

事業戦略ビジョン

提案プロジェクト名 : 大型水素サプライチェーンの構築プロジェクト
研究開発項目 1. 国際水素サプライチェーン技術の確立及び液化水素関連機器の整備
研究開発内容③革新的な液化、水素化、脱水素技術の開発
「水素液化機向け大型高効率機器の開発」

提案者名 : 川崎重工業株式会社 代表名 : 代表取締役社長 橋本 康彦

目次

1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

1. 事業戦略・事業計画

1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

国際水素サプライチェーンの導入普及に伴い、水素液化機の機器市場が急速に拡大すると予想

カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

（社会面）

- ・ 低炭素社会から脱炭素社会に意識が変化している
- ・ CO2フリー水素利用の有効性が認知されている

（経済面）

- ・ 削減限界費用の高い削減手段の必要性が高まっている
- ・ 液化水素による国際水素サプライチェーンの有効性の認知されている

（政策面）

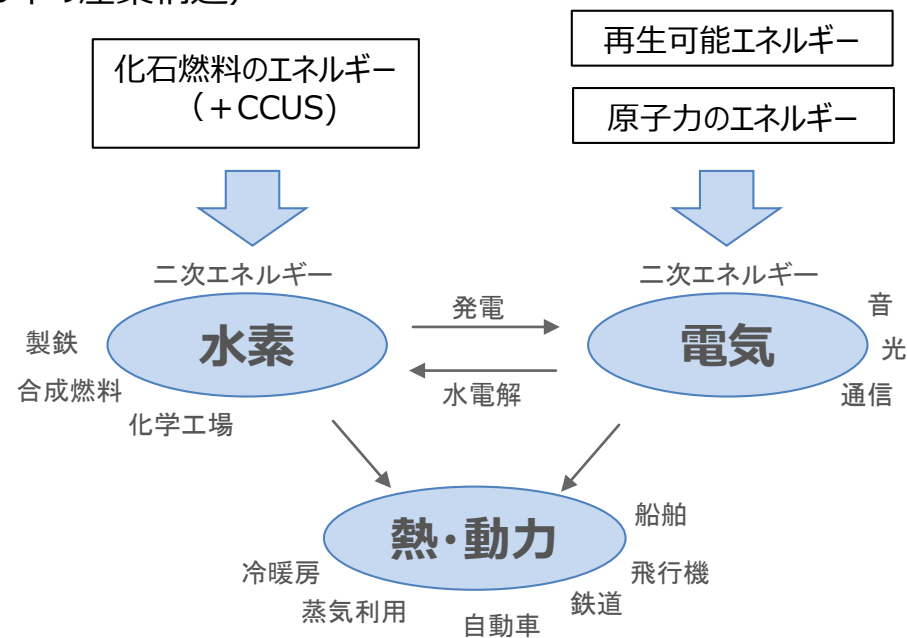
- ・ 大量水素の導入に向けた政策が検討されている。
- ・ 水素発電による電力導入を加速する政策が検討されている。

（技術面）

- ・ 大量水素を流通させる技術の向上が求められている。
- ・ 液化水素による大量水素の海上輸送技術の確立が期待されている

カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ

（2050年の産業構造）



● 市場機会

国際水素サプライチェーンの導入に伴い、液化機の機器市場が急速に拡大する。

● 社会・顧客・国民等に与えるインパクト

一時的にエネルギー価格が上昇するが、技術の習熟により、影響は低減されてゆく。

● 当該変化に対する経営ビジョン

当社は水素液化機向けに、さらなる将来を見据え、大型で安価、高効率な機器の研究開発を続け、市場の要請に応えていく。

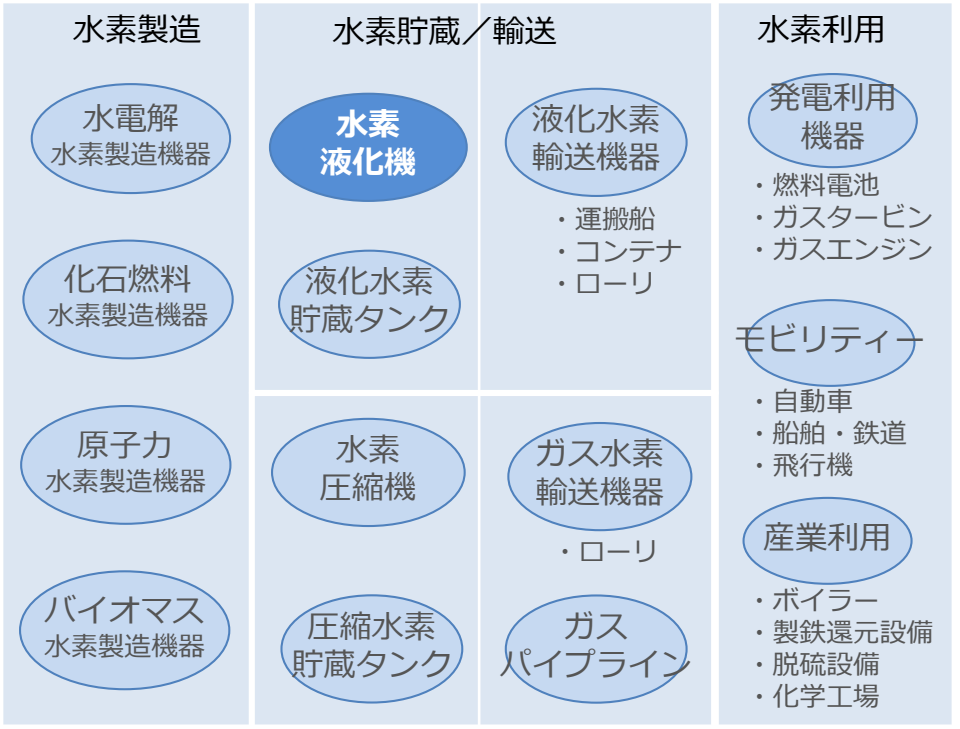
1. 事業戦略・事業計画／（2）市場のセグメント・ターゲット

水素の機器市場のうち水素液化機をターゲットとして想定

セグメント分析

水素の機器市場のセグメント

—— サプライチェーン ——>



ターゲットの概要

市場概要と目標とするシェア・時期

2050年の液化水素の取扱量は、日本向けに900万t/年、世界で2700万t/年となると予想している。その量が2050年までの水素関連機器の市場規模であり、2030年以降には激しい大型化開発競争、高効率化競争が開始されると予想している。それに向けて当社は、水素液化機向けに①大型高効率圧縮機、②動力回収型膨張タービン、③Wetタービン、④磁気冷凍機の開発を行う。2050年において、これら製品の高い世界シェアを目指す。

対象需要家と主な競合に対する優位性

現在世界には数社の水素液化機メーカーが存在しており、これら液化機メーカーにより当社開発機器が採用されることを想定している。当社は、自社でも液化機を開発しており、自社液化機への採用率は100%を見込む。また、他社液化機に対しても、技術力を背景とした高い導入率を目指している。

想定される液化機メーカー各社のニーズとしては、現在の～数10t/day規模からの大型化が今後予想されており、大型化に対応した構成機器の提供が求められる。また、水素社会の到来により、より高効率な機器の提供が求められる為、これらのニーズに対応した他所技術開発を行う。

1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

当社保有する液化水素及び回転機器の技術を用いて、
液化機の大型化、高効率化に必要な機器を提供する事業を創出/拡大（すべて世界初の製品）

社会・顧客に対する提供価値

顧客である液化機メーカーに、
液化機の大型化、高効率化
を可能とする下記製品を提供
する。

- ①大型高効率水素圧縮機
- ②動力回収型膨張タービン
- ③Wetタービン
- ④磁気冷凍機

ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性

④磁気冷凍機の開発

液化行程に対して、エネルギー
損失の少ない磁気冷凍機
を開発します。

③Wetタービンの開発

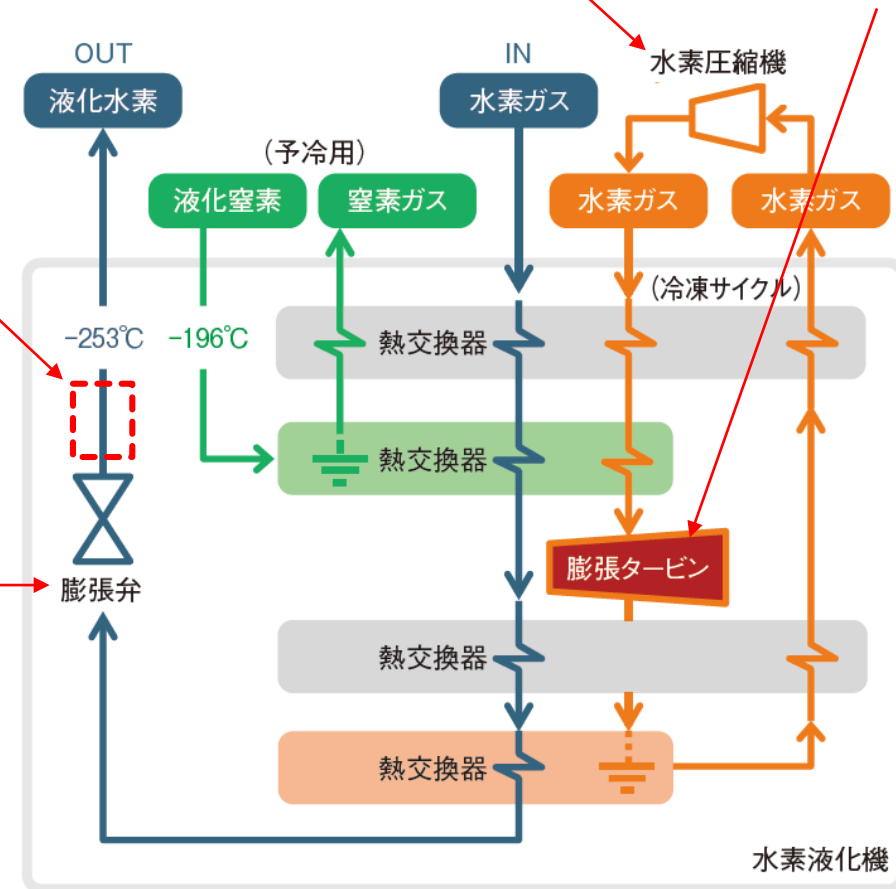
膨張弁に代替できるエネルギー損失
の少ないWetタービンを開発します。

①大型高効率水素圧縮機の開発

大型、高効率の水素圧縮機
を開発します。

②動力回収型膨張タービンの開発

動力回収可能な膨張タービン
を開発します



1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

①大型高効率水素圧縮機の開発

当社保有する液化機技術と圧縮機技術を活かして、顧客に大型高効率水素圧縮機を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- ターゲットに**大型高効率水素圧縮機**を提供することで、ターゲットは大型高効率の液化機を製品化できる。さらに液化機ユーザは、低コストで液化水素を製造可能になる。



自社の強み

- 当社は世界で数少ない水素液化機メーカーの1つ（国内唯一）であり、**自社の液化機への搭載**も行う。
- 半世紀以上にわたり、多種多様な遠心圧縮機のビジネスを行ってきた**実績**を有している。
- 多種の遠心圧縮機の開発実績のある**技術者**を保有している。
- 重工メーカーとして、機器の大型化開発の能力を有している。また**製品生産工場**も有している。

自社の弱み及び対応

- 従来の圧縮機市場においては、競合他社と比較して**事業規模が小さい**。
- 新市場となる常温水素用の遠心圧縮機を開発し、**先行参入**することにより、市場主導権を確立する。

他社に対する比較優位性

技術：

他社も遠心圧縮機の基盤技術を保有しているが、当社は高速回転の単段型や特殊仕様の商用実績を有しているという点で技術的優位性があると考えられる。
また、水素関連機器を多数取り扱っており、水素への対応という点で、当社は他社に対し多くの経験・知見を保有している。

顧客基盤：

当社は自社でも液化機を開発しており、顧客としての視点を有している。また、水素関連プロジェクトを多数遂行しており、顧客となる他の液化機メーカーとの交流も深い。

サプライチェーン：

当社は国内製造を予定しており、部品も国内調達を予定している為、国内経済への寄与が大きい。一部競合他社は海外にも生産拠点を有しており、部材調達も一部海外製を採用していることから、サプライチェーンを通じた国内経済への寄与は少ない。

その他経営資源：

当社は水素関連機器の開発に積極的に資本投下を行っている。競合他社は圧縮機メーカーであり、水素事業全体に対する関与は限定的と予想される。

以上のことから、将来に渡って強い優位性を継続的に確保可能と考える

1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

②動力回収型膨張タービンの開発

当社保有する膨張タービン技術を進化させ、顧客に動力回収型膨張タービンを提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- ターゲットに**動力回収型膨張タービン**を提供することにより、ターゲットは高効率の液化機を製品化できる。さらに液化機ユーザは、低コストで液化水素を製造可能になる。



自社の強み

- 当社は世界で数少ない水素液化機メーカーの1つ（国内唯一）であり、**自社の液化機への搭載**も行う。
- 膨張タービン本体については自社開発で製品化しており、それに熟知している**技術者**を保有している。
- 高速回転の電動ブロワ技術を有しており、電動機/発電機の専門**技術者**を保有している。
- タービンの**組立、製造工場**を有している。

自社の弱み及び対応

- 顧客として自社自身が含まれおり、自社以外の顧客がビジネス上、警戒する恐れがある。対応として、製品自身の製造ライセンスを別メーカーに与え、当社は直接顧客と接触しないビジネス手法が考えられる。

他社に対する比較優位性

技術：

当社は①極低温水素機器の技術、②膨張タービン技術、③高速回転電動ブロワの技術を有している。

顧客基盤：

当社は自社でも液化機を開発しており、顧客としての視点を有している。また、水素関連プロジェクトを多数遂行しており、顧客となる他の液化機メーカーとの交流も深い。

サプライチェーン：

当社は国内製造を予定しており、部品も国内調達を予定している為、国内経済への寄与が大きい。

その他経営資源：

当社は水素関連機器の開発に積極的に資本投下を行っている。

以上のことから、将来に渡って強い優位性を継続的に確保可能と考える。

尚、本製品の技術の有効性について、液化機関連業界では知られているものの、その開発には高度な技術、大きな研究開発投資と時間が必要とされ、その開発に取り組んだ企業の情報は無い。

1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

③Wetタービンの開発

当社保有する液化水素技術及びタービンの技術を活かして、顧客にWetタービンを提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- ターゲットに膨張弁に代替できる**Wetタービン**を提供することにより、ターゲットは高効率の液化機を製品化できる。さらに液化機ユーザは、低コストで液化水素を製造可能になる。



自社の強み

- 当社は世界で数少ない水素液化機メーカーの1つ（国内唯一）であり、**自社の液化機への搭載**も行う。
- 極低温の水素機器の研究開発に対応できる**技術者**を保有している。
- 液体、気体の混合の2相流体を用いる機器の研究開発に対応できる**技術者**を保有している。
- タービンの**製品生産工場**を有している。

自社の弱み及び対応

- 顧客として自社自身が含まれおり、自社以外の顧客がビジネス上、警戒する恐れがある。対応として、製品自身の製造ライセンスを別メーカーに与え、当社は直接顧客と接触しないビジネス手法が考えられる。

他社に対する比較優位性

技術：

当社は①極低温水素機器の技術、②ガス水素関連機器の技術、③二相流体に対応した機器の技術、④タービン機器の技術 を有している。

顧客基盤：

当社は自社でも液化機を開発しており、顧客としての視点を有している。また、水素関連プロジェクトを多数遂行しており、顧客となる他の液化機メーカーとの交流も深い。

サプライチェーン：

当社は国内製造を予定しており、部品も国内調達を予定している為、国内経済への寄与が大きい。

その他経営資源：

当社は水素関連機器の開発に積極的に資本投下を行っている。

以上のことから、将来に渡って強い優位性を継続的に確保可能と考える。

尚、本製品の技術の有効性について、液化機関連業界では知られているものの、その開発には高度な技術、大きな研究開発投資と時間が必要とされ、その開発に取り組んだ企業の情報は無い。

1. 事業戦略・事業計画／（4）経営資源・ポジショニング

④磁気冷凍機の開発

当社保有する液化技術にNIMS※磁気冷凍技術を適用し、膨張弁に代替できる磁気冷凍機を提供

自社の強み、弱み（経営資源）

ターゲットに対する提供価値

- ターゲットに膨張弁に代替できる**磁気冷凍機**を提供することにより、ターゲットは高効率の液化機を製品化できる。さらに液化機ユーザは、低コストで液化水素を製造可能になる。



自社の強み

- 当社は世界で数少ない水素液化機メーカーの一つ（国内唯一）であり、**自社の液化機への搭載**も行う。
- 極低温の水素機器の研究開発に対応できる**技術者**を保有している。
- 磁気冷凍機を水素液化機に組込むために必要な機械機構の設計研究を行える**技術者**を保有している。

自社の弱み及び対応

- 当社自身は磁気冷凍技術を**保有していない**。そのため磁気冷凍技術保有する**NIMS※と連携**する。

他社に対する比較優位性

技術：

当社は①極低温水素機器の技術、②時期冷凍機を液化機に組み込む設計技術 を有している。

顧客基盤：

当社は自社でも液化機を開発しており、顧客としての視点を有している。また、水素関連プロジェクトを多数遂行しており、顧客となる他の液化機メーカーとの交流も深い。

サプライチェーン：

当社は国内製造を予定しており、部品も国内調達を予定している為、国内経済への寄与が大きい。

その他経営資源：

当社は水素関連機器の開発に積極的に資本投下を行っている。

以上のことから、将来に渡って強い優位性を継続的に確保可能と考える。

尚、従来液化機の膨張弁パーツに磁気冷凍機を用いる手法は、液化機関連業界でも知られていない。したがって、その開発に取り組んだ企業の情報は無い。

また、磁気冷凍機の技術については、米国国研がDOE予算でそれを開発中である

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像と資金計画

①大型高効率水素圧縮機の開発

10年間の研究開発の後、2031年頃の事業化、2036年頃の投資回収を想定

②動力回収型膨張タービンの開発

10年間の研究開発の後、2035年頃の事業化、2042年頃の投資回収を想定

③Wetタービンの開発

10年間の研究開発の後、2035年頃の事業化、2042年頃の投資回収を想定

④磁気冷凍機の開発

10年間の研究開発の後、2038年の事業化、2045年以降の投資回収を想定

①～④の開発に対して、
2021年度から2030年度までの本事業全体の
資金需要は、約60億円程度の見通し。

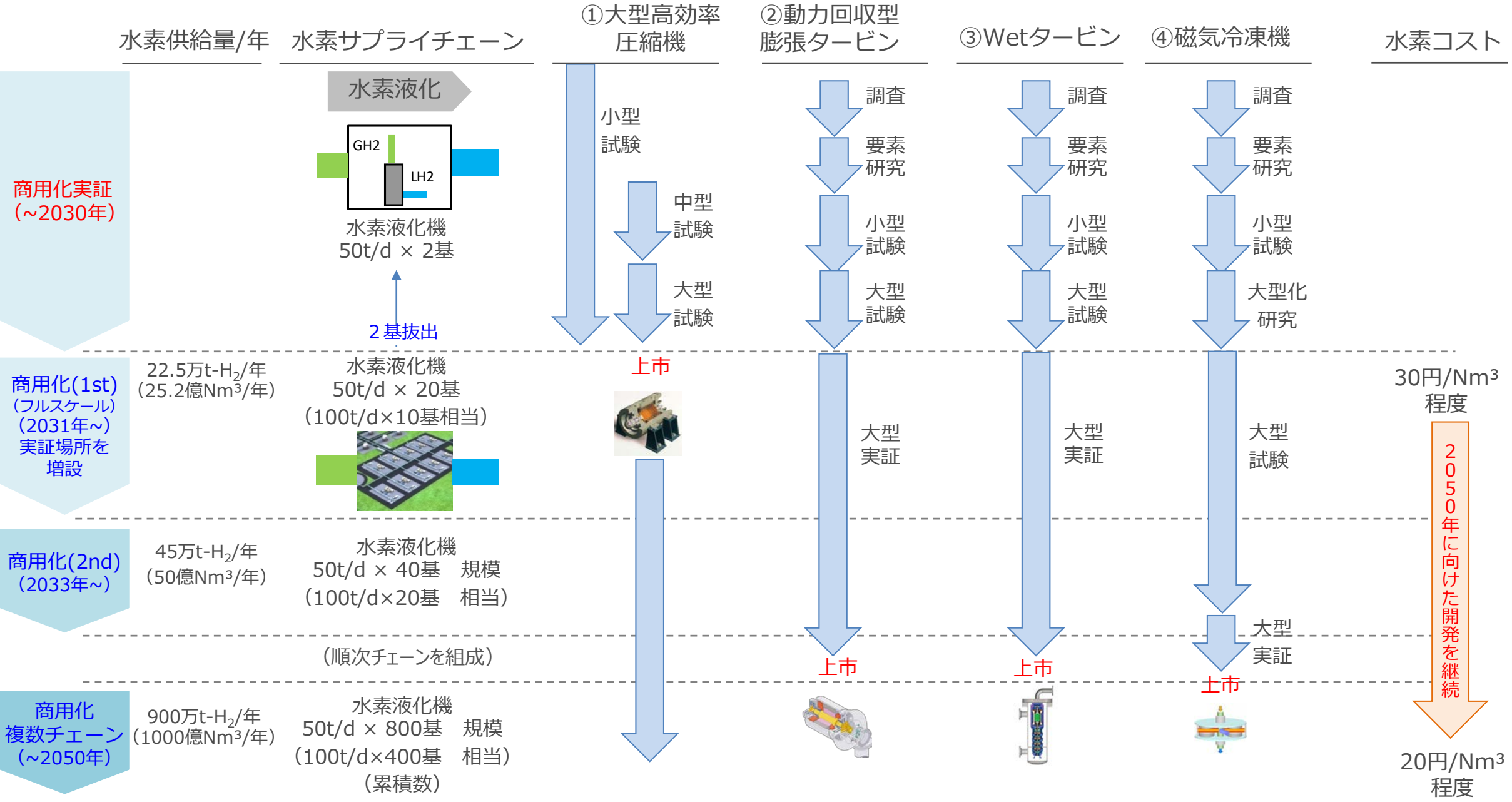


： ステージゲート

年度：20XX度を「XX年度」と表記

	21年度	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度	35年度
①大型高効率水素圧縮機の開発	大型機・小型機で各々技術検討→試験機製作→実証運転→上市を計画														
②動力回収型膨張タービンの開発	調査	調査	要素研究	要素研究	小型試験機設計	小型試験機製作	小型試験	大型試験機設計	大型試験機製作	大型試験	大型実証機設計	大型実証機製作	大型実証機据付	大型実証	上市
③Wetタービンの開発	調査	調査	要素研究	要素研究	小型試験機設計	小型試験機製作	小型試験	大型試験機設計	大型試験機製作	大型試験	大型実証機設計	大型実証機製作	大型実証機据付	大型実証	上市
④磁気冷凍機の開発	調査	調査	要素研究	要素研究	小型試験機設計	小型試験機製作	小型試験	小型試験	大型化研究	大型化研究	大型試験機設計	大型試験機製作	大型試験	大型試験	実証検討
CO2削減効果 (万t/y)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.6	2.4	5.4

1. 事業戦略・事業計画／（5）事業計画の全体像



1. 事業戦略・事業計画／（6）研究開発・設備投資・マーケティング計画

研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	- 今回研究開発される製品を、まずはいち早く自社の液化機に搭載実証し、その性能を確認し、またさらなる改良点を研究する。 - そのため、自社の液化機には、開発中の製品を実証するためのバイパスプロセス、接続口、計測口、実証スペースの確保等、予め開発機器の実証を想定した設計を施す。	①大型高効率水素圧縮機 - 既存圧縮機用生産設備・システム、部品調達サプライチェーン、アフターサービス体制の大部分をそのまま利用でき、設備投資を最小限とすることが可能。 ②動力回収型膨張タービン ③Wetタービン - 既存のタービンの生産/組立工場、アフターサービス体制を有しておりそれらを有効活用し設備投資を最小限とする。 ④磁気冷凍機 - 磁気冷凍機については、NIMSと連携し、新たな部品ベンダーの育成に取り組む。	- 今回研究開発される製品を、まずはいち早く自社の液化機に搭載実証し、視察/見学を積極的に受入、その有効性をPRする。 - また自社の液化機に搭載されている製品において不具合が発生した場合、同一機種の使用している顧客に対して、積極的にその情報を伝え、迅速な対応を行い顧客の信頼を得る。 - 自社の水素関連製品を総合的に営業活動する組織体制を整える。
国際競争上の優位性	今回研究開発される製品が適用される液化機は、国際水素サプライチェーン向けにのみ使用される大型サイズの製品であり、当社が世界に先駆けて開発した製品を実証、使用することとなる。したがって国外企業に対し先行優位性が確保できる。	今回研究開発される製品はすべて純国産部品の使用を想定しており、日本メーカの技術と設備が使用される。したがって、日本メーカの優位性が確保される。	当社は世界各国に事業拠点を有しており、それらの販売網を利用して、今回研究開発される製品を世界各国に供給し、後発のメーカ追随を許さず、国際競争力を維持することが可能である。

1. 事業戦略・事業計画／（7）資金計画

資金調達方針

- ①大型高効率水素圧縮機の開発
- ②動力回収型膨張タービンの開発
- ③Wetタービンの開発
- ④磁気冷凍機の開発

の4つの開発に対して、総額約60億円程度の資金計画を予定。

(単位：百万円)	合計
事業全体の資金需要	約60億円
うち研究開発	(同上)

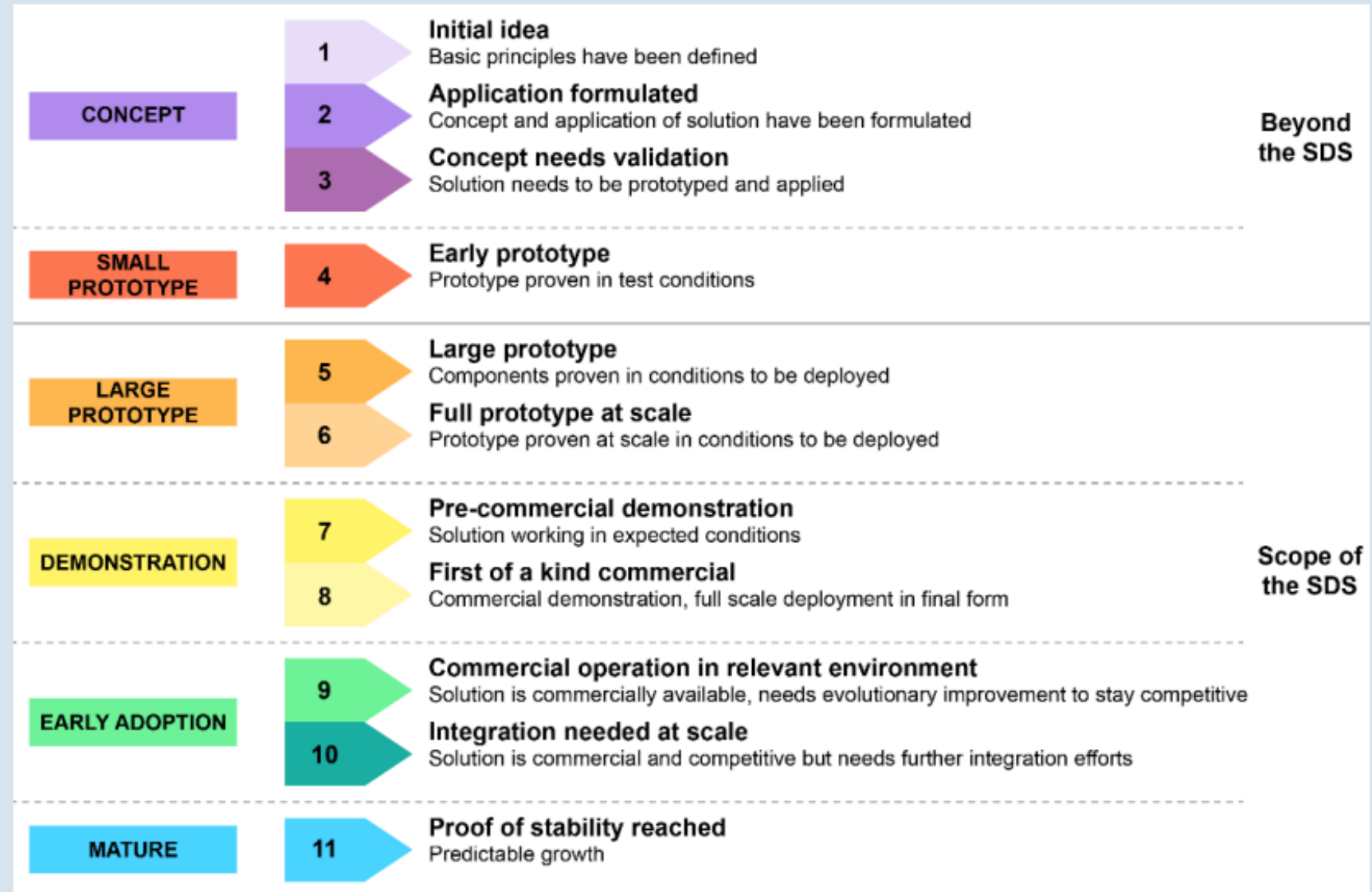
①～④の開発に対して、
2021年度から2030年度までの本事業全体の資金需要は、約60億円程度の見通し。

本件は委託事業であるが、上記の資金需要のうち、インセンティブ額や人件費等については必要額の自己負担を計画。

2. 研究開発計画

TRLの定義

Technology readiness level scale applied by the IEA



2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

①大型高効率水素圧縮機の開発を達成するために必要な複数のKPIを設定

事業全体のアウトプット目標

液化機に搭載される機器の性能を向上させ、2050年20円/Nm³ の水素コストの達成に資する

研究開発項目

①-1小型機要素技術開発

研究開発内容

- 1 インペラ強度
- 2 空力性能
- 3 ローターダイナミクス
- 4 冷却
- 5 材料

アウトプット目標

- ・小型機の開発に必要な要素技術の開発を完了し、試験機製作の目処をつける。
- ・要素技術開発の結果、液化効率を向上させる見通しを得る。

KPI ※KPIについては、検討フェーズの結果から、より適切な数値に改訂するものとします。

- 高周速化を実現
- 高昇圧および高効率が同時成立するインペラを実現
- 高速回転に対応可能なローターの開発
- 圧縮ガスの冷却
- 水素脆化に対応し、必要強度を満足する材質を選定する。

KPI設定の考え方

- ・1台の遠心圧縮機で高圧力比を達成するため、高周速化が必要。
- ・高昇圧と省エネ性の双方に同時対応するインペラの最適化が必要。
- ・遠心圧縮機で高圧力比を達成するため、ロータの高速回転が必要。
- ・圧縮された水素ガスに対して、適切な冷却で温度を下げる必要がある。
- ・機械的な健全性確保のため、圧縮機の接ガス部品は、水素脆化割れの発生がないことが必要

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

①大型高効率水素圧縮機の開発を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目		アウトプット目標	
①-2 試験機の製作及び試験の実施とスケールアップ		開発対象である小型圧縮機の製作、工場試験を実施し、目標性能を達成していることを確認。順次サイズアップした試験機を製作・試験を実施し、目標性能を達成していることを確認。結果、液化効率を向上させる目途を得る。	
研究開発内容		KPI	KPI設定の考え方
6 小型機の製作		小型機の製作完了	工程管理、品質管理を行い、製作・検査を計画通りに進め、圧縮機として完成させる。
7 小型機での試験実施		小型機を用いて試験を実施し、目標性能達成を確認する	空力性能試験、機械性能試験、気密試験などを行い、目標の性能が満たされていることを確認する。
8 大型化に係る要素技術の開発		特殊構造、特殊軸受採用に必要な技術開発を完了する	- 特殊構造、加工／組立性検討を実施する。 - 特殊軸受ロータの確認試験を実施する。
9 中型機の製作及び試験の実施		中型機を製作し、試験を通して目標性能達成を確認する。	- 工程管理、品質管理を行い、製作・検査を計画通りに進め、中型機を完成させる。 - 空力性能試験、機械性能試験、気密試験などを行い、目標の性能が満たされていることを確認する。
10 大型機の製作及び試験の実施		大型機を製作し、試験を通して目標性能達成を確認する。	- 工程管理、品質管理を行い、製作・検査を計画通りに進め、大型機を完成させる。 - 空力性能試験、機械性能試験、気密試験などを行い、目標の性能が満たされていることを確認する。

※KPIについては、検討フェーズの結果から、より適切な数値に改訂するものとします。

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

②動力回収型膨張タービンの開発を達成するために必要な複数のKPIを設定

事業全体のアウトプット目標

液化機に搭載される機器の性能（大型化及び高効率化）を向上させ、2050年20円/Nm³ の水素コストの達成に資する

研究開発項目

② 動力回収型膨張タービンの開発

研究開発内容

1 超高速回転に対応する動力回収方法

2 超高速回転用の軸受構造

3 コンタミ、冷却、防爆、材料の対策

アウトプット目標

膨張タービンから動力を回収することにより、液化効率を数%向上させる。

KPI

※KPI数値については、調査フェーズの結果から、より適切なKPI数値に改訂するものとします。

動力回収：約150kW
タービン効率：約80%

KPI設定の考え方

液化機に複数台使われるタービンのうち、代表的な仕様のもを対象に開発。試験機での開発目標として左記の値を設定。

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

③Wetタービンの開発を達成するために必要な複数のKPIを設定

事業全体のアウトプット目標

液化機に搭載される機器の性能を向上させ、2050年20円/Nm³ の水素コストの達成に資する

研究開発項目

③ Wetタービンの開発

アウトプット目標

従来の膨張弁（JT弁）をWetタービンに代替することで、液化効率を数%向上させる。

研究開発内容

- ① 極低温水素環境中・高膨張比でのタービン制動方法
- ② 極低温水素環境中での軸受構造
- ③ 防爆、材料の対策

KPI

※KPI数値については、調査フェーズの結果から、より適切なKPI数値に改訂するものとします。

吸収動力：約20kW
タービン効率：70～80%

KPI設定の考え方

液化機に使われるWetタービンとして想定される仕様を設定し、試験機での開発目標として左記の値を設定。

2. 研究開発計画／（1）研究開発目標

④磁気冷凍機の開発を達成するために必要な複数のKPIを設定

事業全体のアウトプット目標

液化機に搭載される機器の性能を向上させ、2050年20円/Nm³ の水素コストの達成に資する

研究開発項目

④ 磁気冷凍機の開発

アウトプット目標

液化工程に対し、エネルギー損失の少ない磁気冷凍機を適用することで、液化効率を数%向上させる見通しを得る。

研究開発内容

① 液化効率向上に必要な冷却性能を有する磁気冷凍機の開発

② 配管を冷却する磁気冷凍機の機械的機構の開発

③ 配管内のガス水素を高速に冷却凝縮させる熱交換構造の開発

KPI

※KPI数値については、調査フェーズの結果から、より適切な数値に改訂するものとします。

冷凍能力0.6kW

KPI設定の考え方

液化効率を数%向上するのに必要な磁気冷凍機の冷却能力を想定し、試験機としての開発目標として左記の値を設定。

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

①大型高効率水素圧縮機の開発のKPIの目標達成に必要な解決方法を提案

①-1 小型機要素技術開発	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 インペラ強度	高周速化を実現	机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4	既存インペラの構造をベースに、シミュレーションを行い形状を決定。試験インペラを製作し、回転試験を行い成立性を確認する。	70%
2 空力性能	高昇圧および高効率 が同時成立する インペラを実現	机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4	当社で実績のある、流路最適化技術により、空力性能の最適化を行い、シミュレーション、試験により成立性を確認する。	60%
3 ローターダイ ナミクス	高速回転に対応可 能なローターの開発	机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4	- 軸受とロータ形状を仮定し、検討計算を実施し、運転回転数が危険回転数から余裕を持って離調していることを確認。 - 要素試験機を用いて、軸受けの特性を計測し、成立性を確認する。	70%
4 冷却	圧縮ガスの冷却	机上検討 段階 TRL:1	設計完了 TRL:3	熱交換器のメーカー調査を実施する。	60%
5 材料	水素脆化に対応し、 必要強度を満足す る材質を選定する。	机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4	候補材料に対して、実際の使用環境を模擬した雰囲気での要素試験を実施。使用環境における、対水素脆化材料強度の成立性を確認する。	70%

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

①大型高効率水素圧縮機の開発のKPIの目標達成に必要な解決方法を提案

①-2 試験機の製作及び試験の実施とスケールアップ					実現可能性 (成功確率)
	KPI	現状	達成レベル	解決方法	
6 小型機的设计、製作	小型機的设计、製作完了	机上検討段階 TRL:1	実証機の製作完了 TRL:4	小型機的设计を実施。工程管理、品質管理を行い、調達・製作を進め、圧縮機としての成立性を確認する。	50%
7 小型機の試験実施	小型機を用いて試験を実施し、目標性能達成を確認する	机上検討段階 TRL:1	実証試験完了 TRL:6	小型機の工場試験、実証試験を行い、目標性能を達成していることを確認する。	60%
8 大型化に係る要素技術の開発	特殊構造、特殊軸受採用に必要な技術開発を完了する	机上検討段階 TRL:1	ラボレベル試験完了 TRL:4	- 加工・組立シミュレーションを行い、課題の解決を確実に挙行。 - ロータモデルを製作し、特殊軸受ロータシステムの確認試験を挙行。	50%
9 中型機的设计、製作及び試験の実施	中型機を设计、製作し、試験を通して目標性能達成を確認する。	机上検討段階 TRL:1	工場試験完了 TRL:5	- 中型機的设计、製作を行い、圧縮機としての成立性を確認する。 - 中型機の工場試験を行い、目標性能を達成していることを確認する。	50%
10 大型機的设计、製作及び試験の実施	大型機を设计、製作し、試験を通して目標性能達成を確認する。	机上検討段階 TRL:1	工場試験完了 TRL:5	- 大型機的设计、製作を行い、圧縮機としての成立性を確認する。 - 大型機の工場試験を行い、目標性能を達成していることを確認する。	50%

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

②動力回収型膨張タービンの開発のKPIの目標達成に必要な解決方法を提案

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 超高速回転に対応する動力回収方法	動力回収： 約150kW タービン効率： 約80%	机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4~5	発電ブレーキとタービンとの組み合わせ方法等について、各種方式の得失調査からコンセプトを決定し、試験機により成立性を確認する。	50%
2 超高速回転用の軸受構造		机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4~5	オイルフリー・非接触型の軸受を採用する構造とし、試験機により成立性を確認する。	
3 コンタミ、冷却、防爆、材料の対策		机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4~5	防爆のための気密構造と冷却を両立する本体構造や、使用材料の水素脆化・劣化対策を検討し、試験機により成立性を確認する。	

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

③Wetタービンの開発のKPIの目標達成に必要な解決方法を提案

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 極低温水素環境中・高膨張比でのタービン制動方法	吸収動力： 約20kW タービン効率： 70~80%	机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4~5	サブマージ型、発電ブレーキ外置き型等の得失比較調査を行い、制動方式を選定、試験機で成立性を確認する。	50%
2 極低温水素環境中での軸受構造		机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4~5	選定された軸受型式の要素試験または試験機での試験を行い、成立性を確認する。	
3 防爆、材料の対策		机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:4~5	液水環境中での発電機の絶縁性（サブマージ型）、軸シールのコンセプトとシール性（外置き型）、使用材料の水素脆化・劣化対策、を試験で確認する。	

2. 研究開発計画／（2）研究開発内容

④磁気冷凍機の開発のKPIの目標達成に必要な解決方法を提案

	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1 液化効率向上に必要な冷却性能を有する磁気冷凍機の開発	冷凍能力 0.6kW	机上検討 段階 TRL:1	実証機の 製作完了 TRL:3~4	大型化に向けて、物理的に搭載可能な磁気冷凍機構（回転型、レシプロ型等）、ダウンサイジングを可能とする磁性材料、熱交換技術、マグネットの性能向上	50%
2 配管を冷却する磁気冷凍機の機械的機構の開発		机上検討 段階 TRL:1	実証試験 完了 TRL:3~4	極低温における高い信頼性を有する機械的駆動機構の開発	
3 配管内のガス水素を高速に冷却凝縮させる熱交換構造の開発		机上検討 段階 TRL:1	ラボレベル 試験完了 TRL:3~4	磁気冷凍の冷凍能力を高効率で伝達できる気液混合熱交換器の開発	

参考資料（以下を添付致します）

参考資料：液化機本体の説明

参考資料：各機器が目指す、水素液化機の効率改善レベル

参考資料：①大型高効率圧縮機の開発 機器のイメージ

参考資料：①大型高効率圧縮機の開発 課題（１）

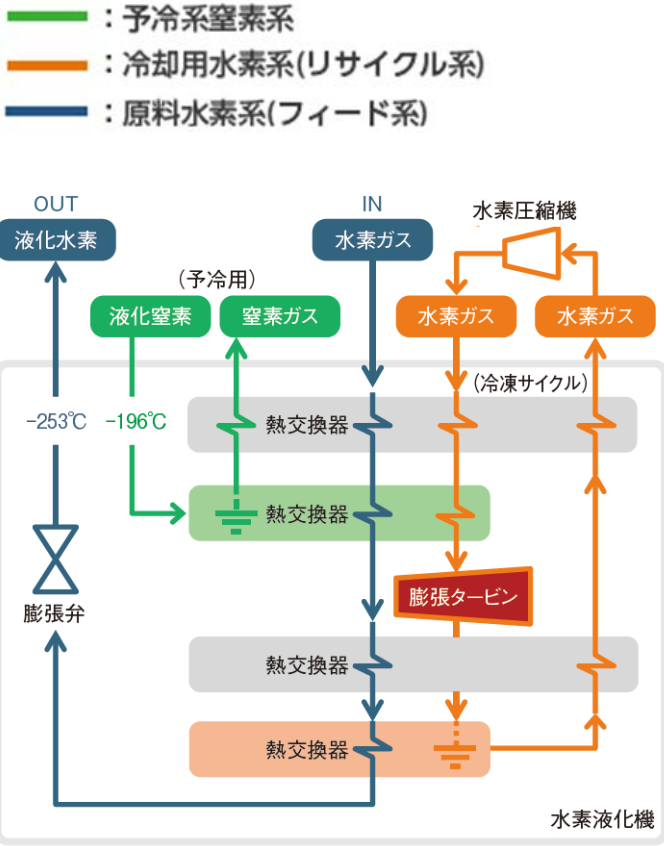
参考資料：①大型高効率圧縮機の開発 課題（２）

参考資料：②動力回収型膨張タービンの開発 機器のイメージと課題

参考資料：③Wetタービンの開発 機器のイメージと課題

参考資料：④磁気冷凍機の開発 機器のイメージと課題

参考資料：液化機本体の説明



□の機器が、右図の様に真空容器の中に収納されている

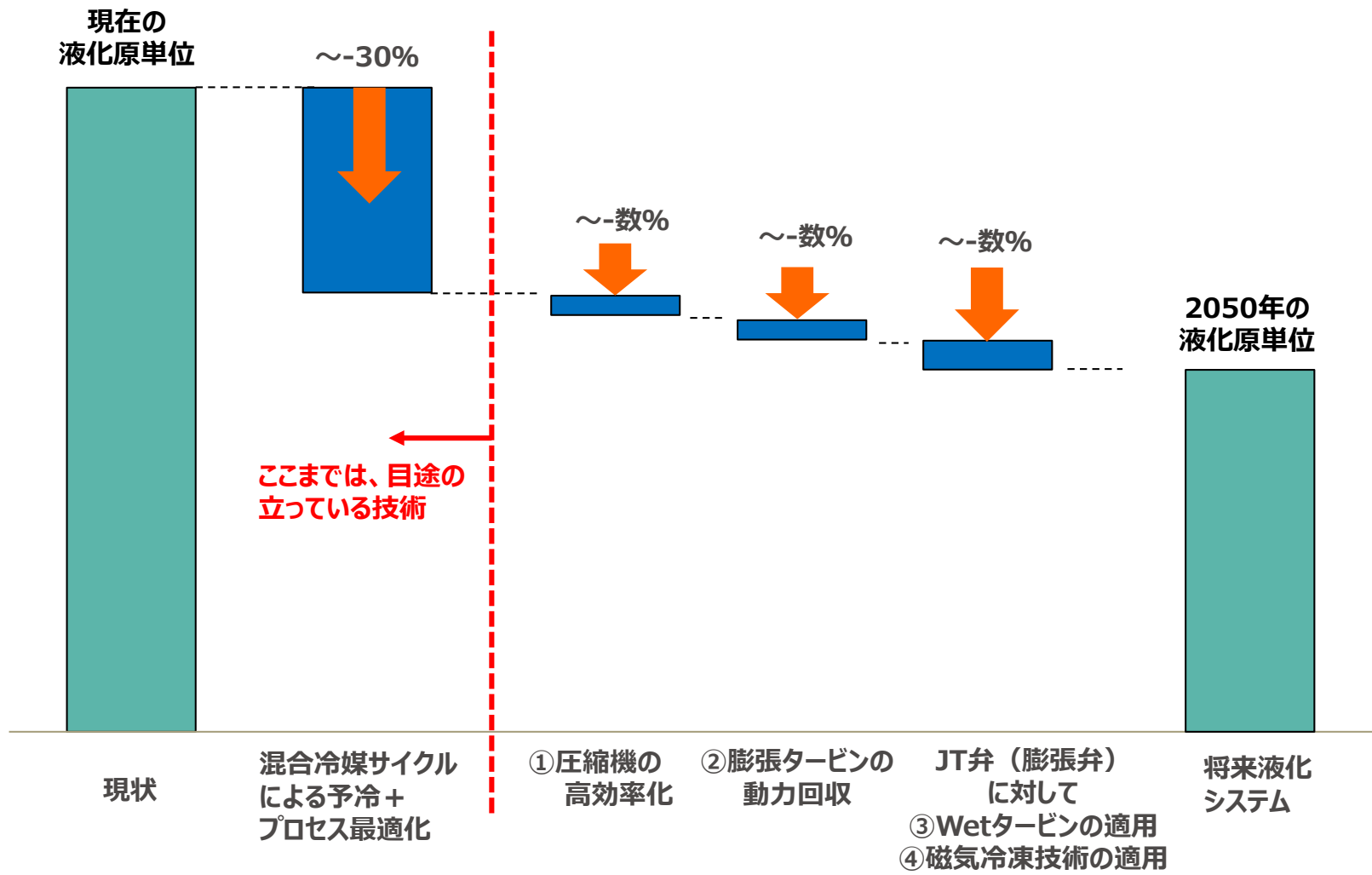


5t/dの小型液化機では、レシプロ型水素圧縮機が採用されている。（大型向けの遠心型水素圧縮機は現存しない）

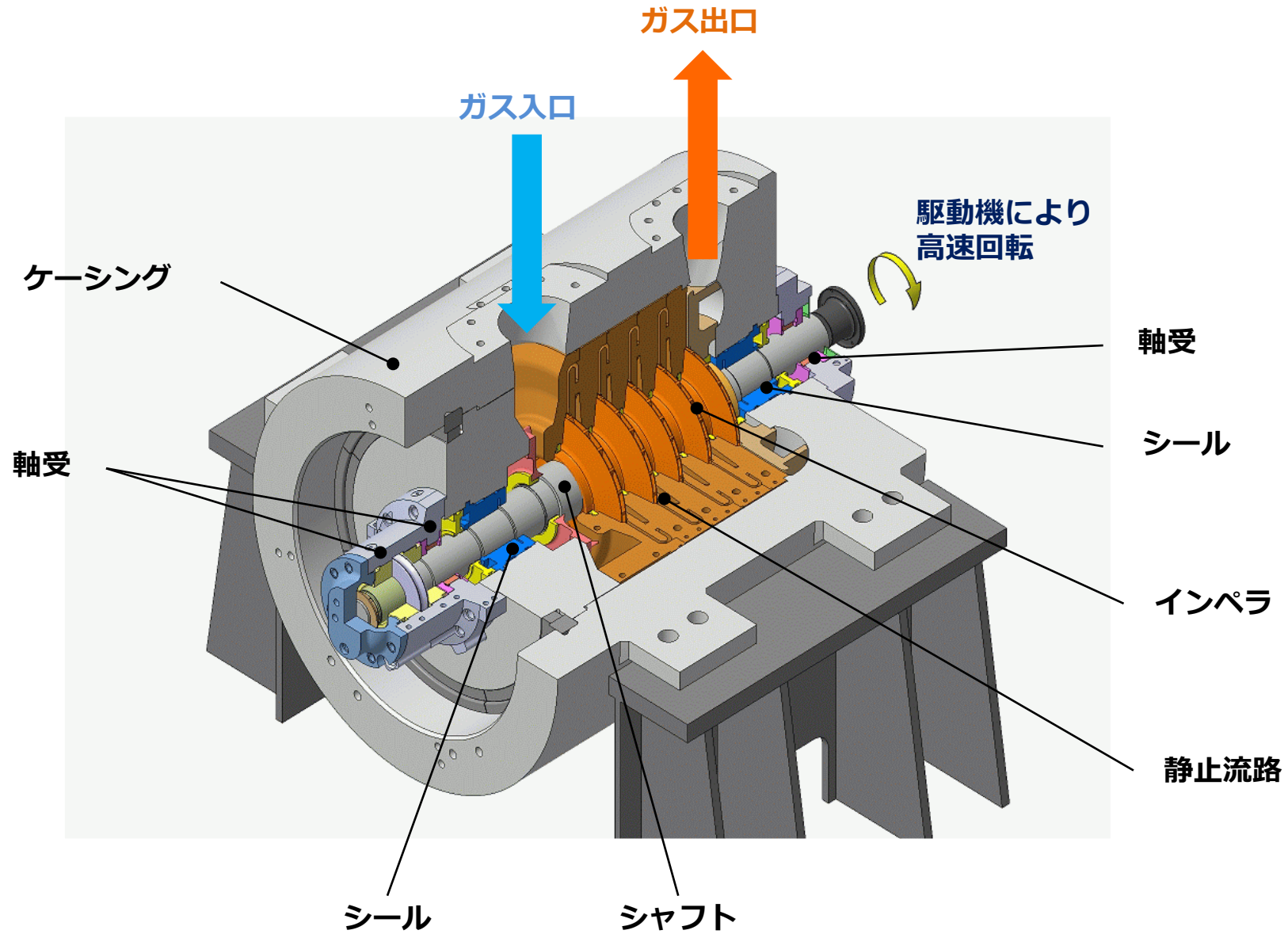


実際の5t/dの液化システム（川崎重工業製）

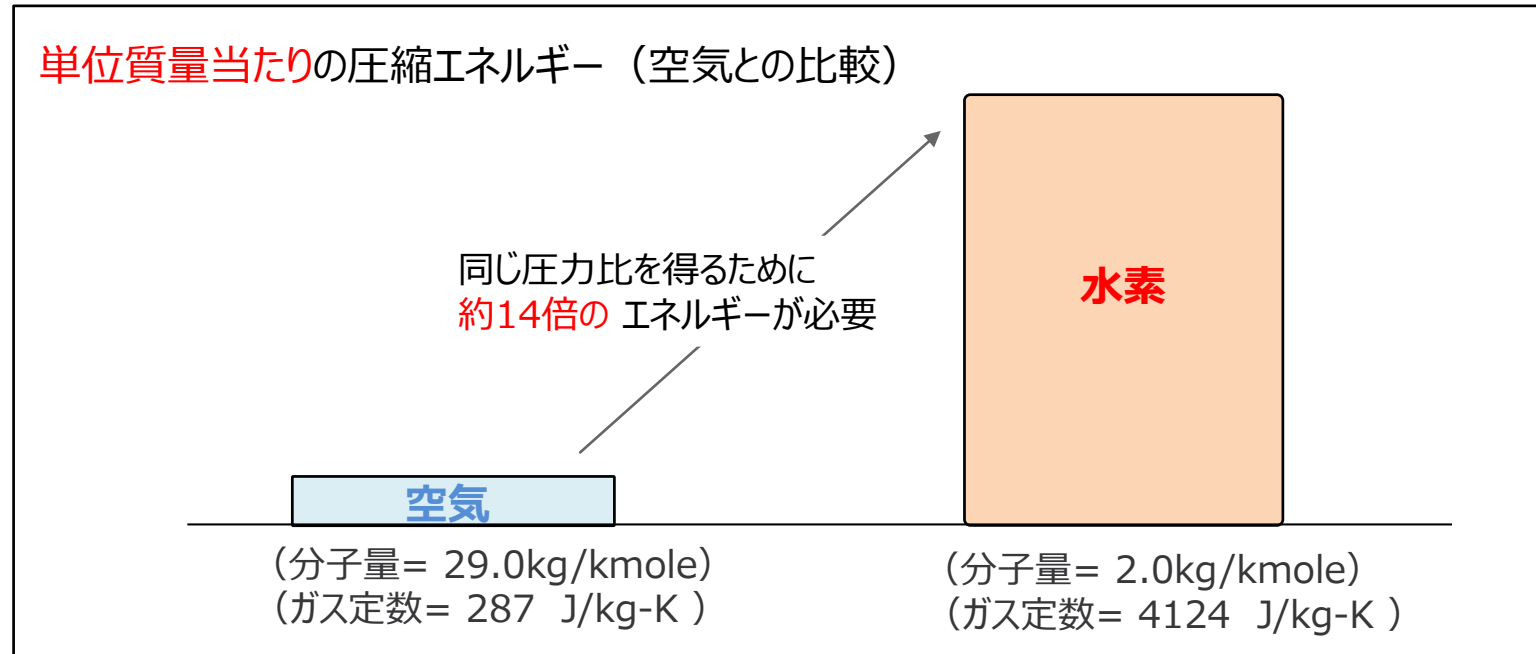
参考資料：各機器が目指す、水素液化機の効率改善レベル



参考資料：①大型高効率圧縮機の開発 機器のイメージ



水素圧縮機における本質的な課題は、
ガスの圧縮過程で大きなエネルギーが必要であること



例えば、空気と比較した場合、水素の分子量は空気の約1/14、ガス定数は約14倍となり、
空気圧縮に対して水素圧縮は14倍の仕事(エネルギー)が必要となる

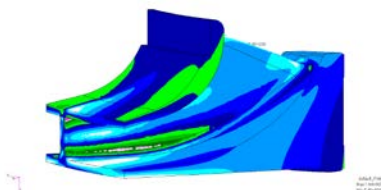
参考資料：①大型高効率圧縮機の開発 課題（２）

各要素技術の課題克服を**同時成立**させることが課題

インペラ強度

高周速化を実現

＜参考＞ 構造強度解析



当社の持つ強度解析技術を使用して、構造強度を検討

空力性能

高昇圧および高効率が同時成立するインペラを実現

＜参考＞ CFD解析

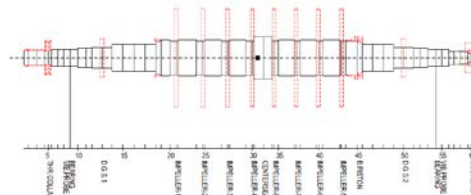


当社の持つシミュレーション技術（CFD）を使用して効率・圧力比を最適化

ロータダイナミクス

高速回転に対応可能なロータの開発

＜参考＞ 回転系設計モデル



当社の持つ回転系設計技術を使用して、高速回転体の安定性を検討

冷却

圧縮ガスの冷却

熱交換器メーカーと適切な冷却仕様を検討

材料

水素脆化の影響を受けない高信頼性材料を圧縮機内部に適用し、水素環境下で必要強度を確保する材料技術が必要

当社の持つ材料データや試験装置を使用し、水素環境下における部材強度を評価。必要に応じて圧縮機内部への特殊コーティング等を検討

スラスト軸受

- 液化機はガス純度に対する要求が厳しいため、オイルフリーが望ましい
- 超高速回転における損失低減のため非接触軸受が必要
- 軸受の大型化・高速化への対応が課題

統合的設計

- ここにあげた各種課題の他、ローターダイナミクスや伝熱、羽根車強度なども含めた機械としての総合的な成立性（統合的な設計）が課題
- さらに、本タービンのコストが回収動力に見合うためのコスト成立性も重要

動力回収

- 動力回収方法としては発電がもっとも望ましいが、発電機の超高速回転への対応が課題
- 気密、防爆、材料劣化対策などに課題

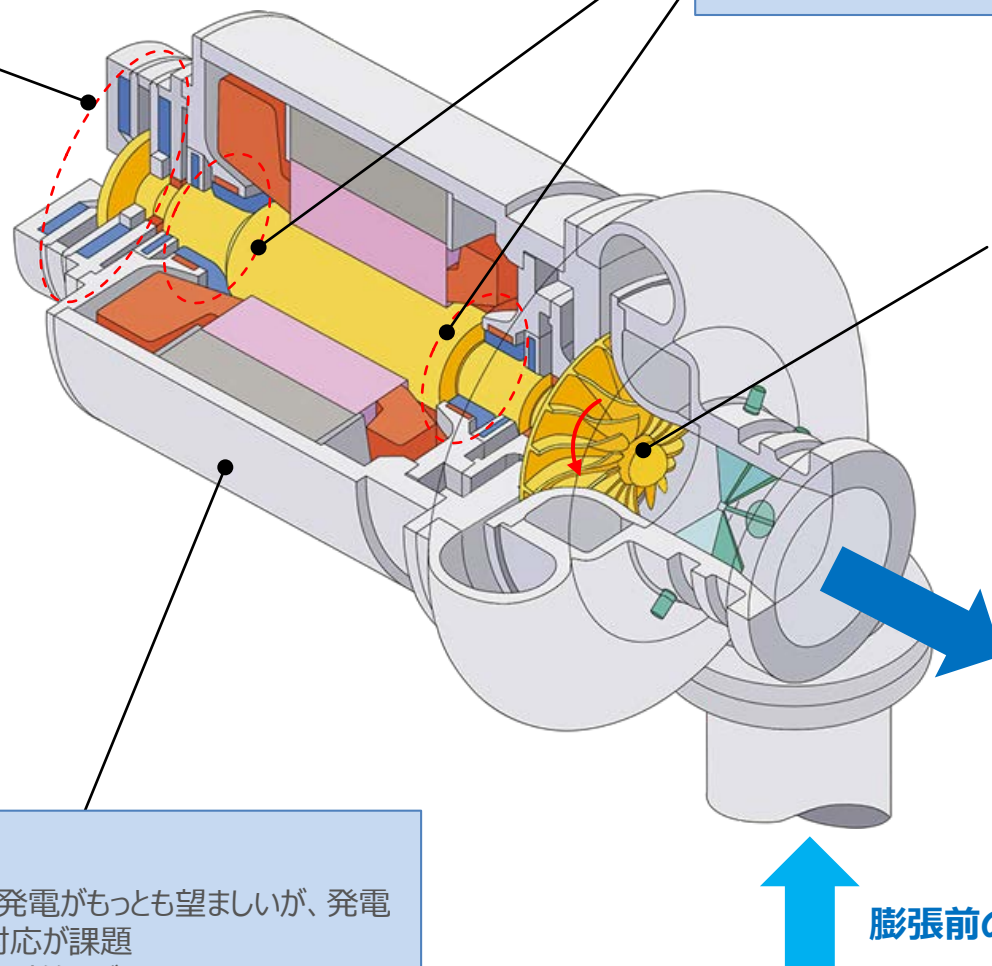
ラジアル軸受

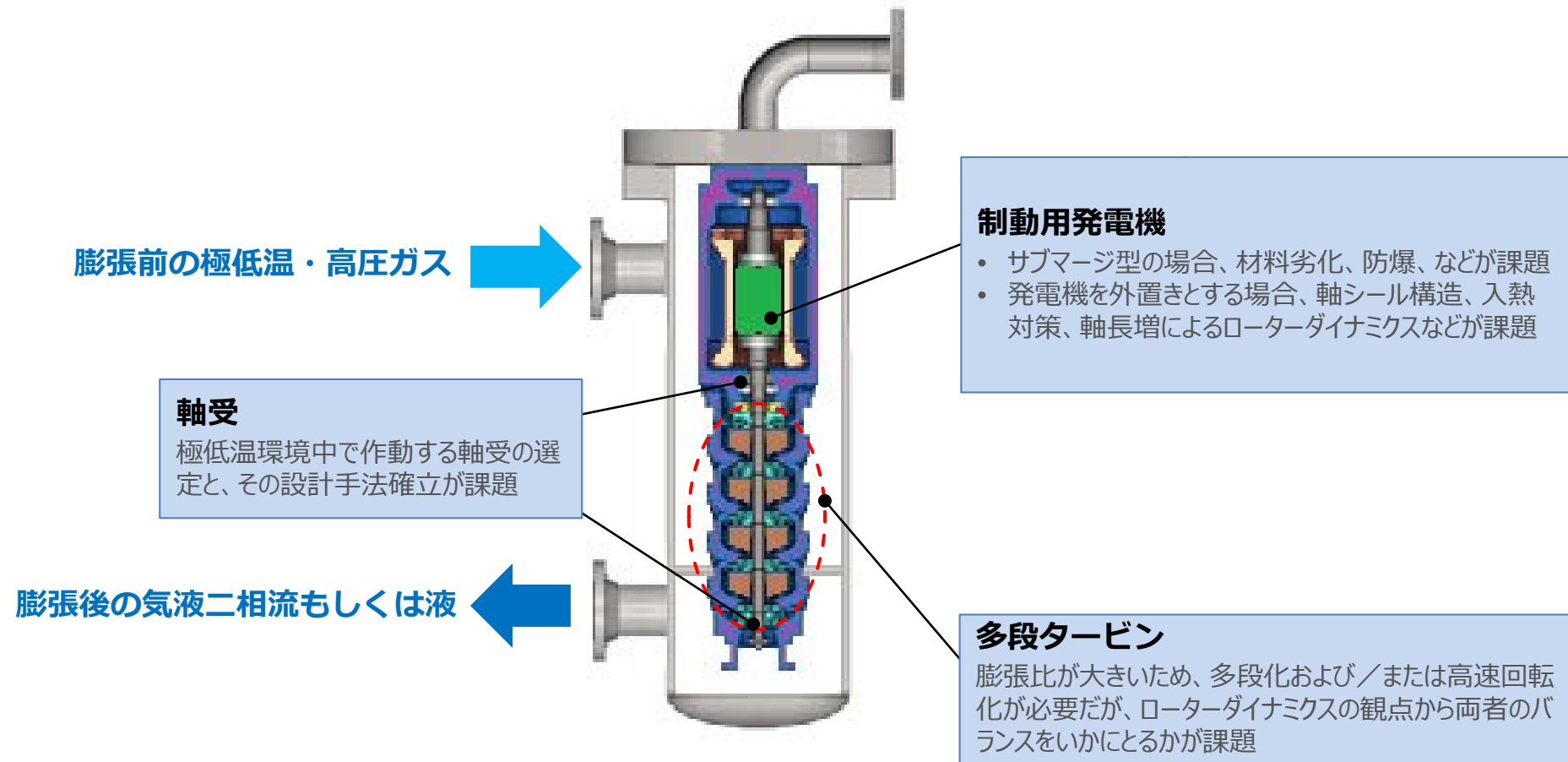
- 液化機はガス純度に対する要求が厳しいため、オイルフリーが望ましい
- 超高速回転における損失低減のため非接触軸受が必要
- 軸受の大型化・高速化への対応が課題

タービン羽根車

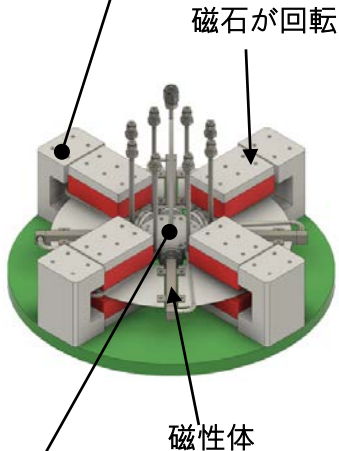
膨張後の低圧ガス

膨張前の高圧ガス

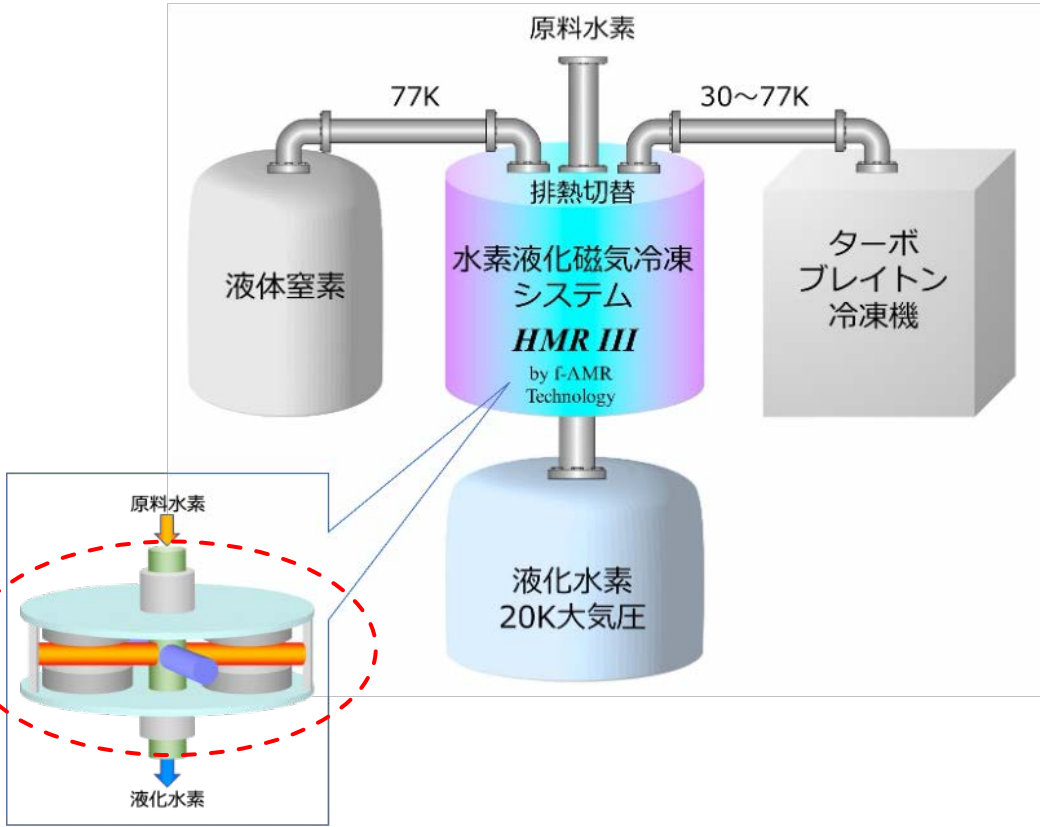




機械機構(2)
極低温の環境の中で、高い信頼性を有する
機械的駆動機構が課題



熱交換部
磁気冷凍機とガスとの高効率な
熱交換構造が課題



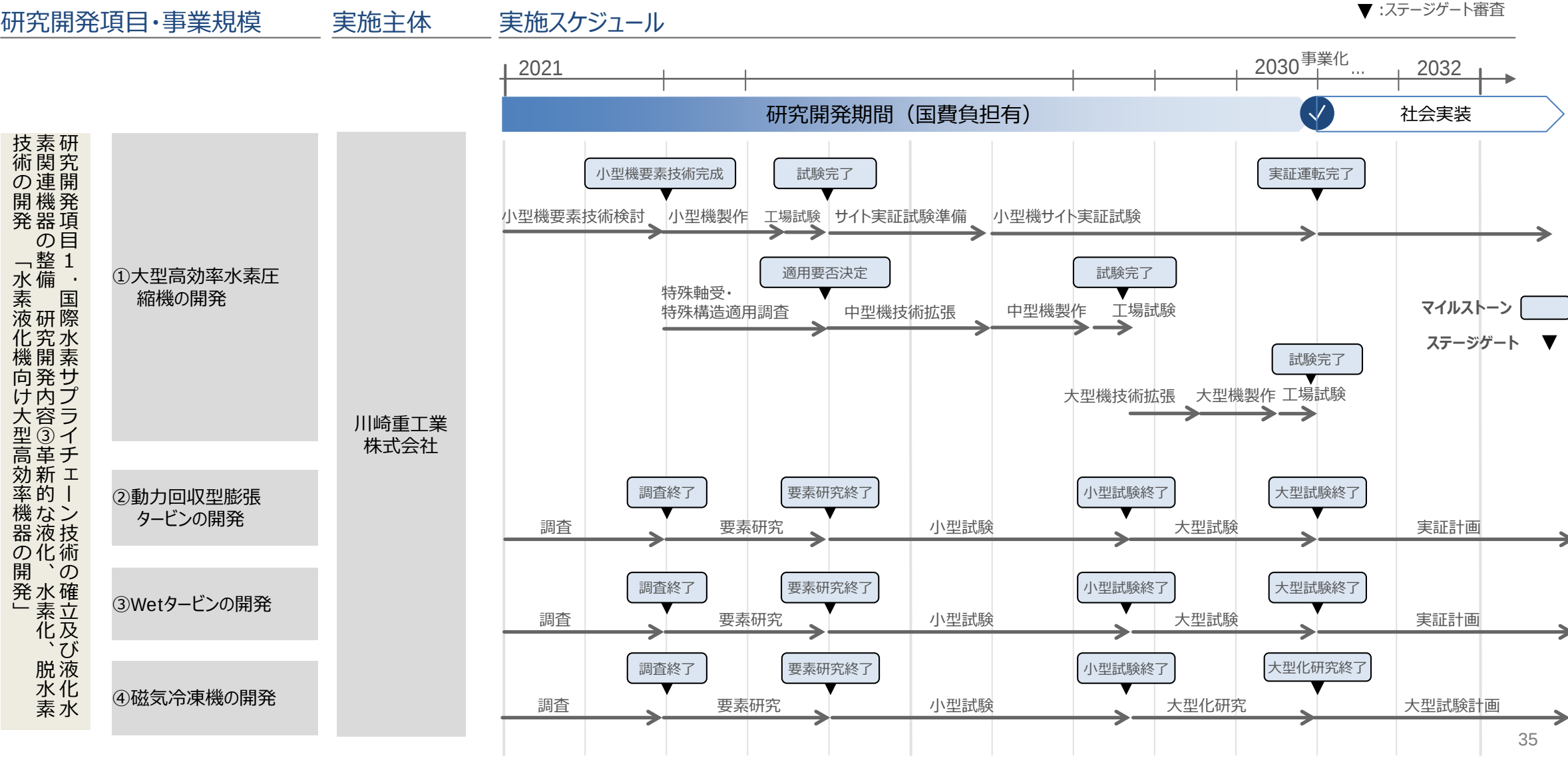
機械機構(1)

- 液化機に物理的に搭載可能な磁気冷凍機の機構が課題（回転型、レシプロ型など）
- 磁性材料の性能向上、ダウンサイジングが必要

※ 図はNIMS資料より

2. 研究開発計画／（3）実施スケジュール

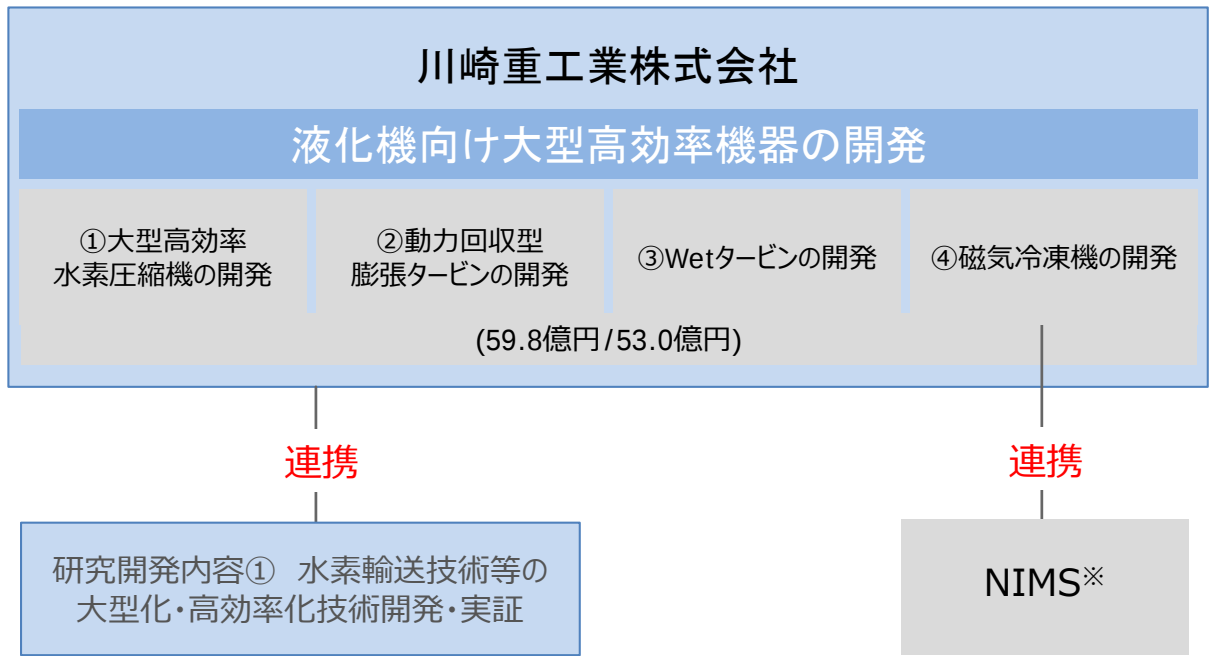
各機器を平行して、小型試験からSTEP by STEPで開発



2. 研究開発計画／（４）研究開発体制

水素液化機及びそのシステム全体を開発する川崎重工自身が、液化機の搭載機器を自社開発する

実施体制図 ※金額は、総事業費/国費負担額



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- 各機器の開発を川崎重工業（株）で担う。

研究開発における連携方法

- 「④磁気冷凍機の開発」についてはNIMSとの技術連携を行う。当社はその技術の供給を受けて、適切な機械機構と搭載方法の研究開発を行う
- 「研究開発内容① 水素輸送技術等の大型化・高効率化技術開発・実証」と連携する。当社は、2050年に向けに本事業で開発される機器や技術情報を、上記連携先に供給し、連携先で実施される将来システムの合理化や、水素コスト試算の検討等に資する

※NIMS:国立研究開発法人物質・材料研究機構

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

①大型高効率水素圧縮機の開発

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1. 小型機 要素技術開発	1 インペラ強度	- 当社の有する、高速回転機械に関わる各要素技術（流体・構造強度・熱システム、軸受、回転軸系、材料系）の総合的な基盤技術を用いて、機械としての全体最適を考慮した検討が可能 - 自社で水素液化機を開発しており、水素ガスに対する材料選定、伝熱特性に関する基盤技術を有する。 - 空力性能 [1] 三浦聡允, 阪井直人, 稲井潤, 多段遠心圧縮機用戻り流路の空力形状最適化, 日本機械学会 流体工学部門講演会講演論文集 2016 P.0918 [2] Miura, T., Yamashita, H., Takeuchi, R., and Sakai, N. (April 26, 2021). "Numerical and Experimental Study on Rotating Stall in Industrial Centrifugal Compressor." ASME. J. Turbomach. August 2021; 143(8): 081008. https://doi.org/10.1115/1.4050439 - ロータダイナミクス [3] Takeuchi, Ryota, et al. "Experimental Evaluation of Dynamic Characteristics of Circular Arc Spring Dampers for Rotating Machinery." J. Engi. for Gas Turbines and Power 143.6 (2021): 061008. [4] ティルティングパッド軸受（特願2020-102876、PCT/JP2021/022114）	- 総合重工メーカーとして、様々な製品に適用できる基盤技術を有しており、蓄積されている知見は深い - 自社で水素液化機を開発しており、水素ガスの特性を把握している - 現行技術を使用した圧縮機については、国内外に多数の競合あり。
	2 空力性能		
	3 ローターダイナミクス		
	4 冷却		
	5 材料		

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

①大型高効率水素圧縮機の開発

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
2. 小型機 製作、工場試験	6 小型機の製作	- 自社の製造設備を使用し、圧縮機品質を確保 - 自社が有する部品・資材調達ルートにて品質・納期を確保 - 用地やその他条件の制約を受けることなく、自社工場の試験設備を使用した試験・性能評価が可能 - API617、ASME PTC-10に準拠した検査・試験の実施実績が多数あり、検査・試験関連技術がある	→ - 総合重工メーカーとして、様々な製品に適用できる基盤技術を有しており、蓄積されている知見は深い - 自社で水素液化機を開発しており、水素ガスの特性を把握している - 現行技術を使用した圧縮機については、国内外に多数の競合あり。
	7 小型機での試験実施		
	8 大型化に係る要素技術の開発		
	9 中型機の製作及び試験の実施		
	10 大型機の製作及び試験の実施		

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

②動力回収型膨張タービンの開発

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
動力回収型膨張タービンの開発	1 超高速回転に対応する動力回収方法	- 当社の有する、高速回転機械に関わる各要素技術（流体・構造強度・熱システム、軸受、回転軸系、材料系、電気系、制御系）の総合的な基盤技術を用いて、機械としての全体最適を考慮した検討が可能 - 高速回転機械技術と電気系を複合した機電一体化製品として、「メガMAGターボ」などの開発実績あり https://www.khi.co.jp/stories/articles/vol100/ - また、従来型（動力非回収）の水素液化機用膨張タービンについては、液化機と合わせ、国内メーカーとして唯一開発・実証運転した実績 https://www.khi.co.jp/knews/pdf/news188_04.pdf	→ - 総合重工メーカーとして、様々な製品に適用できる基盤技術を有しており、蓄積されている知見は深い - 水素液化機用の動力回収タービンは世界的にも実用化例はなく、世界に先駆けて開発することの優位性は大きい - モーターの自社開発実績はあるが、水素防爆対応の重電機器は今回が初めて
	2 超高速回転用の軸受構造		
	3 コンタミ、冷却、防爆の対策		

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

③Wetタービンの開発

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
Wetタービンの開発	1 極低温水素環境中でのタービン制動方法	- 当社の有する、高速回転機械に関わる各要素技術（流体・構造強度・熱システム、軸受、回転軸系、材料系、電気系、制御系）の総合的な基盤技術を用いて、機械としての全体最適を考慮した検討が可能 - 高速回転機械技術と電気系を複合した機電一体化製品として、「メガMAGターボ」などの開発実績あり https://www.khi.co.jp/stories/articles/vol100/ - 水素液化機を国内メーカーとして唯一開発・実証運転した実績 https://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/20200610_1.html	- 総合重工メーカーとして、様々な製品に適用できる基盤技術を有しており、蓄積されている知見は深い - LNG用のWetタービンは他社に実績があり、その知見を活用して他社が先行する可能性はあり
	2 極低温水素環境中での軸受構造		
	3 防爆の対策		

2. 研究開発計画／（5）技術的優位性

国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

④磁気冷凍機の開発

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
磁気冷凍機の開発	1 JT弁に代替できる冷却性能を有する磁気冷凍機の開発	当社の有する、高速回転機械に関わる各要素技術（流体・構造強度・熱システム、軸受、回転軸系、材料系、電気系、制御系）の総合的な基盤技術を用いて、機械としての全体最適を考慮した検討が可能	→ 総合重工メーカーとして、様々な製品に適用できる基盤技術を有しており、蓄積されている知見は深い
	2 パイプ冷却する磁気冷凍機の機械的機構の開発		
	3 パイプ内の流体（水素）を高速に冷却させる熱交換構造の開発		

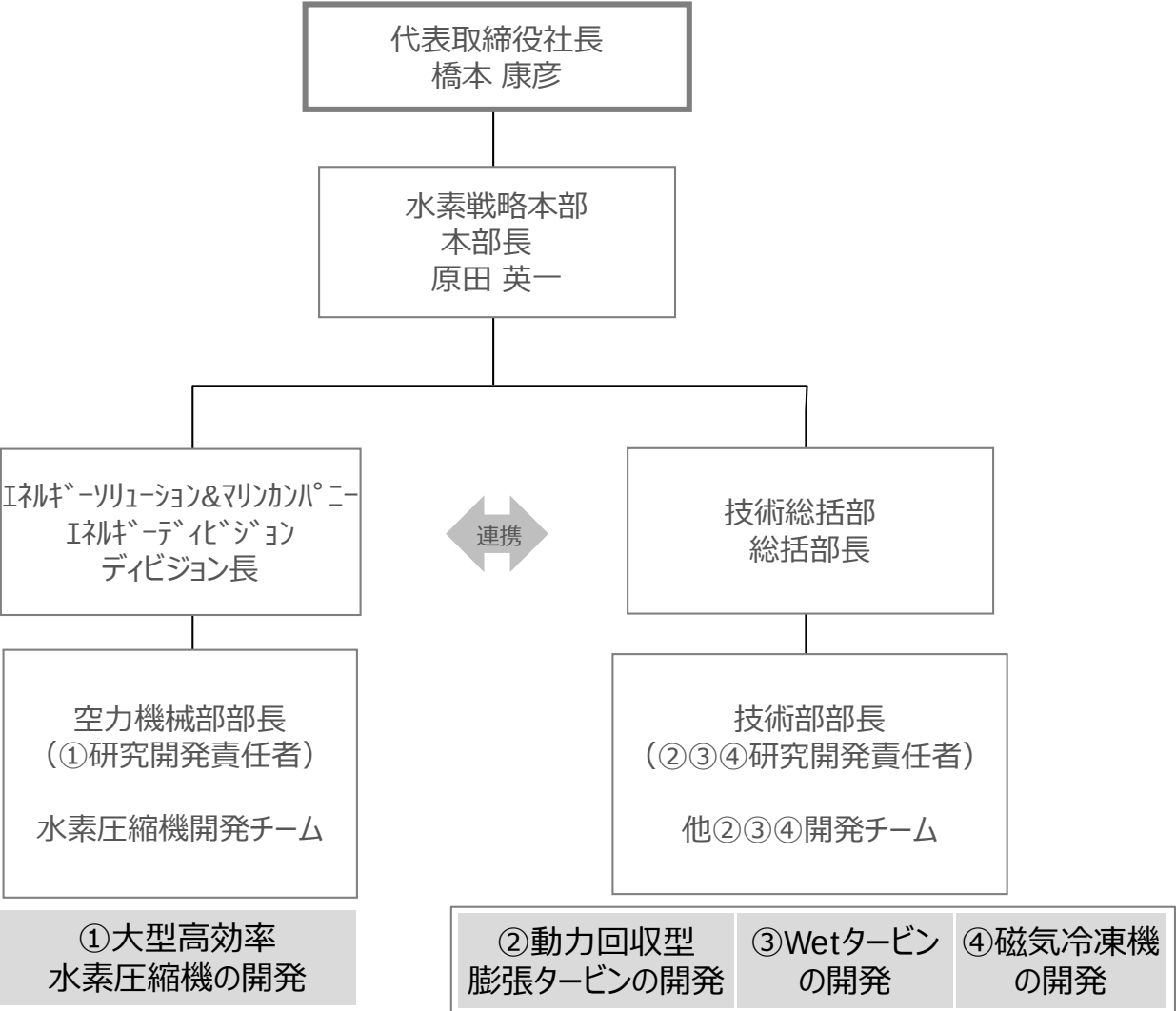
3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

3. イノベーション推進体制／（1）組織内の事業推進体制

経営者のコミットメントの下、専門プロジェクトチームを設置

組織内体制図



組織内の役割分担

研究開発責任者と担当部署

- 研究開発責任者
 - 空力機械部部長：①を担当
 - 技術部部長：②③④を担当
- 開発チーム
 - ①水素圧縮機：（空力機械部主体）
 - ②③④他機器：（水素本部・技術開発本部主体）
- チームリーダー
 - ①：空力機械部から選任
 - ②③④：技術部から選任

部門間の連携方法

- 定期的な進捗確認会議を実施
- プロジェクトチーム連携用に窓口担当を配置

3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

経営者等による今回プロジェクトへの関与の方針

経営者等による具体的な施策・活動方針

- 経営者のリーダーシップ
 - 水素関連機器は勿論、水素液化機のさらなる将来を見据え、水素液化機に対する大型で安価、高効率な機器の研究開発を続け、市場の要請に応じていくことを社内外の幅広いステークホルダーに対して自ら発信して行く。
- 事業のモニタリング・管理
 - 社長直轄の報告会議を定期的に行い、事業の進捗状況を確認し進捗を管理のうえ、必要な判断・社内指示を実施して行く。
 - 報告会議においては、NEDO殿を初めとする事業関連のステークホルダーの方針、マーケット等の市場、他社の状況等も共有し、総合的な判断を行う。
 - 報告会議を基本とした事業管理を行い、WG等に対する透明性を持った適切な説明を実施して行く。

経営者等の評価・報酬への反映

- プロジェクトチームの配置メンバーおよびその管理職は、2021年4月から開始された「新人事処遇制度」において本事業を具体的な評価対象とし、事業内における各メンバーの役割・達成度に応じた評価および報酬反映を行う。

事業の継続性確保の取組

- 本事業を中期経営計画等に反映し、経営層全体として、本事業の進捗、方向性を共有し、経営者の任期完了後の交代時においても事業進捗を遅滞させることない継続性を確保する。

3. イノベーション推進体制／（3）マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ

経営戦略の中核において全体事業を位置づけ、広く情報発信

本項に記述の内容は、「水素輸送技術等の大型化・高効率化技術開発・実証」プロジェクトと合わせて実施する。

取締役会等での議論

- カーボンニュートラルに向けた全社戦略
 - グループビジョン2030において、水素関連事業の重要事業の一つとして位置づけ、当社が行う液化水素のサプライチェーン関連事業との連携を図りながら2050年のカーボンニュートラルに向けた活動を行う。
https://www.khi.co.jp/ir/pdf/etc_210601-1j.pdf
- 事業戦略・事業計画の決議・変更
 - 中期経営計画は、3年に1度を基本として目標を定めるが、前述の報告会等による進捗管理をとおして、必要に応じた事業戦略ないし事業計画の変更を行い、必要に応じて経営会議等へ諮る。

ステークホルダーに対する公表・説明

- 情報開示の方法
 - 中期経営計画等のIR資料・統合報告書、CSR報告書等において、事業戦略・事業計画の内容を明示的に位置づけ発信する。
 - 採択された場合に、研究開発計画の概要をプレスリリース等により対外公表する。
- ステークホルダーへの説明
 - 中期経営計画の説明会などを通じて、機関投資家等のステークホルダーへの説明を実施して行く。
 - 研究開発の主要なマイルストーン達成時において対外的な公表を積極的に実施して行く。

3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

機動的に経営資源を投入し、着実に社会実装まで繋げられる組織体制を整備

経営資源の投入方針

- 実施体制の柔軟性の確保
 - 今年度4月よりエネルギープラントカンパニーと船舶海洋カンパニーを統合し、エネルギーソリューション＆マリンカンパニーとして編成。水素関連機器開発に対して、リソースの効率的かつ柔軟性を持った投入を可能とする体制を構築。
- 人材・設備・資金の投入方針
 - プロジェクトチームを立ち上げ、専門性のあるメンバーを配置。
 - 川崎重工業(株)神戸工場に有する組立工場・運転場、および明石工場に有する試験設備等を活用して効率的な事業推進を図る。
 - 事業終了後の商用事業では適切な設備投資を行って製品供給を行う。

専門部署の設置

- 専門部署の設置
 - 本年度4月から、社長直轄に水素戦略本部を置き、前述のとおり、これまで分かれていたエネルギープラントカンパニーと船舶海洋カンパニーを効率的な水素関連リソースの統合によるシナジー効果を狙い、エネルギーソリューション＆マリンカンパニーを設立。
- 若手人材の育成
 - プロジェクトチームには若手を積極的に配置し、将来のエネルギー・産業構造転換を見据え、必要な技術・スキルの育成に努めるべく本年度より新人事制度を導入。

4. その他

4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

リスクに対して十分な対策を講じるが、対象とする市場が無く技術的開発意義を失った場合には事業中止も検討

研究開発（技術）におけるリスクと対応	社会実装（経済社会）におけるリスクと対応	その他（自然災害等）のリスクと対応
- 開発において、想定していた以上の困難さが発見され、目標として設定した技術の達成が、現実的に困難であるリスク ＜リスク対応＞ NIMSなどを初めとする社外との連携を図る。必要に応じて、競合他社との共同開発も視野に入れ、開発計画を変更しながら目標の達成を目指し、目標値の再設定も検討する。 - 技術確立はできても、その技術に基づいて製作した製品が価格や性能的に競合他社の製品に対して競争力を持たず、市場に受け入れられないリスク ＜リスク対応＞ 社外の技術動向の収集と社内コスト管理を徹底し、必要に応じて、市況を踏まえた目標値の変更を行う。	社会トレンドが変化し、液化機の必要性が低下するリスク ＜リスク対応＞ 社会情勢等の情報収集に努め、液化機の需要が変化した場合は、要素技術を転用可能な他のマーケットへターゲットを変更し、開発計画および、達成目標の調整を行う。	天災地変、風水害その他の誰の責に帰すことができない事由が発生するリスク ＜リスク対応＞ 本開発を一旦中断の上、該当事由が収束次第、開発計画、スケジュールの見直し等をNEDO殿と協議する。
▼		
● 事業中止の判断基準： - 再設定した目標値では受け入れられる市場が存在せず、技術的開発意義も無いと判断される場合。	● 転用可能な市場が存在せず、技術的開発意義も無いと判断される場合。	● 事由発生後の状況において、開発計画やスケジュールの変更を行っても開発継続が困難であると判明した場合。