

インバータ搭載能力比例制御エアコン

Air Conditioners Incorporating Variable-Capacity-Control Inverter

井出 祐一⁽¹⁾ 新聞 康博⁽²⁾ 杉山 明彦⁽¹⁾
Yûichi Ide* Yasuhiro Shimma* Akihiko Sugiyama*

家庭用冷暖房エアコンの省電力、快適性向上を図るため、家庭用では業界で初めてのインバータ搭載能力比例制御エアコンを開発した。

このエアコンはインバータによるコンプレッサの回転数制御機能を持っているため、負荷に応じて冷房・暖房能力を定格の40～120%の範囲で自由にコントロールできる。また、外気が0°Cのときでも定格暖房能力を発揮する。その結果従来機に比べ約40%（当社比）の省エネルギーを達成するとともに快適性も大幅に改善した。これによりエアコンは本格的な能力可変時代に突入したと言える。

A new type of air conditioner incorporating a variable-capacity-control inverter to improve energy saving and comfort has been developed as a pioneer for domestic use. Since the inverter controls the revolving speed of the compressor, both the cooling and heating capacity are controlled automatically in the range of 40 to 120% of its rating; besides, the rated output is retained even in the case of 0°C ambient temperature. As compared with the conventional types, the new type exceeds by 40% in saving energy and is markedly improved in comfort. This type may well be said to have reached the stage to realize the age of true variable-capacity control of home air conditioners.

Key words: Air conditioners, Inverters, Rotary compressors, Heat pumps, Rotation, Speed control, Specifications, Savings, Energy dissipation, Comfort, Seasonal variations

1. Introduction

The market of heat pump air conditioners (i.e. air conditioners capable to operate both for cooling and heating) in Refrigeration Year 1981 showed a significant year-on-year growth at 23% and is believed to be promising going forward.

In this newly developed residential heat pump air conditioner RAS-225 PKHV / PAHV, an inverter, which is a device for variable frequency control, is incorporated so that the rotation speed of the compressor is regulated for controlling the cooling and heating capacity in the range of 40 to 120% of its rating. Under this mechanism, the air conditioner operates with the capacity optimized according to the required cooling or heating load, leading to a significant energy saving at approximately 40% of a conventional model of Toshiba. In addition, the fact that the air conditioner works based on a continuous operation, unlike the conventional on/off (start and stop) operation, has contributed to an improved comfort. The functions, features, and benefits of the inverter air conditioner are discussed in the following sections.

2. Product Outline

2.1 Product Specifications

This air conditioner is a ductless split model for a 6 to 10 tatami-mat room (9.9 square meters and 16.6 square meters, or 107 square feet and 179 square feet, respectively), the most common capacity range for residential use in Japan.

Figure 1 shows the appearance of the indoor and outdoor units and Table 1 represents the specifications. The major differences from the conventional model are (i) the cooling and heating capacity has an approximately 1-to-3 variable range; (ii) the heating capacity at 0 degrees Celsius ambient temperature, which with the previous year's model goes down to approximately 82% of the rated capacity, is retained with the new model at 100% of the rated capacity; and (iii) the new model can perform at the same capacity regardless of being used in different frequency regions (e.g. 50Hz and 60 Hz regions in Japan).

2.2. Structure and Features

As mentioned in the above paragraph, this is a split air conditioner that consists of an outdoor unit and an indoor unit. A newly developed brushless DC motor is used for the indoor unit to drive the fan and an air-conditioning-dedicated compact-design inverter is mounted on the outdoor unit. While using single phase 100V as power source, the air conditioner outputs the power to its compressor at three phase 200V, which is reasonable from a viewpoint of the inverter structure. The frequency is controlled within a range of 30 to 90Hz and the rotating speed of the compressor is variable within a range of 1,800 rpm to 5,400 rpm. The flow rate of the circulating refrigerant is optimized by the variable rotating speed of the compressor and as a result the capacity of the air conditioner may be controlled within a wide range of 40 to

120% of the rated capacity (in case of heating).

The refrigeration cycle may, with its unique circuit configuration, sufficiently respond to a significant change of the refrigerant mass flow rate. The control of the entire air conditioner is performed by a micro-processor equipped with the indoor unit. One of the remarkable features here is a new technology to transfer serial signals as an efficient method of communicating the commands on frequencies necessary for operations with the inverter mounted on the outdoor unit.

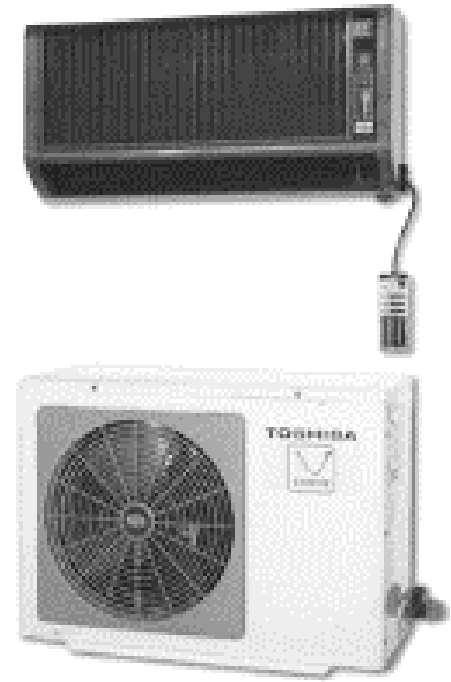


図1. 室内外ユニット外観図
Exterior of RAS-225
PKHV/PAHV

Figure 1. Indoor and outdoor units of the residential inverter air conditioner

Table 1.

Model		RAS-225 PKHV/PAHV	RAS-225 YKH/YAH
Power Source		Single-phase 100V 50/60Hz	Single-phase 100V 50/60Hz
Heating			
Capacity (k cal/h)		3,150 (3,750 - 1250)	3,000 / 3,400
Power Consumption (W)		1,150 (1,440 - 275)	1,165 / 1,370
EER (k cal/hW)		2.74 (4.55 - 2.6)	2.58 / 2.48
Capacity at 0 degree C (k cal/h)		3,150	2,460 / 2,790
Cooling			
Capacity (k cal/h)		2,240 (2,500 - 1,500)	2,000 / 2,240
Power Consumption (W)		1,030 (1,270 - 500)	988 / 1,100
EER (k cal/hW)		2.17 (3.0 - 1.97)	2.02 / 2.04
Start-up Current (A)		12.8	42 / 38
Sound (dB)	Indoor	39	40 / 43
	Outdoor	47	47 / 47
Compressor Nominal Output (W)		750	750
Product Weight (kg)	Indoor	11	11
	Outdoor	43	40
Dimension (mm)	Indoor	370 (H) x 790 (W) x 165 (D)	370 (H) x 790 (W) x 168 (D)
	Outdoor	525 (H) x 720 (W) x 300 (D)	525 (H) x 720 (W) x 300 (D)
Inverter	System	Digital control sine wave approximate pulse width modulation system	N/A
	Output	Variable frequency range: 30 - 90Hz; Capacity: 1.5KVA	
Brushless DC Motor	System	Switching regulator full-wave system	Single phase Induction Motor
	Output	15 W	13 W

インバータ搭載能力比例制御エアコン

Air Conditioners Incorporating Variable-Capacity-Control Inverter

井出 祐一⁽¹⁾ 新間 康博⁽²⁾ 杉山 明彦⁽¹⁾
Yûichi Ide* Yasuhiro Shimma* Akihiko Sugiyama*

家庭用冷暖房エアコンの省電力、快適性向上を図るため、家庭用では業界で初めてのインバータ搭載能力比例制御エアコンを開発した。

このエアコンはインバータによるコンプレッサの回転数制御機能を持っているため、負荷に応じて冷房・暖房能力を定格の40~120%の範囲で自由にコントロールできる。また、外気が0°Cのときでも定格暖房能力を発揮する。その結果従来機に比べ約40%（当社比）の省エネルギーを達成するとともに快適性も大幅に改善した。これによりエアコンは本格的な能力可変時代に突入したと言える。

A new type of air conditioner incorporating a variable-capacity-control inverter to improve energy saving and comfort has been developed as a pioneer for domestic use. Since the inverter controls the revolving speed of the compressor, both the cooling and heating capacity are controlled automatically in the range of 40 to 120% of its rating; besides, the rated output is retained even in the case of 0°C ambient temperature. As compared with the conventional types, the new type exceeds by 40% in saving energy and is markedly improved in comfort. This type may well be said to have reached the stage to realize the age of true variable-capacity control of home air conditioners.

Key words: Air conditioners, Inverters, Rotary compressors, Heat pumps, Rotation, Speed control, Specifications, Savings, Energy dissipation, Comfort, Seasonal variations

〔1〕 ま え が き

56冷凍年度におけるヒートポンプ（冷・暖房兼用型）エアコンの構成比は23%と大幅な伸びを見せ、今後の成長が期待されている。

今回開発した家庭用ヒートポンプエアコンRAS-225 PKHV / PAHVはインバータ（周波数可変装置）によりコンプレッサの回転数を制御して冷暖房能力を40~120%の範囲で可変できる。このため必要な冷暖房負荷に応じた能力で装置が運転され、約40%（当社比）と大幅な省エネ化が実現されるとともに、従来のようなON/OFF制御でなく、連続制御であるため、快適性も向上している。以下にインバータエアコンの機能、特徴、効果などについて紹介する。

〔2〕 製 品 概 要

2.1 製品仕様

このエアコンは能力ランクで見ると、6~10畳の部屋を冷暖房する最も一般的な家庭用スプリット型ヒートポンプエアコンである。図1に室内外ユニットの外観、表1にエアコンの仕様を示す。主な相違点は冷暖房能力が約1:3の可変幅を持っている、外気温度0°Cにおける暖房能力が前年度機種では定格に対し約82%に低下しているのに対し定格と同じ100%の能力を持っている、さらに電源周波数が50/60Hzいずれの地域でも同一能力となっているなどが挙げられる。

2.2 構造・特徴

前述のとおりスプリット型エアコンであるため、室内ユニットと室外ユニットとで構成されているが、室内機には新しく開発したトランジスタモータ（直流ブラシレスモータ）を送風機駆動用として採用している。またインバータはエアコン専用にコンパクトな設計で、室外ユニットに収納されている。電源は単相100Vを使用している

が、圧縮機への出力はインバータ構成上合理的な三相200Vとしている。周波数を30~90Hzの範囲で制御し、圧縮機の回転数は1,800~5,400rpmに可変する。この圧縮機回転数変化により冷媒循環量

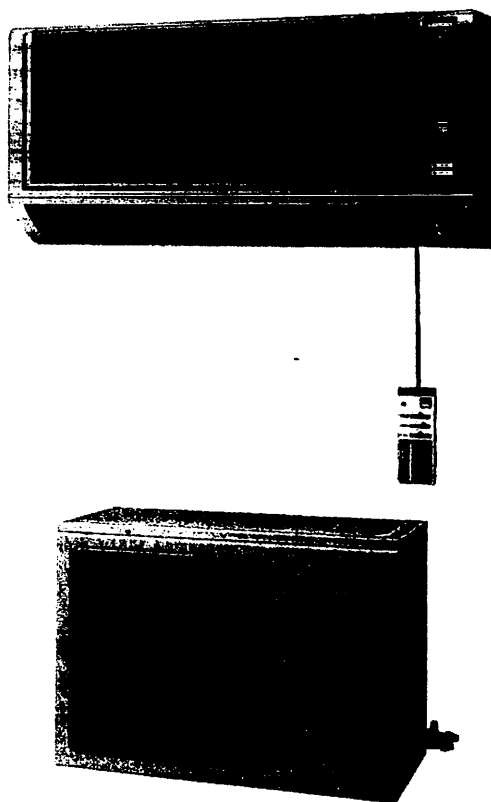


図1. 室内外ユニット外観図
Exterior of RAS-225
PKHV/PAHV

(1) 富士工場 開発技術部 * Fuji Works
(2) 富士工場 エアコン技術部

		RAS-225 PKHV/PAHV		RAS-225 YKH/YAH
電 源		単相100V 50/60 Hz		⌞
暖房	能力 (kcal/h)	3,150	(可変幅 3,750 ~ 1,250)	3,000/3,400
	電力 (W)	1,150	(" 1,440 ~ 275)	1,165/1,370
	EER (kcal/h.W)	2.74	(" 4.65 ~ 2.6)	2.58/2.48
	外気0°C時の能力	3,150		2,460/2,790
冷房	能力 (kcal/h)	2,240	(可変幅 2,500 ~ 1,500)	2,000/2,240
	電力 (W)	1,030	(" 1,270 ~ 500)	988/1,100
	EER (kcal/h.W)	2.17	(" 3.0 ~ 1.97)	2.02/2.04
始動電流 (A)		12.8		42/38
騒音 (dB)	室内	39		40/43
	室外	47		47/47
圧縮機定格出力 (W)		750		⌞
製品重量 (kg)	室内	11		11
	室外	43		40
外形寸法 (mm)	室内	370 ^(H) ×790 ^(W) ×165 ^(D)		370 ^(H) ×790 ^(W) ×168 ^(D)
	室外	525 ^(H) ×720 ^(W) ×300 ^(D)		⌞
インバータ	方式	デジタル制御正弦波近似PWM方式		—
	出力	周波数可変範囲 30~90 Hz 1.5 kVA		
室内ファンモータ	方式	トランジスタモータ、スイッチングレギュレータ全波方式		单相誘導電動機
	出力	15 W		13 W

表I. 仕様
Principal specifications

が制御され、40~120% (暖房時) と幅広く能力がコントロールされる。

冷凍サイクルは冷媒循環量の大きな変化にも十分対応できるように独自の回路を構成した。エアコン全体の制御は室内に設けたマイコンで行っているが、室外に置いたインバータに対し必要運転周波数指令を効率的に伝える方法として新しいシリアル信号転送技術を織り込んでいるのも特徴の一つである。

(3) 冷凍サイクル

このエアコンは圧縮機の回転数を変化させることにより定格能力の40~120%と広範囲、無段階の能力可変を可能にしている。これはインバータの開発とともに、冷凍サイクルの新機構、新部品の開発が重要であった。すなわち機械的要素と電子技術の融合によって実現したものであり、冷凍サイクルの構成および主要開発内容について紹介する。

3.1 サイクル構成

図2に概略冷凍サイクル図を示す。ヒートポンプエアコンであるため圧縮機、室内熱交換器、室外熱交換器、四方弁、冷媒制御用膨張弁から構成されている。圧縮機の効果的冷却のため液インジェクション回路が設けてあり、常に適正な冷媒流量が得られるように膨張弁機構を採用した。冷房、暖房時の冷媒の流れは各々実線、点線の矢印に示すとおりである。

3.2 高性能能力可変圧縮機の開発

暖房能力の確保と圧縮機冷却のため液インジェクション方式のロータリコンプレッサを採用している。従来のコンプレッサは50/60 Hzで一定の回転数であり、通常2極のため3,000/3,600rpmで運転している。今回の能力比例制御に対応するためには1,800~5,400 rpmの広範囲な回転数幅を持った圧縮機が必要であり、いかなる回転数でも高効率運転を発揮すると同時に高低速時の信頼性確保が課題であった。このため新材料、新給油機構を織り込むと同時に吐出弁の追従性、騒音、振動に関する施策を組み入れている。

3.3 自動膨張弁の採用

圧縮機の回転数制御に大幅な冷媒流量変化に対応するため、従来採用して来たキャピラリチューブ制御に代えて温度式自動膨張弁を採用した。30 Hzと90 Hzでは冷媒吐出量は約3倍変化するわけである。例えば暖房JIS標準条件で、60 Hzで最適冷凍サイクルとなるようなキャピラリチューブを設定しても、30 Hzでは絞り量が不足し、冷

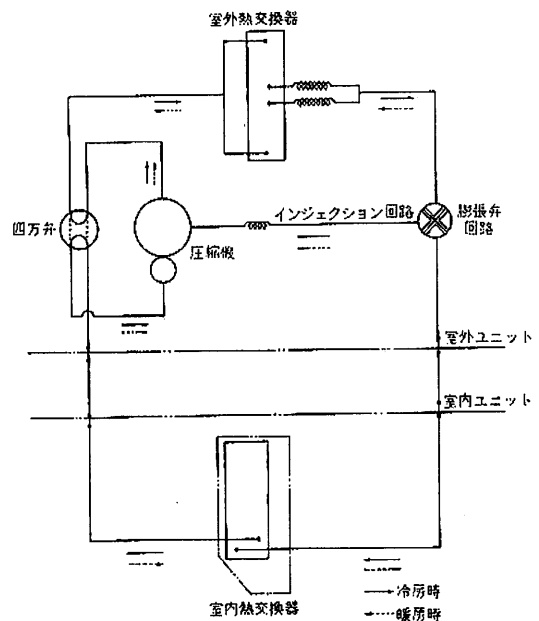


図2. 冷凍サイクル図
Cycle of refrigerant

媒が液のまま圧縮機へ戻る。また90 Hzでは絞り量が過大であり、蒸発器の途中で冷媒の蒸発が完了し、能力が減少してしまう現象となる。

このように標準条件だけの場合でもキャピラリチューブでの制御は不十分であった。キャピラリを含めた膨張弁制御回路の採用により常に適正な冷媒量調整が可能となり、立上り特性の向上、消費電力の低減、高低負荷時の圧縮機保護が十分となった。

3.4 セット、配管振動の低減

従来機種では運転周波数が50/60 Hzだけであり、共振防止も比較的容易であったが、このエアコンでは30~90 Hzと広範囲運転が可能のため、各周波数での共振防止には特に配慮し、配管の形状、部品配置に独自の工夫を取り入れ、振動低減を図った。

(4) 制御

4.1 システム構成と機能

制御システムの概要を図3に示す。室内外ユニットに各々一組の

マイコン制御部があり、これらは電力線2本と信号線1本によって接続され、連動して制御される。インバータは室外ユニットに収納されている。

室内マイコンはリモコンからのスイッチ入力と2個の温度センサ入力に基づき、室内ファンモータの回転制御、圧縮機の運転周波数指令およびエアコン全体の運転制御機能をもっている。室外のマイコン部は室内から送られるシリアル運転信号を解釈するとともに、この指令内容と電流センサおよび室外熱交温度データとによりインバータを介して圧縮機の回転数制御を主として行っている。室内外のマイコンはいずれも4ビット1チップのマイクロコンピュータであり、インバータ波形生成はすべてデジタル回路で構成し、小型・無調整化を図っている。

また圧縮機を駆動するためのパワー回路は単相電源をコンデンサブロックとリアクタとにより倍電圧整流したのち6個のパワートランジスタで三相交流を出力する構成としている。パワートランジスタは当社が開発した絶縁型を採用し、パワー部のコンパクト化を図っている。

4.2 制御仕様

制御仕様の概要を表2に示す。能力比例制御をマイコンの制御機能に合わせ合理的に行い快適性、省エネの効果をより高くするための室温コントロール方式、パワートランジスタと冷凍サイクル保護を同時に行うためのピーク電流制御などに工夫を凝らしている。代表的な制御の特徴は次のとおりである。

4.2.1 室温自動制御 図4に暖房運転時の室温自動コントロール図を示す。室内温度と設定値との差に応じて圧縮機の運転周波数ゾーンを図のように区分し、室温が低い運転開始時には「a」ゾーンすなわち90Hzの最大能力で暖房運転する。以後室温の上昇とともに周波数を低下させて暖房能力を徐々に絞り、最終的には負荷とバランスした能力点で連続運転するよう時間要素を組み入れた制御としている。

4.2.2 ピーク電流制御 運転周波数は最大90Hzまでであるが、最大能力での運転は外気温度が低いときの能力低下を防ぐためのものであり、温度が高い条件での90Hz運転は冷凍サイクル圧力上昇あるいはインバータパワートランジスタ定格値的にも問題があり、最大電流の制御が必要となった。そのためエアコンの運転電流を電流センサで検出し、所定値以上に達するとわずかず周波数を低下させる制御を採り入れた。この制御によりシステムの安全性を確保しつつ装置が出しうる最大能力で連続運転できるため、従来の

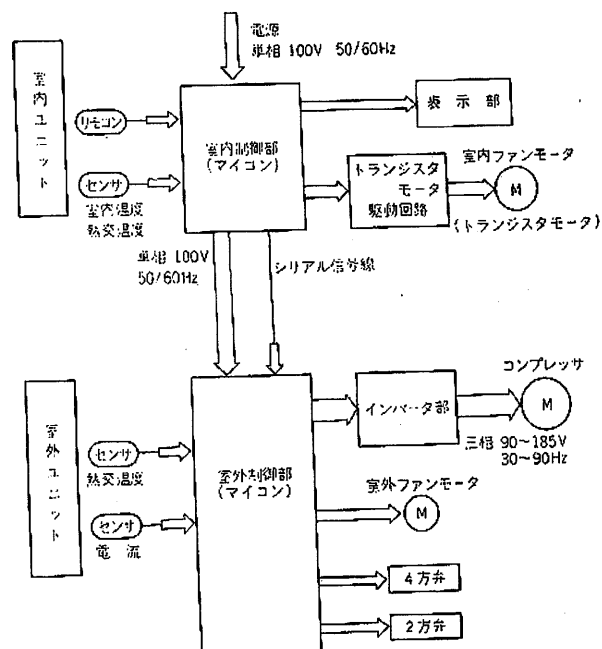


図3. 制御システムの概要

Block diagram of control

ゾーン	a	b	c	d	e	f	g	h
Hz	90	80	70	60	50	40	30	STP

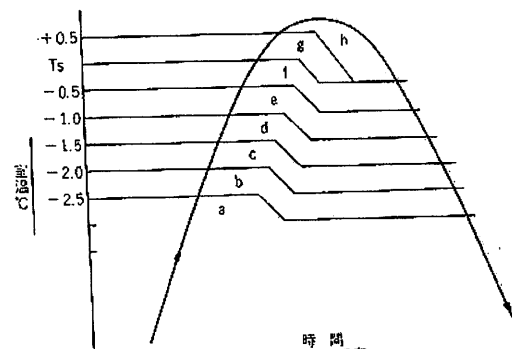


図4. 暖房自動コントロール
Automatic power control in heating

	機能	仕様
操作機能	運転切換	「運転/停止」「通常」「自動」「安眠」 冷暖切換, タイマ (切→入, 入→切)
	風量切換	5ステップ
	室温調節	冷房 21~32°C 暖房 18~29°C
自動	タイマ	1~12時間 (12ステップ)
	能力制御による室温制御	室温と設定温度差および時間によるコンプレッサ運転周波数制御
制御	風量自動制御	冷房 7ステップ 暖房 8ステップ
	冷房運転時凍結防止リリース制御	熱交センサによる室内熱交温度を検出し、低負荷時運転周波数を減少させ、熱交換器の凍結を防止する。
	暖房運転時過負荷リリース制御	熱交センサによる室内熱交温度を検出し、過負荷時運転周波数を減少させ、負荷軽減を行う。
機能	除霜運転制御	室外熱交センサによる熱交温度を検出し、タイマとの組合せで除霜運転を行う。
	電流リリース運転	コンプレッサ電流を検出し、過負荷時運転周波数を減少させ、運転電流を減少させる。

表2. 制御仕様
Control functions

エアコンでは得られなかったより高い快適暖房が可能となった。

以上のように家庭用エアコンとしては類を見ない優れた制御機能を探り入れているが、エアコンのJIS規格との関連で室温が21℃以上の条件下では制御により暖房能力を故意に抑制しているのが残念であり、今後能力可変を持ったエアコンにマッチした合理的な規格制定が望まれる。

〔5〕 効果（SEERと快適性の追求）

SEER (Seasonal EER) は年間を通じた実用時における効率を表すものであり、定義式で示せば次のようになる。

$$SEER = \frac{\sum_j BL(T_j) \times \frac{nj}{N}}{\sum_j \frac{W_{ss}(T_j) \times X(T_j)}{PLF(X)} \times \frac{nj}{N}} \quad (1)$$

ここで、

$BL(T_j)$: 負荷=能力

$W_{ss}(T_j)$: 定常電力

$X(T_j)$: 運転率

$PLF(X)$: コントロールロス係数

nj/N : 負荷頻度

T_j : 外気温 : 外気温

すなわち室温条件、運転パターンを実用状態に合わせ、年間の集積値としてのエネルギー効率を表すのがSEERであり、エアコンのエネルギー効率を示す指標としてはEERより実践的なものである。SEERとともにエアコンの重要な特性として快適性を忘れることはできないが、これらを両立させるには高度の技術が必要であり、従来のエアコンには改善すべき課題がいくつかあった。これらの課題を一つ一つ改善していくことによりSEERと快適性の両面でバランスのとれた空気調和が可能となる。

ここで、従来の能力一定で、ON/OFF制御方式を行うエアコンの改善課題を挙げると、次のようことがいえる。

(1) 冷暖房負荷が小さい場合、サーモスタットによる運転停止が頻繁で、そのたびにエネルギーロスが発生し、室温変動も大きい。

(2) 設計能力を最大負荷に合わせるため製品のEERが低下する。(同一寸法の熱交換器を持ったエアコンでは設計能力を下げればEERは向上できる)。

上記問題はエアコンの能力を連続的かつ広範囲に可変できれば、改善できる。当社はこの根拠に基づき「パワーセーブ機構」による能力可変方式を採用してきたが、能力可変幅に限界(約24%)があり、十分な解決には至っていなかった。これに対し、今回開発したインバータによる能力可変方式は、1:3と能力可変幅が広くSEERと快適性を一段と向上させた。

5.1 SEERの向上

冷暖房運転時における運転周波数と能力・消費電力・EERの関係を図5に示す。暖房定格能力は75Hz運転時の3,150(kcal/h)で、そのときのEERは2.74となっているが、30Hz運転では能力が定格時の40%に対し入力はそれ以上に低減し、EERは定格時より大幅に向上していることがわかる。低周波域でEERが大幅に改善されるのは、冷凍サイクルの蒸発圧力の上昇、凝縮圧力の低下という高効率運転の圧力条件が生ずるためである。一方8畳和室を21℃に保つのに必要な暖房能力は、外気温0℃時約2,550(kcal/h)、7℃時では約1,770(kcal/h)にすぎない。

これらのことから実使用状態では運転開始のわずかの時間を除き低周波数での高EER運転が行われ、SEERが向上する結果となる。

5.2 快適性の向上

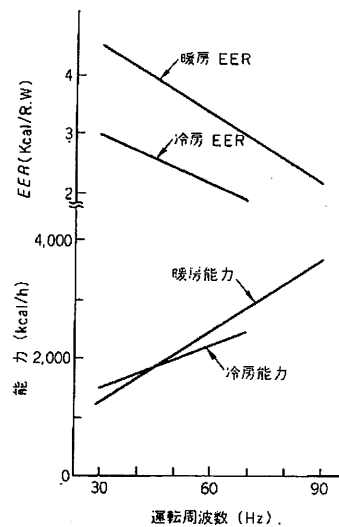


図5. 運転周波数と能力 EER の関係
Characteristics of cooling and heating

暖房時の立上りに要する時間は従来機の約70%に改善されている。これは90Hzの最大能力で運転させた制御上の効果である。また室温変動幅も1.5℃と従来の1/2に改善され、使用者が運転時の温度変化を感じなくなった。特に従来機がON/OFFのたびに、十分には温まらない風を吹き出すという、コールドドラフトを解消している効果は大きい。さらに外気温0℃でも3,150(kcal/h)の暖房能力を持っているため、厳寒期でも所要の暖房効果が得られ、快適性を一段と高いものとしている。

〔6〕 あとがき

50年以降の当社のルームエアコンは「ヒータレスヒーポン」、マイコン搭載、能力可変、暖房パワーセーブ、温湿度制御といずれも業界に先がけ実用化してきたが、その根底にあるものは「SEERと快適性追求」である。無段階能力可変エアコンは温湿度全面制御エアコンと並んで世界の空調業界における最重点研究テーマの一つであり、今回インバータエアコンの実用化を果たしたことは当社はもとより、業界にとって非常に意義深いものである。

国内暖房機の市場規模は約2兆円と言われているが、その中でヒートポンプエアコンは約30%にすぎない。この現実を十分分析し、ヒートポンプ暖房の機能向上に努力すると同時に省エネ性の一層の飛躍、寒冷地での活用拡大などにより、省資源、省資材を図った快適空調の実現に貢献しなければならない。そのための手段としてインバータ能力可変エアコンは有効なものであると確信している。

今後さらに小型・軽量化、低コスト化を図るために半導体、圧縮機をはじめとする部品開発およびより簡単な回路研究に努力するとともに、インバータの機能をより一層生かした製品開発を推進していく所存である。

文 献

- (1) 黒田, 他: 空調機の能力可変による省エネルギー, 東芝レビュー, 36, 9, pp. 849~852 (昭56-8)
- (2) 内田, 他: 空調機用周波数可変装置, 東芝レビュー, 36, 11, pp. 1027~1030 (昭56-10)
- (3) 山本, 他: 民生用機器の省エネルギー (5)空調機器, 東芝レビュー, 36, 1, pp. 18~22 (昭36-1)