

講演 1. 自動車における次世代燃料の可能性と 交通安全環境研究所の取組

環境研究部

※川原田 光典

1. はじめに

日本の最終エネルギー消費の約 20%を占める運輸部門の内、自動車のエネルギー消費はガソリンや軽油といった液体燃料利用により 9 割近くを占めている。ゆえにカーボンニュートラル社会の実現には、自動車の省エネルギー化や燃料・エネルギーの脱炭素化が不可欠である。その 1 つとして自動車の電動化が進められており、新車販売台数に占める電動車の割合や販売台数自体について目標が設定されている。この中には電気自動車や燃料電池自動車だけでなく、内燃機関を搭載するハイブリッド車も含まれており、将来の自動車用パワートレインの選択肢の 1 つとして位置づけられている。

また既存の内燃機関搭載車においてもカーボンニュートラルに寄与することは可能である。その 1 つは大気中の CO₂ および再生可能エネルギーで生産された水素を原料として合成する液体燃料である e-fuel を利用することである。しかし e-fuel はまだ研究開発段階にあり大量生産には時間がかかる。そのほかには、植物油や廃食油などを利用するバイオ燃料が考えられる。バイオ燃料中の炭素は植物等原料の成長時に吸収した炭素であることから、燃焼時に大気放出される CO₂ は実質的にゼロである。これらの燃料について、いずれも単独で需要量を満たすことができない

ため、導入初期には従来の化石燃料やアルコール類などと混合して使用することが考えられる。

また、液体燃料ではないものの水素やアンモニアといった分子中に炭素を含まないカーボンフリー燃料の活用についても注目されている。これらはエネルギー供給構造高度化法において非化石エネルギー源として位置づけられている。今後非化石エネルギーへの転換が図られる中で利用が拡大するものと考えられ、自動車燃料として普及する可能性もある。

本稿ではこれら次世代燃料について、世界各国で行われているプロジェクトの動向調査、燃料使用時の車両影響、環境負荷の評価などに関する交通安全環境研究所の取組みの一部を紹介する。

2. 検討対象の整理

ここでは、検討対象について整理する。自動車に求められる化石エネルギー消費削減、燃料・エネルギーの脱炭素化について、燃料利用の観点から既販車および新型車に分けて検討を進めている。また、同時にそれらの車両への影響や環境負荷低減効果を評価し定量化する必要がある。そのため表 1 に示すように、検討事項について整理した。次章では、次世代燃料に関する動向をまず述べたうえで、各検討事項について述べる。

表 1. 検討対象

	既販車	新型車
化石エネルギー消費の削減	・水素、アンモニア等の部分的活用による液体燃料利用削減（レトロフィット）	・次世代燃料と新エンジンの協調最適化による効率改善
燃料の脱炭素化	・現在のガソリンや軽油に似た性状の合成燃料、バイオ燃料の利用	・合成燃料、バイオ燃料、水素・アンモニアの利用
評価手法の具体化	・燃料変化影響の評価 ・環境負荷低減効果の定量化	・環境負荷低減効果の定量化

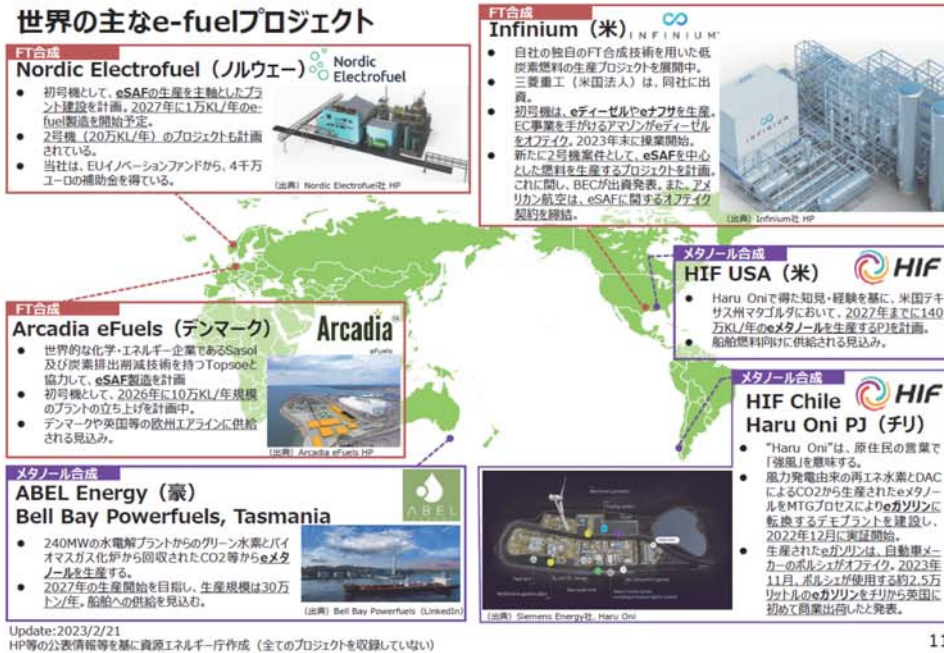


図1. 世界の主な e-fuel プロジェクト (1)

3. 調査内容

3. 1. 燃料動向

次世代燃料として大きく3つがある。1つは工場排気や大気中などから回収したCO₂と再生エネルギー由来の水素を用いて製造する合成燃料、2つめは植物からのアルコール製造や、植物油や廃食油等を高圧下で水素化処理等を行ったバイオ燃料、3つめが水素やアンモニアといったカーボンフリー燃料である。

合成燃料については、大気中から回収したCO₂と再生エネルギー由来の水素を用いて製造する場合をe-fuelと呼ぶ。また、合成燃料については液体の場合と気体の場合があるが、ここでは液体合成燃料を取り上げる。図1は世界の主なe-fuelプロジェクト⁽¹⁾を示す。ガソリン、軽油相当が生産可能なフィッシャートロプシュ法(FT)による合成と、メタノール合成について記載されている。このメタノールはMethanol to Gasoline(MtG)プロセスによりガソリン相当の燃料となる。いずれのプロジェクトも商用化までいたっておらず、記載されている中で最も大規模なものはFT合成で20万kL/year、メタノール合成で140万kL/yearである。一方、国内ではGI基金事業により高効率な大規模FT合成プロセスに関する研究開発が進められている⁽¹⁾。2028年に約1.8万kL/year、2035年以降に約58万kL/yearの製造量を目指している。

バイオ燃料については、すでに大規模生産に関する技術開発が進んでおり、とうもろこしやセルロースな

どからバイオエタノールを生産することや、植物油や廃食油を水素化処理したHydro treated Vegetable Oil(HVO)がある。Neste社はRenewable Dieselとして大規模な生産と生産拡大を行っており、SAFなど航空業界向けを含め2026年末に850万kL/yearに増加する見込みである。

カーボンフリー燃料である水素やアンモニアについては、サプライチェーンの構築に関する取組みが進められておりUAEからのブルーアンモニア輸送、オーストラリアでのグリーン水素、アンモニアプロジェクトなどが進められている。再生エネルギー由来の水素の場合、水を電解することによって得られるため、水や酸素等が製造や輸送の際にわずかに混入するものの高純度である。水素を自動車のエネルギー源として利用する場合、内燃機関での利用と燃料電池での利用が考えられる。燃料電池では特に高純度(>99.999%)の水素が必要とされるため、アルカリ水電解や海水直接電解など様々な方法で製造した水素を日本に輸送し、国内で水素純度を高めたものを燃料電池用途、そのままの純度のものについては内燃機関などの用途に用いることが考えられる。また、アンモニアについては火力発電(混焼・専焼)、工場等の高温熱源、船用燃料としての用途のほか水素キャリアとしての用途もある。アンモニアが大量に普及した場合には、一部を直接自動車に使用することも考えられる。

図2に自動車燃料消費量統計年報より作成した、日

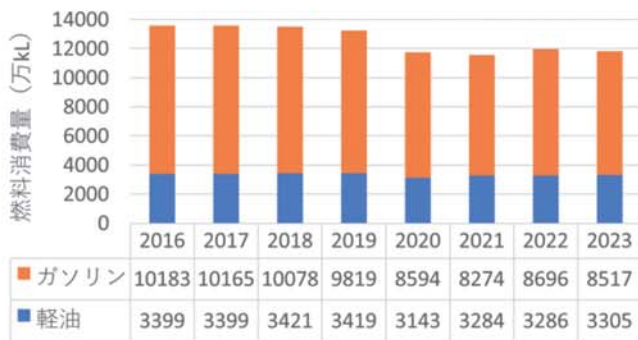


図2. 国内燃料消費量

本国内におけるガソリンおよび軽油の消費量を示す。縦軸は年間の燃料消費量を万 kL で示したものであり、横軸はカラーバーの直下に各年度を示し、その下に各年度のガソリン（橙）および軽油（青）の消費量を示す。前述の合成燃料やバイオ燃料の生産規模と比較して桁違いに消費量が多いことから、これらを単独で利用することはなく、従来の化石燃料への段階的な混合や複数の次世代燃料を組み合わせる利用が考えられる。

3. 2. 既販車における検討

既販車については、ガソリンや軽油利用を前提として設計されており、極端に性状の異なる燃料の利用は難しい。そのため、FT 合成や MtG、HVO として生産される燃料のうち既販車にて使用可能なものは、合成粗油から製品化される工程において、ガソリンや軽油の規格に準拠するように調整されたものである。現在のところ市場調達可能な次世代燃料は、このように既存の燃料規格にあわせたものが大半である。

3. 2. 1. 既販車へのレトロフィットによる液体燃料利用量の削減

既販車において液体燃料利用量を削減するためには、燃料利用の点からは、水素やアンモニアといったカーボンフリー燃料の活用がある。一方で、特にアンモニアは自動車用燃料としては活用事例が少ないことから、ポート噴射式のガソリンエンジンを搭載した車両をベースとして吸入空気側に水素やアンモニアを供給できるように改造を行い、これらの自動車用燃料としての課題を調査した。図3に実際に改造を行った車両のエンジンと燃料供給系を示す。インテークマニホールドに水素アンモニア用のインジェクタを設置した。自然吸気式のエンジンであるため、燃料の噴射圧は高くない。また水素アンモニアのエンジンへの供給量については、噴射弁の開弁時間によって制御し



図3. 改造状況

ている。

試験車両の改造を完了し、アイドリング状態で水素混焼の試運転を行った。水素供給量を増加させつつ、サブ ECU にてガソリンインジェクタへの噴射パルス印加期間を徐々に短縮させた。その結果 40%短縮した条件まで A/F、スロットル開度、排気温度が安定した運転ができることが確認できた。それ以上短縮した場合、インジェクタの針弁が開かず燃料が噴射されなかった。噴射パルス期間を基準とすると 40%の液体燃料の削減であるが、実噴射量では 40%以上削減されている可能性がある。今後、回転数と負荷に応じて水素供給量とガソリンの噴射量を変更する ECU マップを作成し、WLTC のモード走行により排出ガス挙動や液体燃料削減効果を評価する予定である。

3. 2. 2. 既販車への次世代燃料利用時の影響評価

既販車において次世代燃料を用いる場合、基本的に燃料性状は強制規格に収まるものの、従来のガソリンや軽油といった燃料とは細かな組成が異なる。そのため、国土交通省次世代大型車開発促進事業の一環として交通安全環境研究所にて実施しているテーマ「カーボンニュートラル燃料の実用化に向けた実車両への影響調査」では、軽油代替となる次世代燃料を調達し、影響の調査を行っている。具体的には、調達した燃料の成分分析、部品試験、車両試験を一貫して行い、それによって燃料中に含まれるどの成分が車両部品や排出ガスに影響を及ぼす可能性があるか調査する。また、従来燃料などとの混合比率を変更した試験により、その成分の含有率の上限を検討し、これらをガイドラインのベースとしてまとめていく予定である。

部品影響試験の1つとして、燃料ポンプやインジェクタなど燃料によって潤滑している箇所への影響を調査するため、燃料噴射系を用いた噴射試験を行った。上段が HVO、下段が軽油であり、左列が噴射圧

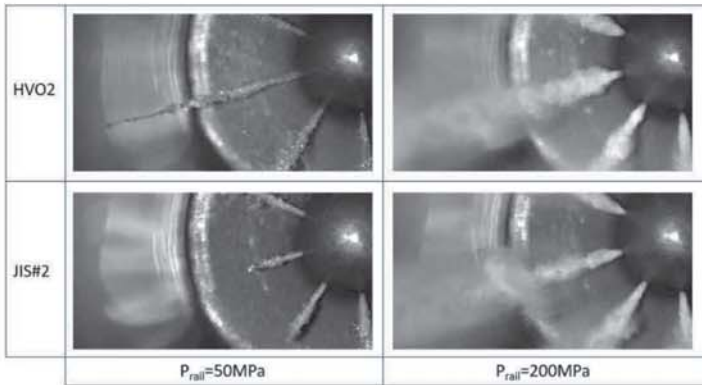


図4. 噴射試験

50MPa、右列が噴射圧 200MPa のいずれも噴射初期に撮影した画像を示す。噴射圧の低い条件では噴射開始に差が出たものの、時間になると $3\mu\text{s}$ 程度の違いであった。噴射圧が高い条件では噴孔近くの拡がり角にわずかに違いが見られるものの、全体としてはほぼ同等であった。燃料ポンプ等についても、噴射が不安定になるなどの不具合はなく、従来燃料と同様の使い方ができるものと判断される。

次世代燃料を燃焼させた場合の後処理装置ならびに排出ガス挙動への影響については、今年度から実車を用いた試験を開始予定である。

3. 3. 新型車における検討

新型車については、これまでの軽油やガソリンにとらわれず、エンジンの高効率化に資する燃料という観点から調査を行っている。この調査も「カーボンニュートラル燃料の実用化に向けた実車両への影響調査」の一環であり、高熱効率を狙った超高圧縮比エンジンにおいて、高級アルコール類や、メタノールから合成されるオキシメチレンエーテル (OME) を対象とする試験を実施予定である。

また、同じく国土交通省次世代大型車開発促進事業の対象として水素内燃機関があり、今年度から検討が開始された。水素内燃機関は、層流燃焼速度が早く、消炎距離が短いといった水素の燃焼特性により、 NO_x の生成や壁面からの冷却損失が大きい。そこで NO_x 低減に資する EGR および SCR に関する 2 テーマ、冷却損失低減に資する熱流束計測に関する 1 テーマを実施し、水素内燃機関の可能性や技術的課題を検討する予定である。

3. 4. 環境負荷評価手法の具体化

e-fuel やバイオ燃料を燃焼させた場合に発生する CO_2 は、大気中から直接回収した CO_2 や植物などの

成長に伴って大気中から取り込まれたものであるため、大気中の CO_2 は増加せずカーボンニュートラルである。しかし、製造時や輸送時のエネルギー分についても考慮するとカーボンニュートラルとならない可能性がある。また、カーボンフリー燃料であるアンモニアを混焼させた場合、炭化水素系燃料の使用量が減少するため CO_2 の排出低減につながるものの、アンモニアの燃焼に伴い N_2O の排出が増加することが知られている。 N_2O の温暖化係数 GWP100 は CO_2 が 1 のところ 265 であり、GHG で考えた場合には排出増となる可能性がある。

これらのことから、燃料変更時の環境負荷低減効果の評価手法として、燃料の製造から使用までのライフサイクルでの GHG 排出評価を検討している。なお交通安全環境研究所は UNECE/WP29、GRPE 傘下の自動車ライフサイクルアセスメント (A-LCA) 専門家会議に共同議長として参画しており、会議内の燃料エネルギーサイクル担当のサブグループでは GHG 排出評価に関する議論をけん引している。この手法の具体化にむけて国内外での議論をふまえ、引き続き検討していく予定である。

4. まとめ

交通安全環境研究所では、自動車用の次世代燃料として、合成燃料、バイオ燃料、水素アンモニア等のカーボンフリー燃料に着目しており、それらの可能性と所としての取り組みの一部について紹介した。

まず既販車へのカーボンフリー燃料の活用については、混焼による液体燃料使用量の削減が可能であることを述べた。また、市場調達可能な次世代燃料の同等品を用いた部品影響試験では、従来燃料との間に大きな違いは見られなかった。今後車両試験により排出ガスや後処理装置への影響を確認する。新型車への取り組みとして、高級アルコールや OME を利用した高効率エンジン、水素内燃機関について取り上げた。最後にライフサイクルでの環境負荷評価について交通安全環境研究所の取り組みを述べた。

これらを通じて次世代燃料の早期社会実装の一助となるよう引き続き取り組む所存である。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁, “バイオ燃料・合成燃料のサプライチェーン構築に向けて”, pp. 1-14 (2024)