

空調用デュアルステージ コンプレッサ

Dual-Stage Compressor for Air Conditioner

小野田 泉 北市 昌一郎 高島 和

■ ONODA Izumi ■ KITAICHI Shoichiro ■ TAKASHIMA Kazu

近年、高気密・高断熱の住宅比率が増加している。これらの住宅で使用されるエアコンは部屋の断熱特性上、比較的小さな冷暖房負荷で運転される頻度が高い。また従来、エアコン使用頻度が低かった春秋の季節においても、家電製品や照明などからの熱が室内に停滞してしまうため、微小冷房運転する機会が増えている。

東芝キャリア(株)はこの住宅環境の変化に対応するべく、二つの冷媒圧縮室(シリンダ)のうち一つを休止できる、世界初の変シリンダ機構を採用したデュアルステージコンプレッサを開発した。この機構切換えなどの新技術で、低負荷領域でも高効率運転が可能となり、エアコン運転能力全域で省エネルギー(以下、省エネと略記)性を大幅に向上させた。

Residences with high heat insulation have been increasing in number in recent years. Air conditioners in these residences are therefore often operated with a comparatively small air-conditioning load. Moreover, air conditioners are seldom used in spring and autumn, and are often operated minimally because of accumulated indoor heat from home electronic or lighting equipment.

In response to these changes in housing characteristics, Toshiba has developed a dual-stage compressor adopting the first variable-cylinder system in the world, which can stop one of two cylinders. This new technology realizes efficient compressor operation at low loads, and significantly improves energy saving along with air-conditioner operating performance.

1 まえがき

地球環境保全の観点から、空調業界ではエネルギー効率向上に力点を置き、新製品の開発がなされている。そのなかで、家庭用エアコンに搭載されるコンプレッサは、従来の商用一定速タイプから、東芝キャリア(株)が業界に先駆けて採用したインバータ能力可変タイプに集約した。

一方、高気密・高断熱の住宅(以下、省エネ住宅と呼ぶ)が増加しており、JISで定められた期間消費電力量評価基準の建物断熱特性を超える省エネ住宅の国内構成比は約60%を占めるようになった(当社調査)。この住宅事情の変化は、コンプレッサに求められるエネルギー効率特性を大きく変え、前述のインバータ能力可変タイプだけの対応が難しくなってきた。

当社では、この変化に対応した新機構などを採用することによって、全能力域での効率向上と住宅事情の変化に対応できる、業界初のデュアルステージコンプレッサを開発した。以下に、その概要と特長となる機能について述べる。

2 省エネ住宅での要求性能

省エネ住宅での、年間空調負荷分布と従来のコンプレッサの効率特性を図1に示す。10畳間に冷房2.8kWクラスのエアコンを据え付けたツーバイフォー(2×4)住宅を例とし、

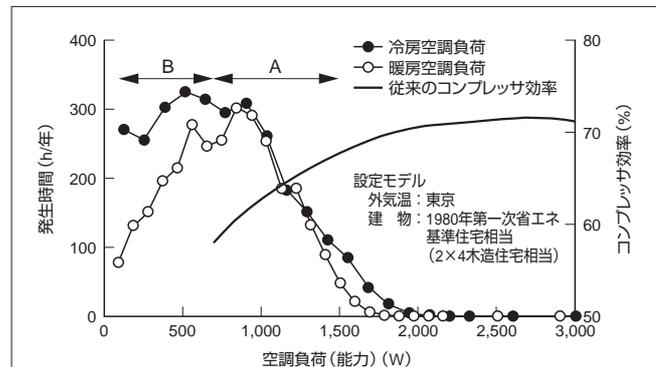


図1. 年間空調負荷分布と従来のコンプレッサ効率 — 省エネ住宅の空調負荷は1,500W以下の中～小能力域に集中しており、従来のコンプレッサの効率低下域と重なっている。

Annual air-conditioning load distribution and compressor efficiency

年間空調負荷分布と、そのエアコンに搭載されるコンプレッサの効率特性を併記している。

夏の冷房の場合、室温が設定温度付近まで下がると、部屋の断熱特性が優れているため、その後、部屋の温度を保つためのコンプレッサ能力は小さくて済む。また、従来あまりエアコンを使用しなかった春秋の季節においても、家電製品、室内照明や人体からの熱が室内に滞留してしまうため、微小冷房する機会が増えている。運転開始時を除き、ほとんどが能力の小さい運転域でコンプレッサが使用されている

ことがわかる。

一方、従来のコンプレッサの性能は、小能力域で効率が大きく低下する(A域)。これはモータとインバータの固定損失、及び圧縮室の漏れ損失などが影響を与えるためである。

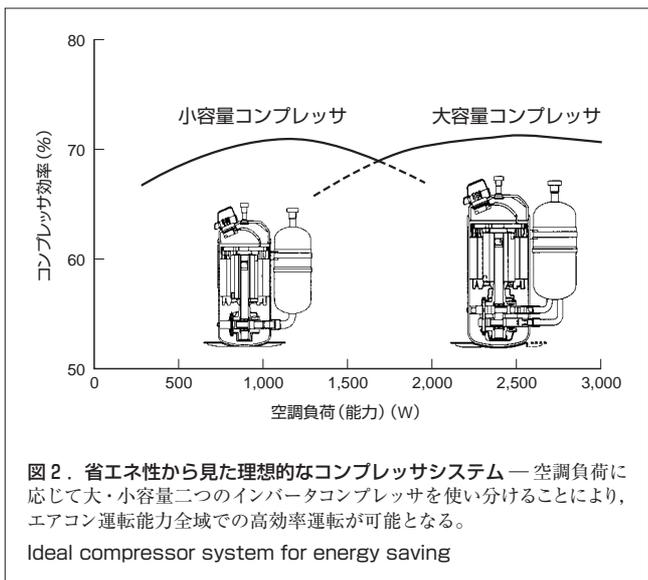
またインバータによる能力可変幅にも限界があるため、最小能力運転時に室温が設定温度に達すると、ロスが大きなオン/オフ運転を繰り返しながら温度を調節する(B域)。この断続運転は省エネ性を悪化させるばかりでなく、室温変動が起き、快適性が損なわれる場合もあった。また一方では、エアコン運転開始時の急速冷暖房ニーズも当然あり、大能力域での省エネ性向上も課題である。

3 インバータ+新能力可変方式の採用

省エネ住宅での小能力域と、従来住宅と共通のニーズである大能力域での効率向上も考慮すると、**図2**のような大・小容量2台のインバータ能力可変コンプレッサを同一エアコンに搭載し、効率の良いコンプレッサを選択し切換えて使用するシステムが考えられる。しかし、これにはコンプレッサとインバータが二つ必要であり、また、制御の複雑化やスペースなどの課題が大きく、実現化は難しい。

今回の開発では、従来のインバータ能力可変と、新能力可変機構を併用することにより、小能力域で効率を改善し、なおかつ最小能力運転域を広げることにチャレンジした。新能力可変機構は、次の課題を克服する必要があった。

- (1) 能力可変幅が40%以上のこと
- (2) 機構動作時に性能低下が最小であること
- (3) 大能力域(機構不動作時)の損失がないこと
- (4) 機構がコンパクトで、経済性に優れていること
- (5) 高信頼性であること



4 デュアルステージコンプレッサの概要

今回、冷房能力2.2~7.1kWクラスの家庭用エアコンに搭載するコンプレッサシリーズとして、デュアルステージコンプレッサを開発した。

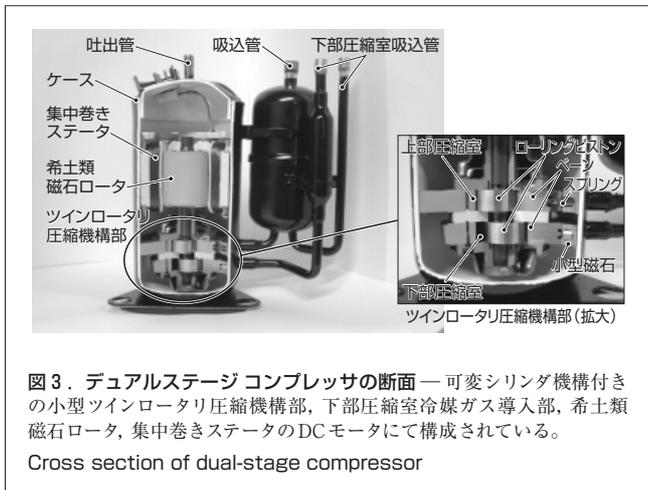
主な仕様を**表1**に示す。

表1. デュアルステージコンプレッサシリーズの仕様
Specifications of dual-stage compressor

| 項目 | デュアルステージコンプレッサ DA111A1FDシリーズ | 従来モデル DA91A1Fシリーズ |
|----------------------------|------------------------------|-------------------|
| 型式 | 密閉型ロータリ | 同左 |
| 使用冷媒 | R410A | 同左 |
| 排除容積 (cm ³ /回転) | 11 ↔ 5.5 切換え | 9.1 |
| 駆動方式 | ベクトル制御 DCインバータ | 同左 |
| モータ型式 | 直流無刷子モータ | 同左 |
| モータ極数 | 4 | 同左 |
| ロータ磁石 | 希土類 (Nd-Fe-B) | フェライト |
| 最大/最小能力比 | 27 | 18 |
| 質量 (kg) | 9.6 | 10.2 |
| 本体寸法 (外径×高さ) (mm) | φ116×282 | 同左 |

当社は、二つの冷媒圧縮室を持つツインロータリ構造を採用している。その圧縮室は同一軸でモータに連結されるが、各々独立して圧縮仕事を行う構造となっている。当社は、この独立する圧縮室を小さな二つのコンプレッサと考え、小能力域で片側の圧縮室(シングル運転:能力50%),大能力域で両側の圧縮室(ツイン運転:能力100%)を運転させる機構を考案した。デュアルステージコンプレッサの断面を**図3**に、切換機構動作を**図4**に示す。

以下に、ツイン運転、シングル運転の切換機構動作について述べる。



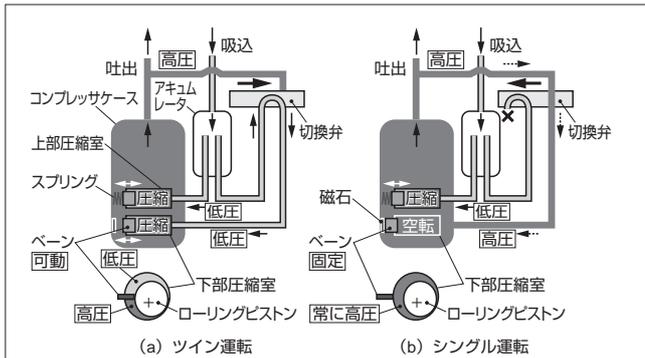


図4. デュアルステージコンプレッサの運転モード切換機構動作—
 (a) ツイン運転では、コンプレッサケース内圧力が上昇後、ベーンは背圧を受けてローリングピストンに追従し、上下室とも圧縮開始する。(b) シングル運転では、切換弁によりエアコンサイクルから下部圧縮室内に高圧冷媒ガスを導入し、ベーンを固定することにより下部圧縮室はローラが空転し、上部圧縮室のみで仕事を行う。
 Modulation mechanism of dual-stage compressor

4.1 ツイン運転

エアコン運転開始時などの大能力域では、二つの圧縮室を使用したツイン運転を行う。このツイン運転では始動直後、上部圧縮室でまず圧縮を開始させる(図4(a))。このために上部圧縮室側には、停止中でも圧縮室を仕切っているベーンをローリングピストンに押し付けられるように、圧縮コイルスプリングをベーン背部に設けている。上部圧縮室で圧縮された冷媒ガスがケース内に排出されると同時にケース内圧力が上昇し、下部圧縮室のベーンを背後から押し、ベーンがローリングピストンに追従することによって圧縮を始め、ツイン運転が開始される。

4.2 シングル運転

エアコン設定温度付近などの小能力域では、図4(b)のように、切換弁の動作により下部圧縮室内に高圧冷媒ガスを導入し、ケース内と下部圧縮室内の圧力をバランスさせる。するとそれまで圧力差によりローリングピストンに押し付けられ追従していたベーンが離れ、ベーン室背部に近接して設けた小型磁石に吸引されて保持される。この一連の動作により、下部圧縮室側は空転、上部圧縮室のみで圧縮仕事を行うことでシングル運転となる。

この磁石の設計には、相反する二つの要求を満足させる必要があった。一つは前述のシングル運転時のベーン保持力(磁石は強いほうが良い)であり、もう一つはツイン運転への切換えやすさ(磁石は弱いほうが良い)である。

今回、磁石(磁力)の選定及び各部設計寸法の最適化によりこの課題を解決し、休止側圧縮室へ連通するサイクルからの冷媒ガス圧の切換えだけで、自在に両運転を選択可能としている。

4.3 機構の損失

4.3.1 ツイン運転 可変シリンダ機構は、圧縮室内に

追加部品や特別な加工が不要のため、理論上、全能力運転時の損失がない。このためツインロータリコンプレッサの持つ高効率特性を犠牲にしない。

4.3.2 シングル運転 休止中は、下部の圧縮室内とケース内圧力を高圧バランスさせる構造としており、漏れ損失は0(ゼロ)となる。また、休止側のローリングピストンを無負荷で空転させているためしゅう動損失もほぼ0で、基本的に圧縮仕事をさせないこともあり、省エネ性を維持したまま微小能力運転を可能としている。

5 デュアルステージコンプレッサの省エネ性

エアコンの負荷に対応して圧縮室数を選択し、常に高効率点で運転できるようにしたデュアルステージコンプレッサの効率特性を図5に示す。従来では効率が大幅に低下する小能力域ではシングル運転に切り換える。能力を半減したシングル運転では、回転数を上昇させることで高効率点での運転が可能となり、従来品と比較して効率が最大30%向上した。また、能力範囲の拡大(最小能力低減)も実現したため、損失の大きい断続運転を避け、小さい能力で連続運転させることができ、搭載エアコンの省エネ性と快適性を向上させることができた。なお、中～大能力域についても、後述する技術を折り込むことによって効率が4%向上した。

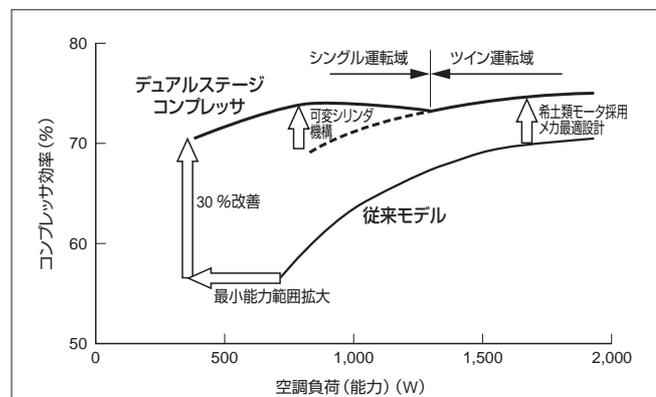


図5. デュアルステージコンプレッサと従来モデルの効率比較—可変シリンダ機構により、低能力域での大幅な効率アップ及び最小能力範囲の拡大を実現した。
 Comparison of efficiency of dual-stage compressor and conventional model

6 省エネ技術全般

2003年10月に新省エネ法が施行され、家庭用エアコンの目標基準値を決める際、制定当時にもっとも高い性能を持った機種が基準値に定められた(このとき、4クラスのうち3クラスが当社製エアコンであった)。

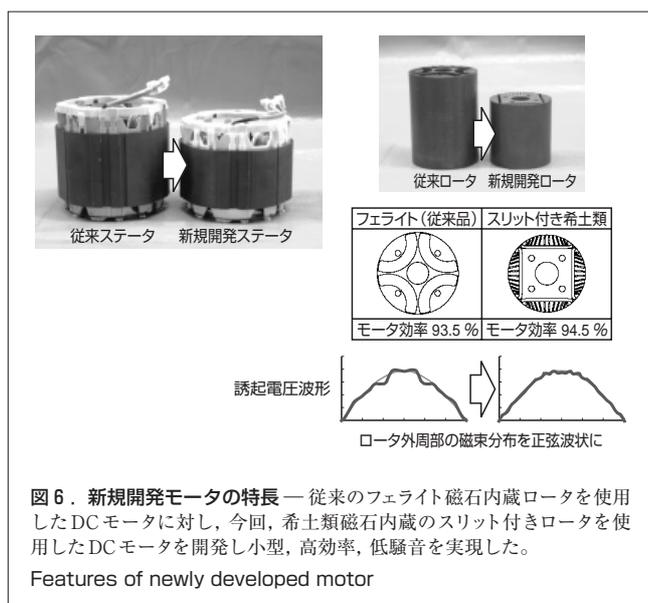
またオゾン層保護のために、従来のHCFC (Hydro Chloro Fluoro Carbon) 冷媒 (R22) が規制され、2020年までに全廃することがモントリオール議定書により義務づけられた。当社は業界に先駆け、2002年から“オゾン層破壊係数0”の新冷媒 (R410A) を主力機種に採用してきた。ただ省エネ性から見た場合、R410AはR22と比較して理論効率が低いという特性を持っていた。

この二つの環境問題は、コンプレッサ効率向上の推進力となり、技術革新が進んだ。

6.1 モーター

モーターは、より高い効率実現のため、AC (交流) タイプからブラシレス DC (直流) タイプに移行した。更に当社は、業界に先駆けて集中巻きモーターを採用し、銅線使用量を約40%減少させ銅損を低減させた。

デュアルステージコンプレッサには、更なる効率向上を図るために、ネオジウム (Nd) - 鉄 (Fe) - ボロン (B) 系希土類磁石を内蔵したスリット付きロータを開発した (図6)。特長は次のとおりである。



- (1) 小型で高効率 強力な磁場を持つ希土類磁石のリラクタンス (磁気抵抗) の変化で生じる回転トルクを併用でき、従来のフェライト磁石内蔵ロータを使用したDCモーターに対して、23%の軽量化と1%の効率向上を実現した。
- (2) 電磁騒音の低減 外周部の磁束分布をスリットによって均一化し、誘起される電圧を正弦波化することで電磁騒音を低減した。

6.2 圧縮機部

新冷媒が、HCFC冷媒に対し、同等排除容積比で約1.4倍

の冷凍能力を発揮させることを利用し、圧縮機部の小型・軽量化も図ってきた。また、新冷媒は高密度冷媒であるため吸込口と吐出口での流速を低減でき、高効率化が図れる。デュアルステージコンプレッサでは、設計寸法の最適化を行うことで、固定損失を従来比で約18%低減させた。

7 その他の効果

コンプレッサの微小能力運転の実現は、エアコンの除湿方式にも革新を与える。従来は微小能力運転ができなかったため、熱交換器の一部で冷房除湿し、他部分を暖房加熱することによって熱バランスさせ、室温を変えない再熱除湿方式をとるエアコンが多かった。デュアルステージコンプレッサの微小能力運転は、従来方式の一度冷やした冷媒を再度暖めるというむだを省けるため、省エネと等温除湿空調が実現できる。

8 あとがき

当社は、DCツインロータリ、オゾン層保護対応、及び集中巻きモーターと、常に業界に先駆けて新技術の開発を行ってきた。デュアルステージコンプレッサに投入した技術は、搭載されるエアコンの省エネ性向上だけでなく、年間を通じて快適な室内環境を提供できる微小能力運転を可能とした。その結果、能力可変幅は最大/最小能力比で、従来の18倍から27倍へと大幅に拡大した。この広範囲な能力可変は、将来のエアコン開発にも大きく寄与すると考える。

当社はこれらの技術をベースとして、今後更に、地球環境保全と搭載エアコンの室内環境快適化に貢献していきたい。



小野田 泉 ONODA Izumi

東芝キヤリア(株)富士事業所 第一コンプレッサ技術部グループ長。ロータリコンプレッサの設計・開発に従事。日本冷凍空調学会会員。
Toshiba Carrier Corp.



北市 昌一郎 KITAICHI Shoichiro

東芝キヤリア(株)富士事業所 第一コンプレッサ技術部主務。ロータリコンプレッサの設計・開発に従事。日本金属学会会員。
Toshiba Carrier Corp.



高島 和 TAKASHIMA Kazu

東芝キヤリア(株)富士事業所 第一コンプレッサ技術部主務。ロータリコンプレッサの設計・開発に従事。
Toshiba Carrier Corp.