

“品川ウォーターフロント”と 新しい水上交通システムの 実現を目指して

国立大学法人東京海洋大学
学術研究院 海洋工学系
清水 悦郎



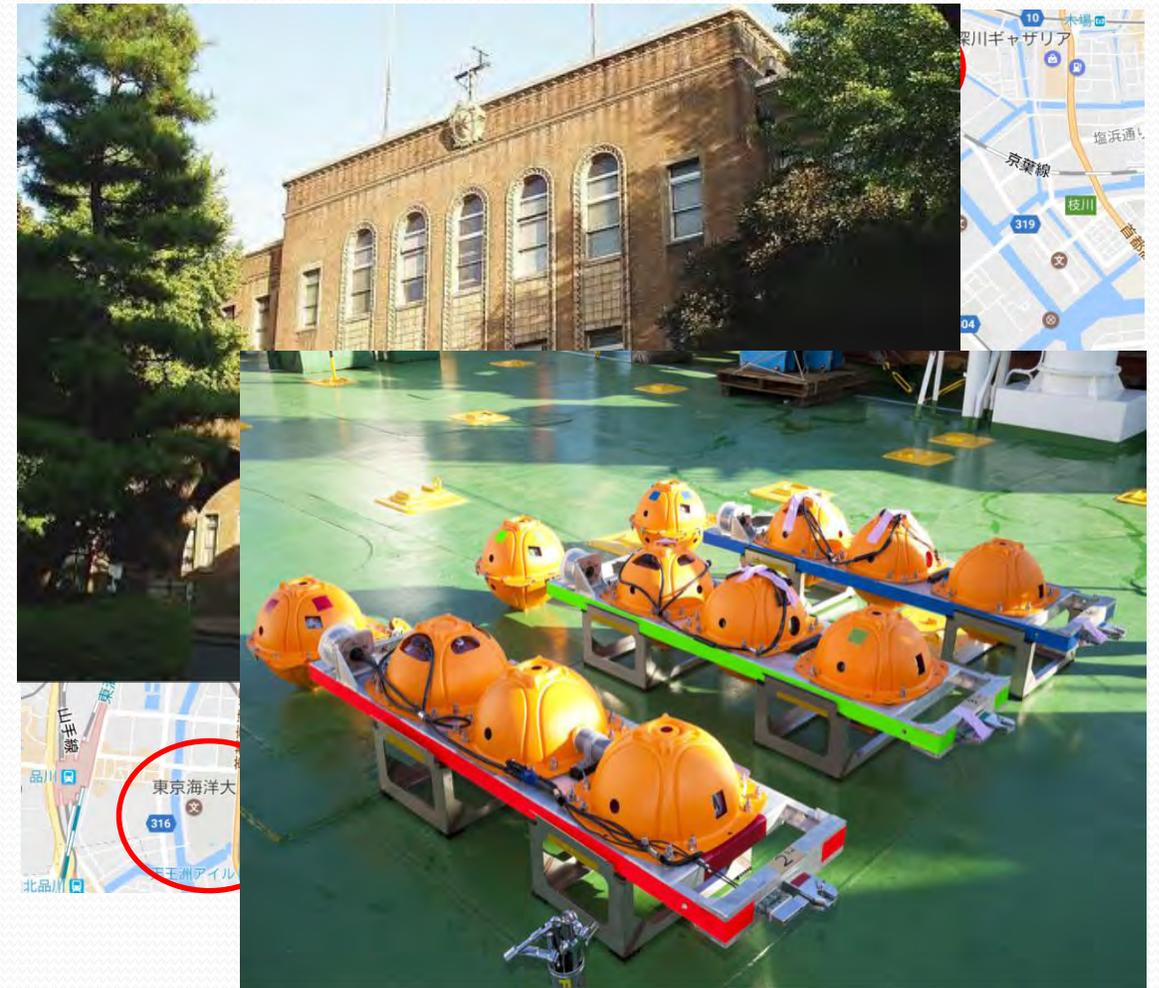
自己紹介

氏名：清水 悦郎

職業：国立大学法人東京海洋大学 准教授

主な研究内容：

- 次世代水上交通システムの開発
- 水中探査機器の開発



次世代水上交通システムとは？

排気ガスを出さない電池で動く船を使った
無人水上バスによる交通システム（AWPM）の実現



始めからAWPMの開発を
目指していたわけではない！！

らいちょうN
(燃料電池を搭載)



©2016 Google, ZENRIN



急速充電対応型電池推進船

- 急速充電対応型電池推進船とは？
 - 電池に蓄えられた電力で、電動モーターを駆動する（電池推進システム）ことによって航行する船舶
- 既存の船舶と比較して以下の機能を実現
 - 低騒音
 - 低振動
 - 排気ガスなし
(電池のみで航行する場合)
- 電気自動車の急速充電器に使用されている規格『CHAdeMO』に対応



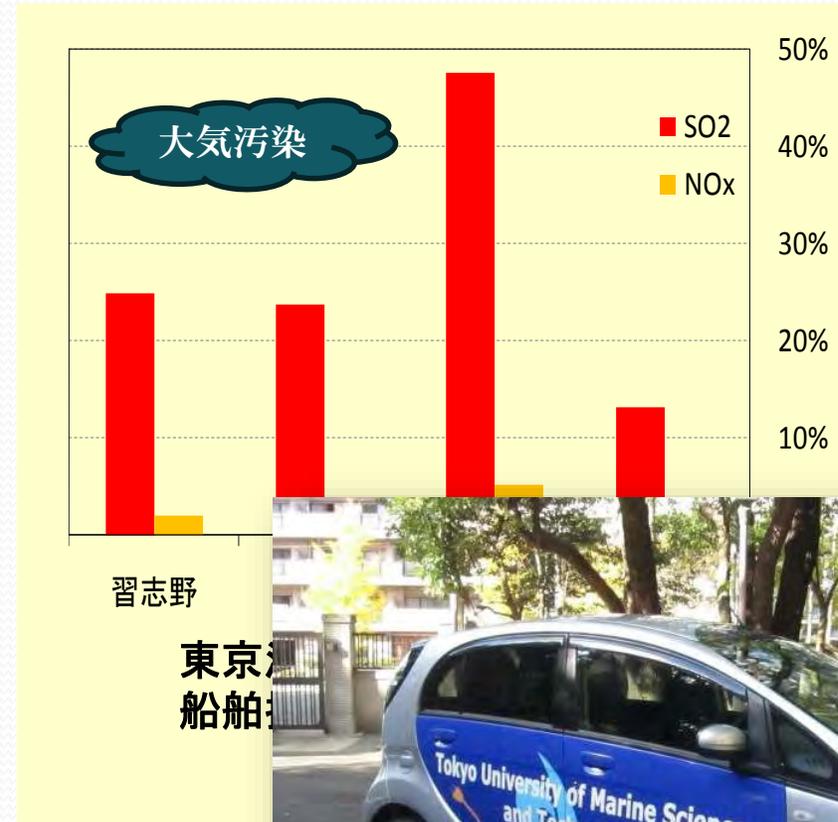
電池推進船開発の歴史

- 2009年春 電池推進船開発プロジェクト開始
プロジェクトリーダー 賞雅寛而
メンバー 大出剛，清水悦郎，波津久達也，木船弘康



プロジェクト開始当時の背景

- 東京湾岸域の大気汚染に対する船舶の寄与度が高い
- 陸上交通と比較して環境技術に遅れ
- 東日本大震災前であり特に深夜電力が余剰
- リチウムイオン電池技術の向上によりハイパワーが実現
- 急速充電システム&電気自動車の普及開始



電池推進船開発の歴史

- 2009年春 電池推進船開発プロジェクト開始
プロジェクトリーダー 賞雅寛而
メンバー 大出剛, 清水悦郎, 波津久達也, 木船弘康
- 2009年春 ドイツ ソーラーボート視察



ソーラーボート

- ドイツ ハイデルベルク市内のネッカー川で観光船としてソーラーボートが運航
- 電池推進船の可能性を調査するために視察
- 主要目
 - 全長 36.9 m
 - 全幅 5.4 m
 - 電動機推進機出力 25 kW×2
 - 蓄電池容量 345 kWh
 - 定員 250 名
- これまでの船舶とは異なる価値を実感



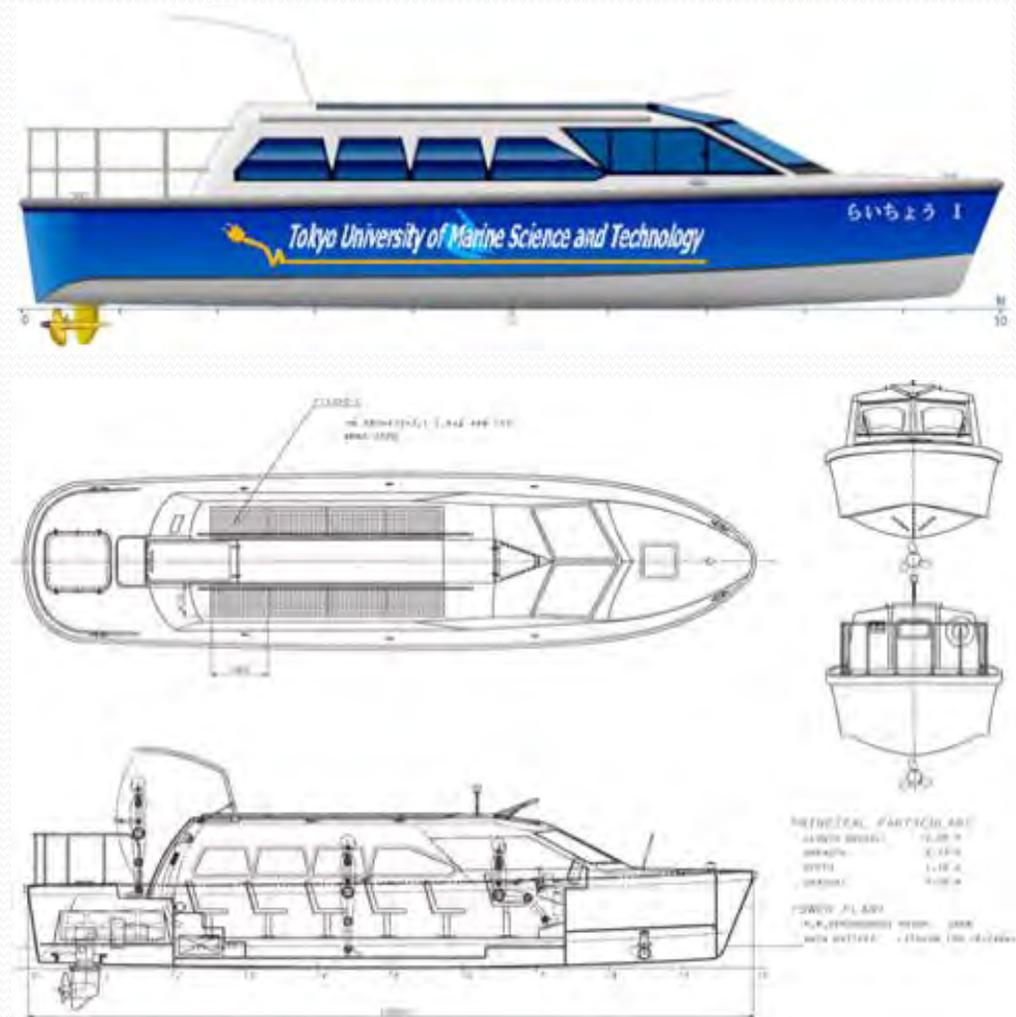
電池推進船開発の歴史

- 2009年春 電池推進船開発プロジェクト開始
プロジェクトリーダー 賞雅寛而
メンバー 大出剛, 清水悦郎, 波津久達也, 木船弘康
- 2009年春 ドイツ ソーラーボート視察
- 2009年冬 らいちょう I 建造開始
- 2010年春 らいちょう I 進水式
- 2010年夏 らいちょう I 運航試験開始



らいちょう I

- 2010年建造
- 主要目
 - 全長 10.0 m
 - 全幅 2.3 m
 - 全深さ 1.2 m
 - 電動機推進機出力 45 kW
 - 蓄電池容量 26 kWh
 - 定員 12 名
- 電気自動車の急速充電器に使用されている規格『CHAdeMO』に対応



電池推進船開発の歴史

- 2009年春 電池推進船開発プロジェクト開始
プロジェクトリーダー 賞雅寛而
メンバー 大出剛, 清水悦郎, 波津久達也, 木船弘康
- 2009年春 ドイツ ソーラーボート視察
- 2009年冬 らいちょう I 建造開始
- 2010年春 らいちょう I 進水式
- 2010年夏 らいちょう I 運航試験開始
- 2011年夏 らいちょう S 運航試験開始



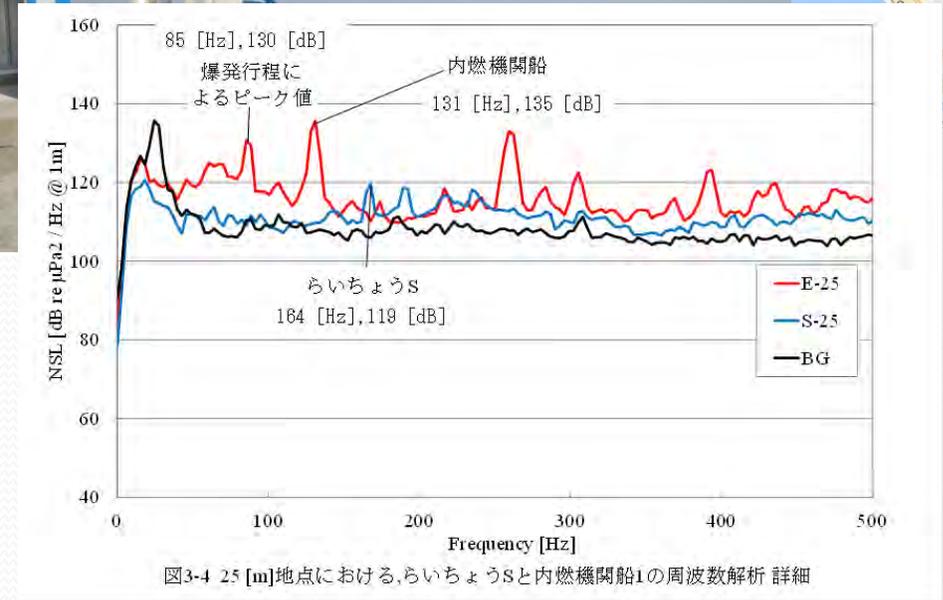
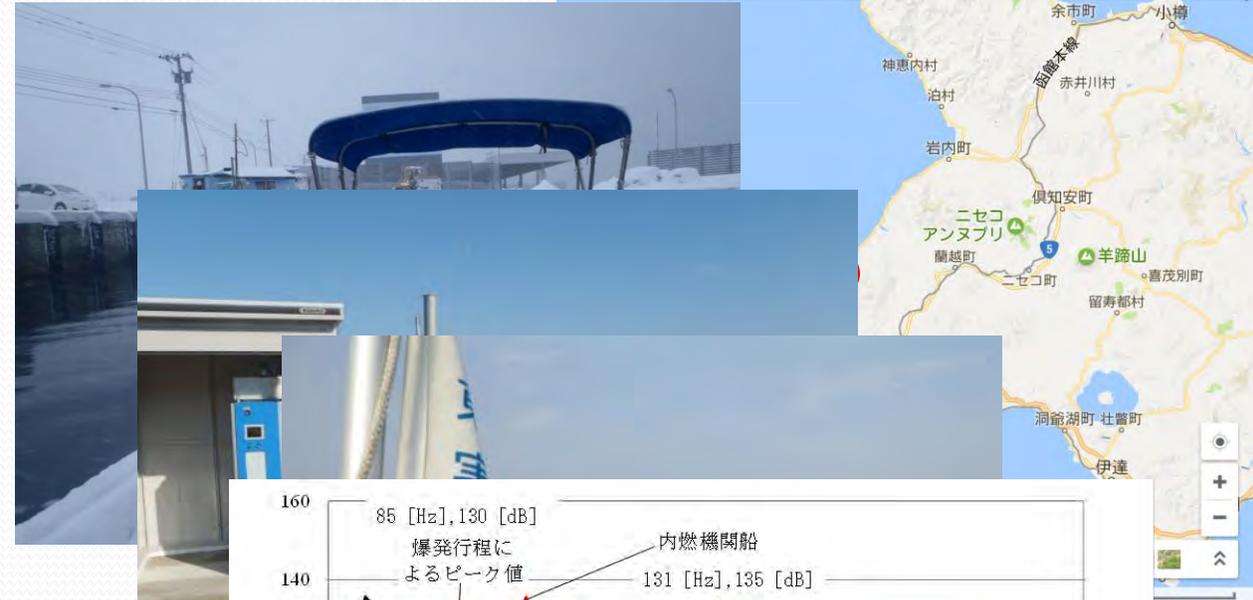
電池推進船 らいちょうS

- 2011年建造
- 主要目
 - 全長 8.0 m
 - 全幅 2.2 m
 - 全深さ 0.8 m
 - 電動機推進機出力 45 kW
 - 蓄電池容量 26 kWh
 - 定員 8 名
- ウォータージェット推進器を採用したため、水面付近にロープが張ってあるような水域でも航行可能
- 2016年春、屋根に設置した太陽電池を使って電池を充電できるように改造

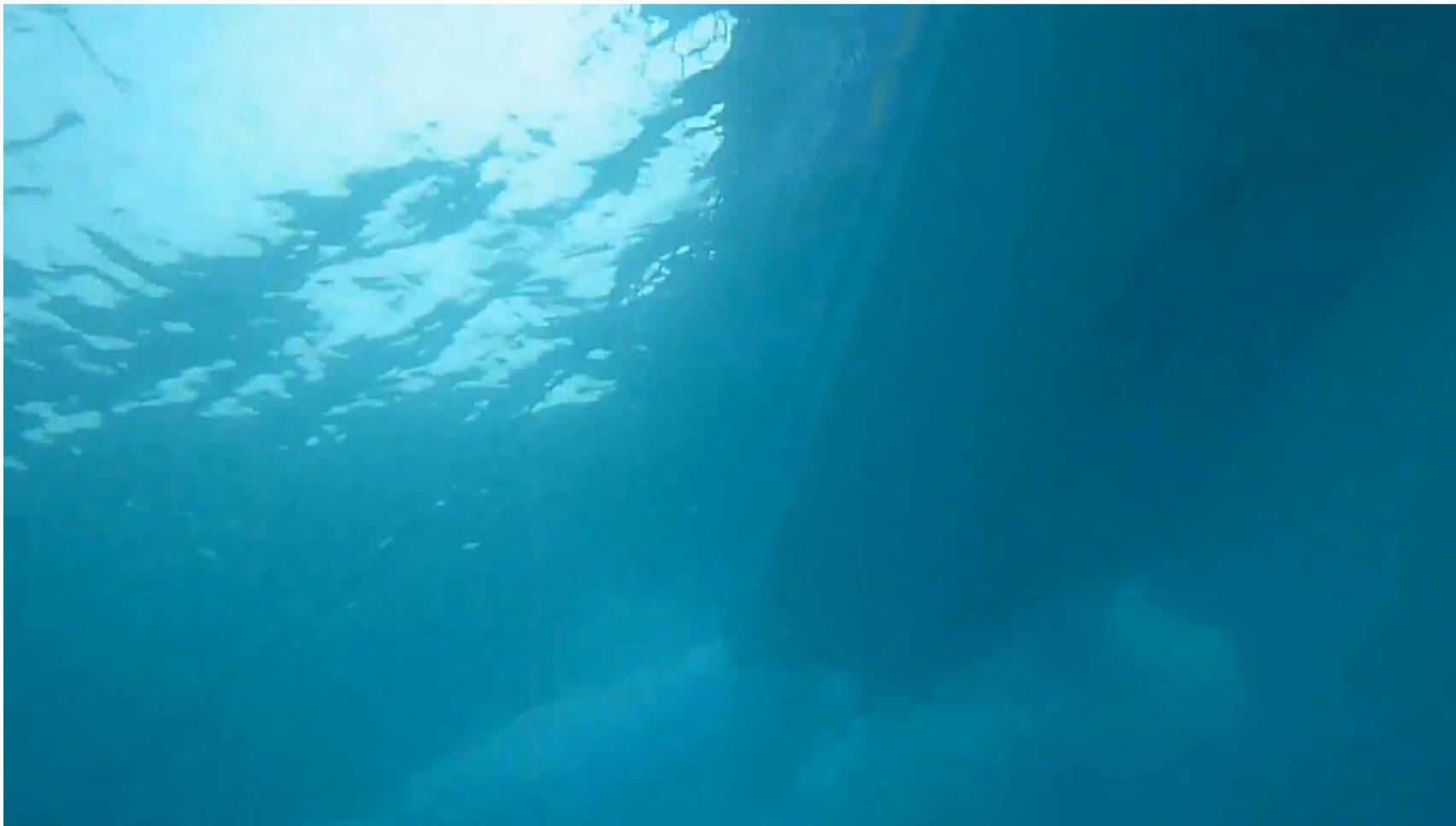


らいちょうSでの実験例

- らいちょうSは大型トラックで運搬できるため様々な場所にて運航実験を実施
 - 北海道寿都漁港
北海道開発局
電動漁船実証試験
 - 長崎県対馬豆酛漁港
長崎県水産部
「漁港Ecosystem」実証試験
 - 沖縄県石垣市
石垣市社会実験
 - 神奈川県横浜市
社会実験
 - 神奈川県三浦市小網代湾
社会実験（実施中）



らいちょうS航行実験の様子



電池推進船の問題点

- リチウムイオン電池と液体燃料のエネルギー密度を比較すると、電池は1/50程度のエネルギーしか貯蔵できない
- 内燃機関の効率を40%としても電池は1/20程度のエネルギー量
- さらに船舶の場合、回生エネルギーも期待出来ないため、電池だけだと1/20程度の距離しか航行できない
- 船舶では出力は船速の3乗に比例するという関係があるため、船速を落とせば航続可能距離を伸ばすことが出来るが移動に時間がかかってしまう
- 急速充電器を用いたとしても充電に時間がかかる

種類	体積エネルギー密度	重量エネルギー密度
ガolin	9610 Wh/L	12900 Wh/kg
軽油	10610 Wh/L	12940 Wh/kg
鉛蓄電池	40 Wh/L	10 Wh/kg
リチウムイオン電池	200 Wh/L	80 Wh/kg



次世代水上交通システムの開発

排気ガスを出さない電池で動く船を使った
無人水上バスによる交通システムの実現



ハイブリッド電池推進船 らいちょうN

- 2014年建造
- 主要目
 - 全長 14.0 m
 - 全幅 3.5 m
 - 全深さ 2.0 m
 - 電動機推進機出力 45 kW×2
 - 蓄電池容量 145 kWh
 - 定員 12 名
- 航続可能距離を延長するためにディーゼル発電機を搭載



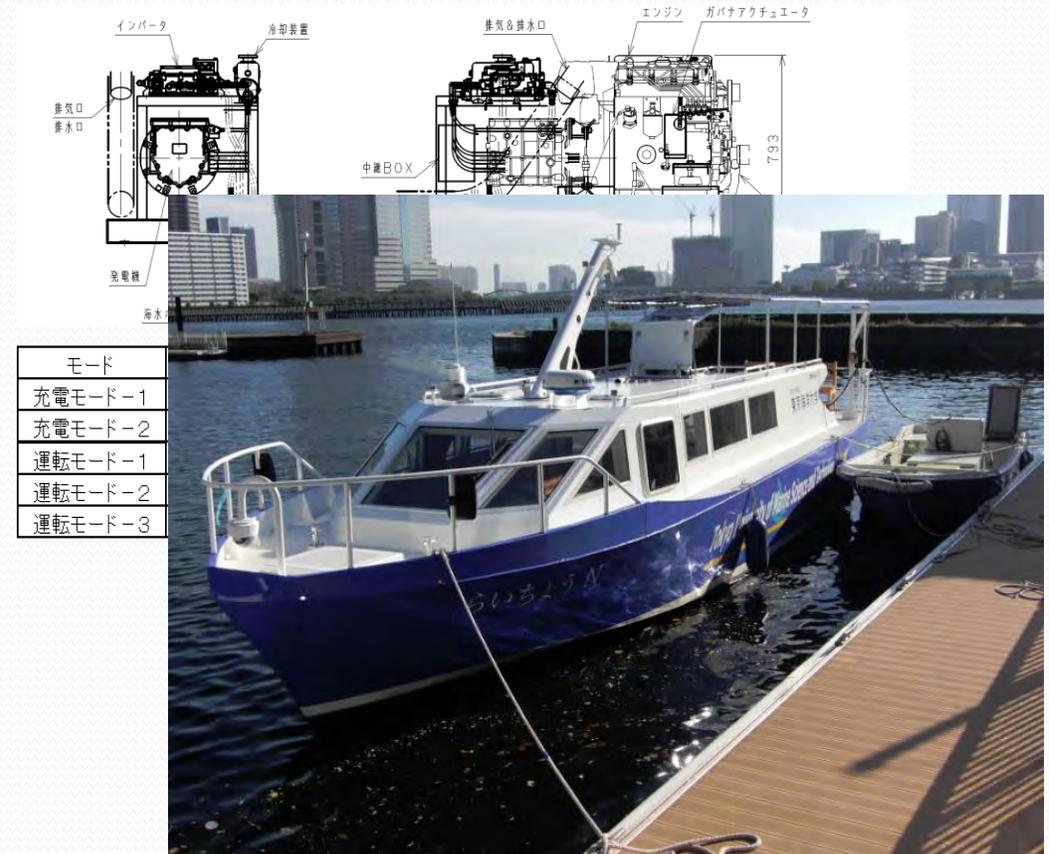
電池推進システム

- モータードライブシステムを2セット採用
 - 仕様（モータ部）
 - 連続定格トルク 88 Nm
 - 最大瞬時トルク 200 Nm
 - 定格出力 45 kW
 - 瞬時最大出力 80 kW
 - 仕様（インバータ部）
 - 動作保証電圧 DC230V-DC430V
(定格350V)
- リチウムイオン二次電池を採用
 - 仕様
 - SCiB
 - 電池パック (13.2kWh) ×11



ハイブリッド&B2Bシステム

- 更なる航続可能距離の延長を目指しディーゼルエンジンによる非常用発電機を搭載しハイブリッド化
- ディーゼルエンジンに限らず他の発電機も接続可能
- 電力に余裕ができることを利用して他の電池推進船に電力供給も可能 (B2B)
- 災害時においても電池推進船利用の可能性が拡大



らいちょうNの航行映像



電池推進船の実用化状況

- 2014年より、沖縄県石垣市の川平湾にて電池推進グラスボートが営業運航中
- 川平湾はミシュラン三つ星に認定された、非常に自然の美しい観光地であり、観光と環境保護の両立を目的に導入
- 技術的には実用化の段階にはいっているが、建造コスト、インフラ整備等の問題があり、導入が進んでいない



社会環境に依存する問題点

- 電池推進システムの導入が進めやすい小型船舶の日本国内での登録数は漁船等を含めても約35万隻（自家用乗用車の国内登録台数は約6000万台、販売は年間約500万台）
- 急速充電器では50kWを電池に供給するため、一箇所に複数台の急速充電器を設置することは困難（一般家庭（100V、50A契約と仮定）10件分の電力が急速充電器一台あたり必要。一般家庭における一日の使用電力量は15kWh程度であるため、実際の電力で考えると中高層マンション一棟分の電力に相当）
- 電池性能の向上、価格低下がなかなか進まない（現在、1kWhあたり数万円）
- 東日本大震災以降の社会情勢の変化を受けエネルギー源多様化に対する対応も必要
- 単に船舶としての開発だけでなく社会インフラとしての価値があるかの検討も必要

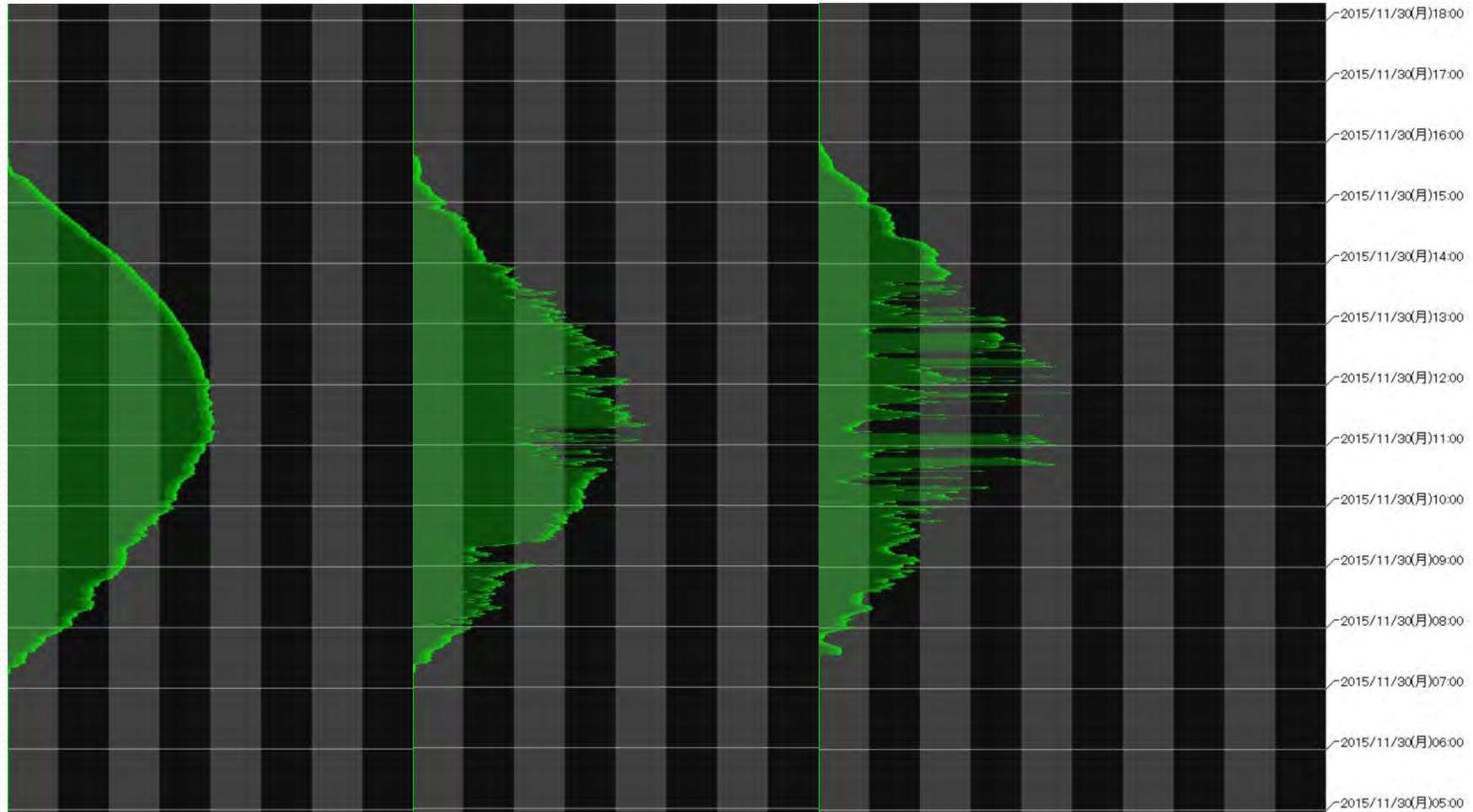


エネルギー源多様化に向けて

- 現在の人間社会においてエネルギーは必要不可欠
- 環境負荷の低減に向けて、更なる省エネルギー化、低炭素社会の実現が必要
- 太陽光や風力など再生可能エネルギーは低炭素社会実現に向けての重要な技術の一つ
- 電気エネルギーは、現在、貯蔵する技術が充分ではないため発電した電力をすぐに消費するという体制
- 電池や揚水発電は電気エネルギーを貯蔵する技術の一種
- 再生可能エネルギーの中には不安定な電源も多いため、ハードウェア、ソフトウェアを含めた適材適所な利用法構築が重要



太陽光発電の発電量変動例



燃料電池船開発に向けた社会的背景

- 経済産業省、国土交通省、環境省の連名による報告「分散型エネルギー資源の活用によるエネルギー・環境問題の解決」で以下のような記載がある
- 電気を蓄える技術の一つとして、水素を考えている
- NREG東芝不動産株式会社（野村不動産グループ）は、東京都港区芝浦一丁目地区において、**先端水素技術の情報発信および舟運の活性化等をテーマ**に、国家戦略特区を活用した大規模再開発を目指し行政協議を行っている
- 東京オリンピック・パラリンピック時に水素屋形船を航行させるという話もある

第4回東京圏国家戦略特別区域会議東京都提出資料より

芝浦一丁目地区(野村不動産・NREG東芝不動産)
水辺の賑わいの創出、舟運の活性化、先端水素技術の発信等による観光・ビジネス交流拠点の整備
都市計画の決定等の目途:平成29年中

江東 足立の花火 場所取りマナー24時間警戒 区専用警備員最大で12人

水素都市 注目浴びる好機

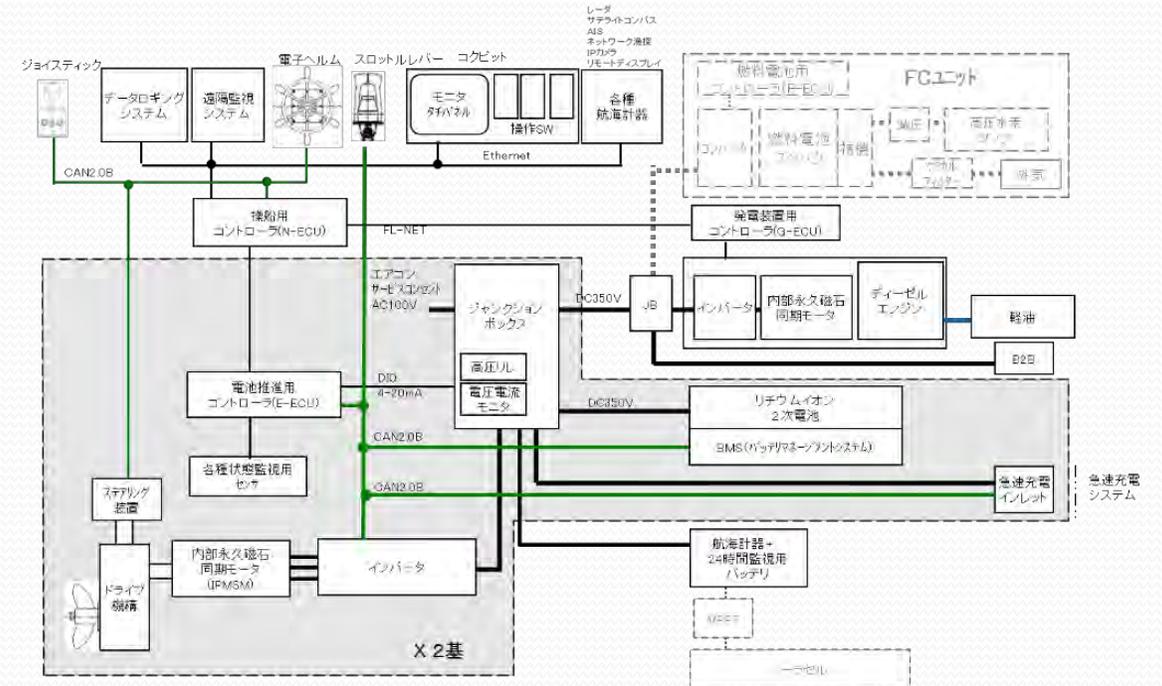
車6000台目指す電力源にも

エネルギー・水素社会の確立

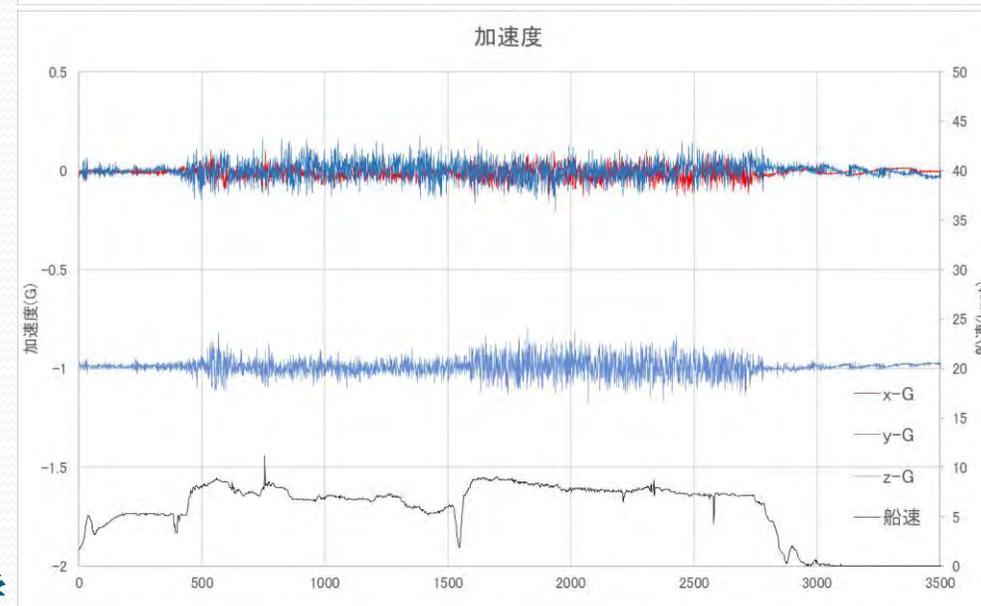
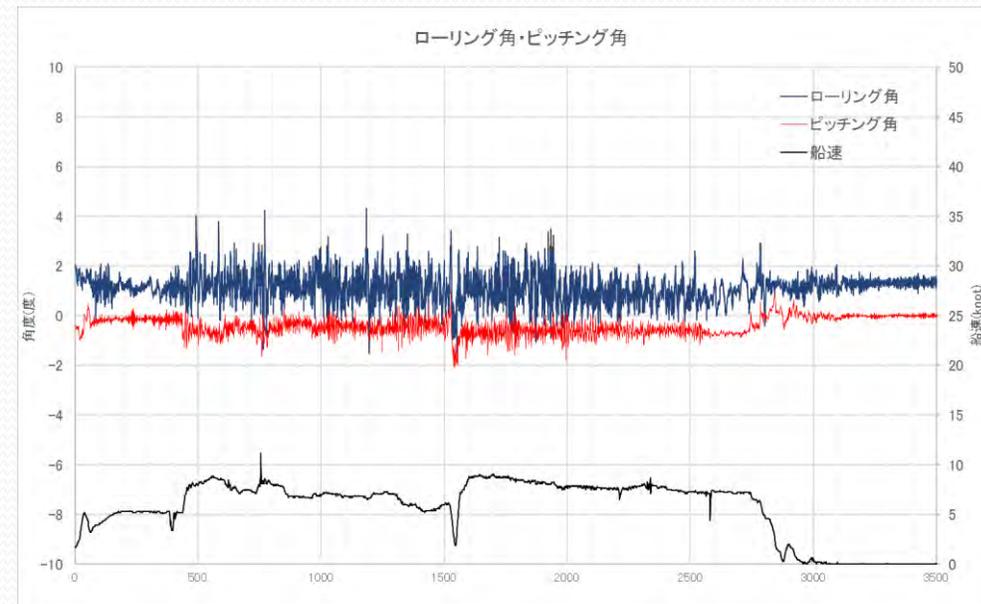
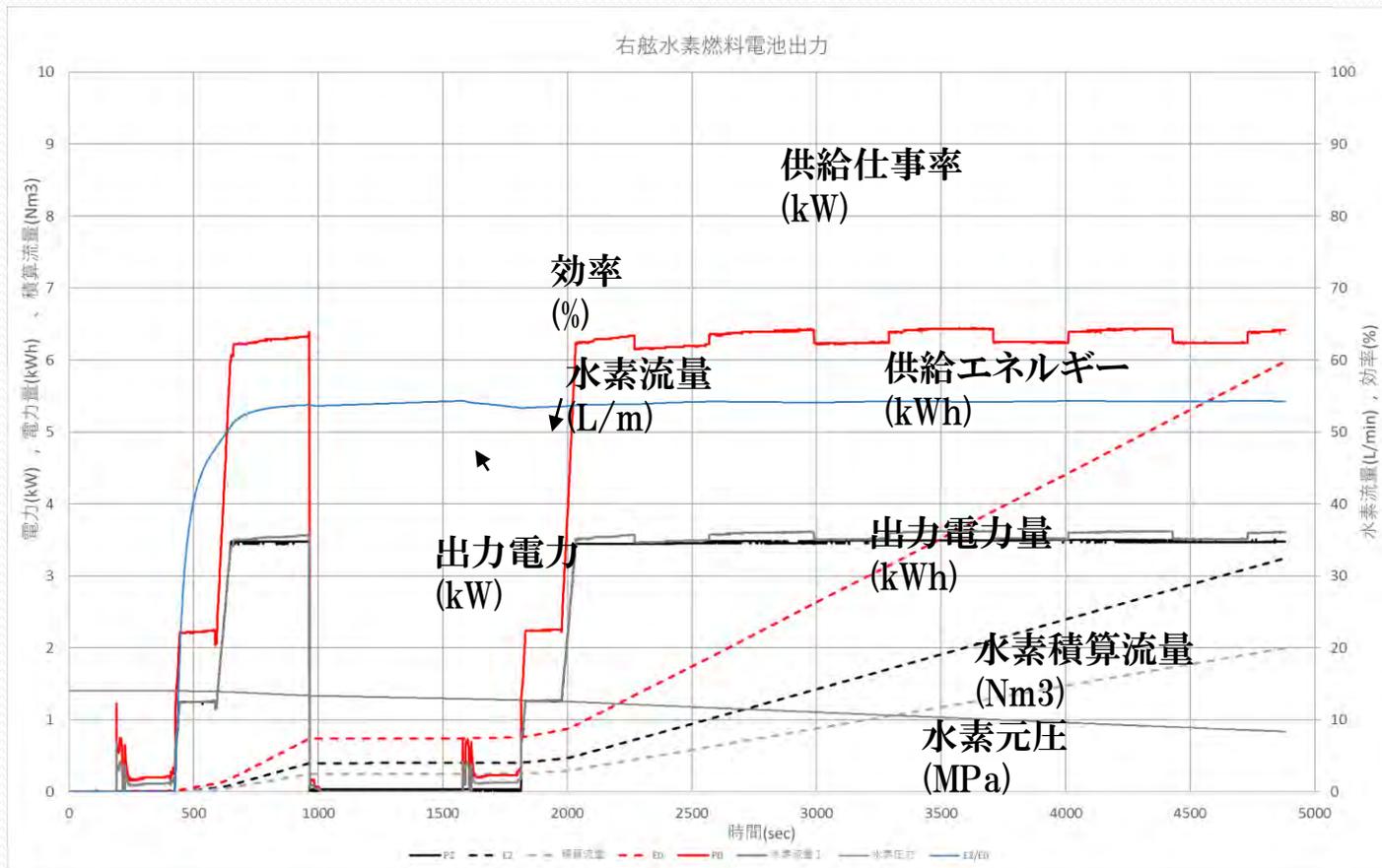


燃料電池システムの搭載

- らいちょうN建造時に、航続可能距離の延長を目指しディーゼルエンジンによる非常用発電機を搭載しハイブリッド化は実施済
- ディーゼルエンジンに限らず他の発電機も接続可能
- このシステムに発電機として**燃料電池システムを追加搭載**



水素燃料電池の実験例



らいちょうN (FC搭載) の航行映像



らいちょうN (FC搭載) の主仕様

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	安全法上空室不要
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: 灯油100L)
水素燃料電池 電力量	20 kWh	出力 8kW (燃料: 水素 7Nm ³ x2)

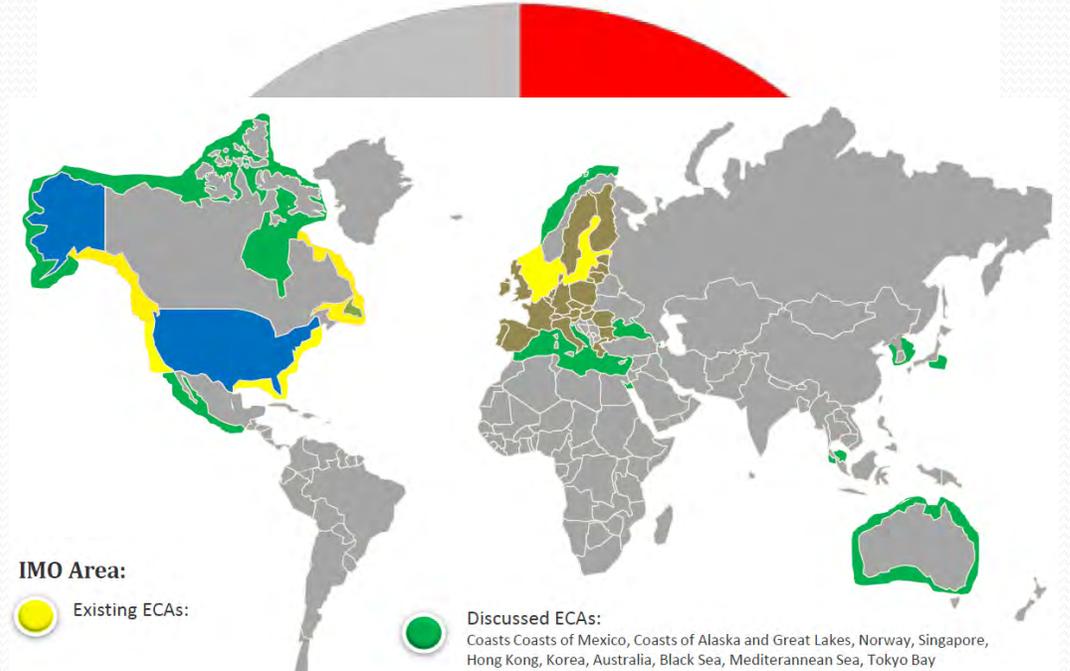


その他将来に向けた技術開発

- 海難事故の75%以上は人為的要因
- 鉄道や自動車分野においては、無人運転に関する技術開発が活発化
- 船舶分野においても海外ではMUNIN Projectなど無人航行・遠隔監視に関する技術開発が活発化
- 人的負担の削減ならびに事故を減少させるためにも、自動化技術は積極的に導入すべき技術
- 同時に環境負荷低減対策、再生可能エネルギーの活用も喫緊の課題

水上バスやフェリーに、自動化技術・環境対策技術を融合して新たな水上交通システム (Autonomous Waterborne People Mover, AWPM) が作れないか？

【事故原因別の割合 (過去5年間)】



IMO Area:

Existing ECAs:

Discussed ECAs:

Coasts of Mexico, Coasts of Alaska and Great Lakes, Norway, Singapore, Hong Kong, Korea, Australia, Black Sea, Mediterranean Sea, Tokyo Bay

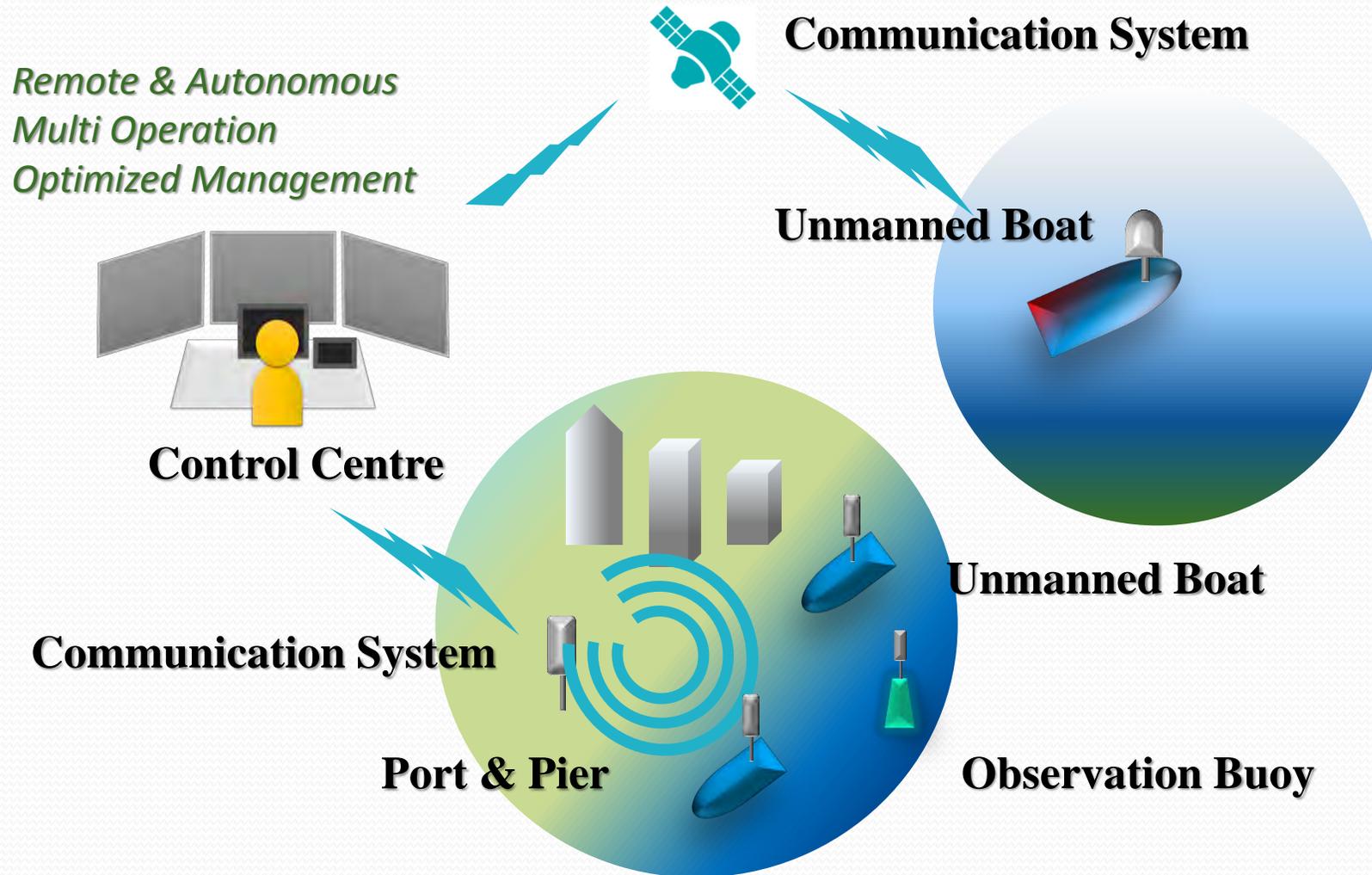
出展 : <http://docplayer.dk/11458393-Comparing-wet-and-dry-exhaust-gas-cleaning-systems.html>



海上保安庁資料より

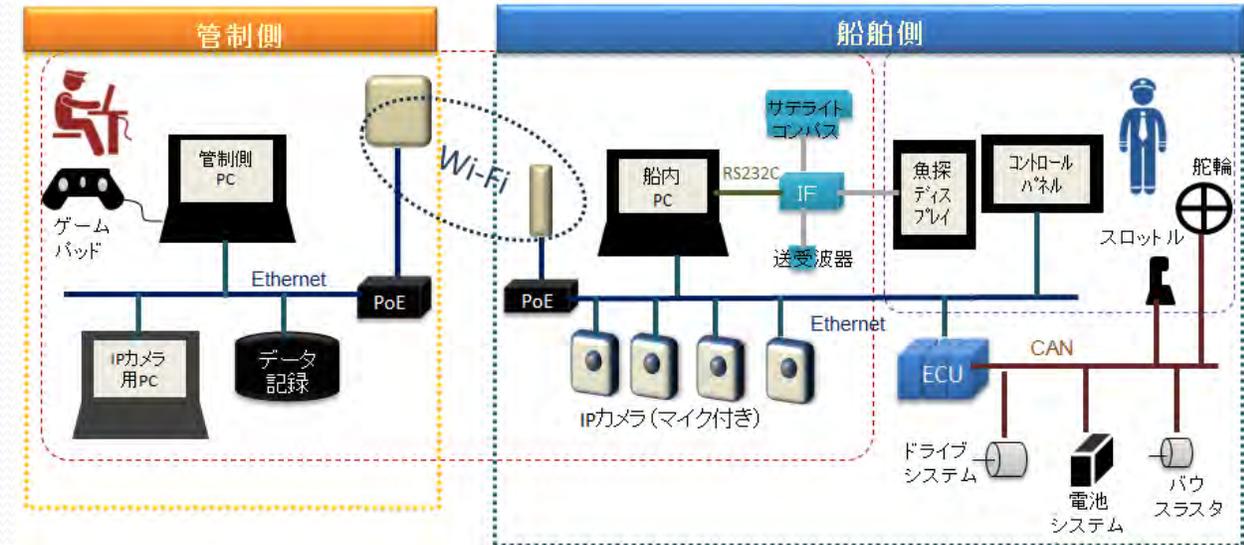


AWPMの構成要素



自動運転船舶の実現に向けて

- 自動運転水上交通システムの実現には以下の機能を実現することが必要
 - 自動運転技術
 - カメラ等による障害物探知技術
 - 障害物回避アルゴリズムの構築
 - 流れ等があるもとでの自動航行技術
 - 自動離着岸技術 など
 - 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
- 各種法規制への対応
 - 船舶安全法
 - 小型船舶安全規則
- 災害時への対応



遠隔操船実験の様子

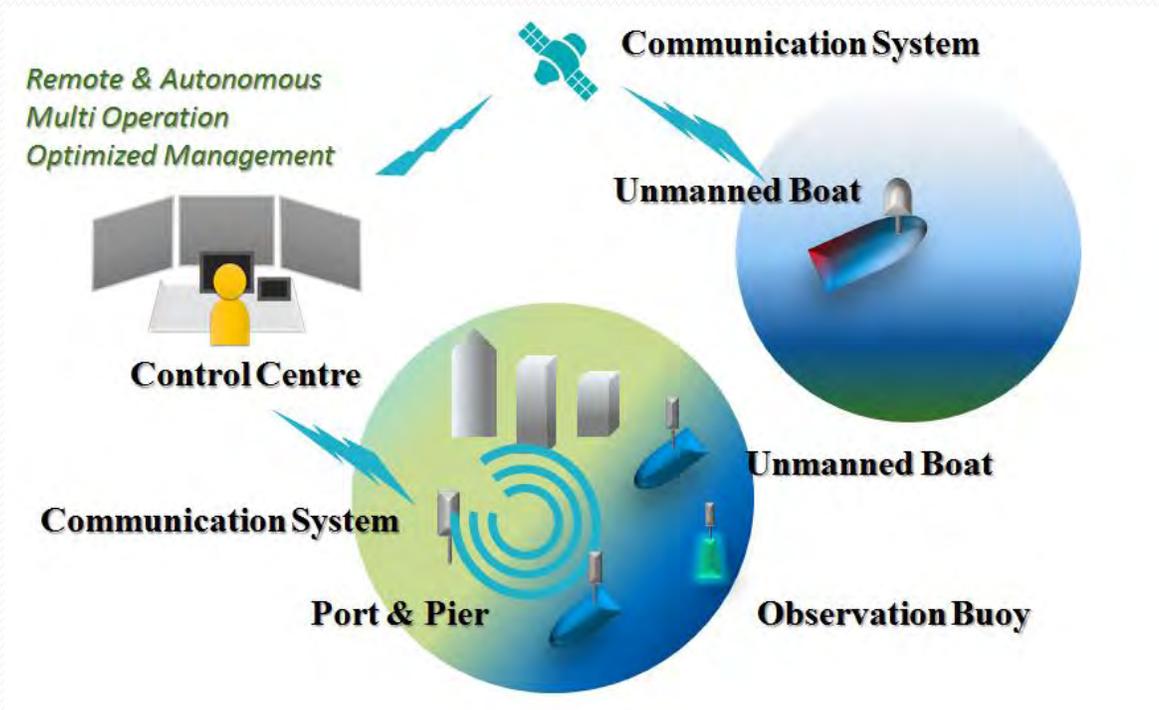


遠隔操船の責任論議論用分類

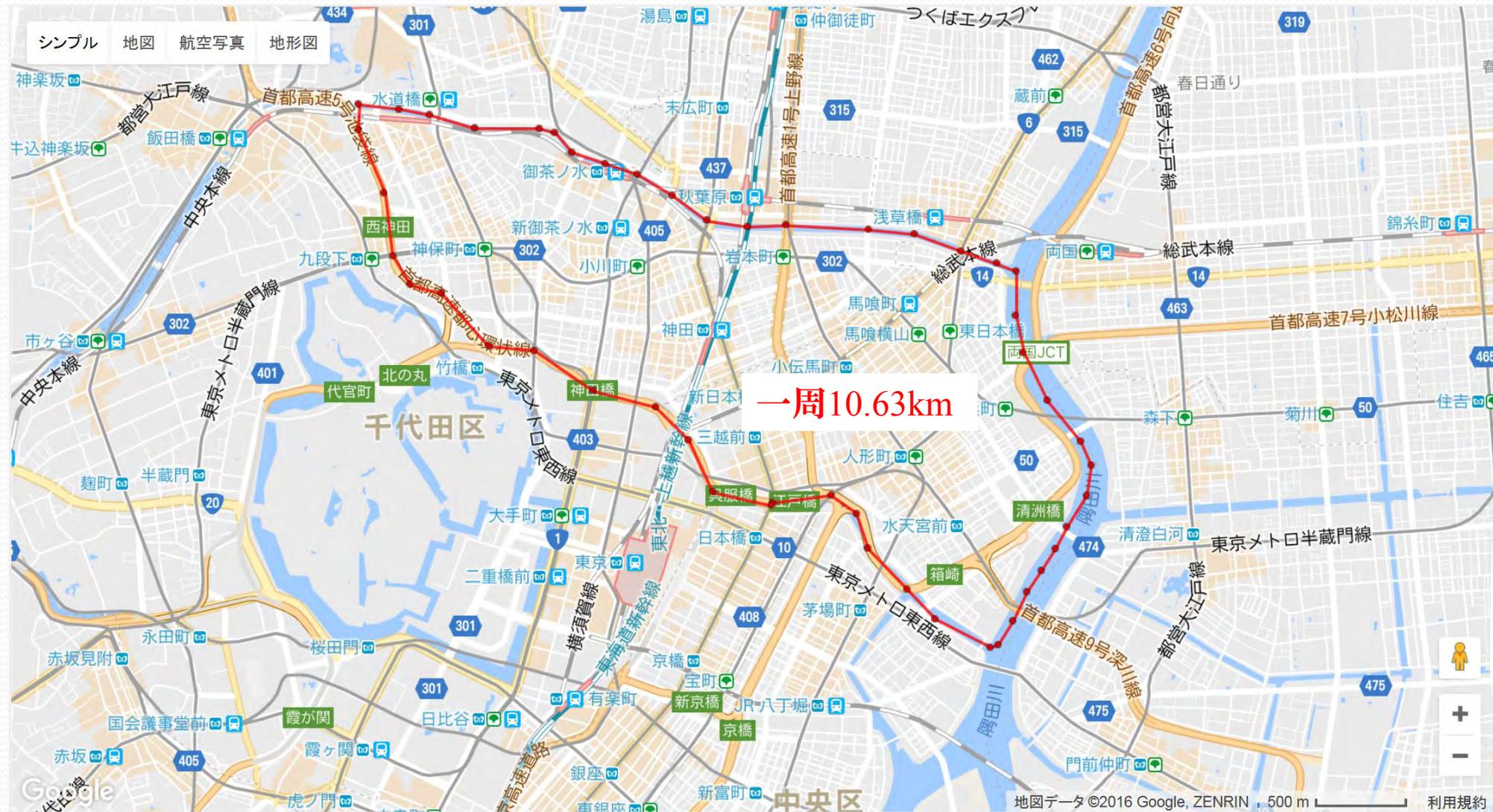
	外航貨物船	水上交通	調査船
ニーズ	人員不足対応	災害対応への備え	危険海域での人命安全
想定海域	限定なし	平水	限定なし
想定クラス	船級船	船級船(旅客船)	小型船
想定船主	外航海運会社	水上バス運航会社	調査会社・研究機関
運送事業	国際海上物品運送	旅客運送	-
船主責任	乗船義務	乗り組み基準(船舶職員及び小型船舶操縦者法19条)	
	堪航能力担保義務	過失責任(国際海上物品運送法5条)	無過失責任→過失責任に改正予定(商法738条)
	海難時の責任	船主責任制限法	(無限責任)
製造物責任	無過失責任(製造物責任法3条)		
船長責任	見張り等「船員の常務」(海上衝突予防法39条)		



社会インフラとして価値の向上



社会インフラとしての検討



社会インフラとしての検討



社会インフラとしての検討



社会インフラとしての検討



東京湾内部河川利用に関する検討課題



東京湾内部河川利用に関する検討課題



東京湾内部河川利用に関する検討課題



東京湾内部河川利用に関する検討課題



東京湾内部河川利用に関する検討課題



海外の状況



海外の状況



海外の状況



おわりに

日本の活性化につながれば幸いです

