

北海道電力株式会社納

班溪発電所用 10,600 kW カプラン水車の 製作並びに据付に就いて

照沼美知夫* 伊藤晃二**

10,600 kW Kaplan Turbine Supplied to Pankei Power Station,
Hokkaido Electric Power Co.

By Michio Terunuma and Koji Itō
Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The writers attributed Hitachi's success in getting a global order for 10,600 kW Kaplan Turbine by Hokkaido Electric Power Company to the excellent efficiency and performance displayed by the 6,500 kW Kaplan Turbine which was built and supplied by the Company for the Rangoshi P.S. of the same Electric Power Co. in 1950.

Hitachi, Ltd. has made best of the experience with the Rangoshi turbine in executing this order. As for runner, for instance, effort was made successfully for the improvement of the efficiency through numbers of model runner tests, in which a final model runner proved to develop a maximum efficiency up to 92.5% as converted into that of actual turbine.

Meanwhile, in several parts of turbine body was utilized a welded construction to the utmost for the purpose of cutting the construction schedule. As very short time was allowed for the completion of this Power Station the speed ring was manufactured and delivered early when the crane and even the building itself were under construction, thus to keep disturbance from coming into the construction work.

The turbine body was provisionally assembled at the factory on the assembly seat.

All these endeavours resulted in a remarkably short delivery of only 13 months and enabled the P.S. to come into the commercial operation in the last January.

〔I〕 緒 言

北海道電力株式会社班溪発電所用水車は水車発電機、その他の機器と共に昭和26年12月に日立製作所が受注し、同28年1月に現地に据付を完了し現在運転中のカプラン水車である。北海道には既に蘭越発電所に日立製作所の製作にかゝる6,500 kW カプラン水車が納入され

* ** 日立製作所日立工場

好調裡に運転しているが、この水車の実績を本水車の設計に当つて十分活用することに努めた。

本発電所は建設着手から運転開始まで13箇月という記録的短期間完成の予定で計画された為あらゆる手段が計画実施された。例えばスピードリング等は土木工事に支障がないよう工場から先発し、クレーン未完成の中に据付を完了し、又水車主要部品には極力熔接構造の採用等を計つた。

水車の設計、製作に当つては、蘭越発電所の経験を十分に生かし、更に高速度高性能の水車を設計製作すべく模型試験その他にあらゆる努力が払われた。

以下に本水車の製作より据付迄の概要を示し、その特長とする点を簡単に記述する。

〔II〕 計 画 の 概 要

(1) 発 電 所 概 要

本発電所は野花南発電所下流に於て空知川を横断して建設される堰堤水路式発電所である。

(2) 水 車 仕 様

本水車の仕様は下記に示す通りである。

出 力 最大.....	10.600 kW
基準.....	10,000 kW
最低.....	8,800 kW
落 差 最高.....	14.1 m
基準.....	13.3 m
最低.....	12.5 m
水 量 最大.....	84.2m ³ /sec
基準.....	84.2m ³ /sec
最低.....	79.3m ³ /sec
回 転 数.....	150 r.p.m.
特有速度.....	595 m-kW
型 式.....	PMS-V
台 数.....	1 台

〔III〕 模 型 試 験

殆どあらゆる水車の製作に先立つて実物水車の模型を設計製作して試験し、その水車の性能を推定するのであるが、本水車の場合にも直径 500 mm (モデル比=1/7.6) の模型ランナーをもちガイドベーン入口からドラフトチューブ出口に至る間も実物と相似な模型水車を製作し、水力実験室で試験したが、その結果をムーディー式により実物の場合に換算すると第 1 図に示す如く最高効率が 92.5% に達した。効率試験と一緒に無拘束速度の試験を行つたがその結果は第 2 図に示す通りである。

〔IV〕 水 車 構 造

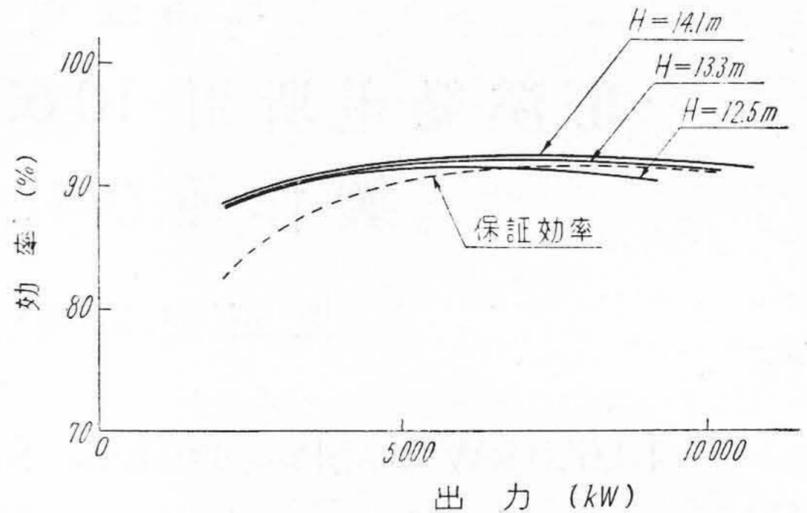
第 3, 4 図 は本水車の構造据付状態を、第 5 図は工場仮組立の状態を示す。

(1) ケーシング

本水車のケーシングは鉄筋コンクリート製角型断面半渦巻型で入口部の寸法は巾が 11 m, 高さ が 6 m, 途中に 1.2 m 巾のセンターピヤを設けてある。

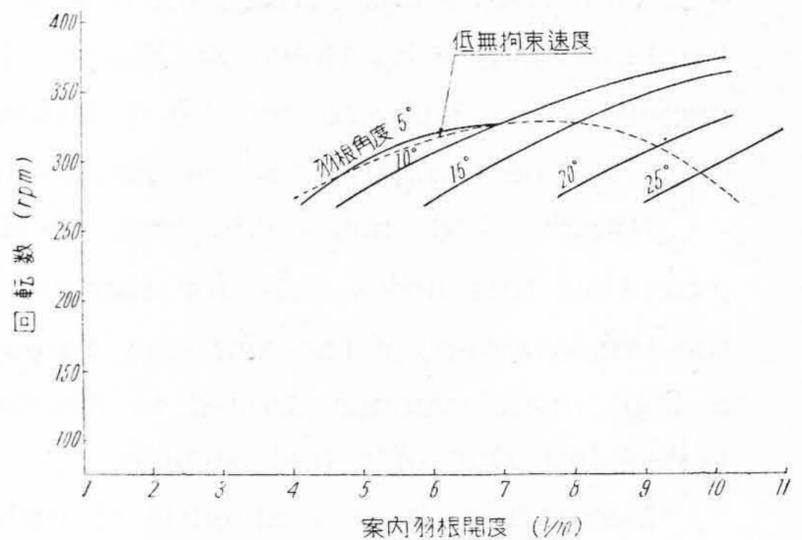
(2) ドラフトチューブ

エルボー型でその形状は水車出口の水の流れを考慮し



第 1 図 10,600 kW カプラン水車性能曲線 (保証効率は基準落差 13.3 m に於ける値を示す)

Fig. 1. Efficiency Curve of 10,600 kW Kaplan Turbine



第 2 図 無 拘 束 速 度 曲 線

Fig. 2. Runaway Speed with Reference to Gate Opening

た効率の高いものである。水車出口から屈曲部附近迄を鉄板ライナーで保護してある。

(3) ランナー

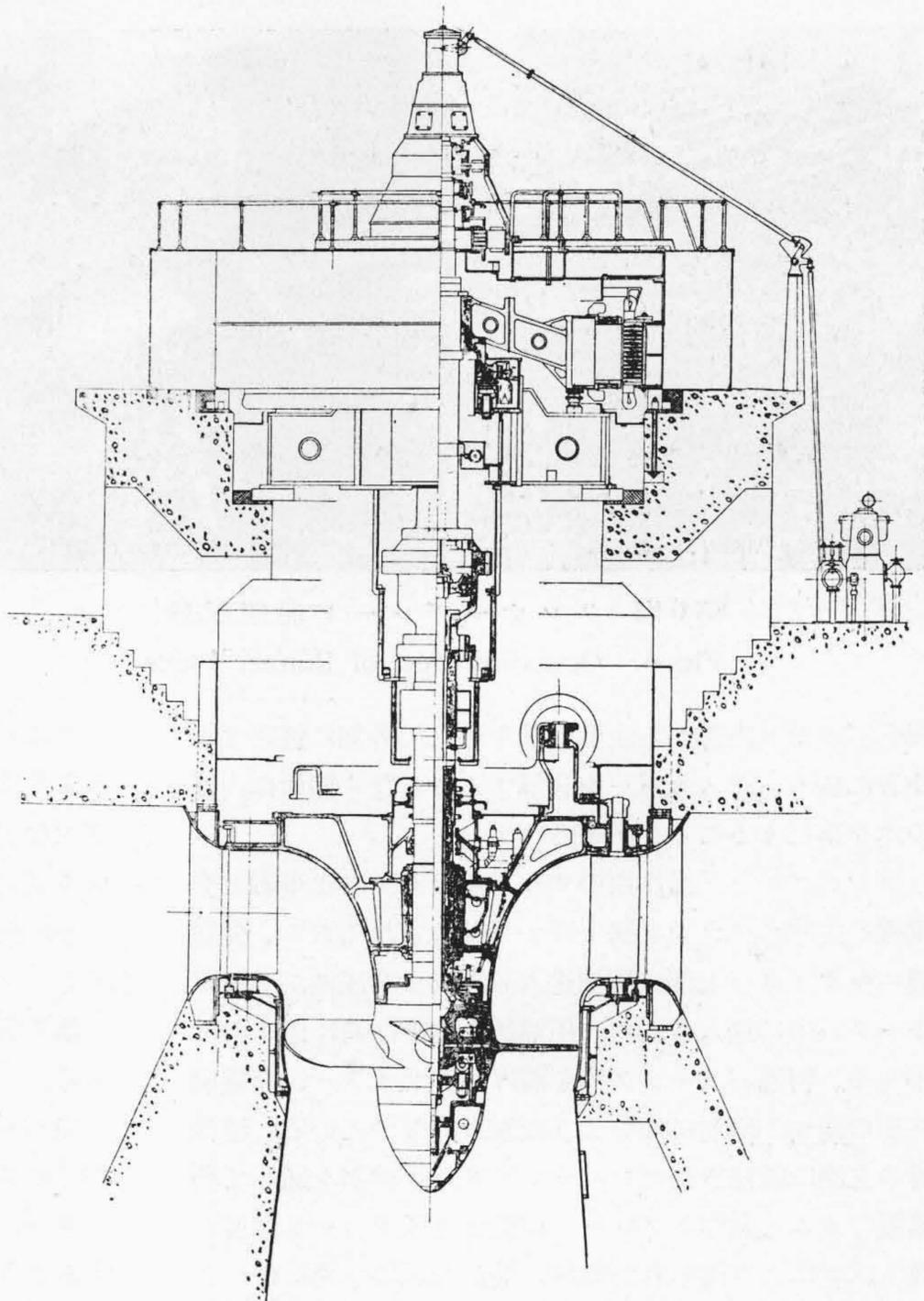
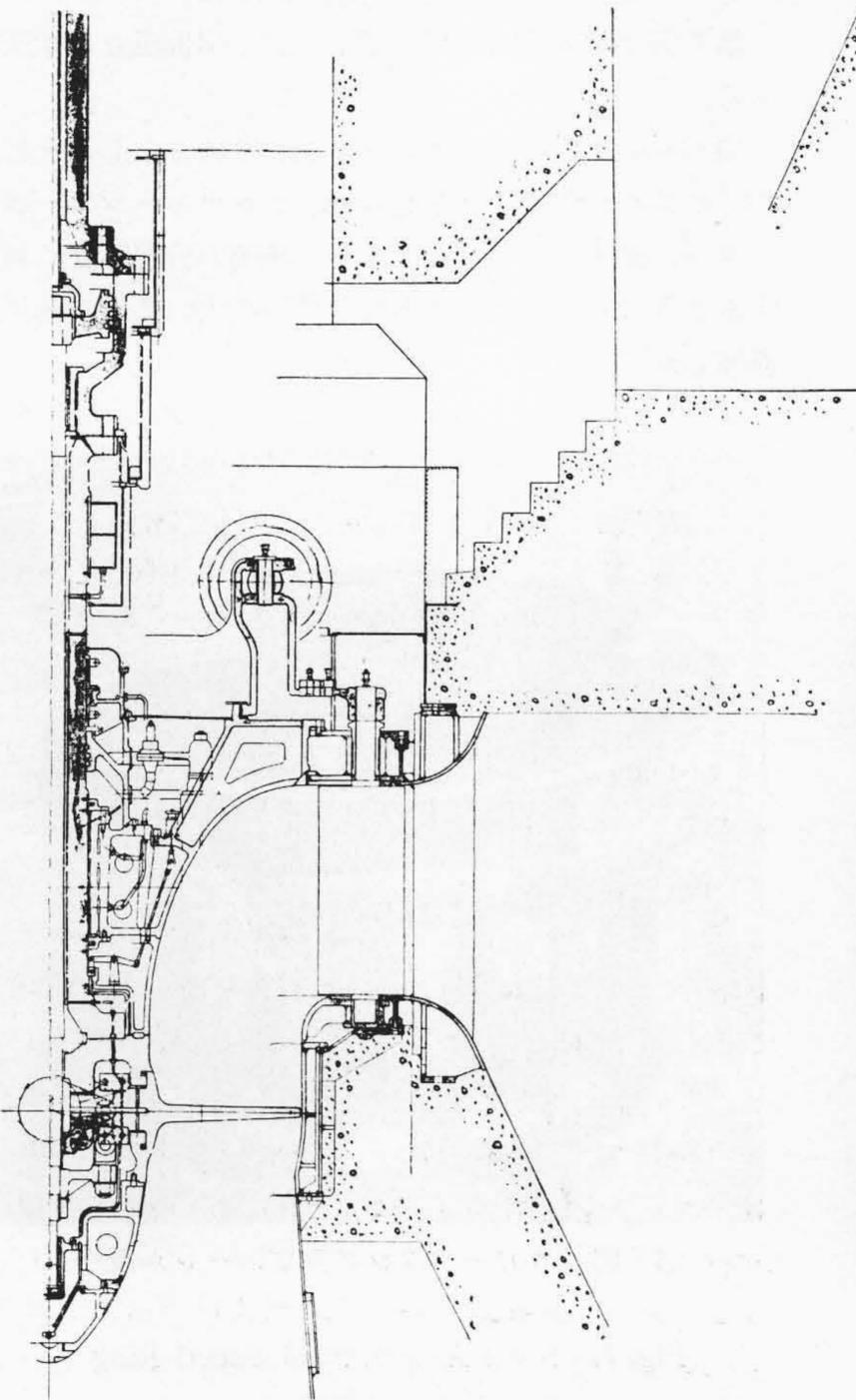
ランナーブレード及びボスの材質はキャビテーション並びに大きな荷重に耐えるように抗張力 60 kg/cm² の 13Cr 不銹鑄鋼を使用している。13Cr 鑄鋼がキャビテーション作用に対して耐蝕性大なることは各種の試験結果より実証されている。ブレード表面はカプラン水車ランナーブレード切削用特殊機械装置により極めて平滑に仕上げられた。⁽¹⁾ ランナブレードステムの軸受面は非常に大きな水圧力と廻転によつて生ずる遠心力が作用するため軸受面に対する潤滑油の給油には特に万全を期する必要があるが、本水車の場合にはボス内部にランナーブレード

ド操作ロッドの下端をピストンとして利用したプランジャー式の潤滑油ポンプ⁽²⁾を設けることにより強制給油を円滑になしうるようにしてある。

ランナーブレードのステム部分よりランナーボス内に圧力水が浸入することを防ぐために、ボス内部の圧力を流水圧力以上に高めておき、且つ操作ロッドの昇降によつてボス内圧力に変化を来たさないようにするため本水車に於ては水車主軸外周に空気室⁽³⁾が設けてある。運転開始に先立つて同室内の圧力を 4 kg/cm^2 に加圧することにより、ステム部に施された特殊パッキングの効果と相まつて運転中ボス内に流水の浸入する憂いがない。万一ボス内に浸入した

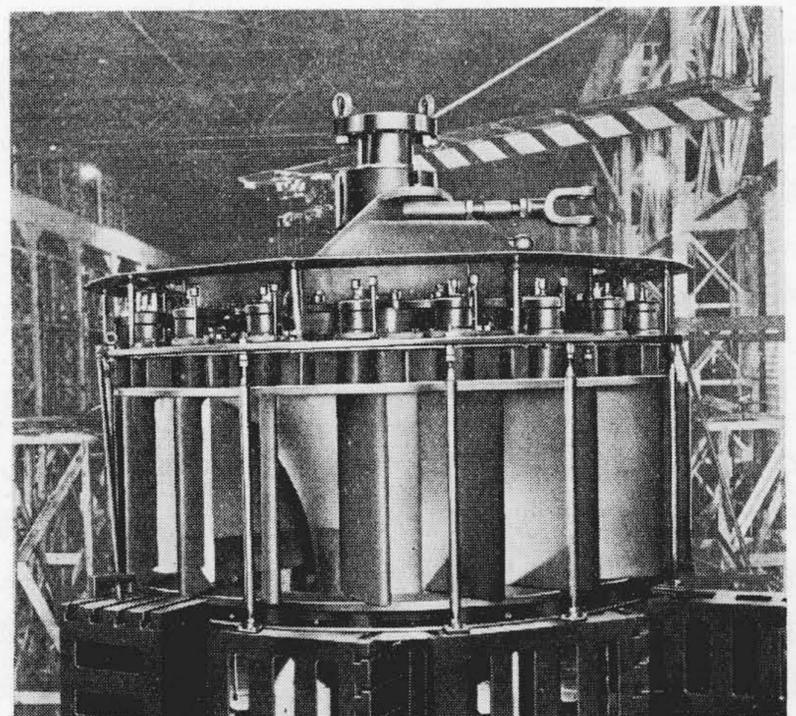
第3図 10,600 kW カプラン水車
組立断面図

Fig. 3. Sectional View of 10,600 kW Kaplan Turbine



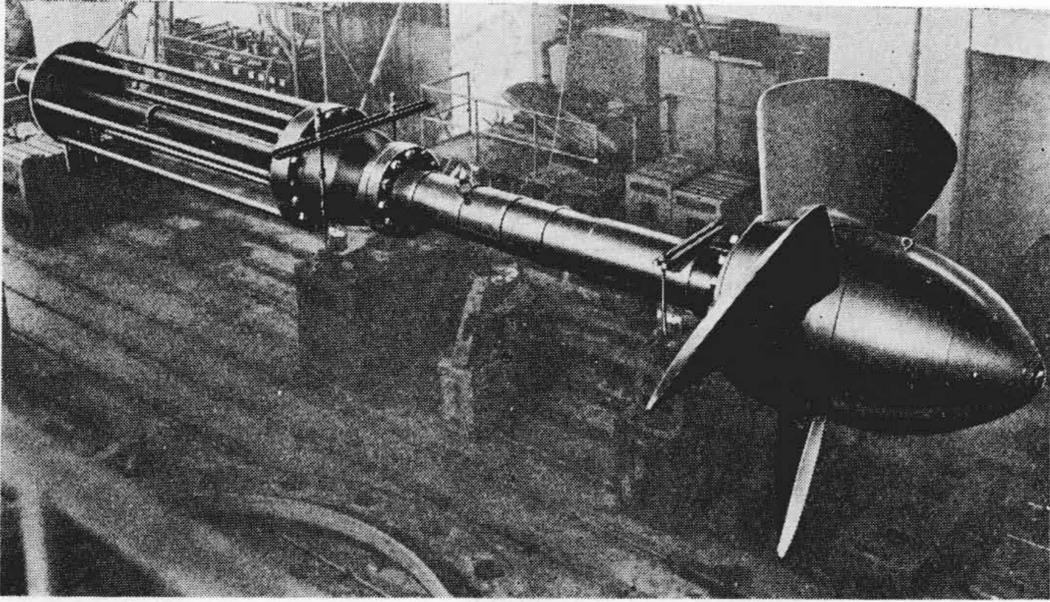
第4図 10,600 kW カプラン水車及び発電機
据付断面図

Fig. 4. Sectional View of 10,600 kW Kaplan Turbine and A. C. Generator



第5図 10,600 kW カプラン水車工場仮組立

Fig. 5. Shop Assembly of 10,600 kW Kaplan Turbine



第 6 図 ランナーブレード開閉試験
Fig. 6. Operating Test of Runner Blade

場合にはボス内部から主軸内部を通じて外部に連絡する銅管に依り、ボスカバーを分解することなく簡単に内部の水を排出することが出来る。

ランナブレード操作のサーボモーターは水車軸と発電機の中にフランジ接手により結合されており、発電機エキサイター上部の圧油送入装置により圧油がサーボモーター内に送入される。圧油送入装置は特に種々の油切りや、特殊パッキング等を設けエキサイター、発電機内部の漏油が絶対にならないような設計となつている。給油管の上端に連結されたレバーはリターン機構を通じて调速機のカムと動作しブレード角度とガイドベーン開度が模型試験により得られた効率の最良な関係を常に保つようになつている。第 6 図はランナーブレード開閉試験の状態を示す。

(4) ガイドベーン

ガイドベーン枚数は 20 枚、羽根と軸部とは一体鋳鋼品である。軸受面への給油はガイドベーン軸を貫通する鋳込みパイプを通じてグリースカップからグリースを各箇に供給する。ガイドベーン摺動部の上下カバーには交換可能な鋼板製ライナーを設けた。

ガイドベーン操作のサーボモーターはバーレル受台に固定されている。

(5) スピードリング

鋼板全溶接製品であり輸送の関係で 4 つ割り構造となつている。本スピードリングは従来と異りステーパーンがスピードリング皿板部を突抜ける構造⁽⁴⁾にしたので溶接製品として強度と剛性が著しく増大したことを特長とする。即ちステーパーンがスピードリングの皿板部を突抜けたことによりステーパーンと皿板部との取付けは従来のような単なる衝合せと異りその結合作業が容易であり且つ皿板部の内外両側より溶接できるから溶接強度が倍加された。又ステーパーンの上下両側皿板部外方への

延長部分は上カバー及び下カバー取付フランジ部等に対し強大なリブとして利用出来るから全体として非常に剛性の増したものとなつた。

又スピードリング皿板部の各所にターンバックル取付用の孔をもつリブを設けた。

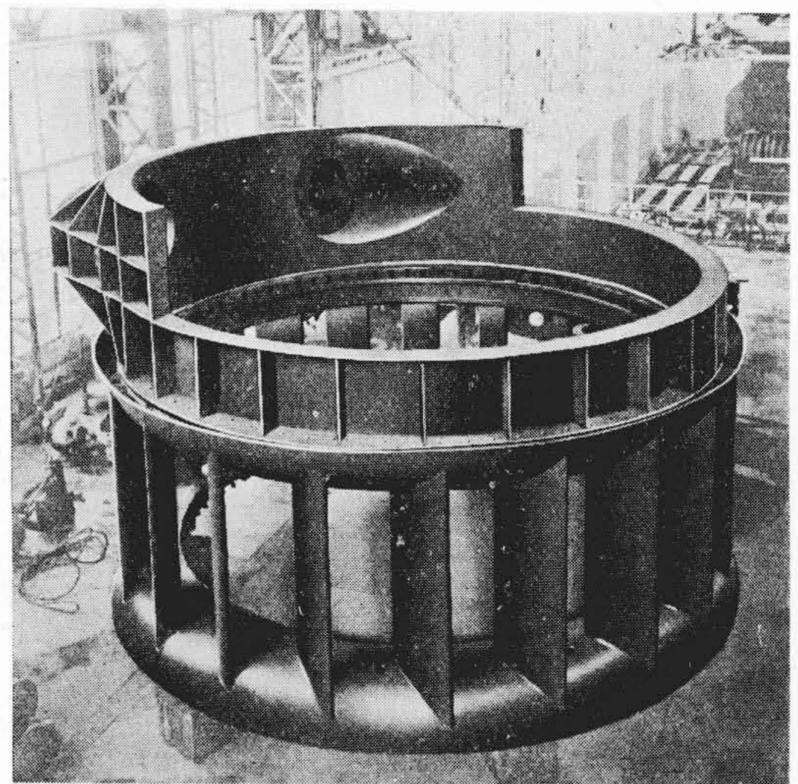
(6) バーレル受台

本水車に使用せるバーレル受台は二つ割り鋼板溶接製であつて、その特長と見られる点はバーレル受台にガイドベーン操作のサーボモーターを取付ける構造としたことである。水車据付上からサーボモーターをバーレル受台に固定せしめる

ことはバーレル外部のコンクリート基礎上に固定せしめるよりはるかに好都合である。サーボモーターは非常に強大な力を有するものであるから、それを固定するバーレル受台は操作時の変形や破壊に対し十分耐えうる構造でなければならぬのであつて、これの設計及び据付に際しては上記の点に細心の注意を払つた。

第 7 図は本品及びスピードリング工場仮組立の状況である。

尚バーレル内上部にはレールを釣りめぐらし、それに 2t のチェンブロックを走らせ、ランナベーンサーボモーター、ガイドベーン及びカバー類等の分解組立に利用するようにしたがこれは据付けの際に大いにその効果を發揮した。



第 7 図 スピードリング及びバーレル受台
工場仮組立

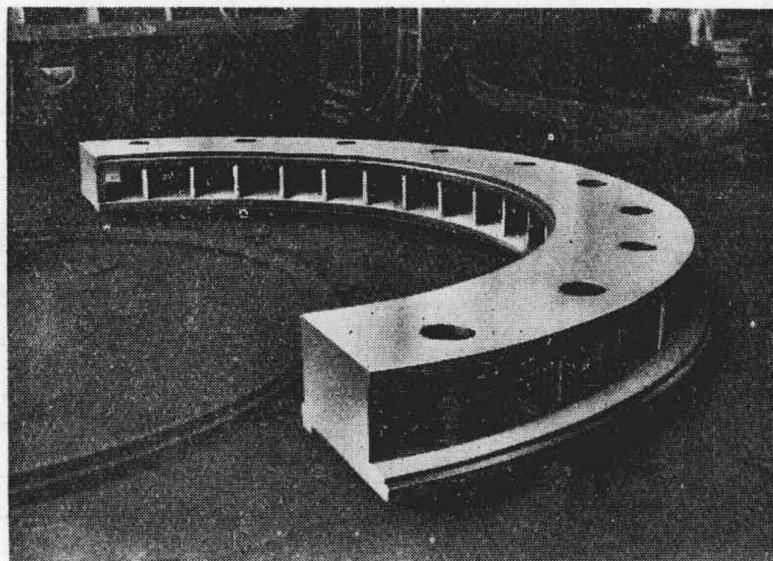
Fig. 7. Shop Assembly of Speed Ring
and Barrel Liner

(7) 鋼板熔接製カバー

水車本体の中で構造上重要な各部品には鋼板熔接構造を極力採用した。鋼板熔接製部品の主なるものは前記のスピードリング、バーレル受台の外に外側上カバー、ウォールリング、プロテクトライナー等であるが、これらはすべて大物の部品に属しておりそのために本水車の鋼板熔接製品は全資材の約 50% に及んでいる。上記の各部品は従来は殆ど鋳造で製作されていたものである。

鋼板熔接製品のものにあつては製作工数が非常に短縮し得るため鋳造品に較べてはるかに容易に短納期に応ずることができた。又往時懸念された熔接部の材料の劣化も熔接技術及び熱処理技術等の飛躍的進歩により全くその心配がなくなつている現在に於てはその構造さえ合理的であるならばむしろ鋼板熔接製品により大きな信頼を見出しうるといつても差支えない。

これら製品の熔接作業に当つては内部応力の発生や変形を少なくするよう合理的な方法を採用し熔接後は必ず完全焼鈍を行つた。第 8 図は外側上カバーの熔接構造を示す。



第 8 図 外側上カバー熔接構造
Fig. 8. Outer Top Cover of Welded Construction

[V] 圧油及びグリース給油装置

圧油装置は単位式であつて圧油ポンプは常用と予備用の 2 台からなり共に電動駆動ポンプである。

このポンプは回転式歯車型で送油量は 400 l/min である。この送油量は圧油槽から油の補給を受けないで水車のガイドベーン、ランナーブレード、発電機ブレーキ等を同時にそれぞれ所定の時間内に動作させるに必要な油量の 120% 以上となつている。

常用ポンプが故障のために油圧が 14~14.5 kg/cm² に低下すると予備ポンプが起動し、13~13.5 kg/cm² に低下したときに警報を発する。それ等はすべて油圧保護装置によつて自動的に動作される。圧油ポンプから送り出された圧油はアンローダー及び空気補給装置を経て圧油筒に送り込まれる。圧油装置には圧油筒内に圧縮空気を送入する空気圧縮装置が含まれるが、その吐出最高圧力は 20 kg/cm² で圧油筒の空気圧力を 30 分以内に常規圧力に上昇する能力をもつている。

本水車の主軸受は前述の如く常時グリースの供給を必要とするがそれを供給する装置として本発電所には 2 台のグリースポンプを設けておるが、うち 1 台は常時運転用であり他の 1 台は常用の故障の際の予備のグリースポンプである。ポンプは往復プランジヤー式であり電動機により駆動される。ポンプ圧力は 50 kg/cm² で毎分最大 32 cc の送油が可能であるが、送油量を自由に調整することができる。

[VI] 給水及び排水装置

(1) 給水装置

主軸受冷却用、パッキング部封水用、ジェットポンプ運転用、発電機冷却用及び消火用等に使用する清水は水車ケーシングから採取し、ストレーナーを通過させた後それぞれの配管を通じて必要箇所に送り込まれる。ストレーナーは常備用と予備用の各 1 台を用意している。尚洪水時に於ける濁水を考慮して予備給水ポンプ及び水槽を設けた。

(2) 所内排水装置

排水ポンプ 2 台

型 式	Bi-OV 型 CV 式 縦軸渦巻ポンプ
揚 程	18 m
揚 水 量	1.0 m ³ /min

この排水ポンプは常用及び予備用各 1 台を備え、フロートスイッチにより自動的に起動される。平常の排水には 1 台のポンプを使用するが、それで吐き切れない程水位が高まつたときにもう一台が起動する。上記のポンプが使用できない場合は下記に示す予備用のジェットポンプを使用する。

ジェットポンプ 2 台

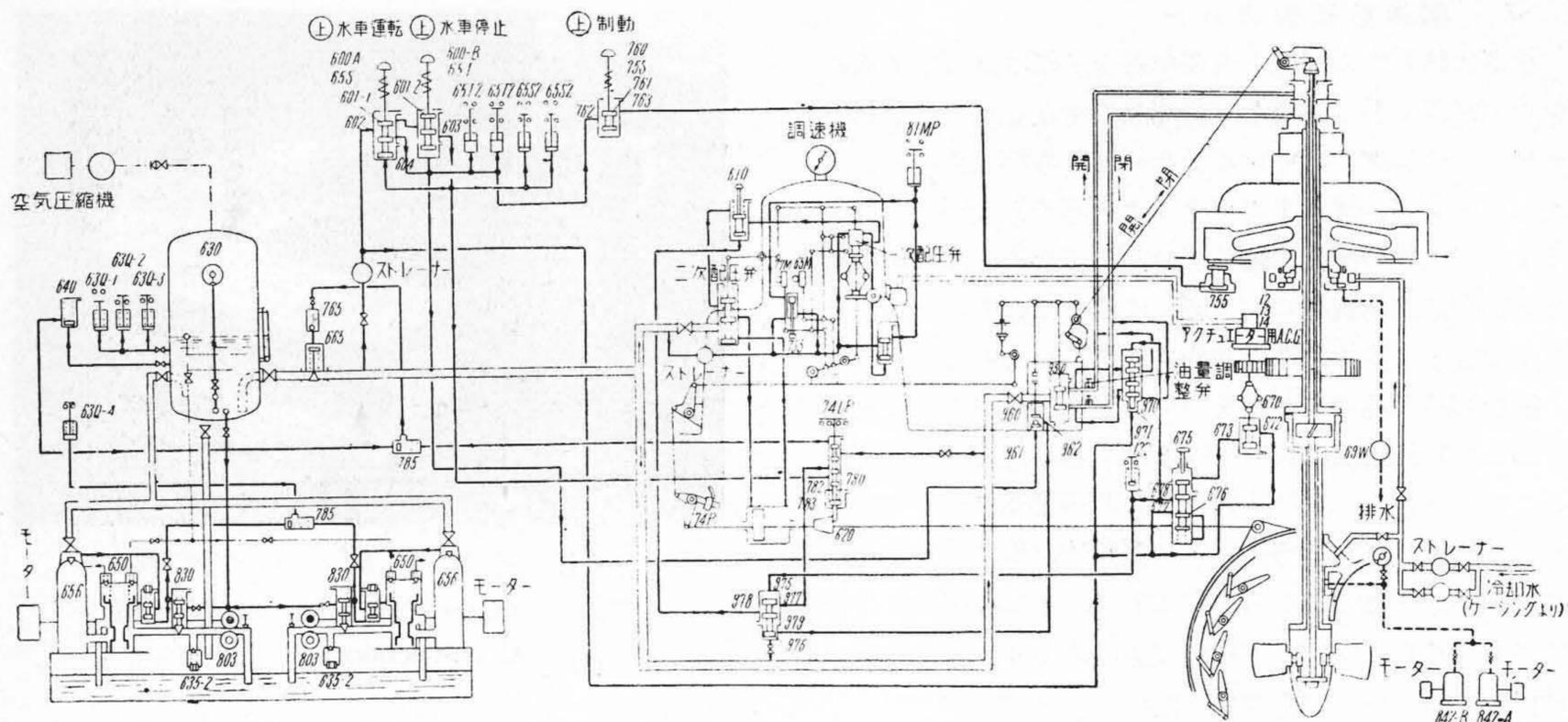
給 水 量	50 l/min
給 水 高	10 m
排 水 量	20 l/min

(3) 吸出管排水装置

水車を点検するためにドラフトチューブ内の水を排水する目的で下記の如き排水ポンプを設けた。

排水ポンプ 2 台

型 式	OV 型 CV 式 縦軸渦巻ポンプ
揚 程	24 m
揚 水 量	4.2 m ³ /min



- | | | |
|---|-----------------------------------|------------------|
| 12.13.14 遠心力開閉器 | 74 P 案内羽根位置開閉器 | 665 自動ストップバルブ |
| 63Q-1 油圧開閉器 (起動用—
16.0~16.2 kg/cm ²) | 74 L P 鎖錠装置用位置開閉器 | 670 過速度防止装置 |
| 63Q-2 油圧開閉器 (警報用—
13~13.5 kg/cm ²) | 75 S 電磁石 (制動用) | 675 過速度防止装置用配圧弁 |
| 63Q-3 油圧開閉器 (停止用—
12.5±0.2 kg/cm ²) | 77M 負荷制限用電動機 | 755 制動機 |
| 63Q-4 油圧開閉器 (補助ポンプ起
動用) | 81MP 油圧開閉器 (调速機スピータ
—保護用) | 760 電磁弁 (制動用) |
| 65 S 電磁石 (水車運転用) | 975 過速時油圧切換弁 | 765 ラビリンス |
| 65 T 電磁石 (水車停止用) | 600-A 電磁弁 (水車運転用) | 780 油圧切換弁 |
| 65 S Z 油圧開閉器 (65 S 用) | 600-B 電磁弁 (水車停止用) | 785 T型チェックバルブ |
| 65 T Z 油圧開閉器 (65 T 用) | 610 调速機エマージェンシーバルブ | 802 圧油ポンプ (予備) |
| 65M 调速機速度調整用電動機 | 620 鎖錠装置 | 803 圧油ポンプ (常用) |
| 69W 水流継電器 (警報用) | 635-2 安全弁 | 830 油圧切換弁 |
| | 640 油圧補償弁 14.5 kg/cm ² | 842 グリースポンプ |
| | 650 アンローダー | 950 ランナーブレード用配圧弁 |
| | 656 空気補給槽 | 960 起動用補助ピストン |
| | | 970 ランナーブレード用速動弁 |

第 9 図 自 動 操 作 系 統 図
Fig. 9. Schematic Diagram of Automatic Control

〔VII〕 調 整 装 置

水車及び発電機の制御方式に二段操作式順序制御器による日立標準可逆式順序制御方式である。この順序制御器は停止、起動、励磁、並列、負荷の5段階を有し、回転及び引きの二段操作で一段毎にあるいは一挙に目的の位置まで進めれば起動方向又は停止方向に階段的にも亦連続的にも任意に制御出来る特長を有する。主機の動作は各段階終了毎に計器盤上の照明式集合動作表示器に表示確認される。

配電盤室にて本制御器を操作すれば複式電磁弁の電磁石が附勢されてパイロットバルブを操作し、鎖錠装置解除、案内羽根開等油圧による機械的制御装置の動作が進行する。

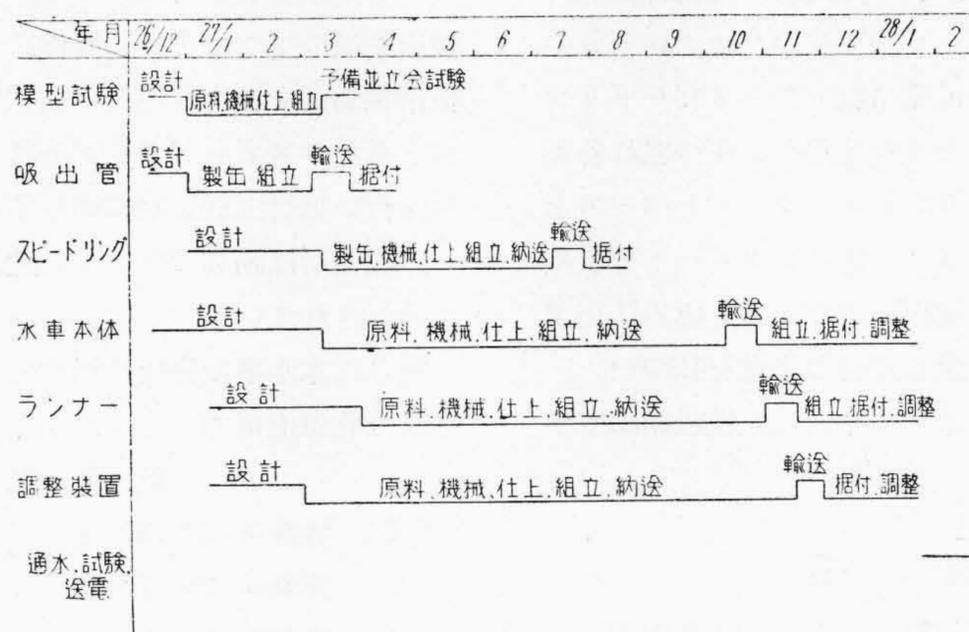
複式電磁弁は圧油保持式で制御電源を喪失してもそのままの状態を保持出来る。

これらの電磁弁はキャビネット型水車操作盤に格納さ

れて水車室に設置される。本盤正面には電磁弁手動操作作用ハンドルの外、運転上必要なる諸計器類、即ち電力計、回転計、ガイドベーン位置指示計、ランナーブレード角度指示計、発電機推力軸受温度計、同案内軸受温度計、水車案内軸受温度計、冷却水圧力計、ケーシング内側及び外側圧力計、吸出管連成計、水車カバー内側連成計、集合表示器等が取付けられているので、監視、点検の便は勿論、手動操作に際しては主機の状態を水車室においても確認出来る利点を有する。

発電機の同期並列は小勢力の日立電子管式自動同期装置を用いている。即ち本装置はVDF型揃速装置、VRV型電圧平衡装置、VS型同期閉合装置より成り、速度、電圧を迅速に調整し、速度差に応じて遮断器投入時間と常に適合した漸進角を以て同期投入させる諸特性により系統周波数が変動する際にも短時間に円滑に同期投入することが出来る。

発電機電圧の調整は常時の受電端電圧を一定に保ち、



第10図 10,600 kW カプラン水車製作並びに据付工程表

Fig. 10. 10,600 kW Kaplan Turbine Progress of Works at Shop and Site

且異常状態に際しては系統の安定度向上と機器の保護に有効な速応励磁式自動電圧調整方式を採用している。これは抵抗型の線路降下補償装置付日立 RTA 型自動電圧調整器と FV 型電圧継電器をもつて行われる。

保護方式は下記の如き場合に適用されている。但し電氣的故障に就いては省略する。

警 報

1. 軸受温度上昇第一段 (#38D)
2. 圧油槽油圧降下第一段 (#63Q-2)
3. 冷却水断水 (#69W)

急 停 止

1. 水車過速度 (#12)
2. 軸受温度上昇第二段 (#38)
3. 圧油槽油圧降下第二段 (#63Q-3)
4. スピーダー駆動装置故障 (81 MP)

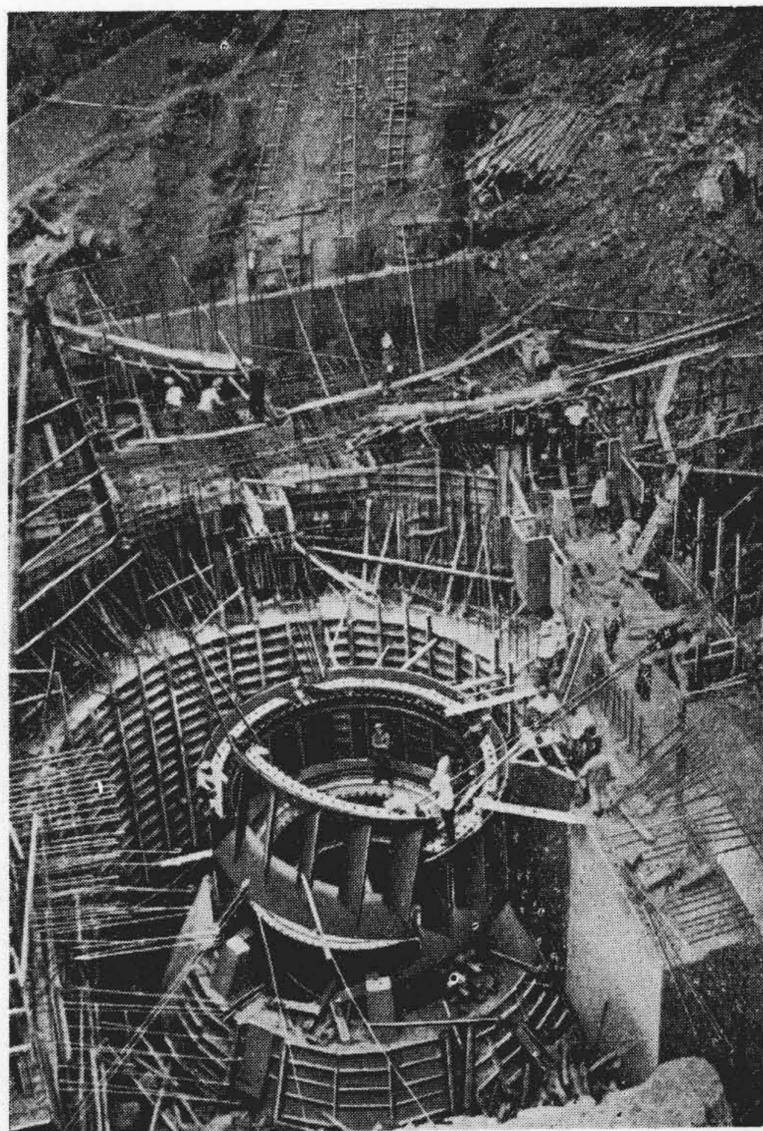
水車過速の場合には上記遠心力開閉器による電氣的操作の外、機械的にも #670 過速度防止装置並びに #975 油圧切換弁により #610 调速機エマージェンシーバルブの圧油を排油して调速機を急停止せしめ、且 #960 起動用補助ピストンに圧油を通じてランナーブレードを全開し、速度の上昇を抑える措置が講ぜられている。通常運転時においてはブレード全開時間に凡そ 30~40 秒であるが、この機械的過速度防止装置の動作した場合には #970 油量調整弁を開いて速かにブレードを全開する。

〔VIII〕 水 車 据 付

近年土木技術の進歩に伴い発電所建設に当つては工事開始してより完成迄の期間が短くなり、特に低落差発電所では掘鑿より建屋完成迄の工程は著しく短縮されるようになった。本発電所の機器の設計製作並びに据付は第

10図の如き工程にて進められた。土木工事の関係でも工場より吸出管、スピードリング等を先発し土木工事に支障なきよう努力した。本体は工場に於て組立雇装置仮組立を行い工程の短縮を計つた。以上の結果従来の工程に比し約 20% 短縮する事が出来た。

従来水車据付時には建屋並びにクレーンが完成し重量



第11図 スピードリング現地据付状況

Fig. 11. Speed Ring under Installation at Site

物運搬据付は容易であつたが、本発電所は埋込部品据付に際しては建屋並びにクレーン未完成のためクレーンの使用は不能であるので、特に重量物であるスピードリングの据付には第11図の如くセミを使用し、4つ割れ各々1箇づゝを所定の位置に釣り降しコンクリートベース上にて一体にし組立据付を行つた。尙コンクリート打設に際しては、半径方向並びに接線方向の変形を極力防止するようにターンバックルを張り細心の注意を払つた。

以上の結果変形変位は極めて少く据付工程短縮に寄与する所大であつた。

[IX] 結 言

以上今回設計製作せられた班溪発電所 10,600 kW カプラン水車の仕様、構造、据付に就いて述べた。容量は

カプラン水車としては余り大きい方ではないが、最新の技術を以つてこの設計、製作に当り特に主要部品には鋼板溶接構造を極力採用し、尙据付に際して従来の据付方法と異なりスピードリング等はクレーン無しにて現地据付を行い据付工程短縮に寄与する所大であつた。

本発電所は昭和28年1月送電を開始して以来好調裡に運転されている。

終りに本水車の完成に当つて、深い御理解と御援助下された北海道電力の方々に厚く御礼申上げ擲筆する。

参 考 文 献

- (1) 特許第 139130 号
- (2) 実新第 236376 号
- (3) 実新第 269271 号及び第 269172 号
- (4) 特許申請中

日立製作所社員社外寄稿一覧表 (昭和28年4月受付分)

投 稿 先	題 名	執筆者所属	執 筆 者
日本材料試験協会	有機接着剤と金属の接着について	中央研究所	福村勉郎 河合麟次郎
日本事務能率協会	新入社員と人事考課	本社	溝井正人
オーム者	水車调速機の試験と調整	日立工場	鮎沢秀夫
国立予防研究所	電子顕微鏡のための超切手法	中央研究所	土倉秀次
日本印刷学会	二回転印刷機に於ける「ブレ」の原因と対策	川崎工場	永見幸一郎
オーム社	不二ドロマイト株式会社羽鶴工場納2×1.250kVA ユニットサブステーション	本社	斎藤正
電気公論社	我国のターボ発電機の現状について	日立工場	菊地弥十郎
高分子学会	電線用熱可塑性高分子物質のレオロジーと物理的性質(第1報)	日立電線工場	山本三郎
オーム社	ドライバルブ避雷器	日立国分分工場	落清
日本機械学会	チルドロールの鑄造応力	若松工場	河原英麿
電子顕微鏡学会	電子像の色彩写真	中央研究所	土倉秀次
照明学会	自記分光光度計による曲線	中央研究所	角野正夫

日立製作所社員社外講演一覧表 (昭和28年4月受付分)

講演月日	主 催	題 名	所 属	講 演 者
4 / 13	横浜産業能率南会	帳票の標準化と帳票管理についての諸問題	戸塚工場	太田文平
4 / 14	電気学会	エナメル線の耐熱度と寿命に関する考察	日立電線工場	間瀬喜好
5 / 中	日本印刷学会	二回転印刷機に於ける「ブレ」の原因と対策	川崎工場	永見幸一郎
5 / 13	全日本能率連盟	帳票の標準化と帳票管理の諸問題	戸塚工場	太田文平
5 / 25	炭素材料研究会	刷子の摩擦特性	日立研究所	一木利信
5 / 27	通産省福岡鉱山保安監督部	巻上機用ロープ及び附属金具等につき	亀有工場	石橋重遠
6 / 下	日本機械学会	超遠心機ローターの強度	中央研究所	須藤卓郎
4 / 27	福岡鉱山保安監督部	炭鉱用送風機最近の傾向	川崎工場	小林馨
5 / 11	無線通信機械工業会	M. P. 蓄電器	戸塚工場	山辺知定
5 / 29	炭素材料研究会	刷子の欠損と新型電鉄用保持器について	日立研究所	武政隆一
4 / 21	全国炭鉱技術会	直流巻上機の速度制御	亀有工場	滝本秀彦
5 / 19	中国熱管理協会	均熱旋回式焼鈍炉の熱精算について	笠戸工場	小橋吾市