

# 火力発電所の中央制御

## Centralized Control of Thermal Power Plant

広吉秀高\*

### 内容梗概

大容量火力発電所を、少数の保守員を以て安全容易にしかも合理的に制御し、発電能率を高く運転するためには制御の集中が絶対必要であり、いわゆる中央制御方式がこの解決方法として採用されている。中央制御の実施に当っては、その運転責務を第一とし多くの重要な条件を考慮して方式と構成を定めねばならない。すなわち機器はできるだけ自動化し、中央室には自動装置を完備したボイラの制御、タービンの運転監視調整、発電機の制御を簡潔なものとして集中し、タービンの起動停止、水素置換などは現場制御盤で行う方式が最も実際的かつ一般に行われる所である。

### 〔I〕 緒言

我国電力開発計画の一環として、年々増大する需要に応じ相次いで新設される新鋭火力発電所は、単に湯水時の補給的役割りから、最近の建設条件が不利となつた水力発電所に代つて底負荷確保の使命を負い、ますます能率を向上させて我国今後の発電計画を火主水従へと方向づけている。

これら火力発電所の発電能率の向上は、高温高圧蒸気の使用、再熱サイクルの採用、機械の精密化と相俟つて一機一籠のユニット方式による大容量機により得られたものであることは勿論である。

しかし主機器の熱的機械的特性の改善、単位容量の増大による稼働能率向上を以てしても、発電装置全体を一貫して少数の保守員をもつて総括し最高能率の運転をさせることは合理的な制御方式すなわち中央制御方式により始めて実現できるものであり、最近の大容量火力発電所がすべて本方式を採用していることも当然である。

### 〔II〕 火力発電所の中央制御

#### (1) 中央制御の目的

中央制御の目的は発電所の高能率運転を少数の保守員をもつて安全容易にしかも合理的に制御するにある。

すなわち最近の火力発電設備は機器の利用度と能率向上に集中しているため、ボイラは高温高圧大容量のユニット方式として予備をおかず、自動制御を行つて蒸気発生能率の高いものとし、タービンは機械的に精密なものとして蒸気の利用度を高め、発電機は水素冷却の効果を最高度に保持するため純度、圧力を一定に制御するなど一貫した運転が不可欠で、もしこの平衡がいずれの点において破れても能率の低下は必至で、さらに安全な運転さえ保証しがたい。

したがつてまず全機器を誤りなく安全に制御し、さらに高能率の運転を保持するために一貫した総合的制御が

必要であり、最近の自動制御装置の進歩、保安装置の完備、計測装置の発達と相俟つて始めて中央制御方式が確立され、その目的を達するようになった。

#### (2) 中央制御の得失

中央制御方式の採用に当つてはつきにのべる得失を最初に深く考慮せねばならない。

#### (3) 利点

(i) 全発電設備に対する必要な制御の集中と、運転状態の常時的確な把握により、円滑な運転は元より、故障時においても判断、処置を確実にして復旧を速かに、停電時間を短くして運転の安全、信頼性を高めうる。

(ii) 系統、発電設備の主要運転状態がすべて把握できるので熱平衡の保持、予想負荷に対する準備、給電司令に対する速かな応答をもつて高能率の運転ができる。

(iii) 保守員の負担を軽くし保守能力を助ける結果、常時の勤務者を少なくすることができる。

#### (4) 不利な点

(i) 制御装置が複雑かつ精密なものとなり、保守点検、調整に手間を要する。

(ii) 主要機器配置床面上の重要な場所に面積の大きな制御室を要し、かつこの点への導圧管、配線などの設備が増大する。

(iii) 保守員はより熟練した高級な技術者を要する。

#### (5) 中央制御方式の決定

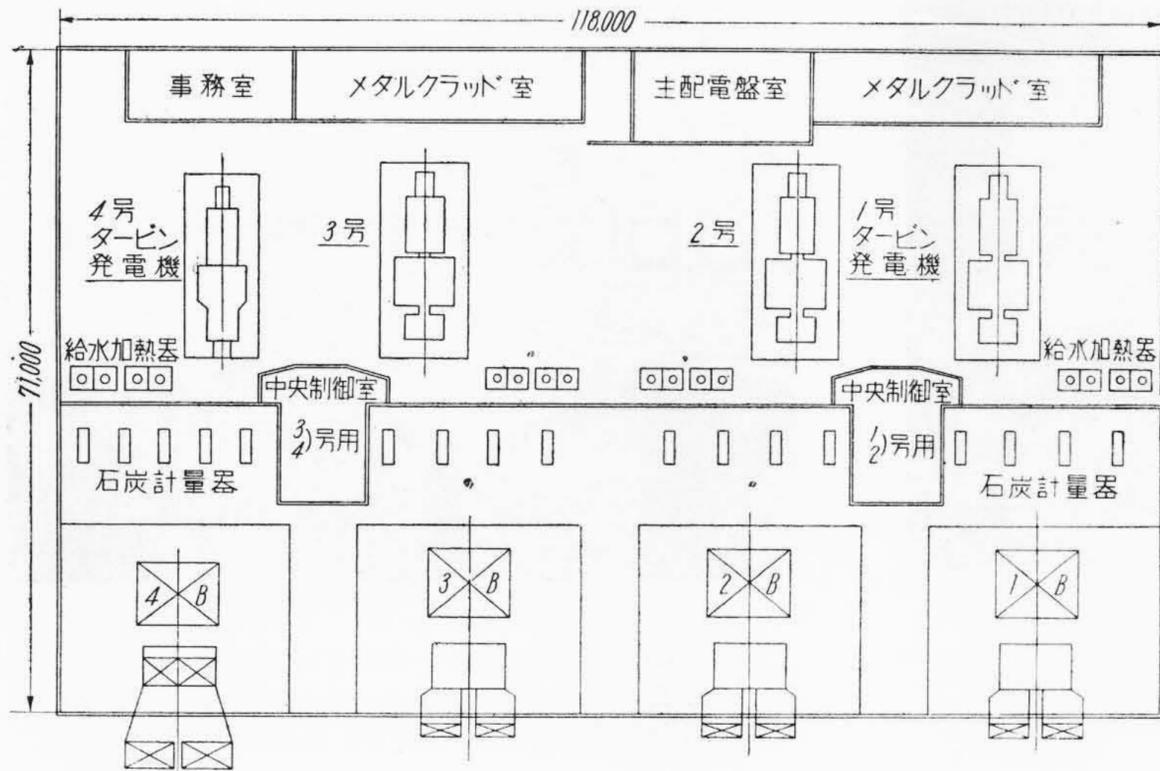
上記の一般的な得失を考慮に入れてさらに下記の要因を検討し採用方式を決定せねばならない。

まず発電所建設に当つての責務を基として、これに最もふさわしい運転方式が決定される。すなわち底負荷用かあるいは尖頭負荷用かにより負荷運転時の能率に重点をおくか、起動停止制御の便利、迅速を主とするかにより機器とともにその制御場所は最も都合よく選定される。

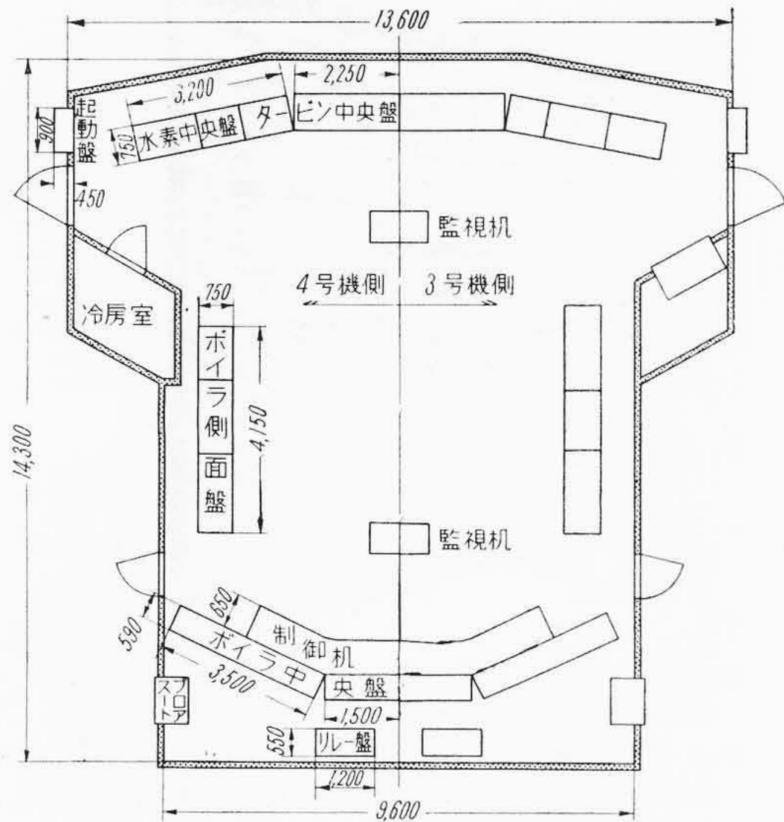
つきに中央制御室における保守員の負担はできるだけ軽減しなければならない。このため全制御装置を単に集

\* 日立工場国分分工場





(その1)



(その2)

第2図 中央制御室配置および制御盤構成の一例  
(その1およびその2)

Fig. 2. An Example of Centralized Control Room & Control Boards Arrangement

ある。すなわち補機電動機，調整弁，点火装置，缶水処理などの制御器具は中央室に集中し計測器を備えて遠方制御を行いうる。自動制御装置に附属する使用除外選択装置は元より整定点加減装置などもすべて中央制御盤上に集中され計器を監視しつつ自動制御に安心して委せておくことができる。

ボイラ保護装置としては過熱蒸気温度の過昇，蒸気圧の過大，発電機負荷喪失時の過熱などに対し自動保護装置を完備するは元より，給水，蒸気，燃焼各系統の異常

状態，補機電動機の故障遮断などはすべて警報表示され迅速的確な処置を容易にしている。

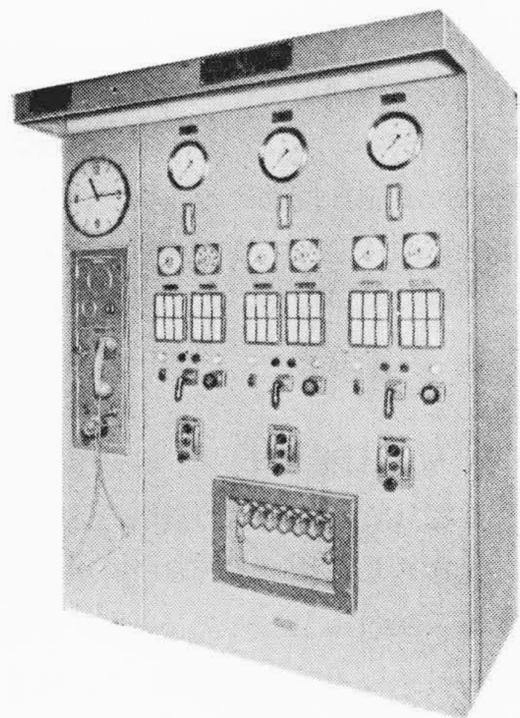
ボイラ中央制御盤の実例として砂川第二発電所 490°C, 69.5 kg/cm<sup>2</sup>, 170 t/h 用および鶴見第二発電所 513°C, 98 kg/cm<sup>2</sup>, 280 t/h 用についてのべる。両発電所とも自動制御装置はベール方式である。砂川においては分離型制御機と直立計器盤，背面継電器盤，重油制御機，ベール制御盤，補機盤の構成である。制御機は色別した模擬配管上の対応位置に制御開閉器をおき，制御能率の向上を図っている。また監視用に3台の工業用

テレビジョンを備えているのは特色でその外観を第4図(次頁参照)に示す。

鶴見第二発電所用はベンチボード型主制御盤と直立側面盤より構成され第5図(次頁参照)に示す通りである。主制御盤は補機電動機，ベール制御器具を備え面積を縮小して3号櫃と隣接設置されている。保守員は3,4号2組を監視制御する。側面盤には主に缶水処理装置を取付け，スートブロワー，灰処理装置などは現場別置としている。

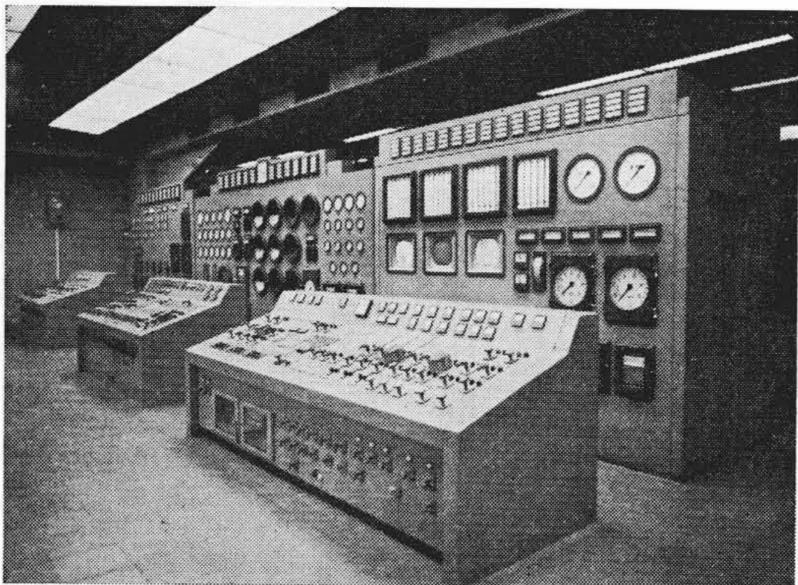
〔IV〕 タービンの制御装置

最近のタービンにおいては能率向上のため極めて精密



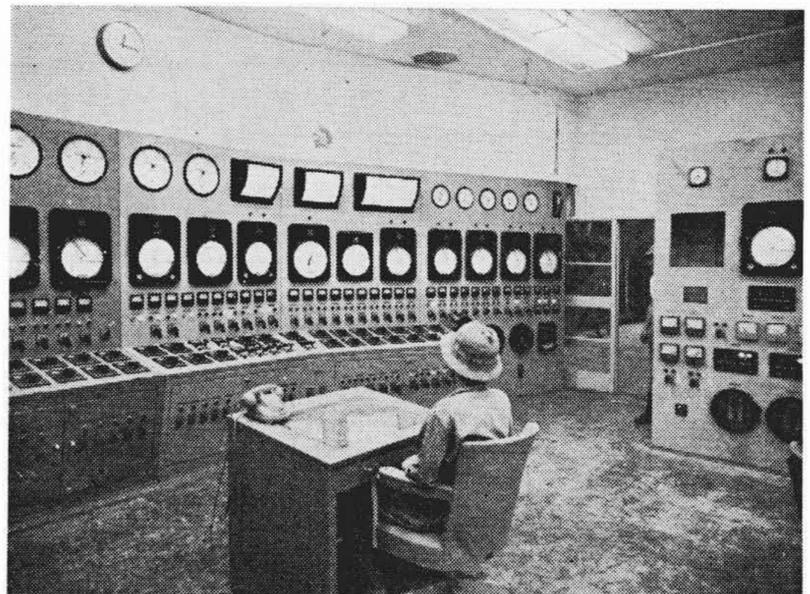
第3図 ボイラ給水制御盤 (160 t/h 125 kg/cm<sup>2</sup> 142°C 1,000 kW, 3台用)

Fig. 3. Boiler Feed Water Control Boards for 3 set of 160 t/h, 125 kg/cm<sup>2</sup>, 142°C, 1,000 kW Motor Pump



第4図 ボイラ中央制御盤  
(490°C, 69.5 kg/cm<sup>2</sup>, 170 t/h, 1 罐用)

Fig. 4. Boiler Control Boards for 1 set of  
490°C, 69.5 kg/cm<sup>2</sup>, 170 t/h Boiler



第5図 ボイラ中央制御盤  
(513°C, 98 kg/cm<sup>2</sup>, 280 t/h, 1 罐用)

Fig. 5. Boiler Control Boards for 1 set of  
513°C, 98kg/cm<sup>2</sup>, 280 t/h Boiler

な構造を備え、起動、並列、負荷、停止の制御は、蒸気、復水、加熱器各系統の多数の機器の順序正しい操作の上に熟練した取扱いが必要である。結局急速起動を支配するものはタービンの急激な状態変化に対する熱応力と車室およびロータ間の伸び差でこれを安全値に抑えつつ運転するには慎重な配慮を要するため、自動化することは容易でない。したがってタービンの起動停止制御は本体近くに操作盤、補機盤をおき必要時所要の運転員を配して操作することが結局制御時間を短縮し急速起動を可能とする実際的な方法である。

### (1) 補機盤

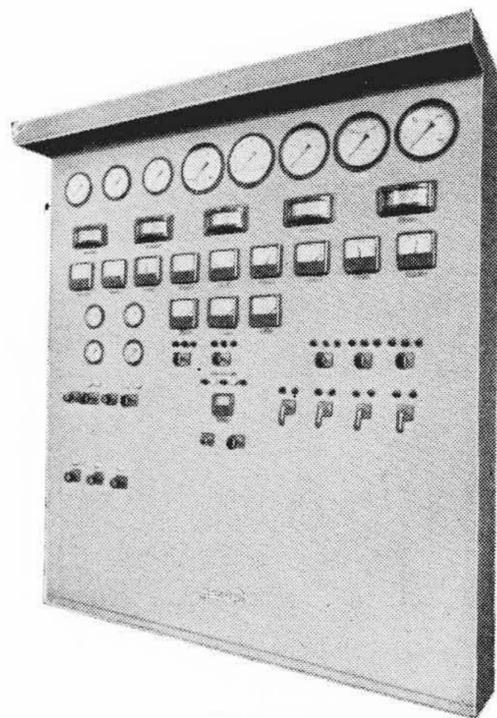
補機盤は補機室床面上に設置し、復水、循環水系統各機器類、弁類の制御監視器具を取付け補機類の制御を行う。

### (2) 操作盤

操作盤はタービン床面上本体操作点近くにおき、主蒸気、タービン本体、抽気などおもな制御監視器具を配し、短時間に合理的で安全な制御を行うことができるようにし、負荷運転中は随時巡回するにとどめ主塞止弁、抽気逆止弁の健全の点検もできるようにしている。一例を第6図に示す。

### (3) 中央制御盤

中央盤においては負荷運転中のタービンの監視と調整、故障発生に際しての処置、補機類の運転把握をその任務とする。すなわち主蒸気系統要所の圧力、温度、復水、給水加熱器系統の圧力、真空、温度、圧油系統油圧など熱平衡、機械監視用計器を備え、これにより復水、冷却、給水加熱系統の電動弁開度を調整し良好な運転を保っている。またタービン本体の運転監視用として速度、カム軸位置、軸受振動振幅、車室伸びおよび伸び差、ロータ偏心などの特殊記録計器の外、熱管理記録計器を備え、



第6図 タービン操作盤 510°C, 88 kg/cm<sup>2</sup>,  
66,000 kW, 3,000 rpm タービン用

Fig. 6. Turbine Starting Control Board  
for 1 set of 510°C, 88 kg/cm<sup>2</sup>, 66,000 kW,  
3,000 rpm Turbine

記録による解析と故障の初期の検出を助けている。

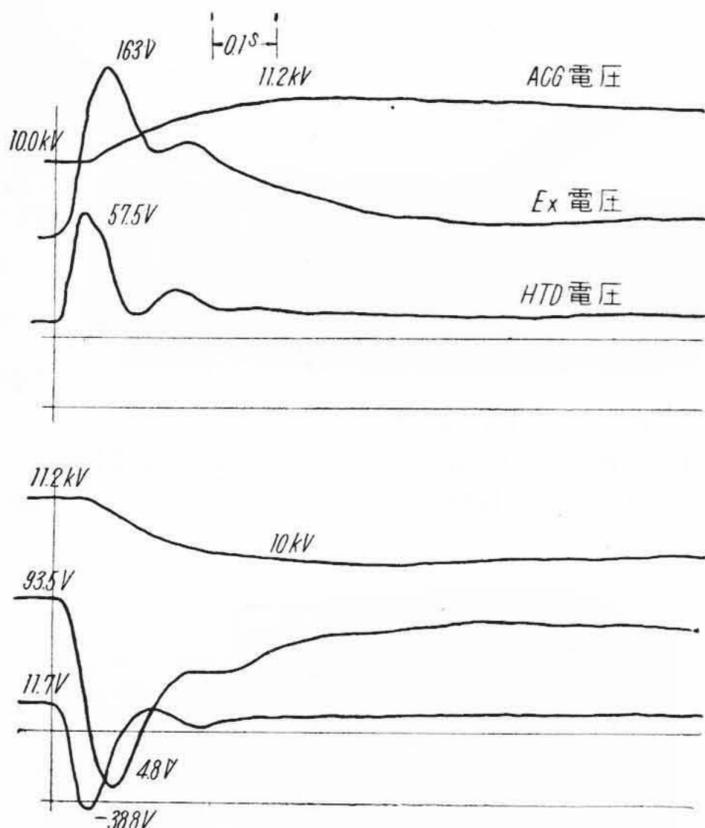
この外すべての補機類の動作表示、異常の警報表示を備えているから万一故障発生の場合にも万全を期すことができる。第7図に中央制御盤の一例を示す。保守員がそのまま左右にタービン本体を見透せる特殊構造として安心感を与えるようにしている点に特徴がある。

### (4) 保護装置

タービン運転の信頼度を高め、中央制御を安心して行わしめるものは優秀な保護装置である。

重故障発生の際には遅滞なくその性質に応じて加減弁または主塞止弁を油圧をもつて遮断しさらに故障検出装置接点をもつて非常停止ソレノイドを附勢、主塞止弁遮断と同時に主電気回路遮断器を開路し警報表示を行う。





第10図 HTD型 AVR 動作オシログラムの一例  
38,000 kVA, 11 kV 発電機用整定点 10% 急変時  
Fig. 10. An Example of HTD AVR Performance Oscillogram for 38,000 kV 11 kV ACG, 10% Sudden Change of Setting Voltage

調整に便な引出し回転型としさらに最近は三相型を使用して盤面を簡潔なものとしている。

相間短絡の保護には誘導環型高速度比率差動電流継電器 KY 型または第11図に示す三相型の KY3 型を適用、内部短絡に対し1サイクル以内の高速度動作をさせている。

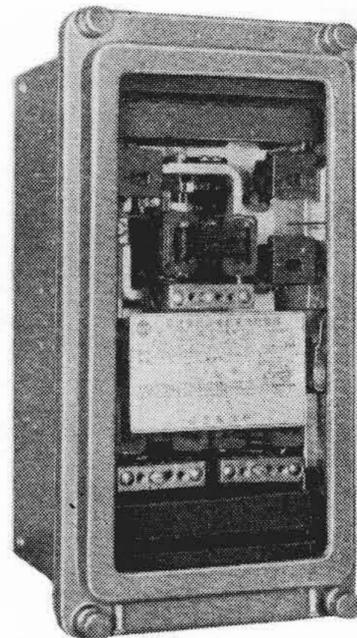
固定子巻線は概ね1ターン構造なるため層間短絡保護は必要としない。接地保護は100A接地方式に対し KYG 型、柱上変圧器接地方式に対し KGV-QX 型を適用、いずれも 95% 以上の保護範囲を有し、高速度動作をさせている。

発電機が界磁を喪失するときは過電流は勿論、同期外れの恐れがあるので確実な保護が必要である。第12図に示す KE 型界磁喪失継電器はイムピーダンス継電器型高速度継電器で外部故障、同期外れに対する誤動作防止を充分にし動作を確実かつ鋭敏なものとしている。

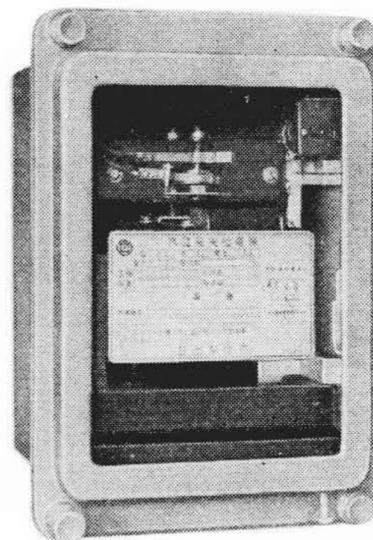
(4) 配電盤

発電機盤には電気回路制御、計測、保護装置を集中し、分離机型操作盤、直立計器盤、背面継電器盤の構成が一般である。

本盤によるタービン制御は调速機、負荷制限器による出力調整のみとし、タービン盤との制御の重複をさけ、電圧調整器による電圧、無効電力調整とともに、総括制御盤に集中し2ないし4組分をまとめて常時の監視制御に便としている。保護継電器動作時の処置は発電機と



第11図 KY3 型高速度比率差動電流継電器  
Fig. 11. Type KY3, High Speed Ratio Differential Current Relay



第12図 KE 型界磁喪失継電器  
Fig. 12. Type KE, Loss of Excitation Relay

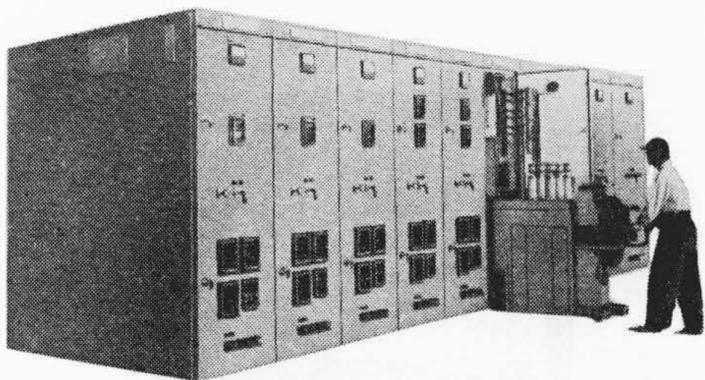
もにタービンも適切迅速に行うが警報表示は軽故障も含めて個別表示は発電機のみとしタービンの機械的故障遮断は一括表示として簡単化を図っている。

[VI] 所内回路の制御装置

補機電動機用として所内電源は不断に確保せねばならない。したがって所内変圧器には予備をおき 3kV 母線は二重とするなど回路構成に留意して万一故障あるときはその除外と健全側への切換を迅速に行つて無停電給電を図っている。このため保護装置とともに中性点は 100 A 抵抗接地として特に接地故障の早期の確実な保護を容易としている。

補機電動機は最近中小容量向として 400V が採用され開閉制御装置とともに経済性の向上が図られている。

3kV 開閉制御装置はすべてメタルクラッド型とし、塵埃多く高熱の配管錯雑する所内に安全でまともよく設置できるようにしている。第13図は VS<sub>10</sub>M-MA 型メタ



第13図 VS<sub>10</sub>M-MA型 メタルクラッドスイッチギヤ  
Fig. 13. Type VS<sub>10</sub>M-MA Metal Clad Switch-gears

ルクラッドスイッチギヤで遮断器は油なしで火災の恐れなく保守点検に簡便なBMM型磁気吹消型が使用されている。低圧開閉器は勿論接触器函とするが最近は本体の点検に便な引出し型も採用されている。

これらメタルクラッドスイッチギヤ、接触器函は制

製 品 紹 介

Q<sub>6</sub>型電子管式記録計  
Type Q<sub>6</sub> Electronic Recorders

発電所においては電力管理上各種の電気量などを正確に記録しておくことが必要で、精度の高い記録計が要求される。本器には電子管式自動平衡機構の技術と従来の電流力計型計測機構とを巧みに組合せた、いわゆるトルクバランス方式の交流電圧、電流、電力、無効電力などの記録計、および各種ブリッジあるいはポテンシオメータ方式の温度、水位、周波数の記録計などがある。この新型記録計は下記のような特長を有し、今後の標準型記録計として期待されている。

- (1) 電子管式平衡方式であるため精度が高い。
- (2) 記録ペンは平衡用電動機によつて駆動されるためトルクが大きく、摩擦などによる誤差がない。
- (3) 操作電源、電子管増幅器の特性などの変動によつて指示に影響を与えることがない。
- (4) 内部機構、増幅器など保守、点検に便利な構造

第1表 Q<sub>6</sub>型記録計の仕様  
Table 1. Specifications of Type Q<sub>6</sub> Recorders

測定対象	電 圧	電 流	電 力	無効電力	周 波 数	水 位	温 度
測定方式	電子管式トルクバランス方式				電子管式自動平衡方式		
測定要素	2素子式鉄心入電流力計型				ウイーンブリッジ	インピーダンスブリッジ	ホイートストンブリッジ
入 力 (入 力 負 担)	A.C. 150V (11VA)	A.C. 5A (9VA)	電圧コイル A.C. 110V (8VA×2)	電流コイル A.C. 5A (4.5VA×2)	A.C. 110V (20VA) 1φまたは3φ	電気誘導式 発信器	测温抵抗体 Pt, Ni, Cu

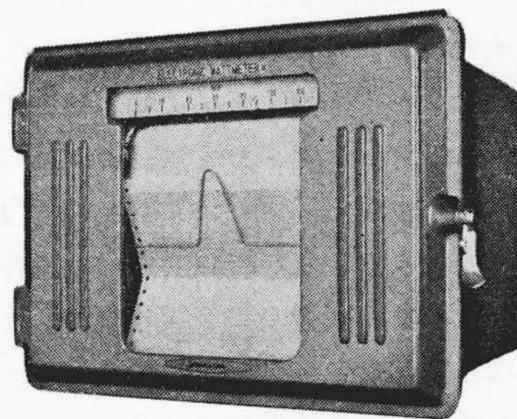
御計測、保護装置を備え必要に応じ現場制御ができるようになっている。

〔VII〕 結 言

我国今後の発電力増強の重責を荷い続々新設される火力発電所は、その特異性として年間を通じ長期の底負荷運転と出力変動激しい水力発電の短を補う尖頭負荷運転の二重の性格を負っている。これを総合して発電能率を高く運転するためには、起動停止制御が迅速確実にでき、運転時の最高能率点の保持が容易に小数の保守員で行えるよう精密な自動制御装置の発達が望まれ、合理的な計測装置の開発と相俟つて我国の電力事情に最もよく合致した独自の制御装置の確立のため不断の研究と努力が払われている。

参 考 文 献

- (1) 樋熊, 条野: 日立評論 36 1297 (昭29年9月)
- (2) F. Estcourt. Tras. Asme 343 (April, 1955)



第1図 Q<sub>6</sub>型電子管式記録電力計  
Fig. 1. Type Q<sub>6</sub> Electronic Recording Wattmeter

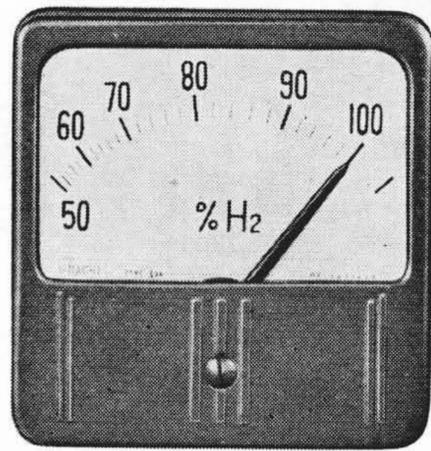
である。

- (5) 点検、保存上便利な折畳み式記録紙を使用している。
- (6) 記録紙の駆動は停電対策ならびに周波数の影響を受けない電気巻時計やパルス式電磁時計など必要に応じた方式を採用しうる。
- (7) 温度計の多点印字機構は独特な方式で、簡潔かつ巧妙な構造である。

### S<sub>24</sub> 型 水 素 純 度 指 示 計

#### Type S<sub>24</sub> Hydrogen Meter

本計器は第二鶴見火力発電所および新東京火力発電所納ターボ発電機の水素冷却装置用計器として日立製作所で製作されたもので、純度測定の方法は発電機内の封入水素圧とロータの回転により生ずる風圧、または別箇にモータファンを回転させて生ずる風圧との圧力差により純度を測定する風圧式である。従来この種の計器は電気誘導式を採用しているため構造上計器が大型となり、配電盤に他の計器と並んで取付けるには、盤面積および体裁上不向であつた。今回は電流計型比率計と同様の原理で動作させ、他の配電盤計器と同様 140 角の S<sub>24</sub> 型と



第1図 S<sub>24</sub> 型 水 素 純 度 計  
Fig. 1. Type S<sub>24</sub> Hydrogen Meter

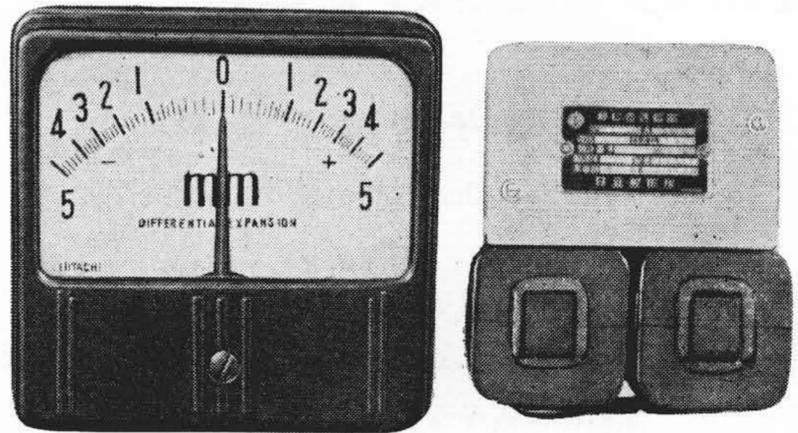
した。本方式のものはすでに流量計、液面計として各方面に納入し好評を得ている。

### S24 型 タービン 伸 び 差 指 示 計

#### Type S24 Turbine Differential Expansion Indicator

火力タービンの回転部と静止部との距離は一般に僅か数mmで、その最短距離を運転員が常に正しく知ることは非常に重要なことである。ロータ軸は絶えず推力を受けるが、ロータ軸、ケーシングとも熱膨脹によつてこれと反対方向に伸びを生ずる。しかもこの量はいずれも高圧、大容量になる程大きく、また時間的変化の割合によつても差がある。もしこの両者の差が甚しくなると、たとえ推力メタルに異常がないとしても回転部と静止部が接触する危険がある。本器の検出部は 0.1 mm の高精度でこの伸び差量を電氣的に正確に検出し、導線によつて所

要の位置で指示するものである。なお指示のほかに警報遮断装置も併用できるので、タービンの適正な運転と事故防止にすでに多くの実績をあげて好評を得ている。



第1図 S24 型 タービン 伸 び 差 計 お よ び 同 検 出 部  
Fig. 1. Type S24 Turbine Differential Expansion Indicator and Its Detector

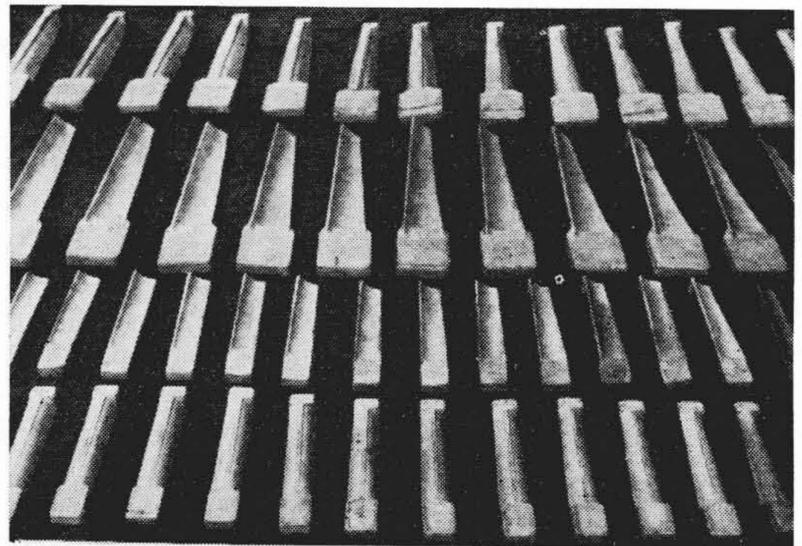
### 蒸気タービンブレード用不銹鋼の製造

#### Manufacture of Stainless Steel for Steam Turbine Blade

蒸気タービン用高 Cr 系不銹鋼は高度の機械的性質を要求される。日立製作所安来工場では優良なる雲伯真砂々鉄から作られた木炭銑を主原料として熔解、鍛錬、圧延ならび熱処理等高度な技術と徹底した品質管理に基づいて優秀な不銹鋼の量産を行つている。

近時蒸気タービンは次第に高温、高圧に移行する傾向にあるが、同工場においては一般不銹鋼の外、特殊な元素を配合、材質について種々研究を完成し、これらの諸性質を十分満足する不銹鋼も生産を行つている。

また製品は機械的性質の外、無破壊検査法としての超音波探傷・磁気探傷あるいはマイクロ検査法を実施し内部欠陥の絶無をはかり、一方鋼滓、偏析等の十分な検討



第1図 蒸気タービンブレード用不銹鋼  
Fig. 1. Stainless Steel for Steam Turbine Blade

が行われ、材質は斯界に定評ある製品である。

なお写真は最近製作した 17,000 HP 蒸気タービン用翼鍛造品を示すものである。