

低温用冷凍機

Refrigerating Machines for Low Temperature Applications

Along with the development of the cold chain in recent years demand for refrigerating machines and related apparatus are showing a sharp increase, and as the low temperature control system diffused, machine reliability has become the first requirement. Under such market trends, development of refrigerating machines and apparatus with unfailing performance under severe operational conditions has been urged. This report introduces features and general characteristics of Hitachi refrigerating machines which were developed recently.

岡田成一* Shigekazu Okada

伊藤元博* Motohiro Itô

矢崎征洋* Yukihiro Yazaki

1 緒 言

近年、食品の低温流通、いわゆるコールドチェーンが普及するにつれ、低温用途の冷凍機および関連機器の需要が著しい伸びを示している。

従来、蒸発温度 -30°C 以下の低温で使用する冷凍機は種々の問題があったが、低温特性にすぐれたフロン-502の出現により単段圧縮式の冷凍機でも容易に蒸発温度 -30°C 以下で使用する事ができるようになった。

さらに蒸発温度 -40°C 以下の低温で運転するためには、二段圧縮式の冷凍機を使う必要があり、本論では二段圧縮方式のサイクル特性について述べる。

一方、コールドチェーンの発展は、低温用機器の開発のみならず、工事での省力化を目標にした冷凍用機器の普及にも影響してきた。ここでは冷蔵ユニットとプレハブ冷蔵庫について紹介する。

2 開放形小形冷凍機FWシリーズ

2.1 低温用冷凍機における問題点

従来、単段の冷凍機を -30°C 以下の蒸発温度で運転する場

合には、種々の問題点があった。たとえば低温用の圧縮機は圧力比が大きく、また蒸発温度と外気との温度差も大きいので、吸入ガスの過熱度も大きくなりがちである。したがって圧縮機の吐出ガス温度は高くなり、さらに冷凍機油の温度も上昇する。このため圧縮機の吐出弁において冷媒や油の分解を生じたり、軸受摺(しゅう)動部分の潤滑性の劣化などを招いていた。

一般に潤滑油の炭化、冷媒の高温分解などの点から冷媒の吐出ガス温度の上限は $120\sim 140^{\circ}\text{C}$ とされている。フロン-22を使用して蒸発温度 -40°C を得るためには、吐出圧力をできるだけ低くし、さらに吸入ガスの過熱度もできるだけ低く押える必要がある(図1参照)。

また圧力比が大きくなるために、シリンダのクリアランスボリュームの影響による体積効率の低下も大きく、低温になればなるほど性能も著しく低下する。

2.2 フロン-502について

近年、脚光を浴びつつあるフロン-502は前述の低温における諸問題を解決できるすぐれた性質を持つフロン-22とフロ

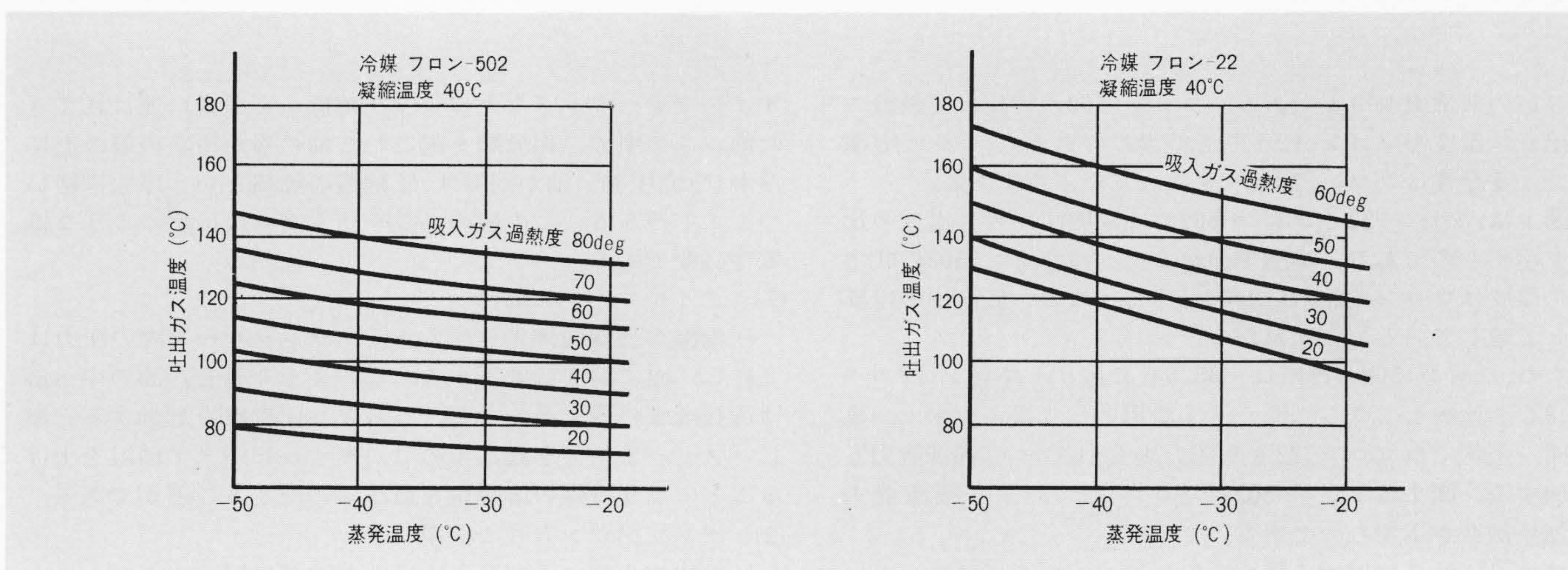


図1 吐出ガス温度の比較 フロン-502の吐出ガス温度は、フロン-22より約40deg低く、低温用として適していることがわかる。

Fig. 1 Comparison of Delivery Temperature

* 日立製作所清水工場

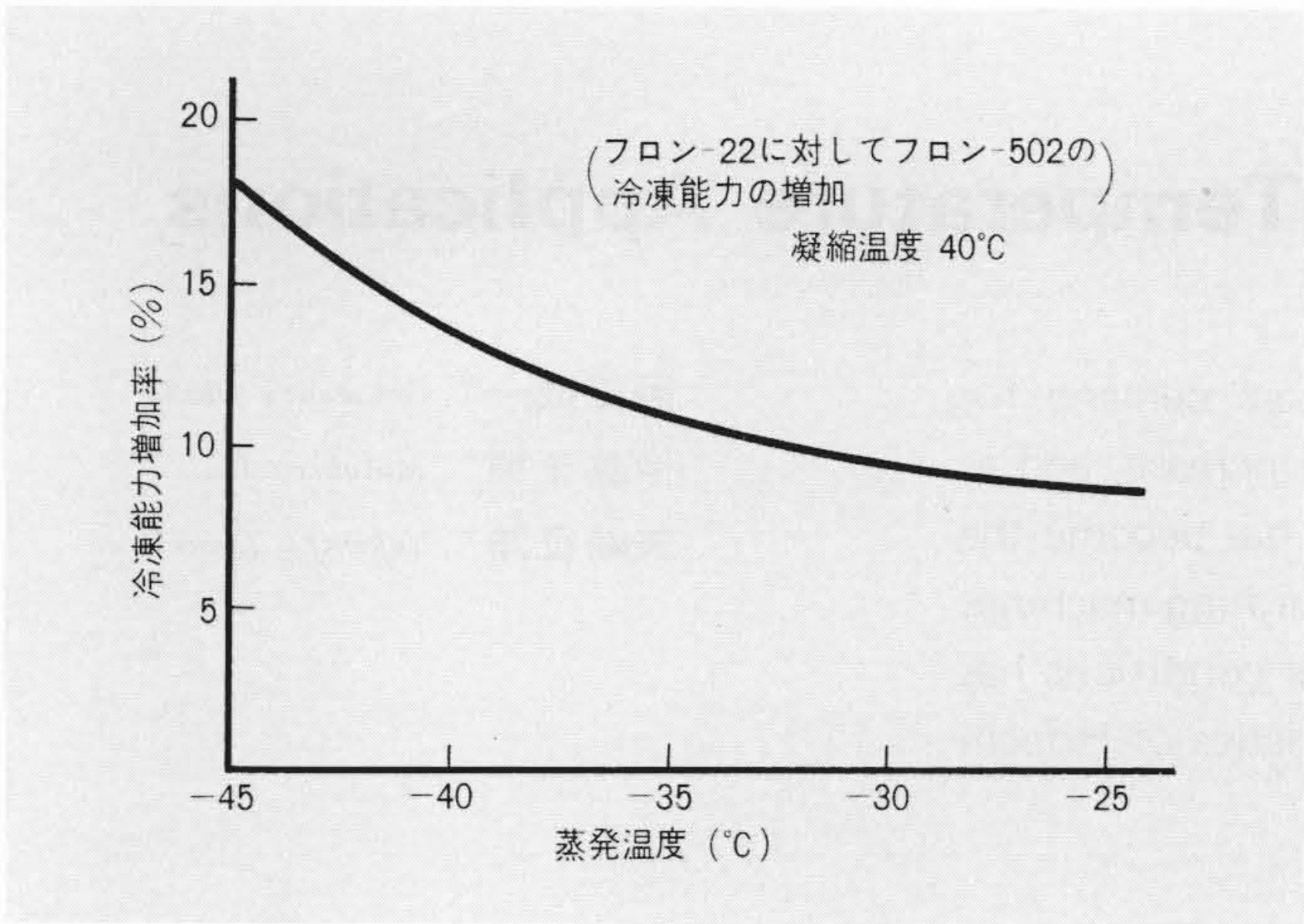


図2 冷凍能力の増加 フロン-502の冷凍能力はフロン-22より約10%増加する。

Fig. 2 Increasing of Refrigerating Capacity

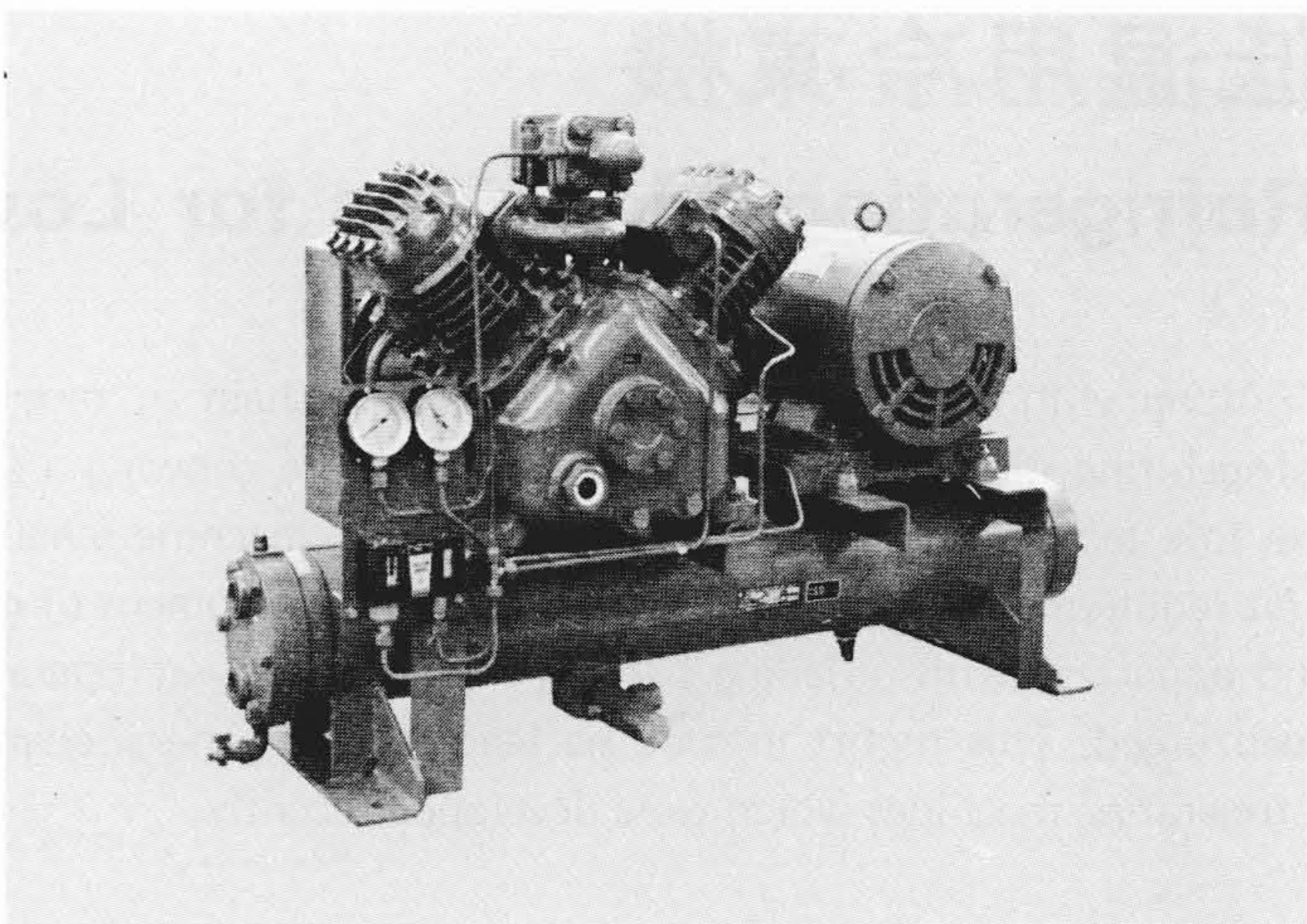


図3 FW機種の外観(552B-FW) おもな部品はCW機種(蒸発温度-10~-30℃)と互換性があり、起動も容易で低温用としてすぐれている。

Fig. 3 Outside View of FW Type Condensing Unit

表1 FWシリーズの仕様 FWシリーズはフロン-22とフロン-502が兼用であり、一部の機種には起動バイパス装置も取り付け、起動が容易である。

Table 1 Specifications of FW Series

形 式		222B-FW	372B-FW	552B-FW	752B-FW	1102B-FW
圧縮機	気筒径 (mm)	62	75		90	
	行程 (mm)	52	58		70	
	気筒数	2	4		4	
	回転数 (rpm)	740	425	625	460	590
圧縮機用電動機 (kW)		2.2	3.7	5.5	7.5	11
凝縮器		横形シェルアンドチューブ式				
冷媒		フロン-22 (フロン-502)				
冷機油		スニソ 3GS				
性能	凝縮温度 (°C)	35				
	蒸発温度 (°C)	-35				
	冷凍容量 (kcal/h)	1,520(1,640)	3,280(3,540)	4,620(4,990)	5,630(6,080)	7,220(7,800)
外径寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)		957×453×611	1,197×565×735	1,197×565×735	1,197×629×857	1,228×737×887
製品重量 (kg)		140	240	300	435	480

ン-115の共沸混合冷媒である。フロン-502の特長は圧縮機の吐出ガス温度をフロン-12よりも低温にできる点、また冷凍能力と安全性はフロン-22よりすぐれている点にある。

図1は、フロン-22とフロン-502の圧縮機吐出ガス温度の比較を示すものである。本図でわかるようにフロン-502の吐出ガス温度はフロン-22より約40degも低くなり、低温用の冷媒として適していることがわかる。

また、フロン-502の沸点は-45.6℃であり、フロン-22の-40.8℃と比較してさらに低く、低温用として扱いやすく、また同一条件ではフロン-22より圧力比も小さいので冷凍能力も増加する。図2はフロン-502のフロン-22に対する冷凍能力増加の割合を示すものである。

フロン-502を使用する場合、最も注意しなくてはならないのが油との関係である。フロン-502は冷凍機油との溶解性がきわめて小さく、二相分離しやすい。蒸発器内では油と冷媒は容易に分離するので、分離した油を圧縮機にもどすために低压側の冷媒配管には特に注意を払う必要がある。また受液器やシェルアンドチューブ式の凝縮器を使用する場合には、

オイルフォーミングなどにより圧縮機から多量に運ばれてきた油がこの中で二相分離を起こして油の層が冷媒の層の上に浮かび、低压側に油が回らず、圧縮機の焼損という事故に結びつくことがある。この種の事故を防ぐためには次のような処置が必要である。

(1) オイルヒータの取付

圧縮機が長時間停止されると、クランクケース内の圧力は上昇し、逆に温度は低下する。このような場合、油の中へ溶け込む冷媒の量も多くなる。このとき圧縮機を起動すると激しいフォーミングを起こすので、オイルヒータで油温を上げることで冷媒の溶解量を最小限に押えることができる。

(2) ポンプダウン方式の採用

圧縮機停止前に大部分の冷媒を凝縮器に回収することにより、冷媒の溶解量を最小限に押えることができる。

(3) 消泡(ほう)剤を添加した冷凍機油を使用する。

冷媒の溶解量が同じであっても、消泡剤の効果によりフォーミングの大きさを相当減少することができる。

(4) 圧縮機出口に油分離器を取り付ける。

2.3 FWシリーズの仕様と特長

以上述べてきたことを基礎に蒸発温度-30℃以下をねらった低温専用機として、容量2.2kWから11kWまで、フロン-502とフロン-22兼用の開放形小形冷凍機FWシリーズを完成した(図3)。

本シリーズの仕様は表1に記述のとおりである。
FWシリーズは従来からあるCWシリーズ(蒸発温度-10~-30℃)と主要部品の互換性を持たせ、また一部の機種には日立製作所独自の起動バイパス装置を取り付け、起動を容易にしてある。

3 二段低温ユニット RTUシリーズ

低温になると、冷凍機の成績係数が低下するので、単段圧縮では蒸発温度-45℃が限界であり、蒸発温度-30~-60℃では二段圧縮が採用される。二段低温ユニットは、圧縮機にコンパウンド式(1台の圧縮機の中で、高段、低段両方の圧縮機構を持つ方式)を採用し、小形軽量化を図っている。単段圧縮と二段圧縮との性能の比較は、表2に示すとおりである。低温では二段圧縮のほうが、成績係数、冷凍容量ともに圧縮機の総理論吐出量に比して、大幅な性能向上が期待できる。

3.1 二段圧縮冷凍サイクルの検討

二段圧縮冷凍サイクルのモリエル線図は、図4に示すとおりである。このサイクルは、蒸発器で蒸発(1→2)した冷媒を低段側圧縮機で圧縮(2→3)し、これを中間冷却器で冷却(3→4)する。この場合の冷却は、凝縮器より送られた液冷媒の一部を直接中間冷却器に噴射し、蒸発(8→4)させることにより行なう。
低段側より吐き出された冷媒ガスと中間冷却器に噴射された冷媒ガスが一緒になり、高段側圧縮機へ入り、さらに圧縮

表2 単段圧縮と二段圧縮の比較 二段圧縮では、吐出ガス温度は低く、冷凍能力、成績係数とも増加する。

Table 2 Comparison of Single Stage Compressor and Two Stage Compressor

仕 様		冷 凍 サ イ ク ル	単 段 圧 縮	二 段 圧 縮
形 式			I102B-CW	RTU-81
理 論 押 し の け 量 (m³/h)			74.77	低段56.08/高段18.69
冷 媒			フロン-22	フロン-22

条 件		蒸 発 温 度 (℃)		
項 目 (単位)		-35	-40	-45
単 段 圧 縮	凝 縮 温 度 (℃)	40	40	40
	凝 縮 圧 力 (kg/cm² abs)	15.64	15.64	15.64
	蒸 発 圧 力 (kg/cm² abs)	1,349	1,070	0.843
	圧 力 比	11.59	14.62	18.55
	冷 凍 能 力 (kcal/h)	6,870	4,210	2,030
	成 績 係 数 (kcal/h/kW)	846	659	458
二 段 圧 縮	吐 出 ガ ス 温 度 (℃)	113	118	124
	圧 力 比 (低段/高段)	4.29/2.73	4.42/3.31	4.66/3.98
	冷 凍 能 力 (kcal/h)	9,100	7,300	5,800
	成 績 係 数 (kcal/h/kW)	1,030	935	852
結 果	吐 出 ガ ス 温 度 (℃)	65	71	76
	冷凍能力の増加(二段/単段)(%)	132	173	286
	成績係数の増加(二段/単段)(%)	124	142	186
吐出ガス温度の低下(単段-二段)(deg)		48	47	48

(4→5)して、凝縮器へ送られる。凝縮器で凝縮(5→6)した冷媒液は、一部は前述の中間冷却器へ噴射されるが、残りの液冷媒は中間冷却器で過冷却(6→7)されて蒸発器へ向かうサイクルである。この二段圧縮、二段膨張サイクルは中間冷却器の膨張弁の選定が適正であるならば、きわめて安定した運転状態を得ることができる。

二段圧縮をする場合、最小の理論動力が得られるのは、一般に知られているように(1)式が成立する場合である。

$$P_m = \sqrt{P_s \cdot P_d} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、
 P_m : 中間圧力 (kg/cm² abs)
 P_s : 吸入圧力 (kg/cm² abs)
 P_d : 吐出圧力 (kg/cm² abs)

しかし、1台の圧縮機で二段圧縮を行なうコンパウンド式の場合は、クランクケースの形状や気筒数の制限を受けるので、低段側圧縮機の吐出量と高段側圧縮機の吐出量との容積比は、整数の2, 3, 4程度に限られてしまう。図5は、これらの容積比において、(1)式で表わされる中間圧力に最も近

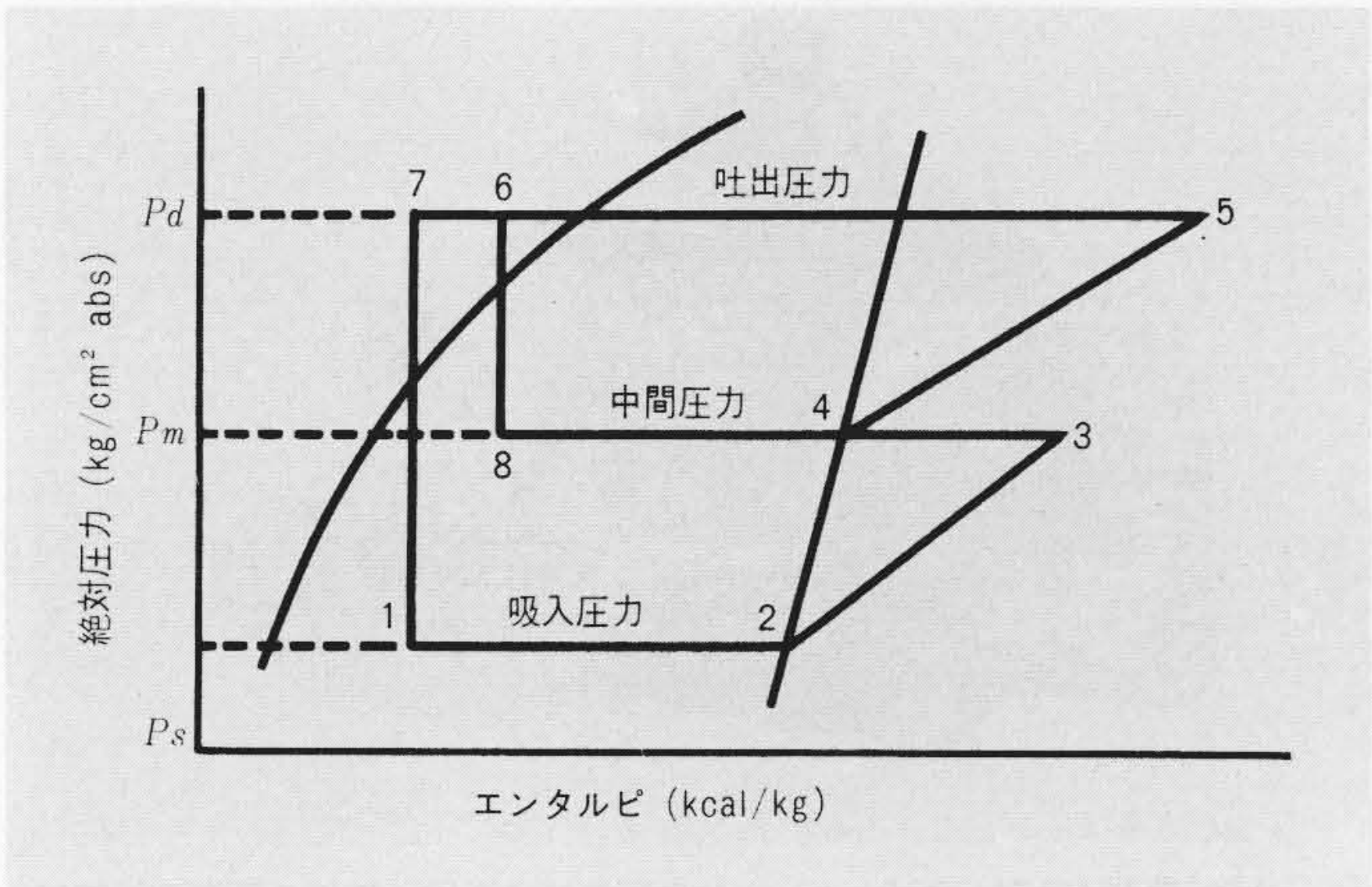


図4 二段圧縮モリエル線図 二段圧縮のため成績係数が非常に良く、また低温においても吐出ガス温度は高くならず安定した冷凍運転ができる。

Fig. 4 Two-Stage Condensing Unit Mollier Graph

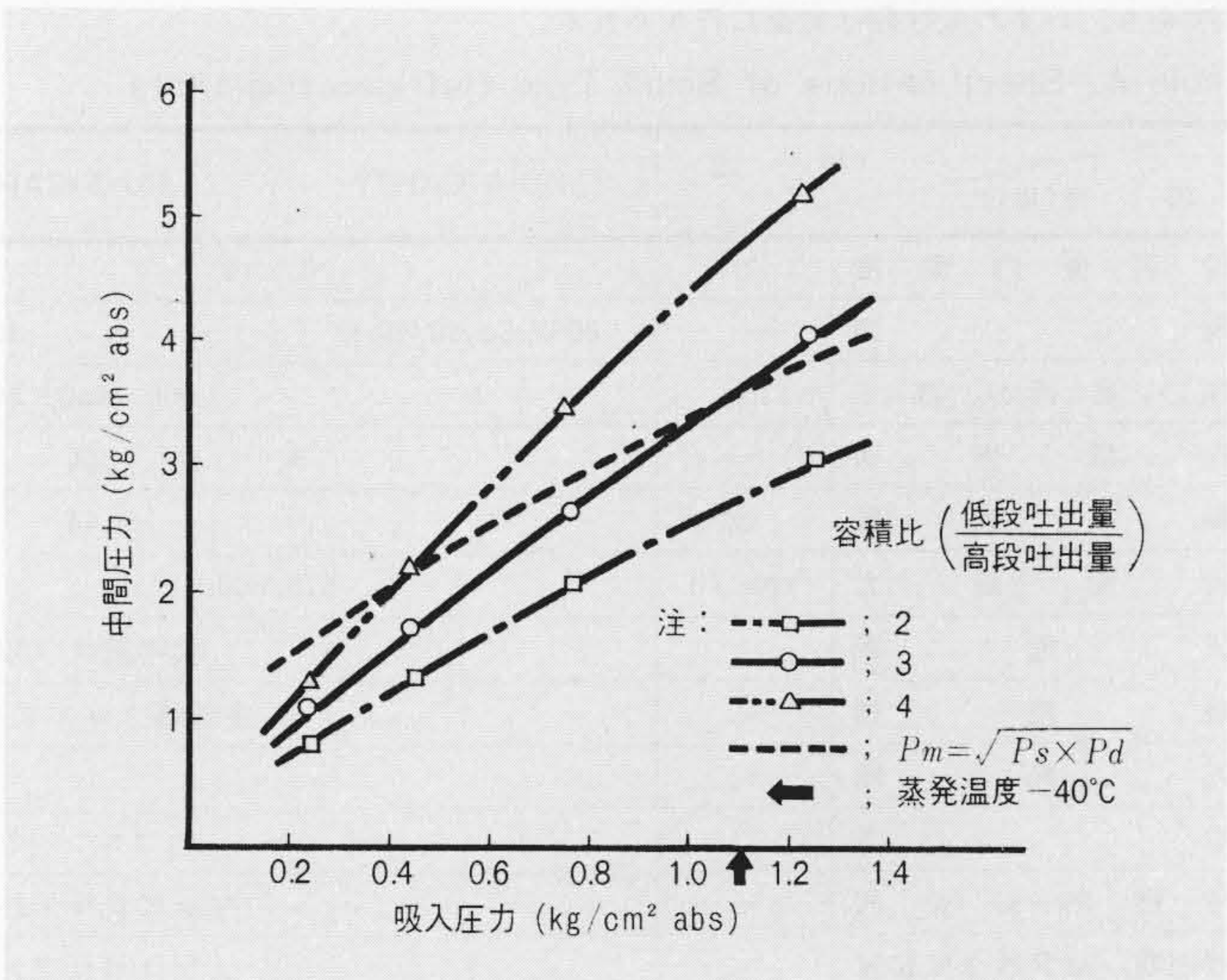


図5 吸入圧力と中間圧力の関係 蒸発温度-40℃では容積比3の場合が最も効率が良い。

Fig. 5 Suction Pressure and Intermediate Pressure

表3 RTUシリーズの仕様 日立二段低温ユニットは、中間冷却器や、膨張弁が付属しているので、単段冷凍機と同じ取扱いでよい。

Table 3 Specifications of RTU Series

形 式		RTU-5I	RTU-8I	RTU-20I	RTU-50I	
圧縮機	気 筒 径 (mm)		90		75	105
	衝 程 (mm)		70		58	86
	気筒数	低 段	3		6	
		高 段	1		2	
回 転 数 (rpm)		450	700	1,450	1,200	
圧縮機用電動機 (kW)		7.5	11	22	(45)	
凝 縮 器		横形シェルアンドチューブ式				
冷 媒		フロン-22				
冷 機 油		スニソ 3GS		不 付		
性 能	凝縮温度 (℃)		40			
	蒸発温度 (℃)		-40			
	冷凍容量(kcal/h)		5,200	7,300	17,700	49,200
製 品 重 量 (kg)		420	470	1,800	2,300	

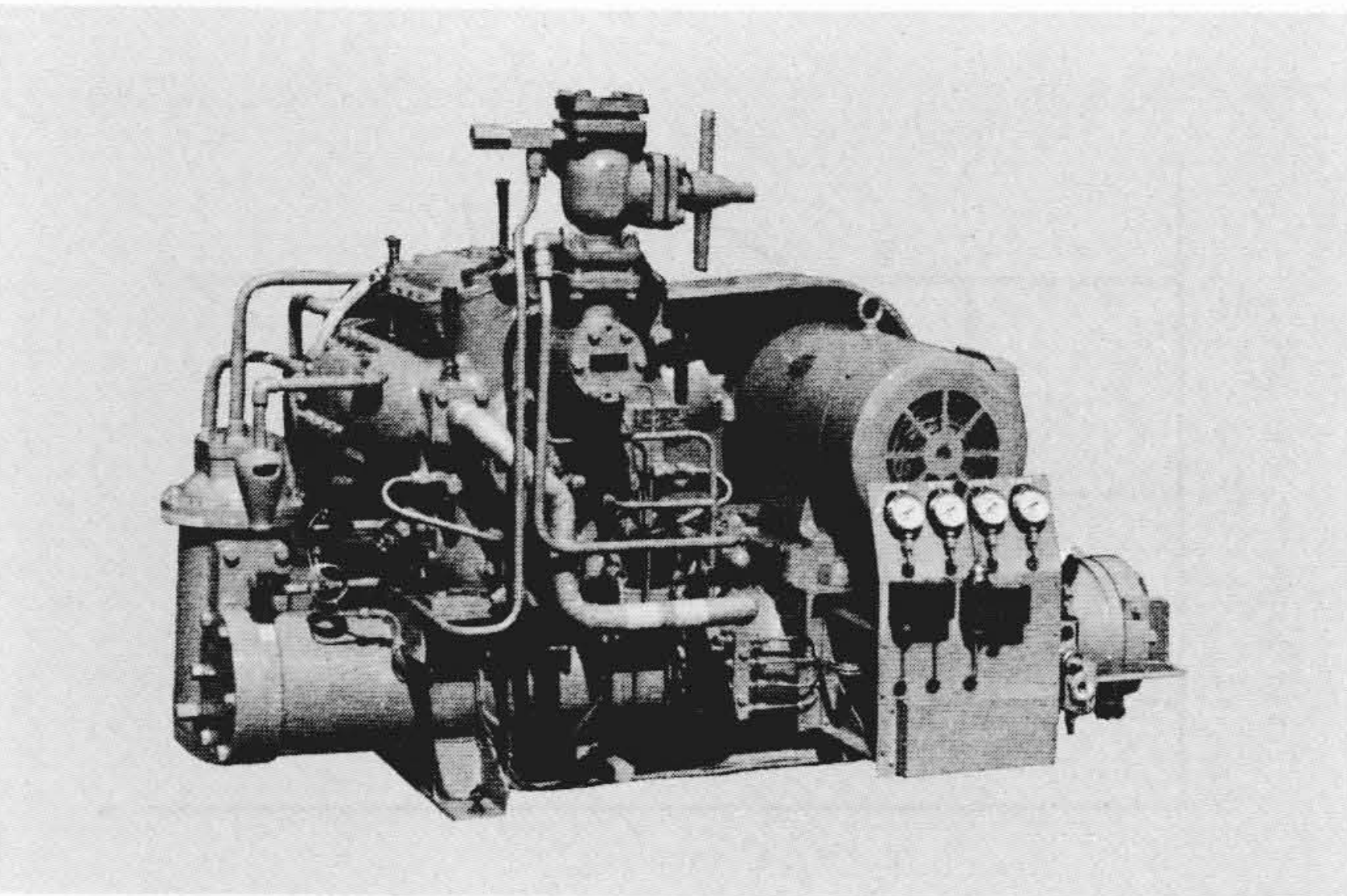


図6 RTU機種(RTU-20I) 1台の圧縮機に高段と低段の両方の圧縮機構を持っているので、小形、軽量で据付面積が小さく、搬入、据付が便利である。

Fig. 6 Outside View of RTU Type Condensing Unit

表4 日立小形冷蔵ユニットの仕様 M形はホットガスデフロスト方式、H形はオフサイクルデフロスト方式であり、いずれも除霜は完全に行なわれる。

Table 4 Specifications of Small Type Refrigerating Units

形 式		RU-57CAHT	RU-57CAH	RU-57CAM	RU-107CAH	RU-107CAM
項 目(単位)						
使 用 庫 内 温 度	℃	0 ～ 10		－ 5 ～ 10	0 ～ 10	－ 5 ～ 10
電 源	—	200V 3φ 50/60Hz	100V 1φ 50/60Hz		200V 3φ 50/60Hz	
幅 × 奥 行 × 高 さ	mm	500 × 480 × 567			500 × 560 × 686	
設 置 方 法	—	天 井 据 付 式			天 井 据 付 式	
製 品 重 量	kg	44			56	
冷 却 能 力	kcal / h	520/600		450/500	1,050/1,200	850/1,000
圧 縮 機	—	全密閉式 400W			全密閉式 750W	
凝 縮 器	—	多通路クロスフィン式			多通路クロスフィン式	
蒸 発 器	—	"			"	
冷 媒	—	フロン-12			フロン-12	
冷 媒 制 御 装 置	—	キャピラリチューブ			キャピラリチューブ	
凝縮器, 蒸発器送風装置	—	プロペラファン			プロペラファン	
除 霜 方 式	—	オフサイクル デフロスト		ホットガス デフロスト	オフサイクル デフロスト	ホットガス デフロスト
運 転 保 護 装 置	—	過電流継電器	オーバロードリレー		過電流継電器	

注：冷却能力の表示条件はH形は庫内5℃、庫外35℃の場合を示し、M形は庫内0℃、庫外35℃の場合を示す。

づく容積比を実験的に求めた結果を示すものである。一方、二段圧縮冷凍サイクルを使用して冷却する場合の蒸発温度は、-40℃（吸入圧力、約1.1kg/cm²absに相当する）近傍が多い。このとき、(1)式で表わされる中間圧力に最も近づく容積比としては図5より3を選定すればよいことがわかる。したがって、二段低温ユニット用のコンパウンド形圧縮機の容積比はすべて3になるように設計、製作されている。

3.2 RTUシリーズの仕様と特長

表3は二段低温ユニットRTUシリーズの仕様を示すものである。

本シリーズのおもな部品は従来からある単段冷凍機と共用化を図っているので、サービス性がよく、また中間冷却器や膨張弁が付属しているので、据付けは単段冷凍機と全く同様に取り扱うことができ、低温域でも安定した運転が可能であり低温専用の冷凍機として信頼性の高い製品である（図6）。

4 冷蔵ユニット

4.1 日立小形冷蔵ユニット

4.1.1 日立小形冷蔵ユニットの仕様と特長

低温貯蔵庫が従来の築造式からプレハブ式へ移行しつつあると同様に、冷凍装置もコンデンシングユニットとクーリングユニットの組み合わせから、一体化されたユニット形へ変わりつつある。

最近は特に省力化のためにこの傾向が強く、プレハブ冷蔵庫用としては、0.4~1.5kWを中心に小形の冷蔵ユニットが、急激な増加を示している。

日立小形冷蔵ユニットの仕様は表4に、外観は図7に示すとおりである。

また、おもな特長は次のとおりである。

- (1) 天井据付方式であり、小形軽量のため据付工事が簡単である。
- (2) 蒸発器にはスタッグフィンを採用し、着霜の進行に伴う蒸発器性能の低下が少なく、長時間の運転が可能である。
- (3) ホットガス バイパス除霜方式を採用するとともに、着霜量により自動的に除霜時間が変化する制御回路を採用し、むだのない冷凍運転が可能である。

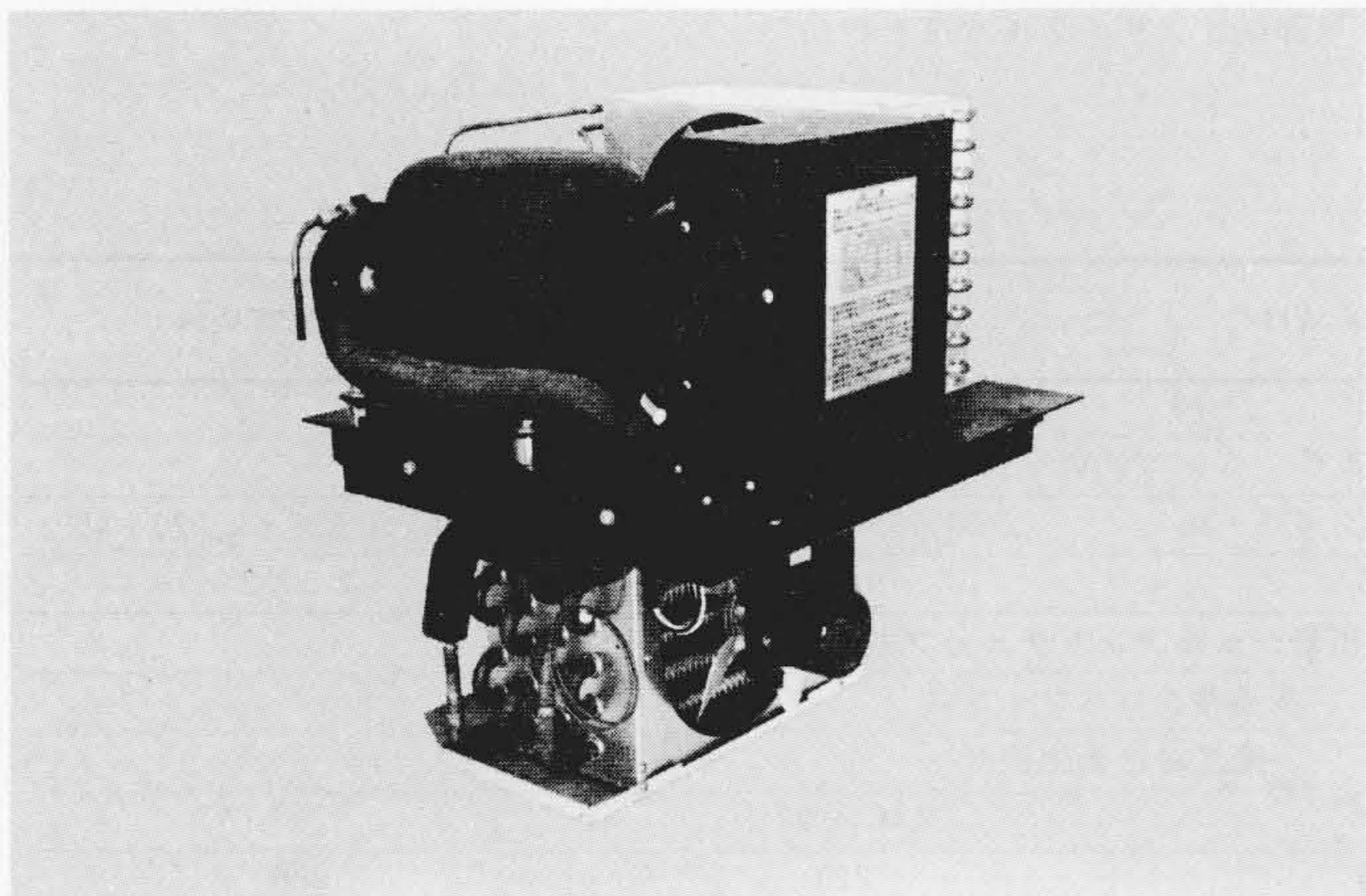


図7 日立小形冷蔵ユニット(RM-57CAH) 冷蔵庫の天井にあけた穴にそう入するだけで据付が完了するので、工事に手間がかからない。

Fig. 7 Outside View of Small Type Refrigerating Unit

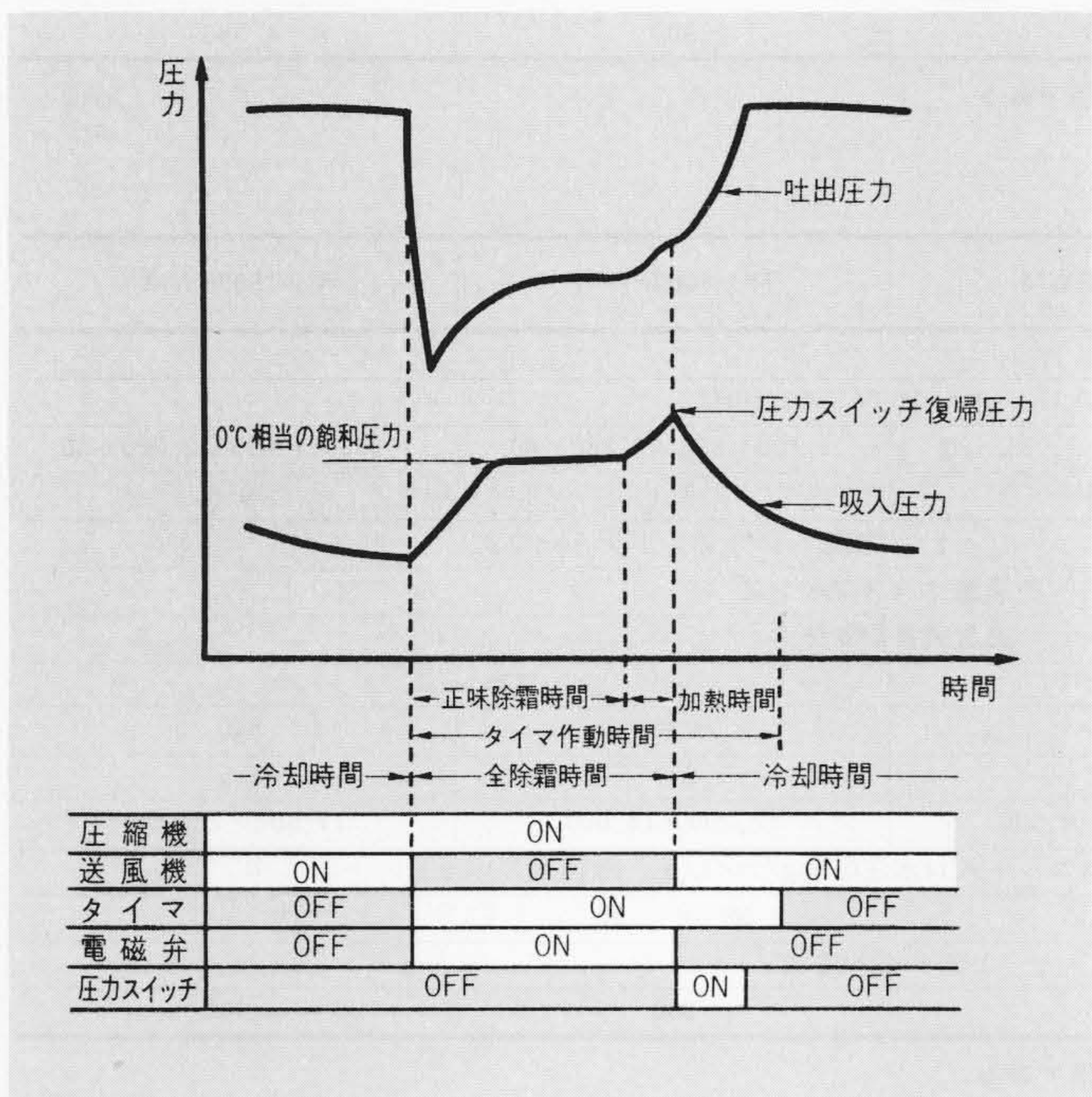


図8 除霜時の圧力変化と操作機器の作動状態 除霜開始はタイマで行ない、除霜終了は圧カスイッチで感知するので、着霜量に応じて除霜時間が自動的に調整される。

Fig. 8 Flow Chart in Defrost Time

4.1.2 ホットガス バイパス除霜方式

除霜性能は低温冷凍装置の重要な要素であり、従来よりさまざまな方式がとられてきた。CAM形シリーズで採用したホットガス バイパス方式の制御方法は、図8に示すとおりである。

除霜性能は外気温度（吐出圧力）によって大きく変わり、一般には外気温度が低い場合、凝縮器用送風機 の速度制御装置などにより吐出圧力を下げすぎないようにする必要がある。日立小形冷蔵ユニットでは、適正なバイパス回路抵抗により外気温度 0℃まで凝縮器用送風機 の速度制御なしで運転を可能にしている。

図8に示すように、除霜開始はタイマにて行ない、除霜終了は圧カスイッチで感知するため、着霜量に応じ除霜時間が

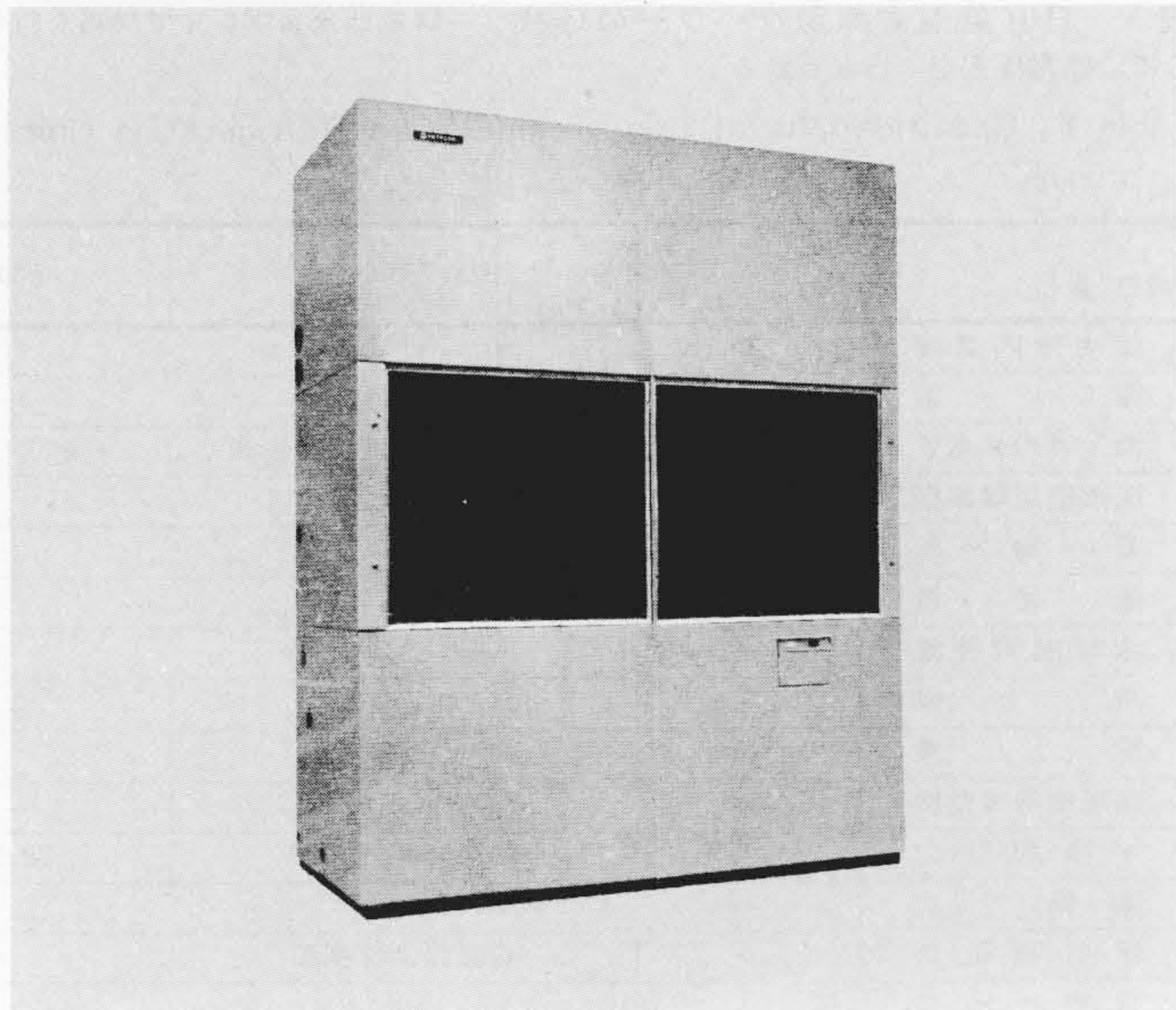


図9 日立低温倉庫用クーラー(RU-1003FWH) 冷蔵に必要なすべての機器をパッケージ形キャビネットの中に組み込んであるので、省力化のメリットが大きい。

Fig. 9 Outside View of Low Temperature Refrigerating Unit

制御できる。またタイマは、セーフティ機構として働き、安全性を高めている。

4.2 低温倉庫用クーラー

中規模以上の低温貯蔵庫用の冷凍装置も、小形冷蔵ユニットと同様、パッケージ化された省力機器の要求が多くなってきた。表5は、日立低温倉庫用クーラーの仕様を、図9は外観を示すものである。おもな特長は次のとおりである。

- (1) 冷蔵に必要なすべての機器をパッケージ化しているため現地作業が少なく、工期の短縮、省力化に役だつ。
- (2) 圧縮機出力 1 kWあたり、20～30m³/minの大風量としているので顕熱比が大きくとれ、貯蔵物の乾燥を防ぐことができ、生鮮食品の貯蔵に適している。
- (3) FWM形シリーズは、スタックフィンを採用し、着霜時の蒸発器性能の低下を少なくするとともに、除霜方式は大形機に適した水スプレイ方式を採用している。ノズル凍結防止機構を備え、短時間で確実に除霜することができる。
- (4) ユニット化された冷凍装置は、60法定冷凍トンまで運転管理者は不要であり、人件費高騰のおり、パッケージ形クーラーの大きな利点である。

5 プレハブ冷蔵庫

プレハブ冷蔵庫はパネルを工場で量産し、現場にて組立据付するだけで冷蔵庫が完成するので、従来の築造式冷蔵庫と比較して工期が非常に短く、移設、解体が可能で、製品の品質にばらつきが少ないなどの長所を持っており、省力化機器として、最近需要が急増している。

冷蔵庫は大きさによって、人間が中に歩いてはいれるものをウォークイン形といい、比較的大容量で内容積が3 m³以上ある。また人間が近寄り手が届くという意味のリーチイン形は内容積3 m³以下で品物の出し入れは横から行なう。図10は、ウォークイン形プレハブ冷蔵庫分解図の一例を示すものである。

冷蔵庫は品物の保持温度によってF級(－20℃以下)、C₁級(－10～－20℃)、C₂級(－2～－10℃)、C₃級(10～－2℃)に

表 5 日立低温倉庫用クーラーの仕様 M形は水スプレイで除霜を行ない、H形はオフサイクル方式であるので、除霜は完全に行なわれる。

Table 5 Specifications of Low Temperature Refrigerating Units

(a) FWH形

形 式		RU- 753FWH	RU- 1003FWH	RU- 1503FWH	RU-2003FWH
項目(単位)					
使用庫内温度	℃	+10 ～ +15			
電 源	—	A C 3 φ 200V 50/60Hz			
幅×奥行×高さ	mm	1,280×680×1,910+30	1,600×750×2,035+30	1,700×890×2,220+40	1,990×1,035×2,220+40
圧縮機用電動機	kW	5.5	7.5	10.8	7.5×2
凝 縮 器	—	横形シェルアンドチューブ式			
蒸 発 器	—	多通路クロスフィン式			
冷媒制御装置	—	温度式自動膨張弁			
冷 媒	—	フロン-12	フロン-22		
風 量	m ³ /min	120	160	220	300
送風機用電動機	kW	1.5	2.2	3.7	5.5
* 冷却能力	kcal/h	15,000／17,000	22,500／25,500	33,000／38,000	44,000／50,000
除 霜 方 式	—	オフサイクル方式			
空 気 吸 込 口	—	前面および側面	前 面		
空 気 吐 出 口	—	上面ダクト施工			
製 品 重 量	kg	600	750	900	1,350

注：*印の冷却能力は吸込空気温度13℃，相対湿度75％，凝縮温度35℃にて運転した値である。

(b) FWM形

項目(単位)		形 式		RU-503FWM	RU-753FWM	RU-1003FWM	RU-1503FWM
使用庫内温度		℃		－ 5 ～ +10			
電 源		—		A C 3 φ 200V 50/60Hz			
幅×奥行×高さ		mm		1,280×680×1,910+30	1,600×750×2,035+30	1,700×890×2,220+40	1,990×1,035×2,220+40
圧縮機用電動機		kW		3.75	5.5	7.5	10.8
凝 縮 器		—		二 重 管 式	横形シェルアンドチューブ式		
蒸 発 器		—		多通路クロスフィン式			
冷媒制御装置		—		温度式自動膨張弁			
冷 媒		—		フロン-22	フロン-12	フロン-22	
風 量		m³/min		120	180	230	340
送風機用電動機		kW		1.5	2.2	3.7	5.5
＊ 冷 却 能 力		kcal/h		6,100／7,000	8,750／10,000	12,200／14,000	17,500／20,000
除 霜 方 式		—		水スプレイ方式（ユニット入口水圧0.5kg/cm²以上、水温10℃以上）			
空 気 吸 込 口		—		前面および側面	前 面		
空 気 吐 出 口		—		上面ダクト施工			
製 品 重 量		kg		480	720	880	1,100

注：*印の冷却能力は吸込空気温度0℃，相対湿度80％，凝縮温度35℃にて運転した値である。

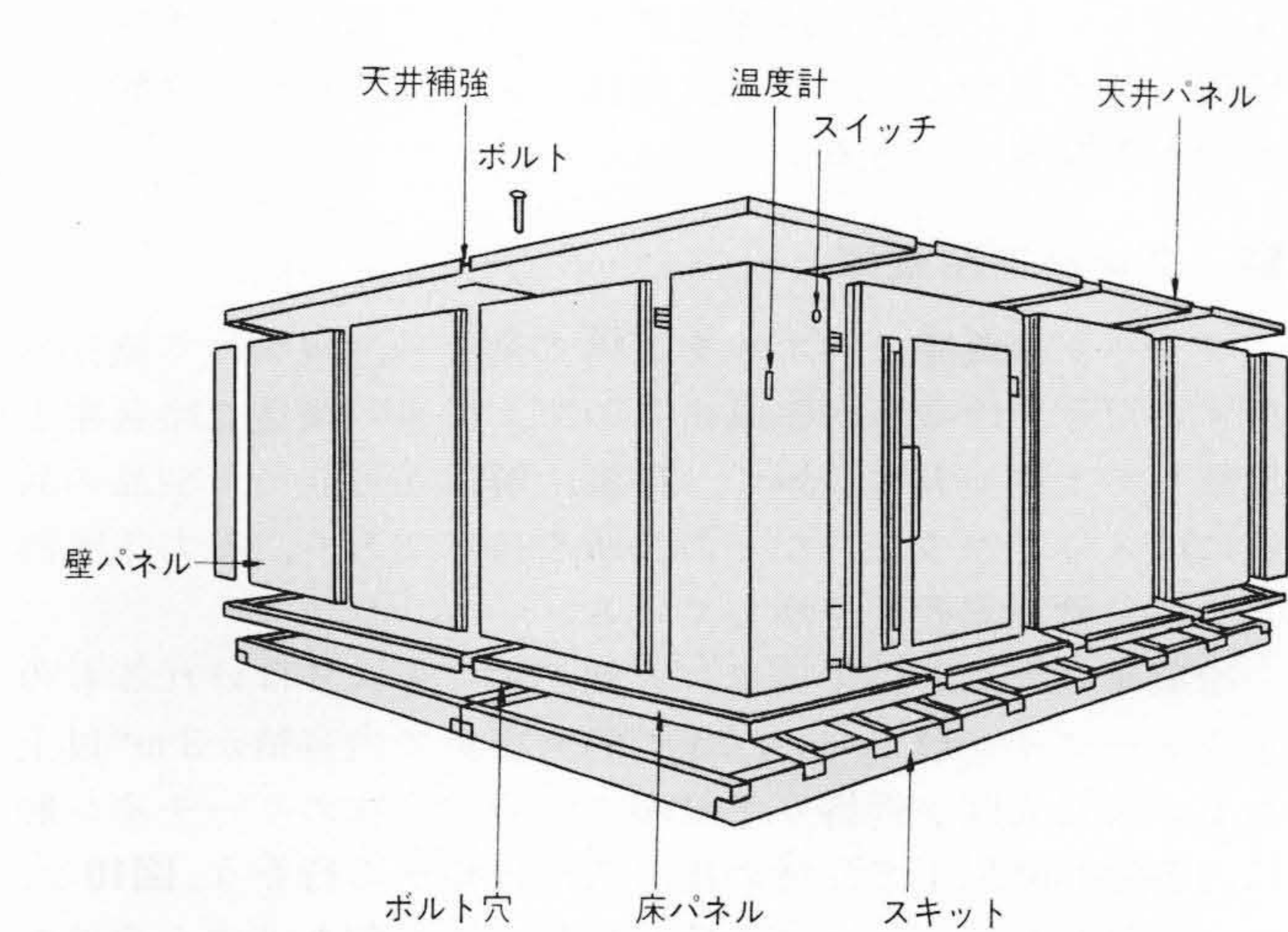


図10 プレハブ冷蔵庫 プレハブ冷蔵庫は、現場における組立が簡単で、工期が非常に短い。

Fig. 10 Pre-fabricated Cold Storage

分類できるが、庫内温度は0～+5℃前後のものが最も需要が多い。断熱材は補強の役めも兼ねて硬質ポリウレタンフォームを使用し、厚さはF級冷蔵庫で100mm以上、C₃級では40～50mmが普通である。

小形プレハブ冷蔵庫の場合は4.で述べた冷蔵ユニットを取り付けると、現場での冷媒配管工事が省略でき便利である。取付は冷蔵庫の天井に穴をあけ、冷蔵ユニットを載せるだけなので簡単に施工でき、プレハブ冷蔵庫のような現場工事の省力化をめざす製品には非常に有利な方法であると言える。

6 結 言

低温用冷凍機の問題点と、冷媒フロン-502の特徴および二段低温ユニットについて述べ、あわせて冷蔵ユニットとプレハブ冷蔵庫について紹介した。

当分の間、冷凍機の主流は中温用が占めるであろうが、今後しだいに低温用の割合が増加していくことはまちがいになく、また省力化の意味でますますユニット化が促進されるものと確信する。