

岩手県電力局逆川納ポンプの自動運転

Automatic Operation of Hitachi Pumps Installed at the Sakasagawa Pump Station,
Iwate Electric Power Bureau

伊 達 欣 次* 佐 藤 広 光**
Kinji Date Hiromitsu Satō

内 容 梗 概

逆川揚水機場は吐出槽（向井ノ沢ダム）の水位一定制御を行なう機場であるが、送水管路途中に暗きょによる自然流下部を含むむだ時間の大きい系であるので、安定性の上から不連続制御を採用し、一定時間ごとにダムの水位をもとにしてステップ状にポンプ回転数の変更を行なった。またこの機場は人里離れた山中に置かれるため、無人ポンプ場として補機を含めすべて自動運転とした。停電時の水撃防止策としては逆止弁を用いずに逆流方式を採用し、冬期停止時の管内水凍結防止も兼ねさせている。

1. 緒 言

ポンプの自動制御は用途、目的に最も適した運転点での運転を行なうという経済的な見地と、制御技術の進歩とによりここ数年来数機場に採用され、それぞれの成果をあげており、制御の方法も理論および機器の発達のほかに経験も加わってますます高度化しつつある。

今回岩手県電力局逆川揚水場に納入されたポンプ設備は、着水池水位を規定値に保つようポンプの完全無人制御を行なうものとして計画されたもので以下にその大要を紹介する。

2. ポンプ設備の概要

本ポンプ設備は逆川下流（柴沢川と末崎川が合流し丹藤川となった下流 150 m ほどの位置）をせきとめてポンプで中間水槽へ揚水し、その先を自然流下により向井ノ沢ダムまで約 3 km、さらにその向井ノ沢に集まる自然流下水を加え岩洞水力発電所の貯水池までいずれも暗きょで送水するものであり、水系の異なる水を約 80 m 揚水することによってその先約 400 m の落差が発電に利用できるように計画されたものである。第 1 図はこの送水系統図である。

本機場は発電所から 20 km 離れた山中に置かれるため無人ポンプ場として計画され、向井ノ沢ダムの水位を規定値 ± 25 mm に保つために、ポンプは完全な自動運転で速度制御および台数制御を自動的に行なうものである。冬期は気温が零下 30°C 近くに下るので停電時凍結防止のため逆止弁をおかずに水を落してしまい、またこの完全逆流により停電時の水撃現象の防止を兼ねさせている。

(a) ポンプ

形 式 横軸両吸込形ポリュートポンプ
口 径 700×400 mm
仕 様 75 m³/min×88.5 m×720 rpm 2 台

(b) 電動制水弁

口 径 600 mm
電 動 機 TFO-KV₃₀ 7.5 kW 6P

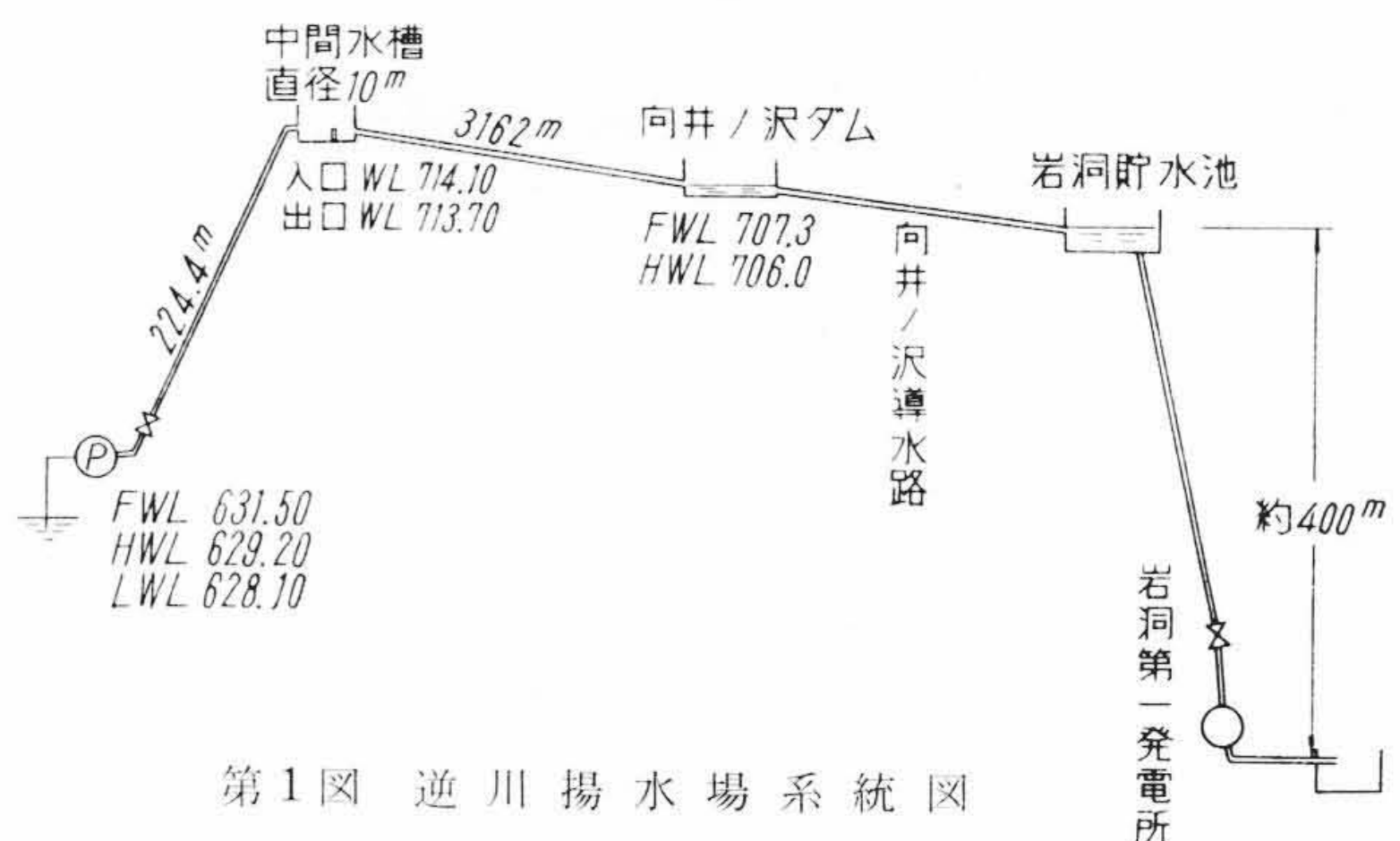
(c) 主電動機

形 式 SB-DQ 開放ベデスタル軸受付
巻線回転子式スリップリング防滴カバー付
出 力 1,500 kW
周 波 数 50～
電 圧 3,000 V
極 数 8P

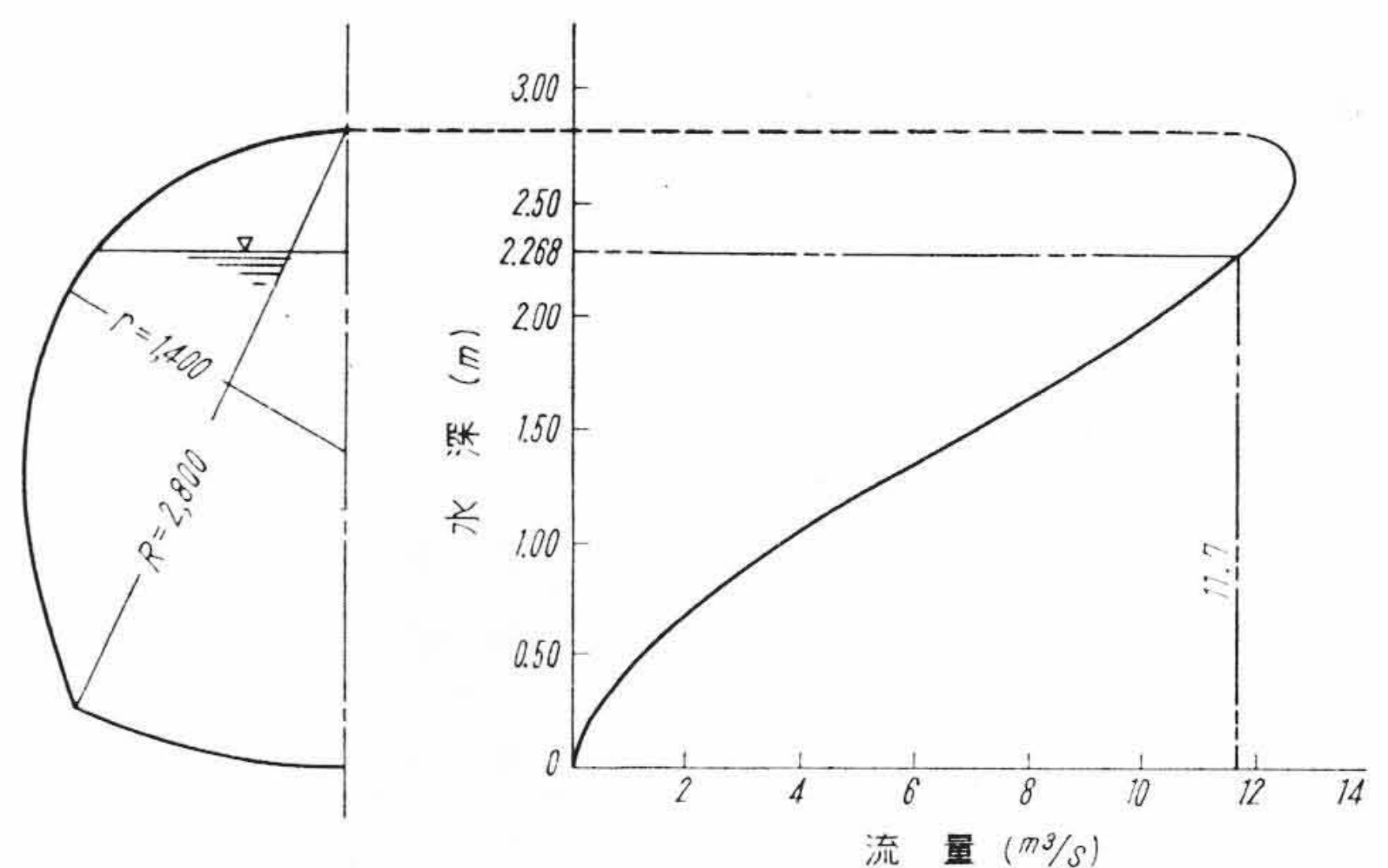
- 回 転 数 750 rpm
(d) 液体抵抗器
形 式 MWP₇-CI 電動操作電解液循環式
(e) 主電動機盤
形 式 SD-ACM
定 格 3,450 V 400 A
遮断容量 3,450 V において 50 MVA
(f) フロートスイッチ
形 式 FS-CRZ

3. 制 御 方 式

向井ノ沢導水路の水利特性は第 2 図のとおりである。向井ノ沢ダムからの流下効率が最高に保たれるようこの導水路の計画最大流量を 11.7 m³/s とし、制御は向井ノ沢の水位を 11.7 m³/s 流出させるに相当する水位 ± 25 mm に保つために行なうのであって、向井ノ沢への自然流入量がこれより少ない場合には、ちょうどその不足分だ



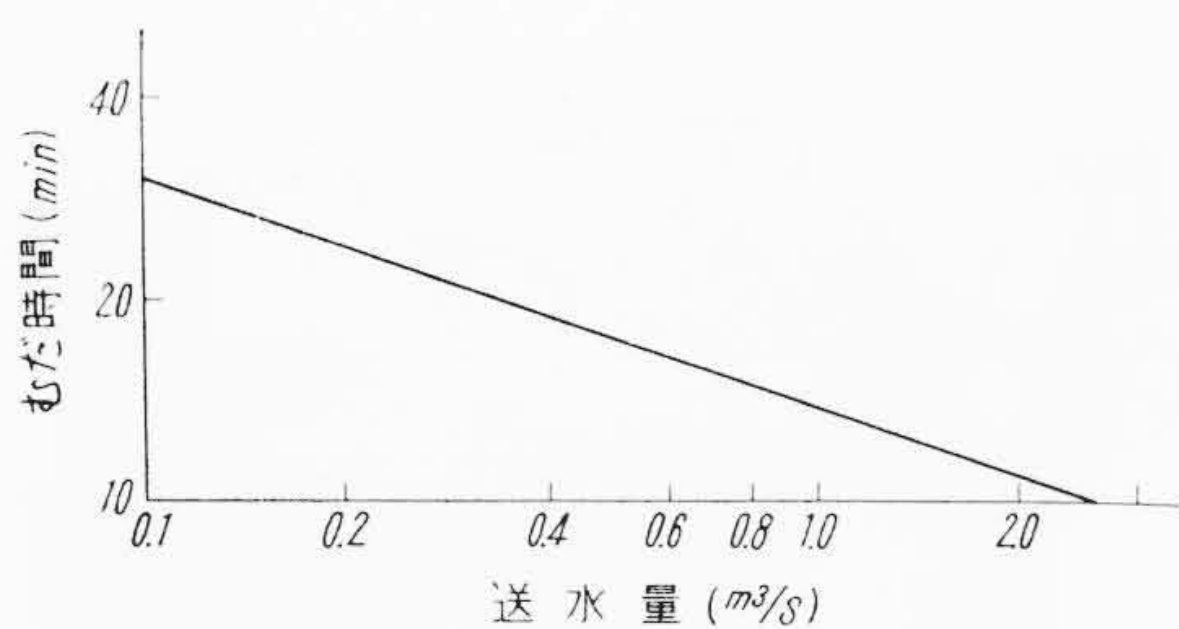
第1図 逆川揚水場系統図



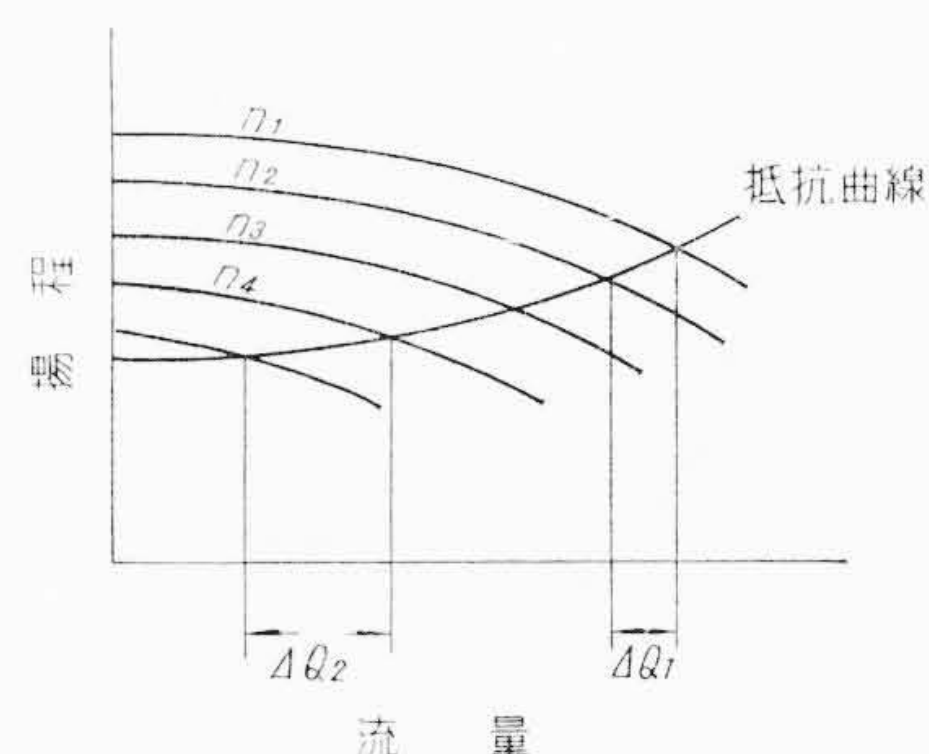
第2図 向井ノ沢導水路と水利特性曲線

* 日立製作所亀有工場

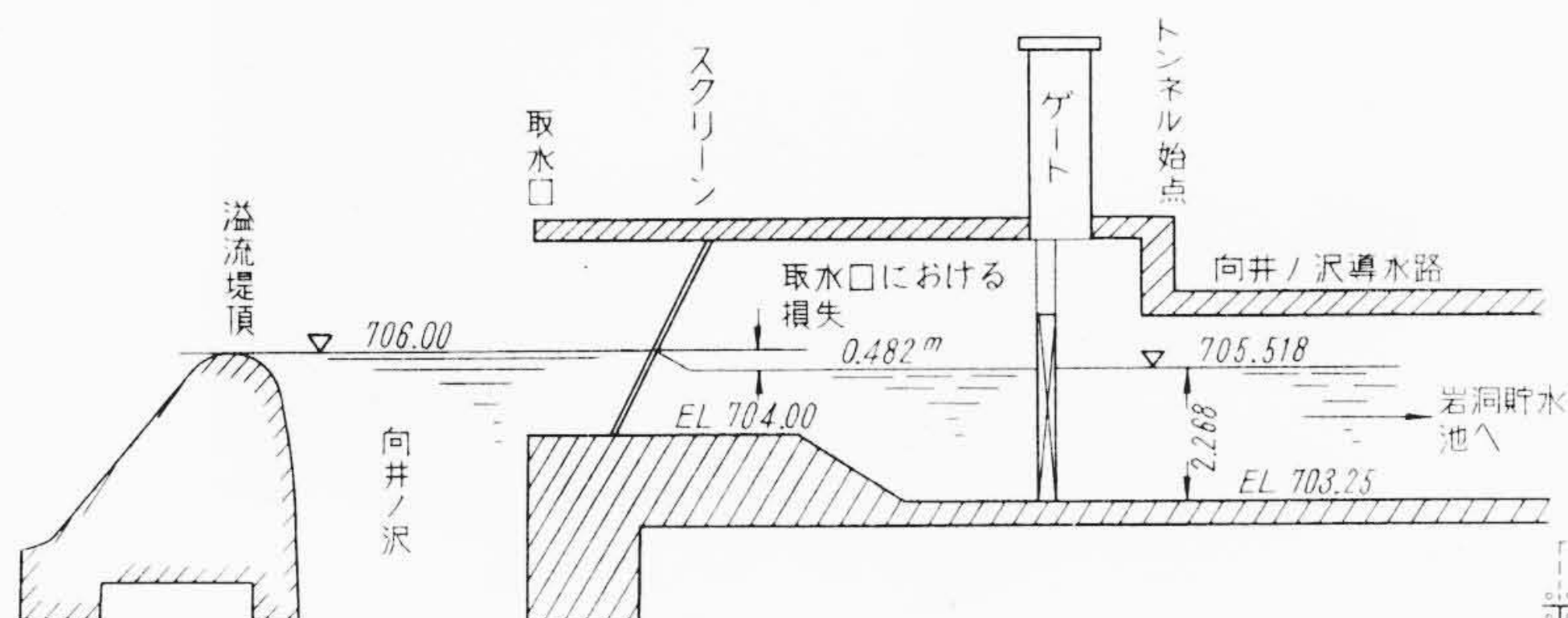
** 日立製作所日立工場



第3図 送水量の変化量とむだ時間



第4図 速度変化に対する流量変化



第5図 向井ノ沢ダムと導水路の水位

け逆川ダムより揚水するために、ポンプの回転数制御および台数制御を自動的に行なうのである。

この制御系においては中間水槽から向井ノ沢まで距離が長い暗きよであるために、ポンプにおける回転数制御などの結果が向井ノ沢に現われるまでに約10～20分を要し、しかもその時間は送水量の変化量によって異なること(第3図)および実揚程に比べ管路抵抗が小さいために水量の少ない領域においてはわずかの揚程または回転数の変化が大きな流量変化となって現われること(第4図)が問題であり、安定性の上から制御は不連続動作とした。

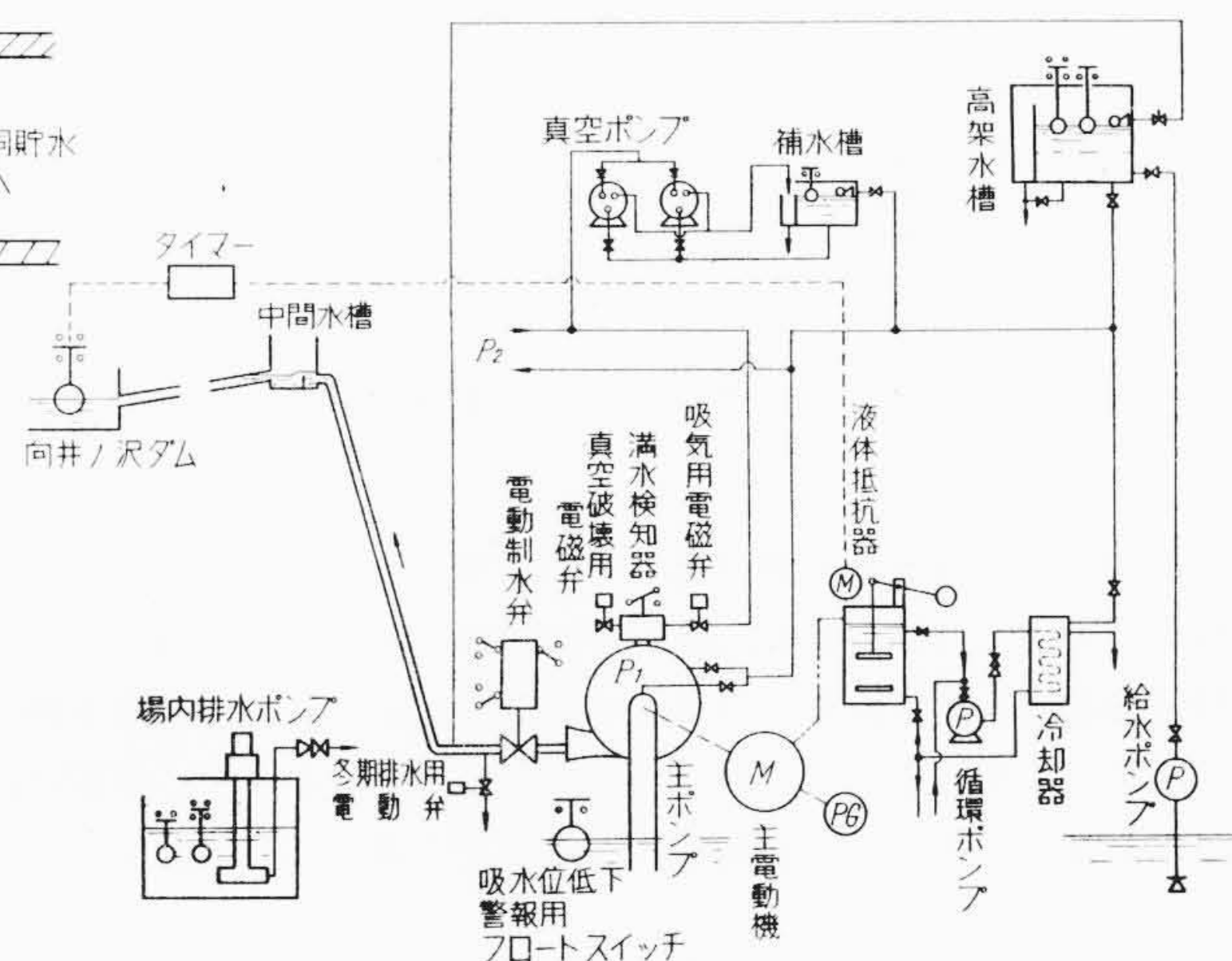
すなわちむだ時間に対してはむだ時間経過後に水位検出と制御を行なわせるようにし、そのために向井ノ沢ダムの水位検出用フロートに規定値を中心にして上下に接点を設け、水位の過不足の信号をポンプ場に送り、それに基づいてポンプは一定時間ごとに回転数または運転台数の変更を行なうようにした。

また回転数の変更の大きさについては、ポンプの特性を全範囲にわたって右下り特性として小流量域における流量変化の影響を減少させるとともに、電動機速度制御用液体抵抗器にカム形のリミットスイッチを取り付けて電極間隔を段階的に変化させ、一定時間後の指令が送られて来るまでは電極位置に応じた一定速度を持続するようにした。水量増加の指令が出たときにポンプが運転されていなければ自動起動してパイロット発電機によって規定の最低速度に達して次の指令を待ち、また一台が全速運転中の場合ならばほかの一台を追加起動するとともに前から運転中のポンプの速度を下げて、2台が低速度を次の指令時まで持続するようにした。また運転中最低速度になっていてさらに速度低下の指令が出た場合には一台が自動停止し、ほかの一台はそのまま待機するようになっている。

これら水位計の接点の幅、指令時間の間隔およびポンプの回転数の階段間隔、最低速度などは実情に応じて容易に調整ができるようにしてある。

現在接点の間隔は30mmに整定し、指令時間の間隔をタイマーにより0～60分の範囲で調節するようになっている。

なお向井ノ沢ダムの水位は第5図のような計画となっており、制御の過渡状態そのほか一時的な水位上昇によって導水路が圧力管になるのを防止するため導水路入口のゲートの開度制御およびダム上縁からのオーバーフローを行なうようになっている。



第6図 操作系統図

4. 補機類の自動運転

この機場は無人ポンプ場として計画されたので主ポンプはもちろん補機類も主ポンプと連動または単独に自動運転するようになっている。

すなわち主ポンプ起動の指令により冬期排水電動弁と真空破壊用電磁弁が閉じ、真空ポンプが起動して吸気用電磁弁が開き、電解液循環ポンプが起動し、主ポンプ満水が検知されると主電動機が起動し、規定の最低速度になるとパイロット発電機によりその速度が検出保持され、吐出側電動弁が開き、吸気電磁弁が閉じ真空ポンプが停止するようになっている。

停止の場合には吐出側電動弁が閉じ、主電動機が停止した後電解液循環ポンプが停止し、さらに冬期には真空破壊用電磁弁と揚水管の排水用電動弁が開くようになっている。

また運転中に停電し、後通電された場合にはいったん吐出側電動弁を閉じ、液体抵抗器の電極が起動位置にもどってから再起動するようにしてある。

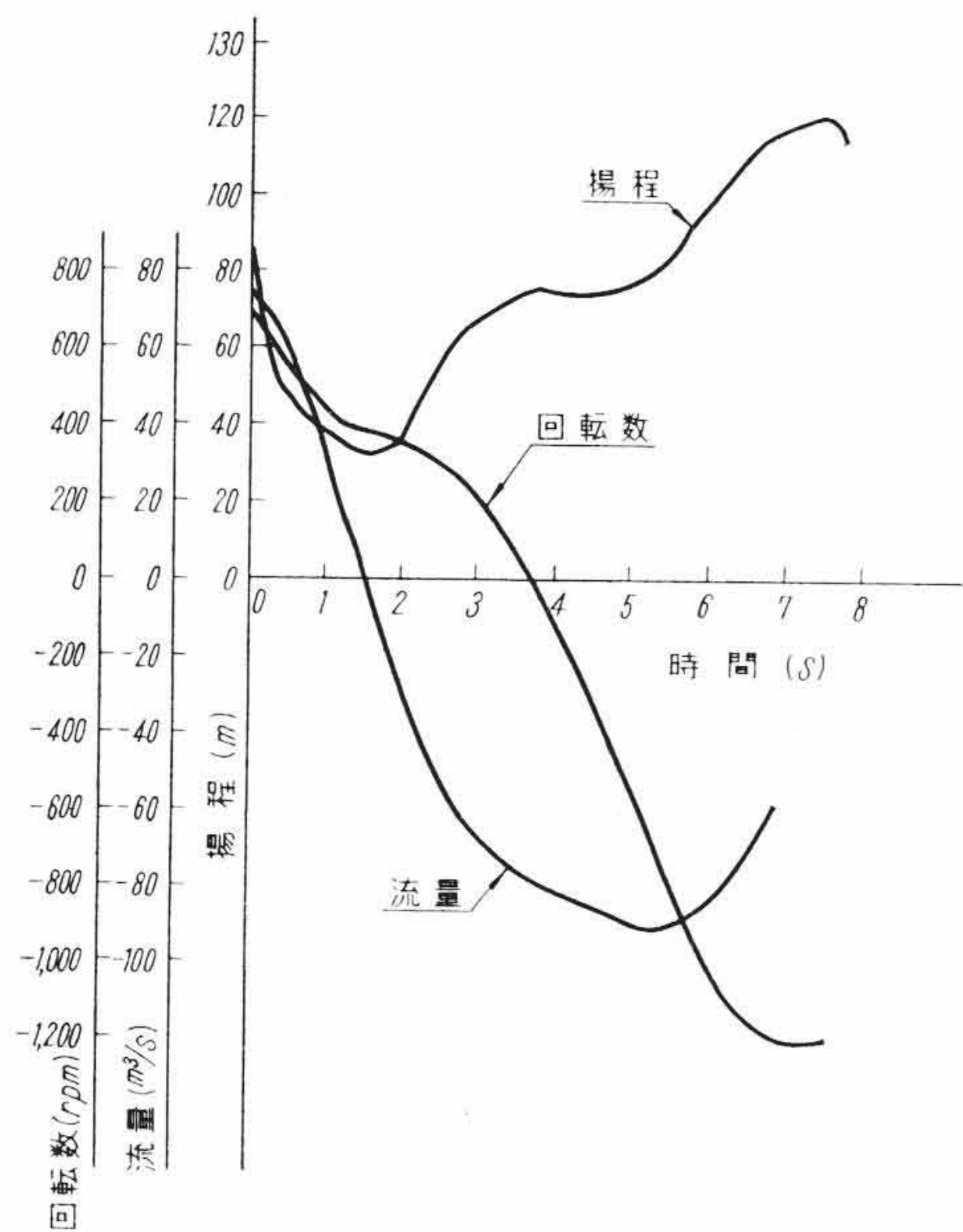
また高架水槽用の揚水ポンプ、機場の排水ポンプはフロートスイッチによる自動運転、冬期機場内機器の凍結防止用ヒータはサーモスタットによる自動運転を行なうようになっている。

第6図はこれらの操作系統図である。

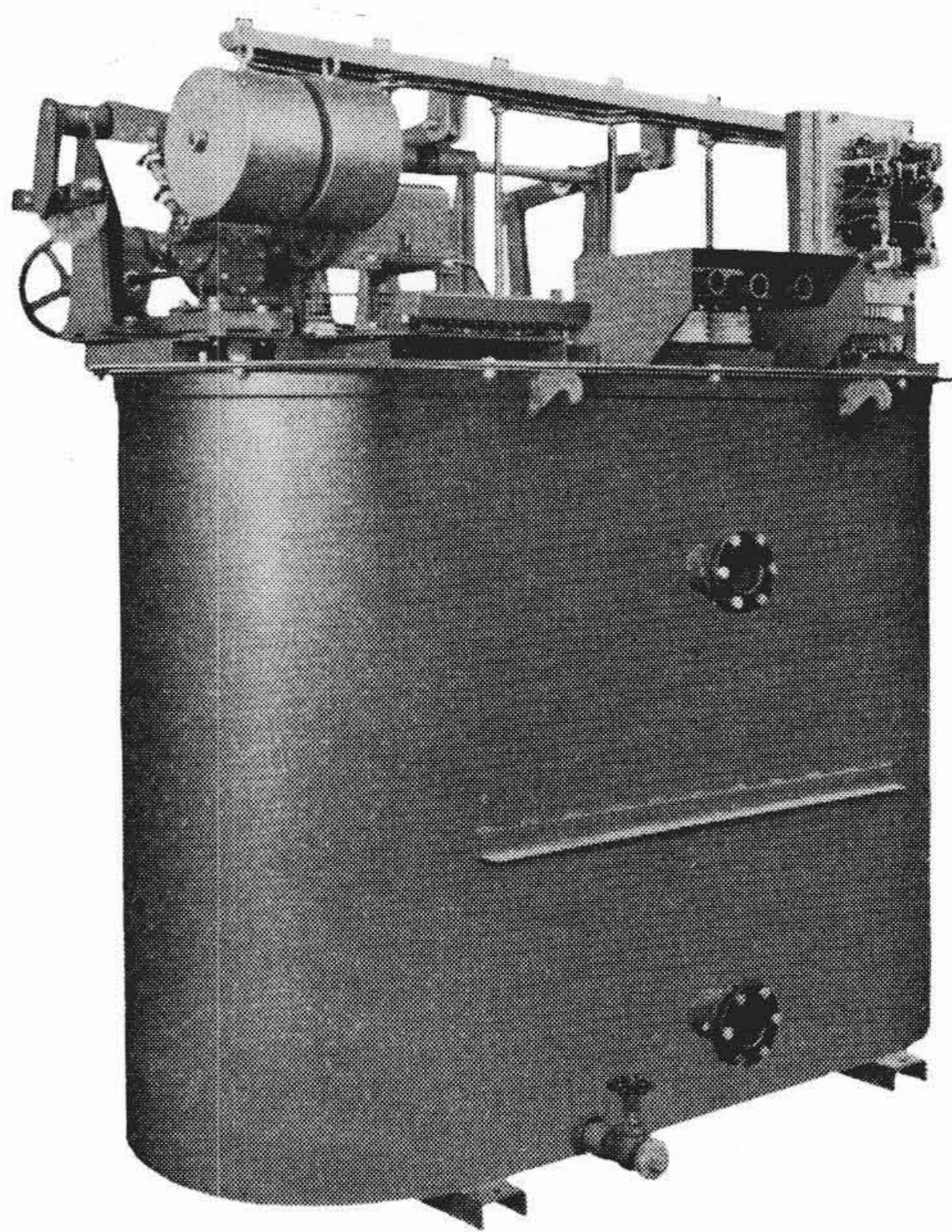
5. 停電時における水撃対策

この機場は中間水槽から先は自然流下するので水撃現象はポンプ場と中間水槽間に対してのみ検討した。

水撃の軽減方法としては負圧の発生がない場合、逆流時の圧力上昇は緩閉チェック弁によって防止することが多いが、この機場にチェック弁形式の弁を用いると冬期揚水管内の水が凍結するおそれがある。



第 7 図 停電時の水撃現象時間履歴線図



第 8 図 MWP7-CI 液体抵抗器

あるのでその対策も考慮の上、中間水槽から水を逆流させる方法を採用した。その検討計算に際しては比較回転数の近いポンプの完全特性を利用し逐次計算を行なって第 7 図に示すような結果を得たので、これに基づきポンプおよび電動機は十分その逆流、逆転に耐えられるよう構造的にも強度的にも設計上の考慮がなされた。

6. 保護装置

本ポンプ設備の保護装置は無人運転の原則に従って計画されており、故障はすべてポンプを停止せしめるが、やはりその重要度に従い重故障と軽故障にわけらる。

6.1 重故障

重故障はポンプ電動機の過電流および停電の場合で、ポンプを停止し、ついで制水弁を全閉し、液体抵抗器を起動位置にもどす（停電停止の場合には弁閉および液体抵抗器の起動位置への復帰は停電回復後に行なう）とともに故障表示、ベル警報を行なう。

6.2 軽故障

軽故障の場合は 7.2 の順序に従い通常停止し、ブザー警報を行なう。軽故障に属するものは、軸受温度上昇、ポンプ内水温上昇、向井ノ沢導水路ゲート閉、高架水槽水位低下である。

7. 制御特性

今向井ノ沢導水路流量 Q_2 、ポンプ送水量 Q_3 、自然流量 Q_1 、向井ノ沢ダム表面積 F 、水位の変化を Z とすると、

$$F \frac{dZ}{dt} = Q_1 + Q_3 - Q_2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

で表わされる。

向井ノ沢水位と導水路流量との関係を使用点付近では直線的であると考えれば

$$Q_2 = k_1 Z \quad \dots\dots\dots (2)$$

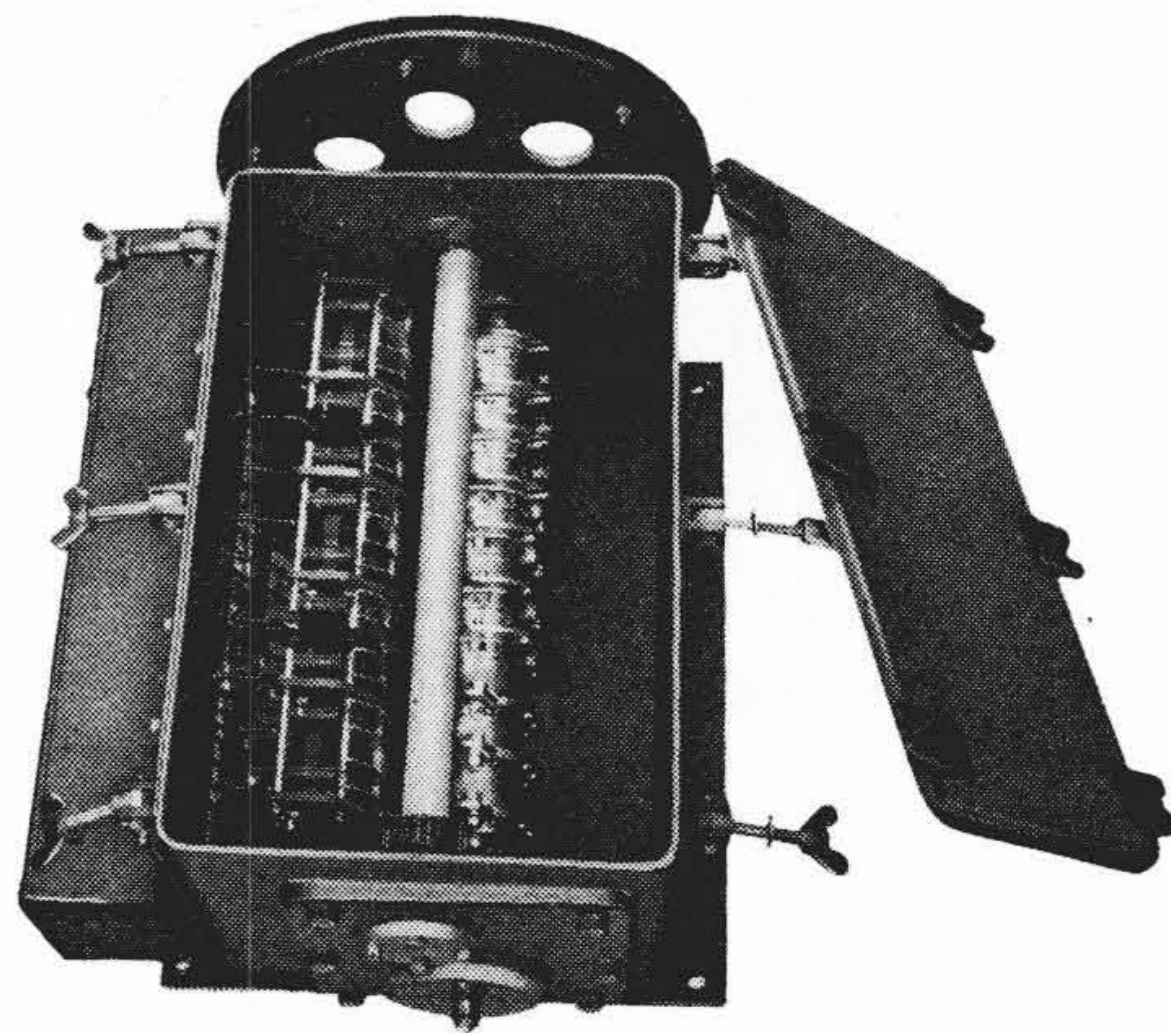
ただし k_1 : 定数

管路によるむだ時間を L とすれば、ポンプによる向井ノ沢流入量 Q_3 とポンプ出口流量 Q_4 との間に

$$Q_3(t) = Q_4(t-L) \quad \dots\dots\dots (3)$$

の関係が成り立つ。流量基準を Q_B 、水位変化基準を Z_B とおき

$$Z = Z_B(1+z)$$



第 9 図 FS-CRZ フロートスイッチ

$$Q_1 = Q_B(1+q_1)$$

$$Q_2 = Q_B(1+q_2)$$

$$Q_3 = Q_B(1+q_3)$$

と置けば (1) ~ (3) 式は

$$\frac{FZ_B}{Q_B} \cdot \frac{dZ}{dt} = q_1 + q_3 - q_2$$

$$q_2 = \frac{k_1 Z_B}{Q_B} Z$$

$$q_3 = q(t-L)$$

となる。

上式にそれぞれの数値を入れ、検討の結果液体抵抗器のカムを 8 分し、ポンプ電動機を速度を 8 段階に定め、流量を 8 等分することにした。

8. 結 言

逆川揚水機場は途中に 3,000 m もの暗きょを有し、制御結果が 10 ~ 20 分後表われる特殊な水路系の水位自動制御であるが、水路によるむだ時間に対して適当な検出時間をおくことにして解決した。

終りに種々ご指導ご協力いただいた岩手県電力局島崎局長はじめ関係各位に厚くお礼申し上げます。