

# OF ケーブル用定圧力給油装置の研究

## A Study on Constant Pressure Feeding Tank for OF Cables

星 野 弘 之\*  
Hirouki Hoshino

### 内 容 梗 概

OF ケーブル用定圧力給油装置については種々の圧力制御方式が考えられるがケーブル油圧を規定値以上に保つという前提で Fail Safe の観点から各制御方式を比較し密閉ガス系統方式を考案した。

本報告は各方式の検討、密閉ガス系統方式について油量変化と圧力変化、寿命試験の結果について述べる。

### 1. 緒 言

OF ケーブル用給油装置としては従来 F. T. (重力油槽), P. T. (圧力油槽) が用いられてきた。F. T. は油槽を高所に設置して高低差によって起こる油圧を利用しケーブルに加圧するものであり油槽に出入する油量の変化に関係なく油圧がほとんど一定値となる。P. T. は容器内に封入したガス体の弾性を利用するもので任意の位置に設置して油圧をうることができるが油槽内に出入する油量の変化に従って内部のガスが膨張、収縮するため油圧が変動する。それゆえケーブルの全油量変化に従って油圧が望ましい範囲内に保たれるような考慮を必要とする。

近年大都市における給配電量が増大し OF ケーブルが大量に都市の地中送電線として用いられるようになってきたが、給油装置として F. T. を用いると高所設置のための適当な場所がなく設備上かなりの費用を要することがある。またケーブル布設ルート中に起伏があり給油装置の設置点が比較的低い地点にある場合には高い給油圧を必要とし F. T. では相当の高さに設置する必要があり適当でない。

これらの要求から一定油圧を供給できる給油槽で任意の位置に設置できるものが望まれる。油圧を一定値に保持するためには上述したような重力式を用いない場合なんらかの機械的動力によって加圧し、圧力制御をおこなうことが考えられる。このような F. T. の改良方式について諸検討を行ない、定圧力給油装置について研究した。

### 2. Fail Safe<sup>(1)(2)</sup>

各種の機械装置、電気装置を設計、製作するに当たって故障、事故の起こらないように設計することは一般的に至上命令とされる。しかし、實際上どのように機器の信頼性に自信があったとしても各部品の故障に対してその故障を修理するまでの間、装置全体の動作機能が全面的に停止しないような方式としておくことは無益ではない。このような考え方は一見機器の故障を前提とした考え方で非良心的に思われるが、OF ケーブルの送電能力、信頼性に対する要求を考えると、送電上の支障をできるだけ避けるという意味からいって是非考慮する必要がある。

このような考え方は Fail Safe と呼ばれ、鉄道用信号装置、車両用制動装置、航空機の設計、原子力関係などについて取り入れられている。たとえば鉄道信号装置の構成部品としては各種継電器、信号用ケーブルなどが継電器の故障などがあっても信号が誤動作しない方式となっている。すなわち赤信号であるはずのときに青信号にならないよう考慮されている。また逆に青信号であるはずの場合に故障があれば赤信号になることがある。結局装置の故障によって発生する大事故を未然に防止できるような機能をもっているような方

法で設計されている。また車両用制動装置として用いられている空気制動装置は空気圧を上げることによって制動がゆるみ、空気圧を下げることによって制動が働くようになっている。このため車両付属の空気圧縮機の故障や走行中の停電、あるいは制動用空気圧配管の漏えいなどによって制動不能となることがなく安全性がある。

現在の電力供給信頼度に対する要請から考えて定圧力給油槽を設計するに当たってこのような Fail Safe の思想を十分取り入れる必要がある。

### 3. 各種の圧力制御方式と Fail Safe

一定圧力で給油する方式としては各種の方式が考えられる。その方式は無数であるが主要なものについて Fail Safe の観点から検討してみると次のようになる。

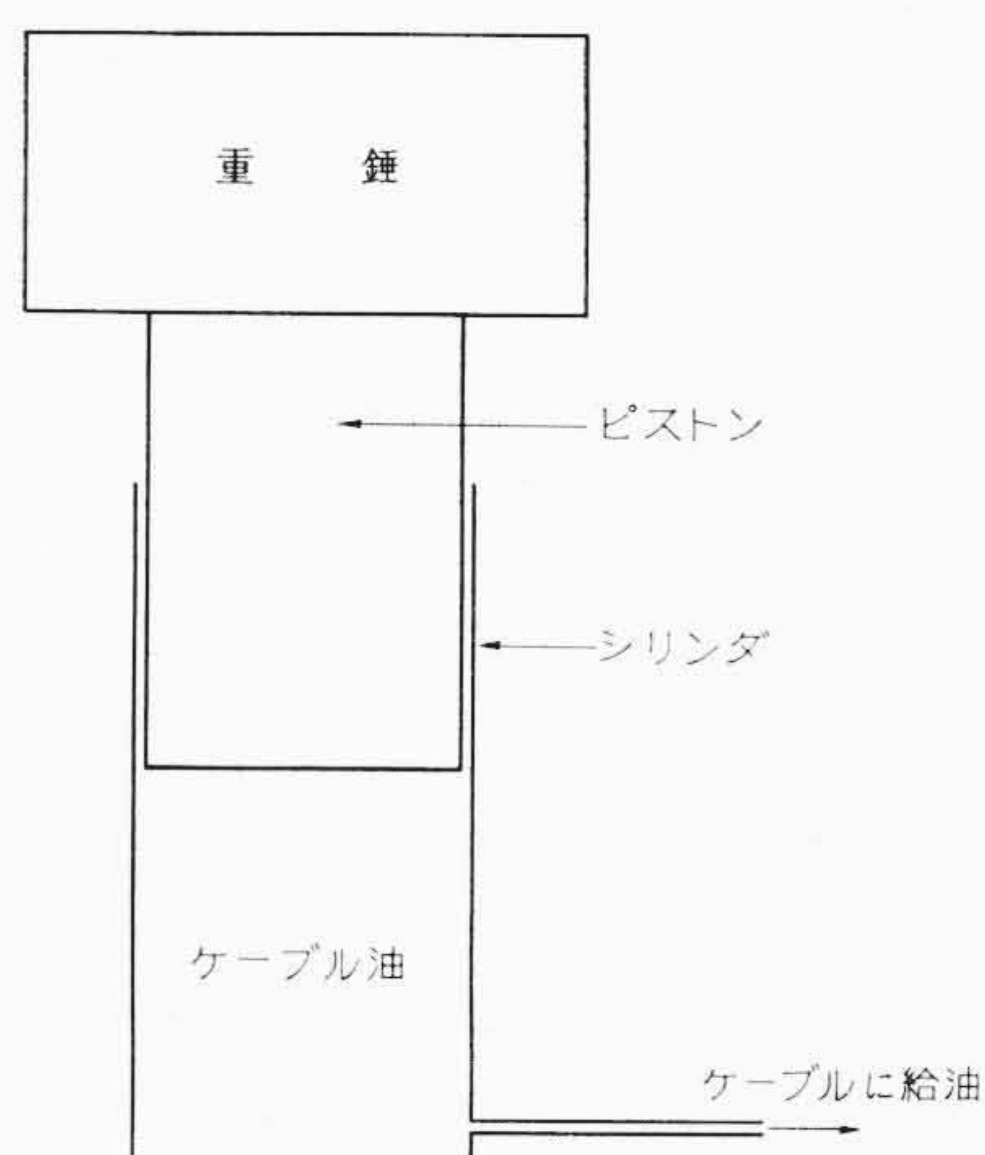
#### 3.1 重 力 方 式

第1図に重力方式の原理を示す。この方式ではピストンとシリンダの気密性が重要である。この部分に漏えいがあれば油が流出して油圧が低下する。油圧の低下は送電上の支障となるので Fail Safe とはいえない。パッキングの良否にすべてがかかっている。

#### 3.2 油圧ポンプによる給油方式

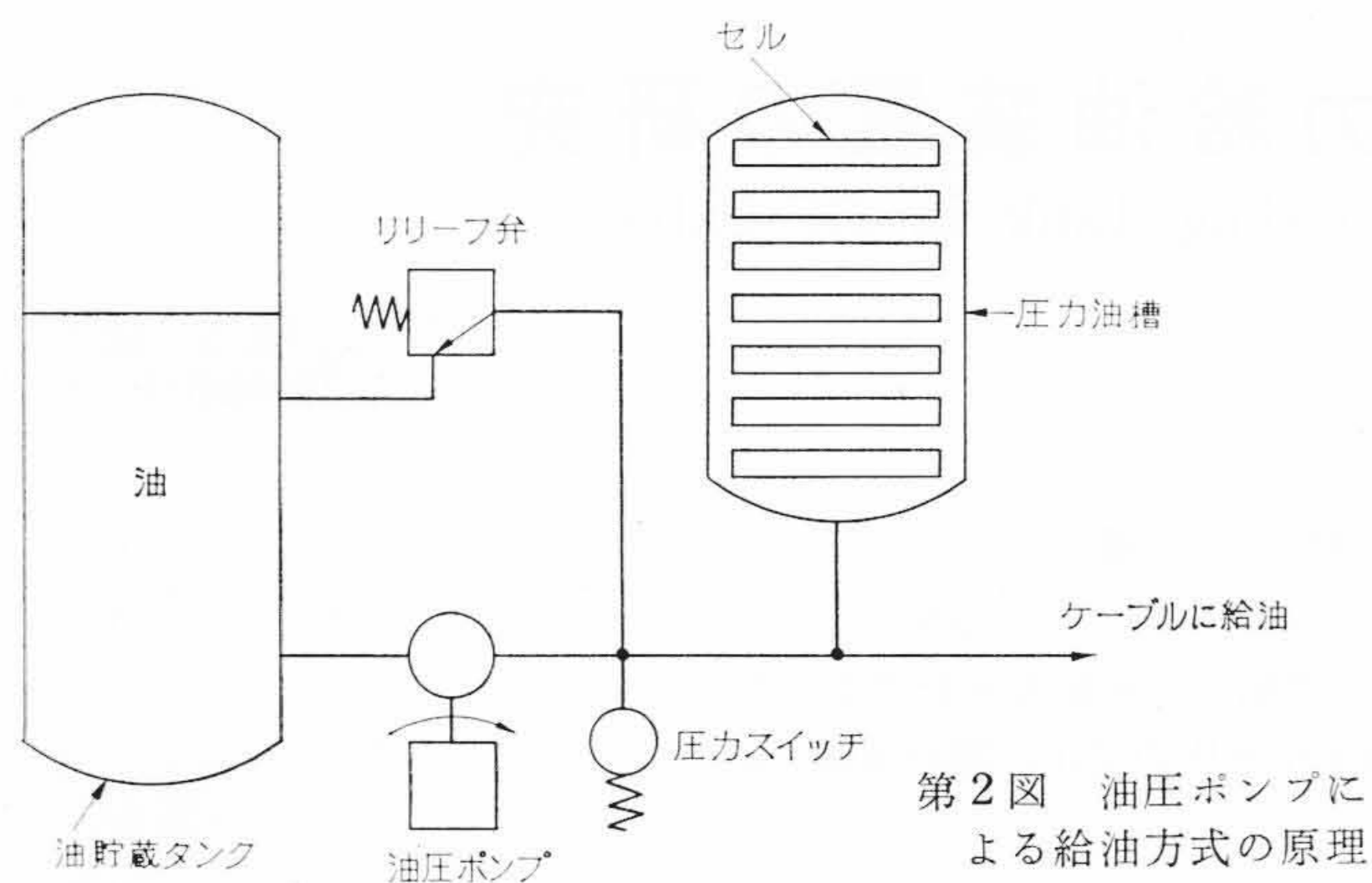
油圧ポンプによる給油装置の原理を第2図に示す。この方式は油圧ポンプと圧力スイッチによって油圧を調整しながら給油する。比較的小さい油量変化は圧力油槽で吸収する。油圧が増したときにはリリーフ弁が働いて油が貯蔵タンク内にもどるようになっている。

この方式では油圧ポンプの故障した場合油圧が低下する可能性がある。また停電についても問題がある。リリーフ弁、油圧ポンプなどの故障で内部が連通状態になった場合油圧が低下する。油圧ポンプ回路には逆止弁を入れてもよいが逆止弁の作用が不良になっていても装置全体として正常な動作をするため点検によって未然に故障を発見しにくい。

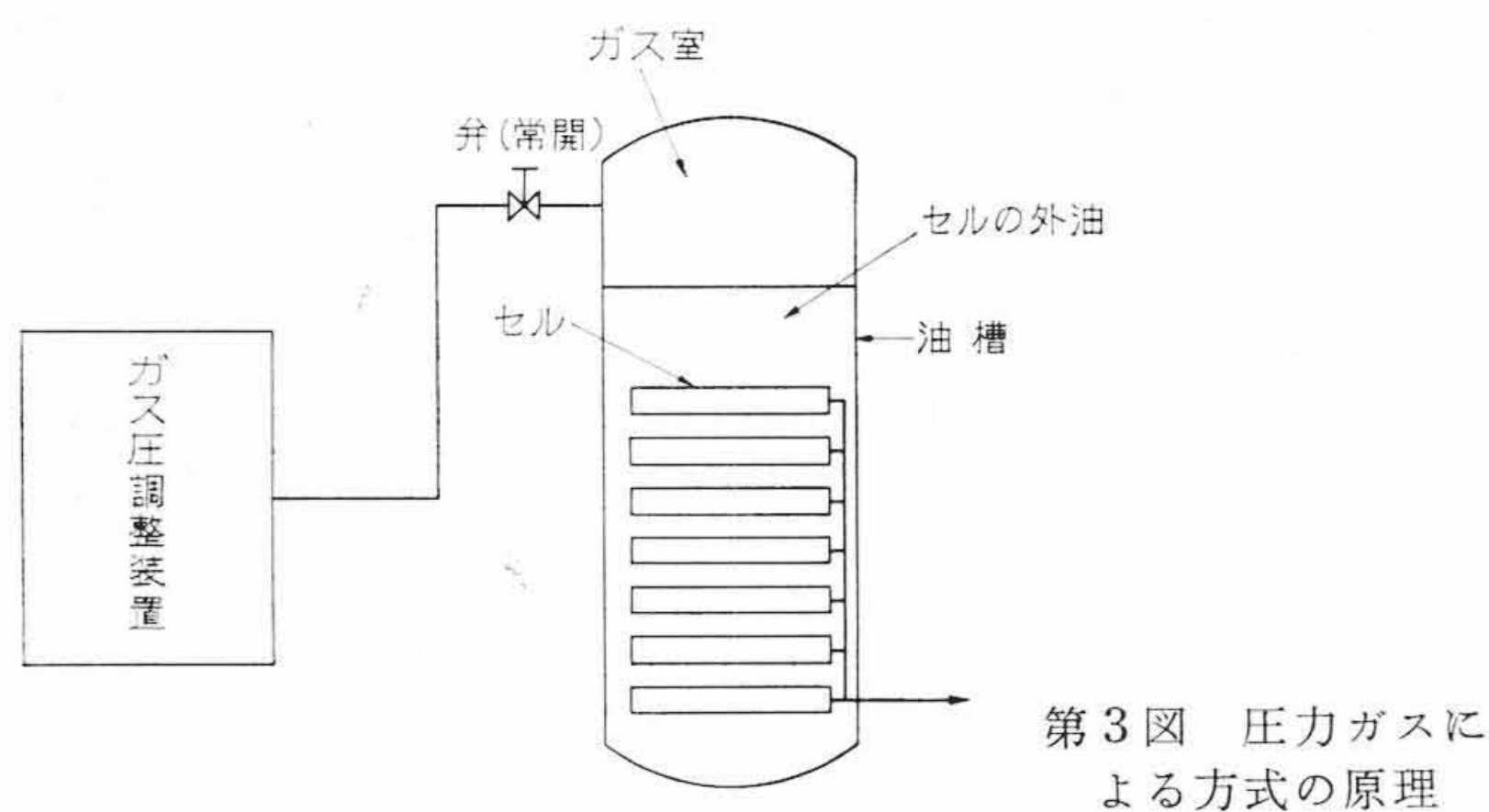


第1図 重力方式の原理

\* 日立電線株式会社日高工場



第2図 油圧ポンプによる給油方式の原理



第3図 圧力ガスによる方式の原理

この方式では各部件の信頼度に依存する度合が大きく、部件の故障によってケーブル油圧が低下するため Fail Safe ではない。各部件の損傷を保守点検によって未然に発見できなければ油圧が低下する場合があります。

### 3.3 圧力ガスによる方式

一般に用いられている外圧形圧力油槽のガス室内の圧力を一定値に保持するようにすれば定圧力の給油が可能となる。その原理を第3図に示す。この方式についてはガス圧制御装置の方式が種々考えられ Fail Safe の問題もそのおのおのによって異なるので主要なものについて比較検討すると次のようになる。

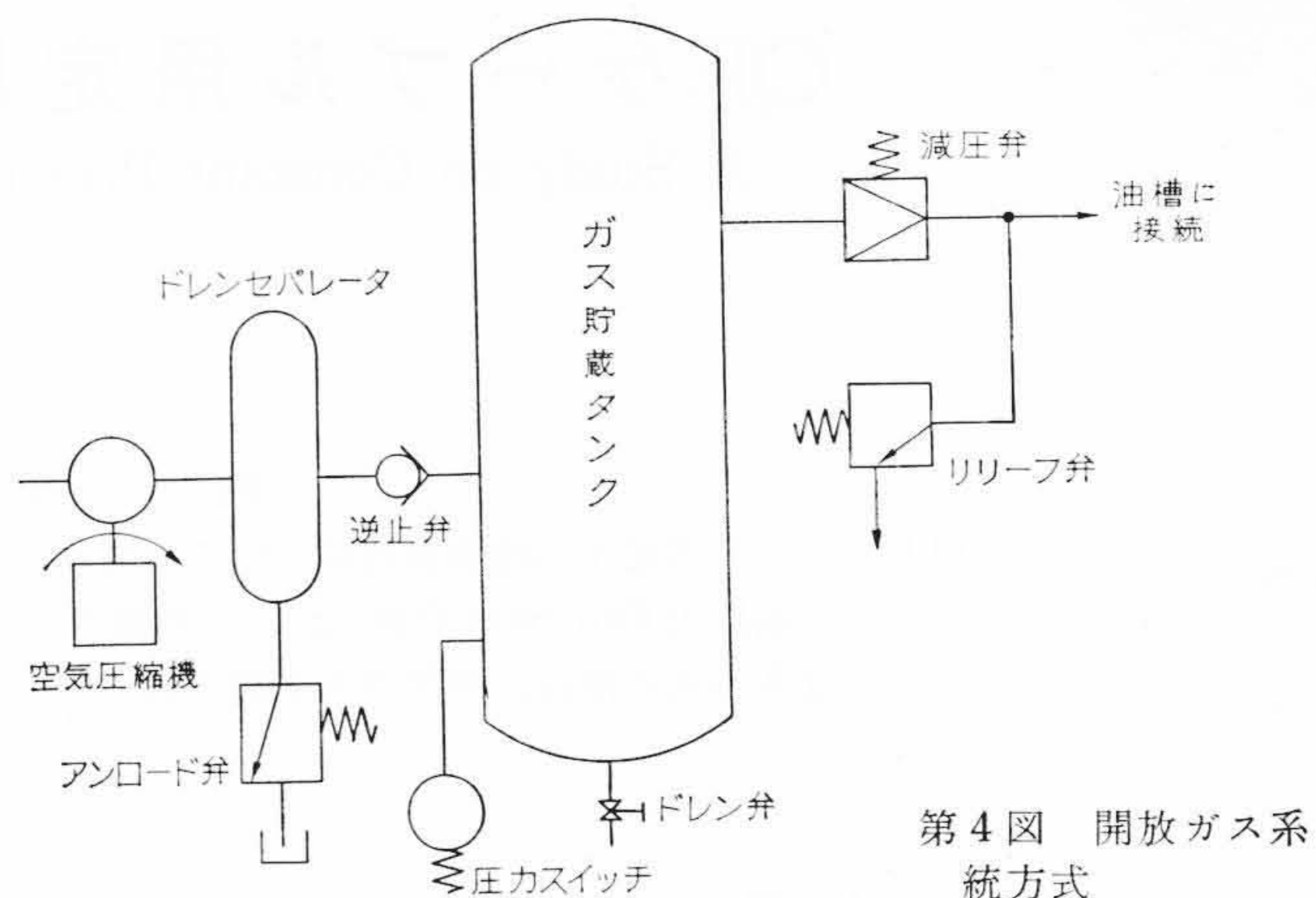
#### 3.3.1 蒸気圧による方法

この方法は第3図の油槽内のセルの外油に一定の蒸気圧をもった液体を混合しケーブル油圧が一定となるように蒸気圧を調節する方法である。蒸気圧の調節は温度の調整によって行なうことができる。この方式では温度調節用の電源が停止したり温度調節装置が故障すると油圧が変動する。一般に液体の蒸気圧は温度の上昇とともに増加するから、セルの外油を外気温度より高くしたとき油圧が規定値になるようにすると停電時油圧が低下し Fail Safe といえない。逆にセルの外油を外気温度より低くした場合、油圧が規定値となるようにすると停電によって油圧が上昇する。OF ケーブルについては一時的な油圧上昇はある程度許容でき、ケーブルその他付属品類の内圧強度限界に支配される。極端な油圧上昇の場合ガスを放出させれば油圧を下げることができ、その操作は比較的簡単にできるので停電または温度調節装置の故障に対して安心感があり Fail Safe と考えられる。

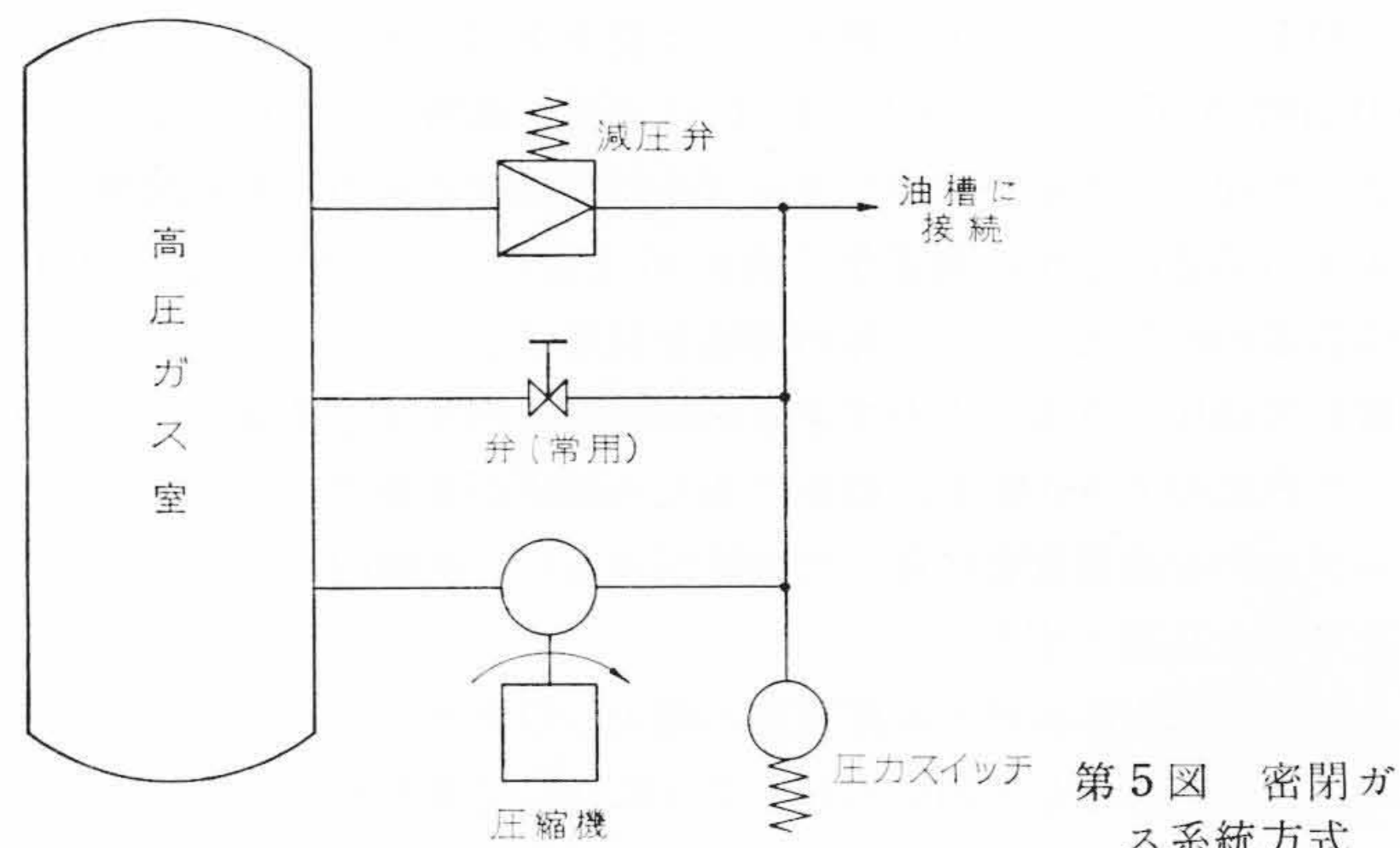
#### 3.3.2 空気圧縮機による開放ガス系統方式

空気圧縮機と調圧弁を組み合わせることによってガス圧を一定に保つことができる。その一例を第4図に示す。空気圧縮機によって空気を圧縮し、圧力スイッチでガス貯蔵タンクの圧力を一定値以上になるよう調節する。ガス貯蔵タンクのガスは第3図に示した油槽の油面の変化に応じて減圧弁で一定圧に制御されて供給され、また圧力の上昇したときはリリース弁から排出される。

この方式では空気圧縮機の故障または停電があってもガス貯蔵



第4図 開放ガス系統方式



第5図 密閉ガス系統方式

タンク内の空気圧力が残っている間は圧力を調節できる。しかし長時間となると支障がある。また圧力スイッチ、空気圧縮機などの故障の発見がおくれガス貯蔵タンク内の圧力が低下した状態で故障が発見されると時間的にも余裕が少ないことになる。これらの不安から十分な Fail Safe とはいえないが重力方式、油圧ポンプによる給油方式よりは安全性があると考えられる。またリリース弁が故障し内部が連通状態となれば油圧が低下するので Fail Safe ではない。

第4図の空気圧縮機、ガス貯蔵タンクは高圧ガスボンベに置き換えて考えてもよい。しかしこの場合にも Fail Safe の問題は十分とはいえない。

#### 3.3.3 密閉ガス系統方式

第5図に密閉ガス系統方式の原理を示す。この方式では高圧ガス室から減圧弁をとおして一定のガス圧が油槽に供給される。油槽内の油面の上昇によって圧力が上昇すると圧力スイッチが働いて圧縮機が作動し油槽から高圧ガス室にガスを送り返す。

この方式では油圧の低下する可能性があるのはタンク、配管類の破損、大きな漏えいなどの非常に少ない可能性（密閉ガス系統方式以外のものでも同等に起こりうるものである）と圧力スイッチの故障により接点が開かなくなって圧縮機が回転を続けた場合および減圧弁が開かなくなった場合である。圧縮機の回転は外部からの供給電源を停止すれば容易に停止できる。減圧弁の故障は補助的な弁の操作でガスを供給することができる。長時間にわたる停電、圧縮機の故障を考えても油圧の上昇する可能性はあるが低下する心配がない。総合的にいってこの方式には非常に安全性があり、油圧を低下させないということを前提とした場合 Fail Safe である。

## 4. 密閉ガス系統方式の採用

上述した諸検討結果に従って密閉ガス系統方式についてさらに検

討を進めると以下ようになる。

#### 4.1 油量変化と高圧ガス室の容積の関係

密閉ガス系統にはいっているガスを理想気体の法則に従うものとすれば次の関係式が成立する。

$$\frac{(V_S + V_T) P_C'}{T_{\max}} + \frac{V_H P_H'}{T_{\max}} = \frac{(V_S + V_T + V_C + V_H) P_C}{T_{\min}} \quad (1)$$

ここで  $P_H'$ : 高圧ガス室最高圧力

$V_H$ : 高圧ガス室体積

$V_S$ : 配電系統内体積

$V_T$ : セル油槽上部無効体積

$V_C$ : セル油槽全油量変化

$P_C$ : ケーブル設定油圧の最低値

$P_C'$ : ケーブル設定油圧の最高値 (ケーブル油圧は  $P_C$ ,  $P_C'$  の間に保たれる)

$P_C = P_H$ : 高圧ガス室最低圧力

$T_{\max}$ : 給油装置の最高温度

$T_{\min}$ : 給油装置の最低温度

である。(1)式から

$$V_H = \frac{\frac{(V_S + V_T + V_C) P_C}{T_{\min}} - \frac{(V_S + V_T) P_C'}{T_{\max}}}{\frac{P_H'}{T_{\max}} - \frac{P_C}{T_{\min}}} \quad (2)$$

$$V_C = \frac{\frac{(V_S + V_T) P_C' + V_H P_H'}{T_{\max}} - \frac{(V_S + V_T + V_H) P_C}{T_{\min}}}{\frac{P_C}{T_{\min}}} \quad (3)$$

をうる。(2)式は油量変化を与えて高圧ガス室体積を求める式である。(3)式は高圧ガス室体積から調整する油量変化を求める式である。

##### 4.1.1 計算例

上述した関係式に従って計算例を示すと次のようになる。

$V_S + V_T = 50 \text{ l}$ ,  $P_C = 2.5 \text{ atm ab}$ ,  $P_C' = 2.9 \text{ atm ab}$

$P_H' = 5.5 \text{ atmab}$ ,  $T_{\max} = 313^\circ\text{K}$ ,  $T_{\min} = 268^\circ\text{K}$

とすると

$$V_C = \frac{\frac{50 \times 2.9 + 200 \times 5.5}{313} - \frac{250 \times 2.5}{268}}{\frac{2.5}{268}} \div 176 \text{ (l)}$$

となる。

この場合高圧ガス室最高圧力  $P_H'$  を  $14.5 \text{ atm ab}$  まで上げて計算すると

$$V_C = \frac{\frac{50 \times 2.9 + 200 \times 14.5}{313} - \frac{250 \times 2.5}{268}}{\frac{2.5}{269}} \div 790 \text{ (l)}$$

となり大幅に給油能力が増大する。

$V_C = 790 \text{ l}$ ,  $V_S + V_T = 50 \text{ l}$ ,  $P_C = 2.5 \text{ atm ab}$

$P_C' = 2.9 \text{ atm ab}$ ,  $P_H' = 14.5 \text{ atm ab}$

$T_{\max} = 313^\circ\text{K}$ ,  $T_{\min} = 268^\circ\text{K}$

とすると

$$V_H = \frac{\frac{840 \times 2.5}{268} - \frac{50 \times 2.9}{313}}{\frac{14.5}{313} - \frac{2.5}{268}} \div 200 \text{ (l)}$$

となる。

#### 4.2 圧縮機の検討と密閉化

第5図に示されている圧縮機はケーブル油圧に等しい圧力のガスを吸入して高圧ガス室最高圧力まで圧縮できる能力を必要とする。一段圧縮の往復ピストン方式の圧縮機を用いた場合、吸入側と吐出側の圧力比を8~10倍とすることができる。圧縮機の送気能力は給油系統のオイルデマンドによって定まるが、多くの場合吸入側で10 l/min程度の容量があればかなりの給油長をもたせることができる。

第5図の方式はガス系統を密閉しているので圧縮機から外部へのガス漏れは好ましくない。ガス漏れを防止するためには圧縮機の回転軸封装置、パッキングに特に留意する方法と圧縮機と電動機を一体として密閉容器内に入れ電源用の引出線を密封端子によって外部に出す方法がある。前者は圧縮機の外部からの観察点検に便利であるがガス漏れの点では不利であり、後者は完全密閉となるが点検には不便がある。

このような問題は冷凍機用圧縮機について従来から検討され、潤滑方式や細部構造について改良が加えられ順次密閉形に移行しており、1 HP以下のものは近年ほとんど密閉化している。大形の圧縮機についても密閉形または半密閉形に移行している。

結論として定圧力給油槽に用いる圧縮機は容量として1/2 HP以下のもので十分であり、密閉性の良好な後者の方式を用いることが得策と考えられる。

#### 4.3 密閉ガス系統方式の特長

上述したように密閉ガス系統方式はFail Safeという点ですぐれているが他の方式に比べガス系統が密閉されているという点で特長がある。

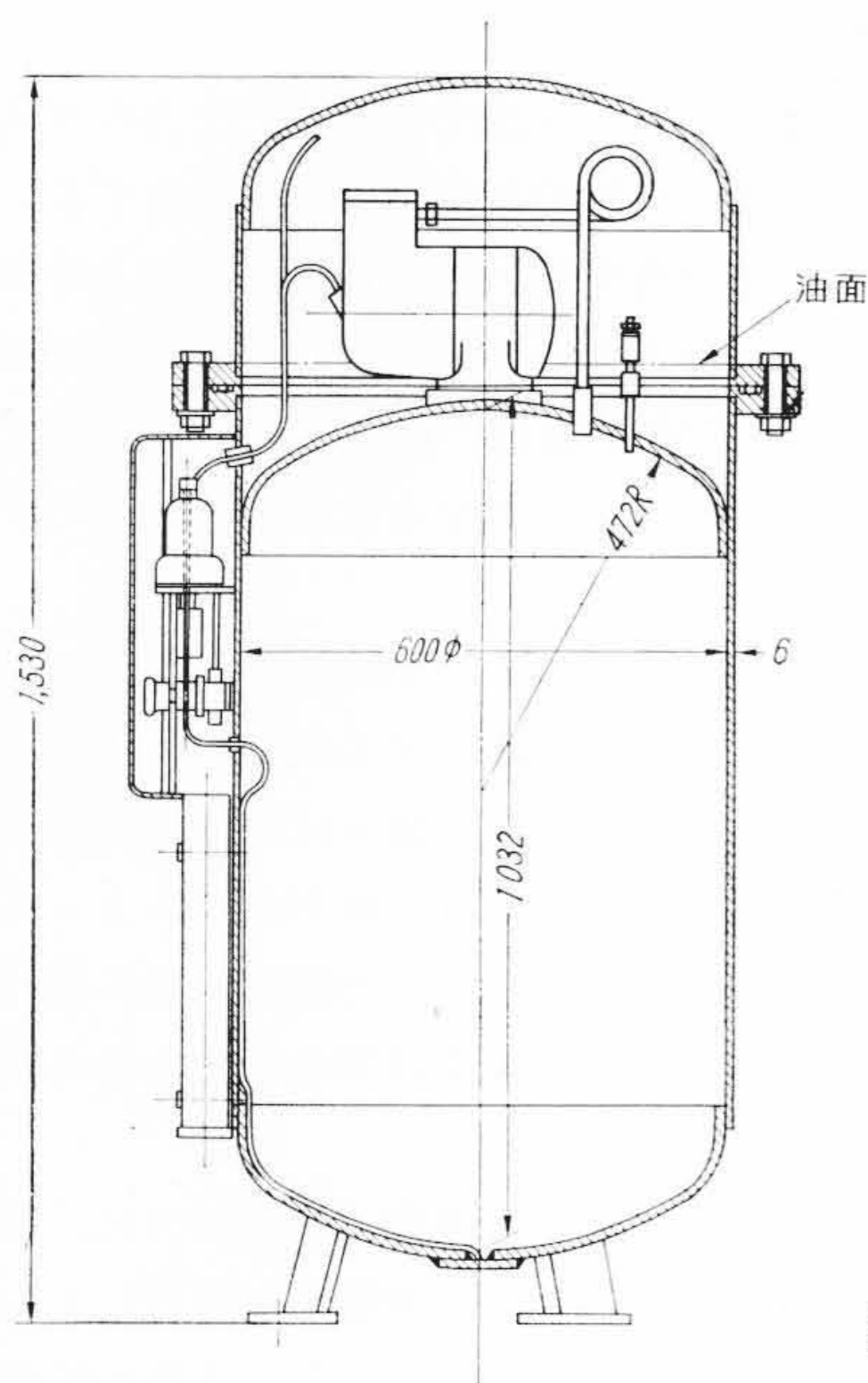
圧縮機内部の主要部分(シリンダ、ピストン、吸入弁、吐出弁)と潤滑油はガス系統内に密閉されたガスに接触するのみである。それゆえ不活性な乾燥したガスを封入すれば内部の腐食の可能性がなくなる。また電動機、圧縮機を密閉し、乾燥したガス系統内の不活性ガス中における電動機の絶縁劣化の可能性も少ないので有利である。さらに装置全体が密閉容器内に封入された形となるので屋外に設置されても内部に水分が侵入するおそれがない。

第4図のように外気を吸入圧縮する方式では空中の水分が圧縮により液化するためドレンが生ずる。このドレンの処理を考慮する必要がある。また定圧力給油槽の場合圧縮機の動作頻度が少ないため特に好ましくない。第4図に示したようなアンロード弁、逆止弁、ドレンセパレータを用いた方法がその対策の一例である。

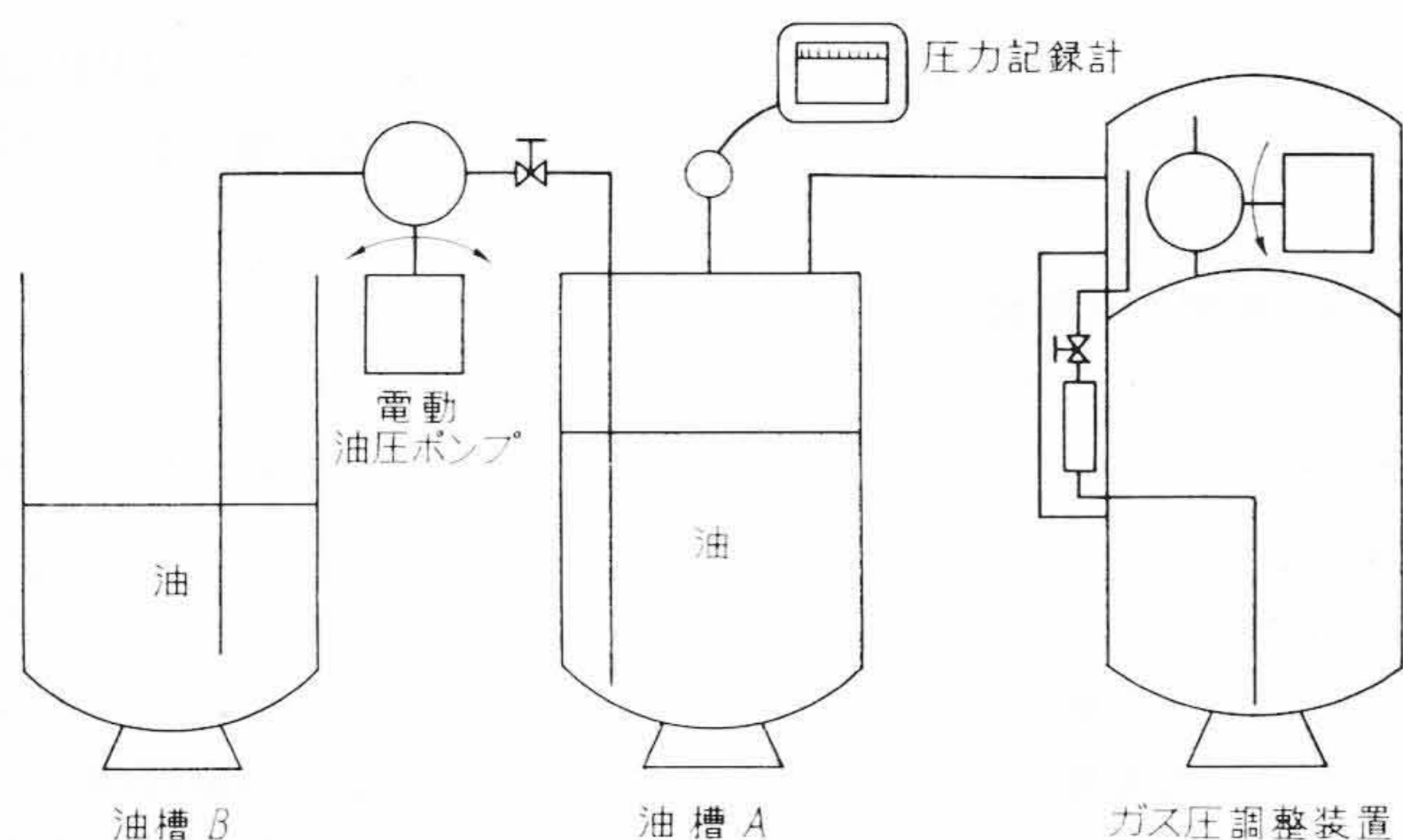
総合的にいって安全性を考えると密閉ガス系統方式以外の方式は保守上各部の事故を未然に発見する必要度が大きい。場合によっては未然に発見できなければ事故時に一時的には油圧が下る可能性がある。

#### 5. 給油槽の構造と特性

第6図に密閉ガス系統方式のガス圧調整装置の構造を示す。タンク内部は定圧ガス室と高圧ガス室とにわかれ $\text{N}_2$ ガスがはいっている。定圧ガス室にはガス圧縮機が内蔵されている。タンクのパッキング部分は油に浸されておりガス漏れの可能性を減じ、また保守上油漏れの発見によりパッキングの不良を発見しやすいようになっている。タンク側面には減圧弁、圧力スイッチなどが配置されている。圧縮機の潤滑油は圧縮されたガスとともに微量ずつ高圧ガス室に送られるが、高圧ガス室底部に集まりガスの移動に伴って圧縮機にもどるようになっている。高圧ガス室内は減圧弁によって一定圧力に調整され定圧ガス室に供給される。定圧ガス室のガス圧が上昇した場合には圧力スイッチにより圧縮機が起動されガスを高圧ガス室に圧送する。



第 6 図 密閉ガス系統方式のガス圧調整装置の構造



第 7 図 油量変化と圧力変化の測定方法

### 5.1 油量変化と圧力変化

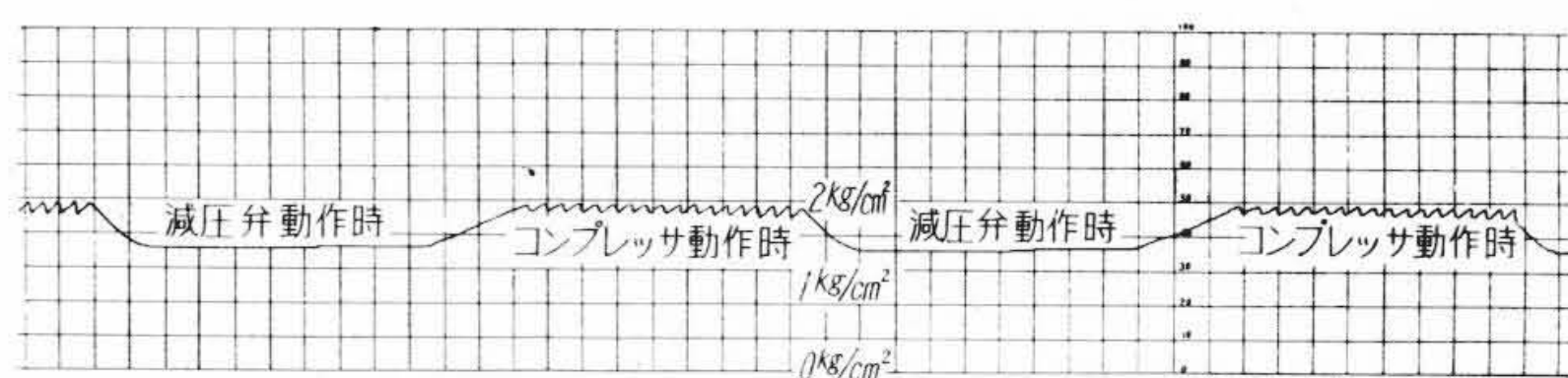
第 7 図に油量変化と圧力変化の関係を測定する方法を示す。油面が上下するようになった油槽 A の上部ガス室にガス圧調整装置を接続する。油槽 A の油は油ポンプによって油槽 B との間を移動できる。ガス圧調整装置が油槽 A に与える圧力は圧力記録計によって自動記録される。

第 8 図に油槽 A の油量を 5 l/min の速度で 200 l だけ上下させた場合の圧力変化を示す。第 8 図の場合減圧弁の動作圧力は 1.5 kg/cm<sup>2</sup>、圧力スイッチの閉じる圧力を 1.95 kg/cm<sup>2</sup>、開く圧力を 1.85 kg/cm<sup>2</sup> とした。この圧力幅は任意に設定可能である。圧力スイッチの応動圧力幅は一般には 0.5~1.0 kg/cm<sup>2</sup> 以上となるよう設計されているが、定圧力油槽の場合この圧力幅が小さいことが望まれるので圧力幅 0.1 kg/cm<sup>2</sup> 程度の設計とした。減圧弁動作圧力と圧力スイッチの閉じる圧力が (1) 式で示した  $P_c$  および  $P_c'$  に相当する。 $P_c$ 、 $P_c'$  の幅を大きくすると圧縮機の動作ひん度が少なくなる。このひん度がある程度以上少なくなることは圧縮機の動作上潤滑状態を悪くする可能性があり好ましくない。

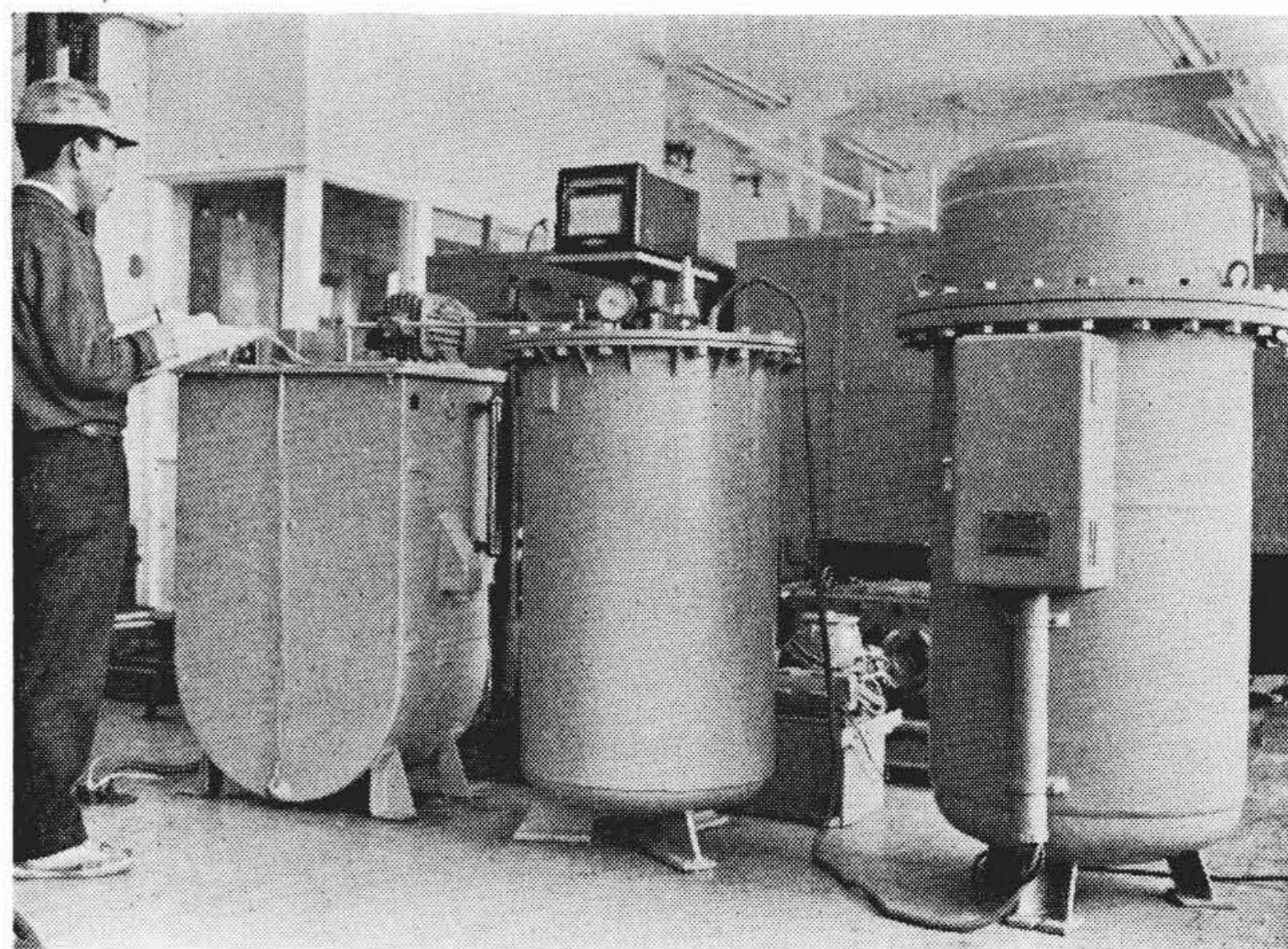
### 5.2 寿命試験

第 7 図に示した装置を使用し液面スイッチによって油圧ポンプを切り換えることにより油槽 A の油面を繰り返し上下して寿命試験を行なった。油量変化 200 l の繰り返しを 2,000 回行ない、この間に圧力スイッチ、圧縮機は 36,000 回の起動停止を繰り返した。この試験の後内部の損耗を調査し、さらに試験を続行している。

この寿命試験は延べ 400,000 l の油量変化に相当し実際のケーブルの負荷サイクルから考えてかなり長時間の寿命試験に相当する。第



第 8 図 油量変化と圧力変化の測定結果



第 9 図 寿命試験状況

9 図はその寿命試験状況である。

## 6. 保守上の問題点

このガス圧調整装置の点検は大別して圧縮機の動作の点検と減圧弁の動作の点検にわけることができる。以下にその点検の方法について述べる。

点検を行なうためには第 3 図に示した油槽とガス圧調整装置との連絡を弁を閉じて遮断し、一時的に油槽を外圧形圧力油槽とする。その後第 5 図に示した常閉弁を少し開いて高圧ガス室のガスを流す。すると圧力スイッチが動作して圧縮機が起動する。圧縮機が起動したら弁を閉じる。すると圧縮機がガスを高圧ガス室に送り返すので定圧ガス室側の圧力が正常値に復帰し、圧力スイッチが開いて圧縮機が停止する。この動作が順調に行なわれるならば圧力スイッチ、圧縮機の動作が正常であることが確認できる。次に減圧弁を閉じ、圧力スイッチ接点と並列に設けた開閉器を閉じて圧縮機を起動し定圧ガス室の圧力を規定圧力より下げる。この状態で減圧弁を開くと高圧ガス室から減圧弁を通してガスが供給されて圧力が復帰する。この操作によって減圧弁の動作が確認できる。これらの点検操作は 3 分程度で行なうことができるので定期的に施行することが望ましい。

## 7. 結 言

各種の定圧力給油装置について主として Fail Safe の観点から比較検討し密閉ガス系統方式が最もすぐれているものと考え、試作検討した。油量変化と圧力変化の測定結果および寿命試験の結果から給油装置として要求される性能を十分そなえていることがわかった。

OF ケーブルを使用する送電網の増大に伴って今後このような給油装置が必要となると考えられるが、安全性を十分考慮に入れて Fail Safe、高信頼度の方式を開発することが必要である。

終わりに当たり本研究に当たりご配慮をいただいた日高工場研究部、電力ケーブル部の各位に感謝する。

## 参 考 文 献

- (1) 高木：電学誌 83, No. 6, p. 850~859 (1963)
- (2) 木村：機学誌 66, No. 531, p. 518~529 (1963)