
Research and Development of Fuel Cell Boat at Tokyo University of Marine Science and Technology

「東京海洋大学における燃料電池船舶の研究開発について」

February 21, 2018

Tokyo University of Marine Science and Technology

Introduction

東京海洋大学は、世界初の急速充電対応型電池推進船「らいちょうI」、「らいちょうS」、「らいちょうN」を建造し、低環境負荷への展開、遠隔操船・自立航行など次世代水上交通システムの研究を行っている

Tokyo University of Marine Science and Technology developed and built the quick-charging compatible battery power electric boats "Raicho I", "Raicho S", and "Raicho N" for the first time in the world. and we are conducting research on the next generation water transportation system such as deployment to low environmental impact, remote control and autonomous navigation



Raicho-I

Raicho-S

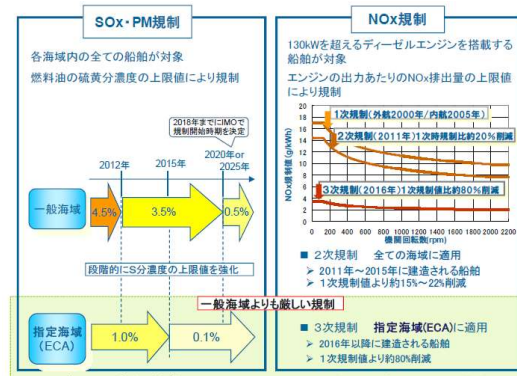
Raicho-N

Environmental issue caused by ships

1,大気環境 ⇨ 排ガス規制

NO_x,SO_x,PM

日本: 20トン以上の船は
約8,000隻

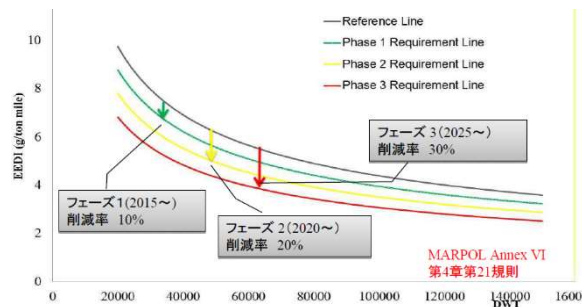


船舶からの大気汚染物質放出規制海域
(Emission Control Area :ECA)
北欧州(バルト海、北海、英仏海峡を含む)
北米(アメリカ及びカナダ沿岸200海里)

2,地球温暖化 ⇨ 温暖化ガス規制

CO₂,N₂O

国際海運から出されるCO₂は
全世界の排出量の3%(ドイツ1国分に相当) 843百トン
日本全体: 1,320百トン

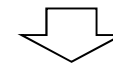


エネルギー効率設計指標: EEDI

(Energy Efficiency Design Index)を定義

貨物1トンを1マイル(海里)動かすのに必要な
CO₂排出量を示す指標

$$EEDI(g/t \cdot \text{マイル}) = \frac{[C] \times [\text{燃費率}(g/kWh)] \times [\text{機関出力}(kW)]}{[\text{積載重量}(t)] \times [\text{速度}(マイル/h)]}$$



排ガス規制の切り札に導入進むLNG燃料船

3,海洋汚染

油流出,有害化学物質

4,廃棄物

解撤,リサイクル

5,船舶からの騒音

船内騒音

6,海洋生態系

生物の越境移動

Ecofriendly ship

航海中に太陽電池(太陽光パネル768枚160kW)で発電した電力をリチウムイオン2次電池(2.2MWh)に蓄え、停泊中に空調や照明の電力に使用
大型船ではリチウムイオン2次電池は補機(発電機)として位置付けられている



2012年6月 商船三井 ハイブリッド自動車運搬船「エメラルドエース」が竣工 (商船三井HP)

LNG燃料船

従来の重油に比べ、

NO_x 85-90%削減

SO_x 100%削減

PM ほぼ100%削減 排出規制全てを遵守できる

また、二酸化炭素も25%削減できる。



2015年8月31日 日本郵船 日本初のLNG燃料船「魁」が竣工 (日本郵船HP)

Environmental measures at small watercraft

The environmental measure of a small watercraft is more effective when considered in the same way as the environmental measures of a automobile

ライフサイクルアセスメント(LCA) 影響評価(環境負荷を環境影響に換算)

(1) 燃料供給インフラ及び自動車の製造

(2) 燃料の製造

(Well to Tank)

一次エネルギーの採掘から燃料タンクに充填されるまで

(3) 燃料の使用(自動車の走行) (Tank to Wheel)

燃料タンクから車両走行まで

(4) 自動車のメンテナンス

(5) 燃料供給インフラ及び自動車の解体・廃棄

環境負荷項目

[エネルギー消費量]

エネルギー消費量(低位発熱量ベース) [MJ]

エネルギー効率 (低位発熱量ベース) [%]

[大気圏への排出物]

温室効果ガス: CH₄, CO₂, N₂O [kg]

化石燃料の燃焼に伴う環境負荷の排出はCO₂のみ考慮

欧米

General Motors, *et al.*[2001]、General Motors, *et al.*[2002]、EU Alternative Fuels Contact Group[2003] 日本(輸送用燃料を対象)
JHFC 総合効率検討特別委員会[2004]、石油産業活性化センター[2002-2]

ICE / EV / FCV Energy efficiency example at Well-to-Wheel

ICE



Petroleum refining , Transport , Internal combustion engine , Reduction gear etc.

$$\text{Efficiency } \eta_1 = 0.9 \quad \times \quad 0.98 \quad \times \quad 0.15 \sim 0.3 \quad \times \quad 0.8 \quad = \quad 0.1 \sim 0.2$$

EV



Power generation, Transmission, Charging, Motor and machine efficiency

$$\text{Efficiency } \eta_2 = 0.4 \sim 0.5 \quad \times \quad 0.95 \quad \times \quad 0.9 \quad \times \quad 0.8 \sim 0.9 \quad = \quad 0.27 \sim 0.38$$

FCV



Hydrogen station, Fuel cell, Motor and machine efficiency

$$\text{Efficiency } \eta_3 = 0.58 \quad \times \quad 0.4 \sim 0.5 \quad \times \quad 0.8 \sim 0.9 \quad = \quad 0.19 \sim 0.26$$

Town gas reforming method (70MPa)

“Raicho I”

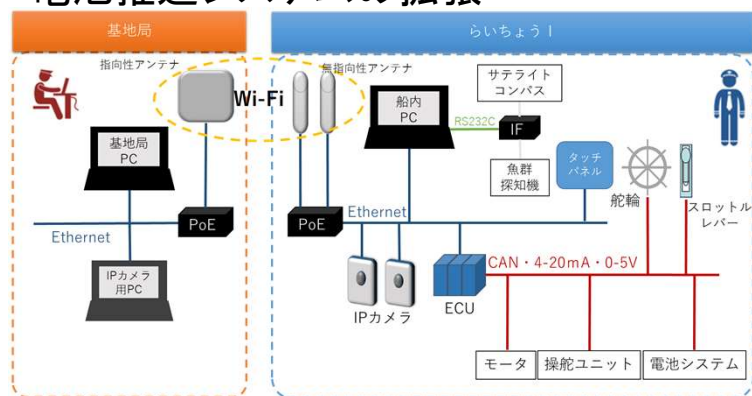
2010年5月急速充電対応型電池推進船のフィジビリティスタディ船として建造



The world's first quick charging compatible battery power electric boat. By using a lithium-ion secondary battery, driving the motor suppresses noise and vibration, and does not emit exhaust gas or carbon dioxide during navigation. In addition, the motor power can be increased and quick charging is possible (compliant with CHAdeMO standard).

- 全長 10 m
- 全幅 2.3 m
- 全深さ 1.2 m
- 電動機推進機定格出力 45 kW
- 計画速力
 - 1/2載荷状態) 15 knot
 - (満載状態) 12knot
- 最大船速時 45分
- 巡航速度時 約2時間
- 蓄電池容量 40 kWh
- 定員 乗組員 2名 旅客 10名
- 充電時間: 50 分間
- 急速充電プロトコルCHAdeMO搭載

自動運転船舶の実現に向けて
 自動運転技術の開発
 遠隔監視・操船支援システムの開発
 電池推進システムの拡張



らいちょう I の遠隔操縦システム構成図

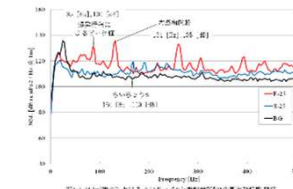
“ Raicho S “ Motor-driven water jet propulsion boat

2011年23年6月第2船として建造

世界初のモータ駆動ウォータージェット推進船とした



2011年 長崎県水産部「漁港(対馬) Ecosysytem」実証試験



水中音響

2012年 北海道開発局 寿都漁港電動漁船実証試験



ウォータージェット推進器



電池の温度が2℃程度より下がらないため寒冷地での影響はない

- 全長 8.04 m
- 全幅 2.24 m
- 全深さ 0.85 m
- 船体質量 1.35 ton
- 総トン数 1.3 ton
- 電動機推進機出力 45 kW
- 最大速力 12knot
- 最大船速時走行時間 45分
- 巡航速度時走行時間 約3時間
- 蓄電池容量 26kWh
- 定員 乗組員 8名
- 充電時間: 20 分間
- 急速充電プロトコルCHAdeMO搭載

2013年 石垣市 沖縄石垣島での社会実験



電池推進グラスボート ちゅらら

電池推進船の実用化

2016年 神奈川県 小網代湾での社会実験



神奈川県が進める薄膜太陽電池の普及事業の一環

“ Raicho N ”

2014年4月急速充電対応型電池推進船の第3船として建造



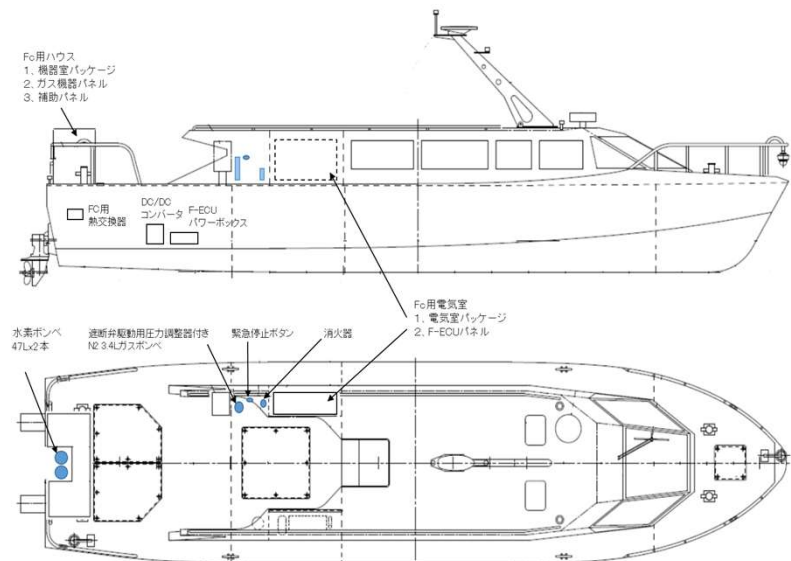
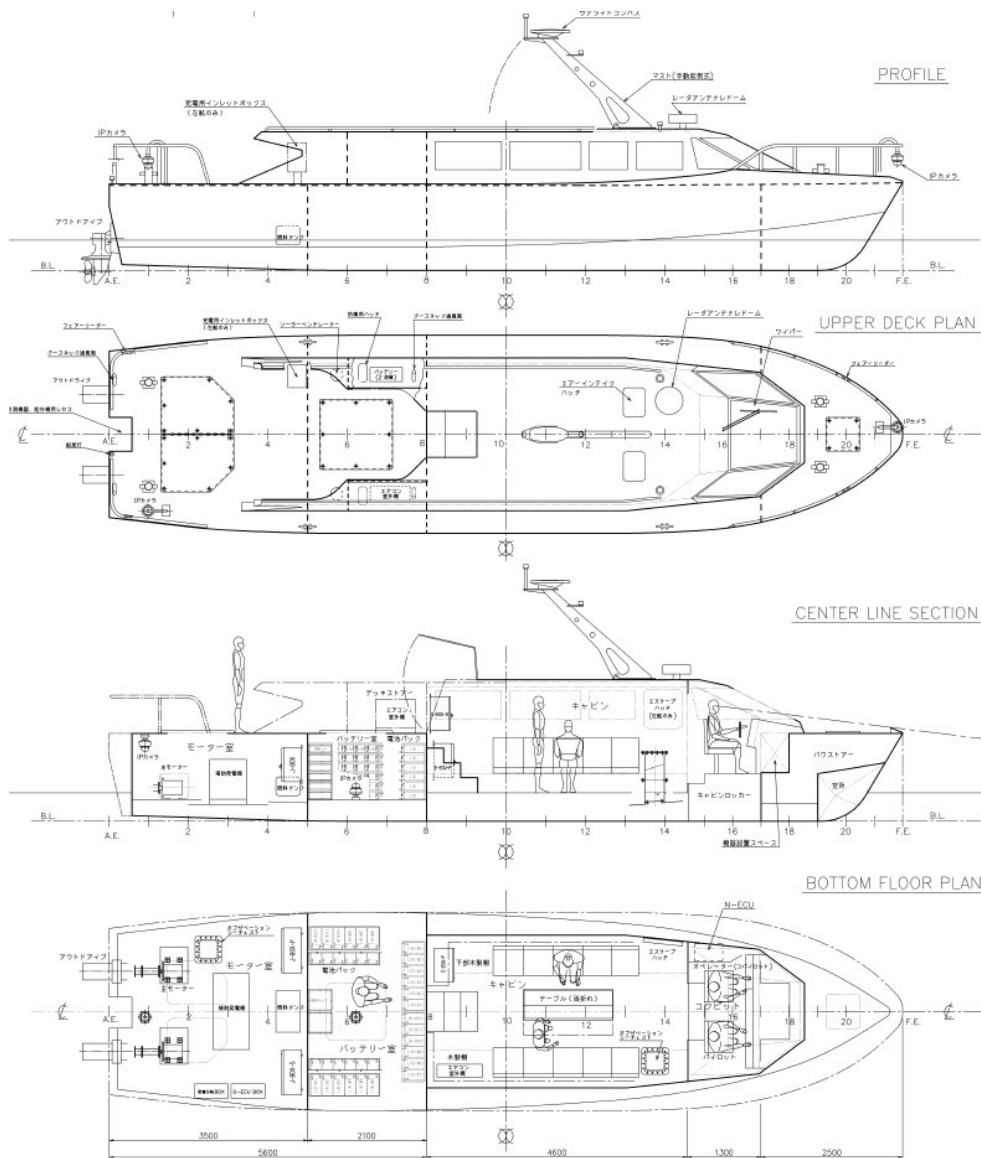
次世代水上交通システムの研究実験船

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化レベルの電池推進船

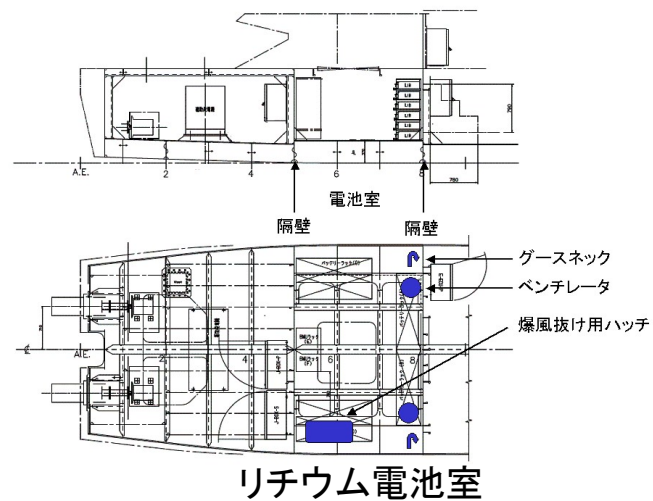
らいちょうNの発電システム

- ・多種の発電システムをアドオンできるレンジエクステンダータイプ
(燃料電池システムのアドオンは系統的に容易)

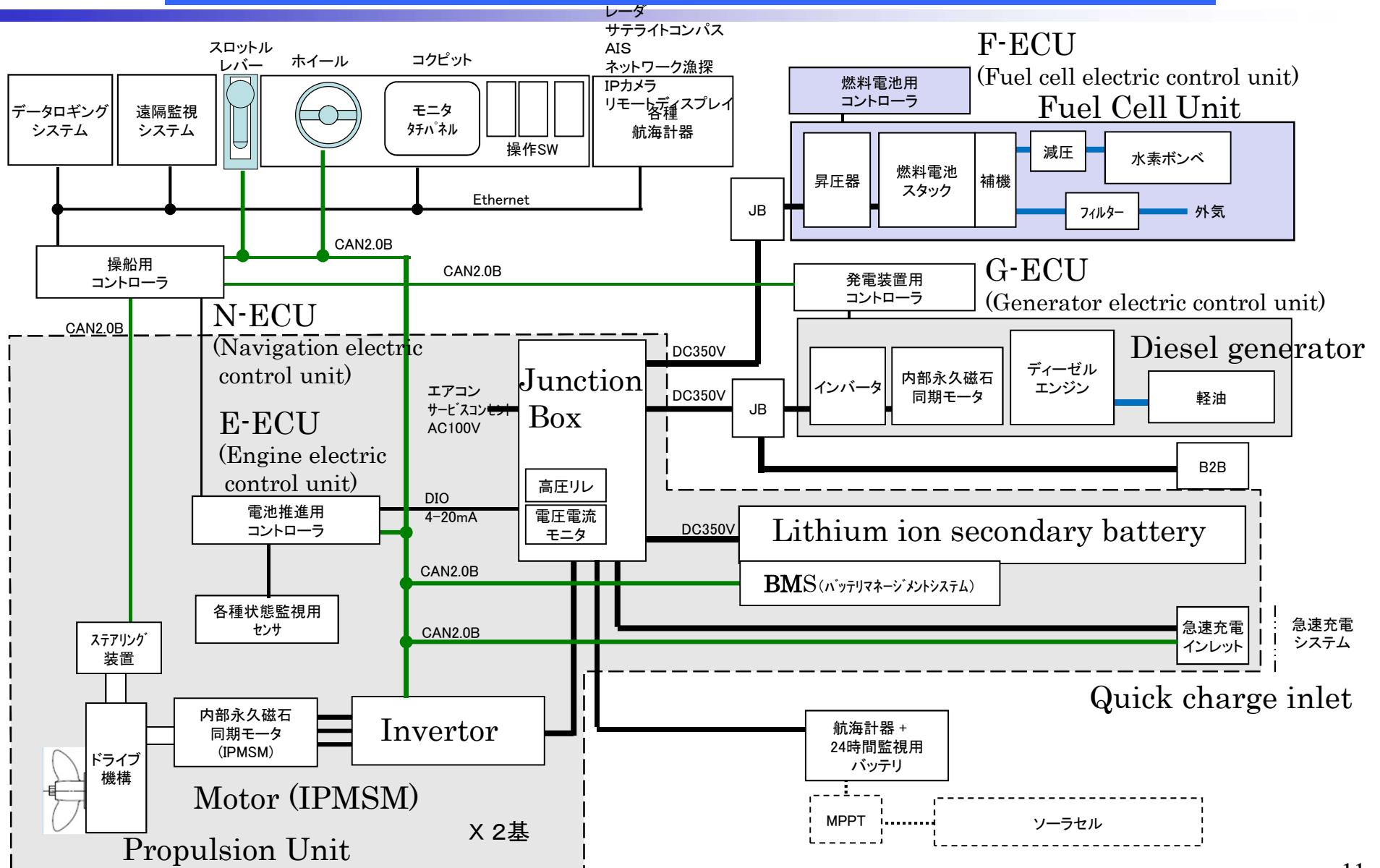
General arrangement



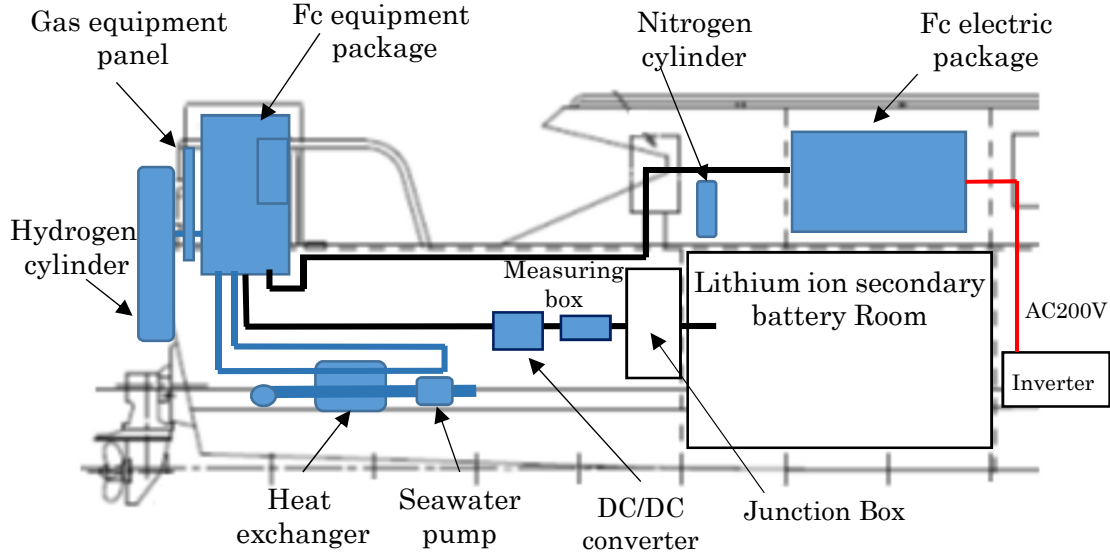
水素燃料電池搭載後



“Raicho N” System Configuration



Hydrogen fuel cell related photos



Main specification

I 主要要項		
主要寸法		
長さ(船体全体)	14.0m	
水線長	12.0m	
幅(最大)	3.5m	
全深さ(登録長の中央)	1.5m	
計画喫水	0.5m	
計画常備排水量	12.0ton	
計画総トン数	9.7GT	
資格		
検査及び航行区域	平水旅客船	
航行予定時間	3.0時間未満	安全法上客室不要
電動機		
型式	USEVW-80YS1-S1	
製造所	安川電機	
定格出力/回転数	45kW/4880rpm	最大瞬時出力80kW
重量	58kg	
台数	2基	
ドライブ		
型式	SD201-3	
製造所	ヤンマー	
減速比	1.61	
重量	72kg	
台数	2基	
推進器		
型式	2翼固定ピッチプロペラ	
製造所	ヤンマー	
直径	15"	
ピッチ	11"	
材質	AL	
台数	2基	
速力		
満載状態最大速力	11kt	電動機定格出力 100%
常備状態巡航速度	8kt	電動機出力
連続航行時間		
満載状態最大速力時		
常備状態巡航速度時	3.5時間	約50km(8kt)
搭載人員		
船員	2名	
旅客	10名	
その他		
III. 動力用電源		
主電源(リチウムイオン2次電池)	145 kWh	東芝SCIB
D/E発電 電力量	280 kWh	出力35kW (燃料:軽油100L)
水素燃料電池 電力量	20 kWh	出力 8kW (燃料:水素 7Nm3x2)

Main battery
145kWh Toshiba SCIB
(Lithium ion secondary battery)

Diesel Generator
280kWh
Generated power:35kW
(Diesel oil 100L)

Fuel Cell
20kWh
Generated power: 8kW
(Hydrogen 7Nm3x2)

The hydrogen fuel cell does not directly drive the main motor, but it is a power generator for the range extender of the lithium ion secondary battery.

Approximate estimation of hydrogen fuel cell power generation

水素燃料電池

- : 東芝燃料電池システム社
- : 最大出力 4kW x 2基 計8kW
- : 発電効率 50%以上

燃料 : 7Nm³ 14Mpa ボンベ x 2本

水素保有エネルギー

$$7(\text{Nm}^3) \times 2(\text{本}) \times 2.96 (\text{kWh}/\text{Nm}^3) = 42(\text{kWh})$$

発電電力量(発電効率 $\eta = 0.5$ とする)

$$42(\text{kWh}) \times 0.5 = 21(\text{kWh})$$

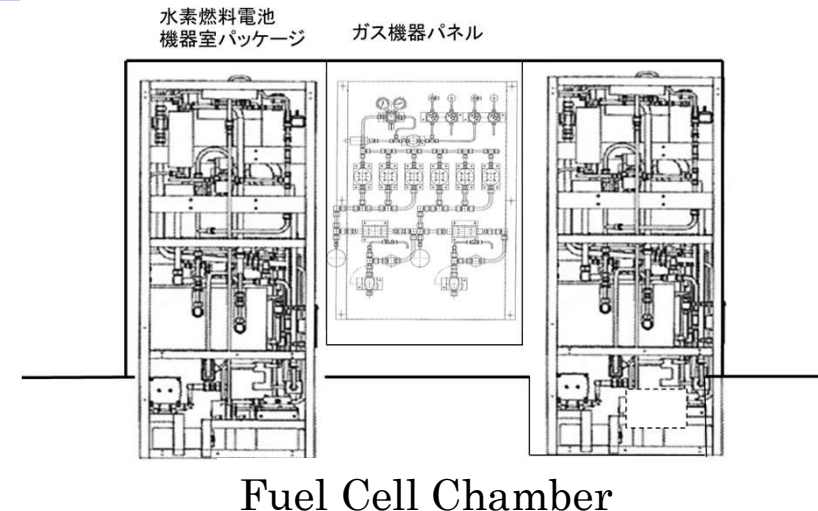
水素流量

$$8(\text{kW}) / 2.96 (\text{kWh}/\text{Nm}^3) / 0.5 = 89(\text{L}/\text{min})$$

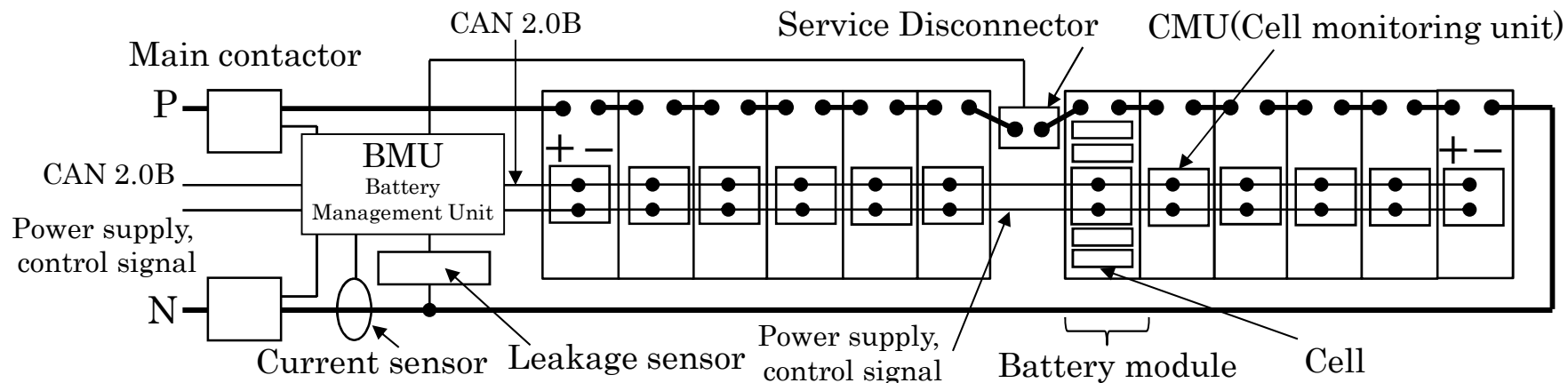
発電時間

$$42(\text{kWh}) / 8(\text{kW}) * 0.5 = 2.6(\text{h})$$

最大出力は8kWで巡航速度8knotに要する40kWの20%程度、
 発電電力量も20kWhで搭載リチウムイオン2次電池145kWhの13%程度である



Lithium ion secondary battery

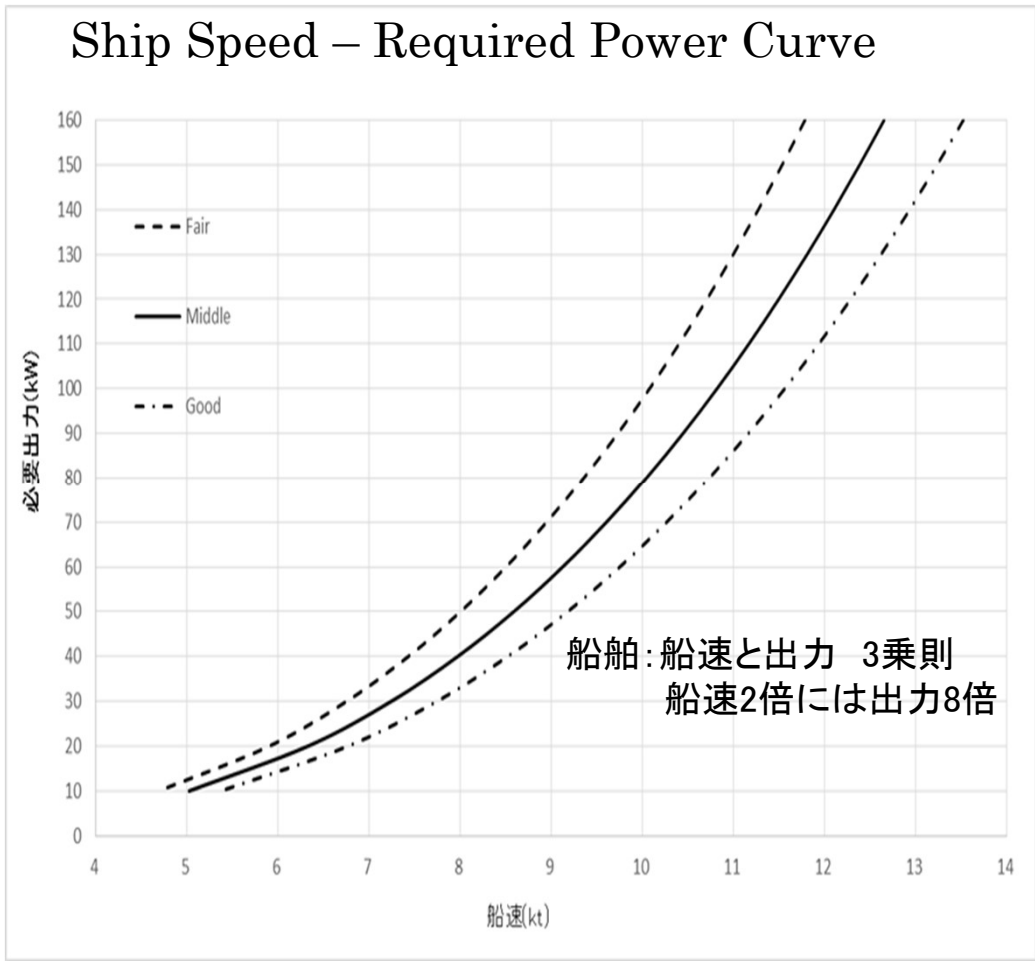


電池パック仕様	東芝社会インフラシステム社
使用モジュール	: FM01202CCA01A
公称電圧	: DC331.2V
公称容量	: 40Ah (13.2kWh) 25°C 0.2C放電時
最大電流	: 240A 充電時放電時 25°C
電圧変動範囲	: 259.2V - 388.8V
外形寸法(mm)	: (187(W) x 359(D) x 123(H)) x 12モジュール + α
重量	: 14kg x 12モジュール + α

「らいちょうN」は、11パック並列に用い 全容量は 145.2kWh としている

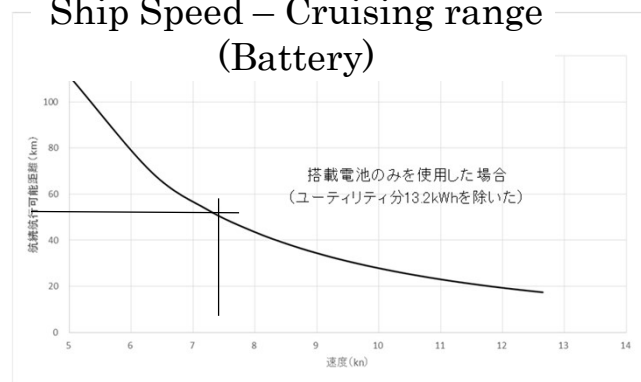
Ship speed & Cruising range

Ship Speed – Required Power Curve

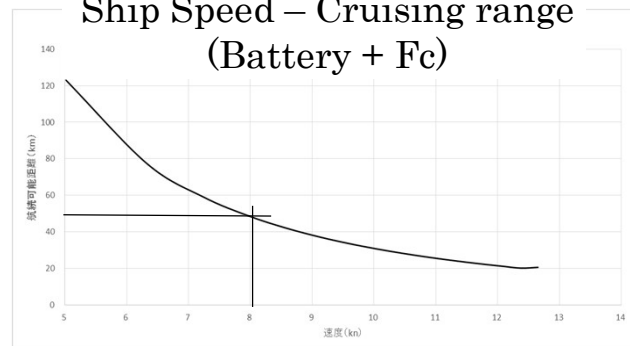


航続距離の算出は、ユーティリティ用として1パック(13.2kWh)を除き算出する
 電池公称容量132kWh = 13.2kWh x 10 電池システム
 使用可能容量を公称容量の90%とした

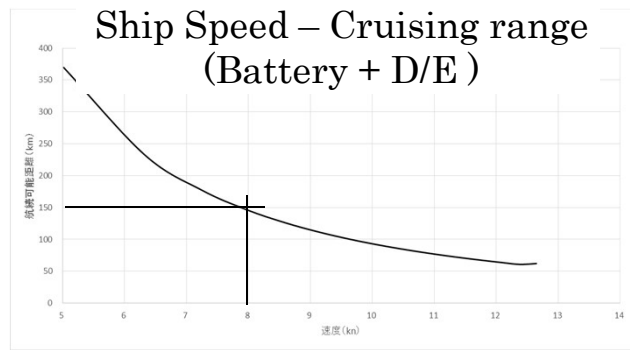
Ship Speed – Cruising range (Battery)



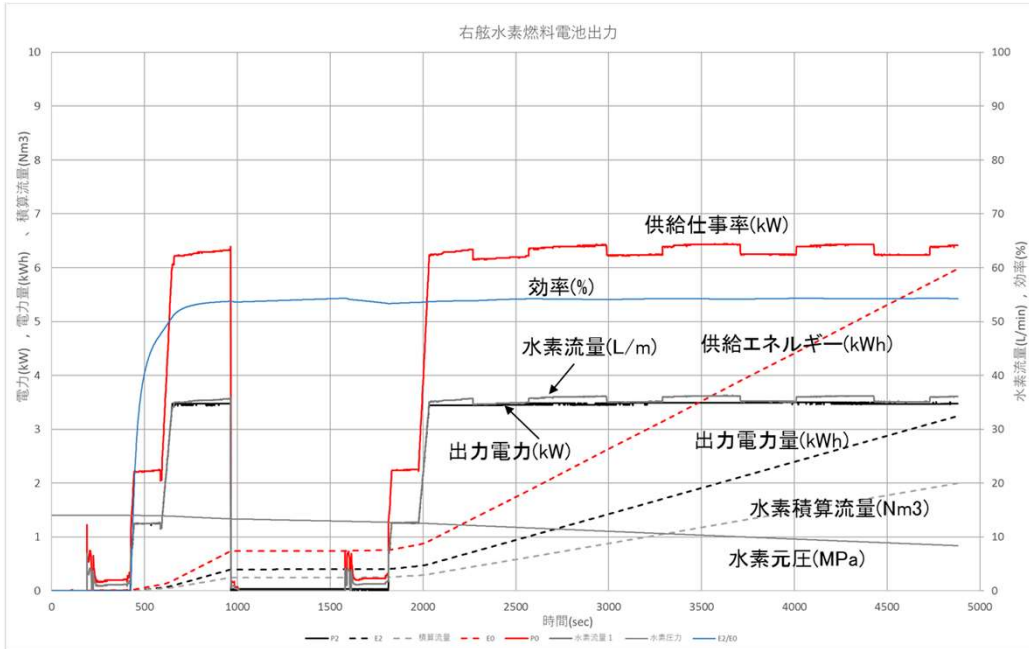
Ship Speed – Cruising range (Battery + Fc)



Ship Speed – Cruising range (Battery + D/E)

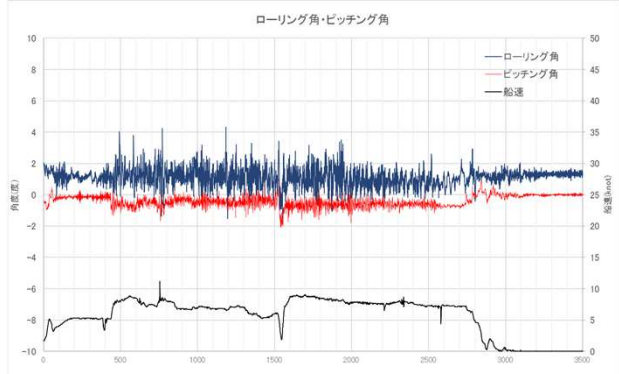
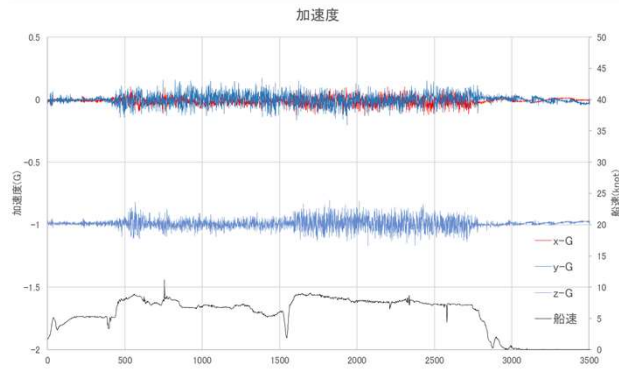


Hydrogen fuel cell measurement example



燃料電池系の状態計測

IMU (慣性計測装置: inertial measurement unit)による加速度、姿勢などの計測



位置	X	0.00	m
位置	Y	0.00	m
位置	Z	0.00	m
速度	X	0.00	m/s
速度	Y	0.00	m/s
速度	Z	0.00	m/s
姿勢	φ (roll)	0.00	°
姿勢	θ (pitch)	0.00	°
姿勢	ψ (yaw)	0.00	°

Salt damage preventing filter

らいちようN搭載の右舷側燃料電池に海塩粒子フィルターを適用
海塩粒子による燃料電池性能劣化の抑制効果の検証

右舷側燃料電池

左舷側燃料電池

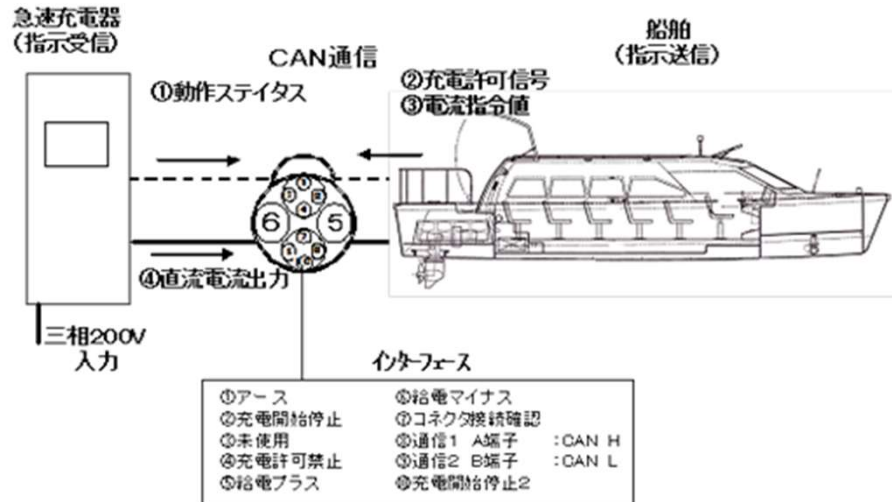


専用ダ外を通じ、外気を直接送り込むような配置とした

Bunkering (Quick charging to lithium ion secondary battery)

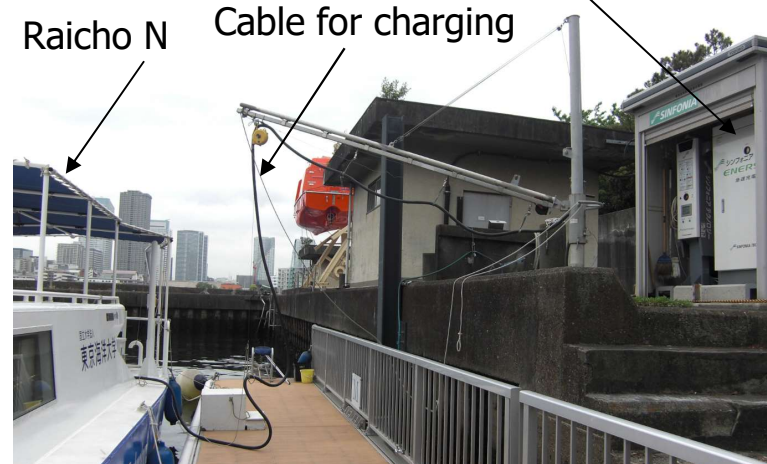
急速充電プロトコル

平成22年4月9日 CHAdeMO 評議会発行
電気自動車用急速充電スタンド標準仕様書
CHAdeMO Rev.0. 9 準拠



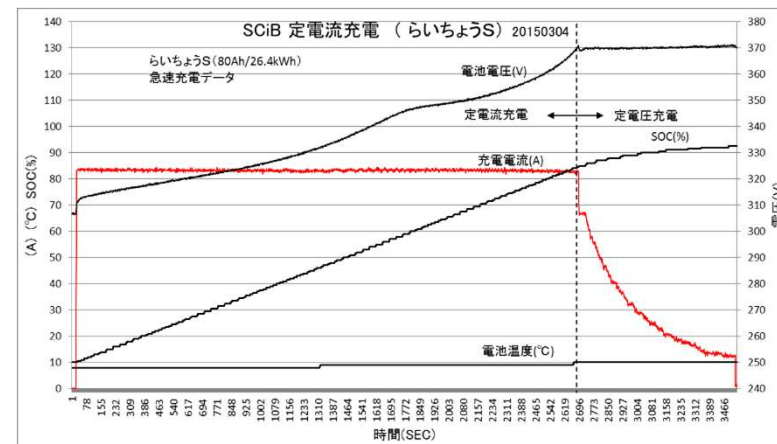
制御方式	車両の電流指令に基づく定電流制御
入力電源	3φ、200V AC(±15%)、50/60Hz(±5%)、cosθ=0.95 以上
出力範囲	DC 50~500V、DC 0~125A、最大電力 50kW リップル含有率:5%以下
変換効率	90%以上(補機損含む)
騒音	65dB 以下(周囲 1m、高さ 1m)
通信方式	通信プロトコル: CAN2.0B、ISO11898 伝送速度: 500kbps 周期: 100msec±10%
保護方式	主回路: 地絡および短絡時は電源を開放 制御回路: 地絡および短絡時は電源を開放

Quick charger of CHAdeMO standard



船舶ECUが電池の状態に応じて最適な充電電流を決定
充電器は船舶ECUから時々刻々送られてくる指令に従って直流電流を供給

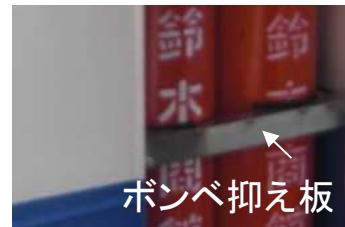
CCCV充電による急速充電



Bunkering (Removal of hydrogen cylinder)



水素燃料電池に用いる水素ポンベの着脱は、後部デリックを用いてボンベ一本ずつ行うデリックのサイズが小さい(荷物用を移設したため)ため積み下ろしの作業性は良くない



ポンベ装着後、ガス機器パネルと接続し、パージを行い管内の空気を取り除く

水素バンカリングは、水素燃料船の普及に向けて最も大きな課題

Safety standard (Lithium ion secondary battery)

2013年

船用リチウム2次電池に関するJIS原案作成を目的として
電気設備分科会の下にWGを設立

2014年度 JIS F8102

船用電気設備—リチウム二次電池を用いた蓄電池設備

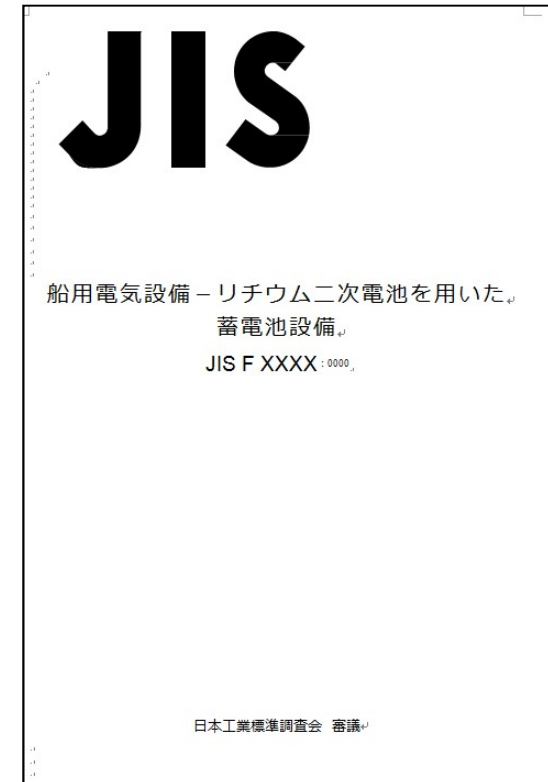
2017年度 JIS F8103

舟艇—電気機器—リチウム二次電池を用いた蓄電池設備

- ・大型船:リチウムイオン2次電池は補機(発電機)としての位置付け
- ・小型船舶:主機(モータ)へのエネルギー源として用いることが主流

・現状

日本小型船舶検査機構(JCI)は、検査の他にリチウムイオン2次電池を搭載する小型船舶に係わる安全運航対策 マニュアルを建造、運行者が制作し、JCIに提出することで認めている。



Safety standard (Hydrogen fuel cell)

国交省海事局は、一般財団法人日本船舶技術研究協会に委託
2015年度

第1回「水素燃料電池船の安全ガイドライン策定に向けた検討委員会」開催

- ・海外事例
- ・技術的課題の洗い出し
- ・燃料電池の暫定安全ガイドライン策定に係る安全要件の検討など
- ・船舶における燃料電池関係の資料・データ
(まだほとんどないのが現状)

2018年度(1月30日)

第6回の検討委員

「水素燃料電池船の安全ガイドライン」案が提示された。

IGF codeについては、小型船舶には適用されないが、低引火点燃料に対する同 code の安全確保の考え方をガイドラインに取り込むとされている。

・現状

日本小型船舶検査機構(JCI)は、ガイドライン骨子素案に照らせ合わせた審査と検査及び安全運航対策マニュアルの提出により、臨時航行を認めている。

燃料電池船の安全ガイドライン骨子案

1. 目的
本ガイドラインは、燃料電池を搭載した電気推進船の安全性確保を目的として、必要な技術的事項を示すものである。

2. 適用範囲
本ガイドラインが適用対象とする船舶及び燃料電池等は、表 1 に示す範囲とする。燃料電池及び水素燃料搭載に係る船体構造、推進電動機、水素燃料管装置、制御装置、電気設備は、本ガイドラインの規定による。なお、本ガイドラインが適用となる船舶は、小型船舶安全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 に示す。ただし、必要機器及び配管等については、この限りではない。

表 1 適用範囲の詳細

項目	適用範囲
船舶	総トン数 20 トン未満の小型船舶又は、総トン数 20 トン以上のものにおいて、スポーツ又はレクリエーションの用に供するものとして船体の長さが 24m 未満の船舶。 (小型旅客船・小型漁船を含む) (電気推進に限る)
電源	燃料電池と蓄電池 ²⁾ を利用したハイブリッド型の電源供給システム
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、又は可搬式水素ボンベにより供給
水素燃料タンクの設計圧力	70 MPa 未満 ³⁾
水素の形態	純水素 (圧縮ガス) を使用 ⁴⁾
酸素の供給方法	大気から供給
航行区域・水域	平水、限定沿岸 漁船にあっては、上記と同等の水域

Safety guideline for hydrogen fuel cell boat (Draft)

適用範囲

水素燃料電池船の安全ガイドライン骨子素案

船舶	総トン数 20トン未満の小型船舶又は、総トン数 20トン以上のものであって、スポーツ又は、レクリエーションの用に供するものとして船体の長さが 24m 未満の船舶。 (電気推進に限る)
電源	燃料電池と蓄電池を利用したハイブリッド型の電源供給システム
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ベにより供給
燃料タンクの設計圧力	70 MPa 未満
水素の形態	純水素(圧縮ガス)を使用
酸素の供給方法	大気から供給
航行区域・水域	平水, 限定沿海 漁船にあつては, 左記と同等の水域

ガイドラインの骨子

1.	目的	10.	燃料の使用
2.	一般	11.	火災安全
3.	機能要件	12.	防爆
4.	一般要件	13.	通風装置
5.	船舶の設計及び配置	14.	電気設備
6.	燃料格納設備	15.	制御, 監視及び安全装置
7.	材料及び燃料管装置	16.	検査
8.	バンカリング	17.	オペレーション
9.	機器への燃料の供給		付録. 運航マニュアル雛型

Safe navigation countermeasure manual “Raicho N”

安全運航対策マニュアル(らいちょうN)

I 総論

- 1 目的
- 2 適用範囲
- 3 本船の概要
 - 3.1 主要目
 - 3.2 電池推進システム構成
 - 3.3 推進用電動機仕様
 - 3.4 蓄電池仕様
 - 3.5 制御系仕様
 - 3.6 コントローラ構成
 - 3.7 電池推進システム構成と製作
 - 3.8 急速充電仕様
 - 3.9 アラーム一覧
 - 3.10 水素燃料電池システム
- 4, 遵守事項

II 安全対策

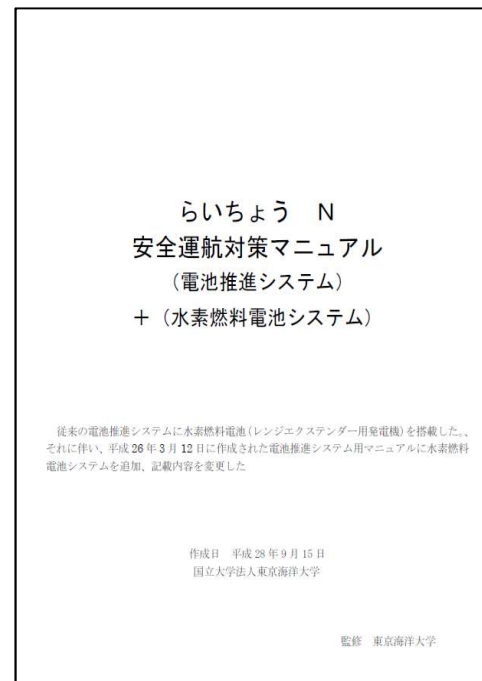
- 1 全般
- 2 充電時の安全対策
- 3 運転時の安全対策
- 4 停泊時の安全対策
- 5 船体及び構造上の安全対策
- 6 電池推進システムに係わる安全対策
- 7 水素燃料電池システムに係る安全対策
- 8 安全運航対策の周知と教育

III 重大異常発生時の対応

- 1 重大異常発生時における連絡先一覧
- 2 日本小型船舶検査機構検査検定課へ報告を要する重大異常について
- 3 重大異常発生時の初期対応について

添付資料

- 1 国際勧告テスト適合証明書
- 2 CHAdeMO標準仕様書



Hydrogen fuel cell new shipbuilding schedule

NREG東芝不動産(株)と2020年の水素燃料電池船の実運用を目指した
「スマートエネルギー都市に用いる水素燃料電池船開発」

スケジュール

