

3D スクロール圧縮機による冷凍空調機器の小型・高効率化

Miniaturization and Efficiency Improvement of Refrigerating and Air-conditioning Systems with 3D Scroll Compressors

佐藤 創^{*1}
Hajime Sato

伊藤 隆英^{*2}
Takahide Itoh

藤谷 誠^{*3}
Makoto Fujitani

小林 寛之^{*4}
Hiroyuki Kobayashi

水野 尚夫^{*5}
Hisao Mizuno

木全 央幸^{*6}
Yoshiyuki Kimata



スクロール圧縮機は高効率、低振動が特徴であり、これまで多くの冷凍・空調製品に採用されてきているが、更なる高効率化及び小型軽量化のニーズに応えるため、従来の圧縮原理である周方向圧縮に加えて、高さ方向にも圧縮する当社独自の三次元圧縮機構（3D スクロール）を開発した。業務エアコン、陸上輸送冷凍機、GHPなどを対象に3D スクロール搭載圧縮機を製品化し、いずれも大幅な高効率化、小型軽量化、信頼性向上を達成することができた。

1. はじめに

近年、地球温暖化に対する関心の高まりや、原油価格高騰によるエネルギーコストの増大により、省エネルギーに向けた取組みが世界規模で加速している。冷凍・空調機器が消費するエネルギーのうち、大部分は冷媒を圧縮する圧縮機が占めており、冷凍・空調機器の省エネルギーには圧縮機の高効率化が不可欠である。

一方、冷凍・空調機器は設置スペースに制約がある場合が多い。製品サイズを小さくすることで設置の自由度を高めることができるため、圧縮機をはじめとする各構成要素の小型軽量化が求められている。

これに対し、当社では主要な冷凍・空調製品に高効率、低振動が特徴であるスクロール圧縮機を搭載し、省エネルギー化のニーズに対応してきたが、より一層の高効率化に加え、圧縮機の小型軽量化を図るため、従来の圧縮原理である周方向圧縮に対して、新たに高さ方向圧縮を加えた当社独自の三次元圧縮機構（以後“3D スクロール^(注)”と呼ぶ）を開発した。

本報では、3D スクロール圧縮機の高効率化技術及び小型軽量化について述べる。

注：“3D スクロール”は三菱重工(株)の登録商標である。

2. 3D スクロールの構造

図1に業務エアコン用3D スクロール圧縮機の断面図を示す。スクロール圧縮機は、端板と渦巻き状の羽

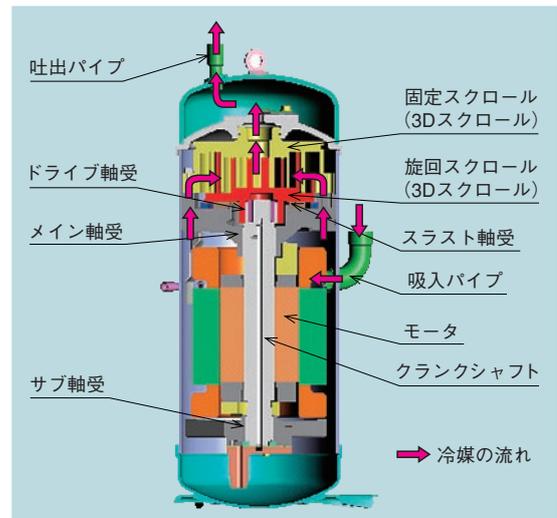


図1 3D スクロール圧縮機（業務エアコン用）

根（ラップ）から構成されたスクロール一対（固定スクロール、回転スクロール）が互いに偏心しながら公転運動することで冷媒を圧縮する。図2に従来スクロールと3D スクロールの断面模式図を示す。従来のスクロールはラップ高さが一定であり、冷媒は外周部から内周部に向かって二次元的に圧縮される。一方、3D スクロールはスクロールの歯先と根元にステップを設置することで、外側のラップ高さを内側よりも高くしている。これにより、周方向のみならず高さ方向にも圧縮する三次元圧縮が可能となる。3D スクロールの特徴は以下のとおりである。

●周方向だけでなく、高さ方向にも圧縮することで、

*1 技術本部名古屋研究所機械要素研究室

*2 技術本部名古屋研究所流体・伝熱研究室長 工博

*3 ものづくり革新推進部長

*4 冷熱事業本部空調機技術部長

*5 冷熱事業本部空調機技術部圧縮機設計グループ長

*6 冷熱事業本部空調機技術部圧縮機設計グループ

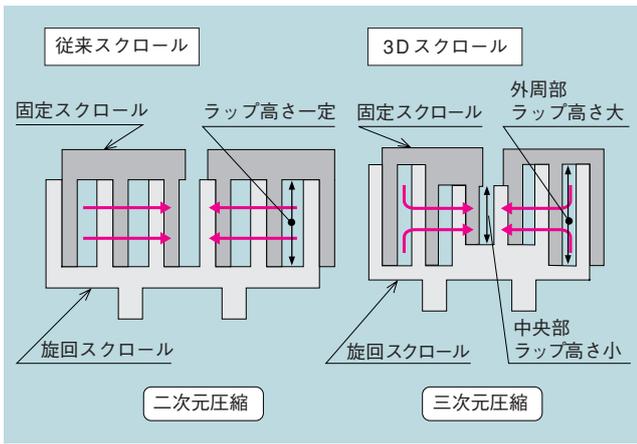


図2 従来スクロールと3Dスクロールの断面図
3Dスクロール化により三次元圧縮が可能になる。

高い圧縮比が得られる。

- 大荷重が作用するスクロール中央部のラップ高さを低くすることで、スクロール強度が向上し、高い信頼性が得られる。
- 外周部のラップ高さを高くすることで、スクロール外径を増加させることなく容量の増加が可能であり、小型軽量化に適している。

3. 3Dスクロール圧縮機の高効率化技術

3.1 ステップ部からのガス洩れ低減

3Dスクロールの圧縮原理を図3に示す。固定スクロールと回転スクロールのかみ合いによって圧縮室が形成され、回転スクロールの回転運動により順次外周から中央へ移動することで容積を減少させていく。

3Dスクロールにはそれぞれのスクロールの歯先と根元にステップが設置されている。ステップ部がかみ合わない状態(b)(d)では、隣り合う圧力室の圧力が等しいことから、ステップ部には洩れが生じない。一方、ステップ部がかみ合っている状態(a)(c)では、歯底ステップと歯先ステップが互いにかみ合うことでシール線を形成する。ここで形成されるシール線にはわずかな隙間が存在するため、この隙間からのガス洩れを低減させることが高効率化のポイントとなる。

筆者らは、冷媒ガス中に含まれる潤滑油が隙間に入り込むと潤滑油のシール効果によりガス洩れが減少する点に着目し、ステップ部の可視化実験⁽¹⁾などにより隙間からの洩れ特性を調査した(図4)。これにより、隙間の大きさと潤滑油量を適切に設定することが可能となり、ステップ部からのガス洩れ低減が可能となった。

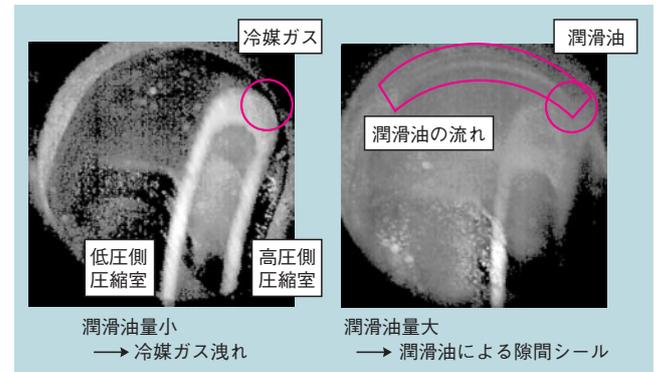


図4 ステップ部の可視化
潤滑油のシール効果によりガス洩れが減少する。

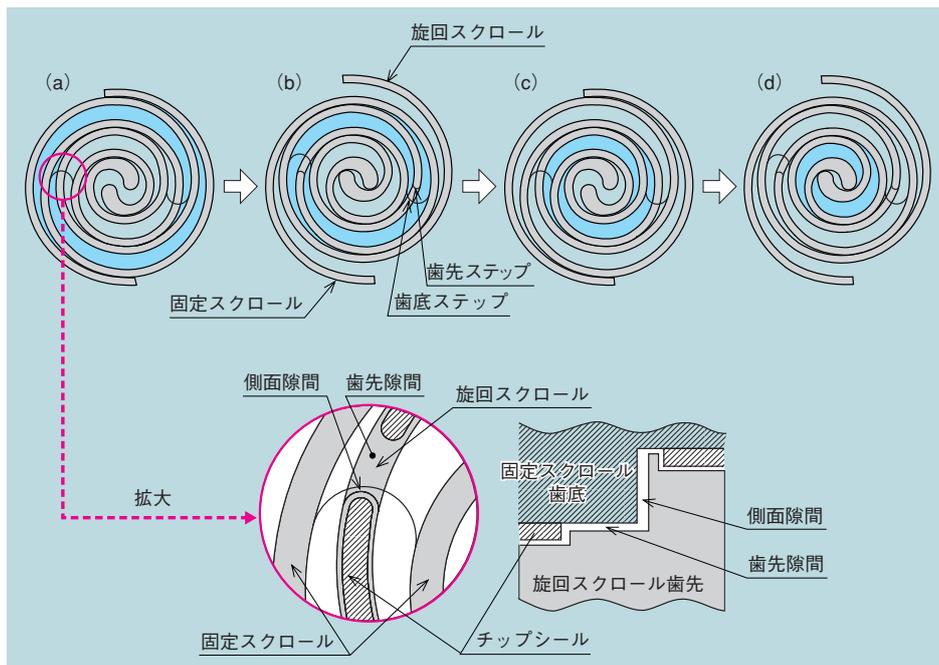


図3 3Dスクロールの圧縮原理
ステップ部からのガス洩れ低減が高効率化のポイントとなる。

3. 2 ワイドレンジでの高効率化

業務エアコン用スクロール圧縮機を対象に、運転圧力比に対する効率変化を計測した結果を図5に示す。

前述のとおり、3Dスクロールは軸方向に加えて高さ方向にも圧縮することで高い圧縮比が得られる。このため、再圧縮損失と呼ばれる圧縮比不足に起因する損失を低減することが可能となり、高圧力比条件での効率を大幅に改善することができた。一方、低圧力比条件では圧縮過程のガスをバイパスさせる機構を設けることで過剰な圧縮を防止し、高効率を維持した。

これにより、定格条件で5.5%、高圧力比条件で12.5%の効率向上が得られ、広範な運転範囲で高効率を達成した⁽²⁾。

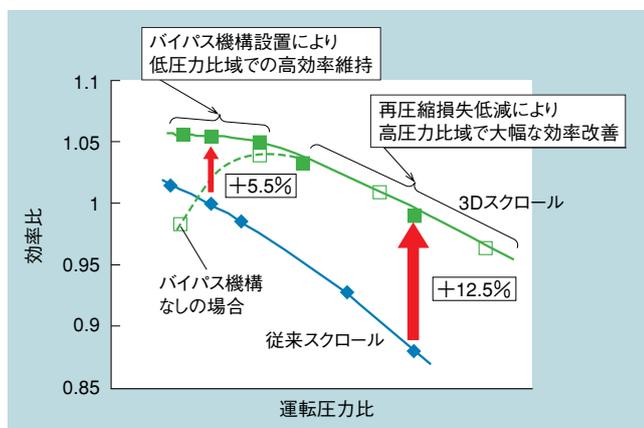


図5 運転圧力比に対する効率変化
3Dスクロール化とバイパス機構の設置により、ワイドレンジでの高効率化を達成した。

4. 圧縮機信頼性の向上

圧縮機信頼性面の課題の1つに液圧縮時の強度確保がある。これは、運転時に非圧縮性である液冷媒を圧縮室内に吸入すると、図6に示すように急激な圧力上昇が発生し、最悪の場合破損に至る現象である。定置用エアコンなどで圧縮機をインバータ駆動する場合には、内外温度や設定温度から圧縮機回転数を制御することで液圧縮回避が可能である。しかし、陸上輸送冷凍機など圧縮機をエンジンで駆動する場合は、冷凍サイクルと無関係に圧縮機回転数が決まる。このため、圧縮機信頼性を確保するためには、液冷媒を吸入した場合でも圧力上昇を抑える工夫が必要である。

当社スクロール圧縮機では、液圧縮回避のためのリリーフポートを設置することで対応してきたが、新開発3Dスクロール圧縮機ではリリーフポート構造を見直し、圧縮過程全域にわたってリリーフ機能を増強させた。図7に圧縮機内部に液冷媒が溜まり込んでいる状態での、起動時の最大発生圧力計測結果を示す。新

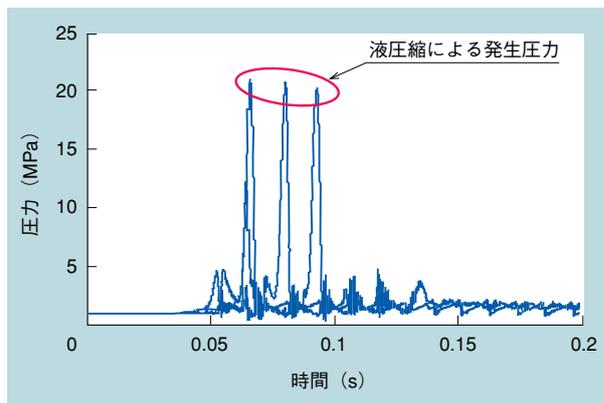


図6 液圧縮時の圧力波形
液冷媒が圧縮室内に閉じこめられると急激な圧力上昇が発生する。

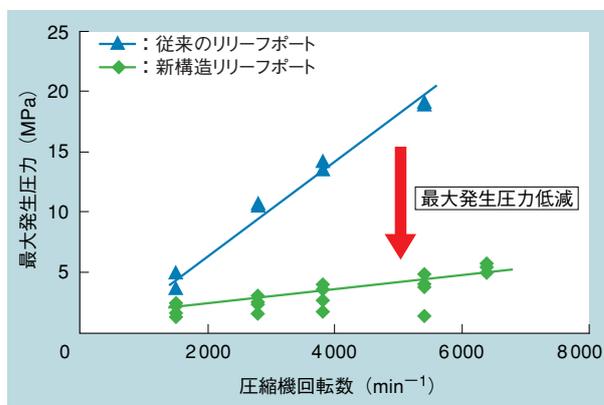


図7 リリーフポートによる発生圧力低減効果
リリーフポート増強により全回転数域にわたって発生圧力を抑制した。

構造リリーフポートでは、どの圧縮機回転数でも発生圧力を抑制できており、液圧縮に対して極めて高い信頼性を確保している⁽³⁾。

5. 3Dスクロールによる小型軽量化

3Dスクロールを採用することで、スクロール外径を増加させることなく押しのけ量を増加できるため、圧縮機の小型軽量化が可能となる。業務エアコン用及び陸上輸送冷凍機用圧縮機を例に、従来機と新開発3Dスクロール圧縮機の外形寸法比較を図8に示す。3Dスクロールの採用により、業務エアコン用圧縮機では従来機対比35%小型化、26%軽量化⁽⁴⁾、陸上輸送冷凍機用圧縮機では従来機対比60%小型化、50%軽量化⁽³⁾を達成し、ユニットへの搭載性を大幅に向上させることができた。

6. ま と め

当社独自の圧縮機構造である“3Dスクロール”の開発により、従来機対比大幅な高効率化、信頼性向上、

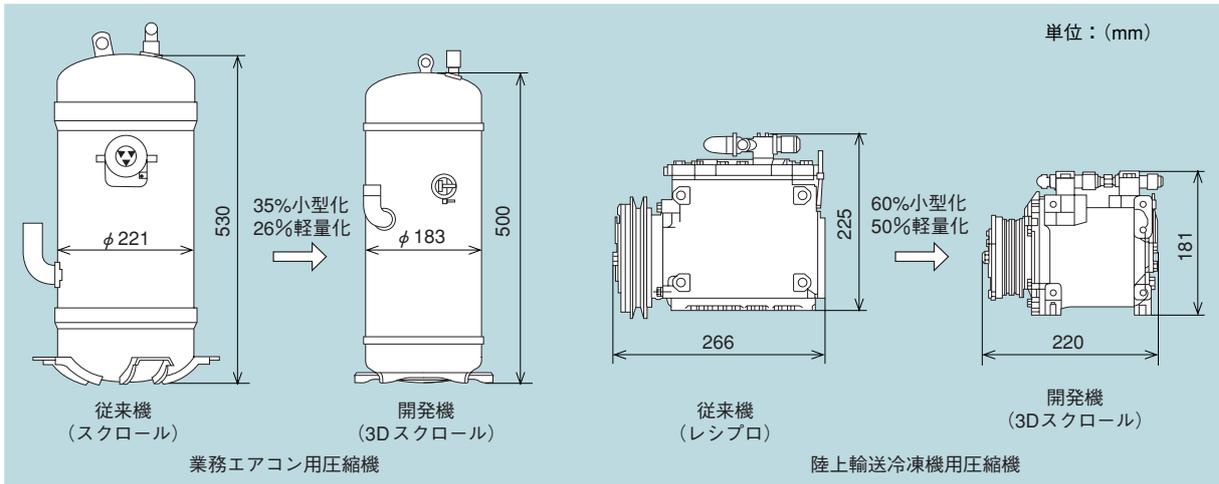


図8 圧縮機外観寸法
従来機対比大幅な小型軽量化を実現した。

小型軽量化が可能となった。

本報では、主に業務エアコン用及び陸上輸送冷凍機用3Dスクロール圧縮機開発の取組みについて述べたが、その他にもGHP(ガスエンジンヒートポンプ)用⁽⁵⁾やカーエアコン用圧縮機にも3Dスクロールを適用しており、いずれも大幅な高効率化、小型軽量化を達成している。今後、さらに展開範囲を拡大していく計画であり、冷熱製品の省エネルギー推進を通じて地球環境保全に貢献していく所存である。

- (4) 高須ほか、大容量3Dスクロール圧縮機の開発、2005年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、C309(2005)
- (5) Kimata, Y. et al., Development of High Performance R410A Scroll Compressor for Gas Engine Heat Pump, Proc. of 2004 International Compressor Engineering Conf. at Purdue, C028(2004)

参考文献

- (1) 佐藤ほか、3Dスクロール圧縮機の高効率化技術、2005年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、C310(2005)
- (2) Sato, H. et al., Development of 3D Scroll Compressor, Proc. of 2007 International Conference on Compressors and Their Systems, C658-009-07(2007)
- (3) 藤谷ほか、環境に適合した陸上輸送冷凍機用スクロール圧縮機の開発、2007年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集、E315(2007)



佐藤 創



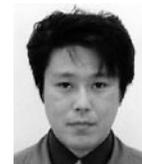
伊藤 隆英



藤谷 誠



小林 寛之



水野 尚夫



木全 央幸