

日本冷凍空調学会賞 技術賞

## 低速給油機構を搭載した高効率冷蔵庫用圧縮機

High Efficiency Reciprocating Compressor with Low-speed Oil Pump for Refrigerator

### 1. はじめに

冷蔵庫などの冷凍空調機器では、全体の消費電力量のうち80%以上が圧縮機にて消費されている。圧縮機は冷凍サイクル内の冷媒を圧縮し循環させる主要機器であり、高効率化が強く求められている。

当社（㈱日立製作所）は、日立アプライアンス㈱と共同で、低速運転が可能な高効率冷蔵庫用圧縮機を開発した。本稿ではその技術内容について紹介する。

### 2. 冷蔵庫の冷凍サイクルの概要

図1に冷蔵庫の冷凍サイクルの概要を示す。冷凍サイクルでは、圧縮機により圧送された冷媒が、その質量流量に応じた熱量を冷却器にて熱交換しており、近年の国内冷蔵庫では必要な冷凍能力に応じて圧縮機運転速度を変化させるインバータ制御を行う場合が多い。

必要な冷凍能力は、冷蔵庫の断熱性能や使用状況によって都度変化するが、近年の国内冷蔵庫は真空断熱材の採用によって断熱性能が向上している。そのため、必要な冷凍能力の低下に伴って、圧縮機が冷却器に圧送すべき冷媒の質量流量も少なくなってきた。こうした状況下において、冷蔵庫内の冷え過ぎ防止のための手法として、圧縮機の「断続運転」と「低速運転」が挙げられる。

圧縮機の「断続運転」とは、冷蔵庫内が所定の温度まで低下すると、圧縮機運転を停止し、冷蔵庫内の温度が所定の温度にまで上昇すると、再度圧縮機を運転する手法である。この手法は、運転時における圧縮機の冷凍能力が、冷蔵庫内の冷却に必要とされる冷凍能力よりも高

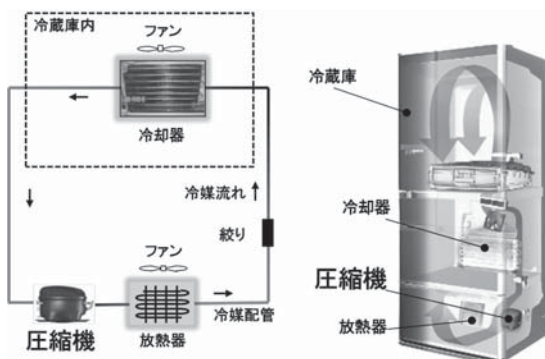


図1 冷蔵庫に用いる冷凍サイクルの概略図



永田修平\* 香曾我部弘勝\* 長尾智大\*\* 加納獎一\*\*  
Shuhei NAGATA Hirokatsu KOSOKABE Tomohiro NAGAO Masakazu KANOU

い場合に適用される。一方、圧縮機の「低速運転」では運転時における圧縮機の冷凍能力が、冷蔵庫内の冷却に必要とされる冷凍能力と同等の場合に適用され、圧縮機は連続運転状態となる。一般的に圧縮機の起動と停止を繰り返す「断続運転」は、連続運転状態である「低速運転」よりも必要とする消費電力は大きい。これは冷凍サイクルを構成する配管内の冷媒の圧力および温度分布が、圧縮機が停止すると初期状態に戻ろうとする（圧縮機運転状態から乖離する）ためであり、圧縮機が再度起動するたびに、冷凍サイクル内の冷媒の状態を作り直す必要があるためである。そこで当社は、冷蔵庫の消費電力量削減のために以下に示す技術を開発した。

### 3. 新規開発技術

#### 3.1 圧縮機の低速運転技術

圧縮機の低速運転化を実現するために、「低速給油機構」を開発した。図2に給油機構の概要図を示す。圧縮機の低速運転化は、摺動部の潤滑が課題となる。従来の給油機構として、クランクシャフトの回転運動を利用した「遠心ポンプ機構」がある。遠心ポンプ機構は、中ぐりを有するクランクシャフトの片端が潤滑油に浸った形状を持ったものである。クランクシャフトが回転すると、中ぐり内の潤滑油面が遠心力によって回転放物面となり、潤滑油面の最大高さが上昇する。この揚程能力を摺動部への給油に利用する。遠心ポンプ機構における給油能力はクランクシャフトの回転速度に依存し、回転速度が低速化すると急激に給油能力が低下する。摺動部へ

\* ㈱日立製作所 研究開発グループ

Hitachi, Ltd., Research & Development Group

\*\* 日立アプライアンス㈱

Hitachi Appliances, Inc.

原稿受理 2019年1月29日

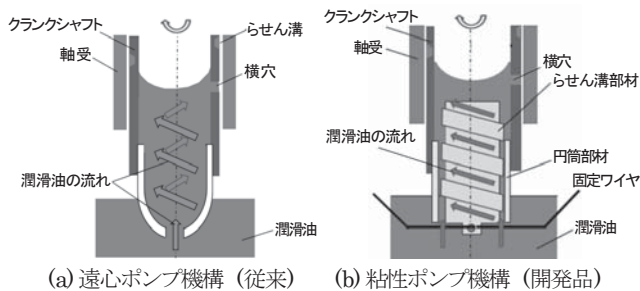


図2 給油機構の概略図

の給油量が低下すると、摩擦損失増大や信頼性低下が懸念される事態となるため、圧縮機の運転速度は給油機構の給油能力によって下限制約を持つ。当社従来技術では遠心ポンプ機構により、圧縮機の最低可能運転速度  $950 \text{ min}^{-1}$  を実現していた。

しかしながら真空断熱材を利用した冷蔵庫では、運転速度  $950 \text{ min}^{-1}$  においても圧縮機の「断続運転」が発生していた。断続運転を少なくすると同時に、急速冷凍などの冷蔵庫の高負荷運転にも対応可能とするためには、圧縮機の運転可能範囲のワイドレンジ化、すなわち圧縮機の運転可能範囲の下限をより低速側にシフトすることが、技術上の課題となる。

そこで当社では新たな給油構造として「粘性ポンプ機構」を開発した。この新しいポンプ機構は、中ぐりを有するクランクシャフトと、その下端に圧入固定された円筒部材、そしてこの円筒部材にすきまばめ状態で挿入されるらせん溝部材で構成されており、らせん溝部材は圧縮機運転時に回転しないよう、固定ワイヤにて固定されている。圧縮機が運転すると、らせん溝部材の溝内の潤滑油が、回転する円筒部材やクランクシャフト内径側壁面に引きずられて溝内を上昇する。この揚程能力を摺動部への給油に利用している。この給油構造の揚程能力はらせん溝の形状のほかに、潤滑油粘度の影響を受ける。潤滑油の粘度は圧縮機の運転状況に応じて変化する潤滑油温度や冷媒圧力に依存する。そこで本開発では、種々の運転状況において確実に摺動部に給油することができるよう、給油構造のロバスト設計を行った。

また粘性ポンプ機構では、静止しているらせん溝部材と回転壁面との間隙寸法も、揚程能力に大きな影響を与える。間隙が大きいと、間隙から潤滑油が下方に落下することで揚程能力は低いものとなるが、間隙が小さいとらせん溝部材と回転壁面との摩擦が大きくなり、圧縮機の消費電力量が増加する。こうしたトレードオフの課題に対して、開発仕様では間隙を均一にせず、下方が狭く上方が広い構造とすることで解決した。らせん溝部材下方では円筒部材との間隙を狭くすることで潤滑油の落下を防ぎ、らせん溝部材上方ではクランクシャフトとの間隙を広くすることで、摩擦を抑えている。

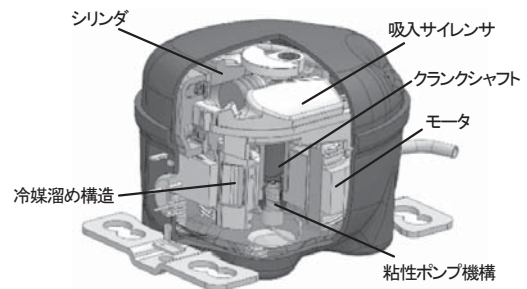


図3 開発した圧縮機の斜視断面図

以上の技術により、開発した「粘性ポンプ機構」を搭載した圧縮機は、低速運転速度  $800 \text{ min}^{-1}$  (当社従来機種比  $-150 \text{ min}^{-1}$ ) を実現している。

### 3.2 圧縮機の高効率化技術

開発した圧縮機は図3に示すように、冷媒流路である吸入サイレンサに、新規構造である「冷媒溜め構造」を採用し、熱流体損失を低減している。

冷蔵庫用圧縮機として一般的に採用されている低压チャンバ方式では、熱交換器(冷却器)から戻る冷媒ガスは吸入パイプを通じて、圧縮機チャンバ内に入る。圧縮機は吸入サイレンサを通じてシリンダ内に冷媒を吸入するが、このとき冷媒は周囲の構造体などから受熱するため、シリンダ内に実際に吸入される冷媒温度は、吸入パイプを通じて圧縮機チャンバ内に入る冷媒温度よりも高くなっている。また、吸入サイレンサ入口部と、圧縮機チャンバに接続している吸入パイプとは間隙があるため、吸入サイレンサに吸入される冷媒は、吸入パイプから流入する低温冷媒と圧縮機チャンバ内の高温冷媒の混合ガスとなる。こうした吸入冷媒温度の上昇は、圧縮機の吐出冷媒質量流量の低下につながり、圧縮機効率の低下要因となるため、吸入サイレンサ入口部における低温冷媒と高温冷媒の混合を抑制することが、圧縮機効率の向上につながる。

新構造である「冷媒溜め構造」を入口部に搭載した吸入サイレンサは、吸入パイプから圧縮機チャンバ内に流入した低温冷媒を、周囲の高温冷媒との混合を抑制しつつ、効率よく吸入することができるよう、熱流体解析技術を活用して開発した。さらに開発した圧縮機は、低粘度油採用などの摩擦損失低減技術によって、圧縮機効率を従来圧縮機(2014年度量産品)に比して約1.2%向上した。

## 4. おわりに

開発した圧縮機は従来圧縮機(2014年度量産品)に比して、運転速度下限値を  $950 \text{ min}^{-1}$  から  $800 \text{ min}^{-1}$  に低速化し、圧縮機の断続運転が低減、周囲温度  $15^\circ\text{C}$  条件における圧縮機の運転率が約6%向上した。こうした低速運転技術と圧縮機の高効率化技術によって、合計  $2.6 \text{ kWh/年}$  の省エネ効果を実現することができた。