

# 密 閉 形 タ ー ボ 冷 凍 機

Hermetic Centrifugal Refrigerator

仲 田 武 雄\* 立 花 慶 二\*  
Takeo Nakada Keiji Tachibana

## 内 容 梗 概

日立密閉形 (HCR 形) ターボ冷凍機は、主として、ビルの空気調和用を目的に、50~1,250 RT の範囲を、合理的に容量分割し、高性能、低騒音、低コストをポイントとして開発された。

本稿は、密閉形ターボ冷凍機の中で、中小容量範囲 (50~250 RT) に属する機種の種類、性能を述べ、さらに電動機、操作盤、起動電流などについて説明している。

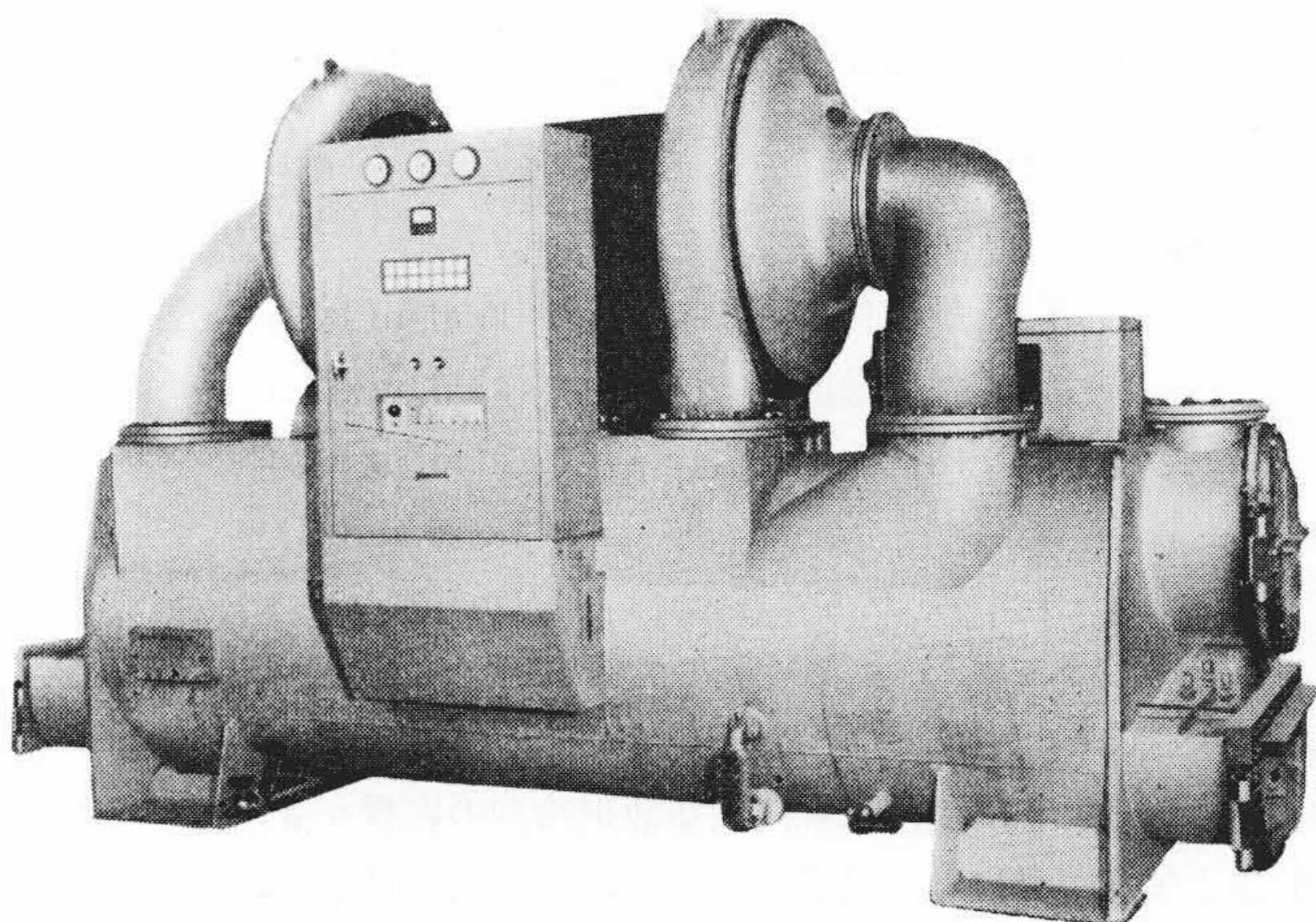
## 1. 緒 言

ターボ冷凍機は、戦後ビルディング、劇場などの空気調和用として、また、化学、紡織、食品などの空調およびプロセス用として大幅に使用されている。さきに、日立製作所では、増速歯車を内蔵した RF 形開放ターボ冷凍機を開発したが、これに引続き、最近、電動機を圧縮機に内蔵した HCR 形密閉ターボ冷凍機のシリーズを完成した。

近年、ターボ冷凍機は、特に、(1)取扱い、保守の容易さ、(2)運転の静粛さ、(3)据付面積の縮小、が望まれているが、HCR 形ターボ冷凍機はこれらの要求を満たすために開発されたもので、特に中小容量範囲では、蒸発器と凝縮器とを一体化したユニットクーラを採用し、その上に圧縮機を取り付け、全体として非常にコンパクトな構造になっている。

HCR 形とは、Hermetic Centrifugal Refrigerator の頭字を取って名付けられた形式名である。

以下、本稿では、HCR 形シリーズのうち、50~250 RT の中小容量範囲について説明する。第1図は、200 RT HCR 形ターボ冷凍機の外観写真である。



第1図 200 RT 密閉形ターボ冷凍機

第1表 密閉形ターボ冷凍機仕様一覧表

| 形 式     | 容 量<br>(RT) | 冷 水          |              |               | 冷 却 水        |              |               | 電動機<br>定格出力<br>(kW) |
|---------|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------------|
|         |             | 入口温度<br>(°C) | 出口温度<br>(°C) | 水 量<br>(m³/h) | 入口温度<br>(°C) | 出口温度<br>(°C) | 水 量<br>(m³/h) |                     |
| HCR-1C  | 50          | 9            | 5            | 38            | 32           | 36.5         | 43            | 50                  |
| HCR-2C  | 63          |              |              | 48            |              |              | 55            | 60                  |
| HCR-3C  | 80          |              |              | 61            |              |              | 69            | 75                  |
| HCR-4C  | 100         |              |              | 76            |              |              | 86            | 95                  |
| HCR-11C | 125         | 10           | 5            | 76            | 32           | 37           | 96            | 120                 |
| HCR-12C | 160         |              |              | 96            |              |              | 121           | 150                 |
| HCR-13C | 200         |              |              | 121           |              |              | 152           | 190                 |
| HCR-14C | 250         |              |              | 152           |              |              | 190           | 235                 |
| HCR-15B | 315         |              |              | 190           |              |              | 242           | 300                 |
| HCR-16B | 400         |              |              | 242           |              |              | 303           | 375                 |
| HCR-17B | 500         |              |              | 303           |              |              | 381           | 450                 |
| HCR-18B | 630         |              |              | 381           |              |              | 484           | 560                 |
| HCR-19B | 800         |              |              | 484           |              |              | 605           | 750                 |
| HCR-20B | 1,000       |              |              | 605           |              |              | 756           | 900                 |
| HCR-21B | 1,250       |              |              | 756           |              |              | 960           | 1,120               |

注 形式名 HCR-1C, HCR-15B などの末尾記号 B, C はつぎのとおり。

B: 蒸発器と凝縮器は別体

C: 蒸発器と凝縮器は一体 (ユニットクーラ)

## 2. 基 本 計 画

### 2.1 設 計 計 画

密閉形ターボ冷凍機は、次のような特長を備えている。

- (1) 50~1,250 RT の全容量範囲を合理的に分割し、一貫した体系をもつ。
- (2) 圧縮機は高圧、低圧両段にベーンコントロールを設け、高効率で広範囲にわたり理想的な容量制御特性をもつ。
- (3) 小形軽量で、据付面積は小さい。とくに中小容量機は、ユニットクーラの採用および圧縮機をクーラに載せることにより、大幅に据付面積を縮小した。
- (4) 据付、保守、取扱いを容易にするため、圧縮機内に電動機を内蔵して完全密閉とし、軸封装置、カップリングをなくした。
- (5) 増速歯車なしの電動機直結駆動として振動をなくし低騒音とした。
- (6) 完全仕込生産を行なって、短納期、低コストにした。
- (7) 電動機には冷媒液による冷却を行なって小形化し、能率の向上を図った。

### 2.2 標 準 仕 様

#### 2.2.1 標 準 温 度 仕 様

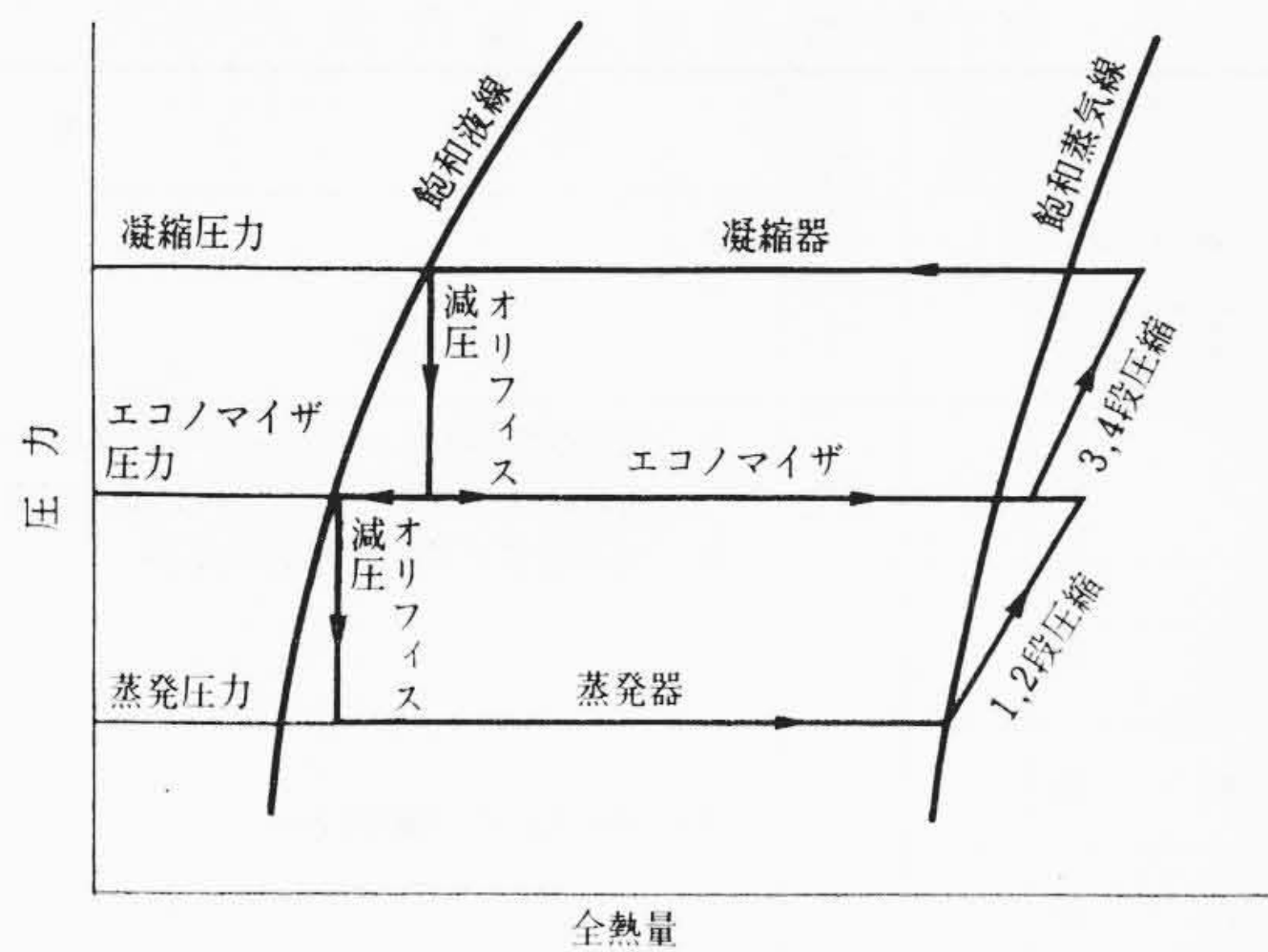
過去におけるターボ冷凍機の使用実績から、冷水については商

業用空調を主体に、冷水出口温度は5°C、冷却水についてはクーリングタワーの使用を前提として、冷却水入口温度32°Cを標準温度仕様とした。ただし標準温度仕様以外でも使用できるよう考慮してある。

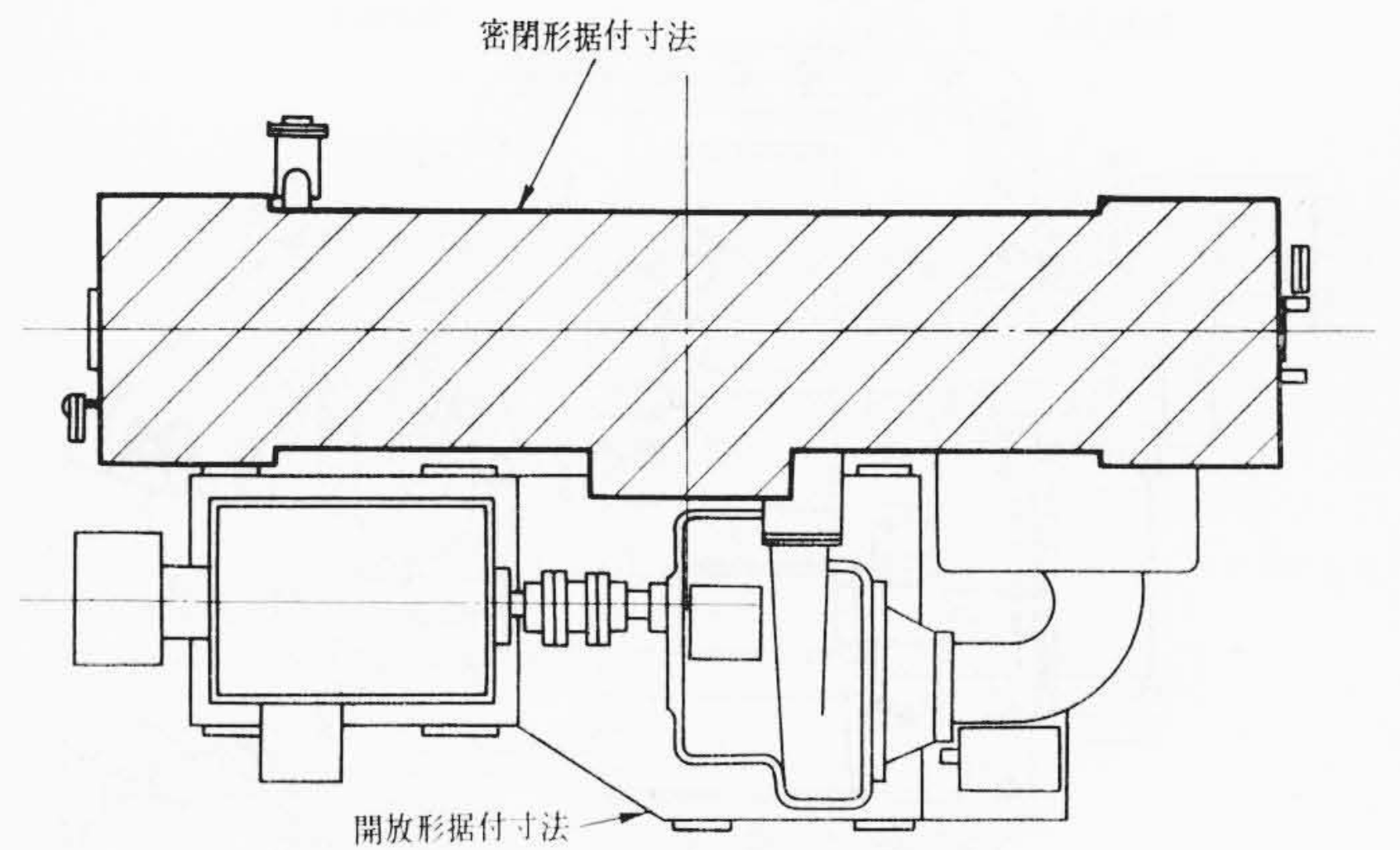
#### 2.2.2 容 量 の 分 割

従来の容量分割は、等差級数的に行なわれており、容量比が小容量で大きく、大容量で小さいような不合理があったので、50~1,250 RT の範囲を、工業標準数 R10 の等比級数で分割し、各機種間の容量を25%アップの等比で統一することにした。このよう

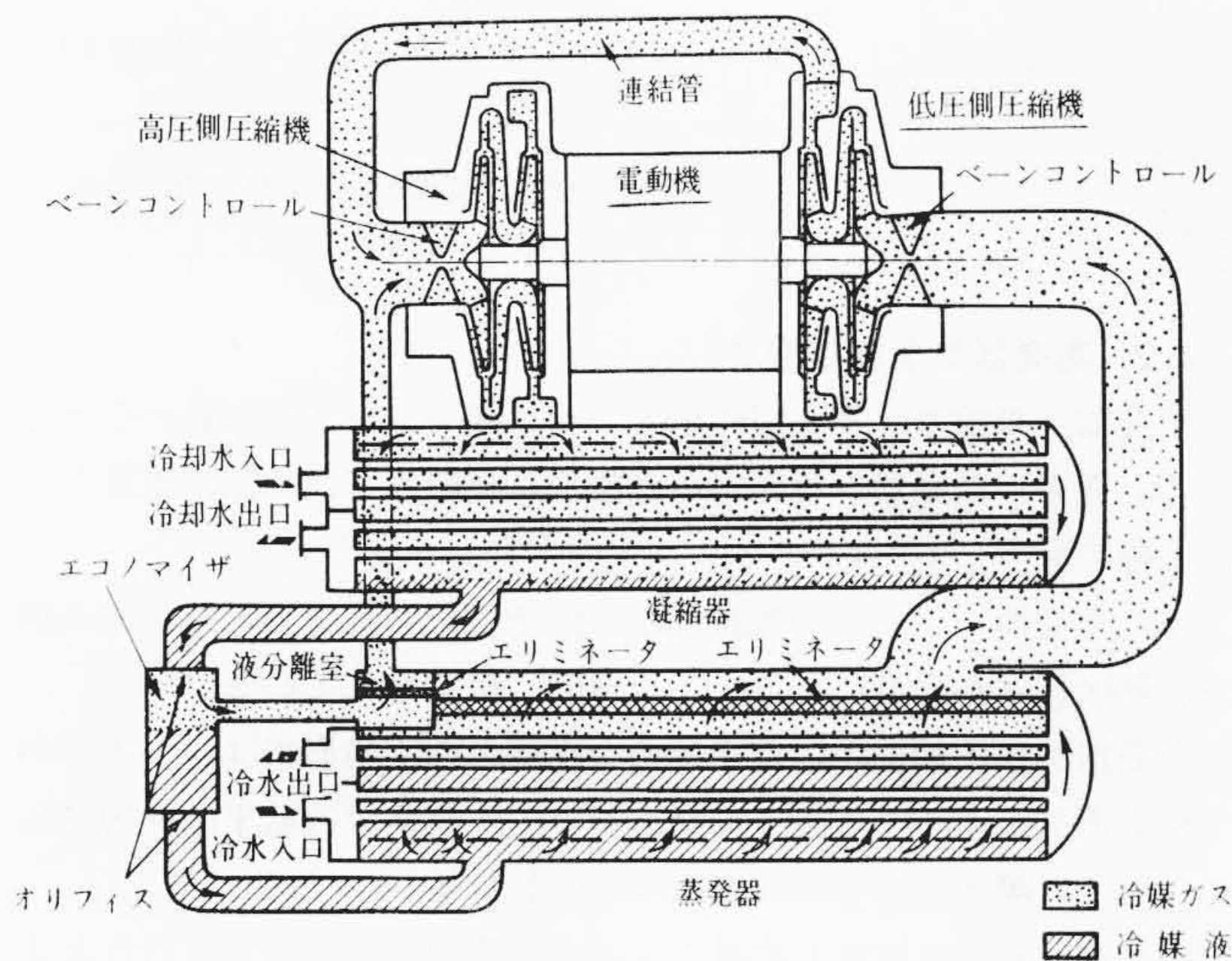
\* 日立製作所川崎工場



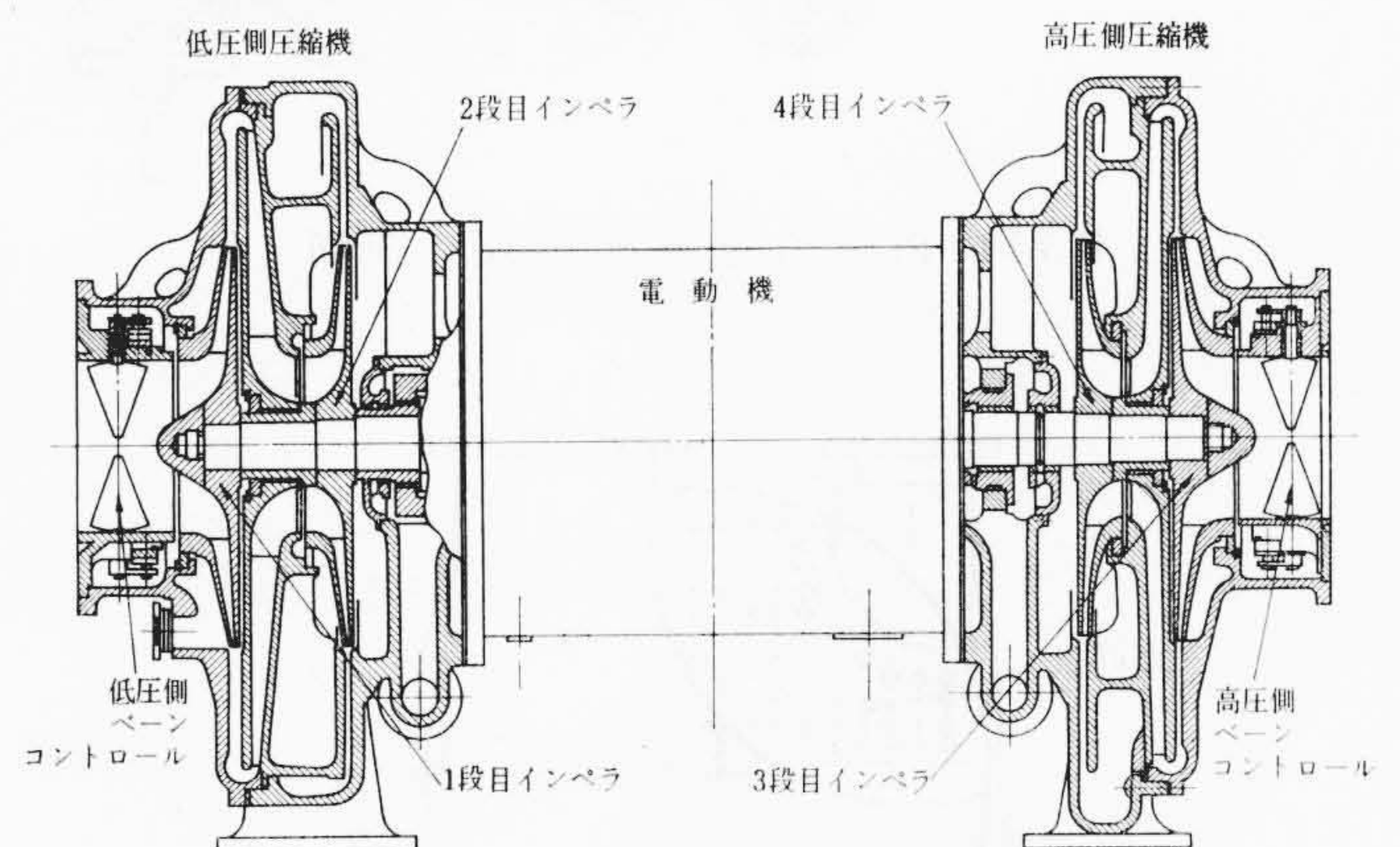
第2図 エコノマイザ付き4段圧縮冷凍サイクル



第5図 開放形と密閉形の掘付面積の比較



第3図 冷凍サイクル説明図

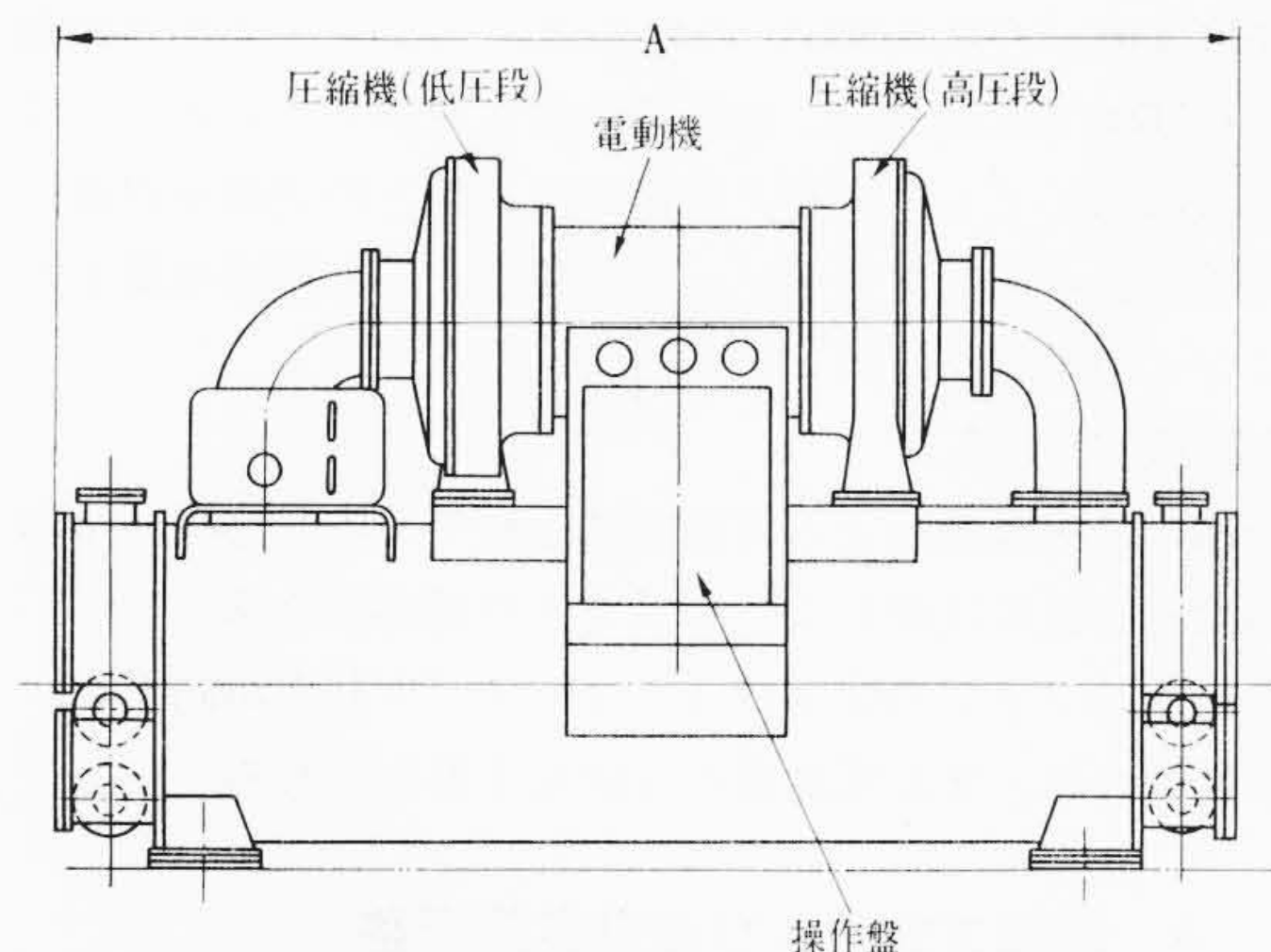


第6図 密閉形圧縮機断面図

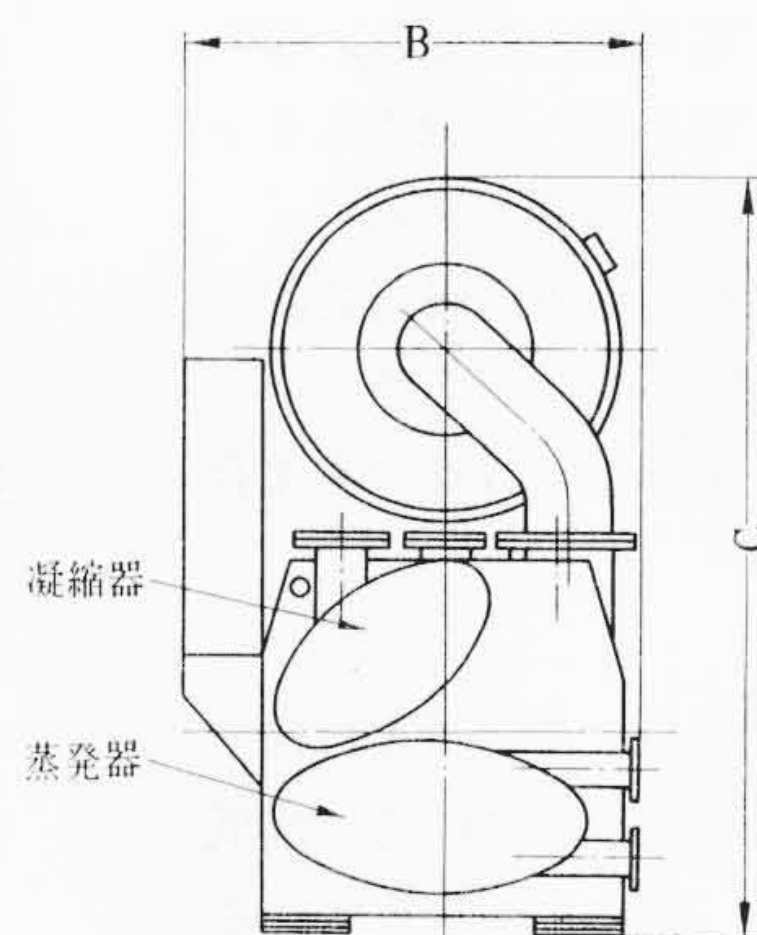
に等比で分割，統一することにより各機種を選択が合理的に行なわれるようになった。

### 2.2.3 機器仕様

標準仕様は第1表に示すとおりである。



| 形式      | 寸法 | A (mm) | B (mm) | C (mm) |
|---------|----|--------|--------|--------|
| HCR-1C  |    | 3,350  | 1,350  | 2,300  |
| HCR-2C  |    | 3,350  | 1,350  | 2,300  |
| HCR-3C  |    | 3,400  | 1,400  | 2,360  |
| HCR-4C  |    | 3,400  | 1,400  | 2,360  |
| HCR-11C |    | 4,110  | 1,400  | 2,390  |
| HCR-12C |    | 4,110  | 1,400  | 2,390  |
| HCR-13C |    | 4,210  | 1,450  | 2,550  |
| HCR-14C |    | 4,210  | 1,450  | 2,550  |



第4図 機器配置および寸法重量

## 3. 冷凍サイクル

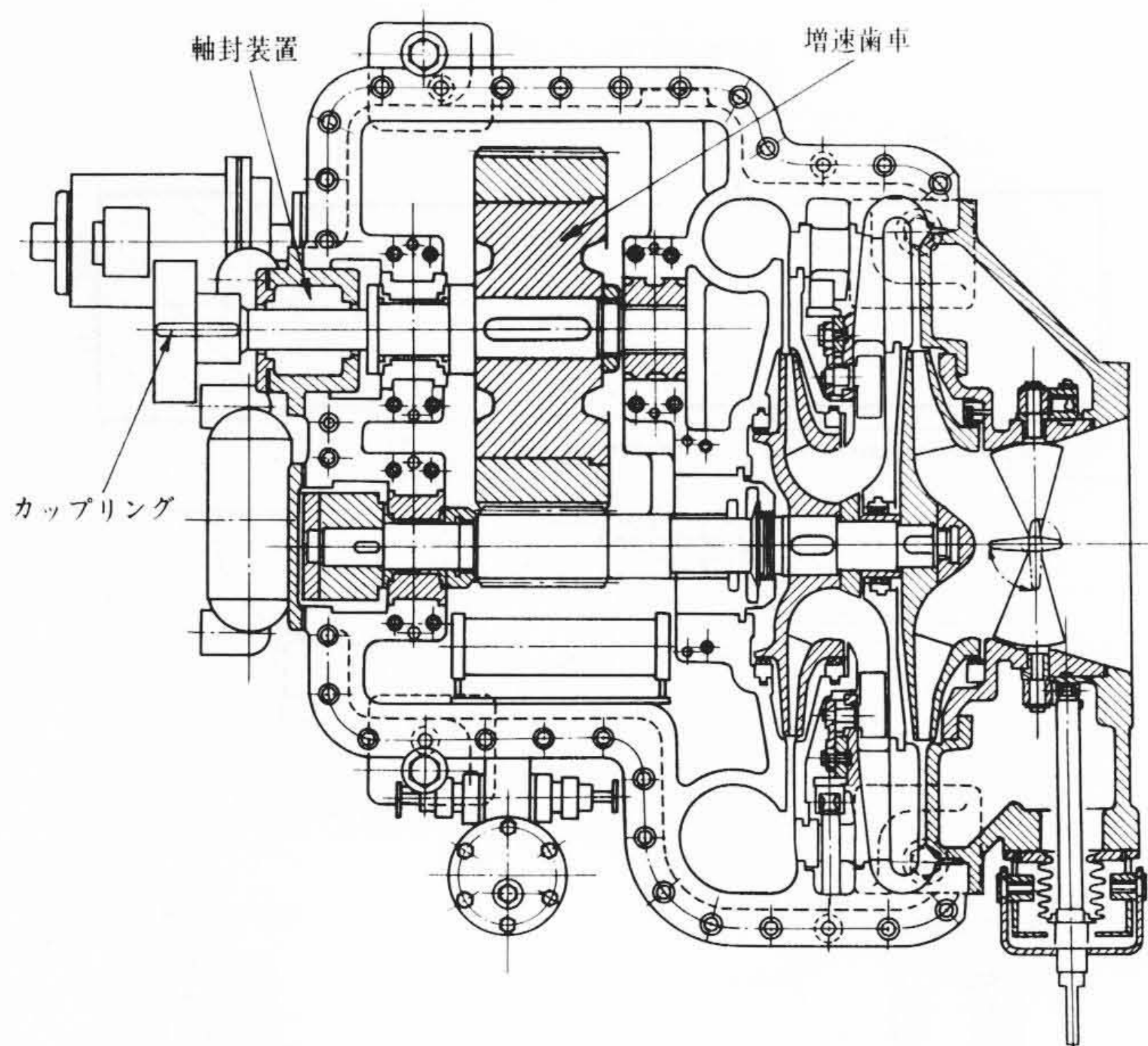
冷凍サイクルは，エコノマイザを使用した4段圧縮である。サイクルをモリエル線図上に表わすと，第2図に示すとおりである。第3図はサイクルの説明図である。

蒸発器において，冷媒液は，蒸発器の冷却管内を流れている冷水から熱を奪って気化する。気化した冷媒ガスは，エリミネータで液滴が除かれ，圧縮機に吸込まれて4段圧縮されて，温度および圧力が上昇し，凝縮器に送られる。冷媒ガスは，凝縮器において，冷却管内を流れている冷却水によって冷却され液化して，コンデンサオリフィスで減圧されエコノマイザにはいる。エコノマイザにおいて一部分気化したガスは，エリミネータを通り3段目インペラに吸い込まれ，残部の冷媒液は，さらにエコノマイザオリフィスによって減圧され，蒸発器に戻る。

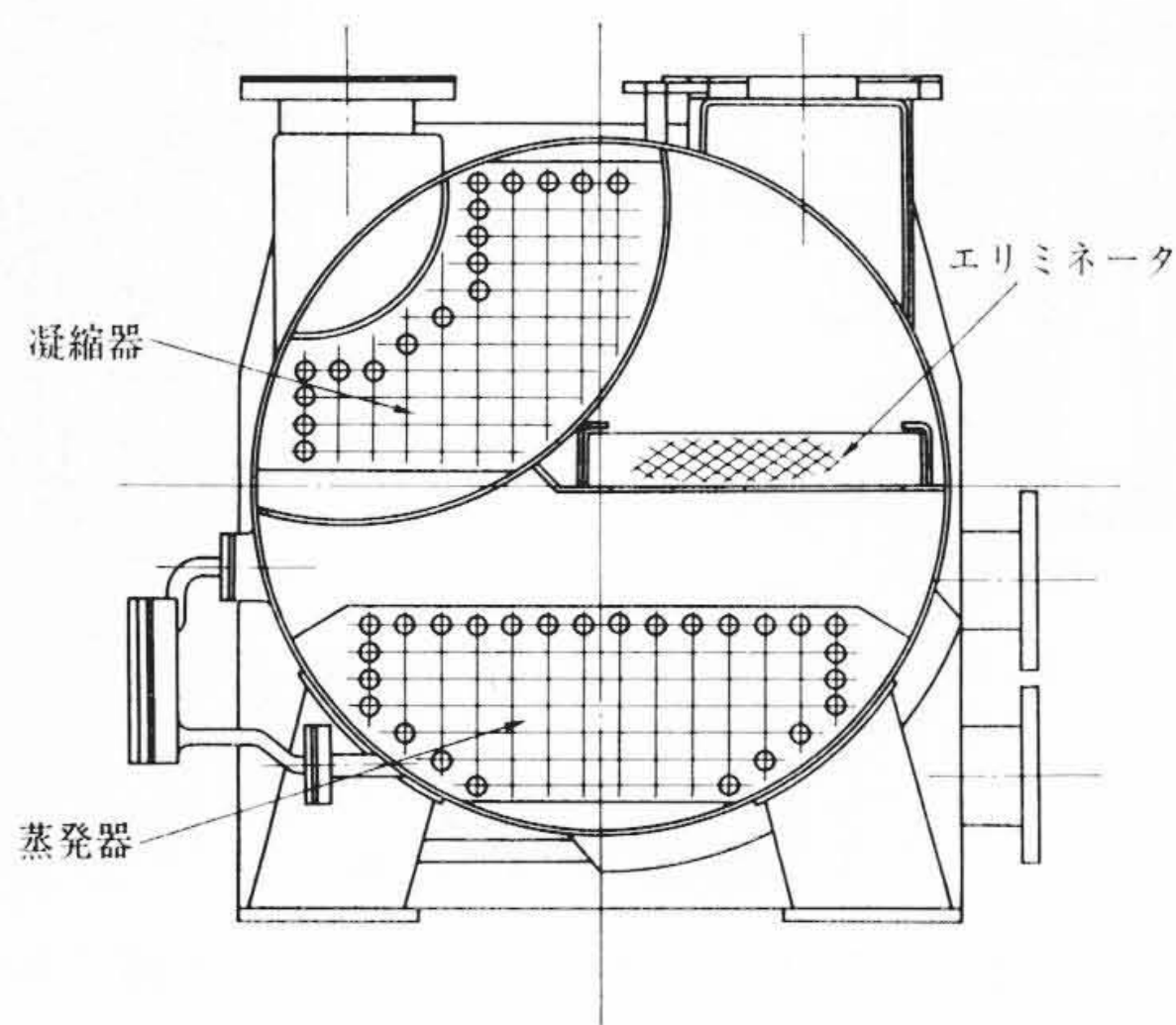
## 4. 構造

機器は，圧縮器，蒸発器，凝縮器，電動機および操作盤の主要5部分から構成されており，おのこの機器配置および主要寸法は，第4図に示すとおりである。

第5図は開放増速形と密閉形の掘付面積を160 RTについて比較したもの



第7図 開放増速形圧縮機断面図



第8図 蒸発器および凝縮器断面図

で、据付面積が約1/2に縮小されている。

以下各機器の主たる特長を述べる。

#### 4.1 圧縮機

圧縮機は、第6図に示すとおり、中央部に電動機を内蔵し、左右に低圧側と高圧側の圧縮機部分を取り付け、電動機の両軸端にインペラを2枚ずつオーバーハングさせた4段遠心形圧縮機である。

第7図に示す開放増速形圧縮機に比較して増速歯車、軸封装置、カップリングなどがなくなり騒音が低く、保守が簡単である。

インペラは、流体力学的に理想的な形状とするため特殊アルミ合金の鋳造とした。

##### 4.1.1 ベーンコントロール

第6図に示すとおり、低圧側および高圧側のインペラ入口に、それぞれベーンコントロールを設け、容量を制御している。高低両側をベーンコントロールした本方式は、一般に用いられている低圧側のみのベーンコントロール方式に比較して高低両段の作動点を効率の高い点にとることができる。またより小容量まで安定した広範囲の容量制御ができる。

##### 4.1.2 軸受

軸受は、平軸受と推力軸受とを一体とした構造をもっている。

低圧側インペラと高圧側インペラとを背中合せの構造とし、推力の低減をはかり、推力軸受としてテーパランド形を採用している。

第2表 標準運転操作方式

| 項目           | 操作方式      |     | 備考                                                                                          |
|--------------|-----------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | 半自動       | 全自動 |                                                                                             |
| 主投入遮断方式      | 操作開閉器     | ○   |                                                                                             |
|              | 自動発停温度継電器 | ○   |                                                                                             |
| 人減電圧△起動器     | 手動        | ○   | 1. 6,000/6,600V は起動補償器, 400/440, 3,000/3,300V は人-△起動器を使用<br>2. 電源容量の豊富な場合は不要                |
|              | 自動        | ○   |                                                                                             |
| 電ボ動オンイルプ     | 手動        | ○   | AC200/220V 50/60 c/s                                                                        |
|              | 自動        | ○   |                                                                                             |
| 容量制御         | 手動        | ○   | 1. 容量制御はベーン式<br>2. 全自動式は起動完了後温度計と電流調整継電器の組み合わせにより過負荷しないように運転される<br>3. 全自動式は切換開閉器により手動操作もできる |
|              | 自動温度計     | ○   |                                                                                             |
|              | 電流調整継電器   | ○   |                                                                                             |
| 冷装抽ポン(気)媒回収置 | 手動        | ○   | 運転中吐出圧力が異常上昇の際自動停止する                                                                        |

#### 4.2 蒸発器および凝縮器

蒸発器、凝縮器は第8図に示すとおり同一シェル内に収められている。従来の蒸発器と凝縮器の分離形に比較して、寸法、重量ともに大幅に減少している。

また熱交換チューブの総長は、単位チューブ長さ当たりの熱負荷を、熱伝達率が最高になるよう合理的に決定されている。

蒸発器から圧縮機吸込口までの冷媒ガスの流路形状は、小形でかつ圧力損失が低くなるよう実物について比較検討の結果、採用されたもので、第1図でその外観がうかがわれる。

圧縮機から吐出された冷媒ガスが凝縮器内に均等に分布されるよう特殊ダクトを設け熱交換特性を向上している。

#### 4.3 電動機

##### 4.3.1 仕様

2極かご形誘導電動機を使用して寸法を標準化し、400/440, 3,000/3,300, 6,000/6,600V のいずれの電源に対しても互換性をもつように設計されている。ただしHCR-1Cは400/440V、他は3,000/3,300V を標準としている。

##### 4.3.2 起動方式

電圧が400/440, 3,000/3,300V の場合は、スター・デルタ起動器を、6,000/6,600V の場合は、起動補償器を使用している。いずれの起動方式においても、起動と定格電圧運転との切換を円滑にするため特殊設計の起動器を用い、切換時のピーク電流の低下と切換タイミングの短縮をはかっている。

##### 4.3.3 電動機の冷却

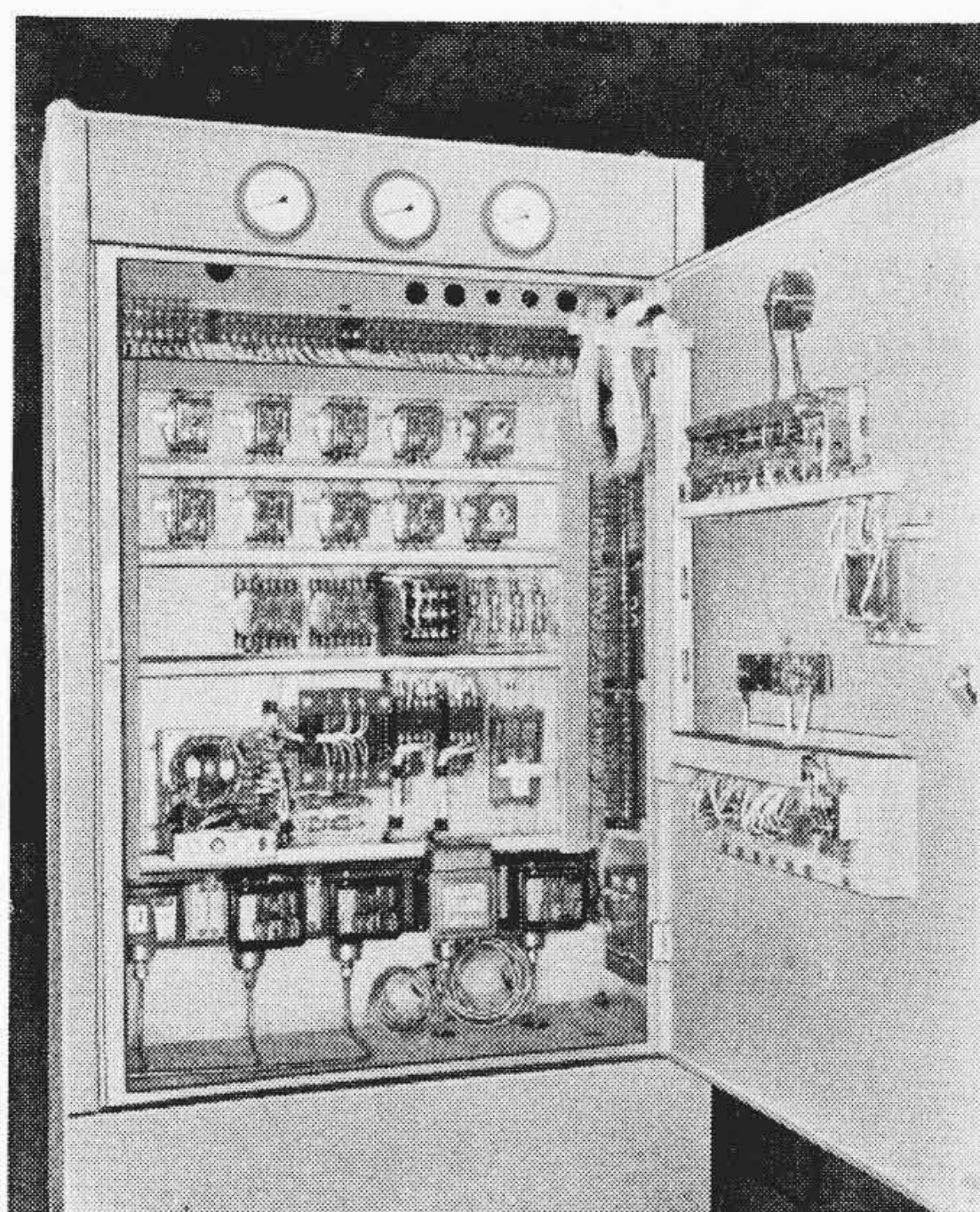
電動機の冷却は冷媒液による方法を採用している。冷媒液冷却は冷媒ガス冷却方式に比較して、冷媒ガスの循環用冷却ファンが不要となり、冷却ファンの仕事が無くなりモータ効率が向上し、消費動力が軽減され、また電動機の寸法も小形化される。

#### 5. 運転方式および自動容量調整

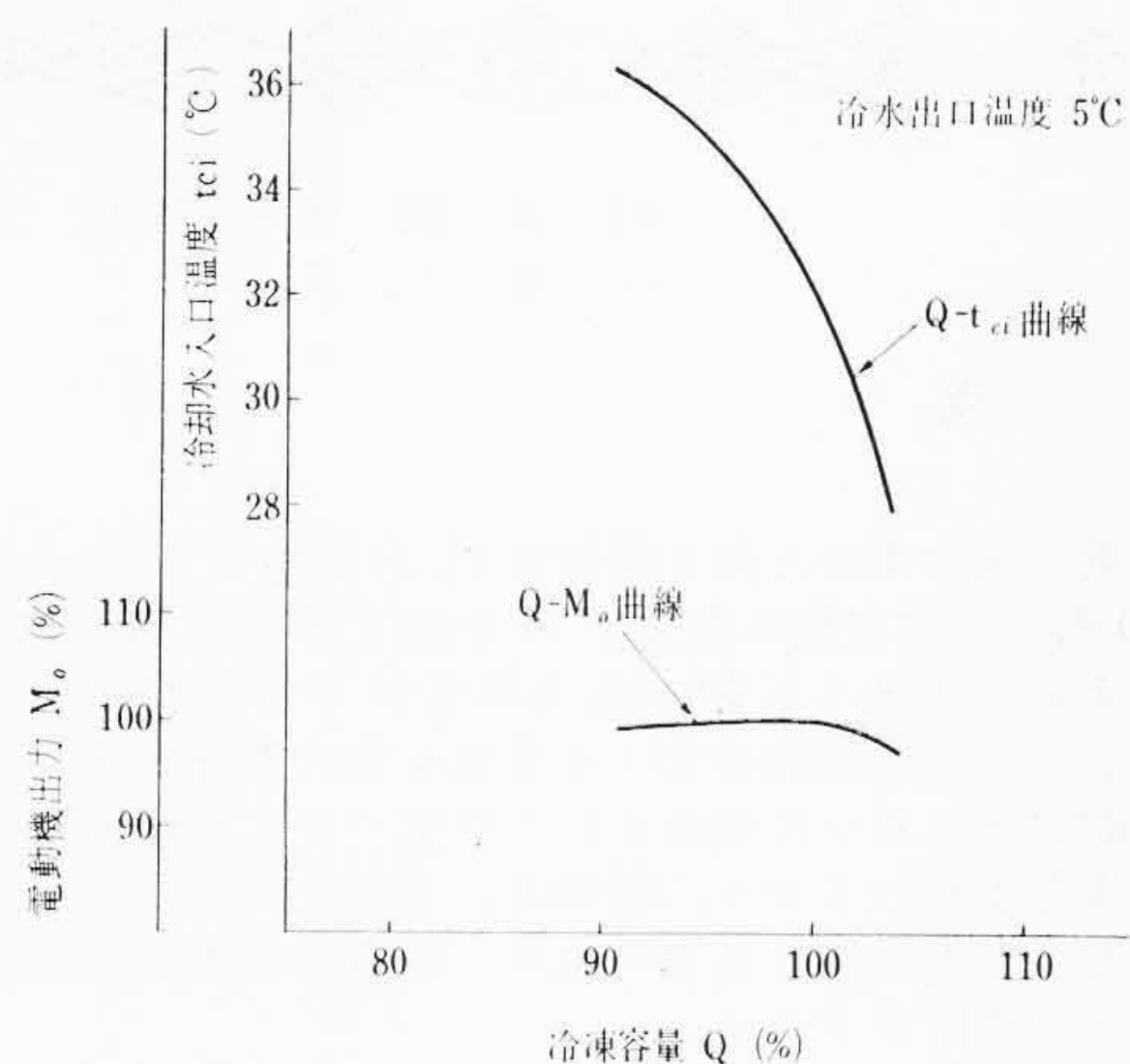
運転方式は、第2表に示すように半自動、全自動を標準としている。

全自動運転の場合は、冷凍容量と電動機負荷は自動調整され、負荷変動の大小にかかわらず完全無人運動が行なわれる。

自動容量調整装置は、半自動、全自動、いずれにも採用されており、負荷に応じて自動的にガイドベーンを開閉して、冷水出口温度の調整が行なわれる。急激な負荷変動に対しても、ガイドベーンの



第9図 操作盤内部構造



第10図 HCR-13C 性能曲線

ハンチングを防ぐように、スロットルレンジ、比例帯が設定されており、良好な制御性を示している。

操作盤は第9図に示すように前開きとし、盤内に保安リレーを設置して、調整、保守および点検が容易な構造になっている。

また、空気調和設備側の冷水、冷却水用ポンプ、クーリングタワー用ファンなどの故障に対しても、冷凍機を保護するように、インタロック端子を設けている。

## 6. 性 能

ターボ冷凍機の性能として考慮すべきおもな項目について、本シリーズ中の1機種(HCR-13, 冷凍容量 200 RT)をとりあげて以下に述べる。

### 6.1 冷凍性能と消費動力

冷水、冷却水の温度条件が変わった場合の冷凍能力の変化および、消費動力は第10図に示すとおりである。

### 6.2 容量制御特性

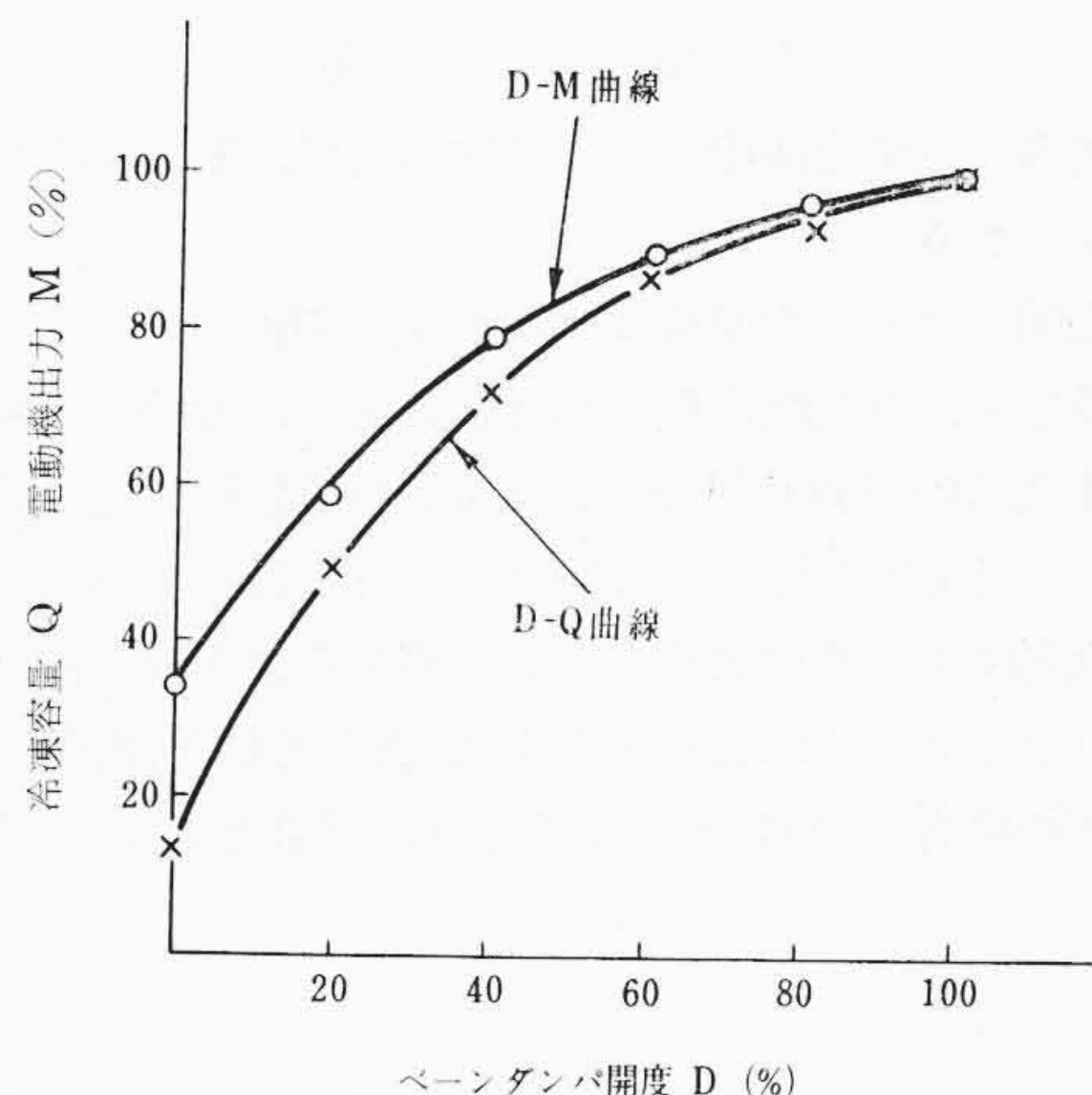
第11図は、ベーンダンパを閉じて容量制御した場合の特性を示したものである。約15%の容量まで円滑に制御でき、また消費動力も減少している。

### 6.3 騒 音

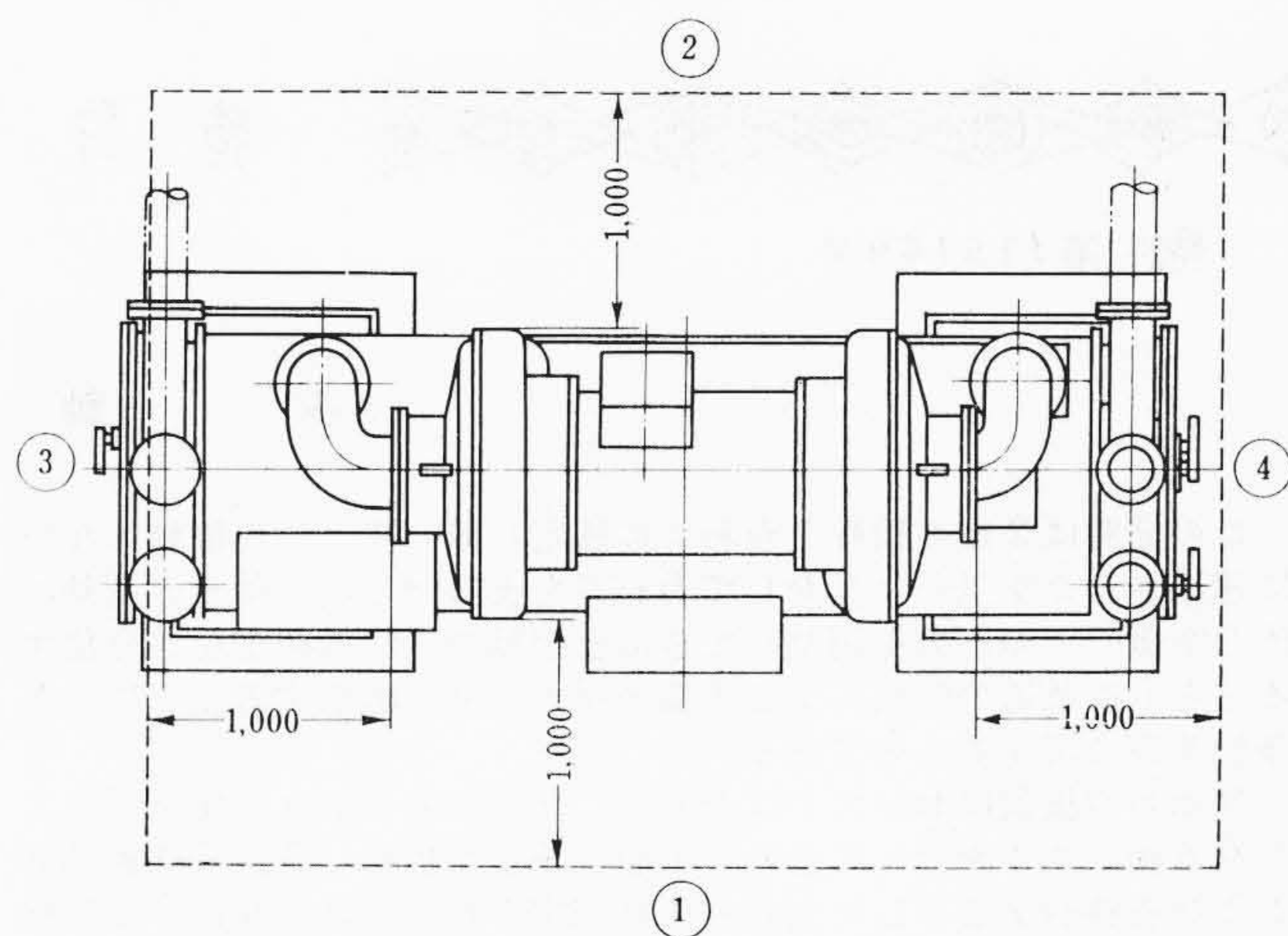
第12図は、騒音の測定結果を示したものである。従来の増速歯車内蔵形に比較して5~8ホーン低く、運転は非常に静粛である。

### 6.4 電 動 機

電動機効率は液冷却方式を採用することにより従来のガス冷却方

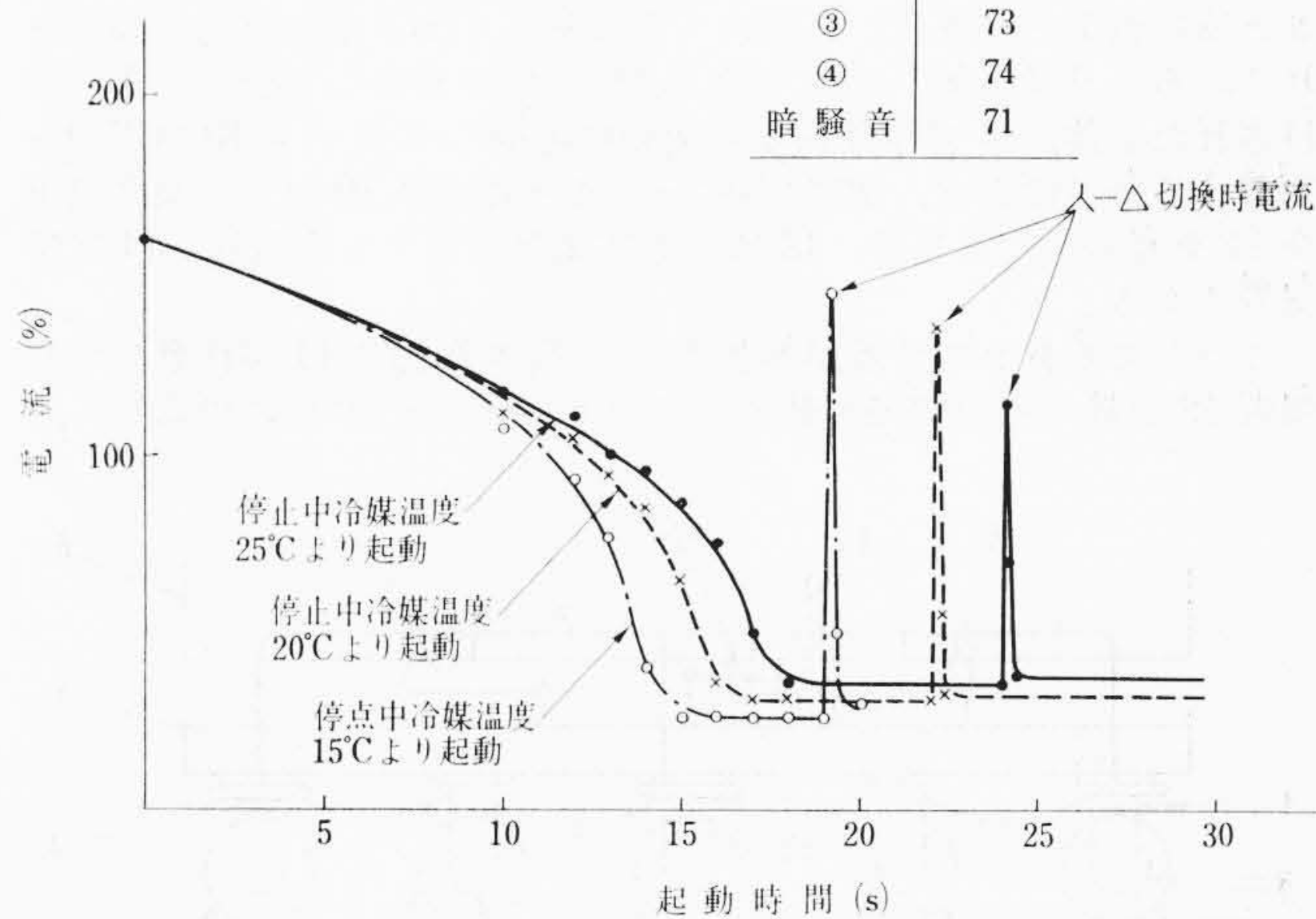


第11図 HCR-13C 容量制御特性



第12図 HCR-4C 騒音測定記録

| 測定位置 | 騒 音<br>(ホーン) |
|------|--------------|
| ①    | 77           |
| ②    | 78           |
| ③    | 73           |
| ④    | 74           |
| 暗騒音  | 71           |



第13図 HCR-13 起動電流測定記録

式に比較して数%向上している。

運転時の電動機の冷却は十分に行なわれ、低いコイル温度分布を示している。

### 6.5 起 動 電 流

冷凍機起動前の蒸発器の冷媒温度を種々変化させて起動電流および、起動時間の変化を試験した結果の一例を第13図に示す。冷媒温度の高い起動条件においても、電圧 3,000V にて、起動電流 160%、起動電流継続時間約 18 秒で、すぐれた起動特性を示している。

## 7. 結 言

以上密閉形ターボ冷凍機について述べたが、要点をまとめるとつぎのとおりである。

- (1) 密閉形ターボ冷凍機は、従来開放増速形ターボ冷凍機に比較して、電動機内蔵、増速装置なし、蒸発器と凝縮器の一体化(50~250 RT)などにより、小形軽量で据付面積が小さく(開放形に比べて約1/2)、保守取扱いが容易である。
- (2) 高効率で消費動力が小さい。高低圧段入口に設けたペーンコントロールにより、約15%まで容量を制御できる。
- (3) 運転騒音は約80ホンで非常に静粛であり、振動も、片振

幅5 $\mu$ 以下である。

- (4) 電動機は冷媒液冷却のため、ガス冷却形に比較して約3%高い効率が得られた。
- (5) 運転方式は全自動方式も備え、完全な無人運転ができる。操作盤は前開きで、取扱い保守が簡易である。

なお本稿では、250 RT以上の大容量密閉形ターボ冷凍機についてはふれなかったが、50 RTから1,250 RTにいたる全容量範囲にわたって、その機構、性能ともに好結果を得ている。なお密閉形シリーズの完成により従来の開放増速形(RF形)とともに各種の需要に応じられるようになった。



特許 第416169号

## 特 許 の 紹 介



村 田 師 男・永 弘 太 郎  
小 橋 正 人

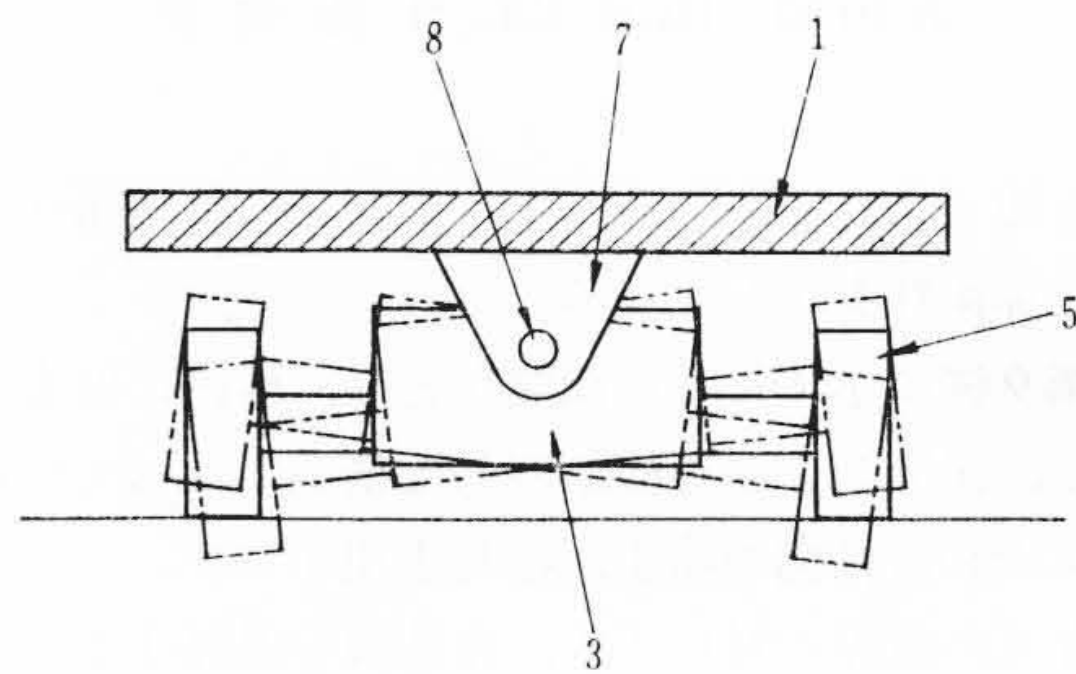
## 多 軸 車 両

この発明は2個の輪軸を台わくに固定し他のすべての輪軸は互いに連絡された空気バネを介して台わくを支持せしめ、荷重の変動に応じ空気バネの圧力を調整して常に全輪軸の受ける荷重を等分化するとともに軌道の凹凸による車輪の浮き上りを防止するようにした多軸車両に関するものである。

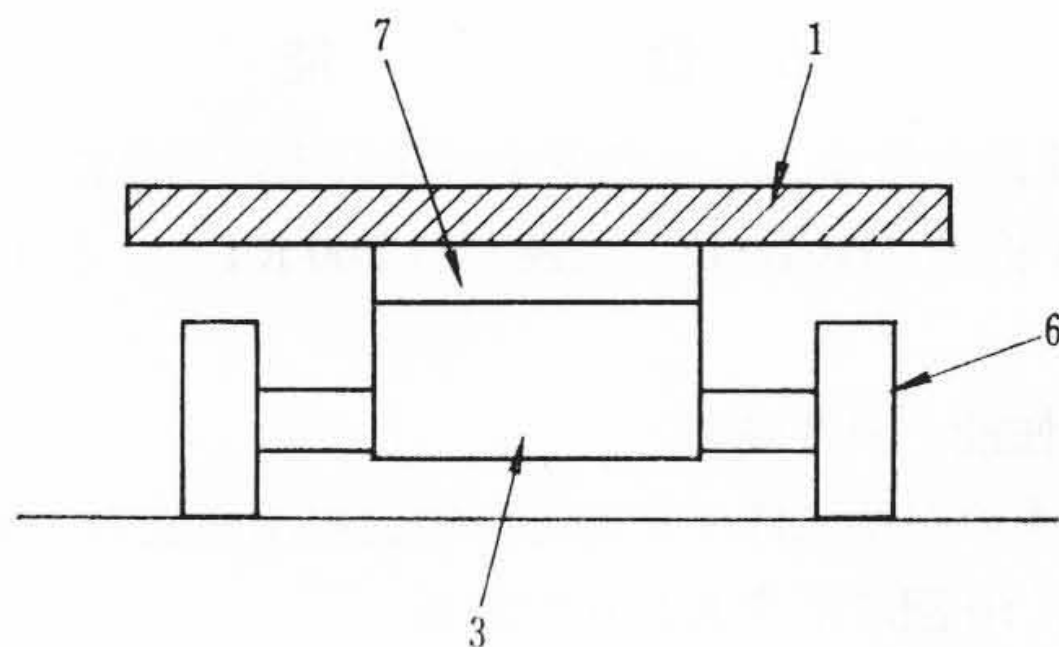
図示の実施例において1は台わく、2は軸箱3および空気バネよりなる軸バネ4を介して台わく1を支持した輪軸、5、6は軸箱3および支持台7を介して台わく1に固定された輪軸で車両に安定性を持たせかつ軌道の凹凸に対し車輪の浮き上りを防止するため、一方の輪軸5は第2図のごとく軸箱3と支持台7とをピン8で連結して台わく1に対して上下方向には固定され左右方向には自由に傾斜し得るようになっており、他方の輪軸6は第3図のごとくその軸箱3と支持台7とを固着して台わく1に対して上下左右方向に固定されている。9は空気バネよりなる枕バネ10を介して台わく1に支持された車体、11は車体荷重の変動に応動して枕バネ10内圧力を調整する高さ制御弁、12は各軸バネ4と枕バネ10および高さ制御弁11を連結した空気管、13は圧力空気源に通ずる空気管、14は排気管である。

こうして車体9の荷重が増加すると高さ制御弁11が作動して空気管12を経て圧力空気を軸バネ4および枕バネ10内に供給し、車

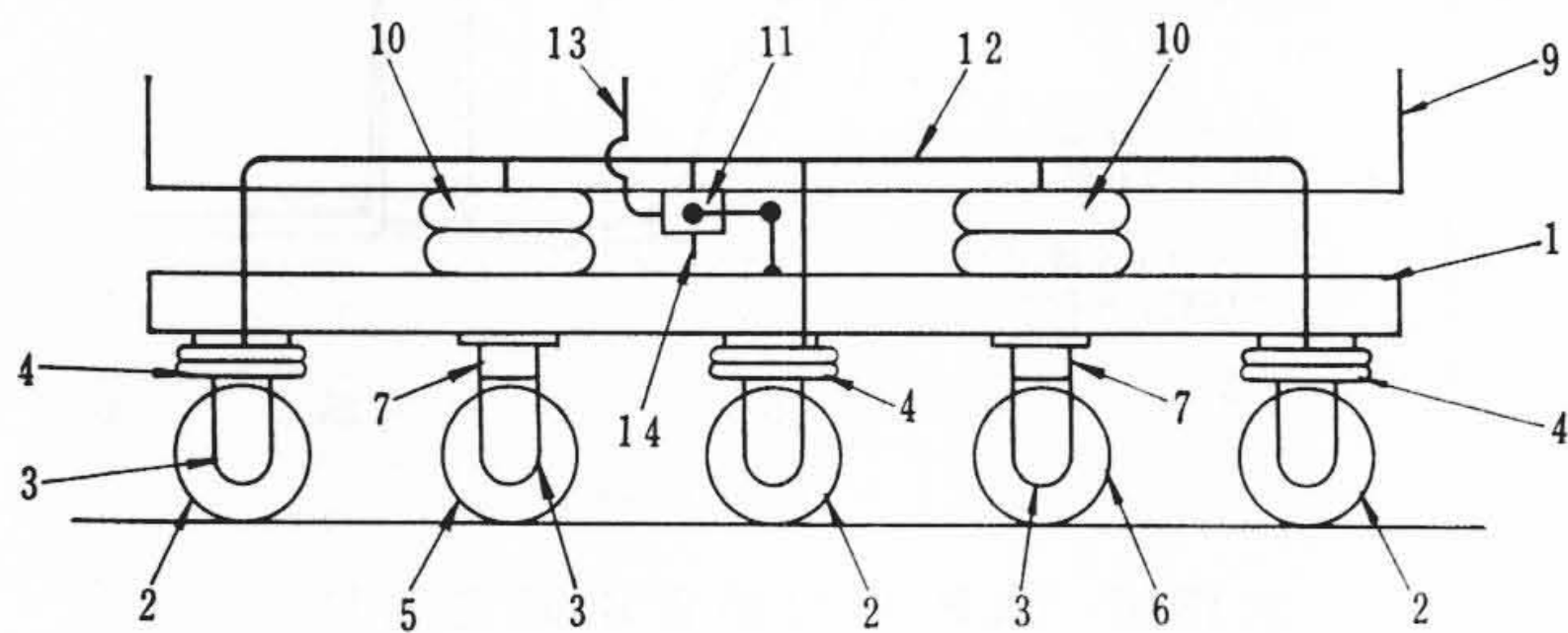
体9の荷重が減少すると高さ制御弁11が作動して軸バネ4および枕バネ10内の圧力空気は空気管12を経て排気管14より排出されて軸バネ4および枕バネ10内圧力は常に車体荷重の変動に応じて調整されるため、全輪軸の受ける荷重を常に等分化することができる。また輪軸2は互いに連絡された空気バネよりなる軸バネ4により台わく1を支持しており、輪軸5、6はそのいずれか一方が台わく1に対して左右方向に自由に傾斜し得るため軌道の凹凸による車輪の浮き上りは防止される。



第2図



第3図



第1図