

最近の日立ポータブルロータリコンプレッサ
Recent Development of Hitachi Portable Rotary Compressors

宮 下 啓 一*
Keiichi Miyashita

内 容 梗 概

日立ポータブルロータリコンプレッサはエンジン駆動式の標準3機種と新規に加えた電動式2機種を製作している。電動式は50,60への別なく最高回転数で運転できるようVローブ掛駆動とし、コンプレッサ本体を空気槽上に取り付けて全体の寸法を縮小した。また全断熱効率に直接影響する内部冷却効果と体積効率の改善をはかり、7形以下をすべて1段圧縮式とし一般の2段圧縮式に匹敵する性能を得ている。主要部分の材料、構造など安全確実な運転と使いやすさに重点をおいて研究、改善をしている。

1. 結 言

建設作業に用いられる空気工具の動力空気源として、最近では油冷式のロータリコンプレッサを搭載したポータブルコンプレッサが多く使用されている。日立製作所では国産第1号の油冷式ロータリコンプレッサを製作⁽¹⁾して以来数多くの製品を送り出してきたが、これらの使用実績と多年にわたる研究成果をもとに改良した最新形を完成し、すでに相当数を各方面に納入した。日立ポータブルロータリコンプレッサは

- (1) 小形軽量で機動性に富んでいること
- (2) 外観が優美で、ボンネットの外部に運行のじゃまになる機器がないこと
- (3) 運転操作が容易であること
- (4) エンジンとの間にクラッチがなく起動操作、保守が簡単であること
- (5) 構造が簡単で、分解組立が容易であること
- (6) 性能効率が高く、振動が少なく、また吐出空気の温度が低いこと

などの特長を持っている。

日立ポータブルコンプレッサには容量によって9形・7形・および4形の標準機があり、いずれもディーゼルエンジンと直結されたものであるが、最近新たに都市内の道路、地下鉄などの工事向けと

して低騒音の電動式ポータブルコンプレッサ、5形および3形を製作し標準機に加えた。

以下最近の日立ポータブルコンプレッサについて概要をのべる。

2. 仕様と形式

2.1 標準仕様

日立ポータブルコンプレッサの標準仕様は第1表のとおりである。第1図～第4図は標準機の外観写真である。



第1図 9形ポータブルコンプレッサ

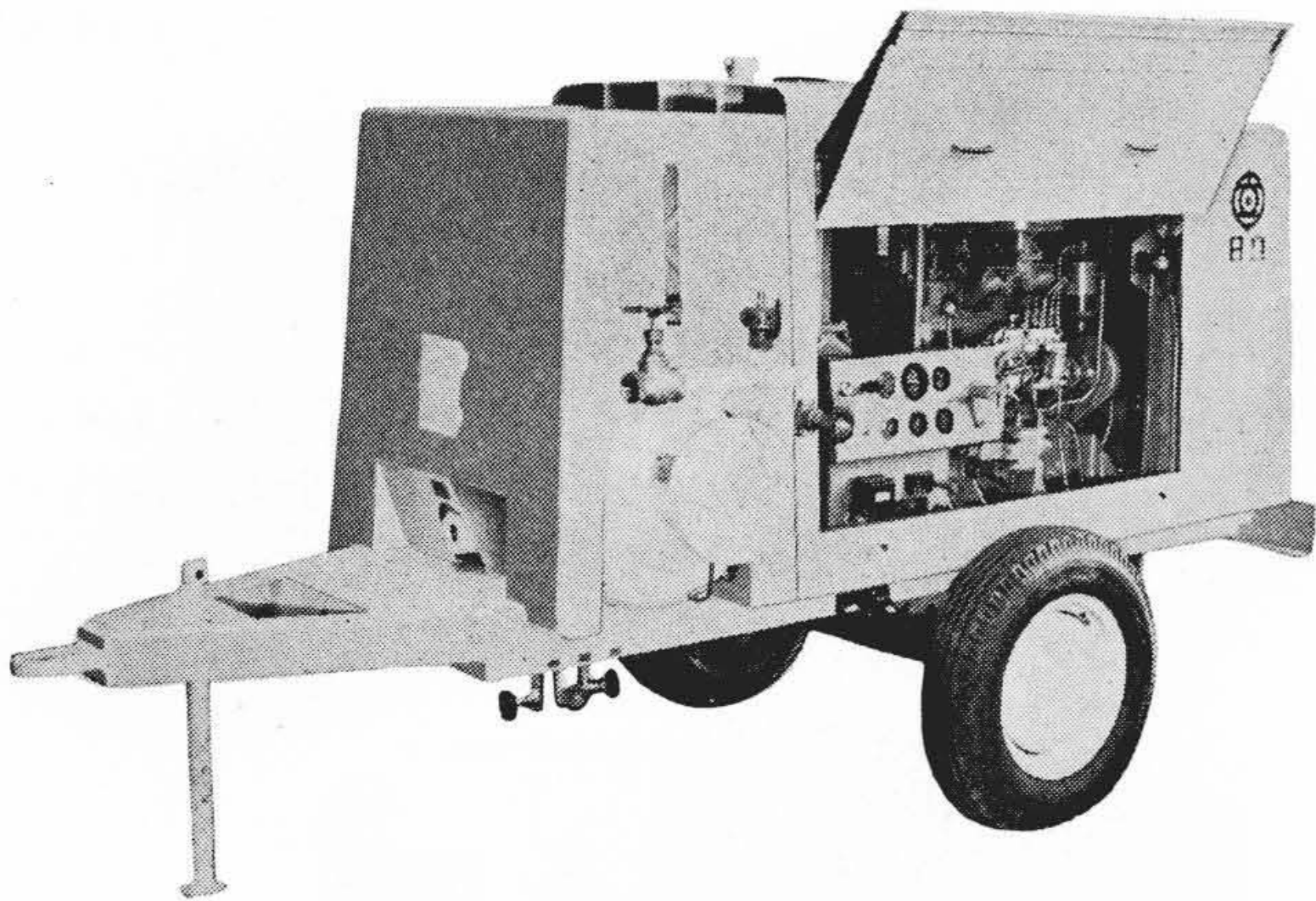
第1表 日立ポータブルロータリコンプレッサ標準仕様

項 目		呼 称	4 形	7 形	9 形	3 形	5 形
駆 動 方 式			エンジン駆動式	エンジン駆動式	エンジン駆動式	電 動 式	電 動 式
コ ン プ レ ッ サ	形 式		MSO-PCHC	MSO-PCHC	MDO-PCHC	MSO-PRHC	MSO-PRHC
	吐 出 圧 力 (kg/cm ²)		7	7	7	7	7
	吐 出 容 量 (m ³ /min)		4.5	7.4	9.4	2.5	4.6
	回 転 数 (rpm)		1,800	1,800	1,800	2,000	1,900
	圧 縮 段 数		1	1	2	1	1
	潤 滑 油 量 (l)		40	60	70	30	40
空 気 槽 容 量 (m ³)			0.2	0.27	0.3	0.15	0.2
原 動 機	名 称		いすゞ DA-220	日産 UD-324-N	日産 UD-424-N	日立 EFOU-KK	日立 EFOU-KK
	形 式		4気筒4サイクル水冷予燃 焼室式ディーゼルエンジン	3気筒2サイクル水冷直接 噴射式ディーゼルエンジン	4気筒2サイクル水冷直接 噴射式ディーゼルエンジン	閉鎖防滴形特殊かご形 三相誘導電動機	閉鎖防滴形特殊かご形 三相誘導電動機
定格出力/定格回転数			44/1,800 PS/rpm	71/1,800 PS/rpm	90/1,800 PS/rpm	22 kW	37 kW
燃 料 タ ン ク 容 量 (l)			80	130	190	—	—
車 体 寸 法	全 長 (mm)		3,500	3,860	4,530	2,350	2,580
	車 体 長 さ (mm)		—	2,720	3,400	—	—
	幅 (mm)		1,400	1,580	1,695	1,450	1,450
	高 さ (mm)		1,720	1,780	1,950	1,580	1,580
タ イ ヤ			6.00-16-6PR×2輪	5.50-15-6PR×4輪	6.00-16-6PR×4輪	4.50-12-4PR×2輪	4.50-12-6PR×2輪
総 重 量 (kg)			1,550	1,900	2,800	1,100	1,400

* 日立製作所川崎工場



第 2 図 7 形ポータブルコンプレッサ



第 3 図 4 形ポータブルコンプレッサ



第 4 図 3 形電動式ポータブルコンプレッサ

2.2 駆動方法

一般にポータブルコンプレッサの駆動方法にはディーゼルエンジンまたはガソリンエンジンと直結したものと、電動機と直結あるいはギヤ掛またはVロープ掛で駆動するものがあり、前者はいうまでもなくポータブルコンプレッサの普通の形であって、電力供給のない地域における運転と移動性をと第1の条件にしたものである。

電動機駆動のものは電力供給の便があつて、かつ同一地点に比較的長時日のあいた運転使用するものに適しており、電線ケーブルの長さの許す範囲内で運転中の小移動も可能なものである。

エンジン駆動式はほとんど全部が直結式であり日立標準形もデ

ーゼルエンジンに直結したもので、容量調整はエンジンのスピードコントロールと吸気閉塞アンローダの併用によって行なっている。

電動機駆動の場合は直結式とすると周波数の変化によって回転数が5:6の比率で変わりそれだけ吐出空気量も変化する。ポータブルコンプレッサの利用上50〜地区と60〜地区の両方にまたがって使用されることはかなり多い。60〜で使用できるものをそのまま50〜で運転した場合には能力は5/6しか発揮しないことになり、きわめて損である。日立電動式ポータブルコンプレッサではこの点を考えてVロープ掛駆動でコンプレッサプーリを簡単に交換し得る構造とし、周波数の異なる地域でも容易に最高の回転数で運転することができ、常に100%の能力を発揮するようにした。

電動式のときのアンローダ方式は吸気閉塞形で100%から0までの無段階容量調整を行なっている。

2.3 圧縮方式

標準吐出圧力は7kg/cm²であるが大形機はこれを2段圧縮、小形機は1段圧縮としている。

油冷式ではシリンダ内部に冷却された油を噴射して圧縮によって生じる熱を吸収冷却するので、2段圧縮でも中間冷却器を設けず、吐出温度はそれぞれ最終吐出口においてはほぼ同一になるように作られている。これは後に述べるようにいずれの場合でも吐出温度は、合成樹脂製ブレードの耐熱性から考えて、できるだけ低く、また吐出空気中の水蒸気が過飽和となってドレーンが生じないために、ある温度よりも高く、という2つの制限から与えられた温度にしなければならないからである。

したがって油冷式ロータリコンプレッサにおいて1段圧縮、2段圧縮の別を設けるのは、一般のコンプレッサと異なる観点からであつて、最も大きい要素は内部冷却効果と、体積効率と、価格である。内部冷却効果と体積効率の良否はすなわち全断熱効率を支配するから、いいかえれば性能と価格のバランスによって1段あるいは2段圧縮を採用する。

一般的な1段と2段の比較、相異点をあげると第2表のとおりである。

表の内容について簡単に説明するとロータリコンプレッサの軸受に働くラジアル荷重は、シリンダおよびロータの直径と長さ、ならびに吸入、吐出各圧力によってきまるが、おおよその値として

$$F \div 1.5 p_m L d^{(2)}$$

で求められる。ここに

F : ラジアル荷重 (kg)

L : ロータ長さ (cm)

d : ロータ直径 (cm)

p_m : 平均有効圧力 (kg/cm²)

$$= p_s \frac{n}{n-1} \left\{ \left(\frac{p_d}{p_s} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right\}$$

p_s : 吸入絶対圧力 (kg/cm²)

第2表 油冷式ロータリコンプレッサにおける
1段圧縮と2段圧縮の比較

項 目	1 段 圧 縮	2 段 圧 縮
軸 受 荷 重	高い (2段圧縮の約2倍)	低
ブレード間圧力差	高い (吐出口近くにおいて)	低
油 冷 効 果	や や 悪 い	良
体 積 効 率	や や 低 い	高
全 断 熱 効 率	や や 低 い	高
部 品 点 数	少 な い	多
構 造	簡 単	や や 複 雑
取 扱 ・ 整 備	簡 単	や や 複 雑
寸 法 ・ 重 量	小	大
価 格	安 い	高 い

p_a : 吐出絶対
圧力(kg/
cm²)
 n : ポリトロ
ープ指数

p_s, p_a は各段のそれぞれの値をとる。

いま標準圧力7kg/cm²までの圧縮を1段で行なうと、 p_m は2段圧縮の場合の低圧側のそれより約2倍大きい値となる。

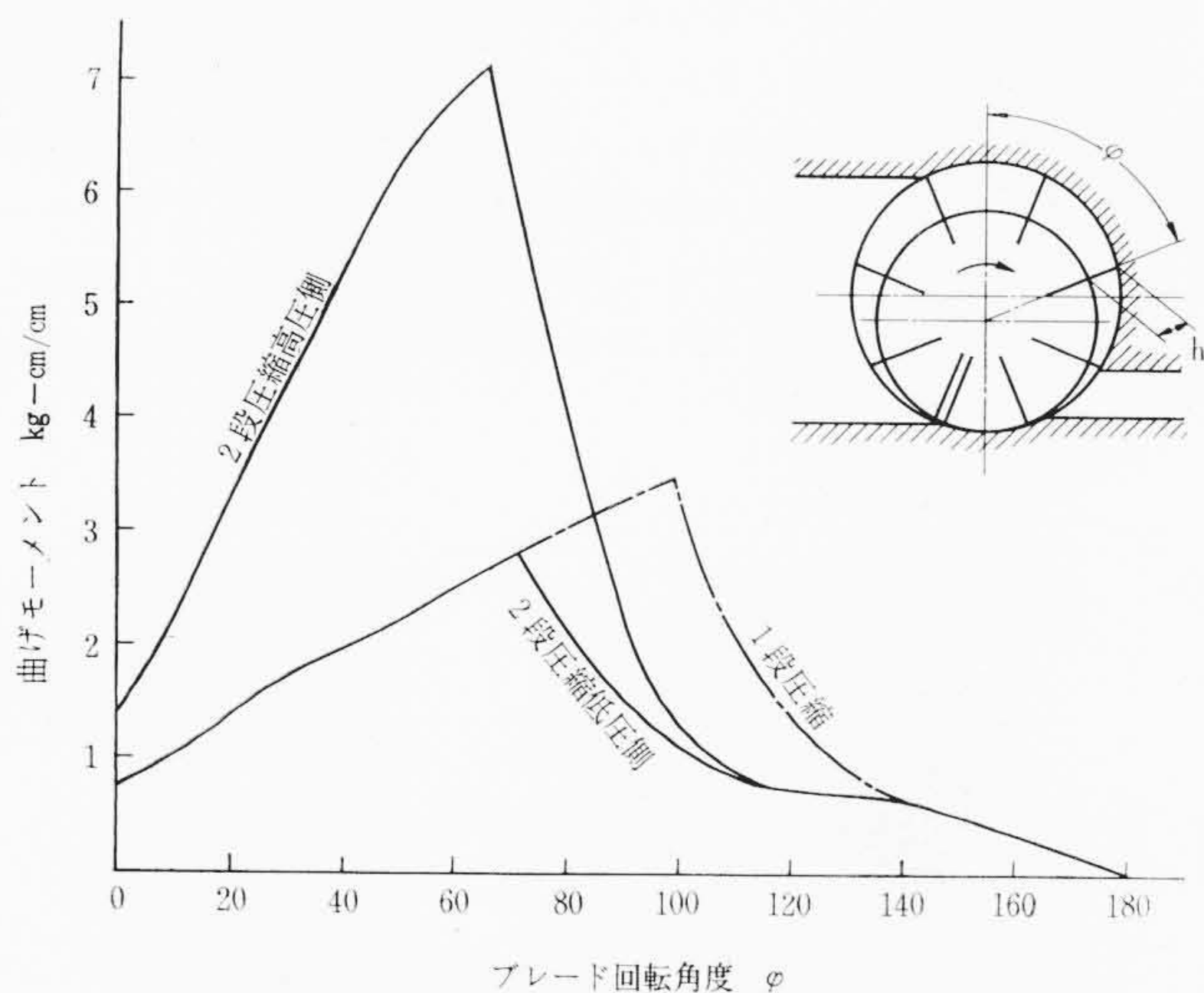
したがって同一容量の相似のシリンダで1段圧縮を行なったときと、2段圧縮の低圧側に用いたときとは、軸受荷重が約2倍近く1段圧縮のほうが高く、それだけ負荷容量の大きなベアリングを用いなければならなくなり、したがって軸径も大きくしなければならない。

このため実際の設計にあたっては F を下げるために回転数を高くする傾向にあるが、後に述べるように回転数の増加は直接ブレードの遠心力を増し損失動力を大きくするものであるので、これらを十分検討分析して定めなければならない。

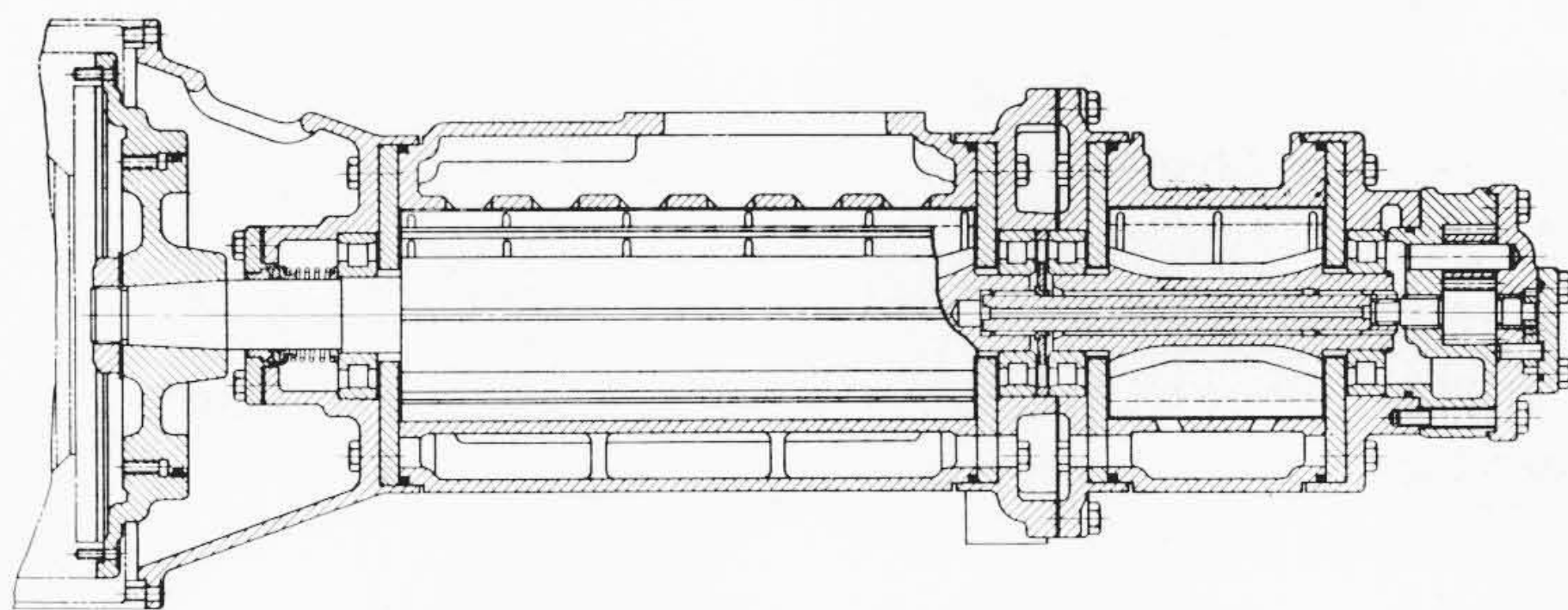
ブレードとシリンダおよびロータみぞとの摩擦による損失動力はさらにブレード間圧力差の大小によっても影響され、圧力差はブレードの曲げ応力にも直接関連する。

ブレードの曲げ応力はブレード間圧力差とその点におけるロータみぞからの突出量が大きく影響する。1段圧縮の吐出口近くではブレード間圧力が最も高いが、ブレードの回転角度が大で突出量 h が小さくなるので、最大曲げモーメントは同一寸法の2段圧縮高圧側に比較すると約1/2に近く、この限りでは1段圧縮によるブレードの疲労・摩耗は特に2段圧縮より悪い条件にはならない。むしろ2段高圧側のブレードより有利である。(第5図参照)

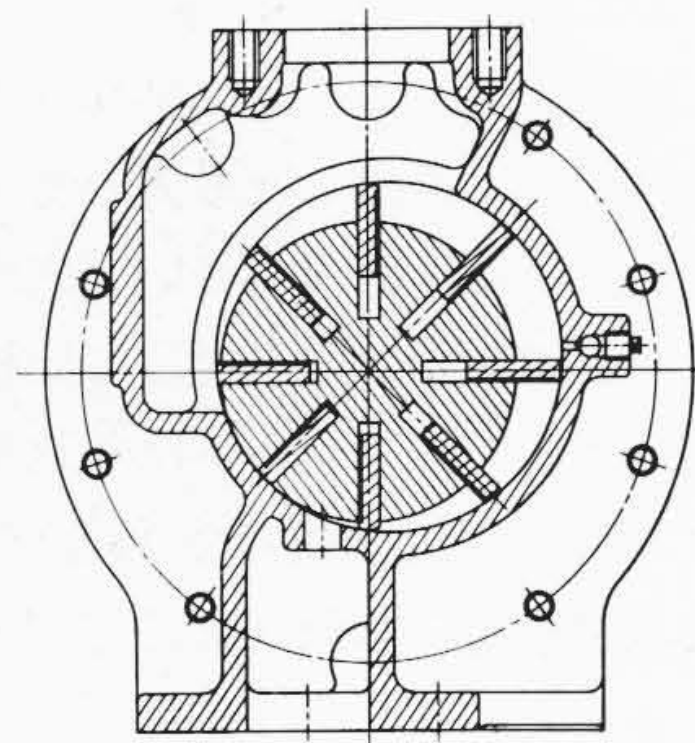
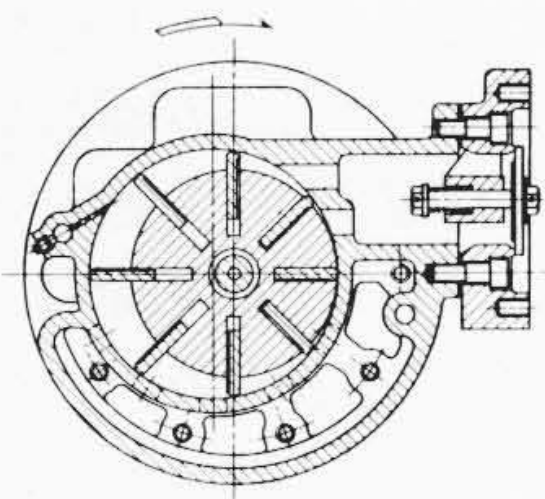
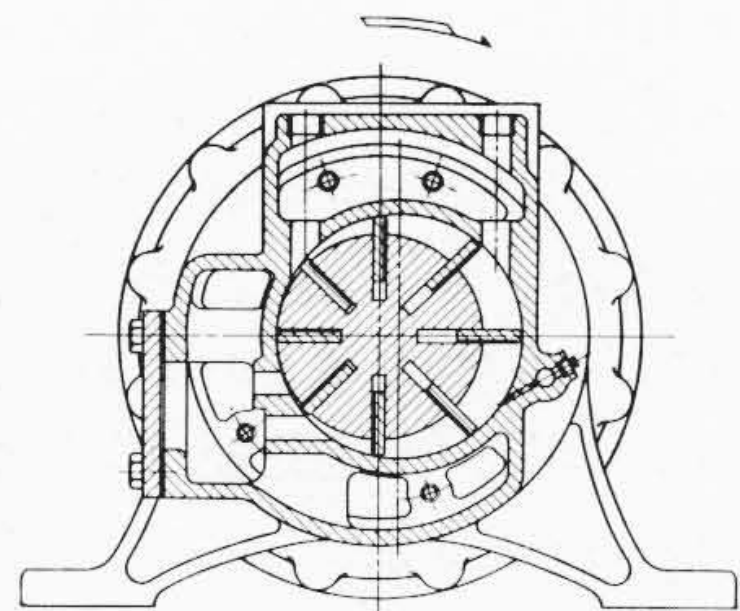
シリンダ内部に油を噴射して行なう油冷効果は第1段と第2段に分けてそれぞれ行なう2段形のほうが、油と空気との混合に必要な十分な時間が与えられるので、ほとんど完全に近い冷却が行なわれる。



第5図 ブレードにかかる曲げモーメント(軸方向1cm当たり)



第6図 2段圧縮式本体断面図



第7図 1段圧縮式本体断面図 (Vロープ掛駆動式)

1段形はロータの半回転以内で、この熱交換をやることになるので、シリンダ内の冷却効果は2段形よりやや劣るが、給油量、給油穴の数、および給油位置の改善によって中以下の容量機では2段形と大差のない効果をあげることができる。

体積効率は吸込圧力から吐出圧力に至るまでのブレード間圧力差が小さい2段形が1段形よりもすぐれている。ブレード枚数の増加は体積効率の改善に有効のようであるが、摩擦損失の増加、ロータサイドの漏えいがブレード数にあまり関係がないので、それほど意味がなくむしろ単純にブレード枚数を最小に止めたほうが有利である。

全断熱効率は冷却条件から2段形も1段断熱圧縮とみなして比較すると大差ないが、体積効率の高い2段形がややまさる。

各形の比較を示すとおよそ次の値となっている。

	1段圧縮	2段圧縮
体積効率	小形80~中形85%	中形以上93%以上
全断熱効率	小形60~中形65%	中形以上66%以上

以上いずれも2段圧縮のほうがすぐれているが、一方構造の簡略さ、価格、寸法、重量については論をまたず1段形が断然有利であり、ポータブルコンプレッサとしてはまず小形、軽量を第1とすべきであるからなるべく1段形がのぞましい。

日立ポータブルコンプレッサは研究の結果7形以下のものは1段圧縮とし、従来の同容量程度の2段機に比し遜色のない冷却効果と効率を得ている。

9形以上の大容量機においても、油冷効果をさらに改善することによって1段圧縮とすることも可能であり、目下研究中である。

3. 構造

3.1 圧縮機本体

第6図は2段圧縮式直結形の断面構造を示し、第7図は1段圧縮式Vロープ掛駆動形の断面構造である。

直結形はエンジンと同一軸上に配置して取り付けられるもので、エンジンとコンプレッサ間の動力伝達にはギヤカップリングを用いている。吐出口は空気槽との関係から上横方向で、空気槽側に傾斜して取り付けられた吐出管に接続する。

Vロープ掛駆動のものは電動式に用いられるが、電動機とコンプレッサの相対位置を比較的自由に選択し得ることが大きな特長で、据付スペースを極小とするため空気槽の上にコンプレッサ本体が取り付けられている。したがって吸込、吐出方向は前記直結形のものとは異なって、下部が吐出口となっている。

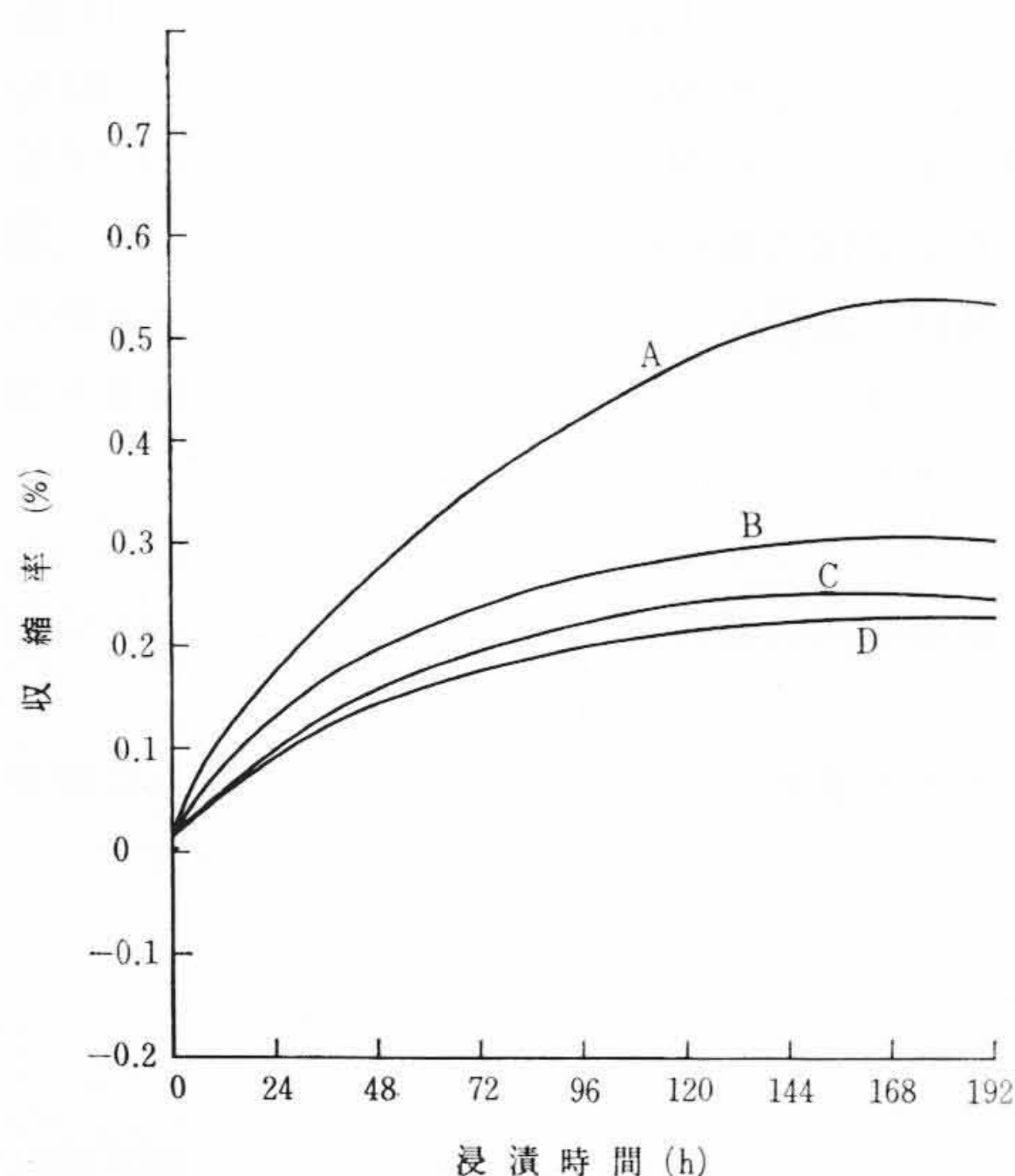
前にも述べたが1段式は2段式に対し比較的軸径を大きくする必要があり、このため軸端に加わる油圧によって生ずるスラスト荷重も増す反面、ロータ側面のサイドプレートに接触する部分の面積が小さくなり、サイド面圧が高くなる。日立1段式ロータリコンプレッサには特殊構造のスラストベアリングをそう入し、サイド間げきの適正維持と、焼付き防止を図り安全運転を期している。

3.2 ブレード

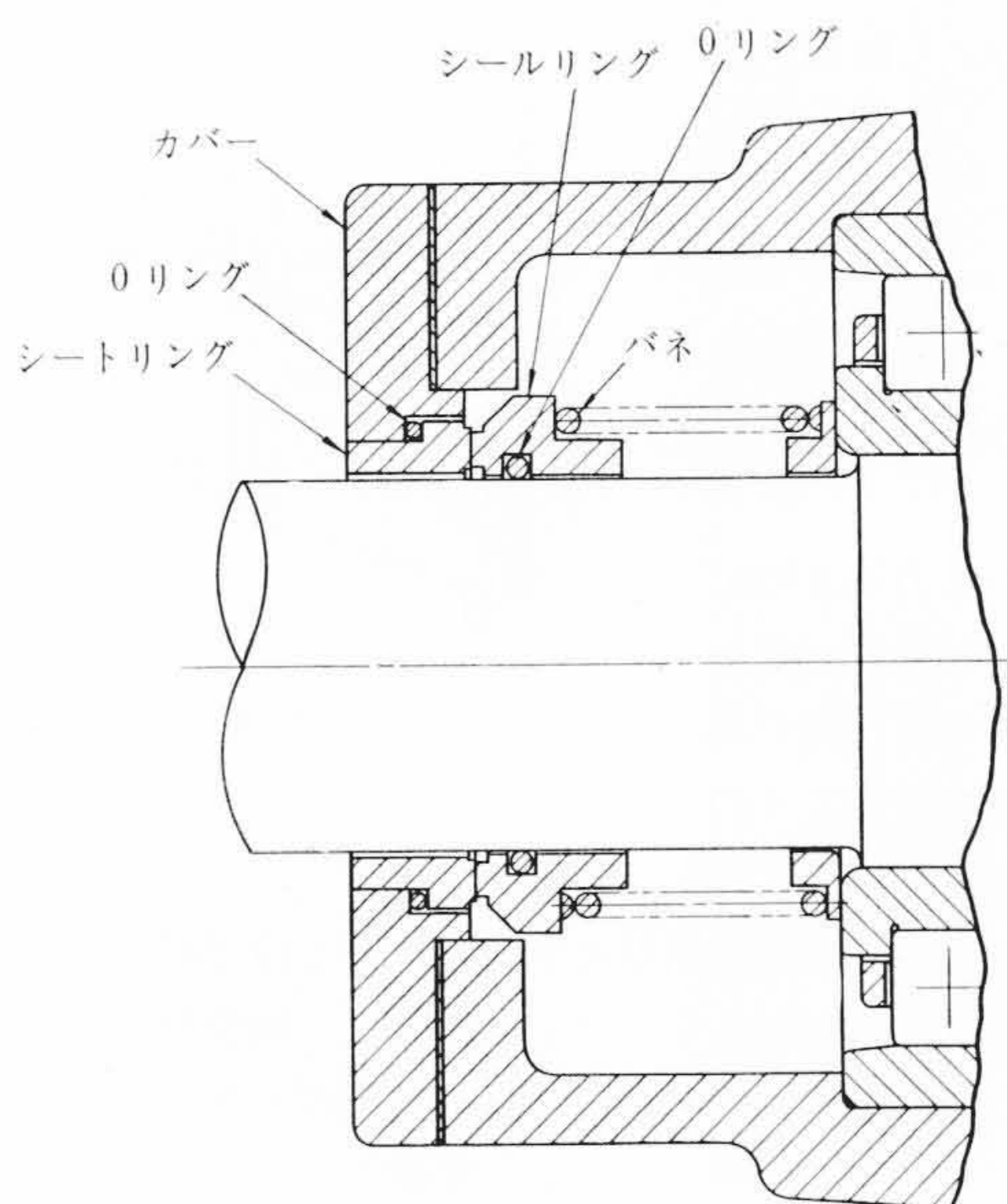
油冷式ロータリコンプレッサが従来のロータリコンプレッサと異なり大きく発達した最大の特長は、シリンダ内面の摩耗を防ぐために軽く摩擦係数の小さい合成樹脂製ブレードを用いていることにある。合成樹脂は熱に対して比較的弱く、また収縮、変形の出やすい性質がある。ブレードはそれ自身の耐熱、耐摩耗性とともシリンダ、ロータなど相手の材料を摩耗させないものであることが必要で、現状で最も適した材質は綿細糸布入りフェノール樹脂積層板であるとされている。日立ポータブルコンプレッサには種々研究の結果最も適したものとして、日立化成工業製の日立スタンドライト積層板を使用している。

使用に当たっては一定温度の油中に数百時間浸漬して材料のひずみを取り、十分な初期収縮を行なわせるための熱処理を施して、使用中に変形、収縮がでない安定した性能のものにしている。第8図⁽³⁾は各種合成樹脂積層板の油中熱処理によって収縮する状態を示す。ブレード材としては使用中の収縮変形、および機械的強度の低下が少ないものが最適であることはいふまでもない。

ブレードの摩耗はシリンダ内面に接する先端の部分では比較的少なく、ロータみぞにはめ込まれる側面の摩耗がもっとも大きい。寿命を決定するのは側面摩耗による厚さの減少、強度の低下であって、ロータみぞ内面の仕上程度、ブレードとみぞとのすきま、および使用油の汚損度がこれらを支配する。普通の運転では約 2,000 時間の使用に十分耐えるものである。ロータみぞ内面は専用機によって精



第8図 積層板の熱収縮の一例



第9図 軸封装置

密仕上されるので、長時間の運転を行なってもみぞ縁の摩耗は微少である。

3.3 漏えい防止

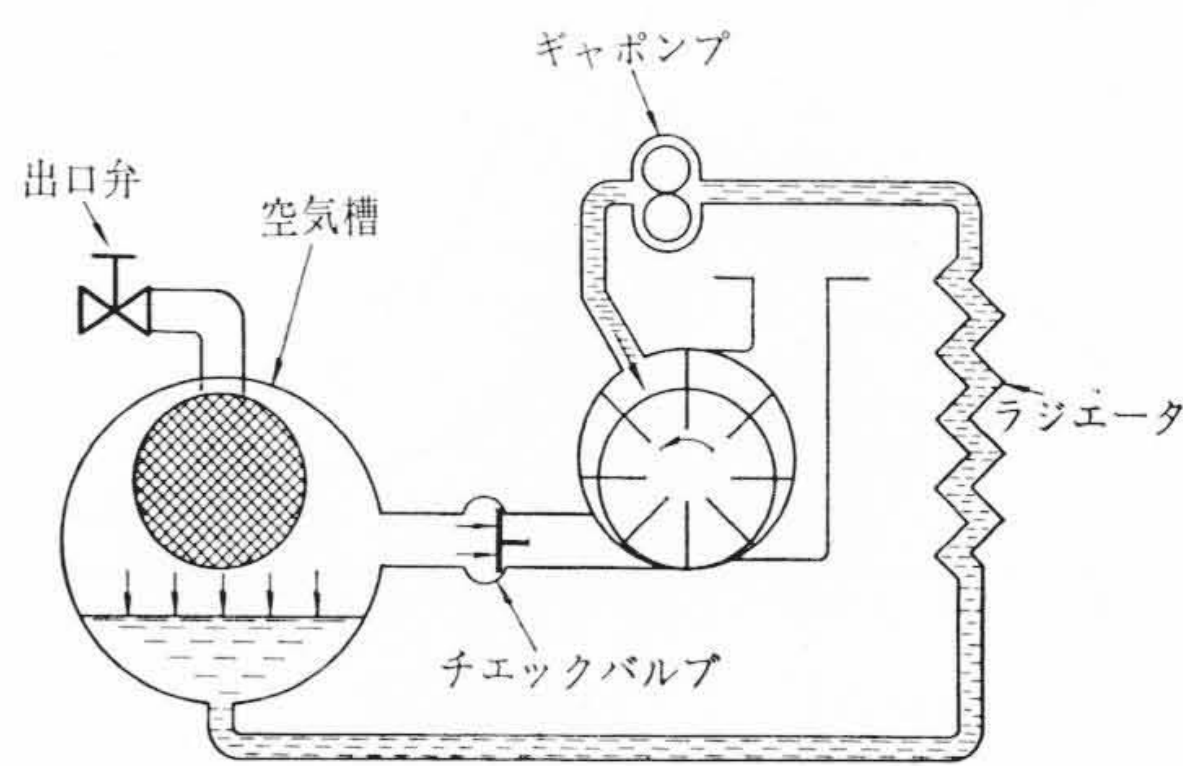
漏えいは圧縮途中におけるシリンダ内部の漏えいのほかに、駆動軸が外部に貫通する部分、および各機器の接続部ならびに配管部分に起こるものがある。内部漏えいは使用にあたって直接目につかないが、性能には直接関係するもので、ブレードの変形、摩耗、収縮などが原因となる場合が多い。またシリンダとロータとの接する部分の最小間げきは漏えいに大きく影響する。防止策としては前述のブレード材料の選択処理のほか、工作精度が重要である。

外部漏えいで重要な部分は軸貫通部で、この部分には第9図のようなメカニカルシールを用いている。シールリングには耐摩耗性の高いアルミ青銅を使用しシートならびにシールリング用のOリングには耐熱性フッ素ゴムOリングを使用している。フッ素ゴムは 250°C の常用温度に耐え得るもので、本コンプレッサのように 90°C 程度の温度に対してはほとんど永久的に使用できるといわれるものである。

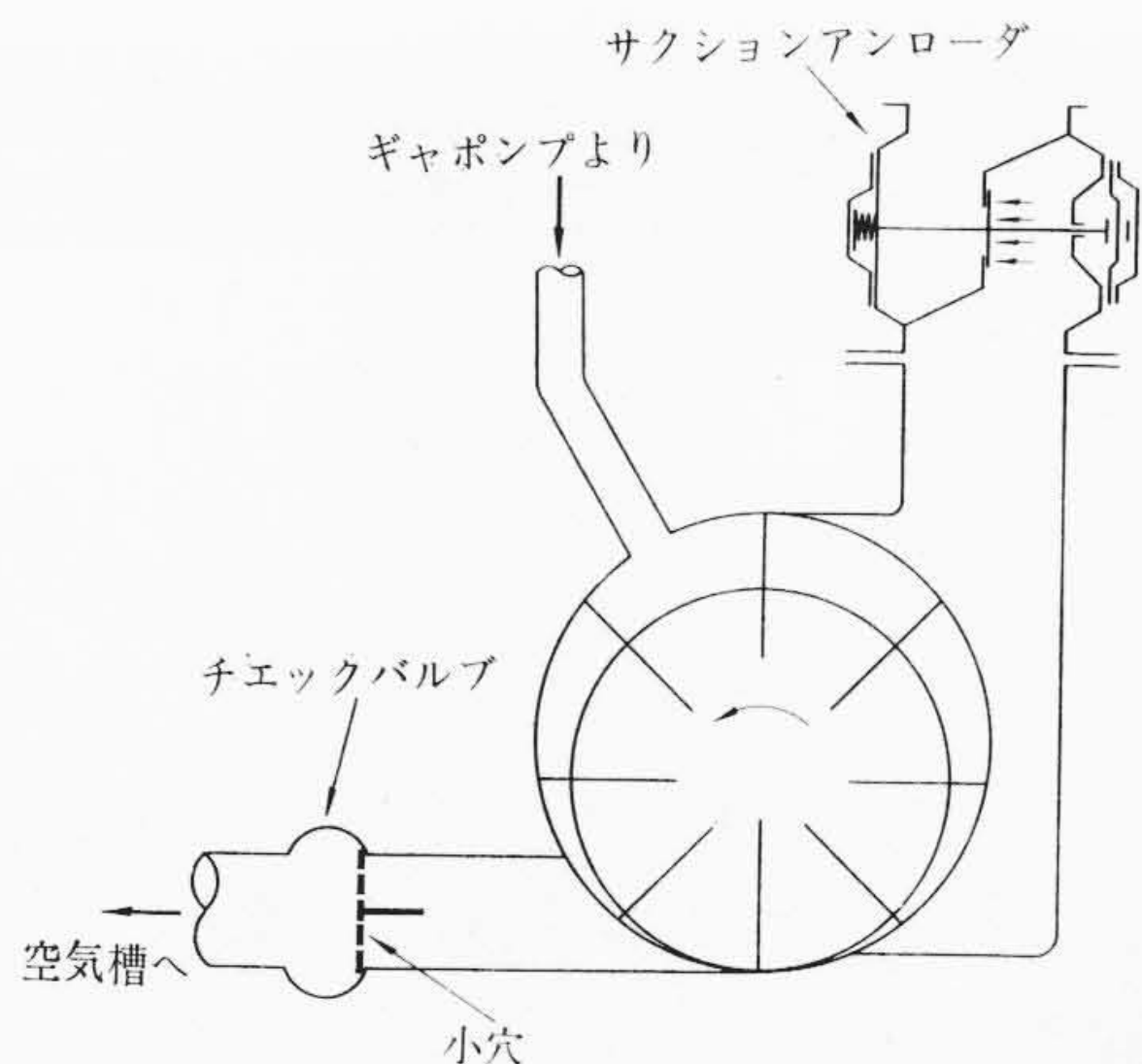
ケーシングとカバー、ギャポンプなどの接続部もすべてフッ素ゴムOリングを使用しており、また配管接手には特に設計した球面継手を用いるなど、漏えい防止に万全を期している。

3.4 潤滑油の逆流防止

本形式のコンプレッサが知られてまもなく停止中に潤滑油がシリンダ内に充満し、起動のときにリキッドハンマによってブレードを破損する恐れがあるといわれた。これは第10図のとおり空気槽内に圧力が残留していると、内部の油がこの圧力に押されてラジエータ、ギャポンプをとってシリンダ内に浸入するため⁽⁴⁾、実験によると早いときには停止後 20~30 秒でシリンダ内に油が充満する



第10図 潤滑油の径路



第11図 圧力バランス式潤滑油浸入防止法

こともある。

この状態を避けるためにいろいろな方法がとられているが、最も簡単で確実な方法として日立ポータブルコンプレッサには、圧力バランス方式をとっている。

一般にロータリコンプレッサは停止のときに吐出側の圧縮空気が逆流して、ロータを逆転させるおそれがあるので吐出口にチェックバルブを取り付けている。

圧力バランス方式はこのチェックバルブに小穴をうがち、停止と同時にチェックバルブが閉じてまず大きな逆流によるショックを防止し、小穴からは圧縮空気がシリンダ内に浸入して内部の圧力を急速に空気槽内と同圧にし油の浸入を防止するもので、この際コンプレッサの入口にあるサクションアンローダが最終的なチェックバルブの役をなし、シリンダ内の空気が吸入口から排出されるのを防止する。(第11図参照)

本方法は特殊な弁や、配管を必要としないので、それら付属物の故障による事故の恐れがなく、また停止後空気槽内の空気を急速に抜いてやる必要もないので操作上安全である。

なお小形の電動式のものではチェックバルブを省略した。

4. 付属装置

4.1 容量調整と速度調整

エンジン駆動式では容量調整をエンジンの速度調整とコンプレッサの吸気閉塞の併用で100%~0の間の無段階調整を行なう。第12図はその機構を示す。

実用上ポータブルコンプレッサは100%フルに稼動することはきわめて少なく、また使用空気工具の稼動も断続的で、コンプレッサとしては60~90%程度の部分負荷になっていることが多い。

従来のアンローダ方式であると、この場合は吐出圧力が定格を越えてアンローダが働き回転数を低下せしめた状態で連続使用されることになり、コンプレッサブレードに加わる圧力が常にやや高めとなり、それだけ温度も上昇し、消耗を早める結果となっている。

日立ポータブルコンプレッサには任意の速度を最高速度として選

定し、この点を100%としてそれ以下の容量になった場合にアンローダが働く機構を設けたので前述のような無理な力がブレードに加わる回数が減り、動力損失も少なく経済運転ができる。

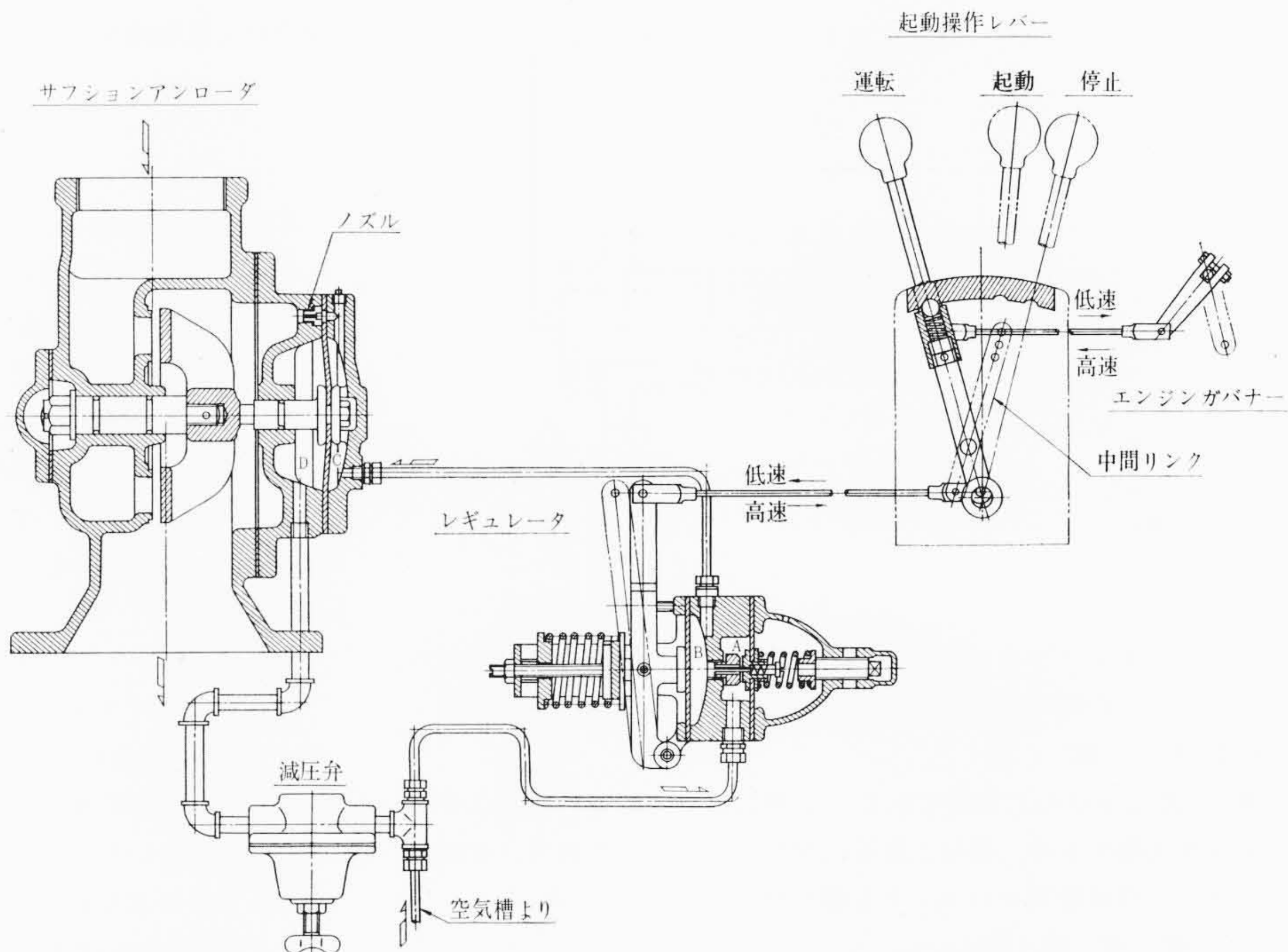
第13図はこの関係を示したものである。

電動式では速度調整に特殊電動機を使用せねばならず、かつ自動速度調整のための機器も複雑化するので、吸気閉塞形アンローダのみを使用し、全速度のまま容量を低下させる。

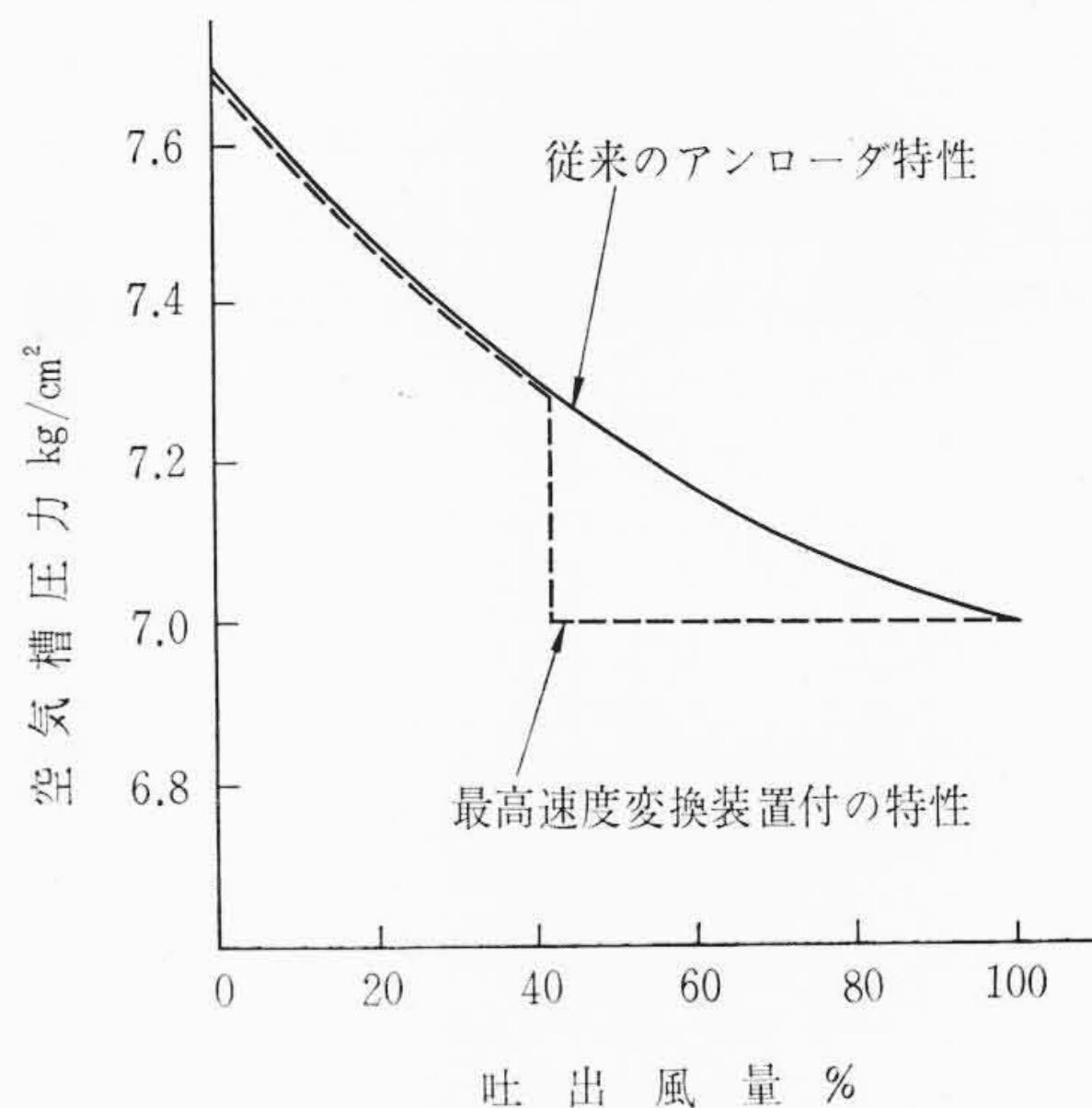
4.2 油温調整と吐出温度

圧縮空気中の水分が凝結して潤滑油中に混入し、その量が多くなると油の乳化を起こし、潤滑性能が低下するので、内冷式コンプレッサでは空気槽の出口に至るまでの空気温度を飽和温度以上に保つよう、過冷却防止を行なっている。

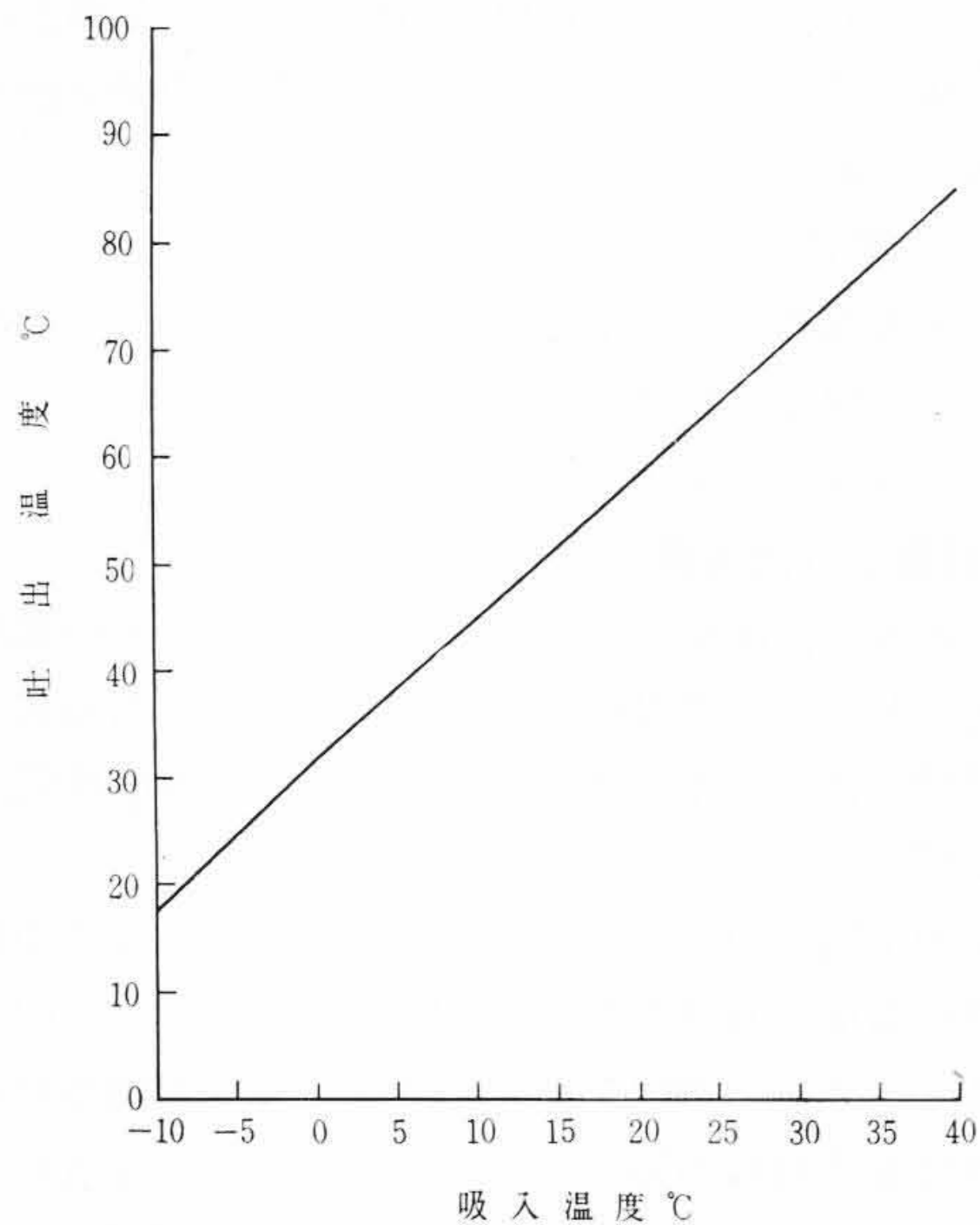
通常吐出圧力7 kg/cm² (G) の場合、大気湿度を仮に100%と考えると吐出空気温度は吸込温度に対し第14図の線を上回る値に保つ必要がある。このため第15図のような自動温度調整弁を使用している。本弁は日立独特の設計になるもので、油の温度による粘度変化によってラジエータ回路に生じる流体抵抗を利用したもので、一定温度以下になって油の粘度が高くなると、潤滑油をラジエータ



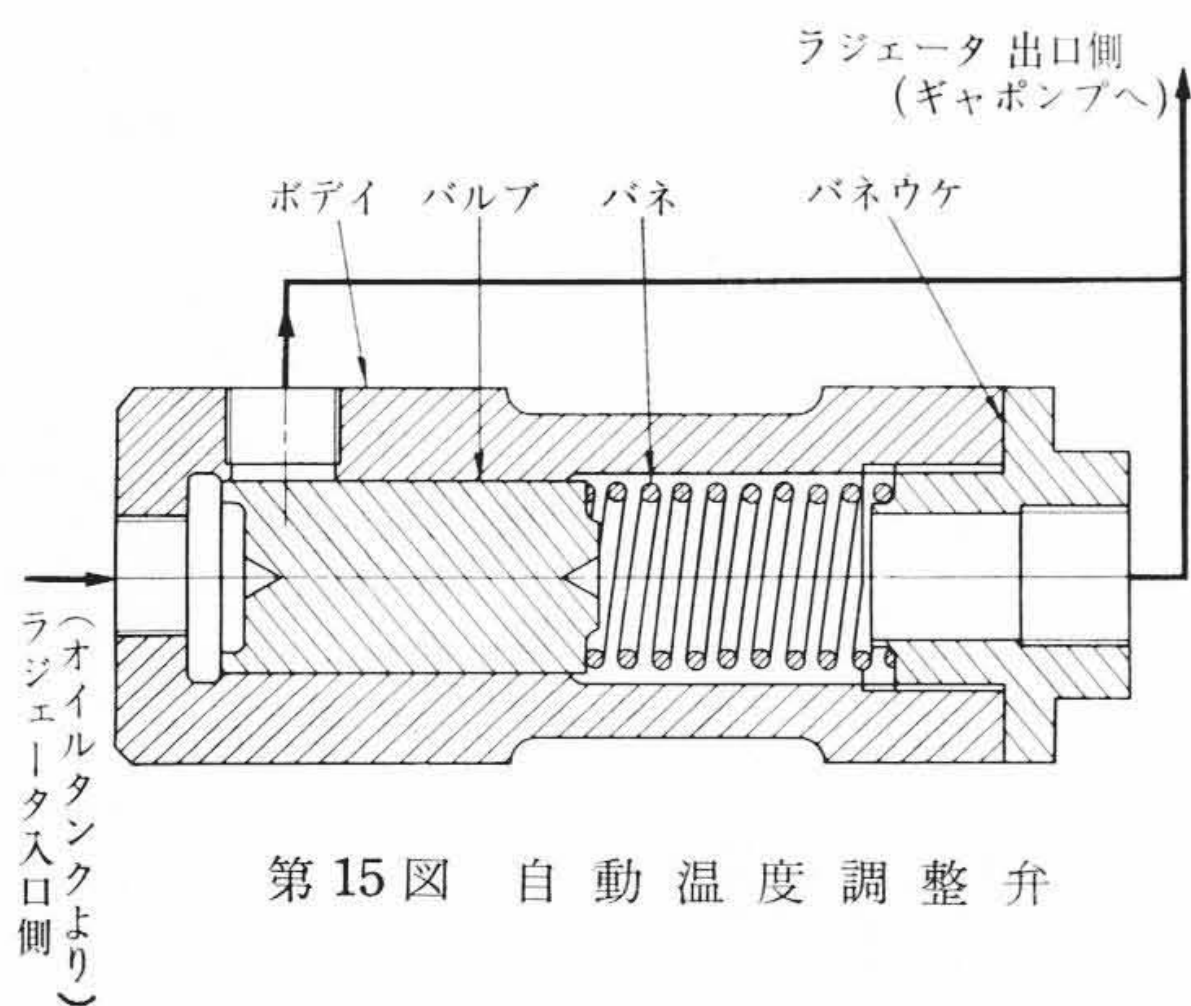
第12図 速度ならびに容量調整装置



第13図 速度調整法の比較



第 14 図 水分凝縮を起さないための吐出温度
(吸気湿度 100% 吐出圧力 7 kg/cm²)



第 15 図 自動温度調整弁

を通さずにギャポンへバイパスする。作動は機械的に確実にベロタイプその他の形式に比し最も安定したものである。

4.3 計 器 盤

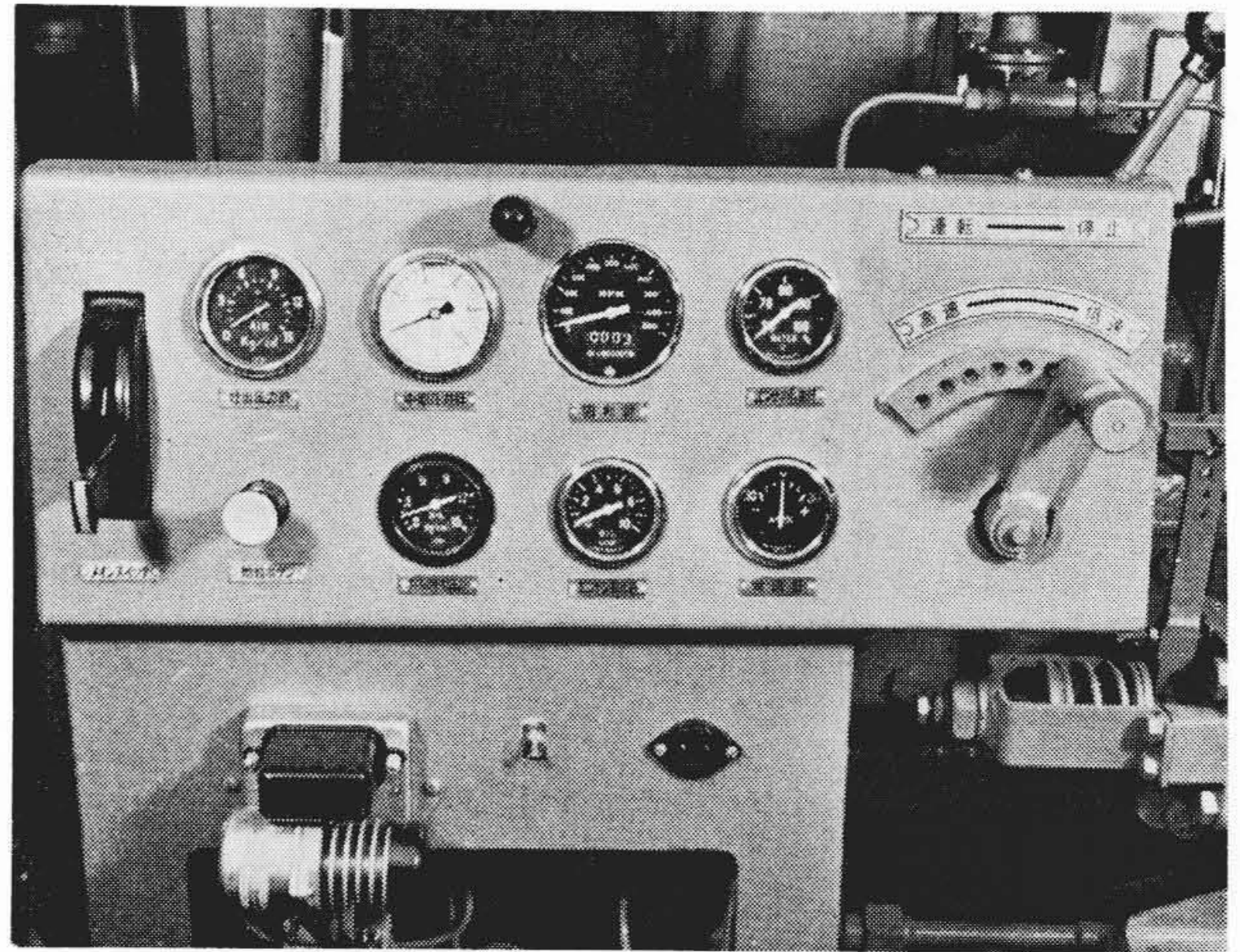
第 16 図は 9 形の計器盤である。必要計器と運転操作機構はすべて 1 個所に集中させ、操作、監視に便利ようにしており、夜間照明のほかに点検燈用コンセントも備え付けてある。

4.4 保 安 装 置

エンジン駆動式のものには

- (1) エンジンの水温が 98°C 以上になったとき
- (2) エンジンの油圧が 0.8 kg/cm² 以下になったとき
- (3) コンプレッサの吐出温度が 105~110°C 以上になったとき

にそれぞれ働く自動停止リレーを備え付けてある。これらの場合にはエンジンの吸気遮断、または燃料遮断を行ない、急速停止により



第 16 図 9 形ポータブルコンプレッサ計器盤

機械を保護する。

電動式のものにはコンプレッサの吐出温度リレーのほか、電気側には、単相、逆相、および過負荷で働く 3 E リレーを備え、いずれの場合にも電動機を停止させて、装置の安全を維持するようにしている。

5. 外 装

写真(第 1~4 図)のとおり外観はいずれも新感覚のキュービックスタイルで、移動運搬に際して機器を障害物から保護するために、外部に出るのは空気供給弁部分だけにし、バッテリー、マフラー、コンプレッサ吸気口など従来一般に外部に露出していたものも、すべてボンネット内部に収容してすっきりとした外観とした。

運転監視に必要な計器盤・油面計・燃料計・起動操作機構ならびにアンローダ部分は、すべて一面からこれを監視・操作できるよう機能的配置に考慮を払ってある。

6. 結 言

油冷式ロータリコンプレッサがわが国で使用されはじめてからすでに 10 年を経過し、この間国情に合わせるための改良が常に行なわれつつ現在の形にまでいたっているが、なおさらに改善、進歩の余地は残されている。プレードの耐久性の向上、潤滑油の劣化防止などのわずかの改善もコンプレッサの寿命延長に直接響く問題であり、これらについてわれわれは今後さらに研究を続け、よりよい製品を生産するため努力するつもりである。

参 考 文 献

- (1) 大谷：日立評論 38, 1253 (昭 31-10)
- (2) 高石 弘：回転圧縮機の設計と実際 (1943)
- (3)(4) 大谷、宮下：日立評論、別冊第 19 号, 15 (昭 32-9)