

## 北陸電力・西勝原第三発電所納入機器

## Electrical Equipment for Nishikadohara No.3 Power

Station, Hokuriku Electric Power Co., Inc.

小 岱 将 志\* 上 田 庸 夫\*\* 高 橋 満\*\*\*  
 Takashi Konota Tsuneo Ueda Mitsuru Takahashi

## I. ま え が き

北陸電力・西勝原第三発電所向けに納入された50,000 kW立軸斜流水車, 53,000kVA立軸同期発電機, 53,000 kVA三相変圧器および配開装置一式は, このたび官庁試験を無事完了し昭和43年5月より営業運転に入った。

この発電所は, 九頭竜川総合開発の一環として, 今回同時に完成された電源開発・湯上発電所(1×58,000kWフランシス水車)の下流に位置し, 新たに作られた仏原ダム(重力コンクリートダム, 高さ48.6m)より取水し, 圧力トンネル(長さ約3,000m, 内径4.7m), サ-

ジタンクおよび水圧鉄管(長さ約179m, 内径4.7m~3.2m)で発電所に導き, 発電を行なったのち放水路(長さ約1,000m)をへて, 九頭竜川に放水される。

本発電所の当初の計画は, フランシス水車として計画されていたが, 下流の農業, 魚業用水の最低水量の確保および許容流量変動の制約によって, 相当長時間軽負荷運転が予想されるので, 各運転予想ルールにしたがって, フランシス水車1台案, フランシス水車2台案と斜流水車1台案について経済比較および技術的な検討を行なった結果, 最も経済的な斜流水車を採用した。

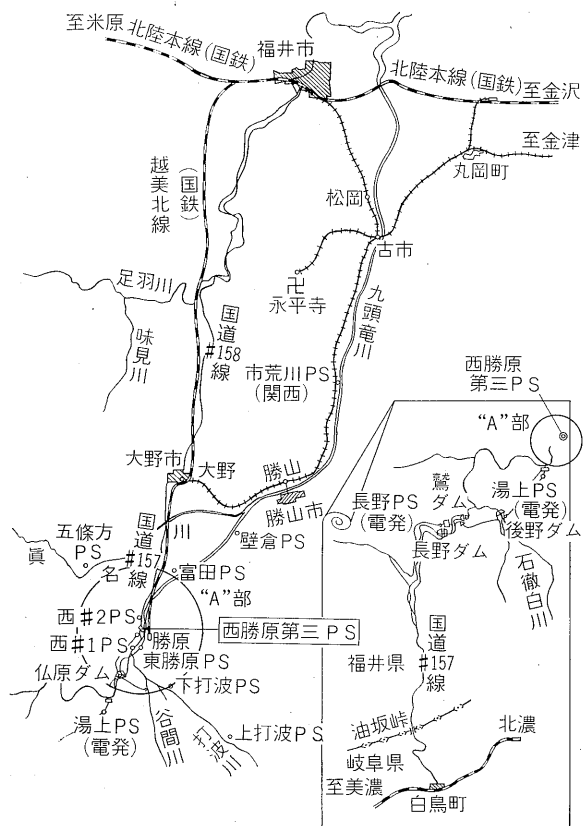
本斜流水車は, 関西電力・天ヶ瀬発電所とともに, 日本最大容量機に位するものであるもので, 水車特性, ランナベーンギャップ, 水圧振動などに検討を加え, 模型水車には, 特に留意し, 効率, キャビテーション特性ともすぐれた模型水車を開発した。

ケーシングは60 kg/cm<sup>2</sup>高張力鋼板製, 現地溶接構造を採用し, 入口弁は, いかなる状態でも完全に閉鎖できるようにするため, 常時使用の油圧サーボモータのほか, 油圧低下およびオーバースピードの条件で動作する水圧サーボモータを備えている。またランナギャップ検出装置を備えるなど, 安全性と保守の便を考慮して設計製作された。

発電機は, スラスト軸受を下部ブラケットに設置し, 回転子上下に各1個の案内軸受をもった, いわゆる準かさ形構造とし, 回転子センタ内にランナベーンサーボモータを内蔵している。またスラスト軸受は, 回転子をつり上げずに点検できるような構造となっている。

運転制御装置は, 先に北陸電力・常願寺川第二・第三・第四発電所に納入した無接点運転制御装置が納入以来, 非常に好調に運転されている実績をもとに, 今回は, さらに無接点化を進めて, 運転制御装置ばかりでなく, 電気式调速機, 自動電圧調整器, 保護継電器, 警報および表示回路などにも, トランジスタを主体とした無接点方式を採用した(本号関連論文参照)。

本発電所は, 既設の西勝原第二発電所より遠隔制御さ



第1図 発電所位置図

Fig. 1. Location of power station

\* 電力技術部 \*\* 川崎工場原動機部 \*\*\* 川崎工場回転機部

れる無人発電所で、出力調整はプログラム制御により自動的に行なわれる。

## II. 斜 流 水 車

### 1. 水 車 仕 様

形 式：立軸可動羽根斜流水車  
 有効落差 (m)： 99 97 92.5  
 流 量 (m<sup>3</sup>/s)： 56 57.6 56  
 水車出力 (kW)： 50,000 50,000 46,500  
 回転速度 (rpm)： 257  
 比 速 度 (m-kW)： 189  
 無拘束速度 (rpm)： 520

### 2. 水 車 の 特 性

#### 1) 模 型 試 験

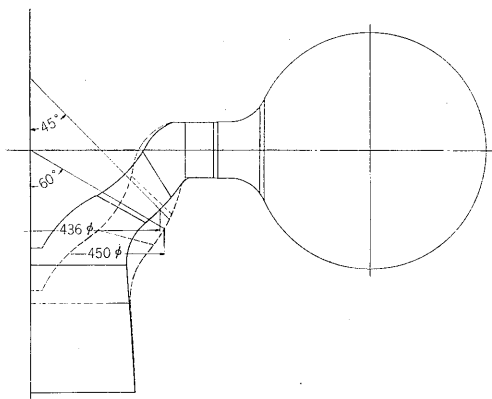
この水車は世界的な高落差大容量斜流水車であるため製作に先だって斜流角の異なるランナについて効率比較試験、キャビテーション比較試験、無拘束速度比較試験を行ない、最適のランナを選定し、最終ランナについて水圧推力、ランナベーンモーメント、水圧振動など設計製作上必要なすべての特性の測定を行なった。以下その概要について述べる。

#### (1) 斜 流 角 の 検 討

斜流水車の特性を左右する最も大きな因子としてランナベーンの斜流角 (ランナベーンシステムのなす円錐角) があげられる。

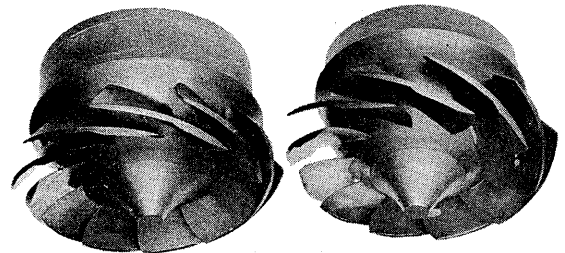
斜流水車の最適斜流角は水力学的には比速度の増大とともに通常 90° から 140° まで変化する。

一般的に斜流角が異なる同一比速度の斜流水車のランナベーン形状を比較すると第 2 図に示されるように斜流角が大きい場合は特にボス側においてランナベーン入口と出口の直径の比が小さいためボス側の流線に沿った羽根の曲りが大きく、またランナベーンのチップ側とボス側の直径の差が大きいため羽根のねじれが大きくなる傾向をもっている。



第 2 図 ランナ形状比較図

Fig. 2. Comparison of runner shape



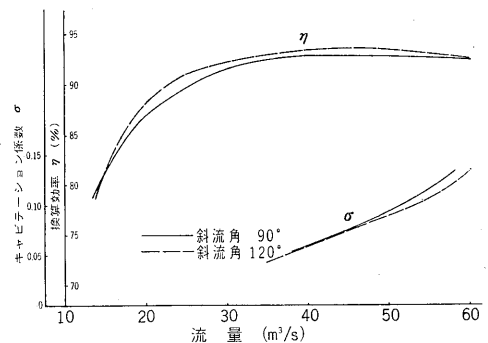
第 3 図 模型水車ランナ

Fig. 3. Runners of model turbine

落差 100m クラスの斜流水車の場合一般には斜流角 90° が採用されていたが、当社の従来の模型試験結果より斜流角 120° が最適と推定されたため、第 3 図に示されるような斜流角 90° と斜流角 120° の模型ランナを製作し詳細な性能の比較を行ない次のような結果を得た。

- (a) 荷重平均効率は斜流角 120° が斜流角 90° より約 0.67% 高い (第 4 図)。
- (b) 最大流量時臨界キャビテーション係数は斜流角 120° が斜流角 90° より 0.01 低い (第 4 図)。
- (c) 無拘束速度は斜流角 120° が斜流角 90° よりも約 15% 低い。

すなわち性能上すべての点で斜流角 120° がすぐれていることが実証されたため斜流角 120° が最終的に採用された。



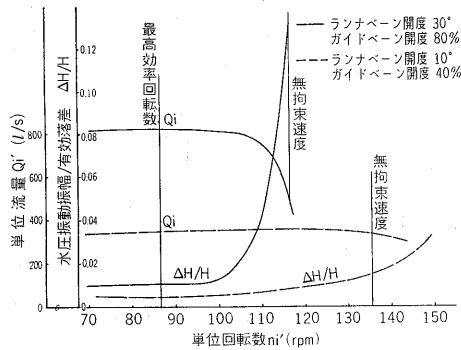
第 4 図 模型試験結果

Fig. 4. Model test result

#### (2) 振動問題の検討

過去わが国において運転に入った斜流水車および斜流ポンプ水車においては、負荷しゃ断時に異常な水圧振動が発生し、また 1/4 負荷以下の定常運転時に水車の振動、騒音が発生したことがしばしば報告されている。

この現象は模型試験においても確認されており、第 5 図は斜流角 98° の斜流ポンプ水車の水車運転時のケーシング入口における水圧振動の測定結果である。ランナベーン開度が大きい場合には回転数が上昇し、無拘束速度に近づくと流量が減少し、それとともに水圧振動幅が急激



第5図 ケーシング入口における水圧振動  
Fig. 5. Pressure fluctuation at casing inlet

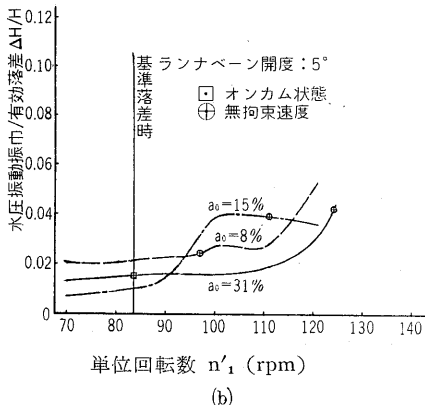
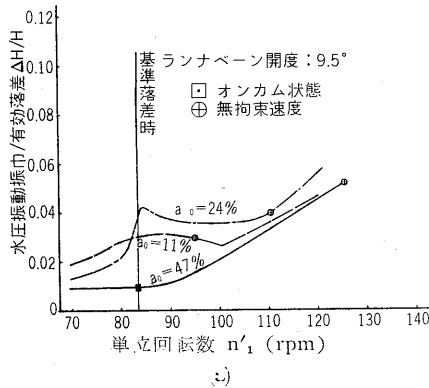
に大きくなるが、ランナベーン開度が小さい場合には無拘束速度を越えても流量の減少、水圧振動振幅の増大の程度は比較的弱い。

西勝原第三発電所の水車に対しても上記のような水圧振動の発生が予想されたためあらかじめ模型水車においてランナベーン開度とガイドベーン開度との組み合わせを種々変えて回転数に対する水圧振動の関係を調査した。

第6図は試験結果の一例である。

その結果ランナベーンの閉鎖時間とガイドベーンの閉鎖時間の関係を適当に選べば実機の負荷しゃ断時の水圧振動振幅は6m以下であることが推定された。

また高落差斜流水車はキャビテーション性能をよくす



第6図 ケーシング入口における水圧振動  
Fig. 6. Pressure fluctuation at casing inlet

るにランナベーンの節弦比が小さく、羽根の重なりが大きい。したがって羽根の全閉角度が大きく羽根全閉時のオンカム出力は通常最大出力の20%となる。したがってこれ以下の出力ではドラフト内の旋回流のため振動、騒音が大きくなる傾向をもっている。

模型試験結果によれば無負荷運転時の実機のケーシング入口の水圧振動は約2.5mと推定されたため最小オンカム出力以下ではジェットポンプによる強制給気装置の取付けが可能ないように計画された。

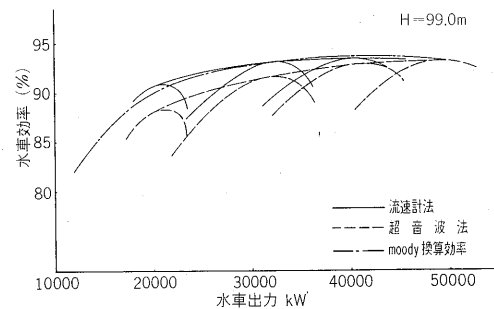
2) 水車の現地試験

昭和43年4月末試験運転に入り、5月18、19日官庁試験を完了し現在好調に運転されている。

(1) 効率試験

水圧鉄管における流速計法および超音波法による効率試験が行われた。

第7図は効率試験結果を示す。流速計法による最高効率は93.4%というすぐれた値を示し模型水車効率の換算値とほとんど一致している。



第7図 現地水車効率試験結果  
Fig. 7. Site efficiency test result

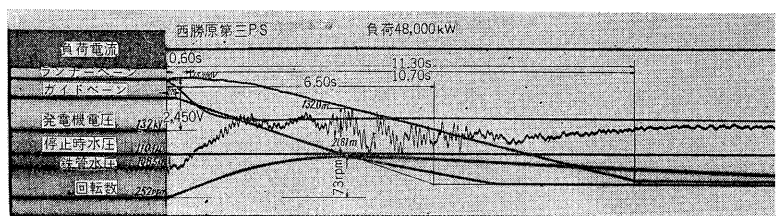
超音波法による最高効率も93.4%であり、最大出力付近は流速計法による効率と一致しているが、部分負荷においては約2%流速計法による効率を下まわっている。

(2) 負荷しゃ断試験

模型試験結果からも予想されたごとくウォーターハンマによる水圧変動に重畳した大きな水圧振動が発生したが、水圧上昇、速度上昇とも保証値を満足することが確認された。

第8図は負荷しゃ断時の試験記録である。

(3) 振動測定

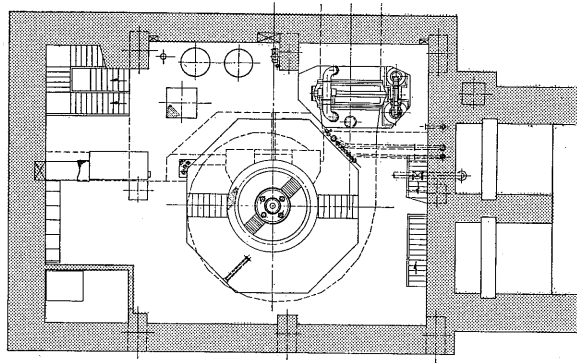


第8図 全負荷しゃ断時記録  
Fig. 8. Records of full load shut down

定常負荷運転状態における振動は水車軸受台において  $2\mu$  以下であり非常に静かである。しかし無負荷付近においてドラフト内の旋回流による騒音が発生した(振動は  $6\sim 25\mu$ ) ためジェットポンプによる強制給気装置が取付けられガイドベーン開度  $5\sim 25\%$  において自動的に給気されるようにした。その結果全負荷範囲にわたって静かな運転が行なわれている。

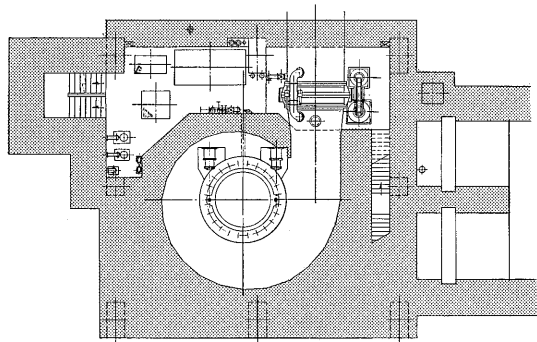
### 3. 水車の構造

水車および発電機の据付方式は、第 9~11 図に示す機



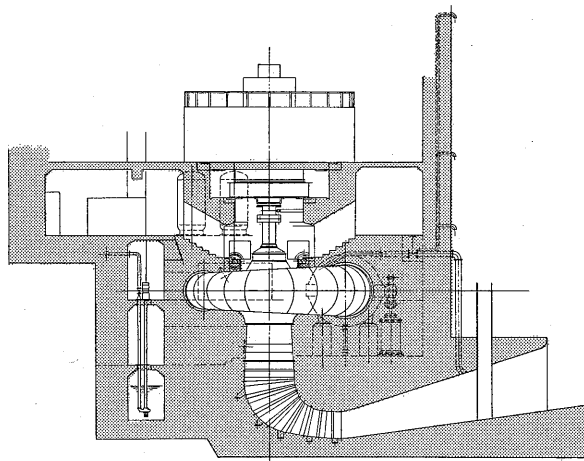
第 9 図 機械配置図 (水車室)

Fig. 9. Machine arrangement (turbine floor)



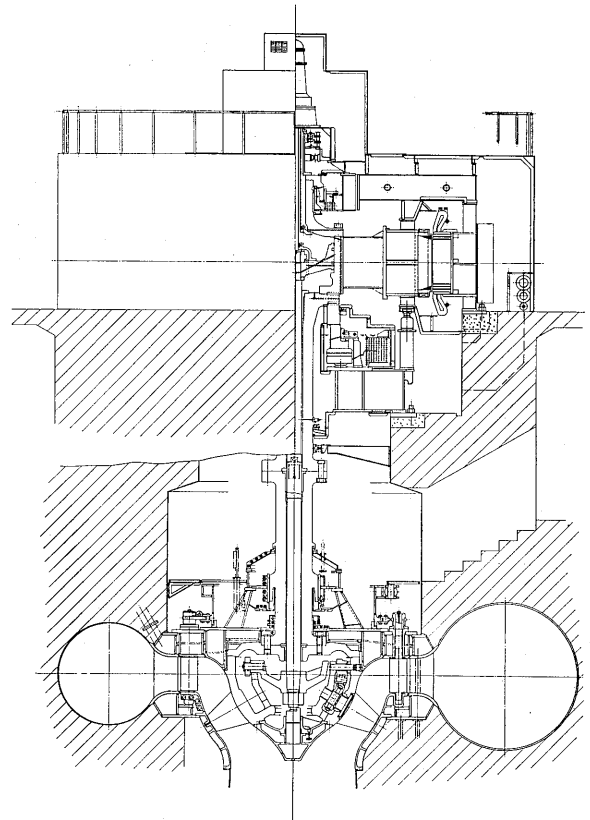
第 10 図 機械配置図 (集油タンク室)

Fig. 10. Machine arrangement (sumptank floor)



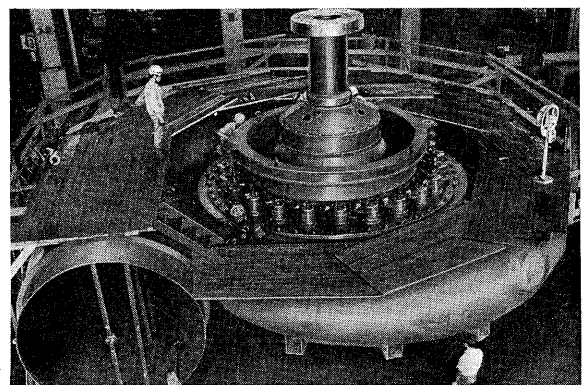
第 11 図 機械配置図 (断面)

Fig. 11. Machine arrangement (section)



第 12 図 水車発電機断面図

Fig. 12. Section of water turbine and generator



第 13 図 水車本体系工場仮組立

Fig. 13. Shop-assembled turbine

械配置図のように、セミバーレル式である。第 12 図は水車発電機断面で、第 13 図は工場仮組立中の水車を示す。

#### 1) スパイラルケーシングおよびスピードリング

入口径  $3,200\text{mm}$  の大形ケーシングのため、スピードリングは 5 分割、ケーシングは 7 分割現地溶接構造とした。また材質は  $60\text{ kg/mm}^2$  級高張力鋼板と SM50 の比較検討を行なった結果、高張力鋼板のほうが若干経済的であることが判明したため高張力鋼板を採用した。各分割部のケーシングとスピードリングの合わせは、現地作

業を最少にするため工場内で溶接仮組立を行なって調整した。現地溶接完了後、水圧試験を行ない、漏水その他異常のないことが確かめられた。また水圧試験時、ケーシング各部の応力および変位を測定し異常値の有無を調査した。その結果設計値を充分満足していることが確かめられた。ケーシング打設方法として、最近大形ケーシングで採用されているものに、内部加圧方式あるいは外部ルーフィングなどがあるが、本ケーシングの打設は、関西電力・新祖山発電所で当社が経験済である $\frac{1}{2}$ 加圧方式で施行され、運転時ケーシングの変位によるコンクリート部の局部的面圧の減少、さらにコンクリートバーレル部の受ける荷重の軽減が考慮されている。

## 2) 上下カバーおよびディスチャージリング

上カバーは、内側上カバーと外側上カバーに分け、ガイドベーン軸受部を分解せずにランナを吊出せるようにした。外側上カバーは、鋼板溶接構造でガイドベーンに対する面には、13Cr ステンレス製のシートライナがついている。斜流水車においては、ランナ重量が大きいかつランナ重心と主軸受間の距離が長くなり、振動が起こり易くなる。この点に留意しランナ重心と主軸受間の距離を極力短かくするようにし、軸受支え部は、充分に剛性をもつ構造とした。また軸受カバーは、水車軸と発電機軸を切離した際、ランナおよび水車軸の重量を支えられるように設計された。下カバーは鋳鉄製としガイドベーンシート面には、13Cr ステンレスのシートライナがついている。ディスチャージリングは、13Cr ステンレス鋳鋼製で加工に際しては倣い機械加工により入念に行なわれた。

## 3) ガイドベーンおよび調整機構

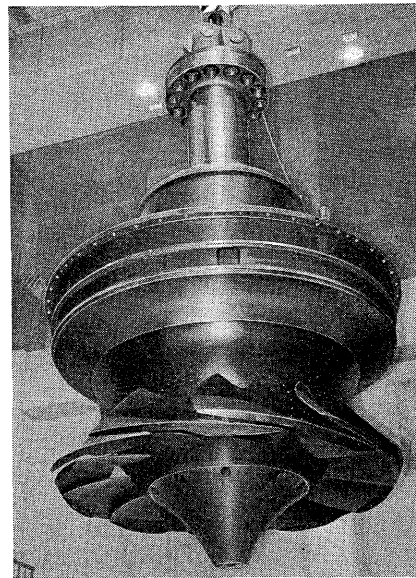
ガイドベーンは、一体鋳鋼製で上下面およびシャッタ面は 18-8 ステンレス鋼の板張りおよび肉盛溶接を施した。ガイドベーンアームは、二重構造とし引張力により切断するガイドベーン刃先調整を兼ねる弱点ピンが設けられている。

## 4) ガイドベーンサーボモータ

水車ピット内側のバーレル部を切欠いて、左右2個の油圧サーボモータを配し、機械的ロック装置は上カバーとガイドリングの間につけられた。

## 5) ランナ

斜流角  $120^\circ$ 、ランナベーンは 10 枚で基準径 3,200 mm である。ランナボスおよびランナベーンは、13Cr ステンレス鋳鋼で、特に強度的に厳しい条件のランナベーンは特殊仕様の材料とした。ランナベーン外周にはギャップキャビテーションによる壊食を防止するため、防食片がつけられた。ランナボス内部のリンク機構は、当社斜流ポンプ水車で実績を有する機構にさらに改良が加えられた方式が採用された。



第 14 図 内側上カバーとランナ

Fig. 14. Runner and inner top cover

## 6) ランナサーボモータおよび給油装置

ランナサーボモータは、カプラン水車と同様な上下式で、発電機回転子センタ内に納められた。その動きは水車軸中心をとる操作ロッドからランナ調製盤へ伝えられる。給油装置は発電機上部に設けられ、操作圧油は発電機軸内をとる給油管をとおして出入する。

## 7) 主軸および主軸受

水車軸は中空鍛鋼製で軸径 710mm、軸受部は 930 mm となっている。水車軸シールは、2 段のカーボンリングを主軸に抱かせスプリングで適正な締付力を与える構造である。主軸受は、軸受メタルに特殊な溝を切り、油の粘性を利用しポンプ作用を行なわせる自己給油方式で、潤滑油の冷却水を主軸受外周のジャケット内を循環させる水ジャケット方式である。

## 4. 入 口 弁

本発電所は無人発電所であるため、油圧喪失時にも確実に水車を停止する方式について、次のような案が検討された。

- (1) ガイドベーン自動閉鎖方式。
- (2) ガイドベーンを水圧サーボモータで閉鎖する。
- (3) 入口弁を水圧サーボモータで閉鎖する。
- (4) 入口弁を重錘で閉鎖する。

(1)案については、可動翼の水車では、ガイドベーン開度とランナベーン開度が、オンカム状態にある場合には、無負荷開度以下まで自動閉鎖可能であるが、この開度関係がくずれ、ランナベーンがオンカム開度より小さい場合は、自動閉鎖不可能となり自動閉鎖の信頼度が劣るといふことで除外され、第(2)案は保守に難点があり、(4)案は、重量およびスペースの関係が(3)案より劣るといふことで、信頼度および価格の面から第(3)案が採用され

た。常時は油圧サーボモータで開閉を行ない、油圧低下時およびオーバースピードの条件により、水圧サーボモータを作動させ、特殊レバーを介して入口弁を閉鎖する方式とした。内径 3,200mm の蝶形弁とし、内径 400mm のバイパス弁が設けられ、水圧鉄管末端部との接続はルーズフランジ構造となっている。

5. 调速機および圧油装置

当社標準のキャビネット形電気调速機を採用し、すべての操作がパネル表面からできるようになっている。リミットスイッチは無接点形式を使用した。21S<sub>1</sub>、65S、97Sの主要な電磁弁は、トリップコイルを二重にし、直流電源喪失の際でも別電源使用により操作可能とし安全性の向上がはかられた。圧油装置は常用、予備とも電動機駆動とし、吐出圧力 25 kg/cm<sup>2</sup>、容量 600 l/min の立軸スクリーポンプを備えた。圧油タンク容量は、10,300 l で建屋配置の関係上 2 個のタンクを連通して使用した。

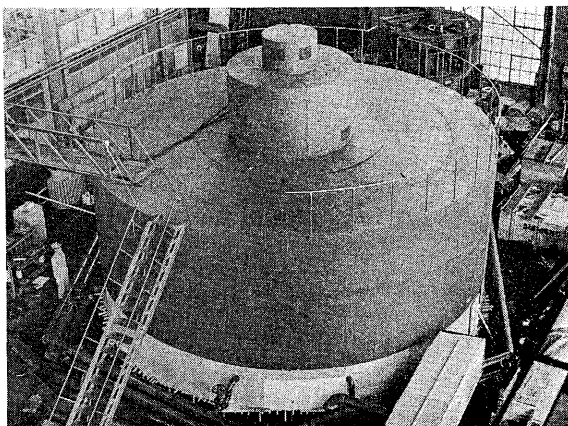
6. 給排水装置

吸出管から給水ポンプにより取水し、立形自動回転ストレーナを経て、給水槽に揚水された各部の冷却器に給水する。排水装置としては、所内ピット排水に立軸浸水形ポンプ 2 台およびジェットポンプ 1 台がある。また吸出管排水の際には、給水ポンプがバルブ切換によって排水に使用される。

III. 発 電 機

1. 発電機仕様

- 定格出力 53,000kVA
- 定格電圧 13,200V
- 定格周波数 60Hz
- 定格力率 90.5% (おくれ)
- 回転速度 257rpm
- 励磁方式 OH式静止励磁方式



第 15 図 発電機組立

Fig. 15. Shop-assembled generator

2. 概 要

発電機は第 12 図に示すとおり回転子の上下におおの 1 個の案内軸受を設けスラスト軸受は下部案内軸受とともに下部ブラケットの油槽内に設置した準かさ形構造である。回転子センタは斜流水車のランナベーンサーボモータを内蔵し発電機最上部にランナベーン操作用給油装置が取り付けられている。OH式自動交流発電機としては新祖山発電所向け 72,000kVA 機に次ぐ大容量機である。

3. 基本設計上の問題点

設計に当たっては定格電圧の選定が問題になり 13.2kV と 11kV の両案につき発電機単体のみでなくしゃ断器、断路器、計器用変成器、相分離母線なども含めて充分検討した結果、より経済的な 13.2kV を採用することに決定した。

しかしながらこの 13.2kV の固定子巻線には特殊のレベル転位と接続方法を採用してより効果的にしているので参考に供したい。

$$C = kVA / Di^2 \cdot L \cdot n \dots\dots\dots(1)$$

Di; 固定子内径, L; 鉄心長, n; 回転速度

最近の水車発電機は式(1)で規定される出力係数 C を以前のものに比し 20~30% 以上大きくし機械寸法を小形で経済的なものに設計しているが一方水車側より要求される GD<sup>2</sup> は以前に比し速度変動率が 35~45% と大きくなっているため多少小さくなってきているがそれでも発電機の固有 GD<sup>2</sup> と比較するとまだかなり大きい。

$$GD^2 = k \cdot Di^4 \cdot L \dots\dots\dots(2)$$

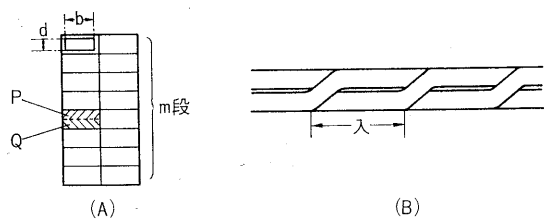
k; 定数

GD<sup>2</sup> は式(2)で表わされるので(1)、(2)より L を消去すると式(3)をうる。

$$GD^2 = k \left( \frac{kVA}{n} \right) \frac{Di^2}{C} \dots\dots\dots(3)$$

kVA, n を決めると必要な GD<sup>2</sup> を同一に保つには Di<sup>2</sup>/C を一定にすることが必要であり C を大きくすれば Di を大きくしなければならないことを意味する。さらに最近の材料および設計の進歩により k の値が小さくなってくるので Di をさらに大きくとらなくてはならない。したがって機械としては同一 GD<sup>2</sup> に対し以前のものに比べ内径 Di の大きな鉄心長 L の短いものになる傾向が強い。

他方固定子巻線は大容量機では 1 ターンコイルを用いるのが種々の点で有利であり、さらに経済性の面から考えると溝数が少ない方がよい。溝数が少なくなると溝ピッチが大きくなるので溝幅を大きくとることができ、したがってレベル転位を施す素線の幅は必然的に大きくなる。



第 16 図 レーベル転位バー  
Fig. 16. Roebel transposition

第 16 図は通常のレーベル転位を施したバーを示す。このバーに流れる電流を  $I$  とすると電流密度  $i$  は式(4)で表わされる。

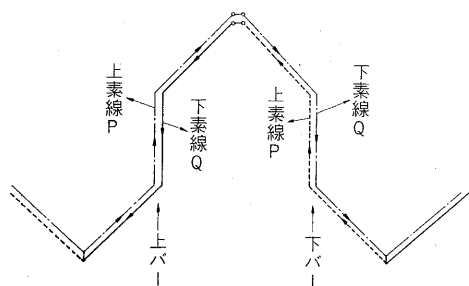
$$i = \frac{I}{b \cdot d \cdot 2m} \dots\dots\dots(4)$$

$b$ ; 素線幅,  $d$ ; 素線厚み,  $m$ ; 素線の縦段数  $i$  を温度上昇などより仮定すると,  $b$  が決まれば  $d \cdot m$  の積は一義的に決ってしまう。  $m$  の値はレーベル転位バーの製作の可否より決定される。すなわち第 16 図(B)のように素線の編みピッチ  $\lambda = L/2m$  の値がある値以上でないとき素線間のレヤーショート危険および製作上の問題などで素線を編むことが不可能となる。前述のように  $Di$  が大きく  $L$  が短い機械では  $m$  も多くすることはできないので  $d$  の値が大きくなる。

しかし  $d$  の素線厚みをあまり厚くすると素線内の上下に生ずる電圧差により電流が流れるため損失が増加する。これは外部から見ると交流抵抗が増加し損失が増加するので折角レーベル転位をしたとしてもその意味がなくなってしまう。

本機はこの点を巧妙な方法で解決した。それは素線厚みは許容できる厚み  $d$  に押えたままで  $m'$  として  $\lambda = L/2m'$  で制限される  $m$  の値の 2 倍近くまでとるのである。ただし素線はたて方向に 2 本 1 組みとして、あたかもその 2 本が 1 本の素線のように考えてレーベル転位を施すわけである。こうすることにより等価的に  $m = m'/2$  のレーベル転位と同一になる。これを仮に 2 段レーベル転位と称する(特許申請中)。

しかしこの方法を採用した際コイル端の接続に考慮を払わねばならない。すなわち従来のような各素線を一体



第 17 図 2 段レーベル転位バーの特殊接続  
Fig. 17. Special connecting method of bars

にする方法、あるいは数ブロックに分割して接続する方法をとると 2 段に分割した素線間すなわち第 16 図の P, Q 間に誘起する電圧差のため循環電流が流れてしまうので分割した効果がなくなる。これを防ぐには、第 17 図のように片側は従来どおりの接続にし他方の接続に際しては上バーの上素線 P と下バーの下素線 Q, 上バーの下素線 Q と下バーの上素線 P とを一本つなぎで接続するのである。

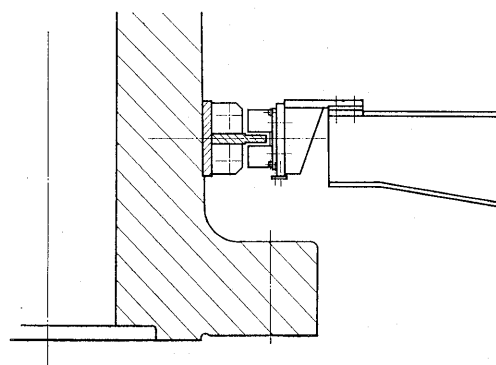
この方法により各素線に誘起した電圧を矢印のような閉回路に対して総和をとると非常に小さくなり、また閉回路の抵抗も大きくなるので循環電流は極端に小さくなる。したがって漂遊負荷損の増加もきわめて小さい(特許申請中)。

工場試験の結果漂遊負荷損の実測値は計算値とよく一致し上記計算の確証を得ることができた。

4. 構造上の特長

1) 斜流水車との直結

斜流水車に直結される場合に問題となる点はギャップキャビテーションおよび効率の低下を防止するためにランナペーン先端とデスチャージリングの隙き間をできるだけ小さく、しかも異常時においてギャップ摺りが起こらぬようにしなければならない。したがって運転中におけるランナギャップの変位を検出する装置が必要となる。ランナを上下方向に変位させる要因は水スラストによる軸の伸縮と構造物の温度変化による伸縮があるが、斜流水車はランナペーンの外周面が傾斜しているために軸の上下方向の変位はそのままランナギャップの変位になる。本機の場合は黒又川第二発電所(電源開発)と同様に軸に円板を取付け、その上下に 1 個のリアクトルを取付けた差動リアクトルを用い、そのリアクタンスの変化により軸の変位を測定する検出器を取付けてランナギャップの変化を監視しており、ランナがある限度以下に下ると急停止または警報を発する機構になっている。第 18 図はその検出部を示す。設計にあたってランナギャップは次の条件を満足するように設定されている。



第 18 図 軸変位検出器取付図  
Fig. 18. Attachment of shaft displacement detector



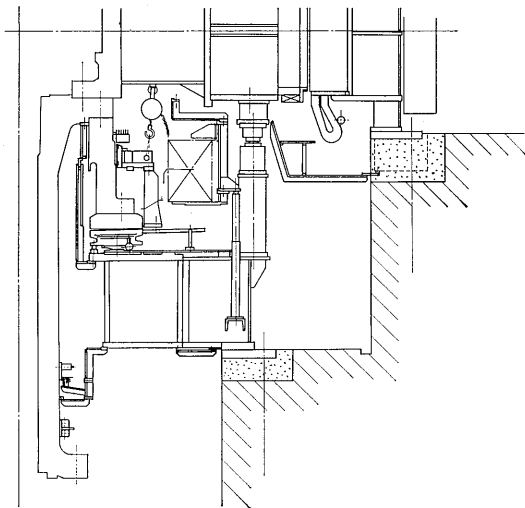
- (1) 定格運転時に規定ギャップが保てる。
- (2) 異常に大きな水スラストが作用してもギャップ摺りを起こさぬようにすることは当然であるが、異常水スラスト作用時にスラスト軸受メタルが焼損してもギャップ摺りを起こさないようにする。

したがってスラスト支持台である下部ブラケットには充分な剛性をもたせることが必要である。下部ブラケットのたわみ量およびスラストのスプリングのたわみ量を工場で実荷重をかけて試験し、設計値どおりであることを確めた。スラスト軸受メタルの厚みは、焼損時における軸の下り量を小さくするため他の形式の水車と直結される機械に比べてある程度薄く製作されている。

2) スラスト軸受の分解、点検

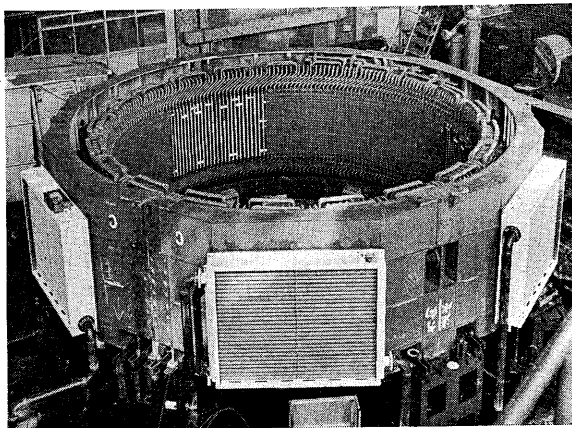
スラスト軸受は発電機回転子をつり出せずに点検あるいは予備品と交換できるよう考慮されている。

第 19 図はその分解状態を示す。回軸部を油ジャッキでわずかに押し上げた状態で案内軸受および軸受支えをつり上げる。この状態のまま軸受油槽を専用の油ジャッキ



第 19 図 スラスト軸受分解要領図

Fig. 19. Taking out method of thrust bearing



第 20 図 固定子

Fig. 20. Stator

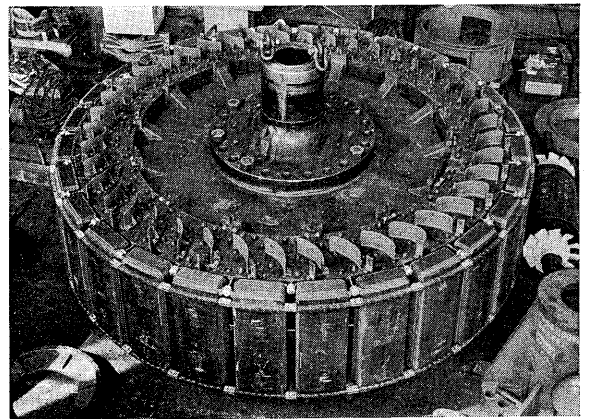
で押し上げればスラスト軸受が現われるので、これを手前に引出せば容易に点検、あるいは予備品と交換できる。中部電力・横山発電所において採用したこの方法によればスラスト軸受の点検に要する時間を大幅に短縮できる。

3) 固定子

固定子鉄心はS級けい素鋼板を積層し、固定子わくへの取付方法は従来のラッシュェンに比べて数々の利点がある新ラッシュェン方式を採用している。固定子わくは中空箱形構造を採用し、輸送上3分割されている。鉄心積層作業は加熱乾燥を数回繰返して締付け運転中における鉄心枯れの現象を防止するとともに積層後は誘導試験を行ない、電源周波数およびその倍周波数で共振による異常振動が発生しないことが確認されている。巻線は耐コロナ性、耐熱性ともに優れたエポキシ系レジンを主体としたFレジン絶縁の1ターンコイルである。

4) 回転子

磁極鉄心は高抗張力鋼板を積層し、特殊鋼製の端板を介してリベットにて締付けられている。ヨークへの取付はダブルテール方式で打込みテーパキーで固定されている。巻線は運転中における熱膨張および遠心力ならびに絶縁の変化に充分順応するよう適当な温度と圧力で加熱圧縮して鉄心に取付けられている。



第 21 図 回転子

Fig. 21. Rotor

ヨークは輸送上分割する必要があるので扇形の高抗張力薄鋼板を積層しリーマスタッドで一体リングに形成しセンタに焼ばめている。

センタは従来のスパイダ形よりも強度上有利でありしかも風損が低減される円板形センタである。センタボスはランナベーンサーボモータのシリンダを兼ねている。

5) その他

軸受の漏油防止方法としては径方向に多重のラビリンス構造を設けたものを採用した。ラビリンスの内周部に比べて外周部の周速が早いいためラビリンス部の油霧は油



槽内へ押しもどされることを利用しており、最近の当社  
の水車発電機にはすべてこの方式を採用し、従来のこの  
種のトラブルを一掃したと思われる。

ブレーキには摺動時におけるライニングの摩耗粉が機  
内に入らぬよう集じんカバーを設けてある。

5. 試験結果

工場試験および現地試験により得られた結果を下記す  
る。

1) 短絡比

自励複巻交流発電機であるので速応度が高く、したが  
って安定度が直結励磁機式よりも高いので短絡比も小さ  
くてよく機械も経済的になるため0.9以上の保証値であ  
り実測値は0.996となった。

2) 効率試験

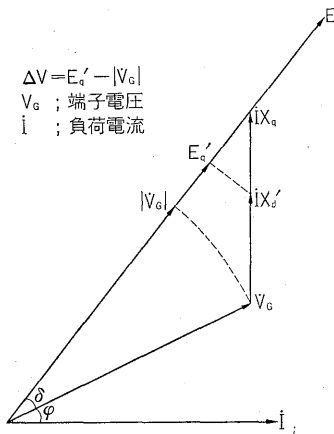
保証効率は国外の水車発電機でよく指定されるよう  
に JEC 114 の裕度付きであるが工場で実施した規約効  
率は裕度なしでも充分入れることができた。

3) 温度上昇試験

固定子巻線の工場試験は無負荷定格電圧温度上昇試  
験、銅損温度上昇試験により等価的に実負荷時を推定す  
るわけであるが現地試験の結果は工場試験値とほぼ  
等しく埋込法で 55℃ であった。

4) 負荷しゃ断時電圧上昇

全負荷しゃ断時の速度変動率が 40% の保証値に  
対し電圧上昇率は 30% の保証値である。自励複巻  
方式ではしゃ断瞬時 C.T. 成分が消滅するので励磁  
電流も急速に減少するが本機の OHリアクトルの制  
御にはトランジダイン制御装置を用いているので二  
次的な制御がさらに早くなる。現地における全負荷  
しゃ断試験の第 8 図の全負荷しゃ断時記録よりも明  
瞭のようにしゃ断瞬時に第 22 図のベクトルの作図  
で決まる最大電圧上昇となり急速に設定値に収斂



第 22 図 電圧上昇作図決定図

Fig. 22. Determination of voltage rise by vectorial method

している。全負荷しゃ断時の値は 18.56% と保証値の  
30% を充分満足するものであった。

IV. その他の機器

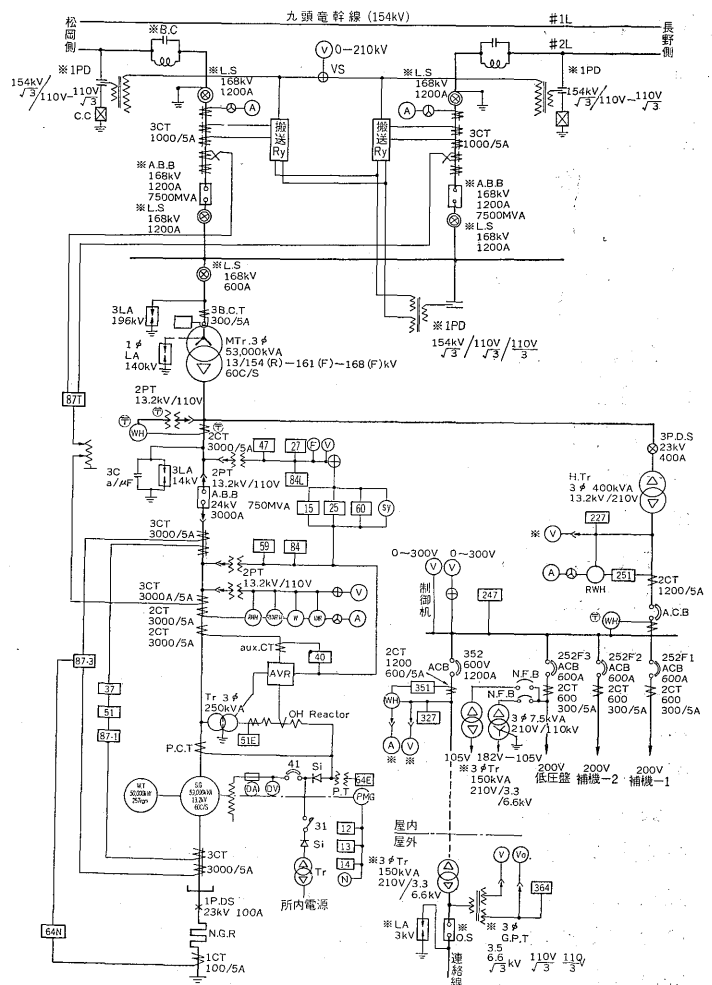
1. 無接点制御装置および無接点保護継電器

各種高性能半導体素子の進歩にともない、各種制御装  
置および保護継電器の無接点化が進められている。これ  
ら無接点装置は、従来の接点式装置に比較して次のよう  
な特長をもっている。

- (1) 経年変化によって装置の動作が不安全になることや誤動作がない。
- (2) 接点その他の損耗による接点不良がない。したがって保守が簡単である。
- (3) 取付面積が小さい。

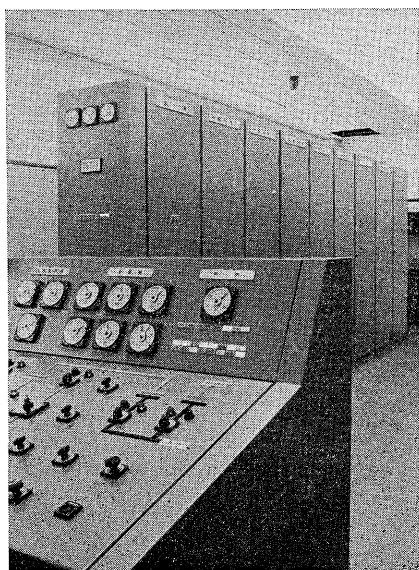
当社においても、この面において鋭意開発を進め、各  
種の安全な理論素子、保護継電器および制御装置を製作  
納入してきた。すなわち

変電関係においては、昭和 36 年 2 月電力系統の保護  
装置として、関西電力・関西閉所に系統分離継電器を納  
入して以来、数多くの無接点保護装置を納入しており、



第 23 図 単線結線図

Fig. 23. Skeleton diagram



第 24 図 配電盤および運転制御盤  
Fig.24. Switch board and control board

一方発電所関係では、北陸電力・常願寺川第二、第三、第四発電所に制御装置全体を無接点化した運転制御装置を納入して昭和 39 年 3 月より営業運転に入っているが、納入以来非常に好調に運転されている（富士時報第 37 巻第 6 号参照）。今回はさらに無接点化を進め、発電所主機の運転制御、保護、警報および表示回路を、すべてトランジスタを主体とした無接点装置を採用した（第 41 巻 9 号および次号参照）。

これら無接点装置の範囲を具体的に示すと、次のとおりである。

#### 1) 水車運転制御に必要な装置

水車调速機、制御スイッチ、リミットスイッチ、ソレノイド回路、操作電動機（77）回路など。

#### 2) 発電機運転制御に必要な装置

自動電圧調整器、同期および並列装置、リミットスイッチなど。

#### 3) 保護継電器

87-1, 87-3, 51, 37, 59, 27, 64E, 40, 12, 13, 14, 87T, など。

#### 4) 表示および警報関係

主機の運転、制御、保護に必要な表示および警報回路。

#### 5) 遠隔監視制御装置

装置を無接点化することより装置全体の信頼性は、ひやう的に向上するのであるが、無接点化装置は従来の接点式装置のように動作を肉眼で確認することができないので、保守に不便をきたすことが考えられる。そこで保守の容易さと装置全体の信頼性を更に高めるために次の

考慮を払い、万全を期している。

1) 保護継電器はその装置が運転中正常であることを確認できる点検回路をもうけた。すなわち、機器運転中必要に応じ試験用押しボタンを操作することにより保護継電器を順次自動的に点検を行なうとともに、86-1, 86-2, 86-3 を動作させ水車ソレノイド回路までを自動点検し、不良発生時には警報する。正常であれば、正常の表示を出す。

2) 運転—停止の制御回路は、機器停止中、必要に応じ、試験用押しボタンを操作することにより、起動回路より並列用しゃ断器までの回路を順次自動点検を行ない、不良発生時には警報する。正常であれば、正常の表示を出す。

3) 論理素子に万一不良が生じて、他の関連素子とのインタロックにより不正動作が絶対行なわれない回路構成とした。

4) 電力機器に使用する場合、一番問題となる異常電圧に対しては、アレスタ、サージキラー、絶縁トランスなどにより充分保護を行なっている。

## 2. 変圧器その他

主変圧器は、三相 53,000kVA 13/154(R)-161(F)-168(F)kV送油風冷式であり、組立輸送とした。また発電機より主変圧器までは相分離母線で接続されている。その他配電盤、キュービクル、しゃ断器、計器変成器などはすべて当社製である。

## V. む す び

以上西勝原第三発電所に納入された機器の概要につき述べた。現地における各種の試験は、すべて所期の目的どおりに完了したことはいうまでもないが、水車効率試験は、流速計法および超音波法を用いて行ったが、その両者とも最高効率は、93.4%を示し、また両者の測定カーブは、ほとんど相似であることが確認されたことは大きな収穫であった。またこのような記録的な水車に無接点装置を採用した意義は大きく、将来の大きな指針を示すといえよう。

終りに、これら機器の設計製作にあたり、終始ご指導とご協力を賜った北陸電力株式会社の関係各位に深く謝意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 柏原、竹内：西勝原第三発電所の概要 電力 51, No.3
- 2) 鈴木、桜木、丘本：北陸電力・常願寺川第二、三、四発電所納入無接点制御装置 富士時報 37, No.3



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。