

発表No.E-4

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／液化水素の輸送貯蔵機器大型化  
および受入基地機器に関する開発

川崎重工業(株)

TBグローバルテクノロジーズ(株)

(株)IHI回転機械エンジニアリング

(株)荏原製作所

(国研)宇宙航空研究開発機構

(株)IHI

2022年7月29日

連絡先：

川崎重工業(株) <https://www.khi.co.jp/>

TBグローバルテクノロジーズ(株) <https://www.tbgttech.co.jp/>

(株)IHI回転機械エンジニアリング <https://www.ihico.jp/irm/>

(株)荏原製作所 <https://www.ebara.co.jp/>

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2019年7月

終了 (予定) : 2023年3月

## 2. 最終目標

### ①大型輸送・貯蔵技術の開発

#### A) 大型貯蔵容器の開発

- ・ 蒸発率 (Boil Off Rate: BOR) が0.26%/日となる5万m<sup>3</sup>級の貯蔵容器の基本構造を確立させる。

#### B) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

- ・ 蒸発率が0.4%/日となる4万m<sup>3</sup>級タンクの基本構造、設計技術などを確立させる。

### ②商用ローディングアームの開発

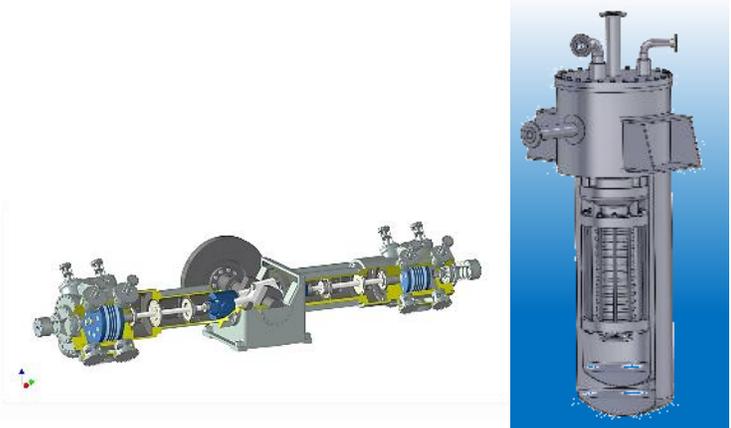
- ・ 大口径緊急離脱機構、大口径船陸継手について試作機を製作して液化水素での試験を行い、それぞれ切り離し時の安全性、安全に分離できる昇温特性を把握する。

### ③低温水素ガス圧縮機の開発

- ・ 試作機を製作し、圧縮機表面に液化空気が発生しないこと、関連部品の破損や異常摩耗がないことを確認する。
- ・ 商用機の性能予測技術の確立

### ④液化水素昇圧ポンプの開発

- ・ 軸スラストバランス機構、ポンプ材料の確立
- ・ ポンプ設計技術の確立



## 3.成果・進捗概要

### ①大型輸送・貯蔵技術の開発

#### A) 大型貯蔵容器の開発

- ・断熱材の性能試験データをもとに解析モデルを作成してBORを試算し、目標値を達成する断熱構造を確立した。

#### B) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

- ・防熱構造の部分モデルの低温試験などを実施して、基本設計データを取得した。
- ・次年度のタンクシステムの検証を目的として低温性能試験を実施するために、スケールモデルの試験タンクの設計、部品手配、製造を継続した。

### ②商用ローディングアームの開発

#### A) 大口径緊急離脱機構

- ・理論外部流出量は目標値以下の5ℓ程度となった。試作機を製作してテストしたが、一部から漏洩があったため、現在改良を実施中。

#### B) 大口径船陸継手

- ・重量は目標値の1ton以下に対し、500Kg程度になり目標を達成した。試作機を製作してテストしたが、一部から漏洩があったため、現在改良を実施中。

## 3.成果・進捗概要

### ③低温水素ガス圧縮機の開発

#### A) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発

- ・ 試作機を製作し、低温水素ガスを用いた実ガス試験にて圧縮機外表面に液空を発生させない真空容器構造を実証した。

#### B) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発

- ・ 同実ガス試験にて窒素シールガスが液化しない軸シール構造を実証し、商用機の摺動部材の目途付けをした。

#### C) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発

- ・ 同実ガス試験にて流量が予想を大きく下回り、有効な性能データを取得できなかったため改良を実施した上で**2022**年度に再度実ガス試験を実施予定である。

### ④液化水素昇圧ポンプの開発

- ・ **2020**年度までの成果（新型軸スラストバランス機構および液化水素用ポンプ材料）を反映した小型試作機を製作した。
- ・ 小型試作機の**LNG**を使用した運転試験により、性能・機能を評価し、概ね計画通りの結果が得られた。

# 1. 事業の位置付け・必要性

## 液化水素サプライチェーンの商用化に向けた一連の事業

2020年

パイロット実証：褐炭からの水素製造および長距離大量海上輸送の技術・安全・運用上の成立性を実証



~2022年度

**本事業**

：商用化実証および商用化を実現するために必要な機器/大型化開発



2020年代半ば  
商用化実証

：機器サイズは商用規模（大型化）としつつ、プラント構成はミニマム系列として経済性を含めた商用化の成立性を見極める実証事業



2030年  
商用化

：設備導入から運用に至るまで経済的に自立し利益を生む実ビジネス

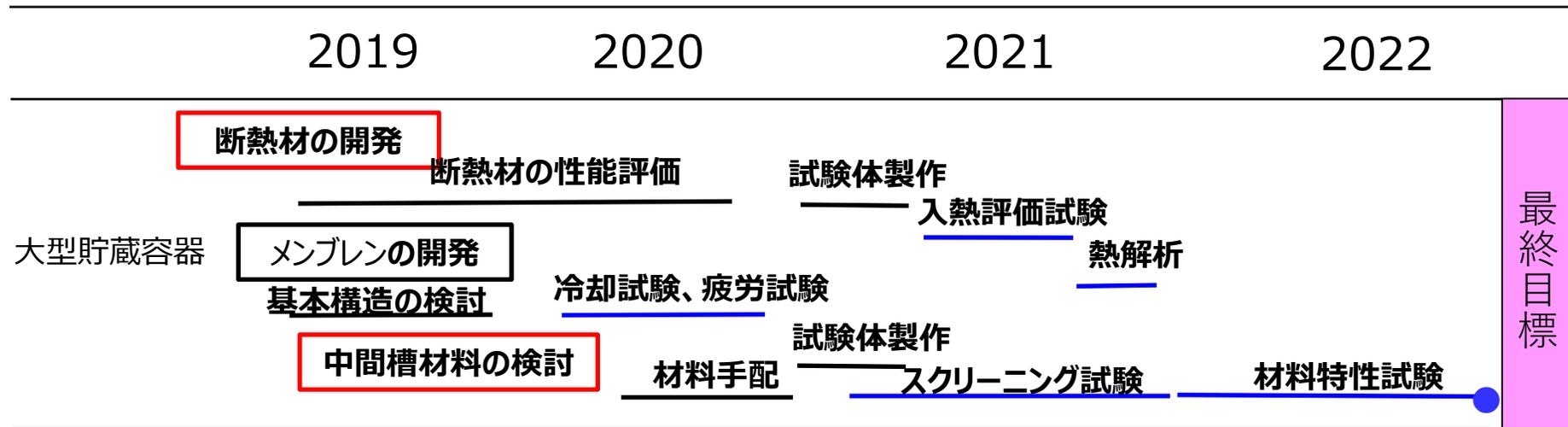


## 2. 研究開発マネジメントについて

### ①大型輸送・貯蔵技術の開発

#### A) 大型貯蔵容器の開発

- 研究開発の目標設定
  - 断熱性能の測定、0.26%/dの目途付け
  - 構造材料のスクリーニング試験完了
- 研究開発のスケジュール



### 3. 研究開発成果について

- 研究開発の成果と意義

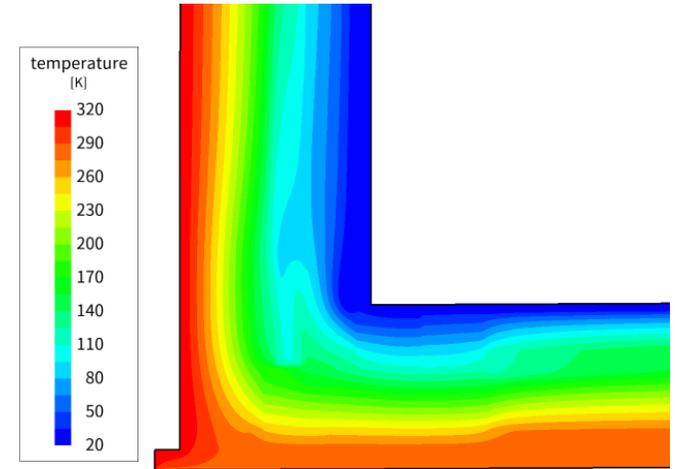
断熱材、構造部材のデータを取得し、解析にて評価を実施。  
商用5万m<sup>3</sup>クラスの貯蔵容器で断熱性能0.26%/dの達成目途を得た。



平底円筒容器 概念図

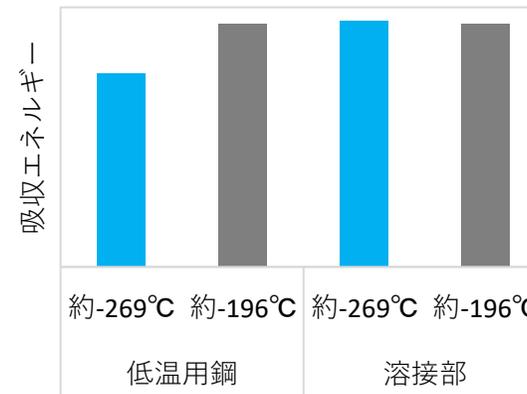


極低温熱伝導率計測

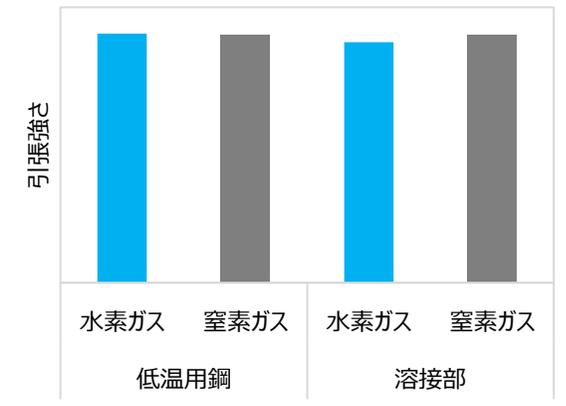


計測結果をもとに実施した伝熱解析

- 特許や論文、学会発表、広報等の取り組み  
特許/論文 : 特許 2 件、当社技報にて紹介  
対外発表 : 2022年3月 FC-EXPOで発表



極低温衝撃試験結果



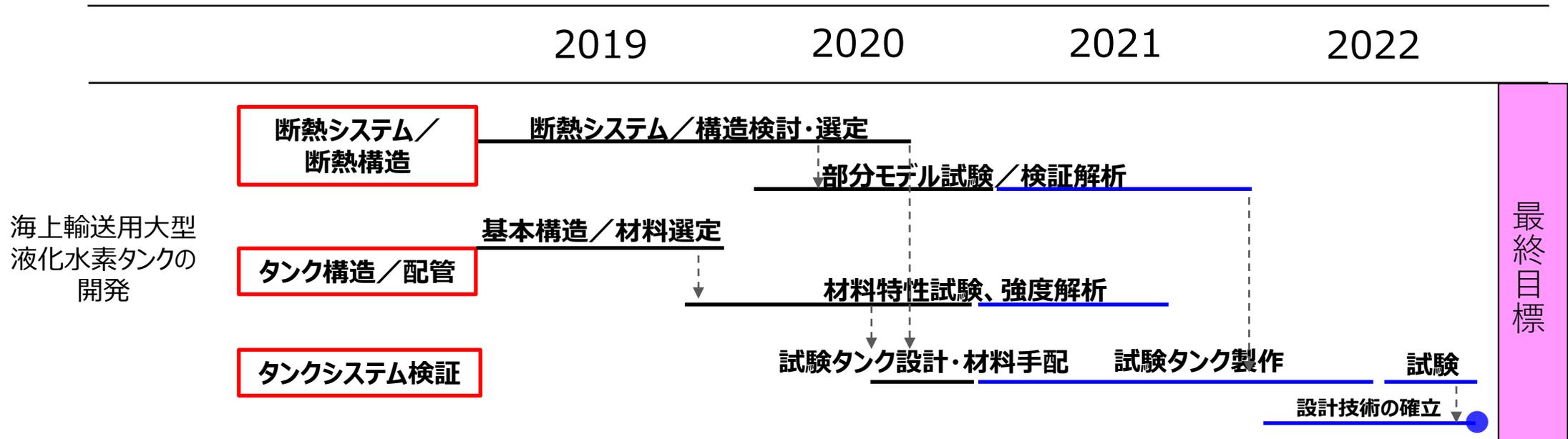
各ガス雰囲気での引張強さ

## 2. 研究開発マネジメントについて

### ①大型輸送・貯蔵技術の開発

#### B) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

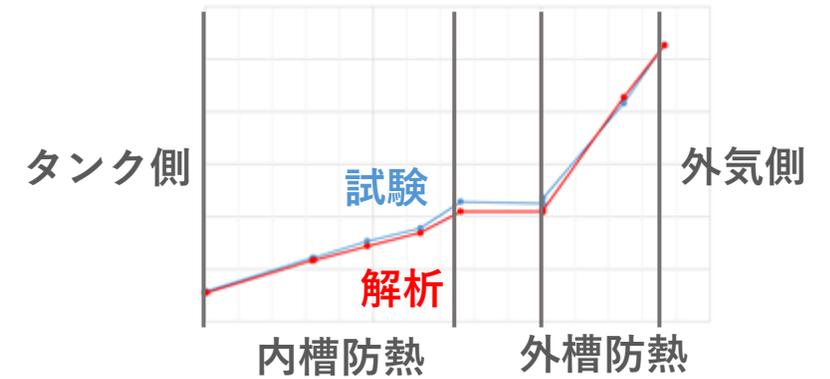
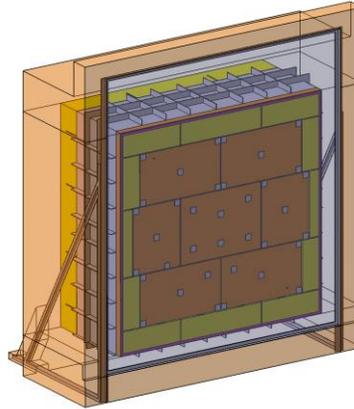
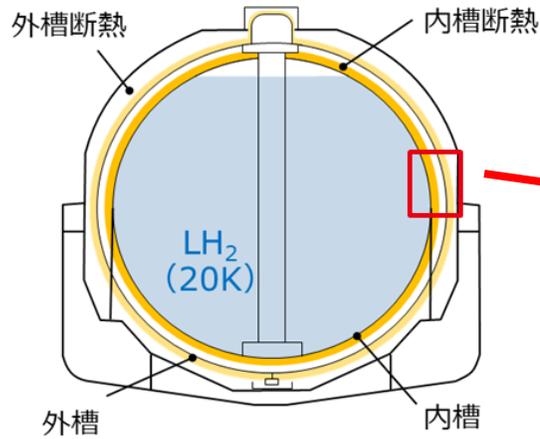
- 研究開発の目標設定
  - 断熱構造の部分モデル試験などを実施して、基本設計データを取得
  - タンクシステムの検証を目的に、試験タンクの製造を継続
- 研究開発のスケジュール



### 3. 研究開発成果について

#### ■ 研究開発の成果と意義

- 断熱構造の部分モデル試験、検証解析を実施して、基本設計データを取得



断熱構造の温度の比較例

- スケールモデルの試験タンクは製造中



# 3. 研究開発成果について

## ■ 研究開発の成果と意義

- 2021年4月に、日本海事協会から貨物格納設備（CCS）の設計基本承認（AiP）を取得



NIPPON KAIJI KYOKAI

Document No: KP-21HD01998

Date: 28 April 2021

### Approval in Principle

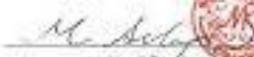
**KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES, LTD.**

Cargo Containment System for 169,000m<sup>3</sup> Liquefied Hydrogen Carrier

Nippon Kaiji Kyokai (ClassNK) has examined the documents specified in the annex to this letter based on the current Society's Rules and Guidance for the Survey and Construction of Steel Ships "Part B, Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk" incorporating "the International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (IGC Code)", "Guidelines for Liquefied Hydrogen Carriers" incorporating "INTERIM RECOMMENDATIONS FOR CARRIAGE OF LIQUEFIED HYDROGEN IN BULK (RESOLUTION MSC.420 (97))" and other related requirements, and found the design is feasible as basic concept.

Accordingly, Approval in Principle is hereby granted.

Conditions on this approval are set out in the annex to this letter and to be fully taken into account.

  
M. Akagi  
General Manager of Hull Department  
NIPPON KAIJI KYOKAI

タンク方式

直径

容積

独立タンク

約43m

約40,000m<sup>3</sup>



大型液化水素運搬船（貨物格納容積：40,000m<sup>3</sup>×4基 搭載イメージ）

# 2. 研究開発マネジメントについて

## ②商用ローディングアーム

・ 研究開発の目標設定

A) 大口径緊急離脱機構：切離時の外部流出量を**125L**以下とする。  
試作機を製作して、所定の試験に合格する。

B) 大口径船陸継手：重量が**1ton**以下で**2~3人**で操作可能な構造とする。  
試作機を製作して、所定の試験に合格する。

・ 研究開発のスケジュール

	2019	2020	2021	2022	
大口径 緊急離脱 機構	構造検討	外部流出量設定 試作機設計 熱強度解析 試作機製作	試作機試験	改良	
					再試験
大口径 船陸継手	構造検討	重量設定 試作機設計 熱強度解析 試作機製作	試作機試験	改良	
					再試験

# 3. 研究開発成果について

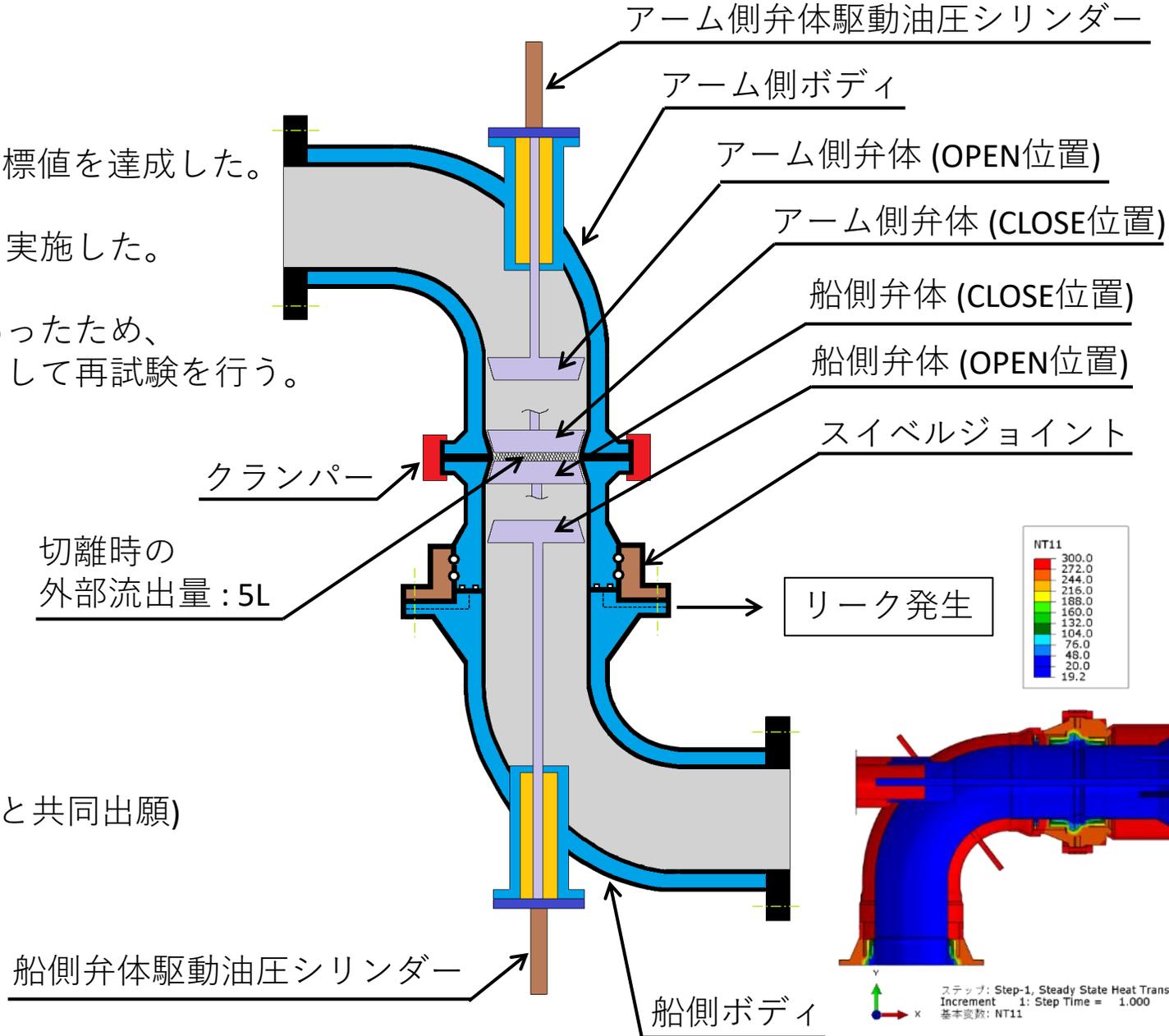
## [A]: 大口径緊急離脱機構

・ 研究開発の成果と意義  
外部流出量は5Lとなり、目標値を達成した。

試作機を製作して、試験を実施した。

リークが発生した箇所があったため、パッキンの締め代を大きくして再試験を行う。

- ・ 特許/論文：特許1件 (KHIと共同出願)  
論文無し
- ・ 対外発表：無し



### 3. 研究開発成果について

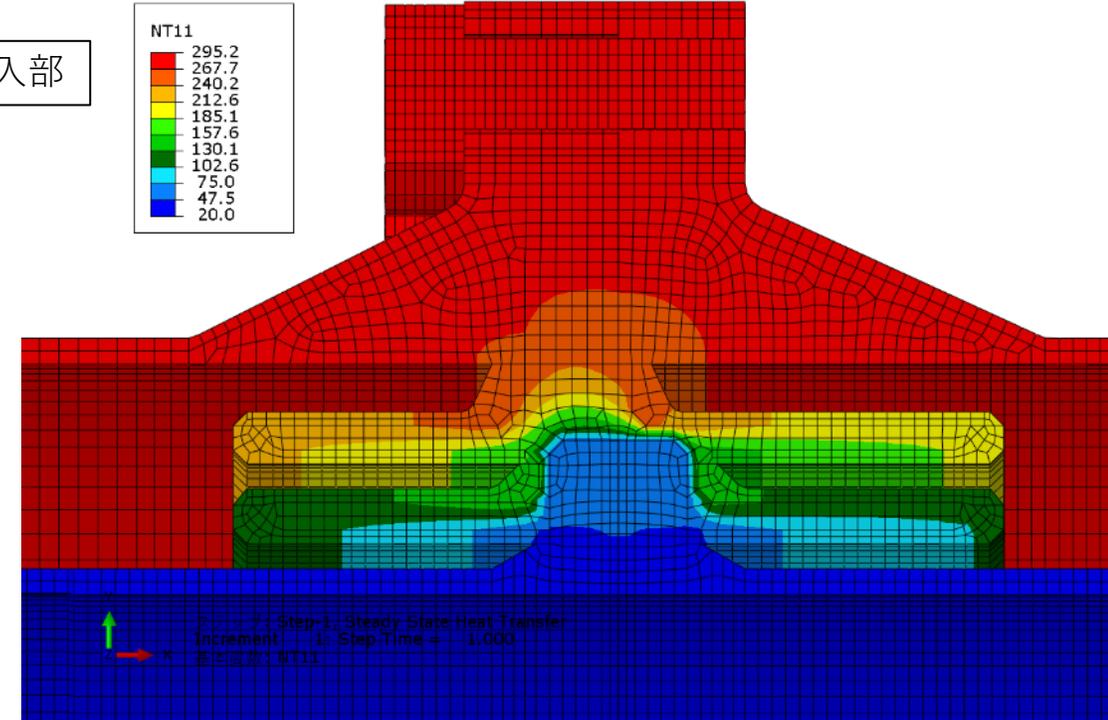
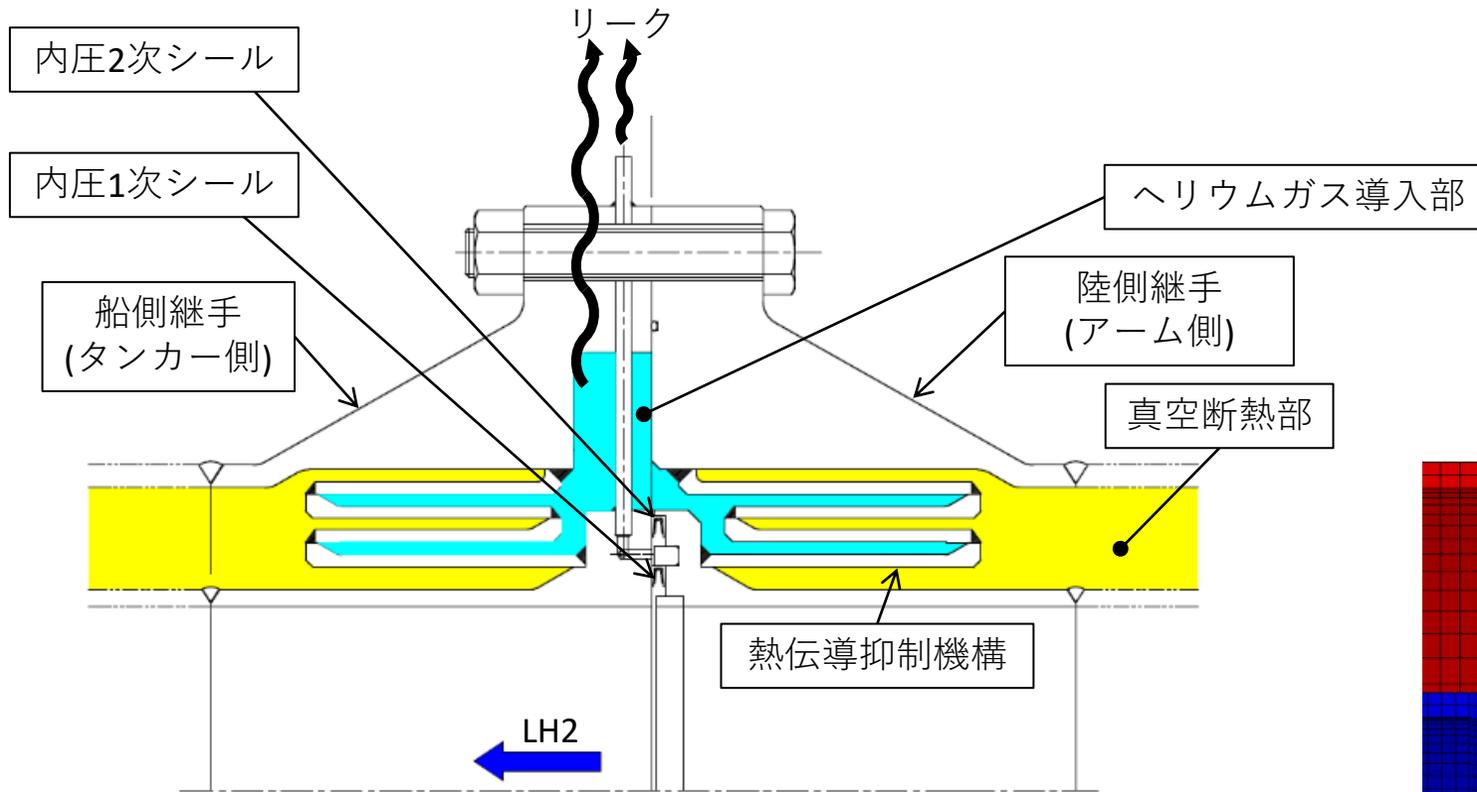
#### [B]:大口径船陸継手

- 研究開発の成果の意義

重量は500Kg以下となり、目標を達成した。

試作機を製作して試験を実施した。

1次シール、2次シールからのリークがあったため、シールの締め代を大きくして再試験を行う。

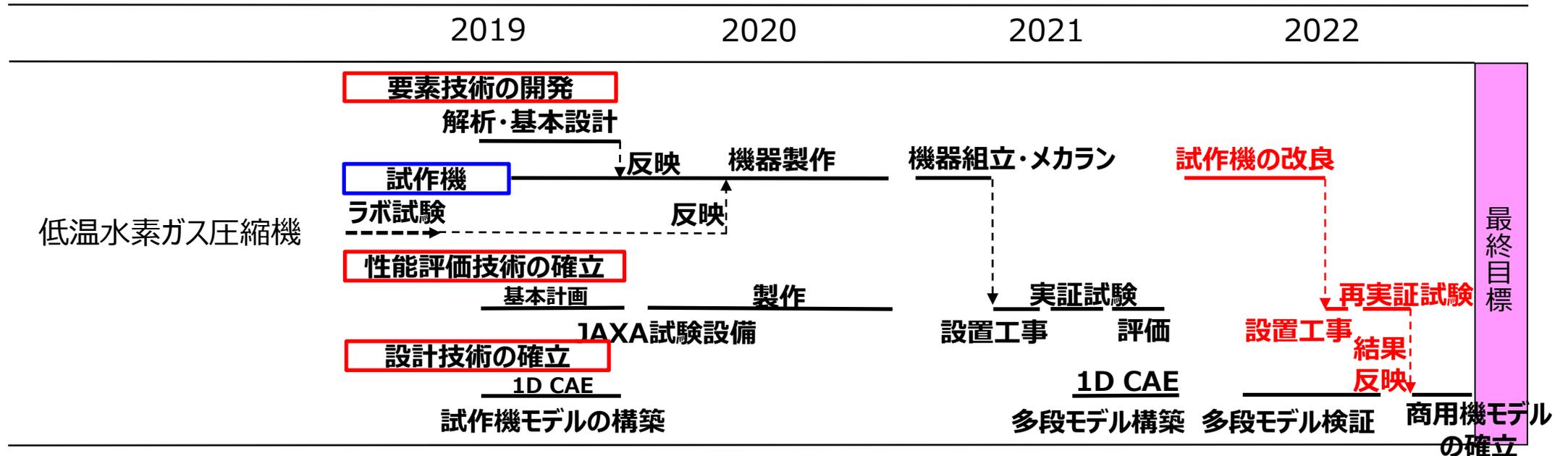


- 特許/論文：無し
- 対外発表：無し

## 2. 研究開発マネジメントについて

### ③低温水素ガス圧縮機の開発

- 研究開発の目標設定
  - 液空を発生させないシリンダ／真空容器構造の確立（表面温度;  $-183^{\circ}\text{C}$ 以上）
  - 熱変位を吸収するサポート構造の確立（各部の損傷無し、振幅;  $250\mu\text{m p-p}$ 以下）
  - シールガスが液化しない軸シール構造の確立・摺動部材の目途付け（摩耗量; 摩耗代の $1/3$ 以下）
  - 低温水素ガス温度域での運転データ計測技術・性能評価技術の確立
  - 1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立（期待精度; 温度  $\pm 15^{\circ}\text{C}$ , 流量  $\pm 10\%$ ）
- 研究開発のスケジュール



### 3. 研究開発成果について

- 研究開発の成果と意義

- ▶ 低温水素ガスを用いた試作機の実ガス試験にて圧縮機外表面に液空が発生することなく、最低表面温度は $-30^{\circ}\text{C}$ 以上(解析結果と概ね一致)で、振動は $10\mu\text{m}$ 程度で損傷なし。
- ▶ 圧縮機内での窒素シールガスの液化、軸シールの異常摩耗がないことを目視にて確認した。

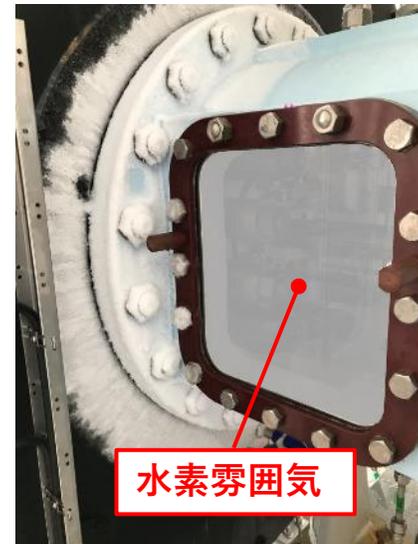
意義：貯蔵タンクからの蒸発ガスをプレヒーティングすることなく、低温のまま吸入可能な安全性を有するシリンダ／真空容器構造を確立した。



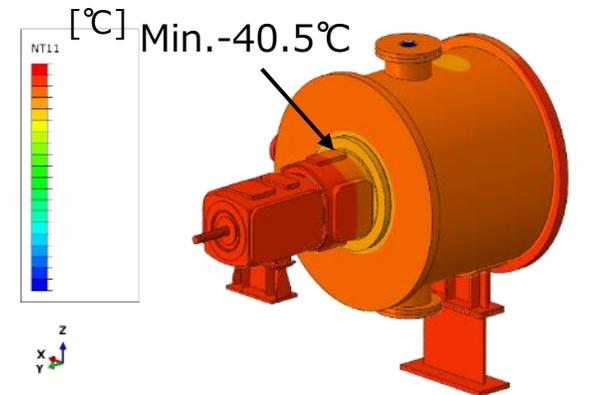
試作機外観（真空容器側）



試作機外観（圧縮機フレーム側）



最低表面温度部（着霜は想定内）



伝熱解析による予測温度

### 3. 研究開発成果について

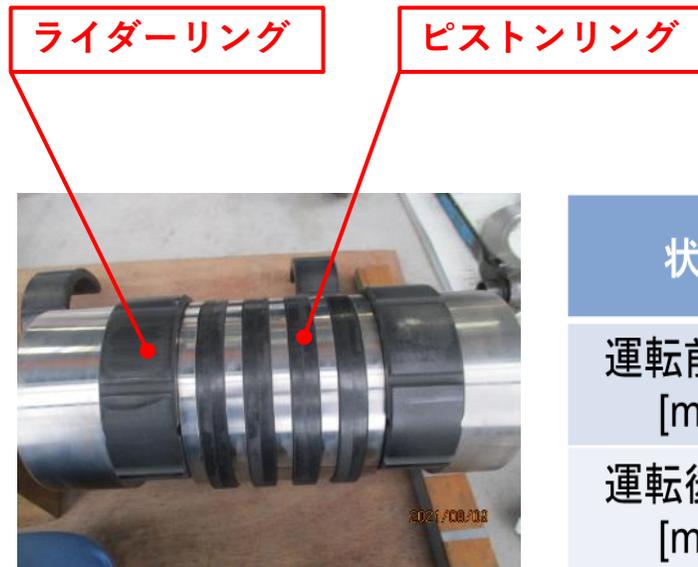
- 研究開発の成果と意義

- ラボ試験結果から選定した2種類の摺動部材にて実ガス運転を実施し、商用機で使用可能な材料の目途を付けた。
- 既存材（PTFEベース）の方が良好で摩耗量は摩耗代の約1.5%（通常の初期摩耗レベル）

意義：商用機においても信頼性のある長時間連続運転が期待できる。

項目	単位	仕様
圧縮機型式	-	1段1筒往復動圧縮機
ストローク	mm	200
シリンダ径	mm	155
回転数	rpm	360
モータ定格出力	kW	55
吐出流量	Nm <sup>3</sup> /h	550
吸入圧力	MPa	0.05
吸入温度	℃	-240, -220, -200, -180
吐出圧力	MPa	0.55
吐出温度	℃	-200~-140

試作機的主要仕様



ピストンと摺動部材

状態	既存材 (PTFEベース)	新素材 (PTFEベース)
運転前隙間 [mm]	3.75	3.70
運転後隙間 [mm]	3.70	2.65

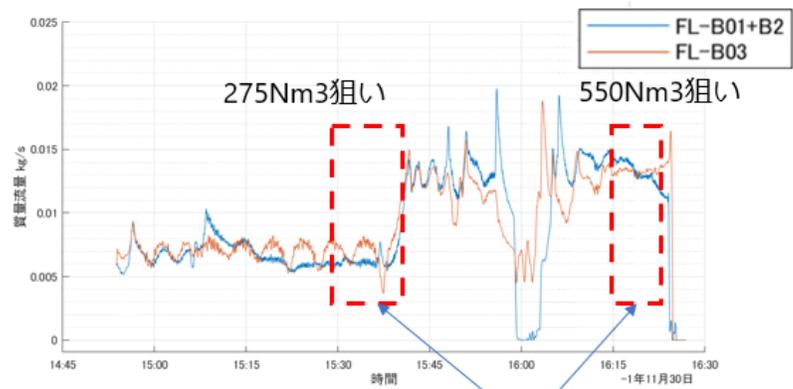
2種類のリング材でのピストン下部スキマ  
(運転前後の変化量がライダーリングの摩耗量を意味する)

### 3. 研究開発成果について

- 研究開発の成果と意義

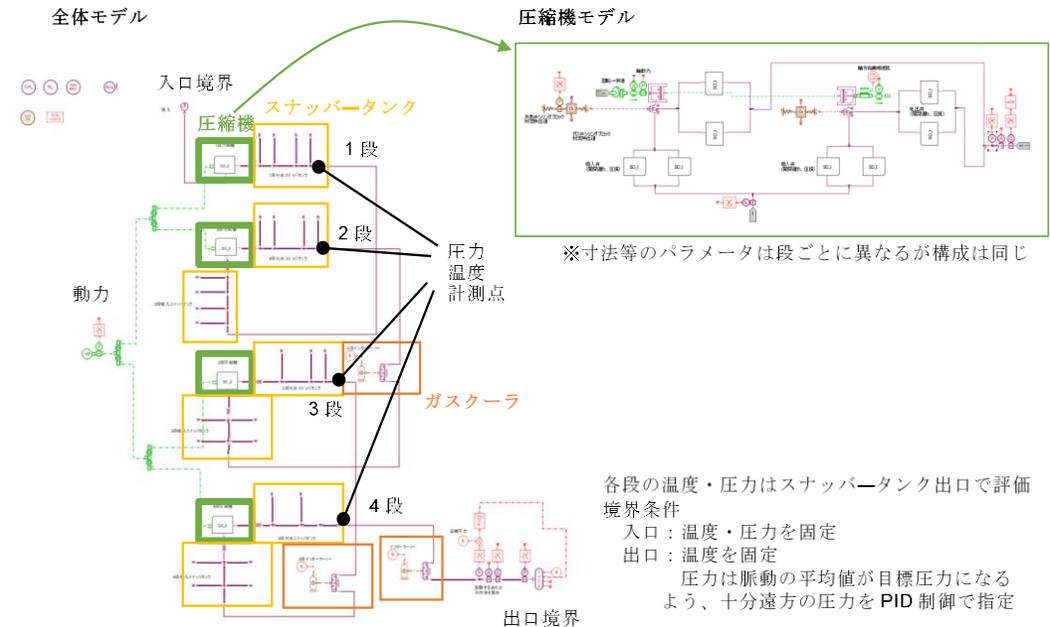
- ▶ 低温水素ガス温度域での運転データ計測技術・性能評価技術には問題なかったが、圧縮機流量が予想を大きく下回る結果となった。
- ▶ 1D CAEにフィードバックする有効な性能データが取得できなかったため、商用機で想定される多段（4段）モデルをLNGベースで先行して構築した。

意義：今年度の再実ガス試験にて有効な性能データが取得できれば、1D CAEにフィードバックすることで精度ある商用機の性能予測が可能となる。



安定区間でおよそ一致を確認  
吸入側と吐出側での流量比較

- 特許や論文、学会発表、広報等の取り組み  
特許/論文 : なし、対外発表 : なし

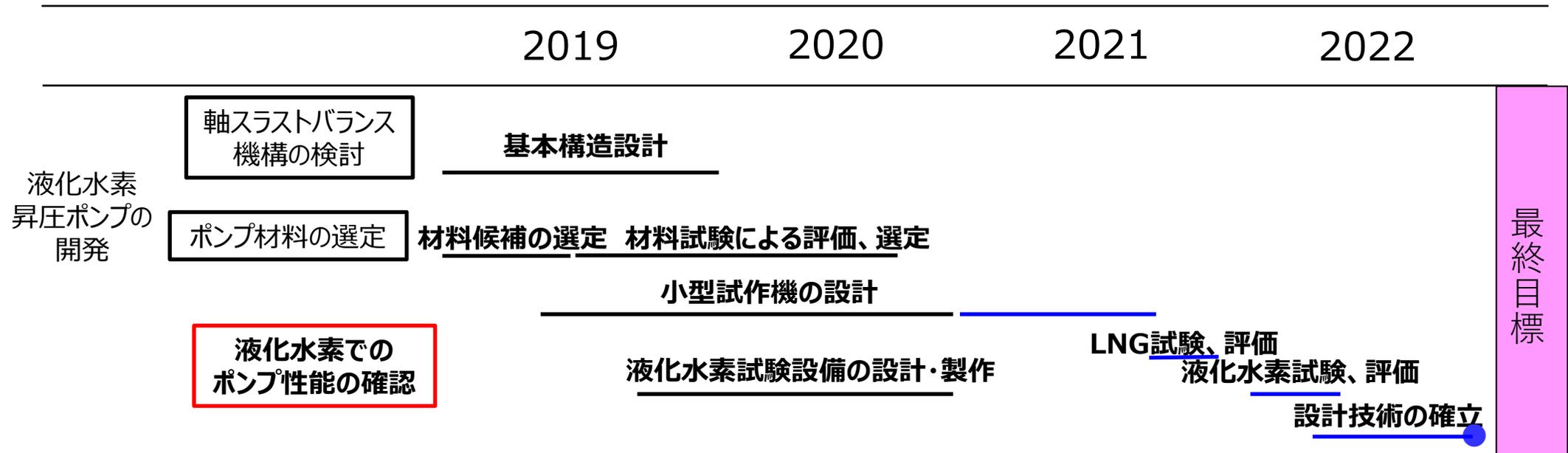


商用機を想定した4段圧縮の1D CAEモデル

## 2. 研究開発マネジメントについて

### ④ 液化水素昇圧ポンプの開発

- 研究開発の目標設定(2021年度目標)
  - ▶ 小型試作機の製作完了
  - ▶ 小型試作機のLNG性能の取得
- 研究開発のスケジュール



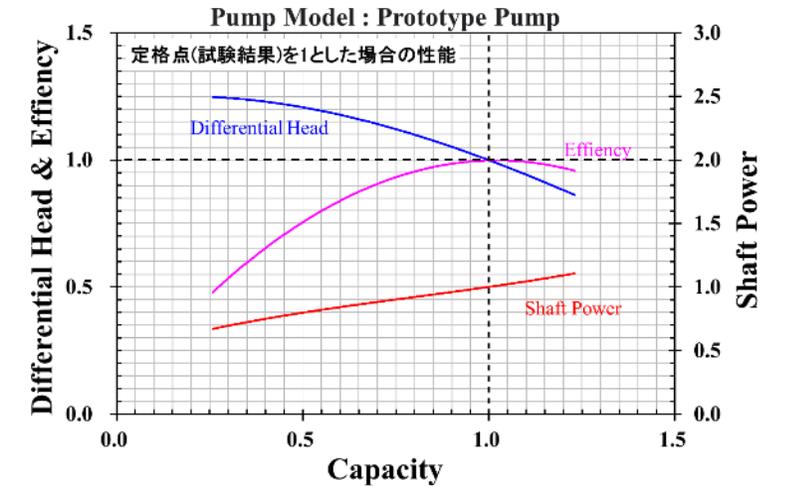
## 3. 研究開発成果について

### ④液化水素昇圧ポンプの開発

- 研究開発の成果と意義
- 2020年度までの成果（新型軸スラストバランス機構および液化水素用ポンプ材料）を反映した小型試作機を製作した。
- 小型試作機のLNGを使用した運転試験を実施。概ね計画通りの性能、機能が得られた。



製作した小型試作機  
(LNG試験後)



- 概ね計画通りのポンプ性能が得られた。
- 軸スラストバランス機構が機能することを確認した。

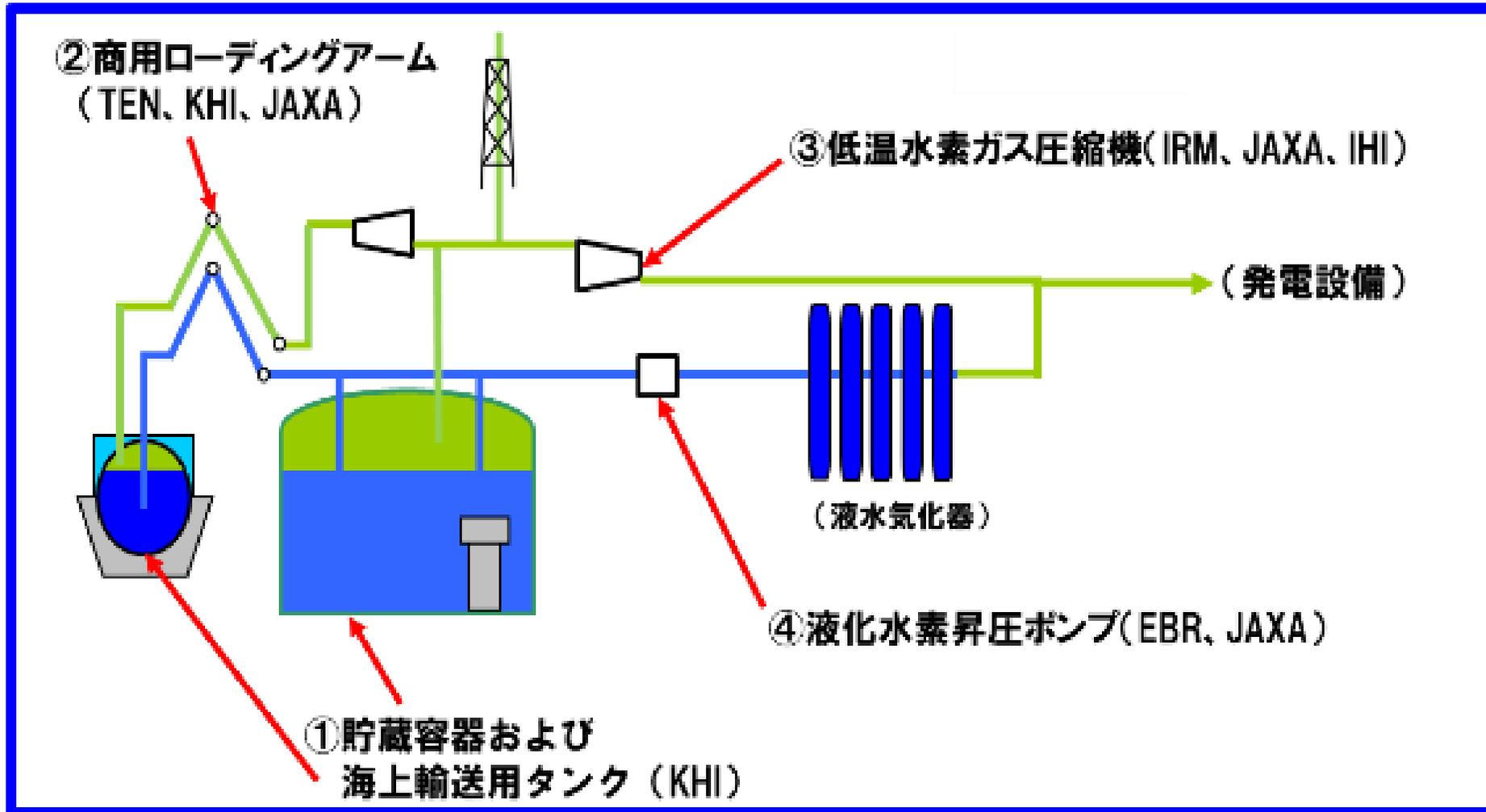
### 今後の予定

2022年度に液体水素による運転試験を実施し、このLNG試験結果も含めて分析することで、液化水素昇圧ポンプの設計方法を確立する。

- 特許や論文、学会発表、広報等： 特になし

## 4. 今後の見通しについて

各機器の開発により、商用スケールの荷役設備および発電設備への水素供給設備が成立し、水素基本戦略の2030年発電容量100万kW（火力発電所1基相当）の実現に貢献する。



2021年度にグリーンイノベーション基金事業の一環として、商用化実証に向けた基本設計が開始