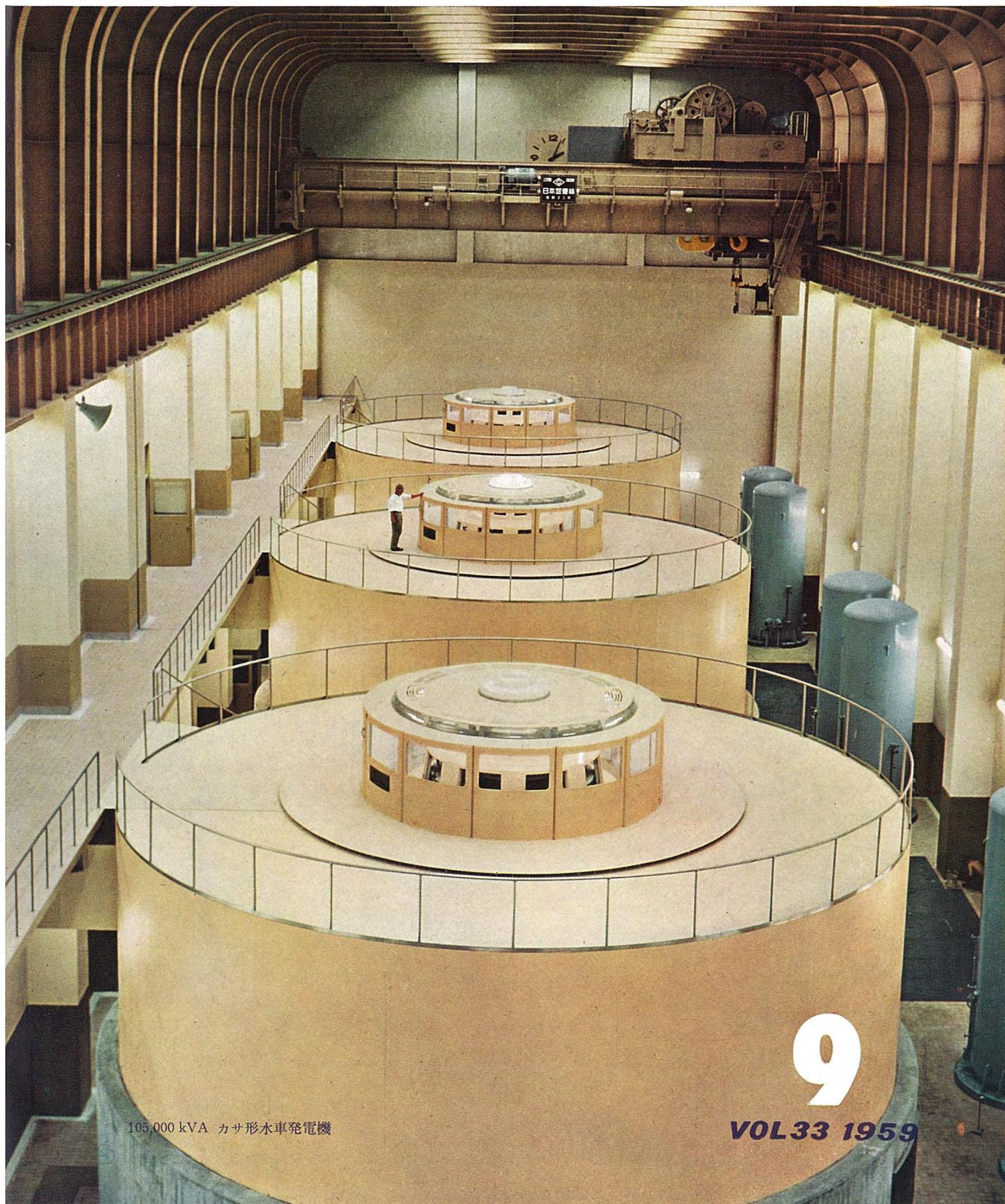


IMITSUBISHI DENKI

三菱電機

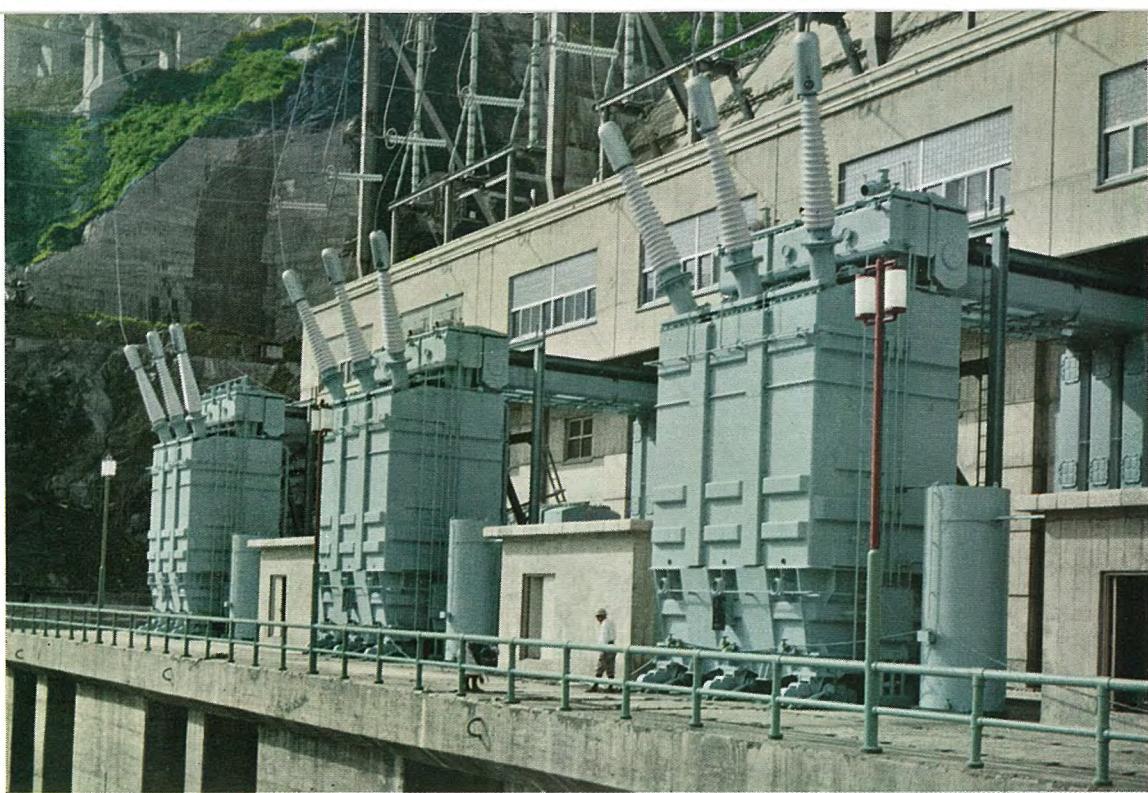
田子倉発電所特集



105,000 kVA カサ形水車発電機

9

VOL33 1959



電源開発株式会社田子倉発電所の第1期工事として三相105,000 kVA 超高圧変圧器3台を納入した。この発電所の立地条件としてすえ付面積が狭く組立室などの省略のためこの主変圧器も組立輸送を要望されたため、当社の標準構造の一つである特別三相式構造を採用して組立輸送を行なった。すえ付面積が狭隘なこと、当地方が深雪地である上この発電所の性格として peak station であるところから冷却方式は送油水冷式とし、しかも地下室に冷却装置を設けたこと、積雪のため送電に支障なきよう隔雪装置を設けたことなど諸種の特長がある。

おもな仕様

形式	特別三相式 外鉄形 Form Fit 形 送油水冷式
定格電圧	一次 13 kV △ 二次 275 kV △
周波数	50 サイクル
絶縁階級	巻線 一次 20 号 二次 200 号 中性点 30 号
重 量	216,000 kg
油 量	49,000 kg
総 重 量	265,000 kg
輸送重量	60,000 kg

わが国最大の油シャン断器として 300 kV 12,000 MVA の GW 形シャン断器 7 台が電源開発田子倉発電所に納入された。このシャン断器はタンクの形を変えて油量重量の節約をはかったウォッチケース形ですえ付面積が小さく、積雪地、塩害の多い地域でも絶縁の危険性が少ない。またブッシング変流器、空心変成器を内蔵することができ、必要があればコンデンサブッシング形計器用変成器を付属することもできる。消弧室は強力なピストンのついた多重切方式で小電流より大電流まで完全な性能を発揮し、現在超高压シャン断器として要求されている特性のすべてを満足できる。

おもな仕様

定格電圧	300 kV
定格電流	1,200 A
定格シャン断容量	12,000 MVA
定格シャン断時間	3 サイクル
絶縁階級	200 号
標準動作責務	O—O—CO—1m—CO
重量 (油なし)	30,900 kg
油 量	32,100 l





MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

電源開発株式会社田子倉発電所は最終出力38万kWという本邦最大の設備容量を誇り、設置される発電機は105,000kVA4台で単機出力としてもまたわが国の記録の大容量のものである。今回そのうちの3台が三菱電機で製作され現地すえ付も完了し、去る6月1日から運転を開始した。本機はもとより当社がかかつて経験したことのない記録的製品であり全社一丸となって慎重な技術上の討議と斬新なデザインを組合わせて完成したものであって単に大型機というだけではなく各部品に至るまでわれわれが現在所有する最高の技術を集大成せしめたものといえる。現地運転もきわめて好成績で始められたのでこの機会に各分野にわたって詳細な報告を申し上げたい。

三菱電機株式會社

本社 東京都千代田区丸の内(東京ビル)
(電)和田倉(20) 代表 1631・2331
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町
伊丹製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水町
長崎製作所 長崎市平戸小屋町
無線機製作所 球磨郡尼ヶ崎市南清水町
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町
静岡工場 静岡市小鹿町 110
中津川工場 岐阜県中津川市駒場町
和歌山工場 歌山市今宿青木町
福岡工場 岡山市沖野上町
福山工場 福山市今宿青木町
姫路工場 福山市沖野上町
大船工場 神奈川県鎌倉市大船町
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町
郡山工場 福島県郡山市境橋町
研究室 研究所 福島県尼ヶ崎市南清水町
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町
札幌工場 札幌市北二条東 12
東京都千代田区丸の内 2-20
(三)菱商事ビル 2階
(電)東京(211) 代表 2511
大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地 1
(電)大阪(34) 代表 5251
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通
(電)名古屋(23) 代表 6231
福岡営業所 福岡市渡辺通リ2丁目(電気ビル内)
(電)福岡(2) 代表 6031
札幌営業所 札幌市大通リ西1丁目(大通ビル)
(電)札幌(2) 代表 7236
仙台営業所 仙台市東二番丁 63
(電)仙台(2) 代表 6101
富山営業所 富山市安住町23の2
(電)富山 4692・5273・2550
広島営業所 広島市袋町6(富国生命ビル)
(電)中(2) 2211
高松営業所 高松市寿町1丁目4(第一生命ビル)
(電)ビル 代表 2-5021
直通代表 2-4416
小倉出張所 小倉市京町10丁目(五十鈴ビル)
(電)小倉(5) 8234
静岡駐在員 静岡市吳服町2丁目1番地
(電)静岡(2) 2595 (3) 2962
岡山駐在員 岡山市浜田町20番地
(電)岡山(3) 2098

昭和34年 第33巻 第9号

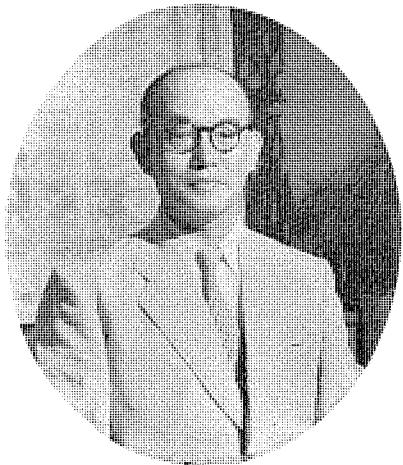
(田子倉発電所特集)

目次

卷頭言	副社長 小野 寛	2
田子倉発電所の設計要旨	荻野哲士・青木波磨頭	3
田子倉発電所 108,000 kW 水車	氷室 寛・山本義治	10
田子倉発電所 105,000 kVA 発電機		
井関 巍・三浦 宏・生原春夫・田附和夫・安達賢一	27	
水車および発電機のすえ付	前田忠行・長坂孝一・村上卓弥	44
運転制御装置と配電盤	清水良夫・天藤憲二・梅名茂男	55
磁気増幅器形自動電圧調整器	新谷保次	75
調速機の試験	安藤錠治・渋谷雅三・梅名茂男	80
105,000 kVA 発電機の電位振動試験	蔭山長三郎・川根 清	92
105,000 kVA 特別三相式超高压変圧器		
村上 有・谷中頼朝・田村良平	96	
“URD”形負荷時タップ切換式変圧器	荻野 倭・米沢克昌・米沢輝雄	105
300 kV 12,000 MVA ウオッヂケース形油シャン断器		
新井正元・五十嵐芳雄・永田秀次・稻塚輝男	114	
技術解説		
火力発電シリーズ: 発電所全般(7) 電力経済配分計算機	121	
メーバ	喜連川 隆・白幡 潔	129
W社文献抄訳		
電動機の新しい運転と制御・Opcon-プロセス工業に対する最適制御方式 ・シリコン整流器による分巻直流電動機の駆動・磁気増幅器形二安定調節計 の新製品・用途の広いマイカルタ	139	
ニュースフラッシュ		
航空研究所向け遷音速風洞用 4,500 kW 直流電動機工場試験完了・名古屋城 の豪華エレベータ完成・呉造船所納め貨車輸送船用 55 トンエレベータ好評 裏に完成・関東地方建設局東京一相候間マイクロ波多重通信装置納入・衝撃 電流シングル度測定器・小形変圧器の自動電子計算機による設計・徳山曹達株 式会社向け 9,840 kW 82 V 120,000 A 風冷式シリコン整流器受注	142	
特許と新案		
(特) 光沢青化銅メッキ液 (特) 遠方監視制御方式	74, 145	
最近登録された当社の特許および実用新案	79	
最近における当社の社外寄稿一覧	146	
次号予定	146	

卷頭言

副社長 小野寛



欧米諸国の繁栄はその国土の広大なること、資源の豊かなこと、人間が進取的であること、などによってくるとの理由があげられるのであるが、この繁栄をもたらした原因のうち、もっとも有力なものは電力の活用といつても過言でない。しかし資源に乏しく、国土の狭いわが国ではとうていこれをまねて繁栄を招来する訳には行かぬが、電力の開発こそは、産業の発展を達成する道であることまちがいない。

わが国でも「電源開発促進法」などを定め、電源開発は強力に推進されて、関係官庁、電力会社などの努力により着々と電力開発は進められている。

当社の技術陣もこの開発事業の一翼をになって、終戦後も東北電力柳津、東京電力平、中部電力久瀬、北陸電力称名、関西電力樺原、中国電力湯原第一、四国電力伊尾木川、九州電力大内原その他住友共同五王堂、徳島県日野谷、富山県大長谷、長野県春近など次々に多くの発電設備を完成してきた。

しかし年々加速度的の速さで、電源開発が進められてきたため新規着工の地点は、工事上にも高度の技術を必要とする地点が多くなり、また設備の近代化による経済的かつ高能率を図るため、単位容量が飛躍的に増大してきた。そのため水車のモデル試験を行なう研究設備、大型の発電機を組立て、試験を行なう組立場、変圧器の試験を行なう高圧実験設備、シャンクのシャンク試験設備などを完備して、その目的にかなう態勢をととのえた。

さらに、新しい特長としてあげられるのは、電気機器の外形の美装である。すなわち、従来水車発電機、変圧器のごとき大形機では、もっぱら性能本位に製作され、外形の美観という点についてはたいして考慮を払わなかつた。むしろゴツゴツした形のほうが重量感があるなど

という者もあったくらいであるが、近ごろは、これらの機器もスマートになり照明その他、色彩の配合などに留意されるようになり発電機自体も周囲と調和のとれた形体美を備えるよう要請されてきた。

かくて、今回当社で完成した田子倉発電所用の電気機器を設計製作するにあたり、これらの設備、実験資料、技術の成果を基としたのである。

田子倉発電所は只見川電源開発計画の重要な一環をなすもので、福島県南会津郡只見村大字田子倉地内において電源開発会社により建設中の電力ダム、すなわち、田子倉ダムより取水して 40 万 kW を発電する発電所で昭和 35 年 6 月に竣工の予定である。

この発電所は、さらに上流で建設中の奥只見発電所とともに佐久間発電所などと南川越変電所を経由超高压で連絡して、各地に送電するものである。

田子倉発電所の第 1 期工事としては、発電機 3 台で将来は 4 台となる。

発電機は各 105,000 kVA 13,200 V 50 c/s 167 rpm で立軸ラシス形の水車に直結されている。

水車は有効落差 118.2 m の場合、出力 108,000 kW である。

運転方式は、半自動一人制御方式で、毎月 1 回以上起動停止を行なうほか、大幅な負荷変動をまかない、センターフラッシュ形の水車を用いており、整調発電をする役目をもつていている。かくて発生した電力を当社製作の 105,000 kVA の変圧器で昇圧し、さらにこれも当社製の Watch case 形の油シャンクで送り出すようになっている。

このように田子倉発電所には、当社の自信ある設計製作になりかつて集めた機器をすえ付けてあるので、必ずや大方のご期待にそえるものと考える。

田子倉発電所の設計要旨

電源開発株式会社 萩野哲士*・青木波磨顕**

Purport of Design for Tagokura Power Station

Electric Power Development Company Tetsushi OGINO · Hamaki AOKI

Tagokura Power Station forms a link in the chain of the Tadamigawa Project with a dammed up reservoir 145 meters high. Its water quantity of $420 \text{ m}^3/\text{sec}$ and effective head of 105 meters enables the station to generate 380,000 kW at the maximum. In the first section of work, 285,000 kW generating facilities are set up. The plant makes the use of melting snow and a part of stored energy is used for power generation in summer drought. In fall the water is restored with flood and emptied in winter to cope with the reasonable drought, thus the river flow subject to great change being made clever use of in combination with other large power plants.

1. まえがき

治承の昔、源三位頼政の支援むなしく、宇治川の一戦に戦い敗れて都落ちした高倉宮が、孤影寂しく越後路指してたどる道すがら股肱の臣尾瀬中納言頼実を病で失い、一人傷心の身を深山の庵にかこい、むなしく敗所の月をながめたと伝え聞く尾瀬の秘境は福島・群馬・新潟の三県鼎立する所標高1,665 mにして、清冽の湖水をたたえ秀峯に囲まれ四季靈氣みなぎり、この地にすむ珍奇な動植物と景勝の美は奥日光国立公園として名も高い。阿賀野川水系只見川はここ尾瀬沼尾瀬原の湿原に源を發し、峨々たる峻嶮とうつそうたる原始林とを縫って北方に走り、奥会津の一僻村只見村に至って支流伊南川と合流する。

伊南川は本川の西側地域をほぼ平行に流れる一大支流にして、その豊富な森林と広大な流域は本川に比してまさるとも劣らず、古来

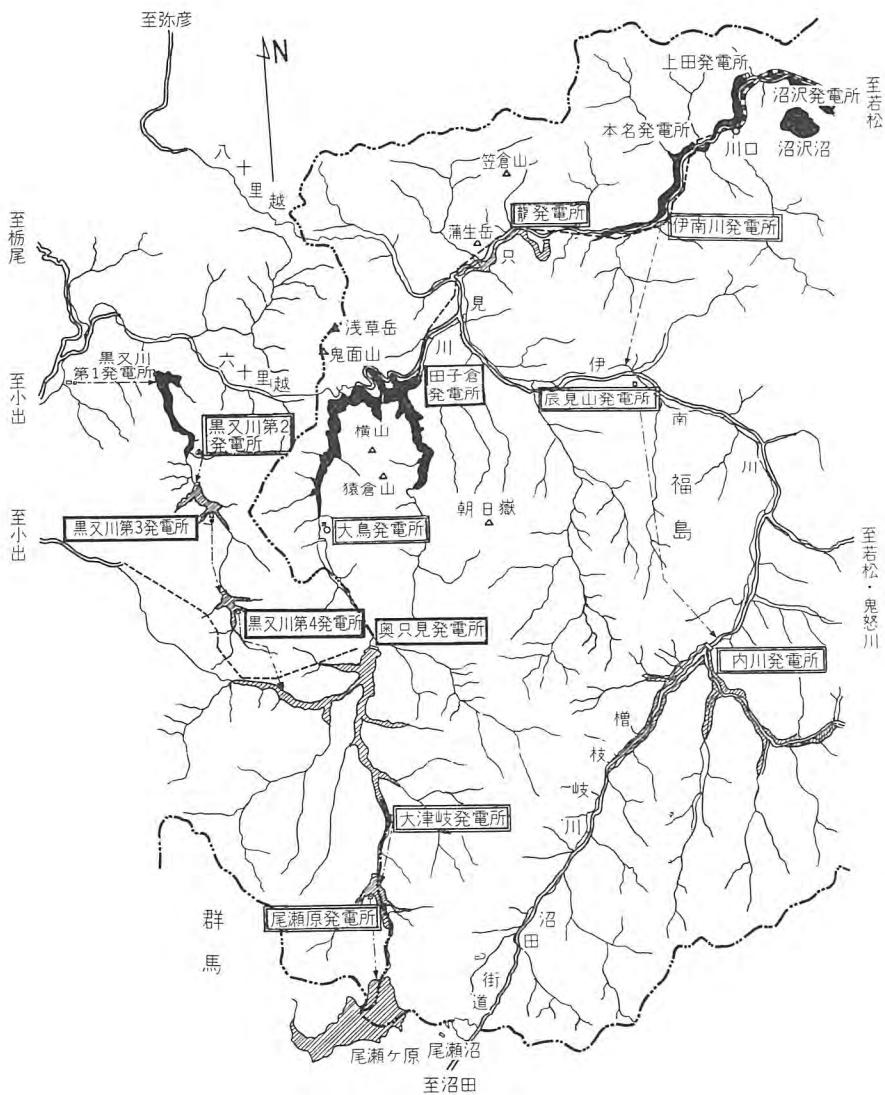


図 1.1 只見川上流電源開発計画図

Fig. 1.1 Project of Tadamigawa power development.

の羽越—上州を結ぶ沼田街道沿いに流下し只見村に至り本川に一威力をそえている。

只見川はさらに奥会津の重疊たる山岳地帯をゆうゆう蛇行しつつ、叶津・蒲生・野尻・大谷・滝谷の諸支流を加えて会津盆地にはいりここにおいて、猪苗代湖より発する日橋川をあわせ、阿賀野川となって大きく西北に転進し、新潟平野を経て日本海に突入する。延々実に 260 km その流域 8,400 km² に及ぶ大河川にして今や時代の脚光をあび、ゆう久の流れは千古の夢を破られて、電源開発のつち音も高く科学と技術の粋を集めて人類社会の

福祉に偉大なる貢献を誇る日が近づきつつある。

2. 電源開発の概要

只見川は尾瀬の湿原地帯の重疊たる山岳地帯を水源とする有数の多雪地域より新潟河口に至るまで、全延長約 260 km その流域面積 8,400 km² に及び、また非常に豊富な流量という水利条件を有しており、電源開発の宝庫と申すべき河川である。

利用落差 1,400 m にして、その包蔵電力量もきわめて大きい。只見川本流には、尾瀬原・奥只見・田子倉など

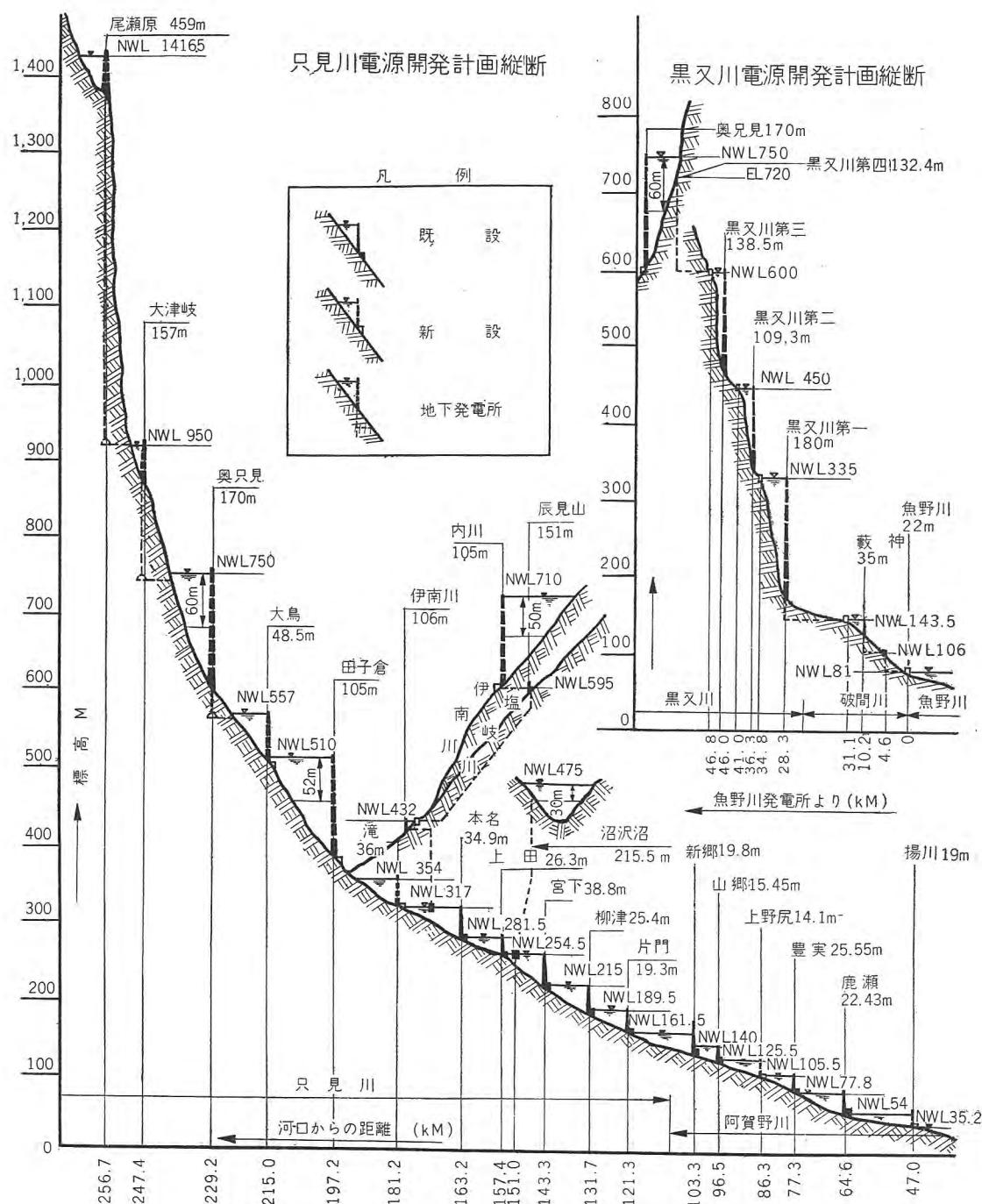


図 2.1 只見川電源開発計画および黒又川電源開発計画縦断図
Fig. 2.1 Tadamigawa project and Kuromatagawa project of the Electric Power Development Co.

表 2.1 只見川系発電計画表

発電所名	既設				新設				計			
	最大使用水量	有効落差	最大出力	年間発生電力量	最大使用水量	有効落差	最大出力	年間発生電力量	最大使用水量	有効落差	最大出力	年間発生電力量
伊南川	22.5	128.6	24,000	144			8,000	402	70.8	106.0	32,000	546
本名	173.3	34.9	52,000	272			26,000	100	260.0	34.9	78,000	372
上田	189.2	26.3	42,600	224			21,300	79	284.0	26.3	63,900	303
沼沢沼	34.2	215.5	43,600	-11			0	0			43,600	-11
宮下	200.0	38.8	64,200	354			32,100	109	300.0	38.8	96,300	463
柳津	230.0	25.1	50,000	253			25,000	68	345.0	25.4	75,000	321
片門	230.0	49.3	38,000	194			27,000	52	345.0	19.3	65,000	246
新郷	312.0	19.8	51,600	334			38,400	68	387.0	19.8	90,000	402
山郷	354.0	15.45	45,000	204			0	0			45,000	204
上野尻	430.0	14.1	52,000	257			0	0			52,000	257
豊実	270.0	25.55	56,400	408			23,600	135	432.0	25.55	80,000	543
鹿瀬	270.0	22.43	49,500	365			10,500	123	434.0	22.43	60,000	488
尾瀬原					30.4	459.0	120,000	180			120,000	180
大津岐					31.9	157.0	40,000	117			40,000	117
奥只見					249.0	170.0	360,000	534			360,000	534
大島					250.0	48.5	104,000	176			104,000	176
田子倉					420.0	105.0	380,000	580			380,000	580
滝					300.0	36.0	92,000	324			92,000	324
内川					59.5	105.0	50,000	148			50,000	148
辰見山					66.2	151.0	80,000	346			80,000	346
揚川					460.0	19.0	70,000	432			70,000	432
計					-11		1,507,900	3,973			-11	
					568,900	3,009					2,076,800	6,982

表 2.2 黒又川系発電計画表

発電所名	既設				新設				計			
	最大使用水量	有効落差	最大出力	年間発生電力量	最大使用水量	有効落差	最大出力	年間発生電力量	最大使用水量	有効落差	最大出力	年間発生電力量
簸神	30.0	35.0	8,500	61			8,500	41	60.0	35.0	17,000	102
末沢	6.2	32.3	1,500	9			0	0			1,500	9
黒又川第一	42.0	180.0	61,500	313			0	0			61,500	313
第二					15.0	109.3	13,500	83			13,500	83
第三					12.0	138.5	13,700	61			13,700	61
第四					10.0	132.4	11,000	23			11,000	23
奥野川					70.0	22.0	12,800	75			12,800	75
計					71,500	383	59,500	283			131,000	666

の大貯水池をつくり、多数の発電所を新設、または増設するとともに黒又川の分水計画、伊奈川、その他支流の開発計画とあいまって、有効に開発が進められている。

その計画表は表 2.1, 2.2 のとおりである。

3. 田子倉発電所の概況

田子倉発電所は、只見川電源開発の重要な一環をなすもので、福島県南会津郡只見村大字田子倉地内において、阿賀野川水系只見川を横断し、堤頂長 477 m、堤高 145 m の重力式コンクリートダムを構築し、その貯水をダム直下に設ける発電所に導入し、最大使用流量 420 m³/sec 有効落差 105 m による最大出力 380,000 kW の発電を行ない、ふたた

び只見川に放流しようとするものである。なお、第一次計画においては最大出力 285,000 kW を設備する。

この発電所は春季の融雪水を貯留灌水し、その一部を夏の渇水期における電力需給の状況に応じて発電するが、ふたたび秋の出水によって水位を回復して、12 月より 3 月にかけて冬の渇水に対応して貯水のほとんど全部を放流発電するものである。このように季節的に大きく変る河川流量をその大貯水池・大発電力によってセン頭負荷に対応させて、新鋭火力発電所、または近い将来完成する原子力発電所とも組合わせて、おののその長短を補完とするもので、さらに洪水時における被害をなくし、灌漑時における流量調整はもちろん、奥地における森林その他の資源開発に貢献することになり、この発電所完成の意義はきわめて大きいものである。

なお、本年 3 月には最低水位 (EL459.00) までダムが完成したので、4 月上旬の融雪水を貯水し、発電所の電気設備が完成しているので一部発電をする予定で、4 月 8 日より試運転を開始し、つづいて試験を進めているが、現在約 150,000 kW の試験送電である。つづいてダム工事は、本年末までには全部完成するので、当初の 1 期工事 285,000 kW 発電可能の見込である。

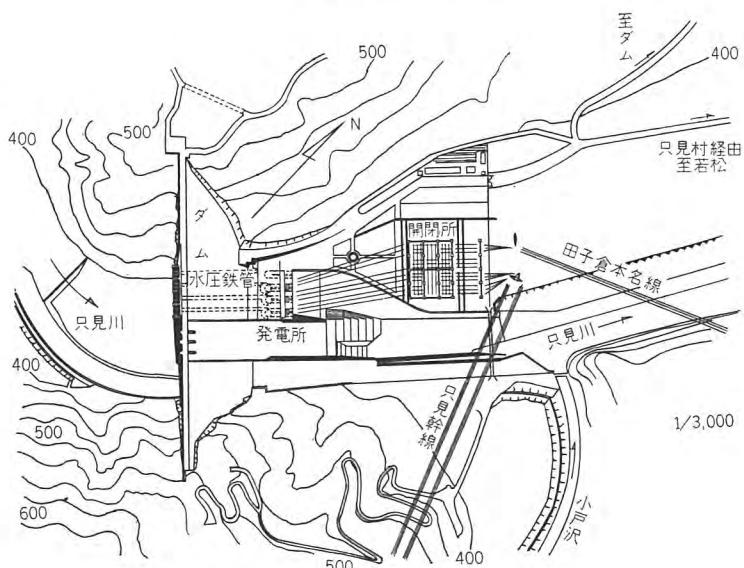


図 3.1 一般平面図

Fig. 3.1 General plan.

4. 土木工事の設備概要

土木工事の設備概要は次のとおりであり、その主要工事量は掘削 $1,146,000 \text{ m}^3$ 、コンクリート $2,070,000 \text{ m}^3$ で、ダムのコンクリート打設量は最盛期において月平均 $130,000 \text{ m}^3$ 、日平均 $5,500 \text{ m}^3$ で、1日の最大打設量は、 $8,600 \text{ m}^3$ という世界的記録を示した。

(1) 眇水池

総貯水量	494,000,000 m ³
有効貯水量	370,000,000 m ³
湛水面積	9,952,000 m ²
利用水深	52 m
湛水面標高	510 m
流域面積	822.5 km ²
本流	702.3 km ²
黒谷川	120.2 km ²

(2) ダ ム

形 式	直線重力式越流形可動扉付
基礎地質	コンクリートダム
堤 高	石英粗面岩
堤 頂 長	145 m
堤体容積	477 m
洪 水 吐	1,962,000 m ³
形 式	ダム越流式
ゲート	テンタゲート幅 12.5 m 高
減勢方法	8.3 m 4 門
	水平エプロン形

放流路

形 式	ダム体内放流路
内 径	2 m
延 長	74.211 m 2 本
容 量	57m ³ /sec
ゲート	リ ン グ シ ル ゲ ト 内 径 2 m
3) 取水口	
敷標高	433.5 m
幅員および高さ	幅 72 m 高 15 m
スクリーン	幅 72 m 高 15.456 m
制水門扉	ス ル ー ス ゲ ト 6.2 m 高 6.1 m 1 門
4) 水圧管路	
内 径	5.0~4.4 m
延 長	123,523 m 4 条
管 厚	18~33 mm
流入部中心標高	441 m
水車中心標高	387.5 m
鉄管総重量	1.784 t
5) 発電所	
形 式	屋内式
建 屋	鉄筋コンクリート造
	間口 84 m 奥行 30.35 m
6) 放水路	
形 式	開渠形
方 法	敷幅 69.9 m 敷標高 387 m

5. 発電設備の概要

田子倉発電所水車発電機、変圧器および付属機器は、最終的には各4組が設置されるが、第1期工事としてそのうち3組のすえ付を行なった。ただし吸出管および埋設管類は4組をすえ付けた。主機および補機の配置はユニットシステムを原則としている。

(1) 発電計画概要

取水河川名	阿賀野川水系只見川
取水口位置	福島県南会津郡只見村大字田子倉字菅目 605 番地
放水口位置	同 上
使用水量	

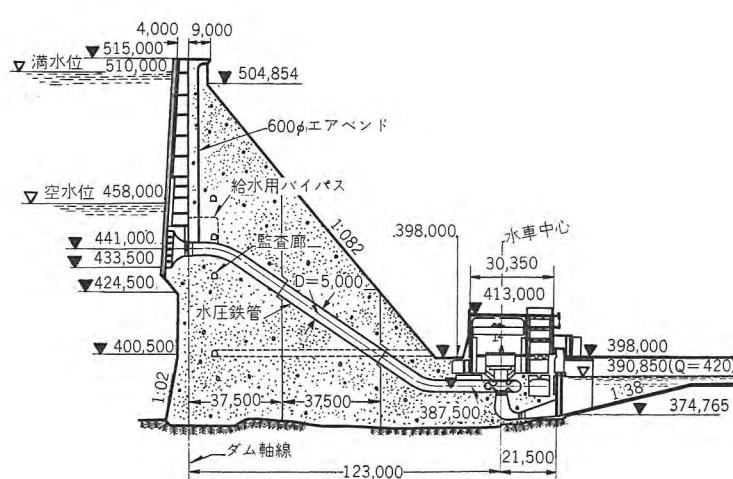


図 4.1 水路縦断面図

Fig. 4.1 Cross section of water conduit.

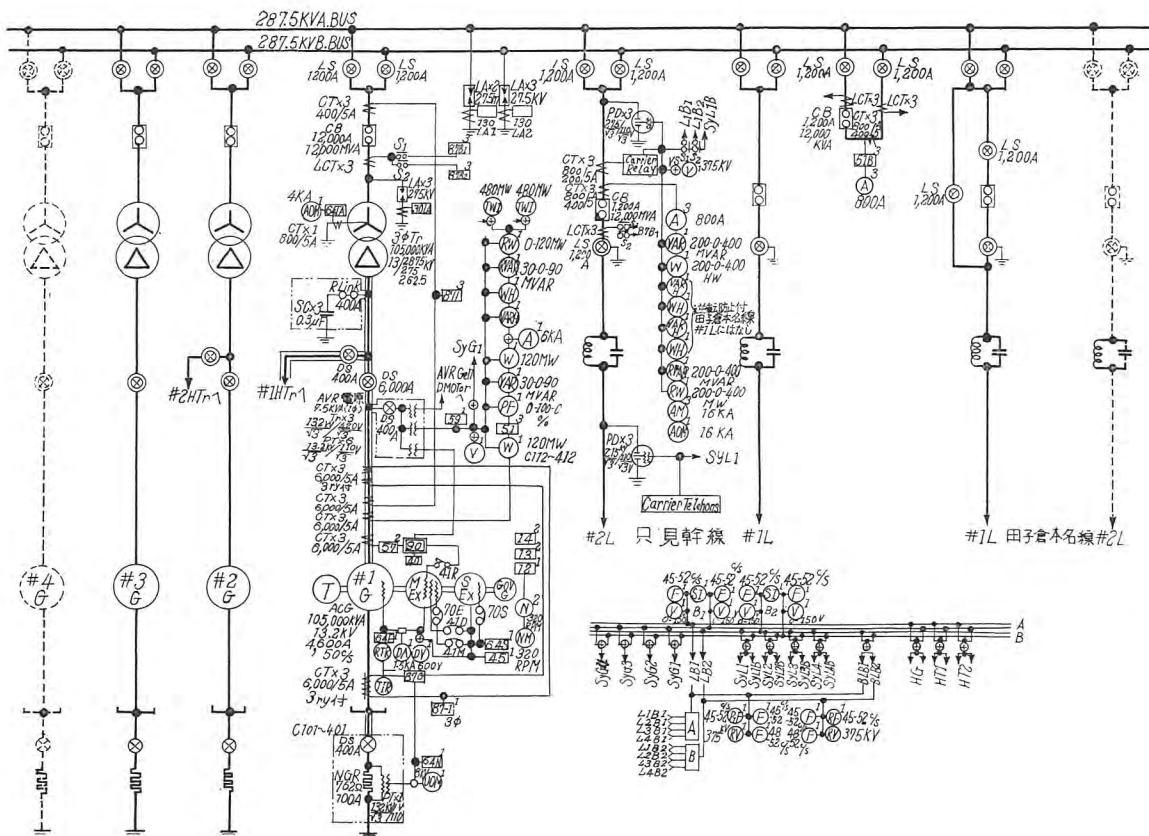


図 5.1 主回路单線接続図

Fig. 5.1 Single line connection diagram of main circuit.

常 時	50.24 m ³ /sec	基準出力	102,000 kW
有効落差		回転数	167 rpm
最大使用水量時	105 m	入口弁	チヨウ形弁口径 4,400 mm
常時 "	69.23 m	調速機	KMW-A. S. E. A 製 E-10 電気調速機
発電力		製作者	新三菱重工株式会社
最大 1 期工事完成時	285,000 kW	(3) 発電機仕様 (詳細は別記)	
2 期工事完成時	380,000 kW	台 数	1 期 3 台 2 期 4 台
常時	25,500 kW	形 式	立テ軸回転界磁閉鎖風道循環形
年間発生電力量	579,800 MWh	出 力	105,000 kVA
只見川自流		電 壓	13,200 V
豊水量	77.64 m ³ /sec	電 流	4,600 A
平水量	34.69 m ³ /sec	周波数	50 c/s
低水量	23.11 m ³ /sec	回転速度	167 rpm
湛水量	13.37 m ³ /sec	短絡比	1.1 以上
(2) 水車仕様 (詳細は別記)		推力軸受	ミッセル形 1.2 分割
台 数	1 期 3 台 2 期 4 台	自動電圧調整器	三相平均電圧応動磁気増幅器形
形 式	立テ軸単輪単流ウズ巻形フランシス水車	主励磁機	
ケーシング構造	全溶接	圧 力	500 kW
有効落差		電 壓	440 V
標 準	105.0 m	副励磁機	
使用水量		出 力	20 kW
基準落差基準出力時	107.8 m ³ /sec	電 壓	110 V
出 力		製作者	三菱電機株式会社

(4) 密閉母線	発電機, 変圧器連絡母線および各分岐母線はすべて密閉形を使用した.	台 数	3 台	4 台
主発電機母線		形 式	再閉路式	O.C.B
形 式	相分離形	電 壓	287.5	287.5 kV
電 流	5,500 A	電 流	1,200	1,200 A
短時間電流	50,000 A	シャ断容量	12,000	12,000 MVA
製作者	住友電気工業株式会社	周波数	50	50 c/s
(5) 変圧器仕様 (詳細は別記)		シャ断時間	3	5 c/s
台 数	1 期 3 台 2 期 4 台	無電圧時間	12	c/s
形 式	屋外用特別三相外鉄形窒素封入式	製作者	三菱電機株式会社	
出 力	105,000 kVA	(10) 断路器仕様	送電線用	一般用
電 壓		台 数	3 台	16 台
一次	13.0 kV	電 壓	287.5	287.5 kV
二次	287.5-275-262.5 kV	電 流	1,200	1,200 A
周波数	50 c/s	製作者	株式会社日立製作所	
製作者	三菱電機株式会社	(11) 避雷器仕様		
(6) 所内用水車仕様		台 数	5 組	
台 数	1 台	形 式	屋外三相マグネレジストバルブ形	
形 式	横軸単輪単流ウズ巻形フランシス水車	最高回路電圧	287.5 kV	
基準出力	2,000 kW	製作者	東京芝浦電気株式会社	
回転速度	750 rpm	(12) 起重機仕様		
製作者	新三菱重工株式会社	台 数	2 台	
(7) 所内用発電機仕様		形 式	プレートガーダ構造低速形	
台 数	1 台	卷上荷重	主巻 220 t 補巻 60 t 補トロ 10 t	
形 式	横軸回転界磁閉鎖風道循環形	製作者	日本起重機株式会社	
出 力	2,000 kVA			
電 壓	3,300 V			
電 流	350 A			
周波数	50 c/s			
回転速度	750 rpm			
製作者	三菱電機株式会社			
(8) 所内用変圧器仕様				
台 数	2 台			
形 式	屋内用三相内鉄形乾式負荷時電圧調整器付			
出 力	2,000 kVA	ケーシング入口径	4,400 mm	
電 壓		" 最大厚さ	45 mm	
一次	13,000 V	またこのケーシングの溶接長さは概要次のとおり		
二次	3,300 (3,630~2,970)V	(1 台分)		
周波数	50 c/s			
製作者	三菱電機株式会社	厚さ	工場溶接長さ	現場溶接長さ
(9) シャ断器仕様 (詳細は別記)		45 mm	81.9 m	94.3 m
	送電線用 変圧器および母線用	40	31.6	33.8
		36	19.7	20.3

全溶接とした場合は、重量も軽くなり価格も安くなることは当然であり、田子倉を例にとれば次表のとおりとなる。

ケーシング工作法の経済比較（田子倉ケーシング）

	全溶接	鋳 鋼	リベット	溶接フランジ接続
材質および接続法	スピードリン グ材質	銅板	鋳 鋼	銅板または銅
	ケーシング材 質	"	"	銅 板
	工場における ケーシング接 続法	溶接	スピードリングと ケーシング一体	溶 接
	現場 "	"	フランジでボルト 接続	リベット
重 量	100	160	135	144
価 格	100	141	118	138

(2) 発電機

推力軸受としては、Westinghouse のミッチャエル形を採用し、その主要部分は輸入された。その構造概要は下記のとおりである。

(3) 発電機母線

発電機、変圧器間の連絡母線および各分岐母線は、すべて相分離密閉形を採用した。従来、電機メーカーで製作されていたものを、初めて電線メーカーに発注したもので価格も相当安く購入できたことと、電線メーカーも相当積極的に研究が進められるに至ったことは注目に値する。

(4) 変圧器

主変圧器は、屋外用特別三相外鉄形である。冬期は積雪 4 m もある豪雪地帯であり、風冷式は不適当と思われる所以冷却方式としては送油水冷式を採用した。

なお、配管類その他が凍結するのを防ぐため、ポンプ類配管類はすべて変圧器のすえ付場所の地下屋内に配置する設計とした。

(5) 所内用水車発電機

最高 118.2 m より最低 67.0 m まで落差が変化し、その仕様決定については種々検討されたが、基準落差で 2,000 kW 最低落差で 1,200 kW の出力のものを採用することになった。

2 号水車または 3 号水車のいずれよりも取水が可能で所内電源の確保を期した。

(6) 雪害対策その他

田子倉発電所は積雪 4 m に及ぶことは既述のとおりで、とくに屋外機器については、雪害対策の研究のため実際に現地でいろいろな実験を行なって設計に採用した。

避雷器は屋外三相マグネレジストバルブ形（東芝製）であるが、雪害を考慮して 270 kV としては初めて垂直形のものを採用した。

屋外鉄構はダブルワーレン構造とし、基礎部はボルトによる取付方法とし、ポスト下部は耐雪構造としたことならびにシャンク、断路器などへの制御線は地下ケーブルダクトを設けかつ、発電所と開閉所は冬期の連絡に便なるよう約 200 m の地下連絡通路によるものとし、この通路に多心制御ケーブルを敷設し、配電盤と開閉所を接続した。なお、開閉所には電源室を設けてここに発電所より 3 kV で受電し、コンプレッサその他の動力源を設けるとともにコンプレッサその他の機器を収容した。この発電所設計についての詳細は他日の機会に発表したい。

7. む す び

この発電所は冬期間は積雪のため、機器の輸送、コンクリート打工事などができるないので、十分この点について研究して予定をたてなければならない。幸いにも製作者ならびに現地関係者のみなみならぬ努力により順調に工事が完成された。

田子倉発電所 108,000 kW 水車

新三菱重工業株式会社神戸造船所 水室 寛*・山本義治**

108,000 kW Francis Turbines for Tagokura Power Station

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited. Kobe Shipyard & Engine Works

Hiroshi HIMURO・Yoshiharu YAMAMOTO

Three Francis type water turbines delivered to Tagokura Power Station of the Electric Power Development Company and put into service on June 1st, 1959 successfully, are the largest of the kind ever installed in the Orient.

Turbine characteristics and cavitation phenomena under variable head have been studied carefully because the power station is of the dam type with large storage capacity which needs particular care in operation. Spiral casing and stay rings have been fabricated by welding partly in the works and partly at the site. Noteworthy features accounted for herein are the manifestation of the excellent design and reliable workmanship of the builder.

1. まえがき

田子倉発電所にすえ付を終った水車が、調整、試運転を経てこのほど営業運転を開始した。本機は最大出力 108,000 kW の Francis 水車で、わが国最大の単位出力をもつものである。

原動機は一般普遍的に、単位容量が大きいほど、効率は高く、設備費は割安となる。したがって送電系統が大きくなるにつれて、水力、火力ともに単位出力が増大してきたが、とくにダム式発電所ではセン頭負荷をとるた

め、大容量機を備えることが多い。表 1.1 に示すように、出力の記録は続々更新されて行く感が深い。

この水車の設計、製作にあたっては、わが社の多年にわたる経験をもとに、慎重な試験、検討を行ない、それに立脚したものであるが、さらに大容量機の実績を尊重し、謙虚にその技術を継承する意味で、スエーデンのカールスタッド社 (KMW) から同国ハルスプランゲット発電所向けの水車図面および諸種の資料を取り入れ、採長縮短して完全を期したものである。

とくにこの発電所は貯水量が多く落差の変動がはなはだしいので、ランナの性能およびキャビテーション現象だけでなく、空気の吸入状況、吸出管内の圧力分布などにつき模型試験を行なって十分検討した。またスパイアルケーシングおよびスピードリングに全溶接構造を採用し、入口弁や補機類にも細心の注意を払った。その結果、最低落差の状態で運転を開始したのであるが、大体所期の満足すべき性能を発揮しているので、これらの概要について述べることとする。

2. 主要目

2.1 水車主機仕様

形式	立軸単輪単流ウズ巻 Francis 水車		
設計要項	最高	基準	最低

表 1.1 大容量 Francis 水車製作例

発電所名	国名	最大出力 (kW)	落差 (m)	回転数 (rpm)	台数	製作年
Bratsk	U.S.S.R.	200,000	—	—	—	LMF 1960
Pleasant Valley	U.S.A.	174,000	113	—	5	—
Chute des Passes	Canada	149,000	165	200	5	E. E. 1959
Lewiston	U.S.A.	149,000	91.5	120	13	{ B. L. N. N. 1961
奥只見	日本	137,000	190	200	3	東芝
御母衣	"	136,000	198	225	2	日立
Stornorrfors	Sweden	131,000	73	125	3	NOHAB 1959
Bersimis No. 1	Canada	131,000	267	277	8	{ 4-E. E. 1956
" No. 2	"	128,000	116	162.6	5	{ 4-Neyric 1959
Grand Coulee	U.S.A.	{ 123,000 112,000	100.6	120	{ 9 { 9	{ N. N. 1940
Harspranget	Sweden	117,500	105	167	3/4	{ N. N. 1940
Glen Canyon	U.S.A.	116,000	137	150	8	{ KMW 1952
Bort	France	110,000	111.5	187.5	2	{ NOHAB 1952
田子倉	日本	108,000	118.2	167	3/4	{ Charmilles 1952
Suio	Korea	105,000	93	125/150	7	{ Neyric 1959
Trängslet	Sweden	105,000	140	214	2	{ KMW 1941
Ross Dam	U.S.A.	104,500	117	150	4	{ 3-B. L. 1952
Brownlee	"	104,000	83.6	128.6	4	{ 1-N. N. 1952
Noxon	"	103,000	46.3	100	4	{ M. S. 1958
佐久間	日本	100,000	135	167/200	4	{ AC 1959
Chastang	France	100,000	71	150	2/3	{ 2-日立 1956
						{ 2-東芝 1956
						{ Neyric 1952
						{ Charmilles 1952

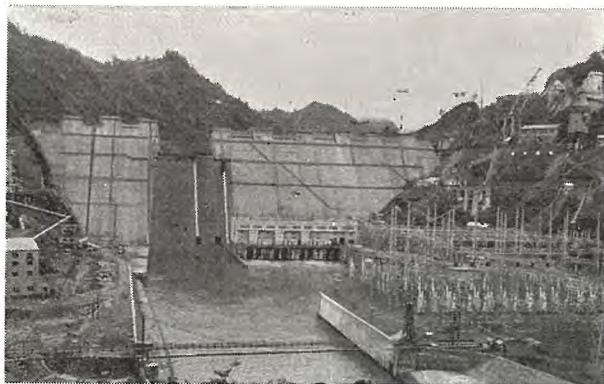


図 2.1 発電所外観
Fig. 2.1 View of power station.

有効落差	118.2	105	67	m
最大出力	108,000	102,000	45,000	kW
流量	100.7	107.8	81	m^3/sec
回転数		166.7		rpm
周波数		50		c/s
特有速度		158.5		kW-m
回転方向			発電機より見て時計方向	
台数			3 台 (吸出管だけ 4 台)	
すえ付形式			単床コンクリートバレル式	
無拘束速度			318 rpm	
最大水圧上昇値			145 m	
速度上昇率			32 %	
発電機回転部 GD^2	13,600 t-m ²			
調速機閉鎖時間		6.35 sec		
〃 不動時間		0.2 sec		
吸出落差		0.23 m		
制御方式		一人制御		

2.2 入口弁

主弁形式

B III 4400 形バタフライバルブ
内径 4,400 mm
操作方式 油圧 4 連サーボモータ
バイパス弁

550 mm バタフライバルブ

2.3 調速機

アクチュエータ

KMW-ASEA 社製 E-10 形
電源

主発電機直結永久磁石発電機
サーボモータ容量 67,600 kgm

2.4 圧油装置

調速機用

田子倉発電所 108,000 kW 水車・氷室・山本

圧油ポンプ	形式	立軸スクリュー式
台数		2 台
吐出量		1,800 l/min
圧力		19~21 kg/cm ²
電動機	出力	110 kW
	回転数	1,000 rpm
圧油槽	容量	13,600 l
集油槽	"	2×9,000 l
入口弁用		

圧油ポンプ	形式	立軸スクリュー式
台数		2
吐出量		410 l/min
電動機	出力	26 kW
	回転数	1,500 rpm
圧油槽	容量	13,600 l
集油槽	"	2×9,000 l

2.5 所内機用水車

水車形式	横軸单輪单流ウズ巻フランシス水車		
設計要項	最高 基準 最低		
有効落差	123	95	67 m
水車出力	2,000	2,000	1,300 kW

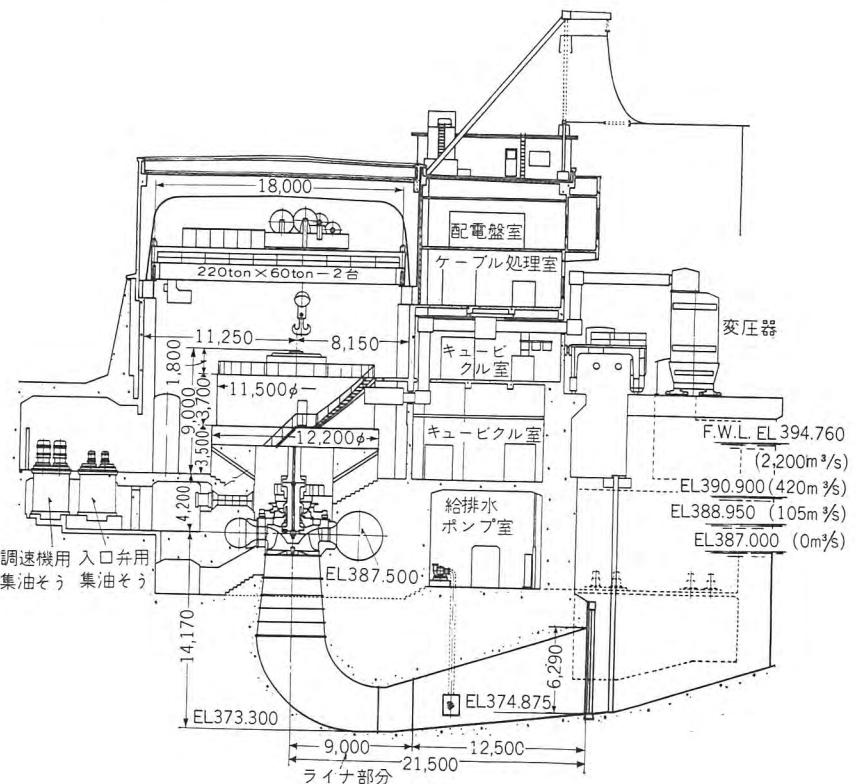


図 2.2 発電所配置断面図
Fig. 2.2 Cross section of power station layout.

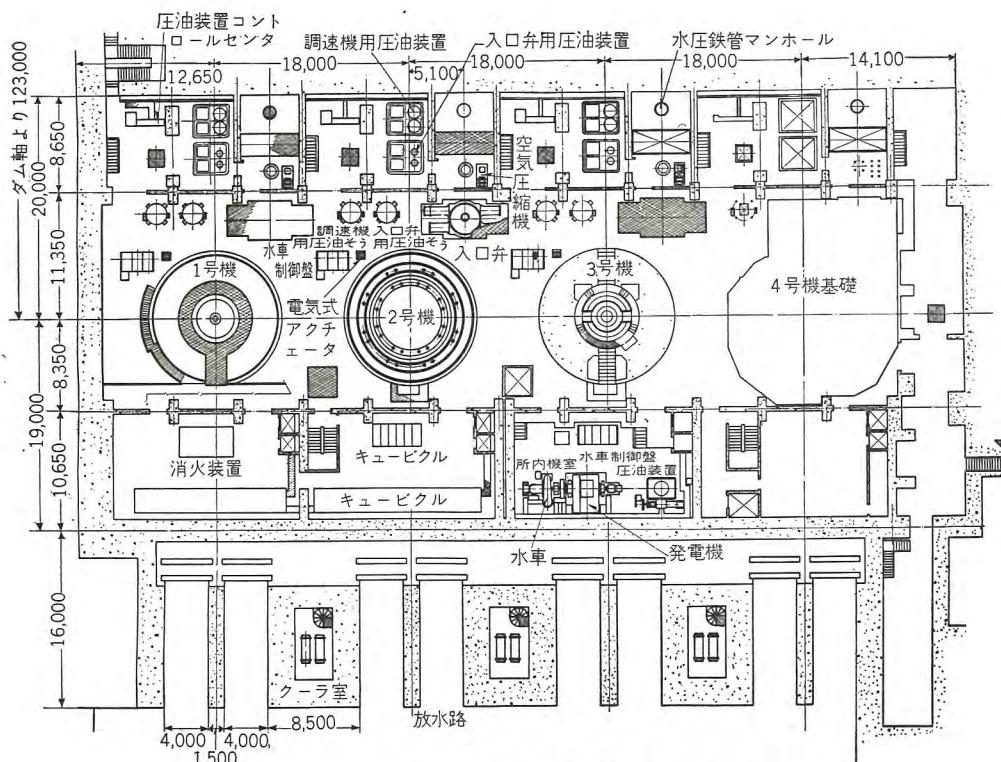


図 2.3 発電所配置平面図

Fig. 2.3 Plan of power station layout.

流量	1.995	2.47	$2.46 \text{ m}^3/\text{sec}$
回転数		750	rpm
周波数		50	c/s

3. 模型試験

この発電所は典型的な貯水池式変落差発電所であって、落差の変化がはなはだしく、最低落差時に最高落差の 57 % に低下する。この落差の全領域にわたって優秀な効率を発揮することと、輸送限界で制限された外形の範囲内で適当な過負荷性能をもたせるよう考慮したことに対し、効率およびキャビテーション性能の検討はとくに入念に行なった。そのほかランナ出口への空気吸入試験、吸出管のはく離防止を目的とした真空分布状態の計測、スパイラルケーシングの応力計測、入口弁封水パッキンの試験、所内水車の推力軸受の試験など、広範囲の検討を行なった。

3.1 模型性能試験

水車ランナの選定にあたっては、まず効率の高いことが第1条件で、しかも負荷の変化に対する加重平均効率が高いこと、落差の変化に対しすぐれていることが要求される。同時に耐キャビテーション性能がまさっていること、無拘束速度および水圧推力がなるべく低いことが望ましい。この水車の選定にあたっては、わが社が従来から開発してきた系列のランナと、前述のスエーデンの

KMW社からとり入れた系列のランナを合わせ、各種の模型を試作して詳細な検討を行ない、もっとも優秀なものを採用した。図 3.1 にこれら模型ランナの外観を示す。

フランスランナのキャビテーションにより生ずるピッティングの状況を観察すると、羽根の出口部裏面のシュラウドリングに近い部分に発生することが多いが、この場合はシュラウドリングに沿った羽根の長さが、クラウ

ンに沿った長さより短いことが一つの原因と考えられることが少なくない。すなわちランナに作用する水の流れをパーシャルタービンに分けて考えると、羽根の短いほうが抵抗が少ないためその部分に片寄って流れ、圧力分布の真空度が高くなるので、キャビテーションを起しやすいものと解釈できる。したがって羽根の長さは各流線に沿って不平均の少ないことが望ましい。しかし効率の点から考えると、流量の多く通る外周部が抵抗の少ない、短い羽根であることが良いこともあり、とくに過負荷性能を満足させるためには、シュラウドリングに沿った長さを短くとることもある。

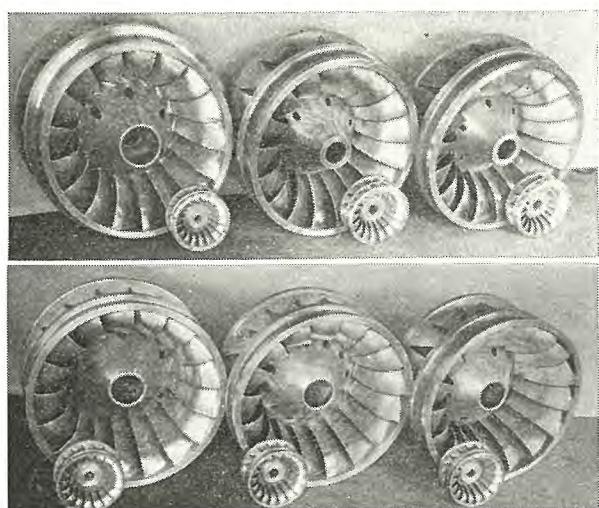


図 3.1 模型ランナ
Fig. 3.1 Horizontal runner.

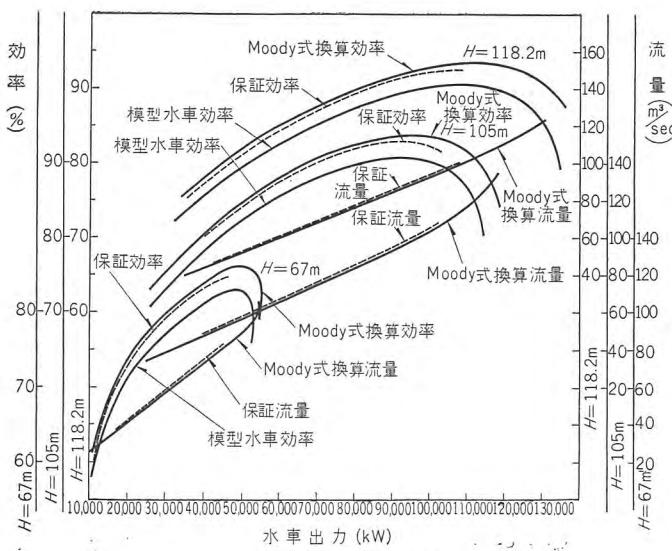


図 3.2 水車効率曲線

Fig. 3.2 Water wheel efficiency curves.

最終的にその水車に採用したランナは、シュラウドリングに沿った羽根長さが、クラウンのそれよりも多少長いものとしたが、キャビテーション性能は非常に良く、効率、出力についても満足すべきものとなった。すなわち模型比 1/6.7 のものにつき求めた性能を、Moody の 1/5 乗公式で実物に換算すると、図 3.2 のような高い効率を発揮している。キャビテーション特性は図 3.3 のように、現地の σ に対し十分余裕をもっている。

3.2 空気吸入試験

フランシス水車では、ランナ羽根が固定されているので、出口の絶対速度が軸方向に出るのは最高効率点だけで、軽負荷時や過負荷時には羽根を出た水が旋回流となり、中心部に空洞を発生し、振動、音響の原因となる。これを防止するには、吸出管上部に空気を入れて、真空を破るのが良いが、それには種々の方法がある。主軸中心から入れるものと、吸出管上部に給気管を設け、上向きに開口したもの、下向きに開口したものの 3 種につき、吸気量を計測するとともに、キャビテーションの発生状況を観察した。その結果、前 2 者が効果的であることが確認されたので、実機にはこの両者を併用することとした。図 3.4 はその実験状況を示す。

そのほか、吸出管の振動状態を検討するため、屈曲部にピックアップを装置して、水圧変動をオシログラフにより測定し空気吸入の影響を調べた。その結果空気吸入により水圧変化が減少することが確認できた。

3.3 スパイラルケーシング応力測定

スパイラルケーシングは形状が複雑で、水圧による応

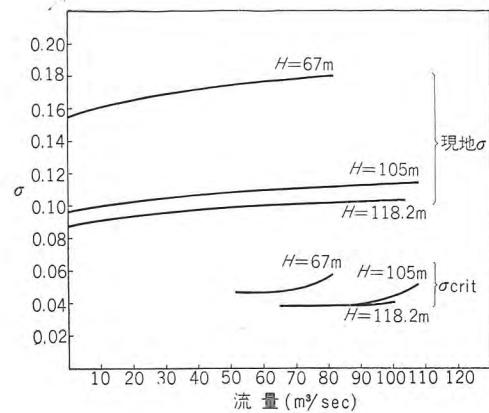


図 3.3 キャビテーション特性

Fig. 3.3 Cavitation characteristics.

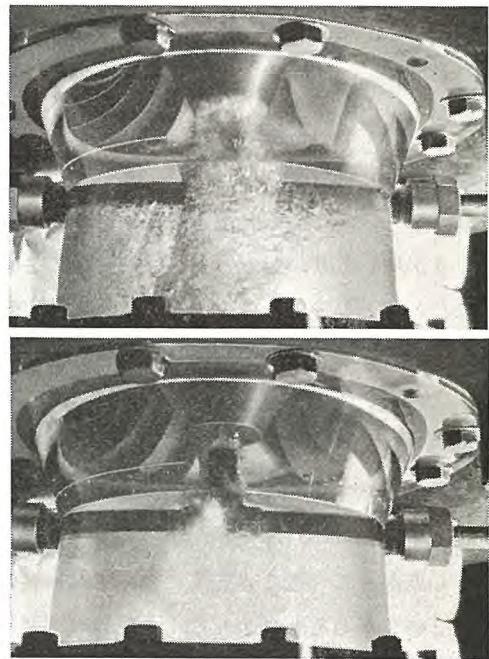


図 3.4 空気吸入試験状況

Fig. 3.4 Testing of air suck in. (air valve full open)

力を計算で求めることは困難であるので、模型を用いて実験的に出す方法がしばしば用いられている。最近はストレーンゲージが発達してきたので、これを用いて比較的簡単に応力が求められる。本機についても図 3.5 のようにして、ケーシングの内、外の応力を求めた。

その結果、断面形状として、スピードリングとの連結部に直線部分があると、曲げ応力が非常に大きくなること、適当なリブを配置することによってこの応力を小さくできることなどが判明した。

3.4 入口弁の流水抵抗

バタフライバルブの流水抵抗については、従来比較的等閑視され簡単な抵抗係数が採用されている。

$$H = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

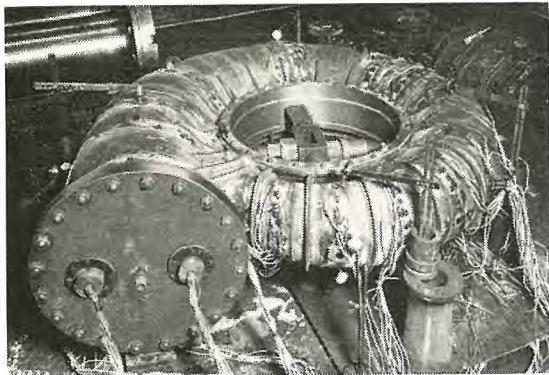


図 3.5 スパイラルケーシング応力測定状況
Fig. 3.5 Stress measurement of spirul casin

H : 損失水頭

v : 管の直径に相当する断面積における流速
m/sec

t: 弁の厚さ mm

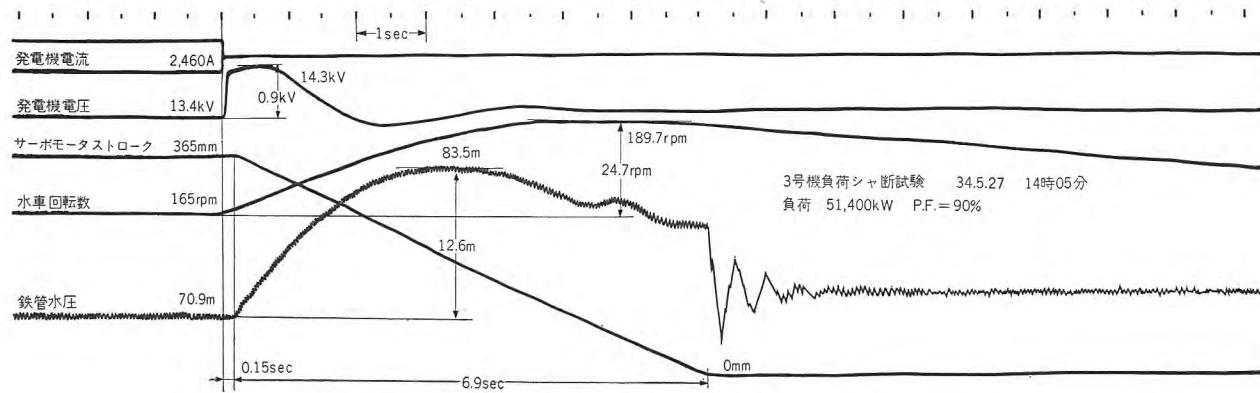
D: 弁の直径 mm

バタフライバルブが比較的高落差に使用されるようになって、厚さが増したり、封水パッキンの装着により形状が複雑になるなどの理由で、上記の簡単な式で表わすのは適当でないと思われたので、模型により損失を求ることとし、合わせて流水モーメントも計測した。

その結果⁽¹⁾、抵抗係数は $\rho=0.361$ となり、弁体中央部の厚さをとった $t/D=0.232$ および弁体先端部の厚さをとった $t/D=0.00455$ のいずれよりも大きいことがわかった。したがって今後この損失については形状により再検討する必要があると思われる。また弁の開閉途中における損失係数については表 3.1 のように、Weisbach のものとよく合うことがわかった。

表 3.1 バタフライバルブの損失係数

弁閉鎖角 α (度)	0 (全閉)	5	10	20	30	40	50	60	70
損失係数 ξv	0.361	—	0.563	1.24	3.84	11.1	33.6	112	—
ワイヤバッハ実験値	—	0.24	0.52	1.54	3.91	10.8	32.6	118	750



4. 水車の現地試験結果

この水車は昭和 34 年 4 月 8 日に 1, 2 号機に通水し、調整運転を経て、4 月末から 5 月初めにかけて 3 台の出力試験、調速機試験などを施行し、引続き 5 月末の公式試験を終えて営業運転にはいったものである。しかしダム工事が未完成であって、ほぼ最低落差に近い状態だけについて、試験結果を得たのであるが、水車の性能の概要是把握できるので、これらについて述べることとする。

4.1 水車出力

水車の性能を検討するためには、流量を正確に計測しなければならないが、ここには概要を知る目的で、ガイドベーン開度に対する出力を、模型の結果と比較してみると、図4.1のようである。実物の結果に合わせるため、各出力に応じた有効落差を求め、模型をその落差に相当する性能に換算してある。同図では実機のほうが模型の換算値をやや上回る結果を示している。ただしこの換算値は基準落差、最高効率点における Moody の $1/5$ 乗換算式を用いて出した差を、各落差、各負荷ともに一様に加えたものであって、落差のいちじるしく低いこの場合

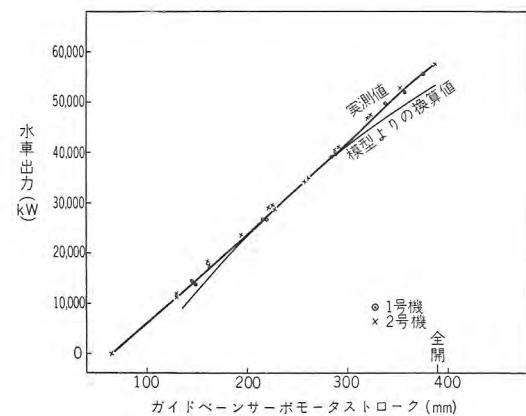


図 4.1 水車出力曲線

表 4.1 調速機試験記録

昭和 34 年 5 月 27 日

試験機械		1号機		2号機		3号機	
発電機	シャ断負荷 (kW)	25,000	49,200	25,200	50,200	26,100	51,400
	力率 (%)	90	91	91	92	90	90
	電流 (A)	1,300	2,340	1,280	2,410	1,320	2,460
水車	回転速度	負荷時 (%)	99.8	100	100	100	100
	最大 (%)	105	115	105	114	105	114.7
	安定後 (%)	102	103.5	101.5	103	101.5	103
	変動率 (%)	5.2	15	5	14	5	14.7
	調定率 (%)	2.2	3.5	1.5	3	1.5	3
	ケクシ水圧	負荷時 (m)	67	66	65	68	66
車	最大 (m)	75	77	75	78	76	78
	安定後 (m)	67	68	67	68	69	69
	変動率 (%)	11	15.3	12.6	18.4	10.9	16.7
	真空	負荷時 (m)	-1	-1.3	-1	-1.3	-1
	最大 (m)	-2	-3.3	-1.7	-3.5	-2	-3.2
	安定後 (m)	1	0	1.5	0.5	1.5	0.7
機ボタ	ラ背圧	負荷時 (m)	-2	-0.5	0.5	2	-0.5
	最大 (m)	-2	-3.2	0.3	-1.5	-0.5	-0.1
	安定後 (m)	0	0	2	1.8	0.6	1.2
	負荷時開度 (mm)	224	361	224	367	220	365
	安定後開度 (mm)	68	71	69	71	65	68
	閉鎖時間 (sec)	7.2	8	7.5	6.4	7.4	6.9
	復帰時間 (sec)	18.6	30.5	19	27.5	19	28

に適用することに問題はあるが、大体の傾向を知ることができます。

4.2 調速機試験

負荷シャ断による調速機試験結果の一例を表 4.1 に示す。またこの場合のサーボモータストロークや水圧、回転数の変化状況をオシログラムに示すと図 4.2 のようである。前述水車保証事項中の水圧上昇速度上昇率はそれぞれ最高落差時およびガイドベーン全開における最大出力時に相当するものであって、この計測値は相当落差に引直して計算した予想値とは大体一致している。

4.3 連続負荷試験

水車の開度、各部の水圧、軸受温度などを知るための、連続負荷試験の記録を表 4.2 に示す。水車の軸受間げきは、約 0.2 mm に調整した。またランナ背圧は表のように低いが、後述するように、推力軸受にかかる負荷が少ない好結果を得ている。

表 4.2 1号機連続負荷試験記録

昭和 34 年 5 月 28 日 (晴)

時刻		12°00'	12°30'	13°00'	13°30'	14°00'	14°30'	15°00'	15°30'	16°00'	17°00'	18°00'	19°00'	20°00'	21°00'
発電機	出力 (kW)	51,000	50,000	50,000	50,000	52,000	51,000	51,000	51,000	51,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
	電圧 (kV)	12.9	12.9	13.1	13.1	13.1	13.8	13.9	13.9	13.9	13.8	13.9	13.7	13.8	13.4
	電流 (A)	2,400	2,250	2,150	2,300	2,200	2,350	2,300	2,300	2,300	2,300	2,300	2,250	2,250	2,200
軸受温度	コサスラスト	44	45	46	46	47	48	47	48	47	47	47	47	47	48
	イ1ルチ発電機ガイド	39	40	40	41	42	42	42	42	41	42	42	42	42	43
	水車ガイド	40	40	40	41	41	43	41	42	41	42	42	42	41	43
	ルダスラスト	42	43.5	44.5	44.5	45	45	45.2	45.2	45.2	45.3	45.5	45.5	45.5	45.5
	イ1ヤ発電機ガイド	38	39.5	30	40	40.5	40.8	41.0	41.0	41.0	41.2	41.5	41.5	41.5	41.5
	水車ガイド	42.5	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	43.0	42.8	43.0	42.5	42.5	43.0
水車	ガイドベーン開度 (%)	91	94	97	96	97	94	98	100	100	100	100	100	100	100
	回転数 (rpm)	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167
	ケーシング水圧 (m)	67	67	67	67	67	66.5	66.0	66.5	67.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
	ドラフト真空 (m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
気温	ランナ背圧 (m)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	発電機室	18	18	18	18	19	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	水車室	15.5	15.5	15.5	16	16	16	16	16	16	16.3	16.3	16.3	16.3	16.3
	外気	21	20	20	20	21	20	20	21	21	19	17	16	14	14

5. 水車本体

図 5.1 は完成したバレル内部の水車体の外観を表わし、重量は約 33 t、ライナを含め約 35 t に達する。材質は鋳鋼であるが、羽根裏面とシュラウドリングのキャビテーションを生じやすい部分には、不銹鋼のライニングを施した。なるべくその範囲を広くするよう計画したので、その断面図は図 5.2 に示すとおりである。

5.1 ランナ

ランナは羽根の入口直径 3,750 mm、入口高さ 955 mm、羽根数 17 枚である。最大外径は 4,020 mm で国鉄の輸送第 1 限界に数 mm 残すだけというぎりぎりの寸法で、一面に溶着材を盛り上げると羽根がひずむことを恐れ、厚さ 5 mm の不銹鋼板を溶接ではりつける構造とした。羽根の形

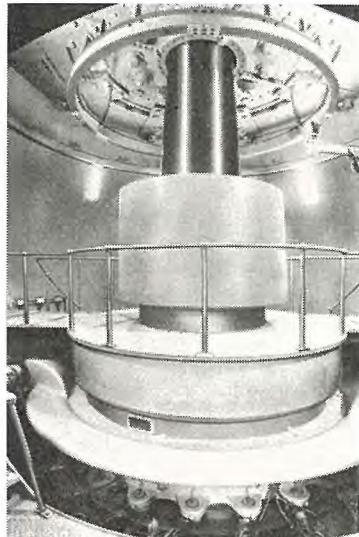


図 5.1 バレル内水車本体外観

Fig. 5.1 Exterior view of water wheel assembly in the barrel.

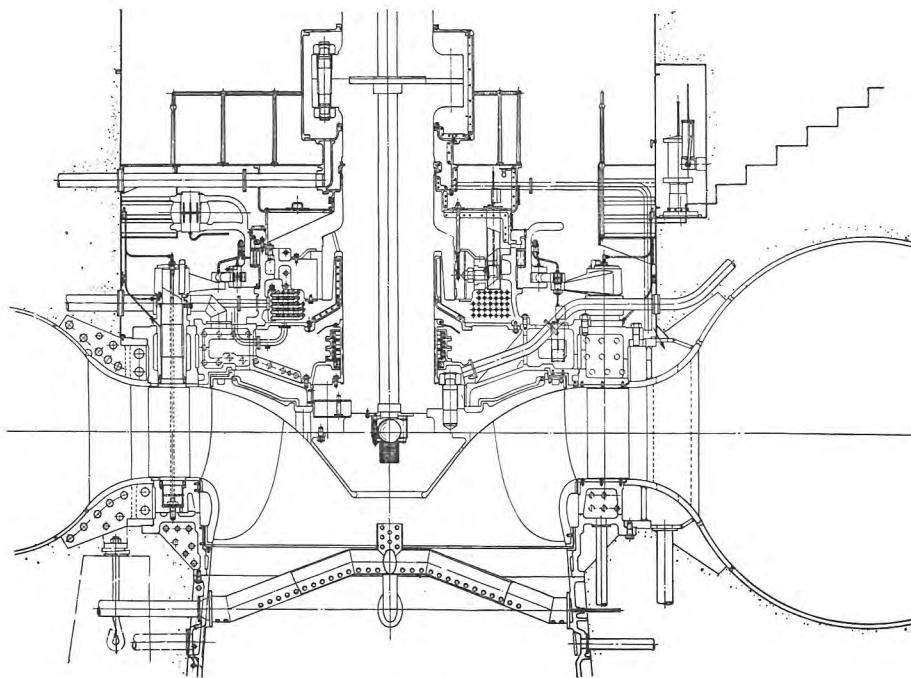


図 5.2 水車本体断面図

Fig. 5.2 Cross section of water wheel main assembly.

状、寸法については、ゲージにより精密に合わせて仕上げた。表面粗度については、流体力学的に層流抵抗の範囲について考えると、鏡の面のようにていねいに仕上げる必要性は疑問だといえるが、キャビテーションなどの第二義的影響を考慮して、非常に入念な仕上とした。

カバーに接する外周には不銹鋼のライナをはめてあるが、この接触部をラビリンス形状とした。そのためか、ランナの背圧が低く前表に示すように、2段目のライナの内側では1~1.5 mとなっている。推力軸受を支持する受台にはダイアルゲージが設備され、あらかじめ計測した値により推力が計算できるのであるが、水圧推力は70~120 tとなり、現在の落差約70 mへの換算値約180 tより相当低い値となっている。図5.3は貨車に積んだランナを示す。



図 5.3 ランナ

Fig. 5.3 Runner.

5.2 空気吸入装置

模型試験の結果、吸出管上部の上向き空気管と、軸中心からの吸気とが有効であることが判明したので、実機にはこの両者を併用することとした。空気管による吸気方法は、従来から多数の経験があり、とくに困難な点はないが、吸出管上部の直径は3,840 mmに及ぶので、強度を十分にとる目的で、十字形にし、管の断面形状もダ円形として剛性を増した。また材質は不銹鋼とし、板を曲げて溶接成形したものである。図5.4は工事中の空気管を示す。

主軸中心から給気する方法

は、発電機頂部から入れる方法と、水車軸と発電機軸との結合部から入れる方法と二つある。本機では後者とし、カップリングフランジにミゾを切り、空気管から導いた空気をここから軸中心へ入れている。したがって主軸外周には軸カバーを設け、外気と絶縁する構造である。水車軸の下端の給気口には、不銹鋼製の球を取り付け、スプリングによりゴムシートに押付けて水密を保っている。ランナ下部が真空になったときだけ開口するモドリ止形式である。

試験の結果はいずれもよく空気を吸い、有効であることがわかった。しかし軸中心から給気する場合は、軸カバーとの封気装置に問題がある。パッキンなしとすると給気の音がかなり高いことと、軸受部の油の霧煙を吸い込む恐れがある。したがってフェルトなどの適当なパッキンを装置し、給気管に十分な面積を与えることが望ましい。本機については、前述の上部空気管だけで十分であって、軸か

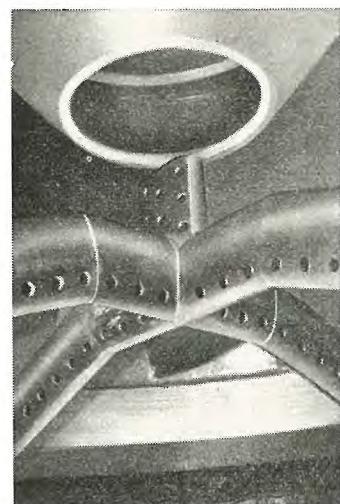


図 5.4 空気管

Fig. 5.4 Air pipe.

らの給気は必要がない状態である。

5.3 吸出管

吸出管は KMW 社の設計を採用した。性能については模型試験を行なったが、当社従来のものとほとんど差がないことがわかったので、製作上の問題その他を勘案して決定したのである。まず屈曲部の形状はすべてシングルカーブで結ばれているので、展開が容易で、製作上の工数、期間ともに少なくてすんだ。つぎに垂直直管部が長く、流速が低下してから屈曲するので、従来この部分でライニングの脱落現象などが起つたことがあるが、この点では有利であると思われる。しかし上下方向に長いために、掘さく量が大きくなつたことは一つの欠点となつた。なおこの形状は出口高さが大きく、幅が狭い形状であるので、地下発電所には適していると思われる。図 5.5 は工場組立中の吸出管である。

5.4 スピードリング

スピードリングはスパイラルケーシングとともに、水車本体の根幹をなし、両者合わせた製作費は水車本体の約 1/4 に達するので、その製作技術は水車の死命を制することになる。この水車に対しては、材質の均一ですぐれていることと、製作費の低廉なることを考慮して、鋼板溶接構造とした。

スピードリングは水圧による引張力と、発電機、パレルなどの圧縮力を受けるので、ステーベーンと上下胴板の強度については十分検討する必要があるが、本機は大形であつてとくに慎重に製作された。まず上下の胴板は厚さ 60 mm の板をあらかじめ成形された型によりプレス加工し、おのの 12 個のセグメントとした。ステーベーンは最大厚さ 100 mm の板を同様に流線形にプレ

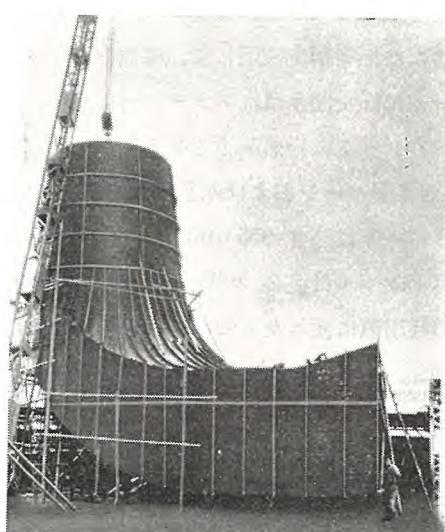


図 5.5 吸出管

Fig. 5.5 Suction pipe.

田子倉発電所 108,000 kW 水車・氷室・山本

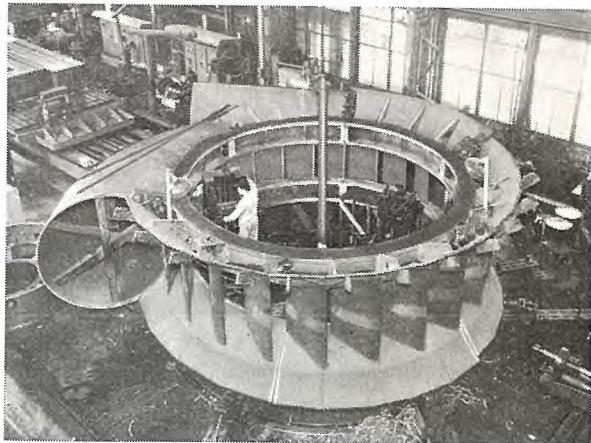


図 5.6 工場で機械加工中のスピードリング

Fig. 5.6 Speed ring under machining at the factory.

ス加工した後、出入口部を機械加工して飛行翼状に仕上げた。両者ともに溶接用鋼材 (SM41W) で、相互に隅内溶接で結合された。溶接後は炉内で完全に焼鈍を行なうとともに、X 線検査、超音波検査、ダイチェックなどを行ない、欠陥のないことを確認した。なお 6 分割されているが、現地ではフランジによりボルトで結合し、水密保持のため漏水止めの溶接を行なつた。製品重量は約 70 t、図 5.6 に機械加工中のスピードリングを示す。

5.5 スパイラルケーシング

大形スパイラルケーシングは現在ほとんど鋼板製であるが、現地での組立には、フランジによるボルト接続、リベットによる組立、溶接結合の三つの方法が用いられている。このうち、溶接構造がもっとも合理的であるが、その成否いかんは溶接技術に左右されるので、慎重に検討する必要がある。わが国でも現地溶接についてはすでに相当の経験があるが、この水車のような最大厚さ 45 mm、内径 4,400 mm におよぶ大形のものについては、まだ実績がないので、綿密な考慮を払つた。⁽²⁾

まず設計上応力の分布を考慮して、スピードリングとの接続部に直線部分ができないようにした。それには巻始めから巻終りまでを考えると、スパイラルの断面の円とスピードリングと接する点が、徐々に変って行き同心円とならないので、溶接開先を機械加工することができないで、手仕上げせざるを得なかつたので、とくに入念に開先合わせを行なつた。つぎに現地で溶接を行なう所は、曲線のワン曲点から離して応力の過大を防ぐとともに、溶接熱影響がスピードリングの仕上面に及ぼさないよう考慮して、スピードリングから相当離れた位置とした。図 5.7 は工場で組立てたスパイラルケーシングを示す。

19 片に分割輸送されたケーシングは、現地でまず背割

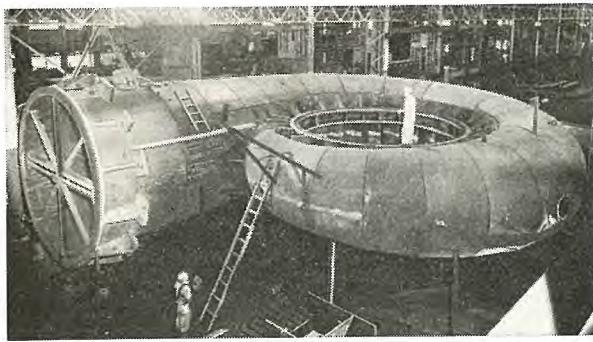


図 5.7 工場仮組立中のスパイラルケーシング

Fig. 5.7 Spiral casing under assembling at the factory.

れを溶接し、その後欠円状の各断片を相互に溶接とともにスピードリングに結合した。その溶接順序はなるべくヒズミを少なくするよう対角線を選んだ。

溶接後の応力焼純は、工場溶接部についてはすべて行なった。現地溶接部については、背割れ溶接部だけ誘導加熱により焼純したが、その他の部分は省略した。その理由は、円周縫手は背割れ部に比し応力が低いためであり、スピードリングとの接続部は、焼純による熱影響がかえってヒズミその他の悪影響となることを恐れたからである。応力焼純については、今日なお種々の意見があり、とくに水車スパイラルケーシングについては焼純を行なわない場合が多いようであるが、その施行についてはかなり慎重に検討する必要がある。

つぎに溶接部の非破壊検査としては、透過写真がもっとも適当と思われたので、X線写真で入念に検査し、不具合の所は掘って再溶接を行ない、不安のないことを確認した。最後に JEC 規定の水圧により耐圧試験を施行したが、漏水皆無という好成績を得た。なお水圧による膨張は最大約 1.6 mm 程度であった。

5.6 主 軸

主軸は鍛鋼品第 5 種 (SF55) で、直径 960 mm、長さ 3,500 mm、重量約 28 t である。軸受部は削り出しのスカート部を有し、油槽内の軸受油を下方へ吸い込まないよう、小穴を開けた。

下端のランナに接する部分は通常のキーとスタッドによる結合であるが、発電機軸との結合は、着脱に便なるよう特殊の構造とした。すなわち軸方向の力を伝達するのは、普通の場合と同様にボルトの引張力によるが、トルクを伝えるセン断力は、ボルトの外周にはめた厚さ 10 ~ 17 mm のライナによる。一般にこの結合ボルトは、リーマボルトが用いられるが、はめあいが押込であるので、着脱に大きな力を要し、数も多いのでめんどうなものとされていた。この構造では、上記のボルトライナにミゾ

を切り、ボルトはテーパにしてある。したがって間げきをもった状態でボルトを入れた後、テーパを締めつけることにより、ボルトライナを張り出し、はめあいを確実にしているので、着脱に大きな力を要しない上に、あらかじめ計測された寸法により、確実にはめあいを保つこ

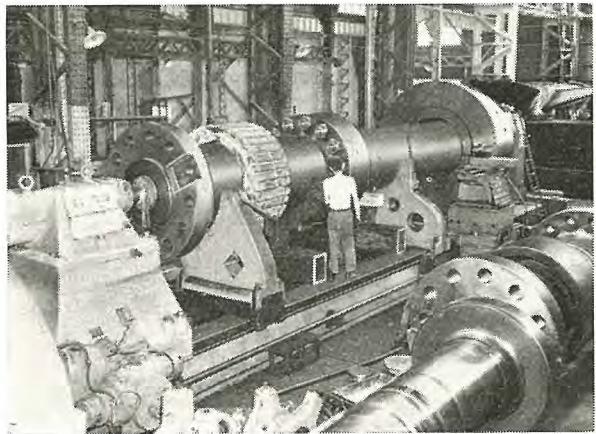


図 5.8 主 軸

Fig. 5.8 Main shaft.

とができる、非常に簡便であった。図 5.8 は発電機軸と結合した水車軸を示す。

5.7 軸受および主軸パッキン

軸受と主軸グランド部は水車の運転上もっとも重要な部分の一つである。この水車は比較的低回転であるので、セグメンタル形式を使用し、パッド数は 16 個とした。軸受により発生する熱は下部に装備した冷却水管により取り去る。運転状態の軸受パッドの温度は 45°C 前後であった。

グランドパッキンにはカーボンを使用した。これもすでに 20 年以上の経験を有するものであるが、従来のものはもろいのと、水に土砂を混入した場合は摩耗が早いので不評であったが、この水車では合成樹脂含浸の特殊カーボンを使用している。またカーボンを締めつけるスプリングには不鏽鋼を使用して、腐食を防いでいる。なおカバー上に出た漏水は、ステーベーン中の穴を通して発電所内のピットに自然流下させる。

5.8 ガイドベーンおよび水量調整機構

ガイドベーンは高さ 955 mm に対し厚さ 184 mm とした。スピンドルは直径 200~220 mm で、いずれも K MW の採用値に従ったもので、がんじょうな構造であって、閉鎖時の締代も少なくてよく、使用状態に安定感がある。上下の間げきは 0.4 mm で、大形機としては比較的小さいので、精密調整装置を設け、アーム直下の推力支持部のネジの操作による。このネジも運転中に回って、調整値が狂う不具合を経験したことがあるので、本

機では回り止めにネジ穴を設け、静止部と回転部の穴数をそれぞれ 10 個と 9 個にして、バーニヤ式の調整とした。

ガイドベーンの固定状態時の弱点装置は、リンクに設けたピンのセン断力による切断を利用した。

水量調整輪と軸受支持台との間に、84 個から成るローラベアリングを設け、摩擦力を低減するよう考慮した。この方式は欧州の水車メーカーが好んで使用する方式であるが、本機でも実測の結果、摩擦力はかなり低くなり、有効であると思われる。

6. 入口弁

主弁は立軸バタフライ形で内径 4,400 mm の記録品であり、わが社の多年の製作経験をもとに慎重なる設計と製作を行なった。

ケーシングは鋳鋼製で上下二つ割れとし、水圧の有無によるタワミ量を考慮して十分な剛性をもつ構造とした。表 6.1 は工場における水圧 21.75 kg/cm² を加えた試験によるタワミ量を示す。

弁体は輸送の関係上弁体中央部と両翼の 3 個に分割し、その結合方法は図 6.1 に示すように中央部にミゾを設け、袋ナットによりボルト結合した。ミゾは現場組立後カバーを溶接し表面をなめらかにグラインダ仕上を行なった。図 6.2 は主弁すえ付後の全開状態を示す。

ケーシング内周には漏水防止用のゴムチューブを設け、これに接する弁体外周には不銹鋼ライニングが施してあり、全閉時にはゴムチューブに圧縮空気を送入して膨張させ完全封水を行なう構造であるが、口径が大きく前記のように水圧の有無でタワミ量が異なるから、開閉時を考慮してケーシングと弁体間にある程度のすきまがおいてある。したがってチューブの空気圧に対し変形量を大きくするため図 6.3 に示す断面形のチューブを用い、なおこの種の構造のものは弁閉鎖時に異物をかみこんでチューブを破損することがあるので、その上をじょうぶなゴムのカバーでおおい、ケーシングの内面に取付けて万全を期した。

表 6.1 主弁ケーシングのタワミ (mm)

	D ₁	D ₂	D ₃
1 号機	+0.21	-0.14	+0.03
2 号機	+0.11	-0.095	+0.07
3 号機	+0.10	-0.11	+0.10

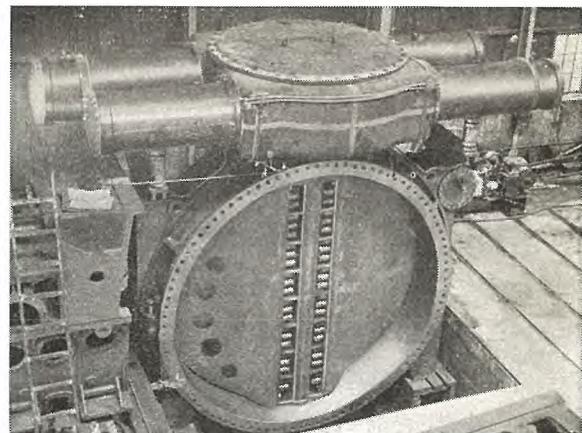
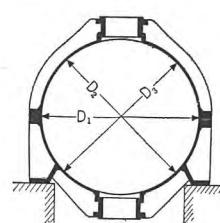


図 6.1 工場組立中の主弁

Fig. 6.1 Main valve under assembling at the factory.



図 6.2 主弁弁体

Fig. 6.2 Main valve assembly.

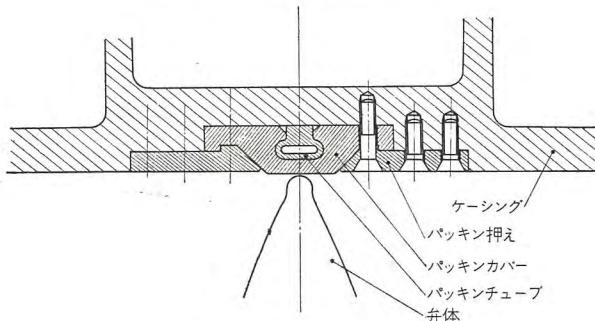


図 6.3 漏水防止ゴムチューブ断面

Fig. 6.3 Cross section of rubber tube for leakage prevention.

ゴムの材質の選定には多数の試験片を製作し、圧縮空気による耐圧強度と膨張量の関係を綿密に測定した上で、使用状態にもっとも適したものを探用した。チューブは空気圧縮機より油のはいることを考慮してネオプレン製とし、カバーは天然ゴムを採用した。いずれも布を入れて強度をもたせたが、チューブにはビニロン帆布を 3 プライ封入して耐圧最大 75 kg/cm²、最小 56 kg/cm²、という結果を得た。なお空気送入口とチューブ端は金属材料を使用し、実験により構造を吟味決定し、この部分より破壊することを防止した。カバー末端部の弁軸に接す

る面は摩擦を最小にするため、モリコートを使用している。図6.4は試験片によるチューブの変形状態の一例を示す。

工場試験および現地試験における漏水量は表6.2に示し、漏水箇所は弁軸部だけで弁体周囲は皆無であった。

開閉装置は油圧操作で4個の復動式サーボモータを強固な支持台によりケーシングの上部に配置してある。サーボモータの容量は最高落差において全負荷中の流水シャット可能で従来の経験に加えて、改めて模型試験を行ない系数を再確認した上で決定した。図6.5は模型試験状況を示す。

なお本弁は立軸で相当の重量が垂直に加わるから、ケーシング下部には推力軸受を設け弁体を支持した。推力軸受はテーパローラ推力軸受を使用しとくにその下面においてもすべりうる構造として、弁のタワミによる軸端の水平が変っても荷重支持に支障のないようにした。

入口弁の開閉操作はバイパス弁と主弁を開閉運動させるための共鍵装置のほかに、本弁は鎖錠装置と漏水防止チューブへの空気送入装置があるので、これに対する保護共鍵装置として鎖錠用配圧弁とその共鍵弁、封水用配圧弁および補助空気弁などを設けて、おののの作動が順序正しく進行するようにした。なおこれら弁類と配管はすべて図6.6に示すようにサーボモータ支持台内部に納め、美観と漏油があっても外部に流れないよう考慮した。弁の開閉指示は主弁、バイパス弁とも開閉装置支持台カバー上に、透明合成樹脂板をはった窓を設けて指示

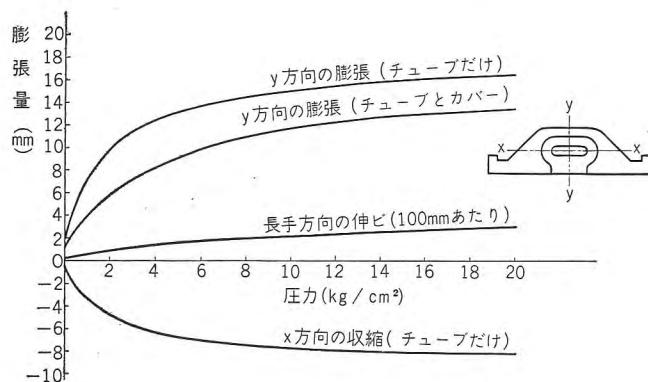


図6.4 チューブ試験片による変形
Fig. 6.4 Deformation by rubber tube test piece.

表6.2 入口弁漏水量

	工場試験 (l/min)	現地試験			バイパス弁漏水量 (l/min)
		水圧 (m)	気圧 (kg/cm²)	漏水量 (l/min)	
1号機	2.2	26.8	12.5	2.4	0
2号機	2.3	30	15.5	3.33	2.67
3号機	2	31	15	3.6	0

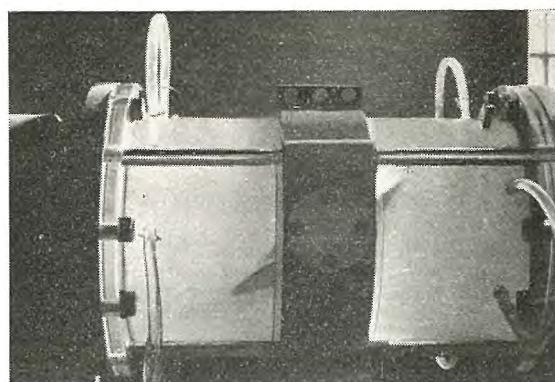


図6.5 バタフライバルブ模型試験状況
Fig. 6.5 Model test of butterfly valve.

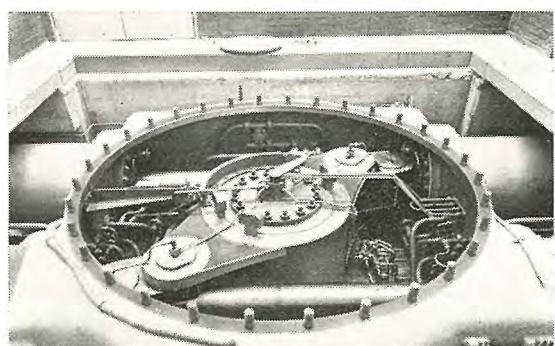


図6.6 主弁開閉装置
Fig. 6.6 Main valve opening and closing device.

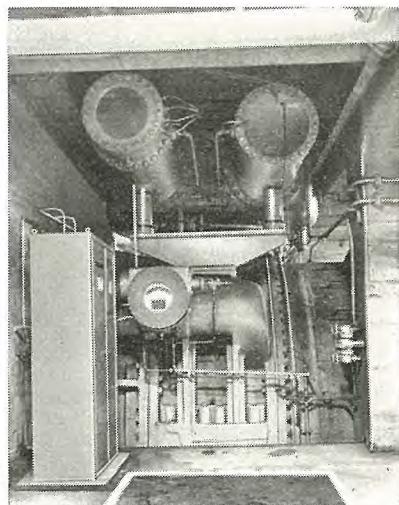


図6.7 バイパス弁外観
Fig. 6.7 Exterior view of by-path valve.

するほかに、マイクロスイッチと連動して動作状態を配電盤の表示灯の点滅によって指示するようにした。

バイパス弁はつねに自由放流または流水シャットを繰り返し、振動を発生するから、その固定方法には注意を払い、主弁サーボモータの脚部を利用し、鉄管側バイパス曲管を主弁ケーシングと一体に鋳造し、それに直接バイパス弁を取付ける構造とした。その外観図を図6.7に示す。

なおバイパス弁開閉機構には手動鎖錠装置を設け、水

車内部点検時に 21S の誤操作があっても主弁およびバイパス弁は開かないようにしてある。

7. 調速機

調速機のアクチュエータ部分は真空管式電気調速機でスエーデンの ASEA-KMW 社よりの輸入品を使用した。その性能については関西電力越方発電所をはじめ多くの運転実績により、わが国でもよく知られている。この発電所ではジョイントオペレーション、タイランイコントロールなどで電気調速機のすぐれた特長を生かし、広範囲の制御を行なうので、現品到着後工場において実際使用状態に仮設備を施し、長期にわたって綿密なる試験を行ない、その性能を調査の上発送し、現地運転に際して遺憾なきを期した。

ただし輸入電気調速機を運転保守する場合の欠点とされている下記を改造して納入した。コントロールユニットは穴が小さいので、操作油に異物が混入しないよう、200 メッシュのストレーナが装備されているが、この容量が小さく清掃のために水車を停止するか、ゲートロックをかけたりするので、そのめんどうがしばしば問題となつた。もちろん操作油全体を清浄にするのが理想的の解決法であるが、ストレーナの容量についても検討の余地あり、この調速機では過容量を数倍とし 2 個を併列に置き、運転中にも単に弁ハンドルを切換えるだけで、容易に清掃できるものを付加した。図 7.1 はその操作線図を示す。

このアクチュエータの負荷制限機構はワイヤを使用しているが、水車起動にあたり圧油槽からの圧油阻止弁を開くと、アクチュエータの補助サーボモータ内に空気がはいつている場合は、ピストンが躍動してワイヤを切断することがある。この対策として、最初は少量の圧油を送り、

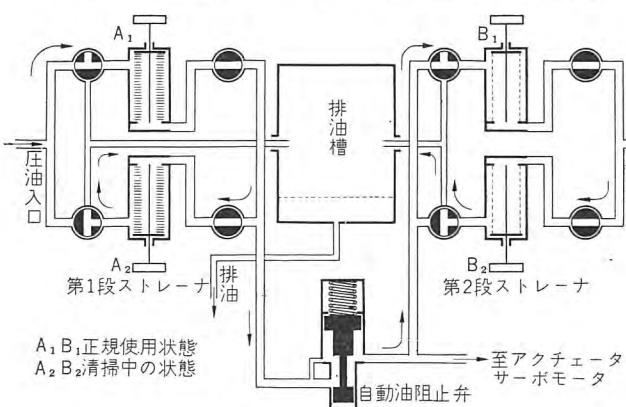


図 7.1 アクチュエータ用ストレーナ圧油系統図

Fig. 7.1 Oil system diagram of strainer for actuator.

田子倉発電所 108,000 kW 水車・氷室・山本

サーボモータが落ちついてから弁を開放する圧油阻止弁を設けるとともに、ワイヤ端に緩衝器をつけてワイヤに無理のかからないよう改造した。

またこの水車の落差は最高 118.2 m から最低 67 m まで変化するが、最高落差では約 13 万 kW に

達するので、開度を制限する必要がある。配電盤または制御盤において、落差に応じて最大開度制限の調整が可能なるよう、アクチュエータ補助サーボモータの下部に開度制限の可変ストップを設置した。図 7.2 はその外観を示す。

配压弁は水車制御盤キャビネット内に置き、弁および弁門の材料は当社獨得の鍛鋼熱処理材を用い、摩耗なくラップの切れをよくし、また主サーボモータとの復原機構にも不感帶を少なくするよう構造に注意を払い、極力制御性能の向上を図ることに努めた。

8. 圧油装置

入口弁と調速機はいずれも容量の大きいサーボモータを有し、制御方式が異なっている上に、水車運転の安全性も考慮して、圧油装置は別個に設けてある。

圧油ポンプはおのの M-M 方式で、効率がよく運転が静穏なことで定評のあるスクリューポンプを採用し、立て軸形として図 8.1 のように集油槽上の共通台板に並べてある。ポンプのケーシングは停止中も油が切れない構造とし、長時間停止後の汲揚げ不能を防止している。

入口弁用ポンプは吐出量 410 l/min で入口弁が動作中だけ連続運転し、常時は油圧継電器により圧油槽の油圧が 19 kg/cm² になれば起動し 21 kg/cm² で停止する間けつ運転方式となっている。

調速機用ポンプは吐出量 1,800 l/min の記録品で、水力発電所用としては世界でもまれであろう。したがって設計、製作ともに慎重に行なわれたが、工場での試験も長時間連続負荷運転して各部を点検するなどの考慮を払い、起動時電動機の過電流の大きさを検討す

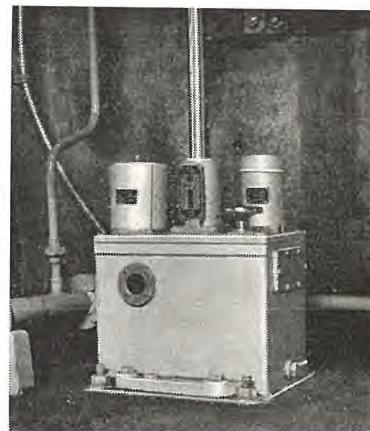


図 7.2 サーボモータ開度制限装置
Fig. 7.2 Servo motor opening limit device.

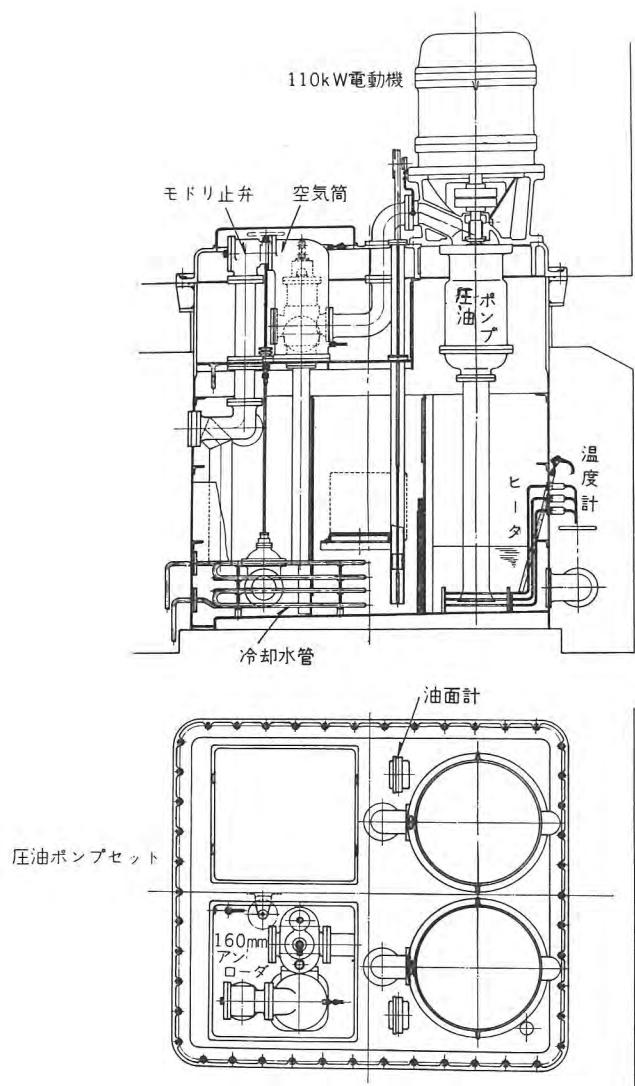


図 8.1 圧油ポンプセット

Fig. 8.1 Pressure oil pump set.

るため、吐出口を締切って起動させ、安全弁が作動状態となる試験をオシログラフに測定して万全を期した。

それぞれのポンプはローディング、アンローディング時間および起動回数を自動的に配電盤へ記録し、運転状態の監視を便にした。

圧油槽の容量は入口弁、調速機用とともに 13,600 l で発電機室に並置し、現地試験の結果いずれの容量も十分適切であることが確認された。油面計はガラスが破損する不安のないクリンカ式を取付け、油面の異状を警報する油面検出方法は図 8.2 の浮子式で、多年の実績により確実で故障のない構造としている。

集油槽は二室に分割し水車運転中でも排油を切換えて内部点検やストレーナの掃除が可能で、点検用プラットフォームが設けてある。アンローダ、安全弁、圧油槽、油面調整装置などは上部空間に配置して、全体は完全密閉になっている。なお油面計、温度計、混水継電器があ

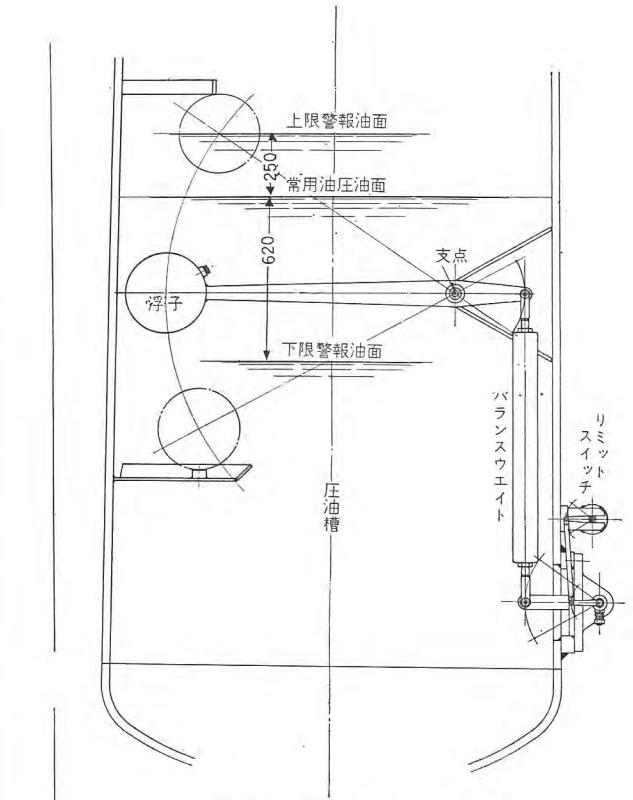


図 8.2 圧油槽油面警報装置

Fig. 8.2 Oil level alarm device of pressure oil tank.

り油冷却管と冬期の温度低下を考慮してヒータを設備している。

9. 運転制御装置

制御装置のもっとも大切なことは動作の確実にあり、とくに大容量機は制御装置の故障による運転不能は許されないので、全機構に慎重な考慮を払って製作したが、実地運転で良好な機能を発揮して所期の目的を達成した。

制御方式は一人制御式で、配電盤上の開閉器で操作され、また発電機室の水車制御盤で手動操作もできる。

図 9.1 は入口弁の自動操作系統を示し、バイパス弁、主弁、封水装置、鎖錠装置はそれぞれの動作が完了してつぎに進むよう、相互にインタロックされている。封水装置の空気弁はバイパス弁閉ならびに主弁閉鎖完了の二重条件を経て圧縮空気を送り、不要時に封水パッキングに圧力のかかるのを安全防止している。

図 9.2 は水車の起動停止の自動操作系統図で、起動は電磁弁 65S 作動して、圧油阻止弁開およびガイドベーンサーボモータ鎖錠はずれの条件を経て調速機配圧弁を生かして起動態勢となる。しかしこの水車のように広範囲に落差の変化する場合は、ガイドベーンの起動開度は

一定しないから調速機の負荷制限電動機 77M を間けつ的に回し、ガイドベーンを徐々に開き、起動すれば起動確認装置 78 でその開きを止める方式を採用している。

停止操作は電磁弁 65T の作動で、前記起動時のイン

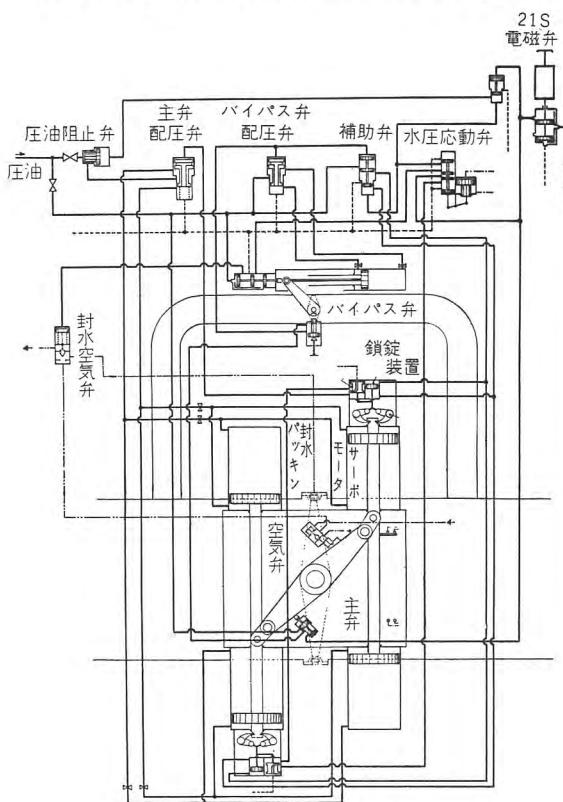


図 9.1 入口弁自動操作系統図

Fig. 9.1 Diagram of automatic operation system of intake valve.

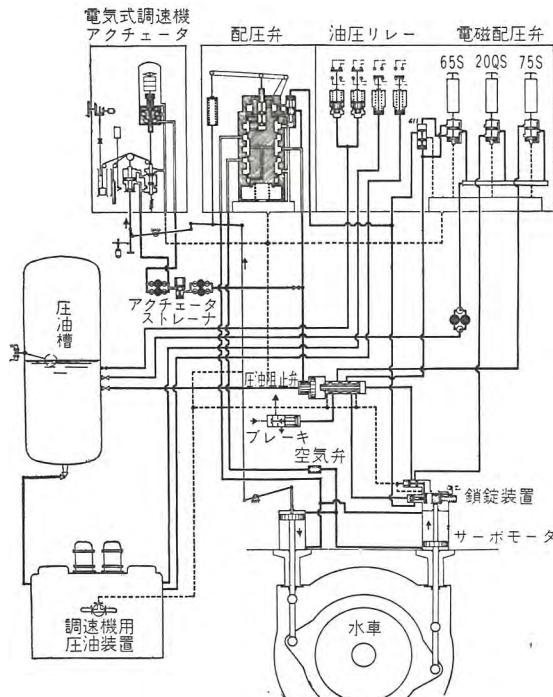


図 9.2 水車自動操作系統図

Fig. 9.2 Diagram of water wheel automatic operation system.

田子倉発電所 108,000 kW 水車・氷室・山本

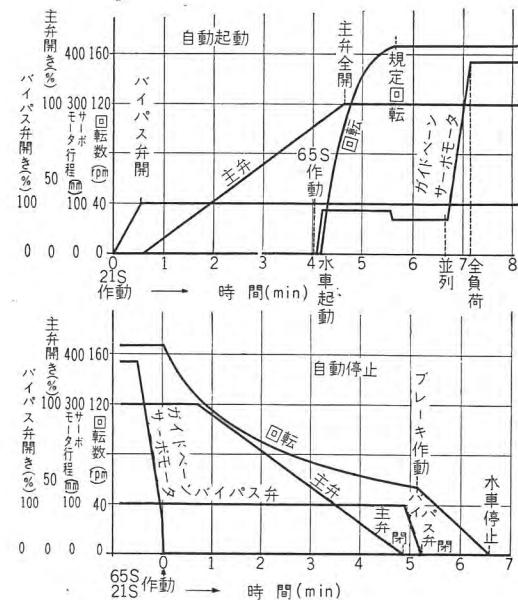


図 9.3 自動起動および停止記録
Fig. 9.3 Record of automatic start and stop.

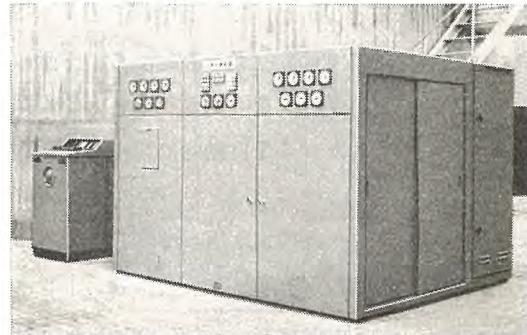


図 9.4 水車制御盤外観

Fig. 9.4 Exterior view of water wheel control panel.

ロックをバイパスしてただちに調速機配圧弁を押し上げ、ガイドベーンを閉鎖する。ブレーキは電磁弁 75S で圧縮空気弁を操作してかけるが、ガイドベーン完閉の条件が入れてある。図 9.3 は水車の起動停止記録図で、配電盤の主幹開閉器により停止状態からわずか 7 分余りで全負荷をとっている。

水車制御盤は電気式アクチュエータに隣接して配置し、キャビネット内には電磁弁、油圧継電器を取り付けた制御スタンドと調速機配圧弁が並べて収容してある。盤の正面には運転に必要な計器類と、動作表示集合灯を配し、埋込み式の電話器を備え、必要に応じ引き出し使用する。

電磁弁を手動操作する場合は前扉を開いて行ない、當時不必要的操作ハンドル類はすべて外部に置かず、美観を考慮するとともにあやまって触れるのを防いでいる。図 9.4 は制御盤の外観を示す。

10. 給排水装置

発電機の空気冷却器、水車発電機の軸受、変圧器、集

油槽などに供給する冷却水は約 $10 \text{ m}^3/\text{min}$ を必要とする。これを水圧鉄管から分歧して取水すると落差が高いときには高圧水を低圧に落して使用する不経済を生じるので、鉄管から取水する装置と、別に 120 kW の電動ポンプで放水路から揚水する装置とを水車1台ごとに設置し、落差に応じていずれか一方を常備とし他を予備として使用、常備が故障の場合は予備が自動的に作動して送水する方式になっている。図10.1は給水系統を示す。

冷却水はまず発電所屋上に設置の減圧水槽に揚げ、自動ストレーナでロ過されて各部に給水される。減圧水槽は送水が断たれてから2分間給水できる容量があり、屋外の配管類は保温材をもっておおい、冬期の凍結防止が考慮されている。

自動ストレーナは図10.2のように並列に置き、構造は当社が永年の製作実績によるロ過能力がよく故障のないクシ歯形回転式を採用し、時間調整可能なタイマでゴミの流入状態に応じて掃除回数を設定する。作動は電動機でドラム状のスクリーンを回転させるとともに、排水弁を開きくし取られたゴミを自動的に放出するようになっている。

水車主軸パッキング部の封水用水は、とくに清浄水が要求されるので、別に40メッシュの自動ストレーナを

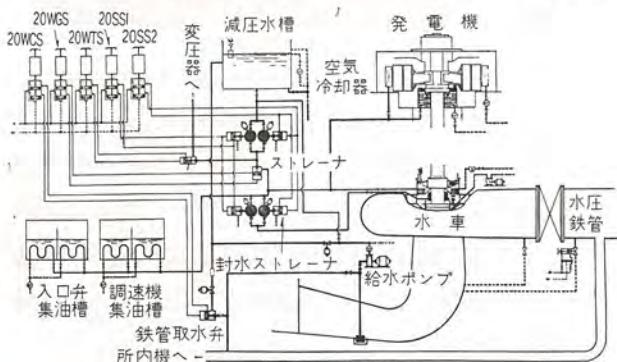


図10.1 給水系統図

Fig. 10.1 Feed water system diagram.



図10.2 冷却水ストレーナ

Fig. 10.2 Cooling water strainer.

置き、前記ストレーナを通過した水をもう1回ロ過して給水している。

所内排水装置は、排水ポンプ室に 15 kW 立テ軸電動機ポンプを4台設置し、1台を常備に、1台を予備とし、他の2台を非常にそなえ、さらに揚水量 $1 \text{ m}^3/\text{min}$ のジェットポンプ2台を配して万全を期している。各排水ポンプの起動停止は、排水ピットの水位により自動的に行なわれる。

水車の内部点検や分解時には、吸出管内の排水を必要とするので、その際には前の 120 kW 給水ポンプを切換えて使用するようになっている。

11. 所内水車

この発電所には所内電源用として、 $2,000 \text{ kVA}$ の横軸水車発電機が設備されている。水車の形式、容量については、立テ軸、横軸、1台案、2台案のおのおのにつき、効率、配置上のスペース、1~2台の負荷による自動制御方式などを種々考慮して、結局横軸1台案が採用された。仕様は前述のとおりで、その用途から考えてとくに運転の確実なるよう考慮して製作された。図11.1は所内機の外観を示す。

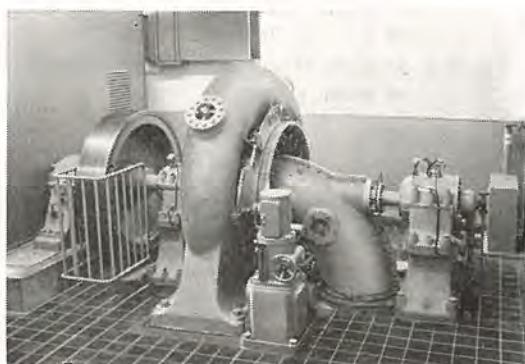


図11.1 所内水車

Fig. 11.1 Station service water wheel.

11.1 ランナ

横軸としてパレル床面に近く水車を設置したので、主機に比し吸出高さがいちじるしく高くなり、好ましくないので、吸出管の出口部をもち上げ上端に空気管を設備して、有効吸出高さを減少するよう配置した。しかしながら主機より吸出高さが大きいのと、連続運転されるのを考慮して、材質は不銹鋼とした。ランナ羽根数は17枚である。

もちろんこのランナについても、詳細な模型試験を行なって性能を確認したものであるが、主機と同様に、現

在の最低落差時の出力は模型のそれと大体一致し、所期の性能を発揮している。

11.2 軸受

運転の確実を期し、発電機、水車とともに二つの軸受を有す。水車軸受は発電機側を平軸受、反対側を推力軸受とした。推力軸受はセグメンタル式のピボット形で、とくに自己調整のできる平衡ビーム形式を採用した。

推力軸受については支持位置が問題になるが、⁽³⁾ このパットを用いて中心支持、4% 偏心、6.7% 偏心の 3 種につき試験を行なった。水圧力に相当するものとして軸端に設備した油圧サーボモータを用いた。サーチコイルのインダクタンス変化により油膜の厚さ、熱電対によりパットの温度を計測したもので、油膜厚さ、回転数、油圧は電磁オシロで測定し、温度は電子管式記録温度計で監視しながら、電位差計式温度計と併用して測定した。

図 11.2 は試験用のパットを示す。

軸受の安定度を比較する一つの尺度として油膜厚さを考えると、同一条件では厚さの大きいほど金属接触を起しにくいくこととなり有利である。したがってこの試験の結果、図 11.3 に示すとおり偏心 4% がもっともよいといえる。しかしその差はあまり顕著ではない。

なお軸受油は発電機軸受用と共通で、集油槽中で冷却し、ポンプで循環させているが、推力軸受は軸端を別に水で冷却している。

11.3 スパイラルケーシングその他

スパイラルケーシングはスピードリングと一体の鋳鋼製で、上下に分割しない一体構造である。ステーベーンは 8 枚、ガイドベーンは 16 枚とした。水車軸と発電機軸との結合はリーマボルトで、フライホイール

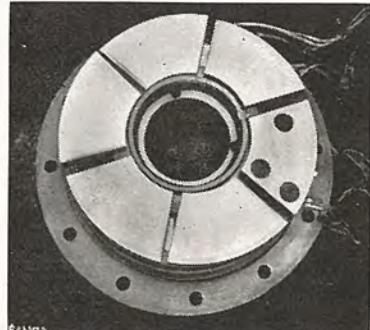


図 11.2 試験用推力軸受

Fig. 11.2 Thrust bearing for testing use.

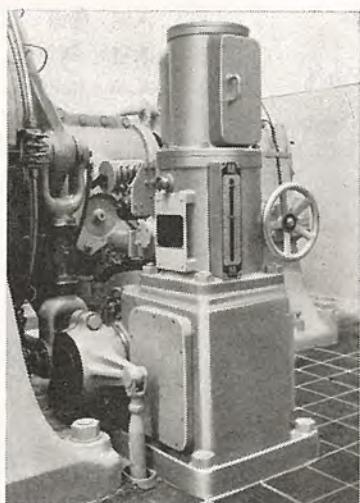


図 11.5 ガイドベーン

サーボモータ外観

Fig. 11.5 Exterior view of guide vane servo motor,

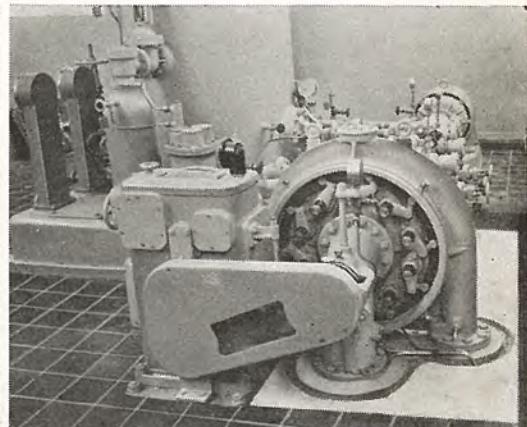


図 11.6 圧油ポンプセット

Fig. 11.6 Pressure oil pump set.

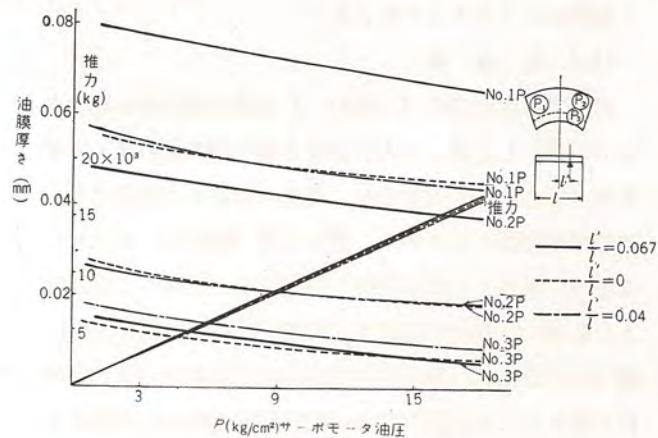


図 11.3 推力と油膜厚さとの関係

Fig. 11.3 Relation between thrust and oil film thickness.

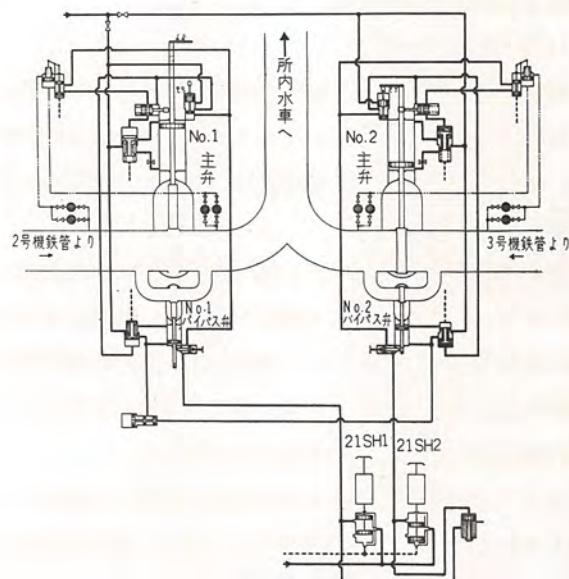


図 11.4 入口弁自動操作系統図

Fig. 11.4 Diagram of automatic operation system of intake valve.

ル兼用のカップリングによる。

11.4 入口弁

所内機は主水車の 2 号機と 3 号機の両鉄管から取水している。したがって入口弁は 2 個並列に設けて、いずれか一方を選択使用するか、または両方とも使用でき、運転中に切換えることができる。弁は口径 800 mm のスルース形で、流水シャットが可能な設計になっている。弁座は入口と出口の両側に設けて、逆流を防止する構造である。図 11.4 は開閉操作の系統図を示し、主弁とバイパス弁は互鎖され、弁の開閉動作は配電盤室の指示灯点滅によって監視する。バイパス弁には手動の鎖錠装置が備えてあり、取水管や主機の内部点検時にはこれを施し、誤操作による開放を防止する。

11.5 調速機

機械式でキャビネット形調速機を水車制御盤と並設してある。キャビネット内にはアクチュエータと配圧弁が収納してあり、配電盤から自動操作される。手動操作も前扉を開いてできる。

所内機は負荷の変動がひん繁であると予想されるので、アクチュエータのダンピング機構を強化し、配圧弁その他の不感帯を極力小さくして、安定性と速応性に高性能を発揮するよう考慮を払ったが、現地試運転では予期以上に作動良好で安定した制御能力を発揮した。

ガイドベーンサーボモータは水車に近接して置き、ハンドルによる手動開閉機構が付してある。落差の変化に対し主機同様に最大出力を、1,700 kW に制限する装置をサーボモータに直接付加し、落差に応じて配電盤操作を行なう。図 11.5 はサーボモータの外観を示す。

11.6 圧油装置

圧油ポンプは電動機と小水車駆動各 1 台で、いずれも操作圧油ポンプと潤滑油ポンプを運転し、図 11.6 のよ

に横一列対称に配置してある。電動機側を常用、小水車側を予備とし、電源故障あるいは圧油槽の油圧低下か水車発電機軸受の潤滑油が切れると、小水車は自動起動し回復すると停止する。

小水車はフランシス形で落差の変化および負荷変動に対しつねに 1,200 rpm の回転を保つよう、ガイドベーン調整としてあり、Z 形調速機で制御される。

圧油槽は容量 4,400 l で、総合形油圧調整弁、油面調整装置とともに台板上に置き、浮子式油面検出器を備え油面異常のときは警報する。

集油槽は 1 個で内部を 3 分割し、真中は潤滑油、両側を操作油用とし、いずれも冷却管とヒータを入れ、油面指示、油温計、混水継電器を備えている。

12. むすび

田子倉発電所水車はわが国最大の出力をもつもので、その設計、製作については非常に慎重を期したのであるが、現在低落差ながら好調な運転を続けていることは喜ばしい。やがてダムの完成とともに最大出力を発生し、さらに 1 台の増設を完成して、文字通りわが国最大の水力発電所となり、電力界に貢献するところ大なる日を期待してやまない。

終りにこの発電所の開発を企画され、水車の設計製作について種々のご指導、ご鞭撻をいたいた電源開発株式会社の関係者の皆様方に、心から敬意と謝意を申し上げます。

参考文献

- (1) 氷室・福田: 水門鉄管 No. 7 (1959-1)
- (2) 氷室: 電気公論 第 34 号第 10 号 (1958-10)
- (3) A. A. Raimondi, John Boyd: Transaction of the ASME April (1955)

田子倉発電所 105,000 kVA 発電機

神戸製作所 井関 巍*・三浦 宏***・生原春夫***・田附和夫***・安達賢一***

105,000 kVA Generators for Tagokura Power Station

Kobe Works

Iwao IZEKI · Hiroshi MIURA · Haruo HAIBARA
Kazuo TATSUKE · Ken-ichi ADACHI

Being the largest in Japan as a single unit output and also as a total installation capacity, three 105,000 kVA generators for Tagokura Power Station of the Electric Power Development Co. were completed and entered into a commercial operation with success on the first of last June. Based on many years' experience and untiring effort, Mitsubishi has made this technical achievement in building these large capacity and high speed machines of an umbrella type construction to give full play to their design features. The stator coil is of a one turn half coil insulated with Dialastic resin to assure good characteristics. The thrust bearing used is large sized and is so designed as to secure uniform load distribution by a four line supporting method. The guide shoe is also provided with a compression tube at its support so as to equalize the load share with others.

1. まえがき

近来水力発電所の設備容量は増大の一途をたどり、それに伴って発電機単機出力も次第に増大してきた。田子倉発電所は戦後開発された中でもっとも大規模なもので、最終出力の 38 万 kW はわが国最大のものである。また現在運転中の発電機としては当発電所の 105,000 kVA はわが国の記録品であり今回の営業運転開始を機会に、総合的な報告を公表する次第である。

思えば発電機 3 台受注が決定したのが 32 年末で、文字通り社運をかけた記録品であったが、もとより永年にわたる水車発電機製作に関する豊富な経験と技術によって製作についての自信は十分であったが、なおいっそう完璧を期するため実物による破壊試験、絶縁諸特性の改良などを並行的に実証確認するなどきわめて慎重な態度で製作を進めた反面、推力軸受構造などに関しては面目を一新するが如き新構造を勇敢に採用してその真価を發揮しているものも多数にのぼっている。工場設備もかねてからの計画に従って大規模な拡張、改造を実施し総力を結集して工事にあたり、昨年 6 月工場組立を完了、きわめて優秀な成績で工場試験を終了した。その後別項詳報のように現地すえ付もきわめて順調に進行し、現地試験、官庁試験も無事終了して 6 月 1 日から正式運転を開始した。ダム工事が完成して全負荷運転にはいるのは来

年 8 月であるが、諸種のデータからその性能が十分期待できるのでここに概要を公表する次第である。

2. 発電機の仕様

(1) 発電機

形式	カサ形回転界磁閉鎖風道循環形 (空気冷却器付)	
定格	出力	105,000 kVA
	電圧	13,200 V
	電流	4,600 A
	力率	90 %
	周波数	50 c/s
	回転速度	167 rpm
	極数	36
	ハズミ車効果	13,600 t ^{-m²} (保証値)
	無拘束速度	318 rpm (")
	短絡比	1.1 以上 (")
重量	固定子	164 t
	回転子	460 t
	発電機総重量	760 t
	励磁機、空気冷却器を含む全重量	820.5 t

(2) 励磁機

主励磁機	形式	立テ軸開放形	他励	補償巻線付
------	----	--------	----	-------

定格 出力	500 kW
電圧	440 V
電流	1,135 A
極数	16
副励磁機	
形式 立テ軸開放形	分巻
定格 出力	20 kW
電圧	110 V
電流	182 A
極数	10
(3) 電気ガバナ電源用永久磁石発電機	
形式 立テ軸開放形	
定格 出力	500 VA
電圧	110 V

このほか、励磁機上部には起動停止確認装置、運転表示灯を設け、また自動電圧調整器は磁気増幅器形を使用した。図2.1はすえ付を終えた発電機の外観である。

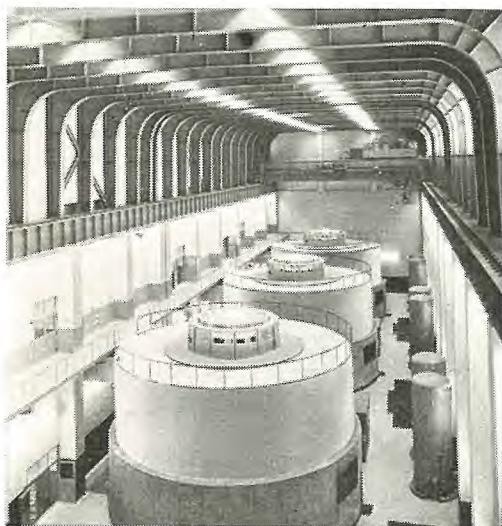


図 2.1 105,000 kVA カサ形水車発電機
Fig. 2.1 105,000 kVA umbrella type water-wheel generator.

3. カサ形機

本機はわが国はもちろん、世界的に見ても屈指の大容量を有し、また回転数もかなり高い発電機であるが、その形式にカサ形構造を採用した点に大きい特色を有している。当社は昭和18年満洲国鏡泊湖発電所向け20,000 kVAの国産第1号カサ形発電機を製作し、パイオニヤとしての苦心を重ねたが、戦後急激に増大してきたカサ形機製作に対してもつねに旺盛な研究心を發揮し、構造の改善に努力してきた。田子倉発電所向け105,000 kVAカサ形発電機はその集大成であり、今後のカサ形構造に

対し大きい指針を与えるものと確信している。

カサ形発電機⁽¹⁾は周知のとおり推力軸受を回転子下部に設置し、振止軸受もまた同一油槽内に納めたものであって、特色として下記の点が強調されている。

- (1) 普通形に比し全重量が軽く、経済的である。
- (2) 発電機全高が低く軸も短いため、建屋を低く設計でき、またつり上高さも小さくできる。
- (3) 起重機のつり上重量が軽減できる。
- (4) 組立の際の心出し、振れ見が主軸だけで行なえるので作業も容易であり、すえ付期間も短縮できる。

カサ形機を設計する場合にもっとも重要なことは、その安定度を計算することであるが、そのもっとも簡単な判定は次のとおりである。

$$WL \gg PH$$

W推力軸受に加わる垂直荷重

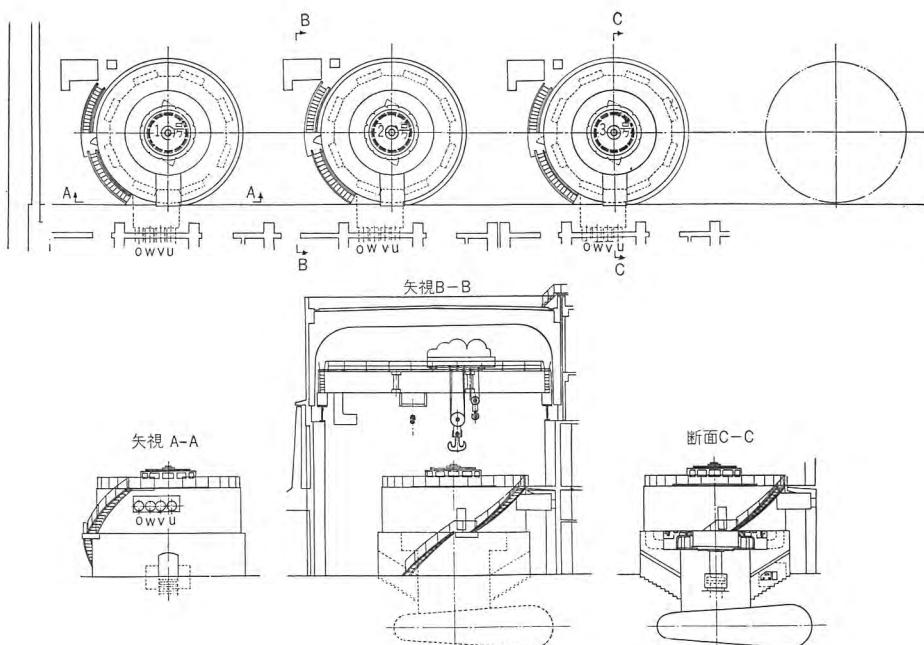
L推力軸受の支点半径

P空げきの不均等による磁気吸引力

H回転子重心と案内軸受との距離

上式の右辺は不平衡力によって主軸を横転させようとするトルクであり左辺は主軸を垂直に保つための安定トルクを表わしている。不平衡力としては上記磁気吸引力のほかに回転子の重量的な不均一に基づくものも附加するので左辺は相当に右辺より大きくなければならない。この数値は各種実測値で限界を定めているものであるが一般的にいって回転が低く、鉄心長が短いほど安定が良くなることである。本機の場合従来の観念からいえば105,000 kVA 166.7 rpm (60c/s 運転の場合には200 rpm)では上部案内軸受の設置を考慮するところであるが、構造を工夫し、慎重検討の結果確信をもって記録的カサ形の採用にふみきった訳であるが、工場における過速度試験の結果もきわめて良好であった。上部案内軸受をもつたいわゆる半カサ形機はできるかぎり避けなければカサ形機の特長は半減される。すなわち上部ブレケットの構造、配管は複雑となり、主軸の長さが上部軸受部分だけ長くなるばかりでなく、すえ付に際し水車軸と結合して振れ見を行なう場合上下主軸とスパイダを結合しなければならないので、必然的に構造が複雑化し、重量化する傾向となる。

本機は典型的なカサ形構造を有し各種の新しい試みを実施したもので図3.1に発電機外形を図3.2に構造断面を示している。各部構造の詳細については後述するが、カサ形として構造上とくに留意した点は主軸と推力軸受



えている。

4. 発電機構構造の詳細

前述のように本機は従来見られなかった幾多のすぐれた特色を有しているが、風道外径 11.5 m 高さ 3.5m の巨大な形態は、その容量とともにわれわれが、かつて製作したものでは最大であり、設計、工作ともにきわめて慎重な態度で製作を進めた。

以下各部の構造について説明する。

(1) 固定子

a. 固定子ワクおよび固定子鉄心

固定子ワクは鋼材溶接組立式で外径は 9.2 m、高さは 2.28 m、外周は 16 角形で、輸送制限のため、全体を四つに分割している。溶接後必要面の機械加工を行ない、鉄心締付用ボルトを円周に沿って立てるのであるがこれはまた鉄心を積む時のガイドとなるもので、工作上厳格な精度が要求される。この締付ボルトおよび分割された固定子相互間の締付ボルトはそれぞれ鉄心を堅く保持し、長期間の運転に対し、鉄心のゆるみ、騒音、振動などを生じないようにするとともに、運転中、あるいは短絡その他の異常時に受けるあらゆる応力に対し固定部分の剛性を維持しなければならず、太さ、数、材質については十分な検討を行なった。

固定子鉄心は T 級の最高級品を使用し、外径、ミズなどを打抜いた後、焼鈍、および表面の絶縁処理を十分に行なった。これら扇形鉄心は交互に半分ずつ重ね合わせて積み、途中には数十箇所の通風ダクトを設けた。鉄心の締付は、数回にわけ、また温度をあげて入念に行ない、端部には非磁性金具をあて、前記のボルトによって締付けた鉄心を確保している。図 4.1 は鉄心積み終了後の固

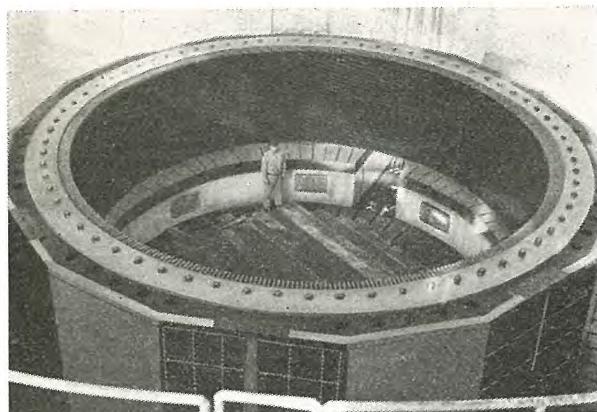


図 4.1 鉄心を積み終った固定子

Fig. 4.1 Stator frame with core.

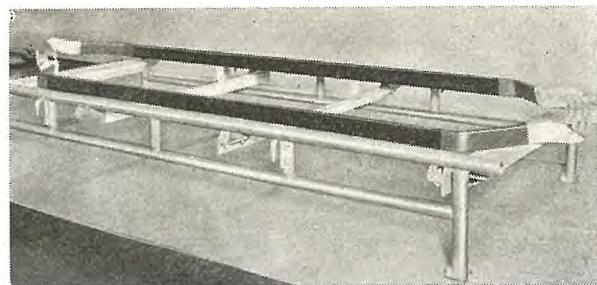


図 4.2 固定子コイル

Fig. 4.2 Stator coil

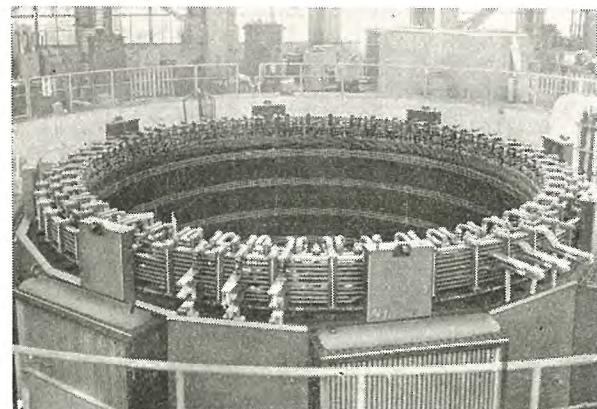


図 4.3 コイルを挿入した固定子

Fig. 4.3 Stator assembly coils completely connected.

定子を示す。

b. 固定子巻線およびコイルの絶縁特性(図 4.2, 4.3)

固定子巻線には機械の電気特性および温度上昇を考慮して、3 並列回路、重ね巻を採用した。コイルは 1 ターンコイルで半ターンずつ製作し、これを両端で接続している。素線は多数の二重ガラス巻平角銅線を使用し、表皮作用による渦流損を減少させるため、ミズ内でローベル転位をほどこし、端部では素線を数グループにわけ、相互に転位を行ないつつ接続している。コイル絶縁はマイカテープを主体とした完全 B 種絶縁で、絶縁材には当社の誇る優秀なダイヤレジンを使用したダイヤラスチック絶縁である。ダイヤラスチック絶縁については、すでに詳細⁽²⁾が発表されているが、ここでは、田子倉向け発電機の固定子コイルの絶縁特性について説明することにする。

高圧固定子コイルの特性中で、もっとも重要視されなければならないのは、その絶縁耐力である。コイルの特性にはこのほかに、絶縁抵抗特性、誘電体力率、コロナ特性など、種々あるが、終局において問題になるのは、これらの特性が、絶縁耐力にいかなる影響を与えるかということである。すなわちいかにこれらの絶縁特性がすぐれていても、絶縁耐力のないコイルは、コイルとして

の使命を果すことはできない。この意味において、固定子コイルがどんな絶縁耐力をもって製作されているかを知ることは、きわめて重要なことである。田子倉向けの固定子コイルは、その製作途上において、適当な時期にコイルが引き抜かれ、絶縁の諸特性の測定をして、最後にコイルは絶縁破壊されて、その破壊電圧の測定が行なわれた。この結果から田子倉向けの固定子コイルは、絶縁の諸特性、破壊電圧とも、定められた管理限界内にあり、きわめて好ましい状態にあることが確認されている。破壊電圧については、旧来のコンパウンド方式の絶縁に比し、約 20% 高い値を示しており、その破壊電圧の偏差もきわめて小さい値になっている。

つぎにこの耐電圧の耐久性ということが問題になるが、これに影響を与える要素には、熱的、電気的、機械的の三つが考えられる。この三つの要素のうち、熱的なものに対する実験結果が図 4.4 に示されている。この寿命試験は 13.2 kV 級の試験コイルを用いて、常時 120°C および 140°C の乾燥室にコイルを入れて、ある期間ごとにコイルを取り出し、その破壊電圧を測定したものである。この試験結果より、ダイヤラスチック絶縁のコイルは、140°C の高温においても約 16 ヶ月間、ほとんど破壊電

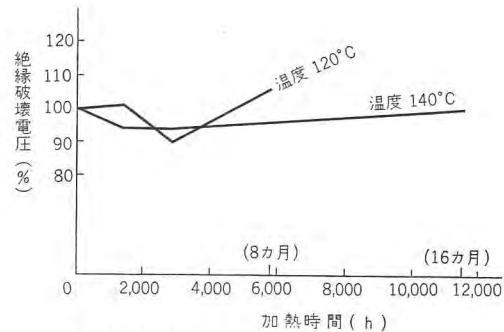


図 4.4 热劣化による破壊電圧の変化

Fig. 4.4 Change of break down voltage in 13.2 kV test coils during heat aging.

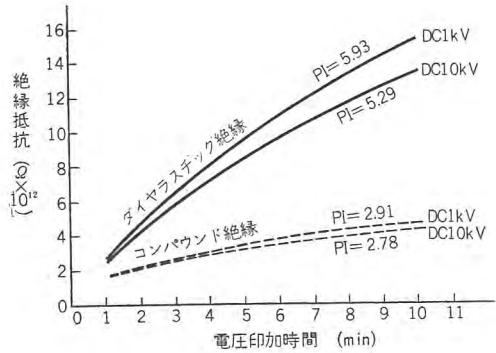


図 4.5 直流吸収特性

Fig. 4.5 Dielectric absorption of 13.2 kV class coils.

田子倉発電所 105,000 kVA 発電機・井関・三浦・生原・田附・安達

圧は低下しておらず、きわめて熱的に安定したコイルであるということができる。なお実際のコイルは、上記の熱的、電気的、機械的三つの要素に対する寿命試験は、現在継続中であるので改めて報告することにしたい。

ダイヤラスチック絶縁の絶縁抵抗は、従来のコンパウンド絶縁に比し、きわめて高い値をもっている。図 4.5 は 13.2 kV 級の試験コイルで、ダイヤラスチック絶縁とコンパウンド絶縁の絶縁抵抗を比較したものである。成極指数 (PI) の値からすると、ダイヤラスチック絶縁もコンパウンド絶縁も、いずれも乾燥状況にあるものと推定されるが、ダイヤラスチック絶縁の抵抗の値は、非常に高く優秀な性能を示している。

絶縁抵抗の耐湿特性は、コンパウンド絶縁に比し、ダイヤラスチック絶縁は吸湿が表面だけにとどまり、内部まで進行しない。したがって絶縁抵抗の値が高くまたその復元性が良い。このことはわが国のような高湿度の地域でも、乾燥運転を必要としないか、または表面の湿気を除去すればよいので、乾燥時間を短縮することができる。

図 4.6 はほぼ同容量の発電機固定子巻線の乾燥中における絶縁抵抗の変化を示すもので、絶縁方式の差異による絶縁抵抗の相違が顕著に表われている。

$\tan \delta$ の測定は、これまで絶縁コイルの劣化判定に実施されているが、この $\tan \delta$ は工場においては、コイルの絶縁工作過程のチェックに利用をしている。すなわち非イオン化時の $\tan \delta$ の値、対地電圧 ($E/\sqrt{3}$) における $\tan \delta$ と非イオン化時の $\tan \delta$ の差、定格電圧における $\tan \delta$ と非イオン化時の $\tan \delta$ の差を測定して、これらの値が管理限界にあるかをチェックして、絶縁工作の良否の判定を行なっている。田子倉向け発電機の固

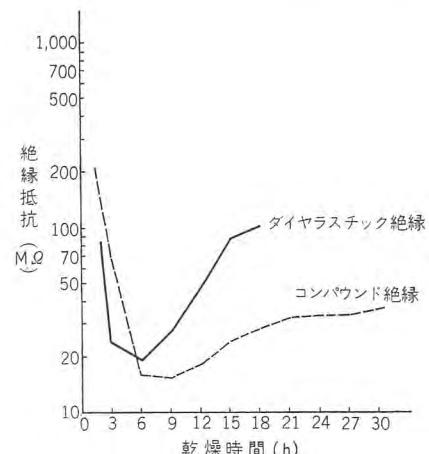


図 4.6 乾燥中の絶縁抵抗の変化

Fig. 4.6 Insulation resistance of the generator during drying process.

定子コイルは、製作途中よりコイルを引き抜き $\tan \delta$ を測定して、上記の各値が管理限界内にあることを確認しながら製作されている。

ダイヤラスチック絶縁の $\tan \delta$ の値はきわめて小さく、 $\tan \delta$ -温度特性がすぐれている。図 4.7 に 13.2 kV 級コイルの $\tan \delta$ 特性、図 4.8 に 14 kV における $\tan \delta$ -温度特性が示してある。 $\tan \delta$ の値は常温では約 2% であり、コイルの耐地電圧 ($E/\sqrt{3}$) までは $\tan \delta$ はフラットである。また運転中の高温状態においても数 % を出ることがない。このことはダイヤラスチック絶縁の特性が優秀であり、マイカテープの各層にダイヤレジンがよく浸透し、ほとんど空げきを作っていないことを示している。なお 13.2 kV における $\tan \delta$ の値がやや上昇し

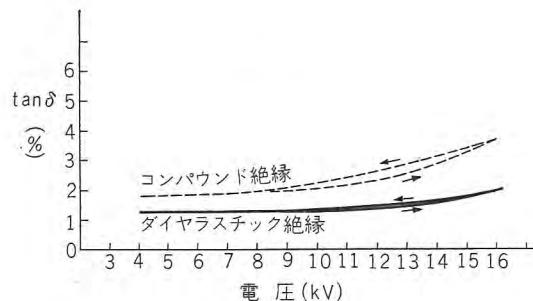


図 4.7 $\tan \delta$ -電圧特性

Fig. 4.7 Power factor of 13.2 kV class coils
 $\tan \delta$ -voltage.

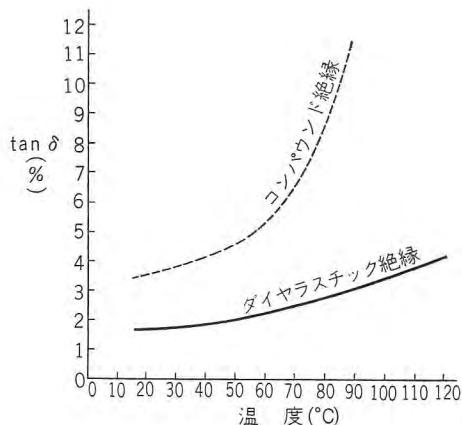


図 4.8 $\tan \delta$ 温度特性

Fig. 4.8 Power factor of 13.2 kV class coils
 $\tan \delta$ -temperature.

ているが、この上昇の理由は一般にはコロナが絶縁層の中で発生したためと考えられるが、実際にはそのコイルに使用された含浸ワニスの特性によって、 $\tan \delta$ の上昇分があると考えられるので、上昇分がすべてコロナ放電によるものと考えるのは早計である。現状においては、耐電圧の耐久性を増加するためには、マイカを使用する

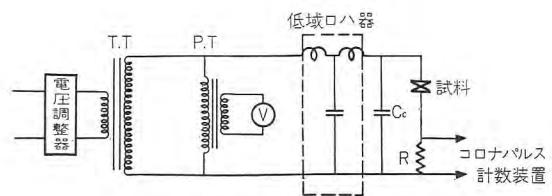


図 4.9 コロナ試験回路

Fig. 4.9 Schematic diagram of corona test circuit.

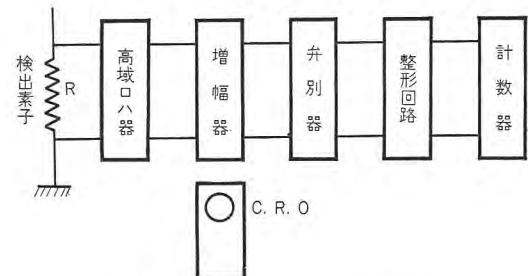


図 4.10 コロナパルス計数装置

Fig. 4.10 Schematic diagram of corona pulse counter.

のがいちばん安定していると考えられており、マイカテープを用いた絶縁コイルにおいては、ある程度の $\tan \delta$ の上昇は今のところやむをえないようである。

高圧固定子コイルのコロナ特性は、絶縁破壊の前駆現象としの理論的研究および絶縁劣化程度の診断試験の一つとして関心がもたれてきたが、最近ではコイルの品質を決める一つの水準として見られるよになってきた。一般にコロナはコイルの絶縁層の表面および内部に発生し、それぞれ表面コロナおよび内部コロナと呼ばれる。図 4.9 および図 4.10 はコロナパルス測定回路および装置を示し、検出素子抵抗 R の両端の出力を高域口ハ器を通して、電源周波数をシャンクしたのちコロナ分だけを増幅して、パルスの波高値に従って区分して、その数を計数するものである。表面コロナはまた鉄心ミゾ内で発生するものと、鉄心端部のものとがあるが、これらは絶縁層の表面に適当な抵抗値をもった半導電性塗料を施すことにより、有効に抑制することができる。すなわち鉄心ミゾにはいるところには比較的低抵抗塗料を用い、鉄心端付近には高抵抗塗料を用いるが、これらの抵抗範囲および組合せは実験的に決められ、きびしい管理のもとに塗布焼付作業が行なわれる。

内部コロナは絶縁層内部に存在するポイドに起因するものであるが、ダイヤラスチック絶縁ではダイヤレジンの浸透性がきわめてすぐれているので、コンパウンド絶縁に比較すれば内部コロナの発生はいちじるしく少ない。しかし前記のように耐電圧の耐久性のために、多量のマイカテープを使用したコイルでは、きわめて小さいエネ

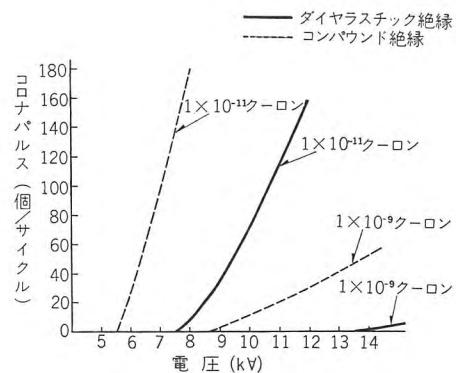


図 4.11 コロナ-電圧特性

Fig. 4.11 Corona characteristic of 13.2 kV class coils.

ルギの内部コロナの若干の発生はまぬがれないようである。図 4.11 は 13.2 kV 級のコイルにつき、ダイヤラスチック絶縁とコンパウンド絶縁によるコロナ特性の相違を示したものである。

以上コンパウンド絶縁コイルと比較しながら、ダイヤラスチック絶縁コイルの絶縁諸特性について、種々説明を加えたわけであるが、本章に引用した 13.2 kV 級コイルに関するデータは、すべて田子倉向け固定子コイルを製作するに先だって、絶縁材料の吟味、工作技術の改善のために行なったテストの結果、田子倉向け固定子コイルを作る条件を決定した時のデータである。したがって、これらの条件を厳格に守って製作された田子倉向け固定子コイルは、その製作途中において、何回か無作為に抜取って、各種の絶縁特性を測定の結果は、いずれもまったく、規定された管理限界内にあり、安定した絶縁工作が行なわれたことを示し、その品質も一様に、きわめて良好な状態にあることが確かめられている。

(2) 回転子

回転子は主軸を含めて 460 t、外径約 7.35 m に及ぶ巨大なもので、水車無拘束速度 318 rpm に対しても、各部に十分な安全率を有するように計画している。図 4.12 は完成した回転子を、また図 4.13 はつり込作業中の回転子を示す。

a. 主 軸

主軸は両フランジ付の一体鍛造品で、長さ約 4.7 m、仕上り重量 47.6 t、材質は低ニッケルバナジウム鋼である。

下部フランジは水車軸と直結し、上部フランジ下面には推力軸受ランナが接合され、側面は案内軸受シェウ動面を形成している。図 4.14 は主軸を示す写真である。

b. スパイダおよびリム

田子倉発電所 105,000 kVA 発電機・井関・三浦・生原・田附・安達

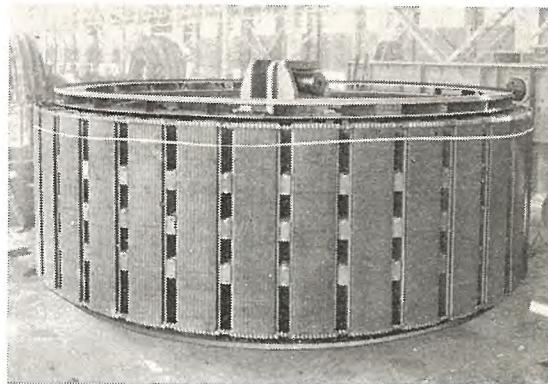


図 4.12 完成した回転子

Fig. 4.12 Rotor completely assembled.

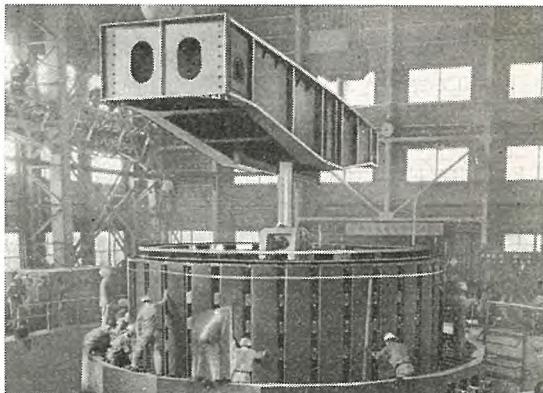


図 4.13 つり込み中の回転子

Fig. 4.13 Rotor being lowered into position at the site.

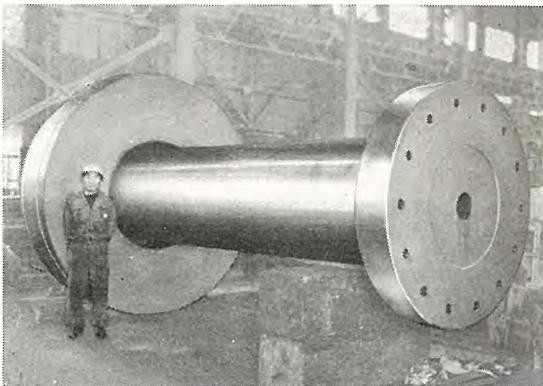


図 4.14 主 軸

Fig. 4.14 Shaft.

スパイダ・ボスは鋳鋼製である。前述のように上部には励磁機がオーバハンギングされるだけであるから、主軸とともに振れ見をする必要はなく、輸送制限だけを考慮して 8 本の足のうち、4 本を継足として製作した。

スパイダ・リムは 3.2 mm の薄鋼板を積み重ねたいわゆる積層形で、一円周 6 セグメントの扇形板を 1 極ずつずらしながら積みあげた。扇形板は外内径、ダブテー

ル、締付ボルト穴などを2回にわけて打抜いたものであるが、でき上がりは優秀で、積上げた後の積層誤差もきわめて少なかった。

このリムはもっとも大きい機械的強度を要求されるところであり、材料はいわゆる高抗張力鋼を使用し、その材質はもちろん厚みの公差、偏差、波打ちについてもきわめてきびしい仕様により購入し、積厚の不同を少なくするようつとめた。

スパイダ・ボスの周囲に1枚ずつ積み重ね、途中何回も締付を行ないながら積み上げ、最後に加熱膨張させて、円周上8ヵ所に、所要厚みのキーを打ち込んで仕上げた。リムは無拘束速度においてはこれらのキーをガイドとし、フロートするような設計である。また、機械中央部の冷却効果を良くするため、2ヵ所に通風用ダクトを設けた。図4.15はスパイダ・ボスを、図4.16はリム積みを終えた回転子を示す。

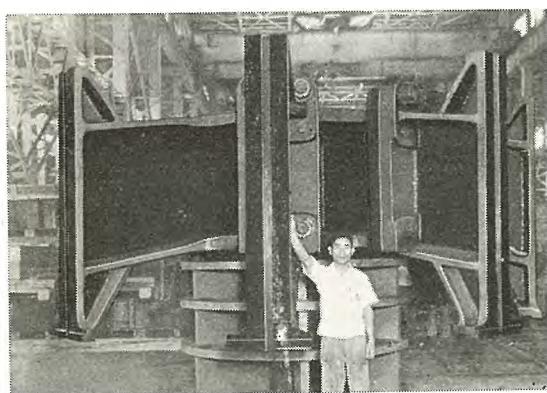


図 4.15 スパイダ・ボス
Fig. 4.15 Spider spoke.

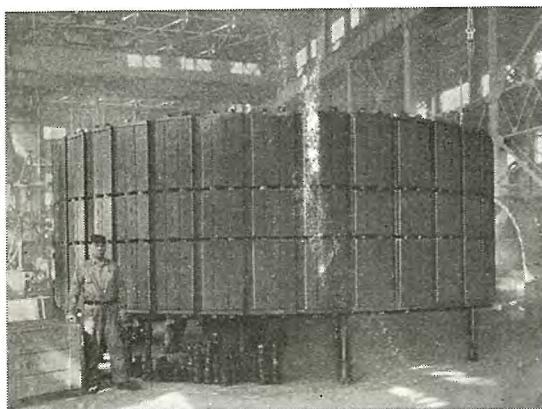


図 4.16 スパイダ・リム
Fig. 4.16 Spider rim.

c. 磁極鉄心および界磁コイル

磁極鉄心は主磁束の通路にあたり、磁気特性の良好なことを要求される一方、ダブテール部分の応力が大きい

ため、機械的特性のすぐれていることが必要である。これら要求を満たす1.6 mmの薄鋼板を使用し、所要の形状に打抜き、積み重ねる。両端に鋳鋼製の端板をあて、ボルトで、強固に締付け、一体とした後、ダブテールにより、リムに取付けている。ダブテールの形状寸法には細心の注意を払って計画し、実物のパンチングを使用して引張り試験を行ない、特性の確認を行なった。

制動巻線はいわゆる連続形で、磁極頭部を貫いた制動棒の両端はZ形断面を有する短絡片に銀ロウ付けされ、さらにこの短絡片は下端が磁極端板にはいり込み、遠心力に耐えるようになっている。このはめ合は軸方向には自由であって、制動巻線の熱膨張のためバーに無理な力がかかるということは皆無である。短絡片相互の接続には硬銅板を用いている。

界磁コイルは裸平角銅線をエッチワイズに曲げ、層間にはアスベスト紙をはさみ、鉄心に対しては可とうマイカおよびアスベスト布を使用して絶縁を行ない、高温度、高圧力で焼付けを行なった後、コイル上下には布入りマイカルタの絶縁ワッシャをはさみ、鉄心に固く挿入している。幅鉄に取付けた後は、コイルは下端に設けた板バネにより、磁極頭部に押付けられ、長年月の使用による絶縁物の枯れに対してもゆるみを生ずるおそれはない。磁極間の空間には機械的、熱的原因により、コイルワッシャがはみ出すのを防止するため、軸方向3ヵ所に軽合金、マイカルタ板を使用したコイル締金を用いている。コイル相互間の接続はこの締金を利用して行ない、強大な遠心力に耐えるとともに、電流加熱による膨張に対しても逃げを作ることにより接続部には無理がからないようにしている。図4.17は制動巻線を取付けた磁極鉄心を、図4.18は界磁コイルをまた、図4.19は鉄心にコイルを納めたところを示す。

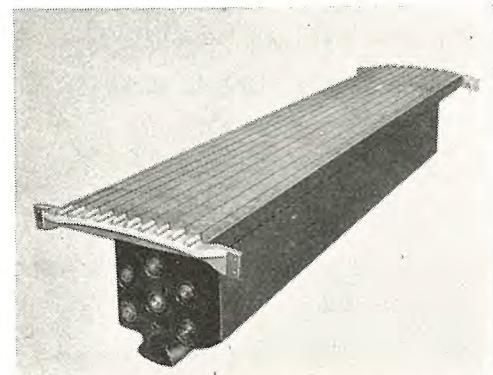


図 4.17 磁極鉄心および制動巻線
Fig. 4.17 Pole core and damper winding.

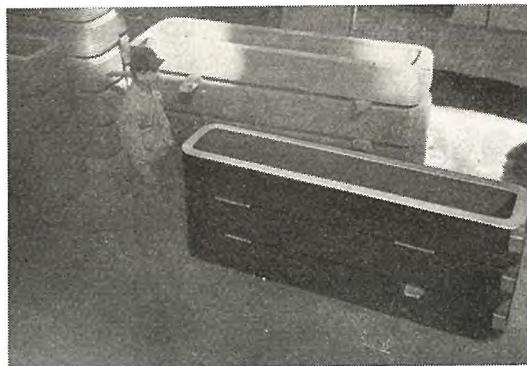


図 4.18 界磁コイル
Fig. 4.18 Field coils.

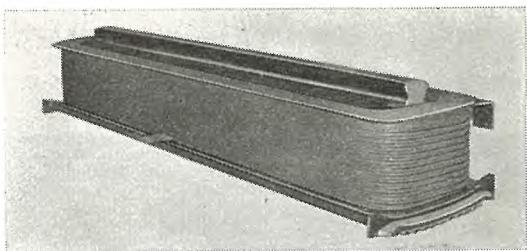


図 4.19 界磁極
Fig. 4.19 Field pole assembled.

d. ファン、ブレーキリング

鉄心長の長い機械に対しても十分な風圧を生じ、有効な風量を送り出しうるよう、ラジアルファンを使用した。

ファン能率の向上につとめた結果、風量は計画を上回ったが、機械損は小さく押えることができた。

制動輪は発電機の大きい GD^2 のため、停止時に吸収されるエネルギーによる熱応力が大きいばかりでなく、運転中は絶えず遠心力をうけている所であって、熱膨張に対しては自由に動きうるようにして、締付ボルトに無理な力がかからないようにし、遠心力に対してはスパイダーボスへのめ合によってこれに耐えるように計画した。

(3) 上、下プラケットおよび制動器

上部プラケットはカサ形の場合、励磁機固定部を支持するだけであり、構造は比較的簡単である。8本の放射状の足を有し、励磁機のまわりは一段下げて、点検の便をはかっている。また足は全部取はずして輸送する。図4.20は組立を終えた上プラケットを示す。

下プラケットは発電機、水車の回転部重量および水圧推力など全荷重を受ける所で、強度、タワミにはとくに注意を要する。また油槽を形成して推力軸受、振止軸受を設置しなければならず、しかもこれらの回転子中心に対する位置はカサ形機としての安定度から制約を受ける。さらに軸受の点検分解の際、回転子を取はずさず行なえ



図 4.20 上部プラケット
Fig. 4.20 Upper bracket.

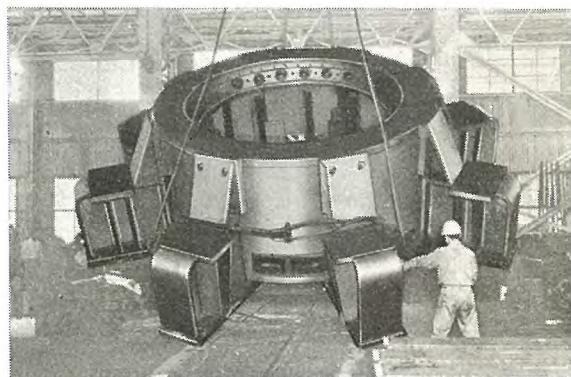


図 4.21 下部プラケット
Fig. 4.21 Lower bracket.

るよう考慮しなければならないなど種々の制約を受ける所である。

構造の概略は図3.2に、またその外形は図4.21に示す。鋼材溶接製で、中央の推力軸受槽は上下の厚鋼板リングの間を縦方向のリブで補強し、油槽を形成するとともに、下プラケットの構成部品として、荷重を支持している。従来推力軸受冷却水管は軸受を取巻く環状のものが普通であったが、本機ではこれを8分割し、前述の油槽の各区分室に納めるようにした。この油槽はキーにより8本の足で支持されている。このような合理的な構造により、素材の有効な利用が可能となり、最少の材料でもっとも剛性の高いものを得ることができた。

案内軸受の各セグメントを受けるワクはこの下プラケットの上リングに溶接されており、推力軸受の取付はキーおよびボルトで行ない、軸受の点検分解の時にはこれをはずして下方に降下させるように計画している。

下プラケットの各足にはブレーキおよびジャッキを設置している。ブレーキシリンダとジャッキシリンダはこれを並べ、一体として製作した。ブレーキは水車用の圧

縮空気を使用するが、空気中の水分に対する防錆をおもな目的とし、シリンダ、ピストンはそれぞれクロームメッキを施している。各発電機には1個ずつの補助気蓄槽を設け万一の事故にもさしつかえないよう万全を期した。発電機の回転エネルギーも大きく、ブレーキ動作時の周速も早いのでシューの材質には十分注意し、耐熱、耐摩耗特性のすぐれたものを納入した。

なおブレーキにはシュー摩耗時、取付金具が回転子にあたらないよう、自動ストップを設け、また、シューの降下を確認するため、リミットスイッチを設置した。

下ブラケットは前述のように垂直荷重を受けるとともに、起動時、制動時には回転荷重を受ける。下ブラケットと基礎に埋込んだソールプレートとの接合はボルトで行なうが同時にラジアルノックを設けて、これらトルクにたえるようにした。ノックをラジアルにしたのは軸受油槽の温度の上昇による熱膨張を考慮したためである。

下ブラケットは推力軸受、軸を取付けた後は一体として扱うのが普通で図4.22はこれをつり込んでいるときの様子を示す。

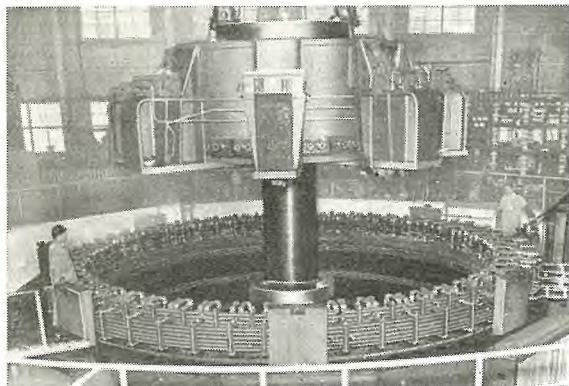


図 4.22 主軸と下部ブラケット

Fig. 4.22 Lower bracket setting with shaft.

(4) 推力軸受および案内軸受

下ブラケット中心部の油槽内に推力軸受、案内軸受および油冷却器を設けた油自藏式構造で、その仕様は次のとおりである。

周波数 (c/s)	50	60
回転数 (rpm)	166.7	200
全推力荷重 (t)	868	775

回転盤取付部は主軸上端を鍛造によって大径に作り出した軸と一体の強固な構造であって、この外周に多数の案内軸受セグメントを配置している。回転盤はこの主軸大径部の下面に取付け、分解組立の容易のため二つ割と

した。材質は特殊鋼の鍛造品で適当な硬度を与えた、シュー動面はラッピングにより 0.4~0.8 s に仕上げ、表面の平行度、平たん度などの精度も厳密に加工を施した。

スペリ金はキングスペリ形のセグメントから成り、回転盤にすり合わせを行なっている。推力荷重は各スペリ金から支持構造を経て台盤で受けるが、台盤は鋼板溶接の強固な構造で、二つ割になっているので分解組立が容易である。これは油槽内に半径方向に設けた垂直の力板に取付けたキーによって支持されており、このキーをはずせば後述の昇降装置によって推力軸受を油槽の下に取出すことができる。各スペリ金の荷重分担は特殊な調整ネジ構造によって、油槽外の下方から微細調節を行なうことができる。図4.23に推力軸受の組立外観を示す。

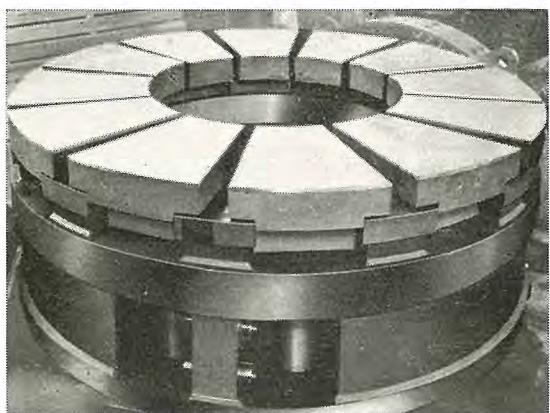


図 4.23 推力軸受静止板

Fig. 4.23 Stationary parts of the thrust bearing.

軸受発生熱量は、油槽内に適当数配置した二重コイル状の銅管製冷却器によって冷却水に伝達される。スペリ金および案内軸受金には丸形温度計、指示および記録用サーチコイルを挿入して、軸受温度が高温の場合には警報およびリレーを操作させる。現地における官庁試験の結果は水温 17°C に対し軸受温度は 45.5°C で計画どおりの値であった。以下本機の特長について若干述べよう。

a. スペリ金支持構造

一般に立軸水車発電機の推力軸受は回転部分の大きな重量を受けた状態で起動する必要があるが、シュー動面が平面対平面であることは横軸機の軸受よりも起動時の油膜発生に苛酷な条件となる。発電機が回転を始めてから角度にして数十度の間は、シュー動面間の強固な油膜はまだ発生せず金属接触または境界潤滑状態であって、この期間に軸受面の摩耗や焼付が起りやすいので軸受メタルや潤滑油の材質、シュー動面の仕上精度や粗度に注意が肝要である。この起動期間の短縮のためにはスペリ

金のセグメント数を多くすることが効果があるが、本機のような大形軸受でセグメント数を増加すると1個のセグメントは円周方向の長さにくらべて半径方向の幅が1.5倍以上の細長い形になる。このようなセグメントを中形以下の中推力軸受と同様に円板支持とすることは不適当であるので、本機では平衡バリの原理を応用して各セグメントを四線支持ビームによって支持し、静的な荷重分布を均一にすると同時に定格回転中の荷重や温度コウ配によるスペリ金の変形をなるべく少なくするように考慮した。その構造は図4.24に示すようにA、B両ビームおよびCを経て調整ネジ構造の上端の球面座で支持しているので、ビーム全体として水平からのわずかな傾斜はどの方向にもまったく自由である。

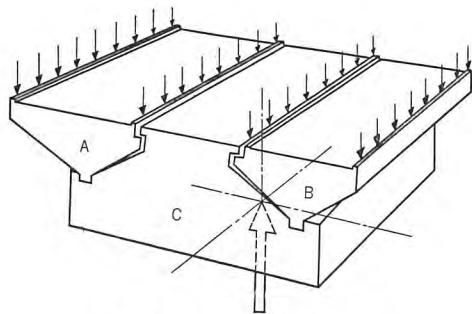


図4.24 四線支持ビーム構造

Fig. 4.24 A multiple support for thrust bearing pads.

回転盤、スペリ金とともに弾性体であるので、スペリ金面上の静荷重の分布は支持構造によって左右され一様でない。本機とほぼ同じ大きさのスペリ金を円板で支持した場合には図4.25のように、支持周辺に静圧のピークが現われその大きさは平均面圧の約4倍に達する。これを上述の四線支持にした場合は図4.26のように、ピークの高さが減少し面上の静圧分布がかなり均一化されていることがわかる。この図はスペリ金面のミズにはり付けた多数のストレンジージによって両支持法の静圧分布を比較した実験報告⁽⁴⁾によったものである。水車発電機を常温から起動する場合、油膜が確立するまでの期間は静圧荷重に近い状態であって、この際高いピーク部分があると油膜発生がいっそう困難で焼付の危険が大きい。本機の四線ビーム支持はこの点に關し安全度を増大したものである。

水車発電機の回転速度が早くなり、ショウ動二面間に油膜が発生すると、油膜圧力はスペリ金周縁で零でほぼ中央部に最高をもつ抛物線状の分布になる。これに伴ってスペリ金は表面が凹面になるように変形する。同時に

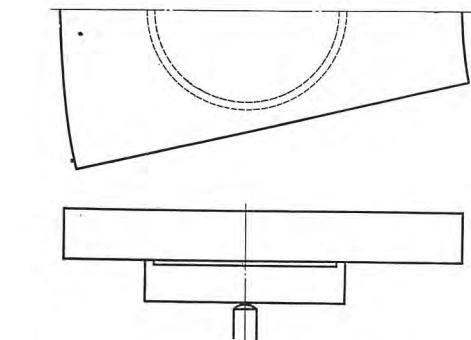
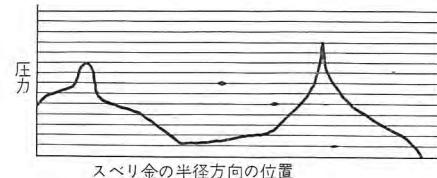


図4.25 円板支持の場合のスペリ金表面静圧分布

Fig. 4.25 Stress contour of a thrust bearing shoe large disk support.

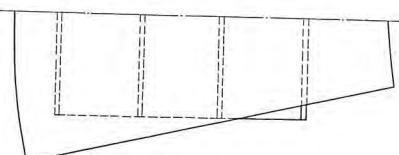
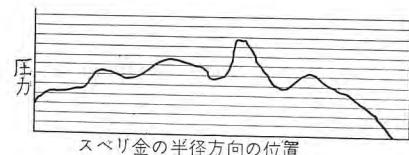


図4.26 四線ビーム支持の場合のスペリ金表面静圧分布

Fig. 4.26 Stress contour of a thrust bearing shoe beam type support.

スペリ金の温度はショウ動面が最高で下面ほど低温になり、その温度コウ配はスペリ金の寸法、油の粘度や温度などによって一様でないが大体スペリ金の厚さ1cmあたり0.8~1.6°Cと報告されている⁽⁴⁾。スペリ金表面はこの温度コウ配によって凸面になる傾向があり、油圧による変形とキャンセルするが一般に温度コウ配による変形のほうが大きい。本機のようにスペリ金を中央で支持した推力軸受では回転方向には軸受面がごくわずか凸面のほうが潤滑性能が向上するが、半径方向には凸面あるいは凹面がわずかにあっても有害である⁽⁵⁾。四線支持の位置はこの観点から選定している。

上述のように起動、定格回転中および停止など運転条

件の変化によってスペリ金の変形状態はまちまちであつて、すべての条件に対して最適な支点位置は存在しないので、その選定はこれらの折衷になる。一般に定格回転中は大形軸受では油膜の厚さも大きいので、温度コウ配および動圧による合成変形は油膜厚さより十分小さくしておけばほとんど問題にならない。また停止の時もごくわずかではあるが油膜が残っており金属接触になることはまれである。起動後油膜が確立するまでの期間がこのような平面軸受としてはもっとも苛酷で、とくに起動停止がひん繁で長時間運転後いったん停止した後ただちに再起動する場合には、潤滑油はまだ高温であるため粘度が低く油膜がいっそう薄くなり、しかも温度コウ配によるスペリ金の変形ももとに復しない状態で起動されるので条件はいっそう悪化する。このような条件は、油中の異物や空気のアワのかみ込みのような、平常運転ではあまり有害でないき細な外的条件の累加によって焼付に進展する可能性があり、従来の焼付事故もこの期間に発生したものが多い。これは支持方法のいかんにかかわらず動圧セグメント形のとくに大形軸受に共通の弱点であつて設計工作には十分注意を払っているが運転にあたつてもこのような傾向を十分認識し、油温が十分低くスペリ金の変形も軽微になった状態で再起動できるよう、停止後一定時間⁽⁶⁾を経過した後再起動に移ることが万全の方法である。大形水車発電機でいったん停止後ただちに再

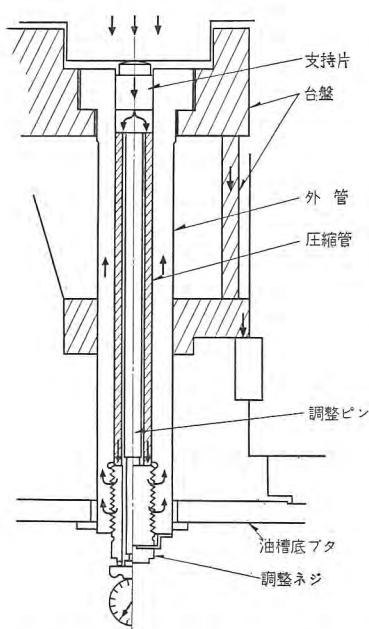


図 4.27 スベリ金負荷調整機構

Fig. 4.27 Cross sectional view of adjustable jack screw and compression tube assembly.

起動の必要がある
といふのは特殊な
場合であろうが、
やむをえずこのよ
うな運転が必要の
ときは停止前に40
～50 rpm で暫時
運転を続け油温の
低下をはかった後
再起動に移ること
も一方法であろう

b. 荷重調整裝置

各スペリ金の受
ける荷重は前項の
平衡バリから 図
4.27 に示す特殊構
造（実用新案出願）

中)によって台盤に伝えられ、最終的には下プラケットによって支持される。すなわち特殊鋼製の支持片から圧縮管を経て調整ネジに伝えられ、このネジ部分によって外管に伝達されるので、荷重によって圧縮管は圧縮をうけ外管は伸張をうけることとなる。しかも外管は油槽底プラを貫通しているのでネジ調整は油槽外部から行なうことができる。

圧縮管は特殊鋼製で各管相互のタワミ誤差が少ないよう¹にきわめて精密に加工してあり、調整精度をあげるために十分な変形を生ずるように適當な長さを与えている。調整ピンの先端は調整ネジを貫通して突出しているので、圧縮管の縮み量は調整ピンの先端にあてがった精密なダイヤルゲージによって正確に読取ることができる。この方法によって圧縮管の荷重—タワミ線図を基にして各スベリ金の間の荷重分担を均一に調整することははなはだ容易であり同時に現地運転において発電機の回転数や負荷の変動に伴う水圧荷重の変化をも測定することができる。

c. 升降装置

推力軸受面の点検を行なうたびごとに発電機回転子や主軸を取はずすのは分解組立の手間が大変であるので、推力軸受をブラケットの下方に下降させて点検および分解ができる構造とした。この操作は回転子をジャッキによって支持しておいて推力軸受油槽の油を抜き、油槽底プラを取はずして4本のささえ棒を取り付け、ささえ棒のネジにはめ込んだ支持金によってスベリ金、支持および調整装置、台盤などを一体として支持しながら下降させる。ささえ棒は上下端を玉軸受によって支持されており、減速電動機とチェーンによってそれぞれ回転駆動される構造であって、図4.28にその大要を示している。台盤は二つ割になっているので、下降させた状態で分解する



図 4.28 推力軸受昇降装置外観
Fig. 4.28 Lowering device of the thrust bearing.

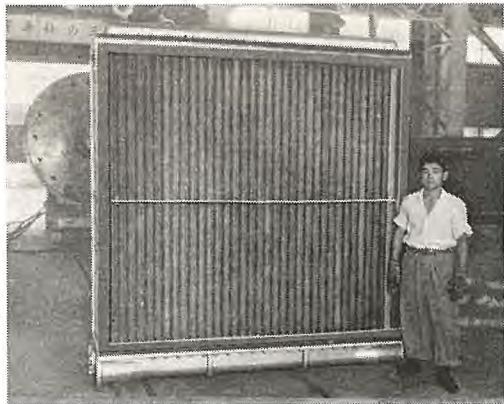


図 4.29 空気冷却器
Fig. 4.29 Air cooler.

ことも可能である。

(5) その他

風道は良質のみがき鋼板を使用した溶接構造で表面の塗装は十分念入りに行ない、あわせ目にはパッキングを入れて気密を確保し、また内側、空気冷却器正面はフェルトを張りつけて、表面に湿気が凝結しないように配慮した。手スリ類は全部黄銅パイプにホワイトブロンズメッキを行ない、風道上端には飾りと、スベリ止めを兼ねて、同様のメッキをほどこしたリングを取付けた。

空気冷却器は U フイン管を用いた表面冷却形で、個数は 1 台分 8 個、固定子ワク外周に直接取付けている。発電機熱損失に対し十分の容量を有し、1 個取はずした場合でも常規運転には支障をあたえない。図 4.29 は空気冷却器を示す。

消火装置としては炭酸ガス消火装置が設置しており、固定子ワクに設置したサーモスタットと差動継電器の動作により、自動的に炭酸ガスを放出し、消火を行なうものである。ガス放出により内部気圧がある値以上になると、風道上部に設けた扉が開くようになっている。

発電機長期停止中の防湿対策として、下プラケット部のピット内にスペースヒータを設けている。

発電機風道内、励磁機カバー内部、発電機下プラケット回りにはそれぞれ、プラスチックカバーを有するケイ光灯を設置し、また数箇所にコンセントを設けて、保守、点検の便を計っている。

5. 励 磁 機

励磁機は水車発電機との協調が重要で、きわめて高度の信頼度が要求される。すなわち水車発電機の運転される限りそれとともに運転し励磁電源としての使命を果す

ものでなければ無意味である。また電気的諸特性が優秀であり、使用にあたっては保守点検が容易で、長年月の使用に十分耐えうるものでなくてはならないことはもちろんである。さらに、その取付位置の関係上、重量、寸法が小さく、発電機全体の美観を害しないようなものであることが望ましい。このような種々の諸条件を考慮して本機は計画された。本機の構造は図 3.2 に示すとおりで、励磁機部分は、主、副励磁機、集電環、永久磁石発電機、起動停止確認装置より構成される。これらの機器の配置は、主励磁機、集電環を外輪とし副励磁機、永久磁石発電機、起動停止確認装置を内輪とする二重構造を採用し、主励磁機電機子鉄心内部の空間を有効に使用してその全高を減ずるよう計画した。また構造用材料はすべて圧延鋼材を使用し、これの溶接構造を採用して、機械的信頼度と重量低減を計った。また主励磁機の磁気通路はすべて薄鋼板の積層構造とし、渦流による電圧の遅れがないよう考慮した。

主励磁機の回転部は発電機主軸とボルトにより結合し、さらに副励磁機、永久磁石発電機、起動停止確認装置の回転部は一軸で、励磁機軸にボルトによって固定されている。したがって、万一上記諸装置の一部に事故が発生した場合は、ただちに予備電機子との交換が可能で信頼度の向上が計られている。

励磁機および諸装置の通風方式は開放自己通風方式で、励磁機下部に取付けられたファンにより行なわれる。すなわち、化粧カバー上部の空気吸入穴より励磁機室にはいった冷却風は、励磁機上部において主励磁機側通路および副励磁機、永久磁石発電機側通路の 2 通路に分れそれぞれ別個に設けられた二つの羽根によって励磁機下部より発電機室内に排出される。この通風方式により励磁機室内はつねに発電機室内の冷風で満たされ、排気の熱風にさらされて点検する苦痛はまったくない。

保守点検は一般直流機と同様整流子、集電環などのブラシ装置がそのほとんどである。したがってブラシ装置の点検が容易に行なえるよう主励磁機ブラシおよび集電環ブラシは主励磁機側面に集め、副励磁機および起動停止のブラシは励磁機上部に集め一挙に保守点検が行ないうるようにした。また励磁機室保守点検に備え、12 個の 20 W ケイ光灯が取付けられている。励磁機内部を図 5.1 に示す。

本機の工場試験の結果を図 5.2 に示す。本機は製作当初より励磁機単独で速応度 4.0 最大電圧上昇率 2,000 V/s



図 5.1 励磁機内部

Fig. 5.1 Inner view of the exciter.

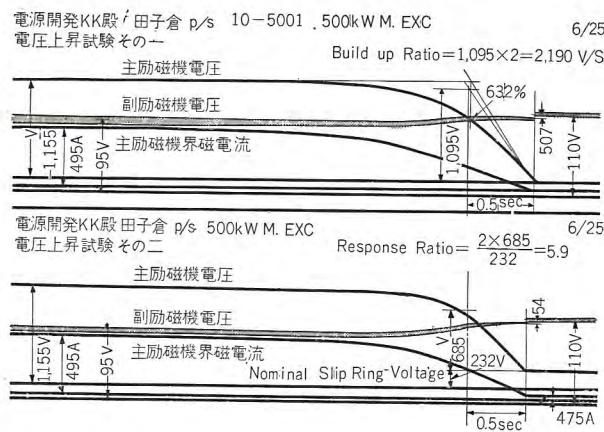


図 5.2 励磁機電圧上昇曲線

Fig. 5.2 Oscillogram of building-up rate of the main exciter.

頂上電圧 1,100 V という比較的苛酷な要求があり、したがって前記のとおり磁気通路はすべて積層構造とし、磁気飽和度の低い設計とし、また電気回路はできるだけ時定数の小さなものとなるよう計画した。その結果、オシログラムに見るとおり、速応度 5.9 最大電圧上昇率 2,190 V/s 頂上電圧 1,160 V の優秀な成績を示した。また励磁電流と発生電圧はほとんど遅れがなく積層継鉄の効果が確かめられた。整流に対しては過渡時の整流が懸念されたが、試験の結果は完全に無火花であることが確認され、温度上昇も低く問題はなかった。

6. 試験成績

工場で仮組立を行ない、種々の試験を実施した。結果は次のとおりである。

(1) 特性曲線および波形

無負荷飽和曲線および短絡曲線を図 6.1 に示す。

本機の定格は 50 c/s であるが 60 c/s 時の値も測定した。短絡比は保証値 1.1 に対し 1.24 の値を得た。電圧変動率は力率 0.9 において 23.1 % 力率 1.0 において

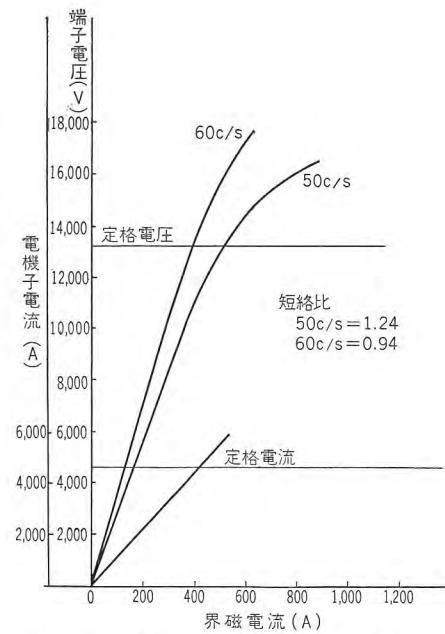


図 6.1 無負荷飽和曲線および短絡曲線

Fig. 6.1 Noload saturation and short-circuit curves.

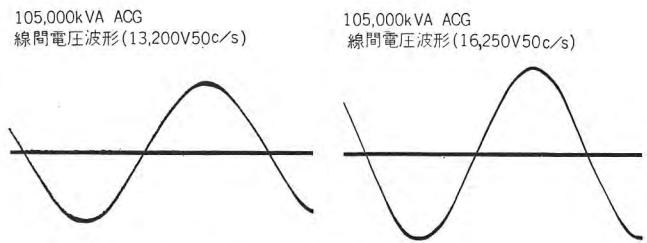


図 6.2 無負荷線間電圧波形

Fig. 6.2 Wave forms of line voltage at no load.

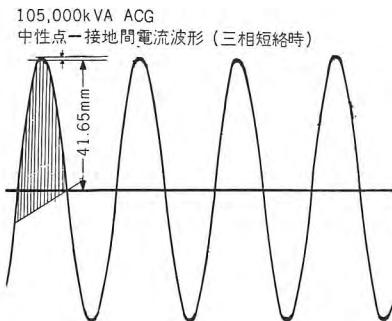


図 6.3 三相短絡電流の波形

Fig. 6.3 Wave form of three phase short circuit current.

13.25 % であり、60 c/s においてはそれぞれ 37 %、26.5 % と增加了。

無負荷線間電圧波形、相電圧波形、三相短絡電流波形をそれぞれ図 6.2, 6.3 に示す。

波形ヒズミ率は 50 c/s 時、線間定格電圧時 1.38 %、同じく、16,250 V 時 1.94 % であり、60 c/s 時には定格電圧で 2.1 % となった。

(2) 損失および効率算定

損失および効率曲線は図 6.4 に示すとおりである。

全負荷効率は定格効率で 98.03 %、100 % 力率で 98.29

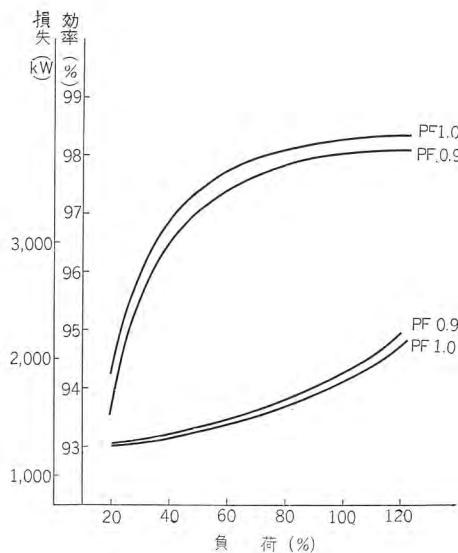


図 6.4 効率および損失曲線
Fig. 6.4 Loss and efficiency curves.

%を得それぞれ保証値 97.8 %, 98.1 %を大幅に上回ることができた。

(3) 各種常数

各種リアクタンス、時定数の測定を表 6.1 に示す。図 6.5 は突発短絡電流を示す。 $x'd$ の値は 30 % 以下を要求されたが十分満足されている。

(4) 不平衡電流測定および軸電圧測定

表 6.1 リアクタンスおよび時定数

	実測値	試験法
直軸同期リアクタンス	x_d	91.2 % AIEE
直軸過渡リアクタンス	$x'd$	27 " 突発短絡
直軸次過渡リアクタンス	$x''d$	18 " Da-Ca 法
逆相リアクタンス	x_2	19.3 "
零相リアクタンス	x_0	14.5 " 単相短絡
直軸次過渡時常数	$T''d$	0.021 秒 突発短絡
直軸短絡過渡時常数	$T'd$	2.85 "
直軸開路過渡時常数	T'_0	11.15 " 界磁減衰

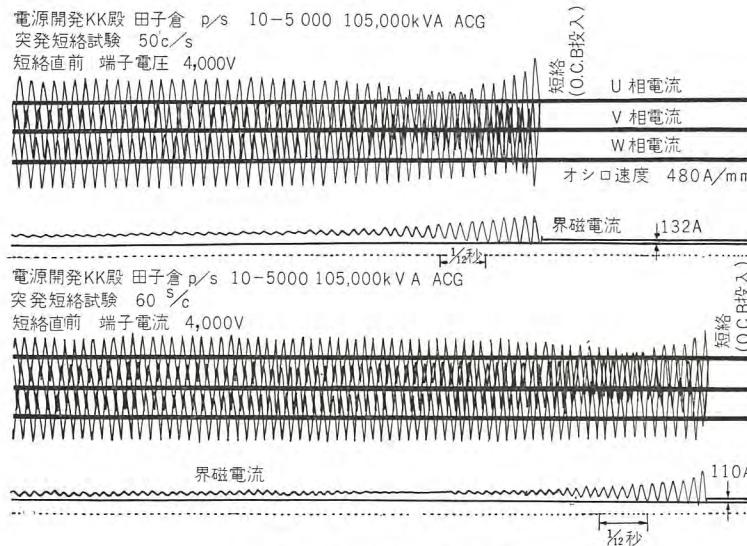


図 6.5 三相突発短絡電流波形

Fig. 6.5 Oscillogram of three phase sudden short-circuit current.

田子倉発電所 105,000 kVA 発電機・井関・三浦・生原・田附・安達

表 6.2 サージインピーダンス測定結果

測定巻線	中性点側 RM (Ω)	印加波形 (μs)	L (μH)	サージインピーダンス	オシロ番号
3 相一括	72.1	+3.5×50	0	11.2	1・2
"	開放	+3.5×52	"	"	3・4
"	"	+7.5×57	19	10.4	5・6
"	72.1	+7.5×54	"	"	7・8
1 相 (W 相)	72.1	+7 × 52	30	34.1	9・10
開放	+7 × 54	"	"	"	11・12
"	+3.5×48	0	39.7	13・14	
72.1	"	"	"	"	15・16

定格電圧で、三並列各回路を流れる不平衡電流は約 2.5 A 定格電流の大体 0.55 % でまったく問題にならなかった。

本機はカサ形で回転子上部に軸受はなく、軸電流は流れない。また軸電圧も、固定子分割数、固定子扇形片分割数からいって、理論的には生じないはずであるが、バルブボルトメータの測定値は定格電圧で 0.15 V であった。

(5) 等価温度上昇試験

JEC-114 にもとづき、等価温度上昇試験を行なった。50 c/s 定格力率全負荷運転の場合の温度上昇を推定すると、固定子コイル約 47°C、鉄心約 30°C、界磁コイル約 48°C であり、全般にかなり低い数値を示している。これは固定子ミゾ数が適当で、通風冷却が良好なためと思われる。また軸受温度は定格回転で冷却水温度 17.5°C で推力軸受は 45.5°C、振止軸受は 41.5°C であった。

(6) 固定子コイル絶縁破壊試験

対地絶縁について破壊試験を行なった。商用周波数で、500 V/s の割で電圧を上昇させた時 87.5 kV で破壊した。

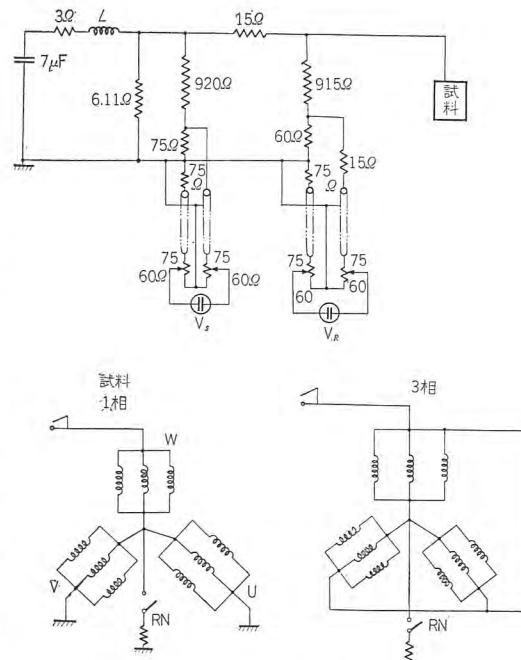


図 6.6 サージインピーダンス測定回路

Fig. 6.6 Test circuit of measuring surge impedance.

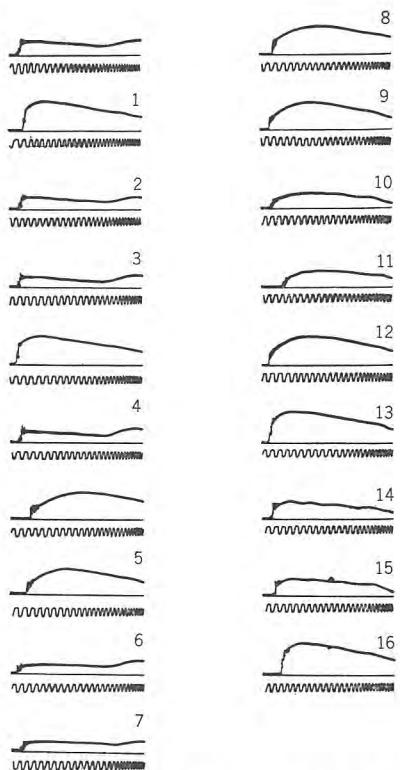


図 6.7 サージインピーダンス測定の印加電圧波

Fig. 6.7 Wave form of voltage impressed for measuring surge-impedance.

衝撃波に対しては、110 kV から 10 kV とびに印加電圧を高めて 200 kV で破壊した。

固定子巻線のサージインピーダンスの測定結果を表 6.2 に示す。図 6.6 は測定回路、図 6.7 はそのときのオシログラムを示す。

(7) 現地試験

現地すえ付後、3 台の発電機につき、無負荷飽和曲線、三相、単相短絡曲線、負荷試験など、種々の試験を行ない、特性の確認を行なった。

7. 所内用発電機

田子倉発電所用として、さらに 2,000 kW 横軸フランシス水車に直結する 2,000 kVA 50 c/s の所内用発電機 1 台を製作した。すべて本体に準じ、慎重に製作を進めた。

(1) 発電機の仕様

発電機

形式	横軸 SFS 回転界磁閉鎖風道循環形 (空気冷却器付)
定格	出力 2,000 kVA
	電圧 3,300 V
	電流 350 A

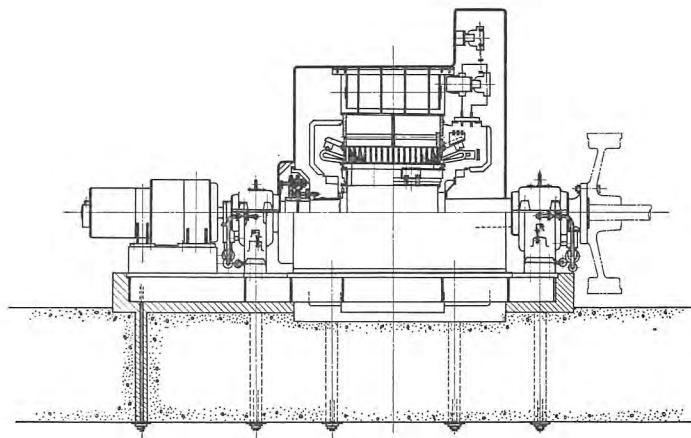


図 7.1 所内発電機断面図
Fig. 7.1 Sectional view of the 2,000 kVA generator.

力率	80 %
周波数	50 c/s
回転速度	750 rpm
極数	8
短絡比	1.2 以上 (保証値)
無拘束速度	1,530 rpm (〃)

主励磁機

形式	横軸開放保護形
出力	20 kW
電圧	110 V

複流発電機

形式	横軸開放保護形
定格	直流側 出力 1 kW
	電圧 110 V
交流側	出力 1.5 kVA
	電圧 110 V
	周波数 37.5 c/s

複流発電機の交流側は水車調速機駆動電動機の電源である。

(2) 発電機の構造

横軸機で容量、回転とも、普通の発電機であるが、所内動力を負荷とする発電機であるため、電気的には余裕のある設計を行なった。構造の概要を図 7.1 に、またその外観を図 7.2 に示す。

固定子ワクは鋼板溶接組立式で側面に空気冷却器を直接取付ける。鉄心は T 級ケイ素鋼板を使用した。

固定子コイルは二重星形接続で、各回路はすべて風道内に引出し、各種変流器を挿入して、中性点接地抵抗器に連絡される。コイルは主機と同じくダイヤラスチック絶縁で、B 種絶縁である。

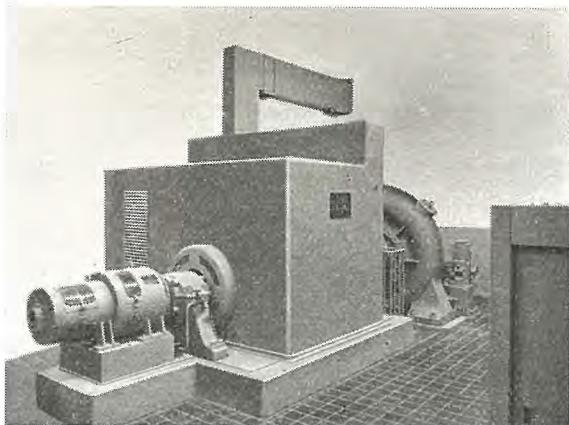


図 7.2 2,000 kVA 所内発電機

Fig. 7.2 2,000 kVA house turbine generator.

回転子は水車無拘束速度 1,530 rpm に十分安全に耐えるように計画した。主軸、幅鉄は一体鍛造で、界磁鉄心を直接ダブテールによって取付けている。水車の要求するハズミ車効果に対し、発電機だけでは不足するので、軸端にはハズミ車を設置している。

界磁鉄心、制動巻線などの構造は本体と同一であり、界磁コイルは、大きさの異なる平角銅線を種み重ね絶縁はもちろん B 種である。

1 個の空気冷却器を固定子ワクに取付けた閉鎖風道循環形で常時は風道内を冷却空気が循環するが、必要な場合には、風道上部および側面に設けたダンバを手動で開くことにより、閉鎖風道換気形としても連続運転が可能である。この場合、火災などのときには、マグネットの作用でダンバを閉鎖できるようにしている。

発電機両側には、軸受を備え、一端は水車側に、他端は励磁機に直結している。軸受冷却は油循環によって行ない、またオイルリングを有している。

風道は本体と同じく良質のみがき鋼板を使用した溶接組立構造で、空気冷却器、中性点用変流器を内蔵し、点検扉を有し、全体の形状は四角である。

その他、防湿用スペースヒータ、サーモスタット、各種温度計、炭酸ガス消火装置などが設置されている。

(3) 試験

工場において仮組立を行ない、本体に準じ、特性、能率など詳細な試験を施行して、その性能を確かめた。さ

らに水車無拘束速度時の保証回転数 1,530 rpm 1 分間の試験を実施したが各部ともまったく異常なく終了することができた。

8. む す び

以上のように電源開発会社田子倉発電所向け 105,000 kVA 3 台は注視のうちに無事完成を見た。本機と前後して現地すえ付作業を行なっていた台湾電力龍潤発電所向け 62,000 kVA/54,000 kVA 橫軸形水車発電機が運転を開始した。期せずして立テ軸、横軸の両記録的大容量機が営業運転を開始した訳でわれわれの喜びはこれに過ぎるものはない。田子倉向け発電機を製作する以前からわれわれは 10 万 kVA 級の大容量機を無事完成させうる確信があった訳であるが、実際に機会にめぐまれず技術面において過少評価されるうらみがなきにしもあらずといった実情であったが、今回は名実ともに 10 万 kVA を製作した経験をもった訳でその意味で貴重な実績を得た訳である。直接生産に関係するわれわれとしてはこれで決して満足し慢心している訳ではない。今回の経験を貴重な一里塚としてあくなき技術の向上を求めてさらに記録の更進のために努力しなければならないことは論をまたない。

終りに臨み本機の製作にあたって種々有益な助言を賜わりました電源開発株式会社の関係各位に対し厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 井関：最近の水車発電機 電気計算 (1959-1)
- (2) 石黒・伊佐山：ダイヤラスチック絶縁「三菱電機」30 No. 5 (1956)
- (3) Performance of water-wheel thrust bearing during the starting period. Trans. A. S. M. E. 69 (1947) p. 372
- (4) Influence of load and thermal distortion on the design of large thrust bearing. Trans. A. S. M. E. 80 (1958) p. 807
- (5) Influence of surface profile on the load capacity of large thrust bearing. Trans. A. S. M. E. 77 (1955) p. 321
- (6) Evolution of the design and operation of large thrust bearing. AIEE Transaction paper. 58-171.

水車および発電機のすえ付

新三菱重工株式会社神戸造船所 前田忠行*

三菱電機株式会社神戸製作所 長坂孝一***・村上卓弥***

Installation Work of Three 105,000 kVA Water Wheel Generators

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited, Tadayuki MAEDA
Kobe Shipyard and Engine Works

Kobe Works Koichi NAGASAKA • Takuva MURAKAMI

Eventful was installation of three giant water wheel generators of Tagokura power station by Mitsubishi Electric Manufacturing. The work had begun from August, 1958 and have completed in April, 1959, the installation being made one unit after another. The site is way up in a mountainous district and the transportation is hampered by heavy snow. However, carefully arranged work was proceeded according to a schedule and the transportation and installation were completed successfully by new methods. This is an account of installation overcoming many difficulties.

I. まえがき

田子倉発電所における 105,000 kVA 3 ユニットの発電設備は、現地すえ付渡しの契約であったので、現地での荷受・組立・試験などいっさいの技術面はもとより、これにともなう工事運営はすべて三菱電機の監督・責任のもとに行なわれた。ここに水車および発電機のすえ付工事の概要を説明する。

II. 水車關係

1. 田子倉すえ付工事の 特色

このたび電源開発株式会社に納入すえ付をしたのは、108,000 kW 立チ軸フランシス水車3台、2,000 kW 横軸フランシス水車1台およびこれららの付属品ならびに将来の増設主水車用吸出管1組であるが、このうち吸出管は昭和32年4月末よりすえ付を開始

し6月19日に4組ともすえ付を完了した。また水車は昭和33年4月初めよりすえ付を開始し電源開発の絶大なる協力のもとに幾多の努力を払った結果1号機12月末、2号機2月15日、3号機3月末、所内機2月末とそれぞれ予定工期を数ヵ月短縮してすえ付を完了した。このため通水前の試験期間を十分にとることができ、補機類の試験、調整を詳細に行なえたことは非常に幸いで、ダムの締切りは3月23日に行なわれ4月8日

表 II. 1.1 水車すき付工程実績

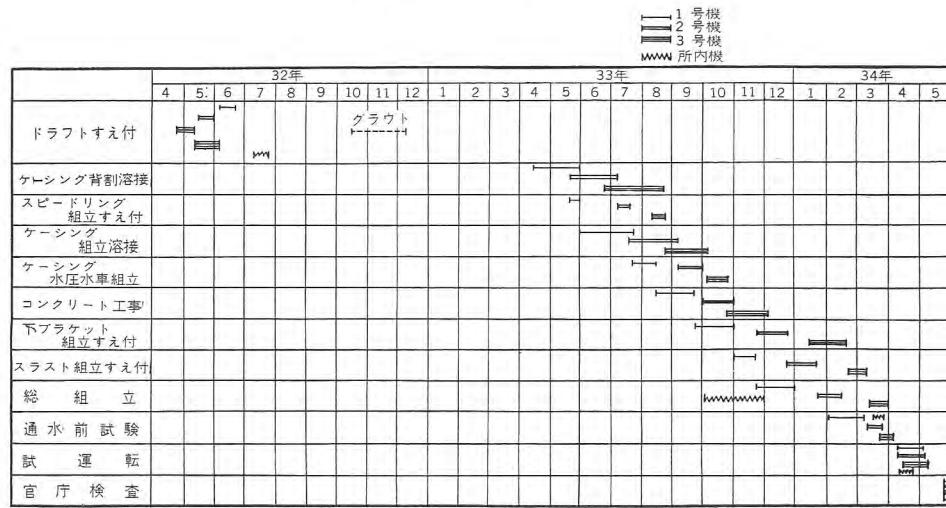


表 II. 3.1 移動止め材使用数量

	1 1/2" バイブジ ヤッキ				3/4" ターンバ ックル				19 φ 鉄 筋				すえ付 完了日			
	山	川	川上	川下	底	山	川	川上	川下	底	山	川	川上	川下	底	
1号機	9	9	4	1	0	12	12	10	0	54	25	25	26	0	30	32.6.19
2号機	8	8	4	1	0	11	11	12	0	51	28	28	12	0	36	5.30
3号機	10	10	6	1	0	13	13	22	0	53	19	19	26	0	32	6. 9
4号機	10	10	6	1	0	12	11	14	0	56	19	21	10	0	79	6. 4

通水、5月9日に調速機試験をはじめ種々の予備運転試験を完了し、5月26日より4日間官庁検査が実施された。この工事で特記すべき事項として

- (1) 1月、2月、3月と3ヵ月間は積雪数mに及び運搬ならびにコンクリート工事が中絶したこと。
- (2) 入口直径4,400 mm 板厚45 mm のケーシングを現地で溶接により組立て所定の水圧試験を好成績裏に行なったこと。
- (3) 製作すえ付だけでなく試運転まで受注者の責任のもとに行なわれたこと。

などがあげられる。

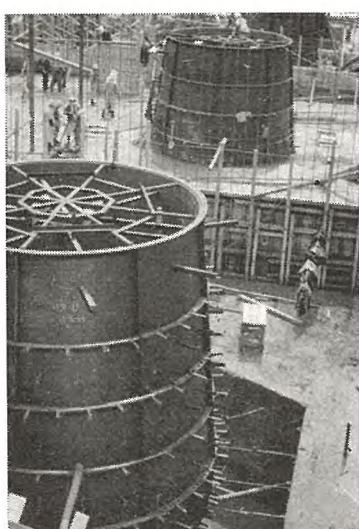


図 II. 3.1 ドラフトチューブすえ付状況

Fig. II. 3.1 Installation of draft tubes.



図 II. 3.2 すえ付完了の吸出管

Fig. II. 3.2 Installed draft tubes.

水車および発電機のすえ付・前田・長坂・村上

2. 輸 送

輸送のうち特筆すべきものは水車用ランナで、これの最大外径は4,020 mm、高さ1,810 mmあり、現在国鉄で輸送できる最大輸送限界（第1限界）ぎりぎりで、輸送途中にある磐越西線沼上トンネルはそのままでは通過できない状態にあったが、国鉄当局のご協力により第1限界への拡張工事の施行によって無事通過でき、輸送計画を順調に進めることができた。

3. 吸出管すえ付

あらかじめ国鉄宮下駅まで貨車輸送してあった吸出管は、32年4月末雪解けと同時にトラックにより現場まで運搬し、組立には発電所ダム工事用9tのケーブルクレーンが用いられた。吸出管上部フランジのヒズミを正確に修正し固定用アンカ、移動止め、ターンバックル、パイプジャッキなどにより基礎コンクリートに固定し万全を期してすえ付けられた。

4. ケーシングの溶接工事

ケーシングの溶接に使用した機器はつぎのとおりである。

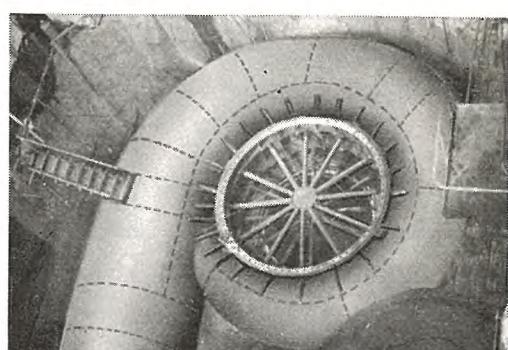


図 II. 4.1 ケーシング

Fig. II. 4.1 Spiral casing.

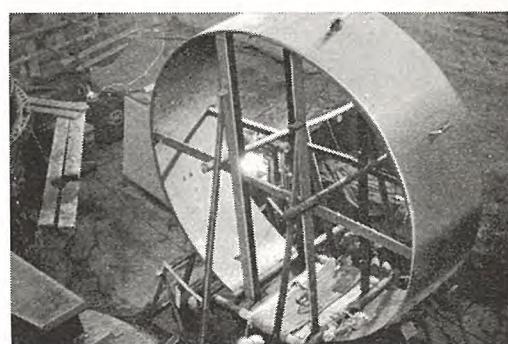
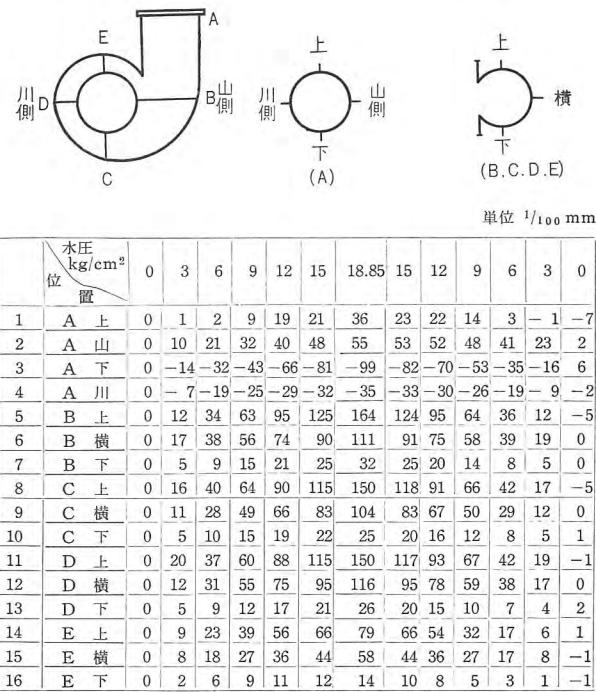


図 II. 4.2 ケーシング焼純状況

Fig. II. 4.2 Annealing of spiral casing.

表 II. 4.1 スパイラルケーシング水圧試験記録



溶接器 交流 45 kVA 12台 直流 2台

変圧器 溶接用 100 kVA 5台 焼鈍用 100kVA 6台

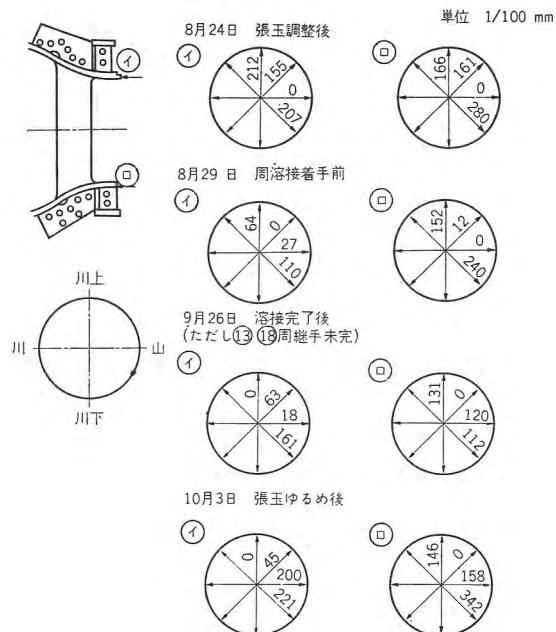
照明その他用 10 kVA 3台

空気圧縮機 37 kW 1台

現地における溶接長さならびに焼鈍長さは1台あたりそれぞれ 211 m, 74 m および溶接完了後 1台あたり 100 カ所を選んでレントゲン検査を実施した。溶接はプロパンガスで予熱後まず表面の一部を溶接し、つぎに裏面を直流アーケによりガウジングし、グラインダ仕上げを行なって、ダイチェックによりクラックの有無を厳密に検査した後、裏面の溶接を完了し、最後に表面の残りを溶接した。背割溶接部は溶接後インダクションヒーティングにより、 $625^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ の焼鈍を行なった。

この場合の電流は 14 ターン 700 A、電圧は 200~400 V である。組立完了後ケーシングは 22 kW 200 l/min のポンプを用いて 18.85 kg/cm² 10 分間の水圧試験を実施した。この間の最盛期には溶接工 16 名、ケーシング組立工 14 名、焼鈍工 4 名を工場より派遣し、細心の注意と最大の努力を払って組立てたため、完成後のスピードリングの最大径と最小径の差を 3.4 mm というわずかなヒズミに止めることができ、また 1台あたり最短 33 日間で組立てることができた。これをフランジ結合の場合と比較すると、1台分で大略鋼材 70 t、機械加工費 100 万円、工場製作期間 3 カ月の短縮、溶接量 50% の節約となり、また工場組立場所の面積は半分ですむなど多くの利点があり、当発電所が 2 カ月余りも早くすえ

表 II. 4.2 スパイラルケーシング溶接によるスピードリングヒズミ記録



min のポンプを用いて 18.85 kg/cm² 10 分間の水圧試験を実施した。この間の最盛期には溶接工 16 名、ケーシング組立工 14 名、焼鈍工 4 名を工場より派遣し、細心の注意と最大の努力を払って組立てたため、完成後のスピードリングの最大径と最小径の差を 3.4 mm というわずかなヒズミに止めることができ、また 1台あたり最短 33 日間で組立てることができた。これをフランジ結合の場合と比較すると、1台分で大略鋼材 70 t、機械加工費 100 万円、工場製作期間 3 カ月の短縮、溶接量 50% の節約となり、また工場組立場所の面積は半分ですむなど多くの利点があり、当発電所が 2 カ月余りも早くすえ

表 II. 4.3 スパイラルケーシング寸法記録

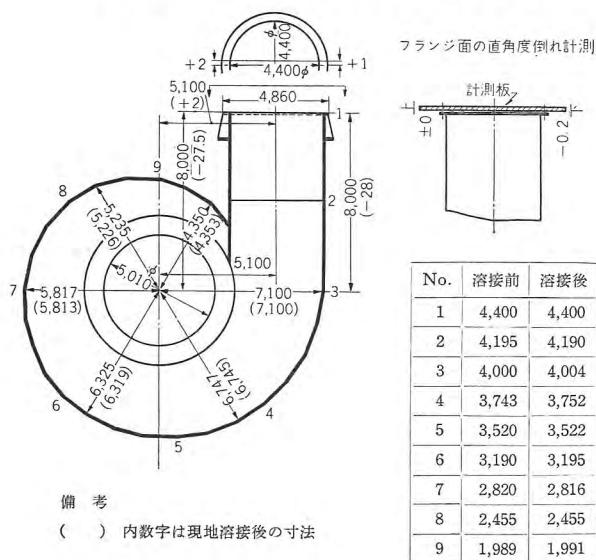


図 II. 4.3 ケーシング水圧試験

Fig. II. 4.3 Pressure test of spiral casing.

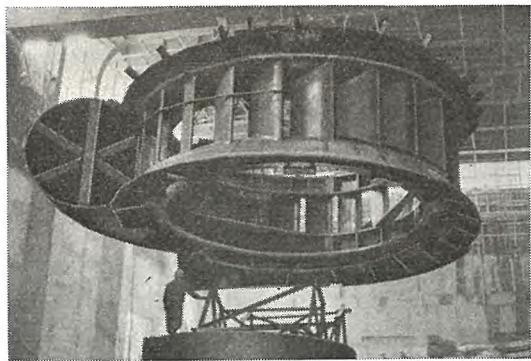


図 II. 5.1 スピードリングのつり込み状況

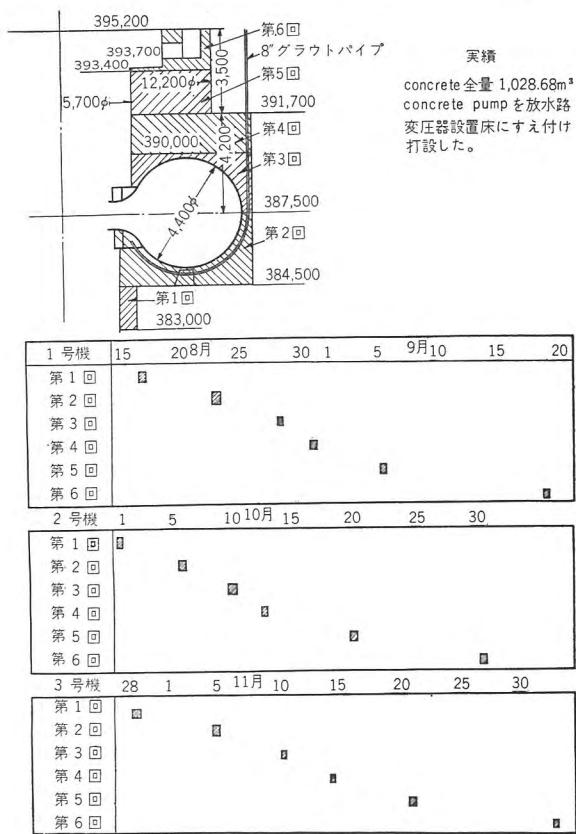
Fig. II. 5.1 Lowering the speed ring.

付完了できたのもこのためで、溶接技術の真価を發揮できたことを喜ぶとともに、この成功は電源開発の方々ならびに東大仲先生、有安先生のご指導のたまものであつたものと深く感謝する次第である。

5. 水車のすえ付

スピードリングは組立台を製作してこれに乗せ、あらかじめ発電所の搬入台上で組立て、この際結合ボルトは100°Cに暖めて締付を行なった。スピードリングを所定の位置に設置するためのコンクリートすえ付台上に鉄板を埋込み、これとスピードリングとの間げきを計測し、

表 II. 5.1 田子倉 Spiral casing concrete 工事



これに合わせて製作したライナをはめ込んで、スピードリングを正確に所定位置に設置した。

ガイドベーンおよび上カバーは本組立をし、センタリングを行なった後、バーレル内部ピットライナ、ガイドベーンサーボモータを組立て、埋設配管を完了してからコンクリート工事を施行した。この際スピードリング下部のグラウトは、スピードリングに穴をあけずに200mmのグラウトパイプを用いて行なった。発電機軸と水車軸の結合振調べは工場において発電所におけると同一状態で調整済みであったため、現場ではなんら修正を要することなくすえ付ができた。なにぶん各部品の寸法が大きいため 図 II. 5.5 のような状態で、部品の置場所、大物の

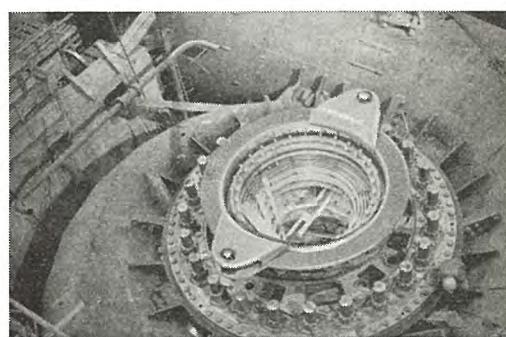


図 II. 5.2 水車の組立

Fig. II. 5.2 Assembling of water wheel stationary parts.

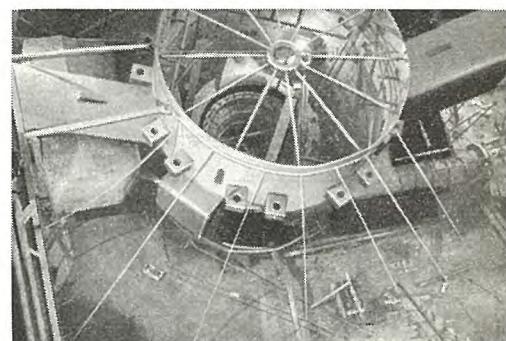


図 II. 5.3 コンクリート打設前の状況

Fig. II. 5.3 Assembled water wheel stationary parts.

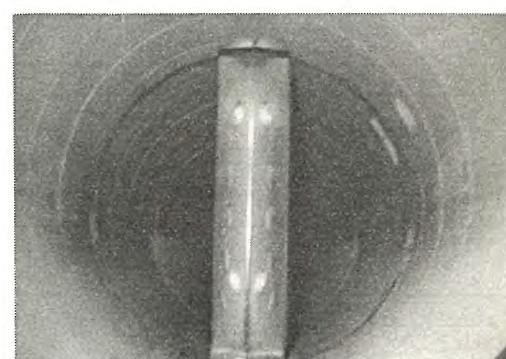


図 II. 5.4 4,400 mm チョウウ形弁

Fig. II. 5.4 4,400 mmφ butterfly valve.

表 II. 5.2 発電機軸水車軸直結軸振記録

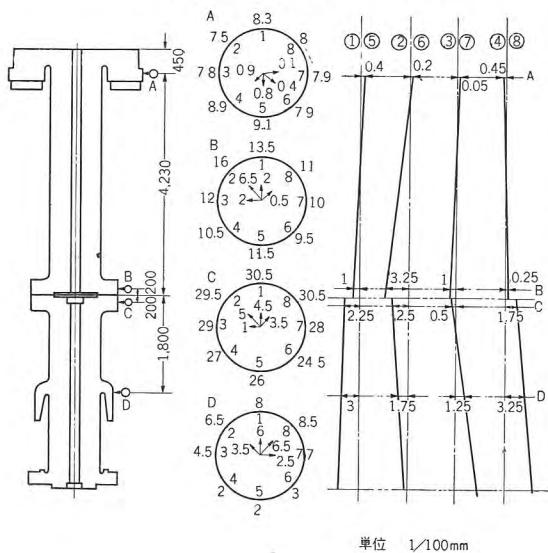


図 II. 5.5 すえ付中の発電所
内部

Fig. II. 5.5 Power house under construction.

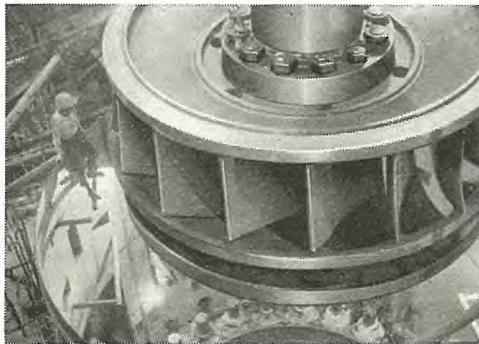


図 II. 5.6 ランナのつり込み状況

Fig. II. 5.6 Lowering francis runner.

表 III. 1.1 電源開発株式会社田子倉発電所向け水車発電機付工程実績

		昭和33年					昭和34年			
		8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
スティータ組立	フレーム結合	9-11		12-15		2-3				
	コイル入れ耐圧	11-27		16-29	4-18					
	シリーズ渡り線結線	25-1	27	24	18-24					
	コンモン取付 乾燥ニス塗		23-8	21-10	21-7					
	スパイダボス締足付 け	13-19		14-19	17-19					
発電機関係	リム積み	20-15		20-15	20-12					
	ボールキー合わせ、 ボール取付	15-12		16-6	13-24					
	ジョイントリード取付 ニス塗ファンブレーキ リング取付	5-17		7-16	25-5					
	耐圧乾燥	17-18	17	18	4					
	下フラ組立	1-3	H	16-23	13-19					
センタリーリング	クーラ取付耐圧	23-27	30	3-11	20-18					
	中心高さ合わせ	41-23	24-22	20-18						
	コンクリート 打設硬化	20-26	コンクリ センタ							
	チエック	27-28	3							
	上フラ分解スラスト 組立	29-3	ノック	23-16	19-4					
水車関係	調入 調整 振入 人見 見			4-17						
	調整			18	10-20	7-31				
	総組立									
	ケーシングおよびバー レルコンクリート打設	16-19	30-31	31-3						
	ランナ 水車組立	ランナ-セントラ	1-13	1-20						
主井	主井	7-24	21-27	26-30	パッキン入れ 組立	10-12	18-20	バイパス		
		組立	すえ付	すえ付	組立	11-23	10-25	開閉装置		

組立場所に苦心を要したが、4号機すえ付場所に鉄構製の床を作っていただいたので、発電機回転子、固定子その他重量品を置くことができ有効に利用することができた。

III. 發電機關係

1. え付工程実績

現地すえ付作業の工程記録は、表 III. 1.1 に示されている。これについて着目されるところは、つきの諸点である。

1.1 固定子巻線および回転子組立

同表をみてわかるように、発電機すえ付工事はその工期の大部分が、3台の固定子巻線と、回転子組立の両作業に要する期間と、これらを行なう作業場所の制約とに支配されている。これは輸送制限のため固定子は全然コイルを除いて送られ、したがって固定子巻線作業は、すべて現地で行なわなければならなかつたのと、また回転子は大形カサ形機では、当然のことながら、積層鋼板リム構造であったためである。

これらの作業場所としては、図 III. 1. 1 の将来 4 号機

がすえ付けられる場所にがんじょうな鉄柱とビームを渡して床張りし、有効面積 $16 \times 17\text{ m}$ の作業場が用意され、ここで固定子と回転子を各 1 台分ずつ同時に作業を行なうことができた。この場所をほとんどこれらの作業専用に使用して、表 III. 1.1 の棒線に示すように、3 台の固定子と回転子を順次連続して完成した。

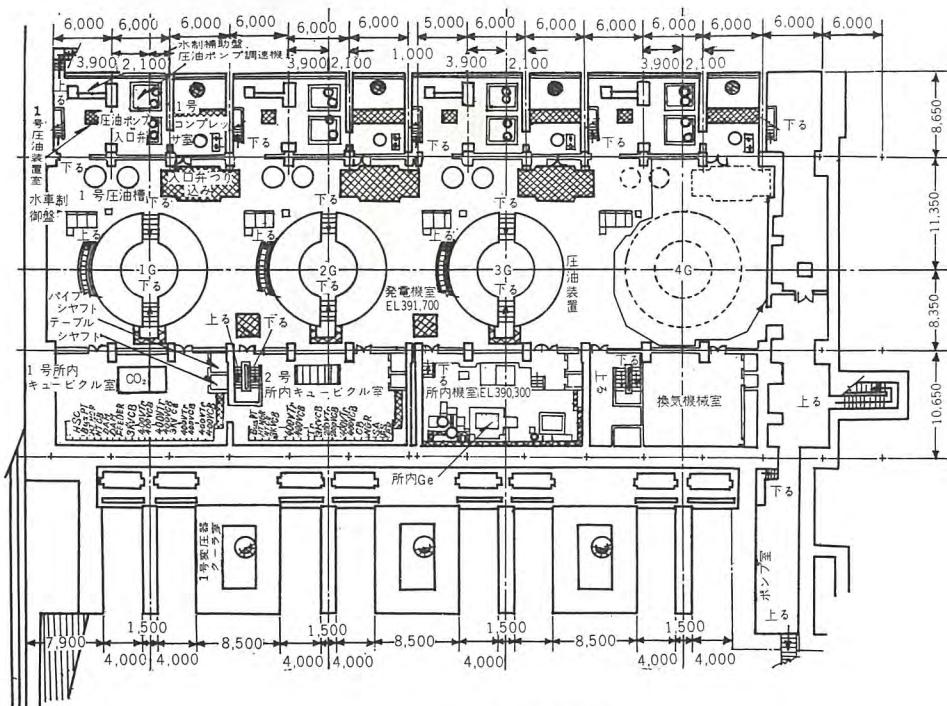


図 III. 1. 1 機器配置平面図
Fig. III. 1. 1 Plan of powerhouse.

1.2 力サ形発電機の特長

カサ形発電機のすえ付では、推力軸受を内蔵する下ブラケットの心出し、主軸の垂直および水車との直結振れ修正などの作業を、固定子や回転子の完成を待たずに、別個に併進して行ないうる利点がある。表 III. 1.1 では 1 号機は全般の工事の都合で、全工程が多少間伸びになっているが、2・3 号機ではこの特長がよく發揮されている。

1.3 水車組立との関連

発電機のすえ付中心は、水車ランナおよび水車軸をつり込み、ケーシングの中心に垂直に立てた後、これに対して後述の方法で心出しを行なった。これはもちろん今回初めて行なった方法ではないが、水車組立工程の都合などで必ずしも、いつもは実施することはできない。こうすることによって心出しをしたブラケットをノック打ち後、再度取り除く手数が省けるとともに、水車ランナと発電機下ブラケットが同時に、作業床面をふさぐ機会をしりぞけることができる。

1.4 積雪による輸送制限

現地は積雪の深いことで有名なところで、12月初めから3月末までの間は、荷物の輸送や戸外の運搬はとうてい望みえない。したがって12月初めの降雪時期までには、3台分の全荷箱はごく軽量のものを除いて、ことごとく発電所建屋内に取込んでしまわなければならなかつた。このためには、どうしてもその時期までに、1・2号

水車および発電機のすえ付・前田・長坂・村上

機の固定子および1号機回転子を完成し、そのバーレル上に組立てた状態にまでもちこすことが、床面積の関係上必須の条件であった。このことは当初からええ付工程の上でもっとも懸念されていた一つで、これを達成しうるか否かは、全体の工期に致命的な影響をもたらすものと予想された。幸い表III. 1.1 のとおり諸作業がはかどり降雪を目前に控えて、毎日続々と着荷する部品の荷箱は渋滞なく、屋内に収容することができた。それでも 11・12・1 月のころは発電機床面はまつ

たく荷箱で埋まり、その狭い谷間で、作業をかろうじて行なっているような状態であった。

工程実績をみてわかるように、1・2・3号機と順次その工期は短縮されている。これにはもちろん作業者の熟練度が増したことがあげられるが、これ以外にすえ付の初期には、発電機すえ付作業と並行して発電所内では、

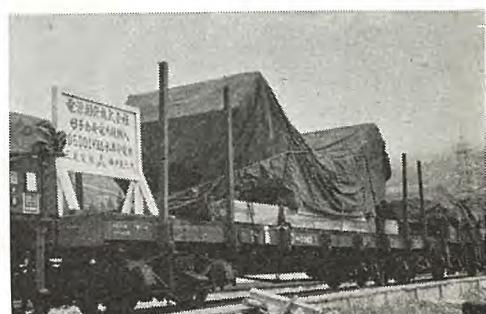


図 III. 1.2 固定子ワクの輸送
Fig. III. 1.2 Transportation of stator frame.

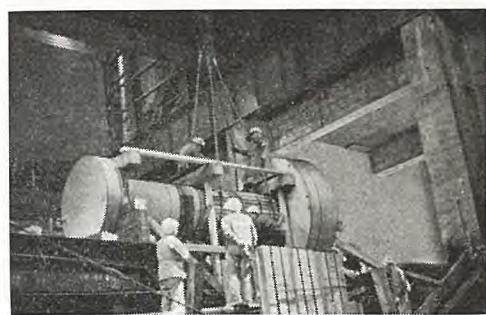


図 III. 1.3 発電機軸の荷おろし
Fig. III. 1.3 Transportation of generator shaft.

土木工事・水車すえ付およびこれらの搬入が行なわれ、場所的にもまた運搬作業も制約が多かったが、作業の進むに従ってこれらの並行する作業が少なくなり、また1月下旬になると、部品の荷箱も相当片づいて、作業場所の使用が楽になったのが、大きな原因であった。

2. 固定子巻線

固定子コイルは前記のとおり、輸送限界のため全部コアから取除いて発送され、固定子の巻線作業はすべて現地で行なわれた、年々大形化して行く最近の水車発電機では、もちろんこのようなことは別に珍しいことではない。しかし一般に新設の発電所建設工事の現場では、発電機の組立と同時に種々の他の工事、とりわけ土木建築関係の諸工事も併進されていて、現場の環境は固定子巻線作業のような、とくに慎重を要する作業を行なうには、非常に不適当であることを覚悟しなければならない。このため作業にあたっては、あらかじめ十分なシャヘイや保護を計画しておくことが大切である。図 III. 2.1~III. 2.6 は現地で行なった固定子巻線作業の状況である。これらの写真から清潔で安全な十分に広い床面が使える工場内での作業との差異は、自ら明らかにわかるが若干の説明を加える。



図 III. 2.1 固定子巻線（コイル入れ作業）

Fig. III. 2.1 Stator winding (Inserting stator coils into slots).



図 III. 2.2 固定子巻線（ウェッジ入れ）

Fig. III. 2.2 Driving slots wedges.

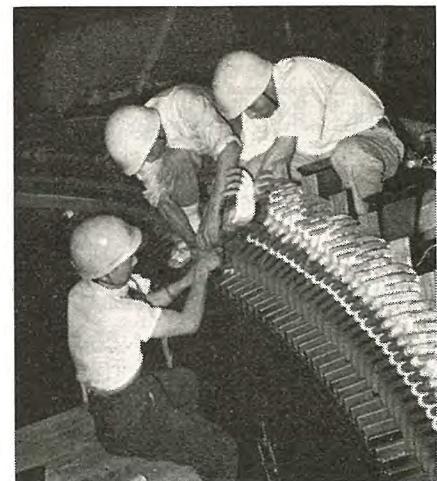


図 III. 2.3 固定子巻線（コイル入れ）
Fig. III. 2.3 Inserting stator coils into slots.



図 III. 2.4 固定子巻線（シリーズコイルテーピング）
Fig. III. 2.4 Insulating of series connections.

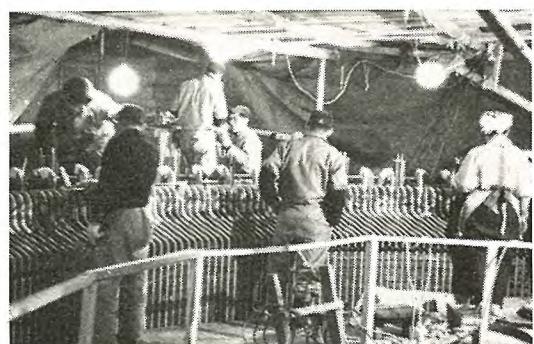


図 III. 2.5 固定子巻線（ワタリ線取付）
Fig. III. 2.5 Connecting connector coils.

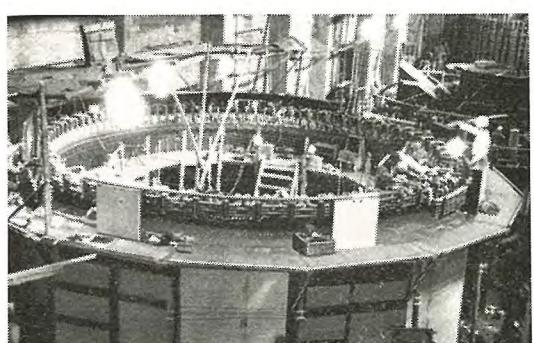


図 III. 2.6 固定子巻線（コンモンリング取付）
Fig. III. 2.6 Connecting commonrings.

(1) 固定子内の床面は完全に清掃し、絶対土足厳禁で、そこでは全員に上ばきを使用させた。

(2) 固定子ワクをささえるブロックの間に板で腰張りをして、外部からは一定の出入口以外、自由に内部にもぐり込めないようにした。

(3) コイルおよび部品材料などは、最小限の数量ずつ荷箱から取り出し、ただちにこの固定子内の床に取り込む。たとえば1群のコイルをコアに挿入し終ってから次のコイル群を持ち込む。

(4) コイルを全部収容し終えた後は、固定子をシートでおおい完全に外部からのジンマイや異物の侵入を防いだ。ただし内部ではハンダ付などを行なうから強制換気装置を設けた。

(5) 内部には十分な照明装置と安全な暖房設備を施した。

以上のようなこと以外の内部で行なう作業自体は、工場での作業とまったく同じであるので、ここに詳述することを避ける。ただとくにこのたびの固定子巻線で試みられた特長としては、

(1) コイルとスロットの遊げきに、特殊の半導電性のスペーサを打ち込みコイルをコアに固定するとともに、コイル表面のコロナ防止塗料とコアとの接触を完全にしてコロナの発生を防止している。

(2) シリースコイルの接続箇所の絶縁は、内部に成形絶縁層を密着して焼付け、その上にテーピングを施した。これにより絶縁層の耐電圧を向上し、吸湿を防ぎ全体の絶縁厚みを減じうるとともに、テーピングの作業時間も若干短縮された。

(3) コイルの絶縁テープ部分は、十分な長さをとれるような作業手順とし、この部分はマイカ絶縁の上に巻いた保護ガラステープをテーピング直前に取り除き、なめらかに仕上げたきれいなマイカ絶縁のテープの上に接続部のテーピングを施し絶縁継目の工作を入念にした。

3. 回転子リム積み

積層鋼板形回転子のリム積み作業の日程を極力短縮するため、この工事には次のような工具器材を準備した。

(1) フォークリフトトラック

1枚のリム板の重さは約 60 kg である。これを高所まで1層ずつ積み上げて行くには、その運搬および受渡し方法の適否が作業の能率を左右する。このためリム板の運搬には図 III. 3.1 にみるようなフォークリフトトラックおよび発電機のすえ付・前田・長坂・村上



図 III. 3.1 回転子リム積 (フォークリフトの使用)

Fig. III. 3.1 Building the spider rim (by use of fork lift truck).



図 III. 3.2 回転子リム積 (ギヤドレンチによる締付)

Fig. III. 3.2 Building the spider rim (tightening reamer bolts with geared torque indicating wrench).

ツクを使用した。トラックの架台はリム板の積載に便利な形に改造し、これをつねに適当な高さに持ち上げたままトラックは回転子の外周に沿って旋回する。作業者はリムの上から容易にそのリム板を1枚ずつ引寄せてつぎつぎに積み上げて行く。

(2) ドロップハンマ

回転子スパイダの真中に大きなドロップハンマを取付けた。これはリーマボルトの打ち込みおよびリムの加熱



図 III. 3.3 回転子リム積 (ドロップハンマによるリーマボルト打込)

Fig. III. 3.3 Building the spider rim (driving reamer bolts with drop hammer).

締めのときのショーリングキーの打ち込みに使用した。これにより労力の節減および作業能率の向上をはかることができた。

(3) 動力トルクレンチ

積層リムは300本余りのリーマボルトにより締付けられている。この締付圧力によりリムは一体となり、強度を保持するわけであるから、リーマボルトの締付は均一でなければならない。

このためインパクトレンチを用いて仮締付をした後、最後にトルクメータ付ギヤドレンチを用い、ボルトの締付緊度を一様にし、また労力・作業時間も軽減できた。

(4) ダブテールプローチ

リム板を積みリーマボルトを規定のトルクに締付け終えたならば、リムのダブテールスロットの当り面の仕上を行なう。これには特殊のプローチをスロットに通し、クレーンで引き抜くことによって、各面同時に正確な形状に、しかも迅速に仕上げることができた。また仮締用ボルトをリーマボルトに挿し換えるとき、そのリーマ穴に対して必要に応じ同様な方法で丸形プローチによる仕上を行なった。

(5) 可搬式ディスクエアグラインダ

リム外周の面仕上は従来予想外に日時と労力を要する作業であった。これに小形可搬ディスクエアグラインダを使用して作業期間を大いに短縮できた。

4. 回転子組立

前述のように回転子組立は、機器静止部のすえ付と並行して行なわれ、その完成時期は、推力軸受の調整と振止軸受の組立完了と一致するようにしなければならない。このため、磁極・コイルの取付後、コイル間つなぎ・ダブル巻線の接続・扇車取付およびブレーキリングの組立



図 III, 4.1 回転子組立

Fig. III. 4.1 Rotor under assembling operation.

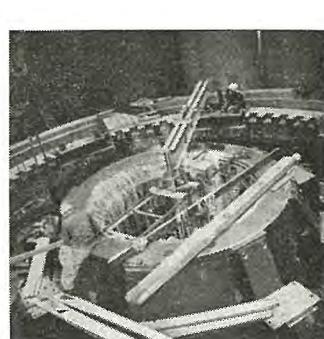


図 III, 5.1 レベリングビームによる下ブラケット水平調整
Fig. III. 5.1 Levelling of lower bracket.

はなるべく作業を並行させて期間を短縮し、余裕を生じた期間は絶縁ニス塗と耐圧テスト前のコイル乾燥にあてた。

5. 床板のすえ付・センタリング・水平調整

コンクリートバレルが打ち上がった後、ただちに床板のすえ付を開始し、コンクリート打上後重量物をすえ付けるまでには最低15日をおいた。

床板とコンクリート間のパッカには、コンクリートにかかる圧縮応力、床板の安定性、機器の水平調整の正確さなどの諸点から厚鉄板を用い、その投影面積は床板の歯よりわずかに大きくした。また調整用には薄鉄板を用いた。

センタリングはまず水車ランナと水車軸を静置し、ランナギャップと主軸の測定用穴の上下で中心と垂直を正しく調整しておき、ピアノ線の位置を正定しそれに対し、下ブラケット・固定子・上ブラケットおよびエキサイタ磁極の中心を順次合わせた。また床板と下ブラケットの水平調整は、レベリングビームを用いて行なった。水平および中心調整位置は図 III, 5.2 のとおりである。調整後床板まわりのコンクリートを充填し、硬化後さらに確認して位置決めを行なった。

センタリング終了後ただちに、エキサイタ・上ブラケットを取りはずし、推力軸受槽内を洗浄して推力軸受の組立を行なった。一方空気冷却器取付および冷却水配管も、センタリングの終了を待って着手した。

6. 推力軸受組立・調整

圧縮管式推力軸受を採用したのは、この機械が最初の

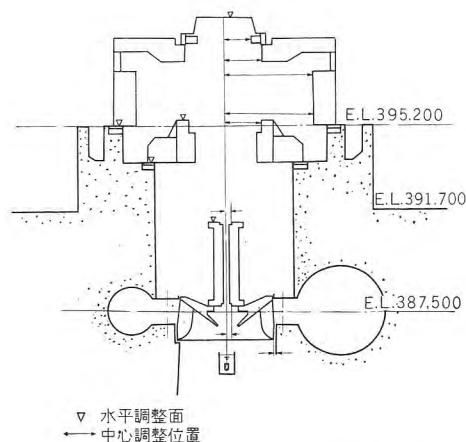


図 III, 5.2 センタリング水平調整
Fig. III. 5.2 Centered and levelled positions.

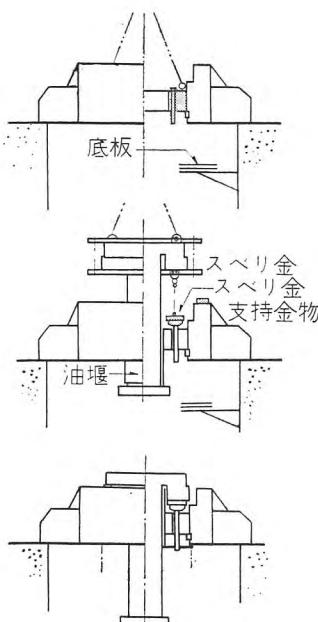


図 III. 6.1 推力軸受の組立
Fig. III. 6.1 Assembling of thrust bearing.

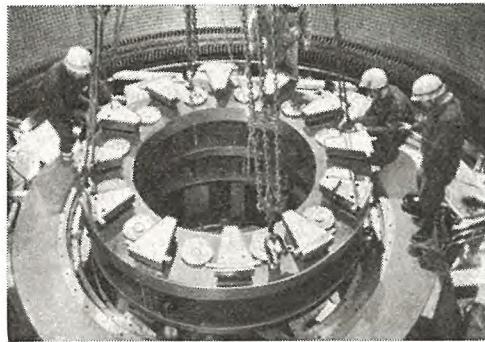


図 III. 6.2 推力軸受台盤つり込み
Fig. III. 6.2 Inserting thrust bearing assembly.

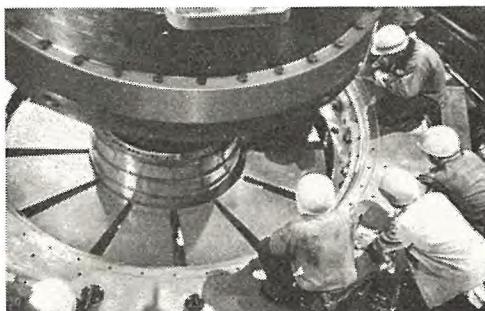


図 III. 6.3 推力軸受

Fig. III. 6.3 Assembled thrust bearing shoes.

経験で作業はとくに慎重を期したが、調整はきわめて敏速・正確に行なうことができ、この形式の優秀性を実証した。組立は図 III. 6.1 の順序で行なわれた。

軸受の負荷および水平調整は次の段階によった。

すなわち

(1) 発電機軸だけを負荷して、

各パッドの負荷均等化

水車および発電機のすえ付・前田・長坂・村上

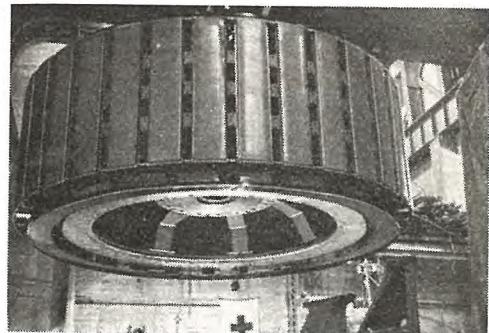


図 III. 6.4 回転子つり込み
Fig. III. 6.4 Assembled rotor.

各パッドの水平調整

(2) 発電機軸・水車軸および水車ランナを負荷して、各パッドの負荷均等化
各パッドの水平調整

(3) 全回転部分荷重を負荷して各パッドの負荷を確認して、最終状態で各パッドの負荷のバラツキを平均荷重の $\pm 5\%$ 以内に調整した。

また推力軸受の調整の途中で発電機軸と水車軸をターニングして軸振れ調整を行なった。主軸の振れ調整と上記の(2)の調整が終了後、振止軸受を組立て、回転子をつり込み軸に結合した。

7. 総組立

総組立の順序は図 III. 7.1～7.4 に示すとおりである。

図 III. 7.1. 空気冷却器給排水管配管・回転子つり込

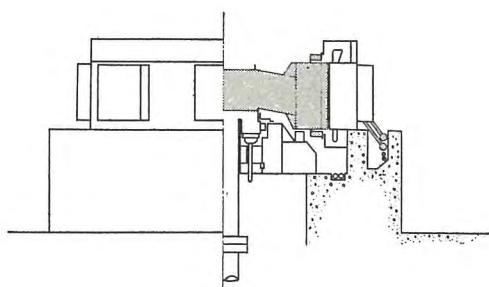


図 III. 7.1 総組立（その 1）
Fig. III. 7.1 Assembling operation.

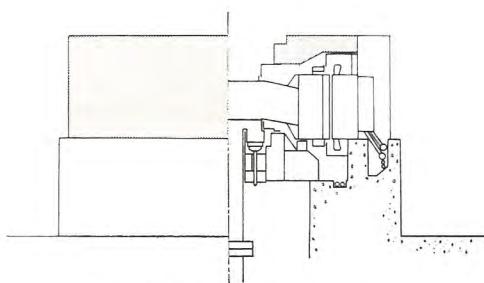


図 III. 7.2 総組立（その 2）
Fig. III. 7.2 Assembling operation.

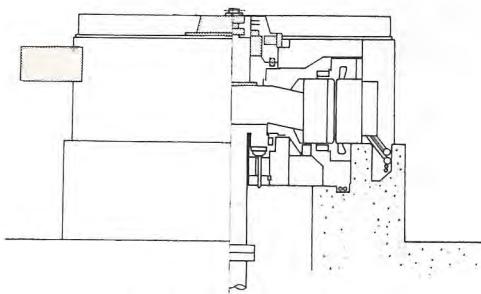


図 III. 7.3 総組立（その 3）
Fig. III. 7.3 Assembling operation.

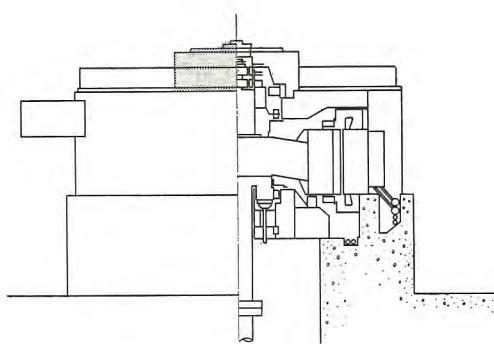


図 III. 7.4 総組立（その 4）
Fig. III. 7.4 Assembling operation.

みおよび上エンドベル取付

図 III. 7.2. 上ブレケットつり込み・丸風胴組立および機内配線

図 III. 7.3. エキサイタ電機子・ヨークつり込みおよび口出線囲いおよび手スリ取付

図 III. 7.4. 励磁機カバー取付

なお風胴まわりの階段は、発電機室床面の整理されるのをまって取付けた。

8. 試 運 転

田子倉ダムは、3月23日放水口締切が行なわれ、4月6日第一次湛水位に達し、試運転は4月8日より開始された。各機とも試験に先だち定格回転数の50, 75および100%で約4時間ずつ軸受すり合わせおよびバランス調整運転を慎重に行なった。

9. 運転バランス調整

本機の回転数は167 rpmで、軸受部分の振動は低周波でその上、検出できないほど小さいので、運転時の軸振れを検出してバランス調整を行なった。アンバランスベクトルの位相検出には、機械的コンタクタによるスト

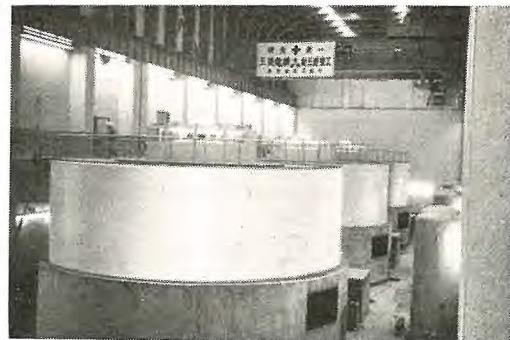


図 III. 8.1 運転中の発電機
Fig. III. 8.1 Completed generators.

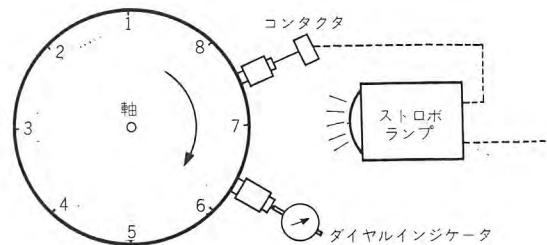


図 III. 8.2 運転バランス測定装置
Fig. III. 8.2 Skelton diagram of field balancing.

ロボ装置を用い、アンバランス量は軸の振れをダイヤルインジケータで測定して算出したが、比較的短時間でバランスを終了できた。

VII. む す び

以上のようにして、田子倉発電所は昭和34年6月1日通産省試験を終え営業運転にはいり、無事引渡しを完了した。この工事が当社の記録的大工事で、しかも積雪による輸送制限など困難な条件が多かったにもかかわらず、大したトラブルもなく遂行され好調に運転を始めることができたのは、われわれの無上の喜びであるが、これとても電源開発株式会社の関係者各位の絶大なるご指導ご助力なしには、とうてい成しえなかつたところで、ここに深く感謝する次第である。またすえ付工事作業を担当した株式会社東京電気工務所の各位のご努力と技術を高く評価するものである。

近年における水車発電機の進歩発達は、まったく日進月歩でさらに新しい構造の採用とあいまって、今後ますますすえ付組立方法の開発改良に努める所存で、各位のご指導ご鞭撻を願ってやまない。

運転制御装置と配電盤

神戸製作所 清水良夫^{*}・天藤憲二^{*}・梅名茂男^{*}

Control Equipment and Switchgear

Kobe Works Yoshio SHIMIZU · Kenji TENDO · Shigeo UMENA

Power from Tagokura Power Station is sent to systems of the Tokyo Electric Power Co's and the Tohoku Electric Power Co's, thus this power station is a center of interconnected power system. Then, control of operation, supervision and protection of equipment are regarded vital problems to carry out the mission of the station as compared with ordinary installations. The control equipment and switchgear in this new station are the products of Mitsubishi and outgrowth of its painstaking effort for many years. Since the completion of installation in last March, thorough tests have been conducted to prove their excellent performance, the station entering into commercial operation with great success.

1. まえがき

田子倉発電所の発生電力は、275 kV 超高圧送電線により、一つは南川越変電所で受電されて東京電力系統に送られ、一つは本名変電所で受電されて東北電力系統に送られ、両系統を結んだ電力融通、広域運営の中心的役割を果すものである。したがって、運転制御、監視、保護装置も従来の発電所におけるよりいっそうの重要性を帯びている。幸い、当社の努力が実を結び、3月初旬より約2ヶ月間にわたる現地試験を行ない事なく完了して、きわめて順調に運転にはいったので、ここに運転制御方式、配電盤開閉装置についてその大要を述べる。

おもな特長を列挙すると次のとおりである。

- (1) 回路方式には単位接続方式が採用された。
- (2) 所内電源の確保には格別の考慮が払われ、所内回路はすべてキュービクルに収納してある。
- (3) 補機類の電源電圧は 400 V を基準とし、起動器をコントロールセンタにまとめて集中監視に便ならしめた。
- (4) 主機用調速機は電気式を採用し、ジョイント・オペレーションだけでなく将来に備えて連絡線負荷偏寄制御が簡単にできる構造となっている。
- (5) 主機、所内機とも起動停止確認装置を設け、大きな落差変動にもかかわらず、確実に自動起動ができるものとした⁽¹⁾。

- (6) 主機自動電圧調整器は磁気増幅器形で最大耐量形、電流限定装置を付属させた。
- (7) 主機には急速減磁装置を設け、発電機の残留電圧をも消磁するようにした。
- (8) 送電線母線の保護には空心変流器と LC-2 形継電器との組合せによる最新方式⁽²⁾を採用した。
- (9) 主盤は開閉式制御机を付属した縮小ベンチボーダ形とし、点検に便利なようにした。
- (10) 記録計の記録紙には目盛割線のない、同一様式のものを使用し、互換性をもたせて記録紙の補充に繁雑さがないようにした。
- (11) 補機運転記録計、故障記録計を設けた。
- (12) 貯水池水位計には、87 m の水位変化範囲を 1 cm の精度で指示するデジタル式を採用した。
- (13) 配電盤信号灯電源として 18 V の専用蓄電池を設けた。

2. 回路方式

図 2.1 および図 2.2 はこの発電所の単線接続図である。その概要について説明すれば次のとおりである。

2.1 主発電機回路

主発電機 13.2 kV 回路は、離相母線で主変圧器に導かれ、275 kV に昇圧されて超高压二重母線に接続される単位高圧同期式であるが、さらに 1, 2 号機回路からは、2,000 kVA, 3.3 kV 負荷時電圧調整器付乾式変圧器を收

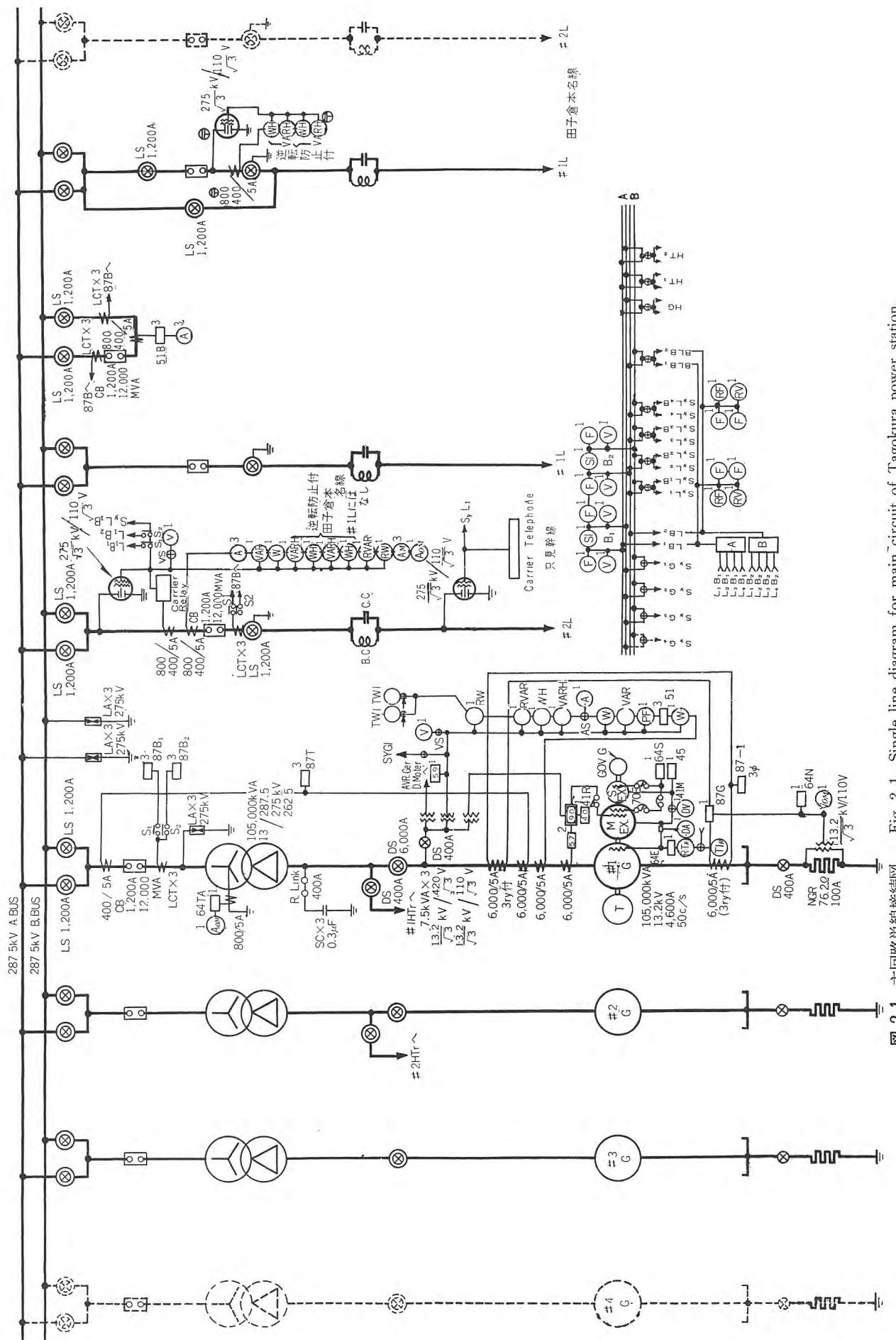


図 2.1 主回路単線接続図 Fig. 2.1 Single line diagram for main circuit of Tagokura power station.

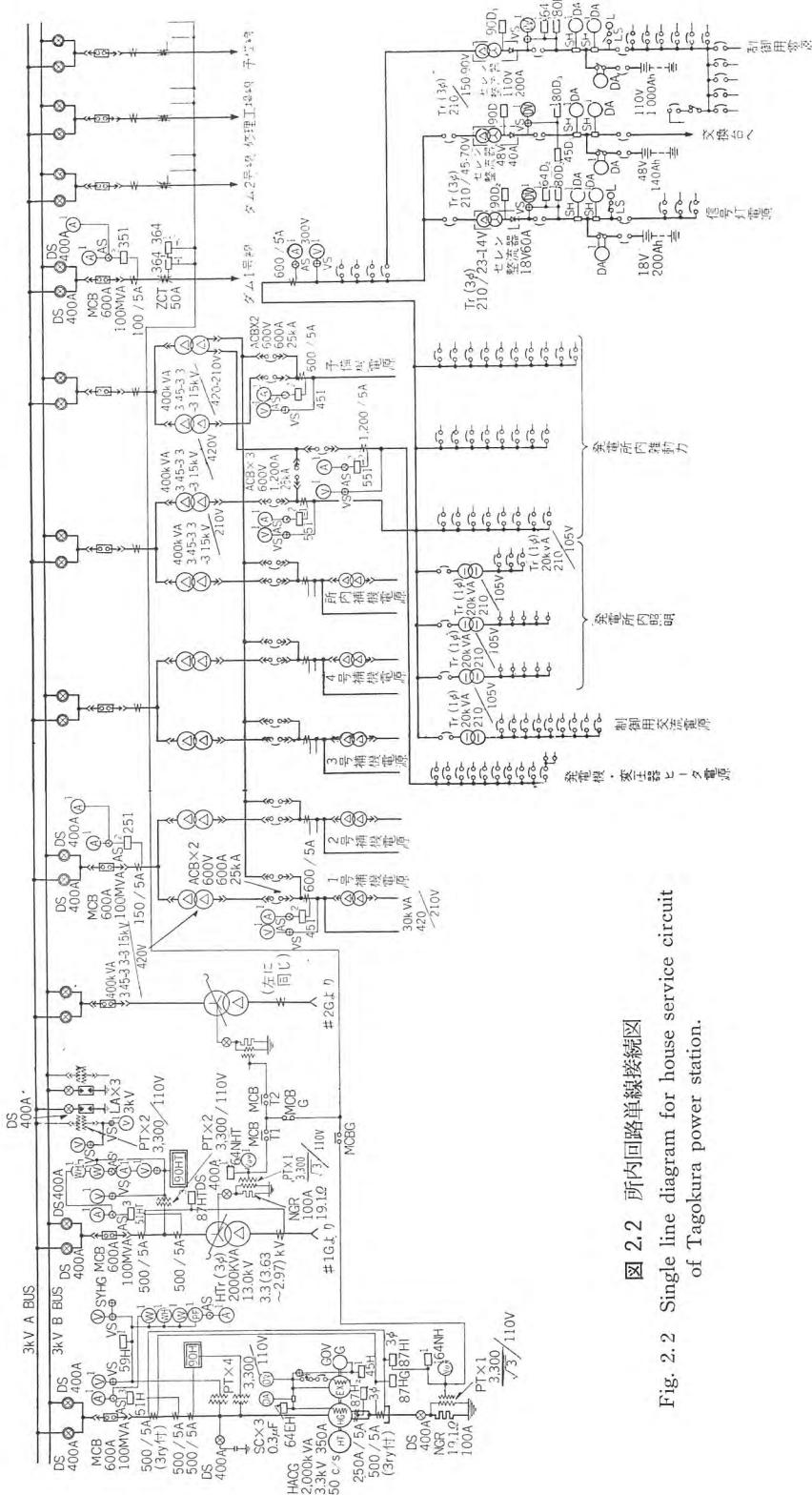


図 2.2 所内回路單線接続図
Fig. 2.2 Single line diagram for house service circuit
of Tagokura power station.

めたキュービクルに至る離相母線が分岐している。発電機回路には 6,000 A, 13.2 kV の断路器が、所内変圧器の高圧側には 400 A の断路器が設けられ、これらの電動操作式断路器および変流器は離相母線中に収めてある。また中性点接地抵抗器、計器用変圧器、自動電圧調整器用電源トランスはキュービクルに収納して離相母線に接続してある。図 2.3 はこのキュービクルを示すもので、

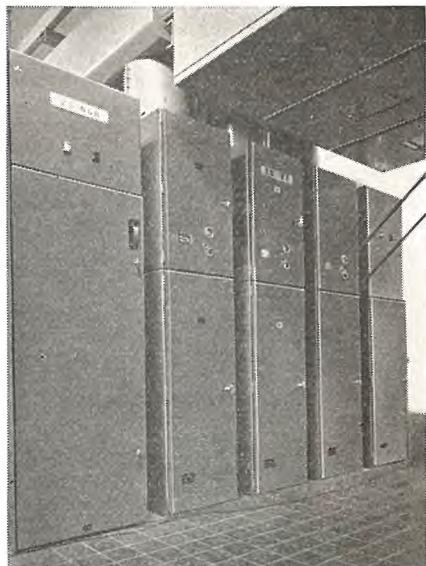


図 2.3 離相形主回路キュービクル
Fig. 2.3 Isolated phase type cubicles
for main circuit.

離相形として構成してある。

2.2 所内高压回路

所内 3.3 kV 回路は 2,000 kVA, 3.3 kV 所内発電機 1 台, および上記の所内変圧器 2 台で構成される二重母線式で, 配電線 4 回線, 所内高圧線 4 回線を含む 18 面の 3 kV メタルクラッド形配電盤にまとめてあり, 所内発電機, 所内変圧器との接続は密閉母線で行なっている.

2.3 所内動力, 電灯回路

水車制御用補助機の電源に対して
も単位接続方式が採用され、前記の
所内高圧線 1 回線に対して、400
kVA, 3.3 kV/420 V, 三相乾式降
圧変圧器 2 組を設けて、補助機は大
部分、この 420 V を電源としたが、
さらに 30 kVA, 420/210 V 三相乾
式変圧器を 400 kVA 変圧器に付属
させて、1 部の 200 V 用機器の電
源としてある。予備圧油ポンプ、予
備排水ポンプなどの予備機は、別に
設けた 400 kVA, 420 V 予備機用
変圧器を共通電源とする集中接続方
式とし、また、発電機スペースヒー
タ用、発電所内照明用として 400

kVA, 3.3 kV/210 V 三相乾式変圧器 1 組が設けられている。

これらの変圧器以外に 400 kVA, 3.3 kV/420-210 V 三相非常用変圧器 1 組を設け、上記の各変圧器事故の際には、自動的に非常用変圧器を電源とするよう、切換用シャンクスを各変圧器の低圧側に設けた。これらの所内動力、電灯回路は、前記 18 面の 3 kV メタルクラッド形配電盤と合わせて、合計 35 面を 2 群に分割したパワーセンタおよび 6 面の閉鎖自立形ノーヒューズ盤に收めてある。

2.4 制御電源回路

制御用交流 100 V は、前記の 400 kVA, 210 V 変圧器を電源とする 210 V 母線に、20 kVA, 210/105 V 単相乾式トランスを設けている。制御用直流 110 V は、1,000 Ah の蓄電池を電源としているが、別に信号灯用電源として 18 V, 200 Ah の蓄電池が設けてある。これはこの発電所の信号灯の最大点灯数が約 500 個に達し、これを 110 V 直流制御回路に接続したときの信号灯抵抗損失を勘案したことである。また通信用として 48V, 140 Ah, 時計および記録計パルスモータ用として 24V, 36 Ah の蓄電池が設けられ、これらはすべて自動電圧調整器付のセレン整流器により浮動充電を行なっている。

なお、100 V 交流制御電源、110 V 直流制御電源は単位式として各機に分配し、18 V 信号灯電源は主機ならびに送電線関係と所内機、所内関係との 2 群に分割した。

3. 運転制御装置

主機、所内機とも、半自動一人制御式で、配電盤上の主幹制御器を操作して、停止より並列までを、また、その逆を自動的に行なわせるようになっている。また補助機は、主機潤滑油補給ポンプ、所内機グリースポンプ、屋外開閉装置非常用直流コンプレッサを除き、すべて自動制御、または配電盤室より制御できるようになっている。

3.1 主機運転制御装置

(1) 主水車用補機

いずれも単位式で次のものがある。

a. 圧油ポンプ

圧油は水車の制御の原動力となるもっとも重要なもので、所要量と水車運転中の消費量の関係から、入口弁操作用 26 kW と調速機その他用 110 kW の 2 種類のポンプを設け、それぞれ常用、予備の電動ポンプを 1 台ず

つ設けた。入口弁用、調速機用とも配電盤の選択操作スイッチにより常用、予備を選択起動停止させることができ、調速機用は常用機を連続運転し、入口弁用は、入口弁開閉動作中は常用機を連続運転して、その他の場合には、圧油槽の油圧により制御した。また、いずれの場合も圧油槽の油圧低下、常用機事故の際には予備機が自動起動し、事故の回復とともに自動停止するようになってい

b. 返油ポンプ

入口弁圧油装置用、調速機その他圧油装置用に対して 0.2 kW の電動ポンプ各 1 組を設け、集油槽と各制御装置との位置関係から、排油を直接集油槽へ流下させ得ないものをいったん返油槽に集めてポンピング・アップした。返油ポンプはフロートスイッチで自動制御されるが、返油槽に取付けた混水検出装置が動作すればポンプを停止させるとともに警報するようになっている。なお、これらの機器は返油槽内に收められて完全防水構造としてある。

c. グリースポンプ

案内羽根軸受、入口弁シュー動部などに一元的にグリースを補給するもので、0.4 kW の電動ポンプ 1 組をバーレル内に設けてある。これは水車の運転時間を積算し、24 時間に達すれば自動起動し、給油を完了すれば自動停止するようになっている。

d. コンプレッサ

制動用 19 kW、および入口弁封水用 0.75 kW のもの各 1 組を設け、いずれもエア・チャンバの気圧により自動制御するようになっている。

e. 冷却水

冷却水は発電所屋上に設けた減圧水槽から取水するようになっているが、減圧水槽への給水は、120 kW 電動ポンプにより放水路より汲上げるものと、鉄管取水がある。どれを常用とするかは、その時の落差により決定されるが、配電盤の選択操作スイッチを操作して常用側より取水することができ、減圧水槽の水位により予備取水を開始、停止するようになっている。また、常用電源トランス回路事故の際には、電源は非常用トランスに切換えるが、この時には、たとえ、電動ポンプを常用に選択していたとしても、非常用トランスの容量の関係から、電動ポンプは停止させ、鉄管より取水するようになっている。なお、電動ポンプ、および鉄管からの取水量を調節するため、電動バルブを設け、配電盤に設けた調整スイッチにより、減圧水槽水位計を見ながら開度を調

整できるようになっている。

減圧水槽からの冷却水取水は配電盤室から電磁弁を動作させて、通水できるが、通水は減圧水槽への給水が行なわれていること、および減圧水槽水位が規定値以上あることを条件とした。電磁弁は水車発電機用と、主変圧器用との2組を設け、送電線回路から所内受電を行なうときには、水車発電機への冷却水は止め、主変圧器にだけ給水して、水量節約がはかれるようになっている。

f. 自動ストレーナ

減圧水槽の出口側に冷却水用ストレーナ2組および封水用ストレーナ2組を設けてある。冷却水用ストレーナに対しては、冷却水通水時間を積算して、通水時間が設定時間(1~6時間に設定できる)に達すれば、ストレーナ2組のうち1組の電動操作のローブを回転させ、ジンカイをかき落すと同時に電磁弁を動作させてジンカイ、汚水を一定時間(1~30秒間に設定できる)の間排水させて清掃し、1組の清掃が完了すれば、続いて残り1組のストレーナも同様に清掃するようになっている。

封水用ストレーナは、給水用にくらべて網目がずっと細いので、冷却水通水中はローブを連続回転させ、前記の冷却水ストレーナの動作と同時にジンカイ、汚水を排水するようになっている。

g. 水車上部タ排水ポンプ

主軸パッキング部、案内羽根軸受などよりの漏水はケーシング固定翼の排水孔より排水ピットに自然流下させているが、漏水量の増加に備えて、2.2kWの電動ポンプ1組を設け、フロートスイッチで自動制御するようになっている。

h. コントロールセンタ

上記のポンプ用電動機のジカ入レ起動器は、ポンプ類の設置場所を考慮して、油関係と水関係にわけて、2群のコントロールセンタに収納した。コントロールセンタについては、すでに本誌上⁽³⁾において、詳しく紹介されているので詳述することは省くが、電磁ジカ入レ起動器、熱動過負荷継電器、電源開閉器、起動停止用押しボタン、電流計など必要なもの1式をユニットにまとめ、これを垂直に配置された電源母線に挿し込んであるので、関連した多数の電動機の起動器を集合して設置することができ、すえ付、配線に便利であるばかりなく、集中監視ができる、ユニットを引出すことができるので点検修理にも非常に好都合である。

図3.1は7.5kW用コントロールセンタユニットを、

運転制御装置と配電盤・清水・天藤・梅名

図3.2はコントロールセンタ裏面の母線と、ユニットの接触部を示すものである。また、この発電所では、電動機はほとんど400V定格であるが、電磁ジカ入レ起動器の定格コイル電圧は200Vとし、配電盤に引き込んだこれらの制御線に、万一、運転員が触れることがあっても危険のないようにしてある。このため、ジカ入レ起動器用の400/200V降圧トランスを各ユニットに内蔵させた。電動機は、前記したように、自動制御されるかまたは配電盤室より制御されるものであるが、コントロールセンタにおいても押しボタンで手動制御できるほか、電動機近傍においても制御できるように、別に押しボタン箱を電動機近傍の壁に取付けて配線してある。さらにフロートスイッチにより制御されるものに対しては、その補助継電器をユニットに内蔵させてある。従来は、電動機のジカ入レ起動は通常75kW400V, 37kW200V

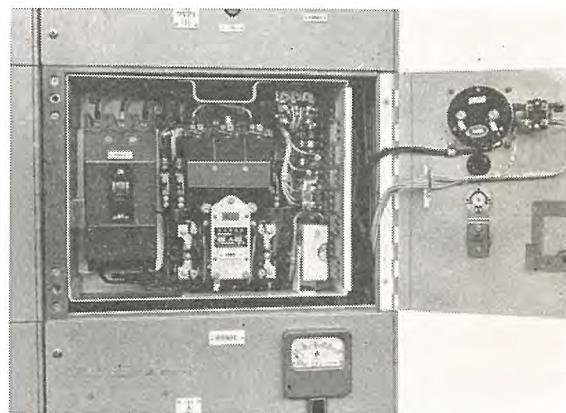


図3.1 NCU-2B形コントロールセンタユニット

Fig. 3.1 Type NCU-2B control center unit.

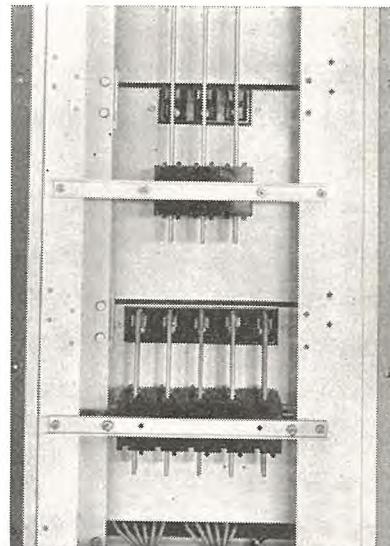


図3.2 垂直母線と接触部

Fig. 3.2 Vertical busses and clips.

までであったが、今回、120 kW 給水ポンプ電動機に対して、N-305 形電磁接触器を製作し、600 A フレームのノーヒューズシャン断器と組合わせて、150 kW 400 V, 75 kW 200 V まではジカ入レ起動ができるようにした。図 3.3 は、このユニットの内部を示すもので、ユニット構成器具の大きさ、電流容量の点から、簡単な引出構造は困難であるので、各器具ごとに簡単に取付け、取はずしができるように考慮してある。

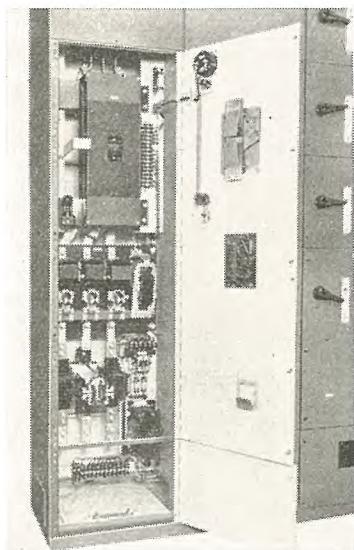


図 3.3 NCU-5 形コントロールセンタユニット
Fig. 3.3 Type NCU-5 control center unit for 150 kW, 400 V, 75kW, 200 V motors.

i. 水車制御補機盤

前記の補機類を自動制御するための継電器類をまとめてキュービクルに収納したもので、圧油コントロールセンタに併置した。図 3.4 はその内部を示すもので、圧油ポンプ制御用油圧継電器の補助継電器、グリースポンプ制御用タイマなどのほか、集油槽混水検出継電器を取付けてある。

j. ストレーナ制御盤

自動ストレーナ用タイマ、および制御継電器を収納したキュービクルで、給水コントロールセンタに併置した。図 3.5 はその内部を示すもので、すえ付場所の関係から、継電器取付盤は可搬盤とし、点検はすべて前面から行なえるようになっている。

(2) 主水車用調速機

スエーデンより ASEA-KMW 社製電気式調速機を輸入した。図 3.6 は後記する水車制御盤の側面に併置したタービン・キュービクルの内部を示すものである。こ

の調速機については本誌で別に詳しく紹介するはずであるので詳細は譲るが、アクチュエータ・サーボモータに連動する復原用抵抗器の代りにセルシンを採用してシェウ動部分をなくし、電子管増幅部のプッシュプルに接続した五極管 2 個の代りに双三極管 1 個を採用して電子管特性の均一化をはかるな

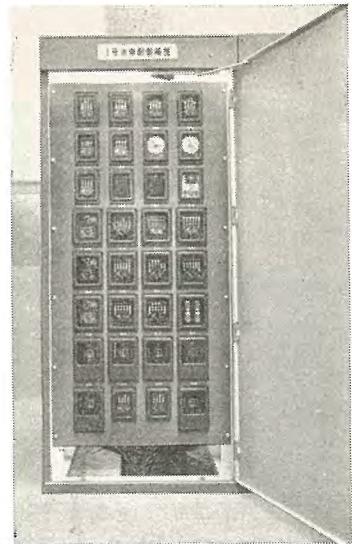


図 3.4 水車制御補機盤
Fig. 3.4 Control relay cubicle for auxiliary machine of main turbine.

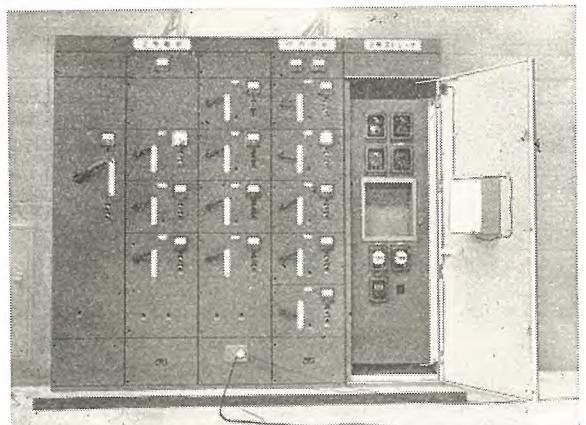


図 3.5 ストレーナ制御盤と給水コントロールセンタ
Fig. 3.5 Strainer control cubicle and control center for cooling water supply equipment.

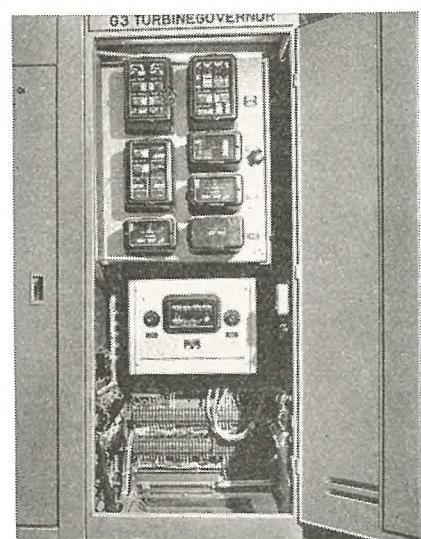


図 3.6 電気式調速機盤
Fig. 3.6 Electro-hydraulic turbine governor cubicle.

ど、従来輸入されたものを改良した跡がみられる。また調速機の無負荷ダンピングは、強さ、時定数をそれぞれ単独に設定することができ、その範囲も0~30秒を6段階に、3~60%およびその1.5倍を8段階に設定できるようになっている。また、この発電所では、送電線母線は二重母線式で、各号機はいずれの側の母線においても並列運転ができる。しかも、あらゆる並列号機の組合せに対して、二重母線のいずれにおいても、ジョイントオペレーションができるようになっている。さらに電力変換装置、送量装置を追加すればただちに連絡線負荷偏寄制御(Tie Line Load Bias Control)が行なえるよう構成してある。この調速機は主幹制御器により動作する自動制御装置に折り込まれ、起動停止確認装置⁽¹⁾、緩起動装置、自動揃速装置で制御されて、発電機を自動並列することができるようになっている。

(3) 水車制御盤

水車制御用電磁弁、および油圧繼電器を取付けた配油盤と、案内羽根サーボモータ用配圧弁を収めたキュービクルで、盤面には、角形高低両接点付温度計、各種圧力計のほか、発電機電力計、水車流量計、案内羽根サーボモータ開度およびサーボモータ・ストッパ位置指示計、ならびに集合状態表示器などを取付け、主機の運転状態だけでなく、各種補機類の起動状態、冷却水、油圧などの状態をもあわせて表示し、運転、監視に便ならしめた。

図3.7は水車制御盤内の配油盤を示すもので、電磁石は、20,000回以上の連続反覆使用に耐えるものを使用し、電磁石だけを盤面に出し、電気配線は配油盤の前面側にだけ施して点検保守を容易にしてある。配油弁は配油盤内に沈め、パイピングは全部、盤の後面に集め漏油により盤面がよごされることを防いでいる。

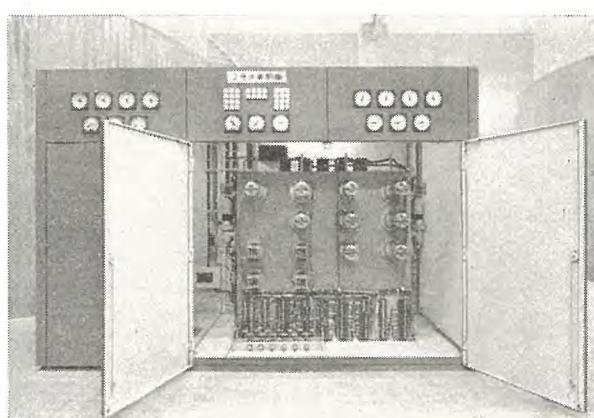


図3.7 水車制御盤
Fig. 3.7 Turbine control cubicle.

運転制御装置と配電盤・清水・天藤・梅名

図3.8は、水車制御盤の盤内を示すもので、側面も扉とし、盤内にはいって配油弁およびサーボモータ用配圧弁の点検ができるようになっている。温度計、圧力計は、すべて当社K-24形計器ケースに収めて体裁を整えるとともに、温度計には水車停止用接点、および警報接点を取り付け、接点は500回以上の開閉に耐えるよう温度計ケース内に小形繼電器を内蔵させた。図3.9、3.10はこの角形温度計の外観である。

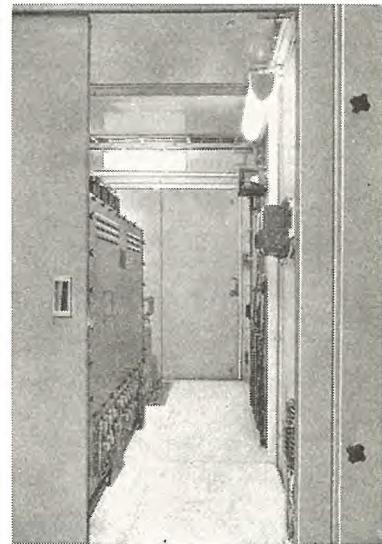


図3.8 水車制御盤内部
Fig. 3.8 Interior of turbine control cubicle.



図3.9 角形温度計
Fig. 3.9 Semi-flush mounted square type thermometer with contacts and auxiliary relays.

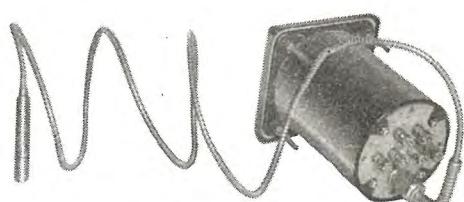


図3.10 角形温度計
Fig. 3.10 Back view of square type thermometer.

(4) 自動電圧調整器

400 c/s の高周波発電機を電源とする磁気増幅器形自動電圧調整器を設けた。自動電圧調整器の性能について別に詳しく述べられているので、ここでは述べないこととし、自動電圧調整器の制御方式について説明することにする。図 3.11 は自動電圧調整装置の構成図で、高周波発電機 (HFG) は、主発電機回路に接続された専用トランスを電源として、誘導電動機 (M) により駆動されるようになっている。発電機が電圧を発生して、電動機電源が確立し、電圧継電器 (84M) が動作すれば、電動機用シャンク (52MR) を投入して HFG を起動させ、HFG は専用励磁機 (HFEx) より励磁されて電圧を発生する。HFG の電圧はそのまま、初段、および 2 段目の磁気増幅器と、電力磁気増幅器に与えられ、また、バイアス調整器 (Bias) を経てこれらにバイアス電圧を供給するとともに、定電圧装置 (CVD) を経て初段増幅器

触器 (41R) を自動投入して、自動電圧調整器を円滑に動作状態に入れている。90R は電動操作式とし、電圧平衡継電器により、その調整電圧値を変更して、発電機並列時の均圧動作を行なわせ、発電機負荷中の電圧の設定は配電盤より 90R を操作して行なうようになっている。またこの発電所の自動電圧調整器には、最大耐量形電流限定装置を付加してある。通常、自動電圧調整器は定電圧調整器であって、系統電圧を維持し、安定度を向上させる目的からは定電圧調整を行なうことが望ましいことは明らかであるが、発電機が有する調相容量だけでは、系統電圧を維持することは困難で、したがって、発電機に定電圧調整を施せば、当然、発電機を過熱事故に持ち込むことになる。一方、発電機保護の見地から、発電機電流が、定格電流以下の範囲では定電圧調整を行なわせ、発電機電流が定格値を超過すれば、発電機電流を定格電流となるよう自動電圧調整器の調整電圧を変更する電流限定方式では、系統電圧の確立に対する積極性が乏しい。発電機の耐量限度までは定電圧調整を行なって系統安定度の向上に寄与し、発電機電流がその耐量限度に達してはじめて発電機保護のために調整電圧を変更し、発電機電流を低下させる最大耐量形電流限定方式が、この発電所のように系統電圧維持の中心となるような大容量発電所に対してはもっとも適しているといえる。図の (57) は発電機の耐量限度において動作する電流継電器で、57 の動作により力率継電器 (55) の動作とあいまって、力率の進み、遅れにより 90R を上げまたは下げ方向に自動制御し、発電機を過熱事故から保護するようになっている。この電流限定装置は自動電圧調整器使用中にも簡単に使用、除外ができるものである。図 3.12 は界磁回路キューピクルで、右より自動電圧調整器

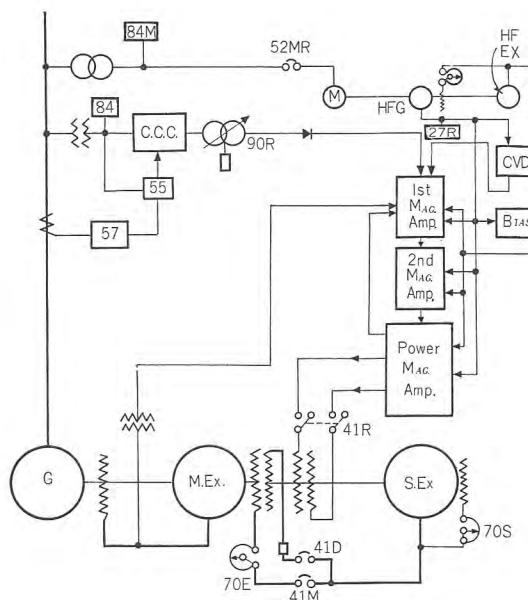


図 3.11 自動電圧調整器構成図

Fig. 3.11 Schematic diagram of automatic voltage regulator.

に直流定電圧を与え、電圧調整用单巻変圧器 (90R) を経て与えられる発電機整流電圧は、これと比較されて電力増幅器を制御する。一方発電機起動時には主励磁機界磁調整器 (70E) および 90R は、いずれも無負荷定格電圧位置においてあるため、主発電機の電圧確立 (84) および HFG の電圧確立 (27R) を条件に調整界磁用接

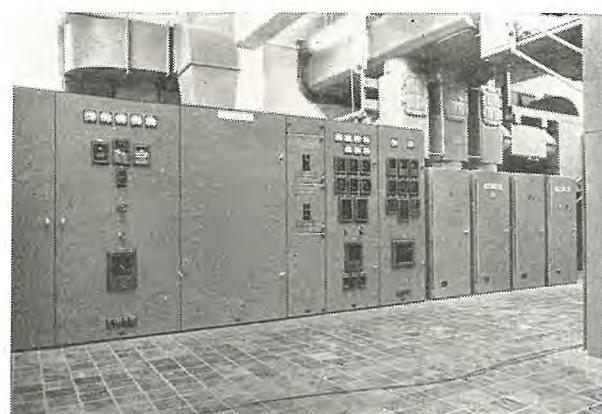


図 3.12 界磁回路キューピクル

Fig. 3.12 Excitation control cubicle.

キュービクル 2 面、界磁開閉器キュービクル、界磁調整器キュービクル、電動高周波発電機キュービクル各 1 面の 5 面で構成してある。

界磁調整器中に発生する抵抗損は最大約 10 kW に達するので、このキュービクルはファンにより強制通風を行ない、排気はエア・ダクトにより発電所建屋の外に導くようにした。ファンは界磁開閉器の投入により自動起動し、発電機が完全に停止した後に自動停止させて、界磁調整器中に残存する余熱も放出させるように考慮した。

(5) 発電機の消磁制御

発電機に事故が発生した時は、発電機電圧をできるだけ早く低下させ、かつ、その残留電圧をも打消すことが望ましい。この発電所では主励磁機に差動巻線を施し、まず主界磁開閉器 (41M) を開いて主励磁機を逆励磁し、発電機残留電圧を低下させた後に差動界磁開閉器 (41D) を開くようになっている。

(6) 主変圧器冷却装置

主変圧器は冬期の積雪を考慮して送油水冷式とし、3.75 kW の油循環ポンプ、常用 3 台、予備 3 台を設けてある。配電盤より油冷却器に冷却水を通ずれば同時に油循環ポンプが一括起動し、冷却水の停止とともにポンプも停止するようになっている。ポンプ用電動機の起動器は、油冷却器室上に設けたコントロールセンタに収納し、ポンプ個々の停止はコントロールセンタで電源スイッチを開いて行なうことができる。変圧器は水冷式であるので、循環油圧力をつねに冷却水圧より高く保ち、油中に水が絶対混入しないよう考慮するかたわら、差圧継電器を設けて油圧 - 水圧差の低下を警報するようになっている。

3.2 所内機運転制御装置

主機とほとんど同様であるので詳述することは省く、以下簡単に説明する。

(1) 所内水車用補機

つぎのものがある。

a. 圧油ポンプおよび潤滑油ポンプ

発電所を自動起動して試送電するためには、所内電源を確保する必要がある。このため所内機に対しては 26 kW の電動圧油ポンプと小水車駆動圧油ポンプとを設けており、かつ、潤滑油ポンプを圧油ポンプに直結して、水車、発電機の各軸受に潤滑油を強制循還させている。その制御方式は主機調速機用圧油ポンプと同様である。

運転制御装置と配電盤・清水・天藤・梅名

b. 返油ポンプ

0.2 kW の電動ポンプ 1 組があり、主機とまったく同様に自動制御される。

c. グリースポンプ

0.4 kW の電動ポンプ 1 組を図 3.13 に示すように所内機水車制御盤内に設けてある。発電所内巡回の際に手動起動させておけば、定められた箇所に給油し、給油が完了すれば自動停止するようになっている。

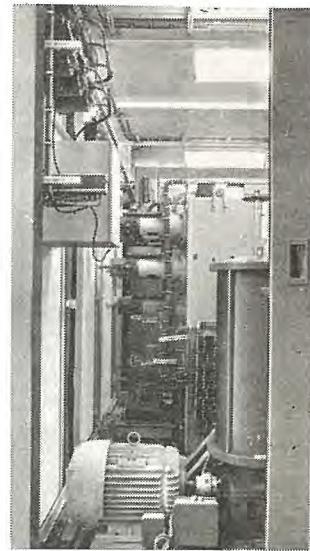


図 3.13 所内機グリースポンプ

Fig. 3.13 Grease pump set installed in house turbine control cubicle.

なお、これらの電動機の起動器は、所内機圧油コントロールセンタにまとめて所内機室に設置してある。

d. 冷却水

所内機用および雑用水用として設けた減圧水槽より取水することは主機と同様であるが、減圧水槽へは鉄管により取水する。取水量調節のため電動バルブが設けられ、配電盤よりバルブ開度を調整することも主機と同様である。

e. 自動ストレーナ

冷却水用として 2 組設けられ、主機と同様に制御される。

これらの操作用電動機の起動器も、一括して所内機給水コントロールセンタに取付け 3 号給水コントロールセンタに併置した。

f. 所内機制御補機盤

前記の補機類を制御する補助継電器類、混水検出継電器、ストレーナ用タイマなどのほか、後記する調速機の電源発電機、ペンジャラム電動機の励磁装置などを取付けたキュービクルで、所内機室に設置されている。図 3.14 はこのキュービクルの内部を示すものである。

(2) 調速機

新三菱重工製 A IV 形機械式調速機で、所内機水車制御盤に併置されている。調速機の電源発電機は複流式で、電源発電機およびペンジャラム電動機は水車起動前



図 3.14 所内機制御補機盤

Fig. 3.14 Control relay cubicle for auxiliary machine of house turbine.

に直流 110 V 蓄電池電源より励磁され、水車が起動して電源発電機が電圧を発生すれば、その直流出力により励磁されるようになっている。また、励磁電圧が低下すれば、ふたたび蓄電池電源より励磁され、しかもこれら励磁電源の切換えは重畳して行なわれるようになっている。図 3.15 は調速機キャビネットおよび水車制御盤を示すものである。

(3) 入口弁制御装置

所内水車は 2 号鉄管、3 号鉄管のいずれか一方からも、また両方から同時に取水することができるよう、入口弁は 2 組設けてある。配電盤には入口弁選択スイッチ (43-21H) が設けてあり、主幹制御器を主弁位置以降にすれば、43-21H により指定された入口弁が開くようになっている。また、水車運転中にも取水源の切換えがで

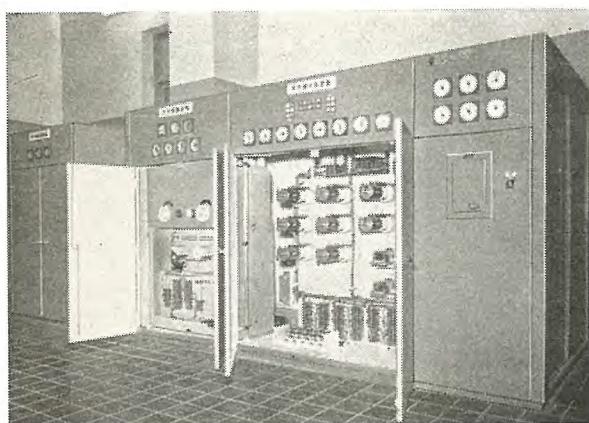


図 3.15 所内機調速機キャビネットと水車制御盤

Fig. 3.15 Governor cabinet and turbine control cubicle for house turbine.

き、たとえば、2 号鉄管より取水中に 43-21H を 3 号取水側に切換えたとすれば、まず 3 号入口弁を全開した後、2 号入口弁を全閉し、43-21H を 2, 3 号取水位置における両入口弁を全開して同時取水ができるようになっている。

(4) 自動電圧調整器

励磁機界磁抵抗器形として、速応性の高い SR 形自動電圧調整器を採用した。この自動電圧調整器は電圧応動要素により開閉される多数の接点群で界磁抵抗器の一部を短絡、開放し、励磁機電圧の変化を安定変圧器により負帰還して良好な調整特性を得ているものである。調整電圧は、電圧応動要素に直列に接続した抵抗器で変更することができ、所内機に対しては、この電圧調整抵抗器を電動操作として自動並列時の均圧動作を行なわせている。

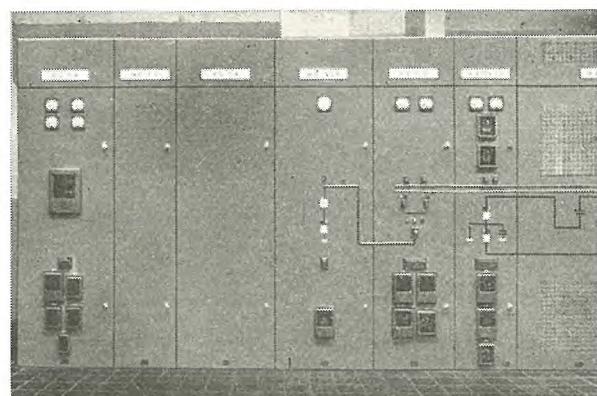


図 3.16 所内機界磁回路キューピクルと主回路キューピクル

Fig. 3.16 Excitation control and main circuit cubicles for house generator.

自動電圧調整器は図 3.16 に示すように界磁調整器キューピクルに取付け、界磁開閉器キューピクルとともに所内キューピクル室に設置した。

3.3 その他の制御装置

(1) 所内排水ポンプ

7.5 kW の立軸電動ポンプ 4 台があり、常用、予備各 1 台、非常用 2 台となっている。いずれもフロートスイッチにより自動制御され、起動器は所内排水コントロールセンタにまとめて 2 号給水コントロールセンタに並置した。常用、予備はコントロールセンタに取付けた切換スイッチにより選択することができる。

(2) 屋外開閉装置用コンプレッサ

275 kV シャ断器 7 台 (将来 9 台)、断路器 19 台 (将来 22 台) の操作勢力源として 7.5 kW の交流コンプレ

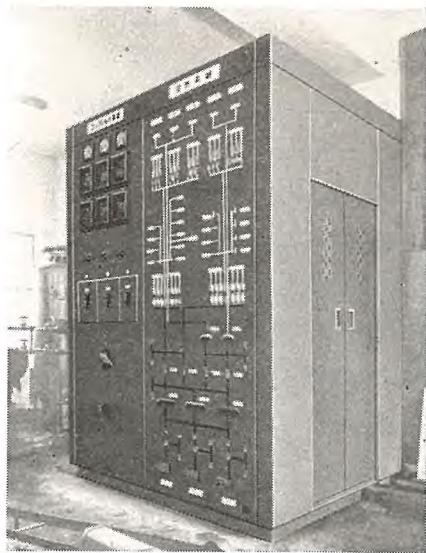


図 3.17 コンプレッサ制御盤と空気系統盤

Fig. 3.17 Air compressor control panel and graphic panel for compressed air system.

ッサ 2 台および 5.5 kW の直流用コンプレッサ 1 台が設けてある。交流コンプレッサは、常用、予備機で配電盤のスイッチにより常用機を選択することができる。いずれもエア・チャンバの気圧により自動制御され、気圧低下第 1 段で常用機が、気圧低下第 2 段で予備機が起動するほか、常用機故障の際には予備機に自動的に切換わるようになっている。

直流コンプレッサは非常用で、必要な時に現場で手動起動するものである。図 3.17 はコンプレッサ室に設けた制御盤と圧縮空気系統盤とを示すもので、系統盤にはシャーダー、断路器操作機構への配管、エア・チャンバ、ストップバルブ、減圧弁、排水弁、コンプレッサなどを模擬配置し、ストップバルブの開閉状態を表示することができる構造として、空気系統の状態を一目瞭然とさせた。

(3) 所内変圧器

前記したように、2,000 kVA 乾式所内変圧器には負荷時タップ切換器を設け、自動電圧調整器により、低圧側 3.3 kV を $\pm 10\%$ の間、11 段階にわたって電圧調整を行なわせた。自動電圧調整装置は所内変圧器キュービクル内に設け、配電盤よりその使用除外ができるほか、手動でタップ位置を設定できるように調整スイッチとタップ位置指示器を設けてある。また、キュービクル内にはファンとヒータとを設け、所内変圧器の高圧側が励磁されればファンが起動し、励磁がなくなればファンを止めヒータを入れるようになっている。

運転制御装置と配電盤・清水・天藤・梅名

(4) 所内高圧回路

所内発電機と所内変圧器とで構成される二重母線であるが、所内変圧器は 2 台のうち、いずれか 1 台しか母線に接続できないよう互鎖回路を設けてある。所内発電機と所内変圧器との受電切換えは無停電で行なうことをたてまえとし、所内発電機は、配電盤の主幹制御器により起動して所内母線に自動並列するようになっている。また、所内変圧器を所内母線に並列する際は、所内発電機の速度、電圧を手動調整すれば、自動的に同期検定のうえ並列にはいるようにした。さらに、所内電源を所内発電機でまかなっている場合に所内発電機に事故が発生すれば、1 号所内変圧器を優先的に、1 号機回路が休止中のときは 2 号所内変圧器よりただちに受電できるよう、自動切換回路を設けてある。

4. 配電盤

主盤、監視盤、所内盤、記録盤、継電器盤の 5 群で構成されている。

4.1 主盤

主機 3 台（将来 4 台）、送電線 3 回線（将来 4 回線）、送電線二重母線の監視制御を行なう計器、状態表示器、故障表示器、スイッチ類、および温度、水位測定装置を取り付けたもので、縮小ベンチボード形 8 面（うち 1 面は空盤）からなるものである。図 4.1 は主盤正面を示すもので、保守点検を容易にするため、制御机の傾斜面、直立面は簡単に開閉できる構造とした。主盤頂上には送電線 A 母線用、B 母線用同期検定装置を各 1 組設けた。発電機盤上の状態表示器には、各種起動条件の完結、補機類のうち重要なものの、ならびに調速機の運転状態、主機の制御進行状態などを表示した。とくに、入口弁は脇路弁の操作に約 20 秒、主弁の操作に約 250 秒を要する。

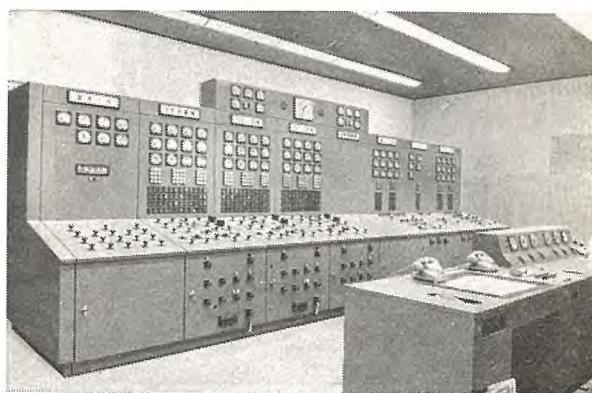


図 4.1 主盤

Fig. 4.1 Front view of main control panel.

ので、それぞれの開閉動作中は入口弁位置表示灯を点滅させ、しかも脇路弁と主弁とでは点滅周期をかえて、開閉動作進行状態に対する運転員の不安を除去した。また、送電線はキャリヤ・リレーにより高速度シャンク、単相、三相再閉路が行なわれる所以、送電盤には再閉路成功相を点滅表示し、あわせてキャリヤ・リレーの使用状態を表示した。温度水位盤には主機各台に1個ずつ、および所内機、所内変圧器関係に1個の温度指示計を取付けて整然とした計測が行なえるよう考慮し、また、直流電流計と電子管式回転子温度記録計に付属させた伝送装置とを組合わせて、主機各台の回転子温度を切換指示させた。放水路水位計には、2 cm の精度で 10 m の水位変化を指示する2要素セルシン式計器を使用し、貯水池水位の指示には、1 cm の精度で 87 m の水位変化を指示する反転式水位表示器を採用した。これは、水位を 10^3 , 10^2 , 10 , 1 位の各位にわけて、パルスにより送量するデジタル方式で、水位変化によるフロートの上下によりプーリに連結された4個(10³~1位の4ケタ)のカウンタ形スイッチを回転させる。カウンタ形スイッチは、円板の円周上に多数の接点を埋込んだもので、各接点に対応した継電器を設ければ、動作した継電器の組合せにより現在水位を知ることができる。この検出部は、水位変動のないときは休止状態にあり、カウンタ形スイッチの接触子は、當時、接点には接触せず、回転部の摩擦をできるだけ小さくして、確実に 1 cm の水位変化にプーリを応動させている。水位が 1 cm 変化すれば、電磁石により接觸子はカウンタ形スイッチの接点に接触し、水位を

測定してこれをパルス化したうえ送出し、水位表示器を動作させるものである。

制御電源としては、交流 100 V を整流して得た直流 48 V を使用し、電源停電中に水位が変化しても、電源が回復すれば装置を動作させて水位を測定し、つねに正しい水位を表示するようになっている。図4.2はこの水位表示器で、水位受信中は白色信号灯で表示し、装置に故障が起れば赤色信号灯で警報するようにしてある。また、制御机上の点検スイッチにより、受信側より装置を起動させて水位を測定し、現在指示を確かめることができるようになっている。この装置の送受信部間の連絡線は2本ですむので、送信部が遠距離(約 10 km まで)にあっても計測は可能である。主盤の名称盤は照光式とし、直流制御電源スイッチにより点灯させ、故障が発生すれば関係する盤の名称板を点滅させて、事故発生箇所を明了にした。主盤の裏面は扉とし、盤内には照明灯を設けてドア・スイッチにより点灯させ、盤内配線の点検を容易にした。扉にはその回線の積算電力計、積算無効電力計を取付け、母線盤扉には送電線4回線の最大指示



図 4.3 主盤裏面

Fig. 4.3 Rear view of main control panel.

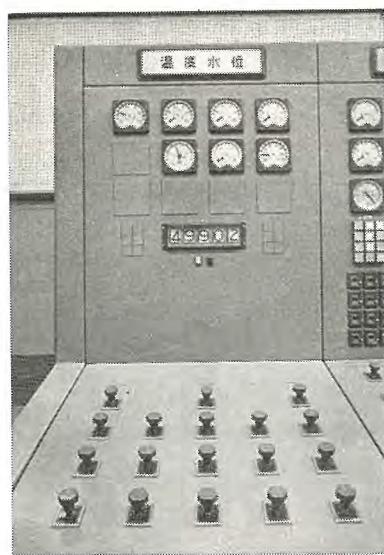


図 4.2 貯水池水位計

Fig. 4.2 Digital type water level indicator.

付電流計を取付けて、各相の短絡電流、接地電流値を計測できるようにした。図4.3は主盤の裏面を示すものである。

4.2 監視機

主任机、制御机、補助机の3組からなる鋼板製の机で、各机には埋込式電話機および電鍵盤を取付けてある。このほか、制御机には、送電線二重母線で並列運転する主機の総合負荷、総合速度、総合永久速度調定率の各設定抵抗器、および総合電力計を母線別に取付け、また母線の周波計、周波数監視時計を設けて発電所運営の一助とした。主任机には図面巻取装置を内蔵させ、日々の運転

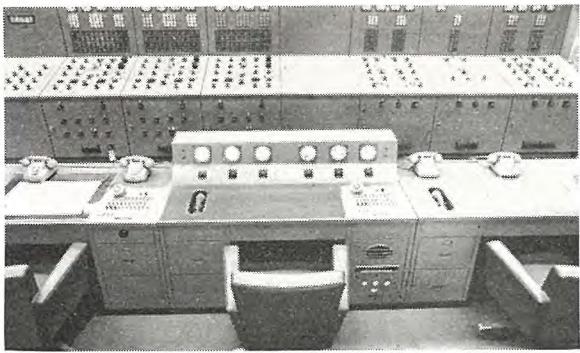


図 4.4 監 視 机
Fig. 4.4 Supervising desk.

に必要な図面をクロスに写して格納し、隨時、巻取り、巻もどしをして机上から見ることができるようにしてある。図面の走行速度は、スイッチにより 10 m/min-25 m/min の間に 3 段階に切換えることができる。図 4.4 はこの監視机を示すものである。

4.3 所 内 盤

所内発電機盤、所内変圧器盤、キ電線盤、所内盤、低圧盤、直流盤、整流器盤の 7 面からなる自立形片面直立盤で、盤名称板は主盤と同様に照光式とした。所内盤は、所内動力用高圧 4 回線、低圧 8 回線を監視制御するもので、低圧回線には、2.3 で述べた非常電源用切換シャンクを含めて 15 台の低圧シャンクが設けられており、常用シャンクと非常用シャンクとは互にインタロックされているから、これら 2 台のシャンクを 1 組として 1 個のスイッチで制御し、盤面の整理と操作の簡便をはかつてある。また、低圧回線の電流は S 相だけを切換えて測定するようになっている。低圧盤にはノーヒューズシャンクのほか、冷却水用電動バルブの開度調整スイッチと減圧水槽の水位計を取付けた。図 4.5 は所内盤を示すものである。

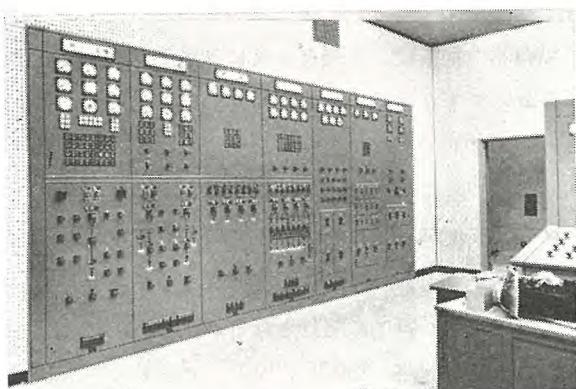


図 4.5 所 内 盤
Fig. 4.5 Auxiliary panel.

運転制御装置と配電盤・清水・天藤・梅名

4.4 記 録 盤

発電機記録盤 4 面（うち 1 面は空盤）、送電線記録盤 2 面、所内機記録盤 1 面の 7 面からなる自立形直立盤で、記録計はパルスモータ送りの電子管平衡式を採用した。

この記録計の記録紙は、記録幅を 120 mm にそろえ、記録紙送り穴の形状、ピッチ、スパンまで統一し、時間割線だけ施して目盛割線は設けず、読み取り用スケールを付属させてあるので、互換性があり、記録紙の購入、保管などが簡便になっている。また、故障記録計、および

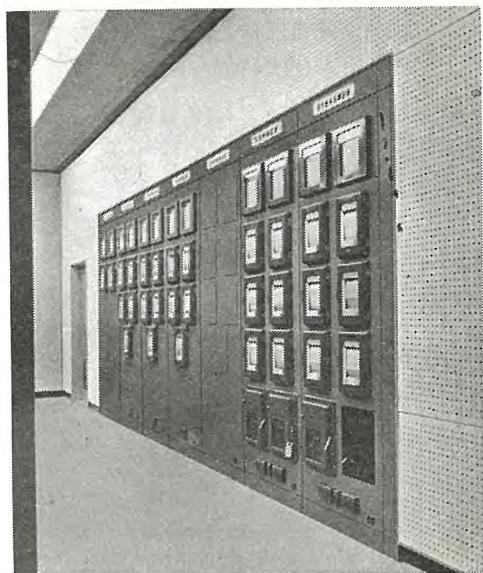


図 4.6 記 録 盤
Fig. 4.6 Recording panel.

補機運転記録計を設けて、事故のうち重要なものの発生、および圧油ポンプのローディング、自動ストレーナの動作、所内排水ポンプの運転などを記録させ、発電所の運転、保守の参考とした。図 4.6 は記録盤を示すものである。

4.5 継 電 器 盤

発電機継電器盤、自動制御盤 4 組（うち 1 組は空盤）、所内機継電器盤、所内機自動制御盤 1 組、母線継電器盤、自動同期盤 1 組、送電線補助継電器盤、所内機自動同期盤 1 組の 7 組からなる自立形両面盤で継電器盤室に設置されている。図 4.7 は継電器盤を示すもので、発電機継電器盤には回転計、発電機接地電圧計、主変圧器中性点電流計を最大指示付として取付けた。二重母線の保護には空心変成器と LC-2 形継電器との組合せによる最新の方式⁽²⁾を採用した。この方式は、空心変成器を使用するものであるから過渡的な過電流に対しても変成誤差がなく、確実で高速度保護ができる、しかも計器用変流器と

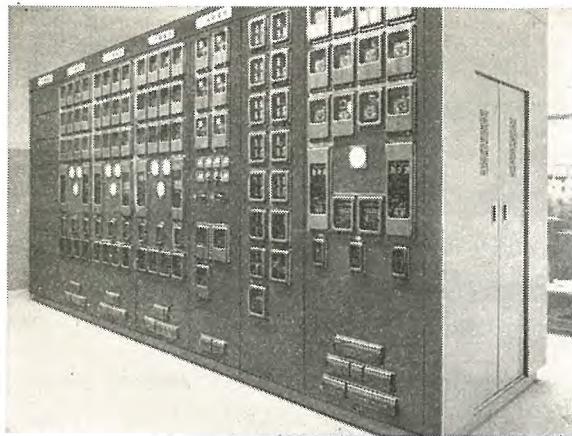


図 4.7 継電器盤
Fig. 4.7 Protective relay panel.

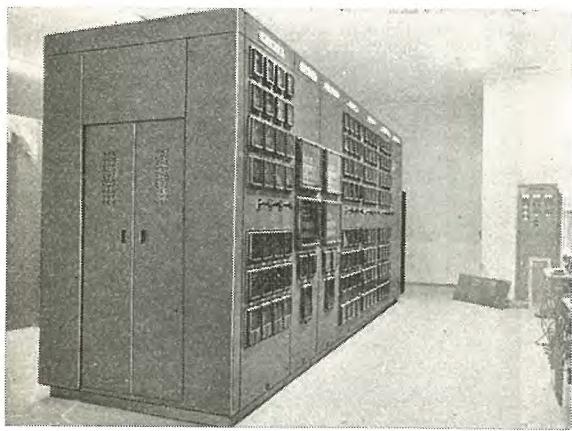


図 4.8 自動制御盤と自動同期盤
Fig. 4.8 Automatic control and synchronizing panel.

ことなりその二次回路は簡単に切換えることができるので、二重母線の保護にはもっとも適したものである。

送電線補助継電器盤には送電線の再閉路成功相を点滅表示するためのテレフォン・リレーを挿込形にして取付けてある。図 4.8 は自動制御盤、自動同期盤を示すもので、発電機の閉塞継電器の復帰は主幹制御器の位置に関連させてある。

これらの配電盤は、いずれも、引出用端子台と床下のケーブル処理室につり下げ、裏面配線はここまで直接配線して盤外制御ケーブルと接続するようにしてある。また、屋外変電所—配電盤室間の連絡ケーブルは長さ約300m となるので、屋外コンプレッサ室地下に図 4.9 に示すような中間端子台を設け、ケーブル処理室の配電盤端子台にも中継用端子台を備えて、両者の間を 19 心ケーブルで連絡して制御ケーブルの節約をはかり、屋外シャンク、断路器へはコンプレッサ室の中間端子台より、発電所へはケーブル処理室の端子台より配線した。なお、

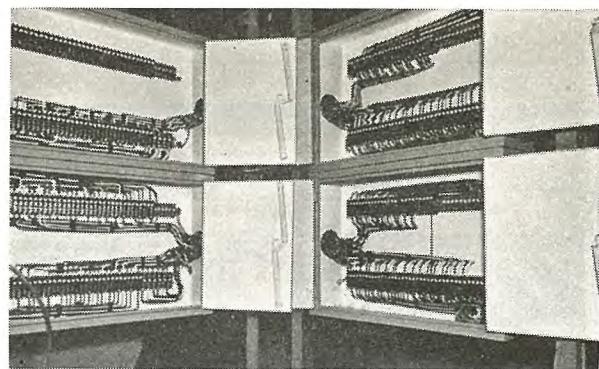


図 4.9 コンプレッサ室中間端子台
Fig. 4.9 Terminal boxes for cable connection.

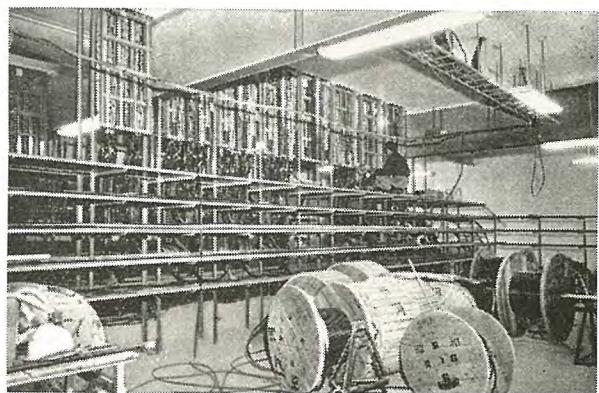


図 4.10 ケーブル処理室
Fig. 4.10 Cable arrangement.

直流制御回路用端子台には区分スイッチ付のものを使用し、直流制御回路に接地事故が発生した場合、接地箇所が容易に発見できるようにしてある。図 4.10 はケーブル処理室を示すものである。

5. 所内キュービクルおよび分電盤

近時、高級な火力発電所だけでなく、水力発電所の所内回路もほとんど近代的なメタルクラッド形配電盤、メタルエンクローズドキュービクルで占められてきた。なお、これら相互間または発電機、変圧器との連結は、従来、裸母線やケーブルによるものが多かったが、これら電気機器の配置は、主機とともに配電盤、所内変圧器などにおいても立体的に有効に行ない、その間を、いわゆるブスダクトで接続するが多くなった。これで所内回路だけでなく主回路においてもほぼ完璧なメタルエンクローズド化が行なわれ、確実で安全な電気回路が完成してきた。通常、回路は電圧により、または号機別による群に分けて個々に配置されるが、当発電所では、3kV 回路、400V 回路、200V 回路は、ノーヒューズシャンク断路器を収納した分電盤を除き、全部同一のキュービクル室内に一列に並置され、3kV 磁気シャンク断路器、400kVA 乾式

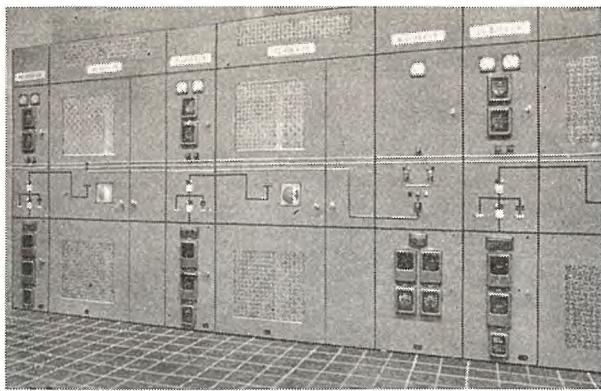


図 5.1 キュービクル前面
Fig. 5.1 Front view of cubicles.

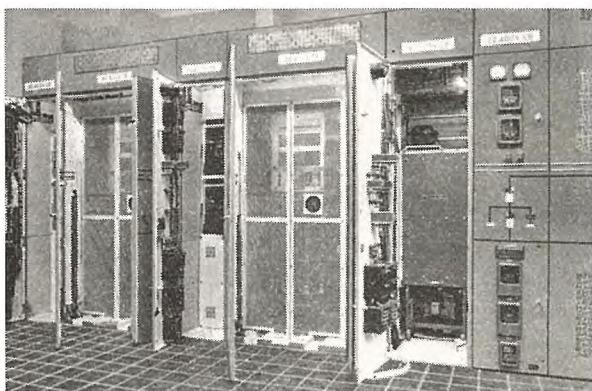


図 5.2 キュービクル内部
Fig. 5.2 Interior view of cubicles.

変圧器、低圧気中シャンク、中性点抵抗器、その他制御器具、計器継電器類をすべてコンパクトなキュービクルに収納した。そして、この群区分は電圧による横の区分でなく、系統による縦の区分としている。たとえば、図 5.1 に示すように、No. 2 群では No. 2・3 kV シャンクに隣接して、3 G・400 V 変圧器、3 G・400 V シャンク、4 G・400 V 変圧器、4 G・400 V シャンクを配置して形成されていて、しかも全部にわたって表面の体裁をそろえ、内部は変圧器キュービクルにおいても隣接のメタルクラッドキュービクルに準じて鎖錠を備え、安全な構造としている。図 5.2 はこのキュービクル群の内部を示したものである。

前述のように所内回路キュービクルは分電盤を除き、すべて一連のキュービクルに入れたため、キュービクルとしては非常に複雑なものとなったが、施設が簡単で、でき上がったところは非常にすっきりしていて使いやすいキュービクルとなっている。

ここでこのキュービクルの特長をあげると

- (1) 高圧回路の機器および低圧回路の機器の配置、および配線をコンパクトに行っていて、床上の占

運転制御装置と配電盤・清水・天藤・梅名

有面積も少なくてかつ床面の利用度がよく、したがって使用しやすく、かつ経済的である。

- (2) 各種シャンク、変圧器など主要機器は引出形にして簡単に点検ができる、また入換ができるように互換性をももたせてある。
- (3) 上記、引出形にしたことに対する、誤操作による危険をなくするための鎖錠装置を完備している。
- (4) 二重母線の切換用断路器としては、三極単投断路器を 2 個使用し、それぞれを電動操作とした。
- (5) 安全にはとくに留意し、高圧回路はメタルクラッド形とし、低圧回路においても、主回路と、比較的点検の多い盤面裏の補助回路とを分離し、補助回路の点検に前面扉を開いても、主回路は直接前に露出しない。またキュービクル全体にわたって前面扉に錠前を付している。
- (6) 前面には図 5.3 に示すように模擬母線を取付け、内蔵主回路を示すようにしてある。

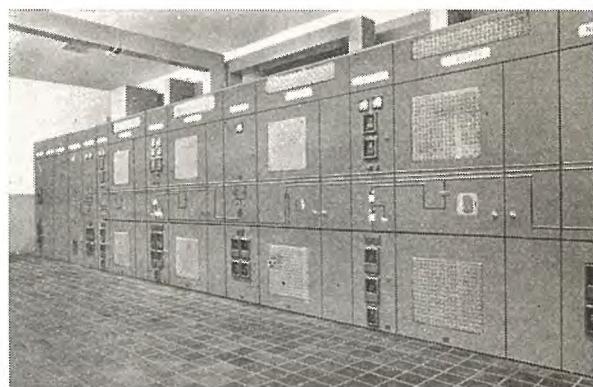


図 5.3 キュービクル前面
Fig. 5.3 Front view of cubicles.

つぎに各キュービクルについて略述する。

5.1 3 kV 回路キュービクル

図 5.4 は所内回路の構成を示すものである。3 kV 二重母線は全キュービクルにわたってマイカルタ絶縁を施し、おののを鋼板で隔離している。3 kV 回路キュービクルはすべてメタルクラッド形とし、CB 盤（シャンク盤）には 3-DH-20A 形磁気シャンクを収納しているが、この配電盤は次の機構を備えている。おもなものをあげると、

(1) シャンク着脱機構

シャンクは水平引出とし、断路位置以内は前面よりのハンドル操作により入れ出しが可能（主回路）二次（補助回路）の完全な接続を行なう。この機構は、図 5.5 に示す

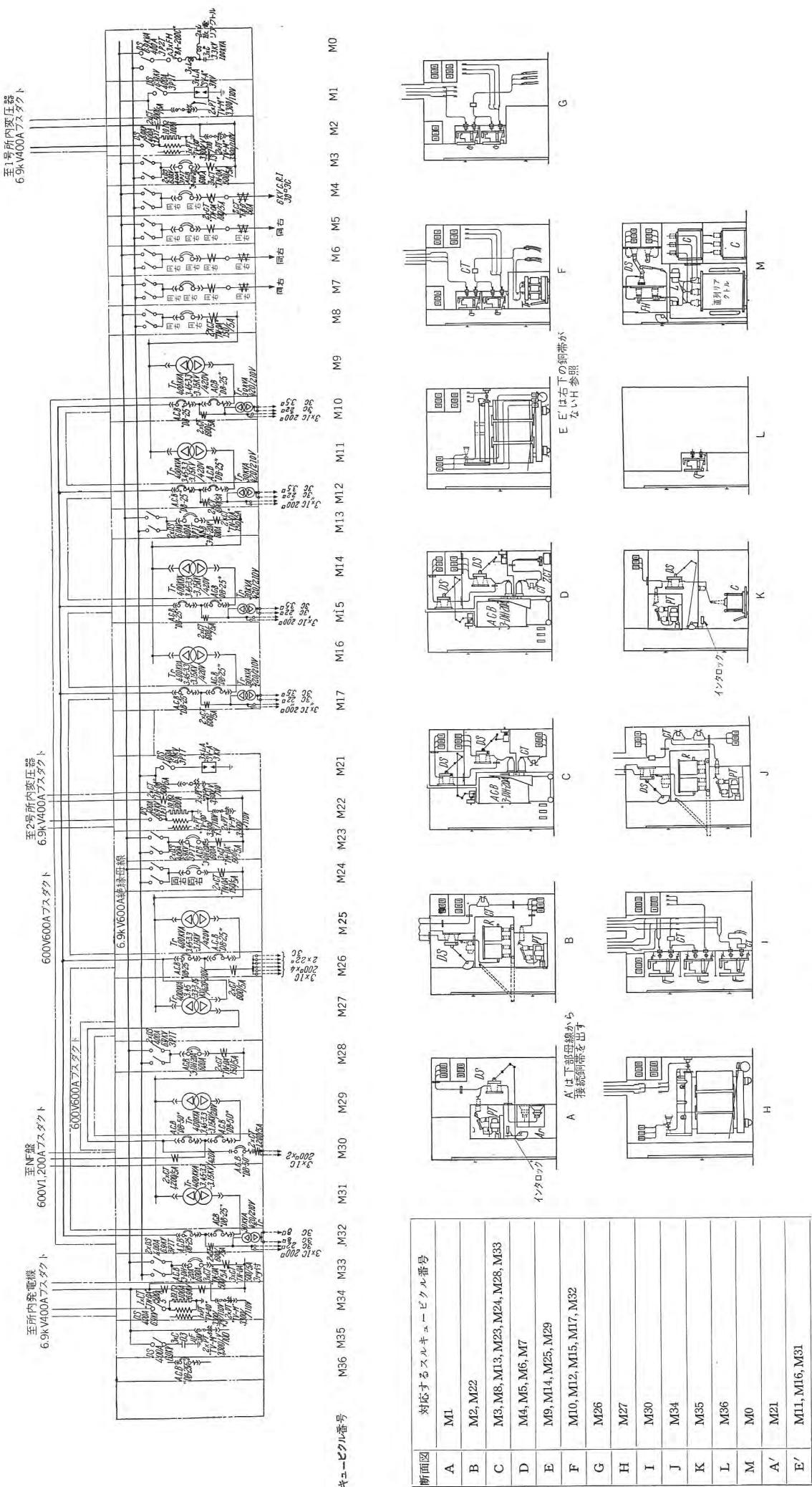


図 5.4 所内回路構成図およびキュービクル脚面路図

5

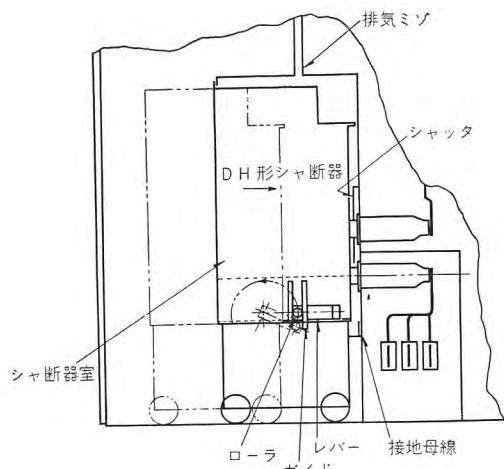


図 5.5 シャン断器着脱機構

Fig. 5.5 Loading mechanism for DH type C.B.

ように、外箱に取付けられたガイドにローラが当って止まると、ハンドルによりレバーを半回転することによりそれに取付けられたローラはガイドを押し、シャン断器自身を押し進めるものである。

(2) シャン断器着脱における鎖錠装置

シャン断器が閉のままで回路に着脱されると一次接触部が焼損するので、シャン断器はいかなる場合でも開状態で回路に装置されるよう、あるいは閉状態では回路から離脱できないように、もっとも確実な機械的鎖錠装置が付いている。

このキュービクルにおいては磁気シャン断器自体にこれを設け、図 5.6 に示すような機構になっていて、シャン断器がトリップしたときにだけ引出ハンドル用の回転ロッドのクラッチがかかって、シャン断器が閉のときにはクラッチがはずれてシャン断器のレバーが動作回転しないようになっている。

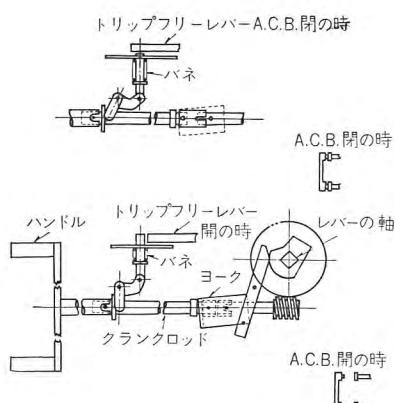


図 5.6 鎖錠装置

Fig. 5.6 Interlock mechanism.

運転制御装置と配電盤・清水・天藤・梅名

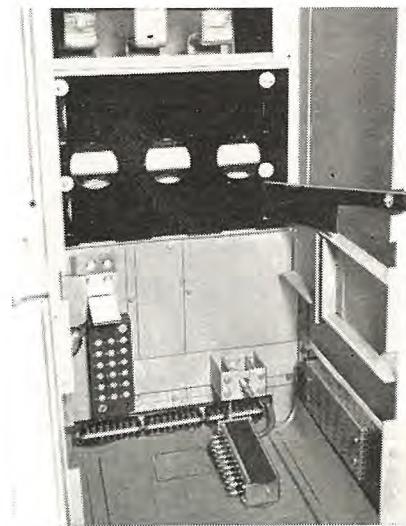


図 5.7 シャッタ

Fig. 5.7 Shutter.

(3) 一次接触部のシャッタ

図 5.7 はシャッタ部分を示すもので、シャッタ機構はシャン断器が完全に回路から離脱したときシャッタが閉じ、高圧側とシャン断器とをシャン断し不慮の災害を防止するもので、シャン断器が試験位置から所定の距離だけ進んだときに初めて開く機構となっている。

(4) 接地母線

メタルクラッド形配電盤には安全のため接地母線を設けて、各機器の接地はこれで行なっている。シャン断器は、それに取付けられたグランドシューにより接地し、シャン断器が高圧回路より安全距離に離れるまではシャン断器の非帶電部分を完全に接地するようになっている。

また BUS・PT 盤内には計器用変成器室が設けられている。

(5) 計器用変成器室

計器用変成器室は、変成器を高圧可溶器とともに載せた台車をヒンジ付扉に連動させた構造となっていて、扉をしめた状態では台車は奥にはいり高圧可溶器台に取付けられた一次接触子が、外箱の固定ガイシ上に設けられた接触片に接触して、変成器回路を形成しているが、扉を開くと台車が前進し、まず一次接触子が接触片から離れて変成器回路を断ち、ついで室の内側前上部に設けられた接地シューにより、変成器および高圧可溶器を完全に接地した後、変成器、高圧可溶器が手で触れる位置に出てくるようになっている。したがって、高圧可溶器の取換え、変成器の点検などの際にも、器具は、つねに安全な状態で露出するようになっているから、感電の恐れ

はまったくなくきわめて保守が容易である。また台車の非帶電部分は、二次接触部の両わきに設けられた接触片によって常時接地されている。

5.2 変圧器キュービクル

3 kV より 420 V または 210 V に降圧する 400 kVA 三相乾式変圧器 8 台は、おののの、上記メタルクラッド形キュービクルと同一の高さ、奥行のキュービクルに収納して並置し、体裁も上記キュービクルにそろえている。

このキュービクルの特長として備えた各種機構のおもなものをあげると、つぎのとおりである。

(1) 変圧器着脱機構

図 5.8 はこの機構を示す略図で、変圧器はキュービクル内に持ち込まれているが、一次、二次とも未接続の状態を示すものである。

変圧器が引込まれ、その台車に取付けられた遊び車が主動腕に当って止まった時、ハンドルによって操作軸を回すと、その回転力は小鎖車、チェーン、大鎖車、ウォーム歯車、ウォーム車を通してそれに直結された主軸に伝達される。主軸の回転力は、アームによってリンクを引き上げ、主動腕は 0 点を中心として前側に傾き、その鉤内に変圧器台車の遊び車が納まると同時に、主動腕に取付けられたピンは下がって、ガイドに切られた奥行方向のミゾにはいる。さらに操作軸を回すと、上述のようにして、主軸によってアームは回転し、主動腕はガイドに導かれて移動し、その鉤によって遊び車を通して変圧器を引込むものである。

(2) 変圧器着脱における鎖錠装置

上記のように変圧器端子と銅帶母線と接続は断路形になっているが、万一、負荷時はもちろん一次コイル励磁時でも、誤って変圧器を引出す場合は断路部を損傷し、

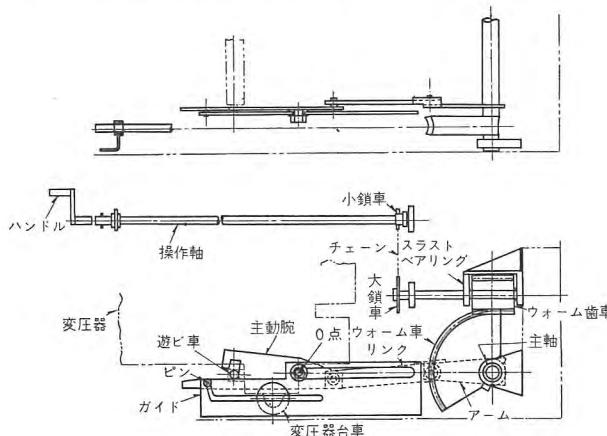


図 5.8 変圧器着脱機構

Fig. 5.8 Loading mechanism for transformer.



図 5.9 変圧器装着作業
Fig. 5.9 Loading with transformer.

大なる事故を引起する原因になる。このような万一の誤操作に備えてこの鎖錠装置をつけている。これは、変圧器を引出そうとして変圧器手前の金網をはずせば、リミットスイッチの接点を閉じ、一次側シャ断器を引はずすものである。

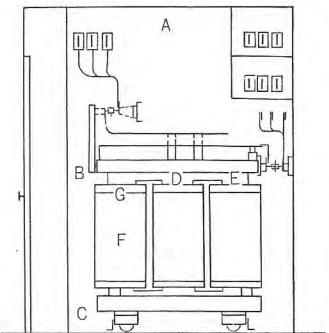
この変圧器キュービクルでは、変圧器の冷却は自然空冷によっている。図 5.10 は温度上昇試験の各部最終温度上昇値を示す。

5.3 低圧回路キュービクル

このキュービクルは、前面は、上記 3 kV 回路と同様に前面扉を付して計器、繼電器類を取付け、内部には、DB-25 形気中シャ断器または DB-50 形気中シャ断器を、2 ないし 3 収納している。いずれも、前面扉を開いて、前より、主回路に触れる心配なく着脱できるようになっている。このキュービクルに備えているおもな機構の概略を説明すると、つぎのとおりである。

(1) シャ断器着脱機構

図 5.11 に DB-50 形気中シャ断器の着脱機構を示す。



A	箱内上部空間	15°C
B	同上中部空間	7°C
C	同上下部空間	1°C
D	中部 鉄 心	62°C
E	後部 鉄 心	57°C
F	前部一次コイル	36°C
G	同上二次コイル	31°C
	箱外温度	14°C

図 5.10 変圧器キュービクル
温度上昇
Fig. 5.10 Temperature rises
in transformer cubicle.

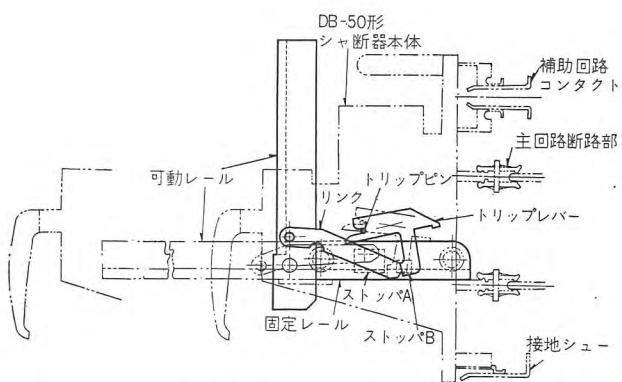


図 5.11 シャ断器着脱機構

Fig. 5.11 Loading mechanism for DB-50 type C.B.

可動レール上に乗せられたシャ断器を押入ると、シャ断器本体に取付けられたストップ A が、可動レールに取付けられたリンク先端に当って止まる。この位置がいわゆる試験位置で、主回路は完全に断路されているが、補助回路は接続されている。続いて、可動レールを持ち上げ立てるとき、リンクの先端はストップ A および B の間にいり、トリップレバーを押してトリップピンを図の位置にまで押し下げるとともに主回路断路部を閉路してシャ断器の装着を完了するようになっている。図 5.11 はシャ断器が装着された状態を示すものである。

(2) シャ断器着脱における鎖錠装置

DB-50 形気中シャ断器に対する上記の装置を、図 5.11 について説明すれば次のとおりである。

万一シャ断器を閉のまま装着しようとすれば、トリップレバーによりトリップピンがはね上げられて、シャ断器は開路する。そして、シャ断器が完全に装着されると、リンクの先端に押されたトリップレバーはトリップピンを押し下げる。この時、シャ断器は開閉可能となる。また誤って、シャ断器を閉路したまま引き出そうとして可動レールを降ろせば、リンク先端は引出されるので、トリップレバーは自分のバネによりトリップピンを押し上げてシャ断器を開路させるようになっている。

5.4 分電盤

(1) 所内キュービクル室分電盤

所内離動力、所内照明、発電機、乾式変圧器防湿用ヒータ、および交流制御電源をうるためのもので、400 V 盤、100 V 盤各 1 面、200 V 盤 4 面の 6 面からなる閉鎖形自立盤とし、所内キュービクル室に設置してある。200 V 回路は前記の低圧回路キュービクルとブスダクトで接続し、100 V 回路は図 5.12 に示すように、分電盤内に 20 kVA、210/105 V 単相乾式変圧器を設けて、

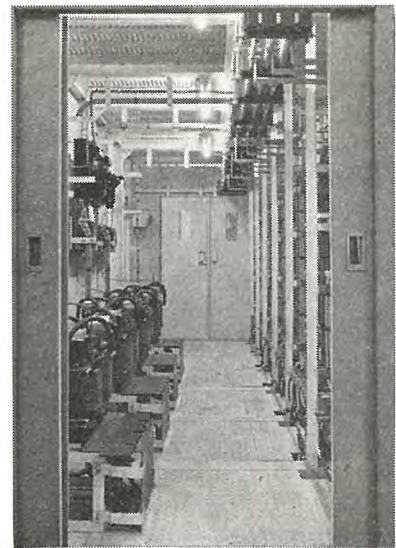


図 5.12 所内キュービクル室分電盤内部

Fig. 5.12 Interior view of distribution panel for house service.

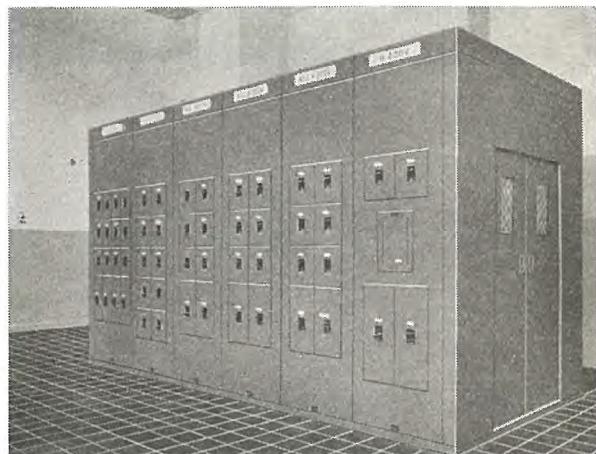


図 5.13 所内キュービクル室分電盤

Fig. 5.13 Distribution panel for house service.

これを電源とした。ノーヒューズシャ断器からの引出用端子台は、盤内下部に設けてケーブルの接続を容易に行なえるようにするとともに、端子台からシャ断器端子までは、盤内側面にフレームを設けてこれにクリート配線し、母線は短絡電流に対する強度を十分もたせて盤内上部に配置し、点検のやりやすいように考慮した。図 5.13 はこの分電盤を示すものである。

(2) 屋外コンプレッサ室分電盤

屋外コンプレッサ室には 3.3 に記載したコンプレッサ制御盤、空気系統盤以外に、電灯、電熱用分電盤 3 面を母線補助絶電器盤とともに設置した。分電盤は屋外シャ断器、断路器、計器用変成器の除雪および油タンクの保温に使用されるヒータ電源、ならびに屋外鉄構の夜間照明電源となるもので、前記の所内 3 kV キュービクル

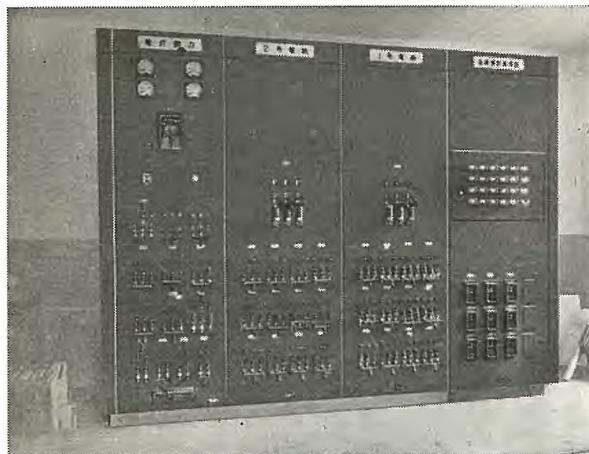


図 5.14 コンプレッサ室分電盤

Fig. 5.14 Distribution panel.

からコンプレッサ室へ高圧線を引込み、150 kVA, 3.3 kV/210-105 V 三相油入変圧器により降圧して使用している。母線補助継電器盤には、断路器の使用状態により空心変成器の二次回路を切換える挿込形テレフォン・リレーが取付けてある。空心変成器はシャ断器ブッシング

に取付けてあるため、断路器により、その回線が接続されている母線を切換えた場合には、これに応じて、空心変成器二次回路も対応する母線保護継電器に接続換えするためである。図 5.14 はこの分電盤を示すものである。

6. む す び

以上述べた運転制御装置ならび配電盤開閉装置は、主機とともに当社の画期的な製品であって、今後、このような主要発電所の設計基準の一つとなるものである。

参 考 文 献

- (1) 尾畠: 水力発電所制御方式の 2, 3 「三菱電機」 28, No. 10 (1953) p. 475
- (2) 森: 空心変成器による母線保護方式 「三菱電機」 33, No. 5 (1959) p. 631
- (3) 吉野・蟹江・梶田: NC 形コントロールセンタ 「三菱電機」 29, No. 12 (1955) p. 678
蟹江・町野: 水力発電所におけるコントロールセンタ 「三菱電機」 32, No. 3 (1958) p. 295



特 許 と 新 案

光沢青化銅メッキ液

発明者 立原芳彦・秦 卓也・鬼塚正浩

青化銅、青化ソーダ、および光沢付与添加剤（たとえば亜セレン酸ソーダなどからなる光沢青化銅メッキ浴中に一価の銅を酸化して、二価の銅に変える作用のある酸化性不純物があれば、二価の銅イオンが生成され、それだけ青化錯陰イオンを形成することができないので、酸化された量だけ、単独の銅イオン (Cu^{+++}) として浴中に存在する。

したがって、解離度が高く、陰極付近の単独銅イオン濃度が大きくなり、金属結晶核の新生が少なく、かつ結晶の生長が早くなつて、メッキ面の光沢度をいちじるしく阻害する。

この発明は、メッキ液中に、マンデル酸 (CH_3COOH) もしくはその塩を単独、またはいっしょに添加し、上記酸化性不純物の有害作用を抑制して、メッキ面の光沢度を増すとともに、液の寿命を延ばそうとするものである。

実験によれば、つぎのようにその効果はきわめて顕著であった。すなわち、青化銅 60 g/l、青化ソーダ 70 g/l、亜セレン酸ソーダ 0.5 g/l、マンデル酸 10 g/l のメッキ液をつくり、液温 70~75°C、電流密度 3 A/dm²、P.H 12.6 の条件で、小ネジ類をメッキしたところ、不純物としていちばん蓄積されやすいと考えられる赤血塩の形の鉄 16 g/l、または食塩 35 g/l を上記メッキ液中に添加しても、なお、メッキ面の光沢はきわめて良好で、マンデル酸の代りにそれとほぼ同様の働きがあるロッセル塩を 50 g/l 加え、同一条件で同一物をメッキする場合、上記の形の鉄 8 g/l、または食塩 7 g/l 以上添加するとメッキ面の光沢が失われるのに比べれば不純物の有害作用を抑制する力はきわめて大である。

(特許第 248060 号) (鈴木記)

磁 氣 增 幅 器 形 自 動 電 圧 調 整 器

神戸製作所 新 谷 保 次*

Magnetic Amplifier Type Automatic Voltage Regulator

Kobe Works Yasuji SHINTANI

For large capacity AC generators have been used Tirrill type or rheostatic voltage regulators. They are a kind of voltage relays with mechanical moving parts or contacts and some drawbacks of dead band are unavoidable from the standpoint of construction and principle. In 1953, a continuous proportional control system by the use of a rotating type amplifier was developed by Mitsubishi, but this is also using a rotating machine as a part of the amplifier and needs maintenance and inspection of its commutator. Static automatic voltage regulators employing a magnetic amplifier on the amplifier circuit, however, are of the latest development of Mitsubishi and several units have been delivered to steam power station with success. Now much larger ones of the kind have been built for Tagokura Power Station with many outstanding features and are believed to be the best in the market.

1. まえがき

従来大容量交流発電機の自動電圧調整器としては、チリル式あるいは、励磁機抵抗器形など、一種の電圧継電器によるものが使用されてきた。しかしながらこれらは機械的可動部や接点をもっており、構造、原理上若干の不感幅をもっていた。当社では1953年回転形増幅器を使用した連続比例制御方式を開発したが、この方式も回転機を増幅器の一部として使用しており完全な静止形とはいはず、整流子の保守点検などの必要性は避けられなかった。これに対し全増幅回路に磁気増幅器を採用した静止形自動電圧調整器を開発しすでに火力発電所に5台納入したが今回田子倉発電所向けとしてさらに大容量のものを製作したので、これらの概要を紹介する。

2. 回路方式の概要

田子倉発電所に納入した磁気増幅器形自動電圧調整器(以下AVRと称す)は他励分巻励磁機と組合わせて使用した。図2.1のように、主励磁機に強磁界磁(BS)、減磁界磁(BC)、他励界磁(MF)および差動界磁(DF)を設け、MFおよびDFは副励磁機により励磁を与え、電動主界磁調整器(RH)により、負の励磁から正の最大励磁まで広範囲に励磁を調整することができる。

自動電圧調整を行なうには、RHを操作してMFに必要な基礎励磁だけを与え、BS、BCの調整界磁を、出力磁気増幅器により励磁し、その界磁電流を急速に応動変化させることにより、精密な自動電圧調整を行なうことができる。

発電機の端子電圧は電圧調整変圧器を経て初段磁気増幅器に加え、電圧変化を増幅し、さらに後段磁気増幅器および、出力磁気増幅器で増幅してBS、BCの界磁電流を変化させる。

磁気増幅器の電源としては、400 c/s または 420 c/s の高周波発電機を使用し、磁気増幅器の速応性を高くしている。

序に火力発電所用の AVR としては、自励分巻励磁機と組合わせて使用する方式を採用しているが AVR の回路は上記と同一である。

2.1 基準定電圧回路

AVR の基準となる定電圧は、角ヒステリシスループの鉄心を応用した静止形定電圧回路を採用し、高周波電源より常時 $\pm 0.1\%$ の精度の直流定電圧を得ており、電源の周波数が 80 % ないし 130 % に変動しても、その誤差を 2 % 以内に保つ周波数補償装置が設けてある。

図2.2は定電圧回路の一部で角ヒステリシス特性の鉄心 SL に一次、および二次巻線を施し入力側の最低電

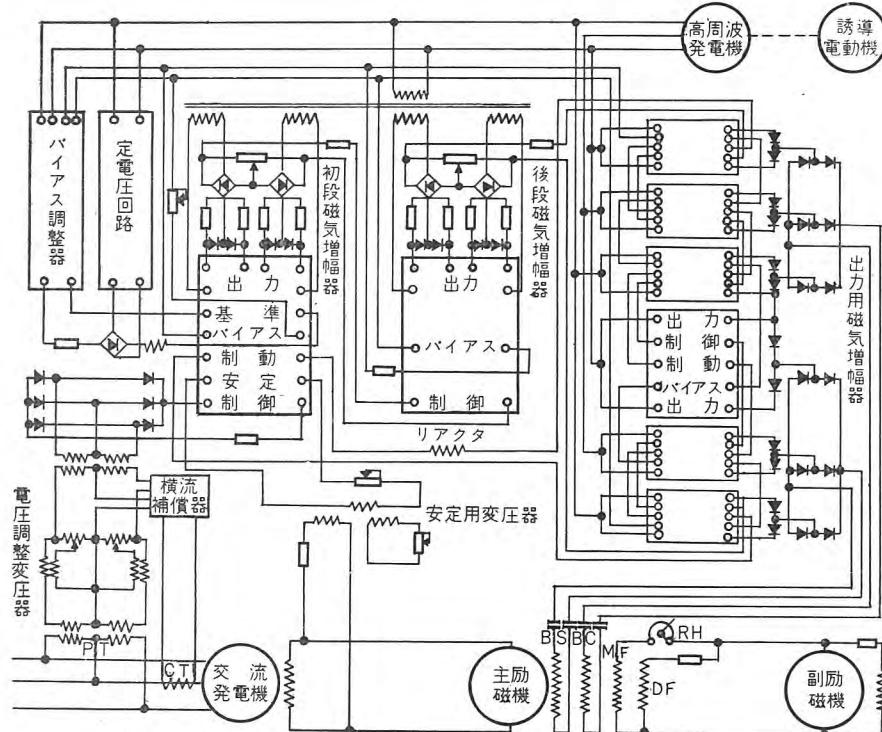


図 2.1 AVR 回路

Fig. 2.1 Automatic voltage regulator circuit.

圧以下で SL が十分飽和するように一次巻線数が選定してある。したがって鉄心の断面積を A (cm^2)、飽和磁束密度を B_s (ガウス) 二次巻数を N_2 とすれば二次電圧は

$$V_s = 4.44 f N_2 B_s \times 10^{-8} \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

となり、一次電圧が B_s の飽和限界以上であるばあいは一次電圧には無関係に二次巻線に誘起される V_s は一定となる。しかし式 (2.1) でわかるように V_s は、入力周波数 f に比例して変化するので、出力側にインダクタ L を接続して、周波数変化を補償した。入力側の抵抗 R は、鉄心が飽和したばあいの最大電流を制限するためのものであり、実際の回路では図 2.2 のような回路 2 組を直列に接続して、精度の向上を計っている。

この直流定電圧はセレン整流器を経て、初段磁気増幅器の基準巻線、および各磁気増幅器のバイアス巻線に定電圧を供給するバイアス調整用磁気増幅器の基準巻線に与えられている。

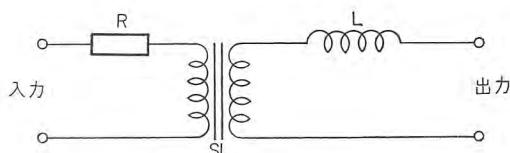


図 2.2 定電圧回路

Fig. 2.2 Reference voltage circuit.

2.2 電圧調整用磁気増幅器

電圧調整用磁気増幅器はプッシュプル 2 段の磁気増幅器より成り、上記基準電圧と発電機端子電圧との差を検出、増幅する。

磁気増幅器はいずれも単相自己飽和形で当社世田谷工場で製造しているハイパーロイー 0 を使用している。自己飽和方式の磁気増幅器では自己飽和用整流器の特性が、その回路の特性に大きく影響するので、図 2.1 に示すように各自己飽和用整流器と並列に抵抗を接続し、整流器特性変化の回路特性に対する影響が小さくなるよう考慮してある。

もちろん並列抵抗の接続によ

って磁気増幅器の増幅率は抵抗を接続しない場合に比して減少するが、2 段磁気増幅器の採用によって、必要な増幅率は十分得られ、しかもその特性は長期間にわたり安定したものが得られる特長がある。

初段磁気増幅器は 4 個の可飽和リアクトルを組合わせた磁気増幅器で、巻鉄心に出力交流巻線を施したものを作り積み重ね、4 個の鉄心をとおって、基準巻線、バイ

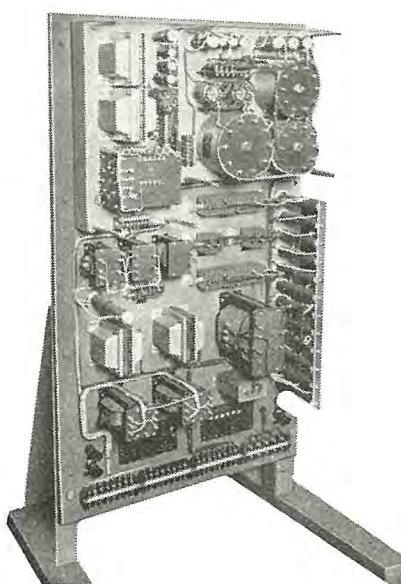


図 2.3 電圧調整用磁気増幅器盤

Fig. 2.3 Voltage regulator panel.

アス巻線、制動巻線、安定巻線、および制御巻線の5種類の直流制御巻線が巻いてある。

後段磁気増幅器は2個の可飽和リアクトルを組合わせた磁気増幅器、2組より成り直流制御巻線はバイアス巻線、および制御巻線の2種あり上記初段磁気増幅器の出力を増幅する。

これらの磁気増幅器は基準定電圧回路、安定変圧器およびテストスイッチなどとともに図2.3のようなパネルに組み立てている。

2.3 出力磁気増幅器

出力磁気増幅器は、BS 界磁用およびBC 界磁用と、独立した三相磁気増幅器を2組使用している。これらの制御巻線は上記電圧調整用磁気増幅器出力により励磁される。各出力磁気増幅器は2個の鉄心を使用した単相可飽和リアクトル3組を一つのケースに納めてあり、構造は前記後段磁気増幅器と同様なものであるが、直流巻線には、き還用の制動巻線が施してある。

出力磁気増幅器は5kWと12.5kWの2種類を標準化しており、図2.4は5kWのものを示す。

2.4 安定回路

AVRの速応性と安定性をうるために二つの安定回路が設けられている。図2.1に示すように一つは励磁機電圧の変化分を安定変圧器を経て、他の一つは出力磁気増幅器の磁束変化による電圧変化分をリアクトルを経てそれぞれ初段磁気増幅器に、き還している。

安定変圧器は二次巻線の一部に抵抗を接続し、その抵抗値を調整することにより広範囲にそのき還特性を調整することができる。

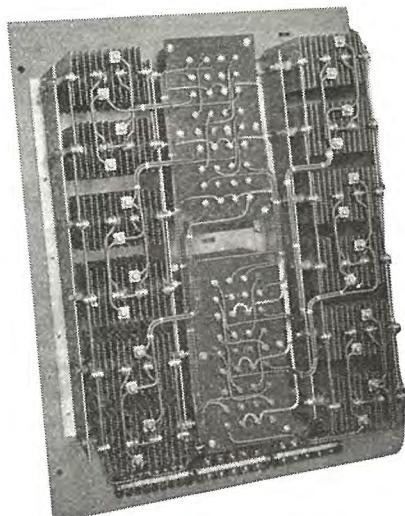


図 2.4 出力磁気増幅器盤
Fig. 2.4 Power amplifier panel.

磁気増幅器形自動電圧調整器・新谷

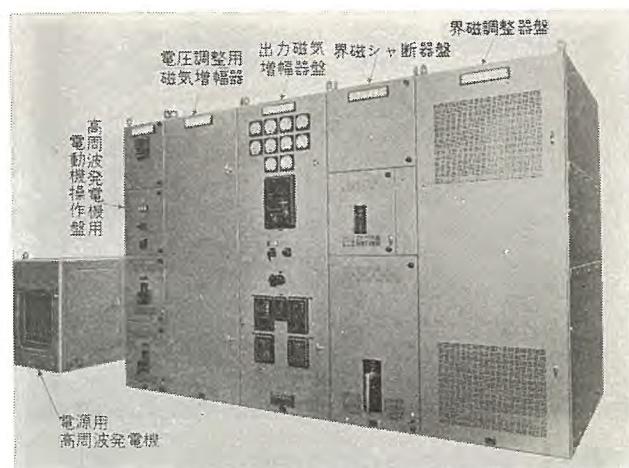


図 2.5 中国電力新宇部火力発電所納め磁気増幅器形自動電圧調整器

Fig. 2.5 Voltage regulation cubicle.

2.5 電圧調整変圧器

AVRの調整電圧を広範囲に調整するために2個の補助変圧器（電圧調整範囲設定用）および二連単巻変圧器を使用し、単巻変圧器はこれを電動操作とし、自動的に調整電圧を移行させて、自動電流制限、自動電圧平衡などを可能にさせている。従来の抵抗器による方式に比べて、調整電圧によりPTの負担が変わることなく、また負担容量も小さくできる特長がある。

これらの各装置は図2.5または図2.6のように電圧調整用磁気増幅器盤と出力磁気増幅器盤の二つのキューピクル内に取付け、界磁調整器盤、界磁シャン断器盤などと並べてすえ付けられる。

図2.7は磁気増幅器の電源となる5kVA高周波発電機セットで、駆動用誘導電動機および励磁機を直結しキューピクル内に収納したものである。

3. 試験結果

田子倉発電所用水車発電機に使用したAVRは、出力12.5kW、220Vのもので図3.1は、初段磁気増幅器入力電流—出力磁気増幅器電圧の総合特性を示したもので、非常にすぐれた増幅特性を示している。また電源として高周波電源を使用しているためその総合時定数は0.03秒以下である。

図3.2および図3.3は10,500kVA水車発電機の工場試験におけるオシログラムで、それぞれ設定電圧を25%変化させて、応答特性を測定したものである。いずれも約2秒で発電機電圧は設定値に達しており、4秒以内に整定している。

図3.4は田子倉発電所現地試験のオシログラムで1/2

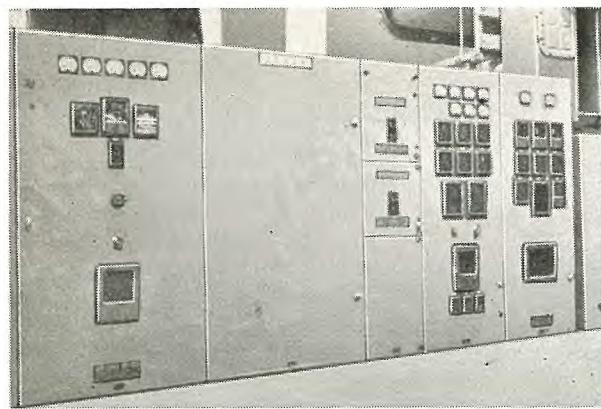


図 2.6 電源開発田子倉発電所納め磁気増幅器形自動電圧調整器盤

Fig. 2.6 Magnetic amplifier type automatic voltage regulator panel.

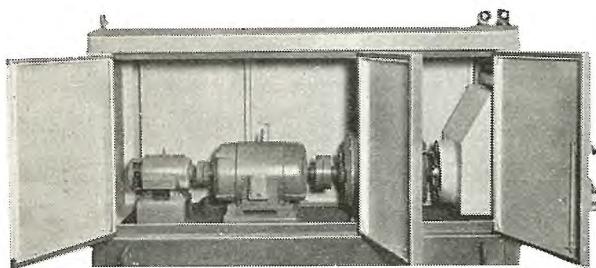


図 2.7 高周波発電機セット

Fig. 2.7 High frequency M-G set.

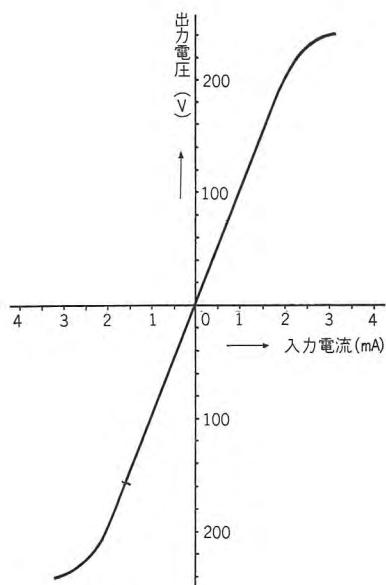


図 3.1 AVR の総合特性

Fig. 3.1 Combined characteristic of AVR.

定格負荷をシャンクしたものである。水車の速度上昇を含み、発電機の電圧上昇は 6.8 % に抑えられ、2 秒以内に定格電圧に復帰している。

図で見られるように、励磁機電圧の変化が非常に速く従来の回転形増幅器に比して

AVR の速応性がはるかにすぐれていることが証明できた。

図 3.5 は中国電力新宇部発電所における全負荷シャンク試験のオシログラムで、主要機器の概要は次のとおりである。

交流発電機	78,000 kW	13.8 kV
	0.85 PF	3,600 rpm
主励磁機	280 kW	375 V
AVR	5 kW	110 V

このばあい、電圧上昇は 10 % で 1.5 秒で定格電圧に回復している。

4. 磁気増幅器形 AVR の特長

(1) 調整精度が高い

三段の磁気増幅器を使用し十分な増幅率をもっているので、制御偏差は $\pm 0.5\%$ 以下になっている。

(2) 応答度および安定度が高い

磁気増幅器の電源として、高周波を使用しているため応答度はきわめて高く、また 2 系統の安定回路を使用し

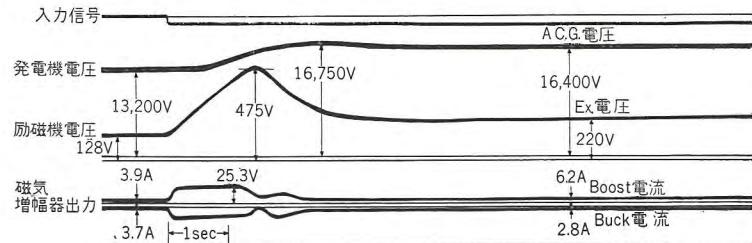


図 3.2 AVR のインディシャル応答試験

Fig. 3.2 Indicial response test.

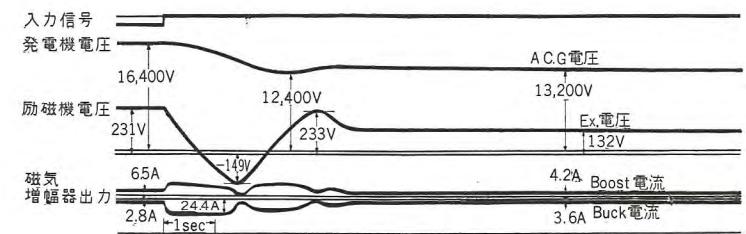


図 3.3 AVR のインディシャル応答試験

Fig. 3.3 Indicial response test.

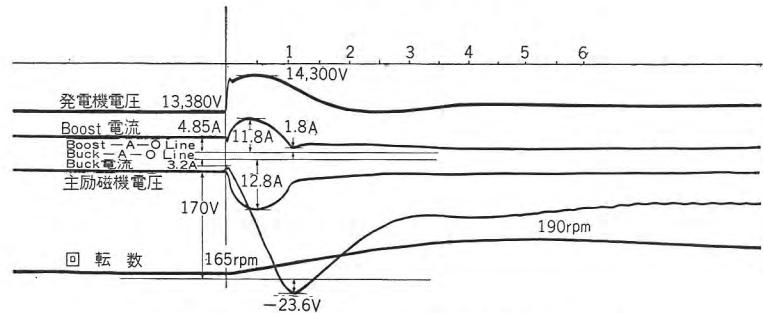


図 3.4 田子倉発電所における負荷シャンク試験

Fig. 3.4 Governor test at Tagokura power station.

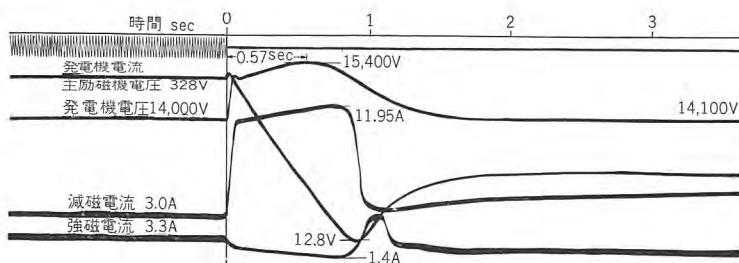


図 3.5 中国電力新宇部発電所における全負荷シャンク試験
Fig. 3.5 Full load governor test at Shin-Ube power station.

ているので、制御は非常に安定である。

(3) 周波数変動、温度変化の影響が小さい

前述のとおり、特別な定電圧回路を使用しており、また各磁気増幅器はプッシュプル接続になっているため、広範囲の周波数変動に対してその影響を受けず 50c/s および 60 % に共用できる。また磁気増幅器の自己飽和回路に並列抵抗を接続したため、整流器の経年変化、温度

変化による影響をほとんど受けない。

(4) 保守点検が容易である

全回路が静止機器で構成されており、接点などの損耗部品がないので、長期間にわたり保守、点検にすべてに手を要しない。

5. む す び

以上、磁気増幅器形 AVR についてその概要を紹介したが、この方式は現段階においてはもっともすぐれたものであると確信している。将来大容量発電機に対しても、自励複巻方式の採用、あるいは制御素子付シリコン整流器の発達に応じて、増幅器要素にこれらを応用した新方式も、実現できるものと予想される。これらに対しても基礎研究を始めている。

===== 最近登録された当社の特許および実用新案 =====

区別	名 称	特許または登録日	特許または登録番号	発明考案者	所属場所
新案	噴流式電気洗たく機の回転翼車	34-4-15	492510	奥田文一・東邦弘・武井久夫	名古屋
"	扉の鎖錠装置	"	492511	境正昭	長崎
"	第三軌条集電装置	"	492512	管田恵之助	伊丹
"	電動揚貨機の操作把手装置	34-4-16	592654	吉川広	長崎
"	ケーブルベット	"	492655	上原利夫	福岡
"	電気湯沸かし	"	492656	野畠昭夫・伊藤謙寿	名古屋
"	電気弁整流装置の失弧保護装置	34-4-28	493294	阿部久康	研究所
"	車両用変圧器トウ管	"	493295	沖本邦夫	伊丹
特許	硫酸塩系ケイ光体	34-5-23	252145	井手平三郎・栗津健三	大船・研究所
"	ケイ光物質	"	252145	松永数	"
新案	タップ切換器を有する変圧器	34-5-7	493491	井手平三郎	大船
"	半導体整流装置	"	493492	米沢輝雄	伊丹
"	移動ファン	"	493493	瀬原田三郎	名古屋
"	熱動過電流継電器の作動調整装置	"	493494	吉田太郎・水野久雄	"
"	変圧器水冷装置用冷却水循環系	"	493495	村上 有・中村幸雄	伊丹・東電
"	単相交流電気車の交流補機制御装置	"	493496	山田三郎・三宅義治	"
"	電気車電動機制御装置	"	493497	小原太郎	伊丹
"	変圧器コイル輸送タンク	"	493622	待鳥正・相田茂夫	"
				平山玄勝	"

調速機の試験

新三菱重工業株式会社神戸造船所

三菱電機株式会社神戸製作所

安藤 錠治*

渋谷 雅三**・梅名茂男***

Tests on Governors

Mitsubishi Heavy Industries, Reorganized,
Limited Kobe Shipyard & Engine Works
Kobe Works

Jōji ANDO

Masazo SHIBUYA・Shigeo UMENA

To governors of water wheel generators to run in parallel with a large power system is required not only adjustment of guide vane opening to control frequency but also regulation of water level and tie line power or ability of program control in addition to the ordinary function of speed regulation device when the water-wheel generator operates to supply power singularly. In supplying 108,000 kW Francis water wheels to Tagokura Power Station, Mitsubishi has used electro-hydraulic governors of ASEA-KMW Co's production, which have been proved very successful in meeting the foregoing requisition as a result of the tests at Mitsubishi factory and in the field. This is a report on these tests together with an account of the adjustment.

1. まえがき

大電力系統に並列して運転される水車発電機の調速機には、単独の負荷に、水車発電機が単独で電力を供給する場合の速度調整装置としての機能以外に、電力網の周波数—電力調整装置として、周波数および案内羽根開度の調整はもちろん、水位、連絡線電力などの調整、あるいはプログラム制御などを行なうことが要求される。その上、感度が鋭敏で十分な速応性を有し、かつ、過渡状態においても、有効な復原能力を保持してつねに安定、円滑な運転を維持することが肝要である。電気式調速機は構造が簡単で、取扱いが容易であるばかりでなく、高感度で、ダンピング（弾性復原）の調整範囲が非常に広く、しかもきわめて、簡単にその値を調整することができるので、その発電所の使用目的にもっとも適した値に設定し、しかも単独無負荷運転時には自動的にダンピングを切換えて、水車を安定に無負荷運転することができる。また機械式調速機と異なり、検出部はすべて電気的に構成されているので、制御対象を電力量に変換しきさえすれば、その総合分割はきわめて簡単であり、したがって水位調整、連絡線電力の調整、高能率運転、プログラム制御などをすべて、電気的に容易に行なうことができる。当社はこの発電所に対して、スエ

デンより ASEA-KMW 社製電気式調速機を輸入して使用したが、その特性に見るべきものがあるので、ここにその試験結果を報告するとともに、あわせて、簡単に動作の概略について述べることとする。

2. 電気式調速機の概略

2.1 構成

図 2.1 はこの電気式調速機の構成を示すものである。図において、PMG は水車発電機軸に直結された永久磁石式交流発電機で、その発生電圧は、リアクタ L_1 コンデンサ C_6 で構成される、並列共振回路を経て電子管調整器のグリッドトランス T_2 に与えられている。トランス T_6 、抵抗 R_{19}, R_{21} 、および 2 組の単相全波整流器は、グリッドトランス T_3 、および後記する T_4, T_5 の合成電圧位相を弁別する、位相弁別装置であって、これらグリッドトランスからの合成電圧により双三極管 V_1 を制御する。65 C, 65 D はいわゆるコントロールユニット内の可動コイルで、 V_1 の出力電流差により円筒形の永久磁石中を上下し、その先端に設けられたパイロットリングによりコントロールユニット内の差動ピストンの排油口開度を調整する。差動ピストンは、 V_1 の出力電流差に比例した可動コイルの変位を、力だけを増幅して正確にアクチュエータ・サーボモータの配圧弁に伝えるもので、結

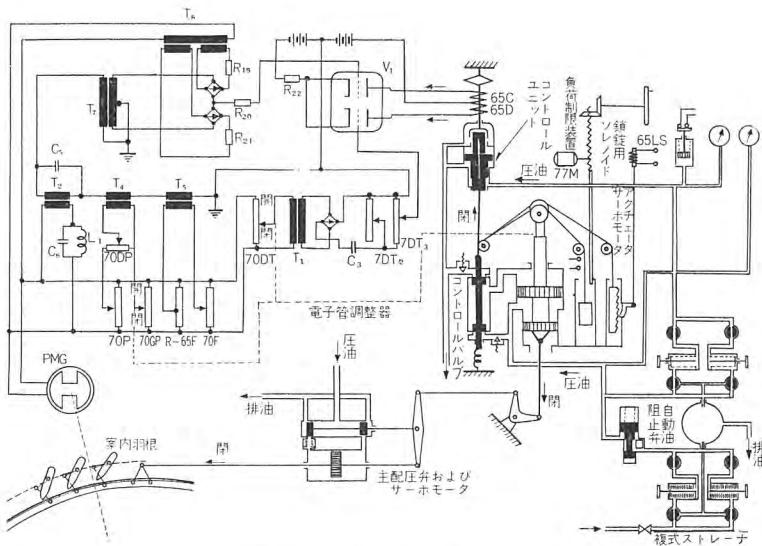


図 2.1 電気ガバナ構成図

Fig. 2.1 Illustration of electro hydraulic governor.

局、配圧弁は、 V_1 の出力電流差に応じて上下し、アクチュエータ・サーボモータを開または閉側に操作する。アクチュエータ・サーボモータは、主配圧弁を制御し、案内羽根サーボモータを操作して水車速度を調整し、案内羽根サーボモータ開度を適当なリンク機構により主配圧弁に帰還して、主配圧弁を平衡させるようになっている。70 GP, 70 DT は、アクチュエータ・サーボモータ開度を電圧に変換する、セルシン形の電圧変換器で、70 GP からの電圧は負荷設定抵抗器 70 P 上の電位と比較され、グリッドトランジスタ T_4 に加えられて、電子管調整器に剛性復原を与える。一方、70 DT からの電圧は、トランジスタ T_1 により、コンデンサ C_3 を経て、その変化分を V_1 のグリッドに加え、弾性復原を与える。7DT₂ は、コンデンサ C_3 に直列に接続された抵抗器を選択するスイッチで、弾性復原の時定数を設定するもの、7DT₃ は V_1 のグリッドに加える過渡電圧の分圧状態を調整するスイッチで、弾性復原量を設定するものである。図示しているように、アクチュエータ・サーボモータには、一端をその配圧弁に結び、他端に重錐を取り付けたワイヤロープが掛けている。いま、配圧弁が、下方に動き、サーボモータを開側（上方）に動かしたとすれば、重錐は、ワイヤロープに引張られて上方に動くことになる。したがって負荷制御装置により、重錐の上昇を妨げれば、逆に配圧弁は、ワイヤロープにより引き上げられて、アクチュエータ・サーボモータの動きをその開度において開方向に制限することができる。また、図にはないが、コントロールユニットの可動コイルには別に直流制御コイルが設け

調速機の試験・安藤・渋谷・梅名

てあり、これに開方向の直流を流すと同時に、65 C, 65 D を V_1 から切離し、鎖錠用ソレノイド 65 LS を動作させて、鎖錠用重錐の上昇を抑えれば、アクチュエータ・サーボモータをその開度に鎖錠することができる。

なお、コントロールユニットの差動ピストンの油穴が、油中に混入した異物でふさがれて動作不能になることをさけるため、差動ピストンの入口には、ストレーナが備えてあるが、運転中に清掃することができないので、別に複式ストレーナを取り付け、運転中でも簡単にストレーナの清掃ができるように考慮した。また、圧油消費量の点から、水車停止中は調速

機への圧油を断ち、差動ピストンからの排油を止めることができ望ましいが、図示されているように、アクチュエータ・サーボモータの閉側圧油はその配圧弁を経由しているのに対し、開側圧油は直接來っているため、水車起動時、サーボモータに急激に圧油を供給すると、サーボモータの開側にだけ圧油がまわり、サーボモータを上方に動かそうとして、ワイヤロープを切断することになる。これを防ぐために、時限動作をする自動阻止弁を特別に設けて、水車起動時に圧油を与えても、サーボモータ開閉両側に平衡して、徐々に圧油を供給するように考慮した。

2.2 単独運転（インディビデュアル・オペレーション）時の動作

電気式調速機の運転方式としては単独運転と後記する総合運転（ジョイントオペレーション）がある。単独運転とは、複数台の水車発電機を1台ずつ別々に制御することで、従来の機械式調速機においてもとられていた普通の運転方式である。いま、その動作を簡単に説明すれば次のとおりである。まず、水車発電機の速度が、したがって PMG の周波数がちょうど L_1, C_6 で構成される並列共振回路の同調周波数であった場合を考える。この場合、グリッドトランジスタ T_4, T_5 に与えられる電圧が零であると仮定すれば、トランジスタ T_7 に与えられる合成グリッド電圧は、 T_2 によるものだけである。並列共振回路 L_1, C_6 のインピーダンスは、共振時には純抵抗となるから、 T_2 により生ずる電圧は、PMG の電圧と 90 度の位相差を有することになり、位相弁別装置を経て抵抗 R_{20} に与えられる V_1 の制御電圧は零となる。この

場合双三極管 V_1 の二つの出力電流は平衡し、 $65C$, $65D$ による合成アンペアターンは零で、コントロールユニットは中性位置を保つことになる。つぎに、この状態から水車発電機速度が変動したとすれば、共振回路のインピーダンスは容量性（速度上昇）または、誘導性（速度低下）を帶び、 T_2 によるグリッド電圧は大きくなるだけでなく位相が変化し、 R_{20} には制御電圧が与えられるから、 V_1 の出力電流には差を生じ、コントロールユニットを開または閉側に操作する。したがって、アクチュエタ・サーボモータおよび案内羽根サーボモータは閉または開側に動き、水車への流入水量を調整する。一方、前記したように $70GP$ からは、アクチュエタ・サーボモータ開度を変換した電圧が、 T_4 に与えられるから、 T_4 からのグリッド電圧が、 T_2 に生じているグリッド電圧を補正し、合成電圧が、PMG の電圧と 90 度の位相差を有するようになれば電子管調整器、コントロールユニットは平衡する。 $70GP$ からの電圧は調整抵抗器 $70DP$ によって分圧されて T_4 に与えられているから、速度変動により T_2 を経て生じたグリッド電圧を補正すべき T_4 の電圧を生ずるアクチュエタ・サーボモータ開度は、 $70DP$ の分圧状態により左右されることになる。すなわち、 $70DP$ により永久速度調定率を設定することができる。つぎに、発電機は系統に並列して運転され、 T_2 , T_4 からの合成グリッド電圧によって調速機は平衡状態になり、 T_5 による電圧は零の場合を考える。この場合、 $70P$ を増または減方向に操作したとすれば、 T_4 からの電圧が変化し系統周波数、したがって水車発電機の速度が変化しなければ、調速機はこの電圧により制御され、アクチュエタ・サーボモータを開または閉側に動かして、 $70GP$ の出力電圧をかえ、 T_4 からの電圧が、 $70P$ 操作前の値となって平衡することになる。すなわち、 $70P$ により水車発電機出力を調整することができる。 $70F$ は、調速機の調速基準速度を設定する速度調整抵抗器で、抵抗器 $R-65F$ との差電圧を T_5 に与え、 $70P$, $70GP$ による T_4 からの電圧とは無関係に、調速機が平衡すべき水車発電機の速度をかえるものである。

調速機の弾性復原は、前述したように $70DT$ により与えられる。アクチュエタ・サーボモータの開閉により、 $70DT$ の出力電圧が変化するので、コンデンサ C_3 の充放

電電流、すなわち、 V_1 の片側グリッドの制御電圧は、サーボモータの開閉速度に応じたものとなる。水車発電機を系統に並列せずに単独に安定な運転を続けるためには、水車発電機固有の GD^2 と、案内羽根サーボモータの開閉速度などにより左右される最適の弾性復原量とその時定数が存在し、発電機を系統に並列した場合には、系統状況に対する水車発電機の応答に速応性をもたせ、しかも乱調を起させないような弾性復原の最適値は、その系統に接続して運転されている同期機の状態によって異なる。したがって、当然水車発電機が系統と並列運転している場合と、解列して単独に運転している場合とでは弾性復原の最適値は異なり、これを別個に調整できることが望ましい。図 2.1 には図示していないが、この調速機には、別に並列運転時の弾性復原を調整する継電器と選択スイッチが付属しており、これを任意に設定できるだけでなく、発電機が解列すれば自動的に無負荷運転時の値に切換えるようになっている。

2.3 総合運転（ジョイント・オペレーション）時の動作

総合運転とは、並列運転している複数台の水車発電機を各機の負荷を平衡させしかも容量が並列運転機の総和に等しいような 1 台の水車発電機のように運転することである。この発電所では、送電線母線は二重母線式で、任意の号機がいずれの母線にも並列運転できるようになっているため、いずれの母線においても、同時に、あらゆる並列号機の組合せに対して総合運転を行なうことができるようになっている。図 2.2 は、3 台の水車発電機の総合出力を調整する場合の回路説明図である。この場合、総合出力調整を行う水車調速機の電源回路は全部並列に接続され、グリッドトランス T_4 , T_5 は単独運転時の速度調整回路、負荷調整回路から切離され、 T_5 は

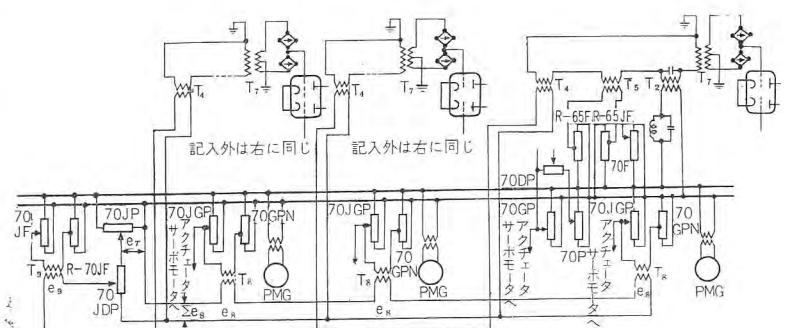


図 2.2 総合運転説明図
Fig. 2.2 Illustration of joint operation.

図示のように抵抗器 R-65 F, R-65 JF に, T_4 は総合負荷回路に接続される。R-65 JF は基準周波数設定抵抗器で、各調速機の調速基準速度をすべて基準周波数（たとえば 50 c/s）にそろえるためのものである。抵抗器 70 GPN, 電圧変換器 70 JGP およびトランス T_8 は 3 台の水車発電機の総合負荷を検出するためのもので、70 JGP は水車発電機負荷を、アクチュエータ・サーボモータ行程で表現する関数カムを経て、アクチュエータ・サーボモータに連動する電圧変換器である。また 70 GPN はアクチュエータ・サーボモータが無負荷開度の場合、70 JGP と 70 GPN との間の電位差を零とするように設定し、それぞれ図示のように調速機用電源母線に接続され、アクチュエータ・サーボモータが開方向に動いて水車が負荷をになった場合、トランス T_8 に、負荷に比例する電圧を与えるようになっている。 T_8 の二次側は、その出力電圧を加算するようにすべて直列に接続されているから、 T_8 の出力電圧の総和 $\sum e_8$ は、水車の総合出力に比例することになる。70 JF は、総合調速基準速度調整抵抗器、R-70 JF は総合調速範囲移行抵抗器で両抵抗器間の電位差をトランス T_9 に与える。また 70 JP は総合出力調整抵抗器、70 JDP は総合永久速度調定率調整抵抗器で、70 JP のシュウ動子上の電位 e_T と、前記 $\sum e_8$ との差電圧を 70 JDP で分圧し、トランス T_9 の二次側に、 T_9 の出力電圧 e_9 を打消すように接続してある。グリッドトランス T_4 には、この T_9 の出力電圧 e_9 と、70 JDP で分圧された前記の差電圧 $(e_T - \sum e_8)$ との差 $[e_9 - (e_T - \sum e_8)]$ が導入され、調速機の電子管式調整器はグリッドトランス T_2, T_4, T_5 の出力電圧のベクトル和が電源電圧と 90 度の位相差を有する時に平衡する。一方、抵抗器 70 JF, R-70 JF は、70 JF を基準周波数（たとえば 50 c/s）に設定した時、 T_9 の出力電圧 e_9 が零で、70 JF を基準周波数の上下に調整した時は、 T_9 の出力電圧 e_9 に基づく T_4 からのグリッド電圧の変化が、70 JF の調整量に相当する周波数変動が実際に生じた場合に現われる T_2 からのグリッド電圧の変動を打消すように構成されている。したがって、いま水車発電機の回転数が、上記の基準周波数で、70 JF も基準周波数に設定されると仮定すれば（この時 e_9 は零である）、 T_2, T_5 からの合成グリッド電圧は、電源電圧と 90 度の位相差を有し、 T_4 からのグリッド電圧が零、すなわち e_T と $\sum e_8$ とが等しくなって調速機は平衡していることになる。70 JP を調整すれば、 T_4 からのグリッド電圧が生じ、調速機の試験・安藤・渋谷・梅名

機はこれを打消すように動作して $\sum e_8$ を e_T と等しくするから 70 JP で総合負荷 ($\sum e_8$) を調整することができる。つぎに系統周波数が基準周波数から変動したとすれば、 T_2 からのグリッド電圧の大きさ、および位相が変化し、電子管調整器はアクチュエータ・サーボモータを操作して、水車負荷を調整し T_4 からのグリッド電圧が、 T_2 からのグリッド電圧の変化を打消すようになって平衡する。この T_4 からのグリッド電圧を生ずべきアクチュエータ・サーボモータ開度の変化量は、抵抗 70 JDP の分圧比を調整して加減することができるから、70 JDP により発電所の総合永久速度調定率を調整することができる。また、大容量発電所は系統の周波数調整にマスタステーションとして寄与することがあるが、この場合には永久速度調定率を零として、ダンピングを十分大きくし、緩慢ではあるが大きな負荷変動に対応させる。このような場合、抵抗 70 JF を調整すれば、系統周波数が 70 JF の設定周波数となって、はじめて共振回路からのグリッド電圧の変動を、トランス T_9 の出力電圧 e_9 に基づくグリッド電圧が打消して、調速機は平衡するから、70 JF により周波数調整発電所としての総合調速基準速度を調整することができる。以上の動作は並列運転される水車発電機が何台あってもそれぞれの調速機に同一の操作量を与えて一様に行なわれる。また図示していないが、総合負荷調整中になんらかの原因で発電機が解列した場合には、解列機の調速機回路は単独運転時のそれに自動的に切換えられ、調速機の電源発電機も電源母線から解列される。また同時に、解列機の抵抗器 70 JGP, 70 GPN は電源母線から切離され、トランス T_8 の出力側は短絡されるようにしてあるから総合出力量に比例する電圧 $\sum e_8$ が解列前の値となるよう、残存機が解列機の負担出力分をになって運転を続けることになる。

上述したように、総合負荷調整はそれぞれの調速機に同一の操作量を与えて一様に行なわれるが、各調速機に存在する若干の特性の差異により、水車発電機負荷は必ずしも各機に均等に分担されるとは限らない。この電気式調速機では、図 2.3 に示すような負荷配分用変換器 70 PB と負荷配分用グリッドトランス T_3 を設け、つぎのようにして負荷の均等分担を行なっている。

70 PB は、アクチュエータ・サーボモータに連動する電圧変換器で、図 2.3 に示すように電源母線とグリッドトランス T_3 に接続されている。各機に負荷が均等に分配されていない時は、各調速機の 70 PB の出力電圧はそ

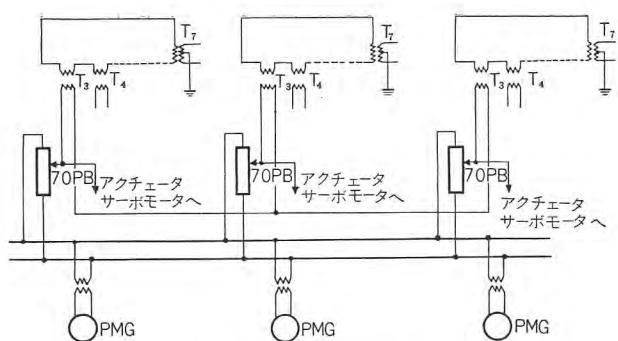


図 2.3 負荷分担回路説明図

Fig. 2.3 Illustration of load division.

それぞれ異なり、トランジスタ T_3 は、これら電圧の平均値と、自己の電圧との差電圧を与える。しかもトランジスタ T_3 は、自己の電圧が平均電圧よりも高い場合には、アクチュエータ・サーボモータを閉鎖するようなグリッド電圧を調速機の電子管制御装置に与えるように接続されているから、逆に自己の電圧が平均電圧より低い場合には、 T_3 に与えられる電圧は前と逆位相になり、電子管調整器はアクチュエータ・サーボモータを開方向に操作して、結局各機に負荷が均等配分され、自己の電圧と平均電圧が等しくなって、 T_3 からのグリッド電圧が零となれば平衡する。しかもこの負荷平衡操作は、総合出力調整中は連続的に行なわれ、総合出力調整装置からの操作量を、負荷不平衡率に対応して修正する形式をとっているので乱調状態となることなく、安定した出力調整ができる。

3. 工場試験

工場試験においては、現地の運転状況を考慮して、タービンキュービクル、アクチュエータ・キャビネット、配電盤用取付部品および電源用永久磁石発電機を組合わせ、単独運転、総合運転における電気ガバナの具備すべき仕様の確認、ならびにその特性を把握することを目的として種々な試験を実施したので、それらの要点を述べる。工場試験に使用した永久磁石発電機は納期の関係で、水車発電機直結の実物と組合わせることはできず、他の等価な試験用電源を使用したがそのために特性上差異を生じたことはなかった。

なお、参考のために電気調速機の仕様概要を下記に示す。

(1) 電気調速機が制御すべき機器

108,000 kW 立テ軸フランシス水車

有効落差

118.2~67 m

回転数	166.7 rpm
無拘束速度	317 rpm
周波数	50 c/s
直結発電機の GD^2	13,600 t-m ²
案内羽根サーボモータ閉鎖時間	6.35 sec (不動時間を含む)

案内羽根サーボモータ開口時間 12 sec

操作油圧 20 kg/cm²

(2) 電気調速機の具備すべき性能

単独運転時における周波数調整範囲 42~51 c/s

調定率調整可能範囲 0~16 %

出力調整可能範囲

上記いずれの周波数調定率の範囲においても無負荷より全負荷まで連続的に調整できる。

総合運転が可能である。

自動周波数調整運転が可能である。

3.1 単独試験

単独運転時の調速機個々の特性を決める周波数目盛試験、永久速度調定率試験、出力目盛試験、ダンピング特性ならびに近似負荷シャ断試験について、その結果を報告する。

(1) 周波数目盛試験

調速機の運転周波数範囲を測定するために速度調整抵抗器 (70 F)、速度調整範囲移行抵抗器 (R-65 F) の整定値を変えた場合の運転周波数を実測した。測定にあたっては、復原回路よりはいる信号の影響をなくするために、速度調定率および、ダンピングを零に設定し、各 70 F、R-65 F、の整定に対して電子管調整器の制御出力が平衡して零となる。PMG 周波数を測定し図 3.1 の特性を得た。

(2) 永久速度調定率試験

無負荷運転時の安定性ならびに並列運転時の負荷分担を決める速度垂下特性を測定し、この傾斜より速度調定率を算出した。さきに測定した、周波数目盛特性より、70 F、R-65 F を規定周波数 (たとえば 50 c/s) に整定し、PMG 周波数を規定周波数にした時、ちょうどアクチュエータ・サーボモータが全開するように出力調整抵抗器 (70 P) を合わせる。この状態で PMG 周波数を上昇すれば、周波数の上昇に従って、アクチュエータ・サーボモータは閉方向に動作する。この垂下特性を速度調定率調整抵抗器 (70 DP) の整定値を変えた場合についてそれぞれ測定し、その速度調定率を算出した特性曲線を図

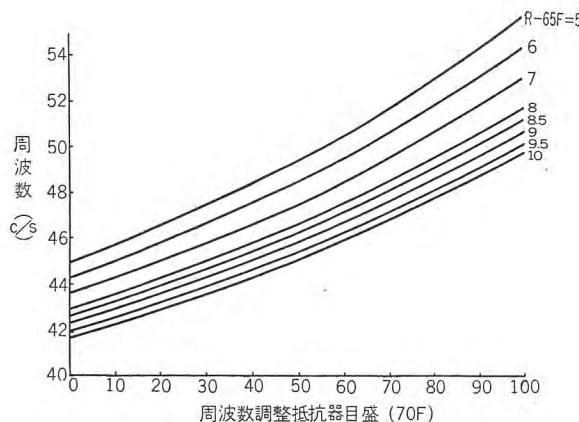


図 3.1 周波数調整抵抗器目盛曲線

Fig. 3.1 Characteristic curves for the scale of frequency setting potentiometer.

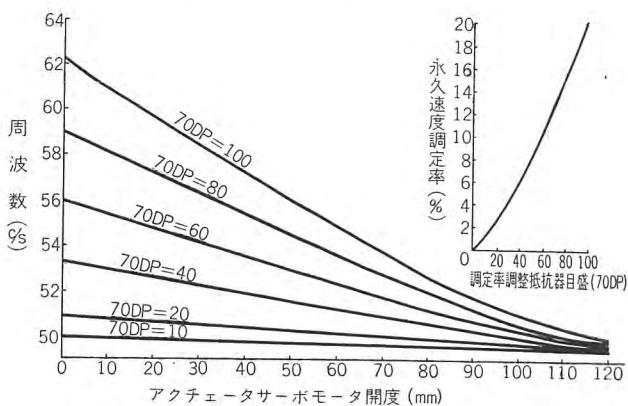


図 3.2 速度垂下特性曲線および永久速度調定率曲線

Fig. 3.2 Characteristic curves for the permanent speed droop.

3.2 に示す。

(3) 出力目盛試験

各発電機出力はそれぞれ、上記任意の周波数、速度調定率の範囲において、無負荷より全負荷まで調整できる。その特性測定は、70 F, R-65 F を規定周波数に整定し、PMG 周波数を規定値に合わせて運転中の 70 P とアクチュエータ・サーボモータ開度の関係を実測した結果を図 3.3 に示す。他の 2 台についてもよく一致した特性である。

(4) ダンピング特性試験

調速機に制御の安定性を与えるダンピングの大きさと、その時定数について測定を行なったが、ダンピングの大きさは、アクチュエータ・サーボモータが、瞬時に全行程を動いたとした場合に帰還される電圧が、 T_d を経て生ずる周波数変化に基づく電圧の何サイクル分に相当するか、その基準周波数に対する割合で表現される。したがってその測定方法は、ダンピング回路に過渡電圧を与える前記 C_3 のコンデンサを短絡して、各アクチュエータ・サーボモータ開度によって帰還される電圧と平衡する PMG 周波数を測定して、その傾斜調定率をダンピングの強さとして表わした。図 3.4 にその特性を示す。

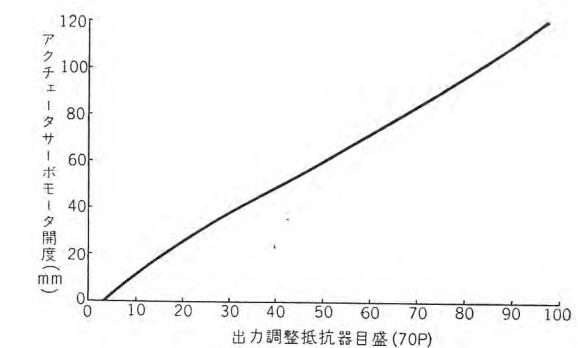


図 3.3 出力調整抵抗器目盛曲線

Fig. 3.3 Characteristic curve for the scale of output setting potentiometer.

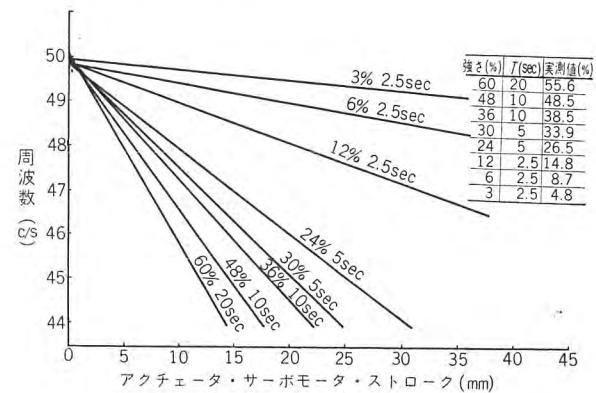


図 3.4 過渡速度調定率曲線

Fig. 3.4 Characteristic curves for the transient speed droop.

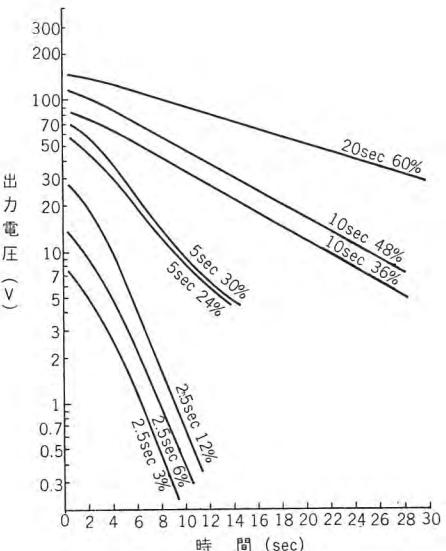


図 3.5 ダンピング回路電圧時間特性

Fig. 3.5 Voltage-time curves for the damping circuit.

ータ・サーボモータ開度によって帰還される電圧と平衡する PMG 周波数を測定して、その傾斜調定率をダンピングの強さとして表わした。図 3.4 にその特性を示す。

ダンピングの時定数は、ダンピング回路に単位入力の電圧を与える、その出力電圧—時間特性を実測すること

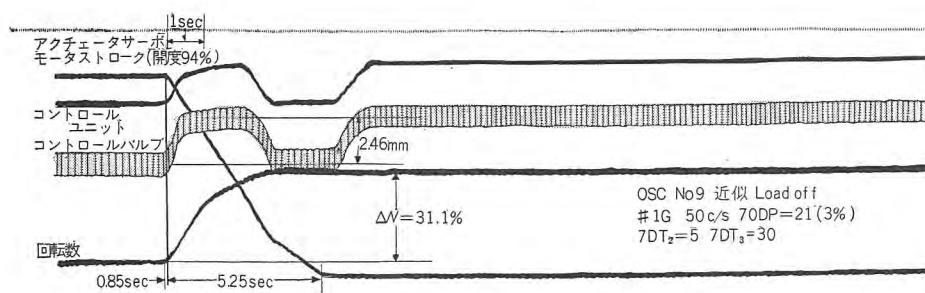


図 3.6 近似負荷シャ断試験オシログラム
Fig. 3.6 Oscillogram of equivalent test for the load off test.

によりこの減衰比から時定数を算出する。図 3.5 は、出力電圧と時間の関係を半対数方眼紙に表わしたものであり、時定数の実測値を示す。

(5) 近似負荷シャ断試験

アクチュエータ・サーボモータの過渡応答状況を検討するため、規定周波数にてアクチュエータ・サーボモータがほぼ全開するように調整して運転中 PMG 周波数を急激に上昇させて、各部の応動状況をオシログラフに記録した。図 3.6 はそのオシログラムで、回転上昇は実際に近い状態で与え、その時のコントロールユニット可動コイル、アクチュエータ配圧弁、ならびにアクチュエータ・サーボモータの動作を示している。同様にして、速度調定率、ダンピングの大きさ、回転上昇率を変えた場合についても測定した。

3.2 総合運転試験

総合運転は前に述べているように、3 台の水車発電機がちょうど 1 台のように制御されるため、その組合せについて、単独試験で行なったと同様に、総合周波数目盛試験、総合永久速度調定率試験、総合出力目盛試験を実施した。そのほか、総合運転は、今回初めての試みであるため、各機の負荷不均衡の程度、単独運転と総合運転の切換時における動搖、負荷シャ断時における安定性を

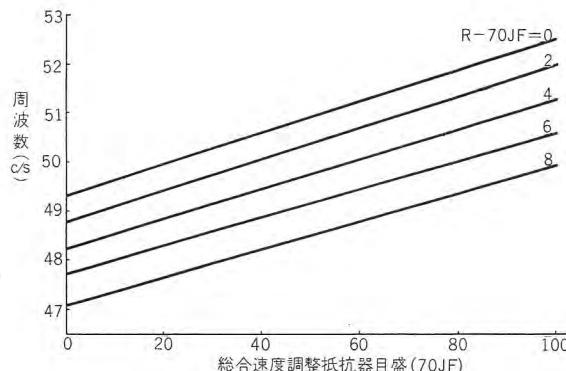


図 3.7 総合運転周波数目盛曲線

Fig. 3.7 Characteristic curves for the scale of frequency setting potentiometer at joint operation.

見るための近似負荷シャ断試験など、種々なケースについて詳細に試験を行ない、その特性を明確化した。

(1) 総合周波数目盛試験
3 台の調速機を、ジョイントオペレーションに入れ、速度基準抵抗器 (R-65 JF) で、各機のバランスを調整した

後、総合周波数調整抵抗器 (70 JF) と、総合周波数範囲移行抵抗器 (R-70 JF) の整定を変えた場合の調速機が平衡する周波数を測定し、図 3.7 の特性を得た。総合運転の母線および、並列機の組合せを変えた場合においてもほぼ同じ特性である。

(2) 総合出力目盛試験

前記、総合周波数目盛試験の調整に加えて、各機の無負荷開度調整抵抗器 (70 GPN) および、負荷平衡用ボテンショメータ (70 PB) により、各機の開度が同じになるように調整し、単独試験で行なったと同様な方法により、総合運転の組合せを変えた場合について、総合出力調整抵抗器と、アクチュエータ・サーボモータ開度の関係を測定した。図 3.8 はその特性を示す。総合運転の組合せを変えた場合も、総合出力調整抵抗器の整定に対する、アクチュエータ・サーボモータ開度の総合値はよく一致しており、各機の負荷分担も良好な結果を得た。

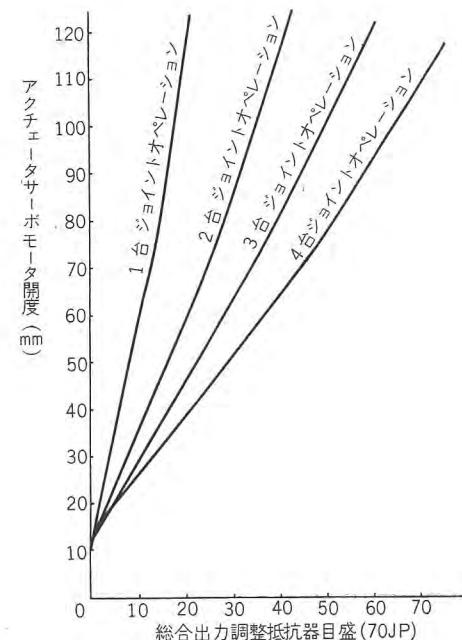


図 3.8 総合出力調整抵抗器目盛曲線

Fig. 3.8 Characteristic curves for the scale of output setting potentiometer at joint operation.

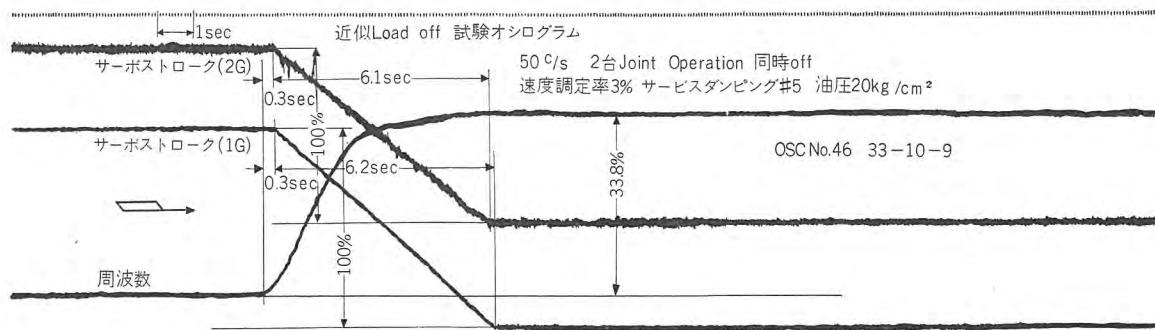


図 3.9 近似負荷シャ断試験オシログラム

Fig. 3.9 Oscillogram of equivalent test for the load off test at joint operation.

(3) 総合永久速度調定率試験

総合運転においても、前記周波数と出力の目盛調整試験が完了すれば、その特性はまったく、単独運転の場合と同じように扱うことができる。したがって総合運転における永久速度調定率試験は、単独運転の場合と同じ要領で行なった。特性曲線も、単独試験における永久速度調定率曲線と類似しているため省略する。

(4) 近似負荷シャ断試験

複数台の水車発電機が、総合運転中に負荷シャ断を行なった場合、同時シャ断であれば、全台が同時に閉鎖し、またそのうちの1台が負荷シャ断を行なえば残存機は、シャ断した負荷を分担するように動作する。これらのケースについて、各機の永久速度調定率、ダンピング、総合速度調定率の整定値を変えた場合の応動状況を検討するため、総合運転中に、いろいろなケースで回転上昇を与え、各部の動作をオシログラフに記録した。図3.9は、2台総合運転中に同時負荷シャ断を行なったときの、1号機、2号機のアクチュエータ・サーボモータの動作を示す。

3.3 周波数応答試験

電気ガバナの外乱信号に対する応答特性を測定するために、周波数応答試験を実施したので、その特徴の概要を紹介するとともに、今回初めての試みとして、電子管式の外乱信号発生装置を使用し好結果をうることができたのでその低周波発振器についても合わせて記述する。

(1) 低周波発振器

周波数応答試験の外乱用電源として従来は、抵抗器変化形の正弦波発振器を使用していたが、周波数検出部の特性を検討することができず、また操作にも時間を要するため、今回電子管式の正弦波発振器を製作した。この発振器は、安定な低周波発振器で、商用周波を発生し、これを超低周波(0.01~100 rad/sec)で周波数変調する。

周波数変調を受けた信号は、十分電力増幅して取出され、PMG よりの電源の代りに電気調速機に電源として与え、 $50 \pm \Delta f \text{ c/s}$ が $\omega \text{ rad/sec}$ ($\omega = 0.01 \sim 100$) で変化する信号にどのように応答するか容易に測定することができる。以上のはか、電圧変調を行なって、自動電圧調整器の正弦波応答特性の測定、電圧、あるいは周波数の階段出力を得て、制御系の過渡応答特性の測定および、電圧調整器や、電気調速機の静特性の測定など、広範囲に使用することができる。

(2) 周波数応答試験

図2.1に示す PMG の代りに、前記低周波発振器を接続し、ちょうど水車発電機の回転数が基準回転数を中心として正弦波状に変化したような外乱を与えて、周波数検出部出力、電子管調整器出力、コントロールユニット可動コイル、アクチュエータ配圧弁、アクチュエータ・サーボモータの応動状況をオシログラフに記録し、各部の正弦波応答特性を求めた。図3.11は、前記低周波発振器より、 $50 \pm 0.3 \text{ c/s}$ の周波数変調された電圧を調速機



図 3.10 周波数応答試験器

Fig. 3.10 Apparatus for frequency response test.

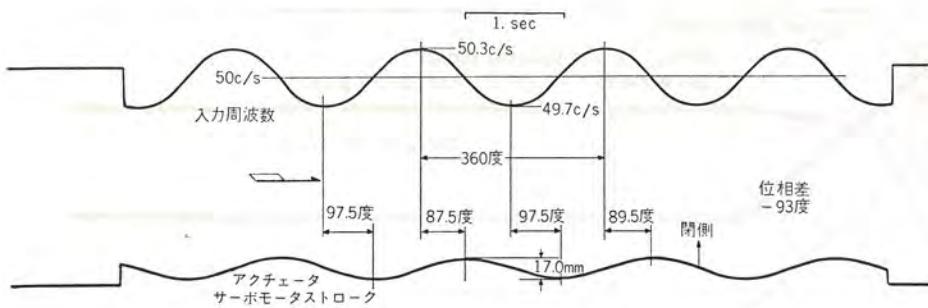


図 3.11 (a) 周波数応答試験オシログラム

Fig. 3.11 (a) Oscillogram of frequency response test.

ASEA-KMW 社製電気ガバナ周波数応答試験オシログラム

入力角周波数 3 rad/sec 永久速度調定率 3% 過渡速度調定率 0%, 0 sec

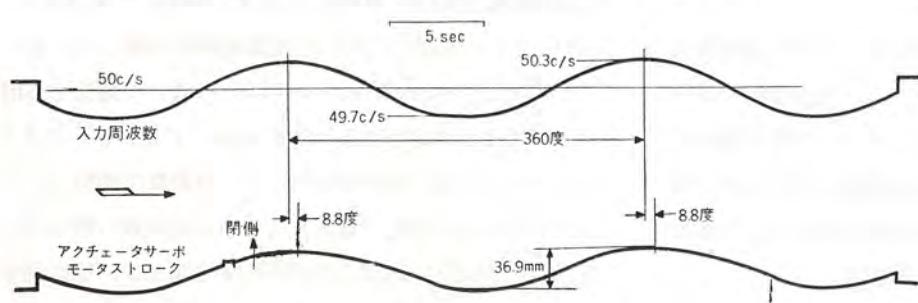


図 3.11 (b) 周波数応答試験オシログラム

Fig. 3.11 (b) Oscillogram of frequency response test.

ASEA-KMW 社製電気ガバナ周波数応答試験オシログラム

入力角周波数 0.3 rad/sec 速度調定率 3% 過渡速度調定率 0%, 0 sec.

に与えた場合、アクチュエータ・サーボモータの動作をオシログラムに記録したものである。図において、上側は外乱周波数が 3 rad/sec の時であり下側は 0.3 rad/sec の時の応答状況である。この場合は永久速度調定率 3%，ダンピングは零であるが同様にしてダンピングの値を 12%，25 sec，60%，20 sec，90%，30 sec，の場合についても、周波数 0.01~100 rad/sec の範囲の正弦波応答特性を測定した。測定記録のオシログラムより、入力出力の相差角および減衰比を求めて、ボード線図を作成したのが、図 3.12 である。

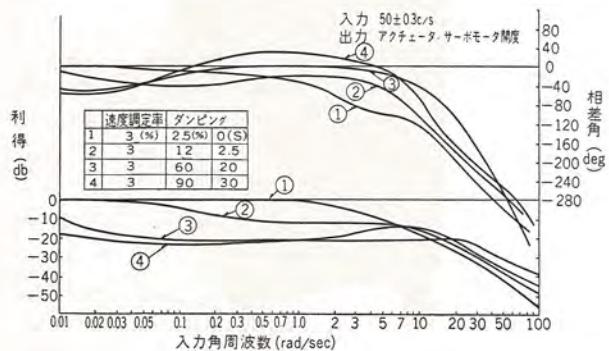


図 3.12 ボード線図

Fig. 3.12 Bode diagram for the electro hydraulic governor.

4. 現地試験

現地における調速機の調整および試験は、3月初めから4月6日水車通水をさみ5月10日まで、長期間にわたって綿密に行ない、好成績をうることができたので、これらの要点を2, 3抜萃して報告する。

4.1 無水時の調整

これは主として、アクチュエータおよび案内羽根サーボモータを含む油圧機構の調整であるが、この田子倉発電所の電気調速機は、総合運転を行なうようになっているので、とくに各機の諸特性が均一になることに重点をおいた。一例として、アクチュエータ・サーボモータと案内羽根サー

ボモータの相互関係は、各機について比較した場合のバラツキが、サーボモータ全行程の 0.5% 以下になるよう調整した。また、この油圧機構で生ずる不感帯の量を極力低減するために、案内羽根サーボモータ用配圧弁のラップの量自体も小さいものにし、その影響があまり出ないよう、配圧弁操作機構にも特別の考慮を払ったので、実測の結果、アクチュエータから案内羽根までの不感帯の量は、サーボモータ全行程の ±0.05% 以下であり、水車無負荷運転時にレーシングはまったくなかった。

4.2 水車運転開始後の調整

水車通水後、調速機運転にはいるまでには、電気回路各部のシーケンステストを詳細に行なって、万全を期した。また、今まで各所で使用された電気式調速機について、所内交流電源から電子管回路に、誘導がはいる問題がしばしばあったが、誘導を受けやすい外部結線に鋼帯シールド線を使用したので、なんら障害を生ずることはなかった。

4.3 PMG の位相調整

電気調速機が総合運転を行なう場合、当然各機の PMG は並列運転を行なうことになるので、各 PMG の電圧差、位相差が零となるように調整して、クロスカーレ

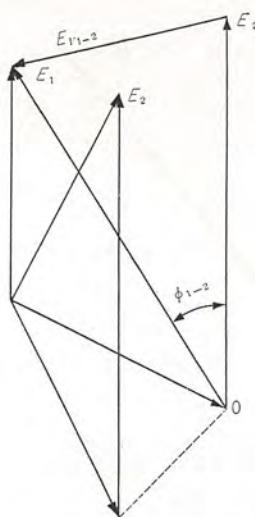


図 4.1 PMG 電圧位相関係説明図

Fig. 4.1 Relation for the voltage phase of PMG's.

その位相は、主発電機が並列運転を行なっているため、PMG の固定子を主発電機とまったく、同じ関係位置に調整すればよいわけであるが、具体的には調速機を手動運転し、各発電機を並列した後、各電力計が同じとなるよう負荷制限装置でその出力を合わせる。1号機 PMG を基準としてその線間電圧を E_1 、2, 3号機の線間電圧をそれぞれ E_2 , E_3 とすればその関係は、図 4.1 のようになり 1 線を共通に接続して差電圧を測定する。 E_1 と

ントを流さないようにしなければならない。PMG は着磁の具合によって、ある程度の差電圧を生ずるため、まず調速機用電源トランスのタップ調整によって、二次側の電圧が同じになるよう合わせる。その結果は次のとおりで、約 1.4 V の範囲に調整できた。

調整前負荷時電圧		
1号機	2号機	3号機
115 V	114 V	116.3 V
調整後負荷時電圧		
1号機	2号機	3号機
113.4 V	112.2 V	112 V

E_2 の差電圧 E_{V1-2} を測定することにより、1号機と2号機の相差は次式で表わされる電気角となる。

$$\Phi_{1-2} = 2 \sin^{-1} \frac{E_{V1-2}}{E_1 + E_2}$$

同様にして、 Φ_{1-3} も測定し次の記録を得た。

$$1, 2 \text{号機間} \quad E_{V1-2} = 48 \text{ V} \quad \Phi_{1-2} = 24.43 \text{ 度}$$

$$1, 3 \text{号機間} \quad E_{V1-3} = 50.5 \text{ V} \quad \Phi_{1-3} = 26.09 \text{ 度}$$

ついで、各 PMG の位相関係を調査の結果、2号機および3号機はいずれも1号機に対し位相が進みの状態にあることを確かめ、上記の結果より2号機および3号機の PMG 固定子の移動量を次のように算定した。

$$2 \text{号機} \quad \text{回転方向に } 24.8 \text{ mm 移動}$$

$$3 \text{号機} \quad \text{回転方向に } 26.5 \text{ mm 移動}$$

この計算結果に従い、固定子の調整により位相を合わせた結果、差電圧の測定を行ない次の値を得た。

$$E_{V1-2} = 1.0 \text{ V}$$

$$E_{V2-3} = 0.65 \text{ V}$$

$$E_{V1-3} = 1.2 \text{ V}$$

この値は各 PMG の差電圧によるもので位相差は零と見てさしつかえない。

4.4 負荷シャ断試験

発電機負荷シャ断の際に、速度上昇、水圧上昇とともに最少とするために、アクチュエータ・サーボモータ、案内羽根サーボモータの閉鎖時間を最適値に調整するの当然であるが、電気調速機では、ノーロードダンピングを適

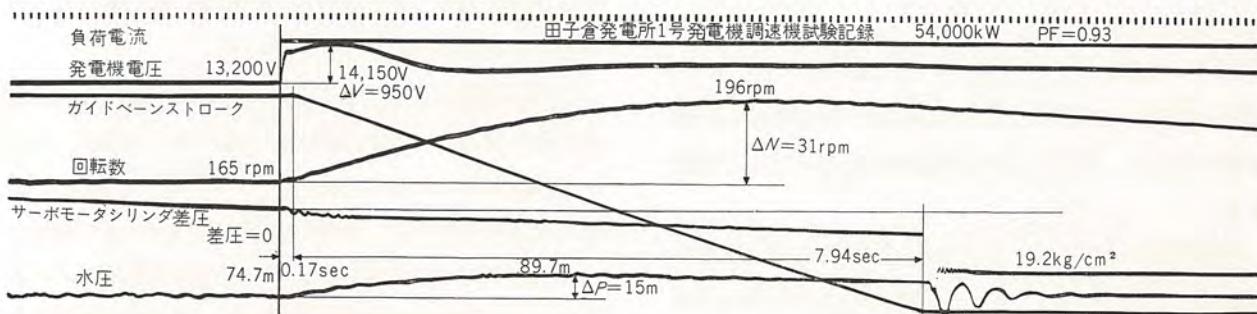


図 4.2 (a) 負荷シャ断オシログラム (54,000 kW)

Fig. 4.2 (a) Oscillogram of load off test.

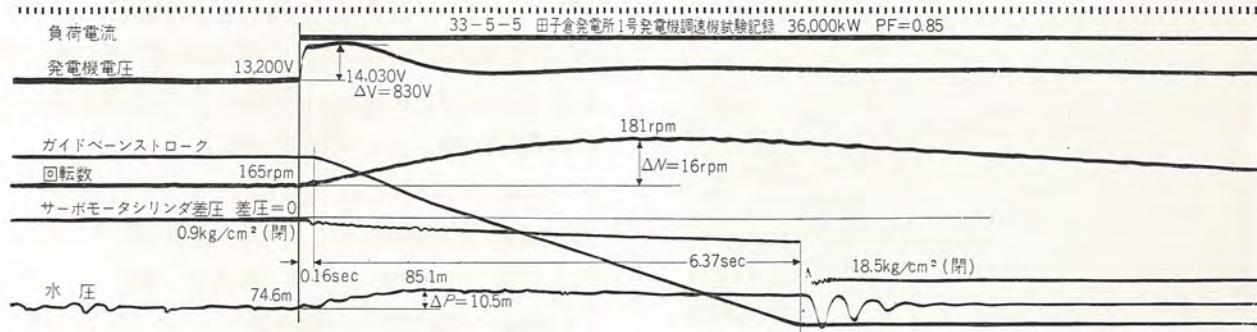


図 4.2 (b) 負荷シャ断オシログラム (36,000 kW)

Fig. 4.2 (b) Oscillogram of load off test.

切に設定して、安定した速度制御を行なわせることが大切である。

このノーロードダンピングの値は次の式から定めた。

$$\delta_T = 100 \cdot \frac{T_s}{T_a} \cdot K$$

ただし δ_T : ノーロードダンピングの強さ (%)

T_s : 案内羽根サーボモータの閉鎖時間(sec)

T_a : 水車発電機のスタートティングタイム
(sec)

K : 定数 (フランシス水車は 0.5)

この水車は、 $T_s = 6.35$ sec, $T_a = 23.2$ sec, であるので、ダンピングの強さ $\delta_T = 12\%$, ダンピングの時定数 $T_i = 2.5$ sec に設定した。図 4.2 は負荷シャ断試験のオシログラムであるが、サーボモータの不動時間は 0.2sec 前後で、復帰も安定に行なわれている。

4.5 総合運転の試験

総合運転は画期的な水車運転方式で、これが簡単に行なえることは、電気調速機の大きな特長である。通常 2 台以上の水車を運転する場合には、各機の調速機を操作しなければならないが、この総合運転装置を有する調速機では、各機をあたかも 1 台の水車のように、1 組の操作装置で同時に調整できるので、発電所の保守運転が、非常に簡易化される。総合運転時の動作は、2.3 において詳細に述べているが実際の運転は次のように行なわれる。70 JP で、各発電機出力の和すなわち、発電所総合出力を調整する。この抵抗器は、0 MW から最大出力までの等分目盛がついており、たとえば 300 MW に設定すれば、当発電所は発電機 3 台であるから、各機は 100 MW の負荷をとる。70 JDP は発電所の総合永久速度調定率を設定し、70 JF は系統周波数に合わせるよう調整する。

当発電所においては、これらの 70 JP, 70 JDP, 70 JF, が図 4.3 に示すように、発電所総合出力指示計および周

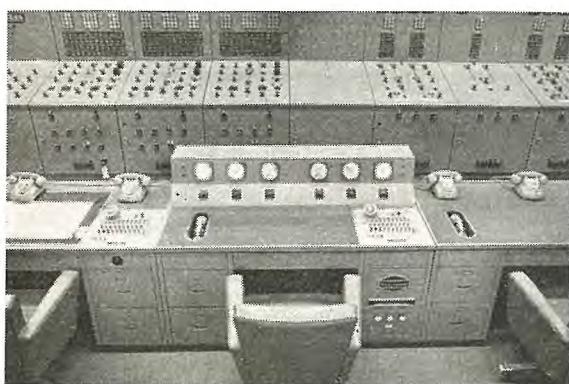


図 4.3 監視機

Fig. 4.3 Supervising desk.

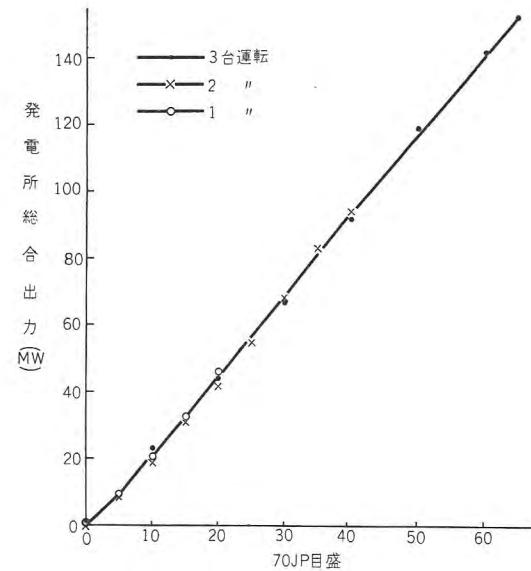


図 4.4 総合運転出力特性曲線

Fig. 4.4 Characteristic curve of output at joint operation.

波計とともに監視機の前部に配置され、運転が従来の発電所よりはるかに簡便になっている。

図 4.4 は 70 JP 特性の実測結果を示すもので、アクチュエータ・サーボモータに連動する復原用ポテンショメータ 70 JGP の操作機構中のカムを修正した結果、発電所総合出力と 70 JP の目盛とが、発電機 1 台、2 台、3 台、いずれの場合でも、非常によく同一直線関係にある。また 3 台運転時の負荷分担のバラツキも、サーボモータ全行程の 1.8% 以下で、配電盤の電力計では、ほとんどその差異は認められなかった。

発電機を総合運転に入れる場合、たとえば、すでに 2 台が総合運転で全出力 90MW となっている時に、他の 1 台を起動して、そのまま負荷を 30 MW までとると、前者 2 台の全出力は、自動的に 2×30 MW まで減少していくので、そのまま後者の 1 台も総合運転にはいればよい。すなわちこの操作を行なう間、まったく発電所全出力は変動しない。総合運転中に、その中の 1 台が、負荷シャ断などで解列すると、残りの発電機はその分だけ出力を増加して、発電所全出力の変動を極度に少なくできる。図 4.5 は、負荷シャ断試験のオシログラムで、つぎの 2 種類の組合せの場合を示す。

1 号機	$15 \text{ MW} \rightarrow 45 \text{ MW}$
2 号機	$15 \text{ MW} \rightarrow 0$ (負荷シャ断)
3 号機	$15 \text{ MW} \rightarrow 0$ (負荷シャ断)
1 号機	$30 \text{ MW} \rightarrow 45 \text{ MW}$
2 号機	$30 \text{ MW} \rightarrow 45 \text{ MW}$

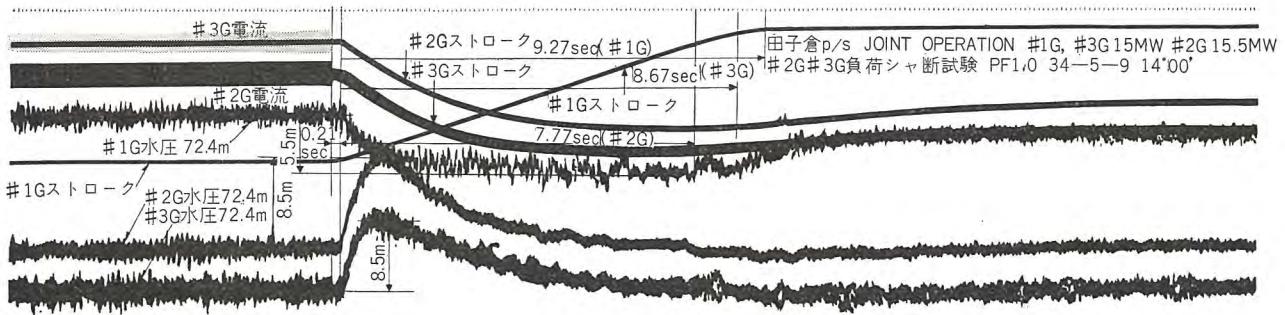


図 4.5 (a) 総合運転時における負荷シャ断オシログラム (#2G #3G 負荷シャ断)

Fig. 4.5 (a) Osillogram of load off test at joint operation (2G, 3G load off).

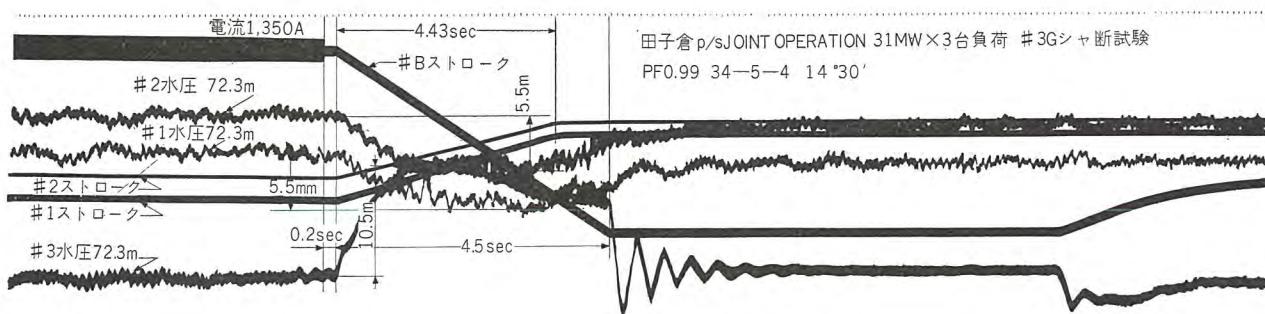


図 4.5 (b) 総合運転時における負荷シャ断オシログラム (#3G 負荷シャ断)

Fig. 4.5 (b) Oscillogram of load off test at joint operation (3G load off).

3号機 30MW → 0 (負荷シャ断)

5. む す び

試験は順調な経過で終了し、以上のように要求された諸性能が十分満足されていることを確認した。当社製作の電子管式調速機も昨年より実働にはいっているが、その性能を比較した場合なんら遜色がない。しかしこの発電所の調速機は4台ジョイントオペレーションが可能で

あり、まだ使用されていないが自動周波数調整回路も含まれているなど、水車発電機の製作にたずさわる者として参考になった点が少なくなかった。最近急速な進歩を続けている電力の質の向上ならびに系統運営の合理化に対し、これを機会に今後とも微力を尽したい。

終りにのぞみこの調速機の試験実施にご協力を賜わった電源開発株式会社関係各位に対し厚く御礼申し上げます。

105,000 kVA 発電機の電位振動試験

研究所 蔭山長三郎*・川根清*

Internal Potential Oscillation Tests on 105,000 kVA Generators

Research Laboratory Chozaburo KAGEYAMA · Kiyoshi KAWANE

Surge protection of generators primarily consists in the installation of surge absorbers at the entrance of machines and also of arresters designed with especially low residual voltages. However, generator stator coils, like transformer coils, are subjected to internal oscillation during the transient of surges entering them because of stray capacity between the coils and between the coils and ground, and difference in connections, difference in grounded or ungrounded neutral or difference in incoming surges sometimes produces abnormal voltages to threaten insulation to ground or between layers. This paper deals with the internal potential oscillation of Tagokura 105,000 kVA generators and measured results, and also with surge impedance and surge propagation speed measured simultaneously.

1. まえがき

田子倉発電所向け 105,000 kVA 発電機の電位振動ならびに巻線のサージ・インピーダンス、サージ伝播速度などを過渡現象直視装置を用いて測定した結果を報告する。本機のような大容量機器についての測定は初めてであるが、サージ・インピーダンスが低く、電位振動も特異な点はないように思われる。

2. 供試発電機の定格ならびにコイルの構造

立軸三相交流同期発電機（固定子だけ）

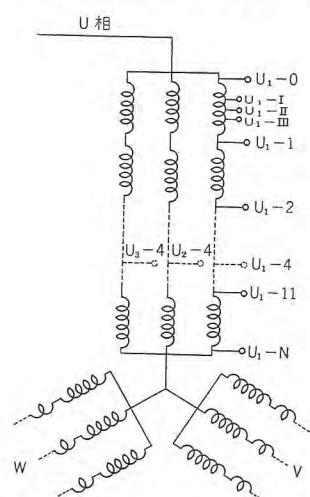


図 2.1 測定用タップ図
Fig. 2.1 Tap diagram for measurement.

容量 105,000 kVA
13,200 V
4,600 A 50 c/s
回転数 167 rpm
極数 36
力率 90%
コイル
3 並列星形結線
1 群のコイル数 4
1 コイルの巻数 1
群数 12

電位振動を測定する
ため U 相の片側に図

2.1 のようにタップを出し、また並列各コイルの中央 U_1-4 , U_2-4 および U_3-4 にもタップを出した。

3. 測 定

図 3.1 のように、1 サイクルごとにパルスを発生しブラウン管オシログラフ上に印加波形ならびに被測定各点の電位波形を静止させて観測あるいは撮影できる過渡現象直視装置を用いて測定した。直視装置の定数は各場合とも同一にて次の値であった。

主蓄電器	C	$2 \mu\text{F}$
直列抵抗	R_s	0
直列リアクタンス	L	0
放電抵抗	R_e	100Ω

測定は図 3.2 のような結線の各ケースにつき、一端よ

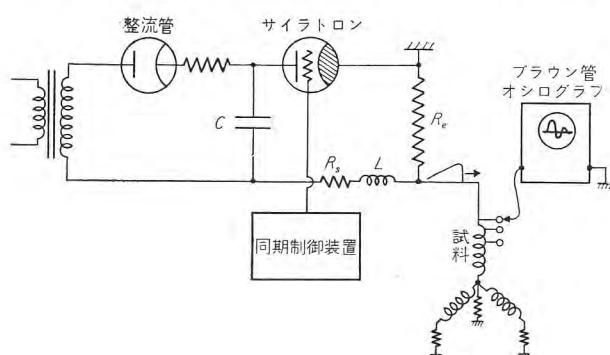


図 3.1 過渡現象直視装置
Fig. 3.1 Direct viewing device for transient analyser.

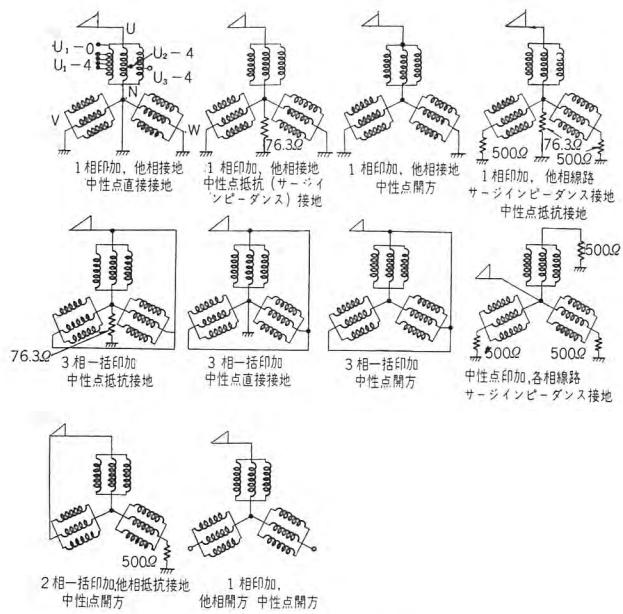


図 3.2 測定ケース
Fig. 3.2 Cases of measurement.

りサージを印加し、各タップと対地間の電位および各タップ間の分担電圧を測定し、また3並列コイルのほぼ中央の点より出したタップにより並列コイル間のバランス状態を検出した。

測定したオシログラムの一部を図3.3(a)および(b)に掲載した。各項目ごとに最初に結線図を掲げ、つぎに測定順に従い各点のオシロを掲げてある。各オシロの横

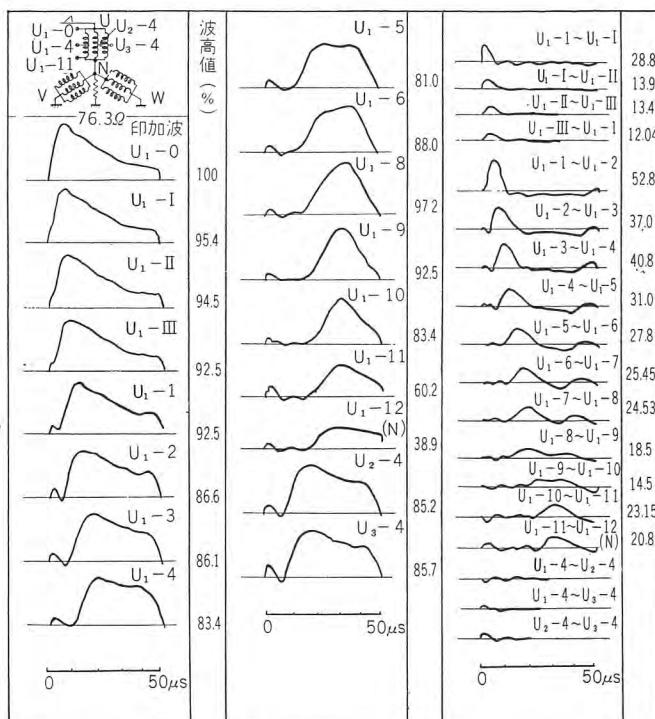


図 3.3 (a) 測定波形
Fig. 3.3 (a) Measured waveforms.

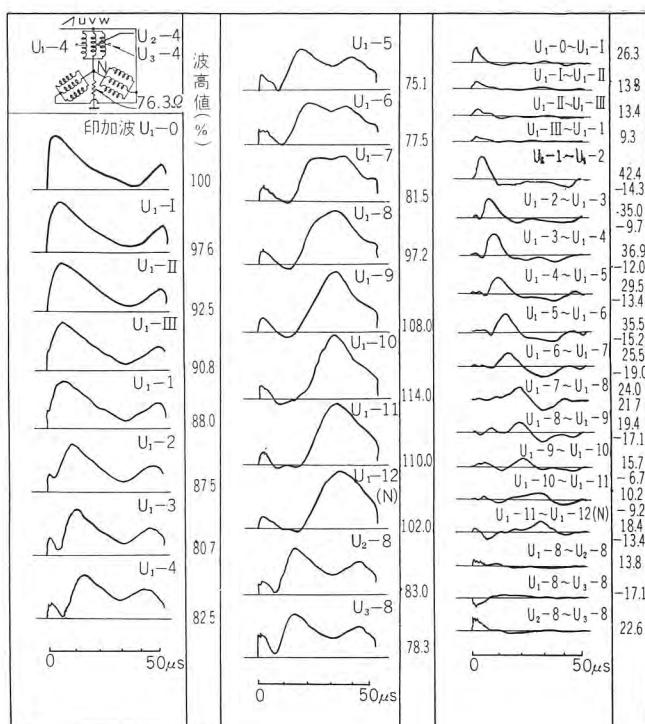


図 3.3 (b) 測定波形
Fig. 3.3 (b) Measured waveforms.

の欄の数字は印加波の波高値を 100% とした場合の波高値に対する % を示してある。また最下段にタイミングを示してある。これらのオシロより各コイルおよびコイル群の最大対地電圧曲線、最大分担電圧曲線ならびに対地電圧の時間的変化曲線および分担電圧の時間的変化曲線などを得た。印加波形は急しゅん波および一部のものに緩頭波について測定した。

つぎに 1 相印加、3 相一括印加の場合につき、第二京大法によってサージインピーダンスを測定し、またこのときの波形よりサージの伝播速度を出した。

4. 測定結果

急しゅん波および緩頭波を印加した場合の各コイルの最大対地電圧曲線および一部の最大分担電圧曲線を図4.1(a)(b)に示す。その他の曲線は省略した。

最大対地電圧は中性点のインピーダンスが高い場合はいずれも 100% 以上 (印加波の波高値を 100% として) になり、1 相印加のときの最大は 108%，3 相一括印加のときの最大は 144% になる。これらの最大の対地電圧は緩頭波により生じており、その他の部分においても緩頭波のほうが高い。これはこの発電機の容量が大きく、リアクタンスが小さいため急しゅん波に対しては大きい C と小さい L が大きくなりて

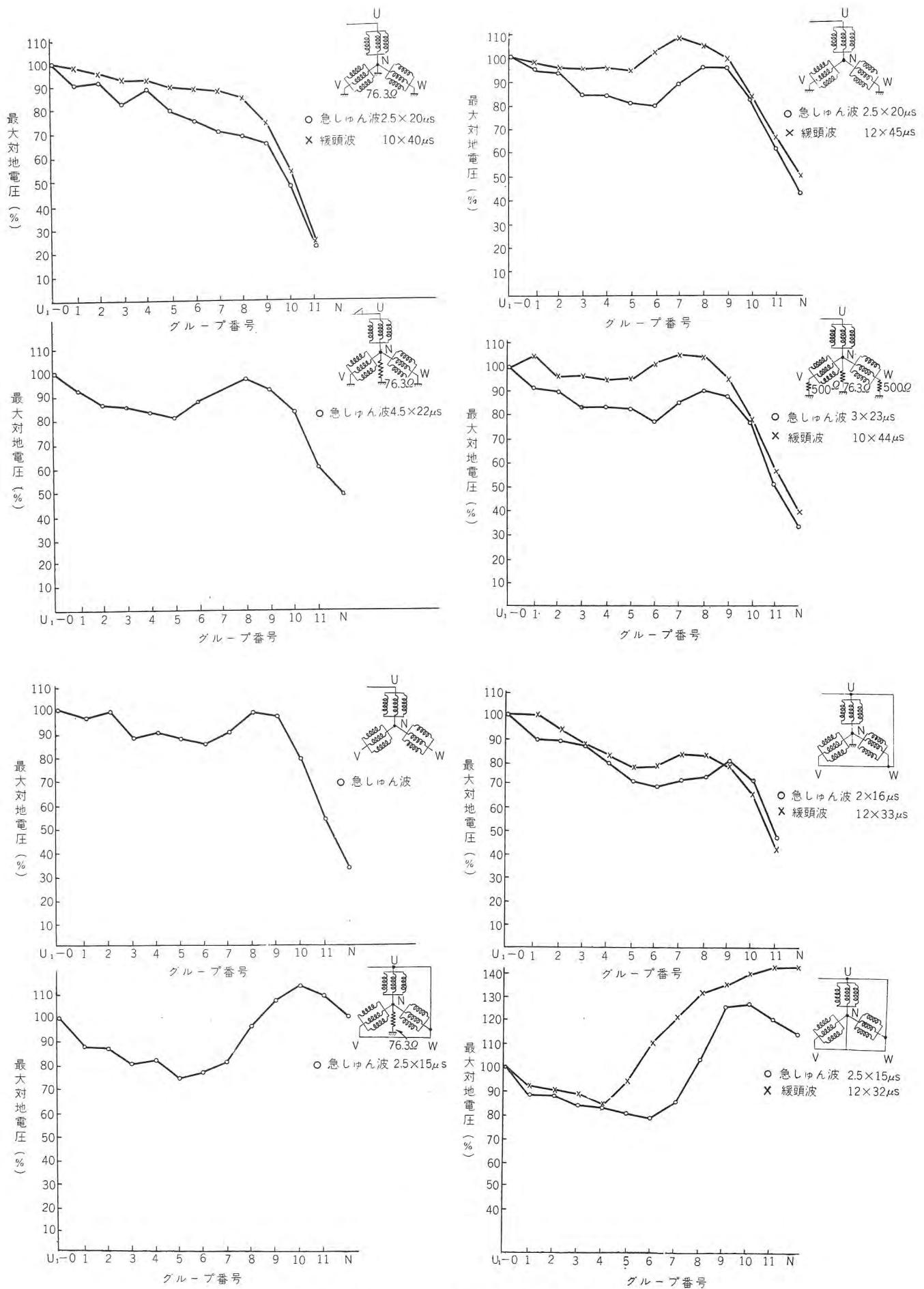


図 4.1 (a) コイル各部の最大対地電圧曲線
Fig. 4.1 (a) Curves of the max. line to ground voltage of various points of coil.

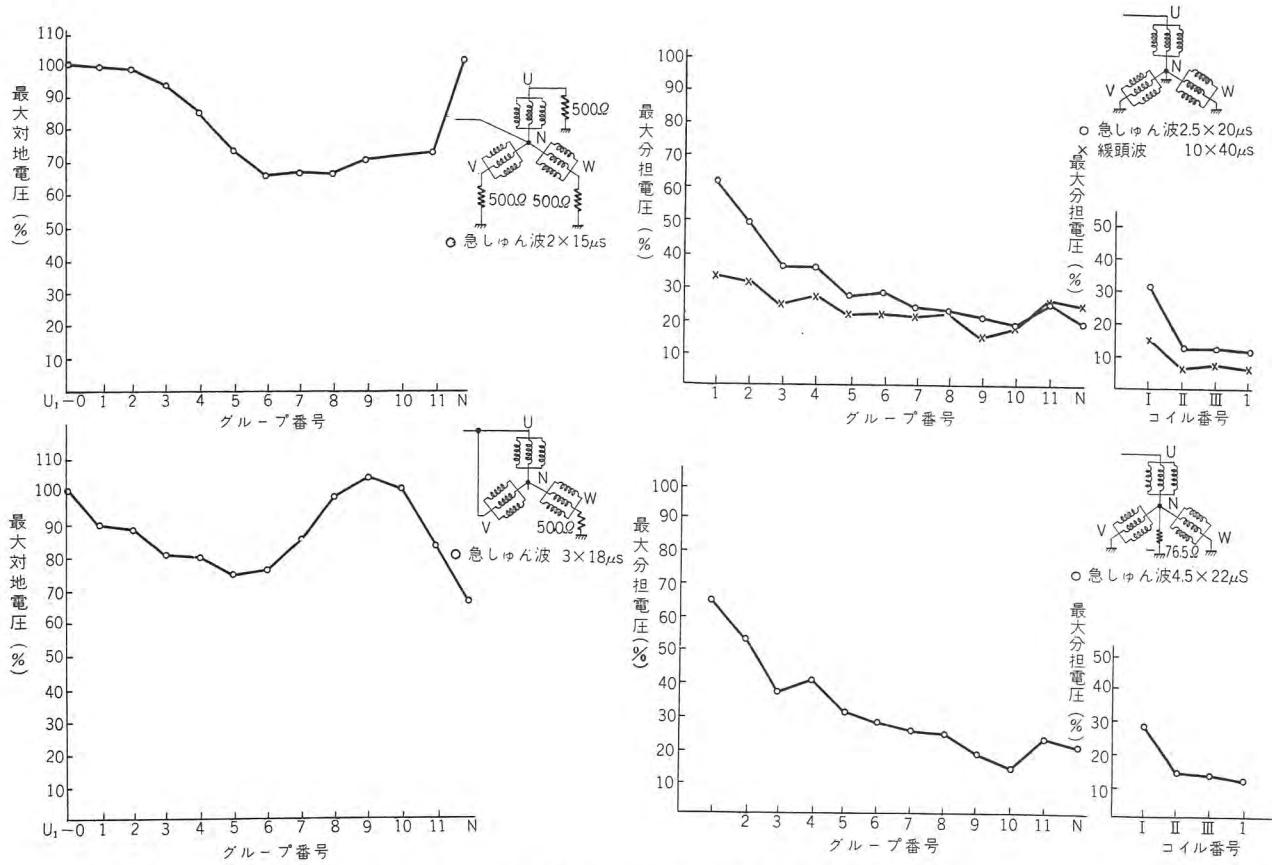


図 4.1 (b) コイル各部の最大対地電圧曲線および最大分担電圧曲線

Fig. 4.1 (b) Curves of the max. line to ground voltage and the max. sharing voltage at various points of coil.

測定回路	回路説明	サージインピーダンス(Ω)	伝播速度(m/μs)
	三相一括印加 中性点接地	18.75	(1相伝播速度) 14μs 22
	Uより印加 V.W接地 中性点76.3Ωで接地	45.7	"
	三相一括印加 中性点76.3Ωで接地	14.7	"
	Uより印加 U.Vおよび中性点一括接地	45.3	"

図 4.2 サージインピーダンスおよびサージ伝播速度測定回路ならびに測定結果

Fig. 4.2 Measurement circuit for surge impedance and surge propagation speed and measured results.

波高値を下げ、緩頭波に対しては逆の効果をあらわす結果と思われこれが測定印加波の波頭 $2.5\mu\text{s}$ と $10\mu\text{s}$ に對してかかる結果となったと考えられる。

分担電圧の最大はグループ間で 65% 程度、コイル間で 35% 程度で、今までに測定した発電機に比し少ない。これはコイル間の容量が大きい結果と思われる。

同じ相の 3 並列にあるコイル間のバランスは各項目ごとに測定したがオシロ (図 3.3(a)(b)) よりわかるようにわずかのアンバランスがある程度である。

サージインピーダンスおよびサージの伝播速度の測定結果を測定回路とともに図 4.2 に示す。前に述べたように C が大きく L が小さいためサージインピーダンスは非常に小さい値である。

5. む す び

本機は大容量のものでありコイル間およびコイル大地間の容量が大きく、したがってサージインピーダンスが小さくサージに対しての危険度は少ない。また電位振動も他の小容量の機器に比較して楽のようであり異常の点はない。

(34-7-10 受付)

105,000 kVA 特別三相式超高压変圧器

伊丹製作所 村上 有*・谷中頼朝**・田村良平**

105,000 kVA Special Three Phase Ultra-High Voltage Transformers

Itami Works Tamotsu MURAKAMI・Yoritomo TANINAKA・Ryohei TAMURA

Three units 105,000 kVA special three phase transformers have been built and delivered by Mitsubishi to Tagokura Power Station of the Electric Power Development Company, where the first section of work has been completed and commercial operation has been started. These transformers are the largest of the kind in Japan, outraging those delivered to Sakuma Power Station of the same concern. Because of the out-of-the-way station and limited space for outdoor installation, the units were built of a special three phase type and shipped assembled to give fuel play to the company's unique design. Another features are the installation of water coolers in the basement of the station building and provision of snow prevention in consideration of heavy snow fall.

1. まえがき

本邦の水力資源の宝庫である只見川開発は、わが国の多年の宿望であったが、電源開発株式会社田子倉発電所が、その先鞭をつけて第1期工事である三相105,000kVA変圧器3台(最終4台)のすえ付を完了し、官庁試験を終り去る6月1日を期して、同社南川越変電所に対し送電

が開始された。この発電所の建設にあたっても水力発電所共通の狭い立地条件のため、変圧器の組立室省略はもちろんのこと、屋外施設の簡素化もあってここに設置される主変圧器も、組立輸送形のものが強く要望されたため、佐久間発電所用主変圧器で製作して以来、当社のもっとも得意とする特別三相式構造を採用して組立輸送を行なった。

また当地方は、わが国においてまれにみる深雪地であるがため、冷却方式あるいは積雪対策などに特殊の考慮が払われて製作されている。図1.1は現地すえ付完成した変圧器を示す。

2. 定格および重量その他

形式	特別三相式	外鉄 Form Fit 形	送油水冷式
容量	105,000 kVA		
電圧	一次 13 kV△		
	二次 F287.5-R275-F262.5 kV△		
周波数	50 c/s		
絶縁階級			
卷線	一次 20 号		
	二次 線路側 200 号		
	中性点側 30 号		

ブッシング 卷線絶縁階級と同一

絶縁方式 サージブルーフ構造

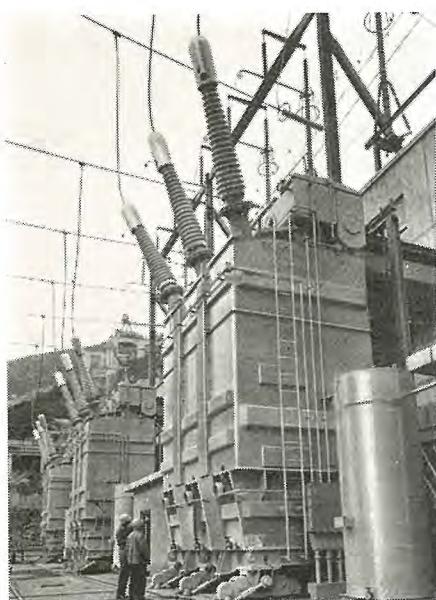


図1.1 現地完成した 105,000kVA 特別三相式変圧器

Fig. 1.1 Completed 105,000 kVA special 3 phase transformer at the site.

二次側 低減絶縁および段絶縁(中性点直接接地)	
インピーダンス電圧	9.5 %
重 量	216,000 kg
油 量	49,000 kg
総 重 量	265,000 kg
輸送重量	60,000 kg
別置冷却器重量	6,000 kg
外形寸法 巾	6,910 mm
奥行	5,760 mm
高さ	11,210 mm

3. 内 部 構 造

3.1 コイル

コイルは正方形または正方形に近いク形断面をもつた平角銅線の、2本ないし3本合わせた素線を、電流に応じて組合せ、そしてその素線は使用電圧に応じて、必要な厚さに紙巻絶縁を行ない十分な層間絶縁耐力をあたえている。

紙巻絶縁紙の最外層の1枚には、加熱乾燥ワニスを塗布したものを、適当の間隔をもって連続的に巻きつけているため、乾燥後互に素線同志が固着して一体となり、機械的強度の強いコイルを成形するほか、絶縁油が内部の絶縁紙までよく浸透するようにしている。

また素線の各単体は巻数に応じて所定の位置で転位し、渦流損の減少をはかっている。高圧コイルは段絶縁構造であるため、線路端から中性点に至るに従い次第にコイル外形を大きくし、反対に層間絶縁は線路端ほど強化されている。

3.2 絶縁構造

絶縁方式としては三菱外鉄形変圧器の標準方式であるサージプルーフ構造を採用し、中性点直接接地による低減絶縁および段絶縁方式を採用している。

(1) サージプルーフ構造 (Surge-Proof)

サージプルーフ構造については従来からしばしば発表されているので、詳細は省略しその要点を概説すると、コイルなどの高電位部分は、すべてプレスボードあるいはマニラ紙のような固形絶縁物で完全に包まれている。

すなわちこれらの紙類に絶縁油を真空含浸したものは高い絶縁耐力を有し、高い電位傾度に対してもコロナなどの発生がないようになっている。またこれらの絶縁物は原則として等電位面に沿って配置されるから、絶縁耐力の強い絶縁物の貫通方向だけに高い電気力線が作用す

るようになっている。すなわち衝撃電圧に弱い沿面絶縁距離に依存しない構造である。また高圧コイルのライン端には、コイルよりわずかに小さい静電シャヘイ板を配置し、これをラインコイルに接続して同電位とし、コイル付近の電位分布を改善するとともに、進入波の急しゅん波頭を緩和させる。構造上外鉄形変圧器のコイルは偏平で大きくかつその数も少なく、コイル間の静電容量が大地容量に比べていちじるしく大きいので、サージ電圧の分布が等分になるといえるのである。

(2) 低減絶縁方式 (Reduced Insulation)

直接接地線路に用いられるもので、米国で早くから採用され最近ではその低減度を1段から1段半および2段まで実施しようとしている。すなわちこの変圧器の二次最高電圧は287.5 kV (250 kV × 115%) であり、本来ならこの基準絶縁 (BIL) は250号であるにもかかわらず、本器はこれが1段下の200号の絶縁を採用した。これは中性点を接地すれば1線地絡時に健全相の電圧上昇が小さく、したがって許容端子電圧の低い避雷器を採用することができるためと、避雷器の信頼度がいちじるしく向上してきたため、これと協調して変圧器の絶縁レベルを低減しうるのである。

(3) 段絶縁 (Graded Insulation)

これは上記直接接地用には普通採用されるもので線路端の絶縁を200号とし接地端の絶縁は接地抵抗値または接地側のインピーダンスに応じた値とし、その中間のコイルは段階的に絶縁を傾斜低下しているものである。

とくに外鉄形変圧器は直列につながるコイル数が少なく、コイル巾が大でその間の対向面積が大きく、合成直列静電容量がコイル内での大地への静電容量よりきわめて大きいため、線路端から衝撃電圧侵入に対して他端が接地された場合、初期電位分布は直線に近く、コイル各

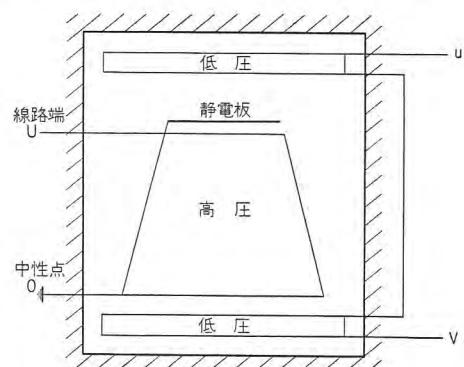


図 3.1 105,000 kVA 変圧器のコイル 1 相分の配列

Fig. 3.1 Arrangement of 105,000 kVA transformer coil. (1 phase)

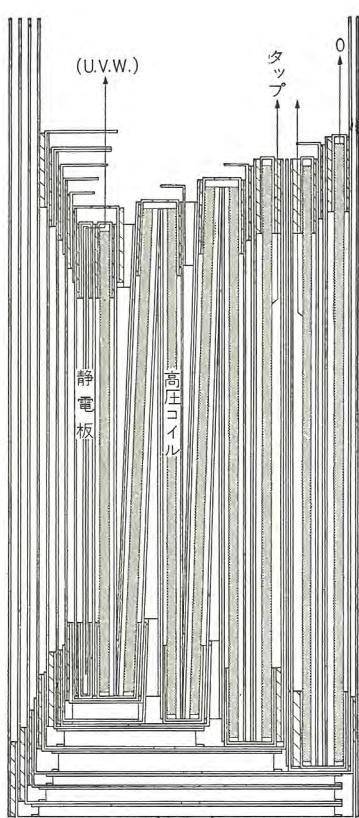


図 3.2 105,000 kVA 変圧器
高圧コイル

Fig. 3.2 High voltage coils assembly insulated with graded insulation.

の対地電位は上記のようであってほとんど上昇しないからその絶縁は 10 ないし 30 号程度でさしつかえないが、ここでは 30 号を採用された。外鉄形変圧器では段絶縁はきわめて容易にかつ有効に実施できるのが特長である。

3.3 短絡強度

外鉄形変圧器はコイルが一様に絶縁物で包まれ、しかもコイル枚数も少なく絶縁組立完了後のコイル群は十分に予備乾燥を行なった後で 300 トンプレスによってコイル締付板の上から一様にしかも十分に締付け鉄心積作業もコイル締付板で締めたままで行なわれるため、絶縁物の収縮もほとんど皆無であり、またコイル冷却のためのスペーサ間隔も必要限度に縮小してあるからコイルの変形なども起り得ず、短絡機械力に対し十分な強度を有している。また Form-Fit 構造であるため鉄心やコイルの支持ならびに締付けは別のワク金具を使用せず、強力なタンク自体を利用するから外箱と中身は混然一体となって機械的強度がきわめて高いのである。すなわち下部タンクのツバの上に鉄心をのせて組立てられ、鉄心の外周は中部タンクの内壁と油げきスペーサを介して圧接さ

れており、中部タンク上端の内側に特設された大きな支持ワクの下端で締付け、乾燥後十分になじませてタンク相互が溶接されるからゆるむことはない。また同様にコイルが鉄心より下部に出る所は、下部タンク壁との間に、上部に出る所は中部タンクの鉄心締付ワクとの間にクサビを入れて締付けられる。そのほかコイルの上下方向の不平衡力に対しては鉄心とコイル窓の間にもタングウェッジと称するクサビによって締め上げ圧縮力に耐える構造となっている。

このように強力に補強されたタンク自体が、コイルや鉄心を全面的に支持することになるので、強大な短絡力に対して局部的損傷をきたすことなく、また全体として剛性をもった強固なものとなっている。

4. 外部構造

4.1 特別三相式構造

特別三相式構造は佐久間発電所に納入した超高压 287.5 kV, 93,000 kVA 変圧器 4 台および 139,500 kVA 変圧器に初めて採用して以来、多数製作納入し当社の標準構造の一つになっている。詳細はたびたび発表しているため省略するが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、従来よりもっとも多く製作されたものと相違している点について述べると、従来は一般に上部タンクを各相共通タンクとして、そのタンク内部で普通三相変圧器と同じように結線を行なっていたが、この変圧器は、図 4.1 に示すように上部タンク、コンサベータ、放圧弁、などすべてを各相を完全に独立したも

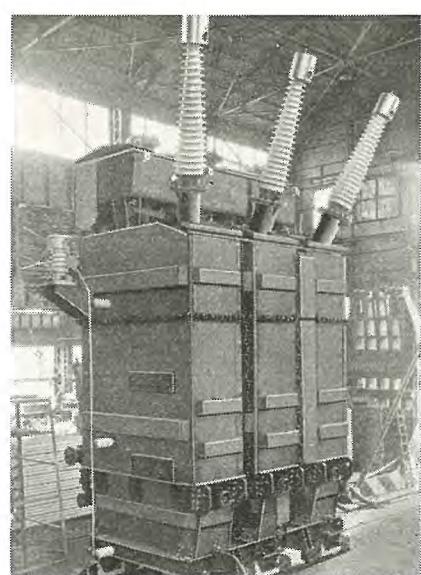


図 4.1 各相を分割して組合せた特別三相式変圧器

Fig. 4.1 Special three-phase transformer after three separate phases are assembled together.

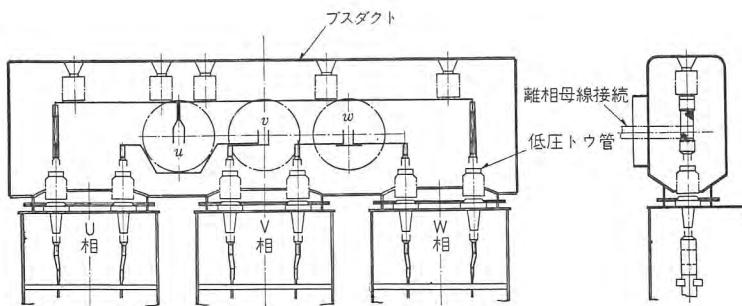


図 4.2 低圧側トウ管接続図
Fig. 4.2 Connection of L. V. bushings.

のとし、それぞれ単独にトウ管を設けている。したがって三相接続はすべて変圧器外部で行なわれる。すなわち高圧中性点の接続は各相とも上部タンク背面側側板に設けたトウ管を結んで行ない、そのために零相電流の検出はトウ管変流器の換りにガイシ形変流器を中性点接続線に入れタンク側板にじか付けとし、それを通して直接接地がなされる。低圧側は図4.2に示すようにタンク上面に設けて各相共通に取付けるブスダクト内で三角結線を行ない普通三相変圧器とまったく同様な形として離相母線に接続されている。したがって単相器としても単独に

製作試験がなされ、工程もいちじるしく短縮促進できる上に、万一事故の場合他相に波及することもなくかつ三相器と同じ寸法床面積ですむ特長をもっている。

台車は従来と同様に各相共通として1個の台車を使用し、ジャッキによって台車を持ち上げ、90度方向変換のできる玉軸受付車輪をもっているから組立位置から変圧器すえ付位置への移動も簡単に行なうことができる。

4.2 積雪対策

当地方はわが国ではもとより世界でも有数の深雪地帯で、最高4,5mにおよび、しかもこの発電所はpeak stationとして1日にセン頭負荷時の数時間しか運転されないことがあり、変圧器の運転休止中は一夜にして変圧器が雪に埋没されることも予想され積雪対策が考慮された。すなわち変圧器カバー、コンサベータ、低圧側ブスダクト上部などのすべてに対し、合計約1.5kW三相のスペースヒータを取付けた傾斜形密閉ケースを設置し、変圧器の運転休止の際はこれをつねに通電状態として温

度を保ち、積雪のために送電に支障ないよう特別に考慮を払った。つぎに述べる冷却方式なども積雪対策から定めた。

4.3 冷却方式

変圧器の冷却方式としては自冷式、送油自冷式、送油風冷式ならびに送油水冷式などがあるが上記に述べたとおり、山間水力発電所に共通のすき付面積がきわめて狭

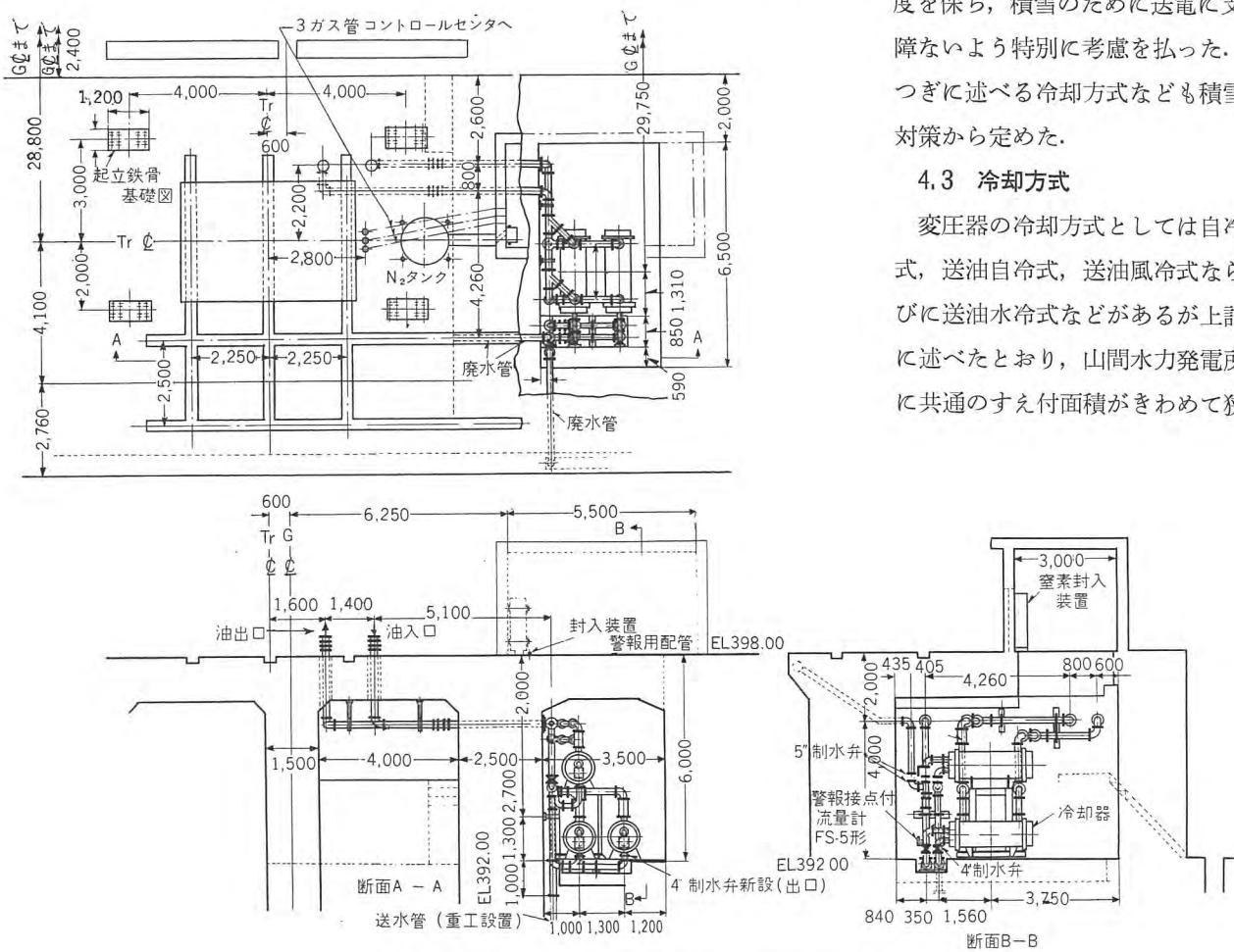


図 4.3 冷却器配管図 Fig. 4.3 Cooler pipings.

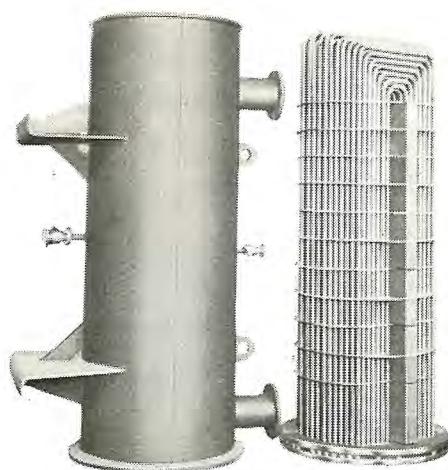


図 4.4 横形水冷式油冷却器

Fig. 4.4 Horizontal-type oil-to-water heat exchanger.

あいであること、積雪が多量であるということから、大型変圧器に最適の送油風冷式では床面積の増大、運転休止時に送風機が雪に埋没し起動時の支障などをさけるため、冷却方式として送油水冷式を採用し、しかも上記のような制約のため冷却器は地下冷却器室に別置されている。図 4.3 は変圧器ならびに冷却器の配置配管を示す。冷却器は図 4.4 に示すように、清掃点検に便利であるほか、水冷管中への空気の蓄積による冷却効果の低下がないよう横置形とし、各変圧器バンクにつき常用 2 個予備 1 個を設置した。

油循環ポンプは三相 3.7 kW のものを変圧器本体側に図 4.5 に示すように各相とも常用 1 台予備 1 台を特殊切換

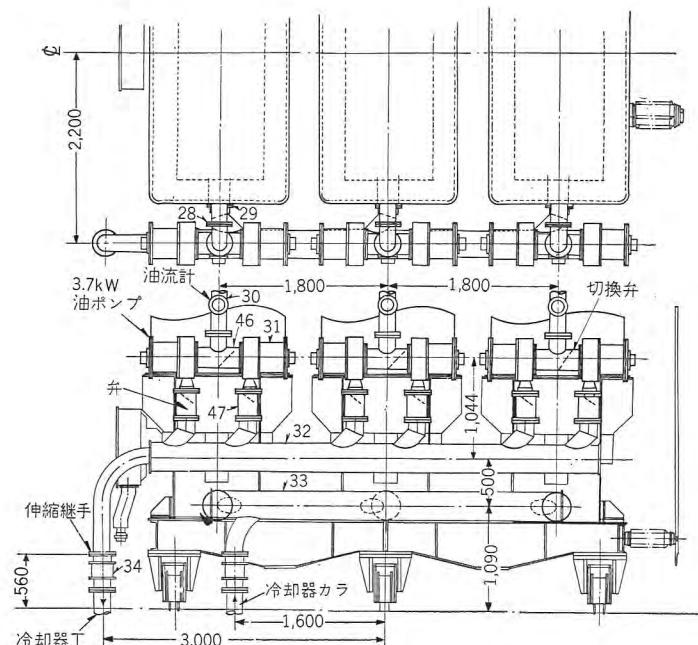


図 4.5 冷却器送油装置詳細図

Fig. 4.5 Details of oil circulation system for coolers.

弁を介して取付けた。この切換弁は左右方向に弁板を移動して他のポンプ回路を仕切るが、弁板を中央にセットすればポンプ 2 台を併用して運転することも可能である。

油ポンプ事故の際は他の予備ポンプに切換え運転しながら油を抜くこともなく交換が自由にできる構造とした。

変圧器 1 台あたりの循環油量は常用 3,000 l/min 程度となっている。油循環用配管には膨張収縮のため無理な応力が残らないようまた接続面から漏油が発生しないよう伸縮継手なども設けている。

冷却水は水車室から導かれ各冷却器に並列に給水し、付属の警報接点付流量継電器によって 1 台あたり 650 l/min

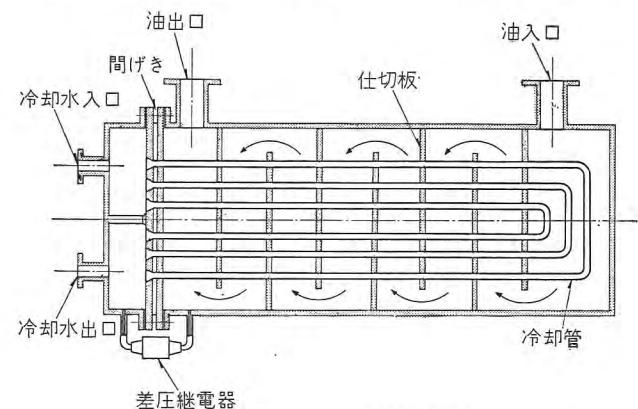


図 4.6 水冷式油冷却器構造図

Fig. 4.6 Cut-away view of oil-to-water heat exchanger.

に調整し、また断水の際は警報を発するようにしている。

水冷式変圧器は従来ややもすると冷却器の冷却管、または冷却管と鏡板接合部などからの漏水によって事故の偶発があったこと、または保守上種々の難点が多くあったが、今回使用した冷却器は図 4.6 に示すように鏡板 2 枚を使用した二重式の特殊構造で、これによればたとえ水室側鏡板接合部より漏水があっても、2 枚鏡板の間げきから外部に漏水するだけで、冷却水が油中に浸入することは絶対にない。また冷却管自身は耐食性の強いコンデンサチューブを使用し、鏡板との接合は拡管 (Expand) によって圧接し溶接は施行していない。管の選定および拡管作業に対してもは管の握力が失われず、また残留応力によってシーズンクラックの発生しない範囲内の拡管率におさえとくに厳密に作業管理を行なっている。製作後は漏水漏油に対する圧力試験 5 kg/cm² を実施して完全を期した。

一方管内の冷却水速は、長年月使用による侵食作用が発生しないよう十分余裕をとり水速は 1 m/sec

以下におさえた。そのほか冷却水圧はつねに油圧より低くなるよう制限し、その保護装置として油圧と水圧の差が 0.5 kg/cm^2 まで水圧が上昇すれば警報を発し 0.8 kg/cm^2 に低下すれば復帰する差圧継電器を付属して保護に万全を期した次第である。

4.4 ブッシング

高圧ブッシングは当社標準の油入密封形コンデンサブッシングを使用している。これは最新の OT 形と称する中心締付形ブッシングであり、中心締付形はその名の示すとおり、各部のパッキングは中心導体を利用して、頭部に設けられた強力スプリングの圧縮力によって締付けられている。ガイ管にはほとんど圧縮力だけかかるのであるから機械的に強く、フランジ金具とガイ管とはボルト締めされていないので、変圧器に取付けの場合、強く締め付けてもガイ管が破壊することではなく、フランジ金具の省略により、材料の節約、重量の軽減、組立工程の短縮などをきたすほか、外径が小さくなるため、これを取付けるブッシング形変流器の特性の向上、対塩害特性の良好なこと、そのほか PD の使用が可能であることなど多くの特長を有するものである。

図 4.7 は高圧線路用の 230 kV 用 OT 形ブッシングである。なお低圧側はバスダクト内で離相母線に接続されるので、離相母線の絶縁階級に合わせ 20 号の油入單一形のブッシングを採用した。

4.5 付属品その他

(1) SP 形衝撃圧力継電器

変圧器の内部事故検出装置としてはブッホルツ継電器が普通に用いられていたが、これはしばしば誤動作を起すことがあり、その信頼性に疑問を持たれている現状である。すなわちこの変圧器のようにセンターフィルム負荷時にだけ運転されるようならば、変圧器の温度変化がはなはだしくしたがって変圧器油への溶解窒素の分離によってブッホルツ使用にあたってつねに誤動作の発生が予想されたことも、この SP 形継電器採用の理由の一つである。

当社ではブッホルツ継電器に代る検出装置として大形変圧器にはすべて標準付属品としてこの衝撃性圧力



図 4.7 230 kV 中心締付形油入コンデンサブッシング

Fig. 4.7 Center clamped type oil filled condenser bushing. (230 kV)

この構造は、機械的強度が高く、耐熱性が優れ、また、油の漏洩がほとんどないことが特徴である。また、部品点数が少なくて済むため、コスト削減にも寄与している。

図 4.8 は SP 形衝撃圧力継電器の構造図である。この継電器は、油入変圧器の油面上ガス室部に取付けられ、内部事故でガス圧力が急激に上昇した場合、金属ベローが膨張してマイクロスイッチを動作させる。ベローの膨張量はその内外の圧力差で決まるが、ベロー外部リレー室はイコライザ(均圧孔)を通じてガス室に連絡されているため、ガス室の圧力上昇の速度が小さいときは、イコライザの抵抗は効果がなく、スイッチを動作させるに必要な圧力差には達しない。換言すれば、この継電器の検出感度はガス室圧力上昇速度により決まるもので、ガス室内の初期圧力には無関係とすることができる。

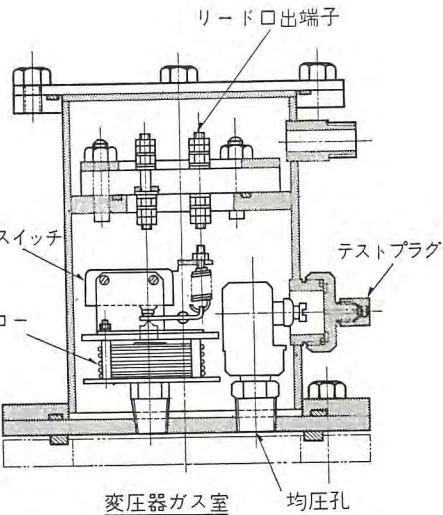


図 4.8 SP 形衝撃圧力継電器構造図

Fig. 4.8 Construction of type SP sudden pressure relay.

継電器を採用している。

この継電器は変圧器巻線に短絡、混触などの事故があった場合、アーキにより絶縁油が分解され、内圧が急激に上昇する事実に基づき、この圧力上昇を機械的に検出し変圧器の



図 4.9 SP 形衝撃性圧力継電器

Fig. 4.9 Type SP sudden pressure relay.

回路をシャットダウンするものである。図 4.9 はこの継電器の構造を示す。図 4.9 はその外観を示すもので、油入変圧器の油面上ガス室部に取付けられ、内部事故でガス圧力が急激に上昇した場合、金属ベローが膨張してマイクロスイッチを動作させる。ベローの膨張量はその内外の圧力差で決まるが、ベロー外部リレー室はイコライザ(均圧孔)を通じてガス室に連絡されているため、ガス室の圧力上昇の速度が小さいときは、イコライザの抵抗は効果がなく、スイッチを動作させるに必要な圧力差には達しない。換言すれば、この継電器の検出感度はガス室圧力上昇速度により決まるもので、ガス室内の初期圧力には無関係とすることができる。

(1) 微小な圧力上昇ですみやかに動作する。したがって被害を最小限に止めることができる。

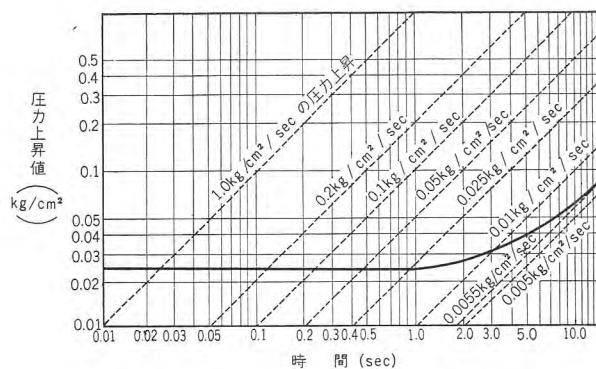


図 4.10 SP 形瞬時圧力継電器の動作特性曲線

Fig. 4.10 Operating characteristic curve of type SP sudden pressure relay.

(2) 常時圧力の変動する窒素封入式、完全密封式変圧器に取付けても、感度が変わらず、誤動作のおそれがない。

(3) 動作のチェック、取換えが容易であり、動作特性を簡単に調整できる。

4.6 窒素封入装置

変圧器の絶縁の劣化は、ほとんど外気からの酸素や水分によるもので、油入変圧器の保守は大部分油の保守であるといつても過言でない。油の劣化防止法としては種種の方式があるが、大形変圧器に対する当社の標準としてはボンベ式窒素封入装置を採用している。これはコンサベータの上部に油の膨張収縮のための空間を残し、ここに窒素ガスを封入密閉し、呼吸作用による窒素の消耗は別の窒素ボンベより減圧弁を経て自動的に補給して油と大気の接触を防止するもので、もっとも完全な窒素封

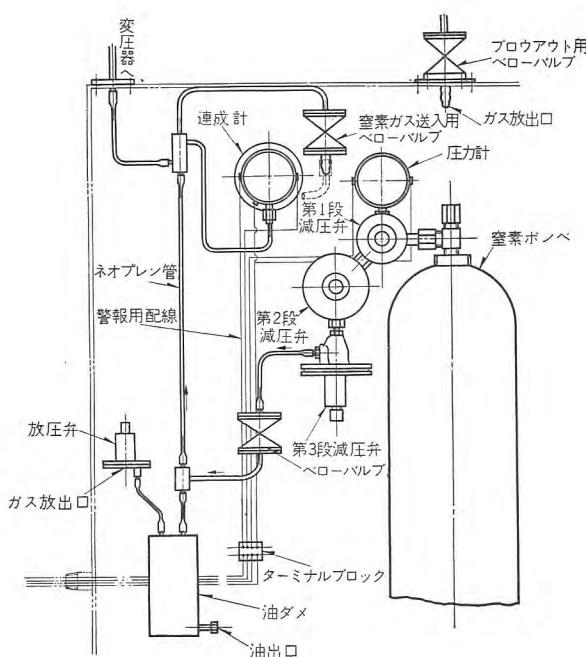


図 4.11 窒素封入装置配管図

Fig. 4.11 Piping of nitrogen-seal equipment.

入方式である。概要を簡単に述べると、図 4.11 に示すように 150 気圧の市販の純度 99.7 % の窒素ボンベより、3 個の特殊減圧弁によって 150 気圧より 0.03~0.05 kg/cm² に減圧して、変圧器コンサベータに連結する。

そして内圧が 0.03~0.05 kg/cm² 以下に低下した場合、自動的に窒素が補給されて、つねに一定圧力を保つようになっている。一方圧力が上昇した場合図 4.11 に示す放圧弁によって外部に放出される。この放圧弁の放出圧力は 0.3~0.35 kg/cm² 程度に調整してあるので、この圧力の範囲内では窒素ガスの出入はなく、密閉状態を保つ。負荷ならびに外気温度変化による油温変化を -20°C ないし 80°C としてコンサベータの容積を定め、そして外気温度に対する窒素ガスの膨張収縮を考慮して、十分予裕のあるガス容積をもった、ガスタンクを別置しており、平常状態なら上記圧力内に保持され、配管その他パッキン部分からの漏洩のない限り、ほとんど窒素の消耗はないといってよい。

窒素封入装置は、コントロールセンタ内に設置し冬期の点検に支障がないよう、また温度の急変による動作に影響のないようスペースヒータなどを設けて万全を期している。窒素封入装置の保護装置としては、タンク内圧が 0.4 kg/cm² 以上、また負圧 -0.17 kg/cm² になるとそれぞれ警報し、またボンベ圧力が 15 気圧に低下した場合、取換え準備の警報を発する接点を、連成計、圧力計に取付けている。

5. 組立および輸送

5.1 工場組立

巻線工場で巻かれたコイルは、中身組立工場へ運ばれ

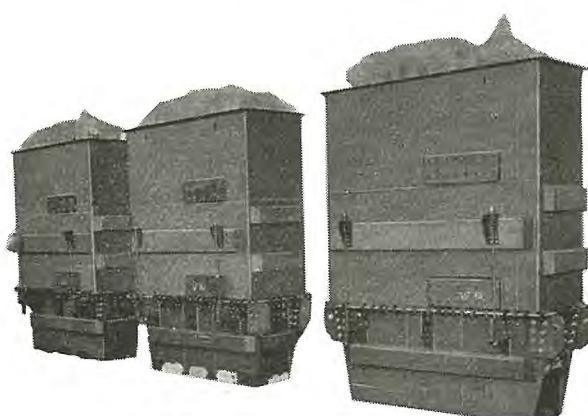


図 5.1 中部タンクによって中身を締付けた 105,000 kVA 変圧器の各相

Fig. 5.1 Three separate phases of 105,000 kVA transformer after the core and coil assemblies are clamped by middle tanks.

組立架台の上に積み重ね、コイルは順次巻始め巻終り同志をロウ付けで接続し、絶縁当てが行なわれ、絶縁組立を終ったコイル群は十分乾燥を行なったのち、300 トンプレスで一様に締めつけられる。ついで各相ごとに下部タンクの中に立てクサビでコイルを締めつけて、その周囲に鉄心を積む。鉄心を積み終れば図 5.1 に示すように中部タンクをかぶせ十分締めつけた後、輸送盲プラを中部タンクにボルト締めし乾燥に移る。乾燥は Form-Fit 変圧器に最適のタンク誘導加熱ならびに熱風の併用を採用する。すなわち輸送盲プラを取り付けた状態でタンク側面に保温を施し、その上に導線を巻き、単相 60 サイクルの電流を通じ、誘導磁束によりタンク壁温度を 100°C 程度に保つ、これと同時にタンク下部より約 110°C の熱風を送入して予備乾燥を行ない、大部分の水分を除去したのち、熱風送入を打ち切り、真空乾燥にはいる。乾燥終了後絶縁油の真空含浸を行なったうえ、各相ごとに共通車台の上に立てて、各相タンクを強固に連結し相間は化粧カバーを取付ける。ブッシング、コンサベータなどの付属部品は各相独立して取付ける。低圧ブッシングは各相共通のブスダクト内で、高圧側中性点ブッシングは上部タンク背面側でそれぞれ三相接続を行なう。冷却器からの油配管は各相共通管として接続し、組立を完了する。完成後の外観は図 4.1 に示すように普通三相変圧器となんら異なるところはない。

5.2 輸送

輸送は上述のように、コイルおよび鉄心を各相ごとに下部タンクおよび中部タンクに納めて組立たるものに、輸送盲プラをし、圧力 0.2 kg/cm² 程度に窒素封入をして横倒し、図 5.2 の写真に示すような各相が偏平な形であるからシキ 150 形式特殊大物貨車を使用しビームにつり下げる輸送をした。なお窒素封入された上記本体 1 相の

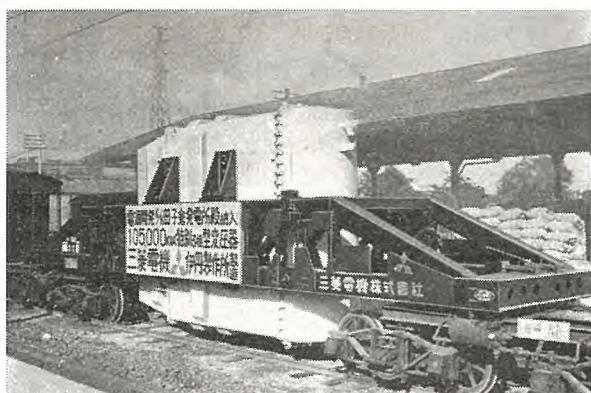


図 5.2 組立輸送を行なう 105,000 kVA 変圧器の 1 相
Fig. 5.2 Single phase unit of 105,000 kVA transformer assembled for shipping.

105,000 kVA 特別三相式超高压変圧器・村上・谷中・田村

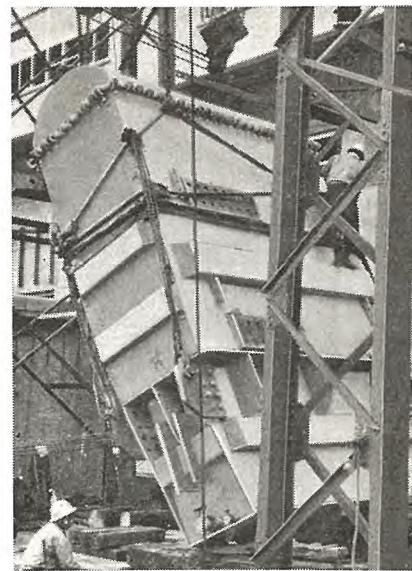


図 5.3 現地で起立作業中の 105,000 kVA 変圧器の 1 相
Fig. 5.3 105,000 kVA transformer being assembled at the site.

輸送重量は約 60 トンである。

5.3 現地組立

上述のように各相ごとに組立輸送した本体は、現地でジャッキによって荷卸し、所定の組立位置へコロ引して運搬する。すえ付現場はきわめて狭あいであるため、組立室はなく将来増設される 4 号器のすえ付場所において図 5.3 に示すような簡単な起立鉄骨を用いて起立作業を行ない、工場におけると同様にして各相一体構造に組立て外部部品などの取付け組立を完成した。各変圧器は所定のすえ付位置に対し自身の車台に取付けた車輪をジャッキによって 90 度の方向変換し移動してすえ付けした。

6. 試験

工場完成ののち、特性試験、絶縁耐力試験、温度上昇試験をはじめ諸種の試験を行ない、以下に述べるような優秀な試験結果をうることができた。

6.1 特性試験結果

(1) 損失

損失	測定値 (kW)			保証値 (kW)
	1号器	2号器	3号器	
鉄損	198.2	187.8	185	233
銅損	393.7	378.9	375.2	400
全損失	591.9	566.7	560.2	633

(2) 効率 力率 100% において

負荷 (%)	測定値 (%)			保証値 (%)
	1号器	2号器	3号器	
100	99.44	99.46	99.47	99.39
75	99.47	99.49	99.50	99.41
50	99.44	99.46	99.47	99.36
25	99.16	99.20	99.21	99.10

(3) 無負荷電流

	1号器	2号器	3号器	保証値(%)
100% 電圧	1.985	1.02	0.99	2.3
110% 電圧	3.92	1.96	1.886	4.6

(4) 電圧変動率

力率 %	測定値(%)			保証値 (%)
	1号器	2号器	3号器	
100	0.80	0.81	0.80	0.9
90	4.70	4.79	4.76	5.2

(5) インピーダンス電圧

	測定値(%)	保証値(%)
1号器	9.27	
2号器	9.47	
3号器	9.39	9.5

6.2 商用周波耐圧試験

超高压側は上記のように、段絶縁を施しているので、全絶縁のような加圧試験は実施できない。従来は低圧側から加圧し誘導によって高圧端子に規定電圧(460 kV)を誘起させる方法がとられてきたが、この方法では高圧中性点に $460/\sqrt{3}=153$ kV が誘起されることとなり、また高圧端子が巻線の対地容量などによって巻数比以上の高圧となることがあるので好ましくない。したがってこのばあいは、高圧線路端から直接印加する方法を採用

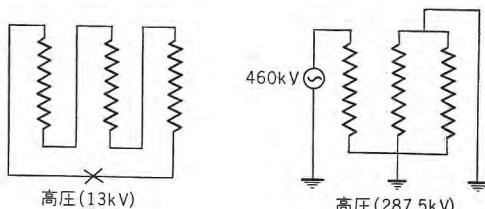


図 6.1 高圧より印加の交流耐圧試験結線図

Fig. 6.1 Connection diagram of AC potential test voltage impressed from high voltage.

し図 6.1 の結線のように中性点を接地し、1相に 180 サイクル 460 kV の電圧を 40 秒ずなわち、7,200 サイクル直接印加した。この方法では中性点は接地されているから中性点側の絶縁階級を 30 号としてもよく、電圧測定も被試験器の低圧側で読むから、きわめて正確である。高圧中性点は 30 号の試験電圧 70 kV を、低圧側は 20 号の試験電圧 50 kV それぞれ 1 分間加圧して、いずれも試験結果は良好であった。

6.3 衝撃電圧試験

変圧器衝撃電圧試験規格「JEC-110」にしたがって試験を完全に施行した。試験電圧は表 6.1 のとおりである。

表 6.1 衝撃試験電圧

	絶縁階級(号)	全波 (kV)	サイ断波 (kV)
高圧巻線	200	1,050	1,210
低圧巻線	20	150	170

6.4 温度上昇試験

全損失に相当する電流を供給して油の温度上昇を求めた後、定格電流を供給して抵抗法により巻線と油の温度上昇の差を求め、両者の和から巻線の温度上昇を算出するもっとも完全な方法を採用した。試験結果はつぎのようにきわめて好成績を得た。

表 6.2 温度上昇試験結果

	U 相	V 相	W 相
油 (丸形温度計)	30.5	30.5	25.5
コイル (抵抗法)	46	46	41
全損失	51	51	46
	591.9 kW		
油出口	48°C		
油入口	39°C		
水出口	27°C		
水入口	20.5°C		
循環油量	2,000 L/min		
冷却水量	1,300 L/min		

7. むすび

以上超高压 105,000 kVA 特別三相式変圧器に関して、概要を述べたが、今後ますます大規模な電源の拡充がなされるとともに、広域運営の推進に対応し超高压幹線による系統構成の確立のために、超高压変圧器の前途には洋々たるものがある。今後さらにめざましい発展を遂げるため変圧器製作に携わるものとして微力を尽すべく念願している。最後にこの変圧器製作の機会を与えられた電源開発株式会社関係各位に深甚な謝意を表する次第である。

参考文献

- 田宮・村上：佐久間発電所用特別三相式超高压変圧器「三菱電機」29 12 号
- 村上：最近の特別三相式変圧器「三菱電機」31 10 号
- 村上・田村：最近の水力発電所用変圧器「三菱電機」32 3 号

“URD”形負荷時タップ切換乾式変圧器

伊丹製作所 萩野脩*・米沢克昌*・米沢輝雄*

Class H Insulation Dry Type Transformer with Type URD On-load Tap Changer

Itami Works Osamu OGINO・Yoshimasa YONEZAWA・Teruo YONEZAWA

By combining the manufacturing experience of Mitsubishi class H dry type transformer with the development of type URD on load tap changer utilizing the engineering know how of air circuit breaker, it was made possible to build a dry type transformers which can regulate the voltage under load. The first products of this kind are two station service transformers for Tagokura Power Station of Denger Kaihatsu Co., each rated 3 phase, 50 c/s, 2,000kVA 13kV/3.3kV $\pm 0.33kV$, which were shipped to the site recently.

Those units are results of successful manufacturing experiences and laborious research works for many years, and now dry type transformers can be made to change their taps under load to maintain a constant supply voltage, thus improving the system quality.

Simplicity and durability were of primary importance in the design of the units to assure the maximum safety and smooth, trouble-free operation.

1. まえがき

H種絶縁乾式変圧器は可燃性の絶縁油を使用しないので、ビルディング、発電所内、地下鉄、鉱山、船舶をはじめ特殊工場などに広く使用されはじめ、火災の懸念を一掃し、保守運転の簡易化をはかるとともに、洗練された外観は近代人の感覚によくアッピールし、変電所の設計に大きな進歩をもたらした。

当社では昭和 29 年 H 種絶縁乾式変圧器の製作を開始以来今日までに約 500 台、延べ容量 150,000kVA を製作、需要家の要求に応じてきた。

今回電源開発田子倉発電所の建設にあたり、所内用変圧器として H 種絶縁乾式変圧器が採用され、三相 50 c/s 2,000 kVA 13,000 V/3,300 V ± 330 V 負荷時タップ切換乾式変圧器 2 台をはじめ、三相 50 c/s 400 kVA 3,300 V/420~210 V 8 台、三相 50 c/s 30 kVA 420 V/210 V 5 台、三相 50 c/s 20 kVA 4 台の乾式変圧器製作の機会を与えられた。

このうち 2,000 kVA 乾式変圧器は、その絶縁構造ならびに鉄心構造にも数々の特色をもっているが、当社で新しく開発した URD 形乾式負荷時タップ切換器を付属させた最初の製品であることは特筆されるべき事項である。一般に電圧変動を小さくおさえ、電気の質の向上のためには受電電圧の変化または負荷の変動に対し変圧

器の一次または二次巻線にタップをつけ、変圧比を変えて電圧を調整する方式が用いられる。この変圧器のタップの切換えに際して変圧器を線路から切離して行なうことはめんどうで停電時間を要し連続送電を犠牲にするだけでなく、運営上いろいろ好ましくないのでこのばあいの一方法として負荷時タップ切換器の採用、いわゆる負荷時タップ切換変圧器を設置することは設備が簡単であり、運転経費ももっとも経済的で広く採用されている。当社ではこの目的に YT 形、UT 形、URS 形、URL 形負荷時タップ切換器を標準化し広く需要に応じている

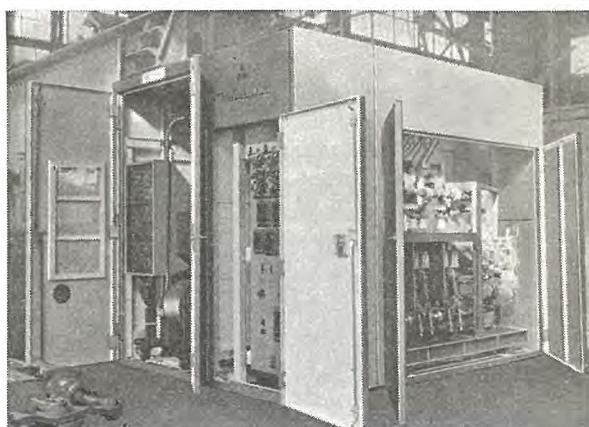


図 1.1 三相 50 c/s 2,000 kVA 負荷時タップ切換乾式変圧器

Fig. 1.1 3 phase 50 c/s 2,000 kVA class H insulation dry type transformer with on load tap changer.

がこれらはいずれも油入形のため、不燃性の乾式変圧器に付属させることは適切でなかった。

油を使用しない不燃性の乾式変圧器に付属させるにふさわしい気中開閉器をもった油を使用しない負荷時タップ切換器の開発が乾式変圧器の普及とともに待たれたわけであるが、今回当社でこの目的に沿ったURD形乾式負荷時タップ切換器を完成、この要望に答えることができた。

以下URD形乾式負荷時タップ切換器を中心としてこの変圧器の概要を紹介しよう。

2. URD形乾式負荷時タップ切換器の特長

URD形乾式負荷時タップ切換器は電流シャンクに気中開閉器を使用し絶縁油をいっさい使用していない。H種絶縁乾式変圧器と組合せて使用される負荷時タップ切換器であるから、空气中で長時間使用されても安定した電気的ならびに機械的性能を発揮するようとくに留意して設計が行なわれている。すなわち構造の堅牢度、耐久性に富んでいて、装置の単純化、簡易化を計り、保守上の信頼性、安全感の増大と円滑で確実な運転を主眼点として設計されている。以下項をおって説明するが具体的な特長を列記すれば、

(1) 移転開閉器、選択開閉器、循環電流抑制用リクトルなどはすべて油を使用しない乾式構造で、絶縁物にはガイシ、メラミン処理ガラス積層板、レダルタなどの不燃性もしくは難燃性の材料だけを使用している。したがって油入器のように爆発、燃焼などの不慮の災害をひき起すような憂いはまったくなく、油漏れ、油による汚損がない。油入負荷時タップ切換器の保守にもっともめんどうな油の点検、口過の必要もなく、接点は長い寿

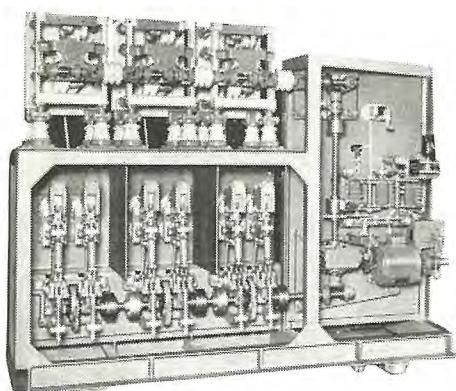


図2.1 キュービクルより引出されたURD形負荷時タップ切換器

Fig. 2.1 Type URD on load tap changer equipment.

命をもっている。

(2) 移転開閉器、選択開閉器、駆動機構は同一平面上に配置して、キュービクル扉を開ければ全容が一目で見え保守点検が容易である。またこれらタップ切換器の全機構が車輪付の架台上に組まれている引出形であるので乾式変圧器とともにキュービクルに収納するのに便利である。(図2.1参照)

(3) 移転開閉器は早切り構造と空気吹付機構を有する磁気吹消形開閉器で全電流域にわたり1サイクル程度の短いアーク時間で開閉が行なわれる。

(4) 選択開閉器可動コンタクトに鉄ヨークを取付けているので、短絡電流にもコンタクトを損傷することがない。また極性切換器軸を選択開閉器軸と同心とし、全体を小さくまとめている。

(5) 機械的ストップはラ旋转のミゾ段車とラッチとを組合せ、タップ切換器が最低または最高の位置を行き過ぎると自動的に鎖錠を行なうが、逆方向に動作が再開されると自動的に復帰して鎖錠を解くようになっている。

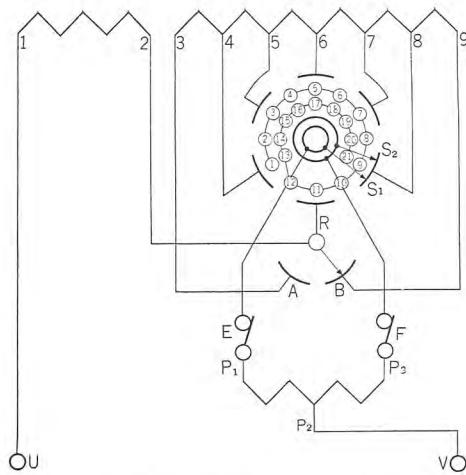
3. URD形乾式負荷時タップ切換器の定格、結線

URD形負荷時タップ切換器の定格は絶縁階級6号Aで電流容量は各相500Aである。三相のものを標準とし、タップ数は標準11点で、極性切換器を有し上昇下降各5段に切換える。なおタップ間橋絡位置を規定点とし補助単巻変圧器(限流リクトル)で分圧して、タップ数を21点とすることもできる。

電圧調整範囲を上下10%とすれば11点でステップ2.0%となり実用上適当な電圧調整が可能となる。特殊用途でタップ範囲が広大なばいには21点にする。

図3.1はURD付変圧器の1相分の結線を示す。タップ4~8はそれぞれ選択開閉器の固定コンタクトに接続され、3,9は極性切換器固定コンタクトA,Bにつながれる。選択開閉器可動コンタクトS₁,S₂は、移転開閉器E,Fを経て限流リクトルのP₁,P₃リードに接続される。固定コンタクトRは、主巻線端子2に接続される一方、転極可動コンタクトRによって、AまたはB固定コンタクトに接続される。タップ位置11が中性点で電圧調整零、1が最低電圧、21が最高電圧となる。

この結線では相電流が500Aまであるから回路電圧を6.6kVとすると最大変圧器容量10,000kVAまで



付表. 移転開閉器 E, F は各タップ位置で閉.

タップ位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
S ₁ と	4	5	5	6	6	7	7	8	8	R	R	4	4	5	5	6	7	7	8	8	
S ₂ と	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	R	R	4	4	5	5	6	6	7	7	
R と	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

図 3.1 URD 形負荷時タップ切換器結線図

Fig. 3.1 Type URD on load tap changer connecting diagram.

に使用しうることになる。変圧器の容量が大で巻線電流が 500 A をこえるとき、または回路電圧が 6.6 kV よりも高いばあいは、主変圧器と別に直列変圧器を設けて調整容量分のタップ変換を行なう結線方式を用いる。⁽¹⁾

4. URD 形乾式負荷時タップ切換器の変換動作

タップ切換えの順序は図 4.1 に示すとおりである。図例はタップ位置 9 から 13 までの動作シーケンスを示している。タップ位置 10 より 11 に移るときに極性切換可動コンタクト R は A より B に移る。

たとえばタップ位置 11(中性点)

から 13 に移るときは、はじめタップ位置 11 の a 点では限流リクトルが短絡され移転開閉器 E, F にはそれぞれ 1/2 負荷電流が流れている。電動または手動により操作軸を回転すると、b 点で移転開閉器 E が開き、E に流れていた電流を開閉器 F に移す。ついで操作軸が回り選択開閉器 S₁ は c 点で 3 より 4 に無電流で切換えられ、しかる後 d 点で開閉器 E が閉じて、タップ 3, 4 間を橋絡するが、限流リクトルのインピーダンスによって循環電流は制限さ

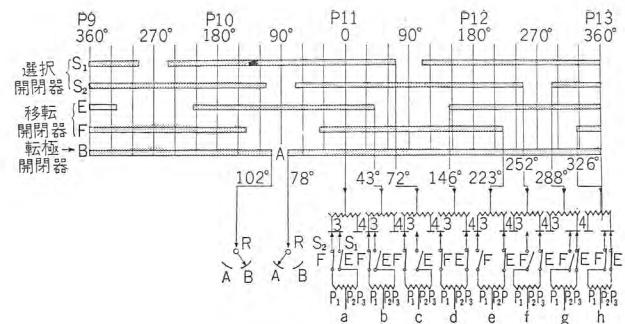


図 4.1 動作シーケンス

Fig. 4.1 Sequence of various switches.

れる。いま負荷電流を I_l 、循環電流を I_c とすると、開閉器 E には $I_l/2 + I_c$ の電流が、開閉器 F には $I_l/2 - I_c$ の電流が流れる。さらに操作軸が回転し移転開閉器 F が開き、選択開閉器 S₂ がタップ 3 から 4 に移る e, f, g 点の過程を経て h 点で 1 タップの移行が終る。

タップ位置 11 から 9 に電圧下降方向に変換するときは、まず移転開閉器 F が開き、選択開閉器 S₂ がタップ 8 に移ると同時に極性切換可動コンタクト R は無電流で A から B に移る。しかる後 F が閉じてタップ 8~9 間を橋絡する。続いて E が開き S₁ がタップ 8 に移った後 E が閉じて 1 タップの移行を完了する。

5. URD 形乾式負荷時タップ切換器の構造

この切換器は、絶縁油はまったく使用せず、磁気吹消コイル付空気吹付形開閉器、選択開閉器、極性切換器、限流リクトル、および電動駆動機構よりなっている。これらは図 2.1, 5.1 に示すように同一平面上に配置し台

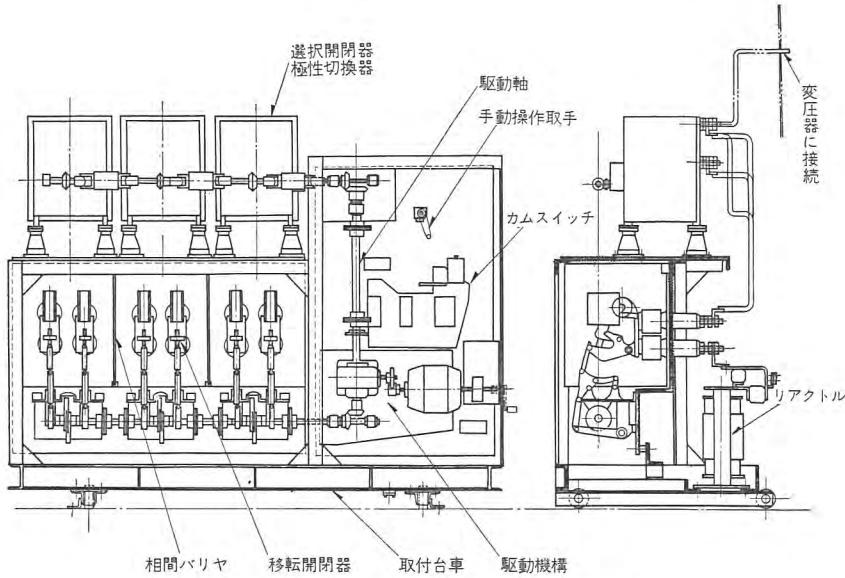


図 5.1 URD 形負荷時タップ切換器正面図

Fig. 5.1 Front view of type URD on load tap changer.

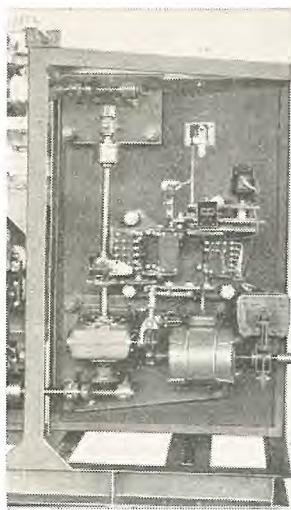


図 5.2 駆動機構部
Fig. 5.2 Driving mechanism.

器、極性切換開閉器に駆動軸により回転が伝達される。各開閉器にはカムまたはゼネバギヤが連結されており 4 項に述べた動作シーケンスが行なわれる。

5.1 駆動機構

図 5.2 に示すように駆動電動機、ウォームギヤ減速機、カムスイッチ、動作回数表示器、タップ位置指示器などが設けられている。

手動操作を行なうため手動操作用取手を取付け位置からはずすと駆動用電動機の電気回路は自動的に開路され、必ず無電圧の状態で手動操作が行なわれる。

最高、または最低タップ位置よりの行き過ぎに対しては、電気操作のばあいには駆動用電動機回路に插入されたカムスイッチの接点が開路することにより保護が行なわれる。

手動操作のばあいには図 5.3 に示すような機械的鎖錠装置により保護が行なわれる。すなわち最終タップ位置

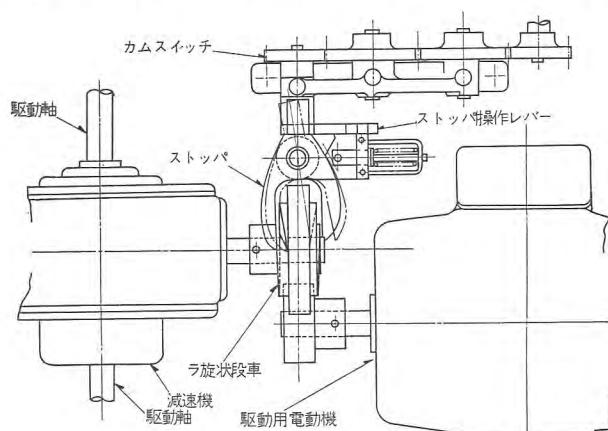


図 5.3 駆動機構部機械的鎖錠装置
Fig. 5.3 Mechanical stopper.

車付フレームに組込まれているので、変圧器との接続リードをはずせば容易にキューピックルから引出すことができる。

制御装置よりのタップ切換えの指令により右端にある駆動機構の電動機が回転し、これをウォームギヤ減速機により減速してから、左下の移転開閉器、および左上の選択開閉

を行き過ぎてもさらに駆動操作が行なわれるときには、駆動軸と連動したストッパ操作レバーが回転してストッパの一端を右、または左に押すため、ストッパのツメがラ旋转加工を施した段車にくいこみ駆動軸の機械的鎖錠が行なわれる。軸を逆転すればストッパはラ旋转状の表面からはなれ鎖錠作用は解除される。

5.2 移転開閉器

図 5.4 に移転開閉器を示す。駆動軸によりミゾカムが回転すると、ミゾ中のニードルベアリング付カムフォロワが動作して操作レバーが上方に運動し操作バネを圧縮する。

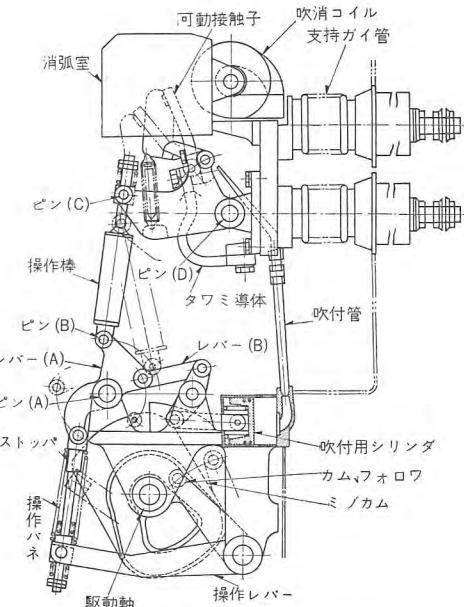


図 5.4 移転開閉器構造図
Fig. 5.4 Transfer switch.

圧縮が十分に行なわれたころ操作レバーの端部がストッパにあたりこれを押し上げるため、レバー (A) が時計方向に回転しピン (A) — レバー (A) — ピン (B) — 操作棒 — ピン (C) — 可動接触子フレーム ピン (D) で形成されるトグルリンクがくずれ操作バネにより急速な開路動作が行なわれる。このときレバー (B) をかいて空気吹付用シリンドラが動作し吹付管より空気吹付がアークに対して行なわれる。

後述の試験結果からもわかるように磁気吹消形の開閉器は小電流域でアーク時間が延長する傾向があるが、上記のような空気吹付により全電流域にわたり短いアーク時間が保証されると同時に操作時の空気緩衝装置としても有効である。

操作棒および吹付管には“レダルタ”と称する、電気的、機械的性質はフェノール樹脂と同等、耐熱性はメラ

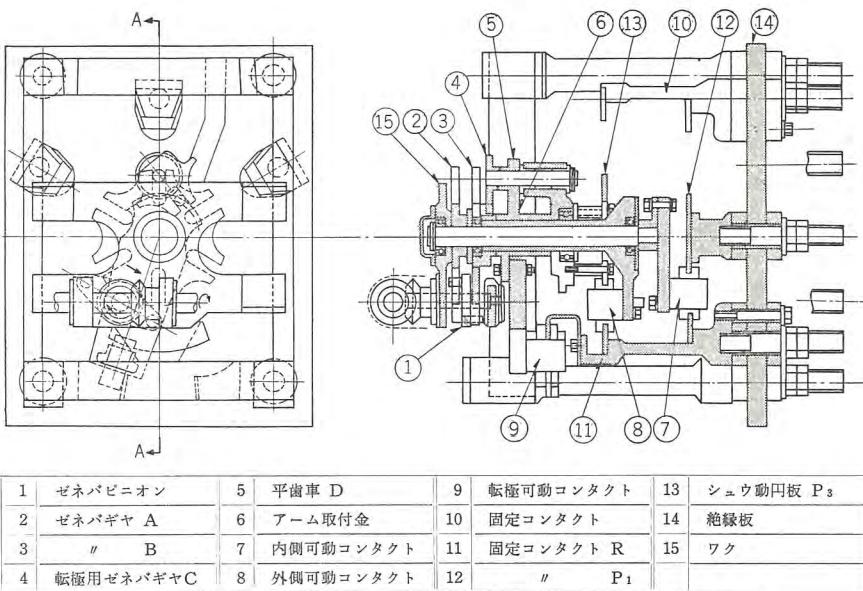


図 5.5 選択開閉器構造図

Fig. 5.5 Selector switch.

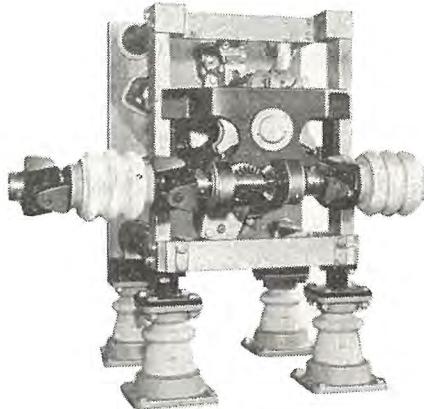


図 5.6 選択開閉器

Fig. 5.6 Selector switch.

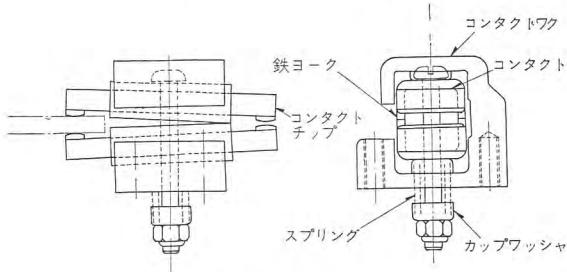


図 5.7 可動コンタクト

Fig. 5.7 Moving contact of selector switch.

ミン樹脂に類似した難燃性の材質を使用した。

5.3 選択開閉器、極性切換開閉器

図 5.5, 5.6 に示すように、固定コンタクト、2 個の可動コンタクト、シュウ動コンタクトおよび極性切換器からなっている。

固定コンタクトは銅合金の足がメラミン処理ガラス積層板上にガイシでうかして締付けられ、足には 2 枚の接

“URD”形負荷時タップ切換乾式変圧器・荻野・米沢

触子が取付けられている。

可動コンタクトは図 5.7 に示すように両端には AgNi 合金のチップがロウ付けされている。またコンタクト中央にロウ付けされている鉄ヨークは短絡電流によるコンタクトの損傷を防ぐと同時に、可動コンタクトが固定コンタクトにはいりやすくするため、上下コンタクト間に適当な間げきをもたせる役目をする。内側の可動コンタクトは、中心軸に固定された絶縁アームの先端に取付けられ、選択開閉器固定コンタクトと、メラミン処理ガラス積層板⑭に取付けられた固定コンタクト P₁ とに接

触する。固定コンタクト P₁ は、移転開閉器 E を経て限流リクトルの P₁ 端子に接続される。外側可動コンタクトも内側コンタクトと同様一对のフィンガコンタクトからできており、コンタクト取付アームは中空軸で、中心軸によってささえられている。可動コンタクトがシュウ動する円板はワク⑯に取付けられ、支柱 P₃ に接続されている。支柱 P₃ から移転開閉器 F を通り限流リクトルの P₃ 端に接続される。

極性切換器の可動コンタクトも選択開閉器のコンタクトと同様である。転極用ゼネバギヤ④は外側コンタクトのゼネバギヤ③にあるピンによって動かされる。ゼネバギヤ④と同軸の歯車⑤も同一角度だけ回転する。歯車⑤は選択開閉器軸と同心の取付金⑥の一部に切られた歯とかみ合い、取付金およびそれに固定された絶縁アームを動かす。転極可動コンタクト R はタップ位置 11~21 では固定コンタクト A に、11 から 10 へと動くとき A から B に切換えられ、10 から 1 の間は B と接続する。

6. URD 形負荷時タップ切換器の試験結果

6.1 溫度上昇試験

通電電流 500 A および 350 A における各部の温度上昇を表 6.1 に示す。移転開閉器は図 3.1 の回路により明らかのように當時は各開閉器に定格電流の 1/2 が流れるに過ぎないから、定格電流 500 A および 350 A のばいの移転開閉器の温度上昇は表 6.1 (5~8) の値よりもはるかに低くなるはずである。回復電圧 230V、電流 470

表 6.1 溫度上昇試験結果

電流 (A)	溫 度 上 昇 (°C)								周囲 温度 (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
500	18.0	13.5	21.0	18.0	32.5	62.5	52.5	60.5	17.0
350	11.0	8.0	13.5	11.0	22.0	30.5	28.0	40.0	18.0

温度計位置

- 1 選択開閉器 接触部
2 " "
3 " 端子
4 导体
5 移動開閉器 ガイシ
6 " 吹消コイル
7 " 吹消鉄片
8 " 接触部

試験の都合上 表 6.1, 6.2 の試験は選択開閉器および移動開閉器の接点が各 1 個ずつ直列になる状態で行なった。実際の使用状態では上記電流値の $\frac{1}{2}$ の電流が流れる。

表 6.2 230 V, 470 A 力率 0.3 以下の回路を 10 万回開閉した後の温度上昇試験結果

電流 (A)	溫 度 上 昇 (°C)								周囲 温度 (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
350	10.0	26.0	25.5	35.0	9.5	23.5	24.5	33.0	11.0
500	20.0	40.0	43.5	54.5	18.0	38.5	42.0	51.0	10.0

A 力率 0.3 以下の回路を 10 万回開閉した後の各部の温度上昇は表 6.2 のよう十分な余裕のある値を示している。

6.2 シャ断試験

図 4.1 より明らかなように移動開閉器の最大シャ断責務は、 \dot{e} をタップ間電圧； \dot{I}_t を負荷電流； \dot{Z} をリアクタのインピーダンスとすれば $\frac{\dot{I}_t}{2} + \dot{I}_c$ なる電流を $\dot{e} + \dot{I}_t \cdot \frac{\dot{Z}}{4}$ なる回復電圧のもとにシャ断するばあいである。本器では回復電圧 500V、力率 0.3 以下、電流 10~700A の回路のシャ断を行なったが図 6.1 に示すように空気吹付作用の助けにより全電流域にわたり短いアーケ時間が示されている。

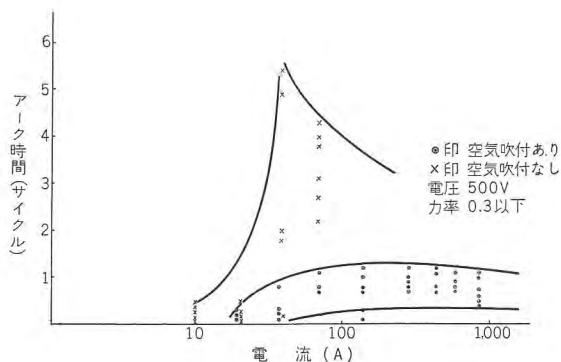


図 6.1 移動開閉器のシャ断試験結果

Fig. 6.1 Interrupting test results of the transfer switch.

6.3 寿命試験

負荷時タップ切換器でもっとも重要視されるのはその動作の信頼度であるので、本器についても電圧 230 V、電流 470 A、力率 0.3 以下の回路を 10 万回開閉する電気的寿命試験と 50 万回の機械的開閉試験とを実施した

が、別に異常はなかった。

7. 2,000 kVA 負荷時タップ切換乾式変圧器

7.1 定格、重量、特性試験結果

H 種絶縁乾式風冷式内鉄形変圧器

三相 50 c/s 2,000 kVA × 2 台

高 壓 13,000 V 三角結線

低 壓 3,300 V ±10% ±5 段 66 V 間隔乾式
負荷時タップ切換器付、星形結線

試験電圧

高圧側 AC 50 kV 1 分間, Surge 120 kV 全波

低圧側 AC 15 kV 1 分間, Surge 45 kV 全波

試験結果

温度上昇 高圧 117°C 低圧 100°C 仕様 140°C

能 率 100% PF 100% 負荷で 98.36%

電圧変動率 " " 1.76%

インピーダンス電圧 9.06%

送風機容量 2.2 kW

全重量 約 13,000 kg

制御装置内蔵 キューピクル収納構造

キューピクル外形寸法 2,800 × 3,550 (床)

2,800 (高) mm

7.2 構 造

(1) 卷線

この変圧器の結線を図 7.1 に示す。コイルは内側より

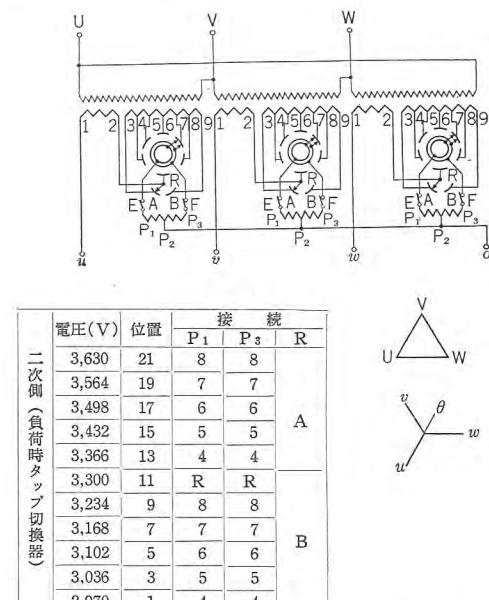
図 7.1 三相 2,000 kVA 負荷時タップ切換
変圧器の結線図

Fig. 7.1 Connection diagram of 3 phase 2,000 kVA transformer with on load tap changer.

低圧タップコイル、低圧、高圧コイルの順に同心配置されている。導体絶縁にはガラス繊維およびマイカテープを使用している。低圧コイルおよびタップコイルは円筒巻で、冷却のために十分な通風間げきを設けている。タップコイルはとくに機械力に対する配慮から、その大きさ、巻線法にとくべつの考慮をはらっている。高圧コイルは双成円板巻線で、それぞれマイカおよびガラスでよくテピングされているのでコロナの発生は見られない。各セクションを密接させた双成巻線は磁器スペーサで十分な空げきを設けて積み重ねているので、冷却が良好であるとともに巻線直列方向の静電容量が大きく、衝撃電圧の電位分布も良好であり、絶縁材料の使用を減少させコイルの寸法を縮小することができた。

鉄心、低圧、高圧コイル間の絶縁筒はマイカおよびガラスクロスをシリコンワニスで処理したものを用いている。低圧コイルは端部絶縁物の上下を、高圧コイルは上

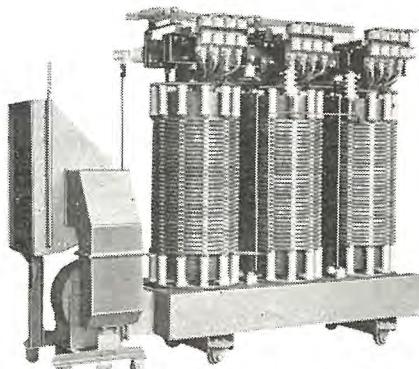


図 7.2 三相 50 c/s 2,000 kVA 負荷時タップ切換乾式変圧器本体および冷却装置

Fig. 7.2 3 phase 50 c/s 2,000 kVA class H insulation dry type transformer with on load tap changer.

下をガイシで支持して、それぞれ一部を欠いたリング状のコイル締付板で強固に締付け、短絡時の機械的衝撃に對しても十分安全なるよう考慮している。枯化する材料を使用していないのでゆるみの生じる恐れはない。

導体は素線自体だけでもシリコンワニス処理を行ない、さらにコイルに巻き上げてからワニスに浸し熱処理を行なっている。このシリコンワニス処理は高度の絶縁、耐湿性をもつだけでなく、表面をなめらかにしジンアイが付着しにくくするとともにまた機械的強度をいちじるし

“URD”形負荷時タップ切換乾式変圧器・荻野・米沢・米沢

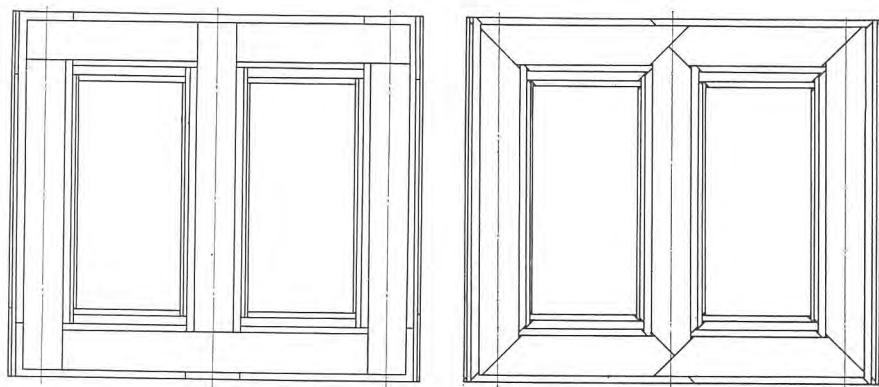


図 7.3 従来の短ザク形鉄心

Fig. 7.3 Iron core.

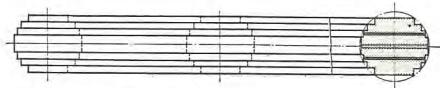


図 7.4 方向性ケイ素鋼帶使用の場合の額縁形鉄心

Fig. 7.4 D punching core in case of using oriented silicon steel.

く増大する。

(2) 鉄心

鉄心に使用するケイ素鋼板は変圧器の特性を左右する重要な材料である。現在もっとも普通に用いられているのは熱間圧延ケイ素鋼板 ($T_{90} \sim T_{125}$) であるが、最近使用されるようになった冷間圧延方向性ケイ素鋼板は、きわめてすぐれた磁気特性を有する注目すべき鉄心材料である。すなわち圧延方向にだけ鉄損、励磁電流がきわめて小さい、また波打がなくて占積率も熱間圧延ケイ素鋼板の 90~92% に対し 95~97% と非常に大きい。したがって鉄心の磁束密度は 50 c/s で 17,000 ガウス、60 c/s で 16,000 ガウス程度の高い値をとることができるので、重量、外形寸法は大幅に減少し、しかも鉄損励磁電流は減少する。

この変圧器には八幡製鉄社製の冷間圧延方向性ケイ素鋼板 Z_{13} (JEM G₁₃相当) を使用した。鉄心の形状は従来の熱間圧延ケイ素鋼板のばあいには図 7.3 のように短ザク形であったが、方向性を有する冷間圧延ケイ素鋼板のばあいには、その方向性を生かすために図 7.4 のように額縁形にすみを斜めに切削して鉄心積をなし、鉄損と励磁電流を減少させている。⁽²⁾ 工作上においても熱間圧延ケイ素鋼板のばあいと異なって、ヒズミによる特性劣化の程度が大きいので、切削後ヒズミ除去のため焼純を行なう必要があり、鉄心積作業その他取扱いのさいにも、機械的ヒズミを与えないことなどの注意が必要である。⁽³⁾

内鉄形変圧器鉄心に方向性ケイ素鋼板を用いるとき

は、内鉄形鉄心に由来する構造から段付鉄心とするために多種類の鉄心幅を必要とし、かつ鉄心締付用の穴あけや、冷却のための空げきを設けなければならないので、同一幅の鉄心積重ねからなりしかもその鉄心幅は比較的小さいので冷却のために空げきを設ける必要のない外鉄形鉄心にくらべ鉄損が増加し、励磁特性が劣る傾向がある。

しかしながら本器の鉄心にはさきに本誌にも述べられたロックプレート支持を採用したので特性劣化をきわめてわずかにおさえることができた。⁽⁴⁾⁽⁵⁾ すなわちロックプレートとは図7.5でわかるように鉄心のレッグに沿つ

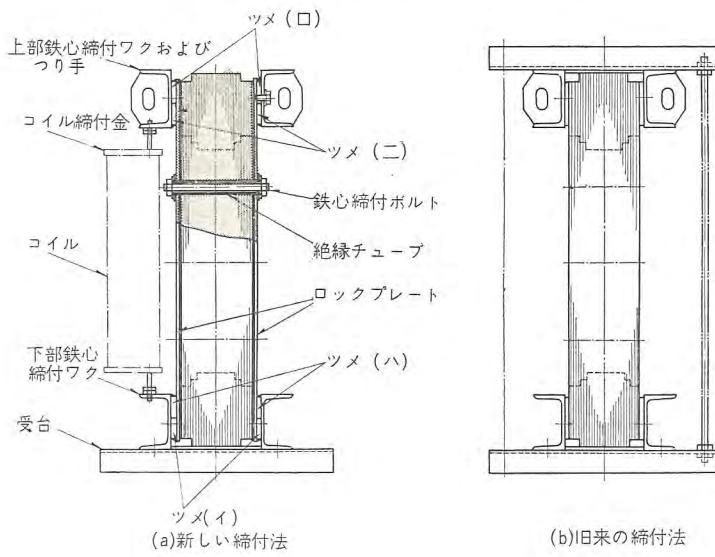


図7.5 鉄心締付構造図

Fig. 7.5 Sectional view of the core construction showing the method of tightening the core.

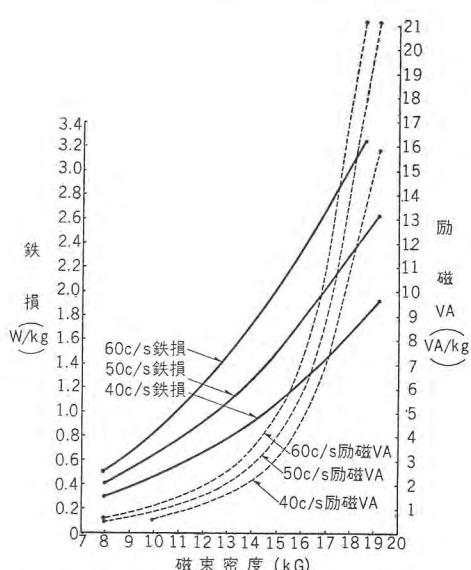


図7.6 方向性ケイ素鋼帯 Z_{13} を用いた三相 2,000 kVA 内鉄形変圧器鉄心の特性

Fig. 7.6 Magnetic characteristic curve of 3 phase 2,000 kVA transformer core.

て設けた非磁性の薄板である。ロックプレートは絶縁ボルトによりレッグと締付けるとともに、上下にツメ(イ)、(ロ)が溶接されており、鉄心締付ワクに溶接されたツメ(ハ)、(ニ)とかみ合うようになっている。それゆえコイルを締付ける力またはコイルに働く機械力はロックプレートの張力で受け鉄心レッグには力がかからない。コイル、鉄心のつり上げ時も同様で、コイル重量は下部鉄心締付ワクで受け、ロックプレートを通して上部鉄心締付ワクに溶接されたつり手でつられるからレッグはなんらの力も受けない。

このようにロックプレートの使用によって鉄心に力を受けることが減ずることと、鉄心のタワミを防ぐことができるので、鉄心締付ボルトの大きさ、本数を減ずることができて磁気特性を損ずることの少ない内鉄形変圧器鉄心を製作することができた。図7.6は完成したこの変圧器鉄心の磁気特性を示す。

(3) 冷却構造、キューピクル

変圧器本体および冷却装置の外観は図7.2のようである。写真下部の鉄心ヨーク部をおおっているのが風洞である。その上面には鉄心および各相一次、二次コイルに冷却風が均等に分布するように吹出口が設けてある。本体左方に見られるのが集ジン器および2.2kWの送風機で、これにより風洞におくられた冷却風は鉄心、コイルに沿って下より上に風を吹き上げ冷却する。冷却風は変圧器キューピクル正面網窓より室内空気を取り入れ、変圧器を冷却後キューピクル天井部に設けられた排気中を通って室内排気ダクトに連なり外気中に放出される。冷却風洞、気道は十分広くしてあるのでわずかの風圧で十分な冷却風が送られ、冷却風の温度上昇は試験結果で 18.5°C となっているので、熱せられた空気が周囲に障害を与えるようなことはない。

集ジン器は $4 \times 35 \times 40 \text{ cm}$ のユニット6個になっていて、ユニットの外側は金網でできていて、中に外径 $12 \text{ mm } \phi$ 、長さ約 15 mm の薄肉亜鉛メッキ鋼管がつまっている。このユニットを油に浸してからワクに取付け、空気が鋼管の間を通るうちにチリが管表面の油に吸着されるようになっている。各ユニットは重量約 10 kg で簡単に取はずしつき、油の中で振動させて洗浄しました取付ける。

送風機は停止しても集ジンユニットおよび送風機を取

除くことにより約 70% 1,400 kVA の出力で自冷運転ができる。

変圧器本体、負荷時タップ切換器、制御機器のキュービクル内の取付状況を図7.7に示す。変圧器本体はキュービクルに入れられたままその周囲を保守員が点検、清掃できるスペースがとっているが、本体と送風機とにはそれぞれに車輪が設けてあり、別個にキュービクルより引き出しできるようになっている。負荷時タップ切換器および制御装置はさきにも述べたようにキュービクル扉をあければ全面点検ができる。

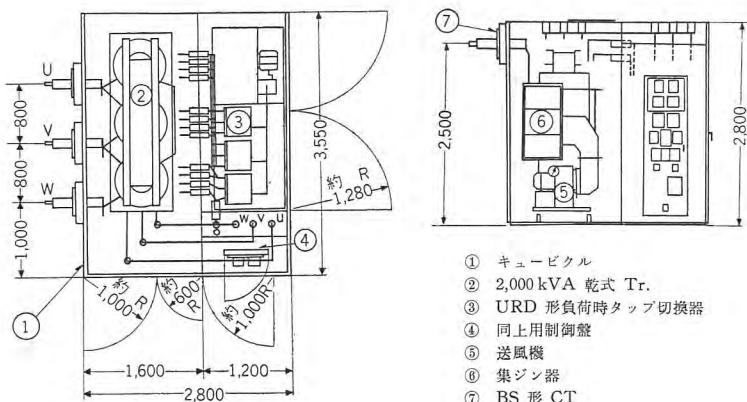


図 7.7 キューピクル内配置図
Fig. 7.7 Front & plane view
of transformer cubicle.

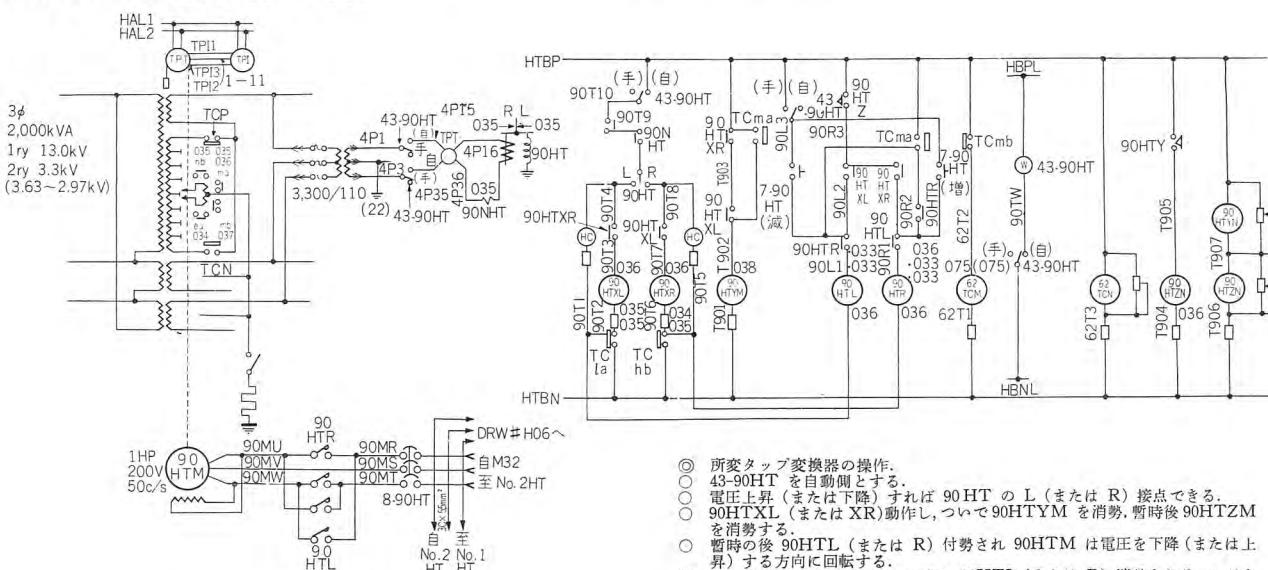


図 7.8 制御回路結線図

Fig. 7.8 Control system of type URD on load tap changer.

一次側はキュービクル側面より離相母線で発電機ブスにつながり、キュービクル貫通部に貫通形変流器を設けている。二次側はブスダクトで 3 kV 側機器と連なっている。

この変圧器は、一次側発電機電圧の変化と、負荷の変動に応じて、二次側タップを直接、電動操作方式により自動的に切換え、二次端子電圧をつねに一定に保って使用されるものであるが、参考までにその制御関係結線を図7.8に示す。

8. す す び

H種絶縁乾式変圧器の不燃性は油入変圧器に付随する火災、爆発よりの恐怖を取除いた点でとくに高く評価され、わが国においては使用され始めてからわずか数年であるが火災を極度に恐れる場所に広く採用されるようになった。今回乾式負荷時タップ切換装置の完成によつ

- ◎ 所要タップ変換器の操作.
- ◎ 43-90HT を自動側とする.
- ◎ 電圧上昇 (または下降) すれば 90 HT の L (または R) 接点できる.
- ◎ 90HTXL (または XR)動作し, ついで 90HTYTM を消済. 時間後 90HTZM を消済する.
- ◎ 暫時の後 90HTL (または R) 付勢され 90HTM は電圧を下降 (または上昇) する方向に回転する.
- ◎ タップ切換完了前 T_{CMa} はなれ 90HTL (または R) 消済される. マグネットイクリベレーしかかる.
- ◎ 電圧回復するまで上記動作を繰り返す.

て、乾式変圧器も負荷時タップ切換を行なって、定電圧を維持し、電力系統の質的向上に寄与することができるようになった。

絶縁油をまったく使用しない、不燃性の安全な、保守の簡単な、しかも美麗なキュービクルに収納された電力用負荷時電圧切換変圧器がついに完成され実用されるようになったのである。今後の変電所の設計に飛躍的な進歩がもたらされたものと信ずる。

今回開発した URD 形乾式負荷時タップ切換器は、とくに装置の単純化、構造の堅牢度、耐久度の優秀性をいさか自負している次第であるが、一般のご批判を仰いで今後ますます賞用され発展することを願っている。

参 考 文 献

- (1) 田村: URS 形負荷時電圧調整変圧器 「三菱電機」 28 No. 3 (1954)
 - (2) 実用新案第 409168 号「電気装置の磁心」
 - (3) 清水: 方向性ケイ素鋼帯のヒズミによる特性劣化 「三菱電機」 33 No. 2 (1959)
 - (4) 実用新案申請中
 - (5) 萩野・神谷: H 種絶縁乾式変圧器 「三菱電機」 32 No. 5

300 kV 12,000 MVA ウオッチケース形油シャ断器

伊丹製作所 新井正元*・五十嵐芳雄***・永田秀次***・稻塚輝男***

300 kV 12,000 MVA Watchcase Type Oil Circuit Breakers

Itami Works

Masamoto ARAI · Yoshio IGARASHI
Hidetsugu NAGATA · Teruo INAZUKA

To meet the requirement of Tagokura Power Station of the Electric Power Development Company, 300 kV 12,000 MVA watchcase type oil circuit breakers have been manufactured. Though the interrupting capacity is increased up to 2.4 times, the new circuit breakers have been completed with no appreciable alteration in design. The ability and the design features of the circuit breakers of this type has been described many times in the past, also these circuit breakers have the capability of interrupting charging currents with no restriking of arc at as high as 390 kV and excellent characteristic against kilometric faults.

1. まえがき

今回電源開発株式会社田子倉発電所の建設に伴い、同所の 300 kV シャ断器は 12,000 MVA のシャ断容量を必要とすることになった。この定格は、従来わが国の 275 kV 系に用いられてきた 5,000 MVA にくらべると、実際に 2.4 倍である。しかし当社が最近開発したウォッチケース形シャ断器は、もともと大シャ断容量に適したもので、米国 Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）で同形のシャ断器で、330 kV 25,000 MVA、⁽¹⁾ 230 kV 20,000 MVA⁽²⁾ を完成していることからも知られるように、このような大容量になっていっそうその特色が發揮できるものである。ウォッチケース形シャ断器の特長については、すでに何回も発表したようであるが、⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾ すえ付面積が小さくて山間部の発変電所に適し、積雪地、塩害地で絶縁の危険度が少ないことなどは、このシャ断器が田子倉発電所に選ばれた理由の一つであると考えられる。またとくに同発電所においては、空心変成器を利用した母線保護方式⁽⁶⁾が採用されたが、このような変成器は油シャ断器の場合には通常のブッシング変成器といっしょにして簡単に取付けることができ、困難な超高压母線保護の解決できる点において、この特色もまたこの

シャ断器の大きな利点として数えあげられよう。一方ブッシング変流器⁽⁷⁾についても、最近はむしろ巻線形変流器よりすぐれた特性を示しており、この変流器が内蔵できることがこのシャ断器の利点であるといふことも、次第に認められつつある。

このシャ断器が超高压シャ断器として要求されるすべての性能を完全に満足していることは、前回発表したようである。⁽⁵⁾ 田子倉発電所においても、130% の電圧上昇時の無再点弧充電電流シャ断という現行の規格以上の要求が加えられたが、試験の結果十分にこの要求を満足できることができることが示された。

以下項を追って、このシャ断器の構造と特性について説明を行ないたい。

2. 定格その他

田子倉発電所に納入された 7 台のシャ断器中、線路側に用いられる 3 台は、3 サイクルシャ断再閉路用であるが、他の 4 台は母線連絡および変圧器用で 5 サイクルシャ断器である。したがって後者はさきに関西電力枚方変電所に納入されたものと同様に、操作機構の一部を変えたが、その他は 3 サイクルシャ断器とまったく同一である。

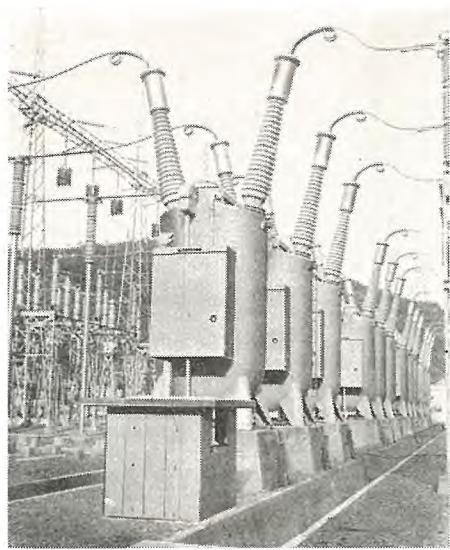


図 2.1 田子倉発電所納め 250-GW-1200T 形油シャ断器
Fig. 2.1 250-GW-1200 T oil circuit breaker
at Tagokura power station.

定格のおもな数値はつぎのようである。

形名	250-GW-1200T
定格電圧	300 kV
定格電流	1,200 A
定格シャ断容量	12,000 MVA
定格投入電流	63.2 kA
定格短時間電流	25.2 kA
定格周波数	50 c/s
定格開極時間	0.036 sec (0.05 sec)
定格シャ断時間	3 サイクル (5 サイクル)
定格投入操作圧力	15 kg/cm ² ・g
定格引はずし電圧	DC 100 V
標準動作責務	再閉路用 (甲号)

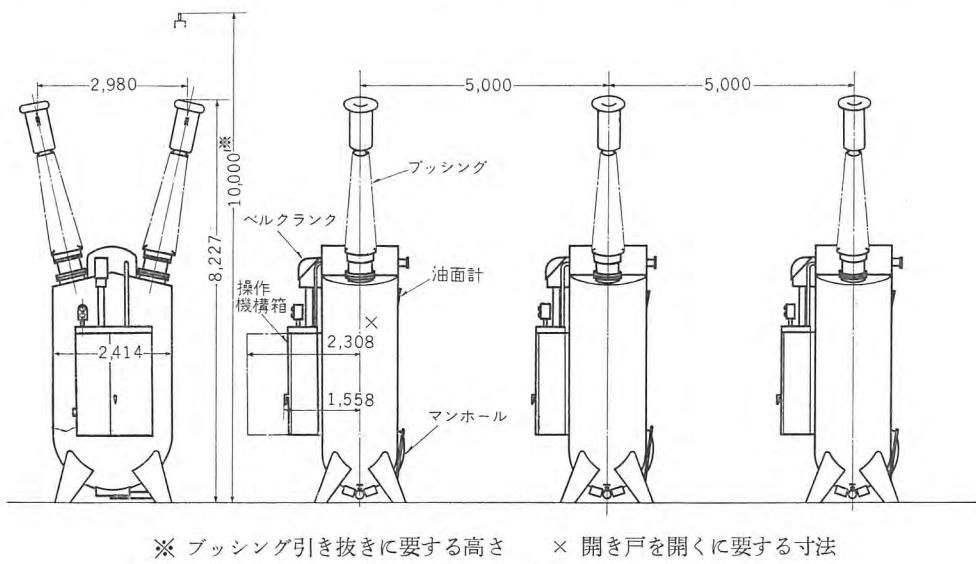


図 3.1 外形図

Fig. 3.1 Outline diagram.

300 kV 12,000 MVA ウオッチケース形油シャ断器・新井・五十嵐・永田・稻塚

絶縁階級 200 号
総重量 (油を含む)
58,800 kg

油量 33,000 l

カッコ内は 5 サイクル

シャ断器の値である。

図 2.1 は現地にすえ
付けられたこのシャ断
器の外観である。

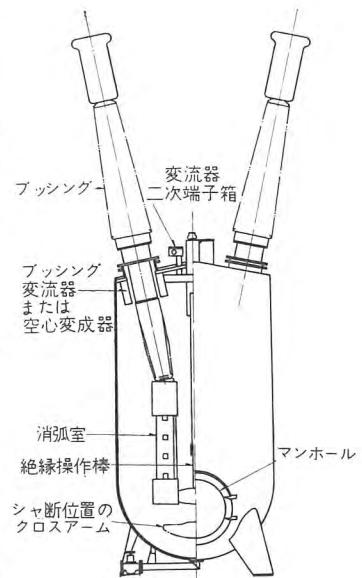


図 3.2 単極断面図

Fig. 3.2 Pole unit sectional
view.

クの形が少し変えられたほかは同じ構造である。タンクは板厚は同じであるが、大電流シャ断後の内部絶縁を強化する目的で若干寸法を変えた。

そのほか、このシャ断器は田子倉発電所の特殊要求に応じて、標準設計とは異なった若干の付属品をもっている。その一つはタンクの上につけられた融雪用電熱器で、かまぼこ形のカバーの下に入れられ、冬季タンクの上部に積る雪を除いて、絶縁上の危険を除くことを目的としている。このカバーは機構箱、変流器二次端子箱などの上をおおっており、必要なときは簡単に開くことができる。他の一つはタンクの下部に溶接された箱にはいった電熱器で、タンク内の油温を上げるために用いられる。油シャ断器の性能は油の粘度によってある程度左右されることはよく知られており、一般に 1 日中の平均温度が -7°C 以上であれば、電熱器を入れる必要がないといわれている。⁽⁸⁾ 田子倉発電所の条件は必ずしも電熱器を必要としないと考えられるが、安全のためにとくに追加された。この電熱器は 2 群に分けられ、2 段切換えができる。

図 3.1 はこのシャ断

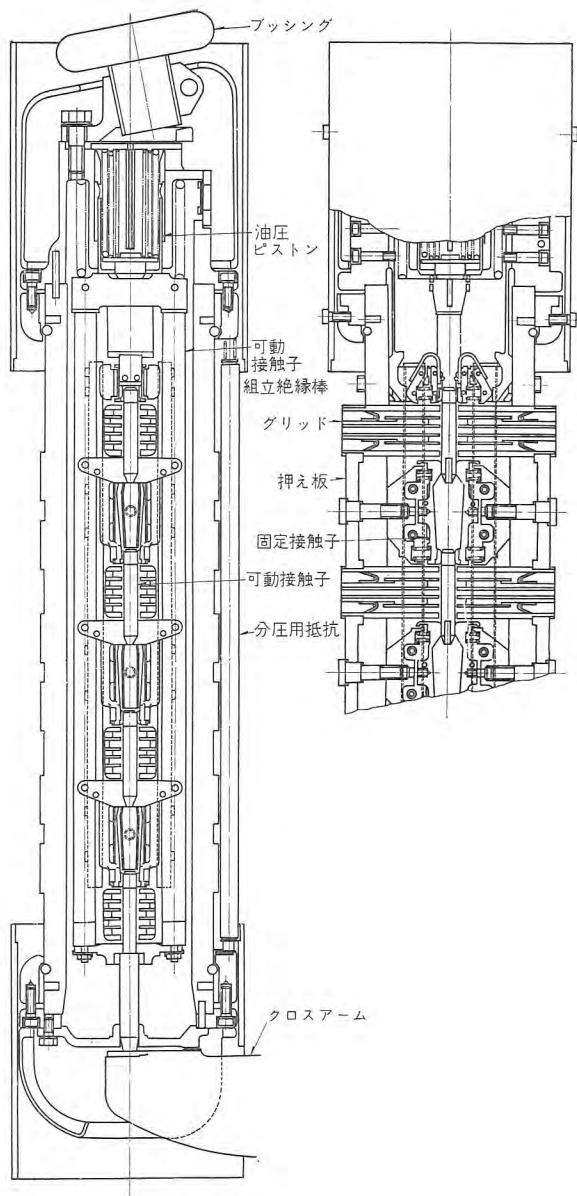


図 3.3 消弧室断面図

Fig. 3.3 Interrupter sectional view.

器の外形図であり、図 3.2 は単極の断面である。

3.2 消弧室

消弧室は図 3.3 に示すように 4 点切で、外観は図 3.4 のようである。従来の 5,000 MVA にくらべて異なっているところは、絶縁筒の上に巻かれたポリエスチル樹脂の補強リングだけである。

その動作はすでにたびたび説明したようであるが、シャ断の際、2 本の絶縁棒を介してはしご形に組まれた可動接触子は、上部のバネの力によって下降する。可動接触子の導電部は 3 個の逆 T 字形の部分と、最下段の十字形の部分とからなり、逆 T 字形の接触子は上部がアーク接触子で、シャ断の際アークを形成し、下部は下の段の固定接触子とすり接触している。固定接触子はア-



図 3.4 消弧室

Fig. 3.4 Interrupter.

ク接触子となるとともに、上下の可動接触子導電部分を接続する役目を果しており、絶縁棒によって同じようにはしご形に組まれて、消弧室に取付けられている。接触部はすべてフィンガ形で、當時通電する部分はアークによる消耗が最小に保たれる。接触面はすべて銀タングステン合金製である。

アーク発生部には、ファイバをはり合わせたグリッドが、絶縁筒の窓にはめ込んで固定されており、これがシャ断のときの油とガスの流れを制御する。このグリッドは内部にバネ鋼でできた弁があって、小電流シャ断のときはガス排出口の面積をへらして、アーク周辺のガス圧を高めるようにしている。充電電流シャ断の際に、アーク周辺のガス圧が絶縁回復特性に重大な影響を示すことは、他にも研究され発表されているが、⁽¹⁾ このシャ断器がとくに優秀な絶縁耐力回復特性をもっていることは、このグリッドの構造にもとづくものである。

消弧室の上部には、強力なピストンがあり、充電電流のような小電流シャ断特性を改善するとともに、約 3,000 A までの臨界電流域で、アーク時間を縮めるのに役だっている。これ以上の電流に対しては、ピストンは不要で、シャ断後の残留ガスを排除する役目を果す。ピストンと可動接触子とは機械的に分かれしており、投入のときははいっしょに動くが、シャ断のときは別々に動き、大電流をシャ断したときのように、アークによる内圧が高いときは、ピストンが止まりうる構造になっている。

以上の説明に見られるように、この消弧室は調整が不要な構造である。接触子グリッドの取換えや点検は、未熟練者によっても容易に行なうことができ、油シャ断器の調節は困難であり、またその特性が調節いかんで変ることがあるというような従来の非難を一掃することができる。

多重切シャ断器にとって重大なものは、各シャ断点の電圧分布である。この消弧室は外部に絶縁筒に入れた抵抗とコンデンサをもっており、各シャ断点にこれがつながれている。このため図 3.5 に示すように、各シャ断点の電圧分布は再起電圧周波数 1,800 c/s (JEC-145 による定格シャ断容量の 50% における再起電圧規約周波数)

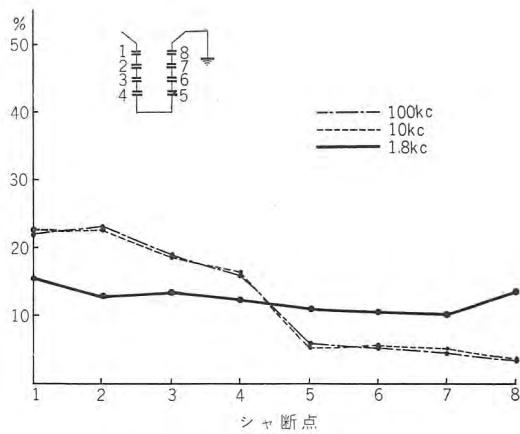


図 3.5 各シャ断点の電圧分布

Fig. 3.5 Distribution of voltage among eight breaks.

に対しては、ほとんど均一な分布となり、100 kc なっても、最高電圧を受けるシャ断点で 23% であり、平等分布の 2 倍弱にすぎない。このような電圧分布を問題にするにあたっては、残留導電度の問題も同時に考えなければならない。従来並切形油シャ断器などの資料にもとづき、油シャ断器は一般に残留導電度が大きいように思われているが、消弧室のついた油シャ断器ではほとんど残留導電度が測定できず、電圧分布は静的測定の値と同一である。このような結果はまた、英国の ERA で系統再起電圧測定用の β スイッチとして、大電流シャ断のときの残留導電度を最小にするという要求を考えると、常識に反し空気シャ断器よりも油シャ断器のほうがすぐれていると、発表していることからも、⁽¹⁰⁾ 容易に想像できるであろう。

3.3 操作機構と圧縮空気発生装置

このシャ断器の操作機構は、すでに紹介されたものと同一で、機械的引はずし自由機構を用い、再閉路の場合は第 1 回のシャ断のときだけ、引はずし自由機構を鎖錠

して再閉路速度を増加する。第 2 回のシャ断または CO 責務のときは、完全な機械的引はずし自由を行ない、操作シリンドラ内の高圧空気の存否によって、シャ断速度が変化するのを防いでいる。両者の動作の選択は空気的に行なわれている。

再閉路を行なわない 4 台のシャ断器は、つねに機械的引はずし自由となるよう選択装置は除かれている。

高速度シャ断器の引はずしコイルは、動作時間を短くする目的から、時定数が小さく、抵抗値も小さいものにしなくてはならない。したがって引はずし電流はかなり大きくなる。このため 3 サイクルシャ断器は、とくに動作時間の短い補助繼電器を入れ、配電盤に流れる電流をへらしている。シャ断器はこの繼電器の時間を含んでも 3 サイクルシャ断が可能である。5 サイクルシャ断器は動作時間に十分余裕があるので、時定数の長いコイルを用い、電流をへらしている。

操作機構は各相ごとにつけられ、その間に機械的な連結はない。投入のときの調節は空気回路によって行なわれるが、定格操作気圧の 85% から 110% の範囲で、投入時間の差は仕様の 0.006 秒より小さい。引はずしのほうは本質的に各相の差は少なく、開極時間の差は仕様値の 1/2 以下である。

このシャ断器 7 台と断路器の操作のため設けられた圧縮空気発生装置は、交流電動機駆動 7.5 kW 2 台、直流電動機駆動 5.7 kW 1 台と主空気タンク 400 l 3 個からできており、交流側は 28.5~30 kg/cm²·g で自動運転し、直流側は予備機として用いられる。図 3.6 はこの発生装置の一部である交流電動機駆動空気圧縮機のセットである。

4. 試験結果とその考察

4.1 耐電圧試験

JEC-145 の規定値より高い商用周波電圧 500 kV 衝撃波電圧 1,150 kV によって試験を行なった。

4.2 温度上昇試験

1,200 A の温度上昇試験の結果は図 4.1、表 4.1 に示すよう、接触部の最大温度上昇は 25°C であった。この消弧室は油の対流を利用するよう設計されており、W 社では同種の消弧室で 2,000 A でも 30°C 以下の上昇であったと報告しているので、⁽¹¹⁾ より大きな定格電流に対しては油の冷却効果がいっそう有効となるものと推定される。

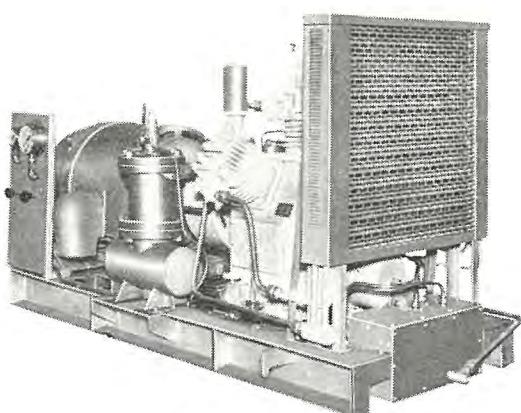


図 3.6 空気圧縮機

Fig. 3.6 Compressor unit of air supply system.

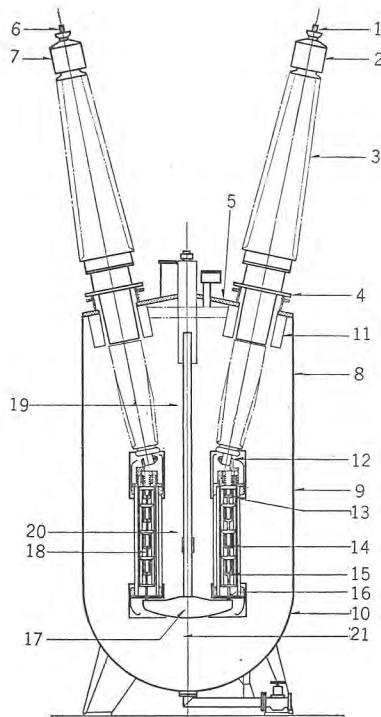


図 4.1 溫度上昇試験測温位置 (表 4.1 参照)
Fig. 4.1 Diagram showing the temperature measuring points.

表 4.1 各部温度上昇 (図 4.1 参照)

番号	場所	温度上昇 (°C)	番号	場所	温度上昇 (°C)
1	端子	15.5	12	接触子足	17.0
2	ブッシング上部金具	17.5	13	上部接触部	21.5
3	ブッシングガイ管	11.0	14	中間接触部	25.0
4	ブッシングフランジ	18.5	15	下部接触部	20.0
5	タンクカバー	9.0	16	クロスアーム接触部	17.5
6	端子	11.5	17	クロスアーム	11.0
7	ブッシング上部金具	14.0	18	可動接触子	25.0
8	タンク (上)	10.5	19	油 (上)	12.0
9	タンク (中)	10.0	20	油 (中)	11.0
10	タンク (下)	9.0	21	油 (下)	8.0
11	変流器外箱	13.0			

4.3 短時間電流試験

25,500 A を 2.05 秒通電して異常のないことを確かめた。

4.4 充電電流シャ断試験

当所のコンデンサ・バンクを用い、シャ断器の 1/2 相について試験を行なった。充電電流の試験は再点弧を生じない限りは、各シャ断点の電圧分布は抵抗によって均分されているので、この試験は十分に実際の条件と一致している。試験電圧は有効接地系の第 1 シャ断相の条件にもとづき、1.2 E を選んだ。結果は表 4.2 に示すように、三相等価 390 kV まで無再点弧シャ断の能力のあることを示している。

試験所における充電電流試験結果と現地試験の結果とが差を生ずることは、従来ときどき見られたことであるが、これは比較的アーカ時間の長いシャ断器の場合であ

表 4.2 コンデンサバンクによる充電電流シャ断試験結果
(シャ断器 1/2 相を使用)

給与電圧 (kV)	三相等価電圧 (kV)	充電電流 (A)	再点弧数	再発弧数	アーカ時間 (サイクル)	コンデンサ対地電圧 (%)
130	375	10.4	0	0	0.2 · 0.45	85 · 100
130	375	20.7	0	0	0.15 · 0.4	98 · 100
130	375	67	0	0	0.35 · 0.7	100
135	390	10.8	0	0	0.05 · 0.4	74 · 100
135	390	21.5	0	0	0.20 · 0.35	87 · 100
135	390	66	0	0	0.15 · 0.60	94 · 100

って、電源側のリアクタンスが小さいと、きわめて早い電流零値で容易にシャ断されてしまい、そのため大系統で試験するときのほうが、試験所で試験した場合より一般に短いアーカ時間となり、異なった結果を生ずるものである。

表 4.2 に示すように、このシャ断器の場合はほとんどすべて最小のアーカ時間でシャ断しているので、この結果をそのまま現地で期待することができる。

4.5 短絡電流シャ断試験

試験は単相について行ない、試験設備の出力を最大限に利用するため 1/2 相の試験を行なうとともに、出力以

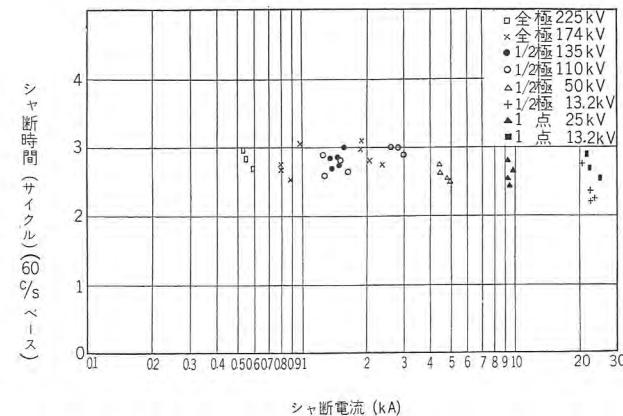


図 4.2 250-GW-1,200T 形シャ断器短絡シャ断試験結果

Fig. 4.2 Short circuit test results of type 250-GW-1200T oil circuit breaker.

表 4.3 短絡シャ断試験結果

シャ断点数	動作実務	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	シャ断電流			固有再起電圧	投入電流 (A)	開極時間 (サイクル)	アーカ時間 (サイクル)	シャ断時間 (サイクル)
				交流分 (A)	直流分 (%)	RMS 電流 (A)					
8	O	174	94.0	1,900	10	1,920	3	1.8	3,030	2.00	0.7
	CO		90.0	1,750	12	1,780					
	CO		90.0	1,780	12	1,810	5	1.6	4,900	2.25	0.8
	O		95.5	2,690	46	3,200					
4	CO	110	90.5	2,360	0	2,360	3	1.6	4,850	2.25	0.75
	O		94.0	4,900	26	5,250					
	O		90.0	4,670	9	4,720	7.6	1.6	10,200	2.25	0.50
	O		97.0	29,000	53	36,000					
1	CO	50	93.0	26,000	16	26,800	10	1.5	63,000	2.25	0.65
	O		94.0	10,000	40	11,500					
	CO		90.0	8,900	7	9,000	10	1.5	20,400	2.25	0.65
	O		96.0	29,600	62	39,300					
1	CO	15	91.0	25,000	11	25,300	10	1.5	65,000	2.25	0.95
	CO		93.0	25,600	21	26,600					

注：開極時間は補助繼電器動作時間約 4 ms を含む

上の部分については電圧を下げて延伸法を行なった。結果は図4.2に示すようである。試験はすべて再閉路責務(O-CO)を行なったが、すべての電流域で第1回と第2回のアーク時間は同一で、再閉路によってシャンク容量の遅減をする必要のないことを示している。

表4.3はとくに立会試験として実施した結果を表示したものである。この場合には、とくに前述の引はずし補助継電器を入れて試験しており、開極時間にはこの継電器の動作時間約4msが含まれている。これらの試験結果はすべて60c/sを基準として示しているので、50c/sでは継電器時間を入れても、完全な3サイクルシャン断である。

JEC-145 の規定によれば、有効接地系のシャンク断器の単相試験電圧は $1.3 E$ (225 kV) が推奨されている。しかし試験設備の出力を十分に利用するためには、もっと低い電圧のほうが都合が良い。このような高速度シャンク断器で、実際にシャンク性能を左右するものは、回復電圧ではなく再起電圧である。したがって試験電圧を 174 kV としても、固有再起電圧の振幅率は 1.8 であるので、JEC 規定どおりの回復電圧 225 kV 振幅率 1.3 にくらべれば、再起電圧波高値はこのほうが高い。1/2 相による試験では、図 3.5 より 1,800 c/s において片方の消弧室に加わる最大電圧は 54.5% であり、110 kV の試験回路の固有再起電圧が振幅率 1.6 であることを考えれば、これもまた JEC 規定値をこしていることは明らかである。

このようにして、臨界電流域 3,000 A まではほとんど完全な電圧条件で試験されている。これ以上の電流に対しては消弧能力が増加してくるので、機械的強度が十分であることが確かめられれば、シャンク容量は十分検証できることになる。ただこのとき試験電圧があまりに低すぎるために、アーク時間が短くなり過ぎるときは、確実な試験とはいえない。これをしらべるため、4 点切消弧室の 1 点だけを使用した試験を同時におこなって見た。この試験は予想されるアーク時間を示し、4 倍の電圧変化に対してもアーク時間は一致することを示したが、1 点シャンク試験の一部には、予想値より少し長いアーク時間を示す場合も現われた。試験後消弧室をしらべた結果、1 点シャンクの場合他の 3 シャンク点のグリッドのガス排出口を開いたままとしていたので、ガスが消弧室内部に向かって逆流し、アーク区域のガス流が設計された条件と異なっていたことが発見された。このような効果はアーク区域のガス圧を変化させるのは当然であり、また消弧室内にはガスが残留することになって、アーク時間に不

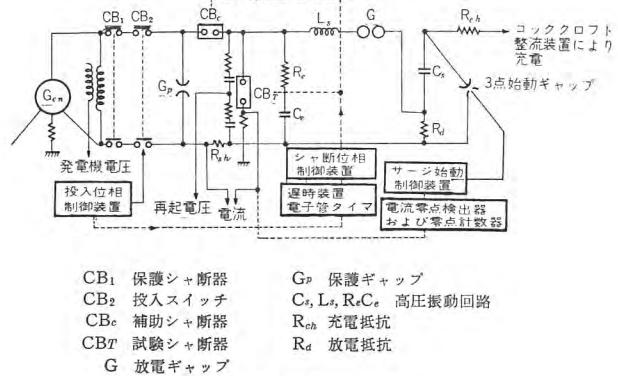


図 4.3 等価試験回路

Fig. 4.3 Circuit diagram of synthetic test.

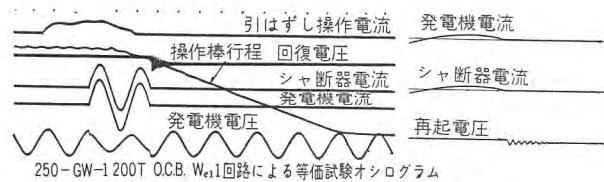


図 4.4 等価試験オシログラム

Fig. 4.4 Oscillogram of synthetic test.

斉現象を導いたもので、長いアーク時間は異常現象と考えられる。

この点をさらに確かめるため、つぎのような等価試験を実施した。これは Weil 回路⁽¹²⁾と呼ばれているものと同じで、図 4.3 の回路である。シャンク断器の他の 1 相を補助シャンク断部として使用し、試験シャンク断器は設備の都合上 1/2 相を用いた。回路の動作は、投入スイッチの投入信号を基準として、電子管タイマによって定められた時間後にシャンク断器を引はずし、零点検出器によって零値前 10 度前にパルス信号を発生する。これを別のタイマで計数し、予想されるアーケ時間後サージ始動器を動作させて振動再起電圧を加える。もしこの電圧によってアーケ区域が破壊されれば、実負荷試験ではさらに長いアーケ時間が発生しうると考えられる。電圧源は周波数 2 kc 波高値 153 kV と選ばれた。この電圧は JEC 規定値に対し、1/2 相の分布 54.5% を乗じたものより高い。電流回路は 15 kV 25,000 A である。試験結果の一例を図 4.4 に示す。これによって 0.5~0.6 サイクルのアーケ時間で十分に実負荷条件でシャンク断できることが証せられた。

立会試験完了後の接触子の状況は図4.5に示すようである。接触子の消耗はすべて先端だけに限られ、実際の通電面は無傷であり、ファイバグリッドの穴の径は約5mm程度の増大を示したが、実際の取換基準は10mmまででまだ十分の余裕があった。



図 4.5 短絡シャ断試験後の接触子
Fig. 4.5 View showing the condition of contacts after the short circuit interrupting test.

最近フランスの EDF を中心として、キロメートル故障(défaut kilométrique) といふ条件が問題にされつつある。⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾ これは大電気所より近い送電線上の点で短絡故障が生じたとき、シャ断容量は母線の短絡容量に近いが、再起電圧には線路の往復振動が重畠し、複周波数となって初上昇率がきわめて高くなる現象である。このような故障の危険性は提案者の M. Pouard⁽¹³⁾ の言明しているように、母線短絡容量と等しいシャ断容量のシャ断器が用いられた場合であり、またとくに空気シャ断器の使用に対して考えるべき条件である。事実現在までに行なわれた Delle の少油量シャ断器⁽¹⁷⁾や GE のタンク形シャ断器⁽¹⁸⁾に対するこの種の試験は、油シャ断器が先天的にこの種の故障に対する安全性をもっていることを示している。しかし、あらゆるシャ断器について、この種の故障に対する特性を明らかにするのが望ましいことは当然である。

このシャ断器については、とくにキロメートル故障に相当する特殊試験を行なうことはできなかったが、図 4.6 に示すように、1 点シャ断試験でえた再起電圧と、12,000 MVA シャ断器のキロメートル故障に伴い生ずる再起電圧を重ねて見れば、従来の試験結果によつても、十分この種の故障に対する安全度が証明されている。

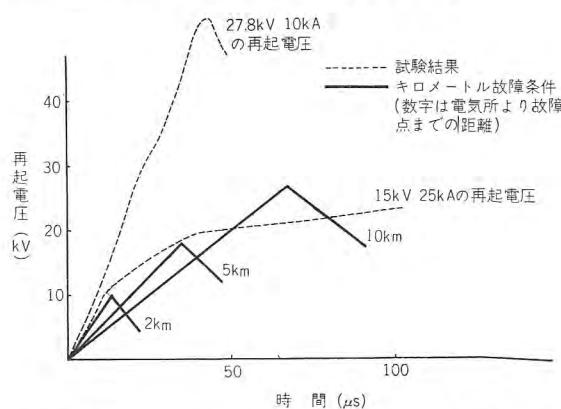


図 4.6 キロメートル故障再起電圧と 1 点シャ断試験再起電圧
Fig. 4.6 Transient recovery voltage of kilometric fault and one-break interrupting test.

また JEC-145 規定による再起電圧は、300 kV では I 号だけであるが、前記の等価試験に示されるように、このシャ断器は II 号相当の再起電圧で定格シャ断容量を保証することができる。

4.6 現地試験

昭和 34 年 4 月 28, 29 の両日、現地において線路充電電流と変圧器励磁電流のシャ断試験がおこなわれた。前者は電圧 275~280 kV 電流約 100 A で、完全に無再点弧無再発弧特性を示した。後者は 280 kV で約 3.5 A をシャ断した。設備の都合上電圧測定が完全に行なわれていないが、ほとんど異常電圧らしいものはえられなかつた。

また 5 月 29 日人工故障試験も実施されたが、シャ断時間はほぼ 2.5 サイクル程度で、予期どおりの成績をおさめた。

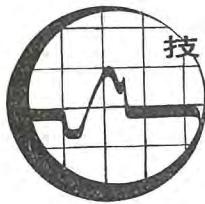
5. む す び

以上述べたように、新たに製作された 300 kV 12,000 MVA ウォッチケース形シャ断器は、予想されたように超高压シャ断器としてすぐれた特性を示し、この特性はさらにこれ以上の定格、たとえば 15,000 MVA に対しても、同じように発揮できることが示された。当社は目下同じ仕様の電源開発奥只見発電所納めの 7 台の 12,000 MVA 定格を製作中であり、さらにこの種のシャ断器について研究を続けて行く予定である。

擱筆するにあたり、このシャ断器の製作試験にご協力下さった諸氏に対し、紙上から厚く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- (1) W. M. Leeds & G. J. Easley: TAIEE III 73 (1954) 304
- (2) F. L. Reese: AIEE Trans. Paper 59-47
- (3) 新井・五十嵐・永田: 「三菱電機」31 (1957) 139
- (4) 新井・五十嵐・永田: 「三菱電機」32 (1958) 1679
- (5) 新井・五十嵐・永田: 「三菱電機」33 (1959) 499
- (6) 森: 「三菱電機」33 (1959) 631
- (7) 大野: 「三菱電機」33 (1959) 646
- (8) E. B. Rietz: TAIEE III 72 (1953) 787
- (9) W. R. Wilson & A. L. Streater: AIEE Trans. Paper 58-825
- (10) W. B. Whitney & L. Gosland ERA G/XT 85 (1954)
- (11) A. W. Hill & R. E. Friedrich: TAIEE III 76 (1957) 637
- (12) E. Slamecka: AEG Mitt 43 (1953) 280
- (13) M. Pouard: SFE 8 (1958) 748
- (14) A. Hochrainer: ETZ-A 80 (1959) 65
- (15) W. F. Skeats, C. H. Titus & W. R. Wilson: TAIEE III 76 (1957) 1256
- (16) 潮: 「三菱電機」33 (1959) 477
- (17) J. Amalric E, Maury, M. Perolini & S. Kohn RGE 68 (1959) 65
- (18) O. Naef, J. D. M. Phelps, W. R. Wilson & A. L. Streater: AIEE Trans. Paper 59-188



1. まえがき

最近電力系統が次第に拡大されて、多数の発電所や送電線が複雑に連けいされてきたため、電力系統の経済運用がとくに重要な問題となってきた。

本機は時々刻々変化する需要負荷に対し、各発電所における燃料単価、能率および送電損失を考慮して、系統全体の燃料費が最小になるような各発電所の発電電力を迅速に計算する一種の単能アナログ形計算機である。計算方式としては基本的には等增加率配分法によったものである。

2. 等增加率配分法

n 個の火力発電所から成る電力系統において、各発電所の 1 時間あたりの燃料費をそれぞれ $F_1, F_2, F_3, \dots, F_k, \dots, F_n$ とし各発電所出力を $P_1, P_2, P_3, \dots, P_k, \dots, P_n$ とする。発電所全体の 1 時間あたりの燃料費を F_T 、全負荷電力を P_T とする。送電損失を無視すると全発電量に関する拘束条件

$$P_T = \sum_{k=1}^n P_k \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

の下に F_T を最小にするための条件式は、ラグランジュの未定係数法により、パラメータ λ を用いて次のように示される。

$$\frac{\partial}{\partial P_k} \left[F_T - \lambda \left(\sum_{k=1}^n P_k - P_T \right) \right] = 0 \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

ここで F_k が P_k だけの関数であれば

$$\frac{dF_1}{dP_1} = \frac{dF_2}{dP_2} = \dots = \frac{dF_k}{dP_k} = \dots = \frac{dF_n}{dP_n} = \lambda \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

が成立する。このとき電力系統はもっとも経済的に運転されることになる。ここに $\frac{dF_k}{dP_k}$ は増分燃料費 (incremental fuel cost) といわれるもので P_k の関数であるが、これは後述するように P_k が大きければ $\frac{dF_k}{dP_k}$ も大きい、つまり能率が悪い。したがって式 (2.3) は、能率の良い発電所は出力を大にして、能率の悪い発電所は出力を小にして、各発電所の能率がすべて等しくなるようにしたとき、もっとも経済的に運転されることを意味している。

λ は全負荷電力 P_T の関数であって最経済状態での全負荷電力の増加燃料費に相当する。

3. 送電損失を考慮した等增加率配分法

発電所が負荷中心から離れて分散している場合は、送電損失を考慮しなければならない。このため前章では、 $P_T = \sum_{k=1}^n P_k$ を一定と考えたが、この代りに

$$\sum_{k=1}^n P_k - P_L = P_T \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

を一定と考えなければならない。ここに P_L は全送電損失で、 P_T は受電端における全負荷電力である。前章と同様ラグラン

ジュの未定係数法により、次式が得られる。

$$\frac{\partial}{\partial P_k} \left[F_T - \lambda \left(\sum_{k=1}^n P_k - P_L - P_T \right) \right] = 0 \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

ここで F_k が P_k だけの関数であるとすると、

$$\frac{dF_k}{dP_k} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k} = \lambda, \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

となる。 f_k を燃料単価、 I_k を入力熱エネルギーとすれば

$$F_k = f_k \cdot I_k \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

で示されるから

$$f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_k} + \lambda \cdot \frac{\partial P_L}{\partial P_k} = \lambda \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

なる式に変形されることになる。

ここでペナルティファクタと称せられる係数

$$\eta_k = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_k}} \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

を用いると式 (3.5) は

$$f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_k} \cdot \eta_k = \lambda \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

となる。この式の左辺は発電所の能率を示す項であるから、式 (3.5) は負荷点から見た発電所の能率がすべての発電所について等しいことを意味するものである。これがこの場合の最経済配分条件である。

4. 送電損失方程式

出力がそれぞれ $P_1, P_2, P_3, \dots, P_k, \dots, P_n$ なる発電所が送電線で相互に連けいされているときの全送電損失は次式で表わすことができる。⁽¹⁾

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n B_{ij} \cdot P_i \cdot P_j \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ここに B_{ij} は損失係数で、ある電力範囲ではほとんど一定とみなすことができる。ただし系統の接続が異なると、損失係数の値も異なってくるものである。またつねに

$$B_{ij} = B_{ji}$$

なる性質がある。

式 (4.1) を火力発電所単位 2 個 (出力はそれぞれ P_1, P_2)、連けい線単位 1 個 (出力は P_3) の電力系統について書きかえると次のようになる。

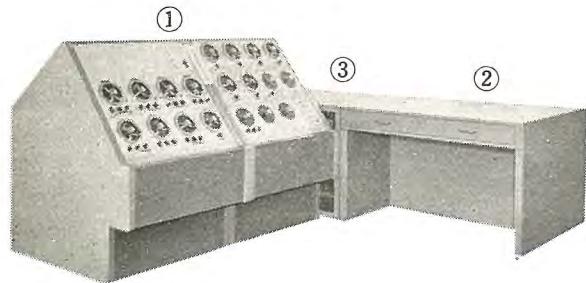
$$P_L = B_{11}P_1^2 + B_{22}P_2^2 + B_{33}P_3^2 + 2B_{12}P_1P_2 + 2B_{13}P_1P_3 + 2B_{23}P_2P_3 \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

この関係式を用いると式 (3.5) は計算回路を組立てるのに便利な形式となるが、それは次に記述する。

5. 計算機回路構成

試作した計算機は、火力発電所単位 6 個、連けい線単位 6 個

技術解説



① A キャビネット (発電所単位など収容)
 ② B " (B 定数回路収容)
 ③ C " (電源継電器収容)

図 5.1 電力経済配分計算機

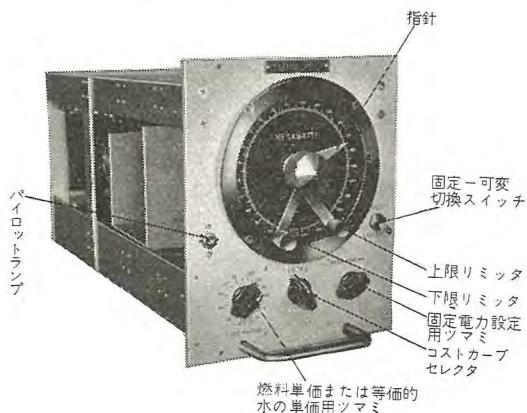


図 5.2 火力発電所単位

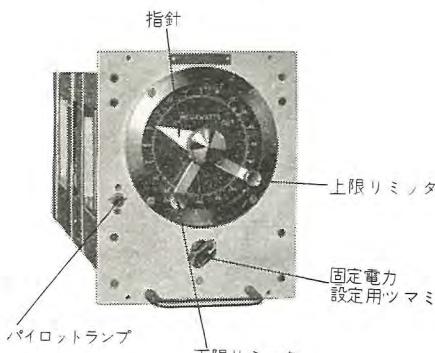


図 5.3 連けい線単位

を含み、図 5.1 にはその全貌の外観を示した。図 5.2 は火力発電所単位、図 5.3 は連けい線単位を示したものである。

式 (4.2) を用いて、発電所単位 2 個、連けい線単位 1 個の場合について式 (3.5) を書きかえると次の式が得られる。

$$f_1 \cdot \frac{dI_1}{dP_1} + \lambda(2B_{11}P_1 + 2B_{21}P_2 + 2B_{31}P_3) - \lambda = 0 \quad \dots (5.1)$$

$$f_2 \cdot \frac{dI_2}{dP_2} + \lambda(2B_{12}P_1 + 2B_{22}P_2 + 2B_{32}P_3) - \lambda = 0 \quad \dots (5.2)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 - P_T = 0 \quad \dots (5.3)$$

すなわちこれらの式が成立する時に、この系統がもっとも経済的に運転されることになる。一般に全送電損失は全負荷電力に比して小さいので、式 (5.3) ではこの値を無視してある。

図 5.4 はこの計算機に用いた計算回路を上記例のように単位

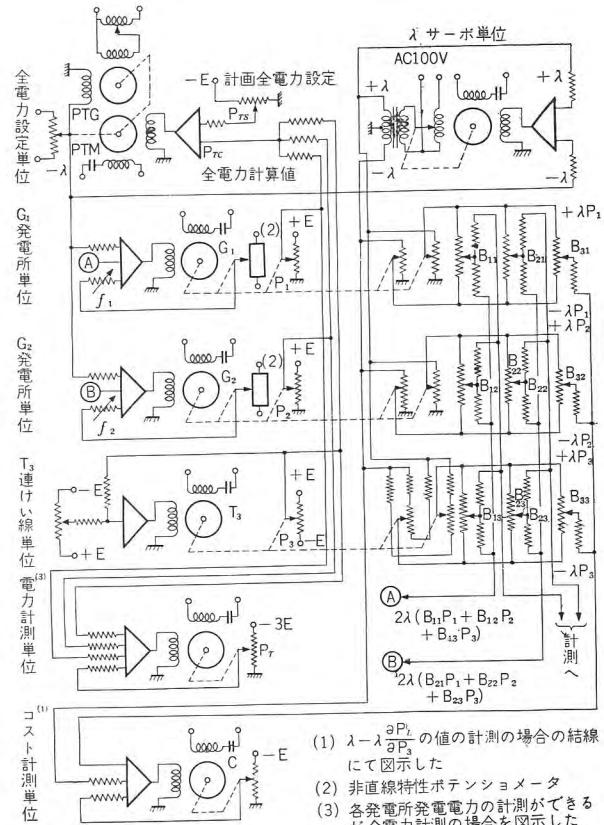


図 5.4 電力経済配分計算機概略回路構成

数を減らして簡略化して示したものである。G₁, G₂ は火力発電所単位、T₃ は連けい線単位を示す。式 (5.1)～(5.3) の関係をそのまま、サーボ増幅器とサーボモータにより相似演算回路的に構成したものが理解できよう。

この計算機全体を通じて、32.5 MW を 1 V に換算している。またコストについては 10 円/kWh を 20 V に換算している。火力発電所の増分燃料費を模擬するための非直線ポテンショメータの両端にはすべて、7.7 V と 3.1 V が印加してある。非直線ポテンショメータの一例として、G₁ 発電所について、図 5.5 に示した。試作機の各発電所と連けい線単位の全目盛および電力表示用ポテンショメータに印加されている電圧の大きさは、表 5.1 のようになっている。

5.1 発電所単位

k 火力発電所の増分燃料費 $\frac{dF_k}{dP_k}$ は P_k の関数であるがこれ

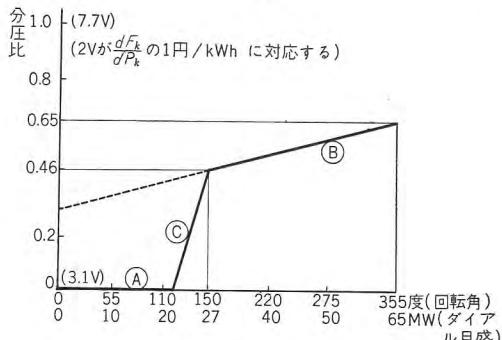


図 5.5 非直線ポテンショメータの特性

表 5.1 各単位の全目盛と電圧
(S は G_6 と G_7 の加算用サーボである)

単位	全目盛 (MW)	印加電圧 (V)	単位	全目盛 (MW)	印加電圧 (V)
G_1	65	2.0	T_1	± 100	± 3.1
G_2	100	3.1	T_2	± 100	± 3.1
G_3	160	4.9	T_3	± 160	± 4.9
G_4	250	7.7	T_4	± 250	± 7.7
G_5	250	7.7	T_5	± 100	± 3.1
G_6	100	3.1	T_6	± 160	± 4.9
G_7	160	4.9			
S	250	7.7			

を図 5.6 のように折線で近似している。中間タップが 11 個あるボテンショメータを用い図 5.7 のように各タップ間に適当な値の抵抗を接続して折線特性を得られる。この折線特性は単調増加が望ましい。しかるどときには、解が 2 個以上あって、計算機は不安定となるからである。四季によって、または他の原因でコストカーブが変更したときに備えて、5 種類の異なるコストカーブを自藏し切換スイッチで切換えることができるようになっている。

また図 5.4 の一部、発電所 (G) に関する部分を書き換えると、図 5.8 のようになる。

$$\begin{aligned} A \text{ 点の電圧} &= 2\lambda P_1 B_{11}, & B \text{ 点の電圧} &= 2\lambda P_2 B_{21} \\ C \text{ 点の電圧} &= 2\lambda P_3 B_{31}, & D \text{ 点の電圧} &= \frac{dI_1}{dP_1} \\ E \text{ 点の電圧} &= -\lambda \end{aligned}$$

である。

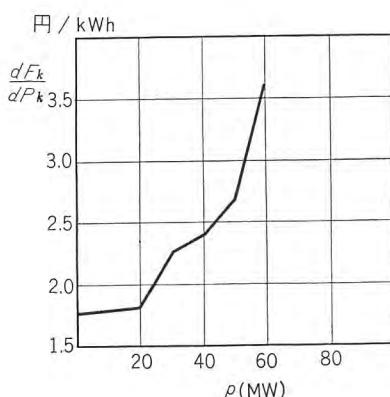


図 5.6 コストカーブの一例

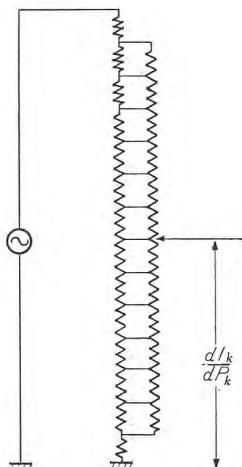


図 5.7 コストカーブ発生回路

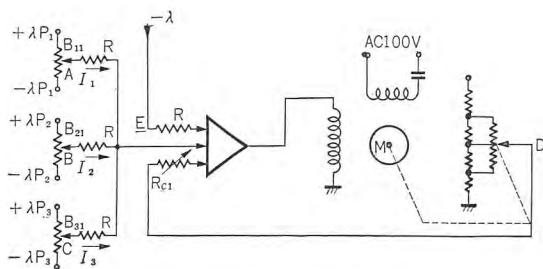


図 5.8 G_1 発電所単位回路

増幅器入力電圧が零のときにサーボは静止する。この時増幅器の入力電流の代数和は零であるから、

$$\frac{dI_1}{dP_1} / R_{c1} + \lambda(2B_{11}P_1 + 2B_{21}P_2 + 2B_{31}P_3) / R - \lambda / R = 0 \dots (5.4)$$

ゆえに

$$f_1 \cdot \frac{dI_1}{dP_1} + \lambda(2B_{11}P_1 + 2B_{21}P_2 + 2B_{31}P_3) = \lambda \dots (5.5)$$

となる。ここに $f_1 = \frac{R}{R_{c1}}$ である。

R_{c1} は燃料単価 f_1 を表示するための可変抵抗器であるから適当なダイヤル目盛を付しておけば良い訳である。発電量指示ダイヤルには上限、下限のリミッタが設けてある。

5.2 連けい線単位

自己の電力系統と他の電力系統の間に電力を授受する場合その電力の値は既定であるから、これを連けい線単位で模擬する。この連けい線単位は発電力が既定である流れ込み式発電所にも適用できる。また負荷が多数あって分散している場合にはこれを負の出力の発電所と考えることにより連けい線単位は特殊負荷にも適用できる。したがって連けい線単位のダイアルには図 5.3 でわかるように正 (IN), 負 (OUT) の両目盛が設けてある。図 5.3 の電力設定用ツマミによって上述の固定電力を設定する。連けい線単位の電力は固定であるから図 5.4 の T_3 連けい線単位に示したように、増分燃料費を表わすコストカーブ発生回路は有していない。

5.3 加算発電所単位

新鋭高能率の発電機と旧式低能率発電機が同一の火力発電所内にある場合、それぞれの発電機を表示するサーボ単位があるほかに、それぞれの出力の和を求める加算サーボ単位が必要であるが、図 5.4 には簡略化のため図示していない。図 5.9 にこの加算発電所単位を図示した。

5.4 全電力設定単位

2 章で述べたように λ は全負荷電力の関数である。したがって全電力の指示を見ながら λ を調整することによって、全電力

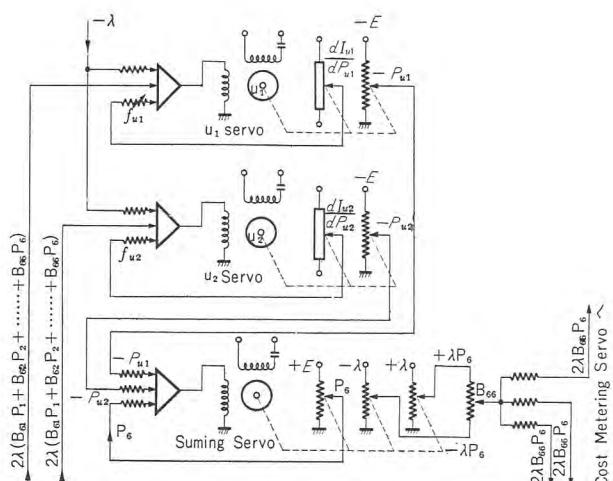


図 5.9 加算発電所単位（試作機では全系統単位のうち第 6 単位が上記サーボ 3 個から成っている）

技術解説

を設定することができる。しかしこの方法では、将来考えられる電力系統の全自動化には不便である。このため図5.4のように全電力設定単位を設けてある。

ポテンショメータ (P_{Ts}) で設定した電圧と各発電所単位、各連けい線単位の出力電力の和に相当した電圧が等しいときに、この全電力設定サーボ PTM は静止する。

このとき、このサーボの指針は λ の値を指示する。将来の電力系統の全自動化には、ポテンショメータ (P_{Ts}) の代りに、この点に全負荷電力に応じた電圧を加えれば良く、電力系統の全自動化にきわめて便利な回路構成になっている。このサーボには、8章に述べるように、計算機回路全体を安定化するためタコゼネレータ PTG が連結してある。

5.5 λ サーボ単位

図5.4のように全電力設定単位で得られた電圧 λ は、 λ サーボの入力として加えられる。 λ サーボは、電圧調整器のシュー動子を駆動し、かくして得られた電圧が変圧器の一次側に加わる。二次側からは、 $+\lambda$ 、 $-\lambda$ 、に応じた電圧が得られ、B 定数ポテンショメータの両端に加えられる。 λ に正負両符号の電圧があるのは、B 定数が正負いずれの値にもなりうるからである。

5.6 コスト計測単位

コスト計測単位はスイッチと一群の継電器（図5.4には簡単のために示していない）によって次のように諸量が測定できるようになっている。

(1) $\frac{dF_k}{dP_k}$ の測定

$\frac{dI_k}{dP_k}$ の電圧が、火力発電所 k のコストカーブ発生回路から燃料単価を表わす可変抵抗器 f_k を経て k 火力発電所用継電器を通して、コスト計測単位に入力として加えられると、このサーボのダイヤル上で $\frac{dF_k}{dP_k} = f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_k}$ が測定される。これによって発電所における増分発電原価を知ることができる。

(2) $f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_k} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ の測定

k 火力発電所用継電器を動作させて、コストカーブ発生回路からの $f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_k}$ を、B 定数回路からの電圧 $\lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ とともに入力としてコスト計測単位に加えると、 $f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_k} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ が測定される。これは3章に述べたように、一般には λ と等しい値である。しかしもし k 火力発電所の出力が上限または下限リミッタで制限されているときは、 $f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_k} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ の値は λ と異なった値になる。

(3) $\lambda - \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ の測定

連けい線単位にはコストカーブ発生回路はない。（5.2節参照）それで連けい点における増分原価は、 $\lambda - \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ で表わす。 $\lambda - \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ の値は、火力発電所の増分燃料費に相当するからである。電圧 $-\lambda$ および連けい線単位 k 用の継電器を通じて $-\lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ の電圧をコスト計測単位の入力とすればダイヤル上に $\lambda - \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}$ が指示される。この値によって連けい線を通して電力を売買する際の電力の適正な価格を知ることができるわけである。

5.7 配置構成

図5.1において、①は A キャビネットで各発電所単位、連けい線単位、全電力設定単位、コスト計測単位、電力計測単位、 λ 単位、制御単位などを収容している。②は B キャビネットで B 係数回路を収容し機として使用できる構造になっている。③は C キャビネットで電源および継電器類を収容しているものである。

A キャビネットの制御単位は、電力系統の任意の点を選択するためのスイッチ回路から成っていて特定の発電所に対応した継電器を動作させることができる。本稿においては、継電器回路については簡略の目的で詳述しない。

6. 貯水池式発電所の取扱い

電力系統に火力発電所と貯水池式発電所がある場合にはある瞬間にいくら経済運転ができるても、そのために後刻の経済性が失われるならば、全体として経済的でない場合が生じうるので貯水池の水のもっとも経済的な使用法を考える必要がある。

いまある期間内に使用される水量が一定であり、この期間内では有効落差が変わらないとする。この仮定は貯水容量が大で期間が短い場合には成立することである。

Q_k を貯水池式発電所 k の1時間あたりの使用水量、 H_k を貯水池式発電所 k の一定期間内の予定使用水量とすると次の関係が成立する。

$$\int_0^{t_0} Q_k \cdot dt = H_k \quad \dots \dots \dots (6.1)$$

$$(k=n+1, n+2, \dots, n+m)$$

いま火力発電所 n 個で出力 P_s 、貯水池式発電所 m 個で出力 P_h から成立する電力系統を考えると、全需要負荷電力 P_T 、全送電損失 P_L などの間には次式が成立する。

$$P_T + P_L - \sum_{k=1}^n P_{sk} - \sum_{k=n+1}^{n+m} P_{hk} = 0 \quad \dots \dots \dots (6.2)$$

式 (6.1)、(6.2) の条件を満足して、かつ

$$\int_0^{t_0} F_T dt \quad \dots \dots \dots (6.3)$$

を最小にする条件は次式で与えられる。

$$\frac{\partial}{\partial P_k} \left[F_T + \lambda (P_R + P_L - \sum_{k=1}^n P_{sk} - \sum_{k=n+1}^{n+m} P_{hk}) + \mu_k Q_k \right] = 0 \quad \dots \dots \dots (6.4)$$

式 (6.4) の最後の項は、水火力併用ということから生ずる水の経済性に関するものである。 μ_k は水の仮想的単価を表わす因子で予定使用水量 H_k の関数である。

式 (6.4) を変数分離して解けば次の2式が得られる。

$$\text{火力発電系について} \quad \frac{\partial F_k}{\partial P_{sk}} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_{sk}} = \lambda \quad \dots \dots \dots (6.5)$$

$$\text{水力発電系について} \quad \mu_k \frac{\partial Q_k}{\partial P_{hk}} + \lambda \frac{\partial P_k}{\partial P_{hk}} = \lambda \quad \dots \dots \dots (6.6)$$

F_k が P_{sk} だけの関数であり、 Q_k が P_{hk} だけの関数ならば、上2式は次のように変形できる。

$$f_k \cdot \frac{dI_k}{dP_{sk}} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_{sk}} = \lambda \quad \dots \dots \dots (6.7)$$

$$\mu_k \cdot \frac{dQ_k}{dP_{hk}} + \lambda \frac{\partial P_k}{\partial P_{hk}} = \lambda \quad \dots \dots \dots (6.8)$$

式(6.7)と(6.8)を見れば、 $\frac{dQ_k}{dP_{h,k}}$ は $\frac{dI_k}{dP_{h,k}}$ に対応し、 μ_k は f_k に対応している。したがって貯水池式発電所の水の経済的使用法を考えるにあたっては火力発電所の場合と同様な手法が可能であることが理解できよう。ただし注意を要することは、 f_k は燃料単価で既知であるのに反して μ_k は H_k の関数で未知数なることである。

試作した計算機を水火力併用の場合にも使用するには次のような手法によればよい。貯水池発電所単位には図5.6の火力発電所の折線特性 $(\frac{dI_k}{dP_k})$ を $(\frac{dQ_k}{dP_k})$ に用い、可変抵抗器 (f_k) によって μ_k をある一定値にセットする。もしある一定期間に使用した水量が、予定水量に達しなければ、 μ_k の値を小さくし、使用水量が予定水量をこえた場合には、 μ_k 値を大にする。このようにして、使用水量が予定水量に等しくなるような μ_k の値を決定する。

この使用水量を自動的に計算するためには、積分器が必要であるが今回の試作機では積分器はついていない。

7. サーボの特性

計算機回路のサーボ系には、すべて交流増幅器と交流二相平衡電動機 (50 c/s, 60 c/s) が用いてある。このサーボの周波数特性は図7.1のようにして測定した。

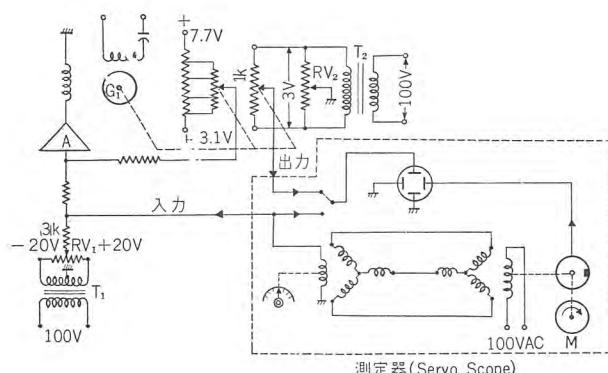


図7.1 サーボの周波数特性測定回路

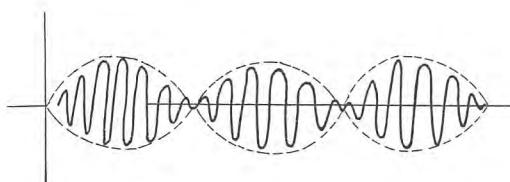


図7.2 Servo-Scope の出力波形

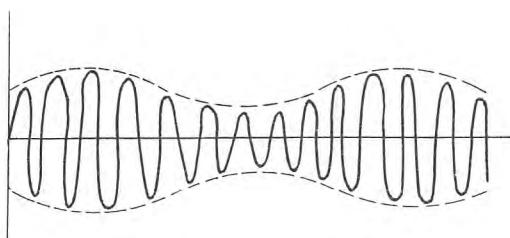


図7.3 サーボの入力波形

図7.1において、変圧器 T_1 に接続されたポテンショメータはサーボを、ダイヤル上の任意の位置で静止させるためのものである。一方 Servo Scope において 100V AC を印加した送信器シンクロの一次側をモータ M で一定速度で駆動すると図7.2のような変調波形が得られる。したがってサーボ増幅器の入力波形は図7.3のようになる。

いま、変圧器 T_2 に接続されたポテンショメータ RV_2 のシーウ動子の位置を調整することによって、サーボの出力波形は図7.2と同様な波形にすることができる。つぎに Servo Scope の受信シンクロの二次側コイルの角度を調整してサーボ出力波形がブラウン管上で、Servo Scope の出力波形と同じ位置にになったときの、この Servo Scope 受信器シンクロの二次側コイルの回転角で、サーボの移相が測定される。またブラウン管上の両波形の大きさから、その利得がわかる。図7.1のモータに直結してある非直線性ポテンショメータは図5.5の特性を有し同図(B)の範囲で測定した。

サーボの閉回路周波数特性から、開回路周波数特性を求めるには、図7.4ニコルス線図を用いれば良い。すなわち図7.5のような回路では、入出力 B と C の関係は

$$C = \frac{G_0}{1+G_0H} = \frac{1}{H} \times \frac{G_0H}{1+G_0H} = \frac{1}{H} \times \frac{G}{1+G}$$

となる。ただし $G = G_0H$

ニコルス線図を用いて $\frac{G}{1+G}$ の特性から G の特性を求めたのが図7.6の(a)である。これからさらに $G_0 = \frac{G}{H}$ とすれば図7.5サーボの開回路特性が求められる。ここに帰還率 H は図5.5から

$$H = (7.7V - 3.1V) \times (0.65 - 0.46) \times \frac{65}{65 - 27} \times \frac{1}{3V} = 0.5(-6\text{db})$$

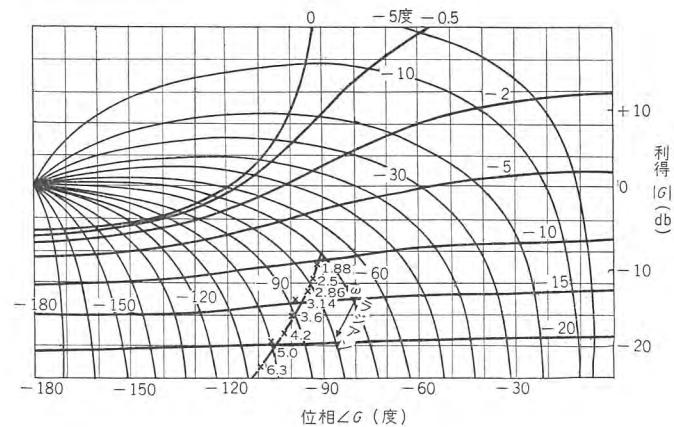


図7.4 サーボの周波数特性

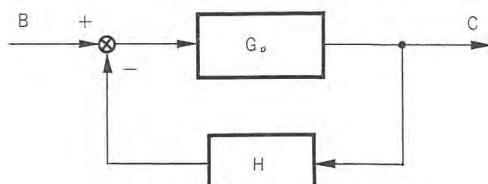


図7.5 帰還制御系

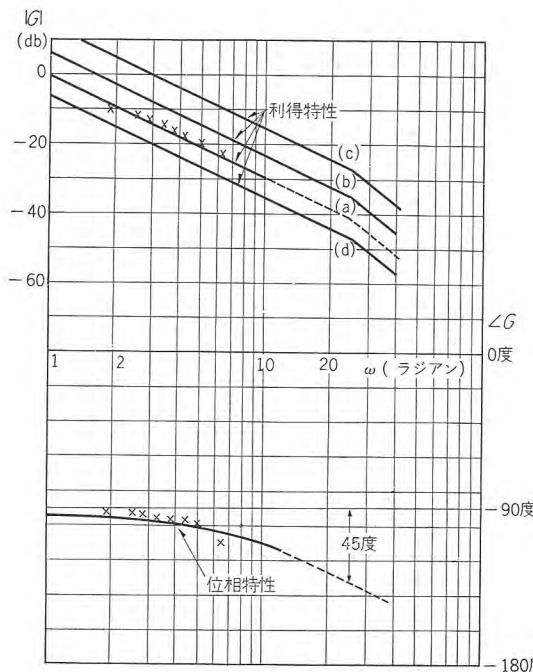


図 7.6 サーボの開回路特性

ゆえに図 7.6 の (a) の振幅特性を 6 db 上方にずらせば図 7.6 の (b) が得られる。

8. 計算機回路の安定化

一般にモータで歯車を介して、負荷を駆動する場合の運動方程式は線形化して、つぎの式で表わされる。

$$(n^2 I_M + I_L) \frac{d^2 x_0}{dt^2} + (n^2 r_M + r_L) \frac{dx_0}{dt} = n a_1 e_i$$

ただし x_0 : 出力 (モータの回転角)

I_M : モータの回転部分の慣性能率

I_L : 負荷の慣性能率

r_M : モータの回転摩擦係数

r_L : 負荷の回転摩擦係数

n : 歯車の減速比

a_1 : モータの入力電圧対トルク比

e_i : モータの入力電圧

上式で n が大きいとき I_L , r_L を無視すると、

$$n^2 I_M \frac{d^2 x_0}{dt^2} + n^2 r_M \frac{dx_0}{dt} = n \cdot a_1 \cdot e_i$$

となる。このとき伝達関数は $\frac{X_0}{E_i} = \frac{1}{n} \times \frac{A}{S(T_1 S + 1)}$ となる。ここに

$$T_1 = \frac{I_M}{r_M} \quad A = \frac{a_1}{r_M}$$

である。したがって減速比 n を大にしたとき利得は小さくなるが折点 $\omega_1 = \frac{1}{T_1}$ は変わらない。

図 5.4において G_1 サーボは B 係数回路を通して帰還されているが B 係数の値は小さいので無視する。また $G_1 \dots G_6$ サーボは相互に干渉し合うが簡単のため全電力設定サーボ(PTM)と G_1 サーボだけに注目して、図 8.1 のブロック線図で考察すると次のようになる。

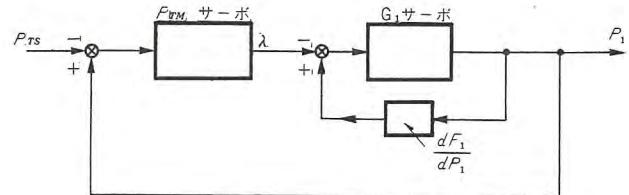


図 8.1 計算機回路のブロック線図

G_1 サーボモータは減速比 $1/60$, PTM サーボモータは $1/375$ である。 $\frac{dF_1}{dP_1}$ は図 5.5 で ④ の部分にあるとき G_1 サーボはもっとも不安定である。また G_1 サーボの利得が大きいほど不安定であるから全目盛が実際は 65 MW であるが、条件を苛酷にして 250 MW として考察する。このとき、発電電力表示用ボテンショメータには $1V \times 250MW / 32.5MW = 7.7V$ が印加されることになる。ゆえにその特性は図 7.6 の (b) を、 $7.7V / 3V = 2.57$ (8.2 db) 上方にずらせば良い。これが図 7.6 の (c) である。PTM サーボには $(7.7V - 3.1V)$ 印加され (図 5.4), 減速比 375 であるから $(7.7V - 3.1V) \cdot 60 / 3V \cdot 375 = 0.245$ (-12.2 db) だけ図 7.6 の (b) を下方にずらせば良い。これが図 7.6 の (d) である。図 7.6 の (c) と (d) から図 8.2 の (a) が求まる。これが図 8.1 のサーボに関する開回路特性である。図 8.2 の (a) からわかるようにこのサーボ系は不安定であることが予想されまた実験でも不安定であることが確かめられた。

この計算機回路の安定化を計る目的で図 5.4 のように微分要素 (タコゼネレータ PTG) を用いるとそのブロック図は図

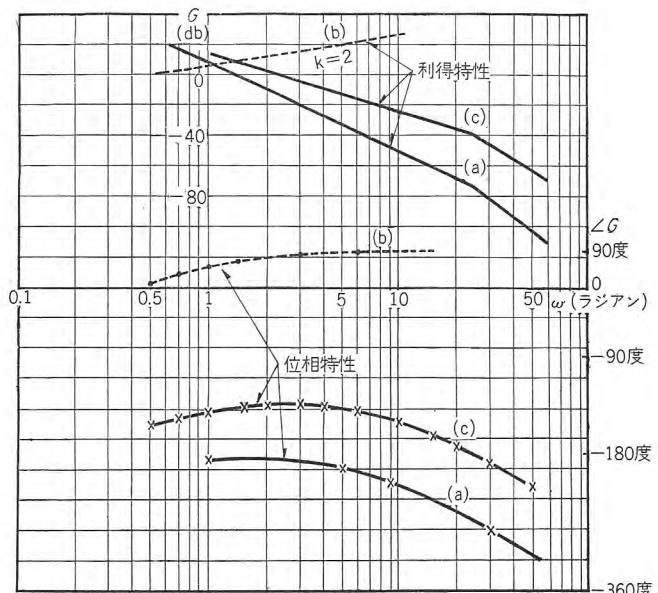


図 8.2 サーボ系図 8.1 の開回路特性

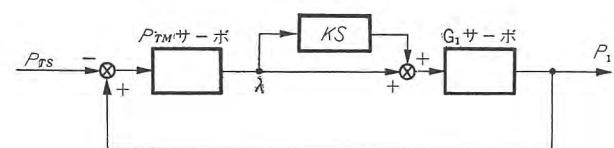


図 8.3 安定化回路

8.3 のようになる。KS の特性の一例を図 8.2 の (b) に示した。K=2 のときの図 8.3 に対するボード線図を図 8.2 の (c) に示す。これから K の値を適当に選べば安定化できることがわかる。各発電所の発電電力が変れば増分燃料費 $\frac{dF}{dP}$ も変化し、したがって発電所単位のサーボの特性も変化し、計算機全体が安定になる K の値も異なってくる。K の値はタコゼネレータの励磁コイルの電圧を変えて調整する。

9. この計算機の使用法

本機の使用法はきわめて簡単である、すなわち各発電所単位の上限下限リミッタで、その発電所の上限下限発電量を設定する。そして B 損失係数ポテンショメータを所定の値にあらかじめ設定する。また各発電所の燃料単価もあらかじめ設定しておく。つぎに図 5.4 の電力計測単位 (P_T) の指示を見ながら全負荷電力を、ポテンショメータ (P_{Ts}) によって設定する。各単位のサーボが静止したとき、ダイヤル上の指針の指示が求める解である。

さて、このように発電所の出力が可変の場合には、各発電所単位の固定—可変の切換スイッチはあらかじめ “Variable” 側に倒しておくが、もし発電所の出力が一定で変わらないような場合には、 “Fixed” 側に倒し固定電力設定用ツマミで、固定電力量を設定すれば良い訳である。(図 5.2)

(5.6) 節で述べたように増分発電原価 $\left(\frac{dF_k}{dP_k}\right)$ 、増分配電原価 $\left(\frac{dF_k}{dP_k} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}\right)$ 、および自他電力系統間の売買電力の適正価格 $\left(\lambda - \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_k}\right)$ の諸量は切換スイッチの操作によってコスト計測単位で測定することができる。

また各発電所の燃料単価が変動したときは、その発電所に関する燃料単価用ツマミを所定の値に設定すれば良い。

10. 計算結果

計算速度は約 10 秒である。同一の問題を当社の研究所に設置されたベンディックス G15-D デジタル形計算機で解くと、初期値により異なるが約 15 分かかる。(ただしプログラムは、インターネット 101 によった。) 火力発電所単位 6 個の場合について本機の計算結果をデジタル計算機による計算結果と比較すると表 10.1 のとおりである。

本機の計算精度は、各火力発電所のコストカーブによって、異なる。もしコストカーブの傾斜が零のとき、その出力

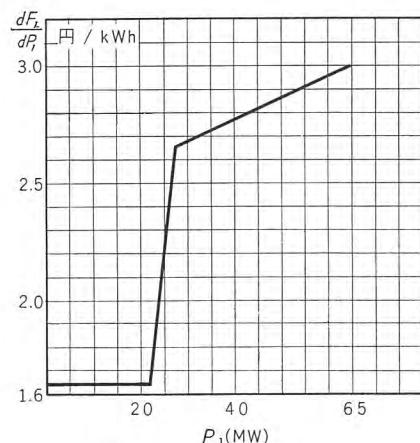


図 10.1 G₁ 発電所コストカーブ

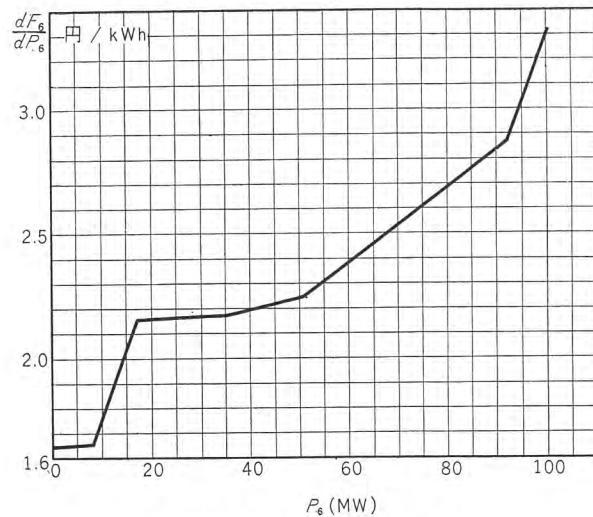


図 10.2 G₂ 発電所コストカーブ

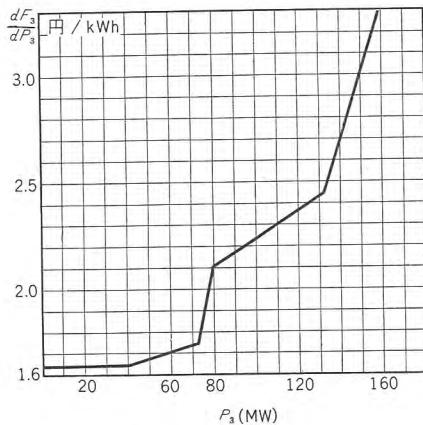
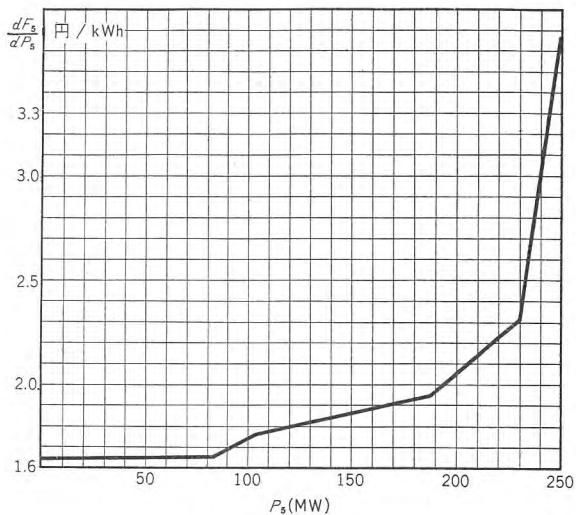
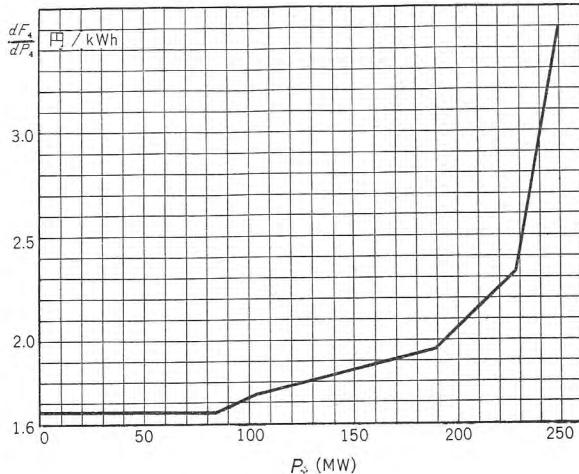
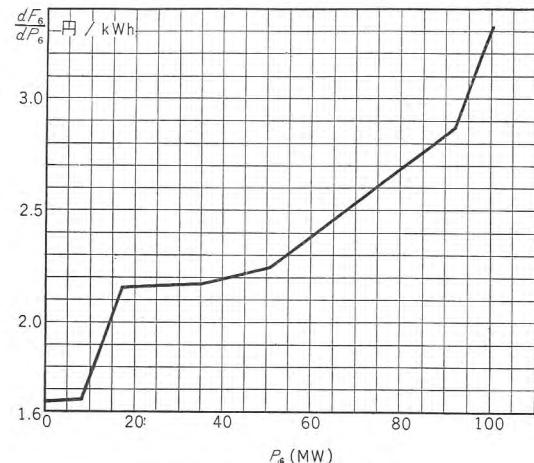
は、コストカーブからは確定せず、損失係数によって決定される。ところが損失係数は小さな値であるから、コストカーブの傾斜が小さなところでは、大きなところよりも計算精度は低くなる。この計算は各発電所増分燃料費特性が図 10.1～10.6 に示すような特性であるとして行なった。

電力系統の発電所数が増したとき、本機の計算精度に影響する因子は図 5.4 の全電力設定単位の入力ポテンショメータの負荷効果だけである。このためにポテンショメータは極力小さな抵抗のものを使用している。

表 10.1 デジタル計算機による計算結果との比較

	総発電量	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	λ
各発電所フルスケール	2,000.0 MW	65. MW	100. MW	160 MW	250. MW	250 MW	100 MW	10円/kWh
G-15D 本機精度	408.14 410. 0.065%	22.958 23.0 0.49%	12.508 13.0 0.83%	71.666 73.0 0.38%	151.95 151.0 0.43%	134.93 136.0 0.23%	14.129 13.9 0.23%	1.9303 2.0 0.7%
G-15D 本機精度	538.42 537. 0.23%	23.945 23.8 0.23%	15.223 15.8 0.57%	78.494 78.5 0.0037%	195.71 195 0.28%	187.78 186 0.71%	37.272 38.5 1.228%	2.1147 2.12 0.05%
G-15D 本機精度	667.13 667. 0.31%	25.007 24.8 0.285%	50.785 50.5 0.11%	104.82 105 0.26%	217.66 217. 0.26%	208.10 206 0.84%	60.756 60.8 0.04%	2.3343 2.37 0.35%

* 印は本文第 10 章の理由によって精度が落ちている。

図 10.3 G₃ 発電所コストカーブ図 10.5 G₅ 発電所コストカーブ図 10.4 G₄ 発電所コストカーブ図 10.6 G₆ 発電所コストカーブ

その他図5,4からわかるように、乗算回路においても、負荷効果は本来小さくなるような回路構成になっている。したがって発電所数を増したときの計算精度の低下はほとんど問題ないと思われる。

11. む す び

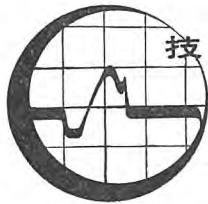
以上試作した電力経済配分計算機について概説したが本機は本来火力発電系を対象として開発されたものであって、これを水力発電系に適用するには、多数の流れ込み式発電所が同一河川上にあるときの水流の時間遅れ、貯水池発電所の落差の変動、貯水池の容量などについて、今後の研究に待たなければならぬところが多い。しかし電力系統運営問題の主流といわれる経

済運用についてこのような計算機の果す役割ははなはだ大きいものといえよう。

(研究所 豊田準三・中塚正三郎・前川善六) (34-1-21 受付)

参 考 文 献

- (1) R. H. Travers, D. C. Harker, R. W. Long, and E. L. Harder: Loss Evaluation-III Economic dispatch studies. AIEE. Transactions, 73, Pt. III-B, (Oct., 1954). pp. 1091~1104.



—パラメトリック増幅器—

研究所 喜連川 隆*・白幡 潔*

1. まえがき

パラメータ励振による振動系の不安定性の問題は古くから研究されているが、最近この不安定性の原理を利用したマイクロ波低雑音増幅器が研究開発されている。電気回路の特性を決めるパラメータの中のリアクタンスをある周期で変化させると回路に発振が起るが、その変化量が発振閾よりもわずかに小さいときには、発振周波数での増幅が可能である。そして回路損失がおもな雑音源であるから、増幅器の雑音指数はかなり小さい。この種の増幅器は Parametric amplifier と呼ばれているが、さらにフェライト内のスピニの非直線動作を利用した最初のマイクロ波増幅器を組立てた米国 Bell 研究所の M. T. Weiss⁽²⁾によって Mavar (Modulating Amplification by Variable Reactance) なる名前が提案され、この名もよく用いられている。

メーバは超低温の 3 レベル固体メーザに比較して内部雑音の点で少し劣るが、冷却せずにその低雑音特性の得られる特長があり、さらに半永久的寿命、および価格の安くなりうる可能性などから非常な注目を集めている。メーバ、メーザおよび電子

表 1.1 メーバ、メーザおよび電子管増幅器の特長

	メーバ	メーザ	電子管増幅器
増幅(発振)の原理	回路のリアクタンスのパラメータ励振	励起状態にある分子原子の準位遷移による内部エネルギーの誘導放出	電子流と電磁界との相互作用
等価回路としての取扱い	2 端子網負性抵抗(進行波形は一方向性 4 端子網)	2 端子網負性抵抗(進行波形は一方向性 4 端子網)	一方向性 4 端子網(発振器は 2 端子網負性抵抗)
増幅エネルギー源周波数	特別な場合を除いて増幅しようとする周波数よりさらに高い周波数の超高周波	3 レベル固体メーザ: メーバと同じ、2 レベル固体メーザ: 増幅周波数に等しい周波数の超高周波、ビームメーザ: 直流	直 流
エネルギーの変換媒体	フェライト、イットリウムガーネット逆バイアス半導体ダイオード電子ビーム	ルーピ、エチル硫酸ランタンシアン化クロムカリ、水晶、アンモニア	電子ビーム
動作温度	常温(電子ビーム形は高温)	超低温(液体ヘリウム程度にまでは液体酸素)、緩和時間の延長、能率増大のため(ビームメーザでは不要ガス除去のため)	高温(数百度)熱電子放出のため
直流磁界	不要(ダイオード形)要(フェライト形) (電子ビーム形)	要(固体メーザ) 不要(ビームメーザ)	要(進行波管、マグネットロン) 不要(クラリストロン、普通電子管)
雑音指数	約 3 dB (ダイオード形) (電子ビーム形)	0.06dB(固体メーザ) 1.0 dB 程度 (ビームメーザ)	10 dB 程度
最大出力	100 W (フェライト形) 1 mW (ダイオード形)	数 μW (固体メーザ) $10^{-3} \mu\text{W}$ (アンモニアメーザ)	MW に至る
能率	0.5% (フェライト形) 数 % (ダイオード形)	0.1% (固体メーザ)	数 10 %
帯域幅	0.01% (空胴形) 25% (進行波形)	0.001% (固体メーザ) 0.000025 (アンモニアメーザ)	数 10 %
周波数帯	ほぼ 10^3 Mc 以上 (フェライト形) 数 Mc 以下(パラメトロン) 低周波~数千 Mc (ダイオード形) (電子ビーム形)	kMc (固体メーザ) 24,000 Mc (アンモニアメーザ)	直流~数万 Mc

管の特長は表 1.1 のようである。

2. メーバの原理

メーバは信号回路に等価的に負性抵抗を発生させ、回路の損失を補償することによって増幅、発振を行なうものと考えられることは、メーザと同じであり、回路的取扱いも同じ方法でなされている。違いはその負性抵抗の発生機構であって、メーバの負性抵抗は回路のリアクタンスを時とともに変化させる、いわゆるパラメータ励振によって生ずるのである。

2.1 パラメータ励振

パラメータ励振は機械系でも Melde⁽¹⁾ の音に結びつけた弦の振動やブランコなどでなじみ深いものではあるが、電気回路では次のようにして直観的な説明がなされている⁽¹⁰⁾。図 2.1 (a) の共振回路のコンデンサの両端に図 2.1 (b) の実線に示す電圧が発生しているものとする。このとき t_1 でコンデンサ極板の間隔を引き離し、 t_2 で間隔をもとにもどす。さらに t_3 でまたたび引き離し、 t_4 でもとにもどす。この操作を繰り返せば $V=Q/C$ なる関係から端子電圧は図 2.1 (b) の破線のように増大してゆくであろうことがわかる。増大のエネルギーはコンデンサ極板を引き離す仕事により与えられる。もし t_1 で間隔をせばめ t_2 で開くという操作を繰り返せば、端子電圧は衰微する。電気回路と機械的素子を含むパラメータ励振の一例を図 2.2 に示す⁽³⁾。

しかし実用的には可変リアクタンスをいわゆる非直線リアクタンス素子とし、これを周波数および位相が回路の共振波とあ

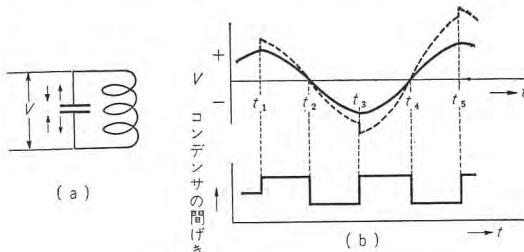


図 2.1 メーバの原理 (a) (b)

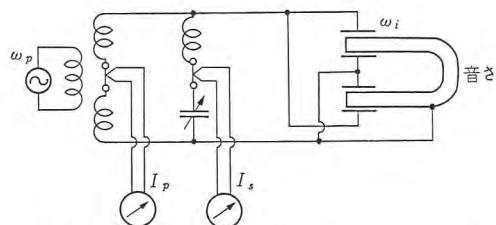


図 2.2 電気機械系におけるパラメータ励振

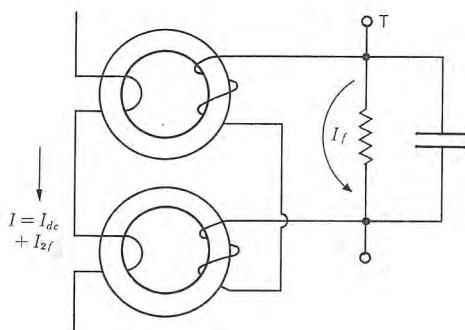


図 2.3 パラメトロン

る関係を有する電源で駆動することによって、リアクタンスを変化させているのが一般である、この操作はポンピングと呼ばれている。ポンピング周波数が増幅、発振周波数の2倍である場合には、回路の微分方程式中のリアクタンスを時間の周期関数とおき、第3次高調波以上を無視して解けば、ある条件のもとではその回路に負性抵抗の生ずることを示すことができる。⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾しかし増幅周波数帯域幅が零といふことから、一般増幅器としては実用不可能であって、パラメトロン⁽⁶⁾として記憶素子に用いられているに過ぎない。

2.2 アイドラ回路

周波数と帯域幅の問題は、信号回路、ポンピング回路のほかに、アイドラ回路と呼ばれている第3の回路を付加し、信号回路とアイドラとの間の結合リアクタンスを可変として、これをパラメータ励振するように構成すれば解決される。

可変結合リアクタンスを容量性とした場合の等価回路を図2.4(a)に示す。⁽¹⁹⁾結合リアクタンス C' は信号周波数 ω_s とアイドラ周波数 ω_i との和の周波数 ω_p ($\omega_p = \omega_s + \omega_i$) で変化させる。このとき信号回路に信号を印加すると、可変リアクタンス C' で ω_s と ω_p が混合され、アイドラ回路に $(\omega_p \pm \omega_s)$ なる周波数成分が生ずるが、その中でとくに $\omega_p - \omega_s = \omega_i$ なるアイドラ周波数の電力がアイドラ回路にたくわえられ、これがふたたび C' で混合されて $\omega_p - \omega_i = \omega_s$ なる信号周波数の電力が帰還される。この電力は加算的であるから信号電力は増大する。増大のためのエネルギーは結合リアクタンスを変化させるときに要したエネルギーが変換されたものであって、これが信号回路の損失を補償する結果、増幅発振が行なわれる。数式的には信号回路とアイドラ回路とを結合する相互リアクタンスを時間の関数とおき、その周波数を $\omega_p = \omega_s + \omega_i$ とし第3次以上の高調波を無視して解けば、信号周波数の位相には無関係な等価負性コンダクタンスが信号回路に生ずることを示すことができる。^{(14)~(19)}ま

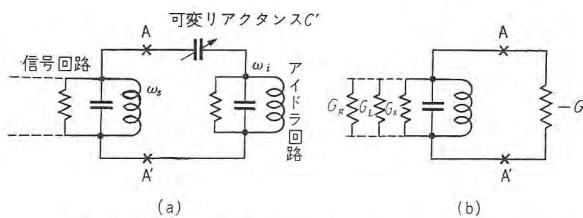


図 2.4 アイドラ回路の付加されたメーバの等価回路

たこのことは等価的に AA' 点から右側をみた場合図2.4(b)のように表わされるということで⁽¹⁹⁾、 G_s を信号回路のコンダクタンス、 G_g 、 G_L をそれぞれこの回路に接続される発振器のコンダクタンス、および負荷のコンダクタンスとするとき、負性コンダクタンス ($-G$) が、 $G_s < |-G| < G_s + G_g + G_L$ では増幅、 $|-G| \geq G_s + G_g + G_L$ では発振が起る。また帯域幅×(電力利得) $^{1/2}$ は電力利得の大きい場合には一定であることが示されている。

2.3 Manley-Rowe の公式

回路のリアクタンスをポンピング周波数で変化させることによって、増幅が得られるということは、リアクタンスを変えるために要したポンピング電力が信号周波数の電力として流出することともみられるが、いわゆる非直線リアクタンスを介して各周波数で出入する電力についての一般理論は J. M. Manley および H. E. Rowe⁽¹²⁾⁽¹³⁾によって与えられており、メーバの本質について述べるものとして重要である。

一般理論から導かれている公式は、基本波が f_1 と f_0 の二つの場合には、つぎの2式である。

$$\sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} m W_{mn} / (m\omega_1 + n\omega_0) = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} n W_{mn} / (m\omega_1 + n\omega_0) = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

$$w_{mn} = m\omega_1 + n\omega_0 \quad (m, n \text{ 整数})$$

w_{mn} は非直線リアクタンス素子を流れる電流の周波数、 W_{mn} は周波数 ω_{mn} で素子に流れ込む平均電力を表わす。そして W_{mn} が負符号の場合には素子から電力が流れ出るものとする。いま素子を流れる電流は周波数が信号周波数 ω_s 、ポンピング周波数 ω_p および一次下側帯波周波数 $\omega_i = (\omega_p - \omega_s)$ の三つに限られ、それ以外の周波数成分は存在しないものとすると、式(2.1) および (2.2) は次のようになる。

$$\frac{W_p}{\omega_p} = -\frac{W_i}{\omega_i} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)'$$

$$\frac{W_s}{\omega_s} = \frac{W_i}{\omega_i} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)'$$

$$\text{すなわち} \quad \frac{W_p}{\omega_p} = -\frac{W_s}{\omega_s} = -\frac{W_i}{\omega_i} \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

W_s と W_i は W_p と符号が異なるから、ポンピング電力 W_p が非直線リアクタンスに加えられている限り、これから信号および下側帯波すなわちアイドラの両周波数で電力が流れ出すことを示している。

もし下側帯波が押えられ、上側帯波 ω_{p+s} ($= \omega_p + \omega_s$) が流れているとすると、式 (2.1) および (2.2) は次のようになる。

$$\frac{W_p}{\omega_p} = -\frac{W_{p+s}}{\omega_{p+s}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)''$$

$$\frac{W_s}{\omega_s} = -\frac{W_{p+s}}{\omega_{p+s}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)''$$

$$\text{すなわち} \quad \frac{W_p}{\omega_p} = \frac{W_s}{\omega_s} = -\frac{W_{p+s}}{\omega_{p+s}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.4)$$

W_{p+s} は W_p および W_s と符号が異なるから、ポンピング電力 W_p と信号電力 W_s が非直線リアクタンス素子に加えられている限り、上側帯波で電力が流れ出すことを示す。そして流

出する上側帯波電力は信号電力に比べて ω_{p+s}/ω_s の割合で増幅されることがわかる。この形の動作では入力と出力の周波数が異なるが、高感度受信機に応用できるもので、広義にはメーバの中にはいるであろうが、一般には up converter⁽⁴⁴⁾ として区別している。さらに式(2.4)で $\omega_p = \omega_s$ と縮退した場合には能率の良いリアクタンス周波数 2 通倍器となり、⁽¹²⁾ 式(2.3)で $\omega_s = \omega_i$ と縮退した場合には周波数比 1/2 の分周器ができるこことを示している。

2.4 雜音

メーバの雑音指数は図 2.4 (b) の等価回路について次のように示されている。⁽¹⁹⁾

$$F = 1 + \frac{G_s}{G_g} + \frac{|-G|}{G_g} \cdot \frac{\omega_s}{\omega_i} \quad (\omega_i = \omega_p - \omega_s) \quad (2.5)$$

右辺第 1 項の 1 は発振器自体からの雑音、第 2 項は信号共振回路で発生する雑音、第 3 項はアイドラー共振回路で発生して信号回路へ変換される雑音を表わす。もし信号発振器を信号回路に過結合すれば、 $G_s < G_g$ となって第 2 項は無視できるようになることができる。またサーチュレータを用いた反射空洞形メーバでは高利得のとき $|-G| \ll G_g$ とおけるので、このような場合には式(2.5)は次のようになる。

$$F = 1 + \frac{\omega_s}{\omega_i} = \frac{\omega_p}{\omega_i} \quad (2.6)$$

一般にメーバでは $\omega_s \ll \omega_i$ であるが、この場合には雑音指数は 3 dB となる。 $\omega_s < \omega_i$ とすることによって雑音指数を下げることができるが、さらに、下げるには冷却を考える必要がある。液体ヘリウムで冷却されている 3 レベル固体メーバでは 0.06 dB⁽¹¹⁾ であるが、メーバと 3 レベル固体メーバとの雑音特性の相違は式の上からも冷却ということにあり、メーバでも冷却すれば雑音指数は小さくなる。

上述の雑音指数はメーバ自体のものであり、実際の使用にあたっては、ポンピング電力に含まれる雑音および付属回路の損失、反射などによっても雑音指数はいくぶん増加する。⁽⁴⁷⁾

2.5 フェライトの非直線性

フェライトは低周波でもマイクロ波でもともに非直線リアクタンスとして用いられるが、低周波とマイクロ波とでは非直線性および損失の点から相異なる原理に立ってフェライトを利用している。低周波での非直線性は静特性での磁化率の飽和に基づく非直線性を利用するもので、この場合の磁化率は同一方向の磁界と磁化との関係である。この磁化率は周波数の増加とともに減少し、マイクロ波ではほとんど磁性を示さなくなる。

一方フェライトのマイクロ波での非直線性は磁化の運動方程式から示される。磁化の運動方程式は式(2.7)で示される。

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -\gamma(\vec{M} \times \vec{H}) \quad (2.7)$$

ここに \vec{M} は磁化、 \vec{H} は内部磁界、 γ は電子の磁気回転比 (Gyromagnetic ratio) である。 \vec{M} は \vec{H} 中の直流磁界 H_{DC} の回りに才差運動をするが、損失があるために減衰する。 \vec{H} 中の高周波磁界すなわち H_{AC} に直交する H_{AC} は才差運動を持続さすのに役だつ。直流磁界に対し正方向に回転する角周波数 ω

の円偏波となるように高周波磁界を印加し、直流磁界をフェライト内部実効磁界 H_{eff} が共鳴磁界 ω/γ に等しくなるように選ぶと、才差角は最大になる。高周波磁界が H_{DC} に直交する直線偏波の場合は章動を伴う。

さてフェライトを用いたメーバのパラメータを

振幅作用は次のように説明される。⁽⁴⁵⁾ 図 2.5 のように直流磁界 H_{DC} を z 軸方向に、ポンピング電力の高周波磁界 H_p を y 軸方向に印加すると、 M は z 軸の回りに才差運動し y 軸方向に M_{py} の成分を生ずる。そこで x 軸方向に信号波磁界 H_s を加えると、 z 軸方向に

$$M_i = -\gamma(M_{py} \times H_s)$$

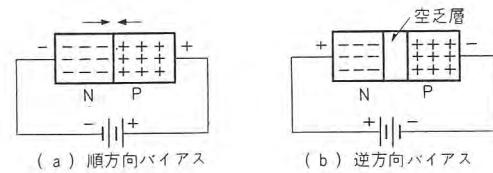
なる成分を生じ、したがって H_i が z 軸方向に生ずる。そうするとこの H_i と y 軸方向の M_{py} によって x 軸方向に

$$M_s = -\gamma(M_{py} \times H_i)$$

が生じ、したがって y 軸方向に H_s が生ずる。これがもとの H_s と同相になるために H_s が増幅される。ポンピング周波数 ω_p に共鳴するように直流磁界 H_{DC} の大きさを定めておくと、 M_{py} が大きくなるので都合がよい。また図 2.5 のように H_{DC} 、 H_p 、 H_s の三つを直交させるか、 H_{DC} 、 H_p 、 H_i の三つを直交させることが必要である。

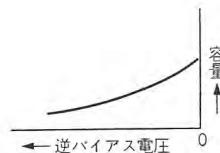
2.6 半導体ダイオードの非直線性

P-N 接合形の半導体ダイオードで順方向にバイアスをかけると図 2.6 (a) のように電子も正孔も接合部を自由に移動して導通状態になるが、逆方向にバイアスをかけると電子と正孔はそれぞれ反対方向に引き寄せられて、図 2.6 (b) のように電子も正孔も存在しない空乏層 (depletion layer) と呼ばれる領域ができる。これはちょうど互いに反対符号の電荷を帯電した平行板コンデンサと類似している。逆方向バイアスを増加すると



(a) 順方向バイアス

(b) 逆方向バイアス



(c) 特性曲線

(b) 等価回路

(a) 順方向バイアス

(b) 逆方向バイアス

(c) 特性曲線

(d) 等価回路

図 2.6 半導体ダイオードの非直線性

空乏層は広がり、平行板コンデンサの電極間距離を増したのと同様に両極間の容量は減少する。この様子を図2.6(c)に示す。したがって逆方向にバイアスのかけられたP-N接合形半導体ダイオードの等価回路は図2.6(d)のように表わされる。ここに C_p は等価可変容量、 R_s は広がり抵抗 (spreading resistor) である。⁽³²⁾⁽³³⁾ R_s はあらゆる面から小さいことが望ましく、

$$f = \frac{1}{2\pi C_0 R_s}$$

で表わされる f はシャ断周波数と呼ばれ使用可能な周波数の目安となっている。

3. メーバの歴史

パラメータ励振による発振の考え方古い。有名な Melde の実験はたかも 100 年前の 1859 年のこと、Lord Rayleigh は 1877 年に固有振動の 2 倍の周波数で励振された系の安定条件について述べている。⁽¹⁾ これと同様の現象を 1936 年に R.V. L. Hartley⁽²⁾ が、同じく 1936 年に L.W. Hussey および L.R. Wrathall⁽³⁾ がともに電気機械系で、1946 年に J.M. Manley と E. Peterson⁽⁴⁾ また 1949 年に V.D. Landon⁽⁵⁾ は飽和インダクタを用いた系について論じた。1955 年後藤氏は位相弁別記憶素子として非直線インダクタを用いこれにパラメトロンと命名した。⁽⁶⁾ そしてそのユニットはパラミスターの名で製造され電子計算機に用いられている。以上のほか最近までパラメータ励振について種々の研究がなされてきたが、その大部分は回路の発振の阻止を意図したものか、あるいは 1/2 周波数でのパラメータ励振にだけ注目されていたため、この原理が増幅器を組立てての用いうることはほとんど明らかにされていなかった。

一方 1954 年に L.R. Walker はフェライト結晶などの強磁性共鳴における静磁気モードについて論じ、⁽²²⁾ 共鳴の不安定さについて述べたが、1957 年に H. Suhl はその事実がマイクロ波増幅器に応用できることを示し、⁽²³⁾ 詳しい解析を行なった。⁽²⁵⁾ 1957 年 M.T. Weiss は H. Suhl の提案に基づいて初めて強磁性マイクロ波増幅器の実験に成功した。⁽²⁴⁾ また 1957 年 Hines は半導体ダイオードで得られる非直線可変容量を用いてマイクロ波増幅器を組立てた。⁽⁸⁾ 1958 年には T.J. Bridge,⁽³⁹⁾ および R. Adler⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾ などによって電子ビームの特殊な応用によるビーム形メーバが作られた。1956 年および 1958 年に J.M. Manley と H.E. Rowe によって明らかにされた非直線リアクタンス回路の一般理論⁽¹²⁾⁽¹³⁾ はメーバの原理の基礎をなすものとされている。

4. メーバの種類

メーバを、用いている非直線素子によって分類すれば、強磁性体すなわちフェライト、イットリウムガーネットなどを用いた強磁性メーバ、および半導体ダイオードを用いるダイオードメーバ、ならびに電子ビームを利用した電子ビームメーバがある。

またメーバは回路的にみると非直線リアクタンスを信号とアイドラーの二つの共振モードの結合用素子として用いる空胴形、

および非直線リアクタンスを二つの伝送モードの結合に用いた進行波形に分かれる。

さらに周波数関係の上からみると、メーバは Manley-Rowe の式から基本波がただ二つの場合には原理的に明らかのように増幅されるべき信号周波数はポンピング周波数より低いことが必要とされる。しかし信号周波数がポンピング周波数より高いメーバも、もし適当な非直線性をもつリアクタンス素子を用い、周波数和が信号とアイドラーとの周波数和に等しく選ばれた二つ以上のポンピング電力で励振すれば実現でき、この実例として通常 4 レベルメーバと呼ばれているものがある。⁽¹⁸⁾⁽³¹⁾ 参考のためポンピングが k 個の場合の Manley-Rowe の式は次のようになる。

$$\sum_{n_1=0}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \cdots \sum_{n_k=-\infty}^{\infty} \frac{n_1 W_{n_1 n_2 \cdots n_k}}{n_1 f_1 + n_2 f_2 + \cdots + n_k f_k} = 0$$

$$\sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=0}^{\infty} \cdots \sum_{n_k=-\infty}^{\infty} \frac{n_2 W_{n_1 n_2 \cdots n_k}}{n_1 f_1 + n_2 f_2 + \cdots + n_k f_k} = 0$$

$$\vdots$$

$$\sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} \cdots \sum_{n_k=0}^{\infty} \frac{n_k W_{n_1 n_2 \cdots n_k}}{n_1 f_1 + n_2 f_2 + \cdots + n_k f_k} = 0$$

式 (2.4) に示される Manley-Rowe の関係から基本的動作原理の説明できる up-converter は入出力周波数が同じでないから通常の概念では増幅器といえないが、広義のメーバに加えられている。

以上文献に表われたマイクロ波メーバを表にすれば次のようになる。

表 4.1 メーバの分類

種類	説明
強磁性体メーバ	空胴形 4.1
	進行波形 4.2
逆バイアス半導体メーバ	空胴形 4.3
	進行波形 4.4
	2 間げき空胴形 4.5
電子ビームメーバ	fast wave 空胴形 4.6
	fast wave 進行波形 4.7
4 レベルメーバ	4.8
up-converter	4.9

4.1 強磁性空胴形メーバ

1957 年に H. Suhl が提案、⁽²³⁾ M. T. Weiss が実験に成功した。⁽²⁴⁾ しかし所要ポンピング電力が kW のオーダで実用にはほど遠かった。その後材料などの改良が行なわれて比較的小さなポンピング電力で動作するようになったが、⁽²⁶⁾ 半導体ダイオードに比べればまだ数ヶタ多くのポンピング電力を必要としている。

強磁性メーバは節 2.2 に述べた回路構成において非直線リアクタンス素子として節 2.5 に述べたフェライトあるいはガーネットを用いるものである。共振回路としてはフェライトと結合する信号およびアイドラー用のほか、フェライトの励振を能率よく行なうため、ポンピング周波数の共振回路を有している。そして均一差運動がポンピング周波数で起るよう共鳴磁界を印加する。強磁性メーバは信号およびアイドラー共振回路としていかなる共振系を利用するかによって次の三つの形に分かれること。⁽²³⁾⁽²⁵⁾

(1) 電磁形 (Electromagnetic mode)

信号およびアイドラー共振回路とともに空洞共振器またはストリップライン共振器を用いるもので、フェライトは両共振回路の結合素子としての動作をする。

(2) 静磁気形 (Magnetostatic mode)⁽²²⁾

磁化されたフェライトに印加されるポンピング電力がある限界電力をこえると、均一才差運動の共鳴磁界よりも低く、低電力では損失の少ない磁界にほとんど連続的に副吸収峰が現われる。これはフェライト内部にスピニ波が発生するためである。スピニ波モードは均一才差運動モードと結合しているから、均一才差運動を励振することによって周波数和が均一才差運動周波数となるような対のスピニ波モードとの間に結合が生じ、均一才差運動からエネルギーを受けてスピニ波の間にエネルギーの交換が行なわれる。信号およびアイドラー共振回路としてこの対になっているスピニ波を利用することができます。すなわちフェライトは結合素子としてのほか、両共振回路をも兼ねている。しかし二つのスピニ波の共鳴周波数の和が均一才差運動周波数すなわちポンピング周波数となるような対は無限にあるゆえ、負荷を所要のスピニ波に結合するとこのスピニ波モードのQが下がり、これを増大発振させるに要する限界電力が上がるため、Qの高い不要のスピニ波が発振してしまう。かくして特定のスピニ波モード対だけを励振するような方法があれば、この形ではフェライト内部でのエネルギーの重畠度が電磁形に比較してすぐれているため、ポンピング電力はわずかでよいであろうが、そういう方法はまだ実現されてない。

(3) 半静磁形 (Semistatic mode)

信号またはアイドラー共振回路の一つをスピニ波モードに置き換えた電磁形と静磁気形との折衷である。周波数和がポンピング周波数となるスピニ波の存在しないような外部磁界およびフェライト形状を選ばなければならない。この場合に必要なポンピング電力はフェライト内部でのエネルギーの重畠度からみて、前2者の中間値である。この場合のフェライトは結合素子としてのほか両共振回路の中の1個を兼ねている。

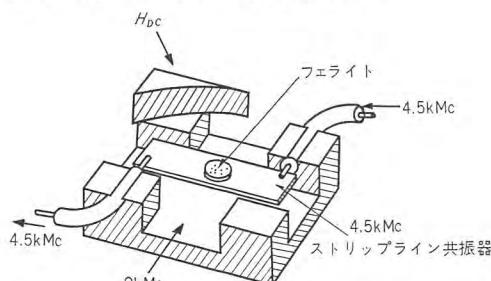


図4.1 強磁性空洞形メーバ

表4.2 強磁性空洞形メーバの実験例

研究者	研究所	物質	ポンピング		信号				アイドラー周波数 (kMc)	備考	文献
			周波数 (kMc)	電力 (W)	周波数 (kMc)	利得 (db)	幅 (Mc)	発振出力 (W)			
M.T. Weiss	ベル研	Mnフェライト単結晶 0.125"×0.05"	9 Q=500	20k 3μsパルス	4.5	8			100	4.5	電磁形 Phys. Rev. vol. 107 No. 1. p 1957 July 1
"	"	"	9	3k ピーコ	4.5	25	1			4.5	" Job A.P. vol. 29, No. 3. p 421 Mar. 1958
"	"	イットリウムガーネット単結晶 0.05"×0.02" △H=数エルステッド	9	40					発振		半静磁形

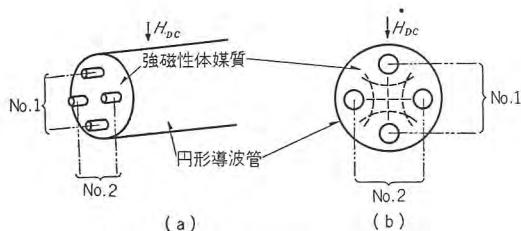


図 4.2 強磁性進行波形メーバ

配置されている。伝送線 No. 1, No. 2 はそれぞれ信号用およびアイドラー用である。直流磁界は No. 2 の磁界方向にかけ、強さを強磁性共鳴波数がポンピング周波数と一致するように選ぶ。かくして円形導波管にポンピング電力、No. 1 の伝送線に信号波を伝播させれば、適当な条件のもとでは信号波はポンピング電力伝播方向に対して指數関数的に増大する。

この種のメーバは信号回路およびアイドラー回路が共振回路でなく周波数特性のゆるやかな伝送回路なので、空洞形に比較して帯域幅が広くとれる。また増幅は単方向性であってポンピング電力の伝播方向と反対方向に伝播する信号波に対しては増幅作用がない。すなわち信号の入出力は分離されており、サーチューレータやアイソレータが不要である。

4.3 逆バイアス半導体空洞形メーバ

半導体ダイオードの非直線容量の性質はつとに H.Q. North⁽⁷⁾ によって明らかにされており、強磁性メーバが現われその原

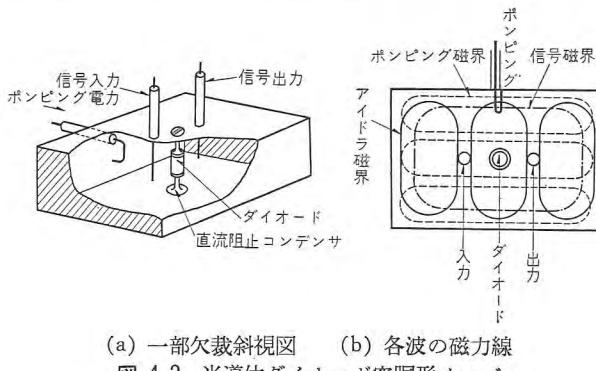


図 4.3 半導体ダイオード空洞形メーバ

表 4.4 半導体ダイオードメーバの実験例

研究者	研究所	物質	ポンピング		信号			アイドラー波数 (Mc)	備考	文献	
			周波数 (Mc)	電力 (mW)	周波数 (Mc)	利得 (db)	幅 (Mc)				
Heffner & Kotzueue	スタンフォード大学	ダイオード $C=1\text{pF}$ (0バイアス) $R_s=5\Omega$	3.5 k	100	1.2 k	40	$\frac{1}{(G=19\text{db})}$	4.8 $(G=16\text{db})$	1.2	2.3 k	透過空洞形 I.R.E June 1958 p. 1301
Herrmann Uenohara Uhlir Jr.	ベル研	シリコン、ゲルマニウム拡散接合形ダイオード $C_0=0.4\sim2.85\text{ pF}$	11.7 k	50~500	6 k	45	8	6	5.7 k		I.R.E June 1958 p. 1301
" "	"	"	12 k		6 k	14	18	5~6	6 k		Bell. T. Record July 1958 p. 250
Engelbrecht	"	拡散ベース、シリコンダイオード活性面 0.002^2 in^2	900	10	400		100	3.5	500	ダイオード 4 個 進行波形	"
Chang & Bloom	RCA	N形ゲルマニウムの薄片にインジウム粒を合金したものの $C_0=1.5\text{ pF}$	300	30	380	20~40	$\frac{1.2}{(0.3\%)}$	10	1	220	4 レベル形 I.R.E July 1958 p. 1383
小口、喜田ほか	通研	ゴールドポンデットダイオード、銀ガリウム線を用いたシルバーポンデット・ダイオード	8.1 k	1~10	4.17 k	0~50		10	3.93 k		電気通信学会マイクロ波電子管専門委員会 58, 7, 14
Engelbrecht	ベル研		630	1~2	380	10~12	10~20	3.5	250	進行波形 逆方向利得 $-3\sim-6\text{ db}$	I.R.E Sept. 1958 p. 1655

4.5 2間げき空洞形電子ビームメーバ

Bell研究所のT.J. Bridge⁽³⁹⁾が1958年に発表したメーバで、可変リアクタンスとして変調電子ビームを利用、ビーム雑音は巧みに相殺されている。

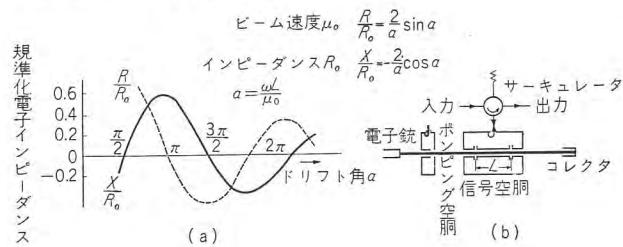


図 4.4 2間げき空洞形電子ビームメーバ

図4.4(b)は原理図である。空洞には L だけ離れた二つの相等しい間げきがあって、これを横切る電子ビームは空洞にインピーダンスの変化をもたらす。これは図4.4(a)にプロットしたようにドリフト角 α の関数である。もし α が $n\pi$ ラジアンとなるように L およびビーム速度 μ_0 が選ばれていると、空洞には純リアクタンスが付加されることになる。したがって電子ビームを変調すればパラメータ励振を行なうことができる。変調はポンピング空洞でなされるが、その周波数は簡単のため信号周波数の2倍にしてある。もしドリフト角が $(2n+1)\pi$ ラジアンであると、カソードでビームに結合した信号波帯域内の雑音は信号空洞の二つの間げきで振幅等しく位相が反対となるので相殺されてしまう。

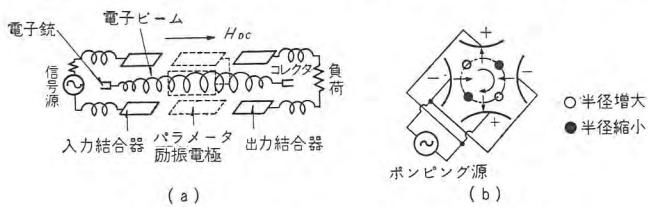
この原理に基づいた試作メーバ⁽³⁹⁾はポンピング周波数8,300 Mc、信号周波4,150 Mc、そしてポンピング電力140 mWで20 dbの利得が得られている。雑音指数は測定されてない。(表4.5)

4.6 fast wave 空洞形電子ビームメーバ

R. Adler,⁽⁴⁰⁾⁽⁴¹⁾ A. Askin⁽⁴²⁾によって開発された電子ビームメーバで、変調電子ビームの空間電荷波の中のfast waveを励振して増幅を行う。すなわち電子ビームが高周波信号で励振されると、二つの空間電荷波がビームに沿うて伝播する。その一つはslow waveと呼ばれるところのビームの直流速度より遅い波、他の一つはfast waveで直流速度より速い波である。だからslow waveは直流ビーム電力に対して負性電力を示し、fast waveは正性電力を示すと考えられる。したがってslow waveはビームから高周波電力をもらって増幅されるが、fast waveは増幅エネルギー源として別に高周波電力を与えられないと増幅されない。従来の進行波管の利得は、ビーム中のslow waveに結合するヘリックスのような遅波構造を用い、slow waveを増幅して得られる。カソードでslow waveに乗った雑音を抑制除去するには適当な周波数、位相および振幅の高周波数電力をさらにビームに加えればよいであろうが、雑音のランダムな性質のためにこれは不可能であって、信号とともに雑音も増幅されてしまう。他方fast waveはビームに別に高周波電力を加えないと増幅されないから、信号だけを増幅しカソードにて生じた雑音を増幅せずにすますことができる。fast wave

の増幅はパラメータ励振による高周波電力の注入によって行なうことができる。

これらの原理を具体化したメーバは最初 R. Adler⁽⁴⁰⁾によつて開発された。図4.5はその原理図である。電子ビームは約35 μA

図 4.5 fast wave 空洞形電子ビームメーバ (1)
(サイクロトロン形)

で約2,000ガウスの磁界の方向にゆるやかに流れゆく。信号の入出力の結合器はそれぞれ一対の偏向板で、これはまた信号周波数560 Mcの共振器のコンデンサともなっている。信号周波数は電子のサイクロトロン周波数に等しくしてあるので、信号電力は入力結合器で電子のラ旋转運動に変換される。ビームはしたがって信号から電力を吸収しそれを横方向のfast waveの形で運ぶ。また入力結合器はすでにビームに現われている雑音のfast wave成分を吸収するよう設計してある。かくして入力結合器でビーム雑音と入力信号とが交換される。

fast waveのパラメータ増幅は四極発電機の固定子に似た電極によって作り出される不均一横電界にビームを通すことによって得られる。この方形電極には周波数1,120 Mc, 10 mWのポンピング電力が印加され、かくして作られた交番電界は電子のラ旋转運動の半径をその電子の位置によって指數関数的に増大または減少させる。平均すれば増大エネルギーは減少のそれをこえるので、利得が得られる。出力結合器では電子運動がそのエネルギーを負荷に与え、ラ旋转の径は減少衰微する。

この種のメーバの実験では帯域幅50 Mc、利得30 db、そして雑音指数は1 dbであった。

1958年のWESCONでBell研究所のA. Askin⁽⁴²⁾らが発表したメーバは図4.6のようなもので、fast waveはビーム中の電子のプラズマ振動によるものである。ポンピング周波数

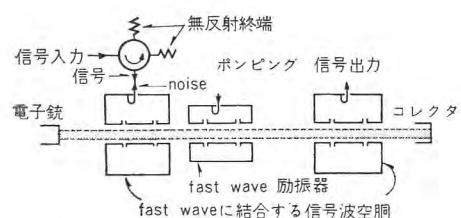
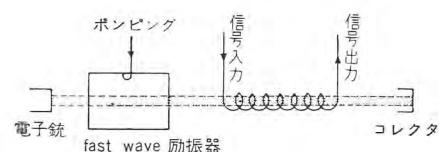
図 4.6 fast wave 空洞形電子ビームメーバ (2)
(プラズマ形)

図 4.7 fast wave 進行波形電子ビームメーバ

は 8,400 Mc, 信号周波数は 4,200 Mc で, 信号空洞は fast wave とだけ結合する特殊な空洞共振器である. 雑音と信号とはやはり入力信号空洞で交換され, 雑音はサークュレータを経て無反射端に吸収される. ポンピング電力が 1 W のとき 41 db の利得が得られたという. そして雑音は従来の進行波管より十分低く約 4 db であった.

4.7 fast wave 進行波形電子ビームメーバ

W. H. Louisell と C. F. Quate⁽⁴³⁾ によって理論が発表されている. このメーバはポンピング電力で励振された fast wave に結合する信号回路は共振器でなくてヘリックスである. 通常の進行波管ではヘリックス中の回路波がビーム中の slow wave と結合したときだけ増幅が行なわれるが, このメーバではヘリックス中の回路波をあらかじめ起振されているビーム中の fast wave と結合させて増幅を行なう.

4.8 4 レベルメーバ

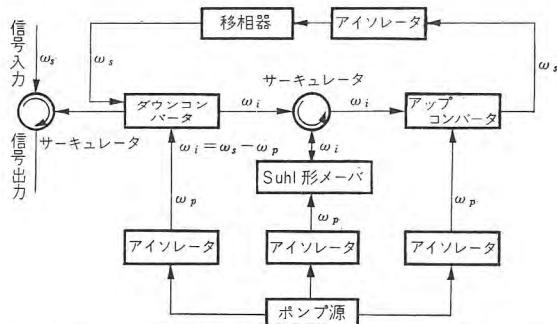


図 4.8(a) C. L. Hogam の提案した 4 レベルメーバ

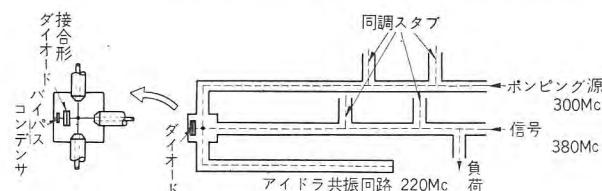


図 4.8(b) S. Bloom の 4 レベルメーバ

表 4.5 電子ビーム形メーバの実験例

研究者	研究所	物質	ポンピング		信号			アイドラー周波数(Mc)	備考	文献
			周波数(kMc)	電力(W)	周波数(Mc)	利得(db)	幅(Mc)			
R. Adler	ゼニスラジオ会社	ビーム形	1.12	10	560	30	50	1	560	サイクロトロン周波数による fast wave IRE Jneu 1958 p. 1300
T.J. Bridge	ベル研	"	8.3	140	4.15 k	20			4.15 k	2 間げき空洞形 IRE Feb. 1958 p. 494
Askin, Bridge, Louisell, Quate	"	"	8.4	1	4.2 k	21		4		プラズマ周波数による fast wave Electronics Sept. 26, 1958

表 4.6 up-converter の実験例

研究者	研究所	物質	ポンピング		信号					備考	文献
			周波数(Mc)	電力(W)	入力周波数(Mc)	出力周波数(Mc)	利得(db)	幅(kc)	雑音指数(db)		
Herrmann Uenohara	ベル研	ダイオード	8,915	200 m	460	9,375	9		2±0.5		IRE June 1958 p. 1301
Salzberg	Airborne Instru Co.	"	20		1	21	10	100	0.5		IRE June 1958 p. 1303
Poole, Tien	ベル研	フェライト △H=11エルステッド	6,382	3	4,295	10,641	-80				IRE July 1958 p. 1387

ポンピング周波数が信号周波数より低いメーバで, 1958 年 S. Bloom および K. K. N. Chang⁽¹⁸⁾ と C. L. Hogan ら⁽³¹⁾が提案, S. Bloom らがダイオードを用いて成功した.⁽⁴⁸⁾ これらを図 4.8(a), 4.8(b) に示す. 節 3.1 から 3.6 までのメーバに共通する欠点は原理的に明らかなように, 信号周波数より高い周波数のポンピング電力を必要とすることである. 4 レベルメーバはこの点を解決しようとするもので, ポンピング電力は ω_{p1} および ω_{p2} の二つの周波数で非直線リアクタンスに加えられ, $\omega_s = \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_i$, ($\omega_{p1}, \omega_{p2} < \omega_s$) なる関係の信号波 ω_s を増幅しようとするものである. したがって 4 レベルメーバは四つの共振系を必要とするが, とくに $\omega_{p1} = \omega_{p2}$ なる場合は三つでよい. なお 4 レベルメーバで三つの波の同時混合を行なう場合⁽⁴⁸⁾ は非直線リアクタンス素子には普通のメーバに必要な次数より一つ高い非直線性が必要である. S. Bloom らの実験では, 共振回路は同軸形で, ポンピング周波数は 300 Mc, 信号周波数は 380 Mc, ポンピング電力 30 mW で利得 20~40 db, 雜音指数 10 db, および帯域幅 0.3 % が得られている. (表 4.4)

4.9 up-converter

厳密な意味ではメーバとはいえないが, Manley-Rowe の式⁽¹²⁾⁽¹³⁾からその增幅作用が明らかで, G. H. Herrmann ら⁽³⁴⁾ B. Salzberg ら⁽³⁶⁾ および K. M. Poole ら⁽⁴⁵⁾が最近実験結果を発表した. 入出力周波数は異なるが, 動作が安定なことから有望視されている.

Upper side band up-converter

非直線リアクタンス素子はダイオードで構造もダイオード空洞形メーバと同じである. ただ周波数関係が通常のメーバでは $\omega_p = \omega_s + \omega_i$ となっているところを, この up-converter では $\omega_p = \omega_{s0} - \omega_{si}$ (ω_{si} : 入力信号周波数, ω_{s0} : 出力信号周波数) なる関係になっているのであるが, 動作の上では大きな差異ができる. 式 (2.4) のようにいかなる場合でも信号入力がなければ信号出力はなく, 発振という現象は起らない. その上利得は ω_{s0}/ω_{si}

で決まってしまう。この種の up-converter の実験例を表 4.6 に示す。

Lower side band up-converter

up-converter なる名前は $\omega_p = \omega_{so} + \omega_{si}$ ($\omega_{so} > \omega_{si}$) なる周波数関係の増幅器にも与えられている。⁽¹⁹⁾ この形の up-converter は通常のメーバの信号回路に接続されている負荷をアイドラー回路に移したものである。この up-converter は空洞形メーバのようになく不安定で発振もし、利得が周波数比で決まるということはない。

なおこの形の up-converter は実際に ITTL の scatter-link 受信機に付加されている。⁽⁴⁶⁾ ポンピングは周波数 9.900 Mc, 信号周波数は入力が 900 Mc, 出力が 9,000 Mc で、ポンピング電力が 50 mW のとき利得 20 db が得られている。

以上二つの形の up-converter およびメーバの周波数スペクトルを示せば図 4.9(a)(b)(c) のようになる。

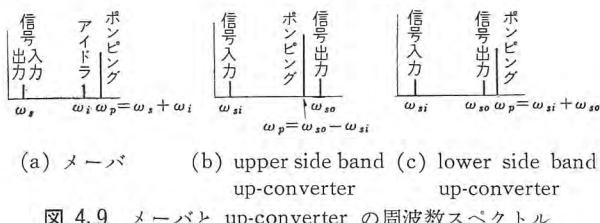


図 4.9 メーバと up-converter の周波数スペクトル

5. メーバの長所と短所

メーバのもっとも特長とするところは従来のマイクロ波増幅に比べて雑音指数が小さいということである。実用受信機の雑音指数は周波数に比例して増大し、3 kMc では 10 db 程度であるが、メーバを用いれば 3 db 程度にまで下げうる可能性がある。3 レベル固体メーバと比較して雑音特性は劣るが、冷却せずに常温で動作するのが特長である。

長 所

(1) 内部雑音が少ない。メーバは回路中の非直線リアクタンスをバラメータ励振して回路に負性抵抗を誘起し、増幅を行なうものであるから、回路の抵抗分によって生ずる熱雑音以外の雑音はきわめて小さくすることができよう。雑音指数は常温で約 3 db であるが、冷却すればさらに小さくなる。電子ビームメーバでも、ビームの特殊な利用法によりその雑音を除去しているので、通常の電子管のような付加雑音がない。

(2) ダイオードおよびフェライトを用いるメーバは寿命が半永久的であって、熱電子管よりも相当長い。

(3) 常磁性体メーバは極低温にまで冷却しないと動作しないし、また能率を上げるために液体ヘリウム温度程度まで冷却する必要がある。メーバでは冷却しなくとも動作するから取扱いが簡単になる。

(4) 半導体ダイオードメーバでは磁石を必要としない。常磁性メーバや強磁性メーバでは電子のスピン共鳴を利用するので直流磁界が必要であるが、ダイオード形ではこれを必要とせず、装置が簡単である。

(5) メーバでは動作周波数がほぼ 1 kMc 以下のものは実現が困難とされているが、半導体ダイオードメーバでは数百 Mc まで作られており、動作周波数はさらに低周波に及ぶもので、メーバの周波数範囲は広い。しかしバラメトロンのように特殊用途の発振器として使用するのではなければ、メーバは低雑音増幅器として通常の電子管増幅器の雑音指数の悪化し始める VHF 以上の周波数帯で偉力を發揮する。

(6) メーバ材料の共振特性はメーバ材料ほどにセン銛でないもので、メーバの帯域幅は一般のメーバのそれより広く、いわゆる $B\sqrt{G}$ 因子が大きい。

(7) メーバに比べて電力容量が大きい。

(8) 従来のマイクロ波増幅器に比較して価格の安くなりうる可能性がある。

短 所

(1) メーバと同様に増幅のための供給エネルギーは信号より周波数の高い超高周波でなければならない。電子管では直流でよいのに対し、これは大きな欠点といえる。しかしポンピング周波数が信号周波数より低いメーバも実験に成功してはいるが、通常のメーバに比較して雑音特性が劣っている。

(2) メーバに比較しては内部雑音が多い。メーバは極低温でないと動かないで冷却しているが、メーバは常温で動作するので一般には冷却しない。そのため主たる雑音源である回路抵抗による熱じょう乱雑音が多い。これは冷却すれば小さくならうるもので、液体窒素などで冷却することが一部試みられている。⁽⁴⁶⁾ またポンピングの飽和といふことがないので、ポンピング電力に雑音が含まれているとこれが信号に現われ、内部雑音が増大する。

(3) 強磁性メーバでは現在利用できる強磁性材料の特性がまだ良好といえず、数 kW 程度のポンピング電力を加えないで動かない。

6. む す び

バラメータ励振の原理は従来発振に応用されたに過ぎなかつたが、アイドラー回路の考え方方が付加されるに及んで VHF およびマイクロ波低雑音増幅器メーバに応用されるに至った。メーバは寿命が半永久的であり、雑音特性は 3 レベル固体メーバには及ばないが従来のマイクロ波増幅器よりは大いにまさっており、常温で動作するという特長がある。メーバは開発途上のものであるが、米国の ITTL ではすでに見通し外通信に利用して、伝播距離を 400 km から 550 km に、あるいは距離を一定とすれば送信電力を 10 kW から 1 kW に改善し得たという。⁽⁴⁶⁾ メーバは 3 レベル固体メーバに比べていわゆる $B\sqrt{G}$ 因子も大きく、取扱いも簡単であり、また材料設備の点から製作しやすく、価格もマイクロ波電子管に比べて安くなりうるであろうから、将来利用面はますます広がるものと思われる。

メーバに引き続き以上によってメーバの原理および現況が知れたことと思うが、最後にメーバおよびメーバの雑音について次回解説の予定である。

(34-5-18 受付)

技術解説

参考文献

歴史的文献

- (1) Lord Rayleigh: Theory of Sound. (1929)
- (2) R.V.L. Hartley: Oscillations in systems with Non-linear reactance. B.T.S.J. 15, (1936) pp. 424~440
- (3) L.W. Hussey, L.R. Wrathall: Oscillation of electromagnetism system. B.S.T.J. 15, (1936) p. 441
- (4) J.M. Manley, E. Peterson: Negative reactance effects in saturable reactor circuit, Trans. AIEE 65, Dec. (1946) pp. 870~881
- (5) V.D. Landon: The use of ferite-cored coils as converters, amplifiers and oscillators. RCA Rev. Sept. (1949) pp. 387~396
- (6) 後藤: 非直線共振子のパラメータ励振とその応用, 通学誌 30-10 (1955) p. 770
- (7) H.Q. North: Properties of welded contact germanium rectifier, J of Appl Phys. 17, Nov. (1946) pp. 912~923
- (8) M.E. Hines: IRE Electron tube research conf, Berkeley California (1957)

総合的解説

- (9) S. Weber: The mavar, a low noise parametric amplifier, Electronics Sept. 26, (1958)
- (10) Parametric amplifier, Aviation week. Aug. 26, (1957)
- (11) 小笠原: パラメトリックアンプおよびメーザ 通学誌 33-9, (1958) p. 876

理 論

- (12) J.M. Manley, H.E. Rowe: Some general properties of nonlinear elements.-Part I. General energy relations. IRE 44 July, (1956) pp. 904~913
- (13) H.E. Rowe: Some general properties of nonlinear elements.-Part II. Small signal theory, IRE 46, May, (1958) pp. 850~860
- (14) S. Bloom, K.K.N. Chang: The theory of parametric amplification using nonlinear reactance, RCA Rev. 18, Dec. (1957) pp. 578~593
- (15) K.W.H. Stevens: Circuit analogues of Suhl type mavar, J. Electron & Control. 5, No. (1958) p. 275
- (16) I.B. Valdes: Circuit conditions for parametric amplification, J. Electron & Control. 5, No. 2 (1958)
- (17) K.W.H. Stevens: Amplification using a precessing magnetic moment, J. Electron & Control 5, No. 4, (1958) p. 280
- (18) S. Bloom & K.K.N. Chang: Parametric amplification using low frequency pumping, J. Appl. Phys. 29, Mar. (1958) p. 594
- (19) H. Heffner, G. Wade: Gain bandwidth, noise characteristics of variable parameter amplifier, J. Appl. Phys. 29, No. 9, (1958) p. 1321
- (20) P.K. Tien: Parametric amplification and frequency mixing in propergating circuit. J. Appl. Phys. 29, No. 9, (1958) p. 1347
- (21) 斎藤成文: Parametric elements を含む伝送回路 マイクロ波伝送研究専門委員会資料, 58-11-14
- 強磁性メーバ
- (22) L.R. Walker: Magnetostatic modes in ferromagnetic resonance. Phys. Rev. 93, Jan. (1954) p. 72
- (23) H. Suhl: Proposal for a ferromagnetic amplifier in the microwave range; Phys. Rev. 106, Apr. (1957) p. 384
- (24) M.T. Weiss: Solid state microwave amplifier and oscillator using ferrites, Phys. Rev. 107, July. (1957)

p. 317

- (25) H. Suhl: Theory of the ferromagnetic microwave amplifier, J. Appl. Phys. 28, Nov. (1957) p. 1225
- (26) M.T. Weiss: Nonlinear effect and garnet, J. Appl. Phys. 29, Nov. (1957) p. 421
- (27) 宮川: 非直線媒体中の波動伝播に伴う増幅および周波数変換現象 昭和 32 年電通学会大会 No. 8
- (28) P.K. Tien, H. Suhl: Traveling wave ferromagnetic amplifier, IRE, 46, Apr. (1958) p. 700
- (29) W.L. Whirry: Phase dependance of ferremagnetic microwave amplifier, IRE. 46, Sept. (1958) p. 1657
- (30) P.K. Tien: Rarametric amplification and frequency mixing in propagating circuit, J. Appl. Phys. 29, Sept. (1958) p. 1347
- (31) C.L. Hogan, R.L. Jepsen & P.H. Vartanian: New type of ferromagnetic amplifier, J. Appl. Phys. 29, Mar. (1958) p. 422

半導体ダイオードメーバ

- (32) A. Uhliir, Jr.: Two terminal P-N junction devices for conversion and computation. IRE, 44, Sept. (1956) p. 1183
- (33) A. Uhliir, Jr.: Potential of semiconductor diodes in high frequency communication. IRE, 46, June. (1958) p. 1099
- (34) G.F. Herrmann, M. Uenohara & A. Uhliir Jr.: Noise figure measurements on two types of variable reactance amplifier using semiconductor diode, IRE. 46, June. (1958) p. 1301
- (35) H. Heffner & K. Kotzebue: Experimental characteristics of a microwave parametric amplifier using a semiconductor diode, IRE. 46, June (1958) p. 1301
- (36) B. Salzberg & E.W. Sard: A low noise wide band reactance amplifier, IRE. 46, June (1958) p. 1303
- (37) R.S. Engelbrecht: A low noise nonlinear reactance traveling wave amplifier. IRE. 46, Sept. (1958) p. 1655
- (38) G.F. Herrmann & M. Uenohara: Low noise amplifier for high frequencies using new semiconductor diode Bell Lab. Rec. July (1958) p. 250

電子ビームメーバ

- (39) T.J. Bridge: A parametric electron beam amplifier. IRE. 46, Feb. (1958) p. 494
- (40) R. Adler: Parametric amplification of the fast electron wave. IRE. 46, June. (1958) p. 1300
- (41) R. Adler & G. Hrbek: A low noise electron beam parametric amplifier. IRE. 46, Oct. (1958) p. 1756
- (42) A. Askin: Parametric amplification of space charge waves. J. Appl. Phys. unpublished.
- (43) W.H. Louisell & C.F. Quate: Parametric amplification of space-charge waves. IRE. 46, Apr. (1958) p. 707 up-converter
- (44) D. Leenov: Gain and noise figure of variable capacitance up-converter, BSTJ. July (1958) p. 989
- (45) K.M. Poole & P.K. Tien: Ferromagnetic resonance frequency converter. IRE. 46, July (1958) p. 1387
- (46) Electronic News. Monday Nov. 3; No. 10, (1958)
- (47) A. L. MacWhorter & F.R. Adams: System noise measurement of solid statemaser, IRE, 46, May (1958) p. 917
- (48) K.K.N. Chang & S. Bloom: A parametric amplifier using lower-frequency pumping, IRE, 46, July, (1958) p. 1383
- (49) 黒川・浜崎: パラメトリック増幅器の継続接続 マイクロ波伝送研究専門委員会 (1959-1-20)

電動機の新しい運転と制御

Applications of Power: Drives and Control (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 1, Jan. 1959, p. 14)

イグナイトロンを電源とする電動機の制御に磁気増幅器を使用して多くの利点を実証してきたが、新しく磁気増幅器形調整器が標準化された。これは高利得・高速応度と 0.25% 以下の精度を得るために 2段プッシュプルの 400 c/s 磁気増幅器を使用したもので、いかなる容量の電動機にもこの標準品が使用できる。新設計によって、制御装置は小形となりキュービックの奥行が従来の 182.88 cm から 111.76 cm に縮小された。主回路の計器は前面扉に、継電器は内側の盤面に、調整器は裏面扉に設置されている。

完全な静止形可変電圧制御

可動部分があると制御装置の寿命は短くなる。このため静止器であるシリコン整流器・リアクタ・磁気増幅器を用いた直流電動機の可変電圧制御装置が開発された。交流電源と電動機の間にシリコン整流器とリアクタが接続され、リアクタは磁気増幅器で制御される。

磁気増幅器は交流電動機の速度制御を行なうとともに、起動時には電流制限を行なっている。この新方式は 0.75~150 kW の範囲のものが製作されており、1:8 の範囲で電圧制御ができる。

Prodac 制御

Jones and Laughlin の Alliquippa 工場に初めてプロダック制御が使用されて以来、他の金属工業にも広く応用された。

Jones and Laughlin の可逆圧延機では IBM パンチカードに最大 9 パスまでの必要な信号を打ち込み、自動的に運転が行なわれた。現在までのプロダック制御の最大設備は U.S. Steel の Gary 工場に納入した 116.84 cm の分塊ミル用で Screw-down, roll table, edger opening, manipulator, finger などをあらかじめ IBM パンチカードに打ち込まれた信号に従って、自動的に動作させるとともに mill の回転方向、速度などが完全に自動的に行なわれている。

Alcoa の Davenport 工場に納入したアルミ用 406.4 cm 可逆圧延機では 25 パスまでの圧延スケジュールが 1 枚のパンチカードで行なわれている。

交流可変速度制御

誘導電動機、直流電動機および半導体整流器を組合わせた、交流可変速度制御-“Rectiflow Drive”-方式が開発された。Rectiflow Drive 方式は、最高 1,690 rpm で 1.5:1, 2:1, 3:1 の速度範囲の速度調整ができるものである。

全速度範囲で定出力の特性があるが定トルク特性にもすることができる。

Rectiflow Drive は、誘導電動機と直流電動機を一軸に組み立てたもので、半導体整流器によって誘導電動機のスリップ電力を直流に変換しそれを直流電動機に加える制御方式である。速度調整は直流電動機の界磁制御で行なわれるが、必要に応じ

自動速度制御を行なうことができる。

タイヤ試験用電気動力計

航空機の高速化に伴い、そのタイヤに対しても苛酷な要求がなされる。将来の航空機用タイヤを開発するために U.S. Rubber 会社は磁気増幅器制御の電気動力計でタイヤの疲労試験を開始した。

950 kW の電動機で駆動される直径 243.84 cm のフライホイールが滑走路の代りに使用される。離陸試験の際はタイヤは航空機の重量に等しい圧力でフライホイールに押しつけて電動機を回転させるとともに、タイヤの圧力を航空機の揚力に相当するだけ減少させる。

着陸試験はまずフライホイールを 540 km/h の周速で回転させておき着陸の衝撃に相当する約 36 ton の力で、タイヤをフライホイールに押しつける。電動機には急に制動がかかるが、磁気増幅器によって電動機は設定速度に保たれるのである。

(神戸製作所 小川裕三訳)

Opcon-プロセス工業に対する最適値制御方式

D.A. Burt and R.I. Van Nice: Optimizing Control Systems for the Process Industries (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 2, March, 1959, p. 38)

普通プロセス工業で行なわれているフィードバック制御は制御すべき実際の値は所望の設定値と比較され、この差をある許容値以下に減らすようになっている。このような方式のもとで操業条件が変わったときでもつねにプラントが最高の能率で運転するように設定値を適宜修正してやることが必要である。この操作がいわゆる最適値制御で実際は運転員が手動で設定値の調整を行なっているが、これはかなりめんどうな仕事なのでこれを自動化することが Opcon (最適値制御装置) の目的である。このような目的には計算機を制御ループの中で使う計算制御が提案されているが、これには入力と出力の間の関係をあらわすプロセス方程式を知って置かなければならない。また制御用の計算機が複雑で高価になることも一つの欠点である。Opcon 制御はプロセス方程式のような数学的モデルによらずにプロセス自身を使って最適条件をさがしてゆくものである。

図 1 のようなブロック線図について考えると入力量、 x, y の調節計の設定点を変えて二つの入力 x, y をある値だけ変化させた場合 (これを試行-move-といいう。) 出力 z がどのように変化するかを観察する。この z の値を前に測られたくわえられている値 (Base-point valve) と比較し z の値が前より増加しているか減少しているかを判定する。試行の結果 z が増大するならば、運転条件が最適値に近づいたことになり、そのまま試行をつづけてもよいわけで、新しい z の値が記憶される。もし z が減少するときには最適値から遠ざかるから、試行は改めてやり直す必要があり、 z の値は前ままにして置く。試行は図のタイマによって一定時間ごとに行なわれる。 z の比較は図の比較部で行なわれ、その結果 z が減少したか、増加したかを

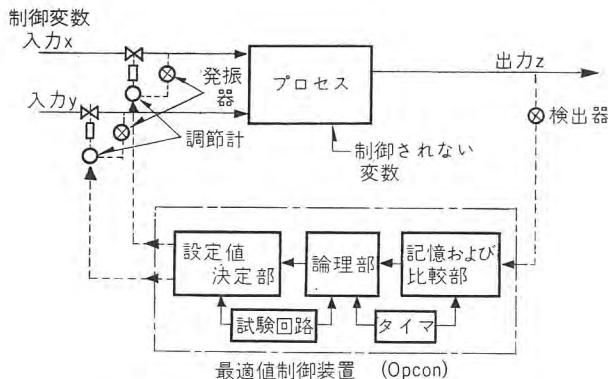


図 1 2 変数系のプロセス制御に応用した
Opcon ブロック線図

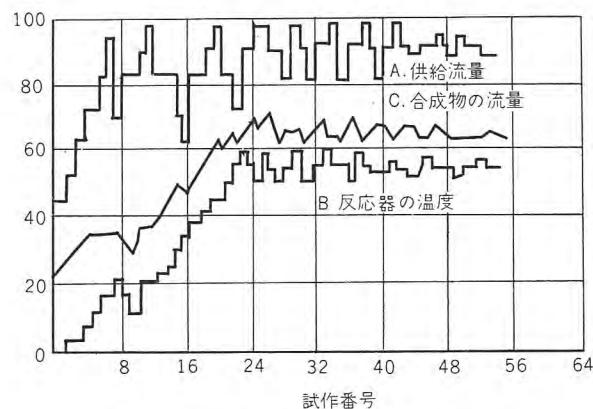


図 2 Opcon による化学プロセス制御の結果

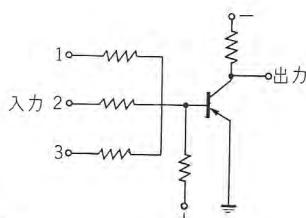


図 3 NOR 要素回路

示す信号は論理部にはいり、ここで次に行なう x, y の試行の大きさと方向を示す信号が作り出される。この信号は次の設定値決定部へはいり、 x, y の調節計の設定値変更を行なうための信号に変換される。図 2 は Opcon を化学反応プロセス制御に応用した例で、A は供給原料の流量、B は反応器の温度でそれぞれ x および y に相当する。C は生成物流量で z にあたる。この図からわかるように、相当回数の入力の試行の後にはそれぞれの変動は一定のところに落ち着き、最適値制御が行なわれていることがわかる。この Opcon の回路を構成している素子は図 3 に示すトランジスタを使った NOR 回路である。NOR の作用は入力が一つでもはいったときには、出力をまったく生ぜず、入力がまったくないときだけ出力を生ずる。NOR を適当に組合せれば OR, AND, NOT あるいはフリップフロップなどの論理要素を作り出すことができる。この素子を印刷配線盤に取付け、さらにこの盤をラックにはめこんで全体の制御装置を組立ててある。Opcon 制御は化学工業、石油工業、あるいはボイラの燃焼制御その他のプロセス工業に今後ひらく応用されるものと期待されている。(研究所 八島英之訳)

シリコン整流器による分巻直流電動機の駆動

Edwin H. Vedder and John M. Cochran :
Electrical Manufacturing (Westinghouse Engineer),
Vol. 19, No. 2, March, 1959, 156~158)

分巻直流電動機の駆動方式は手動または自動による段なし速度制御方式の各種が急速に発達した。これらを区分すれば図 1 (a, b) に示した二つの形式に大別される。

図 1(a) は定電機子電圧方式のシリコン整流器による駆動方法の原理図を示したもので電機子電圧を一定とし、界磁調整で定馬力を得んとする方式で各種のものに使用される。図 1(b) は可変電機子電圧方式のシリコン整流器駆動方式の原理図である。これは電機子電圧を制御して定トルクを得るように、また弱め界磁で定馬力を得んとするように電機子と界磁との電圧をともに可変とする方式である。これの詳細な結線図を図 2 に示す。この図は 30 kW の分巻直流電動機のパワー AMP 付の電機子電圧調整方式の実例である。

図 3 は IR コンペントと調整回路付 (図 2 に示す) のときのトルク—速度特性曲線を示したものである。

シリコン整流器を使って一般にモータを駆動した場合、保護方式として次の事項が指摘されなくてはならない。

- (1) シリコンダイオードは時常数が小さく、過負荷時間には注意が必要である。よってシリコン整流器の定格が問題である。
- (2) シリコンダイオードにはそれぞれ許容逆電圧値がきまっているためそれを超過しないようサージ電圧保護が必要である。
- (3) シリコンダイオードを 2 個以上直列とするときには各ダイオードに抵抗を並列接続して逆電圧を分割することが必要である。
- (4) シリコンダイオードを並列とするときには負荷分担を適当にするため平衡用抵抗を必要とする。

在来の他種整流器と比較してみるとシリコン整流器によるモータ駆動は M-G に比して 22 kW から 150 kW までの容量のものは建設費はシリコンが安価かまたは等しいが 22 kW 以下は明らかに M-G が低廉である。またシリコン整流器では回転速度を下げるときにはダイナミックブレーキ用抵抗を使う。さらに瞬間的ピーク電流による過負荷は考えなくてはならない。低電圧スタータは使う必要がない。

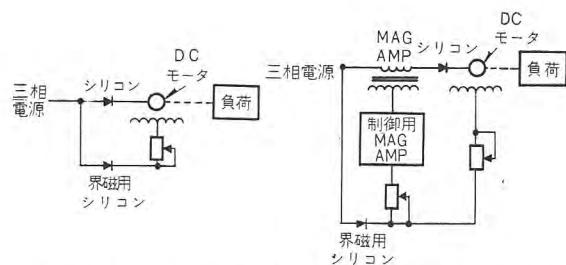


図 1 (a) 電機子電圧一定方式 (b) 電機子電圧をかえる方式

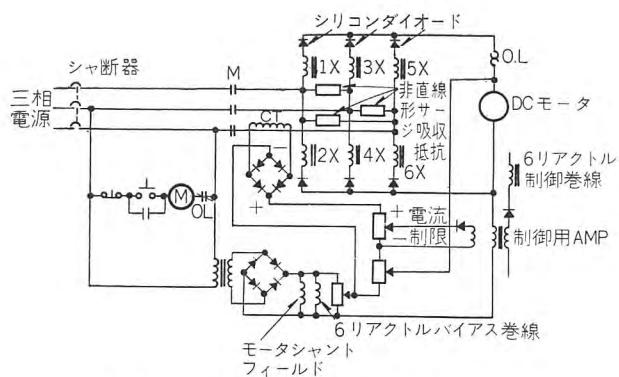


図2 制御用プレアンプと電力用アンプ付
電機子電圧制御方式の結線図

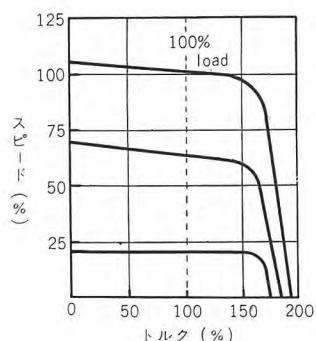


図3 Adjustable armature voltage方式
(IR コンペナレギュレーティング回路付)

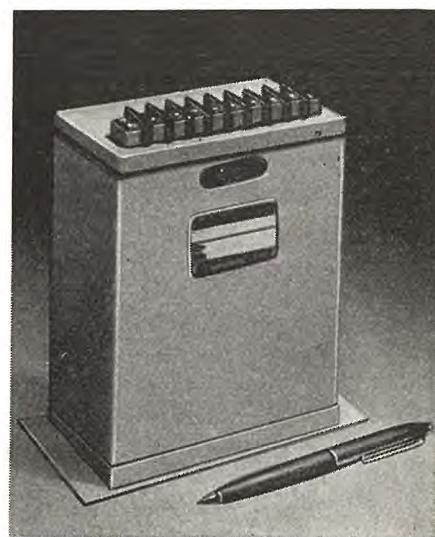
以上のことまとめると現在のところシリコン整流器が優位にあることはまちがいないが実用上の見地からみて一般的にM-Gよりつねに、明らかにまさっていると断言するには少々早いというのが正直なところであってシリコンは今後の発達と発展に期待できうるものである。(伊丹製作所 加藤又彦訳)

磁気増幅器形二安定調節計の新製品

What's New in Engineering: New Bistable Magamp Regulator (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 2, March, 1959, p. 63)

最近高感度の磁気増幅器を用いたオン・オフ形調節器とトランジスタ出力増幅器をうまく組合せて完全な静止形の制御装置を開発した。この装置は従来のこの種調節計に比べて性能は格段の進歩をなし、温度制御や液面制御にすぐれた威力を發揮している。この装置はアメリカ金属学会に出品して好評を博したことからもその優秀性がうなづける。

磁気増幅器はレーミ回路を巧妙に使い、 $0.01 \mu\text{W}$ の微少入力で動作させ、この出力を次段のトランジスタ出力増幅器で 24 V, 8 W まで増幅している。したがってこの装置で直接リレーやソレノイドまたはほかの静止形電力増幅器を制御することができる。また速応性磁気増幅器とトランジスタ増幅器を組合せているため、この種調節器の欠点であるおそい応答速度を改善



磁気増幅器形二安定調節計外観

して、この装置は約 20 ms で変化する信号にも完全に応答するすぐれた応答速度を有している。最近盛んになってきた電気式調節計の分野において今後の応用が期待されるすぐれた開発品の一つである。

(研究所 浜岡文夫訳)

用途の広いマイカルタ

What's New in Engineering: More Usefulness for Micarta (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 2, March, 1959, p. 63)

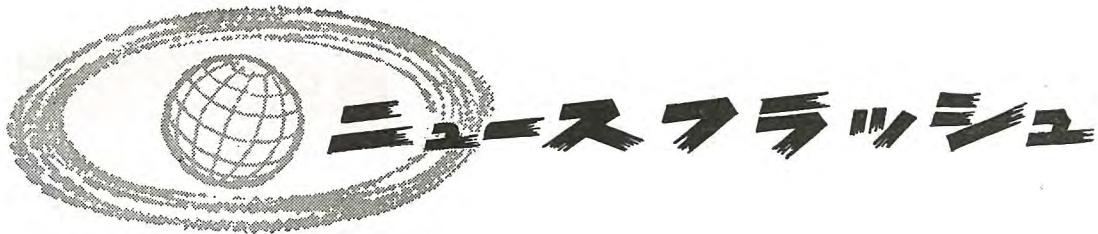
フェノール樹脂を含浸した紙基材のマイカルタは電気絶縁や金属の構成材料として、あるいは装飾用の板として広い用途があるが、今年さらにいろいろな特性を改善してより広い用途に使用されるようになった。

今までのデコラティブマイカルタは平板と曲げ加工のできるポストフォーミングの2種が標準品であったが、今回両方の用途に同じように使用できる新しい種類のものができるようになり、その被覆性 (Wearability) その他の特性が改善されている。この新しい板は、新しいクラフト紙と積層用ワニスからできている。

新しい壁板としてパネルウォールと称する装飾兼熱絶縁用の積層板ができた。この新しい壁板は美しく同じような壁板よりも構造的にはじょうぶになっている。中にがんじょうな紙基材の積層板がはいっているからこの壁板は防音効果と熱絶縁が非常によい。

またマイカルタは新しい自動車エンジンのカム軸にある鋳鉄製タイミングスプロケットギヤの代りにマイカルタが使用されてきた。マイカルタスプロケットギヤのおもな特長は耐熱性 (300°F で強度が落ちない) とその固有の自己潤滑作用 (Self-lubrication) である。新しいギヤは金属ギヤよりも音が低く寿命が長い。

(伊丹製作所 広尾次郎市訳)



■ 航空研究所向遷音速風洞用 4,500 kW 直流電動機 工場試験完了

この直流電動機は 18,000 kW 誘導電動機と直結し合計 22,500 kW の出力として遷音速風洞試験用として使用されるものである。

直流電動機の仕様は

定格 4,500 kW 連続使用, 1,500 V 710 rpm

形式 閉鎖他力通風形 二電機子形

最大回転力 250% 1 分間

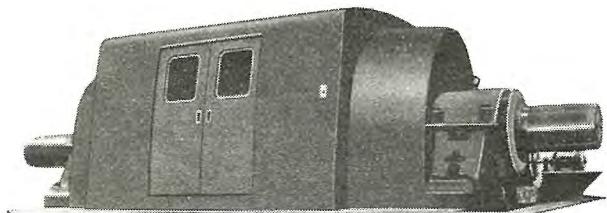
絶縁 完全 B 種

温度上昇 70°C

一電機子の出力 2,250 kW で 710 rpm は直流機としては製作可能の限度に近い数値であるから、電機子巻線としては二重重巻方式を採用した。またブラシを円周方向に適当にスタガして最高速度において 250% 負荷にても良好な整流状態をうることができた。

ブラシ、整流子の点検に便利なように二電機子の両方の整流子を中心を集め中央の戸の中にはいると両電機子のブラシ関係が点検できるようになっている。

二電機子は電気的に直列に接続され 5,000 kW 1,500 V イグナイトロン整流器より給電される。電動機の速度は 710 rpm より 70 rpm まで連続的に整流器高圧を変化させて制御せられる。その設定速度は精密速度検出装置によって 1/10,000 という超正密な精度に調整せられる。



工場試験を完了した 4,500 kW 直流電動機で
中央に新しい構造の両開き戸を設けてある

■ 名古屋城の豪華エレベータ完成

尾張名古屋は城でもつ、といわれた名古屋城も戦災で姿を消してから 14 年、総工費 6 億円の名古屋市制 70 周年記念事業として 150 万市民待望のうちに再建され、いよいよ 10 月 1 日

の名古屋まつりを期して一般市民に公開されることになった。

焼失前とは異なる総鉄筋コンクリート造りであるが、外観はありし日そのままのクラシックな偉容を復元し、金鯱城の名にふさわしく、73 kg の純金を使った金のしゃちも地上 48 m の大天主閣高くそびえ市民の人気をあつめている。

近代建築の粋をこらした内部には、当社の誇る最高級歯車なし式乗用エレベータが 2 台設置され、各地から押寄せる観光客を 5 階の展望台へ運ぶことになっている。また小天主閣には文化財運搬用としてダムウェータが 1 台設置されている。

乗用エレベータ 2 台

形式 歯車なし式 容量 1,600 kg (定員 20 名)

速度 105 m/min 停止 B. 1~5 階 (6 箇所)

制御 シグナルオペレーション オートオフアワサービス

昇降行程 22.2 m

ダムウェータ 1 台

形式 交流一段速度 容量 150 kg

速度 7 m/min 停止 B. 1~3 階 (4 箇所)

制御 押しボタン基準階制御

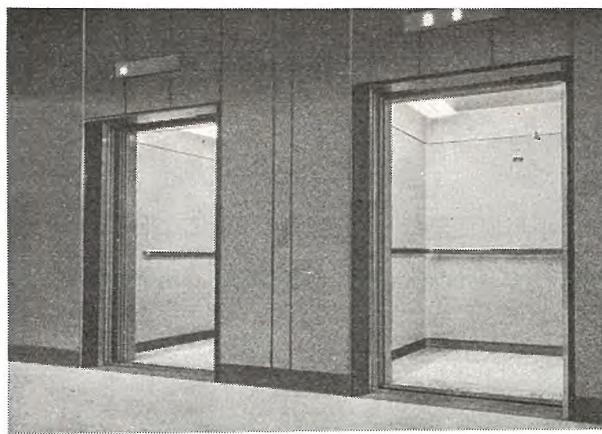
昇降行程 11.4 m

一般ビル用エレベータと異なる特長は

1. 大天主閣の形を変更できないため、機械室は屋根裏を最大限に利用する工夫をこらした特殊の配置となっている。
2. 観光客の輸送能率を向上するため、出入口幅を広くとつて 4 枚戸 4 枚中央開きの扉を採用し、乗降時間の短縮を計っている。
3. 城内に陳列する多数の文化財の盗難予防として、エレベータを停止したとき、みだりに昇降路にはいられないよう、エレベータ扉に非常ベルを設け、扉をあけると警報を発するよう



再建成った名古屋城



エレベータ乗場よりカゴ室を望む

になっている。

名古屋城に納入した三菱エレベータは、すでに好評を博している東京タワー、名古屋テレビ塔におけるエレベータとともに、観光用としてその真価を最大限に發揮するであろう。

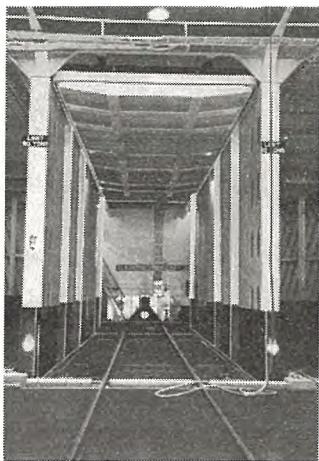
■ 吳造船所納め貨車輸送船用 55 トンエレベータ好評裏に完成

このエレベータは呉造船で建造された、冷凍貨車専用運搬船“City of New Orleans 号”に取り付けられ、55 トン冷凍貨車格納用のものである。本船は、フロリダ——ハバナ間を生の果実を積載した冷凍貨車を運ぶためのものである。このエレベータはプラットフォームの自重を合わせると巻上重量は 73 トンになり、エレベータの大容量の記録品である。デッドウェイトを少なくするためつり合オモリをやめて巻取ドラム式にしたこと、トップやピットのクリヤランスが小さく、安全上特殊の工夫をはらったこと等かずかずの特長を備えている。

仕様 貨車重量 55 トン、プラットフォーム 自重 18 トン
巻上速度 每分 4.56 m

巻上電動機 高速 AC 80 kW 12 極 1 台
低速 AC 32 kW 30 極 1 台

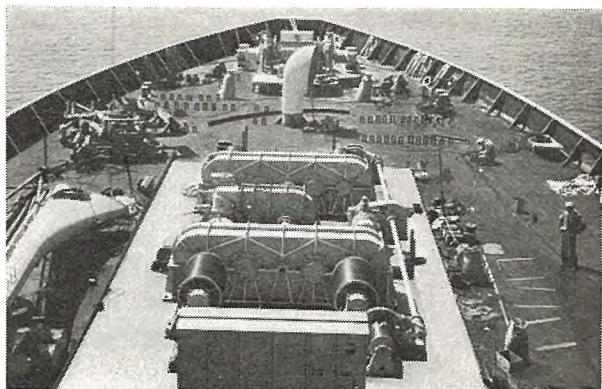
電源 440 V 60 c/s



なお同時にデッキにできる穴をふさぐためのハッチカバー・ウィンチ(13.3 トン、毎分 2.12 m)もエレベータとともに納入完成した。

55 トンエレベータの
プラットフォーム。
上部にあるのがハッ
チカバー

ニュース フラッシュ



上甲板にすえ付けられたエレベータ巻上機

■ 関東地方建設局 東京—相模間マイクロ波多重通信装置納入

端局装置は全トランジスタ国産第 1 号機

このたび図 1 の構成によるマイクロ波多重通信回線の装置 1 式の納入を完了した。この回線は東京および相模(将来沼田に移設される)を両端末局とし、野田および赤城(無人局)を中継局とする幹線マイクロで、引続き赤城および野田を分歧局として施設される予定のローカル回線とともに、各工事事務所間の業務連絡あるいは各地ダムの管理、運用に使用されるもので、電話およびテレメータ伝送が主用途である。

この機種は先に国鉄九州、防衛庁陸幕に納入したものとほぼ同一方式であって

ME-3A 形 6,700 Mc 帯 FM 無線送受信機
MX-3T 形 SSB-60CH 搬送電話端局装置
MA-7 形 パラボラ空中線

からなるが、とくに端局装置は SSB 方式 60CH 容量として国

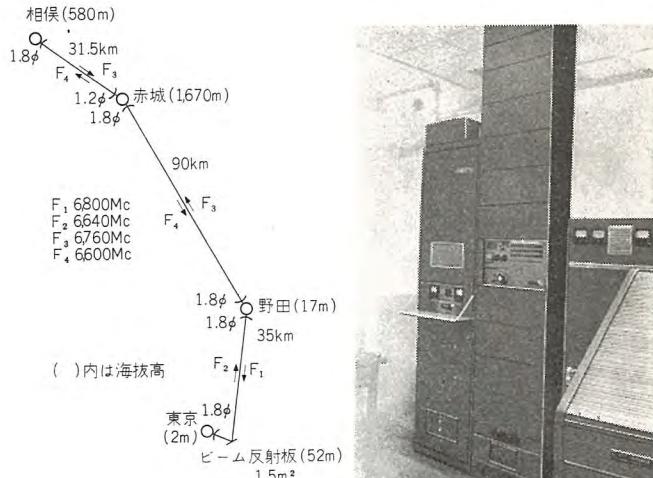


図 1 回線構成図

図 2 相模局機器配置

(左端が無線機
(中央が端局装置)

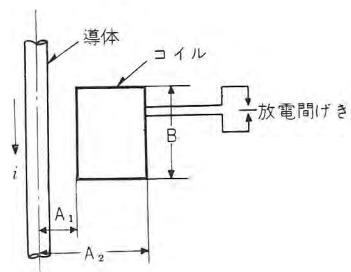
ニュース フラッシュ

産第1号機の全トランジスタ化を完成した。これによって装置の小形化、信頼度の向上、消費電力の節減などに大幅な躍進がえられた。

■ 衝撃電流シュン度測定器

送電線における閃絡事故の原因を究明するために、種々の試験が行なわれているが、その一つとしガイシのセン絡電圧が、侵入サージの波頭シュン度に関係するので、雷撃電流の波頭シュン度を知ることが問題とされている。

本器は送電線上数地点に設置して簡単に衝撃電流シュン度を実測するために製作されたものである。

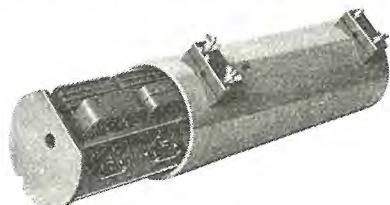


本器の原理は図に示すように導体中心より A だけ離れたところに、長さ B 、幅 $(A_2 - A_1)$ なる矩形のコイル（巻数 N ）を置くと、コイルには次式により導体の電流で (A) の変化率 di/dt (A/sec) に比例した電圧 (V) が誘起される。

$$V = -2NB \times 10^{-7} \left(\ln \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{di}{dt}$$

ゆえにコイルの巻数 N の相違するものを数個並べ、これらのコイルに誘起する電圧でセン絡する一定のセン絡電圧を有する間げきを各コイルに取り付けておけば間げきのセン絡により雷電流のシュン度を測定することができる。本器は放電間げきの間に硝化錠被膜よりなる記録紙をそし入し、放電によりこれに燃焼孔を生ぜしめ、どのコイルに対応する間げきが放電したかを調べることによって雷電流シュン度の範囲を知ることができるものである。

写真は本器の外被および内部の一部である、外被表面にあるチョウネジ部分で被測導体に取付け、記録紙の点検は内部（コ



電流シュン度測定器

イルおよびその裏面にある間げきが一体となって取付けてある）を引出して行なう。

今夏以来約 20 個を関西電力の超高压送電線その他に取付け実測を行なっている。

■ 小形変圧器の自動電子計算機による設計

研究所の Bendix G-15D 電子計算機で設計計算を行なう最初の試みとして、小形トランスの設計をプログラムすることが 1958 年の 9 月に着手され、同年の 12 月に完成した。

このルーチン (SATRA) は普通設計ルーチンと精密設計ルーチンとがあり、普通設計ルーチンは従来行なっていた方法を計算機に適するように組みなおしたものである。精密設計ルーチンとは偏差を最小にするためのものであり、これは新に付加されたものである。

このルーチンでは必要なインプットデータをタイプインすると以後自動的に計算が行なわれて、最後にアウトプットルーチンによって一定書式で計算結果がタイプアウトされるようになっている。

このルーチンでは二次側のコイルは 10 コまで、タップは一次コイルは 5 コまで、二次側の最初の二つのコイルでは 5 コまで、それ以外はそれぞれ 1 コずつとれる。また二次コイルで電流の大きいものは場合によっては標準化されているワイヤでまかないきれないことがある。このようなときは 2 本を束にして設計することも自動的に行なわれる。また 2 本束にしてもなおまかないきれないときは特別な平角ワイヤやダ円形ワイヤを用いて計算することも可能になっている。

目下このルーチンにより実際の製品の設計が行なわれ小形トランス設計の能率化と精度の向上に活躍している。

■ 徳山曹達株式会社向け 9,840 kW 82 V 120,000 A 風冷式シリコン整流器受注

本器は食塩電解用直流電源として使用され、電気化学部門におけるわが国最大の電流容量を有するものであり、また風冷式シリコン整流器の記録品である。

設備内容

- (1) 受電電圧 13.2 kV 三相 60 サイクル
 - (2) 2,460 kW 82 V 30,000 A 風冷式シリコン整流器 4 台
 - (3) 2,940/4,160 kVA 17,700/80 V 油入自冷式変圧器 4 台
(相間リアクトル付二重星形結線)
 - (4) 4,600 kVA 13,000 ± 5,850 V URS 形負荷時電圧調整器 1 台
 - (5) 直流励磁可飽和リアクトル 4 組
 - (6) 配電盤および器具 1 式
- 直流出力電圧は URS 形負荷時電圧調整器により 82~30 V の間を変化させ、そのタップ間を直流リアクトルで連続的に調整する。直流変流器には Hall generator 方式を採用する。



遠方監視制御方式

発明者 大木 振爾

親局より遠方の子局の機器たとえばシャンクスの遠隔制御を行ない、かつこの機器の状態たとえばシャンクスの開閉を親局で監視する遠方監視制御方式は、従来は1親局と1子局との間で行なわれるが普通で、1親局と多数の子局との間でこれを行なえば非常に多数の連絡線を必要とした。

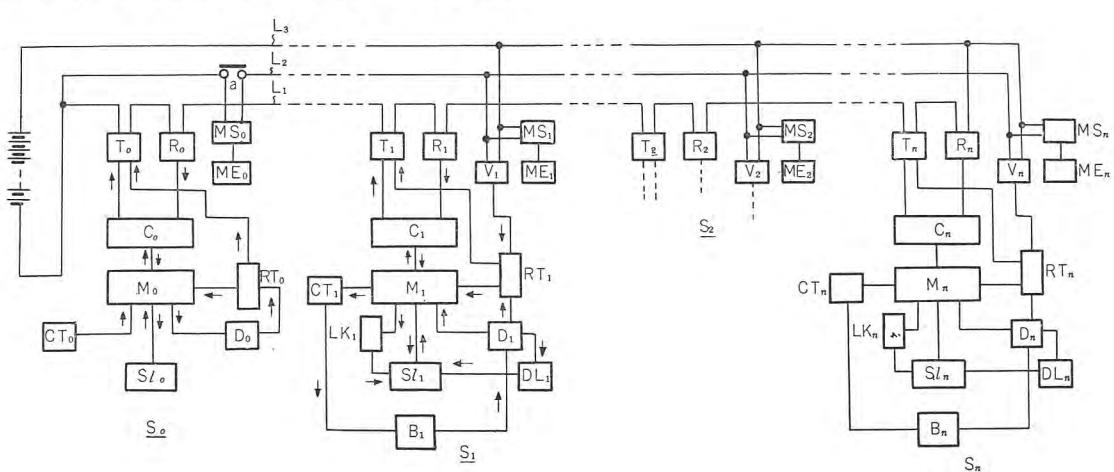
この発明はこの点を改良し、1親局と多数の子局との間の遠方監視をわずか3本の連絡線で行なえるようにしたものである。いま親局 S_0 において、たとえば子局 S_1 の任意のシャンクス B_1 を開閉しようとする場合について考えれば、まず親局 S_0 において選択装置 SI_0 の所要の選択キーを操作すれば、最初に S_1 に対して定められた特定数のパルス信号が記憶装置 M_0 、計数器 C_0 を経て送信器 T_0 に加えられ、連絡線 L_1 を上記パルス信号に応じて開閉する。この L_1 の開閉による直流パルスが、これに直列に接続された各局の受信器 R_0, R_1, \dots, R_n を制御し、各局の計数器 C_0, C_1, \dots, C_n で司令所よりの送出パルスを計数する。各子局では計数器で計数された数が自局に定められた数かどうか選択装置 SI_1, \dots, SI_n よりそれぞれ選択し、自局であることを選択すれば、選択指令信号と同数の選択照合信号が、選択された子局 S_2 の送信器 T_2 より線路 L_1 に送出され、司令所および各子局で受信され記憶される。この照合信号が指令信号と同一パルス数であることがそれぞれの局の記憶装置 M_0, M_1, \dots, M_n で確認されれば、司令所では次の信号の送出動作の開始となり、選択された局以外の子局では鎖錠装置 LK_1, \dots, LK_n により SI_2, \dots, SI_n を鎖錠する。したがって以後は S_0 と S_1 が1対1の関係となり両局の間に機器選択指令信号、同照合信号、機器制御信号、状態監視信号の送受が行なわれ、遠方監視制御が行なわれる。この制御動作が完了すれば、 S_0 のリセット指令信号送出装置 RT_0 により送信器 T_0 を付勢して連絡線 L_1 を一定時間以上開路することにより、各局の計数装置、記憶装置ならびに鎖錠装置の動作をリセットしもと

の状態に復帰させる。

つぎに親局からの制御指令によらずして、自動的に任意の子局、たとえば S_n のシャンクス B_n が開放したとする。この場合は状態変化検出装置 D_n が動作し、今度は RT_n より全局にリセット信号を送出し、たとえ親局から制御動作中でもすべてリセットし最初の待機状態に復させ、いわゆる故障優先となる。このようにして今度は子局 S_n から親局 S_0 に自己の局を選択する選択信号を出し、 S_0 における S_n に対応する回路が選択されたことが確認されれば、選択されない子局は LK_1, LK_2, \dots により鎖錠され、 S_0 と S_n との間に1対1の関係が成立し、機器選択指令信号が S_n より、同照合信号が S_0 より、状態監視信号が S_n よりそれぞれ送出され、親局の状態表示装置 D_0 に B_n の開放を表示させる。この動作が完了したら自動的に S_0 の RT_0 が動作し、全局にリセット信号を出し全装置をリセットすることは上述の場合と同様である。上記の S_n における状態変化の監視動作中に、他の被制御所において状態変化が生ずれば、その局からリセット信号が送出されて全装置がふたたびリセットされるから、これを防ぐため、 S_0 において最初に状態変化の生じた S_n よりのリセット信号の受信により自動的に線路 L_2 中の接点 a を閉成し、各子局の電圧継電器 V_1, V_2, \dots, V_n を付勢し、各局の RT_1, RT_2, \dots, RT_n を鎖錠し、子局からのリセット信号の送出を抑止させる。 S_1 の状態変化の監視動作が完了し S_0 からリセット信号が送出されれば、接点 a は開放されて各局の RT_1, RT_2, \dots, RT_n の鎖錠は解かれ、後に発生した状態変化の監視動作が開始される。

このようにこの発明の方式は、わずか3本の連絡線で多数の子局の遠方監視制御を1親局で誤りなく行なうことができ、しかも故障優先の取扱いが確実に行なわれるという特長を有している。

(特許第241952号) (葛野記)



==== 最近における当社の社外寄稿一覧 ====

寄稿年月日	寄 稿 先	題 名	執 筆 者	所属場所
34—2—5	電気計算	各種の照明方式の適用	小堀富次雄	本 社
〃—2—10	電気商品	カラードケイ光灯と新しい色彩照明	〃	〃
〃—2—28	電気書院	照明の諸単位	〃	〃
34—3—14	電設工業会	電気ルミネセンスの発光機構と応用	〃	〃
34—5—26	照明学会誌年報	工場照明	〃	〃
34—6—1	〃	第5章 照明施設アブストラクト	〃	〃
〃 〃 〃	工業化学雑誌	P-T trimethylsilylstyrene および関連化合物の共重合	馬 波 久	研究所
〃—6—2	電気計算	発電所の母線保護方式	森 健	神 戸
〃 〃 〃	工業化学雑誌	ステレニルシロキサンによるシリコーンゴムの架橋	馬波 久・小山二郎 草川英昭	研究所
〃—6—9	オーム社	磁気増幅器を用いた自動電圧調整器	武 藤 哲	神 戸
〃—6—15	オーム、電気公論	中容量直流電源用シリコン整流器完成	加藤又彦	伊 丹
〃—6—18	電気学会誌時報	シリコン整流器の分巻直流モータ駆動	〃	〃
〃—6—20	工業化学雑誌	P-ビニルフェニルマグネシウムクロライドとクロルシランよりステレニルシランの合成	馬波 久・西崎俊一郎	研究所
〃—6—23	オーム社	電子管式計量機	吉山裕二	〃
〃—6—25	真空協会	低温の技術と応用	明石克寛	〃
〃 〃 〃	電力社	大容量変圧器の組立輸送	村上 有・谷中頼朝 田村良平	伊 丹
〃—6—27	電気学会誌	サイ断までの時間を制御した変圧器衝撃電圧試験法	岩崎晴光	〃
〃—6—29	電気学会誌時報	インナークール外鉄形電力用変圧器	田村良平	〃
34—7—1	電子化学	電気集ジン装置とその応用	斎藤 寛	神 戸
〃—7—2	生産と電気	自家用変電設備機器の選定について	井上八郎	本 社
〃—7—9	自動制御研究会	非線形制御系の一解法	真鍋舜治	研究所
〃—7—11	粉末冶金技術協会	33年8月より34年4月末までに公告されたもの(第4集および第6集記載のもの)	政木淑人	〃
〃—7—29	電気公論	田子倉発電所の 105,000 kVA 発電機について	井 閔 嶽	神 戸

次 号 予 定

三菱電機 Vol. 33 No. 10 (新鋭火力発電機特筆)

- | | |
|--------------------------------------|--|
| ○156,250 kW タービンの概要 | ○追值サーボ系の設計 |
| ○208,696 kVA 内部冷却タービン発電機 | ○大電流大容量屋外キューピックル開閉装置 |
| ○新鋭タービン発電機のすえ付・運転・保守 | ○小形撮像管 6198, 6198A 形ビディコン |
| ○大形タービン発電機回転子軸材の品質とその評価 | ○銀系接点の消耗移転現象 (1) |
| ○208,696 kVA 内部冷却タービン発電機用 975 kW 励磁機 | ○BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器 |
| ○八幡製鉄戸畠製造所納入第2熱間圧延電機設備 | ○技術解説: 火力発電シリーズ
火力発電所の照明
火力発電所用エレベータ |

三菱メタルクラッド形 パワー・センタ

最近の発電所の所内回路は、ほとんど近代的なメタルクラッド形配電盤、メタルエンクローズドキューピックルで占められるようになってきた。しかも、発電機器との接続にはブスダクトを使用し、回路の安全性を向上するとともに、すえ付面積の軽減、すえ付作業の簡易化がはかられている。

三菱メタルクラッド形、パワー・センタは、

1. 高圧機器と低圧機器とは完全に隔離して、キューピックルに収納してあるので安全性が非常に高い。
 2. 各種シャン断器、変圧器などの主要機器は引出形になっているので簡単に点検ができる、予備機器との交換ができる。
 3. 引出形にしたために生ずる誤操作上の危険が絶対にないよう完全な鎖錠装置を設けてある。
- などの特長を有し、取扱いが簡単で保守の容易なものである。



所内キューピックル

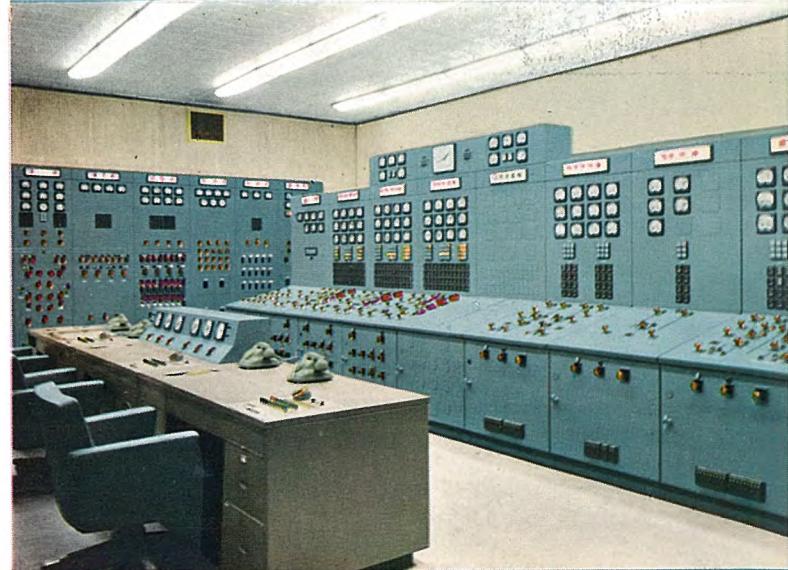
発電所の中権神経 三菱配電盤

自動発電所の配電盤に要求される事項は、

1. 制御の迅速で確実なこと。
2. 誤操作を防止すること。
3. 完全な保護を行なうこと。

などである。

三菱配電盤はこれらの事項を十分考慮して設計製作されており、各種の自動制御装置を組合せて、配電盤室において発電所内のすべての機器が制御できるばかりでなく、その運転状態を集中的に監視でき、事故発生時の対策も自動的に完遂されるので、運転員の肉体的、精神的労力の軽減に大いに役立ち、運転保守上の安全感がきわめて大きいものである。



配電盤室 主盤と所内盤

昭和 34 年 9 月 23 日 印刷

昭和 34 年 9 月 25 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長 吉村誠一郎 常任委員 松田新市
常任委員 浅井徳次郎 " 宗村平一
" 荒井潔 " 山田栄一
" 安藤安二郎 委員 新井正元
" 市村宗明 " 新岡屋精二
" 木村武雄 " 進藤和
" 小堀富次郎 " 竹内真一
" 高井得一郎 " 津村隆
" 中野光雄 " 豊田準三
" 馬場文夫 " 松尾又一
" 船橋正信 幹事 井上八郎

編集兼
発行責任者 東京都千代田区丸の内2丁目3番地 吉村誠一郎

印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所 三菱電機株式会社内 「三菱電機」編集部

電話 和田倉 (20) 1631

日本出版協会会員番号 213013

発売元 東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店

電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018

(以上 50 頁順)



電源開発株式会社田子倉発電所の全景

写真はこのたび建設を終り一部営業運転にはいった 田子倉発電所を下流から見た全景である。

この発電所は有効貯水量 3 億 7 千万 m^3 , 発電所出力 38 万 kW で わが国最大のものであるが、現在すえ付けられたのは主要機器 3 台であって 将来は 4 台となる予定である。

主要機器の定格

主水車 108,000kW 立テ軸フランシス水車 3 台

有効落差（基準） 105 m

流 量 $3 \times 105 m^3/sec$

主発電機 105,000 kVA カサ形水車発電機 3 台

50 c/s 167 rpm 13.2 kV

主変圧器 105,000 kVA 特別三相式変圧器 3 台

50 c/s 13.2/287.5 kV 送油水冷式

シャンク 287.5 kV 節油タンク形油シャンク 7 台

1,200 A 12,000 MVA

