

(1)課題概要

①【課題の概要・目的】

民生業務用建物で消費される主に電力エネルギー起源のCO2排出量低減のため、産業用途で実績があるターボ冷凍機技術を用いる。広い範囲で高い性能特性を有し、簡単なメンテナンスとすることでランニングコストを大幅に低減させ、広く普及させる。高効率化のポイントは、として専用磁気軸受の開発と適用、低負荷域まで高い性能有する半密閉電動機の開発等による高効率・低損失圧縮機を開発する。熱交換器の高性能化、低コスト型2重冷凍サイクルの開発を図り定格機器COP7以上とする。また、熱源機に付随する補機類(冷水・冷却水ポンプ、冷却塔)の最適制御を熱源機であるターボ冷凍機から行うことにより、熱源システム全体の高効率化を図る。

②【技術開発の内容】

○重要な開発要素

A1. 【ターボ冷凍機用磁気軸受の開発】

転がり軸受やすべり軸受と比較して機械損失を大幅に低減することが可能となる磁気軸受システムを開発する。磁気軸受は潤滑油を使わないため、油交換、フィルター交換、管理等のメンテナンス費用が不要である。さらに冷媒への潤滑油が溶け込むことによる熱交換器の性能低下を回避できる。これらの効果により消費電力が低減され、CO2削減、ライフサイクルコストの低減が可能となる。(実用化レベルに2022年到達見込)

A2. 【ターボ冷凍機用高効率半密閉電動機の開発】

業務用施設では低負荷域での運転時間が長くなるため、広範囲で高効率な特性となる同期電動機を開発する。圧縮機と電動機を直結化し増速歯車や軸受等の個数を減じることによって低コスト化を図る。(実用化レベルに2022年到達見込)

A3. 【高効率熱交換器の開発】

熱交換器の高効率化・低コスト化のため、蒸発器では液膜蒸発式を取り入れ冷媒量を低減し、あわせて高熱交換効率よい伝熱面形状の選定ふくめ伝熱要素の最適配置を図る。凝縮器では高熱交換効率のチューブを採用するとともに、凝縮器内部流動抵抗を低減させる管群配置とすることにより高効率化を図る。(実用化レベルに2022年到達見込)

その他の開発要素:

A4. 【高効率冷凍機ユニット・システム制御の開発】

B. 開発要素のシステム統合と、C. その実証

・高負荷条件下で蒸発器内部での液滴飛散

2018年2月の検証試験において、冷凍機の負荷率(蒸発器の交換熱量)が一定以上となると、蒸発器から圧縮機へ冷媒液滴が飛散する事象(キャリーオーバー)が確認された。冷媒ガス出口管近傍において熱交換器軸方向流速が早い箇所において冷媒液滴が同伴され、圧縮機へ冷媒液滴が吸込まれていた。液滴飛散によるチューブ濡れ性の低下(熱交換性能の低下)、圧縮機動力超過の課題に対し、液滴同伴箇所での冷媒ガス流速低減のため流路の拡大、液滴同伴防止構造を追加することで最終検証試験に蒸発器に冷媒液滴の同伴を完全に抑制でき、計画性能を満足することを確認した。

③【システム構成】

開発対象とする図1にシステム構成を示す。熱源システムの主機となるターボ冷凍機の高効率化開発とともに、熱源システム全体の最適制御を開発し冷凍機制御盤に実装する。

主開発対象となるターボ冷凍機の構成要素図を図2に、圧縮機の概略構成図を図3に示す。開発要素として、圧縮機の機械損失を大幅に低減可能な専用磁気軸受を開発するとともに、広範囲で電磁気損失が低減可能な同期電動機を開発を行う。磁気軸受の開発は、潤滑油が必要な従来軸受では、冷媒系統へ潤滑油が溶け込むことにより熱交換器性能の低下によるターボ冷凍機の消費エネルギーの増大を回避するとともに、潤滑油の管理、交換等のメンテナンス費削減にも寄与する。また、熱交換器の高効率化のため、液膜蒸発を利用した蒸発器、内部の冷媒流動抵抗を低減した凝縮器を開発し、小型化によりコストを低減し、冷凍サイクルには高効率化が可能な2重冷凍サイクルを採用し、圧縮機に所要動力の低減を図る。さらに、広く市場に普及できるよう、低GWP冷媒(GWP<10)を採用する。

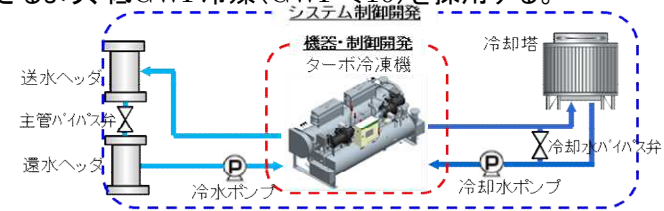


図1 対象システムと開発範囲

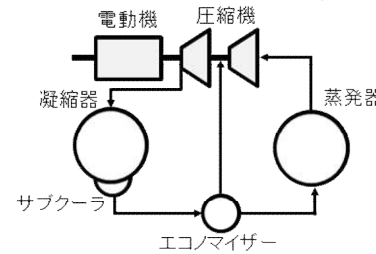


図2 ターボ冷凍機要素構成図

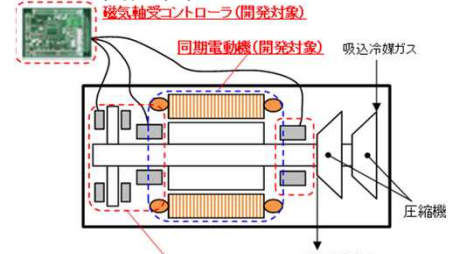


図3 圧縮機概略構成図

④【技術開発の目標・リスク】

○想定ユーザ・利用価値:

想定ユーザ: 業務用施設の運用者

利用価値: 低ランニングコスト、CO2排出量削減

○目標となる仕様及び性能:

仕様: 冷凍能力200~250USRt(703~879kW)、冷水温度17/7℃、冷却水温度32/37℃

性能: 定格COP 7.0、耐用年数15年

省エネルギー率: 15%以上(従来型システム比)

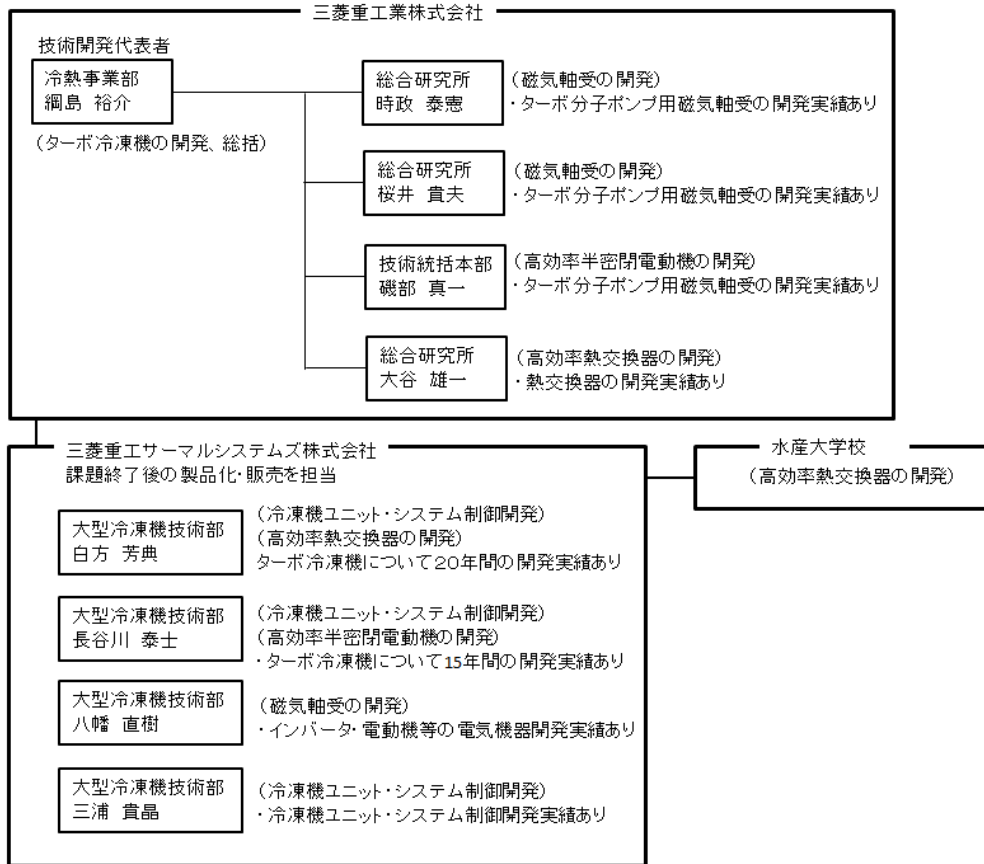
○開発工程のリスク・対応策:

- ・ターボ圧縮機用に磁気軸受を採用し、制御基板を圧縮機と一体化した際の耐ノイズ性、要求センサ精度の達成目的、メンテナンスコストを低減するための特に電気計装部品の耐久性、商用電源喪失時の電力供給用UPSの入手性が開発工程リスクとしてある。
- ・新規開発要素は開発工程の手戻りが発生する可能性が考えられるため、常にバックアップ設計の検討を行う。

## (2)実施計画等

### ①【実施体制】

実証事業は三菱重工業株式会社及び三菱重工サーマルシステムズ株式会社にて実施、一部開発を水産大学校へ委託を行った。課題終了後三菱重工サーマルシステムズ株式会社にて製品化・販売を担当する。



### ②【実施スケジュール】

2015年度に設計及び一部試作、2016年度に要素検証、2017～2018年度にターボ冷凍機システムとしての評価を行った。

	2015年度	2016年度	2017～2018年度
冷凍サイクル・システム開発	12,300千円	18,150千円	68,198千円
ターボ冷凍機用磁気軸受の開発	102,200千円	65,750千円	11,100千円
ターボ冷凍機用高効率半密閉電動機の開発	21,700千円	10,597千円	5,100千円
高効率熱交換器の開発	26,526千円	36,300千円	10,500千円
合計	162,726千円	130,797千円	94,898千円

### 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式会社
--------------	-------------------

- ・2021年までに、新規開発要素を含めた開発工程と並行して既存製品ラインアップに代替機組込みによる量産生産体制を整え、販売を開始し、既存の国内販売ネットワークにより、事務所ビル中心に展開する。
- ・開発したシステムは広い容量範囲に適用可能の為、2021年以降、ラインナップを拡大し、広く普及を図る
- ・低GWP冷媒を採用することで、脱HFC冷媒のための主力機として展開する。
- ・2022年を目処とし、商品量産・販売開始。

#### ○事業展開における普及の見込み

- ・対象市場規模、想定事業規模:
- ・導入コスト目標:(非公表)
- ・運用コスト目標:(非公表)
- ・製品単純回収年数:1.86年程度(導入コスト差額÷年間運用コスト差額)

#### ○年度別販売見込み

年度	2020	2022	2025	2030
目標販売台数(台)	0	(非公表)	(非公表)	(非公表)
目標累積販売台数(台)	0	(非公表)	(非公表)	(非公表)
目標販売価格(円/台)	-	(非公表)	(非公表)	(非公表)

#### ○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・周辺補機まで高効率を図るため、従来の機器工事にかかる慣習を除していく必要がある。メンテナンスによる性能維持は業務用空調では十分実施できていない。そのため実質的な導入効果が著しく低下する。これらを広く認知してもらうための啓発活動が必要である。
- ・フロン排出抑制法により、低GWP冷媒の採用が必須となる中で、冷媒価格の高騰や冷媒取扱いに関する関係法規の制定が遅れたことにより普及の障害となる可能性がある。

### ④【エネルギー起源CO2削減効果】

開発品(装置/システム)1台当たりのCO2削減量(t-CO2/台・年)	(非公表)
-------------------------------------	-------

本課題終了後、2022年、2025年及び2025年度に期待される年度別CO2削減量、当該年度までの累積削減量とCO2削減コストを以下に示す。

年度	2020	2022	2025	2030
CO2削減量(万t-CO2/年)	0	0.57	6.38	14.88
累積CO2削減量(万t-CO2)	0	0.57	32.47	106.87
CO2削減コスト(円/t-CO2)(2020年度は不要) =環境省から受ける補助総額(円)÷当該年度までの累積CO2削減量(t-CO2)		68144.0	1196.2	363.45

### (3)技術開発成果

#### ①【これまでの成果】

- ・冷凍能力200~250USRt(703~879kW)、冷水温度17/7°C、冷却水32/37°Cの試験機(実用機の1分の1規模)を作成
- ・COP:7.02(目標の10割達成)
- ・省エネルギー率:15%(目標の10割達成(30年度末))

#### ②【CO2削減効果】

- ・本事業終了後、2022年、2025年、2030年段階で期待されるCO2削減効果を以下に示す。

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

- ・国内市場:6640台(既設の従来システムのストック台(日本冷凍空調工業会統計によるH10~H25年ターボ冷凍機出荷実績)に基づき推計)
- ・2022年度に期待される最大普及量:(非公表)(現行の販売台数は(非公表))
- ・開発機器1台当たりのCO2削減量:(非公表)(従来システム排出量は(非公表))
- ・年間CO2削減量:0.6万t-CO2

##### ○2025年時点の削減効果 (試算方法パターン B-a,II-i)

- ・国内市場:6640万台(既設の従来システムのストック台(日本冷凍空調工業会統計によるH10~H25年ターボ冷凍機出荷実績)に基づき推計)
- ・2022年度に期待される最大普及量:(非公表)
- ・開発機器1台当たりのCO2削減量:(非公表)(従来システム排出量(非公表))
- ・年間CO2削減量:6.4万t-CO2

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

- ・国内市場:6640万台(既設の従来システムのストック台(日本冷凍空調工業会統計によるH10~H25年ターボ冷凍機出荷実績)に基づき推計)
- ・2030年度に期待される最大普及量:1(非公表)
- ・開発機器(システム、モデル)1台当たりのCO2削減量:(非公表)  
(従来型の同様システムの排出量:(非公表))
- ・年間CO2削減量:14.9万t-CO2

#### ※CO2排出量削減効果算出条件

- ・一般的な事務所ビルを想定し、ターボ冷凍機容量:400USRt(業務用用途での最大普及容量)、冷房全負荷運転時間:1000[h]、補機定格動力:0.18kW/USRt
- ・入替対象システム性能:定格COP5.0(IPLV値5.0)、補機動力低減効果:50%(開発システムによる定格動力削減割合)
- ・単位消費電力のCO2排出用源単位は0.55kg-CO2/kWh

#### ③【成果発表状況】

新機種開発完了・販売開始時には、自社の技報や関連学会誌・専門誌へ論文掲載、講演会での発表により開発成果の公表を行う予定。また、上記以外にも製品カタログへの掲載や多くの製品関係者へ直接PRすることができる展示会等でも広くアピール出来るよう進めていく予定。

#### ④【技術開発終了後の事業展開】

##### ○量産化・販売計画

- ・2019年までに、圧縮機耐久部品の耐久検証、熱交量産設計を完了。
- ・2020年までに、圧縮機量産設計、圧縮機と熱交を組合せたユニット検証を実施。
- ・2021年までに、機器量産製造体制、機器販売体制、アフターサービス体制を構築。
- ・2022年を目処として、商品生産・販売開始を実施。

##### ○事業拡大シナリオ

年度	2022	2024	2026	2030 (最終目標)
シリーズ展開		→		
低コスト化 技術開発		→		
圧縮機 単販体制構築			→	
海外への事業展開 生産・販売体制構築				→

##### ○シナリオ実現上の課題

- ・液膜式蒸発器の量産化に向けた技術の開発  
検証試験機では、特にキャリアオーバ抑制のため種々の対策を適用した構造となっており、キャリアオーバ抑制機能については過剰となっている。今後の製品化においては、量産時に採用する対策構造を取捨選択し、構造の簡素化・低コスト化を図る必要がある。
- ・量産製作体制の確立  
既存冷凍機と比較し、開発機は特に圧縮機の構造・構成部品が大きく異なり、圧縮機組立工程・要領・検査内容が大きく異なる。量産生産化と製造コスト低減のために、圧縮機製造ラインにおいて、圧縮機組立者の多能工化・圧縮機組立後の調整・検査システムを構築する必要がある。
- ・販売拡大のためサプライヤーメーカーとの連携強化  
購入品、加工部品の共通化、量産化を図り供給の安定化、コストダウンを図る。またメンテナンス、緊急時にも十分対応できるよう連携を強化する。

# ○参考資料

## ○2重サイクル冷凍機

当社は、本サイクルを適用した、定格COPを7.0に達するETI-40ESを2009年より販売している。このターボ冷凍機は、ETIシリーズ機をベースとして2重冷凍サイクル(図1参照)を適用することにより、高効率化を図ったものであるが、熱交換器構造が複雑でユニット部分が非常に高価であり広く普及させるという点では多くの課題を残している。

本開発事業でも本サイクルを採用し、特に熱交換器仕様・構造面に着目しコストの課題を解決する。

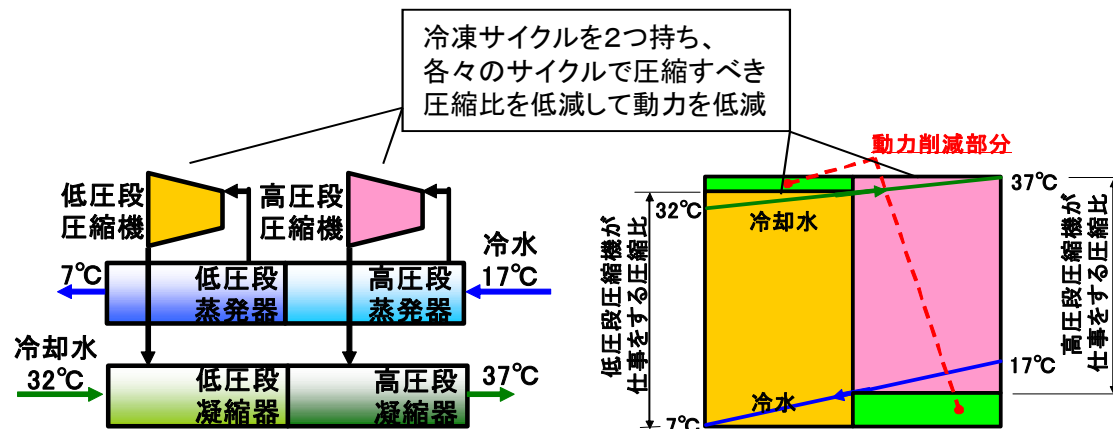


図1 2重冷凍サイクルの概念図

## ○熱源システム高効率運転化の技術

ターボ冷凍機を含む熱源システムの高効率化運転の対象とする基本制御を以下に示す。熱源システム用制御盤としては、これらの機能を備えたものがあるが、本事業では開発機に適した各制御をターボ冷凍機用の制御盤に組み込む。

- ①冷凍機台数制御  
冷凍機が最適な負荷で運転できるよう、冷凍機運転台数を制御する(複数台設置時)
- ②冷水流量制御(⑥主管バイパス弁制御と連動)  
冷水のバイパス流量が最少かつ冷凍機が最大COPを取ることが出来る最適負荷範囲で運転できる流量で制御し、冷水ポンプの搬送動力低減と冷凍機COPの向上を図る
- ③冷却水変流量制御(⑤冷却水バイパス弁制御と連動)  
冷却水流量低下による搬送動力低減と、冷却水出口温度上昇による冷凍COP低下を合算し、熱源システムCOPが最適となる冷却水流量で制御を行う。
- ④冷却塔制御  
外気条件を考慮し、冷凍機性能を引き出すために最適な冷却水温度を決定して冷却塔の台数、FAN風量制御を行う

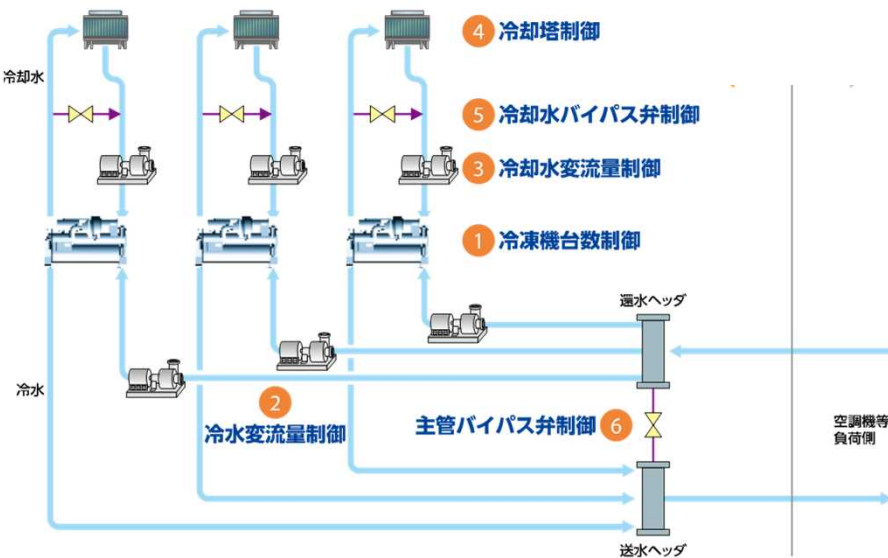


図2 熱源システム高効率制御の対象

# 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

[評価された点]

- ー 民生業務用建物で消費される電力エネルギーの削減のため、熱源システムの主機となるターボ冷凍機の新規性のある高効率化技術開発と最適制御により、定格COP7.0を達成した点について評価でき、今後の大型冷凍機の省エネルギーに寄与することが期待される。

[今後の課題]

- ー 普及・量産の観点から、量産時における最適な対策構造の検討と、構造の簡素化・低コスト化について引き続き解決に向けて注力することをた望む。
- ー 開発成果については積極的に外部発表し、成果発信に努めること。
- ー 本事業では、定格COP7.0を達成したが、主要技術開発課題の磁気軸受け開発や電動機改善による省エネ効果は限定的であるため、本事業の独創性のある成果を発展させ、より有効性のある省エネ効果を生み出すことを期待する。

[その他特記事項]

- ー シェル&チューブ熱交換器に関し冷媒スプレイ供給法の導入が今後の取組課題として記載されている。スプレイ供給には、動力、メンテナンス等の課題整理・検討が別途必要であり慎重に対応されたい。
- ー 事業化開始時期の変更はあるものの、2022年の商品生産・販売開始ができるよう、早期に事業化計画を具体化し、量産化に向けた設計や製造・販売体制等を構築し、早期の事業展開の実現を期待する。