

SL3

第11回 FC-Cubicオープンシンポジウム

船舶への水素燃料電池の展開 ～ヤンマーにおける取組み～

“課題共有2023” ～世界に向けたMobilityの技術進化と課題～

2023/7/11

ヤンマーホールディングス（株）

技術本部 中央研究所

丸山 剛広

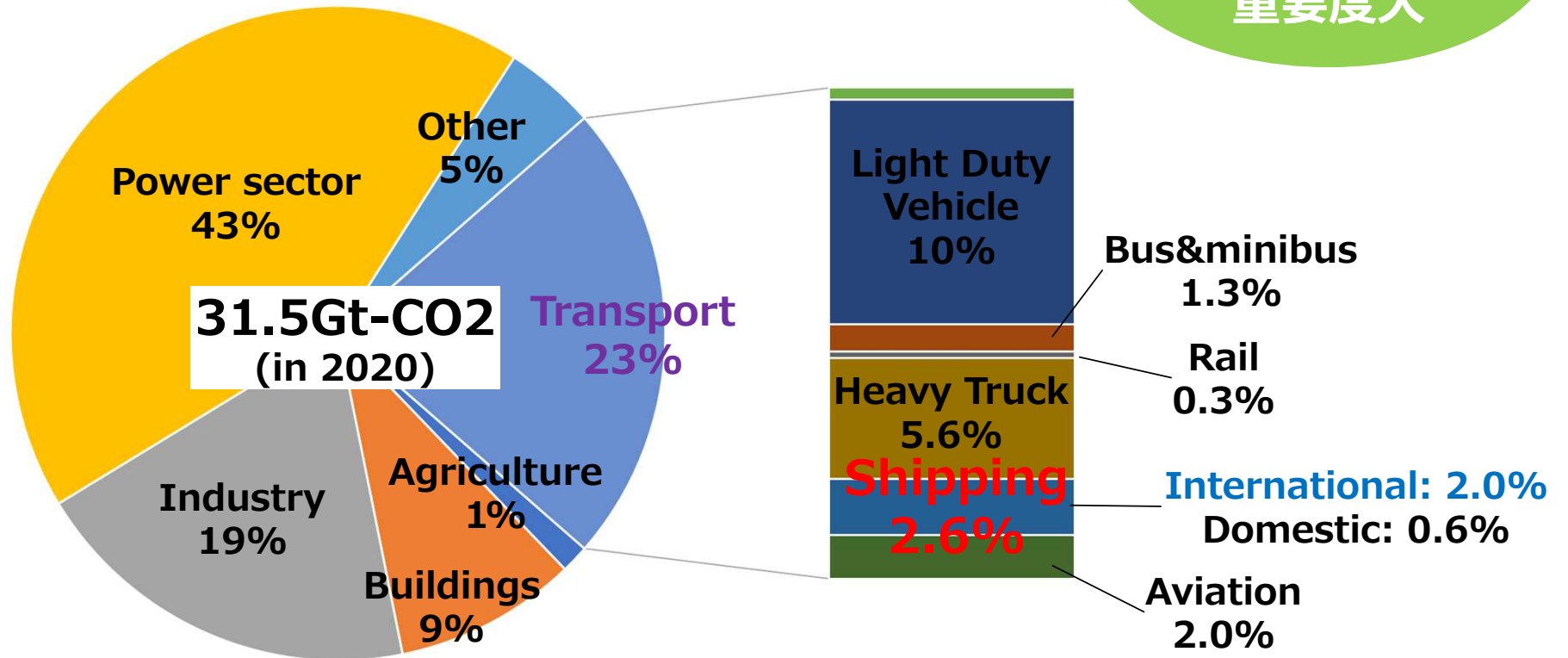
- 1. 背景**
- 2. 水素燃料電池の船舶への適用において求められる事**
- 3. ヤンマーにおける舶用水素燃料電池に関する取組み**
- 4. 課題とアカデミアへの期待**
- 5. まとめ**

1. 背景

船舶からのCO2排出量

■全世界のCO2排出量の約2.6%（2020年）

船舶からの
CO2排出削減の
重要度大



【引用元】IEAデータを基に講演者がグラフ作成

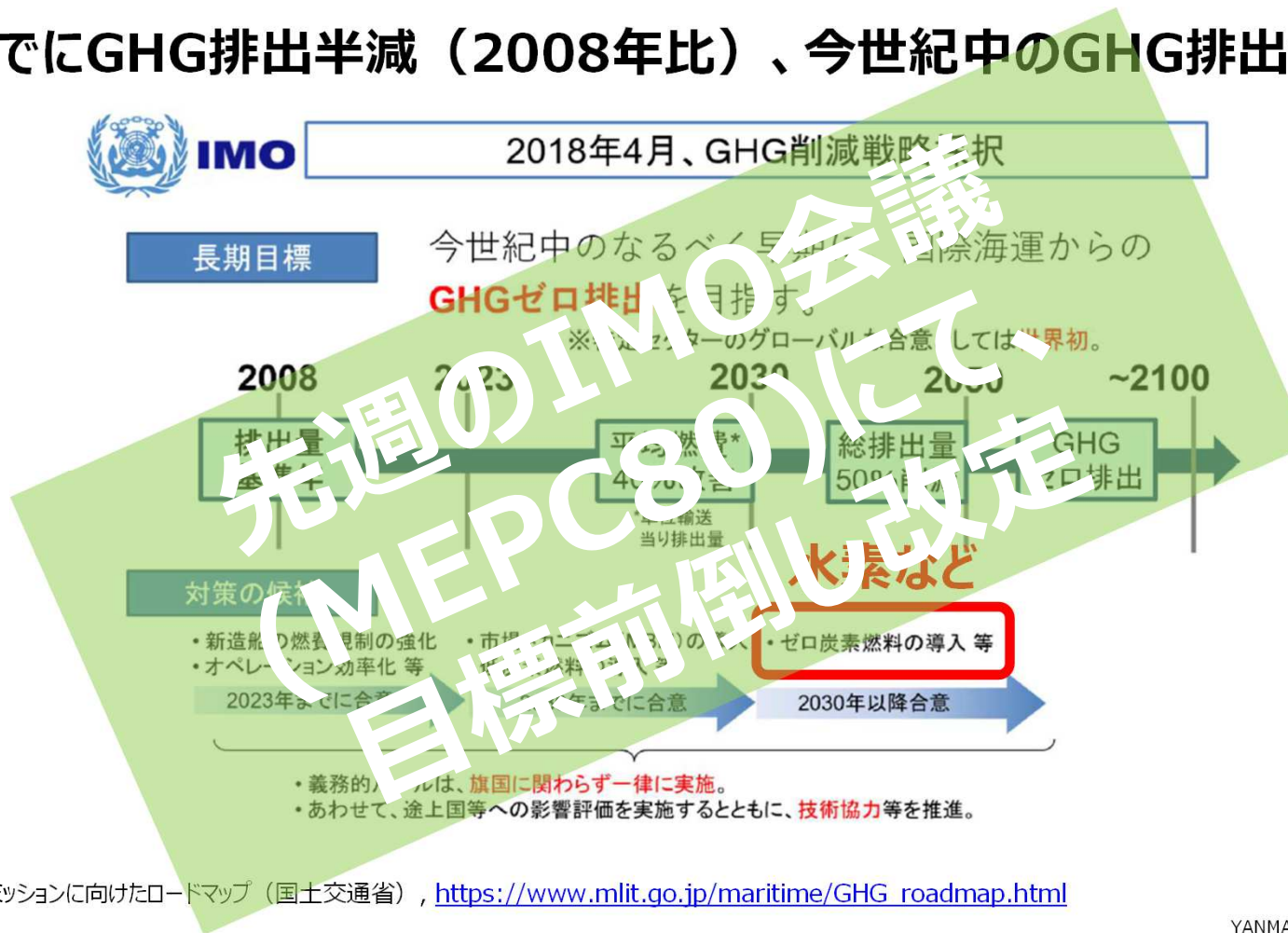
Global energy-related CO2 emissions by sector in 2020 and 2050, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector-in-2020-and-2050>

Global CO2 emissions from transport by subsector, 2000-2030, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-co2-emissions-from-transport-by-subsector-2000-2030>

CO2 emissions from international shipping in the Net Zero Scenario, 2000-2030, <https://www.iea.org/reports/international-shipping>

国際海事機関（IMO）のGHG削減戦略（2018年発行版）

■2050年までにGHG排出半減（2008年比）、今世紀中のGHG排出ゼロを目指す



【引用元】国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ（国土交通省）, https://www.mlit.go.jp/maritime/GHG_roadmap.html

IMOのGHG削減戦略（2023年7月改定版）

■「2050年にGHG排出ネットゼロ」に目標の前倒しを採択

削減取組みの
更なる加速

IMO MEPC 80: Shipping to reach net-zero GHG Emissions by 2050

The 80th session of the IMO's Marine Environment Protection Committee (MEPC 80) adopted a revised GHG Strategy. The revised strategy aims to significantly curb GHG emissions from international shipping. The new targets include a 20% reduction in emissions by 2030, a 70% reduction by 2040 (compared to 2008 levels), and the ultimate goal of achieving net-zero emissions by 2050. New regulations are expected to enter into force around mid-2027.

SHARE:    | 

Relevant for ship owners and managers, equipment manufacturers, fuel suppliers.

Meeting highlights

- Adoption of a revised GHG Strategy with strengthened ambitions



Published:
07 July 2023

2030年

▲20%
(努力目標▲30%)

GHGゼロ技術の
導入目標5%設定
(努力目標10%)

2040年

▲70%
(努力目標▲80%)

2050年※

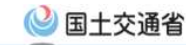
※“by or around,
i.e. close to, 2050”

ネットゼロ

GHG削減の規制枠組み

■燃費規制などは順次合意/導入済。中期対策について各国からの提案を協議中

国際海事機関 (IMO) 議論とライフサイクル



- 国際海事機関では、IMO GHG削減戦略の改定、今後導入すべき中期対策について議論中。
- IMO GHG削減戦略の改定、中期対策の議論の中で、ライフサイクル排出量の扱いが検討される予定。



現在
協議中

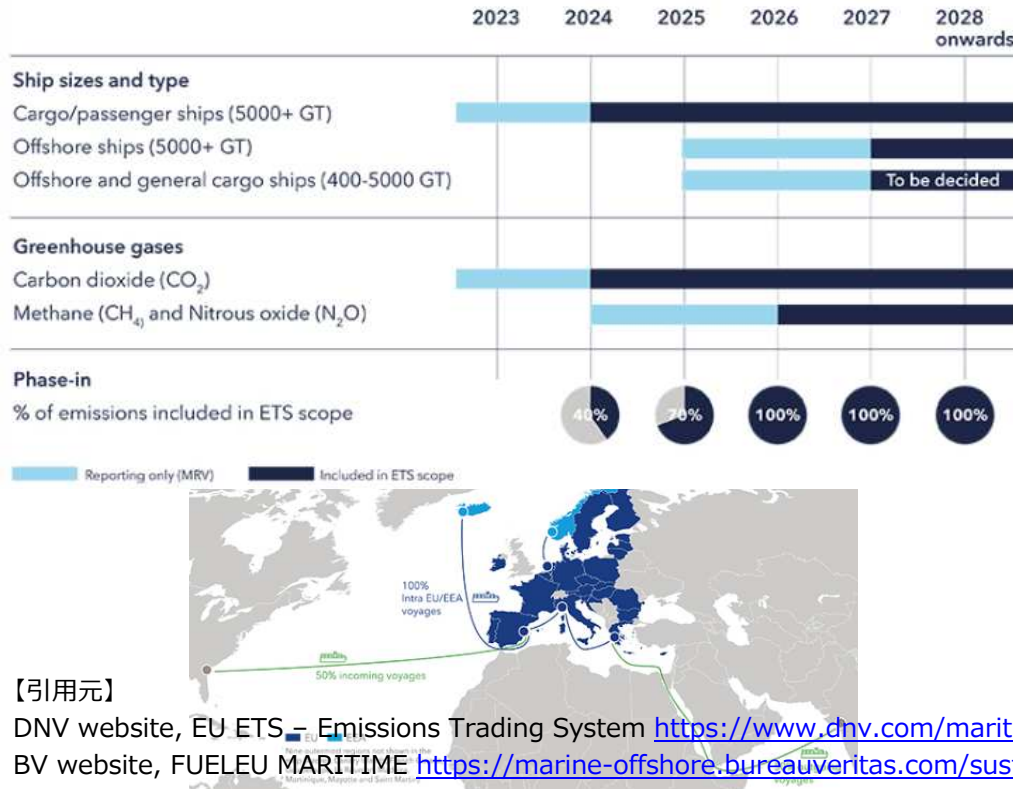
【引用元】船用燃料のライフサイクルGHG排出量評価(LCA)ガイドラインの検討状況 (国交省)

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/methanation_suishin/pdf/010_04_02.pdf

EU独自の規制動向

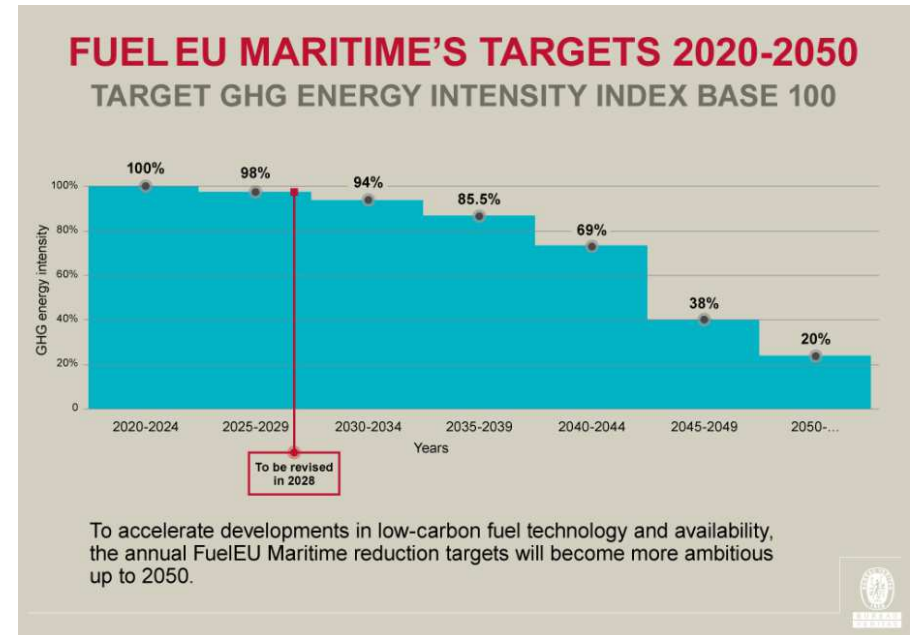
■「Fit for 55法案パッケージ」の中で、海運分野への適用規制を拡大/強化 EU-ETSの海運分野への適用

EU ETS introduction timeline



使用燃料自体の単位エネルギー量当たりのGHG排出量を規制

FuelEU Maritime



【引用元】

DNV website, EU ETS - Emissions Trading System <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/eu-emissions-trading-system/index.html>

BV website, FUELEU MARITIME <https://marine-offshore.bureauveritas.com/sustainability/fit-for-55/fueleu-maritime>

欧州の特定海域/水路のNOx規制動向

■北海/バルト海、内陸水路でNOx規制強化。ノルウェーのフィヨルドでゼロエミ規制予定

IMO Tier III (NOx ECA)



EU Stage V inland waterway

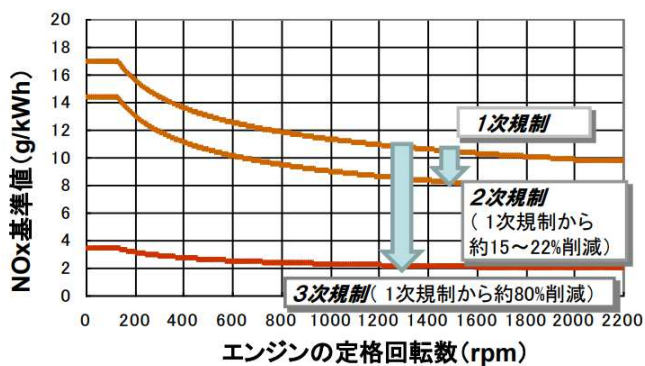
Stage V emission standards for engines in inland waterway vessels (IWP & IWA)

Category	Net Power kW	Date	CO	HC ^a	NOx	PM	PN
			g/kWh				1/kWh
IWP/IWA-v/c-1	19 ≤ P < 75	2019	5.00	4.70 ^b		0.30	-
IWP/IWA-v/c-2	75 ≤ P < 130	2019	5.00	5.40 ^b		0.14	-
IWP/IWA-v/c-3	130 ≤ P < 300	2019	3.50	1.00	2.10	0.10	-
IWP/IWA-v/c-4	P ≥ 300	2020	3.50	0.19	1.80	0.015	1×10 ¹²

^a A = 6.00 for gas engines
^b HC + NOx

<https://dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php#s5>

フィヨルド航路のゼロエミ規制 (ノルウェー)



<https://www.mlit.go.jp/common/001198530.pdf>

Sjøfartsdirektoratet
Norwegian Maritime Authority

Shipping | Recreational craft | Our services | About us

You are here: Norwegian Maritime Authority - Start page | Shipping | Vessels | Environment | Prevention of pollution from ships

Zero emissions in the world heritage fjords by 2026

Prevention of pollution from ships

Zero emissions in the world heritage fjords by 2026

Report regarding pollution from shipping in world heritage fjords

Emissions to air

Zero emissions in the world heritage fjords by 2026

PUBLISHED: 09/01/2023

Below, you can read the Norwegian Maritime Authority's proposed consultation document on the implementation of zero emissions requirement in the world heritage fjords. This proposal was submitted to the Ministry of Climate and Environment on 2 January 2023. The final consultation document will be circulated to the public for comments at a later date.

<https://www.sdir.no/en/shipping/vessels/environment/prevention-of-pollution-from-ships/zero-emissions-in-the-world-heritage-fjords-by-2026/>

水素燃料電池船のプロジェクト

■2020年代前半に就航を目指す水素燃料電池船プロジェクトが欧州中心に多数進行中



船種	カーフェリー
全長	82.4m
全幅	17.5m
トン数	2,699
定員	299名、車80台
FC出力	200kW×2台 (Ballard製)
水素搭載量	4トン(液化水素)
バッテリー容量	1356kWh

<https://www.norled.no/en/news/the-mf-hydra-first-in-the-world/>
<https://corvusenergy.com/projects/mf-hydra/>
https://www.uib.no/sites/w3.uib.no/files/attachments/norled_mf_hydra_dec_2021.pdf

欧州



<https://www.hyseas3.eu/>



<https://www.offshore-energy.biz/balearia-builds-1st-first-electric-ship-to-serve-as-test-lab-for-hydrogen/>



<https://www.wevaproject.nl/en/>



<https://powercellgroup.com/worlds-largest-marine-fuel-cell-systems/>



<https://flagships.eu/>



<https://flagships.eu/>



<https://www.samskip.com/news/samskip-launches-its-next-generation-zero-emission-short-sea-container-vessels/>



<https://tdman.no/>



<https://ipc-concarneau.com/piroiou-signe-avec-la-region-occitanie-pour-la-conception-et-la-realisation-dune-drague-aspiratrice-equipee-dune-pile-a-hydrogene/>



<https://www.wilhelmsen.com/media-news-and-events/press-releases/2020/hyship-project-clinches-eur-8m-funding-award/>



<https://ulstein.com/vessel-design/sx190>



https://vb.nweurope.eu/media/16834/neo-orbis_en.pdf

米国



<https://www.zeroei.com/work/sea-change>

中国



<http://www.cssc712.net.cn/article/487.html>

日本



http://www.iwatani.co.jp/img/jpn/pdf/newsrelease/1373/20201125_news_ip3.pdf

舶用水素燃料電池システム

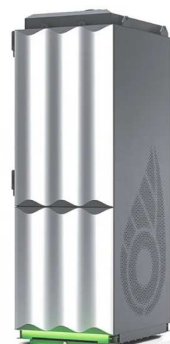
■船舶特有の運用環境や安全規則等に適合したFCシステムの開発/商品化が活発化

Ballard



<https://www.ballard.com/fuel-cell-solutions/fuel-cell-power-products/marine-modules>

PowerCell



<https://powercellgroup.com/fuel-cell-systems/>

Nedstack



<https://nedstack.com/en/pemgen-solutions/maritime-power-installations>

Corvus Energy



<https://corvusenergy.com/products/fuel-cell-systems/corvus-pelican-fuel-cell-system/>

TECO2030



<https://teco2030.no/solutions/teco-marine-fuel-cell/>

Genevos



<https://genevos.com/marine-fuel-cell/>

EODev



<https://www.eo-dev.com/products/rexh2-the-on-board-solution-for-zero-emission-navigation>

ヤンマー



2. 水素燃料電池の船舶への適用において求められる事

運用環境

■船舶特有の運用環境への対応が必要

対応方策例

塩害	海塩粒子暴露による燃料電池への悪影響防止	塩害フィルタ 設置
傾斜/動揺	静的傾斜：左右15° 前後5° 動的傾斜：左右22.5° 前後7.5° ※船用エンジンの場合	レイアウト 据付方法
振動/衝撃	船舶特有の振動や衝撃に耐えられる設計(1G・90分等)	
定格出力 連続運転	船舶の推進動力源は定格出力での連続運転が必要	水冷方式 (海水利用等)

【※引用元】鋼船規則 D編 機関（日本海事協会）, <https://www.classnk.or.jp/hp/ja/>

負荷パターン

■船種や運航形態に応じた多様な負荷パターンへの対応が必要（耐久性など）

NEDOの燃料電池技術開発ロードマップの耐久目標検討用の負荷パターン例

	内航貨物船	沿岸旅客船
耐久時間	60,000 時間	30,000 時間
耐久走行パターン	<p>国内の貨物輸送を想定し、3 日航行+揚荷 1 日+積荷 1 日の計 5 日の作業パターン 起動停止は 1 回/1 作業パターン(5 日=120 時間)</p>	<p>国内の旅客輸送(例:島 to 島)を想定し、航行⇒乗/下船の停泊 を繰り返すパターン 起動停止は 1 回/1 日(7.5 時間)</p>

自動車に比べて、
起動停止回数：少
定格連続時間：長

【引用元】NEDO燃料電池技術開発ロードマップ -FCV・HDV 用燃料電池ロードマップ（解説書）-, <https://www.nedo.go.jp/content/100956711.pdf>

安全規則/ガイドライン

■国際海事機関/各国船級協会等が燃料電池船の安全規則やガイドラインを発行

機関/船級協会等	規則/ガイドライン
IMO (国際海事機関)	Interim guidelines for the safety of ships using fuel cell power installations https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=136739
DNV (ノルウェー船級協会)	Rules for classification: Ships DNV-RU-SHIP Pt.6 Ch.2 SECTION 3 FUEL CELL INSTALLATIONS – FC https://www.dnv.com/news/rules-for-classification-of-ships-july-2021-edition-203529
BV (フランス船級協会)	NR547 SHIPS USING FUEL CELL https://erules.veristar.com/dy/data/bv/pdf/547-NR_2022-01.pdf
ABS (アメリカ船級協会)	Requirements for Fuel Cell Power Systems for Marine and Offshore Applications https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/312-requirements-for-fuel-cell-power-systems-for-marine-and-offshore-applications/312-fuel-cell-reqts-july22.pdf
LR (ロイド船級協会)	Guidance Notes on the Installation of Fuel Cells on Ships https://www.lr.org/en/guidance-notes-on-the-installation-of-fuel-cells-on-ships/
ClassNK (日本海事協会)	燃料電池搭載船ガイドライン https://www.classnk.or.jp/hp/ja/hp_news.aspx?id=3702&type=press_release&layout=1
国交省海事局	水素燃料電池船の安全ガイドライン https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_tk7_000040.html

Interim guidelines for the safety of ships using fuel cell power installations (IMO)

■船舶特有の防爆仕様、雰囲気制御、警報/安全動作等の要件を規定

防爆仕様

- 各区域の危険度場所分類に応じて電気機器の防爆仕様が必要
- 燃料電池設置場所は原則第1種危険場所（要防爆）
- 但し、所轄官庁判断でIEC60079-10-1に基づく危険場所分類が適用される場合有

雰囲気制御

- 燃料電池設置区画は負圧維持可能な通風機による換気またはイナーテイングが必要
- 但し、燃料電池設置区画が甲板上に設置される場合は、加圧式の通風機を用いても良い
- 燃料電池設置区画の空気吸入口は当該吸入口が無い場合における非危険場所に設置が必要

警報/安全 動作

- 燃料電池設置区画のガス検知濃度が20%LELで警報発報、40%LELでシステム停止と燃料供給弁閉止および発火源からの切り離しが必要

燃料電池 システム仕様

- 燃料電池システムは認可機関が認める工業規格に適合している事が必要
- 参照例：IEC62282-2-100:2020 and 62282-3-100:2019 **(定置用FC規格)**

【引用元】Interim guidelines for the safety of ships using fuel cell power installations (IMO)

<https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=136739>

船用燃料電池規格（IEC/TC105/ahG14）

■IEC/TC105に委員会が創設され、安全性や性能評価方法等の規格策定を協議中

➤日本電機工業会の燃料電池国際標準化委員会 移動体推進用燃料電池分科会（JWG6）で国内審議対応

IEC International Electrotechnical Commission

Standards development Conformity assessment Where we make a difference Who benefits News & resources Programmes & initiatives Who we are

Home / Standards development / Technical committees and subcommittees / TC 105 / ahG 14

TC 105 Fuel cell technologies

Scope Structure Projects / Publications Documents Votes Meetings Collaboration Platform

Subcommittee(s) and/or Working Group(s) > TC 105/ahG 14

ahG 14 Convenor & Members

Convenor	Country
Mr Noel Dunlop	AU
Member	National Committee
Mr Thorsten Brandt	DE
Mr Alexander Dyck	DE
Mr Chuan Fang	CN
Mr Kalle Gimdal	SE
Mr Michael Götz	DE
Ms Elisabeth Kjensberg	NO
Mr Motoki Kono	JP
Mr Xiao Li	CN
Mr Eduardo López González	ES
Mr Takehiro Maruyama	JP

Title & Task

ahG 14 **“Fuel cells in the maritime sector”**

Fuel cells in the maritime sector

Evaluate the maritime use of fuel cells as a possible topic for future work of IEC/TC 105

今後、IMO等の規則に参照される可能性有

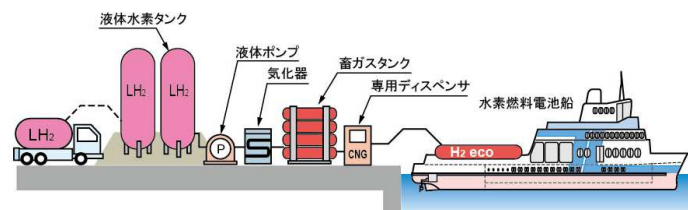
【引用元】IEC/TC105/ahG14, Fuel cells in the maritime sector

https://www.iec.ch/ords/f?p=103:14:413414524308225:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:28521,25

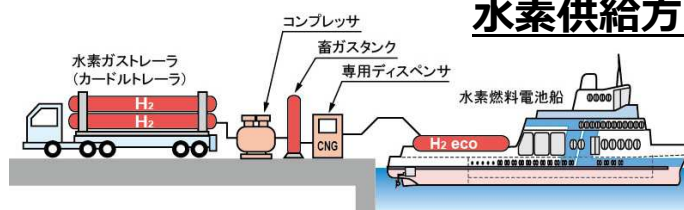
水素貯蔵/供給設備

■大容量の水素貯蔵/供給設備及び法整備が必要

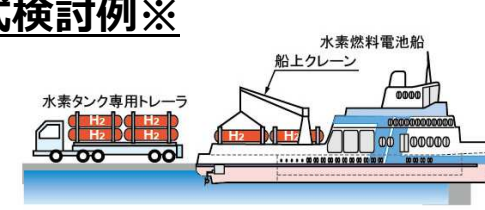
	燃料電池自動車	燃料電池船（例：沿岸旅客船）
燃料電池出力	平均：数十kW 最大：～120kW	480kW×5時間/日 NEDO燃料電池技術開発 60kW×2.5時間/日 ロードマップの耐久目標検討条件
水素貯蔵容量	約5kg（167kWh）	>150kg（>5MWh/日） 効率50%と仮定した場合
水素供給設備 （バンキング設備）	定置式水素ステーション 移動式水素ステーション	(a)沿岸固定式水素ステーション (b)移動式水素ステーション (c)ポータブルタンク式 (d)船舶間移送式
水素供給関連法規	高圧ガス保安法	未定



(a)沿岸固定式水素ステーション



(b)移動式水素ステーション



(c)ポータブルタンク方式

水素供給方式検討例※

【※引用元】「水素燃料電池船の実用開発に向けた取り組み」（海技研），第18回 海上技術安全研究所講演会資料，<https://www.nmri.go.jp/en/event/pdf/2018kouenkai-kenkyu2.pdf>

3. ヤンマーにおける舶用水素燃料電池に関する取組み

ヤンマーの舶用水素燃料電池に関する取組み経緯

■国プロ等を通じて技術/経験を蓄積。2023年度に舶用水素FCシステムを商品化予定

年度	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
取組み	水素燃料電池船の安全ガイドライン策定活動 (国交省委託事業)				安全性検証 (要素試験/実船試験)				
			船舶分野における水素利用ロードマップ策定活動 (環境省/国交省委託事業)		FS検討 (FC船試設計/水素供給方法)				
			①FCV部材を活用した水素燃料電池船の実証試験 (大阪府補助金事業)						
			②舶用水素FCシステム開発 (300kW級パッケージ)						

本講演で紹介

2023年度に商品化予定

【参考】ヤンマーHP
<https://www.yanmar.com/jp/about/ymedia/article/fuel-cell.html>

① FCV部材を活用した水素燃料電池船の実証試験

FCV部材を活用した水素燃料電池船の実証試験

■実運用課題抽出の為に、舶用水素燃料電池システム及び燃料電池船を試作/実証

定格出力
連続航行



実運用課題
を抽出

高圧水素
充填



2018年3月策定【2021年6月改訂】

水素燃料電池船の安全ガイドライン

1. 通則

本ガイドラインの目的は、燃料電池を搭載した船舶並びに水素燃料を使用する推進機関、補助動力機関及び/又はその他の用途の機器の設計、構造及び運用を安全で環境に配慮したものとすることを目的とし、本ガイドラインには必要な技術的事項を示している。

なお、一部の燃料電池を搭載した船舶等では、燃料電池で水素を供給する装置も搭載している。本ガイドラインをこのような船舶に適用する場合は、別途設計及び安全対策が必要である。

1.1 適用

本ガイドラインが適用対象とする船舶に使用される燃料電池及び水素燃料搭載に係る船体構造、推進電動機、水素供給装置等の設計、構造及び運用は、本ガイドラインの規定による。ただし、総トン数500トン以上の船舶は、国際海事機関（IMO）が定める燃料電池発電設備を利用する船舶の安全に関する国際条約（IMOの「the safety of ships using fuel cell power installations」）（以下「暫定FCガイドライン」）に準拠する。なお、本ガイドラインが適用となる船舶は、船舶安全法及び関係規則にも従わなければならない。

船舶に搭載する燃料電池関係機器の構成例を図1.1に示す。ただし、必要機器及び配置等については、この限りではない。

表 1.1 適用範囲

項目	適用範囲
電源	燃料電池と蓄電池（注1）を組み合わせた電源供給システム
燃料電池の形式	固体高分子形燃料電池
船舶への水素供給方法	移動式水素ステーション、又は可搬式水素ポンプにより供給（液化水素の状態での船舶への水素供給が行われる船舶については適用外とする。）
燃料タンクの設計圧力	70MPa以下
燃料の貯蔵形態	液化水素の状態での燃料の貯蔵を行う船舶については適用外とする。
水素の使用形態	純水素（圧縮ガス）を使用（注2）
酸素の供給方法	大気から供給

（注1）本ガイドラインではリチウム二次電池を想定するが、他の蓄電池を使用する場合は、検査機関が同等と認めるところによる。

（注2）燃料電池用の燃料供給設備としては、加圧式燃料タンクから水素ガスを供給する設備を対象とし、天然ガス等を改質して水素ガスを供給する設備は適用外とする。

<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001420174.pdf>

FCV部材（燃料電池ユニット、高圧水素タンク）

■トヨタ製MIRAI（第一世代）の燃料電池ユニットと高圧水素タンクをマリナイズして搭載

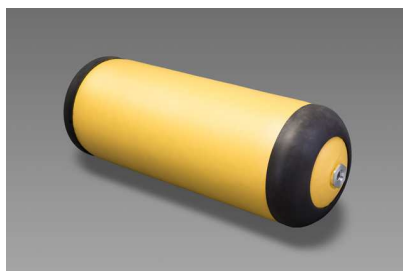
MIRAI（第一世代）



マリナイズ項目

- FCユニット冷却方式の変更（空冷→水冷）
- パワマネシステム（FCユニット2台連携、統合制御）
- 高圧水素タンクユニット化（4本/ユニット）
- 船用安全規則対応（防爆、通風設計等）

高圧水素タンク



燃料電池ユニット

トヨタFCスタック(発電部)

種類: 固体高分子形
最高出力: 114 kW (155 PS)
体積出力密度: 3.1 kW/L
加温方式: 内部循環方式(加湿器レス)



FC昇圧コンバーター
最大出力電圧: 650 V
相数: 4 相

燃料電池試験船



【引用元】「トヨタ自動車における燃料電池自動車開発の現状と展望」（トヨタ自動車），NEDO FORUM2015講演資料
https://www.nedo.go.jp/nedoforum2015/program/pdf/ts4/kouichi_kojima.pdf

船体概要

- ヤンマーマリンインターナショナルアジア製ボート「EX38A」の船型をベースとして、「水素燃料電池船の安全ガイドライン」に基づき新規設計

国土交通省の
安全ガイドラインに
国内初の正式準拠



【参考】航行動画「YANMAR Maritime Hydrogen Fuel Cell System」

<https://www.youtube.com/watch?v=JwiWesAAAK0>

船体主要目

全長	12.4m
全幅	3.4m
総トン数/船体重量	7.9トン/9.1トン
燃料電池システム (トヨタ製MIRAI搭載品)	定格出力：63kW×2台 (最高出力：92kW×2台)
高圧水素タンクユニット (トヨタ製MIRAI搭載品)	常用圧力：70MPa 最大充填圧力：87.5MPa 最大水素搭載量：2.4kg×8本
リチウムイオン電池 (東芝製SCiB)	公称容量：32kWh 最高出力：150kW
推進モータ	定格出力：250kW
航海速力	最高速度：22ノット
定員	10名

【参考】ヤンマーテクニカルレビュー「舶用水素燃料電池システムの開発」

https://www.yanmar.com/jp/about/technology/technical_review/2022/08_2.html

3. ヤンマーにおける船用水素燃料電池に関する取組み

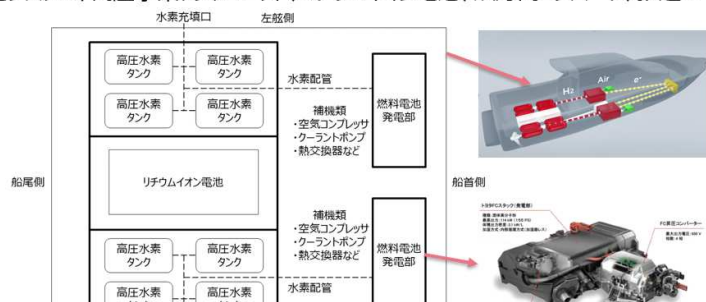


船体仕様詳細

甲板下の機器レイアウト概要図

■主要機器を全て甲板下の船体内部に搭載

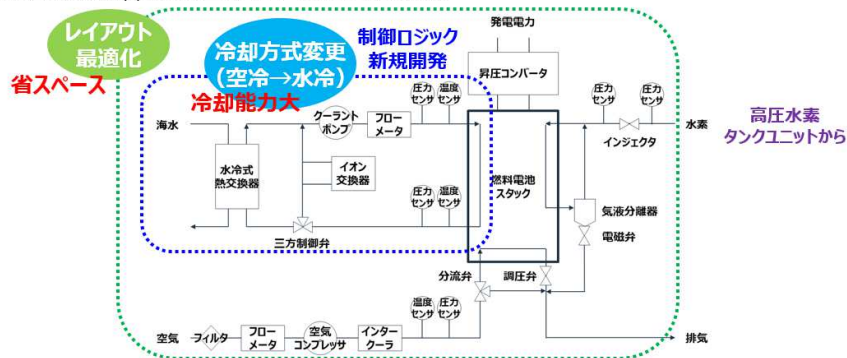
▶燃料電池システム、高圧水素タンクユニット、リチウムイオン電池、双方向コンバータ、推進モータ等



燃料電池システム

■安全規則や搭載スペース等を考慮し、レイアウト最適化および冷却方式等を変更

▶MIRAI搭載燃料電池ユニットをベースにシステム開発



【参考】

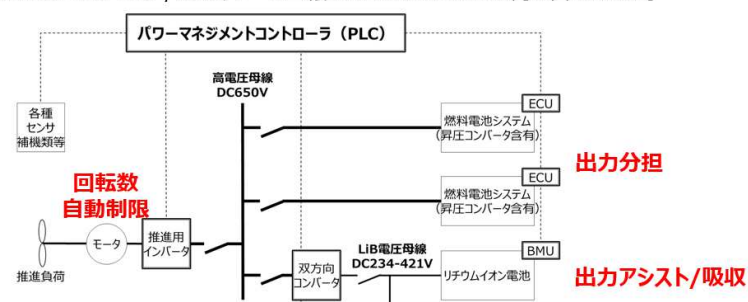
ヤンマーテクニカルレビュー「船用水素燃料電池システムの開発」 https://www.yanmar.com/jp/about/technology/technical_review/2022/08_2.html

「ヤンマーの船用燃料電池に関する取組み」, 燃料電池、vol.21、No.3 (2022) <https://www.fcdic.jp/pdf/kikanshi/VOL21-3J.pdf>

パワーマネジメントシステム

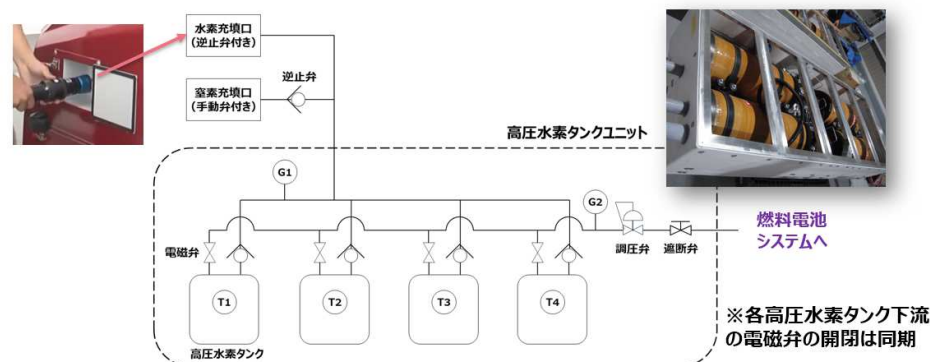
■多様な負荷パターンに対応、異常時の動力冗長性を確保可能な統合制御を開発

▶リチウムイオン電池による出力アシスト/吸収、モータ回転数制限による推進負荷の自動抑制等



高圧水素タンクユニット

■MIRAI搭載高圧水素タンクを4本並列接続、圧力センサや調圧弁等と組合せてユニット化



※各高圧水素タンク下流の電磁弁の開閉は同期

移動式水素ステーションによる水素充填



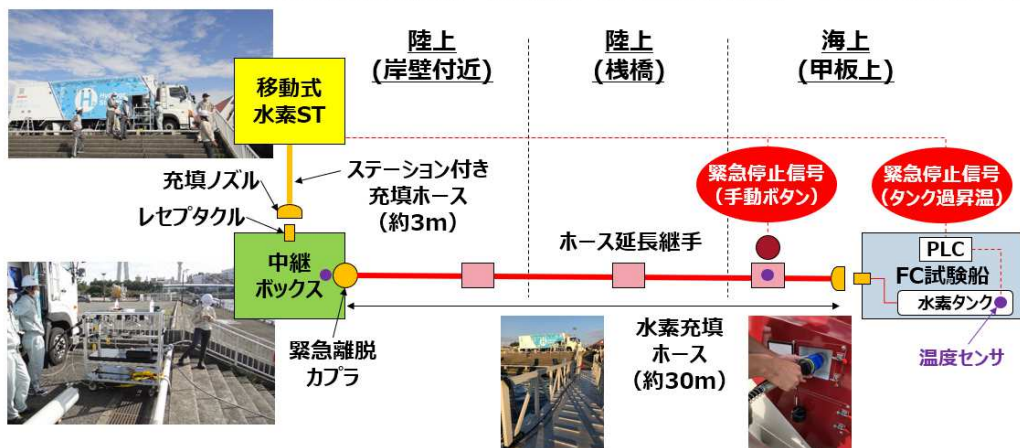
【引用元】ヤンマーホールディングス プレスリリース「世界初となる船舶への70MPa高圧水素充填を実施」

<https://www.yanmar.com/jp/marinecommercial/news/2021/10/13/98421.html>

移動式水素ステーションによる水素充填詳細

移動式水素ステーションによる水素充填構成

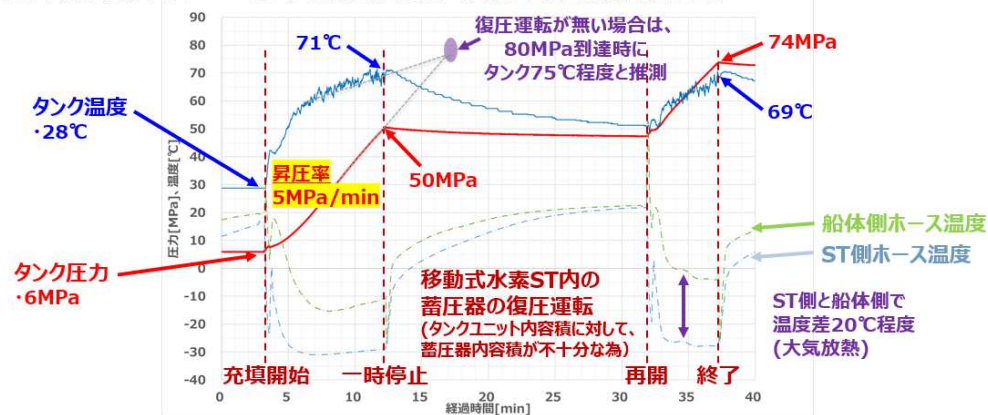
■中継ボックスと約30mの水素充填ホースを用いて海上係留船体へ70MPa水素充填



移動式水素ステーションによる水素充填結果例 (昇圧率5MPa/min)

■現状の移動式水素ステーションから70MPa水素充填可能であることを確認

▶但し、充填条件等については今後精査が必要 (昇圧率、蓄圧器容量など)



【参考】

ヤンマーテクニカルレビュー「船用水素燃料電池システムの開発」 https://www.yanmar.com/jp/about/technology/technical_review/2022/08_2.html

「燃料電池船の実証試験に関するご紹介」(ヤンマー) 令和4年度 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 内航船支援セミナー, https://www.jrtt.go.jp/ship/seminar/221118_yanmar.pdf

海上航行試験

大阪湾での試験風景



大阪湾での試験航路

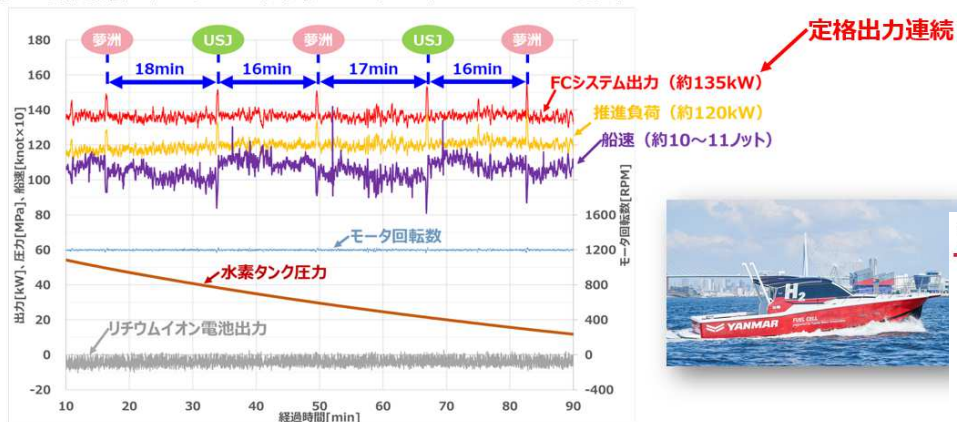


【引用元】ヤンマーホールディングス プレスリリース「世界初となる船舶への70MPa高圧水素充填を実施」
<https://www.yanmar.com/jp/marinecommercial/news/2021/10/13/98421.html>

海上航行試験詳細

海上航行試験結果例（定格出力での連続航行試験）

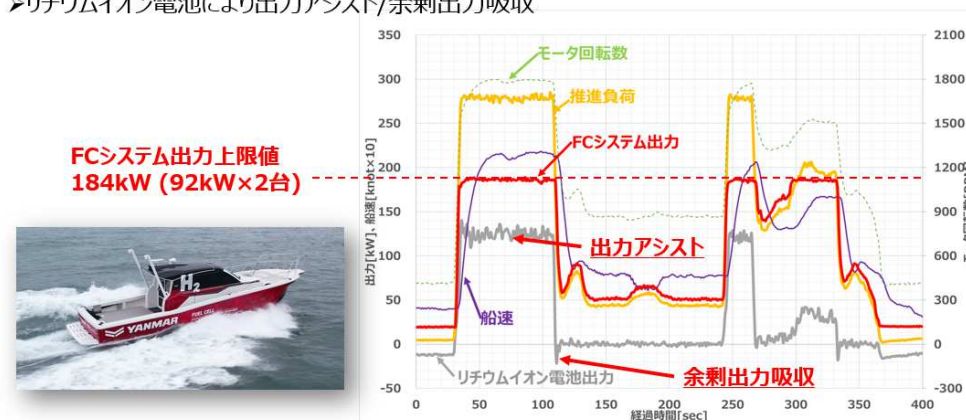
■旅客船を模擬し、船速10ノットで安定した連続航行を実証



海上航行試験結果例（急激な負荷変動を伴う航行試験）

■急激な負荷変動（急加速/急減速）にも問題無く追従

▶リチウムイオン電池により出カアシスト/余剰出力吸収



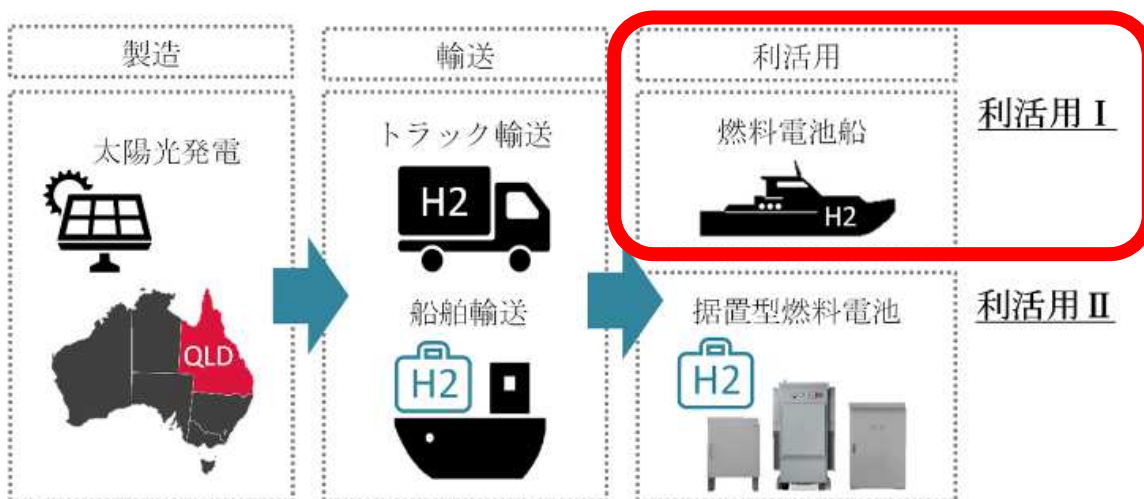
【参考】

「船舶への水素燃料電池の展開 ～ヤンマーにおける舶用水素燃料電池に関する取組み～」, 水素エネルギーシステム Vol.47, No.2 (2022) https://www.hess.jp/3_activity/mo/47-2mo.pdf
 ヤンマーホールディングス プレスリリース「世界初となる船舶への70MPa高圧水素充填を実施」 <https://www.yanmar.com/jp/marinecommercial/news/2021/10/13/98421.html>

豪州クイーンズランド州での実証試験（2024年度予定）

■環境省の「水素製造・利活用第三国連携事業」における実証用燃料電池船として、 2024年度に豪州クイーンズランド州で航行試験予定

➤現地の再エネ水素を70MPa充填して航行



【引用元】双日株式会社プレスリリース「双日、豪州でグリーン水素製造、太平洋島嶼国で利活用 ～ 環境省による実証事業に採択～」

<https://www.sojitz.com/jp/news/2022/01/20220112.php>

② 舶用水素FCシステム開発

舶用水素FCシステム

■300kW級の舶用水素FCシステムを2023年度に上市予定

- ▶トヨタ自動車のFCモジュールをマリナイズして複数台連結搭載
- ▶様々な船種に搭載し易いようにシステム筐体内に補機類等を内蔵し、舶用安全規則に対応
- ▶船級協会へ申請中（NK、DNV）

300kW級 舶用水素FCシステム

FCモジュール
(複数台)



マリナイズ
搭載



沿岸旅客船等
から導入

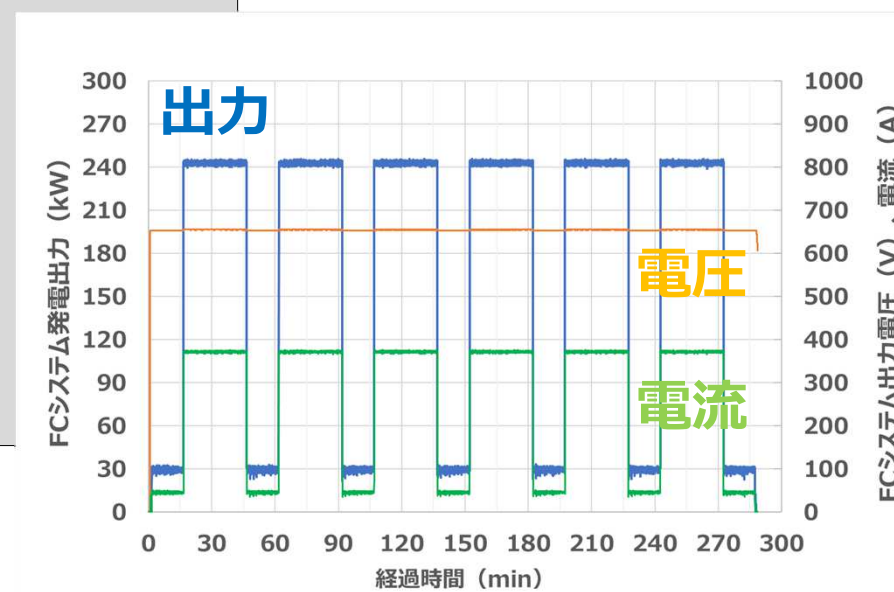
舶用水素FCシステムの試験結果例

■IMOの暫定安全ガイドラインが参照している規格に基づく評価試験や沿岸旅客船の想定負荷パターンでの航行模擬試験を実施

講演時
投影のみ

最大/定格出力
300kW

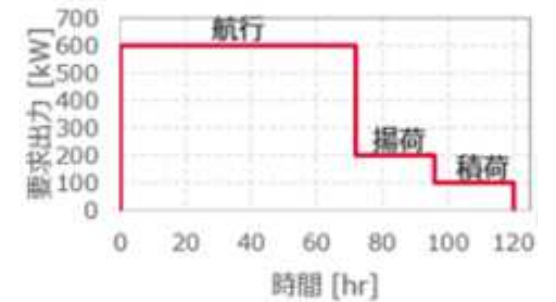
航行模擬試験結果



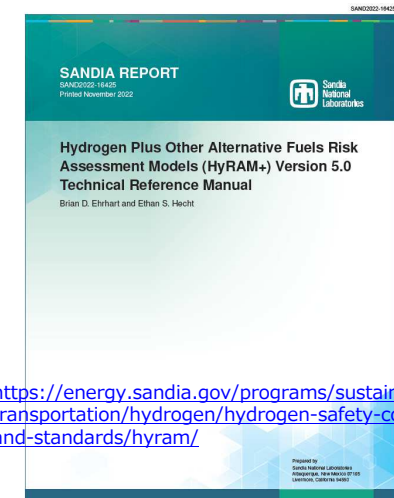
4. 課題とアカデミアへの期待

課題とアカデミアへの期待

#	課題	アカデミアへの期待
①	燃料電池の ベース性能の向上	<ul style="list-style-type: none"> ・低コスト化、高耐久化、高効率化に向けた材料/セル/MEA開発など ※但し、船舶では冷却能力に余裕がある為、高温作動化は必須ではない
②	船舶への適用時の 寿命予測/延長	<ul style="list-style-type: none"> ・高電流密度連続運転での劣化挙動の解明 ・補機寿命の延長(空気コンプレッサ等)
③	水素タンクの小型化	<ul style="list-style-type: none"> ・液化水素燃料タンクの開発 ・高性能水素貯蔵材料の開発
④	水素漏洩/爆発リスク の適正評価	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク評価手法の構築/検証



<https://www.nedo.go.jp/content/100956711.pdf>



<https://energy.sandia.gov/programs/sustainable-transportation/hydrogen/hydrogen-safety-codes-and-standards/hyram/>

5. まとめ

まとめ

■背景

- 船舶分野からのCO2排出量は全世界の約2%以上であり、CO2削減対策が重要
- IMOのGHG削減対策に加え、欧州独自の環境規制の策定/導入が加速
- 欧州中心に水素燃料電池船プロジェクト、船用燃料電池システムの開発/商品化が活発化

■水素燃料電池の船舶への適用において求められる事

- 船舶特有の運用環境、負荷パターン、安全規則等への対応が必要
- 大容量の水素タンク、水素充填インフラの整備等が必要(法整備含む)

■ヤンマーにおける舶用水素燃料電池に関する取組み

- 国プロ参画を通じて船用燃料電池の技術開発/実証、安全ガイドライン策定、ロードマップ策定に貢献
- トヨタ製MIRAIの燃料電池ユニットと高圧水素タンクをマリナイズして搭載した燃料電池船の実証試験を実施
- 2023年度に300kW級の舶用水素FCシステムを上市予定

■課題とアカデミアへの期待

- 燃料電池のベース性能向上の要素技術開発、高電流密度連続運転での劣化挙動解明、水素タンクの小型化、水素漏洩/爆発リスク評価手法の検証等を期待

謝辞

■本講演の内容は、以下の補助事業等において実施した内容を含んでいます

➤国土交通省からの請負研究

「水素燃料電池船の安全ガイドライン策定に向けた調査検討」(2015年度)

「水素燃料電池船の安全性確保のための調査検討」(2016年度)

「水素燃料電池船の安全ガイドライン策定のための調査検討」(2017年度)

➤環境省からの委託事業

「燃料電池船技術評価FS事業」(2018-20年度)

➤大阪府からの補助金

「FCV用の燃料電池部材を活用して船用規格に準拠した水素燃料電池船の開発」(2020年度)

「移動式水素ステーションによる水素燃料電池船への高圧水素充填方法の開発」(2021年度)

ご支援いただき
ありがとうございました

