

(解説)

## 省エネ・能力増強型高速2段スクリュ冷凍機

### Energy Efficient High Speed 2-stage Screw Refrigerators



壺井 昇\*  
Noboru Tsuboi



田中啓介\*\*  
Keisuke Tanaka



神吉英次\*\*  
Eiji Kanki

Kobe Steel has developed a new line of energy efficient 2-stage rotary screw refrigerators driven by high-speed inverter control. By adopting a new control method of linking the compressor speed to the compressor suction pressure many significant improvements were achieved. For example, 40% more cooling capacity was generated at an evaporating temperature of  $-40^{\circ}\text{C}$ , and energy savings of 35% were achieved at partial load of 50%, compared to conventional refrigerators. This machine can be used for a wide range of evaporating temperatures from  $-30^{\circ}\text{C}$  to  $-60^{\circ}\text{C}$  and for applications food freezing, freeze-drying, environmental test rooms, process cooling, etc.

まえがき = 2 段圧縮冷凍機は、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において蒸発温度  $-30^{\circ}\text{C} \sim -60^{\circ}\text{C}$  の広い温度範囲で使用され、近年要求温度は低温化傾向にある。また、同一冷凍機でこの広い温度領域に対応することが要求され、このときの圧縮機の吸込圧力は 202kPa から 48kPa の広い範囲で変化する。

従来のスクリュ冷凍機は圧縮機の回転数が一定であるため、蒸発温度が下がるにしたがって冷凍能力も大幅に低下していた。また、50% 部分負荷時に消費電力は 85% までしか下がらず、部分負荷特性の性能改善の要求が強かった。そこでこれらの課題を克服するため、世界初の省エネ・能力増強型高速 2 段スクリュ冷凍機「iZ シリーズ」を開発し、商品化した(写真 1)。

本機には、オゾン層破壊係数ゼロの R404A 冷媒対応を実施し、また多くの新技術を取入れてこのクラストップの静音化を達成した。本稿では、新しい技術を中心に紹介する。

#### 1. 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など、冷凍機に対する要求はますます強くなっている。これら 4 つの要求を実現するための課題を以下に示す。

- 1) 高速半密閉モータ内蔵 2 段スクリュ圧縮機の開発
  - ・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



写真 1 iZ 冷凍機ユニット  
Photo 1 Refrigeration compressor unit

#### 3) 地球環境対応

- ・オゾン破壊係数ゼロの新冷媒 R404A 対応

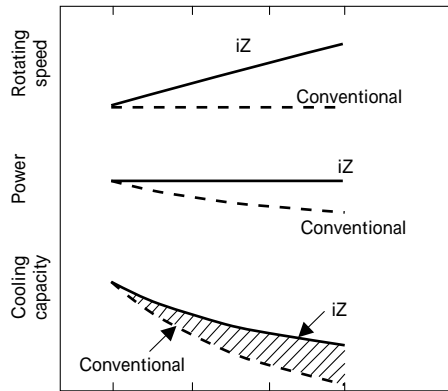
#### 4) 静音

- ・吐出脈動音の低減
- ・モータ体格極小化と高速時の振動防止

#### 2. 技術的特徴

図 1 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連を示したものである。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り、冷媒循環量(kg/h)が減少するためである。一方、モータ、油回収器、コンデンサなどの主要機器の設計点は  $-30^{\circ}\text{C}$  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

\*コベルコ・コンプレッサ機 \*\*機械エンジニアリングカンパニー 圧縮機事業部 汎用圧縮機工場



Evaporating temp. ( °C ) - 30 - 40 - 50 - 60  
 Suction press. ( kPa ) 202 131 82 48

図1 iZ と従来機との比較

Fig. 1 Comparison between iZ and conventional machine

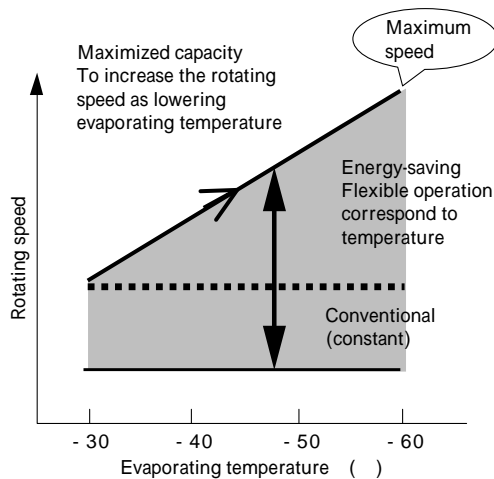


図2 省エネ・能力増強冷凍機のしくみ

Fig. 2 New concept of energy-saving to maximize cooling capacity

ステムは現在特許申請中である<sup>1)</sup>。

図2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過し所定の温度まで最速で到達し、所定の温度に達した後は、負荷に応じてインバータ回転数制御を行い目標温度に制御し、冷やしすぎなどのロスを防ぎます。本機は、蒸発温度 -30 ~ -60 という広い温度範囲に応じ、最高回転数を変化させるといった考え方であり、この点で冷却温度領域が狭い空調などに見られるイ

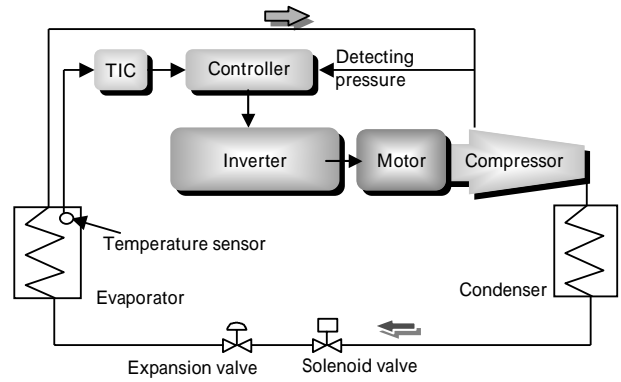


図3 省エネ・能力増強冷凍機のしくみ

Fig. 3 Mechanism of energy-saving compressor

ンバータ機と大きく異なる。

図3にこのしくみを示す。TIC (温度調節計) は温度センサより蒸発器内温度を取込み、目標温度と比較し冷凍機容量をコントローラに出力する。一方、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伴い運転可能な最高回転数を増加させる。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加する。

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。この能力増強、省エネ冷凍機を達成するためのキーとなる技術は、高速2段スクリュウ圧縮機の開発とコントローラの開発であった。

図4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、更に、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。これにより、モータでの発熱が圧縮機吸込ガスの過熱を防止し、吸込効率が向上する。特に蒸発温度が -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。

圧縮機の歯数組合わせは1段5 - 6歯数、2段4 - 6歯数とした。この組合わせは7,000rpmの高速運転を可能にし、また静音化にも効果を発揮する。1段雄ロータの歯数を5とすることにより、歯底径を大きく採ること

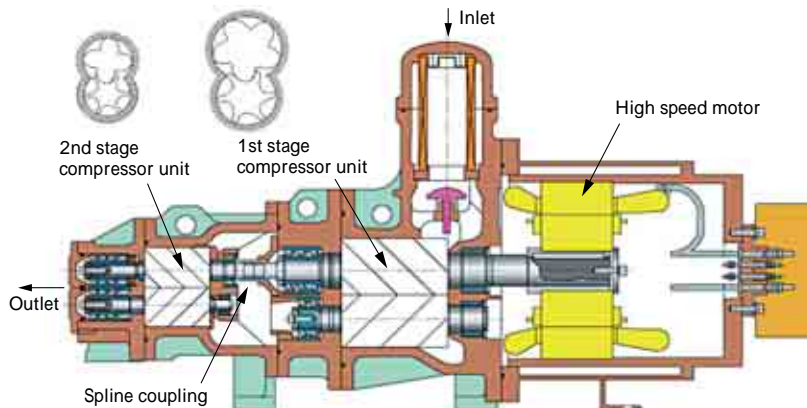


図4 半密閉高速2段スクリュウ圧縮機

Fig. 4 Two-stage screw compressor integrated with high speed hermetic motor

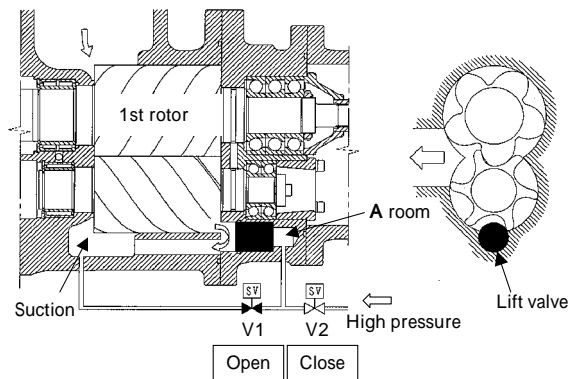


図5 起動負荷軽減方法  
Fig. 5 Method for starting torque reduction

ができ、モータ片持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り吐出脈動の周波数をずらすことができ、騒音レベルを従来機より 3 ~ 6dB 低減した<sup>2)</sup>。

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ロ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て、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。本方法は特許申請中である<sup>3)</sup>。

図 5 にその構造を示す。1 段側スクロ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 A 室の圧力を圧縮機吸込圧力とする。このとき、圧縮機内部圧が上昇すると自動的にリフト弁は右側に移動し、リフト弁は開いた状態となり、内部圧が吸込側に漏返り、内部圧の上昇を防止できる。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して固定できる。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できた。これにより、インバータによるスムーズな起動が可能となった。

### 3. 効果

図 6 に、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、従来機の容量調整機構が低段側のみに負荷されており、部分負荷運転時には中間圧力が下がらず、高段側の効率が悪くなるのに比べ、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 段側と 2 段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。

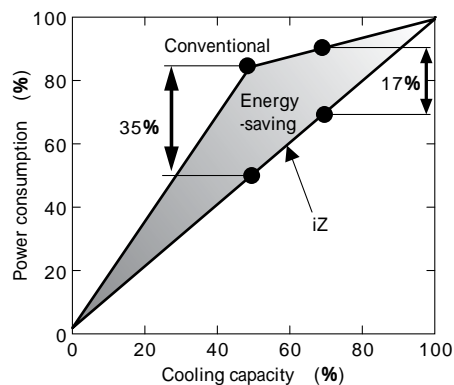


図6 省エネ性能比較  
Fig. 6 Comparison of power consumption

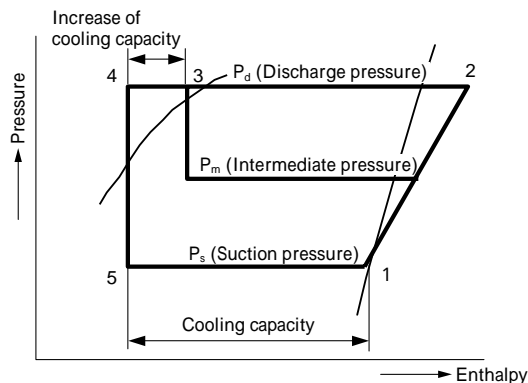


図7 エコノマイザ効果の活用  
Fig. 7 Effect of economizer

図 7 はこの省エネ運転が可能となる冷凍サイクルを示し、部分負荷時でもエコノマイザ効果を発揮させることができる。すなわち、エンタルピ ( $i_3 - i_4$ ) がエコノ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 ( $i_1 - i_3$ ) に対し、本機では冷凍能力が ( $i_1 - i_5$ ) となる。ここで、 $P_s$  は圧縮機の吸込圧力、 $P_m$  は中間圧力、 $P_d$  は吐出圧を示す。また数値 1 ~ 5 は冷凍サイクル上での下記状態を示す。1: 圧縮機吸込, 2: 圧縮機吐出, 3: コンデンサ出口, 4: エコノマイザ出口, 5: 蒸発器入口である。

表 1 に本機と従来機との性能、環境の対比表を示す。部分負荷時の省エネ効果に加え、冷凍能力に関して 50Hz 地区では 49%、60Hz 地区では 23% の能力増強を達成した。これは、圧縮機の蒸発温度が低下す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である。

また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。静音性能についても、従来機より 3 ~ 6dB の静音化を達成した。更に遠隔監視、通信機能を持ち、運転状態のトレンドを予知し、異常を事前にキャッチできるように安全性についても配慮した機械となっている。

地球温暖化防止と環境保全を背景に、自然冷媒であるアンモニア冷媒への転換が注目されている。当社は、先に述べた省エネ、能力増強の特徴をそのまま持ったアンモニア冷媒を使用したインバータ冷凍機も開発した。メカニカルシール部からのガス・油洩れのないように配慮した機械としている。

表 1 iZ と従来機との性能・環境比較

Table 1 Comparison of performance between iZ and conventional machine

		Conventional	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	Environment-friendly	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 the trend of operating conditions, sensing the advance warning	

むすび = 本機は、食品製造業のフリーザ装置、冷蔵庫、環境試験室さらに真空凍結乾燥装置で多く使用され、顧客から非常に高い評価を得ている。また公的機関からの表彰として、平成 15 年度日本機械工業連合会会長賞、平成 16 年度日本冷凍空調学会技術賞を受賞した。

今後も、省エネ冷凍機の開発、地球環境保護に貢献す

る製品の開発に努力していく所存である。

参 考 文 献

- 1 ) 公開特許：2002 - 081391.
- 2 ) 特許：第 2781523号 .
- 3 ) 公開特許：2003 - 003976.