

## ビル用マルチ空調システムに対応した小型・大容量 ロータリーコンプレッサー A3・A4シリーズ

A3 and A4 Series Compact Large-Capacity Rotary Compressors for VRF Air-Conditioning Systems

志田 勝吾 SHIDA Shogo 四至本 知秀 SHISHIMOTO Tomohide 戸田 隼 TODA Hayato

ビル用マルチ空調システムの室外機は、一般に建屋屋上のスペースに設置されることが多く、スペースの有効活用の観点から、筐体(きょうたい)サイズの小型化が求められている。製品仕様に合わせて複数台のコンプレッサーが搭載されるが、大容量化によって台数を減らすことで、筐体サイズの小型化が可能である。

東芝キャリア(株)は、三つの圧縮室から成るトリプルロータリー構造や、各圧縮室の上下に吐出弁を配置するマルチバルブ構造、空調用コンプレッサーとして世界初<sup>(注1)</sup>のオープン巻線モーターの採用などにより、当社従来機種と同一のシェル径(コンプレッサー本体の外径)で、20%の大容量化を実現し、高効率かつ低振動・低騒音の業界最大クラス<sup>(注2)</sup>の大容量ロータリーコンプレッサー A3・A4シリーズを開発した。

As the outdoor units of variable refrigerant flow (VRF) air-conditioning systems are often installed on the rooftops of buildings, it is necessary to reduce their casing size in order to make effective use of the limited space available. Demand has therefore been increasing for compressors offering both large capacity and compactness so as to decrease the number of compressors used in outdoor units, thereby allowing them to be installed in locations with limited space without any decrease in product specifications.

Toshiba Carrier Corporation has developed the A3 and A4 series rotary compressors for VRF air-conditioning systems that have achieved the largest class of capacity in the industry, about 20% higher than conventional compressors with same shell diameter, as well as high efficiency, low vibration, and low noise. These features were realized by applying a triple-rotary structure consisting of three compression chambers, a multivalve structure with discharge valves located on both the top and bottom sides of the compression chambers, and the world's first open-winding motor for air conditioners.

### 1. まえがき

ビル用マルチ空調システムの室外機は、ビルの屋上などの限られたスペースに設置され、スペースの有効活用の観点から、筐体サイズの小型化が求められている。例えば、従来の東芝キャリア(株)製能力20馬力のビル用マルチ空調システムは、A3シリーズ(シェル径155mm)コンプレッサーを2台搭載して能力を賄っており、筐体としてはコンプレッサー2台分の設置面積を確保する必要があった。そこで今回、コンプレッサー1台で賄える小型・大容量ロータリーコンプレッサー A4シリーズを開発し、課題であった振動・騒音の低減、信頼性の確保、及び効率の向上を実現した。

ここでは、開発した小型・大容量ロータリーコンプレッサー A3・A4シリーズの概要、それらの性能、及び大容量化の要素技術について述べる。

### 2. 小型・大容量ロータリーコンプレッサーの概要

当社製のビル用マルチ空調システムとコンプレッサーの仕様を表1に、コンプレッサーのシェル径と排除容積を表2に、それぞれ示す。代表的なシェル径としては、A3シリーズの155mmと、A4シリーズの170mmをラインアップしている。コンプレッサーの構造上、シェル径が大きいほど、大容量化が可能であるが、コンプレッサーの設置面積は大きくなってしまふ。

今回開発した小型・大容量ロータリーコンプレッサーは、従来のシェル径のまま20%の大容量化を実現し、A3シリーズでは最大排除容積を64cm<sup>3</sup>から77cm<sup>3</sup>に拡大させるとともに、コンプレッサーの設置面積を従来の50%に削減した。また、能力20馬力の製品ではA4シリーズの最大排除容積を100cm<sup>3</sup>から120cm<sup>3</sup>に拡大させ、従来A3シリーズコンプレッサー2台が占めていた設置面積をその61%に低減した。

ここで、A4シリーズにおいて、従来の圧縮室を二つ配置したツインロータリー構造のまま、単に排除容積を

(注1) 2019年12月時点、ビル用マルチ空調システムにおいて、当社調べ。

(注2) 2019年12月現在、ビル用マルチ空調システムにおいて、当社調べ。

表1. ビル用マルチ空調システムとコンプレッサーの主な仕様

Specifications of conventional and newly developed VRF systems and compressors

ビル用マルチ空調システム		コンプレッサーの仕様				
能力 (馬力)		シリーズ名	排除容積 (cm <sup>3</sup> )	搭載台数 (台)	合計質量 (kg)	設置面積* (%)
12	従来機種	A3シリーズ	42	2	47	-
	開発機種	A3シリーズ	77	1	28	50
20	従来機種	A3シリーズ	64	2	51	-
	開発機種	A4シリーズ	120	1	45	61

\*同等仕様の従来機種の設置面積に対する割合

表2. コンプレッサーのシェル径と排除容積

Comparison of shell diameter and excluded volume of conventional and newly developed compressors

コンプレッサーのラインアップ		シェル径 (mm)	排除容積 (cm <sup>3</sup> )
A3シリーズ	従来機種	155	38 ~ 64
	開発機種		77
A4シリーズ	従来機種	170	65 ~ 100
	開発機種		120

100 cm<sup>3</sup>から120 cm<sup>3</sup>に拡大させると、大容量化に伴って振動・騒音が増大するとともに、軸負荷が増加して信頼性の確保が難しいことが分かった。そこで、圧縮室を三つ配置したトリプルロータリー構造を適用し、マルチバルブ構造や新規モーターなどの新技術も導入することで、世界最大クラス<sup>(注2)</sup>となる排除容積120 cm<sup>3</sup>の小型・大容量、高効率、低振動・低騒音のトリプルロータリーコンプレッサーを開発した。

### 3. 性能

A3シリーズ及びA4シリーズにおける、従来機種と開発機種の仕様比較を、表3に示す。また、A4シリーズについて、COP (エネルギー消費効率) 測定値の比較を図1に、振動性能測定値の比較を図2に、それぞれ示す。

図1から、A4シリーズのCOPは従来機種に比べて、4.6%の向上を実現した。これは、マルチバルブ構造の採用、並びにモーター巻数マッチング技術とオープン巻線技術の採用で、中間能力から大能力の運転領域が大幅に改善したことによると考えられる。また図2から、A4シリーズの振動性能は従来機種に比べて、78%の低減を実現した。

### 4. 大容量化の要素技術

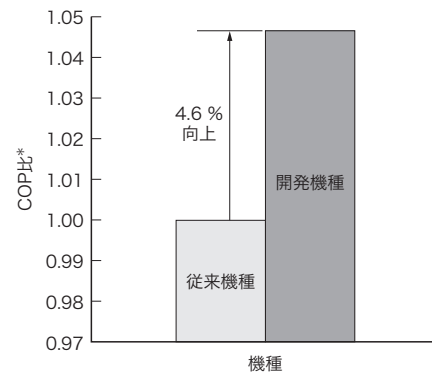
#### 4.1 トリプルロータリー構造

排除容積120 cm<sup>3</sup>相当でのツインロータリーコンプレッサーとトリプルロータリーコンプレッサーにおけるトルク変動

表3. A3・A4シリーズにおける従来機種と開発機種の仕様比較

Main specifications of A3 and A4 series compressors

項目	A4シリーズ		A3シリーズ	
	開発機種 (トリプルロータリー)	従来機種 (ツインロータリー)	開発機種 (ツインロータリー)	従来機種 (ツインロータリー)
圧縮構造	3シリンダー	2シリンダー	2シリンダー	
冷媒	R410A		R410A	
最大排除容積 (cm <sup>3</sup> )	120	100	77	64
シェル径 (mm)	170		155	
軸受構造	主軸受 中間軸受 副軸受	主軸受 副軸受	主軸受 副軸受	
吐出構造	マルチバルブ構造 (6バルブ)	マルチバルブ構造 (4バルブ)	マルチバルブ構造 (4バルブ)	シングルバルブ構造 (2バルブ)
モーター	オープン巻線モーター	集中巻きモーター	オープン巻線モーター	集中巻きモーター
搭載製品	ビル用マルチ空調システム	大型チラー	ビル用マルチ空調システム	

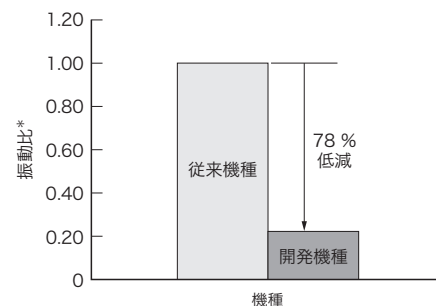


\*A4シリーズ従来機種の値を1として規格化

図1. A4シリーズのCOP測定値の比較

APF (通年エネルギー消費効率) の中間条件 (能力25.2 kW) において、COPは従来機種に比べて4.6%向上した。

Comparison of coefficient of performance (COP) of conventional and newly developed A4 series compressors



\*A4シリーズ従来機種の値を1として規格化

図2. A4シリーズの振動性能測定値の比較

ARI (米国冷凍空調工業会) の条件30 rpsにおいて、回転方向の振動値は従来機種に比べて78%低減した。

Comparison of vibration reduction performance of conventional and newly developed A4 series compressors

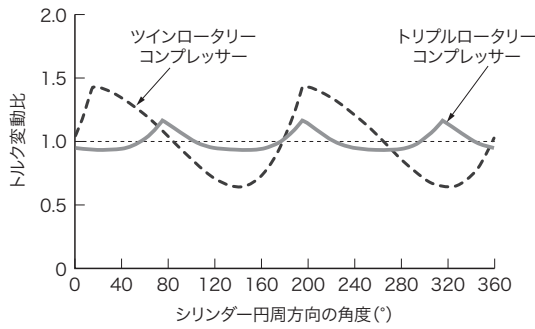


図3. ツインロータリーコンプレッサーとトリプルロータリーコンプレッサーのトルク変動の計算結果

排除容積 120 cm<sup>3</sup>相当において、トリプルロータリーコンプレッサーは、ツインロータリーコンプレッサーに比べてトルク変動を大幅に低減した。

Comparison of torque variation of various types of compressors

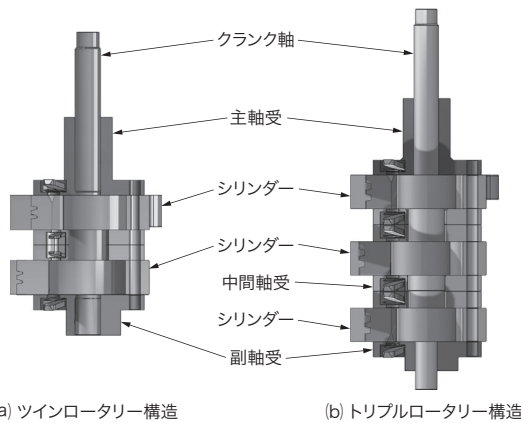


図4. ツインロータリー構造とトリプルロータリー構造

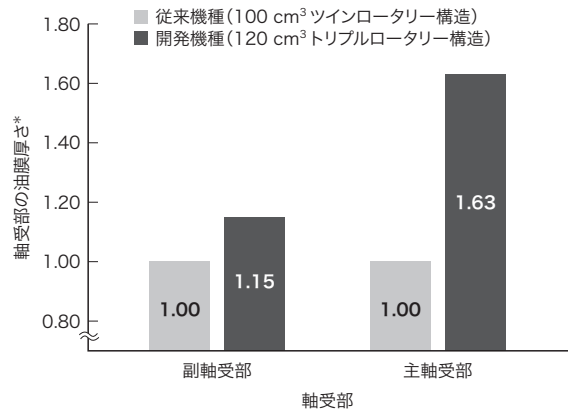
ツインロータリー構造は、主軸受と副軸受の二つで、トリプルロータリー構造は、主軸受、中間軸受、及び副軸受の三つでクランク軸を保持している。

Rotating parts of twin-rotary and triple-rotary compressors

の計算結果を図3に、ツインロータリー構造とトリプルロータリー構造を図4に、それぞれ示す。

大容量のロータリーコンプレッサーは、部分負荷性能・振動・騒音の観点から圧縮室が二つのツインロータリー構造が主流である。しかし、ツインロータリー構造は、クランク軸による圧縮角度がシリンダー円周方向の180°ごとに設けられており、大容量化に伴う振動の増大が問題となっていた。そこで、トリプルロータリー構造では、クランク軸による圧縮角度をシリンダー円周方向の120°ごとに設けることで、トルク変動比を大幅に低減した(図3)。また、バランス構造についても最適化を行うことで、振動値は従来のツインロータリー構造よりも小さくなった。

一般的なツインロータリー構造は、主軸受と副軸受の二つの軸受でクランク軸を保持する構造である(図4(a))。一



\*A4シリーズにおける従来機種を1として規格化

図5. A4シリーズにおける軸受部の油膜厚さの計算結果

トリプルロータリー構造では中間軸受を採用することで、ツインロータリー構造に比べて、副軸受部で15%、主軸受部で63%油膜厚さを向上できることが分かった。

Results of calculation of thickness of oil film on bearings of conventional and newly developed A4 series compressors

方、トリプルロータリー構造は、軸受間距離の増加による軸たわみの増加や、圧縮ガスの圧力増大による軸負荷の増加などを緩和するため、主軸受と副軸受の間に新たに中間軸受を配置した構造になっている(図4(b))。中間軸受は、圧縮室間の仕切り機能と軸受機能を両方兼ね備えた新機能部品である。この中間軸受を採用し、クランク軸を上から主軸受、中間軸受、及び副軸受の三つのジャーナル軸受で保持する新構造とすることで、軸受の信頼性を確保した。

A4シリーズにおける軸受部の油膜厚さの計算結果を、図5に示す。トリプルロータリー構造では中間軸受を採用することで、中間軸受なしのツインロータリー構造に比べ、副軸受部で15%、主軸受部で63%油膜厚さを向上できることが分かった。

一方、コンプレッサーは、各軸受の軸が同心を確保した状態で組み立てられていることが重要である。ツインロータリー構造からトリプルロータリー構造に変更するために、主軸受と副軸受の2軸から、主軸受、中間軸受、及び副軸受の3軸の同心を確保できる新製造方法を確立した。また、新しく中間軸を配置するため、中間軸を通して組み立てる圧縮機構部品の寸法を最適化することで、組み立て性も担保した。

#### 4.2 マルチバルブ構造

マルチバルブ構造を図6に示す。ロータリーコンプレッサーは、圧縮室内で圧縮されたガスが高圧シェル内の圧力に到達した際に、吐出弁が自動的に開いて吐出ポートから圧縮ガスが排出される構造となっている。一般的なロータ

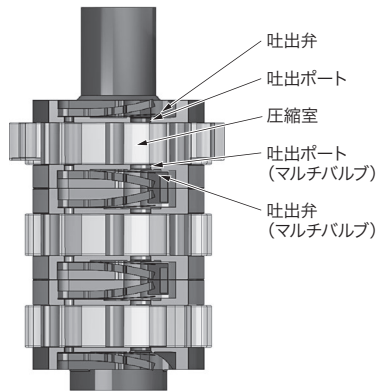


図6. 大容量化に対応したマルチバルブ構造

コンプレッサの大容量化に伴い、各圧縮室の上下に吐出弁を配置するマルチバルブ構造を採用することで、吐出ポート面積を拡大して吐出流路の損失を低減した。

Multi-valve structure for large-capacity compressors

ローコンプレッサは、各圧縮室に吐出弁を一つ配置しているが、コンプレッサの大容量化に伴い、吐出される圧縮ガスの流量が増加して吐出ポート面積が不足すると、損失が発生する。そこで、各圧縮室の上下に吐出弁を配置するマルチバルブ構造を採用して吐出ポート面積を拡大し、吐出流路の損失を低減した。

### 4.3 オープン巻線

オープン巻線モーターの印加電圧について図7に示す。マルチ空調システムの実使用においては、コンプレッサは低負荷領域での運転時間が長い。低負荷領域での性能向上が省エネ性能を示す指標である。通年エネルギー消費

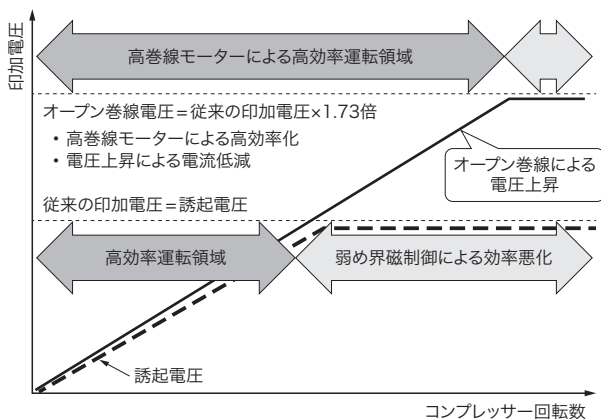


図7. オープン巻線モーター採用による印加電圧の高電圧化

オープン巻線モーターとデュアルステートインバーター回路の採用で、標準的なインバーター回路に対し、約1.7倍の電圧印加が可能となった。

Increase in applied voltage through application of open-winding motor

効率 (APF) の向上につながる。低負荷領域での性能を向上させるため、モーターの巻き数を増やして高巻線化することで、モーター効率が向上するが、大能力化による電流増加で、定格能力域での運転時は、弱め界磁制御によりモーター効率が悪化する。そこで、モーターの結線方式に空調用コンプレッサとしては世界初<sup>(注1)</sup>となる、オープン巻線モーターを開発した。オープン巻線専用のデュアルステートインバーター回路により、従来のインバーター回路に比べて約1.7倍の電圧を印加でき、定格能力域での高巻線モーターの適用を実現した。

また、印加電圧の高電圧化に伴い、集中巻きモーターの絶縁紙と絶縁端板の形状を見直して、耐電圧特性の向上も図った。

## 5. あとがき

今回開発した小型・大容量ロータリーコンプレッサにおいて、A4シリーズでは新圧縮機構を採用することで、大容量化に伴う振動の問題を解決した。また、効率は、APF寄与率の最も高い中間条件を含む中間能力から大能力の運転領域で、従来機種に比べて大幅に向上した。

今後、低炭素・脱炭素化の観点から、低GWP (地球温暖化係数) 冷媒への移行が進んでいく。そのため、小型・大容量コンプレッサへの要求は更に高まると考えられる。特に、A4シリーズに搭載したトリプルロータリーコンプレッサは、ロータリーコンプレッサにおける新たなプラットフォームとして製品への搭載を拡大し、次世代製品の開発に貢献していく。



志田 勝吾 SHIDA Shogo  
東芝キャリア (株)  
コンプレッサ事業部 設計部  
Toshiba Carrier Corp.



四至本 知秀 SHISHIMOTO Tomohide  
東芝キャリア (株)  
コンプレッサ事業部 設計部  
Toshiba Carrier Corp.



戸田 隼 TODA Hayato  
東芝キャリア (株)  
コンプレッサ事業部 設計部  
Toshiba Carrier Corp.