

アフリカ・ガーナ国納アコソボ発電所用

212,000HP (158,200kW) フランシス水車

212,000 HP (158,200 kW) Francis Turbines for Akosombo Power Station, Ghana

伊 藤 栄 郎* 高 瀬 光 雄*
Eirô Itô Mitsuo Takase
五 十 嵐 勇* 大 石 朝 男*
Isamu Igarashi Asao Ôishi

要 旨

日立製作所はガーナ国納アコソボ発電所用 158,200 kW フランシス水車および調速機各 4 台を受注製作した。この水車は日本で製作された水車としては屈指の容量のものであり、現地ではすでに 4 台とも据付けを完了し最後の仕上に努力中である。本発電所の主要目的がアルミニウム製錬用の電力を得ることにあるため、過酷な運転条件が要求されているので、機器の特性に種々の考慮が払われている。本文は発電所の計画、機器の内容について紹介する。

1. 緒 言

日立製作所では、昭和 36 年 12 月、アメリカの水力建設コンサルタントとして著名な Kaiser 社を通じ、題記のように、アフリカ・ガーナ国政府納、アコソボ発電所用 212,000 HP (158,200 kW) フランシス水車 4 台を受注し、かねてから設計・製作中であったが、昭和 39 年 2 月に 1 台目を工場完成して以来、4 台目まで全部完成し、現地では、1 台目 1965 年 9 月 1 日、2 台目 10 月 19 日運転が開始され、3 台目 1966 年 1 月 5 日、4 台目 2 月 20 日運転開始をめざしている。

本水車は、表 1 に示すように、わが国で製作した水車としては最大出力機であるばかりでなく、現在製作中のものも含め、世界でも第 10 番目 (ソ連を含む) に位する大容量機である。

新興国ガーナでは、Volta River Authority を中心として、ボルタ川の総合開発を実施中であり、その計画経費は 5,620 万ガーナ・ポンドに達すると報ぜられている**。これらに関連する電力機器類も世界各国より製作、納入されるが、このうち水車、調速機を日立製作所が担当することとなったのである。以下その概要について報告する。

2. アコソボ発電所の概要

2.1 開発計画の概要

アコソボ発電所は図 1 に示すように、ガーナ国中央部を流れるボルタ川の下流に建設中のダムから配水し、発電するものである。その発生電力は現地産のボーキサイト資源を有効に利用するため目下併行して建設中のアルミニウム製錬工場に供給されることとなっている。この開発計画は、ボルタ川計画と名付けられ、総額 5,620 万ガーナ・ポンド (約 570 億円)、うち約半額は、ガーナ政府の自己資金で調達され、残りは世界銀行、DLF (後進国開発資金)、英国輸出銀行などの借款を受ける旨報ぜられている。最大高さ 370 ft のロックフィルダムは、首都アクラの東北約 60 マイルに位置し、貯水容量約 1,500 億 m³ で、わが佐久間発電所の約 500 倍もあり、その規模の雄大さが推測される。発電所、ダムの建設工事は世界的に著名なイタリアの Impregilo 社、鉄管はアメリカの Chicago Bridge 社が施工している。

2.2 発電所計画の概要

日立製作所は、水車本体、調速機、自動制御装置および油圧機器一式を受注したもので、これに直結される発電機はカナダ GE 社

* 日立製作所日立工場
** Volta River Authority, Annual Report for the yere 1963

表 1 世界における大容量フランシス水車

国 名	発電所名	出力 (kW)	落差 (m)	回転数 (rpm)	台数	運 転 開始	製造者
ソ 連	Krasnoyarsk	500,000	106	78	5		L.M.Z.
カ ナ ダ	Peace River	266,000	164	150	5	製作中	三 菱
ソ 連	Bratsk	230,000	102	125	16	1962	L.M.Z.
ベネズエラ	Guri	218,500	115	128.6	3	製作中	日 立
メ キ シ コ	Malpaso	215,500	95.5	128.6	4	製作中	三 菱
ス ペ イ ン	Alcantara	202,300	80.65	115.4	3	製作中	Negrpie
ア メ リ カ	Pleasant Valley	175,000	113		5		
ア メ リ カ	Boundary	167,000	82.7	120	4	製作中	Nohab
オーストラリア	Murray 2	161,000	290	333	4	製作中	日 立
ガ ー ナ	Akosombo	158,000	69	115.4	4	1965	日 立

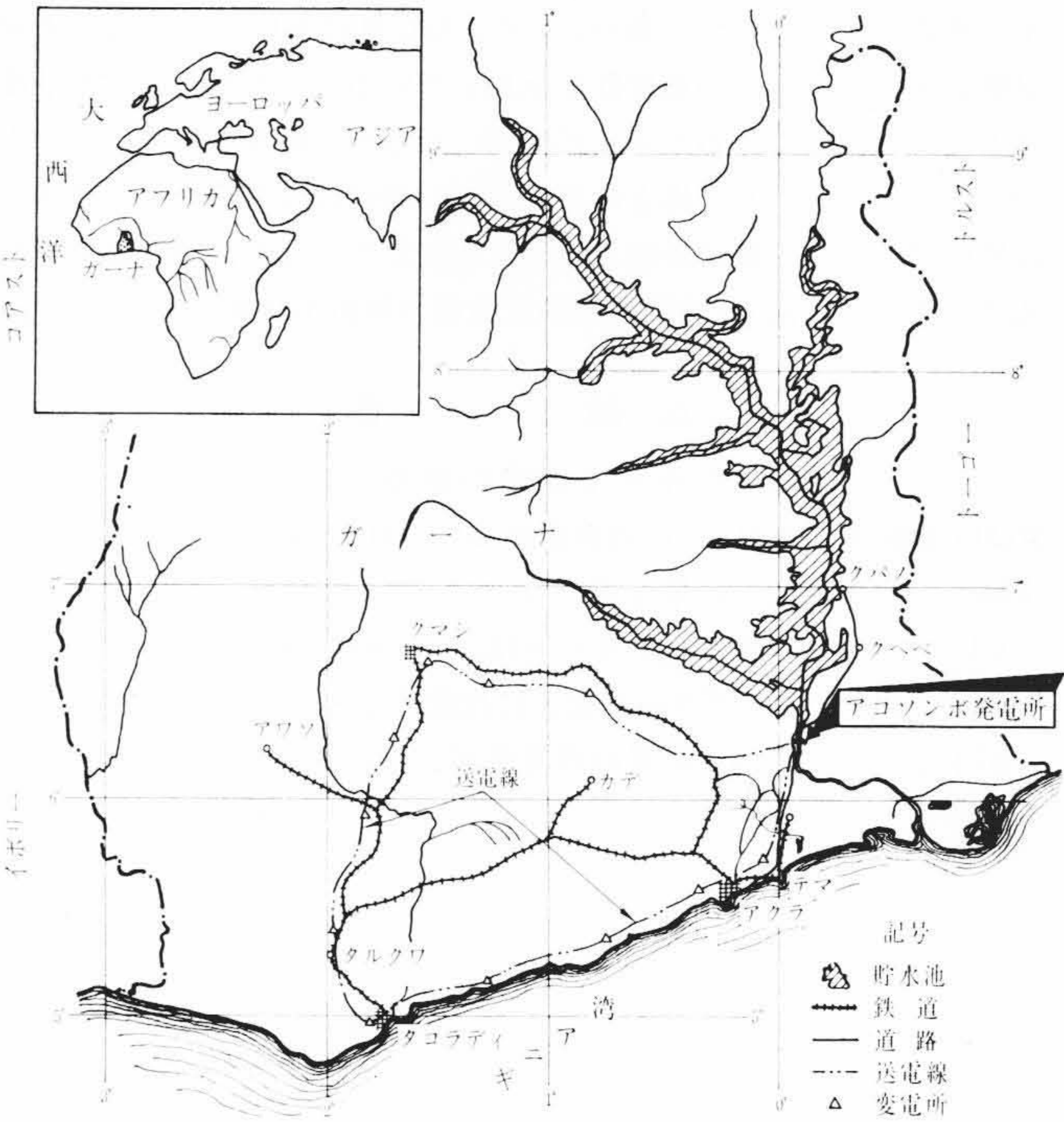


図 1 アコソボ発電所付近位置図

で製作されている。発電機は 142,000 kVA、力率 90%、14,400 V、115.4 rpm (50 $\sim$) で、EL. 57.00 で水車・発電機軸が直結される。両軸は発電機製作者側で直結リーマ通しおよび振れ見が行なわれるので、水車軸はいったんカナダの Peterbourgh の同工場へ送付された。

発電所内配置は図 3, 4 に示すとおりで、今回は 4 台なるも、将来 2 台増設されることとなっている。

水車中心標高は EL. 42.00 で、有効落差の変動は 159 ft (49 m) から 226 ft (69 m) ただし当初 2 台通水時は 159 ft 近辺、4 台通水時 196~202 ft、最終 6 台完成時 209~214 ft 近辺と想定されている。

また放水位も当初 46~47 ft で、アコソンボダム下流に、6 台完成後約 5 年で、7 ポングせきを作り、約 50 ft まで放水位を上げることとなっている。

機器はすべて、ボルタ川入口河港のテマ港に陸揚げされ、主としてトレーラ輸送される。したがって、輸送制限はきわめて大きく、経済的な範囲で分割数などを自由に選択できる利点がある。

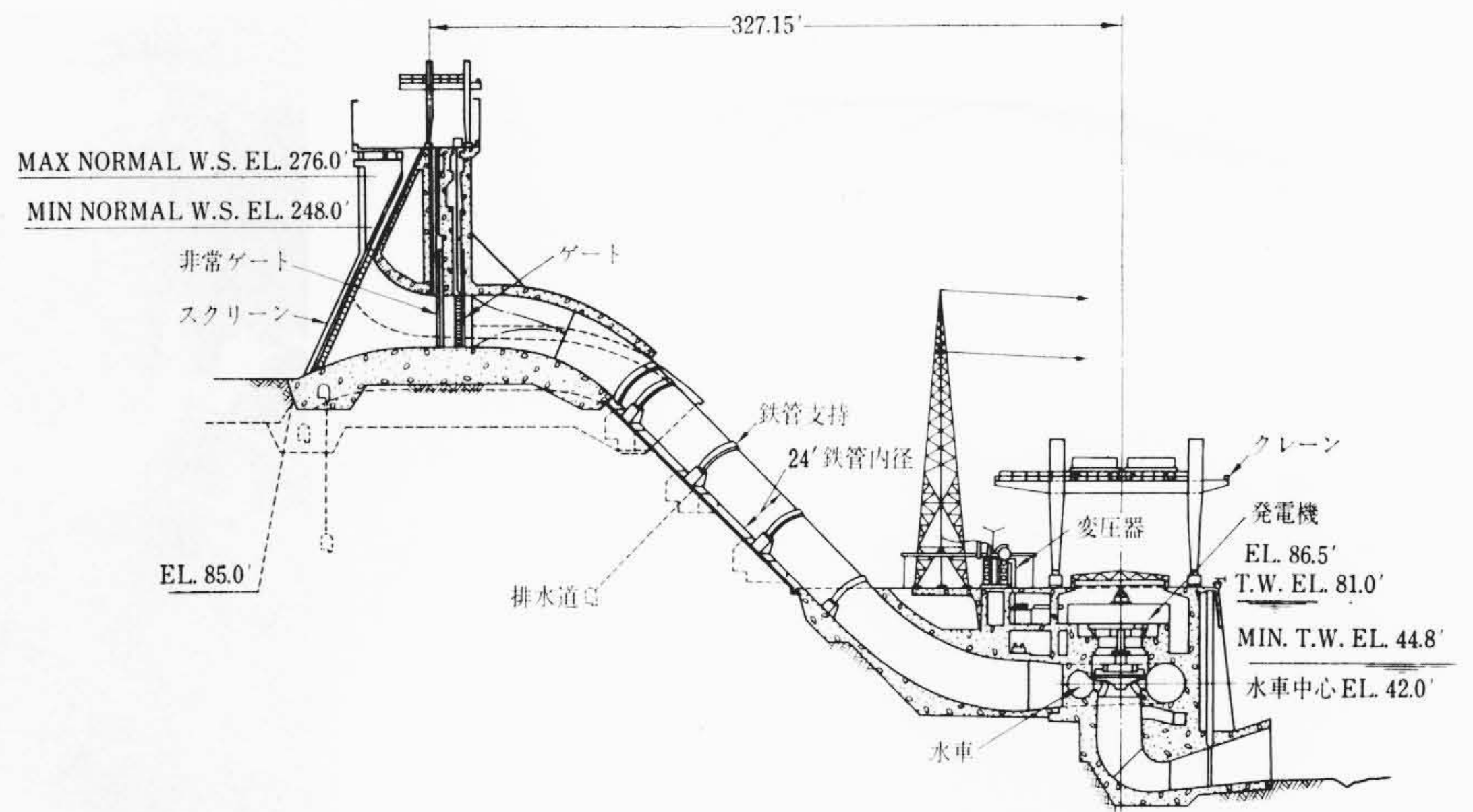


図2 発電所縦断面図

3. 212,000 HP 水車

3.1 水車仕様

水車出力	最高落差時制限出力 212,000 HP (158,200 kW) 基準落差時全開出力 203,000 HP (151,500 kW) 最低落差時全開出力 176,500 HP (131,600 kW)
落差	最高落差 226' (69 m) 基準落差 213' (65 m) 最低落差 193' (59 m)
流量	最高落差制限出力時 9,000 cfs (255 m ³ /s) 基準落差全開出力時 9,290 cfs (263 m ³ /s) 最低落差全開出力時 8,940 cfs (253 m ³ /s)
回転数	115.4 rpm
比速度	243.2 (m-kW)
形式	VF-LRS (立軸フランシス水車)
台数	4 台

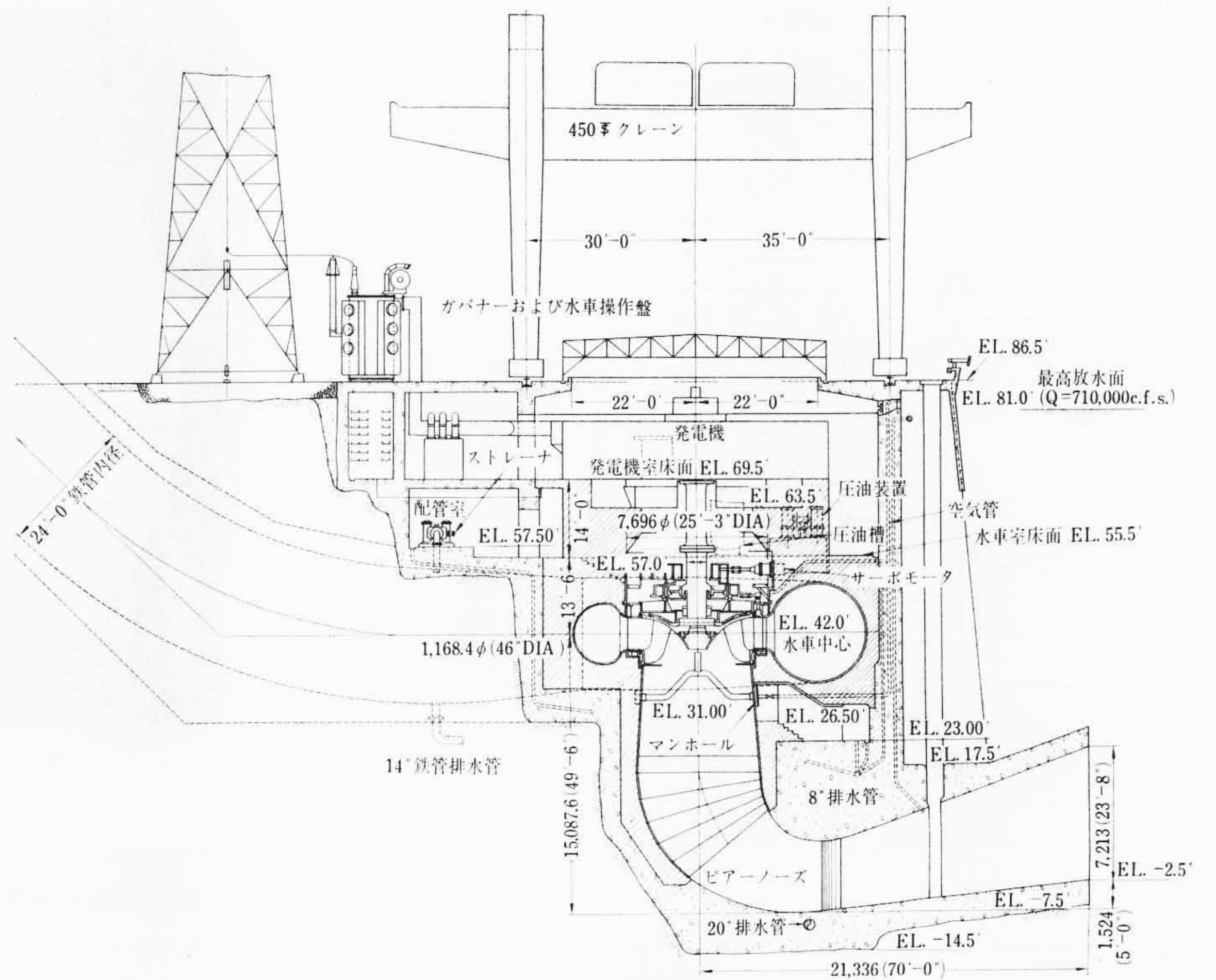


図3 据付断面図

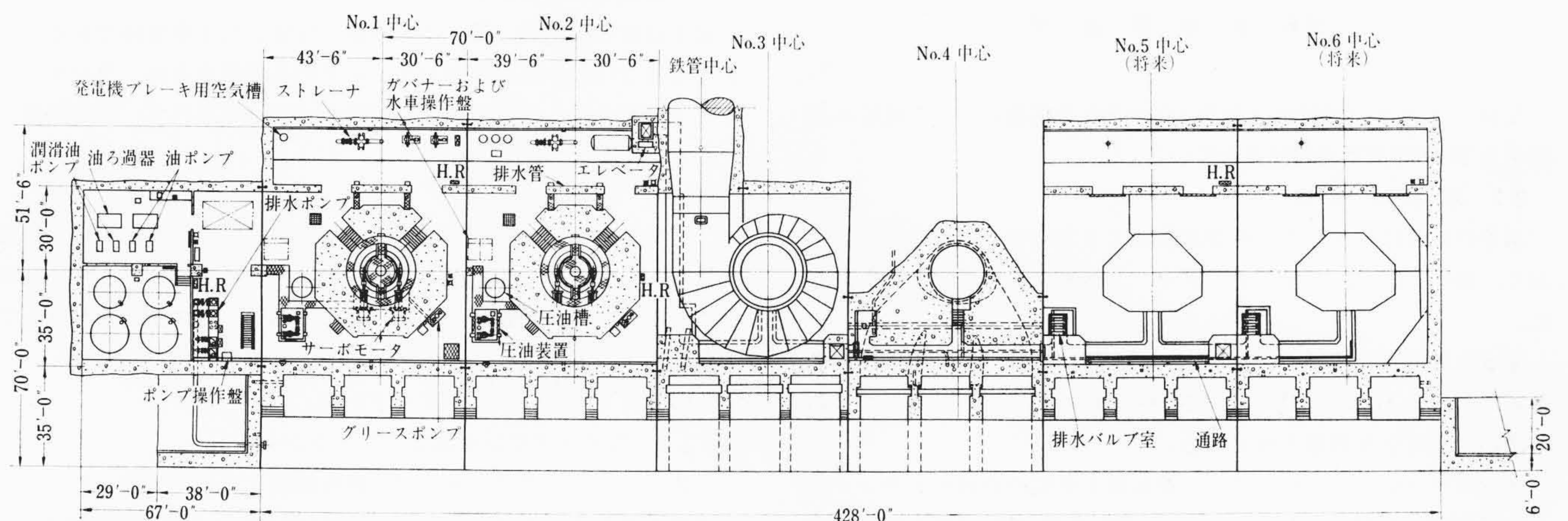


図4 据付平面図

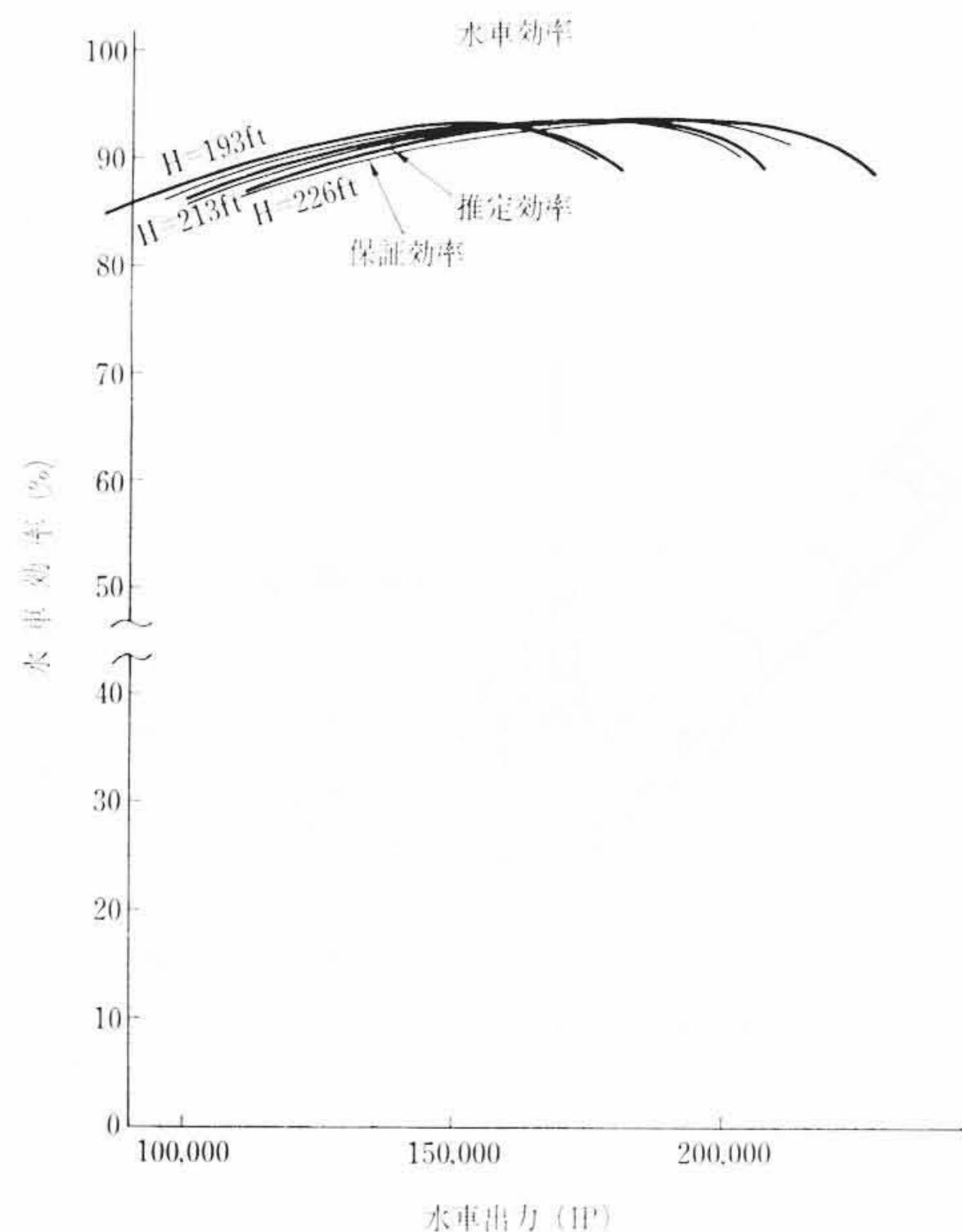


図5 水車予想特性曲線

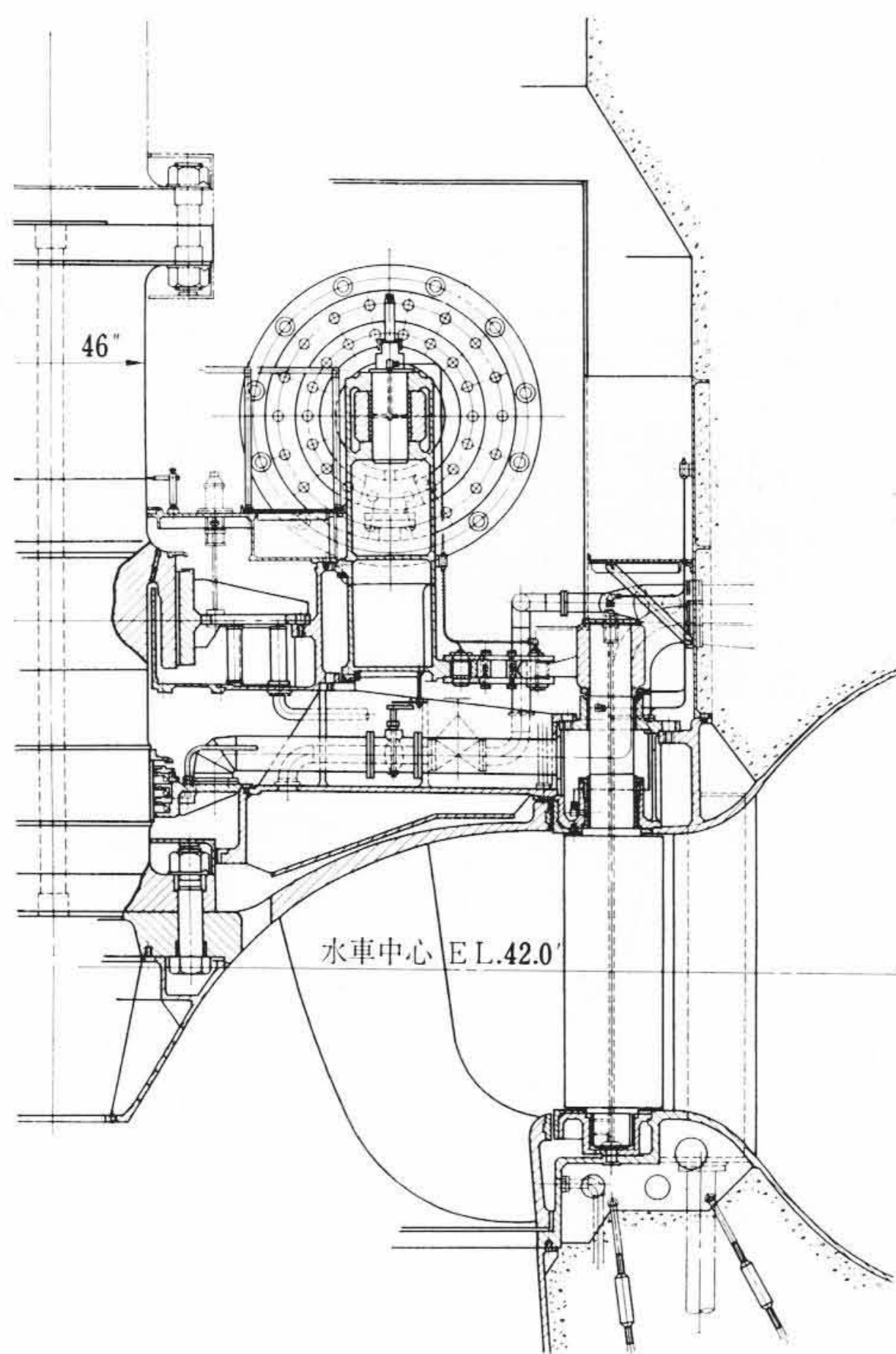


図6 水車構造図

なお、本水車の回転部は力率1.0のとき発電機定格の115%に相当する214,000 HPで設計されている。

3.2 水車の特性

水車の特性は主として、模型試験により判定されることとなっており、効率、出力、キャビテーション、無拘束速度試験が行なわれた。

図5は模型試験結果の一例を示すが、特に226, 213, 193 ftの各落差における176,500 HPから140,000 HPの間の平均効率をできるだけ高くするよう考慮されている。

キャビテーションに対しては、運転後1年間の許容ピッチング量として90 kgが規定され、この間の運転条件は規定最大出力以上で50時間以上、40%負荷以下で800時間以上運転しない場合のみ

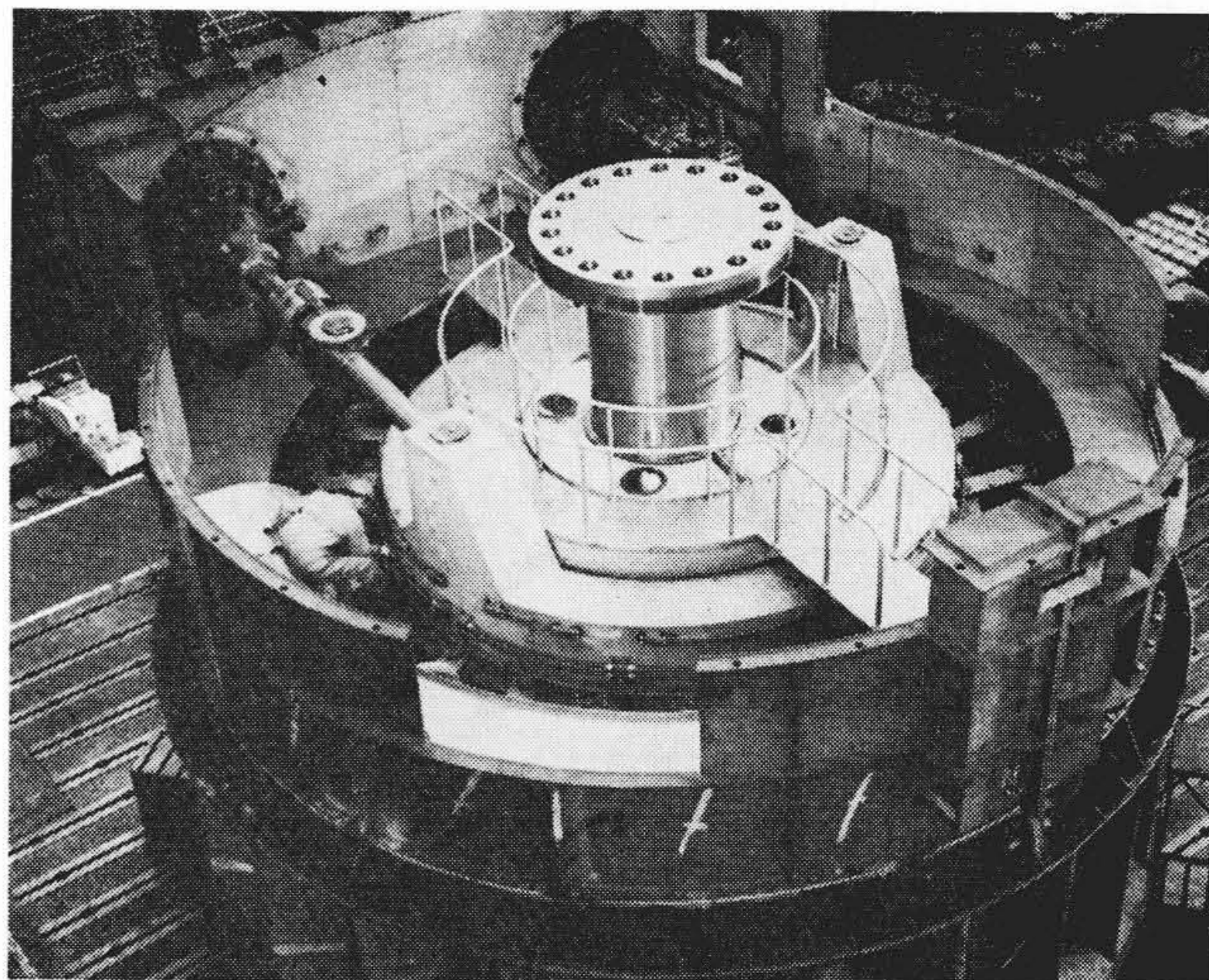


図7 水車工場組立

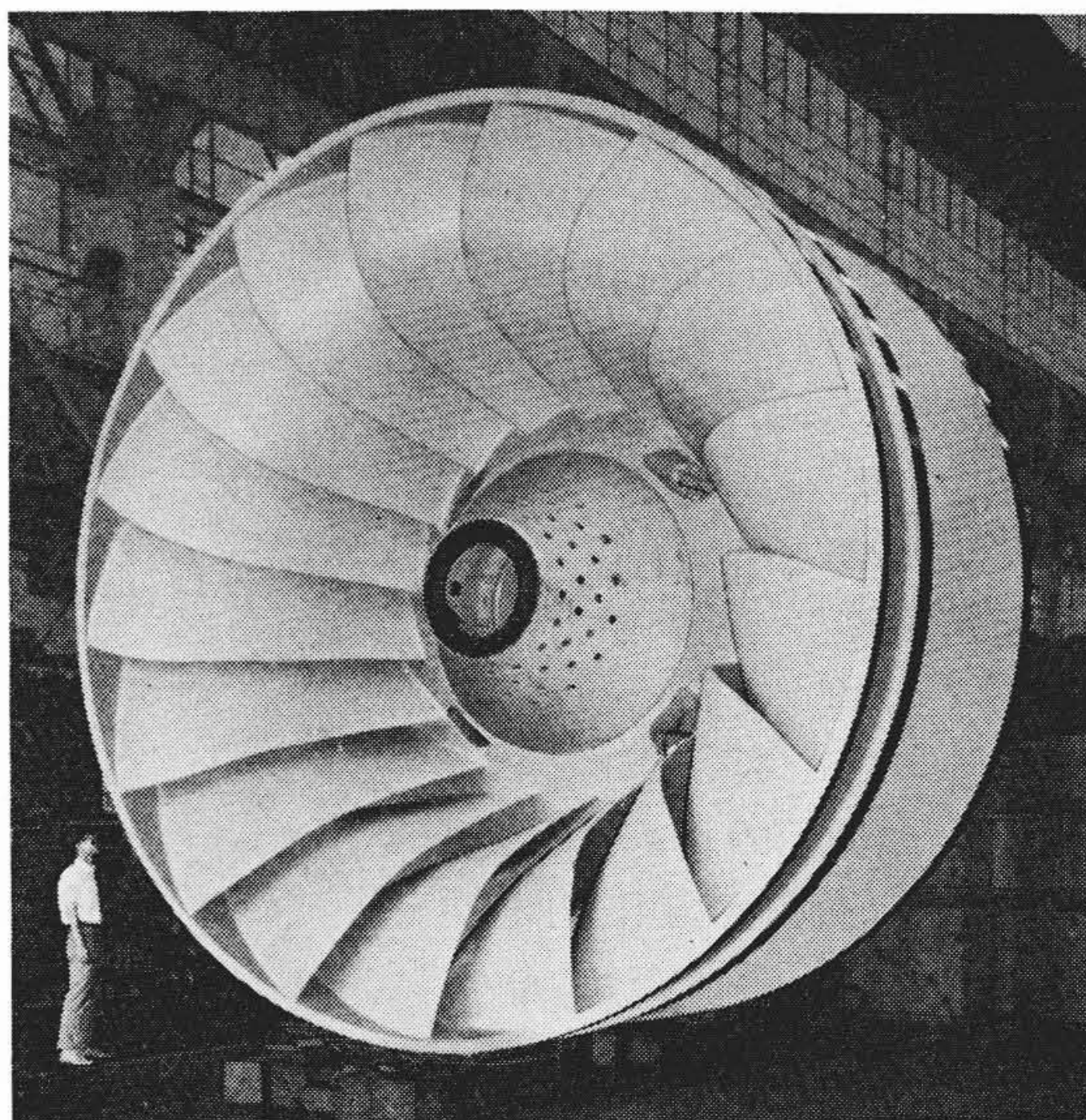


図8 工場完成したランナ

と厳格に定められている。

3.3 水車構造の特長

アメリカのコンサルタントを通じて、主要材料はASTM規格、許容応力、溶接構造の主体はASME規格などが適用されている。フランス水車としては比較的低落差、大容量機である関係上、形態はすこぶる大きいので、設計、製作については、下記に述べるように、この面での特長が少なくない。

図6は水車構造図、図7は工場組立完成した水車本体である。なお工場組立は最少限の範囲のチェックのみで済まされ、ランナ、シャフトの投入は1号機のみで、他はすべて実施されず、部分的組立を基に行なわれた。

3.3.1 ランナ

最大外径6 mの普通鋳鋼一体製で、日立製作所勝田工場で吹製されたもので、一体鋳鋼製のフランス水車ランナとしては海外にも例を見ない記録品である。要部はステンレス鋼肉盛が施してある。主軸との結合はリーマボルト方式である。

図8は工場完成したランナである。

3.3.2 スピードリングおよびケーシング

スピードリングは、4分割の鋼板溶接フランジ構造、ケーシングは円周および半径方向合わせ42分割されて現地で溶接される。ケーシングの据付、溶接作業は日立指導員の監督のもとにイタリ

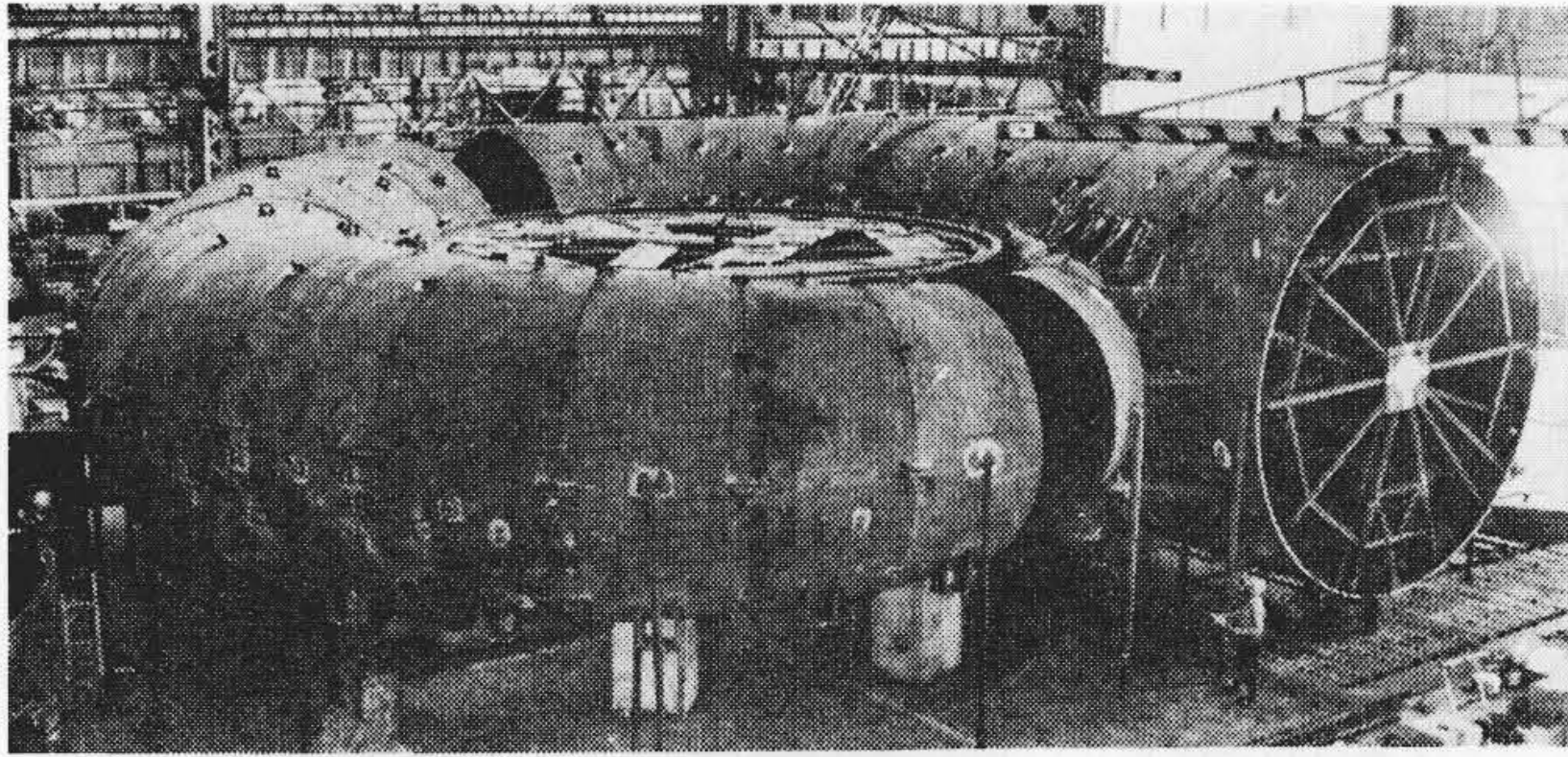


図9 ケーシング

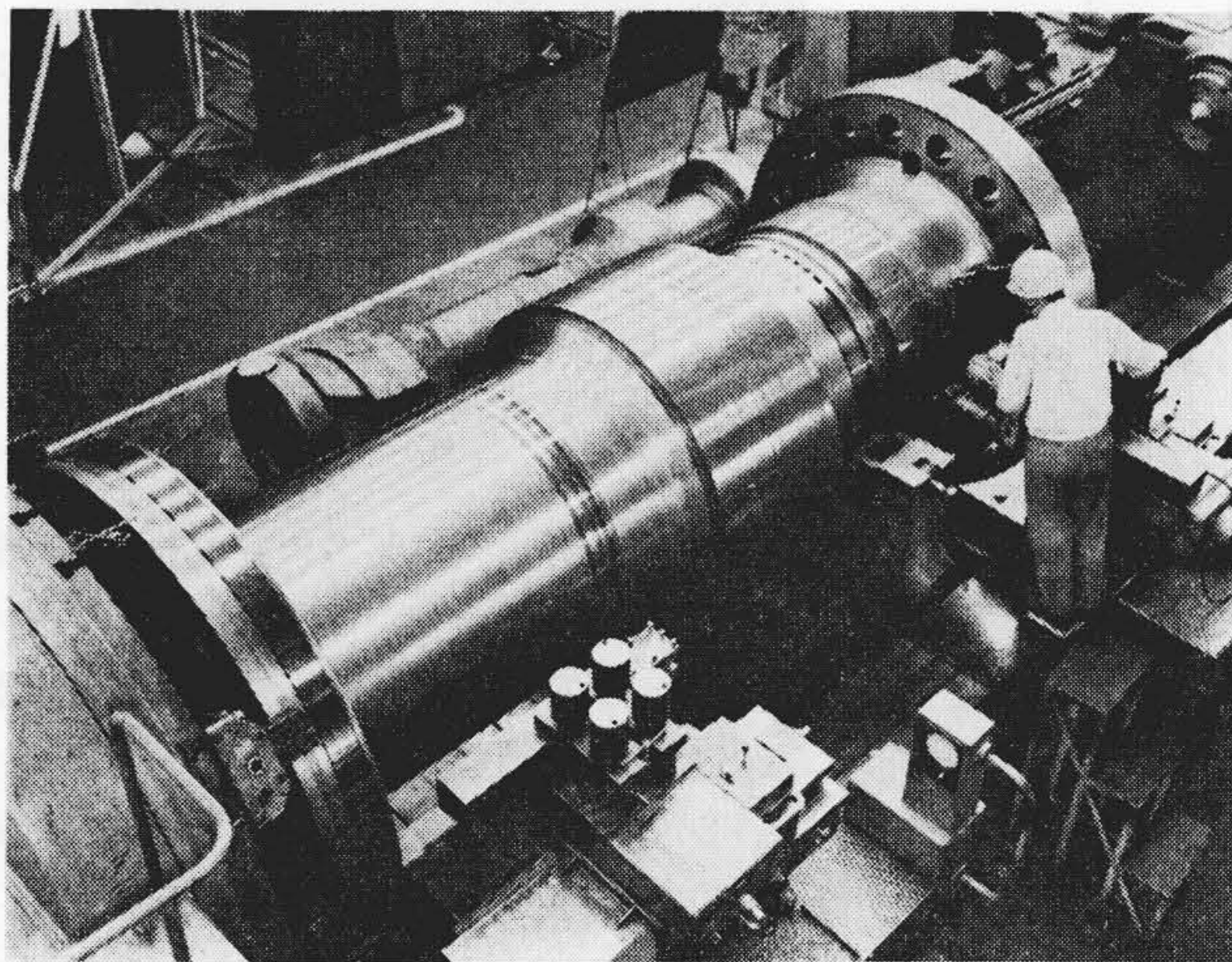


図10 機械加工中の主軸

アの据付業者が請負っており、特に周継手はすべてX線試験で確認されることになっている。

設計水圧は 8.6 kg/cm^2 であるが、現地では特に水圧試験は行なわれないので、工場および、現地溶接作業は特に入念に行なわれることを必要とする。特に現地では酷暑の条件下で行なわれるため技量の低下などが懸念されるので、据付に従事する作業員には1ヶ月に1回は資格試験を行ない技量を確認することとしている。

図9は、工場仮組立完成したケーシングである。

3.3.3 主軸および主軸受

主軸径は46インチ、フランジ寸法はASA規格B49.1-1947により決定されている。水車軸は、工場ですべてNEMA規格により振れ見を行ない、前述したように、発電機メーカーの工場へ送って直結リーマ通しおよび直結振れ見が行なわれる。

主軸受は、自蔵式円筒軸受が採用されており、冷却水温最高 80°F (27°C) 水圧40psiで軸受温度 140°F (60°C) 以下という条件で設計された。

3.3.4 ガイドベーンおよび操作機構

ガイドベーンは、普通鋳鋼製で、3軸受方式が採用され、レバーを分解することなく、シェブロンパッキングの取替えができる構造である。ガイドベーン推力軸受は調製板により上下方向の調整を行なう方式である。

ガイドベーンの羽根上下端面には、18-8ステンレス鋼製のシーリングバーを設け、ガイドベーン全閉時の漏水を少なくする方式が取られている。

サーボモータは動作油圧 350 psi (24.5 kg/cm^2) $\sim$ 300 psi (21 kg/cm^2) で設計され、ピットライナに直接取り付けられている。操作推力はピットライナを介して、コンクリートに伝達される構

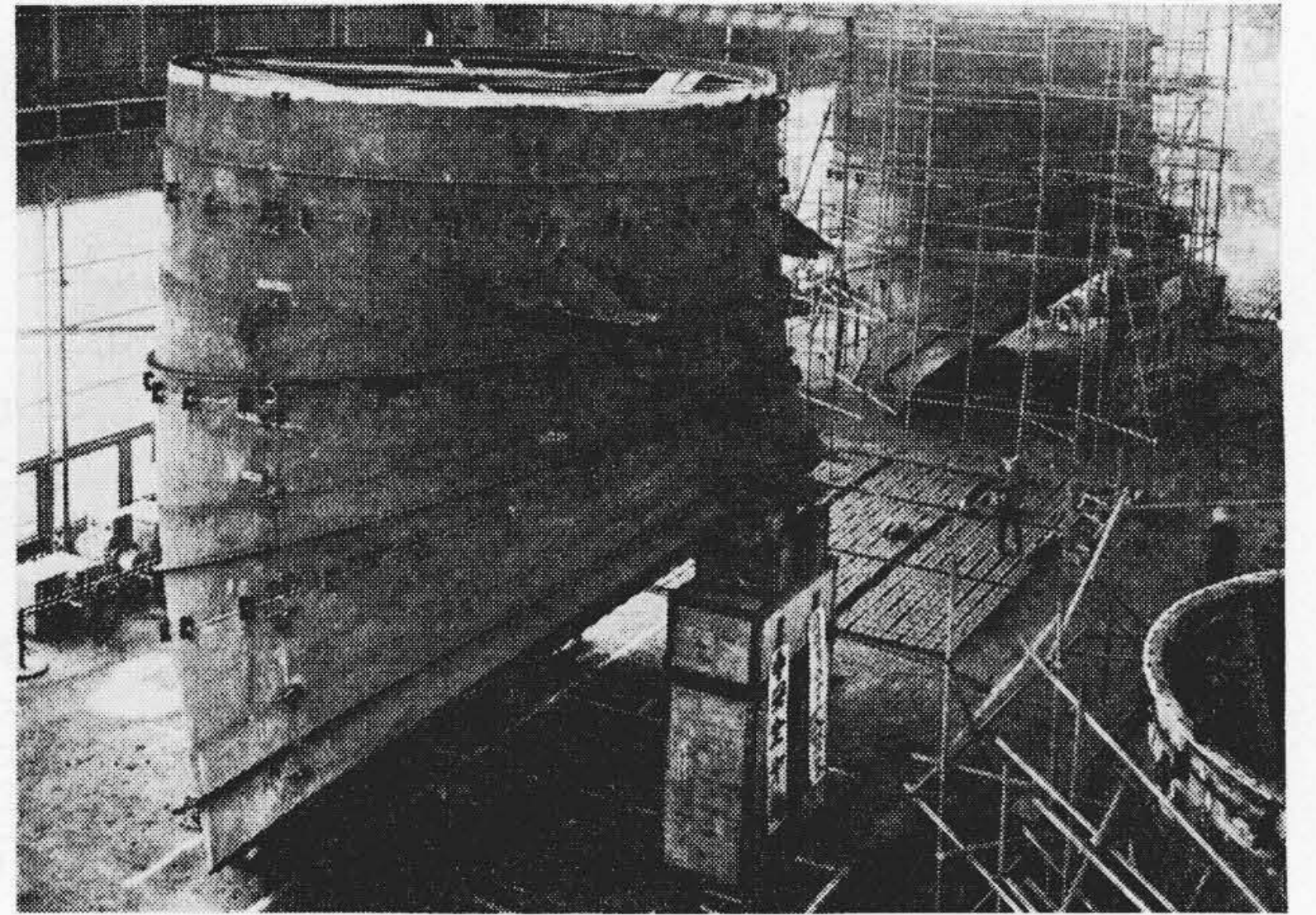


図11 ドラフトチューブライナ

造である。

サーボモータの漏油回収のためにピットライナの一部に回用収油タンクを付してある。

サーボモータピストンには3段のピストンリングを設け、無負荷開度付近より全開までのストローク間で、閉鎖速度を伸ばす機構を備えている。

ガイドベーン開閉機構は、集中グリース給油装置でグリース給油され弱点ピン切断時、水車を停止することなく切断したレバーを一時的にロックし、ピンを取り替えることのできるレバー調整装置を備えている。

3.3.5 主軸封水装置

封水装置は、常時は清水、長期間停止後の起動時のみグリースを注入する三段分割パッキング構造で、パッキングの最下段は濁水用として帆布をフラン樹脂で処理成形したLF-54Nを、第2,3段目には、清水用として、炭素焼成後、真空炉中でフラン樹脂を含浸させたカーボンパッキングを使用している。これらパッキングの材質は、土砂の摩耗に対する耐久性および潤滑性をもっとも問題となるところであるが、研究の結果これらの組合せを採用したものである。

3.3.6 上、下カバーおよびライナ類

上、下カバーとも鋼板溶接製とし、ガイドベーンピッチ径より外側は 122 psi (8.6 kg/cm^2)、ピッチ径より、ランナ封水部までは、その圧力の70%すなわち、 85 psi (6.0 kg/cm^2)、封水部より内側はEL. 50.00の放水位に相当する back-pressure がかかるとして設計された。カバーライナ類は13cr鋼板製である。

3.3.7 ドラフトチューブライナ

ドラフトチューブは16分割の鋼板現地溶接構造で、ピアノーズも同時に納入された。

図11は工場完成したドラフトチューブライナである。

4. 制 御 装 置

水車の起動、停止、負荷制御を行なうため、おのおの一組ずつの圧油装置、调速機および運転制御装置を備えている。いずれも大容量水車に付属するため今まで日立で製作したものの中で最大容量となっている。機器の仕様は仕様書の要求に基づいてアメリカにおいて一般に行なわれている方式が採用されている。いっぽうガーナにおいては、まだ電力系統が整備されておらず、本発電機が電力供給の主力となり、かつ電力のおもな需要がアルミ製錬となるため電力系統の安定性確保のための制御装置が特に付加されている。水車の起動、停止操作は入口弁がないために大容量であるにもかかわらず、簡単化されている。図12は油管系統図である。

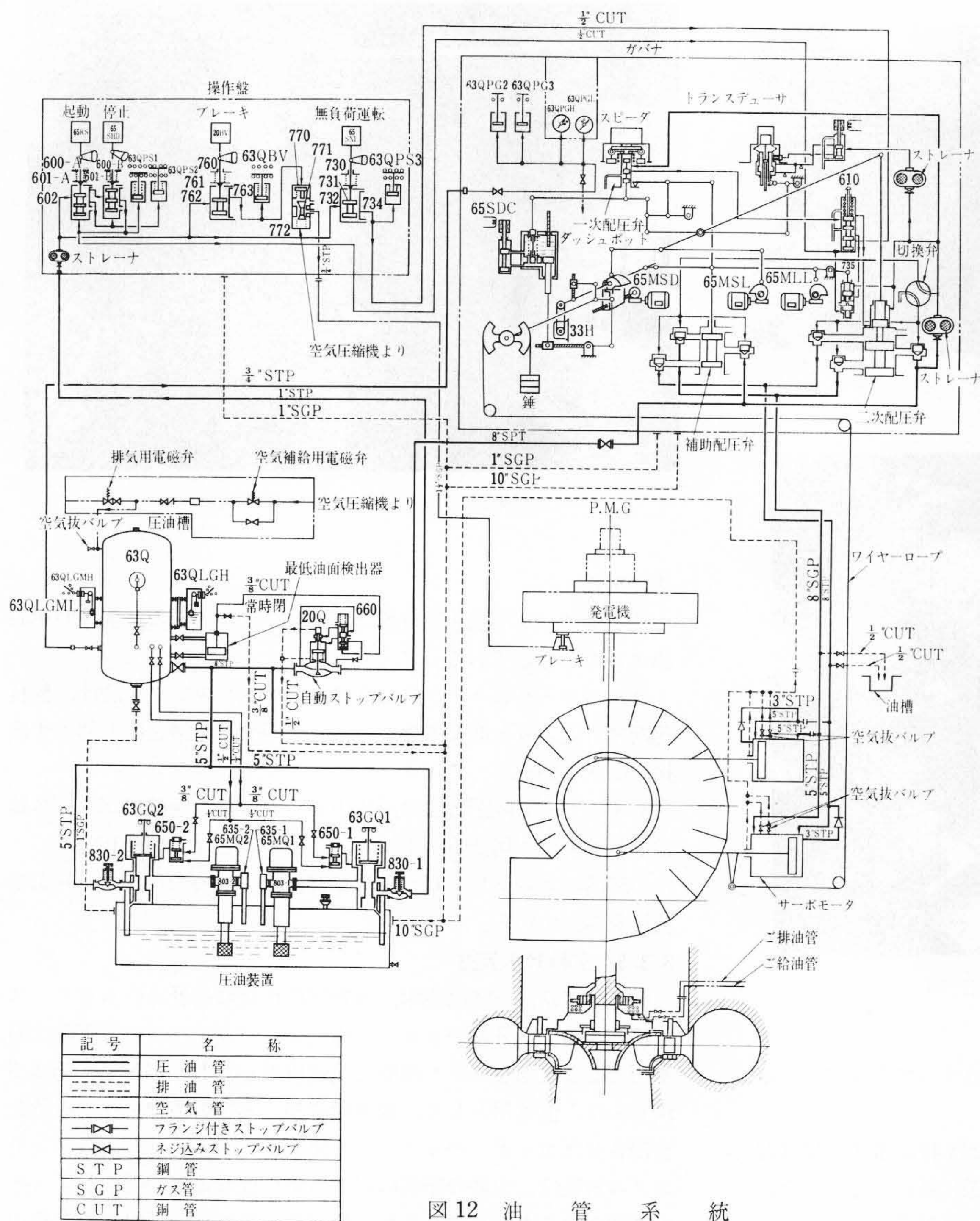


図 12 油 管 系 統

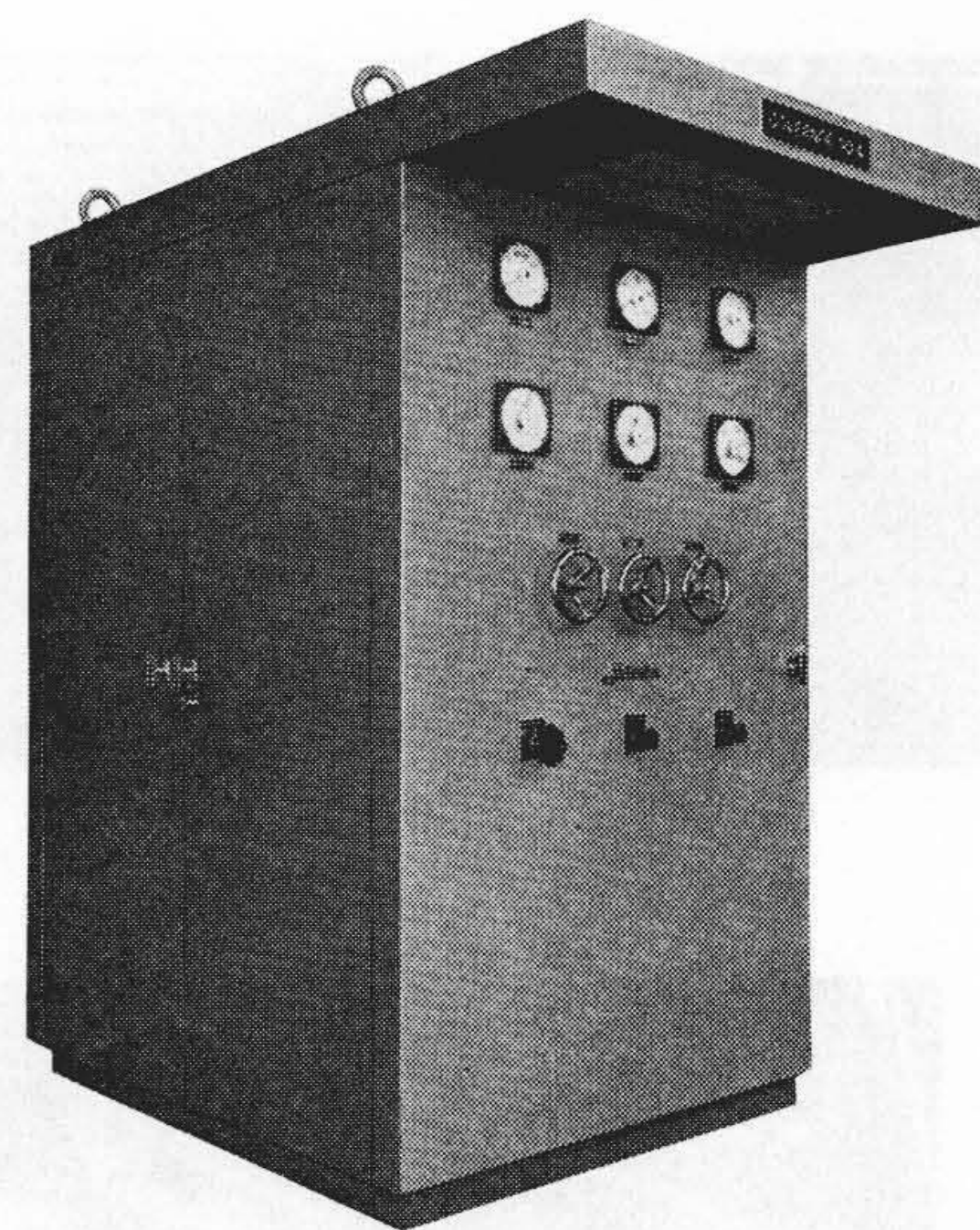


図 13 調 速 機 盤

C B形機械式調速機の特長は次のとおりである。

- (1) スピーダはアクチュエータ電動機に直結されており、さらに一次配圧弁のスリーブを駆動して静摩擦を除去した感度の高い構造をもっている。
- (2) ダッシュポットをスピーダと別置とし、過渡速度垂下率を0～90%まで、ダッシュポット時定数を最大30秒まで調整できるようにしてあるので単独運転時の安定性は大である。並列後は電磁弁によってダッシュポットを除外する。また周波数変動が大きくサーボモータが大幅に動くときにもダッシュポットは除外される構造になっている。
- (3) 案内羽根サーボモータまでの不動帯は0.02%である。

- (4) 不動時間は定格出力の10%負荷遮断時案内羽根サーボモータが動作するまで0.2秒である。
 - (5) 速度垂下率は0～5%で盤面で手動ハンドルで調整できるばかりでなく、遠方操作可能なように電動機駆動もできる。
 - (6) 速度調整範囲は-15～+10%である。速度調整装置は負荷制限装置の設定開度以上に操作できないシーケンスになっている。
 - (7) 補助配圧弁を備え、負荷制限装置を用いて二次配圧弁、補助配圧弁を切り換えて案内羽根サーボモータを操作できる。
 - (8) 無負荷開度急閉装置を備えており、電氣的事故時に全停止をさせ、事故復帰後すみやかにふたたび負荷がとれる。
 - (9) 案内羽根サーボモータからの復原機構にたわみ性ケーブルを用い、重錘により遊びを除去している。
 - (10) キャビネット前面の照明を確保するためにキャビネット上部に蛍光灯のフードを突出させている。
 - (11) 特殊な要求として、Speed setting transducerを調速機の内部に付属させ電氣的制御信号を速度調整部に付加し、フリンジ負荷にตอบสนองさせることができる。Speed setting transducerの動作条件は速度調整装置無負荷開度、速度垂下率5%である。
- 工場試験の結果、不動帯、不動時間などの制御性能を満足することが確認された。

4.1 圧油装置

2組のポンプ、アンローダ、安全弁およびチェックバルブからなるポンプセット、一組の圧油槽および集油槽が含まれている。圧油ポンプは電動機駆動の立軸スクリーポンプで、吐出圧力24.5 kg/cm² (350 lb/m²)、吐出量930 l/min、960 rpmで、運転効率85%以上の高性能ポンプである。圧油槽は総容量13,000 l、油量3,000 l、空気量10,000 lで圧力および油面が規定値以下の場合には、空気は別置の空気圧縮機から圧油槽内の油面検出器63 QLGMHと圧力開閉器63 QPGLの動作で補給される。槽内の圧力および油面が規定値以上の場合には、油面開閉器63 QLGMHおよび圧力開閉器63 QPGLの動作によって排出弁を開いて排棄される。油面が極端に低下した場合には、圧油槽の外部に装着された浮子式の最低油面検出器が動作して自動閉鎖弁を閉鎖して圧油槽と主サーボモータ供給管路を遮断し空気の混入を防いでいる。

4.2 調 速 機

日立C B形機械式調速機を使用している。C B形はアクチュエータ電動機と直結のスピーダ、一次配圧弁、二次配圧弁、ダッシュポット、速度調整装置、負荷制限装置、急停止および無負荷開度急閉装置などを内蔵したキャビネットからなり、外部の前面板には図13に示すように、圧力計、開度指示計、回転計、電力計などの指示計および、速度調整、負荷制限、速度垂下率調整、切換ハンドルが付いている。

4.3 水車運転制御装置

(1) 水車運転制御

本発電所は一人制御方式で運転されるよう設計されている。制御過程は「準備」、「運転」、「停止」の操作に分けられる。

(i) 起動準備

油ポンプなどの締切弁の開放、自動手動切換弁の「自動」切換え、水車急停止弁の解除、グリースポンプの自動運転、水車軸シールおよび軸受の給水、負荷制限装置全閉、速度調整装置無負荷開度整定、ダッシュポットバイパス閉路、ブレーキ用電磁弁除外などが行なわれる。また図 12 で電磁弁 65 RS を付勢すると一次配圧弁と二次配圧弁の間の管路が開き起動準備が完了する。

(ii) 起動

負荷制限装置によってまず案内羽根サーボモータが15~20%開度まで開かれ、水車の回転速度が定格速度の85%付近で調速機が有効に動作し始め、水車回転速度を速度調整装置で設定された速度に調整する。並列後は速度調整装置あるいは負荷制限装置で出力を整定することができる。

(iii) 停止

速度調整装置あるいは負荷制限装置によって案内羽根サーボモータを無負荷開度まで閉鎖し発電機の主開閉器を開路する。その後負荷制限装置によって案内羽根サーボモータを全閉する。

案内羽根サーボモータが全閉し水車の回転速度が規定回転速

度の40%に低下すると自動的にブレーキが間欠的な作用し、一定時間後連続的に作用する。水車が停止するとブレーキは自動的に除外される。ブレーキはまた40%以下の回転速度で手動操作できる。

(2) 非常停止

電氣的故障の場合、保護継電器の動作により停止用電磁弁 65 SHD が付勢され調速機の切換弁 610 が下動し二次配圧弁を閉方向に動かし、案内羽根サーボモータが全閉する。配電盤室および調速機前面でも電磁弁 65 SHD を付勢して急停止させることができる。非常の場合には、さらに切換弁 610 を手動操作することもできる。

5. 結 言

日立製作所は、ガーナ政府アコソボ発電所納 212,000 HP フランス水車および制御装置 4 台の製作納入を完了した。

この水車の内容は、アメリカ仕様に基づくもので、わが国における一般的取りまとめ方と相当異なった面があり、建設と運営の経済化を最大限まで要求されるわが国の水力建設の現状より見て、参考とする点が少なくないと思われる。

新興国ガーナは、本水車より発電される豊富な電力を利用してアルミニウム製錬などの近代的工業と取り組んでおり、将来の飛躍が期待されている。この計画にわれわれが力添えできることを喜びとするものである。

Vol. 48

日 立 評 論

No. 5

目 次

■論 文

- ・抵抗加算法による直流大電流測定
- ・最近の大容量蒸気タービンの制御について
- ・核融合実験装置 (BSG)
- ・530 t/h ボイラによる低過剰空気燃焼試験
- ・ビルマ国鉄納 40 t 550 PS 液体ディーゼル機関車
- ・東海製鉄株式会社納 220 t 混銑車
- ・デジタル電子計算機による電気点火系の特性計算
- ・家庭用電気掃除機吸込性能の一考察
- ・セラミック窓装荷クライストロン
- ・漏えいミリ波を用いた軌上障害物探知方式

■高周波測定特集

- ・V-1000 形 100 Mc シンクロスコープ

- ・シンクロスコープの固体電子化
- ・列車障害物探知用ミリ波擬レーダ装置
- ・プラズマ測定におけるマイクロ波の応用
- ・宇宙通信用空中線特性測定装置

■製品紹介

- ・配電盤用プラグイン形補助リレー箱
- ・アサイクロール
- ・スチール製パネル部品用 16 点マルチスポット溶接機
- ・内圧防爆形モートル
- ・日立オートキャデイカー
- ・低雑音 PM 形ツイントランジスタ 2SC 280
- ・QPD₅₃ 形卓上記録計
- ・日立バロン形通信ケーブル

発行所 日立評論社

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番地

取次店 株式会社 オーム社書店

振替口座 東京 71824 番

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地

振替口座 東京 20018 番