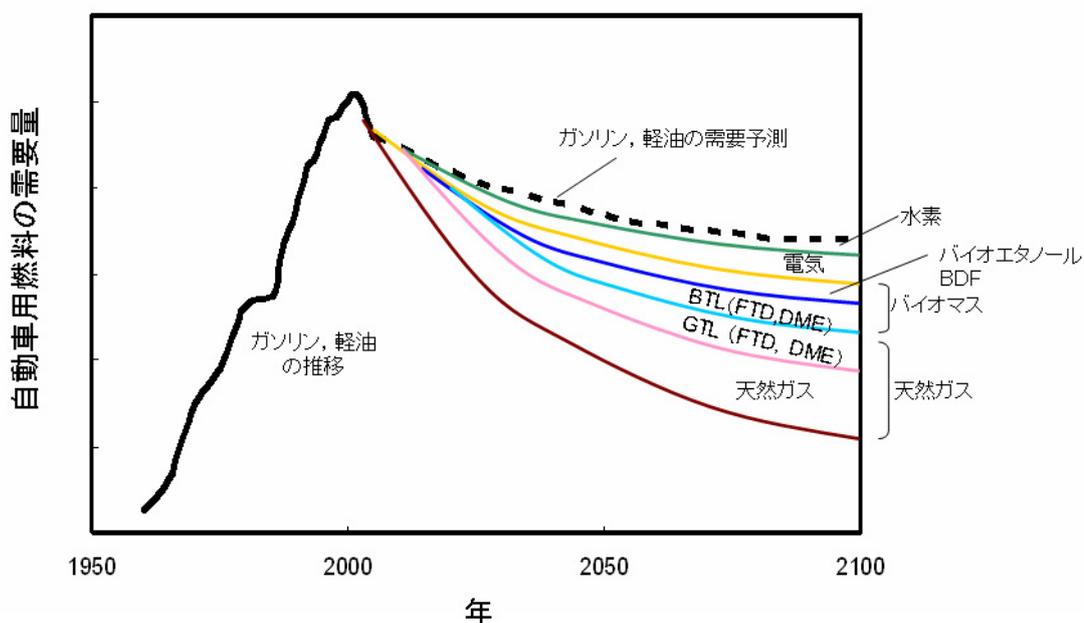


図2 我が国の自動車用燃料の消費量推移と需要予測

で増加する。人口減少や少子高齢化は、世帯数の減少、旅客需要の減少などを通じて運輸エネルギー需要の減少要因となる⁽²⁾。さらに、原油価格の高騰を背景に、自動車の低燃費技術の向上、軽量・小型車への移行、トップランナー方式による燃費基準の導入、電気・ハイブリッド自動車の増加が進み、物流の効率化、モーダルシフト、交通流システムの改善、また、景気低迷による新車購買力の低下、若年層のクルマ離れなどにより、自動車の保有台数の減少や総走行距離が低下することも燃料需要の減少要因になる。一方、気候の安定のためには、世界の温室効果ガス排出を2050年までに現在の50%以下にする必要がある。一人あたりの排出量の大きい先進国のひとつである日本は、2050年までに1990年に比べて60~80%の削減が必要とみられている。これを踏まえると、日本での主要な温室効果ガスであるCO₂を2050年の時点で、1990年比で70%削減する必要があるとの提言⁽¹⁾がなされている。これを自動車用燃料の場合で考えると、前述した自然減少分のみでの大幅削減は難しく、短中期的に石油系燃料の一部をCO₂排出量のより少ない特性を有する非石油系燃料により代替しつつ、長期的には「再生可能エネルギー」への転換を進め、「自然と調和した持続可能な社会」を形成していく必要がある。

4. 新燃料自動車の現状と課題の検討

以上の状況を背景に、ここでは、石油系燃料に代わる新燃料として、当所で試験調査や研究開発等を実施しているバイオエタノール、BDF（バイオディーゼル）、FTD（合成軽油）、DME（ジメチルエーテル）、水素を取り上げて検討を行った。また、今回、天然ガス、LPガスまで検討対象を拡げ、電気・ハイブリッド自動車を含めた各種のエンジン・自動車についての研究開発の現状、排出ガス・燃費試験調査、利用の状況、課題を調査し、再生可能エネルギーへの転換に向けた今後の研究開発の方向性について検討を行った。

4.1. バイオマス

4.1.1. エタノール

現在は、主に糖質および穀物の発酵などからエタノールは製造されている。純物質の液体燃料でガソリンに混ぜることができ、ブラジル、米国などでの使用実績もあり現実的な「再生可能エネルギー」である。国内では3%（ETBEでは7%混合）までの混合燃料が販売されている。さらに平成19年度から、10%混合に対応

したガソリン自動車の技術指針が策定され国土交通大臣認定車両による公道走行試験が可能となった。従来のガソリン車（平成14年排ガス規制対象車、三元触媒システム）を使ったホットスタート試験（E1~E20）では、NO_xがやや増加するがCO、HCは減少、CO₂には大きな差はみられなかった。

課題としては、供給安定性、流通過程における品質管理や価格、製造時におけるCO₂発生の課題、また、既に食糧との競合が社会問題化しているため、長期的には食糧以外からの製造などの課題が残されている。廃木材などからの製造も試みられているが資源の需給関係が逼迫している。また、諸外国の生産地では、トウモロコシやサトウキビなどの耕作地拡大の場合は、森林の減少や生態系の破壊も報じられている。こうしたことから、国内において再生可能エネルギーとして本格的に使用していくためには、豊富にある森林資源や休耕地栽培などからの製造を検討しなくてはならない。これには、伐採、搬送、集約、製造プラントなどのインフラ整備とプラント規模の最適化検討を国の政策として早急に進める必要がある。

4.1.2. バイオディーゼル(BDF)

菜種やパーム油、大豆、廃食用油、動物油脂などの直接利用、あるいはそれらを原料にエステル化、水素化処理により製造されている。セルロース原料などのバイオマスを高温分解してガス化しFT反応による合成軽油の製造も試みられ、長期的には軽油を代替する再生可能エネルギーとして位置づけられる。BDFを既存ディーゼルトラックに用いた排出ガス試験結果では、NO_xやCOのわずかな増加が認められ、含酸素燃料であるためPM中のSOOTは低減するがSOF成分が増加することもあり、ディーゼルなみの排出ガス後処理システムの装着が不可欠である。原料による品質のバラツキ、酸化劣化や低温性能などの問題に対応するため、07年3月にはFAME5%混合軽油の満たすべき基準が設けられるとともに、流通上の課題検討のための実証事業が進められている。また、エタノールと同様に供給量の確保、流通上、利用上の各段階における課題が解決されなければならない。特に、軽油に最適化された最新のディーゼルエンジンでは、地産地消型のBDFの幅広い燃料性状に対応することは難しいため、BDF用原料をもとに性状が一定でかつ安定した品質の合成燃料を製造することも検討する必要がある。

4.2. 合成液化燃料

4.2.1. FTD(合成軽油)

現在は、主に天然ガスを原料としてF T反応により合成される軽油代替の液体燃料（F T D）である。F T反応の生産物は種々の炭化水素混合物となるため、F T Dはいくつかの製品の連産物である。軽油インフラがそのまま使えるため、エネルギーセキュリティーの観点からは重要である。硫黄分無し、芳香族分無し、高セタン価、軽質な燃料特性を最適活用するエンジン・後処理技術開発により軽油を代替するクリーン燃料（09年ポスト新長期規制値以下）となる素質を有する。ただし、ディーゼルなみの排出ガス後処理システムは不可欠である。軽油との価格競争力が備われば市場導入の障害は比較的少ないと考えられるため、市場化試験が急がれる。

軽油との混合に加え100%使用（エンジンの専用化開発が必要）も可能であるが、その場合は製造プロセスにより燃料性状が異なるため燃料規格に関する検討が必要となる。また、燃料供給系に使われているゴム材の適合性については車両走行試験を行って確認する試験が計画されている。供給に関しては、最近では原油価格の高騰による資材価格の高騰などにより一部海外プラント建設中止などの動きもあり、プラントの投資コストやL C A評価などを継続的に調査していく必要がある。F T反応によればバイオマスからの製造（B T L）も可能なため、現状では投資コスト面の優位性が低いといわれているが、長期的には再生可能エネルギーへの転換に対応できる可能性を検討するため、B T L燃料を用いたエンジン適合試験も計画されている。

4.2.2 DME(ジメチルエーテル)

F T Dと同様に軽油代替のクリーンな合成燃料であり、原料資源が多様で、天然ガス、炭層ガス、石炭、そして、長期的には再生可能エネルギーへの転換（バイオマスからの製造）にも対応できる液化燃料である。F T Dと異なる点は、純物質であり組成は一定、従って使用する原材料や合成製法の影響をほとんど受けない、単位容積あたりの発熱量が軽油の約半分、製造方法（単産品、天然ガス、バイオマスなどからの直接合成が可能）、低炭素燃料（軽油比で約10%のCO₂減少）、L Pガス代替も可能な多用途（発電、ボイラー、F C、民生用）、含酸素燃料（排気後処理が簡素化でき、D P F無しで09年ポスト新長期規制値

以下を達成）、燃料噴射系の改造、充填スタンドの改造、などである。

供給については、現在、国内では発電用などの大規模需要はコスト面から見送られているが、08年6月には、DME燃料の本格導入に備えた市場整備を行うための「新潟DME普及促進プラント」（生産能力：8～10万トン/年）の運転が開始される。これまでに国内では計13台のDME自動車が開発され、国土交通省事業では5台のDME大臣認定自動車を用いて公道走行試験が行われている。また、自動車用DME用燃料の規格化に向けたWGの設置作業が開始され、ISO/TC28/SC5ではDMEの流通計量方法の規格化が進められている。今後の課題は、運送事業者等による走行試験にもとづく実用化開発と技術基準等の整備を通じて2010年頃からの自動車メーカーらによる市場導入が開始されること、それに対応可能なインフラ体制と価格競争力を有するDMEの輸入（豪州、パプアニューギニア、カタールなどから）の実現である。

4.3. 水素

4.3.1. 水素燃料電池

再生可能エネルギーから製造される水素を燃料とする燃料電池自動車（F C H V）は総合エネルギー効率が高く「地球温暖化と資源枯渇」問題を解決する究極の選択であるとされ、わが国をはじめと多くの諸外国において研究開発が進められている。再生可能エネルギーの使用段階に至るまでの過渡的段階では、石油系燃料の改質や産業界で生産・利用されている副生水素などを用いて実用面やコスト面の課題を検討しておくことが重要である。

国土交通省では大型の路線バスを対象として国内初の燃料電池バスの営業運行を目的とした実証試験を行い、燃料電池バスの実用状態における燃料消費などを調査した。ディーゼル車比較（T T Wベース）で1.5倍のエネルギー効率が得られたが航続距離が充分ではなく、実用性を向上させるためには、エネルギー回生効率の向上、水素搭載量アップなどの対応策も必要との結果を得た。燃料電池バスの実用化を促進するための課題として、衝突時の高電圧と燃料漏れに対する安全性に関わる試験調査があげられる。

4.3.2. 水素内燃エンジン

水素の利用は、水素クルマ社会に向けて多様な手段を検討しておく必要がある。実用化までの課題が多い水素燃料電池自動車に比べ、従来の内燃エンジンの燃

料として水素を用いれば、既存のガソリンエンジンやディーゼルエンジン並みの出力とCO₂、CO、HC及びNO_x排出量がほぼゼロの環境性能を達成することも可能と考えられる。首都圏には、既に燃料電池車の試験用水素インフラが整備されており、これを多角的に利用した水素エンジン自動車の研究開発が望まれる。さらに、従来のエンジンの製造技術・工程を大幅に変更することなく水素を適用することができれば、水素燃料の実用化を促進することにもつながる。

国土交通省ではCO₂排出量がゼロでNO_xを大幅に低減した中型トラック用の次世代型水素エンジンの開発試作に着手し、水素エンジンにおける安全性や排出ガス特性、燃費性能に関わる調査を実施している。本格的な実用化に向けた課題としては、従来から研究開発されてきた吸気管水素噴射式エンジンの出力限界を克服するために開発している高圧水素ガス筒内直接噴射弁の製作精度の向上と耐久性・信頼性の確保があげられる。

4.4. 天然ガス

石油系燃料から再生可能エネルギーへの転換が図られるまでの間、石油系燃料の消費を抑制するため可採年数が石油より長いといわれる天然ガスを有効利用していく必要があり、エネルギーセキュリティの観点からも当面は天然ガス燃料の普及は重要である。

天然ガスの主成分であるメタンは炭素／水素比(C／H)が低い燃料であるため完全燃焼時のCO₂生成量はガソリン、軽油などと比べて20%ほど少ない。ただし、オートサイクル運転によるため熱効率はディーゼルより劣るためエンジンから排出されるCO₂としてはディーゼルのみである。ゼロエミッションを実現するためには三元触媒方式となるが、今後の課題としては、高出力、高効率燃焼の可能性が高い筒内直接噴射式エンジンの開発が望まれる。また、天然ガスの高度利用技術としてFTDやDMEの原料として天然ガスを使用し、それらをディーゼルサイクル運転により高効率燃焼させる方法は前述した通りである。

国土交通省では三元触媒方式エンジンを搭載した大型CNGトラックを開発試作した。NO_xは新長期規制値の1/10以下、PMはほぼゼロであった。公道走行試験を実施した結果、航続距離は約600kmが確認された(搭載燃料容器：充填圧力20MPaの容器を荷台床下に5本、合計で873L、約900kg)。熱効率はディーゼルの越えることは難しいが、低C／H比のため

CO₂はディーゼル車以下となる。さらに、大型天然ガストラックの航続距離を一層向上させるため、車載用LNG供給システムを開発し公道走行試験を計画している。大幅な排出ガス低減が可能なことから都市内における利用価値は高いが、今後、3万台を越えて普及していくにはインフラの充実、燃料の価格メリット、ランニングコスト、車両改造費用の低減、天然ガス専用車両の開発および車両導入時に支給される助成金を継続する必要がある。

4.5. LPガス

世界のLPガス生産量のうち天然ガス随伴の割合が約35%と石油代替性も兼ね備えているため、天然ガスと同様に、ガソリン、軽油の消費を抑制するために有効利用していく必要がある。現在、国内には約30万台のLPガス自動車があるが、ガソリンや軽油より低コストなため、約24万台がタクシーとして使われている。充填スタンドは全国に約1,900箇所設けられているが、一般ユーザーまでの普及には至っていない。LPガスは低C／H比の液化ガス燃料であり、ガソリン車と比較して12%程度のCO₂低減効果が期待できる。自着火温度が高いため一般的には予混合火花点火エンジンに用いられるため三元触媒システムが採用され、ディーゼルエンジンの熱効率には及ばない。しかし、従来LPガス車に対して、燃費低減には従来の気体噴射に対して液体噴射による吸気充填効率の向上、噴射と点火タイミングの最適化、空燃比制御の緻密化ならびに高オクタン価を活かした高圧縮比化が有効であり、こうしたコンセプトをもとにエンジンを改造試作し性能と燃費改善効果に関する評価試験が行われている。また、この試験ではCO₂排出量の低減効果も調査し、地球温暖化対策としての優位性を実験的に検証する。

4.6. 電気・ハイブリッド

二次電池の性能向上により電気自動車が再び注目されているが、現状の二次電池を搭載した電気自動車(EV)では1回の充電では航続距離が短く、この欠点を補うためプラグイン・ハイブリッド車(PHEV)の研究開発が進められている。

電気・ハイブリッド系の自動車は、短中期にはCO₂排出量を大幅に削減できる可能性があるが、これは発電電力量あたりのCO₂排出量の少ない原子力発電(日本では発電量全体の約3割)を前提とした場合である。予想されるPHEVの電力確保のためには原子

力発電所の割合を更に高めることがCO₂抑制には有効といわれているが、国内では原子力発電所の安全確保にはなお多くの時間を要するため、現時点では夜間電力を有効利用することがコスト面と合わせて有利とされている。逆に、火力発電の比率を高めた場合はCO₂排出量が増加することもあるため、技術的には未だ研究段階である地中へのCO₂貯留技術の実用化が課題とされている。

一方、原子力発電が注目され原油価格のみならず天然ウラン価格も高騰し、資源争奪による紛争も始まっているため、長期的には再生可能エネルギー（バイオマス、風力、水力、太陽光など）を利用した発電電力量の確保が課題である。また、二次電池については性能、容量、コスト、保守管理、充電時間および寿命に優れた電池の実用化が課題である。リチウムイオン電池が有望視されているが、電池効率の向上とコスト削減を可能とする革新的な材料開発が課題である。車両システムとしては、一充電あたりの航続距離と積載量の増加等についての研究開発が重要である。

国土交通省では当初、大型ハイブリッド自動車の可能性を調べるためパラレル方式のトラックとシリーズ方式の路線バスを開発試作した。その結果、路線バスの方がよりハイブリッドのメリットが引き出せると評価され、非接触給電装置（IPT）を搭載した大型のIPTハイブリッドバスの実用可能性を調べる公道走行試験が行われた。今後、都市内の営業路線等において実証走行試験を行い、航続距離、充電時間・回数などの実用性やCO₂削減効果に関するデータを収集する計画である。また、非接触給電システム（IPS）の研究開発を通じて電磁安全性評価や国産化によるコスト低減の可能性について調査を行っている。

5. まとめ

自動車による「地球温暖化と資源枯渇」問題の解決は「再生可能エネルギーへの転換」を基本とし、長期的には自動車用燃料の使用量は減少するとの予測のもと、それに対応するための各種新燃料自動車の研究開発の方向性、課題抽出、今後の展開等について検討した。その結果をまとめると以下ようになる。

(1) 天然ガスおよびLPガスは、石油系燃料（ガソリン、軽油）から再生可能エネルギーへの転換が図られるまでの間、石油系燃料の消費を抑制するために有効利用していく研究開発が必要である。

(2) また、当面、天然ガスから合成されるFTD、DMEの導入に向けては、実用化に向けた車両開発、燃料コストの低減、基準等の整備及びインフラ整備等が課題である。再生可能エネルギーへの転換（バイオマスからの製造）にも対応できる新燃料として長期的観点にたった取り組みが重要である。

(3) バイオエタノール、BDFについては製造、供給、利用技術の動向調査をふまえた研究開発を継続する必要がある。長期的には再生可能エネルギーとして使用するためには国内の森林資源や休耕地栽培などからの製造を検討することが課題であるが、これには、インフラ整備や製造プラント規模の最適化検討を国の政策として進めていく必要がある。

(4) 再生可能エネルギー（バイオマスを含む）をもとにした水素燃料電池は究極的なCO₂低減策と考えられるが、そこに至るまでには課題も多い。そのため、短中期的には水素燃料の実用化を促進させ水素社会に向けた多様な取組みとして、水素内燃エンジンの研究開発を進めていく必要がある。

(5) 電気・ハイブリッドは短中期的にはCO₂排出量を大幅に削減できる可能性があるが、実用化に向けては二次電池の容量増加や信頼性向上、一充電あたりの航続距離、積載量の増加等についての研究開発が重要であり、長期的には再生可能エネルギーによる発電割合を高めていくことが課題である。

今後、再生可能エネルギーへの移行の時期や転換可能なエネルギー量などについて検討していく予定である。

参考文献

- (1) 2050 日本低炭素社会シナリオ-温室効果ガス70%削減可能性検討-；環境省・日英共同研究「低炭素社会の実現に向けた脱温暖化 2050 プロジェクト」，「2050 日本低炭素社会」プロジェクトチーム（国立環境研究所・京都大学・立命館大学 東京工業大学・みずほ情報総研），P.6，2007 年 2 月
- (2) 人口減少時代の“豊かな”社会-わが国の人口・食糧・エネルギー問題-；第 19 期日本学術会議人口・食糧・エネルギー特別委員会報告，日本学術会議 人口・食糧・エネルギー特別委員会，平成 17 年 9 月