

# 次世代自動車技術に関する将来展望 ～ 2030 年から 2050 年を見据えて～

Prospects on Next Generation Vehicle Technologies beyond 2030 and towards 2050

大聖 泰弘  
Yasuhiro DAISHO

## 1. はじめに

自動車は、人の移動と物資輸送の両面で我々に豊かな生活をもたらしている。また、我が国における自動車関連産業は、基幹産業として大きな一翼を担い、幅広い分野にわたって新技術を開発、実用化しながら成長を続けている。その反面、石油を大量に消費して、大気汚染や地球温室効果ガスである CO<sub>2</sub> の主要な排出源とされ、その対策が厳しく求められている。

先進諸国では、排出ガス規制の強化により大気汚染問題は概ね解消されるものと予想される<sup>1)</sup>。中長期的には、省エネルギーと温暖化抑制の両面から、燃費基準の一層の強化に重点を置いた施策が講じられ、これに対応した技術開発が厳しく求められることになろう。その一方で、モータリゼーションの進展が著しい新興国では、石油の需要が拡大しており、大都市の深刻な大気汚染を招き、それら両面の対策が急務とされているのが実情である。

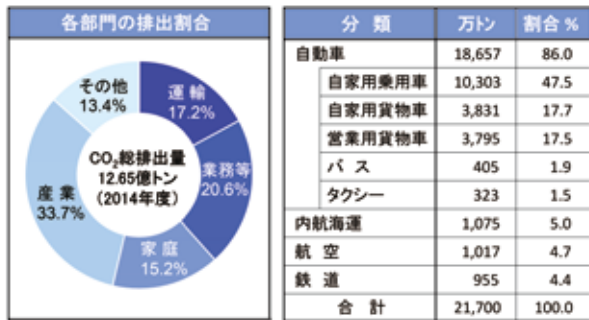
わが国では、石油製品の 50% 近くが自動車用燃料として使われており<sup>2)</sup>、Fig. 1 に示すように、2014 年度では、燃料の消費によって、輸送部門で排出される CO<sub>2</sub> は国全体の 17.2% を占めている。そのうち自動車からの排出が 9 割近くに達している<sup>3)</sup>。

その後の取組みとして、2015 年 12 月にパリで開催された COP21 では「パリ協定」が合意され、産業革命以前の気温から 2℃ 以下の上昇に抑制することが目標とされている。わが国の 2030 年度の温暖化対策では、温暖

化効果ガスを 2013 年度比で 26% 削減する目標値が提示されている。その達成に向けて、我が国の総 CO<sub>2</sub> 排出量の 9 割を占めるエネルギー起源の排出量については、2013 年度比▲ 25.0% (2005 年度比▲ 24.0%) の水準 (約 9 億 2,700 万 t-CO<sub>2</sub>) であり、各部門における 2030 年度の排出量の目安は Table 1 のとおりである<sup>4)</sup>。この表より、運輸部門でも 30% 近い CO<sub>2</sub> 排出量の削減が必要とされていることが分かる。

また、全世界で 2050 年までに温暖化効果ガスを現状から半減するため、先進国は 80% 低減することを義務とすることが確認されており、同程度の低減が運輸部門にも求められよう。このような長期的な目標達成のためには、自動車の動力システムとそれに利用される燃料・エネルギーの組合せを大幅に変革する必要がある。

そこで本稿では、このような自動車の環境・エネルギーに関わる中長期的な課題を見据え、2030 年から 2050 年にわたる動力システムのあり方を私的な見解を含めて論じてみたい。なお、自動車技術会に設置された「将来自動車用動力システム委員会 (2013～2016 年度, 委員長: 筆者)」での議論やさらに「2050 年自動車はこうなる」(自動車技術会, 2017 年 5 月発刊) も踏まえていることをお断りしておく。



・わが国の自動車から排出されるCO<sub>2</sub>は全体の排出量の14.7%を占めている。

Fig.1 わが国における2014年度の運輸部門のCO<sub>2</sub>排出量（国土交通省，2016年）

Table 1 わが国の2030年度におけるエネルギー起源二酸化炭素削減量（日本の約束草案より）

～国連に提出する日本の約束草案、閣議決定～  
（平成27年7月17日 地球温暖化対策推進本部決定）

[単位:百万t-CO<sub>2</sub>]

部門	2013年度 (2005年度)	2030年度 / 2013年度比%(2005年度比%)
産業	429 (457)	401 / ▲6.5 (▲12.3)
業務・その他	279 (239)	168 / ▲39.8 (▲29.7)
家庭	201 (180)	122 / ▲39.3 (▲32.2)
運輸	225 (240)	163 / ▲27.6 (▲32.1)
エネルギー転換	101 (104)	73 / ▲27.7 (▲29.8)
合計	1,235 (1,219)	927 / ▲24.9 (▲24.0)

## 2. 最近の排出ガスに関する動向

Fig. 2 に示すように、EU ではここ数十年來、乗用車のNO<sub>x</sub> 規制に対して、ガソリン車に比べてディーゼル車では規制の効果が実走行レベルで十分現れていないことが指摘されてきた。ディーゼル乗用車の割合が5割を超える状況にあって、これが大都市で大気汚染の改善が進まない要因とされていた<sup>5)</sup>。

そして2015年9月18日、米国EPAからフォルクスワーゲン社のディーゼル乗用車の排出ガス対策に関わる違反行為が公表されるに至った<sup>6)</sup>。一般道路を走行する場合に排出ガス対策システムを無効化するいわゆる「デフィートデバイス」により、規制値の数倍から数十倍のNO<sub>x</sub>を排出する実態がその根拠となった。計測には、テールパイプからのNO<sub>x</sub>を分析する車載型分析器（PEMS: Portable Emissions Measurement System）が使われた。この不正は燃費・出力の維持やPM低減を優先して、これらとトレードオフの関係にあるNO<sub>x</sub>を低減することなく放出し、しかもシステムの耐久性の確保やコスト低減を意図して不正なソフトを使ったものであった。

その後のEUでの調査から、リコールの対象は欧米合計で1,100万台にも上った。このような不正問題を受けて我が国でもディーゼル乗用車を対象に走行時のNO<sub>x</sub>排出量の調査が行われ、デフィートデバイスの使用はないものの規制値を大幅に上回る車両が確認された<sup>7)</sup>。

これらの結果、EUと我が国ではディーゼル乗用車に対して市街地、郊外、高速道路での走行を含むReal Driving Emissions（RDE）試験が新車の認証時に追加されることとなった。具体的には、Table 2 に示すような規制値が設けられ、将来さらに強化される可能性もある<sup>7)</sup>。

そのような状況にあって、VW社では、小中クラスのディーゼル車の悪化したイメージやNO<sub>x</sub>対策の難しさとコストの負担からエンジン開発を縮小し、EVやプラグインハイブリッド（PHV）の開発に重点を移すことを決定している。そのような状況にあって、EV化の波が一企業を越えて高まろうとしている。

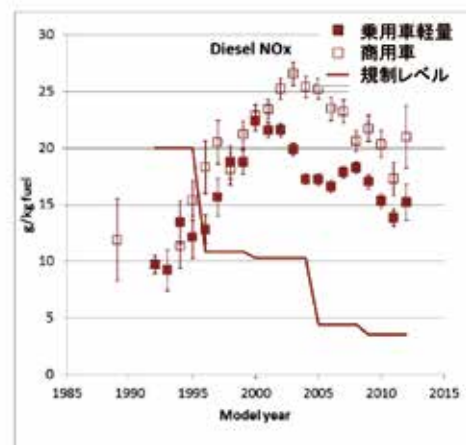
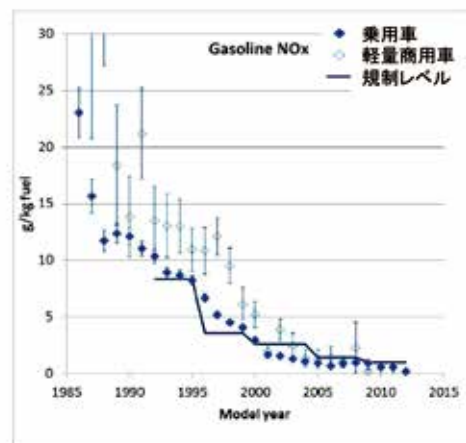


Fig. 2 EUにおけるガソリン車とディーゼル車の平均NO<sub>x</sub>排出量の比較（資料：米国ICCT, 2014）

Table 2 EU と日本におけるディーゼル乗用車への RDE 試験の導入 (2015 年～2016 年に決定)

	開始時期	実施内容
EU	2016年1月	各国規制当局が参考データを収集
	2017年9月	新モデル車の型式認証に採用 EURO6のNOx規制値(80mg/km)の2.1倍まで許容
	2019年9月	全ての新車に適用 EURO6のNOx規制値(80mg/km)の2.1倍まで許容
	2020年1月	新モデル車のNOx許容値を1.5倍(120mg/km)とする。
	2021年1月	全ての新車のNOx許容値を1.5倍(120mg/km)とする。
日本	2022年10月	全ての新車のNox許容値を2.0倍(0.16g/km)とする。

### 3. 従来車 (エンジン車) の将来性

今後の自動車用エンジンは実走行での排気浄化を果たした上で、究極の高効率化を達成する必要がある。これについては、内閣府の主導で行われている戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の一課題である「革新的燃焼技術」が内外で注目されている。大学が中心となり、自動車メーカーの支援を得て、2014 年度から 2018 年度の 5 年間で乗用車用ガソリンエンジンとディーゼルエンジンを対象にそれぞれ現状 38.5%、43% の正味熱効率を 50% まで高めようとするものである<sup>8)</sup>。具体的には、Fig. 3 のような技術によって達成することを目指しているが、筆者らが、それに沿ってガソリン車での 50% 達成シナリオを試算した例を Fig. 4 に示す。

このような目標値は乗用車用エンジンとしては、技術

的は最終到達点と考えられ、その成果を受けて 2020 年代での実用化が大いに期待される技術である。これらの高効率化技術は、ハイブリッド (HV) やプラグイン・ハイブリッド (PHV) でも活用され、燃費改善に大きく寄与する。

また、トラック・バスに用いられる動力システムとしては、長期にわたってディーゼルエンジンが最適であり、米国のエネルギー省の SuperTruck (Phases 1, 2) プログラムでも目指している正味熱効率 55% が最終到達点と考えてよいであろう<sup>9)</sup>。

なお、自動車用エンジンの環境・エネルギー技術の現状と将来については、筆者が本誌 Volume19, 2014 年に寄稿したのでご参照頂きたい。

自動車用エンジンに使われる石油系燃料 (ガソリン、LP ガス、軽油) は液体であることから、高いエネルギー密度と輸送や貯蔵、給油の利便性の面で最も適性のある

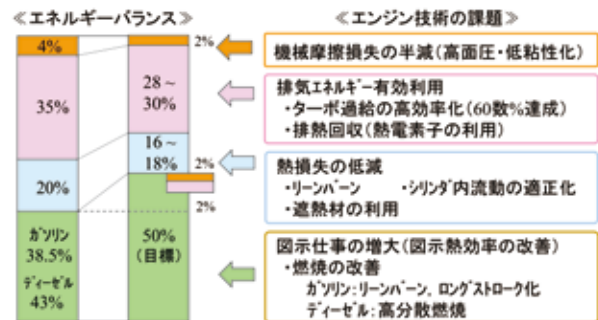


Fig. 3 SIP「革新的燃焼技術」におけるエンジンの正味熱効率 50% 達成のための技術課題

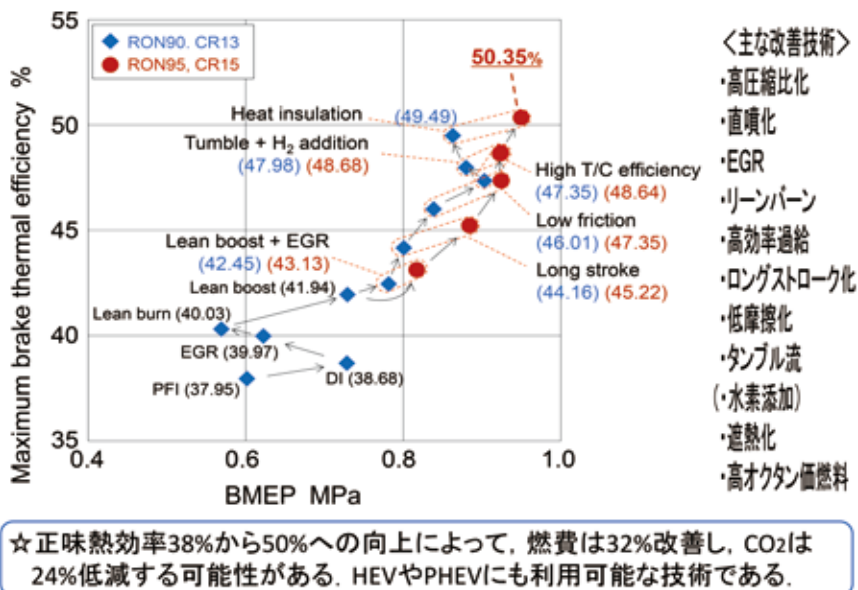


Fig. 4 ガソリンエンジンにおける正味熱効率 50% 達成のシナリオ (早大: 喜久里・草鹿・大聖, 自動車技術会 2016)

燃料である。したがって、エンジンの存在価値は将来の石油の供給可能性に大きく依存するものと予想され、将来の石油賦存・供給量の減少と価格の上昇は避けられず、一層の燃費向上が厳しく求められよう。あるいは将来、CO<sub>2</sub>の低減のため石油の使用量を抑制する政策が講じられる可能性もある。

なお、石油代替燃料としては、バイオ燃料や天然ガス、バイオ燃料、合成燃料（それぞれ、石炭、天然ガス、バイオマス为原料とする CTL: Coal to Liquid, GTL: Gas to Liquid, BTL: Biomass to Liquid）、水素、アンモニア等が挙げられる。しかしながら、いずれも自動車エンジン用燃料として一般に利用するには、供給システムの構築や供給量の確保、コストの面で難しく、地域限定的な利用に止まるものと予想される。また、これらについては、原料の採取から車両での消費にわたる WTW (Well to Wheel) での CO<sub>2</sub> 排出量に対して石油燃料よりも低く抑える必要があり、適正な評価が必要である。

## 4. 次世代自動車の可能性

従来のエンジン車に代わる次世代自動車としては、電動化された EV, HV, PHV, 燃料電池自動車 (FCV) が挙げられ、いずれもすでに実用化されている。

### 4.1 ハイブリッド車 (HV)

電動化では、HV が最も開発と普及が進んでいる。Fig. 5 に示すように多様なタイプがあり、わが国のメーカーが技術的に先行しているとみられるが、タイプによって燃費の改善率は異なる。マイルド HV のうち、簡易なタイプとして、アイドルストップに加えて、パワーアシストと回生の機能を付加したものや、ドイツメーカーを中心に採用が始まっている 48V バッテリーを利用したものもあるが、これらの燃費改善は 15% 程度である。一方、2 クラッチとしたパラレル型では 50% 程度の改善、フルハイブリッドでは、それをさらに上回る改善が可能である。これらは今後の燃費基準の強化に対応した最も有力な技術であり、2030 年頃にはコストアップを克服してほとんどのエンジン車がハイブリッド化するものと予想される。

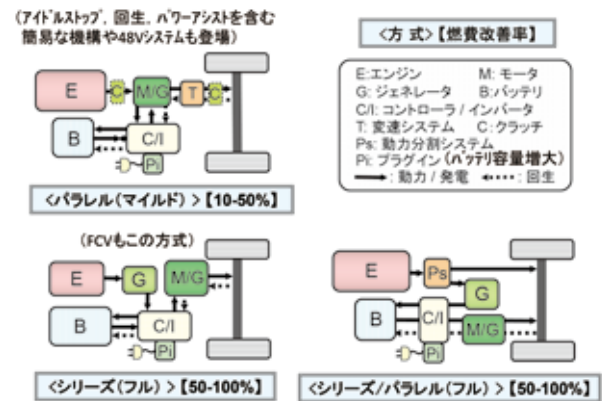


Fig. 5 各種のハイブリッド方式と燃費改善

### 4.2 電気自動車 (BEV)

電源の多様性の観点から、長期的にはバッテリー電気自動車 (BEV) が有力である。しかしながら、電池のセルをモジュール化して安全性を確保したパッケージにすると重量がさらに増加し、ガソリン車に比べてかなりの車両重量増となっている。例えば軽自動車で 150 ~ 200kg、普通車で 250 ~ 300kg 程度の増加となるのが現状である。現在広く用いられているリチウムイオン電池はセルベースで 200 数十 Wh/kg のエネルギー密度に達しているが、一層の向上が求められる。一充電航続距離を延ばすためにバッテリー容量を増やすと重量とコストが増え、充電時間も延びることは避けられない。

2020 年代から 2030 年代にかけて、エネルギー密度を 2 倍以上高めた全固体や金属空気等の次世代電池の開発実用化が大いに期待される場所である。もちろん、コストや信頼耐久性の確保も必要であり、現在のエンジン車の重量・コストに匹敵する水準に達するには技術的なハードルは高く、当面 BEV は短中距離走行用に使われることになろう。

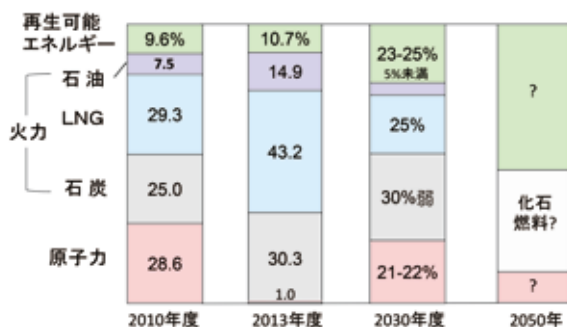
ここで以下に述べる PHV 用電池も含めて NEDO の自動車用電池のロードマップを以下に記しておくが<sup>10)</sup>、この程度の性能とコストであれば、従来車に対して同等の費用対効果が得られる可能性があると考えられる。

	時期	EV 走行	重量	容量	コスト
BEV	2030 年以降	700km	80kg	56kWh	26 万円
PHV	2030 年初頭	60km	50kg	10kWh	20 万円



なお、急速充電ステーションの国際規格化を進めている CHAdeMO 協議会では、現状の充電電力 50kW から本年末には 150kW、さらに 2020 年には 350kW への大容量化が計画されている<sup>11)</sup>。これによって充電時間の短縮が可能であるが、通常は数 kW 程度の普通充電をベースにすべきであろう。EV 台数やステーション数の増加、充電電力の増大への対応策としては、スマートグリッドやデマンドレスポンスを含む充電電力の需給マネジメントが必要不可欠である。

また、Fig. 6 に示したように 2030 年に向けた電力の CO<sub>2</sub> 排出係数の低減が実現すれば、EV の電源における CO<sub>2</sub> 低減に有効であろうが、それには原子力発電所の再稼働状況も影響するとみられる<sup>12)</sup>。さらには、2030 年以降の電源構成の計画についても提示することが望まれる。



・原子力と水力はベース電源。需給変動は火力と蓄電システムで対応する。  
 ・将来の再生可能エネルギーと原子力の構成割合の増加はEVやPHEVの低炭素化に大きく寄与する。  
 ・2030年度には2013年度に対してCO<sub>2</sub>が30%削減される。

Fig. 6 想定される電源構成案 (経産省, 2015 年 4 月)

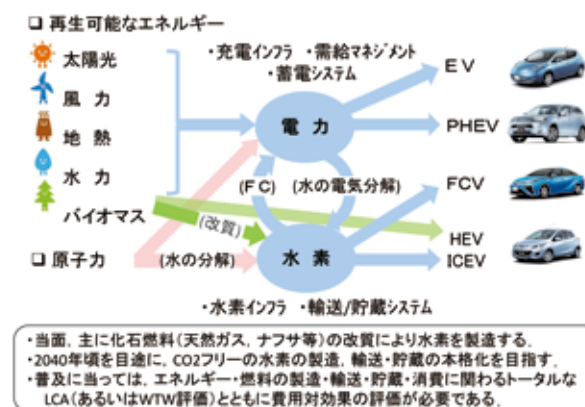
### 4.3 PHV

自動車用エネルギーとして、石油から電気への長期にわたる円滑な分担・移行を進める方策として、両方を使い「電欠」の心配がなく長距離走行ができて、充電可能な PHV は有力な候補と考えられる。50km 程度の EV 走行を実現するには BEV の 1/5 ~ 1/4 程度の電池容量で済むので、重量とコストの両面で有利といえる。

乗用車は 15 年程度使用されることから、他の動力システム・エネルギーに移行するためには、その間の共存に配慮する必要がある。このような観点からも PHV の普及の可能性があると予想される。その際にも、電池性能の一層の向上とコスト低減が求められる。

### 4.4 FCV

長期的な視点から低 CO<sub>2</sub> の燃料・エネルギーとしては、電力と水素が有力な候補である。その利用のためには、再生可能なエネルギーによる電力と原子力が有用である。次世代 4 車種について利用可能なエネルギー系統図を Fig. 7 を示す。FCV の課題としては、車両コストの大幅な低減や水素ステーションの適切な配置、社会の受容性の醸成等が挙げられる。国は 2040 年を目途に製造、輸送、貯蔵を含めた CO<sub>2</sub> フリーの水素利用を目指しているが<sup>13)</sup>、この図から分かるように FCV は BEV や PHV との競合が予想される。



・当面、主に化石燃料(天然ガス、ナフサ等)の改質により水素を製造する。  
 ・2040年頃を目途に、CO<sub>2</sub>フリーの水素の製造、輸送・貯蔵の本格化を目指す。  
 ・普及に当たっては、エネルギー・燃料の製造・輸送・貯蔵・消費に関わるトータルな LCA(あるいはWTW評価)とともに費用対効果の評価が必要である。

Fig. 7 電力と水素による低炭素化の選択肢

## 5. 結言

米国カリフォルニア州では、HV を含まないゼロエミッション車の販売義務付けの強化が来年から始まる。中国でも新エネルギー車 (BEV, PHV, FCV) 政策が打ち出され、2019 年に 10%、2020 年から 12% の製造・販売義務付けが実施されることがこのほど決まった。また最近、英国やフランスでは、ディーゼル車の排出ガス不正案件を受け、また温暖化対策として、2040 年以降エンジン車の販売を禁止する方針を打ち出し、諸外国もそれに追随する動きが見られるので、メーカーとしてはそれらへの対応も急務であろう。

しかしながら、消費者の嗜好や車両の性能・価格、充電ステーションの設置などの課題もあり、グローバルな規模で一気に BEV 時代が到来するとは考えにくい。現実的な燃費改善策としては、究極的なエンジンの高効率化と HV 化を推進することが重要であり、電池の性能向

上を図りながら、パワーエレクトロニクス技術を BEV に援用し展開していくことが得策であろう。

2050 年における運輸部門での CO<sub>2</sub>80% の削減に向けては、自動車単体の燃費改善を追求すると同時に、エネルギー消費の少ないモビリティ社会の構築を目指すべきである。その際、社会が移動手段に求めるニーズや消費者のライフスタイルの変化を見据えて、ハード・ソフト両面の技術を先行して開発・実用化する必要がある。それを「モビリティ・イノベーション」と呼びたい。海外とりわけモータリゼーションが進展する新興国にもその成果を積極的に発信し、展開していくことが重要な課題となろう。

## 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（中央環境審議会二～十三次答申）、1997～2017年
- 2) 石油連盟統計資料、2016年
- 3) 国土交通省資料、2014年度運輸部門における二酸化炭素排出

量、2016年

- 4) 日本の約束草案、地球温暖化対策推進本部決定、<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/index.html>、2015年7月17日
- 5) ICCT: Real-world exhaust emissions of modern diesel cars seven times higher than allowed-Large differences among individual vehicle models, 2014
- 6) <https://www.epa.gov/vw>、米国 EPA、2015年
- 7) 「排出ガス不正事案を受けたディーゼル乗用車等検査方法見直し検討会最終とりまとめ」、国交省・環境省、2017年4月
- 8) SIP「革新的燃焼技術」、<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/>、2017年
- 9) SuperTruck Program, USDOE [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT\\_SuperTruck-program\\_20140610.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_SuperTruck-program_20140610.pdf), ICCT, 2014
- 10) 自動車用二次電池技術開発ロードマップ 2013, NEDO, 2013年8月
- 11) CHAdeMO 協議会, MO <https://www.chademo.com/ja/>, 2017年
- 12) 水素・燃料電池戦略ロードマップ, 水素・燃料電池戦略協議会, 2014年6月策定, 2016年3月改定

## 著者



### 大聖 泰弘

だいしょう やすひろ

早稲田大学 名誉教授

#### <先生のご略歴>

■ 1976年早稲田大学大学院理工学研究科博士課程を終え、専任講師、助教授を経て1985年より同大学理工学部教授。2010年9月から2014年9月まで同学理工学術院大学院環境・エネルギー研究科長、環境総合研究センター所長。2014年から2017年3月まで本学研究院 次世代自動車研究機構長、現在同機構の特任研究教授（名誉教授）

#### ■ 研究分野

- ・エンジンの燃焼、排気浄化、高効率化、新燃料の利用技術
- ・電気自動車、ハイブリッド車、燃料電池車の製作と性能評価
- ・企業54社と学内外の研究者とともに早大モビリティ研究会を組織し、次世代自動車の技術課題やクルマ社会のあり方について研究

#### ■ 学会関係

- ・自動車技術会副会長（2004年5月～2006年5月）
- ・日本機械学会 エンジンシステム部門・部門長（2004年度）
- ・国際自動車学会連盟（FISITA）副会長（2008年～2012年）
- ・自動車技術会名誉会員

#### ■ 公的委員

- ・環境省中央環境審議会専門委員
- ・国土交通省交通政策審議・社会資本政策審議会委員（2016年度まで）
- ・経済産業省総合資源エネルギー調査会委員（2016年度まで）
- ・その他、自動車の環境・エネルギーに関連する委員会の委員、委員長等