

鉄道車両用の軽量・薄形・高効率空調装置

High Efficiency and Light Weight Air Conditioners for Railway Vehicles

鉄道車両用空調装置は、快適性に対するサービス向上の手段として不可欠なものとなっており、新製車両はもちろんのこと既存車両に対しても冷房化改造の要求が増加している。空調装置に対する顧客の要求は、(1) 薄形・軽量化、(2) 省エネルギー化、(3) 冷房化改造の容易化、及び(4) 快適性の向上を満たすことであり、日立製作所でもこれを受けて新形空調装置の開発を進めてきた。

本論文では、この背景をもとに開発したスクロール圧縮機を用いたインバータ駆動形空調装置について述べる。本開発によって従来比約30%の軽量化(冷房能力当たり質量)が実現でき、また空調装置の効率を示す成績係数も従来比1.1~1.5倍程度に改善することができた。更に、既存車両の冷房化改造に対しても最小限の車体改造で取付け可能であり、かつ各種電源に対しても対応可能とすることができた。

松本雅一* Masakazu Matsumoto

松田紀元** Toshiharu Matsuda

1 緒 言

鉄道車両での空調装置は、旅客サービスの向上手段として不可欠なものとなっており、この傾向は今後よりいっそう強まるものと考えられる。これを現状の冷房化率からみると、東京や大阪などを代表とする大都市圏で約90%であるのに対して、その他の地方ではおおむね50%程度となっており、地方を中心に既存車両の冷房化改造も進むものと考えられる。また、新製車両でも空調装置を設置することが不可欠な傾向となっている。

一方、空調装置に対する顧客の要求としては、(1) 薄形・軽量化、(2) 省エネルギー化、(3) 快適性の向上などの高度技術を要するものとなっている。日立製作所でも昭和33年にブルートレイン「あさかぜ」用空調装置を納入して以来、昭和63年3月までに約6,000両分の空調装置を製作・納入してきた。これらの技術の蓄積をもとに顧客の要求に対応するために、横形スクロール圧縮機とインバータを備えた新形式の薄形インバータ空調装置を開発した。

本論文では、薄形インバータ空調装置の仕様、特長と、本空調装置を用いての既存車両の冷房化改造について述べる。

2 薄形インバータ空調装置

2.1 概 要

国内での鉄道車両用空調装置の大半は屋根上搭載形であり、特に床下機器の多い電車、気動車の場合はその傾向が強い。しかし、一方では保安上車外に設置される機器の張出し寸法を制限する車両限界により、利用できる屋根上スペースは規制されている。したがって、従来は空調装置を屋根上に搭載する場合、車両の屋根を部分的に切り欠いて空調装置を

一部車内に落とし込んで設置する方法が通例となっていた。この方法では、屋根構造が空調装置部の開口のため剛性不足となり、車体の設計を複雑にするうえ剛性を補償するための補強が必要となる。また、既存車両の冷房化改造では、この補強作業が大工事となり、更に強度上の経年劣化を考えると冷房化改造の車体に及ぼす影響を推定しにくい場合もあった。

これらの課題を解決するには、空調装置の薄形・軽量化が不可欠であり、ユーザーからの要求も強まっている。

実際、現在国内で実用化されている車両用空調装置の冷房能力当たり質量は図1に示すような推移を示しており、年々軽量化していることが分かる。また、薄形化については軽量

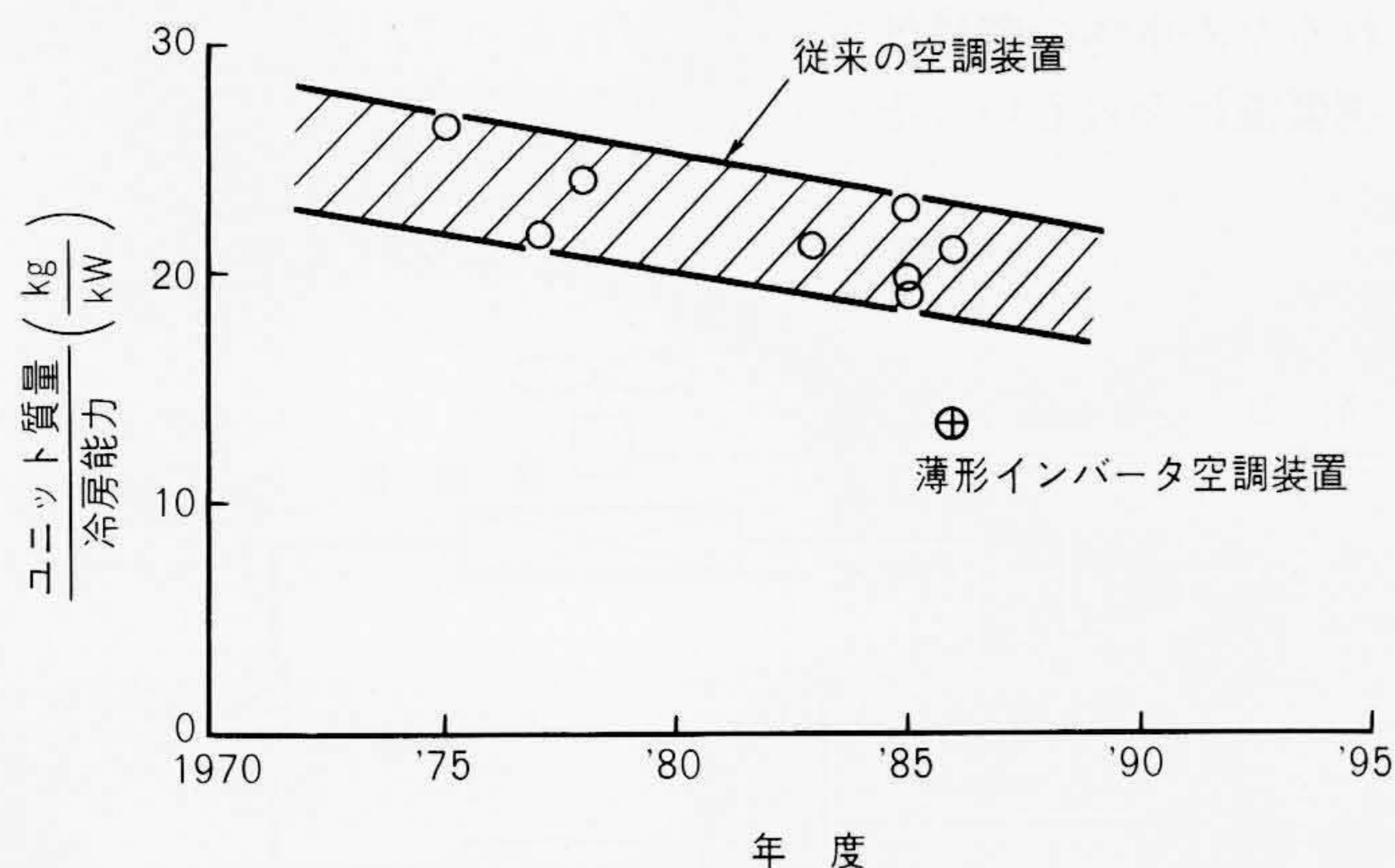


図1 車両用空調装置における軽量化の推移 国内で実用化されている車両用空調装置の冷房能力当たりの質量推移を示す。

* 日立製作所笠戸工場 ** 日立製作所機械研究所

表1 薄形インバータ空調装置の仕様 横形スクロール圧縮器の適用によって、全高250 mmと大幅に薄形化されていることが分かる。

項 目	仕 様
冷 房 能 力	20.9 kW {18,000 kcal/h}
外 気 温 度	33 ℃
車 内 温 度	28 ℃ (DB)-23 ℃ (WB)
入 力	Aprox. 7 kW
室内空気循環量	2,400 m ³ /h
運転周波数範囲	35~80 Hz
外 形 寸 法	幅 : 1,300 mm 長さ : 1,800 mm 高さ : 250 mm
質 量	270 kg
冷 媒	R-22

化ほど明確な傾向は見られないが、空調装置の高さで300 mmのものが実用化されている段階である。

このような状況のもとに、日立製作所では横形スクロール圧縮機とインバータを備えた新形式の薄形インバータ空調装置を開発した。

2.2 薄形・軽量化

薄形インバータ空調装置のシステムフローを図2に、外観を図3に、主な仕様を表1に示す。これらの図や表から明らかなように、本薄形インバータ空調装置は日立製作所が世界で初めて実用化した横形スクロール圧縮機の採用によって大幅に薄形化されているので、屋根の切欠き及び車内への落とし込みを必要とせず、屋根上へそのまま設置可能である。

また、質量についても従来機に比べ冷房能力当たり約30%の軽量化がなされており、冷房化改造に際して屋根の補強を行う必要がなく、既存車両にもそのまま搭載可能である。

今後の新製車両の動向としては、速度向上と省エネルギーのため軽量化され、かつ展望を改善するために大窓化が図られるため車体の剛性低下が予想されるので、屋根上搭載形空調装置は今後もいっそうの軽量化が要求されるものと考えら

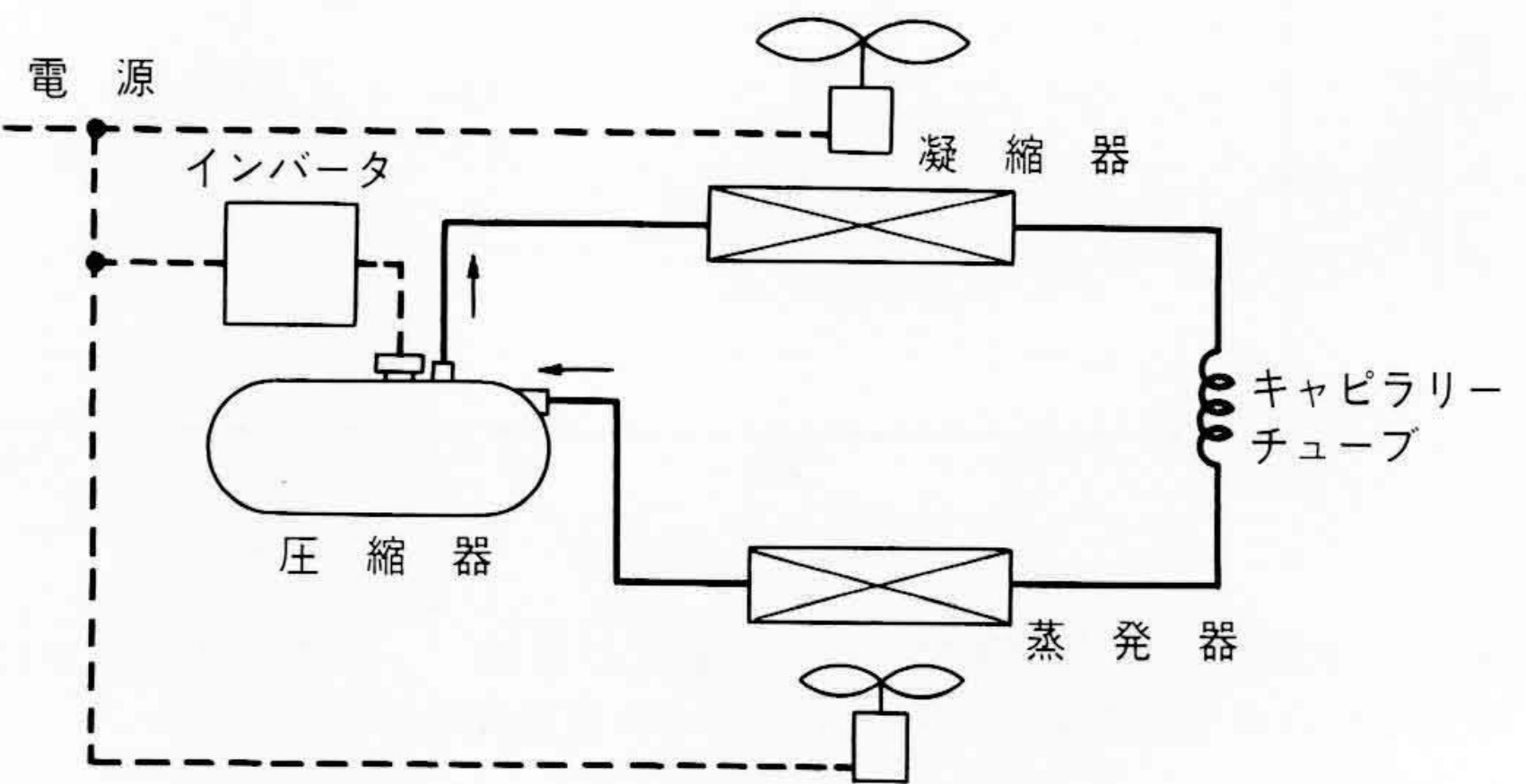


図2 薄形インバータ空調装置のシステムフロー 圧縮器に対する電源供給がインバータを介して行われており、数段階の周波数で運転を可能としたことが特徴である。

れる。

2.3 省エネルギー化

車両用空調装置は鉄道車両でのサービス機器の中で最も消費電力が大きく、しかも全国の路線の大部分を占める直流区間では大容量の電動発電機を必要とする。したがって、空調装置の省エネルギー化は単に消費電力の節減だけでなく、電源である電動発電機の容量低減、更には軽量化につながるため波及効果大きい。

車両用空調装置の省エネルギー化の傾向としてCOP (Coefficient of Performance : 成績係数) の推移についてみると、図4に示すように従来機の成績係数は年々向上しているものの、現状ではたかだかCOP≒2.5である。この数値は、はん(汎)用のパッケージ形空調装置に比較すると低いレベルにある。この原因は車両に搭載する場合、空調装置に対する寸法、質量の制約が強く、熱交換器の寸法や空気流路が十分に確保できないなどの問題があり、必ずしも理想的な冷凍サイクルが形成できないためと考えられる。車両用空調装置の場合、圧縮機の性能向上を中心に省エネルギー化が進められて

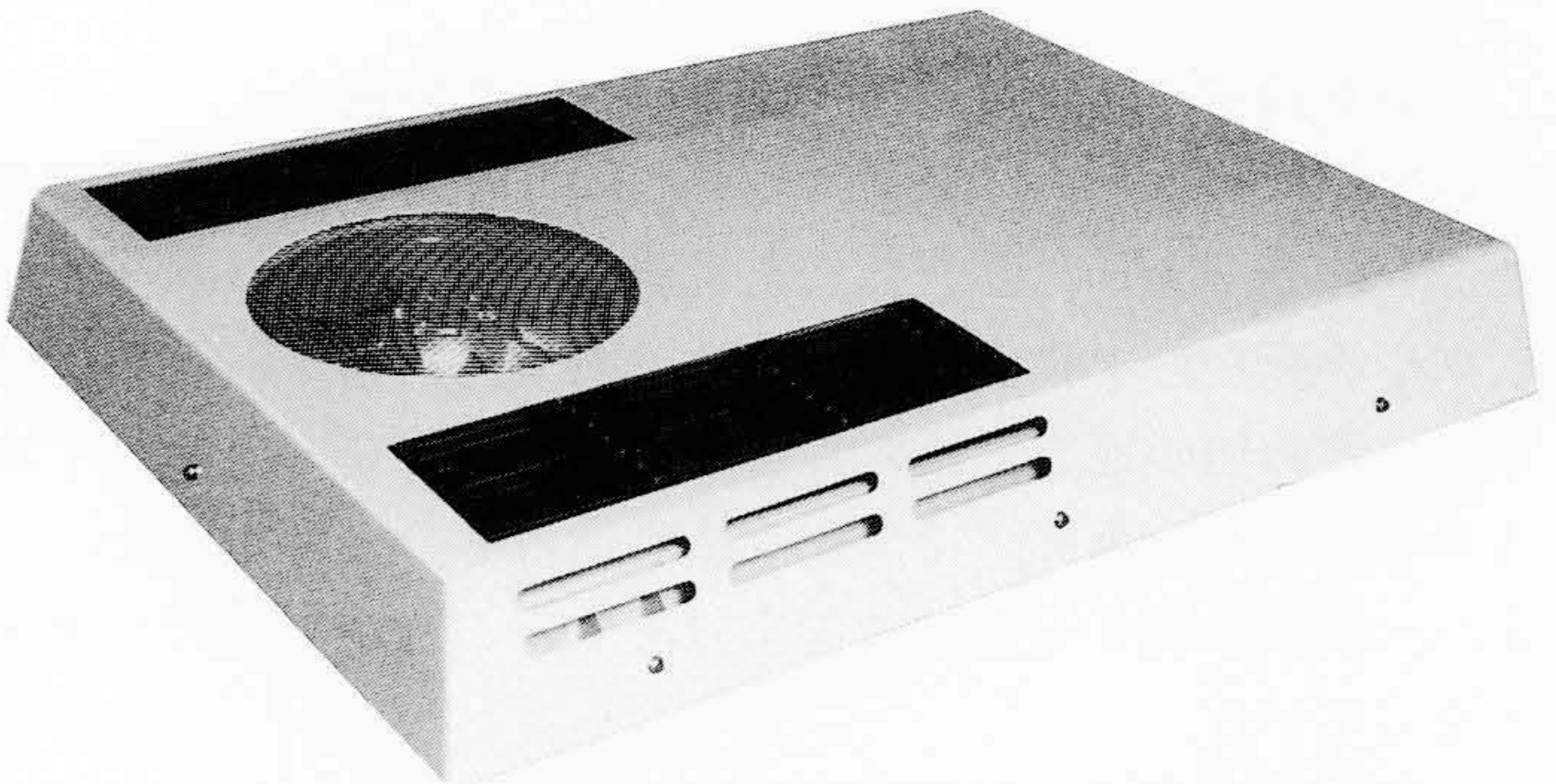


図3 薄形インバータ空調装置 横形スクロール圧縮機を適用した薄形インバータ空調装置の外観を示す。

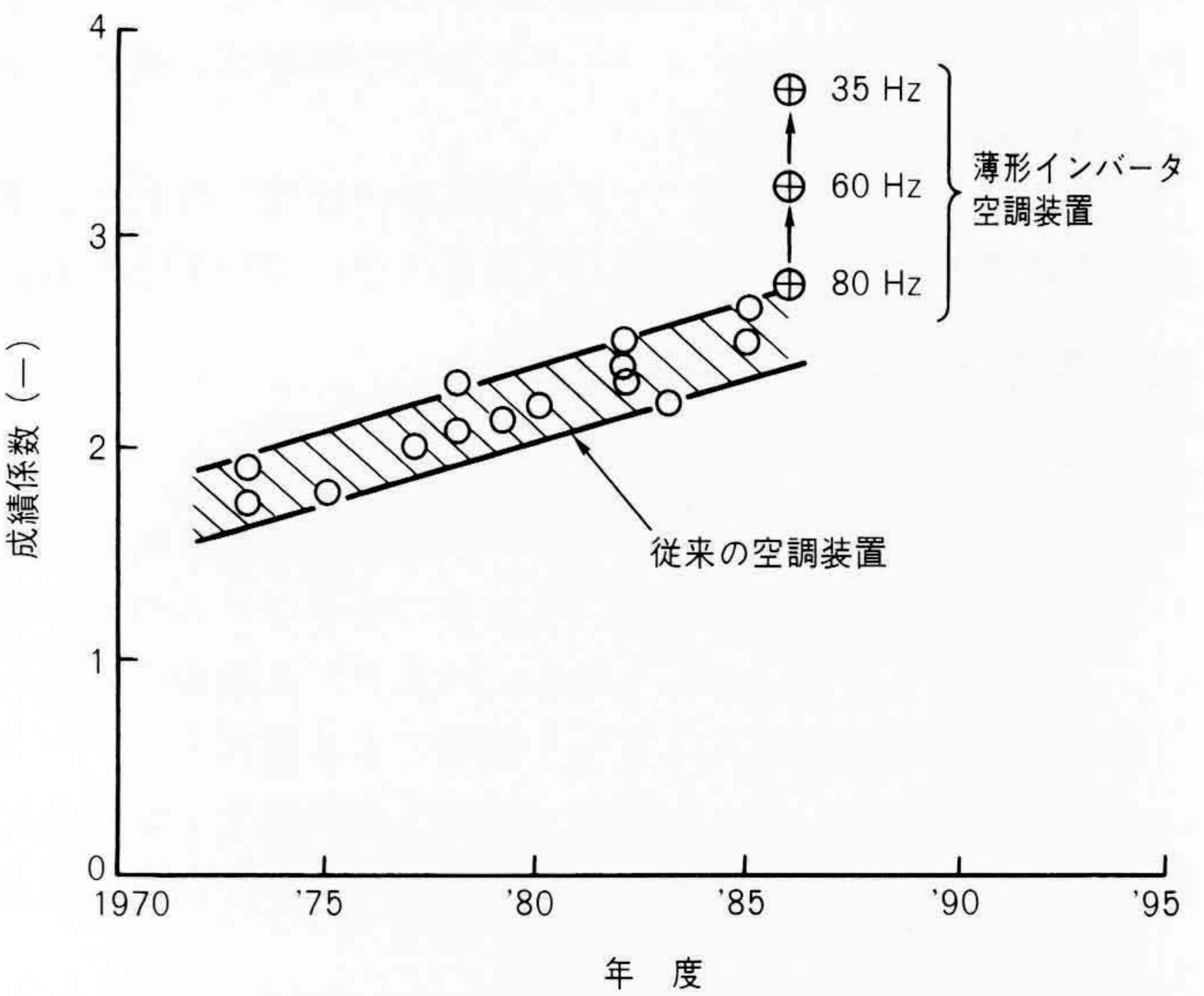


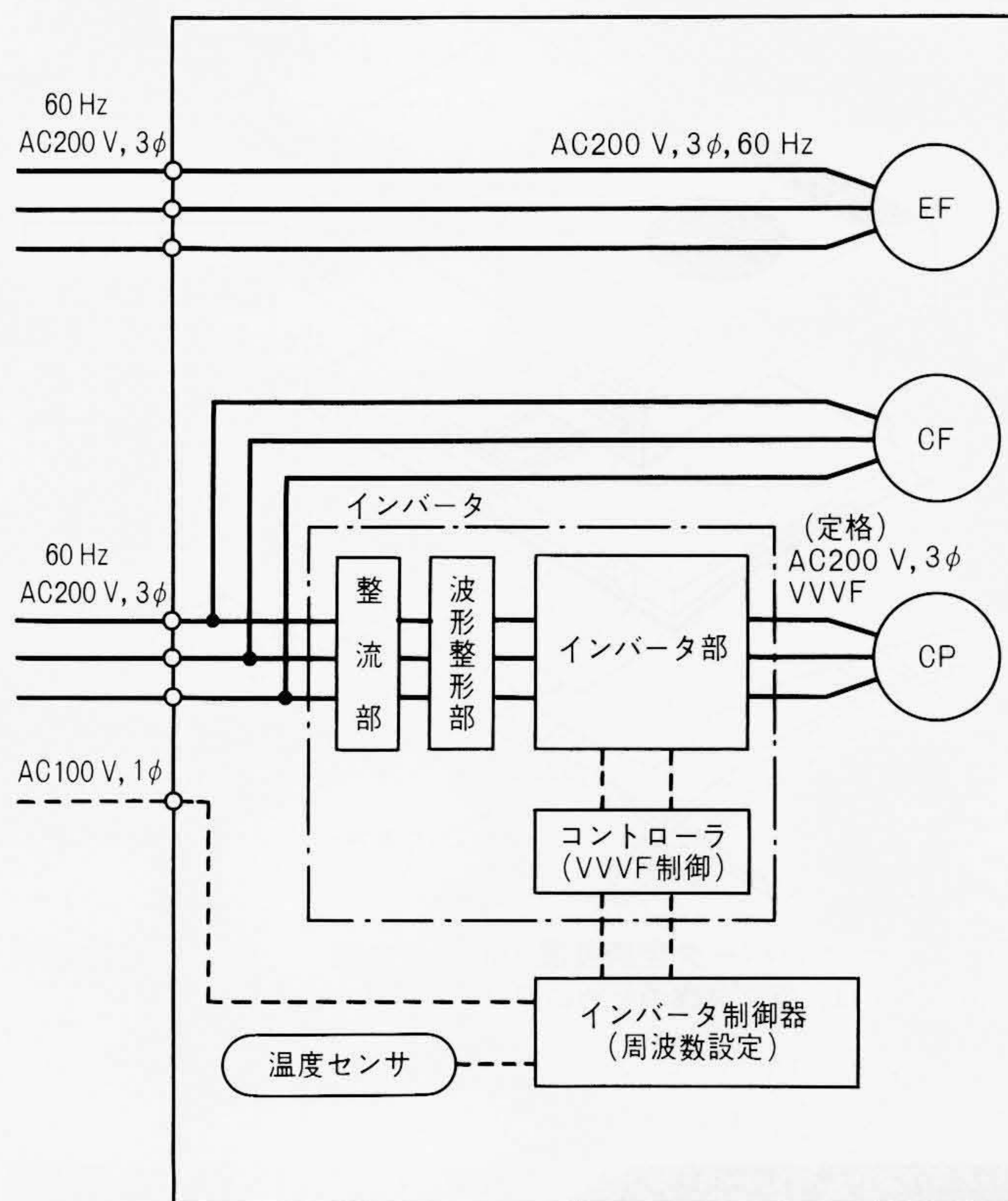
図4 車両用空調装置における成績係数の推移 従来機の成績係数は年々向上しているものの、現状ではたかだか2.5程度となっている。

きた。

日立製作所の薄形インバータ空調装置の場合も同様であり、その運転特性の一例を図5に示す。それによれば低周波数で運転される部分負荷運転時で成績係数の向上が顕著であり、COP=2.75~3.7となる。前出の図4の中に薄形インバータ空調装置のCOPを併記したが、従来機に比べて大幅に省エネルギー化されているのがこの図からも分かる。省エネルギー化の理由としては、(1)スクロール圧縮機の採用によって従来の圧縮機では得られなかった高い体積効率が得られること¹⁾、(2)部分負荷運転時には冷媒循環量が減少するが、熱交換器の伝熱面積は不変であるから、相対的に熱交換器の性能に余裕が生じること、(3)部分負荷運転時には、圧縮機の回転数低下により機械損失が低減すること、などが挙げられる。

薄形インバータ空調装置の制御システムの一例を図6に示す。凝縮器ファン及び蒸発器ファンは60 Hz一定運転され、圧縮器だけインバータによって周波数可変運転される。同図中のインバータ制御器は、車内の温度センサからの信号入力を受けて、温度レベルに対応して設定された周波数を選定しコントローラ部を制御するもので、設定された各段階での周波数運転が可能である。

以上、空調装置のハードウェアの観点から省エネルギーについて述べたが、マイクロコンピュータによる空調装置の省エネルギー運転などソフトウェア関連技術も導入され、適用



注：略語説明

VVVF (Variable Voltage and Variable Frequency : 可変電圧可変周波数)
EF (蒸発器ファン), CF (凝縮器ファン), CP (圧縮器)

図6 薄形インバータ空調装置の制御システム CF (凝縮器ファン), EF (蒸発器ファン)は、60 Hzで一定運転され、圧縮器だけインバータによって周波数可変運転される。

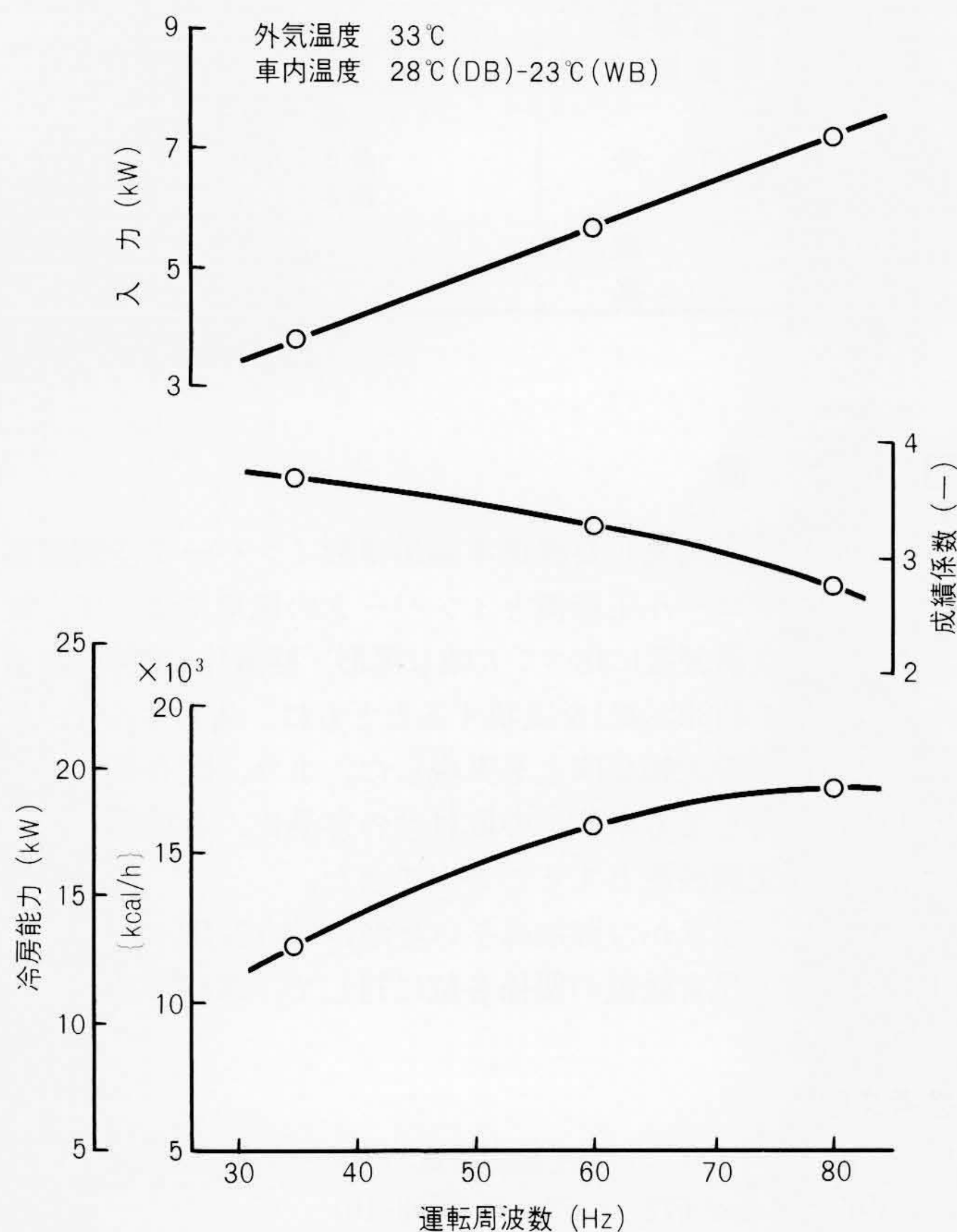


図5 薄形インバータ空調装置の運転特性に及ぼす周波数の影響
低周波数域で運転される部分負荷運転時で、成績係数の向上が顕著であることが分かる。

例も徐々に増加している²⁾。

2.4 冷房化改造の容易化

既存車両の冷房化改造で重要なことは、(1)車体改造が最小限であること、(2)各種電源に対応可能であること、などである。

薄形インバータ空調装置を既存車両に搭載する場合の取付け方法の一例を図7に示す。同図から明らかなように、薄形インバータ空調装置は十分に軽量化されているので、車両の屋根構造を補強する必要はなく、取付け面を水平にしたクーラベッドの上に直接搭載し、空気の流れ口を設けるだけでよいので冷房化改造が容易である。改造例を図8に示す。

一方、各種電源には次のように対応できる。すなわち、インバータは整流部とチョッパ部から構成されているので、車両側に電動発電機が既設の場合は、電動発電機の出側である交流配線を整流部の入力側に接続すればよい。また、車両側にDC/DCコンバータが既設の場合は、コンバータの出側である直流配線をチョッパ部の入力側に接続すればよい。

また、ここでは詳細には触れないが、冷房化改造の別の例として交流区間の既存車両では、車両に既設の主変圧器と空調装置の間に補助変圧器を設置し、空調装置の電動機を単相交流式にしたものがある。この目的で日立製作所が開発した床置形空調装置を図9に、これを交流区間の既存車両の冷房改造に適用した例を図10に示す。床置形空調装置の主な仕様を表2に示す。

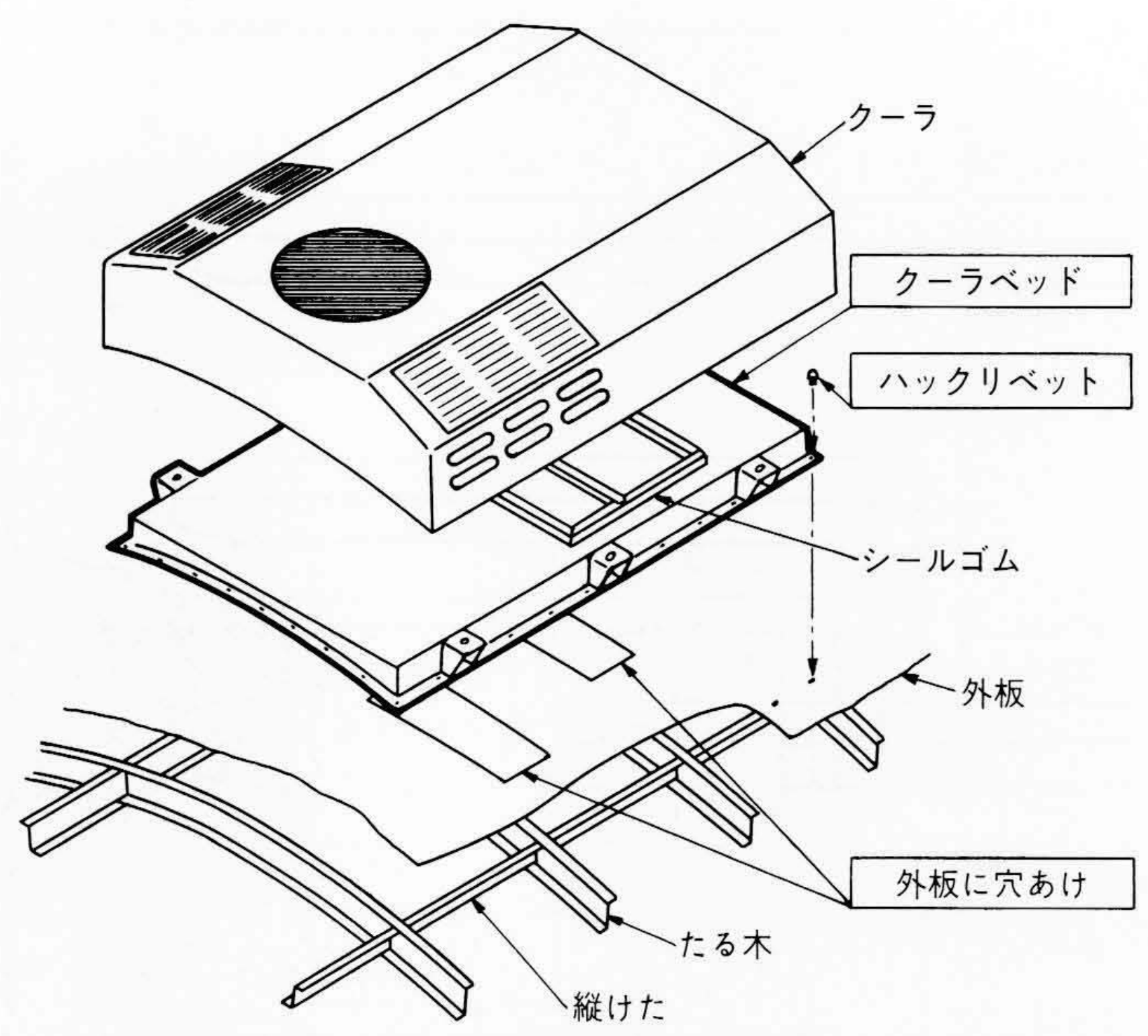


図7 薄形インバータ空調装置の取付け方法 車両の屋根構造の改造としては、空気循環のための開口を設けるだけである。



図8 薄形インバータ空調装置の冷房化改造適用例 図7の冷房化改造例による既存車両への適用例を示す。

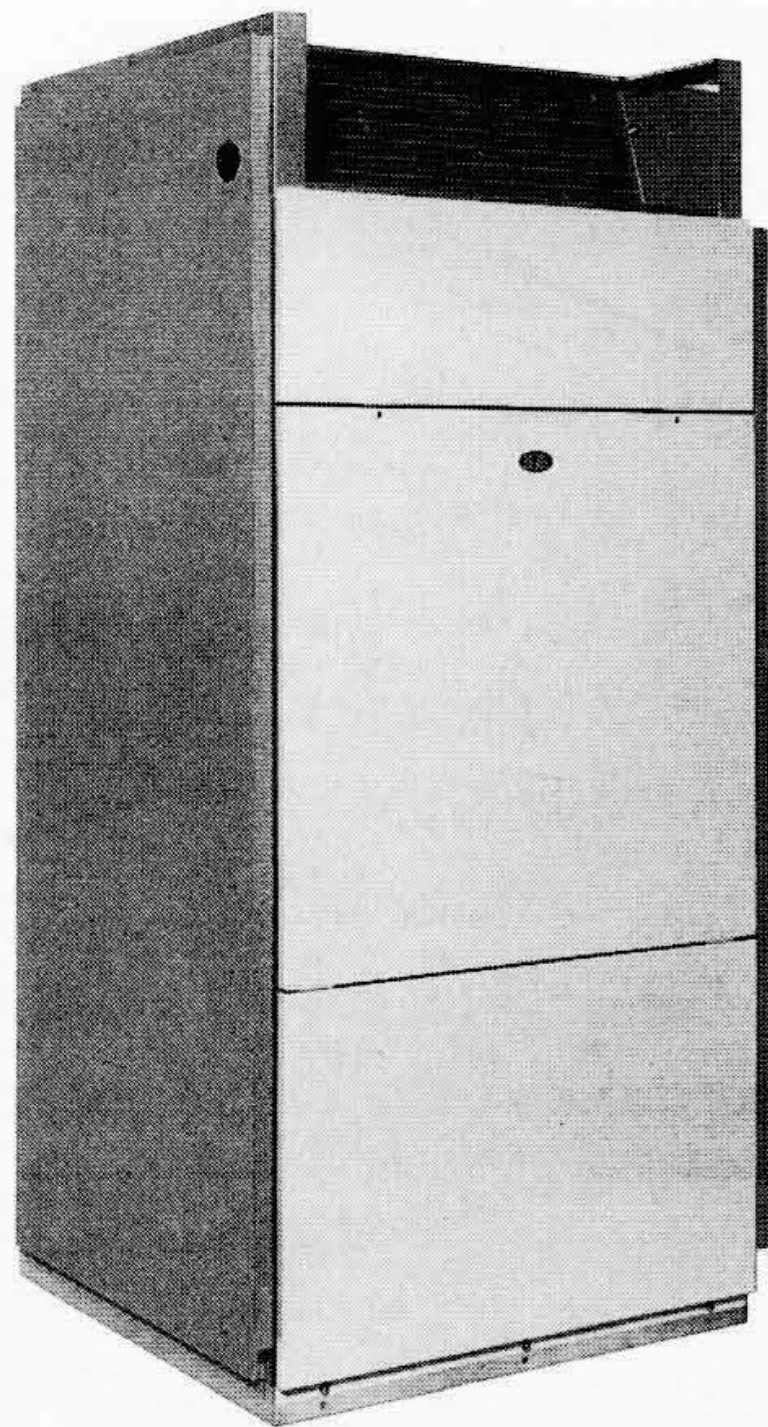


図9 床置形空調装置の外観 交流区間の既存車両の冷房化改造用に開発した床置形空調装置の外観を示す。



図10 床置形空調装置の適用例 床置形空調装置を、冷房化改造によって既存車両に適用した例を示す。

表2 床置形空調装置の仕様 交流区間の既存車両の冷房化改造用に開発した床置形空調装置の仕様を示す。

項 目	仕 様
冷 房 能 力	20.9 kW {18,000 kcal/h}
外 気 温 度	33℃
車 内 温 度	28℃(DB)-23℃(WB)
入 力	Aprox. 7.7 kW
室 内 空 気 循 環 量	2,700 m ³ /h
運 転 周 波 数 範 囲	60 Hz
外 形 寸 法	幅：750 mm 長さ：750 mm 高さ：1,700 mm
質 量	290 kg
冷 媒	R-22

3 結 言

日立製作所が開発した鉄道車両用薄形インバータ空調装置は、横形スクロール圧縮機とインバータの採用によって、従来の車両用空調装置に比べて大幅な薄形・軽量化(冷房能力当たりの質量で約30%減)を実現するとともに、省エネルギー化でも成績係数の大幅な向上を実現した。また、既存車両の冷房化改造に対しても車体への取付けの容易化、各種電源への対応可能な空調装置とすることができた。

終わりに、平素から御指導をいただいているJRグループ各社、各公営・民営鉄道の関係各位に対して、深謝の意を表す次第である。

参考文献

1) 寺田，外：スクロール圧縮機搭載パッケージ形空調機，冷凍，Vol.58，No.672，p.79～85(昭58-10)
2) 牧野，外：車両用空調装置のマイコン制御システム，第5回ビークルオートメーション・シンポジウム予稿集，p.19～22(昭57-1)