

省エネルギー形ターボ冷凍機RTCシリーズ

佐藤 裕一* 徳丸 徹* 仙田 卓寛*

RTC Series Energy-saving Centrifugal Type Refrigerator

by Yuichi SATO, Toru TOKUMARU, & Takahiro SENDA

The RTC series, energy-saving centrifugal type refrigerator, includes a high-efficiency multi-stage compressor, developed for air-conditioning equipment. It features improved aerodynamic performance and minimized mechanical loss enabled by a ball bearing system. The cycle efficiency and system efficiency are also significantly improved compared to those of conventional such machines. In chilled water application, a COP (Coefficient Of Performance) of 6, an energy saving of about 25% compared to that of conventional such machines, while in ice-making application, a COP of 4.6, an energy saving of about 40% compared to the same. The following discusses development concepts, the energy-saving method, compressor features, as well as test results.

Keywords: Energy saving, Coefficient of performance (COP), Centrifugal type refrigerator, High efficiency, Multi-stage compressor, Economizer, Motor direct drive, Ball bearing, Low-pressure refrigerant

1. はじめに

近年の省エネルギー化の加速に伴い、ターボ冷凍機の市場においても大幅な高効率化が進んでいる。大形ビル空調、工場空調、地域冷暖房、プロセス冷却など、大形設備に使用されているターボ冷凍機は、省エネルギー化による環境負荷低減、ランニングコスト削減の効果が大きい。このため、冷水仕様で、従来機と比べて約25%省エネルギーを達成したRTCシリーズを開発し、市場に投入した。加えて、氷蓄熱用途、ヒートポンプ用途対応の高ヘッドシリーズを開発し、製氷仕様の実証試験で従来機に対して約40%省エネルギーになることを確認した。本報では、RTCシリーズの開発構想、省エネルギー化の手法、市場投入機の工場試験結果、高ヘッド形実証機の試験結果を報告する。

2. 開発構想

RTCシリーズは、次の構想により開発された。

外観を写真1に示す。

(1) 主力機種であるRTAシリーズの代替機としてCOP（成績係数：消費した動力に対して得られる熱量の



05-07 01/206

写真1 省エネルギー形ターボ冷凍機RTC
Photo 1 Energy-saving centrifugal type refrigerator RTC

比)6以上の省エネルギー形ターボ冷凍機を開発し、空調設備業界でのCO₂排出削減に貢献する。

(2) 冷媒はサイクル効率が最も高く、しかも、低圧冷媒のため法的規制で有利となるHCFC123とする。

(3) サイクル効率の向上、部分負荷性能の向上を図るために、多段圧縮システムを採用する。

(4) 新形マイコン盤の搭載によって運転制御、監視機能を充実させ、システムの信頼性向上に貢献する。

(5) 低振動・低騒音を目指し、環境への負荷を考慮した冷凍機とする。

* 荏原冷熱システム(株)

3. 省エネルギー化の手法

本開発の主眼である大幅な省エネルギーを図るための手法を次に示す。

- (1) サイクル効率上昇のために、HCFC123による3段圧縮2段エコマイザサイクルを採用した（冷水仕様）。
- (2) 圧縮機段空力性能向上のために、逆解法による手法で羽根車を設計した。
- (3) 機械損失大幅削減のために、玉軸受を採用した。
- (4) 電動機損失低減のために、電気設計を見直した。
- (5) システム効率向上のために、冷却システムを見直した。
- (6) サイクル効率上昇のために、高性能伝熱管を採用し、熱交換器の性能向上を図った。

表1に現在ターボ冷凍機で使用されている冷媒の理論サイクル効率の試算結果を示す。従来は単段サイクルが主流であったが、現在は効率改善のために多段サイクルが主流となっている。HCFC123は、最もサイクル効率が高く、地球温暖化係数やオゾン層破壊係数が小さいことから、総合的に最も優れた冷媒といえる。

図1に3段圧縮2段エコマイザを採用した冷水仕様のフローシートを示す。図2に同サイクルのモリエ線図を示す。

4. 高効率多段圧縮機

今回の開発は、省エネルギー化手法の(1)(2)(3)項にかかわる高効率多段圧縮機の開発が主な課題となった。圧縮機の特長は、次のとおりである。

- (1) 電動機直結駆動によりギアロスを削減した。
- (2) 電動機軸の両端で羽根車を駆動する構造でスラスト力を低減した。
- (3) オープン羽根車の採用で軸を軽量化した。
- (4) 1段目、3段目を吸込ガイドベーンで制御し、部分負荷特性の向上を図った。
- (5) 玉軸受の採用で機械損失を大幅低減した。

表2に圧縮機の構造比較を示す。RTCシリーズは、従来の単段圧縮機と比べて大幅な構造変更を行った。

圧縮機段数は、電動機直結駆動となるために、50 Hz地区の冷水仕様は3段とし、高ヘッド仕様は4段でシリーズ化した。また、60 Hz地区の冷水仕様は、2段、高ヘッド仕様は3段でシリーズ化した。玉軸受の採用によって、機械損失が大幅に低減するだけでなく、油の保有量が従来機と比べて1/4になり、保守性も向上した。図3に代表例として3段圧縮機の構造図を示す。

表1 冷媒の特性と理論サイクル効率

Table 1 Refrigerant features and theoretical cycle efficiency

冷媒 Refrigerant	HCFC123		HFC134a	
地球温暖化係数 GWP	120		1300	
オゾン破壊係数 ODP	0.02		0	
サイクル Cycle	単段 Single stage	3段圧縮 2段エコマイザ 3 stage compression 2 stage economizer	単段 Single stage	2段圧縮 1段エコマイザ +サブクール 2 stage compression 1 stage economizer +subcool
成績係数 COP	6.15	6.64	5.74	6.33

試算条件
蒸発温度 6℃、凝縮温度 38℃、圧縮機効率 80%、損失を含まず。
Assumed condition
Evaporating temperature : 6℃, Condensing temperature : 38℃
Compressor efficiency : 80%, other losses excluded

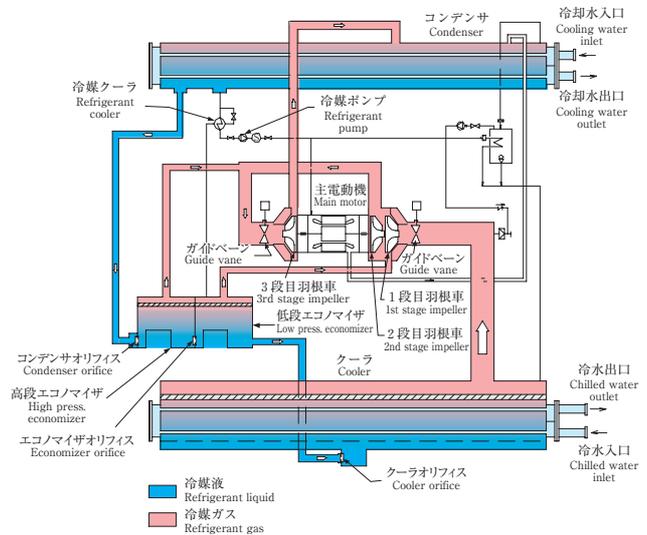


図1 3段圧縮2段エコマイザサイクルフローシート

Fig. 1 3-stage compression 2-stage economizer cycle flow sheet

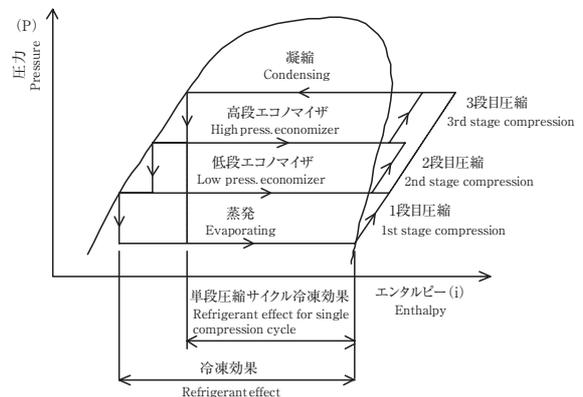


図2 2段エコマイザサイクルモリエ線図

Fig. 2 Mollier diagram of 2-stage economizer cycle

表2 圧縮機構造比較

Table 2 Comparison in compressor construction

	従来機 Conventional machine	RTCシリーズ RTC series
圧縮機構成 Compressor configuration	単段-片持羽根車 Single stage - one side overhang type impeller	2, 3, 4段-両持羽根車 2nd, 3rd, 4th stage - both side overhang type impellers
動力伝達 Power drive	ギア増速 Transmission drive	電動機直結 Motor direct drive
軸受 Bearing	すべり軸受 Journal bearing	玉軸受 Ball bearing
容量制御 Capacity control	吸込ガイドベーン Inlet guide vane	1, 3段目吸込ガイドベーン 1st and 3rd stage inlet guide vanes

表3 試験要項

Table 3 Test specifications

50 Hz For 50 Hz	冷水仕様 Chilled water application	製氷仕様 Ice making application
冷凍容量 (USRT) Refrigerant capacity [kW]	550 [1934]	435 [1529]
冷水 (ブライン) 入口 (°C) Chilled water (Brine) temperature inlet	15	-1.7
冷水 (ブライン) 出口 (°C) Chilled water (Brine) temperature outlet	7	-5
冷却水 入口 (°C) Cooling-water temperature Inlet	32	28
冷却水 出口 (°C) Cooling-water temperature outlet	37	31.5

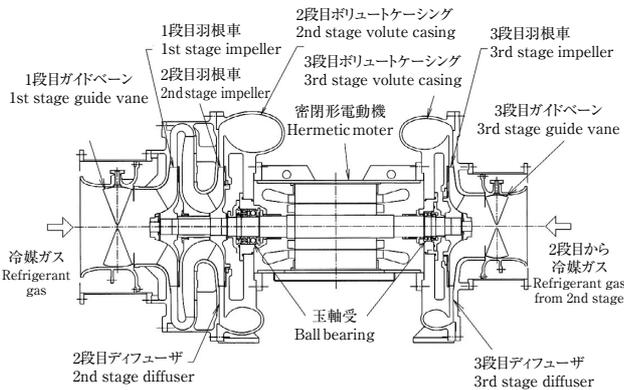


図3 3段圧縮機構造図

Fig. 3 3 stage compressor

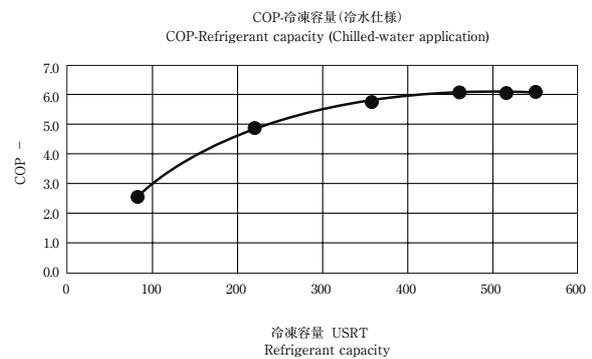


図4 冷水仕様における部分負荷性能

Fig. 4 Partial load performance for chilled-water application

5. RTCシリーズ構成

各運転条件により、最適なサイクルを検討してシリーズ化した。以下に代表的な要項を示す。

(1) 50 Hz

①冷水仕様：3段圧縮2段エコマイザサイクル
容量 (冷水出口7°C)

400~700 USRT {1407~2461 kW}

②製氷仕様：4段圧縮2段エコマイザサイクル
容量 (ブライン出口-5°C)

240~415 USRT {844~1459 kW}

(2) 60 Hz

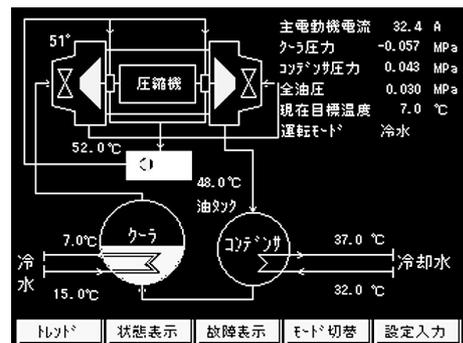
①冷水仕様：2段圧縮単段エコマイザサイクル
+サブクールシステム

容量 (冷水出口7°C)

400~800 USRT {1407~2813 kW}

②製氷仕様：3段圧縮2段エコマイザサイクル
容量 (ブライン出口-5°C)

240~425 USRT {844~1494 kW}



05-07 02/206

写真2 マイコン盤液晶表示の一例

Photo 2 Example of LCD screen

6. 試験結果

50 Hzの冷水仕様と製氷仕様の試験要項を表3に示す。冷水仕様では、試験要項の条件でCOP6.08の性能が得られた。図4に部分負荷性能を示す。

また、運転中の騒音値は、80 dB (A) 以下、振動値は5 μm程度となり、低騒音、低振動を確認した。写真2には、機能を充実させた新形マイコン盤画面の一例を示す。

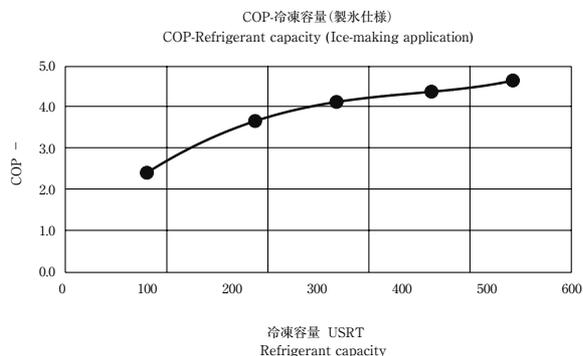


図5 製氷仕様における部分負荷性能
Fig. 5 Partial load performance for ice-making application

高ヘッド形実証機は、試験要項の条件でCOP4.6が得られ、従来機と比較して約40%の省エネルギーとなった。図5に製氷仕様における部分負荷性能を示す。

7. あとがき

最近、インバータを搭載し、部分負荷時や中間期における効率改善を図った例や、蓄熱システムの普及促進等により、ターボ冷凍機市場が活気づいている。今後も、空調負荷の増加やリニューアル物件に対応するために、更なる効率改善を図るとともに、地球環境への負荷を考慮した冷媒使用のターボ冷凍機の開発を推進し、拡販に寄与する予定である。

