

NEDO水素・燃料電池成果報告会2024

発表No.B1-1

連絡先
技術研究組合
CO₂フリー水素サプライチェーン推進機構
(HySTRA)
TEL:03-6450-1045

競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／ 大規模水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／ 液化水素輸送・荷役システムの国際標準化に向けたデータ取得 - 成果報告 -

2024年7月18日

技術研究組合
CO₂フリー水素サプライチェーン推進機構 (HySTRA)

東 達弘

事業概要

1. 期間

開始 : 2023年7月
終了(予定) : 2025年3月

2. 最終目標

- 液化水素輸送システムに関して、種々の積荷条件、海象条件及び気象条件での国外・国内航行試験を実施し、通常航行手順の最適化を図るとともに、緊急手順として設計対応している安全機器類の作動性能及び作動影響を取得し、設計方針の妥当性及び改善の有無を確認する。
- 長期航行試験後に輸送タンクを開放点検することで、内部構造の確認及び健全性の評価を行う。

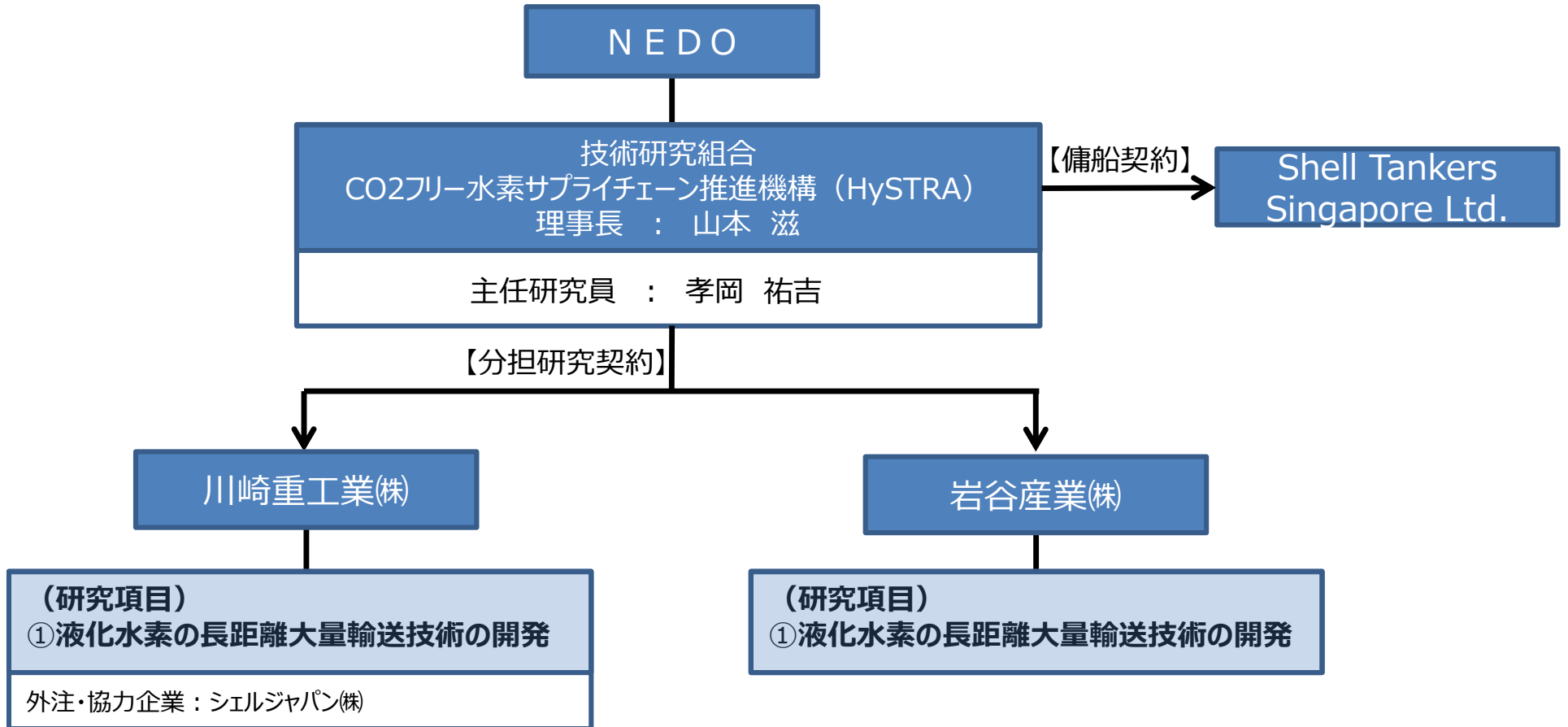


IGCコード*改定のための特別要件に関するデータを取得し、IMOへ報告していくとともに、大型船設計への成果の反映を目指す。

3. 2023年度の成果概要

| 実施項目 | 成果のまとめ |
|------------------------|---|
| ①輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価 | ・揚荷後のバラスト状態を想定したタンク内の昇温挙動について長期にわたりデータを収集するとともに、内部の昇温挙動を計算により推計できた。 ・積付率100%での日豪航行試験を実施した。この試験での液化水素輸送タンクの換算BOR*は、0.3%/日であった。 * 出航前、帰港後の液水重量の検量値からの換算 |
| ②輸送タンク安全機構の評価 | ・緊急時の水素ガス放出手法である手動バント放出試験としてコールドバント試験及びウォームバント試験の2種類の試験を実施し、ともに世界初の液化水素の手動バントに成功した。このことより、緊急時には船上から水素ガスを安全に大気放出することが可能であることを示した。 |
| ③繰返し荷役試験の実施 | ・繰返し荷役試験は、10回の予定中6回を実施した。各回終了後には安全かつ効率的な荷役作業の検証を行い、作業手順を改善しつつ繰返し実施した。荷役設備およびタンクには荷役操作の度に繰返し熱負荷をあたえることで、その健全性を検証した。緊急時及び設備合理化を想定したOne Armでの荷役試験を実施し、通常時と同等の流量、時間等で荷役作業を実施できることを確認した。 |

研究開発の実施体制



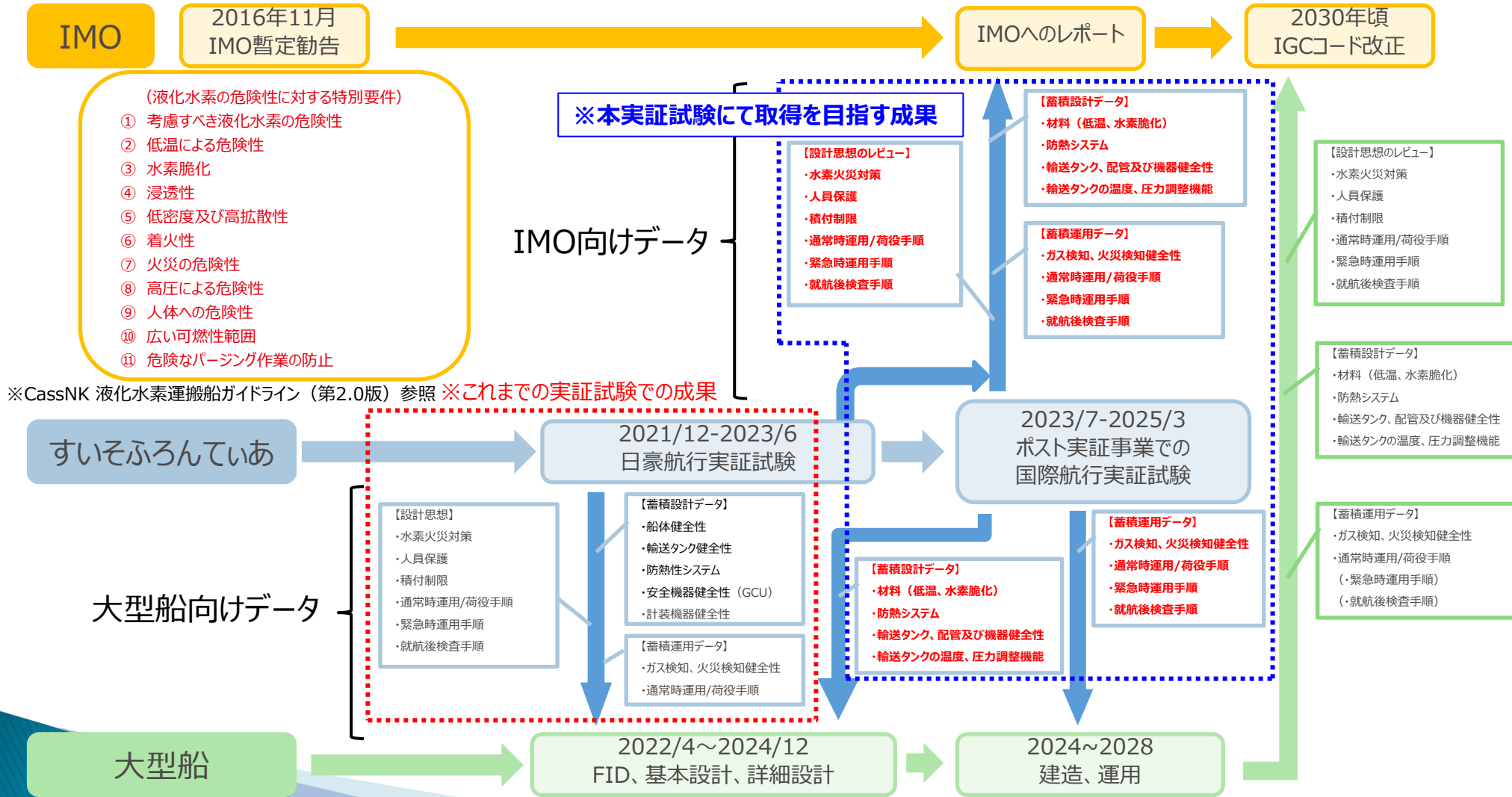
各担当者の役割

| 役割 | 担当者 |
|---------------------|---|
| 工程管理、予算管理 | HySTRA事務局 |
| 船主業務 | HySTRA事務局 |
| 研究内容及び試験工程の計画 | シェルグループ、岩谷産業、川崎重工 |
| すいそふろんていあ運航管理及び試験 | シェルグループ (Shell Tankers Singapore Ltd.) |
| Hy touch神戸運用管理及び試験 | 岩谷産業 |
| 修繕及びメンテナンス作業、試験結果分析 | 川崎重工 |

本事業の事業内容

| 研究項目 | 研究内容 | 結果の活用 |
|-----------------------|---|------------------------|
| 液化水素の長距離 大量輸送技術の開発 | ① 輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価 ・様々な気象条件、海象条件、積荷条件下で航行試験を実施し、輸送タンク内圧の変動程度を把握する。また、2年間にわたる本実証試験の間、防熱性能が悪化しないことを確認する。 | ・IMOへの報告 ・大型船設計への反映 |
| | ② タンク状態制御方法の評価 ・荷役時の輸送タンク内の圧力静定条件を変え、荷役作業時間の効率化を図る。(2024年度実施予定) | |
| | ③ 輸送タンク安全機構の評価 ・GCU及びベント等の安全機構を使用し、その有効性及び周辺環境へ与える影響を検証する。 | |
| | ④ 貨物機器の長距離運転後健全性評価 ・長期間極低温の液化水素及び水素ガスに触れ、大きな熱履歴を経験した機器に対して内部検査を実施し、長期運用及び熱履歴に耐えられることを確認する。(2024年度実施予定) | |
| | ⑤ 繰返し荷役試験の実施 ・世界初の液化水素用ローディングアームシステム (LAS) を使用した繰返し荷役試験を実施し、機器の健全性を確認する。 ・運転手順を最適化し、作業時間の効率化を図る。 | |

IGCコード改定スキーム（案）と 本助成事業の取得データの関係



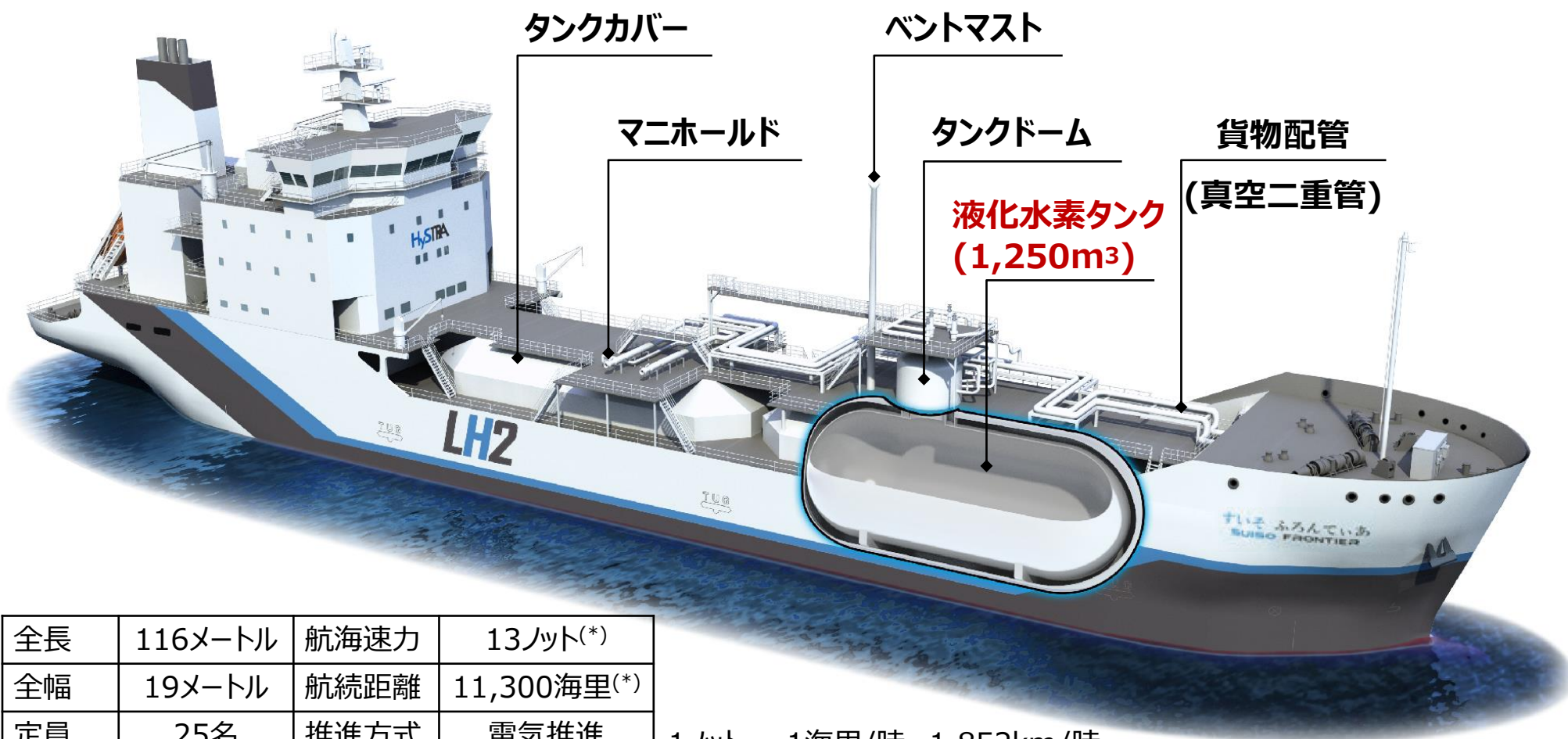
研究開発進捗状況

- 航行試験・荷役試験 -

| 大項目 | 中項目 | 2023年度 | | 2024年度 | |
|-------------------|-----------------------|--------|----|--------|----|
| | | 上期 | 下期 | 上期 | 下期 |
| 液化水素の長距離大量輸送技術の開発 | ①輸送タンクシステムの真空防熱性の追加評価 | | | | |
| | ②タンク状態制御方法の評価 | | | | |
| | ③輸送タンク安全機構の評価 | | | | |
| | ④貨物機器の長距離運転後健全性評価 | | | | |
| | ⑤LASの繰返し荷役試験の実施 | | | | |
| 社会構築実証事業 | | | | | |

HySTRAが保有するアセット

【液化水素運搬船：すいそ ふろんていあ】

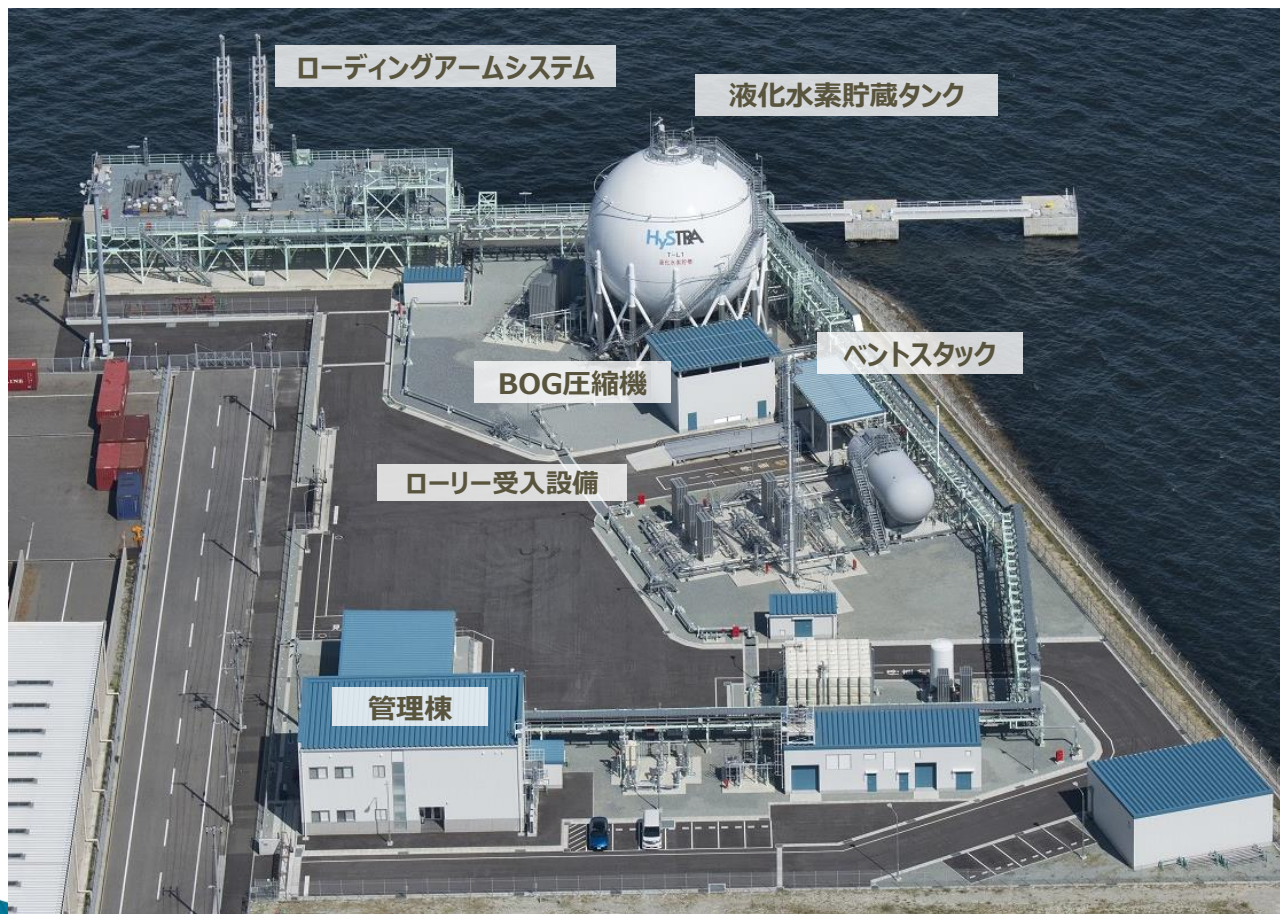


| | | | |
|----|---------|------|-------------|
| 全長 | 116メートル | 航海速度 | 13ノット(*) |
| 全幅 | 19メートル | 航続距離 | 11,300海里(*) |
| 定員 | 25名 | 推進方式 | 電気推進 |

1ノット = 1海里/時 = 1.852km/時

HySTRAが保有するアセット

【神戸液化水素荷役実証ターミナル：Hy touch神戸】



液化水素荷役基地 主要目

| | |
|---------------|---|
| 液化水素貯蔵タンク | 2,500m ³ 直径19m 球形真空二重殻 |
| ローディングアームシステム | 口径6インチ 真空二重断熱 緊急離脱機構 |
| BOG(※) 処理 | BOG圧縮機 BOGホルダー バントスタック |
| その他設備 | ローリー受入設備等 |

(※) BOG: ボイルオフガス

神戸液化水素荷役実証ターミナル (全景)

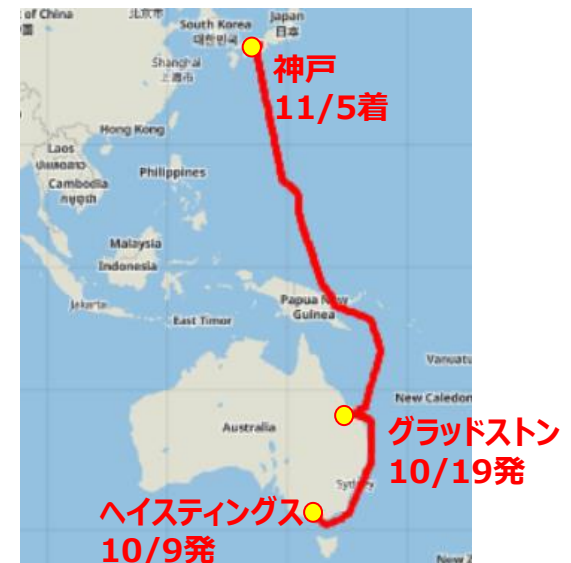
研究開発成果について

(1) 繰返し航行試験 (2023/9/1~11/5)

①航路 : シンガポール~豪州ヘイスティングス
~神戸 (19,000km)

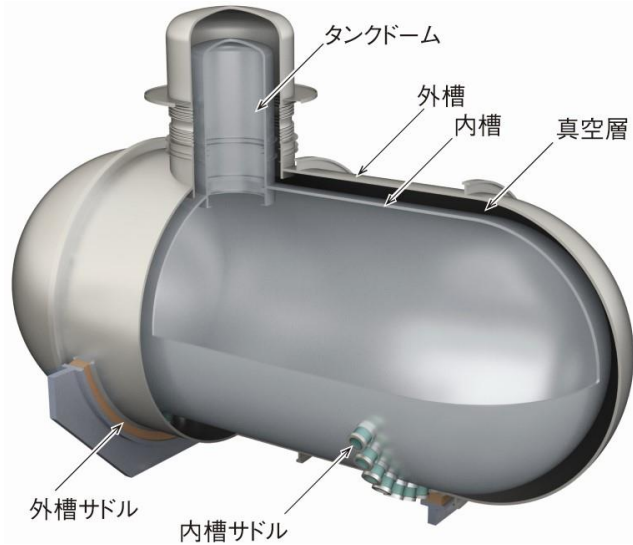
②積荷状態 : 水素ガス雰囲気
(液化水素は「ゼロ」)

③試験内容 : a) 積付率0%の
船の安定性の確認
b) 積付率0%の
液化水素輸送タンク内の
温度上昇データの取得



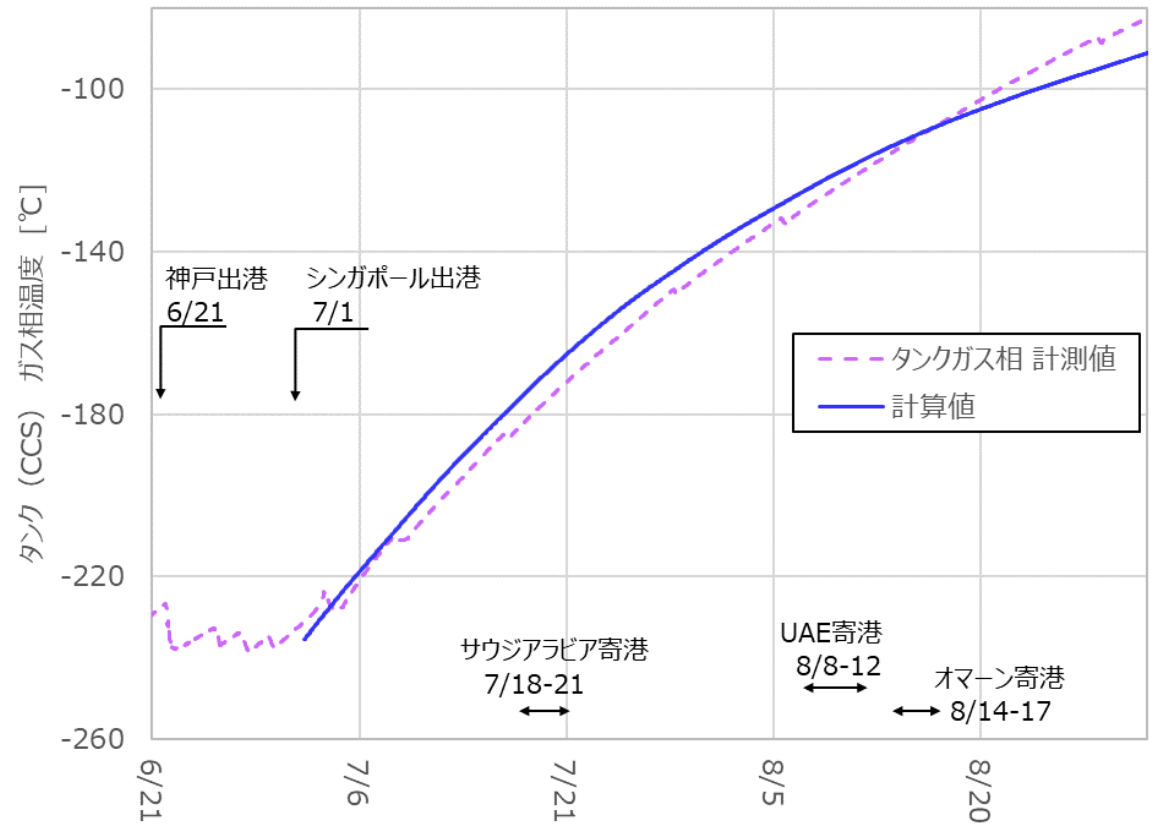
研究開発成果について

④ 試験結果 : 積付率 (0%) の場合の輸送タンクの温度上昇データ



計算では、水素ガスや内槽の構造材の比熱変化や、内槽を支持するサドル材の熱伝達率の変化などを考慮し、約10℃以内の精度で2カ月間の内部温度を推計できた。

タンク (CCS) 本体内槽ガス相温度 / 計測値と計算値の比較



研究開発成果について

(2) 繰返し航行試験 (2024/4/11~5/14)

①航路 : 神戸~豪州シドニー沖
(往復17,000km)

②積荷状態 : 積付率100%

③試験内容 : a) 積付率100%の
船の安定性の確認
b) 積付率100%の
BORの取得

④試験結果 : **換算BOR* = 0.3%/day**
(過去の国内実証試験と同じ)

* 出航前、帰港後の液水重量の検量値からの換算



研究開発成果について

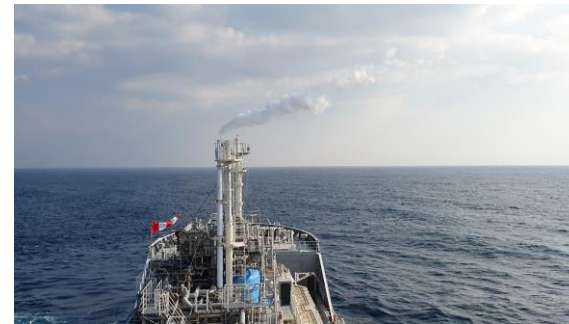
(3) 手動ベント試験

① 試験条件及び状況

| | ウォームベント | コールドベント |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ①タンク気相温度 | -213 °C | -244 °C |
| ②ヒーター出口温度 | -125 °C | - |
| ③ベントマスト頂部温度 | -35 °C | -109 °C |
| ④放出時間 | 約15分×1回 | 約1～3分×3回 |
| ⑤放出流量 | 1,500 kg/hr (17,000 Nm3/hr) | 1,900 kg/hr (21,000 Nm3/hr) |
| ⑥放出圧力 | 206 kPaG ⇒202kPaG | 186 kPaG ⇒177 kPaG |

② 試験結果

世界初の今回の手動ベント試験により、緊急時には船上から水素ガスを安全に大気放出が可能なことを示した。ベント放出の際に影響を及ぼさない水素ガスしか大気に放出しない点は、他のキャリア（NH₃、MCH）に無い液化水素の優位性である。



ウォームベント試験時の様子



コールドベント試験時の様子

研究開発成果について

(4) 繰返し荷役試験

① 試験項目及び目的

- 熱負荷繰返し荷役試験
(目的) 熱サイクルによる機器の健全性の確認
- One arm荷役試験
(目的) 緊急時及び設備合理化を想定したLAS一基での荷役作業が実施可能であることの確認

② 試験条件

- 熱負荷繰返し荷役試験 : -253°C から、高温(-50°C 以上)までの繰返し熱負荷
- One arm荷役試験 : LAS一基による荷役作業の実施

③ 試験結果

- 熱負荷繰返し荷役試験
10回の予定中6回の試験を実施した。繰返し熱負荷に対する荷役機器の健全性は検証できた。残り4回の試験は、2024年度中に実施予定。
- One arm荷役試験
通常時と同等の流量、時間等で荷役作業（揚荷作業）を実施できることを実証した。
なお、積荷作業については、未実施のため2024年度に実施する予定。



荷役試験実施中の状況

研究開発成果について

➤ 成果のまとめ

| 実施項目 | 成果のまとめ |
|------------------------|--|
| ①輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価 | <ul style="list-style-type: none">・2023年7月～11月の長期にわたり神戸～中東～シンガポール～豪州ヘイスティングス～神戸の長距離航行試験を実施した。輸送タンク内は、揚荷後のバラスト状態を想定し少量の液化水素がガスへ状態変化する際のタンク内の挙動及びその後のガスの昇温挙動について長期にわたりデータ収集とともに、水素ガスや内槽の構造材の比熱変化や内槽を支持するサドル材の熱伝達率の変化などを考慮することで、内部の昇温挙動を計算により推計できた。・2024年4月～5月に積付率100%での日豪航行試験を実施した。この試験での液化水素輸送タンクの換算BOR*は、0.3%/日であった。この値は、これまで取得した2回の航行試験での値を同じ値であることから、建造後2年であっても防熱性能を維持していることを確認した。 <p>* 出航前、帰港後の液水重量の検量値からの換算</p> |
| ②輸送タンク安全機構の評価 | <ul style="list-style-type: none">・緊急時の水素ガス放出手法である手動バント放出試験を実施した。蒸発直後の冷ガスを放出するコールドバント試験、バントスタック凍結防止のため予備加熱したウォームバント試験の双方を実施し、世界初の液化水素の手動バントに成功した。このことより、緊急時には船上から水素ガスを安全に大気放出が可能であることを示した。水素ガスは大気放出しても環境負荷が無いいため、他の水素キャリア（NH₃、MCH）と比較した場合の液化水素の優位性となる。 |
| ③繰返し荷役試験の実施 | <ul style="list-style-type: none">・繰返荷役試験は、10回の予定中6回を実施した。各回終了後には安全かつ効率的な荷役作業の検証を行い、作業手順を改善しつつ繰返し実施した。荷役設備およびタンクには荷役操作の度に繰返し熱負荷を加えることで、その健全性を検証した。残り4回の試験については、2024年度中に実施する予定である。・緊急時及び設備合理化を想定したOne Armでの荷役試験を実施し、通常時と同等の流量、時間等で荷役作業を実施できることを確認した。 |

研究開発成果について

➤ 成果発表状況

| | | Fy2015～Fy2022* (2015/12～2023/7) | Fy2023 | Fy2024 | 合計 |
|------------|----------------|------------------------------------|--------|--------|----|
| 論文発表（査読付き） | | 4 | 0 | | 0 |
| 受賞実績 | | 4 | 0 | | 0 |
| 外部 発表 | 研究発表・講演 | 361 | 18 | | 18 |
| | 新聞・雑誌等への 掲載 | 150 | 5 | | 5 |
| | 展示会への出展 | 8 | 3 | | 3 |

*「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」での実績

※2024年3月末現在

➤ 特許出願及び取得状況

| | | Fy2015～Fy2022* | Fy2023 | Fy2024 | 合計 |
|-------------------|-----------|----------------|--------|--------|----------|
| 特許出願数 (内；国際出願) | 34 (3) | 0 (0) | | | 0 (0) |

*「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」での実績

※2024年3月末現在

実用化・事業化の見通しについて

➤ 褐炭由来CO₂フリー水素サプライチェーンの実用性・事業化の見通し

● 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

実証試験により液化水素輸送船の輸送タンクシステムの断熱性能、タンク構造が所定の性能をもつことを確認した。

事業化に向けて適正なタンク規模を明確にするとともに、大型タンクの開発を進める。

● 液化水素荷役技術の開発

実証試験により荷役流量、蒸発率及び緊急遮断機構が所定の性能をもつことを確認した。

事業化に向けてより効率的な運用方法を具体化する。

● 褐炭ガス化技術の開発

実証試験により前処理設備を含んだ褐炭ガス化技術が適用できることを確認した。

事業化に向け実証試験結果を踏まえた運用方法の検討を行い、大型化に向け検討を進める。

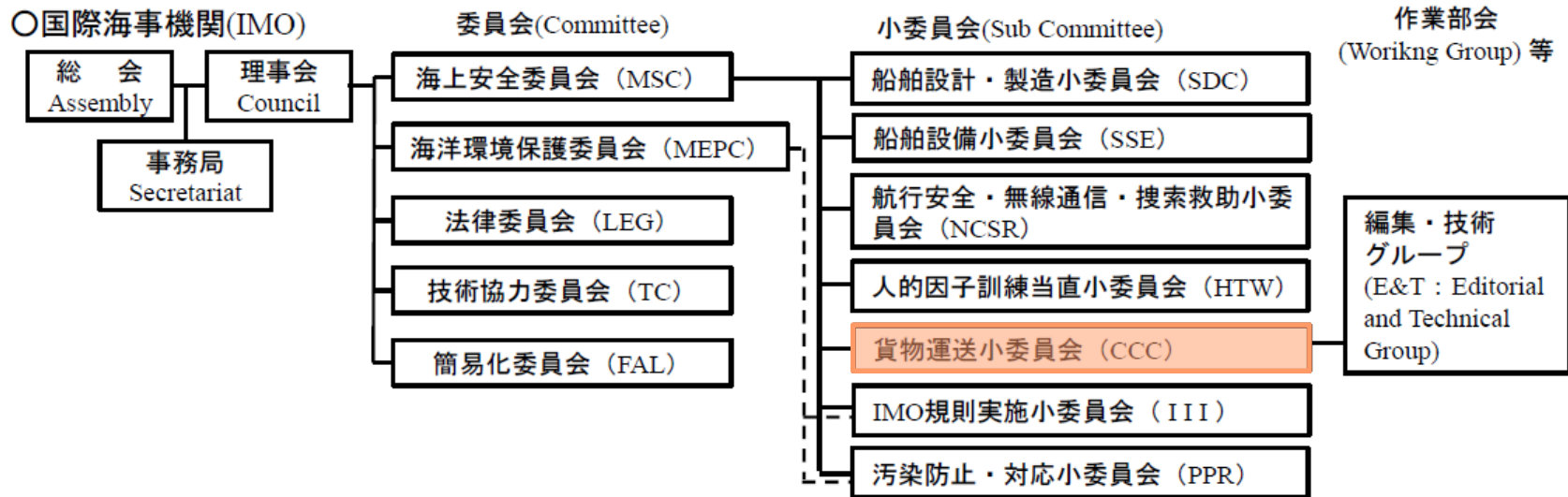
● 規格・基準類の整備

液化水素運搬船、荷役基地、ローディングアーム等の規格・基準類の整備に取り組む。

● 商用化検討の推進（今後に向けて）

発電事業者、エネルギー商社などとビジネスモデルの精緻化を図ると共に、産官連携による水素発電事業成立の環境醸成を推進する。

規格・基準類の整備について



○参考スケジュール (イメージ) (Q1: 1月~3月、Q2: 4月~6月、Q3: 7月~9月、Q4: 10月~12月) ※未確定情報を含む

| | 2023年 | | | | 2024年 | | | | 2025年 | | | | 2026年 | | | |
|---------------|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q1 | Q2 | Q3 | Q4 |
| MCS (A:総会) | | MSC 107 (5月) | | A 38 (11月) | | MSC 108 (5月) | | MSC 109 (12月) | | MSC 110 (春) | | A 34 (秋) | | MSC 111 (春) | | MSC 112 (秋) |
| CCC | | | CCC 9 (9月) | | | | CCC 10 (9月) | | | | CCC 11 (夏) | | | | CCC 12 (夏) | |
| E&T | E&T 38 (3月) | | | E&T 39 (10月) | E&T 40 (2月) | | E&T 41 (9月) | | E&T 42 (冬) | | | E&T 43 (秋) | E&T 44 (冬) | | | E&T 45 (秋) |

※国交省資料参照

これまでの成果（HySTRAのあゆみ）

HySTRA 設立

- 岩谷産業
- 川崎重工業
- シェルジャパン
- 電源開発

10月
ENOEOS 加入

12月
川崎汽船 加入

12月
すいそ ふろんていあ
進水



2月
豪州 水素目標純度
99.999%達成

8月
豪州 褐炭バイオマス
混合ガス化開始

10月
すいそ ふろんていあ
国内満載航行試験完了

12月
すいそ ふろんていあ
船級取得

12月
すいそ ふろんていあ
豪州へ向けて出航



3月
鋼管型ローディングアーム設備
液化水素での試験完了



2016

2018

2019

2020

2021

2022

2023

>>>

10月
丸紅 加入

3月
すいそ ふろんていあ
タンク搭載

6月
Hy touch神戸
開所

8月
Hy touch神戸
液化水素充填完了

10月
豪州
褐炭ガス化開始



2月
すいそ ふろんていあ
日本帰港・揚荷完了

4月
日豪サプライチェーン完遂式典

6月
水素発電 連結実証
(水素CGS実証プラント)



ご清聴ありがとうございました

クリーンで持続可能なエネルギーを開拓する

HySTRA