

## 温室効果が削減の為の空気冷媒式超低温(-60 以下)急速冷凍装置の開発

ICETT-横浜第2研究室(三菱重工業株)

主任研究者 大久保精二

研究員 菊池重光、奥田誠一、結城 勉  
三橋真人、荒井幸廣、柚木晃広  
井川 博

開発期間: 2003 ~ 2005 年度

### 要約

地球温暖化防止のため脱フロン、省エネ化が進む社会的背景の中、自然に優しい空気を冷媒とした超低温(-60 以下)急速冷凍装置の開発に着手した。2003 年度は試験機を設計、製作し実証試験によりその冷凍性能を中心に計測を行った。その結果、-90 の冷風を発生させ、冷凍能力もほぼ計画値通りの成績係数を達成できる見込みが確認できた。さらに磁気軸受の振動特性、高速モータ冷却ファンの冷却性能、除霜器によるデフロスト手法が確認できた。今後の課題としては長時間の連続運転における信頼性及び耐久性の確認、また自動運転のための制御方式の決定である。

### 1. 技術開発の目標

現在超低温(-60 レベル以下)の急速冷凍はフロン冷媒の実用的下限温度(-50 ~ -55)より液体窒素を使用しているのが一般的である。その使用量は9.5億m<sup>3</sup>/年(全体窒素使用量:36億m<sup>3</sup>/2001年でその内液体窒素は約19億m<sup>3</sup>でその1/2が2010年時点で本装置に置き換わると仮定)に達している。窒素1m<sup>3</sup>製造するのに必要な動力は1.3kwhであり、年間の液体窒素製造に必要な動力としては

$$1.3\text{kwh} \times 950,000,000\text{m}^3 = 1,235,000,000\text{kwh}$$

と電力使用量は非常に多く地球温暖化要因としては大きい。

また超低温冷凍の必要性については最近の冷凍食品の凍結管理、特に-60 レベル以下での急速冷凍による食品品質の向上が社会ニーズとして高まっている。また、バイオ他の冷凍保存に液体窒素は重要な役割を果たしており今後更に伸びる可能性が考えられる。

以上より省エネ型で-60 以下の冷風を発生させるコンパクトな消費地設置型の機械式冷凍装置のニーズが高まる中、地球温暖化指数の高いフロン冷媒を使用しない地球にやさしい自然冷媒(空気)による冷凍装置の開発を行なうものである。

平成15年度実施内容及び結果

(1) 冷凍システムの検討

空気を冷媒とした冷凍システムについては下記の方式がある。

(イ) 一段圧縮方式

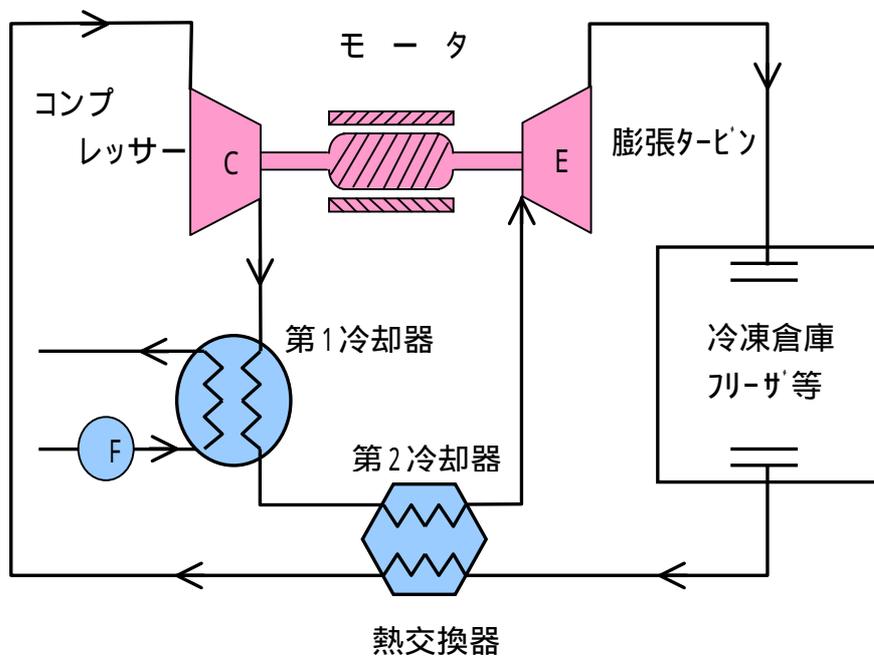


図1 一段圧縮方式システム線図

(ロ) 二段圧縮方式

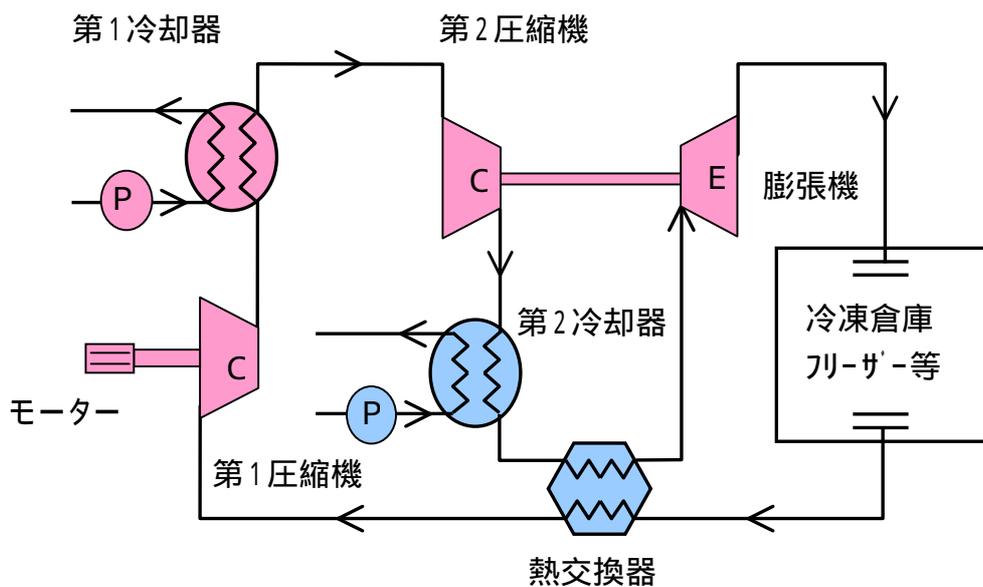


図2 二段圧縮方式システム線図

両システムを比較した場合下記の特徴がある。

< 一段圧縮方式 >

- ・二段圧縮方式に比較し機器の点数が削減でき初期費用が低減できる。
- ・機器の点数が少ないため装置全体をコンパクトにできる。
- ・機器の点数が少ないためメンテナンス費用が低減できる。
- ・負荷変動に対し制御機器が少ないため調整幅が狭い

< 二段圧縮方式 >

- ・一段圧縮方式に比較し機器の点数が多いため初期費用がかかる。
- ・機器の点数が多いため装置全体が大きくなる。
- ・機器の点数が多いためメンテナンス費用がかかる。
- ・負荷変動に対し制御機器が多いため調整幅が広い。
- ・COP<sup>1</sup>を比較した場合、熱力学的には二段圧縮の方が動力では低減できるが、今回の仕様においては圧力比が約2と低い事と、二段圧縮とした事により機器間の配管が増えそれに伴い圧損が増加するため総合的には一段圧縮方式とほぼ同等となる。

1 COP (Coefficient of Performance : 成績係数)

COP = 冷凍能力 / 消費電力 で表され、冷凍効率を表現する指標

上記項目を総合的に判断し、今回一段圧縮方式を採用した。本システムにおける COP を計測し理論値との比較により性能を確認する事が目的となる。

## (2) 軸受システムの検討

回転体の軸受には大きく下記の方法がある。

(イ) 接触式軸受

(ロ) 非接触式軸受

接触式軸受にはオイル軸受やセラミック軸受があるが今回冷却対象が食品であるため直接冷媒である空気をフリーザや冷凍倉庫に吹き付けるのでオイル等が空気に混入すると食品の品質にダメージを与える事になり採用できない。そこで非接触式軸受を採用した。非接触とする事によりロスが軽減され効率も向上でき、さらに消耗品がないためメンテナンスを簡易とする事ができる。

また、非接触式軸受には空気軸受や磁気軸受があるが今回の冷凍装置はデフロストを繰り返す必要があるため発停の回数が多くなる。空気軸受は発停の回数に上限があるためタービンが停止しても常に非接触で浮上しており、発停の回数に制限がない磁気軸受を採用した。

なお、今回の冷凍装置における仕様としてモータ動力 100kw、回転数 21000rpm クラスでの採用は初めてであり、信頼性の確認を行なう事が目的となる。

### (3) 除霜(デフロスト)システムの検討

図3に除霜(以下デフロスト)方式のシステム線図を示す。除霜器の空気通路にヒータを設置し通常はOFFとする。デフロスト運転時はタービンの回転数を落としヒータをONとし、除霜器に付着した霜(湿分)を溶かしドレンとしてシステム外へ排出する。なお、デフロスト運転の完了は除霜器出口温度により判定する。デフロスト運転は約1時間程度を目標としている。試験機ではデフロスト手法の確立とデフロスト時間の確認が目的となる。

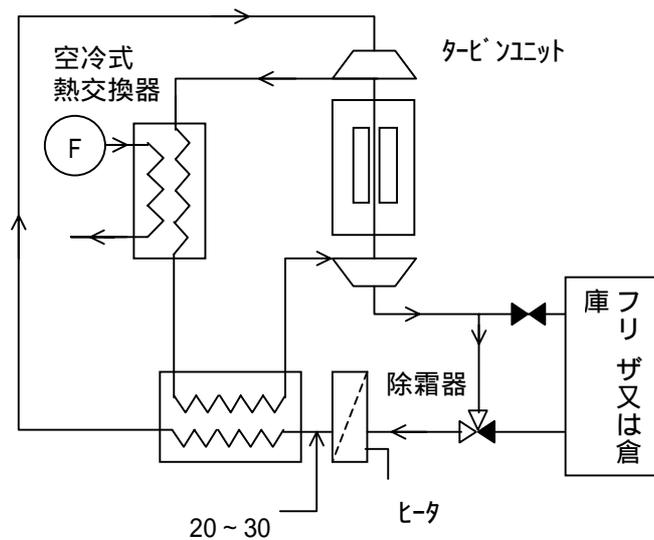


図3 デフロストシステム線図

### (4) 装置仕様

本システムにおける冷凍能力を確認するため下記仕様の冷凍装置を設計、製作した。

冷凍能力：11.5RT (44.4kw、38,180kcal/H)(吹出し温度 - 80 時)

成績係数 (COP)：0.44

冷風吹き出し温度：- 80 ~ - 115

高速モータ動力：100kw

高速モータ回転数：定格 21000rpm

なお、アプリケーションにおける熱負荷に対する熱交換用の空間として断熱材で囲われた約 35m<sup>3</sup>の箱体(以下試験用倉庫)を用意した。また、熱負荷として上記試験用倉庫内に 40kw のヒータを用意し、本空気冷媒冷凍装置運転中にヒータを ON とし熱負荷を与え試験用倉庫内の平衡温度から冷凍能力を計測、確認した。

#### (4) 試験機による試験結果

今回試験機による実証試験を行い下記結果を得た。

短時間ではあるが定格回転数約 21,000rpm に到達でき、タービン出口温度 - 90 を確認できた。

モータ出力 100kw クラスで磁気軸受を採用し短時間であるが定格回転数 21000rpm 迄運転し振動特性を把握できた。

成績係数 (COP) がほぼ設計値の 0.44 を満たせる見込みが確認できた。

高速モータを空冷式で冷却し短時間であるが定格回転数まで問題ない事を確認できた。

除霜器により冷凍装置内に進入した湿分の捕獲ができた。

デフロスト運転により除霜器の湿分を取り除き除霜器フィルターを乾燥できる事が確認できた。

今後の課題点としては、下記項目がある。

長時間の連続運転による信頼性及び耐久性の確認

負荷変動、気温変化等の変動に対する負荷制御方式の確立

自動化

### 3. 今後の予定

今後の予定を下記に示す。

- (1) 長時間連続運転による冷凍能力、軸振動、高速モータの冷却等の安定性評価。
- (2) 長時間運転による耐久性の確認
- (3) デフロスト運転の最適化及び真夏 (最大負荷) におけるデフロスト性能の確認
- (4) 負荷変動に対する制御方式の決定と自動化
- (5) 試験機結果を反映しプロト機を設計製作する。
- (6) プロト機の検証試験実施 (自動運転の信頼性検証)