U.D.C. 531.787.2.082.7 : 532.59

水圧脈動測定用圧力ピックアップの周波数特性

Frequency Response of Pick-up for Pressure Pulsation in Liquid

富田忠二* 宮代裕** 藤芳利光**
Chûji Tomita Hiroshi Miyashiro Toshimitsu Fujiyoshi

内　容　梗　概

ポンプ，水車などの水圧脈動の測定に通常使用されている圧力ピックアップについて，水圧測定時の周波数特性を実測した結果，固有振動数が意外に低いことが確かめられた。

このように，従来形ピックアップの使用は測定結果の信頼性に致命的影響を与える場合があるので，その対策として抵抗線ひずみゲージ応用のフラッシュ・ダイアフラム形ピックアップを試作し，良好な特性を得た。

1. 緒　　言

ポンプ，水車などにおける水圧脈動の測定は，それらの振動原因を究明するための重要な手段の一つである。これらの脈動測定のための圧力ピックアップ（以下略してピックアップと言う）は現在ではほとんど電気的なものに限られているが，それは，入手と使用が容易であることおよび受圧板の固有振動数が空気中において数千～数万 c/s に達するという信頼感によるものと思われる。

われわれも，以前から水圧脈動の測定に抵抗線式ピックアップを使用してきたが，次に述べるような理解しがたい測定結果がしばしば得られた。一例をあげれば，ポンプの水圧脈動を測定した際，互いに近接している測定点において，振幅，周波数ともに異なる脈動が得られることがあった(**第 12 図**参照)。これらの測定結果を検討中に，従来の構造のピックアップを水圧脈動測定に使用する場合，ピックアップ系の固有振動数が低下し水圧脈動が正しく測定されないのではないかという疑問が小堀威博士より提起された。

この種のピックアップの水圧測定時における固有振動数に関する文献としては二，三のものがあるが[(1)(2)(3)]，ピックアップそのものの動的特性については特別に考慮されないままに現在まで広く使用されてきているようである。

今回，まず水圧脈動発生装置を試作し，これによりピックアップの周波数特性を実測して固有振動数が意外に低いことを確かめ，つぎに抵抗線ひずみゲージを応用したフラッシュ・ダイアフラム形ピックアップを試作し周波数特性の良好なものを得た。

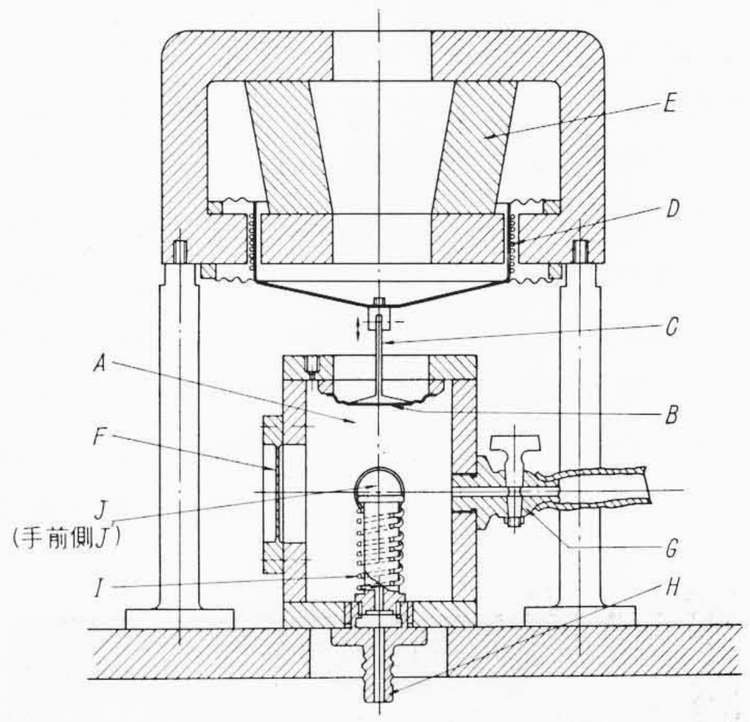
2. 実験装置および実験方法

2.1 水圧脈動発生装置

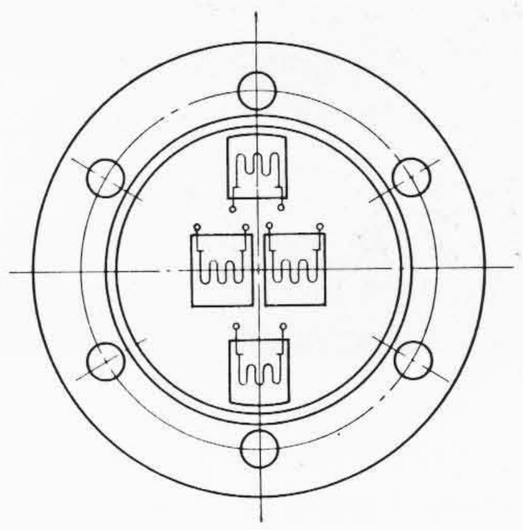
水圧測定時におけるピックアップの周波数特性はほとんど実測されていないらしく，内外のピックアップ・カタログにもこれを記載した例をみない。そこで，水圧測定時におけるピックアップの周波数特性の実測を計画し，次に述べるような装置を試作した。

全体の装置を**第 1 図**に示す。Aは水を充満して加圧された圧力室で剛性の大きい直方体の鋼製箱である。その上面にはコルゲートされた円形の振動板Bが取り付けてあり，その中心はロッドCによって加振装置の駆動コイルDに連結されている。駆動コイルDは強力な永久磁石Eの作る放射状磁界の中に位置するから，これに交流電流を通ずると振動を生じ，振動板Bを動かして圧力室A内に圧力脈動を生ずる。

圧力室Aの側面には次に述べる基準ピックアップF 1 個が取り付けてあり，そのほかに取付孔 J とその向かい側の取付孔 J′ に供試ピックアップをそれぞれ 1 個ずつ取り付ける。基準ピックアップFは



第 1 図　水圧脈動発生装置



第 2 図　基準ピックアップ受圧板のひずみゲージの配置

図に示されている断面をもつ円板で，その外側の面には**第 2 図**のように 4 個の抵抗線ひずみゲージが接着されている。このピックアップは構造が単純であるため複雑な共振を生ずる部分がなく，かつ円板自体の固有振動数が高い。また平らな板であるから圧力室の壁の一部と考えることができ，そのひずみは圧力室内の圧力変化に忠実に追従するものと考えられる。

第 1 図のコックGは水の注入口で，ここから水を注入し圧力室および供試ピックアップ内の空気を完全に流し出した後コックを閉鎖する。また，別の注入口Hおよびそれに接続する毛細管 I を経て圧力室内にわずかずつの水を補充することができる。この毛細管は内径 0.5 mm 延長 1.5 m であり流れに対して大きな抵抗を持っているから，わずかずつの水の流通は許すが脈動に対しては毛細管内の水はほとんど動かないと考えてよい。したがって，これを通じて一定の水圧を加えれば，圧力室内の圧力脈動を減ずることなく所定の平均圧力を保つことができる。

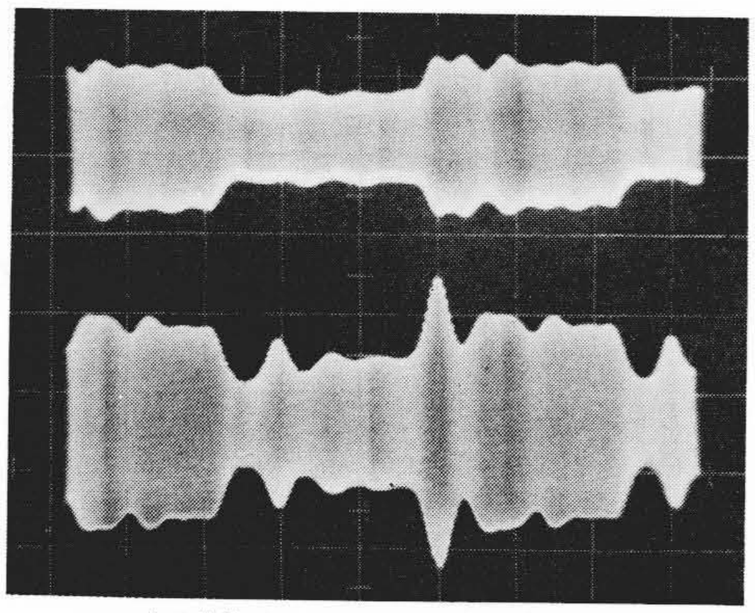
*　日立製作所亀有工場　工博
**　日立製作所亀有工場

駆動コイルに加える電圧は低周波発振器の出力を増幅したものである。この発振器は16～20,000 c/s 連続可変で正弦波，方形波の切り替えができる。増幅器は最大出力約60 W である。なお加振装置は駆動コイルインピーダンス48Ω，最大入力連続30 W，瞬間50 W，空げき磁束密度11,400 gauss のものを使用した。

2.2 実験方法

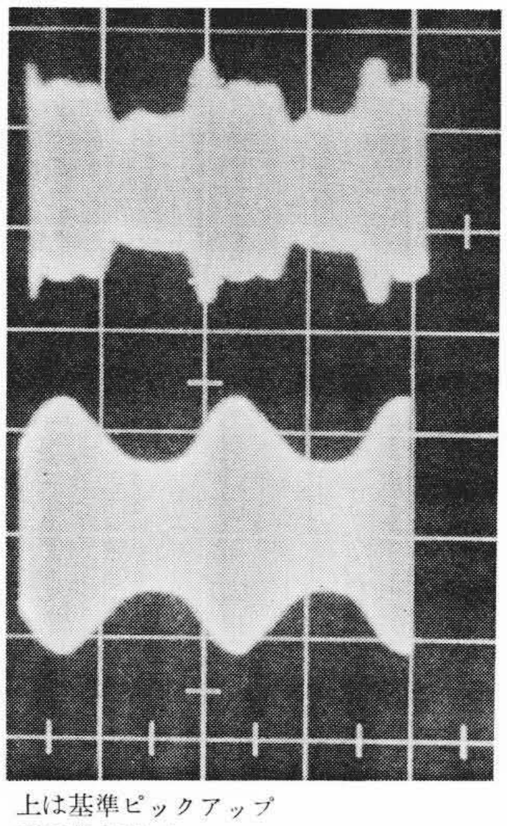
まず供試ピックアップを**第1図**のJまたはJ'に取り付けたのちコックGより水圧を加えて，供試ピックアップおよび圧力室A内の気ほうを完全に除く。つぎにコックを閉鎖し，Hより毛細管を経て圧力室内に一定 (0.5 kg/cm²) の水圧を加えたままコイルDに交流電流を通じ，圧力室内に水圧脈動を発生させる。この水圧脈動の振幅は最大で約 ±0.3 kg/cm² である。

一方，基準ピックアップおよび供試ピックアップに生ずる出力は，おのおの動的ひずみ計増幅器を経て二素子ブラウン管オシログラフに加えられており，ブラウン管上には**第3, 4図**に示すように搬送波 (5,000 c/s) がピックアップの出力によって振幅変調された波形が現われる。このブラウン管上の像によって両ピックアップの出力の波形，および出力の振幅を観察・測定することができる。**第3, 4図**の例は方形波の電圧を加えた場合であるが，周波数特性測定の場合は正弦波を加えることはもちろんである。なお両ピックアップの出力のブラウン管上における振幅は脈動周波数 0 c/s または 20 c/s のときほぼ等しくなるようにあらかじめ調整しておく。20 c/s を選んだ理由は，これが使用した発振器のほぼ最低の周波数であること



上は基準ピックアップ
下は従来形ピックアップ,5 kg/cm² 用
ゲージコックそう入せず

第3図　34 c/s 方形波を加えた場合のオシログラム



上は基準ピックアップ
下は従来形ピックアップ,5 kg/cm² 用
ゲージコックそう入す

第4図　50 c/s 方形波を加えた場合のオシログラム

と，供試ピックアップの周波数特性が少なくとも 0～20 c/s の間では平坦と考えられるからである。

次に励振周波数を逐次変化させて，各周波数における両ピックアップの出力の振幅をブラウン管上で測定する。この場合基準ピックアップの周波数特性は完全に平坦なものと仮定し，これを基準にとって供試ピックアップの脈動周波数に対する出力の変化を求める。

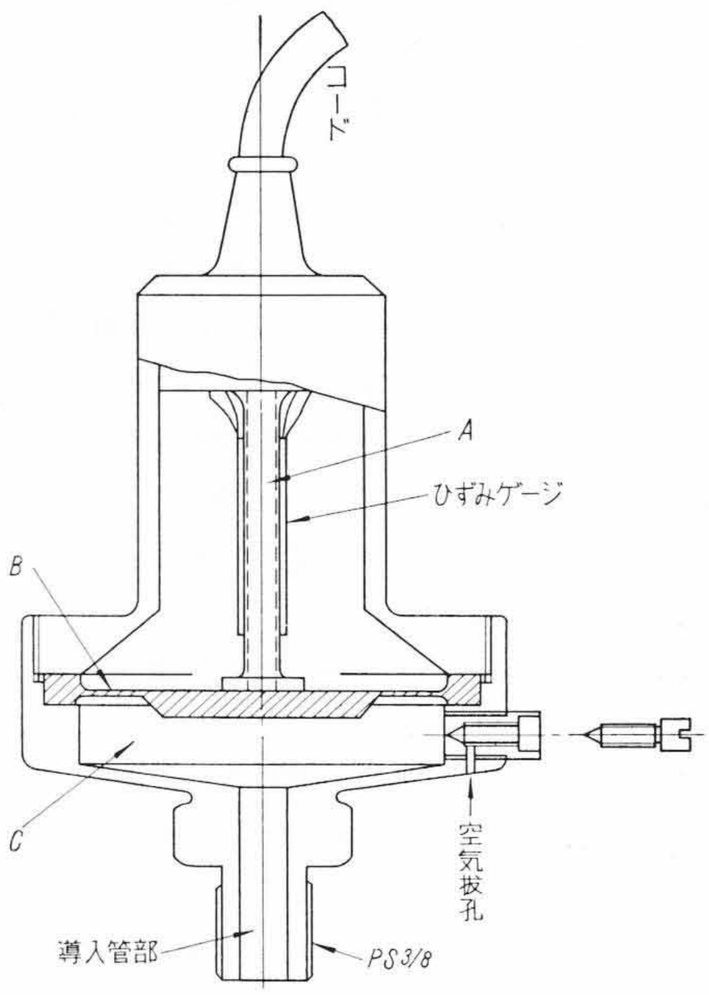
3. 従来形ピックアップの周波数特性

3.1 ピックアップの構造

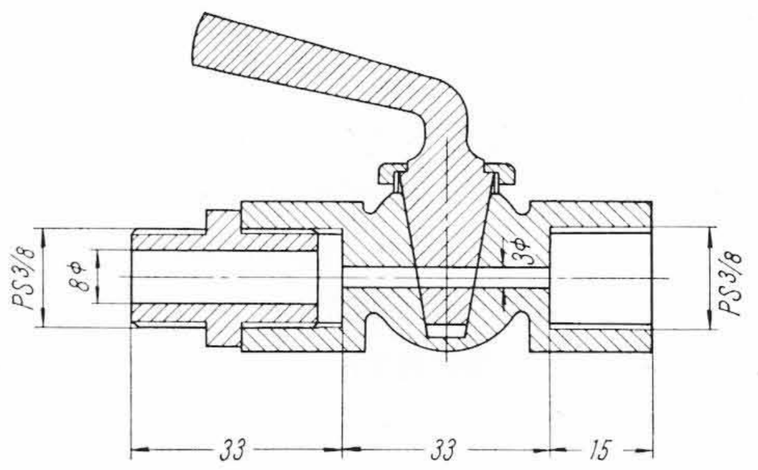
供試ピックアップの構造を**第5図**に示す。起歪(わい)柱Aは周囲に抵抗線ひずみゲージを接着した中空円筒で，柱の一端は固定され他端は受圧板Bの中央に結合している。測定すべき圧力は導入管部を経て受圧板室Cに導かれ，受圧板Bを介して起歪柱Aに作用する。

ピックアップの要目を**第1表**に示す。なおこの表には後述の固有振動数計算値その他も併記した。

現地測定においては，ゲージコックあるいはストップバルブなどを経てピックアップを接続することが多い。この場合には当然周波数特性が変化すると考えられるので，**第6図**に示すようなゲージコ



第5図　従来形ピックアップの構造

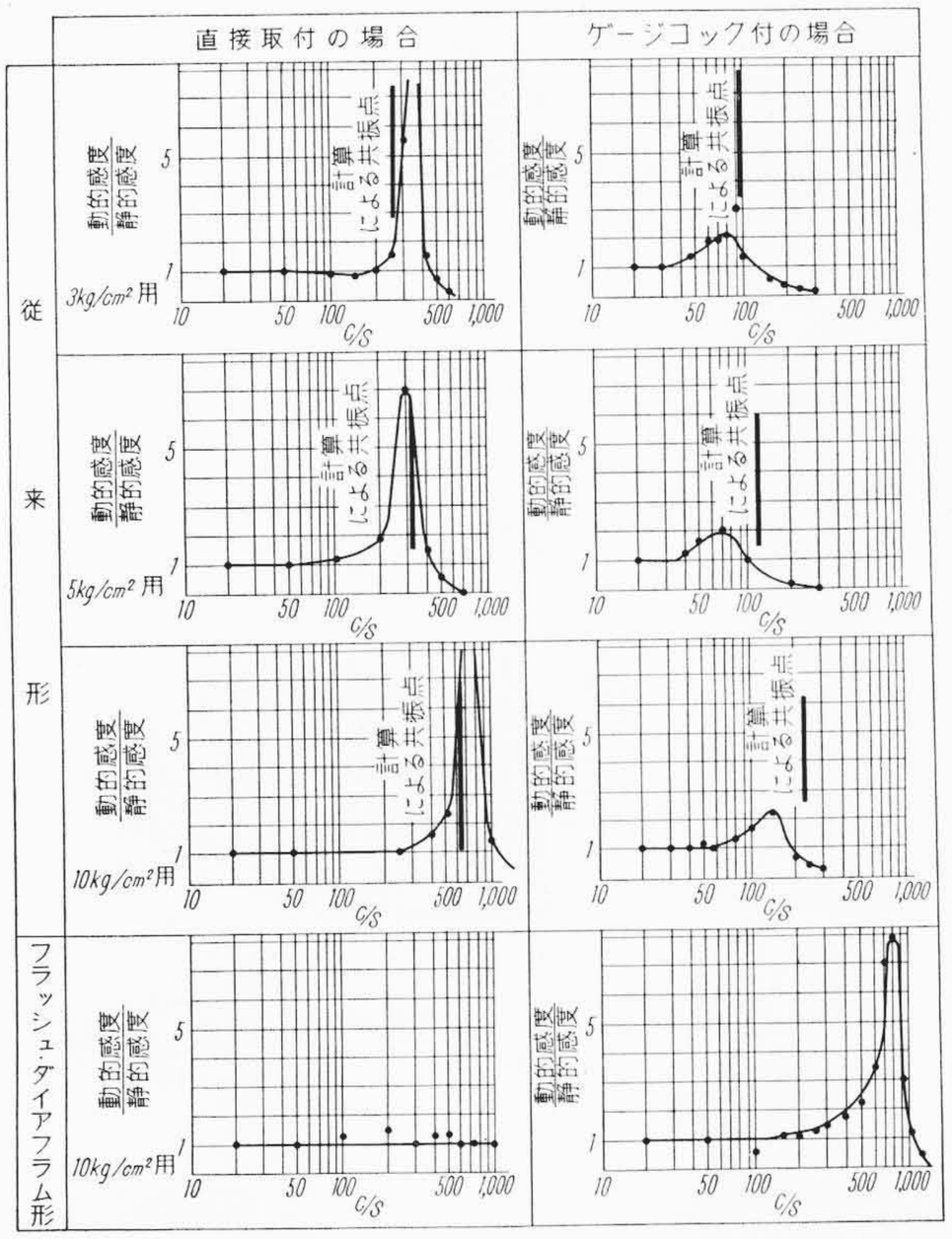


第6図　ゲージコックの寸法図

第1表　従来形ピックアップの諸数値

容量 (kg/cm²)	ゲージ抵抗 (Ω)	固有振動数計算値 (c/s)		受圧板室の容積変化(2) (cm³/kg/cm²)	カタログに記されている固有振動数 (空気中*) (c/s)
		直接取付	ゲージコック付		
3	120	268	96	0.050	3,000 以上
5	120	325	116	0.034	3,000 以上
10	120	632	225	0.009	5,000 以上

* ただし，受圧板自体の固有振動数である。



第7図　ピックアップの周波数特性

ックを用いた場合についても実験することにした。

3.2　周波数特性の実測結果

ピックアップの周波数特性を実測した結果を**第7図**に示す。左側の欄はピックアップを圧力室に直接取り付けた場合の特性で，右側の欄はゲージコックを経てピックアップを接続した場合の特性である。また図の一番下の欄は後述の試作フラッシュ・ダイアフラム形ピックアップの特性である。

まず直接取り付けの場合についていえば，**第5図**に示されている導入管部を有する従来形ピックアップは，**第1表**に掲げたカタログ記載の固有振動数よりはるかに低い周波数で鋭い共振を生じ，それ以上の周波数に対しては感度は急激に低下することがわかる。

次に供試ピックアップをゲージコックを経て接続した場合は，共振周波数はさらに低下する。この場合には管路の抵抗が増すため共振は鈍くなる。

以上に述べたように，導入管部を有する従来形ピックアップは固有振動数が著しく低く，カタログに示された空気中における受圧板自体の固有振動数の約1/10程度であり，途中にゲージコックをそう入すればさらにその1/3程度に低下する。このような低下を生ずる理由は導入管部の水柱またはゲージコック内をも含めた水柱が低い周波数で共振するためと考えられる。この考え方に基づく固有振動数の計算は付録1に述べるが，計算結果は**第1表**に併記した。また**第7図**には計算による共振点として示してある。この計算では，ピックアップ受圧板の圧力によるたわみによって生ずる容積変化量には文献(2)に発表された値(**第1表**参照)を用い，導入管部の長さ，および断面積は実測によってそれぞれ 3.5 cm および 0.5 cm² とした。

また**第6図**に示すゲージコックをそう入した場合には，その水通路は長さおよび内径を異にする短管を直列にしたものと考えられるが，これと等価でピックアップ導入管部の内径に等しい一本の管の長さに換算して，それを導入管部の長さに加えた。

次に，前記の装置によって方形波に近い圧力脈動を与えた場合の実験結果を述べる。**第3図**の写真の上側は基準ピックアップ，下側は供試ピックアップの出力波形をそれぞれ示したもので，供試ピックアップは直接取り付けた場合である。駆動コイルに加えた電圧は周波数34 c/sの方形波である。この場合実際に発生する水圧脈動は基準ピックアップの示す波形で明らかなように正しい方形波ではない。したがってこの結果だけで供試ピックアップの特性を正しく判定することは困難であるが，以下のように大体の特性を推定することはできる。この図では供試ピックアップの示す波形には自由振動が見られる。これから固有振動数の大略値を知り得る。またその減衰程度から共振の鋭さも推測できる。

第4図はゲージコックを経て5 kg/cm² 用ピックアップを接続し，周波数50 c/sの方形波を加えた場合のオシログラムである。この場合に供試ピックアップが示す波形は正弦波に近い形であり，加えた脈動波形と著しく異なったものとなっている。その理由は，加えた方形波が50 c/sの正弦波と多数の高調波の組み合わせであるのに対し，このときの供試ピックアップの周波数特性は**第7図**に示すように高域における感度が著しく低いために，方形波中の基本波だけが強調されるためである。

4.　フラッシュ・ダイアフラム形ピックアップの試作およびその周波数特性

前述のようにわが国で広く使用されている導入管部を有するピックアップは水圧測定時の特性が悪く，周波数の高い圧力脈動の測定に使用し得ない。特性を悪化させる原因は，受圧板のたわみによる受圧板室容積の変化が大きいこと，および導入管部を有することである。したがって，水圧脈動測定用ピックアップとしては，内燃機関の燃焼圧力測定用のピックアップのように，受圧板の直径が小さくかつ受圧板の面と被測定物の内壁と一致して取り付ける形式いわゆるフラッシュ・ダイアフラム形が望ましい。しかしポンプなどの場合には，一般に内燃機関に比して圧力がはるかに低いのが普通であるから，この形式のままでは必要な感度が得られない。

そのため，次の二つの形式のピックアップを試作した。その一つは小形のひずみゲージを接着したもので起歪柱の断面積を極度に小さくすることにより小さな受圧板で十分な感度が得られるものである。他の一つは非接着ひずみゲージ式のもので，これはさらに低圧力の測定に用いられる。これらはいずれも内燃機関用と同様に被測定物の内壁と受圧板の面が一致するように取り付けて使用できる。

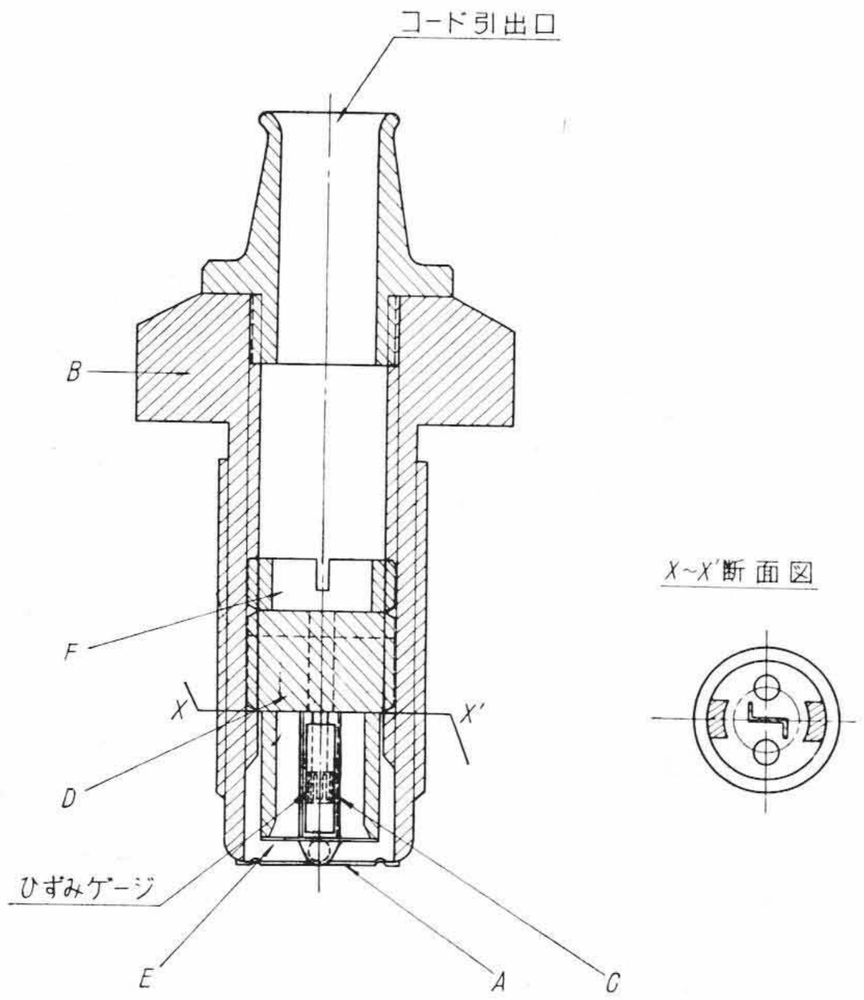
4.1　接着ゲージ式ピックアップ

4.1.1　構　　造

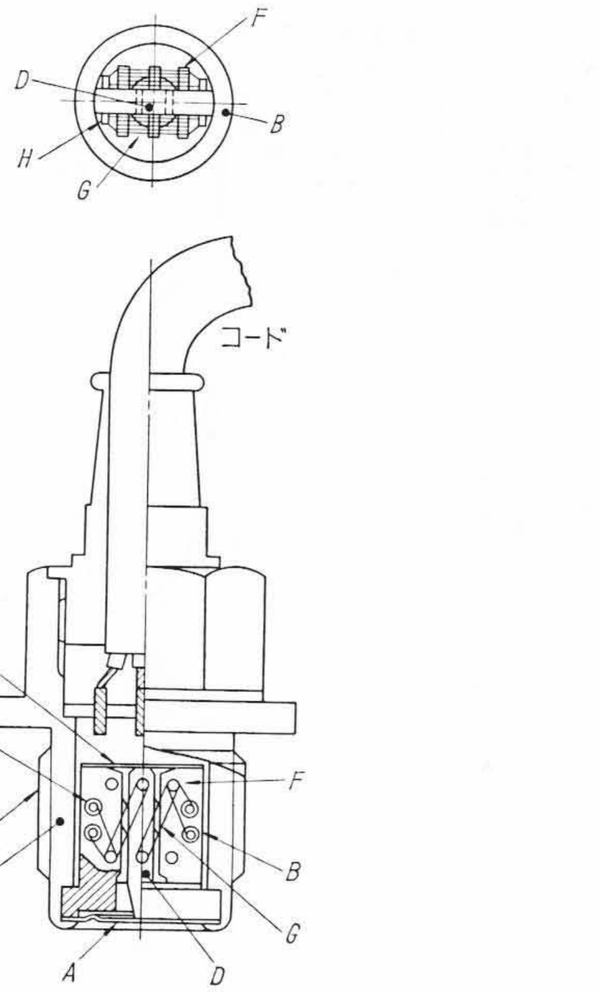
試作ピックアップの構造を**第8図**に示し，その外観を**第9図**に示す。受圧板Aはコルゲートされたステンレスの円板で，本体Bの端面に溶接されている。起歪柱Cは厚さ 0.05～0.1 mm のベリリューム銅板で，**第8図**の右に示すようにz形の断面に折り曲げて座屈強さをもたせてある。これの両面にはひずみゲージが接着してある。起歪柱の一端は保持具にろう付けされ，他端は図のように板バネEによってささえられ，横倒れを防ぐ。この板バネの中央には小さな鋼球がろう付けされている。これらの起歪柱と保持具を結合したものは，それ自身でごく小形の圧縮形荷重ピックアップを形作る。これを本体内にねじ込んで鋼球と受圧板が適当な接触圧で接するように調整し，ナットFでロックする。なおこのピックアップは首下寸法を長くしてあり，適当な厚さの座金をはさむことにより，受圧板の面と被測定体の内壁を一致させることができる。

4.1.2　周 波 数 特 性

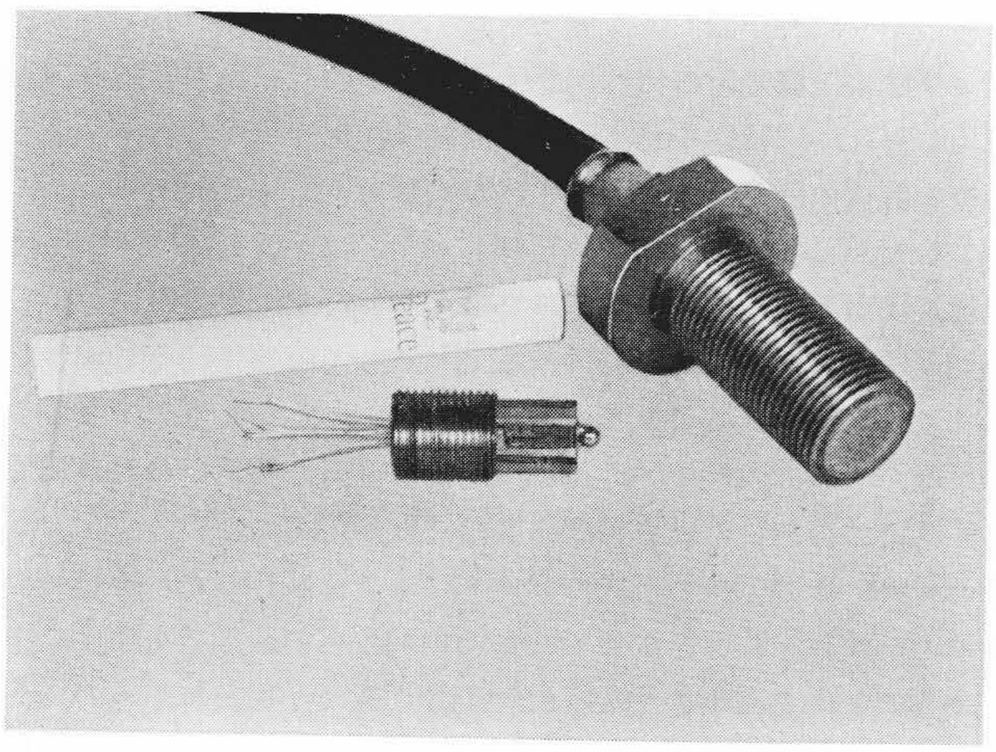
ピックアップは起歪柱の長さが 10 mm であるから，定格圧力に対するひずみの大きさを 500×10^{-6} としても受圧板の中心のたわみは 0.005 mm で**第5図**のような従来の形式のものの1/5以下



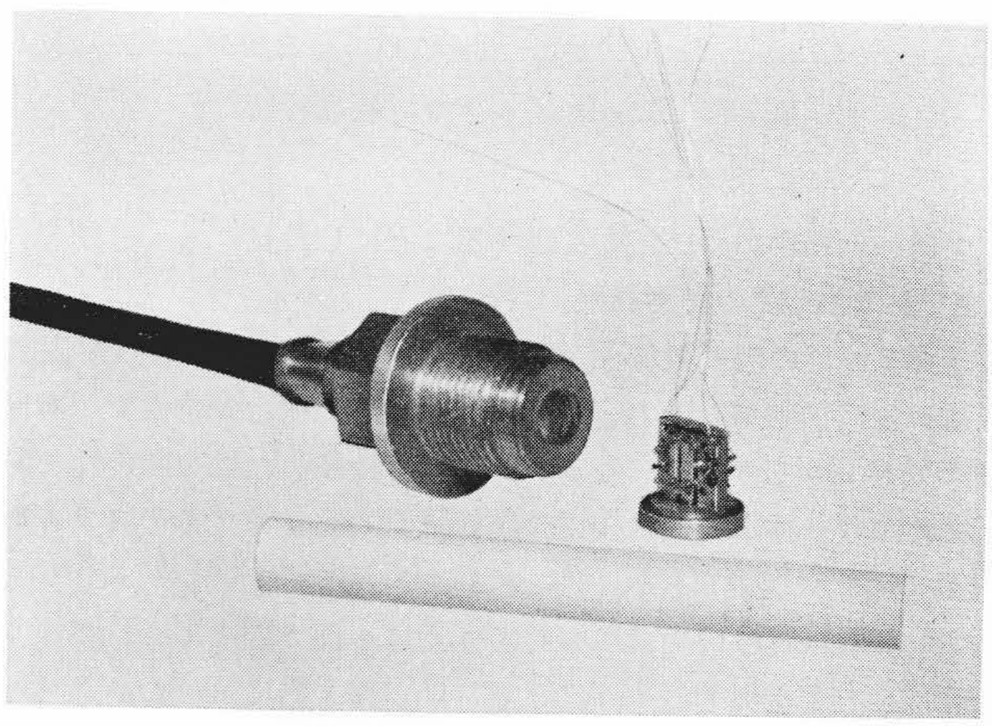
第8図　試作した接着ゲージ式ピックアップの構造



第10図　試作した非接着ゲージ式ピックアップの構造



第9図　試作した接着ゲージ式ピックアップおよび起歪柱部の外観



第11図　試作した非接着ゲージ式ピックアップおよび感受部の外観

である。そのうえ，受圧板の面積も1/10程度であるから，圧力による容積変化は数十分の一以下の小さなものとなる。これの固有振動数はきわめて高く，少なくとも10,000 c/s以上と推察されるから，使用する周波数の上限を前述のような方法で実験的に確かめることはきわめて困難である。しかし1,000 c/sまでの特性については，前に述べたのと同様な方法により，直接に取り付けた場合とゲージコックを経て接続した場合について実験し，その結果を**第7図**の下段に示した。

直接取り付けの場合には，実験した範囲内では共振点が認められない。ゲージコックを経て接続した場合には共振点が約800 c/sに現われるが，これは従来形のものに比して著しく高い。この結果からもわかるように，従来形の特性に比し格段とすぐれている。静特性としては，起歪柱の厚さ0.1 mmのものは直線性，くり返し精度とも良好なものが容易に得られるが，0.05 mmのものは若干悪くなりやすい。感度は前者が1 kg/cm^{2}当たり約80×10^{-6}（ひずみ指示計のよみで），後者は約150×10^{-6}である。

4.2　非接着ゲージ式ピックアップ

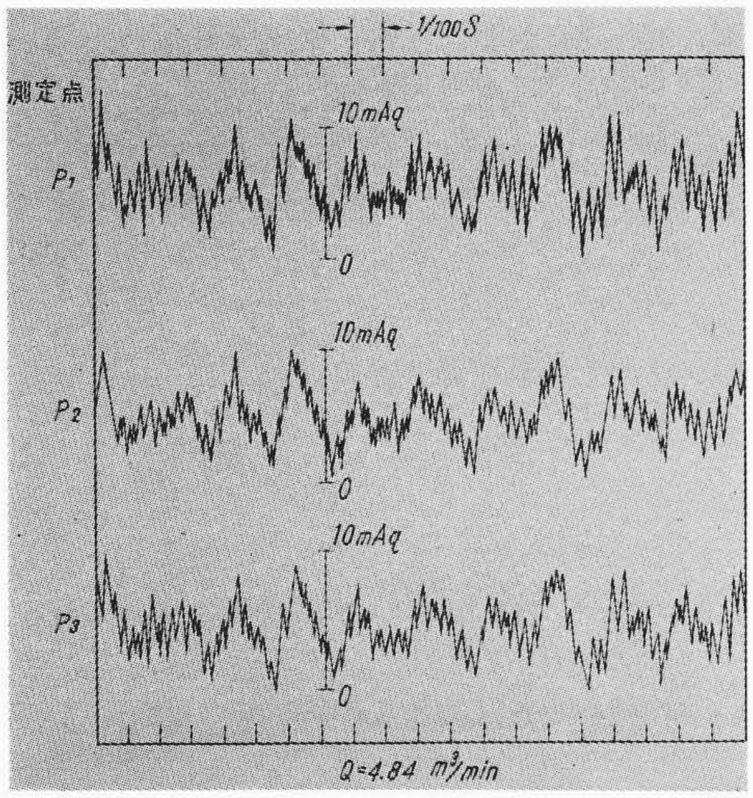
4.2.1　構　　造

このピックアップの構造を**第10図**に示し，その外観を**第11図**に示す。受圧板Aはコルゲートされたステンレスの円板で，固定子Bの端面に溶接されている。固定子Bはその下部で本体Cにかしめにより取り付けられており，その上部は図に示すように2本の平行した柱になっている。可動子Dは固定子Bの平行柱の間に位置する2 mm角の柱で，その下端部は受圧板に溶接され，上端部は板バネEの中央に溶接されている。板バネEはその両端を固定子Bの平行柱の上端に溶接されている。したがって可動子は圧力によって長手方向には動くが，その他の運動は強く拘束されている。固定子Bと可動子Dの両側面にはガラス柱Fが埋めこまれ，図のように抵抗線Gが斜めに張り渡されている。抵抗線Gは一面に平行して二組ずつ，他面はこれと交差する方向に張られている。Hは絶縁端子である。

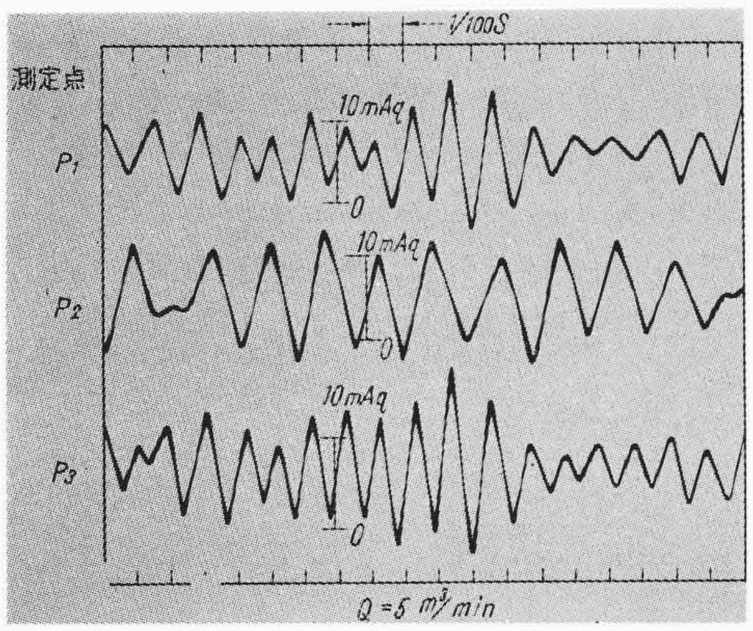
このピックアップの受圧板に水圧が加わると，可動子Dは図の上方に移動する。このとき四組の抵抗線のうち二組は伸びてその抵抗値を増し，他の二組は縮んでその抵抗値が減少する。これら四組の抵抗線はブリッジを形成している。

4.2.2　特　　性

試作したものの定格圧力は4 kg/cm^{2}で，感度は1 kg/cm^{2}当たりひずみ指示計のよみで約800×10^{-6}（一組の抵抗線当たり約200×10^{-6}）である。また直線性，くり返し精度ともに良好であった。



第12図（a）　試作したフラッシュ・ダイアフラム形ピックアップによる水圧脈動のオシログラム



第12図（b）　従来形ピックアップによる水圧脈動のオシログラム

受圧板の中心のたわみは最大 0.007 mm 程度で，圧力による容積変化はほぼ接着ゲージ式ピックアップと同様である。空気中の固有振動数は実測によれば 8,500 c/s 程度である。

5. 水圧脈動実測例

試作したフラッシュ・ダイアフラム形および従来形ピックアップを用いてポンプの水圧脈動を測定した一例を第12図に示す。P_1, P_2, P_3 は互いに近接している三つの測定点である。従来形（ただし互いに容量が異なる）で測定すると，3点の水圧脈動として振幅，周波数ともに異なったものが得られ解釈に苦しんだが，フラッシュ・ダイアフラム形を用いた場合には，3点ともほぼ等しい測定結果が得られた。

6. 結　　言

ポンプの水圧脈動の測定結果には，不合理で説明困難と思われる現象がしばしば現われることがあった。その原因をしらべるために，圧力ピックアップの固有振動数の計算および周波数特性の実測を行なったが，その結果現在広く使用されている圧力ピックアップの固有振動数は，水圧測定の場合意外に低いことがわかった。またゲージコックを経てピックアップを接続する場合はさらに固有振動数が低下し，カタログ値の 1/40 程度に達することもある。

以上のように従来のピックアップは周波数特性が悪いが，その原因はピックアップの導入管部の水柱が振動質量として働くためである。そこで，導入管部を持たないフラッシュ・ダイアフラム形ピックアップを試作したが，これは受圧板の直径が小さいから取付上の制約をあまり受けず受圧板を被測定物の内壁面に一致するよう取り付けることができる。このピックアップの周波数特性はかなり高い範囲まで平坦と思われるが，使用可能周波数の上限を実験的に確かめることはきわめて困難なため確認するまでに至っていない（少なくとも 1,000 c/s までは平坦であることを確認した）。しかしゲージコックを接続した場合の特性から推定しても，従来形よりはるかによいことがわかる。

なお本文では水圧脈動測定時の周波数特性についてのみ述べたが，従来形ピックアップは導入管部を有することと，受圧板室の容積が大きいことのために空気圧脈動測定時の固有振動数もかなり低いので，使用に際しては注意を要する。これについては付録2に述べてある。

終わりに臨み，本研究を提起され終始ご指導を賜わった小堀威博士，種々適切な助言をいただいた小堀与一氏，懇切なご検討をいただいた宮本博士，ピックアップの試作および実験にあたられた赤津，福原両氏にあつく感謝の意を表する。

参　考　文　献

（1）　秋元，相原：　測圧装置の導圧管の固有振動について，技術研究所所報（電力中研）第7巻，第6号
（2）　高松，永田：　渦巻ポンプの羽根車出口における変動流に関する一実験，機械学会九州支部久留米地方講演会前刷，昭35-5
（3）　W. T. Thomson：　Mechanical Vibration., 2 ed. p. 102～104
（4）　たとえば藤井：　機械力学（応用力学講座），共立出版社 p. 120（合本）昭32

付録1　水圧脈動測定時のピックアップの固有振動数の計算

第13図に示す圧力ピックアップ系の固有振動数は，ヘルムホルツ共鳴器[4][1]が首を有する場合と同様の考え方で計算できる。まず，次の仮定をする。

（1）　圧力による水の体積変化は，受圧板のたわみによる受圧板室の容積変化に比して十分小さいから，水を非圧縮性として取り扱う。

（2）　導入管部の水柱が振動するとき，受圧板室内の水の移動速度は導入管部水柱の速度に比して十分小さいから，運動エネルギーは導入管部水柱のみが持っていると考える。

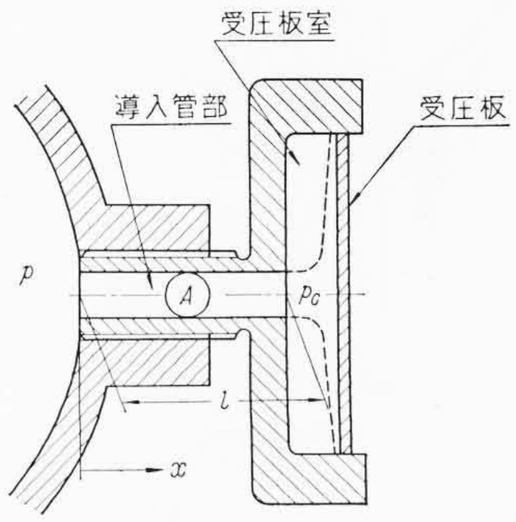
（3）　受圧板はそれ自身の固有振動数がきわめて高いから，質量を持たないバネと考える。

（4）　導入管部管壁の摩擦抵抗は無視する。

以上の仮定のもとに導入管部水柱の運動方程式をたてると

$$\rho l A \ddot{x} = (p - p_c) A \quad \cdots\cdots (1)$$

ただし　ρ：水の密度　(kg·s²/cm⁴)
l：導入管部の長さ　(cm)
A：導入管部の断面積　(cm²)
p：被測定圧力　(kg/cm²)
p_c：受圧板室内圧力　(kg/cm²)



第13図　従来形ピックアップの略図

ここで，受圧板室内圧力 p_c が Δt 時間に Δp_c だけ上昇したために受圧板がたわみ，受圧板室容積 V が ΔV だけ増加したとすれば，

$$\Delta V = k\Delta p_c \quad \cdots\cdots(2)$$

k：定　　数

の関係がある。また

$$A\Delta x = \Delta V \quad \cdots\cdots(3)$$

の関係があるから，(2)，(3)式を変形して(1)式に代入すると(4)式が得られる。

$$\rho l \frac{k}{A} \ddot{p}_c + p_c = p \quad \cdots\cdots(4)$$

(4)式を解いて固有振動数 f_n c/s を求めると，(5)式のようになる。

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{\rho l k}} \quad \cdots\cdots(5)$$

付録2　空気圧脈動測定時のピックアップの固有振動数

結言に述べたように，従来形ピックアップは空気圧脈動測定時の固有振動数もかなり低い。

この場合は，首を有するヘルムホルツの共鳴器[4]そのものであり，**付録1**と同様にして固有振動数が計算できる。ただし仮定(1)のみは**付録1**の場合と異なり，次のようになる。すなわち，受圧板のたわみによる受圧板室の容積変化は圧力による空気体積の変化に比して十分小さいから，受圧板室の周囲の壁を剛体と考える。

第2表　空気圧脈動測定時の従来形ピックアップの固有振動数の計算値

容　量　(kg/cm²)	固有振動数計算値　(c/s)
3，5	319
10，20	461

そこで，導入管部気柱の運動方程式をたて，これを解いて固有振動数 f_n c/s を求めると，(6)式のようになる。

$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{\rho l \beta}} = \frac{a}{2\pi}\sqrt{\frac{A}{lV}} \quad \cdots\cdots(6)$$

β：空気の圧縮率　(cm⁵/kg)

a：空気中の音速　(cm/s)

(6)式を用いて計算した固有振動数の値を**第2表**に示す。容量5kg/cm² ピックアップについて確認実験を行なった。その方法はつぎのようなものである。まずピックアップの前方にスピーカを置き，そこから発する音によってピックアップに空気圧脈動を与える。ピックアップの受圧板裏面にはあらかじめ Brüel & Kjoer 社製チタン酸バリウム加速度計が取り付けてあり，これによってピックアップ受圧板室の共振点を求めることができる。この実測により，共振点300 c/s という結果を得た。これは計算値にほぼ一致する。なお，空気の場合には(6)式からわかるように，lV が大にならない範囲で受圧板室の容積 V を小さくすれば固有振動数は高くなる。**第11図**点線のようにろうをつめて実験したところ，固有振動数は540 c/s まで増加した。

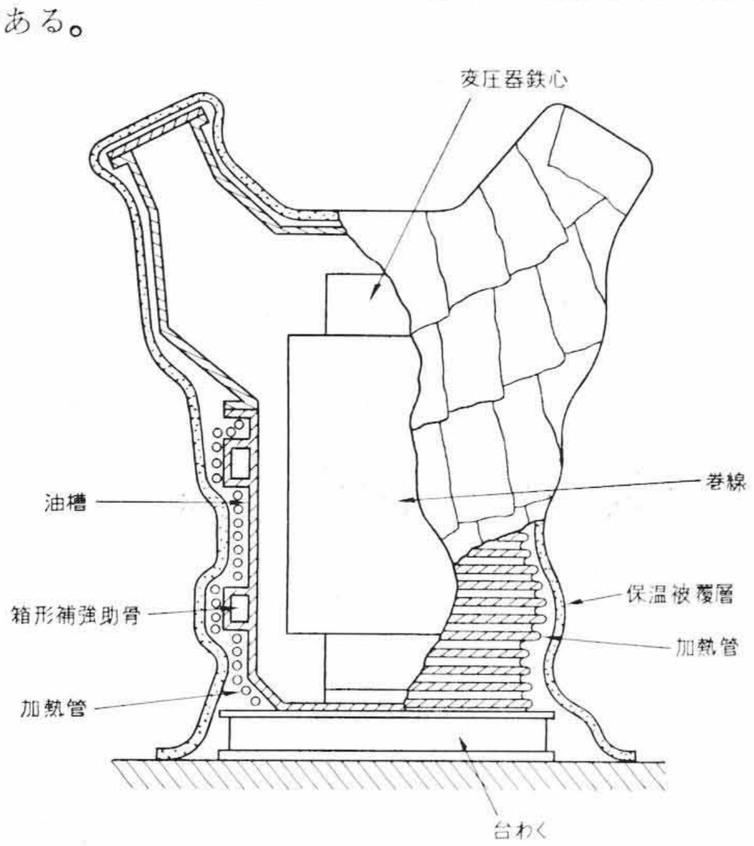
新案の紹介

登録新案 第563850号

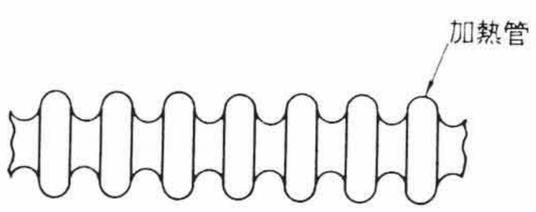
佐藤龍司・白井　章

変圧器乾燥装置

変圧器の本体すなわち鉄心および巻線の組立状態における真空乾燥処理は，製造工場においては一般に固定した蒸気乾燥タンク中に本体を収納して処理しているが，この方法はその施設に莫大な費用を必要とする。また輸送した変圧器本体を据付現場で再乾燥する場合は，変圧器自身の油槽を乾燥タンクに利用して行なう関係上，蒸気を通す加熱管を油槽内にあらかじめ内蔵設置しておく必要があり，しかもこの内蔵加熱管は中身の乾燥処理終了後は全く不要となるものである。



従来前記油槽内蔵の加熱管を廃し，据付現場において油槽の外部に剛性の加熱管を巻きつけ，その外部にアスベスト布の保温被覆層を被着し，油槽内を真空とするとともに加熱管内に蒸気を通して変圧器本体の真空乾燥処理を行なうことはしばしば試みられているが，加熱管が剛性であるため，たとえば油槽外部に箱形補強肋骨などの突出物がある場合は，加熱管の巻回直径を肋骨部の外径よりも大きくし巻回した加熱管の内部に油槽が自由に出入りできるようにしなければならない。したがって加熱管と油槽外壁との間に間げきを生じ，該間げきの存在により加熱効果を低下することはまぬがれない。

この考案は上述の欠点を改善するため考案されたもので，加熱管としては図に示すような伸縮襞付可撓銅管を使用したことを特長とするものである。伸縮襞付可撓銅管は油槽の外部に容易に巻き付けることができ，したがって油槽の外壁にもまた箱形補強肋骨の外部にも可撓銅管を密接せしめることができる。このように油槽の外壁に加熱管が密着すれば加熱効果を従来の間げきある巻き付け方法に比べ顕著に増大しうるものである。なお加熱管が襞を有することは襞を有しない加熱管に比べ放熱面積が著しく大となるためさらに加熱上有効である。

(諸角)