

特 集 論 文

三次元スクロール搭載高効率大容量
スクロール圧縮機 GU シリーズHigh Efficiency and Large Capacity 3D
Scroll Compressor GU Series佐 藤 創^{*1}
Hajime Sato伊 藤 隆 英^{*2}
Takahide Itoh松 田 進^{*1}
Susumu Matsuda藤 谷 誠^{*3}
Makoto Fujitani小 林 寛 之^{*4}
Hiroyuki Kobayashi水 野 尚 夫^{*5}
Hisao Mizuno

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、さらなる高効率化及び大容量化のニーズに応えるため、当社独自の三次元圧縮機構（3D スクロール）を搭載した業務エアコン用高効率大容量3D スクロール圧縮機“GU シリーズ”を開発した。従来のスクロールでは不可能であった三次元圧縮を可能にしたことで、従来機対比5.5%の効率アップ、35%小型化、26%軽量化となり、大幅な省エネ及びユニット搭載性向上を達成した。

1. は じ め に

近年、地球温暖化に対する環境保全の観点から、冷凍・空調製品における省エネルギー化の要求が高まっている。冷凍・空調製品が消費する電力のうち、大部分は冷媒を圧縮する圧縮機が占めており、冷凍・空調製品の省エネ化には圧縮機の高効率化が不可欠である。

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、省エネ化のニーズに対応してきたが、より一層の高効率化を図るため、従来の周方向圧縮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 スクロールの高効率化技術と、3D スクロールを搭載した業務エアコン用圧縮機（GU シリーズ）について紹介する。

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

2. 1 3D スクロールの特徴

図1に今回開発した業務エアコン用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根（ラップ）から構成された一対のスクロール（固定スクロール、旋回スクロール）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。従来のスクロールはラップ高さが圧縮行程全域にわたっ

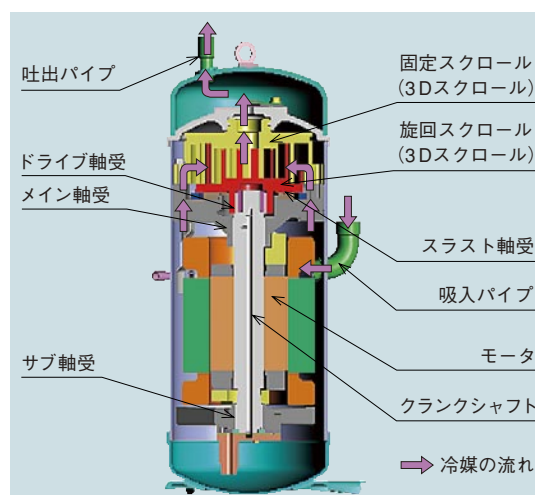


図1 3D スクロール圧縮機

て一定であり、冷媒は外周部から中央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が設置されている。これにより、外周部のラップ高さは中央部よりも高くなることから、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（図2）。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、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

*1 技術本部名古屋研究所冷熱研究室

*2 技術本部名古屋研究所冷熱研究室長 工博

*3 冷熱事業本部副事業部長

*4 冷熱事業本部空調輸冷技術部次長

*5 冷熱事業本部空調輸冷技術部圧縮機設計グループ長

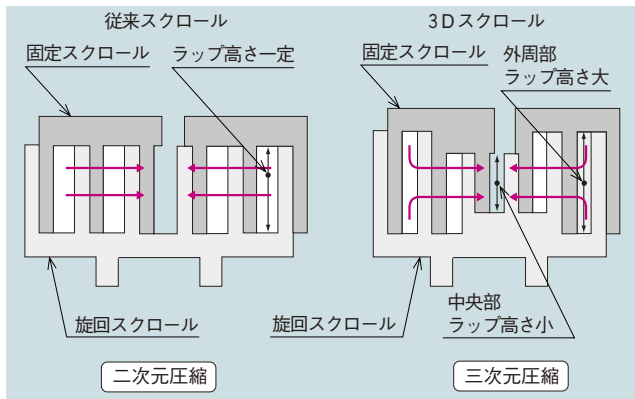


図2 従来スクロールと3Dスクロールの断面図
3Dスクロール化により三次元圧縮が可能になる。

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。

表1に製品ごとの圧縮機に対する要求性能と3Dスクロール搭載時の効果を示す。3Dスクロール化により、大容量化、高信頼性が強く求められる業務用エアコンや、高圧縮比で運転され、小型軽量化が求められる冷凍ユニット等、それぞれの製品特有の要求を広く満足することができる。

2.2 3Dスクロールの圧縮原理と洩れ隙間

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は互いにかみ合うことで圧縮室を形成し、圧縮室は回転スクロールの回転運動によ

表1 圧縮機への要求性能と3Dスクロール化の効果

要求性能	業務用 エアコン	GHP	陸上 冷凍ユニット	海上 冷凍ユニット
高効率（高圧縮比）	◎	◎	◎	◎
高信頼性 （スクロール強度アップ）	◎	◎	○	○
低騒音・低振動	○	○	○	○
小型・軽量	○	○	◎	◎
大 容 量	◎	◎	○	○

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スクロールには固定スクロール、回転スクロールそれぞれ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、ボトムステップとチップステップが互いにかみ合うことでシール線を形成する。

図4にステップ部（図3○部分）の拡大図と、回転スクロール長手方向の断面図を示す。ステップ部に生じる隙間はラップ歯先隙間とラップ側面隙間に大別され、この隙間により高压室から低压室への冷媒洩れが発生する（以後“洩れ隙間”と呼ぶ）。これら洩れ隙間を適切に設定し、ステップ部分の隙間からの冷媒洩れを低減させることが高効率化のポイントとなる。

3. 3Dスクロール圧縮機の高効率化技術

3.1 ステップ部洩れ隙間の最適化

図5にステップ部の洩れ隙間を変化させて性能計測を行った結果を示す。隙間が減少するに従って効率は向上するが、ある隙間以下では効率が横ばいになる。

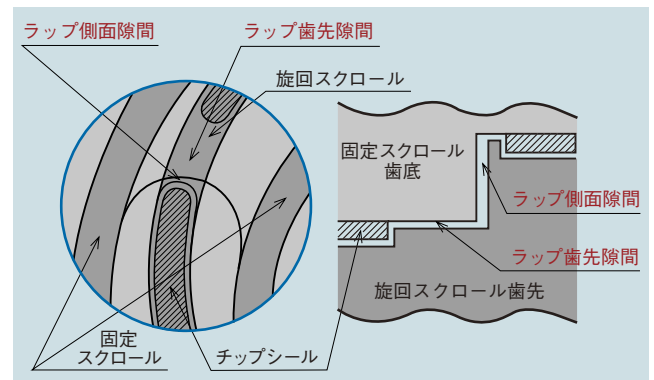


図4 ステップ部模式図
ステップ部からの冷媒洩れ低減が高効率化のポイントとなる。

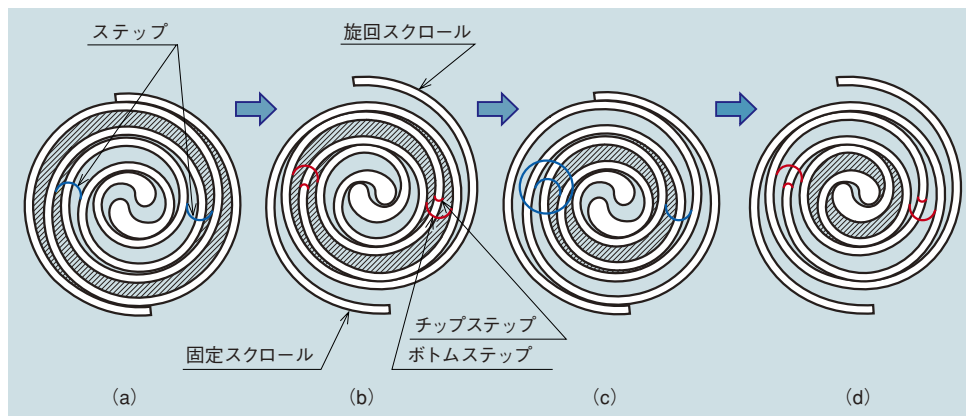


図3 3Dスクロールの圧縮原理
チップステップとボトムステップがかみ合うことでシール線を形成する。

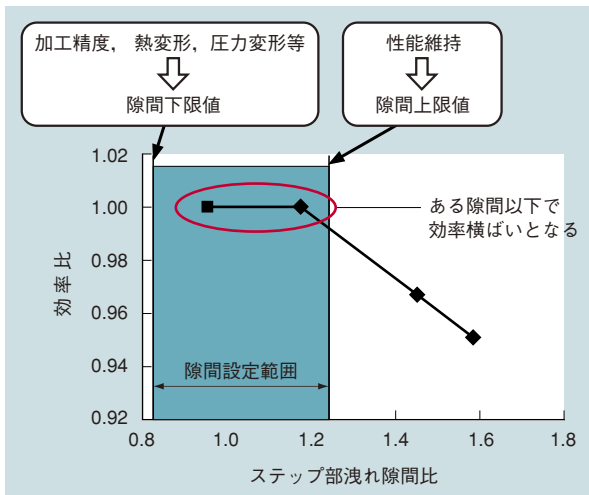


図5 ステップ部洩れ隙間に対する効率変化
ある隙間以下では効率が横ばいになる。

これは、隙間がある程度小さくなると、冷媒ガス中に含まれる潤滑油が隙間に満たされ、冷媒ガスの洩れが減少するためと考えられる。これより、図5の着色部に示すように加工精度や熱変形、圧力変形等から決まる最小隙間と性能が維持できる最大隙間の範囲内にステップ部洩れ隙間を設定することで、3Dスクロールの洩れ低減が可能となる。

3. 2 ステップ部洩れ隙間の可視化

ステップ部洩れ隙間における洩れ流れ挙動を把握するため、固定スクロールステップ隙間部分にサイトグラスを埋め込み、洩れ流れ挙動を観察できる圧縮機を作成し、可視化試験を実施した。

図6に冷媒ガス中に含まれる潤滑油量を変化させたときの洩れ流れ挙動の変化を示す。図中で白く見える部分が潤滑油である。○で囲ったステップ部洩れ隙間に着目すると、潤滑油量が少ない場合(a)は、隙間に潤滑油が存在せず、隙間から冷媒ガス洩れが発生しているが、潤滑油量が多い場合(b)(c)には隙間に油が満たされており、(c)では、ボトムステップ壁面にそって潤滑油が噴出する様子も観察できる。

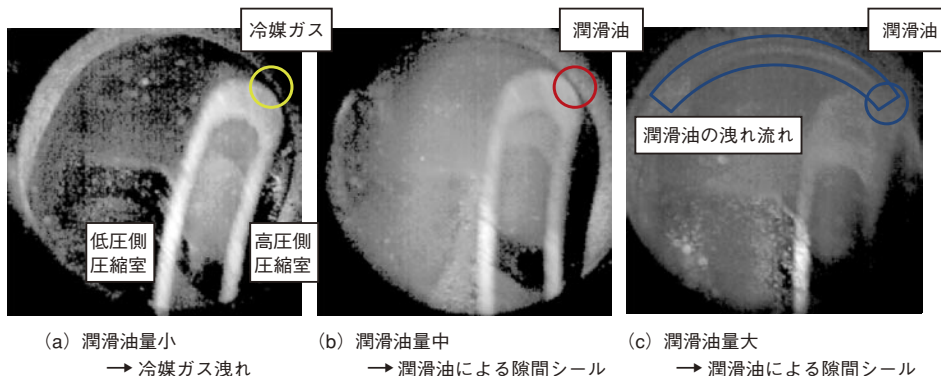


図6 ステップ部の可視化
隙間の大きさと潤滑油量を適切にコントロールすることで冷媒洩れ低減が可能。

可視化試験結果をもとに、隙間の大きさと冷媒中に含まれる潤滑油量を適切にコントロールしたことで、ステップ部分からの冷媒洩れを低減させることが可能となった⁽¹⁾。

3. 3 スラスト軸受損失の低減

スラスト軸受損失は、スクロール圧縮機で発生する機械損失のうち大きな割合を占め、高効率化のためには、スラスト軸受損失低減が不可欠である。

図7に示すように、3Dスクロールを採用することで、ラップ高さを高く設定できるため、同容量従来スクロール対比スクロール外径を小さくできる。このため、受圧面積が小さくなり、スラスト軸受荷重を低減できる。さらに、旋回半径についても小さく設定できるため、摺動距離を低減することができる。これにより、従来機対比大幅なスラスト軸受損失低減が可能となった。

4. 開発機の特徴

4. 1 3Dスクロールによる小型軽量化

今回開発した業務エアコン用10馬力3Dスクロール圧縮機(GUシリーズ)と同容量の従来機の圧縮

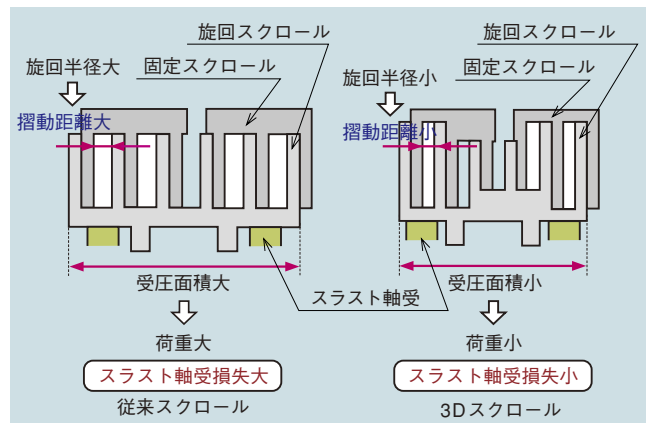


図7 スクロール圧縮機のスラスト軸受損失
3Dスクロール化により、スラスト軸受損失の低減が可能となる。

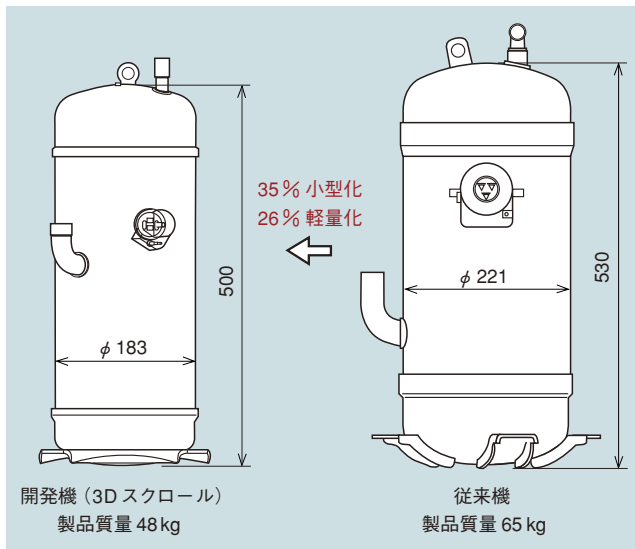


図8 圧縮機外観寸法
従来機対比 35 % 小型化, 26 % 軽量化を実現.

機外観を図8に示す. 3D スクロールを搭載することでスクロール小型化が可能となり, 圧縮機外径を221 mm から183 mm へ17 % 低減できた. これにより, 従来機対比 35 % の容積低減, 26 % の製品質量低減となり, ユニット搭載性が大幅に向上した.

4. 2 3D スクロールによる高効率, 低騒音化

図9に開発機と従来機の発生損失内訳を示す. 本開発機は

① 3D スクロール採用による圧縮比最適化, 洩れ隙間最適化による指示損失低減

② 圧縮機小型化による機械損失低減

③ 高効率モータ採用によるモータ損失低減

により, 従来機対比 14 % の損失低減 (5.5 % 効率向上) を実現した. また, 騒音についても, 圧縮機小型化による放射面積縮小と剛性増加により, 従来機対比 6 dB 低減できた.

5. ま と め

当社独自の新圧縮機構である“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, 小型軽量化が可能となった. 今回開発したGUシリーズでは, 3D スクロール搭載により, 従来機対比

- 35 % 小型化, 26 % 軽量化
- 5.5 % 効率向上
- 6 dB 騒音低減

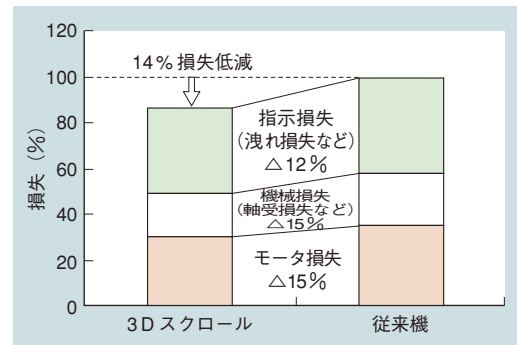


図9 3D スクロール化による損失低減効果
従来機対比 14 % の損失低減を実現.

を達成した.

これまで当社では, GU シリーズに加え, GHP (ガスヒートポンプエアコン) 用⁽³⁾の3D スクロール圧縮機を製品化済みである. 今後, 冷凍ユニット等にも順次3D スクロールを導入する計画であり, 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きたい.

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) 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)
- (3) 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)



佐藤 創



伊藤 隆英



松田 進



藤谷 誠



小林 寛之



水野 尚夫