

脱炭素時代に対応する自動車業界の動向

樋口 善彦*

Efforts for Decarbonization Era in Automobile Industry

Yoshihiko HIGUCHI*

Synopsis: Demands for carbon-free vehicles are also increasing in the automobile industry. As a result, an electric vehicle driven by a battery or fuel cell and an internal combustion engine vehicle driven by e-fuel or biofuel have been developed. However, all options are faced with several problems. Battery for EV is expensive and requires metals and some electricity is already based on fossil fuel. FCV needs many hydrogen gas stations, but they are not ubiquitous yet E fuel and biofuel are not in practical use. At the present, EV is the most promising candidate for zero-emission vehicles. However, various technologies should be approached because “technology develops discontinuously.”

Key words: zero-emission vehicle, EV, FCV, ICEV, e-fuel, biofuel

1. 緒 言

カーボンフリーの世界的な動きは、自動車産業にも大きな影響を与えている。これまでの排出 CO₂ 量低減の要求に対しては、内燃機関駆動自動車を前提に燃費の向上に多くの努力が割かれていた。すなわち、車体軽量化やエンジンの高効率化などである。車体軽量化に関しては、高強度鋼の使用による鋼材使用量の低減とともに、軽量金属であるアルミニウムや複合材料である炭素繊維強化プラスチック(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics)の導入などマルチマテリアル化などが進展中である¹⁾。また、エンジンの高効率化については、理論空燃比よりも燃料を希薄にしたリーンバーンが指向されている²⁾。

しかしながら、カーボンフリーへの要請が高まるにつれて、ガソリンエンジンまたはディーゼルエンジン単独で駆動する以外の方策が求められるよう

になってきている。それは再生可能エネルギー由来の電力で走る電気自動車、CO₂の発生を伴わない方法で得た水素をエネルギー源とする水素自動車、または、水素を別の化合物に変換して利用する自動車などである。日本自動車工業会の豊田章男会長は2021年4月の会見で、カーボンニュートラルを実現する方法は電気自動車だけでなく、内燃機関でe-fuelやバイオ燃料、水素を燃焼させるエンジン自動車も含まれると述べている³⁾。

本稿では、これらの新しい時代に対応するために自動車業界、それに関係する産官学の取り組みの動向について述べる。

2. バッテリー電気自動車

ハイブリッド自動車(HEV: Hybrid Electric Vehicle)、プラグインハイブリッド自動車(PHEV: Plug-in Hybrid Vehicle)やバッテリー式電気自動車(BEV: Battery Electric Vehicle)は一部あるいは全て電気モーターにより駆動されている。

電気モーターは交流モーターであるブラシレス

* 産業技術短期大学教授 博士(工学) 機械工学科

モーターが使用される。バッテリーから供給される電力は直流であるため直流モーターで使用されることもあったが、ブラシの摩耗などに伴う耐久性の問題や回転数制御の容易さから、ブラシレスモーターが主流になっている。ブラシレスモーターでは、回転子(rotor)が永久磁石、固定子(stator)が電磁コイルで構成されており、固定子に流す交流の周波数で回転数が、電流値でトルクが制御される。回転子の永久磁石には磁力・強度が高いネオジム磁石が使用される。ただし、モーターを高温で使用する場合、保持力の低下を抑制するためにジスプロシウムやテルビウムなどの重希土類が必須とされていた。これらの元素の地下資源は世界的に遍在しており、資源枯渇を含めた安定供給に課題があったが、省資源型磁石の開発が進められている。2014年にはラボ段階はあるものの、ジスプロシウムを使用しないネオジム磁石が開発された⁴⁾。さらに、会社が製造したジスプロシウム不使用のネオジム磁石は2018年12月に発売されたハイブリッド車であるホンダ・インサイト採用されている⁵⁾。また、ネオジム自体を使用しない重希土類フリーの磁石も開発されている⁶⁾。さらに、ネオジムは使用するものの、もう一段性能が高い磁石がNEDO「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」などで開発されている^{7,8)}。

これらの高性能磁石を使ったモーターやそれを組み込んだユニットは日本電産やヤマハが製造、販売している。日本電産は、2019年にモーターとインバーター、減速機を組み合わせたシステム「E-Axle」を量産開始し⁹⁾、2021年7月には生産拡大に向けて、台湾の鴻海グループと合弁会社を設立する検討を開始している¹⁰⁾。また、ヤマハは2021年4月にモビリティ向け高出力(350kW)の電動モーターユニットを開発し、試作開発受託すると発表している¹¹⁾。

自動車に搭載される電池は直流で電力を供給するため、交流モーターを駆動するためには直流を交流に変換するインバーターが必要である。インバーターは回転子の位置を検出するセンサーからの信号と車両移動に必要なトルク・回転数などの指示値をもとに周波数や電流を調整した交流を出力する。高出力モーターに供給する電力は必然的に大きいため、それを制御するパワー半導体も高応答性で大

電流に対応するものが要求される。従来の半導体材料にはSiが使用されていたが、2016年に低エネルギー損失でより高性能な炭化珪素(SiC)が車載インバーターに適用され、ホンダの新型水素燃料電池車に採用されている¹²⁾。その後もSiCの採用例は増加し、自動車搭載用のSiCは2025年までに25%のシェアに到達すると予測されている¹³⁾。

SiCを供給する代表的半導体メーカーであるinfineon Technologies(ドイツ)、Wolf Speed(アメリカ)、STMicroelectronics(アメリカ)に対して、2010年にSiC市場に参入した日本のロームが販売額で肉薄している¹⁴⁾。ロームは世界シェア30%を目標として掲げており¹⁵⁾、2021年8月には中国のEVメーカーと戦略的パートナーシップを締結したと発表した¹⁶⁾。ローム以外にも日本メーカー数社がシェアは低いもののSiC半導体を製造供給している。例えば、デンソーは2020年12月にはデンソーが次期型SiCパワーモジュールの量産を開始し、同月に販売を開始したトヨタのMIRAIに採用されたと発表した¹⁷⁾。これから需要が急拡大する見込みのSiCの製造方法に関しては、NEDO事業で「SiCバルク成長技術の革新に向けたプロセスインフォマティクス技術の研究開発」が採択され、実施されている¹⁸⁾。

電気自動車の電力供給を担っているバッテリーにはニッケル水素電池、リチウムイオン電池などがある。ニッケル水素電池は、水素吸蔵合金と水酸化ニッケルをそれぞれ負極と正極として採用し、アルカリ性水溶液の電解液とセパレータから構成された充放電可能な二次電池である。高価なコバルトを使わず低コストという利点があるが、重量エネルギー密度がやや小さいため、1997年に発売が開始されたプリウスなどのHEVのように大容量電池を要求されない用途に使用されている。最近、トヨタはバイポーラ型ニッケル水素電池を豊田自動織機と開発した¹⁹⁾。バイポーラ型電池は、集電体の片面に正極、もう片面に負極を配置しセパレータを挟んで積層する構造である。2021年7月に発売を開始した新型アクアに搭載したバイポーラ型ニッケル水素電池は旧型アクアと比較して、セル当たり容量1.5倍、コンパクト化でセル搭載量1.4倍により合計で2倍のバッテリー容量を実現している²⁰⁾。

リチウムイオン電池(LIB:Lithium-Ion Battery)

は重量エネルギー密度がニッケル水素電池の約 2 倍の 200Wh/kg と高いため、HEV よりも大容量の電池を必要とする PHEV や BEV に多く採用されている。LIB は電解液中を負極から離れたイオンが移動し正極に取り込まれる際に電力を外部に供給する。正極には LiCoO_2 (コバルト酸リチウム)、負極にはグラファイト、有機電解液には LiClO_4 , LiPF_6 を含むエチレンカーボネートなどが用いられることが多い²¹⁾。コバルト酸リチウムのようなリチウム遷移金属複合酸化物は高電位を得ることが可能であり、グラファイトは Li イオンを金属 Li としてではなく層間に層間化合物 (Graphite intercalation compounds) として多量に保持できるという特徴を有する。エチレンカーボネートは負極に黒鉛を用いた際に問題となる電解液の分解を抑制できるという特徴がある。

しかし、LIB は充放電時の過熱や異物混入を始めとする製造時の問題などが原因で発火・火災事故が発生する場合がある。これらの事故の多くは液体電解質に起因していることから、燃焼しない固体電解質を用いる全固体電池の実用化が期待されている。

石黒²²⁾によれば、全固体リチウムイオン電池は発火の可能性がなく、エネルギー密度が従来電池よりも高いという特徴がある。固体電解質はイオン伝導度が低いという課題があったが、2000 年代から 2010 年代にかけて大阪府立大や東京工業大の研究グループによって高イオン伝導度の硫化物系固体電解質が見いだされ、PHV や BEV 用の全固体電池の実用化に近づいている。また、液体電解質と比較して高温時の性能低下が小さいため、過負荷走行時の電池の発熱を抑制する機構が不要になる、あるいは、イオン輸率の向上により急速充電が可能になる可能性がある。一方、課題は固体電解質および電極の改善・改良、低コストで量産できる技術の確立とされており、リチウムイオン電池材料評価研究センター (LIBTEC) を中心に NEDO の委託事業「先進・革新蓄電池材料評価技術開発 (第 2 期)」で検討が進められている²³⁾。なお、固体電池用新物質の探索の経緯と今後の展望は林ら²⁴⁾、作田ら²⁵⁾、菅野²⁶⁾の解説に詳しく述べられている。トヨタは 2021 年 9 月に自動車用バッテリーに関する説明会の中で車載用全固体電池の実用化に向けて取り組んでいくと発表している²⁷⁾。

3. 燃料電池自動車

内田²⁸⁾によれば、燃料電池はイオン電導性電解質の両側にアノードとカソードの 2 つの電極を配置したものであり、アノードで水素の酸化が、カソードで酸素の還元が生じることにより、電極間に電圧が発生し電力が供給される。この 1 組をセルと呼び、1 つのセルで発生する電圧は 0.7V であり、複数のセルが直列につながられたスタックを構成し、必要な電圧を確保している。燃料電池車ではスタックを構成するセル数は 300 以上である。燃料電池は電解質の種類に応じて、固体酸化物型 (SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)、固体高分子型 (PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)、アルカリ型 (AFC: Alkaline Fuel Cell)、りん酸型 (PAFC: Phosphoric Acid Fuel Cell)、熔融炭酸塩型 (MCFC: Molten Carbonate Fuel Cell)、などに分類される。SOFC は高温型 (700-1000°C) であり、高発電効率で一定の電力を継続的に供給するのに適しているために定置型で用いられる。燃料電池車 (FCV: Fuel Cell Vehicle) に搭載されるのは低温型 (室温~100°C) である PEFC が多い。PEFC のカソード反応 (酸素還元反応: Oxygen Reduction Reaction) の低さを補うために触媒としてアノードよりも多くの白金 (Pt) やその合金が利用されている。

なお、燃料電池車の普及には水素ステーションが出先にあることが必要であるが、高圧水素で供給しなければならない、水素ステーションは安全基準などの関係で通常のガソリンスタンドよりも設置に費用がかかるため、燃料電池車の利用が増える前提でないと投資が難しい。その結果、水素ステーションの普及が遅れているために燃料電池車も普及も遅れているというのが現状である。

水素の供給媒体としてアンモニアを利用し、アンモニアの分解で得た水素を燃料電池車に供給する研究もされている。広島大学と太陽日酸は内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の委託研究で、アンモニアを分解した水素に圧力変動吸着法 (PSA 法) を適用し水素回収率 90%、エネルギー効率 80% を達成し、燃料電池車への適用に多い区前進した発表している²⁹⁾。

4. 水素エンジン自動車

日本の水素エンジンの開発の歴史は古く、武蔵工

業大学(現：東京都市大学)が1970年代に研究を開始し、2010年までに水素エンジンのバスやトラックを開発している^{30,31)}。また、海外でも水素エンジン自動車の開発は行われてきた。ドイツの自動車メーカーであるBMWは2006年に水素エンジン駆動自動車であるハイドロジェン7を開発した。V型12気筒ガソリンエンジンN73型をベースとし、液体水素とガソリンを切り替えて利用できるデュアルモード駆動が可能であり、限定生産ののち現在は販売を終了している³²⁾。山根³³⁾によれば、燃焼速度が速い水素に対応するため圧縮比は低目に設定され、局所的な高温領域で生成するNO_xを減らすために予混合時の空燃比を調整するとともに触媒が利用されている。また、液体水素の気化にともなうタンク圧力の上昇として超臨界状態を作っている。

ドイツの部品メーカーであるボッシュは2020年の国際会議で水素エンジンの研究結果を発表しており、電動自動車以外に水素エンジン自動車の可能性も検討している³⁴⁾。日本の自動車メーカーの取り組みとしては、マツダが2004年に水素ガスとガソリンを切り替えて利用できるロータリーエンジンを搭載したRX-8を試験車両として発表し、2006年にRX-8ハイドロジェンREをリース販売した³⁵⁾。また、2009年には水素燃料を使ったロータリーエンジンで発電するシリーズ式ハイブリッド車を発表し、リース販売をしている³⁵⁾。通常のレシプロエンジンでは着火し易い水素がバックファイア現象を起こすのに対し、吸気室と燃焼室が異なるロータリーエンジンでは安定的に燃焼を維持することが可能である。さらに、2021年6月の中期方針説明会³⁶⁾では、ロータリー水素エンジンを活用した電動化自動車の推進が示唆されている。

一方、トヨタは2021年4月に翌月のスーパー耐久レースに水素エンジンを搭載した自動車で参戦すると発表³⁷⁾し、24時間で1634kmを完走した³⁸⁾。さらに、改良車両が同年8月に同レースでST-Qクラス2位に入っている³⁹⁾。4月は福島福島水素エネルギー研究フィールド(FH2R)で太陽光発電電力、8月は大分の地熱発電をもとに電気分解で得た水素を利用しており、次回レースではオーストラリアから水素運搬船で輸送された水素を使用することが発表されている⁴⁰⁾。

5. e-fuel とバイオ燃料

e-fuel は再生可能エネルギーを使って得た水素とCO₂などの炭素含有物質を反応させて製造された合成燃料の総称である。安価で大量に製造することができれば、既存のインフラおよびエンジン自動車を活用することが可能である。e-fuelの代表的なものにオシキメチレン・ジメチルエーテル(OME: polyoxymethylene dimethyl ether)やイソオクタン(isooctane)を主体とした混合燃料がある。既存の燃料を代替することが期待されているが、燃焼特性の違い等があり、NO_xや煤を出さずに安定燃焼させる研究が進められている⁴¹⁾。また、産官学のグループがNEDO事業の「CO₂からの液体燃料製造技術の研究開発」を受託し、検討を開始している⁴²⁾。

日本の自動車メーカーのマツダは、2017年4月に広島大学と藻類から自動車向けの再生可能なバイオ液体燃料生産を共同研究する藻類エネルギー創成研究室研究を開設したと発表した⁴³⁾。さらに、マツダは2018年6月にユーグレナと共同で自動車用次世代バイオ燃料の実証事業計画に参画すると発表し⁴⁴⁾、2020年8月にはバイオディーゼル燃料の原料製造・供給から利用までのバリューチェーンを構築し、同燃料の利用を開始したと発表している⁴⁵⁾。また、2019年2月にデンソーとユーグレナは藻類活用に関する技術提携に基本合意し、デンソーは製造したバイオディーゼル燃料を社内バスで使用することも検討していると発表した⁴⁶⁾。2020年9月に西武バスとユーグレナは、東京都練馬区や西東京市および東久留米市の路線バスにユーグレナの次世代バイオディーゼル燃料を使用すると発表した⁴⁷⁾。さらに、2021年5月にユーグレナとJRバス東北は定期観光バスにユーグレナの次世代バイオディーゼル燃料を使用開始したと発表した⁴⁸⁾。海外ではドイツの自動車メーカーであるアウディはe-fuelの開発・利用を推進していくと表明している⁴⁹⁾。

6. 水素利用環境

水素燃料電池自動車あるいは水素エンジン自動車が実用的に利用されるためには水素の供給体制の整備が前提となる。それには、日本各地域で産業界を跨いだ協力体で推進する必要がある。中部圏では2020年3月に電力・ガスを始めとするエネルギ

一系および製造系、金融・商社系の 11 社による水素利用協議会が発足し、水素需要量や供給網の検討が開始された⁵⁰⁾。2030 年に水素価格 30 円/Nm³、中部圏需要 11 万トン为前提とした場合、水素運搬船で輸送した水素を受け入れる基地と配送のためのラインパイプに 1000 億円の投資と年間 200 億円のコスト増加が見込まれるとの試算が 2021 年 2 月に発表されている。神戸・関西圏でも同様の水素利活用協議会が 2020 年 8 月に設立され、2021 年 5 月に水素サプライチェーンに関するアクションプランが発表されている⁵¹⁾。新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は「水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発」に係る公募を実施し、上記の活動を含む 14 件が採択され、調査研究が開始されている⁵²⁾。

7. 結 言

本稿では、自動車産業およびその関連部門がカーボンフリーに対して準備中あるいは実施中の内容を紹介した。欧州では内燃機関による自動車の新規販売を 10～15 年以内に全廃する動きがあり、電気自動車が有力な候補としてとらえられているが、カーボンフリーという目標を達成する手段には電気自動車以外の選択肢もある。技術は不連続に発展するものであり、今後の技術開発やコスト環境によっては有力候補以外の技術が主流になる可能性もある。したがって、自動車会社個社独自の判断は尊重されるべきであるが、可能性がある手段については国が今後もサポートしていく必要があると考えられる。

参考文献

- 藤田誠人, 中島崇文, 池幡 諭, 岡野翔運: 知的資産創造, **25**(2017), No.4, 46-63.
- 乗用車用エンジンの熱効率 50%超を達成, <<https://www.jst.go.jp/seika/bt2019-04.html>>, (参照 2021-09-10).
- 日本自動車工業会会長会見 2021 年 04 月 22 日, <https://release.jama.or.jp/sys/interview/detail.pl?item_id=821>, (参照 2021-09-10).
- ジスプロシウムフリーネオジム磁石の開発, <<https://www.nims.go.jp/news/press/2014/03/p201403260.html>>, (参照 2021-09-10).
- 重希土類完全フリーネオジム磁石が, Honda 新型ハイブリッド車「インサイト」に採用, <https://www.daido.co.jp/about/release/2018/1226_neodymium.html>, (参照 2021-09-10).
- レアアースの使用を抑えた重希土類フリーモータの開発に成功, <https://www.jtekt.co.jp/news/190124_2.html>, (参照 2021-09-10).
- 電動車普及拡大に貢献する Dy フリーNd 系異方性磁石粉末の高性能化に成功, <https://www.aichi-steel.co.jp/news_item/20210209_release.pdf>, (参照 2021-09-10).
- 次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発, <https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100078.html>, (参照 2021-09-10).
- トラクションモータシステム「E-Axle」(EV 駆動モータシステム), <https://www.nidec.com/jp/technology/new_field/e-axle/>, (参照 2021-09-10).
- Hon Hai Technology Group 及び Foxtron との合弁会社設立検討開始について, <<https://www.nidec.com/-/media/www-nidec-com/ir/news/2021/0721-04/210721-04.pdf>>, (参照 2021-09-10).
- ハイパーEV 向け電動モーターユニットの試作開発受託を開始, <<https://global.yamaha-motor.com/jp/news/2021/0412/ev-motor.html>>, (参照 2021-09-10).
- SiC, 量産車に初搭載——ホンダの新型 FCV が採用, <<https://eetimes.itmedia.co.jp/ee/articles/1603/11/news117.html>>, (参照 2021-09-10).
- SiC components to fill 25% of automotive power semiconductor by 2025, <<https://www.digitimes.com/news/a20210106PD205.html>>, (参照 2021-09-10).
- SiC 半導体, <<https://www.semilinks.com/ns1sic.html>>, (参照 2021-09-10).
- 近未来で電力をより効率的に扱うためにパワーデバイスに求められる技術革新, <<https://www.rohm.co.jp/analogpower/powertech/>>, (参照 2021-09-10).
- 吉利汽車集団とロームが SiC パワーデバイスを

- 中心とした戦略的パートナーシップを締結,
<https://www.rohm.co.jp/news-detail?news-title=2021-08-04_news_geely-rohm&defaultGroupId=false&newsCategory=press>,
(参照 2021-09-10).
- 17)デンソー、燃料電池自動車向けに SiC パワー半導体を量産化,<<https://www.denso.com/jp/ja/news/newsroom/2020/20201210-01/>>,
(参照 2021-09-10).
- 18)革新的なマテリアル技術の創出に向けて 8 件の研究開発に着手<https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101437.html>,
(参照 2021-09-10).
- 19)トヨタと豊田自動織機、ハイブリッド車用の新型電池を共同開発,<<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/31649046.html>>,
(参照 2021-09-10).
- 20)新型アクアを発売,<<https://global.toyota.jp/newsroom/toyota/35550666.html>>,
(参照 2021-09-10).
- 21)金村聖志：ン本エネルギー学会機関紙えねるみくす,**97**(2018),335-343.
- 22)石黒恭生：学術の動向,**25**(202),No.2,26-32.
- 23)LIBTEC 委託事業 | 第 2 期 <<https://www.libtec.or.jp/consignment-business/2nd-term/>>,
(参照 2021-09-10).
- 24)林 晃敏, 作田 敦, 辰巳砂昌弘：日本ゴム協会誌,**92**(2019),430-434.
- 25)作田 敦, 林 晃敏, 辰巳砂昌弘：粉碎,**64**(2021),9-17.
- 26)菅野了次：応用物理,**90**(2021),23.
- 27)電池・カーボンニュートラルに関する説明会の模様をライブ中継,<<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/35971587.html#presentation>>,(参照 2021-09-10).
- 29)アンモニア分解ガスから燃料電池自動車の燃料水素を高効率で回収する水素精製装置を開発,<<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/47811>>,
(参照 2021-09-10).
- 30)古浜庄一：精密機械,**44**(1978),114-119.
- 31)東京都市大学における水素エンジン及び水素自動車の研究開発の取り組み <<https://www.goto-ikuei.ac.jp/01topics/2011/2012-0224-1700-15.html>>,(参照 2021-09-10).
- 32)BMW Hydrogen 7<<https://www.press.bmwgroup.com/japan/article/detail/T0013899JA/bmw-hydrogen-7?language=ja>>,
(参照 2021-09-10).
- 33)山根 健：水素エネルギーシステム,**33**(2008),No.1,42-48.
- 34)再び水素エンジン特許増加 BMW 転出企業が狙うディーゼル超え <<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00878/072500010/>>,
(参照 2021-09-10).
- 35)環境技術 水素自動車,<<https://www.mazda.com/ja/innovation/technology/env/hre/>>,
(参照 2021-09-10).
- 36)マツダ「サステイナブル“Zoom-Zoom”宣言 2030」に基づき、2030 年に向けた新たな技術・商品方針を発表,<<https://newsroom.mazda.com/ja/publicity/release/2021/202106/210617a.html>>,
(参照 2021-09-10).
- 37)トヨタ、モータースポーツを通じた「水素エンジン」技術開発に挑戦,<<https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/35209944.html>>,(参照 2021-09-10).
- 38)トヨタが開発に力を注ぐ“水素エンジン”とは？ <<https://www.gqjapan.jp/cars/article/20210607-toyota-h2-engine>>,(参照 2021-09-10).
- 39)2021 スーパー耐久第 4 戦水素エンジンカローラは完走、しかも ST-4 クラス並みの速さ,<<https://gazoo.com/news/info/21/08/03/>>,
(参照 2021-09-10).
- 40)カーボンニュートラルに向け、仲間づくり、そして「つくる、運ぶ、使う」ことを実践,<<https://gazoo.com/news/info/21/08/04/>>,
(参照 2021-09-10).
- 41)佐々木旺雅, 樋熊 航, 境田悟志, 田中光太郎, 金野 満, 瀬戸雄史, 石川直也：日本機械学会論文集,**87**(2021),No.895,20-00361.
- 42)CO₂ からの液体合成燃料一貫製造プロセス技術の研究開発に着手,<https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101410.html>,
(参照 2021-09-10).
- 43)マツダ、広島大学と「次世代自動車技術共同研究講座藻類エネルギー創成研究室」を開設,<<https://newsroom.mazda.com/ja/publicity/>>

- release/2017/2>01704/170428c.html>, (参照 2021-09-10).
- 44)マツダ, 「ひろしま“Your Green Fuel”プロジェクト」への参画について,<<https://newsroom.mazda.com/ja/publicity/release/2018/201806/180613a.html>>,(参照 2021-09-10).
- 45)マツダ, 「ひろしま“Your Green Fuel”プロジェクト」において次世代バイオディーゼル燃料のバリューチェーンを構築<<https://newsroom.mazda.com/ja/publicity/release/2020/202008/200804a.html>>,(参照 2021-09-10).
- 46)ユーグレナ社×デンソー, 微細藻類を活用した事業開発で包括的提携,<<https://www.denso.com/jp/ja/news/newsroom/2019/20190220-01/>>,(参照 2021-09-10).
- 47)東京都・埼玉県内の路線バス初! ユーグレナバイオディーゼル燃料を西武グループの路線バスに使用します,<<https://www.seibubus.co.jp/news/uploads/4e5bdb4386557aea8813b074d60669f882f7e602.pdf>>, (参照 2021-09-10).
- 48)東北初! ジェイアールバス東北が運行する仙台・松島を巡る 2 階建て定期観光バスにてユーグレナ社のバイオ燃料を使用開始,<<https://www.euglena.jp/news/20210514-2/>>, (参照 2021-09-10).
- 49)アウディ, e-fuel テクノロジーでさらなる進化: 新しい合成燃料“e-benzin”(e-gasoline)のテストを実施中 <<https://www.audi-press.jp/press-releases/2018/b7rqm000000lqor.html>>, (参照 2021-09-10).
- 50)中部圏水素利用協議会活動のご紹介,<https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/suiso_nenryo/pdf/023_07_00.pdf>, (参照 2021-09-10).
- 51)「神戸・関西圏水素利活用協議会 協議会レポート」を作成,<<https://www.city.kobe.lg.jp/a22668/press/202105280425.html>>, (参照 2021-09-10).
- 52)「水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発」に係る実施体制の決定について,<https://www.nedo.go.jp/koubo/HY3_00047.html>,(参照 2021-09-10).