

(解説)

省エネ・能力増強型高速2段スクリュ冷凍機

Energy-saving, High-speed, 2-stage Screw Refrigerator



大倉正詞*
Masashi OKURA



鈴木勝之*
Katsuyuki SUZUKI



壺井 昇*
Noboru TSUBOI



田中啓介*
Keisuke TANAKA



神吉英次*
Eiji KANKI

We have developed an energy-saving, 2-stage rotary screw refrigerator driven by a high-speed inverter. The refrigerator is based on a new concept for simultaneously saving energy and increasing capacity, in which the suction pressure and compressor speed are interrelated with each other. The newly developed equipment, compared to our conventional refrigerator, has a 40% higher cooling capacity at the evaporation temperature -40 and saves 35% of energy when at 50% part load. The newly developed refrigerators are used in various applications such as food freezing, vacuum-freeze drying and environmental testing.

まえがき = インバータを搭載した省エネ・能力増強型高速2段スクリュ冷凍機 iZ シリーズ (図1) は上市以来、食品冷凍、真空凍結乾燥、環境試験室、プロセス冷却などの用途で多く使用され、ユーザから非常に高い評価を得ている。省エネと能力増強という二つの機能を同時に達成した本機は全く新しい発想の冷凍機であり、多くの新技術を取り入れ、他社の追随を許さないオンリーワン・ナンバーワン商品である。本稿ではこれら新しい技術を紹介する。

また、オゾン層破壊係数、地球温暖化係数ゼロのアンモニア冷媒が将来冷凍機の冷媒として注目されている。そこで本稿では、iZ シリーズのインバータ制御技術である省エネ・能力増強機能とアンモニア冷媒を組合せたインバータ駆動半密閉アンモニア冷凍機についても紹介する。



図1 iZ 冷凍機ユニット
Fig. 1 Refrigeration compressor unit

1. 開発背景

昨今の地球温暖化の加速により、地球環境意識 (CO₂ 排出量削減, エネルギー使用量削減) が高まるなかで、省エネ性能の向上が強く望まれている。そこで本機を開発するにあたり、四つの商品コンセプトを決定した。

- 1) 省エネ性能の向上
- 2) 能力増強
- 3) 地球環境対応
- 4) 静音化

冷凍機は年間の約 3/4 が部分負荷運転であり、年間を通しての省エネを考えた場合、部分負荷特性の向上が重要となる。つまり冷却負荷に応じて最高効率を発揮することが省エネ性能向上につながる。

図2 は圧縮機の回転数、動力、冷凍能力と蒸発温度、圧縮機吸込圧力との関係を示したものである。2 段圧縮冷凍機では、蒸発温度 -30 ~ -60 の広い温度領域に

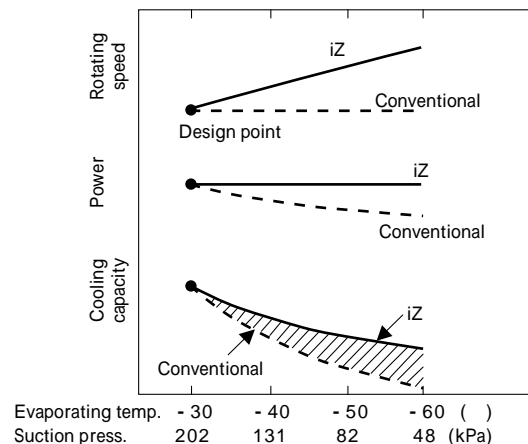


図2 iZ 冷凍機と従来機との比較
Fig. 2 Comparison between iZ and conventional machine

対応することが要求される。この時の圧縮機の吸込圧力は 202kPa から 48kPa の広い範囲で変化する。従来機は蒸発温度が低下するに従って冷凍能力は大幅に低下していた。これは、蒸発温度が低下すると圧縮機の吸込圧力が低下し、それに伴って冷媒の比容積が大きくなって冷媒循環量 (Kg/h) が減少するためである。

モータ、油回収器、コンデンサなどの主要機器の設計点は -30 であり、蒸発温度が下がるに従って機器に余力が生じていることに着目した。すなわち、蒸発温度が下がるに従って圧縮機の最高回転数を増加することにより機器能力を最大限に発揮し、冷凍能力を増強できる。本システムの技術は特許登録されている¹⁾。

2. 技術課題

省エネ性能の向上、能力増強、地球環境対応および静音化を実現するための課題を次に示す。

- 1) 高速半密閉モータ内蔵 2 段スクリュウ圧縮機の開発
 - ・ 高速 7,000rpm までの共振回避技術
 - ・ 効果的なモータ冷却技術
 - ・ 起動トルクの軽減技術
- 2) 省エネ制御技術、コントローラの開発
 - ・ 吸込圧力にリンクした回転数制御技術
 - ・ 所定温度に制御する部分負荷運転
 - ・ 2 台マルチ運転制御
 - ・ 遠隔監視機能
- 3) 地球環境対応
 - ・ オゾン破壊係数ゼロの新冷媒 R404A 対応
 - ・ オゾン破壊係数ゼロ、地球温暖化係数ゼロの自然冷媒アンモニア対応
- 4) 静音
 - ・ 吐出脈動音の低減
 - ・ モータ体格極小化
 - ・ 高速時の振動防止

3. 技術的特徴

3.1 高速半密閉モータ内蔵 2 段スクリュウ圧縮機の開発

図 3 に高速 2 段スクリュウ圧縮機の断面図を示す。モータは半密閉構造とし、1 段雄ロータにオーバハングさせた。2 段ロータは 1 段ロータとスプラインで結合し、1 段ロータから 2 段ロータへの動力伝達を行った。圧縮機への冷媒の入口はモータと 1 段ロータとの間とし、さらに

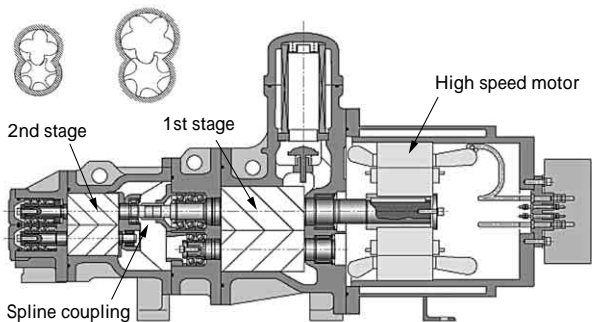


図 3 半密閉高速 2 段スクリュウ圧縮機

Fig. 3 Two-stage screw compressor integrated with high speed hermetic motor

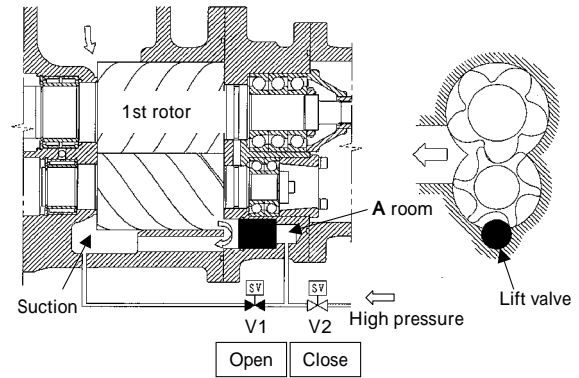


図 4 起動負荷軽減方法

Fig. 4 Method for reducing starting torque

モータはステータ外被に設けたジャケットにより冷却する構造とした²⁾。これによってモータでの発熱が圧縮機吸込みガスの過熱を防止し、吸込効率を向上させることができた。とくに蒸発温度が -30 ~ -60 という低温の場合、吸込ガスの過熱が効率に及ぼす影響は大きい。

圧縮機の歯数組合せは 1 段 5 - 6 歯数、2 段 4 - 6 歯数とした³⁾。この組合せは 7,000rpm の高速運転を可能にし、また静音化にも効果を発揮した。1 段雄ロータの歯数を 5 とすることにより、歯底径を大きく取ることができ、モータ片持ち部の軸径を太くすることが可能となった。これにより共振を回避し、7,000rpm までの高速運転を実現した。また、圧縮機の騒音は主に吐出ポート部での吐出脈動に起因する。本開発機は、1 段と 2 段の歯数組合せを変えることによって吐出脈動の周波数をずらすことができ、騒音レベルを低減した⁴⁾。

インバータ駆動による回転数制御を行うため、従来機の容量制御用スライド弁を削除することができるが、一方で圧縮機起動時にスクリュウロータ内部圧の上昇による起動負荷を軽減する必要が生じた。この技術課題に対し、簡単な構造で効果的に起動負荷を軽減できる方法を考案した⁵⁾。

図 4 にその構造を示す。1 段側スクリュウロータの吐出端面にリフト弁を設置した。A 室と圧縮機吸込部とを導通するラインに電磁弁 V1 を、A 室と圧縮機吐出部とを導通するラインに電磁弁 V2 を配置し、起動時は V1 を開、V2 を閉として A 室の圧力を圧縮機吸込圧力とする。この時、圧縮機内部圧が上昇するとリフト弁は自動的に右側に移動して開いた状態となり、内部圧が吸込側に漏れ返ることによって内部圧の上昇が防止できる。通常運転時は V1 を閉、V2 を開とし、A 室に圧縮機吐出圧を導入し、リフト弁を吐出端面まで移動、固定できる。本機構は自前の圧縮機吸込圧および吐出圧を活用するため、非常に簡単な構造で起動負荷を軽減することができた。

3.2 省エネ制御技術、コントローラの開発

図 5 に省エネと能力増強の考え方を示す。蒸発温度 -30 で標準回転数を設定し、図のように蒸発温度が低下するに従って圧縮機最高回転数が増加するようにコントローラで設定する。実際の運転においては、最高回転数ラインを通して所定の温度まで最速で到達する。所定温度に達した後は負荷に応じてインバータ回転数制御を

行って目標温度に制御し、冷やしすぎなどのロスを防止する。2段圧縮冷凍機は、蒸発温度 -30 ~ -60 という広い温度範囲に応じて最高回転数を変化させるという考え方であり、冷却温度領域が狭い空調などに見られるインバータ機とはこの点で大きく異なる。

図6にこの仕組みを示す。TIC(温度調節計)は温度センサより蒸発器内温度を取込み、目標温度と比較して冷凍機容量をコントローラに出力する。コントローラは圧縮機吸込圧力を検出し、吸込圧力が低下するに従い運転可能な最高回転数を増加させる。一方、TICからの冷凍機容量指令が100%の場合、吸込圧力の低下に伴い圧縮機の回転数が増速する。このように圧縮機は動力一定に制御され、オーバロードさせることなく冷凍能力の大幅アップを実現した。

図7に本機の冷凍サイクルを示す。部分負荷運転時、従来機ではスライド弁によって1段階側のみ容量制御していた。そのため中間圧力が吸込圧力近くまで低下し、エコマイザの効果が減少していた。本機ではインバータによる回転数制御を行うため、部分負荷運転中でも最適な中間圧力をキープすることによってエコマイザの効果を発揮させることができる。すなわち、エンタルピー(i3-i4)がエコマイザによる冷凍能力の増加となる。従来機の冷凍能力が(i1-i3)に対し、本機では冷凍能力が(i1-i5)となる。ここで、iはエンタルピー、数値1~5は冷凍サイクル上での状態(1:圧縮機吸込, 2:圧縮

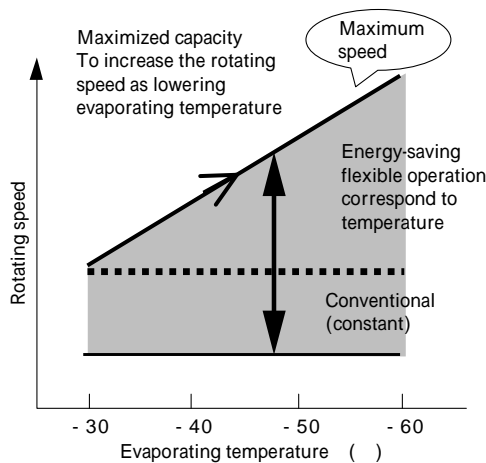


図5 省エネ・能力増強冷凍機技術

Fig. 5 New concept of energy-saving to maximize cooling capacity

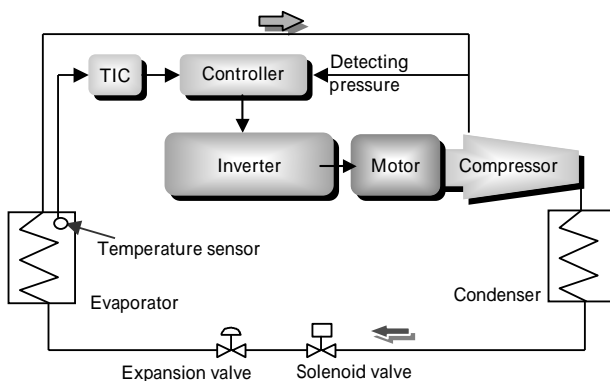


図6 省エネ・能力増強冷凍機の仕組み

Fig. 6 Mechanism of energy-saving compressor

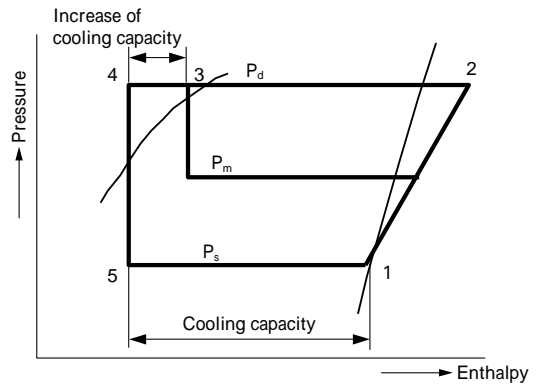


図7 エコマイザ効果の活用

Fig. 7 Effect of economizer

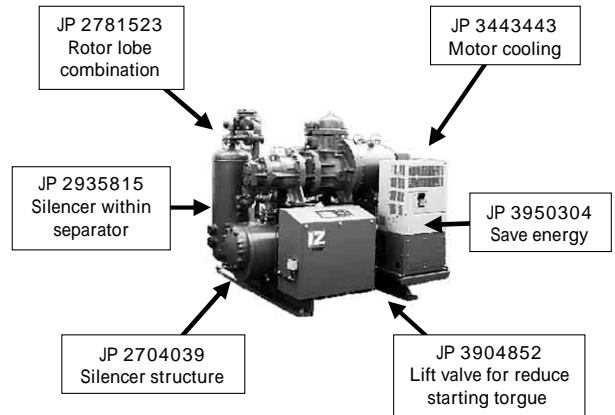


図8 iZ 冷凍機特許群

Fig. 8 Patents related to refrigeration compressor unit

機吐出, 3: コンデンサ出口, 4: エコマイザ出口, 5: 蒸発器入口)を示す。また図7中のPsは圧縮機の吸込圧力, Pmは中間圧力, Pdは吐出圧力を示す。

図8に本機に使用している特許群を示す。本機の開発にあたって考案した技術の特許出願し、権利化することによって他社の追従を許さない高い商品力を持つ冷凍機とした。

4. 効果

図9は本開発機と従来機との部分負荷運転時における冷凍能力比と消費電力比を示す。従来機に比べ50%負荷時で35%の省エネ, 70%負荷時で17%の省エネを達成した。これは先に述べたように、従来機では容量調整機構が低段側だけに負荷されており、部分負荷時には中間圧力が下がりすぎ、高段側の効率が悪くなる。それに比べ本機の容量調整は、インバータによる回転数制御により行うため、部分負荷時においても中間圧力は変化しない。このため1段階側と2段階側の圧縮比が最適に保たれる。つまり最適な冷凍サイクルを維持したまま部分負荷運転が可能となる。この省エネ性能の向上は、ユーザのランニングコスト削減, およびそれによるCO₂排出量削減に寄与する。

図10に本開発機と従来機の冷凍能力を示す。蒸発温度が下がるに従ってインバータにより最高回転数を増加させた効果により、従来機よりも50Hz地区では49%, 60Hz地区では23%の能力増強を達成した。この能力増

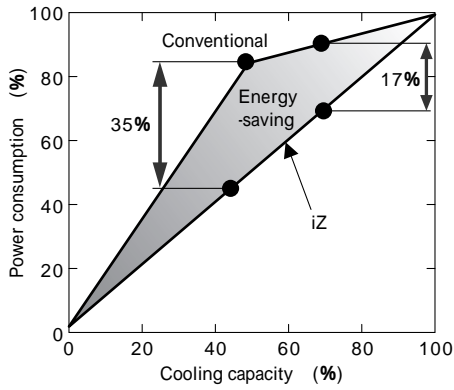


図9 省エネ性能比較
Fig. 9 Comparison of power

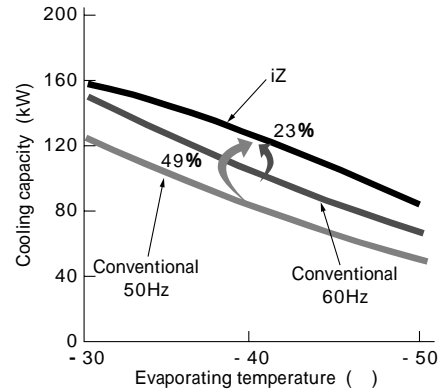


図10 冷凍能力比較
Fig.10 Comparison of cooling capacity

表1 iZ 冷凍機と従来機との性能・環境対応比較
Table 1 Comparison of performance between iZ and conventional machine

		Conventional SH series	iZ series	Comparison	Remarks
Cooling capacity (kW)	50Hz	83.9	124.7	49% increase	Comparison of 75kW motor CT/ET = 40/ - 40
	60Hz	100.8	124.7	23% increase	
Part load power (%)	50% load	85	50	Improved by 35%	
	70% load	87	70	Improved by 17%	
Environment	Refrigerant	HCFC R22 refrigerant	HFC R404A refrigerant	Zero ozone depletion coefficient	R22 regulated from 2004
	Low noise	-	Lower by 3 to 6dB than the conventionals (top in the class)		
	Safety	-	Remote observation, communication function	Foreseeing trend of operating conditions, sensing the advance warning	

強により、条件によっては既設機よりワンランク小さな機種を選択できることから、ユーザのイニシャルコスト削減につながる。また能力増強による急速冷凍により、冷却対象物の品質の向上にも寄与する。

また、本開発機には地球環境に優しいオゾン破壊係数ゼロの R404A 冷媒を採用した。静音性能も従来機より 3 ~ 6dB の静音化を達成した。

さらに、本機のコントローラでは運転状態を常時モニタリングしており、運転状態のトレンドを予測して異常を事前にキャッチできるように安全性にも配慮した機械となっている。また本コントローラは通信機能を有しており、遠隔監視が可能となっている。

表1に本機と当社従来機との性能、環境対応の対比表を示す。本機は省エネ性能の向上、能力増強、地球環境対応および静音化の強化により従来機に対して優位性を有している。さらに、これらを構成する技術の特許権利化することにより、他社の追随を許さない省エネ冷凍機が開発できたと考えている。

現在、地球温暖化防止と環境保全を背景に、地球温暖化係数ゼロ、オゾン破壊係数ゼロの自然冷媒アンモニアが注目されている。アンモニア冷媒は環境負荷が小さい一方で毒性や可燃性が問題となる。図11にインバータ駆動半密閉アンモニア圧縮機を示す。従来機はメカニカルシールが配置されており、アンモニア冷媒の漏れが問題となっていた。アンモニア冷媒が外部に漏れないようにするためには半密閉構造にする必要がある。iZのインバータ技術を活用し、さらに地球環境に優しい冷凍機にすべく開発中である。

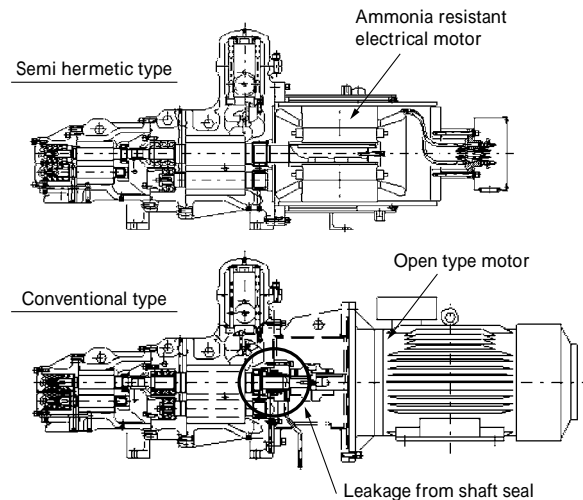


図11 半密閉冷凍機
Fig.11 Comparison of semi-hermetic type and conventional type refrigerators

むすび=本機はユーザから非常に高い評価を得ている。また公的機関から平成15年度の日本機械工業連合会会長賞、および平成16年度の日本冷凍空調学会技術賞を受賞した。当社は今後、アンモニア冷媒を使用したインバータ駆動半密閉冷凍機の開発に取り組む、地球環境保全に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 特許：第 3950304 号 .
- 2) 特許：第 3443443 号 .
- 3) 特許：第 2781523 号 .
- 4) 特許：第 2704039 号 .
- 5) 特許：第 3904852 号 .