

# 空気調和機の空冷化

## Adoption of Air Cooling Type for Packaged Air Conditioners

パッケージ形空調機、チラーユニットなどの空調機は、従来、熱源として、水を使用した水熱源方式を中心に、目覚ましい伸びを示してきたが、水資源の不足、大気汚染による冷却水の汚染などにより、昭和40年ごろより、空気を熱源とした空冷化への転換が急速に浸透してきている。空冷化に伴う熱交換器性能の向上、また低騒音化技術の向上など近年における技術上の進歩は著しいものがある。特に最近の省エネルギー化への観点から空気熱源ヒートポンプに対する需要の増加は、その技術的向上とともに、目覚ましいものがある。本稿では、最近における空調機の空冷化、空気熱源ヒートポンプ化について市場の動向、製品の技術的向上、特に熱交換器技術、低騒音化技術などについて記述する。

児玉岩男\* *Kodama Iwao*  
 瀬賀弘志\*\* *Sega Hiroshi*  
 原田文雄\*\*\* *Harada Fumio*

### 1 緒 言

近年、我が国の空気調和産業は著しい伸びを示し、空調機の普及増大に伴い、その用途も多種多様化しつつある。一方、それを取り巻く社会的、経済的環境もここ数年著しい変化を遂げている。特に水資源不足に伴う地下水の使用制限、大気汚染などによる冷却水の水質汚濁などにより、空調機の空冷化が著しく進んでいる。更には昭和48年末の石油ショックに端を発したエネルギー問題は、空調機分野でも省エネルギー型機器の開発を促進するなど、空調産業も他産業と同様、その製品開発、生産技術、システム応用などあらゆる面で転換が迫られている。

このように、水資源節約、エネルギー節約及び無公害化が重要なテーマとされ、空調機器及び空調システムは、空冷化、空気熱源ヒートポンプ化が、既に一般化されつつある。本稿では、このように近年急激に進展してきた空調機の空冷化に伴い熱交換器の性能向上、低騒音化などの技術、及びこれらの技術を盛り込んだ新しい空冷式空調機の特長について言及する。

### 2 空冷化の背景と現状

冷房機器は冷媒を水で凝縮させる水冷式と、空気で凝縮させる空冷式とに大別される。従来、我が国では良質の水が豊富で安価であること、据付場所が小さくて済むこと、工事が容易であることなどの点から、水冷式が多く使用されてきた。しかし、近年、人口過密都市での慢性的な水不足、工業地帯での過度の地下水汲み上げによる地盤沈下など、水資源問題は年々深刻さを増大している。これらの状況から地下水の汲み上げ規制、回収水の利用技術の開発など、各種の法的規制、行政指導が行なわれている。そのため、この貴重な水を空調のために用いることは必然的に困難になってくるものと考えられる。また都市での大気汚染の状況は、ここ数年極めて悪くなっている。したがって、クーリングタワーの水はSO<sub>2</sub>、NO<sub>3</sub>などを含む汚染水となり、熱交換器の腐食、汚れを増速し、熱交換の洗浄、水の交換など保守管理費は年々増大している。

大気汚染など公害問題に関連し、クリーンエネルギーへの転換が望まれ、更に省エネルギーの観点から空気熱源ヒート

ポンプ式空調機が急速に普及しつつある。パッケージ形空調機及びチラーユニットでの空気熱源ヒートポンプは、この二、三年その比重を増し、パッケージ形空調機では空冷機種のうち約60%が空気熱源ヒートポンプとなっている。図1は日立製作所推定によるパッケージ形空調機の空冷化率、空気熱源ヒートポンプ化率を示したものである。更に最近では各種排熱や太陽熱などを補助熱源として利用する空気熱源ヒートポンプも開発され、エネルギーの有効利用の点からも注目されつつある。

### 3 空冷式空調機のメリットと技術上の問題点

空気調和における省エネルギー化については、第一に建物の断熱特性を向上することであるが、空調機器の性能、成績

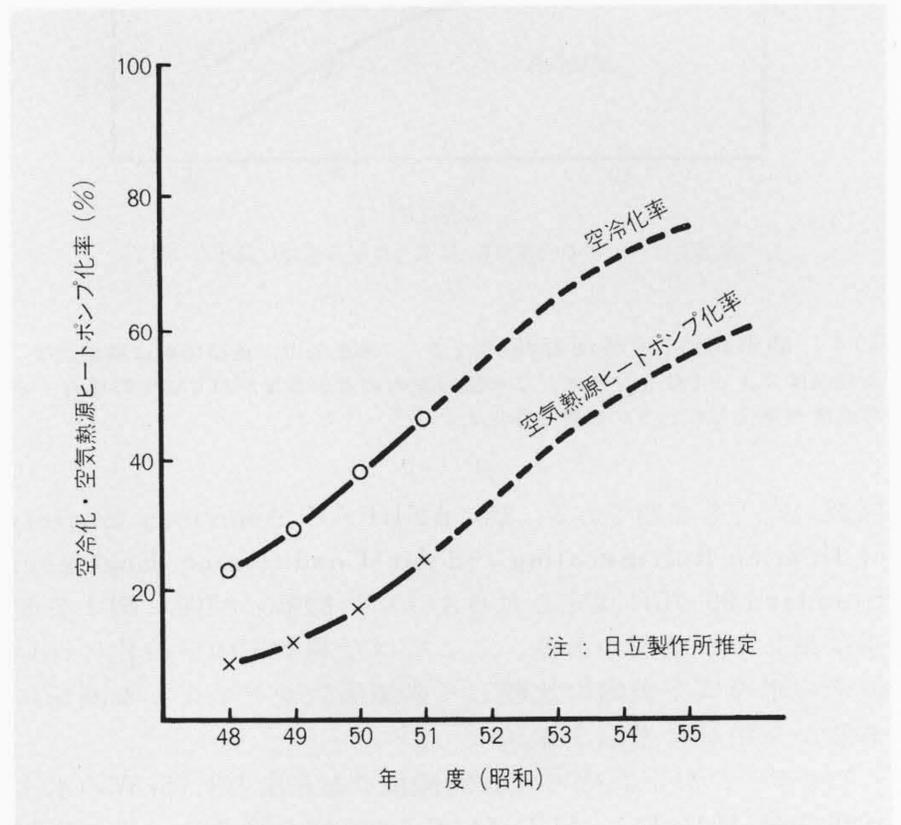


図1 パッケージの空冷機における空冷化及び空気熱源ヒートポンプ化率 パッケージ形空調機における空冷化率を、日本冷凍空調工業会資料を参考にして推定した。

\* 日立製作所商品事業部 \*\* 日立製作所清水工場 \*\*\* 日立製作所機械研究所

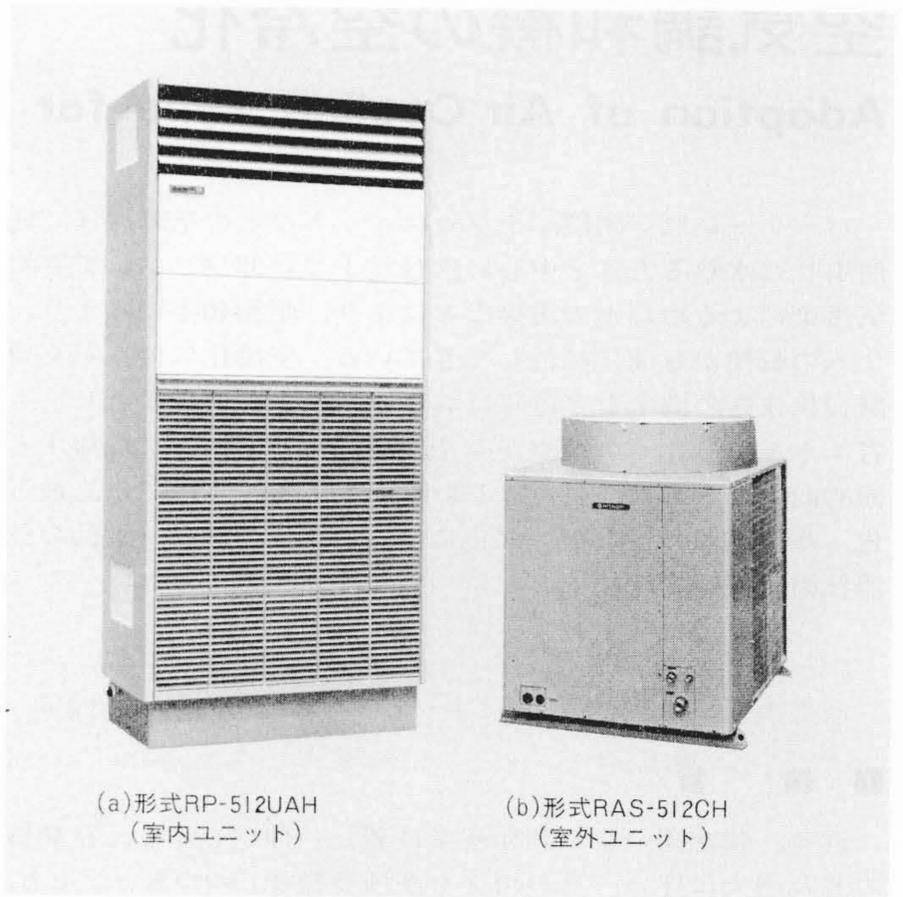


図2 水冷式パッケージ形空調機 水冷式パッケージ形空調機では、凝縮器を冷却するための水をクーリングタワーを用いて冷却し、循環して使用する方法が一般的に多く採られている。

図3 空気熱源ヒートポンプ式空調機 空気熱源ヒートポンプ式パッケージ形空調機には室内ユニット、室外ユニットに分離した形式のものが一般的であるが、それぞれを一体化した一体形式のもの、リモートコンデンサ形式のものなどがある。

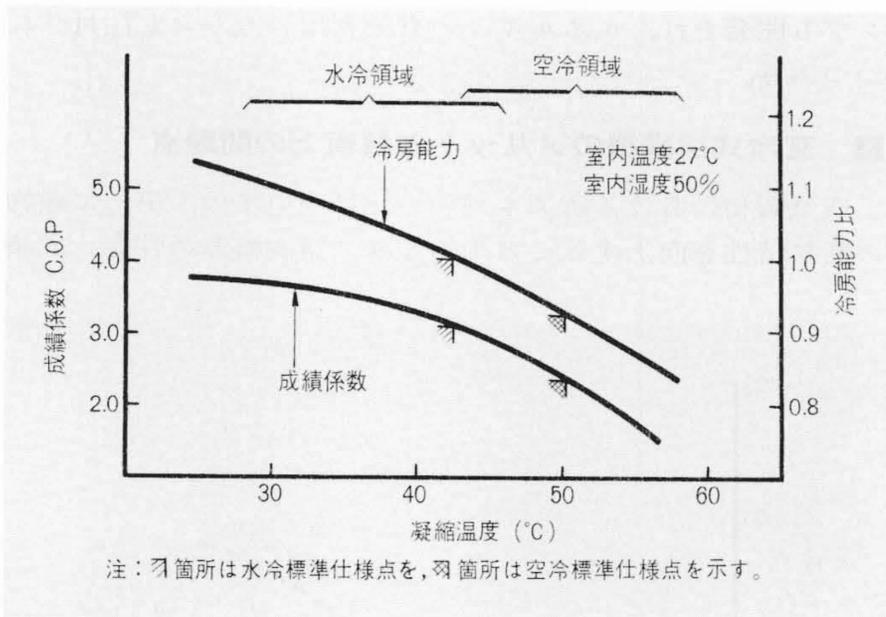


図4 能力特性(冷房運転時60Hz) 冷房能力、成績係数は凝縮温度、蒸発温度によって変化するが、この図は室内の温・湿度が27°C 50%の場合、凝縮温度が変化したときの特性を示した。

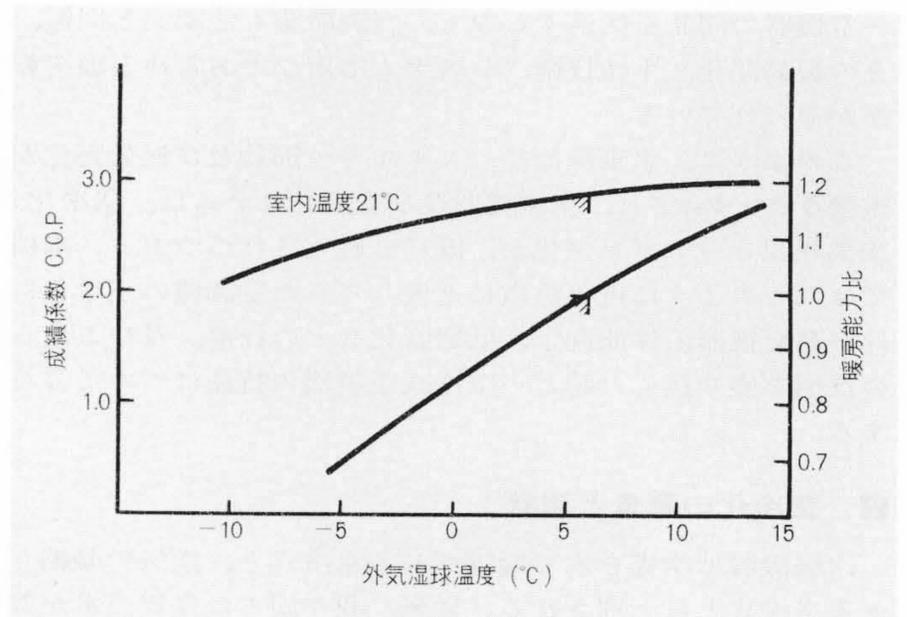


図5 能力特性(暖房運転時60Hz) 暖房能力及びその成績係数は、外気温度、暖房する室内温度によって変化するが、この図は室内温度21°Cのときの特性を示した。

係数の向上も課題である。既にASHRAE(American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) Standard 90-75に規定されるように、機器の性能に関する要求は厳しくなりつつある。ここでは空調機器の空冷化に伴い従来の水冷式空調機に比較して成績係数がどのような関係にあるかを中心に考察する。

パッケージ形空調機の代表的機種である出力3.75kWの水冷式空調機(RP-511, MT-511S)の外観を図2に、また空気熱源ヒートポンプ式空調機(RP-512UAH, RAS-512CH)の外観を図3に示す。

これらの空調機の冷房運転時の成績係数及び冷房能力を図4に示す。冷却能力は、水冷式空調機の標準条件(入口水温24°C、出口水温35°C)での能力を1として表わしたものである。空冷式空調機の標準条件(外気温度35°C)での性能は斜線で示

した位置であり、それぞれの標準条件での成績係数は水冷式空調機では3.0、空冷式空調機では2.3となっている。したがって、空調機単体の成績係数は水冷式空調機のほうが成績係数では約30%も高く、ランニングコスト上有利である。しかし、前述のように冷却水不足の現状から水冷式空調機では、クーリングタワーと組み合わせて用いることが一般的であり、この場合、クーリングタワー、水ポンプ動力を加味すると成績係数は約2.5となり、空冷式空調機に比較してそれほど有利ではないといえる。

また暖房運転時の暖房能力、成績係数を図5に、各種冷暖房方式のエネルギーコスト比を表1に示す。同表から分かるように、空気熱源ヒートポンプ式空調機は暖房運転だけをみても灯油暖房とほとんど同等のエネルギーコストで済むことになり、冷暖房総合で見れば吸収式空調機に比較しても問題

にならないエネルギーコスト，イニシャルコストの有利性を持っている。

一方，空気熱源ヒートポンプ空調機では，その特性上幾つかの欠点を持っている。

外気温度の低下とともに暖房能力は大きく低下し，暖房負荷が大きいつき暖房能力不足となるため，補助暖房熱源が必要となる。また外気温度が低く，しかも降雪時など湿度の高い場合には，室外の蒸発器に着霜を伴い暖房能力が低下する。したがって，蒸発器に付着した霜を定期的に除去しなければならない。この除霜時に室内に冷風が吹き出し，暖房効果が低下する。更に，この除霜動作のため空調機の運転状態が急激に変化し，機器の信頼性，特に圧縮機の耐久性，減圧装置，アキュムレータ装置の性能，除霜開始及び終了指令装置などの信頼性が問題となる。

このように空気熱源ヒートポンプ式空調機では，これらの機器の性能向上と信頼性向上が大きな技術課題である。

#### 4 新形空気熱源ヒートポンプ式空調機の特長

空気熱源ヒートポンプ化は既に一般化され，更に多様化されつつある現状と最近の省エネルギー化の社会的要請の急な状況にかんがみ，日立製作所が52冷凍年度より発売した空気熱源ヒートポンプ式空調機Uシリーズの特長について記述する。

##### 4.1 新形空気熱源ヒートポンプ式空調機の概要

日立製作所が開発した新形空気熱源ヒートポンプ式空調機Uシリーズは，出力1.5～3.75kWまでのセパレート形3機種で，外観は図3に示すとおりである。室内ユニットに熱交換器，及び送風機を，室外ユニットには圧縮機，熱交換器，及び送風機をそれぞれのユニットに取りまとめた製品である。

##### 4.2 冷暖房能力の向上及び成績係数の向上

一例として出力3.75kW機種の冷暖房能力，及び成績係数を日立製作所の従来機(RP-511AH)と比較して表2に示す。冷暖房能力は従来機に比較して約7～9%向上している。これは高性能スリットフィン熱交換器を採用した結果によるもので，小形でしかも凝縮温度を約3℃低下させることができたためである。したがって，成績係数も従来の1.97から2.3と約17%向上することができた。高性能スリットフィン熱交換器の性能については既に発表されており，この形状は図6に示すようなもので，その除湿を伴う相当エンタルピ基準熱伝達率及び通風抵抗は図7に示すとおりである。同図が示すように，従来のプレートフィン熱交換器に比較して単体性能では風速2m/sで約50%も性能が向上している。なお新形Uシリーズの性能向上には，前述のスリットフィン熱交換器の採用によることもさることながら，冷凍サイクルの減圧装置として多パスキャピラリーチューブの採用により，熱交換器での冷媒分布を均一化し，更にスーパーヒート領域を少なくして熱交換器を有効に作動することに成功したことも見逃せない。

##### 4.3 低騒音化

室内ユニットについては，多翼送風機を用いているが，この多翼送風機の羽根車，ケーシング形状の検討及び内部流れの解析と改良により，図8に示すように大幅に性能が向上した低騒音小形送風機の開発に成功し，低騒音化を実現している。また風量の強弱2段切換方式の採用によって，更に低騒音運転が可能になっている。

室外ユニットについては，低騒音プロペラファンの採用，熱交換器の3面配置によって図9に示すように騒音低減の点

表1 各種空調方式におけるエネルギーコスト比較 各種空調方式によるランニングコストを，エネルギー消費量で比較示した。

空調条件	空調方式	エネルギー消費量	一次エネルギー消費量 (重油換算)
冷房 室温27°C (13,000kcal/h)	電力(空気熱源ヒートポンプ)	5.98kWh	1.71 l (1.0)
	都市ガス(吸収式)	5.2 m <sup>3</sup>	3.76 l (2.19)
	灯油(吸収式)	2.7 l	2.44 l (1.42)
暖房 室温21°C (14,000kcal/h)	電力(空気熱源ヒートポンプ)	5.81kWh	1.66 l (1.0)
	都市ガス	3.73 m <sup>3</sup>	2.69 l (1.62)
	灯油	2.19 l	1.98 l (1.18)
冷暖房総合	電力(空気熱源ヒートポンプ)	12.48kWh	3.37 l (1.0)
	都市ガス	8.93 m <sup>3</sup>	6.45 l (1.91)
	灯油	4.89 l	4.42 l (1.31)

注：1. 括弧内の値は電力に対する他エネルギーの倍率を示す。  
2. 空気熱源ヒートポンプの成績係数は2.5とした。

表2 Uシリーズとの性能比較一覧表 一例として出力3.75kWの空気熱源ヒートポンプ式空調機の冷暖房能力，及び成績係数をJISに定める冷暖房それぞれの標準条件での値を日立製作所従来機の値と比較して示した。

項目	シリーズ	新形Uシリーズ (RP-512UAH)	従来形シリーズ (RP-511AH)
寸法	室内ユニット(mm)	幅800×奥行450×高さ1,750	幅1,000×奥行510×高さ1,870
	室外ユニット(mm)	幅782×奥行862×高さ998	幅1,003×奥行1,003×高さ1,225
性能	冷房能力 (50/60Hz) (kcal/h)	12,000/13,000	11,000/12,000
	暖房能力 (50/60Hz) (kcal/h)	13,000/14,000	12,000/13,000
性能	C.O.P. 50/60Hz (冷房)	2.58/2.30	2.32/1.97
	C.O.P. 50/60Hz (暖房)	3.14/2.82	2.90/2.52

注：運転条件はJISに定める標準条件による。

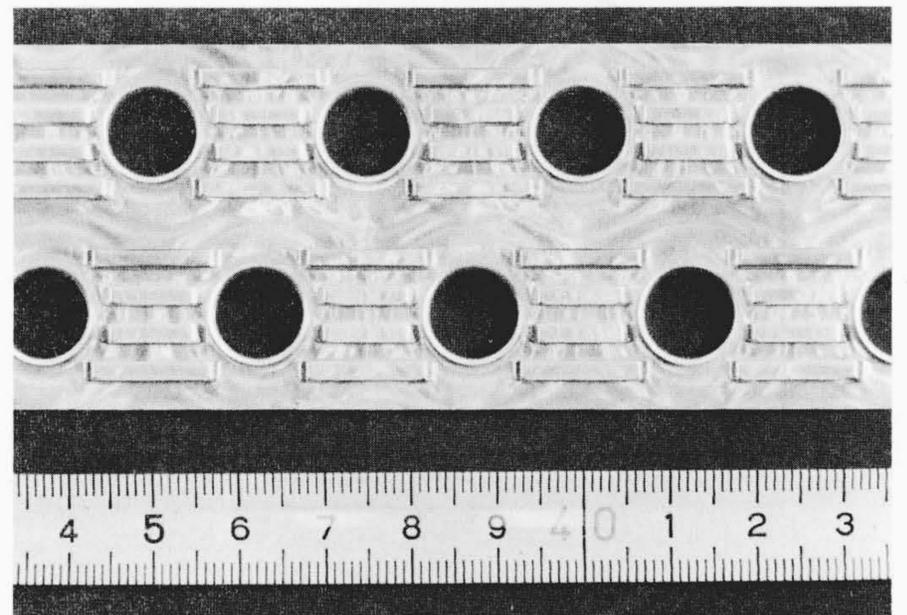


図6 スリット形フィン フィンの正面へ写真で気流方向の幅2.2mm，高さ1mmのスリットを，管列1列当たり4本ずつ切り起こしたものである。

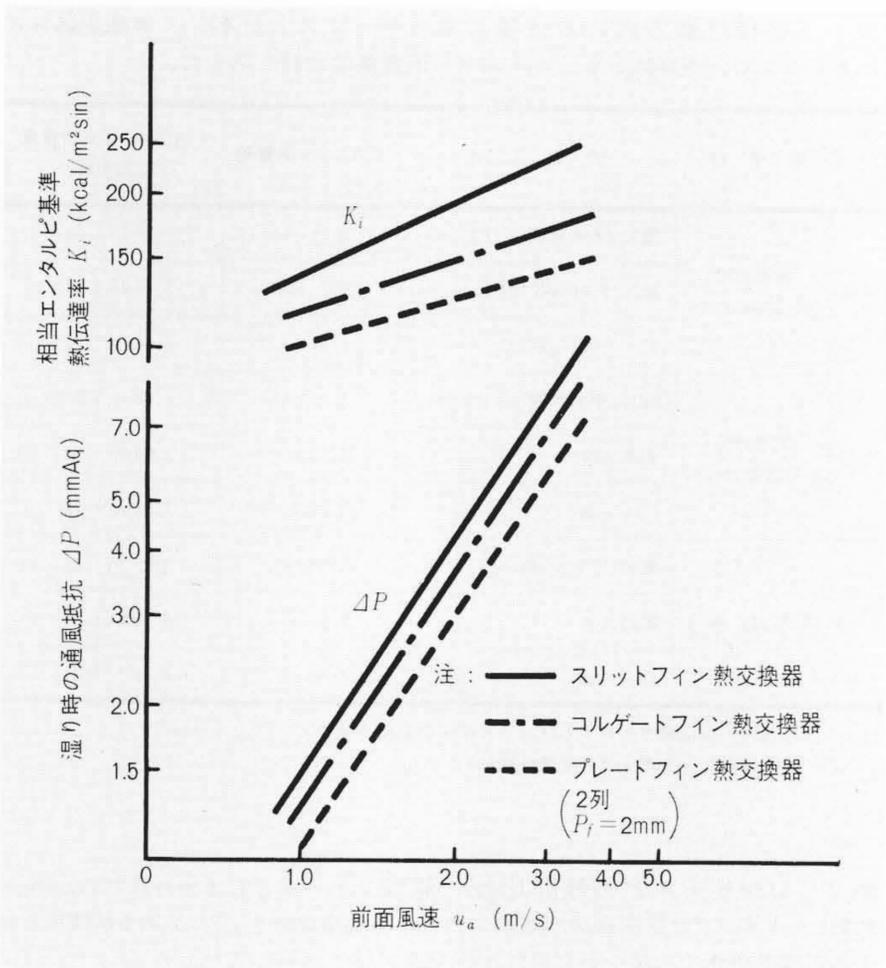


図7 スリットフィン形熱交換器の特性 クロスフィンチューブ形熱交換器で内部に冷媒を流し、蒸発器として用いた場合、すなわち物質伝達を伴う場合の風速と相当エンタルピー基準熱伝達率、及び通風抵抗の特性をフラットプレートフィン熱交換器、コルゲートフィン熱交換器の特性と比較して示した。

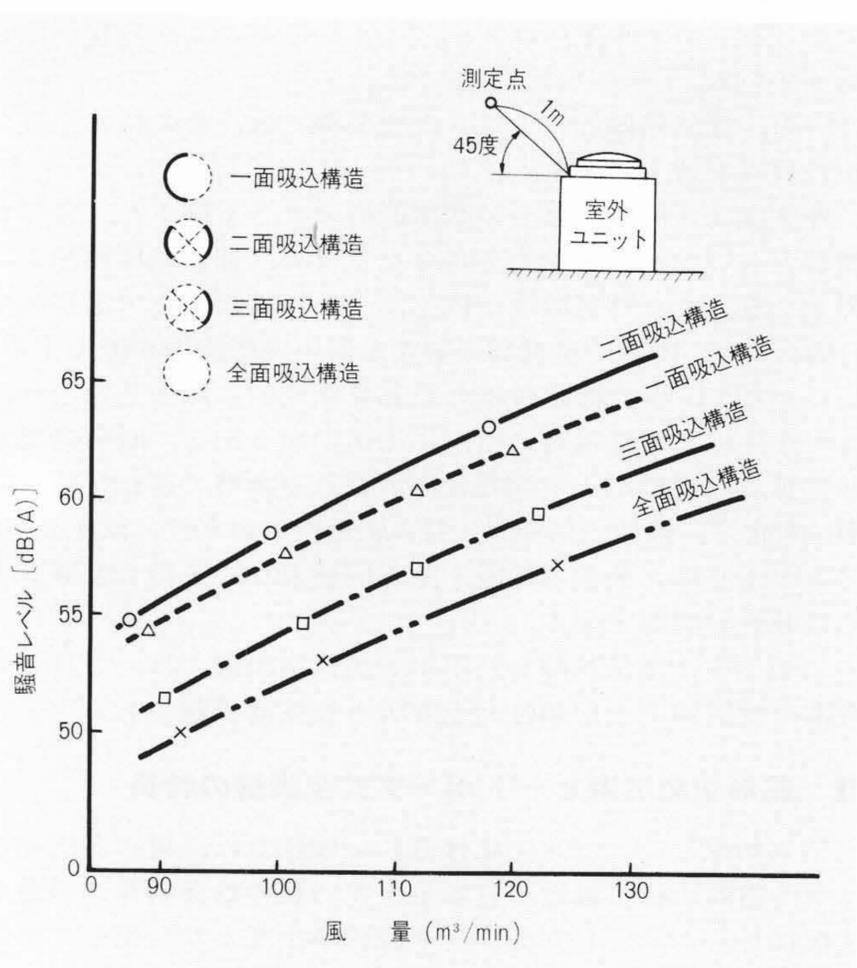


図9 室外ユニットの騒音特性 送風機の下部に円筒形の熱交換器に相当する風抵抗体を設け、実験装置で吸込面形状を変化した場合、吸込面積が同一になるように円筒形の高さを変化した場合の風量、騒音特性を示した。

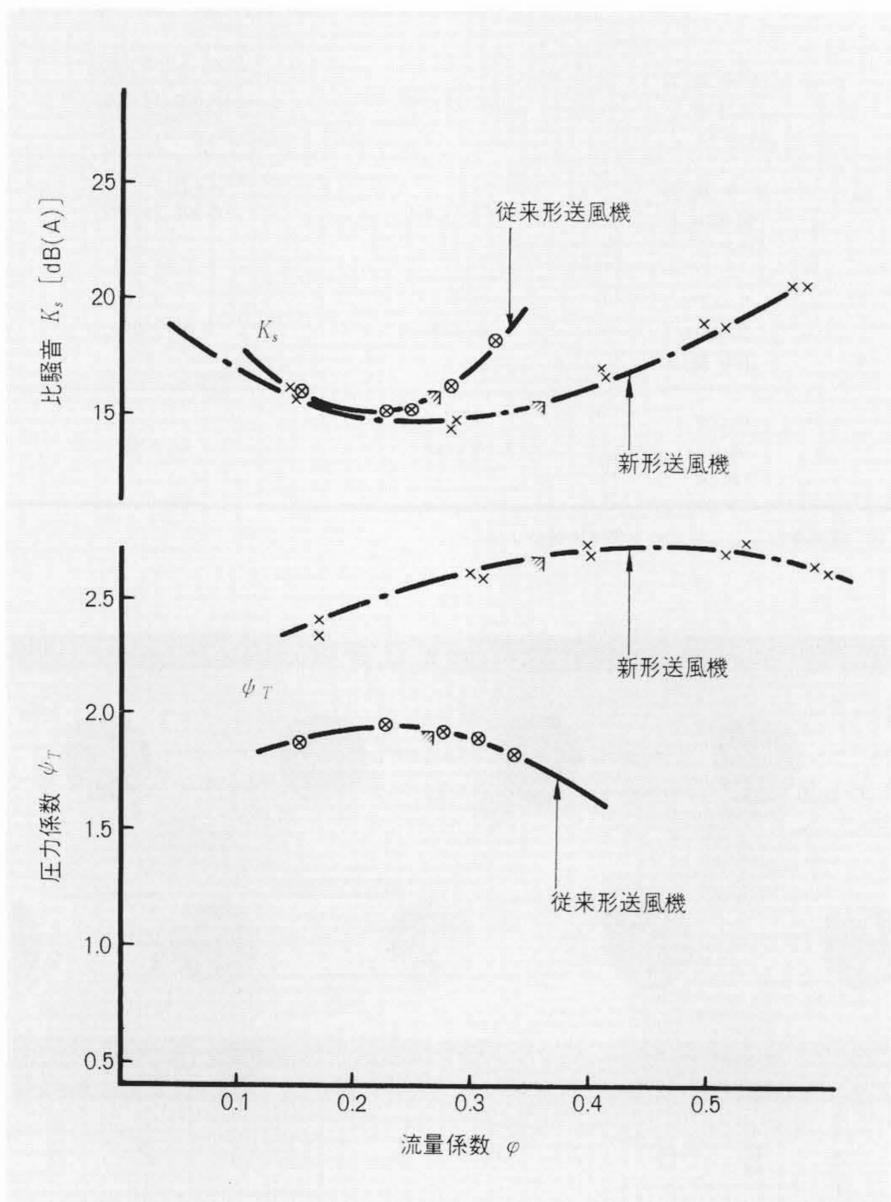


図8 送風機特性 送風機の風量と全圧力、及び騒音特性をそれぞれ流量係数、圧力係数及び比騒音レベル(dB)で表わしたもので、羽根車の大きさ及び回転速度を無次元化したものである。

で有利な構造を採用している。また特殊ファンガイドを採用した結果、小形で静粛である。しかも外気温度に応じて変動する凝縮圧力を感知して自動的に強弱の2段に風量が変わる設計となっており、夜間など外気温度が低下した場合更に低騒音運転が可能になっている。

#### 4.4 信頼性

冷凍サイクル構成の徹底した簡素化を目標に、冷凍サイクルの作動特性について幅広い実験検討と、低温条件下での圧縮機への液戻り量の定量的把握に基づく新設計アキュムレータの開発、並びに圧縮機の吸込弁、吐出し弁応力の定量化と繰り返し疲労限界の把握及びその改良を行なった。その結果、従来セパレート形空調機では困難とされていた減圧装置のキャピラリー化に成功し、従来の膨張弁やバイパス電磁弁などの可動部品をなくした簡素な冷凍サイクル構成となり、信頼性を向上させることができた。

#### 5 結 言

以上、最近における空調機の空冷化、空気熱源ヒートポンプ化の動向、及び空気熱源ヒートポンプ式空調機の省エネルギー性、更に最近の技術改良点について言及した。

今日の空調機器は、従来の産業用、及びサービス業を主体とした需要から飛躍し、住宅産業、教育関連市場などその普及範囲は拡大し、多種多様な機種とシステムが強く望まれるようになってきている。

一方、エネルギー節約の社会的、経済的要求は必須であり、よりいっそうの機器の効率向上が望まれるとともに、システムとしてのエネルギー有効利用技術、トータルエネルギーシステムの開発が望まれるようになってきている。

このような状況下での空気熱源や排熱利用ヒートポンプ式空調機の占める地位は、今後ますます重要視されるとともに、その技術も急激な進歩改良が行なわれていくものと考えられる。