U.D.C. 621.574:621.514.5

スクロール冷凍機「スクロール22」

Scroll Type Condensing Unit for Refrigerators

堀内紀昭* *Noriaki Horiuchi*
佐渡慎太郎* *Shintarô Sado*
菊地昭治* *Shôji Kikuchi*
末藤和孝** *Kazutaka Suefuji*

日立製作所は，冷凍用スクロール圧縮機を搭載した屋外設置形冷凍機(定速機，インバータ機)を，世界で初めて開発した。

この冷凍機は，従来のレシプロ圧縮機を搭載した冷凍機に比較し，低騒音，低振動，広いインバータ制御範囲に加え，地球環境問題で規制を受けることになった特定フロンでの運転範囲を，規制対象外のフロン22で運転できるという特長を持っている。

さらに機械室が不要で省スペース，シンプルな構造による高信頼性製品として「スクロール22」の愛称で好評を得ている。

1 緒　言

冷凍機として比較的小容量(1.5～15 kW)の小形冷凍機は昭和50年初期を境に，汎(はん)用モートルとVベルトで駆動する開放形レシプロ圧縮機からモートルを内蔵した半密閉形レシプロ圧縮機に移り現在に至っている。

日立製作所は昭和58年に，空気調和機としては世界で初めてスクロール圧縮機を搭載したパッケージエアコン「うずQシリーズ」を製品化し，その後このシリーズの拡大と並行して，冷凍用への用途拡大に研究を進めてきた。

小形冷凍機は，主にスーパーマーケットやコンビニエンスストアに代表される食品店舗や外食産業の食品冷却，保管用に使用されている。ここでは，国民の食生活の高級化志向と品傷み率低減のための高鮮度管理へのニーズ，地価高騰地域への設置のための省スペース製品，およびこれに伴っての低騒音化の要求がますます高くなっている。

さらに，近年の地球環境問題から特定フロンの生産および使用量の規制が始まり，この規制にも対応できる冷凍機が要求されてきた。

このような製品に対するニーズとスクロール圧縮機の研究背景から，このたび冷凍用スクロール圧縮機を搭載した冷凍機「スクロール22」を開発した(**図1**)。

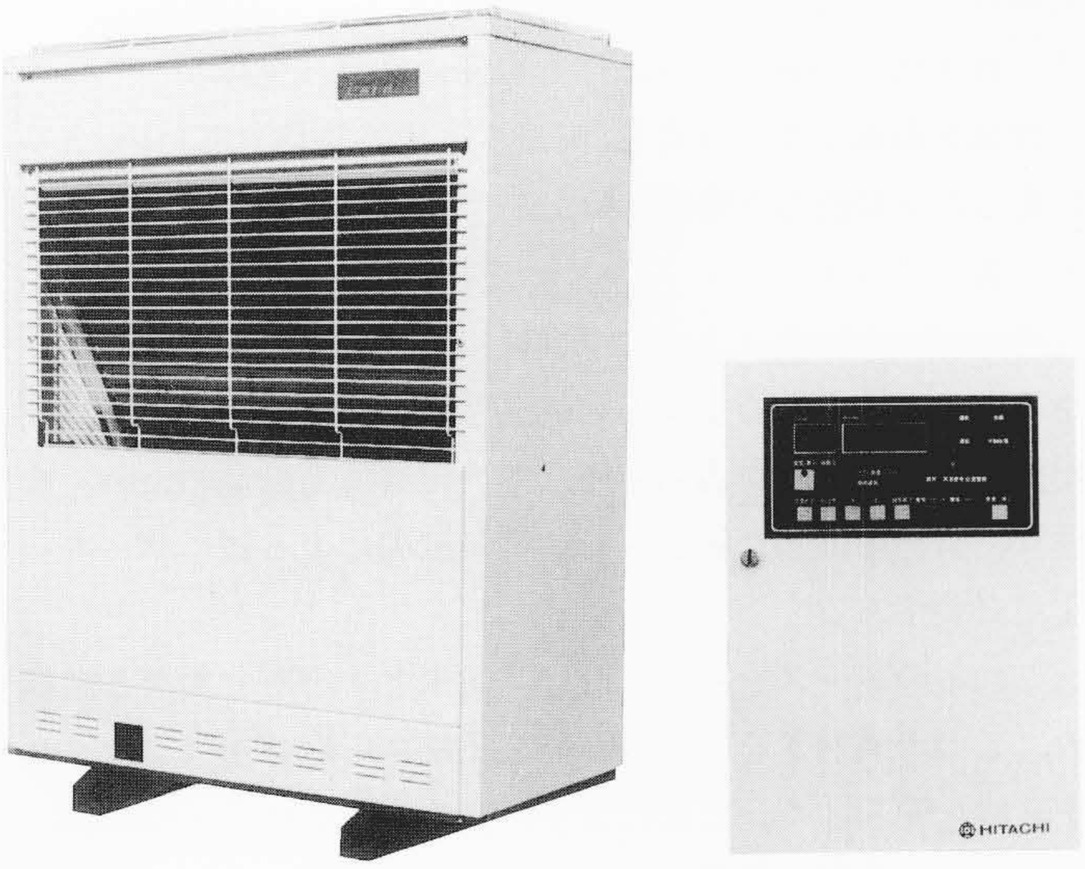
2 冷凍用スクロール圧縮機

冷凍機に使用される圧縮機は，**図2**に示すようにそれぞれの出力と使用目的に合った機種の開発が行われてきた。

近年の冷凍用圧縮機としてのニーズは次に述べるとおりである。

(1) 特定フロン規制への対応

小形冷凍機のほとんどが，半密閉形レシプロ圧縮機を搭載している。このレシプロ圧縮機では蒸発温度－45～－20 ℃の低温用にはフロン502を，－20～－5 ℃の中温用にはフロン22を，－30～＋5 ℃の高温用にはフロン12をそれぞれ使用し，3種類の冷媒を使い分ける必要があった。



(a) ユニット〔幅1,100×奥行き550×高さ1,450(mm)〕　(b) コントローラ〔幅220×奥行き65×高さ310(mm)〕

図1　インバータスクロール冷凍機「スクロール22」とコントローラ　冷凍機は屋外に設置し，コントローラで運転操作を行う。20～80 Hzの周波数範囲を2 Hzごとにきめ細かく制御し，省エネルギー運転が可能である。

* 日立製作所 清水工場　** 日立製作所 機械研究所

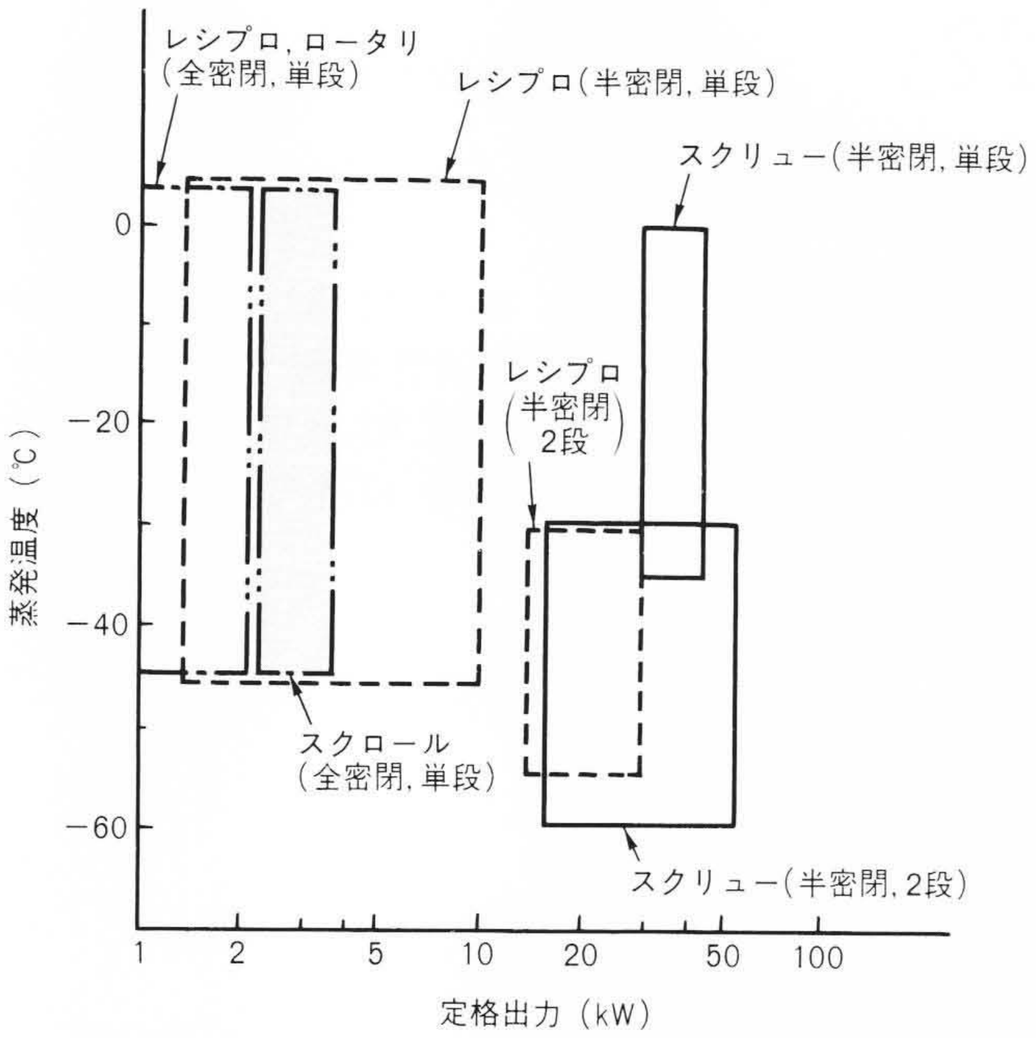


図2　冷凍用圧縮機の容量範囲　　それぞれの出力と使用目的に合った圧縮機の開発が行われてきている。

しかし，国際的環境問題から，フロン12，フロン502(この中には特定フロン115を約50%含む。)を使用しない圧縮機が求められている。

(2)　低騒音化

冷凍機設置のための機械室を不要にするため屋外設置形が急増しており，これに伴い騒音防止のため，よりいっそうの低騒音化が必要である。

(3)　食生活の高級化志向に伴う食品の高鮮度管理

食品を最適温度で保存し，高鮮度に維持管理するため，負荷に応じた冷却能力を発揮し幅広い容量制御に対応できること。

(4)　省エネルギー

スーパーマーケットの冷凍機使用電力は，照明，空調機，冷凍機などに必要な全電力の約50%を占めている。冷凍機使用電力のほとんどを占める圧縮機の消費電力低減のため，高効率，負荷に応じた稼動を行う容量制御による省エネルギー化が必要である。

これらのニーズを満たすため，従来とまったく異なる機構の，二つの渦巻きを組み合わせて圧縮する冷凍用スクロール圧縮機を開発した。これにより，高性能，低騒音・低振動，高信頼性，小形・軽量化が実現できた。

2.1　構　　造

二つの渦巻き状の部品を組み合わせたスクロール圧縮機の基本原理はすでに約80年前に発明されていたが，ミクロンオーダーの精密さが要求されるスクロールの加工技術がなかったこと，実用に耐えられる機構が確立されなかったことにより，長い間実用化されなかった。昭和50年ごろから，日立製作所で研究開発が始まり，独自の量産に適した構造，精密加工技術が確立され，欧米に先駆けて昭和58年から製品化が開始された。

最初の製品は業務用空調機に適用されたが，昭和63年から冷凍機にも横形スクロール圧縮機(2.2 kWから4.5 kW)が適用された(**図3**)。

その動作原理を**図4**に示す。

圧縮室は平板上に渦巻き状の羽根(ラップと称する。)を持つ固定スクロールと，同じ形状の旋回スクロールを互いに180度ずらして組み合わせることによって形成される。固定スクロールと旋回スクロールにより，三日月状の密閉空間(圧縮室)が形成され，旋回スクロールは姿勢を維持した状態で，その渦巻き中心が固定スクロールの渦巻き中心の周りに一定の旋回半径で回る公転運動をする(**図4**)。旋回スクロールの渦巻き中心を，同図(a)から順次時計回りに120度，240度回転させた状態を示したものが同図(b)，(c)である。回転に伴い圧縮室の容積は連続的に減少し，作動ガスは圧縮され，固定スクロール中央に設けられた吐出孔から出る。作動原理から理解できるように，吸入弁と吐出し弁が不要であり，吸入側に再膨張するデットボリュームはない。

固定スクロールのラップ形状は旋回スクロールラップの包絡線として与えられる。密閉スクロールでは両ラップを同じ形状にするために，インボリュート曲線が用いられている。

圧縮機の容量は，**図4**(a)に示した最大密閉空間の容積で決まり，その値Vthは次式から求められる。

$$Vth=2\cdot\varepsilon^2h\{2(1+t/\varepsilon)(\lambda s-\pi)+\pi\}\cdots\cdots\cdots(1)$$

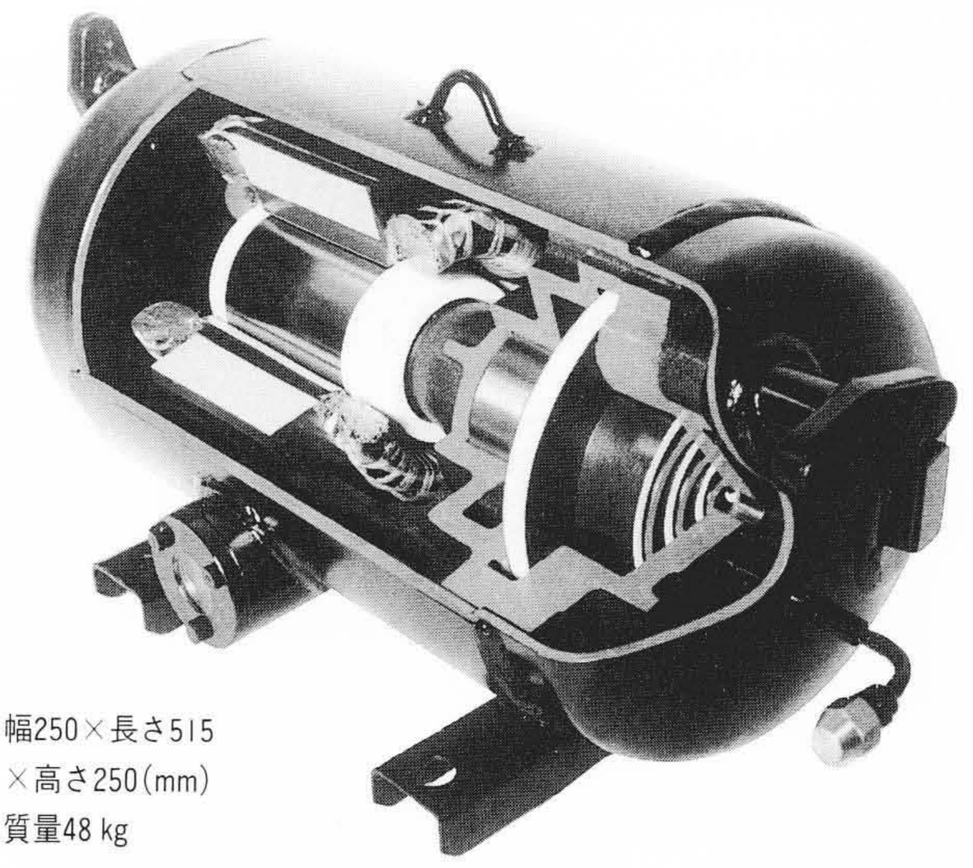
ここで　ε：旋回半径

h：ラップ高さ

t：ラップ厚さ

λs：最大密閉空間を形成する巻き角

最大密閉空間と**図4**(c)に示した最小密閉空間の容積比が，



注：幅250×長さ515
×高さ250(mm)
質量48 kg

図3　冷凍用スクロール圧縮機　　冷凍用横形スクロール圧縮機として，2.2 kWから4.5 kWまで実用化した。

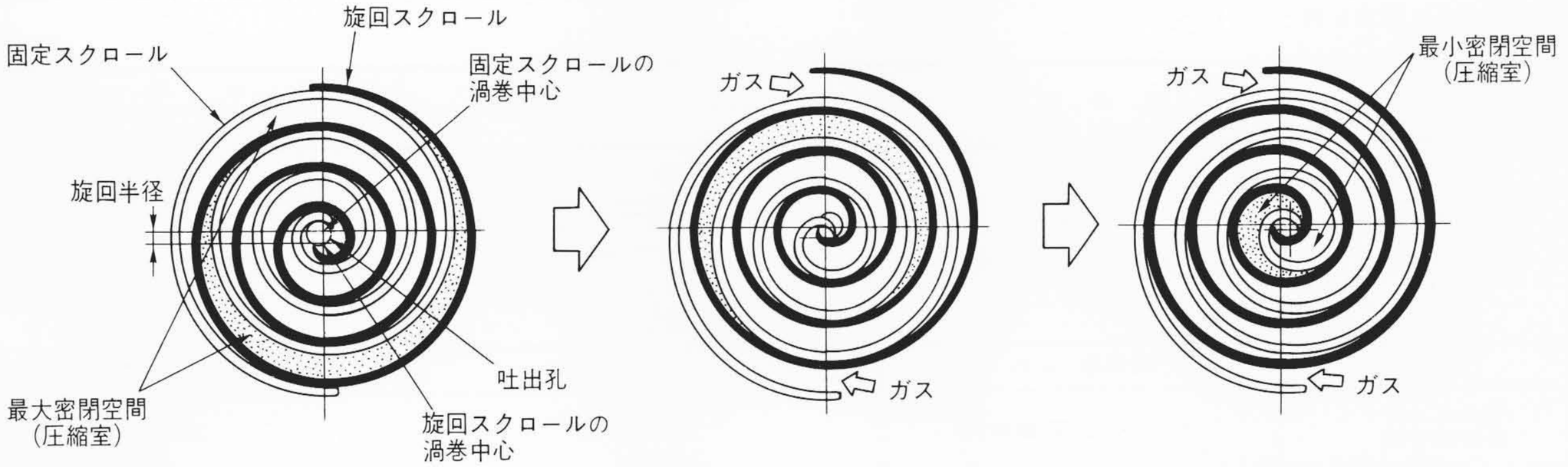


図4　スクロール圧縮機の動作原理　　固定スクロールと旋回スクロールで挟まれた三日月形の圧縮空間に閉じ込められたガスは，中心に向かって圧縮され，中心にある吐出孔から吐き出される。

(2)式で与えられる固有容積比Vrである。

$$Vr=\frac{2(1+t/\varepsilon)(\lambda s-\pi)+\pi}{2(1+t/\varepsilon)(\lambda e+\pi)+\pi} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ここで　λe：巻始め角

冷凍用は空調用に比べ使用圧力条件が広範囲であるため，固有容積比Vrを大きく設定する必要があり(約1.4倍)，そのため渦巻数を一巻き増やしたラップ形状とした。

冷凍用スクロール圧縮機の断面構造図を**図5**に示す。冷凍機高さを低くおさえるため横形構造を採用し，また空調用に比べ年間運転されるためころ軸受の長寿命化を図った。ショーケースなどの蒸発器で蒸発し，ガス状となった冷媒は圧縮機吸入口に入り，圧縮されて固定スクロールの中央口から吐き出される。吐き出されたガスには油が含まれているので，油をケーシング内で分離するとともにモートルを冷却し，吐出し口から凝縮器へ流れる。

圧縮機の各摺(しゅう)動部へは，油のためてある高圧側とスクロールの中間圧部とバランス孔を通じて圧力バランスしている中間圧室の差圧によって，給油パイプから各摺動部へ給油される。

吐出しガス温度が高くなるとモートル冷却能力が減少するので，吐出しガス温度センサの検知によってスクロール中間圧部へ液冷媒をインジェクションし，液冷媒の蒸発潜熱によって吐出しガスを冷却している。

2.2 特　　長

市場ニーズに対する技術課題とスクロール圧縮機の特長を，従来のレシプロ圧縮機と比較して**表1**に示すとともに，その具体的内容を次に説明する。

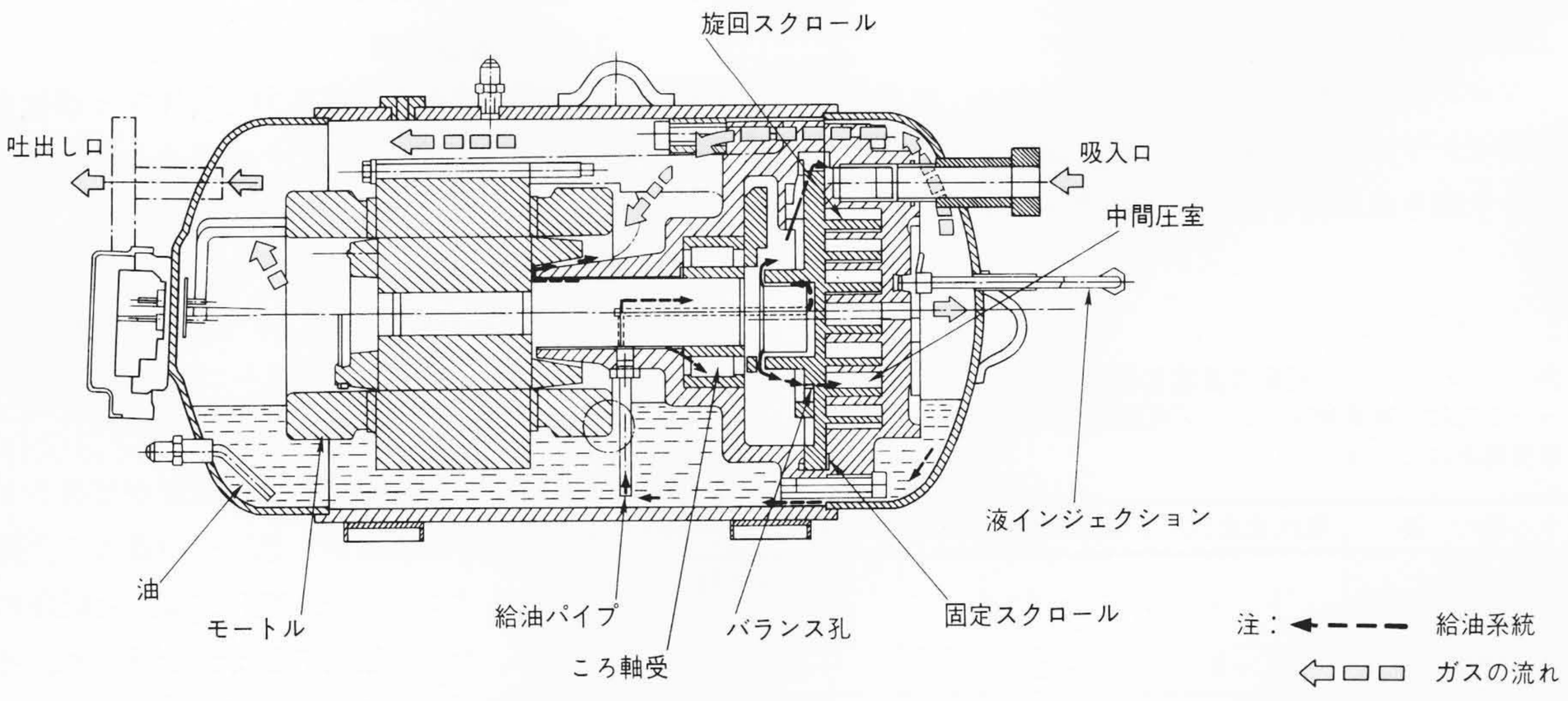


図5　冷凍用スクロール圧縮機の断面構造　　冷凍用スクロール圧縮機は横形構造を採用し，吐出しガスの冷却を行うため液冷媒のインジェクション方式を採用している。

表1 市場ニーズと冷凍用スクロールの特長　冷凍用スクロールは，特定フロン規制対応，低騒音，省エネルギーなど，市場ニーズに対して従来のレシプロよりも要求を満たしている。

市場ニーズ		技術課題	従来機	新形機
			レシプロ(3.75 kW)	スクロール(3.75 kW)
1	特定フロン規制への対応	R 22使用の蒸発温度範囲拡大	−45 −30 −15 +5 ℃ R 12 R 22 R 502	−45 −30 −15 +5 ℃ R 22
2	低騒音	低振動(μm)	150	50
3	省エネルギー・高鮮度管理	インバータ容量制御	25～75 Hz	20～80 Hz
4	高性能	高圧力比での体積効率向上	漏れ，弁，トップクリアランスにより，体積効率低下	圧力比20での体積効率は，レシプロの約2倍
5	信頼性	部品数の低減	弁機構，圧縮機構に部品数が多い。	弁機構がなく，圧縮機構は5部品と少ない。

注：特定フロン(炭素，フッ素，塩素，水素などから成る化合物の総称で，冷凍機の冷媒などに使用される。このうちオゾン層破壊効果の大きいフロン11，12，113，114，115の5種を特定フロンと呼び，モントリオール議定書で規制している。)

2.2.1 特定フロン規制への対応

従来はショーケースなど用途によって蒸発器の蒸発温度が異なるため冷媒を使い分けし，**表2**に示すように蒸発温度が高い青果物用にはフロン12を，蒸発温度の低い冷凍食品用にはフロン502を使用していた。フロン22が蒸発温度−5～+5℃で使用できない理由は，**図6**のように冷媒循環量が増大し高圧圧力の上昇，運転電流が増大しモートルのオーバーロードになり保護装置が作動するためと，圧縮機の吐出し，吸入弁に過大応力が発生し故障の可能性があるためである。

また，フロン22が蒸発温度−45～−20℃で使用できない理由は，吐出しガス温度が異常上昇し巻線温度の上昇，冷凍機油の劣化による圧縮機の寿命を短くするためである。

スクロール圧縮機では，**図7**に示すようにインバータ制御によって圧縮機回転数を制御して過負荷防止を図ることと，吐出し弁，吸入弁がないことにより，フロン22の運転可能な上限温度の拡大を図った。

フロン22の運転可能下限温度の拡大は，吐出しガス温度を温度センサによって検知し，設定温度以上に上昇したとき電磁弁を開き液冷媒をキャピラリチューブを介して圧縮機の中間圧部に注入することで冷却能力を落とすことなく吐出しガスを冷却できることで可能となった。

従来のレシプロ機ではフロン502を使用しなければならない低温域も，今回のスクロール機はフロン22で運転可能になり特定フロン規制を解決できた。

2.2.2 低騒音・低振動

レシプロ圧縮機に比べ，スクロール圧縮機は旋回スクロールの一回転の間に吸入，圧縮，吐出しの行程が同時に連続して進行するため，圧縮トルクの変動がきわめて小さく，振動騒音が小さい。また，吸入弁と吐出し弁がないので耳障りな弁の音もない。

その結果，例えば3.75 kWのレシプロ機(並列2気筒)は圧縮機の振動150 μmに対し，スクロール機は50 μm以下と低振動である。また，騒音は4 dB低減でき，据付時の配管施工，遮音工事なども緩和できる。

2.2.3 容量制御

負荷に応じた冷凍能力を発揮する運転を可能にする容量制御方式として，インバータによる回転数制御方式が最適である。スクロール圧縮機は，**表3**に示すように性能，振動，騒音，信頼性などの点でレシプロ圧縮機に比べインバータ制御に適している。そのため可変周波数範囲は25～75 Hz(レシプロ)を20～80 Hz(スクロール)に広げることができた。

2.2.4 高性能

レシプロ圧縮機は高圧と低圧がピストンを介して隣り合っているので，高圧から低圧へ冷媒ガスの漏れが生じる。これに比べスクロール圧縮機は，高圧と低圧の途中に複数の三日月形をした中間圧力の部分が形成され，その仕切り間の圧力差が少ないので漏れはわずかである。

また，レシプロ圧縮機にはトップクリアランスボリューム

表2 ショーケース庫内温度と使用冷媒　冷媒蒸発温度−5℃から+5℃は，青果物用プレハブ冷蔵庫や冷水製造用などにフロン12が従来使用されている。

用途	庫内温度(℃)	冷媒蒸発温度(℃)	使用冷媒
青果物用	5～15	−10～5	フロン22またはフロン12
日常配給食品用	2～8	−10	フロン22
精肉・鮮魚用	−2～2	−17	〃
冷凍食品用	−20～−18	−40	フロン502

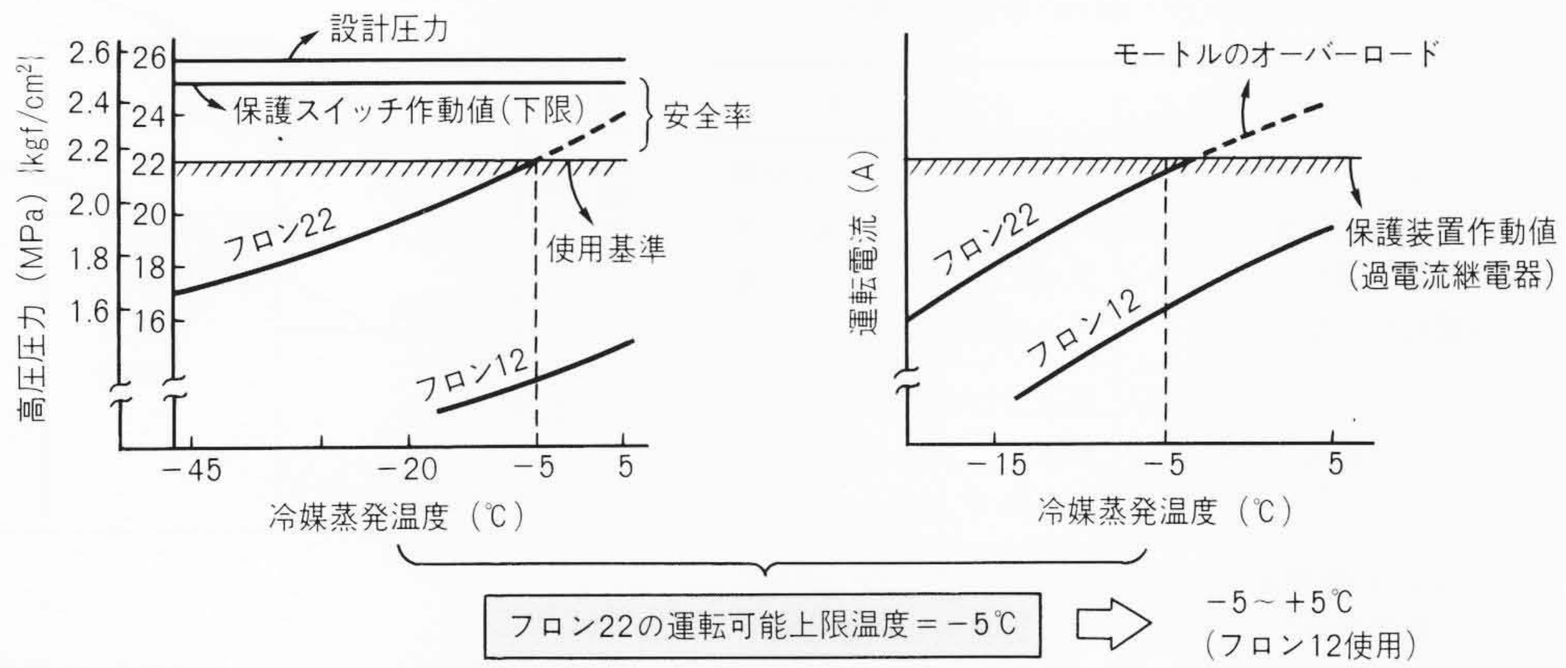
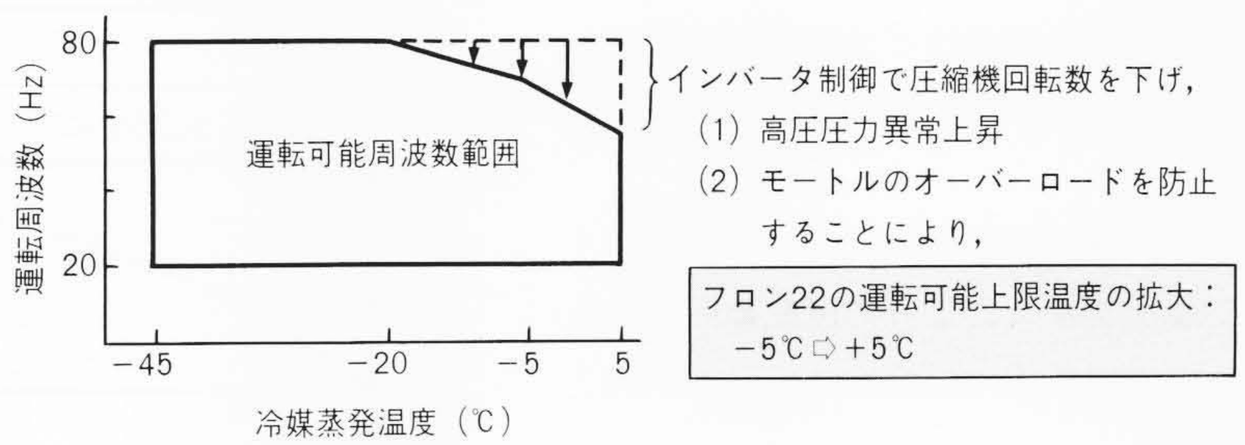


図6　レシプロ圧縮機での冷媒使用範囲　レシプロ圧縮機では，フロン22の上限蒸発温度が−5℃，下限蒸発温度が−20℃としている技術的根拠を示す。



(a) 高温用：インバータ制御採用による運転可能上限温度の拡大

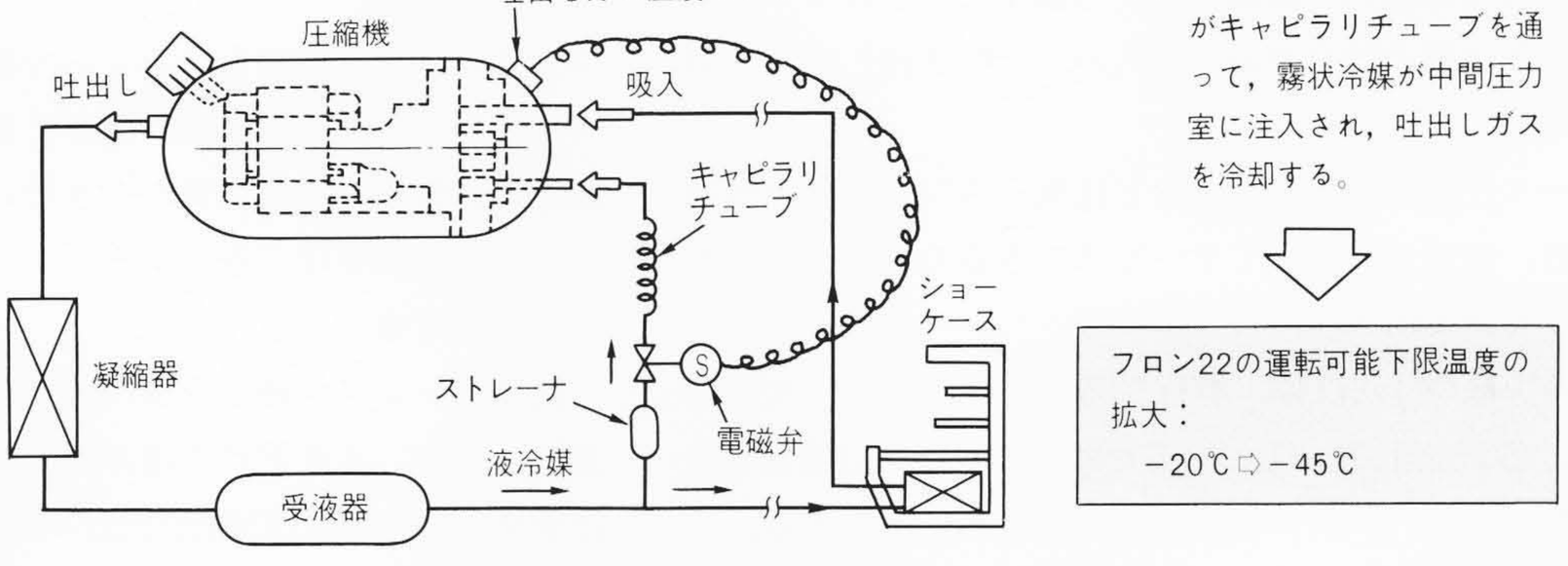


図7　スクロール圧縮機によるフロン規制対応
スクロール圧縮機を採用し，フロン22の使用蒸発温度を従来の−20～−5℃の範囲を−45～+5℃に拡大できた。

(b) 低温用：冷媒液インジェクション方式による吐出しガス温度の低減
(冷媒液インジェクション作動原理)

表3 スクロール圧縮機がインバータ制御に適している理由
インバータ冷凍機はスクロール圧縮機がインバータ制御に適していることにより，業界一広範囲の容量制御(20～80 Hz)を達成できた。

項目		スクロール	レシプロ
1	性能	弁がなく，通路損失が少ない。中間圧室があるので，高圧部から低圧部への漏れが少ない。	弁があり，低速時は弁漏れ，高速時は弁抵抗が大きい。高圧部から低圧部への漏れが多い。
2	振動 騒音	弁がなく，トルク変動も小さく，騒音，振動ともに小さい。	高速では弁のたたき音が大きく，トルク変動も大きいので，振動も大きい。
3	吐出し脈動	吐出しが連続的に行われ，高圧チャンバの特徴としてチャンバが吐出しマフラとなっているので吐出し脈動が小さい。	吐出しが間欠的に行われるため吐出し脈動が大きく，周波数変化によってユニット配管の共振現象を発生させる。
4	信頼性	弁がなく，高速時にも疲労破壊がない。また給油も差圧給油で安定した給油ができる。	高速時弁の疲労摩耗が発生しやすく，給油量も回転数によって変化し，不安定である。

があり，ここに圧縮されたガスが残ってしまい，再膨張によって効率を悪くしている。スクロール圧縮機には，トップクリアランスボリュームはないので，圧縮された冷媒が完全に排出される。このため，高圧力比での体積効率がレシプロ圧縮機に比べて高いので，－30～－45 ℃の低温域や，夏季の外気温度が高い場合にもレシプロ圧縮機ほど冷却能力は低下せず，強力な冷却能力を発揮する。

2.2.5 信頼性

吸入弁と吐出し弁がなく，部品点数がレシプロ圧縮機よりも少ないこと，液インジェクションによって運転範囲が拡大し，裕度がアップしたことで圧縮機の信頼性はいっそう向上している。

3 スクロール冷凍機の構造と特長

3.1 省スペースのための群設置構造

スクロール冷凍機の外観構造は先の**図1**に示したように，凝縮器冷却用の風の流れが前面吸込み，上吹き出しの屋外設置形である。

スクロール圧縮機，電気部品などは吸込み口下部の機械室に配置され，前面からすべてサービスできるので壁にぴったりの設置が可能である。

また，冷凍機の寸法は幅，奥行き550 mmのモジュール設計で，高さ1,450 mmに統一しているため複数台連結設置も可能であり，据付けスペースの大幅削減を図ることができる。

3.2 高鮮度管理および省電力のための幅広く小刻みな容量制御

冷凍機は年間運転されるため，夏，冬の負荷変動に対してマッチした冷却能力を発揮する冷凍機が要求される。店舗での年間の一般の負荷変動を**図8**に示す。この変動に対する冷凍機の特性を，容量制御ができない一定速機と容量可変のインバータ機に分けて説明する。

(1) 一定速機

従来のレシプロ機と今回のスクロール機を夏季条件と冬季条件に分け，それぞれの冷却能力の変化を**図9**に示す。例えば蒸発温度－20 ℃の場合では，冬季を想定した外気温度7 ℃時の能力に対して，夏季を想定した外気温度43 ℃時の能力比変化はレシプロ機の66%に対して，スクロール機は81%と変

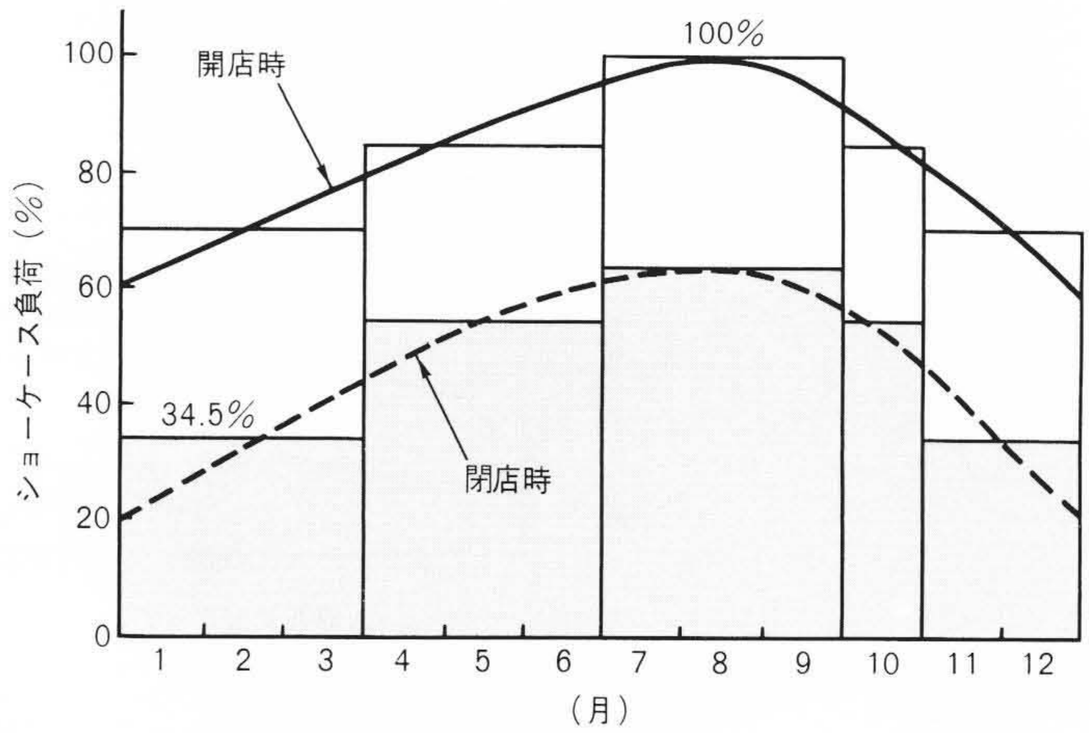


図8 店舗用ショーケースの年間負荷変動 店舗用ショーケースは年間を通じ運転され，開店時，閉店時を加味すると34.5～100%の負荷変動である。

（蒸発温度－20℃の比較）

	スクロール	レシプロ
能力比変化（外気43/7℃）	81%	66%

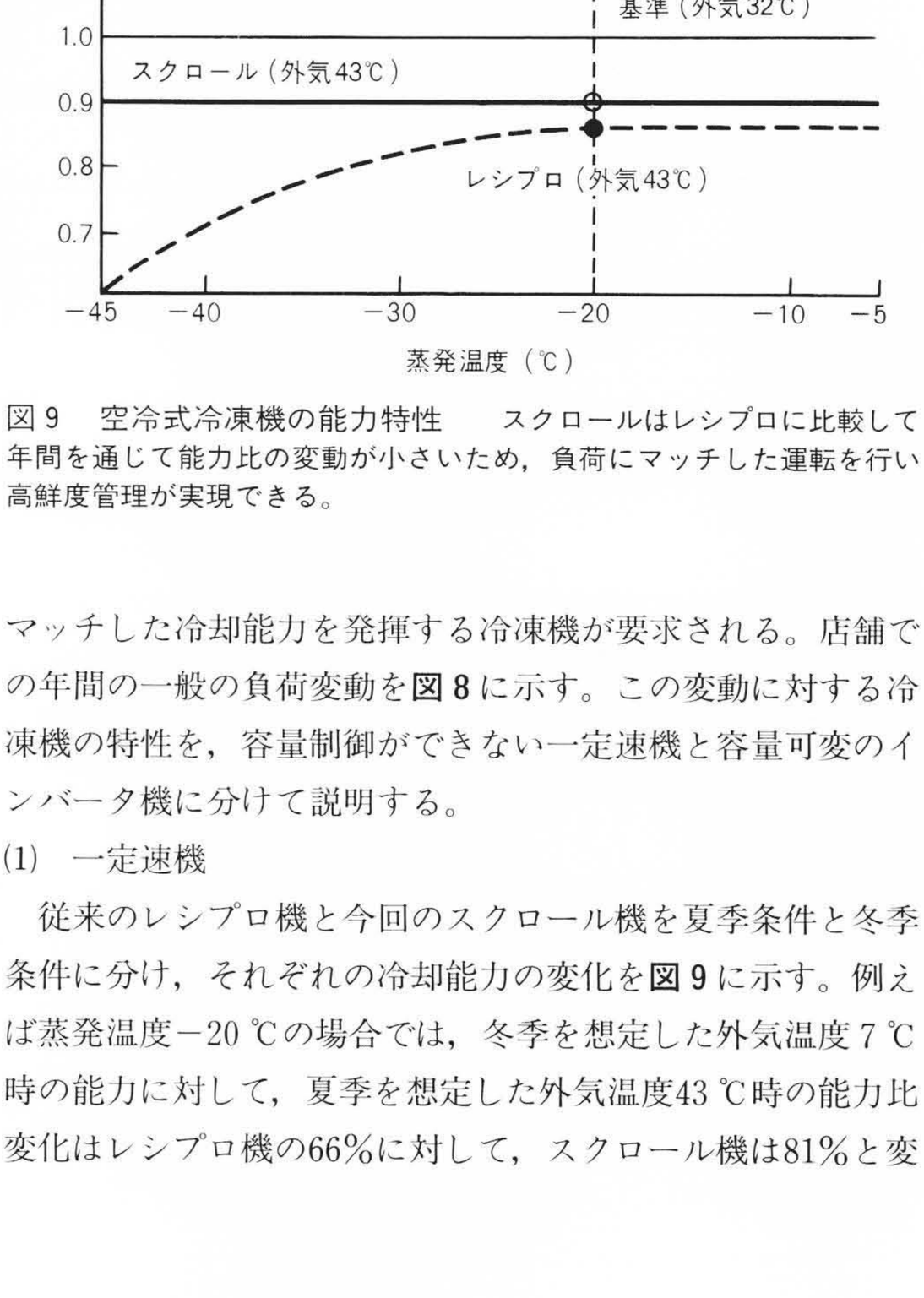


図9 空冷式冷凍機の能力特性 スクロールはレシプロに比較して年間を通じて能力比の変動が小さいため，負荷にマッチした運転を行い高鮮度管理が実現できる。

動幅が小さい。これは従来のレシプロ機では，夏季の冷却不足を防止するため大きな容量の冷凍機を選定するため，冬季には冷却過大となり運転停止頻度増大に伴う品温変化が大きいのに対して，スクロール機は能力変化が少なく運転停止頻度が少ないため品温変化を小さく高鮮度管理ができる。

(2) インバータ機

一定速機でレシプロ機よりもスクロール機が高鮮度管理ができるのは，夏季と冬季での負荷側の必要冷却能力変化と冷凍機側の能力変化の相反する度合いが減少したことによる。さらに，高鮮度管理を可能にするには負荷の変動と相まって冷凍機側の能力を可変することが必要である。この能力可変の方式として，トルク変動が少ないスクロール圧縮機の特性を生かしてインバータ冷凍機を開発した。

このインバータ機は，定格出力74 Hzに対して運転周波数範囲を20～80 Hzとし，能力比では27～108%とすることで先の**図8**に示した平均年間負荷変動率34.5～100%をカバーできるようにした。また，周波数ステップも2 Hzごと(能力比で2.7%)と小刻みにすることで温度変化幅を少なくして，高鮮度管理が可能となった。

容量制御のできない一定速機と，容量制御可能なインバータ機の省電力比を**図10**に示す。

一定速機の場合，必要能力に対して冷凍機の冷却能力が多くなると，冷凍サイクルのバランスから運転蒸発温度が低下し，EER(エネルギー消費効率)が悪い運転になる。これに対してインバータ機は，負荷の減少に伴い冷凍機側の能力も減少するため，運転蒸発温度が変化せず，むしろ冷却能力当たりの熱交換器能力が大きくなりEERが向上する。この差として約30%の省電力が図れる。

3.3 低騒音化

屋外に設置される冷凍機の騒音源としては，圧縮機と送風機があり，この合成された音が冷凍機の騒音となる。圧縮機は吸入弁，吐出し弁のないスクロール圧縮機を搭載し，送風機は低騒音ファンの採用とファンスピード制御を標準装備することで年間を通じた低騒音化を図った。

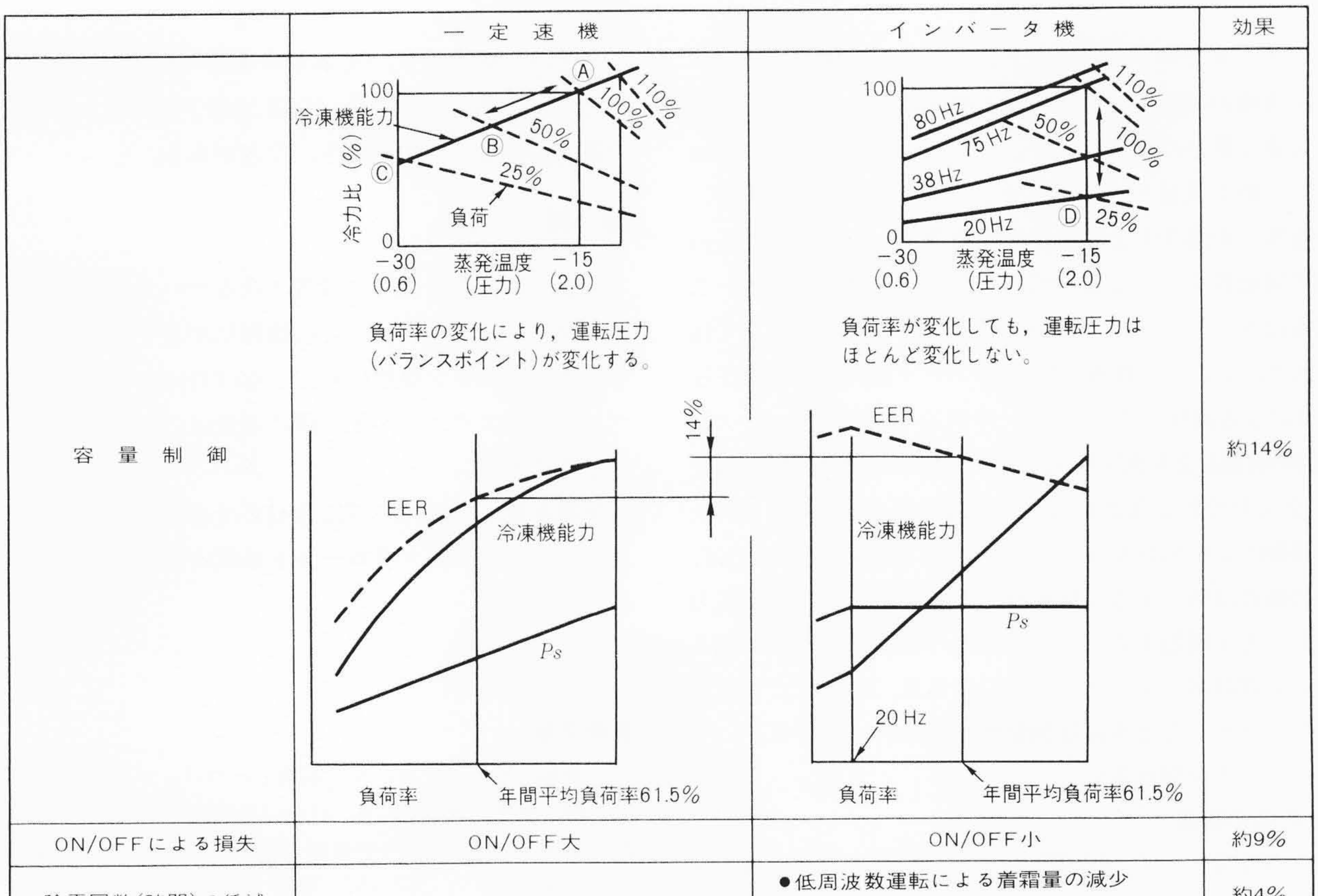
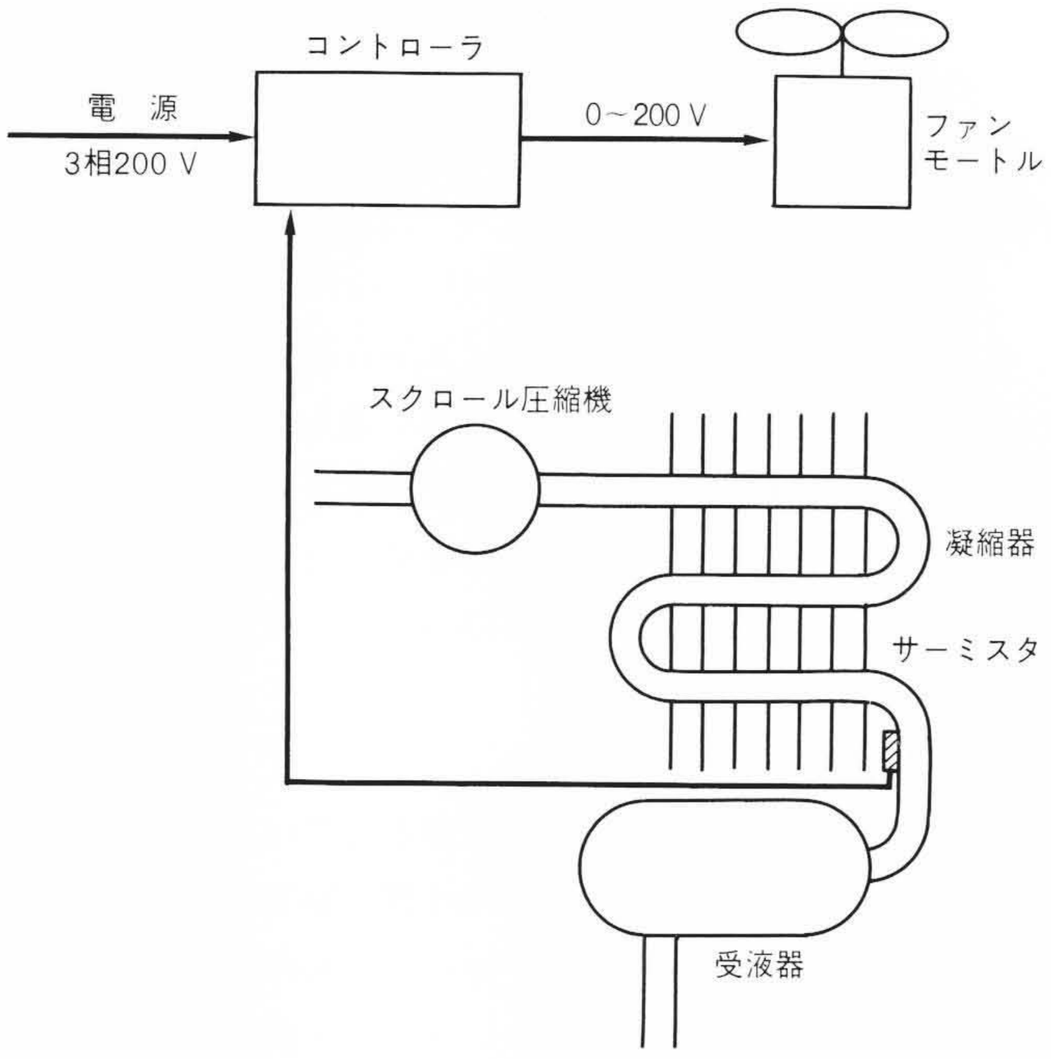
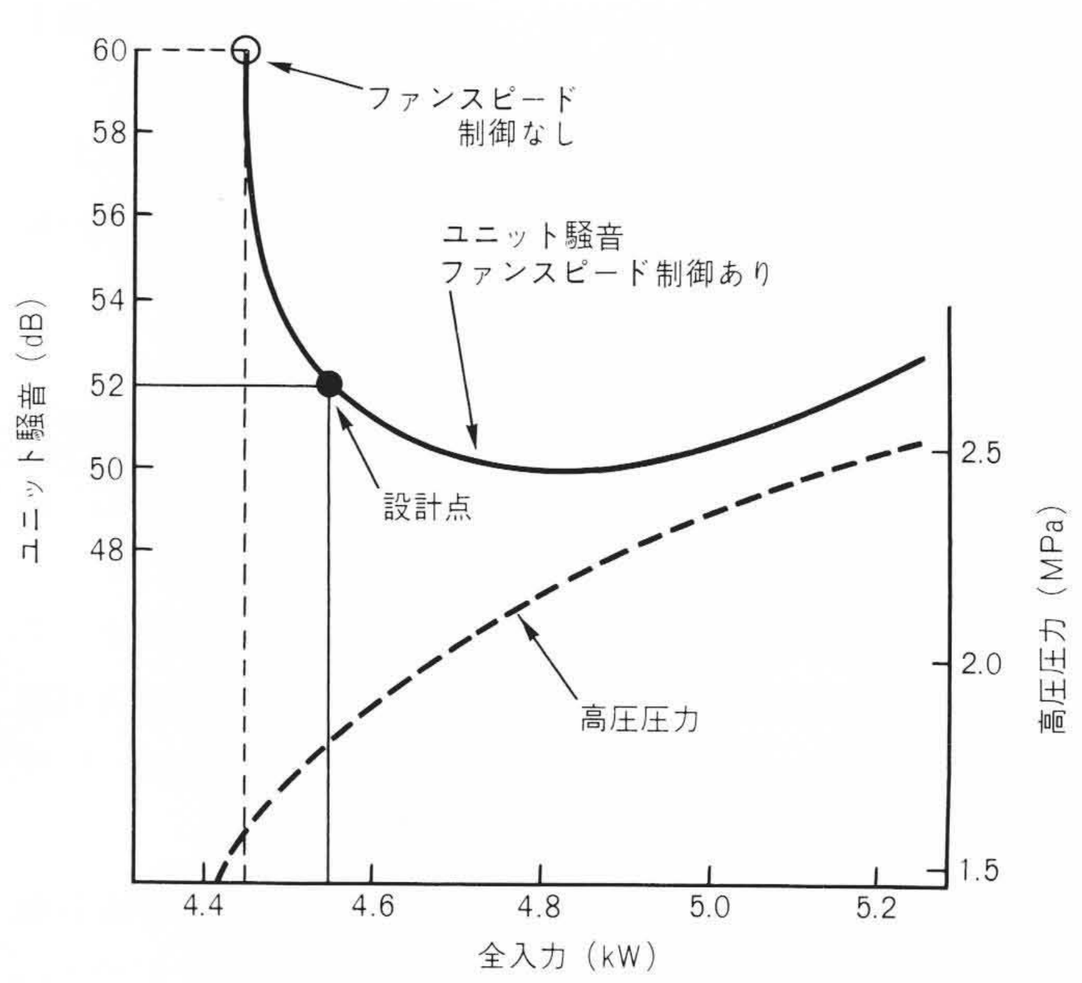


図10 一定速機とインバータ機の消費電力比較　　インバータ機は吸入圧力*Ps*を一定に維持するよう周波数制御することにより，省エネルギー運転が達成できる。



(a) ファンスピード制御方法



条件：フロン22，外気温度32℃，蒸発温度－15℃，60 Hz

(b) 騒音特性

図11 ファンスピード制御方式と騒音特性　　ファンスピードの設計ポイントは，低騒音と全入力を加味し決定した。

このファンスピード制御方式と，その効果を**図11**に示す。従来の冷凍機の凝縮器用送風機は，凝縮器としての風量が最も多く必要な夏季の条件で決定し，これで年間運転していた。これに対し最大風量としては従来と同じ条件で決定するが，夏季の夜間，中間季および冬季には必要最小限の風量とし，送風機の回転数をできる限り低くして低騒音化を図った。この回転数はサイリスタによる位相制御で行い，信号としてはサーミスタによる。冷媒液温度(インバータ機の場合は高圧圧力センサによる高圧圧力)とした。外気32 ℃では，ファンスピード制御の有無により高圧圧力でゲージ圧1.96 MPa{約 2 kgf/cm²}，全入力で約３％差があるが，騒音値としてはファンスピード制御により 8 dB低減できる。さらに風量を低下すれば，送風機の騒音は低下するが圧縮機の騒音が増加し，高圧圧力および全入力が増加する。このように，総合的に効果の出るポイントを設計ポイントとした。この結果，冬季などさらに外気温度が下がったときには回転数が自動的に下がり，いっそうの低騒音化が図れる。

3.4 その他の特長

その他の特長として，(1) 省工事のため屋外に設置される冷凍機と屋内のコントローラの連絡線を伝送による二心化，(2) インバータ部故障時に自動的に商用電源運転に切り替わるバックアップ機能付き，(3) 異常発生時の解析をスピーディに行うための個別コード表示，(4) H.A端子利用による電話回線での運転状況モニタ機能付き，などがある。

4 結　　言

現在，冷凍機は屋外に設置されるケースが多くなり，建屋とのマッチしたデザインと低騒音化がますます要求されてくる。また，フロン規制に対応しなければならない。本稿で述べた冷凍用スクロール圧縮機の開発はこれらの問題を解決するものである。

今後とも，市場ニーズに合った冷凍機の開発に努めるとともに，この冷凍用スクロール圧縮機の適用拡大を図る考えである。

参考文献

1) 荒井，外：スクロール圧縮機とそのパッケージ形空調機への適用，日立評論，**65**，6，415～420(昭58-6)
2) 小国，外：インバータ駆動容量制限パッケージ形空調機，日立評論，**67**，7，567～572(昭60-7)
3) 荒田，外：密閉形スクロール，冷凍，**62**，720，1116～1121(昭62-10)