

16HPビル用マルチエアコン向けスクロール圧縮機

長岡文一*
若ヶ原将史*

Scroll Compressor for 16HP Variable Refrigerant Flow System

Fumikazu Nagaoka, Masashi Myogahara

要旨

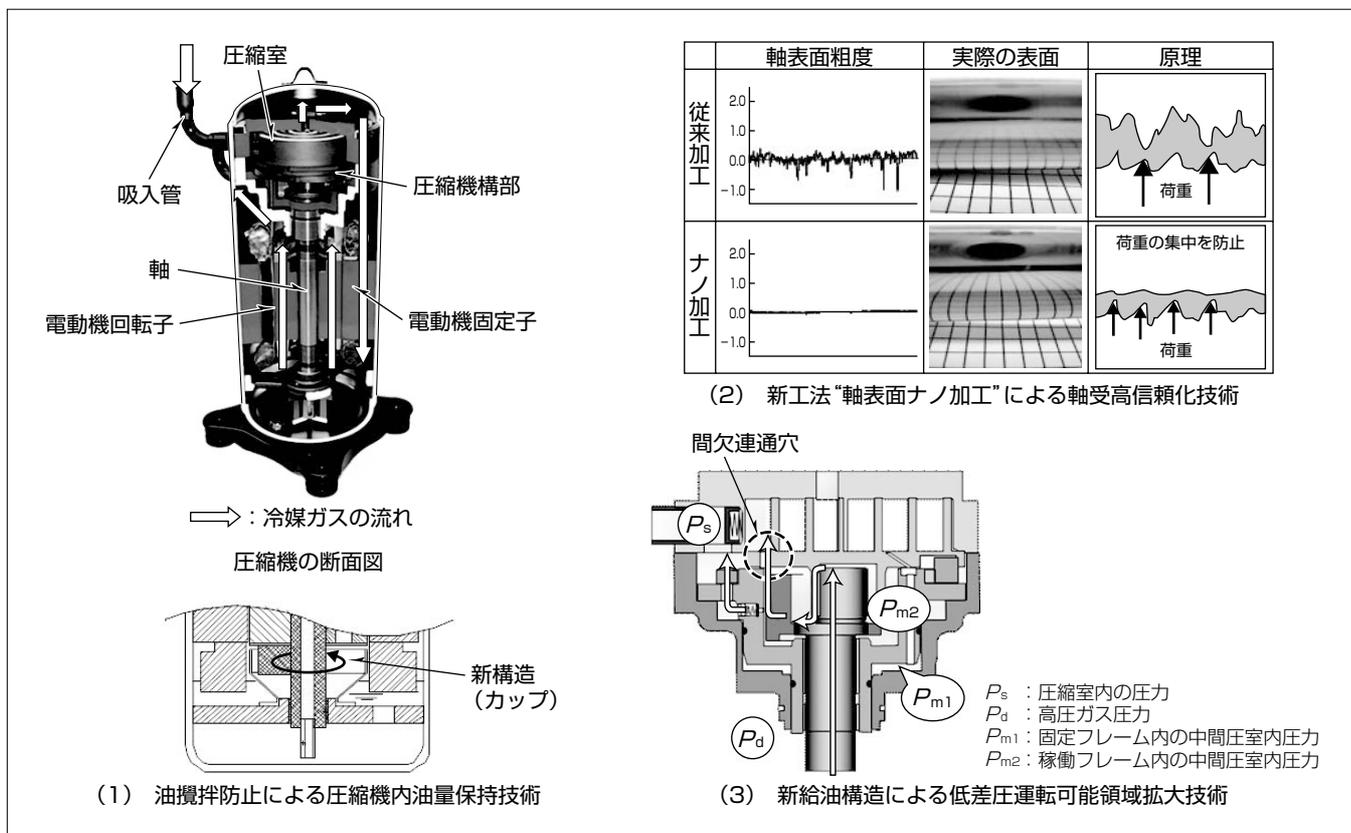
一般的な12HP(Horse Power)以上のビル用マルチエアコン(VRF(Variable Refrigerant Flow)システム)では、能力確保や性能確保のため、複数の圧縮機を並列使用している。しかし、複数の圧縮機の並列使用は各圧縮機内の保持油量管理が難しく、コスト抑制も困難であった。

今回、三菱電機は圧縮機の行程容積を約50%拡大し、1台で16HPまでのVRFシステムに対応可能な圧縮機を開発した。

圧縮機の行程容積拡大に対しては、次の課題があった。

- (1) 大型のVRF冷凍回路に対する十分な圧縮機内の油量保持
 - (2) 圧縮機の行程容積拡大に伴う軸作用荷重の増大
 - (3) 低負荷から高負荷までの広い運転可能領域の確保
- これらの課題に対して、次の新技術を導入することで圧縮機の行程容積拡大を実現した。

- (1) 油攪拌(かくはん)防止による圧縮機内の油量保持技術
- (2) 新工法“軸表面ナノ加工”による軸受高信頼化技術
- (3) 新給油構造による低差圧運転可能領域拡大技術



圧縮機の断面図と適用した新技術

圧縮機の行程容積拡大のために、(1)油攪拌防止による圧縮機内の油量保持技術、(2)新工法“軸表面ナノ加工”による軸受高信頼化技術、(3)新給油構造による低差圧運転可能領域拡大技術を適用した。

1. ま え が き

一般的な12HP以上のVRFシステムでは、能力確保や性能確保のため、複数の圧縮機を並列使用している。しかし、複数の圧縮機の並列使用は各圧縮機内の油量管理が難しく、コスト抑制も困難であった。そこで、圧縮機の行程容積を約50%拡大し、1台で16HPまでのVRFシステムに対応可能な圧縮機を開発した。

大型の冷凍回路を持つVRFシステムに対する課題、及び、圧縮機の行程容積拡大に対する課題は次のとおりである。

- (1) 大型のVRF冷凍回路に対して十分な圧縮機内の油量保持
- (2) 圧縮機の行程容積拡大に伴う軸作用荷重の増大
- (3) 低負荷から高負荷までの広い運転可能領域の確保

これらの課題に対して、次の新技術を導入することによって圧縮機の行程容積拡大を実現した。

- (1) 油攪拌防止による圧縮機内の油量保持技術
- (2) 新工法“軸表面ナノ加工”による軸受高信頼化技術
- (3) 新給油構造による低差圧運転可能領域拡大技術

本稿では、これらの新技術について述べる。

2. 圧縮機内の油量保持技術

2.1 圧縮機内の冷媒ガスの流れ

図1に圧縮機の断面図を示す。圧縮機内には、圧縮機構部、電動機固定子が固定されており、電動機回転子が電動機固定子に対して隙間を確保するように軸に固定されている。冷媒ガスは吸入管から流入し、圧縮機構部で圧縮され、吐出口から吐き出される。高圧となった冷媒ガスと油の混合ミストは圧縮機底部に流れ、この過程で冷媒ガスと油は分離される。分離された冷媒ガスは、電動機回転子内に設けられた通気孔を通して上昇し、吐出管から圧縮機外部に吐き出される。

2.2 油量保持構造

先に述べたとおり、VRFシステムの冷凍回路は非常に大型となるため、圧縮機内の油量を十分に保持することが

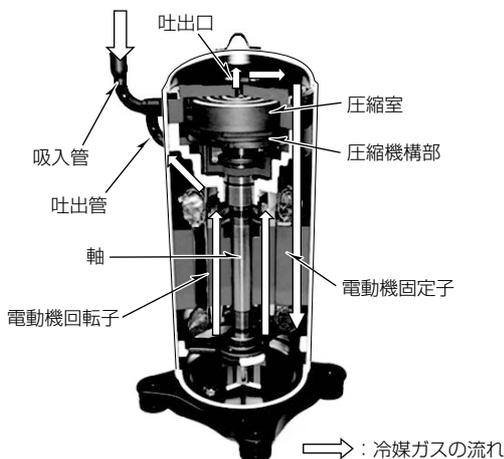


図1. 圧縮機の断面図

重要である。図2に、電動機回転子の下部の構造を示す。従来構造(図2(a))では、電動機回転子の下部に取り付けられたバランスウェイトが回転することによって、圧縮機底部の油を攪拌する流れが発生する。この攪拌作用によって、冷媒ガスと油の分離効果が阻害される。これに対して新構造(図2(b))では、電動機回転子の下部に位置するフレームにカップを設けてバランスウェイトを覆うことによって、バランスウェイトによる攪拌を防止し、冷凍回路内の油循環率を低減し、圧縮機内の油量保持を可能にした。

冷媒ガスと油の流動解析による圧縮機内の流動解析結果を図3に示す。従来構造(図3(a))では、圧縮機底部で、バランスウェイトの回転によって流体が攪拌される流れの発

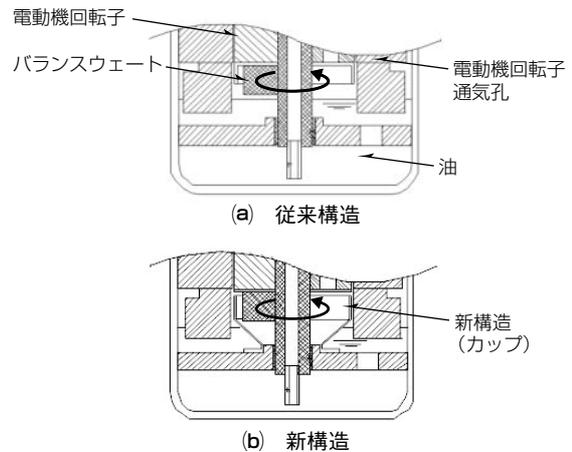


図2. 電動機回転子の下部

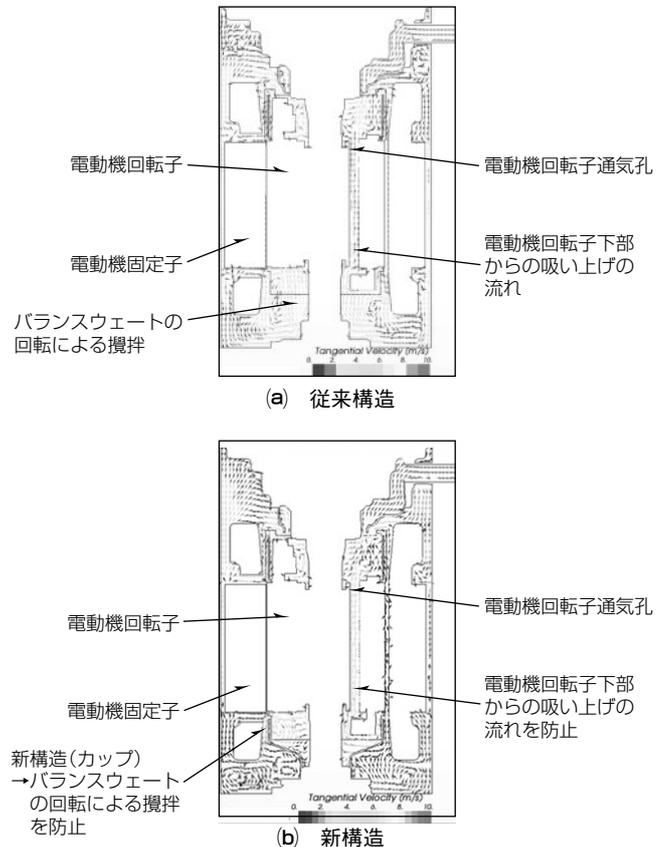


図3. 圧縮機内の流動解析結果

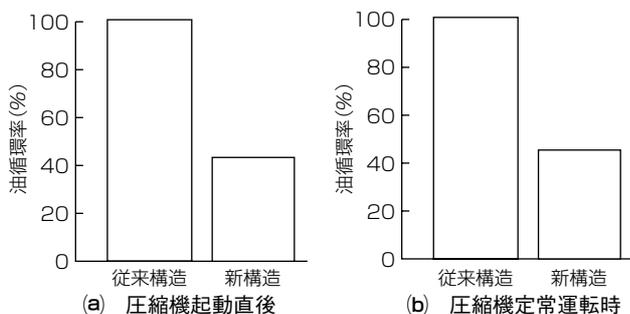


図4. 油循環率測定結果

生が見られる。また、攪拌された流体が電動機回転子下部から通気孔にかけて吸い上げられ、圧縮機の外へ移動する流れが発生している。一方、新構造(図3(b))では、カップが回転するバランスウェートを覆うことによって、圧縮機底部の攪拌を防止し、かつ、電動機回転子下部からの吸い上げの流れを防止できていることが確認できる。

実際の圧縮機の冷凍回路内の油循環率の測定結果について、図4(a)に圧縮機起動直後の油循環率測定結果を、図4(b)に圧縮機定常運転時の油循環率測定結果を示す。新構造によって、圧縮機の起動直後と定常運転時ともに冷凍回路内の油循環率を低減できていることを確認した。

3. 軸受高信頼化技術

3.1 軸受作用負荷

圧縮機の行程容積の50%拡大で、圧縮機の軸受に作用する負荷は図5に示すように30%増加し、摩耗悪化や焼付き発生の可能性が高まる。

3.2 新工法“軸表面ナノ加工”

軸受に作用する負荷の増大に対して、軸に新工法の軸表面ナノ加工を導入し、摩耗・焼付き耐力を向上させた。図6に従来の加工法による軸と、新工法の軸表面ナノ加工を施した軸を示す。従来の加工法による軸表面は μm オーダーの面粗度であるが、新工法の軸表面ナノ加工を施した軸表面は nm オーダーの面粗度を確保している。図6に示すように、圧縮機の回転軸では、油粘度が低下して軸と軸受の間に介在する油膜が薄くなった場合に、軸と軸受表面の凸部分同士が接触し、凸部分に荷重が集中することによって、摩耗の進行・焼付きが発生する場合がある。これに対して新工法の軸表面ナノ加工を施した軸表面では、軸表面の凸部分を除去して荷重を分散させることによって、従来加工に対して、摩耗の進行・焼付きに対する耐力を改善することが可能となる。

図7に焼付き試験の結果を示す。従来の加工法に対して、軸表面ナノ加工では焼付き限界荷重を50%改善した。

4. 運転可能領域拡大技術

4.1 給油構造

図8に、この圧縮機の特徴であるコンプライアント構造を

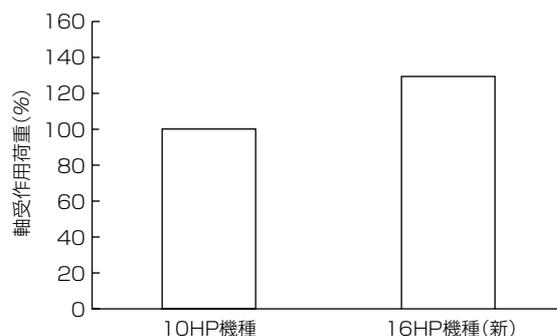


図5. 軸受作用荷重

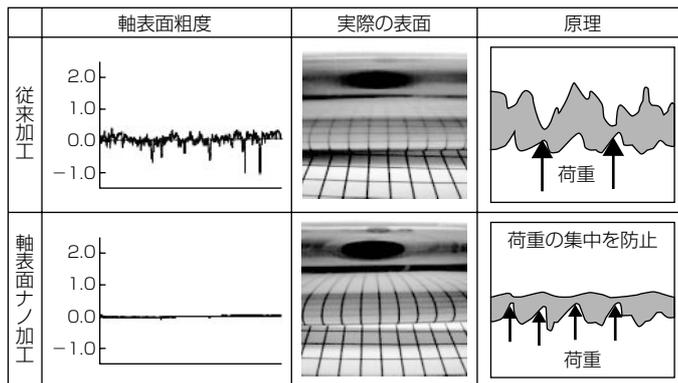


図6. 軸表面ナノ加工

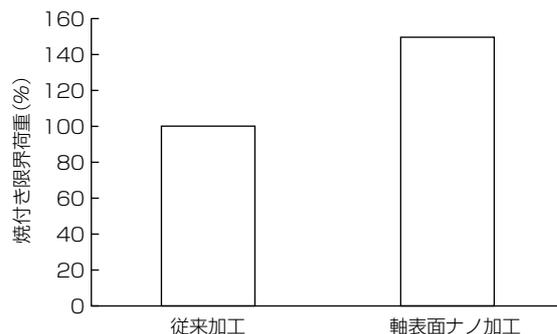


図7. 焼付き限界荷重の測定結果

示す。固定フレーム内には軸に沿って上下に稼働可能な稼働フレームを設けている。稼働フレームの上端には揺動渦巻・固定渦巻を設けており、電動機で発生する回転力によって軸が回転して揺動渦巻が揺動運動をすることで、渦巻の外側から内側に向かって冷媒ガスの圧縮が行われる。固定フレームと稼働フレームの内部には、それぞれ中間圧室を持つ構造をとっている。固定フレーム内の中間圧室内圧力を P_{m1} 、稼働フレーム内の中間圧室内圧力を P_{m2} とする。 P_{m1} が稼働フレーム下端に作用することによって稼働フレームが持ち上げられ、揺動渦巻も同時に持ち上げられる。この動作によって、揺動渦巻と固定渦巻の歯先同士が密着し、歯先からの漏れを防止している。また、 P_{m2} が稼働フレームと揺動渦巻の接触面に作用することによって稼働フレームと揺動渦巻の接触力を緩和する力が発生するため、稼働フレームと揺動渦巻間の摺動(しゅうどう)損失を最小限に抑制することができる。

ここで、 P_{m1} は圧縮室内の圧力によって制御されており、

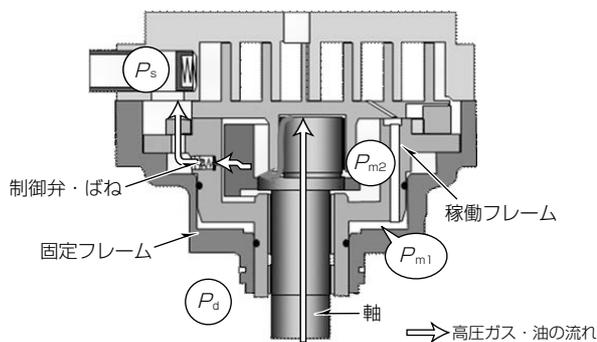


図8. コンプライアント構造

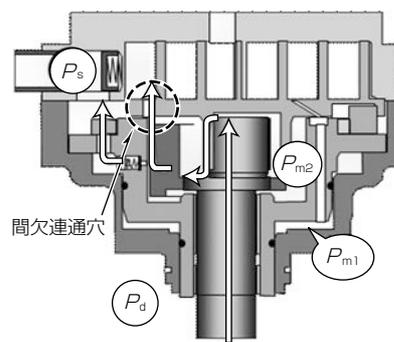


図10. 新給油構造

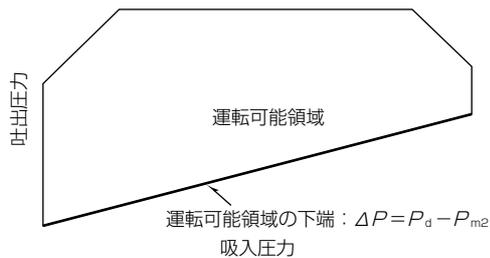


図9. 運転可能領域

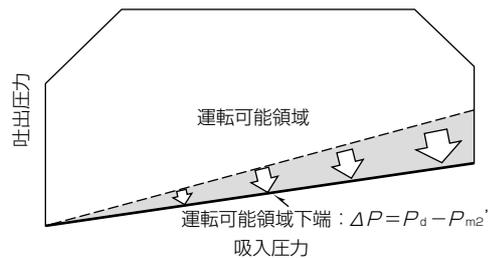


図11. 運転可能領域の拡大

次の式(1)の関係となっている。

$$P_{m1} = P_s \times \beta \dots\dots\dots(1)$$

β : 圧縮室内の圧縮過程の圧縮比

また、稼働フレーム側の面には制御弁とばねを設けており、稼働フレーム内の中間圧室と吸入側空間を制御弁によって仕切っている。軸下端から軸内部を通して高圧ガスと油が上昇し、軸と揺動渦巻軸受の隙間で減圧された後、稼働フレーム内の中間圧室内に流れ込む。稼働フレーム内の中間圧室内の圧力が吸入側空間の圧力とばね力の合力に達すると制御弁が開き、吸入側へガスと油が送りだされる。したがって、 P_{m2} は次の式(2)で表すことができる。

$$P_{m2} = P_s + a \dots\dots\dots(2)$$

a : ばね力

また、先に述べたとおり、油の供給は圧縮機内の高圧ガス圧力と稼働フレーム内の中間圧室内の圧力の差圧によって行われるため、給油を行うためには差圧を確保する必要がある。差圧を ΔP 、高圧ガス圧力を P_d とすると、次の式(3)で表すことができる。

$$\Delta P = P_d - P_{m2} \dots\dots\dots(3)$$

給油可能領域は、圧縮機内の高圧ガス圧力と稼働フレーム内の中間圧室内圧力の差圧による力がばね力よりも大きくなる範囲であり、運転可能領域の下端は図9に示すように規定している。

4.2 新給油構造

通常の圧縮機を複数使用したVRFシステムでは、低能力帯では1台のみの使用、高能力帯では複数台使用とすることで広範囲の能力帯に対応している。このシステムに対して、この圧縮機では1台で16HPまで対応する必要がある。高能力帯に対しては行程容積の拡大で対応し、低能力

帯に対してはより低差圧領域まで運転可能領域を拡大することで対応した。運転可能領域をより低差圧まで拡大するため、図10に示す新給油構造を導入した。揺動渦巻に対して、吸入空間と稼働フレーム内の中間圧室が間欠的に連通する位置に穴を設けることによって、差圧 ΔP を次の式で表される制御にできる。

$$\Delta P = P_d - P_{m2}' \dots\dots\dots(4)$$

$$P_{m2}' = P_s + a - \gamma \dots\dots\dots(5)$$

γ : 連通減圧

新給油構造では、圧縮機内の高圧ガス圧力と稼働フレーム内の中間圧室内の圧力の差圧による力がばね力よりも小さくなる範囲でも、揺動渦巻に設けた間欠連通穴によって差圧を形成できるため、図11に示すように、従来構造に対してより広い運転可能領域を確保することが可能となる。

5. むすび

VRFシステムで、1台で16HPまで対応可能な圧縮機を開発した。この開発では次の課題があった。

- (1) 大型の冷凍回路に対して十分な圧縮機内の油量保持
- (2) 圧縮機の行程容積拡大に伴う軸作用荷重の増大
- (3) 低負荷から高負荷までの広い運転可能領域の確保

この課題に対して、次の新技術導入によって、16HPまで対応可能な圧縮機を実現した。

- (1) 圧縮機内の流動解析によって、油攪拌防止に効果的な最適構造を検討・導入し、圧縮機内の油量保持を改善した。
- (2) 新工法の軸表面ナノ加工の導入によって、焼付き耐性を50%改善した。
- (3) 新給油構造の導入によって低差圧の運転領域を拡大し、広範囲の運転可能領域を実現した。