

水力発電用機器の歩み

Historical View of Hydraulic Power and Transmission Equipment

小 森 谷 亨*
Toru Komoriya

内 容 梗 概

日立製作所においては、明治 45 年(1912年)に峰ノ沢鉱山納 300 HP 横軸ペルトン水車およびそれに直結する 250 kVA 交流発電機を製作以来、日立独自の技術によりたゆまざる研究の成果として、常に斯界の先頭を切って幾多の国内および世界的製品を完成し、現在電源開発株式会社御母衣発電所納 137,000 kW 立軸フランス水車およびこれに直結する 125,000 kVA 発電機を製作中である。本文においてこの前後 45 年間の変遷を製作実績と技術的進歩の両面から記述してある。

1. 緒 言

現在日立製作所の水力発電機器は日立独自の技術により常に業界の先頭に立ち確固たる地位を保持しているが、この功は一夕にして成ったものではなく、そこには過去45年間のたゆまざる研鑽と努力の連続があったといえるが、ここに過去の足跡を懐古し、その技術進歩の経過を述べ、最近の技術と比較検討してこれを一文にまとめた次第である。本文においては製作実績の歴史的記述はなるべく表示、図示、線図などを利用して、目で理解できるようにし、技術的な進歩に主体をおいて申述べたいと思う。

2. 水力発電機器発展の歴史

2.1 水車および発電機

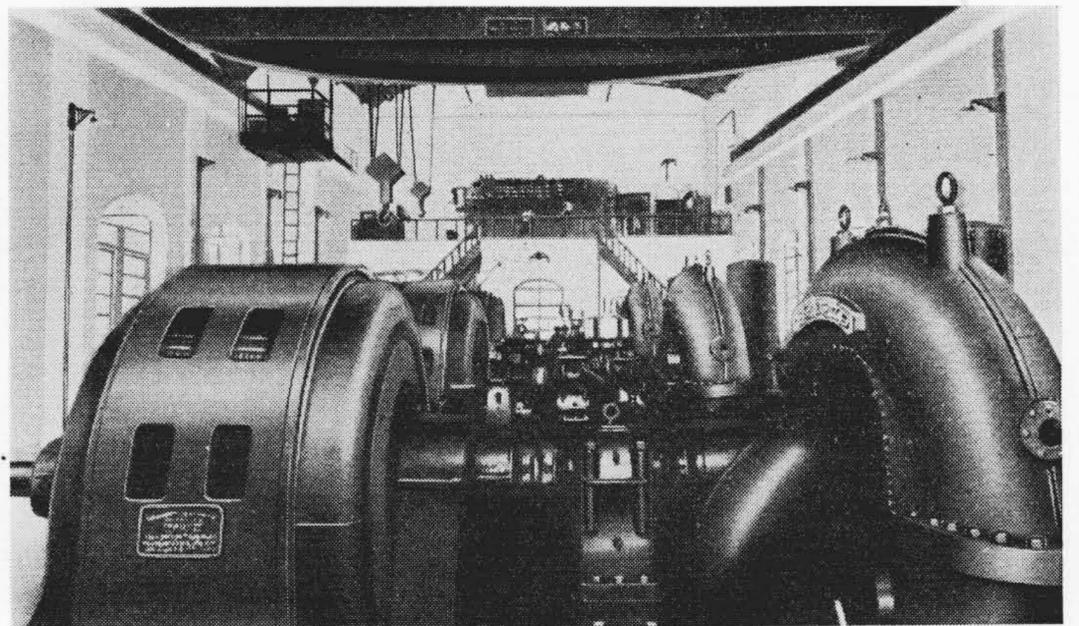
日立における水力機器の処女作品は明治 45 年 (1912 年)に製作された、峰ノ沢鉱山納 300 HP 900rpm 横軸フランス水車およびこれに直結する 250 kVA 3,500V 交流発電機 1 台である。当時はほとんどの発電用機器が海外から輸入されていた時代であり、日本人の手で、日本人のみの技術により製作された機器としては画期的なものであった。

なお水力機器以外では日立製作所としての処女作品は、回転機としては明治 42 年 (1909 年)に 5 HP の誘導電動機を、明治 43 年 (1910年)に 5 kVA 変圧器を製作している。以後幾多の辛酸をなめつつ、努力をつづけ漸次記録を更新してきたわけであるが、ここに初期時代の製品のみ第 1 表に掲げる。表中岩室発電所の 10,000 HP 横軸フランス水車は当時の記録的大容量機であり、水車は輸入される予定であったが、戦争のため日立がその製作を引受け、文字どおり血のにじむごとき努力と、精魂を傾けて見事に完成

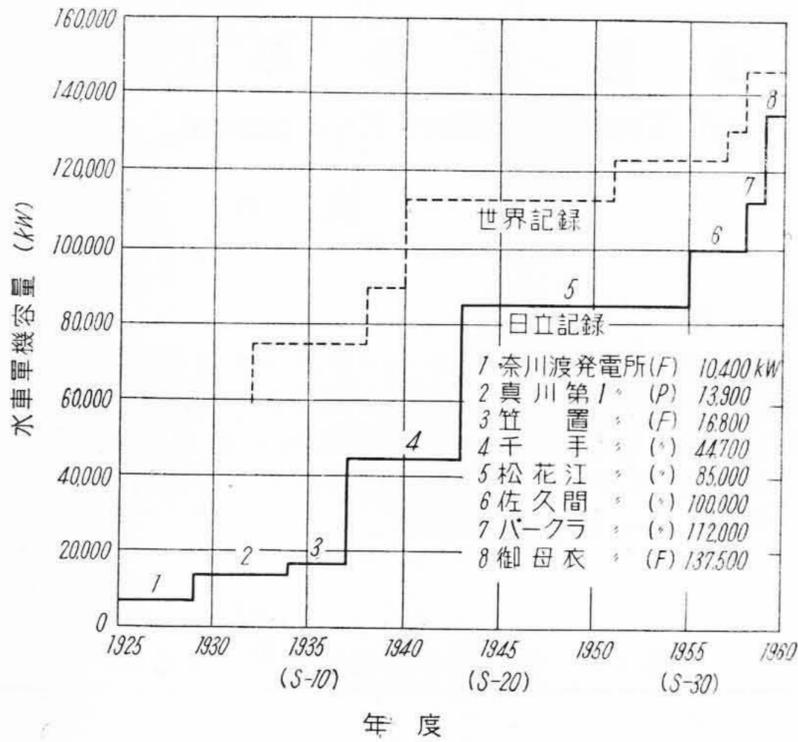
* 日立製作所日立工場

第 1 表 日立製作所揺籃時代の製品例

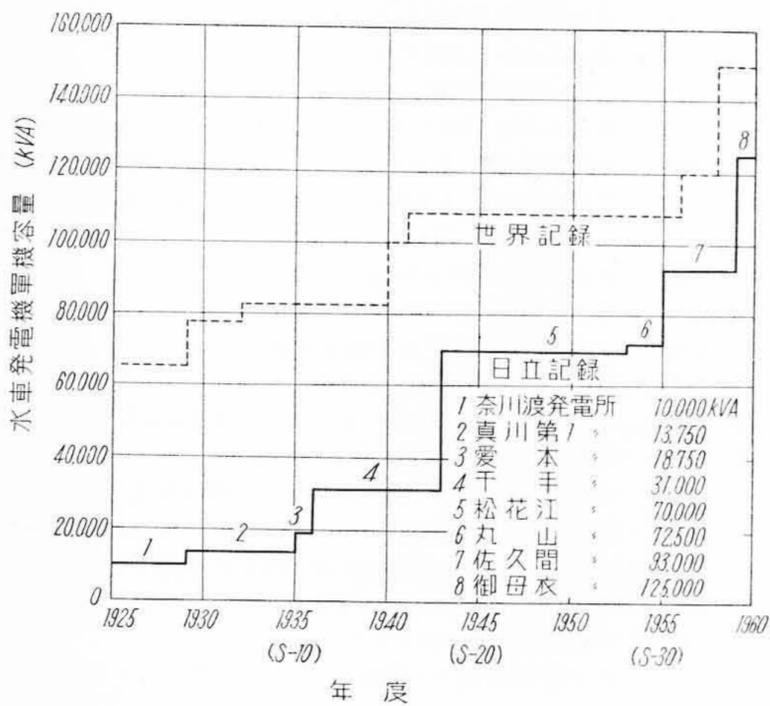
年 次	
明 42 1909	日立鉱山用 5 HP 誘導電動機 3台
明 43 1910	日立鉱山用 200 HP 誘導電動機
" 43 1910	日立鉱山用 5 kVA 変圧器 10台
明 44 1911	東山鉱山納 3,300V 50A 油入開閉器 2台
" 44 1911	1.5t 電気機関車
" 44 1911	東山鉱山納 45 kVA 交流発電機 (エンジン直結) 1台
" 44 1911	石岡発電所納 1,000 kVA 26 kV 単相変圧器 3台
" 44 1911	名古屋電灯納 1,500 kVA 単相水冷式変圧器 3台
" 44 1911	小林鉱業所納 20 HP 直流電動機 1台
" 44 1911	日立鉱山用 400 kW 直流発電機
" 44 1911	日立鉱山用 600 HP 同期電動機
明 45 1912	九州帝大納 5 kVA 回転変流機
" 45 1912	275 HP 3,600 rpm 誘導電動機
" 45 1912	峰の沢鉱山納 300 HP 水車および 250 kVA 交流発電機
大 3 1914	利根発電納 交流電流計および電圧計
" 3 1914	大和電気 1,240 HP 水車および 800 kVA 発電機
" 3 1914	200 kV 試験用変圧器
大 4 1915	利根発電納(岩室発電所) 10,000 HP 水車
" 4 1915	600 HP 3,600 rpm 誘導電動機
" 4 1915	日本窒素納 2,600 kVA 変圧器 7台
大 5 1916	日立電力納(夏井川発電所) 3,100 HP 水車および 2,200 kVA 発電機 2台
大 6 1917	日本窒素納(緑川発電所) 8,700 HP 水車および 5,700 kVA 発電機
" 6 1917	熊本電気納(津留発電所) 8,200 HP 水車および 6,000 kVA 発電機
" 6 1917	九州製紙納 4,000 kVA 変圧器 4台
" 6 1917	古川鉱業(所野発電所) 1,250 kVA 11kV 交流発電機



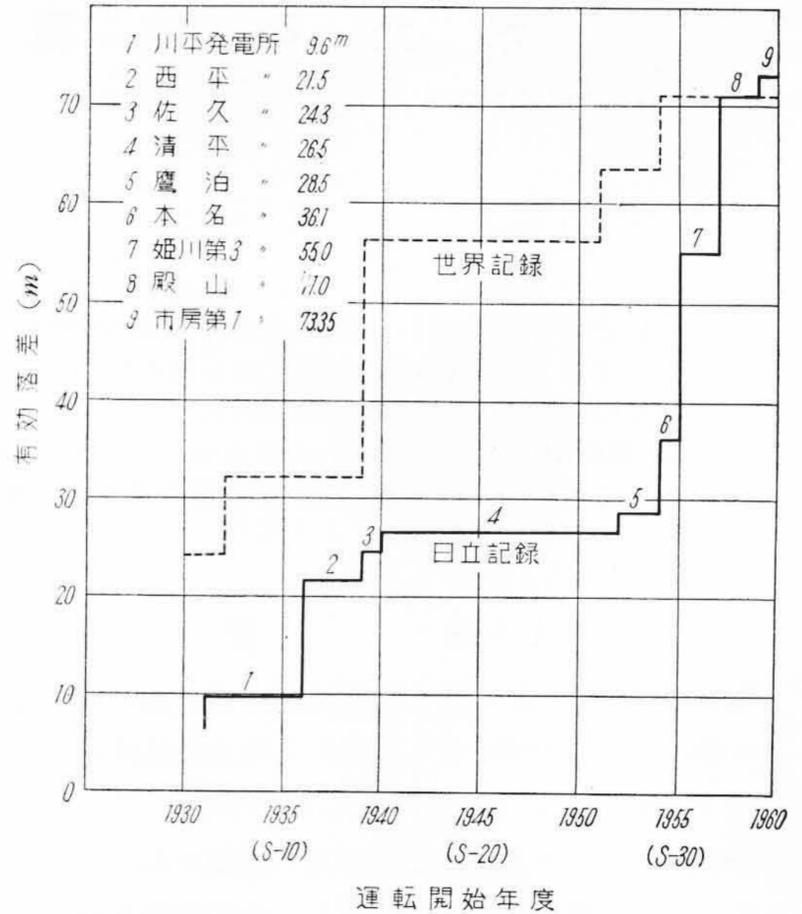
第 1 図 利根発電岩室発電所納 10,000 HP 横軸フランス水車 (大正 4 年)



第2図 水車単機容量記録の変遷



第3図 水車発電機単機容量記録の変遷



第4図 カプラン水車落差記録の変遷

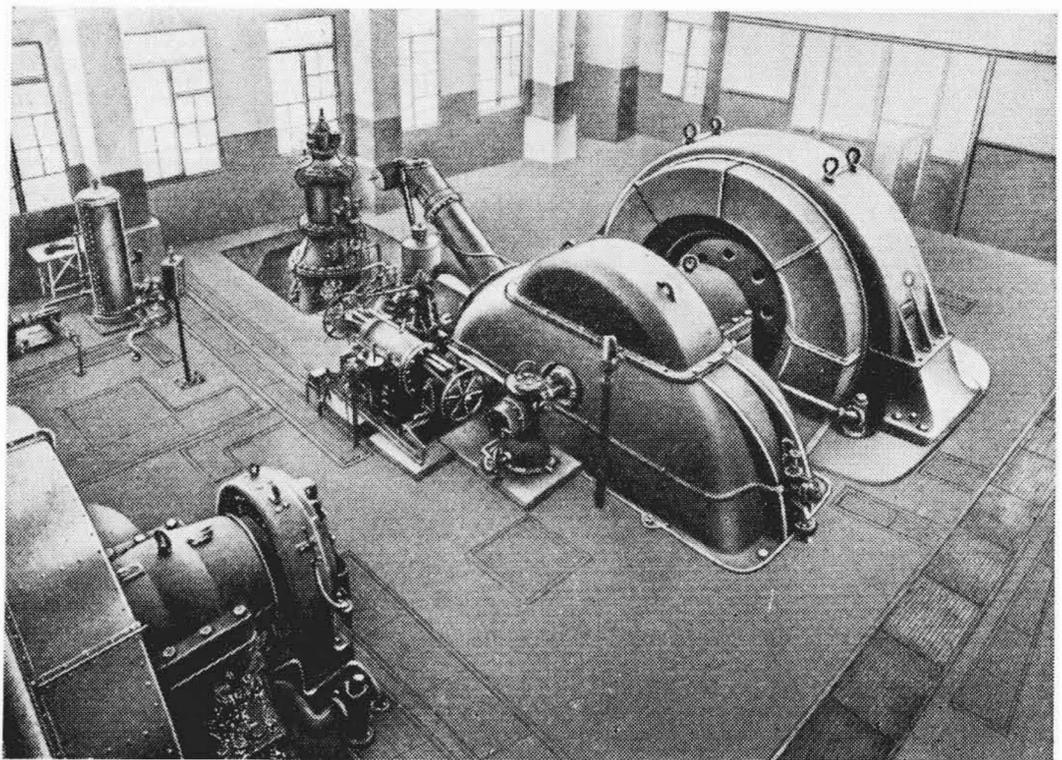
も日立の技術と外国技術とが同一の発電所において優劣を競うことになったのであるが、日立水車が出力においても外国水車をしのぐ好成績を収めることができた(第5図)。発電機容量は13,750kVAで水車とともに当時の容量の記録機である。

つづいて昭和4年には東信電気豊実発電所納16,000HP 150rpm 立軸フランス水車6台が完成した(第6図)。この水車はランナ外径3,250mmにも及び当時の日立の大容量水車の記録品であった。この大形水車は加工、工場組立の方法に種々の考案を加えて当時の設備と

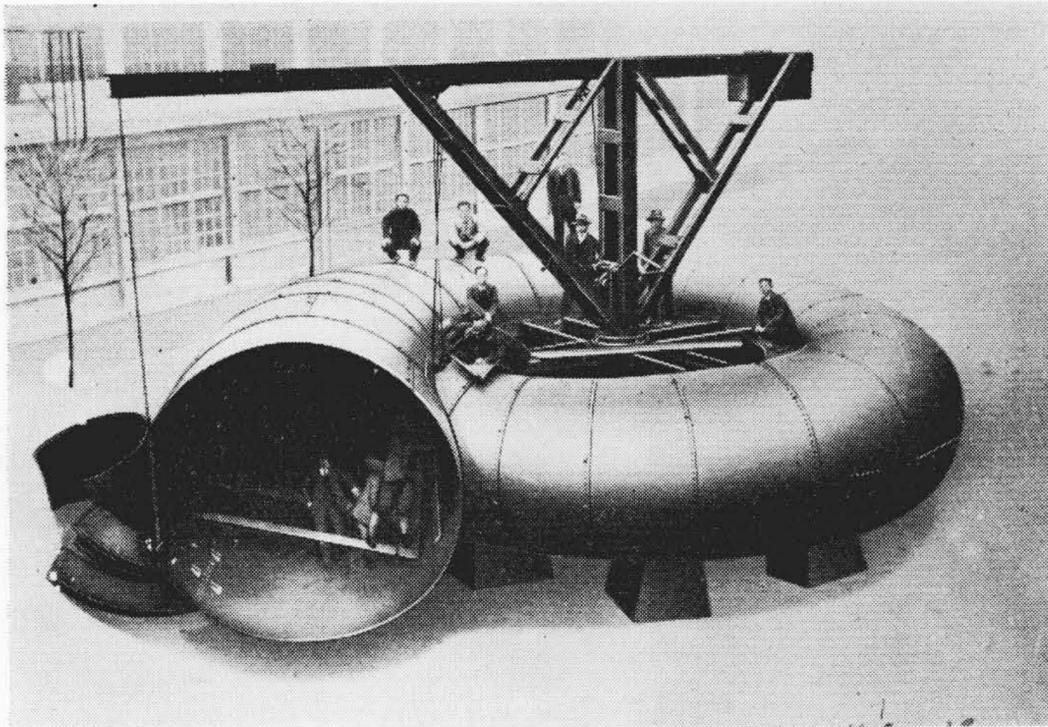
し日立水車発展の礎を築いたものである(第1図)。大正7年に製作した東濃電化納870HP水車および590kVA 600rpm 交流発電機は立形機の処女作品であり、推力軸受の構造、据付、振動などには幾多の苦心が払われた。

その後次々と製作記録を更新し、発展に発展を重ねてきたが、その模様を水車は第2図に、また発電機は第3図に示す。特に、カプラン水車の適用落差上昇の模様を第4図に示す。

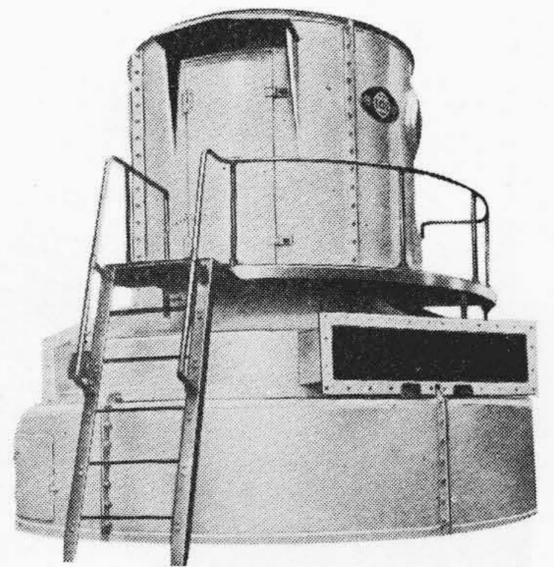
昭和3年に製作された富山県電、真川発電所納18,650HP 横軸ペルトン水車発電機各1台は、発電所に据付けられるユニット3台のうち1台を日立、ほかの2台をドイツから輸入したもので、計らず



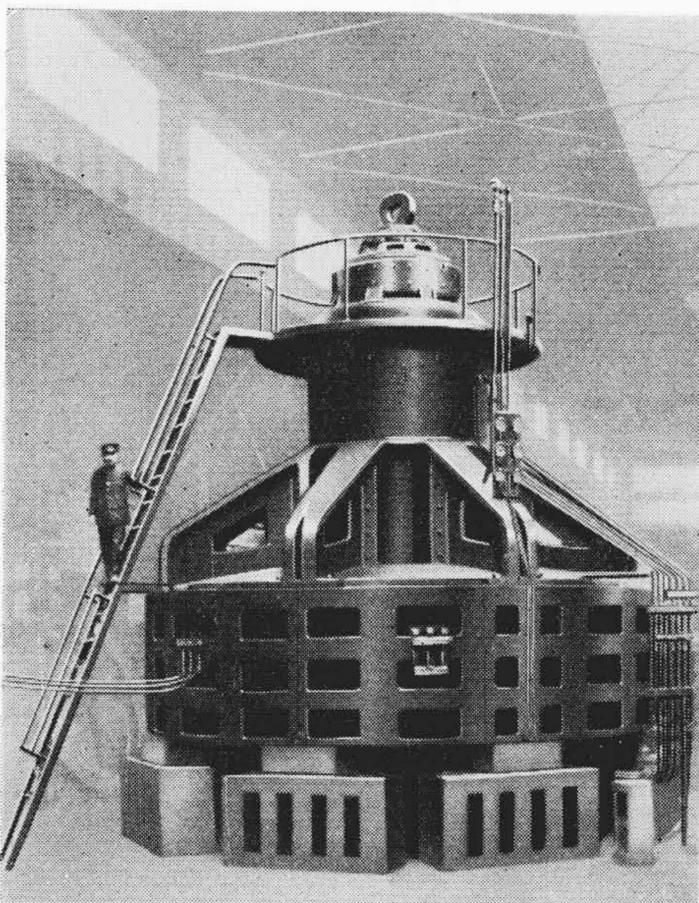
第5図 富山県電、真川発電所納18,650HP 横軸ペルトン水車、13,750kVA 交流発電機ならびに開放形調速機(昭和4年)



第6図 東信電気豊実発電所納 16,000 HP フランシス水車用ケーシングの工場組立状況 (昭和4年)



第8図 東邦電力厳木川発電所納 3,125 kVA 発電機(昭和5年)



第7図 豊実発電所 11,000 kVA 発電機(昭和4年)

しては非常な苦心を払った末に完成をみたものである。発電機は 11,000 kVA 11kV である。

昭和5年に製作された東邦電力厳木川発電所納 3,125kVA 2台および玉島川発電所納 2,500 kVA 1台は日本最初の屋外用立軸交流発電機である(第8図)。

また同年に広島電気川平発電所納 2,000 HP 立軸カプラン水車1台が完成した。本機は日立カプラン水車の処女作品である。

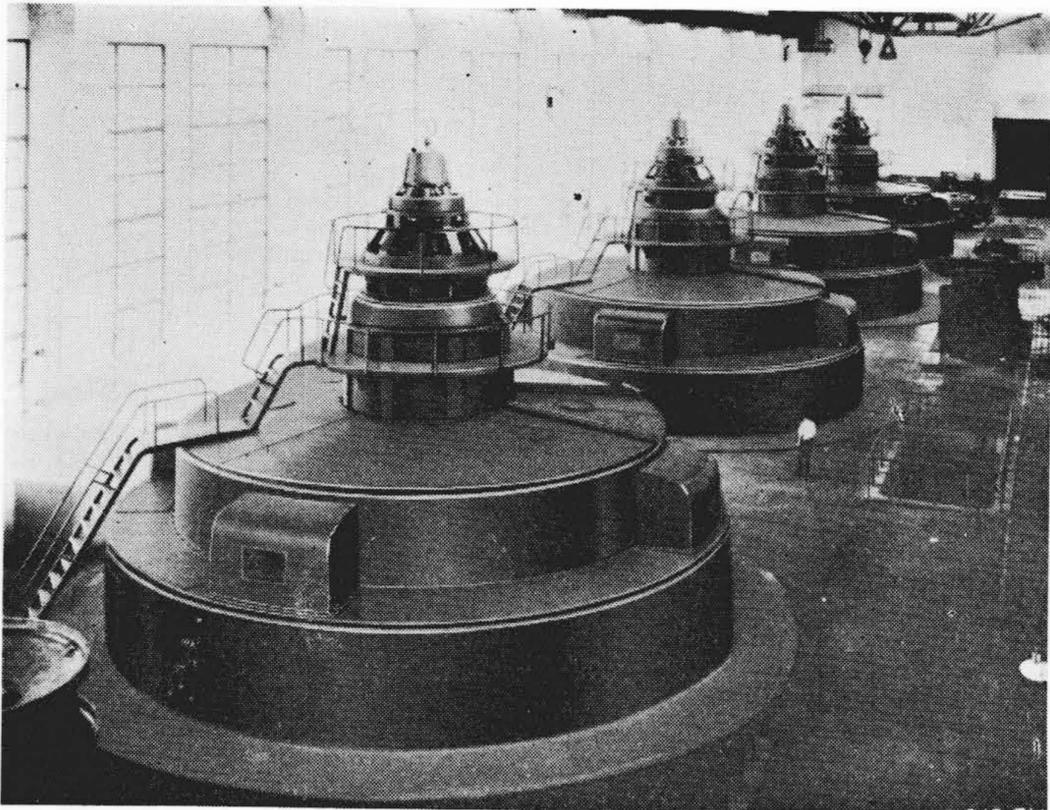
昭和11年には鉄道省千手発電所納 60,000HP 立軸フランシス水車3台が納入された。本機は当時のわが国における最大容量最大寸法の記録品であり、使用目的の重

要性に即応して非常に慎重に計画製作され、同時に徹底的な研究が並行して行われたため全般的技術を一段と向上し得たことは偉大な貢献をなしたといえる。発電機は 31,000 kVA, 150 rpm, 11,000V 3台で、本機はその負荷のほとんどが省線の電車運転であり、大幅の急激な負荷変動や、短時間の過負荷が予想されるので、短絡比は大きく約 1.7 にもとられ、また GD^2 は実に 6,600t-M² にも及ぶ巨大な機械であって、容量としても当時の記録品である。本発電所はその後昭和 18 年 8 月に 1 台、昭和 28 年 12 月に 1 台増設され、現在では 5 台が運転されている(第9図)。

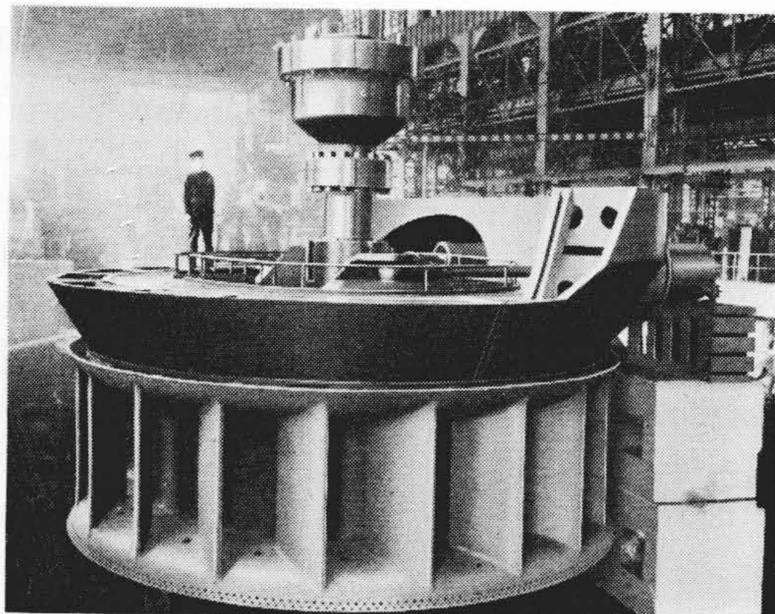
昭和 17 年には朝鮮、漢江水電清平発電所納 21,000 kW 立軸カプラン水車 2 台が完成した。この水車は当時のカプラン水車としての高落差、大容量の記録品であるばかりでなく、スピードリングは鋼板熔接製として記録的大形品であった(第10図)。

翌昭和 18 年には世界的にも屈指の大容量大形寸法である満州国水力電気建設局納 85,000 kW 立軸フランシス水車 2 台が完成した。この水車は激しい国際受注競争の結果、8 台の機械中日立 2 台のほかはドイツ、スイスへ分割発注されたものである。当時本機は日立的記録的製品であったと同時に外国 2 社の記録品でもあったもので戦時中の各種困難な事情の中で苦心して製作された。ランナは外径 4,500 mm, 重量 42 t という巨大なもので、現在に至るまで国産でできた最大寸法のものであろう。これに付随するスピードリング、ケーシングなどすべてその設計製作には種々の新しい考案が施され、試運転の結果は優秀なる性能を発揮し、日立の水車技術を内外に宣揚することができた(第11図)。

この水車に直結される発電機は 70,000 kVA 125 rpm 13.8 kV でこれまた外国製とならんで日立 2 台が据付ら



第9図 鉄道省千手発電所納 31,000 kVA 発電機 (昭和11年)



第10図 漢江水電清平発電所納 21,000 kW カプラン水車 (昭和17年)

れ、外観、性能ともにほかに劣らぬ優秀性が認められた(第12図)。

終戦後は全国的に、各工場の被爆と産業界の疲弊のため、電力消費量も少なく、したがって新規発電所の建設計画もとだえていたが、昭和24年関西電力木津川発電所納 670 kW 立軸プロペラ水車2台および同上用発電機を皮切りとして、新設発電所の発注が漸次活発化してきた。

昭和26年には東北電力沼沢沼発電所納 23,000 kW 横軸フランス水車、21,000 kW ポンプ、23,000 kVA 発電機各2台が完成した。これは世界屈指の大容量揚水発電機で、現地試験の結果も優秀な成績を収め、その後のわが国揚水式発電所用機器の製作に確固たる地歩と自信を築いたものである(第13図)。

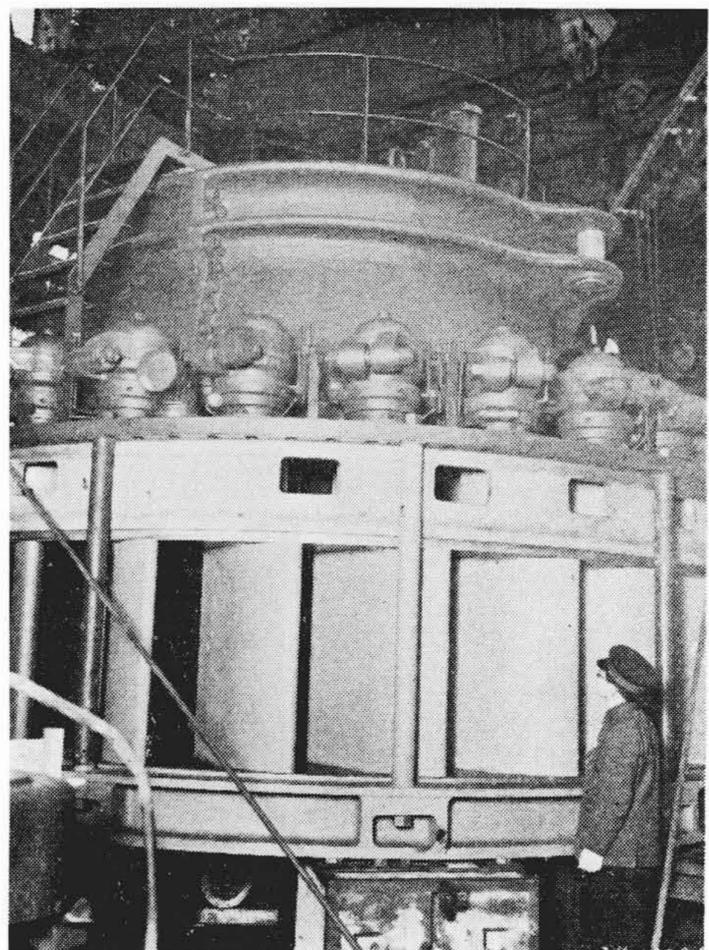
昭和28年には関西電力丸山発電所納 70,000 kW 立

軸フランス水車および 72,500 kVA 立軸発電機が完成した。本機は当時の国内設置最大容量の機械であり、水車には水圧による自動閉鎖式の案内羽根、指数法による流量測定装置、キャビネット形ガバナ、自動グリース給油装置などの新機軸が採用され、発電機には斬新な傘形構造が採用されている。

同年製作された東京電力白根発電所納 12,000 kW 立軸ペルトン水車1台はわが国最初の立軸ペルトン水車として各方面の注目の的となったものであるが、模型試験によるランナ特性、上カバー形状の研究などの事前実験の成果を十分に生かして良好な成績を収めることができた。

東北電力本名発電所納 30,000 kW カプラン水車は大容量機としての記録品であるばかりでなく、その落差は 36.1 m で、当時の高落差の記録品であり、ランナのキャビテーション性能の改善に努力した結果、予期以上の好成績を収めることができた。わが国高落差カプラン水車の発展の基礎となった特筆さるべき水車である。

昭和29年には中部電力姫川第3発電所納 13,000 kW 立軸カプラン水車の完成をみ、高落差の記録は 55 m に更新された。本水車にはわが国最初の8枚羽根のランナが

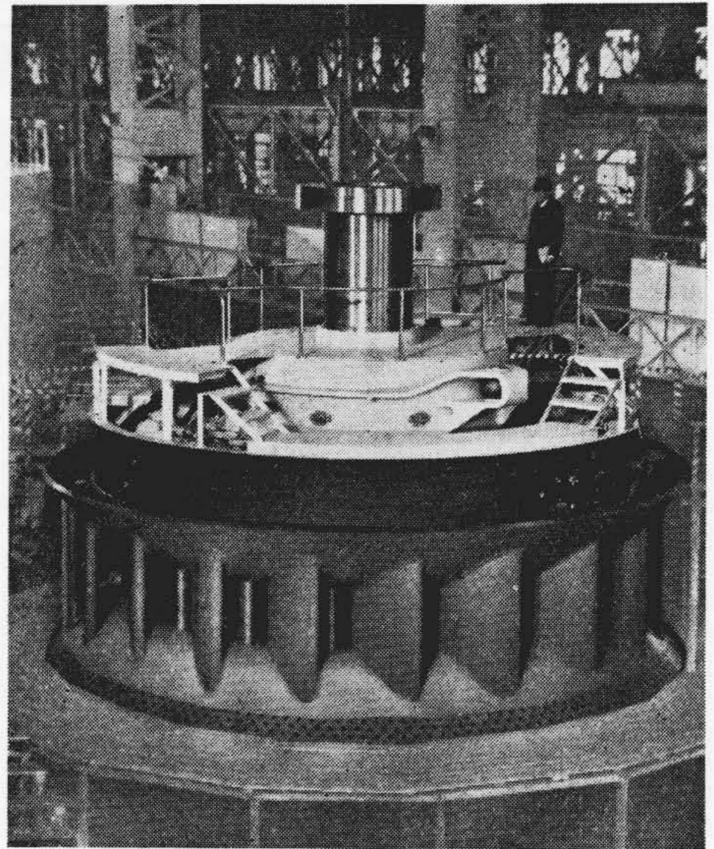


第11図 満州国水力電気建設局松花江発電所納 85,000 kW フランス水車 (昭和18年)

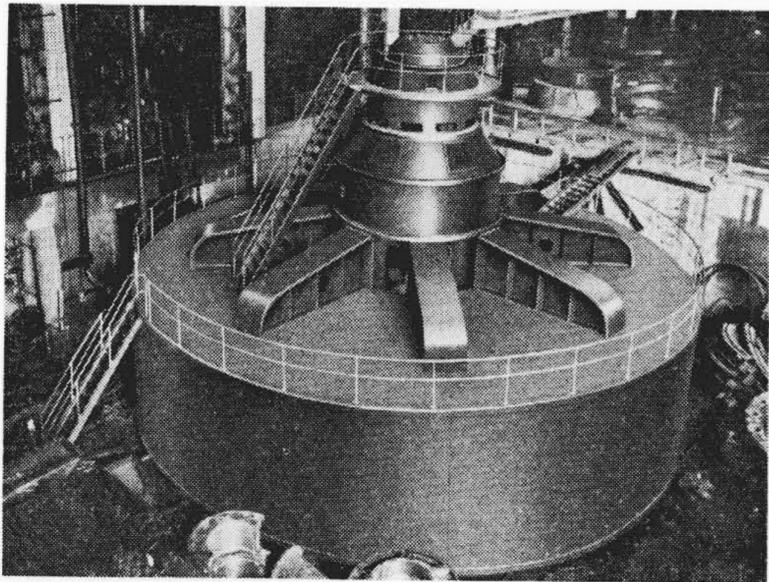
使用され、予期の成績を収めることができた。

昭和30年に完成した電源開発佐久間発電所納100,000 kW 立軸フランシス水車および93,000kVA 発電機各2台はともにわが国設置の容量記録を更新したものである。特に発電機は世界最大の傘形機であるので回転安定度の点から軸受構造には特に苦心が払われている(第14~15図)。

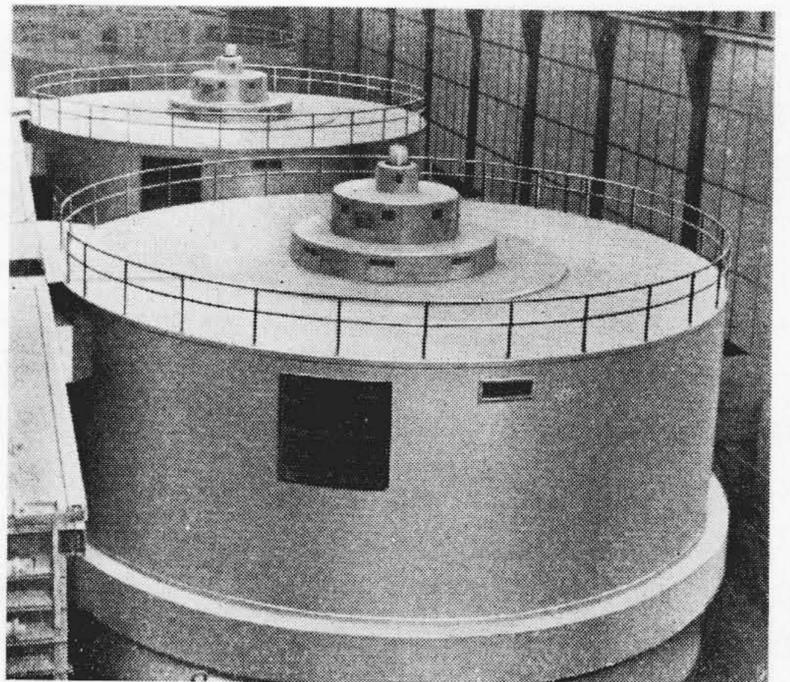
昭和31年には関西電力殿山発電所納17,000kW カプラン水車が完成した。この水車は落差71mの高落差カプラン水車であって、当時世界最高落差を誇ったものであるが、運転結果の優秀なことは斯界の絶讃を博し、高落差カプラン水車製作技術において他の追随を許さぬ地歩を確保したものである(第16図)。



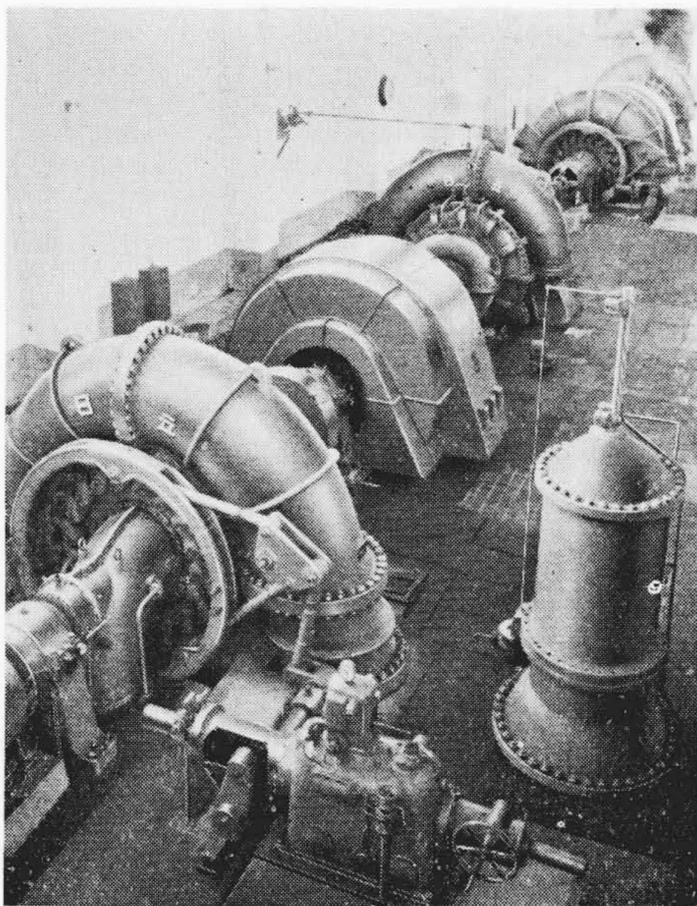
第14図 電源開発佐久間発電所納100,000 kW フランシス水車(昭和30年)



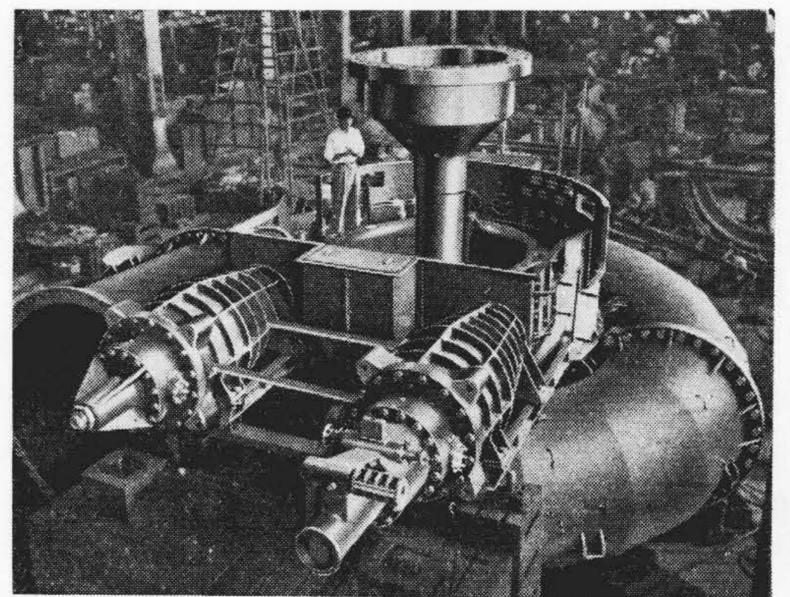
第12図 満州国松花江発電所納70,000 kVA 発電機



第15図 佐久間発電所納93,000 kVA 発電機



第13図 東北電力沼沢沼揚水発電所(昭和26年)
手前より23,000 kW フランシス水車, 23,000kVA 発電機, 21,000 kW 揚水ポンプを示す



第16図 関西電力殿山発電所納17,000 kW 高落差カプラン水車(昭和31年)

第2表 輸出向水車ならびに発電機製作記録

Country	Plant	Turbine Output (kW)	Head (m)	Speed (rpm)	Type	Generator Capacity (kVA)	Voltage (V)	Type	No. of Unit	Initial Operation
Korea	Hwachon	30,000	62.2-75.7	200	FSS-V	30,000	11,000	VEF-R	3	1941
China	Sungari	85,000	69	125	FSS-V	70,000	13,800	VEF-RD	2	1957
Korea	Chong-Pyong	21,000	23.5	163.8	PMS-V	22,000	11,000	VEF-R	2	1943
Brazil	Macabu	3,300	306.5	750	P ₂ N ₄ -H	3,750	3,000	SFB-R	2	1943
China	Tien-Leng	23,500	173	400	FSS-V	23,500	11,000	VEF-R	3	1940
Brazil	Macabu	3,300	306.5	750	P ₂ N ₄ -H	3,750	3,000	SFB-R	1	1950
Argentina	Escaba	9,000	135	600	FSS-V	10,000	13,200	VEF-RD	3	1952
China	Tien-Leng	23,500	173	400	FSS-V	23,500	11,000	VEF-R	1	1955
China	Tung-Men	7,700	157.6	600	FSS-V	10,000	11,000	VEF-R	3	1952
Argentina	Rio.Corrallito	8,000	232	375	P ₁ N ₂ -H	8,250	13,200	EFB-RD	2	1954
Brazil	Avanhandava	5,800	18.5	257	PMS-V	6,250	6,600	VEFKW-RD	2	Under Const.(1959)
India	Munirabad	9,340	23.5	214	PMS-V	10,000	11,000	VEFKW-RD	2	1958
Burma	Balu-Chaung	29,840	423.96	423.5	2P ₁ N ₂ -H	31,000	11,000	EFBW-RD	3	Under Const.(1960)
India	Ganguwal	29,840	32.8	167	PFS-V	32,500	11,000	VEFKW-RD	1	Under Const.(1960)
India	Kotla	29,840	32.8	167	PFS-V	32,500	11,000	VEFKW-RD	1	Under Const.(1960)
Mexico	Sanalona	8,500	55.67	300	FSS-V	8,750	6,900	VEFW-RD	1	Under Const.(1960)
India	Hirakud No.1	38,800	36.3	150	PMS-V	41,666	11,000	VEFKW-RD	1	Under Const.(1960)
India	Bhakra	112,000	156	167	FSS-V	(Metropolitan Vickers)			5	Under Const.(1961)
Brazil	Paulo Afonso (S.Morgan Smith)			200		83,000	13,800	VEFKW-RD	2	Under Const.(1959)
India	Bhadra, River Bed (Neyrpic)			250		14,200	11,000	VEFW-RD	2	Under Const.
India	Bhadra, Right Bank (Neyrpic)			214		8,500	11,000	VEFKW-RD	1	Under Const.
India	Bhadra, Left Bank (Neyrpic)			500		2,355	11,000	EFBW-RD	1	Under Const.

上記のほか現在製作中あるいは据付中のものには次のような注目すべき製品が数多くある。

中国電力淹山川発電所納 53,200 kW フランス水車は落差 314.4 m で高落差大容量フランス水車としての記録品である。東北電力上野尻発電所納 21,000 kW カプラン水車 3 台は、わが国最大の直径 5 m を越えるランナを有するもので、また熊本県市房第一発電所納 15,800 kW カプラン水車は落差 73.35 m で殿山発電所用水車をしのぐ高落差カプラン水車である。また関西電力黒部川第四発電所納 98,400 kW 立軸ペルトン水車は世界的大容量の記録機であるが、広範囲にわたる徹底的な模型試験による性能研究のほかにバケット、ランナー一体鋳造の研究などをも行い目下製作中である。これに直結される発電機は 95,000 kVA 360 rpm のもので高速大容量機として世界でも有数のものである。

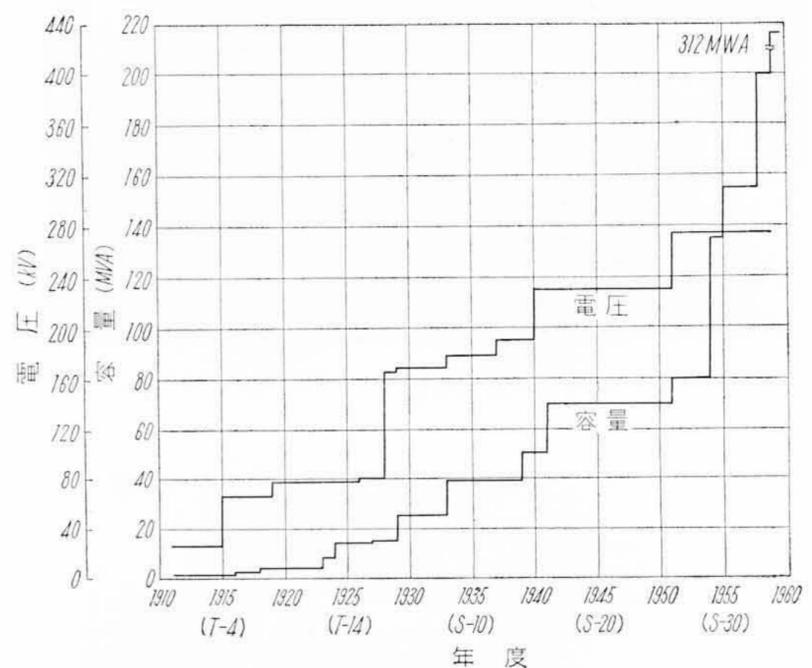
現在製作中の四国電力大森川発電所納 12,100 kW フランス形ポンプ水車はわが国最初の可逆式ポンプ水車であり、かつ世界最高の揚程を誇る可逆機である。

また電源開発御母衣発電所納 137,500 kW 立軸フランス水車および 125,000 kVA 225 rpm 発電機は、佐久間発電所の記録をさらに大きく上回る記録的大容量機である。

かくして絶えざる努力と国内における幾多の経験の結果、日立製品の真価が広く世界に認められるに及び、輸出の面においても第2表に示すごとき成果を上げている。

2.2 変圧器

明治43年(1910年)に5kVA変圧器を初めて製作して以来第1表に掲げたごとく漸次記録を更新してきた。第



第17図 変圧器記録容量および電圧変遷図

17図に容量更新の足取りを示す。

初期の大容量器はすべて冷却は油入水冷式を採用し、自冷式ラジエータの開発されたのは大正末期ころで、保守に手数のかからぬことをねらいとした。

大正年間には電圧 77 kV、容量も 1,500 kVA 程度であったが、昭和3年(1928年)幾多の辛酸をなめて完成した 164 kV 12,500 kVA 単相自冷式変圧器は当時の日立の技術的地位を強固なものとした記録品である。当時の 77 kV から 164 kV への飛躍は、現在われわれの直面しているところの 400 kV への飛躍には比ぶべくもない苦心があった。

その後続々と 161 kV 級の変圧器が製作されたが、満州、朝鮮の電源開発が計画されるに及んで 230 kV 超高压送電が具体化し、昭和12年(1937年)200 kV 20,000 kVA

単相変圧器を試作し、その研究にのりだした。

昭和 15 年満州国松花江発電所用として製作された 230 kV 70,000 kVA 油入風冷式変圧器は当時の世界的記録品である。

戦後いち早く昭和 23 年には昭和電工株式会社に 140 kV 60,000 kVA 自冷式変圧器を納入して自冷式としての記録をつくり、さらに 27 年には関西電力新北陸幹線成出発電所にわが国最初の超高圧 275 kV 70,000 kVA (等価容量 80,000 kVA) 三相送油水冷式変圧器を納入した。電圧においては今なお記録品である。

その後単位容量は増大の一途をたどり、220kV 180,000 kVA (等価容量 200,000 kVA) を 33年に完成し、275 kV 264,000 kVA (等価容量 312,000 kVA 日本記録品) を製作中である。

2.3 配 電 盤

明治 44 年 (1911) 電鍊用 400 kW 電動発電機の配電盤 6 面の製作を手始めに配電盤の製作を開始した。盤材は常陸産の強度も大きく優秀な縞目大理石を使用し、一部には長州産の強度は小さいが均一性のある白色大理石を使用した。仕上は磨きとし天然色美を發揮させていた。

大正 7 年より低圧用には相当長期にわたり壁かけ形の木製配電盤を製作していた。

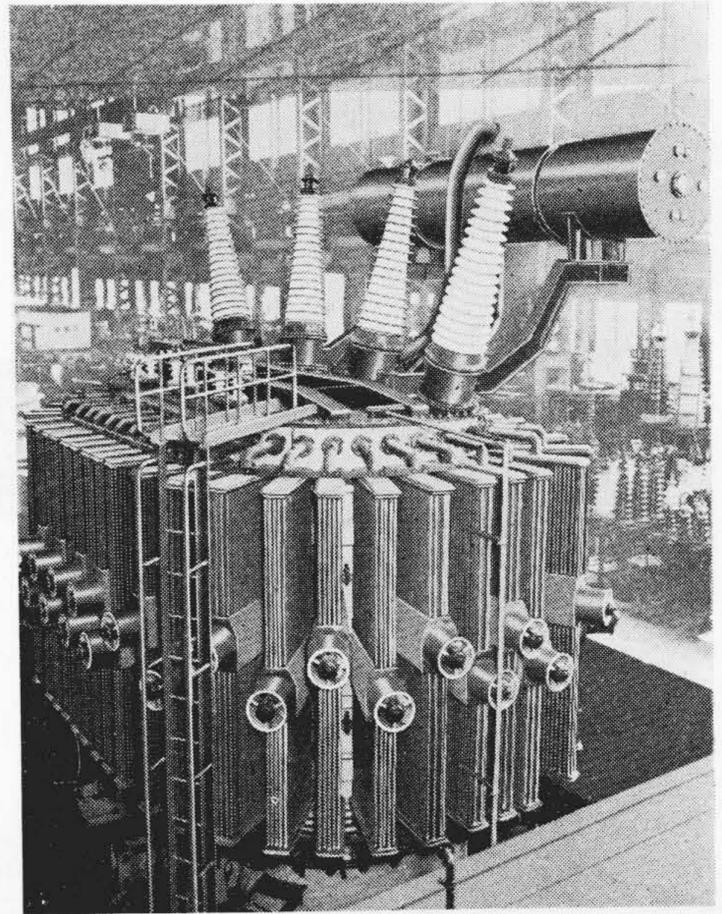
初期の被制御機器は容量も小さく設備も簡単であったため、直接手動式が多くもっぱら垂直形が採用された。また当時は規模も小さいので制御する機器の付近で、機器の状況を見ながら制御していた。容量が大きくなり、台数が増し、電圧も高く、制御もやや複雑となってからは垂直形の直接あるいは機械的遠方操作式では制御困難となり、大正 11 年にベンチ形電氣的遠方操作式を製作した。この形は中間から見透しがきき水車発電機の状況を見ながら制御できる。継電器盤は垂直形として別設置している。

その後機器の信頼度と監視制御装置の進歩により、全体をまとめたベンチ形となり、背面を継電器盤として要領よくまとめている。仕上りは周囲との調和、反射による監視者の疲労を考え大正 5 年ころから黒色艶消仕上を採用し始めた。

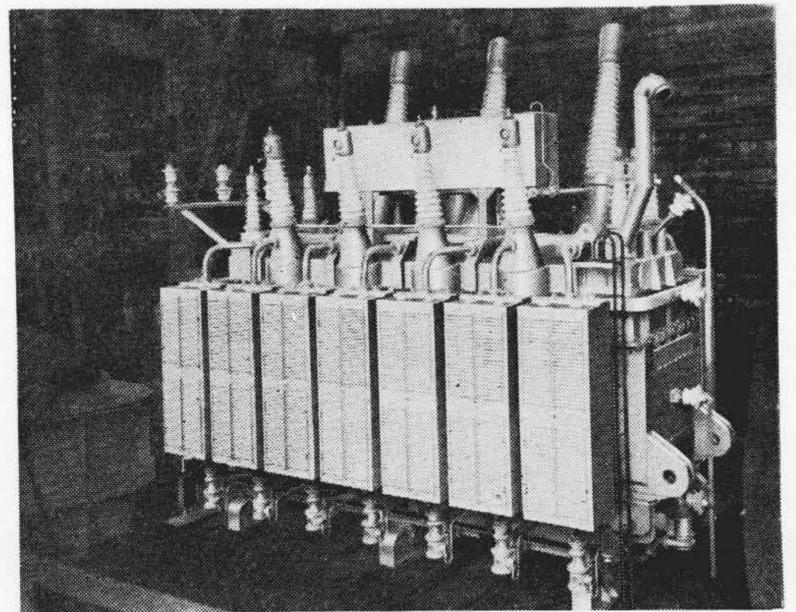
容量、台数ともに増大するに従い、面数が多くなると直線配列では監視に不便を生ずるので、昭和 3 年扇形配列のベンチ形が採用された。

その後取扱保守ならびに体裁の面から盤取付器具は表面死形が採用されるようになり、盤は絶縁物の必要がなく重くて加工取り扱いに不便な大理石盤に代り、軽くて加工取り扱いに便利な鋼板製盤を昭和 6 年より製作を始めた。仕上は大理石と同様黒色艶消仕上である。

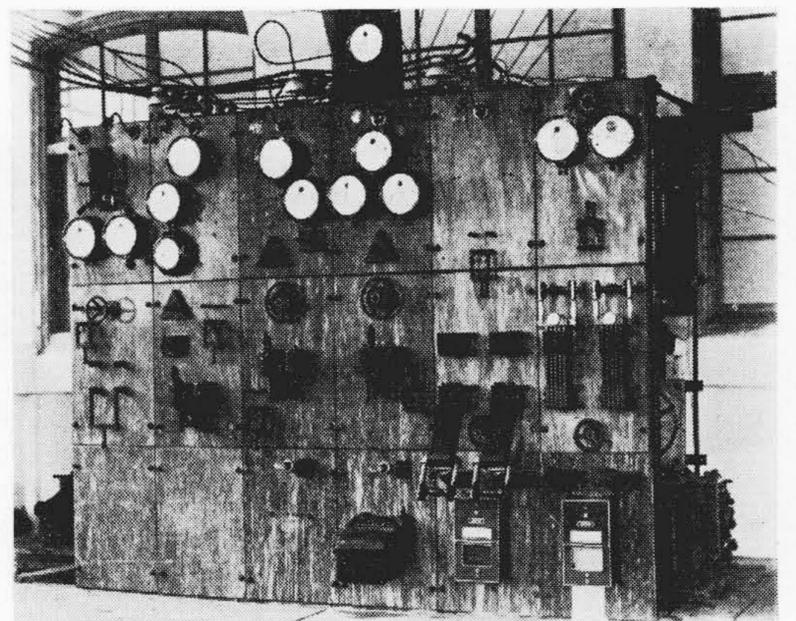
制御の簡易化ないしは単一化のための一人制御方式が昭和 4 年から採用されるようになり、分離機のベンチ形



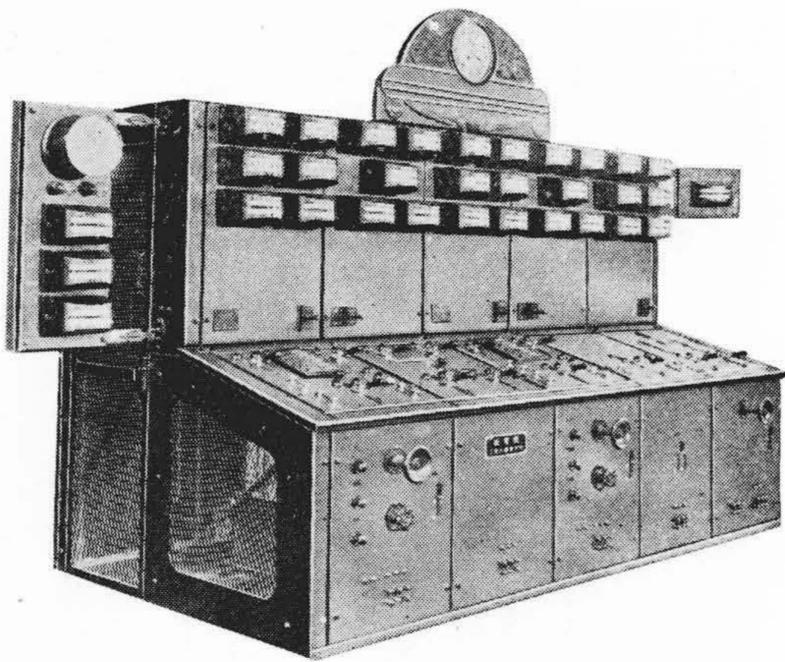
第 18 図 満州国松花江発電所納 230 kV 70,000 kVA 三相油入風冷式変圧器 (昭和 15 年)



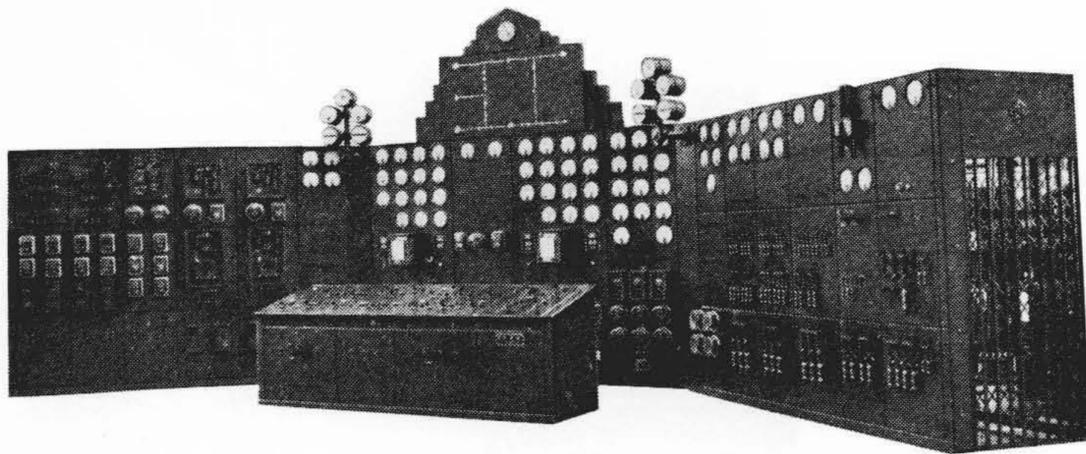
第 19 図 220 kV 180,000 kVA (等価容量 200,000kVA) 三相送油風冷式変圧器 (昭和 33 年)



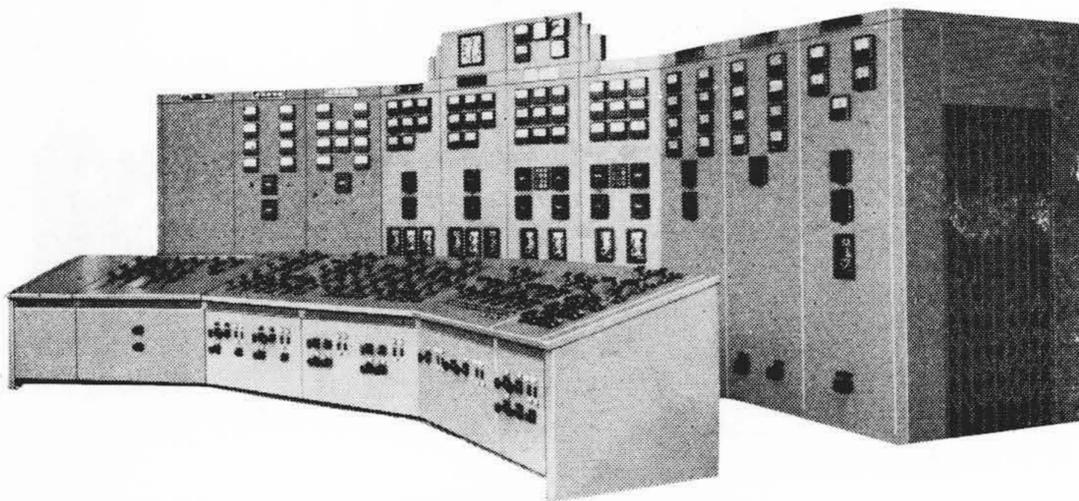
第 20 図 垂直形磨き仕上大理石製配電盤



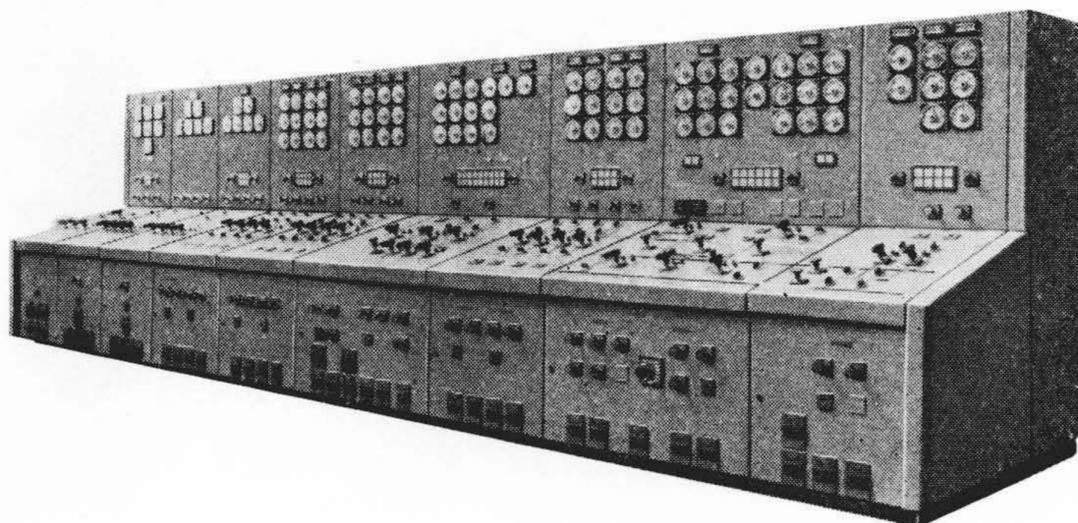
第 21 図 ベ ン チ 形 配 電 盤



第 22 図 集 中 制 御 様 式 扇 形 配 列 配 電 盤



第 23 図 分 離 机 形 扇 形 配 列 配 電 盤



第 24 図 照 光 式 系 統 図 盤 付 ベ ン チ 形 縮 小 配 電 盤

が製作され、また扇形配列も採用された。なお集中制御様式の操作機も製作されている。

長期にわたり黒一色であった配電盤も、昭和 24 年から盤のみに淡灰色塗仕上を採り入れ、さらに昭和 27 年国鉄の提案により器具を含めた全体の色彩調節を実施した。

かくして自動制御の進歩と信頼度の向上により、運転ないしは運営の合理化、総合能率の向上を計るための制御の集中化が考慮され、中央総括制御を円滑に遂行するに便利な縮小形ベンチボードが昭和 27 年に開発された。この形は斜面の制御盤および補助垂直盤を扇式として内部の点検を容易にすることにより縮小化に成功している。

その後幾多の改良進歩があり今日に至っているが、さらにいっそう監視を容易にするため照光系統図盤付の縮小形ベンチボードも採用されるようになった。

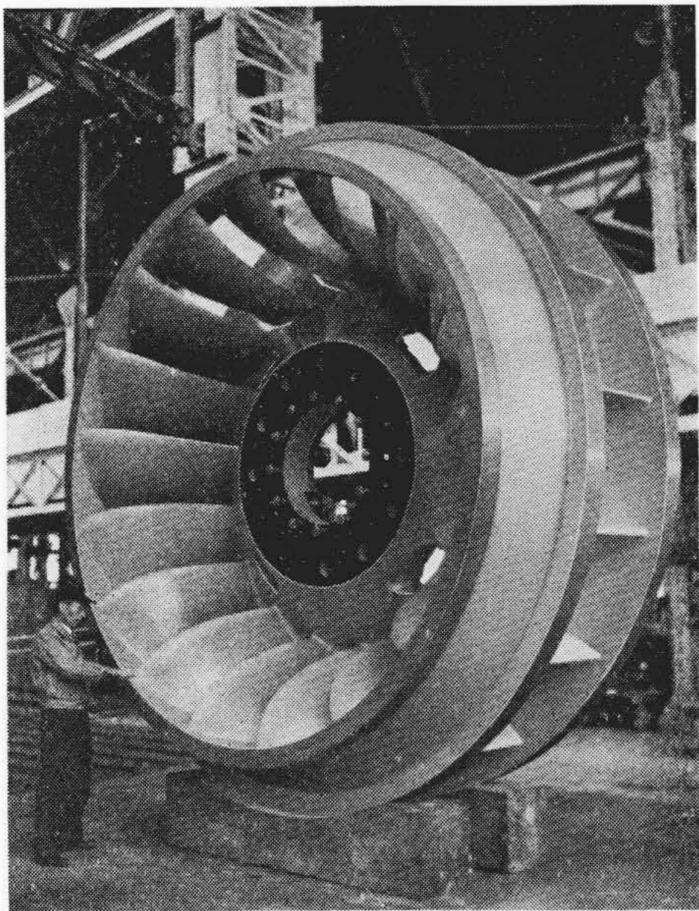
3. 技術の進歩および最近の傾向

3.1 水 車

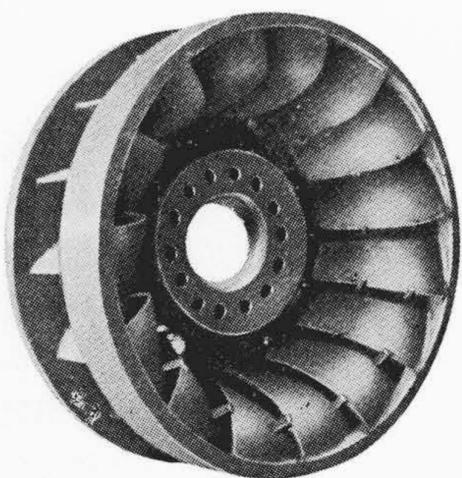
3.1.1 最近の傾向

わが国の電力の供給源として従来は基底負荷を水力発電で受けもたされてきたが、最近では新鋭火力発電所が大容量化され、きわめて高能率発電が可能となり、加えて水力地点の開発が資金的に困難を伴うようになるに至り逆に火主水従の傾向が顕著になってきた。これに伴い最近の水車には種々の新しい特長がみられるようになった。

すなわち(i)発電所における設置台数を少なくして建設費の低減ならびに機器の効率の上昇を計る。これは必然的に単機容量の増大と水車の大型化を招く。(ii)新しい種類の水車、たとえばフランス形ならびに斜流形ポンプ水車などの揚水式発電所用可逆機、低落差地点開発に適した筒形水車などの開発。(iii)水車调速機、制御装置の進歩による水車の高能率運転ならびに制御のオートメーション化などであるが、これらはすべてより経済的な水力開発と総合的効率上昇を目指しているものであることはいうまでもない。しかしこ



第 25 図 電源開発佐久間発電所納 100,000 kW フランシス水車用ランナ, 外径 3,500 mm 重量 30 t



第 26 図 溶接構造フランシスランナ

これらの進歩は与えられた唯一の方法としての模型試験を強力に推進せしめたところに報いられるものであり、構造、材料などの基礎研究とあいまって初めて具体化されたものである。

3.1.2 フランシス水車

模型による効率試験、キャビテーション試験の結果を基として性能の改善に努力した結果、最近のランナの性能はほとんどその極限にまで達したかの感がある。最近の水車の高速化ならびに高落差フランシス水車の発達は性能面の改善もさることながら使用する材料の進歩にまつところがはなはだ大きい。磁歪振動形の潰蝕試験および水中の土砂による摩耗試験などは材料の研

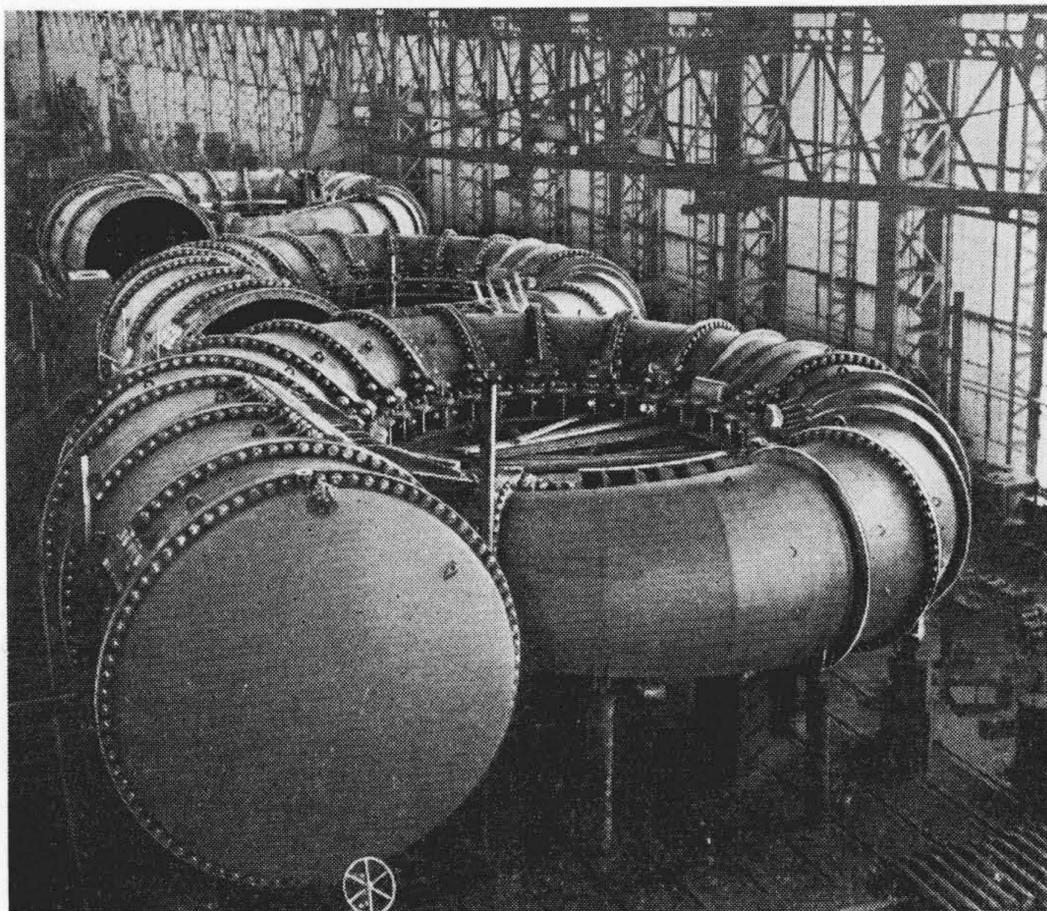
究に大きな役割をはたした。単位容量の大形化に伴いランナ寸法も大きくなり、特に可逆機のランナになればポンプ性能を具備さすため普通の水車ランナより著しく外径寸法は大きくなり、製作上の困難も増してくるので、これが解決策として溶接構造ランナが研究されており最近では相当大形のものでも製作可能の目途がついている。

水車のケーシング、スピードリングは昔は鋳鋼製が普通であったが最近はそのほとんどが鋼板溶接製となり、落差 300m をこえる水車にまで全溶接ケーシングを採用した例もある。

低落差大容量水車のケーシングは形状が巨大となり、輸送上の理由から現地リベット、接手の分割構造とするのが普通であるが、現在据付のインド政府バークラ発電所納 150,000 HP フランシス水車 5 台のケーシングは、入口径 4,000 mm, 総重量 200 t にも達するものであるが、ケーシング、スピードリングとを一体とした鋼板溶接製とし、輸送可能寸法に 16 分割したフランジ接続が採用された。分割合せ目の機械仕上げはただならぬ苦心が払われたが、このケーシングの工場および現地における水圧試験の結果はまれにみる好成績を示したことは最近の工作技術の優秀性を実証したものと見える。

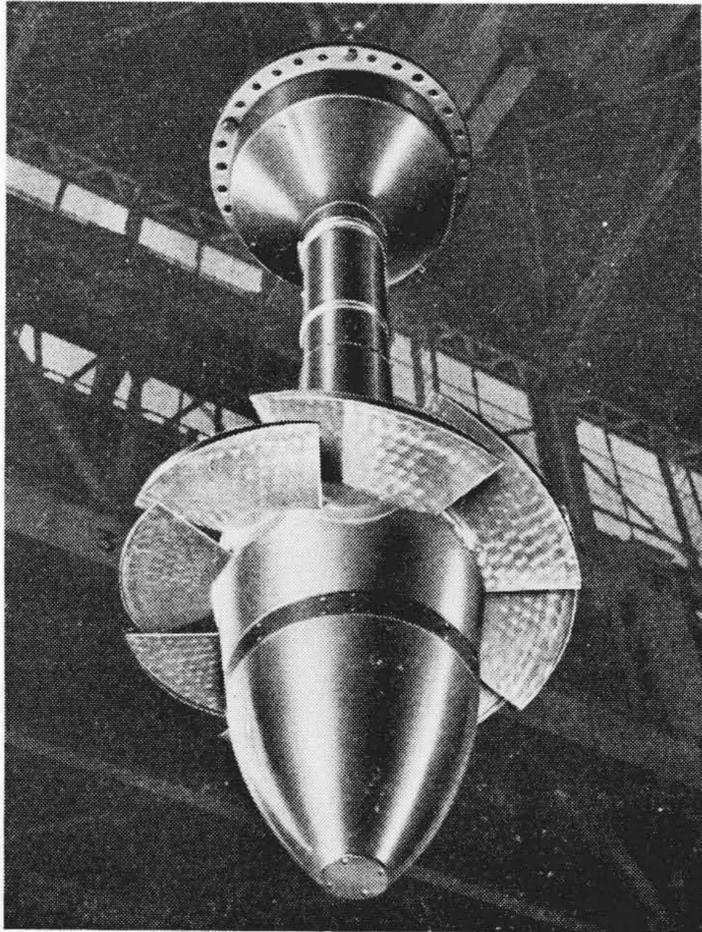
3.1.3 カプラン水車

戦前まではカプラン水車の適用落差は 30m 以下が常識とされていたが、昭和 28 年、東北電力本名発電所納 30,000 kW カプラン水車にて落差 36.1m の記録

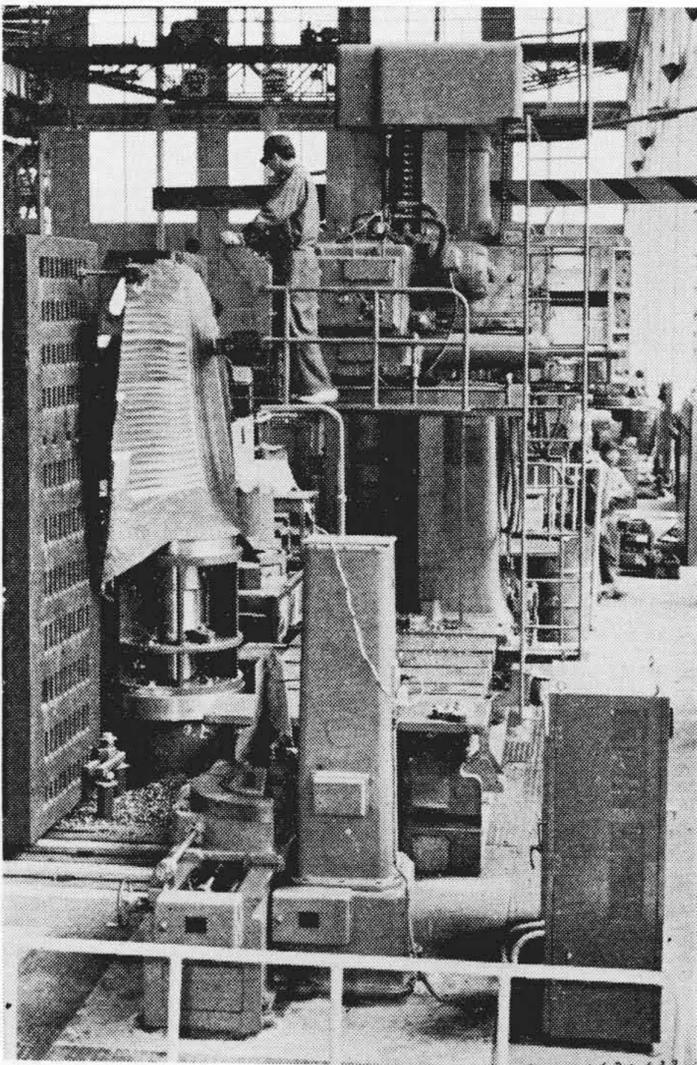


第 27 図 インド政府バークラ発電所納 150,000 HP フランシス水車, ケーシング入口径 4,000 mm 全重量 200 t

が樹立されて以来わが国高落差カプラン水車の発達は目ざましく諸外国と肩を並べるに至った。高落差カプラン水車で特に問題となるのはキャビテーション性能とランナ関係の強度であるが、これに関しては二次元



第 28 図 関西電力殿山発電所納 17,000 kW
高落差カプラン水車用ランナ落差 71m



第 29 図 東北電力上野尻発電所納 21,000 kW
カプラン水車ランナブレードの機械加工状況
(電気式拡大ならい装置を使用)

翼形ならびに模型水車によるキャビテーション試験、あるいはランナボス断面の光弾性試験、模型ランナボスによる無拘束速度時のランナボスの応力実測などを行って短時日の間に確固たる地歩を築いてしまった。昭和 32 年 4 月に運転に入った落差 71m の当時世界最高落差カプラン水車である関西電力殿山発電所納 17,000 kW カプラン水車は運転が非常に静粛であるのみならず、現地効率試験結果も予想通りに優秀であった。本名(36.1m), 姫川第三(55m), 岩知志(59m), 殿山(71m), 市房第一(73.35m)とわが国高落差カプラン水車はほとんど日立水車の独壇場の結果となっている。

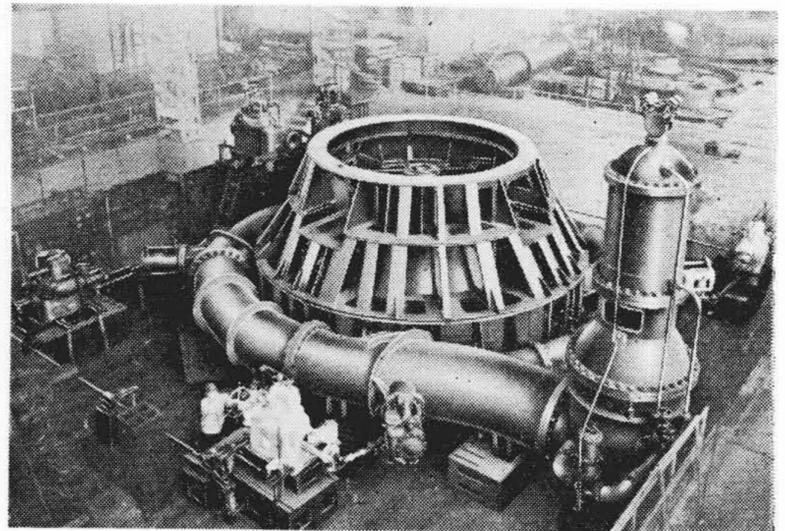
また東北電力上野尻発電所納 21,000 kW カプラン水車ランナは外径 5,150mm のわが国最大のランナであるが、ブレード翼面の加工は拡大ならい方式による専用の自社製工作機を使用した結果、高精度をもって製作工程を大いに短縮することができた。

大形の水車に対してはますます鋼板熔接構造を多く用いて、大形鋳物に起りやすい欠陥の防止と製作工程の短縮を計っている。上記上野尻発電所用水車では回転部と案内羽根以外はほとんど鋼板熔接となっている。

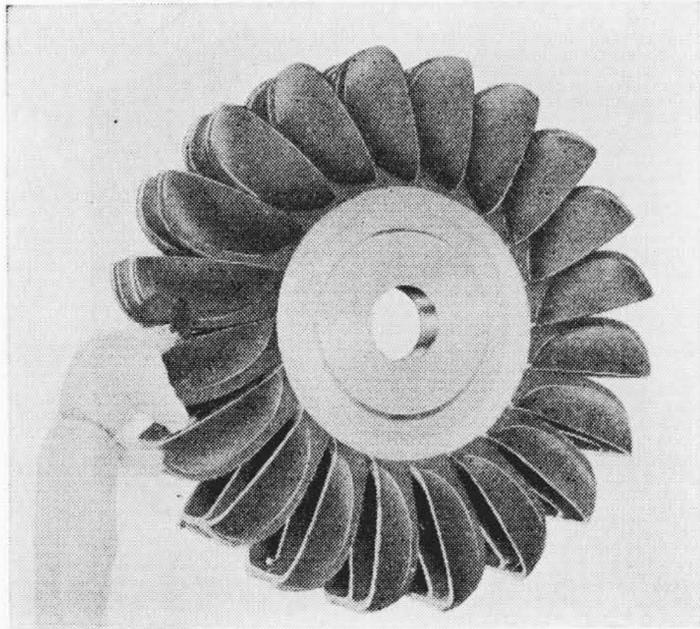
3.1.4 ペルトン水車

ペルトン水車の総合特有速度を高めるために最近ではジェットの数も多くできる立軸ペルトン水車が多く用いられる傾向にある。昭和 28 年に製作された東京電力白根発電所納 12,000 kW ペルトン水車はわが国最初の立軸ペルトン水車であった。

昭和 33 年に受注した関西電力黒部川第四発電所納 98,400 kW 立軸ペルトン水車は、わが国最初の 6 本ノズル立軸ペルトン水車であり、しかも記録的大容量機であるので設計製作に先だって広汎な試験が実施されている。ケーシングの各部寸法が水車性能に及ぼす影響、ジェットの相互干渉、あるいは上カバーの形状の影響など白根水車の経験からさらに前進した研究成果



第 30 図 東京電力白根発電所納 12,000 kW
立軸 4 本ノズルペルトン水車



第 31 図 ビルマ政府ブルーチャン発電所納
40,000 HP ペルトン水車用 13Cr 一体鑄造
ランナ, ホイール径 1,820 mm, 重量 6 t

を数多取り入れて完璧を期している。

ペルトンバケットの鑄造は非常に高度の技術を必要とし、従来は1連あるいは2連バケットをディスクにボルト締めする方式がとられたが、鑄造技術の進歩により、一体鑄造ランナの製作が可能となり現在では10tをこえる一体不銹鑄鋼ランナの製作も可能となった。

3.1.5 ポンプ水車

揚水発電所には水車とポンプをそれぞれ別個に設置する別置式と、1台の機械を正逆転してポンプあるいは水車に共用する可逆機とがあり、おのおの一長一短があるが大體一段のポンプであげうる範囲の揚程、落差に対しては可逆機ポンプ水車が使用される傾向にある。

昭和30年以降模型によるフランシス形可逆ポンプ水車の研究が続けられたが、昭和32年には四国電力

大森川発電所納 12,100 kW 可逆ポンプ水車の受注決定をみた。本発電所は水車としては落差 74.3 m から 116.85 m, ポンプとしては総揚程 92 m から 127.8 m の変落差で、可逆機としては世界最高の揚程である。

上記の可逆ポンプ水車はフランシス形のランナを有しているが、斜流可動翼形の可逆ポンプ水車についても現在研究中である。

3.1.6 模型試験

日立水車の初期においてはもちろん模型水車による性能研究などは考えられていなかった。水車の特性は実物水車の運転結果から判断するほかなかったことが設計の改善に大きな障害となっていた。しかし大正9年には不十分ながら模型試験設備を作り、さらに同13年には水力実験設備の基礎が確立し、その後の水車の設計に大きな役割を果すことになった。

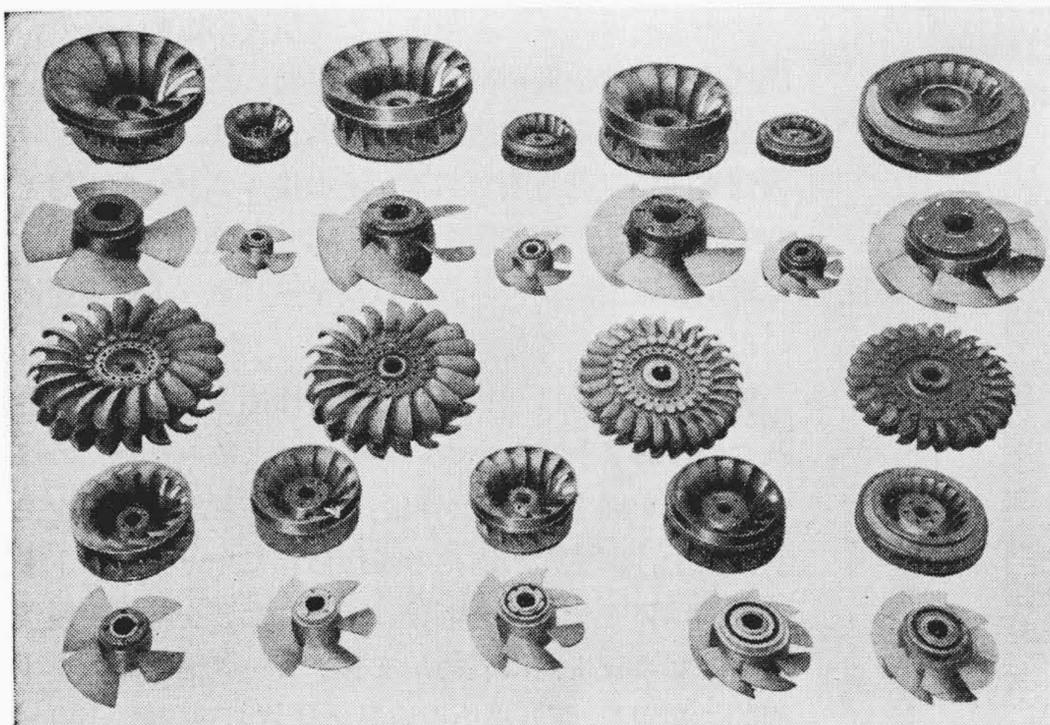
昭和10年、水車の製作工場を亀戸工場より日立工場へ移すのに伴って、日立工場に新しい水力実験室が完成して完備した近代的設備で本格的な模型試験が開始され、設計技術も一段と向上した。

模型水車によるキャビテーション試験は、昭和15年にこの水力実験室に試験設備が完成し、もっぱらカプラン水車のキャビテーション試験の研究に使用されていた。

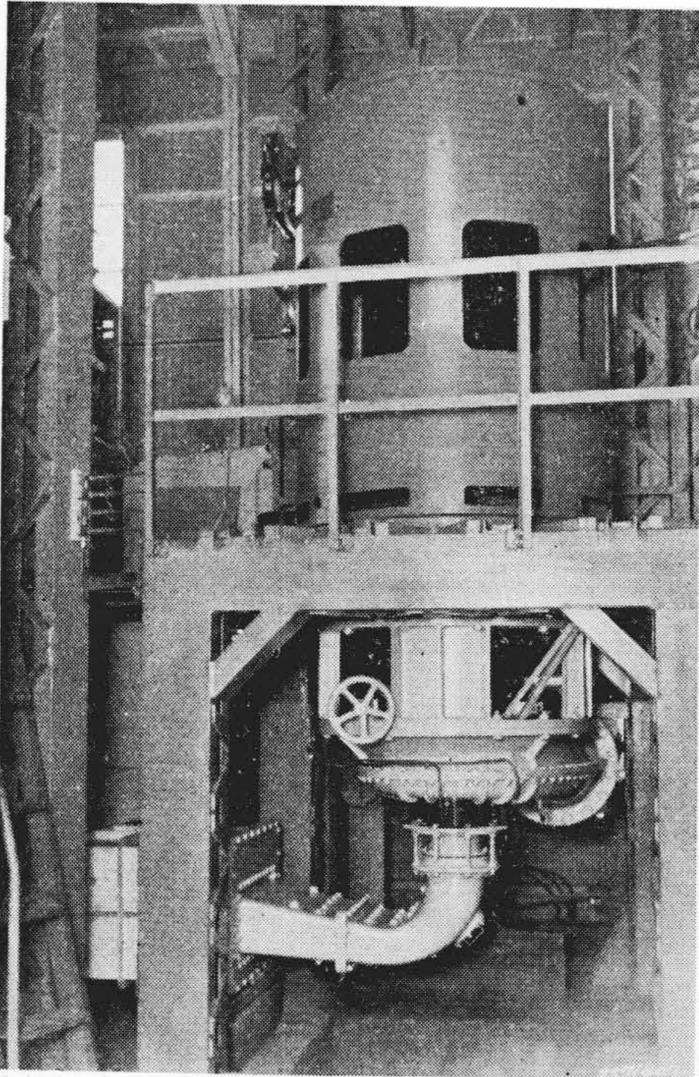
昭和26年には新潟県三面発電所納 16,500 kW フランシス水車につきキャビテーション試験を実施した。昭和27年、東北電力片門発電所納 22,500 kW カプラン水車で飛躍的なキャビテーション試験が施行され、翌28年にはわが国最初の実落差キャビテーション試験装置が完成し、本名発電所用高落差カプラン水車の模型水車について実落差キャビテーション試験が実施された。

本研究に不可欠のストロボ観察用同期照明装置の改良にはなみなみならぬ苦労を重ねるほか透明窓の構造そのほかにも幾多の改良研究に心血が注がれ逐次設備は完全なものに近づいた。またカプラン水車のランナブレードに使用する翼形については昭和27年以来、東北大学高速力学研究所沼知教授の御協力により漸次優秀なる高効率かつ高キャビテーション性能の翼形が開発され、日立水車が高落差カプラン水車において確固たる基礎を築くことができた。

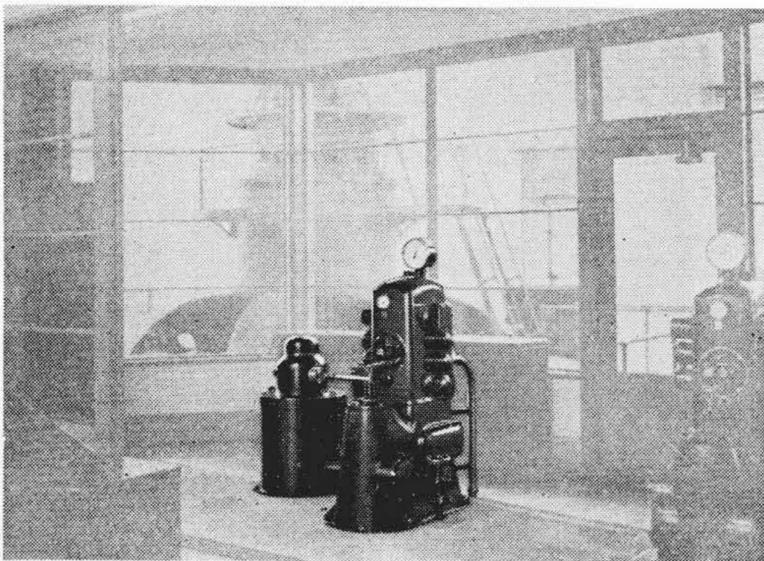
現在水力実験室にはフランシス、カプラン水車効率試験設備2基、高、低落差キャビテーション試験設備各1基



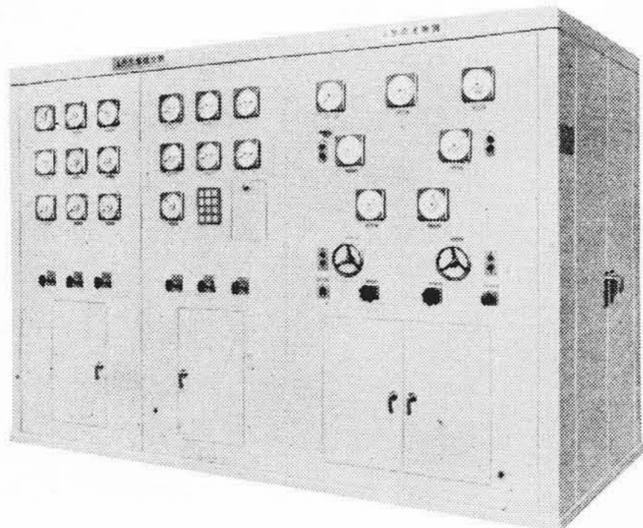
第 32 図 模 型 試 験 用 ラ ン ナ 例



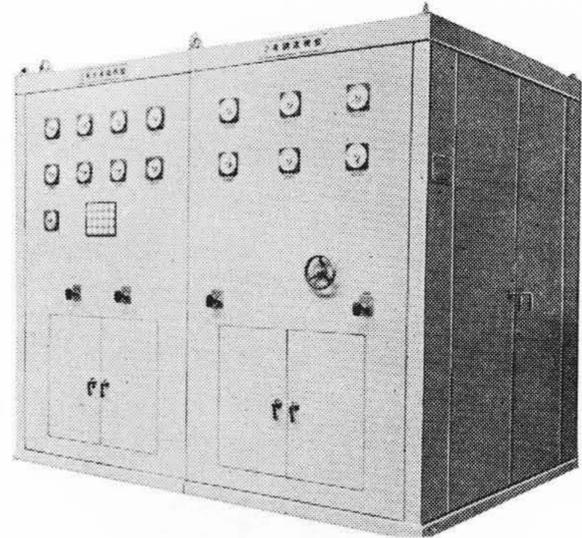
第33図 可逆ポンプ水車用試験設備



第34図 大同電力寝覚発電所納日立密閉形調速機



第35図 電源開発佐久間発電所納キャビネット形調速機

第36図 東北電力上野尻発電所納電気式調速機
アクチュエータキャビネット

ペルトン用として横軸1基，立軸高低落差各1基それにポンプ水車用実落差試験設備1基を有し水車性能向上に大きな役割を果している。

3.1.7 調速機

初期時代に数台の調速機を外国から購入したほかはすべて日立製作所で設計製作してきた。大正3年，岩室発電所納10,000 HP フランス水車にはじめて日立自身の設計，製作になる調速機が取り付けられた。この調速機はいわゆる開放形調速機と称せられるもので，スピード軸の駆動には最初はベルト式で後にはほとんどすべてスパイラルギヤによる機械的装置が使用された。

その後水車の進歩とともに調速機もさらに高性能のものが要求され，試作研究の結果，昭和12年に日立密閉形調速機が完成した。この調速機はごく軽い板バネ式のスピードを使用し，速度調整，負荷制限，揃速，起動，開度指示などの装置を一体に組み込んで非常に小さくまとめたもので，性能は格段に改善された。密閉形調速機の完成とともにスピードの駆動はほとんどアクチュエータモータを使用した電気式の駆動となり，調速機の設置位置の選定が自由となった。

最初に密閉形調速機が納入されたのは，昭和12年大同電力寝覚発電所であり，その後カプラン水車用として佐久，清平発電所に，ペルトン水車用として和合，草野川発電所に納入され，以来キャビネット形調速機の出現までひろく使用された。

密閉形調速機は開放形に比し，性能上著しく改良されたが，あまりにも小さい容積にまとめられたため保守上不便を感じる欠点がわかった。これらの欠点を去り長所を伸ばすためにその後作られたキャビネット形調整機はアクチュエータ部分，配圧弁などを外観の優美なキャビネット内に収め，アクチュエータ部の機構を平面的に配置し，取り扱いを容易にすると同時に，キャビネットの外面に調速機操作用ハンドルならびに計器類

を取り付け、操作には非常に便利なものとなった。

このキャビネット形調速機は昭和 28 年に完成し、北陸電力、神通川第一発電所 2 台、関西電力、丸山発電所 1 台とそれぞれ納入され、特に丸山発電所に納められた日立キャビネット形調速機は、ウッドワード社より輸入されたキャビネット形調速機と並んで、非常に優秀なる性能を示し日立キャビネット形調速機の名を高めたものである。

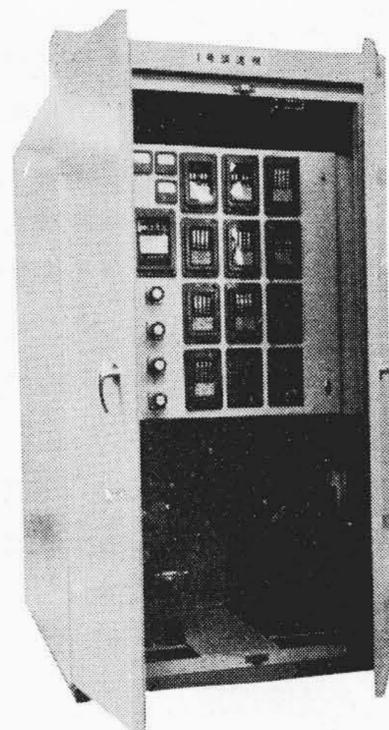
最近良質な電気を供給するためにさらに高感度、高速応性を有する調速機の出現を要望する声が高くなった。すなわち系統周波数の変化の大きな波は自動周波数調整装置(AFC 装置)を有する水車により、また小さな波は高感度、高速応性の調速機を有する水車により対応させようとするものである。この要求に対しては昭和 32 年速応形磁気増幅器を使用した日立電気式調速機を完成し関西電力笠置発電所をはじめ多くの新設、既設発電所へ納入している。

本電気式調速機は 1 サイクル応答の速応磁気増幅器を使用する独得の方式であり、補助サーボモータまでの感度 0.01% を得ることができる。第 38 図は笠置発電所における周波数応答特性試験結果を示す。

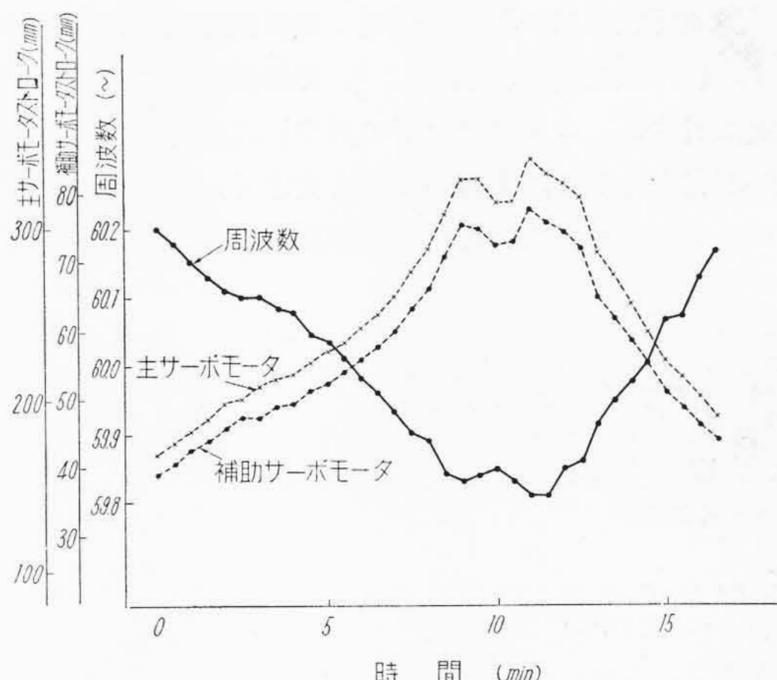
3.1.8 水車の制御装置

日立水車の自動制御方式採用の最初のもは、大正 12 年に受注した広島電気太田川発電所で実施された水車の入口弁のみを配電盤から操作する方式のものであるが、その後各種の自動化装置の発達により最近ではほとんどの発電所が自動運転方式を採用するようになった。

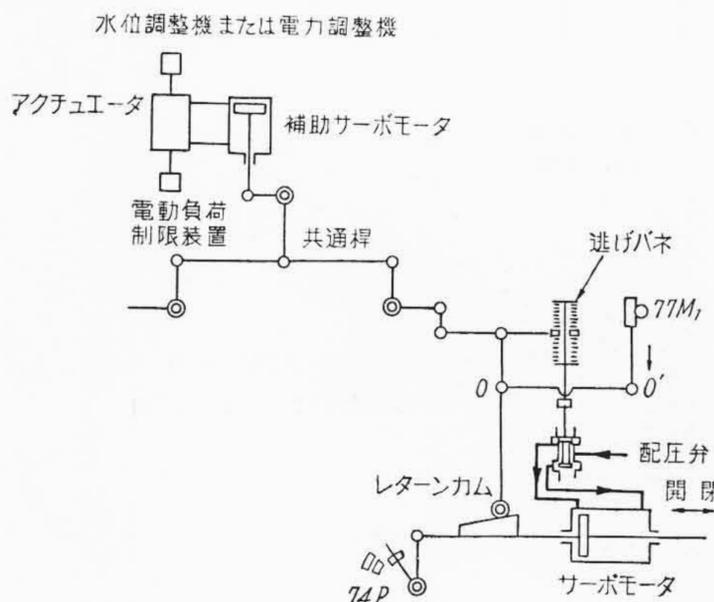
昭和 5 年、九州電力巖木川発電所において 2 台のフランス水車の調速機を機械的に連繋した高能率運転装置が初めて製作された。その後高能率運転装置に対する要求もそれほど強くないまま二、三の製作例を数えるだけで経過したが、戦後に至って大容量のペルトン水車についてまず高能率運転装置の要望が高くなった。これに対応して昭和 27 年、北海道電力然別第一発電所納 14,000 kW ペルトン水車 (2P₁N₂-H) に配電盤からの手動操作による高能率運転装置を、昭和 28 年、四国電力松尾川第一発電所ならびに第二発電所納の 21,400kW, 22,200 kW ペルトン水車 (ともに 2P₁N₂-H) にパワーレギュレータによる高能率運転装置を、また同年東京電力白根発電所納 12,000 kW 立軸 4 本ノズルペルトン水車に水位調整機による高能率運転装置を製作納入し好成績を取めた。第 39 図はこの骨子図であるが、77M、電動機構ならびに 00' レバーにより必要に応じてサーボモータを全閉位置に保持するもので、純機械的な従来のもとは異なり、構造が簡単で動作が確実な点に大きな特長を有している。



第 37 図 上野尻発電所納電気ガバナ用レギュレータキュービクル



第 38 図 電気式調速機の周波数応答試験プログラム (笠置発電所)



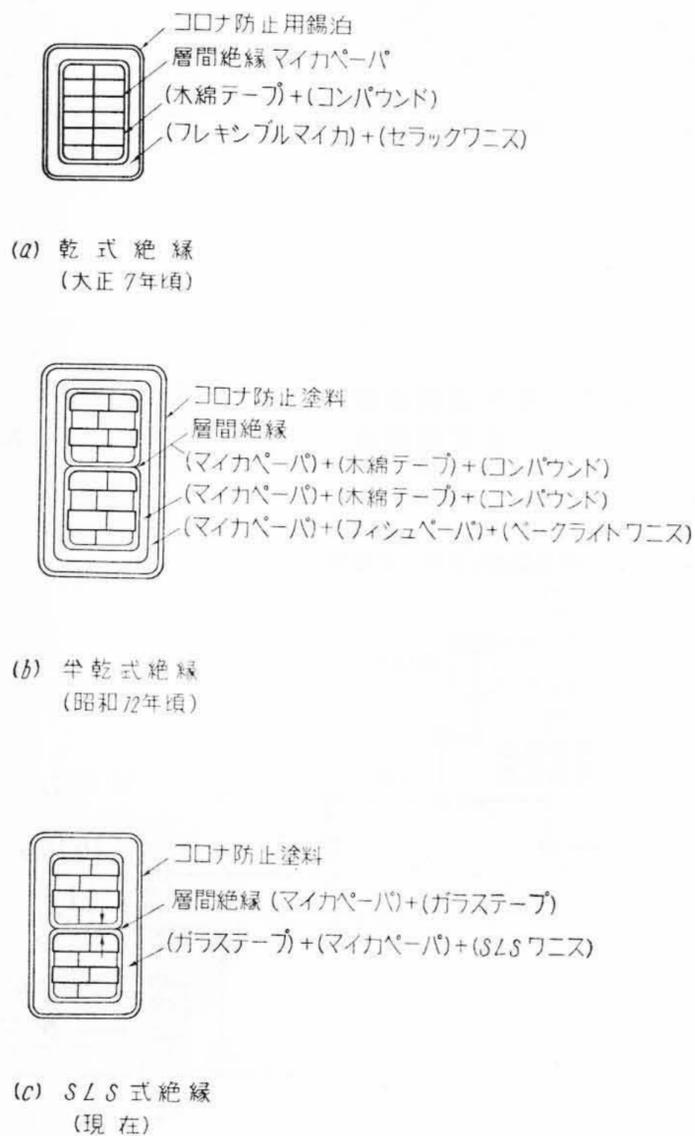
第 39 図 高能率運転装置骨子図

カプラン水車は落差の変動に対応して案内羽根開度とランナブレード角度との関係を最良の角度開度の関係が保持できるように調整していくのが望ましいが、戦前は手動ハンドルにより近似的に調整する方式がわずかに使用されただけであった。戦後になって高落差カプラン水車が発達し非常に広い落差変動範囲にカプラン水車を使用されるようになってきたために、広い落差変動範囲にわたって正確な角度開度の関係を与えるような落差連動装置が要求されるに至った。現在使用されているのは連動カムを立体的に作成し、落差に応じて自動的あるいは手動でカム軸を移動して所定の角度開度の関係を与えるもので、昭和 28 年東北電力本名発電所納 30,000kW カプラン水車に初めて採用され好結果を得た。その後関西電力殿山発電所納 17,000kW カプラン水車などに使用されている。

3.2 発 電 機

3.2.1 絶 縁

第 40 図に 11kV 級の固定子線輪絶縁法の変遷を示す。(a)は初期(大正 7 年ころ)の線輪絶縁であり、乾式に属する。コンパウンドの真空注入は行われているが不完全であり、素線の寸法も大きく、トランスポジションも行われていないので漂遊負荷損が大きく出て



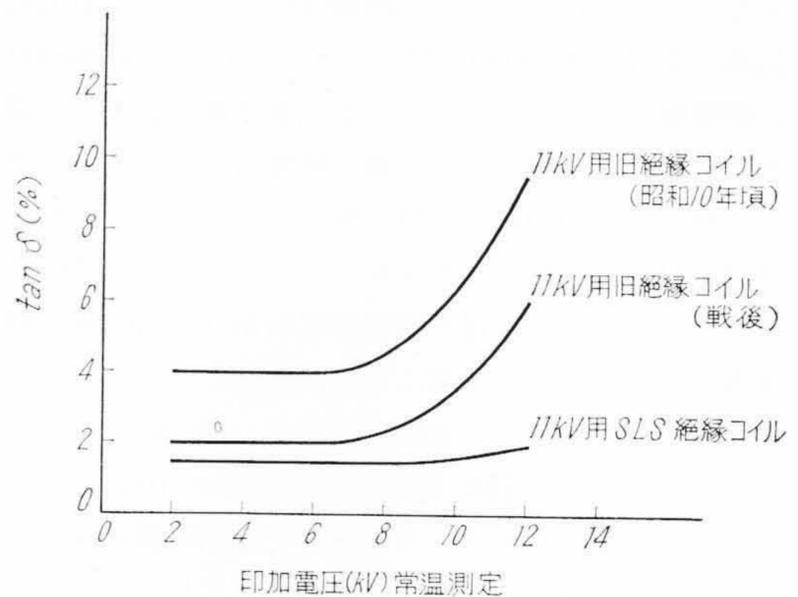
第 40 図 固定子線輪絶縁の変遷

いる。その後改良されて(b)のごとき構造となった。この線輪では内部にコンパウンドの完全な真空注入が行われ、対地絶縁にはペークライト系のワニスが焼付され、完全に整形されているので、コイルは正確な寸法に製作されると同時に、運転時の加熱により変形することのない完全なコイルとして永く使用されてきた。トランスポジションも行われており素線も細分されて漂遊負荷損が非常に軽減されている。また外部から入る衝撃電圧の影響が研究された結果、層間の絶縁も漸次強化されて現在に及んでいる。

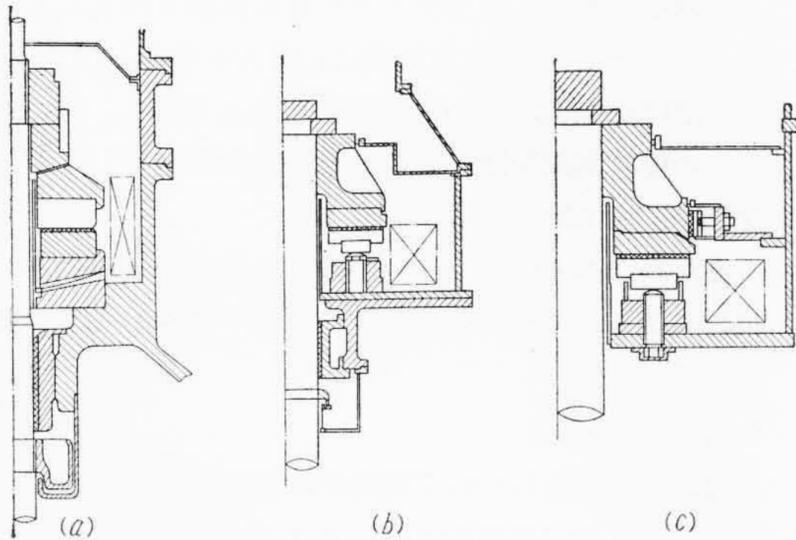
近年単機容量が漸次大となるに従い、端子電圧も高くなってきた結果、さらに絶縁特性のよい線輪が要望されるに至った。そこで日立においても昭和 24 年ころより画期的な新合成樹脂ワニスの研究に着手し、製作部門、研究部門、絶縁材料部門の総力をあげて研究試作を強力に推進した結果、ついにポリエステル系の無溶剤ワニスを完成して、昭和 27 年自家用 5,000 kVA 発電機にわが国最初の無溶剤ワニス使用のコイルを完成した。その後このワニスに幾多の改良を加え、漸進的に大形発電機に採用し、今日では発電機用コイルは全面的にこの無溶剤ワニスを採用するに至った(c)。このワニスはその硬化反応は重合反応であるため、従来のワニスのごとく乾燥の際揮発分を発生するとか、水分が出るとかということがなく、したがって絶縁層間に少しも空隙を生ずることなくきわめて優秀な絶縁特性を有している。かつ適当な弾性を有しているので、近時の苛酷な使用条件下における冷熱のくり返しに対しても、きわめて寿命の永い理想的コイルといえる。第 41 図に従来のコイルと無溶剤(SLS)ワニス使用のコイルとの $\tan \delta$ 特性の比較を示す。

3.2.2 推力軸受

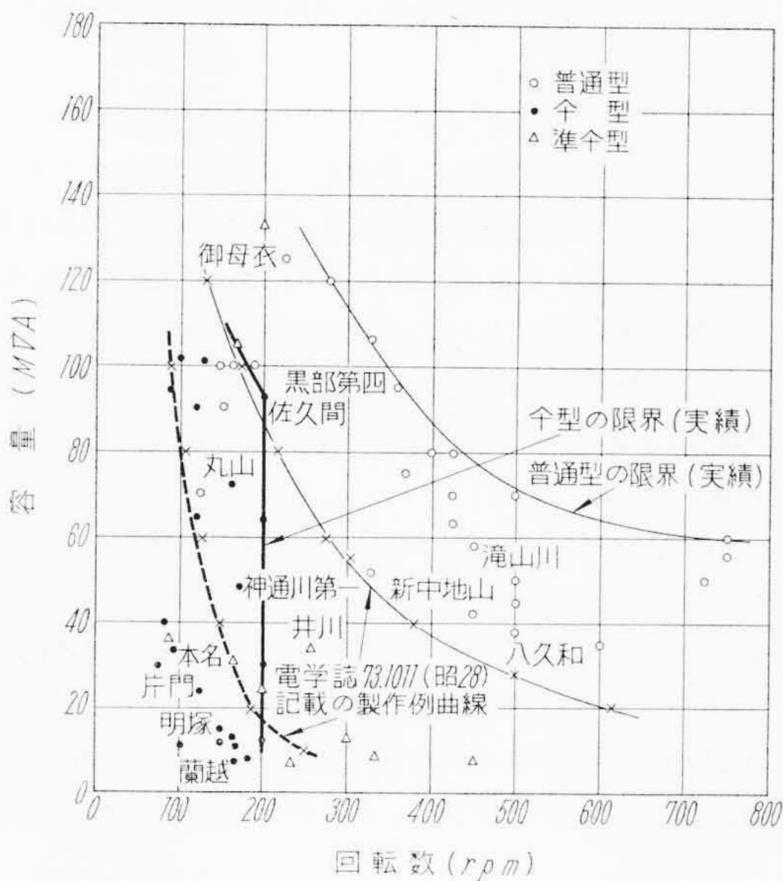
立軸発電機の初期製品(大正 7 年)における推力軸受の構造を第 42 図(a)に示す。リング状の一体のメタルを、球面座でささえた構造であるため油膜の形成お



第 41 図 固定子線輪の $\tan \delta$ 比較



第42図 推力軸受構造の変遷



第43図 傘形構造の限界

よび据付上に難点あり，温度上昇および振動の点で種々苦心が払われたようである。その後キングスベリ-形が採用されるに及び前記の問題は解決した。同図(b)に昭和10年ころの軸受構造を示す。その後部分的に幾多の改良が施され同図(c)のごとき現在の形に進歩したものである。

ことに昭和18年ころより，案内軸受にセグメント形油自蔵式を採用したことにより，上部案内軸受を推力軸受と同一タンク内に収めることができ，従来の円筒軸受強制給油式に比し，油の配管がなくなったこと，この部分の構造が簡易化され，寸法的にも小さくなった点は大きな進歩である。下部案内軸受も同様セグメント式に改良された。

3.2.3 傘形構造

昭和25年に完成した蘭越発電所の7,000 kVA 167

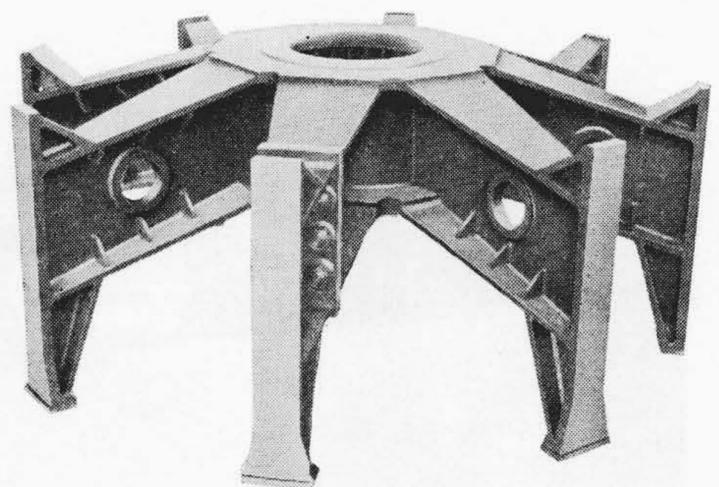
rpmの発電機がわが国における最初の傘形構造のものである。このように比較的回転数が低い機械では，推力軸受を回転子の下部に位置しても，回転子を傘形にして，その重心を極力下部に下げることにより，回転子上部には案内軸受がなくとも，安定な運転を続けることができる。最近における傘形のもの例を第43図に示す。この図に示されたごとく最近では低速のものはいかに容量の大きな機械でも全部傘形構造が採用されている。これは傘形にすることにより従来の構造にする場合に比し，発電機重量が15%程度軽減され，かつ発電機の高さが低くなるため発電所建家を低くすることができるなどの利点があるからである。また固定子に回転子の振動が伝わらぬこと，推力軸受は下部ブラケットを介して直接大地にささえられていることのために振動がきわめて少ないことも特長の一つである。

3.2.4 形式

初期のころの製品は単機容量も小さかったのでほとんどが開放形であった。しかし次第に単機容量が大きくなるに伴って，この方式では発電機室内の温度が高くなり，不都合をきたすので，大形機では発電機に風通を設けて，発電機室や水車室から入気し，あるいは建屋の外から入気して，建屋の外に排気する閉鎖通風換気形が広く用いられてきた。しかしこの通風方式でも，長期間運転している間には，空気中に浮遊している細かい塵埃が機械の内部に堆積して次第に通風を阻害するに至ることと，建屋に換気用の風通を設けることは建屋の設計計画上種々の不便なことが多いなどの理由から，外気を遮断して発電機の風通内に空気冷却器を設けて，いわゆる閉鎖通風循環形として，これらの欠点をいっさい解消する方式が広く採用されるに至った。

3.2.5 熔接鋼板構造

初期の製品はステータフレームなどはもちろんのことエンドカバー，ベースなどに至るまですべて鋳物で



第44図 ブラジル，パウロアホンソー発電所納 83,000 kVA 交流発電機用熔接構造スパイダ

作られていた。したがって重量は必要以上に重いものであった。昭和10年前後から熔接技術が急速に進歩したので、広く機械構造に適用されるようになり、ステータフレーム、エンドブラケット、各部カバー類など回転部を除くほとんどの部分に、熔接鋼板構造が用いられるようになり、重量は軽く、取り扱いが容易になった。

最近では、ロータースパイダにも順次適用される傾向にあり、低速度の機械ではクレーン容量を軽減できるなどその効果が大きい。

3.3 変圧器

超高圧変圧器にとって重要な問題は衝撃電圧特性であるが、これに関しては昭和初期より研究を進め、戦後衝撃電圧試験が規格化されるに及んで遮蔽変圧器の第1号器として昭和25年、東北電力東新潟変電所納154kV 33,000kVA三相変圧器を完成し良好な成績を収めたが、その後特性の向上を計り、29年新しい遮蔽方式として制振遮蔽を完成し、以来九州電力上椎葉発電所納230kV 135,000kVA、電源開発西東京変電所納275kV 156,000kVA変圧器をはじめと総容量500万kVA以上の変圧器に適用されて良好な結果を示している。

送配電システムの増大に伴う送電電圧の上昇と変圧器の単器容量の増大は世界的すう勢であるが、わが国においても最近数年間に275kV 70,000kVA程度から300,000kVA以上にまで容量が飛躍的に増大している。

さらに最近の変圧器は鉄道の輸送限界の許す限り中身組立輸送が要望されている。九州電力納220kV 200,000kVA変圧器はこれら最近の新しい様式をとり入れた大容量記録品であるのみならず、鉄道による組立輸送の限界を更新した。

この種大容量器の特異とする構造について解説する。

3.3.1 鉄心構造

冷間圧延方向性珪素鋼帯の使用が多くなり、したが

って鉄損が著しく減少するとともに高磁束密度にとることができるため、重量軽減にも偉力を発揮している。これは組立輸送にとって最も有利な点である。

この種珪素鋼帯はひずみ取りのため焼鈍を行うが、変圧器工場には専用炉を有する。

また高さの方向の寸法を制限されるため五脚鉄心の採用により、巻線有効高さをへらさずに鉄心高さを低くしている。

3.3.2 巻線構造

超高圧になるにつれて電線絶縁被覆が多くなり占積率が低下する。電流が大になると渦流損失低減のため、数本の導体に分割して並列とするが、いわゆる複導体の採用は占積率の向上に著しい効果がある。複導体とは、並列導体間の絶縁を渦流損失を防ぐ程度にへらした構造である。

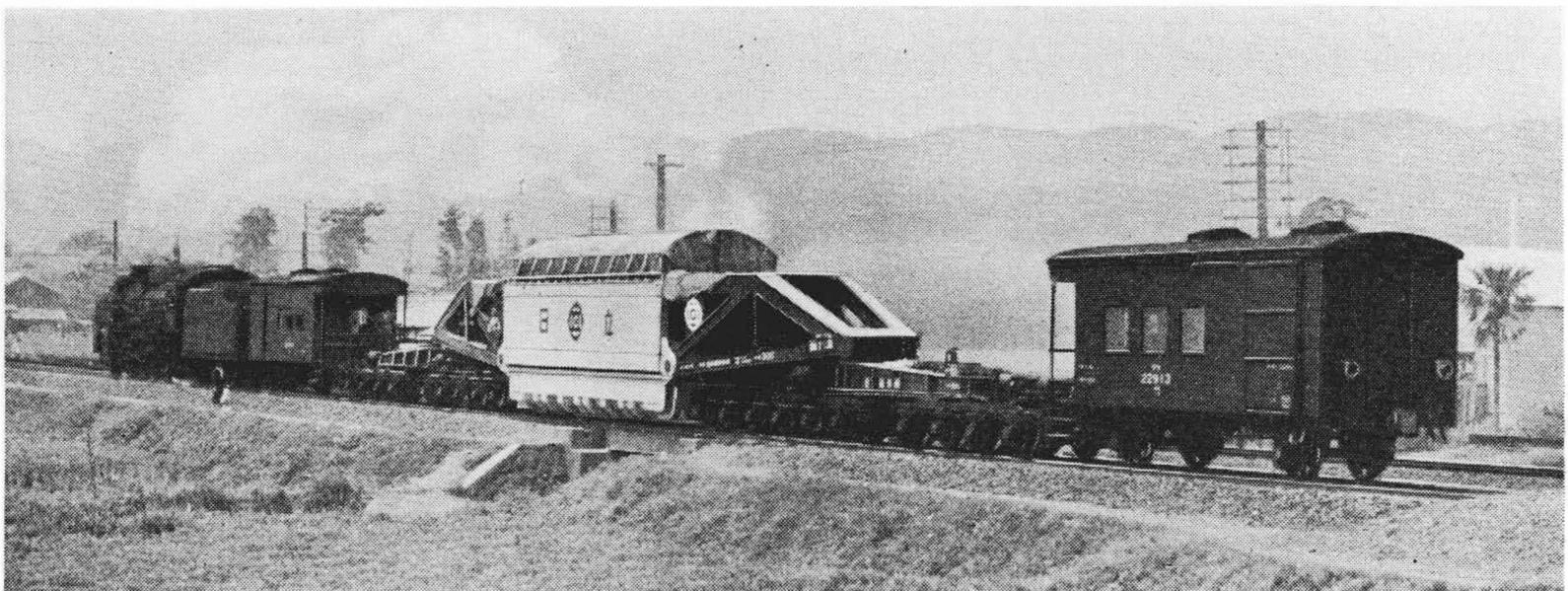
組立輸送でかつインピーダンスに制限のある場合、中圧または低圧巻線を二分割して高圧巻線をはさむように配置すれば同一巻線高さにてインピーダンスは約 $1/2$ となるので、このようなときには適切な構造である。

制振遮蔽を用うれば、巻線全体の衝撃電圧特性を改善できるが、さらにタップ間の電圧抑制にも効果あり、線路端子側にタップを設けることも可能である。

3.3.3 冷却

容量が大きくなるにつれて冷却面積の発生損失に対する割合が少なくなるため、巻線からの熱放散が困難になり、巻線温度上昇は各部により不均一になる恐れがある。強制的に巻線内に油を循環せしめて冷却効果高めると同時に冷却を均一に行うために巻線冷却専用のオイルポンプを設け、いわゆる巻線強制冷却を行っている。

最近の大容量器はほとんど、送油風冷式冷却方式をとり、数台のファンと一台のオイルポンプからなるユニットを分散して取り付け、負荷の変動により任意個



第45図 200,000 kVA 変圧器輸送姿

数の冷却器を運転できる。

3.3.4 外部構造

変圧器タンクを貨車の一部とする吊梁式特殊貨車を使用して組立輸送するため、変圧器タンクは強度的に十分検討されている。この方式によれば現在 210 t まで輸送できる。

3.3.5 負荷時タップ切換装置

電力の質的向上ならびに電力潮流制御のため相当大容量器にまで負荷時タップ切換装置をつけたものが製作されている。

直接接地の系統においては変圧器巻線の中性点側にタップ切換装置を挿入してその絶縁を低減している。九州電力大村火力発電所納 115 kV 70,000 kVA 変圧器は絶縁階級 100 号としている。また関西電力和歌山変電所納 77kV, 30,000 kVA 変圧器はデルタ結線のため巻線の線路端子にこの装置をもうけている。

3.3.6 今後の傾向

現在、諸外国においては電圧にては 400 kV、容量にては、360,000 kVA と、わが国の記録を上まわっているが、現在、日立製作所では超高圧 312,000 kVA の組立輸送式変圧器を製作中であり、また 400 kV 級変圧器の試作を進めている。

3.4 遮断器

3.4.1 油入遮断器

日立製作所は油入開閉器の製作を明治 44 年 (1911 年) に開始した。最初の油入開閉器は 3.3kV, 50A 定格のものであるが、年ごとに高電圧のもの製作に進み、大正 14 年 (1925 年) には 154 kV 遮断容量 1,500MVA の鉄槽据置形油入遮断器の国産化に成功した。

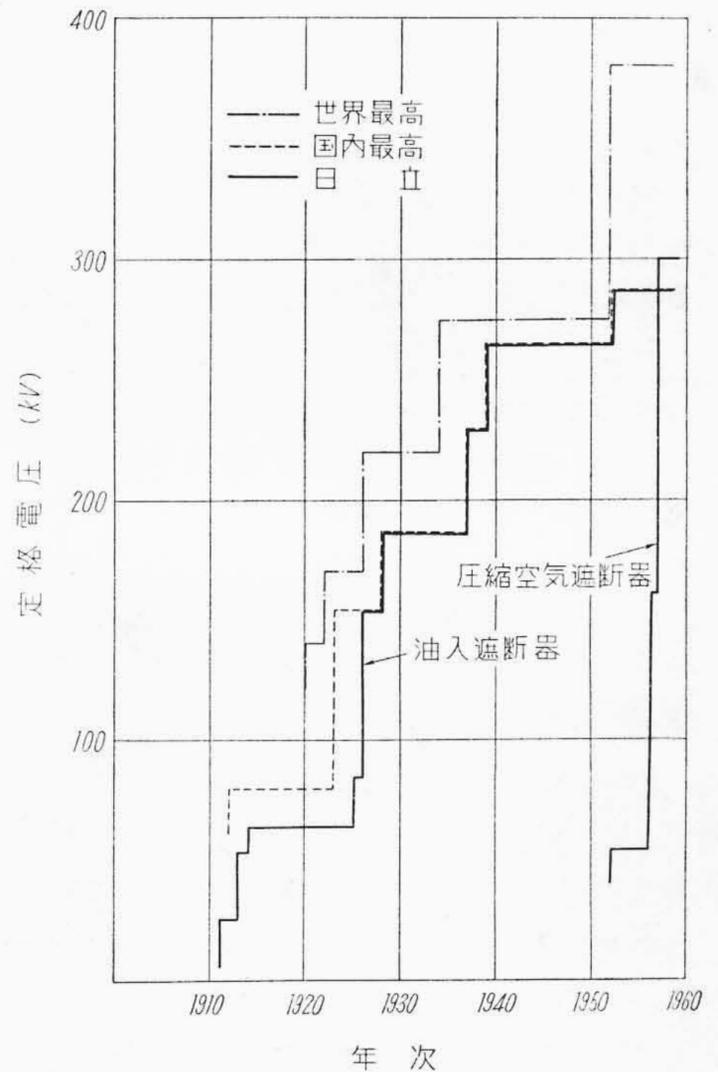
日立製作所では大正 15 年 (1926 年) に 3,000 kVA 発電機によるわが国最初の短絡試験設備を、ついで昭和 10 年 (1935 年) には 50,000 kVA 発電機による短絡試験設備を完成した。これらの試験設備により消弧現象の研究が飛躍的進歩を遂げ、それまでのいわゆる並切形の遮断器が、制弧室を有する近代的遮断器に発展した。すなわち昭和 10 年には制弧室付の 69 kV 油入遮断器を、昭和 12 年には 230kV 2,500 MVA 油入遮断器を完成した。

現在は碍子形制弧遮断器および空気遮断器の製作に伴い、高電圧の油入遮断器の製作は中止し、主として 3.6~36 kV 級の各種定格のものを製作している。これらの遮断器は長い歴史を経て小形軽量化され、信頼度が高くかつ価格の低廉な特長をもっているため、年間数百台の多数を製作している。

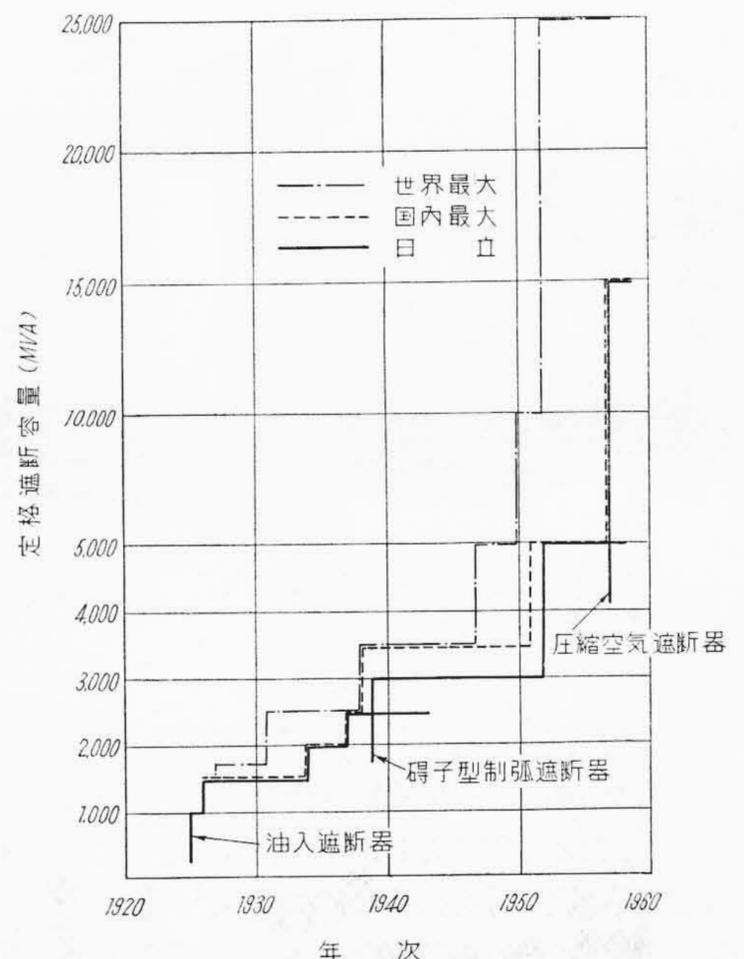
3.4.2 碍子形制弧遮断器

碍子形制弧遮断器は昭和 14 年 (1939 年) に 84 kV 800A, 1,500MVA 5 台を初めて完成し、九州電力木

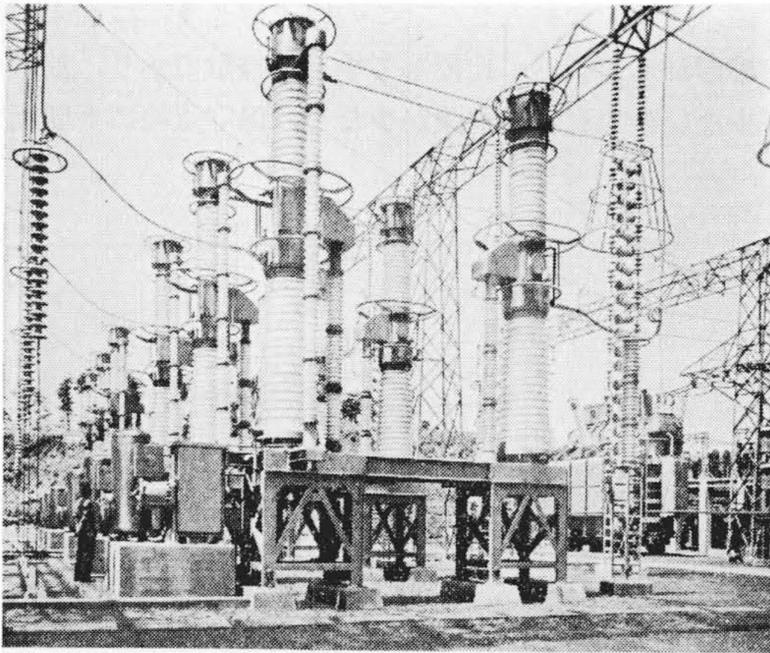
佐木変電所に納入した。この碍子形遮断器は従来の鉄槽形油入遮断器に比較して小形、軽量であり、油量も少ないので火災の危険が少なく、保守点検にも便利で



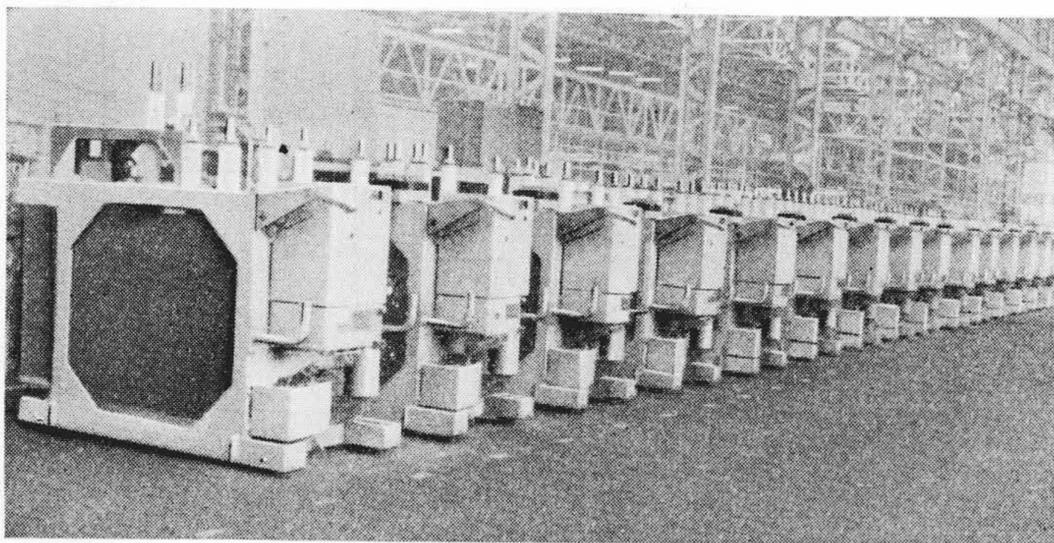
第 46 図 遮断器定格電圧の変遷



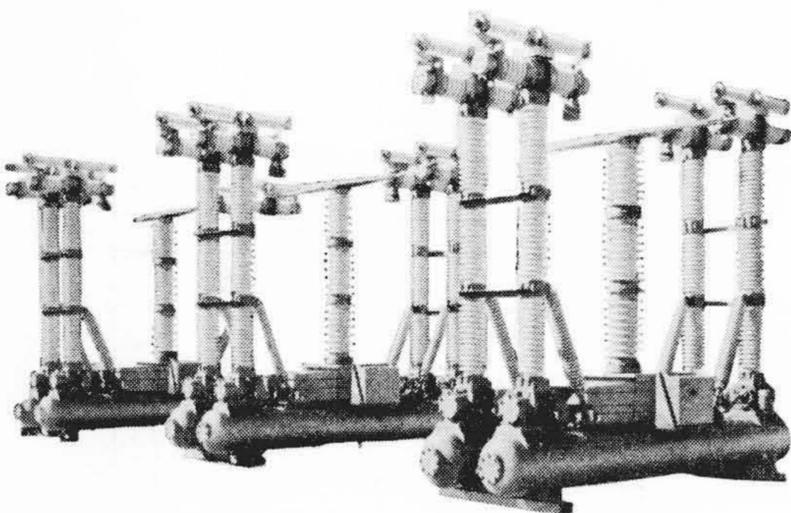
第 47 図 遮断器定格遮断容量の変遷



第48図 BOU-5 OOC-PAR 287.5 kV, 800 A,
5,000 MVA 制弧遮断器



第49図 BMA-35-MA 6.9 kV 1,200 A 350 MVA
磁気遮断器



第50図 OPB-1,500-PA 300 kV, 1,200A,
15,000 MVA 空気遮断器

あるため急速な普及をみた。昭和16年(1941年)には230kV, 800A, 2,500 MVA 9台を満州国松花江発電所に納入したのを初めとし、その後10年間にわたって国内需要の大部分を供給するに至った。戦後はさらに構造、性能に一段の改善を加え、高性能遮断器として面目を一新した。

昭和27年(1952年)には287.5kV 超高圧高速度単相再閉路遮断器を完成し、関西電力成出発電所をはじめ各所に納入した。現在は84kV および168kV 定格を標準品として製作している。空気遮断器の進出にもかかわらず、設置台数の少ない場合や騒音を嫌う場所などには有利であるため、広く利用されている。

3.4.3 磁気遮断器

日立磁気遮断器(MBB)は昭和28年(1953年)開発以来、遮断容量の向上、小形軽量化を計り、6.9kV 150 MVA から11.5kV 500 MVA までの各種定格を標準化した。油を使用しないため火災の危険がなく、取り扱いが便利であるためメタルクラッドに組込み、好評を博している。すでに製作台数は1,000台をこえ、この中には6.9kV 1,200 A 350 MVA 大容量のものや、6.9kV 3,000 A 250 MVA のごとき大電流用のものが含まれている。

3.4.4 空気遮断器

空気遮断器の研究はすでに昭和13年(1938年)に着手しており、特に戦後は油なし遮断器の要望に沿うため急速な開発に力を注いだ。そのため昭和30年(1955年)には短絡試験設備として150 MVA 発電機を主体とする設備を新設し、すでに10,000回に及ぶ遮断試験を行った。これによって屋内用空気遮断器は12~36kV, 屋外用は84~300kV 各定格の製品化を完成した。

製作台数も昭和30年以来、屋内用200台、屋外用100台の多数に及んでいる。特に屋外用空気遮断器は外部断路方式を採用しており、各地の現地試験に良好な成績を収めている。本器の特長を要約すれば次のとおりである。

(1) 絶縁に対して信頼度が高い。

極間は大気絶縁であるため積雪、塩害の影響をうけず信頼度が高い。

(2) 開路状態が直視できる。

外部断路形であるため遠方よりブレードの開閉状態を直接確認することができる。

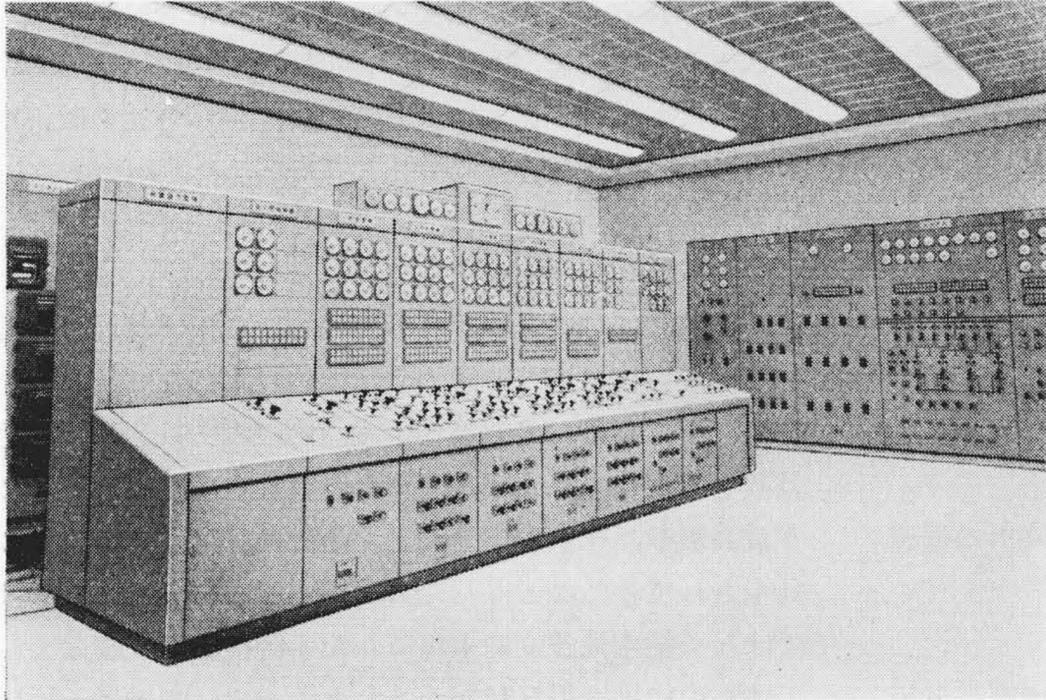
(3) 遮断部に常時空気を充填する必要がない。

遮断部には常時高圧空気を充填しておかないため、取扱上安全で遮断部に弁構造を必要としないため構造が簡単である。

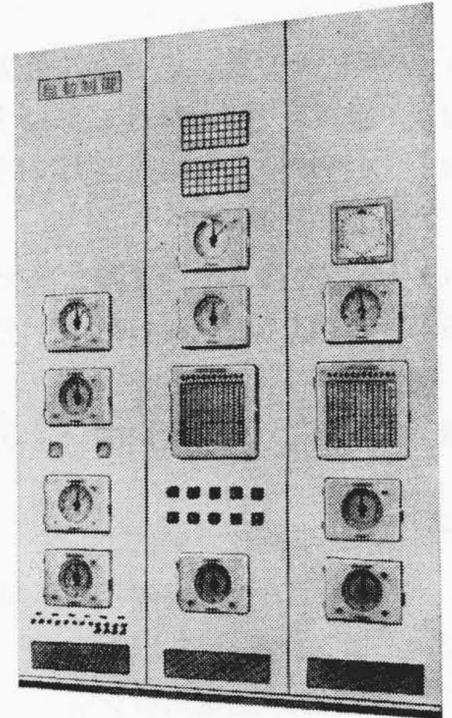
3.5 配電盤および制御装置

3.5.1 佐久間発電所用配電盤

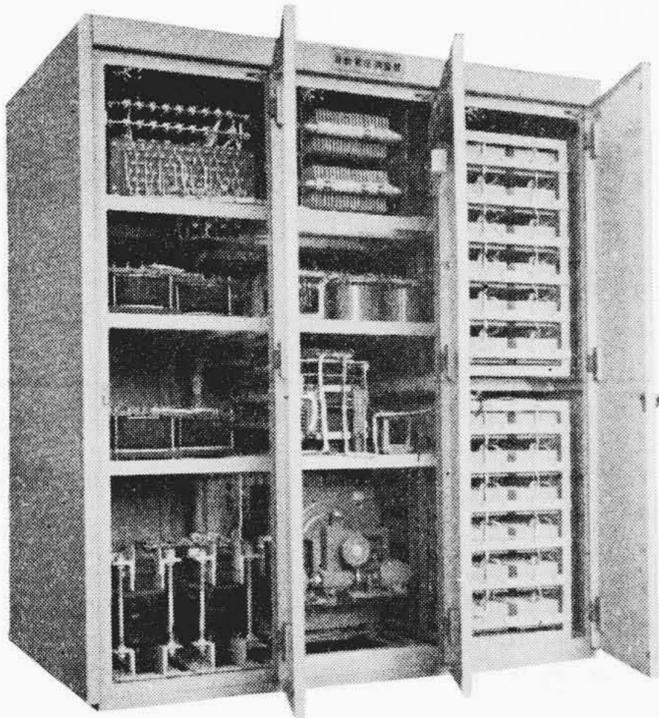
93,000 kVA 発電機4台最大出力350,000 kW の電源開発、佐久間発電所用配電盤は技術の粋をあつめた点、規模の大きな点で代表的なものである。水車発電



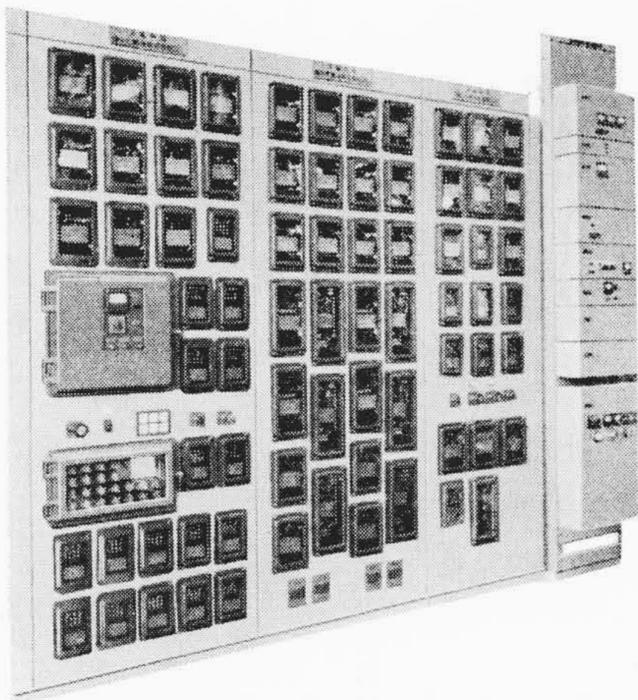
第 51 図 佐久間発電所用主配電盤



第 54 図 中央給電司令所用自動周波調整装置制御盤



第 52 図 北海道電力岩知志発電所納 AVR キュービクル



第 53 図 天竜幹線搬送保護継電装置

機変圧器ユニット 4 台, 287 kV 送電線 3 回線, 154 kV 連絡線 1 回線などの発送電全設備を制御する主盤は縮小形とし, 各面の幅 600 mm として 9 面総幅約 5.5 m にまとめている。このため計器は 110 mm 角の広角目盛形とし運転故障表示は照明形として操作開閉器は縮小形とするなど監視, 操作に便なるよう配慮されている。

3.5.2 自動電圧調整装置

高精度とともに特に高速応性の点ですぐれた増幅形電圧調整装置が広く使用されている。大容量発電機用としては HTD 形回転増幅機が使用され, 大電力の尖頭出力をもってよく速応性を発揮している。この例として佐久間発電所 93,000 kVA 水車発電機用は 20 kW HTD を使用し全負荷遮断時速度上昇 30% でよく電圧上昇を 22% におさえ, 約 3.5 秒をもって安定させるすぐれた実績をあげている。また三相六鉄心式の大容量磁気増幅器を使用した自動電圧調整装置も数多く実用に供され, これが適用可能の主機容量はますます増大し, 3,000 rpm の火力機では 92,000 kVA の東北電力, 八戸発電所用, 水力用でも 450 rpm 58,000 kVA 発電機用のほか約 10 組の実績がありさらに多数製作中である。

3.5.3 自動周波数調整装置

自動周波数調整装置は, 本来の周波数一定制御はもとより, 従来人が中央給電司令所で行っていた操作ならびに計算なども自動的に行う方向に進み電力系統の運営合理化上から最も重要な設備として注目されるようになった。最近の一例として北陸電力神通川第一, 第二発電所をマイクロ波を介して遠方制御する中央給電司令所用自動周波数調整装置がある。本装置の機能

は下記のごとく多岐にわたっている。

- (1) 系統周波数を規定値に保持する制御(F.F.C)
- (2) 融通電力を規定値に保持する制御(F.T.C)
- (3) 系統周波数と融通電力を同時に規定値に保持する制御(T.B.C)
- (4) 各調整池水位の変動を平衡させる水位制御
- (5) 各発電所の負荷分担比を所望の値に一致させる比例制御
- (6) 融通電力, 神通川第一発電所出力のプログラム運転
- (7) 系統周波数変動によって生ずる電気時計の遅速を修正するための時差補正制御

3.5.4 搬送保護継電装置

T分岐多端子送電系統を対象とした搬送保護継電装置が好成績に運転されている。中部電力株式会社の154 kV 天竜幹線に納入されたもので並行2回線4端子分よりなる。保護継電方式は2回線の高速度選択継

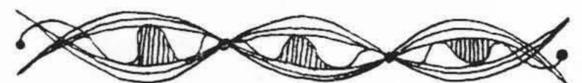
電器に繰返しパルス送受用搬送装置を組合せ指令遮断式としたもので、高速度三相再閉路方式を併用している。なお信号の伝送はFS方式としS/N比の改善度を高め誤動作を未然に防止している。

4. 結 言

明治年代末期にモータ修理工場として生まれた日立製作所が設立後まもなく水力発電機器をも製作開始してすでに四十八星霜、日立製作所設立の根本方針として前社長故小平浪平翁以来継承された日立独自の研究と汗により最高級製品を生み出すとする計画は、前述のように具現されてきたことはただ日立製作所の努力によるものではなく納入先各位の永年にわたる御指導御庇護なくしてはこの結果は得られなかったところで、関係者一同ひとしく感激を新たにし、ますます今後の御鞭撻を御願い申上げる次第である。



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その4)

(第22頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	481198	慣性吸収自在型制動装置	川崎工場	松本源次郎 片桐貞一 多次見薫	33. 8. 20
"	481166	コンデンサ取付金具	多賀工場	萩野谷忠昭	"
"	481173	フートバルブ	多賀工場	大津卓郎	"
"	481174	水中ポンプ	多賀工場	大津卓郎 武田政次郎	"
"	481175	小型電機の密閉装置	多賀工場	飯島登	"
"	481183	扇風機	多賀工場	四倉輝夫	"
"	481185	床上扇風機スタンド	多賀工場	四倉輝夫	"
"	481186	ポンプの凍結防止装置	多賀工場	大津卓郎 武田政次郎	"
"	481190	押ボタンスイッチ	多賀工場	杉山 敏	"
"	481191	行列自動運行ホイスト任意操作装置	多賀工場	横内直中	"
"	481169	全閉外扇型電動機	亀戸工場	園山 裕	"
"	481193	電磁石の緩衝装置	亀戸工場	松田幸次郎 鈴木幸治 渡辺新太郎	"
"	481162	筒型蓄電器素子	戸塚工場	山辺知定 岸本悦太郎 庄司俊昭	"
"	481164	蓄電器素子	戸塚工場	吉原巳之助 藤清司	"
"	481194	動作表示装置付ヒューズ	戸塚工場	建脇 勉	"
実用新案	481188	電気式水車调速装置	日立研究所	小林栄二 近野大吉 鈴木守也 村松 功	33. 8. 20