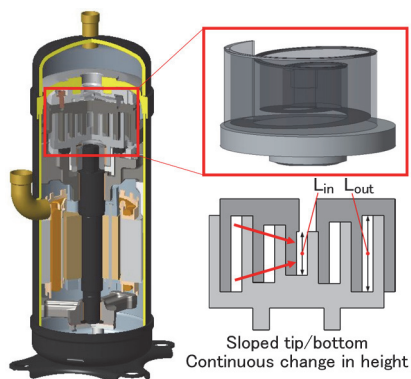


冷熱機器の省エネルギー化を実現する 進化型三次元スクロール圧縮機の開発

Development of an Evolutionary Three-Dimensional Scroll Compressor
Realizes Energy Saving of Heating and Cooling Units



高須 洋悟*¹
Yogo Takasu

木全 央幸*²
Yoshiyuki Kimata

堀田 陽平*³
Yohei Hotta

佐藤 創*⁴
Hajime Sato

伊藤 隆英*⁵
Takahide Ito

山下 拓馬*⁶
Takuma Yamashita

三菱重工サーマルシステムズ(株)(以下、当社)は2004年に独自の圧縮機構として、三次元スクロール(以降 3D スクロール^(注))を提案⁽¹⁾し、3D スクロール圧縮機を搭載した冷熱機器を2007年から生産販売してきた。3D スクロールは、スクロールのラップ先端と端板にステップを設けることで圧縮途中の圧縮室高さを変化させ、軸方向への圧縮を可能にしている。このため、一般的な二次元(以降 2D)スクロールに対して小型大容量の圧縮機構を構成可能であることが特長であるが、3D スクロール特有のステップ部の微小隙間からの漏れ損失が更なる高効率化の課題であった。今回、その課題の解決策として、3D スクロールの特長である小型大容量を維持しつつ、漏れ損失を低減し、効率向上を達成した進化型三次元スクロール“e-3D スクロール^(注)”“圧縮機をヒートポンプモジュールチラーや VRF (Variable Refrigerant Flow) システム向けに開発した。

(注)“3D スクロール”及び“e-3D スクロール”は当社の日本における登録商標です。

1. はじめに

地球温暖化に対する環境保全の観点から、冷凍・空調機器における省エネルギー化の動きはますます加速されている。冷熱機器が消費する電力のうち、冷媒を圧縮する圧縮機が大部分を占めており、冷熱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。

スクロール圧縮機は高効率、低振動が特長であり、近年の省エネルギー化の流れを受けて、機器の用途、大小を問わず幅広く採用されている。当社は、スクロール圧縮機の更なる高効率化、小型軽量化を目的に、従来のスクロールの圧縮原理に高さ方向の圧縮を加えた 3D スクロール圧縮機構を開発し、各種製品への展開を進めてきた。3D スクロールの採用により、圧縮機の小型大容量化、高圧縮比化を達成できたが、一方で、高さ方向圧縮のために設置したステップからの漏れ損失が発生し、これを低減することが更なる高効率化のための課題であった。

当社は上記課題を解決するために、今回、進化型三次元スクロール圧縮機構“e-3D スクロール”を開発した。本報では、e-3D スクロールの構造、圧縮原理、及び、e-3D スクロールを搭載した大容量スクロール圧縮機の開発について紹介する。

*1 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部 主席チーム統括

*2 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部 課長

*3 三菱重工サーマルシステムズ(株)空調機技術部

*4 三菱重工工業(株)総合研究所機械研究部 室長 博士(工学)/技術士(機械部門)

*5 三菱重工工業(株)総合研究所直屬 主幹プロジェクト統括 博士(工学)

*6 三菱重工工業(株)総合研究所機械研究部

2. スクロールの構造と特長

図1に従来の2Dスクロール、3Dスクロール及び今回開発したe-3Dスクロールの断面図を示す。2Dスクロールでは渦巻形状のかみ合いにより、外周から吸入されたガスが、中心部方向に容積を縮小させながら移動する二次元的圧縮のみである。一方、3Dスクロールは、スクロール高さをステップ状に変化させることで高さ方向の圧縮機能を加えたことが特徴である。この3Dスクロールでは高圧となる中央部のラップ高さ(L_{in})が外周側のラップ高さ(L_{out})より低くなるため、2Dスクロールよりスクロールラップ強度が向上する。利点も得られると同時に、押退量を増加させることが可能である。しかしながらステップ状にラップ高さが変化するため、ラップ先端の漏れを防止するチップシールの設置が難しく、この部分からの漏れや、ステップの噛み合い部隙間からの漏れが存在した。図2に漏れ隙間の模式図を示す。図3にステップ部の漏れ隙間を高速度カメラで撮影した写真を示す。

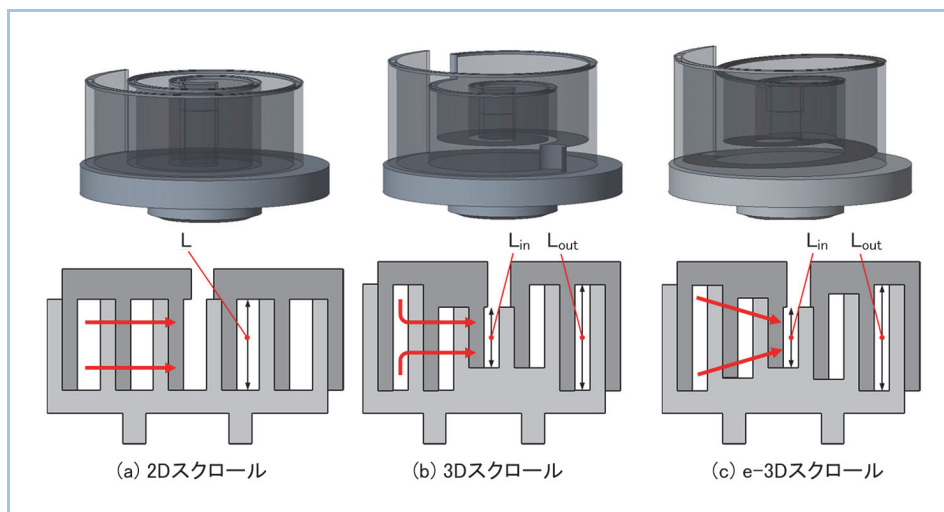


図1 スクロール構造概要

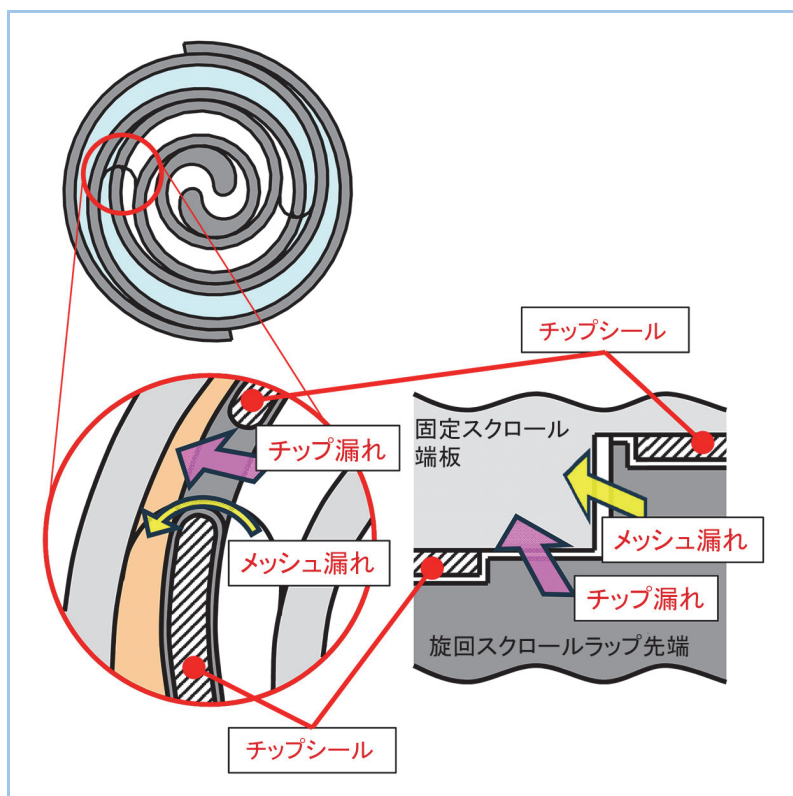


図2 ステップの漏れ隙間模式図

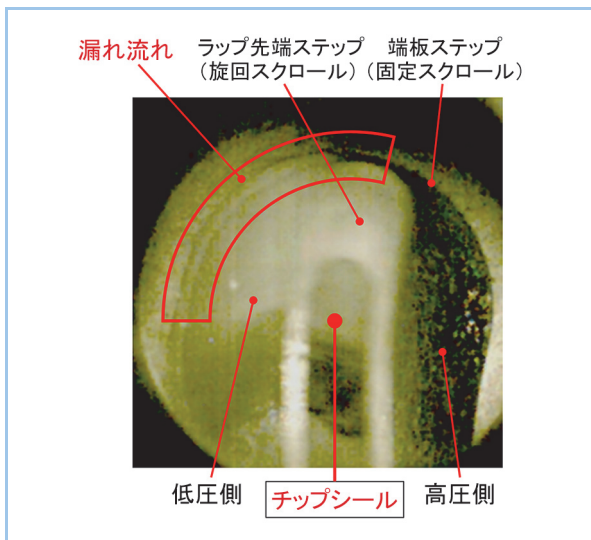


図3 ステップ部の漏れ隙間の流れの可視化写真⁽¹⁾

これまででは、隙間の大きさや圧縮室内の油循環率を最適化することでステップ部の漏れを抑制してきたが、更なる効率向上には、軸方向圧縮機構の抜本的な改良が必要と判断し、新規のスクロール形状開発に着手した。

上記の背景から生まれたのが、従来の 3D スクロールの利点を保ちつつ、前述の課題を解決した e-3D スクロール圧縮機構である。図1(c)に e-3D スクロールの断面図、図4に渦巻部の展開図を示す。e-3Dスクロールは3Dスクロールのラップ高さがステップ的に変化するのに対し、ラップ高さが外周から内周に向かって連続的に減少することが特徴である。1対のスクロールにおいて、片方のスクロールラップ先端のスロープ角度は、もう一方のスクロールの対応する位置における端板のスロープ角度と等しい。なお、圧縮機組立て時に、固定スクロールと旋回スクロールの隙間設定を容易にするため、最外周部と最中央部のラップ先端、端板形状は平坦のままとした。

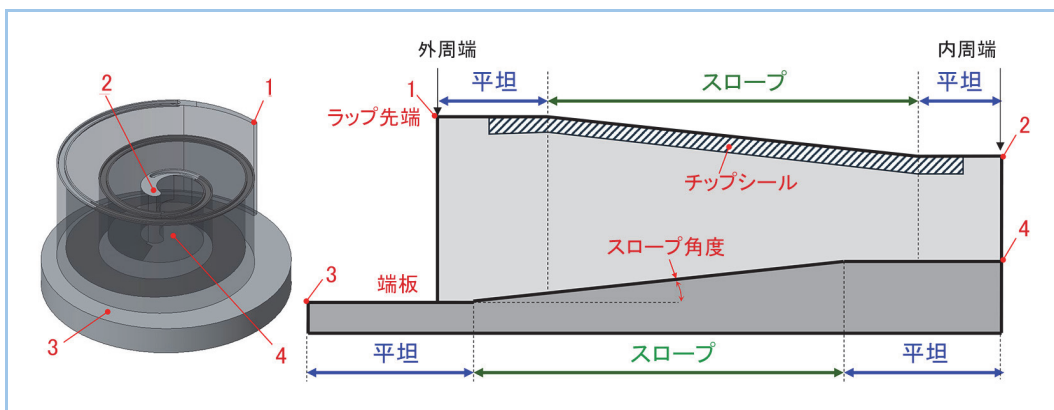


図4 e-3D スクロールラップ形状

図5に2D 及び 3D スクロールと e-3D スクロールの旋回運動と連動させたチップ隙間変化の様式図を示す。2D 及び 3D スクロールでは、旋回スクロールの運動方向に対して両スクロールのラップ先端及び端板が平行であるため、旋回スクロールの旋回運動に対してチップ隙間は一定となる。一方で、e-3D スクロールはラップ先端と端板が傾斜していることから旋回運動に伴い周期的にチップ隙間は変化する。1周期あたりのチップ隙間の最大値はスロープ角度により決まる。なお、チップ隙間の最小値はすべての運転条件で両スクロールが接触しないように設定する必要がある。

e-3D スクロールのチップ隙間は周期的に変動するが、チップシールが隙間の変動に追従して相手面との接触を維持することで、チップ隙間からの漏れを防止している。また、チップシールは両スクロールの最外周から中央部に向かって連続的に設置されているため、図2のような 3D スクロールで存在するチップシールが途切れたステップでの漏れは発生しない。

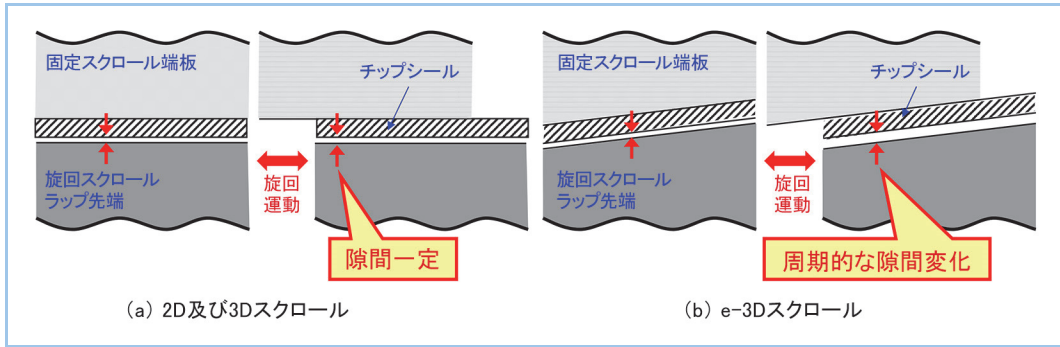


図5 スクロールチップ隙間変化の模式図

3. スロープ角度が効率に与える影響

先述した通り、e-3D スクロールのスロープ部分では、チップ隙間が回転スクロールの回転運動に伴い周期的に変化する。スロープ角度によってチップ隙間の1回転あたりの最大値が変化する影響と、スロープ角度を変えると平坦部の長さが変化する影響の二つが関係することから、スロープ角度の大小によって、内部漏れ量が変わることが予想できる。

そこで、スロープ角度の効率に与える影響を明確にするために、図6に示すスロープ角度をパラメータとした3組(スクロールA～C)のスクロールを用いて、効率への影響度を確認した。スクロールAを最も小さいスロープ角度とし、スクロールB、スクロールCは、最外周部の平坦部長さを長くすることにより、スクロールAに対してそれぞれ30%、90%大きいスロープ角度とした。一方で、3組のスクロールは水平断面形状、外周ラップ高さ、スロープ高さは共通である。そのため、設計容積比及び押退量はほぼ同等となる。

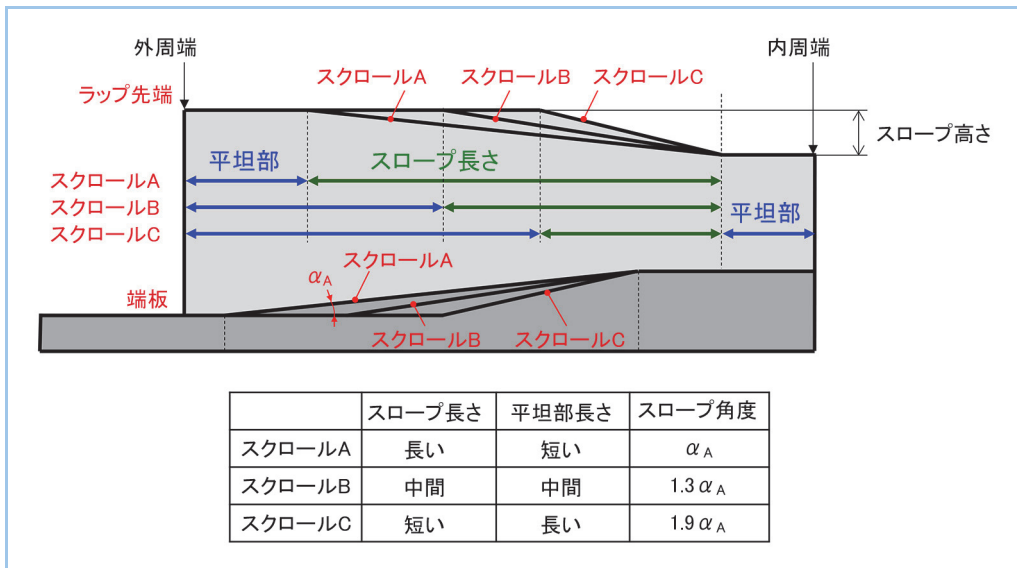


図6 e-3D スクロールのスロープ角度について

表1に示す3条件で性能計測した結果を図7に示す。縦軸はスクロールA(スロープ角度=1)を基準として無次元化した効率比を示している。また、条件1～3はそれぞれ定格、50%負荷、25%負荷に相当する条件である。条件2及び3はスロープ角度変化に対して効率の極大値を持っている。これは漏れ量の寄与が大きい低速運転時において、スロープ角度の拡大に伴い、スロープ範囲での漏れ隙間が増大する一方で、その漏れ隙間が増大するスロープ範囲が縮小するためと考える。以上により、本開発機である e-3D スクロール圧縮機には、スクロールBを採用した。

表1 性能計測条件

	CT / ET [degC]	回転数 [rps]
条件1	46 / 13	95
条件2	44 / 20	37
条件3	33 / 19	23

CT:コンデンサ(凝縮器)出口温度
ET:エヴァポレータ(蒸発器)出口温度

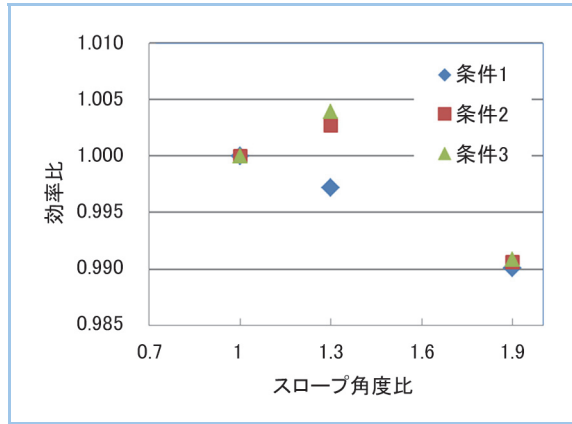


図7 スロープ角度と効率の相関

4. 高効率e-3Dスクロール圧縮機の開発

4.1 開発機の概要

ヒートポンプモジュールチラーや VRF システムに適用可能な、e-3D スクロールを搭載した高効率スクロール圧縮機を開発した。図8に開発機の断面図、表2に基本諸元を示す。本開発のe-3Dスクロール圧縮機は、従来の3Dスクロールと比較して、スクロール渦断面、外周ラップ高さ、押退量、設計容積比が同一である。また、モータ、ハウジング等、スクロール以外の部品や圧縮機内の冷媒流路も同一となっている。そのため、e-3D スクロールは、固定・旋回スクロールを置き換えるだけで現行モデルに採用することが可能なことから、大掛かりな設備投資を要さず、効率向上を図ることが可能である。

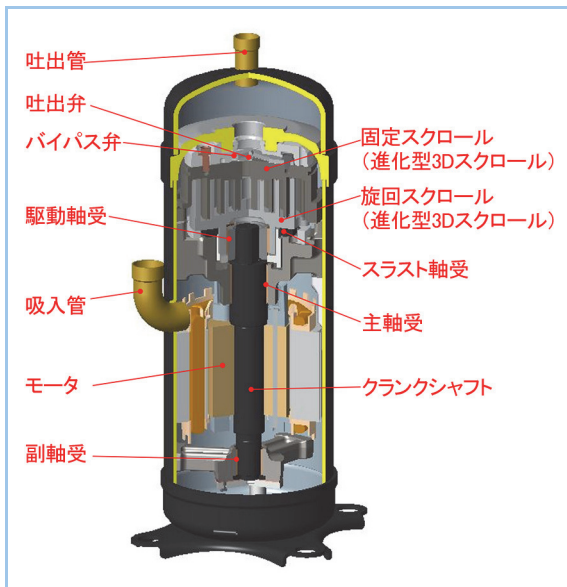


図8 開発機断面図

表2 開発機諸元

用途	ヒートポンプモジュールチラー VRF システム
冷媒/冷凍機油	R410A / POE
押退量	120cm ³ / rev
スクロール形状	進化型 3D スクロール
モータ	集中巻ブラシレス DC モータ
外径/高さ	183mm / 523mm

4.2 効率向上

表1の運転条件における、従来の3Dスクロールとe-3Dスクロールとの効率比較を図9に示す。条件1(定格条件)では両者に差は見られないが、条件2(50%負荷条件)と条件3(25%負荷条件)ではそれぞれ+3.2%、+4.8%の大幅な効率向上を達成している。条件2, 3では、低速運転のため漏れによる効率低下の影響が顕著に現れる条件であることから、e-3Dスクロールの採用により漏れ損失が低減し、効率向上につながったものと考えられる。これらの条件は IPLV (Integrated Part Load Value) や APF (Annual Performance Factor) などの年間エネルギー効率に対する寄与率が大きいので、ヒートポンプモジュールチラーや VRF システムなどの冷熱機器の大幅な省エネルギーが期待できる。

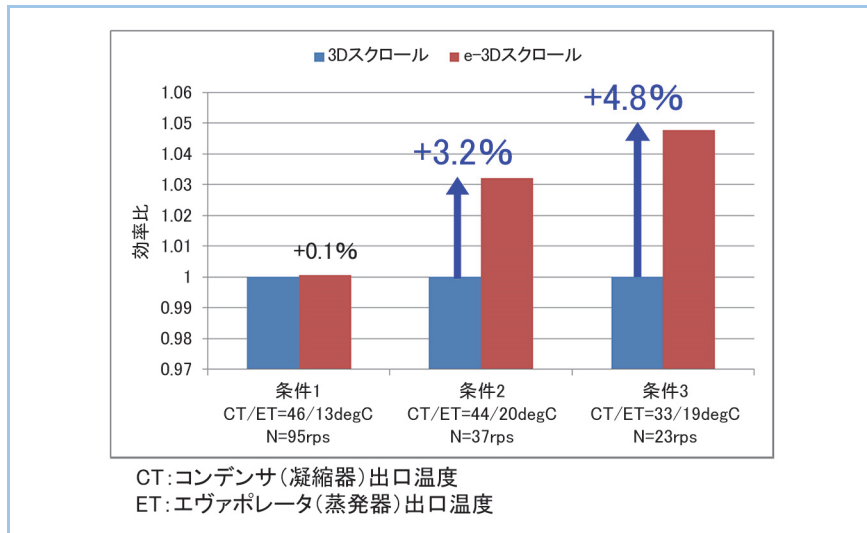


図9 3D スクロールと e-3D スクロールの効率比較

5. まとめ

従来の 3D スクロールの特長である小型大容量, 高圧力比, 高強度に対して高効率を併せ持つ e-3D スクロールは, 大容量, 低速運転での高効率が要求されるヒートポンプモジュールチラーや VRF システムなどの業務用エアコンに加えて, 高圧力比運転となる冷凍システム及び小型軽量を求められるカーエアコンなど, あらゆる冷熱機器向け圧縮機に採用することが可能である。

今後も, 様々な冷熱機器向けの圧縮機へ順次 e-3D スクロールを採用していく計画であり, 圧縮機の高性能化を通じて, 省エネルギー及び地球環境保全に貢献していく。

参考文献

- (1) 佐藤創ほか, Efficiency improvement technology for 3D scroll compressor, *Proc. of 2005 JSRAE Annual Conf.*, C310