



我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び
水素利用に関する調査研究並びに運輸業界・交通事業者等への周知啓発
報告書

令和 6 年 3 月



一般財団法人 運輸総合研究所

我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する
調査検討委員会 委員名簿

(敬称略・順不動)

委員(座長)	三宅 淳巳	横浜国立大学 大学院環境情報研究院 人工環境と情報部門 教授
委員	小田 拓也	北九州市立大学 環境技術研究所 教授、 東京工業大学 科学技術創成研究院 特任教授
委員	納富 信	早稲田大学 大学院環境・エネルギー研究科 教授
委員	三好 千景	広島大学 Town & Gown 未来イノベーション研究所 特任教授、 英国・クランフィールド大学航空宇宙環境システム学 准教授
委員	水田 真夫	一般社団法人 水素バリューチェーン推進協議会 担当部長
委員	幡司 寛治	岩谷産業株式会社 技術・エンジニアリング本部 カーボンニュートラル設備部 シニアマネージャー
委員	吉村 健二	川崎重工業株式会社 水素戦略本部 プロジェクト総括部 総括部長
委員	久保 敦	豊田通商株式会社 カーボンニュートラルフューエル部 CNソリューションG グループリーダー
委員	大道 修	東日本旅客鉄道株式会社 イノベーション戦略本部 R&D ユニット 水素社会実装 PT マネージャー
委員	平田 宏一	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 特別研究主幹
委員	大平 英二	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 ストラテジーアーキテクト
委員	宿利 正史	一般財団法人運輸総合研究所 会長
委員	佐藤 善信	一般財団法人運輸総合研究所 理事長
委員	屋井 鉄雄	一般財団法人運輸総合研究所 所長
委員	奥田 哲也	一般財団法人運輸総合研究所専務理事、ワシントン国際問題研究所 所長、アセアン・インド地域 事務所長
委員	藤崎 耕一	一般財団法人運輸総合研究所 主席研究員、研究統括
オブザーバー	石狩市、横浜市	

事務局	一般財団法人運輸総合研究所
作業協力	株式会社日本総合研究所(以下「日本総研」という。)

目次

1. 背景と概要	5
1.1 背景.....	5
1.2 本調査の全体像	5
1.3 実施体制	6
2. 国内交通産業で需要がある交通脱炭素燃料(バイオ、水素、合成燃料等)の需給規模の調査.....	7
2.1 交通脱炭素燃料の動向(需要側).....	7
2.1.1 次世代自動車に関する取り組みの動向	7
2.1.2 鉄道分野の取り組みに関する動向.....	9
2.1.3 次世代船舶分野の取り組みに関する動向	10
2.1.4 次世代航空機分野の取り組みに関する動向.....	11
2.2 脱炭素燃料の製造・供給における動向調査	12
2.2.1 脱炭素燃料の製造・供給に関する取り組み	12
2.2.2 燃料製造・供給における課題	14
2.3 交通脱炭素燃料の取り組みまとめと水素への期待	15
3. 世界的な水素燃料の社会実装の動き、水素のメリット・課題の整理.....	18
3.1 諸外国の水素関連政策とトランスポーター関連政策の動向まとめ	18
3.2 諸外国の水素関連政策の詳細.....	18
3.2.1 欧州の水素・トランスポーター関連政策の詳細.....	18
3.2.2 英国の水素・トランスポーター関連政策の詳細.....	21
3.2.3 米国の水素・トランスポーター関連政策の詳細.....	22
3.2.4 中国の水素・トランスポーター関連政策の詳細.....	24
3.2.5 韓国の水素・トランスポーター関連政策の詳細.....	26
3.2.6 ASEAN 諸国の水素・トランスポーター関連政策の詳細	27
3.2.7 諸外国における先行事例	29
3.3 水素利用のメリットと課題	30
3.3.1 水素利用におけるメリット	30
3.3.2 水素利用における課題.....	31
4. 日本の交通機関で水素燃料を実装していくのに適した地域、交通モード等の調査	32
4.1 評価指標の検討	32
4.1.1 水素利用に適した条件の検討	32
4.1.2 評価軸の検討	33
4.2 個別モードでの水素利用マップの検討.....	35

4.2.1 自動車.....	35
4.2.2 鉄道.....	41
4.2.3 航空機.....	42
4.2.4 船舶.....	45
4.3 モデル案の検討と実現に向けた課題.....	47
4.3.1 モデル案検討における切り口.....	47
4.3.2 モデル案の検討方針.....	48
4.3.3 モデル案の実現に向けた課題.....	49
5. 委員会・セミナー等の開催.....	52
5.1 委員会の開催.....	52
5.2 英国・クランフィールド大学との意見交換.....	52
5.3 セミナーの開催.....	54
6. 成果のとりまとめ.....	69

(参考)脱炭素セミナー『脱炭素のカギは「水素」～交通分野の脱炭素化に向けて～』研究報告資料

我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する調査研究(報告)...71

1. 背景と概要

1.1 背景

運輸部門のエネルギー消費量は、輸送量の低下や輸送効率の改善等により、ピークであった 2001 年以降減少を続けている。また、昨今の HV や BEV の普及により、主に旅客部門での二酸化炭素排出量も減少傾向にある。しかし、更なる運輸部門の排出量削減に向けて、次世代自動車の導入や海運、鉄道へのモーダルシフトの推進などが求められる¹。こうした中、日本の運輸部門の脱炭素化に向けて、自動車、鉄道、船舶、航空機などの様々な交通モードにおいて、蓄電池や脱炭素燃料を利用した技術開発が進められており、脱炭素燃料としては、バイオ燃料、水素、合成燃料等幅広く検討されている。中でも水素については、6 年ぶりの改訂となる水素基本戦略²が 2023 年 6 月に発表され、燃料電池分野での取り組みとして、乗用車に加え、商用車分野への取り組みを重点化していくことが記された。加えて、同戦略では、大規模サプライチェーンの構築に向けた支援制度の創設、水電解装置コストの低減など、上述の取り組みと合わせて需給一体で推進していくことが示されている。

大規模水素サプライチェーンの構築は、2030 年に向けて進むことが想定される中、主にコストが要因となり、足元での水素利用の普及拡大が課題となっている。需給一体での取り組みが求められる現状において、発電や産業での熱利用の他、交通分野も含めた大規模な需要創出が重要であると考えられる。

このような状況を踏まえ、日本の交通システムにおける脱炭素燃料の利用可能性及び水素利用に関して、国内交通産業で需要がある交通脱炭素燃料(バイオ燃料、水素、合成燃料等)の需給規模を予測し、交通分野での水素の利用が国内交通産業に与える影響を踏まえた対応策の検討、交通分野での水素の利用が及ぼす影響の分析やこれへの対応策に関する交通事業者等への周知を行うことの支援を目的とし、また水素燃料を利用した場合等の環境価値の帰属先の定め方や考え方についても合わせて整理するため、「我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する調査検討委員会」を設置し、有識者を含めて 2023 年 12 月 18 日、2024 年 2 月 15 日に会合を開催し、多面的に議論を行った。

検討委員会では、我が国の交通分野の脱炭素化に向けたバイオ燃料、合成燃料、水素等の燃料転換に関する調査を起点に交通分野における 2050 年のカーボンニュートラルに向けた水素利用の実現可能性にフォーカスし、実現可能性が高いと考えられる運用についてとりまとめ、令和 5 年度の調査研究の途中経過とする報告書を、この文書として作成した。

1.2 本調査の全体像

本調査では、交通分野の脱炭素化に向けたバイオ燃料、合成燃料、水素等の燃料転換に関する調査を起点に交通分野における 2050 年のカーボンニュートラルに向けた水素利用の実現可能性を検討する。

① 交通分野の脱炭素燃料の概観

- ・ 日本の交通分野において期待される、交通分野における脱炭素燃料の市場動向や供給見通し、利活用に向けた主要な取り組み動向を調査するとともに、交通分野における水素利用の可能性について整理する。

¹ <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r03/hakusho/r04/html/n1212000.html>

² https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/saisei_energy/pdf/hydrogen_basic_strategy_kaitei.pdf

- ② 世界的な水素の社会実装の動向と水素のメリット・課題の整理
 - ・ 諸外国における交通分野での水素の社会実装の動きを情報収集・整理し、交通分野での水素のメリット・課題の整理、日本の交通分野での水素利用の有用性を調査する。
 - ・ 欧米等の主要国での水素政策や水素を利用した航空機、船舶、鉄道などの各メーカーの開発動向とインフラ整備の状況を調査し、具体例を含めて整理する。
- ③ 水素利用に適した交通モードの検討
 - ・ サプライチェーン、事業性等の条件から交通分野における水素社会の実現可能性に係るポテンシャルを調査及び評価することで、水素利用に適した交通モードや地域の検討を行う。
- ④ 交通分野における水素の社会実装のモデルと課題解決
 - ・ 規格・基準、サプライチェーン、インフラの共通化等、交通モード間の連携による効率的整備・運用が可能かどうか、交通分野横断的な連携等を考慮して実現可能性・予見性のあるモデルを示す。
 - ・ コスト(経済性及び事業性)、インフラ、サプライチェーン、貯蔵・輸送など水素の社会実装モデルを実現するための課題整理及びその解決の方向性の検討を行う。

1.3 実施体制

本調査では、「我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する調査検討委員会」を設置し、有識者を含めて多面的に議論を行った。

2. 国内交通産業で需要がある交通脱炭素燃料(バイオ、水素、合成燃料等)の需給規模の調査

2.1 交通脱炭素燃料の動向(需要側)

2.1.1 次世代自動車に関する取り組みの動向

グリーン成長戦略において、乗用車は2035年までに新車販売で電動車100%を実現すること、商用車は、8t以下の小型車については、新車販売で、2030年までに電動車20~30%、2040年までに電動車・脱炭素燃料車(合成燃料等)100%の目標を設定した³。8t超の大型車については、2020年代に5,000台の先行導入を目指すと共に、2030年までに2040年の電動車の普及目標を設定することを目標としている。ここで、電動車は電気エネルギーを動力とする自動車でBEV、HV、PHEV、FCVなどを含む。また、世界各国の電動化目標は、図2-1に示したとおりで、日本の目標水準は世界と比較して同程度であるが、EUや英国においては、ハイブリッド車を対象外とするなど、他国に比べて規制強化の動きが目立つ状況である。

	目標年度	目標	FCV	EV	PHEV	HEV	ICE
日本	2030	HV : 30~40% EV・PHV : 20~30% FCV : ~3%	~3%	20-30%		30~40%	30~50%
	2035	電動車(EV/PHV/FCV/HV) 100%		100%			対象外
EU	2035	EV・FCV : 100% (注) ただし、中間レビュー等の規定あり	100%				対象外
米国	2030	EV・PHV・FCV : 50%		50%		50%	
カリフォルニア州	2035	EV・PHV・FCV : 100%		100%			
中国	2025	EV・PHV・FCV : 20%		20%			
	2035	HEV50% EV・PHV・FCV : 50% (注) 自動車エンジニア学会発表		50%		50%	対象外
英国	2030	ガソリン車 : 販売禁止 EV:50~70%		50-70%			対象外
	2035	EV・FCV : 100%	100%				対象外
フランス	2040	内燃機関車 : 販売禁止	100%				対象外
ドイツ	2030	EV : ストック1500万台		ストック 1500万			

図 2-1 各国の電動化目標

出所:経済産業省「トランジション・ファイナンス」に関する自動車分野における技術ロードマップ⁴より引用

電動車において、乗用車やバス、トラックなどの様々な交通モードが存在するが、政府としては、個々の強み・課題を認識した上で、図2-2に示すマッピングのとおり、多様な選択肢を検討していくこととしている。

³ https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/05_jidosha.html

⁴ https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/transition/transition_finance_road_map_automotive_jpn.pdf

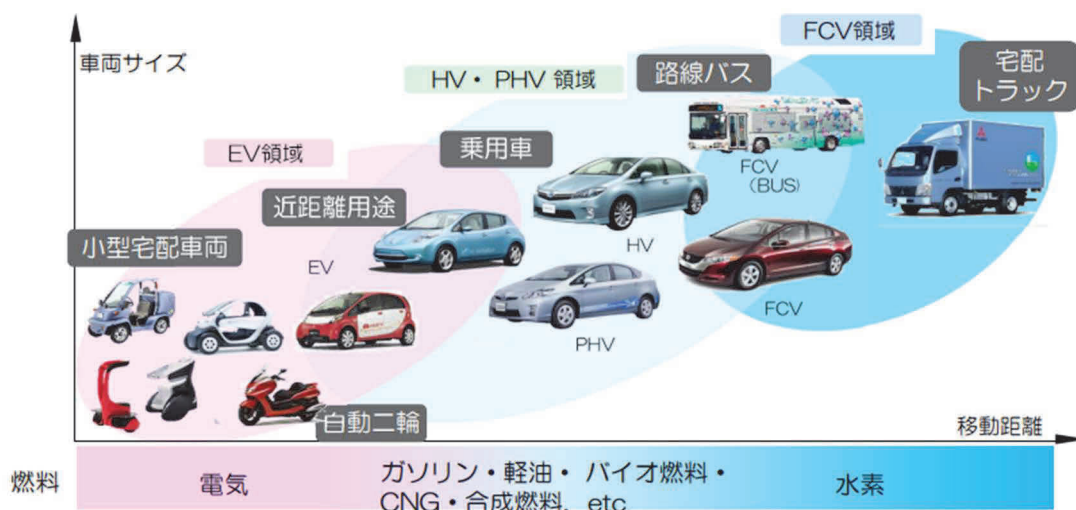


図 2-2 次世代自動車の利用シーンマップ

出所：日本自動車工業協会「2050年カーボンニュートラル実現に向けた省エネルギーの更なる深掘りと課題・要望」⁵より引用

また、既に市場投入されている BEV や FCV に加え、様々な脱炭素燃料の取り組みが推進されている。バイオディーゼルについては、主に自治体によるバイオ燃料化の取り組み事例が多く存在し、市営バスやゴミ収集車等への利用が行われている。バイオエタノールは、南米で普及しているものの、国内ではほとんど普及しておらず、ENEOS(株)らが組成した次世代グリーン CO₂ 燃料技術研究組合が、バイオエタノールの製造技術に加え、車両への利用時の課題等を調査するとしている。

このように、自動車分野では、BEV・FCV に限らず、バイオ燃料、合成燃料といった幅広い燃料利用が検討されている。

表 2-1 脱炭素燃料に関する主な取り組み事例

燃料種	取り組み概要	実施主体
バイオディーゼル	京都市内の家庭等から排出される廃食用油を回収し(2022年度には約42万リットル)、市内の生産設備にてBDF化した後、市営バスやゴミ収集車の燃料として使用されている。 ⁶	京都市
バイオエタノール	バイオマスの利用、生産時の水素・酸素・CO ₂ を最適に循環させて効率的に自動車用バイオエタノール燃料を製造する技術研究を推進。 ⁷	次世代グリーン CO ₂ 燃料技術研究組合
合成燃料	トヨタ自動車の市販車を使い、水素と CO ₂ から合成される燃料を全体の 10%混合させた状態でのでも走行を実施した。 ⁸	ENEOS 株式会社

出所：各種公表情報を基に日本総研作成

⁵ https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene/shinene/shoenergy/pdf/032_03_00.pdf

⁶ <https://www.city.kyoto.lg.jp/kankyo/page/0000000008.html>

⁷ <https://global.toyota.jp/newsroom/corporate/37543249.html>

⁸ <https://www3.nhk.or.jp/tokai-news/20230528/3000029343.html>

2.1.2 鉄道分野の取り組みに関する動向

鉄道は、他の交通モードと比較して電化が進むモードであり、電化区間では電車そのもののエネルギー効率の向上や回生電力の有効活用、非電化区間においては、蓄電池車両等による実質的な電化、FC 車両、ディーゼル車両による動力の非化石化が検討されている。これら取り組みの他、水素利用の事例として、水素エンジンと蓄電池を搭載したハイブリッド車両の開発が進められている⁹。

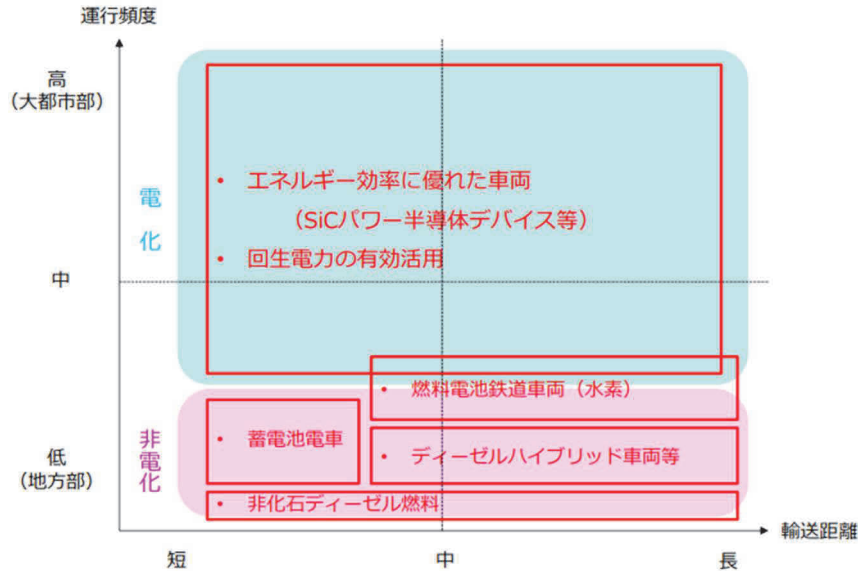


図 2-3 鉄道分野における取り組み類型

出所:鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会「鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿」¹⁰より引用



図 2-4 鉄道分野における個別施策のロードマップ

出所:鉄道分野におけるカーボンニュートラル加速化検討会「鉄道分野のカーボンニュートラルが目指すべき姿」¹⁰より引用

⁹ <https://jr-central.co.jp/news/release/pdf/000043037.pdf>

¹⁰ <https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001611767.pdf>

2.1.3 次世代船舶分野の取り組みに関する動向

本調査では、国内における脱炭素燃料利用の可能性について検討するため、外航海運については対象外とする。そのうえで、内航海運における各種脱炭素燃料に関する取り組みの動向として、内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会のとりまとめで示された、代替燃料を活用した船舶の研究開発及び実装に向けたロードマップによれば、2030年以降での水素エンジン船やFC推進船の導入を目指している。

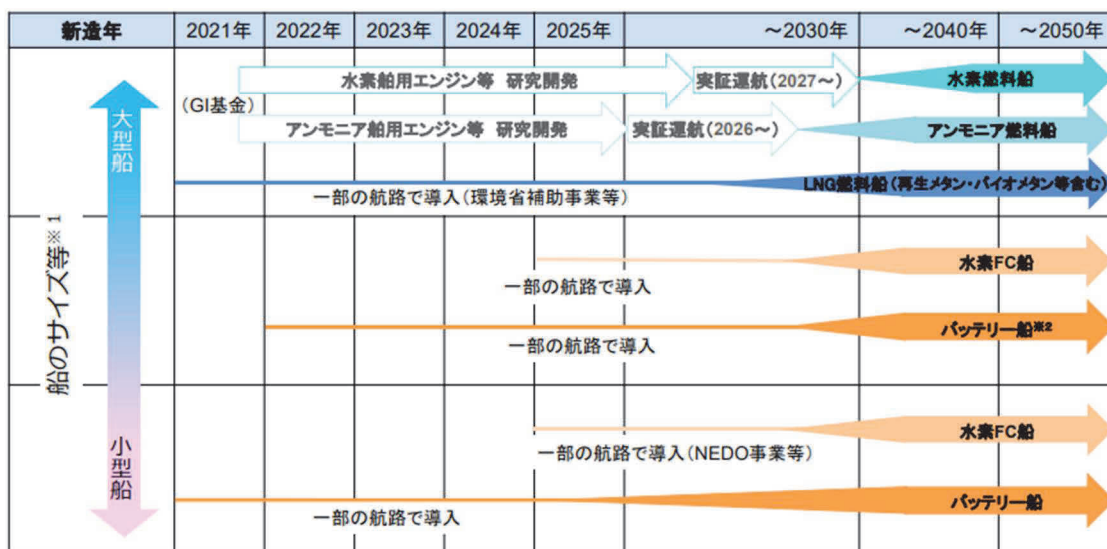


図 2-5 内航船舶における代替燃料適用ロードマップ

出所：国土交通省海事局「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」とりまとめ概要¹¹より引用

図 2-5 に記載の水素・アンモニア・合成/バイオメタンの他、既存のディーゼル燃料代替やメタノール燃料を活用した船用エンジンの開発等が進められており、船舶分野においては幅広い脱炭素燃料の活用が期待されている。

表 2-2 脱炭素燃料に関する主な取り組み事例

燃料種	取り組み概要	実施主体
バイオディーゼル	株式会社商船三井のグループ会社である商船三井テクノトレード株式会社が保有・運航する燃料供給船において、油藤商事株式会社より供給されたバイオディーゼル燃料を用いた運航に成功 ¹²	株式会社商船三井
バイオメタノール/ 合成メタノール	かねてより進めてきたメタノール燃料を用いた船用エンジン搭載の内航タンカーの建造を決定。商船三井内航・田渕海運・新居浜海運の三社が共同保有する予定。 ¹³	(株)商船三井、(株)商船三井内航、田渕海運(株)、新居浜海運(株)、村上秀造船(株)、阪神内燃機工業(株)

出所：各種公表情報を基に日本総研作成

¹¹ <https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001447061.pdf>

¹² <https://www.mol.co.jp/pr/2022/22020.html>

¹³ <https://www.mol.co.jp/pr/2023/23037.html>

2.1.4 次世代航空機分野の取り組みに関する動向

航空機においても、船舶同様に国内線における検討とする。脱炭素化に向けた目標としては、国際航空が ICAO(国際民間航空機関)のグローバル削減目標に沿った形での取り組みが求められる。一方、国内航空においては、2030 年における 2013 年度比増ゼロの目標設定となっている。また、航空機運航分野における CO₂ 削減に関する検討会は、航空機運航分野において、①新技術の導入、②管制高度化、③SAF 導入促進を具体策として掲げ、検討を進めている。

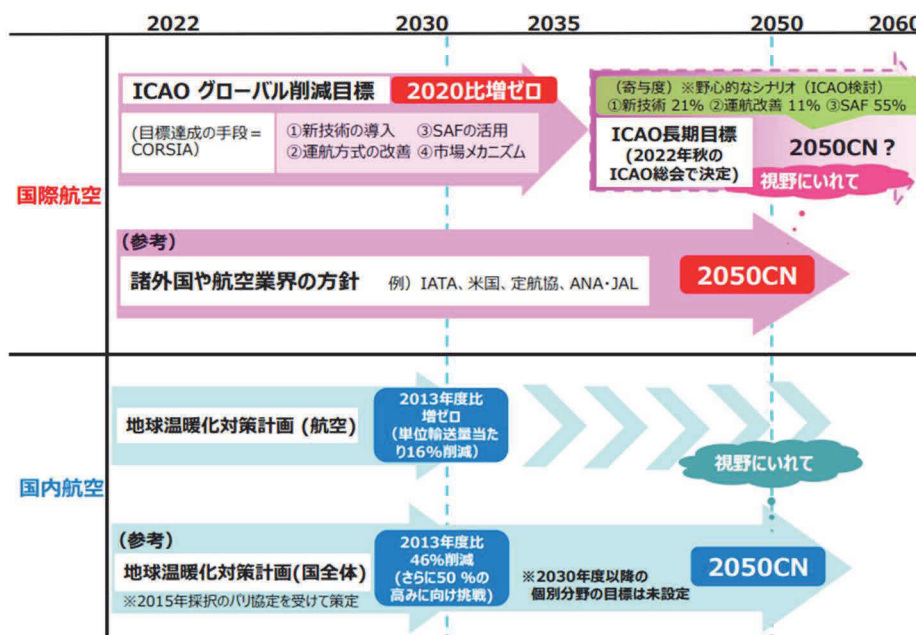


図 2-6 航空分野の脱炭素化に向けた目標

出所:国土交通省航空局「航空機運航分野における脱炭素化の取組について」¹⁴より引用

特に、新技術の導入については、蓄電池利用の検討に加え、水素航空機の技術開発がグリーンイノベーション基金で進められており、飛行実証は 2030 年以降と想定されている。また、本格的な技術実装は 2040 年にかけて進むものと考えられる¹⁵。

水素航空機は、国内では上述のグリーンイノベーション基金の下で川崎重工業が水素航空機エンジンの開発に着手しているほか、海外では Airbus や英スタートアップの ZeroAvia、米スタートアップの Universal Hydrogen は、FC 推進航空機の開発を、Rolls-Royce は英国の航空会社である easyJet と水素航空機エンジンの開発を進めている。

¹⁴ <https://www.mlit.go.jp/koku/content/001510269.pdf>

¹⁵ https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_gaiyou.pdf

表 2-3 脱炭素燃料に関する主な取り組み事例

推進方法	取り組み概要	実施主体
水素エンジン	グリーンイノベーション基金事業として、水素航空機向けエンジン燃焼器等の開発を実施している。事業期間は 2030 年度までの 10 年間で、実現性のある水素航空機の具体化を含めて検討している。 ¹⁶	川崎重工業株式会社
FC 推進	2023 年 1 月 19 日に、燃料電池を搭載した航空機としては最大の 19 人乗りの航空機の初飛行に成功した。より大きいパワートレインの開発が期待されている。 ¹⁷	ZeroAvia
	2023 年 3 月 2 日、40 人乗りの双発リージョナル旅客機の片方のエンジンを水素燃料電池推進に改修した機体による試験飛行を実施した ¹⁸ 。	Universal Hydrogen

出所：各種公表情報を基に日本総研作成

2.2 脱炭素燃料の製造・供給における動向調査

2.2.1 脱炭素燃料の製造・供給に関する取り組み

(1) 水素サプライチェーンの構築

低炭素水素等の製造には、再生可能エネルギーが必要であり、発電や産業など水素消費量の大きい分野での利用の場合、必要な再生可能エネルギーも大きくなる。国内製造の場合は、こうしたエネルギー起因での制約によって、低稼働率によるコスト高となるケースもあれば、やむを得ず余剰電力が生じてしまうケースでは、エネルギーコストを最大限削減することができるため、コスト競争力のある水素の製造が可能となる。また、再生可能エネルギーコストの低い海外で大規模に水素製造し、コスト競争力のある水素を大量に輸入するケースも考えられる。

脱炭素燃料等政策小委員会では、水素の受入・貯蔵拠点形成支援と価格差に着目した支援に関する検討状況を含む中間とりまとめを 2024 年 1 月 29 日に公表した¹⁹。2030 年までに供給開始が見込まれることを求めるなど、支援に関する各種条件について記載されており、水素サプライチェーンの構築に向けて、国内製造や海外からの輸入を含めて支援対象としている。

こうした中、表 2-4 に示すように、国内企業により海外での水素製造プロジェクトに関与している事例や、需要家が直接水素等の調達に向けて取り組みを推進しているケースも存在することから、将来的に日本への大量の水素輸入が期待される。

¹⁶ <https://www.nedo.go.jp/content/100938958.pdf>

¹⁷ <https://zeroavia.com/flight-testing/>

¹⁸ <https://hydrogen.aero/press-releases/universal-hydrogen-successfully-completes-first-flight-of-hydrogen-regional-airliner/>

¹⁹ https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene shinene/suiso seisaku/pdf/20240129_1.pdf

表 2-4 国内企業が関与する水素輸入プロジェクトの例

輸出元国	関連事業者	キャリア
オーストラリア(VIC)	住友商事、丸紅、電源開発、岩谷産業、川崎重工、川崎汽船等	液化水素
オーストラリア(QLD)	丸紅、岩谷産業、関西電力、Stanwell、Keppel	液化水素
オーストラリア(QLD)	川崎重工、Origin Energy	液化水素
カナダ・アルバータ州	三菱商事、Shell	アンモニア
オーストラリア(QLD)	出光興産	アンモニア
米国・テキサス州	三菱商事、RWE、ロッテ	アンモニア
マレーシア・ペトロナス	ENEOS、ペトロナス	MCH
アラブ首長国連邦	ENEOS、三井物産、ADNOC	MCH
マレーシア・サラワク州	ENEOS、SEDC エネルギー、住友商事	MCH
オーストラリア(SA)	ENEOS、NEOEN	MCH
サウジアラビア	ENEOS、三菱商事、サウジアラムコ	MCH・アンモニア
オーストラリア(QLD)	ENEOS、Origin Energy	MCH

出所：各種公表情報を基に日本総研作成

(2) 合成燃料

合成燃料の製造についても、グリーンイノベーション基金事業として、合成メタン、グリーン LPG や SAF の製造技術の確立を目指し、ENEOS(株)や出光興産(株)による液体燃料製造、東京ガス(株)や大阪ガス(株)によるメタネーション技術、古川電気工業(株)によるグリーン LPG 製造等が進められている。これらの技術開発及び商用化時期の見通しとして、2030 年以降で「e-fuel の商用化」が見込まれている。

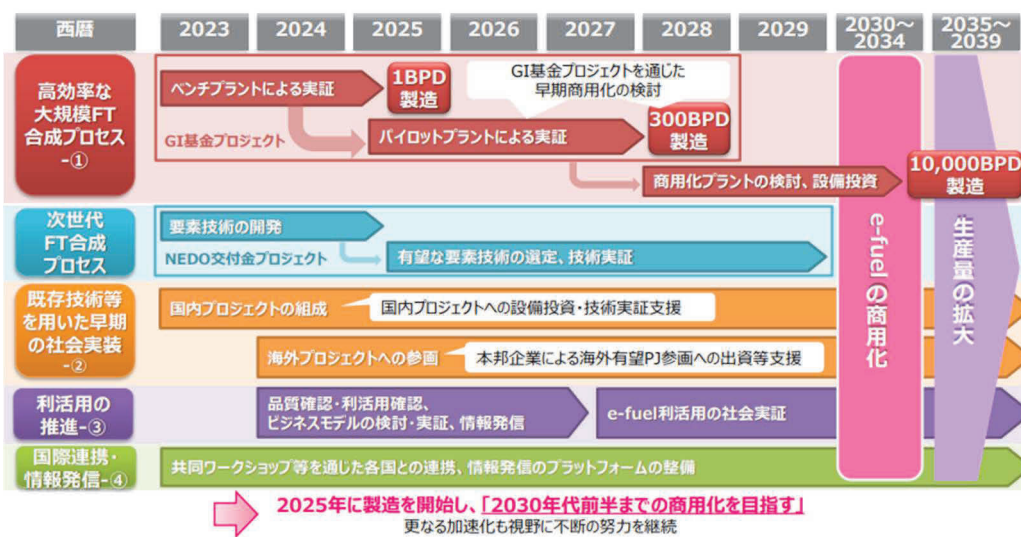


図 2-7 合成燃料の商用化に向けたロードマップ

出所：資源エネルギー庁「合成燃料(e-fuel)の導入促進に向けた官民協議会 2023 年 中間とりまとめ」²⁰より引用

²⁰ https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/e_fuel/pdf/2023_chukan_torimatome.pdf

(3) バイオ燃料

日本は、「京都議定書目標達成計画」において、輸送用燃料に対して、原油換算で年間 50 万 kl のバイオマス由来燃料を導入する目標量を設定し、石油業界では、政府の要請に応えるべく、2010 年度に原油換算 21 万 kl のバイオ燃料を導入し、計画通り目標を達成した。こうした取り組みの中で、多くの自治体で回収した廃食用油を基にバイオディーゼルの製造し、市営バスやゴミ収集車等に利用している。製造量は、施設によって異なるが、廃食用油の回収量の安定確保も難易度が高く、比較的小規模な生産能力である場合が多い。

表 2-5 バイオディーゼル燃料化施設の例

自治体名		京都府 京都市	協業組合仙台清掃公社	佐賀県 佐賀市	鳥取県 出雲市 (旧平田市)	滋賀県 東近江市 (旧愛東町)
背景・目的		地球温暖化防止対策の推進、市民・事業者・行政の連携による地域循環システムの構築	廃食用油のリサイクル	使用済み食用油を軽油代替燃料として再利用することで化石燃料の使用量削減を図り、大気汚染や地球温暖化の防止を目指す	宍道湖の水質保全	廃食用油の有効活用、菜の花プロジェクトの展開
原料	対象資源	廃食用油	廃食用油（飲食店、スーパー等）	廃食用油（家庭）	廃食用油（家庭、給食センター、事業所）	菜の花の栽培 廃食用油
	廃食用油の回収	収集方法 家庭からの廃食用油は、各地域単位に設立された「地域ごみ減量推進会議」（市民、事業者、行政で構成）等が主体となって回収。 回収量 家庭系：約 130 千 L/年 食堂等の事業系：1,370 千 L/年（回収事業者より購入）	飲食店、スーパー等から排出される廃食用油を産業廃棄物として回収。	スーパーや市の施設の回収ボックスに持ち込まれ、市が委託した収集業者が回収。	市民が公民館の収集容器に持ち込み、市が回収。	集落単位で町のストックヤードまで搬入
バイオディーゼル燃料化施設	実施主体	市	協業組合	市	市	町
	施設処理能力	5,000L/日	300L/日×2基	1,600L/日	400L/日	100L/日 (2004年に200L/日の施設を設置)
	生産量	1,500千L/年 (生産能力ベース)	300~400L/日	約 6.4 千 L/月	21 千 L/年 (15年度実績)	
バイオディーゼル燃料の利用先		ごみ収集車（約 220 台） 市バス（約 80 台）	家庭ごみ収集のパッカー車	ごみ収集車	市営マイクロバス	公用車（トラック） 花のライトアップ用発電機等

出典) バイオマスヘッドクォーター資料等を基に作成。

出所: 全国都市清掃協議会「一般廃棄物に係る新基準策定調査 報告書」²¹より引用

2.2.2 燃料製造・供給における課題

燃料製造・供給にとって、安定的な供給は重要であり、水素の場合、大量に海外から調達することができるため、大きな課題はないものの、サプライチェーン構築のために大規模投資が必要になることから、初期投資や運用コストが課題となる。国内製造については、余剰電力が発生するケースを除き、コスト高が課題となる。しかし、前述のとおり、価格差に着目した支援策が検討されていることから、条件が適合する場合に限っては、安定供給にとって大きな課題はないものと考えられる。

合成燃料については、水素コストに加えて CO₂ との合成による燃料製造コストが追加されることから、エネルギー密度の違いやユーザビリティの観点を踏まえて、需要家側の判断によって選択される。ただし、大規模製造を見据えた場合、水素を輸入して国内で合成する場合と、海外で合成燃料を製造して輸入する場合とでは、大きなコスト差がある²²。このことから、水素の製造・輸入コストなど、水素の調達コストが、合成燃料の利用拡大に影響を及ぼすことが想定される。

²¹ <https://www.env.go.jp/recycle/report/h19-01/chpt4-3.pdf>

²²

<https://criepi.denken.or.jp/hokokusho/pb/reportDownload?reportNoUkCode=M20002&tenpuTypeCode=30&seqNo=1&reportId=9011>

最後に、バイオ燃料の供給可能量は、原料となるバイオマスの供給可能量によって決まる。運輸総合研究所の調査研究では、国内の未利用バイオマスを全て SAF の原料に活用した場合でも、国内の航空機燃料の需要に満たないと試算されている²³。また、現在既にバイオディーゼルの原料として利用されている廃食用油は、回収可能量が限定的である。また、廃食用油は現在、国内で収集されたもののうち 20%超は輸出されているため、こうした未利用分の活用による利用拡大は期待できるものの、総量が限定的であることから、大幅な回収量の向上と利用拡大が難しい。

2.3 交通脱炭素燃料の取り組みまとめと水素への期待

前述の各交通モードでの取り組み事例を踏まえ、燃料種ごとの取り組みは表 2-6 のとおり整理できる。ドロップイン燃料のバイオディーゼル燃料(BDF)や合成燃料の他、水素や蓄電池(脱炭素電源)利用が幅広い交通モードで検討されている。

表 2-6 各交通モードで利用が期待される交通脱炭素燃料のまとめ

		自家用車	商用車				船舶	鉄道	航空機
			中型トラック	大型トラック	バス	タクシー			
電気	脱炭素電源	●	●	●	●	●	●	●	
	水素等	●	●	●	●	●	●	●	
合成燃料	アンモニア	-	-	-	-	-	●	-	
	合成メタノール	-	-	-	-	-	●	-	
	合成ディーゼル	●	●	●	●	-	●	●	
	SAF (e-fuel)	-	-	-	-	-	-	●	
	合成メタン/天然ガス	-	●	●	●	-	●	-	
バイオ燃料	グリーンLPG	-	-	-	●	-	-	-	
	バイオエタノール	●	●	-	-	-	-	-	
	バイオディーゼル	●	●	●	●	-	●	●	
	バイオメタノール	-	-	-	-	-	●	-	
	SAF (バイオ)	-	-	-	-	-	-	●	

出所:各種公表資料を基に日本総研作成

各交通モードにおいて多様な燃料の活用が期待される中、現行の取り組み状況や供給側からの視点での課題等に基づき次のとおり整理した。バイオ燃料においては、前述のとおり原料調達性の観点から、水素や合成燃料で想定される大規模製造に向かないと考えることもできる。一方、合成燃料については、水素の調達性によるため、ユーザー側のエネルギー消費機器の仕様、輸送時のハンドリング、輸送効率等の観点から、ユーザー側が合成燃料を志向するかどうかの判断で、選択される可能性がある。こうした整理のもとで、上記燃料及び脱炭素電源、水素等の現状を整理すると図 2-8 のとおりとなる。供給面での拡大の見通しがあることや、幅広い交通モードで検討が進む脱炭素電源や水素の更なる利用拡大が期待される。

²³ https://www.jttri.or.jp/pdf/aviation_portal-07.pdf

	利用側の取り組み状況/動向	燃料供給・製造における取り組み状況/動向
脱炭素電源	<ul style="list-style-type: none"> EVの導入拡大を中心に、足元での電動化に向けた取り組みが進展しており、鉄道、航空機、船舶での利用に向けた技術開発も進められている。 	<ul style="list-style-type: none"> 再エネ導入量の拡大と余剰電力の発生により供給パターンシフトは高い。 また、水素・アンモニア等の普及に寄る脱炭素電源の活用可能性も考えられる。
水素等	<ul style="list-style-type: none"> 既に実装が進む商用車での利用に加え、鉄道、航空機、船舶などへの利用拡大に向けた実証試験が進められている。 多様な交通モードでの利活用が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> 国内製造においては、再エネ余剰の変動性や発生量についても課題となる。 他燃料と比較して大規模サプライチェーンの構築が期待される。
バイオ燃料	<ul style="list-style-type: none"> BDFとして既に一部では導入されており、船用燃料やSAFへの利用拡大が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> 藻類等を活用したBDF製造やSAFの供給見込み量の拡大が期待される。 廃食油や未利用バイオマス等の原料調達には制約があり、大幅な供給量の拡大は見通しづらい。
合成燃料	<ul style="list-style-type: none"> BDFと同様に自動車や鉄道など幅広く交通モードでの実証試験等が進み、利用拡大が期待される。 	<ul style="list-style-type: none"> E-fuel導入に向けたロードマップ、実証試験の計画等、供給体制の構築に向けて官民での取組が進められている。 再生可能エネルギー由来のH₂が不可欠。また、合成によるエネルギーロスの改善が取り組まれている。

図 2-8 交通脱炭素燃料に関するまとめ

出所:各種公表資料を基に日本総研作成

上述のとおり、交通分野において幅広い利用が期待される水素は、大規模水素サプライチェーンの構築に向けて、製造・輸送・利用の様々な技術開発に加え、価格差に着目した支援や拠点形成支援が検討されている。サプライチェーンの構築に向けて、需要の確保が重要となるが、発電や産業熱利用などの大規模エネルギー消費産業において、大きな水素需要が見込まれ、これらの産業が中心となり、大規模サプライチェーンの構築が想定される。

大規模サプライチェーンの構築に伴い、周辺産業への水素利用の拡大が期待される。図 2-9 に示す通り、2030 年にかけて取り組みが進むファーストムーバーによるサプライチェーン構築に端を発し、2030 年以降において、更なる導入量の拡大、交通分野等の周辺産業への波及が想定される。

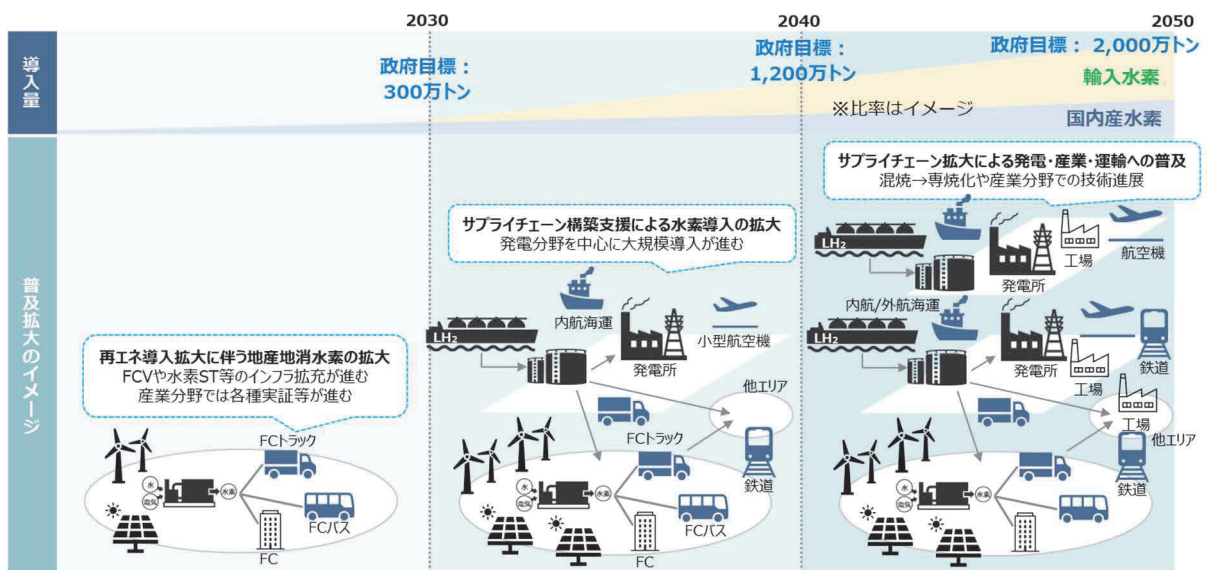


図 2-9 水素利用拡大に向けた段階的導入イメージ

出所:日本総研作成

産業を起点として水素サプライチェーンの拡大の中で、交通分野への水素利用の普及拡大が期待されることに加え、複数の交通モードで水素ステーション(以下「水素 ST」という。)をマルチ利用するといった、マルチモーダル型の水素 ST の取り組みも進められている。水素 ST のマルチ化によって、FCV だけでは実現できなかった需要規模を生み出すことができると考えられ、交通モード横断での水素利用の拡大が期待される。水素サプライチェーンの拡大による周辺産業への普及拡大に加え、こうした需要創出の取り組みが並行して進められており、将来的な交通分野での水素利用に向けた後押しになっている。



図 2-10 輸送分野における水素利用の拡大に向けた動向

出所: 経済産業省「燃料電池の普及に向けた中間まとめ(案)」²⁴より引用

²⁴ https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mobility_hydrogen/pdf/005_02_00.pdf

3. 世界的な水素燃料の社会実装の動き、水素のメリット・課題の整理

本章では、諸外国における水素の社会実装に関する動向を整理していくことで、日本における利用モードの参照となる諸外国の動向を調査・整理を行った。

3.1 諸外国の水素関連政策とトランスポーター関連政策の動向まとめ

諸外国における水素政策は、総じて、水素がネットゼロ等の手段として位置付けられ、エネルギー安全保障の点からも推進されている。製造からトランスポーター利用まで地産地消が構想されており、トランスポーター関連政策は、各交通モードに広く資金が充てられ、取組が進んでいる。

水素政策においては、利用に加え製造も踏まえた補助支援を進めており、国家戦略が策定されている。道路交通においては、中型・大型トラックやバスを中心に水素自動車の導入や燃料利用に対して支援がなされている。鉄道・海事・航空での水素利用に関しては、新型機器開発に加えて、導入に向けたインフラ整備に向けた補助が実施されている。

表 3-1 諸外国の水素政策とトランスポーター関連政策の動向一覧

		EU	英国	米国	韓国	中国	
水素政策		<ul style="list-style-type: none"> Fit for 55で、モビリティ目標強化や規制対象拡大等が進む イノベーション基金やIPCEI等で補助支援等が進む 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年のネットゼロの手段に水素を位置付け、エネルギー安全保障で重視 共同投資等を含め、30年までに最大10GWの水素製造を目指す 	<ul style="list-style-type: none"> クリーン水素構想を策定 地域の水素活用ハブを構築し、生産インフラからモビリティ等の利用を推進(5か年で80億ドルの予算) 	<ul style="list-style-type: none"> 国家戦略として、電力、輸送、産業部門に水素活用 2030年までに水素でFCVを3万台生産、液体水素燃料供給ステーションを70カ所建設を目標 	<ul style="list-style-type: none"> 「水素エネルギー産業発展の中長期計画」にて水素製造の現地利利用を主としたシステム構築の中で、2025年までに、FCVの保有台数で5万台を目指す 	
	モビリティ関連政策	道路交通	<ul style="list-style-type: none"> HyTrucksPJで、2025年までに、千台の水素トラックと、20基以上の水素ステーションを目指す JIVEPJで、20年台初頭までに、約3百台の水素燃料電池バスを目指す(補助：2,500万€) 	<ul style="list-style-type: none"> ゼロエミッション救急車両開発PJへの資金援助等が進む(補助：7,700万ポンド) 	<ul style="list-style-type: none"> クリーン水素戦略とロードマップで、中型・大型トラックや大型バスの水素利用推進を目指す 	<ul style="list-style-type: none"> バス・トラック・タクシーを重視し、2023年度に100台のトラック導入を見込む 水素トラックに対し4,100ウォン/kgの燃料補助金 特定の施設に対して水素ステーションの設置を要請 	<ul style="list-style-type: none"> 水素燃料電池の中型・大型車両への応用を重点的に実施し、2025年までに水素自動車5万台 北京五輪に合わせ、1000台のFCVが導入
		海事	<ul style="list-style-type: none"> HySeas IIIPJで、水素燃料の海上フェリー実証(補助：約800万€) 	<ul style="list-style-type: none"> ゼロエミッション船や港湾インフラのコンベ、水素関連海事技術開発実証への資金提供等が進む 	<ul style="list-style-type: none"> 水素燃料電池旅客フェリーや、電解槽を搭載した台船等の実証等が進む 	<ul style="list-style-type: none"> 2040年までに14港の水素を軸としたCNPの形成(補助：30兆ウォン) 	<ul style="list-style-type: none"> 内陸水路運輸における水素燃料電池の開発ロードマップを策定
		航空	<ul style="list-style-type: none"> HEAVENPJで、水素燃料電池航空機の開発が進む(補助：約400万€) 	<ul style="list-style-type: none"> SAF PJへの資金提供(補助：5,580万ポンド)や、官学連携、SAF産業化に向けた評価等が進む 	<ul style="list-style-type: none"> 再生エネから水を電気分解して水素を製造し、CO2とともに合成燃料を製造 水素を活用した短時間飛行や無人航空機等も実証 	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池を航空機分野で活用し、水素エネルギーを用いた大型航空機の開発を推進
鉄道	<ul style="list-style-type: none"> FCH2RAILPJで、水素燃料電池鉄道開発が進む(補助：約1,000万€)。 	<ul style="list-style-type: none"> - 	<ul style="list-style-type: none"> カリフォルニアで、水素燃料電池旅客列車が開発中 	<ul style="list-style-type: none"> 都市運行用の水素トラムの実証運航を実施(補助：300億ウォン) 	<ul style="list-style-type: none"> 地方都市ごとに水素鉄道(ハイドレール)の実証を進める 		

出所：各種情報を基に日本総研作成

3.2 諸外国の水素関連政策の詳細

以降では 3.1 でまとめた動向を踏まえて、具体的にエリアごとの施策や事例を参照しながら、社会実装に関する動向を整理した。水素政策全般に加えて、トランスポーターのモード別に諸外国における水素の社会実装に関する動向を整理した。

3.2.1 欧州の水素・トランスポーター関連政策の詳細

欧州における水素政策は、前提となる「クリーン水素戦略」を立案の上、トランスポーター分野にも関わる、Fit for 55 等の一連の法整備や、欧州共通利益に適合する重要プロジェクト(Important

Project of Common European Interest (IPCEI))に基づく各種補助金等の取組を推進している。

2019年	「 欧州グリーンディール(持続可能な成長戦略) 」の公表 (GHG▲55% in 2030/▲100% in 2050)	
2020年	「 EUクリーン水素戦略 」の公表 ✓ グリーン水素の普及目標：2030年までに電解槽40GW、導入量10百万トン ✓ クリーン水素アライアンス(官民協働PF)設立 官民で420億€規模の投資(電解槽)	
2021年	「 欧州脱炭素化政策パッケージ (Fit for 55) 」の公表 ✓ 再生可能エネルギー指令等の各種規制の見直し・導入 (※水素関連は次頁) ✓ EU-ETSの見直し(無償化枠の段階的廃止等)/CBAM (炭素国境メカニズム) の導入	
2022年	「 REPowerEU計画 」の公表 ✓ 「水素加速化計画」により、2030年に20百万トン導入 (域内 10百万+輸入10百万) ✓ 電解槽の製造能力拡大に向けた共同宣言 (電解槽17.5GW in 2025) 「欧州共通利益プロジェクト (IPCEI)」の承認 (76プロジェクト、総額260億€規模)	
2023年	「 グリーンディール産業計画 」の公表 ✓ 「ネットゼロ産業法案」により、規制環境整備、許認可を迅速化。電解槽技術を含むネットゼロ戦略分野においては、2030年までに域内供給比率40%を目指す。 ✓ 欧州水素銀行構想 (10年間、固定額のプレミアムを提供。2023年秋に第一回入札予定。8億€) ✓ 追加財源 (欧州主権基金) については、中長期的に検討。	

図 3-1 水素政策の時系列概要

出所：NEDO「欧州における水素関連動向について」より引用

2030年までに少なくとも55%GHG排出削減を目標とする政策群として定められたFit for 55では、2030年までに42.5%の再生可能エネルギー導入目標設定に加えて、トランスポーターテーション関連目標として、EU-ETSの海運対象化、道路交通のETS IIでの対象化、車両ゼロエミッション化、SAF導入強化、海運GHG強度目標設定等を改定なども定められている。

表 3-2 Fit for 55の全体像

Fit for 55	<ul style="list-style-type: none"> Fit for 55は、2030年までにEUのGHG排出量を少なくとも55%削減するという気候目標を達成することを法的義務とする包括的な政策パッケージ。 EU諸国は、この目標を達成し、2050年までにEUを気候ニュートラルにするための新たな法律の制定に取り組んでいる。
再生可能エネルギー指令 (EU RED III)	<ul style="list-style-type: none"> 2030年までに42.5%の再エネ導入目標設定。 運輸部門は、グリーン水素等が約100万トンの需要拡大につながりうる。
EU域内排出量取引制度 (EU-ETS)	<ul style="list-style-type: none"> EU-ETSの目標強化。 航空部門に加え、2023年に海上輸送を対象化し、道路交通は、別枠のETS IIで対象化。
自動車とトラックのCO2排出基準の厳格化	<ul style="list-style-type: none"> 自動車等のCO2排出基準が厳格化。 2035年以降の新車は、ゼロエミッション車とする。
ReFuelEU Aviation規制	<ul style="list-style-type: none"> 2050年に向け、段階的に、航空部門のSAFの導入を強化。
FuelEU Maritime規制	<ul style="list-style-type: none"> 2050年に向け、段階的に、海運部門のGHG強度を最大80%削減する目標設定。

出所：日本総研作成

その他の開発補助として、EUのイノベーション基金が存在する。革新的な低炭素技術の実証のための

世界最大級の資金援助プログラムであるイノベーション基金では、2020年から2030年にかけて、約400億€の規模で、低炭素技術の実証等に向けた資金援助を進められている。この中で、水素関連プロジェクトへの援助も行われる。

イノベーション基金に加えて、欧州では水素産業の促進やサプライチェーン構築に向けた国家補助支援策として、IPCEIが進められている。IPCEIは、欧州共通利益に適合する重要プロジェクトに対する、EUによる国家補助の枠組みで総額260億円の支援を予定している。EUでは加盟国による特定の企業に対する国家補助は原則として禁止しているが、イノベーションの必要な重点産業への複数の加盟国による共同支援を可能とするEU国家補助ルールの特例措置として定められている。これまでマイクロエレクトロニクス分野、蓄電池分野で先行的に実施されてきた中で、欧州委員会において水素プロジェクト「Hy2Tech」(2022/7)及び「Hy2Use」(2022/9)が「IPCEI」として承認された。Hy2Techの取組では、水素製造、燃料電池、水素貯蔵、輸送と配送の4部門において支援を実施し、水素燃料トラック開発等のトランスポート分野における支援が行われている。Hy2Useの取組では、Hy2Techでカバーできない水素関連のインフラと産業部門での水素アプリケーションが主に支援されている。

表 3-3 IPCEIの取組

	Hy2Tech	Hy2Use
承認時期	2022年7月～	2022年9月～
公的投資（予算）	54億€	52億€
民間投資	88億€	70億€
参加団体数	35団体	29団体
取組内容	<ul style="list-style-type: none"> 水素製造、燃料電池、水素貯蔵、輸送と配送の4部門を支援 トランスポートでは、ドイツのタイムラートラックによる水素燃料トラック開発等、大型車・鉄道・船舶等での活用を含む 	<ul style="list-style-type: none"> Hy2Techでカバーされていなかった水素関連のインフラと産業部門での水素活用先を主に支援

出所:European Commission「NZIA - green industrial policy in motion」等を基に日本総研作成

欧州においては、道路交通では、FCトラックやバス、海事では、水素燃料フェリー、航空では、FC推進航空機、鉄道では、FC車両等、各交通モードに金銭的支援を行い、取組支援が行われている。

道路交通においては、「HyTrucks」プロジェクトとして、2025年までに合計1,000台の水素駆動のゼロエミッショントラックを実装し、ベルギー、オランダ、ドイツ西部を結ぶインフラ(20基以上の水素ST)を構築することが目指されている。また、EUが出資するJIVE (Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe) プロジェクトでは、2020年台初頭までに、300台近くのFCバスを展開する取組を推進するなど水素産業の促進やサプライチェーン構築に向けた国家補助支援策として、約2,500万€の補助を受けてIPCEIが進められている。

EUが出資するHySeas IIIプロジェクトでは、水素を燃料とする海上フェリーの市場投入に向け、約800万€の補助を受けて、各国のパートナー企業とともに、プロトタイプの建造や運航等の実証を行った。このプロジェクトは、この先進的なフェリーのコンセプトを開発・検証するだけでなく、スコットランドの地方政府(フェリーの建造を委託する)からの共同出資により、プロトタイプの建造・運航実証を進められている。また、水素燃料を地元で生産する斬新な循環経済モデルの実証も進められており、ヨーロッパ各地の沿岸経済や島嶼での利用も検討されている。

ドイツの水素企業H2FLYは、エアリキード等とともに、EU出資のHEAVEN (High power density FC System for Aerial Passenger Vehicle fueled by liquid Hydrogen) プロジェクトにおい

て、約400万€の補助を受けて、FC推進航空機の開発を進めている。高出力密度燃料電池システムと極低温貯蔵技術に基づく世界初の航空機パワートレインを設計・開発し、既存の2~4人乗り航空機に組み込み、飛行中の運転を試験することを目標としている。2023年9月7日に独H2FLYは、液体水素を動力源とする世界初の電気推進航空機の操縦飛行に成功したと発表²⁵し、同社は独Deutsche Aircraftと共同で、2025年までに40人乗りの電気・FCハイブリッド推進旅客機「Dornier 328」を開発する計画を発表している。

2021年から2024年にかけて、EUが出資するFCH2RAIL(Fuel Cell Hybrid Power Pack for Rail Applications)プロジェクトでは、スケーラブルでモジュール式の多目的FCハイブリッドパワーパック(FCHPP)を用いた列車を、開発、製造、試験、実証することを目的に、約1,000万€の補助を受けて取組が進められている。

3.2.2 英国の水素・トランスポーターション関連政策の詳細

英国においては、2050年のネットゼロに向けた手段として水素を位置付けるとともに、エネルギー安全保障の実現においても重要視されている。そのため共同投資等を含め、2030年までに最大10GWの水素製造能力を導入する目標を掲げられている。

表 3-4 英国における水素関連政策

<p>水素戦略 (2021)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水素は、英国が2050年までにネットゼロを達成するために役立つ、数少ない新低炭素ソリューションの一つ。 ✓ 政府は産業界と協力し、2030年までに5GWの低炭素水素製造能力を実現することを目指す(2021年時点)。 ✓ 2021年時点で、低炭素水素の製造や使用は、特にエネルギー供給でほとんど行われていない。 ✓ 現在から急速かつ大幅にスケールアップする必要があり、政府は、新たに、生産能力への共同投資2億4千万ポンド等を発表。
<p>エネルギー安全保障計画 (2023)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電力は脱炭素化戦略の中心であるが、他の低炭素技術も重要な役割を担っている。 ✓ 政府は、低炭素水素を、エネルギー安全保障を実現し、経済成長を創出し、ネットゼロ目標に貢献するものとして重要な要素と考えている。 ✓ 政府は、低炭素水素セクターの繁栄を実現するための計画を、「英国水素戦略(UK Hydrogen Strategy)」に示しており、この中で、活発な低炭素水素セクターを実現する計画を打ち出した。 ✓ これに続き、2022年の「エネルギー安全保障戦略」では、最大10GWの低炭素水素製造能力を2030年までに英国国内に導入するとの目標を掲げた。

出所:UK GOVERNMENT「UK Hydrogen Strategy」(2021年8月)、「POWERING UP BRITAIN ENERGY SECURITY」(2023年3月)等を基に日本総研作成

2023年に更新された水素戦略において、ゼロエミッションに向けたインフラ整備戦略が策定中であり、ゼロエミッション救急車両等の開発PJ等への資金援助、ゼロエミッションでないバス等の販売終了に向けた取組が進行しているとされた。政府は、2024年初頭にゼロエミッション大型貨物車両インフラ戦略を発表する予定であり、本戦略は、ゼロエミッション大型貨物車両の展開に向け、2035年開始予定の大型貨物車両販売終了支援のために必要な、給油・充電インフラを展開する戦略の方向性を定め、政府と産業

²⁵ <https://www.deutscheaircraft.com/news/deutsche-aircraft-and-h2fly-join-forces-to-explore-hydrogen-powered-flight>

界の役割と責任を概説するものとなる。また、先端推進システム技術センター(Advanced Propulsion Centre:APC)によりクリーンな輸送技術を開発するために、政府と業界が共同の元、7,700万ポンドの資金を提供され、プロジェクトには、ゼロエミッション救急車両の開発も含まれる。

海運分野においては、ゼロエミッション船や港湾インフラのコンペ、水素関連海事技術開発実証における資金提供、資金的な研究支援を行う研究所の立ち上げ等が行われている。2023年2月に、商業化間近の船舶や港湾インフラ向けのゼロ・エミッション・ソリューションの展開を加速させることを目的とし、水素と水素関連燃料が対象としたゼロエミッション船とインフラのコンペを開始した。また、水素関連の海上技術開発実証コンペにおける資金提供が開始され、水素や水素由来燃料の利用を検討する6つのプロジェクトを含む6,000万ポンド以上が19のプロジェクトに割り当てられた。初期研究支援においては、クリーンな海運の初期研究を支援するため、クリーン海運研究所(Clean Maritime Research Hub)が立ち上げられた。英国海運事務所と工学・物理科学研究評議会は、共同でクリーンな海運の研究を支援するとして740万ポンドの資金が配分された。

航空分野においては、SAFのプロジェクト支援として資金提供が行われるとともに、官学の連携や、SAF産業化に向けた評価が進められている。2023年3月、ゼロエミッション・フライト・インフラ・プログラムは、空港での水素の取扱に関する調査結果が発表されている。また、先進燃料基金の第2ラウンドが開始され、英国のSAFプロジェクトを支援するために5,580万ポンドを利用できるようになった。これを利用し年間30万トンのSAFを生産し、20万トンのCO₂を削減することが目指される。

表 3-5 英国におけるトランスポーター関連政策

道路交通	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水素戦略の最新版によると、ゼロエミッションに向けたインフラ整備戦略が策定中。 ✓ ゼロエミッション救急車両等の開発PJ等への資金援助(7,700万ポンド)や、ゼロエミッションでないバス等の販売終了に向けた取組が進行中。
海運	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ゼロエミッション船等のコンペ、水素関連海事技術開発実証における資金提供、資金的な研究支援を行う研究所の立ち上げ等が行われている。
航空	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 航空分野においては、SAFのプロジェクト支援として資金提供(5,580万ポンド)が行われるとともに、官学の連携や、SAF産業化に向けた評価等が進む。

出所:日本総研作成

3.2.3 米国の水素・トランスポーター関連政策の詳細

米国におけるトランスポーターを含む水素利活用に関する水素政策として、クリーン水素ハブ構想が策定されている。こちらではインフラ投資雇用法(IIJA)に基づき、地域における水素活用ハブを構築し、生産インフラからトランスポーター等の利用に至る取組を推進するために、5か年で80億ドルの予算を用意するとされている。また、2023年10月には、米エネルギー省のクリーンエネルギー実証室(OCED)が、7つの地域クリーン水素ハブ(太平洋北西部、カリフォルニア、ハートランド、ガルフコースト、中西部、アパラチア、大西洋中部)を選定したことを発表。生産インフラと商用車をはじめとした多様な分野の最終需要家が同じ地域に位置することにより低コスト化を図り、大量の水素展開を目指すとしている。

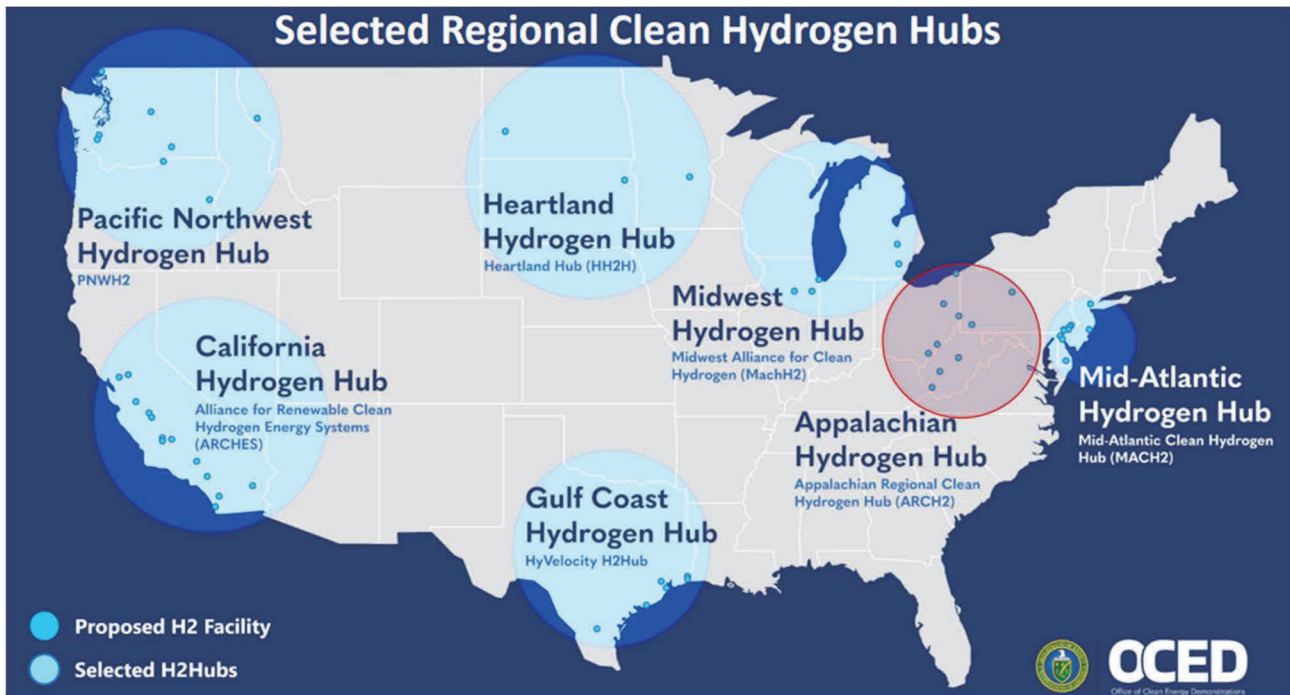


図 3-2 クリーン水素ハブ選定 7 地域

出所: THE OFFICE OF CLEAN ENERGY DEMONSTRATIONS「Regional Clean Hydrogen Hubs Appalachian Regional H2Hub Community Briefing」(2023 年 10 月 24 日)等より引用

クリーン水素ハブの一つとして選定されたカリフォルニア水素ハブでは、再生可能エネルギーとバイオマスから水素を製造し、公共交通機関や大型トラック輸送等のトランスポーターションにおいて水素を利用し、脱炭素化を進める。また、これらを通じて、地域における雇用創出(建設雇用 13 万人、常用雇用 9 万人の計 22 万人)も目指されている。

米国では2023 年 6 月に米国のクリーン水素戦略とロードマップを公開。中型・大型トラックや大型バスにおける水素利用の推進が目指されている。中型・大型トラックにおいては補完的な役割を果たすと位置づけて、水素利用の推進が目指されている。燃料電池は、高速な水素充填が可能で、長距離走行となる大型トラックのような用途には、特に有効とされている。米国エネルギー省は、長距離大型トラック市場で求められる燃料電池の耐久性、コスト、性能の向上を可能にするために、FC トラック・コンソーシアム(M2FCT: Million Mile Fuel Cell Truck Consortium)を立ち上げている。大型バスにおいては、連邦運輸局は、FC バスを評価し、将来の進歩を導くために、実運用データを収集し続けており、FC バスの普及促進を図るとされている。

海事産業における水素利用は、内陸や港湾の船舶から、レクリエーションや桟橋での用途に至るまで、水素と水素キャリアを含めた広範なビジネス機会と位置付けられ、FC 推進旅客フェリーや、これに燃料を供給する電解槽を搭載した台船等の実証等が進められている。米国では州機関や産業界と協力して、西半球初の FC 推進旅客フェリーを配備している。また、米国エネルギー省は、旅客フェリーに燃料を供給するために、MW 規模の電解槽を浮体式台船に搭載して実証する新しいプロジェクトを立ち上げている。

航空分野では、バイオ燃料等による脱炭素化が進められ、水素が原料として用いられている。バイオ燃料等による航空セクターの脱炭素化に向け、政府全体で「SAF グランドチャレンジ」を開始し、コスト削減、持続可能性の強化、ライフサイクルの GHG 削減が進められている。「SAF グランドチャレンジ」では、年間 30 億ガロンの SAF を供給するという目標を設定し、2050 年までに、350 億ガロンの SAF を供給し、

航空燃料需要の 100%を満たすことを目標としている。目標達成に向け、Power-to-Liquid(再生可能エネルギー由来の電力を用いて水を電気分解し、これにより製造された水素と二酸化炭素を合成して合成ジェット燃料を製造する方法)など様々な製造方法が検討され、現在までに承認されているロードマップでは、原料としての水素を大量に必要としている。水素の直接利用は、貯蔵密度に課題があるが、炭素排出ゼロ、汚染物質排出ゼロというメリットがあるとされる。そのため、短時間飛行や無人航空機等、特定の市場における実証もされている。また、航空機用の燃料電池とエンジンに関しては、産業プロジェクトも存在し、ZeroAvia と Otto は、提携を発表し、19 人乗りの航空機を開発すると発表。ZeroAvia は、HyFlyer II プロジェクトの一環として、ドルニエ 228 双発機がテストベッド形態で初飛行に成功し、2025 年の旅客サービス開始を目指しており、順次機材を大型化していく予定であると発表されている²⁶。

鉄道分野においては、水素を脱炭素化の補完的役割と位置付けて取組が進められている。カリフォルニア州のサンバーナーディーノ交通システムが、スイスの Stadler 社と FC 旅客列車の導入に向けて取り組んでいる。南カリフォルニアの新路線「Arrow」において、2024 年から運行が開始される予定となっており、米国初の FC 旅客列車となる予定である。

表 3-6 米国におけるトランスポーターション関連政策

道路交通	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 中型・大型トラック：水素利用は、トラック輸送の脱炭素化において補完的な役割を果たすと位置づけ、各種実証プロジェクトを推進。 ✓ 大型バス：運用データを収集し、評価を進め、燃料電池バスの普及促進を図る。
海運	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ビジネス機会と位置づけ、水素燃料電池旅客フェリーや、これに燃料を供給する電解槽を搭載した台船等の実証等が進められている。
航空	<ul style="list-style-type: none"> ✓ バイオ燃料等による脱炭素化が進められるとともに、再エネから水を電気分解して水素を製造し、CO2とともに合成燃料を製造。 ✓ 水素を活用した短時間飛行や無人航空機等、特定の市場における実証もされている。 ✓ (水素は、貯蔵密度に課題があるが、炭素排出ゼロ、汚染物質排出ゼロというメリットがある)。
鉄道	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水素を脱炭素化の補完的役割と位置付けて取組が進む。 ✓ カリフォルニア州では、水素燃料電池旅客列車が開発中。

出所：各種情報を基に日本総研作成

3.2.4 中国の水素・トランスポーターション関連政策の詳細

中国における中央政府による初の水素産業の発展計画として 2022 年 3 月に出された「水素エネルギー産業発展の中長期計画」では、2025 年までに FCV の保有台数は約 5 万台などの目標を達成し、2035 年までに産業体制の完成を目指すとした。

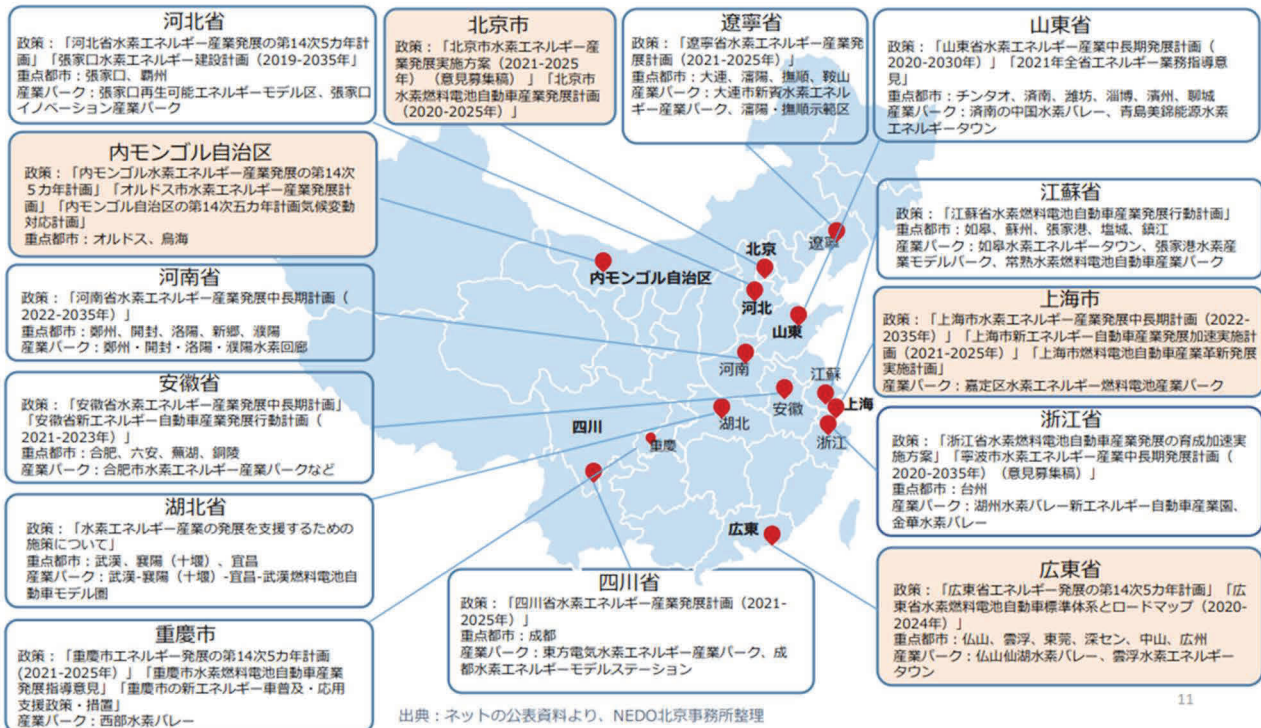
²⁶ [ZeroAvia Makes Aviation History, Flying World's Largest Aircraft Powered with a Hydrogen-Electric Engine - ZeroAvia](#)

表 3-7 「水素エネルギー産業発展の中長期計画」概要

水素エネルギー産業発展の中長期計画	
基本原則	<ul style="list-style-type: none"> ✓ イノベーションけん引と自立自強：技術的なボトルネックの集中的な解消、産業チェーン・供給チェーンの安定性と競争力の強化 ✓ 安全優先とグリーン低炭素：重大安全リスクの予防と監督管理の強化、再生可能エネルギーによる水素製造の重点的な発展 ✓ 市場主導と政府けん引：市場・企業主体による水素エネルギー利用のビジネス化の模索、政府の役割による全面的統一の強化 ✓ 安定的かつ慎重な応用とモデル応用の先行：技術革新と応用モデルの秩序立った実施、一部地方政府の無計画な配置や一斉集中の回避
発展目標	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 工業の副産物の水素と再生可能エネルギーによる水素製造の現地（近場）利用を主とした水素エネルギー供給システムを構築 ✓ 燃料電池車両の保有台数は約 5 万台、水素充填ステーションの建設、再生可能エネルギーによる水素製造量は年間10万～20万トンを目指す
交通分野でのモデル・応用	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 現地の水素エネルギー供給能力、産業環境、市場空間などの基礎条件に立脚し、陸上輸送業界の発展特徴と結び付け、水素燃料電池の中型・大型車両への応用を重点的に推し進める ✓ 水素燃料電池などの新エネルギー採用のバス、トラック市場の応用を秩序立って実施し、燃料電池電動自動車とリチウム電池純電動自動車が相互補完した形の発展モデルを段階的に構築 ✓ 船舶、航空機器などの分野における燃料電池の応用を積極的に模索し、大型水素エネルギー航空機器の開発を推進
「第14次5カ年計画」期間における水素エネルギー産業イノベーション応用モデルプロジェクト	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 鉱区、港湾エリア、産業パークなど運営強度が大きく、走行路線が固定しているエリアにおいては、水素燃料電池採用のトラック輸送モデルと応用、70MPa 水素貯蔵ボンベ車両応用の検証を行う。 ✓ 条件の整ったところでは、都市路線バス、物流配送車、清掃車などの公共サービス分野において、燃料電池ビジネス車両のモデル・応用を実施する。 ✓ 重点エリアの生態環境保全の需要と電力のインフラ条件を結び付け、船舶、航空機器などの分野における水素燃料電池のモデルと応用を模索する。

出所：「水素エネルギー産業発展の中長期計画(2021～2035年)」(NEDO 仮訳)等を基に日本総研作成

また、中央政府の水素エネルギー産業発展計画策定を踏まえて、主要な地方政府の多くが、産業誘致等の観点から、水素産業の発展に関する計画を相次いで発表されている。



道路交通全般における水素利用においては、2021年の第14次5カ年計画では公共分野の電動化などに言及されおり、FCバス・FCトラックの活用が期待されている。また、「水素エネルギー産業発展の中長

期計画」の中でも都市路線バス、物流配送車、清掃車などの公共サービス分野に加えて、鉱区・湾港などの走行路線が固定されているエリアを中心とした実証を進めるとされている。さらに、FCV の支援について、モデル都市群を選定し、車両・基幹部材のサプライチェーン整備に応じて補助金を拠出する政策を発表している。モデル都市に選ばれた上海市では、FC 車両メーカーや利用者に対する支援を実施している。

大型の燃料電池を活用する航空・海運での水素利用に関しては、研究開発の段階であり「水素エネルギー産業発展の中長期計画(2021~2035 年)」においても、大型水素エネルギー航空機器の開発推進について言及するにとどまっている。ただし、船舶においては、主要港を内陸水路運輸によって結ぶことで、その内陸の鉄道と合わせたクリーンな物流を実現するとしており、「内陸水路運輸発展アウトライン」の中で内陸水路運輸における燃料電池の開発ロードマップを策定し、2035 年までに内陸水路航行システムを構築するとされている。

また、トランスポーター関連の水素利用においても、地域ごとの利用に加えて、近隣地域での水素製造拠点や燃料電池関連の産業サプライチェーンの構築も合わせた、エリア一帯での開発が目指されている。

表 3-8 中国・各地域におけるトランスポーター関連政策

自治体	計画	目標	特徴
北京市	・ 北京市水素燃料電池自動車産業発展計画	2025年までに水素燃料電池自動車1万台、水素ステーション74箇所の導入	重点シーンと区域を想定した実証普及・応用の実施
上海市	・ 上海市燃料電池自動車産業革新発展実施計画 ・ 上海市水素エネルギー産業発展中長期計画 (2022-2035年)	2025年まで水素燃料電池車1万台以上、水素ステーション70箇所の導入	金山と宝山の2つの水素ガスの調製と供給保障拠点を設置 空港・港・川・湖 などによる水素利用を想定した水素システムを構築
河北省	・ 河北省水素エネルギー産業発展第14次5カ年計画	2025年までに水素燃料電池自動車1万台、水素ステーション100箇所の導入	張家口市では風力発電と他の再生エネルギーを活用した水素生産で年間2万トンの水素を生産する計画
広東省	・ 広東省水素燃料電池自動車産業発展加速実施方案 ・ 仏山市南海区水素産業発展計画 (2020-2035年)	2025年までに水素燃料電池自動車1万台、水素ステーション100箇所の導入 2030年までに水素燃料電池自動車1.2万台、水素ステーション60箇所以上の導入	短期的には都市部の公共交通、箱型物流等の商用車、通信基地局の予備電源等の分野で利用 「水素回廊」に沿った、水素ステーション設置を行う
内モンゴル自治区	・ 内モンゴル自治区第14次五カ年計画気候変動対応計画	グリーン水素の年間生産能力目標は、2023年までに5万トン、2025年までに40万トン、2030年までに100万トン	内モンゴル西側・東側のグリーン水素製造拠点とその中心に産業拠点を立地

出所:NEDO「中国における水素・燃料電池の動向」を基に日本総研作成

特に導入が進み、環北京水素サプライチェーンが構築されている張家口地域では都市部の 9 バス路線を FC バスでカバーしており、特定路線に集中して投入することで市街地における水素バス活用が進んでいる。

3.2.5 韓国の水素・トランスポーター関連政策の詳細

韓国の水素政策は自国内での需要早期に加えて、海外からの水素輸入も踏まえたインフラ構築が念頭に置かれており、水素 ST の整備などネットワークも踏まえた供給網に対して支援を進めていくとされている。

表 3-9 韓国における水素政策動向概要

政府目標 (3UP成長戦略)	<ul style="list-style-type: none"> 2022年度の“3UP”成長戦略を発表 2030年までに水素でFCVを3万台生産、液体水素燃料供給ステーションを70カ所建設 技術を活用し、2030年までに600社の水素企業の育成を支援
水素先導国家 ビジョン	<ul style="list-style-type: none"> 2030年に100万トン（グリーン25万トン、ブルー75万トン）の生産、390万トンの需要を実現 アンモニア燃料船や液水運搬船を商用化し、水素船引用港湾を造成、海外水素輸入インフラを構築
水素経済活性化 ロードマップ	<ul style="list-style-type: none"> 2040年時点で内需・外需含めて、水素車両620万台（乗用車590万台、バス6万台、タクシー12万台、トラック12万台）の需要を創出する
規制・補助動向	<ul style="list-style-type: none"> 経済発展戦略「韓国版ニューディール総合計画」内にて、クリーントランスポーターへの転換に向けて、2025年までの総事業費20.3兆ウォン（国費13.1兆ウォン）
水素法	<ul style="list-style-type: none"> 水素法（正式名：水素経済の育成および水素安全管理に関する法律）にて特定の施設（工業団地、物流施設、サービスエリア等）における水素ステーション設置の行政命令の規定するなど、設置を推進
水素発電義務化 制度	<ul style="list-style-type: none"> 特定目的会社韓国水素グリーンエネルギーネットワーク社（KOHYGEN）が総事業費3,300億ウォン（政府補助金1,670億ウォンを含む）

出所：公表情報を基に日本総研作成

道路交通での水素利用に関して、水素 ST 網の充実から導入インフラの充実を図り、バス・貨物車を中心とした水素車両の導入が目指されている。具体的には 2050 カーボンニュートラル推進戦略(2020 年 10 月)や韓国版ニューディール統合計画(2020 年 7 月)において、BEV の導入促進に加えて 20 万台の乗用車、バス、貨物車などの水素自動車や 450 基の水素 ST の整備が掲げられている。

海運に関する水素関連政策として、水素を軸としたカーボンニュートラルポートの開発が進められており、LNG 港を改修した水素港湾整備を進めるとされている。水素港湾の形成に向けて韓国政府は 30 兆ウォン(約 2 兆 8500 億円)を投入するとされており、2040 年までに蔚山港や光陽港、釜山港、平澤・唐津港、群山港など国内 14 港で水素港湾を整備する方針が示されている。合わせて、拠点付近でのバンカリングを見据えた、水素燃料船の開発を進めるとしている。

鉄道では都市交通の一端を担うトラムでの水素利用が目指されており、国費 282 億ウォンと市費 20 億ウォンの補助を含めた官民共同での実証実験が進められている。政府と共同での FC トラム専用の水素 ST の整備などにより、早急な開発を目指すとしている。また、FC トラムに関して、海外輸出に向けた安全設計や規格適合性に対する第三者認証も取得しており、新産業としての国内導入に加えて、輸出での世界市場の確保が目指されている。

3.2.6 ASEAN 諸国の水素・トランスポーター関連政策の詳細

ASEAN 諸国においては、グレー水素の生産が一部の国で見られるが、国家レベルにおける水素政策としてシンガポールが「水素国家戦略」を有するほかに、明確な目標を掲げる国は見られない。製造・需要の両面での ASEAN 加盟国間の協力を促進するために、明確な水素戦略の策定が求められている。

表 3-10 ASEAN 諸国における水素利活用動向概要

	グレー水素	ブルー水素	グリーン水素	水素に関する検討状況
ブルネイ	製造・輸出	—	—	AHEAD水素サプライチェーンの下、日本との輸出に関するパイロットプロジェクト検討
カンボジア	—	—	計画	PESTECHとHDFの協力によるグリーン水素製造を検討するMoUを締結
インドネシア	製造	計画中	計画（地熱）	ブルー・グリーン水素の製造を計画中
ラオス	—	—	—	—
マレーシア	製造	—	製造	国家エネルギー転換ロードマップにて、グリーン水素とアンモニア混焼の利用を計画
ミャンマー	—	—	—	—
フィリピン	—	—	計画	1,100MWコンバインドサイクル発電所を通じてグリーン水素を利用・生産する計画
タイ	—	—	製造	1MWの電解槽でグリーン水素を製造
ベトナム	製造	—	計画	2024年までにグリーン水素を生産する計画
シンガポール	—	—	計画	輸出を踏まえた水素活用調査実施 「水素国家戦略」を発表 2024年までにグリーン水素を製造する計画

出所：ACE「ASEAN Energy Booklet Volume 1: Low Carbon Hydrogen in ASEAN」、
「How Southeast Asia Should Embrace Hydrogen: Energy Security and Climate Change Perspectives」を基に日本総研作成

ASEAN 諸国内で明確に水素戦略が出されているシンガポールでは、水素(アンモニア含む)はシンガポールの脱炭素化に必要な技術として、技術開発・施設整備に向けて支援を行うとしている。具体的な支援として商業化が近い先進的な水素技術利用の実証実験、水素技術発展のための研究開発、産業界や国際パートナーと協力した低炭素水素サプライチェーンの形成と拡大、水素利用のための土地及びインフラ計画の策定、産業界や教育セクターと協力した人材育成などの取組が挙げられている。

トランスポーターへの利用においては、ガソリンやディーゼル燃料の内燃機関車を 2040 年までに段階的に廃止を決定しており、HV、BEV、FCV への移行が進められている。

海運・航空分野に関して、民間事業者とのパートナーリングによるサプライチェーンの形成に向けた検討を進めるとされている。特にシンガポールは世界最大のバンカリング拠点として国際海運における水素ハブとなるよう、シンガポール海事港湾庁(MPA)が、業界コンソーシアムと協力し、バンカリング燃料としてのアンモニアの実現可能性の検討を実施している。航空分野においても、シンガポール民間航空局(CAAS)は Airbus、チャンギ空港グループ、Linde(アイルランドに本社を置く工業ガス大手)と協力協定を締結し、航空向けの水素供給とインフラ開発の検討を行うシンガポール水素協力委員会(The Singapore Hydrogen Cooperation Committee)を設立し、上記事業の実現可能性検討を進めている。

また、先行的な実証実験として、シンガポールの埋め立て島において、風力や太陽光などの再生可能エネルギーと水素による蓄エネルギー機能を組み合わせた、オフグリッド型でのマイクログリッド実証が進められている。その中で、離島における水素利活用先の一つに FCV を想定しており、マイクログリッドの運用にも柔軟性を与える設備として組み込まれている。

3.2.7 諸外国における先行事例

前述までの各国別の政策動向に加えて、先進的な市街地または特定エリアでの地産地消を想定して、自動車利用を中心に様々な水素利活用の取り組みが進められている。

表 3-11 エリア別の水素利用における先進事例

	国名	概要
市街地	オランダ	■ オランダのHEAVENNプロジェクトでは、化学工業地帯や天然ガス精製プラントに水電解装置を挿入し、グリーン水素を製造。乗用車/トラック/バス等の燃料に活用する他、住宅向けボイラーの燃料としても活用する。
	フランス	■ フランスのタクシー会社hypeは、パリ近郊を中心に水素の生産/輸送/利用を包含するモビリティインフラの構築に向け、複数のプロジェクトに関与。主に水素タクシーの燃料として活用するほか、トラック、商用車、バス、ゴミ収集車等でも活用する。
	中国 (上海)	■ 中国の上海市は、政府のFCVモデル都市群に選定されており、沖合洋上風力等によるグリーン水素製造/海外水素輸入拠点の建設による水素供給網の整備と、2025年までのFCV1万台以上の導入等を進めている。
	韓国 (全州市、完州市)	■ 韓国の全州市/完州群は、韓国政府の水素モデル都市に選定。完州群で製造したブルー水素等を、集合住宅1万3全世帯での電力/熱に活用するほか、全州市内の路線バスの燃料としても活用する。
	ベルギー	■ ベルギーCMB社は、水素・ディーゼルを合わせたデュアルフェーゼルエンジンを開発し、船舶・トラック・産業車両に搭載。また、オンサイトで水電解により再生エネルギー由来水素を製造し、自動車・トラック・船舶等に供給するマルチステーションをアントワープ港に設置。
特定エリア	スペイン (マヨルカ島)	■ マヨルカ島内で生産から消費まで完結する水素インフラを構築し、輸送用需要だけでなく周辺の業務用需要を取り込むことで、個別の取り組みだけでは達成できない規模の需要創出を可能とした。
	韓国 (濟州島)	■ 濟州道（濟州島+周辺の小島からなる特別自治道）では、12.5MW規模のアジア最大のグリーン水素製造施設を建設し、今後も水素ステーションを増設する計画。 ■ 濟州島の強風を活かした風力発電の開発が進められ、それを利用した水素製造の実証プロジェクトが2025年から開始される予定。先行して近隣の風力発電の再生エネルギーにより生産した水素を供給する水素ステーションが設置され、島内のバスの一部が水素により運行している。

出所：各種資料を基に日本総研作成

オランダの HEAVENN プロジェクトでは、化学工業地帯や天然ガス精製プラントに水電解装置を挿入し、陸上/洋上風力/太陽光から電力を供給しグリーン水素を製造する。オランダにて水素 ST を数基設置、105 台の乗用車/トラック/ゴミ収集車/バス/大型車に活用するほか、住宅向けボイラーの燃料としても活用されている。

フランスのタクシー会社 hype は、パリ近郊を中心に、水素の生産/輸送/利用を包含するインフラの構築に向け、複数のプロジェクトに関与している。再生可能エネルギー事業者との PPA 契約、風力・太陽光発電所でのオンサイト製造によりグリーン水素を生産したうえで、主に水素タクシーの燃料として活用するほか、トラック/商用車/ゴミ収集車等でも活用するとしている。2025 年までに水素タクシーを最大 4 万台運用し、水素 ST を 100 台近く設置することが目標とされている。

中国の上海市は、政府の FCV モデル都市群に選定されており、沖合洋上風力等によるグリーン水素製造/海外水素輸入拠点の建設による水素供給網の整備と、2025 年までの FCV1 万台以上の導入等を進めている。

韓国の全州市/完州群は、韓国政府の水素モデル都市に選定されており、完州群で製造したブルー水素等を、集合住宅 1 万 3 全世帯での電力/熱に活用するほか、全州市内の路線バスの燃料としても活用するとされている。2030 年までに全州市で集合住宅 6 千世帯、完州群で集合住宅 7 千世帯に FC による電気/熱供給を目標としており、全州市内の路線バスを毎年 15 台以上 FC バス化、現代全州工場で 2025 年までに FCV1600 台を生産するとしている。

ベルギーCMB社は、水素・ディーゼルを組み合わせたデュアルフューエルエンジンを開発し、船舶・トラック・産業車両へ搭載。また、オンサイトで水電解により再生可能エネルギー由来の水素を製造し、自動車・トラック・船舶等に供給するマルチステーションをアントワープ港に設置している。複数用途の利用を目指すことで、効率的な水素利用を進めるとしている。

上記までの市街地での利用に加えて、離島での利用についても有望な用途として進められている。スペインでは、マヨルカ島内で生産から消費まで完結する水素インフラを構築し、輸送用需要だけでなく周辺の業務用需要を取り込むことで、個別の取り組みだけでは達成できない規模の需要創出を可能とした「GREEN HYSLAND」事業が進められている。Lloseta 自治体や Palma 市のホテルに熱と電力を供給、地域のガスグリッドに水素混合ガスを注入することに加えて、FCバス・Palma 港燃料電池システム導入が進められている。また、韓国では、済州島を中心としてエリアにて、12.5MW 規模のアジア最大のグリーン水素製造施設を建設し、今後も水素 ST を増設する計画が立てられている。済州島の強風を活かした風力発電による電力供給を行い、4 つの水電解システム(アルカリ電解セル、個体高分子電解質膜、個体酸化物電解セル、陰イオン交換膜)の実証を実施。済州島内の 200 台の清掃車及び 300 台のバスでの水素利用を予定している。

3.3 水素利用のメリットと課題

3.3.1 水素利用におけるメリット

ネットゼロに向けて最終エネルギー需要の 20～35%(年間 250～460 TWh)を水素が占めると見込む英国の水素戦略では、水素は、産業、電力、熱、輸送の脱炭素化において重要な役割を果たし、特にトランスポートにおいてバッテリー電化の補完やバッテリー貯蔵が適さない HGV、航空、海運等の大型輸送手段への活用においてメリットがあると整理されている。また、将来の水素経済全般においては、トランスポートが、最大の構成要素として、大規模な市場形成が期待されている点も積極的に導入を行うメリットとして挙げられている。

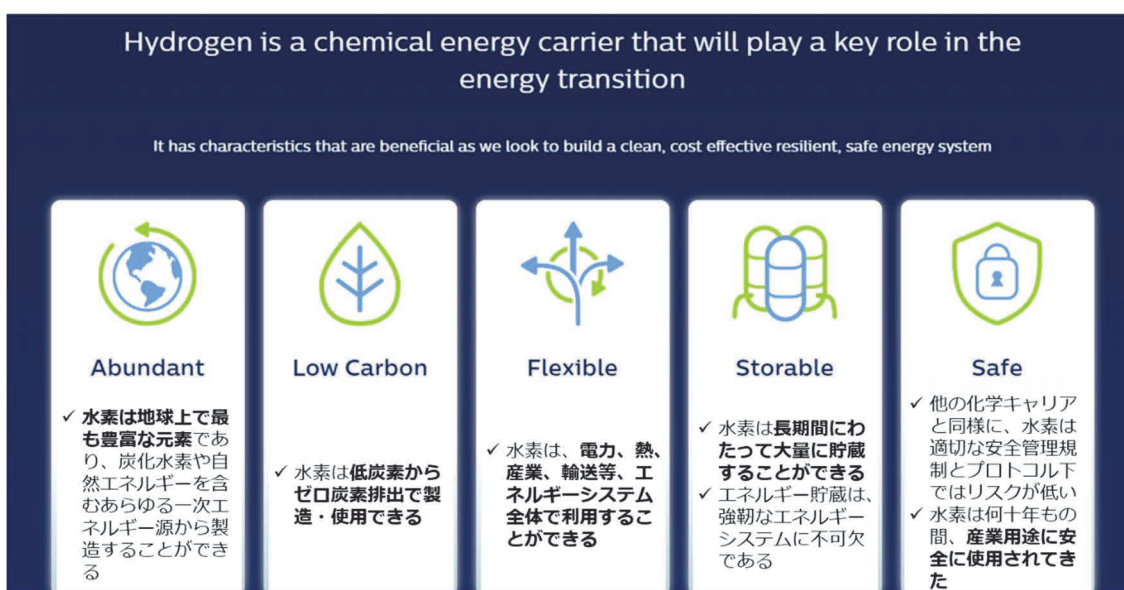


図 3-4 水素利用における利点

出所:Hydrogen UK HP より引用

米国においては、特に道路交通において、BEVに比べ、バッテリーの重量、コスト、航続距離が積載量に影響する大型輸送やバッテリーの航続距離が低下する可能性がある寒冷地等の条件で優位であることがメリットとして挙げられている。また、FCV は、迅速な燃料補給で、高い稼働時間を維持し、低コストのインフラで大規模サービスが提供可能とされている。

上記を踏まえ各国の利用用途を整理する中で見られた水素のメリットとして、ネットゼロへの貢献、余剰電力の活用、資源の豊富さ、長期貯蔵性、大規模市場形成の可能性、バッテリー式に対する優位性等が挙げられている。

3.3.2 水素利用における課題

英国の水素戦略では、トランスポーターを含む水素全般の課題として、水素のコストや技術、規制等の不確実性、インフラ整備の必要性、需給の同時開発・調整の必要性、先行者が不利になることに対応する環境整備等が挙げられている。具体的には技術革新と普及が加速すれば、コストは大幅かつ急速に低下するとみられるが、現段階では製造・使用コストが非常に高いことや、多くの応用分野は、実用化に大規模な実証が必要、水素の利用には貯蔵、CCUS、ガス、電力ネットワークとの統合など大規模なインフラ整備が必要となることなどが挙げられている。

また、米国エネルギー省による調査によると、トランスポーターを含む水素全般の課題は、エンドユーザーのコスト、十分なインフラの必要性、水素への理解、技術進歩、企業へのインセンティブの欠如、競争力ある技術、適切な利用機会の欠如、政府の研究開発(R&D)への支援の欠如等にあるとされている(図 3-5)。

上記を踏まえると、水素利用における主な課題には、コストや技術、規制等の不確実性、需給両面の環境整備、理解や機会、インセンティブや支援の不足がある。

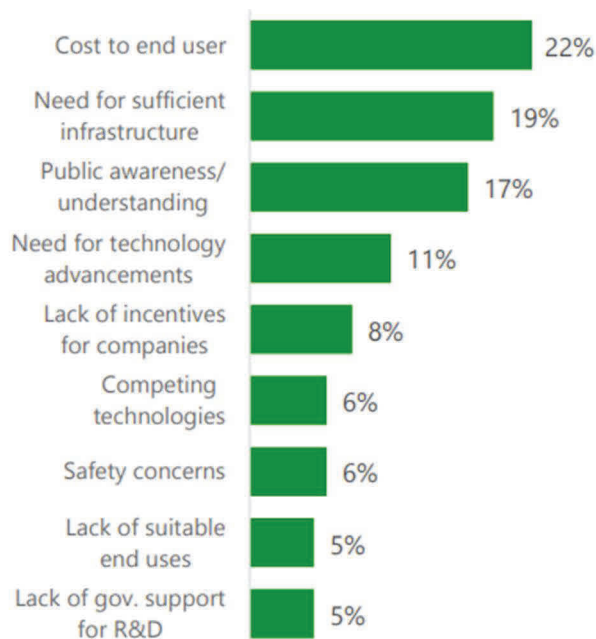


図 3-5 米国における水素の普及と市場導入を阻害する潜在的障壁に関するステークホルダーの認識

出所:the Department of Energy「U.S. National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap」(2023年6月)より引用

4. 日本の交通機関で水素燃料を実装していくのに適した地域、交通モード等の調査

4.1 評価指標の検討

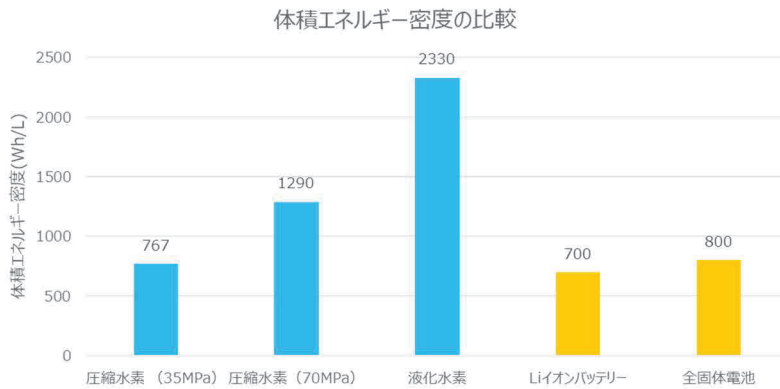
4.1.1 水素利用に適した条件の検討

各交通モードにおいて、水素利用に適した交通モードを検討する上で、表 4-1 に示す評価指標を考慮した。エネルギー密度は、図 4-1 に示すとおり、液化水素と蓄電池との間で大きく異なる。走行距離が長くなればなるほど、必要な燃料が多くなり、エネルギー密度が小さい燃料の場合、貯蔵タンクが大きくなってしまふ。つまり、同じ距離を走る場合でも、エネルギー密度の違いによってその車体サイズや積載量に影響するため、蓄電池に比べて水素の方が、航続距離が長く積載量も大きいと想定される。また、大型トラックや起伏の激しい山道を走る地方路線の場合などでは、馬力が必要であり、蓄電池に比べて燃料電池や水素エンジンが優位となり得る。さらに、海外からの輸入した水素の受入拠点からの距離も重要であり、大規模に水素を受け入れる拠点・基地の周辺では、水素インフラが整備され、蓄電池利用に対して競争力のある価格となる水素利用が普及していく可能性が高い。また、パイプライン、ローリー、鉄道、船舶などによる二次輸送先においては、大規模拠点近傍に比べて輸送コスト分上乘せられることから、水素価格が高くなることが想定される。こうした場合には、エネルギー密度や馬力の観点も踏まえて、水素でなければならない用途で、ユーザー利便性を考慮した上で判断されると考えられる。したがって、エネルギー密度、馬力、受入・貯蔵拠点からの距離を指標として、水素利用に適する利用シーンを特定した。

表 4-1 水素利用に適した交通モードを検討する上での評価指標

エネルギー密度 (積載量)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 長距離輸送の場合、水素やその他燃料に比べてエネルギー密度が小さい蓄電池は、サイズが大きくなるため積載量が小さくなってしまふため、水素やバイオ燃料を利用した内燃機関や燃料電池車が想定される。 ▶ 客席数20~100以下の小型機（セスナ規模は~19席）で主に地方都市間や地方のハブ空港を発着する離島路線等における小型機では水素利用が支配的と想定される。
馬力（トルク）	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 大型トラックなどの馬力が必要なケースで、燃料電池や内燃機関が求められ、安価な水素に容易にアクセスできる環境においては水素利用が想定される。 ▶ 船舶、鉄道などにおいても、内航船、貨客フェリー、気動車など、上記と同様の整理と想定される。ただし、航空機においては、短中距離航路での水素の活用も期待される。
受入・貯蔵拠点 との距離	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 安価な水素を大量に受け入れ・貯蔵する拠点の近傍では、安価な水素を利用することができるため、電化と同じ土俵で検討される。 ▶ 一方、二次輸送に係る距離に応じて輸送費が加算されるため、拠点からの距離が遠いほどコスト面で電化に劣後する。また、二次輸送に適さないエリアでは電化が基本となるが、限られた条件下では地産水素が検討される。

出所：日本総研作成



	水素			バッテリー	
	圧縮水素(35MPa)	圧縮水素(70MPa)	液化水素	Liイオン電池	全固体
体積エネルギー密度 (Wh/L)	767	1,290	2,330	600-700	800

図 4-1 水素と蓄電池のエネルギー密度

出所:各種公表情報を基に日本総研作成

4.1.2 評価軸の検討

日本国内において、どのような地域や利用シーンにおいて、どの交通モードが水素利用に適しているかを特定するために、現状の技術開発の動向等を踏まえた上で、各輸送モードの活用可能性の評価を実施した。評価に際しては、輸送モードについて、①人口密度や輸送密度等個別モード毎に適切な指標、②供給拠点からの距離を軸として、水素活用可能性の大小をマッピングし、水素利用の可能性が高い利用シーンを特定した。大規模受け入れ拠点に輸入された水素は、その一部がパイプライン、ローリー、鉄道等によって二次基地やその他の需要地へと輸送される。輸送距離が長くなると輸送コストが増加するため、②の供給拠点からの距離が大きくなるほど、水素コストも増加することを考慮した上で検討した。

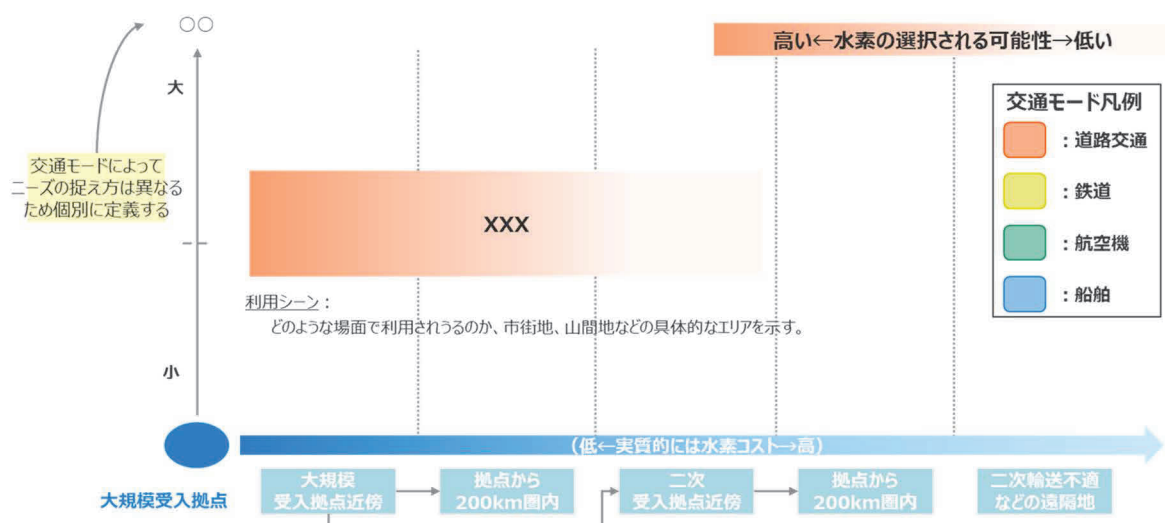


図 4-2 輸送モード毎の水素利用シーンのマッピング

出所:日本総研作成

なお、検討に当たっては、水素の大規模サプライチェーン構築に向けた政府支援策のロードマップ等を踏まえ、水素の普及拡大が十分に進展することが見込まれる 2040 年頃を想定断面とした。

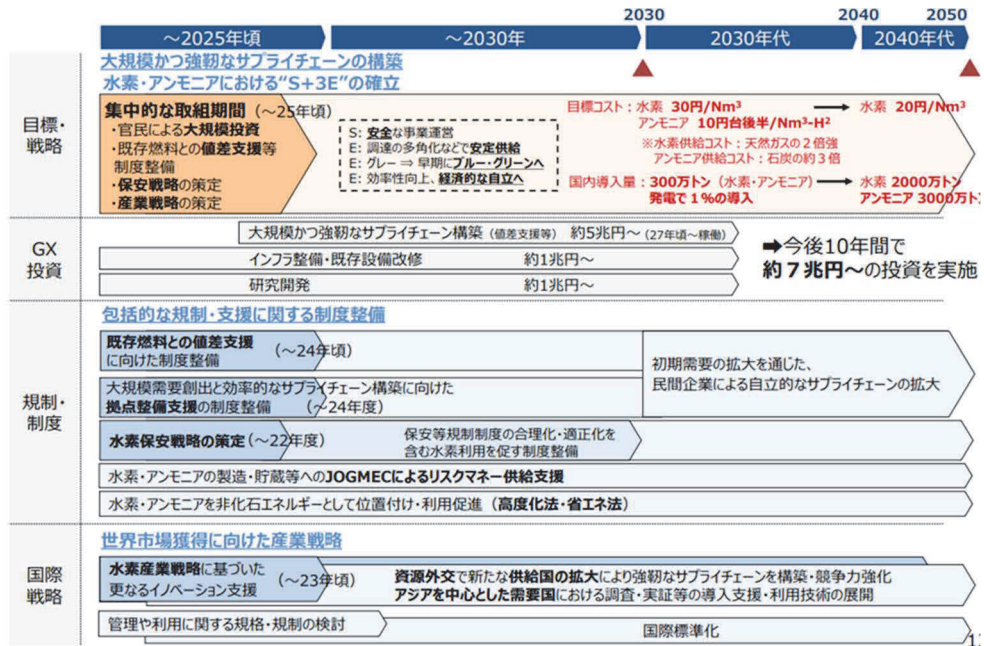


図 4-3 GX 実行会議にける水素ロードマップ

出所：「GX実現に向けた基本方針 参考資料」²⁷より引用

²⁷ https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaiji/pdf/kihon_sankou.pdf

4.2 個別モードでの水素利用マップの検討

4.2.1 自動車

(1) 既存の水素利用マップの整理

次世代自動車では、移動距離、車両サイズ(コスト)、乗用・商用の使われ方に応じた住み分けが進む。

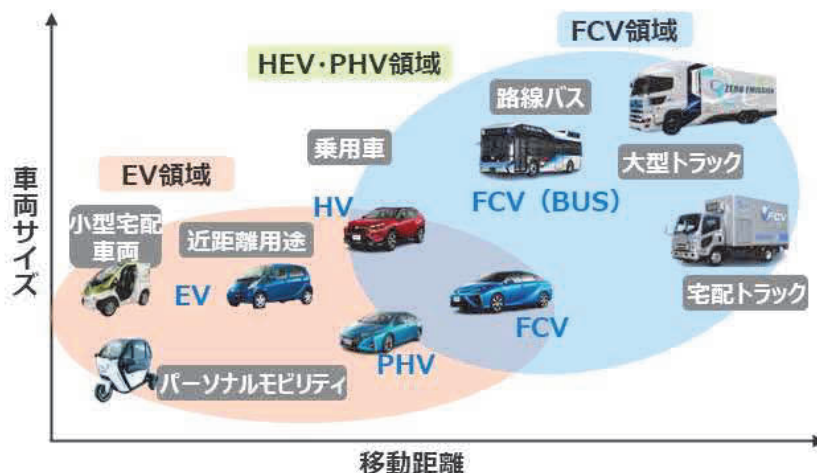


図 4-4 次世代自動車のマッピング

出所：経済産業省「FCVは商用車有利、モビリティ水素官民協議会とりまとめ」より引用

電動化のタイプと有望なユースケースとして、FCVの場合、航続距離が長く、充填時間が短いため、移動距離が長い商用車(トラック、バス、タクシー)や社用車としての潜在性がある。

具体的には、幹線輸送に用いられる大型トラックや、コンビニ配送などの稼働率が高い利用方法や架装(冷蔵冷凍車・ミキサー車等)での電気消費量が多い小型～中型トラックではFCトラックの方が有望と考えられる。バスに関しては、走行距離が定まっている大型路線バスなどが有望と考えられる、としている。

車両区分		区分内分布			
		ラストワンマイル (100km以下)	地場輸送 (101km～260km)	幹線輸送 (260km以上)	
トラック	軽トラック	BEV 夜間普通充電で一日に必要な走行距離をカバーすることが可能	—	—	
	小型トラック	B2C : BEV B2B : FCV コンビニ配送など稼働率が高いユースケースは、EVでは走行距離が満たせず、かつ充電時間の確保も難しい	BEV FCV	FCV	
	普通トラック	中型			FCV
		大型	FCV ユースケースが固定されているケースは稀であり、短距離～長距離走行に耐えられる必要があるEVでは積載量が十分確保できず、充填場所/時間の確保も難しい		
バス	小型バス	BEV	—	—	
	大型バス	BEV FCV		FCV	

図 4-5 電動化のタイプと有望なユースケース

出所：経済産業省「FCVは商用車有利、モビリティ水素官民協議会とりまとめ」を基に日本総研作成

(2) 水素受け入れ拠点からの距離による水素利用マップの検討

地域資源を活用した水素サプライチェーン構築に関する取り組みとして、北海道鹿追町にて、家畜ふん尿由来の水素製造から FCV・バス等へ利用し、水素地産地消型のモデルケースとして実証が行われた。

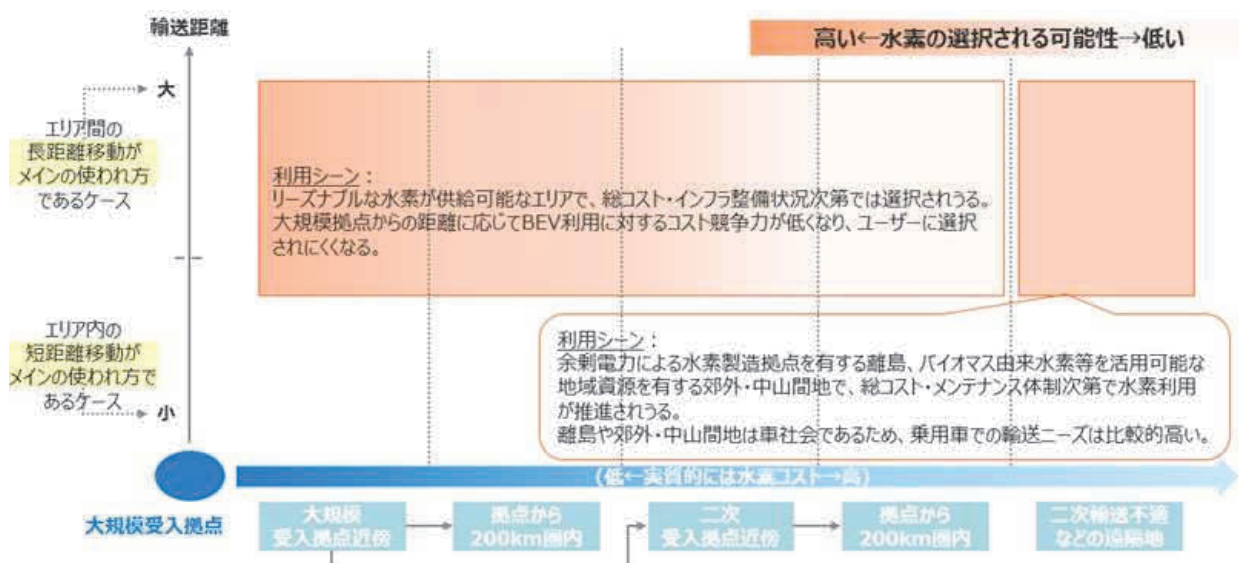
フェーズ：実証
<p>取組背景・目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 北海道十勝管内鹿追町にて、水素のエネルギーとしての普及のために、「製造・貯蔵・輸送・利用」という地産地消型のモデルケースとしての実証事業が行われた。 <p>取組概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 鹿追町では、2022年度からFCVを公用車として10台導入。 ✓ 環境省の委託を受け、家畜ふん尿由来の水素の製造から供給まで、一貫したサプライチェーンの構築をするという実証事業。 ✓ しかおい水素ファーム社により、家畜のふん尿をバイオガス化しメタンガスを抽出、そこから水蒸気改質と呼ばれる方法で水と反応させて水素を製造し、利用している。 ✓ FCV、FCトラック、FCフォークリフトに使用。 ✓ 車両に関しては、実証事業の間に5年間ほど使用しているが、寒冷地でもまったく問題はない。厳寒期に1週間くらいクルマを動かしていなくても、問題なく動く。 <p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 北海道内の水素ステーションは本町と札幌市、室蘭市の3か所しかない状況。旭川市や帯広市など道内の拠点となる街に整備されていかないと、FCVの普及にはまだ難しい。

図 4-6 地域資源を活用した水素サプライチェーン構築に関する取り組み

出所：株式会社しかおい水素ファーム H.P.を基に日本総研作成

上記実証事例も踏まえ、乗用車は通勤や公用車等での利用を想定した場合、輸送ニーズはエリアによらず一定程度想定される。ユーザーの置かれた環境によっては、BEV と比較してコスト競争力が生まれ、FCV が選択されうる。

輸送ニーズが小さいケースは、そもそも乗用車を所有するニーズが小さいことに加え、一定のニーズが見込めるケースでは、カーシェア等のサービスも想定されることから、総コスト・インフラ整備状況次第で、可能性として考えられる。



出所：日本総研作成

一方、航続距離が長く、充填時間が短いFCVは、バス・タクシーなど商用車ででの活用が期待できる。神戸エムケイはFCタクシーを導入。FCタクシーは水素需要の大幅な創出につながるとされる一方で、燃料費の増加・車種の少なさといった課題も残る。

<p>取組背景・目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 航続距離が長く、充填時間が短いFCVは、タクシーなど商用車ででの活用が期待できるとし、FCVを導入。 <p>取組概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 兵庫のタクシー会社神戸エムケイは、関西で初めて水素で走るトヨタのFCV「ミライ」を2台導入し、「水素タクシー」として運行を開始。 ✓ FCVがタクシーとして使われれば、1台あたり一般乗用車の約10倍の水素需要を生むとされる。 <p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ガソリンに換算した燃費は、エンジンとモーターを組み合わせて走る主力車両のハイブリッド車（HV）よりも4割余り劣り、年間で約100万円/台の追加の燃料費がかかる。車種の実用性も少ない。 ✓ 国内では、全国ハイヤー・タクシー連合会の統計（2023年3月末時点）で、HVが約4万4千台導入されているのに対し、BEVは415台、FCVは16台にとどまる。 ✓ 同社は、車種、インフラ、コストの問題が解決されれば、（運用する約180台）全車を水素車に替えるとしている。 	<p style="background-color: #0056b3; color: white; padding: 5px; border-radius: 5px;">フェーズ：実装（導入）</p>
--	---

図 4-8 FC タクシーに関する取り組み

出所：MK タクシー「水素ステーション開設と燃料電池車（FCV）ミライをタクシー導入」を基に日本総研作成

タクシーの場合、1日当たりの走行距離（＝稼働率）の高い市街地等、人口集中エリアでの利用が前提であり、ユーザー側の環境によってFCVが選択されうる。

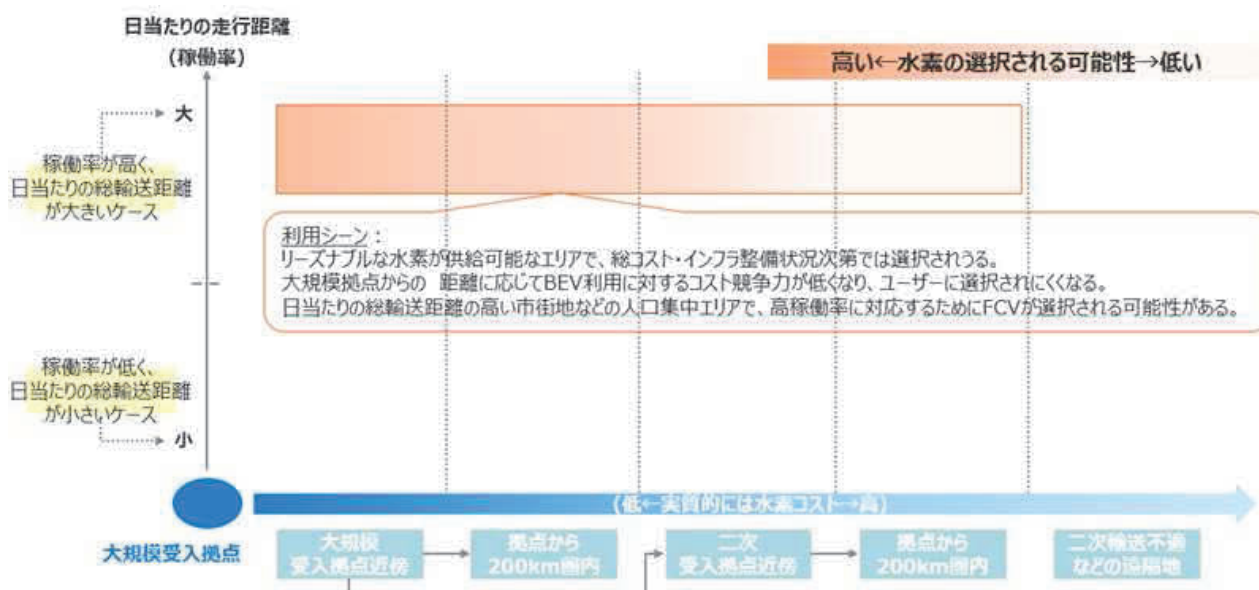


図 4-9 水素利用が想定される輸送モードマッピング | タクシー

出所：日本総研作成

一方路線バスでは、東京都で FC バスを導入し、“騒音”と“振動”が少ない、一般的なバスよりも快適な乗り心地を提供している。

フェーズ：実証

取組背景・目的

- ✓ 東京都は、エネルギーの安定供給の確保や脱炭素社会の実現に向け、水素エネルギーの普及に取り組んでおり、導入を進めている1つがFCバス。
- ✓ 環境対策に加え、“騒音”と“振動”が少ない、ギヤチェンジをする際に高い確率で起こる「変速ショック」も発生しないため、一般的なバスよりも快適な乗り心地を提供。

取組概要

- ✓ 東京都交通局は2023年3月現在、トヨタが開発を手掛けるFCバス「SORA」を、国内バス事業者の中で最大となる73両運用している。
- ✓ 東京都交通局では、2022年2月にMUFGのグループ5社からの寄付を受けてFCバスを路線へ導入するなど、新たな枠組でのFCバス導入も進められている。

図 4-10 FC バスに関する取り組み

出所：東京水素ナビ「燃料電池バスの導入」を基に日本総研作成

上記事例も踏まえ、路線バスは、リーズナブルな水素が供給可能なエリアで、ユーザーによって選択されやすい。また、高頻度での運行かつ長距離路線では、航続距離の関係で FC バスの利用が期待される。

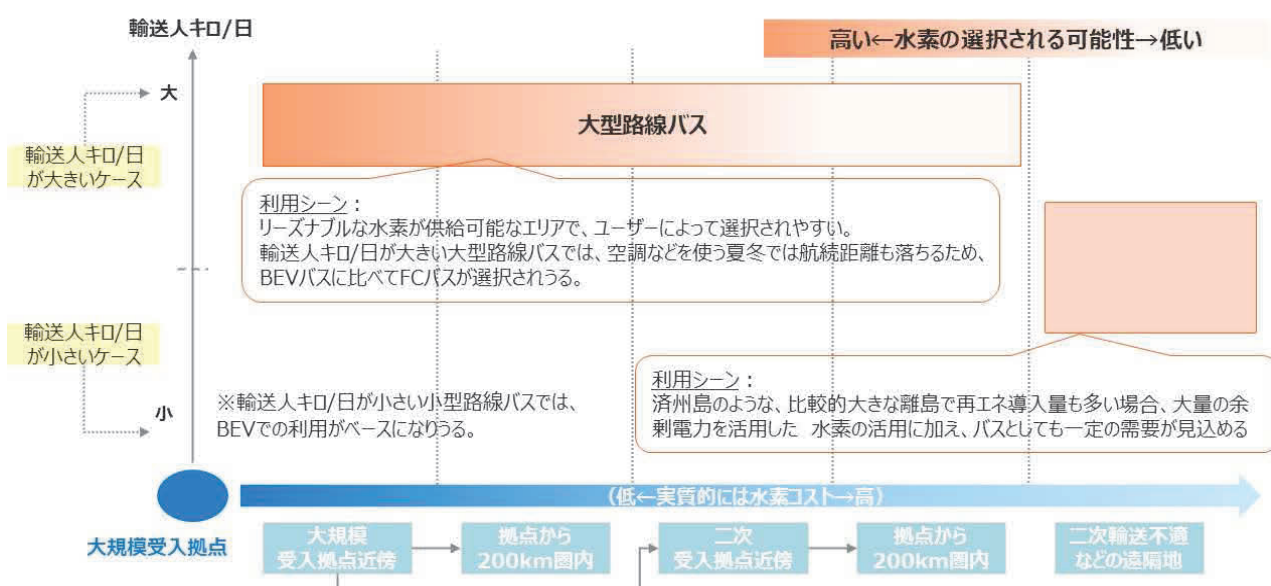


図 4-11 水素利用が想定される輸送モードマッピング | 路線バス

中国北京では、FCV 車普及に向けた実証で、初年度で実証目標の 1,162 台 FCV 導入を達成。主要用途である FC バスは、定格出力の高さ・航続距離の長さといった水素車の特性を活かし、都市間高速バスとしての利用が進んでいる。

取組背景・目的

- ✓ 2021年8月から2022年8月まで、複数の産業クラスターが主導する4年間全国へのFCV の普及応用に向けた、補助事業「燃料電池車モデル都市群実証プロジェクト」が初年度を終えた。
- ✓ 北京モデル都市群では、最初の1～2年で合計1,162台のFCVを導入する計画で、目標100%達成。
- ✓ FCバスとFC小型トラックが実証目標の大半を占めた。

取組概要

- ✓ FCバスは、都市間輸送や都市内観光などに投入。都市間FCバスは、延慶区で通常の高速バスとして運行されている。FCバスは、通常のバスに比べて定格出力が高く、走行距離も長いため、**都市間高速バスに適していると言える。**
- ✓ FCタクシーについては、**北京は寒冷な気候でBEVの走行燃費が著しく悪化する点で、FC乗用車をタクシーや配車サービスなどの商業用途で普及させるのに最適な立地とも言える。**
- ✓ FCトラックについては、2022年3月、大興区で合計100台のFoton FC冷凍トラックが運行開始。このような小型トラックは、コールドチェーンの食料品を扱うスーパーマーケットにサービスを提供している。

図 4-12 北京 FCV に関する取り組み

出所：INTEGRAL「Industry Review: Progress after 1st year of FCV Model City-Cluster Project in China」を基に日本総研作成

上記事例も踏まえ、高速バスは、都市間移動等、100～500km の中・長距離移動にて利用が期待される。BEV による代替が難しい領域であるため、エリア問わず高速バスは水素利用が期待されると想定。

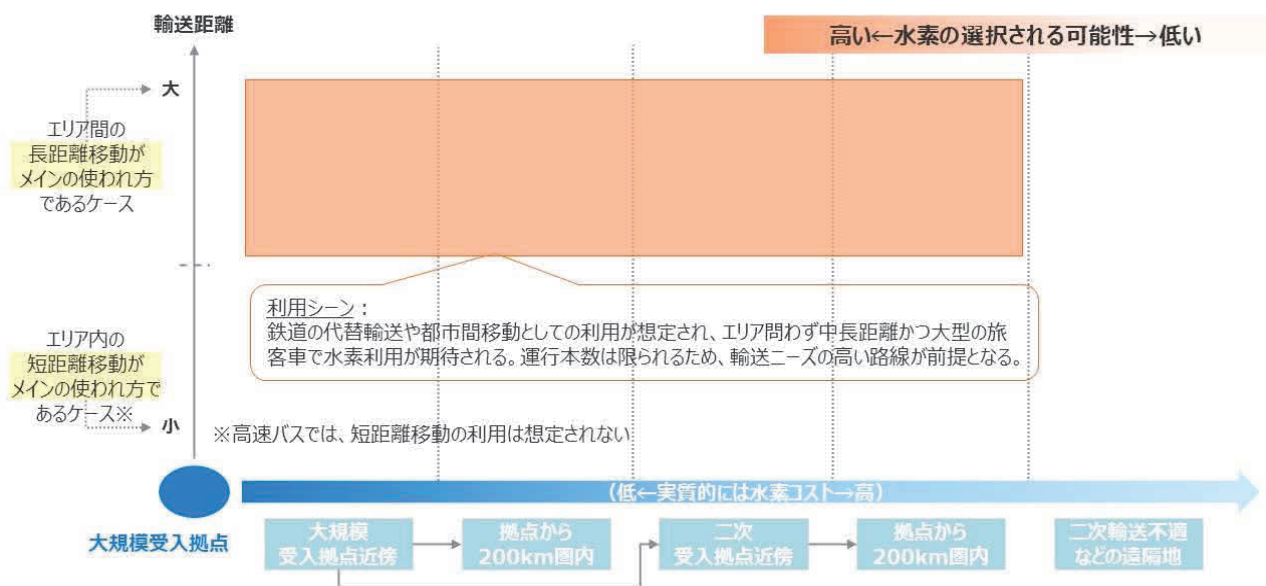


図 4-13 水素利用が想定される輸送モードマッピング | 高速バス

出所：日本総研作成

BEV 化が困難とされるトラックでは、高効率にパワーを発揮する水素エンジンが注目。フラットフィールドらは、既販中型トラックに水素エンジン搭載し、富山の PV 由来水素を利用した実証試験を開始。

	フェーズ：実証
取組背景・目的	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 企業や大学が、既販トラックを水素エンジン車に改造する技術の開発に取り組む。ディーゼルエンジン部品や燃料供給系部品を水素に適合したものに交換する。BEVやFCVを新車で購入するの比べ、低コストでの環境対応が可能。 ✓ 航続距離や充電時間などの観点からBEV化が困難とされるトラックなどの重量車両において、比較的高効率にパワーを発揮するとされる水素エンジンが注目される。 	
取組概要	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 東京都市大学やフラットフィールドらは、2021年8月から既販中型トラックの水素エンジン化技術の開発や事業化検証のプロジェクトを展開。 ✓ 2023年5月、水素エンジンを搭載した車両製作を完了し、走行試験を開始した。 ✓ 航続距離300km以上を目標としながら、ベース車両の約7割の荷室容量を確保。ディーゼルエンジンと遜色ない性能を実現した。 ✓ 2023年6月末頃からトナミ運輸（富山県高岡市）の協力で貨物輸送を対象とした実証を富山県で開始。100%太陽光発電による電気を使って水素を作り出す北越（富山市）の水素ステーションを利用。 ✓ 24年から試験的に小規模で事業をスタートする計画で、25年に本格展開を目指す。 	

図 4-14 既販トラックの水素エンジン化に関する取り組み

出所：東京都市大学「既販中型重量車の水素エンジン化事業性検証プロジェクト」において富山県内にて貨物輸送に向けた実証走行試験を開始」を基に日本総研作成

FC 大型トラックの実証も進む。十分な航続距離と積載量、短時間での燃料供給が求められる大型トラックでは、エネルギー密度の高い水素を動力とする燃料電池システムが有効とされる。ヤマト運輸らは、トヨタ・日野自動車が共同開発した FC 大型トラックの走行実証を開始した。

	フェーズ：実証
取組背景・目的	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ 近年、サステナブルな物流の必要性が高まっている。中でも、国内商用車全体の温室効果ガス排出量は、全体の約7割を大型トラックが占めており、特に幹線輸送に使われる大型トラックは、十分な航続距離と積載量、短時間での燃料供給が求められるため、エネルギー密度の高い水素を燃料とする燃料電池システムが有効であると言われている。 ✓ トヨタと日野自動車が共同で開発したFC大型トラックを用いて、各社の実際の輸送業務に使用することで、水素燃料活用の可能性と実用性の検証を行う。 	
取組概要	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ アサヒグループ、ヤマト運輸らは、サステナブルな物流の実現に向け、2023年5月から水素を燃料としたFC大型トラックの走行実証を開始。FC大型トラックの走行は、日本で初となる。 ✓ 当該FC大型トラックは、航続可能距離は約600km。トヨタのFC技術を応用し、大型トラックに最適化したFCスタック（※水素と酸素の化学反応によって電気を発電させる装置）を2基搭載。さらに、新たに開発した大量の水素を貯蔵可能とする大型高圧水素タンクを6本搭載。貯蔵した水素と大気中の酸素をFCスタックに取り込むことで発電し、その電気でモーターを駆動させることで車両が稼働する。 	

図 4-15 燃料電池大型トラックに関する取り組み

出所：ヤマト運輸「日本初、燃料電池大型トラックの走行実証を開始」を基に日本総研作成

小型トラックでは、ローソンが 2023 年 5 月、トヨタらが開発した FC 小型トラック（航続距離は約 260km）を福島・東京の配送センターに導入した。

	フェーズ：実証
取組概要	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ローソンは2023年5月2日、トヨタ自動車とイすゞ自動車が共同開発したFC小型トラックを、福島県本宮市と東京都大田区の配送センターにそれぞれ1台ずつ導入すると発表した。航続距離は約260km。 ✓ FC小型トラックは、福島県本宮市と東京都大田区の配送センターに導入され、郡山市・須賀川市・白河市のローソン約12店舗、江東区・中央区のローソン約10店舗に、おにぎり、デザート等のデイリー商品を配送する予定。 ✓ ローソンは、GI基金「スマートモビリティ社会の構築」事業の元、FC小型トラックの導入を進め、店舗への商品配送エリアを順次拡大していくとしている。 	

図 4-16 燃料電池小型トラックに関する取り組み

出所：ヤマト運輸「日本初、燃料電池大型トラックの走行実証を開始」を基に日本総研作成

以上の事例を踏まえ、大型トラックにおいては、BEV 車両の開発事例もあるが、積載量や航続距離等の

観点で、水素利用が期待される。小型トラックにおいては、水素コストの上昇に応じて BEV が選択されやすくなる。

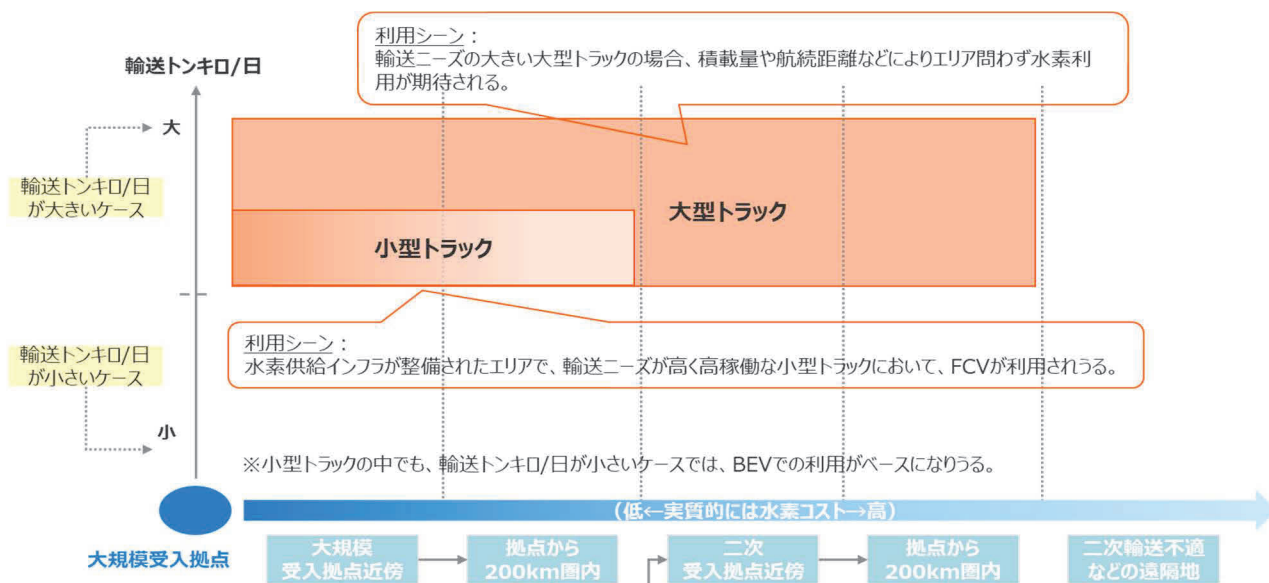


図 4-17 水素利用が想定される輸送モードマッピング | トラック

出所：日本総研作成

4.2.2 鉄道

(1) 既存の水素利用マップの整理

既存のマップは公表情報ベースでは確認できないため、(2)にて事例ベースでのマッピング整理を行う。

(2) 水素受け入れ拠点からの距離による水素利用マップの検討

鉄道の脱炭素化は、輸送人キロ(トンキロ)の高いエリアでは、基本的には電化区間であるため、既存車両の高効率化の取り組みが進み、貨物駅や人口少エリアなどの非電化区間において、蓄電池や FC 車両等が検討されている。一部では既に、勾配のある長距離山間部路線などでの水素動力電車の適用可能性検討が進められている。

JR 東日本、日立製作所、トヨタ自動車は、水素ハイブリッド電車「HYBARI」を共同開発した。南武線にて実証 運行も実施している²⁸。

また、JR 東日本は ENEOS と、鉄道の脱炭素化に向けた共同検討に向けて連携協定を締結。2030 年までの実装を目指し、水素ハイブリッド車両向け定置式水素 ST の開発を進めるとしている²⁹。

JR 東海では、「水素動力車両」の開発に着手。燃料電池及び水素エンジンの活用を検討しており、山間部が多く長距離となる非電化な路線への適合可能性等を検証するとしている。高山や下呂に続くのぼり勾配で馬力が必要な高山本線等への導入検討も想定されている³⁰。

関西電力、JR 西日本らは、姫路貨物駅を中心とした水素輸送や FC 列車の導入を検討している。ただ

²⁸ https://www.jreast.co.jp/press/2020/20201006_4_ho.pdf

²⁹ https://www.jreast.co.jp/press/2022/20220525_ho01.pdf

³⁰ <https://jr-central.co.jp/news/release/pdf/000043037.pdf>

し、FC 列車については、具体的な導入路線は明言されていない³¹。

以上の事例を踏まえ、鉄道では、大規模水素受入拠点に隣接する非電化路線での利用が期待される。また、各地を発着する貨物列車(機関車)においても、水素利用が期待される。

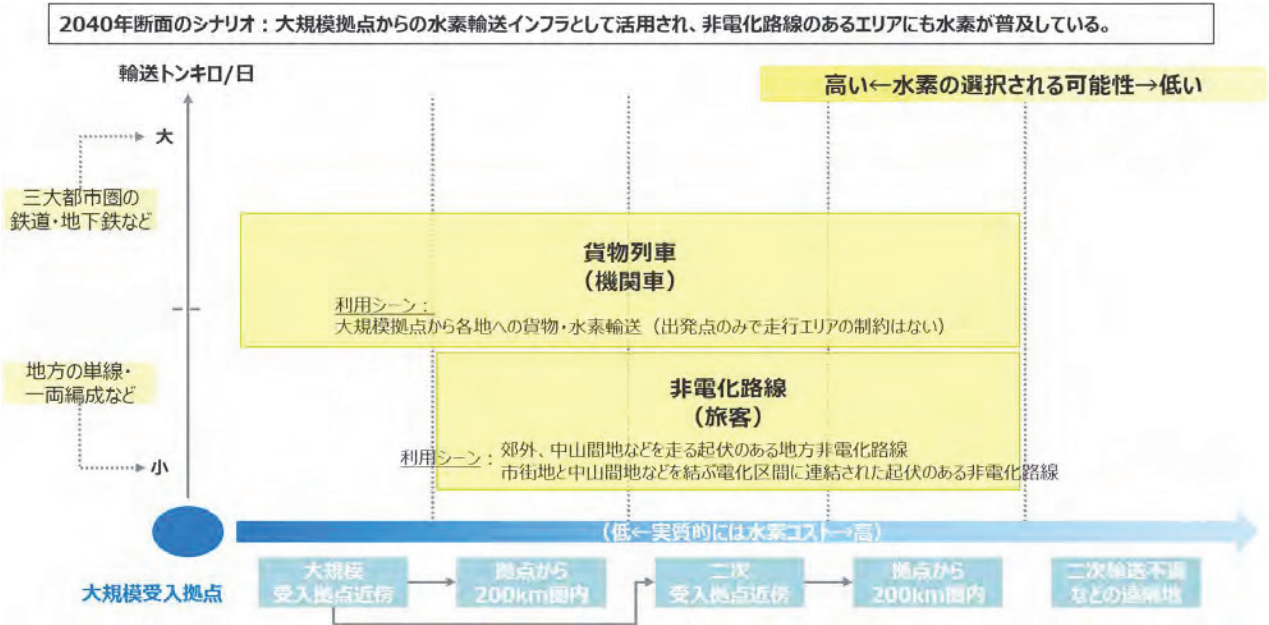


図 4-18 水素利用が想定される輸送モードマッピング | 鉄道

出所：日本総研作成

4.2.3 航空機

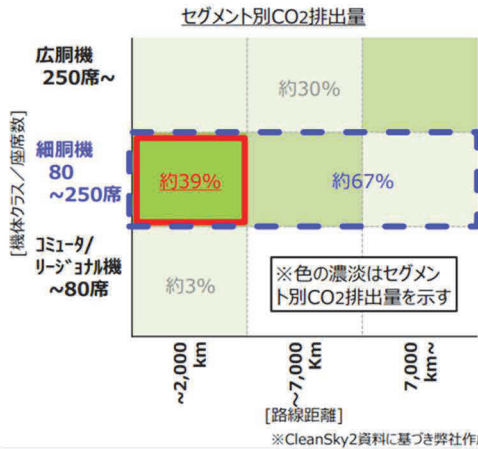
(1) 既存の水素利用マップの整理

川崎重工は、グリーンイノベーション基金の支援の下で、水素航空機向けコア技術開発を進めている。当該プロジェクトでは、座席数が80～250席程度の細胴機で、航続距離が2,000km以下のものを、水素利用が有望なセグメントとして特定している。

³¹ <https://www.westjr.co.jp/press/article/items/himejisuisoyuso00.pdf>

セグメント分析

CO2排出削減への寄与のため、排出量の多い細胴機をターゲットに想定。路線距離は排出量と水素航空機の技術的成立性を考慮し2,000km以下とし、将来的にはそれ以上の路線距離も視野に入れる



ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期
 ・細胴機のメイン市場は120~250席クラス。年間生産機数1,000機以上で運航機体数は年率数%で成長すると考えられる。

需要家	主なプレーヤー	課題	想定ニーズ
機体OEM	エアバス社 ボーイング社	<ul style="list-style-type: none"> 技術的成立性 他製品との棲み分け 	<ul style="list-style-type: none"> 水素技術/航空機知見を有する開発パートナー
エンジンOEM	GE社 P&W社 RR社	<ul style="list-style-type: none"> 機体要求スぺック 技術的成立性 他製品との棲み分け 	<ul style="list-style-type: none"> 水素燃焼技術 生産技術・設計開発能力
運航/整備者 (LCC/MRO業者)	ANA/JAL等	<ul style="list-style-type: none"> コスト/インフラ等含めた運航成立性 	<ul style="list-style-type: none"> 運航成立性を満足する社会制度/外部環境

※OEM: Original Equipment Manufacturer
 MRO: Maintenance, Repair and Overhaul (整備・修理・オーバーホール)

図 4-19 GI 基金におけるセグメント分析

出所: NEDO グリーンイノベーション基金 水素航空機向けコア技術開発「事業戦略ビジョン」より引用

また、航空関連企業の業界団体である Air Transport Action Group は、航空業界の脱炭素化に向けてまとめた報告書である Waypoint 2050 の中で、座席数 250 以上で飛行時間が 150 分を超えるような長距離路線では SAF が優位である一方、座席数が 100 から 250 席で飛行時間が 45 分から 150 分の中距離路線では水素の可能性があるとしている。また、座席数が 9 から 100 席で飛行時間が 90 分以下の短距離航路については、水素に加えて電動航空機の活用可能性があるとしている。

(2) 水素受け入れ拠点からの距離による水素利用マップの検討

技術開発の動向に関して、小型水素航空機については、英国の ZeroAvia が FC エンジンを搭載した 19 人乗りの小型航空機を開発し、2023 年に 1 月に初飛行を実施している。また、米国の Universal Hydrogen は、同年 3 月に 40 人乗り規模の小型水素航空機の飛行に成功している。

取組概要

フェーズ：実証

<Zero Avia>

- ✓ イギリス政府の航空宇宙技術研究所 (ATI) が支援する研究開発である「HyFlyer II」プロジェクトの一環として、水素燃料電池を動力とした航空機の実証が行われた。
- ✓ 航空機開発のスタートアップ企業であるイギリスの ZeroAvia は、2023 年 1 月、**水素燃料電池を動力とした航空機としては過去最大の、19 人乗りの「ドルニエ 228」を使った初飛行に成功した。**
- ✓ 右翼はエンジンのまま、左翼には水素燃料電池駆動パワートレインの試作品を搭載し、19 人乗りの出力 600kW のパワートレインの開発を実現。
- ✓ 今後、出力 2~5MW パワートレインに向けた技術開発が加速することが期待され、90 人乗りの実証実験機への搭載を目指す。

<Universal Hydrogen (UH2) >

- ✓ UH2 社は、水素燃料電池の航空機用パワートレインを開発しており、2023 年 3 月、水素燃料電池を主な動力とした航空機では**世界最大となる 40 人乗り規模のプロペラ機の初テストフライトに成功。**
- ✓ 2025 年に水素燃料リジョナル航空機の旅客サービス開始を目指す飛行試験キャンペーンの第一弾。
- ✓ 同社は、日本でも、双日、三菱 HC キャピタルとの連携の元、水素バリューチェーンの構築促進・水素燃料電池航空機の普及に向けた、**日本国内での官民との連携を開始。**

図 4-20 小型水素航空機での実証試験に関する取り組み

出所: ZeroAvia 「ZeroAvia Makes Aviation History, Flying World's Largest Aircraft Powered with a Hydrogen-Electric Engine」、Universal Hydrogen 「Universal Hydrogen takes to the air with the largest hydrogen fuel cell ever to fly」を基に日本総研作成

より大型の航空機に関しては、川崎重工が、NEDO のグリーンイノベーション基金の支援の下、水素エンジン燃焼器や水素燃料タンク等、水素航空機向けのコア技術の開発し、2,000 から 3,000km の航続性能を有する航空機の構造検討を進めている。

フェーズ：技術開発
<p>取組背景・目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 航空輸送を脱炭素化するための有望なソリューションとしてSAFがあるが、原料である廃食油は必要量の4%以上、林業や農業の残渣は20%以上供給することができず、原料供給の課題がある。 ✓ 実用性の高いSAFを当面のソリューションとして利用しつつも、原料の安定調達と比較的容易な水素技術の開発は、段階的なアプローチをとり進める必要がある。 <p>取組概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 川崎重工は、NEDO公募の「次世代航空機の開発プロジェクト」に「水素航空機向けコア技術開発」を提案し、2021年11月に採択された。 ✓ 従来エンジンと同等以下のNOx排出量を実現する水素エンジン燃焼器及び周辺機器、軽量の液化水素燃料貯蔵タンクを開発する。 ✓ 2,000～3,000kmの航続性能を有する水素航空機体構造を検討する。 ✓ 2040年頃の実用化を目指す。 <p>課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 液化水素燃料の貯蔵：極低温の液化水素を適切に貯蔵すること、さらに、燃料の体積の増加（既存ジェット燃料の約4倍）により、タンク配置など、機体全体の構造検討も必要。 ✓ 水素燃焼時の窒素酸化物(NOx)の抑制：水素燃焼時はNOxの排出が増大すると考えられるため、排出量を抑制する技術開発が必要。

図 4-21 グリーンイノベーション基金「水素航空機向けコア技術開発」の取組

出所：NEDO「次世代航空機の開発」を基に日本総研作成

以上のような開発動向等を踏まえ、航空機における水素利用の将来像を整理した。航空機の脱炭素化に向けては、SAFの利用拡大が期待される一方、SAFは供給量の面で限界があり、主として国際線での導入が見込まれる。よって、国内線でのSAF活用は供給量の面で限定的になることから、電化の困難な中距離航路において、水素の導入が進展するものと考えられる。小型航空機に関しては、エネルギーコストの面で一般に電化に優位性があるものの、余剰水素の活用が可能な離島等では、水素航空機の普及が進展するものと考えられる。

2040年断面のシナリオ：SAFの供給量に限りがある国内線において、完全電気推進化の困難な中距離路線において水素の活用が進展。

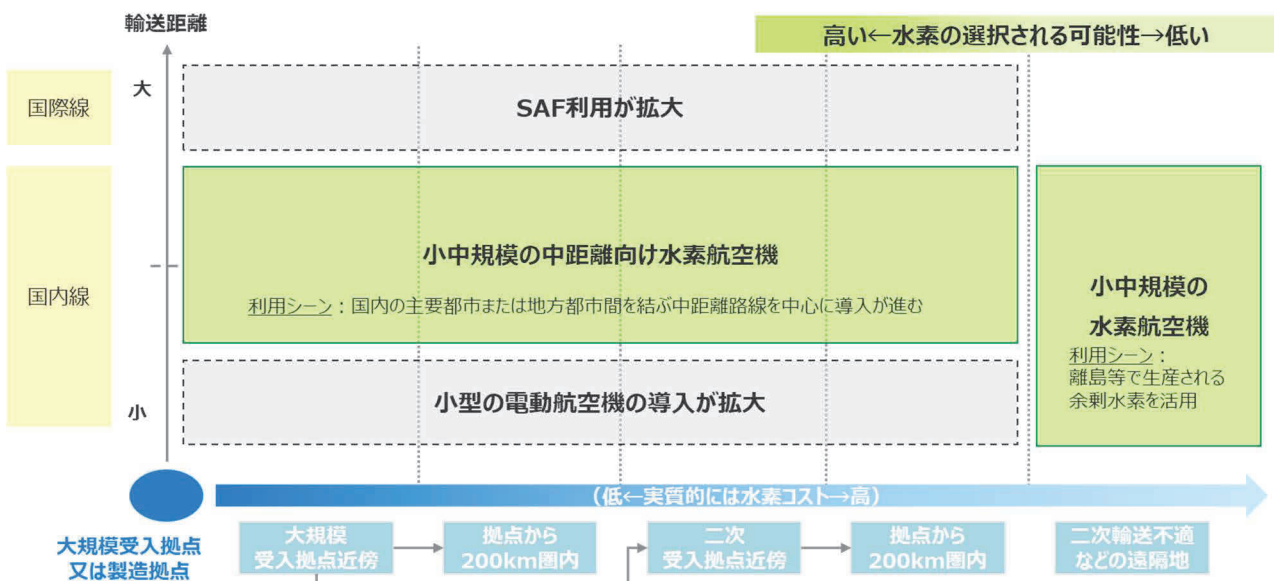


図 4-22 航空機における水素利用マッピング

出所：日本総研作成

4.2.4 船舶

(1) 既存の水素利用マップの整理

グリーンイノベーション基金の次世代船舶の開発プロジェクトでは、川崎重工、ヤンマーパワーテクノロジー、ジャパンエンジンコーポレーションの3社が、船舶用水素エンジン、水素燃料タンク、燃料供給システム等のコア技術の開発を進めている。そこで各社が示している事業戦略ビジョンでは、水素船の開発に関するセグメント分析が実施されており、短距離かつ低出力の用途では電動船が優位な一方、より出力と航続距離の必要な小型船及び小型から大型の内航船においては、燃料電池や水素エンジンの活用が有望であるとしている³²。

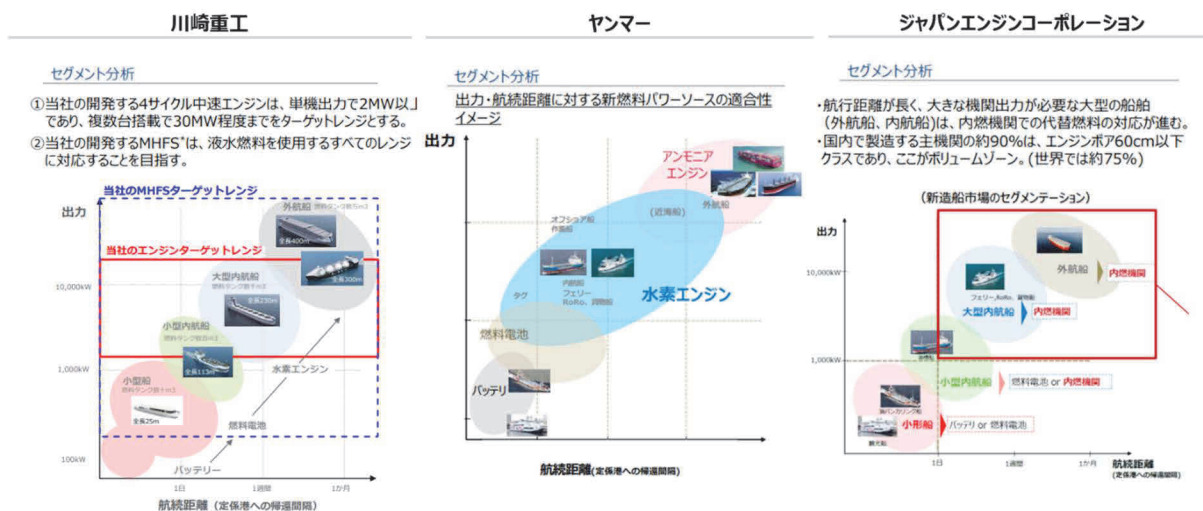


図 4-21 GI 基金におけるセグメント分析

出所:NEDO グリーンイノベーション基金 水素燃料船の開発「事業戦略ビジョン」より引用

(2) 水素受け入れ拠点からの距離による水素利用マップの検討

技術開発の動向に関しては、前述のグリーンイノベーション基金では、次世代船舶の開発プロジェクトが採択され、川崎重工、ヤンマーパワーテクノロジー、ジャパンエンジンコーポレーションの3社が、船舶用水素エンジン、水素燃料タンク、燃料供給システム等のコア技術の開発を進めている。また、内航分野におけるカーボンニュートラルの実現に向け、水素を燃料としたゼロエミッション船を開発、実証実験を行うものとして、日本財団のゼロエミッション船プロジェクトが進められている。当該プロジェクトでは、水素燃料電池を搭載した洋上風車作業船及び水素専焼エンジン搭載型のゼロエミッション船を開発・実証するとしている。

³² <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-next-generation-vessels/scheme/>

取組概要

フェーズ：技術開発

<水素燃料電池洋上風車作業船コンソーシアム>

- MOTENA-Seaらは、世界初の水素燃料電池×バイオディーゼルの活用した洋上風車作業船の実現を目的とし、**洋上風力発電施設への人員輸送に利用可能な水素燃料電池船を開発し、2024年に実証実験を行う計画**。尚、2023年9月に進水完了し、「HANARIA」と命名。
- 燃料電池、リチウムイオンバッテリー、及びバイオディーゼル燃料を動力源としており、状況に応じて任意に動力源を切り替える。

<水素エンジンゼロエミッション船実証運航コンソーシアム>

- ジャパンハイドロ、常石造船らは、2026年を目標に水素専焼エンジンを搭載したゼロエミッション船の開発・実証実験を行う。併せて水素を供給するインフラ整備（水素ステーション）も行う。
- コストや運用面を考慮し、液化水素ではなく高圧水素ガスを採用する。

<船用水素4ストロークエンジンと水素エンジン対応大型内航タンカーの開発・実証>

- ヤンマーパワーテクノロジーらは、水素を燃料とした内航船舶用「水素専焼4ストローク高速発電エンジン」及び「水素エンジン対応のハイブリッド電気推進船※」を開発する。2026年にハイブリッド電気推進タンカーを設計・建造し、実証運行予定。
- ※水素エンジン発電機とバッテリーの組合せにより、推進モーターを駆動して運航する船舶

図 4-23 船舶分野における主な取り組み

出所：「日本財団ゼロエミッション船プロジェクト～温室効果ガス排出ゼロの未来の船を開発する～」を基に
日本総研作成

上記の開発動向等を踏まえ、船舶における水素利用の将来像を整理した。内航船では、短距離航路ではエネルギーコストの面で優位性のある完全電気推進船の活用が進む一方、電化の困難な中距離航路を中心に水素の活用が進展する。また、燃料の輸送コストが低く抑えられる水素の大規模受け入れ拠点周辺では、港湾付近でのタグボート等での水素活用が進むものと考えられる。また、余剰水素の活用が可能な離島等の一部地域では、短中距離航路での水素活用が進展する。

2040年断面のシナリオ：完全電気推進船の適用が困難な中距離航路を中心に水素船が普及。大規模拠点近傍ではタグボート等の活用も進展。

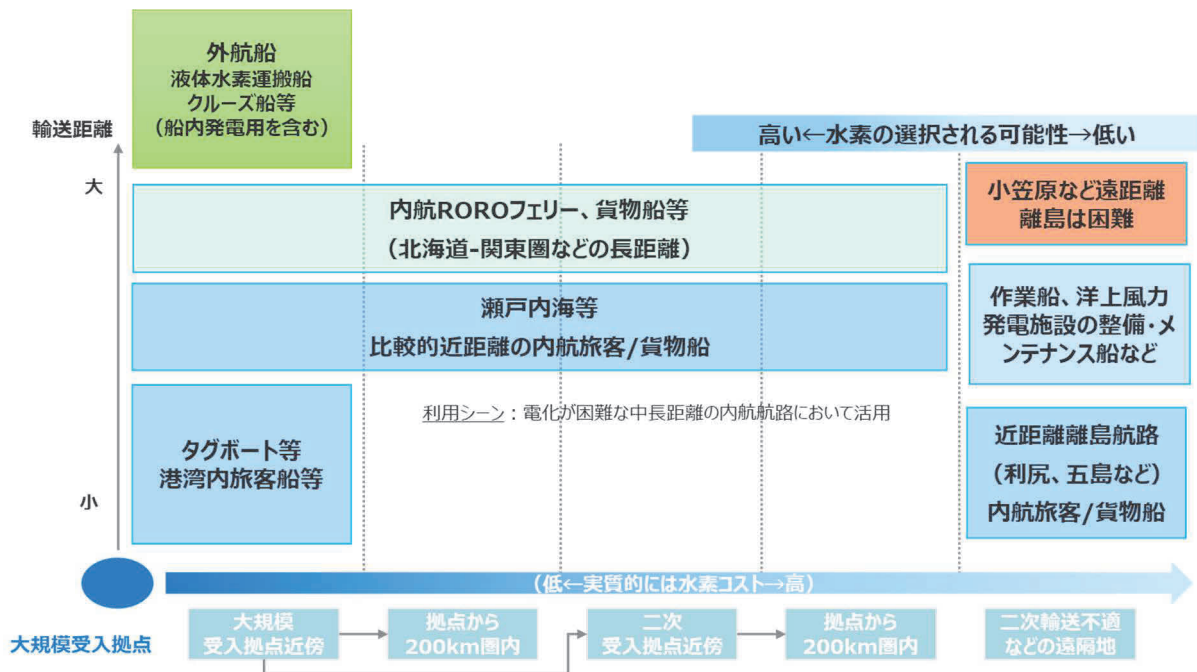


図 4-24 船舶における水素利用マッピング(輸送距離・受け入れ拠点からの距離での整理)

出所：日本総研作成

4.3 モデル案の検討と実現に向けた課題

4.3.1 モデル案検討における切り口

2040年の交通分野における水素利用を想定するにあたり、前提となる水素サプライチェーンについて整理した。まず、水素の調達方法としては、大別して海外から大規模に輸入するケース、大規模に調達した水素を内陸部等に二次輸送するケース、離島での余剰電力や地域バイオマスを活用して地産するケースとに分けられる。燃料を選択する上で、経済合理性、インフラ整備の度合、ユーザー利便性が主な指標となり、表 4-1 の評価指標は、主に経済合理性とユーザー利便性に係る指標として検討してきた。以上を踏まえ、交通分野における水素利用モデルを構築するにあたり、水素の調達方法ごとに経済的な条件、物理的な条件(ユーザー利便性)がどのように変化するかを図 4-25 のとおり整理した。特に、①海外からの大量調達においては、水素利用コスト(FCV の車体コストやメンテナンス、燃料費コスト等を含むトータルコスト)と電化コスト(主に蓄電池利用を想定)は同等程度と想定される。当然、物理的にも受入拠点から近いいため、インフラ整備が進みやすく、ユーザー側の利便性も高いと考えられる。こうしたケースでは、前述の個別モードマップを見てもわかるとおり、多くの交通モードで水素利用が期待される結果となっている。

一方、②地産水素については、国内での水素製造コストが高いことに起因し、①のような経済合理性や物理的なメリットも小さいと考えられる。ただし、系統から独立している離島の場合で、再生可能エネルギー導入量が多いと、余剰電力の発生が課題となり、蓄電池や水素製造が検討されるケースが多い³⁴。また、しかおい水素ファームの事例のように、地域のバイオマス資源を活用することでコストを抑え、地域の水素 ST として活用する事例も存在する。このようなケースでは、経済合理性やユーザー利便性の観点でも水素が選択される可能性が高いと考えられる。

水素供給方法	経済的な前提条件	物理的な前提条件	有望モード(例)
①海外からの大量調達	<p>水素利用コスト = 電化コスト</p> <ul style="list-style-type: none"> 電力と水素のコスト差が最小の条件で、水素利用によるメリットと合わせて、電力と同等レベルの優先順位で検討される。 	<ul style="list-style-type: none"> 大量調達拠点から発着するモード。 物理的に水素へのアクセス性が高い。 CNPやCNK等の大規模受入拠点・需要地が中心。 	<ul style="list-style-type: none"> 貨物自動車 気動車 内航船 国内航空(長距離)
①内陸輸送 + ②地産	<p>水素利用コスト > 電化コスト</p> <ul style="list-style-type: none"> ①と比べて内陸輸送分のコストが追加。 電化が優先的に検討され、水素が必要な条件において水素利用が優先される。 	<ul style="list-style-type: none"> ①の水素を①以外の需要地に輸送。 都市間の移動や①から発着するモードへの供給を想定。 不足分を地産で補う(バックアップ)。 	<ul style="list-style-type: none"> 貨物自動車 気動車 高速バス
②地産 (二次輸送に適さない)	<p>水素利用コスト >> 電化コスト</p> <ul style="list-style-type: none"> 当面の間、再エネ由来の地産水素価格が高いため、基本的には電化を優先的に検討。 ②と同様水素でなければならない条件でのみ水素が利用される。 	<ul style="list-style-type: none"> 躯体サイズの問題で蓄電池積載不可や内燃機関による馬力が必要な場合。 CN燃料の外部調達が困難(離島や山間部など)。 	<ul style="list-style-type: none"> 気動車 離島フェリー(貨客) 小型航空機

図 4-25 モデルの切り口

出所:日本総研作成

³⁴ <https://www.mlit.go.jp/common/001177300.pdf>

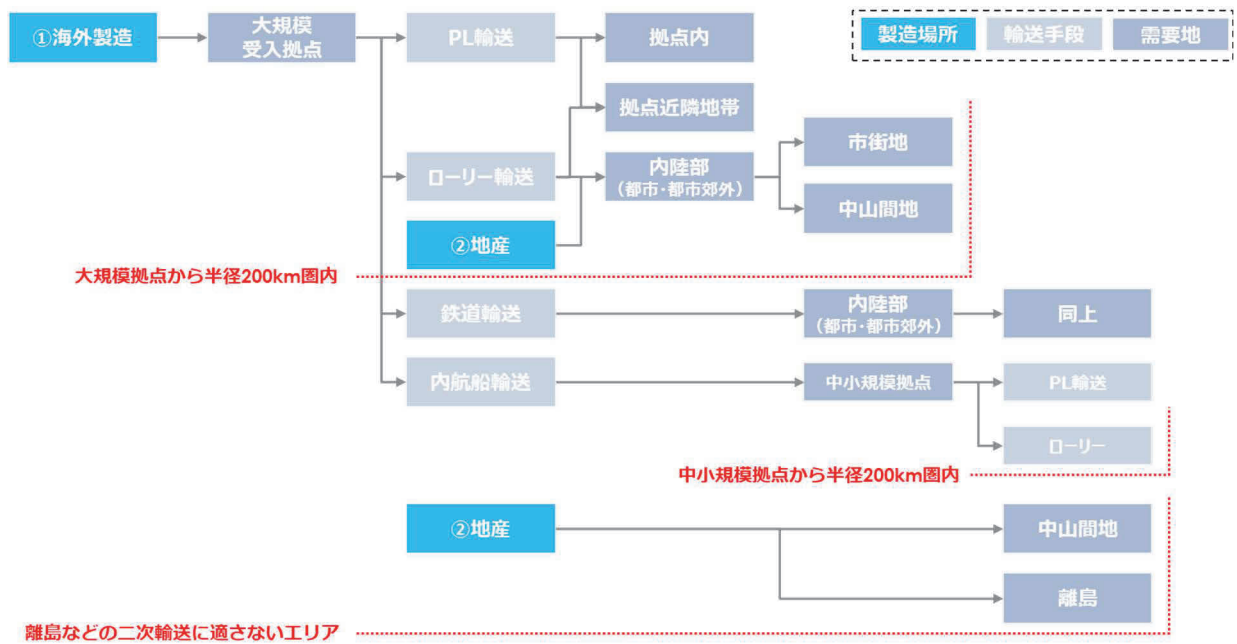


図 4-26 水素の調達フローと受入拠点との距離

出所: 日本総研作成

4.3.2 モデル案の検討方針

モデル案の検討にあたり、個別モードで整理した水素利用が想定される利用シーンを重ね合わせることで、複数モードでの利用・連携が想定され、水素需要の創出が期待されるモデルケースを検討する。個別モードで検討した縦軸は、それぞれのモードで表現しやすいエリアイメージやトンキロを用いてマップを作成した。ここで用いた、エリアイメージやトンキロの考え方は、共通して輸送ニーズに紐づけられることから、全てのマップを一つに重ね合わせることができ、マップ上で重なるモードが多い領域は、様々なモードで水素利用が期待される領域と言える。言い換えれば、単一の交通モードでの利用だけでなく、複数交通モードでの連携による需要規模の創出が期待される領域となる(図 4-27)。

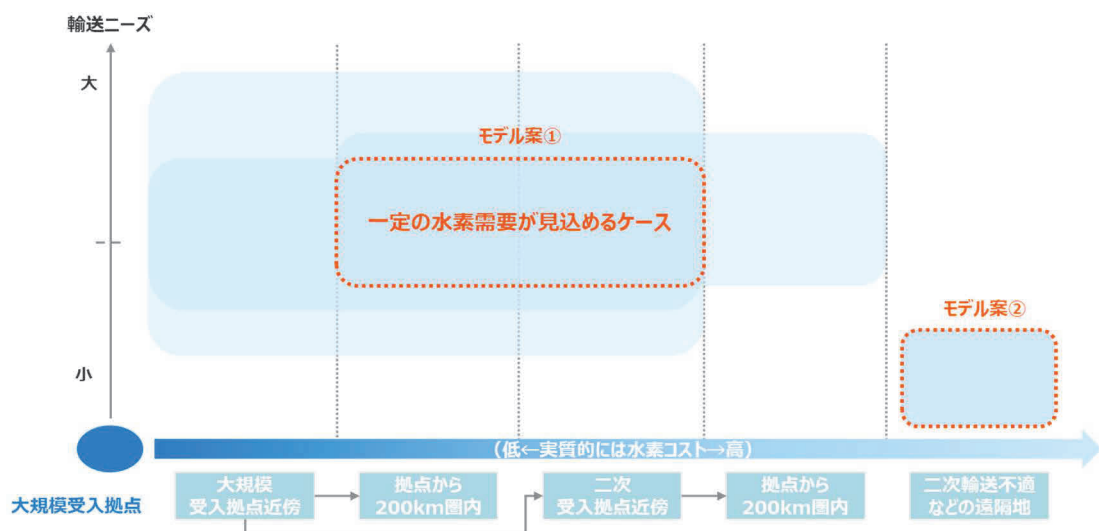


図 4-27 モデル案検討の考え方

出所: 日本総研作成

前述の個別モードマップを重ね合わせた結果が図 4-28 のとおり。なお、個別モードマップは現在も継続して検討していることから、図 4-28 はあくまで今年度調査の経過報告のものであり、次年度以降詳細を検討していくものとする。

現状の重ね合わせの結果として、主に大規模拠点近傍で、かつ輸送ニーズの高い条件で、様々な交通モードでの水素利用が期待されるがわかる。また、離島や地産バイオマスを活用するケースにおいても、人口も少なく輸送ニーズがそもそも小さい中でも、一定のニーズが期待できる交通モードにおいて、水素利用が期待される結果となった。

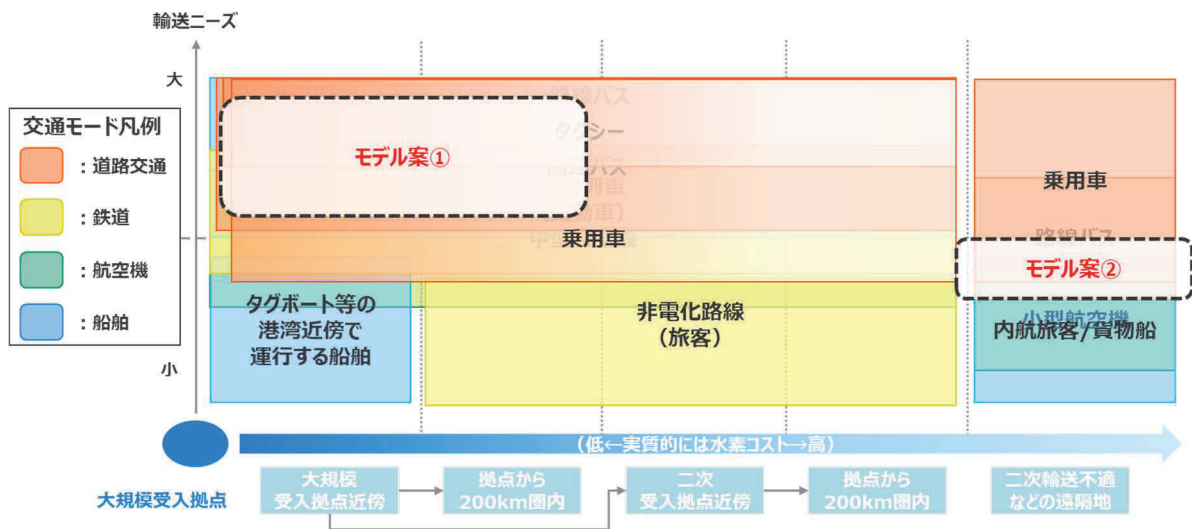


図 4-28 個別モードマップの重ね合わせの結果

出所：日本総研作成

4.3.3 モデル案の実現に向けた課題

各交通モードで想定される水素利用の可能性について、マッピングによって整理したが、マップの実現に向けては、各モードにおいて共通の課題や個別の課題が存在する。表 4-2 に示すように、高速バス、大型トラック、鉄道、貨物船、航空機などの長距離移動かつエリア横断での移動が想定される交通モードでは、輸送先での水素供給インフラの有無が、導入において重要な要素となり得る。特に、長距離移動になる場合、輸送先まで水素サプライチェーンが行き渡っていないケースも十分に考えられることから、どの地点にインフラを整備するかといった点で、発着地間での連携が求められる。また、路線バスや旅客フェリー、旅客鉄道といった場合では、ダイヤによって運行頻度や走行距離の見通しが立てやすいことから、燃料充填のタイミングは設定しやすいと考えられる。

表 4-2 交通モード毎に想定される水素利用に向けた課題

交通モード		水素利用に向けた課題
自動車	乗用車	✓ 様々な選択肢がある中で、FCVが選択されうる条件は限られており、ユースケースを広げるためにも、水素STの導入拡大が必要であり、需給一体での取り組み推進が求められる。
	タクシー	✓ 主な課題は乗用車と同様だが、LPガスのように自社敷地内での水素STの整備が可能かどうかも重要である。
バス	路線バス	✓ 大型車両に対応した水素STの導入が求められ、バスだけでなく、トラック等も共用できる環境づくりが、需要規模の創出にとっても重要である。
	高速バス	✓ エリア間を横断するケースがほとんどであり、長距離かつ輸送密度も高いこと、柔軟なダイヤへの対応を見据え、発着地点での水素ST整備が望まれる。 ✓ 内陸部への輸送時には、地産水素の活用も想定されるが、地産水素が十分に確保できるかも重要である。
大型貨物車		✓ 高速バスと同様に、発着地点間での大型車両に対応した水素STの整備が必要。ただし、内陸部含む水素の二次輸送不適地への輸送も考えられるため、特に輸送先での水素ST整備が大きな課題となり得る。
鉄道 (気動車)		✓ 輸送距離は長いものの、貨物車両での水素輸送も可能であるため、発着地点間でのインフラ整備は大きな課題とならないと考えられる。一方で、非電化路線での利用が主となるが、非電化路線での収益確保が難しいケースもあるため、バス代替も含めて適切路線での利用が重要となる。
船舶	貨客船	✓ 離島フェリーは路線バスや鉄道と同様にダイヤによる運行管理が為されており、燃料供給において大きな課題はないと想定される。一方で、電気+バイオ燃料といったハイブリッド船との棲み分けや、ユーザビリティの観点から、水素受入拠点からの距離に大きく左右される他、需要創出に向けた港湾内での荷役機械等との連携も求められる。
	内航船	✓ 基本的には、貨客船と同様の課題であると考えられる。また、内航輸送の場合、長距離輸送が想定され、出発する港や受け入れ側の港での水素インフラの整備状況が重要なため、大型貨物車と同様に発着地間での連携が求められる。
航空機		✓ 大型貨物車での課題と同様に、空港が僻地に立地しているケースも少なくない。その場合の水素の二次輸送距離が長くなり、輸送コストが増加してしまう可能性がある。 ✓ 地産水素利用の場合でも、離島等でのリズナブルな水素製造といった限られた条件での導入となる可能性が高い。

出所：日本総研作成

一部モードでも共通してはいるが、個別モード毎に課題を整理する中で、共通課題も見えてきている。乗用車やトラック、バス等では、既にFCVの導入が進む中、FC列車、FC推進船、FC推進航空機といったモードでは、馬力や航続距離の面でも改善の余地があり、水素エンジンの技術開発動向によっても、どのような燃料が選択されうるかが変わる可能性がある。また、モデル案検討の切り口として、水素サプライチェーンの前提条件を整理したが(図 4-26)、受入拠点からの距離が遠いほどインフラ整備の優先度は低くなると考えられ、拠点から200kmといった有効な二次輸送距離の範囲を踏まえると、主に内陸部での水素ST整備が課題となりうる。内陸部に限らず、水素STの整備・維持管理のハードルの高さも依然として課題と考えられる。特に事業性を維持し続けることは難しく、需要側である車両の導入台数の拡大といった需要規模の創出が課題となり得る。

以上より、個別モードでの課題や共通課題を踏まえ、モデル案実現に向けた課題解決の方向性を整理した(表 4-3)。

上記にて、インフラ整備に対する課題について触れたが、個別モードにおいて、水素利用に適した利用シーンであっても、水素供給インフラがなければ実現できない課題がある一方、需要規模が見通せないエリアにおいて、インフラ整備・維持管理を行う事業者側のリスクが大きい。こうした課題感を踏まえると、需給一体での取り組みが不可欠であり、特に単一の交通モードでの利用だけでなく、モード連携による需要規模の創出が求められると考えられる。さらに、整備したインフラの維持管理も重要であり、インフラの共

通化によって維持管理コストの低減が期待される。さらに、これまでの検討で利用シーンを特定してきたが、どの用途で水素利用が期待されるかの見通しを立てることも、投資予見性を見出すことにつながると考えられる。

需要規模の創出においては、上記のような交通モード横断での取り組みはもちろんのこと、自治体等も含めて地域一体でのまちづくりとも連携していくことで、水素利用の利便性の向上にもつながり、水素の普及拡大につながる。また、長距離輸送となる交通モードでは、エリア横断での取り組みが求められるケースがある。特に、前述の発着地間での連携のように、異なるエリアでの水素インフラの連携が必要となる。こうした取り組みは、単一の自治体や企業だけでは実現しえないため、エリア横断での取り組みに昇華していくことが重要と考えられる。

表 4-3 モデル案の実現に向けた主な課題と課題解決の方向性

実現に向けた課題	概要	課題解決の方向性
インフラ投資予見性 (利用シーンの特定)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 水素利用に適した利用シーンであっても、水素供給インフラがなければ実現できない。 ➢ 一定の投資規模・維持管理コストのため、需要創出が見込めないエリア、インフラの維持コストが高いエリアは適さない。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 需給一体の取り組みを前提として、利用シーンを踏まえた水素ステーション等インフラの最適配置が重要。 ➢ また、単一の交通モードに限らず、交通分野横断的にインフラを共通化することで、維持管理を効率的に行う。インフラを維持していくことも重要。 ➢ 利用シーンやシナリオを想定して具体化。
需要規模創出 (交通分野横断・まちづくり)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ インフラ整備と合わせて検討されるべきであり、一定規模の需要創出が必要。 ➢ 個別の交通モードでは、需要が小さく、量産効果が発揮できずにコストが下がらず需要が拡大しないという悪循環に陥りかねない。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 交通分野横断的に一体で捉えて市場を獲得する必要がある。(交通モードの複合的な利用シーンの具体化) ➢ 水素利用に適した利用シーンを特定し、水素の利用普及が期待できる交通モードでの普及促進が重要。 ➢ まちづくりなど、地域一体・地域共生での取り組みによる需要創出。
地域横断の取り組み (エリア横断)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 特定の自治体では、水素利用に向けた先進的な取り組みが進んでいる。 ➢ エリア横断の利用が想定される交通モードの場合、特定地域の取り組みでは利用シーンが限定されてしまい、普及に繋がらない。 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 既に先進的な自治体では取り組みが進んでいるが、交通モードはエリア横断で利用されるシーンも多く、官民や住民だけでなく、自治体間・エリア横断での取り組みが重要。 ➢ まちづくりや地域共生の取り組みについても、特定エリアの取り組みではなく、発着地間の連携やエリア横断での検討が重要。

出所：日本総研作成

5. 委員会・セミナー等の開催

5.1 委員会の開催

調査期間中、以下のスケジュールで会合を実施した。

表 5-1 我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する調査検討委員会 開催日程

	開催日	議事
第1回	2023年12月18日	<ul style="list-style-type: none">・ 検討委員会の設置について・ 今年度の調査研究の検討全体像・ 交通分野の脱炭素燃料の概観・ 諸外国における水素利用に関する動向・ 水素のメリット・課題の整理・ 水素利用に適した交通モードの検討
第2回	2024年2月15日	<ul style="list-style-type: none">・ 水素利用に適した交通モードの検討・ 実現可能性の高い運用モデル案・ モデル案における課題の整理・ 今年度のとりまとめの方向性・ 来年度の進め方

5.2 英国・クランフィールド大学との意見交換

2023年12月8日に英国・クランフィールド大学より、Chris Fogwill 副総長(Pro-Vice-Chancellor - School of Water, Energy and Environment Operations/Finance)、Ronald Corstanje 教授(Professor of Environmental Data Science and Head of Centre, Cranfield Environment Centre/Cranfield Environment Centre)及び三好千景准教授(航空宇宙環境システム学)が運輸総合研究所に訪問し、Net Zero Aviation や航空分野における水素利用に関する取り組みなどについて意見交換を行った。

○アジェンダ

15:00-15:10 冒頭挨拶(運輸総合研究所理事長)

15:10-15:15 運輸総合研究所の研究紹介(主席研究員・研究統括)

15:15-15:45 “Research on fuel transition and using hydrogen for decarbonization in Japanese transport sector”(運輸総合研究所)

15:45-16:15 “A Blueprint for Zero Emissions Flight and Infrastructure”(クランフィールド大学)

16:15-16:30 意見交換

○結果概要

- ・ 理事長より、冒頭の挨拶の中で、一行の来訪を歓迎するとともに、当研究所の活動概要を紹介した。続いて、主席研究員・研究統括から運輸総合研究所(JITTI 及び AIRO を含む。)における最近の研究調査テーマ一覧について航空関係を中心に紹介した。
- ・ 運輸総合研究所から「我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する調査研究」の概要について説明。
- ・ クランフィールド大学より同大学に隣接する空港で水素を製造・供給し水素バスや水素航空機の実証を行うなど英国での航空分野における脱炭素化に向けた取り組みについて説明。
- ・ 水素航空機の実用化に向けたスケジュール感と導入される機材のサイズの見込みについて意見交換。
- ・ 水素航空機のビジネス化にはまだ遠いと思われる中で、クランフィールド大学の水素利用に関するプロジェクト(7000 万 円)には多くの民間資金が集まっている背景について運総研より質問したところ、民間資金が一定程度集まらないと交付されない基金の仕組みであること、民間企業から水素航空機の実現に非常に高い期待が寄せられている旨の説明があった。
- ・ クランフィールド大学 Hydrogen Research Center では研究の成果に基づいて政府に対して政策提案を行うことがあるか運総研より質問したところ、同大学より、エビデンスベースのものをなるべく提案しようと努力しており、持続可能な航空という形で様々な計画を立てている旨の説明とともに、英国及びシンガポールの運輸省間での SAF の製造に関するプロジェクトに同大学が参画しているという紹介があった。また、運総研はこれまで様々な政策提言に関しての経験があるため、そういった面でも今後とも交流させてほしいとのコメントがあった。
- ・ 最後に Chris 副総長より、「ゼロカーボンに向けて、様々な努力を加速しなければいけないことは明確であるが、そこに向けた道のりについては、もう少ししっかりと練る必要があるとともに、この動きの中で資産の座礁化は避けなければいけない。こういった新たな技術をテストするエコシステムを持つということ、それによって何らかの方向性を示すことができると信じている。」とのコメントと意見交換開催に係る感謝が述べられた。



5.3 セミナーの開催

2024年3月7日に『脱炭素のカギは「水素」～交通分野の脱炭素化に向けて～』を開催し、鉄道業界、海運業界、航空業界、水素供給事業者、地方自治体など様々な交通モードに関与する事業者等の参加があり(申込数 1,066 名)、広く交通分野での水素利用の重要性について周知啓発を図った。

資料 4

運輸総研ニュース



2024年2月7日

一般財団法人運輸総合研究所

交通脱炭素セミナー

『脱炭素のカギは「水素」～交通分野の脱炭素化に向けて～』 を開催します

- 日本は、2020年10月に2050年カーボンニュートラルを目指すことを宣言しました。その実現に向け、我が国の二酸化炭素排出量の約2割を占める交通分野での対策の加速化が急務です。
- 温室効果ガスの排出削減が技術的に困難といわれる交通分野で、バイオ燃料への転換、再生電力や水素エネルギーの活用等の取組みが世界で加速する中、日本の各交通モードはどのような戦略で脱炭素化を進めようとしているのでしょうか。
- 水素エネルギー及び各交通モードの関係者(事業者)4者のほか、当研究所の研究員2名も登壇し、水素利用の課題や展望について議論を行います。

一般財団法人運輸総合研究所(会長:宿利 正史、事務所:東京都港区)は、3月7日(木)に交通脱炭素セミナー『脱炭素のカギは「水素」～交通分野の脱炭素化に向けて～』を開催いたします。

本セミナーでは、交通分野の脱炭素化に向けてカギを握る水素の可能性に関して、水素エネルギー及び航空、海運、鉄道の各分野の関係者(事業者)にお集まりいただき、日本を取り巻く水素をめぐる動向、各交通モードにおける最前線の取組み等を共有するとともに、交通分野の水素利用を円滑に進めていくうえでの今後の課題と展望について、議論を通じて探ります。

○開催概要

交通脱炭素セミナー

『脱炭素のカギは「水素」～交通分野の脱炭素化に向けて～』

日時:2024年3月7日(木)14:00~17:00

会場:ベルサール御成門タワー3階ホール 及び オンライン配信(Zoom ウェビナー)

参加費:無料

申込み:下記の URL よりお申し込みください

<https://krs.bz/jterc/m/seminar240307>

(来場参加申込期限:3月5日(火)17時まで)

※会場への来場参加は定員に達し次第、締め切ります。

※オンライン参加については直前まで受け付けております。

※来場取材をご希望の報道関係者も、上記の URL よりお申し込みください。

(業種選択にて「報道」を選択し、所属・氏名等の入力をお願いします)

※来場参加締め切り後の取材申し込みについてはお問合せください。



図 5-1 シンポジウム案内

アンケート分析結果報告

交通脱炭素セミナー

脱炭素のカギは「水素」～交通分野の脱炭素化に向けて～



【開催概要】

日時: 2024年3月7日(木) 14:00~17:00

場所: ベルサール御成門タワー及びオンライン配信(ZOOMウェビナー)

主なSDGs関連項目



【開会挨拶】	宿利 正史	一般財団法人運輸総合研究所 会長
【基調講演】	佐々木一成	九州大学副学長・主幹教授、水素エネルギー国際研究センター長 「水素エネルギーの将来展望と交通分野への期待」
【報告①】	小御門和馬	一般財団法人運輸総合研究所 研究員 「交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する調査研究」
【報告②】	堀尾 怜椰	一般財団法人運輸総合研究所 研究員 「鉄道における水素利用促進のための環境整備に向けた調査研究」
【パネルディスカッション及び質疑応答】		
コーディネーター	三宅 淳巳	横浜国立大学大学院環境情報研究院人工環境と情報部門 教授
パネリスト	井上 恭豪	岩谷産業 水素本部 水素バリューチェーン シニアマネージャー
	小倉 隆二	JALエンジニアリング 執行役員 技術部長
	水田 真夫	一般社団法人水素バリューチェーン推進協議会 担当部長
	加藤 純	石狩市企画経済部企業連携推進課 課長
	堀尾 怜椰	一般財団法人運輸総合研究所 研究員
【閉会挨拶】	佐藤 善信	一般財団法人運輸総合研究所 理事長

Supported by THE NIPPON FOUNDATION

1



【セミナー開催概要】

- 日本は、2020年10月に2050年カーボンニュートラルを目指すことを宣言した。2050年カーボンニュートラルの実現に向け、我が国の二酸化炭素(CO2)排出量の約2割を占める交通分野での対策の加速化が急務である。
- 交通用燃料の脱炭素化に向けては、バッテリーによる電化、水素、バイオ燃料、合成燃料と様々なものが期待されている。このうちの一つである水素は、燃焼時に全くCO2を排出せず、トラックや海運など大出力・長距離輸送の交通モードに適している、と期待されている。しかしながら、我が国における交通分野の水素の利活用については、自動車分野で先行するものの、各交通モード単独での検討にとどまり、我が国の交通分野全体として水素をどう活用すべきか、水素サプライチェーンの構築をどうするのかなど交通分野横断的な検討は進んでいないのが現状である。我が国における現在及

び将来の交通の姿、交通に期待される役割を考えれば、交通モード別ではなく、日本の交通産業全体として協調しながら、カーボンニュートラルの実現に向けて水素の利活用について検討していくことが必要かつ不可欠である。

- 水素は、発電・産業・交通といった幅広い分野の脱炭素化に資する、2050年カーボンニュートラル実現に向けた「カギ」となるエネルギーである。交通分野の水素利活用を進めるには、水素を巡る様々な動向を広く捉えながら、各交通モード、関係者間でどのように連携できるかを考えることが重要である。
- 本セミナーでは、交通分野の脱炭素化に向けてカギを握る水素の可能性に関して、水素エネルギー及び航空、海運、鉄道の各分野の関係事業者のほか、地産地消の水素利活用に取り組む地方自治体及び当研究所の研究者2名も登壇し、日本を取り巻く水素をめぐる動向、各交通モードにおける最前線の取組み等を共有するとともに、交通分野の水素利用を円滑に進めていく上での今後の課題と展望について、議論を通じて探った。

参加人数／参加率

- 参加申込み1066名に対して参加者は739名、参加率は69%。
- 参加率の内訳は、会場73%、オンライン69%。

セミナー参加者の属性

- コンサルタント・シンクタンク(14%)、鉄道(12%)、製造(10%)、「航空・空港」(9%)、「行政機関」(7%)、「建設・不動産」(6%)、「地方自治体」(6%)、「海運・造船」(5%)の順に多かった。

アンケート回答者／回答率

- 回答者数326名、回答率は44%。

年代別の参加申込状況

- 「50代」(28%)、「60代」(25%)、「40代」(20%)、「30代」(13%)、「20代」(6%)の順に多かった。

問. 本日の講演の満足度をご記入ください

- 「大変満足」「満足」90%、「ふつう」10%。

問. 本日の講演はあなたのお役にたてましたか

- 「とても役に立った」「役に立った」95%、「どちらともいえない」5%。

問. 本日の発表内容についてご意見やご感想を自由にご記入ください

- ご意見・ご感想をお寄せいただいたのは187名(アンケート回答者の57%)
- 交通分野における水素エネルギー利活用について全般的な現状が良くまとめられている、水素エネルギーの交通分野での活用への対応の全体像がよく分かる、交通モード全体の現状や課題を概観できた、最新の情報の把握や様々な角度からの課題整理がされるなど知見を深めることができた、他分野の現状を知ることができた、といった交通分野における水素利用について、分野横断的、網羅的に知ることができたという好意的なコメントを多くいただいた。
- 一方で、課題解決に向けた具体的な検討についてもっと深堀してほしかった、行政の責任者の話があると良かったという意見がいくつか見られた。

<内容に関する意見(主なものを記載)>

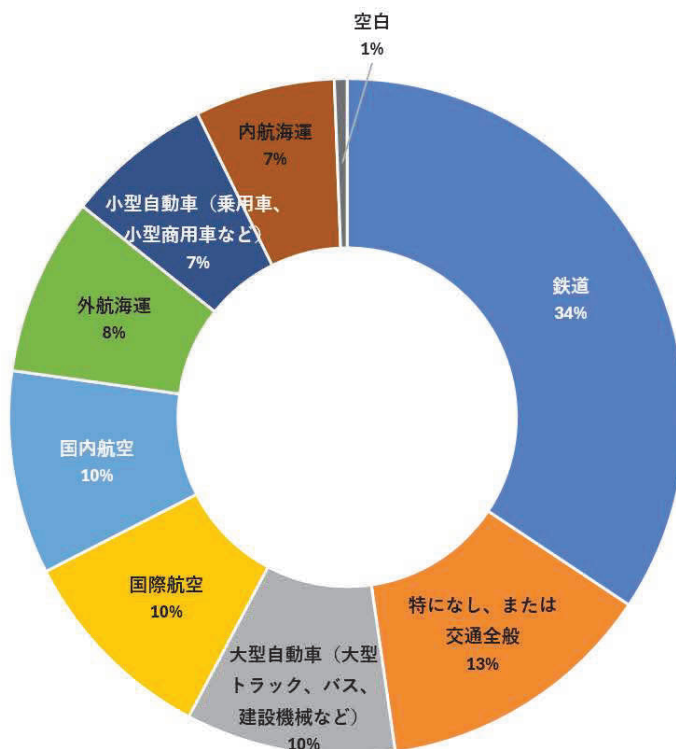
- ・ 鉄道の水素利活用を考えて行こうとしています。本セミナーを拝聴し、パイプラインの整備など鉄道のみならず航空・トラックバス・地方自治体・大学など運輸・まちづくり関連でスクラムを組んで国を動かす必要があることが大変よく理解できました。
- ・ 2050年のカーボンニュートラルに向けて国内では、水素の使用について、まだまだ、進んでないことが良く分かった。今後の早急な検討がアクティブに進められる必要がある。
- ・ 水素の今後の展望と課題が分かった。インフラ整備の主体やコスト、さらには地域特性に合わせた供給方法等、今後議論が進めばと思う。
- ・ 鹿児島市にも水素ステーションがあり、当社でもMIRAIを公用車として使用しています。更に廃棄物収集も行っているのも、今日の講演で福岡市で水素パッカー車があることを知り、現行車の代替えに是非にと思いきっかけを与えてもらいました。
- ・ 交通モードの中でも水素エネルギーの適用における難易度が大きく異なることが浮き彫りになったと感じた。特に航空については機体の安全性/認証、オペレーション、燃料コスト等に、多くの課題がある。
- ・ 「水素エネルギーという軸を通した交通モード全般にわたる議論」という設定は、運輸総合研究所の役割を十全に発揮するものと感じ入る(逆に、全般にわたる議論のためには、もっと論者が必要のようで、今回のパネリストには負担が大きくも感じたが…)。閉会挨拶で紹介された江口氏の問題(危機)意識は、スペースジェットの失敗を想起させる。新技術導入には、技術認証ないしは規制サイドの体制づくりも重要か。
- ・ 欧州・韓国と日本との実証実験に対する法規制の考え方の違いは、政府全体のイノベーション創出に向けた方針が個々の分野を担当する政府機関(規制機関)にまで浸透しているかどうかの差異だと感じた。

<改善へのご意見等(主なものを記載)>

- ・ 運輸総合研究所の今後の研究方針ですが、国内産の水素の価格競争力がない事を前提として、水素は輸入するものという前提ではなく、過疎地域や離島ばかりでなく、国内産の水素バリューチェーンを振興するという視点をきちんととらえていただきたい。地政学的リスクやエネルギー安全保障の観点もきちんと検討して欲しい。
- ・ 九州大学の先進的な取り組みについて知る事が出来て良かったが、ほんの一部で物足りなく感じた。既存の技術や枠組みも中での調査結果の紹介が主で、新技術を盛り立てていこうとする気概が感じられなかった。
- ・ モビリティ分野で水素エネルギー活用の効用が最も高い使い方は何か、が判れば良かった。
- ・ 最近の水素をめぐる動向を把握することができた。特に水素の製造や供給方法については、現状では絞り込める段階になく、コストが依然として大きな課題として残されているということを把握できた。そうした課題についての深堀があればさらに良い講演だったと感じた。
- ・ 水素が脱炭素の重要な要素であることが、よく理解できたが、国際的に日本はどの位置にあるのか、また、政府の取り組み姿勢が不十分であるように感じたが、このような視点での議論がなかったのは残念。
- ・ 実際の各交通モードでの使用の実態とそこから認められる課題等、各交通モード特有の切り口で具体的に示して欲しかった。
- ・ 後半のパネルディスカッションで、各々のパネラーの説明部分が少し長く感じ、ディスカッションの部分をもっと活性化させた方がいいと思いました。

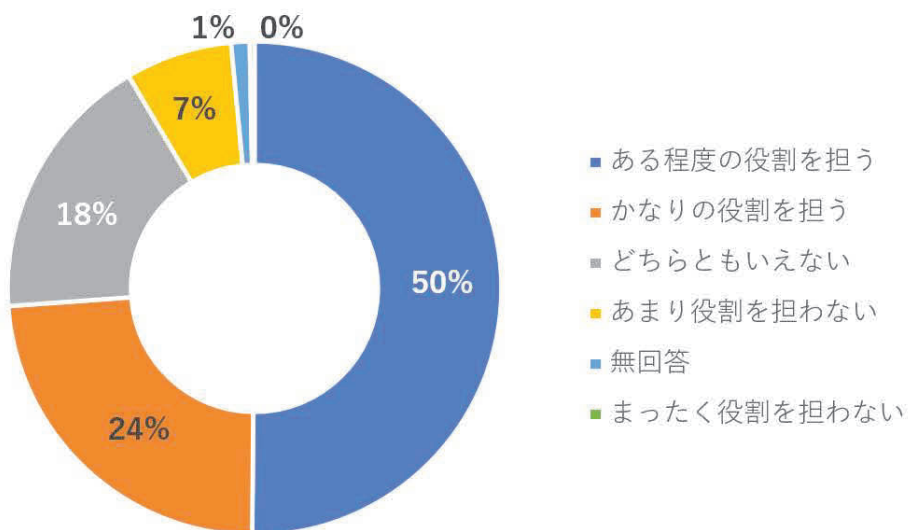
設問①: 貴方の業務上、最も関係の深い交通モードを1つ教えてください

- 鉄道が一番多く、全体の34%を占めた。



設問②: 上記でお答えいただいた交通モードの脱炭素化において、水素燃料がどの程度の役割を担うと考えますか

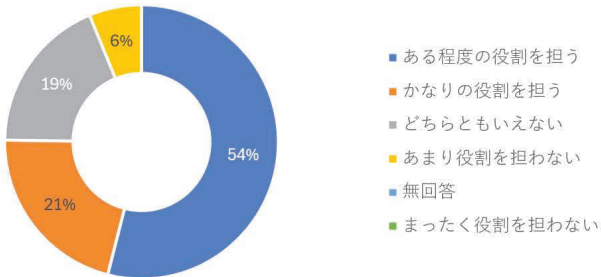
- ある程度の役割を担う(50%)、かなりの役割を担う(24%)、どちらともいえない(18%)、あまり役割を担わない(7%)の結果であった。



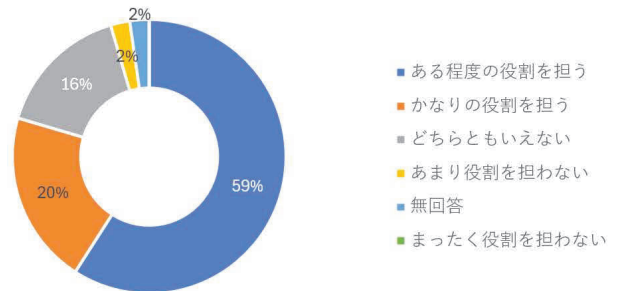
交通モード別の分析

- 「鉄道」「特になし、または交通全般」「国内航空」「外航海運」については全体の構成比率と同様。
- 「大型自動車」「小型自動車」「内航海運」については「かなりの役割を担う」が占める割合が35%を超え、水素燃料への期待がうかがえる。
- 「国際航空」については「ある程度の役割を担う」「かなりの役割を担う」が占める割合が57%と低い。

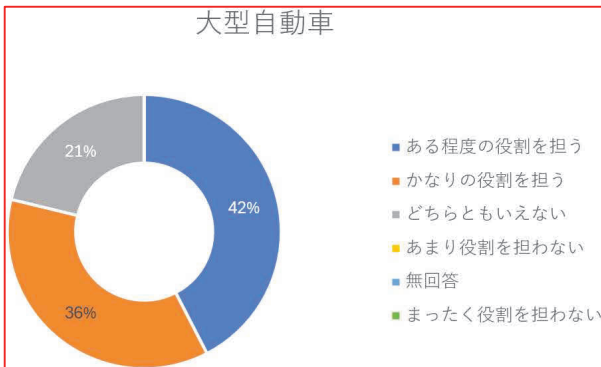
鉄道



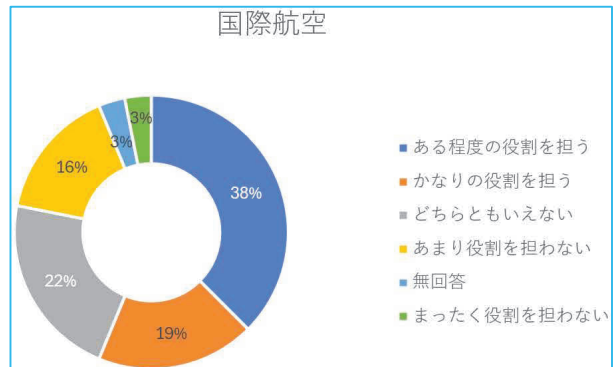
特になし、または交通全般



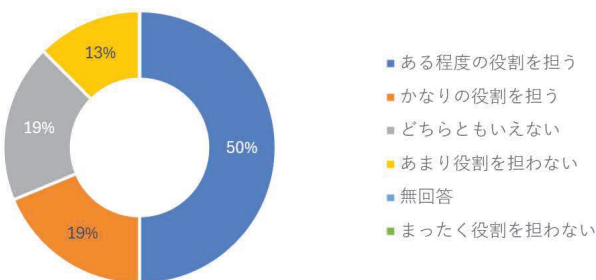
大型自動車



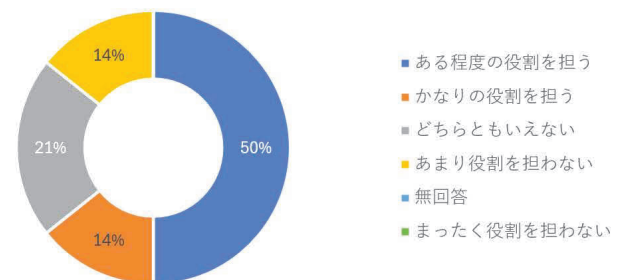
国際航空



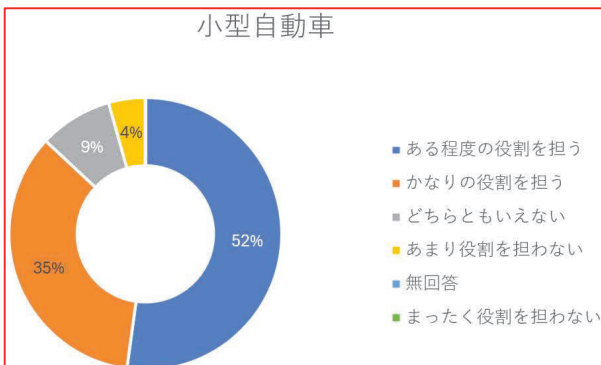
国内航空



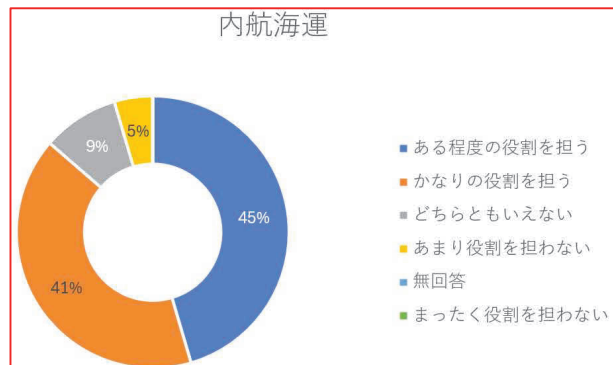
外航海運



小型自動車



内航海運



設問③：上記理由をお聞かせください

<以下、主なものを抜粋>

【かなりの役割を担う】(78件)

<水素>

- ・ エネルギーの貯蔵には、水素化も有望だから。
- ・ 大規模サプライチェーンに近い都市部で普及すると考えるから。
- ・ 日本の交通インフラはかなり年数が経過しており、今後再構築が必要である中、水素というものがかなり期待できるのではないかと感じました。
- ・ 長期スパンで考えた場合の究極の選択肢だと考えます。
- ・ 化石燃料が使えないとなると、電池か水素かアンモニアか e-fuel の合成燃料ぐらいしか選択肢がないが、船舶、飛行機、バス、トラックなどの大型モビリティで使おうとすると電池では出力が不足する。アンモニアは漏れた場合においや排気ガスの NOx が問題になるし、合成燃料はエネルギー変換効率やコスト LCA から困難と考えます。残りはクリーンな水素しか残らないでしょう。

<自動車>

- ・ 大型の商用車には EV という選択肢の可能性が低いから。
- ・ 積雪地において、EV は十分な効果を発揮しない、エネルギー効率が悪く、水素燃料利用が効率的と考えるから。
- ・ FCV バス等を利用したり見たりすると、移動手段としての質の高さや、未来に向けた可能性を感じたりしています。水素を活用した移動手段について、地道に営業活動を進めることで、かなりの役割を担うことになると考えています。

<鉄道>

- ・ 地方のディーゼル電車から水素電車への転換による脱炭素化はもちろん、都市部でも転換により架線がなくせるなど、メリットは大きいと感じました。
- ・ セミナー内にもありましたが、ディーゼル気動車の置き換えとして、燃料電池鉄道が走行することで、脱炭素化の一步として進むと考えているからです。また、電車で使用する電気も水素発電によって、脱炭素化につながれば、よりよいと考えます。
- ・ エネルギー密度、充電速度の関係から蓄電池の適用は難しく、水素燃料に期待しています。
- ・ 水素燃料車両の実用化(低燃費化)と水素のサプライチェーンの構築により、非電化区間を水素燃料車両で運行できる可能性があると考えます。

<海運>

- ・ 沖縄県では小規模離島が多いため、内航海運において、離島への人・モノの輸送は船舶に頼っている。そのため、船舶の水素燃料化は、脱炭素化に大きな役割を果たすと考えている。
- ・ 船舶における電動化は中々ハードルが高いと考えております。水素・アンモニアには大いに期待しております。

- ・ フェリーや内航定期便などはルートやダイヤが決まっているので、バンカリング設備が普及していくにつれて、それに合わせて船舶も水素利用の型式に進んでいくと思われる。

<港湾>

- ・ 港湾機械の脱炭素化は必須だと考えている。

<航空>

- ・ 地産地消ができる地域航空に適していると思われるから。

【ある程度の役割を担う】(165件)

<水素>

- ・ CO₂排出削減は必要であり、水素はそのための不可欠なエネルギーと考えるから。
- ・ 水素は重要であるので役に立つ。ただし、他の燃料(バイオ燃料、アンモニア)との競争あり。電気代をどれだけ下げられるのかが勝負。
- ・ 水素活用は手段の1つと考えられますが、唯一の手段とは思えませんので、複数の要素の組合せの検討が必要と考えています。初期および維持コストとの兼ね合いによると思います。
- ・ 水素は価格の問題や、水素生成のために CO₂を排出することなどから積極導入は難しいと考えていたが、本日の講演で、電化だけでもない、水素だけでもなく、ミックスしながら脱炭素を目指していくという考えにシフトした。

<自動車>

- ・ 商用車の幹線輸送では距離を走るので EV より FCV が適している(充電時間も含めて)
- ・ 軽量乗用車は BEV でもトラックやバスなど重量あるもの、大型のものに電気は向かないため。
- ・ 大型車両においては EV 化が当面は進まないと思われるため。
- ・ バス営業所の近隣での水素ステーションの整備・拡充が必要となるが、土地の制約等があるため。

<鉄道>

- ・ 非電化区間はないので対象外と思っていましたが、先日の JR 東日本のリリースも電化区間でしたが、架線などの整備コストがいらなくなるとの話で、そういう見方もあるのかと思いました。電気部の業務、コスト比較など興味はあります。
- ・ 気動車の脱炭素化はいずれ必要になると考える。
- ・ 非電化区間を GX の観点から電化する議論が出てくるとおもわれるが、輸送量のあまり多くない路線での電化は費用対効果に見合わないことが想定されるため、その代替としての水素活用は今後注目を集めると考える。一方、もともと鉄道はエネルギー効率の良いモードのため、道路交通等程のインパクトはないかもしれないとも考える。
- ・ 1つの車両が長距離を走行する鉄道においては、エンジンや燃料タンクが大きくなってしまふことから、収益性を考えるとすべての車両に導入することは何か技術革新が必要かと考える。しかし、地方にある線区では実用性がとても高いと考えた。

<海運>

- ・ 水素を燃料としたコンテナ船の導入が、一部始まっているため。
- ・ アンモニアやメタノールが先行しているので脱炭素燃料の主流になるのかどうか分からないが、海外からの水素運搬船は必ず必要なので、少なくとも水素運搬船の燃料としては開発・普及が進むように思われる。
- ・ 船舶上の搭載スペース効率を勘案すればアンモニアなどの代替燃料の方が中心的役割を担うものと推定される。

<航空>

- ・ 航空分野では、SAF が最も重要と考えている為。
- ・ 小型機材への活用となり、国際線の主力である大型機材への導入は現時点では難しいと考えられるので。
- ・ 小型の航空機が水素飛行機に置き換わる可能性が高いため。
- ・ SAF の次が水素であると考えられるため。

【どちらともいえない】(58件)

<水素>

- ・ 水素の利用が経済合理性が出てくるのは、2050年以降と考えています。
- ・ 水素燃料の実用化にまだ時間が掛かると思うから。
- ・ 水素燃料の将来性については、まだまだ不透明に感じます。
- ・ 水素の大量流通はまだ不確定要素が多いと考えているため。
- ・ 今後のサプライチェーンや価格によると思います。
- ・ 長期的課題の解決のことであり実感が伴うまでに至っておりません。
- ・ 現時点では水素の供給インフラが限定的、供給体制が不安定、(値差補助があったとしても)水素自体や水素自動車の価格が高いといった課題があるので、今後これらの課題解決が水素燃料の普及に大きく影響すると考える。
- ・ 水素の有用性は理解しているが、広まりには水素価格や供給インフラの構築が課題として残っているため。

<自動車>

- ・ 自動車でも、EV で行くのか水素で行くのか、両方推進するのか国の方針が見えない。インフラ整備を先に進めないと広がらないと考えます。

<鉄道>

- ・ 鉄道で見れば非電化区間での適用から展開していくことになるが、地方交通事業者ではコスト、技術的課題が多いと感じた。

- ・ 鉄道における水素技術適用が最善策となるかどうか不透明と思えたため。

<海運>

- ・ 水素も重要だが、アンモニアの利用も考えられるため。

<港湾>

- ・ 港湾クレーンの水素化は Trial の段階だが、周辺設備の整備が遅れている。

<航空>

- ・ 設備の重量の関係で大型機にはまだ対応の目処が立たないため。
- ・ 重要であることは間違いないが、まだまだ水素航空機そのものの開発段階であり、例えば既存の航空機の燃料として活用ができる SAF と比べると、まだまだ活用の未来が見通せない。
- ・ 航空機の場合、水素専用エンジンなど多額な投資が必要となるとのこと。

【あまり役割を担わない】(23件)

<水素>

- ・ 水素の製造コストが高く、まだ商業レベルに乗らないのではないかと思える。
- ・ 水素貯蔵の問題、インフラ整備の実現性の困難さ等、水素を社会実装するのは非常に困難と思う。

<鉄道>

- ・ 技術の実用化と車両の実用化には時間がかかりそうなので。
- ・ 鉄道において重要なのは都市と幹線なので、高コストな水素燃料は採用されないと思われるので。
- ・ 鉄道においては大部分が再エネ等による供給電力側のほうが役割が大きいと考えるため。
- ・ 非電化区間(閑散線区)の維持がそもそも困難だから。

<海運>

- ・ 大型外航船舶は、LPG、LNG、メタノール、アンモニアが次世代燃料のトレンドとなりそうです。水素は小型内航船舶に向いていると思います。

<航空>

- ・ 技術的に水素燃料電池が利用できるのはリージョナルのプロペラ機までと考えられることから。
- ・ 大型航空機への水素利用は技術的に困難では。特に水素タンクの問題が大きいのでは。それよりも SAF 供給網の構築が現実的では。
- ・ 長距離の国際線は大型機で行いますが、エアバス社の構想でも H2エンジン機の商用化は2040年頃になりそうで、そのころまでには eFuel など炭化水素系の代替燃料が普及し、それがそのまま最終解になるように思われます。
- ・ 航空機の特長として小型の短距離器には水素を動力源とすることは可能だが、国際線は中、大型機が主流で航続距離も長いため、現在のガスタービンに頼らざるを得ず、SAF と DAC の債権購入が柱になると思われる。世界的な技術革新を待ちたいが、現在は欧米含めて研究段階。

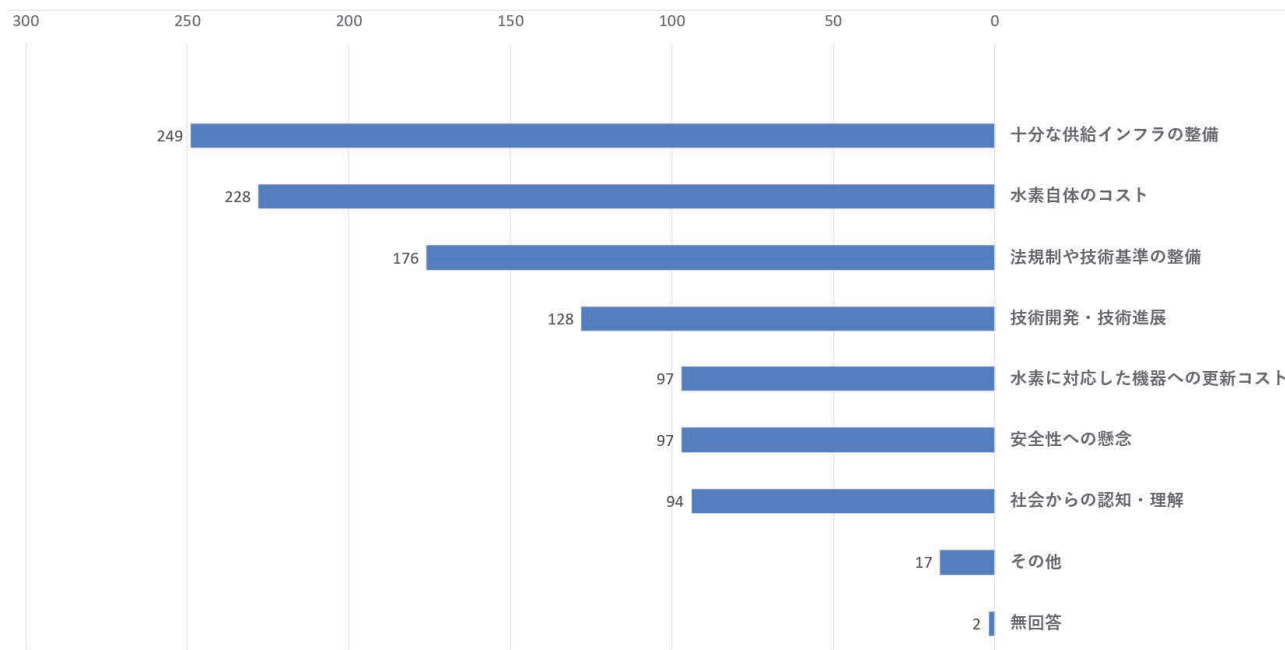
- ・ 空港への分配、補給、機上の施設、すべてのインフラがまだ全然整備されていない。誰が主導してやるのかも見えない。
- ・ 水素を燃料とする航空機が商品化されていない中、耐久性や価格(イニシャル・ランニング)が不明であり、多くの会社では利用可能性含め検討が難しいと思う。

【まったく役割を担わない】(1件)

- ・ 大型航空機への導入の可能性がない。

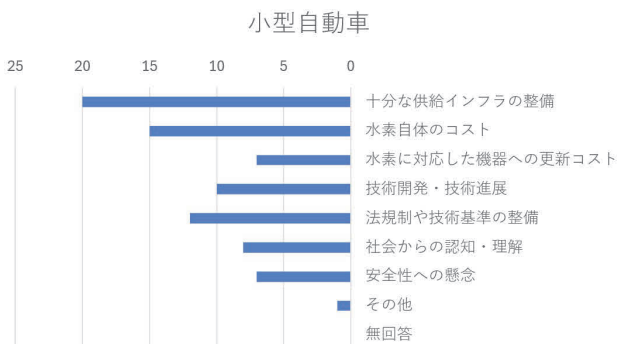
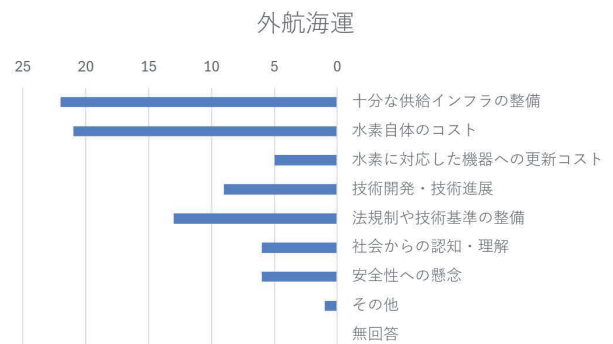
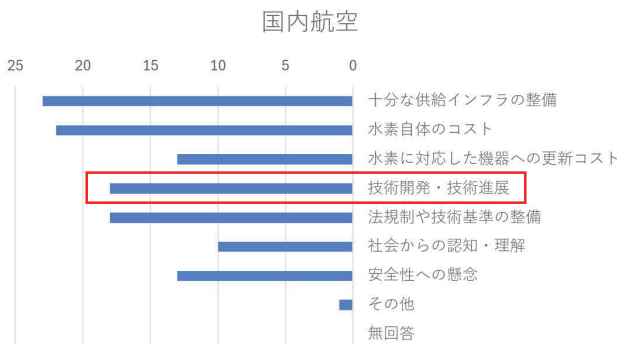
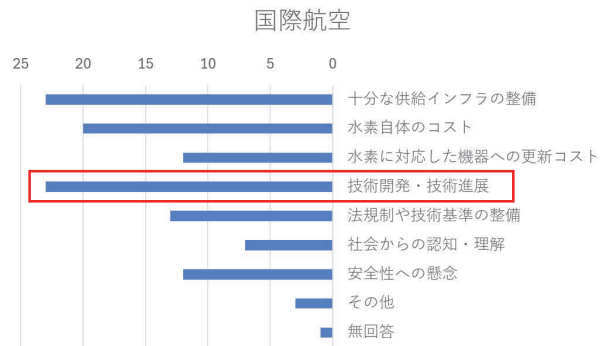
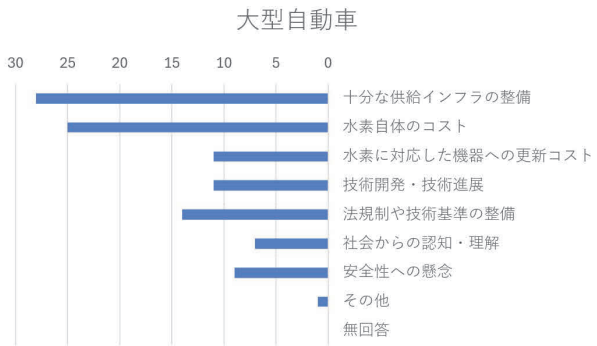
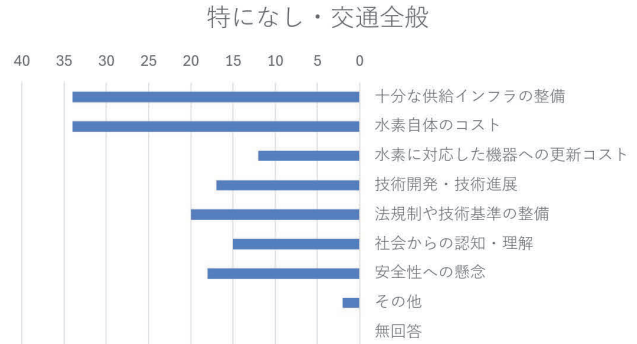
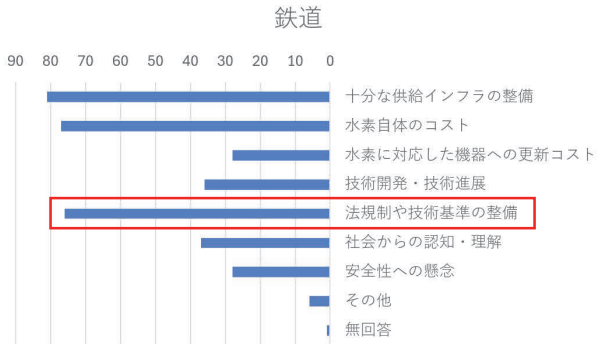
設問④: 貴方が水素燃料の利用拡大・普及に向けて課題だと考えることを教えてください(複数回答可)

- ▶ 十分な供給インフラの整備(249)、水素自体のコスト(228)、法規制や技術基準の整備(176)、技術開発・技術進展(128)、水素に対応した機器への更新コスト(97)、安全性への懸念(97)、社会からの認知・理解(94)の順に回答が多く、水素供給側の課題として挙げる者が多いという結果になった。



交通モード別の分析

- 「鉄道」では「法規制や技術基準の整備」の回答が多かった。
- 「国際航空」「国内航空」ではともに「技術開発・技術進展」の回答が多かった。
- 「内航海運」では「水素に対応した機器への更新コスト」の回答が多かった。



設問⑤：上記理由をお聞かせください。「その他」を選択された方は具体的な内容もお聞かせください

<以下、「その他」を選択された方の回答を記載>

- ・ 水素を利用するためには対応機器へ更新する必要があるが、安定供給とコストは採用にあたって密接に関係するため、同時並行として進めていく必要がある。また、利用しやすい、供給しやすいような法整備、及び(その他)普及拡大のために、インフラ整備・利用・燃料購入に関して国からの補助が必要であると考える。
- ・ 法整備、規格整備。欧州の規格戦略にどのように対抗するか大きな課題だと感じる。
- ・ 一事業者のみが活動しても、上手くいかないため、国が主導する必要があると思いました。世界中が水素を利用することで、コストは下がるとは思います。まず、使うためのインフラ整備が重要だと考えます。水素による燃料電池鉄道は点検負担を掛けるため、規制緩和が必要と考えます。セミナーに参加し、感じましたが、社会認知・理解が欧米に比べて低いことが課題と感じました。世界との標準化の競争に参画しないと、世界的に日本企業が不利になってしまうことが課題と感じました。
- ・ 国際規格への対応。
- ・ 行政の主導が最も必要と思います。
- ・ 教育。船員や工務関連専門家の育成もさることながら、これからの担う子供たちへのアピールが大切になると考えています。
- ・ 国のリーダーシップが必要。
- ・ 電動化にしても、水素にしても、脱炭素化推進の手段の一つの選択肢と捉えるべき。各モードに適した手段・目標値を組み合わせ、社会全体での目標達成を目指す必要があると考えるが、電動化のように一定程度社会に展開済みの技術を早期に活用しようとする風潮があると感じる。中長期的な技術革新を想定したロードマップが必要。
- ・ 交通以外の産業利用への展開。
- ・ 燃料タンクの取扱いに関して、欧米並みの規制緩和が必要。
- ・ 水素は、電力と同じ二次エネルギーであり、脱炭素の観点からは、何から作るかが問われる。そういった意味では、一次エネルギーとしては、再生可能エネルギーや原子力などの非化石エネルギーの利用が必須であるが、そこから、電力としての利用がいいのか、水素としての利用がいいのかについて、よりシステマ的、統合的な検討が必要ではないかと考える。

6. 成果のとりまとめ

今年度の調査結果のまとめを表 6-1 に示す。

表 6-1 調査結果のとりまとめ

項目	調査結果サマリ
国内交通産業で需要がある交通脱炭素燃料(バイオ、水素、合成燃料等)の需給規模の調査	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 国内外の交通分野において、電気、水素、バイオ燃料といった脱炭素燃料の利用・技術実装が進められている。 ✓ 本検討では、自動車、鉄道、船舶、航空機の各交通モードにおいて、水素利用に向けた検討の動向を、国内外含めて調査し、どのような使われ方が検討されているのかについて整理した。 ✓ また、各種燃料の調達性にも着目し、特にバイオ燃料の原料となるバイオマス原料は、国内ポテンシャルから見ても、更なる利用拡大は限定的と考えられる。 ✓ 以上より、バイオ燃料の普及拡大に加え、更なる需要拡大に向けては、幅広い交通モードでの蓄電池や水素利用が期待される。 ✓ また、水素については、発電や産業熱需要等の分野での需要を起点として、周辺産業への普及拡大が期待される。交通分野もその中の一つであり、特に大規模受入拠点近傍での水素利用が期待される。
世界的な水素燃料の社会実装の動き、水素のメリット・課題の整理	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水素政策は、総じて、水素をネットゼロ等の手段として位置付け、エネルギー安全保障の点からも取組が進む。製造からトランスポーターション利用まで地産地消が構想される。トランスポーターション関連政策は、各交通モードに広く資金を充当し、いずれのモードも重視する。 <ul style="list-style-type: none"> ➢ EU 水素政策は、Fit for 55 の一連の政策パッケージで、トランスポーターション関連の目標強化や規制対象拡大等が進む。また、イノベーション基金や IPCEI の補助支援等が取り込まれる。 ➢ 英国は、2050 年のネットゼロの手段として水素を位置付け、エネルギー安全保障の実現でも重要視する。 ➢ 英国のトランスポーターション関連政策は、道路交通、海運、航空等、広く支援を進める。 ➢ 米国は、水素政策として、クリーン水素構想を策定する。地域の水素活用ハブを構築し、生産からトランスポーターション利用に至る取組を推進する。 ➢ 米国のトランスポーターション関連政策も、道路交通、海運、航空、鉄道等、広く支援を進める。 ✓ 水素のメリットは、ネットゼロの基礎、余剰電力の活用、資源の豊富さ、長期貯蔵性、大規模市場形成の可能性、バッテリー式に対する優位性等がある。一方、課題は、コストや技術、規制等の不確実性、需給両面の環境整備、理解や機会、インセンティブや支援の不足がある。

日本の交通機関で水素燃料を実装していくのに適した地域、交通モード等の調査

【乗用車】

- ✓ 乗用車は、通勤や公用車等での利用を想定した場合、輸送ニーズはエリアによらず一定程度想定される。ユーザーの置かれた環境によっては、BEVと比較してコスト競争力が生まれ、FCVが選択されうる。

【タクシー】

- ✓ タクシーの場合、輸送ニーズの高い市街地等、人口集中エリアでの利用が前提であり、ユーザー側の環境によってFCVが選択されうる。

【バス】

- ✓ 路線バスは、リーズナブルな水素が供給可能なエリアで、ユーザーによって選択されやすい。また、高頻度での運行かつ長距離路線では、航続距離の関係でFCバスの利用が期待される
- ✓ 高速バスは、都市間移動等、100～500kmの中・長距離移動にて利用が期待される。BEVによる代替が難しい領域であるため、エリア問わず高速バスは水素利用が期待されると想定。

【トラック】

- ✓ 大型トラックにおいては、BEV車両の開発事例もあるが、積載量や航続距離等の観点で、水素利用が期待される。小型トラックにおいては、水素コストの上昇に応じてBEVが選択されやすくなる。

【鉄道】

- ✓ 鉄道では、大規模水素受入拠点に隣接する非電化路線での利用が期待される。また、各地を発着する貨物列車(機関車)においても、水素利用が期待される。

【航空機】

- ✓ 航空機では、供給力の面でSAF導入に限界のある国内路線において、電化の困難な中距離航路を中心に、水素の導入が進展するものと考えられる。小型航空機に関してはエネルギーコストの面で電化優位であるが、余剰水素の活用が可能な離島などでは小型水素航空機の普及が進展するものと考えられる。

【船舶】

- ✓ 船舶では、短距離航路ではコスト面で優位性のある完全電気推進船の活用が進む一方、電化の困難な中距離航路を中心に水素の活用が進展する。また、水素の大規模受入拠点周辺では、タグボート等での水素活用が進むものと考えられる。

【モデル案の検討】

- ✓ 個別モードマップの検討は、適切な軸の設定や評価方法を含めて次年度以降も継続して検討していく。
- ✓ モデルの実現に向けて、各種交通モードでの課題整理と解決の方向性を整理した。
- ✓ 具体的なモデルの落とし込みに向け、個別モードマップの検討結果とも連携し、次年度以降精緻化していく。

参考



我が国の交通分野の脱炭素化に向けた 燃料転換及び水素利用に関する調査研究 (報告)

2024年3月7日 交通脱炭素セミナー

脱炭素のカギは「水素」～交通分野の脱炭素化に向けて～

一般財団法人 運輸総合研究所

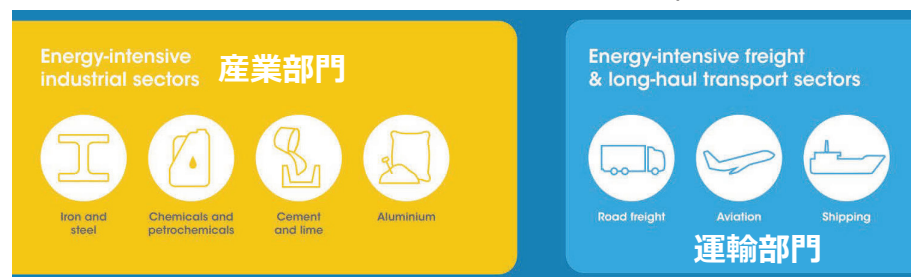
■ 交通分野における脱炭素化に関する目標

- 2020年10月、政府は**2050年までに**温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、**カーボンニュートラル**を目指すことを宣言。
- **交通・物流（運輸部門）**は、**2030年度においてCO2排出量対2013年度比35%削減を目標**としているが、**2021年度の運輸部門におけるCO2排出量は2013年度比で17.4%の減少**であり、目標の達成に向けては一層の取組み推進が求められる。

■ 交通分野は“hard-to-abate”分野

- 当面の間、交通分野は大型化や長距離輸送については技術的にバッテリーによる電化が難しいため、**バイオ燃料や水素などの脱炭素燃料への燃料転換が重要**。また、基本的に電化されている**鉄道についても非電化区間（気動車）は多く存在**。

“hard-to-abate”分野の例（IRENA, 2020※）



■ 水素

- 水素は、輸送・発電・産業といった多様な分野の脱炭素化に寄与する、カーボンニュートラル（CN）に必要なエネルギー源。2021年10月に閣議決定されたエネルギー基本計画でも、2030年の電源構成にはじめて位置づけられるとともに2023年6月には『水素基本戦略』が改訂されるなど、2050年のCN達成に向け、**その社会実装の加速化が求められている**。

■ 交通分野における課題

- 交通分野での水素利用については、自動車分野を除いて、**サプライチェーン構築、インフラ整備及びその運用まで含めた具体的な検討は進んでいない**。また、交通分野としての共通の戦略がなく、**各交通モード単独での検討となっている**。
- 加えて、新たな燃料であるなどの理由で、当面は既存燃料よりも割高であり、需要家による大規模・安定調達に向けた展望が見込めず、**大規模商用サプライチェーンの整備への投資の予見性が見込めない**。

交通分野横断的な連携等による、低コストで効率的な供給のためのインフラや利用環境整備などにより、**その実現可能性・予見性を高める必要**がある。

■本調査研究では、交通分野の脱炭素化に向けたバイオ燃料、合成燃料、水素等の燃料転換に関する調査を起点に交通分野における2050年のカーボンニュートラルに向けた水素利用の実現可能性を令和5年度～令和6年度の2か年で検討する。

調査進捗

1.交通分野の脱炭素燃料の概観

- 交通分野における脱炭素燃料の市場動向や供給見通し、利活用に向けた主要な取り組み動向を調査・整理。

2.世界的な水素の社会実装の動向と水素のメリット・課題の整理

- 諸外国における交通分野での水素の社会実装の動向やメーカーの開発動向を情報収集・整理し、交通分野での水素のメリット・課題を整理。

3.水素利用に適した交通モードの検討

- サプライチェーン、経済性等の条件から交通分野における水素社会の実現可能性に係るポテンシャルを調査及び評価することで、水素利用に適した交通モードや地域について検討。

4.交通分野における水素の社会実装モデルの検討と実現に向けた課題解決

- 規格・基準、サプライチェーン、インフラの共通化等、交通モード間の連携による効率的整備・運用が可能かどうかなどを考慮して実現可能性・予見性のあるモデルを導出。
- コスト（経済性及び事業性）、インフラ、サプライチェーン、貯蔵・輸送など想定されるモデルを実現するための課題整理及びその解決の方向性について検討。

★
今年度時点

我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び水素利用に関する調査検討委員会 構成委員名簿（令和5年度）

座長	三宅 淳巳	横浜国立大学 大学院環境情報研究院 教授
委員	小田 拓也	北九州市立大学 環境技術研究所 教授
	納富 信	早稲田大学 大学院環境・エネルギー研究科 教授
	三好 千景	広島大学Town & Gown未来イノベーション研究所 特任教授/ 英国・クランフィールド大学航空宇宙環境システム学 准教授
	水田 真夫	一般社団法人 水素バリューチェーン推進協議会 担当部長
	幡司 寛治	岩谷産業株式会社 技術・エンジニアリング本部 カーボンニュートラル設備部 シニアマネージャー
	吉村 健二	川崎重工業株式会社 水素戦略本部 プロジェクト総括部 総括部長
	久保 敦	豊田通商株式会社 カーボンニュートラルフューエル部 CNソリューションG グループリーダー
	大道 修	東日本旅客鉄道株式会社 イノベーション戦略本部 R&Dユニット 水素社会実装PT マネージャー
	平田 宏一	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 特別研究主幹
	大平 英二	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO） スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 ストラテジーアーキテクト
	宿利 正史	一般財団法人運輸総合研究所会長
	佐藤 善信	一般財団法人運輸総合研究所理事長
	屋井 鉄雄	一般財団法人運輸総合研究所所長
	奥田 哲也	一般財団法人運輸総合研究所専務理事、ワシントン国際問題研究所長、 アセアン・インド地域事務所長
	藤崎 耕一	一般財団法人運輸総合研究所主席研究員、研究統括

オブザーバー

石狩市、横浜市

1.交通分野の脱炭素燃料の概観

- 交通分野における脱炭素燃料の市場動向や供給見通し、利活用に向けた主要な取り組み動向を調査・整理。

2.世界的な水素の社会実装の動向と水素のメリット・課題の整理

- 諸外国における交通分野での水素の社会実装の動向やメーカーの開発動向を情報収集・整理し、交通分野での水素のメリット・課題を整理。

3.水素利用に適した交通モードの検討

- サプライチェーン、経済性等の条件から交通分野における水素社会の実現可能性に係るポテンシャルを調査及び評価することで、水素利用に適した交通モードや地域について検討。

4.交通分野における水素の社会実装モデルの検討と実現に向けた課題解決

- 規格・基準、サプライチェーン、インフラの共通化等、交通モード間の連携による効率的整備・運用が可能かどうかなどを考慮して実現可能性・予見性のあるモデルを導出。
- コスト（経済性及び事業性）、インフラ、サプライチェーン、貯蔵・輸送など想定されるモデルを実現するための課題整理及びその解決の方向性について検討。

■交通分野の脱炭素化に向けて、各モードで政府目標を掲げ、再エネ・水素・バイオ燃料等のクリーンエネルギーへの転換を推進している。また、電動車の導入やメーカー側の製造設備導入等、民間投資の拡大を目指した検討も進められている。

政府目標・方針

民間投資への期待

	政府目標・方針	民間投資への期待
自動車 乗用/商用	<ul style="list-style-type: none"> ● 2035年乗用車の新車販売で電動車*100% ● 2030年小型商用車の新車販売で電動車20~30% ● 2020年代FC大型商用車5,000台の先行導入 	<ul style="list-style-type: none"> ● トラック・バス等の輸送事業者におけるFC商用車の導入拡大
鉄道	<ul style="list-style-type: none"> ● 鉄道施設への再エネ導入 ● 燃料電池車両の開発 ● バイオ燃料の活用促進 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鉄道事業者における再エネ発電設備の導入、燃料電池車両等の開発・導入
船舶	<ul style="list-style-type: none"> ● 2020年代後半に世界に先駆けてゼロエミッション船等の商用化を実現 ● 国際海運2050年カーボンニュートラルの実現 	<ul style="list-style-type: none"> ● 造船事業者等におけるゼロエミッション船等の技術開発、生産基盤強化 ● 海運事業者によるゼロエミッション船等の導入
航空	<ul style="list-style-type: none"> ● 2030年本邦航空運送事業者における航空燃料使用量の10%にSAF導入 	<ul style="list-style-type: none"> ● 本邦航空運送事業者におけるSAFの導入、国産SAFの技術開発 ● 航空機材・装備品等製造事業者における技術開発

*電動車：EV、FCV、PHEV、HV

出所：国土交通省「GXの実現に向けた国土交通省の取組と政府の動きについて」を基に作成

利用拡大が期待される交通分野の脱炭素燃料



JTTRI
Japan Transport and Tourism Research Institute

一般財団法人
運輸総合研究所

■ ドロップイン燃料のバイオディーゼル燃料（BDF）や合成燃料の他、**水素**や電化が幅広い交通モードで検討されている。

		自家用車	商用車				船舶	鉄道	航空機
			中型トラック	大型トラック	バス	タクシー			
バイオ燃料	バイオエタノール	●	●	-	-	-	-	-	
	バイオディーゼル	●	●	●	●	-	●	●	
	バイオメタノール	-	-	-	-	-	●	-	
	SAF (バイオ)	-	-	-	-	-	-	●	
合成燃料	合成メタノール	-	-	-	-	-	●	-	
	合成ディーゼル	●	●	●	●	-	●	●	
	SAF (e-fuel)	-	-	-	-	-	-	●	
	合成メタン/天然ガス	-	●	●	●	-	●	-	
その他	水素	●	●	●	●	●	●	●	
	アンモニア	-	-	-	-	-	●	-	
	グリーンLPG	-	-	-	-	●	-	-	
	脱炭素電源	●	●	●	●	●	●	●	

1.交通分野の脱炭素燃料の概観

- 交通分野における脱炭素燃料の市場動向や供給見通し、利活用に向けた主要な取り組み動向を調査・整理。

2.世界的な水素の社会実装の動向と水素のメリット・課題の整理

- 諸外国における交通分野での水素の社会実装の動向やメーカーの開発動向を情報収集・整理し、交通分野での水素のメリット・課題を整理。

3.水素利用に適した交通モードの検討

- サプライチェーン、経済性等の条件から交通分野における水素社会の実現可能性に係るポテンシャルを調査及び評価することで、水素利用に適した交通モードや地域について検討。

4.交通分野における水素の社会実装モデルの検討と実現に向けた課題解決

- 規格・基準、サプライチェーン、インフラの共通化等、交通モード間の連携による効率的整備・運用が可能かどうかなどを考慮して実現可能性・予見性のあるモデルを導出。
- コスト（経済性及び事業性）、インフラ、サプライチェーン、貯蔵・輸送など想定されるモデルを実現するための課題整理及びその解決の方向性について検討。

水素のメリット・課題整理のまとめ

■ 水素のメリットは、ネットゼロの基礎、余剰電力の活用、資源の豊富さ、長期貯蔵性、大規模市場形成の可能性、バッテリー式に対する優位性等がある。課題は、コストや技術、規制等の不確実性、需給両面の環境整備、理解や機会、インセンティブや支援の不足がある。

交通分野における水素のメリット

- ✓ **ネットゼロの基礎**となること
- ✓ **余剰電力の活用**（風力発電など再エネ由来の余剰電力を水素に変換し、電力用途を拡大し、重工業や輸送等に広く活用）
- ✓ **資源の豊富さ**
- ✓ **長期貯蔵性**
- ✓ 水素経済全般において、交通分野が最大の構成要素として**大規模な市場形成が期待されること**
- ✓ **バッテリー式に比べ、大量輸送、寒冷地等の条件で優位**であること

交通分野での利活用を含む水素全般の課題

- 【コストや技術、規制等の不確実性】**
 - ✓ エンドユーザーのコストや技術、規制等の不確実性
- 【需給両面の環境整備】**
 - ✓ 需給の同時開発・調整の必要性
 - ✓ インフラ整備の必要性
 - ✓ 先行者が不利になることに対応する環境整備
- 【その他】**
 - ✓ 水素への理解、社会受容性の不足
 - ✓ 適切な利用機会の欠如
 - ✓ 企業へのインセンティブの欠如
 - ✓ 政府のR&Dへの支援の欠如

1.交通分野の脱炭素燃料の概観

- 交通分野における脱炭素燃料の市場動向や供給見通し、利活用に向けた主要な取り組み動向を調査・整理。

2.世界的な水素の社会実装の動向と水素のメリット・課題の整理

- 諸外国における交通分野での水素の社会実装の動向やメーカーの開発動向を情報収集・整理し、交通分野での水素のメリット・課題を整理。

3.水素利用に適した交通モードの検討

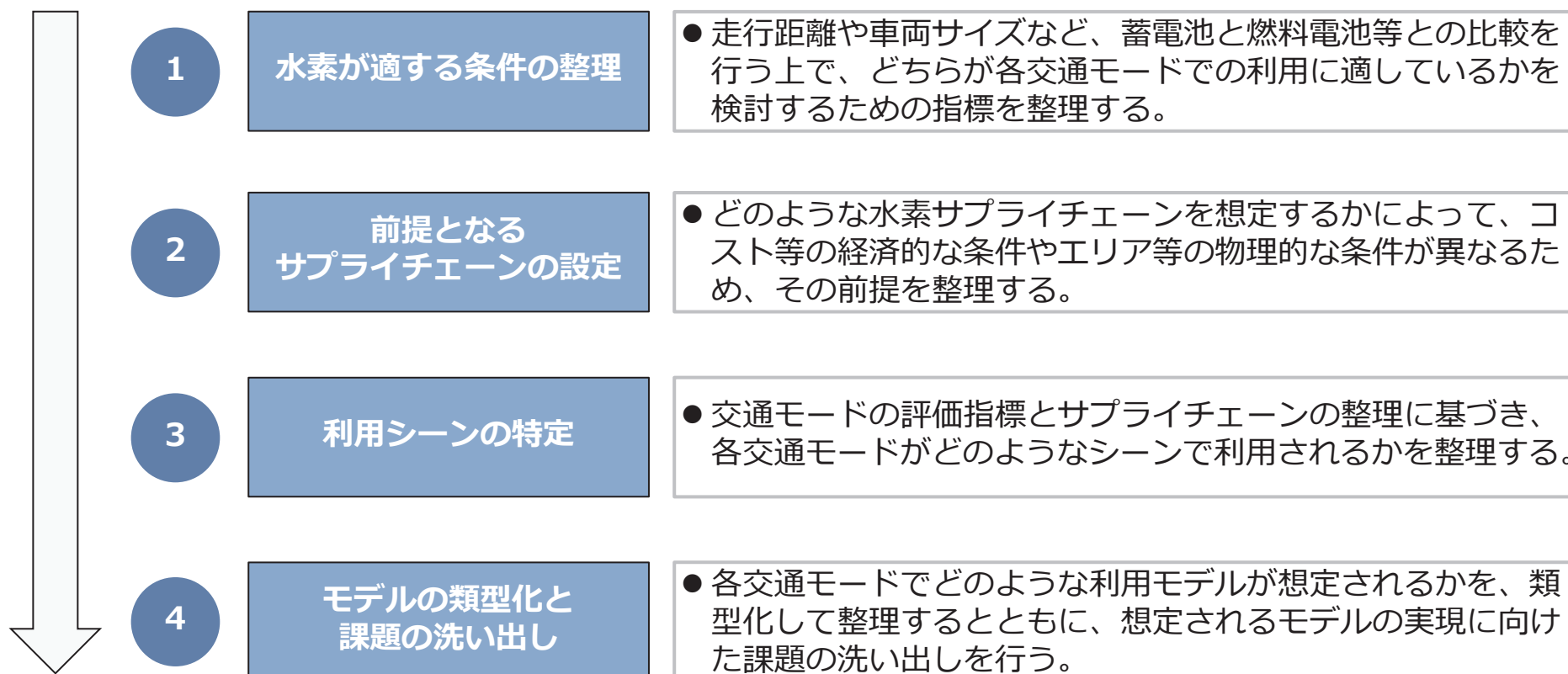
- サプライチェーン、経済性等の条件から交通分野における水素社会の実現可能性に係るポテンシャルを調査及び評価することで、水素利用に適した交通モードや地域について検討。

4.交通分野における水素の社会実装モデルの検討と実現に向けた課題解決

- 規格・基準、サプライチェーン、インフラの共通化等、交通モード間の連携による効率的整備・運用が可能かどうかなどを考慮して実現可能性・予見性のあるモデルを導出。
- コスト（経済性及び事業性）、インフラ、サプライチェーン、貯蔵・輸送など想定されるモデルを実現するための課題整理及びその解決の方向性について検討。

理想的な水素利用モデル検討の流れ

- 水素利用が適する交通モードを整理し、理想的な水素利用モデルに落とし込むことを目的とし、以下の流れで検討を行った。



水素が適する条件の整理 | 検討における指標



JTTRI
Japan Transport and Tourism Research Institute

一般財団法人
運輸総合研究所

■水素利用に適した交通モードを検討する上で、次の指標が重要と考えられる。

エネルギー密度 (積載量)

- 長距離輸送の場合、水素やその他燃料に比べてエネルギー密度が小さい蓄電池は、サイズが大きくなることにより積載量が小さくなってしまいうため、水素やバイオ燃料を利用した内燃機関や燃料電池車が想定される。

馬力 (トルク)

- 大型トラック等の馬力が必要なケースでは水素利用が想定される。船舶、鉄道においても、内航船、貨客フェリー、気動車など、同様の整理と想定される。
- 航空機においては、旅客輸送量の関係で短中距離路線での水素利用も期待される。

受入・貯蔵拠点 との距離

- 水素を大量に輸入し、受入・貯蔵する拠点の近傍では、電力と比較してある程度リーズナブルな水素を利用することができるため、電化と同じ土俵で検討される。
- 一方、二次輸送に係る距離に応じて輸送費が加算されるため、拠点からの距離が遠いほどコスト面で電化に劣後する。また、離島など二次輸送に適さないエリアでは電化が基本となるが、限られた条件下では地産水素が検討される。

(参考) エネルギー効率

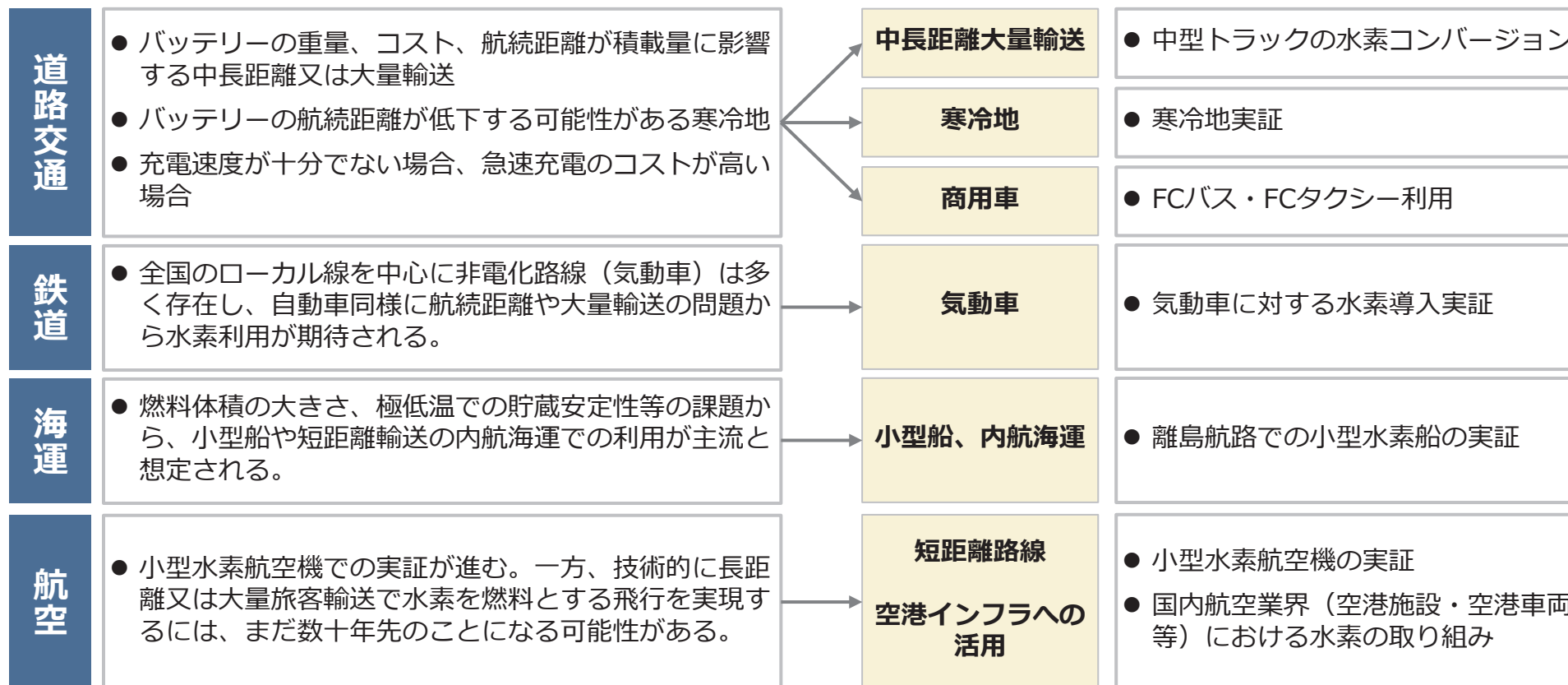
- 燃料電池と水素エンジンの熱効率を比較すると、燃料電池の方が高い。また、現状の開発状況で比較しても、燃料電池の方が走行距離が長い。
- ただし、水素エンジンはトルクの大きさ、既存部品との互換性など、開発レベルを除けば、化石燃料車両と同様に利用できる可能性もある。燃料電池の劣化速度や初期費用など、経済性の観点でも検討が必要である。
- 現段階で両者の用途の違いを明確に定義することが困難なため、本検討では棲み分けを行わないものとした。

事例調査等に基づく水素利用の概観

- 初期仮説として、外部環境や各種調査から考えられる有効ケースを整理し、どのような交通モードでの利用拡大が期待されるかを、事例を踏まえて整理。

水素のメリットが想定されるケース

利用拡大が期待される交通モードと事例



【事例】水素エンジンへのコンバージョン

- BEV化が困難とされるトラック等の重量車両において、高効率にパワーを発揮する水素エンジンに注目。
- フラットフィールドらは、既販中型トラックに水素エンジン搭載し、富山のPV由来水素を利用した実証試験を開始。

既販トラックの水素エンジン化に関する取り組み

取組背景・目的

- ✓ 企業や大学が、既販トラックを水素エンジン車に改造する技術の開発に取り組む。ディーゼルエンジン部品や燃料供給系部品を水素に適合したものに交換する。**BEVやFCVを新車で購入するの 비해、低コストでの環境対応が可能。**
- ✓ 航続距離や充電時間などの観点からBEV化が困難とされるトラックなどの重量車両において、**比較的高効率にパワーを発揮するとされる水素エンジンが注目される。**

取組概要

- ✓ 東京都市大学やフラットフィールドらは、2021年8月から既販中型トラックの水素エンジン化技術の開発や事業化検証のプロジェクトを展開。
- ✓ 2023年5月、水素エンジンを搭載した車両製作を完了し、走行試験を開始。
- ✓ 航続距離300km以上を目標としながら、ベース車両の約7割の荷室容量を確保。ディーゼルエンジンと遜色ない性能を実現。
- ✓ 2023年6月末頃からトナミ運輸（富山県高岡市）の協力で貨物輸送を対象とした実証を富山県で開始。**100%太陽光発電による電気を使って水素を作り出す北酸（富山市）の水素ステーションを利用。**
- ✓ 24年から試験的に小規模で事業をスタートする計画で、25年に本格展開を目指す。

フェーズ：実証

水素エンジン搭載既販トラック



出所：東京都市大学「既販中型重量車の水素エンジン化事業性検証プロジェクト」において富山県内にて貨物輸送に向けた実証走行試験を開始し、これを基に研究開発を進めている。

【事例】水素ハイブリッド電車の実証試験

■ JR東日本、日立製作所、トヨタ自動車は、水素ハイブリッド電車「HYBARI」を共同開発した。南武線と鶴見線にて実証運行も実施している。

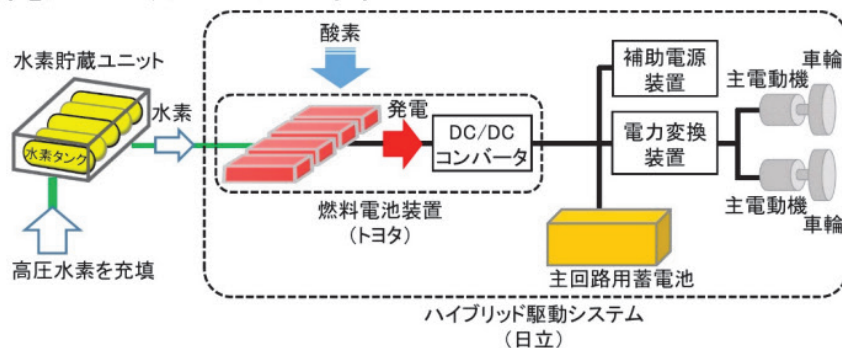
水素ハイブリッド電車の概要

(1) 車両構成

- 車両形式 FV-E991系
- 両数 2両×1編成

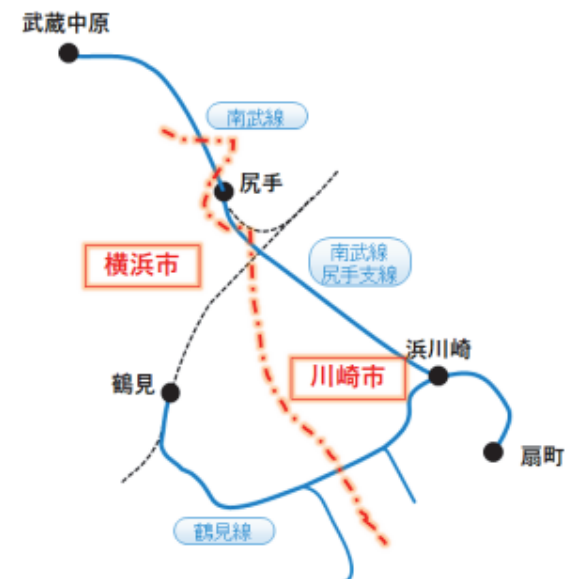


(2) 燃料電池ハイブリッドシステムの仕組み



フェーズ：実証

- 開始時期 2022年3月頃(予定)
- 試験区間 鶴見線、南武線尻手支線、南武線(尻手～武蔵中原)



出所：JR東日本プレスリリース（2020年10月6日）、andE「水素ハイブリッド電車「HYBARI（ひばり）」（2022年11月17日）より引用

鉄道脱炭素化、CO2フリーに向けた試験車両

【事例】 離島航路での水素燃料船実装

- 瀬戸内海に面した広島県尾道市の造船会社が水素燃料船（軽油50%混合）を開発。
- 山口県の化学メーカーの工場から排出される水素を活用。

水素燃料船に関する取り組み

取組背景・目的

- ✓ 「二酸化炭素の削減」と「船の実用性」の両立が課題となる中、トヨタ燃料電池車の実用化を受け、水素の船舶への利用に着目。

取組概要

- ✓ 瀬戸内海に面した広島県尾道市の造船会社「ツネイシクラフト & ファシリティーズ」は、国内初となる水素を燃料とした旅客船を開発。
- ✓ 2021年7月に公的な検査に合格し、実装開始。
- ✓ エンジン、欧州で導入実績があるベルギー海運会社から調達。
- ✓ 水素だけでなく、一般的な燃料の軽油を“混焼”するため、燃料に占める水素の割合は最大50%。そのため、タンクの省スペース化、水素の供給インフラの未整備の課題に対応。
- ✓ 環境省の事業の一環として、**山口県の化学メーカーの工場から排出される水素を活用。**

課題

- ✓ 造船業界では、中小規模の事業者が多く、環境分野の設備投資や開発まで手が回らない傾向にある。
- ✓ 建造費用は従来の船の1.5倍と割高。費用の一部は広島県の補助金を活用。
- ✓ 上記課題から、船主から造船を受注する通常の形態ではなく、当該造船会社がベルギーの海運会社と共同会社を設立し、自らが船主となった。

フェーズ：実装（導入）

水素燃料旅客船「ハイドロびんご」



出所：ツネイシクラフト & ファシリティーズ[世界初となる水素燃料フェリーを竣工]を基に作成 Supported by 日本 THE NIPPON 財団 FOUNDATION

【事例】 小型水素航空機の実証試験

- ZeroAvia（英）は2023年1月、19人乗りの小型航空機に水素燃料電池エンジンを搭載し、初飛行に成功。
- Universal Hydrogen（米）は、2023年3月、40人乗り規模の小型水素航空機の飛行に成功。双日らと連携し、日本市場への参入も検討開始。

小型水素航空機の実証試験に関する取り組み

取組概要

<Zero Avia>

- ✓ 英国政府の航空宇宙技術研究所（ATI）が支援する研究開発である「HyFlyer II」プロジェクトの一環として、水素燃料電池を動力とした航空機の実証が行われた。
- ✓ 航空機開発のスタートアップ企業であるイギリスのZeroAviaは、2023年1月、**水素燃料電池を動力とした航空機としては過去最大の、19人乗りの「ドルニエ228」を使った初飛行に成功した。**
- ✓ 右翼はエンジンのまま、左翼には水素燃料電動エンジンの試作品を搭載し、19人乗りの出力600kWのエンジンの開発を実現。

<Universal Hydrogen（UH2）>

- ✓ UH2社は、水素燃料電池の航空機用エンジンを開発しており、2023年3月、水素燃料電池を主な動力とした航空機では**世界最大となる40人乗り規模のプロペラ機の初テストフライトに成功。**
- ✓ 2025年に水素燃料リージョナル航空機の旅客サービス開始を目指す飛行試験キャンペーンの第一弾。
- ✓ 同社は、日本でも、双日、三菱HCキャピタルとの連携の元、水素バリューチェーンの構築促進・水素燃料電池航空機の普及に向けた、**日本国内での官民との連携を開始。**

フェーズ：実証

ZeroAvia 小型水素航空機



出典：ZeroAvia HP

Universal Hydrogen 小型水素航空機

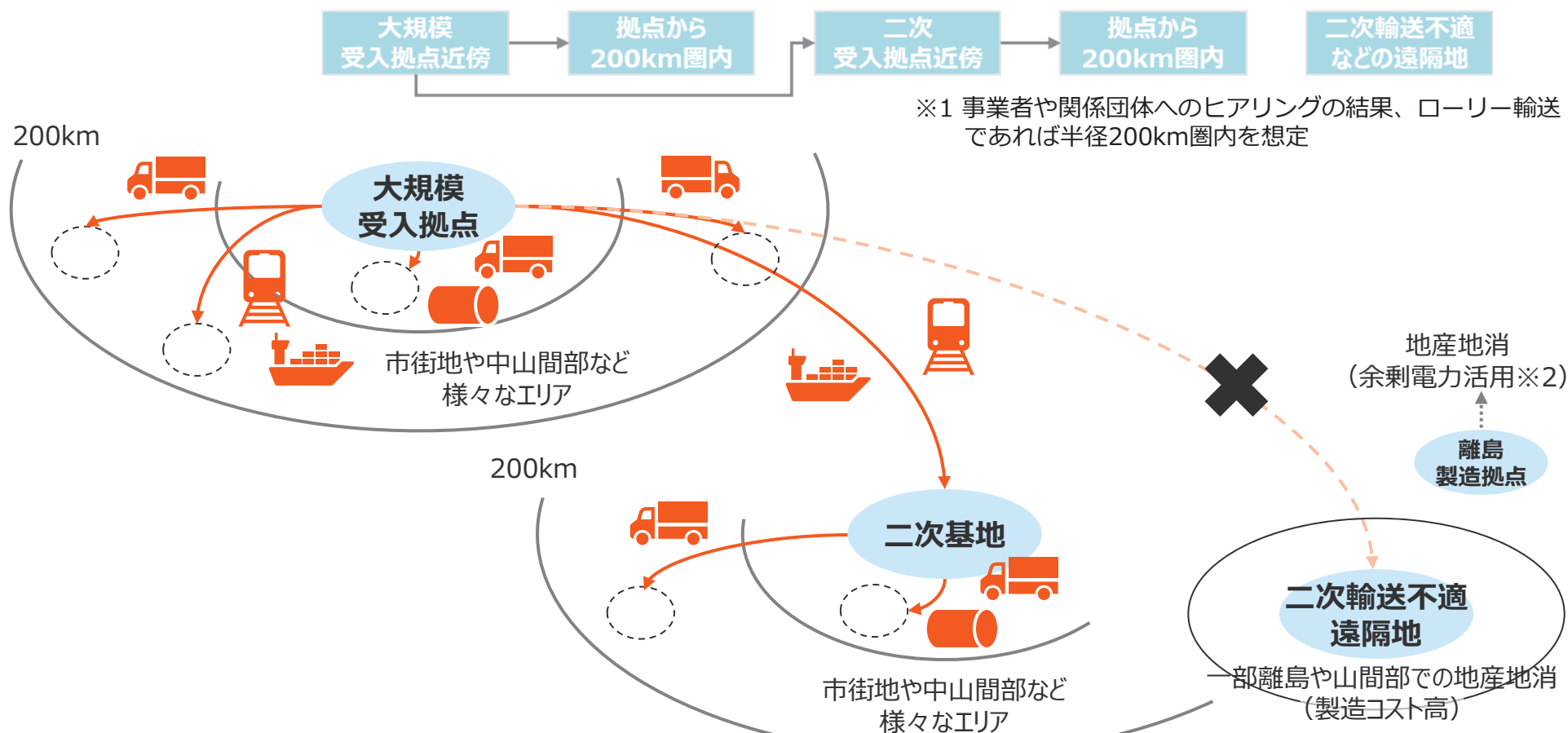


出典：Universal Hydrogen HP

出所：ZeroAvia 「ZeroAvia Makes Aviation History, Flying World's Largest Aircraft Powered with a Hydrogen-Electric Engine」、
Universal Hydrogen 「Universal Hydrogen takes to the air with the largest hydrogen fuel cell ever to fly」を基に作成

受入拠点からの距離の考え方

- 発電やその他産業部門での利用を目的として、大規模受入拠点で輸入された水素は、その一部をパイプラインやローリー、鉄道などによって、二次基地やその他需要地に輸送される。
- 輸送距離が長くなれば、輸送コストが上乘せされるため、電化コストに対する競争力が低下。



※2 系統から独立している場合、余剰電力活用による水素製造が期待される。
この場合、他の地産ケースに比べてコストが低くなる。

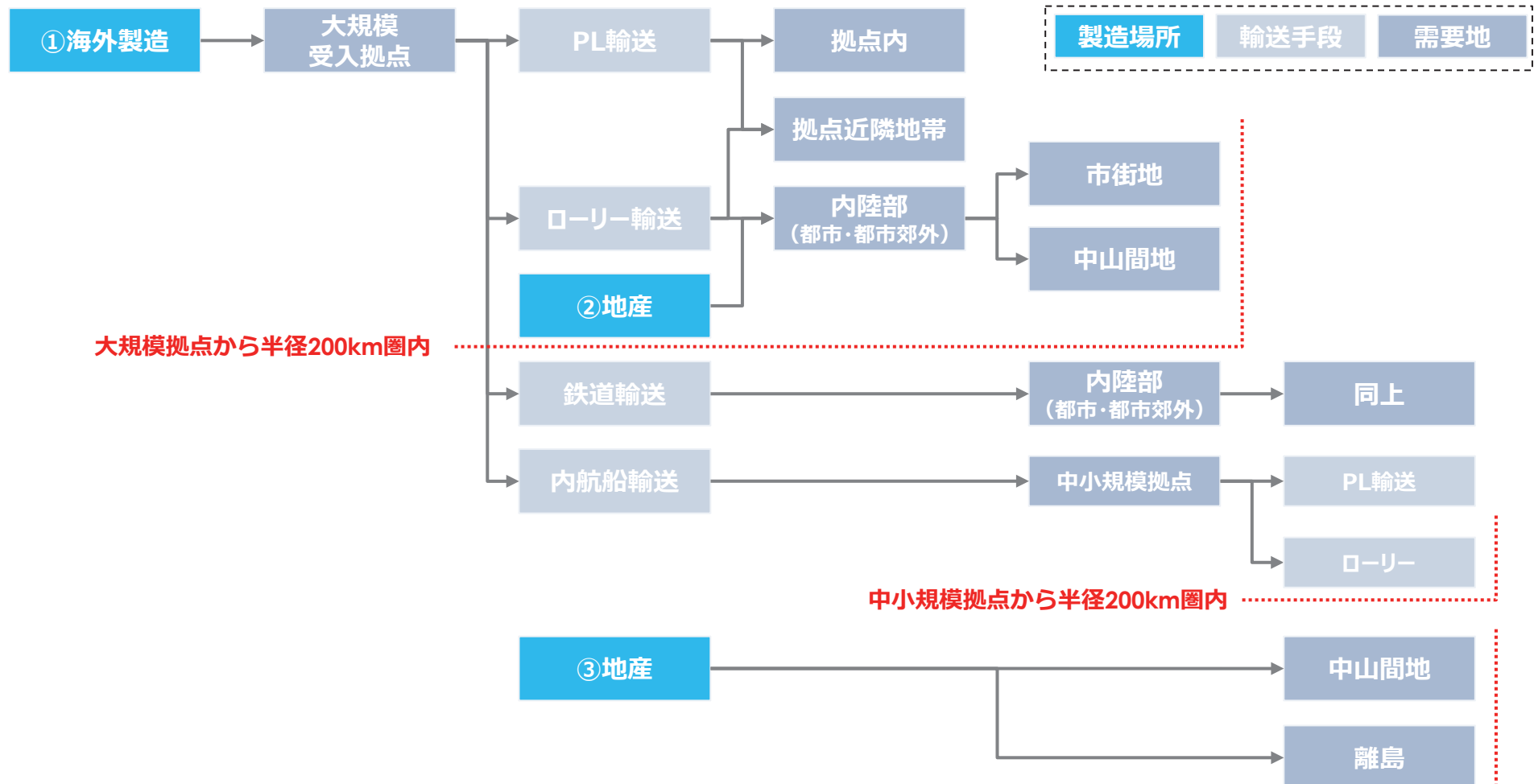
受入・貯蔵拠点との距離による供給フローの場合分け



JTTRI
Japan Transport and Tourism Research Institute

一般財団法人
運輸総合研究所

- 供給起点で次のケースが想定される。大量調達する場合、近隣需要だけでなく、内陸部へのローリー輸送等の二次輸送や、二次輸送に適さないエリアでの地産が想定される。



離島などの二次輸送に適さないエリア

※ 事業者や関係団体へのヒアリングの結果、ローリー輸送であれば半径200km圏内を想定

Supported by 日本 THE NIPPON 財団 FOUNDATION

理想的な水素利用モデルの検討



JTTRI
Japan Transport and Tourism Research Institute

一般財団法人
運輸総合研究所

- 2050年におけるカーボンニュートラルの達成を前提とし、海外からの水素大量調達とゼロエミッション電源による国内水素製造による水素供給を想定。
- 経済的・物理的な前提条件に基づき、水素利用が想定される交通モードを整理した。

水素供給方法	経済的な前提条件	物理的な前提条件	有望モード（例）
① 海外からの大量調達	水素利用コスト = 電化コスト	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 大規模受入拠点から発着するモード。 ▶ 物理的に水素へのアクセス性が高い。 ▶ CNPやCNK等の大規模受入拠点・需要地が中心。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 貨物自動車 ▶ 気動車 ▶ 内航船 ▶ 国内航空(中長距離)
② 内陸輸送 + 地産	水素利用コスト > 電化コスト	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ①の水素を①以外の需要地に輸送。 ▶ 都市間の移動や①から発着するモードへの供給を想定。 ▶ 不足分を地産で補う。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 貨物自動車 ▶ 気動車 ▶ 高速バス
③ 地産 (二次輸送に適さない)	水素利用コスト >> 電化コスト	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 躯体サイズの問題で蓄電池積載不可や内燃機関による馬力が必要な場合。 ▶ 脱炭素燃料の外部調達が困難（離島や山間部など）。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 気動車 ▶ 離島フェリー(貨客) ▶ 小型航空機(短距離)

Supported by 日本 THE NIPPON 財団 FOUNDATION

- 水素利用に適した交通モードについて、水素サプライチェーンに関する条件を踏まえて各モードで整理した上で交通モード横断的にとりまとめる。
- 複数の交通モードでの水素利用が想定される・一定規模の水素利用の需要が創出されるエリア（水素の大規模受入拠点近傍地域、地産水素のある離島など）を、サプライチェーン検討の観点からの想定モデル案として仮定し、具体的な検討を進める。
- 想定モデル案を実現するための課題の洗い出し、整理を行い、その課題解決の方向性を検討する。

令和5年度の調査研究をさらに深堀するとともに、令和6年度に交通分野での水素利用の想定モデル及びその実現可能性を示すため、引き続き検討を進める。

【事例】 離島での水素利用 | 日本（対馬）

- 対馬の場合、人口も多く電力需要が一定程度存在し、再生エネ接続量も十分にある。
- 対馬の抱える再生エネ余剰の課題を、蓄電池だけでなく水素を活用することで解決するケースも存在する。

①地産エネルギー熱源の活用 (H26,27総務省事業で検討、H28継続検討中)

木質バイオマスボイラーによる熱供給 (旧いづはら病院活用)

②省エネの推進 (LED化は、市単独補助を実施、東工大によるデマンド実証実験 (H28~))

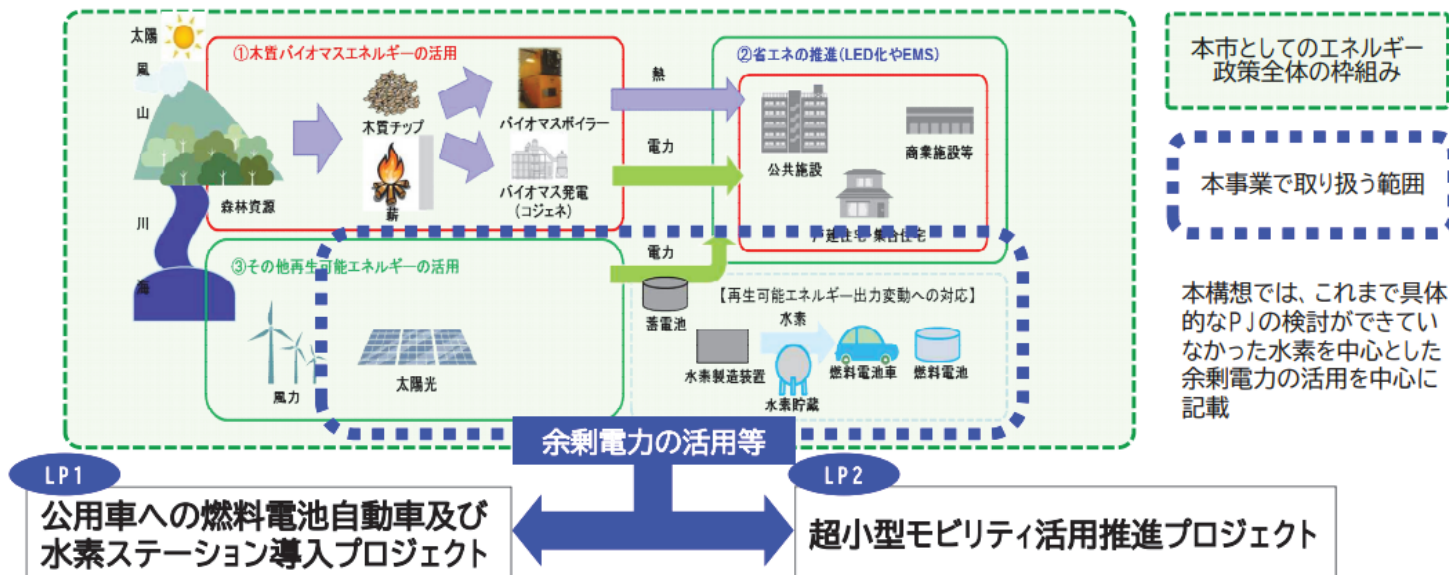
LED化の促進、スマートコミュニティ (デマンドレスポンス=CATV網の活用) の推進

③再生可能エネルギー買取制度の活用 (森林事業者、県、市で木質バイオマス発電を検討協議中)

バイオマス発電、風力発電、太陽光発電 (⇒重油火力発電の代替)

④交通 (自動車etc) エネルギー地産化も同時推進

再生可能エネルギーを用いた水素製造、燃料電池車 等



出所：「水素を中心とした地産地消エネルギー活用「対馬モデル」構想」（対馬市）を基に作成

- 交通分野における2050年カーボンニュートラルに向けては、脱炭素燃料への燃料転換が重要。一つの手法では当該目標の達成は困難であり、様々な手法が検討されているが、水素の利用が必要不可欠。
- 各交通モードで水素利用の可能性について検討されているが、モード単独での検討ではなく、交通分野横断的な検討が必要。
- 交通分野で水素を利用するにあたっては、水素サプライチェーンの構築との連携が重要。また、運行／運航する地域や水素を地産する地域との連携も重要。

我が国の交通分野の脱炭素化に向けた燃料転換及び
水素利用に関する調査研究並びに運輸業界・交通事業者等への周知啓発報告書

令和6年3月発行

編集発行人 宿利正史

発行者 一般財団法人 運輸総合研究所

東京都港区虎ノ門3丁目18番19号 UD神谷町ビル

電話 03-5470-8405 〒105-0001

3065-202302-0519