

オーストラリア・セサナ発電所納入 大容量フランシス水車および発電機

Large Capacity Francis Turbine and Generator for Cethana Power Station, Australia

山崎 澄徳* 武内 邦夫** 田村 明弘***
Suminori Yamazaki Kunio Takeuchi Akihiro Tamura

I. ま え が き

オーストラリア、タスマニア州・水力電気局が開発を進めている Mersey-Forth 河流域電源開発計画の中核をなす Cethana 発電所向け 101,600 kW フランシス水車および 100,000 kVA 発電機が完成、出荷され、本年秋の運転開始を目指して目下現地で鋭意据付が進められている。

本発電所は完全地下式発電所として計画され、経済性の点から建屋寸法が小さく押えられるとともに、建設期間の短縮が望まれた。このため、機器の設計・製作にあたっては、性能あるいは信頼性の向上についてはもとより経済性についても、水車、発電機の一貫メーカーの利点を最大限に生かして、徹底的に検討が加えられ、特に天井クレーン容量の低減、工期の短縮、保守の容易さなどのために、種々の新技術が採用された。

われわれは、本機に採用された新技術は、今後ますます大容量化してゆくであろう水車、発電機の経済性追求の方向を示すものであるとともに、本機の完成により、大容量水車、発電機の設計・製作にさらに新しい自信を加えたものと自負している。

本稿においては、本発電所機器のおもな特長を、これら新技術を中心にして、紹介し参考に供したい。

II. 発 電 所 概 要

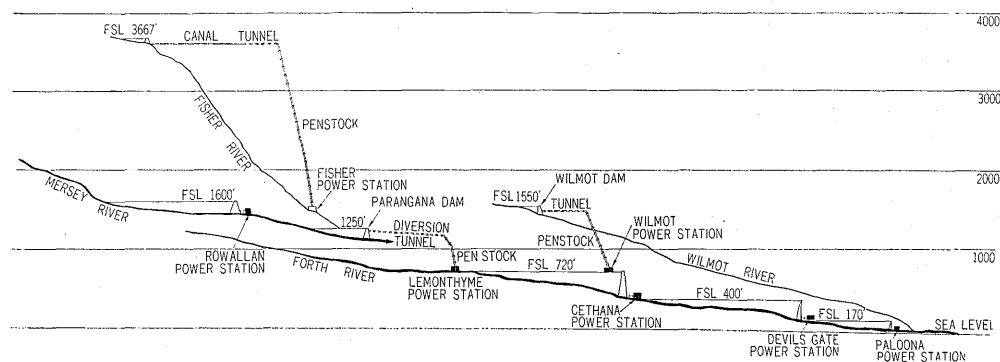
Mersey-Forth 計画とは、オーストラリア最南端の島、

タスマニア州の北部中央を流れる Mersey ならびに Forth 両河川流域の電源開発計画であり、合計 7 箇所の発電所からなる〔このうち、当社では、本稿に紹介する Cethana 発電所のほかに、Lemonthyme (58.2 MW) Wilmot (32.9 MW), Fisher (47.5 MW) の各発電所向け主機を納入、すでに運転中あるいは据付け中である〕。

この電源開発計画の概要は第 1 図に示すとおりであり、Mersey 川およびその支流 Fisher 川の水は Parangana ダムに貯えられ、ここから非常に長い圧力隧道および水圧鉄管（計約 8km）により Lemonthyme 発電所に導かれ、Forth 川に注がれる。また、Forth 川の支流 Wilmot 川の水は Wilmot ダムからやはり長い圧力隧道および水圧鉄管（計約 4.6km）により Wilmot 発電所に導かれ、Forth 川本流に注がれる。これらの水と Forth 川本流の水は Forth 川のほぼ中間に設けられた Cethana ダムに貯えられ、逆調整の上、ダム直下の Cethana 発電所に、ライナ内張りの立坑により、給水され、下流 Devils Gate ダムに放流される。

本発電所は、ほかの 6 発電所とともに、完全無人発電所で下流 Devils Gate 発電所に比較的近い Sheffield 中央制御所から電力線搬送方式により遠方監視制御される。このため、発電所機器に対しては、最低 2 週間のメンテナンスフリーが要求され、圧油装置、給水装置などの容量、潤滑方式、各制御装置などにその点が考慮された。

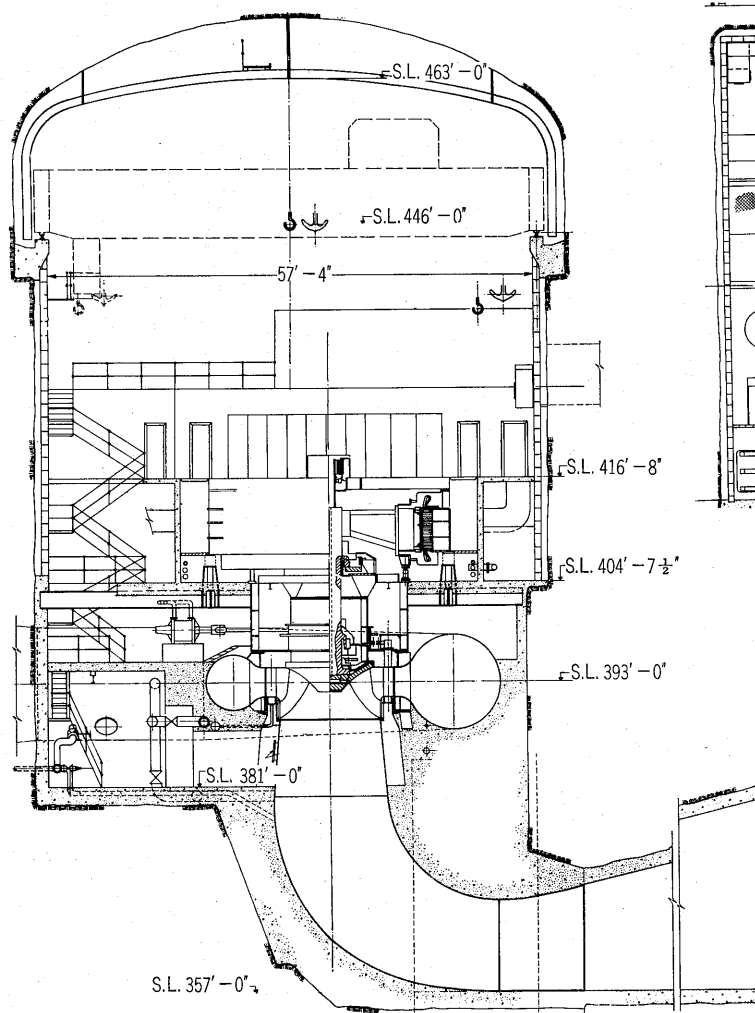
また、完全地下式発電所のため、放水路サージタンクは省略されたが、放水路隧道の長さが約 200m あるため



第 1 図
Mersey-Forth 電源開発
計画概要図

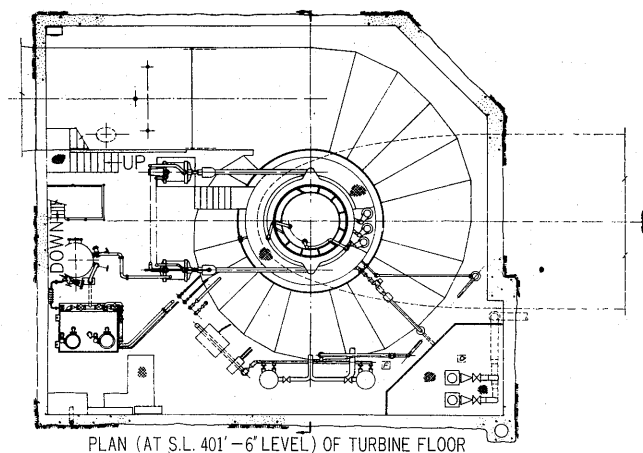
Fig. 1.
Diagram of Mersey-Forth power development

* 川崎工場原動機部 ** 川崎工場回転機部 *** 電力・技術部



Sectin power house

(a) 側面図

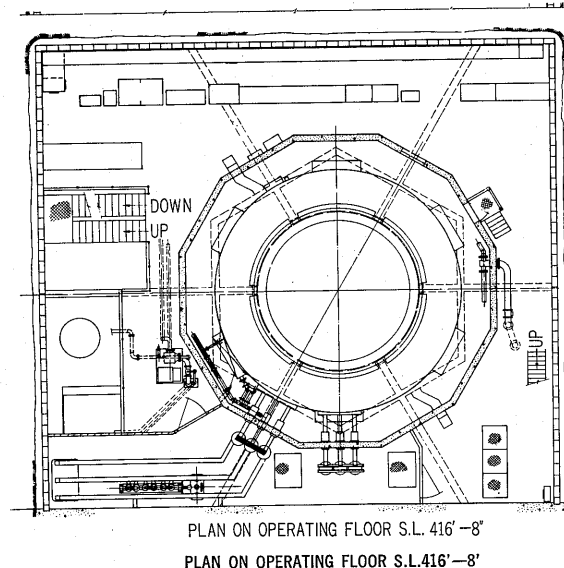


(c) 水車室

第2図 機械配置図

Fig. 2. Machine hall general arrangement

負荷しゃ断時の放水路における水柱分離現象を防止するために、流速は約 2 m/sec に押え、また、ガイドベーン閉鎖時間は 12 秒という比較的最長い値に選定された。一方、発電機に対しては、系統構成上から 7.5 秒以上の加速定数が要求されたため、最大速度上昇率は 60% とい



(b) 発電機室

う高い値が採用された。

さらに、水車、発電機を小形化するために、落差約 100m に対し比速度が 206(m-kW) という記録的な高比速度機が採用されている。

このほか、本発電所機器の計画・設計に当たっては、建設費の低減のために建屋寸法、すなわち、主機寸法の縮小ならびに工期の短縮などの諸点について特に入念な検討が加えられ、次のような特殊構造が採用された。おもな特長の概要を次に紹介する。

- 1) 水車ケーシングは上半分を露出させ、下半分のみをコンクリートに埋設する構造とすることにより、コンクリート量の削減および水車室天井を低く、したがって、発電設備ならびに建屋全体の高さを低くした。
- 2) 工期の短縮ならびにコンクリートが比較的高価な国状にかんがみ、発電機を支持する方法として、鉄骨製パーレルが採用された。
- 3) 天井クレーン容量を低減させ、あわせて建屋を経済的なものとするために、発電機回転子各部には特殊な組立方式が採用された。この結果、クレーン容量は通常行なわれている回転子一体吊りの場合の約 25% に低減できた。
- 4) 発電設備の高さを低減させるとともに、組立を容易にするため、水車軸は発電機軸と共通の一本軸構造が採用された。また、発電機スラスト軸受は水車上カバーにより支持する構造を採用した。

なお、水車、発電機の詳細については、上述の詳細とあわせて、第2図および次項以下を参照されたい。

III. 水 車

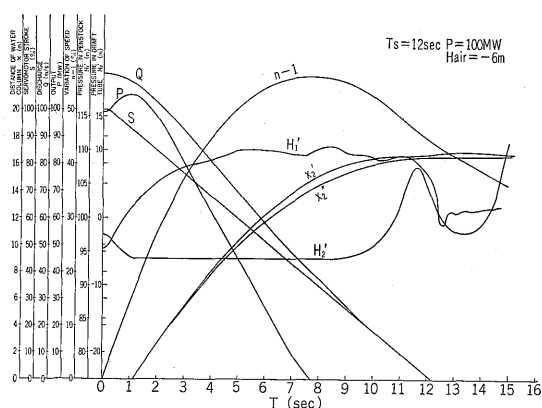
1. 水車仕様

台 数	1 台
形 式	立軸単輪単流うず巻フランシス水車
出 力	最大落差時 101,600 kW 基準落差時 100,000 kW 最低落差時 90,500 kW
有効落差	最大 98.76 m (324 ft) 基準 97.69 m (320.5 ft) 最低 91.74 m (301 ft)
回転速度	200rpm
比 速 度	206 (m-kW)

2. 水車の性能

予想以上の電力需要の増大から、運転開始時期を早めるため、引合時すでに建屋掘削が開始されていた関係から、ケーシング中心の吸出高さが -2.1m に決められていたが、高速小形化するため、本水車の比速度は 206 (m-kW) という非常に高い値が採用された。したがって、すぐれたキャビテーション性能をもつランナの開発が要求されたので、数個の模型ランナを製作し、効率のみならず、キャビテーション性能については特に入念な模型試験を施行し、設備のキャビテーション係数においてほとんどキャビテーション気泡が発生しない優秀なランナが開発された。

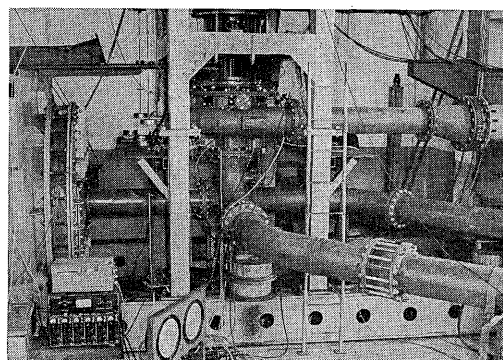
また、本発電所は放水路サージタンクが設けられていない上に長さ約 200m の放水路隧道をもつため、負荷しゃ断時の水柱分離現象の発生する可能性およびその対策について、電子計算機により詳細な解析が行なわれ、水柱分離が生じた場合の水柱の再結合による異常水圧上昇を押えるために必要な給気量が決定されるとともに確実な給気方式が確立された。第 3 図に全負荷しゃ断時の給気を行なった場合の水圧鉄管および放水路における水圧変動と速度上昇の計算結果を示す。



第 3 図 給気をした場合の過渡現象計算結果

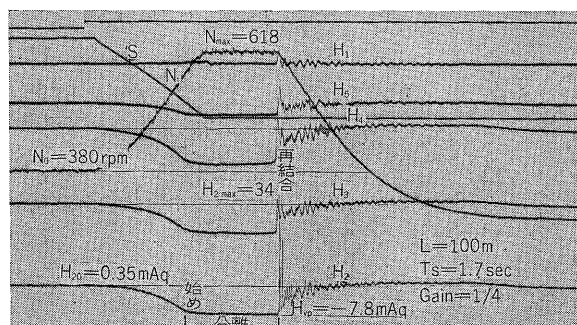
Fig. 3. Computed results of transient phenomena with air admission

さらに、約 100m の長さの放水路をもつ模型試験設備を作製し、水柱分離現象の詳細なる研究および電子計算



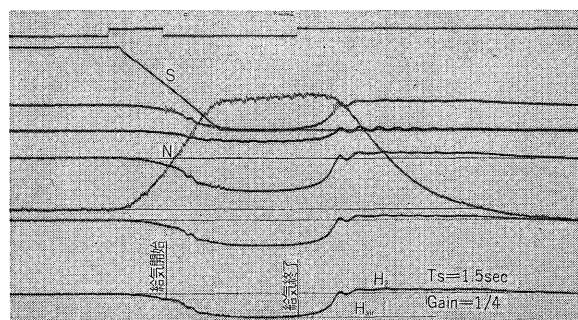
第 4 図 実験装置 (1)

Fig. 4. Test plant (1)



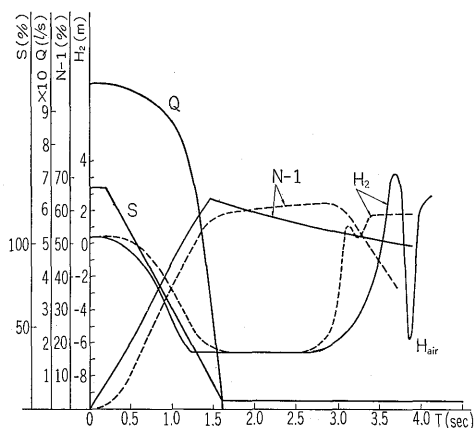
第 5 図 (a) 過渡現象 (水柱分離した場合)

Fig. 5. (a) Results of transient phenomena with water column separation



第 5 図 (b) 給気した場合の過渡現象

Fig. 5. (b) Results of transient phenomena with air admission



第 5 図 (c) 給気した場合の過渡現象計算結果

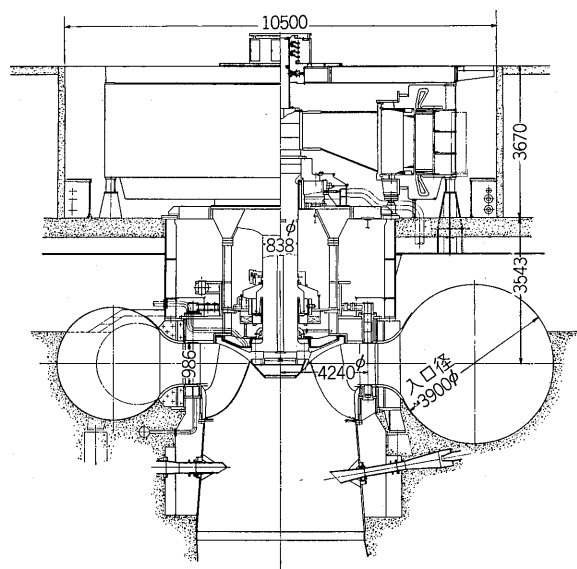
Fig. 5. (c) Computed results of transient phenomena with air admission

機による計算結果の妥当性の確認が行なわれた。第4図に長さ約100mの放水路をもつ試験設備の外観を、第5図に放水路内水柱分離現象を含めた負荷しゃ断時の過渡現象の計算および実験結果を示す。なお、この吸出管内の水柱分離現象の研究結果の詳細については、すでに発表されているので参照されたい。⁽¹⁾

3. 水車構造

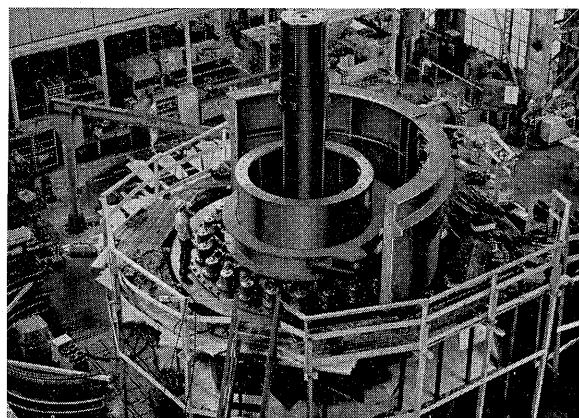
第6図に水車、発電機の組立て断面図を示す。

スパイラルケーシングは最大板厚21mmの高張力鋼板(Welcon-2H)が使用され、輸送のため13分割して出荷された。そして現地で、当社の技術者の指導の下に顧客の手によって溶接され、耐圧試験が行なわれた。ケーシングは水車中心線より少し上までコンクリートに埋設されており、その上部は露出している。発電機はスپیードリングの上に立てられた鋼板製バーレルと発電機室の下面に設けられている6本の鉄骨ビームでささえられている。また、水車、発電機の回転部の重量をささえるスラスト軸受は水車上カバーに取り付けられている軸受



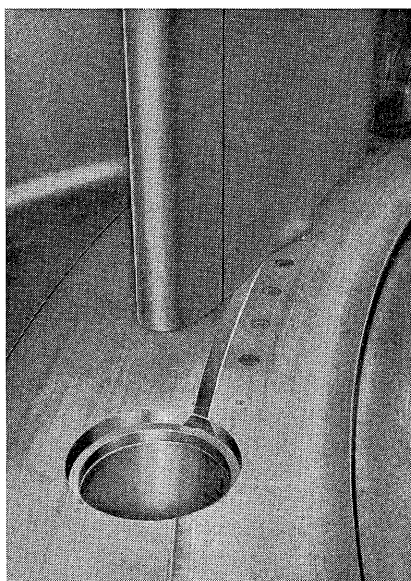
第6図 水車および水車発電機断面図

Fig. 6. Section of water turbine and alternator



第7図 工場組立中の水車本体

Fig. 7. Water turbine under factory trial assembling



第8図 ガイドベーン・ゴムシール

Fig. 8. Guide vane rubber seal

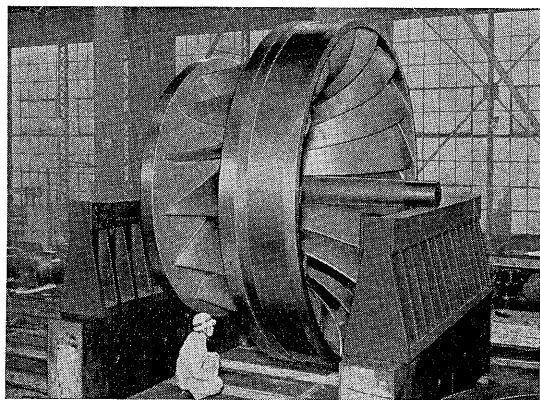
ささえ台の上に取り付けられている。このため、水車、発電機の高さを低くするとともに、充分な水車点検スペースが確保された。

ガイドベーンは13%クロム鋳鋼製で、その閉鎖面および上・下シートライナとの間には、調相運転のためにガイドベーン全閉時の漏水を少なくするために、ゴムシールが取り付けられている。

ガイドベーン軸受には、すでに納入されている Lemonthyme および Wilmot 両発電所の水車に使用されたカーボン系無潤滑軸受が使用された。また、リンク機構およびガイドリングの軸受には、ポーラスなブロンズの台金の表面にテフロンをコーティングした軸受メタルが使用され、いずれもグリスその他の潤滑剤を必要としない構造になっており、普通の場合水車に必ず付属しているグリス潤滑装置が不要となっており、保守がきわめて容易になっている。

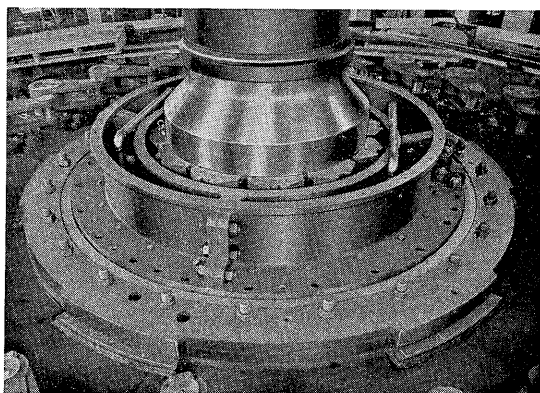
また、ガイドベーンの下部軸受は、保守を容易にするために、上部吸出管のまわりのスペースから下側に分解できるようになっている。したがって、そのために上部吸出管はコンクリートに埋込まれず、露出している。わが国では吸出管部分で発生する水車の騒音をできるだけ小さくするために、吸出管のまわりをできるだけコンクリートで埋める傾向にあるが、外国の場合には、この水車の場合やまた先に紹介した Wilmot 発電所の場合のようにランナを上部吸出管を取りはずすことによって下側へ分解するために上部吸出管を露出形とする場合が多い。これは、実用性を第一とし、騒音や振動を必要以上に小さくする必要はないと考えているからである。⁽²⁾

ランナは重量約30tで13%クロム鋼の一体鋳造で主軸とはリーマボルトで結合されている。



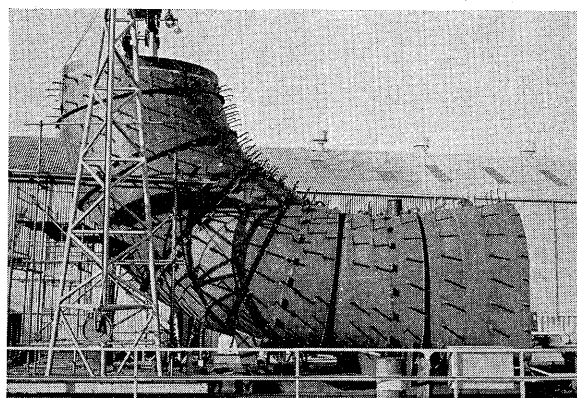
第 9 図 水車ランナ

Fig. 9. Turbine runner



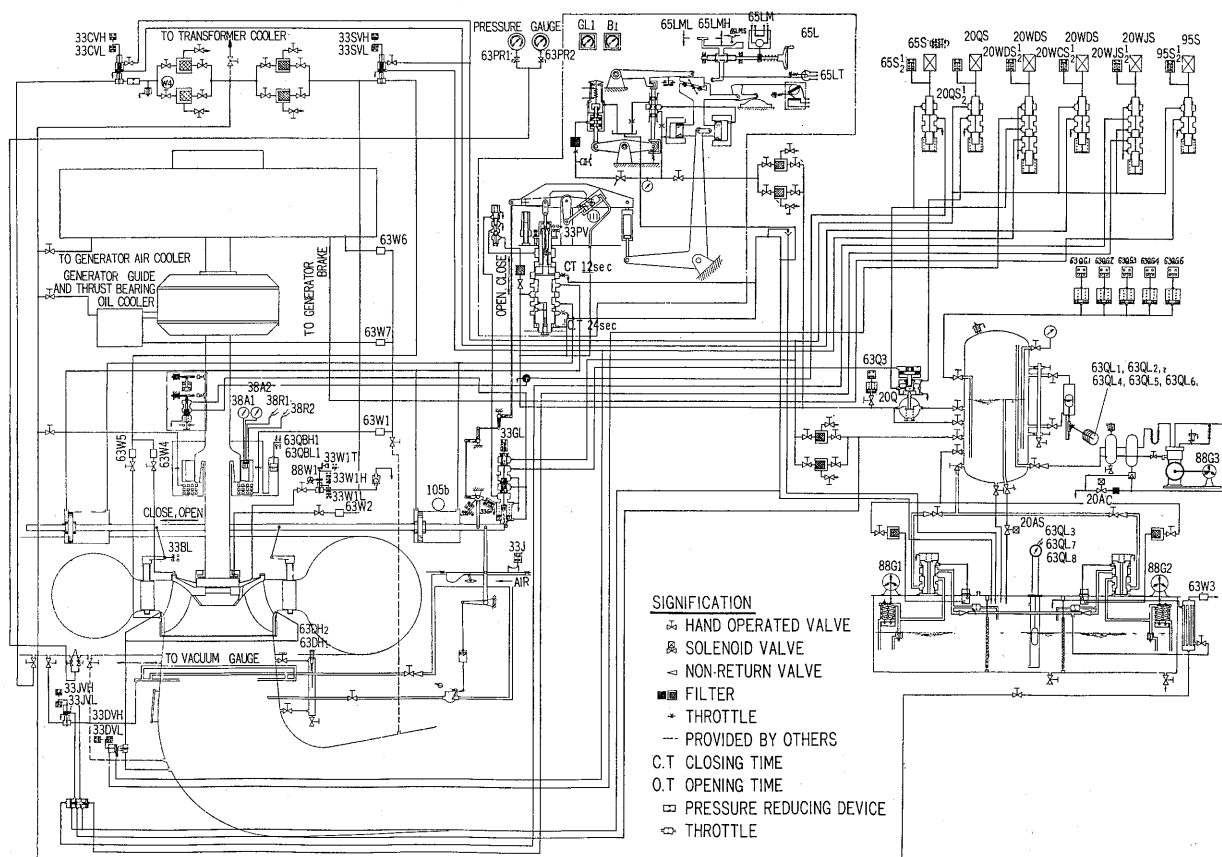
第 10 図 水車主軸受

Fig. 10. Turbine guide bearing



第 11 図 吸出管ライナ

Fig. 11. Draft tube liner



第 12 図 水車自動操作説明図

Fig. 12. Schematic diagram of automatic control of water turbine

吸出管ライナは、当社の設計、指導の下に、オーストラリアにて、製作された。第 11 図はその工場で組立てられた状態を示す。なお、吸出管ライナは水柱分離の際の水圧に耐えるようほぼ円形断面をしており、また、吸出管出口は直接放水路隧道に接続されるため馬蹄形をしている。

水車は調相運転ができるようになっており、水面押し下げ用給気装置としては、通常の空気圧縮装置とジェットポンプと比較検討の結果、価格、保守の容易さなどの点から、ジェットポンプによる給気方式が採用された。また、このジェットポンプは部分負荷時の強制給気および負荷しゃ断時の給気用にも兼用されている。また、ラビリンスへの冷却水の給水装置およびガイドベーンよりの漏水を吸出管側へ排水させるための弁を備えている。

調速機には電気式調速機が採用されている。また水車が過速度になった時、ガイドベーンを閉鎖させるための機械的な過速度保護装置が備えられている。

圧油タンクの油面調整は専用の空気圧縮機によって行なわれる。すなわち、圧油タンクの油面を検出するレベルスイッチと油圧継電器とより条件をとり、空気が少なくなると油面が高くなりすぎた場合には、空気圧縮機を運転して圧縮空気を直接圧油タンクに送り込み、また、逆に空気が多くなり過ぎた時には、電磁弁を開いて空気を抜くようにしている。

IV. 発 電 機

1. 発 電 機 仕 様

台 数	1 台
形 式	立軸回転界磁閉鎖風道循環形同期発電機 (空気冷却器付)
定格出力	100,000kVA
進相コンデンサ運転時出力	85,000VAR (at 13.8kV)
遅相コンデンサ運転時出力	75,000VAR (at 13.8kV)
定格電圧	13.8kV
電圧調整範囲	100~105%間一定出力
定格力率	0.85 (遅れ)
定格周波数	50Hz
回転速度	200rpm
はずみ車効果	5,990t-m ²
規 格	B. S.
励磁方式	自励複巻形励磁方式
励磁容量	340kW

2. 特 長

本機は出力 100,000kVA のフランスス水車直結の自励複巻式発電機として記録的な大容量機であるのみならず、

輸出機のため国内向けと種々の点で異なる仕様、構造などの要求を満足させた設計となっており多くの特長を有している。すなわち、最近海外においては、発電所全体の経済設計、高効率化追求は、国によって異なるがかなり徹底してきている。本発電所もその例にもれず、前述の目的達成のために種々の要求が出されたが、水車および発電機の一貫メーカーである利点をできる限り生かし、それらの要求を十分に満足させることができた。

以下にそれらの特長を含めた本発電機の基本的な設計について述べる。

1) GD^2 と Δn の値

系統構成上より発電機に対しては加速定数 $T_f \geq 7.5$ 秒すなわち、 $GD^2 \geq 5,990 \text{ t-m}^2$ が要求された。

本機程度の出力、回転速度では、この値はかなり固有 GD^2 に近いが経済性および高効率化のために $5,990 \text{ t-m}^2$ の GD^2 が採用された。

一方、これに対する水車設計上速度変動率 Δn は 60% となる。従来、国内では、負荷しゃ断時の周波数上昇に伴う補機類の速度上昇などを考慮して、 Δn は 40~50% 以下であったが、本発電所では、補機類などに適当な対策を講じたこともあるが $\Delta n=60\%$ が採用された。

GD^2 の増加のコストに及ぼす影響、効率低下に及ぼす影響を考えると、経済性、効率上昇の目的のためには、既存の概念を打破してゆく必要があり、このような大容量機に $\Delta n=60\%$ を採用したことは、今後の大容量機設計の一指針となるものと思われる。

2) 工場における総合組み立てと工場試験の省略

機械が大きくなってくると工場における総合組立および試験にそれ相応の設備と費用が必要となり、一方需要家からの低廉かつ短納期という要求、さらに現地における効率試験法の発達などから、近年工場における総合組立てと試験を省略する例が外国の需要家に多くなってきている。本機については、顧客の要望もあり種々検討の結果、工場組立、試験を省略することにし、部分組立、部分性能の確認を行なうにとどめた。

効率確認は現地において、カロリ法により行なわれるが、当社は受注以前からこれに備えてカロリ法による効率測定の研究を重要テーマとしてとり上げ、工場試験で従来の方法によるものと比較検討することはもちろん、国内の電力会社、電力中央研究所と共同研究を進め、本試験法の確立を行なってきた。その結果、従来の工場試験の効率測定と同様、非常に精度の高い効率算定を実施できることがわかったので現地においてもその成果が期待される。

3) クレーン容量の低減

通常の方法によれば軸を除いた回転子重量を吊り上げ

るためには約 200 t 程度の容量のクレーンを設備しなければならないが、本機ではその $\frac{1}{4}$ の 50 t で組立分解ができるように設計した。

周知のように発電所におけるクレーンは容量も大きくその上建設時とオーバーホール時以外はほとんど使用する機会がなく、通常は遊休設備となるので、できるだけその容量を下げ廉価なものとする必要がある。また、それにより建屋の構造物などの経済設計が可能となり、全体としてのコスト低下は非常に大きくなる。本機の場合は、最大重量物である回転子リムを建設時に発電機ピット内で組立て、オーバーホール時水車部品を分解する際はリムをジャッキでささえた状態で回転子センタを取りはずし、その部分から水車部品を分解・組立する方法を採用することにより大幅なクレーン容量の低減を図っている。

4) 水車との協調による構成

本機におけるスラスト軸受是水車上カバー上にスラスト軸受ささえリングを設けてこれにスラスト荷重を支持させる構造を採用した。本機のようにスラスト軸受を水車上カバー上に設けるものは、カプラン水車直結の発電機の場合は多く採用されるところであるが、フランシス水車では本機のように低落差、大容量機のものでないと上カバーの径が小さくなり水車軸受の分解などができないため採用不可能となる。周知のように通常のフランシス水車直結の発電機では回転子の下部に下部ブラケットを設けスラスト軸受をその上に設けている。したがって、そのような下部ブラケットは水車ピットの外周から大きなスラスト荷重を支持すべく高い剛性をもたせるため相当な重量物となり、コストも高くなるばかりでなく高さも高くなる。これに反し、本機では下部ブラケットが不要となり、それにより水車および発電機の軸長が短くなるため、通常のかさ形発電機よりさらに軽量化でき発電機のコスト低減はもちろん、建屋の建設費を著しく低減することができる。

本機是水車と発電機の軸を 1 本の共通軸とする方式を採用した。これは前述のように軸長が短くてすむことにより可能となったものである。

以上述べたように本機では、現地における組立順序が通常機と若干異なるので、その概略順序を記す。

- (1) 水車ランナ吊込み、上カバーおよびスラスト軸受ささえリングの取付
- (2) 主軸吊込み、取付
- (3) スラスト軸受部の組立て
- (4) 回転子センタの吊込み
- (5) 回転子リムの組立ておよびセンタへの焼ばめ
- (6) 磁極の取付 (ただし、固定子合わせ目部を除く)
- (7) 固定子組立、組立後合わせ目部のコイル入れを行ないその部分の磁極の取付

(8) 上部ブラケットおよび上部しゃへい板の取付

分解時には、回転子リムを特別な方法により加熱してセンタを抜き取るが、回転子リムは吊り上げずジャッキにてそのままの位置に支持しておく。固定子コイルの取換えは磁極のみ取りはずし回転子リムと固定子内径との空間で行なうことが特長である。

5) 自励複巻形励磁方式の採用

自励複巻式の特長である無負荷励磁成分と負荷励磁成分の合成を従来の電流重量によらず、電圧成分の重量による方式を開発し本機に適用した。本方式では、励磁系速応度は従来の自励複巻式同様非常に早く、しかも電圧制御の安定性がよく低励磁領域から過励磁領域にわたり広範囲な運転が可能である。

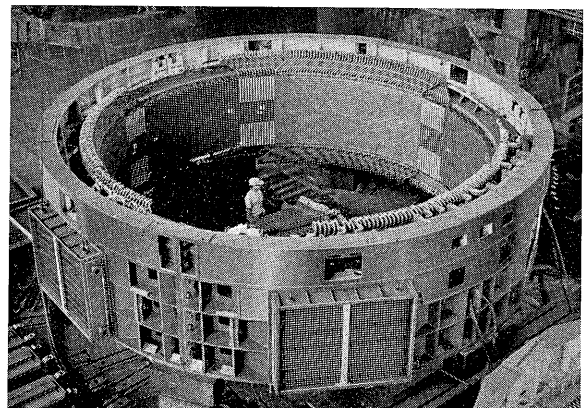
6) 損失のコスト評価

本機の効率、加重平均効率により規制され、かなり高い値が要求されている。損失を金額に換算する際は機械の投資額とその金利、償却費を含めたものと損失増加による損失とを考慮して算出するので kW 当たりの金額はかなりの額となる。したがって、設計に当たっては経済性と損失低減という相反するものをいかに調和し、総合的に最適な機械とするかが問題であり、各部について細心の注意を払い、高効率かつ経済的な機械とするように努力した。

3. 各 部 構 造

1) 固 定 子

固定子枠は剛性的に有利な中空箱形の鋼板溶接構造を採用し、輸送のため 3 分割されている。据付方法は第 2 および 6 図に示されているように水車ピット外径に設けた発電機ささえリングから放射状に配置した 6 本のビームの上に六角形状のリングベースを設けこの上に固定子を据付ける方式である。したがって、その荷重は直接発電機ささえリングに伝達される。設計に当たっては、各部に対し最大荷重となる短絡時についての基礎および固定子系の固有振動数を算出して強度の検討を行なった。



第 13 図 固 定 子

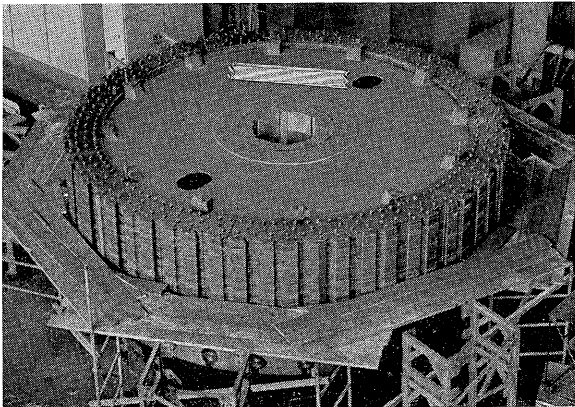
Fig. 13. Stator

固定子鉄心は損失の少ない高級けい素鋼板を使用するとともに損失低減のため積層鉄心端部構造、鉄心の枠への取り付け方法など細部にわたり検討した。それらの効果はすでに類似機に適用して確認されている。

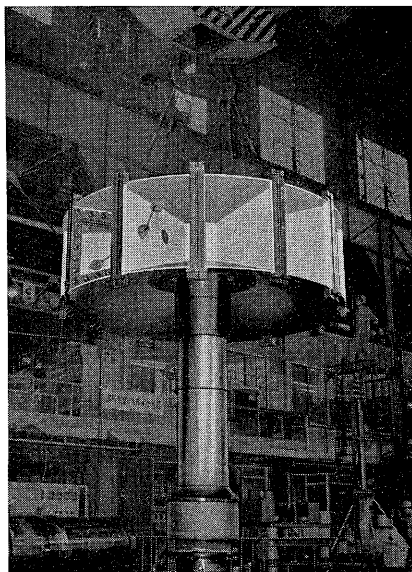
固定子巻線は、絶縁方式としては理想的と考えられるエポキシレジンを主体としたFレジン絶縁を採用した1ターンコイルにより構成されている。漂遊損失をより軽減するため、固定子鉄心内でのレーベル転位はもちろんのこと、巻線端部の接続による転位も施している。巻線端のシールドカバーも巻線からの漏れ磁界による損失を少なくするため非金属材料を使用している。

2) 回 転 子

回転子磁極は薄板を積層し両端に端板を設け数本のピンを通しこれを溶接して一体としたものである。ダンパ巻線の配列に特別な考慮を払い電圧波形中の溝高調波成分を減少させている。なお、磁極はいったん組立後は固定子内径と回転子リムとの空間で固定子コイルを組立取りはずしをする必要があるので、磁極の取付、取りはず



第 14 図 回 転 子 リ ム
Fig. 14. Rotor rim



第 15 図 回 転 子 セ ン タ
Fig. 15. Rotor center

しが簡単にできるよう種々の工夫がなされている。

回転子リムは高張力鋼板の薄板を積層してリーマボルトにて一体とするが、前述のように現地にては、発電機ピット内でこの作業を行なう。

回転子リムが取り付けられる回転子センタは、当社標準方式の鋼板製円板センタであり2枚の円板と放射状に入れたリブとにより剛性を高め、また、通風上の障害物が無いので大幅な風損の低減に役立っている。回転子センタは二つ割構造であり、ボルト締めにより一体としたものを軸に挿入して固定している。

主軸は、鍛鋼品で前述のように、水車軸と共通軸となっており、接続部がなく構造も簡単で、接続部の軸曲りの心配もなく信頼性の高いものとなっている。

主軸の回転子下部の部分には、スラストブロックが焼ばめられており、スラスト荷重をスラスト軸受に伝達している。

3) 軸 受

スラスト軸受は650 t のスラスト荷重を安全に支持する富士ミッチェル形軸受である。スラストパッドには、振れ見調整などのため、始動時圧油により油膜を形成するための圧油噴出装置を設けたいわゆるオイルリフト方式を採用している。これは機外に設けた高圧油ポンプにより回転子重量を持上げるに充分な圧力をもった油をパッド中央部の穴より噴出する装置であり、通常運転時に油膜の油がこの穴より逆流しないようチェックバルブをそう入している。

案内軸受は分解点検を容易にするため12分割されており各片は軸受タンクに固定され軸受リングを形成している。

スラスト軸受およびスラストタンクはスラスト軸受ブラケットに据付けられている。スラスト荷重はこのブラケットからスラスト軸受ささえを介して水車上カバーに伝達される。案内軸受に掛かる横荷重はスラストブラケットから放射状に配置された6本のアームによって基礎に伝達される。

軸受の冷却方式は、当社大形発電機に標準方式として採用されている自己循環油冷却器別置方式である。これはスラストラナにあげられた放射状の穴のポンプ作用により油槽内の油を油槽外の油冷却器に導き冷却する方式で冷却器の保守を容易にし、また、本機のごときかさ形構造では、スラストタンクが冷却器をタンク内に設ける自蔵式に比べ小さくなるので案内軸受が回転子中心近くに配置することができ、かさ形の安定度を高めることができる。

4) そ の 他

空気冷却器は固定子枠外周に6個設けられている。上部ブラケットは風道上板を支持し、風道上板は基礎に振

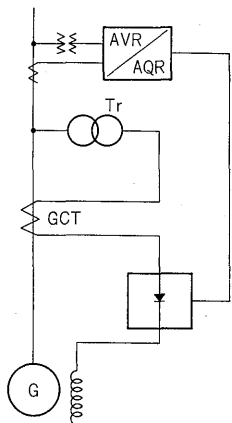
動の伝達を避けるため基礎に防震支持されている。

回転子支持用ジャッキは電動油圧装置によって組立てなどの際自動で回転子を持ち上げることができる。

冬季暖房用として、発電機室の冷い空気を機内に吸い込み、温風を水車室へ吐き出す暖房装置を備えている。

4. 励磁方式

当社は昭和 34 年に、国内で始めて自励複巻励磁方式を水車発電機に適用し、その後製作した水車発電機の 80% 以上を本方式にて製作してきている。今まで採用してきた方式は無負荷電圧成分および負荷電流成分をそれぞれリアクトル、CT からの電流により重畳する方法であったが、今回開発した方式はそれらの成分を電圧重畳法により合成する方法である。すなわち第 16 図に示すように、無負荷成分を励磁変圧器 Tr より得、負荷成分はこの変圧器に直列に接続された空隙付変流器 GCT より得るもので、両者の合成電圧が整流回路に印加され、AVR などの制御により、所要の界磁電流に変換されるものである。



第 16 図
自励複巻形励磁方式

Fig. 16.
Principle of new self-excited compound AC alternator

この方式の特長は、電圧重畳方式のため、制御系の安定性が非常にすぐれていること、空隙付変流器を設けているので三相短絡時にも励磁電流が確保できること、速度度は電流重畳方式とほとんど変りないこと、低励磁領域まで安定に運転ができるなどである。なお、本励磁方式の詳細についてはすでに報告されているので参照されたい。⁽³⁾⁽⁴⁾

5. 特 性

本機の各種特性を次に紹介する。

1) 諸 特 性

x_d	105%
x_q	74%
x_d'	29%
x_d''	20%
x_q''	24%
x_2	22%
x_0	10.5%

$$T_{d0}' \quad 7.26 \text{ sec}$$

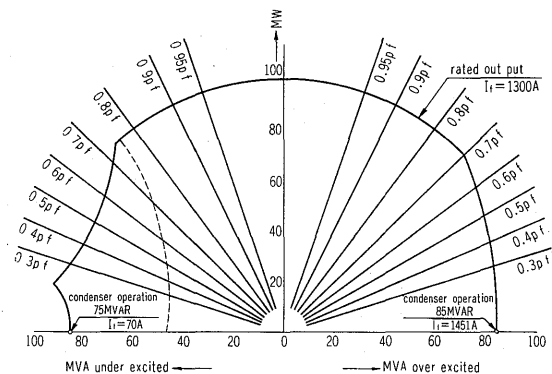
$$T_{d0}'' \quad 0.045 \text{ sec}$$

$$T_a \quad 0.173 \text{ sec}$$

2) 発電機運転限界特性

第 17 図に本機の可能運転限界特性曲線を示す。

低励磁領域において、従来の電流重畳方式の場合は本質的に点線のようになり可能運転領域は狭められるが、本機に採用した電圧重畳方式では、界磁電流の非常に小さな値まで安定に制御できるので、図のように運転可能範囲は大きく改善される。したがって、コンデンサ運転時は、進相容量（過励磁）85MVA に対し、遅相容量（低励磁）75MVA の運転が可能となる。



第 17 図 出力限界曲線

Fig. 17. Alternator capability curve

最近の国内の水車発電機では系統上の要求からコンデンサ運転の必要性が増加してきており、そのような場合にも、本励磁方式は有効であると思われる。

V. む す び

多くの新技術を駆使して、上述の大形水車、発電機を完成させたことは、今後予想される大容量水車、発電機の設計・製作に対して万全の態勢を示したものと喜びたい。また、水力発電設備のコスト低減の要求がますます急なときに、本機に採用された新技術は、今後の水力発電設備の経済性追求の方向を示すものであると自負している。

最後に、本稿をこれからの水力発電所の経済的な建設計画に少しでも参考にして頂ければ幸甚である。

参考文献

- (1) 新倉・松井：ドラフトチューブにおける水柱分離現象，富士時報，41 No.11 (昭 43)
- (2) 金田・田村：オーストラリア Lemonthyme および Wilmot 発電所納入水車について，富士時報，42 No.3 (昭 44)
- (3) 金田・横川・森安：大容量発電機用複巻形サイリスタ励磁方式，富士時報，41 No.12 (昭 43)
- (4) 豊島・宮坂・永江・横川・高橋：関西電力・高山発電所納入複巻形サイリスタ励磁装置の現地試験結果，富士時報，42 No.8 (昭 44)



＊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。