

高効率パッケージ形空調機

High Efficiency Series of Packaged Air Conditioner

第二次石油危機を契機に、省資源・省エネルギーへの対応がより大きな課題とされ、政府もエネルギーの消費を抑制し、効率よく使用させるために、「エネルギー使用の合理化に関する法律」を制定した。そのなかには、パッケージ形空調機も特定機器の一つに指定され、高効率化が義務づけられている。

このような情勢を背景に、日立製作所では、昭和54年11月、エネルギー消費効率を大幅に改善したパッケージ形空調機床置形を発表し、55年2月発売を開始した。本製品の開発のために、空調機の心臓部である圧縮機をはじめ、熱交換器、送風機ほか各部の高性能化を図り、ユニット全体としての高効率化を達成した。

内 川 直 志*
細 江 義 久*
新 井 享**
大和田武義***

Naoshi Uchikawa
Yoshihisa Hosoe
Tôru Arai
Takeyoshi Ôwada

1 緒 言

緊迫した石油情勢を背景に、国家的重要課題として省エネルギー化が叫ばれている。このため、昭和54年6月には、「エネルギー使用の合理化に関する法律」（通称「省エネルギー法」）が制定され、同年10月1日から施行されている。この法律により、特定機器の一つに指定されたパッケージ形空調機については、EER (Energy Efficiency Ratio：エネルギー消費効率)のガイドラインが設定され高効率化が義務づけられた。

このような情勢を背景に、日立製作所では、昭和54年11月、EERを大幅に改善したパッケージ形空調機床置形を発表し、55年2月発売を開始した。

本機は、出力2.2kW、3.0kW及び3.75kWから成る冷暖房兼用並びに冷房専用の床置形パッケージ形空調機6機種から成り、最近空調機の第三市場と呼ばれ、伸長の著しい店舗用、事務所用などのほか、一般産業用空調機としても使用できる幅広い用途を対象に開発されたものである。

2 開発の目的

以下に、その開発の目的について述べる。

(1) 高効率化

最近の石油情勢にかんがみ、特に電力消費の多い空調機の省エネルギー化は必至の問題である。

本機は表1に示すように、冷房時のEERは、2.67/2.55～2.72/2.60kcal/W・h(冷房専用機50/60Hz)、2.65/2.53～2.70/2.58kcal/W・h(冷暖房兼用機50/60Hz)と市場ニーズにマッチした製品であり、電力消費量が従来製品に比較して約20%節約できる(60Hz当社比)。この高いEER化を実現するために以下に詳述する高効率圧縮機の開発をはじめとして、スリット形フィン、内面溝付管から成る高性能熱交換器の開発、送風機及び送風機用電動機の高性能化などを推進した。

(2) 室内・外ユニットの省スペース化

小形空調機の分野では、市場ニーズに起因する傾向として、省スペース化を実現するため薄形化の方向にあるが、本機は、これを大幅に前進させ、据付スペースの低減を図った。

表1 仕様比較表 代表機種について、主な仕様の比較を示す。

項目(単位)			形式	高 効 率 形						従 来 形					
				RP-3HI (室外RAS-3HI)		RP-4HI (室外RAS-4HI)		RP-5HI (室外RAS-5HI)		RP-3H (室外RAS-3H)		RP-4H (室外RAS-4H)		RP-5H (室外RAS-5H)	
				室 内 ユニット	室 外 ユニット	室 内 ユニット	室 外 ユニット	室 内 ユニット	室 外 ユニット	室 内 ユニット	室 外 ユニット	室 内 ユニット	室 外 ユニット	室 内 ユニット	室 外 ユニット
冷 房 能 力			kcal/h	7,100/7,700		9,000/10,000		12,000/13,000		7,100/7,700		9,000/10,000		12,000/13,000	
暖 房 能 力			kcal/h	7,400/8,000 (9,200/9,800)		9,500/10,500 (12,100/13,100)		12,500/13,500 (15,100/16,100)		7,400/8,000 (9,200/9,800)		9,500/10,500 (12,100/13,100)		12,500/13,500 (15,100/16,100)	
外形寸法	高 さ	mm	1,750	1,150	1,750	870	1,750	1,120	1,750	920	1,750	970	1,750	970	
	幅	mm	800	850	800	φ750	800	φ750	650	662	650	662	800	782	
	奥 行	mm	220	300	300		300		400	682	450	682	450	862	
製 品 重 量			kg	60	90	70	100	80	120	65	94	75	105	85	125
圧 縮 機 電動機出力			kW	—	2.2	—	3.0	—	3.75	—	2.2	—	3.0	—	3.75
E E R	冷 房	kcal/W・h	2.70/2.58		2.65/2.53		2.70/2.58		2.29/2.08		2.31/2.08		2.31/2.10		
	暖 房	kcal/W・h	3.03/2.90		2.97/2.84		3.03/2.90		2.64/2.42		2.71/2.44		2.72/2.45		

注：1. 冷房能力、暖房能力及びEER(Energy Efficiency Ratio：エネルギー消費効率)は、JIS規格に準じて運転を行なった場合の値を示す。小括弧内は、JIS暖房条件で補助電気加熱器を同時に運転した場合の値を示す。

2. 冷房能力、暖房能力及びEERのそれぞれの値は50Hz/60Hzを示す。

* 日立製作所清水工場 ** 日立製作所機械研究所 *** 日立製作所習志野工場

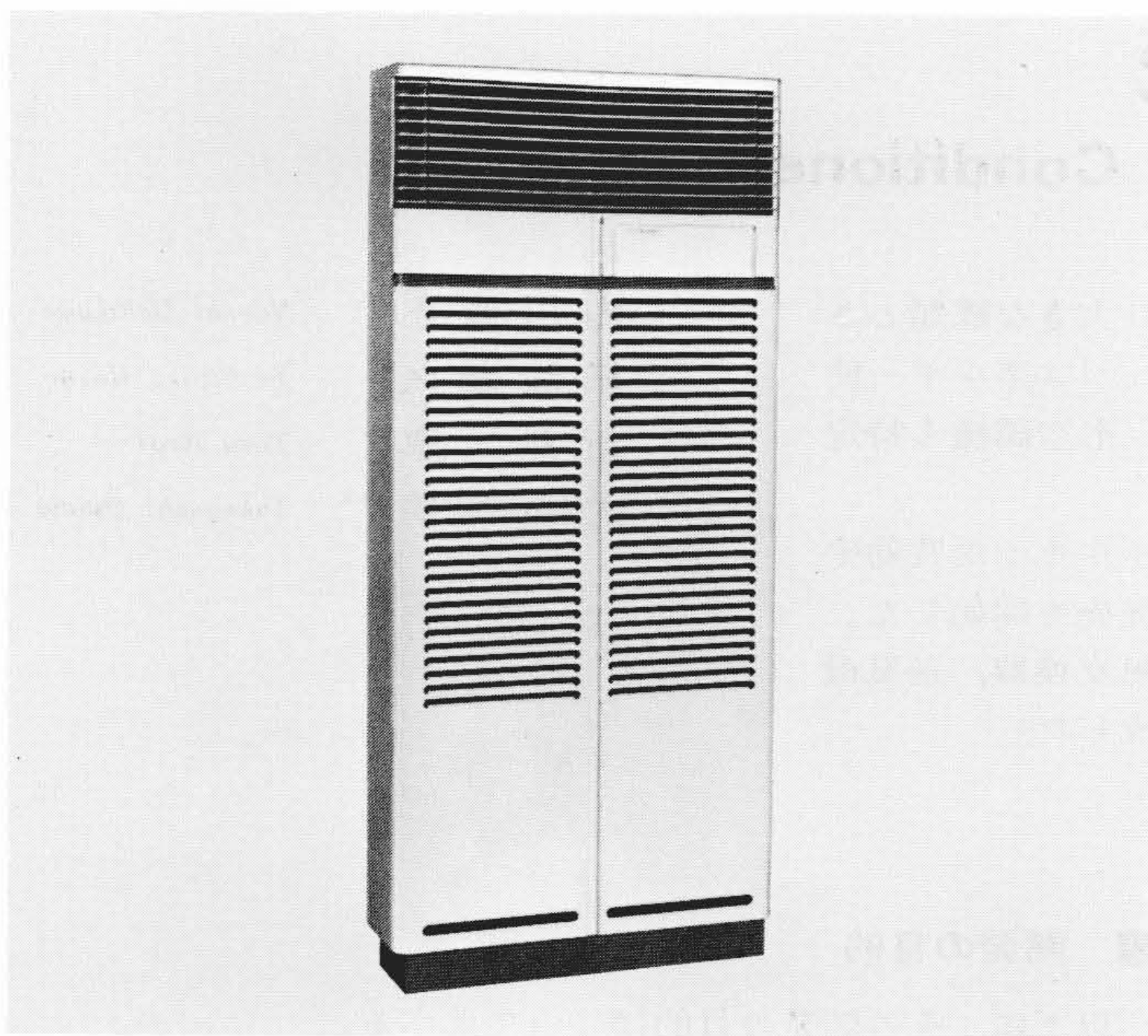


図1 高効率パッケージ形空調機室内ユニットの外観 高効率パッケージ形空調機室内ユニットの外観を示す。

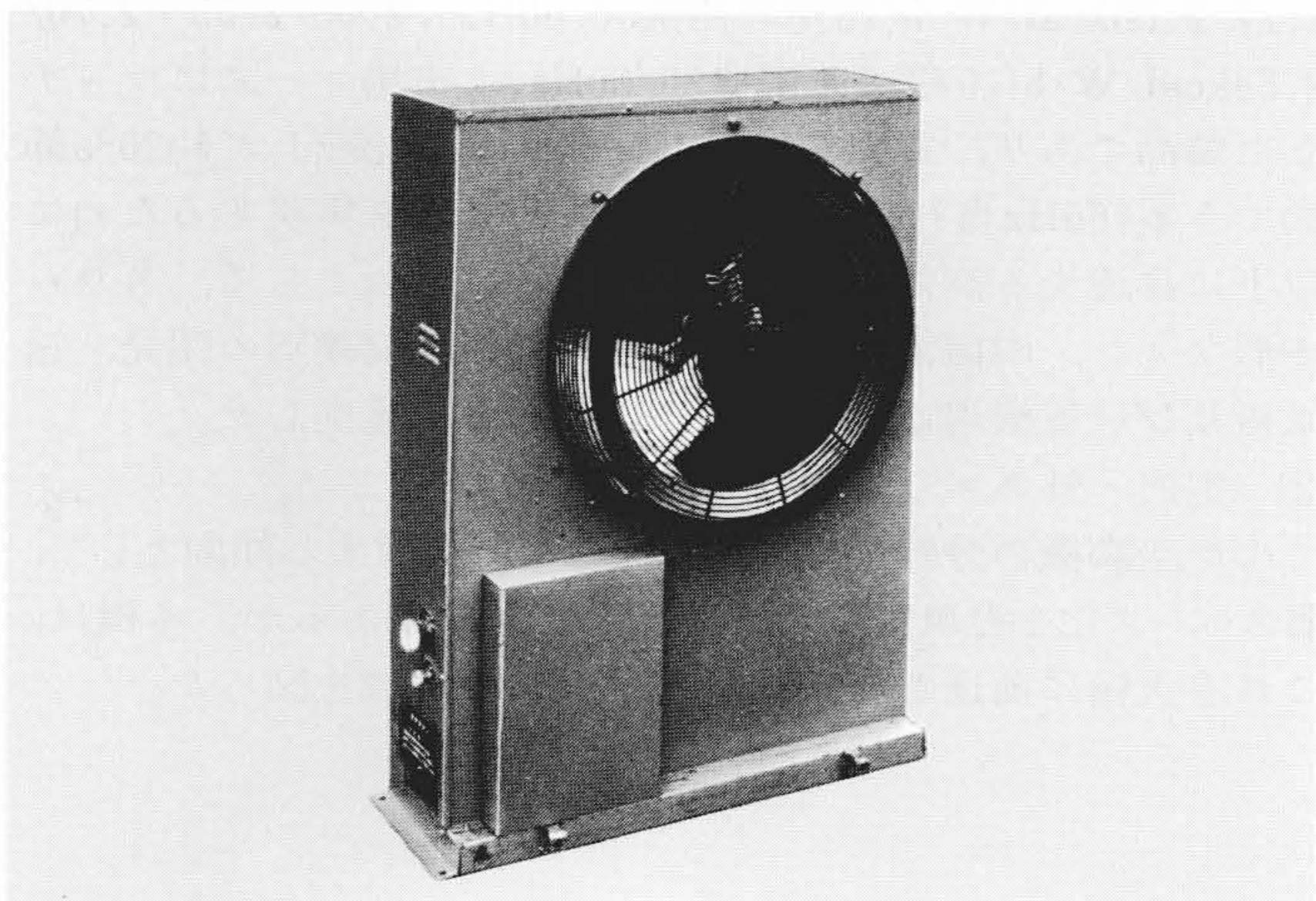


図2 高効率パッケージ形空調機室外ユニットの外観 高効率パッケージ形空調機室外ユニット(出力2.2kW)の外観を示す。

本機の室内ユニット奥行寸法は、空調機では、初めての外径455 mmの大口径ターボファンの開発により、出力2.2kW機種では22cm、出力3.0kW及び3.75 kWの機種では30cmとそれぞれ薄形化された。本機の室内ユニットの外観を図1に、室外ユニットの外観を図2に示す。

一方、室外機は、密集した大都会など据付場所を選ぶのに困難な場合が多く、据付スペースの縮減が必要である。

そこで、出力2.2kW機種では奥行寸法を30cm薄形構造とし、更に、円錐リング付プロペラファンを採用し、製品を壁面に近接して設置可能なものとした。

また、出力3.0kW及び3.75kW機種については、外径75cmの円筒形構造とし設置スペースの縮減を図った。

(3) 快適性の向上

空調機の本来の機能である室内の快適性を改善するために、室内ユニットには左右に大きく開いたコーナーカットラインと呼ぶ吹出し口を設け、更に、吹出し空気の方角を自動的に幅広く変化させる首振り機構と並用しているため、広範囲な冷

温風吹出し効果が得られる。

また、冷暖房兼用のヒートポンプ機種については、室内ユニットの下部に温風下吹出し口を設け、上下の温度むらも同時に改善したため、空調空間全体の温度分布が大幅に改善され、快適性が向上した。

3 主要機器の性能向上

本機の完成に当たっては、そのEERを向上するために主要機器の高効率化、性能向上をはじめとして、冷凍サイクル構成機器全般にわたり数多くの省エネルギー技術の開発を必要としたが、本稿ではそのうち最も重要な主要機器の性能向上について述べる。

3.1 圧縮機の高効率化

空調機の消費電力のうち、冷媒ガスの圧縮に用いられる圧縮機のそれが約90%を占め、パッケージ形空調機のEER向上にとって最も大きな課題である。冷媒圧縮機単体のEER理論値は運転条件によって異なるが、フロンガスR-22を使用する場合凝縮温度54.4℃、蒸発温度7.2℃、吸込ガス温度35.0℃、膨張弁前液温度46.1℃とした場合、約4.16kcal/W・hとなる。しかし、実際には各部の損失があるため、従来の国内外製品のEERレベルは、理論値の48~58%程度であった。

(1) EERに影響する因子

圧縮機のEERは、冷却能力と消費電力によって決まるが、これらに影響する因子は、概略図3に示すとおりである。

EERの向上を図るためには、体積効率を上げ、ピストン押し除け量である行程体積をできるだけ少なくするとともに、電動機効率の向上、弁損失、通路損失及び機械損失の低減を図ることが必要である。

(2) 体積効率の損失とその改良

圧縮機での体積効率の損失の一例を図4に示すが、この中で体積効率の低下の大きな要因は、間隙容積による再膨張損失と吸込ガスの過熱によるものであることが分かる。このうち間隙容積比と体積効率の関係は、一般に、ほぼ理論体積効率の変化に対応している。間隙容積は、ピストンのトップギャップと吐出しポート面積によって決まり、前者は熱膨張、摺動部のギャップ、加工精度などを考慮して設定され、後者は通路抵抗との兼ね合いから最適寸法に決められている。このため従来の平ピストン構造では、間隙容積を少なくするには限度があったが、高効率圧縮機では新たにピストン中央部を凸構造にして、吐出しポート部の間隙容積を減少させ、同

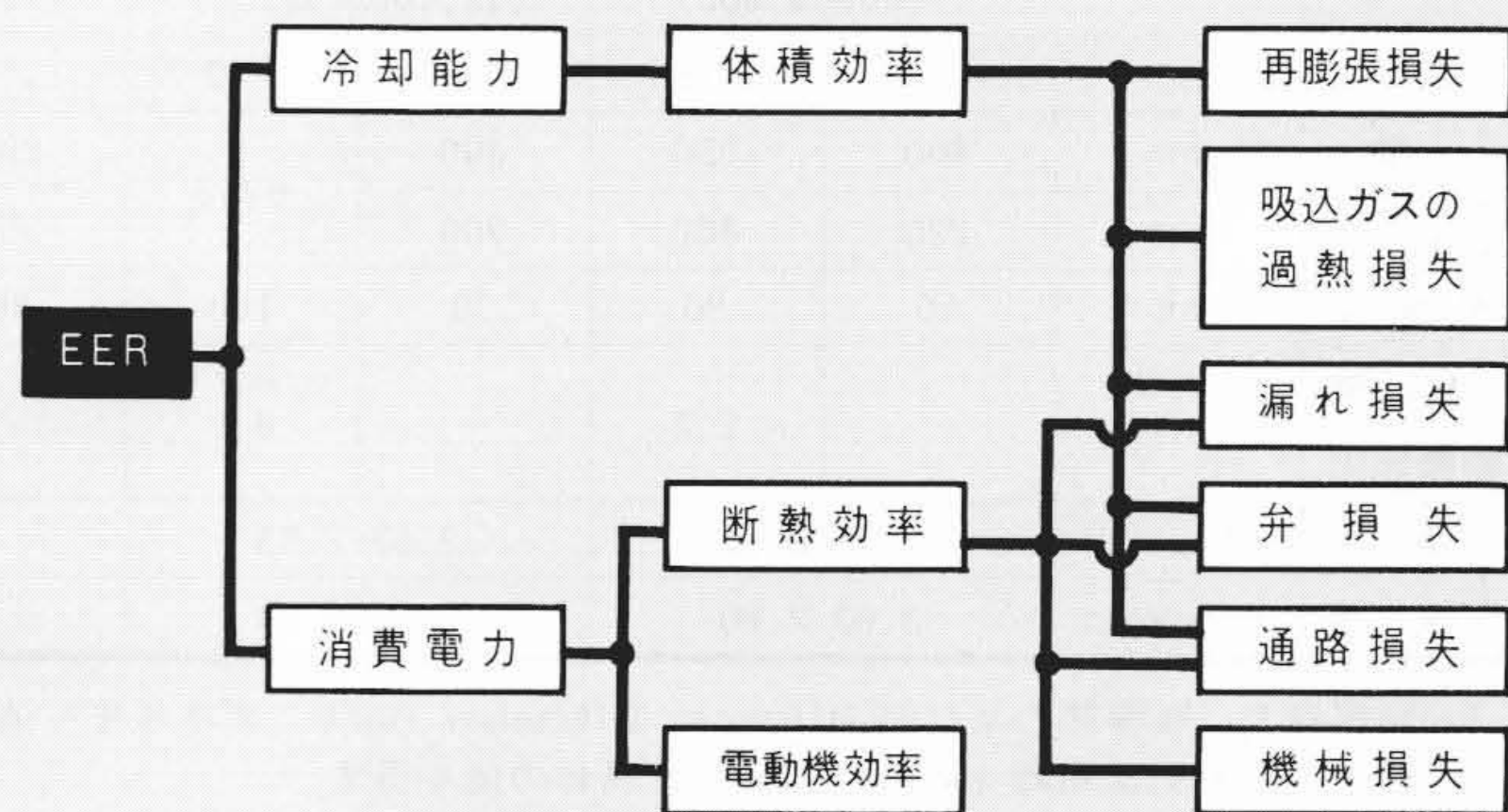


図3 圧縮機のEERに影響する因子 圧縮機のEERは、各種の損失により低下する。

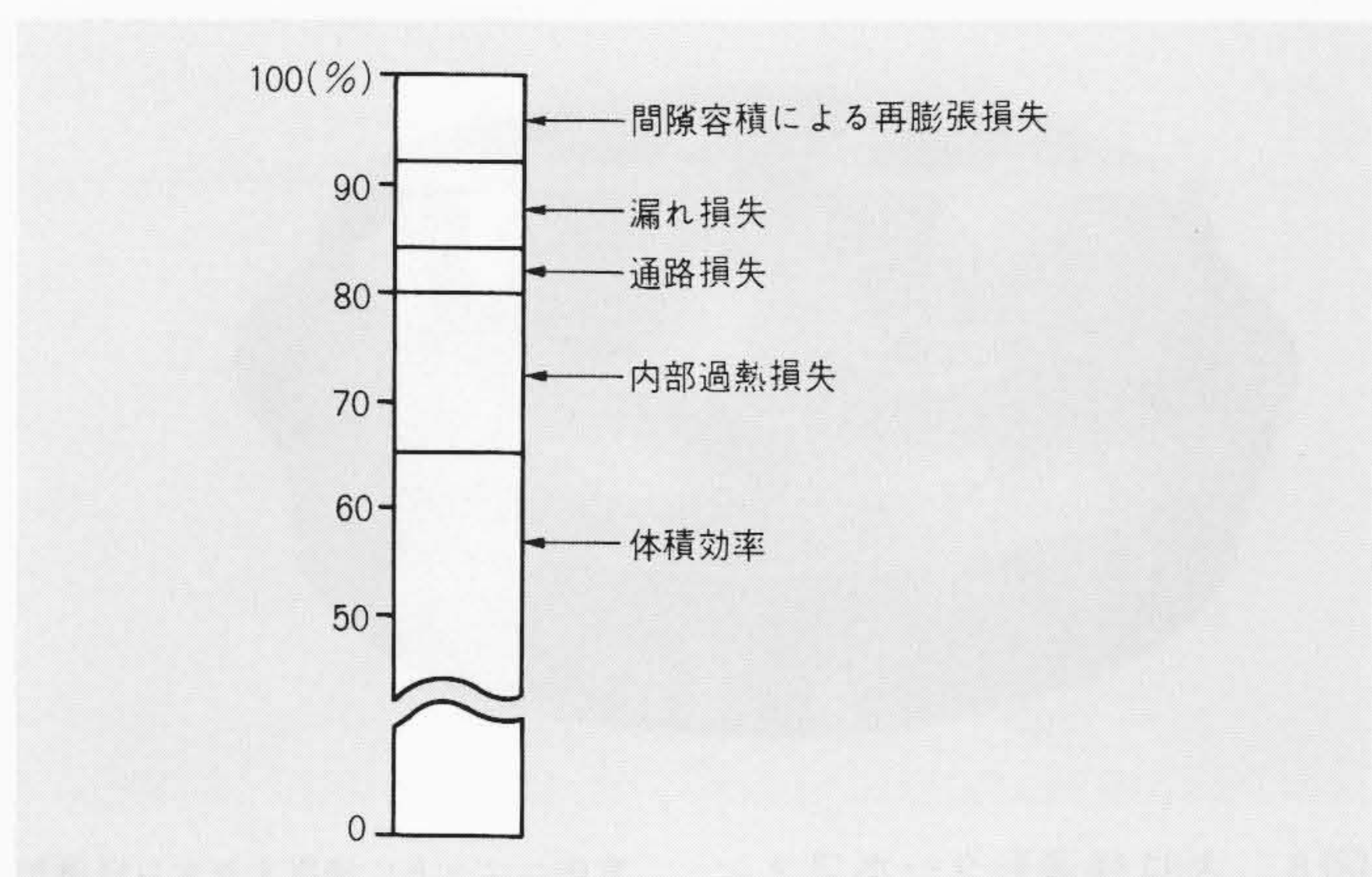


図4 体積効率の損失内訳 圧縮機の体積効率に影響する各種損失を示す。

時に吐出し通路損失の低減を図っている。このピストン構造を日立製作所ではコンベックスピストンと呼んでいる。

一方、吸込ガスの過熱による体積効率の低下は、低压チャンバ方式の往復動圧縮機にとって必然的なものであり、性能向上のキーポイントでもある。吸込ガスの内部過熱による体積効率の低下は、理論値と実測値はよく一致し、過熱の影響も大きい。

この加熱源には電動機損失、機械損失、弁及び通路損失などの動力損失と、吐出し通路系からの放熱がある。このため、高効率圧縮機では各部損失の低減と同時に、吸込ガスの通路系に熱抵抗の大きい材料を使用して熱伝達を阻止し、吸込ガスの過熱低減を図っている。これらの改良の結果、従来機に比較して、体積効率は約15%向上し、ピストン押し除け量を少なくすることができた。

(3) 圧縮機の動力損失とその低減

圧縮機の動力損失の中では機械損失が最も多く、次いで吐出し側の損失が多くなっている。このため、高効率圧縮機では機械損失及び吐出し側での損失の低減に重点を置き、

(1) ピストン押し除け量である行程体積の減少による有効動力の低減

(2) 気筒径、衝程比、ロッド長さ、衝程比の最適化による機械損失の低減

(3) 弁構造の変更による弁損失の低減

などを図っている。この結果、従来機に比較して断熱効率は約20%向上し、圧縮機入力を低減することができた。

上記内容のほかに、電動機の高効率化などを図り、圧縮機単体のEERは約25%向上し、また、外法寸法、重量とも従来機並みに抑えることができた。

3.2 熱交換器の高性能化

熱交換器については、伝熱性能の向上と同時に、通風抵抗がユニットの騒音に与える影響も無視することはできない。熱交換器の空気側伝熱性能と通風抵抗の関係は、図5に示すようになっており、多くの場合伝熱性能の向上に伴い通風抵抗も高くなる。新しく開発されたフィンは、「スーパースリットフィン」¹⁾と呼ばれ、通風抵抗増大を最小限に抑え、伝熱性能をいかに高めるかに重点がおかれている。また、現状のクロスフィンタイプ熱交換器の熱抵抗は、およそ空気側が60~70%、管内の冷媒側が30~40%を占めており、冷媒側性能向上も熱交換器性能向上に対し重要な因子であり、新しく開発した内面溝付管^{2), 3)}と呼ぶ伝熱管を採用した。ここでは、空

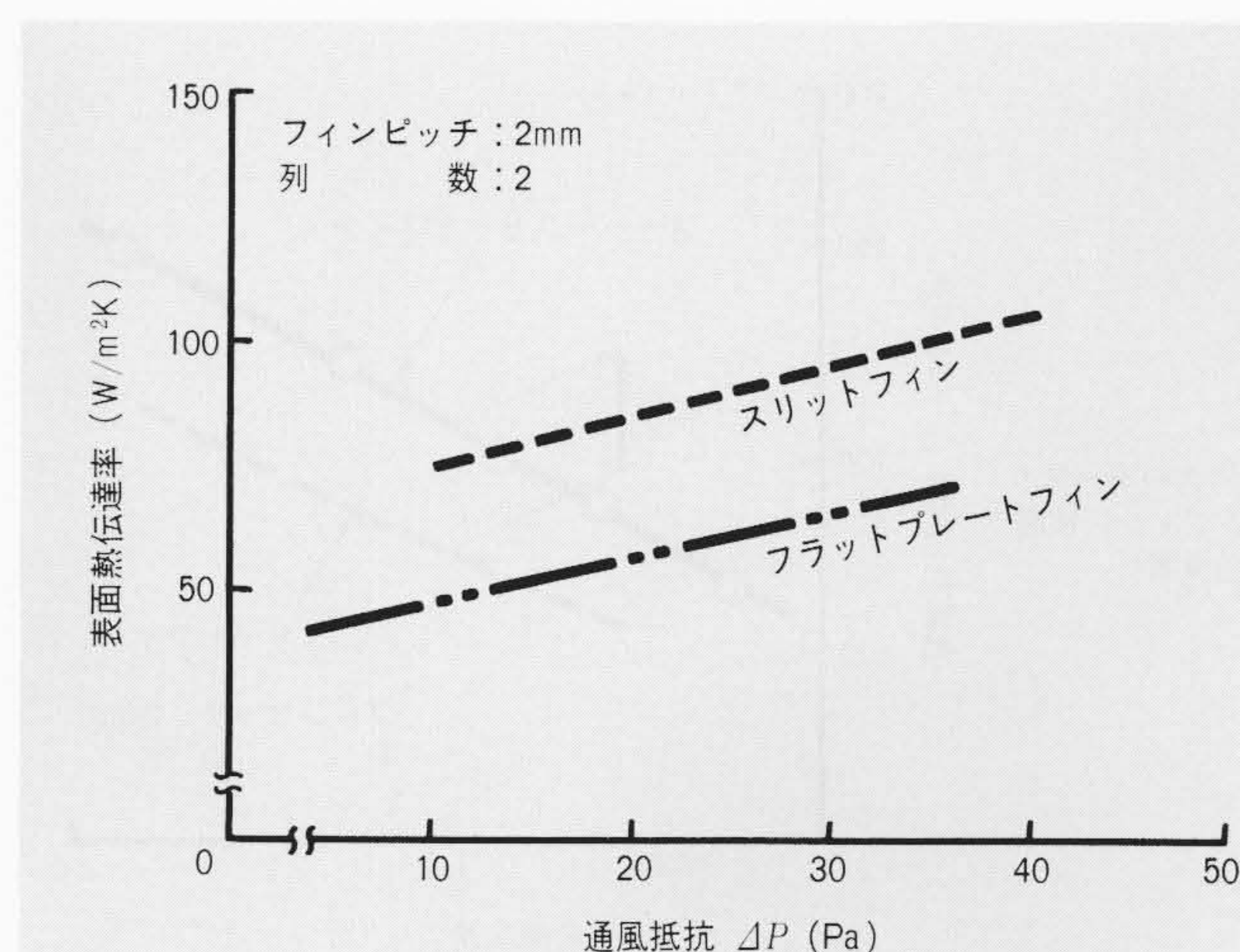


図5 通風抵抗と熱伝達率の関係 熱交換器の通風抵抗と空気側伝熱性能の関係を示す。

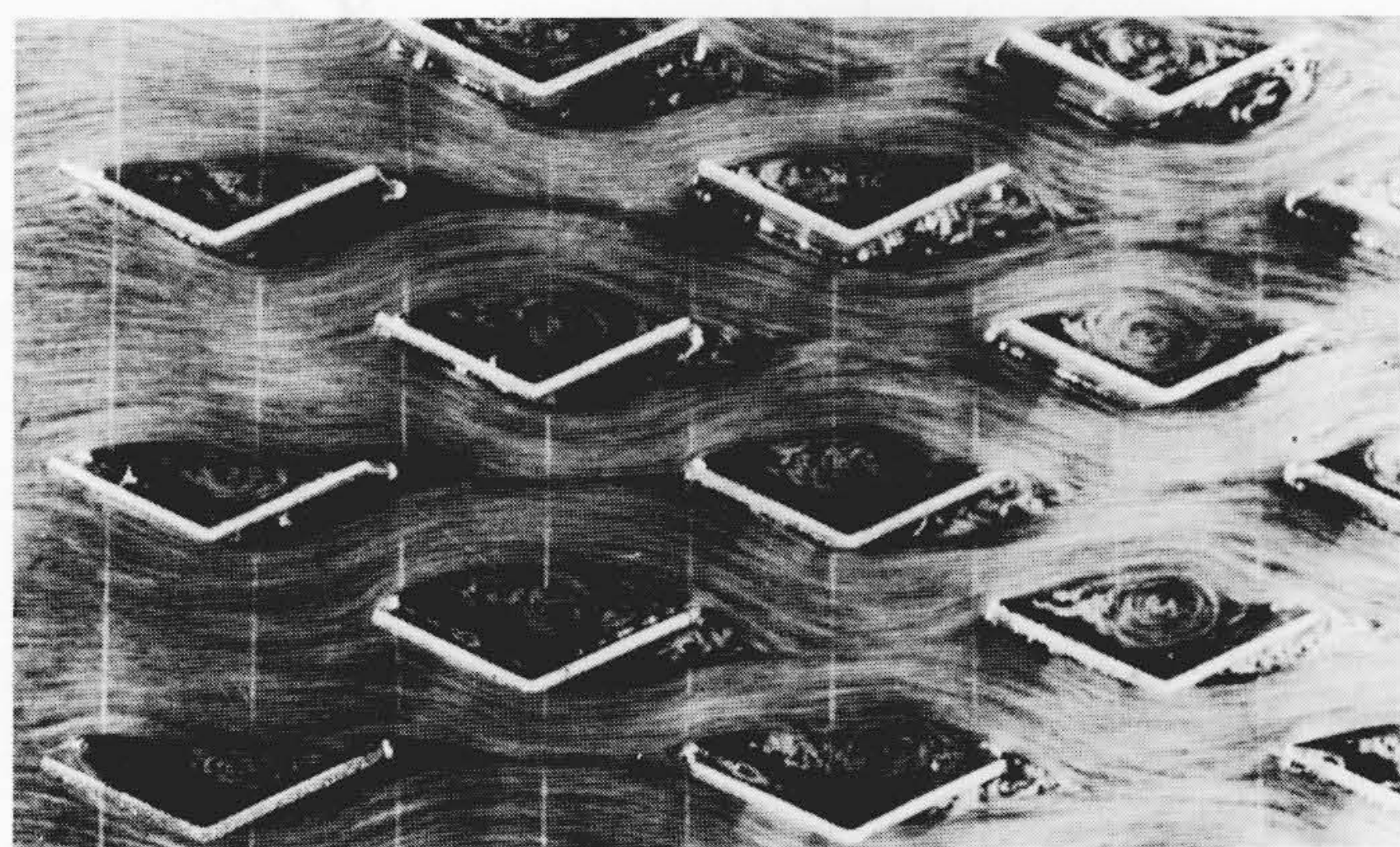


図6 フィン間の流動様相(スーパースリットフィン) 「スーパースリットフィン」の場合のフィン表面での空気流れ様相を示す。

気側と冷媒側に分けて、伝熱面の寸法仕様とその伝熱性能などを従来の伝熱面と比較して述べる。

(1) 空気側伝熱性能

クロスフィンチューブ式熱交換器の空気側性能を向上させるためには、フィンに沿って流れる空気の流れ、及び温度境界層厚さを小さくする必要がある。本フィン回りの空気流れ様相を観察した結果は図6に示すようになっており、後流部にあるスリットにも主流が当たるため、フィン全体の熱交換効率が高くなっていると予想される。図7は「スリットフィン」^{4), 5)}と「スーパースリットフィン」の表面熱伝達率及び通風抵抗の測定結果を示したものであり、「スーパースリットフィン」の表面熱伝達率は23%向上していることが分かる。一方、通風抵抗は17%程度の増加に抑えられている。

(2) 冷媒側伝熱性能

管内を冷媒が流れ、沸騰又は凝縮する場合の熱伝達率向上策としては、古くから管内に溝を掘る方法などが考えられていたが、クロスフィンタイプ熱交換器に使用されるような薄肉管への適用には製作上の大きな障害があった。その結果、溝の最適寸法仕様も明らかにされていなかった。しかし、高効率パッケージ形空調機の開発に当たり、溝付管の実用化は必須の課題であった。このような状況のもとで、伝熱性能が高く、しかも管の疲労強度、耐圧性を含む信頼性の面で優れ

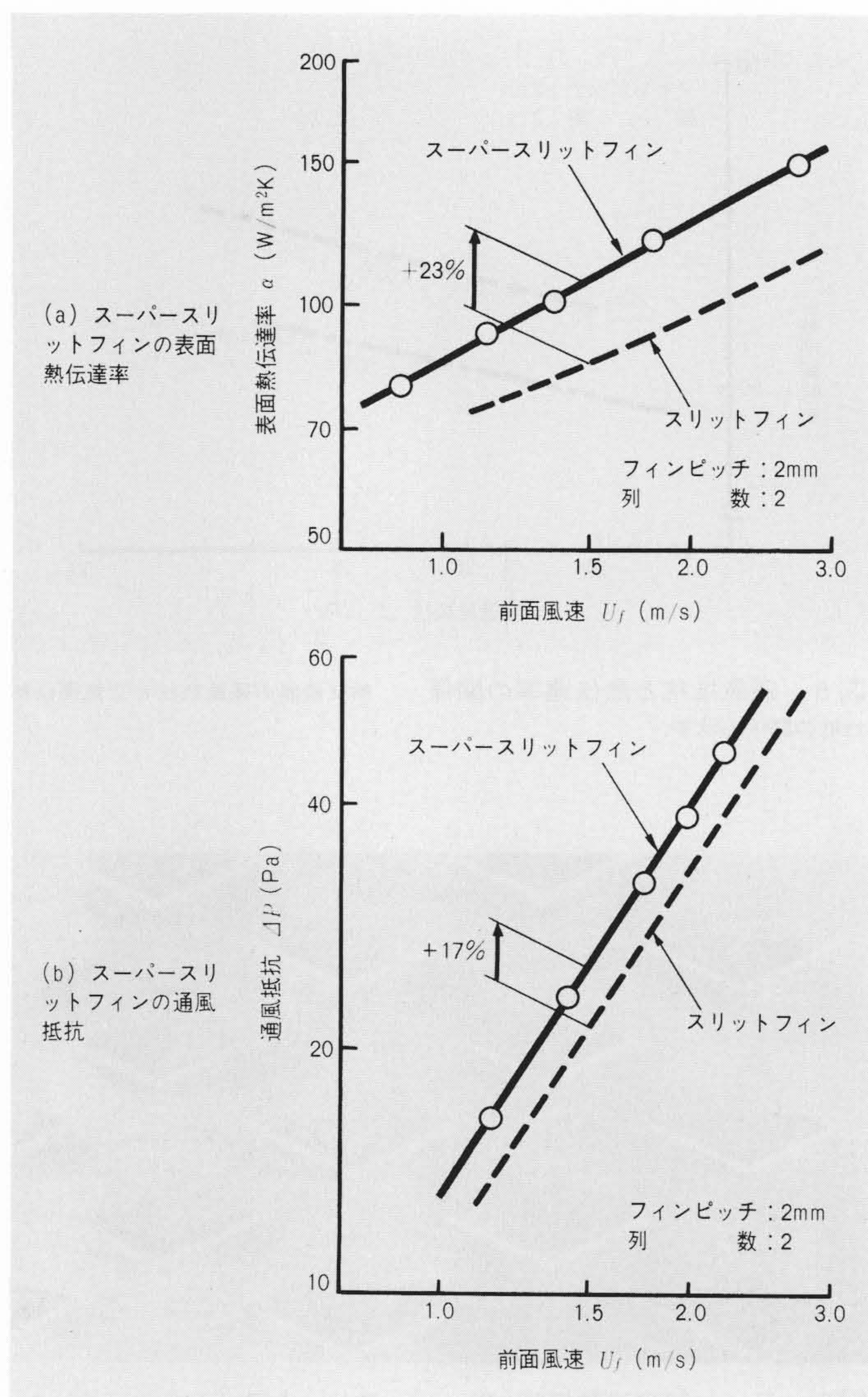


図7 フィンの伝熱性能と通風抵抗 スリットフィンとスーパースリットフィンの表面熱伝達率と通風抵抗の関係を示す。

ている溝付管を開発した。その伝熱性能は、裸管と比較して空調機用熱交換器の使用条件では50%以上の性能向上が図られている。

3.3 送風機の性能向上

室内ユニットの薄形化及び室外ユニットの設置スペース低減と同時に、送風機入力低減を図るため、室内・外ユニットにはいずれも新開発の送風機を採用した。その結果、室内・外ユニットの送風機全入力、日立製作所現流製品に対し70%まで低減された。特に、室内ユニットの薄形化に際しては、図8に示す三次元翼形翼をもつ大口径ターボファンを開発した。

室内ユニット用送風機の性能は、空調機ユニットの寸法及び各機器の配置によって大きく影響される。本機では室内ユニットが、奥行22cm(2.2kW機種)及び30cm(3.0kW及び3.75kW機種)と大幅に薄形化されたため、多翼送風機を使用すると通風抵抗の増大により送風機性能が低下する。そこで、熱交換器を送風機吸込口に対面して設置し、吸入空気通路の簡素化により通風抵抗を減少させるとともに、送風機には大口径ターボファンを使用し、送風機の性能向上を図った。このたび開発したターボファンには、送風機効率の向上と騒音低減の両面から、三次元翼形翼が採用されている。ターボファンの単体性能、及びユニット組込時の特性を図9に示す。

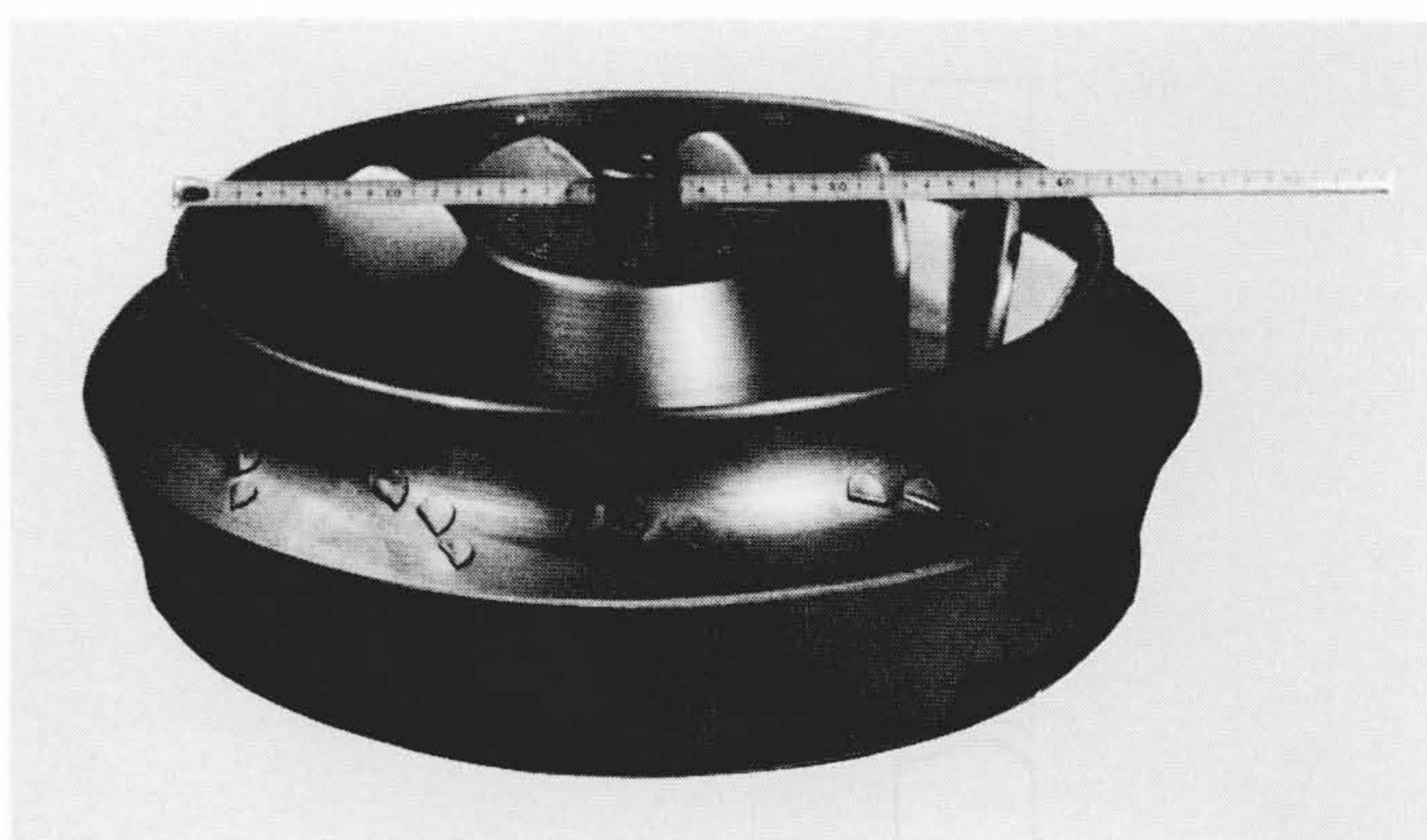


図8 大口径薄形ターボファン 室内ユニットに使用する大口径薄形ターボファンの外観を示す。

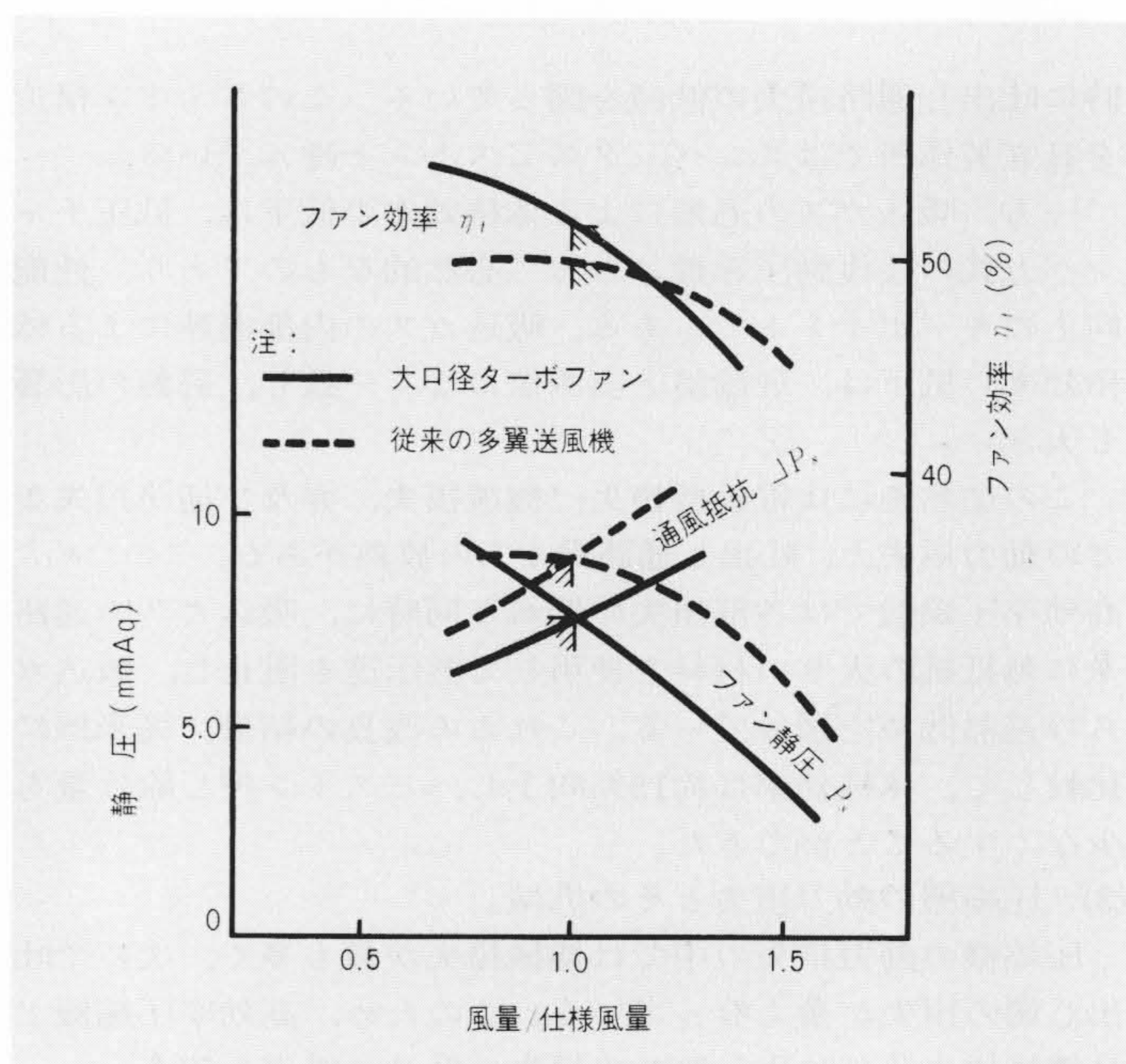


図9 室内ユニット組込み時のファン特性 高効率パッケージ形空調機室内ユニットに、ターボファンを組み込んだときの特性を示す。

4 結 言

以上述べたとおり、昭和55年度新製品として発表したパッケージ形空調機は、数多くの省エネルギー技術開発を基に完成されたもので、大幅な高効率化と薄形省スペース化を同時に実現した製品であり、現在おかれている我が国のエネルギー事情を背景に今後のパッケージ形空調機の方角を示す製品であると信ずる。

参考文献

- 1) 千秋, 外: 熱交換器用フィンの表面熱伝達率, 冷凍, 第54巻, 第615号, 11~17(昭54-1)
- 2) 伊藤, 外: 内面らせん溝付管の沸騰熱伝達と圧力損失, 日本機械学会論文集, 第389号, 118~126(昭54-1)
- 3) 木村, 外: 水平内面らせん溝付管の低流量域における蒸発熱伝達, 日本機械学会東海支部第29期総会講演会論文集, No. 803-2(昭55-1)
- 4) 細田, 外: 空気調和機用のスリットフィン形熱交換器, 冷凍, 第51巻, 第583号, 383~388(昭51-5)
- 5) 細田, 外: スリットフィン形熱交換器, 日立評論, 57, 641~644(昭50-8)