

# 【課題名】電力創出機能を有した高効率ターボ冷凍機の開発(委託)

【代表者】三菱重工サーマルシステムズ(株) 白方芳典

【実施予定年度】平成30~31年度

## (1)課題概要

### ①【課題の概要・目的】

冷熱・空調用に使われるエネルギー消費量の割合は高く(業務部門:約30%、産業部門:約4%)、CO2排出量削減には高効率空調機器の導入が必要となるが、空調機器の高効率化はほぼ頭打ちの状態である。

本技術開発では、冷凍サイクルの膨張過程における損失エネルギーを膨張タービンで回収し、動力を電力に変換、冷凍機本体や補機で使用することにより冷凍機のシステム効率を向上することを目指し、1台当たりの発電量が多く、システム成立可能性の高いターボ冷凍機を対象とする。膨張タービンは、二相状態で作動するため製品化事例、技術的知見が乏しく、開発新規性は高い。また、冷凍機のみならず化学プラントなど断熱膨張過程を有するシステムへ適用が可能なことから発展性は大きい。

なお、本提案はいずれの重点課題にも該当しないが、大規模空調や冷水を使用する工場プロセスにおいて既に広く普及しているターボ冷凍機の性能向上を低コストで実現するものであり、CO2排出削減効果は大きい。

### ②【技術開発の内容】

#### ○重要な開発要素

#### A1.【二相膨張タービンの開発】

二相流で作動する高効率タービンを簡素化構造、低コストで成立させる必要がある。そのために社内にすでに保有している二相流技術の活用および要素試験による二相流挙動の可視化を行い、タービン設計技術を構築する。(実用化レベルに平成31年到達見込)

#### A2.【発電システムの開発】

低コスト発電システムの実現。汎用品を用いてシステム構成する。想定しているターボ冷凍機に適用可能な汎用発電機・インバータを調査し、候補発電機の選定、回転数制御、過回転防止手法等の開発要素を整理済。(実用化レベルに平成31年到達見込)

#### A3.【冷凍機システム制御の開発】

再生電力の発電パターンとターボ冷凍機の運転状態に基づいて、システム効率を最大とする制御を構築する必要がある。構築済みの冷凍機システムの最適制御技術を活用、再生電力を含めた最適制御手法を構築する。(実用化レベルに平成31年到達見込)

#### B. 開発要素のシステム統合と、C. その実証

#### 【開発要素のシステム統合】

冷凍機の起動・停止時や負荷変動などの過渡時におけるタービンおよび発電機の安定制御手法を構築する必要がある。発電機の回転数制御、過回転防止手法等の有効性を検証試験にて確認する。

#### 【実証】

既存ターボ冷凍機の膨張弁回路に本開発機器を接続したバイパス回路を設け、実際のターボ冷凍機の運転を想定した検証試験を行い、システム効率およびシステムの制御性を検証、確認する。

### ③【システム構成】

図1に本技術開発対象をターボ冷凍機に組み込んだシステム構成概念図を示す。従来の膨張弁を発電機接続された膨張機能を有する二相タービンで置き換える。タービン上流のノズルにより冷媒を等エントロピー膨張させ、その動圧によりタービンを駆動させる。従来の等エントルピー膨張に対してエントルピー差が動力として回収できる(図2)。

図3に発電システムの一例を示す。発電機で発電した電力は、圧縮機の駆動電力とする(左図)、冷凍機の補機動力とする(右図)、あるいは蓄電や系統連系も可能なシステム構成とし、発電パターンと冷凍機の運転状態に応じてシステム効率が高くなる制御手法を構築する。

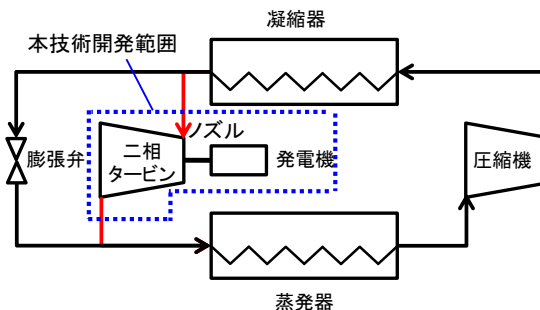


図1 システム構成概念図

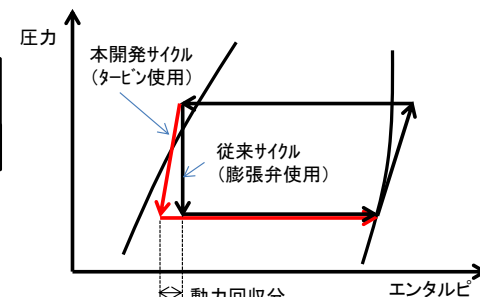


図2 動力回収イメージ

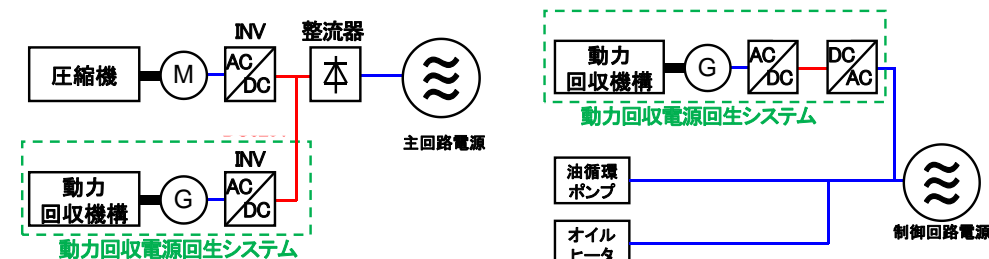


図3 発電システム一例(左図:圧縮機駆動、右図:補機動力)

### ④【技術開発の目標・リスク】

○想定ユーザ・利用価値:ターボ冷凍機を使用するお客様・ランニングコストおよびCO2排出量の削減効果

○目標となる仕様及び性能:二相タービンによる動力回収およびシステム制御により、従来機対比COP3.0%向上。

○開発工程のリスク・対応策:二相タービンに関する知見が乏しく、設計に必要な基礎データの取得に計画以上に時間を要するリスクあり。二相流に関する社内の他製品事例を参考にし、研究着手前に事前検討を進めておく。

## (2)実施計画等(提案時当初計画)

### ①【実施体制】

技術開発は三菱重工サーマルシステムズおよび三菱重工業にて実施する。事業終了後の製品化・販売は三菱重工サーマルシステムズが担当する。

技術開発代表者

三菱重工サーマルシステムズ  
白方 芳典

共同実施者

三菱重工サーマルシステムズ  
長谷川 泰士 (二相膨張タービンの開発)  
ターボ冷凍機・圧縮機・システム制御の開発実績あり

三菱重工サーマルシステムズ  
三浦 貴晶 (冷凍機システム制御の開発)  
ターボ冷凍機用電気系統・システム制御の開発実績あり

三菱重工サーマルシステムズ  
三吉 直也 (二相膨張タービンの開発)  
ターボ冷凍機・システム制御の開発実績あり

三菱重工サーマルシステムズ  
呉 文平 (冷凍機システム制御の開発)  
ターボ冷凍機・システム制御の開発実績あり

三菱重工 総合研究所  
高田 亮 (二相膨張タービンの開発)  
蒸気・熱水衝動タービン開発実績、光学式流動計測実績あり

三菱重工 総合研究所  
谷口 直 (二相膨張タービンの開発)  
蒸気・熱水衝動タービン開発実績、光学式流動計測実績あり

三菱重工 総合研究所  
東森 弘高 (二相膨張タービンの開発)  
産業用・GT・ターボ用リアルタービン開発実績、光学式流動計測実績あり

三菱重工 総合研究所  
丸山 真範 (発電システムの開発)  
回生電力回収システムのシステム設計及び制御設計開発実績あり

三菱重工 総合研究所  
小林 直樹 (冷凍機システム制御の開発)  
ターボ冷凍機構成要素の開発実績あり

(ターボ冷凍機の開発、総括)  
・ターボ冷凍機および構成要素の開発実績あり  
・ターボ冷凍機の開発・設計に23年従事  
・事業終了後の製品化・販売を担当

### ②【実施スケジュール】

	H30年度	H31年度
二相膨張タービンの開発	43,000千円	28,000千円
発電システムの開発	11,300千円	3,300千円
冷凍機システム制御の開発	3,850千円	1,000千円
統合システムの最適化		2,100千円
実証		6,250千円
合計	58,150千円	40,650千円

### ③【事業化・普及の見込み】

#### ○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	三菱重工サーマルシステムズ(株)
--------------	------------------

- ・2019年度中に開発を終了し、2020年までに生産・販売を開始する。
- ・2022年までに、適用対象機器拡大のためのラインアップを拡大すると共に、低コスト化を実現して販売を強化する。

#### ○事業展開における普及の見込み

- ・対象市場規模:市場ストック台数約6,000台、新設年間約150台規模
- ・想定事業規模:270台/年(2025年時点)
- ・導入コスト目標:100万円/台(従来品の価格:10万円/台)
- ・製品単純回収年数:2年程度

#### ○年度別販売見込み

##### 【提案時当初計画】

年度	2020	2025	2030
目標販売台数(台)	193	272	272
目標累積販売台数(台)	193	1198	2755
目標販売価格(万円/台)	100	80	50

##### 【現時点見込み】

年度	2020	2022	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	0	82	272	272
目標累積販売台数(台)	0	82	2148	3508
目標販売価格(万円/台)	-	361	245	245

#### ○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・導入期においてはユーザの認知度を高める必要があり、CO2削減対策支援などの政策支援による普及拡大の取組みが必要。

### (3)技術開発成果

#### ①【これまでの成果】

- 200USRtクラスのターボ冷凍機に適用する動力回収発電装置の試験機を試作。冷媒R1233zd(E)を用いた特性検証試験を行った。
- 主開発要素である冷媒2相状態で駆動される動力回収タービンは、冷媒R1233zd(E)で断熱効率30%以上、冷媒R1234ze(E)で断熱効率60%以上となることを確認した。
- 動力回収発電装置の適用により、冷媒R1234ze(E)を適用したターボ冷凍機でCOPを約3%向上出来ることを確認した。

#### ②【エネルギー起源CO2削減効果】

【提案時当初計画】 ※実施期間中における分科会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO2/台・年)	21.8
開発品(装置/システム)の法定耐用年数	15年

年度	2020	2022	2025	2030
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)※1	2,570	4,283	4,283	4,283
累積CO2削減量(万t-CO2)※1, 2	3,806	16,937	27,976	55,573
CO2削減コスト(円/t-CO2)※3	27,976	8,652	3,531	1,778

#### 【現時点見込み】 ※2

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO2/台・年)	21.8
開発品(装置/システム)の法定耐用年数	15年

年度	2020	2022	2030	2050
単年度CO2削減量(万t-CO2/年)※1	0	0.17	0.55	0.55
累積CO2削減量(万t-CO2)※1, 2	0	<b>2.66</b>	<b>70.1</b>	<b>114.5</b>
CO2削減コスト(円/t-CO2)※3	—	2,487	1,683	1,683

- ※1 提案当初の累積CO2排出量は算出時の桁数変換に間違いがあり修正
- ※2 提案当初計画、現時点見込みでの累積CO2削減量算出式は以下の通り違いあり  
【提案時当初計画】: 当該年度までで販売した製品によるCO2削減量を累積  
【現時点見込み】: 累積販売量×製品の単年度削減量×法定耐用年数
- ※3 提案当初計画、現時点見込みでのCO2削減コスト算出式は以下の通り違いあり  
【提案時当初計画】: 環境省から受ける補助総額÷当該年度までの累積CO2削減量  
【現時点見込み】: 1台製品価格÷1台あたりの単年度CO2削減量×法定耐用年数

#### ③【成果発表状況】

- 日本冷凍空調学会年次大会発表(令和2年9月9日～11日)  
「動力回収タービン発電機能を適用したターボ冷凍機の高効率化」  
(発表者:長谷川泰士)

#### ④【技術開発終了後の事業展開】

##### ○量産化・販売計画

- 2021年までに、委託研究において確認した装置小型化・製品コスト低減のための設計検討を実施。
- 2022年を目途として、新規販売するターボ冷凍機への開発装置適用に加え、既設ターボ冷凍機への適用を開始する。
- 2024年度を目途として、市場ストック台数の多い主要機種へ適用可能なシリーズラインアップを完了する。

##### ○事業拡大シナリオ

年度	2020	2021	2022	2024 (最終目標)
装置コンパクト化のための構造改良		→		
コスト低減の推進		→		
適用機種拡大			→	

##### ○シナリオ実現上の課題

- 装置小型化、低コスト化のための動力回収タービンの小型化・構造簡素化のための技術開発
- 既設機、新規導入機を含め、多くの冷媒種に対するシリーズラインアップの整備
- 高圧ガス保安法に基づく既設機改造に対する改造要件緩和

## ○参考資料1 CO2削減効果について

### ○2020年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・国内潜在市場規模: 6,000台 (日本冷凍空調工業会の出荷統計より推定)
- ・2020年度までに期待される最大普及量: 0台
- ・開発機器(システム、モデル) 1台当たりのCO2削減量: 21.8t/年(従来型の同様システム: 747t/年)
- ・削減原単位: 商用電力 従来のエネルギー年間消費量129万kWh/年/台、開発品による削減率: 2.9%、排出係数: 0.579kgCO<sub>2</sub>/kWh、年間CO<sub>2</sub>削減量=21,754kgCO<sub>2</sub>/年/台
- ・累積CO<sub>2</sub>削減量: 0万t-CO<sub>2</sub>
- ・CO<sub>2</sub>削減コスト: -

### ○2022年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・国内潜在市場規模: 6,000台 (日本冷凍空調工業会の出荷統計より推定)
- ・2022年度までに期待される最大普及量: 82台 (生産想定累積台数。従来システムの販売台数は年間200台)
- ・開発機器(システム、モデル) 1台当たりのCO<sub>2</sub>削減量: 21.8t/年(従来型の同様システム: 747t/年)
- ・削減原単位: 商用電力 従来のエネルギー年間消費量129万kWh/年/台、開発品による削減率: 2.9%、排出係数: 0.579kgCO<sub>2</sub>/kWh、年間CO<sub>2</sub>削減量=21,754kgCO<sub>2</sub>/年/台
- ・累積CO<sub>2</sub>削減量: **2.66**万t-CO<sub>2</sub>
- ・CO<sub>2</sub>削減コスト: 2,487円/t-CO<sub>2</sub>

### ○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・国内潜在市場規模: 6,000台 (日本冷凍空調工業会の出荷統計より推定)
- ・2030年度までに期待される最大普及量: 2,149台 (生産想定累積台数。従来システムの販売台数は年間200台)
- ・開発機器(システム、モデル) 1台当たりのCO<sub>2</sub>削減量: 21.8t/年(従来型の同様システム: 747t/年)
- ・削減原単位: 商用電力 従来のエネルギー年間消費量129万kWh/年/台、開発品による削減率: 2.9%、排出係数: 0.579kgCO<sub>2</sub>/kWh、年間CO<sub>2</sub>削減量=21,754kgCO<sub>2</sub>/年/台
- ・累積CO<sub>2</sub>削減量: **70.1**万t-CO<sub>2</sub>
- ・CO<sub>2</sub>削減コスト: 1,683円/t-CO<sub>2</sub>

### ○2050年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a, II-i)

- ・国内潜在市場規模: 6,000台 (日本冷凍空調工業会の出荷統計より推定)
- ・2050年度までに期待される最大普及量: 3,504台 (生産想定累積台数。従来システムの販売台数は年間200台)
- ・開発機器(システム、モデル) 1台当たりのCO<sub>2</sub>削減量: 21.8t/年(従来型の同様システム: 747t/年)
- ・削減原単位: 商用電力 従来のエネルギー年間消費量129万kWh/年/台、開発品による削減率: 2.9%、排出係数: 0.579kgCO<sub>2</sub>/kWh、年間CO<sub>2</sub>削減量=21,754kgCO<sub>2</sub>/年/台
- ・累積CO<sub>2</sub>削減量: **114.5**万t-CO<sub>2</sub>
- ・CO<sub>2</sub>削減コスト: 1,683円/t-CO<sub>2</sub>

## ○参考資料2 事業化計画について

### 1. 今後の製品化(事業化)に向けての追加検討スケジュール

製品化に向けての技術課題をクリアするため、引き続き三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部で技術課題に対する検討を進める。また、広く普及を進めるためにはターボ冷凍機のイニシャコスト増加への影響を極力小さくする必要があり、事業化(製品化)の最終判断を技術課題解消とコスト低減状況により、以下の通り判断を行う予定である。

2020年度:技術課題解消とコスト低減のための追加検討

2021年度:技術課題に対する信頼性検証、製品化コストの最終評価

2022年度:事業化(製品化)開始

### 2. 事業化の体制

本技術開発・実証事業で開発した動力回収発電装置は、販売やアフターメンテナンス(既納機への適用)に関しては、ターボ冷凍機の販売・サービス体制をそのまま踏襲して取り組む予定である。新規販売、メンテナンス時の体制を以下に示す。

#### ①新規販売(新規導入)時

(販売窓口):三菱重工冷熱(株)大型冷凍機事業本部

(製品開発・製造):三菱重工サーマルシステムズ(株)営業部

#### ②メンテナンス(既設機適用)時

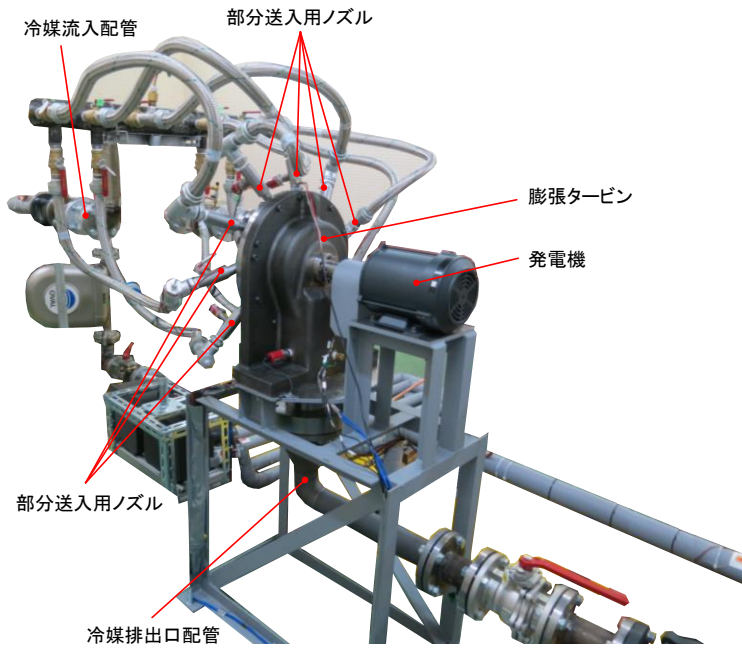
(メンテナンス窓口)三菱重工冷熱(株)大型冷凍機事業本部

(技術検討)三菱重工サーマルシステムズ(株)大型冷凍機技術部

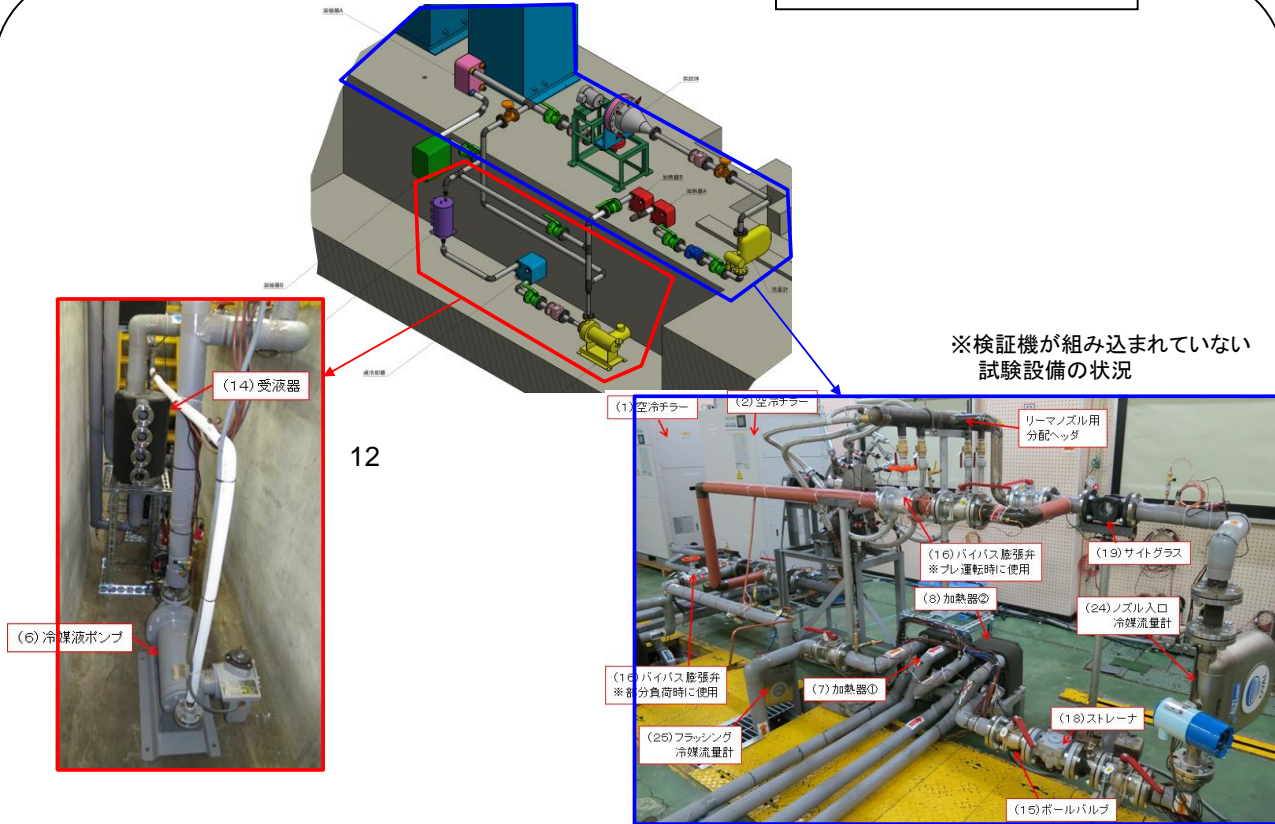


# ○参考資料3 その他(検証機及び実証試験設備)

## 検証機



## 検証試験設備



# CO<sub>2</sub>排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

▪ 評価点 6.2 点 (10点満点中)

▪ 評価コメント

## 【評価される点】

- 本事業の当初段階で立てた計画に対し、確実に達成している点は評価できる。
- 冷凍機の容量が小さいものから大きいものと幅広く展開が可能であり、普及ポテンシャルが期待される。
- CO<sub>2</sub>削減効果における費用対効果も高く、将来、標準仕様として組み込まれることで、CO<sub>2</sub>削減に大きく寄与することを期待できる。

## 【今後の課題】

- 全体的にコスト低減が課題となっているため、検討する必要がある。
- コスト及び環境負荷の低減割合などを明確化し、顧客ニーズに適合するような説得力あるビジネスモデルを検討しつつ、2022年度の事業化につなげる必要がある。
- 設置スペースの縮小化が求められる近年のため、冷凍機の大型化に伴うメリット・デメリットを検討する必要がある。
- 動力回収装置の寸法が既存の膨張弁サイズと比較して過大といった寸法の問題やコスト低減などの課題があることから、より具体的な対策を講じて事業化を進めることが求められる。
- 商品の販売時期が当初予定時より大きく遅れているため、可及的速やかな展開を行うこと。

## 【その他特記事項】

- 技術開発終了後、事業化に至るまでの検討課題が多く残されている。これら課題を解決し、確実に事業化を実施する必要がある。