

# TOSHIBA

第18回 海上技術安全研究所講演会

## 水素社会に向けた 燃料電池システムの船舶への 応用の可能性

東芝燃料電池システム株式会社

取締役・技師長 松田 昌平

2018.11.6

# Contents

01 燃料電池の概要

02 水素・燃料電池の市場動向

03 東芝の水素／燃料電池関連技術

04 船舶への燃料電池適用

05 燃料電池船の世界の動向

# 01

## 燃料電池の概要

# 燃料電池の用途

## 高効率発電装置

炭化水素燃料／バイオガス



家庭用 エネファーム  
< 1 kW



業務用 燃料電池  
数100 kW～数MW

Bloom Energy SOFC

## 水素社会

水素FC



FC フォークリフト 関空



再エネ水素



定置用純水素FC



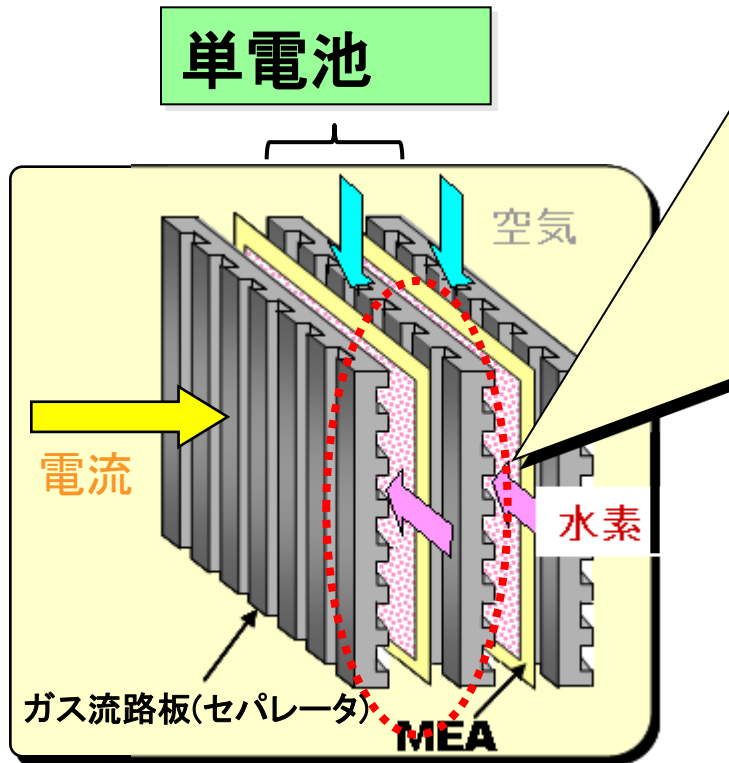
FC船 アムステルダム 2009



水素電力貯蔵

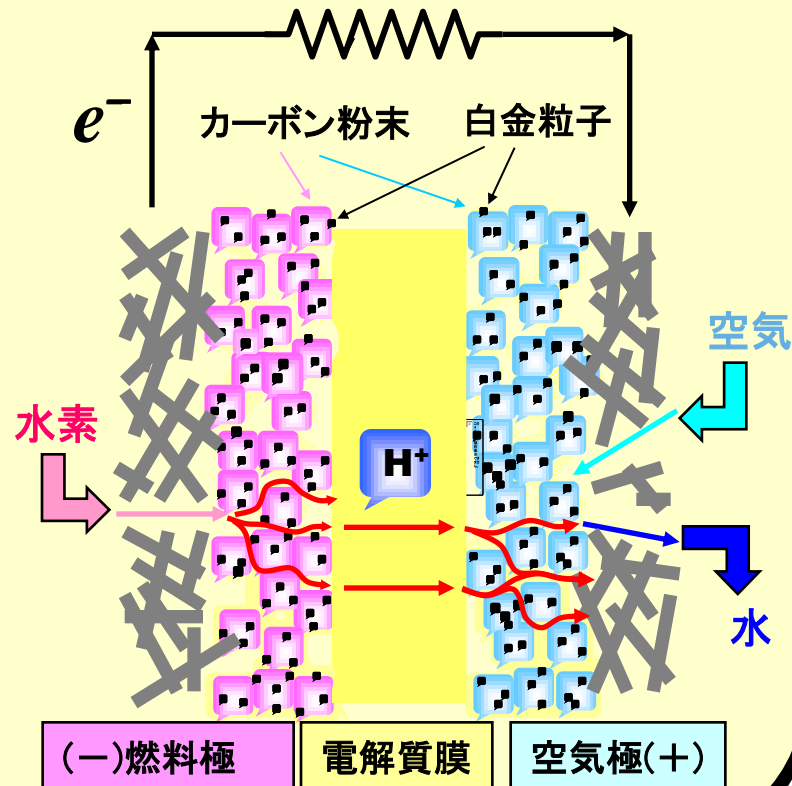


# 燃料電池の基本構成 (PEFC)



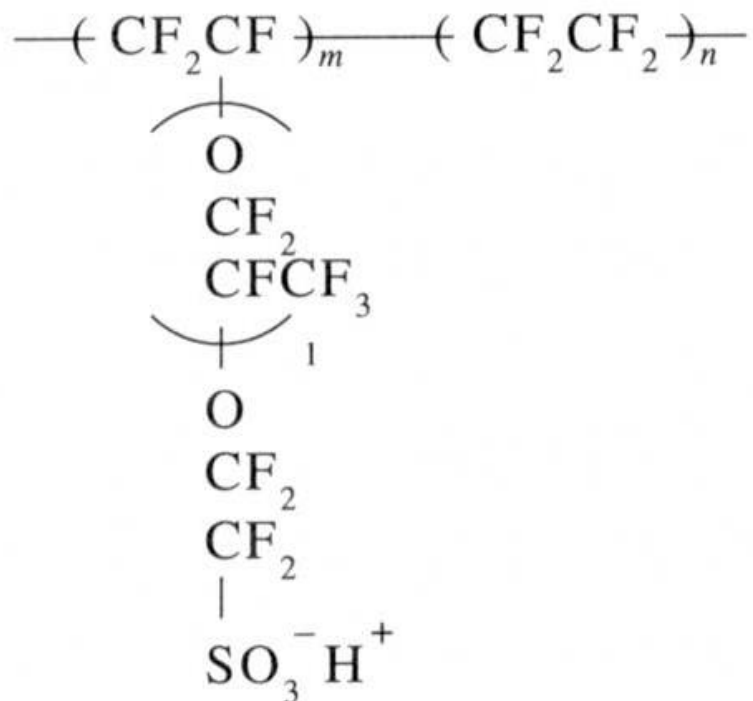
**MEA** 膜電極複合体

MEA: **M**embrane **E**lectrode **A**ssemblies



日本電機工業会 (JEMA) 資料

# 電解質膜



電解質膜の構造  
(パーフルオロスルホン酸膜)

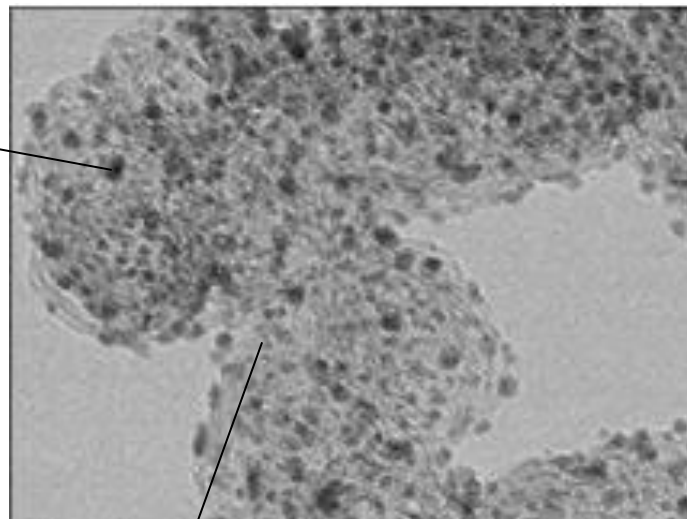


## 電解質膜の役割

- 水素イオンだけを通す。
- 水素と酸素を隔離する。
- 電気を通さない。

# 白金触媒

白金微粒子  
2~10 nm



カーボン粒子  
~100 nm

## 白金触媒の役割

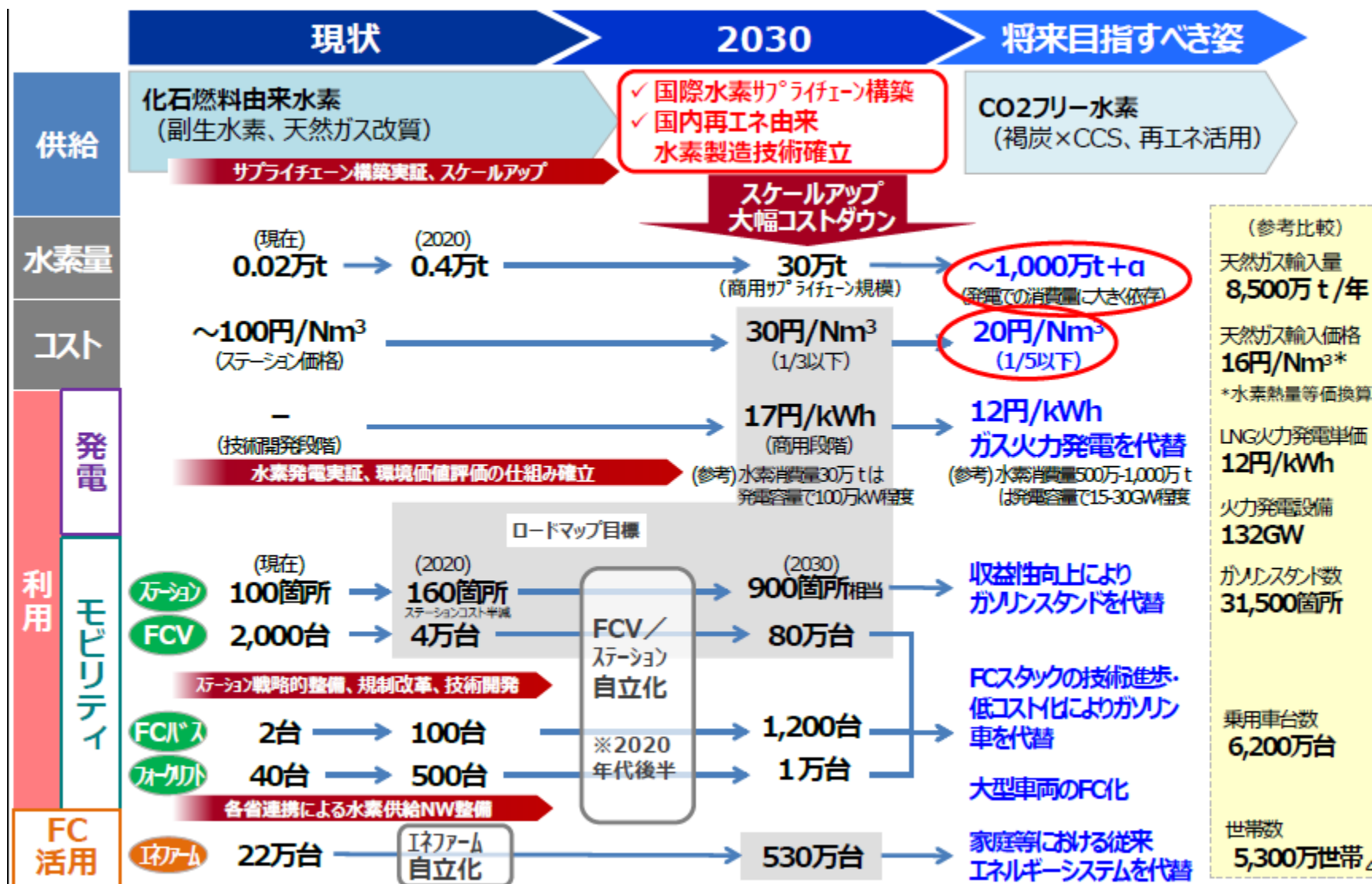
- 水素、酸素の電気化学反応を促進する。

# 02

## 水素・燃料電池の市場動向



# 経済産業省 水素基本戦略ロードマップ

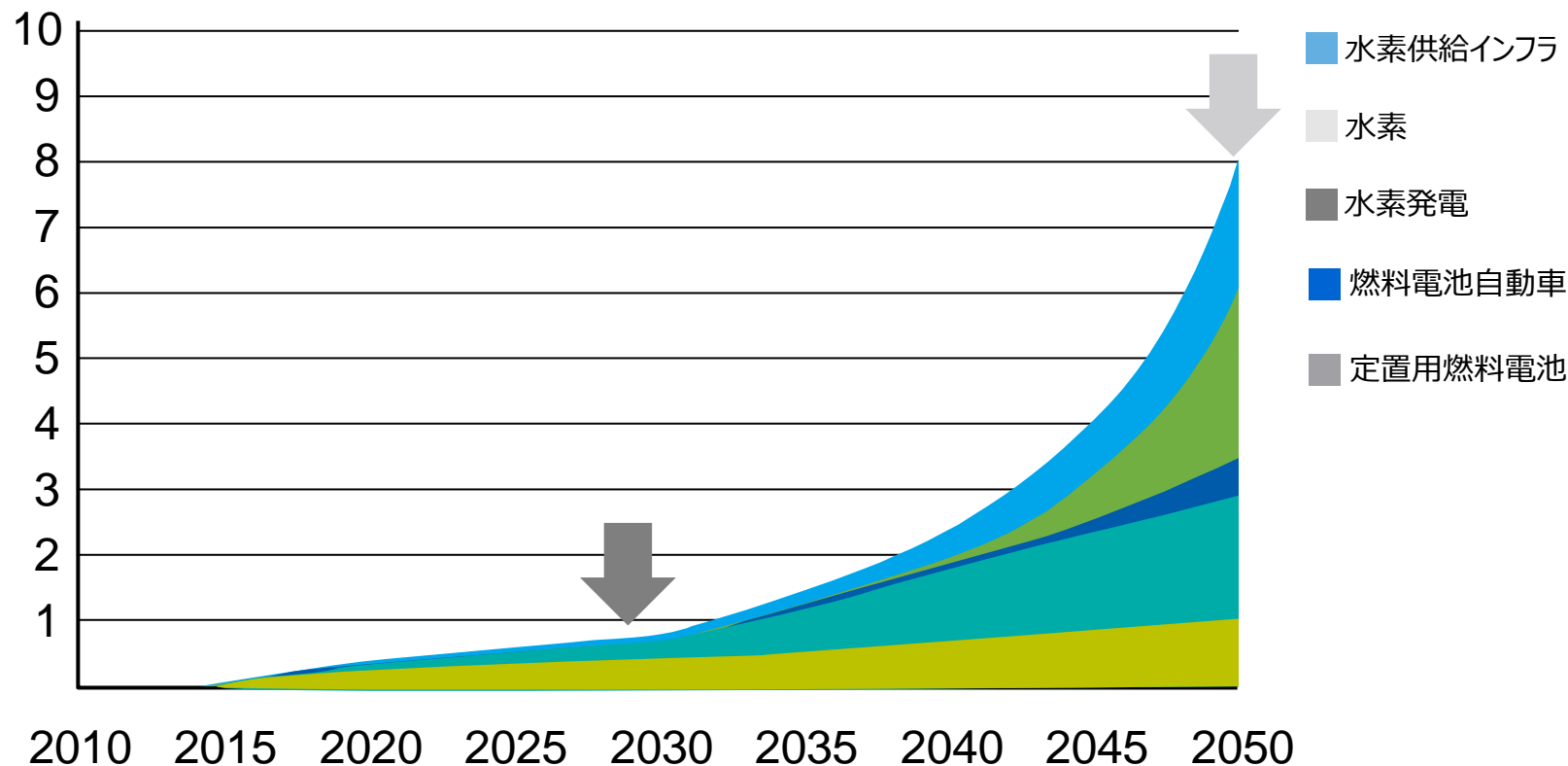


「水素基本戦略のシナリオ」(平成29年12月26日 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議)  
<http://www.meti.go.jp/press/2017/12/20171226002/20171226002-2.pdf> の P5  
 [出典] 第2回再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議資料より

# 市場環境（市場規模の想定）

## 水素・燃料電池関連の機器・インフラ産業の市場規模（国内）

兆円/年



2030年 約1兆円 ➡ 2050年 約8兆円

「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（平成26年6月23日 水素・燃料電池戦略協議会）  
（<http://www.meti.go.jp/press/2014/06/20140624004/20140624004-2.pdf>）のP 4  
「我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測」（【出典】日本エネルギー経済研究所）を加工して作成。

# 03

## 東芝の水素／燃料電池関連技術

# なぜ「水素」なのか？



## 脱化石燃料・エネルギーセキュリティ確保の背景

- 日本のエネルギー自給率は僅か 8 %
- CO<sub>2</sub>の削減
- 再生可能エネルギー利用拡大における系統不安定

## 脱化石燃料・エネルギーセキュリティ確保につながる 「水素エネルギー」



生成も貯蔵もできる  
(資源輸入に依存しない)

水素の生成方法は様々あり、  
供給国、供給源を多様化可能



再エネ由来の水素活用で  
CO<sub>2</sub>排出を削減できる

地球温暖化対策に貢献



電力平準化により  
系統安定化に貢献できる

水素電力貯蔵システムで  
再エネ導入を促進



非常時のエネルギー供給  
(電気・熱)が可能

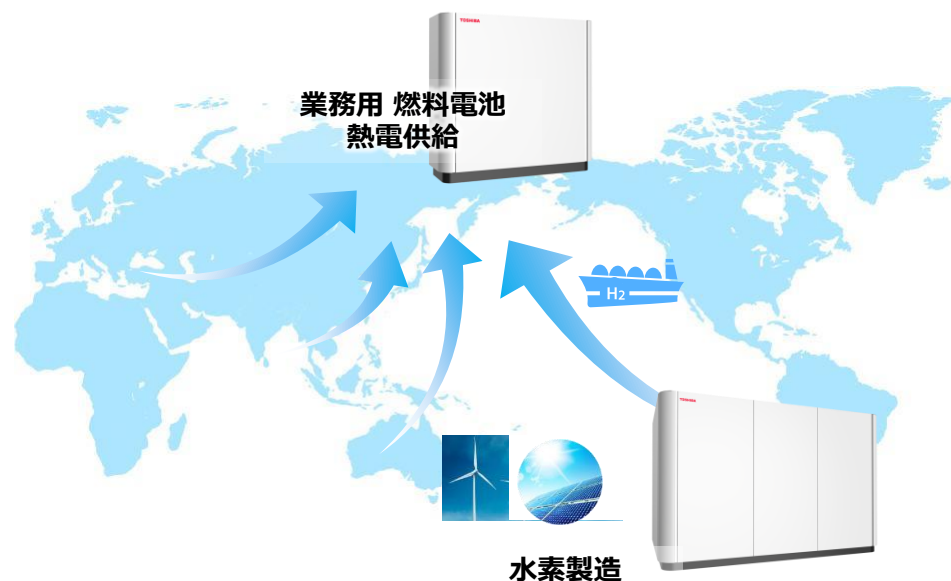
# 東芝が目指す水素ソリューション

## 再エネ水素でつくる、持続的で安心安全快適な社会

### 水素地産地消



### 水素サプライチェーン



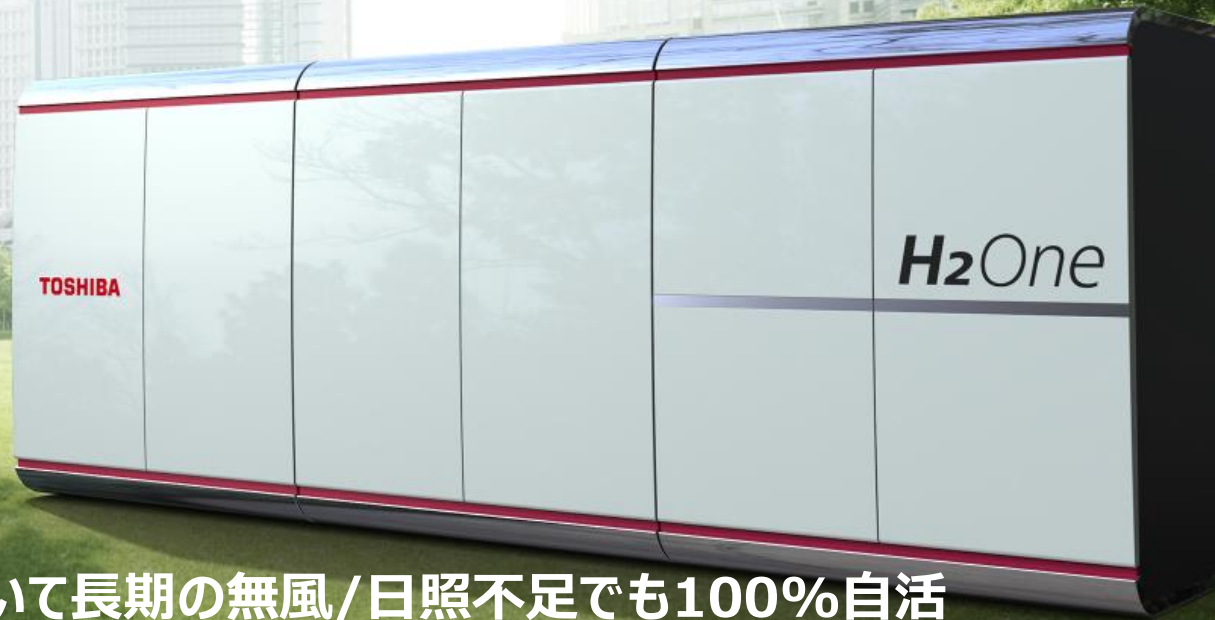
## 水素を地産地消 再エネをつかい、ためて、つかうCO<sub>2</sub>フリーなエネルギー 優れた可搬性

いつも

再エネの有効活用  
によるエネルギー自給

もしも

非常時エネルギー供給  
(貯蔵水素のみで電力・熱を供給)



水素電力貯蔵を用いて長期の無風/日照不足でも100%自活  
エネルギー供給に課題のある離島やリゾート地への電力供給  
コンテナサイズで設置時の環境負荷が小さく、短工期で設置可能

- 長期の無風/日照不足でも再エネで100%自活
- 離島や遠隔地域、未電化地域へも電力供給可能
- 島の災害レジリエンス向上
- 住宅・宿泊施設等へCO<sub>2</sub>フリー電力を供給

風力発電

太陽光発電

変電所

燃料電池

貯蔵タンク

水電解装置

蓄電池

年間を通じて安定的に電力を供給

# H<sub>2</sub>One™ 車載モデル

## H<sub>2</sub>One基本コンセプトをさらに小型化、機動性の向上



電源車としてあらゆる場面で活用できる  
静音／無臭のため屋内でも稼働させやすい  
さらに機動性を高めより速やかに展開が可能





### 高発電効率の純水素燃料電池システム H2Rex<sup>TM</sup>

- 発電効率50～55%、総合効率95%
- 豊富なラインナップで、事業規模に合わせた希望の定格出力が可能
- 固体高分子形（PEM形）のため数分で起動が可能



0.7kw 3.5kw

100kw

1MW

# 04

## 船舶への燃料電池適用

# 船舶への燃料電池適用メリット

## 船舶の環境対応の必要性

船舶に対する環境規制は、国際的な取り組みが行われており、「地球温暖化防止のための規制」と「大気汚染防止のための規制」が年次展開されている。

特に、排出規制海域（ECA : Emission Control Area(\*)）では、2015年より硫黄分含有率が0.1%まで引き下げられた。IMOは、2016年10月、一般海域でも燃料油の硫黄分含有率を0.5%以下とする規制の2020年開始を決定した。

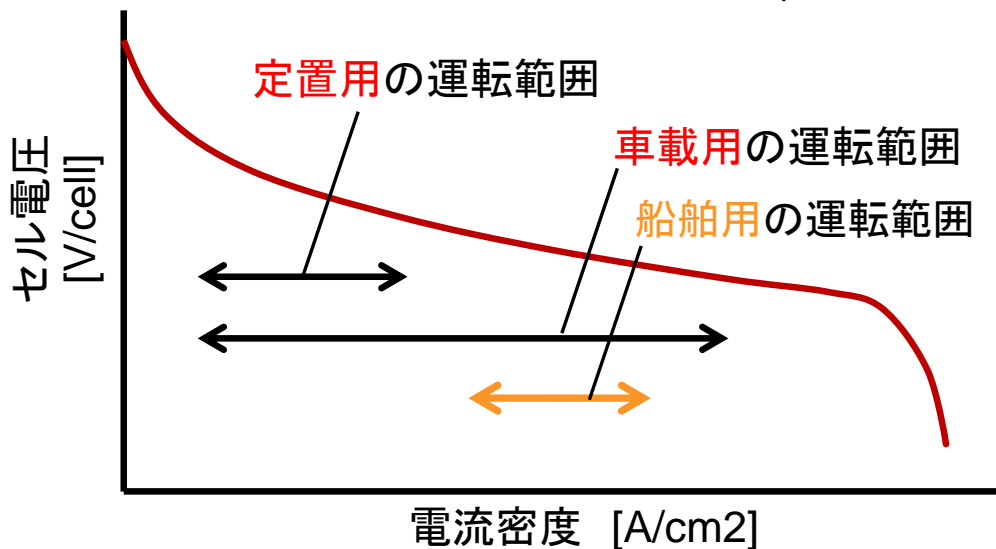
## 燃料電池発電 + 電気推進

環境汚染物質の排出 無し

CO2 排出 無し

# 燃料電池の特徴と用途

## 典型的な電流-電圧 (I-V)特性



	サイズ	運転範囲／負荷変化	耐久性
定置用	大きい 高い発電効率のため 低電流密度で運転	低電流密度領域で変化 定格での連続運転 負荷変化速度はマイルド 起動停止は 2回／日以下	10年間連続運転 4000回の起動停止
車載用	小さい 小型化／軽量化のため 高電流密度で運転	広範囲の運転領域 定格での運転時間は限定的 頻繁で高速の負荷変化と起動停止	0.5万時間～1万時間 頻繁な起動停止
船舶用	小型が望まれるが 車載に比べ許容される	定格での連続運転 負荷変化速度はマイルド	10年以上 連続運転可能 起動停止 大型船：少ない 小型船：頻繁

# 船舶適用の課題

1. 船舶搭載に求められる性能  
連続高出力運転が可能であること

内燃機関並みの出力密度化

2. 燃料電池システムの船舶環境への適合性  
海水（塩分）の影響  
（除去は容易であるがランニングコストがかかる）  
船舶特有の振動、揺動、衝撃耐性  
温度、湿度

3. 安全性の確保および基準、認証システム  
水素漏洩、着火に対する保護基準 構造、検出、異常時動作  
燃料電池システムに対する外部影響に対する安全担保  
船舶としての総合安全性（統合制御等）

4. 水素の供給および貯蔵  
船舶運用における安全であり合理的な貯蔵装置の開発と認証  
水素供給（バンカリング）に向けた検討

定置用発電システムで実現

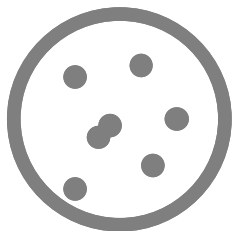
燃料電池自動車で実現

両立する技術

安全ガイドライン策定に向け活動中

# 船舶搭載の安全性

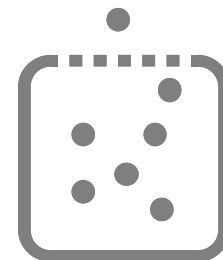
国土交通省は、水素社会実現に向け、水素を燃料とする燃料電池船の安全ガイドライン策定作業に取り組んでいる。同ガイドラインの策定作業は2015年度より3年計画で進められている。



漏らさない



検知する



溜めない

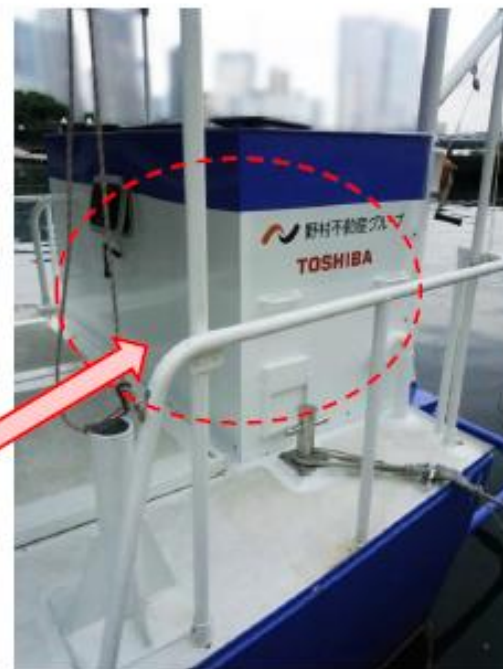


# 船舶搭載運転 東京海洋大学 らいちょうN

## ● 3.5kW純水素燃料電池システムを船舶へ搭載



燃料電池  
搭載場所



### 【船舶主要目】

船名：らいちょうN

船質：軽合金(アルミ製)

総トン数：9.1トン

全長：14メートル

実船試験水域：東京都江東区東京海洋大学から半径10海里以内

満載時最大速力：11ノット

燃料電池：定置用固体高分子膜形燃料電池 7 kW (3.5 kW x 2基)

二次電池：リチウムイオン二次電池 145 kWh (13.2 kWh x 11パック)

推進用電動機：90 kW (45 kW x 2基)

検査機関：日本小型船舶検査機構 (JCI)

試験運転開始：平成28年10月上旬

(<https://www.kaiyodai.ac.jp/topics/news/201610141400.html>)

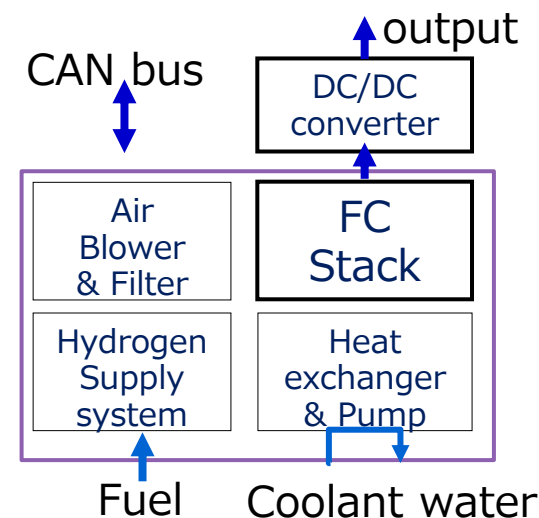
2018/9/28時点		
	右舷側	左舷側
発電電力量Wh	647332	570567
通電時間h	490.8	477.26
発電時間h	237.14	207.6
SS回数	376	355

# 40 kW電源モジュール

様々な用途への適用をも目的としたFC電源モジュールを開発中。

	試作機	製品仕様
定格出力	30kW	40kW
耐久性	~40,000hrs(暫定)	
発電効率	45~50%LHV	小型化を目指す
体積	0.6 m <sup>3</sup>	
重量	500 kg	

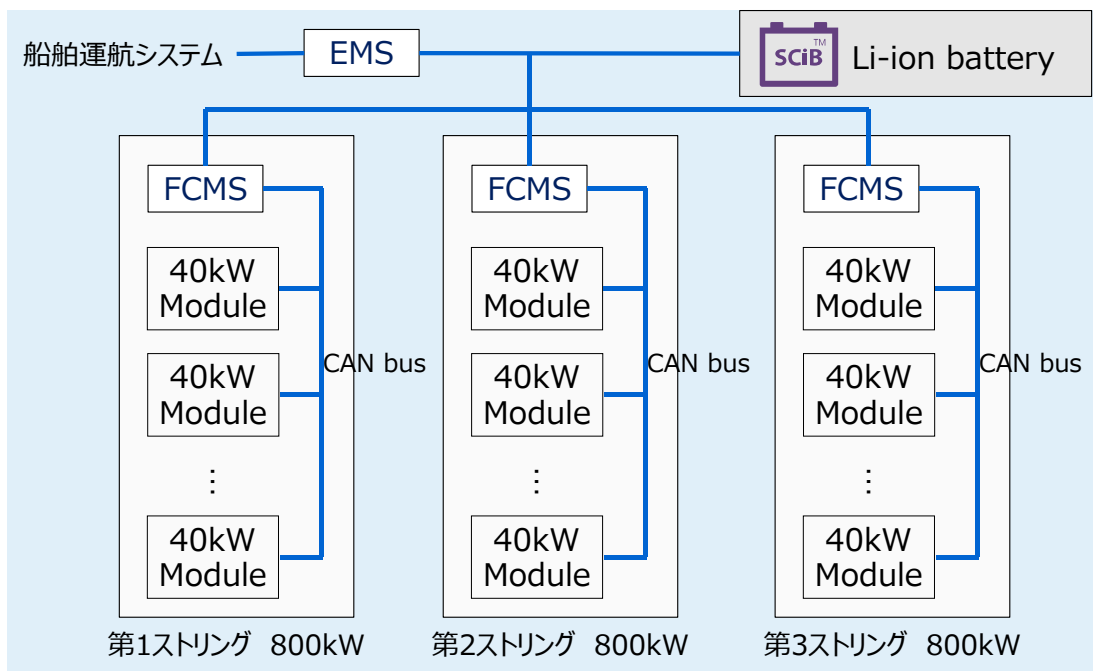
- 1台の燃料電池スタックと周辺機器をコンパクトにモジュール化したもの。
- 単独での運用に加え、複数台を連携して運用できる制御システムを有する。
- 船舶への搭載も想定し、振動、揺動試験を計画。





# FCモジュールの大型船への適用イメージ

## 2.4 MW FC system



設置条件によりストリング数は調整される

船内電力を統括するEMSおよび複数のFCモジュールをグループ化し個々のグループにFCMSを持たせる



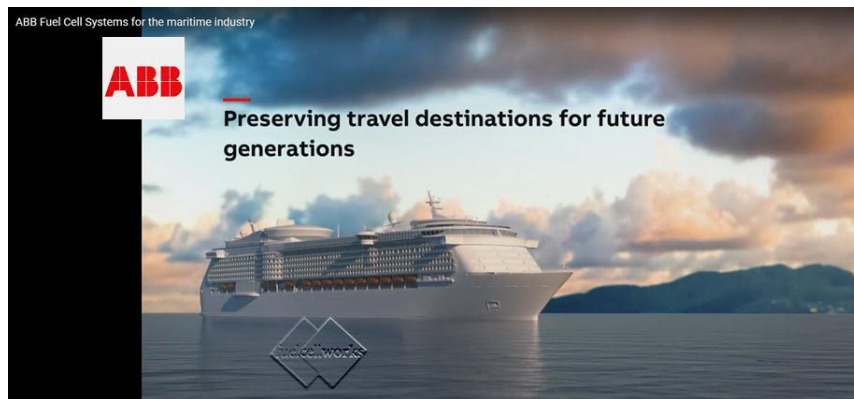
- モジュール化による船内配置の自由度が向上する
- FCMSは個々のモジュールを起動停止含め制御する。機器故障に対してロバストなシステムが可能
- 広い出力範囲で高効率な発電が可能となる

# 05

## 燃料電池船の世界の動向

## スイスABB、米Royal Caribbeanに船用燃料電池システムを納入

2017.11.8 FuelCellWorks、ABBプレスリリース



100kW級燃料電池（PEFC）システムのパイロットシステムを納入した。燃料電池はBallard Power Systemsのものを採用した。Royal Caribbean Internationalは2022年と2024年に就航が予定されている20万トンクラスのクルーズ船（Iクラス）の電力供給の一部に燃料電池を採用することを決めている。

## 米エネルギー省など、船舶の冷凍コンテナ向け電力供給で100kW級PEFCを試験運用

2017.11.8 FuelCellWorks、DOEプレスリリース



ハワイで、船舶で輸送中や保管中の冷凍コンテナに電力を供給する燃料電池発電機の実証試験を実施している。100kW級PEFCと72kgの水素貯蔵タンク、周辺機器をコンテナに組み込んだ発電機は一度に10個の冷凍コンテナに電力を供給できる。

## ノルウェーBorealとフィンランドWärtsilä、燃料電池ハイブリッドフェリーを共同開発

2018.2.5 FuelCellWorks World Maritime News



ノルウェーのフェリー運航業者であるBoreal SjøとフィンランドのWärtsilä Ship Designは燃料電池ハイブリッドフェリーを共同開発することで合意した。ノルウェー西海岸のHjelmeland-Skipavik-Nesvik間の約3kmをフェリーで結ぶ計画で、2021年の就航を目指している。この燃料電池ハイブリッドフェリーは50%を水素で、あとの50%は完全な電気。Borealはこのフェリーを「Hydrogen」と命名する予定で、世界初の水素フェリーが就航することになる。

## 伊RINA、ギリシャHelbio、アテネ工科大学などと船舶用燃料電池システムを開発

2018.6.4 FuelCellWorks、RINAプレスリリース



イタリアのエネルギーや海洋分野のソリューション、認証サービスなどを手掛けるRINAはギリシャのHelbio、アテネ工科大学、ギリシアの船主などとコンソーシアムを結成し、船用燃料電池システムの開発と実証を始める。アテネ工科大学がエネルギーシステムを設計、Helbioは船舶に搭載できるように燃料電池とそのエネルギーシステムを統合し、ギリシアの船舶に乗せて実証する計画だ。短距離航行には駆動システムとして、長距離航行には補助動力装置として利用できる。LNGを燃料とする燃料電池システムは5～50kWのものが実用化されていて、小型フェリーやヨットの駆動エンジンとして利用できるが、とくにLNG船の補助動力装置としても応用が可能である。

## 米GGZEMが建造する燃料電池船に高圧水素タンクを供給

2018.7.1 FuelCellWorks、Hexagon Compositesプレスリリース



ルウェーHexagon Compositesの子会社Hexagon Lincoln（米国）は、カリフォルニア大気資源局（CARB）から300万ドルの助成を受け燃料電池船「Water-Go-Round」を開発している米国のGolden Gate Zero Emission Marine (GGZEM)から燃料電池船に搭載する高圧水素タンクの発注を受けた。燃料電池船「Water-Go-Round」は長さ70フィート、ハイブリッド燃料電池システムを搭載する。2日間は水素充填なしで航行できる。2019年半ばごろ運航を開始する予定。

## カナダHydrogenics、米GGZEMが開発する船舶に360kWの燃料電池を販売

2018.6.25 FuelCellWorks、Hydrogenicsプレスリリース



カナダのHydrogenicsは、カリフォルニア大気資源局（CARB）から300万ドルの助成を受け、2019年半ばの運航を目指している燃料電池船「Water-Go-Round」を開発している米国のGolden Gate Zero Emission Marine (GGZEM)向けに360kWの燃料電池モジュールを販売する。

## スイスABBとカナダBallard、3MW級船用燃料電池の開発に関する覚書（MOU）締結

2018.6.28 FuelCellWorks、ABBプレスリリース、Ballard Power Systemsプレスリリース



スイスのABBとカナダのBallard Power Systemsは、定置用1MWのコンテナ型燃料電池をベースにして、次世代大型船舶に搭載する3MW級燃料電池を開発する件でMOUを締結した。

## トヨタヨーロッパ、燃料電池船Energy Observerへの支援を拡大。2020年の東京寄港を目指す

2019.6.29 FuelCell Works、Toyota Europeプレスリリース、  
2018.7.2 レスポンス



トヨタモーターヨーロッパは6月29日、世界初の水素燃料電池船「Energy Observer」への支援を拡大すると発表した。2020年の東京オリンピック開催に合わせて、東京に寄港できるよう支援していく。Energy Observerは、太陽光発電、風力発電、水力発電を利用して、海水から水素を取り出すことができる燃料電池駆動船。世界で初めて、水素を自給自足する燃料電池船として航海できる船になるという。トヨタは2017年から、Energy Observerによる世界一周航海をサポートしてきた。

Energy Observer号の船体は長さ30.5m、幅12.8m。もともとレース用だったボートを、水素を燃料としたエネルギー自立型の船に改造した。海水を淡水化した後、太陽光を使った電気分解により水素ガスを取り出して燃料電池に使用する。8つのタンクで最大62kgの水素が貯蔵可能。変換効率97%の電気モーター2個で推進力を生み出し、総面積130平方メートルの太陽光パネル、2個の風力タービン、各種装置駆動用のリチウムイオン電池も備える。

## 米Bay Ship、カリフォルニア州GGZEMから米初となる燃料電池船建造を受注（2018.7.9号既報）



2018.6.26 全米燃料電池・水素エネルギー協会

2018.7.12 FuelCellWorks、Bay Ship and Yachtプレスリリース

Bay Ship and Yachtはカリフォルニア州で船舶から排出されるエミッション低減に取り組んでいるGGZEM（Golden Gate Zero Emission Marine）から米国で初となる燃料電池船「Water-Go-Round」の建造を受注した。2019年9月に引渡される。駆動システムはBAE Systemsが供給する2台の300kW電動モーターシステム、Hydrogenicsの360kW燃料電池とリチウムイオン電池のハイブリッドシステム、Hexagon Compositesの高圧水素タンク（バルブや水素供給システムはOMB-Saleriが供給する）などで構成される。この燃料電池船は水素充填なしで2日間の航行が可能である。

## オランダ政府の助成を受けたゼロエミッション船の開発コンソーシアム「FELMAR」がスタート

2018.8.1 FuelCellWorks、Nedstackプレスリリース



オランダ政府の助成を受けたゼロエミッション船の開発コンソーシアム「FELMAR」がスタートした。参加するのはNedstack、MARIN、Damen Shipyards Group、Future Proof Shipping、Marine Service Noord、Holland Ship Electricで、2019年末までに内航船や短距離を航行する船舶に搭載できるスケーラブルなPEFCシステムを開発する。

## 米Red and White Fleet、サンフランシスコ湾クルーズ船として燃料電池船を導入

2018.6.26 FuelCellWorks、Red and White Fleetプレスリリース



米国のサンフランシスコ湾で観光クルーズ事業をいとなむRed and White FleetはGolden Gate Zero Emission Marineと提携して、カリフォルニア大気資源局（CARB）から300万ドルの助成金を受け、2020年にサンフランシスコ湾の観光クルーズ船として燃料電池船「Water-Go-Round」を導入すると発表した。2020年の就航後、3か月間稼働する。その間、CARBは燃料電池の海洋利用のための技術適合性を検証するためSandia 国立研究所と共同で運行データを取得する。カナダのHydrogenicsが出力360kWの燃料電池を供給する。

## 米Sandia国立研究所の燃料電池研究船開発プロジェクト「Zero-V」の現状

2018.7.3 FuelCellWorks、Sandia国立研究所プレスリリース



米国のSandia国立研究所は以前から燃料電池で船舶を駆動する研究を進めてきた。「SF-BREEZE」は、サンフランシスコ湾を横断する150人乗りの旅客船開発プロジェクトで船舶の基本設計を実施した。そのプロジェクトを主導した研究者はスピンアウト企業Golden Gate Zero Emission Marineを設立して、実用化を目指している。「Zero-V」は海の生態系や環境を調査する燃料電池研究船の開発プロジェクトで、汚染物質や騒音を排出しない燃料電池の特徴が最も生かせるとして基本設計を完成させている。次のステップは、燃料電池研究船を建設する資金調達ということになる。



# TOSHIBA

ご清聴ありがとうございました