

MITSUBISHI DENKI

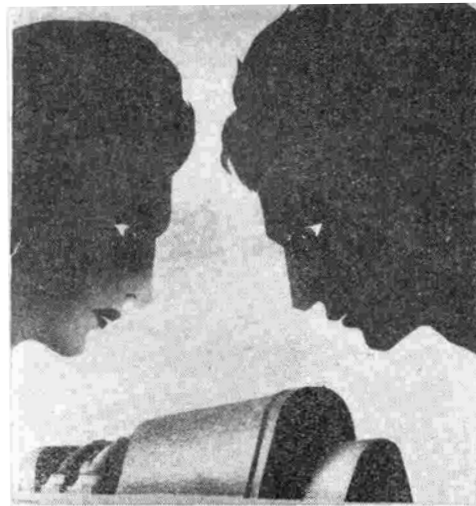
三菱電機



Vol. 26 1952

火力発電特集

10



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

さきに九州電力築上発電所に空気冷却式として本邦記録品である 35,000kW 3,600 回転のタービン発電機を納入したが、その際行った総合試験においてその優秀性を確認し、さらにこの経験を基として 現在九州電力築上および相浦発電所向として 本邦最大の水素冷却発電機たる 58,800kVA 3,600 回転のものを受注し完成に近い、本機は水素冷却機として画期的なもので内部構造はもちろん外觀についても種々新しい試みが行われているが表紙図案は本機の研究用模型である。

昭和 27 年 第 26 卷 第 10 号

(火力発電特集)

目次

米国における最近の火力発電の展望	石黒	2
九州における電力事情と火力発電計画について	古賀	7
築上火力発電所の電気設備について	田中	12
高温高压ボイラについて	中野	22
九州電力株式会社 築上発電所納 35,000 kW 蒸汽タービン	津田	26
W社の水素冷却発電機を見て	今北	29
九州電力 43,750 kVA 3,600 rpm タービン発電機	加賀	33
変圧器	田宮	40
火力発電所用配電盤	五十嵐	45

三菱電機株式会社

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

研究所 兵庫県尼崎市南清水

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市東区矢田町

伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水

長崎製作所 長崎市平戸小屋町

大船工場 神奈川県鎌倉市大船

世田谷工場 東京都世田谷区池尻町

郡山工場 福島県郡山市字境橋町

福山工場 福山市沖野上町

姫路工場 兵庫県姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町

中津川工場 岐阜県中津市駒場安森

福岡工場 福岡市今宿青木

札幌修理工場 札幌市北二条東12

大阪営業所 大阪市北区堂島北町8番地1

(電) 福島 (45) 5251-9

名古屋営業所 名古屋市中区小路通

(電) 本局 (23) 6231-5

福岡営業所 福岡市天神町(三菱ビル)

(電) 西 (2) 5821-5825

札幌営業所 札幌市南一条西5の14

(電) (2) 3378・3911

仙台事務所 仙台市東一番丁63

(電) 仙台 2573・8057

富山事務所 富山市安住町23の2

(電) 富山 4692・5273

広島事務所 広島市袋町1(明治生命ビル)

(電) 中 1069・4824

「三菱電機」編集委員会

委員長	岸本久雄	荒井深	安藤三二	石橋英樹
委員	浅井徳次郎	伊東祐義	岡屋精二	梶谷萬龜次
	市吉惟浩	小林治一郎	進藤貞和	渋谷進一
	川田勝利彦	成富公一	松田新市	毎熊秀雄
	田宮利彦	松尾米太郎	松岡治	村平
	前田幸夫	薄井廉介		
幹事	森郷侃二	木村久男	(以上 50 音順)	

昭和 27 年 12 月 10 日 印刷

昭和 27 年 12 月 15 日 発行

『禁無断転載』 定価 1 部 金 60 円

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地

吾郷侃二

印刷所

東京都港区麻布竹谷町1番地

博文堂印刷所

印刷者

東京都港区麻布竹谷町1番地

大橋佑吉

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) 1 6 3

日本出版協会会員番号 213013

品質奉仕の三菱電機

米国における最近の火力発電の展望

技 術 顧 問

石 黒 九 一

Review of The Latest Development of Thermal Power Plants in America

By Kyu-ichi ISHIGURO

Engineering Adviser

There are many publications regarding the present status of enormous expansion of thermal electric power enterprise in America where more than 70 % of power generation depends on this method, and also regarding various measures taken by the manufacturers as well as the trend of their studies to cope with this situation. Going through them, the writer believes it is worth while to summerise the information and introduce it to our industrious world.

1. ま え が き

米国は天然資源、地勢等その国状がわが国と根本的に相違するので、電力の需要に応ずるための電力の拡充方針も、もつぱら豊富な熱資源を使用して早急に実現し得る火力発電に重点をおいて、比較的多量の資材・労力および時日を要する水力の開発は各河川流域の治水および灌漑を主要な目的とし、それによつて生ずる余力を水力発電に利用している。

また米国においてはつねに4,5年後の電力の需要量を予想して拡充されつつあつて、戦時ならびに戦後の異常な工業用および一般用電力の需要に応ずるため年毎に拡充される火力発電力は実に目覚ましいものがある。その結果あるいは新発電所の設置となり、あるいは既発電所の拡張となるとともにタービン発電機単機の出力も逐次その最大出力の限度が拡大されつつある。かくの如く開発々電力においてもまたタービン発電機の単機の最大出力においてもその発展は吾人の想像以上であつて、これに対応するためのボイラ・タービン・発電機等の発電用各種器機の発達も現在のわが国の実状に比してまことに雲泥の相違がある。

一方わが国は乏しい資源のうち比較的豊富な未開発地区の水力を開発して発電力の根幹となし、これを補足するために火力発電をある程度拡充するいわゆる水主火従の方針をもつて今後の電力の需要に応じようとしてつづける。

このように火力発電を二次的に考えているわが国においてはいま直ちに米国における最優秀の火力発電設備や

または最新の極大出力のタービン発電機等を取入れる等の必要はないが、比較的水力資源に乏しくむしろ石炭その他の熱資源に恵まれている地区においては火力発電によつて Base load を処理しなければならないし、また大都市付近の負荷の比較的集中した地域の水力の補給用として設置される火力発電所は高価な熱資源を十分有効に活用し、かつ都市付近の高価な地価を最大限に利用するために高能率で大出力の火力発電設備を必要とすることは当然と思われる。

以上の理由で文献または資料によつて発表された米国における最近の火力発電拡充の現状、最近の火力発電所の効率の数値およびタービン発電機の能率向上または大出力完成のために取られつつある技術上の諸問題につきタービンとに分けて抜萃して1表に示す。

また1951年以後の火力発電設備の拡充については1951年から1954年までの間に実用運転に入る予定の総火力発電力は約 $15,500 \times 1,000 \text{ kW}$ で年間に増設される平均発電力は約 $5,200 \times 1,000 \text{ kW}$ である。

またこれらのタービン発電機は単機最大出力 200MW 3,600 rpm 以下約 240 台でその平均出力は 67,500 kW であつてなおこのうち出力 100,000 kW 以上のものが48台ある。これに対応する汽罐は高圧高温のものでは圧力 2,350 LB/in² 温度 1,100 °F, 再加熱温度 1,050 °F, 蒸発量毎時間 390 トンでまた最大蒸発量のものでは毎時間 590 トン, 圧力 1,800 LB/in², 温度 1,000 °F, 再加熱温度 1,000 °F であつて全汽罐の総数は約 260 基である。

1 表 過去7年間の年間火力発電量, 発電力, 投下設備資金
消費燃料, kWh 当消費石炭一機当平均容量

年 度	火力発電量 百万 kWh	全発電量に 対する火力 の 比 率 %	火力発電力 1,000kW	全発電力に 対する火力 の 比 率 %	火力発電設 備に対する 投下資金 1,000 \$	消費等価 石炭量 百万トン⊕	1 kWh 当 消費燃料 ポンド△	火力発電の 一機 当平均容量 kW
1945	142,500	65	35,200	70	106,200	92.64	1.30	5,419
1946	144,800	65	35,500	70	191,000	93.47	1.29	5,262
1947	177,300	69	37,400	71	440,500	115.67	1.31	5,442
1948	200,200	71	40,900	72	813,000	130.12	1.30	5,386
1949	201,300	69	46,500	73	1,078,100	124.57	1.24	5,556
1950	233,200	71	51,200	74	960,700	138.42	1.19	5,600
1951	272,400	73	55,900	75	940,500	155.32	1.17	5,390

注 1. ⊕印は石炭以外の燃料の gas, 重油をカロリーにより石炭に換算した重量
2. △印は全国火力発電の平均の燃料消費量で石炭に換算したもの

以上のように電力需要の約 70 % 以上を火力発電に依存しておつて, その大部分が base load を賄うために使用されるので, 極力熱効率の向上, 投下資金の低減, 取扱の容易等の点を主眼にして汽罐, 原動機発電機その他の設備等の技術の発達を計っているのである. その結果高圧高温の蒸汽を使用しかつ 3,600 rpm の大容量のものが逐次採用される傾向にある.

2. 大容量の発電機を必要とする理由

米国においても初期の電力系統で単機大出力の発電機を必要とする場合は, 大都市の密集された負荷に給電するわずかの系統に限られていた. その後超高压送電線と連続して集積した電力系統の発展は全面的に発電力の集中を来したので全発電容量に対し個々の発電機の出力を増加した方が経済的に有利になつた. また一方各系統の負荷に伴う尖頭負荷は急速に増加し, たとえ近接電力系統の相互連絡によつて尖頭負荷の影響を若干緩和することができてもこれに対応するためには当然大出力の発電機が必要になつた. さらに万一一系統内の事故のため大幅に発電が不能となつた場合に, 連続されている電力系統間の送電容量が適当にあつて系統全般の予備容量があれば大出力発電機の方が短時間にこの補給を処理しやすい. もちろん大出力発電機の方が能率も向上し得るし高圧高温の蒸汽を使用しやすいまた据付床面積の割合も運転に必要な人員数の割合も減り kW 当りの発電経費が減少する.

以上の理由で最近急激に単機大容量のタービン発電機が増加しつつあるのである. またこれを製造会社の製作例において見ても 2 表のように平均一機当りの出力は最近年度毎に増加している.

2 表 電力会社用として製作されたタービン
発電機の平均出力

年 度	1946	1947	1948	1949	1950	1951
平均 出力 kW	44,500	49,500	53,000	72,000	65,500	77,500

米国における最近の火力発電の展望・石黒

なおこの期間中に製作した総台数中わずか 2 % が 1,800 rpm でその他は全部 3,600 rpm である.

大出力のタービン発電機を採用する場合に一般には 3,600 rpm の方が 1,800 rpm より能率も高く値段も安く床面積も狭くてすむので 3,600 rpm の tandem compound タービンが採用されているが, Condenser の冷却水温度がとくに低く真空度が高い場合には排汽側最後段落の蒸汽流量が増しその Leaving loss が甚しく増して能率が低下するので, このような場合にかぎつて値段が高くても高圧に 3,600 rpm 低圧に 1,800 rpm の Cross compound タービンが採用されている.

3. 最近の発電所の熱効率

発電所の最高の熱効率の範囲はほぼ 3 表のとおりである. ボイラ・タービン・発電機等は Unit system であつて最新の付属設備を具備したものである.

3 表

Steam Condition at Turbine throttle valve 蒸汽圧力 蒸汽温度 LB/in ² °F		タービン 再 加 熱 温 度 °F	タービン 発 電 機 効 率 %	ボイラ 効 率 %	全 熱 効 率 %
600	825	—	34	87	29.6
850	900	—	36.2	87	31.5
1,250	950	—	37.8	88	33.3
1,250	950	950	39.5	88	34.8
1,450	1,000	1,000	40.5	89	36

注 1. 発電機の出力は 33,000~100,000kW の範囲で高圧力・高温度・再加熱を使用のものは 80,000kW 以上の出力のものにかかる.
2. 発電所内の補機類用の動力は熱損失として加算していない. これは発電所の計画によつて相違するがほぼ発電機出力の約 6 % 位と思われる.

前記のとおり新しい発電所の負荷が Base load なので熱効率の向上については電力会社も製造会社もともに

一体となつて不斷の研究を続けておつて、いやくもこの目的のために将来役に立つと思われる事柄については大小にかかわらず研究が進められている。

以下これらの事項のうち主なものについて記述すると

- (1) 蒸気圧力
- (2) 蒸気温度
- (3) 再加熱
- (4) 排汽側の羽根
- (5) タービン発電機の標準化

等である。

4. 蒸 汽 圧 力

米国ではタービンの蒸気圧力は約50年間に200LB/in²から約12倍に上昇し最近採用された最高蒸気圧力は約2,400LB/in²である。しかし現在大出力のタービンにもつとも多く使用されている圧力は1,250~1,450LB/in²であつて逐次上昇する傾向にある。いまこの傾向を某製造会社が発表した数字によると4表のとおりである。

4 表

蒸 汽 圧 力 (LB/in ²)	比 率 %	
	1949年	1950年
1,801~2,000	13.7	7.5
1,451~1,800	3.7	4.5
1,251~1,450	13.8	30.8
851~1,250	20.7	29.6
651~ 850	42.7	24.1
451~ 650	4	3.2
450 以下	1.4	3

注 表中比率とはその年度中に製作したタービンの全容量と各蒸気圧力の容量の集計との比である。

理論的計算によるといま850LB/in²の圧力で900°Fの蒸気を温度その他の条件は一定として圧力のみを1,250 1,450 1,800 ポンドに上げれば、熱消費量の減る割合はそれぞれ3.5 4.6 5.8%となつて高压になるほど減る割合が少なくなるが、しかし大容量のタービンでは小容量のタービンに比らべて高压蒸気を能率的かつ経済的に膨脹させるように設計しやすいのと、さらに温度を上げかつ再加熱すれば給水ポンプの動力も低下できるので大容量のタービンにはますます高压蒸気が採用されつつある。現に蒸気圧力2,350LB/in²、温度1,100°F再加熱温度1,050°Fの185MW、3,600rpmのタービン発電機が製作中である。

5. 蒸 汽 温 度

蒸気温度は過去50年間に400°Fから1,100°Fに上つている。高温の蒸気に対してはこれと常に接触する部分の材料の研究と相まつて数回の段階を経て現在の温度に到達したのであつて、換言すれば米国における高能率のタービンの発達は高温において十分物理的強度

を発揮する材料の研究の賜物であると断言しても過言ではない。

蒸気温度の上昇に伴う熱消費量の低下はいま蒸気温度950°F、圧力1,250LB/in²を温度のみ1,000°F、1,050°Fに上げた場合は熱消費量の減る割合はそれぞれ約1.2%、2.2%であつて温度を上げることによつての熱力学的利益は直接発電所の熱消費量に大きく影響するので、補機用動力が多少増加したタービンの値段が若干高価になつても高温高压力の蒸気を使用される。また高温用の材料としては1,000°FまではFerritic typeの合金鋼を使用しそれ以上の温度に対してはAustenitic typeのStainless steel alloyを使用している。

6. 再 加 熱

蒸気をInitial throttle temperatureまで再加熱することにより熱消費量は甚しく低減されるので100MW以上の容量のタービンには多数採用されている。しかし蒸気温度は950°F以上の場合が多い。いま125MW程度の容量で温度1,000°F、圧力1,450LB/in²の蒸気の場合にこれを1,000°Fに再加熱すると熱消費量が約4.5%減少する。もしも温度だけを上げてこれだけ熱消費量を減らすとすれば蒸気温度を1,150~1,200°Fにしなければならぬ現在の材料では実現困難である。一般に再加熱のための機械の値上り率は大容量のもの程低下する。しかし熱消費量の低減が大きく、したがつて運転費が減るので漸次50MVA程度の容量のものにも採用されようとしている。

なお将来極大容量のものには二段再加熱方式が採用されてなお一段と熱消費量が減少されるだろう。

7. 排汽側の羽根

Condensing turbineの出力を限定しかつ能率を低下させるのは排汽側最後段落の羽根の長さである。米国ではGE・W社とも別箇の立場で研究が進められ従来最大23インチの長さのものであつたが最近25インチのものが採用されようとしている。

この羽根の円周速度は毎時約1,075マイルでその遠心力は莫大な値になるので材質・形態・植付け方法等は特別の研究が進められている。この長さの羽根が採用されれば排汽端最後段落を通過する蒸気の流量が増しタービンの出力を増すこともできるし能率を向上することもできる。なお羽根の破壊はタービンの故障の大部分を占めるので、遠心力と蒸気力とによる連続応力、固有振動の決定とその制御、振動応力の評価と限度、腐食等の諸問題について不斷の研究が続行されている。

8. タービン発電機の標準化

米国で火力発電用タービン発電機の種々複雑な条件を簡易化して短時日に需要に応ずる目的で電気学会と機械学会が協同してタービン発電機の標準仕様書を制定し

た。これはタービンの最大出力を基準にしてその機種を限定し、かつ各機種に対して電気および蒸汽の諸条件を定格化したものであつて過去および現在の火力発電の拡充の促進に多大の貢献を与えている。

現在制定されているタービンの最大出力の基準は5表の7種であつていずれも 3,600 rpm である。

最高タービン 出力 kW	発電機の定格 kVA(力率 0.85)
12,650	13,529
16,500	17,647
22,000	23,529
33,000	35,294
44,000	47,053
66,000	70,588
99,000	121,800

このうち 99,000 は最近制定されたものであつてこの機種に限りタービンは再加熱用として使用し、また発電機は水素圧力 30 LB/in² で使用し得るように規定されている。なおこのほかに 150,000 kW のものも目下仕様制定準備中である。

いまこれらの標準仕様のタービン発電機がいかに利用されているかを某製造会社の実績によつて示せば6表のとおりである。

年 度	標準機出力 台数比率 %	標準機受注 台数比率 %
1945	0	5
1946	0	60
1947	18	71
1948	50	71
1949	66	72
1950	75	67
1951	79	52

上述のように標準化したため需要者側は発注と同時にその標準据付図面により早急に発電所の建設に着手し得るし、また製造会社はこれによつて必要材料の準備、工程の計画を即時実施し得るので発電所の完成期日を著しく短縮することができる。

なおこの仕様制定当時は使用材料その他の点で各機種が最高効率を発揮し得るように規定されたのであるがその後材料および技術の進歩に伴い規定外のものの方が若干効率を上げ得るものもできるようになつた。(100,000 kW 以下の再加熱タービン、給水加熱温度およびその段数増加等)

9. 水素冷却発電機

タービン発電機は両学会制定の標準内の出力のものはほとんどこの仕様に準拠しているので最高出力 22,000 kW 3,600 rpm 以上のものは水素冷却方式が全面的に採用されている。水素冷却発電機の重要な部分は回転軸を通して機内の水素を密閉する装置であつて、従来と

米国における最近の火力発電の展望・石黒

の密閉に使用する油は油内の空気が機内の水素に混入するのを防ぐため一応真空処理していたが、その後大出力以外でかつ機内の常用水素圧力の低いものには軸密閉用油の真空処理を省き若干所要水素消費量が増しても全般的装置を簡単にするため軸密閉部分の構造に特殊の方法を考案し連続掃汽の方式を採用しているものもある。

また機内の水素圧力は従来は常用 1/2 LB/in² で特別の過負荷の場合あるいは水素冷却器用水温度が上昇した場合等にはのみ水素圧力を 15 LB/in² に上げてこれに応じておつたが、最近大出力のものに対しては有効材料を節約し重量と寸法を軽減させるために常用水素圧力を 15 LB/in² あるいは 30 LB/in² に上げることが企てられている。計算によれば基礎定格で常用水素圧力を 30 LB/in² として設計したものは 1/2 LB/in² として設計したものに比べ有効材料は約 25% 減少できる。しかし水素圧力の増加に伴つて水素の漏洩が甚しく増加するので優秀な構造の設計、精密なる加工、特殊の溶接等の基礎的研究と相まつてはじめてこれら高圧水素冷却発電機が完成されると思う。

10. ロータ用合金鋼

3,600 rpm タービン発電機の出力が増加するにしたがつて使用材料中最も問題となるのはロータ用鍛鋼である。大形発電機に使用するものは強度は比例限界で平方 mm につき 67 kg 位を必要とするため 2.5~3% のニッケルを主体にしたモリブデン、バナジウムを含んだ合金鋼で、さらに透磁率を高めるため炭素とクロームの含有量をある数値以下に限定しかつ複雑な熱処理を必要とする。一方不良部分等を切り取るため少なくとも仕上り重量の 3.5 倍の重量の鍛鋼を必要とするので、十分な設備と豊富な製鋼技術の経験がなければ優良な製品ができない。なお製品の検査については中心穴の望遠鏡可視検査・鉄粉磁化試験・応力作動部分から採取した試験片の物理的強度試験のほか超音波測定装置による内部点検を行つてゐるが、この超音波測定装置の正確度を確めるため内部にキズが存在すると思われるものについて多額の費用を投じて実物を切断してその事実を確かめたりさらにこれの過速度試験を行つてその強度を確める等慎重な研究を行つてゐる。

11. ロータのバランシング

発電機ロータのバランシングの良否は運転上影響するところが大きく、とくに大形ロータでは正規回転数がその二次固有回転数に近づく場合もあり、また温度の変化によるヒズミや重量分布の移動等によつてもバランスは変化するので工場出荷前に精細な調整試験を行つてゐる。方法の詳細はすでに文献によつて発表されているが要は Flexible rotor に起る Dynamic stress が原因となつて発生する Dynamic distortion と、回転には無関係で起る温度または圧力による Stress が原因となつて発生する Static distortion との 2 種類のヒズミを

調整することによつて安定が得られる。しかし後者はロータの負荷の変化によつて温度が変化するのでロータの通風を調節してこのヒズミを低減または除去する Thermal balancing が必要となつてくるのであつて、多年の経験と科学的理論によつて開発された精巧な測定装置と大規模な設備とによつて出荷前工場でかなりの時日をかけて完全に調整して出荷している。

12. ロータ線輪用導体

ロータの鉄心長さが増すために生ずる線輪材料の Creep によつて生ずる線輪の変形は含銀銅を使用してこれを防止できるが、極大形のロータではその線輪の端部を支持する Refraining ring の Hoop stress の点で発電機出力の一つの限度になつてゐる。もちろんこの Ring はロータ用鍛鋼に比らば寸法も小さく重量も比較的軽かつ鍛造も容易であるので遙に高い物理的性質を發揮できるのであるが、この Ring の応力を一定の安全限度内においた場合にその Hoop stress の 65~75% は Ring 自身の重量による遠心力で 25~35% が線輪の導体と絶縁物等の重量による遠心力のために生ずるのである。ゆゑに大出力の発電機の場合にロータの外径を増してさらにその出力の増加を計らうとしても、ロータの導体の重量を増し得る余地はきわめて僅かであるので、ロータの外径したがつて Ring の外径を増すことは現在の材料の強度では大体限界に達しているのである。ゆゑにこの問題を打開するにはロータの線輪に銅合金以外の軽い材料を使用することを再び考慮しなければならない。もちろん Aluminum を主体にした材料は creep の点ですでに使用を見合わされて現在に至つてゐるのであるが、さらにこの問題を掘り下げて数種の元素を加えた軽合金によつて電気伝導率も高くかつ機械的強度と creep の抵抗の高い材料の研究が進められている。もしこの研究が完成したら単に大出力の発電機のみならずタービン発電機全体に与える影響はきわめて大きいと思われる。

13. Inner-cooled GENERATOR

大形 3,600 rpm の発電機は逐次その出力を増加しつつあつたが前述のようにロータの直径の点で現在の使用材料強度の関係から出力の限度に近づきつつあつた。一方発電機内の常用水素圧力を 30 LB/in² に上げて発電機の平均温度は低下しても、冷却用水素によつて吸収される熱量の大部分は発熱部分から絶縁物その他の中間物を通してのものなので、発熱部分の温度をこれ以上冷却するためには別箇の方法を研究しなければならない。この結果発熱部分を直接に冷却するいわゆる Inner-cooling の案が案出された。これの応用方法が実際に確認されるまでには長い時日と多大の実験を要したがさらにこれを大出力の試作発電機に実施して種々の試験を行つたうゑ、将来は 100,000 kW 以上の大出力の発電機には一般的に採用されることになるであらう。またこの方法が採用されれば発電機の有効材料はさらに 25~30% 節約

されるだらう。この方法はロータ線輪に中空の導体を使用しロータの両端に取付けられた通風機によつて線輪端部に導入された冷却水素は、導体に設けられた多数の穴を経てその中空部を冷却しつつ軸方向に進みさらに線輪中央部に設けられた穴から空隙に放出されるのであつて、従来ロータ鉄心内の溝を通過して発熱部分から絶縁と鉄心の一部を経て冷却する代りに直接に導体の中空部を通過しながら冷却するので発熱部分の冷却効果が非常に大きいのである。またこの方法は固定子線輪にも応用する研究が進められすでに完成されている。この方法を採用すれば現在使用している材料で 3,600 rpm の発電機の最高出力は 350,000 kVA まで製作可能となる由である。

14. 固定子鉄心に Oriented grain strip steel 採用

一般の回転機の固定子鉄心では歯の部分と鉄心の部分とで磁束の方向が 90 度異なるので Grain の方向によつて透磁率を著しく異にするこの種鋼板が採用されないが、2 極のタービン発電機では鉄心の部分の重量が歯の部分に比較して甚しく重く、したがつてその損失の割合も大きいし、また最近の優良の Oriented grain strip steel は Grain の方向と交叉した方向に対しても普通の硅素鋼板に比らべて透磁率も損失も大差ないので、鉄心の部分を通ずる磁束の透磁率が良くなるように使用すればこの種鋼板の利点を十分活用することができる。これによつて鉄損失全体が普通の硅素鋼板を使用した場合と大差ないように鉄心部分の磁束密度を上げれば、鉄心の外径寸法を著しく縮小し得るし重量も軽減できる。なお鋼板の表面は冷間圧延にて滑かにしたうゑ無機質のエナメルを塗付して炉内で焼付ける。一旦焼付いたこのエナメルは鋼板の表面に十分密着し高温で燃焼しなければ剥げないので、鋼板間の絶縁は非常に強化されたがつて鉄損失が著しく減少する。

その他励磁機の整流不時の事故を防止するため永久磁石を界磁に使用した小形交流発電機、整流器および軸直結交流発電機等の組合せによる励磁方法も実用上の研究が進められてゐる。

また発電所内の主要補機 (Boiler feed pump, Forced draft fan, Induced draft fan, High and Low pressure heater, Condensate pump, Circulating pump, Heater drain pump 等) 用各種電動機およびその付属設備は、発電所の連続運転のために重要な役割を占めてゐるにもかかわらずその選択は二次的に考えられたために事故の原因となつた場合が多かつたので、最近はこの選択は重要視され用途・据付場所によつて出力・回転数・所要トルク・型式等の厳重なる選定以外に絶縁方式はとくに考慮されている。

以上は米国における最近の火力発電の展望であつて将来の参考になると思われる事項を取上げて紹介した次第である。

九州における電力事情と火力開発計画について

九州電力株式会社火力部次長

古 賀 孝

Electric Power Conditions and Plans of Thermal Power Development in Kyushu

By Takashi KOGA

Kyushu Electric Power Company

1 九州の電力需給の現状

戦時中における設備の荒廃と終戦後急激に増加した需用によつて昭和 21 年度から 24 年度までの電力飢饉も昭和 25 年度において漸く完了した火力設備の補修と稀に見る豊水に恵まれて皮相的には一応解消したかに見えたが、朝鮮動乱の突発に引つづく特需その他による需用の激増によつて再び電力危機が迫つてきた。

すなわち九州の供給力は戦時中の最高記録たる昭和 18 年度の 44.4 億 kWh に対して 26 年度には約 118% の豊水に恵まれ発電実績 54.4 億 kWh に達したにもかかわらず電力制限を余儀なくせられた。なお需用は 5 カ年後 31 年度の需用は 84.8 億 kWh と想定せられ、現在のままの発電設備では 56% の不足と予想せられる。

2 九州の電力需給の特異性

ア. 電源の特異性

(1) 水力資源が貧弱で、かつ変動幅が大きく不安定であること。

九州の河川の流域が短く急流であつて、水力発電所は一定した豊富な水を供給することなく、加うるに戦時戦後の濫伐の結果大雨が降れば洪水となり水害を起す。そのうえ本州中央部の如く 3 月から 5 月に安定した水量を供給するいわゆる雪解水がなく、5 月渇水という本州では見られぬ現象を呈する等水力の出力は極めて不安定である。また同様の理由で 5 月ないし 8 月の頃に不測の渇水が来て冬期の渇水よりかえつて甚しい場合がある。

(2) 貯水池容量が貧弱で調整能力に乏しいこと。

主な貯水池の貯水合計は 22,449 MWh で、これは九

州の僅か 1.5 日分の電力量にすぎず季節の調整等はいもよらないことであり、自流の減少は供給力不足となり、平水に基礎をおいた供給力の確保は困難である。

(3) 火力に対する依存度が極めて高く豊水時といえども火力を運転していること。

昭和 26 年度の供給力 54.4 億 kWh の約 1/2 (22.3 億 kWh) を火力が分担した。

認可出力を示すと

九州 (27/8 現在) = 火力 (56.6%)
= 水力 (43.4%)
全国 (26/12 現在) = 火力 (32.2%)
= 水力 (67.8%)

イ. 需要の特異性

(1) 電灯需用に比らば電力需用が多いこと。すなわち

九州 = 電灯 (15.9%)
= 電力 (84.1%)
全国 (九州を除く) = 電灯 (21.1%)
= 電力 (78.9%)

(2) 基礎産業用電力が非常に多いこと。

礦業・金属工業・化学工業等の生産材用電力 (500 kW 以上のもの) は

九州 = 全需用量の 59.0%
全国 (九州を除く) = 全需用量の 37.3%

(3) 鉱業 (炭坑用) 電力が極めて多いこと。

全需用量 約 40% である。しかもそのうち 60~70% は保安用電力で、炭坑を維持保全するため絶対必要な電力である。

1 表 九州の需用電力（無制限）と供給力の想定

Table. 1. Estimate of power demand (unlimited) and supply capacity in Kyushu.

(ア) 総需用（年間電力量 10⁶kWh）

年 度		26(実績)	27	28	29	30	31	32	33	34
総 需 用	需用済	4,094.4	4,615.0	5,090.0	5,590.0	6,110.0	6,610.0	7,150.0	7,720.0	8,320.0
	損失率	(24.7) %	(25.5)	(24.5)	(23.5)	(22.5)	(22.0)	(21.5)	(21.0)	(20.5)
	発電済	5,436.4	6,190.0	6,740.0	7,300.0	7,880.0	8,480.0	9,110.0	9,770.0	10,047.0
対増 前加 年率	需用済	—	12.7	10.3	9.8	9.3	8.2	8.1	8.0	7.8
	発電済	—	13.9	8.9	8.3	7.9	7.6	7.4	7.2	7.2
26基 準年 対 度比	需用済	100%	113.0	124.0	137.0	149.0	161.0	175.0	189.0	203.0
	発電済	100%	114.0	124.0	134.0	145.0	156.0	168.0	180.0	193.0

(イ) 供給力（地帯間融通を考慮せず）

供給力（発電済）	5,436.4	5,532.0	6,020.2	7,265.3	7,731.4	8,438.0	9,126.8	9,575.6	9,750.0
供給力過不足	0 %	⊖ 658.0	⊖ 719.8	⊖ 34.7	⊖ 148.6	⊖ 42.0	⊕ 16.8	⊖ 194.4	⊖ 720.0
“ 不足率	0 %	⊖ 10.6	⊖ 10.7	⊖ 0.5	⊖ 1.9	⊖ 0.5	⊕ 0.2	⊖ 2.0	⊖ 6.9
供給力 対前年増加率	—%	1.8	8.8	20.6	6.4	9.2	8.2	4.9	1.8
供給力 26年度基準対比	100%	102.0	111.0	134.0	142.0	155.0	168.0	176.0	180.0

(ウ) 発電受電比率

構 成 率	水 力	55.2%	45.5	44.5	43.6	42.7	43.1	43.6	42.4	41.6
	火 力	41.0%	49.7	53.0	53.7	54.8	51.6	54.3	55.6	56.4
	受 電	3.8%	4.8	2.5	2.7	2.5	2.3	2.1	2.0	2.0
26基 準年 対 度比	水 力	100%	84.0	90.0	106.0	110.0	118.0	133.0	135.0	135.0
	火 力	100%	124.0	143.0	175.0	199.0	206.0	222.0	239.0	246.0
	受 電	100%	119.0	72.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0	96.0

以上の如く九州の電力需用は、日本産業の基盤である石炭鉄鋼化学等の大口需用電力は、全需用の 5 % を占めているので、九州の電力増強を無視して日本経済の伸展なしといつても過言ではない。

3. 大容量新鋭火力発電所建設が焦眉の急なる理由

電力需給の逼迫を解決する途は送配電損失の軽減運用防止等の消極的対策が実施されるとしても、それは全需用の数%以上をこえない。ゆえにここに残された途は電源増強の一途あるのみである。全国的に現在各方面から電源増強が強く叫ばれているのもこの理由によるものであるが、電源増強方策としては水力開発が第一にあげられ、つぎに火力地熱ガス等によるのが一般的である。

九州においても第一に水力開発が採りあげられていることはもちろんであるが、2 表の包蔵水力の如く九州の水力資源は本州に比べ貧弱で、しかも比較的工費が高価で工事期間が長期であるため、工事期間の短い火力設備の必要が生ずる（2 表の如く未開発水力は 61 万 kW で計画中の水力を開発すれば 23 万 kW しか残らない）なお他地帯からの受電が考えられるが、四国の水力開発が進捗し九州への送電が可能となるのも、また現在の本州からの受電も各地区の需給不均衡を脱しないかぎり増加等はここ数年は期待し得られない。すなわち

- (1) 需給の均衡を早急に得るための電源増強が必要であること。
- (2) 現在既設水力と同程度の出力を出している既設火力は大半 20 年以上を経過して老朽化し、能

率は新鋭火力に比らべ約 1/2 であること。

(3) 石炭の産地として低品位の石炭使用が他地区に比らべて優れていること。

等の理由によつて九州は新鋭火力設備の増強が水力開発に平行して実施されねばならぬ必要性があるのである。

4. 九州の電源開発計画の構想

文化国家の基盤が電力計画にあることは、欧米諸国にその例を引くまでもない。石炭鉄鋼等日本の基礎産業の基地たる九州にてとくに然りである。しかして九州の電力の確保を最高度に発揮し得るよう、全九州の視野において構想されねばならない。しかるに有力な水利地点は南四県にあり需用の約 80 % と石炭とは北 3 県にある。九州の総合的経済性よりみて、このことはとくに重要である。

九州の電源開発の目標は差当り、築上 2 期（福岡県）相浦 2 期 3 期（長崎県）荻田 1 期（福岡県）等の高能率大火力の建設と平行して上葉（宮崎県）大貯水池式水力の建設および筑後川（大分県）一ツ瀬川（宮崎県）綾川（宮崎県）球磨川（熊本県）等の開発に着手し、水火併用による電力の安定性と経済性とを向う 3 カ年ないし 5 カ年間に確定し、引きつづき屋久島の開発を目途として水力ペースを拡大し、さらに本州四国との連繫によつて遠く日本の水力電源の中心地帯とも水火力の交流を画策して、九州の新鋭火力の利用率と本州四国の水力の利用率を向上せしめ、九州の電力の安定性と経済性を飛躍的に高揚せしめようとするものである。31年度以降の電源不足については球磨川増設、屋久島開発四国吉野川開発による受電およびさらに新鋭火力の増強により需給の均衡を計つて行かねばならない。

2 表 包蔵水力地帯別表

(27. 3月公益事業委員会発表)

Table. 2. Potential hydro power zone.

地 帯 別	既 開 発 (A)			未 開 発 (B)			計 (C)		
	出力最大 (kW)	対 全 国 %	A/C %	出力最大 (kW)	対 全 国 %	B/C %	出力最大 (kW)	対 全 国 %	地帯内 %
北 海 道	307,670	4.5	23.8	964,350	7.0	76.2	1,292,020	6.2	100
東北及本州中央部	5,346,150	78.4	29.6	10,874,180	77.1	70.4	16,220,330	77.5	100
中 国	333,320	4.9	28.0	859,390	6.1	72.0	1,192,710	5.7	100
四 国	247,040	3.6	24.1	779,830	5.5	75.9	1,026,870	4.9	100
九 州	586,370	8.6	48.9	612,270	4.3	51.1	1,198,640	5.7	100
合 計	6,820,550	100	32.6	14,110,020	100	67.4	20,930,570	100	100

3 表 九州火力発電所認可出力表

Table .3. List of approved generating power in thermal power plants in Kyushu.

(昭27.6.30現在)

経 過 年 数	発 電 所 名	認 可 最 大 (kW)	建 設 年
20 年 以 内	築 上	35,000	昭 27
	戸 畑	133,000	" 12
	港 第 二	108,000	" 22
	相 浦	64,500	" 14
	川 内	4,500	" 10
小 計		345,000	
20 年 以 上	小 倉	81,000	昭 6
	大 門	25,000	大 3
	名 島	46,000	" 9
	港 ノ	116,000	昭 6
	宇 島	10,000	大 15
	釜 田	10,000	" 12
	高 瀬	8,000	" 13
小 計		296,000	
合 計	12 カ 所	641,000	

- ① 既開発 最大出力 300 kW 以上
② 未開発 最大出力 1,000 kW 以上

5. 高能率新鋭火力発電所計画の概要

ア. 概 要

九州地区においては以上の如く火力に対する依存度がきわめて高く、豊水時でも常時運転する低品位炭の消化を主眼とした高能率かつ経済的なベースロード火力発電所を企画しなければならない。

このような条件のもとで戦後 45 kg/cm² 級の港第二発電所を建設し理論的熱効率 25.3 % とし、その後 65 kg/cm² 級の築上発電所（1 期）、引続き築上 2 期、相浦 2 期および 3 期といずれも 65 kg/cm² 級の建設に着手し、理論的熱効率 27 % に向上せしめようとしている。

とくに戦争による十数年の火力発電技術の停滞を世界的水準にまで向上せしめるため、荻田発電所は全機器を米国よりの輸入によつて建設する計画である。

5 表 汽力地熱新增設計画

Table. 5. Plan for new and extension of steam power stations.

着工 年度	発電所	出力 kW		年間可能 発電量 (10 ³ kWh)	平均最大 に対する 年負荷率 (%)	機器番号		設 備				石炭 消費率 (kg/kWh)	石炭 消費量 (10 ³ ton)	工 期		運 転 開 始	
		最 大	平 均			汽機 (号)	汽 罐 (号)	汽 機 (kW)	汽 (t/h)	汽 圧 (kg/cm ²)	気温 (°C)			着工	竣工		
継続 26 年度	築上 1 期	35,000	30,000	184,000	65.0	1T	12B	35,000×1	140×2	65	485	4,800	0.73	134.3	25-2	27-6	27-3
	相浦 2 期	55,000	50,000	262,800	60.0	3T	45B	55,000×1	170×2	68	490	5,000	0.69	181.3	26-12	28-12	28-11
	築上 2 期	55,000	50,000	284,300	65.0	2T	34B	55,000×1	140×2	65	485	4,800	0.73	207.5	26-12	28-12	28-9
	名島14B増	6,000	5,000	31,500	72.0	—	14B	—	36×1	186	350	5,400	0.91	28.7	26-11	27-10	27-11
27 年度	築上 3 期	55,000	50,000	262,800	60.0	3T	5B	55,090×1	140×1	65	485	4,800	0.73	191.8	27-4	29-3	28-12
	相浦 3 期	55,000	50,000	262,800	60.0	4T	6B	55,000×1	170×1	68	490	5,000	0.69	181.3	27-4	29-3	28-12
	刈田 1 期	66,000	60,000	367,900	70.0	1T	1B	66,000×1	270×1	95	515	4,800	0.64	236.2	27-8	30-6	30-1
	地熱 1 期	3,000	2,700	21,900	92.6	1T	蒸汽井	3,000×1	内径8" 深度 700m×7本	1.5	220	—	—	—	27-7	27-6	29-4
28 年度	相浦 4 期	66,000	60,000	367,900	70.0	5T	7B	66,000×1	270×1	95	515	50,000	0.616	226.6	28-10	31-1	30-10
29 年度	名島増設	66,000	60,000	367,900	70.0	5T	15B	66,000×1	270×1	95	515	5,400	0.57	209.3	29-10	32-1	31-10
	地熱 2 期	10,000	7,000	70,000	88.8	2T	蒸汽井	10,000×1	内径10" 深度 500m×10本	1.5	220	—	—	—	29-4	31-12	31-9
30 年度	刈田 2 期	66,000	60,000	367,900	70.0	2T	2B	66,000×1	270×1	95	515	4,800	0.64	236.2	30-10	33-1	32-10
31 年度	相浦 5 期	66,000	60,000	367,900	70.0	6T	8B	66,000×1	270×1	95	515	5,000	0.616	226.6	31-10	34-1	33-10
	地熱 3 期	10,000	9,000	70,000	88.8	3T	蒸汽井	10,000×1	内径10" 深度 500m×10本	1.5	220	—	—	—	31-4	33-12	33-9
32 年度	刈田 3 期	66,000	60,000	367,700	70.0	3T	3B	66,000×1	270×1	95	515	4,800	0.64	236.2	32-4	35-1	34-10
33 年度	刈田 4 期	66,000	60,000	367,900	70.0	4T	4B	66,000×1	270×1	95	515	4,800	0.64	236.2	33-10	36-1	35-10
	地熱 4 期	10,000	9,000	70,000	88.8	4T	蒸汽井	10,000×1	内径10" 深度 500m×10本	1.5	220	—	—	—	33-4	35-12	

注. 27年度着工工事中資金の確定したものは相浦 3 期および刈田の二地点で、他は交渉中である。

諸般の状況により本計画の変更はありうる。

4 表 水力開発計画

Table. 4. Plan of hydro power development.

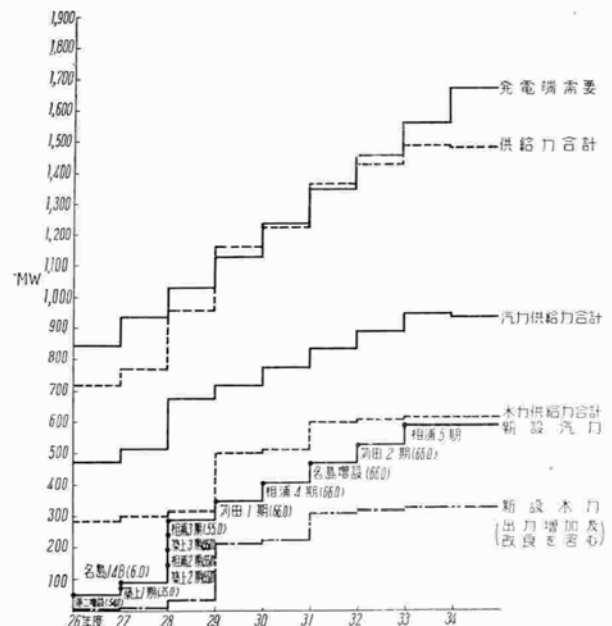
着工年度	地 点	出 力 (kW)		年間可能発電量 (10 ³ kWh)
		最 大	常 時	
継 続	上稚葉	100,000	19,000	313,400
26年度	4 地点	27,863	8,033	137,524
27年度	5 地点	59,370	19,780	275,819
28年度	4 地点	25,500	6,800	129,700
29年度	5 地点	123,500	32,880	605,955
30年度	3 地点	12,000	3,970	78,538
31年度	2 地点	13,400	6,100	83,010
32年度	2 地点	14,400	3,710	74,270
33年度	2 地点	4,300	1,086	22,450
備 考		出力増加工事も含む		

イ. 刈田発電所の立地条件

刈田 (福岡県京都郡刈田町) は筑豊炭田に近く田川 (後藤寺) 刈田間の鉄道距離は 36.3 km にすぎず、石炭の入手が容易であるのみならず、鉄道最低運賃範囲内にあり運賃の節約ができる。

また北九州重負荷地帯との距離はきわめて近く、ロードセンタである西谷変電所までわずか 15 km で、送電設備費、送電損失が僅少である。

また九州との水火の交流にも好条件を具備している。



(注) 出力はすべて毎年 2 月平均最大 MW である

1 図 九州電力需給バランス図表

Fig. 1. Diagrams of balance between electric power supply and demand in Kyushu.

その他汽罐給水も既設県営工業用水設備を利用できるし水質も良好であり、また灰捨基礎地盤および地元の立地条件等から考えて、刈田はきわめて条件を具備しているので、新鋭火力の建設地点として選定した次第である。

ウ．荻田発電所の構想

一般に火力発電所の熱効率を向上させるためには、高温、高圧、の蒸汽を使用することが理論的に必要であるが、発電所の運転実績を見れば、同一蒸汽条件でも発電所の設計と材質ならびに運用能率が異なるため、日本のものよりアメリカのものは高い熱効率を示している。

このことは運転技術の巧拙にも大いに影響すると考えられ、微細な設計上の問題はもちろん全設備を輸入して九州について日本の火力発電技術の飛躍的向上を企図するとともに第2期以後は国産品を使用する方針であるので、各部門とくに材料メーカーの協力をお願いし、世界水準への早期到達を切望するものである。

(1) 蒸 汽 条 件

米国推奨標準 1250 PSi, 950 °F, 60,000 kW (最大 66,000 kW) を採用した理由は、能率向上をはかるためには、なるべく高い方を採用すべきであるが完成後の運転保守をも考慮しこのクラスを採用することとした。

(2) ユニットシステム

高温高圧蒸汽を使用するためなるべく複雑な設備を省略し事故発生のベースを少くして信頼度を向上せしめ利用率を高くするとともに建設費の節約ができる。かつ工業技術の進歩に応じてさらに高い定格の設備を採用する場合にもユニットシステムは好適である。

(3) 出 力

発電機のユニットは第1期は 60,000 kW であるが、この容量は九州の負荷状態より見てけつして、大きすぎないものとする。

3期工事以後については 90,000 kW ユニットの採用も当然検討すべきである。

第1期出力 60,000 kW (最大 66,000 kW)

最終容量 $60,000 \text{ kW} \times 4 = 240,000 \text{ kW}$

または $60,000 \text{ kW} \times 2 + 90,000 \text{ kW} \times 2 = 300,000 \text{ kW}$

(4) 運 転

ベースロード ステーションとして設計し発電所効率 30% とする。

制御は中央制御方式とし極力運転人員の縮少を計るものとする。

(5) 送 電

第1期工事は 66,000 V (あるいは 110,000 V) 送電線をもつて北九州の中心変電所西谷変電所へ直結し北九州工業地帯、炭田地帯の電力を供給するものとする。

荻田西谷間は 15 km の近距離で、前述の如く電力分配上きわめて有利である。

6. む す び

九州においては現在でも火主水従であるが、今後水力開発地点に乏しいので、将来ますます火力依存度は高くなってくる。電力需給の現状を見ると、今年度は供給力が需用に対し電力量で約 10% 最大電力で約 12~13 万 kW 不足している。この大幅の電源不足を解消する途は急速に火力発電を拡充する以外にない。

一方において老朽非能率火力が、いまなお常用火力として常時運転されている現状である。これは供給力に余裕のないための真にやむをえない措置であるが、これは新鋭火力を新設して、老朽火力に肩替りすることが、九州の発電経済を改善する唯一のキーポイントであると考ええる。

上記2つの観点から九州においては、新鋭火力の開発が焦眉の急を要する次第である。当社が超高圧火力の第一着手として計画中の荻田発電所第1期工事は、Whole Plant 輸入によることとしているが、第2期以降については是非とも国産品によりたいと期待している。申すまでもなく火力発電は高度の総合技術であるから、あらゆる部門の技術、なかんずく材料面の飛躍的 Level-up を希つてやまない次第である。

築上火力発電所の電気設備について

九州電力株式会社火力部

田 中 照 敏

Electrical Equipment of Chikujo Thermal Power Station

By Terutoshi TANAKA

Kyushu Electric Power Co. Ltd.

1. ま え が き

九州電力株式会社の築上火力発電所は、わが国最初の高圧高圧プラントとして、全国注視のうちに、昭和27年3月15日華々しく営業運転のスタートを切った。欧米の最新式火力発電所の水準にはまだまだ遠くおよばないにしても、過去20年間蒸気条件 450°C 、45 ata級から一歩も出ることなくただ営々として発電にのみこれ努めてきたわが国火力発電界にとつては、 485°C 、65 ataの蒸気を使用して熱効率28%を出す築上火力発電所は、現在のところ確かにニューフェイスたるを失わない。目下1機1罐を運転して約30,000 kWを連日発電するとともに、第2期工事55,000 kW増設工事が随音高く展開され、現地はいよいよ活気を呈しつつある。第2期工事は昨年夏以来計画立案中であつたが、同年12月55,000 kW発電装置一式ならびに140 t/h汽罐2基の注文決定により実質的に着工されたもので、昭和27年9月現在、主要機器はほとんど全部各担当のメーカーにおいて製造中であり、現地の土木建築工事も計画工程表どおり順調に進行中であつて、明年初秋には、本邦における最初の本格的な水素冷却式大容量汽力発電設備が九州の一角にデビューする訳である。

本稿には、築上火力発電所設備のうちでも主として電気設備について述べようとするのであるが、参考として一応、発電所の概貌についてごく簡単に紹介しようと思う。

2. 築上発電所の概貌

ア. 沿革

築上火力発電所は福岡県築上郡の、周訪灘に臨む小邑八屋町に位する。そもそも当発電所は第二次世界大戦中にこの付近に建設を予定された疎開工業地帯に給電し、

余力をもつて筑豊炭田地帯ならびに北九州工業地帯に送電することを目的として計画された戦時型火力発電所であつて、最終計画出力200,000 kWのうち、最初の1機2罐50,000 kWの建設工事途中で終戦を迎えて工事打切となり、昭和24年12月、当時の日本発送電株式会社によつて建設工事が再開されることになつたものである。

したがつてこの発電所の建設工事は他の新規地点の工事とは異り種々の制約のもとに置かれたのであるが、その中から二三の例を拾つて見るとつぎのようなものがある。

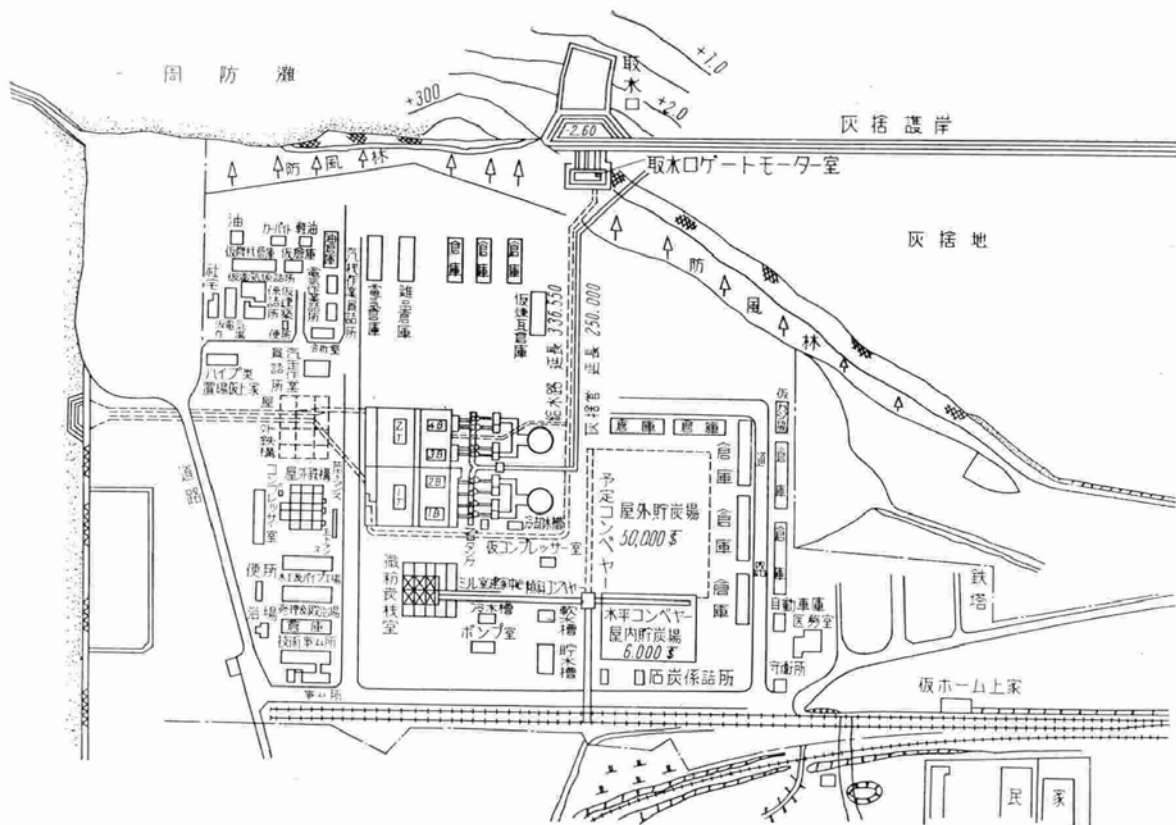
(1) 工事半ばの本館建物を利用せねばならなかつたために、主要機器の容量・構造・配置・配管配線、等にかんがひの束縛をうけた。

(2) 元の計画が微粉炭中央貯蔵式であつたので、利害得失はとも角、いわゆるユニット式の採用は困難であつた。

(3) 元の計画では発電装置は50～3,000 rpm 50,000 kW機であつたが、九州周波数統一方針の確立により60 Hz機の採用が必須条件となつた。しかるに1,800 rpm 50,000 kWの機械は収容不可能であり、水素冷却機の採用にも技術的に不安があつたので、空気冷却3,600 rpm機の国産可能最大容量として43,750 kVA 35,000 kW機を選ぶ以外はなかつたのであつた。

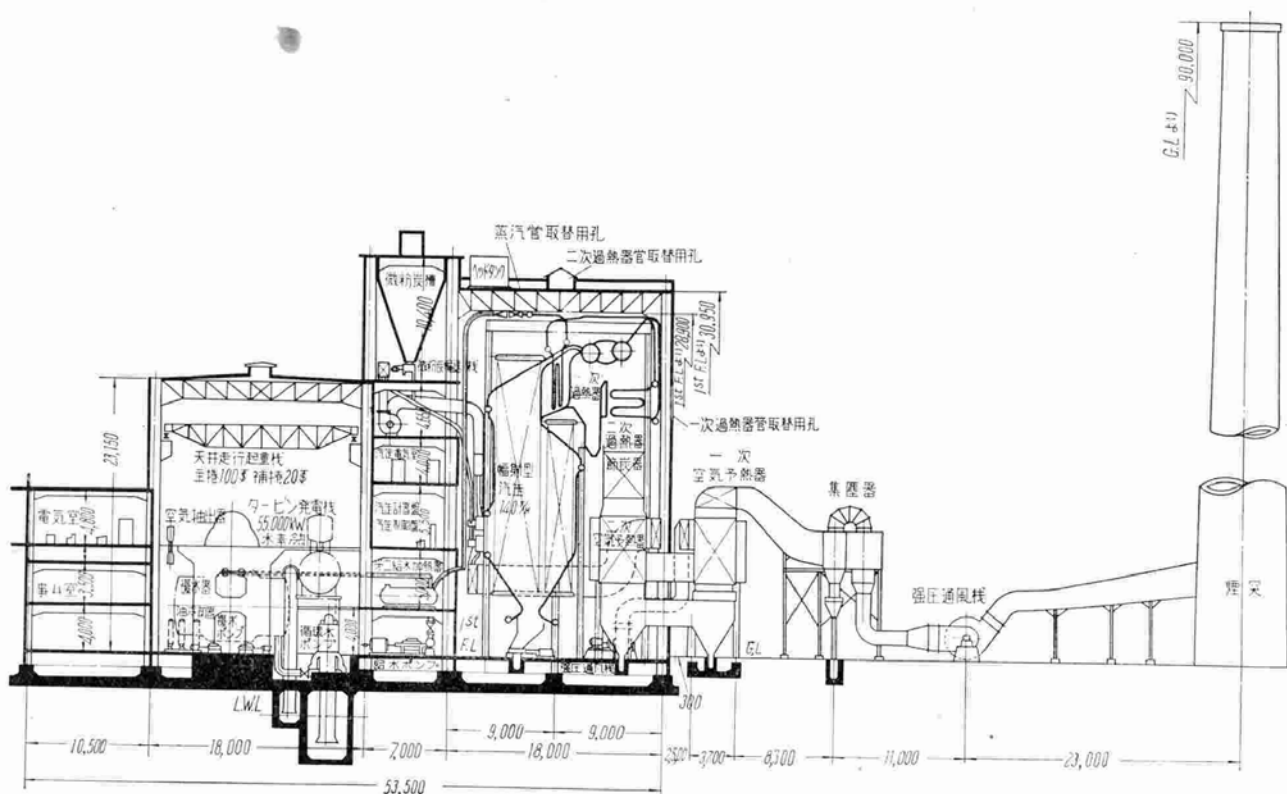
イ. 立地条件

前述のように疎開発電所たることを第一義としてスタートした発電所であるから、立地条件がとくに優れているともいえないが、火力発電所建設地として必要な条件はほぼ一通り具備している。以下簡単にこれを説明すれば、



1 図 築上発電所 構内配置図

Fig. 1 Layout in the compound of Chikujo power station



2 図 第2期工事全体配置断面図

Fig. 2. Sectional drawing of construction work in the second plan.

1 表 設 備 概 要

		1 期	2 期
汽 罐 設 備			
汽 罐	番 号	第 1, 2 号	第 3, 号
	製 造 数 式	中日本重工業 神戸造船所 2 単胴輻射ホッパーボトム型 65kg/cm ² 485°C 最大 140 t/h 経済 120 t/h 4,800 kcal (高位)	新三菱重工業 神戸造船所 2 二胴輻射ホッパーボトム型 65kg/cm ² 485°C 最大 140 t/h 経済 120 t/h 4,800 kcal (高位)
燃 燒 室	型 式	裸管式水冷壁ホッパーボトム型	裸管式水冷壁ホッパーボトム型
	加 熱 面 積	1,196 m ²	1,204 m ²
過 熱 器	有 効 火 炉 容 積	710 m ³	770 m ³
	パ ー ナ	中重攪乱横型 3.5 t/h 8 台 1 罐	チルチンク攪乱型 3.5 t/h 3 台 1 罐
微 粉 炭 装 置	型 式	第 1 次過熱器 横置型 第 2 次過熱器 吊下型	第 1 次過熱器 横置型 第 2 次過熱器 吊下型
	加 熱 面 積	160 m ² + 480 m ² = 1,040 m ²	880 m ² + 200 m ² = 1,080 m ²
微 粉 炭 装 置	製 造 方 式	宇部興産株式会社 微粉炭燃焼中央貯蔵式	宇部興産株式会社 微粉炭燃焼中央貯蔵式
	微 粉 炭 製 造 機	チューブミル 15 t/h 3 台	チューブミル 15 t/h 3 台
石 炭 乾 燥 機	石 炭 乾 燥 機	立型熱風乾燥式 15 t/h 3 台	立型熱風乾燥式 15 t/h 3 台
汽 機 設 備			
汽 機	番 号	第 1 号	第 2 号
	製 造 数 式	西日本重工業 長崎造船所 インパルス 2 汽筒複流型 57 kg/cm ² G 470 °C 3,600 rpm 35,000 kW (最大連続) 2,460 kcal/kWh (30,000 kW)	三菱造船 長崎造船所 インパルス 2 汽筒複流型 60 kg/cm ² G 482 °C 3,600 rpm 55,000 kW (最大連続) 2,353 kcal/kWh (50,000 kW)
復 水 器	型 式	表面復水器半区分連続使用型	表面復水器半区分連続使用型
	冷 却 面 積	3,700 m ²	4,800 m ²
給 水 ポ ンプ	冷 却 水 温 度	22 °C	22 °C
	製 造 量	西島製作所 200 t/h 85 kg/cm ² 1,100 HP	西島製作所 荏原製作所 1 台宛 200 t/h 85 kg/cm ² 1,000 HP (西島) 1,073 PH (荏原)
電 気 設 備			
発 電 機	番 号	第 1 号	第 2 号
	製 造 数 式	三菱電機 13,200 V 0.8 43,750 kVA 3 相 60~ 3,600 rpm 空気冷却	三菱電機 13,200 V 0.85 64,700 kVA 3 相 60~ 3,600 rpm 水素冷却
励 磁 器	電 圧 力 率	135 kW	200 kW
	容 量	3 kW	3 kW
主 変 圧 器	相 数 周 波 数	45,000 kVA 3 相 1 台	65,000 kVA 3 相 1 台
	回 転 数	5,000 kVA 3 相 2 台	
所 内 変 圧 器	冷 却 法		

3. 電気設備について

ア. 計画と特長

(1) 主発電機関係

第 1 号主発電機は前述のように既設工事の制約をうけたためと水素冷却機の信頼性が危ぶまれたために空気冷却方式による 35,000 kW 3,600 rpm の採用が決定された。

力率は従来の慣例どおり 0.8 に選ばれたので皮相出力としては 43,750 kVA となった。もちろん 3,600 rpm の機械としてはわが国に前例のない大容量機であるが、すでに 30,000 kW 37,500 kVA 3,600 rpm の発電機数台が三菱電機により国産されており、技術的に不安はないものとされた。

励磁法も従来どおり直結の直流発電機による方法によつた。欧米では速応励磁の効果の高い種々の新しい方法も用いられているが、わが国では火力発電所にまだそのような方式を採用した例もなく、また従来の方法でべつに痛痒を感じている向きもないようである。

第 2 号主発電機は 55,000 kW 64,700 kVA 3,600 rpm の水素冷却機を採用することとした。力率は米国の標準に倣つて 0.85 とした。近來わが国では静電蓄電器の普及や電力料金制度の影響によつて負荷の力率が改

善されたのと、電気事業者の方でも規定電圧保持や系統安定度向上のために調相設備を充実したので、火力の発電機は力率が 0.85 もあれば余裕しゃくしゃくである。

水素冷却機であるから二重定格とし、水素圧力 15 LB/in² において 64,700 kVA、力率 0.85 55,000 kW 水素圧力 0.5 LB/in² においては 57,800 kVA、力率 0.85 50,000 kW と仕様した。もちろん後者の場合において力率を 0.935 とし 55,000 kW 負荷することは差支えないわけである。

この程度のもなら発電機や汽機的设计にも無理がなく、また九州の電力系統の規模から見ても適当な単位容量であると考えられる。水素冷却採用による能率の向上にさらに拍車をかける意味において水素冷却器の冷却水に汽機の復水を用い、発電機損失による熱源で、復水の加熱を行う設計とした。

(2) 主回路方式

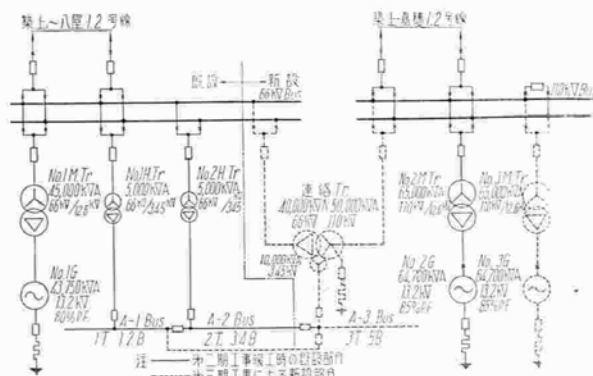
主回路方式は 4 図に示すとおりとした。築上発電所は 66 kV 系の Local Load を持ち、また 110 kV の九州の幹線にも連絡されねばならないので、発電機発生電圧のままで一応母線に結ぶ方式を採るべきであるとの主張もあつたが、種々の観点から検討の結果、経済的にも技術的にも、発電機を変圧器に直結する Unit System の方が優れているとの結論の下に 4 図の回路が採用されることになった。Unit System によるとしても、種々の回路があり得るのであるが、建設工事が少くとも 3 期に分けて行われるための時期のずれを考慮するとき、この回路方式が結局最も有利とされたのである。

発電機電圧の母線がないために所内変圧器およびその遮断器が高価なものとなつたのはやむを得なかつた。発電機 1 台毎に、その端子に、専属の所内変圧器を結びつける方法は、1 機 1 罐が単独に直結される場合にはよいが、築上のように併進運転が行われるシステムでは無理である。

連絡変圧器の 3 次巻線から 10,000 kVA の所内電源を取ることとしたのは、一つには建設費の節減をはかるためであるが、また一つには万一 66 kV 母線に母線事故の起つた場合などにも発電所が全停電しないことをねらつてゐる。

3 次巻線に 10,000 kVA の容量をもたせたのは、変圧器の設計上、これ以下の容量にすれば巻線の短絡強度上不都合が生ずるからであるが、あわせて 5,000 kVA 変圧器 2 台の中のいずれかを停止したい場合のために予備容量をもたせるためでもある。3 次巻線はまた所内高圧回路の遮断器の遮断耐量が 100 MVA であるため、短絡電流がこの値をこさないようにするためにとくにインピーダンスを大きく設計する必要がある、さらにまた他の 5,000 kVA 変圧器と一時的に並列する場合を考慮して、位相を合わせて置かなければならない。(JEC の標準結線では位相が合わない)

4 図の単線結線図は築上第 3 期工事竣工後の状態を示



4 図 築上発電所第 3 期工事
主回路単線結線図

Fig. 4. Schematic wiring diagram of main circuit in the third plan of Chikugo power station.

したものであるが、連絡用変圧器 50,000 kVA が設置されるのは第 3 期工事においてであるから、それまでの間は 110 kV 母線は 66 kV 母線に架空線で直接接続しておく計画である。すなわち第 2 号発電機直結の変圧器の結線を △—△ として使用し、築上嘉穂線も 66 kV で運転する。これは築上—嘉穂間にある田川炭田地区 (50 区域) に田川変電所 (仮称) を建設し、築上嘉穂線からこれに 60~66 kV の電力を供給して、同方面負荷の 60 化工事を促進することを目的とし、あわせて連絡用変圧器の設置を将来に延ばすことにより建設資金の節減を図つたものである。

築上第 3 期工事の竣工に伴い築上嘉穂線が 110 kV で運転を開始する直前に、田川変電所には 110 kV/66 kV の遮断変圧器を設置する計画である。

築上発電所の地位の重要性にかんがみ、築上嘉穂線には単相兼三相再閉路式高速度遮断器と搬送継電器とを装備して、不断送電と築上発電所所内電源の安定を図ることとした。

(3) 所内高圧回路方式

従来火力発電所には所内用発電機をおくことを定測とした。築上発電所も、工事再開当初の計画では、独立したタービン発電機 5,000~7,000 kW のもの 1 台を、第 2 期工事において設置することになっていた。電気事業再編成による日本発送電株式会社の解体の結果、築上発電所第 2 期工事は九州電力株式会社で当然行うこととなり、所内発電機設置の要否が再検討の俎上に上つた結果当初の計画を変更して所内用発電機は設置しないこととなつた。

所内用発電機の設置を不可とする理由は

- ① 所内用発電機を設置すれば、所内系統が著しく複雑化するための信頼度の低下が伴う。
- ② 所内用発電機を設置すれば、直接間接に建設費が増加し、運転保守費が増加し、発電所総合熱効率が低下する。結局、発電原価が高くなる。

等が主なものである。

また一方、所内用発電機を設置することにより得られる利点は

- ① 独立所内機に結ばれた負荷は、外部事故の影響を全く受けない。
- ② 所内機に結ばれた負荷は、系統周波数低下の場合も、これと無関係に全出力を出し得る。

等が主なものと考えられる。しかしながら外部事故の問題に関しては、九州における過去の実績に照してみてもなんら不安はなく、高速度遮断方式の普及によつて今後は現在よりもさらに改善されていくものと思う。また系統周波数低下の問題は、戦時中や終戦後数年はたしかに重要問題であつたけれども、著しい周波数低下が連日発生するが如きは決して許さるべきことではないのであつて、今後は電源増強計画の推進に伴つて、少くとも年々よい方向に進んでいくことは期待してよいと思う。なお周波数低下で火力発電所がまず行きづまるのは、ほとんど例外なく、給水ポンプの出力減退であるが、築上発電所の場合には給水ポンプに速度制御方式を採用するとともに、電源周波数低下も一応は考慮されているので、発電所全体的に見て、3～程度の周波数低下は、発電所出力にほとんど影響を与えない。

発電所が全出力で運転する場合には、2台の5,000 kVA 所内用変圧器はほとんど全負荷状態となり、連絡変圧器の三次の10,000 kVA には、約5,000 kVA の負荷がかかる筈である。すなわちすでに述べたように、連絡変圧器の三次は5,000 kVA 所内用変圧器の予備の役目を兼ねている訳である。

所内高圧回路のすべての遮断器は装甲型とし遮断容量は100 MVA に限定した。したがつて所内変圧器の並行運転は、特別の措置を講じないかぎり危険を伴う。

5図に所内高圧回路の単線結線図として、所内高圧回路のうち、1号母線関係の部分のみを例示した。他の部分はほぼ同様であるから割愛する。

220 V の給炭機母線は、名称はとも角、汽罐給炭機用電動発電機のほか、汽機の油ポンプ、その他低圧電動機のうち重要度の高いもののみに対する電源を供給するものであつて、この回路を独立させた理由は、当初の計画において所内発電機が設けられることになつていたので、これらの重要度の高い低圧負荷を所内発電機に掛けることができるようにする目的と、さらにまた、この独立した低圧系統に関しては、対地絶縁低下に対して特別に保修を良くする目的からであつた。

制御用電源である直流回路にはどの発電所でも検漏装置を設けて、保修に気をつけるが、交流220 V 回路は絶縁保持に対して全く顧られることなく、まれには二重接地事故を起し、そのために思ひぬ故障を誘発したりしているのが実情ではないかと思う。築上発電所では、所内発電機はおかないことになつたけれども、低圧の重要補助機に対する信頼度を高める意味において、この方式はやはり意義を存しているといえよう。

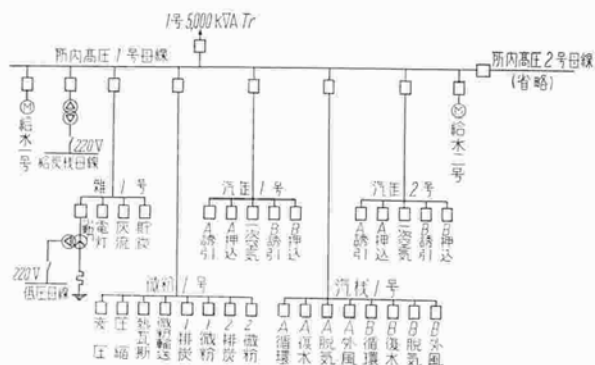
所内高圧回路の中性点の接地は5図に見るとおり、一般の低圧電源用としての500 kVA 小動力変圧器において行つた。所内高圧回路の完全な地絡保護を行うためには、この方式では、保護継電回路がやや複雑となるのであるが、築上発電所の場合には、5,000 kVA 所内変圧器の66 kV 側は、66 kV 系の絶好の中性点接地箇所となり得るので、66 kV 側を星形とし3,450 V 側を三角結線としたいために、上述のような方法を選んだのである。

所内高圧回路の地絡事故に対しては、もつとも思い切りの良い方法で臨んだ。すなわちあらゆる遮断器にCore Balance 型の零相変流器を設け、小勢力の接地継電器を介して、地絡事故発生次第躊躇なく自断せしめる方式をとつた。閃絡事故の大部分は地絡から始まるか、あるいは地絡を伴うものであるから、事故が拡大しないうちにしかも絶体に誤動作なく切離すためにはこの方法は効果的であると信ずる。

(4) 補機速度制御
汽罐補機速度制御は主として流体継手によつた。従来は巻線型の誘導電動機に金属抵抗器とコントローラを組合わせて行う速度制御方法が広く用いられたが、種々の欠点を有するので先進諸国ではあまり使われていないようである。流体継手は熱を放散せず、据付面積が小さく電気装置が著しく単純化でき、維持も簡単であり、近頃は信頼度も高いと見られるようになった。惜むらくは、効率は理論的に二次抵抗制御法と全く同一である。

汽機の補助機や給水ポンプ等は、設備の単純化のために、速度制御を行わないのが普通であるが、築上発電所では所内消費電力を節減する目的から、復水器循環水ポンプおよび汽罐給水ポンプも二次抵抗器による速度制御を行うこととした。

高圧プラントにおいては汽罐給水ポンプに要する電力が大きな割合を占めることとなり、築上発電所の場合においても全所内消費電力の約25%に達するから、これを速度制御することによつて得られる電力の節減は無視できない。現在の処は手動で速度制御を行つてゐるが、2期工事竣工までには、全給水ポンプを一斉にBailey Meter Co. の Presswre Controller を介して自動制御すべく計画中である。



5 図 所内高圧回路線結線図
Fig. 5. Wrling diagram of station high voltage circuit.

循環水ポンプに要する電力は給水ポンプに比べればやや少いが、これも定格速度のまま放置して弁による調整も行わないとすれば全所内用電力の約 20% に当る。で、速度制御の対象として一応は考慮する必要がある。そもそも冷却水量はある冷却水温度に対して決定されているのであるから、冬季において冷却水温度が設計温度より遙かに下つている場合には、水量調節を行うことが望ましいのは当然であるが、その場合のみならず一般にポンプの出力には相当の余裕が取つてあるから、条件の良いときには速度を落して所内電力の節約を図る方が有利である。給水ポンプの場合よりも循環水ポンプの場合の方が、速度制御がさらに有効であることは、両者の抵抗曲線の本質的相違から説明できるのであつて、循環水ポンプの水量調節をポンプの回転数によつて行う場合には、ポンプの理論出力は水量の 3 乗にほぼ比例して減少するとともに、回転数のいかにかわらずポンプは常に最高効率に近く運転することとなり、したがつて軸馬力は著しく減少する結果となるのである。

水量の調節はまず汽機の負荷の変動に応じて行うことはもちろんであるが、築上発電所の場合には潮位の干満の差が大きいため、自動的水量調整装置をもつて電動機の回転数を制御し、水量に対する水位の影響を除いて、水量調節の簡易化をはかつてゐる。

4. 機器の仕様と特長

(1) 主発電機

主発電機の仕様を略述すれば、2 表のとおりである。

2 表 主発電機の仕様
(※印は水素圧力 0.5LB/in² の場合)

	第 1 号主発電機	第 2 号主発電機
製 造 者	三菱電機	三菱電機
皮 相 出 力	43,750kVA	64,700kVA ※(58,800kVA)
有 効 出 力	35,000kW	55,000kW ※(50,000kVA)
零 力 率 出 力	36,000kVA	47,000kVA
力 率	0.80	0.85
電 圧	13,200V	13,200V
電 流	1,910A	2,830A
界 磁 電 流	480A	755A
相 数 周 波 数	3 相 60 $\sim$	3 相 60 $\sim$
回 転 数	3,600rpm	3,600rpm
結 線	星 形	星 形
接 地 法	抵抗接地	抵抗接地
冷 却 法	密閉循環型空気冷却	密閉循環型水素冷却
短 絡 比	0.67	0.75
消 火 装 置	炭酸ガス消火装置	消火装置の必要がない
自動電圧調整器	三菱 B J -30 型	三菱 B J -30 型

能 率	96.78%	97.78%
電 圧 変 動 率	42%	※37%
温 度 上 昇	固定子線輪 80°C 回転子線輪 90°C	固定子線輪 60°C 回転子線輪 85°C
抵 抗 値	固定子約 0.007 Ω (75°C) 回転子約 0.40 Ω (75°C)	固定子約 0.0048 Ω (75°C) 回転子約 0.277 Ω (75°C)
漏洩リアクタンス	13%	15%
同期リアクタンス	直軸159% 横軸155%	直軸153% 横軸149%
逆相リアクタンス	12%	13%
零相リアクタンス	6.5%	9%
飽和過渡リアクタンス	19%	21%
次過渡リアクタンス	直軸12% 横軸12%	直軸13% 横軸13%
電圧波形歪率	6%以下(無負荷)	6%以下(無負荷)
限 界 速 度	1,570rpm	1,500rpm
最大安全回転数	115%	115%
固 定 子 重 量	67t	100t
回 転 子 重 量	20t	26t
蓄 勢 輪 効 果	6,250kg-m ² 励磁機	11,000kg-m ² 励磁機
駆 動 法	主発電機直結	主発電機直結
型 式	補極付分巻閉鎖通風型	補極付分巻閉鎖通風型
励 磁 法	他励式	他励式
出 力	135kW	200kW
電 圧	250V	250V
励磁電圧	110V	110V
回 転 数	3,600rpm	3,600rpm
極 数	6 p 副励磁機	6 p 副励磁機
駆 動 法	主励磁機直結	主励磁機直結
型 式	補極付複巻閉鎖通風型	補極付複巻閉鎖通風型
励 磁 法	自励式	自励式
出 力	3 kW	3 kW
電 圧	110V	110V
回 転 数	3,600rpm	3,600rpm
極 数	4 p 空気冷却装置	4 p 水素冷却装置
型 式	横置表面冷却型	横置固定子殻内腔型
冷 却 水 温	30°C (海水)	32°C (淡水) と 32°C (復水)
冷 却 ガ ス 量	2,400m ³ /min (空気)	2,100m ³ /min (水素)
冷 却 水 量	320m ³ /h (海水)	150m ³ /h (淡水) 150m ³ /h (復水)

つぎに第 2 号発電機についてであるが、製造者が同じ三菱電機であるため、第 1 号発電機について述べたことは大体第 2 号発電機についても同様であるから重複を避けて、以下相違点について主に記すこととする。

①竣工の暁に本機がわが国における水素冷却式タービン発電機としての記録品となることはもちろんであるが、前に表示したとおり本機は二重定格であつて、水素圧力を常圧 0.5LB/in² で運転する場合の容量は58,800 kVA 50,000 kW (p.f.=0.85) であり、必要に応じて水素圧力を 15 LB/in² まで上昇することができ、この場合の定格出力は 64,700 kVA, 55,000 kW (p.f.=0.85) である。もつともこれは銘板記載の出力であつて、実際は水素圧力 15 LB/in² においては約 15% の容量増加が期待されるので銘板出力にはかなり余裕が残っていると考えられる。

②固定子殻は万一水素が機内で爆発を起すことがあつても安全なだけの強度を有しており、水素冷却器もこの殻内に収められている。水素冷却器は同容積の四つの部分に区分されており、その中の二つは冷却水に淡水を用い、他の二つは汽機の復水を通過せしめている。淡水といつてもその水質は汽機の復水と全く同一であるが、この方は同じ水が淡水冷却器と水素冷却器との間を繰返し循環する点が異つている。水素の冷却を復水のみによらず、淡水を併用しているのは、復水のみによつては水素の温度を所定の値まで下げることができないからである。水素の熱を奪つて温度の上昇した淡水は、淡水冷却器において海水により冷却される。汽機の復水は全部水素冷却器を通過せしめ、前述のように発電機損失の大半を、熱エネルギーとして復水中に回収するのであるが、夏季において復水温度が高い場合にも水素を冷却する効果に支障のないようにするために、復水も一応復水冷却器において海水により冷却することができるようになっている。しかし、必要以上に復水を冷却するのはムダであるから、復水冷却器に通ずる海水量は自由に調整できるように設計されている。

③補給用の水素は、機内のガス圧低下または水素純度低下の場合に自動的に水素ボンベから供給される。築上発電所はすぐ近くに純度の高い水素を多量に製造販売する酸素工場があるので、水素の入手には特別に恵まれている。水素を最初に機内に充填する際には、酸素との混合により可燃状態となるので何等かの方法によりその状態を回避しなければならないが、本機の場合には炭酸ガスによる置換法が採用されている。

④水素冷却機は空気冷却機に比らば、置換用炭酸ガス装置・水素制御装置・密封油処理制御装置等のために補助装置や配管が著しく複雑となる。これらの看視を完全にするために多数の計器や警報を備えるのはもちろん照光式系統盤を設けて弁 1 個の開閉状態にいたるまで、主配電盤室から看視できるようにしている。

⑤集電環や励磁機など、主発電機の軸受から外側にある部分一切は空気冷却式となつてをり、これは循環通風によらず、室内の空気を濾過器を経て供給する構造によつている。主発電機内の水素の循環は回転子の両端部に取付けられたファンによる自己通風式であつて、冷却

器が固定子殻内にあること以外は通風法に特異な点はない。固定子鉄心枠の弾性的支持装置は、構造的には第 1 号機のものとは全く異り、狭い殻内においてきわめて巧妙にかつ頑丈に鉄心枠が支持されているが、原理的にはなんら選ぶところはない。

(2) 主 変 圧 器

概略の仕様は 3 表のとおりである。

3 表

	第 1 号主変圧器	第 2 号主変圧器
製 造 者	三菱電機	三菱電機
容 量	45,000kVA	65,000kVA
結 線	△—Y	△—Y
電 圧	12.6kV/63-66-69kV	12.6kV/105-110-115 ¹ V
相 数 周 波 数	3 相 60Hz	3 相 60Hz
鉄 心 型	外鉄型	外鉄型
冷 却 法	窒素封入屋外自冷型	窒素封入屋外フォームフィット型

第 1 号主変圧器は外鉄型であるため横倒しとして貨車輸送を行うことができたので、現場で組立の際には内部は点検の必要さえなく甚だ便利であつた。この容量のものまでは、油を抜いて窒素漬として輸送すれば、内部は完全に組立てたままで貨車で輸送することができる。

第 2 号主要変圧器は、送油送風式であるうえ、外鉄型特有のいわゆるフォームフィット構造であり、さらに高圧側は中性点絶縁低下方式を採用したので製品重量および絶縁油量は相当に圧縮できている訳である。

(3) 特高遮断器関係

既設の 60 kV 母線に結ばれた 5 組の遮断器はいずれも三菱電機の V 型と称する碍子型遮断器で、遮断容量 1,500 MVA のものである。他力消弧作用を加味した自力消弧型であつて電弧時間が電流の大小にかかわらずきわめて短かくかつほとんど一定という優れた性能をもっている。油流が電弧の方向と並行であるため消弧作用が過激でなく、異常電圧や再点弧等の特性が優秀であることもまた特長としているようである。投入は 4.5 kg/cm² の圧縮空気操作によつている。

将来の 110kV 母線に結ばれる 4 組の遮断器のうち、発電機用と母線 Bus Tie 用は普通速度の 115 kV 碍子型遮断器であるが、送電線用の 2 組は 115 kV 高速度再閉路用碍子型遮断器であつて、単相再閉路も三相再閉路も可能なものであるが、いずれもまだ注文先未定である。この高速度再閉路用遮断器には、搬送距離継電器または位相比較式搬送継電器を並用して、近距離の故障に対しては迅速に遮断再閉路して送電継続のまま故障電弧の消滅を試みようとするのであるが、遮断速度としては故障発生の際より消弧までの時間に 6ms 以下を要求している。

遮断容量は普通速度のものは 1,500 MVA、高速度の

ものは 2,000 MVA と指定した。

(4) 補機用電動機

補機用電動機のうち特色のあるものはミル用、給水ポンプ用・汽機冷却水ポンプ用、等の電動機である。

ミル用電動機は出力 380 HP のもの 6 台であつて、そのうちの 3 台はすでに運転中、残りの 3 台は 2 期工事で現在増設中で 46 極同期電動機である。前者の 3 台は Super Synchronous Motor と称せられて、相当以前からセメント工場で広く用いられているが火力発電所に採用したのは当所が最初のものである。固定子回転起動型であつて、起動は機械的負荷に連結された回転子（界磁）は静止のまま固定子が誘導電動機として起動し、界磁電流が供給されて電動機は機械的に無負荷のまま同期化せられ、その後固定子側に徐々にブレーキをかけることによつて回転子すなわち負荷の起動を行う原理のものであつて、起動停止は押釦一つの操作で後は全く自動的に行われるようになってゐる。

給水ポンプ用電動機は高速度大容量機である点が特長であつて、現在運転中のもの 2 台は 3,600 rpm 1,100 HP 閉鎖通風巻線型誘導電動機である。増設中の 2 台も同様である。4 台とも速度制御を行うので、前者 2 台は金属抵抗器を、後者 2 台は液体抵抗器を付属している。

汽機循環水ポンプ用電動機第 1 号汽機用 2 台、第 2 号汽機用 2 台、計 4 台は築上発電所唯一の立軸型の電動機で、22 極 400 HP 巻線型の誘導電動機である。第 1 号汽機用の 2 台は金属抵抗器により、第 2 号汽機用の 2 台は液体抵抗器によつてそれぞれ速度制御を行うものである。

以上のほか、新設の第 3・4 号汽機には押込送風機に Vane Control を採用したので 2 段速度の誘導電動機を使用することとなつており、微粉炭給炭機各 4 台には直流電動機を使用しワードレオナード式速度制御を行う計画である。

ウ. 運 転 実 績

以上築上発電所の設備のあらましと電気設備全般にわたつて一通り説明したのであるが、最後に、電気設備の実際の運転成績について報告する。

電気設備については、工場立会試験、据付後の予備試験、公式試験、性能試験等の諸試験および発電所試運転以来今日まで 6 カ月以上の実地運転を経て、ほぼあますところなくその性能が明らかとなつてゐる訳であるが、一言をもつて要約すれば、いずれも期待に反せずまことに満足な成績を示した。

ここに性能試験というのは、本年 2~3 月、築上発電所において、電力技術研究所、三菱造船株式会社、三菱電機株式会社および九州電力株式会社の協同により主として汽機と発電機の性能を対象として行われた技術的試験であつて、汽機の調速器試験、発電機の各種リアクタンス測定、負荷遮断時の自動電圧調整器の作動の試験、各部振動の試験、単相再閉路による電力動揺試験、主要

機器および電路の誘電体力率測定や危急継電装置の動作試験、等を含むものである。

しかしながらここでは、紙面を徒らに費すことを避け主発電機のみについて、若干その運転実績に触れる事とし、他の回転機・変圧器・遮断器・継電器等については大して技術的興味もないので、単に「いずれも優秀な成績であつた」ことを報告するにとどめる。

さて主発電機は設備概要に示すとおり、三菱電機製 43,750 kVA, 3,000 kW, 3,600 rpm の三相交流タービン発電機であつて、本年 1 月据付を完了し、3 月 15 日監督官庁の検査に合格して仮使用認可をうけて以来今日まで、異常なく運転を継続している。

タービン発電機で問題になるのは、多くの場合、振動と温度上昇であるが、今回はこれらに関しても全くなんらのトラブルなく、物足りないくらい順調に営業運転に入つてしまつた。

まず本機の温度上昇の実績について述べると、固定子線輪各部の温度上昇に大きな余裕があるのは、一般のタービン発電機の場合と同様である。これは固定子の場合には、温度上昇の規格値が Dimensi n を決定する要素とならないためであつて当然であるが、回転子線輪の温度上昇にほとんど余裕がないのは、設計が確実であつたことを示すものというべく、このことは、各出力各力率下における励磁電流、各種リアクタンス等の実測値が設計値とほとんど一致していることによつても裏書されてゐるといへよう。

その他の各部の温度、たとえば、循環空気温度分布、固定子線輪端の温度、励磁機まわりの温度、集電環と刷子の温度、各軸受の温度等すべて妥当な値を示している。もつとも困難な問題の一つとされる振動については前に述べた性能試験において、あらゆる条件下における各部の振動の実測を行つて十分これを確かめた。その結果はいずれの場合も成績良好であつて、回転子軸材が各部均質であること、回転子全体の幾何学的バランスが良好であること、温度上昇による不等膨張のないことすなわち溝内や線輪端保持環内部の構造に無理のないこと、固定子の弾性支持装置が効果的に作用していること、工場における Baking Balance が十分完全に行われてゐること、等をよく物語つてゐるものと解される。

振動測定にあたつては、回転数と振動の関係を初めとして、五つの場合における測定を行つたのであるが、そのうちの一例として、回転子線輪温度と振動の関係についての測定結果をつぎに示すことにしよう（6 図参照）。

自動電圧調整器 BJ-30 型は横流補償器付抵抗型緩急二動作式であるが、その機能は優秀で、たとえば発電機を全負荷から突然無負荷にした場合でも、端子電圧の上昇を 10% 以内に押えることが容易であつた。

この発電機は空気冷却式 3,600 rpm 発電機としてはほとんど限界の容量に達しており、したがつて短絡比が小さいので、過渡安定度を高めることが自動電圧調整器

回転数 3,600 rpm

水平
垂直 軸方向
単位 $\frac{1}{100}$ mm

時間	高圧前部	高-低圧部	発電機 前 後	励磁機	副励磁機	温度 Rotor Stator	短絡電流
2月3日22時50分	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0.2 \end{array}$ 0.8	$\begin{array}{c} 0.8 \\ \text{└} 0.5 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0.5 \end{array}$ 1.5	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0 \end{array}$ 2.2	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 1 \end{array}$ 1.5	48 °C 50 °C	600A
23時30分	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0.2 \end{array}$ 0.8	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 1 \end{array}$ 0	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0.5 \end{array}$ 1	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0.5 \end{array}$ 2	$\begin{array}{c} 1 \\ \text{└} 1 \end{array}$ 0.3	62 64	1,000A
2月4日8時00分	$\begin{array}{c} 0.8 \\ \text{└} 0.3 \end{array}$ 0.5	$\begin{array}{c} 0.8 \\ \text{└} 1.5 \end{array}$ 0.2	$\begin{array}{c} 0.2 \\ \text{└} 1 \end{array}$ 2	$\begin{array}{c} 0.3 \\ \text{└} 0 \end{array}$ 2	$\begin{array}{c} 1.2 \\ \text{└} 1 \end{array}$ 0.3	83 76	1,650A
14時30分	$\begin{array}{c} 0.2 \\ \text{└} 0.8 \end{array}$ 0.8	$\begin{array}{c} 1 \\ \text{└} 0.5 \end{array}$ 0.2	$\begin{array}{c} 0.2 \\ \text{└} 0.5 \end{array}$ 1.5	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0 \end{array}$ 2	$\begin{array}{c} 1 \\ \text{└} 0.5 \end{array}$ 0.5	81 84	1,300A
20時50分	$\begin{array}{c} 1 \\ \text{└} 0.2 \end{array}$ 0.8	$\begin{array}{c} 1 \\ \text{└} 1.5 \end{array}$ 0.2	$\begin{array}{c} 0.5 \\ \text{└} 0.2 \end{array}$ 2	$\begin{array}{c} 0.8 \\ \text{└} 0.2 \end{array}$ 2.3	$\begin{array}{c} 1 \\ \text{└} 1 \end{array}$ 1.2	75 75	1,950A

(注：本試験は発電機乾燥運転中に行つたものである)

6 図 回転子温度-振動特性 (第1号主発電機)

Fig. 6. Temperature vibration characteristics of rotor.

の一つの任務であるが、この BJ-30 型ならば、ある程度の効果を期待できるのは確かである。もつとも速応励磁によつて本格的に過渡安定度の向上を図ろうとするには、自働電圧調整器よりもむしろ励磁方法自体を本質的にかえる必要があり、また一方、汽機と調速機の性能も一段格上げすることが必要であつて、遠心力原理の調速機を用いている限りはいずれにしても大した期待はもてない訳である。なお BJ-30 型自働電圧調整器は、今日までの使用実績から見て、動作不確実や誤動作等の不安はまずなく、耐久性の点においても永年の使用に十分耐えるものと思われる。

以上で簡単ながら運転実績に関する報告を終りたい。

4. む す び

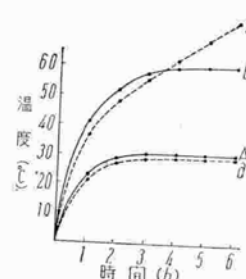
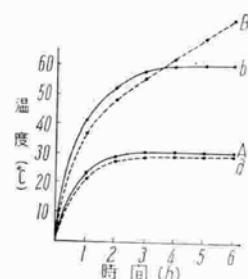
乱筆を弄して長々と勝手なことを述べたが、多少とも読者のご参考となることがあつたとすれば望外の幸である。築上発電所はわが国の火力発電設備を世界的水準にまで高めるための Pilot Station ではあるが、決して最高の設計と最良の設備を誇るに足るべき榮えではない。江湖の諸兄のご批判とご指導を仰いで、他日よりよい発電所となすべく念願しつつ擱筆する次第である。

正 誤

Vol. 26 No. 7 「船用ウインチのウォームギヤー」
16頁 11 図を下図のように訂正いたします。

正

誤



高 温 高 圧 ボ イ ラ に つ い て

新三菱重工業株式会社神戸造船所

中 野 三 郎

High Temperature and High Pressure Boilers

By Saburo NAKANO

Kobe Dockyard New Mitsubishi Heavy Industry Company Ltd.

1. ま え が き

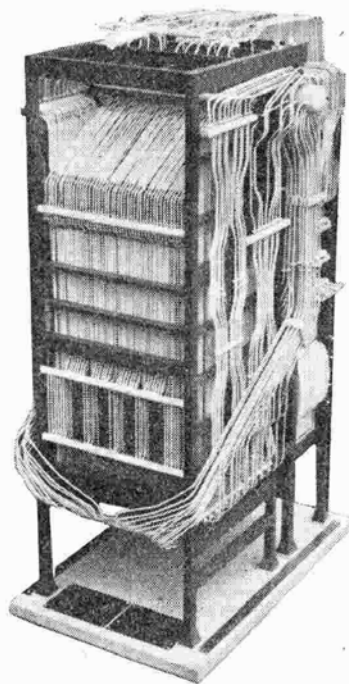
敗戦後諸外国との交渉が密接となるにしたがつてわが国の火力界の位置というものが認識されて来たが、戦時中の空白時代の遅れは覆うべくもない。一日も早く先進国の技術水準に到達するには並大抵のことではできない。他の技術面におけると同様に、ボイラの高温高圧への発展過程にも多岐にわたる障害が潜在しているのである。これらがボイラメーカーにとつて悩みとでも言うべきものであろうか。

当所は、外国技術導入の一環として、世界一流のボイラメーカーとして名声の高い米国 Combustion Engineering-Superheater Inc 社と Sub-Licency 契約を結んだ。そして目下関西電力尼崎第2発電所向第10, 11号罐、九州電力築上発電所向第3, 4号罐、中部電力名港発電所向第8号罐等はいずれもCE社の技術を採用入れて鋭意設計製作中であるが、ボイラに密接な関連を持つ諸種の条件が米国のそれと甚だしく相違しているので、いかにうまく消化していくかということに真剣な努力が払われている次第である。

すでに当所は高温高圧へわが国最初の試みとして、九州電力築上発電所向として蒸汽圧力 $65 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 、蒸汽温度 485°C という画期的ボイラ2基の建設を完成し、目下順調に営業運転が行われつつあることはご承知のとおりで、盛んに外国技術が導入されている今日回顧して見ると、全く純国産の感を深くするのであつて、この点は高く評価して戴きたいのである。(1図参照)

2. 当所製高温高圧ボイラの概要

高温高圧ボイラとして当所により完成または製作中のものは、築上発電所向4基と名港発電所向1基であつてこれらの要目を1表に示す。



1 図 築上発電所向第1, 2号罐模型

Fig. 1 Model boiler for the Chikujō power station.

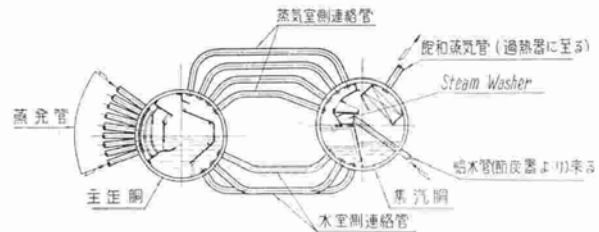
1 表 高温高压ボイラ要目

Table 1. Specification of high temperature high pressure boilers.

要 目	単 位	築上発電所				名港発電所	
		1,2号	最大	3,4号	最大	8号	最大
		経済	連続	経済	連続	経済	連続
罐 型 式		単胴輻射		2胴輻射		2胴輻射	
蒸気圧力(罐内)	kg/cm ² G	65	65	65	65	65.8	67.0
〃 (過熱器出口)	〃	62.24	61.24	62.8	62.0	63.0	63.0
蒸 汽 温 度 (過熱器出口)	°C	485	485	485	485	488	488
蒸 発 量	T/H	120	140	120	140	210	250
給 水 温 度 (節炭器入口)	°C	200	200	200	200	195	195
空 気 温 度 (空気予熱器入口)	°C	20	20	20	20	20	20
保 証 効 率 (湿炭低位)	%	885	—	89.2	—	89.45	—
通 風 方 式		平衡通風		平衡通風		平衡通風	
燃 焼 方 式		中央貯蔵式		中央貯蔵式		単 位	
バ ー ナ 型 式		固定式R型		チルチング R 型		タンゼンシ ヤル T 型	
石炭の性質							
高位発熱量	ncal/kg			4800		5500	
固定炭素	%			32.93		33.0	
揮 発 分	%			29.0		35.0	
灰 分	%			34.88		29.0	
固有水分	%			3.19		3.0	
灰の軟化温度	°C			1300		1200	
備 考		運 転 中		製 作 中		製 作 中	

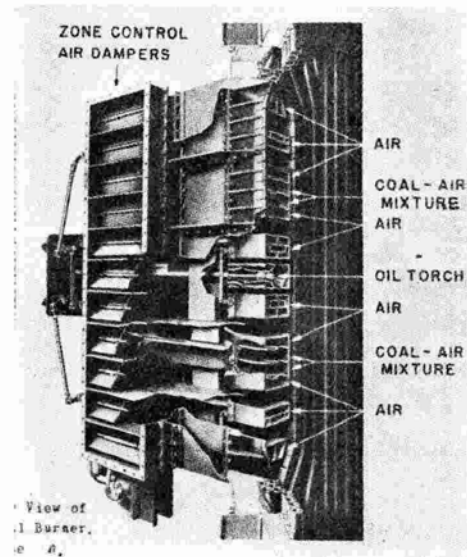
ア. 築上発電所向ボイラの特長

すでに完成した第 1, 2 号罐は単胴輻射型であつて、燃焼室の四周は裸管(クリープリミットの高い住友製 HCO 鋼管を使用)を互に相接して配列した冷却壁をもつて囲み、燃焼ガスの輻射熱を有効に吸収して蒸発の大部分を受持たせたものである。この罐型式はわが国最初のものであつて、しかも運転の結果計画どおりの熱吸収が行われておりその性能を遺憾なく発揮している。過熱器は第 1 次および第 2 次に分け、第 1 次過熱器を通るガス量の一部をバイパスせしめることによつて、過熱蒸気温度の調節を可能ならしめている。第 2 次過熱器は燃焼室を出た高温ガスに曝され、輻射過熱器の特性を持たせ罐負荷に対して蒸気温度の変化を最少限におさえている。焼損防止のためには、耐熱性の住友製 HCM 鋼管を使用していることはもちろんであるが、伝熱効率を犠牲として敢えて蒸気とガスとを並行流とした。過熱管と出口管寄との接続は、従来のエキスパンド構造では抜出す恐れがあるので、管寄に短いニップルを溶接して取付ておいて、過熱管とは芋継ぎ現場溶接を行い、Induction Heating による局部焼鈍を行つた。節炭器は連続コイルとし漏洩事故の原因となるフランジ接手を極力少くし高温高压ボイラについて・中野



2 図 Steam washer を装備せる罐胴内部構造

Fig. 2. Internal construction of boiler drum equipped with steam washer.



3 図 タンゼンシャルバーナの構造図

Fig. 3. Construction of tangential burner.

た。空気予熱器は普通の鋼板型である。

第 3, 4 号罐の特長は C E 社の技術を取り入れた点である。すなわち第 1, 2 号罐では主罐胴の上に小口径の水分離胴を備え汽水分離を行つていたに対し、第 3, 4 号罐では主罐胴の外に大口径の集汽胴を設けこれに備えた Steam Washer にて、主罐胴から導かれる煮つまつた罐水を多少共伴つた飽和蒸気を清浄な給水にて洗汽するようにしたもので、蒸気純度の向上を期している。(2 図参照) 微粉炭バーナは第 1, 2 号罐では固定式 R バーナであるが、第 3, 4 号罐ではこれを上下に角度を変え得る構造に改良し、蒸気温度の調節を有効ならしめた。その他細部の構造はいたる所 C E 社の技術を取り入れており、性能の向上を計つている。さらに近く米国より Vulcan 式自動煤吹装置および Bailey 式自動燃焼装置が輸入され取付けることになつたので、これらの成果は大いに期待されている。

イ. 名港発電所向ボイラの特長

このボイラはわが国最初のしかも最大の Unit System として、50,000/55,000 kW ターボ発電機と組合されるもので、最大の容量と、最新式の罐型式とを誇るもので

ある。これが採用に当つては、ボイラの利用率がターボ発電機のそれに比適することが認められた結果であつて、予備罐の必要なく建設費の軽減に大いに資する所がある。型式は二胴輻射型であつて Steam Washer を持った集汽胴を備えている。

さらに大きな特長としては、燃焼室の各四隅に縦に4本の微粉炭バーナを備え、燃焼室中心付近に小さな渦流を画くように、バーナの噴射角度を採っている。燃焼は完全に行われると同時に炉壁冷却管に有効に輻射熱を与えることができるのである。しかもこれらのバーナチップは、蒸汽温度に関連して自動的に、上下各3度角度を変えることができ、蒸汽温度の調節を行うようになっている。(3図参照) 燃焼室天井部には Utiliscop を取付け、罐前にてテレビジョンにより燃焼状態を絶えず監視し得るようにした。この罐の大きさは7階建のビルに相当し、長い管類の熱膨脹が問題となるので、罐全体は鉄骨の頂部から吊下げた構造とし膨脹による変形を一樣にした。炉壁の保温材は、従来の耐火材や断熱材を使つていたのでは非常に重量がかさむので、米国より輸入の軽量保温材を外部から塗り込む式を採用した。運転に当つては Unit System として、発電機負荷に追隨して行くために、すべてを自動調整にて行うことになっており、最新式プラントとしてその成果は大いに注目値する。

3. 高温高压化の諸問題

ア. 技術導入に当つて

米国と日本の石炭の品質の相違は、ボイラの心臓が燃焼室にあることを思えば、宿命的な問題となる。日本の石炭のことを一番良く知っているのは日本人でしかあり得ない。まして燃焼の問題は理論よりもむしろ経験に依存するとあつては益々難しいことである。日本炭で一番やつかいなのは灰分の多いことであつて、これがボイラの伝熱面を汚損するばかりでなく、甚だしきに至つては灰が伝熱面に詰つてしまい、燃焼ガスが通らなくなることさえある。わが国のボイラで利用率が低い主要な原因ともなっているのである。灰を吹飛すのに煤吹というものがあるが、高温部に使用される煤吹はどれも動かなくなつて長期使用に耐えなかつた。それで煤吹というのは始めの内は作動していてもすぐ動かなくなるものだと諦めるより仕方がなかつた。所がわれわれ程切実な問題で有り得ない米国では、高温部には Retractable type なるものが立派に実用されている。これがボイラの利用率の向上に大いに役立つことを思えば、設備費が多少かさむことは問題でなくなるのである。案外肝心なものを等閑に付していたように思われる。米国の設計では一見ボイラの補修のことを考えていないように思われる。一方従来われわれの考え方で行くと補修の便を考慮して、至る所に取はずし自在のフランジ接手や、カバー類を付しておくのが定石であつた。所が肝心の補修の

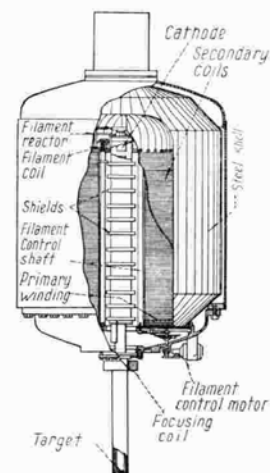
対象に考えていた部分よりも遙かに早期にフランジ接手やカバー類のバッキン部の漏洩が事故の因となつて手を焼いている始末である。米国ではこんな不安な個所は大胆に溶接で Seal してしまつている。これらは罐内部の状態が判らなくて不安だろつと思われるが、それにはちゃんと必要な個所には試験片のようなものが挿入してあつてこれを取外して見るだけで罐内部の診断をするのである。罐内部の掃除にしてもわざわざ蓋を開けてチューブクリーナを通したりする必要はない。酸洗いで簡単に短時日で処理しているのである。高温高压ともなればボイラに対する考え方を変えねばならぬ訳である。

もう一つ面倒なことは日本に地震が多いことである。高温高压化されるにしたがつて Unit は大きくなるし、罐水循環を良好にするためには、高ヘッドのボイラとなることは止むを得ない。何千トンもあるような重量物を吊下げる鉄骨は、米国のようなスマートな形になし得ない所に悩みがある。

このほかにも技術導入に当つて再検討を要する問題は枚挙に暇がないほどで、これこそ過渡期における命題であると心得て真剣に取り組んでいる次第である。

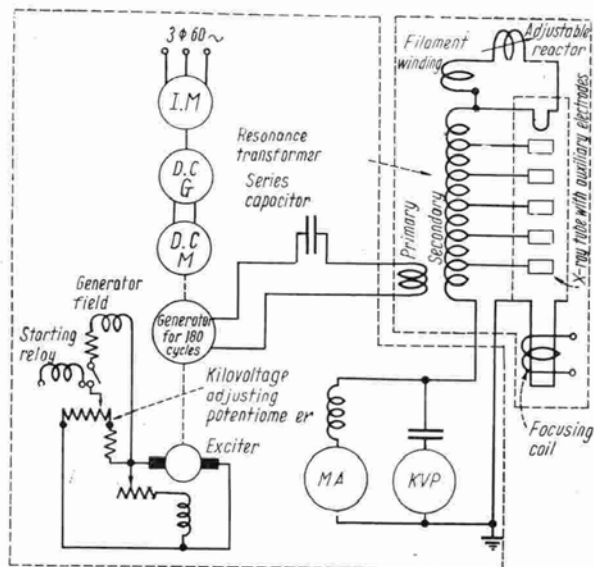
イ. 設備の改善

高温高压ボイラとなると罐胴以外は夥しい管類であつて、管曲げ工事が相当大きな仕事となつてくる。工場設備も必然的にこれに合致した形態を採らざるを得なくなる。罐胴の厚みも3~4インチともなると、すでに従来の30万V X線装置では溶接部の検査が困難となる。当所はすでにこれに備えて米国 General Electric International Co. から100万V X線装置を輸入し目下盛んに使つている。本体は4図に示されているように円筒形鋼製タンクの中に Resonant type の変圧器と、この中央に Multi-Section Self-Rectifying type の X Ray Tube が設けてある。Tube は約1/3はタンクの外部に出ており X Ray は Tube の先端からあらゆる方向

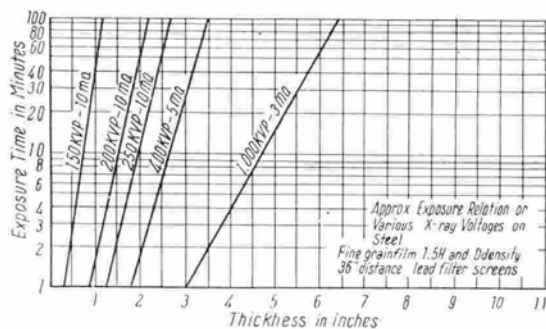


4 図 100万V X線装置本体

Fig. 4. One million volt x ray apparatus.



5 図 X-Ray装置結線図
Fig. 5. Wiring diagram of X ray apparatus.

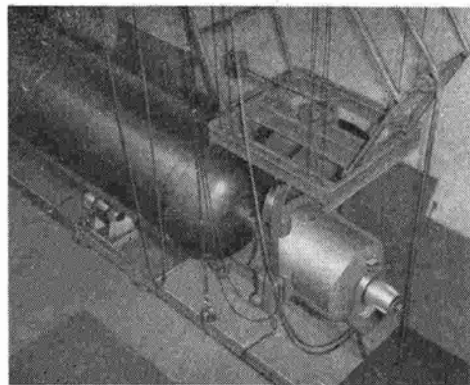


6 図 鋼板厚みに対する露出時間の関係線図
Fig. 6. Curves showing the relation between the thickness of steel plate and exposure time.

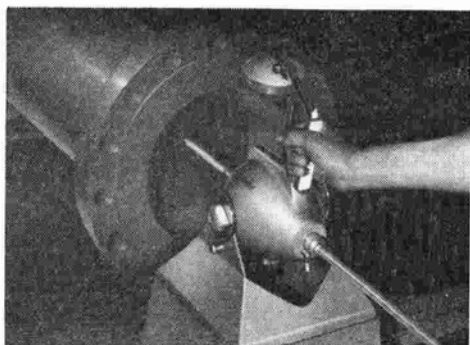
に放射される。タンクの内部には絶縁体として Freon Gas を使用している。またこの装置は Focusing Coil を備えていて Focus の大きさを自由に変えることができるほか、調整を行う制御盤、Freon Gas の温度を調節する装置を備えている。なお使用電源の 220 V 3 相 60 〃を ± 0.2 〃以内に調整するに必要な直流電動機や Thyatron Tube を装備しており、この自動周波数調整装置を有する特殊な電源設備は三菱電機の手をわずらわして完成したものであつて、その結線を 5 図に示している。(この装置は 60 ± 0.2 〃以内でなければ Resonance しない)

本装置の性能を他の X 線装置と比較して見ると 6 図のようになる。たとえば 3 インチ鋼板で 1,000 kVp 3 mA では放射時間がわずか 10 分位であるが 40 kVp 5 mA では約 30 分要す。さらに本装置では鋼の円周接手溶接を 1 度の放射で同時に検査可能であり甚だ便利である。この状況を示したのが 7 図である。

高温高压ボイラについて・中野



7 図 100万V X線装置による罐胴検査状況
Fig. 7. Testing a boiler drum with X ray apparatus.



8 図 Isotope によるフランジ部検査状況
Fig. 8. Testing a flange by using isotope.

主蒸汽管等の小口径の円周接手溶接は、今後益々多くなるのでこれらの検査には Isotope を使用する。その検査中の状況を 8 図に示している。Isotope は Co を原子炉内で放射能の性質を有せしめたもので、それを Cobalt-60 と名付けられている。Cobalt-60 は常時 100 万 V の X 線よりもさらに波長の短かいすなわち透過力の大きな γ 線 (Cobalt-60 から放射している γ 線は 150 万 V の X 線と大体等しい波長を有している) を放射しているが、その放射能力は永久的なものではなく、5 年 4 カ月でその能力は半減する。この Cobalt-60 はわが国において溶接検査に使用した最初のもので、英国 M. Falk Co. を経て輸入されたものである。

今後は工数節減の面から機械溶接が適用されねばならないが、まだその域に達していない。さらに現場溶接の激増の傾向にあるので、これらの簡易化も研究されねばならない。

4. む す び

今日におけるわが国火力界の実態は、まさに大きく発展しようとする胎動期にあつて、幾多の障壁は予想されるが、高温高压化への進歩はあらゆる技術が同調し総合されて始めて目的が達成されるものであることを痛感されるのであつて、各位のご協力を願うや切なるものがある。

九州電力株式会社 築上発電所納 35,000 kW 蒸気タービン

三菱造船株式会社

津 田 鐵 彌

35,000 kW Steam Turbine for Chikujo Power Station

By Tetsuya TSUDA

Mitsubishi Dockyard

1. ま え が き

三菱造船株式会社長崎造船所が九州電力株式会社築上発電所へ納入のため製作した蒸気タービンは、3,600回転機としてはわが国で最大出力のものであり、かつまた使用蒸気の高圧高温である点でもわが国において正しく画期的なものである。

このタービン装置の設計製作に当たりとくに考慮した点は高圧タービン車室の構造およびその材質・グラッドパッキン復水器の拡管・高圧給水加熱器および脱気器の構造・スラストエマーゼンシー装置等である。

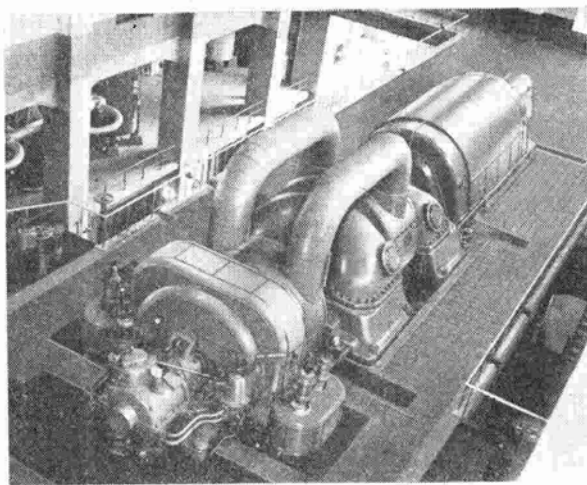
高速回転機(3,600・3,000 rpm)と低速回転機(1,800・1,500 rpm)ではタービンや発電機の重量に格段の相違がありまた製作費の面からも当然前者を選択すべき

で、すでに米国では、125,000 kW のものが製作され、わが国においても今後は 60,000 kW 以上のものが要求されるようになるものと思われている。当所においてはすでに過去において 1 表に示すとおり 30,000 kW 以上の高速回転機を製作し、いずれも当時類例が少なく、技術の優秀性を遺憾なく発揮したものであるが、さらにその後研鑽に努め現在では低圧排気二流の場合 60,000 kW 三流の場合 90,000 kW をも製作可能である。

1 表 当所における高速回転スチーム
タービン製作実績

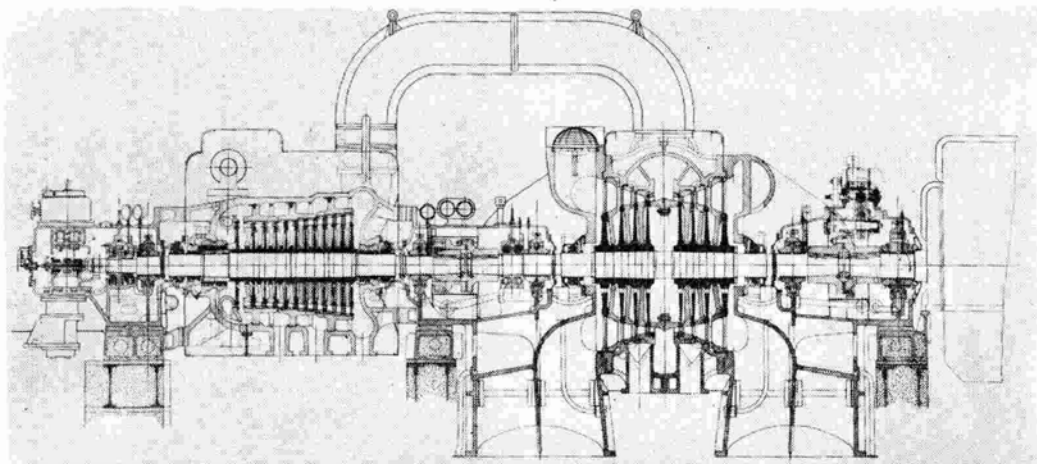
Table. 1. List of high speed steam turbines
manufactured or under construction in
nagasaki engine works.

納入先	台数	最大出力 kW	回転数	型式	蒸気圧力	蒸気温度 °C	竣工
九州電力戸畑発電所	1	53,000	3,000	2 汽筒複流型	40	435	昭和13年3月
満洲電業奉天発電所	2	53,000	3,000	"	33	385	昭和15年12月
南満洲鉄道撫順炭礦	3	50,000	3,000	2 汽筒複流型	25	400	昭和12年2月
九州電力相ノ浦発電所	2	30,000	3,600	2 汽筒複流型	40	450	昭和14年5月
中国電力小野田発電所	2	30,000	3,600	"	40	435	昭和18年5月
九州電力築上発電所	1	35,000	3,600	"	57	470	昭和26年7月
" "	1	55,000	3,600	"	60	482	製作中
" 相浦発電所	1	55,000	3,600	"	60	482	"
中国電力小野田発電所	1	35,000	3,600	"	60	485	"



1 図

Fig. 1. General view of turbo-generator.



2 図 タービン組立断面図
Fig. 2. Sectional arrangement of steam turbine.

1. 蒸汽タービン

・ア. 主要項目 (2図参照)

型式	長崎衝動式2汽笛複排汽型
最大連続出力	35,000 kW
経済出力	30,000 kW
回転数	3,600 rpm
蒸汽圧力 (調速弁前)	57 atü
蒸汽温度 (//)	470 °C
真空度 (経済出力冷却水温 22 °C の場合)	725 mm Hg
抽気段数	4

イ. 車室

高压車室の構造は高压高温蒸汽を使用するため特別の考慮が払われている。

すなわちノズル筐は車室と別体として4個に分け別々に車室に溶接し、また材質は車室とともに2表に示すとおり Cr 1% Mo 0.5% を含む特殊鋼を使用している。

車室の形状については熱変形を防止した铸造を容易にするためできるだけ簡単なものとし、さらに起動の際フランジ部の内外側の温度差に基因する熱応力が大きくなることを防止するためフランジに蒸汽加熱用穴をあけている。

またボルト加熱用の溝も設け、フランジ・ボルトとも一様に加熱されるようにしている。

低压車室は排気室上部に大気放出口をつけたほか従来のものと相違はない。

ウ. 翼および翼車

翼の材質は従来と同じく 13Cr 不銹鋼であるが、高压高温タービンの実績に鑑み高压第一段は翼と縁押を別個とせず一体としたいいわゆる棚型翼を使用している。他はすべて普通の合成翼を使用しているが低压最終段のみに捻り翼を使用している。

2 表 スチームタービン各部の材質一覧表

Table. 2. Material list of steam turbine & condenser.

用途	材質	標準規格			製作所
		抗張力 kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸 %	
高压車室	Cr.Mo 鑄鋼	>55	>35	>18	長崎製鋼所
低压車室	Fc 19	>19			長崎造船所
翼車	高压 1~5段 Ni.Cr.Mo 鋼	>80	>65	>16	長崎製鋼所
	低压 1~4段				
	高压 6~12段 Ni 鋼	>63	>38	>17	"
心	棒 Ni 鋼	>60	>40	>20	日本製鋼
翼と翼抑え	不銹鋼	>60	>40	>25	日本特殊鋼
ノズル	削出式 "	>75	>55	>17	"
	鑄込式 Ni 鋼	>48	>28	>25	日本冶金
仕切板	1~4 Cr.NO 鑄鋼	>55	>35	>18	長崎造船所
	5.6 SC 41	41~55		>20	"
	7~12 FC 23	>23			"
	低压 1~4 Fc 19	>19			"
衛帯フィン	高压 純 Ni	L >36 A >34		L44 A29	新扶桑
	低压 真鍮	>28		50	荒井伸鋼
復水器	管板 ネーバルブラ ス	>41	<30	>20	英国 Eggar Forester & Verner Ltd
	管 アルブラック	44~50	<29	30~55	新扶桑
主蒸汽管	H.C.M	40~56		>25	"

翼車は高低圧とも組立式で各段はその温度および応力に応じてそれぞれ材質を選択している。

また翼および翼車とも強度のみでなく振動に対しても十分考慮を払い万全を期している。

エ. 車室パッキン

車室パッキンにはラビリンスフィンのほかに水封グラインドを併用し高压タービン用フィンはニッケル製とし発条支持式としている。

水封グランド管は熱膨脹による無理のないようにとくに考慮してある。

水封グランドは約 600 rpm から使用できる。

オ. 主 塞 止 弁

主塞止弁は油圧により開閉するように計画し高圧蒸汽を使用するにかかわらず軽く操作することができる。

この操縦台に主塞止弁開閉装置のほか、手動危急卸、油圧低下非常装置等も併せ装備されている。

カ. 非 常 装 置

本タービンはつぎのとおり各種の非常装置を装備する

(1) 自動および手動危急蒸汽遮断装置

危急调速器の作動により主塞止弁および调速弁を別個に閉鎖させる装置で手動によつても作動することができる。

この装置が作動したときは接触器A(3図)が閉じO CB を開路して発電機を並列から開放するようにしている。

(2) 電氣的危急蒸汽遮断装置

発電機に事故があつた場合は差動継電器が働いて接触器Bが閉じソレノイドが働き前項の場合と同様となる。

(3) スラストエマゼンシー装置

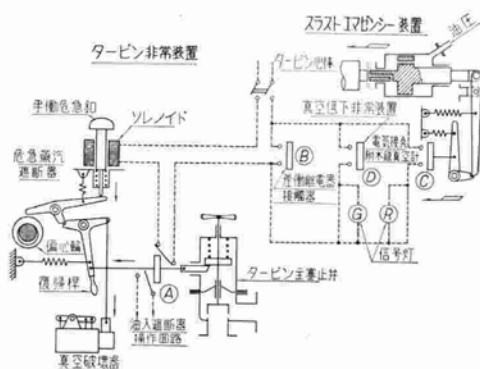
高圧タービンの推力軸受が摩耗し、軸が移動した際はリミットスイッチCが閉じ(2)の場合と同様の作動をなす。

(4) 真空破壊器

(1)ないし(3)の非常装置が作動した場合自動的に復水器に到る空気弁を開いて復水器の真空を破壊しタービンの停止を促進させる。

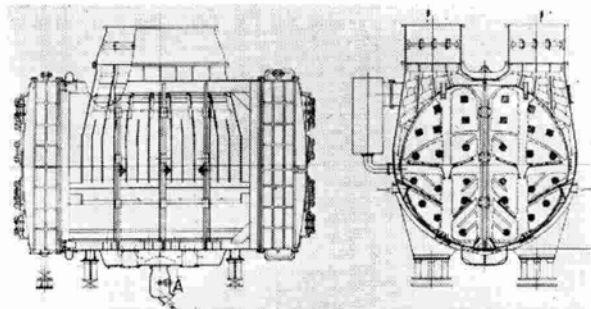
(5) 真空低下非常装置

復水器の真空がある程度低下した場合(200~500mm Hg この間適宜調整可能)接触器Dが閉じ(2)と同様



3 図 タービン非常装置

Fig. 3. Emergency leivices.



4 図 復水器組立断面図

Fig. 4. Sectional View of condenser

の作動をする。

(6) 油圧低下非常装置

潤滑油圧が異常に低下した場合は主塞止弁を閉じタービンを停止させる。

2. 復 水 装 置

ア. 主 要 要 目 (4 図参照)

型 式	表面式半区分連続使用型
冷却面積	3,700 m ²
冷却管総数	10,068 本
冷却管長さ	5,396 mm
冷却水量	11,200 m ³ /h

イ. 構 造

冷却水管は両端を拡管して海水の漏洩を防止し、胴は管との熱膨脹の差を防ぐため膨脹接手を有している。

水室は左右に二分されているので半区分を連続して使用することができ、水面は密閉給水加減装置により常に一定に保たれるようになっている。

また冷却管はアルブラック、管板はネーパルプラスを使用している。

管板は内地製品では4ないし5枚つぎにしなくてはならないのでとくにドイツから輸入し2枚つぎとしている。

3. む す び

本タービンは戦後製作された大出力タービンの最初のものであり、しかも前述のとおり色々の点で戦前戦後を通じて始めての事柄が多かつた。この設計にとりかかつた時はまだ外国の新しい技術情報も十分入手できない頃であつたので今から振りかえつてみると不満足な点もないではない。現在九州電力会社から 55,000 kW 2 台ご注文を頂いているが、本機の経験をもととしさらに一段と優秀なものを製作すべく努力している次第である。

W 社の水素冷却発電機を見て

長崎製作所

今 北 孝 次

Upon Looking Westinghouse Hydrogen Cooled Generators

By Koji IMAKITA

Through a study on westinghouse hydrogen cooled turbo generators with respect to all matters concerned during his stay in Pittsburgh, the writer has been deeply impressed that the insulation, the oil and the hydrogen control apparatus have great bearings for a satisfactory operation of the machine, and that much more studies are in pressing need to elevate the engineering level of our country. In this paper some problems picked up from his study are given in detail.

1. ま え が き

水素冷却発電機は逐年進歩の過程にあり、ことに最近のW社では、水素圧力 45 PSI 3,600rpm 200,000 kW の発電機を計画中であるということを知った。

わが国においては、現在 50,000 kW 60,000 kW 近い将来において 80,000 kW 級は出現する可能性もあると思われるが、技術的に見てその差は相当に大きなものがある。ことにわれわれが比較検討してみるべき点は

- | | |
|------------|------------|
| 1. 構造上の問題 | 5. 水素漏洩の試験 |
| 2. 絶縁上の問題 | 6. 油制御部品 |
| 3. バランスの問題 | 7. 水素制御部品 |
| 4. 水素の消費量 | 8. 材料 |

などである。これらについてとくに興味をひいた点を概念的に述べてみたいと思う。

2. 構造上の問題

大型水素冷却発電機はすべてブラケット型を採用し、それにスプリングマウントを棒からプレートに変え、そのためにでき得るかぎり、形を小さくしようと試みている。もちろん軸受は水素封入のままで点検できるようになっているが、このときには密封油までも止めるという型式は採っていない。ガス冷却器は軸に併行に設けられているが、軸に直角におかれた場合との比較は、相当以前から論議されているが、結局は一利一害であつて、軸に併行に設けた場合には配管が楽になり、かつ冷却効果は、冷却器の両端において多少良くなる。

機械が大形になるにしたがつて、熱膨脹の問題に相当考慮を払つてあり、ガス冷却器および後に述べる絶縁方

式はもちろんのこと、パイプの接続、油冷却器にまで、膨脹収縮の可能な構造を採用している。励磁機の整流子に Floating Commutator Type を用いたのも、各部に対して細心の注意が向けられていることを実証する一例であらう。

3. 絶縁の問題

絶縁に関しては、根本的に研究しなければならない段階に達しており、現在一つの飛躍を試みるべき時期がきたようである。すなわち Thermalastic Insulation がこれである。この新しい絶縁方式を完成するためにW社では 10 年間の日子を費しており、Laffoon 氏はつぎのようにいつている。

「昔は、発電機の絶縁は電圧が低かつたので、なんら処理されない紙と布で十分であつた。しかし間もなくこれらの紙や布は、天然の油または樹脂で処理した方がよいということが判つた。これは 1891 年頃のことである。間もなく雲母が絶縁物として優秀であることが判り、1894 年にはナイアガラの水車発電機にこれを採用している。以来研究が重ねられ、セラックで固められたマイカテープ・マイカラップを使用する方式が、その後 20 年間続けられてきた。しかしこのセラックは絶縁物を固化し機械的に脆くなるので、コイル自身を取扱う際に、絶縁を悪くすることがしばしばあつた。そのために、大形発電機の絶縁物として脆くないものが必要となり、プラスチックアスベストボンドをセラックの代りに使うことを考え出した。そのため、電氣的ならびに機械的な要求から、さらに大きな

発電機に対して Thermalastic Insulation が完成されたのである”

現在、発電機のコイルは長さ 8 フィートあるいはそれ以上あるものもあり、運転中にコイル自身およびその絶縁ならびに固定子鉄心の三者は、それぞれ異なる率で膨脹する。しかるに、発電機が冷却されたときには、コイルと鉄心は元のとおりの大きさに復元するが、プラスチックアスファルトは元の大きさには戻らないので、加熱冷却が繰返されると、アスファルトボンドは収縮毎に、元の大きさどおりにはならないことになる。大形のコイルの場合には、このことをとくに考慮しておかねば、かならず問題が起ることになる。

Thermalastic Insulation を使用すれば、この点が解決される。これはマイカを使用することは従来どおりであるが、これを液状のプラスチックで処理し固化させたものであつて、この場合には収縮のときにアスファルトと異り、完全に元の形に復元するものである。この材料は 1940 年以前から W 社の研究所で研究され、現在はいすべての発電機に使用されている。この絶縁の基礎となる数種の材料は、専門の数社から供給されている模様であるが、その取扱については、従来のアスファルト系の場合とは相当に異なる点があり、わが社においては、この新しい絶縁物を近い将来に製品化すべく、目下研究中である。

この Thermalastic Insulation と併行して、コロナ制御の問題がある。これは Cororox ならびに、Semi-conducting Varnish として知られているものであつて 6,000 V 級のコイルには後者を、また 10,000 V 級以上のコイルには両者を併用している。ことにコイルの曲部においては主絶縁の上にさらに、これらの塗料が数層適当に塗布されるために、耐電圧試験の結果は、これらの曲部においても直線部と同様な高い破壊電圧を示している。しかもこれらのコイルは品質管理が行われている。

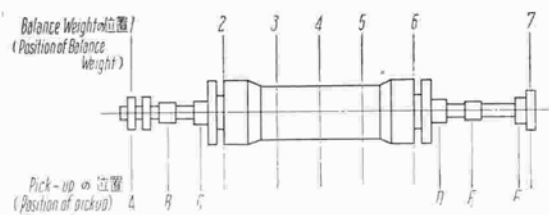
W 社における絶縁方式の研究は相当に進んでおり、その結果は、AIEE 論文に順次発表されつつあるので、ここにはその内容については省略する。(2)(3)(4)

4. バランスの問題⁽⁷⁾

発電機が大形になるとともに、回転子のバランスが重要な問題となる。まず Shaker Test により回転子に静的な振動を生ぜしめ、この臨界速度を実験的に測定する。これは設計計算値と実際がどの程度合致するかを比較するためであつて、振動ないしバランスに関する問題はむしろ軸そのものの振動およびサーマルバランスにある。

従来、われわれは回転子の振動はいすべて軸受上において測定していたのであるが、軸受メタル部分の潤滑油は振動吸収のダンパとして働らくために、これは真の軸の振動を示さない。一般には軸受上の振幅は、回転子自身の振幅の 10 分の 1 でしかないといわれている。

軸振動は 1 図に示すように、軸受と接近した部分なら



1 図

Fig. 1. Rotor Balancing.

びに軸両端 A B C D E F 合計 6 個所からピックアップされ、従来と同様に正弦波電圧発生発電機から発電する電圧とピックアップ電圧とは重畳され、これを直接電力計型の振動指示計に加えることによつて、位相・振幅の大きさおよびバランスウェイトの大きさを決定することができる。この場合図に示す $P_3 P_4 P_5$ の三平面の振動を考え、この位置にウェイトを取付ける。 $P_1 P_2 P_6 P_7$ の四面は現場試験における振動の再調整の際ウェイトの取付位置を示すものである。

この回転子は加熱箱の内部で回転されるが、この際各部分とも平均に加熱されておらねばならないが、運転状態における温度分布とは多少異つてくるので、むしろ一度加熱した後に冷却し、その際にバランスを取るのがよいということを考えている。

励磁機と回転子本体に取付けられるファンは、各々別個にバランス調整が行われるが、励磁機が副励磁機を有する場合には、整流子面の 2 個所を含み全 8 個所、ファンは 2 個所、それぞれ直接に軸あるいは本体からの振動をピックアップする。

このように多数の点から記録された振動の大きさが、如何なる点においても 1000 分の 1 インチ以下となるようにすることは相当困難のように思えるが、事實は取扱い易い計器と作業者の熟練とによつて、容易に行われている。このようにして行われた一般の回転子の振動は、軸受台上に手を当てて見ても、ほとんど振動を感じない程度のものである。しかしながら、これほど良好な状態にある場合でも、発電所で実際に負荷を加えると、振動を生じてくる場合がある。これは回転子の温度が上昇した場合に、その温度分布の不均衡が加熱箱の場合と異なつてくるからである。このためにサーマルバランスが必要となつてくる。

現場試験における実際の試験結果でも、無負荷の場合よりも全負荷の場合が、回転子の振動は約 2 倍となつていようなこともある。回転子の温度の上昇とともに振幅が増すのみならず、その位相もともに変化する、大体の傾向としては、無負荷と全負荷の場合には位相差は少く、その途中における 50% あるいは 80% 負荷において、不平衡の位相は回転方向に進むとみてよい。

このサーマルアンバランスは、大形なものほど顕著であるうえに実負荷の状態において測定されねばならないので、完全なる平衡を取ることは、技術的に相当困難な仕事である。しかし 100,000 kW 発電機に実施した例

を見ると、サーマルダイナミックバランスがいかに効果的であるかを知ることができる。

5. 水素の消費量

水素冷却発電機の特異性は、油による水素ガスの密封にあるが、これは軸受部の内側に設けられた密封環に一定圧力の油を常時補給することによって行われる。水素冷却発電機の水素消費量の約2分の1は、密封油に吸収されるものと考えられる。すなわち一般にいう水素消費量はつぎの2つの要因によるものの合計である。

- (1) 密封油に消費されるガス
- (2) フレームのパッキンその他の部分により消費されるガス

水素圧力が高くなれば、水素圧力と全消費量との曲線は、水素圧力の高い部分においては平らになる傾向にある。しかしながら、この保証消費量は実際には相当余裕がある。

6. 水素漏洩の試験

水素冷却発電機においてはガスの漏洩を一定量以内に抑えねばならないので、工場では組立後に漏洩試験を行う。

漏洩量の測定にはマノメータを用い見掛け圧力低下を温度と気圧とによつて修整するが、これは従来から使用せられていた方法である。しかしこれらの測定には大きな数字を小さな差で読みとることが必要であるので、温度と圧力等は正確な方法で測定しなければならない。しかし、工場で試験する場合には、2図に示すような漏洩量測定装置⁽⁸⁾を用いて、比較的簡単に計算することができる。

この装置は傾斜管圧力計と標準球とからなり、これらが発電機本体のマノホールの蓋板と同じ寸法に作られた鉄板に取付けられている。この装置を発電機に取付けたときには、標準球は発電機内部に入り、圧力計のみが外部に出る。標準球は最初は発電機内部の空気あるいは水素と同圧・同温度にあるが、もしも漏洩によつて枠内圧力が下つたときには、標準球と枠内圧力との差を、圧力計によつて正確に読むことができる。

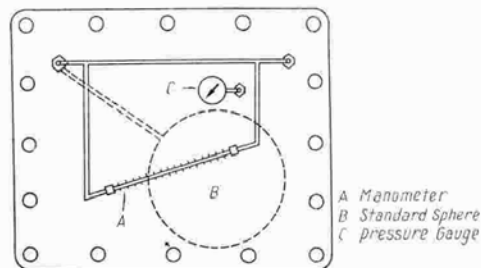
7. 油制御関係部品

密封油圧力は水素圧力よりも高く保つ必要があるので自動圧力調整装置が必要となり、さらに真空処理を行う真空タンクおよび各種のポンプ類が付属せられる。

これらの大部分は一つのセットとして組立てられるがこれらの部品のうちでとくに精度を要し重要なものは、密封油圧調整器・差動圧力調整スイッチおよびフロートバルブである。

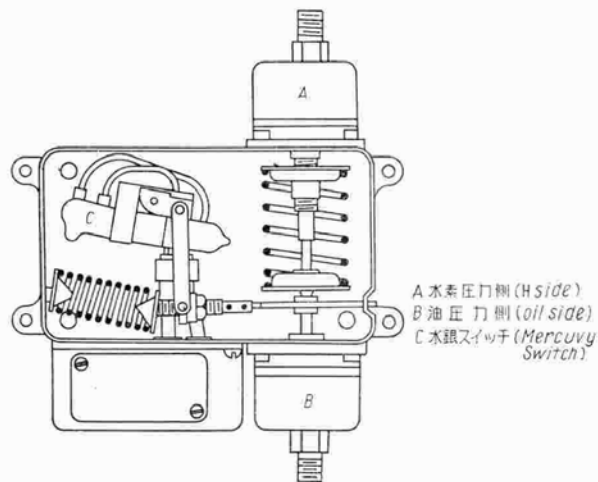
油圧調整器はバックアップ調整器とほぼ同型のものであつて、ベロー型によりバネの強さならびに座板の形と大きさを適当にすることによつて、目的を達せしめる。

差動圧力調整スイッチは3図に示すようにダイヤフラムW社の水素冷却発電機を見て・今北



2 図 漏洩量測定器

Fig. 2. Leakage meter.



3 図 差動圧力調整スイッチ

Fig. 3. Differential pressure switch

△型が採用せられ、これは警報を発すると同時に補助ポンプをも作動せしめる。

フロートバルブは4図に示すとおりで、銅板で作られたフロートと不銹鋼にて作られた座金からなることは前項と同様である。

このほかに油面の警報装置・圧力スイッチおよび温度による膨脹を考慮に入れて設計せられた油冷却器等があるがこれらは省略する。

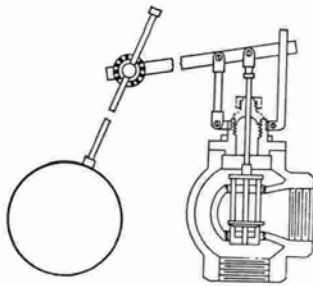
8. 水素制御関係部品

水素制御装置関係で最も重要なものは、水素密度計・精密圧力計および自動圧力調整器である。

密度計は一般に電気式および機械式があるが、W社ではもつぱら機械式を採用している。電気式は精度は高いが不安定であつて、故障率の多いことを考慮して、堅牢かつ取扱いの容易な機械式を使用していることは、使用者にとつて幸なことである。もちろん万一の場合も考慮に入れて、傾斜管圧力計を設け、回転子プロワの圧力差によつてもまた水素密度を読み取ることができるようになってい

精密圧力計もまたこれとほぼ同様な構造をなしており、警報接点は昔は圧力計に直接取付けられていたが、現在では別個になっている。

自動圧力調整器は、水素圧力が 0.5 PSi 以下に下らぬ



4 図 フロートバルブ
Fig. 4. Float valve.

ように調整するものであつて、手動圧力調整器と同様な構造をなし、これは入口において 2,000 PSI 以上、出口において 0.5 PSI であつて、その差が大であるのでスプリング、フィルタおよびダイヤフラムを有する二段減圧式を採用している。

この他にガス乾燥器があるが、昔は炭酸ガスで浄化した後に乾燥を行つていたが、現在は直接空気を入れ乾燥後にはそのまま水素側パイプと切換るようになってい

一般に制御部品は、堅牢と取扱容易なることを目標として造られているが、場合によつては、精度さえも必要な最低限度にまで下げて、この目的を堅持しているというところは、わが国において造られた幾多のものが、不必要と思われるまでに精度に重点を置かれている傾向と比較して、一考を要することではあるまいか。

8. 材料について

材料の主体は絶縁材料と金属材料であるが、絶縁材料に関しては第2項において述べたように、根本的な改革が行われている。総括的にいえば、天然樹脂に代つて合成樹脂が使用されているのであるが、コイルの製作上に必要不可欠な 20 種類以上の材料のうちで、天然材料が使用せられるのは、マイカを除きわずか 1,2 種類に過ぎない。

合成材料の特長について、ウェスティングハウスの技術者はつぎのようにいつている。

“天然のものに比較して寿命が長く、水に強く、かつ合成なるゆえにつねに同じ成分のものが使用できる”
全くそのとおりである。

金属材料に関しては、珪素鋼板を初めとして、われわれに耳新しく響く名称のものは何一つとしてないのであるが、現在われわれが使用しているそれらのものよりもはるかに良質なものと許りであるということは、一応注目値するものと思う。

珪素鋼板は現在わが国において入手し得る最高最良質の珪素鋼板よりも、ワット損失の点において 20~30 % も少い。これは大きな問題であつて、そのために日本で作られる発電機は外形が大きくなることは止むを得ないことである。

その他使用されている材料に非磁性材料がある。これらは大別すると、マンガン鋼とニッケルクローム鋼とになるが、いずれもオーステナイト鋼であり、前者は非加工性に、後者は 18-8 不銹鋼相当であつて加工性は良

好なので、線・板および鍛造加工等とそれぞれ使い分けられている。ことにこの不銹鋼を引抜き、線状として励磁機のバインド線に使用している点など、参考とすべき点が実に多い。

その他細かい部品についていえば、ステライト・銀・タングステン等枚挙にいとまないが、その使用されている状況を見ると、成程と首肯させられる部分が多い。このような特殊材料にはかならず熱処理およびその加工についての問題が付纏つてくるものであるが、それらを見事に解決していることは、さすが長年月の経験を有するものと感心させられる。高抗張力を必要とする回転子本体に、二段焼鈍を採用しているのも故あるためである。

水素あるいは油の漏洩のためのパッキングセメントにしても、以上の金属材料あるいは絶縁材料にしても、われらの想像以上の改革が行われている現状である。

10. む す び

以上はなほだ纏まりのつかぬ事柄を並べたのであるが要するに、今後われわれは設計に工作に試験についても材料についても、あるいはその取扱等とすべての部分に関して大いに勉強しなければならないということである。

筆者は滞米中に Dequenese 発電所を見学する機会を得たのであるが、ここの 50,000 kW 2 台は過去 12 年間の内部の分解掃除も手入れも行うことなくほとんど連続に運転し続けている。しかも、規定は 0.5 PSI 水素圧に設計せられたものを 0.9 PSI 程度にまで上げ、過負荷にて連続運転を行つているが、水素消費量はほとんど 40 立方フィート毎日を上回ることはないということは、実に驚嘆に値するものである。

米国内において、優秀な材料や確実で性能の良い部品が自由に手に入ることは、全く羨しい次第であるが、これを拱手傍観していたのでは日本に技術の進歩はない。われわれはすべての材料も機械部品も国際的水準に達する日を目指として、各メーカーが協心努力を惜しんではならないと、痛感している次第である。

参 考 文 献

- (1) Electrical Insulation 1951. p.96 By G.L. Moses.
- (2) AIEE Paper 51~121 By C. M. Laffoon etc. A New High Voltage Insulation for Turbin Generator Stator Winding.
- (3) AIEE paper 51~127 By G.L. Moses Alternating & Direct Voltage endurance studies on Mica Insulation for Electrical Machinery.
- (4) AIEE Paper 51~41 By R.M. Sexton Detection of Turn-to-Turn faults in Large High Voltage Turbine-Generators.
- (5) AIEE Paper 51~125 By J.S. Johnson Maintenance Inspection program for Large Rotating Machines.
- (6) Westinghouse Engineer Sept 1948 p.153 By C. M. Laffoon.
- (7) AIEE Paper 51~97 By C. M. Laffoon etc. Modern Practice in the Balancing of Large Turbine-Generator Rotors.
- (8) Metal Working, march 1952 By H.C. Gerhart.

九州電力 43,750 kVA 3,600 rpm タービン発電機

長崎製作所

加賀貞廣

43,750 kVA 3,600 rpm Turbine Generator

By Sadahiro KAGA

Nagasaki Works

A huge high speed air cooled turbine generator having a capacity of 5,000 kW at 3,600 rpm has been completed of late at Nagasaki Works for the installation of Chikujō Power Station of Kyushu Electric Power Company, being the largest of two pole machines at this speed ever completed in Japan. Since the unit is of very high speed and large capacity, the utmost care has been exercised in every detail of design, specially adopting a flexible mounting of stator frame and employing special copper alloy to prevent the rotor conductors from hazardous deformation. Needless to mention that the most reliable materials attested by painstaking laboratory procedures have been used all through.

1. ま え が き

終戦後わが国ではいち早く電力復興を政策として取りあげ、戦災発電所の復旧を行い、続いて経済的その他複雑な、かつ特殊な制約下にあつて電源開発計画を具体化する方向に進んだが、この最初の計画として北九州工業地帯の大電力の需要に応ずるために、九州電力会社築上発電所の再開が決定され、発電機の単機出力として 35,000 kW 3,600 rpm が採用された。

この発電所は蒸汽温度、蒸汽圧力はタービン調整弁入口で、それぞれ 470°C、57 kg/cm² の高温高压で、串形複流タービンに直結される発電機が 3,600 回転としては国産最大容量の記録機で、本年 5 月優秀な成績で営業運転に入つた。空気を冷却媒体として使用する 3,600 回転の発電機は、当社ではすでに 30,000 kW を 4 台製作しいずれも現在好調に運転中であるが、本機は容量においてさらに 5,000 kW 増加した大容量機であつて、米国でもサウスメドウ発電所に 40,000 kW が 1 組あるのみで、本機は国産最大容量であるとともに世界でも屈指のものである。

一般に 3,600 回転にする主な理由は蒸汽消費量の低減、高温蒸汽使用のため生ずる膨脹収縮の減少等おもにタービンにあるが、発電機としても最小量の材料で最大出力を得ることができるゆゑ、製作費・運搬費および組立費の節約ができる。タービンは高压・中圧・低圧と適当に分離すれば 3,600 回転でも容量の増加を計り得るが、発電機は単機よくタービンの出力に応ずるようにせぬと上述した利点が消失する。3,600 回転の大容量タービン発電機になると回転子材料の強度および信頼度等に困難な点が生ずる。

当社では数年前すでに、31,250 kVA 3,600 rpm 機を 4 台、37,500 kVA 3,600 rpm 機を 4 台、また 50 ㎾ 用としては 62,500 kVA 3,000 rpm 機を約 10 年前に 6 台製作し、いずれも好成績を得ているがその経験、運転実績にさらに研究改良を加え今回 43,750 kVA 3,600 rpm 機を完成したが、戦前戦後を通じての 3,600 回転機の記録品の出現は、工業立国を国是とする現在ではタービン発電機製作技術の最高水準を示すものとしてきわめて意義が深い。以下要目および構造の概要について概述する。

2. 要 目

主 発 電 機

型 式 密閉自己および他力通風円筒形回転界磁交流発電機

皮相出力	43,750 kVA
力 率	80 %
相 等 出 力	35,000 kW
端 子 電 圧	13,200 V
相 数	3 相
周 波 数	60 ㎐
回 転 数	3,600 rpm
相 電 流	1,915 A mp

主 励 磁 機

型 式	閉鎖通風型直結分巻補極付他励磁
出 力	135 kW
電 圧	250 V
回 転 数	3,600 rpm

副 励 磁 機

型 式	閉鎖通風型直結複巻補極付
出 力	3 kW
電 圧	110 V
回 転 数	3,600 rpm

空 気 冷 却 器

型 式	横置表面冷却器
風 量	2,300 m ³ /min

外 部 送 風 機

型 式	片吸込ターボペーン型 (FFD-90 A)
風 圧	230 mm 水柱
風 量	2×640 m ³ /min
回 転 数	1,760 rpm
電動機出力	2×70 kW

本機の外観を1図に示し、その断面を2図に示す。タービンと発電機との間は固定接手で連結され、後部には主励磁機および副励磁機を連結し、これらと集電環はカバーで囲つてある。なお下部基礎内には空気冷却機と外部送風機とを備えてあるが以下順次各部の構造について述べる。

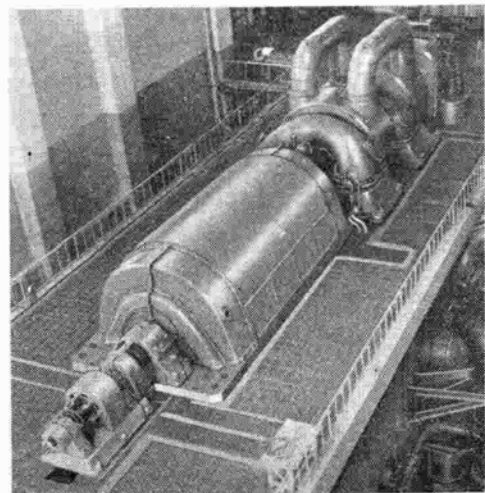
3. 回転部分の構造

ア. 軸 体

本機は国産記録高速度大容量発電機であるので、回転子の設計、計画が肝要な点になる。したがって回転子軸材の寸法選定、工作方法および構造については今までの経験を基にし、その後の改良工夫を加え慎重に計画した。

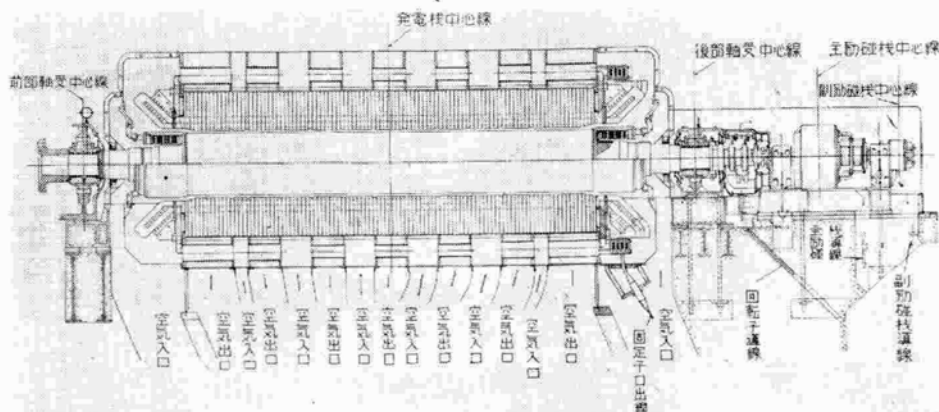
軸体の材料としては現在入手できるタービン発電機軸鋼の最高級品たるニッケルクロムモリブデン鋼の単一打物で、この軸材は米国標準規格ではG 6級に相等する。

これは抗張力 66.7 kg/mm² 以上、降伏強さ 52.7 kg/mm² 以上、伸び軸方向 17 %、半径方向 13 %、絞り軸方向 32 %、半径方向 25 % に相当する機械的強さを有するもので Vickers 製品を採用した。この回転子軸は荒削重量約 20 トンにもおよぶので材質の均一性を十分に検査した。すなわち試験片を表面および鉄心端部より採るはもちろん鉄心部ではその深部からコアードリルで採り、導体溝底に相当する部分いいえれば半径方向最大応力のかかる部分の材質をも検査する。かく試験片を十分深い位置すなわち導体溝底に相当する部分から採



1 図 43,750 kVA 3,600 rpm タービン発電機
(たゞし励磁機カバーを取りはずす)

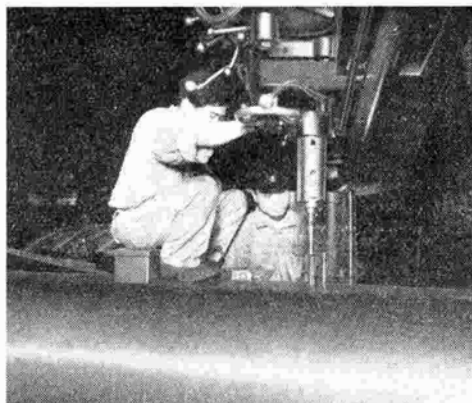
Fig. 1. 43,750 kVA 3,600 rpm Turbo generator
with exciter housing removed.



2 図 発電機の断面図

Fig. 2. Sectional view of
43,750 kVA Generator.

れば実際に半径方向最大応力部分の材質の検討ができる。すなわち軸材での最も条件の悪い部分の材質の状況が判ることになる。また試験片は軸方向、半径方向のものを合せて合計 10 数本取つたが、実際に引張つた結果、降伏強さ、絞りの不同はそれぞれ 4 %、5 %であつて軸材の均一性が確認された。3 図にはコアードリル採取中の有様を示す。もちろん大型回転子になると製鋼上



3 図 回転子軸のコアードリル試験片機工
Fig. 3. Drilling of core drill piece on rotor shaft.

の不均一性に帰せられる偏析・熱的割れ・非金属夾雑物・白点・質量効果等が現られるのでこれの検出として上述の試験片による引張試験・化学分析・硫黄写真・光学試験・磁気探傷試験を十分行つたのであるが、なお三菱製超音波探傷器 F D 101 型を用いて十分に回転子内部の欠陥を検出して軸材の信頼性を確かめた。

一般に鋼中の熱的割れは有害であるが、非金属夾雑物は比較的害が少ないと考えられる。しかも製鋼上前者は通常幅のせまいすどい疵で、割れの方は中心穴の軸に関して少くとも一定の角を採らず、つねにかなり多数存在する。後者はこれに反し普通幅が広く長さの長い疵で大多数は軸方向に存在する。したがつて超音波探傷器を用いて回転子全面にわたつて外部から疵の位置と大きさを十分的確に知ることができる。かくして疵の分布状態と大きさを知ることにより内部の鋼の欠陥を判定するのであるが、疵の性質が熱的割れであるか非金属夾雑物であるか、またその分布が導体溝と中心穴の間のいずれの場所にとどの程度の広さに分布しているか、疵部分の応力集中はどうか等を考慮に入れて軸材の採否を決定するのが普通である。この軸材にはこうした有毒な疵は発見されず均一性の点から考えてきわめて満足すべきものであつた。

なおこの種の軸材では中心穴付近の偏析層を完全に取り去ることができないので、今までの軸材と同じように応力の倍加を犠牲にして中心穴をあけ化学的・光学的に厳重に検査し、周辺に砂疵・ガス穴・割れ等が存在しないようにして使用した。

また超音波探傷器を用いてブラウン管影像に反射波が現われないとその部分の鋼の内部には疵が存在しないことが判るので、この探傷法と上に述べたコアードリルによる検査法とを併用することにより、試験片位置を制限しようと同時に試験片個数を必要かつ十分な最小個数に限定でき、軸材の均一性を十分確めることができた。

本機のように高速度機では回転子直径は機械的応力から制限されるので容量を増すには長さを増さねばならず、そのため必然的に軸受間隔が長くなり振動特性上種々の問題が起る。すなわち可撓性の大きい回転子の振動特性については軸断面の慣性能率が、極中心とこれに直角なる線に関するものとで違うことおよび可撓性の増大のため 2 種のひどい振動を生ずる。第 1 のものは回転子の一回転中に断面の慣性能率の相異による撓乱力は 2 回上下振動をうけるから、この振動周期は丁度回転数の 2 倍に相当する。したがつて危険速度の半分の所で恰も危険速度と同様な現象が起り振動の振幅が大となる。第 2 のものは回転子が 2 つの異つた慣性能率を持つためそれぞれに相当する一次危険速度をもち、一次危険速度の幅が広くなりこの範囲内で不安定となる。しかし回転子には剛性があるので運転速度がこれらに合致しても振動が無限大にはならない。しかしこれらの欠点を避けるため、回転子本体部分に軸方向に直角に数個の半円形の切欠ぎを入れ、軸断面の極中心の慣性能率と、これに直角な線に関するものとを等しくしている。

なお本機は前述のように固定接手を採用したが、タービン軸との総合振動特性が運転上支障のないように十分考慮して決めた。この軸に導体溝、通風溝を加工しこの通風溝はさらに歯部にあけた放射穴に連結し冷却空気の通路にする。また軸受のジャーナル部は軸受温度の低下を計るために超仕上げ加工を行つた。

イ. 回転子線輪および絶縁

導体は今まで用いた軟銅線の代りに扁平な特殊銀入銅を、層間絶縁、溝絶縁にはマイカナイトを用い、導体溝下部には鋼板を敷き通風溝内をとる冷却空気に触れる部分を保護する。

線輪端曲部は大きな遠心力を受け同時に負荷の変化にしたがつて軸方向に伸縮するから、電気的機械的熱的に優秀な材料を使用した溝型絶縁物を用いて絶縁し、かつ線輪押え環の内面をも同質の絶縁物で裏貼する。

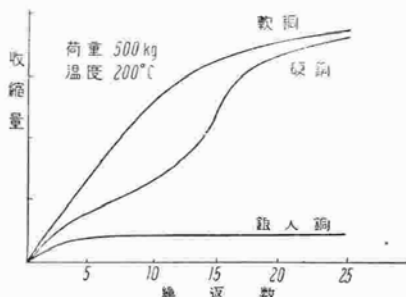
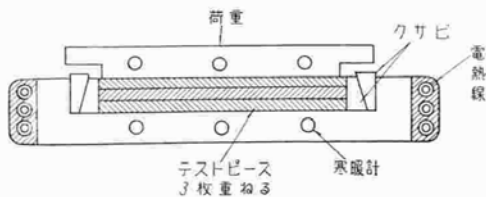
さてこの程度の大容量高速機になると回転子線輪の収縮現象が生じ、このため回転子線輪の端部分が変形を生じたがつて層間短絡ないしは接地の事故を生ずる。これは大容量機で回転子長さが長くなると、ある与えられた温度変化に対し導体の移動量が多くなり、他方回転子直径が増すと導体に大きい遠心力がかかり、両者の相互作用により導体に拘束力が働くことに起因する。すなわち導体は回転子鉄部との温度差により相対的に伸びるが、拘束力を受けているので逆に収縮することになる。

したがって発電機が長期間運転停止のヒートサイクルを繰返すと、たとえ1回の変形量はごくわずかでも遂にはその変形量が蓄積して、その結果上述のような層間短絡ないしは接地の事故を引き起すことになる。

この種の故障を避けるため、導体としては普通用いられる焼鈍銅体よりも、弾性限度の高い、軟化点の高い、匍匐性の優れている特殊銀入銅合金線を採用した。ここで軟化点は再結晶温度ではなく、再結晶温度よりもはるかに低く、加工効果のために生じた内部応力が除去されて軟化する温度を指すので、匍匐性と密接な関係がある。

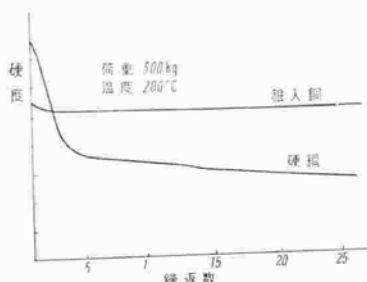
各種銅体の性質を比較するため軟銅・硬銅・銀入銅を用いてこれに圧縮力を加えながら銅体の温度を電熱で200℃5時間保持して加熱冷却を繰返し収縮量を測定した結果および試験装置を4図に、硬度の変化状態を5図に示す。

4図から銀入銅は200℃のヒートサイクルを繰返しても収縮量は余り変らず、軟銅・硬銅に比べて収縮量が10%にすぎず、はなはだ優れていることが判る。また5図から硬銅はヒートサイクルを繰返すと硬度が急激に軟銅に近い性質を示す。すなわち硬銅は次第に加工効果



4 図 各種銅体のヒートサイクルに対する収縮量と試験装置

Fig. 4. Strain-Heatcycle diagram for various coppers at 200°C and testing equipment.



5 図 各種銅体のヒートサイクルに対する硬度

Fig. 5. Hardness-Heatcycle diagram for various coppers at 200°C.

による降伏点の高いという利点が無くなつて行くことが判る。これに反して銀入銅は硬度が余り変化がない。

焼鈍銅体に比べて銀入銅線の如く銅に若干の銀を入れると、電気伝導度が若干低下するが他の元素ほど低下しない。

ウ. 線輪押え環

材質はニッケルクロムモリブデン鋼で線輪端部の大なる遠心力に堪えうる十分強力なものである。この端部に釣合環を取り付け釣合調整および線輪の保護とし、他端は回転子鉄部に焼きばめする。かくすると回転子線輪を保持する面が溝部分と線輪押え環の部分とで同一になり遠心力ないしは撓みにより曲げを生ぜず、したがって溝出口部分になんら損傷を生じない。また釣合環は回転中線輪押え環が楕円形に変形することを防止する作用をするが、釣合環と軸との間に大きい空隙をもうけ冷却効果を良好にし、線輪端部に十分な冷却空気が通るよう間隔片を配置した。

エ. 集電環

軸受台の外部に取り付けた集電環はニッケルクロム鋼で磨耗に対して十分な耐力を有し、かつ表面に斜溝を切り集電状態を良好にする。内部の環は鍛鋼でこれは絶縁物を介して軸に焼きばめするが、この鍛鋼の上に上述のニッケルクロム環を焼きばめする。回転子口出線は回転子線輪から軸の中心穴を通り集電環に引き出す。

4. 固定子の構造

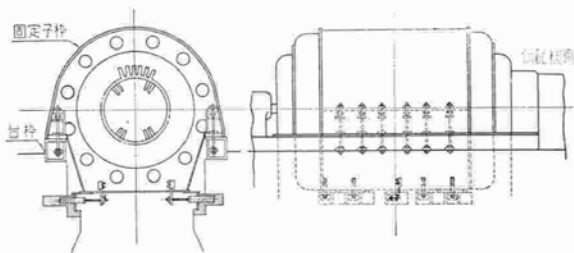
ア. 固定子鉄心および振れ止め固定子枠

固定子鉄心材料は国産珪素鋼板で当時入手できた最も鉄損の少ない最高級品である T 120、厚さ 0.35 mm を採用した。なお原材の焼鈍不足を補い打抜き作業による周辺の応力を除き鉄損を減少させるため、打抜き作業後十分に焼鈍した。各鉄板には絶縁塗料を塗布し、数 cm おきに耐熱絶縁紙を挿入して鉄損の増加を除いた。枠は重量を軽減し強度を増すため、軟鋼板組構式とし内周に鉄心を取付ける鋼丸棒を溶接する。

さてさきに2極回転子では軸断面の慣性能率が、極中心とこれに直角な線に関するものとで相異し、このため回転子に2倍周波数の振動が出ることを述べたが、固定子鉄心にも2極機に特有な現象が生ずる。

すなわち2極3,600回転機では空隙が一樣であつても磁束による回転子と固定子の吸引力が、磁極中心とその中間とでは大きな差を生ずるのでこれが固定子枠の撓曲性と重なり、固定子鉄心が2倍周波数で楕円形になつたり、戻つたりするため振動を生ずる。しかもこの楕円形ヒズミは発電機の運転中回転子と同一速度で振動する。

この鉄板の振動は多極機でも現われるが2極機ではとくに顕著なので、この振動は普通ごく僅少であるがそれでも外部たとえば外枠とか基礎等に伝達すると種々故障の原因になることがある。したがってこの振動が外部に伝達しないように固定子枠と台板間に適当な振動吸収装置を設けるのが望ましい。



6 図 振動吸収装置
Fig. 6. Flexible mounting.

本機で採用した振動吸収装置は6図に示すように固定子枠と台板間に取りつけた12本の主支持棒と、固定子枠の下部に取りつけた2本の軸方向支持棒および8本の水平方向支持棒の3種類よりなる。

固定子枠に設けた支持板に上記主支持棒の上端を球面座を介してボルトで締め付け、下端は台板に設けた支持板に取りつけてある。したがって主支持棒は固定子枠の重量を分担し圧縮力をうける。

また主支持棒は半径方向に対して弾性を有するが、切線方向には剛性を有するので切線方向の振動は吸収しない。したがって主支持棒を支持する位置は、切線方向振動がほとんど0であるかまたは少くとも感知しえない程度に小さな点を選定して支持する必要がある。

本機では種々の構造上の制約があつて十分には満足すべき位置を選定できなかったが、ほぼ近い点に主支持棒を支持するように考慮した。なお2本の軸方向支持棒および8本の水平方向支持棒もそれぞれの位置において半径方向の振動を吸収するようになっている。

4. 固定子線輪

導体は十分に焼鈍した数本の素線よりなり、これを数本集めて導体と成しインボリウト形に型巻きし溝内で撚曲し渦流損を減少するとともに端部で交叉接続し、漂遊負荷損を減少する。素線絶縁はマイカテープ、主絶縁もまたマイカテープを採用し真空圧入を行い、主絶縁の外層にコロナ防止塗料を塗布する。固定子線輪の組立完成後の $\tan \delta$ の測定値は7図に示すように、11,000 V, 19.5°C で約3%であつた。また現場据付して乾燥運転終了後の線輪の成極指数 R10分/R1分は64.5°C で2.43 で大体満足すべき結果を得た。

本機は固定子線輪を溝に収納して端部のテーピングを施行しないままで、過渡現象直視装置を用いて衝撃波が侵入したときの内部電位振動、電位分布およびサージインピーダンスの測定を行つた。内部電位振動は種々の場合について測定したが全般を通じて大した振動はなかつた。オシログラフに現われた最高電位は2相一括印加、他相開放の場合、開放端の約185%であつた。電位分布の結果は第1コイルに加わるストレスは、印加波の波頭長さ μS の場合で33%, $4 \mu S$ の場合で23%でほとんど問題になる値でなかつた。現地では発電機と変圧器

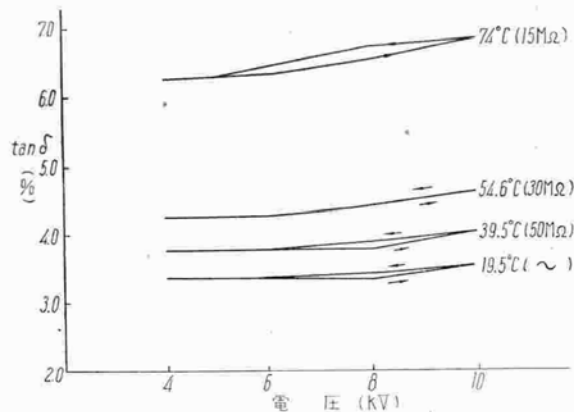
九州電力43,750 kVA, 3,600 rpm タービン発電機・加賀

の接続はケーブルなるゆえ中間に直撃雷をうける恐れはほとんどなく、外部からの雷サージは線路側のアレスタで波形および波高値を緩和されさらに変圧器を通るので、発電機に侵入する波形は相当ゆるやかになる。かつ線輪は1回巻線輪で比較的絶縁強度の低い層間絶縁を持たぬから、異常電圧保護装置を設置しなかつた。なおサージインピーダンスは大体一相のみで105 Ω , 三相一括で33 Ω であつた。また固定子線輪のうちで最も故障の起りやすい溝出口には楕形のマイカルタ板を挿入して線輪を強固に支持し、かつ端曲部もマイカルタ板で緊縛し線輪端曲部をして発電機が短絡時に生ずる機械的応力に十分耐えるようにした。

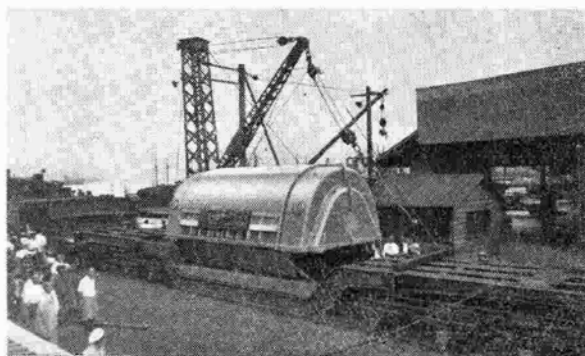
固定子は完成重量が70トンで輸送は8図に示すように特殊低床貨車で陸路によつた。

5. 励磁機

励磁機は3,600回転としては国産最大容量で、主励磁機とこれに懸垂された副励磁機とからなり、励磁機と発電機との間には鍛鋼から削り出した蛇腹接手をおいて振動吸収装置とし、発電機の振動が拡大して励磁機に伝わり故障の原因となることを防止した。整流子はニッケル



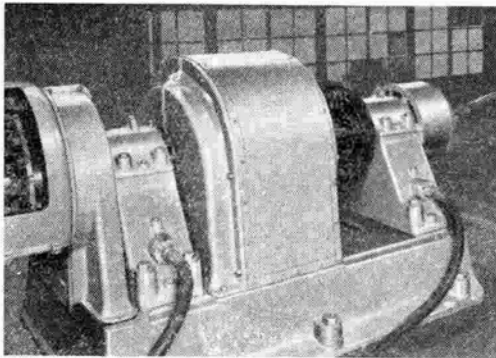
7 図 固定子線輪の電圧- $\tan \delta$ 曲線
Fig. 7. Voltage- $\tan \delta$ curves of stator coils.



8 図 輸送中の完成せる固定子
Fig. 8. Completed stator under transportation.

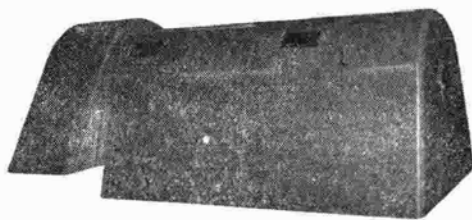
クロムモリブデン鋼の強力な締付環 3 箇で絶縁物を介して締付けられ、なお整流子が長いので熱による膨張が大きくなるので運転に悪影響をおよぼさぬように、ライザ側に今一つの締付環で絶縁物を介して軸に焼きばめし、軸方向移動を許さぬようにし他端は軸方向に弾性を有する締付板を用いて一端は締付環、他端は軸に焼きばめする構造を採用した。また線路充電のため、電圧調整器の作用を円滑ならしめるためおよび残留磁気による電圧を消失するために界磁巻線に差動巻線を設けた。この励磁機、副励磁機の外観を 9 図に示す。

主励磁機・副励磁機・集電環は 10 図のような軟鋼板組構式のカバーで囲った。カバーには数個の点検用窓をあけ、内部には点検ランプを設けたのでカバーを引抜かず容易に内部が点検できる。なおカバーは簡単迅速に引抜くことができ組立も簡単にできる。



9 図 励 磁 機

Fig. 9. Exciters.



10 図 励 磁 機 カ バ ー

Fig. 10. Exciter housing.

6. 通 風 方 式

本機は大容量機であるので内部送風機と外部送風機とを併用し、全負荷では外部送風機 2 台と内部送風機で、75% 負荷以下になれば外部送風機 1 台と内部送風機で運転し低負荷能率を増すようにした。

一般に内部送風機は回転子鉄部の両端に設けるので、設計上速度や寸法の制限をうけ能率のよいものを作りえない嫌があるし、また軸受間隔が長くなつて振動特性上好ましくないので能率および運転の点から考えると外部

送風機の使用が望ましい。しかし外部送風機のみで通風すると万一故障があれば、通風系統に適當の警報装置を付したとしてもなお潜熱のため温度が上昇する不安がある。このような点からさきに述べたように外部送風機と内部送風機を併用した。また扉を開閉することにより開路通風、閉路通風の切替運転ができる構造にした。

ア. 回転子の冷却

平滑な表面に仕上げ表面摩擦損をできるだけ減少し、その加熱を防ぎかつ能率を上げるようにした。空気は釣合環と軸との間の隙間から入り一部分は軸方向に進み、導体溝下の通風穴を軸方向に進み歯部にあけた放射穴から空隙に出て、固定子歯の部分で冷却した空気と一緒に固定子風溝を半径方向に外向に通じ風出口に達する。残りの部分は回転子端部を冷却し端部間隔片の間を通り線輪押え環の風穴に出て、固定子端部線輪を冷却した空気と一緒に空隙に入り、ここで風溝を半径方向に通じ固定子鉄心を冷却し風出口に達する。

イ. 固定子の冷却

鉄心および線輪を有効に冷却するため複式放射通風式を採用している。このため鉄心を多数の風溝によつて数十部に仕切りさらにこれを数群に分ち冷却空気の入出部排出部とする。これに対応して固定子枠も出入部と排出部との数室に分割する。この方式では鉄心中央部の最高温度となるべき所にも新鮮な空気を供給できるので温度上昇が鉄心長に亘つて均一となる。

ウ. 励磁機の冷却

励磁機軸受台の下部にある台板部分の空気入口部より新鮮な空気が入るが、一部分の空気は集電環ファンで吸われて集電環まわりを冷却し上部に出て励磁機の外圍を冷却しついで副励磁機を冷却して台板下部の空気出口部より放散される。残りの空気は直接励磁機の内部ファンで吸われて励磁機内部を冷却して台板下部で上にのべた空気と一緒になつて同じく空気出口部から放散される。

7. 釣 合 調 整

回転子は銅材、絶縁物および鉄心部よりなる複雑な構造物であつて、高速度で回転するゆゑ各部は運転中大きい応力を受ける。したがつて各部の構造をいかに入念に製作しても完全な釣合調整を取ることが絶対必要である。一般に不釣合は幾何学的不正確・材料の不均一・運転時の速度・温度による曲り等が原因で起きるので、回転子の質量分布を調整してこれら不釣合を修正するために釣合調整を行うのである。

タービン発電機の回転子軸は細長くかつ重い高速度の軸であるからかならず規定回転数・運転温度でかつ自身の軸受台の特性をも含めて釣合調整を取らねば完全なものとはならない。すなわち本機の軸体は最早剛性軸ではなく可撓軸と考えねばならぬからである。

今までに考案された動的釣合装置は種々雑多であるが上に述べた目的に副う釣合調整を取りえないうらみがあ

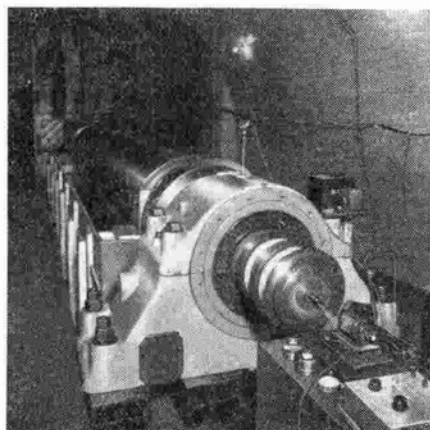
つたので、当社では可搬式電磁式釣合調整器を考案し、この釣合器を使用して、タービン発電機の釣合を取つて好成绩をあげたが、この回転子軸もこの釣合調整器を用いて運転と同一状態で調整した。

この装置を用いて不釣合振動の振幅と位相が正確に求まるが、これは回転子の両軸受台上に置くピックアップ回転子軸端に可撓軸で取付ける小形正弦波発電機、同界磁調整器および拡大装置よりなる。

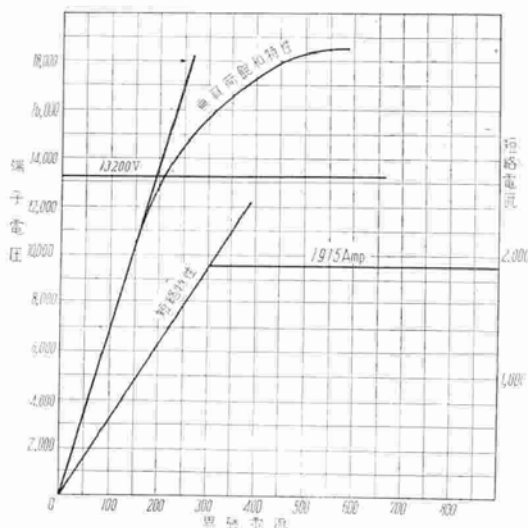
工場では回転子を加熱箱中に入れ一様に加熱し、運転速度以下で乾燥運転を行い、引きつづき運転速度で乾燥運転を終え、回転子完成後過速度試験室内で日本電気工業委員会制定の規定に従い 115%、5 分間の過速度試験を施行したがこの有様を 11 図に示す。

8. 特 性

本機は昭和 25 年 5 月製作に着手し鋭意製作に努め昭和 26 年 5 月 31 日ご注文主および関係者各位の立会のうえ諸特性試験を無事終了し、引きつづき昭和 27 年 5 月営業運転に入つたものである。

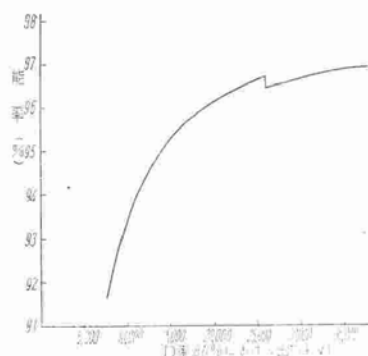


11 図 過速度試験中の回転子
Fig. 11. Over speed test of generator in the testing pit.



12 図 特性曲線
Fig. 12. Characteristic curves.

九州電力 43,750 kVA 3,600 rpm タービン発電機・加賀



13 図 能率曲線
Fig. 13. Efficiency curve.

1 表 各種リアクタンスの測定結果
Table. 1. Results of measurements on various reactance values.

種 類	実 測 値	計 画 値
同期リアクタンス x_d	146%	※ 159%
直軸過渡リアクタンス x_d'	19.1%	19%
直軸次過渡リアクタンス x_d''	13%	12%
横軸次過渡リアクタンス x_q''	13.7%	12%
逆相リアクタンス x_2	13.2%	12%
零相リアクタンス x_0	5.6%	6.5%
開路過渡時定数 T_{d0}'	2.8sec	2.65sec
過渡 (短絡) 時定数 T_d'	0.368sec	0.723sec
次過渡 (短絡) 時定数 T_d''	0.0534sec	0.035sec
電機子時定数 T_a	0.07sec	0.162sec

※ JEC 114 による

本機の諸特性曲線および能率曲線はそれぞれ 12 図、13 図に示し、同時に測定した各種リアクタンスの計画値と実測値の比較を 1 表に示す。

なお本機は現場据付後で、注文主である九州電力会社・電力技術研究所・三菱造船会社および当社協同で、発電機リアクタンス測定・出力試験・負荷遮断調速機試験・非常調速機試験・電力動揺試験・各種機器の誘電体率および絶縁抵抗測定を行い、きわめて優秀な結果をえた。

9. む す び

空気冷却 3,600 回転の国産記録品である本機が終戦後完成したことは、当社の発電機製造技術が戦前以上の水準にあることを江湖に示したものであるが、なおかかる記録品を採用せられたるご注文主に深甚の謝意を表する次第である。

現在当社は本機製作によりえた経験および嶄新な改良、基礎研究を基にして、同一ご注文主から受注した画期的記録品 58,800 kVA 3,600 rpm 水素冷却タービン発電機 2 台を鋭意製作中であり、なお中国電力会社小野田発電所向 41,177 kVA、3,600 rpm 機 1 台を同時製作中である。

変 圧 器

伊丹製作所

田 宮 利 彦

Power Transformers

By Toshihiko TAMIYA

Itami Works

In the cooling of large main transformers of power plants, Proper cooling methods should be decided according to the capacity. The self cooled type was most extensively used in the old practice because of the convenience in the maintenance. But the completion of various types of forced oil cooling radiator with high cooling efficiency, safety and reliability has changed this trend and FOA type has come in much use for the unit above 30,000kVA. Furthermore, OA/FA/FOA, so called triple rating type, of high operating efficiency have come to enjoy popularity. On other hand, shell type surge proof units built in the Form-fit construction are becoming highly reliable and one unit of 3 phase transformer is enough to answer the requirement.

1. ま え が き

火力発電所用の変圧器としては主発電機より昇圧して送電する遷昇変圧器と所内動力用変圧器がある。

主変圧器は発電機容量とほぼ同一の kVA を有し最大 65,000 kVA に達しさらに 75,000 kVA 以上になるのも遠くはない。またその二次電圧は負荷端に近いため 65 kV 77 kV または 110 kV 級が多い。

1 回は九州電力築上発電所へ納入した第 1 号器用主変圧器でその仕様は

3 相 45,000 kVA 60 ~ 12.6/69-66-63 kV Δ/Y

外鉄形油入自冷式窒素封入装置付であつて外鉄形純自冷式としてはわが国最大容量のものである。

従来火力発電所の変圧器その他変電機器はできるだけ保守点検に便利で構造の頑強なものが要望せられていた。けだしボイラ・タービン等の発電用機器の保守に多大の労力が要望されるので、変圧器等は多少最初の価格が増しても自冷式で手数の省けることが望まれていた。

しかし最近の変圧器の技術の進歩は如何な型式のものを採用しても保守に手数を煩わすことは絶無となつた。

したがつて同上築上第 2 号増設用として目下当社で製作中の 65,000 kVA 3 相変圧器は、関係技術者のご支持によつて最新式の送油風冷式フォームフィット構造を採用願つた訳でここに各種の冷却方式について比較説明を行うこととする。

2. 大形変圧器の冷却方式

ア. 自冷式変圧器

1 図は前記のとおり自冷式の代表的なもので中身は従来の外鉄形サージプルーフ式構造で絶縁耐力は一段と強くかつ線輪は鉄心やコイル押えで四周から包まれてあるので短絡時の機械力に対して大変強い。また完全に組立てたまま横倒しにして輸送することができるから、後述するようにフォームフィット構造の併用と相まつて 75,000 kVA 位まで汽車輸送を行うことができる。2 図はその例である。

外鉄形の外箱は中身に合わせて長方形で大変小さくムダな油量を少なくしてあるが放熱器は四周には付き切らず四隅に別にヘッドを設けて一面に放熱器で囲まれている。

したがつて油量も多くなりこれ以上の大容量には不向となる。精々 20,000 kVA 位までが最も経済的で保守にも便利である。

放熱管は仕上鋼を使用し十分清掃した上パーカライジング法によつて防銹生地を作りその上に良質の塗装を 2 回以上行い据付後現場仕上塗りをして耐久力を十分にしている。1 図に示す 45,000 kVA 変圧器の重量、寸法は下記の通りである。

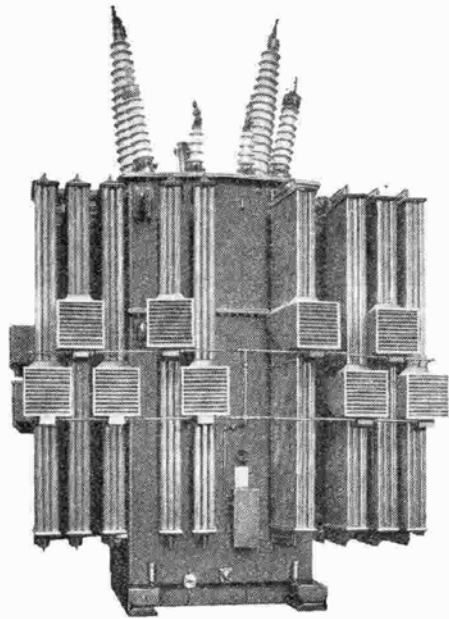
重量 78,000 kg 油量 31,000 総重量 106,000 kg
床面積 4,900×5,350 mm 高 4,500 mm

イ. 油入風冷式

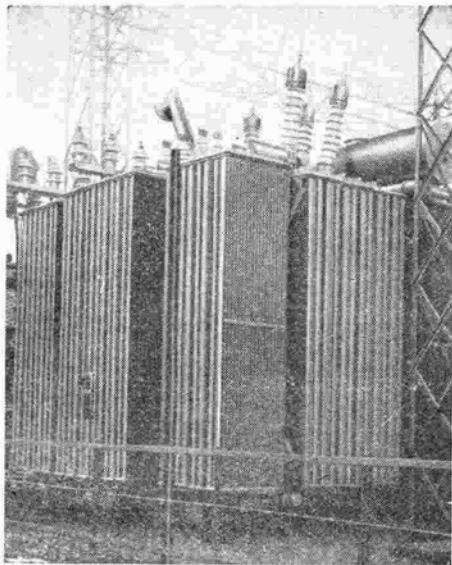
上記の自冷式は油および空気自然対流によつて冷却されるもので、密集した放熱管が温まつた空気の膜で包まれたような状態では冷却効果は良好でない。これに送風機を併用して温い空気層を励まして対流を促進するのみで、その放熱効果は 150 % になり、さらに強力な送風機を使用して送風すると 200 % 以上になるから放熱器数を 67 % (1/1.5) または 50 % に減少することができる。

図は前者で、図は後者の一例で、3 図は放熱器 1 個毎に小形ファンを外縁につけているが、4 図は 1/4 HP ~ 1/2 HP の送風機を数個放熱器の側面につけて数列の放熱器を共通に送風している。しかしてその数によつて放熱効果を加減できて 150 % から 200 % 以上となる。

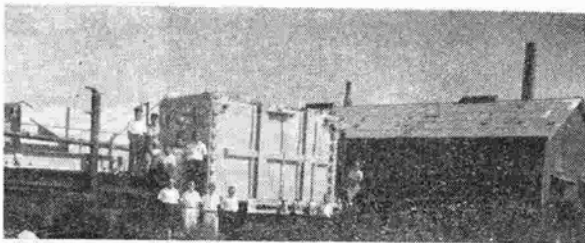
したがつて 1~2 万 kVA 以上の大形変圧器では送風機を併用して油量・床面積を縮少し、軽負荷時には送風機を停止してその電力損失を省略するとよい。いま無負荷損失と負荷損失の比を 1:2 と仮定すると送風機を停止しても 75 % ~ 55 % の負荷で連続使用できる。また一方自冷式で全負荷に耐えるものは送風機を併用して 130



3 図 油入風冷式変圧器 (小形ファン使用)
Ffig. 3. 30,000kVA OA/PA Transformer.

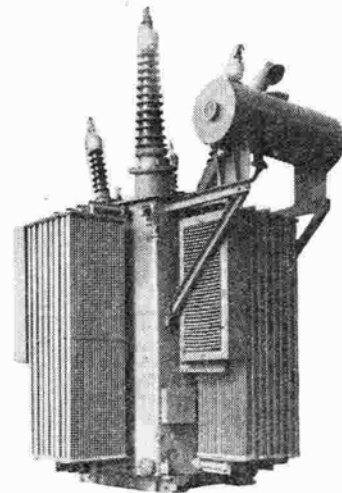


1 図 築上発電所納入自冷式変圧器
Fig. 1. 45,000 kVA 3 phase Self cooled shell type Transformer 12,600 V/60,000-66,000 V-63,000 V Δ/Y 60 cycle.



2 図 45,000kVA 外鉄形変圧器の組立輸送 (シキ 100 貨車使用)
Fig. 2. 45,000 kVA 3 phase shell type transformer shipped sidelong.

変圧器・田宮



4 図 油入自冷/風冷式変圧器
Fig. 4. 10,000/12,000 kVA/FA Transformer.

~150 % の過負荷に使用できる訳である。もちろんこれは油温と放熱効果についてのみ考えている訳でコイルと套管口出線等の電流密度で制限されるから注意せねばならない。

ウ. 自冷-送風-送油式 (三重定格式)

さらに容量が増加して 3 万 kVA 以上となると上記の送風機のほかに送油ポンプを併用して送油風冷式とするのがよい。たとえば自冷式で 60 % 送風して 80 % さらに送油して 100 % 負荷に耐えるいわゆる三重定格式とすることができ、負荷に応じて最も効率のよい運転を行い補助機損失を最少にし、かつ建設費も安くすることができる。5 図に示すように油ポンプは放熱器一群(数個)

に1台で送風機と一群の放熱器に共通に2個ないし6個を取付けその側面から油流に直角方向に吹きつけるもので放熱器1個宛に小形ファンを取付ける方式よりも経済的であり、保守にも便利で十分な放熱効果を支えることができる。

この実例として5図の北海道電力砂川発電所向33,750 kVA 3相変圧器ならびに中国電力小野田発電所向第3号用42,000 kVA 3相変圧器があり、今後大いに採用される傾向にある。いずれも三菱独得の外鉄形サージブルーフ式フォームフィット構造でその内容は下記のとおりである。

砂川発電所向 33,750 kVA 3相送油風冷式 3重定格
11,000 V 69,000 - 66,000 - 63,000 V 50 $\sim$

重量 66,000 kg 油量 14,500 l 総重量 79,000 kg

床面積 4,857 $\times$ 4,690 mm 高 6 390 mm

補助機損失は全損失の3%位で変圧器効率には0.02%しか影響しない。

小野田発電所向 42,000 kVA 3相送油風冷式 3重定格
10,500 V/115,000 - 110,000 - 105,000 V 60 $\sim$

重量 77,000 kg 油量 22,000 l 総重量 97,000 kg

床面積 5,110(6,200) $\times$ 4,780 mm 高 6, 50 mm

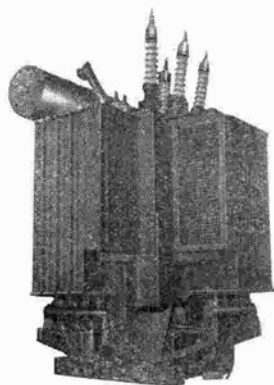
() 内の寸法は油膨脹室を含めた寸法

補助機損失は非常に少く変圧器の効率に換算すると0.02%の低下にすぎないし送風機のみ運転ではさらに少なくなつて損失は3分の1となる。

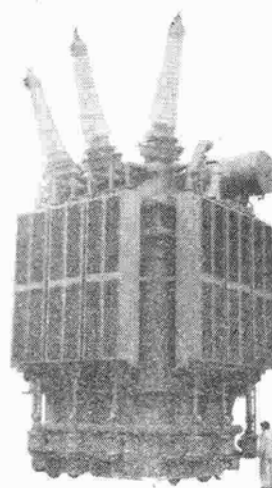
エ. 送油風冷式 (三菱Uフィン管式)

さらに大容量の変圧器では三菱独得の冷却効果のよいUフィン管式放熱器を使用した送油風冷式がもつとも適し、油量と床面積を著しく減少することができる。

6図はその一例で、放熱器はタンク本体の四方に直接取付けられ側板よりわずか0.8mの寸法内に納まるもので配管も短くわずかのヘッドの油ポンプで多量の油を循環でき、送風機も1/4 HP程度の小形品を数個直接取付けてあるから風損も少く騒音も低く大変効率のよい冷



5図 自冷/風冷/送油式変圧器 (三重定格式)
Fig. 5. 33,750 kVA 3 phase OA/FA FOA triple
rate of transformer 60%-80%-100% Capacity.



6図 送油風冷式 フォームフィット変圧器
Fig. 6. 117,000 kVA 275 kV 3 phase Transformer
type FOA shell type Form-fit construction.

却装置である。

万一1組のポンプやファンが停止しても全体としての影響が少く、予備品との取換にも1/2~1時間以内ですみこの間の温度上昇は無視できるほど少い。

ファンとポンプが全部停止したときは油はポンプの羽根の間を自冷式として対流できるが自冷式としての冷却効果は1/5位となるので無負荷損失すなわち全損失の1/3をも連続して放散することができないので連続自冷容量はないこととなる。しかしこの種の変圧器は大形であるため巻線、鉄心および絶縁油等の熱容量が相当大であるから補助機が全停しても2~3時間は安心して全負荷運転ができる。その詳細については後述する。要するに連続自冷容量を是非要するときは上記Uフィン管のような効果のよい放熱器は却つて不向でもつと効率の悪いすなわち換言すれば形の大きい放熱器を付けねばならないこととなる。また送風機のみ運転しても十分な熱量をポンプによつて補充し得ないからダメで、反対に油ポンプのみ運転しても、放熱器から十分放熱し得ないので無意味となり結局双方とも運転して初めて著しい効果をあげるのである。もちろん負荷に応じてその運転台数を加減して補助機損失を軽減することは有効である。

九州電力築上発電所用第2号変圧器は本方式の放熱器とフォームフィット式の採用によつて電圧・容量が大きいかにかかわらず下記のような数値となつた。

65,000 kVA 3相 60 $\sim$ 送油風冷式 (Uフィン管採用)

12,600 V/115,000 - 110,000 - 105,000 V - 66,400 -
63,500 - 60,600 V Δ

重量 99,000 kg 油量 17,000 l 総重量 114,500 kg

床面積 4,760(5,000) $\times$ 4,100(5,620) mm 高 7,470 mm. () 内の寸法は油膨脹室・支持碍子・中性点避雷器を含む。補助機損失は全損失の約5%になり

変圧器効率には0.034%に相当する。

前記1図の第1号器45,000 kVAに比べて油量は14,000 lも減少して55%となつた。しかし油量の減少が直接油の温度上昇やその寿命に影響するように誤解される人があるが、これは下記の点を考えれば了解される。この方式の油量の減少はフォームフィット構造によつて中身と外函との間の絶縁や冷却に不要な空所に溜つた油をなくして、普通の場合の30%以上50%の油の節約ができる。つぎにこの油のほとんど全部がコイルやユブアーの表面を流れて有効に熱を導き出して、これを十分な放熱面積を有している放熱器によつて所定の温度に冷すことができるので、このUフィン式放熱器の放熱効果は普通品の数倍であるから、これに要する油量は数分の一になつた。両者相まつて油量がこのように減少する訳で油の温度が所定以下にあれば問題でないのである。

いたずらに油の多いのは保守や取扱上不便で価格を増すのみである。ただ油の熱容量だけ短時間の温度上昇に耐えうることとなるのみで、いま油量10,000 lを増したときにこれに対する熱容量は100 kWの損失を3分間で1°Cの温度上昇となるので、この65,000 kVA変圧器に対しては計算の結果は補助機を全停した場合に10°Cの温度上昇までに約40分間使用できることとなるのに対して10,000 lの油量増加はさらに7分間長く使用できる程度の利点があるのみである。

したがつて連続自冷容量はなくとも大きい熱容量のために全負荷運転時にファンとポンプを全停してもなお1時間はそのまま運転を続けても支障がなく、軽負荷の場合や、周囲温度が低い時にはそれぞれの場合に応じてさらに長時間使用できる訳である。

いま本器について色々の場合を計算すると1表のとおりになる。

1表 短時間使用時間(E)と油温上昇(F)
(65,000 kVA 変圧器のファンとポンプ全停時)

A	B	C	D	E	F
100%	100%	35°C	75°C	60分	※ 15°C
100	10	20	60	120	※ 30
100	75	20	60	170	30
100	50	20	60	230	30

A ファンとポンプ全停前の負荷の割合

B " 後の "

C 周囲温度

D ファンとポンプ停止時の油の温度

E " 後の使用時間(最終制限油温90°Cとす)

F 最終油温(90°C)までの油温上昇

※前述のとおり40分間に10°C上昇の割合で計算

オ. 水冷式と送油水冷式変圧器

昔の大形変圧器はほとんどこの方式であつたが、前述のように有効かつ軽便な放熱器が安価にできる現在ではほとんど影をひそめた状況で、とくに場所の狭少な屋内変圧器・田宮

用すなわち換気通風の不便な地下室や工場内設置のときでかつ良質の冷却水が容易に得られる水力発電所等に時々採用せられるのみである。

水の比熱が大きいため冷却器としては小型となるが、水管の腐食や水垢による効率の低下を防止し断水時の保護対策等で保守点検に相当手数を要する。高電圧用では万一少量の漏水があつても致命的な絶縁破壊を来すことを考えると一部の火力発電所で海水冷却器を採用するのは悪い盲腸を抱えておるようなもので不安がつねにつきまとい、嶄新な変圧器たとえば窒素封入式フォームフィット変圧器のように保守点検が不必要で何年間も安心して使用できるものに比べて、一抹の不安と弱点を残すきらいがある。しかし最良の設計と十分吟味した材料をもつて立派に作られたものは現に相当実用されておるから、保守点検に注意すれば差支えない訳であるがことさらに推奨すべき形式ではない。

上述のように各種の冷却方式があるが最近に変圧器本体の能率が大変問題にされて、冷却方式の如何にかかわらず能率はつねに経済的最高値を要望せられるから、冷却方式によつても中身の設計は変らず、かつ数万kVAの大形変圧器では値段の大部分は主材料たる中身にて占められるので、冷却器の方式がいかによつても全体の価格には大した影響はしない。したがつて保守に不便な水冷式は有利でなく使用される場所に依りてもつとも適当なものを選ぶはよい。一例として下記を推奨する。

10,000 kVA 以下 自冷式

20,000 kVA " 自冷式または油入風冷式

30,000 kVA " 油入風冷式または送油風冷式

30,000 kVA 以上 送油風冷式(三重定格式またはUフィン管式)

50,000 kVA 以上 送油風冷式(または送油水冷式)

外国の文献・広告等に往々各冷却方式に対する値段の比較表を見るが、わが国の最近の例のように能率が同一という比較ではなく、冷却効率のよい送油風冷式や水冷式には能率を低下して変圧器のみの最低価格に設計した場合があるから注意すべきである。

カ. 付 属 器 具

上記各種冷却方式の改良を相まつて、これらに使用せられる付属器具の品質向上と信頼度が大切で、一小部分であつても安全運転には注意が肝要である。

送風機は丈夫でとくに騒音低下に改良苦心が払われ、電動機は1/2 HP または1/4 HP 3相全密閉式でボールベアリングを使用し2年に1回位の点検で十分である。外部の鎧戸は虫や鳥の巣等の外敵から保護するため防水のためではない。

油ポンプは電動機と直結して二重ケースとなつており冷却された油の中で回つてゐるので、冷却もよいし給油の必要もなく軸部分から油のもれることが全くない。各個の油の流量やその方向は電磁石式の油密型油流計で示

し油の停止のときは警報するように端子が設けてある。

また過負荷保護か電源の低電圧・逆相・欠相等の保護もあり、温度による各器の制御も配電盤からできるようになっている。

3. 外鉄型フォームフィット変圧器の特長

三菱外鉄形変圧器の特長は、機械的に頑丈なものと電氣的絶縁とくにサージに対して合理的でかつ十分強い設計構造になっていることである。すなわち線輪はプレスボードまたはフラーボードと称する強靱な固形絶縁物で全周を包んだ上その外周を鉄心ならびにコイル締付板で囲まれているから、短絡時の強大な内力に対しても変形の余地がなく、また運搬取扱中の外力に対しても心配なく横倒し輸送等もできて便利である。

また線輪の数が少くその対面積が大きいのでサージの分布が均等になりかつ上記のとおり各コイルは十分な固形絶縁物で包んであるのでサージに強い。そのうえ 30 年間の実績経験がありとくに昭和 10 年頃から上記のようなサージブーフ型設計が採用されてより外鉄形変圧器の安全性は著しく増大して、ほとんど本体の事故はなくなつた。したがってここに一步進んで高電圧でかつ大きい機械力を必要とする大型器たとえば 66 kV, 5,000 kVA 以上の変圧器は全部外鉄形のフォームフィット構造を採用し、中身の保守点検のいらない丈夫で便利な変圧器ができ上つた訳である。フォームフィット変圧器の特長を結言すれば、永年点検不要の電氣的にも機械的にも頑丈な変圧器ということになる。すなわち外箱の側板がコイルの締付と鉄心の締付を兼ねており締付ボルト類は一切使用せず各部とも広い面積の板で締付けかつ溶接を採用しており弛むことがないから中身を吊出して締直

す必要もない。

外箱の形を細工して油量を少なくすることはばかりが特長でなく、中身が充実完備していないものはフォームフィットの真価を発揮しえないことを強調したい。

最近内鉄形変圧器でもサージの電位分布をよくするために工夫が始められた。たとえば円盤状コイルの巻き方を交錯せしめてコイル間直列容量を増す Hiser cap Winding すなわち High Series Cap. city のコイルや対地容量を遮蔽して少くした Logr. cap すなわち Low ground Capacity coil をウェスティングハウスその他で実施しており、また GE 社その他では従来の低圧コイルに使用しておつたように円心円筒形コイルを採用して、外鉄のごとくコイル数を減らしてコイル間の静電容量を増しているが、使用実績も浅くまた機械的力に対してはなお研究すべき処多く今後の問題は残されている。いずれにしても上記フォームフィットの特長と真価に影響するものではない。

4. 単相と三相の比較

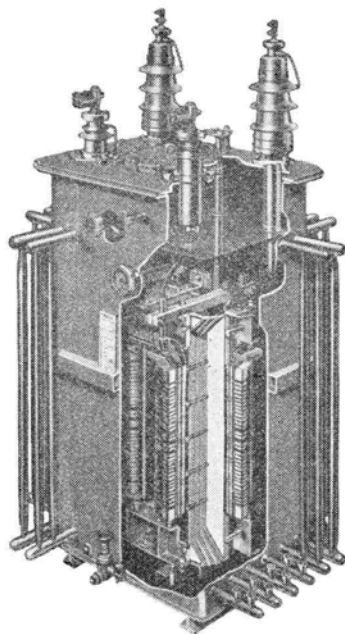
火力ならびに水力発電所ではいわゆるユニットシステムを採用して発電機と変圧器は一貫して操作されるために発電機容量と同一の三相変圧器が採用せられる場合が多い。

上述のように大形変圧器の信頼性が増大したので三相 1 台のユニットシステムにてなんらの不安も問題もない。

ときには据付場所や経理の関係で発電機 2 台に対して三相変圧器 1 台という例もある。火力発電所では少いが発電機が 3 台以上もあり容量に比べて送電圧が高いような場合は三相 3 台案よりも単相 3 台で予備 1 台案が有利なこともあり、また単相の方が単位重量が軽く組立輸送が可能なることもあり、また高電圧の三相器では套管の配列や引込配線間隔が苦しくて困る場合がある。

5. 所内変圧器

所内変圧器は発電所の運転の動力源となるものであるから主変圧器同様重要でありその信頼性の高いことが必要である。とくに屋内に設置される小形変圧器においても重要な制御電源を供給するものでこれら屋内機器の万一の事故が火災等の大事を起す原因となるからメタルクラッド型配電盤や気中遮断器（三菱 C 型空気吹付式または DH 型電磁吹付式）と併用と相まって油なし変圧器の採用が要望せられるようになった。しかし油なし変圧器に使用せられる珪素樹脂かその他の特殊絶縁物はわが国の実績が少くかつ湿度の高い塵埃の多い処では特高用としてはなお多大の不安があり、その耐久性は未知数である。したがって特高用としては 7 図のように油入にして入念な設計をなし外箱は溶接して全密閉式として窒素ガスを封入し万一の事故時でも発火しないように不燃性にすることが考えられている。



7 図 全密閉窒素封入式変圧器
Fig. 7. Nitrogen all welded transformer.

火 力 発 電 所 用 配 電 盤

神戸製作所

五十嵐 信 一

Switchboards for Thermal Power Plants

By Shin-ichi IGARASHI

Kobe Works

Relatively a little development has been reported as to thermal power plants after the war, whereas enormous undertaking of hydro power plants has been drawing attention. New plans and extensions of the former, however, have gradually become active of late like the prewar conditions, and our company has made a contribution to the circles in furnishing with the complete installation of Chikujo Power Plant for the first time after the war.

Switchboards for the above plant are of typical installation in the course of development, though marked progress has been made in this engineering. They have been built by us with utmost care, so detailed account is given in this paper together with the future trend in this line.

1. 設 備 概 要

1図の単線結線図に示すとおり 43,750 kVA 主発電機は 45,000 kVA 3相変圧器 66 kV/13.2 kV) とユニットとし 66 kV に昇圧され碍子型遮断器を経て 66 kV 二重母線に接続され、母線より二回線の送電線を出している
所内電源は 5,600 kVA, 3 ϕ , (66 kV/3,300 V) 変圧器 2台を設置し 66 kV 二重母線より逡降して 3,300 V 所内饋電回路に接続される。

主変圧器および所内変圧器はいずれも屋外油入自冷式で火力発電所用変圧器として経済的な運転を行う性能を有するものである。(詳細は別項参照)

遮断器は 66 kV 側に接続される発電機回路、送電回路、所内変圧器回路のものは碍子型を採用し、発電機中性点回路のものは油入遮断器を使用している。碍子型は圧縮空気投入とし油入型は電磁操作式である。

遮断器の仕様

- ・碍子型遮断器 70-V-150型 69 kV 800 A...5台
3極屋外型 遮断容量 1,500 MVA (66 kV において)
- ・油入遮断器 B-13 NS 15 kV, 400 A...1台
単極屋内型 直流 110 V 電磁操作式

3,300 V 所内補器回路は第1群から第10群まであり、第1群は No.1 所内母線、第2群は No.2 所内母線に

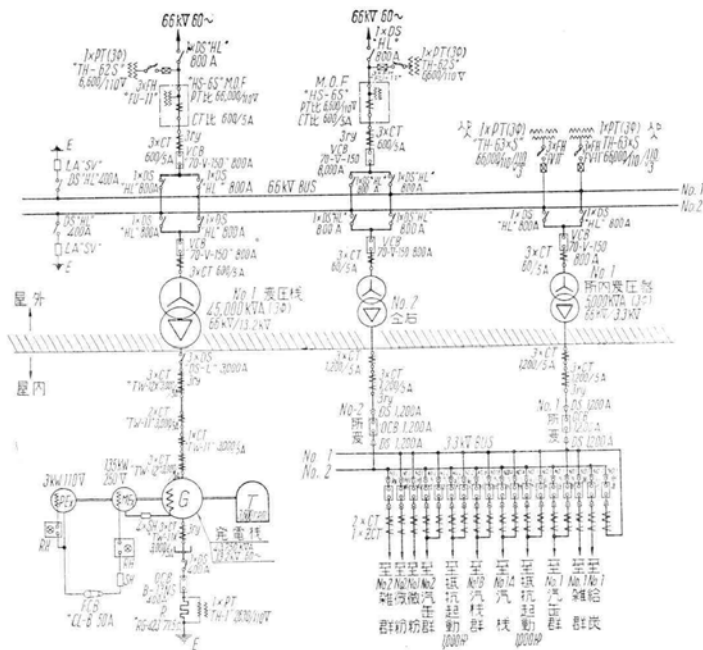
属するもので、それぞれ No.1 および No.2 所内変圧器から受電している。第3群から第9群までは No.1 No.2 母線より取り、汽機・汽罐・微粉炭・雑回路等に饋電される。

2. 配 電 盤

主配電盤・補助盤・所内動力監視盤等は配電盤室に設置され、3,300 V 所内饋電盤は充填型メタルクラッドとし所内配電盤室に据付けられる。なお発電機中性点回路の器具盤および界磁盤はギニービクルとしている。

以上各盤の塗装は表面は当社標準色 No.3 号のスポーツグレー極上仕上とし、裏面内部塗粧は銀色ラッカ吹付としている。また裏面配線は 1.6 mm ビニールワイヤを使用し JEM 規格どおりの色別の外電線の終端にはビニールキャップをはめ相および極性別の色分けをしている。

主配電盤は分離机型制御盤 (D-1 s 型) と二重型配電盤 (LD 型) との組合せであり、従来のものに改良を加えて操作に便利なようまた防塵のうえから二重型の上部にはカバーを付し、側面ドアは従来の伸縮戸を排してその上下部に斬新な打抜模様の通風穴を配置して美観を添えている。盤の上部は盤名を表示する底付照明名板として、計器面の照明を良くしなお故障遮断時には照明名板を点滅させて注意を与えている。(2図参照)



1 図 築上発電所単線接続図

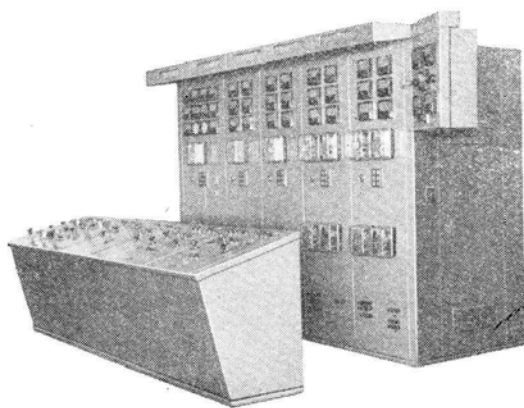
Fig. 1. Skeleton diagram for Chikujō power plant.

今回は第一期工事のものであるが、下記盤面より成っている。主配電盤の構成は下記のとおりである。

- | | | | |
|----------|------------|-------|----------|
| 1号発電機盤 | D-1s型, LD型 | | 1面 |
| 1号所内変圧器盤 | " | " | 1面 |
| 2号同上 | " | " | 1面 |
| 1号送電盤 | " | " | 1面 |
| 2号同上 | " | " | 1面 |
| 同期検定盤 | — | — | 1面 |

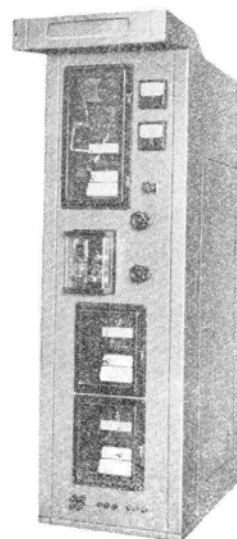
補助盤はLD型二重型配電盤として表面には当社BJ型自動電圧調整器・負荷表示器用記録伝送電力計その他の記録計器をつけ裏面盤には発電機固定子および回転子温度測定装置等を取付ている。(3図参照)

所内動力監視盤は主配電盤LD型と同様でありただ相違するところは横に三段重ねとして上部には計器、中部



2 図 主配電盤 D-1s型 LD型

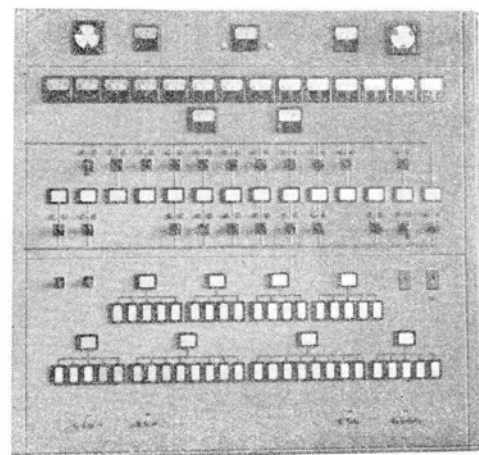
Fig. 2. Main switchboard.



3 図 補助盤 LD型

BJ型自動電圧調整器負荷表示器用記録伝送電力計および記録計付

Fig. 3. Auxiliary switchboard.



4 図 所内動力監視盤

Fig. 4. Supervisory switchboard for the station power.

は 3,300 V 母線回路の制御および監視、下部は饋電線群の運転状態を監視できるようにしたもので、本盤により所内高圧回路の状態が一目瞭然である。(4図参照)

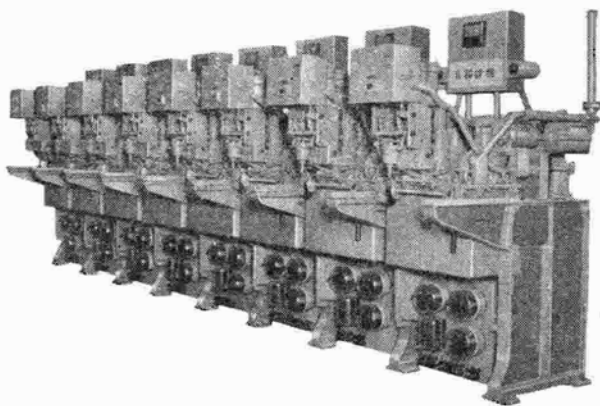
3. 充墳型メタルクラッド

火力発電所補器回路用として永年にわたる無事故の実績を高く評価され採用されたもので、下記の各群よりなり合計 62 台の龐大なものである。(5図参照)

1 表はいずれも所内配電盤室に据付けられ第1群および第2群に属するものは主配電盤室にある監視盤より制御され第3群より第10群までに属するものは汽罐室と汽機室の操作盤より制御されるものである。

4. 電圧調整器

この発電所に採用されたものは BJ 型自動電圧調整器である。これは励磁機抵抗器型に属するもので、主発電機界磁と励磁機電機子とは直接に接続される場合に使用



5 図 充填型メタルクラッド
(3,300 V 所内補助機回路用)

Fig. 5. Metalclad switch gear for 3,300V station auxiliary circuit.

1 表

3,300 V 所内高圧回路用メタルクラッド (充填型)

群別	(用途)	型	遮断容量(MVA)	台数
第1群 No.1 所内母線)		C 2 C 3	100 150	10
第2群 (No.2 ")		"	"	10
第3群 (No.1A 汽 機)		C 2	100	4
第4群 (No.1B ")		"	"	4
第5群 (No.1 汽 機)		"	"	5
第6群 (No.2 ")		"	"	5
第7群 (No.1 微 粉)		"	"	8
第8群 (No.2 ")		"	"	8
第9群 (No.1 雑)		"	"	4
第10群 (No.2 雑)		"	"	4

するものであり、励磁機の界磁電流を加減して主発電機の電圧調整をなすものである。送電系統の安全度を増進せしめる一方法として同期機の速応励磁を行うためには鋭敏にして確実に動作する自動電圧調整器が必要であるがこの器はこの条件にもつとも適するもので、発電機電圧が規定値にある場合は静止しているが、わずかな変動でもあると電動操作の界磁調整器を操作して電圧調整を行い、大きな電圧変動に対しては上記電動操作調整を行うとともに速応型の電磁接触器により励磁機界磁回路の抵抗を挿入または短絡して電圧を急速に規定値迄回復させるものである。

この調整器は従来の AJ 型を改良したもので原理的には同様であるが、主制御要素を変えて一つの可動レバーに電動制御接点と速応接点とを取付けたところに妙味あり、上記の二接点に電磁的乱調防止装置を付したことにより確実優秀な性能を生むに至ったものである。

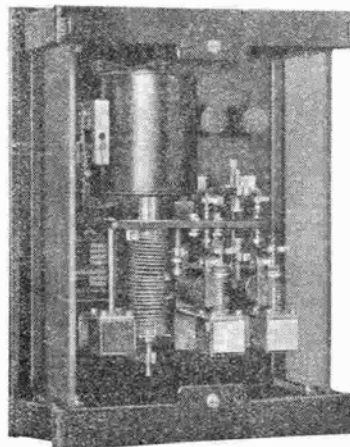
可動レバーの他端に電動制御接点を取付けば中央部火力発電所用配電盤・五十嵐

に速応接点を取付けてある故に大きな変動のときのみ速応接点が動作するものである。AJ 型を BJ 型に改良することにより主制御要素の大きさは $1/2$ 以下となる外調整用接触器も数少くなり界磁調整器に取付くことができたので接触器盤は不用となつた。

この電圧調整器は水力発電所としてはすでに数多く採用されているが、火力発電機用としては築上発電所が最初であり非常に良好な成績を納めた。6 図は BJ 型電圧調整器の主制御要素、7 図は電磁接触器付電動界磁調整器を示す。

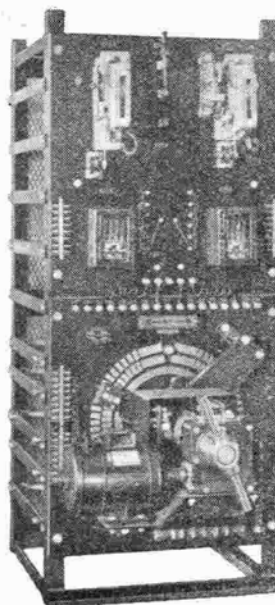
5. 保護継電方式

発電機内部短絡故障に対する保護としては HA-G 型高速度比率差動継電器を採用している。これはどんな外部短絡電流が通過しても誤動作することなく、内部故障のときは瞬時 (1 秒以内) に確実に動作するものでその感度は 5-10-20 % の 3 段に調整できるものである。



6 図 BJ 型 電圧調整器 主制御要素

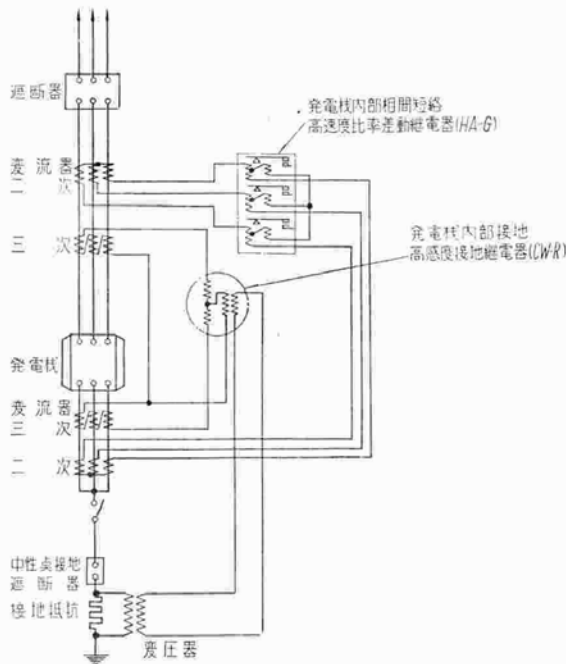
Fig. 6. Voltage regulator.



7 図 電磁接触器
および電動界磁
調整器

Fig. 7. Electro-magnetic
contactor and motor
operated field
regulator

なお発電機回路の地絡故障に対しては発電機中性点より抵抗を通して接地しその電流を 100 A に押えている。この保護継電器は電力要素を入れた CW-R 型高感度接地継電器を採用し 95 % の保護率を有している。なおバックアップとしては CV 型過電圧継電器を入れて万全を期している。以上 3 継電器のうちいずれが動作しても 66 kV 側の遮断器を動作させ発電機を系統より切離すと同時にそれを条件として界磁を消勢し、中性点回路の遮断器を遮断して内部故障の発展を防止するほかタービンと送風機を停止せしめ消火装置 (CO₂ ガス) を動作せしめる。(8 図参照)



8 図 発電機回路保護方式
Fig 8. Protection for generator circuit.

変圧器内部故障保護としては、主変圧器および 1, 2 号所内変圧器ともに当社 HA-T 型 高速度比率差動継電器により故障時には瞬時に動作し故障を最少限度に止めるようにしており、そのトリップオーダーは発電機内部故障 HA-G 型と同様であるが、ただ消火装置はない。所内変圧器用のものは各変圧器の一次および二次遮断を遮断している。

所内高圧回路の保護としては、過電流・短絡保護に CO-LH 型誘導型過電流継電器 (瞬時過電流要素付) を採用している。これは誘導電動機の起動時に誤動作をせぬよう限時整定を長くできるもので、2~20 秒の間ならば任意に調整できる。なお起動電流以上の明らかに故障と考えられる範囲では瞬時動作要素によつて限時整定の如何にかかわらず瞬時に動作して遮断するものである。

接地保護としては所内母線回路に接地変圧器を置き各メタルクラッドには CO-G 型小勢力過電流継電器を接地保護用としている。

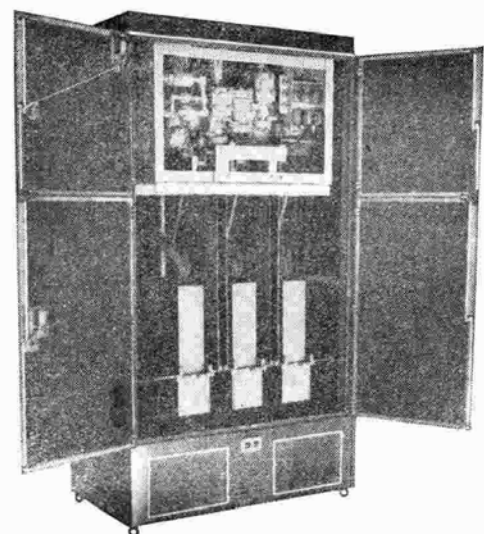
66 kV 側回路の保護としては送電線 2 回線にそれぞれ CO 型過電流継電器および接地継電器として CO-G 型を付している。平行 2 回線送電の場合には HR 型高速度電力方向継電器により瞬時に故障回路を選択遮断するようにしている。なおこの場合の接地保護としては CR-G 型継電器により選択遮断することになっている。また平行 2 回線送電の場合受電端近くに故障がある時にも完全に保護ができるよう 3 個の和動変流器と 3 個の小勢力 CO-G 型過電流継電器を使用し万全を期している。

6. 今後の問題

火力発電所における配電盤の責務は重大であり、発電所の中核をなすものだけにわれわれとしても孜孜としてその改良に精進し来たのであるが、欧米最近の技術は実にすばらしく建築・機械・電気の 3 部門を通じ合理的に簡素化をなしそれがよく協調を保っている。また各種計器・継電器の発達 は自動制御の信頼度を高め大容量発電所の配電盤室は運炭より発電および送電までの順序を照光式その他により表示できるようにしたいいわゆる中央集中制御方式が採用され、これを見れば発電所の運転状態が一目瞭然となつている。その他油無し遮断器と変圧器が盛んに採用されているようである。

最近当社においても高圧気中遮断器を開発しすでに実用に供している。油無し遮断器は災害時の延焼、油の劣化より来る遮断容量の低下等の心配は無くなった。今後これを格納したメタルクラッド、キュービクル等が盛んに採用され厄介視されていたセルコンパートは必要が無くなることと思う。

気中遮断器は特高のものは普通圧縮空気吹付の他力消弧型であり 30 kV 150 万 kVA のものがすでに実用化されている。(9 図参照) また普通高圧のものはマグネラストによる自力消弧型であり 3 kV, 15 万 kVA の遮断容量のものが当社において成功を納めすでに数多く製

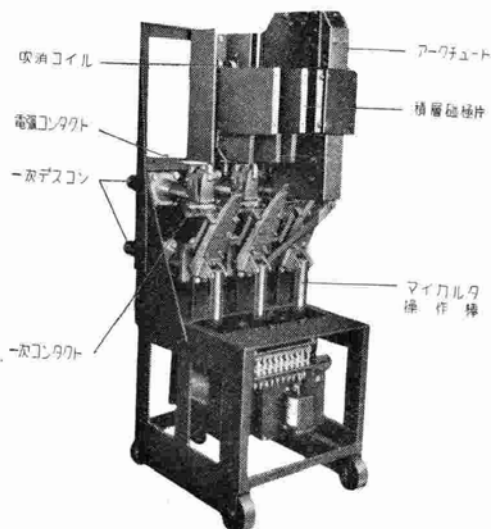
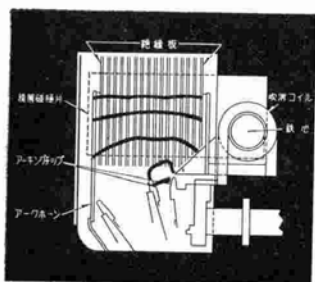


9 図 空気吹付遮断器 (他力消弧型)
20 kV, C 型遮断容量 100 kVA
Fig. 9. Air blast circuit breaker.

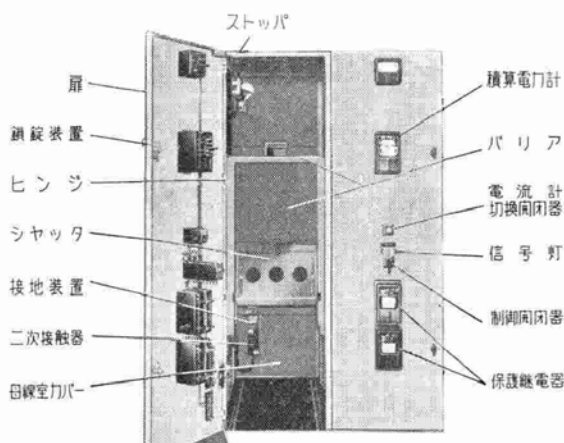
作中である。(10図参照)(11図はそのメタルクラッド)それに従来より開発されてはいたがビルディングの配電盤以外に余り使用されなかつた600Vノーヒューズ遮断器が最近に至りその真価が認められ発電所配電盤

に盛んに採用される傾向にあり、今後屋内に入れる遮断器は大小を問わず全部油無しでできることとなつた。

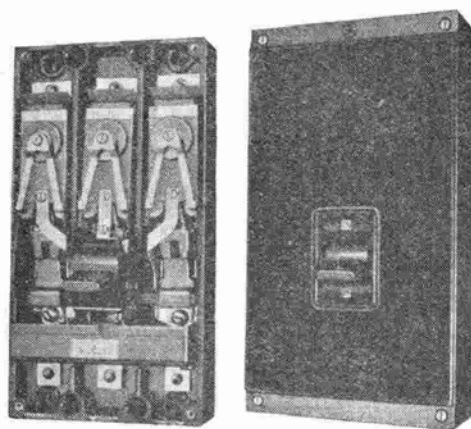
12図は、ノーヒューズ遮断器の外観。13図はNF型225Aフレームの遮断特性を示す。



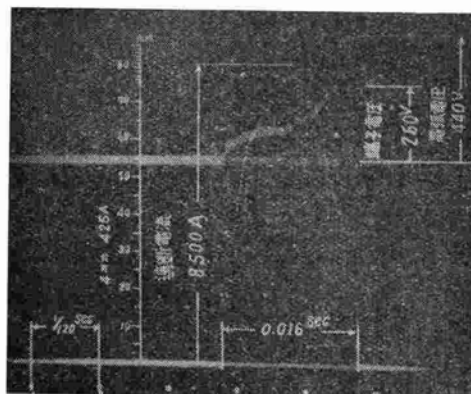
10 図 DH型気中遮断器 3,450 V 150 MVA
自力消弧型 (マグネブラスト)
Fig. 10. Air circuit breaker magnetic blast type.



11 図 気中遮断器用メタルクラッド
WH-3型 3,450V 用
Fig. 11. Metal clad for air circuit breaker.



12 図 225 A フレーム 3 極 600 V A.C. 250 V D.C.
NF型デアイオン遮断器
Fig. 12. Deion circuit breaker.



13 図 225A フレーム 600V A.C. 250V D.C. 直流用
260V 8,500A 遮断試験オシログラフの一例
Fig. 13. Oscillogram of interruption test
of deion circuit breaker.

7. む す び

以上簡単ながら築上発電所配電盤設備の概要と今後の傾向について述べた。終りにのぞみ築上発電所配電盤を完成するにあたり絶大なご指導とご援助を賜つた旧日本発送電火力部および九州電力火力部高田建設所長、天本次長その他関係諸氏に対し厚く感謝の意を表するものである。

当社の誇る2大記録的発電機の近況

当社は電源開発の重要性に鑑み、設計陣・工作陣・研究所研究員一丸となつて火力発電用、水力発電用機器に取組み必死になつて品質のよい優秀な製品を製作している。ここにこれら苦心の結晶たる当社の誇る記録的大発電機の近況をお伝えする。

58,800 kVA 3,600 rpm 水素冷却タービン発電機組立完成へ

さきに本誌26巻6号(昭和27年6号)にその製作状況を報告したが、その工事は着々と進捗し、組立完成を急いでいる。3,600 rpm で国産最大容量機であるばかりでなく、水素冷却方式という画期的な発展に内外の注目をあびているが、愈々新春早々工場試験に突入せんとしている。(九州電力築上発電所相浦発電所納)

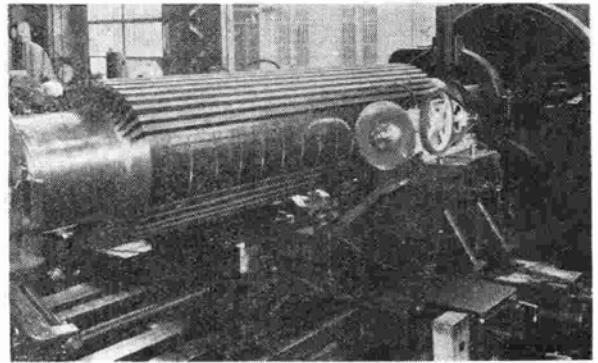
大傘型水車発電機 わが国最初の無拘束速度試験をゆうゆう突破

すでにご報告済の東北電力柳津発電所向発電機(仕様 30,000 kVA 力率 90% 11,000 V 42 極 143 rpm 50 へ立軸傘形同期発電機)は昨年12月受注以来当社神戸製作所において鋭意製作を急いでいたが、同所に新設された水車発電機組立試験用ピット内で、さる10月初旬組立を完了し、以来諸損失測定試験をはじめその他の試験を実施し10月中旬にきわめて好成績に終了した。ところが今回とくに要求された無拘束速度試験も11月1日余裕をもつて完了した。常規回転数に比して最も高率の無拘束速度をもつ Kaplan 水車に直結する水車発電機でしかも 30,000 kVA の出力を有する大形機を製作工場において過速度試験を行つたことはわが国において最初のことであり最も注目されている。

関係者の心配をよそにこの発電機はきわめて好成績に試験を了り、異常はなかつた。

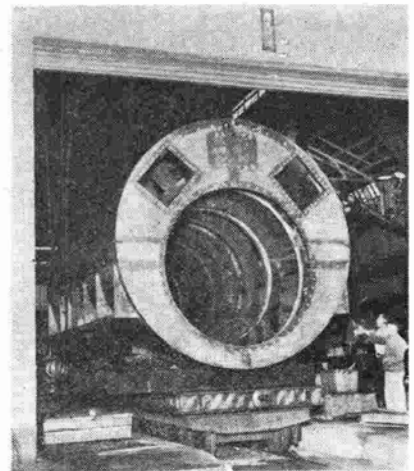
ピット内における

過速度試験を無事好成績に収めた
柳津発電所納
30,000 kVA 傘形水車発電機



横溝加工中の回転子

58,800 kVA 水素冷却タービン 発電機近況



組立に準備を急ぐ
固定子枠

