

石油化学工業用圧縮機の要点

A Few Important Characteristics of the Compressors for Petrochemical Industries

橋 久*
Hisashi Tachibana

内 容 梗 概

近年発展の目ざましい石油化学工業に使用される代表的な炭化水素ガス圧縮機について日立製作所はかなりの実績をもっている。本文ではそれらの構造のうえから炭化水素ガス圧縮機の注意点を概説する。

1. 緒 言

合成樹脂、合成繊維、そのほか有機合成薬品など、石油化学の最終製品の数は非常に多いので、それらのプラントに使用される圧縮機も多種多様で、大は3,000~4,000 kW 級から小はLPG トランスファーユニットにみられるように数kWのものまである。また取扱ガスの範囲も非常に広く、特によごれたガス、液化重合しやすいガス、腐食性ガスなど取り扱いにくいものも多い。したがってこの広い範囲の需要に応ずるには、実績が重要な要素となってくる。幸い日立製作所は炭化水素ガスについての古くからの経験と近年の石油化学における実績を積み重ねてきた。特に未精製都市ガス圧送においてだれも予測することができなかった最も過酷な条件に直面してこれの解決に努力した効果は非常に大きく、また大容量石油分解ガス圧縮機やエチレン-プロパン二元冷凍機など記録的製品を次々と送り出した。

以下炭化水素ガスを取り扱う場合の注意点と構造上どうあるべきかを実例をもって説明する。

2. 炭化水素ガスの性質

炭化水素ガスは空気などに比べると、物理的、化学的性質の相違がはなはだしいので、圧縮機の仕様の決定や、設計には個々の条件に適応した注意が必要である。以下二、三の点を列記する。

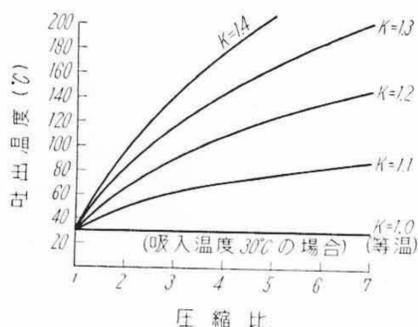
(1) 比熱比 (C_p/C_v) が小さいこと

圧縮機で比熱比が関係するのは圧縮ガスの温度、体積効率および動力である。

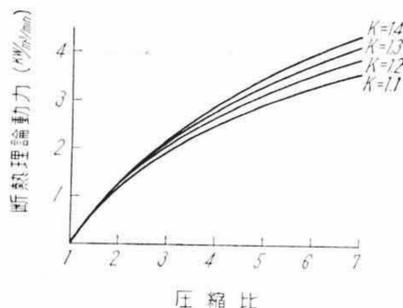
圧縮されたガスの温度 T_2 は $T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k}$ で表わされる。ここに T_1 は吸入ガスの絶対温度、 P_1 は吸入圧力 ($\text{kg/cm}^2\text{ab}$)、 P_2 は吐出圧力 ($\text{kg/cm}^2\text{ab}$)、 $k = C_p/C_v$ 、 C_p は定圧比熱、 C_v は定容比熱である。この関係を図示すると第1図のとおりであり、同じ T_1 、 P_2/P_1 に対して k が小さいほど T_2 は小である。

圧縮に要する断熱理論動力 W は(圧縮機の効率を比較する基礎となる値である)

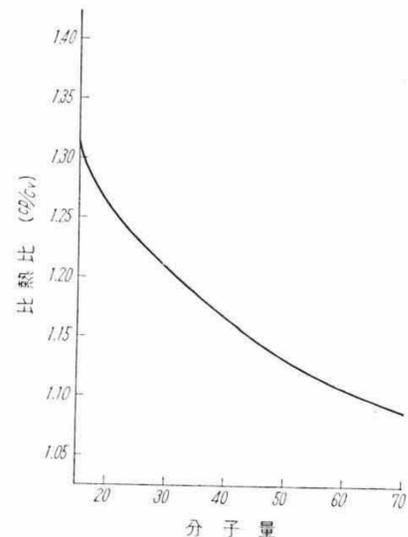
$$W = \frac{n}{6,120} \cdot P_1 \cdot Q_1 \cdot \frac{k}{k-1} \left\{ \left(\frac{P_n}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k \cdot n}} - 1 \right\}$$



第1図 k による吐出温度の変化



第2図 k による断熱理論動力の変化



第3図 比熱比と分子量の関係

で表わされる。ここに P_1 は1段吸入圧力 ($\text{kg/m}^2\text{ab}$)、 Q_1 は1段吸入状態における容量 (m^3/min)、 P_n は最終吐出圧力 ($\text{kg/m}^2\text{ab}$)、 n は圧縮段数である。この関係を図示すると第2図のとおりである。ゆえに過大な原動機を設備しないようにする注意はもちろん必要であるが、逆に空気による試運転においては過負荷となったり、温度上昇が大となったりするから注意しなければならない。

圧縮ガスの膨張過程にては熱が奪われるので等温膨張に近くなる(空気の場合 $k=1.4$ に対し膨張指数は約1.2である)。したがって炭化水素ガスにてもそれぞれの k の値に対し膨張指数を考慮する必要がある。

なお分子量と k の関係は概略第3図のとおりである。

(2) 圧縮係数の変化が大であること

完全ガスにては $Pv=RT$ で表わされるが、不完全ガスにては完全ガスとの偏差係数 Z を用いて $Pv=ZRT$ で表わす。この係数 Z が圧縮係数と呼ばれるもので、これは実験的に求められた数値であり、無次元化された圧力 P_R および温度 T_R をもって表示されている。ここに $P_R = P/P_c$ 、 $T_R = T/T_c$ で P_c 、 T_c は臨界圧力、臨界絶対温度、 P 、 T はある状態の圧力および絶対温度である。 Z と P_R 、 T_R の関係を第4図に示す。

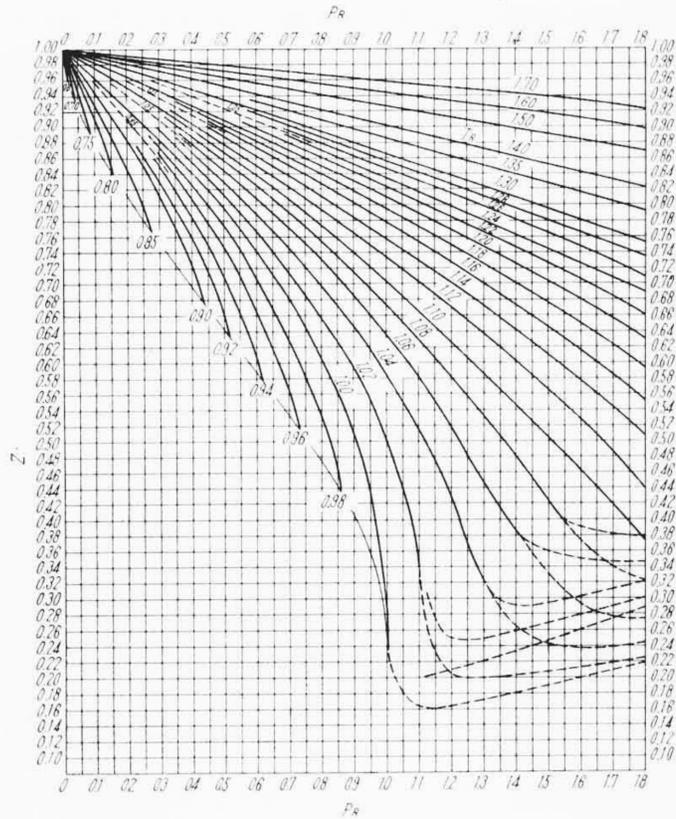
図でわかるように炭化水素ガスの Z の変化は相当に大である。これを考慮して圧縮機の仕様を決定しないと、容量が多すぎて過負荷になったり容量が少なすぎたりする結果となるから注意しなければならない。

(3) 比重が大であること

比重が大であることは各部の抵抗が大になることであり、圧縮機の効率を低下させる原因となる。シリンダ部分や配管などガス通路の速度は可及的に下げ、かつ抵抗の小さい形としなければならない。

また漏えいガスは機械の周囲に停滞しがちであることも危険防止のうえから考慮しなければならない一つである。

* 日立製作所川崎工場



Z: 圧縮係数
 $P_R = P/P_C$ P_C : 臨界圧力 T_R : 臨界温度
 $T_R = T/T_C$

第4図 圧縮係数の例

(4) 液化, 重合しやすいこと

常温, 常圧にて液化するガスが多いので, 温度管理には十分注意しなければならない。後述のように中間冷却さえもやめる必要性のある場合もありうる。また不飽和炭化水素が多いので圧力, 温度によっては重合物を生ずる危険が多い。

(5) 腐食性ガスを含む場合が多いこと

石油化学工業で圧縮機が扱うガスのうちには H_2S , SO_2 , NO などの腐食性ガスを多少なりとも含む場合が多い。ときには予想した以上の数値になることもあるので, 耐食性に対する処置を十分行なっておく必要がある。

3. 構造上の注意点とその実例

以上述べたように炭化水素ガスを取り扱う場合には, 空気などを圧縮するときの一般的事項以外に, ガスの性状をよくみきわめて最も適した構造を選ぶ必要がある。その代表的な項目について実例をもって説明しよう。

(1) セパレータ

吸入ガス中にダストや液がある場合には, それらがシリンダに吸入されないようにセパレータを設置して分離しなければならない(第5図)。

(2) シリンダ

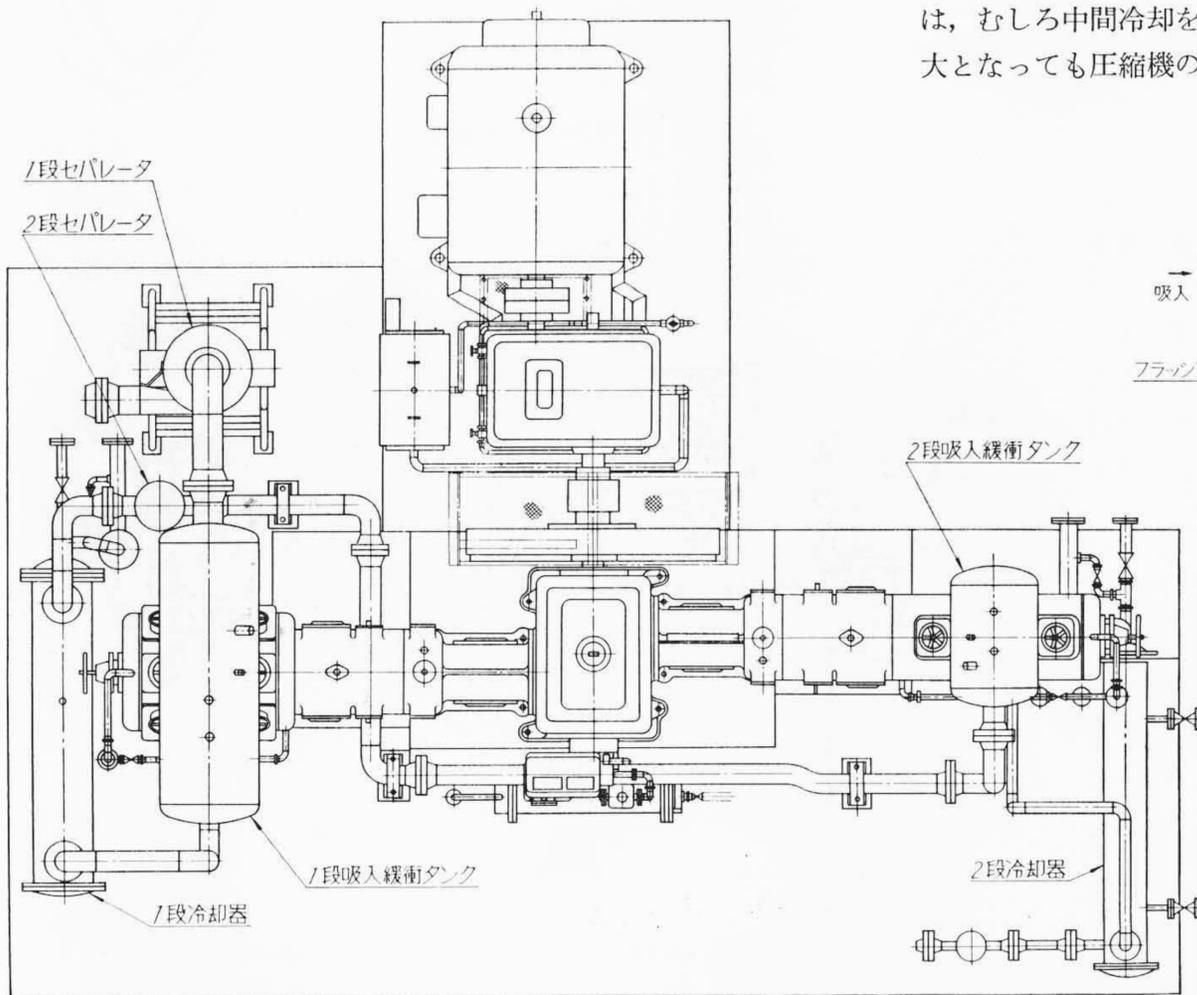
吸入または生成した液の排除と, ダスト, 重合物などの排出を容易にするために, 吸入弁はシリンダの上部に, 吐出弁は下部に配置する(第6, 7図)。また早期の摩耗, 腐食が考えられる場合には, シリンダライナをそう入することも必要となる。シリンダの給油はしゅう動面の上下より行なうのがよく, 特別の考慮が必要なきには給油口数を増加し, 少なくとも4箇所以上とするのが望ましい。

(3) シリンダ冷却水温度の管理

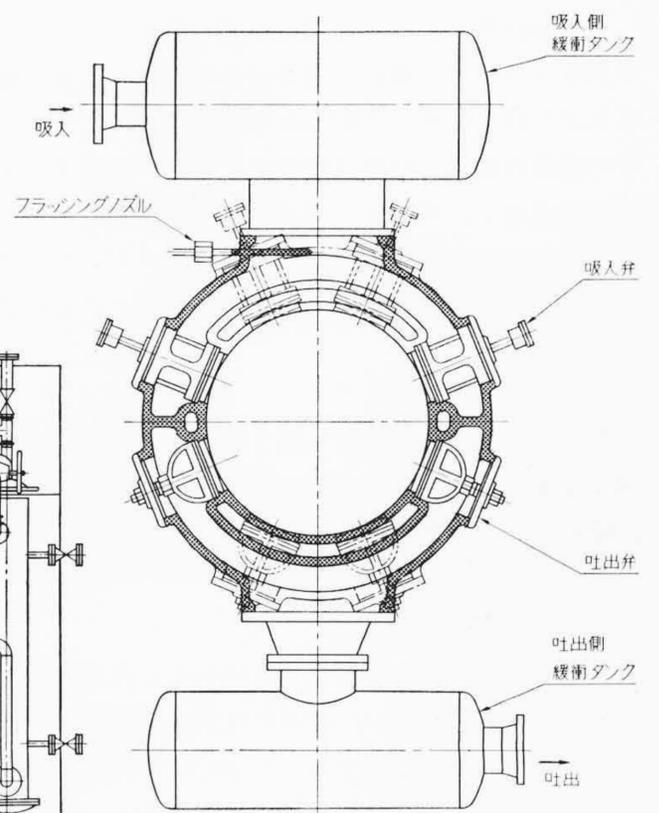
冷却水は温度の調節ができるように設備し, シリンダ内にて液が生じないようにまた圧力, 温度の変化の過程にて重合物の生成しないように, 水温を調節しなければならない。一般には吸入ガス温度より $5 \sim 10^\circ C$ 高くなるようにするのがよい。場合によってはサーモサイフォンにより, 水や不凍液を自然循環させる方法も行なわれる(第8図)。

(4) ガスの温度と中間冷却の可否

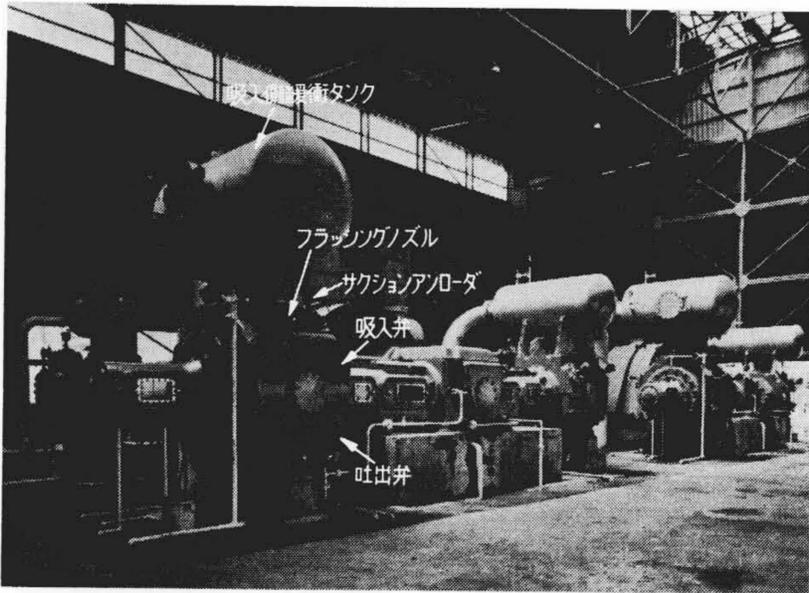
ガスの吐出温度は $190^\circ C$ 以下にするのがよいとされ, 特に重合のおそれがある場合には $110^\circ C$ 以下とする。またピストンリングに合成樹脂を使用したり, 潤滑油に特殊のものを使用するようときにはその制限温度に注意しなければならない。このように, 吐出温度に制限がある場合, 圧縮段数が増加して機械が少し大形になるのもやむを得ないのである。一般的にいえば中間冷却を行なう程度であっても, 中間冷却により液化したりまたは液化のおそれがあり, そのまま次の圧縮を行なっても温度が規定値を越えないような場合には, むしろ中間冷却を行なわないほうがよい。その結果消費動力が大となっても圧縮機の良い運転を維持するためにはこれもやむを



第5図 炭化水素ガス圧縮機の一例



第6図 シリンダ構造の一例



第 7 図 日本石油化学株式会社納 1,500 kW バランス形
石油分解ガス圧縮機
容量 142 m³/min, 圧力 37.5 kg/cm², 4 段



第 8 図 丸善石油株式会社納 570 kW バランス形
エチレン-プロパン二元冷凍機
吸入温度 -60°C, 圧力 21 kg/cm²

得ないのである。もし中間冷却を行なう場合には、液分離や温度管理に十分注意しなければならない。

(5) ピストン, ピストンリング

ガス中に含まれる液は潤滑性能を害し、ピストン、ピストンリングの摩耗、焼き付きの原因となる。液を吸入または生成する心配のある場合には、ピストンはその程度に応じて耐摩耗性のライニングを施すかまたは浮動式とし、ピストンリングは合成樹脂製とするなどの対策が必要である。合成樹脂製ピストンリングは張力を期待できないので、内側に張りリングを設置する(第 9 図)。

(6) ピストンロッド

腐食性のあるガスを取り扱う場合には、ステンレス鋼を使用したり、表面の耐摩耗性、耐食性向上のために硬質クロムメッキ、コルモノイ熔着などを行なうのがよい。

(7) グランドパッキン

ホワイトメタル、銅合金、合成ゴムや合成樹脂などが一般に使用されるが、ガスの性状、圧縮機の仕様に応じてこれらより選定する。ときには 2 種類の組み合わせを行なうこともある。炭化水素ガスは一般に空気より重いことと、爆発の危険があるから、漏えいガス

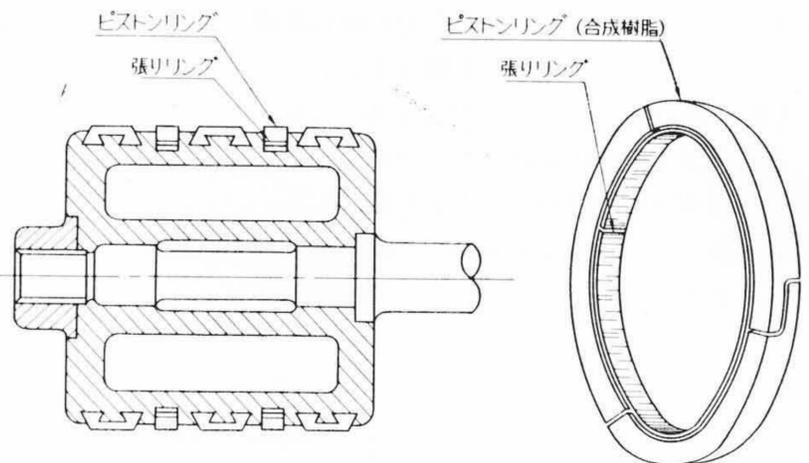
が機械の周囲に停滞しないように注意しなければならない。グランドパッキンよりの漏えいガスは燃料ラインに導くか、または安全な場所へ導く放出管に接続するのがよい。特に腐食性ガスを含んでいて大気との接触をきらうような場合には、第 10, 11 図に示すようにシリンダとフレームの間をダブルケースとしてパッキンを 3 組用いる。各パッキンの間は圧縮機の行程以上の距離をとって、ピストンロッドの表面が腐食性ガスと大気に交互に接触して腐食することを防ぐとともに、フレーム部分にガスが浸入したり、シリンダ潤滑油がフレーム部分に混入することを防止する。

(8) フラッシング装置

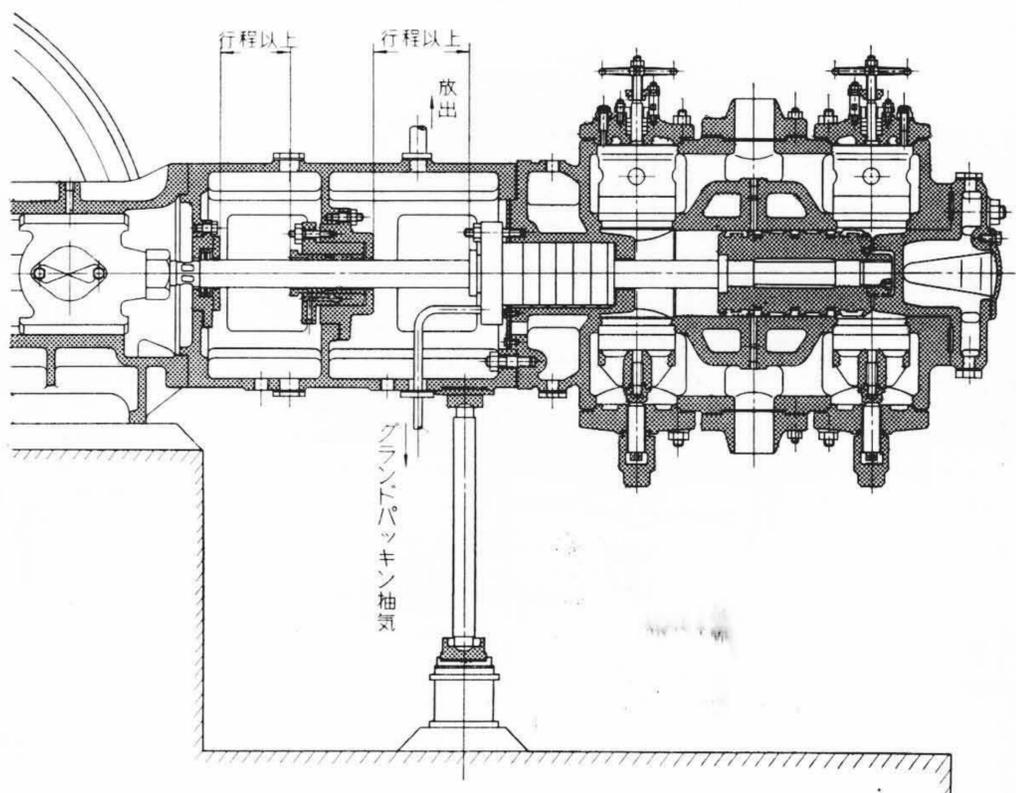
ダスト、重合物のあるガスを取り扱う場合には、これらの付着による障害を除くためにフラッシング装置をつけると有効である。これは吸入側に付着物を取り去る清浄剤を吹き込む方法である。ただし清浄効果の大なる液は逆にシリンダ潤滑を阻害することになるから、潤滑に対する前述の処置はもちろん実施されなければならない(第 7 図)。

(9) 容量調整装置

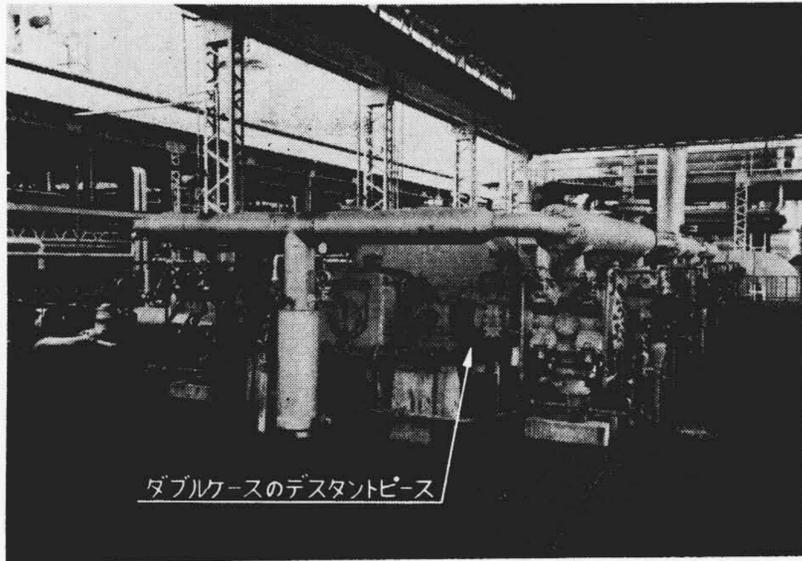
圧縮機の容量調整の方法としては、サクシオンアンローダ、クリアランスポケット、タイムドバルブなどが広く使われているが、これもガスの性状にマッチした方法を採用しないと思わぬ故障を生ずることがある。よごれたガス、液化しやすいガス、重合物を含むガスでは、たまる場所のあるクリアランスポケットや作動の激しいタイムドバルブは不適であり、構造、作動の簡単な空気圧作動のサクシオンアンローダが多く採用されている(第 12 図)。



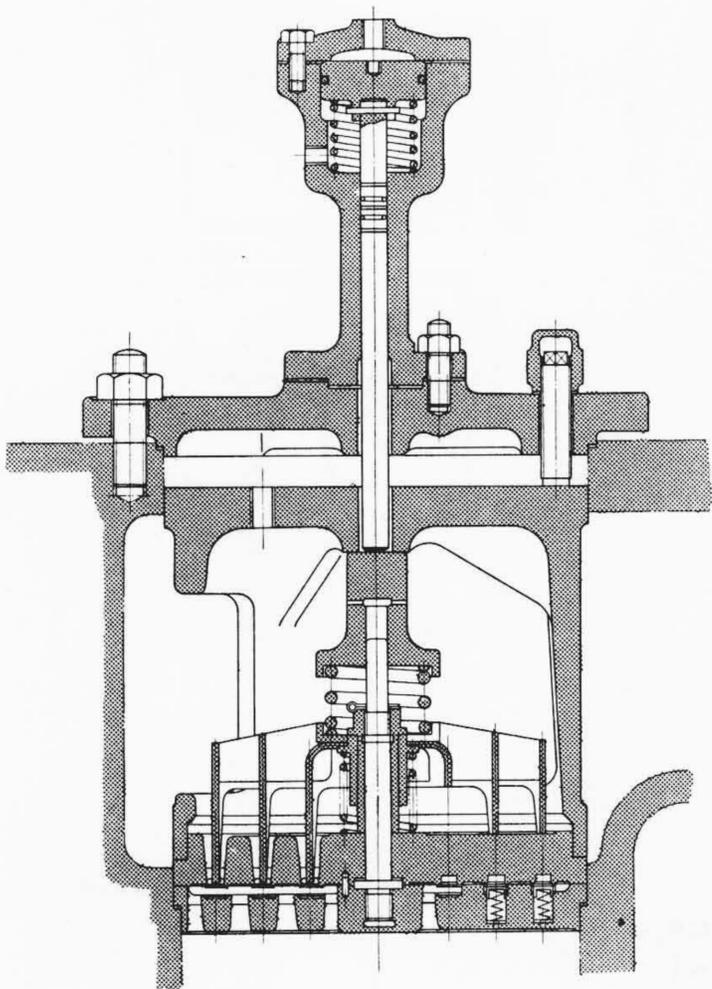
第 9 図 合成樹脂製ピストンリング



第 10 図 ダブルケースのデスタントピースの例



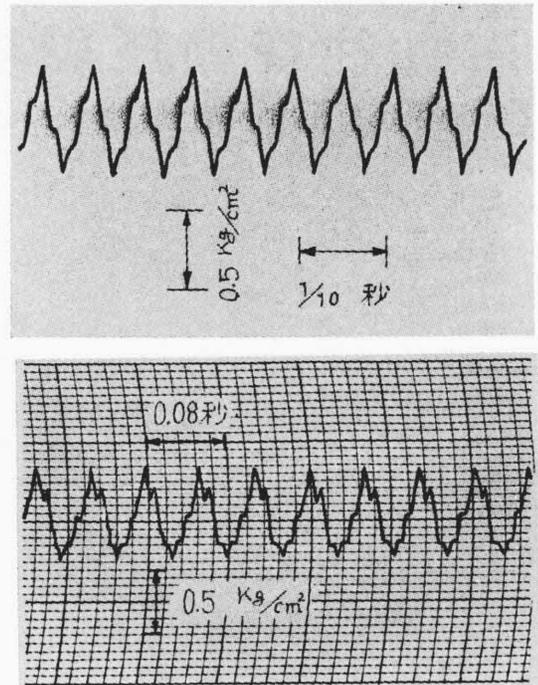
第11図 丸善石油株式会社納 820 kW バランス形
オイルフリー圧縮機



第12図 サクシオンアンローダ

(10) 配管, 緩衝タンク

石油化学工業においては, 圧縮機と冷却器, 分離器などを接続する配管は相当長くなりかつ複雑である。圧縮機は間欠的に吸入, 吐



第13図 圧力脈動実測値とアナログ電子計算機
による計算値との比較

出するので圧力に脈動波を生ずる。この圧力脈動が大きい状態では配管の振動やき裂などの現象を生じたり, 制御計器類の作動が不確実となってプラントの制御が困難になる。この圧力脈動を減少させるのに最も簡単で効果があるのは緩衝タンクである。近年配管系の圧力脈動に関する研究が進歩し, 配管系のシュミレーションを行なってアナログ電子計算機で解析を行なうことができるようになった(第13図)。これにより緩衝タンクの最適の位置を決定したり, 共振現象を避けたりして圧力脈動を最小にする方法を早く確実に確かむことができる。

4. 結 言

メタンを主とした炭化水素ガスを取り扱った圧縮機については, 古くからその実績を有しているが, 最近のように重炭化水素を扱った例は少なかった。またガス発生の方法も進歩したので以前に直面しなかったような現象も生じてきた。しかしわれわれはわれわれの技術をもってこれらを消化し得たので, それを実例をもってここに示したわけである。

化学工業は将来多方面に発展してゆくことであろうし, それに使用される圧縮機もまたいろいろの要求を満たさなければならなくなるものと考えられる。われわれは化学工業の行くえをよく見守り, その要求を早くつかんで, 適確な方途を講じたいと念願するものである。