

「鉄道と船舶における燃料電池の利用に関する調査研究」
Research on the Utilization Potential of Fuel Cells
in Rail and Ship Applications
基調講演
Keynote Address

河村 篤男 (Atsuo KAWAMURA)
横浜国立大学 大学院工学研究院
知的構造の創生部門 教授

調査研究の背景と目的

Background and Objectives of The Study

背景 Background

- 環境規制の高まりに伴う、石油動力源の代替の必要性
Increasing environmental regulations surges substitution of petroleum power sources
- 海外における実用化・商用化の進展
Practical adaptation and commercialization of FC railcar and ships in abroad
- 技術的な進展はあるものの、実用化に関する市場や経済性分析が行われていない
Despite technical improvements, no market survey or economic analysis has been conducted

目的 Objectives

- 日本における燃料電池の適用可能な市場セグメントやその規模を明らかにする
To identify and note the sizes of market segments in Japan where fuel cell systems can be commercialized
- 経済性・環境性能の分析を行い、導入効果を定量的に評価する
To analyze economic viability and environmental performance, and quantitatively evaluate impact of adoption
- 実用化の障壁となっている技術的・制度的課題を明らかにする
To identify technical and systemic obstacles to practical use

実施内容 Study Content

- 文献・ヒアリング等による海外事例の調査
Survey of existing/planned FC powered railcars and ships through interviews and literatures
- わが国における市場ポテンシャルの調査
Market potential survey in Japan
- 経済性・環境性能の分析
Quantitative analysis of economic and environmental performance for a FC train/ship

運輸総合研究所における調査研究体制

The Research Organization at the Japan Transport Research Institute

○委員	
河村 篤男	横浜国立大学 大学院工学研究院 知的構造の創生部門 教授
(鉄道WG)	
近藤 圭一郎	千葉大学 大学院工学研究院 融合理学府電気電子工学コース 教授
柏木 隆行	公益財団法人鉄道総合技術研究所 車両制御技術研究部 水素・エネルギー研究室 室長
柴田 宗典	公益財団法人鉄道総合技術研究所 企画室 戦略調査課 主査
明石 直也	国土交通省 鉄道局 技術企画課 技術開発室 課長補佐
(船舶WG)	
大出 剛	東京海洋大学 海洋工学系 特任教授
山口 剛史	NREG東芝不動産 経営企画部経営企画担当 グループ長
十倉 拓也	国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 専門官
鷲頭 誠	運輸総合研究所 ワシントン国際問題研究所 所長
○オブザーバー	
吉川 雅人	経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 新エネルギーシステム課 水素・燃料電池戦略室 係長
平田 宏一	海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 環境・動力系 副系長 動力システム研究グループ

事務局： 運輸総合研究所 みずほ情報総研

基調講演目次

Keynote Address Contents

- 鉄道と船舶における燃料電池の利用の背景
Possibilities of fuel cell systems for trains and ships
- 水素社会に向けた取り組み
Initiatives to create a hydrogen society
- 鉄道における燃料電池の導入事例の紹介
Case studies on fuel cell systems introduced to trains
- 船舶における燃料電池の導入事例の紹介
Case studies on fuel cell systems introduced to ships
- 燃料電池の導入対象の車両・船舶と市場ポテンシャル
Trains and ships where fuel cell systems will be introduced, and market potential
- 燃料電池導入の経済性の検討
Discussion of economic viability of introducing fuel cell Systems
- 燃料電池導入による環境負荷の低減効果
Lessening environmental impact from fuel cell systems' introduction
- 課題と提言－鉄道・船舶分野における燃料電池活用に向けて－
Challenges and suggestions: Toward using fuel cell systems on rail and in ship

鉄道と船舶における燃料電池の利用の背景について

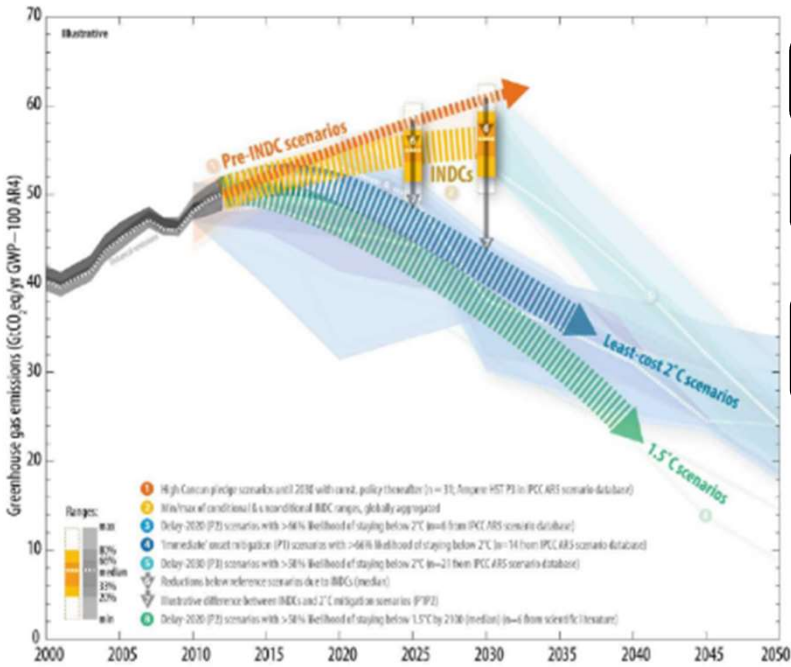
Possibilities of Using Fuel Cell Systems for Trains and Ships

環境対策の必要性の増加 ①地球温暖化対策

Increasing Need for Environmental Measures: Combatting Global Warming

- 2016年に京都議定書の後継として、パリ協定が発効。地球温暖化対策への対策が必要。
The Paris Agreement went into force in 2016 and measures are needed to combat global warming.
- いわゆる「2℃目標」の達成のためには、約束草案以上の大幅な温室効果ガス削減が必要とされている。
Achieving the "2℃ target" will require a drastic reduction in greenhouse gas emissions beyond the draft pledges.
⇒2080年にCO2排出ネットゼロを目標とする脱炭素社会への動きが必須。
- 環境に優しい交通モードではあるが、鉄道と船舶分野においても更なる削減が求められる。
Further reduction is required, even though railways and shipping are environmentally friendly modes of transportation.

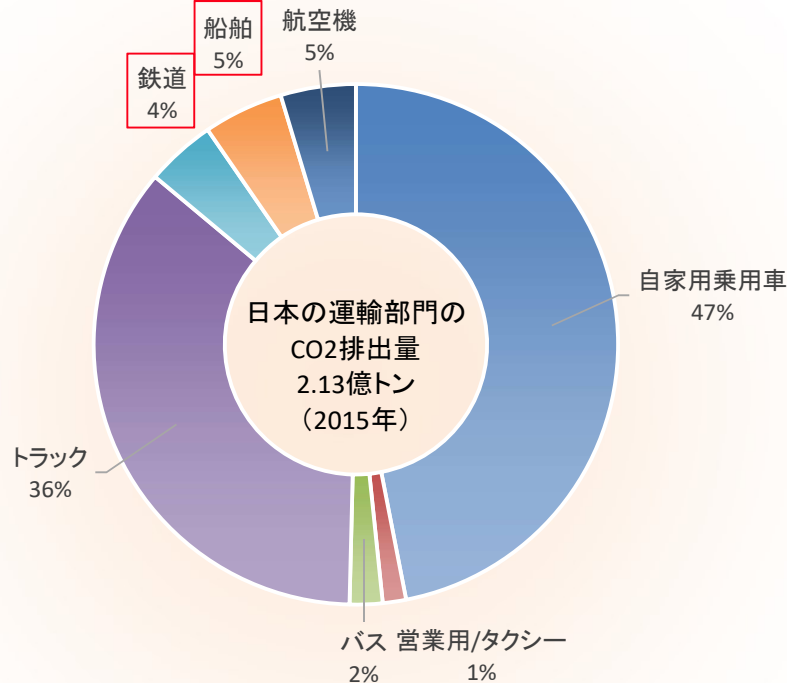
**パリ協定の2度目標で求められるCO2排出削減
Reductions in CO2 Emissions Required by
Paris Agreement's 2°C Target**



- 削減目標無しの場合
- 各国の約束草案を総計した場合
- 2℃目標を達成する場合のシナリオ
- 1.5℃目標を達成する場合のシナリオ

(出典) UNFCCC "Aggregate effect of the intended nationally determined contributions"

**日本の運輸部門におけるCO2排出量の内訳
Breakdown of CO2 Emissions in Japan's
Transportation Sector**



(出典)環境省「温室効果ガスインベントリ」より作成

環境対策の必要性の増加 ②大気汚染防止対策

Increasing Need for Environmental Measures: Preventing Air Pollution

- 内燃機関は使用時にNOx、SOx、PM等の大気汚染物質を排出。
Internal-combustion engines produce air-pollution emissions, such as NOx, SOx, and particulate matter (PM).
- 欧州では、内燃機関を段階的にフェーズアウトすることを目指しており、鉄道車両も規制の対象。
Europe is aiming to phase out the engines, and railcars are also targeted by the regulation.
- 船舶は、国際条約により、NOx及びSOxに対する規制が段階的に厳しくなっている。
International treaties will tighten regulations in stages on NOx and SOx emissions from ships.

鉄道分野の排出規制 Emissions Regulations for Railways

現在

- 国内: 大気汚染に関して特に規制なし
- 海外:
 - 2017年1月1日から欧州がNon-Road Mobile Machinery (NRMM) の規制を施行した。
 - NRMMは道路以外で使用される内燃機関に対してCO、NOx、SOx、PM、HCの排出量上限を定める。
 - 鉄道車両、機関車も対象。

2019年

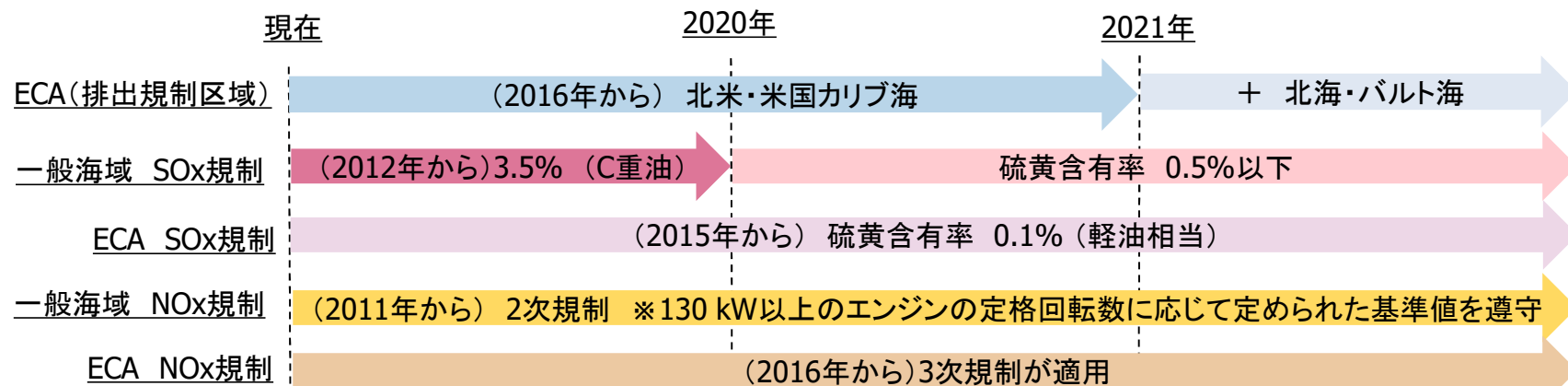
- 2017年に施行されたNRMMの規制は早くも2019年に以下のより厳しいStage Vの規制が販売される全ての内燃機関に適用される予定となっている。

エンジン カテゴリー	出力 (kW)	機関使用 開始年	CO	HC	NOx	PM	PM
			g/kWh				1/kWh
Locomotives	P>0	2021	3.50	4.00	0.025	—	
Railcar	P>0	2021	3.50	0.19	2.00	0.015	1 x 10 ¹²

(出典) EC, "A new EU regulation for engines in non-road mobile machinery" 2016 Transport policy.net, "EU locomotives: emissions"

船舶分野の排出規制 Emissions Regulations for Ships

マルポール条約による排出規制



(出典) 国交省各種資料を基に作成

燃料電池・水素の利用の特徴

Characteristics of Fuel Cell and Hydrogen Power Drives

- CO2排出量の更なる削減と排ガス規制に対応するため、内燃機関に代わるクリーンな代替動力源が求められており、バッテリー（EV）や燃料電池が有力な候補。

Clean alternatives to the internal-combustion engine are needed to further reduce CO2 emissions and comply with regulations on gas emissions. Batteries (used for EVs) and fuel cells are strong candidates.

- 定期運行される鉄道、船舶においては、充填時間が短い、航続距離、重量の観点から、燃料電池に優位性があると考えられる。

For trains and ships that are operated regularly, fuel cells may have the advantage in terms of short filling time, range, and weight.

各動力機関の特性

	CO2	大気汚染(NOx、SOx、PM)	価格	インフラ	航続距離	重量	寿命	その他	主な用途
内燃機関 (石油)	△	△	◎	◎	◎	◎	◎		ほぼすべてのモビリティで利用可能
内燃機関 (天然ガス)	○	○	○	○	◎	◎	◎	燃料漏洩時の温室効果が大	ほぼすべてのモビリティで利用可能
バッテリー	◎*	◎*	△	○	△	△	△	発電の種類で環境効果が大きく異なる 長時間の充電が必要	短距離の乗用車、 短距離の電車
燃料電池	◎*	◎*	△	△	○	○	○	価格・供給インフラで課題あり	バス、中・長距離乗用車、 鉄道、船舶

* 運転段階の排出量(Tank-to-Wheel)を想定

燃料電池は、石油・天然ガスと比較して環境性能に優れ、
バッテリーと比較すると重量、距離、燃料補給等でアドバンテージがある。

⇒ 鉄道と船舶において、燃料電池の利用が見込まれる

水素社会に向けた取り組み

Initiatives to Create a Hydrogen Society

水素社会に向けた日米欧の取り組み

Initiatives to Create a Hydrogen Society in Japan, the United States and Europe

○日米欧を中心に、水素社会実現に向けた取り組みが行われている。
 Initiatives are underway to create a hydrogen society, led by Japan, the United States, and Europe.

○日本では主要な二次エネルギーとして、米国では石油依存からの脱却、欧州では環境対策が主要な動機。
 The key, respective motivations are as a major secondary energy source in Japan; escaping oil dependency in the United States; and as an environmental measure in Europe.

	日本 Japan	米国 the U.S.	欧州 Europe
水素に取り組む背景	<ul style="list-style-type: none"> 水素は将来の主要な二次エネルギーとして位置づけ エネルギーセキュリティ向上 省エネルギー・環境負荷低減、 産業振興の観点から推進 	<ul style="list-style-type: none"> 石油輸入量を減らすことによる米国のエネルギーセキュリティ向上への貢献および交通部門と発電所による大気汚染の改善の観点から推進 	<ul style="list-style-type: none"> 2050年にCO2排出量を1990年比80%削減するための手段として水素・燃料電池を推進
燃料電池の導入状況	<ul style="list-style-type: none"> FCV1,500台導入済み エネファーム20万台導入済み 3~200kW級の業務用燃料電池も一部導入済み 	<ul style="list-style-type: none"> FCV1,800台導入済み FCフォークリフト、補助電多数導入済み。 FCフォークリフト:16,518台 (2017年5月時点) 	<ul style="list-style-type: none"> FCフォークリフト105台導入済み FCV・バン240台導入済み FCバス47台導入済み FCコジェネ750台導入済み
普及支援策	<ul style="list-style-type: none"> FCV購入者向けに、国と地方公共団体からの補助金あり(合計約300万円) エネファーム導入時に補助金あり(PEFC型で11万円、SOFC型で16万円) 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池の研究開発支援はDoEが主導し、CV購入者向けの支援など導入支援は各州レベルで実施。 カリフォルニア州では、FCV保有者に高速道路料金の割引や購入額の一部払い戻しなどの制度を用意 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料電池の研究開発支援はFCH 2 JUが管理。近年は民間企業の投資が増加傾向 ドイツでは家庭用燃料電池の補助金が開始

(出典)各種資料よりみずほ情報総研作成

日本の水素基本戦略について(1/2)

Japan's Basic Hydrogen Strategy

○2017年12月26日に水素基本戦略が閣議決定された。

The Cabinet finalized a Basic Hydrogen Strategy on December 26th, 2017.

○2050年を視野に将来目指すべきビジョンと、その実現に向けた2030年までの行動計画を示すものであり、小形船舶のFC化についても明記され、鉄道への言及もある。

The strategy includes a vision for 2050 and an action plan up to 2030 to achieve it. It specifies conversion of small ships to fuel cell power and also mentions railways.

1. 我が国のエネルギー需給を巡る構造的課題

(1) エネルギーセキュリティ/自給率

- 一次エネルギー供給の約94%を海外化石燃料に依存。自動車は燃料の98%が石油系、うち約87%を中東に依存。
- エネルギー自給率は6~7%で低迷。OECD34か国中2番目に低い水準。

(2) CO2排出制約

- 30年度、13年度比26%減（05年度比25.4%減）が目標。
- パリ協定を踏まえ、長期的には2050年までに80%の温室効果ガスの排出削減を目指す。

2. 水素の意義と重要性

(1) 供給・調達先の多様化による調達・供給リスクの根本的低減

- 水素は、**再エネ含め多様なエネルギー源からの製造・貯蔵・運搬が可能**。特定のエネルギー源に依存しない多様な構造に変革。

(2) 電力、運輸、熱・産業プロセスのあらゆる分野の低炭素化

- 水素は利用時にCO2を排出しない。製造段階でのCCSや再エネの活用で、**トータルでCO2フリー**のエネルギー源に。
- 燃料または燃料電池との組合せであらゆる分野での究極的な低炭素化が可能。

(3) 3E+Sの観点からの意義

- **水素社会の実現は手段**。水素社会を実現することで3E+Sの達成を目指す。

(4) 世界へ先駆けたイノベーションへの挑戦を通じた国際社会への貢献

- **日本の水素技術を海外展開**し、世界の低炭素化を日本がリード。

(5) 産業振興・競争力強化

- 日本の水素・燃料電池技術は世界最高水準。国内外での積極展開により、**新たな成長産業の一つ**に。

(6) 諸外国における水素の取組を先導

- グローバルな動向を常に把握し、**日本が世界の水素社会実現のトップリーダー**に。

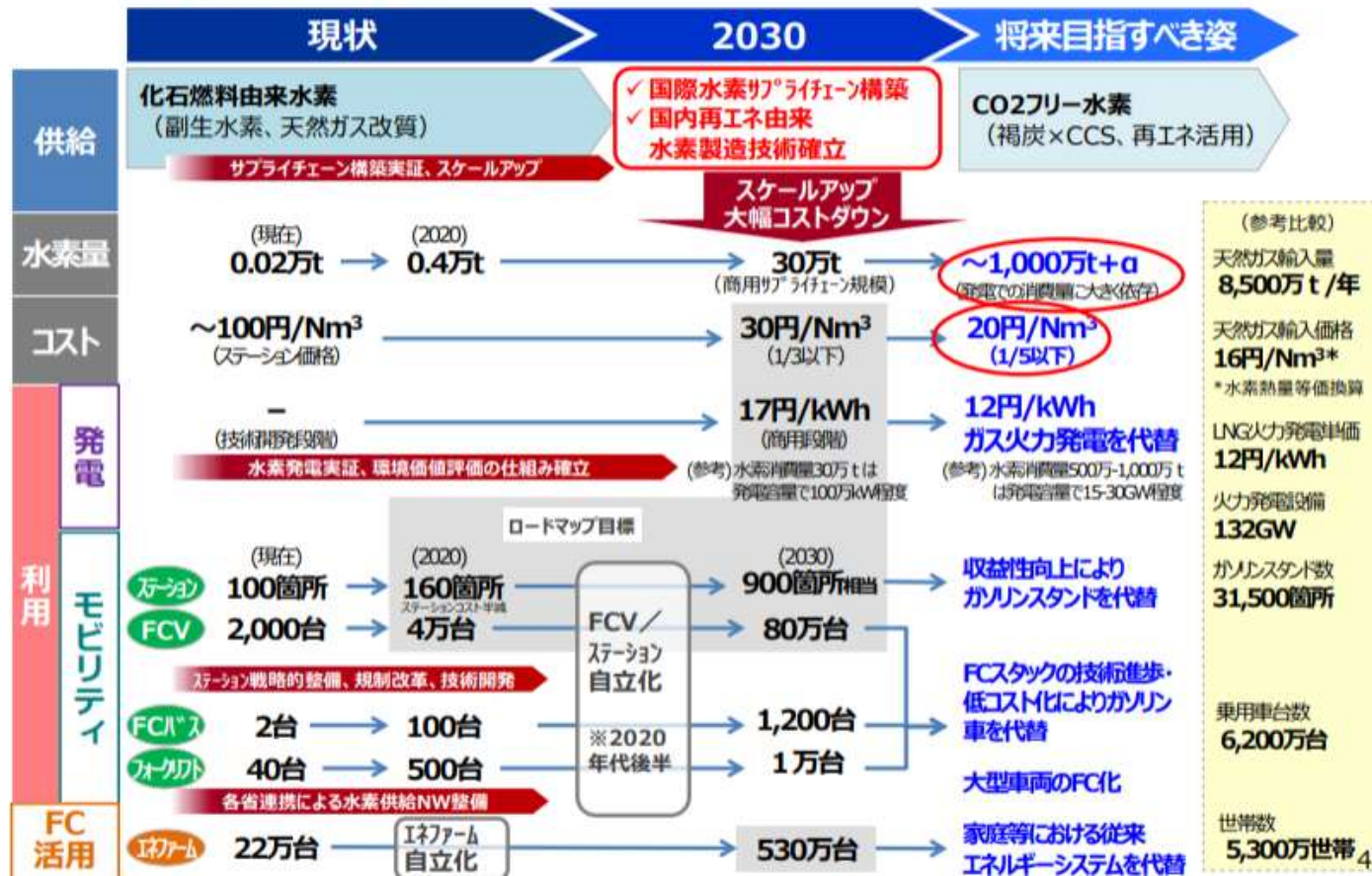
自動車分野のみにとどまらず船舶と鉄道にも言及

日本の水素基本戦略について(2/2)

Japan's Basic Hydrogen Strategy

- 水素基本戦略では、将来の市場規模やコストについても2030年及び将来目指すべき姿を示している。
The Basic Hydrogen Strategy also lays out visions for 2030 and the future in terms of future market scale and cost.
- 特に、将来的には、水素による発電を行うことによる需要拡大が示されている。
In particular, it describes expanding future demand by using hydrogen at thermal power plants.

水素基本戦略のシナリオ



(出典) 経済産業省ホームページ

鉄道における燃料電池の導入事例の紹介

Case Studies on Fuel Cell Systems Introduced to Trains

鉄道の燃料電池活用事例

Case Studies of Fuel Cell Power Use by Railways

○2018年より、アルストム社がドイツ北部での営業を行う予定であり、世界初の燃料電池鉄道の商業運転となる。
 Alstom plans to launch the world's first commercially operating fuel cell train, in northern Germany in 2018.
 ○シーメンス社も2021年を目標に運行を開始予定と発表。LRTでも、中国CRRC社が営業を開始している。
 Siemens has announced plans to begin such operations in 2021. Chinese CRRC has begun operations of an LRT.
 ○世界では鉄道メーカー主導で実用化に向けた開発が進められている。
 Railcar manufacturers are leading the push toward commercial operation worldwide.

計画名称	実施場所	概要	プロジェクトメンバー (リーダー*)	実施期間	FC容量
Coradia iLint 気動車 (試験運行中)	ドイツ、ニーダーザクセン州	ドイツの非電化鉄道において、大気汚染を削減するため、水素を活用した燃料電池車両の導入可能性・経済性の検討を実施し鉄道車両を開発。	<ul style="list-style-type: none"> ALSTOM* Hydrogenics Federal ministry of Transport and Infra. 	2015年～2016年 FS (2018年よりドイツで旅客営業を開始する計画)	400kW (200kW ×2基)
Mireo commuter train 気動車 (計画中)	未定	Siemensが開発した新型鉄道車両Mireoに対して、Ballard Power Systemsが200kWの燃料電池ユニットを新たに開発。プロジェクト総予算は約900万ドル(約10.2億円)。	<ul style="list-style-type: none"> Siemens* Ballard Power Systems 	2017年～ (車両導入は2021年を想定)	200kW
Hydrogen Tram LRT (試験走行中)	中国、広州高明地区	第12次五カ年計画に定める二酸化炭素排出量と大気汚染が少ない鉄道システムの開発のテーマの一環として、燃料電池路面電車の研究開発を実施している。	<ul style="list-style-type: none"> CRRC QINGDAO SIFANG* 	2015年試験走行 2017年下旬～2018年旅客運行開始予定	200kW
Hydrogen Supercapacitor Tram, LRT (商業運行中)	中国、河北省	第12次五カ年計画に定める二酸化炭素排出量と大気汚染が少ない鉄道システムの開発の一環として、燃料電池とキャパシターを組み合わせた低床LRTを開発。	<ul style="list-style-type: none"> CRRC Tangshan Railway * 	2015年～現在 (具体的計画未定)	200kW
Latvian Railways 入換機関車 (試験運行中)	ラトビア国内	ラトビア鉄道(Latvian Railways :LDZ)、チェコの鉄道車両製造会社CZ Loko ならびにBallard Power Systemsが燃料電池式ハイブリッド入換機関車と牽引機関車の製造に関するMoUを締結。2018年に試運転予定。	<ul style="list-style-type: none"> Latvian Railways* Ballard Power Systems CZ Loko 	2016年～	未定
Hydrogen Switcher 入換機関車 (試験走行中)	米国、ロサンゼルス	BNSF Reailwayが市街地の大気汚染と騒音問題解決のため、国防省からの助成をうけて燃料電池ハイブリッド駆動の入れ替え機関車(Switcher)の試験車両を製造した。	<ul style="list-style-type: none"> BNSF Railway* Vehicle Projects Brownback, R-Kan 	2008年～現在	300kW
Fuel Cell Tram 観光用路面電車 (商業運行中)	オランダ自治領西インド諸島アルバ、ドバイ、ドーハ	架線レスで観光地の景観を損なわない観光地向け燃料電池路面電車を開発・販売している。車両本体に加え水電解装置や水素充填ステーション、ターンキーサービスを提供する。	<ul style="list-style-type: none"> TIG/m* California Fuel Cell Partnership 	アルバ:2012～ ドバイ:2015年より試験運行 ドーハ:建設中	11kW

(出典) 各種資料からみずほ情報総研作成

ALSTOM Coradia iLint

■ プロジェクト概要	ALSTOMが地方鉄道向けに製造・販売しているディーゼル気動車のCoradia Lint 54を燃料電池で駆動する方式に変更することで開発した。2014年にドイツ交通省の助成のもと、開発を開始し、2017年に実際の線路で試験走行を実施した。
■ 車両概要	車両は2両編成で300人が乗車でき、燃料電池と蓄電池からの電力で最高時速は140km/hに達するとされる。1回の燃料補給で約400～600km走行可能である。燃料電池はHydrogenics製で出力400kWのPEFC型を採用している。
■ 今後のスケジュール	2018年にBuxtehude-Bremervörde-Bremerhaven-Cuxhaven間を商業運転開始予定

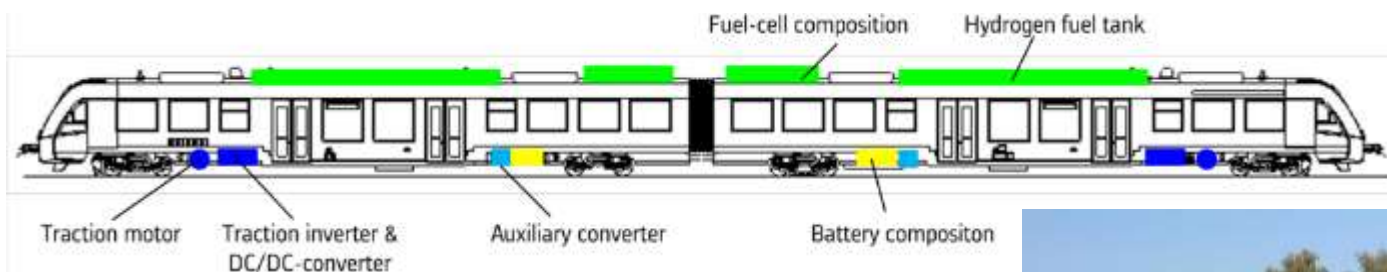


図 Coradia iLintの設計



図 Coradia iLintの外観

(出典)ALSTOM,“Coradia iLint – Product sheet- English”

Siemens Mireo commuter train

■ プロジェクト概要	MireoはSiemensが2016年に国際会議(InnoTrans 2016)で発表した新型鉄道車両であり、2017年2月にはドイツの鉄道会社DB Regioより3両編成×24式の発注を受けている。同年11月、Ballard Power SystemsはMireoの燃料電池化に関する技術開発プロジェクトをSiemensと共同で実施すると発表した。本プロジェクトの総予算は約900万ドル(約10.2億円)と発表されている。
■ 車両概要	Mireoの最高速度は時速160kmで、燃料電池はBallard Power Systems 社が新たに200kWのPEFC燃料電池ユニットを開発する。
■ 今後のスケジュール	燃料電池を搭載したMireoの導入開始は、2021年を想定。

(出典) Ballard Power Systemsプレスリリース(2017年11月14日)

CRRC Tangshan Railway Hydrogen Super-capacitor Tram

■ プロジェクト概要	中国CRRCグループのTangshan Railway(唐山機車車両有限公司)がキャパシター、蓄電池と燃料電池を組み合わせた低床LRTのプロトタイプを開発し、2016年に試験走行を行い2017年10月に商業運転を開始した。
■ 車両概要	Ballard Power Systems製の200kWの燃料電池を搭載している。最高速度は70km/hである。一回の水素充填で12kgの水素を充填することが可能で、40kmを走行可能である。発車時に必要な大出力は、燃料電池からキャパシターに充電した電力によって供給する。座席数は1編成あたり66席ある。
■ 今後のスケジュール	—

(出典)Ballard Power Systems "Fuel Cell for Rail Applications", 2017年5月

日本国内の事例

Demonstration Projects for Trains in Japan

- 日本では2006年より、JR東日本と鉄道技術総合研究所により、世界に先駆けて燃料電池を鉄道車両に利用する研究が行われてきた。

In Japan, JR east and Rail Technical Research Institute have been developing fuel cell powered railcars since 2006.

鉄道技術総合研究所による燃料電池鉄道車両開発プロジェクト概要

鉄道技術総合研究所は、2006年から省エネルギーや環境負荷低減を目的として、水素を燃料として発電する燃料電池を鉄道車両の電源に適用する研究のため、燃料電池・バッテリーハイブリッド試験電車を開発している。

JR東日本による燃料電池鉄道車両開発プロジェクト概要

JR東日本はディーゼルハイブリッド方式の開発により15%の燃費向上を達成したが、さらなる環境負荷の低減を達成するため、燃料電池ハイブリッド車両を試作した。これは燃料電池で駆動する鉄道車両を実際の線路において走行させた初めての例となっている。



図 鉄道技術総合研究所開発の燃料電池ハイブリッド試験車両

(出典)鉄道技術総合研究所

船舶における燃料電池の導入事例の紹介

Case Studies on Fuel Cell Systems Introduced to Ships

船舶の燃料電池活用事例

Case Studies of Fuel Cell Power Use by Ships

○船舶分野では、小規模な実用化はあるものの、ほとんどが実証プロジェクトの段階である。
 Most projects are at the demonstration stage, although there has been some small-scale commercialization in ship.

○対象は振動・騒音がない特性を生かした旅客船が多い。
 Most demonstration projects have been focusing on passenger ships leveraging the advantages of Fuel Cells that lack vibration and noise.

○一方、昨年より、快適性向上・環境性能向上のため、大型クルーズ船の推進機関や補助電源として燃料電池と液体水素を利用することを想定したプロジェクトが発表されている。
 Several projects were announced last year envisioning the use of fuel cells and liquid hydrogen for propulsion engines and auxiliary power on large cruise ships.

計画名称	実施場所	概要	プロジェクトメンバー(リーダー*)	実施期間	FC容量
Viking Lady オフショア支援船 (実証終了)	北海	Viking LadyはノルウェーのFellowSHIPプロジェクトのもとで建造されたオフショア支援船。北海における油ガス田開発に利用。	<ul style="list-style-type: none"> •Eidesvik Offshore* •Wartsila Ship Design •West Contractors 	2003年～現在	320kW
Zemship 小形旅客船 (実証終了)	ドイツ・ハンブルク (アルスター湖)	アルスター湖および運河において旅客目的で燃料電池船Zemshipの運航を行った。約5年間の運転で、延べ43,000人の乗客が利用。	<ul style="list-style-type: none"> •The Hamburg Ministry of Urban Development and Environment* •Proton Motor Fuel Cell •Linde 他 	2008年～2013年	48kW
New York Hornblower Hybrid 小形旅客船 (運行中)	米国、ニューヨーク州	ニューヨーク州のクルーズで使用するフェリーにディーゼルエンジン、電池、風力及び燃料電池のハイブリッド推進システムを搭載し、運航している。ディーゼルエンジン推進の補助として使用。	<ul style="list-style-type: none"> •Hornblower Cruises & Events* •Derecktor Shipyards 	2012年～現在	32kW
Royal Caribbean クルーズ船 (計画中)	未定	<ul style="list-style-type: none"> •世界最大規模のクルーズ船を保有する米国のRoyal Caribbeanが燃料電池システムをクルーズ船が港に係留している間のホテル電源として利用することを目的として推進。 	<ul style="list-style-type: none"> •Royal Caribbean* •Meyer Turku(造船所) •Ballard Power Systems •ABB Marine & Ports 	2016年10月～開発中	未定
Viking Cruises クルーズ船 (計画中)	北極圏を通るルートを運航するクルーズで使用予定	<ul style="list-style-type: none"> •2017年9月に旅客数900人級の燃料電池クルーズ船を建造する計画を発表し、液体水素を使用する燃料電池を推進システムとして搭載する計画。 •燃料電池クルーズ船の計画の中には液体水素のバンカリング船の開発も含まれている。 	<ul style="list-style-type: none"> •Viking Cruises* •Norwegian Maritime Authority 	2017年9月～開発中	24MW (未確定)
HYBRIDShips (計画中)	ノルウェー (詳細な場所は検討中)	水素を主要推進システムとするフェリーの運航を目的としている。将来、長距離運航が可能な船の開発のベースとなるデータ等の収集も目的としている。	<ul style="list-style-type: none"> •Fiskerstrand Holding* •Fiskerstrand Verft •Multi Maritime •NEL等 	2017年～2020年 (2020年にはフェリーの運航を目標としている)	検討中

(出典)各種資料よりみずほ情報総研作成

Zemships (FCS Alsterwasser)

■ プロジェクト概要	ドイツのハンブルグ市内にあるアルスター湖にて行われた、燃料電池船の実証プロジェクト。船舶は“FCS Alsterwasser”と名付けられ、2008年8月から2013年まで運航した。乗客数は延べ43,000人に達し、燃料電池の総運転時間は2,500時間であった。
■ 船体概要	乗客定員は100名の船体に48kWのProton Motor製PEFCを搭載。35MPaの水素タンクは合計で水素12kgの貯蔵容量があり、202kWhの鉛蓄電池を搭載。
■ 今後のスケジュール	既の実証は終了している。運航終了の理由は、水素供給事業者側の経済的な事情によるものとされる。

(出典) Proton Motor Fuel Cell GmbH “Fuel Cell Systems for Zero Emission Ships: Experience from Regular Line Operation” (2010年4月22日)

FellowSHIP project Viking Lady

■ プロジェクト概要	ノルウェーで2003年から実施されたFellowSHIPプロジェクトのもとで建造されたオフショア支援船で、2009年より運用され、北海における油ガス田開発に利用された。1.2億NOK(約17億円)の助成をノルウェー研究評議会やドイツ経済技術省等より受け、Eidesvik Offshore、Wartsila Ship Design、West Contractors等が実施した。
■ 船体概要	全長92.2m、全幅21m、総トン数6,100トンの100%電気推進船で主機関としてはLNG/ディーゼルのバイフューエルガスエンジン(約2MW)を4基搭載しており、船内の補助電源としてMCFC型燃料電池(320kW)を搭載
■ 今後のスケジュール	2012年に合計運転時間18,500時間に到達し、実証は終了している。

(出典)West Contractors公表資料

大型クルーズ船における取り組み

Initiatives for Large Cruise Ships

■ 欧州では大型クルーズ船の補助電源または主推進機関として燃料電池を利用する計画がある。

There are several attempts in Europe to use fuel cells for auxiliary power or propulsion on large cruise ships. Royal Caribbean announced a project in 2016 aimed at reducing gas emissions while ships are in ports.

プロジェクト実施者	実施場所	概要	プロジェクトメンバー (リーダー*)	実施期間	FC種類 (メーカー)	FC容量
Viking Cruises (計画中)	北極圏を通るルート を運航するクルーズ で使用予定	<ul style="list-style-type: none"> ・2017年9月に旅客数900人級の燃料電池クルーズ船を建造する計画を発表し、液体水素を使用し、燃料電池は推進システムとして搭載する計画。 ・燃料電池クルーズ船の計画の中には液体水素のバンカリング船の開発も含まれている。 	Viking Cruises* Norwegian Maritime Authority	2017年9月 ～開発中	不明	24MW (未定)
Royal Caribbean (計画中)	未定	<ul style="list-style-type: none"> ・世界最大規模のクルーズ船を保有する米国のRoyal Caribbeanは2016年に燃料電池クルーズを導入する方針を発表。 ・Ballardの100 kW PEM型燃料電池システム、FCvelocity®をABB Marine & Portsが船舶仕様に加工。 ・燃料電池システムはクルーズ船が港に係留している間のホテル電源として利用することを初期段階の目的としている。 	Royal Caribbean* Meyer Turku (造船所) Ballard Power Systems ABB Marine & Ports	2016年10月 ～開発中	Ballard	未定

(出典) Viking Cruises, "The future of maritime propulsion – VOC Fuel Cell R&D"

国内の事例

Demonstration Projects for Ships in Japan

- 日本では近年バッテリーと燃料電池を組み合わせた小型船舶の実証が行われており、東京オリンピックを目標に実用化を目指している。

Some battery hybrid fuel cell demonstrational ships were developed to commercialize fuel cell powered ships in target year 2020.

東京海洋大学「らいちょうN」プロジェクト概要

次世代水上交通システムの研究実験船として開発された燃料電池を搭載する電池推進船である。ツインドライブバッテリーシステム、シリーズハイブリッドシステム、B2Bシステム、遠隔操縦システム等の特徴とする実用レベルの電池・燃料電池推進船を開発した。

バスフロート船/シームレス実験船「神峰」プロジェクト概要

国土交通省海事局では、水素社会実現に向け、水素を燃料とする燃料電池船の安全ガイドライン策定に取り組んでおり、実験データに裏付けされた合理的な安全ガイドラインの策定のため、燃料電池・リチウムイオン電池推進船を開発した。



図 東京海洋大学「らいちょうN」外観
(出典)東京海洋大学



図 「神峰」外観
(出典)国土交通省プレスリリース資料

燃料電池の導入対象の車両・船舶と市場ポテンシャル

Trains and Ships Where Fuel Cell Systems Will Be Introduced, and Market Potential

燃料電池導入対象の車両・船舶の検討

Considerations for Trains and Ships Appropriate to Receive Fuel Cell Systems

- 日本において燃料電池の導入対象となりうる市場について、
The potential markets in Japan targeted for fuel cell adoption:
- 鉄道分野では、地方の非電化鉄道路線におけるディーゼル気動車の代替やLRT
Railways: LRT and alternatives to diesel railcars/switchers running on non-electrified regional railways
 - 船舶分野では、騒音・振動が少なく静粛であることが好まれる観光船・遊覧船に可能性がある。
Shipping: Sightseeing and pleasure boats where low noise and vibration and quiet operation is desired

鉄道分野における導入可能性 Potential for Application in Railways

①ディーゼル気動車/入換機関車 Diesel railcars/switchers



(出典)みずほ情報総研撮影

- 日本でも多数の地方路線で利用されている
- 排気ガスが大気汚染の原因となっている

②LRTの新規路線 New LRT lines



(出典)国土交通省ウェブページ

- 架線設備や変電書の初期投資の負担が非常に大きい
- 空中架線による景観悪化の問題がある

船舶分野における導入可能性 Potential for Adoption in Ships

観光船・遊覧船 Sightseeing and Pleasure Boats



(出典)みずほ情報総研撮影

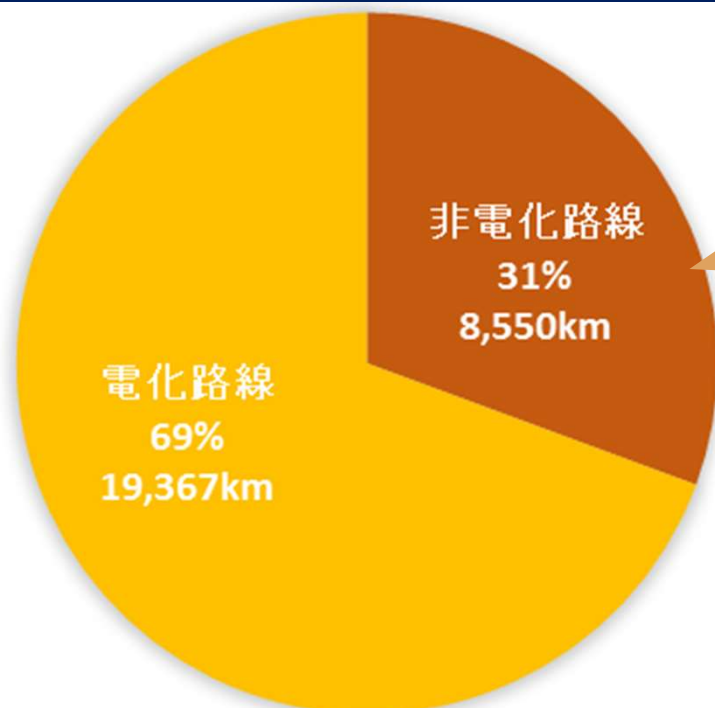
- 都市部の港湾・湖・河川で数多く利用され、大気汚染の原因となっている
- 船速よりも、騒音・振動が少なく、静粛であることが好まれる

ディーゼル気動車/入換機関車の市場ポテンシャル

Market Potential of Diesel Railcars/Switchers

- 日本の非電化路線の総延長は約8,550kmであり、日本の全鉄道網の31%を占める。
The total length of non-electrified railway track in Japan is about 8,550 km. This accounts for 31% of Japan's total rail network.
- 非電化路線で運行されている日本のディーゼル気動車の所属数はJR7社の合計が2,214両、その他（民鉄と第三セクター）が487両の合計約2,700両。ディーゼル機関車の場合はそれぞれ約100両の合計200両。
A total of about 2,700 diesel railcars operate on non-electrified lines in Japan, 2,214 by the seven JR companies and 487 by either private railways or third-sector operators. Each of the two general categories has about 100 diesel locomotives, totaling around 200.

日本の鉄道路線の非電化状況
Status of Japan's Non-electric Rail Lines



ディーゼル機関車・気動車保有状況
Diesel Locomotive/Railcar Stock

	JR7社の保有車両	その他鉄道会社の保有車両数
ディーゼル気動車	2,214両	487両
ディーゼル機関車	106両	94両

(出典)国土交通省鉄道統計年報、JR気動車客車編成表2017(ジェー・アール・アール編)、私鉄車両編成表2017(ジェー・アール・アール編)、JTB時刻表2017年4月(JTBパブリッシング)よりみずほ情報総研作成

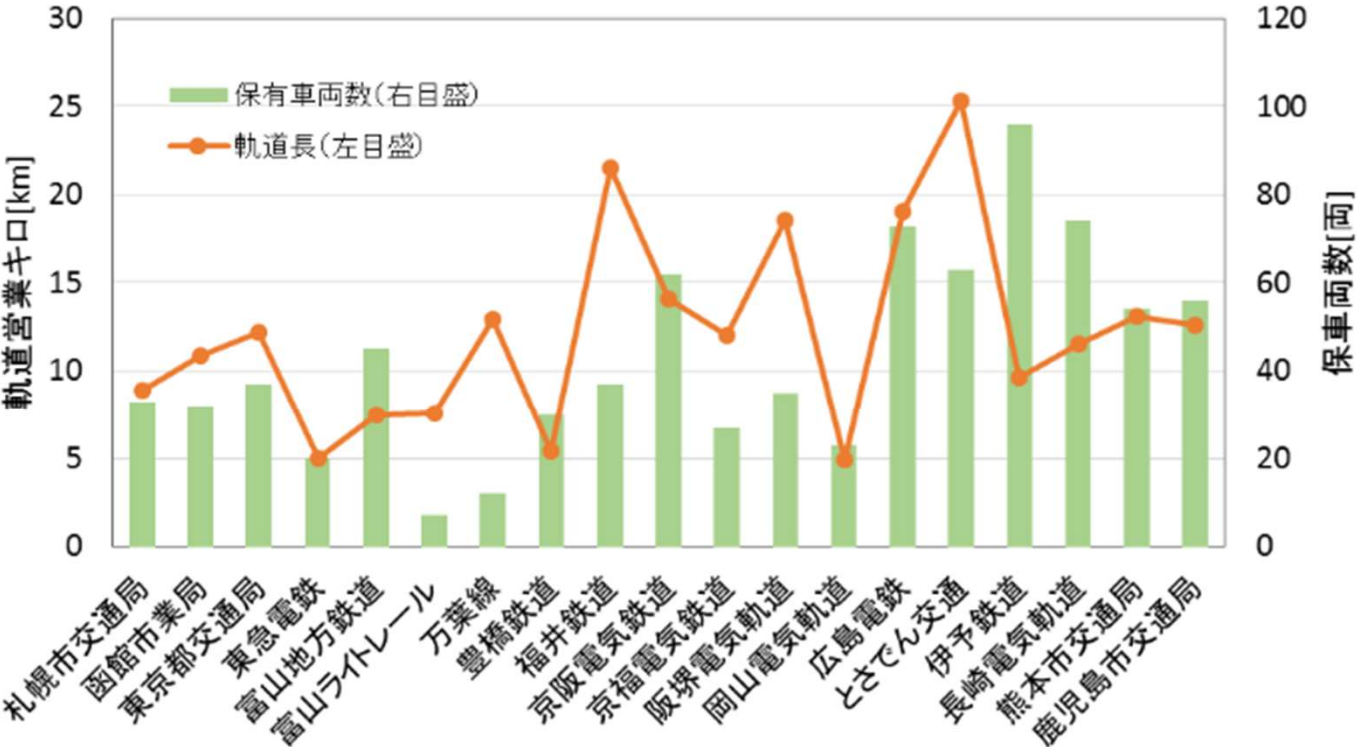
LRT・路面電車等の市場ポテンシャル

Market Potential of LRT/Trams

○日本におけるLRT・路面電車等の総営業キロは約240km、総車両数は約770両。
 Japan has a total of around 240 km of operating LRT/Tram lines that carry about 770 railcars.

○ LRT／路面電車は長距離の輸送を目的とした鉄道とは異なり、車両数に対して営業キロ数が短く、
 きわめて狭い範囲を往復する形で運行される。
 Unlike railways, whose objective is long-distance transportation, kilometer of track per railcar is short for LRT/Trams. They travel back and forth over short routes.

LRT／路面電車車両保有状況ならびに軌道営業キロ
 LRT/Streetcar Stock and Kilometers of Track



(出典) 国土交通省鉄道統計年報、各社ホームページよりみずほ情報総研作成

* 路面電車(軌道鉄道)の車両は、1編成を1両とする場合が通常であるが、長さによらつきがあるためここでは1車体を1両としてカウントしている。

船舶分野の市場ポテンシャル

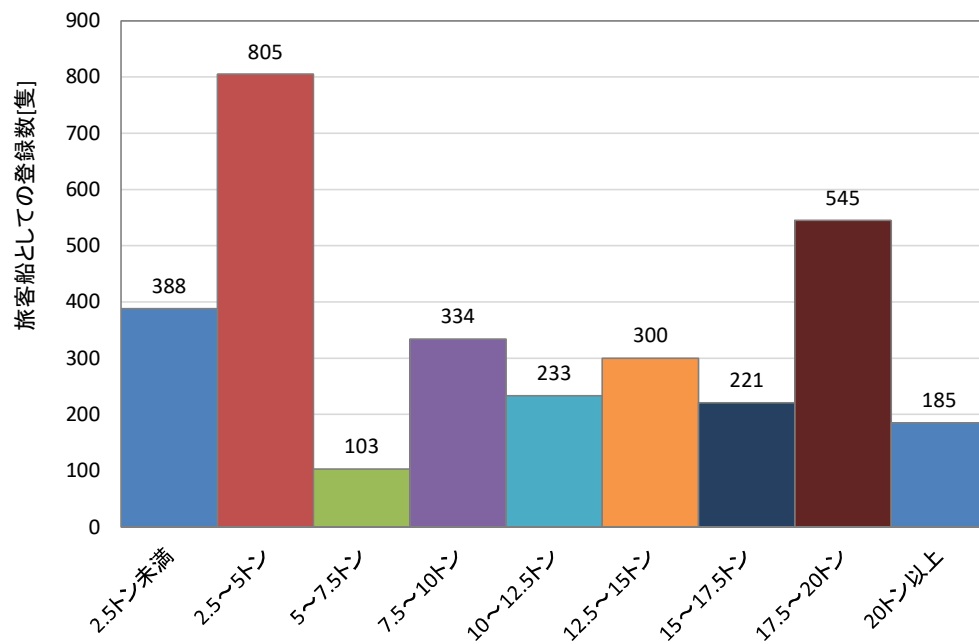
Market Potential of Ships

○日本において主に旅客目的の1,000トン未満の船舶は約3,200隻登録されている。旅客用の船舶の籍数は、2.5～5トンといった小形の船舶が最も多い。

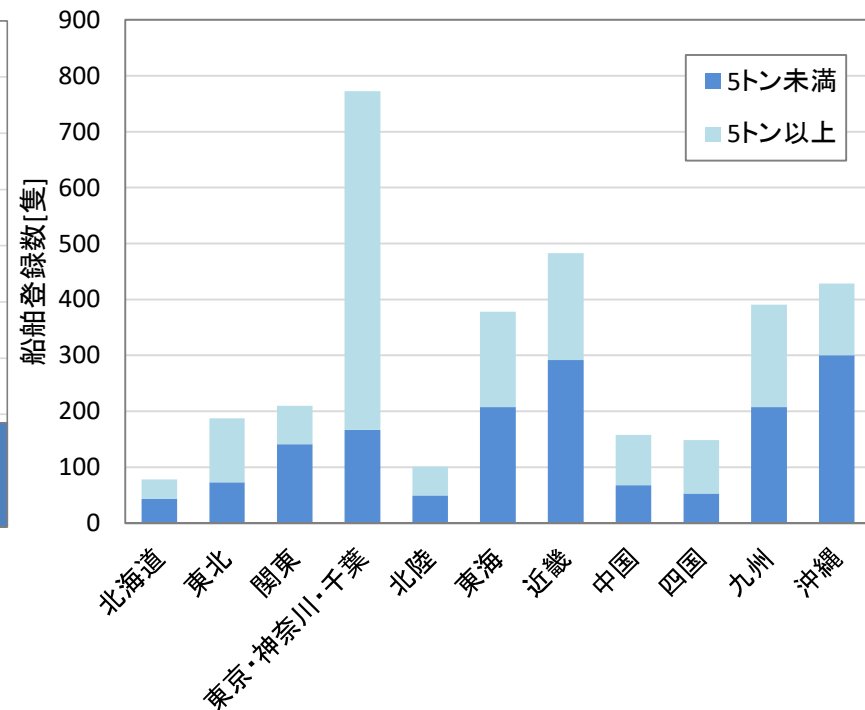
Japan has approximately 3,200 registered ships mainly used for passengers, totaling less than 1,000 tons. The most common tonnage of registered passenger ships is from 2.5 to 5.

○地域別では、東京湾の屋形船や観光船が最も多い。他にも、大都市近郊（近畿、東海）が続く。By region, Tokyo Bay has the largest number of pleasure and sightseeing boats. That follows the suburban metropolitan areas in Kinki and Tokai.

トン数別 旅客船登録数
No. of Registered Passenger Ships by Tonnage



地域・トン数別船舶登録数
No. of Registered Ships by Region and Tonnage



(出典) 国土交通省データ、フェリー・旅客船ガイド(2017年春季号)(日刊海事通信社)よりみずほ情報総研作成

燃料電池導入の経済性の検討

Discussion of Economic Viability of Introducing Fuel Cell Systems

ディーゼル気動車の前提条件①

Preconditions for Diesel Railcars (1)

- 導入の可能性が高く、市場が大きいディーゼル気動車を対象。
The target is diesel railcars, which constitute a large market and have high affinity with fuel cells.
- 初期投資と燃料代を含めたライフタイムコストでディーゼル駆動方式と比較した。
We compared the lifetime cost, including initial investment and fuel expenses, against diesel drive systems.
- 既存車両から内燃機関関係のコストを引いた価格に、燃料電池関係のコストを加えることで推計。
We made estimates by adding the cost of a fuel cell system to the cost of an existing train minus the cost of an internal-combustion engine.

燃料電池車両の車両価格想定方法 Method for Estimating Cost of fuel cell Railcar

燃料電車の
想定価格



ディーゼル気動車
の想定価格



燃料電池推進化した場合に
不要になる構成部品
の想定価格



ディーゼル気動車を燃料電池
車両にする場合に必要に
なる構成部品の想定価格

ディーゼル気動車の場合



想定スペック
最大出力330kW
全長約20m

(出典)みずほ情報総研撮影

燃料電池車両の場合



(出典)鉄道技術総合研究所

①燃料電池推進化した場合に不要になる構成部品

- ◆ディーゼルエンジン 9.0百万円/両
- ◆発電機 3.1百万円/両
- ◆燃料タンク 0.5百万円/両

②ディーゼル気動車を燃料電池化する場合に必要な構成部品

- ◆リチウムイオン電池(LIB) 5.0百万円/両
- ◆水素タンク 16.0百万円/両
- ◆燃料電池(定置用の場合) 162.6百万円/両
- ◆コンバータ 3.0百万円/両

(出典)ヒアリング、各種統計資料ならびに研究会での議論に基づき設定

【配布資料】ディーゼル気動車の前提条件②

Handout: Preconditions for Diesel Railcars (2)

○車両価格の算出方法の前提は次に示す通り設定した。
The preconditions for calculating rolling-stock prices were set as follows.

車両価格の想定 Rolling-Stock Price Estimation

①燃料電池駆動化によって不要となる部品価格を除く

項目	価格	単位	出典
ベース車両価格	150,000,000	円/両	国土交通省「鉄道車両生産動態統計」より設定
エンジン	-9,000,000	円/基	国土交通省「鉄道車両生産動態統計」より設定
発電機	-3,110,000	円/基	経済産業省「生産動態統計年報機械統計編」より設定
燃料タンク	-500,000	円/個	みずほ情報総研想定値
換装前価格	137,390,000	円/両	

②必要となる燃料電池システム等の価格を加算

項目	導入単位	価格	単位	出典
換装前価格	1両	137,390,000	円/両	
燃料電池システム(定置用を活用)	150kW	162,642,857	円/基	経済産業省「水素・エネルギー戦略」(2017)より算出
燃料電池システム(FCV用を活用)	150kW	8,409,750	円/基	IEA, "Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells" (2015)に基づき設定
水素燃料タンク	80kg-H ₂ 貯蔵量	16,000,000	円/基	NEDO「燃料電池ロードマップ2017」(2017)より設定
燃料電池チョッパ	1基	3,000,000	円/基	ヒアリングよりみずほ情報総研想定
リチウムイオン電池システム	40kWh	5,000,000	円/基	NEDO「蓄電池ロードマップ2013」(2013)よりハイブリッド自動車用の高出カリチウムイオン電池の価格を想定
燃料電池車両想定価格 (定置用燃料電池を活用した場合)	1両	324,032,857	円/両	
燃料電池車両想定価格 (FCV用燃料電池を活用した場合)	1両	169,799,750	円/両	
2030年想定燃料電池車両価格 (FCV用燃料電池を活用した場合)	1両	148,390,000	円/両	

【配布資料】ディーゼル気動車の前提条件③

Handout: Preconditions for Diesel Railcars (3)

- 運行条件等については次の通り設定した。
Operating and other conditions were set as follows.

燃料電池気動車運行条件等の想定 Estimation of Operating and Other Conditions for fuel cell Railcars

項目	想定値	単位	出典
① 想定路線長	66	km	非電化路線の平均路線長を採用
② 平均走行速度	30	km/h	現在蓄電池車両が走行しているJR烏山線の値をみずほ情報総研推定。ただし駅停車時のアイドリングも含む始発駅から終点駅までの平均時速とする。
③ 平均往復回数	2	回	みずほ情報総研想定値
④ 1日当たり走行距離	264	km	=①×2×③
⑤ 稼働時間	8.8	時間/日	=④÷②
⑥ 寿命走行距離	3,000,000	km	みずほ情報総研想定値
⑦ 車両寿命	30	年	ヒアリングより想定
⑧ FCスタック寿命	25,000	時間	ヒアリングより想定
⑨ リチウムイオン電池寿命	8	年	ヒアリングより想定
⑩ FCスタックが寿命を迎えるまでの走行距離	750,000	km	=⑧×②
⑪ FCスタックが寿命を迎えるまでの時間	7.8	年	=⑧÷⑤÷365
⑫ リチウムイオン電池寿命	8	年	=⑨÷⑤÷365
⑬ FCスタック交換回数	3	回	=⑪÷⑦
⑭ リチウムイオン電池交換回数	3	回	=⑫÷⑦
⑮ 水素タンク交換回数	1	回	法定耐用年数が15年であることから設定

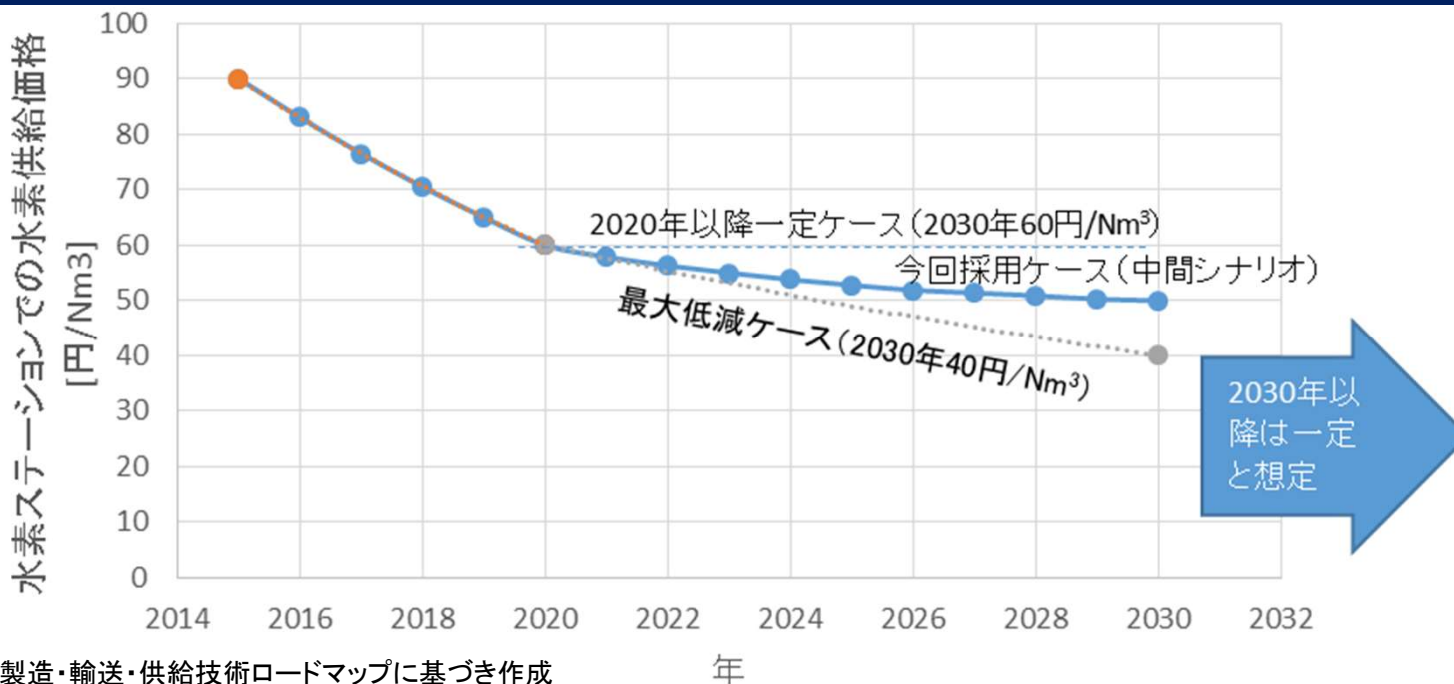
水素燃料価格の想定

Hydrogen Cost Preconditions

- 水素燃料コストは、水素ステーションにおける水素の供給価格であると想定し、NEDO水素製造・輸送・供給技術ロードマップを参考に将来低減を見込んだ。
Future hydrogen price at hydrogen stand for railcars/ships were estimated based on a roadmap presented by NEDO.
- 鉄道・船舶ともに30年の寿命があり、毎年の水素燃料単価は導入断面時点から徐々に低減していくことから、ライフタイム水素燃料コストは（1年間の水素消費量）×（その年の水素価格）の30年間の総和とした。なおディーゼル燃料については、将来も価格が一定であるものとした。
Through railcar/ship's operational periods, hydrogen price is expected to become lower. Therefore life-time hydrogen costs were calculated as the sum of [hydrogen price] × [annual hydrogen consumption] for lifetime years. Diesel fuel price was estimated as same as current price every year for the future.

本検討で採用した水素ステーションにおける水素供給価格の将来見通し

Hydrogen supply price estimation at hydrogen gas station for the future

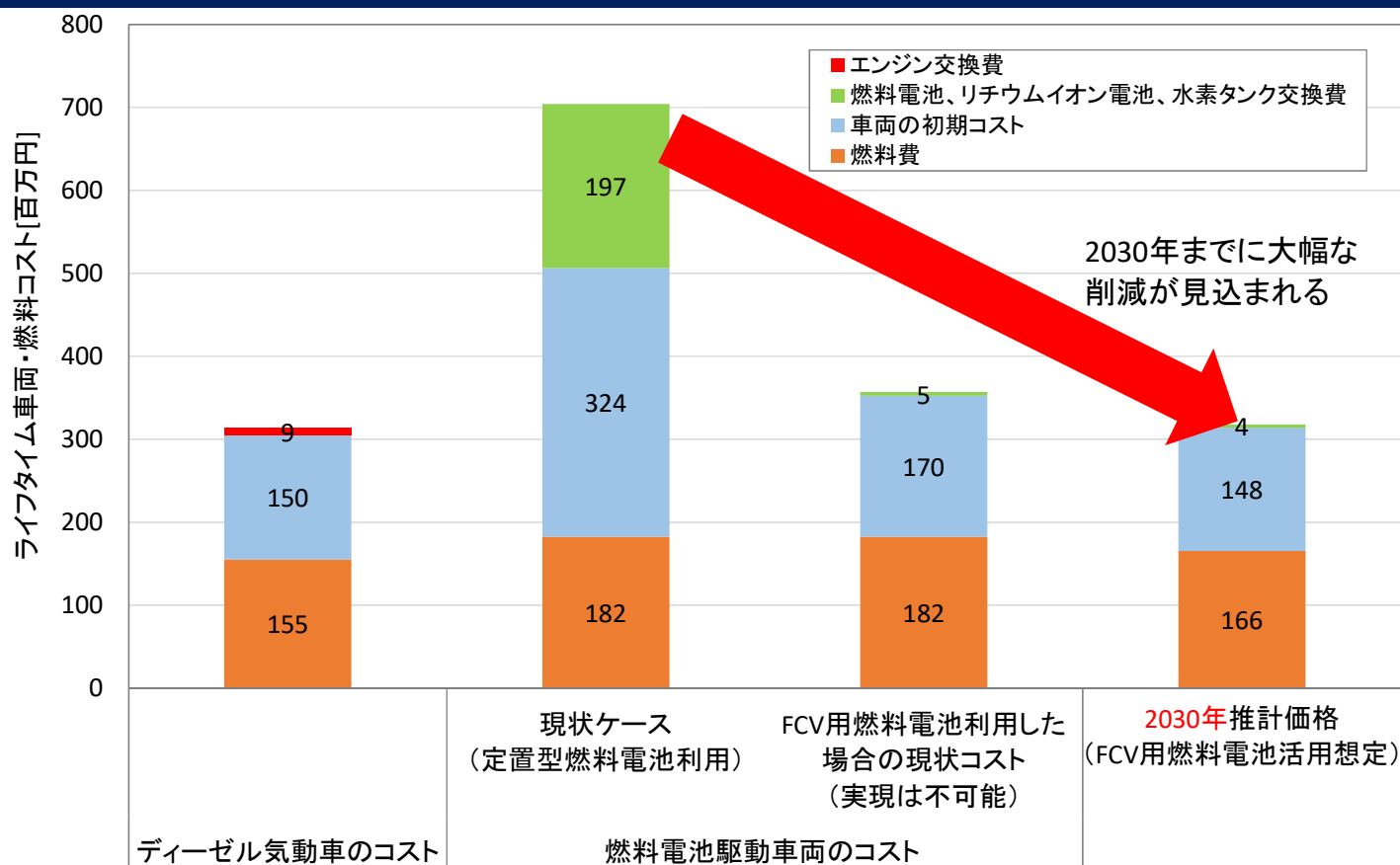


ディーゼル気動車のコスト分析結果

Cost Analysis of Diesel Railcars

- 現状では、燃料電池（定置型燃料電池）を利用する場合にはディーゼル気動車の2倍のコストの水準になる。
Currently, using stationary fuel cells would cost on the order of double that of a diesel railcar.
- ただし、自動車用燃料電池を使用した場合や2030年時点では、現状のコストと変わらない水準。
It would be on the same order as the current cost if automotive fuel cells were used or fuel cell system price plummeted by 2030.
- 自動車と同様に、回生ブレーキによる燃費向上が大きく寄与し、燃料費が抑えられる。
Regenerative braking contributes to improving fuel efficiency, as with automobiles, holding down fuel expenses.

ディーゼル気動車の経済分析結果 Economic Analysis of Diesel Railcars



燃料電池船の前提条件

Preconditions for Fuel Cell Pleasure Boats and Buses

○屋形船と水上バスの両者について経済性評価を実施する際には、ヒアリングで得た実際の船のスペックに基づき、燃料電池等の仕様を決定した。

We assessed the economic viability of pleasure boats and water buses based on specifications and operating patterns obtained through interviews.

屋形船タイプの船舶の想定



(出典)みずほ情報総研撮影

①屋形船タイプの場合

- ◆20トン級屋形船
- ◆エンジン出力200馬力(147kW)

燃料電池化した場合の想定

- ◆リチウムイオン電池80kWhを搭載
 - ◆燃料電池50kWを搭載
 - ◆燃料タンク容量30kg-H₂(35Mpa)
- 水素補給なく1往復(2時間+捕機のみ稼動2時間)航行できるタンク容量を想定。リチウムイオン電池に充電した電力と燃料電池で発電した電力で航行すると想定。

水上バスタイプの船舶の想定



(出典)みずほ情報総研撮影

②水上バスタイプの場合

- ◆54トン級船舶
- ◆エンジン出力1,000馬力(735kW)

燃料電池化した場合の想定

- ◆リチウムイオン電池100kWhを搭載
 - ◆燃料電池500kWを搭載
 - ◆燃料タンク容量200kg-H₂(35Mpa)
- 水素補給なく1日7時間航行できるタンク容量を想定。

燃料電池屋形船の前提条件①

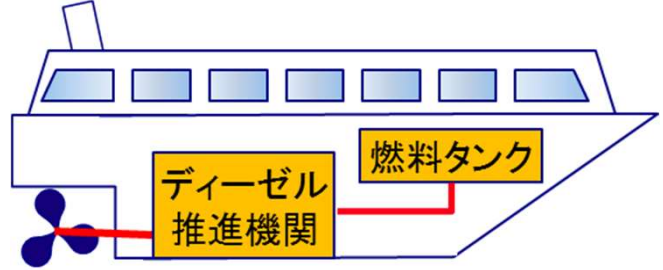
Handout: Preconditions for fuel cell Pleasure Boats (2)

○鉄道と同様に、初期投資と燃料代を含めたライフタイムコストで経済性を分析した。
 We calculated the lifetime cost, including initial investment and fuel expenses, as done with trains based on preconditions obtained through interviews

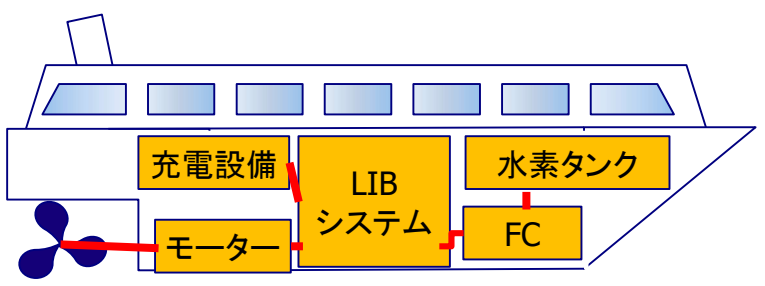
屋形船の場合の船舶価格の想定 Method for estimating costs in pleasure boats

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{燃料電池船の} \\ \text{想定価格} \\ \hline \end{array}
 =
 \begin{array}{|c|} \hline \text{ディーゼル船の} \\ \text{想定価格} \\ \hline \end{array}
 -
 \begin{array}{|c|} \hline \text{燃料電池推進船にした} \\ \text{場合に不要になる構成部品} \\ \text{の想定価格} \\ \hline \end{array}
 +
 \begin{array}{|c|} \hline \text{ディーゼル推進船を燃料電池} \\ \text{推進船にする場合に必要に} \\ \text{なる構成部品の想定価格} \\ \hline \end{array}$$

ディーゼル屋形船の場合



燃料電池屋形船の場合



①燃料電池推進船にした場合に不要になる構成部品
 ◆ディーゼル推進機関 2.2百万円/隻

②ディーゼル推進船を燃料電池推進船にする場合に必要になる構成部品

◆モーター	5.4百万円/隻
◆リチウムイオン電池(LIB)	10.0百万円/隻
◆水素タンク	6.0百万円/隻
◆燃料電池(定置用の場合)	44.4百万円/隻
◆インバータ	1.5百万円/隻
◆コンバータ	3.0百万円/隻
◆充電器	5.1百万円/隻

(出典)ヒアリング、各種統計資料ならびに研究会での議論に基づき設定

【配布資料】燃料電池屋形船の前提条件②

Handout: Preconditions for fuel cell Pleasure Boats (2)

○船舶価格の算出方法については次の通り。
The method for calculating the costs concerning ships was as follows.

屋形船価格の想定 Price Estimation for Pleasure Boats

①燃料電池駆動化によって不要となる部品価格を除く

項目	価格	単位	出典
ディーゼル屋形船価格	100,000,000	円/隻	国土交通省「造船造機統計」および事業者ヒアリングより20GTのJCI船として想定
エンジン	-2,205,000	円/隻	国土交通省「造船造機統計」より想定
換装前価格	97,795,000	円/隻	

②必要となる燃料電池システム等の価格を加算

項目	導入単位	価格	単位	出典
換装前船体価格	1隻	97,795,000	円/隻	
燃料電池システム(定置用を活用)	50kW	44,392,857	円/基	経済産業省「水素・エネルギー戦略」(2017)より算出
燃料電池システム(FCV用を活用)	50kW	2,803,250	円/基	IEA, "Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells" (2015)に基づき設定
充電機器(48kW)	1基	5,100,000	円/隻	近畿経済産業局「電池駆動船説明書(かがやき)」を参考に設定
推進機関	1基	5,400,000	円/隻	近畿経済産業局「電池駆動船説明書(かがやき)」を参考に設定
コンバータ	1基	3,000,000	円/隻	ヒアリングより設定
水素燃料タンク(35Mpa相当)	30kg-H ₂	6,000,000	円/隻	NEDO「燃料電池ロードマップ2017」(2017)に基づき設定
リチウムイオン電池システム	80kWh	10,000,000	円/隻	NEDO「蓄電池ロードマップ2013」(2013)よりハイブリッド自動車用の高出力リチウムイオン電池の価格を想定
インバータ	1基	1,500,000	円/隻	ヒアリングより設定
燃料電池屋形船想定価格 (定置用燃料電池を活用した場合)	1隻	171,687,857	円/隻	
燃料電池屋形船低価格 (FCV用燃料電池を活用した場合)	1隻	130,098,250	円/隻	
燃料電池屋形船低価格 2030年断面 (FCV用燃料電池を活用した場合)	1隻	115,495,000	円/隻	

【配布資料】燃料電池屋形船の前提条件③

Handout: Preconditions for fuel cell Pleasure Boats (3)

- 屋形船は稼働時間が短く、燃料消費量が少ないことが特徴。
Pleasure boats feature short operating times and low fuel consumption.

燃料電池屋形船運行条件等の想定 Estimations for Operation and Other Conditions for Fuel Cell Powered Pleasure Boats

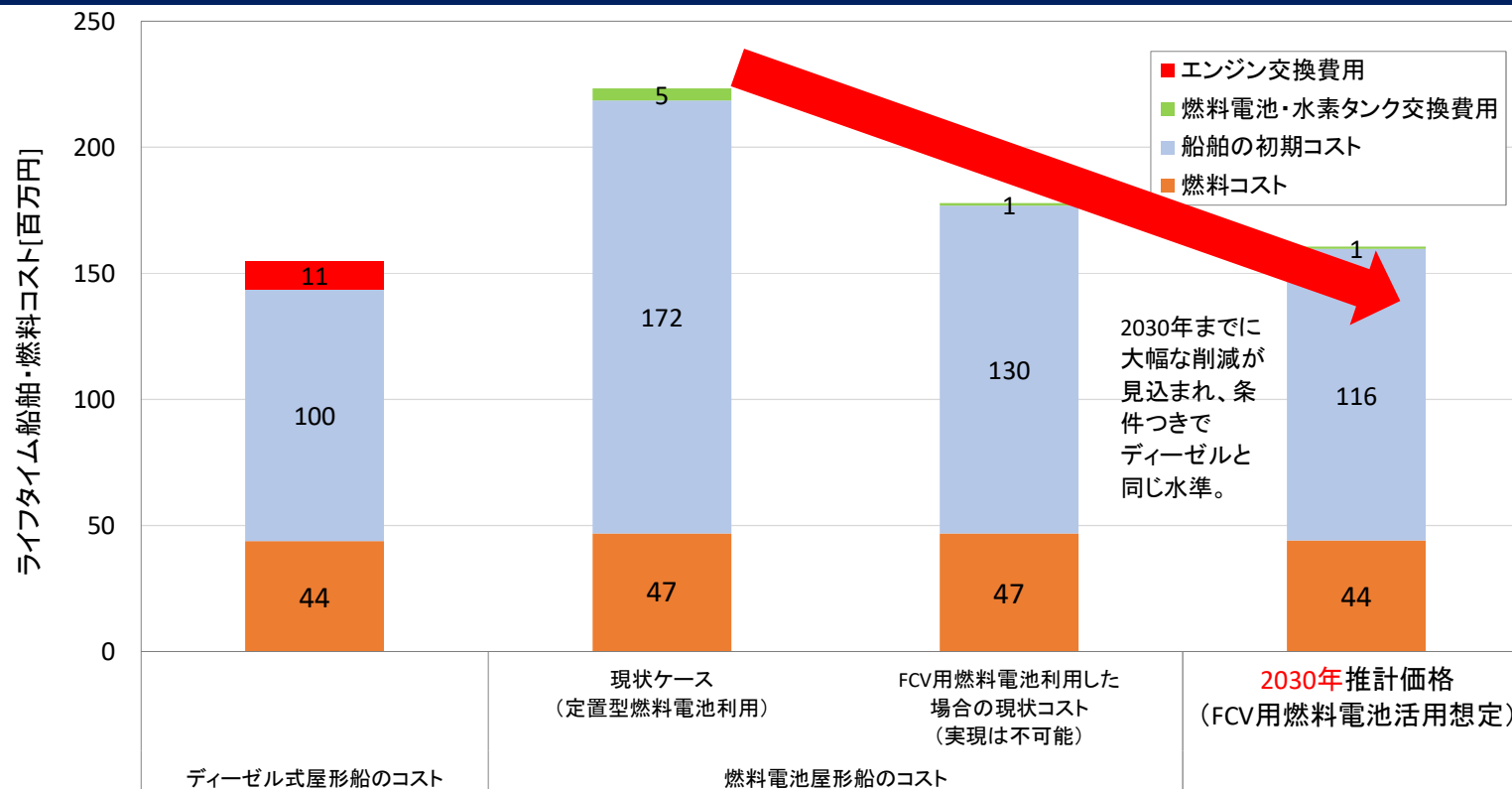
項目	想定値	単位	出典
① 1回出航あたり航行時間	2	時間/回	ヒアリングに基づき設定
② 補機使用時間(停泊中)	2	時間/回	ヒアリングに基づき設定。燃料電池で発電し余剰はリチウムイオン電池に充電と想定。
③ 年間出航回数	250	回/年	ヒアリングに基づき設定
④ 燃料電池稼働時間	1,000	時間/年	$= (① + ②) \times ③$
⑤ 燃料電池スタック寿命	25,000	時間	ヒアリングに基づき設定
⑥ リチウムイオン電池寿命	12,000	充放電	市販のリチウムイオン電池の諸元に基づきみずほ情報総研想定
⑦ 船舶寿命	30	年	ヒアリングより想定
⑧ 燃料電池スタックが寿命を迎えるまでの年数	25	年	$= ⑤ \div ④$
⑨ リチウムイオン電池寿命	48	年	$= ⑥ \div ③$
⑩ FCスタック交換回数	1	回	$= ⑦ \div ⑧$
⑪ リチウムイオン電池交換回数	0	回	リチウムイオン電池寿命が船舶寿命より長いいため交換なし
⑫ 水素タンク交換回数	1	回	法定耐用年数15年であることから設定

屋形船燃料電池駆動化のコスト評価

Cost Assessment of Converting Pleasure Boats to Fuel Cell Drive Systems

- 屋形船は、現状では、燃料電池（定置型燃料電池）を利用する場合にはディーゼル屋形船の約1.4倍のコストの水準になるが、2030年時点では、現状のコストと変わらない水準。
Currently, using stationary fuel cells would cost about 1.4 times more than with a diesel pleasure boats. But by 2030, the cost would be unchanged from its current level.
- なお、鉄道と異なり、回生エネルギーが使用できないため、燃料費削減対策として、速力を1割低減（燃料費の3割を低減。）
Unlike trains, regenerative energy cannot be used. For this reason, speed would be reduced 10% to save fuel expenses by 30%.

燃料電池屋形船の経済分析結果 Economic Analysis of a Fuel Cell Powered Pleasure Boat

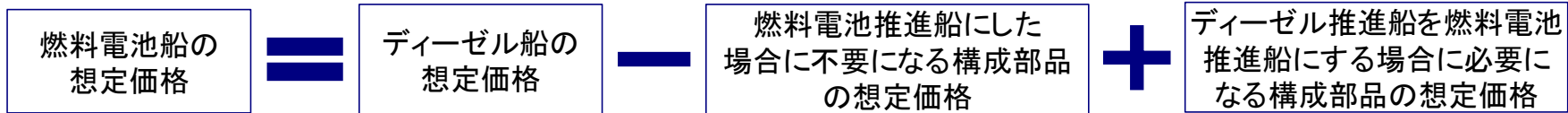


水上バスの前提条件①

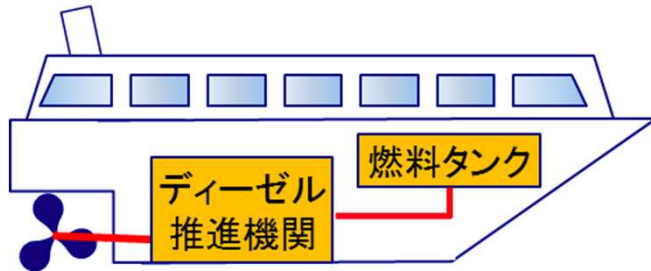
Preconditions for Fuel Cell Powered Water Buses (1)

- 水上バスの場合のコストの想定は屋形船と同様に次の通り設定した。
We calculated the lifetime cost, including initial investment and fuel expenses, based on preconditions obtained through interviews, as done with pleasure boats
- 水上バスの場合、充電時間を考慮するとリチウムイオン電池への充電は現実的でないことから、100%燃料電池からの電力で運行するものと想定している。
In case of a water buss, it is not realistic to charge the lithium ion battery in consideration of the charging time, it is assumed that it runs with only electric power from fuel cell.

水上バスの場合の船舶価格の想定 Method for estimating costs in water buses

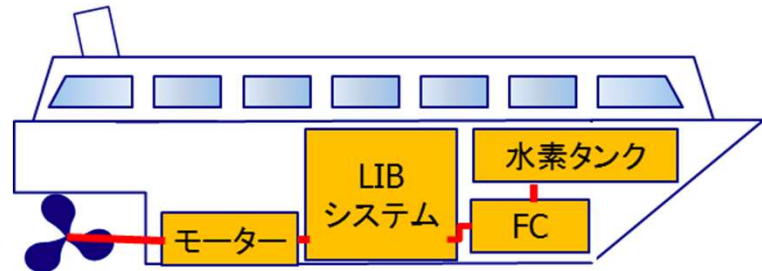


ディーゼル水上バスの場合



- ①燃料電池推進船にした場合に不要になる構成部品
- ◆ディーゼル推進機関 2.2百万円/隻

燃料電池水上バスの場合



- ②ディーゼル推進船を燃料電池推進船にする場合に必要になる構成部品
- ◆モータ 5.0百万円/隻
 - ◆リチウムイオン電池(LIB) 12.5百万円/隻
 - ◆水素タンク 40.0百万円/隻
 - ◆燃料電池(定置用の場合) 443.9百万円/隻
 - ◆インバータ 15.0百万円/隻
 - ◆コンバータ 30.0百万円/隻

(出典)ヒアリング、各種統計資料ならびに研究会での議論に基づき設定

【配布資料】燃料電池水上バスの前提条件②

Handout: Preconditions for fuel cell Powered Water Buses (2)

- 屋形船に加え、比較的大型の水上バスについても経済分析を実施。初期投資と燃料代を含めたライフタイムコストで計算。
In addition to pleasure boats, we performed an economic analysis of water buses. We calculated lifetime costs, including initial investment and fuel expenses.
- 屋形船のケースと同様に既存船舶の内燃機関コストを除き、燃料電池に置き換える。
As with the case of pleasure boats, we deducted the cost of the internal-combustion engine from the cost of an existing vessel, and replaced it a fuel cell system.

燃料電池水上バス価格の想定 Cost Estimation of a Fuel Cell Powered Water Bus

①燃料電池駆動化によって不要となる部品価格を除く

項目	価格	単位	出典
ディーゼル水上バス船体価格	162,000,000	円/隻	国土交通省「造船造機統計」およびヒアリングより想定(300万円/トン)
エンジン	-11,032,500	円/隻	国土交通省「造船造機統計」およびヒアリングより想定
換装前価格	150,967,500	円/隻	

②必要となる燃料電池システム等の価格を加算

項目	導入単位	価格	単位	出典
換装前船体価格	1隻	150,967,500	円/隻	
燃料電池システム(定置用を活用)	500kW	443,928,571	円/基	経済産業省、「水素・エネルギー戦略」(2017)より算出
燃料電池システム(FCV用を活用)	500kW	28,032,500	円/基	IEA, "Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells"(2015)に基づき設定
推進機関(電動機)	500kW	5,000,000	円/隻	経済産業省「生産動態統計年報機械統計編」より設定
水素燃料タンク(35Mpa相当)	200kg-H ₂	40,000,000	円/隻	NEDO燃料電池ロードマップ2010に基づき設定
コンバーター	1基	30,000,000	円/隻	ヒアリングより設定
インバーター	1基	15,000,000	円/隻	ヒアリングより設定
リチウムイオン電池システム	100kWh	12,500,000	円/隻	NEDO「蓄電池ロードマップ2013」(2013)よりハイブリッド自動車用の高出力リチウムイオン電池の価格を想定
燃料電池屋形船想定価格 (定置用燃料電池を活用した場合)	1隻	697,396,071	円/隻	
燃料電池屋形船低価格 (FCV用燃料電池を活用した場合)	1隻	281,500,000	円/隻	
燃料電池車両槽低価格2030 (FCV用燃料電池を活用した場合)	1隻	210,967,500	円/隻	

【配布資料】燃料電池水上バスの前提条件③

Handout: Preconditions for Fuel Cell Powered Water Buses (3)

○水上バスの運行条件等については次の通り設定した。
Operation and other conditions for water buses were set as follows.

燃料電池水上バス運行条件等の想定 Estimation of Operation and Other Conditions for fuel cell Powered Water Buses

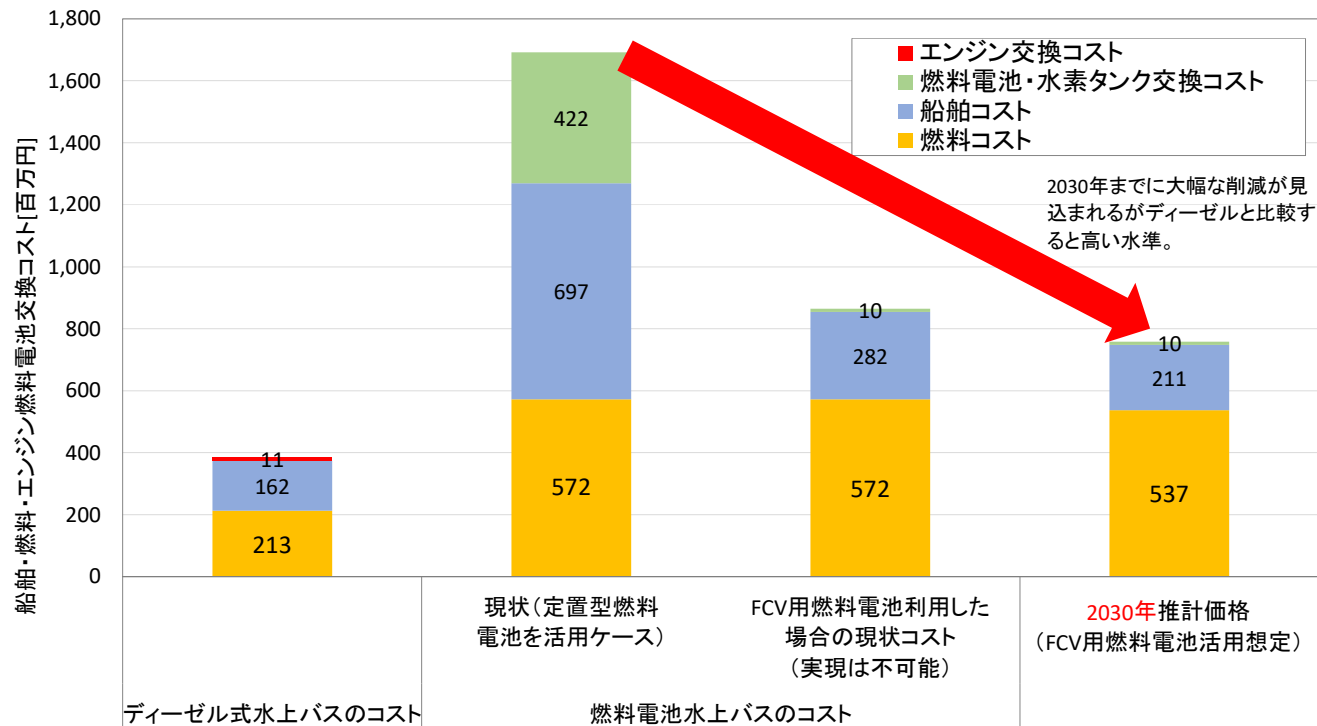
	項目	想定値	単位	出典
①	1回出航あたり航続時間	7	時間/日	ヒアリングより設定
②	年間出航回数	324	回/年	ヒアリングより設定
③	燃料電池稼働時間	2,268	時間/年	=①×②
④	燃料電池スタック寿命	25,000	時間	ヒアリングに基づき設定
⑤	リチウムイオン電池寿命	12,000	充放電	市販のリチウムイオン電池の諸元に基づきみずほ情報総研想定
⑥	船舶寿命	30	年	ヒアリングより想定
⑦	燃料電池スタックが寿命を迎えるまでの年数	11	年	=④÷③
⑧	リチウムイオン電池寿命	37	年	=⑤÷②
⑨	FCスタック交換回数	2	回	=⑥÷⑦
⑩	リチウムイオン電池交換回数	0	回	リチウムイオン電池寿命が船舶寿命より長いため交換なし
⑪	水素タンク交換回数	1	回	法定耐用年数15年であることから設定

燃料電池水上バスのコスト評価結果

Cost Assessment of Fuel Cell Powered Water Buses

- 屋形船と比較して高コストとなる傾向。理由は以下の通り考えられる。
 They tend to cost more than pleasure boats. Possible reasons:
- ① 1日7時間、週6日運行と高稼働のためライフタイム（30年間）で2回の燃料電池交換が必要。
 They have high operation rates (7hours per day, 6 days per week), and require the fuel cells to be replaced twice over the lifetime of the vessel (30 years).
 - ② 主機関が高出力（1000馬力）なため、燃料電池のコストが非常に高くなる。
 The fuel cells are costly due to the high output (1,000 horsepower) of the main engine.
 - ③ 主機関が高出力なため、燃料の水素の消費量が多い。
 The high-output main engine consumes large amounts of hydrogen fuel.
 - ④ 鉄道と異なり、回生エネルギーが使用できない。Unlike railways, regenerative energy cannot be used.

燃料電池水上バスの経済分析結果 Economic Analysis of Fuel Cell Powered Water Buses



コスト分析のまとめ

Conclusions of Cost Analysis

- 鉄道は、回生エネルギーが使用できることから、将来的には十分、内燃機関と同等の経済性が確保できる。
There is a significant possibility that fuel cell systems on trains will have the same level of economic viability as internal-combustion engines in the future, because they can use regenerative energy.
- 船舶は、屋形船のように速力が遅い船であれば経済性があるが、馬力のある水上バスは、更なる削減が必要である。
Although fuel cells on ships are economical on slower vessels like pleasure boats, further cost reductions are needed on vessels like water buses with high-horsepower engines.
- 他方、今回の分析では、燃料電池の効率を将来も一定としたが、水素燃料電池の効率向上が進展すれば水素価格が低減しなくても燃料費の削減が可能であり、技術の進歩とともに水素燃料電池船の経済性が改善することもありうる。

経済性分析結果一覧 Results of Analysis of Economic Viability

	現状	2030年時点	課題と改善可能性
燃料電池鉄道車両	△ 現状ではディーゼルの 1.4~2倍	○ 同条件の運行形態でディーゼル 方式に匹敵するコスト水準	<ul style="list-style-type: none"> ・ディーゼルとまったく同一の運行条件において、2030年に同程度のコストを達成 ・燃料電池の発電効率向上があればさらに経済性向上が可能
燃料電池屋形船	△ 現状ではディーゼルの 1.1~1.4倍 初期投資が課題	○ 条件付でディーゼル方式と 同等のコストを達成 燃料費の更なる削減や同じ運行 条件での経済性成立が課題	<ul style="list-style-type: none"> ・蓄電池に充電した電力の活用や運行速度の工夫により2030年にディーゼルと同等の水準 ・燃料電池の発電効率向上があればさらに経済性向上が可能
燃料電池水上バス	▲ 現状ではディーゼルの2~ 4倍。初期投資と燃料費の 両面で課題	△ コスト低減見通しを考慮しても ディーゼル比較で燃料費が2倍 初期投資も1.3倍値度	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の将来見通しではディーゼル駆動に対してコスト競争は困難 ・更なる技術革新や運行形態の大幅な変更が必要

燃料電池導入による環境負荷の低減効果

Lessening environmental impact from fuel cell systems' introduction

ディーゼル気動車と燃料電池車両の環境性能比較

Comparison of Environmental Performance of Diesel vs. Fuel Cell Railcars

- 地球温暖化対策として、再生可能エネルギーを利用した水電解による水素を活用することでディーゼル気動車の燃料電池化によるCO2削減効果は、年間約1万km走行するガソリン車約100台分となる。

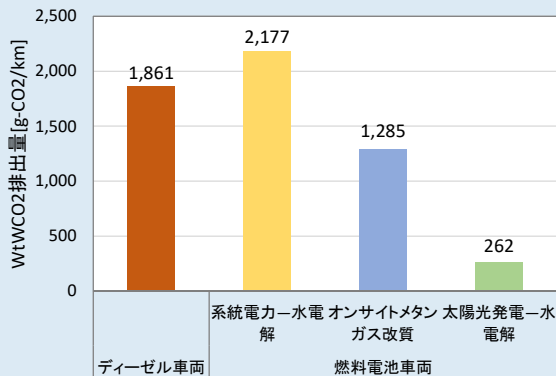
As a global warming countermeasure, converting a diesel railcar to fuel cell power -- running on hydrogen produced by water electrolysis using renewable energy -- would reduce CO2 emissions by an amount equivalent to that produced by about 100 gasoline automobiles traveling about 10,000 km (average in Japan) a year.

- 大気汚染対策としては、NOxではガソリン自動車約1.6万台分、SOxでは6.9万台分に相当する極めて大きな削減効果が得られる。

It would have an extremely large effect as an air-pollution countermeasure. NOx would be cut by an amount equivalent to that produced by 16,000 gasoline automobiles, and SOx by 69,000 such automobiles.

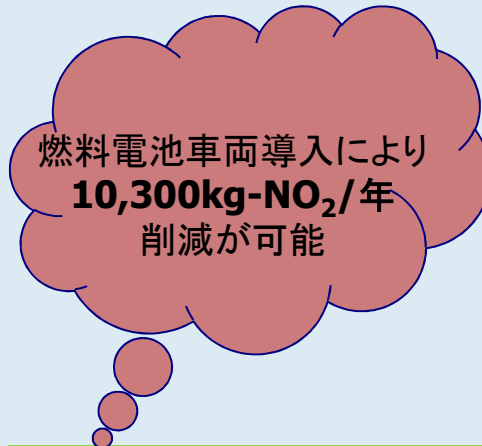
CO2削減効果 CO₂ Reduction

Well-to-Wheelによる削減効果は水素製造方法によって+0.3~▲1.6kg-CO₂/kmの水準



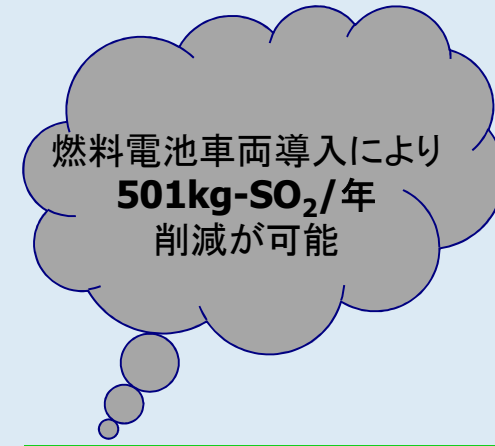
再生エネルギー由来の水素を利用すればガソリン自動車約**100台分**の削減効果

NOx削減効果 NOx Reduction



ガソリン自動車約**1.6万台分**の削減効果

SOx削減効果 SOx Reduction



ガソリン自動車約**6.9万台分**の削減効果

注) SOxについてはガソリン乗用車のJC08モード燃費21.6km/L (出典: 環境省)、年間平均走行距離は10,575km (出典: 国土交通省「自動車の使用実態」) ガソリンの硫黄含有量を10ppmとして算出。NOxについてはガソリン車の排出量を0.06g/km・台 (EURO 6 相当) として換算。

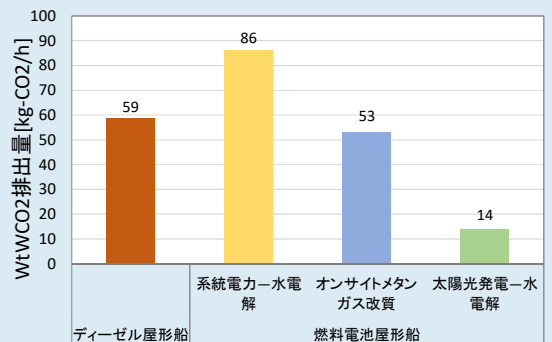
ディーゼル屋形船と燃料電池屋形船の環境性能比較

Comparison of Environmental Performance of Diesel vs. fuel cell Pleasure Boats

- 地球温暖化対策として、再生可能エネルギーを利用した水電解による水素を活用することでディーゼル屋形船の燃料電池化によるCO2削減効果は、年間約1万km走行するガソリン車約40台分となる。
As a measure against global warming, converting a diesel pleasure boat to fuel cell power -- running on hydrogen produced by water electrolysis using renewable energy -- would reduce CO2 emissions by an amount equivalent to that produced by about 40 gasoline automobiles traveling about 10,000 km a year.
- 大気汚染対策としては、NOxではガソリン自動車約0.2万台分、SOxでは1.1万台分に相当する極めて大きな削減効果が得られる。
Such conversion would have an extremely large effect as anti-air pollution measure. NOx would be cut by an amount equivalent to that produced by about 2,000 gasoline automobiles, and SOx by 11,000 such automobiles.

CO2削減効果 CO2 Reduction

Well-to-Propellerによる削減効果は水素製造方法によって+27~▲45kg-CO2/hの水準



再エネ由来水素を利用すればガソリン自動車約40台分の削減効果

NOx削減効果 NOx Reduction

燃料電池屋形船導入により
1,300kg-NO₂/年
削減が可能

ガソリン自動車約**2,200台分**の削減効果

SOx削減効果 SOx Reduction

燃料電池屋形船導入により
80kg-SO₂/年
削減が可能

ガソリン自動車**1.1万台分**の削減効果

注) SOxについてはガソリン乗用車のJC08モード燃費21.6km/L (出典: 環境省)、年間平均走行距離は10,575km (出典: 国土交通省「自動車の使用実態」) ガソリンの硫黄含有量を10ppmとして算出。NOxについてはガソリン車の排出量を0.06g/km・台 (EURO 6 相当) として換算。

環境負荷の低減効果のまとめ

Conclusions on Reduction to Environmental Impact

- 再生エネルギー由来水素の使用によりガソリン車に換算して鉄道車両1両当たり約100台分、屋形船では約40台分の大きなCO2削減効果が見込める。
Using hydrogen derived from renewable energy would reduce CO₂ by an amount equivalent to that produced by about 100 gasoline automobiles for one railcar, and about 40 for one pleasure boat.
- また、大気汚染物質の削減効果は目覚ましく、燃料電池駆動化により、NO_xではガソリン車0.2～1.6万台分、SO_xでは1.1～6.9万台分の大幅な削減効果が得られる。
It would also have a remarkable effect on air pollutants, reducing them substantially: converting to a fuel cell drive would reduce NO_x emissions by an amount equivalent to that produced by 2,000 to 16,000 gasoline automobiles, and SO_x by 11,000 to 69,000.

環境負荷低減効果結果一覧

	CO2削減効果	NO _x 削減効果*	SO _x 削減効果*
燃料電池鉄道車両 ケース	再エネ由来水素利用でガソリン車 100台分 の削減	ガソリン車 16,000台 分の削減	ガソリン車 69,000台 分の削減
燃料電池屋形船 ケース	再エネ由来水素利用でガソリン車 40台分 の削減	ガソリン車 2,200台分 の削減	ガソリン車 11,000台 分の削減



燃料電池駆動方式は燃料次第ではあるもののCO2削減効果が大きく
NO_xやSO_xといった大気汚染物質の削減効果は1両の車両あるいは
1隻の船の導入でガソリン自動車数万台分と非常に大きな効果がある。

A single converted railcar or ship can have a great impact on reducing air pollution, cutting air pollutant emissions like NO_x and SO_x by amounts equivalent to those produced by 10s of thousands of gasoline automobiles. **49**

課題と提言

— 鉄道・船舶分野における燃料電池活用に向けて —

Challenges and Suggestions:

Toward Using Fuel Cell Systems on Railways and in Shipping

課題と提言

Challenges and Suggestions

課題① 環境規制とイノベーション創出のインセンティブ

Environmental regulations and incentives to create innovation

欧米では、環境規制の強化と企業のイノベーション創出が燃料電池導入の動機

- ◆ わが国では、強い環境規制はないが、欧米の地域規制や世界的な環境に関する規制は早晚、日本にも波及する可能性が大きい
- ◆ メーカーにおいては、世界市場をターゲットにする場合、このような厳しい規制を先んじて早期対応することが重要



事業者における新技術の開発・導入にインセンティブの必要性
Essential to incentivize pioneers to take on risk of adopting
new technologies

提言① 先行者が最も恩恵を受けるような制度の創設

Establish a system that most benefits first innovators

例えば、

- 最も早く導入を行う者に対しては、事業の2/3の補助、2番目の者には1/2の補助
- 同様の事業を行う際には、一律の補助率ではなく、規模やリスクに応じた柔軟な補助金の傾斜配分や税制優遇措置

課題② 燃料供給インフラの整備 Hydrogen supply infrastructure

水素の燃料供給インフラの整備

- ◆ 鶏と卵の関係と言われており、自動車分野(FCV)においても課題
- ◆ わが国のエネルギー政策にも関係する課題であり、需要の少ない個々の運輸モードや事業者だけで解決することは困難



国、事業者、利用者の協力が必要不可欠
Cooperation is needed among government, businesses, and consumers

提言② 自動車用水素ステーションを他モビリティでも活用 Shared use of automobile hydrogen stations

- 自動車設備の鉄道と船舶への共用化が図られることが、普及開始当初は有望。
- ステーションだけではなく、水素サプライチェーンの共用化が図られ、需要増に貢献。
- 船舶においては、水吸蔵合金の活用も有用。(高圧ガス保安法の適用除外によりインフラのコスト減が可能)

課題③ 経済性の向上 Cost reduction

燃料電池と燃料(水素)のコスト削減

- ◆ 現状では、燃料電池は内燃機関と比較して高価
- ◆ ランニングコストはライフサイクルコストでは重要



内燃機関と同等かそれ以下を目指したコスト削減が重要
Important to aim for same or lower cost than internal combustion engine

提言③ 需要拡大によるコスト削減推進と自動車用FCの多用途活用を推進 Necessary to reduce cost through economies of scale from increased demand

- 大量生産による製造によりコストは大幅に削減可能(FCV、エネファームの例)
- 自動車用の燃料電池の鉄道・船舶分野への適用可能も検討すべき
- 欧米の船舶分野におけるクルーズ船への適用は需要拡大に貢献することに注目

課題④ 安全規制の枠組み

Setting reasonable safety regulations

合理的な安全規制の設定

- ◆ 運輸分野においては安全第一が必須
- ◆ 他方、新技術のため具体的な規制条項がない状況であり、事業者にとって安全に関するコストの試算が不確定
- ◆ 欧米では、新技術を導入しようとする事業者が、安全リスクの評価を行い、自らが安全性を評価し、従前の安全リスクと同等以上であることを規制当局に対して証明することが基本スタンス(ボトムアップ型の規制策定)

国と事業者の密接な対話による合理的な規制の策定が必要
A need for reasonable regulations through close dialog between government and business

提言④ 事業者による安全リスク評価のサポートが必要

Vital to support safety risk assessments by businesses

- 事業者が主体的にリスク評価を行うことにより、自らの技術を基にした安全規制を策定することが可能となり、インセンティブにもなる。
- 国は、実証事業の実施や、事業者との対話を通じて、安全評価を検証し、合理的な安全規制を作成することが必要。

課題⑤ 燃料電池の技術開発の着実な進展
Development of fuel cell technology

燃料電池の効率向上、コスト削減に向けた技術開発の推進

- ◆ 鉄道・船舶分野における燃料電池利用の普及・拡大のためには、現状の内燃機関と同等かそれ以上の効率、コストの達成のための技術開発が必要



研究開発の継続的な実施が重要
Continuous Research and Development are Vital

提言⑤ 燃料電池システムの低コスト・高効率化・長寿命化に向けた研究サポートが必要
Support Steady R&D toward Goal of Commercialization

- 燃料電池は現状の35%～50%の水準から更なる効率の向上が見込まれる。
- 現状では高価な白金の触媒、高圧タンクを利用しているが、技術開発によるコスト削減を目指す。
- 小型化や軽量化による使いやすさの追求を目指す。

ご清聴ありがとうございました
Thank you for your attention

研究内容の詳しい内容については、運輸総合研究所までお問い合わせください。
For further information, please contact Japan Transport Research Institute.