

発表No.A2-4

燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業／ 燃料電池の多用途活用実現技術開発／ 商用運航の実現を可能とする 水素燃料電池船とエネルギー供給システムの開発・実証

発表者名

牧平尚久

団体名

岩谷産業株式会社

関西電力株式会社

株式会社 名村造船所

国立大学法人 東京海洋大学

発表日

2023年7月14日

連絡先：

岩谷産業株式会社 牧平

E-mail：makihira@iwatani.co.jp

事業概要

1. 期間

開始 : (西暦) 2021年8月

終了 (予定) : (西暦) 2025年3月

2. 最終目標

内航船を主な対象とし、商用化にかかる課題を解決し、水素燃料電池船普及に貢献することを目的とする。

3. 成果・進捗概要

バンカリング設備や水素燃料電池船、それらを繋ぐトータルエネルギーマネジメントシステムの要件や構成要素の調査・整理を行ない、また、東京海洋大学の実験船に燃料電池を搭載して1年間の実証試験を実施し、各々の仕様書(案)を作成した。

※詳細は以下の実施項目ごとに報告。

- 1) トータルエネルギーマネジメントシステムの開発
- 2) エネルギー供給インフラの開発
- 3) 船体構造開発
- 4) 実証運航

1. 事業の位置付け・必要性

○研究目的

現時点で事業化、商用運航している水素燃料電池船は我が国に存在していない。

・充填/充電の比率やタイミングに係るマネジメントシステム

商用化、普及を目指す上では複数隻の運航を想定し、燃料供給をタイミング良く行うこと、各水素燃料電池船が絶え間なく運航できることが重要だが、そのための仕組みが整っていないのが現状である。
(例えば、本事業で開発する、船舶・バンカリング設備間での通信を含むトータルエネルギーマネジメントシステム)

・エネルギー供給インフラ（水素と電気のバンカリング設備）

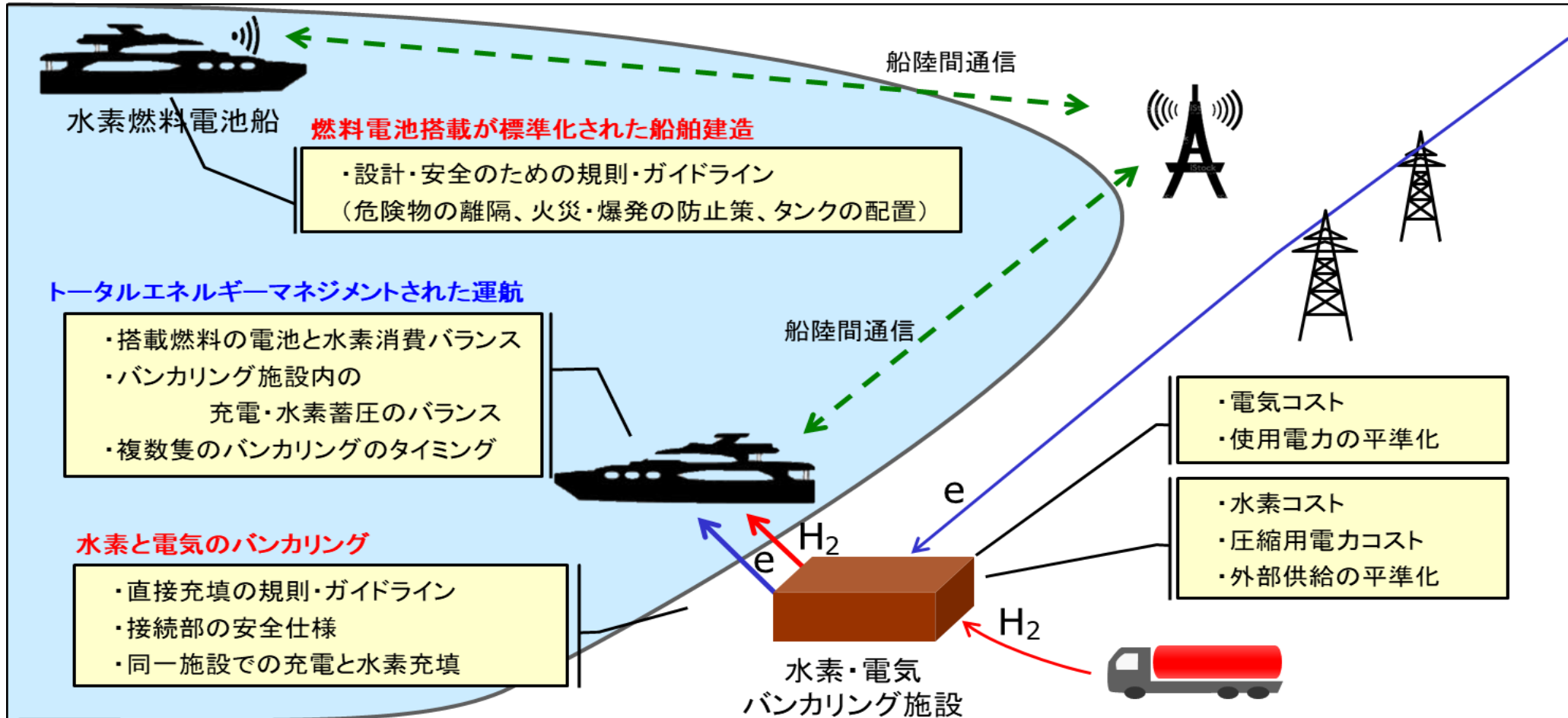
液化水素型燃料電池船の開発検討や水素混焼(軽油)船の運航といった状況変化、あるいは、従前よりある実証試験艇等も存在するが、それらへの水素バンカリング施設については検討が未成熟であり、普及型のステーションの開発やそれに伴う法規制に係る対応は未だ完了していない。

・船体構造（燃料電池等設置）

2021年8月に内航船について国土交通省海事局より「水素燃料電池船の安全ガイドライン」が公表されたが、日本国内において、現時点ではこれに従って建造された船舶はない。同等安全証明により適用基準緩和が可能とされているものの、現実的には、内航船建造の小型造船所ではそこまでの対応は困難であり、実績が必要である。

本研究では 日本国内で水素燃料電池船と供給システムを建造・建設した上で、複数隻が絶え間なく運航できるトータルエネルギーマネジメントシステムの構築を三位一体で開発することを目指す。

1. 事業の位置付け・必要性



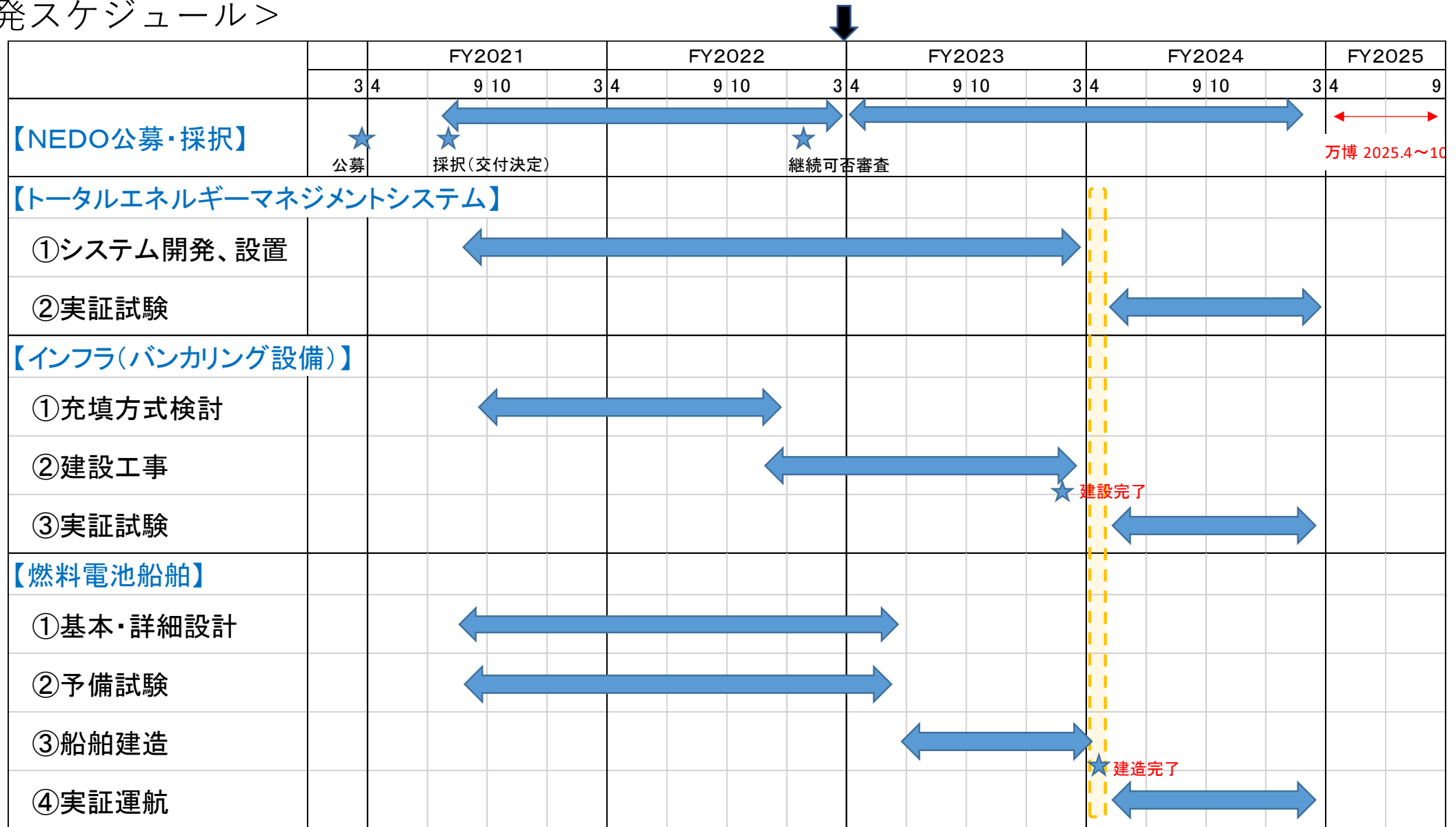
大阪・関西万博での運航、将来の水素燃料電池船普及を見据え、以下の開発と実証運航を行なう。

- ・**充填/充電の比率やタイミングに係るマネジメントシステム**の開発 (関西電力、東京海洋大学)
- ・**エネルギー供給インフラ**(水素と電気のバンカリング設備)の開発 (岩谷産業、関西電力、東京海洋大学)
- ・**船体構造**の開発 (燃料電池等設置区画の標準化に向けた検討) (岩谷産業、名村造船所、東京海洋大学)

これらを通じ、コストの低減や、複数隻の水素燃料電池船に滞りなく充填/充電できるシステムの提案を行なう。

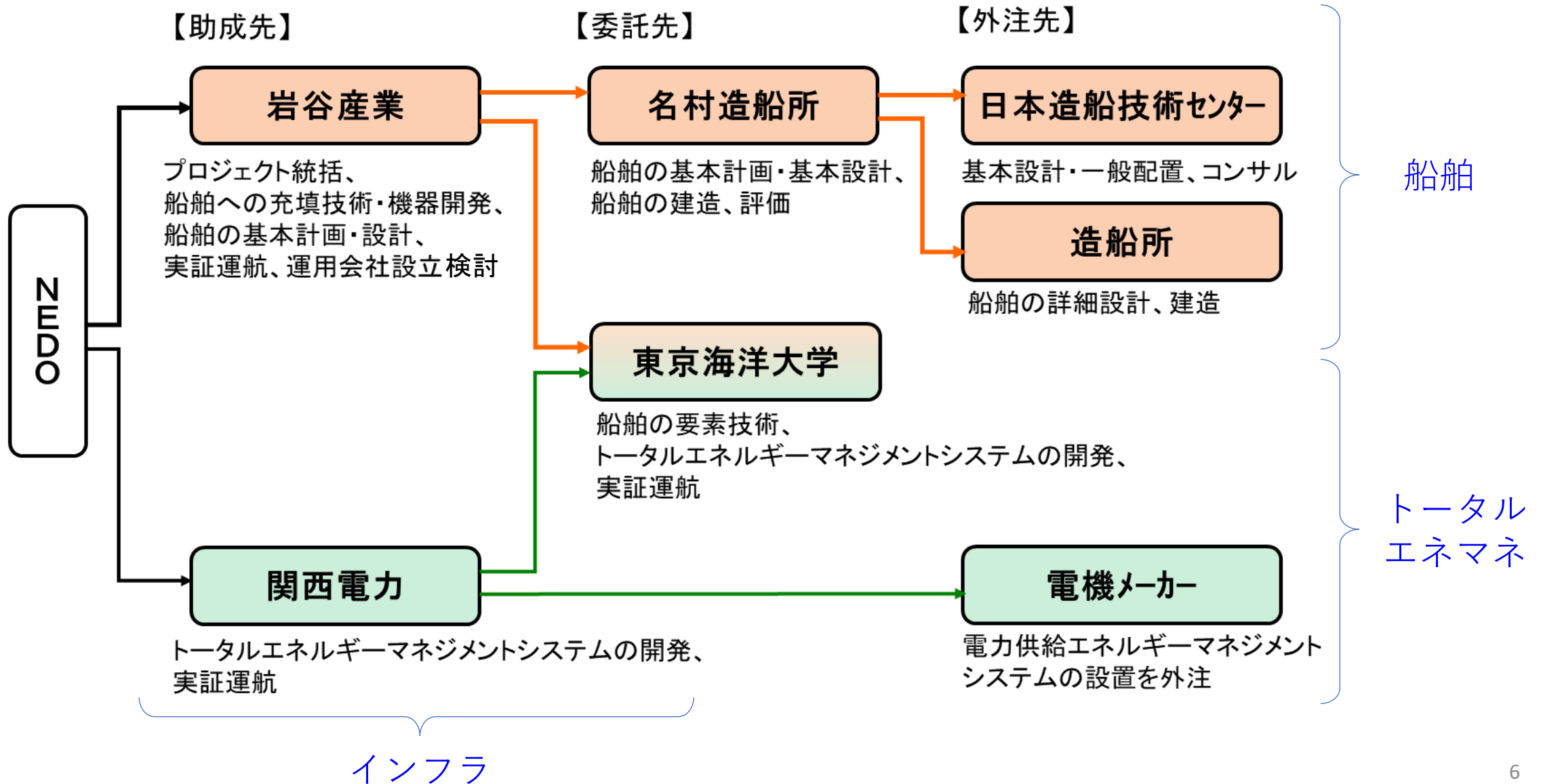
2. 研究開発マネジメントについて

<開発スケジュール>



2. 研究開発マネジメントについて

- 研究開発の実施体制



3. 研究開発成果について

実施項目1) トータルエネルギーマネジメントシステムの開発 (関西電力、東京海洋大学)

本事業で開発する水素燃料電池船では船陸間通信を行ない、また、バンカリング施設に関しても制御を組み込んだ、トータルエネルギーマネジメントシステムを構築する。

<最終目標>

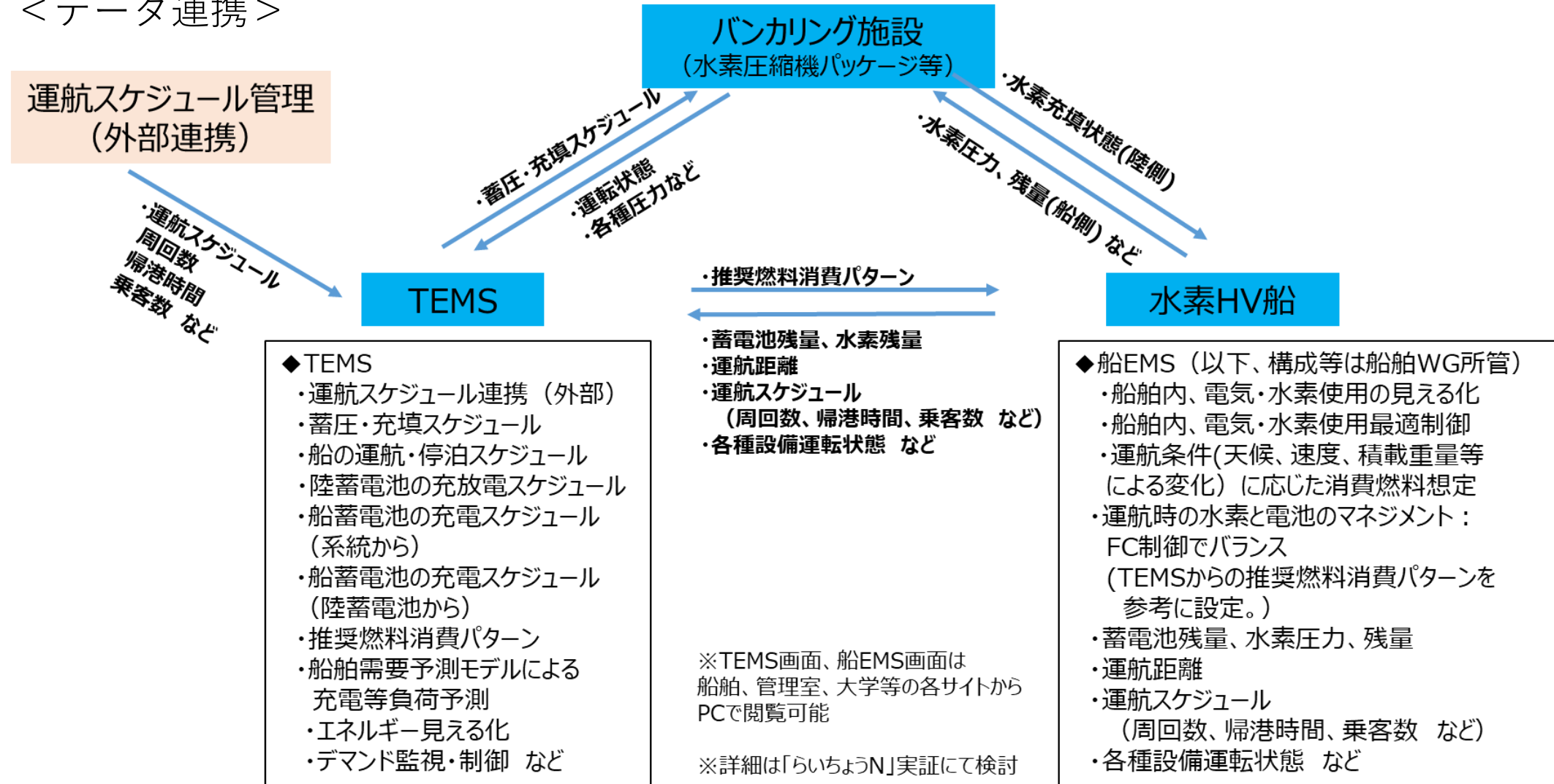
- ・消費エネルギーを可視化するシステムを構築し、バンカリング施設に実装する。
- ・その上で、実証試験を通じて商用運航時の運用コスト試算と今後の課題点整理を行なう。

	中間目標 (～FY2022)	進捗 (FY2022)
①陸側のエネルギーマネジメントシステムの仕様書作成	<u>消費エネルギーを可視化するシステムの構築と検証を行う。陸側バンカリング施設のエネルギーマネジメントにおける基盤を確立し仕様書を作成する。</u>	各構成機器の <u>消費電力量を調査し、運用スケジュールを整理。船舶・陸上・中央監視室のデータ連携等を整理し、機能仕様書の敲き台を作成。</u>
②船側の必要エネルギー消費量の推測手法の検討	エネルギー消費量を遠隔監視する仕組みを構築し、実験船を用いて <u>試験データの取得と必要エネルギー量推測手法を検討する。</u>	東京海洋大学の <u>実験船「らいちょうN」にて、燃料電池の搭載しての試験運航を実施した。</u> また本船の水素・電気の消費量、充填・充電の必要時間などを試算した。

3. 研究開発成果について

実施項目1) トータルエネルギーマネジメントシステムの開発 (関西電力、東京海洋大学)

①陸側のエネルギーマネジメントシステムの仕様書作成
 <データ連携>



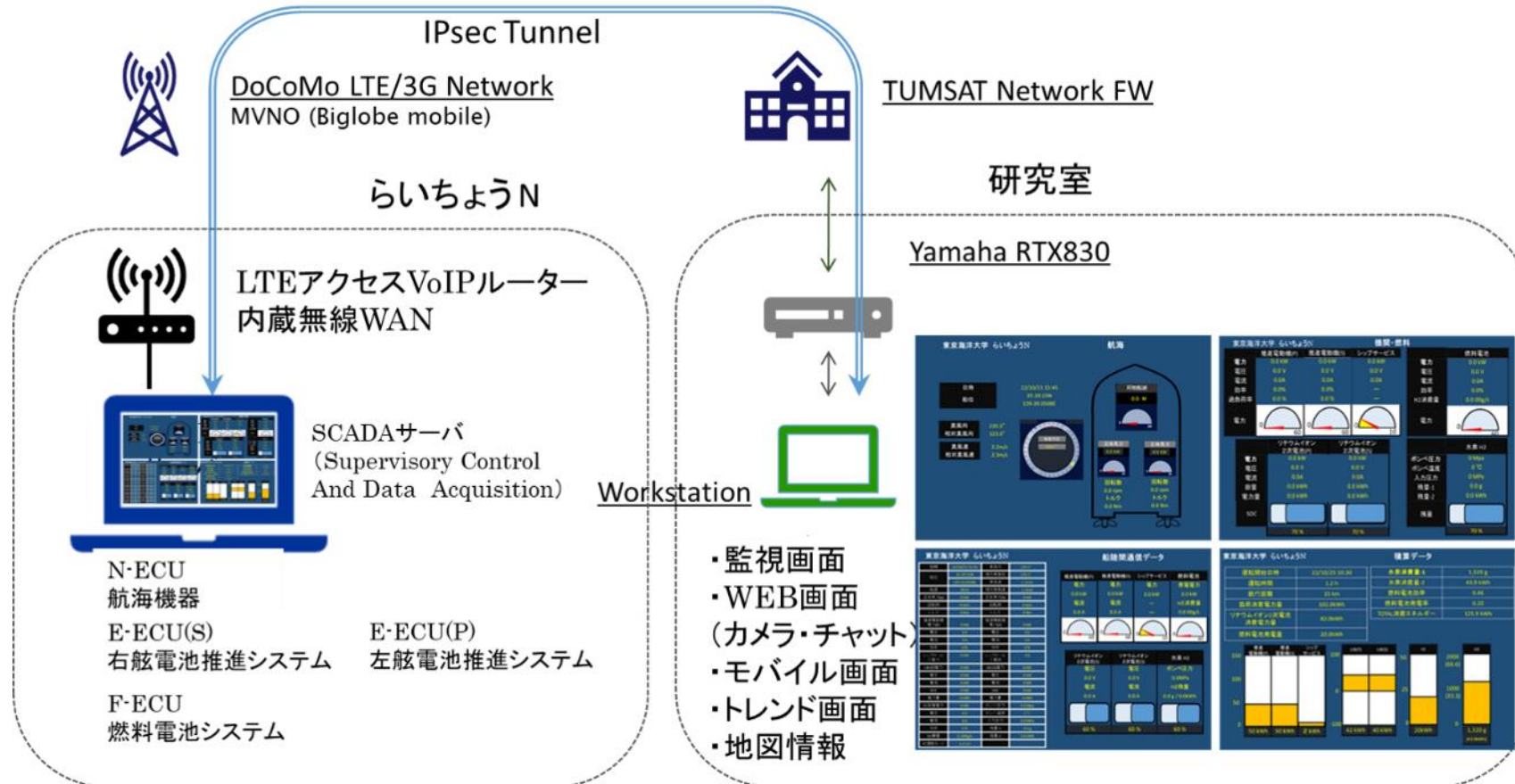
3. 研究開発成果について

実施項目1) トータルエネルギーマネジメントシステムの開発 (関西電力、東京海洋大学)

②船側の必要エネルギー消費量の推測手法の検討

燃料電池・リチウムイオン2次電池ハイブリッド船のEMS

見える化と水素・電池消費のバランス制御を実験船「らいちょうN」で検証



船陸間通信による可視化：約300点のデータより、エネルギー系データを作成

3. 研究開発成果について

実施項目2) エネルギー供給インフラの開発 (岩谷産業、関西電力、東京海洋大学)

- ・エネルギー需給に合わせた水素充填を行なうため、構成機器の最適化を行なう。
船舶特有の塩害、揺動による水素漏れ等を予防するため、評価試験を行ない、仕様に反映させる。
- ・蓄電池を備えた電気バンカリング技術の開発を行ない、水素圧縮及び船舶充電によるピーク電力を抑制するための効率的な運用・制御が可能な仕組みを開発する。

<最終目標>

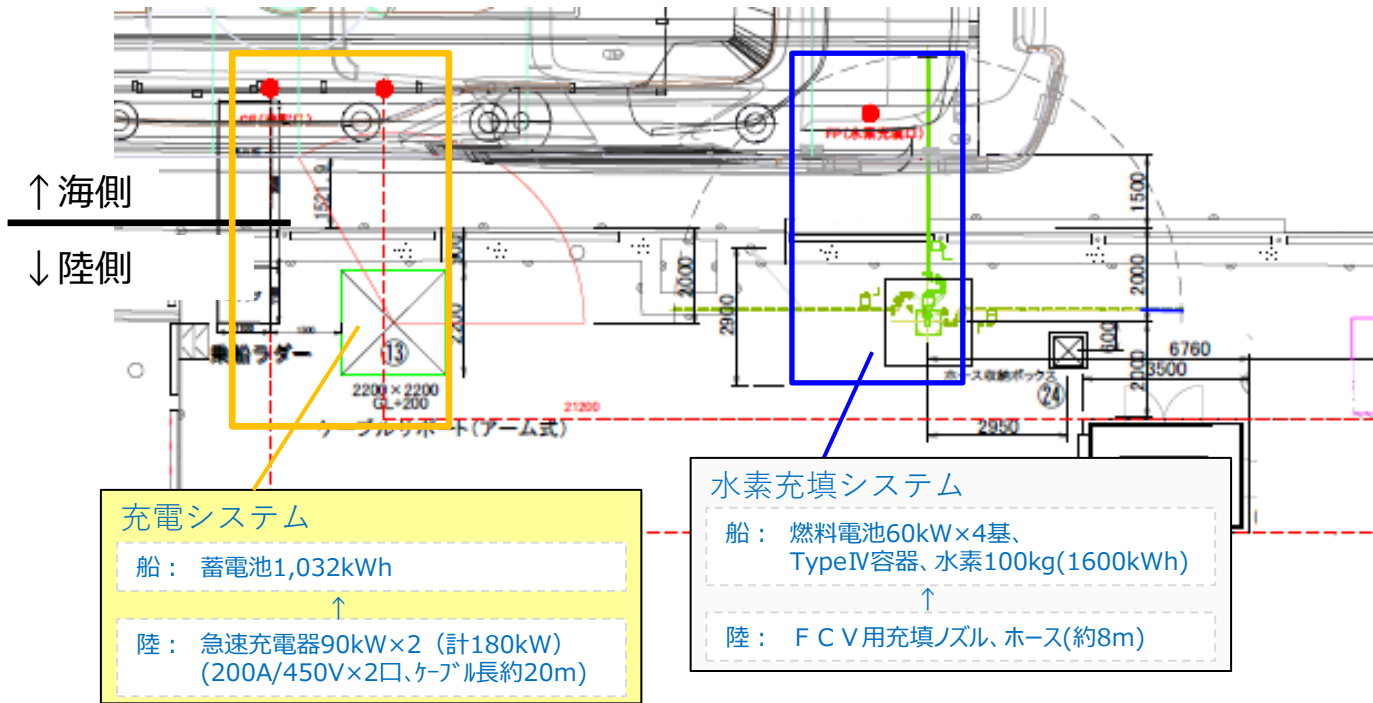
- ・揺動・塩害に対応した充填機器の設計と性能評価を行ない、それに基づき水素・電気バンカリング施設を建設し、実証試験により最終仕様・運用マニュアルを完成させる。
- ・実証試験を通じ（エネルギーマネジメントと結合し）、経済性評価のためのデータを取得する。

	中間目標 (～FY2022)	進捗 (FY2021)
①水素バンカリング技術	船特有の <u>揺動・塩害に対応した充填機器の設計と性能評価試験</u> を行ない、運用マニュアルの策定を行なう。各種規制対応を進めるとともに、詳細設計を完了する。	<u>コンセプト案を整備し、仕様書を作成した。</u> <u>低温影響、塩害対策、揺動対策などバンカリング要素試験を実施。</u> 規制対応については、関係省庁等と協議の上、適合法規等を整理。
②電気バンカリング技術	陸側蓄電池による <u>ロードバランシングの導入検討</u> を行ない、仕様を確定する。コネクタ接合部の仕様、充電器設置位置などを検討し、基本仕様書に示す。	運用スケジュールを基に <u>必要な電気設備（トランス容量、幹線容量、蓄電池等）の検討</u> を行ない、仕様書を作成した。水素圧縮機の駆動電力などを中心に、 <u>ピーク電力を平準化できるシステム案を構築した。</u>

3. 研究開発成果について

実施項目2) エネルギー供給インフラの開発 (岩谷産業、関西電力、東京海洋大学)

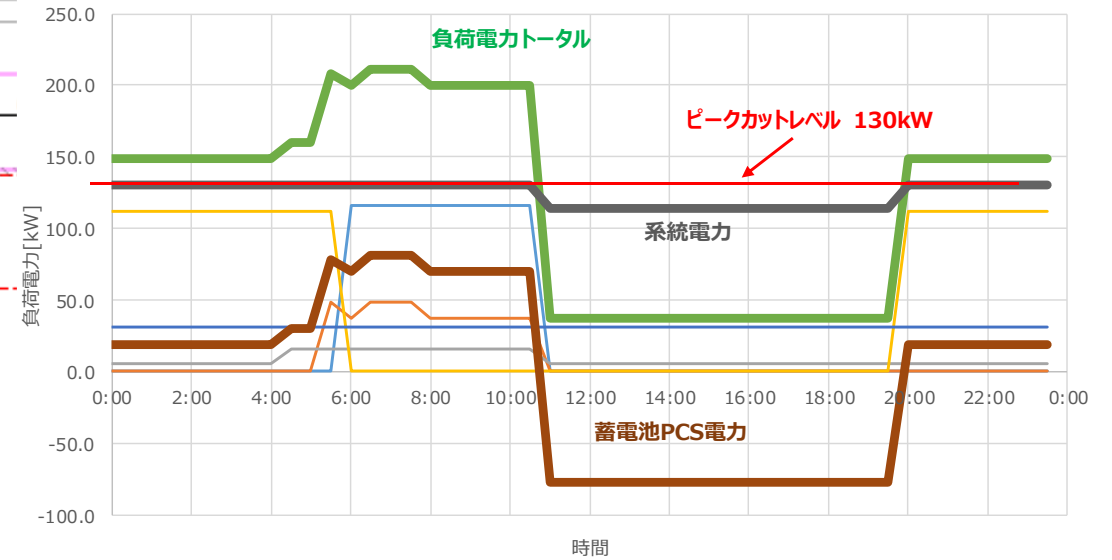
①②水素・電気バンカリング技術 バンカリング施設概要 (充電・充填システムの概略配置)



同一施設で充電・充填が可能な定置式・普及型のバンカリング設備を開発中。

左図及びコンセプト案に基づき、水素充填アーム等の設計、安全性の確認・検証試験の実施、各種法規対応を進めている。

陸側蓄電池によるロードバランシング検討については、実運用を踏まえ蓄電池によるピークカット等を検討した。



— 水素圧縮機
— 所内電源
— プラインチラー
— 負荷電力トータル
— ユーティリティ
— 蓄電池PCS電力
— 急速充電器
— 系統電力

3. 研究開発成果について

実施項目2) エネルギー供給インフラの開発 (岩谷産業、関西電力、東京海洋大学)

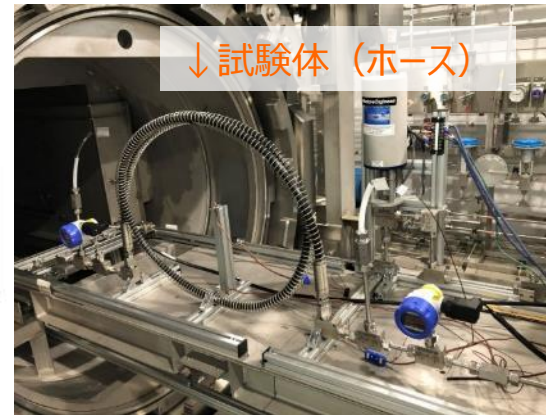
①水素バンカリング技術



充填アーム
参考イメージ図

水素充填用アームやホースの取り回しについて
コンセプト案を決定し、検証試験を実施。
ここまでの試験で大きな問題点は発生しておらず、
引き続き安全性の確認・検証を行い、
必要に応じて対策を講ずる。

低温高圧水素流通の検証試験



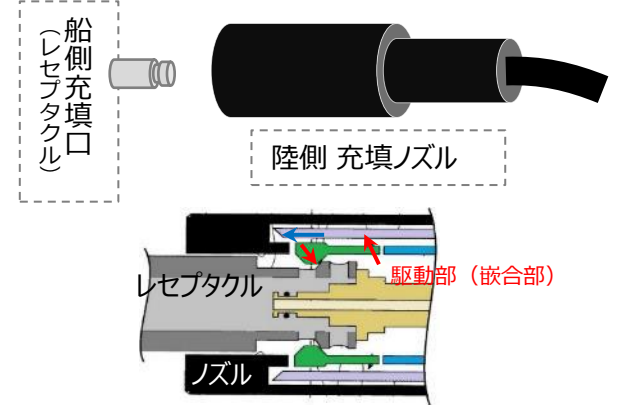
塩害対策試験



ホース揺動試験、カプラ離脱試験



実際のノズル部への塩水噴霧等も実施



3. 研究開発成果について

実施項目3) 船体構造の開発 (岩谷産業、名村造船所、東京海洋大学)

- ・応募時において水素燃料電池船の安全基準は策定されていなかった。⇒2021年8月に国交省公表。
- ・安全基準を満たす船体構造を検討し、一般船に容易に搭載可能な汎用コンポーネントとする。
- ・東京海洋大学の実験船に組み込み、部分的な検証実験などを進める。

<最終目標>

- ・開発した構造（コンポーネント）を基に、内航旅客船を建造し、詳細設計書を作成する。
- ・実証運航を通じて、開発した構造の課題抽出および改良設計を行なう。

	中間目標 (～FY2022)	進捗 (FY2022)
①本船の基本設計・詳細設計	船用に適した船体構造の配置検討及び設計を行ない、規制監督庁の確認を取った基本設計書を作成する。	消費エネルギー量や機器配置等を考慮し、 <u>主要目及び一般配置候補を作成</u> 。燃料電池等の主要機器の仕様に基づき、電気推進システムの <u>機器・システム設計を固めた</u> 。基本設計におけるリスク評価では問題ないことを確認。
②実験船への燃料電池等の搭載と予備試験の実施	東京海洋大学の実験船に組み込み、 <u>部分的な検証実験</u> などを進める。	東京海洋大学の実験船「らいちょうN」にて、 <u>燃料電池を搭載し、性能確認完了</u> 。JCI認証取得し、 <u>試験運航を実施した</u> 。 本船の機器選定・システム設計へのフィードバックも見据え、 <u>安全ガイドラインへの対応状況・関係省庁の見解などを整理</u> 。

3. 研究開発成果について

実施項目3) 船体構造の開発 (岩谷産業、名村造船所、東京海洋大学)

①本船の基本設計・詳細設計、②実験船への燃料電池等の搭載と予備試験の実施

本船の基本計画・主要目

本船の動力は水素燃料電池ならびにリチウムイオン2次電池のハイブリッドであり、航海速力10 ktでの最大航続距離 約130 kmを目指している。これらをターゲットに主要機器等を検討した結果、主要目等は以下の通りとなった。

全長 : 約30 m 幅(型) : 約8.0 m
深さ(型) : 約2.5 m 計画喫水 : 約1.1 m
総トン数 : 約120トン双胴船
定員 : 約150名の旅客船



船舶の基本設計時外観
(最新デザインは近日公開予定)

船舶コンセプトの検討

	従来船	水素FC船	電気船	水素FC+電気船	説明
先進性	×	○	○	○	水素・電気ともに先進性が高いが、ハイブリッドはチャレンジ事例が少ない
環境性	×	○	○	○	走行時CO2、Nox、Sox、PM、排出ゼロ
快適性	×	○	○	○	従来船や水素エンジン船に対し、低騒音、低振動。整備・運用の負担も軽減
経済性	○	×	△	×→△	船・インフラ整備によるコストが上がる→FC+電気ハイブリッドにすることで全体のコストが下がり汎用化が図れる
利便性	○	△	×	×→△	充電設備整備に加えて充電時間が長い→ハイブリッドでエネマネすることで設備低減や充電時間が短縮

3. 研究開発成果について

実施項目3) 船体構造の開発 (岩谷産業、名村造船所、東京海洋大学)

①本船の基本設計・詳細設計、②実験船への燃料電池等の搭載と予備試験の実施

本船の基本設計 (配置検討)

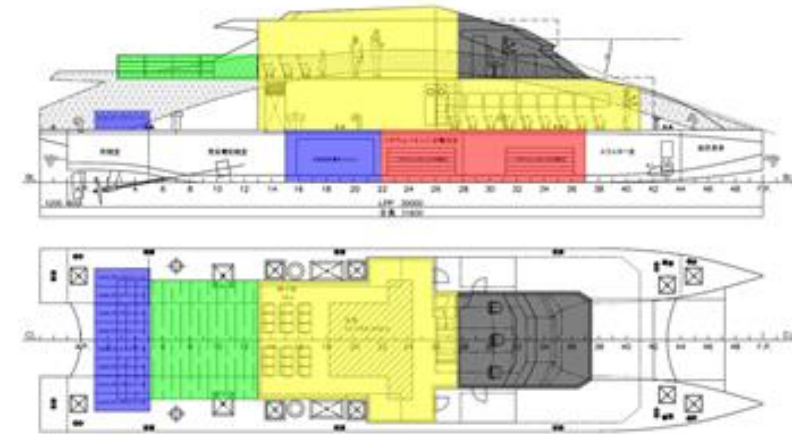
配置検討は、2021年8月に国土交通省海事局より公表された「水素燃料電池船の安全ガイドライン」を基に検討を進めている。特に重要な水素燃料電池ユニット、水素燃料タンクユニットについては、複数の配置案を検討し、安全ガイドラインを考慮しながら、水素配管等の安全性や実現可能性、経済性を評価して検討を進めている。

水素およびLIBの搭載位置は右図の通りとし、搭載量は以下の通り。

水素・・・約1,600kWh

電気・・・約1,000kWh

搭載量については、前述のコストや補給時間に加え、設置の制限や重量の観点で検討。さらに搭載量を増やす際には、更なる補給時間（または陸の設備増強）を要することや、高圧水素配管の取り回しに係る安全の観点からも、現段階ではこの搭載量を上限とし、建造・就航実績を作り、将来の緩和に繋げることを考えている。



船舶の基本設計 ■:水素、■:蓄電池

搭載量増強の検討 (前頁検討の追加事項)

	水素	電気	説明
設置制限	△～×	○	水素は通常、閉鎖場所に貯蔵できない、という制限がある。さらに危険場所の考慮も必要。
重量	○～△	△	バッテリーなどは特に重く、配置設計の自由度は高くない。
補給時間	△	×	バッテリーだけを増やしても、充電時間が長く、営業時間を圧迫する。 水素も既にFCVの30倍近い充填量であり、充填設備を大幅に増強しなければ充填時間に支障が出る。

3. 研究開発成果について

実施項目4) 実証運航 (岩谷産業、関西電力、東京海洋大学)

項目1～3の開発成果を活用し、関係省庁との折衝を行ないながら、実証試験を行なう。

<最終目標>

- ・ 建造した船を用いて試験運航を行ない、運航データの取得を行なう。
- ・ 複数船種を模擬した運航を行ない、最適なエネルギーマネジメントが行なえるか検証を行なう。
- ・ 経済性評価を行ない、エネルギー出力・搭載量配分等のモデルケースの提案を行なう。

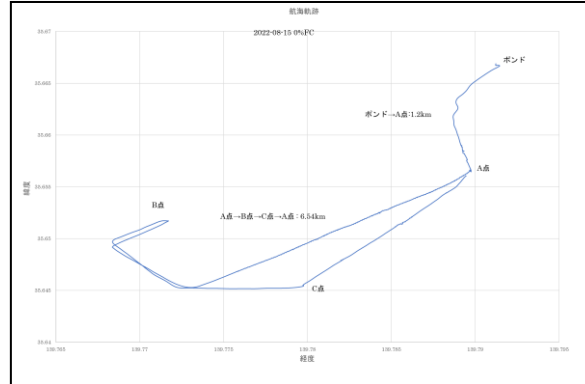
	中間目標 (～FY2022)	進捗 (FY2021)
①実験船での予備試験の実施	東京海洋大学の <u>実験船の予備試験</u> を通じ、 <u>2024年度の試験項目の整理と課題点の抽出を進め、船体設計へ反映させる。</u>	東京海洋大学の実験船「らいちょうN」にて、 <u>燃料電池を搭載。2022年4月より約1年間の試運転を完了した。</u>
②本船での運航データの取得、複数船種を模擬したエネマネの検証	(FY2024以降に実施)	(FY2024以降に実施)
③経済性評価、モデルケースの提案	(FY2024以降に実施)	(FY2024以降に実施)

3. 研究開発成果について

実施項目3及び4：実証運航 ①実験船

燃料電池システム運航時評価

定期航路を設定し燃料電池の出力を試験内容に沿って変化させ航行試験を行った。

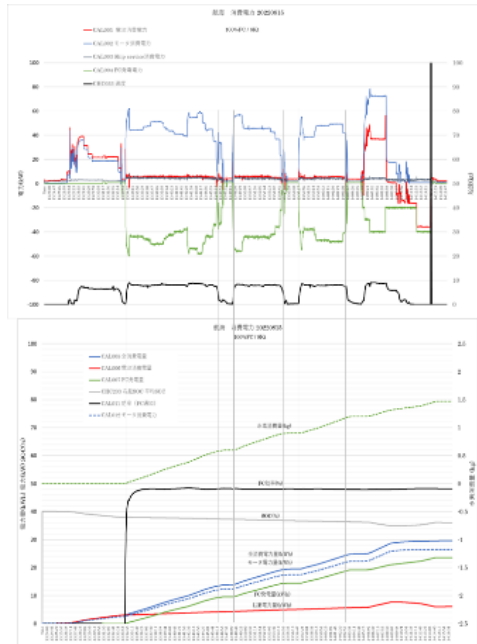


巡航速力 :8.0 kt 出力 45 kW
 :8.6 kt 出力 60 kW
 搭載水素 :47 L/14.7 MPa水素ボンベ3本
 :21 Sm³ (1.67 kg) / 55.7 kWh
 FC効率 :45.5 % (60 kW)
 FC発電量 :25 kWh
 FC連続出力:約23分

FC運転モード

- ①手動運転
- ②モータ出力比例運転
- ③電池残量比例運転
- ④電池残量スレッシュ
ホールドオンオフ運転

本船でTEMSを実現するための上記運転モードを実験船で検証。



8 knots 航行	0%	50%(1st)	50%(2nd)	100%	120%
平均 LIB 出力(kW)	41.0	24.5	25.5	5.4	-2.0
平均 Motor 出力(kW)	39.3	40.4	42.2	40.3	39.1
平均 Ship Service 消費電力(kW)	1.7	3.4	3.5	4.2	4.1
平均 FC 出力(kW)	0.0	19.3	20.2	39.2	45.2
全消費電力量(kWh)	20.1	23.0	22.8	21.8	21.3
LIB 電力量(kWh)	20.1	12.9	12.7	2.6	-1.0
FC 発電電力量(kWh)	0.0	10.2	10.1	19.1	22.3
Motor 電力量(kWh)	19.3	21.2	21.1	19.7	19.3
Ship Service 電力量(kWh)	0.8	1.8	1.7	2.1	2.0
水素消費量：ボンベ圧(kg)	0.00	0.64	0.58	1.28	1.51
水素消費量：FC 通知(kg)	0.00	0.58	0.59	1.20	1.43
トータル FC 効率:ボンベ圧(%)	0.0	47.4	52.2	44.9	44.1
トータル FC 効率:FC 通知(%)	0.0	52.5	51.4	48.1	46.8
電力比率	0.00	0.48	0.48	0.97	1.15
電力量比率	0.00	0.48	0.48	0.97	1.15
走行距離(km)	6.5	7.0	6.8	6.7	6.9

4. 今後の見通しについて

今後の実施予定内容について

- ・3ヶ年目となる2023年度は、前2年間の成果を基に、バンキング設備の建設および燃料電池船の建造を主に行う。
- ・最終年度の2024年度は、建設、建造した設備を用いて実証試験を行う。
 - ・燃料電池船は、予備実証の内容を踏まえ、運航データの取得や、必要エネルギー量推測手法の検証、トータルエネルギーマネジメントの検証などを行う。その上で、4種の船種を例示し、評価、課題点の整理を行う。
 - ・燃料電池船は、国交省の認証を得るとともに、旅客船としての要件を満たしていることを確認する。

今後の事業化について

○事業化想定線表

	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度	2030年度	2031年度	2032年度
大阪・関西万博 向け運航	実証 試験	運航							
新航路によ る運航	実証 試験								

様々な条件下での
運航データの
取得

※旅客認証取得

商用化に向けては、既存業者のない新規航路を構築する必要があり、
周辺自治体や企業と新規航路開拓に向けた協議を開始