

日立蒸気タービンの保安装置

樋熊常雄* 桑野幸三**

Protective Device for Hitachi Steam Turbine

By Tsuneo Higuma and Kozō Kumeno
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Following the introduction of the advanced technique from America and Europe, it has come into a wide-spread practice in Japan's thermal plant industry to make use of high pressure high temperature steam for their turbines, while the one-boiler-for-one-turbine system and the centralized controlling system are given a strong preference. Such a marvellous success in catching up with the foreign technical level attained in that way, it brought Japan to be qualified for the construction of the thermal generating equipment which could rank very high both in capacity and the design of the system.

Since the equipment for the thermal plant is no more than a co-ordinated arrangement of a diversity of machines and apparatus and its complicacy is more intensified as the unit capacity temperature and pressure are increased, the necessity for the positive, remote supervisory controlling system becomes all the more great at the controlling center. In the large capacity plants, in fact, even a slightest fault could not be left as it occurred but should be attended by the safety device for the immediate repair or countermeasures.

The writer gives detailed descriptions of the protective devices for both main and auxiliary equipment of thermal plants, as well as the relation to be held in their function in the controlling center. Special mention is made, furthermore, as regards the Hitachi's protective system in which the hydraulic and pneumatic pressure or electric connection are dexterously employed for the function according to the purpose.

〔I〕 緒 言

最近の我国の火力発電所は欧米の技術導入により、高圧高温大容量の一機一罐方式となり、かつ中央制御方式が採用されるに到つた。火力発電機械は多種多様の機器の総合配列であるため、きわめて複雑化しているが、最近のように高圧高温で中央制御方式を行うためには、各機器の運転監視が中央制御室にて簡易確実に実施しうる必要があり、かつまた些細な事故に対しても適確な保安装置と標示によつて、迅速に適宜の処置がとられるごと

き信頼度の高い確実性のある種々の保安装置が必要である。

日立製作所は昨年、東京電力鶴見第二発電所ならびに新東京豊洲発電所納 66,000 kW 火力機器各一式を受注し、上記の諸条件を満足する最も合理的な中央制御方式を計画し、目下その大部分が完成し最後のまとめに入っている現状である。

これが達成は今後の火力発電界に大きな変革と利益をもたらすものであり、この意味からもその保安装置は、あらゆる角度から検討して、入念な製作を行い万全を期している。以下その概要を紹介する。

* ** 日立製作所日立工場

〔II〕 中央 制 御 方 式

火力機器を分類すれば、ボイラ、タービン発電機および各補機に分けられるが、これらの各機械は完全に結合されて一つのサイクルを画いて運転される。これに附随する計器操作装置および保安装置の中タービン関係のものについて考えると主としてタービン発電機に対するものと、真空ポンプ、加熱器、脱気器、蒸化器などの補機に対するものとに分けられるが、これら各種の計器操作および保安装置を統一する中央制御方式も実際運転にならつてつぎの三つの運転過程に区別して行うが便利かつ実地的であると考えられる。

すなわち

(1) タービン起動ならびに停止時の制御

タービン室内にあるタービン計器盤によつて行う。

(2) 正規負荷運転中の制御

タービン室内とはべつの中央制御室においてこの計器盤によつて制御監視を行う。

(3) 補機まわりの運転制御

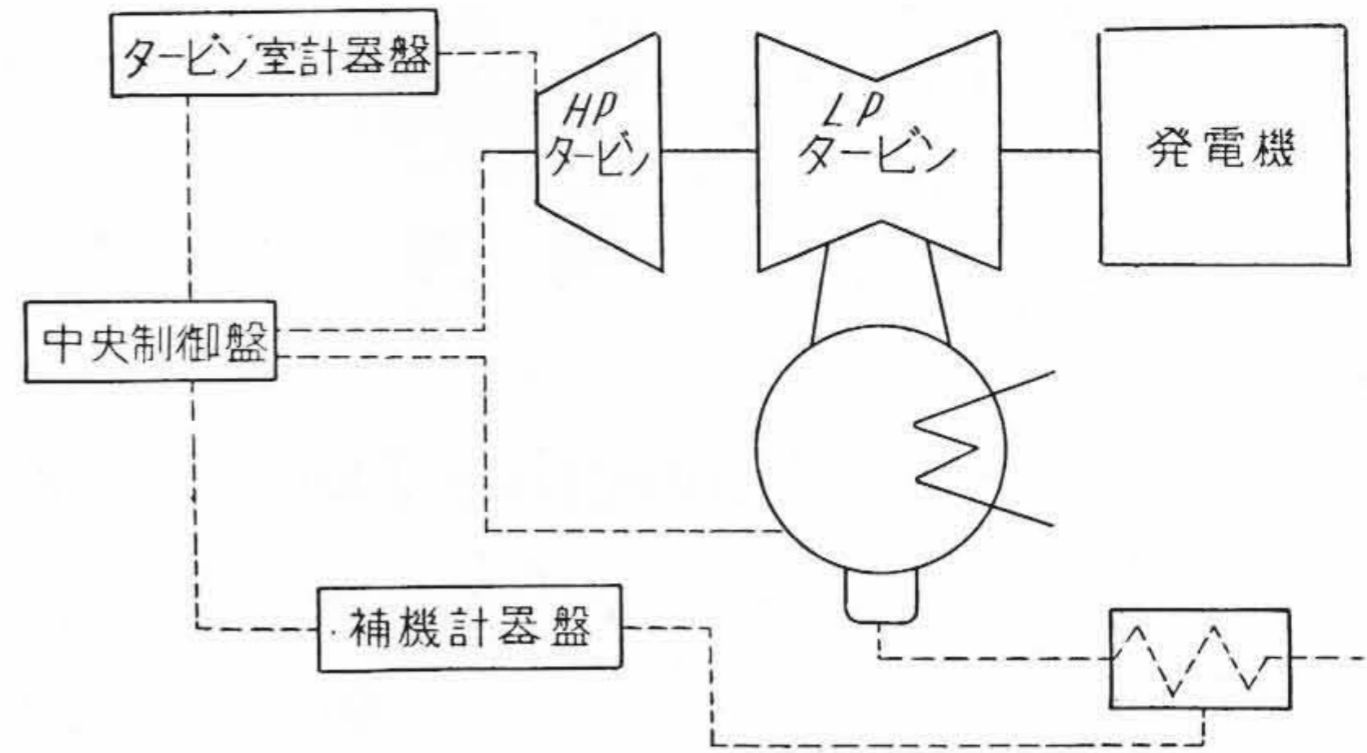
補機類を統一して制御する補機計器盤によつて行う。

上記運転過程の(1)(2)および(3)の中特に中央制御室の監視者に必要な計器操作装置ならびに保安装置はすべて中央制御室に連絡されている。(1)の場合はタービン室内にある計器盤によつてタービン速度が正規回転数まで上昇し並列運転に投入されるまで制御され、それ以後は(2)の範囲になり中央制御室内でその運転を監視制御を行う。この部屋にはボイラ運転上必要とされるすべての計器類も装備され、タービンボイラ同時に総合運転が可能である。タービンの保安装置はすべて電氣的接点を介して中央制御室に導かれ、警報、停止ならびにおのの指示を行い容易に監視者にその事故箇所を明示しうようになつている。

主機の運転に前後して各種補機を運転するが、これは(3)の場合に入り、補機計器盤により制御を行うのを原則とするが、この中一部は中央制御室においても監視されるように計画されている。第1図に全体の制御系統図を示す。

〔III〕 保 安 装 置

蒸気タービン本体ならびにその附属設備の一切をあらゆる突発的事故より救う装置として、従来から各種の保安装置が考案装備されているが、今回の新設計は中央制御と密接な関係を維持する必要上、多年の研究と既納品の成績に依り最も確実な油圧ならびに空気作動式のものゝを遠隔操作方式にさらに改良簡易化したもので、すべて制御盤または中央制御室によつて自由に任意に操作しう



第1図 中央制御系統図

Fig.1. Diagram of Central Controlling System

るようになつている。タービンの使用蒸気状態が高圧高温になればなる程取扱上車室とロータの不規則な熱膨脹および高温に対する各部の材質の劣化などより意外な事故を発生することが懸念されるので、この保安装置は敏速に発生事故を捕えて確実に伝達し、作動させるものでなければ最近のタービンの構造には適しない。

本装置は以上の点を十分に満足するよう計画されたもので、以下にタービン本体まわりの保安装置と補機まわりの保安装置とに分けておののその概略を述べる。

(1) タービン本体まわりの保安装置

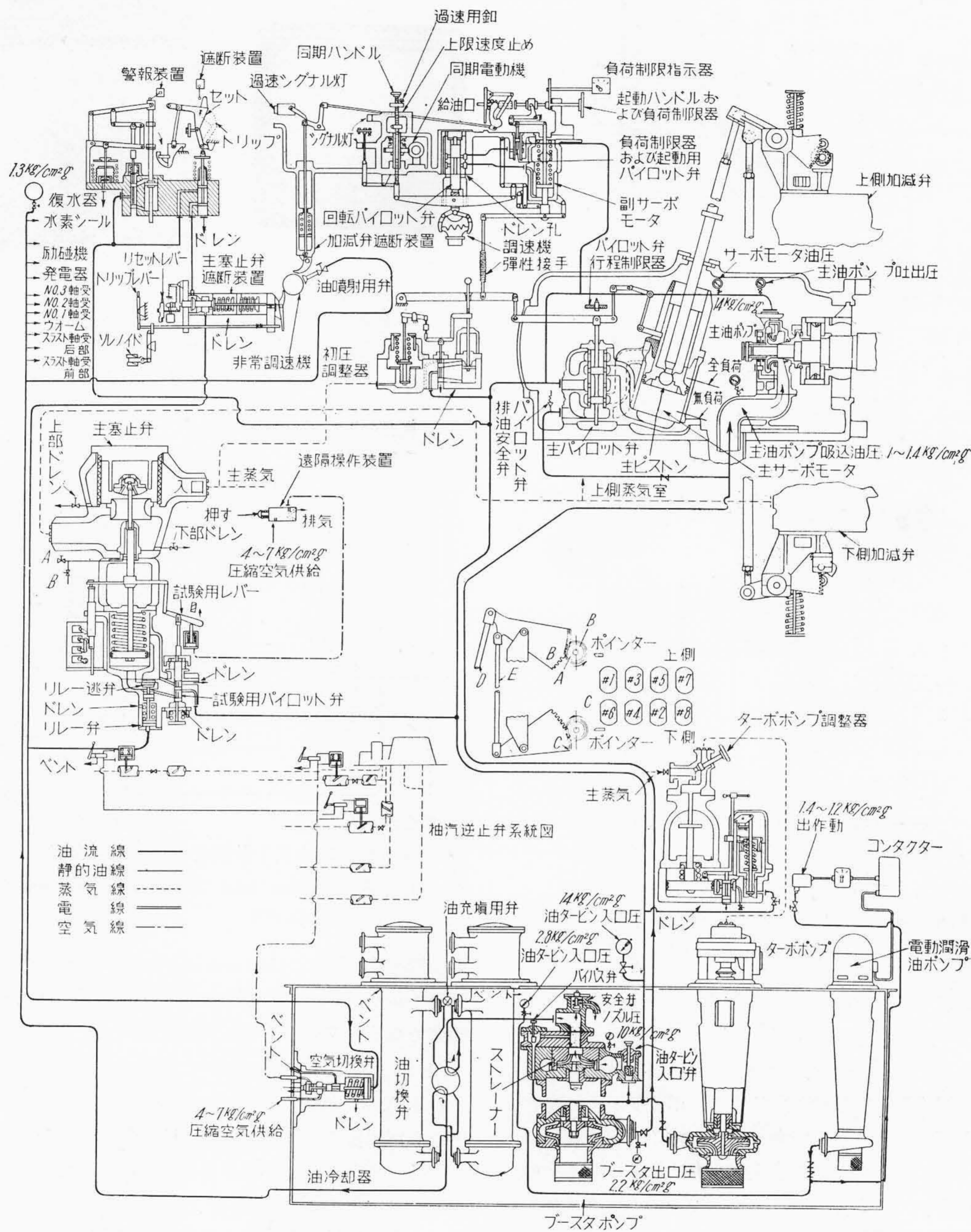
第2図はタービン本体まわりの保安装置の配置と作動系統を示す。すべて装置間はある関連をもつて連結され警報ならびに停止を行うものであつて、箇々について説明するとつぎのごとくである。

(A) 非常調速機

タービンロータの回転数がなんらかの事故により(110±1%)まで上昇した際、この非常調速機の偏心輪が遠心力によつて外方へ飛び出し、加減弁および主塞止弁を閉鎖せしめ、同時に発電機のO.C.B.を開いて並列から切り離す。またそのとき空気切換弁を作動させて真空破壊器により復水器真空を破壊し、同時にタービン抽気の逆止弁を強制的に閉鎖して高圧加熱器などよりの蒸気の逆流を防止し、できるだけ短時間にタービンを停止せしめるようにし、完全に主機特にタービンロータおよびブレードを保護する役割を演ずる。非常調速機の構造はその作動回転数を細かく確実に調節しうのごとく、(1)概略調節および(2)細密調節の二つがもうけられている。また回転を上昇せしめずして作動の確実性を確めるため95~100%回転速度において油を噴射させることにより作動せしめうる油噴射弁がある。復帰回転数は約102%であつて、タービン速度を100%以下に低下せずして復帰せしめえるよう考慮されている。

(B) 応急遮断装置

本装置には二種類あり、一つは加減弁遮断装置であり



第2図 主機の保装置

Fig.2. Devices of Main Parts Emergency

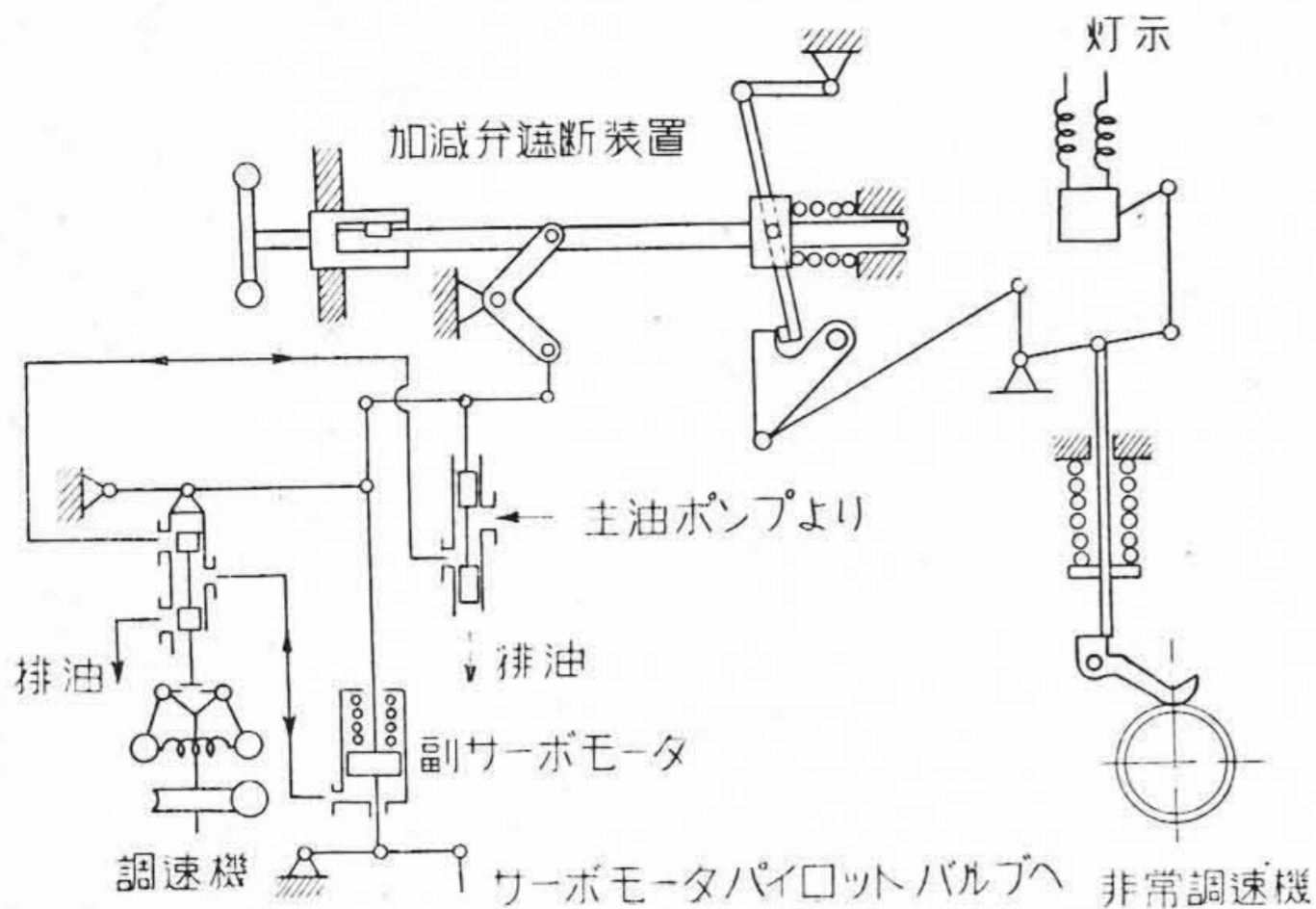
他方は主塞止弁遮断装置である。

(i) 加減弁遮断装置

これは前記(1)の非常调速機によつてのみ操作される。シグナル灯が装備されトリップすると赤色ランプが計器盤に点するとともに警報を発する。调速機への圧油を完全に遮断し、加減弁を閉鎖せしめるものであつて第3図(次頁参照)にその構造図を示す。

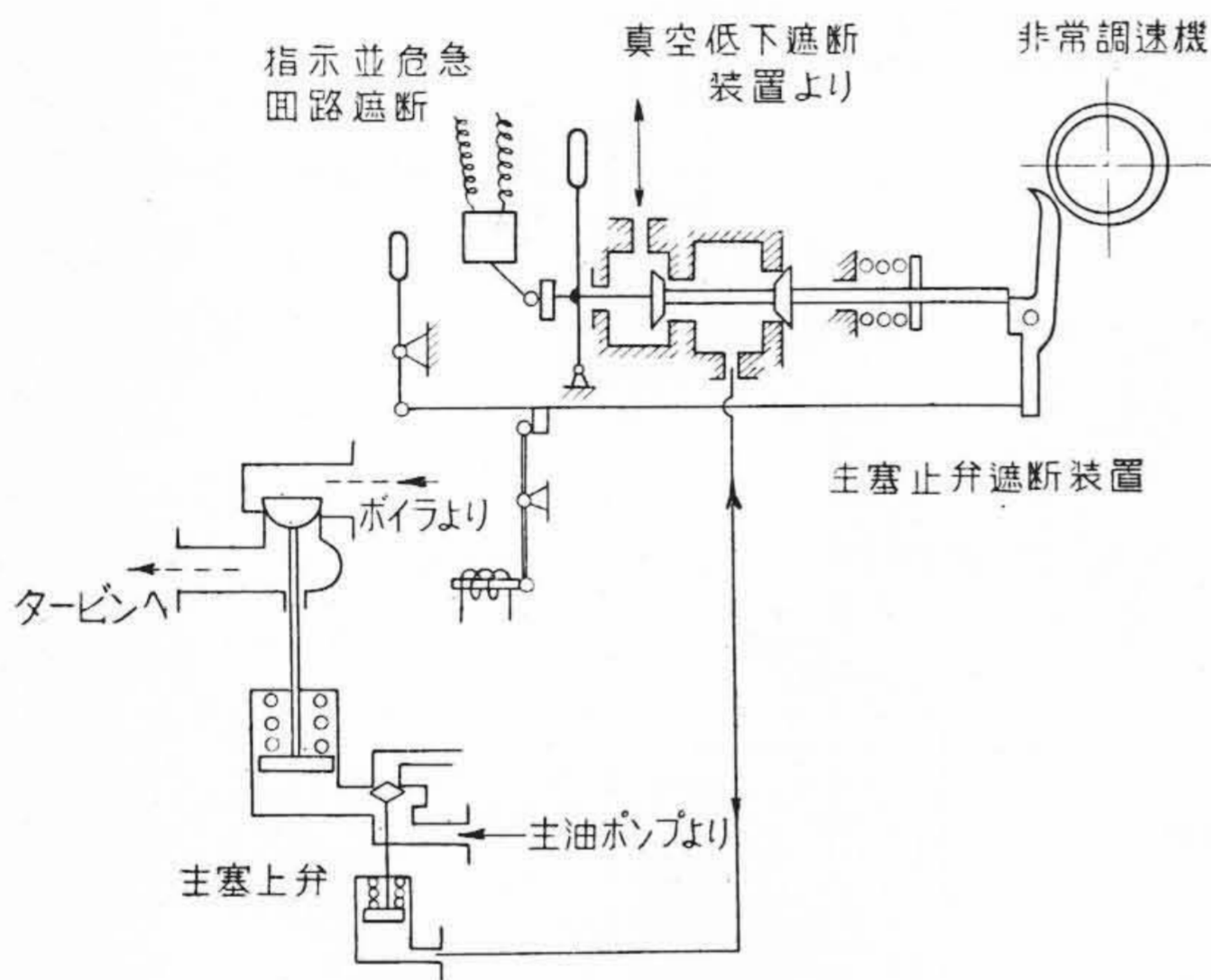
(ii) 主塞止弁遮断装置

非常调速機により作動されるとともに、他の事故たとえばタービン推力軸受磨耗、低圧車室排気温度上昇、復水器真空低下などによりソレノイドが働いたときも主塞止弁遮断装置を作動させて主塞止弁を閉鎖せしめると同時に発電機 O.C.B. を開く。さらにこれには手動操作のレバーがあり任意にトリップしえる。弁遮断後タービン速度が約 102% に低下するとリセットレバーにより正規の状態に戻すことができる。



第 3 図 加 減 弁 遮 断 装 置

Fig. 3. Emergency Device for Control Valves



第 4 図 主 塞 止 弁 遮 断 装 置

Fig. 4. Emergency Device for Stop Valve

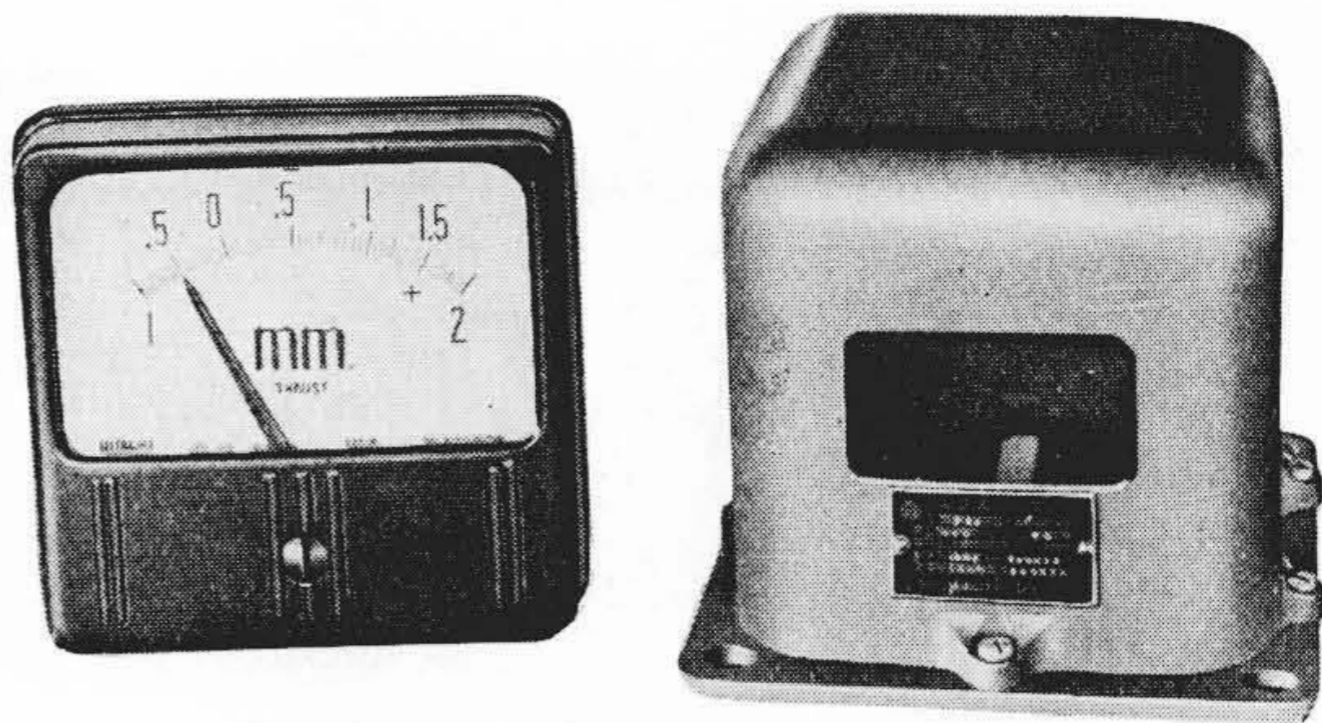
第 4 図はその構造図であつて圧油作動方式である。

(C) 主塞止弁遠方操作用テスト弁

高温高圧の蒸気が主塞止弁の弁棒およびブッシュに直接触れて長く運転を続けている中に、ボイラからの異物が小さな間隙に入り込んで弁棒が固着すると重大な事故を発生するので、たえずこの主塞止弁は運転中でもその作動試験を行つてよく確かめておく必要がある。タービン室計器盤に遠方操作用のテスト弁があり、圧縮空気を使用して弁棒を全行程の約 1/6、すなわち 25 mm 程度上下させて作動状態を確認するようになっており、同時にその開度は弁棒に附属する発信器によつて中央制御室に指示されるごとく計画されている。

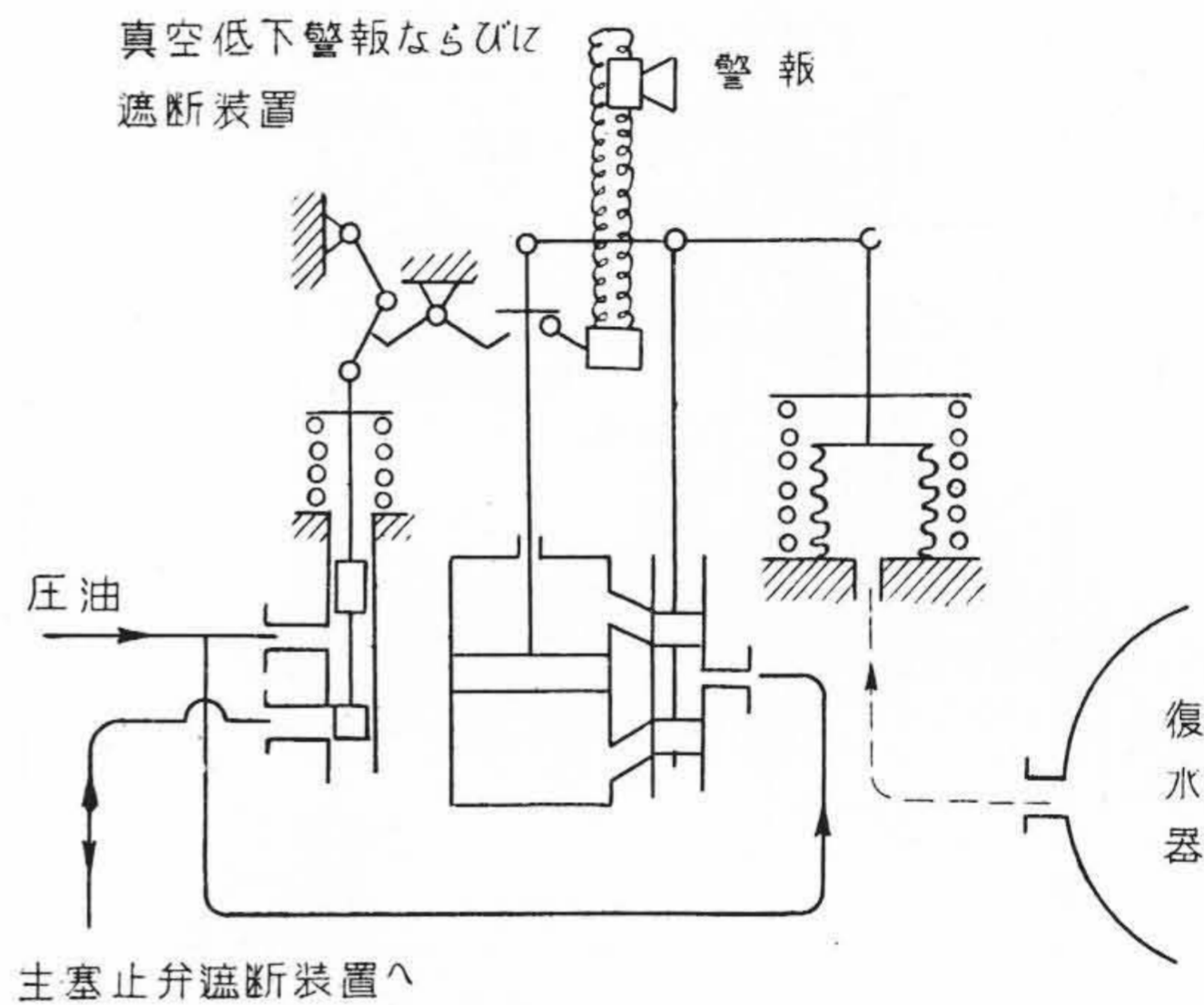
(D) スラストメータ

推力軸受の磨耗程度を常時指示する指針と、推力軸受が前後いずれかの方向に磨耗して、規定量まで進行すれば警報を発し、危険量まで進めば主塞止弁遮断装置内にあるソレノイドを働かして主塞止弁を閉鎖せしめる。こ



第 5 図 ス ラ ス ト メ ー タ

Fig. 5. Thrust Indicator
Left: Indicator
Right: Transmitter



第 6 図 真空低下警報ならびに遮断装置

Fig. 6. Alarm and Trip for Condenser Vacuum

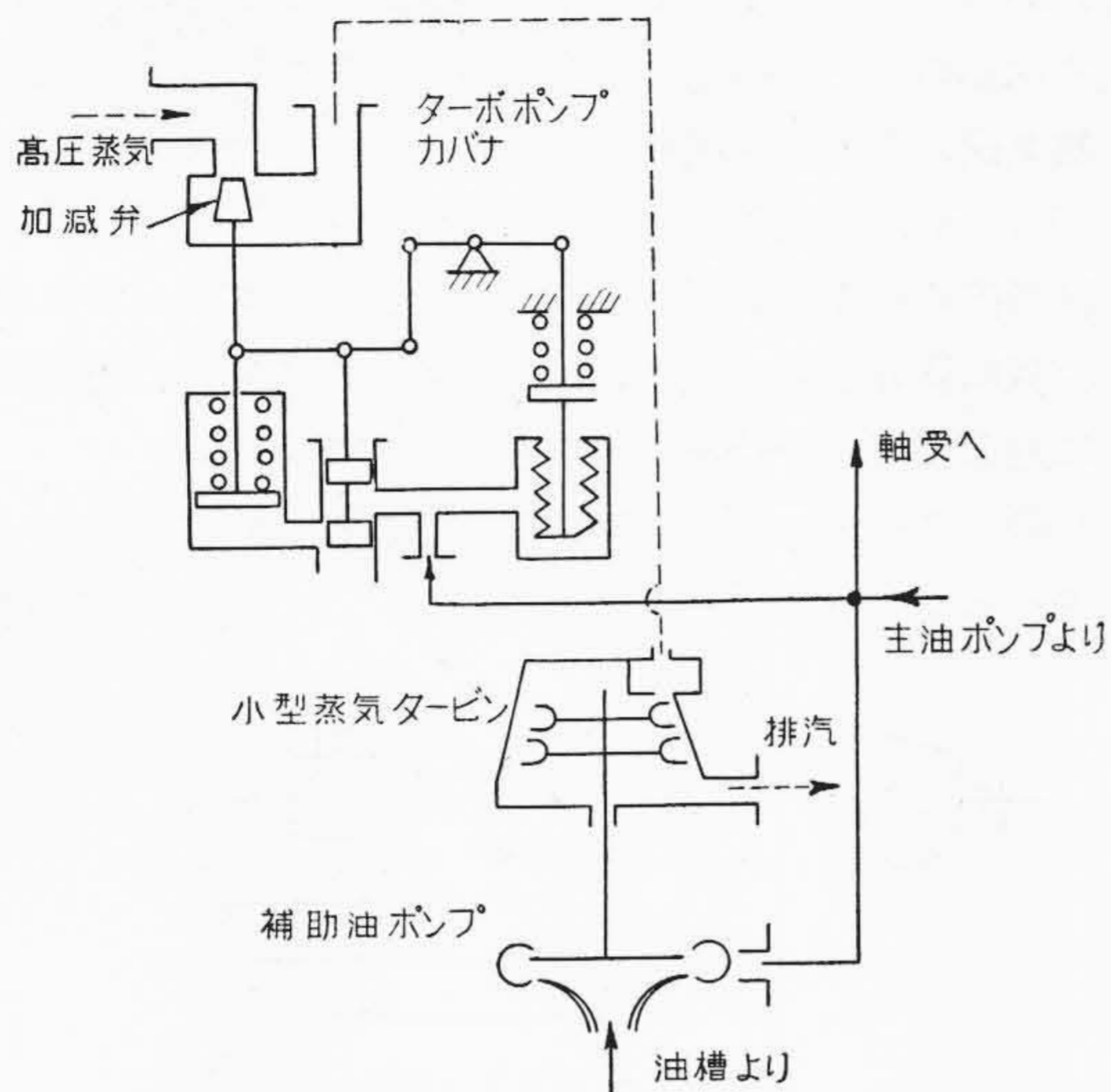
の装置の検出部は 5/100 mm 以下の感度を有しきわめて正確であり、しかも発電所内の連続運転に十分耐えうる構造である。第 5 図はその外観を示す。

(E) 真空低下警報ならびに遮断装置

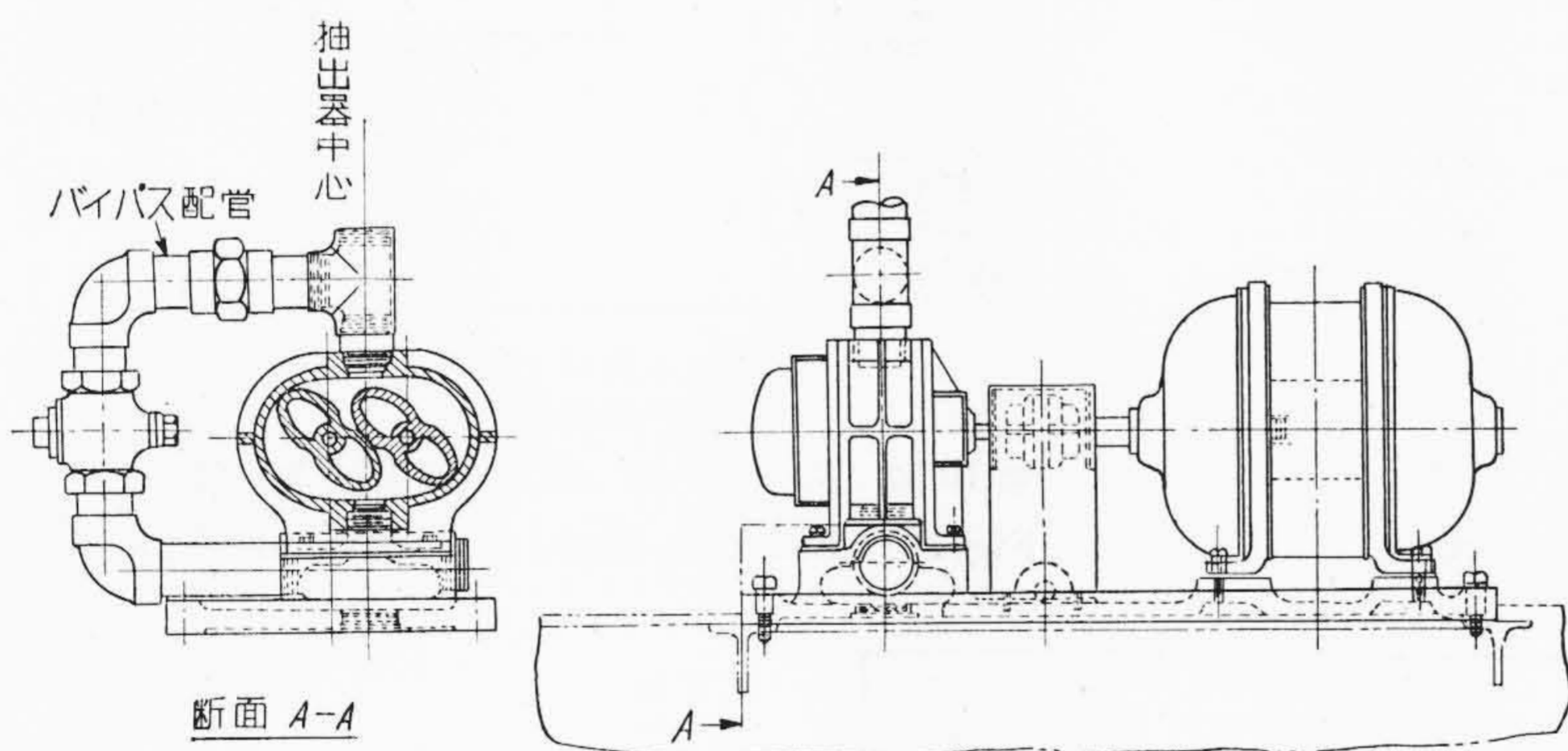
復水器真空度が低下すると排気温度が上昇し、低圧車室ならびに復水器に異常な熱膨脹を惹き起し事故の原因となる。またタービン効率も低下するのでなるべく規定の真空度かその近辺に維持して運転しなければならない。もしはなはだしくこの真空度が悪くなった場合本装置が作動し主塞止弁を閉鎖してタービンを停止せしめる。一般に規定真空度の 85% で警報を発し、70% で遮断するごとく計画されている。第 6 図はその構造を示し油圧機構を有するきわめて高度の性能を有するものである。

(F) 真空破壊器

前述の空気切換弁によつて圧縮空気が破壊器内ピストンに送入され復水器中に空気を入れて真空を破壊しすみやかにタービンを停止せしめるものである。常時は完全



第7図 ターボポンプガバナ
Fig.7. Turbo Pump Governor



第8図 ベーパ抽出機
Fig.8. Vapor Extractor

に外気を遮断しなお弁座はウォーターシールに依り空気漏入を防いでいる。

(G) 抽気逆止弁およびその遠方操作用テスト弁

高低圧両用タービン車室より加熱器，脱気器，蒸化器などへ抽気しているが，この管中にはかならず逆止弁が装備されていてタービン非常停止の際車室内への逆流を防止している。特に高圧側第3抽気点までは二重の逆止弁をもうけ，一つは空気作動式の強制逆止弁をとりつけて絶対に逆流のないよう完全を期している。またタービン室計器盤よりこの空気作動付逆止弁の良否を確認するため遠隔操作用テスト弁があり任意に試験しうるようになっており，すべて計器盤のシグナル灯によつて弁棒の動きを確認することができる。空気作動式であるため従来の油圧式のごとく漏油と高温蒸気による火災の絶無を期している点は大きな特長である。第2図中にその配置が示

されている。

(H) ターボポンプガバナ

小型蒸気タービン駆動の補助油ポンプは主機の起動ならびに停止に際して高圧油を调速装置へ，低圧油を軸受へ供給するがこの補助油ポンプの作動を自動的に制御するためターボポンプガバナが設置されている。このガバナはベロースによる油圧変化の検出部とサーボモータ機構の増力装置を有し，きわめて敏感に作動する。このガバナの動作した場合圧油系統中にハンチングを起さないよう特に十分な考慮が払われている。正規の高圧油は $14 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ であるが，主機の回転速度の降下とともに主油ポンプの吐出油圧が減少し約 $12 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ になるとガバナが作動して小型蒸気タービンへ蒸気を供給し補助油ポンプを起動せしめる。

第7図はこの作用系統図を示す。

(I) 軸受圧力スイッチ

軸受への潤滑油供給は正常運転の場合は主油ポンプによつて行われるが，この潤滑油系統になんらかの事故が起り軸受油圧が低下した場合上記圧力スイッチが作動し，電動補助潤滑油ポンプの電動機を起動せしめて圧力を回復せしめる。この際中央制御室へ警報を発信するようになっている。

(J) ベーパ抽出機

油槽上面に装置されていて電動機によつて駆動される抽出ポンプである。タービン運転中は連続的に油槽内の標準油面上の空間をよく換気し，潤滑油ならびに発電機オ

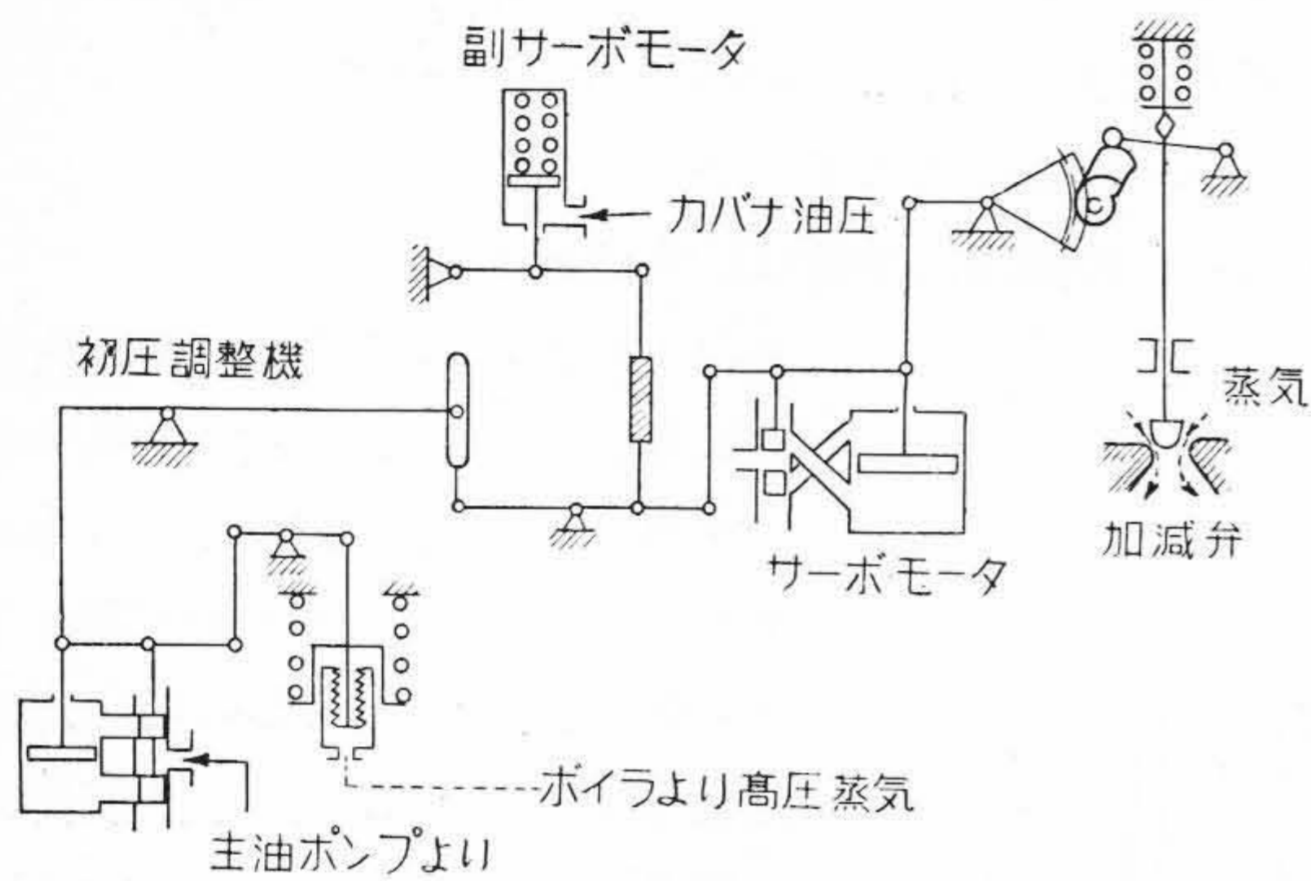
イルシール両系統より排油とともに運ばれた水霧の多量に混入した空気を取り出すことに大きな役割をし，軸受部，ガバナ部ならびに潤滑油系統部が錆びることを防止する。抽出器にはバイパス弁が装備され，その吐出量を適当に調節して油槽内の圧力を水柱で約 $-13 \sim -25\text{mm}$ で使用するようになっている。

第8図にその構造を示す。

(K) 初圧調整機

ボイラ圧力が規定より低下した場合ベロースの外側にある圧縮バネと高圧蒸気圧力との均衡が破れて初圧調整機のサーボモータが作動し，调速用レバー装置を通じて加減弁を閉じて負荷を徐々に減少せしめ，ボイラの蒸発量を減じてボイラ圧力を正規に回復せしめる。主蒸気圧力変化が正規状態より約 10% 低下した場合，加減弁を閉じ始め加減弁開度を減少させ 15% 低下時において無負

荷運転可能の蒸気量を通すまで加減弁を閉じる。ボイラ圧力が非常に低下した場合でも加減弁を完全に閉め切ることのないようにストッパが取付いており、かならず無負荷開度より幾分高めのところまでしか閉らないようにしてターボ発電機がモータリングされることを防止している。この初圧調整機は调速装置のレバーとは弾性的に結合され、これが作動しても调速機自体には悪影響をおよぼさないよう考慮され、なお起動の際などはボイラ圧力が正規圧力より低くともタービンの起動に支障のないよう計画されている。上記のごとくボイラの運転状況によつてタービンに入る蒸気を調節し、ボイラ蒸発量に適合した負荷をタービン発電機に負わせる装置で、予測せぬ急激な発電機負荷の増大に伴うプライミングを防止す



第 9 図 初 圧 調 整 機
Fig.9. Initial Pressure Regulator

るためのもので、1機1罐結合方式のプラントには必要なくべからざるものである。

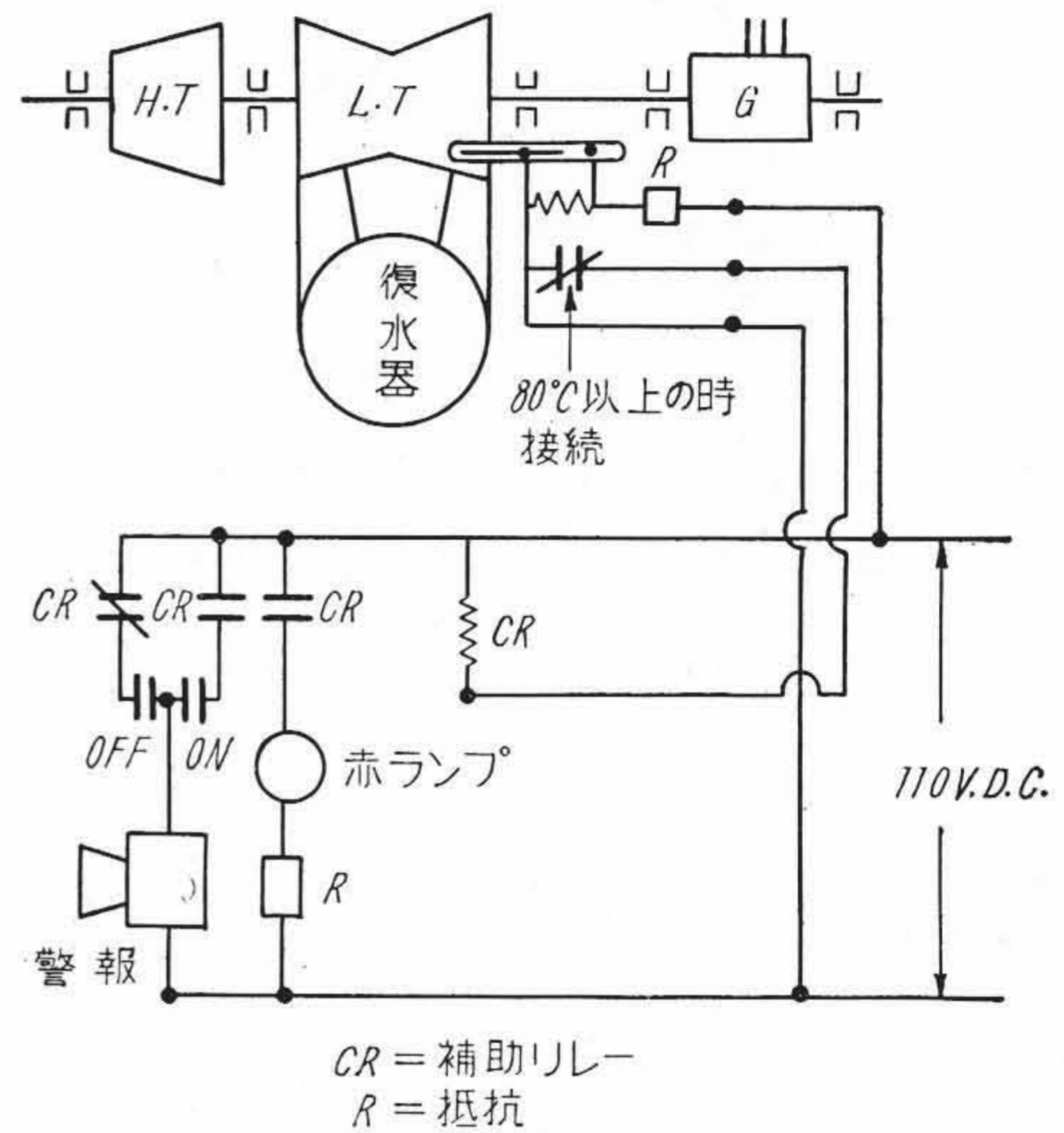
第 9 図にその組立図を示す。

(L) 油面変動警報装置

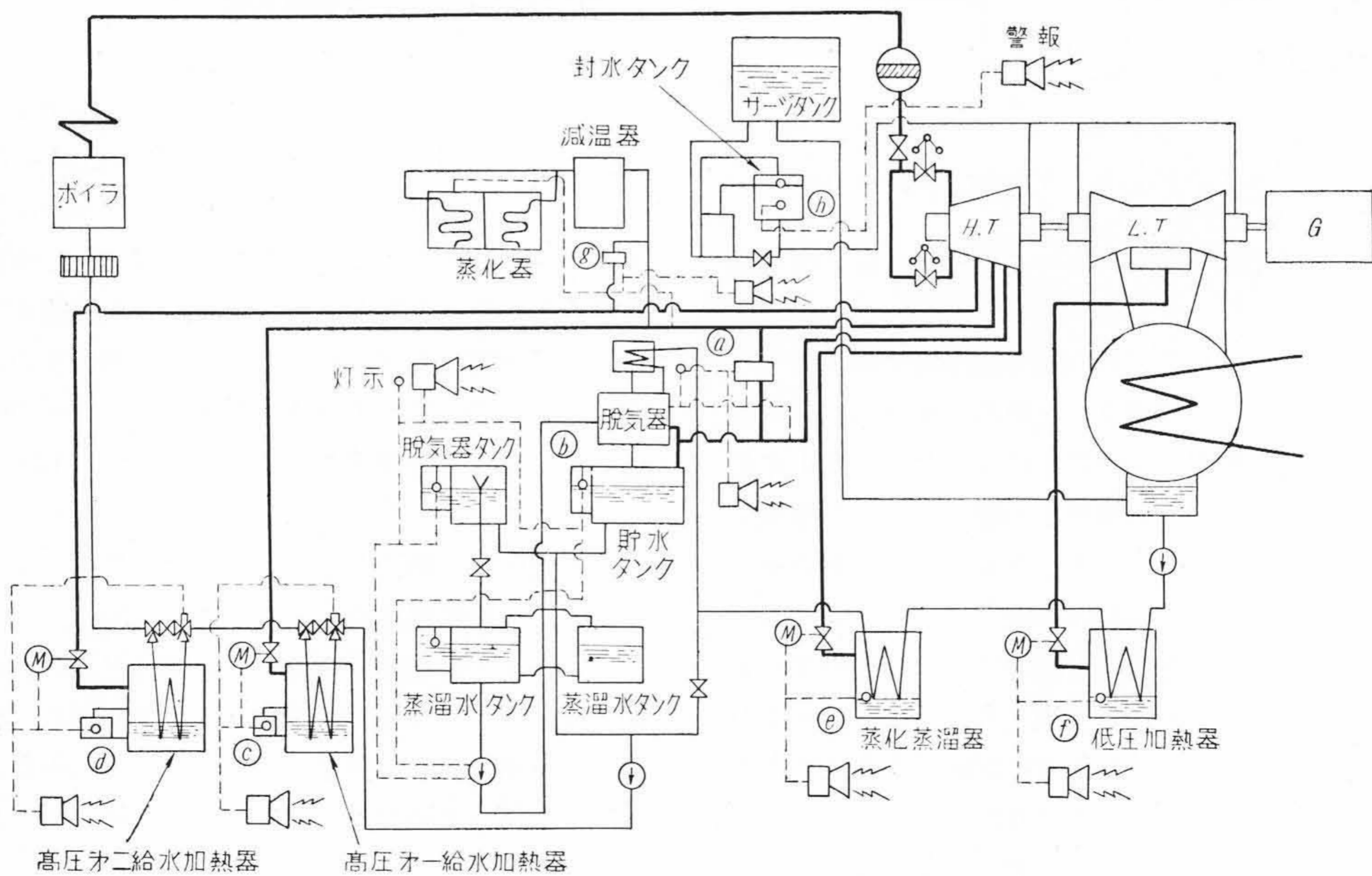
油槽内の標準油面の変動に対しては最高および最低油面位置に警報装置を取り付けてある。この変動は標準油量に対して(±3~5%)程度を許容している。

(M) タービン排気温度警報ならびに遮断装置

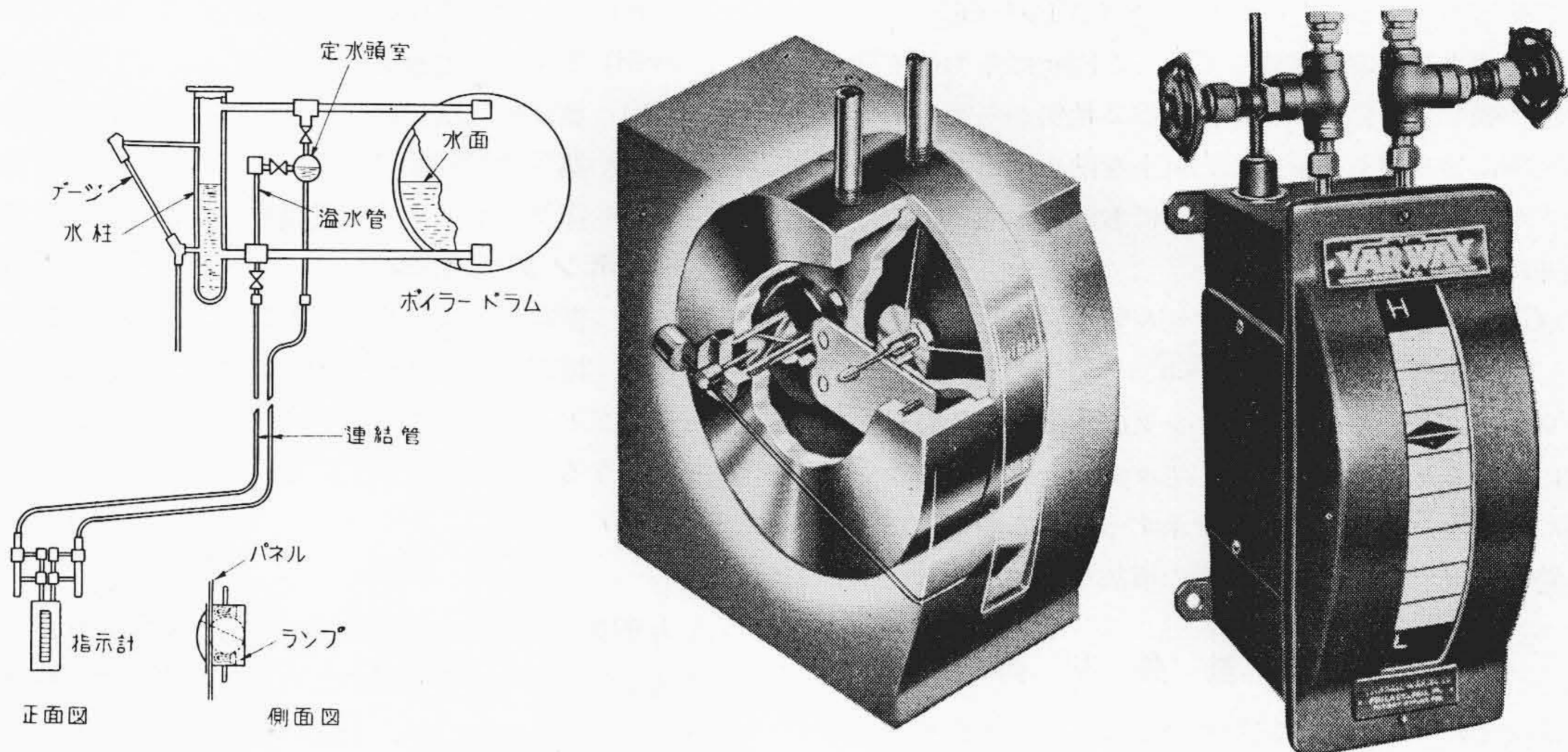
タービン排気室に装備されており、この温度継電器は



第 10 図 排 気 室 温 度 継 電 器
Fig.10. Exhaust Hood Temperature Relay



第 11 図 補 機 の 保 安 装 置
Fig.11. Emergency Devices of Auxiliary Parts



第12図 ヤーウェイ水面計
Fig.12. YARWAY Water Level Controllers

警報標示灯ならびに警報ベルに連結しておりタービン最終段からの排気温度が運転中真空異状低下などの事故に依り 80°C を超えると警報スイッチが作動するよう調節されている。タービン起動時正規速度まで上昇させる過程においては排気室温度は 80°C 以上になることは普通であるから、この場合はスイッチを切り換えて回路を開き作用外に置く。タービン並列投入後負荷を 10% とつた後約 5 分以内に温度は 80°C 以下になるのでそのとき回路を閉じるよう操作することになっている。

第10図はその配線図である。

(2) 補機まわりの保安装置

第11図は補機関係全般にわたる制御装置の配線図ならびに調整器配置を示す。以下同図につき保安装置の作動を説明する。

(A) 脱気器用保安装置

(i) 圧力低下非常弁 (a)

脱気器内の圧力が低下し、 $0.3\text{kg/cm}^2\text{g}$ になると今まで第3抽気点より脱気器へ供給していた蒸気を切り換えて第2抽気の高い圧力蒸気を供給して、器内圧力低下を防止する圧力低下切換弁が装備されている。この切換弁は全開または全閉の位置しかとりえないので器内圧力が回復して第3抽気圧力が $0.6\text{kg/cm}^2\text{g}$ になると逆に切換弁はこの圧力を検出して全閉するよう計画されている。切換弁作動の際は中央制御室へ警報を發する。

(ii) 脱気器タンク用水面計 (b)

水面異動に対する各種の水面計があるが、特にその中で最も確実性のあるヤーウェイ(YARWAY)水面計を採用した。第12図にその構造と機構を示す。脱気器下部の貯水タンクの水面が最低位置まで低下するとヤーウェイ

(YARWAY)水面計の検出部により中央制御室へ警報を發すると同時に貯水タンクに連結する蒸溜水タンク下部の補助ポンプの電動機を起動させて脱気器上部へ蒸溜水を補給し水位低下を防止する。またこれは常時水位を指示して中央制御室において監視できるように計画されており、最高、最低水面は赤ランプに依り標示する。

(B) 高圧第一給水加熱器用保安装置

(i) 危急浮子弁 (c)

加熱器用加熱管が万一破損し加熱中の水位が上昇して最高水面に達した場合、危急浮子弁が作動して第2抽気点からの入口蒸気の電動弁を閉鎖し同時に給水近路弁をバイパスさせて加熱器中へは加熱蒸気も給水も入らないようにしてある。その際は中央制御室へ警報を發信する。

(C) 高圧第二給水加熱器用保安装置 (d)

この場合は上述の第一加熱器に装備されたものと同様な機構を有する危急浮子弁があり、全く同一の作動を行う。

(D) 蒸化蒸溜器用保安装置

(i) 水位上昇警報装置 (e)

蒸化蒸溜器内の水位が上昇し、最高水位に達すると水位上昇警報装置が作動し中央制御室へ警報を發信する。また同時に第4抽気からの入口蒸気電動弁を閉鎖せしめて水位上昇を防止する。

(E) 低圧加熱器用保安装置 (f)

上記蒸化蒸溜器に装備されている水位上昇警報装置が取付いており全く同様の作動を行つて第5抽気点からの入口電動弁を閉鎖せしめる。

(F) 蒸化器用保安装置

(i) 圧力低下切換弁 (g)

蒸化器内圧力が低圧側蒸化器で 0.1 kg/cm²g 低下にすると中央制御室へ警報を発すると同時に圧力低下切換弁が作動して蒸化器供給蒸気を第 2 抽気から第 1 抽気の高圧側に切り換えて器内圧力低下を防止する。なお器内圧力が回復すれば(1)の脱気器におけると同様にこの切換弁は閉鎖する。

- (G) タービンウオータシール封水タンク用保安装置
- (i) 水位低下警報装置 (h)

ウオータシール用の封水タンクの水位が低下し最低位置に達すると浮子弁が作動してタービンウオータシール部に直接サージタンクより給水する。この際中央制御室へ警報を発信して運転者にその事故を通知する。

[IV] 電 動 弁 制 御

補機まわりに対する電動弁の総数は 20 箇ありつぎのごとく分類されて制御されている。

- (1) 中央制御室制御
 - (i) 脱気器入口電動弁..... 2 箇
 - (ii) 蒸化器入口電動弁..... 2 箇
 - (iii) 高圧第二給水加熱器入口電動弁..... 1 箇
- (2) 補機室制御
 - (i) 脱気器の貯水タンクと脱気器タンクの均圧電動弁..... 1 箇
 - (ii) 脱気器の貯水タンクと脱気器タンクの連絡水管電動弁..... 1 箇
 - (iii) 貯水タンク出口電動弁..... 1 箇
 - (iv) 脱気器タンク出口電動弁..... 1 箇
 - (v) 高圧第一給水加熱器入口電動弁..... 1 箇
 - (vi) 蒸化蒸溜器入口電動弁..... 1 箇

- (vii) 低圧加熱器入口電動弁..... 1 箇
- (viii) 第 1 抽気電動弁..... 1 箇
- (ix) 第 2 抽気電動弁..... 1 箇
- (x) 第 3 抽気電動弁..... 1 箇
- (xi) 空気ポンプ吸込側電動弁..... 2 箇

(3) ポンプ室制御

- (i) 循環水ポンプ吐出側電動弁..... 2 箇
- (ii) 循環水ポンプ連絡管電動弁..... 1 箇

上記のごとく主要部の電動弁は中央制御室において監視制御しうるよう計画されている。

[V] 結 言

火力発電所の特質上多種多様の機器が配置されしかも高温高圧の蒸気による作用のためこれを完全に中央制御することは容易でないが、上述のようにほとんど一人制御の形となり発電所の経済に寄与するところ大なるものがあると考え。今回の計画はこれを達成する各要素すなわち各種圧力計、温度計、測定器、電気的方式の確実性、機械的化動の信頼度、増幅装置、伝達方式などが日立製作所の研究に依り著しく進歩した結果に依るもので、したがってタービン発電機および各補機自体の進歩とともにこれら保安装置も従来のものに比し著しく改良を加えられ、すぐれたものとなつている。

日立製作所においてはさらに早晚我国において計画実施されるようとしている再熱プラントについても種々の保安装置と中央制御方式を確立し、需要者側の御期待に沿うべく努力している。終りに臨みこの種計画に絶大なる御支援を賜われた東京電力株式会社関係者に厚く御礼申し上げる次第である。

Vol. 15 日 立 造 船 技 報 No. 3

- ◎Si-Mn-Cr 系耐熱鑄鉄の研究(第2報).....日立造船株式会社・技術研究所 渡 辺 精 三
- ◎冷凍船宮島丸冷凍機械室の艤装について.....日立造船株式会社・因島工場 伊 川 勝 蔵
- ◎大形鋼塊の砂きずに対する研究(第1報)
——大形砂きずの生因に対する検討——.....日立造船株式会社・築港工場 { 吉 田 豊 亨
吉 大 野 惣三郎
- ◎超硬バイトのチップブレーカについて.....日立造船株式会社・桜島工場 松 浦 宏 明
- ◎圧力容器のエキスパンション部の研究.....日立造船株式会社 { 設 計 部 { 加 藤 誉 富 雄
技術研究所 { 饒 村 長 益 一
安 齋 藤 禎 三 郎
- ◎全熔接製大形タンクの製作について.....日立造船株式会社・神奈川工場 { 植 田 早 苗
保 田 連 宏
- ◎特殊塗料の性能試験.....日立造船株式会社・技術研究所 田 中 宏

本誌につきましても御照会は下記発行所へ御願致します。

発 行 所 日 立 造 船 株 式 会 社 技 術 研 究 所
大 阪 市 此 花 区 桜 島 北 之 町 60