

冷凍機用圧縮機の油上り防止装置について

Lubricant Insufficiency Preventive Device in the Compressor for Refrigerator

二 渡 肇* 久 野 裕 章*
Hajime Futawatari Hiroaki Kuno

内 容 梗 概

冷凍機用圧縮機は起動する際に、クランク室内の圧力が急激に低下するため潤滑油中の冷媒が沸騰を起し、いわゆるフォーミング現象を生ずる。フォーミングを起こした油は吸入ガスとともに多量にシリンダ内に吸入され、ピストンにより圧縮機外へ吐出される。その結果圧縮機のクランク室内の潤滑油は不足し、メタル焼損、オイルハンマによるバルブ破損事故などを起こす。このようにフォーミング現象による油上りは冷媒 R-12 および R-22 を用いる冷凍機の宿命的欠点とされてきた。

本稿はその解決策の一つとして圧縮機のクランク軸と一体となって回転するランナを設け、その油泡(ほう)破壊作用および遠心分離作用により油上りを防止する新しい油上り防止装置について報告したものである。

1. 緒 言

油に溶解しやすい冷媒、特に R-12 や R-22 などのフッ素系冷媒を使用する冷凍機は、圧縮機が起動すると、その直後、圧縮機内の冷媒と溶け合った潤滑油があわだちを起す。この現象はフォーミングと呼ばれ、フッ素系冷媒を使用する限り、程度の差こそあれ、必ず起こる現象である。

あわだちを起こした潤滑油は、冷媒ガスと一緒に圧縮機シリンダ内に吸入されやすく、フォーミングが激しい時には、シリンダ内は一度に多量の潤滑油で充満される。その結果、バルブ機構はリキッドハンマによる大きな衝撃力を受け、ときには破損されることもある。一方、こうして多量の潤滑油が一度に圧縮機外へ吐出されるので、圧縮機の内部では潤滑油が不足し、メタルなどのしゅう動部分の潤滑に悪影響を与え、ときには焼きつき事故を起こすことさえある。

このようなフォーミングに伴う油上りによって起こる弊害は、圧縮機が低温にさらされる冬期において最も大きく、ヒートポンプ式空気調和機や、用途の広い汎用冷凍機では非常に重要な問題である。したがって、各社ともこの問題の対策には多大の苦心を払い、いろいろな工夫がなされてきた。しかし従来考案された油上り防止方法はいずれも一長一短があり、満足できるものではなかった。

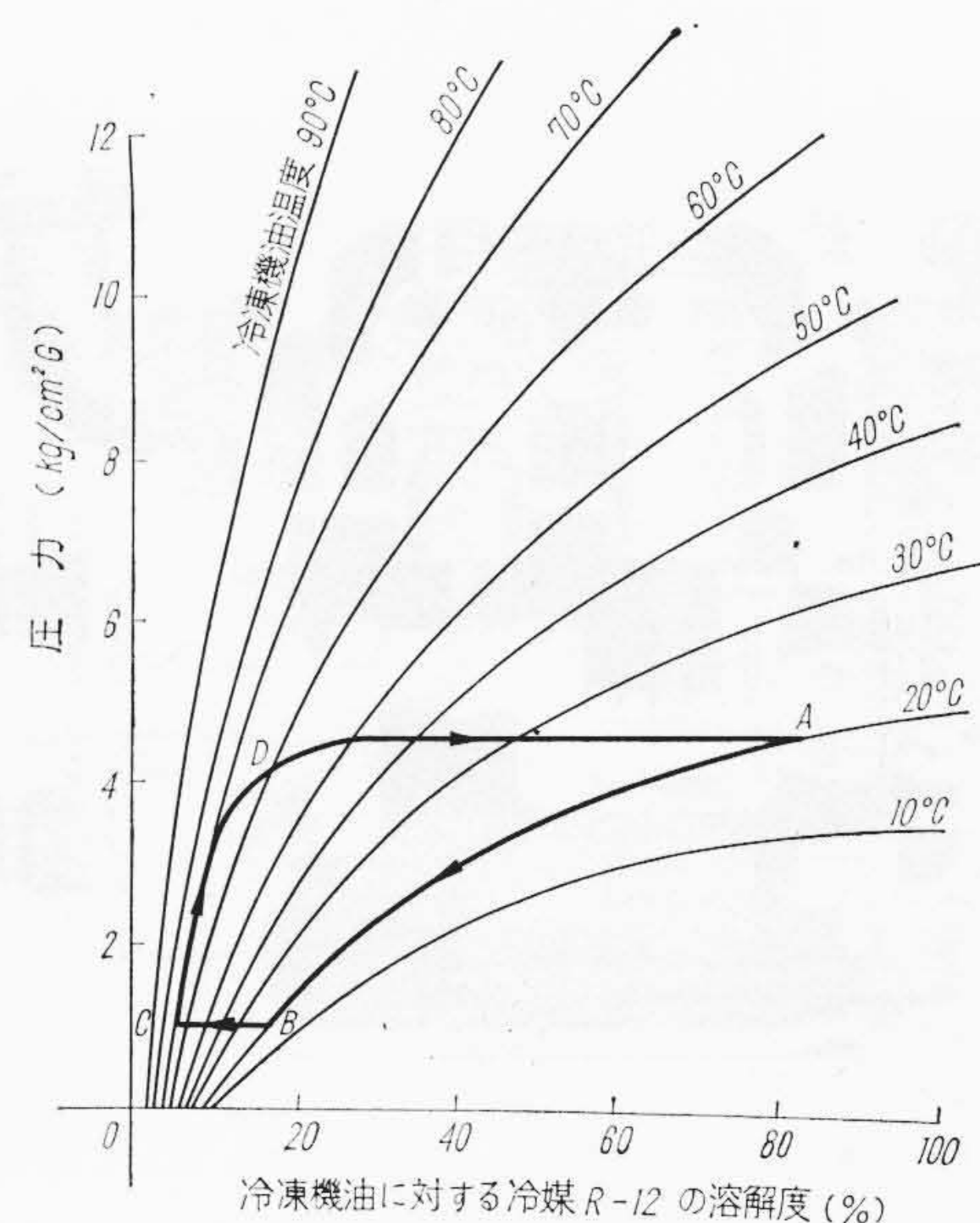
筆者らが試作研究の結果完成した新しい油上り防止装置は、圧縮機のクランク軸と一体となって回転するランナの油泡破壊作用、および遠心分離作用によって、油と冷媒とを確実に分離する方式である。

日立 75 mm HMC 冷凍機には、この油上り防止装置がすでに実用化され、その特長を発揮している。以下、本文で新しい油上り防止装置の詳細について紹介する。

2. 冷凍機用圧縮機における油上り防止装置の必要性

2.1 フォーミング現象

圧縮機のクランク室内において、潤滑油と冷媒は、潤滑油温度と冷媒圧力により決まる一定溶解度で溶け合う性質を持っている。第 1 図は冷媒 R-12 と潤滑油の溶解度が冷媒圧力によって、どのように変化するかを示したものである。図中に太線で記入したサイクル曲線 ABCDA は、長時間停止していた圧縮機が起動してから、停止する間に起こる冷媒と潤滑油の溶解度変化の一例を示したものである。運転開始点 A から B に至るまでの変化は短時間(圧縮機の容量と用途により異なるが、約 1 分以内)に起こり、B 点から C 点まで



第 1 図 冷凍機油に対する冷媒 R-12 の溶解度特性

の変化は約 1 時間くらいで行なわれる。運転停止後、C 点から D 点までの変化は数分間に起こり、D 点から A 点までの変化には数時間を要する。

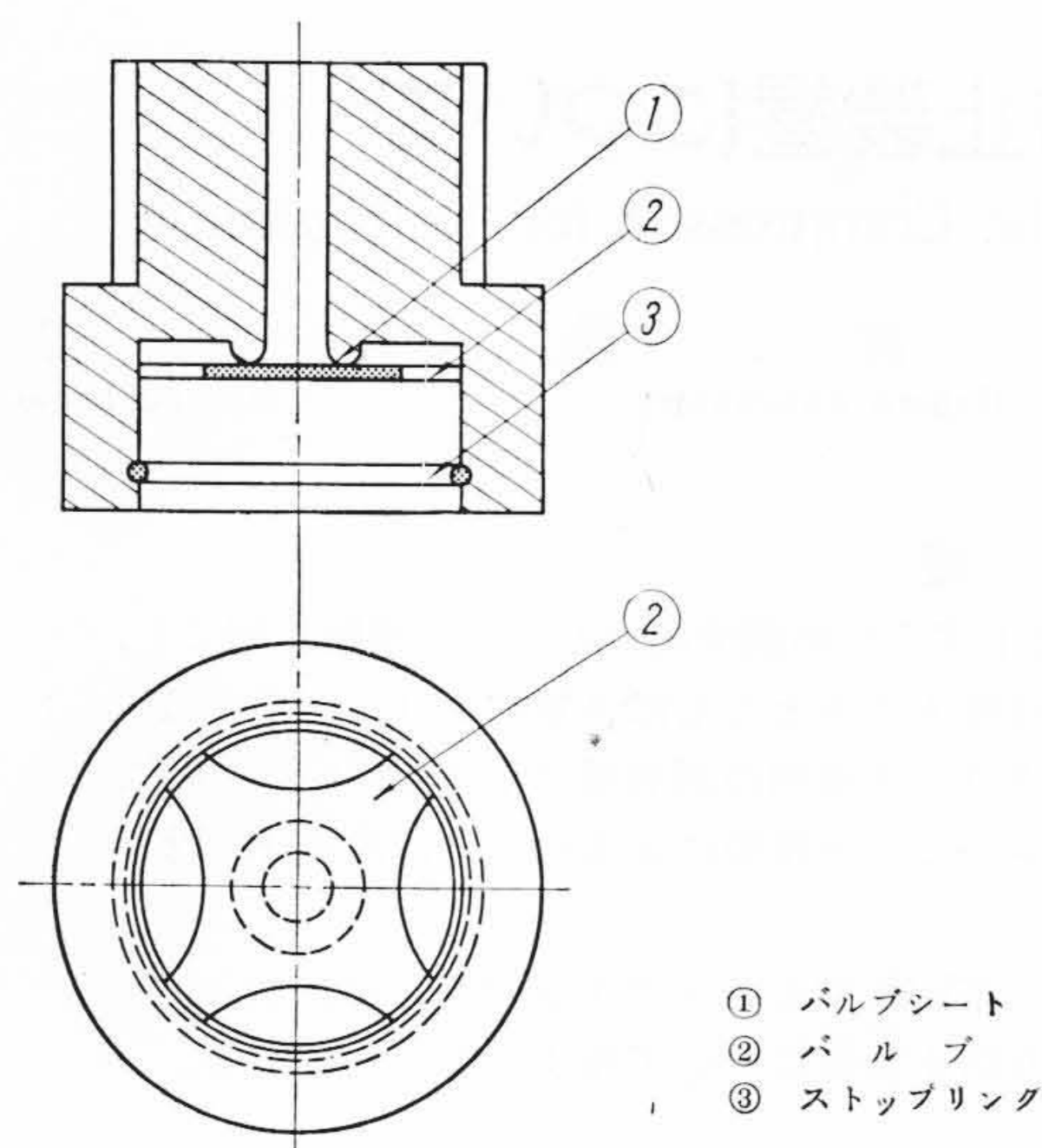
一般に冷凍サイクルでは圧縮機の運転を停止するときは、クランク室内の圧力が曲線 CD に沿って上昇し、潤滑油の温度は曲線 DA に沿って低下するので、潤滑油に対する冷媒の溶解度が増加し、多量の冷媒が圧縮機内の潤滑油に溶解吸収される。

このような状態で圧縮機を起動すると、曲線 AB に沿ってクランク室内の圧力は急激に低下し、潤滑油の冷媒溶解度が急激に減少する。したがって溶解度に不平衡を生じ、潤滑油に溶解されていた冷媒は急激に沸騰を起し、気化する。その結果、潤滑はあわ状となり、クランク室内に充満する。この現象は潤滑油のフォーミングと呼ばれ、冷媒として R-12 や R-22 を使用する冷凍機では、特に顕著に現われる。

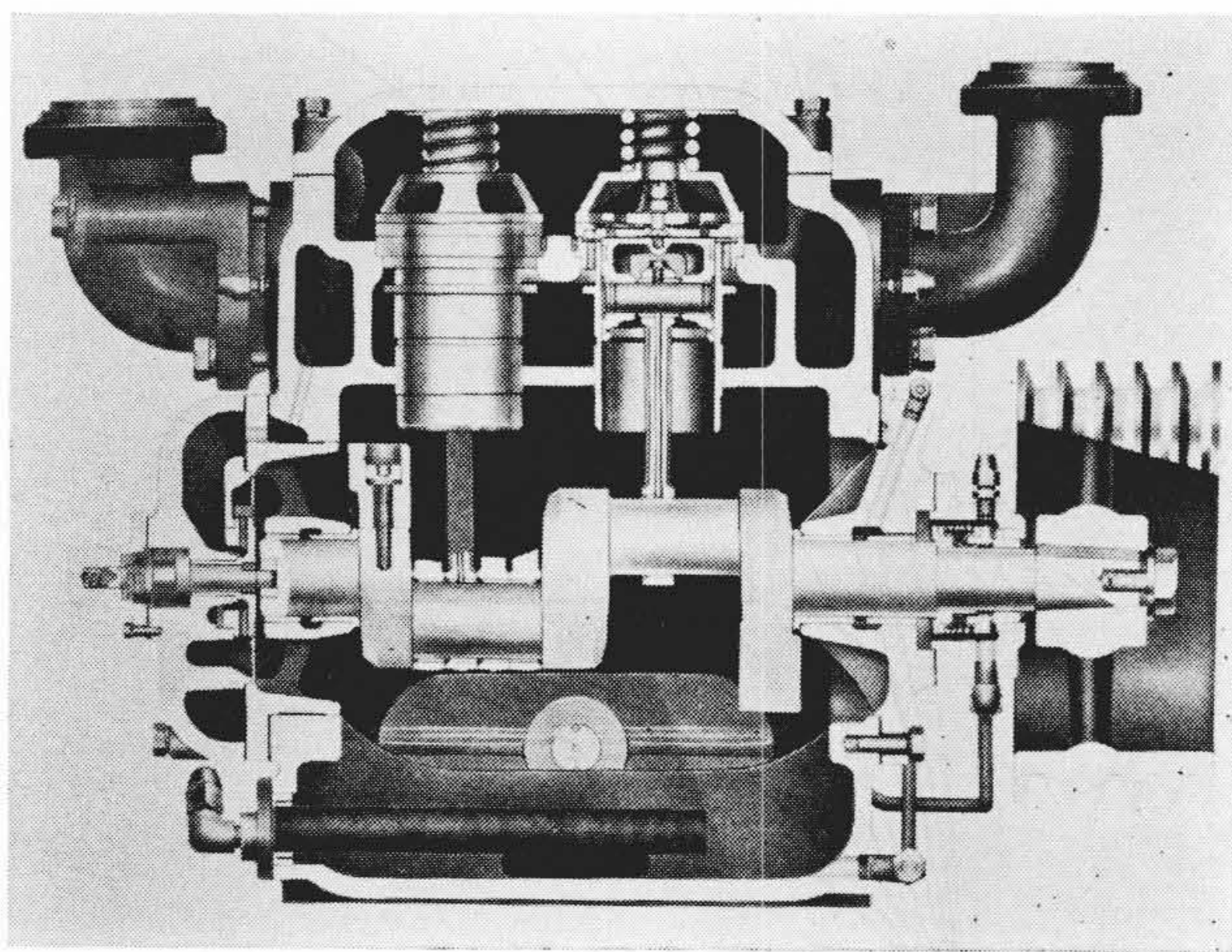
2.2 油上り防止装置の必要性

開放形冷凍機用圧縮機はクランク室内圧力と吸入側圧力とをバランスさせる必要があり、普通クランク室と吸入室とをバランス孔で連絡している。したがって、フォーミングを起こしあわ状となった潤滑油は、吸入ガスとともにバランス孔を通して簡単にシリンダ内に吸入される。その結果、圧縮機はあたかもオイルポンプのような状態となり、リキッドハンマによりバルブ機構を破壊することもある。

* 日立製作所清水工場



第2図 チェックバルブ



第3図 油上り防止装置を設けた75 mm HMC 冷凍機

る。さらにクランク室内では潤滑油の不足を生じ、メタルなどしゅう動部分に害を与える結果になる。

これら、フォーミング現象に基づく弊害は、圧縮機を高速化すればするほど重要な問題となる。

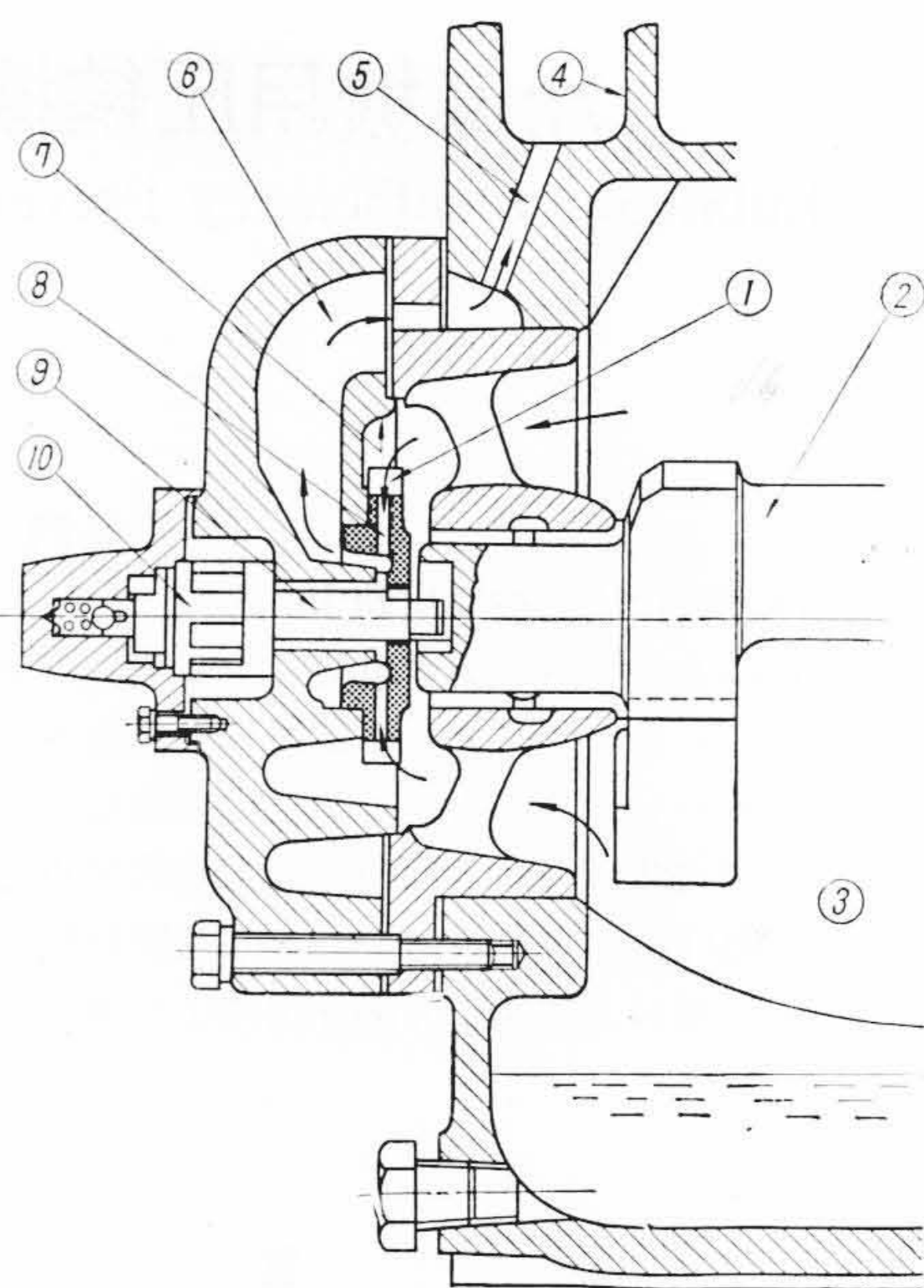
2.3 従来行なわれてきた油上り防止方法

フォーミング時の油上りを防止する方法は、二つの考えかたに大別される。一つは圧縮機の起動時にフォーミングが起きないようにする方法であり、他の一つはフォーミングが発生しても、何らかの方法により油上りを防止する方法である。従来フォーミングに伴う油上りの防止には各社とも非常な苦心を払い、いろいろな方法が考案されてきた。以下にその代表的な方法について述べる。

(1) ヒータ加熱による方法

これは主として大形開放形冷凍機(HMC冷凍機など)に用いられるもので、圧縮機内の潤滑油だめにヒータを設けて、圧縮機の停止中、機内潤滑油の温度降下を防ぐ方法である。潤滑油温度が十分高ければ、第1図からわかるように冷媒の潤滑油に対する溶解度は低く保たれ、潤滑油中に溶解吸収される冷媒は少量となる。その結果、圧縮機起動時のフォーミングを減じ、油上りを防止することができる。

ヒータによる潤滑油の加熱方法は有効なフォーミング防止方法ではあるが、クランク室内にヒータを設けるため、装置が複雑になるばかりでなく、冷凍機が停止中にも通電を続けなければならない。またヒータ容量が適当でない場合には、過熱により潤滑油



第4図 75 mm HMC 冷凍機の油上り防止装置詳細図

の劣下をまねくおそれがある。

(2) チェックバルブによる方法

これは圧縮機のクランク室と吸入室とを連結しているバランス孔の途中に、第2図に示すようなチェックバルブを設けて、圧縮機の起動直後にクランク室と吸入室との間に生ずる圧力差を利用してチェックバルブを作動させ、バランス孔を閉じて油上りを防止する方法である。

しかし普通、圧縮機は運転中ピストンとシリンダ壁とのすき間を通してシリンダ内の高圧ガスがクランク室内へ漏れ、クランク室内圧力は常に吸入室圧力より高く保たれる。またチェックバルブのシート面に油が付着していると、バルブプレートはバルブシートに付着しやすくなる。これらの理由により、圧縮機の起動時に作動したチェックバルブは圧縮機の運転中常にバランス孔を閉じたままになりやすい欠点をもっている。

これを防ぐため、別にバランス孔を設けて、ここに目の細かい金網を幾重にも重ね、冷媒だけを通すようにした方法もある。しかし、このような装置によって冷媒と油とを確実に分離することはできず、有効な方法ではない。

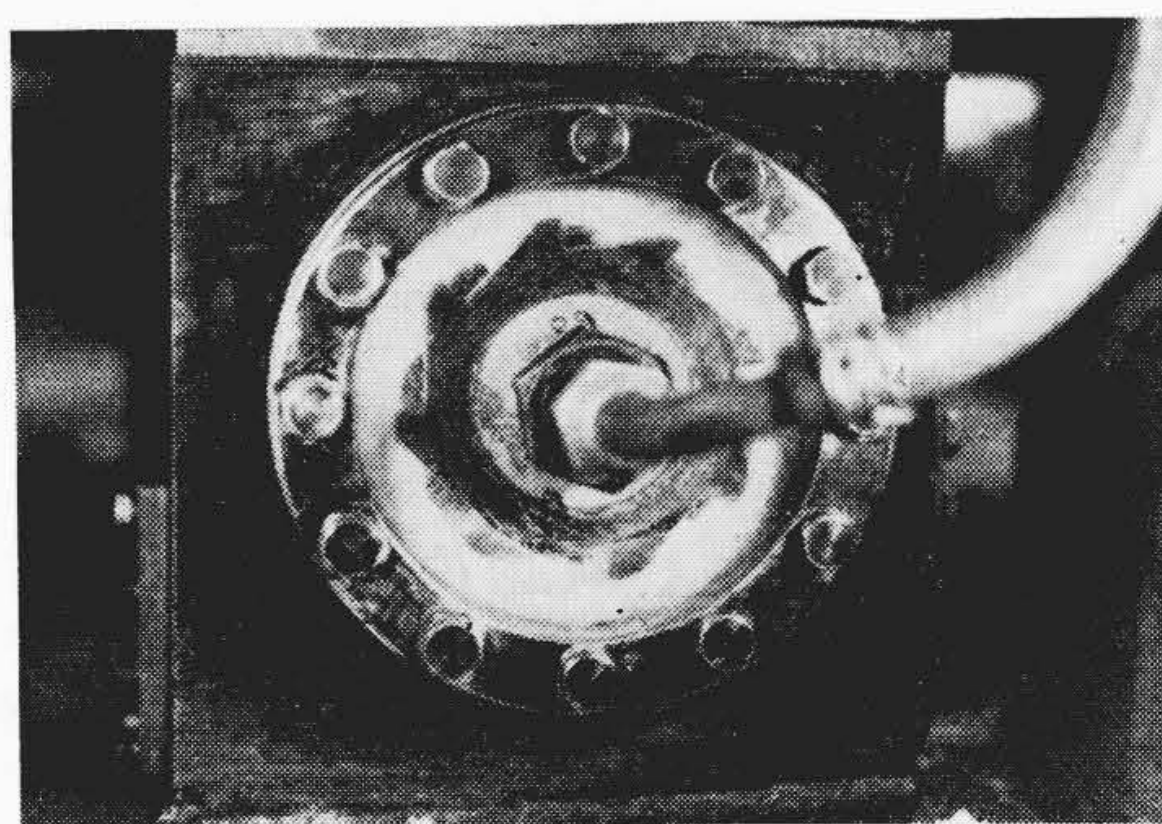
このように従来行なわれてきた油上り防止方法はそれぞれ一長一短があり、性能的にも満足のゆくものではなかった。

3. 新しい油上り防止装置の構造と原理

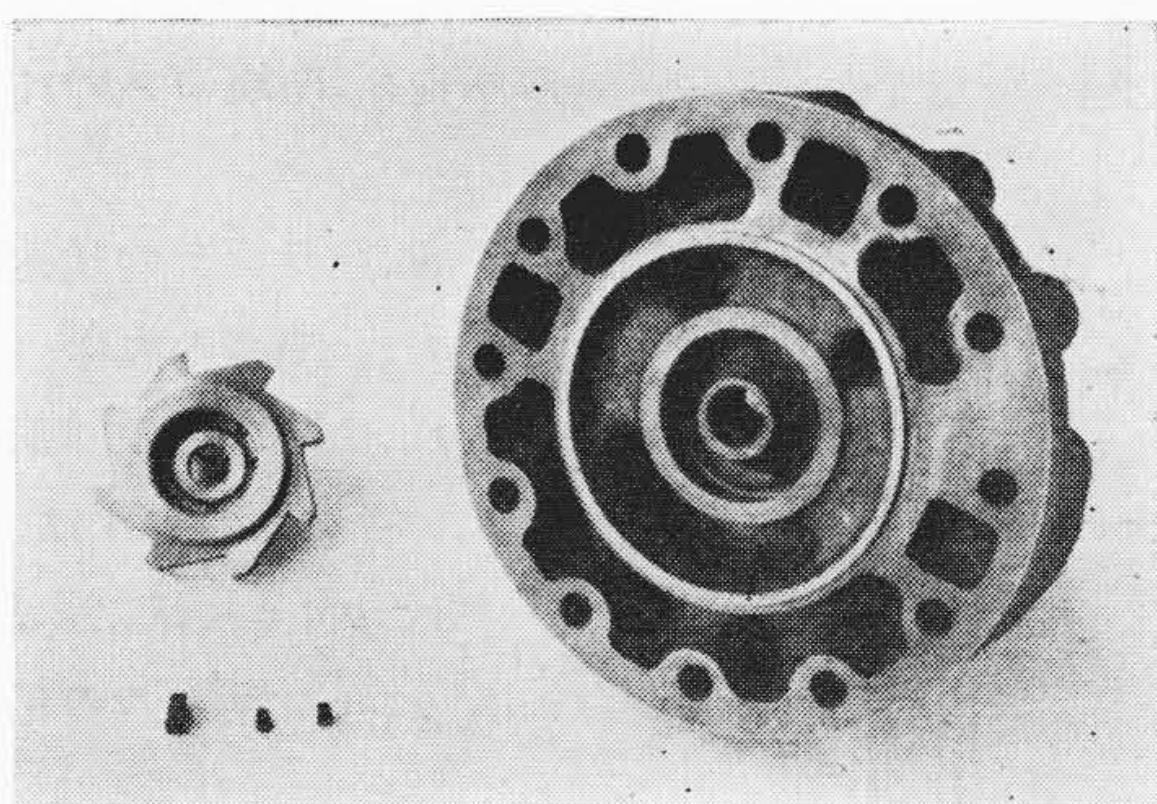
新しく開発した油上り防止装置の構造と原理について 75 mm HMC 冷凍機に適用した場合を例にとり、以下に述べる。

第3図に油上り防止装置を取り付けた 75 mm HMC 冷凍機の断面を示す。また第4図に油上り防止装置の構造の詳細を示す。

すなわち、油上り防止ランナ①はギヤポンプの主軸⑨にはめ合わされ、圧縮機クランク軸②の先端に十字継手を介して連結されている。それゆえランナ①はクランク軸②とともに回転する。また圧縮機のピストンとシリンダ壁とのすき間からクランク室③に逃げた吹き抜けガスは第4図の矢印で示したように、クランク室③からランナ①に設けられたバランス孔⑧とサイドカバーのガス通路⑥を通り、さらにクランク室③と冷媒ガス吸入室④とを結ぶバランス孔⑤



第5図 ランナ切欠きの背面部分における消泡状態



第6図 ランナおよび反射壁

を経て、吸入室④に吸入される。

次に本装置の油上り防止の原理について述べる。

さきに述べたように圧縮機の機動時には、機内の潤滑油がフォーミングを起こし、クランク室③内はこのあわ状潤滑油により充満され、ランナ①はその中で回転する。

この際、別に行なった実験で確認したところによると、第5図に示すようにランナ①の回転運動に伴い、ランナ切欠きの背面部分に急激な圧力降下を起こし低圧部分ができる。そのため低圧部分に侵入するあわ状潤滑油の各気泡(ほう)は急激に膨張を起こし破壊される。あわの破壊によりあわ状潤滑油は比重の大きい液状の潤滑油と比重の小さい冷媒ガスとに分離される。

分離されたガスと油滴の一部はランナ①に設けられたバランス孔⑧の入口より中に吸入される。吸入された油と冷媒ガスのうち、比重の小さい冷媒ガスはそのまま吸入室へ導かれるが、比重の大きい油滴はランナ①の回転運動によって生ずる遠心力によりバランス孔⑧の入口よりクランク室③内にはねとばされ、反射壁⑦に衝突し、クランク室油だめに戻される。

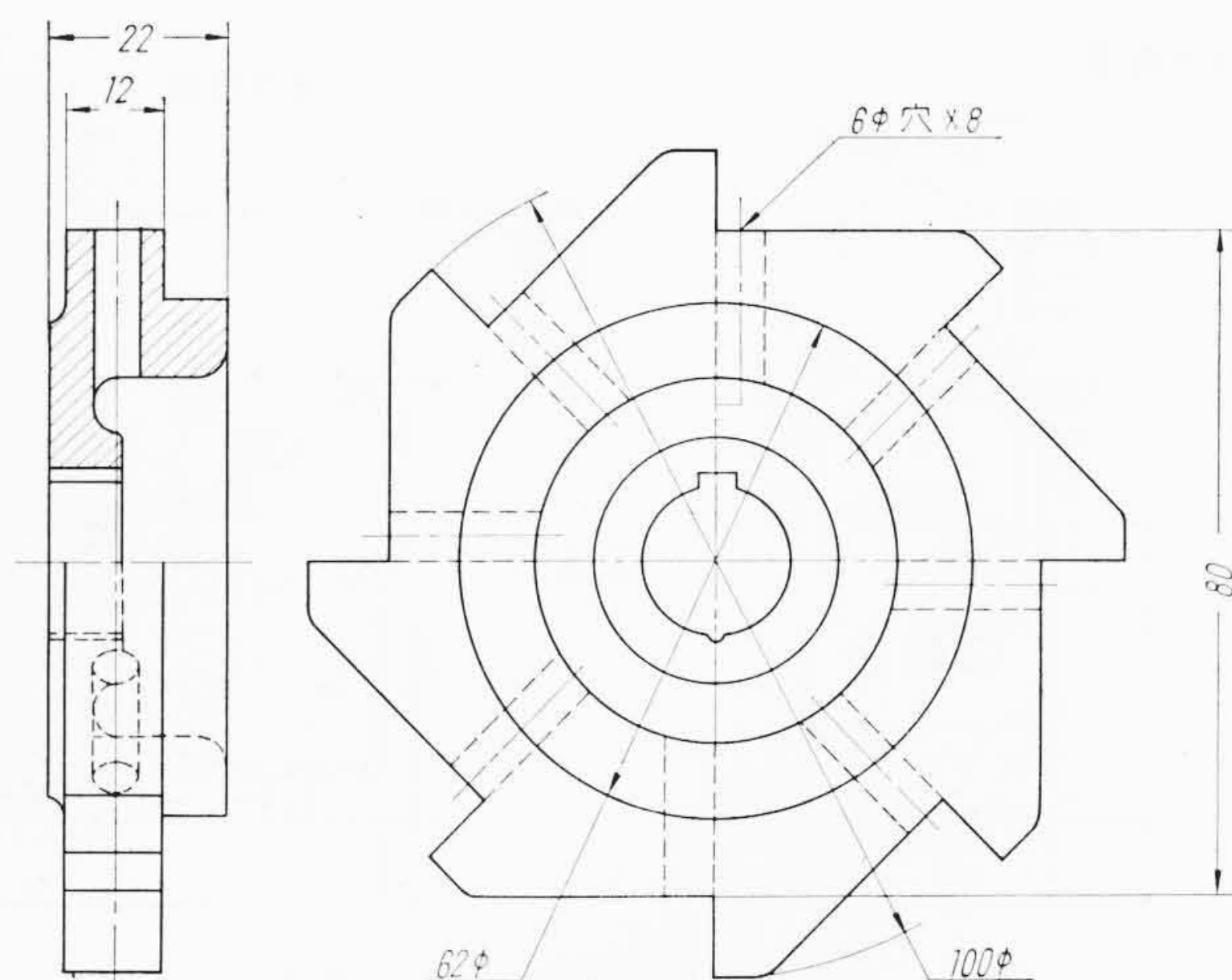
すなわち本装置はランナ背面部における油泡破壊作用と、油滴に働く遠心分離作用とによって油上りを防止するものである。

一方、圧縮機運転中はピストンとシリンダ壁とのすき間から少量の油上りはあるが、それらの潤滑油は冷凍サイクル内を一巡して、吸入ガスとともに圧縮機の吸入側に運びもどされる。それら少量の潤滑油は圧縮機吸入側にあるガストレーナによって冷媒ガスから分離され、バランス孔⑤を通過してランナ①に導かれ、遠心力によってクランク室③の油だめ部に戻される。

このように本装置を用いることによりフォーミング時の油上りを防止するのみでなく、圧縮機の定常運転中も機内潤滑油を安定した状態に保つことができる。またコンデンシングユニットについても本装置の実用化によって、従来必要であった油分離器を除くことが可能となった。

ランナおよび反射壁の分解写真を第6図に、ランナの詳細を第7図に示す。

第8図は従来の油分離器の付いたコンデンシングユニットを、ま



第7図 油上り防止ランナ詳細図

た第9図は油上り防止装置の実用化により油分離器を取り除いた75 mm HMC コンデンシングユニットを示す。

4. 油上り防止理論

フォーミング状態における新しい油上り防止装置の作用について考えると、ランナ切欠きの背面部分における油泡破壊作用とバランス孔の遠心分離作用とに分けられる。以下それらについて簡単な理論的考察を加える。

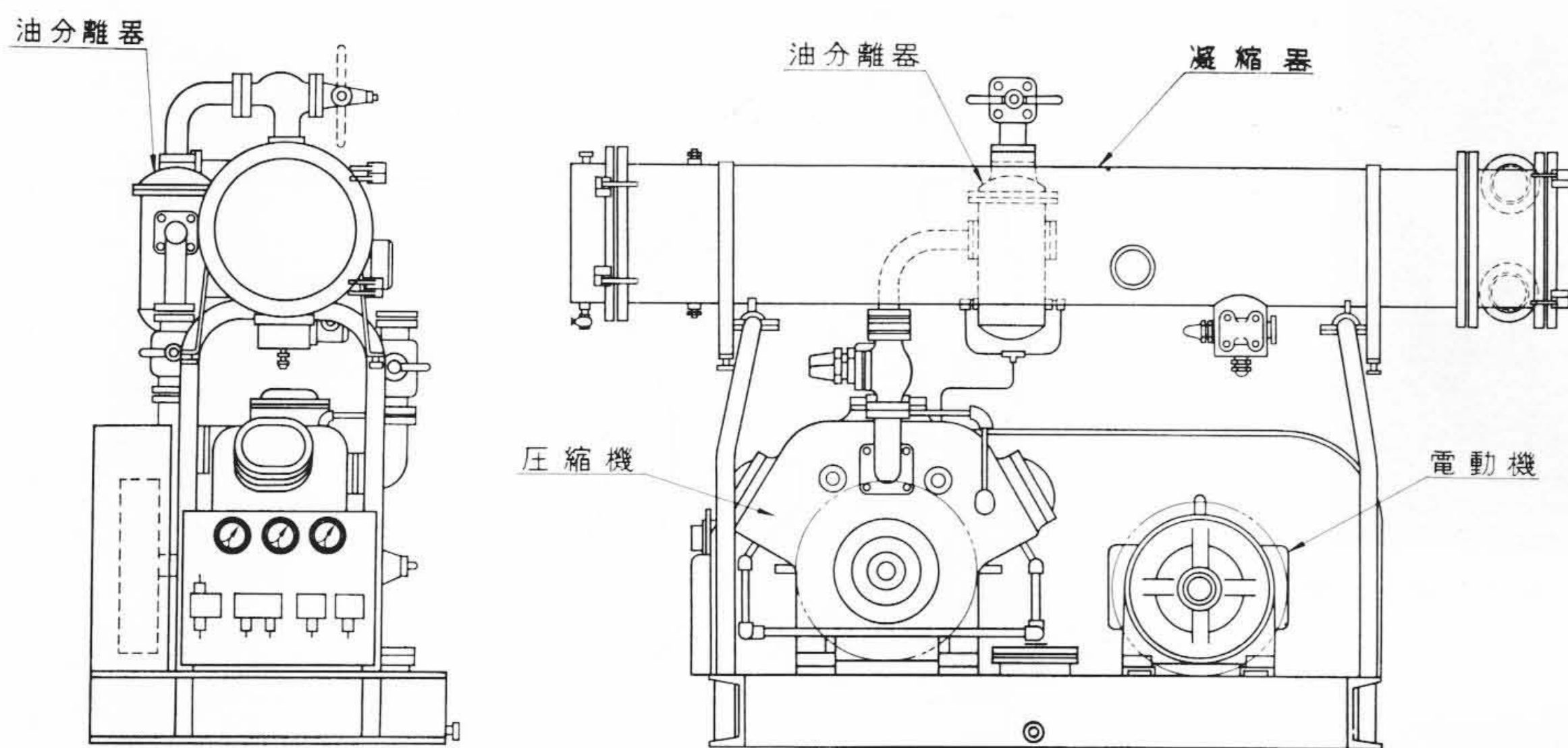
4.1 ランナ切欠き背面部分における油泡破壊作用

さきに述べたようにランナがフォーミングを起こしたあわ状潤滑油の中を回転すると、第5図からわかるようにランナ周辺に設けた切欠きの回転方向に対する背面部分に油泡の存在しない部分が生ずる。この油泡の存在しない部分はランナが運動する際に、切欠き先端から慣性により油泡がはく離した結果生じたものと考えられる。この部分はランナの回転運動に影響されない周囲の油泡の圧力よりもかなり低い圧力となり、周囲の油泡はこの部分へ流れ込もうとする。そのため油泡は渦を伴う複雑な運動をしながら、この低圧部分に流入する。

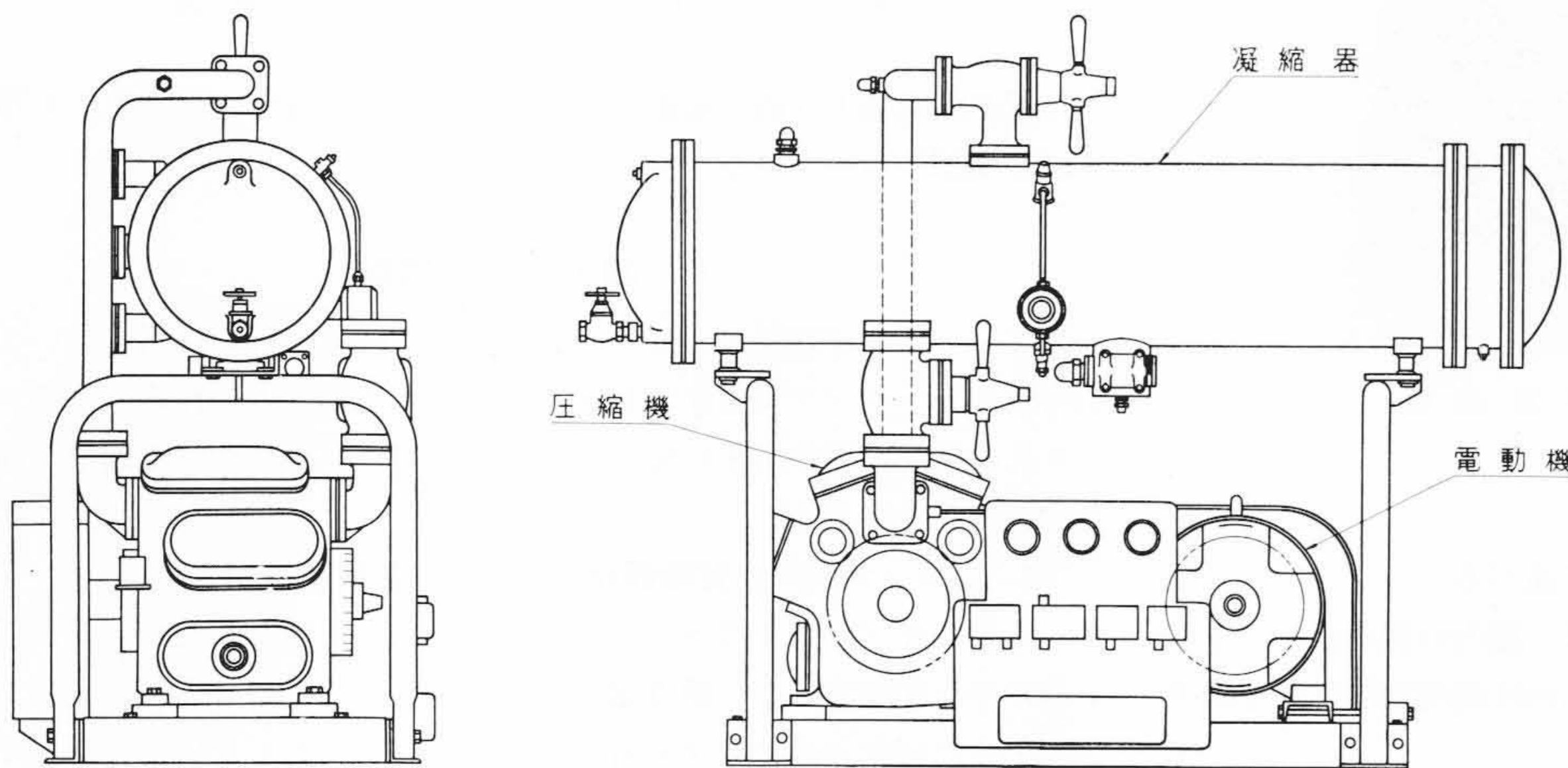
しかし油泡は個々に独立したものではなく、相互に境界を接し合う油泡群を形成しているため、運動に対して大きな抵抗が生ずる。したがって、この低圧部分に近接した油泡は圧力降下のため急激に膨張を起こし、ついには油泡の形状を保つことができず破壊される。そのため切欠き背面部分では油泡は安定して存在することができず、液状潤滑油と冷媒ガスとに分離している。このように第5図から切欠き背面における圧力降下が油泡を破壊し、比重の大きな液状潤滑油と比重の小さい冷媒ガスとに分離する重要な作用を持つことがわかる。この油泡破壊作用こそ油上り防止装置の最も大切な要素であり、実験の結果では、この作用がなければ油上りを防止することはできない。このようにランナ背面部分の圧力降下は重要な結果を与えるものではあるが、その値を定量的に求めることは実際には不可能に近い。なぜならば、潤滑油と冷媒ガスで作られている油泡の大きさは温度や圧力などにより著しく異なり、大小さまざまであるため、その密度や粘性係数などが一定ではなく理論的に取り扱うことができないためである。

4.2 バランス孔の遠心分離作用

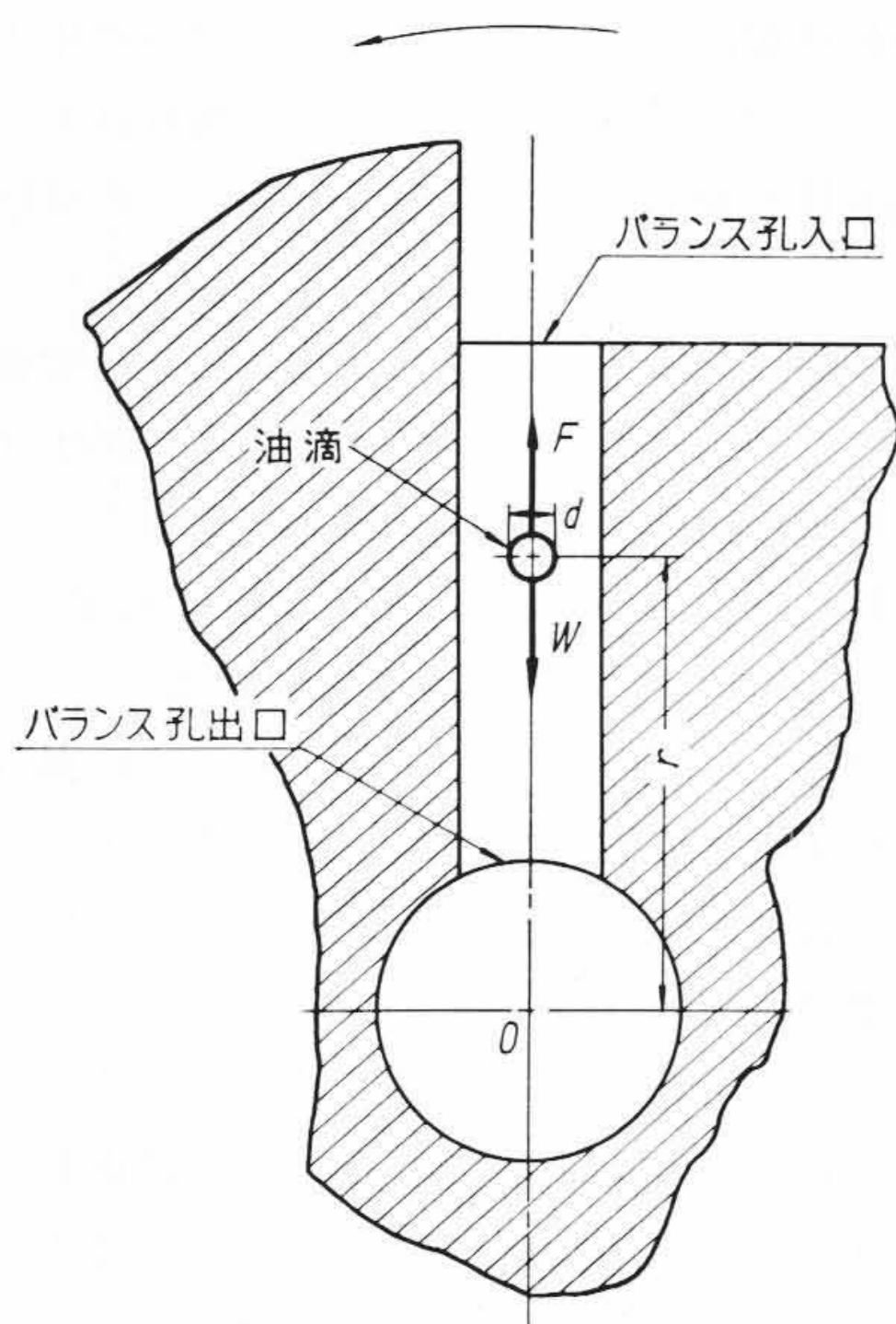
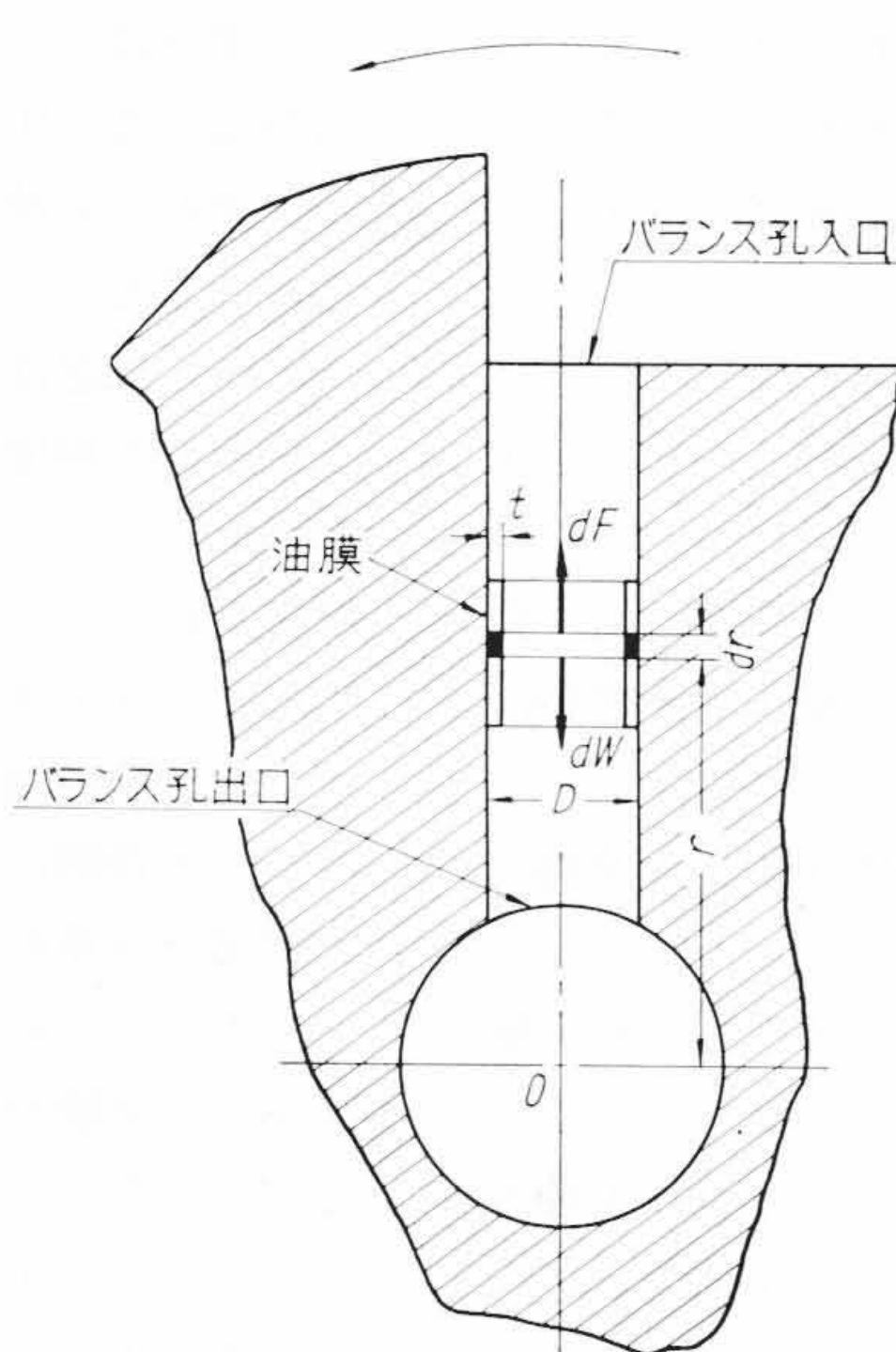
ランナ切欠きの背面部分で破壊された油泡は、比重の大きい液状潤滑油と比重の小さい冷媒ガスとに分離され、液状潤滑油の大部分はランナ周辺に付着し、遠心力によってただちに圧縮機クランク室内にはね飛ばされる。しかし一部分の液状潤滑油は冷媒ガスと一諸にランナのバランス孔に吸入される。そこでバランス孔に吸入され



第 8 図 油分離器をもつ従来のコンデンシングユニット



第 9 図 油分離器のない 75 mm HMC コンデンシングユニット

第 10 図 バランス孔内の遠心分離作用
説明図 (油滴の場合)第 11 図 バランス孔内の遠心分離作用
説明図 (油膜の場合)

た液状潤滑油がそれぞれ独立した一個の球状油滴の状態を取ると仮定し、それに加わる力を考える。

いま第 10 図に示すように、ランナの回転中心から r のところにある直径 d の油粒子を考え、問題を簡単にするため油粒子はランナと一体になって回転し、バランス孔の壁面には接触しないものと仮定する。そうすれば油滴は回転によって生ずる遠心力により balan

ス孔入口に向かって半径方向に押しさえそうとする力 F と、バランス孔入口から出口に向かって流れる冷媒ガスによりバランス孔出口の方向へ押し流そうとするストークスの力 W の二つを受ける。

遠心力 F は

$$F = \frac{1}{g} \cdot \frac{\pi d}{6} (\gamma_1 - \gamma_2) r \omega^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに g : 重力の加速度 (m/s^2)

γ_1 : 油滴の比重量 (kg/m^3)

γ_2 : 冷媒ガスの比重量 (kg/m^3)

ω : ランナの角速度 (rad/s)

d : 油滴の直径 (m)

r : ランナの回転半径 (m)

一方ストークスの力 W は

$$W = 3 \pi \mu d v \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに μ : 冷媒ガスの粘度

($\text{kg} \cdot \text{s/m}^2$)

v : バランス孔中を流れる
冷媒ガスの速度 (m/s)

油滴がバランス孔入口の方向に押し戻されるためには次式が成立しなければならない。

$$F \geq W \quad \dots \dots \dots (3)$$

(1) 式および (2) 式を (3) 式に代入して整理すると、

$$d \geq \sqrt{\frac{18 \cdot g \cdot \mu \cdot v}{(\gamma_1 - \gamma_2) r \cdot \omega^2}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

すなわち (4) 式で与えられる直径 d より大きな油滴はバランス孔入口に向かって押し出され、ついには圧縮機クランク室内に戻される。

(4) 式に実際の条件を代入して分離可能な最小直径を求めると $0.026 \text{ mm} \phi$ となる。

しかしバランス孔の中の潤滑油は実際上油滴の状態で存在することは少なく、大部分はバランス孔の壁面に付着して油膜を形成しているものと考えられる。したがって実際はこのような場合について考えなければならない。いま第 11 図に示すように直径 D なるバランス孔の中に t なる厚さの油膜が形成されているものとする。バランス孔の中における冷媒ガスの流れに対してはレイノルズ数 Re は次式で与えられる。

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここに l : バランス孔の長さ (m)

ν : 冷媒ガスの動粘度 (m^2/s)

(5) 式に油上り防止装置の実際条件を代入すると、

$$Re < 5 \times 10^5$$

となり、バランス孔の中は層流状態と考えても差しつかえない。ランナの回転中心から r だけ離れたところに微小半径 dr を考え、その部分の油膜厚さを t とすれば、微小油膜に作用する遠心力 dF は

$$dF = \frac{\gamma_1}{g} \cdot \pi (D-t) t \cdot r \cdot \omega^2 \cdot dr \quad \dots\dots\dots (6)$$

一方冷媒ガスの流れにより油膜が受ける摩擦力 dW は

$$dW = \frac{\gamma_2}{2g} \cdot cf \cdot v^2 \cdot \pi \cdot (D-2t) dr \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに補正係数

$$cf = 1.328 \frac{1}{\sqrt{Re}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

油膜が冷媒ガスの流れによって生ずる摩擦力に打ち勝って遠心力によりバランス孔入口に向かって押し返えられるためには、次式が成立しなければならない。

$$dF \geq dW \quad \dots\dots\dots (9)$$

(6)式および(7)式を(9)式に代入して整理すると、

$$t \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \gamma_1 (D-t) \geq \frac{1}{2} \cdot cf \cdot v^2 \cdot \gamma_2 (D-2t) \quad \dots\dots\dots (10)$$

(10)式で t を D に比較して無視できるほど小さいとすれば

$$t \geq \frac{1}{2} \cdot cf \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \cdot \frac{v^2}{r \cdot \omega^2} \quad \dots\dots\dots (11)$$

すなわち油膜が(11)式で示される油膜厚さより厚い場合は、遠心力によってバランス孔の壁面に沿って押し返えられ、ついには圧縮機クランク室内に戻されることになる。実際の油上り防止装置について(11)式から分離可能な最小油膜厚さを求めると 0.011 mm となる。

このように新しい油上り防止装置はきわめて微量な潤滑油も遠心

力により冷媒ガスから分離して圧縮機内へ戻すことができる。

以上に述べたようにフォーミング状態においては、ランナ切欠きの背面部分における油泡破壊作用とバランス孔における遠心分離作用とが結合して、確実な油上り防止効果を発揮することが理解される。

5. 結 言

日立製作所がここに完成した新しい油上り防止装置は、外国においても例をみない画期的なもので、種々の特長を持っているが、それを要約すると、

(1) これまでフッ素系冷媒(R-12およびR-22など)の宿命的欠点と考えられてきたフォーミングに伴う油上りの問題を完全に解決した。

その結果

(a) 圧縮機内の潤滑油は常に十分な量に保たれるので、メタルなどしゅう動部分の寿命が長くなる。

(b) フォーミングの際でも、一度に多量の潤滑油がシリンダ内に吸入される心配がなく、バルブ機構が安全に保たれる。

(2) 定常運転時に、冷凍サイクルを循環している潤滑油を圧縮機へもどす有効な油戻し装置の働きをする。

(3) 定常運転時にピストンとシリンダ壁とのすき間から漏れる吹き抜けガスによって起こる油上りを完全に防止する。

(4) 構造が簡単であり、故障の心配がない。

(5) 取り扱い上全く手数が掛からない。

(6) 性能が安定しているため、過酷な使用条件のもとでも安心して冷凍機を運転できる。



新 案 の 紹 介



登録新案 第575491号

三 浦 昭 鎧

車 両 用 変 圧 器 の 電 圧 調 整 装 置

この考案は、架線より給電される単巻変圧器Aより直列変圧器Cを有する主変圧器Bを設け、直列変圧器Cは、単巻変圧器Aに設けたタップ切替器Dのタップ切替刃M、Nの両端より励磁するようにしたものである。

この考案によれば、各切替刃M、Nを同時ではなく、まず切替刃Mをタップ5より1まで切り替えて直列変圧器Cの二次巻線に誘起する電圧 e' を $4e \sim 0$ まで調整した後、切替刃Mをタップ1に停止したまま、切替刃Nをタップ1より5まで切り替え、前記電圧 e' を $0 \sim -4e$ まで調整するようになすことができるから、タップ1～5を有するタップ切替器により広範な電圧調整を行なうことができ、したがって、従来のタップ切替器を使用するものに比較して、装置全体を簡単に構成できる効果がある。(須 田)

