

電車用日立屋根上集中式ユニットクーラ

Hitachi Roofmount Centralized Unit Cooler for Electric Car

出水 芳郎* 岡 幸 男*
Yoshirô Demizu Yukio Oka

要 旨

電車用屋根上集中式ユニットクーラを新たに製品化し、日本国有鉄道および京王帝都電鉄株式会社に納入して、昭和43年夏季より営業運転に使用されている。

この集中式ユニットクーラは、冷却能力 28,000 kcal/h または 39,000 kcal/h の冷房装置を車両の屋根上に取り付けるようにし、コンパクトな形の一体のユニットに組み立てたもので、その取り付けには広いスペースを要しないため、パンタグラフの取り付けられる電車用として最適のものである。またユニットから吐き出される冷風は車両の天井風道によって車内の任意の場所へ供給できるので、各種用途の車両に広く適用できる。

本文は、電車用屋根上集中式ユニットクーラの構造、仕様、性能特性などについて述べるものである。

1. 緒 言

わが国における電車用冷房装置は、電車の屋根上に冷却能力 4,000 ないし 5,000 kcal/h 程度の小容量のユニットクーラを数個、分散取り付ける方式(分散式ユニットクーラ)が最も多く用いられている。この分散式ユニットクーラは、その方式上多くの利点を有するが、反面、パンタグラフなど、屋根上機器が取り付けられる車種においては、スペースが制限されて必要な数のユニットを取り付けることができず、冷却能力の不足を補うための別の床置形のユニットを車内に設置するため、床面積を冷房のために減少させるという欠点がある。

このたび開発製品化した電車用屋根上集中式ユニットクーラは、2組ないし3組の冷凍サイクルからなる冷却能力 28,000 ないし 39,000 kcal/h の装置を一体のユニットに組み立てて、電車の屋根上に取り付け、車両天井の冷風風道を用いて冷房を行なうようにしたもので、パンタグラフなどの屋根上機器に支障されずにいかなる車種にも適用できるものである。このたびは、京王帝都電鉄株式会社の5000系高性能通勤電車用として4両分、日本国有鉄道の165系急行形2等電車用として8両分を納入し、昭和43年夏季より営業運転に使用されて好調に稼働している。

以下に電車用屋根上集中式ユニットクーラの特長、構造仕様および性能について述べる。

2. 特 長

電車用屋根上集中式ユニットクーラは、出力 3.75 kW の全密閉形圧縮機を単位とする2組ないし3組の冷凍サイクルを一体のユニットに組み立てて、車両の屋根上に取り付けるようにしたもので、次のような特長をもっている。

- (1) 貫流ファンの使用および熱交換器など各部品のコンパクトな配置により、車両の屋根と車両限界の間の狭いスペースに納まるようにし、全体的に小形、軽量化されている。
- (2) 全密閉形圧縮機の使用、冷媒配管の簡易化と密閉化およびファンを電動機直結駆動することによってメンテナンスフリー化することができた。
- (3) ユニットクーラから吐き出す冷風を、客室の天井に設けた風道により分配するので、パンタグラフなど屋根上機器をさけた位置にユニットを取り付けることができる。したがって、パンタグラフ付きの電車に対してこの集中式ユニットクーラは最適である。

(4) 車両への取り付けは1両あたり1台のユニットであること、および所定の位置にユニットを乗せるだけで車体の風道とユニットの通風口を接続できるので、取付作業が容易である。

(5) ユニットクーラの重量は、防振ゴムを介して車両屋根の長けたでささえるようにしてあるので、ユニット取り付けのために屋根構造、たる木配置などを従来車からほとんど変える必要がない。したがって既存車に冷房取り付けする際の改造工事がきわめて簡単にできる。

(6) ユニットの表面は電車用屋根上機器として、耐圧 4,500 V の電気絶縁を施してある。

(7) ユニットに組み込まれた2組ないし3組の冷凍サイクルの運転をオンオフすることにより、車両の熱負荷に応じて冷却容量の調節ができる。

3. 構造および仕様

3.1 全体構造および仕様

電車用屋根上集中式ユニットクーラは、車両の屋根と車両限界の間のスペースに納まるよう断面形状をくし形にした一体のケーシングの中に、圧縮機、凝縮器および冷却器からなる冷凍サイクル部品およびファンおよびこれらの制御部品など、冷房装置として必要なすべての機器を組み込んだもので、その構造は図1～図4のようになっている。

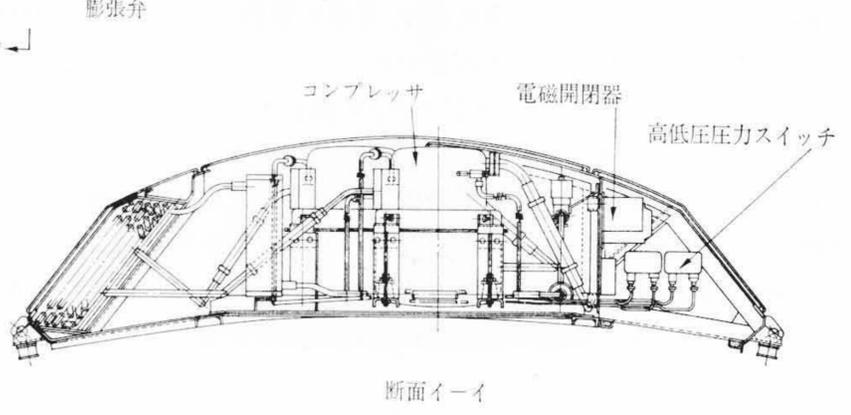
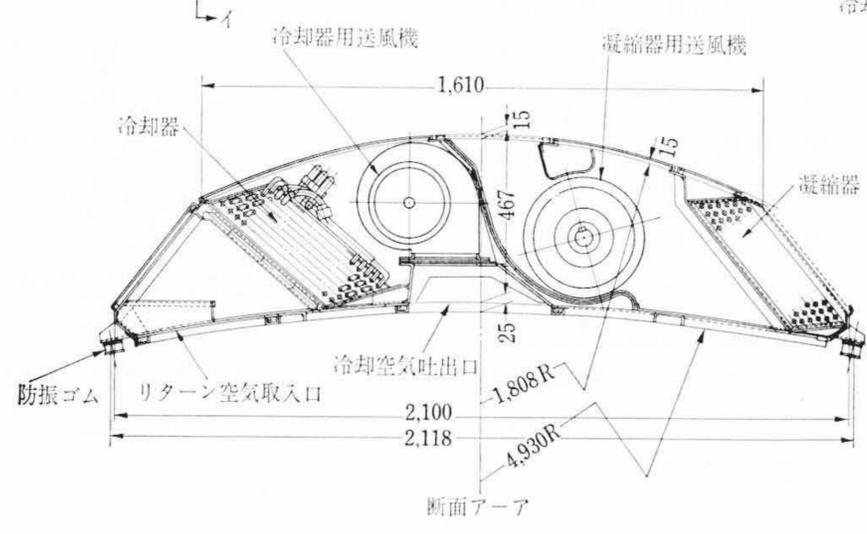
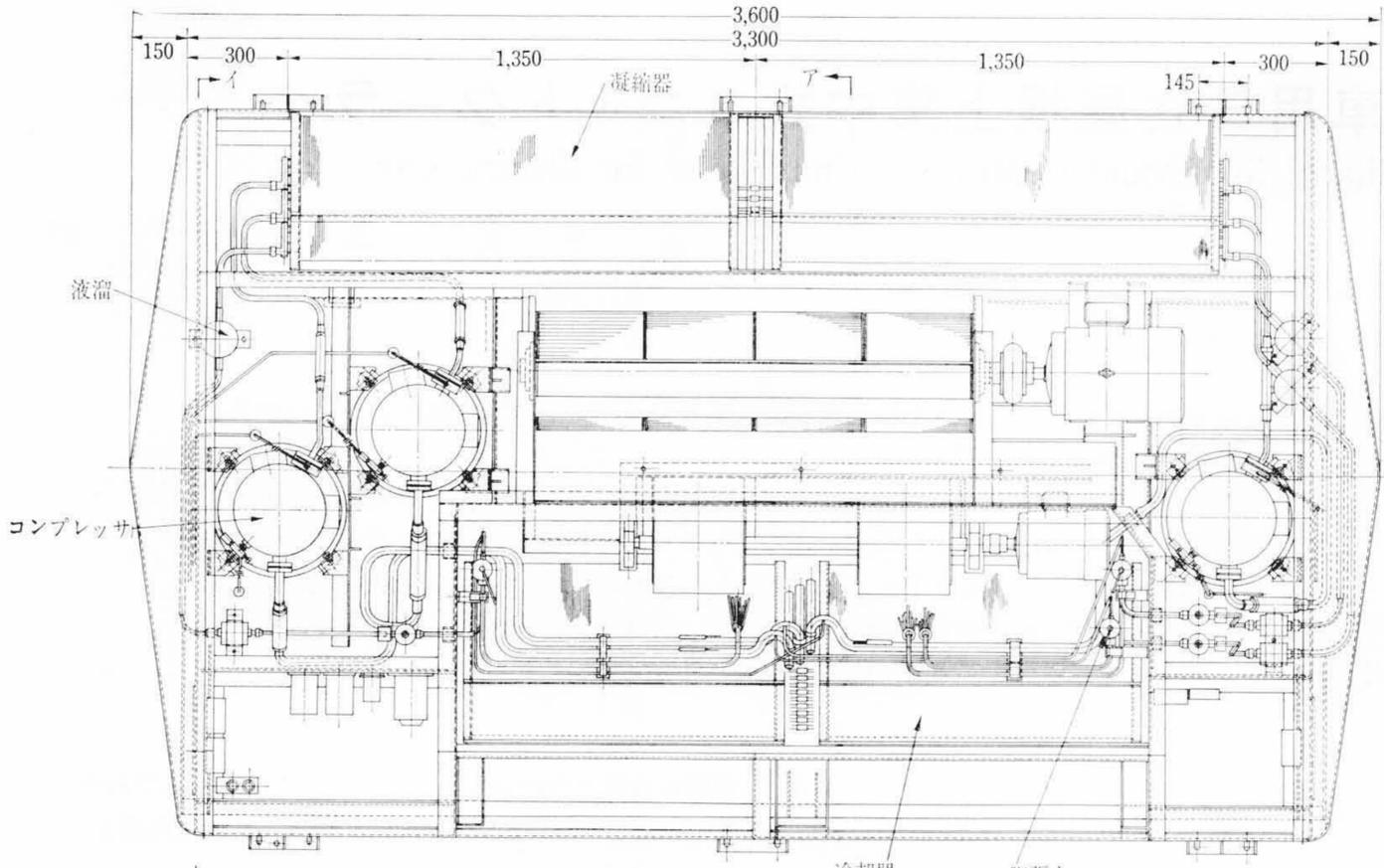
京王帝都電鉄株式会社に納入したユニットクーラは、5000系通勤電車用として設計されたもので、圧縮機3台からなる3組の冷凍サイクルを組み込んでおり、冷却能力は 39,000 kcal/h である。また、日本国有鉄道に納入し、165系急行2等電車に取り付けられているユニットクーラは、2組の冷凍サイクルを組み込んだ冷却能力 28,000 kcal/h のもので、京王帝都電鉄株式会社納のものにくらべてさらに高さを縮めた扁平な形状となっている。これら各ユニットクーラの仕様は表1に示すとおりである。

3.2 わく組およびカバー

わく組は鋼板プレス形材を溶接し組み立てた一体構造で、ユニット内の各室を区分するため薄鋼板の仕切板および底板がわく組にはりつけてある。冷却器室の底板は冷却器において生ずる凝結水の露受を兼ねているためステンレス鋼板を用いて耐久性を高めている。ユニットの上面をおおうカバーは薄鋼板製で、その周囲をわく組に対してボルトで締め付け、ユニット内機器の点検の際開閉できるようにしてある。また雨水の侵入およびユニット内の気密を保つため、カバーの取り付けにはパッキンを用いている。

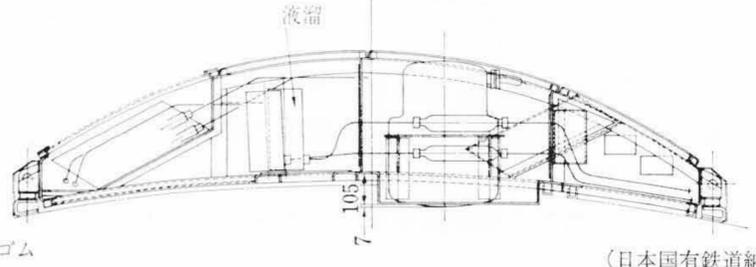
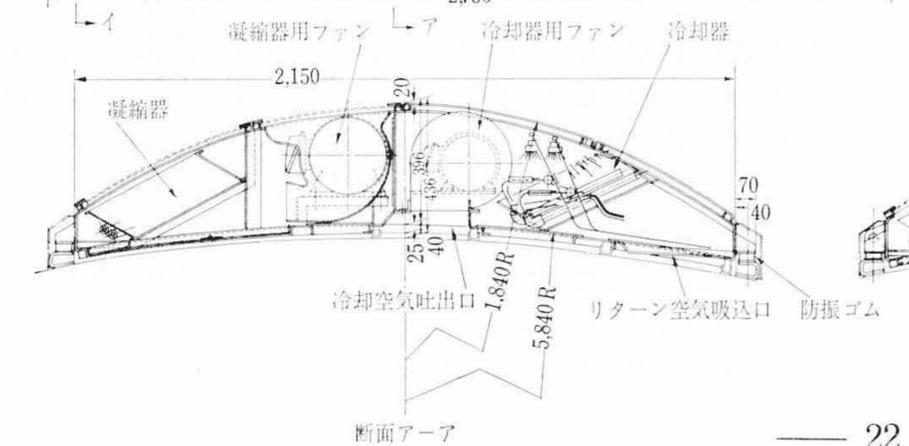
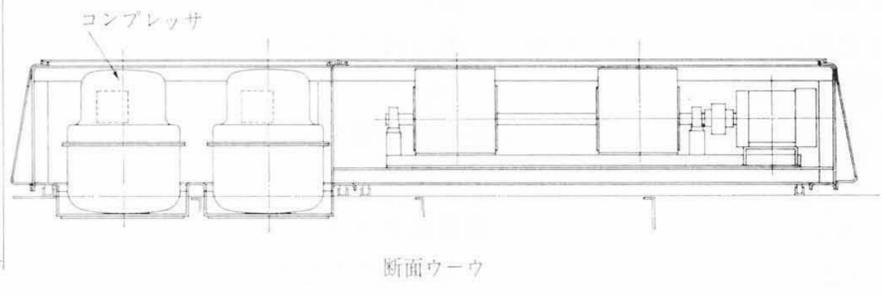
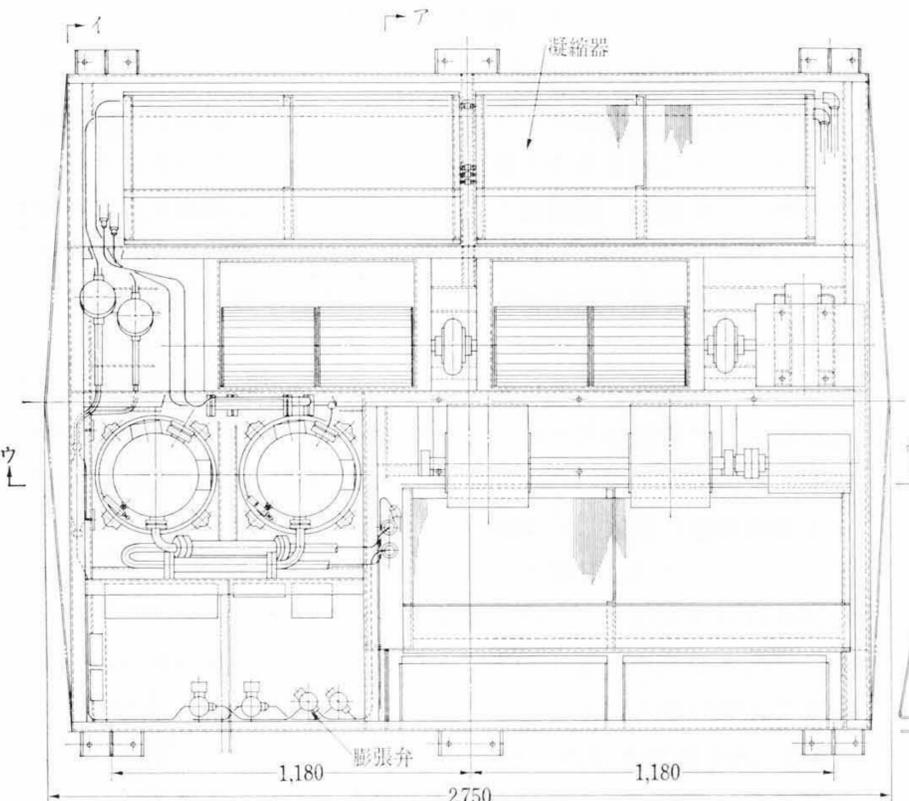
このユニットクーラは電車の屋根上に取り付けるため、屋根上機

* 日立製作所笠戸工場



(京王帝都電鉄株式会社納)

図1 屋根上集中式ユニットクーラ



(日本国有鉄道納)

図2 屋根上集中式ユニットクーラ

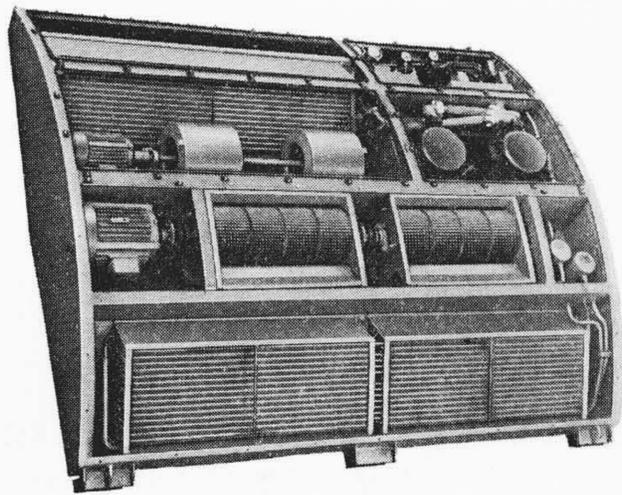


図3 屋根上集中式ユニットクーラの内部構造

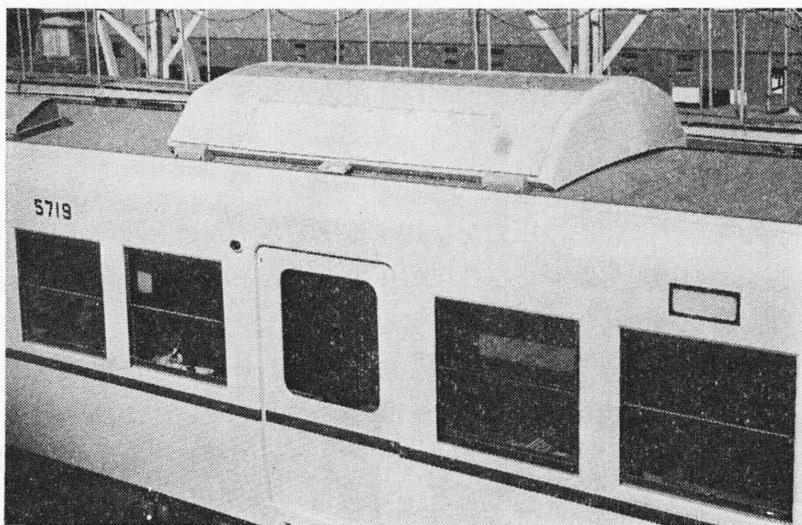


図4 屋根上に取付けられたユニットクーラ

表1 屋根上集中式ユニットクーラの仕様

項目および単位	形式および納入先	FTUR-375-301	FTUR-375-201
		京王帝都電鉄納	日本国有鉄道納
冷却能力	(kcal/h)	39,000	28,000
全入力	(kW)	25.2	20
外形寸法	幅 (mm)	2,100	2,150
	長さ (mm)	3,600	2,750
	高さ(屋根上部) (mm)	507	436
重量	(kg)	1,200	950
電源	主電源	AC 3相 200V 60Hz	AC 3相 440V 60Hz
	制御電源	AC 単相 200V 60Hz	AC 単相 100V 60Hz
圧縮機	形式	日立全密閉式電動圧縮機	
	電動機	4極	3.75 kW
	取付数	3	2
冷媒	種類	R-22	
凝縮器	形式	空冷多通路フィンアンドチューブ式	
凝縮器用ファン	形式	日立、貫流ファン	
	風量(m ³ /min)	240	230
	電動機	6極 5.5 kW	4極 5.5 kW
冷却器	形式	直接膨張多通路フィンアンドチューブ式	
冷却器用ファン	形式	両吸込多翼ファン	
	風量(m ³ /min)	80	80
	電動機	4極 1.5 kW	4極 1.5 kW
減圧装置	形式	温度式自動膨張弁	
サイクル保護装置	形式	高低圧圧力スイッチ	
温度調節	形式	自動温度調節器	自動温度調節器

器として要求される耐圧4,500Vの電気絶縁を行なっている。

3.3 冷凍サイクル

図5は電車用屋根上取付集中式ユニットクーラの冷凍サイクル系統を示すものである。このユニットクーラに使用している圧縮機は日立全密閉形電動圧縮機で、これに組み込まれている電動機は出力3.75kWで過酷な運転に対する安全装置として電動機巻線に温度スイッチが内蔵されている。

熱交換器は、冷却器、凝縮器ともに銅管とアルミフィンからなるフィンアンドチューブ式で、その断面形状はユニット内のスペースおよびファンからの空気の流れに適合するようひし形にしてある。また製作上の制限から長さ方向に2分割して製作したものを、サイクル組立時に配管で結合して一体化してある。

減圧装置は、外部均圧形温度式自動膨張弁を1サイクルあたり1個使用している。

3.4 ファン

凝縮器用ファンには図3および図6に示す構造の貫流ファンを用いている。比較的小径の羽根車を軸方向に長く連ねて、扁平な断面

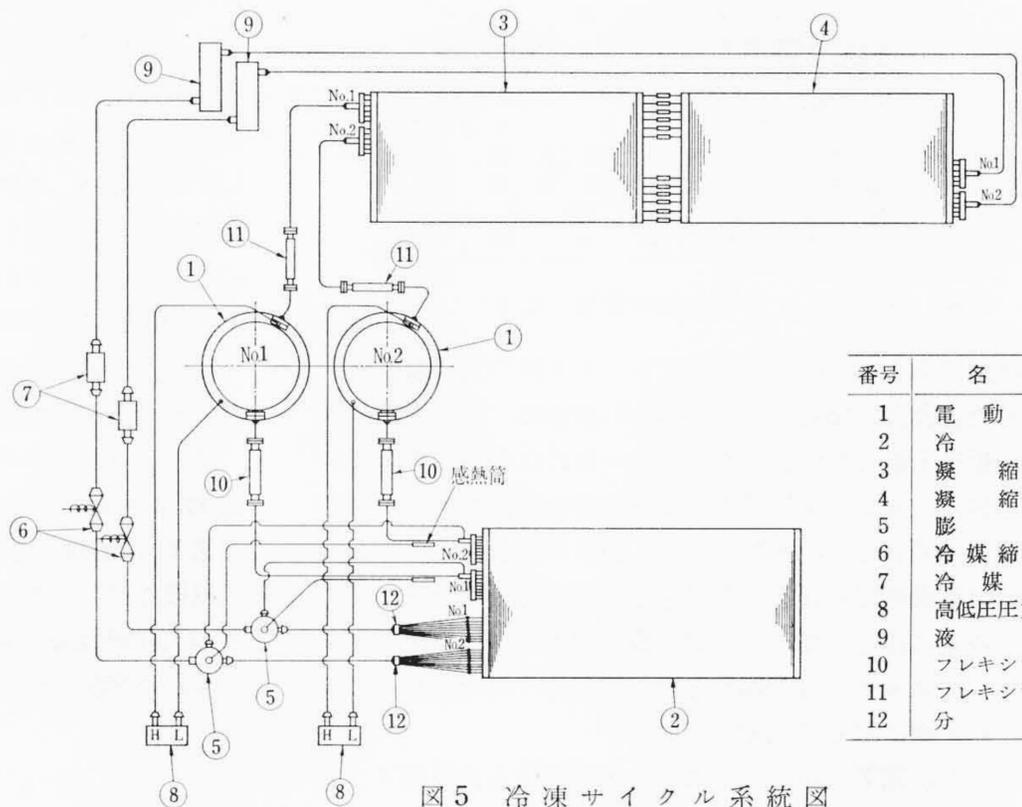


図5 冷凍サイクル系統図

番号	名称
1	電動圧縮機
2	冷却器
3	凝縮器(1)
4	凝縮器(2)
5	膨張弁
6	冷媒縮切電磁弁
7	冷媒脱湿器
8	高低圧圧力スイッチ
9	液溜
10	フレキシブルチューブ
11	フレキシブルチューブ
12	分流量器

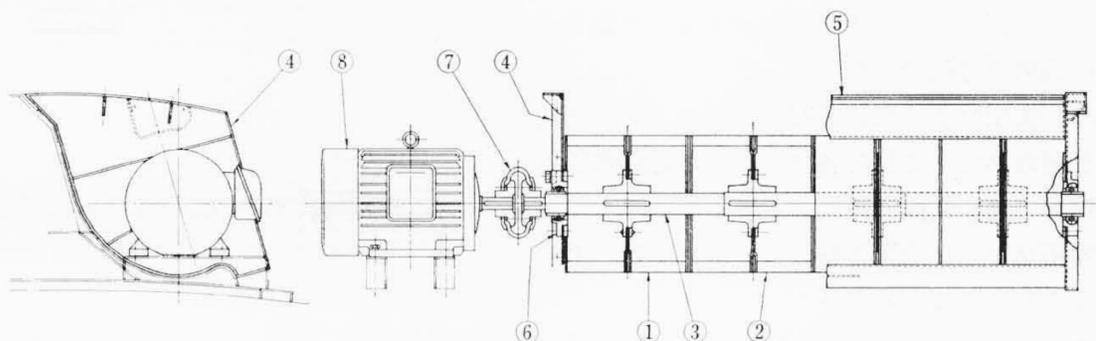


図6 貫流ファン

番号	名称
1	ランナ(1)
2	ランナ(2)
3	軸
4	側板
5	上ケーシング
6	軸受
7	軸継手
8	三相誘導電動機

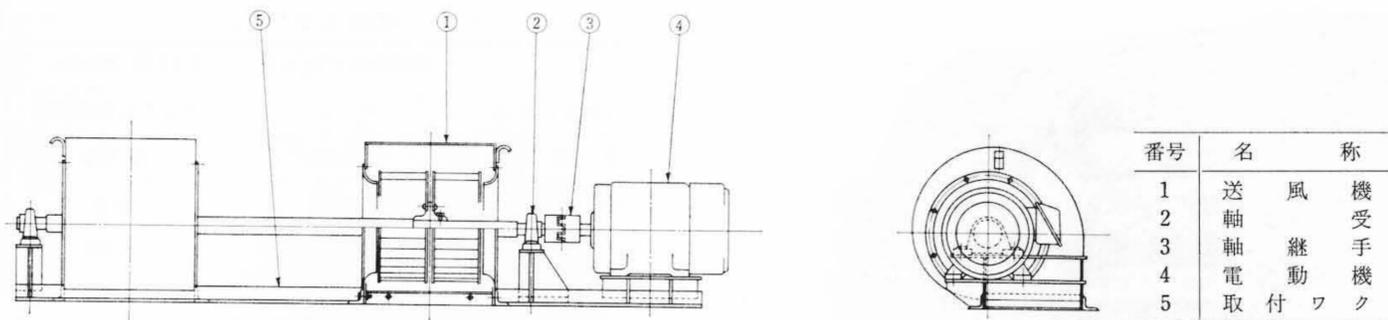
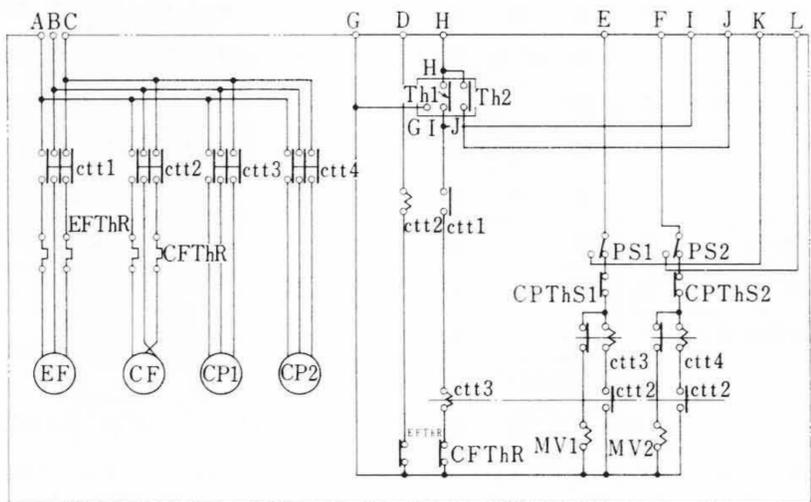


図7 冷却器用ファン

番号	名 称
1	送 風 機
2	軸 受
3	軸 継 手
4	電 動 機
5	取 付 ワ ク



記 号	名 称
Th1	温 度 調 節 器 (1)
Th2	温 度 調 節 器 (2)
Ctt1	電 磁 開 閉 器
Ctt2	電 磁 開 閉 器
Ctt3	電 磁 接 触 器
Ctt4	電 磁 接 触 器
EFTThR	冷却器用電動送風機保護用サーマルリレー
CFThR	凝縮器用電動送風機保護用サーマルリレー
MV1	冷 媒 締 切 電 磁 弁 (1)
MV2	冷 媒 締 切 電 磁 弁 (2)
CPTThS1	電動圧縮機保護用サーモスタット (圧縮機内蔵)
CPTThS2	電動圧縮機保護用サーモスタット (圧縮機内蔵)
PS1	高 低 圧 力 ス イ ッ チ
PS2	高 低 圧 力 ス イ ッ チ
EF	冷 却 器 用 電 動 送 風 機
CE	凝 縮 器 用 電 動 送 風 機
CP1	電 動 圧 縮 機 (1)
CP2	電 動 圧 縮 機 (2)

図8 ユニットクーラ内部の電気つなぎ

の吸込口と吐出口をもつ貫流ファンはアスペクト比の大きな凝縮器と組み合わせるとき良好な通風状態が得られるので、高さ寸法の大きくとれない屋根上取付集中式ユニットクーラには最適のものである。凝縮器と貫流ファンの組合せ方には凝縮器を貫流ファンの吸込口側におく図1の場合と、吐出口側におく図2の場合とがあるが、いずれの場合にも凝縮器を通過する風速分布が不均一にならないよう関連寸法の決定に注意している。また図6の場合には貫流ファンのケーシングはユニットの冷却器室と凝縮器室の仕切を兼ねるような構造とし、わく組に対して固定している。

冷却器用ファンは図7に示すように、小径の両吸込式多翼ファン2個を1本の軸に並べて組み立てたものを用いている。

3.5 制御および保護装置

図8はユニットクーラの内部電気つなぎの例を示すものである。

(1) ファンおよび圧縮機の運転のインタロック

圧縮機運転時には冷却器用ファンおよび凝縮器用ファンが同時に運転されることが必要なので、これら各ファン用電磁接触器の補助接点を用いて圧縮機の運転制御回路に対してインタロックしている。また、冷却器用ファンは冷房運転時以外にも室内送風のため独立して運転するようにしてある。

(2) 容量制御と自動運転

冷却容量の制御は2組の圧縮機運転制御回路を車体側に設けた

起動装置によりオンオフして、全機停止、1組運転（弱冷）および2組運転（強冷）の3段階に調整するようにしている。3台の圧縮機を組み込む場合には弱冷のときにまず2台の圧縮機を運転する。

また、このユニットクーラの自動運転はオンオフ形の温度調節器を用いて、その感温部をユニット内の還気の通路に取り付け、その接点を圧縮機運転制御回路に組み入れることによって行なわれている。

(3) 保護装置

冷凍サイクル内の圧力を検知する圧力スイッチを設けて、高压側圧力の過上昇時および低压側圧力の過低下時には圧縮機運転制御回路を開いて圧縮機を停止させる。

また車両用冷房装置は外気温度、車内熱負荷および電源電圧の変動により圧縮機の負荷条件が過酷になりやすいので、圧縮機用電動機の保護のため巻線に温度スイッチを内蔵して焼損事故を防ぐようにしている。

3.6 車両への取り付け

屋根上集中式ユニットクーラは図9および図10に示すように、車両の屋根上に6個の防振ゴムを介して取り付けるようになっている。この荷重は車体の長けたから側柱へ分散して支持されるため木にはほとんど荷重が加わらず、また車両の構造上長けたおよび側柱はこのユニットクーラの荷重に耐えるだけの強度をもともと有しているため、ユニットクーラ取り付けに際して車両の構造を特に変更する必要がない。

ユニットクーラからの冷風の吐出口および車内からユニットクーラへの還気口は、車両の屋根板の開口部の周囲に図10に示すようにパッキンを設け、ユニットクーラを取り付ける際このパッキンが圧縮されて気密を保つようになっている。

このユニットクーラを取り付けた車両の風道構造は、図11および図12に示すようになっている。

図11は通勤形電車において集中式ユニットクーラと貫流式天井扇風機を併用したもので、ユニットクーラから吹き出された冷風はこの天井扇風機の両側に客室の全長に通した風道を通り、吹出しグリルから客室内へ一様に分布するように吐き出す。

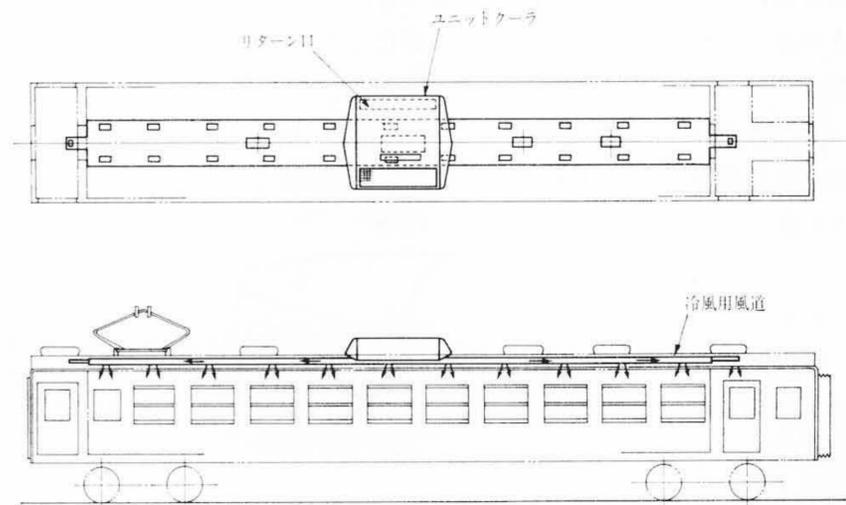


図9 ユニットクーラ取付要領

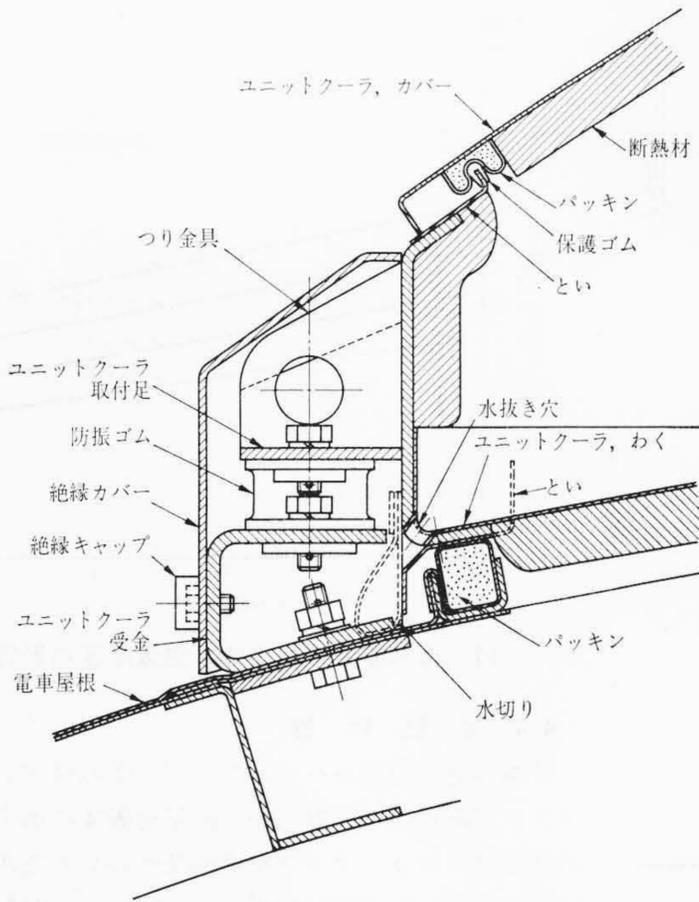


図10 ユニットクーラ取付部詳細

図12は急行2等電車の風道の構造で、従来車の天井板をそのまま風道の上板として用い、とい状に成形し、吹出しグリルなどを取り付けた風道下板を追加した形のきわめて簡単な構造となっている。

4. 性能

4.1 冷却性能試験方法

集中式ユニットクーラの工場における単体性能試験は、周囲を断熱し、隣合って2室ある冷房試験室の一室にユニットクーラを据付け、この室を車外側空気(凝縮器入口)の調整室とし、ほかの一室を車内側空気(冷却器入口)の調整室として、この室とユニットクーラの間を吐出風道とリターン風道でつないで行なった。各室においては試験条件に合わせて、ユニットに吸い込む空気の温・湿度を蒸気および電熱器により加湿、加熱して調整する。

運転時の風量の測定および調節は、あらかじめファン単体の性能試験時に風量と電動機入力との関係を測定しておき、ファンをユニットに組み込んだ後は電動機の入力を測定して風量を算出した。

表2は性能試験における測定項目、場所および測定方法の概要をまとめたものである。また図13は圧力計、温度計および冷媒流量計のそう入位置を示した試験用ユニットのサイクル系統図である。

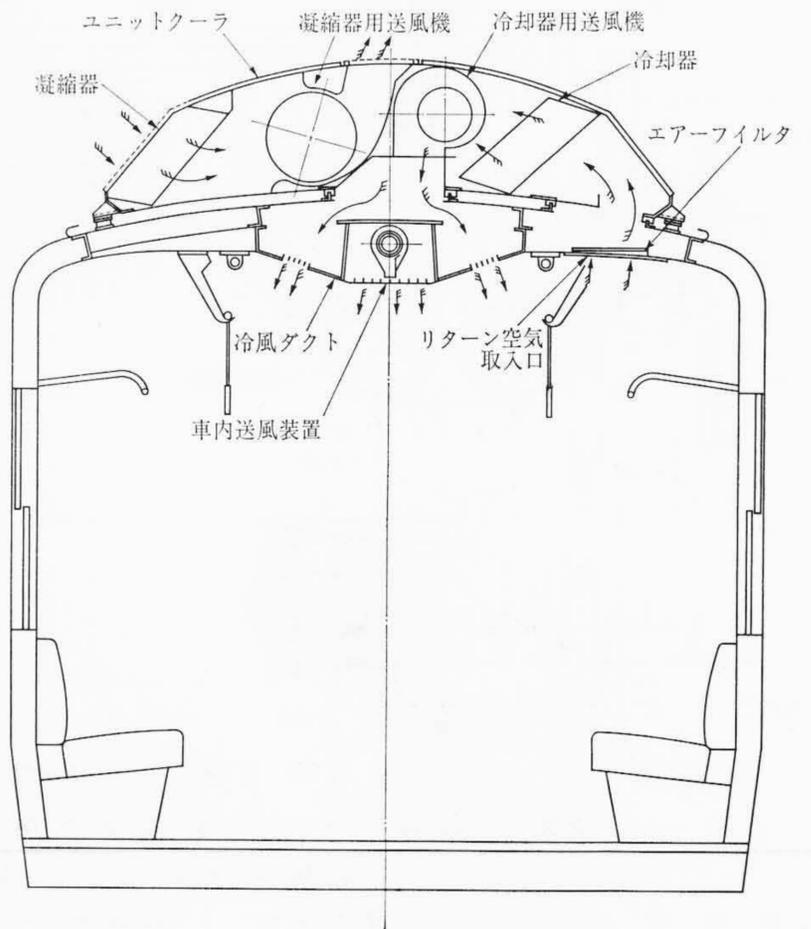
4.2 試験結果

性能試験の空気側条件は、標準状態では凝縮器入口温度33℃、相対湿度50%、冷却器入口温度28℃、相対湿度65%に設定した。これは国内において車両用冷房装置の標準条件として、もっとも多く用いられている条件であり、このときに得られる冷却能力をもって装置の冷力を表示している。また過酷運転の条件はこのユニットクーラを取り付ける車両の運転条件を考慮して、低温20℃から高温45℃の間に条件を設定した。これら各条件における試験結果の例は表3に示すとおりである。

4.3 冷却特性

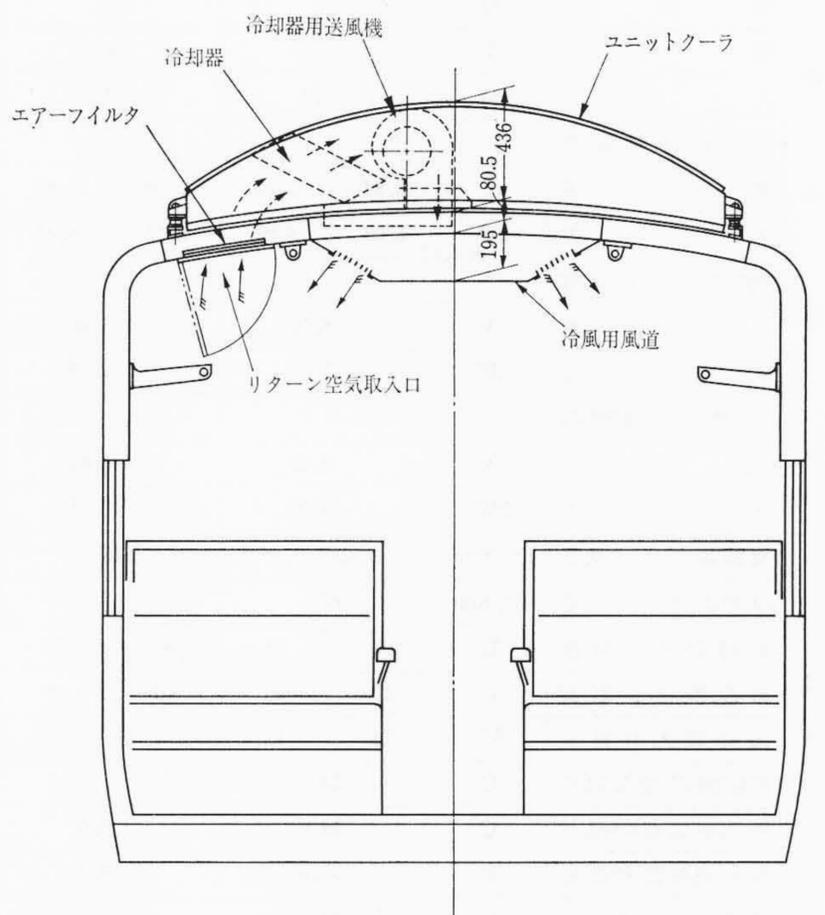
車外側、車内側の空気温度を変化させたときの冷却能力の変動の状況を図14に示す。

これは日本国有鉄道納ユニットクーラの性能試験によって得た平均値であり、冷却能力に及ぼす空気温度の影響は車外側よりも車内側の温度のほうが大きい。



(通勤形電車)

図11 車両のダクト構造例



(急行形電車)

図12 車両のダクト構造例

表2 性能試験時測定項目

測定項目	測定場所	測定方法	
空気側	空気の温湿度	凝縮器、冷却器の入口側および出口側 乾球温度：1/10℃目盛棒状温度計 湿球温度：上記にガーゼを巻いたもの	
	凝縮器、冷却器の風量	凝縮器ファン用電動機 冷却器ファン用電動機	電力計、電流計
冷媒側	冷媒の圧力	圧縮機、凝縮器、冷却器の出入口、流量計および膨張弁の入口	ブルドン管圧力計
	冷媒の温度	上記と同じ場所	パイプ内：CCシース熱電対 パイプ表面：CC熱電対
側	冷媒の流量	受液器と膨張弁の間	浮遊式流量計
	圧縮機の動力	圧縮機用電動機	電力計、電流計

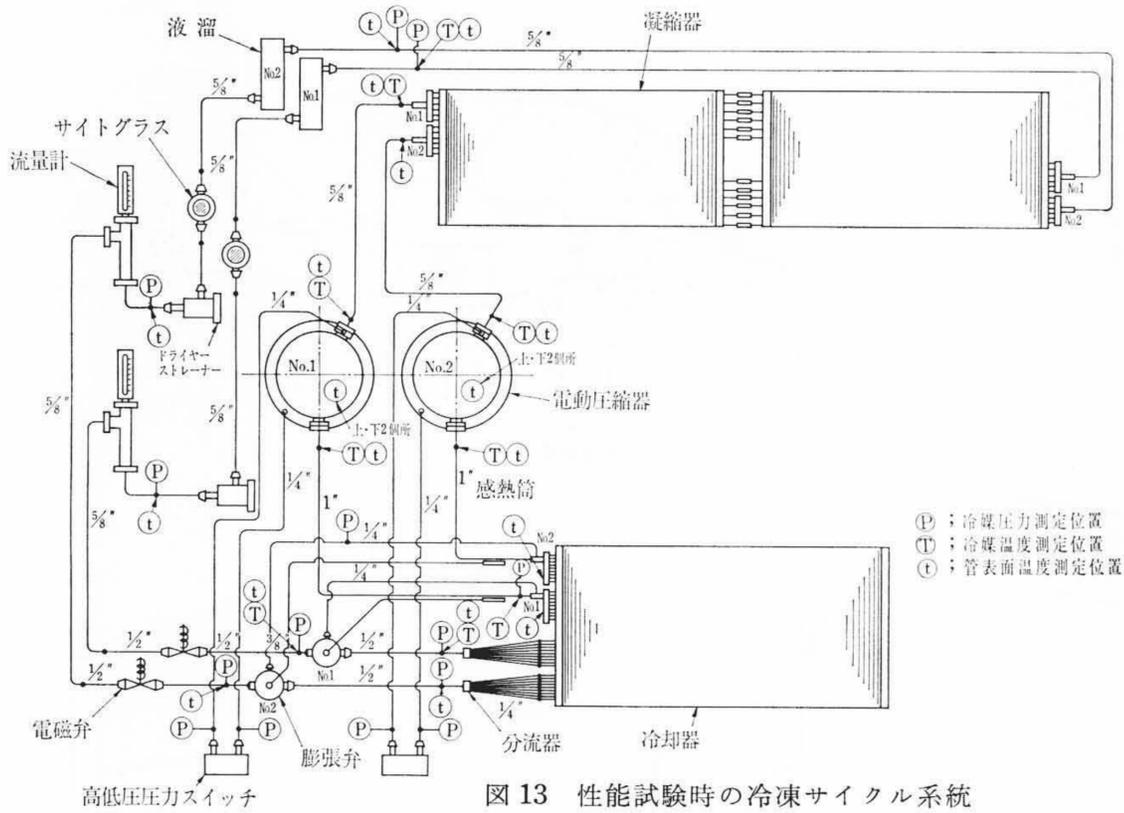


図13 性能試験時の冷凍サイクル系統

表3 ユニット性能試験結果の例

測定項目	試験条件および測定値						
	単位	標準条件		低温条件		高温条件	
		No.1 サイクル	No.2 サイクル	No.1 サイクル	No.2 サイクル	No.1 サイクル	No.2 サイクル
電源	電圧	440		432		435	
	周波数	60		60		60	
	電流	29.1		26.8		33.9	
	入力	19.4		17.6		22.5	
電動機	圧縮機用電動機						
	電流	8.82	9.24	7.68	7.86	11.6	11.4
	入力	6.00	6.24	5.17	5.29	7.8	7.7
	凝縮器ファン用電動機						
冷却器	電流	8.55		9.38		8.50	
	入力	5.69		6.12		5.64	
	冷却器ファン用電動機						
	電流	2.44		1.86		2.40	
冷媒管温度	入力	1.40		1.05		1.32	
	凝縮器ファン風量	239		245		246	
	冷却器ファン風量	80		67		78	
	凝縮器入口温度	95	94	82	83	112	115
冷却器空気状態	凝縮器出口温度	47	49	40	41	55	57
	冷却器入口温度	13	12	4	6	18	17
	凝縮器吸込空気温度	33.6		27.5		45.4	
	吸込空気乾球温度	28.0		23.0		34.7	
	吸込空気湿球温度	22.8		19.0		28.9	
	吸込空気相対湿度	65		69		65	
	吐出空気乾球温度	16.7		10.4		24.7	
	吐出空気湿球温度	16.4		9.9		24.0	
圧縮機	吐出空気相対湿度	95		94		94	
	圧縮機吐出圧力	18.1	18.4	14.9	15.6	24.8	24.8
	圧縮機吸込圧力	5.5	5.7	4.4	4.6	6.7	6.8
冷却熱量	29,500		26,700		29,400		

表4 起動特性測定結果

起動前	起動後	冷却器ファン		凝縮器ファン		圧縮機 No.1		圧縮機 No.2	
		電流 (A)	時間 (s)	電流 (A)	時間 (s)	電流 (A)	時間 (s)	電流 (A)	時間 (s)
440	430	8.34	0.56	59.0	1.50	48.6	0.18	47.1	0.18
395	382	8.17	0.66	58.7	1.88	46.0	0.30	43.0	0.30
348	325	8.22	0.97	50.2	3.26	41.8	0.54	39.0	0.43

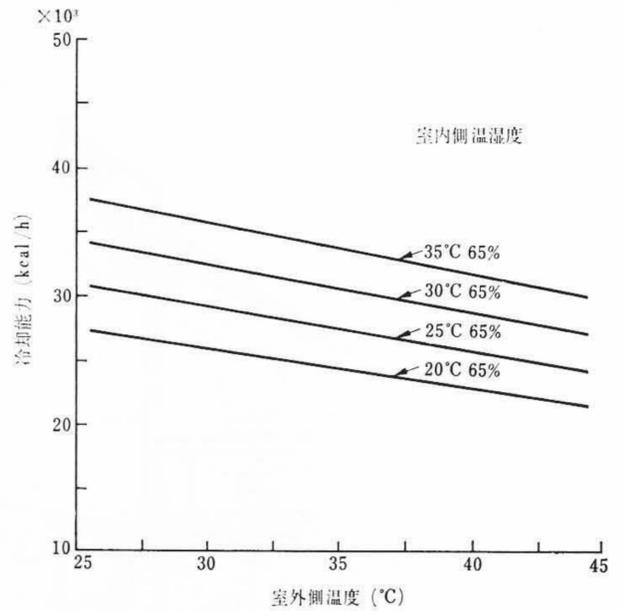


図14 冷却能力におよぼす空気温度の影響

4.4 起動特性

日本国有鉄道納ユニットクーラの圧縮機および各ファン用電動機の起動試験の結果を表4に示す。この試験はユニットクーラを標準条件のもとで運転後いったん停止し、定格(440V)、-10%、-20%の各電圧において冷却器ファン、凝縮器ファン、圧縮機No.1、圧縮機No.2の順に起動し、そのときの電流および時間を電磁オンシロで測定したものである。

4.5 今後の改良

今回製作したユニットクーラは従来の集中式ユニットクーラにくらべれば全密閉形圧縮機の使用および冷媒配管の簡易化などにより密閉サイクルに近づいたものであるが、製品としてはなお自動膨張弁および冷媒締切電磁弁を使用している。メンテナンスフリーのためにはこれらの弁を廃止して完全な密閉サイクル化することが目標であるが、この点についてはすでに実験機において、膨張弁をキャピラリチューブにおきかえ、また電磁弁を廃止したサイクルで各種の試験を行っており、次回製品からは全密閉化する予定である。

5. 結 言

以上、電車用屋根上集中式ユニットクーラについて構造、仕様および性能の概要を述べた。

今回製品化したユニットクーラは京王帝都電鉄株式会社納(冷却能力39,000 kcal/h)と日本国有鉄道納(冷却能力28,000 kcal/h)の2機種であるが、いずれも昭和43年夏季の営業運転において良好な実績をおさめている。集中式ユニットクーラは車両1両分の冷房を車両の屋根上のほぼ中央に取り付けた1個のユニットで行なうため屋根上に大きなスペースを要せず、特にパンタグラフの取付けられる電車の冷房装置としては最適のものである。

今後この集中式ユニットクーラを改良して、さらにメンテナンスフリーのものとするため膨張弁にかえてキャピラリチューブ化することの準備がすでに行なわれているので、今後の需要に対しては完全密閉サイクルのユニットクーラとして応ずる予定である。

終わりに臨み、本装置の設計製作に関して種々ご指導いただいた、日本国有鉄道および京王帝都電鉄株式会社の関係各位に対して深甚の謝意を表する次第である。

終わりに臨み、本装置の設計製作に関して種々ご指導いただいた、日本国有鉄道および京王帝都電鉄株式会社の関係各位に対して深甚の謝意を表する次第である。