

若杉 晴廣  
H. Wakasugi

長倉 進  
S. Nagakura

川村 清隆  
K. Kawamura

当社は、前年度機種より年間電気代を5,000円低減し、冷房能力2.5kWクラスで暖房定格時の暖房効率(COP(能力/入力比))4.29を実現した省エネルギー型エアコンを開発、商品化した。コンプレッサは、直流モータの磁石配置を逆円弧状にするとともに磁石内部の粒子配向を変更し、有効磁束量を増加させ効率改善した。室内熱交換器は、コンパクトな製品スペース内で前面面積を最大限に拡大し熱交換性能を向上させた多段曲げ熱交換器を、また室内送風機は、騒音エネルギー自体を低減することのできるランダムスキュー横流ファンを開発、採用した。さらに、制御面でもGA(遺伝的アルゴリズム)制御を家電製品で初めて採用し、非定常時の応答性と定常時の安定性を両立させた制御となっている。

We have developed an energy-saving type heat pump which realizes saving of 5,000 yen (approx. \$60) in annual running costs compared to the conventional model. This heat pump has a heating coefficient of performance of 4.29 at rated operation.

Improvement of the coefficient has been achieved by developing a new compressor motor which has an opposite arc layout of the magnet in the rotor and a radial orientation of magnetization to increase the total effective magnetic flux, by arranging the heat exchanger of the indoor unit in a multiple-bend shape to provide a large heat-transfer area, and by employing a new random-pitch-screw cross-flow fan to decrease noise energy. This heat pump is also the first household appliance to incorporate the genetic algorithm (GA) control method.

As a result of these features, the ED series air conditioner offers both comfortable and energy-saving operation.

### 1 まえがき

近年の日本の家庭用消費電力量の伸びは著しく、5年前と比べると30%以上の増加となっている。この電力量のうちでエアコンが占める割合は約20%、増加率は家庭用消費電力量の伸びを上回っている。このため電力需要、地球環境問題に対応してエアコンの省エネルギーがよりいっそう求められている。

このような環境下で、1993年10月に従来のエアコンに対し電気代が約半分となる省エネルギー型の“デジタルツインロータリエアコンNTDシリーズ(RAS-251NTD/NATD, 他)”を開発し、市場で大きな反響を呼んだ<sup>(1),(2)</sup>。このエアコンはデジタル制御で駆動するブラシレス直流モータをコンプレッサに搭載したほか、熱交換器、送風機を改良した。さらに自動運転時にISOに規定されている快適評価指数(PMV)を一定に保ちながらむだな暖めすぎ、冷やしすぎを抑える制御(PMV制御)を採用、快適性を向上させながら消費電力を低減した<sup>(3)</sup>。

そして、省エネルギー性をさらに向上させるため、前年度

機種“NTDシリーズ”に引き続き、新開発機種としてコンプレッサ、熱交換器、送風機を改良し、“電気上手エアコンEDシリーズ(RAS-251ED/EAD, 他)”を開発した(図1)。

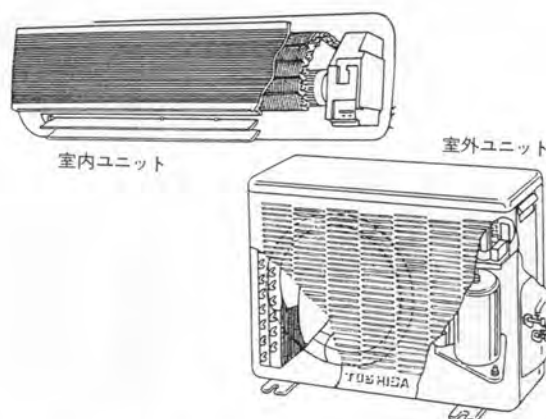


図1. EDシリーズ室内・室外ユニットの外観 逆円弧DCコンプレッサ、室内多段曲げ熱交換器、ランダムスキューファンなどにより省エネルギー性を高めた。

External view of ED series

表1. エアコン性能の比較

Comparison of specifications

		前年度機種 (RAS-251NTD/NATD)	新開発機種 (RAS-251ED/EAD)
		Min ~ 中間 ~ 定格	Min ~ 中間 ~ 定格
冷房	能力(kW)	0.3 ~ 1.2 ~ 2.5	0.4 ~ 1.2 ~ 2.5
	入力(W)	130 ~ 275 ~ 720	100 ~ 225 ~ 640
	COP	2.31 ~ 4.36 ~ 3.47	2.31 ~ 4.36 ~ 3.47
暖房	能力(kW)	0.3 ~ 1.9 ~ 3.6	0.3 ~ 1.9 ~ 3.6
	入力(W)	100 ~ 405 ~ 940	85 ~ 365 ~ 840
	COP	3.00 ~ 4.69 ~ 3.83	3.53 ~ 5.21 ~ 4.29
年間電気代		37,900円	32,900円

\*年間電気代は(社)日本冷凍空調工業会の統一基準に基づく算出値

表1に示すように、年間電気代を5,000円低減し、冷房能力2.5kWクラスで暖房定格時のCOP4.29を達成した。また、制御面でもGA制御を家電製品で初めて採用し、非定常時の応答性と定常時の安定性を両立させた<sup>(4)</sup>。

ここでは、省エネルギー技術として採用した逆円弧ロータDCコンプレッサ、多段曲げ熱交換器、ランダムスキューファン、および快適性と省エネルギーを両立させたGA制御の概要を述べる。

## 2 省エネルギー技術

### 2.1 逆円弧ロータDCコンプレッサ

前年度開発した直流モータは、薄板積層の永久磁石埋込型構造(円弧型)を採用し、一般にコンプレッサに採用されているロータ外被をステンレス缶容器で覆う構造と比較して、高調波磁束により生ずる渦電流損失を大きく低減している。今回は、有効磁束の増加によるモータの効率改善に注力した。図2に示すように磁石配置を逆円弧状にするとともに、磁石

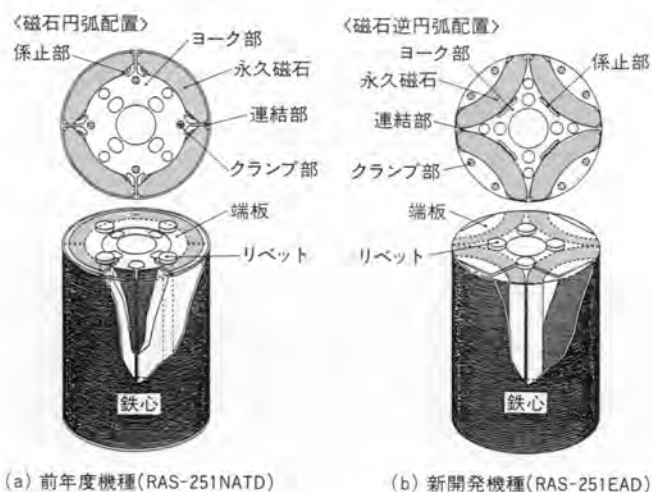
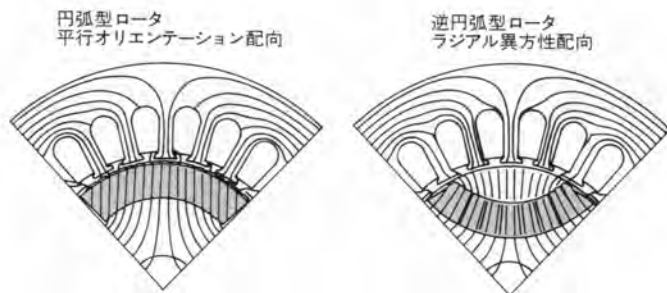


図2. デジタルツインコンプレッサのロータ マグネットを逆円弧配置することにより、効率改善を図った。

Structure of new DC-twin-rotary compressor



(a) 磁束分布

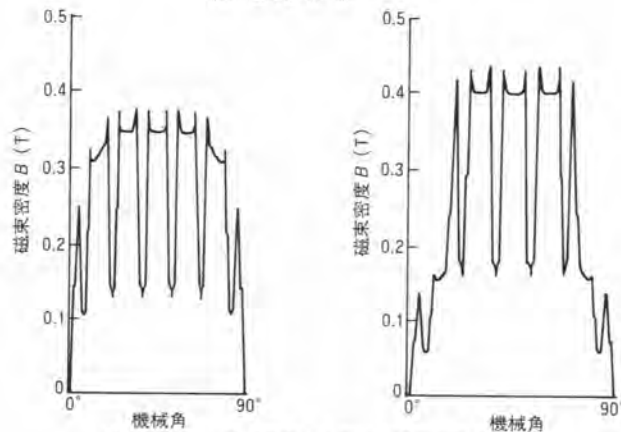


図3. ロータの磁束密度分布 磁石配置を逆円弧状にし、磁石内部の粒子配向を変更することにより、有効磁束量が約20%増加した。

Distribution of magnetic flux (numerical analysis)

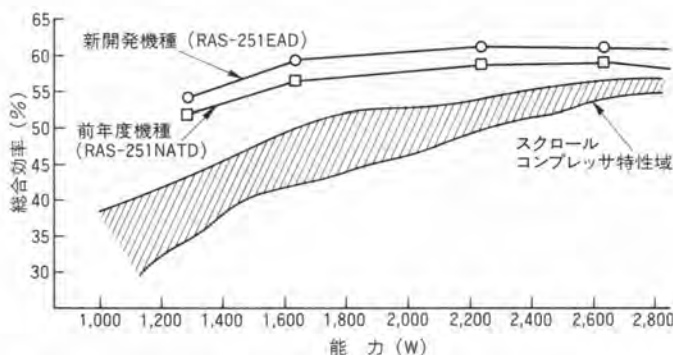


図4. コンプレッサの能力・総合効率特性 逆円弧ロータにすることにより、コンプレッサ総合効率を約4%改善している。

Total compressor efficiency

内部の粒子配向を平行オリエンテーションからラジアル異方性として固定子巻線の通電区間(機械角60°)に集中して磁束が加わるようにした。これにより有効磁束量が約20%増加し、効率を定格時約4%、実用上使用頻度の高い中・低回転時にはそれ以上の効率改善を実現できた。図3にロータの磁界解析結果を、図4にコンプレッサの能力・総合効率特性を示す。

### 2.2 多段曲げ熱交換器

室内熱交換器には、製品の省エネルギー効果の大きな多段曲げ熱交換器を採用した。この熱交換器は図5に示すように、製品前面側においてほぼ円弧状に熱交換器を折り曲げ形

成するとともに背面側にも熱交換器を配置するもので、コンパクトな製品スペース内で前面の面積を最大限に拡大し熱交換性能を向上させている。形状はレーザーシートによる可視化試験を通じて熱交換器内空気流速分布が均一で偏りの少ないものを選定した。この熱交換器の仕様を表2に示す。単体の熱交換性能を前年度機種よりも約25%向上させた。

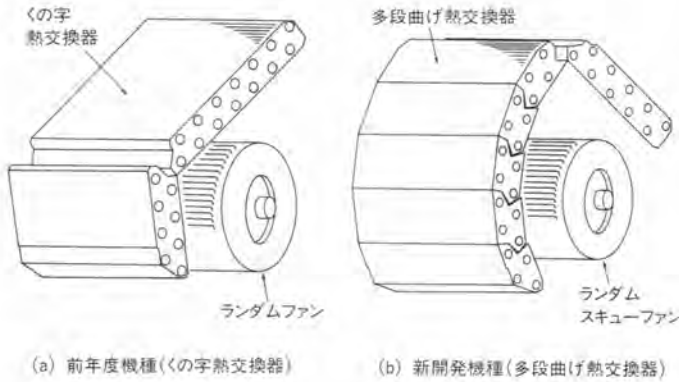


図5. 多段曲げ熱交換器 熱交換器をほぼ円弧状に折り曲げ、背面にも配置することにより前面面積を最大限に拡大し、熱交換性能を向上させた。

Heat exchanger with multiple bending points

表2. 熱交換器の仕様

Specifications of heat exchanger

	前年度機種 (RAS-25INTD)	新開発機種 (RAS-25IED)
形態	くの字形	多段曲げ
列数, 段数, 幅(mm)	2列, 11段, 625(mm)	2列, 15段, 580(mm)
前面面積(m <sup>2</sup> )	0.137	0.167
凝縮熱交換率(W/K)	160.2	198.3

### 2.3 ランダムスキューファン

室内送風機には、ランダムスキュー横流ファンを開発、採用した。横流ファンの騒音の主成分である翼ピッチ音低減のため、3年前からファンブレードの取付間隔をランダムピッチ(不等不規則)にして翼ピッチ音を分散させ聴感を改善させるランダムピッチ横流ファンを採用している。図6に示すように、今回さらに翼にスキュー(ねじり)をいれて、騒音エネルギー自体を低減することができるランダムスキュー横流ファンを開発した。

従来から金属製のスキュー横流ファンは製造されてきたが、今回は翼形状、型構造をくふうしモールド成形品でスキューを実現できたため、スキューの角度を大きくでき、翼断面形状も最適なものとすることができた。これにより、横流ファン単体として従来以上の静音化を図ることができた。上述の通風抵抗の小さな多段曲げ熱交換器と組み合わせることにより、騒音値を上げることなく定格時の風量を増加させ

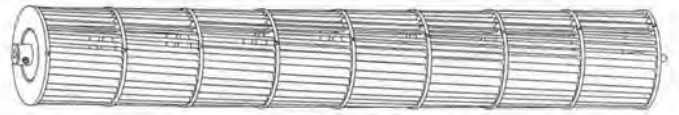
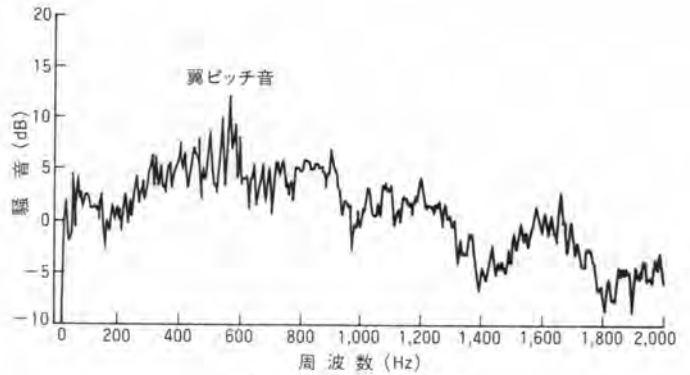
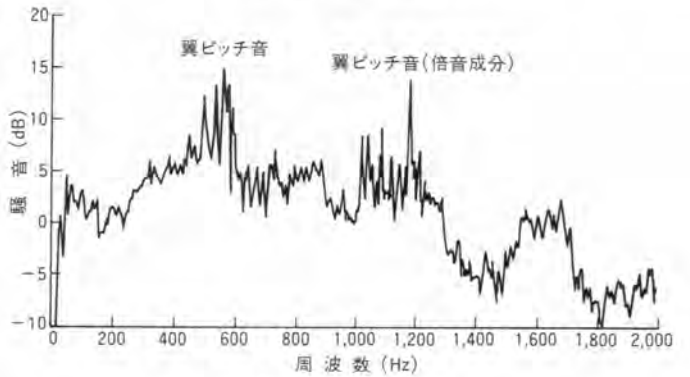


図6. ランダムスキュー横流ファン ファンブレードの取付間隔をランダムピッチ(不等不規則)にし、さらにスキュー(ねじり)を加えた。

Random-pitch-screw cross-flow fan



(a) ランダムスキューファン



(b) ランダムピッチファン

図7. 横流ファンの騒音周波数特性 従来ファンと比較し、聴感上好ましくない翼ピッチ音、特に2倍音が低減している。

Frequency analysis of noise from cross-flow fan

ることが可能となり、大きな省エネルギー性を達成している。図7に示すように、従来ファンと比較して聴感上好ましくない翼ピッチ音、特に2倍音の低減効果が大きいことがわかる。

## 3 GA制御

従来採用していたPMV一定制御による省エネルギーに加えGA制御を採用し、立上がり時や非定常変化時に対する応答性と定常時の安定性を両立させた。GAは、システム制御に必要なファクタを“淘汰”，“突然変異”といった生物の進化の過程をまねて最適な組合せを抽出していく確率的探索手法である<sup>(5)</sup>。近年エアコン室温制御に多く用いられるファジィ制御は、熟練者のもつ経験的知識を反映させることが容

易で制御規則自体もあいまいな表現で記述できる。しかし、自由度が比較的大きく逆に最適解を得ることが難しいという問題がある。そこで、エアコンの室温制御系をモデル化(システム同定)し、またエアコン室温制御の各要素を遺伝子化して、システム同定モデルによるシミュレーション評価を実施、最適化を行った。図8、図9に実機の暖房立上がり試験結果および安定時の3分間換気による外乱応答試験結果を示す。立上がり時、従来機種でみられたオーバーシュート、定常オフセットがないこと、室温復帰が従来機種に比べ4分間短縮されていることがわかる。

この手法によって最適設計された制御は、立上がり時に快適な状態に安定するまでの時間が短く、なめらかである。さらに、設定温度の変更、窓開け、扉開けなどの室温変動に対

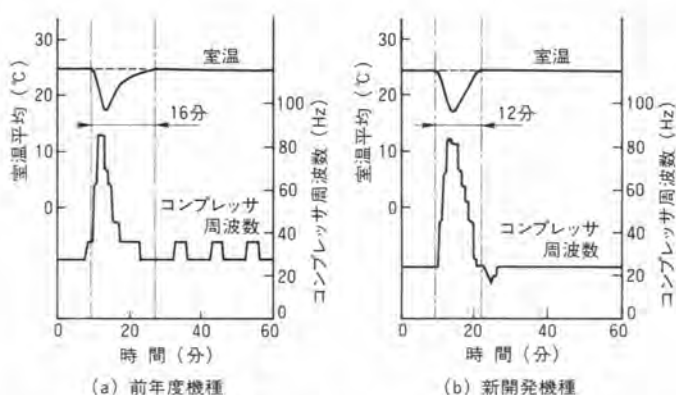


図8. 外乱を受けた場合の応答(室温安定時に3分間換気) 安定時、3分間の換気による外乱があったときの室温復帰時間は、4分間短縮される。

Response in situation of disturbed indoor temperature

する応答が速く、外乱に強く快適感をしっかりキープできるという特長をあわせもっており、快適性と省エネルギーを両立した制御を実現している。

#### 4 あとがき

今回、省エネルギー技術やGA制御に加え、室外熱交換器の改良、室外送風系の改良、逆円弧ロータDCコンプレッサを最適に駆動するデジタル制御の開発を行い、暖房定格時のCOP4.29を実現した。日本冷凍空調工業会基準での年間電気代を32,900円と前年度モデルより5,000円低減したエアコンを開発し、冷房定格能力2.5kWクラスから4.0kWクラスまでをシリーズ化した。財省エネルギーセンター主催の“省エネルギーバンガード21”においては、NTDシリーズの“通産大臣賞”に続き、“省エネルギーセンター会長賞”を受賞した。

今後とも、省エネルギー化の技術開発、さらには代替フロン化などの地球環境保護のための技術開発を推進していく。

#### 文 献

- (1) 守田慶一, 他: 省エネルギーエアコンの開発と快適性評価, 第28回空調・冷凍連合講演会講演論文集, pp.65-68(1994)
- (2) 新聞康博: 省エネルギー型エアコンTWIN DDシリーズ, 東芝レビュー, 49, 5, pp.350-352 (1994)
- (3) 北川晃一, 他: 省エネルギーエアコンの快適性評価, 平成6年度空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.1021-1024(1994)
- (4) 本郷一郎, 他: 省エネエアコンの開発, 第29回空調・冷凍連合講演会講演論文集, pp.85-88(1995)
- (5) 平原茂利夫, 他: GA最適化制御によるエアコン室温制御, 平成6年度冷凍協会学術講演会講演論文集, pp.33-36(1994)

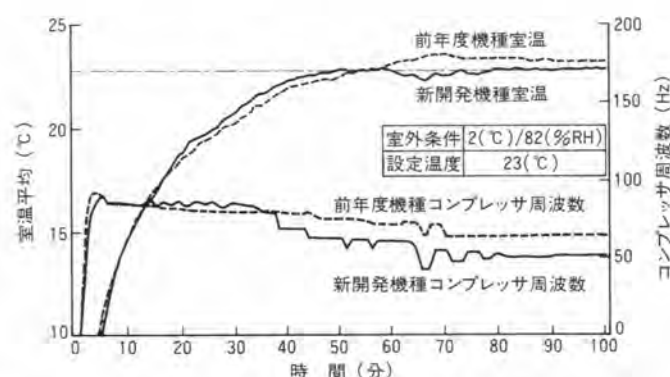


図9. 暖房立上がり時の室温変化 従来機種で見られたオーバーシュートがなくなっている。

Change in room temperature from start of operation



若杉 晴廣 Haruhiro Wakasugi

1984年入社。家庭用エアコンの開発設計に従事。現在、富士工場エアコン技術部。  
Fuji Works



長倉 進 Susumu Nagakura

1974年入社。エアコン用熱交換器の開発設計に従事。現在、富士工場開発技術部。  
Fuji Works



川村 清隆 Kiyotaka Kawamura

1993年入社。コンプレッサ用モータの開発設計に従事。現在、富士工場コンプレッサ技術部。  
Fuji Works