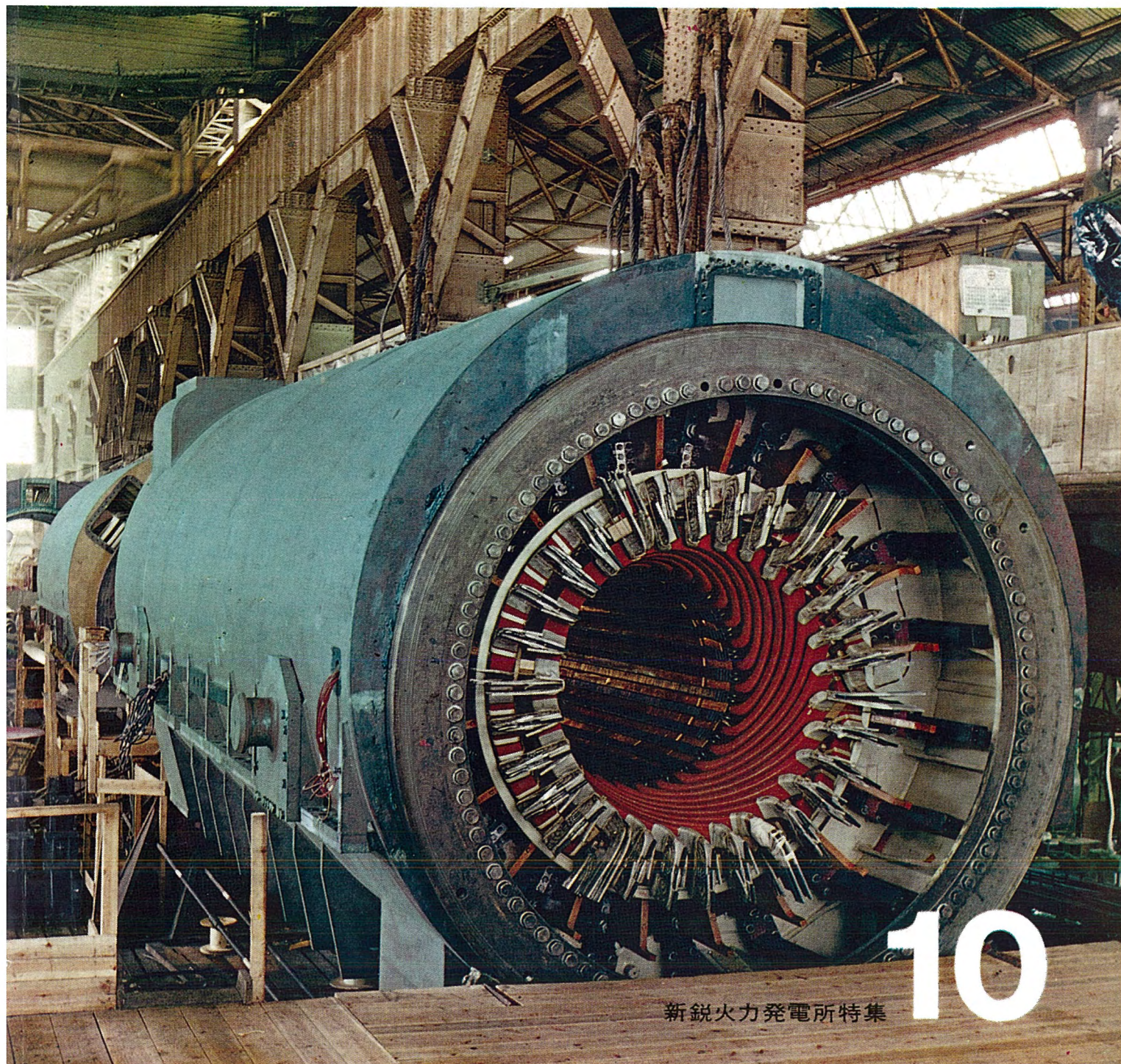


MITSUBISHI DENKI

三菱電機技報

Vol. 36 October 1962

関西電力 姫路第二発電所向け タービン 発電機 (巻線完了した固定子)

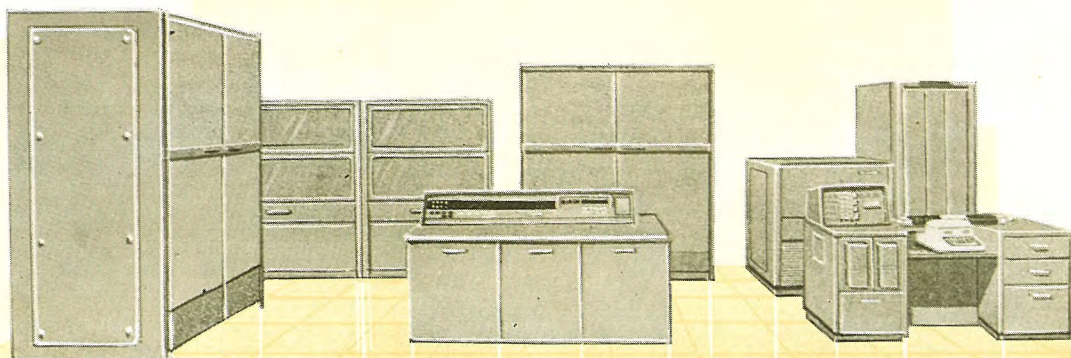


新鋭火力発電所特集

10

八幡製鉄戸畑発電所用データ処理装置 MELDAP-7371 完成

MELDAP-7371 システム

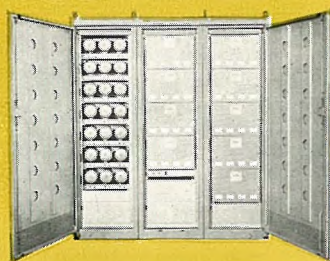


かねてより鋭意製作中であった八幡製鉄戸畑発電所用データ処理装置 MELDAP-7371 が完成した。

MELDAP-7371 はデータの収集ならびに監視を行なう部分と高速電子計算機部分とがたくみに連結されて、いわゆるコンピューティング・ロガーというシステムを構成するユニークなもので、その特異な構成によって総合動作の信頼性をたかめている。

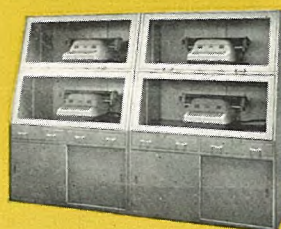
プラント各部の計測量は空気信号、電気信号、パルス、接点の ON-OFF 信号などの形で導入され、変換器盤にて統一電気信号に変換される。入力点数は総計約 100 点で、おもな機能は次のようである。

- a. 1 秒間約 4 点の速度で連続走査監視
- b. 走査監視により異常を発見した場合は警報表示、異常印字を行ない、また異常状態復帰の場合には表示解除、および復帰印字を行なう
- c. プラント起動時には指定データを 5 分間隔印字
- d. 定常運転時には指定データを 1 時間間隔印字
- e. 上記監視作表を行なうために必要な各種の計算（温度差、温度上昇率、各種効率、利用率、負荷率など）を行なう
- f. 効率算定に必要なデータについては 1 時間の平均値、積算値を自動的に算出して、これにより効率を算定
- g. 走査監視、計算、ならびに作表などの出力動作は相互に並行動作可能、したがって走査監視は他の動作のために中断されない
- h. 手動操作による任意時刻作表、指定点の表示および印字、内部に記憶されている定数の変更などが可能
- i. 定数変更を行なった場合には、必ず変更後の定数が自動的に記録される
- j. 起動時と定常運転時の動作の切換えは自動
- k. 各種セルフチェック機能完備

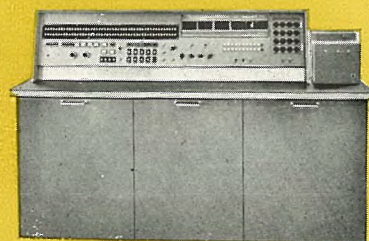


MELDAP-7371
システム構成機器 (1)

変換器盤

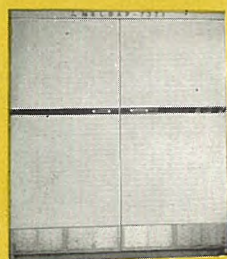


作表用 タイプライタ



操作卓

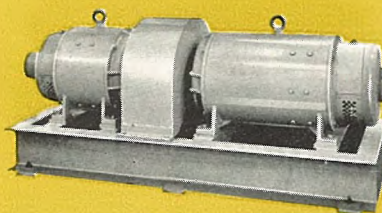
MELDAP-7371 システム構成機器 (2)



MELDAP-7371 本体

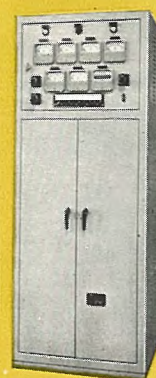


MELCOM-1101 電子計算機

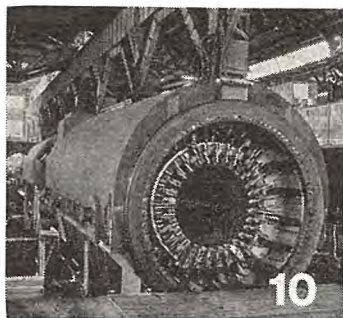


M-M-G

無停電電源装置
MELDAP-7371 システム構成機器 (3)



制御配電盤



表紙説明

関西電力姫路第二発電所 1 号機用
250 MW タービン 発電機 (巻線完了し
た固定子)

本機の定格は 320 MVA 24 kV ガス
圧 3 kg/cm² 60 c/s 3,600 rpm 500 V
励磁 1,300 kW 励磁機 で国内記録
品であり、新三菱重工製の 250 MW
タービンと直結される。

24 kV という電圧は今までの国内最
高電圧であり、コロナ防止のためにコ
イル端にアルミ箔を巻き込んだコロフォ
イル方式を採用している。

37 年 9 月工場完成、38 年初めに営
業運転となろう。

三菱電機技報

昭和 37 年 第 36 巻 第 10 号 (新鋭火力発電所特集)

目 次

将来の火力発電所の展望	佃 俊雄	2
最近の超大形火力発電所のすう勢	加賀貞広	10
大形タービン発電機の現状と将来	志岐守哉	14
大形ボイラの現状と将来	金子三郎	22
大形タービンの現状と将来	飯田庸太郎	30
大形変圧器の現状と将来	田村良平	36
火力発電機器および変圧器の保護方式	森 健・堀謙二郎	44
火力発電所におけるシャ断器の傾向	潮 恒郎	52
発電所内補機とその制御に対する最近の傾向	中野光雄・宮内貞夫・甘粕忠男・九村 稔・林 徴	57
火力発電所の全自動化	新宅三喜男	67
データ処理装置——火力プラントへの適用例——	松元雄蔵・竜田直紀・貴田篤志	70
火力発電所の監視——電気関係の監視——	堀謙二郎	76
《技術解説》		
人間工学と製品の外觀設計	若林弘章	78
《文献抄訳》		
溶接用ユニバーサル タングステン電極・ピッツバーグ会館の可動屋根駆動装置にリアクトル制御・T 接続三相変圧器・S, C, R, 回路はいかに設計すべきか・効率 1.5 倍の新形水銀ランプ		88
《ニュース・フラッシュ》		
大日電線向け 2,600 kVA 正弦波発電機完成・飛躍的に改良された電解加工機試作完成・近畿地方建設局大阪—淀川回線に 12 Gc 帯簡易マイクロ多重通信装置を納入・DU 形ダイヤパワー交流発動発電機シリーズ完成・大電流切換開閉器・ヒューズ断線時の継電器誤動作防止用新形継電器・ホール素子を使ったガウスメータ・256 チャネル・パルス波高分析器		90
《特許と新案》		
逆弧検出継電器・冷陰極表示放電管		94
《最近における社外寄稿一覧》		9
《最近における社外講演一覧》		95
《最近登録された特許および実用新案》		51
《表紙》		
2. 八幡製鉄所用データ処理装置 MELDAP-7371 完成		
3. 東京電力横浜発電所納め 224 MVA 3,000 rpm 内部冷却タービン発電機		
4. 三菱ジュサー		

将来の火力発電所の展望

佃 俊雄*

Outlook on Future Thermal Power Plants

Kansai Electric Power Co., Inc. Toshio TSUKUDA

Demand for electric power shows sharp increase in line with the development of national economy and the elevation of living standard. In consideration of changes anticipated in economical and industrial structure, and also of the direct consumption of primary energy and the conversion to secondary energy, the electric power comes to account for almost the half of total required energy in this country annual increase being expected about 10%. The latest progress in the thermal power generation outweighs the hydraulic power generation aside from the gradual decrease of available water power sites from the viewpoint of economy. It is expected the thermal power will be 65% of the total power generation before long.

1. ま え が き

電力需用の増加は経済の発展と生活水準の向上によりきわめていちじるしく、さらに、将来予想される経済・産業構造の変化、一次エネルギーの直接消費から二次エネルギーへの転換などを考慮すると、電力需用がわが国の所要総エネルギーに占める比率は約50%にも達し、年平均増加率も、10%程度の高率が予想されている。

一方、最近の火力発電の進歩により経済的な水力開発地点の減少とも関連して、電源開発は次第に火主水従に転換し、近い将来火力の比率は65%を上回る見込みである。

将来の火力開発計画のあり方と、技術的および経済的問題点について述べてみる。

2. 将来の火力開発計画

普通、火力発電所の建設に着手するにあたって電力需用の増加から水火の比率、開発する火力の形式と開発量を決定に至るまでの過程において、つぎのような順序がふまれている。

2.1 需用想定

電源開発の基礎となるものであって、現在は昭和36～45年度の10カ年間について第20回EEIが採用されている。需用想定に誤差があると、一定のサービレベルを保持しながらも経済的な開発を行なうことができない。

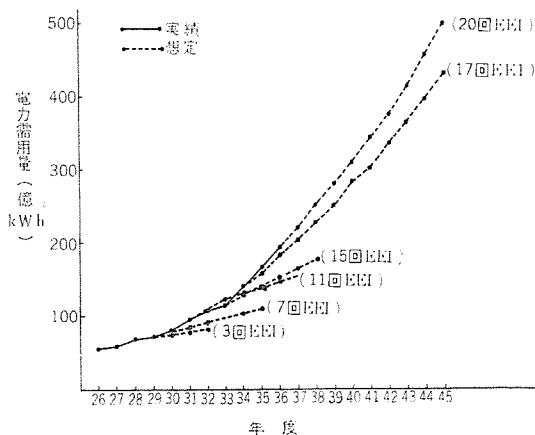


図 2.1 関西電力の電力需用量 (需用端)
Fig. 2.1 Power demand of Kansai Elec. Power Co.

わが国の異常な経済規模の拡大によって従来ほとんど実績が想定値を上回っていたが、最近では景気調整政策により実績が想定値を下回ってきている。

関西電力の需用についてみると、昭和36年度実績 約194億kWhが昭和45年度には500億kWhになる見込みで、年増加率はほぼ10～13%に相当する。

図2.1に関西電力の電力需用量の傾向を示している。

2.2 水力と火力の経済性の比較

経済性の判定にあたってC/V手法と63%LF手法が用いられているが、これらは電力系統の長期間の経費を最小にする考え方から出発し、水力地点の経済性の評価、水・火力の経済的な組合せ、火力発電の経済性などを求めるものである。これ以外に当面の収支がどうなるか、開発資金が調達可能であるかについても検討を行ない必要に応じて適宜修正を加えられることがある。

(1) C/V 手法

水力地点の選定を代替設備(たとえばベース火力)の費用を尺度として経済価値を判断する方法で、数式で表わすとつぎのようになり、計算値が1より小さいものが経済的である。

$$\frac{C}{V} = \frac{\text{費用}}{\text{価値}} = \frac{\text{水力発電所費用} + \text{一次送電線費用}}{\text{kW} \times (\text{kW 単価}) + \text{kWh} \times (\text{kWh 単価}) - \text{リプレイス kWh} \times (\text{リプレイス メリット 円/kWh})}$$

ここに kW=12月最低5日平均出力

kWh=年間有効電力量

kW 単価, kWh 単価=ベース火力で代替したときの単価

リプレイス kWh=ベース火力と水力のkWhの差

リプレイス メリット=新設火力を既設火力にリプレイスしたときの差引経費

ただし、この方法ではベース火力の建設費や燃料費の変化により計算値が変動しやすく、会社収支に与える影響が不明であるなどの不便を免がれない。

電源開発方式研究会では同様のことについて、ベース火力の標準的経費をもととして、

水力便益 (B)=kW 便益+kWh 便益

水力年経費 (C)=水力発電所および一次送電線の年経費合計を計算し、超過便益 (B-C) が最大となるものを選定するとともに、開発順位の見当づけにさいしては B/C, B-C/有効電力, B-C/B

などを用いて有利性を判定し、さらに水・火力に組合せ計算をも行なうことにしている。

(2) 63% LF 手法

現在需用（負荷率 LF 約 63%）は現在の設備でまかなわれているから増分需用（LF 約 63%）は将来の増加供給力に対処し、増分需用による収入とこれに要する費用との関連、すなわち収支の状況により経済性を判定するものである。

（なお、LF が 63% でない場合には計算をやり直すことになる。）

いま増分需用（LF 63%）をまかなうために a, b, c の 3 火力で対処するオール火力案と a, b 火力および d 水力で対処する水火併用案を比較すると、

$$\text{オール火力案の経費} = a + b + c - \beta_1$$

$$\text{水火併用案の年経費} = a + b + d + \alpha - \beta_2$$

ここに β_1, β_2 はリプレースメント、 α は d 水力のみでまかないきれない増分需用（LF 63%）に対処して既設火力 α を焚増する経費である。

上式より、 $c - \beta_1 \cong d + \alpha - \beta_2$ にしたがってオール火力案と水火併用案の経済性が判定される。（たとえば $>$ のときはオール火力案が不利となる。）これをさらに変形して、 $c - \beta \cong d + \gamma$ （ γ は上記の α 火力より計算される焚増経費）。

ここに $c - \beta$ は火力経費であり、 $d + \gamma$ は水力経費に相当する。

水・火力の経済性とこれらをどのように組合せれば良いかをいろいろのケースについて計算し、経費最小の点を求めれば、おのずから水火の比率がわかることになる。火力がベース負荷、水力がピーク負荷をとるように計画してくると、おおむね水火比率は 20:80 となる。

2.3 開発火力の形式

火力の形式として考えられるものを、大別して系統火力、ローカル火力、ピーク火力がある。これらの経済性を判定するさいに、上記の 63% LF 手法の考え方をとり入れ各ユニット毎に火力発電所費用と 70 kV 出口までの関連送変電設備費を加算し、既設火力に対するリプレースメントも考慮して年経費を比較する。

ユニット容量を大きくすると一般に建設単価が安くなり、燃料費、修繕費、人件費なども割安になるが、必要供給予備力が増加するのでこれを押えるため、連絡線が必要になる。

これらの総合的検討にはいろいろの計算条件があり、とくに 5～10 年先の不確定需用や技術的未開発分野も含んでいるので、これらをどのように想定するかが計算精度に大きな影響をおよぼす。しかし将来の大勢判断として、火力のユニット容量は系統の供給信頼度をそこなわない範囲でますます大容量化し、それに伴って連絡線容量も大きくなると予想される。その反面、系統連系の送・変電設備費が電源に比較してきわめて割高になるような所ではローカル火力が有利であり、またベース火力に負荷率向上の余地があり、割安のピーク火力を建設することによって系統年経費を少なくできるようなときにはピーク火力の建設も可能である。

2.4 供給予備力

事故、出水および需用の周期的変動が生じたときにも適正なサービスレベルを維持するために、供給予備力が必要である。

供給予備力は需用および系統容量の増大、貯水池式水力の開発に伴う渇水確率の低下などにより減少し、火力比率の増加、火力ユニット容量の増大などにより増加する。

供給予備力の計算には火力事故率 4% を見込んでいるので、

将来の火力発電所の展望・個

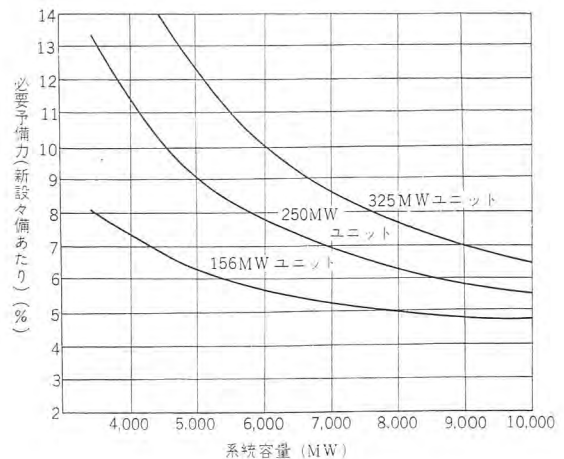


図 2.2 ユニット容量、系統容量と必要予備力
Fig. 2.2 Required power reserve.

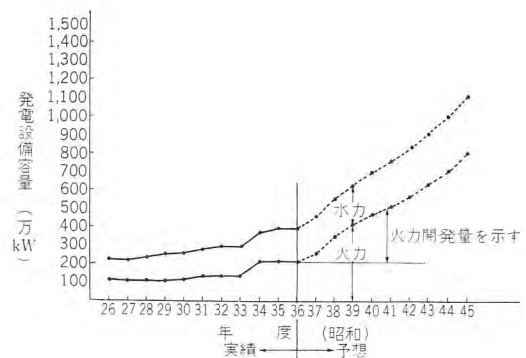


図 2.3 関西電力の発電設備容量
Fig. 2.3 Reserve power generating equipment of Kansai Elec. Power Co.

事故率が 4% を下回れば必要予備力はそれだけ減少する。

図 2.2 にユニット容量が 156 MW, 250 MW, 325 MW の場合について予備力が系統容量の増大に伴って減少する傾向を示している。関西電力が確保しようとしている供給予備力は、7.6% を目標としている。他社との関係を考えないと、12% となる。

2.5 火力補修

年間を通ずると、出水および需用変動により 12 月火力重負荷期に比べて、毎月の所要火力供給力は減少するので、従来はこれを利用して火力補修を行ってきたのであるが、最近冷房による夏季ピークの増大、貯水池式水力の開発に伴って、豊・渇水期による火力供給力変化が少なくなったことおよび火力比率の増加、ユニット容量の増大などにより火力補修は豊水期のみでなく冬期火力重負荷期にも行なわざるを得ないようになりつつある。

火力補修期間の短縮あるいは補修間隔の延長は、直接電源開発量の減少に役立つものである。そのためには定検作業の合理化、定検業者の育成なども再検討の必要がある。

2.6 火力開発量

電力需用の増加に対処して、火力発電所を開発するには需用端に供給予備力、火力補修、融通、休・廃止などを見込む。

つぎに水火の経済比較により火力比率を決定して、開発量を求めることになる。

関西電力の昭和 45 年度需用を 500 億 kWh と見込み、これに必要な電源開発量は 10 年間に約 700 万 kW で、年平均 70 万 kW、このうち約 83% が火力である。

図 2.3 に関西電力の、昭和 45 年度目標の発電設備容量の増加状況を示す。

3. 発電原価

火力発電所の計画が固まればあとは、発電所から送電される正味発電原価をいかにして安くするかがもっとも大切である。そのためには建設費の安い発電所を低金利資金で建設し、安価な燃料を高い効率で燃焼させることが必要である。

人件費、修繕費を現在よりさらに減少させることはきわめて困難であり、その効果も少ない。

わが国の現状から金利が高く、燃料単価もアメリカの約 2 倍もする条件を克服するためには、どうしても建設費を低減させるとともに、熱効率を高くして燃料消費量を少なくする必要がある。

わが国では発電原価の約 60 % は燃料費であり、約 30 % が資本費、残り 10 % が人件費、修繕費などである。したがって熱効率を 1 % 向上させることは、建設費を 2 % 安くすると同じ効果がある。また、従来から発電端で何事でも表現することが多いが、実際役立つのは送電端であるから所内比率に一層の注意が肝要である。所内比率が 0.5 % 減少することは、発電端熱効率の 0.8 % 向上、あるいは建設費の 1.6 % 低減にも匹敵するからきわめて重要である。

4. 建設単価

建設単価を安くするには大容量ユニットを採用すること、主機ならびに補機の設計裕度を少なくすること、屋外式発電所などの新設計を採用することなどがあげられる。

4.1 大容量ユニットの採用

大容量ユニットは一般に建設単価が低減するが、その傾向は容量増加につれて次第に少なくなる。また、開発が進んで多数製作された機器は建設費も割安であるが、それより大容量機であっても製作実績のないものはどうしても建設費がかさむようである。

したがって、将来建設する機種はなるべく標準化し、地点毎に電力需用を考慮した送変電計画との総合的検討にもとづいて、可能なかぎり大容量機を採用することが経済的である。従来アメリカでは系統容量の 10 (8) % のユニット容量を開発し、系統容量が大

きくなってそのユニットが系統の 7 (5) % になればつぎの機種を開発するという考え方があるが、これによると 150, 250~325 MW, 400~450 MW, 600~700 MW, 900~1,000 MW といった順序で開発することになる。

図 4.1 にユニット容量と火力発電所建設単価の傾向を示しているが、これらの傾向は将来このようになるべきであるという考え方を示すものである。

4.2 主機ならびに補機の設計裕度

建設単価を安くするには、設計裕度を必要以上に大きくせず、発電所出力を増加しない付帯設備にむだな資金を使わないことである。

発電所認可出力にはタービン銘板出力をとっているが、その可能出力はアメリカ流に数 % 大きくしてある。このようにすると、夏季冷却水温度が年間平均温度より相当高くなり、ブレードに少々スケールがつくなどの運転上の悪条件が起きても、あるいは設計上、工作上少しぐらいの誤差があってもつねに銘板出力を出すことができる。これに必要な設計裕度は必要最小限度のものと考えられる。

アメリカでは、多くの会社がみずからの責任でこの裕度を活用し、発電所出力の種別も銘板出力、ピークデマンド、正味連続出力（復水器冷却水で制約されるときとされないときに区別する）が表示されている。

わが国では比較的系統連係が弱く、供給予備力もほとんどない現状なので、事故の場合たちまち供給力不足を招くことになるが、この可能出力を有効に使用すると相当の経済性が発揮できるはずである。また、ボイラ蒸発量はタービンに上記の可能出力を出させるものであって、それ以上の余裕を必要としない。

設計炭の発熱量についても低品位炭火力は別として、あまり低く仕様するのは再検討の必要がある。

設計炭を 500 kcal/kg 高くすると、総建設費の 1 % 程度節減が期待できる。低カロリー炭が入荷したようなときは、重油混焼で切替けることも可能である。

石炭、重油いずれも 100 % の混焼設備をもっている発電所では、ミル、重油ポンプの予備は必要なく揚炭機、スクレーパ、パンカなどについても必要最小限度にするのが合理的である。

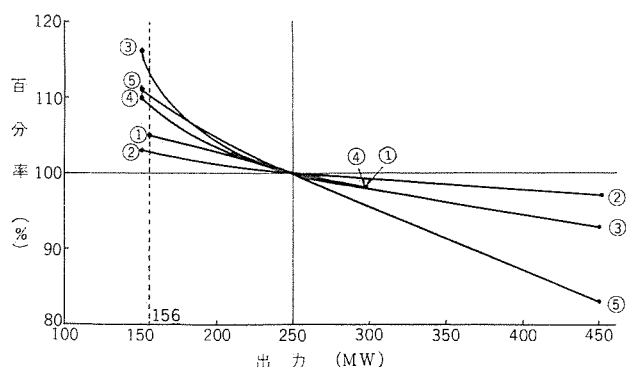
給水ポンプ、ミル、重油ポンプ、押込ファン、吸込ファンなどの補機容量はタービン銘板出力に対し余裕をもつべきであるが、可能出力に対して余裕をとることはむだである。また、補機の最高効率点はタービン経済出力時に一致するように設計すれば、発電所の所内比率も減少し、発電原価を安くするのに役立つ。

4.3 屋外式発電所などの新設計の採用

建物建設費が総建設費に占める割合は屋内式発電所の場合 8~10 % であるが、これをボイラ屋外式にすると 6~7 % となり、約 3 % の節減が期待できる。この場合一部の機械関係にエンクロージャを設けるため、差引して総建設費の 1 % あるいはこれを少し上回る建設費低減が可能である。さらに、完全屋外式にすれば一層の効果をあげられるであろう。

わが国でもすでに三重、松山、仙台、新名古屋などの混焼発電所で半屋外式あるいは完全屋外式の発電所が建設されているが、現在工事中あるいは計画中の重油専焼火力は全部がボイラ屋外式を採用し、建設費低減に役立っている。

新設発電所は中央制御方式を採用しているので屋外式にしても運転上の支障はなく、問題は塗装そのほかの修繕費がどう変化する



注 (1) 250 MW の建設単価を 100 % とする。

(2) 番号は下記分類による。

①: 日本 (電源開発方式研究会)

②: アメリカ (GE)

③: アメリカ (AEP)

④: イギリス (CEGB)

⑤: ソ連

図 4.1 ユニット容量と火力発電所建設単価の傾向
Fig. 4.1 Trend in construction cost per kW of thermal power station

るか、あるいは補修作業に支障はないかなどにしばられる。また屋外式にすると、放射損失の増加により熱効率の低下も考えられるが、気象条件をも考慮した設計施行の改良により、この損失による不利を十分克服することができる。

アメリカではボイラは約 55 %、タービン発電機は約 25 % が屋外式を採用し、この決定にあたっては、気象条件（年間平均気温が高いことよりも降雨量が少ないほうが望ましいようであるが、気象条件が絶対的な理由にはならない。）とともに燃焼方式（ガス燃焼式は屋外式が多い）も大きく影響しているようである。またタービン据付けのさい復水器を側面配置して排気ロスの低減をはかるとともに、タービン基礎費を安くすることも考えられる。

表 4.1 にアメリカの屋外式採用の状況を示している。

表 4.1 火力発電所の屋外設備 (EW Nov. 21, 1960)

	第 4 回調査 (1956)	第 5 回調査 (1958)	第 6 回調査 (1960)
調査プラント数	67	71	73
ボ イ ラ	34	43	39
タ ー ビ ン	16	21	19
フ ァ ン	38	55	52
ボ ン プ	11	18	17
空 気 予 熱 器	34	45	42
集 ジ ン 器	33	29	35
循 環 水 ポ ン プ	28	36	42
復 水 器			12
微 粉 炭 機		3	2
発 電 機		26	20

そのほか新しく設計検討を要するものに、給水ポンプの信頼度向上に伴う予備機廃止が考えられる。従来から 50 % 容量 3 台設置の例が多いが、アメリカのように 100 % 容量 1 台と起動用の電動ポンプ 1 台にすることが可能である。駆動方式も、電動機駆動より蒸気タービン駆動あるいは主軸直結駆動などにすれば、建設費低減とプラント正味熱効率向上に役立つであろう。

5. 熱 効 率

発電原価の約 60 % を占める燃料費を下げるためには熱効率の向上をはからなければならないが、その場合にもつねに経済性を考えて建設費の増分に見合うものにする必要がある。

熱効率を上げる方法として、蒸気条件の向上あるいはガス蒸気のコンパインドサイクルを使用した改良サイクルなどがあげられる。これ以外にも、ボイラ排ガス損失を燃焼空気あるいは給水に回収することも考えられるが、温度が低いので大きな伝熱面を必要とし、

表 5.1 わが国およびアメリカの正味熱効率のベストテン (1960)

項目 順位	日 本		ア メ リ カ	
	発電所名	熱効率 (%)	発電所名	熱効率 (%)
1	仙 台	35.47	Clinch River	38.02
2	新 港	35.44	Dickerson.	37.86
3	千 葉	35.33	Kanawha River	37.67
4	大 阪	35.04	Allen, G. E.	37.56
5	新 名 古 屋	34.90	Clifty Creek.	37.35
6	横 須 賀	34.87	Eddystone.	37.31
7	品 川	34.59	Karn, D. E.	37.26
8	刈 田	34.52	Muskingum River.	37.21
9	滝 川	33.83	Kammer.	37.11
10	多 奈 川	33.32	Tanners Creek	37.06

注 (1) 日本 33 % 以上で 10 発電所

(2) アメリカ 37 % 以上で 11 発電所

高価なものになりがちである。

補機動力を節約することも送電端効率の向上に直接効果がある。

表 5.1 にわが国およびアメリカの正味熱効率のベストテン (1960) を示しているが、同程度の容量、蒸気条件を採用したプラントでわが国の実績が 2.5 % も低い理由は詳細調査の必要がある。

6. 蒸 気 条 件

熱効率を上げるには蒸気圧力と温度を同時に高くする必要があるが、一般に使用されているのは亜臨界圧 169 kg/cm²g、超臨界圧 246 kg/cm²g および蒸気温度 566°C、538°C である。最高の蒸気条件は Eddystone #1 の 352 kg/cm²g、649/566/566°C であるが、最近の傾向として、これより蒸気条件を少し下げ、高級な耐熱材料を少なくして 538~566°C 程度の 2 段再熱採用の方向に進んでいる。

図 6.1 にアメリカ汽力発電所の蒸気条件と正味熱消費率の変化を示しているが、燃料単価がアメリカの約 2 倍にも達するわが国の実状から、超臨界圧にふみ切るのも間近いのではなかろうか。そのときの蒸気条件は、Tanners Creek #5 あるいは Hudson #1 の 246 kg/cm²g、538/552/566°C であると思われる。

熱効率率は 169 kg/cm²g、566/538°C に比較して、約 4 % 上昇が期待される。超臨界圧 Breed 発電所（蒸気条件 246 kg/cm²g、566/566/566°C）の最初 5 カ月の正味熱効率は 38.8 % で、年間では 39.9 % に達するものと予想されている。

つぎにドイツ・ハンブルグ電力会社でユニット容量 200 MW 級の各種蒸気条件について経済比較の結果では、つぎのような順位になっている。

- ① 300 kg/cm²g 525/535/565°C
- ② 250 " 525/535/565 "
- ③ 180 " 540/540 "
- ④ 300 " 565/565/565 "
- ⑤ 300 " 600/565/565 "

従来からドイツではアメリカよりも高い蒸気圧力を採用する傾向にあるが、この順位にもそれが表われている。

超臨界圧プラントでは必然的に貫流ボイラが使用されるが、亜臨界圧以下の分野でもなんら支障なく運転できるので、従来ドラムボイラのみであった事業用火力にも次第に採用の気運にある。

現在建設中の発電所に、関西電力姫路第二、東京電力五井、九州電力新小倉・大村などがあげられる。

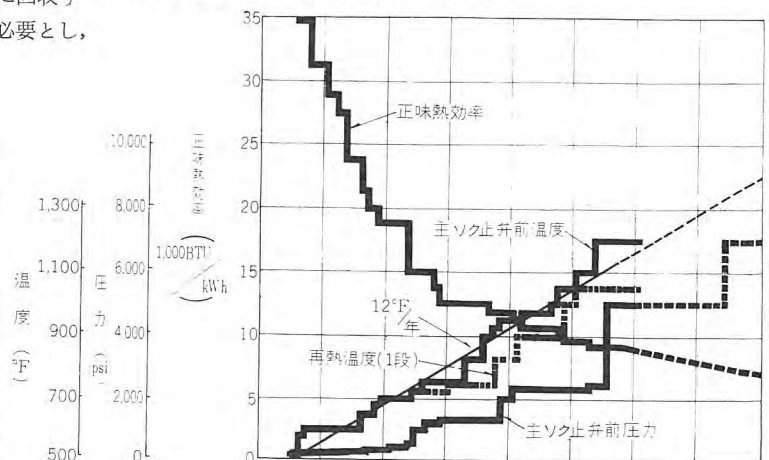


図 6.1 アメリカ汽力発電所の蒸気条件と正味熱効率の変化
Fig. 6.1 Steam power plants and changes in net thermal efficiency.

貫流 ボイラ は ドラムボイラ に比較して給水处理が一層重要となってくるが、復水脱塩装置などの採用で従来心配した困難は一応解決されている。

貫流 ボイラ は耐圧部重量が減少し、管の配置が自由なので、据付高さを低くでき基礎工事も簡単になる。またバイパス系統を設けることにより、急速起動停止に適し、温度制御も広範囲に行なわれるので運動効率の向上も期待できる。

今後、製作、据付け、運転の経験が多く得られるようになれば、ベース 負荷用・ピーク 負荷用とも採用範囲が次第に広くなると思われる。

7. ユニット容量

図 7.1 にアメリカおよびわが国の最大および平均ユニット容量を示す。現在建設中の一軸形の最大ユニット容量は 400MW、二軸形の最大ユニット容量は 1,000 MW である。タービン最終段落の羽根の長さがユニット容量の大きさを左右する主要素の一つであるが、28" または 29" 翼の開発により一軸形 500 MW はすでに開発可能になっている。

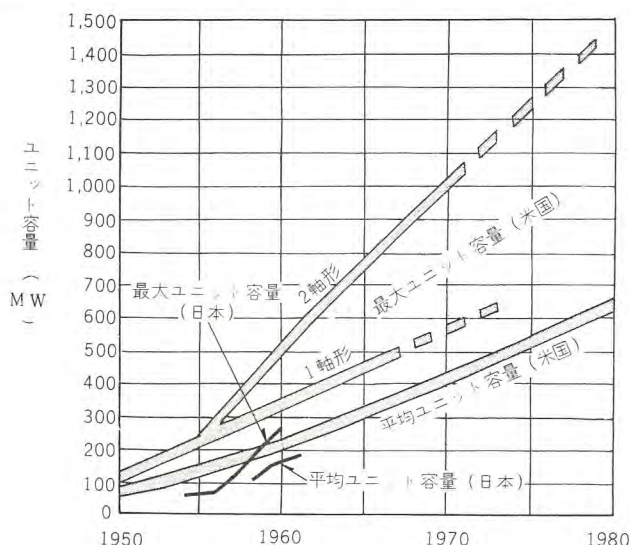


図 7.1 最大および平均 ユニット容量の予想
Fig. 7.1 Expected max. and average unit capacity.

表 7.1 ユニット容量 400 MW 以上の火力発電所

国	発電所名	出力 (MW)	蒸気条件 (psig, °F)	タービン形式	製造者	運 開	備 考
アメリカ	East Fourteen Street	1,000	2,400 1000/1000	CCF-	A. C	1966	燃料: C
"	Paradise No. 1, 2	2×650	2,400 1050/1000	CC4F-38	G. E	9-1962	
"	Will County No. 4	532	2,400 1000/1000	CC4F-38	G. E		
"	Joliet	2×500	2,400 1000/1000	CC4F-40	W. E		
"	Colbert No. 5	500	2,400 1050/1000	CC4F-25	CAP	7-1962	燃料: C
"	Widows Creek No. 7, 8	2×500	2,400 1050/1000	CC2F-43 CC4F-27.5	G. E	7-1963	燃料: C
"	Bull Run No. 1, 2	2×900	3,500 1000/1000	CC4F-	G. E	9-1965	燃料: C
"	Tanners Creek No. 5	570	3,500 1000/1025	CC4F-	G. E	3-1964	
"	Breed No. 1	450	3,500 1050/1050	CC6F-26	G. E	6-1960	
"	Phillips No. 5	450	3,500 1050/1050	CC6F-26	G. E	12-1960	燃料: C, O
"	Hudson No. 1	400	3,500 1000/1025	TC4F-	W. E	2-1965	

わが国で建設中の最大ユニット容量は 375 MW であるが、近い将来に 400~500 MW の開発が予想される。

表 7.1 にユニット容量 400 MW 以上の火力発電所を示しているが、採用しているのは全部 アメリカ である。また超臨界圧ユニットが次第に増加の傾向にある。

8. ガスタービンと蒸気タービンのコンバインドサイクルについて

蒸気条件による熱効率の向上は、現在のところ建設費の割高に比較してそれほど大きな効果を認められないので、これ以外の方法でさらに高い熱効率を得ようとする、改良サイクルを検討する必要がある。

改良サイクルとして実用されているものに、ガスタービン、蒸気タービンのコンバインドサイクルがあげられる。このほか2流体サイクル MHD あるいは燃料電池などが考えられるが、2流体サイクルは高温部に蒸気より効率の良い水銀、低温部に蒸気を用い両者を組合せて高い効率を得ようとするものであるが、最近の汽力の進歩がいちじるしいので将来性はないようである。また MHD 燃料電池についても理論的な熱効率は確かに高いが、現在の技術レベルからみてコストおよび材料の面から実用化に、ほど遠いと考えられる。

ガスタービン、蒸気タービンのコンバインドサイクルを大別すると、つぎの4種類に分けられる。

	形 式	プラント効率増分	説 明
1	排熱回収サイクル	約 1%	ガスタービンの排気を蒸気発生に利用するが、排ガス温度により蒸気条件を制約される。
2	空気タービンサイクル	約 4%	空気予熱器を通した圧縮空気を空気タービンに通し、排気をボイラ燃焼に使用する。
3	排気燃焼サイクル	約 6%	ガスタービンの排気をボイラ燃焼空気に利用する。
4	過給ボイラサイクル	約 8%	ガスタービン用燃焼室として蒸気ボイラを使用し、加圧燃焼ガスをガスタービンに通し排ガスをふたたびボイラで熱回収する。

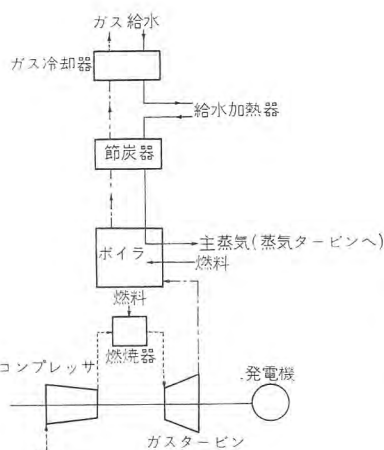


図 8.1 排気燃焼サイクル系統図
Fig. 8.1 Exhaust and combustion cycle system diagram

実際の使用例としてつぎのようなものがある

発電所名	出 力 (kW)			運 転 開 始
	ガスタービン	汽力発電所	合 計	
Horseshoe Lake #7	73,351	185,576	258,927	1963 年 5 月
Muskingum River	5,000	215,000	220,000	1961 年

このうち事業用として将来性のある排気燃焼サイクルは、従来の蒸気サイクルに高温部効率の良いガスタービンとを組合せたもので、ガスタービンの比較的高温で未燃焼空気を80%程度も含んでいる排ガスをボイラの燃焼用空気として利用しようとするものである。こうすると燃焼空気を予熱する必要がないこと、ガスタービン排気中の既燃焼ガスの熱量も有効に使用できるなどの利点がある。

図8.1に排気燃焼サイクルの系統図を示す。

熱効率は超臨界圧汽力を上回る程度が期待できるので、ガスタービンの信頼性が汽力相当と考えられるならば一層の研究が必要である。

9. ピーク火力

火主水従の電源開発によりベース火力とピーク水力の組合せで電力需用増加に対処するとしても、有利な水力地点の減少により将来はピーク負荷の一部も火力が分担することになる。

最近のベース火力の建設実績から大容量機は次第に建設単価が低減してきたが、水力の見返りともなるピーク火力は実績に乏しくもっとも適当な機種を選定、ユニット容量と蒸気条件をどのように決めたら良いかには問題が多い。

ピーク火力としてディーゼル、ガスタービン、非再熱式汽力あるいはスピンングレザウをもったユニットなどが考えられるが、ベース火力より建設単価を安くしないと経済性がなくなる。

建設単価を下げるには大容量機にすることがもっとも効果的だから、系統の必要とするピーク火力を可能なかぎり大容量機で開発し、ピーク負荷の必要な地域に適正配置するべきである。またピーク火力を建設して送変電設備を大幅に節約できる場合は、ピーク火力の大きなメリットとなる。

老朽火力を休・廃止し、ベース火力の負荷率を向上する余地がある状態で安いピーク火力が建設できればピーク火力に経済性が出てくる。

関西電力の系統について昭和45年度を目標として試算した結

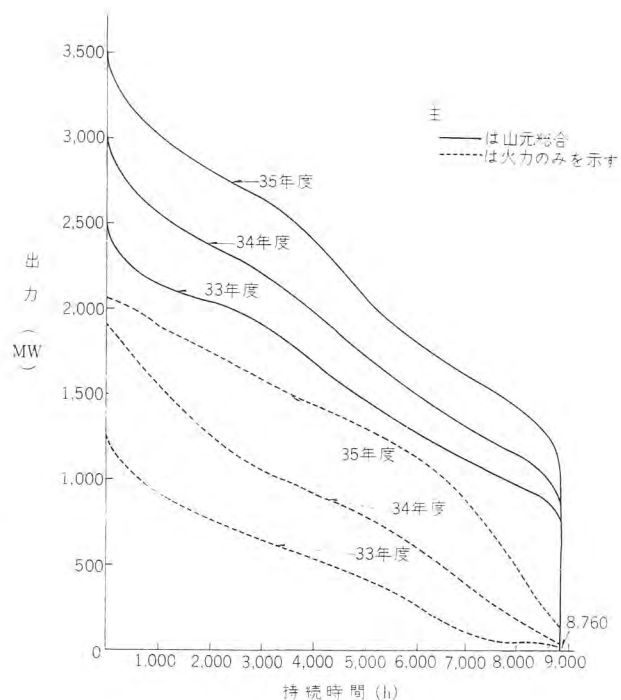


図 9.1 関西電力負荷持続曲線
Fig. 9.1 Load connection diagram of Kansai Power Elec. Co.

果では、ベース火力より5,000円/kW安の発電熱効率(送電端)30%あるいはベース火力と等価建設費の発電熱効率35%の場合に所要ピーク火力(運転時間約1,500時間のとき)は約200MWになるようである。

アメリカのある電力系統でシミュレーション手法により機械計算をした結果、系統容量の約20%に相当する100\$/kWのガスタービンを建設してピーク負荷をまかなうときに経費最小の答が得られたとのことであるが、同じような条件をわが国に適用するとき経済的なピーク水力の開発量だけピーク火力の所要量が減少することになる。

図9.1に関西電力の負荷持続曲線を示しているが、近年度ではピークは水力で受持っていることがわかる。

ピーク供給力をうるため最近いろいろの方法が考えられているが、そのうちスピンングレザウをもったユニットのタービン設計例につきのようなものがある。

新設のベース火力に改造を加えて短時間の間、熱効率は下がるけれども定格出力以上のピーク出力を出せるようにするもので、増分出力に対する設備費が安く、負荷変動を短時間に行ない得て、運転員も余分にいらぬものである。

a. 入口蒸気条件の調節

タービン流入蒸気の設計点を圧力は比較的低く、温度は比較的高くとおき、低圧最終段の出口面積の大きいものを選んでおく。ピークをかけるときは圧力を高く、温度を低くしてタービン流入蒸気量を増加する。

図9.2の曲線①はこのように設計されたタービンの性能を示し、低負荷でも比較的平たんな効率が得られる。

b. 高圧給水加熱器のバイパス

このように設計されたタービンの高圧給水加熱器をバイパスして、低圧段へ流れる蒸気量を増し出力を増加させる。最終給水加熱器のみをバイパスしたときは曲線②、最大ピークを出すためバイパスする給水加熱器を増加したときは曲線③で示すように変化する。

c. タービン中間段への送気

たとえば再熱タービンの高温再熱蒸気流入点に蒸気を入れる方法で、高価な高圧段の改造を必要としないが効率は急激に低下する。この傾向を曲線④に示し、排気流量が許容限度に達した場合

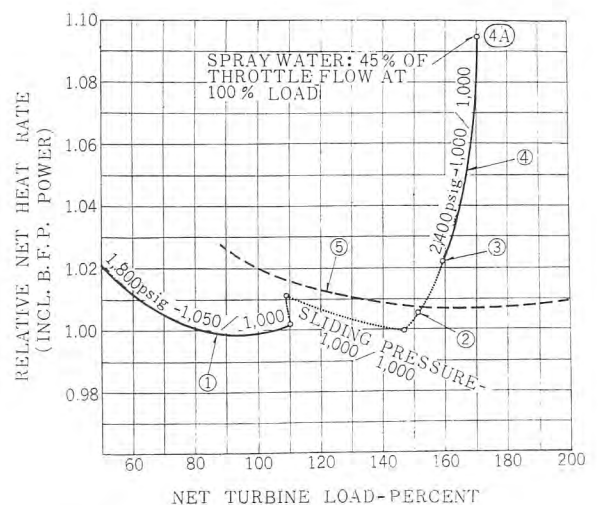


図 9.2 ピークロード用タービン発電機のヒートレート
Fig. 9.2 Heat rate curves.

を 4A で示している。

d. 最大蒸気量で設計したとき

低圧最終段流量が設計許容限度(4Aに相当)となるよう最初からタービン流入蒸気量を最大にとって設計する方法で、タービンの効率は曲線⑤に示すように、過負荷域で良いが定格またはそれ以下の低負荷で低下する。

以上の方法およびこれらの組合せは設計可能と思われるが、早急に実現できるのは、(b)高圧給水加熱器バイパスと(d)最大流入蒸気量を低圧最終段許容値まで増加する方法ではないかと思われる。

10. 燃料ならびに燃焼方式

火力発電所の主要燃料として石炭と重油が使用されるが、これらの消費量の割合、燃焼方式および適正貯蔵量などについてははっきりした目標はないようである。これらは、一電力会社のみでなく全国的な規模において燃料対策を確立する必要があるが、とくに長期にわたる燃料の見通しすなわち石炭重油別の価格と、消費量の推移およびこれらの変動幅の予想が必要である。

石炭産業合理化のため一定量の石炭を火力発電所で消費するとしても、その量に見合った最低量の石炭燃焼発電所開発にとどめ、いたずらに資本費を高騰させる過剰開発を避ける必要がある。また既設火力の石炭燃焼設備を有効利用することが大切で、試算によると、156 MW 級の石炭燃焼火力を新設するよりも、多奈川 #1, 2-75 MW, 姫路第一 #3-125 MW 級以上の年負荷率向上によるたき増しで所要の石炭消費量をこなすほうが経済的である。

今後の火力発電所は供給面で不安が少なく、建設費のもっとも安い重油専焼に開発の重点を置き、将来石炭焚に改造を考えない設計がもっとも経済的である。完全重油専焼の設計でも約 80 % に出力減を我慢すれば石炭焚に改造できる。

そのほか燃料に関係した合理化として、コンビナートと集中貯油所(重油タンクセンター)の計画がある。

コンビナートは製鉄所から高炉ガスの供給を受けるものと、精油所から直接に重油をパイプ輸送により受入れ、揚油施設あるいは重油タンクの節減をはかるものがある。

アメリカでは燃料のみでなく、蒸気、水、電力の広範囲なコンビナートが実施されているが、コンビナートについてはさらに検討の余地がある。

集中貯油所の構想は火力発電所用地の取得難、土地代が高いこと、輸入重油を直接受入れる設備を発電所ごとにつくることの不利などを考えて、土地代の安い所に大規模な重油タンクセンターをつくり、必要に応じて各発電所に重油を配給しようというものであるが、重油の回転率が高いと荷役運搬の経費が割高になって経済性を失うことになる。かえって非常態に備えて長期間貯蔵しておくほうが採算がとれる場合もある。

11. 設計の傾向

E. W. (1960) が 73 発電所について調査したところによると、つぎのような設計の傾向が見られる。

(1) 屋外式発電所の採用は相変わらず高い比率を示し、その傾向は前記 4.3 に示すとおりである。

(2) パンカ容量は以前は 30~50 時間運転可能な容量であったが、今回の調査では 50 % 以上が 30 時間以下で、5 プラントは 10 時間以下である。4 マイル離れた地点の貯蔵タンクから給油されている発電所もある。

(3) 45 ユニットが強圧通風を採用し、その大部分はガス焚である。石炭焚にも強圧通風が著増の傾向にあり、前回調査の 3 プラントから今回は 18 プラントになった。

(4) 10 ユニットが復水のバイパス脱塩装置を設けている。

(5) 二軸式タービンが前回の 14 ユニットから 18 ユニットと増加の傾向を示し、軸流排気方式は前回 11, 今回は 10 ユニットである。液体冷却発電機は 5 ユニットから 20 ユニットになっている。励磁機の 60 % が予備なしで、7 ユニットは静止形を採用している。

(6) データローガーは前回の 7 ユニットから 21 ユニットへ、熱効率計算コンピュータは 2 ユニットから 16 ユニットになった。

完全なコンピュータコントロールを採用しているのは 4 ユニットで、将来の予測は困難であるが一層の発展が期待される。

(7) 給水ポンプは電動式が大部分であるが、10 ユニットはタービン駆動、8 ユニットは主軸直結を採用し、これらはいずれも大幅に増加している。給水ポンプの台数は減少の傾向にあり、1956 年には 55 % が 50 % 容量 3 台であったが 1958 年には 67 % が 2 台になり、今回は 80 % が 2 台となっている。さらに 4 ユニットは 100 % 1 台のみである。

12. 信頼度と運転特性

火力発電所の発電原価を下げるには建設費を低減し、発電熱効率の向上をはかるとともに信頼度を高める必要がある。

現在のように予備力なしの運転を余儀なくされたり、資金面から新地点の開発時期を遅らざるを得ないとなると事故はただちに供給支障につながることになるから、信頼度向上が重要度を増すことになる。

関西電力姫路第一、多奈川、大阪 3 発電所の実績では、停止率、年停止回数はつぎのとおりであるが、これらはそれぞれ 4 % および 4 回以下に減少したい。これによって供給予備力を少なくすることができる。

年 度		30	31	32	33	34	35	
事故および保守による停止率		%	5.2	8.3	6.8	6.1	5.6	3.4
事故による停止回数 (ユニットあたり)	内部事故	回	8.9	12.2	8.3	6.5	9.6	5.3
	外部事故	回	12.3	2.3	0.6	1.5	0.7	2.1

また将来の電力需用はその大部分を火力が供給することになるので、負荷に対応する運転特性の要求も今後ますます苛酷になってくる。たとえば急激な負荷変動に対する追従、火力による自動周波数調整、最低負荷、急速起動停止、無効電力調整あるいは最近アメリカなどで採用されている発電所完全自動制御のコンピュータコントロールなども研究を進められるであろう。

13. その他の問題点

将来つぎのような点について検討を進めなければならないと考えられる。

13.1 温水蒸気供給

火力発電所の復水器の熱損失は新設の汽力発電所で約 50 % もあり、いたずらに海水あるいは河水の温度を上昇させるに過ぎない。この熱回収をはかるためタービンの適当な圧力段から抽気して工場あるいは住宅などに温水あるいは蒸気を供給すれば、総合的な熱効率は飛躍的に向上する。この考え方は、1877 年アメリカ New York 州で行なわれた地域暖房が最初であるといわれている。そ

の後 1920 年前後から各国で相当な規模で実施されてきたが、とくにソ連のテッパ熱併給発電が最近有名である。

ただし各種文献によると地域暖房のみでは採算がとれず、夏季の蒸気冷房を併用して経済性が出てくるようである。

わが国でこの問題を検討するときは、気温が欧米より高く、暖房期間も短く、かつ国民の習慣として簡易暖房に愛着が強いことも考慮に入れる必要がある。

しかし、生活水準の向上、燃料資源の有効利用、国民保健などを考えると、将来ぜひ実現をはかりたい問題である。

13.2 煙害防止

火力発電所は電力需用の中心地に建設されることが多く、経済活動の活発な工業地帯はとりも直さず人口稠密な地域でもあるので、ばい煙による公害が問題になってくる。これは衛生・保健上にも重大な影響があるので、煙突を高くして飛散をはかたり、集じん装置の完備あるいは燃料中の硫黄分の減少にも一層の研究が必要である。

13.3 内陸火力

わが国の火力発電所は、一部を除いてほとんどが臨海部に建設されている。

これは冷却水が得やすいこと、燃料輸送が便利なこと、電力需用も臨海工業地帯に集中していることなどの理由によるが、将来臨海部の冷却水汚染が限度に達し水温が上昇して冷却効果が少なくなるとか、あるいは電力負荷も臨海部以外に相当するような場合は、内陸火力の実現も考えられる。

そのほか内陸火力の経済性検討にさいしては、燃料が安く得られるか、内陸の発電地点までの燃料輸送設備はどの程度必要か、送・変電設備がどの程度軽減されるか、土地が安く入手できるか、地質は強固であるかなどのすべてについて総合的な検討が必要である。

13.4 Flash Evaporator

海水から真水を得ることは現在のところ相当割高であるが、どうしてもやむを得ない理由があれば Flash Evaporator またはイオン交換による方法がある。

Flash Evaporator の加熱源として蒸気が多段加熱、タービン 抽気加熱、復水器排熱の利用などがあげられる。

水の価格は 1t あたり 238 円 (モロペー 発電所、燃料価格

50 銭/10³kcal で計算)、183 円 (マンダレービーチ 発電所)、167 円 (アールパ島) などであるが、計算条件により変化がある。

水の問題だけで発電所の使命を制せられることのないよう将来の研究が期待される。

13.5 サイクロンファーンネス

サイクロンファーンネスを使用した ボイラ は石炭灰の 10~15% が接触伝熱面を通るだけで、煙突より飛散する灰を制限するために、低効率の集じん器を備えるだけでよい。

熔融状態で分離された 85~90% の スラグ はガラス質の細かい粒状になり、水切れがよく ホコリ もたたく取扱いが簡単などの利点が多い。アメリカ、ドイツなどでは相当実績があり、超臨界圧 Breed 発電所にも採用されている。

熔融温度の低い石炭にとくに効果的であるが、低品位炭にも使用可能である。

13.6 ドライクーリングタワー

大都市周辺の復水器冷却水は最近ますます汚染が激しくなり、水温も上昇して復水器性能低下の大きな原因となっている。これに対処するため、将来はクーリングタワーの使用も検討しなければならないが、従来の大気直接接触方式によると、大気中の湿度が高くなり、周辺地域に害をおよぼすことになる。したがって、冷却水を閉回路とした熱交換器方式により大気冷却する方法が考えられる。

まだ試験的段階であるが将来の検討問題である。

13.7 燃料の前処理

燃料重油のなかには 2~3% 程度の硫黄分を含んでいるため、ボイラ 低温部で硫酸を生成し、低温腐食の原因となっている。

種々対策が研究されているが、抜本的には安価な脱硫法が開発されねばならない。

14. む す び

将来の火力発電所の進むべき方向について、各種文献を参考として日頃考えていることを述べたものであるが、説明簡単のためにはわかりにくい点があったり、また一部独断的な個所があると思われる。火力発電は日進月歩であるから、安い電気を適正なサービスレベルで供給する究極の目的から逸脱しないよう、将来とも一層の研究と努力が必要である。

最近における社外寄稿一覧

37- 5-17	電気化学	低温燃料電池の研究 (第一報) —ニッケル 水素電極の電気化学的特性—	松岡宏昌・秦 卓也	研究所
37- 5-17	電気化学	高温燃料電池の研究 (第一報) —電池特性に影響をおよぼす諸因子 (1)—	秦 卓也・村山邦彦	研究所
37- 5-19	電気学会雑誌	デジタル 計算機による電力潮流計算法の比較	芝 滝 寿 宏	研究所
37- 5-22	電子技術	SCR を用いた直流電動機速度制御	岡 久 雄・坂 東 修 三	研究所
37- 5-22	電子技術	SCR を用いた自励式 インバータ	河 合 正・岡 久 雄	研究所
37- 5-22	電気学会誌時報	スイッチングサージ 避雷器用の テルビート 非直線抵抗体の電圧—電流特性および放電耐量	桑 原 宏	伊 丹
37- 5-22	電気学会誌時報	スイッチングサージ 避雷器用の テルビート 非直線抵抗体の電圧—電流特性および放電耐量	桑 原 宏	伊 丹
37- 5-23	電気と工事	モータのいろいろ	名 地 巍	研究所
37- 5-23	電気と工事	モータのいろいろ	名 地 巍	名古屋
37- 5-26	電気書院	照明の経済性とその比較計算	小堀富次雄	本社
37- 5-26	I F A C (国際自動制御学会)	On the Inverse Z-Transform (逆 Z 変換について)	真鍋舜治	研究所

最近の超大形火力発電所のすう勢

加賀貞広*

Trend of Recent Super-Large Thermal Power Plants

Kōbe Works Sadahiro KAGA

Remarkable increase in power demand in the post-war era in Japan has made the generating capacity 2.7 times that of 1951, and in coming ten years this capacity is expected to be 36,220 MW. To cope with this trend the generating system has undergone a great change in consideration of time of construction and various costs of construction, operation, fuel and maintenance. This article accounts for a giant generator rated 250 MW delivered to the Kansai Electric Power Co. Himeji No. 2 power plant and another unit rated 325 MW expected to be supplied to the same plant, together with recent trend of super-large thermal power plants.

1. ま え が き

わが国における戦後の電力需要量の増加はまったくめざましく、昭和26年5月1日の電力再編成以来昭和35年度に至る10年間に実に2.7倍の増加を示し、さらに昭和45年度に至る10年間の新設分は3,622万kWと予想される。

この種の急激な電力需要量に対処するために、建設期間、建設費、運転費、燃料費、保守費用などを総合的に勘案し、従来の水主火従の発電方式は大幅な転換を見るに至った。

すなわち限られた期間内での発電能力の急激な増加、発電コストの低減、熱効率の上昇などの点から、超高温、超高压大容量火力発電機が採用される傾向にある。

本文では昭和38年度に運転に入る計画の姫路第二発電所向け第1号ユニット(250 MW, 169 atg, 566°C/538°C, 830 t/h, 44.82%)および昭和39年度完成予定の貫流ボイラの採用など種々の特色を有する第2号ユニット(325 MW, 169 atg, 566°C/538°C, 1,060 t/h)を主とし最近の超大形火力発電所のすう勢について概説してみる。

2. わが国の大形火力発電所の変遷

わが国の大形火力発電所建設の気運は、昭和29年度東京電力株式会社千葉火力発電所1号機125 MWの輸入、続いて30年度には同発電所3号機175 MW、中部電力株式会社新名古屋発電所1号機、関西電力株式会社大阪発電所1号機、九州電力株式会社荻田発電所2号機のそれぞれ156 MW、汽圧169 kg/cm²、汽温566°C/538°Cなどの輸入に始まり、以後の国産大形火力発電所のモデルプラントの役目を果たしてきた。

さらに昭和32年度に入ると、東京電力株式会社横須賀発電所1号機265 MWが、また35年度には同3号機350 MW、関西電力株式会社姫路第二発電所1号機325 MWの輸入が決定し、36年度着工地点としては、さらに大容量の中部電力株式会社尾鷲および知多両発電所1号機375 MWの輸入建設が決定している。

この間国産プラントも順調な発展をみせ、37年度には東京電力株式会社横須賀発電所2号機265 MW、38年度には関西電力株式会社姫路第二発電所2号機250 MW、39年度には東京電力株式会社五井発電所1号機265 MW、関西電力株式会社姫路第二発電所3号機325 MWが国産技術により完成する予定になっている。

る。

このようなタービン発電機容量(図2.1)、ボイラ蒸発量(図2.2)の変遷にしたがって、3,600回転機では156 MW(TC3F-23″, TC2F-25″), 220 MW(TC3F-26″), 250 MW(TC4F-25″), 325 MW(TC4F-25″)がすでに運転または工事中であり、さらに375 MW(TC4F-29″)も建設が決定した。

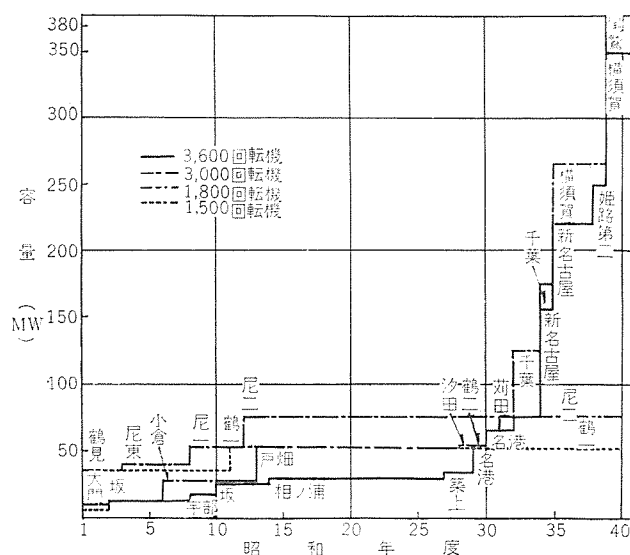


図 2.1 回転数別タービン発電機容量の変遷
Fig. 2.1 Change of turbine generator capacities classified by speeds.

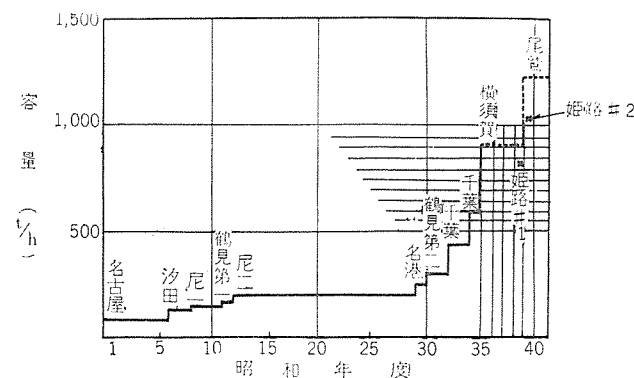


図 2.2 ボイラ蒸発量の変遷
Fig. 2.2 Change of boiler steam rate.

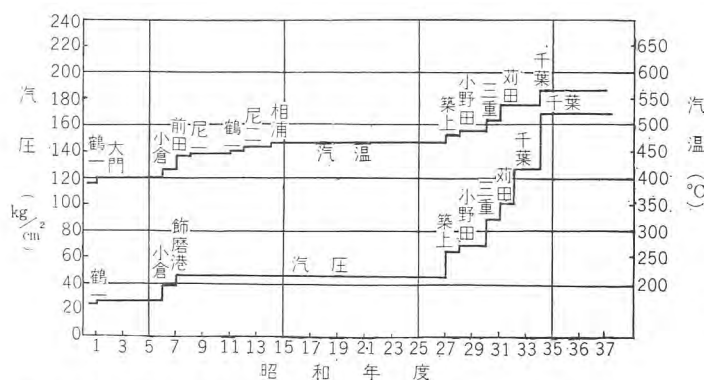


図 2.3 汽圧、汽温の変遷（汽圧および汽温は昭和29年まではボイラ側、昭和30年以降はタービン側のものです）
Fig. 2.3 Change of steam pressure and temperature.

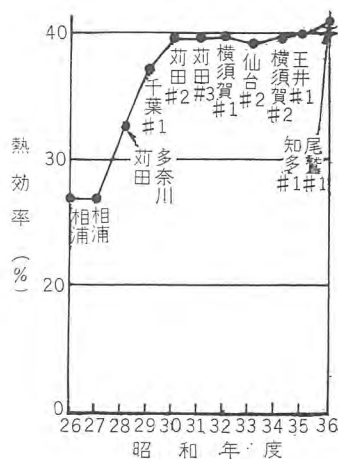


図 2.4 プラント熱効率の変遷
Fig. 2.4 Change of plant thermal efficiency

また、3,000 回転機では、175 MW (TC3F-23"), 265 MW (CC4F-23") がすでに運転中であり、さらに 350 MW (CC4F-26") も建設が決定した。

ボイラ 蒸発量もタービン容量に対応して 520 t/h, 590 t/h, 730 t/h, 830 t/h, 900 t/h と大容量化し、さらに 1,000 t/h, 1,100 t/h, 1,200 t/h クラスのボイラの建設も決定している。

なお、プラントの大形化に伴って汽圧、汽温の上昇もはなはだし、現在では臨界圧以下では最高級の 169 kg/cm², 566°C/538°C - 566°C が大形プラントでは採用されるのが一般のプラクティスとなっている。（図 2.3 参照）

このようなプラントの大形化、高温、高圧化にしたがってプラント熱効率も上昇の一途をたどり昭和 30 年度頃から 30% を突破し、最近設置予定のプラントでは 40% を越える高効率プラントも出現している。（図 2.4 参照）

つぎにアメリカの昨今における超大形火力プラントについて見ると、現在運転中の最大機は T.V.A. の Windows Creek #7 の 500 MW (CCDF-43", 169 kg/cm², 566°C/538°C) であるが、クロス・コンパウンド機では、650 MW (T.V.A. の Paradise #1, #2, CC4F-38" 169 kg/cm², 566°C/538°C)、さらに超臨界圧 900 MW (T.V.A. の Bull Run, CC4F-43", 246 kg/cm², 538°C/538°C) の設置が計画されている。

またタンデム・コンパウンド機では 357 MW (Arkansas Pr. Co. の Helena #1, TC4F-25", 141 kg/cm², 538°C/538°C) がすでに運転中であり、さらに超臨界圧の 400 MW (Public Service Electric & Gas Company の Hudson #1, TC4F, 246 kg/cm², 566°C/538°C)

最近の超大形火力発電所のすう勢・加賀

が 1965 年 2 月には運転開始となる予定である。

つぎにアメリカにおける超臨界圧第 1 号機は、Ohio Pr. Co. の Philo #6 P/S が蒸汽条件 316 kg/cm², 620°C/566°C/538°C, 2 段再熱サイクルで 1957 年に 125 MW 機が運転を開始した。

続いて Philadelphia Elec. Co. が Eddystone #1 P/S に世界最高の 352 kg/cm², 648°C/566°C/566°C, 2 段再熱サイクル 325 MW を 1959 年に完成し、以来現在までに Avon #8 P/S, Breed #P/S, Eddystone #2 P/S, Philip Sporn #5 P/S などが続々完成し、貴重な経験を得ており、わが国に超臨界圧大形発電所が建設されるのも間近いことと思われる。

3. わが国の大容量火力発電所

前節において大容量火力発電所のすう勢について概説したが、ここで現在関西電力株式会社に建設中の姫路第二発電所の設計上の特長などについて概説し、現在のわが国の大容量火力発電所の実際についてながめてみたい。

姫路第二発電所は第 1 期工事として第 1 号機 250 MW, 第 2 号機 325 MW, 第 2 期工事として第 3 号機 325 MW を建設中であり、将来第 4 号機を含めて 1,200 MW を超過する大容量火力発電所となる計画である。第 1 号ユニットと第 3 号ユニットは国産（三菱）、第 2 号ユニットは輸入（Westinghouse および B & W）であるが、とくに第 2 号ボイラは世界的にも数少ない B & W の UP ボイラが採用され設計上幾多の特長を有している。

3.1 電気関係

(1) 発電機および励磁機

発電機と励磁機の概要をそれぞれ表 3.1 および表 3.2 に示す。

発電機電圧は容量の増大により 24 kV という高電圧が採用されており、そのためスロット出口部分においてはコイル主絶縁の間にアルミハコを入れ電位傾度をゆるやかにしている。

短絡比については、第 2 号機、第 3 号機ともできるだけ製品重量の軽減をはかるため、安定度、電圧変動率を十分検討して 0.582 としている。

表 3.1 姫路第二発電所 発電機定格概要

項 目	第 1 号 機	第 2 号 機	第 3 号 機
容 量 (MVA)	320	396	396
電 圧 (kV)	24	24	24
力 率	0.85	0.85	0.85
回 転 数 (rpm)	3,600	3,600	3,600
周 波 数 (c/s)	60	60	60
相 数 (φ)	3	3	3
短 絡 比	0.64	0.582	0.582
冷却方式	内部冷却 3 kg/cm ²	内部冷却 4 kg/cm ²	内部冷却 4 kg/cm ²
製 造 者	三 菱 電 機	W 社	三 菱 電 機

表 3.2 励磁機概要

項 目	第 1 号 機	第 1 号 機	第 3 号 機
励 磁 機			
容 量 (kW)	1,300	1,500	1,500
電 圧 (V)	DC 500	DC 500	DC 500
回 転 数 (rpm)	710	514	505
電 動 機			
容 量 (kW)	1,450	1,550	1,650
電 圧 (V)	6,600	6,600	6,600
周 波 数 (c/s)	60	60	60
製 造 者	三 菱 電 機	W 社	三 菱 電 機
予 備 機	第 2 号機と同様		

表 3.3 主変圧器概要

項 目	第 1 号 機	第 2 号 機	第 3 号 機
主 変 圧 器	容 量 (MVA)	290	370
	電 圧 (kV)	24/275-262.5-250	24/275-262.5-250
	% インピーダンス	14	14
	結 線	△-入	△-入
	周波数, 相数	60 c/s, 3 φ	60 c/s, 3 φ
	形 式	屋外, 外鉄形 送油風冷 N ₂ 封入 直接接地方式	同 左
負荷時電圧調整装置	中 性 点	同 左	同 左
	製 造 者	三 菱 電 機	同 左
	容 量 (MVA)	14.5	18.5
	電 圧 (kV)	24/250±5 %	24/250±5 %
	% インピーダンス	6.5	5.5
	結 線	△-入	△-入
負荷時電圧調整装置	周波数, 相数	60 c/s, 3 φ	60 c/s, 3 φ
	形 式	屋外, 別置 油入自冷, N ₂ 封入	同 左
	製 造 者	三 菱 電 機	同 左

表 3.4 タービン 概要

項 目	第 1 号 機	第 2 号 機	第 3 号 機
形 式	三菱神戸ウエスチ ングハウス 4 分 排気 4 車室クシ形 再熱再生式	ウエスチングハウ ス 4 分排気 4 車 室クシ形再熱再生 式	三菱神戸ウエスチ ングハウス 4 分 排気 4 車室クシ形 再熱再生式
	定格出力 (MW)	250	325
回 転 数 (rpm)	3,600	3,600	3,600
主ソク止弁前圧力 (kg/cm ²)	169	169	169
主ソク止弁前温度 (°C)	566	566	566
再熱ソク止弁前温度 (°C)	538	538	538
排気真空 (mmHg)	722	722	722
抽気段数	8	8	8
製 造 者	新三菱重工	W 社	新三菱重工

励磁機は容量増大に伴い信頼度, 運転上の問題点, 保守上, 経済上などの点を考慮して M-G 方式を採用し, 励磁電圧は予備励磁機を共用とする点で 500 V を選定している. また予備励磁機は 1, 2 号機共用としているが, さらに 3 号機などについても共用することが考えられている.

(2) 主変圧器

主変圧器の概略を表 3.3 に示す.

いずれも別置の負荷時電圧調整器を備えており, とくに 2 号機, 3 号機用の主変圧器は記録的大容量超高圧変圧器である. また変圧器 ラッシングは塩害を考慮して, 超高圧側はエレファントブッシングとしている.

(3) 所内電圧

このプラントのように大容量 ユニットになると所内補機の電動機容量も増大し, とくに給水 ポンプ と励磁機の電動機容量が電圧降下と シャ 断器の短絡容量に大きな影響を及ぼす. したがって所内変圧器および起動変圧器の容量と台数, 母線構成, シャ 断器の性能などを考慮して, もっとも経済的で技術的にも有利な 6 kV を所内電圧として採用している.

6 kV の所内電圧はヨーロッパでは広く採用されているが, 325 MW 級程度のユニットでは 6 kV を採用することがもっとも経済的で, また技術的にも運転上にも有利と考えられる. また将来さらに大容量のユニットになれば 10 kV の採用も考えられるであろう.

3.2 タービン関係

タービンの概要を表 3.4 に示す.

表 3.5 給水 ポンプ 概要

項 目	第 1 号 機	第 2 号 機	第 3 号 機
給 水 ポ ン プ	台数 (蒸気タービン駆動 原動機駆動)	2 1	2 1
	揚 水 量 (t/h)	450	592
	総 揚 程 (kg/cm ²)	204	233
	回 転 数 (rpm)	6,800	5,500
	回 転 数 (rpm)	6,800	5,500
原 動 機	蒸気タービン (容量 kW)	3,600	5,250
	電動機 (容量 kW)	3,750	2,600+2,600
製 造 者	新三菱重工	W 社	新三菱重工

表 3.6 ボイラの概要

項 目	第 1 号 ボイラ	第 2 号 ボイラ	第 3 号 ボイラ
形 式	三菱神戸 CE コ ントロールサーキ ュレーションボイ ラ放射再熱強制循 環形分割炉屋外式	ユニバーサル, プ レッシュャーボイ ラ放射再熱強制循 環形分割炉屋外式	三菱神戸 CE コ ントロールサーキ ュレーションボイ ラ放射再熱強制循 環形分割炉屋外式
	蒸 発 量 (t/h)	830	1060
過熱器出口 蒸気圧力 (atg)	176	176	176
過熱器出口蒸気温度 (°C)	571	571	571
過熱器出口蒸気温度 (°C)	543	543	543
燃 焼 方 式	重油専焼圧力噴霧	同 左	同 左
通 風 方 式	押込通風方式	同 左	同 左
製 造 者	新三菱重工	B & W	新三菱重工

いずれも最終翼は現在最長の 635 mm (25 in) 翼を使用している. 復水器は単流 2 分割水室形の Axial Flow Type で Condenser tube がタービン 軸に平行に配列されている.

給水加熱器は低圧 1 系列, 高圧 2 系列であるが, 高圧給水加熱器は全溶接製である. また 2 号機に対しては貫流形 ボイラ 採用のためすべてモネタルを使用し銅の ピックアップ による水質劣化を防止している.

ボイラ 給水 ポンプ はわが国最初の タービン 駆動方式が採用され常時は蒸気タービン駆動 2 台を使用し, 予備兼起動用に電動機駆動 1 台を備えている. 給水 ポンプ の概略仕様を表 3.5 に示す. 蒸気タービン 駆動の給水 ポンプ の制御はタービンの速度制御による方式を採用しており, 低負荷時の給水加減弁による減圧損失および シート 摩擦を避けている.

3.3 ボイラ関係

ボイラの概要を表 3.6 に示す.

ボイラはいずれも重油専焼, 押込通風方式を採用した屋外形という特長を有している. 押込通風方式を採用することにより一般に空気漏れの減少による熱損失の減少, 誘引通風機の設備費, 維持費の減少, 所内動力の節約などの利点が考えられる. また屋外形にすることで建築費の大きな節減がはかられている.

一方重油専焼としているため, 重油系統の設計には十分な考慮を払い, 重油系統機器のうちいずれか一つの機器に故障が生じても他の系統または機器に影響を及ぼさないこと, 重油 タンク はとくに設けず貯蔵 タンク のうち 1 個を主重油 タンク として使用することなどを設計の前提条件としている.

3.4 計測制御関係

このプラントの計測制御設備の大きな特長はつぎの 2 点である.

- (1) 2 号ボイラに UP ボイラを採用しているため, ボイラ 自動制御装置と バイパス 制御装置はまったく未経験な特異な装置である.

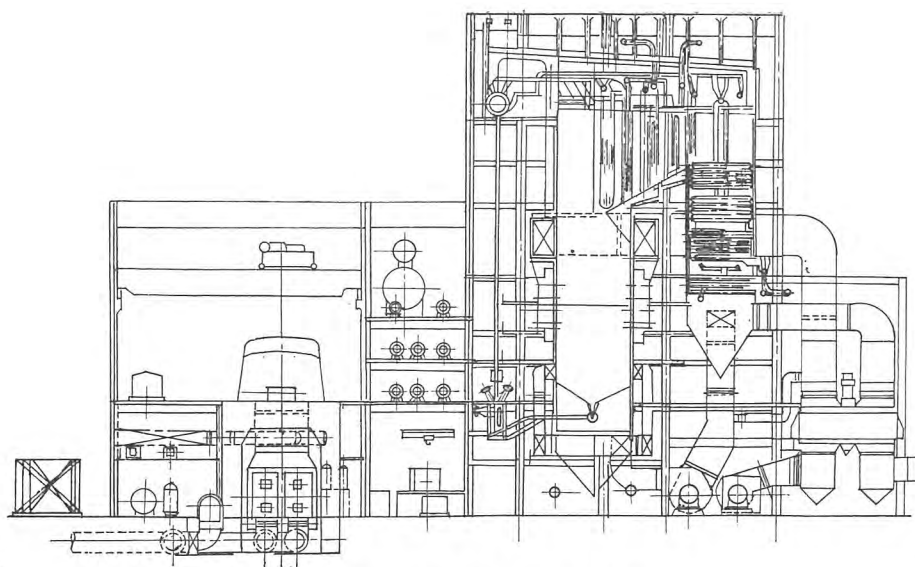


図 3.1 関電姫路第二発電所第 1 号 ユニット側面図
Fig. 3.1 Side view of Himeji No. 2 power plant unit No. 1.

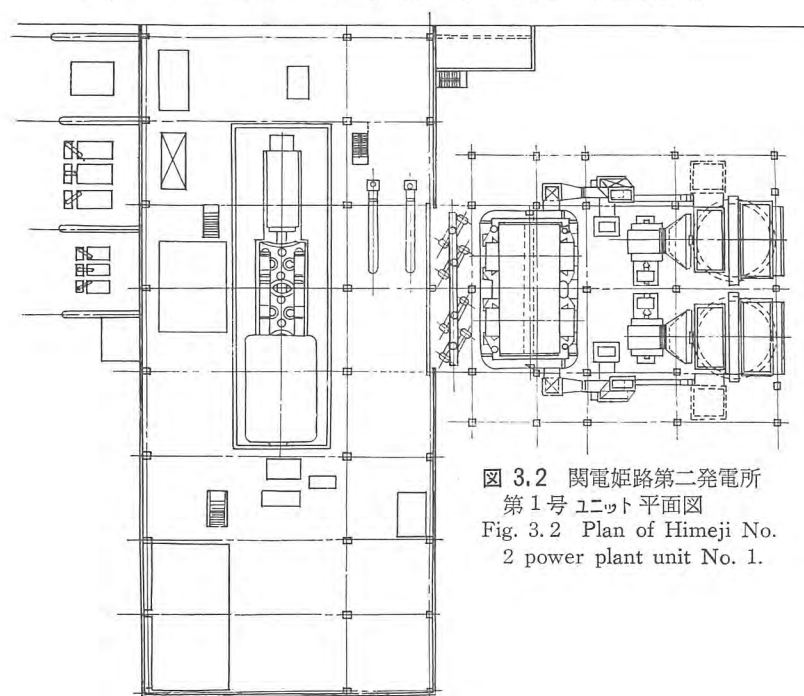


図 3.2 関電姫路第二発電所
第 1 号 ユニット平面図
Fig. 3.2 Plan of Himeji No. 2 power plant unit No. 1.

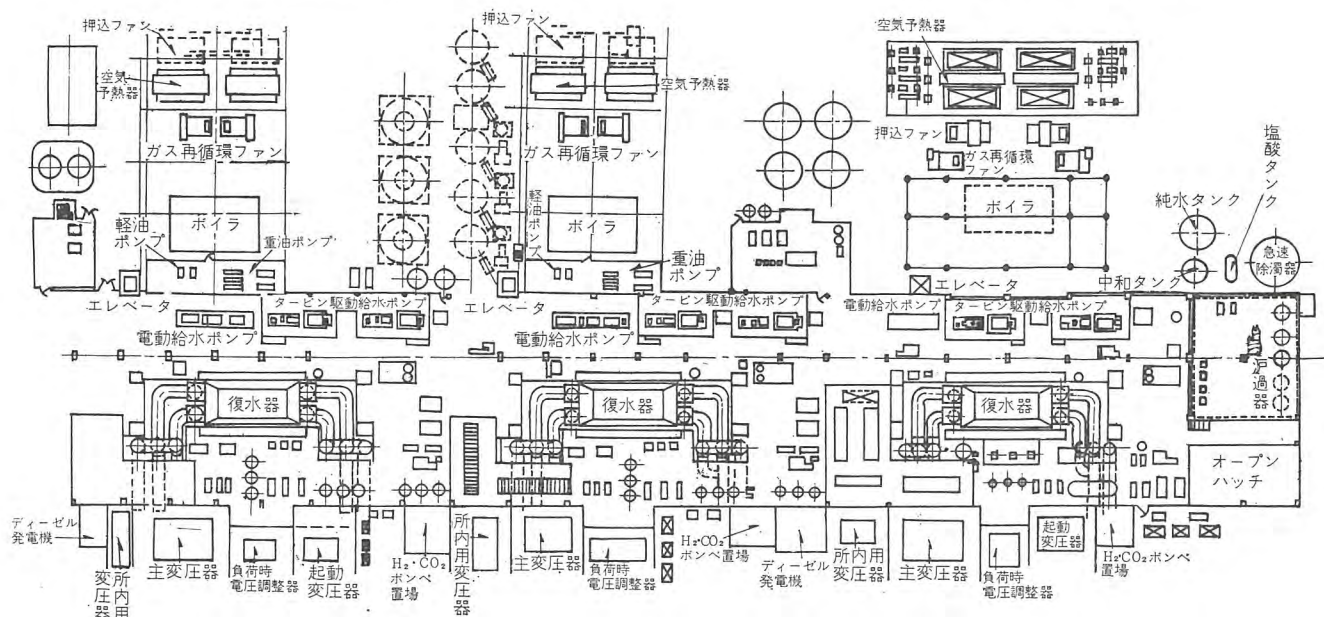


図 3.3 関電姫路第二発電所 #1, 2, 3 号
ユニット機器配置図
Fig. 3.3 Arrangement of Himeji No. 2 power plant units No. 1, 2, 3.

(2) タービン発電機の制御装置は従来とほとんど変わらないが、タービンの起動も含めて中央制御室からの遠方制御となっており、したがってタービン起動盤を設けていない。

なお、関西電力株式会社姫路発電所第 1 号ユニットの構成を図 3.1、図 3.2 に示し、同第二発電所第 1, 2, 3 号ユニット機器配置を図 3.3 に示したから参照されたい。

4. む す び

本文においては、超大形火力発電所の最近のすう勢についてきわめて概設的に述べ、かつわが国における今後の大形火力発電プラントとして姫路火力発電所を引用し、とくに設計上の観点からその指針ともいうべき要点のみにつき列記した。各機器の詳細については、他の各章に記載されているからご参照願いたい。

わが国の急速な電力需要の増大により火主水従の現状はさらに 2 火 1 水の比率となるのも近い将来と考えられ、あらゆる観点からますます大容量化する傾向にある。単に寸法上の増大では律せられない多くの新規な技術的、経済的の考慮がはらわれねばならぬ。この種の研究開発には、電力会社はもちろんあらゆるこの道の学者とメーカーを含めて総合的にその進展をはかるべきである。

大形タービン発電機の現状と将来

——主として 396 MVA 機を中心として——

志 岐 守 哉*

Present and Future of Giant Turbine Generators

—— Chiefly on a 396 MVA Unit ——

Nagasaki Works Moriya SIKI

Outstanding is the increase in the capacity of turbine generators with a quickened pace. This trend is spurred on by the advent of inner cooling of coils. The completion of the first inner cooled machine rated 208 MVA by Mitsubishi dates back to 1956. This was followed by the larger unit of 320 MVA built in 1962, now a 396 MVA generator being expected to come into being in 1964. Up to the present moment nine units aggregating 2,000 MVA have been manufactured. When those under construction are counted up, fifteen units will be listed with total capacity of about 3,500 MVA. This article describes a 396 MVA machine supplied to the Kansai Electric Power Co., as a chief topic.

1. ま え が き

タービン発電機における容量の増大はめざましく、ことに内部冷却の誕生以来その速度はますます大きくなった感がある。(図 1.1

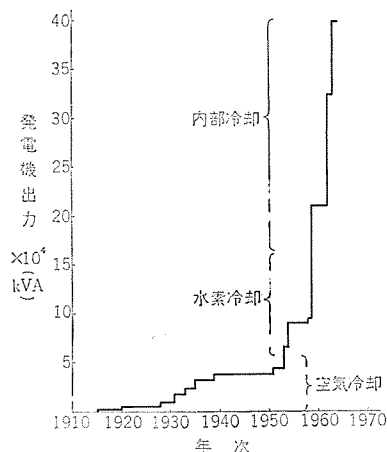


図 1.1 当社におけるタービン発電機最大容量の発達
Fig. 1.1 Development of the max. capacity turbine generators in Japan.

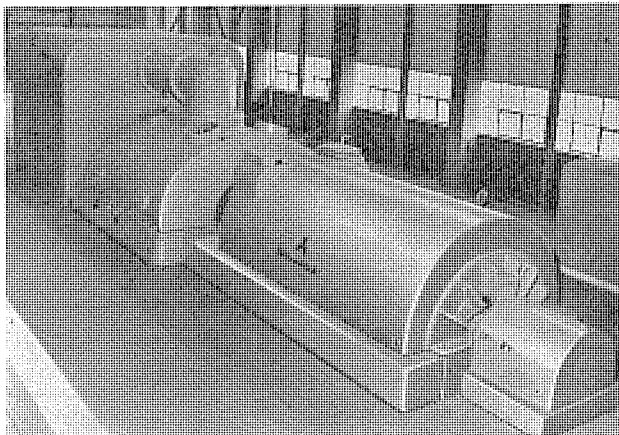


図 1.2 内部冷却発電機外観
Fig. 1.2 Exterior view of inner cooled generator.

参照) 当社において、内部冷却第 1 号機 208 MVA 機を工場完成したのは昭和 34 年であったが、昭和 37 年には 320 MVA を完成し、さらに昭和 39 年には 396 MVA を完成の予定で製作中である。現在までに工場完成したもの 9 台、2,000 MVA に近く、これに製作中のものを加えると 15 台、3,500 MVA を越える状態でわずか数年の間に内部冷却が事業用発電機として一般化したことを示している。

しかし、同じ内部冷却でも詳細に見るとその容量によりおのずから幾分の相異があり、これらの現状を 320 MVA 機、396 MVA 機を中心にして説明し、さらに、将来方向についても幾分ふたたい、

ちなみに 320 MVA 機は、関西電力姫路第二発電所 1 号機であり、396 MVA 機は、同発電所 3 号機となる。

2. 現状における問題

2.1 発電機の定格容量

通常、火力発電所は MW で呼称されているが、発電機の場合には MVA が体格を表わす単位であり、このためタービンの MW と発電機の MVA との関係を十分に理解しないと混乱の原因となる。この意味で、最初に説明することにした。

一般に内部冷却発電機の定格は、普通構造水素冷却機の発電機定格にならない、すなわち下記の要領により定めている。

$$\text{発電機定格 MW} = \text{タービン 定格 MW} \times 125/115$$

これを定格力率で割れば定格 MVA となるので

$$\text{発電機定格 MVA} = \text{タービン 定格 MW} \times 1.28$$

となる。ガス圧は任意に選定してさしつかえない。

たとえば、250 MW タービン に対し 発電機定格は

$$250 \times 1.28 = 320 \text{ MVA}$$

となる。この MVA を一般には 3 kg/cm² ガス圧で発生するようにしており、また内部冷却の MVA と ガス圧の関係は、表 2.1 のとおりになっているので、これらを組合わせて、標準容量表を作成すると表 2.2 のとおりになる。ただし 1.28 という数値の根拠は、本来からいえばタービンの最大可能出力に対応すべきものであり、タービンの形式および予想される負荷の状態で、適宜に変更されてさ

表 2.1 ガス圧と MVA の関係

ガス圧 (kg/cm ²)	MVA (%)
2	87
3	100
4	110

表 2.2 内部冷却発電機標準容量表 (0.85 PF)

タービン出力 (MW)	0.736 SCR 2 kg/cm ² (kW)		0.64 SCR 3 kg/cm ² (kW)		0.582 SCR 4 kg/cm ² (kW)	
400	445,218	378,436	512,000	435,200	(563,200	478,720)
350	389,565	331,304	448,000	380,800	(492,800	418,880)
300	333,913	283,565	384,000	326,400	(422,400	359,040)
275	306,087	260,174	352,000	299,200	(387,200	329,120)
250	278,261	236,522	320,000	272,000	(352,000	299,200)
225	250,435	212,870	288,000	244,800	(316,800	269,280)
(220)	(244,870	207,913)	(281,600	239,100)	(309,760	263,010)
200	222,609	189,218	256,000	217,600	(281,600	239,360)
175	194,783	165,565	224,000	190,400	(246,400	209,440)
150	166,957	141,914	192,000	163,200	(211,200	179,520)
125	139,130	118,261	160,000	136,000	(176,000	149,600)
100	111,304	94,608	128,000	108,800	(140,800	119,680)

SCR: 短絡比

表 2.3 アメリカにおける各種定格例

タービン出力 (MW)	形式	発電機定格 (MVA)	製作者	比 (MVA/MW)
127	TC	173	GE	1.362
165	CC	202	GE	1.223
170	TC	211	WE	1.241
182	TC	201	WE	1.103
223	TC	265	GE	1.189
240	TC	265	WE	1.103
265	CC	320	WE	1.208
300	CC	353	CP	1.178
500	CC	556	GE	1.112

(Power誌 Oct. 1958 より)

しつかえないのはもちろんで、事実アメリカの例では、上記習慣からはずれているのも多数見受けられる。(表 2.3)

最近、国内の発電所においても[発電機定格 MVA/タービン定格 MW]が 1.28 より小さいものが種々生れているが、これは発電機価格との兼合いで真剣に検討するに値するテーマであり、これからの問題であるといえることができる。

2.2 発電機の出力係数

発電機出力と物理的寸法に関係のある項目は、回転数、回転子容積 (D^2L)・空ゲキ(隙)磁束密度・空ゲキにおける電気装荷(単位周長当たりアンペア導体数)である。これらはつぎのような形に表わされている。

$$kVA = \text{const} \times \text{rpm} \times D^2L \times (\text{空ゲキ磁束密度}) \times (\text{電気装荷})$$

発電機容量の増大に対しては、右辺の各項のどれかを増加させねばならない。内部冷却は、原理的には上式における電気装荷を増加させることになる。ここで注意せねばならぬことは、上式は回転子の必要アンペア導体数を含んでいないことである。固定子の電気装荷を増せば、その減磁作用も増加するので、定格点で運転するための回転子の所有アンペア導体数も増加せねばならない。これは固定子に内部冷却を応用すれば、回転子にも必然的に内部冷却を応用せねばならないことを意味する。タービン発電機は本質的には回転子で制約を受ける機械で、最大容量は可能最大回転子寸法により、換言すれば回転子の可能発生アンペア導体数で決まるも

大形タービン発電機の現状と将来・志岐

のである。しかし実際には、回転子巻線と固定子巻線には相対的に一定の関係があり、上式で考えてもさしつかえない。

電機装荷の増大という基本原理は各部構造に多大な影響をあたえ、これについては後述する。

2.3 電圧定格

一般に容量が増大すれば、それに比例して電圧も増大する傾向にあるが、コイル中のガスメジの配置を適切に選ぶことができるように、スロット数を選択して定格電圧が定まる。スロット数の増大は、スロット幅の減少となり、コイル内の導体と通風管の配置は窮屈となる。またスロット数の減少は、スロット幅の増加となり、スロット高調波が増えるので、空ゲキの大きさと兼合いで定めねばならない。つまりスロット数には限られた範囲しか許容できないことになり、これが電圧定格に影響してくる。

電圧定格におよぼす他の要素は、コイルピッチと漂遊負荷損との関連である。コイルピッチは、図 2.1 に示すように高調波を最低にするピッチがあり、高調波の多少は回転子表面の漂遊負荷損の増減となる。一般に電圧の式

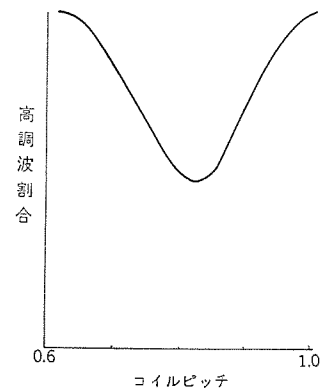


図 2.1 コイルピッチと高調波割合の関係
Fig. 2.1 Relation between coil pitch and rate of higher harmonics.

$$V = kNK_p B_g A$$

k : 定数

N : スロット数

K_p : 短節係数

B_g : 空ゲキ磁束密度

A : 回転子表面積

で表わされるが、もし一定の回転子表面積でピッチ一定とすれば、電圧はスロット数のみと関連してくるものであり、スロット数が自由に選べない状態では電圧のほうを自由に選定せざるを得なくなる。すなわち、コイル配置の寸法的調和と漂遊負荷損の低減という目的から、発電機の各定格に対し、おのおの最適電圧が存在するということになる。

当社においては、現段階では一応 kV で表わした場合に整数となるように考えているが、最大電圧としては 24 kV までとしている。

容量が 400 MVA を越えれば、1 回路の Winding で 24 kV 以下にするためには、スロット数がありにも減りすぎるので 2 回路の Winding とし、電圧定格も 15~19 kV に下げ、かつラッシングは電流容量の大きいものを使用せねばなくなるだろう。最近 2 回路の結合をラッシングの外で行なう、いわゆる Double-Winding があるが、Single-Winding のほうが離相母線の配置の点からはるかに簡便であることはいうまでもない。

2.4 軸材の磁気特性

軸材はタービン発電機にとってもっとも重要な材料であるが、一般にその性能で論議されているのは機械的性質である。

しかし、軸材を電力発生の見地からながめると、電気的には単なる磁石の鉄心であり、その意味でこの磁気特性は発電機性能に影響をおよぼす重要な因子の一つであり、またこの問題は大容量機ではさらに重要性を増してくる。

すなわち、内部冷却は回転子を高度に利用し軽量にしているため、回転子内部の励磁密度は普通構造に比し高く、このため全 Iron Amp-Turn 中に回転子の占める割合ははるかに多くなっている。(図 2.2)

Iron Amp-Turn の多少はまた、定格負荷時の励磁電流の多少に大きく影響するので、軸材の磁気特性の改善は励磁電流の増減に直接影響し、さらに換言すれば、発電機の寸法・効率および励磁機容量に多大な影響がある。

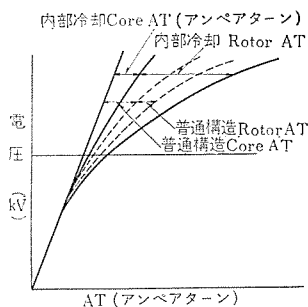


図 2.2 アンペアターン 割合
Fig. 2.2 Rate of ampere turn.

この意味から、軸材の磁気特性の改善に製鋼メカと共同して努力をほらい、現状では、軸材成分中磁気特性にもっとも有害な炭素分を減じ、他方それに伴う材力の低下は他合金成分の増加で補うという方針で製作し、磁気特性・機械的性質ともに満足の軸材を得ることができるようになった。

3. 320 MVA から 396 MVA へ

3.1 396 MVA 定格

320 MVA 機は 250 MW タービンに直結されるもので、MVA/MW は 1.28 で標準の定め方であった。これに対し 396 MVA 機は 325 MW タービンに直結されるもので、MVA/MW は 1.21 となり、MVA 定格は異例に属するものである。

この 325 MW タービンの Capability は 350~360 MW であり、発電機はこの出力をまかない得ればよいのであるから、推定運転力率を 90% とすれば、MVA は 390~400 MVA となる。この

表 3.1 320 MVA 機定格

MVA 定格	320 MVA	電 流	7,698 A
MW 定格	272 MW	回 転 数	3,600 rpm
力 率	85 %	励 磁 電 圧	500 V
ガ ス 圧	3 kg/cm ²	励 磁 機 容 量	1,300 kW
電 圧	24 kV		

表 3.2 396 MVA 機定格

MVA 定格	396 MVA	電 流	9,526 A
WM 定格	336.6 MW	回 転 数	3,600 rpm
力 率	85 %	励 磁 電 圧	500 V
ガ ス 圧	4 kg/cm ²	励 磁 機 容 量	1,500 kW
電 圧	24 kV		

出力を 4 kg/cm² ガス圧で発生するようにして、その定格を定められたものである。

320 MVA 機と 396 MVA 機の定格をそれぞれ、表 3.1, 3.2 に示している。

3.2 電 圧

320 MVA 機は 24 kV であったが、396 MVA 機でも 24 kV としている。24 kV という電圧は、発電機としては最高の電圧であるので、スロット 出口部分においてはコイル主絶縁の間にアルミハクを入れ、電位傾度をゆるやかにしている。この構造については後述する。

3.3 励磁電圧

320 MVA 機では励磁機容量は 1,300 kW で、励磁電圧 500 V であった。本機においては励磁機容量は 1,500 kW となる。励磁機容量がふえれば、電流値が増加して、整流子およびスリップリングの構造は複雑になってくるし、ブラシの選定にも留意しなければならない。(図 3.1)

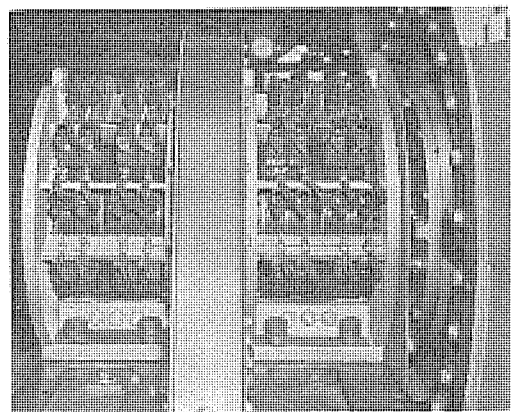


図 3.1 内部冷却発電機 ブラシ まわり
Fig. 3.1 Brushes of inner cooled generator and related parts.

3.4 基本的設計

回転子直径は 320 MVA 機より一段上のものを採用した。これはコイル押えリングもまた、一段上の径ということの意味する。

直径が大きいのので回転子のスロット数は増加させることができ、同時の回転子の発生しうるアンペア導体数も増加するのは当然である。また、直径の増加は通風の面では必要風量を確保するためのフロアの設計が容易となり、フロアの段数も 320 MVA と同一で可能である。

軸重量の増加で、軸受直径・長さともに大きくなり、このため密封に要する油量の増加から密封油ポンプの定格を幾分大きくした。軸長は 320 MVA より大きくはないが、直径を一段上しているので固定子重量が大きくなり、船積や輸送を考慮して固定子分割構造を採用した。これが本機の最大特長でこの構造は後述する。

3.5 リアクタンス

内部冷却では電気装荷が大きいのので、漏れリアクタンスは大きくなる。一方 SCR は、指定値に納めるように設計するので、 X_d としては従来機と大差ない。320 MVA 機および 396 MVA 機のリアクタンスは、それぞれ表 3.3, 3.4 のとおりである。

X_d が従来機に比べてかなり大きく、シタ断器の容量を減ずることができる。

X_d は過度安定度および変動負荷に対する電圧変動に大きく関係する定数で、これがあまり大きくなることは両者に対して好ま

表 3.3 320 MVA 機リアクタンス (320 MVA base)

X_d	175%	X_d''	20.5%	X_2	20.6%	T_{d0}'	6.47 sec	T_d''	0.015 sec
X_d''	20.8%	X_d'	30.7%	X_0	14.6%	T_d'	1.13 sec	T_u	0.505 sec

表 3.4 396 MVA 機リアクタンス

X_d	168%	X_d''	19.4%	X_2	19.5%	T_{d0}'	5.42 sec	T_d''	0.015 sec
X_d''	19.6%	X_d'	28.2%	X_0	11.2%	T_d'	0.91 sec	T_u	0.478 sec

しくない。我々が目安としている値は、定格 MVA base で 35% 以下であるが、320 MVA、396 MVA とともに十分この目安を満足している。

3.6 寸法および重量

396 MVA 機の外形寸法を図 3.2 に示す。比較のため、同図中に 320 MVA 機の外形寸法も示す。重量は表 3.5 のとおりである。

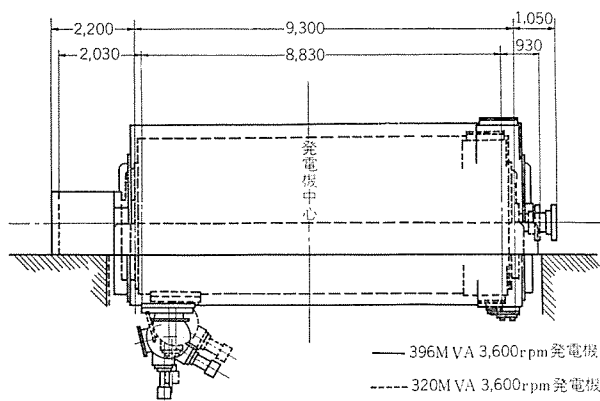


図 3.2 320 MVA 機と比較した 396 MVA 機外形
Fig. 3.2 Outline of 396 MVA machine compared with 320 MVA unit.

表 3.5 320 MVA および 396 MVA 機重量

	320 MVA	396 MVA (固定子分割法)
最大重量 (固定子) (t)	250	255
回転子重量 (t)	40	50

4. 396 MVA 機構造

4.1 分割固定子

船積、輸送、水切りなどの考慮の点から、最大重量物の重量軽減を考慮して分割法を採用した。分割法には、その時々状況によりいくつかの方式が考えられるが、もっとも軽量にする手段は、鉄心構造に固定子コイルを入れた状態までのものを、分割の一単位とする方法である。この方式の場合には、鉄心積層を保持し、コア積後の転倒時の強度に耐えるだけのフレーム構造が必要であり、これを内部フレームと称する。これより外側に存在すべきフレーム構造を外部フレームと称するが、上記の方式は、コア積およびコイル入れの終わった内部フレームを外部フレームに同心円的にそう入する方式となるので、便宜上、2重フレーム構造と称している。

内部フレームは輸送の一単位であるが、外部フレームは輸送時の寸法限界により分割個数を決めればよい。ただし、分割個数はなるべく少ないほうが全体の重量は軽くなることはいうまでもない。

396 MVA 機においては、外部フレームは軸方向に 4 分割としている。

内部フレームのそう入はクレーンで吊ってそう入する方法もあるが、もっとも安全で、また簡易な方法はすべり台を使用する方法である。

図 4.1、4.2、4.3 にこの方法を示しているが、内部フレームを、クレーンに乗せて外部フレーム (スリップリング端を除いておく) の軸方向に密着させておき、タービン側端の滑車を通して内部フレームの端にロープを掛け、このロープをクレーンで引れば、容易に内部フレームは外部フレーム内にすべり込む。外部フレームの内側にはあらかじめすべり台を設けておき、すべり面にはグリスを塗布しておかねばならない。ロープの引張力はすべり面の摩擦係数を 0.1 としても 25 t にすぎず、わずかなものとなる。

鉄心は弾性支持をせねばならぬので、このあと内部フレームをジャッキで押上げ、外部フレーム内の弾性支え板を立てて、内部フレームにボルト締めをする必要がある。

この後外部フレームのスリップリング端を取付け、また外部フレームの分割面の水素密封のための溶接を行えば組立完了となる。軸方向に分割された外部フレームの組立てはボルトで行ない、機械的強度はボルトにもたせているので、最後に行なう分割面の溶接は、水素密封のためだけであることを付け加えておく。

組立断面図は、図 4.4 に示す。

4.2 固定子コイル

固定コイルには 1 ターンコイルで、レーベル転位を施しており、ガスミジとして通風管を中央に縦に配置している。通風管材料は渦流損を防ぐために、非磁性高抵抗金属を選択している。

通風管の出入口部分では、導体は上コイルから下コイルにまたがり、通風管だけ飛び出ている。したがって、つなぎ部分の絶縁を施したのちに、通風管に成形した絶縁物のキャップをかぶせる。

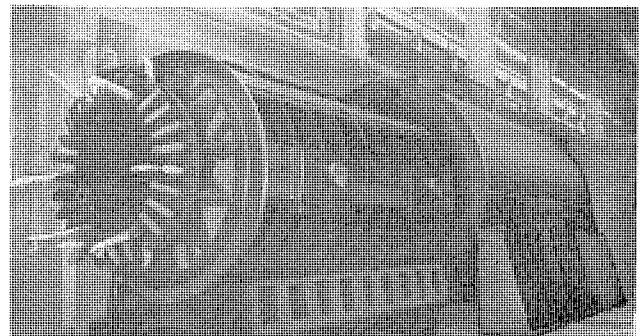


図 4.1 内部フレームそう入直前 (スリップリング側)
Fig. 4.1 Inner frame about to be inserted (viewed from slip ring side).

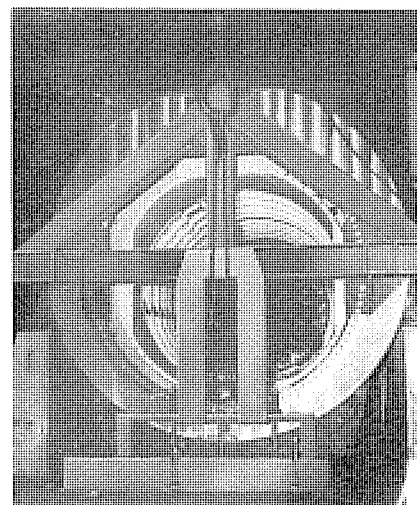


図 4.2 内部フレームそう入直前 (タービン側)
Fig. 4.2 Inner frame about to be inserted (viewed from turbine side).

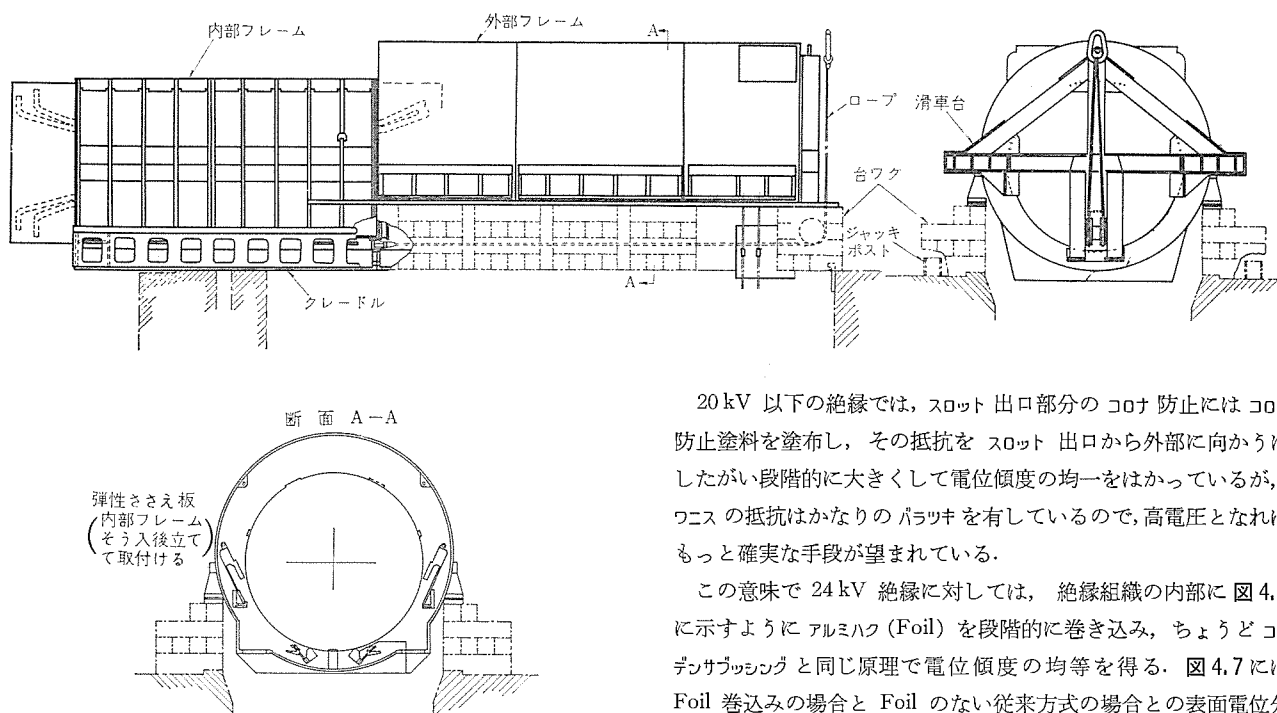


図 4.3 固定子分割法説明図
Fig. 4.3 Description on the splitting of stator.

通風管は裸で出ているので、ここからコイル支持物までの沿面距離や、通風管からフレーム構造物までのセン絡距離は、実験により定めた距離以上あるように十分管理せねばならない。

なお固定子コイルの端部支持には、ポリエステル含浸のガラス繊維で作ったリングを使用し、このリングとコイルとのスキマには、モルジンミックスタを詰めて強固な支持とする。(図 4.5)

4.3 コロナ防止

20 kV 以下の絶縁では、スロット出口部分のコナ防止にはコナ防止塗料を塗布し、その抵抗をスロット出口から外部に向かうにしたがい段階的に大きくして電位傾度の均一をはかっているが、ワイスの抵抗はかなりのバラツキを有しているので、高電圧となればもっと確実な手段が望まれている。

この意味で 24 kV 絶縁に対しては、絶縁組織の内部に図 4.6 に示すようにアルミハフ (Foil) を段階的に巻き込み、ちょうどコンデンサリングと同じ原理で電位傾度の均等を得る。図 4.7 には Foil 巻き込みの場合と Foil のない従来方式の場合との表面電位分布の値を示しているが、電位傾度は表面単位長さ当たり電位差であり、図中では曲線の切線となる。これから見ると抵抗塗料端で電位傾度が最大であることがわかるが、Foil のある場合はない場合に比し電位傾度が激減していることがわかる。また、この方法ではバラツキの要素が少ないため、きわめて確実であることはいうまでもない。

4.4 回転子軸

396 MVA の場合、直径は 320 MVA より大きいので材質は一段上を採用した。

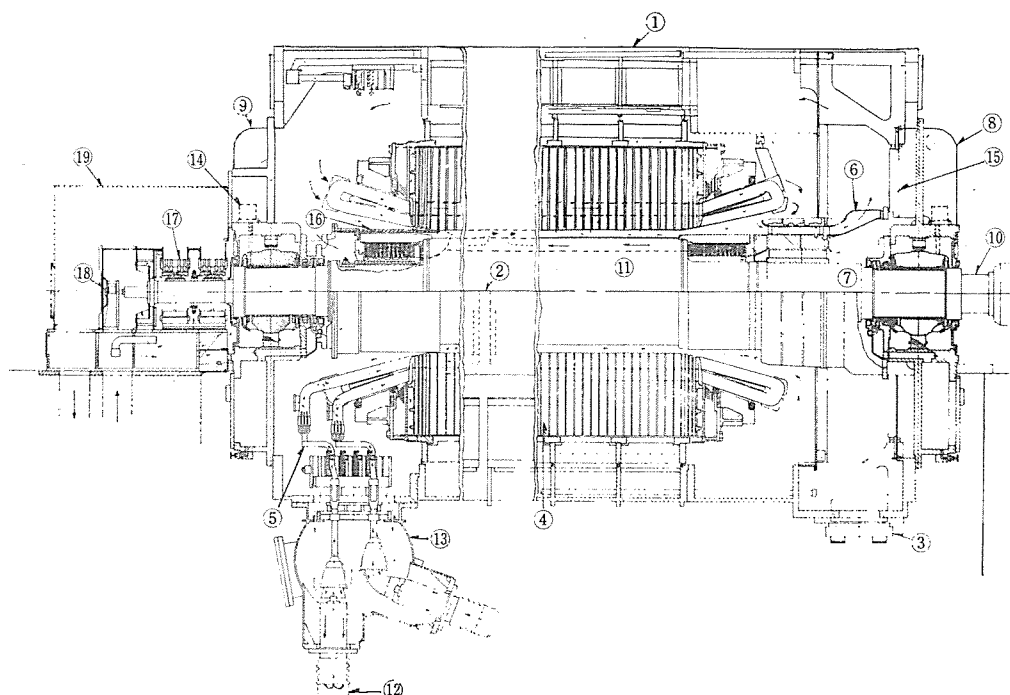


図 4.4 396 MVA 機組立断面図
Fig. 4.4 396 MVA machine.

- ①フレーム ②フレームカバー ③ガスクーラ ④ステータコア ⑤ステータコイル ⑥ブロワシュラウド支え ⑦ブロワシュラウド支え
- ⑧ブラケット (タービン側) ⑨ブラケット (スリップリング側) ⑩シャフト ⑪ロータコイル ⑫リードプッシング ⑬リードボックス
- ⑭振動計 ⑮ガスクーラ塞板 ⑯エアギャップパッフル ⑰スリップリングハウジング塞板 ⑱回転計用発電機 ⑲スリップリングハウジング
- ⑳ブラシまわり

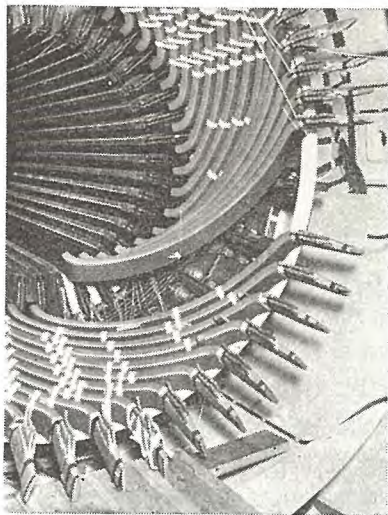


図 4.5 巻線中の固定子コイル
Fig. 4.5 Stator coils under construction work.

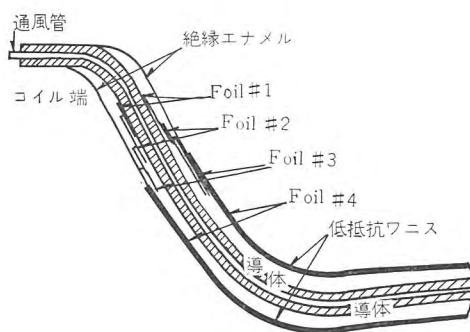


図 4.6 アルミ Foil 使用のコロナ防止法
Fig. 4.6 Corona prevention by the use of aluminum foil.

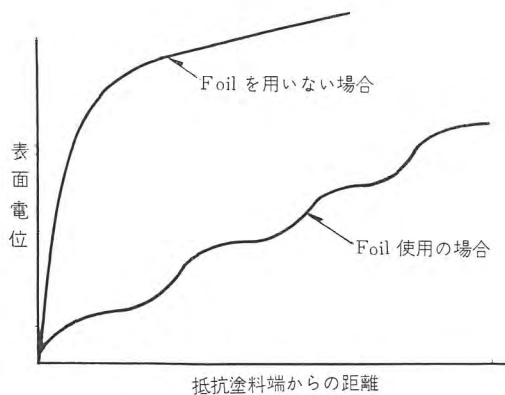


図 4.7 Foil 使用および不使用のものとの電位分布の比較
Fig. 4.7 Comparison of potential distribution between one using foil and one without it.

スロット寸法も増加しているが、外側が広くなり底部が狭くなっている点では同じである。

胴長は 320 MVA より短い、重量は増加しているので軸受ジャーナル寸法も大きくしたのは前述のとおりで、素材の重量は 45 t となる。

4.5 コイル押えリング

これは内部冷却のように電気装荷の大きい機械では、リング内の渦流損を減少させるためと、固定子鉄心端の磁束集中による過熱防止のために、非磁性鋼でなければならない。

非磁性鋼にして材力の高い材料ということで、この材料はもっ

大形タービン発電機の現状と将来・志岐

ともむずかしい材料となる。成分としては Mn 18%, Cr 5% を含む オーステナイト系であるが、材力を上げるために cold work を施行して目的を達している。

この材料は切り欠き効果が高いので、リング表面に通風孔を加工しないようにしているが、内部のキズが存在や、表面キズを超音波探傷およびダイチェックで十分調査して採否を決めている。(図 4.8)

非磁性コイル押えリングの使用は、漂遊損の減少だけでなく、進相運転時の鉄心端加熱現象も大幅に減じる。

4.6 回転子コイル

導体は冷間引抜銀入銅で、二つのコの字形の素線を組合わせ、中央部にガスミジを作った構造である。

ガスミジには、ガスの入口・出口のために半径方向のタテ穴がある。またガスを意図するように流すためには、所々にガスの仕切りを設けねばならないので、コックをガスミジの所定の位置にかしめている。(図 4.9)

4.7 回転子クサビ

クサビには 2 種類あり、一つは非磁性鋼で厚さが薄く大部分のクサビに使用する。胴中央部にはガスの出口孔を必要とするので、クサビも厚さを増し、とくにこの場合はダンパと兼用の意味で、機械的強度が高く、電気伝導度もよいベリリウム銅を使用する。

このベリリウム銅は、非磁性鋼のクサビの下にそう入した銅帯と接触させ、ダンパ回路となる。

逆相電流に対する耐力として、通常普通構造形において

$$I_2^2 t = 30$$

I_2 : 逆相電流 (単位法)

t : 秒

が用いられているが、大容量機においては容量の割に寸法は増大してないので、回転子表面積当たり電流は、はるかにふえて上記



図 4.8 非磁性コイル押えリング
Fig. 4.8 Non magnetic coil pressing ring.

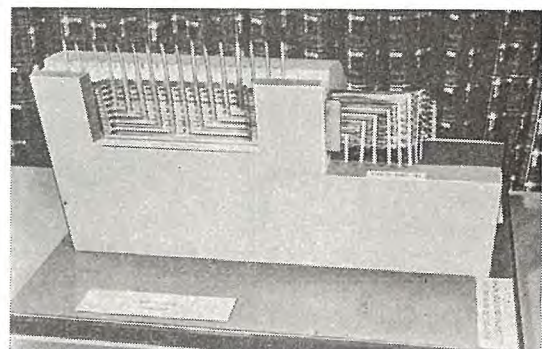


図 4.9 回転子コイル通風図
Fig. 4.9 Rotor coil ventilation.

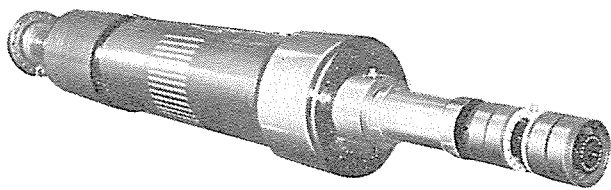


図 4.10 完成回転子
Fig. 4.10 Completed rotor.

式の数に減少させなければならなくなる。この意味でスロット部分にダンパ回路を作り、逆相電流に対する耐力の減退を防いでいる。

図 4.10 は完成回転子の外観を示すが、胴部中央に見える白い部分はベリリウム銅である。

4.8 ブロワ

高圧多段ブロワであるが、材料としてはステータブレードもロータブレードも Ni-Cr-MO 鋼でありステータブレードのほうは漂遊負荷損の増大を防ぐために、Ni の含有量の多い非磁性鋼としている。(図 4.11)

396 MVA では 320 MVA より高風圧を要するが、直径が大きくなっているので段数は同じでさしつかえない。ブロワは全段組立てた状態で、ブロワだけの風量・風圧特性試験で確かめて採用する。

4.9 複流形密封方式

ガス圧が高くなるので、高ガス圧でも水素消費量のさほど増加

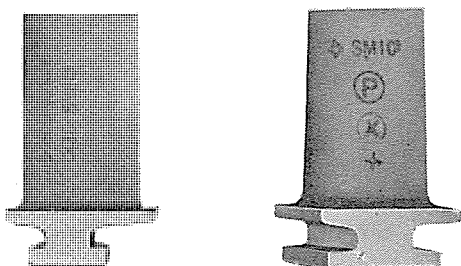


図 4.11 ステータブレード(左)とロータブレード(右)
Fig. 4.11 Stator blade (left) and rotor blade (right).

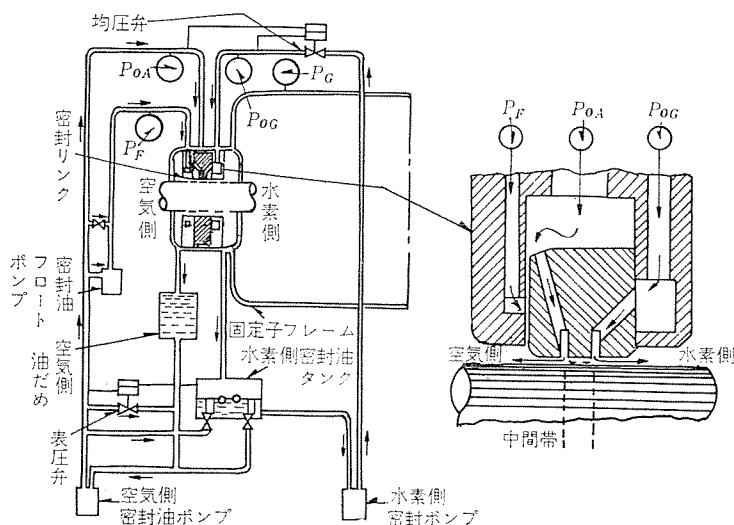


図 4.12 複流形密封方式
Fig. 4.12 Double current type shaft seal system.

P_G ガス圧 P_{OA} 空気側密封油圧 P_{OG} 水素側密封油圧
 P_F 密封油フロート油圧

表 4.1 水素消費量予想値

ガス圧 (kg/cm ²)	水素消費量 (m ³ /day)
2	3
3	5
4	7

しない方式として、複流形を標準として用いる。この方式の原理を図 4.12 に示す。

密封部分に二つの油流をつくり、機内側を水素側、機外側を空気側と呼びおのおの独立の回路とする。両方の回路は密封部入口に均圧弁を設けて入口油圧を同一になるように制御するが、完全に両方の油圧が同一であれば両回路間の密封部での油交換はない。水素側の油は独立に循環するが、これは機内の水素ガスと接触して溶解水素が飽和しこれ以上の溶解はせず、空気側油もまた独立に循環して、空気は溶解しているけれども機内水素とは接触しないので、機内への空気の拡散はない。

以上は理想的な場合の話であるが、実際には均圧弁自身にも感度や精度があり、ある程度の空気側油と水素側の油は交換があり、これが水素消費量の原因となり、これを見込んで表 4.1 のような値と考えている。なお、このほかの点では、ガス圧が高くなったためシールリングに働く横方向のスラストのため、シールリングがなめらかな働きを妨げられるのを防止するよう、密封器フロートポンプを設けて、機内と反対側からシールリングを押し、ガス圧によるスラストと均衡を保たせている。

5. 将来の問題点

5.1 短絡比と力率

現在の発電機ではほとんどすべて、力率 0.85、短絡比 0.64 が採用されているが、力率と短絡比の定格は発電機の体格に影響するところが大きく、ひいては価格にも大きく響くので、これらの適正な計画というのが今後の大きな課題となると考えられる。

一般にタービン発電機は、固定子よりも回転子により出力を制限される機械であるので、励磁電流にもっとも影響する上記二因子が、発電機体格に直接的に響くのは容易に理解できるところである。この影響の程度を表わすものとして図 5.1 を示す。

図 5.1 は同一体格の発電機において、短絡比が変わった場合の程度出力が増加可能かを示すもので、力率をパラメータにしている。短絡比の変化にはギャップの変化がつきものであるため、同時にギャップもパラメータとしてそう入している。

この図は、励磁アンペアターン同一という条件で求めたものであるため、MVA の増減による固定子の増減は含まれていない。また、励磁アンペアターンの式としては

$$e_d = e_t \cos \delta + X_d i \sin (\theta + \delta)$$

e_d : 内部誘起電圧 (励磁アンペアターン)
 e_t : 端子電圧
 X_d : 同期リアクタンス $\approx \frac{1}{SCR}$
 i : 負荷電流
 δ : 内部相差角 $\tan \delta = \frac{X_d i \cos \theta}{e_t + X_d i \sin \theta}$
 θ : 力率角

を使用しており、実際励磁電流にはこのほか saturation の

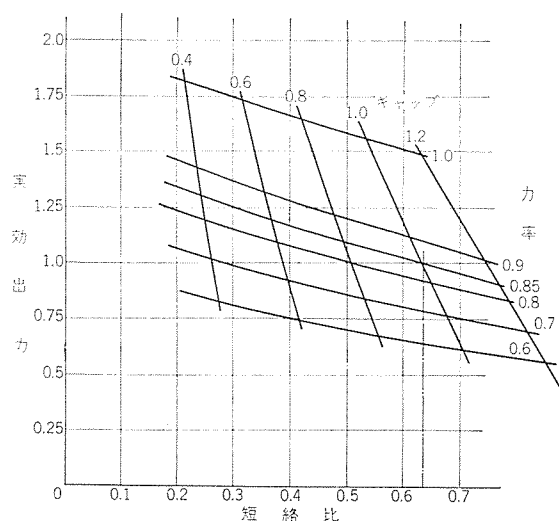


図 5.1 同一格の発電機における短絡比、力率と実効出力の関係

Fig. 5.1 Relation between the changes of short circuit ratio, power factor and effective output of generator of the same body.

影響が入ってくるので、個々の設計に応用する場合にはかなりの誤差は避け難い。しかし、傾向の大勢を知るには便利であろう。

この図より判断すれば、短絡比の変化よりも力率のほうが体格におよぼす影響は大きいといえる。

短絡比が性能上問題になるのは定態安定度であるが、通常形の AVR の場合でも、短絡比 0.64 で 0.95 PF 進み程度まで定態安定度に十分のマージンがあり、現状のようにほとんど連続動作形 AVR 使用の場合には動的安定度ははるかに capability curve の外側にあり、系統の状況にもよるが、あまり神経質になる必要はないであろう。また、力率のほうは実情がすでに 0.95 遅れ程度の運転であり、定格力率の変更に対する実用上の障害はまったくないと見られている。日本と状況の似かよったヨーロッパにおいては、0.8PF, 0.5SCR 標準を 0.85PF, 0.6SCR 標準に変更したが、さらにその低下を検討中である。この問題は真剣に討議するに値するものであり、とくに今後さらに容量が大きくなり、ふたたび輸送上製作上の限界に近づく場合に、重要な意義を有することになる。

5.2 進相運転

タービン発電機の進相運転については低励磁運転とも称され、その安定度の問題については、多くの文献が発表されている。

進相運転の他の問題は、固定心鉄心端の過熱による capability limit である。この過熱の要因は 2 つあり、一つは固定子コイルの作る磁束と回転子コイル端の作る磁束のベクトル的一致であり、他の一つは固定子コイルのコイル押えリングを通る漏れ磁束がコイル押えリングの透磁率増大に伴い増加することにある。後者の要因は非磁性リングの使用によりまったく解消するので、コイル押えリ

ングが磁性か非磁性かにより、進相 capability limit はかなりの差を持つことが予想される。

内部冷却は非磁性リングを使用しているので、この点好条件であるが、実際測定は工場試験では実施できないので、データ不足である。最近各発電所で、進相試験を検討され、実測されたところもあり、そのデータでは、過熱の問題は予想よりも少なく、capability curve は十分に満足されているようであるが、なおこれは、安定度の問題と結びつけて、各系統について検討の必要があろう。

5.3 過渡安定度

過渡安定度は系統擾乱後 1~2 秒の間の安定度で、過渡内部誘起電圧 e_d' を一定と見なしうる範囲の安定度であり X_d' の大きさに大きく左右される。また、これは慣性定数 H が小さくなるとう安定度を小さくすることになる。

従来、過渡安定度は capability curve よりもずっと遠くにあり、あまり論議の対象となっていないが、今後の大容量機では、容量の割に回転子重量は増さないで、 H は小さくなり、また、 X_d' も大きくなる傾向にあるので、過渡安定度は capability curve 内に入ってくることも予想される。

さらに、実際問題としては 1~2 秒の間は安定であるが、そのあとに動作速度のおそいリレーなどが動作し発電所を trip し、二次的に不安定になることも考えられる。これらは発電所のあらゆる諸因子に影響されるので、解析は非常に困難であるが、将来の重要問題であることは間違いなく、この点、デジタルコンピュータの利用による解析も必要になるであろう。

5.4 Peaking unit

現状では新鋭火力は Base load 用として運転し中容量火力を Peak load 用として運転されているが、さらに新鋭火力においても汽力のほかに Peak 用としてガスタービンまたはディーゼルと組合わせる計画も種々論議されている。

ところが、上記の案のほかに経費の面から、汽力のユニット自身で peak load もとれるような計画も生れる可能性がある。さいわいにして、内部冷却発電機はガス圧の上昇により容量増大が可能であるので、かなりの Peak に対しても、励磁容量の増加や離相母線の電流容量の増加など比較的簡単な変更で対処することができ、主問題はタービン側の問題となるが、最初に述べた定格の決定とからんで、今後の問題となることも十分考えられる。

6. む す び

以上、内部冷却の現状を 396 MVA を中心にして述べ、なお将来の問題も最後に付記した。現方式の内部冷却でさらに容量の大きいものも計画中であり、それとともに新しい課題もたえず生れてくる状態である。これらの新問題はつねに発電所の計画者と密接な交流をして、文字どおりの新鋭火力の建設となることを念願している。本稿がその一助となれば、望外の幸せである。

大形ボイラの現状と将来

金子 三郎*

Present State and Future Outlook on Large Boilers

Nagasaki Works, Mitsubishi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd.

Saburō KANEKO

Present state and future outlook of boiler engineering is discussed herein with detailed description on changes of design of boilers in response to rapid increase of generating capacities of thermal power plants nowadays. Controlled circulation type boilers stand out among the apparatus with their distinguish advantages. On the other hand super critical pressure boilers have passed the state of experiment and are now about to come into practical use. Problems on fuels are also the item not to be made light of. Coal burning is expected to be resumed. As to the capacity 350~400 MW boilers are now available in domestic production.

1. ま え が き

わが国における最近の経済のめざましい発展に伴って、電力使用量の伸びは実にめざましいものがある。昭和36年度後半から国際収支の基調が悪化し、その景気調整策として金融引締めと設備投資の抑制が行なわれたため、電力需要の伸びが幾分鈍化したというものの、それでも対前年度比約116%が見込まれている。

このいちじるしい電力需要の増加に対応して、発電設備は年々増強の一途をたどり、とくに建設の主体が水力から火力に移行し、電力系統の大規模化に伴って高能率の大容量機がそくそくと建設されている。

昭和31年最初の再熱ユニットが建設され火力プラントの近代化が開始されてからわずか6年後に250~325 MW機が国産化され、また輸入プラントではあるが、350~375 MW機の建設が開始されている。この火力発電のめざましい進展はわが国産業成長のテンポとともに、世界に比類を見ないものである。

一方、アメリカにおいては昭和36年初頭単機容量1,000 MWの大容量機が発注され、2年後の昭和39年度には運転開始の予定であり、またひとところ発注が下火になっていた超臨界圧プラントもいよいよ実験プラントの域を脱し、昨年度には4発電所5ユニットが新たに発注されている。

このような情勢のもとにあって、大容量ボイラ、タービン、ターボポンプの製作にたずさわっているわれわれメーカーとしては信頼性の高い、高性能機をできるだけ安価に供給し、日本経済発展に寄与する責務があるが、本文においては、われわれの製作しているC-EおよびSulzer形ボイラを中心に大形ボイラの現状と将来について述べてみたいと思う。

2. ボイラの循環形式

表2.1に三菱造船における大形再熱ボイラの製作実績を示す。

最近の火力プラントの一般的動向として、高圧、高温、大容量化の傾向にあることがこの表からも察知できるが、この変遷に伴ってボイラの循環形式も自然循環から強制循環、あ

るいは貫流に移行している。

2.1 強制循環ボイラ

ドラム形ボイラにおいては、循環力の根本となる飽和水と飽和蒸気の比重差が圧力の上昇に伴って次第に小さくなる。したがって循環系の静水頭が一定であると、その循環力が低下し、また循環系を構成する各部管厚の増加とともに抵抗が増加するために、自然循環方式では循環性能の確保が困難となってくる。強制循環方式では、この循環力の不足を補うために循環系の途中にボイラ循環ポンプを配し、また各蒸発管には熱負荷に応じた流量を流通させるように制御オリフィスを設置して、必要最小限度のボイラ水を確実に循環させるので圧力の増加に対してまったく心配のない構造となっている。

また蒸気ドラムの内部には遠心力によって気水を分離し、純度の高い蒸気のみを過熱器に送入しうるようなターボセパレータを多数有しているが、ポンプの強制循環力によってセパレータ1個当たりの蒸気負荷を大きく採ることができるので、大容量ボイラ製作上の

表 2.1 三菱造船大形ボイラ製作実績

循環形式	プラント名称	竣工昭和年月	出力(MW)	最大連続蒸発量(t/h)	蒸気圧力(kg/cm ² g)		蒸気温度(°C)				燃料	火炉形式
					設計圧力	過熱器出口	過熱器出口	再熱器出口	再熱器出口	再熱器出口		
自然循環	中国電力新宇部1号	33-5	75	260	105	120	541	541			微粉炭および重油	単一炉形
	東北電力八戸2号	33-10	"	"	104.8	"	"	"			"	"
	中国電力新宇部2号	34-6	"	"	105	"	"	"			"	"
	住友共電新居浜1号	34-6	"	"	104.8	"	"	"			"	"
	国鉄川崎	34-11	"	"	"	"	"	"			"	"
	常盤共火勿来3号	35-11	"	"	"	"	"	"			"	"
	"4号	36-4	"	"	"	"	"	"			"	"
	"5号	36-7	"	"	"	"	"	"			"	"
	住友共電新居浜2号	37-4	"	"	"	"	"	"			"	"
	電源開発若松1号	37-8	"	"	105.8	"	"	"			"	"
	"2号	37-11	"	"	"	"	"	"			"	"
	和歌山共火和歌山	38-1	"	"	105	"	543	543			BFガスおよび重油	"
	堺共火堺1号	38-8	"	"	"	"	"	"			"	"
強制循環	"2号	38-12	"	"	"	"	"	"			"	"
	九州電力刈田3号	34-10	156	542	172.3	190	568.5	540.5			微粉炭および重油	分割炉形
	関西電力大阪3号	34-11	"	542	"	"	"	"			"	"
	九州電力新港1号	35-11	"	520	"	"	"	"			"	"
	九州電力新小倉1号	36-6	"	520	174.2	"	"	"			"	双炉形
	中国電力新宇部3号	37-3	"	540	174.3	"	569	541			"	"
	東京電力五井1号	38-2	265	900	175.4	200	568.5	568.5			重油	分割炉形
	関西電力多奈川4号	38-5	156	520	174	190	571	543			微粉炭および重油	"
	西日本共火新刈田	38-7	220	725	174.7	197	569	547			"	双炉形
	中部電力新名古屋6号	38-11	220	730	175.5	197	541	541			重油	分割炉形
	東京電力五井3号	39-6	265	900	175.4	200	568.5	568.5			"	"
	関西電力堺港1号	39-6	250	860	176	198	571	543			"	"
	"2号		250	860	176	198	571	543			"	"

(注) 竣工は火入式終了日を示し、現在製作中のものはその予定日を示す

難点の一つとなっている蒸気ドラムの寸法も、比較的小さくすることができる。

このために $170 \text{ kg/cm}^2 \text{g}$ 級の多数のボイラに強制循環方式（いわゆる CE Controlled Circulation Type）が採用されているのであるが、現在における国内最大ボイラ、すなわち東京電力横須賀 350 MW、中部電力尾鷲 375 MW プラント用ボイラはいずれもこの形式のものであり、さらにまた CE 社が Consolidated Edison Co. から受注した世界最大のボイラ（単機出力 1,000 MW, 169 atü, $538^\circ\text{C}/538^\circ\text{C}$ ）も同様であって、Controlled Circulation Boiler の適用範囲の広さを如実に物語っている。

なお、Controlled Circulation Boiler に使用するボイラ循環ポンプには、Injection Type, Canned Motor Type, Wet Motor Type の 3 形式があるが、いずれの形式においてもその信頼性はきわめて高く、最近では次第に予備機を省略する傾向にあることは経済性の面において特筆に値することである。

2.2 強制貫流ボイラ

自然循環式ボイラにおいては、使用蒸気の高圧化に伴って、設計上の種々の問題に遭遇し、また信頼性も低下することはさきにも述べたとおりであるが、臨界圧力以上になるとドラム形ボイラは理論的に成立しなくなる。

このドラム形ボイラに固有の問題を解決し、かつまた高圧蒸気採用の要求にこたえるために登場したのが強制貫流式ボイラである。貫流式ボイラには、スルザー形とベンソン形の 2 形式があるが、ここにはスルザーモノチューブボイラの特長について簡単に紹介し、さらに最近 CE 社が考案した超臨界圧用 Combined Circulation Boiler について項を改めて述べてみたいと思う。

貫流ボイラ、とくに蒸発伝熱面において気液 2 相が共存する亜臨界圧域の貫流ボイラにおいて、もっとも重要な問題は並行管内流動の安定性である。すなわち蒸発伝熱面を貫流式にした場合、1 本のチューブに対する流量は当然制約されるために、多数のチューブを並列に配置する必要がある。この並列管内流動の安定性が乱れた場合、蒸発域出口においてある蒸発管は過熱蒸気となり、他の蒸発管は湿り飽和蒸気であったりして蒸発管の安全性の点から好ましくない結果となる。

一般に管内、すなわち管入口から出口まで、純粋に液体あるいは気体で満たされている場合の圧力降下は、流量の 2 乗に比例するものと考えてよいが、気液 2 相が共存する場合には、この流体を加熱すると比容積の変化によって圧力降下は流量の 2 乗に比例せず、ある場合には流量が増加しても逆に圧力降下は低下する現象が生じる。この現象の定量的な詳細説明は紙面の関係で割愛するが、スルザーモノチューブボイラでは、蒸発伝熱面入口から出口まで中間に混合ヘッダを置かず完全な貫流形とし、蒸発管内流速および圧力差を適当に押え、か

つ予熱域に調節可能な絞り弁をおくことによってこの困難な問題を解決している。

つぎに亜臨界圧域モノチューブボイラの大きな特長は、蒸発管出口部にウォータセパレータを有することである。

給水量は蒸発管出口において蒸気中に約 4% の湿分を有するようには制御され、ウォータセパレータでこの残留湿分を分離するが、この場合給水中の不純物の大部分を濃縮状態で取り除くことができる。ウォータセパレータはまた蒸発部と過熱部を明確に分離し、過熱器入口における蒸気は常に乾き、飽和蒸気の状態に保たれる。したがって負荷のいかにかわからず過熱器の面積は一定であり、過熱器の特性は従来のドラム形ボイラの場合と同一に取扱うことができるので蒸気温度制御の面で安定性がある。

さらにまた、ウォータセパレータはホットスタートに際して過熱器を急冷せずに急速に起動することができるなど、種々の利点を有している。

モノチューブボイラの制御方式は、内部制御（給水量、蒸気温度、ウォータセパレータ水位、バイパス制御）と外部制御（燃焼制御）の各独

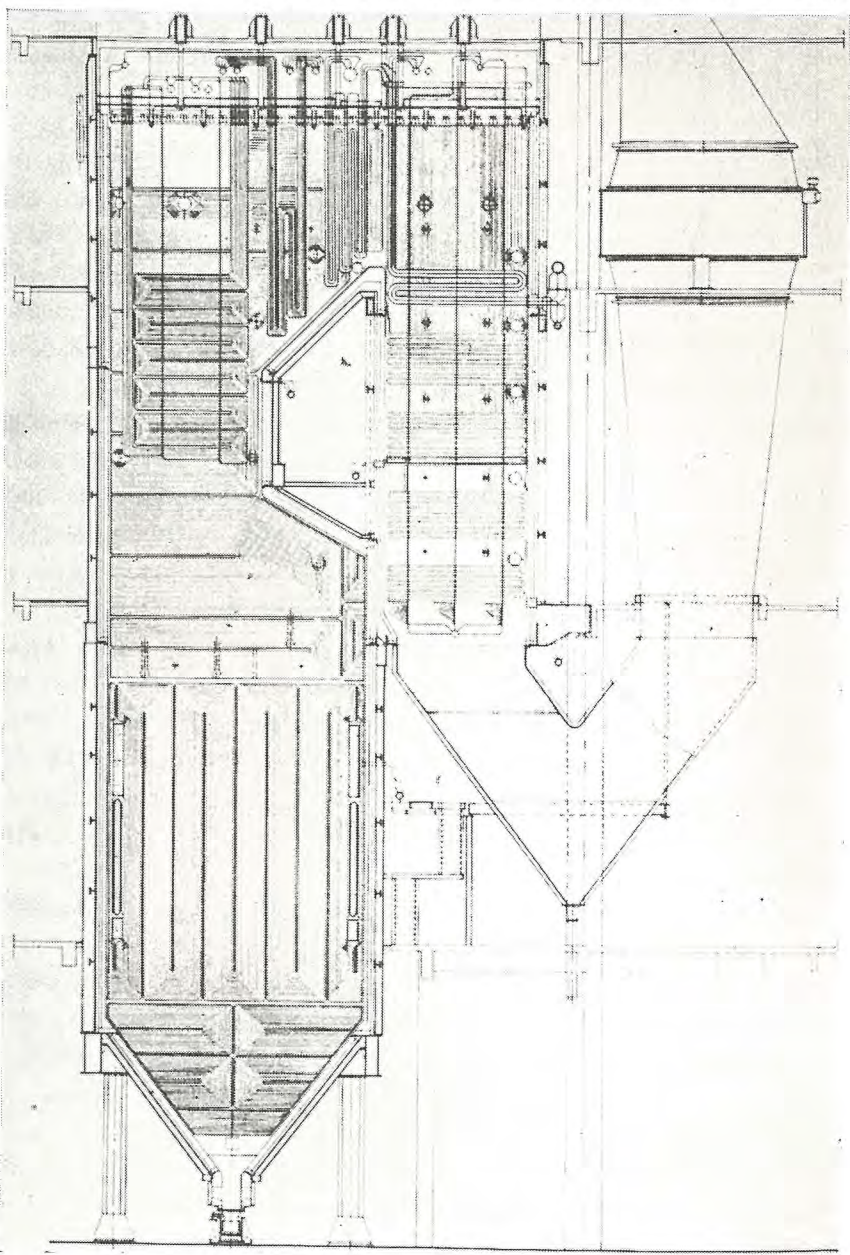


図 2.1 フィンランド Naantali スルザーモノチューブボイラ 外形図
Fig. 2.1 Outline drawing of Naantali Sulzer monotube boiler.

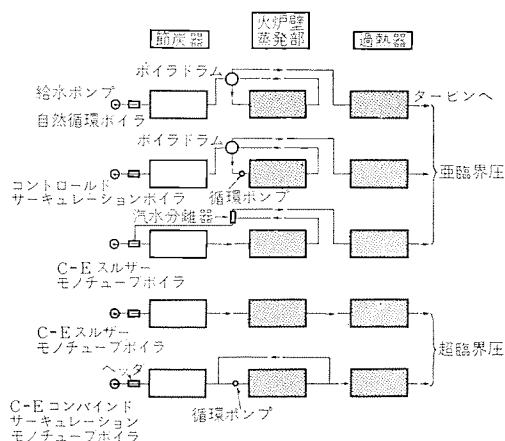


図 2.2 各種ボイラのフローシステム
Fig. 2.2 Flow system of various boilers.

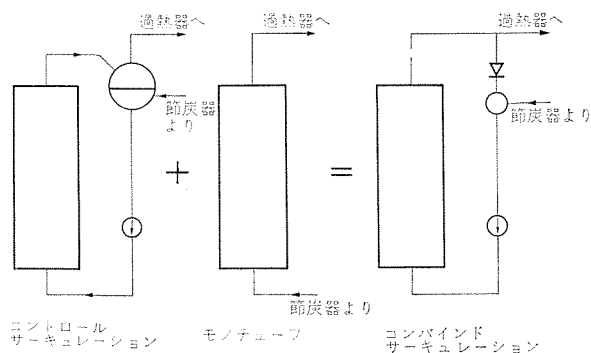


図 2.3 コンバインドサーキュレーションの構成
Fig. 2.3 Composition of combined circulation.

立した制御系から成っているの、仮に燃焼制御が乱れてもボイラ自体には支障をきたすことなく安全に運転が続けられる。

図 2.1 はスルザー社がフィンランドの Naantali 発電所に納めた 125 MW ボイラの外形図である。蒸気圧力 190 atü 温度 530°C/540°C 蒸発量 420 t/h の石炭重油混焼ボイラである。

2.3 超臨界圧ボイラとくにコンバインドサーキュレーションボイラ

以上述べたように、各種ボイラが水循環形式においていちじるしく異っているのは蒸発部の取扱い方にあることは、図 2.2 に示すとおりである。

超臨界圧の場合は、もはや気液 2 相共存の状態がなくなるので亜臨界圧モノチューブボイラのウォータースeparator は無意味なものとなり、不純物を連続的に除去することができない。ゆえに給水中の不純物はボイラ内部に沈積するか、あるいはタービンに付着するのきわめて高純度の給水を要することになる。

一般に貫流ボイラでは内部水循環がないので、もっとも熱負荷の高い燃焼室壁に配置されている蒸発管を、いかなる運転条件下にあってもその設計温度以上にならないように保護するために、適当な貫流量を必要とし、とくにボイラ起動時や低負荷運転時には発生蒸気の全量または一部を、タービンをバイパスして循環する必要がある。したがって貫流ボイラでは蒸発管（超臨界圧では蒸発現象がないので火炉冷却管と称したほうが妥当であるかもしれない）の設計とバイパス装置の大きさの設計の間には相互関係があり、通例バイパス装置は最大連続蒸発量の約 30% 流量に設計されている。

バイパス装置のコスト、バイパスエネルギー、火炉冷却管を保護するための最小貫流量および全負荷時の圧力損失、給水ポンプのヘッドな

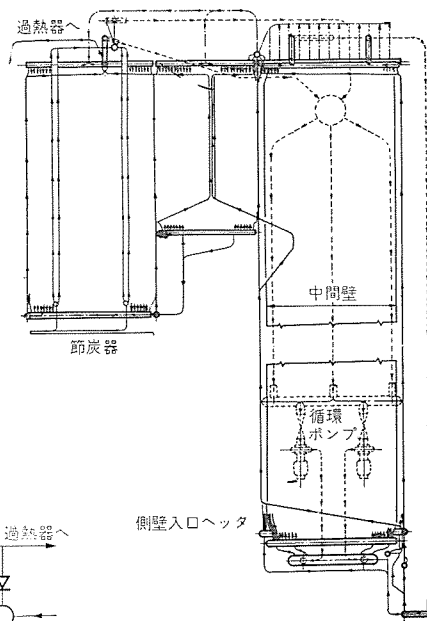


図 2.4 C-E コンバインドサーキュレーションボイラ 火炉水管配置
Fig. 2.4 Arrangement of C-E combined circulation boiler tubes

どを考慮して、バイパス装置の設計には妥協点があるわけである。

このバイパス量を 350 MW ボイラについて求めてみると約 300 t/h にも達し、起動時の蒸気圧力、温度から消費動力は、約 70 MW となる。この装置はボイラがさらに大形化してくると、コストの点からも配置の点からも大きな問題となる恐れがある。

この欠点を緩和するために、CE 社では貫流ボイラに経験豊かな強制循環方式を組合わせた、コンバインドサーキュレーションボイラを新たに考案した。

このボイラの基本的概念は図 2.2 および図 2.3 に示すとおりきわめて簡単なものである。

- 火炉冷却管は起動時および低負荷運転時、貫流給水だけでなく循環水によって保護される。
- 貫流方式があくまでも基本となっており、高負荷では循環は不要となっている。

具体的には火炉冷却管回りの水循環には 1 台の循環ポンプが使用され、このポンプによってボイラ負荷のいかににかかわらず、自動的に冷却管内に必要な流速を作ることができる。また循環ポンプは冷却管内循環水と同時に節炭器からの給水を通すので、給水ポンプを助ける働きをすることとなり、循環ポンプに必要な動力の大部分は給水ポンプの所要動力を低下させるのに役立つ。

とくに、ボイラ高負荷時には循環水はなく完全な貫流状態となるが、この場合循環ポンプはいわゆる“Float”の状態となり、給水ポンプのブースターポンプとしての役割を果たす。

実際の火炉水管配置図例を図 2.4 に示している。

節炭器から出た給水は循環水との mixing vessel に入り、つぎに流下して循環ポンプの吸込みヘッダに入る。ポンプから出て中間壁を上昇する。火炉頂部の中間壁出口から外部降水管によって、火炉底部のヘッダに入り、火炉外壁の平行水管内を垂直上昇し火炉頂上で集められて、対流伝熱面の外囲いの壁を下降・上昇し、最後に過熱器に入る。一方、循環水は mixing vessel に入って給水と一緒に流れる。

火炉壁は Single flow の水管で構成され、また後部対流伝熱部の外囲いの壁も Single flow の水管であり、かつ対流伝熱部の外

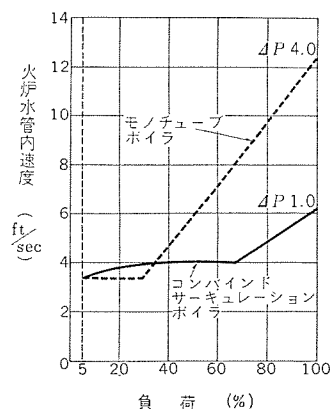


図 2.5 火炉水管内流速比較
Fig. 2.5 Comparison of flow speeds boiler tubes.

囲いの水管が火炉壁管上部 ヘッダ と隣り合わせの ヘッダ から出発して Single flow の下向流となっており、火炉壁上部の水温と対流伝熱部外囲水管上部の水温が等しいことなどによって、水管壁の支持や接合方法が非常に単純化される点は注目に値する。

この コンバインドサーキュレーション の概念を適用することによって、つぎの利益がもたらされる。すなわち、

- 火炉壁の構造としては“コントロールサーキュレーションボイラ”の場合とまったく同様な経済的管寸法および配置を有する“Welded Wall”方式を採用することができる。
- 火炉壁水管の圧力損失、ひいてはボイラ全系統の圧力損失を従来の貫流ボイラの場合に比較して、相当程度低減させることができる。(図2.5)

これは給水ポンプの動力の節約を意味している。

- 従来の貫流ボイラでは火炉壁水管保護のために、大がかりなタービンバイパス装置が必要であったが、このボイラではこの装置を無しですませることができる。

サイクルの清掃および起動時の温度制御その他の補助装置は、そのおのおのの目的に合致したものとしてコンパクトに設計することができる。

- 5% の最低負荷で安定して運転することができる。

CE社は1961年TVAから受注したBull Run発電所向け900 MWの超臨界圧ユニットにこの形式のボイラを適用し、目下製作中であるが、2,3年後の運転の成果が注目される。ちなみにこのユニットの蒸気条件は、246 kg/cm² 541°C/541°C 2,900 t/h である。

表 2.2 Supercritical Steam Generators

No.	Station	Country	Operator	Turbine Output MW	Throttle Condition	Steamflow, 10 ³ lb/h	Date of Order
1	Philo No. 6	U.S.A.	American Gas & El. Service Corp	125	4500 1150/1050/1000	675	53
2	Lippe No. 1	Germany	Chemische Werke Huls	88	4390 1100/1050/1050	607	54
3	Eddystone No. 1	U.S.A.	Philadelphia El. Co.	325	5000 1200/1050/1000	2,000	54
4	Avon	U.S.A.	Cleveland El. Illum Co.	250	3500 1100/1050	1,715	56
5	Eddystone No. 2	U.S.A.	Philadelphia El. Co.	325	3500 1050/1050/1050	2,178	56
6	Hattingen	Germany	VE.W Hattingen	107	3340 1100/985	772	56
7	Breed No 1	U.S.A.	Indiana & Michigan El. Co.	450	3500 1050/1050/1050	3,000	56
8	Hattingen	Germany	V.E.W. Hattingen	107	3340 1100/985	772	56
9	Margam R	England	Steel Co. of Wales	9.3	3300 1060/835	242	56
10	Philip Sporn No. 5	U.S.A.	Ohio Power Co.	450	3500 1050/1050/1050	3,000	56
11	Urdingen	Germany	Bayerwerke Urdingen	27.8	1260 1000/1000	386	57
12	Lippe No. 2	Germany	Chemische Werke Huls	36	4390 1050/1000	550	58
13	Breed No. 2	U.S.A.	Indiana & Michigan El. Co.	450	3500 1050/1050/1050	3,000	59
14	Drakelow	England	C.E.G.B. of Gr Britain	375	3500 1100/1050	2,500	60
15	Gebersdorf	Germany	Grosskraftwerk Franken AG	100	3550 980/1000/1000	770	60
16	Hudson	U.S.A.	Public Service of New Jersey	342	3300 1000/1025/1050	2,600	60
17	Drakelow	England	C.E.G.B. of Gr. Britain	375	3500 1100/1050	2,500	60
18	Bull Run	U.S.A.	T.V.A.	900	3500 1000/1000	6,400	61
19	Urdingen	Germany	Bayerwerke Urdingen	4260	1000/1000	386	61
20	Tanners Creek	U.S.A.	Indiana & Michigan. El. Co.	600	3500 1000/1025/1050	3,840	61
21	Chalk Point	U.S.A.	Potomac El. Co.	350	3500 1000/1050/1000	2,500	61

なお、参考までに今日までに全世界で発注された超臨界圧ボイラのリストを表2.2に示す。

3. 使用燃料とボイラの形式

燃料消費の基盤が石炭から重油に移行し、重油がエネルギー供給源として、次第に優位を占めつつあることは万国共通の傾向であるが、この傾向はわが国においてとくに強く、ボイラの使用燃料は従来の石炭から重油に移行しつつある。表2.1に示すとおり当社が最近受注した220 MW ないし265 MW の大容量ボイラ5基は、いずれも重油専焼ボイラであることからしてもこの間の事情はうかがえるところである。このように重油が今後のボイラ用燃料として主役を演ずることが予想されるが、同時に発電原価低減の一策として従来あまり顧みられなかった低品位炭の活用を目的とした石炭たきボイラの設置も近年の傾向である。

燃料に関するいま一つの新しい傾向は、最近高炉ガスおよび天然ガス利用による大容量火力が出現したことであり、とくに高炉ガス利用発電所は、電力会社と製鉄会社の共同出資による共同火力によって運用されるまったく新しい形式のものである。

高炉ガスはその発熱量が他種燃料に比べて極度に低く700~800 kcal/Nm³ のオーダーであり、その炎は不輝炎のため、火炉冷却水管への放射伝熱は多くを期待することはできず、燃焼生成ガスは重油、石炭などの場合の約1.8倍の量を有するなど、きわめて特異な性質をもっている。

しかしながらこのガスは高炉における銑鉄生産の際に発生するものであって、製鉄所におけるもっとも大きな副産物の一つである

だけに、高炉ガスの有効利用は製鉄所の設備の合理化に寄与するところきわめて大である。

以下に具体的設計例について、重油専焼ボイラ、低品位炭ボイラおよび重油石炭に共通する新しい傾向としての加圧燃焼式ボイラについて述べたいと思う。

3.1 重油専焼ボイラ

図3.1は東京電力五井発電所向け265 MWボイラの、また図3.2は関西電力堺港250 MWボイラの断面を示している。

これらのボイラはいずれも、170 kg/cm² 級の大容量重油専焼ボイラであって強制循環方式を採用し、完全な屋外形である。

(1) 火 炉

重油は微粉炭に比べきわめて短炎燃焼可能であるので、重油専焼ボイラの火炉容積は同容量の微粉炭たきボイラの1/2以下にすることができる。もちろん、火炉容積の縮小に伴って蒸発管単位面積当たりの熱収量は増加するが、ボイラ水は蒸発管内を強制的に循環させ停滞することがなく、また38 mm という小口径の蒸発管を使用しているため蒸発管メタル温度が極度に上昇する恐れはない。

火炉の形式はその中央部に冷却面1面を配置した分割炉形であって、タンゼントチューブ、スキナーリング方式とし、加圧燃焼式を採用

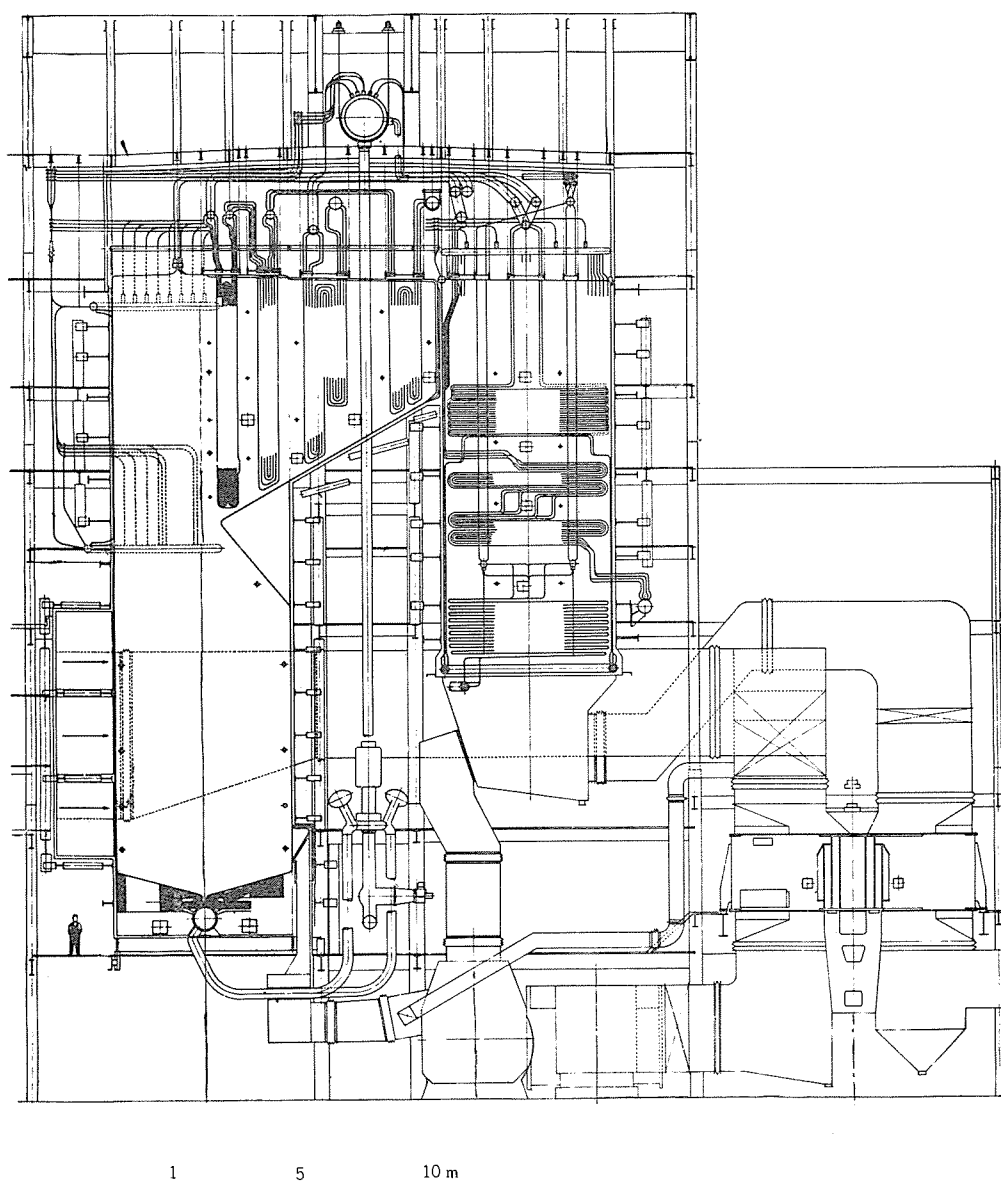


図3.1 東京電力 五井1,3号 ボイラ 側面図
Fig. 3.1 Side view of Tokyo Elec. Power Goi No. 1, 3 boiler.

している。

(2) 過熱器、再熱器と重油の高温障害

重油専焼ボイラにおいては重油中のベンジウム化合物によって、金属が高温腐食を起こす可能性がある。腐食生成温度は重油の組成、使用材質などによって相異なるが、設計的には材料のメタル温度を制限温度以下に押えなければならない。

前記のボイラは図で明らかなように過熱器を放射形、板形、吊り下げ形、横置形の4群に分割しているが、この内放射形および板形の2群は火炉の放射熱を直接受ける構造となっている。この方法はボイラの高温高圧化に伴って、過熱器、再熱器で吸収する熱量が大きくなったために採用されたものであるが、高温腐食を受けぬように比較的低温の蒸気を導き、中でもとくに熱負荷の高い板形過熱器最外側管は、ほかの管よりも管長を短くして管内流速を高めメタル温度上昇を抑制するようにしている。このほか高温部過熱器、再熱器は蒸気の流れと燃焼ガスの流れを並行流として、蒸気の高温部はガスの低温部に配置し、またヘッダの配置を適当にして並列管中の蒸気温度のアンバランス

を防ぎ、スパーサ、乱れ止金具はなるべく水冷式とし、水冷式にできないものはその長さを極力短くして先端温度の上昇を防いでいる。

蒸気温度は、横置形過熱器と板形過熱器の中間連結管に設けたスプレー式デスーパーとガス再循環によって、50~100%の負荷範囲にわたって一定の制御が可能である。

(3) 重油の低温障害

重油たきボイラでは高温部の腐食と同様に、重油中の硫黄に原因する低温腐食および閉そくの防止対策が計画上の重要な問題となる。

低温部障害は、重油燃焼時に発生する SO_3 ガスが排ガスの露点以下になっている空気予熱器などの、低温伝熱面およびダクトなどに接触して生ずる硫酸によることはいくまでもないが、 SO_3 ガス生成度合は過剰空気の減少に伴って少なくなることが明らかにされている。

したがって低温部障害の防止策としては、蒸気式

空気予熱の使用により低温部メタル温度を排ガスの露点以上に保持すること、および添加剤の混入により SO_3 発生を阻止する方法とともに、過剰空気を低くして運転するために加圧燃焼式ボイラにすることはきわめて有効な手段である。

(4) 重油将来石炭たきボイラ

わが国における当面の燃料事情から、重油専焼で計画するか、将来石炭を使用せざるを得なくなる事態を考慮して重油将来石炭の計画がある。図3.2に示す関西電力堺港号1,2号ボイラはこの実例である。

このボイラはきわめて短期間に石炭燃焼に改造ができるように設計上種々の考慮がはらわれているが、ボイラ本体としては火炉を下部に延長し、石炭燃焼に必要な火炉容積をもたせ、パーナパネルを入換え、スツアップ増設などを行なうことにより石炭専焼可能となる。

3.2 低品位炭ボイラ

世界的に重油がボイラ用燃料として大きな比重を占めてきたとはいえ、アメリカにおいては現在なお石炭がボイラ用燃料の大半を占めている。先に述べた900 MWないし1,000 MWの超大形ボイラも燃料は石炭である。しかしながらアメリカにおいて使用される石炭の発熱量は、従来わが国の標準石炭が5,000~6,000 kcal/kg

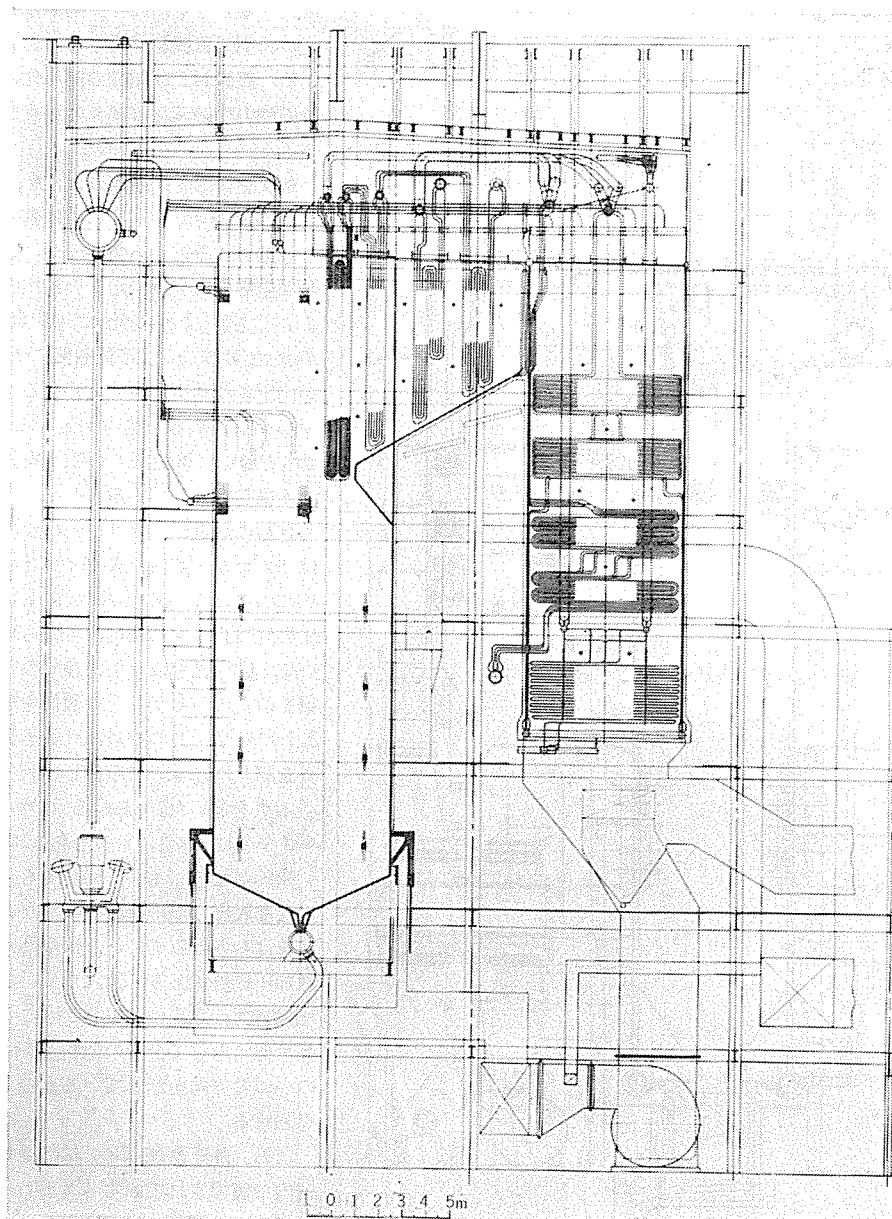


図 3.2 関西電力 堺港 1, 2 号 ボイラ 側面図
Fig. 3.2 Side view of Kansai Elec. Power Sakai Minato No. 1, 2 boiler.

であったのに対し 6,000~7,500 kcal/kg という高品位炭であり、一方、最近わが国で採用されつつある低品位炭 ボイラ の使用炭は 3,000~4,000 kcal/kg というきわめて低 カロリー のものである。

低品位炭の性質が ボイラ におよぼす影響の大半は灰分にあるといっても過言ではない。すなわち灰分の多少は燃焼の安定性、フリッカトラブル、伝熱面の摩損、微粉炭機その他の燃焼系統の摩損、灰処理装置の容量などに影響をおよぼすからである。

いまたとえ、7,500 kcal/kg 灰分 9% の石炭と、3,500 kcal/kg 灰分 50% の石炭を同一容量の ボイラ に使用した場合について比較してみると、後者は前者に比べて石炭量で約 2.2 倍、生成灰量で実に 12 倍に達する。

この例からも明かなように、わが国特有の低品位炭たきボイラはアメリカの同容量石炭たきボイラの設計例をそのまま適用することはできず、独特な技術を必要とするわけである。

三菱造船では過去において多数の低品位炭 ボイラ を手がけてきた。すなわち、中国電力小野田および常盤共同火力勿来の両発電所に 3,500 kcal/kg の低品位炭を燃焼する 35 MW ユニートを 4 基

大形 ボイラ の現状と将来・金子

運転して以来、75 MW 7 基、156 MW 2 基、220 MW ユニート 1 基を建設あるいは運転中である。

(1) 火 炉

微粉炭たき火炉の設計で基準となるものは、燃焼の面から制約される火炉負荷、灰の流動温度による火炉断面熱負荷、火炉出口 ガス 温度などがあるが、これらの条件をもっとも経済的に満足する形式を選定する必要がある。

ボイラが大形化するにつれて火炉の四周に冷却面を配置するだけでは、火炉出口 ガス 温度の関係で火炉が不必要に大きくなることがある。そのために中央に冷却面 1 面を配置した分割炉形および火炉を二つに分離した双炉形がある。

一般に CE 社の石炭たき ボイラ の最近の傾向を見ると、単一炉形は 75~165 MW、分割炉形は 150~300 MW、双炉形は 200~500 MW の範囲に適用され、500 MW 以上の大形ユニットになると双炉式分割炉形が採用されている。

火炉の形式選定に関する基本的な考え方は、低品位炭使用の場合もまったく同様であるが大容量 ボイラ の場合後述の アッシュイロージョン 防止のため、後部対流伝熱面内 ガス 速度を適当な値に押えるためには双炉形が炉幅を大きくすることができ点において有利である。

(2) フライアッシュ による伝熱面の イロージョン

低品位炭 ボイラ においてはフライアッシュ による伝熱面の イロージョン を設計上十分考慮しておかなければならない。

イロージョンは石炭の灰分、および灰の組成に関連する適正な ガス 速度を選ぶことにより軽減される。

また、とくに燃焼 ガス が管群中を偏流することによって起こされやすいので、これを防止する パツフル をそう入るとか、あるいはまた、燃焼 ガス 中から灰分を分離して ボイラ 外に取り出す方法を我々は実用化している。

(3) ミル および ドライヤ

微粉炭 ミル には CE 形 レイモンドパウルミル と独自の開発になる チューブミル がある。パウルミル の場合でも当社独特の特殊合金性耐摩材料を使用することにより長期の使用に耐えるが、3,000~3,500 kcal/kg 炭では灰量が極度に多く、かつ摩耗の最大要因をなす SiO_2 が多量にあるので、摩耗に対し保修の簡単な チューブミル を使用している。

低品位炭の今一つの特性は粘度分の含有量が多いことである。したがって湿分が増大した場合、パンカから ミル にいたる機器、および シュートなどに付着、閉そくを起こし、これが安全燃焼を阻害する恐れが多分にある。このトラブルが発生するのを積極的に防止する一方策としてフラッシュドライヤの使用がある。

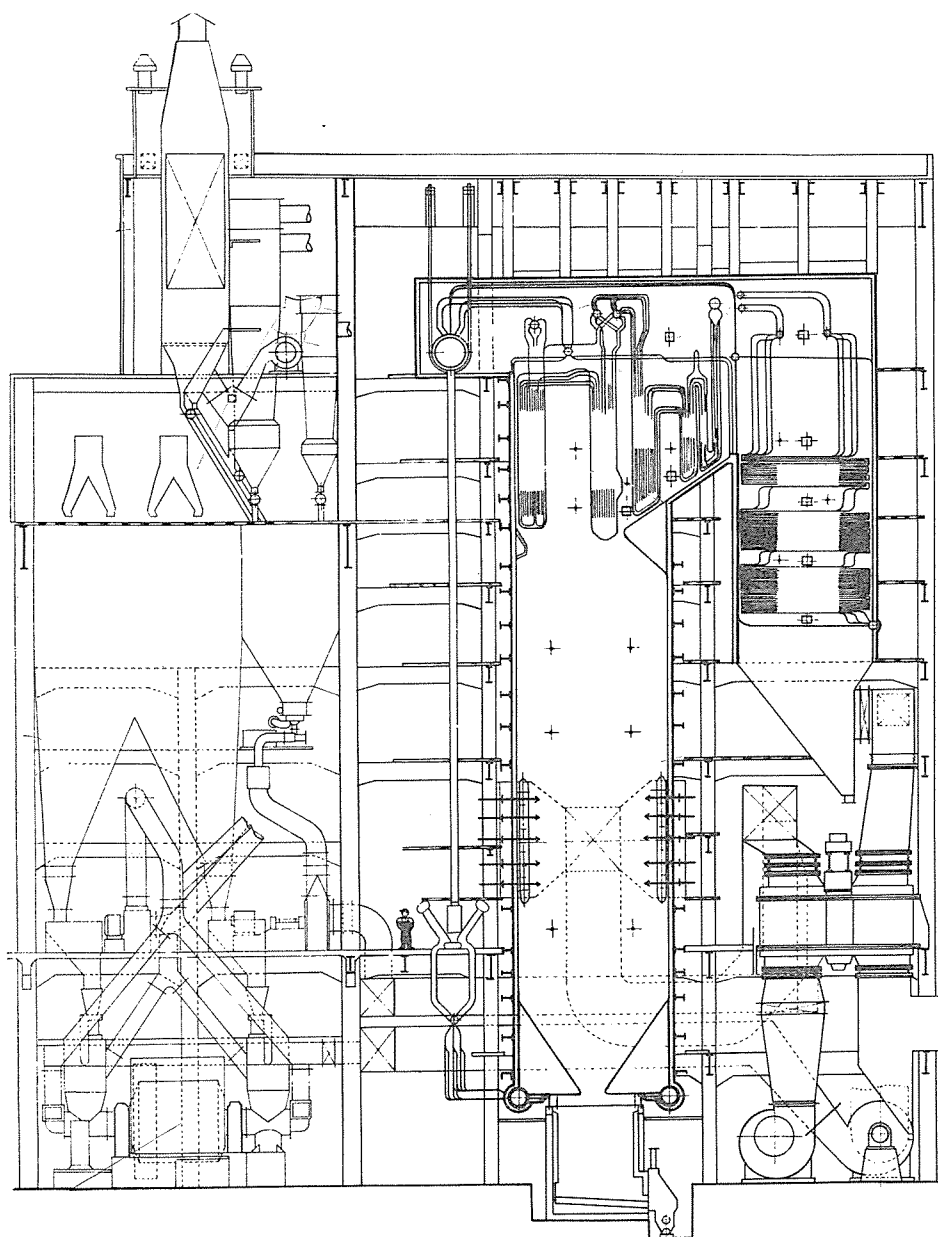


図 3.3 九州電力 新小倉1号 ボイラ 側面図
Fig. 3.3 Side view of Kyushu Elec. Power Shinkokura No. 1 boiler.

図 3.3 は九州電力新小倉発電所に納入した 156 MW ユニットであるが、微粉炭製造系統にセミピン式を採用した特殊な設計となっている。使用炭質の大幅な変化が予想されたのでボイラ負荷に無関係に微粉炭を製造し、貯蔵微粉を使用することによって安定燃焼を得るように考慮されたものである。

3.3 加圧燃焼ボイラ

重油専焼ボイラが多数設置されるようになってから、従来の平衡通風方式にかわって加圧燃焼式ボイラが脚光をあびてきたわけであるが、前述のとおり冷空気の漏込みを防ぎ過剰空気率を低くして、SO₃ ガス生成の割合を少なくし、低温腐食防止の有力な一手

段とするとともに、ボイラ効率の向上、誘引通風機を省略することによる、設備および制御の簡易化、所内動力の節減など種々の利点がある。

加圧燃焼ボイラの難点は、ボイラ外囲のタイトネスにあることは容易に想像されるところであるが、これは全溶接スキューピングの採用によって克服し、スツッロウ、ノヅ窓、バーナなどのスキューピング貫通部には、炉内圧より高圧の空気いわゆるシーリングエア、あるいはアスピレーションエアを導いて燃焼ガスの噴出を押える構造となっている。

さらに最近にいたり、アメリカではガスたき、重油たきボイラと同様に石炭たきの大形ボイラにも加圧燃焼方式を採用する傾向が目立っている。CE社ではすでに多くの実績を数えているが、その数例を表 3.1 に示す。この中には火炉蒸発管を相互にフィンで溶接しスキューピングを省いた、いわゆる“Wedded Wall”構造のものもある。

微粉炭たきボイラの場合でも火炉底部灰出し部の構造に特別な考慮をはらうのみで、とくに重油たき加圧燃焼式と変る点はなく、加圧燃焼式の利点は十分生かすことが可能であって今後の微粉炭ボイラの一つの方向を示しているものと思われる。

なお、加圧燃焼ボイラには従来国内で使用されている CE 形 レイモンドミルとは違った Pressurized Mill が使用されるが、この形式のものは平衡通風方式にも使用する

ことができる。

その概略図を図 3.4 に示す。

4. 将来への展望

以上、高温高压大容量ボイラの現状および将来について、循環形式および使用燃料の面から述べてきたが、観点をかえてますます発展を予想されるわが国の発電用火力プラントの将来について、簡単に述べてみたいと思う。

(1) 火力プラントの経済性は、プラントとの建設費と熱効率のバランスという総合的判断のもとに論ぜられなければならないが、わ

表 3.1 CE 社製加圧燃焼式石炭たき大形ボイラの例

プラント名称	出力 (MW)	最大連続蒸発量 (lb/h)	蒸気圧力 (psig)		蒸気温度 (°F)		燃料	火炉の形式
			設計圧力	過熱器出口	過熱器出口	再熱器出口		
Widows Creek No. 7, 8	500	3,850,000	2,750	2,450	1,053	1,003	微粉炭 将来 天然ガス	双炉形
Astoria Generating STA No. 40, 50	340	2,400,000	2,525	2,150	1,050	1,010	微粉炭 重油 天然ガス	"
Plant Mc Donough No. 1, 2	245	1,820,000	2,925	2,486	1,000	1,000	微粉炭 天然ガス	分置炉形
Lake Shore No. 18	225	1,680,000	2,925	2,500	1,010	1,010	微粉炭	"
Waukegon Station No. 16	325	2,300,000	2,400	2,100	1,005	1,005	"	双炉形
Will County No. 18	532	3,900,000	2,850	2,500	1,005	1,005	"	"

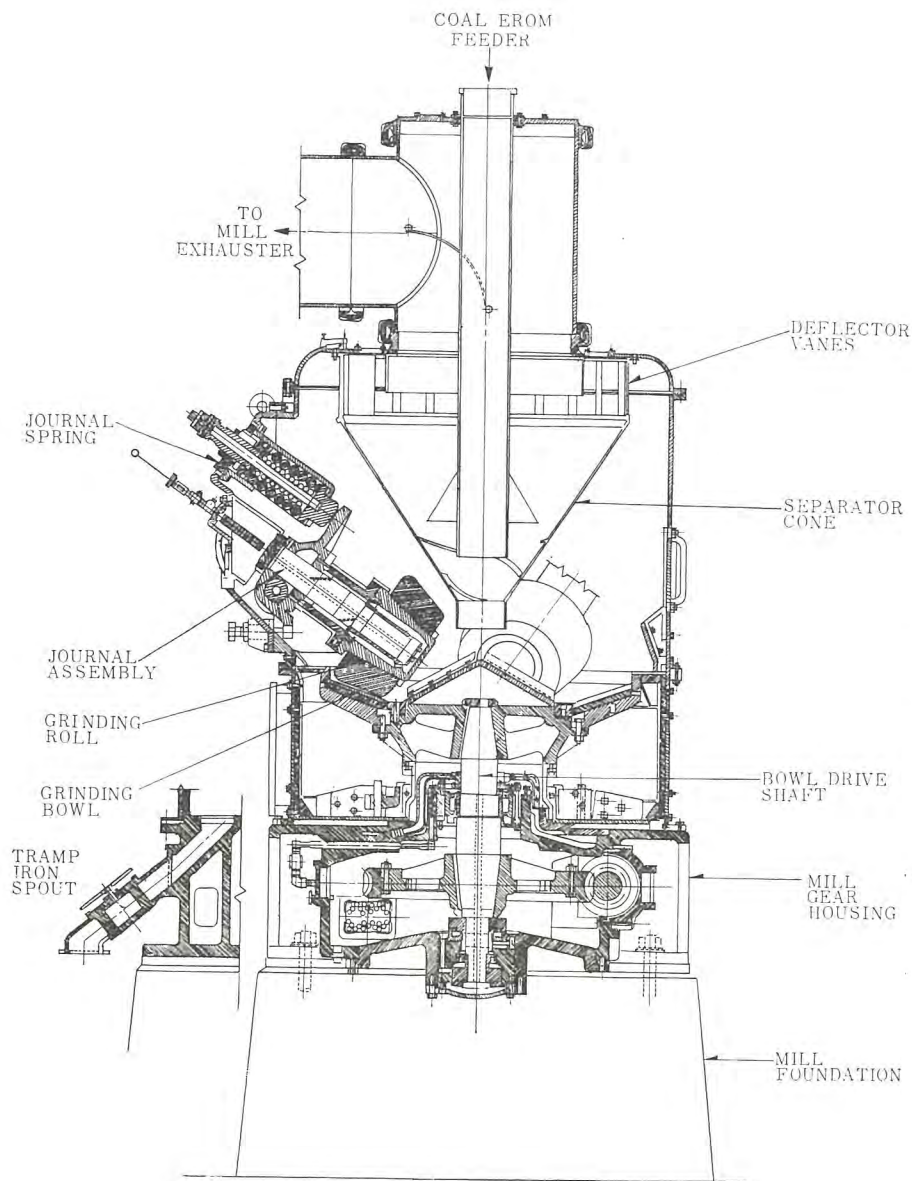


図 3.4 プレシュアライズドミル
Fig. 3.4 Pressurized Mill.

が国のように燃料資源が乏しく、発電原価中燃料費の占める割合が比較的大きい点から考えると、今後さらに高温高压化に進むことが予想され、超臨界圧プラントの実現も近い将来と考えられる。

この場合問題となるのは材料上もっとも苛酷な条件にさらされる過熱器の蒸気温度をいかに選定するかである。高温条件を採用する場合当然熱効率は上昇する。しかし、一ころの超臨界圧テストプラントで採用された 1,100~1,200°F (600~650°C) のユニットでは、最終過熱器のメタル温度は 650~700°C 前後に上昇する。

このような高温に対しては、現在の国内における最高蒸気温度 1,050°F (565°C) に実用されている。18-8 系のオーステナイト鋼では耐えられず、さらに高級な、したがって高価なオーステナイト鋼を使用せざるを得なくなる。

これはユニットの価格を相当大幅に引き上げる結果となり、発電原価的にこのような高温条件の使用は否定され、むしろ逆に 1,000~1,050°F (538~565°C) の低温条件が採用される機運にある (表 2.2 参照)。

(2) つぎに将来の火力プラントのあり方として無視できないものに、計算機制御によるプラントの完全自動化がある。すでにアメリカ

の Louisiana Power & Light Co. Little Gypsy, Southern California Edison Co. Huntington Beach などではプラントの起動停止から常時運転まで、完全に計算で行なわれる無人プラントが実現されており、昭和 36 年には 9 発電所が計算機制御を行なうことを明らかにしている。わが国においても数箇所の発電所で、データ処理と故障表示のデータ処理装置が採用、または採用されようとしており、今後急速な発展が見られると思う。

(3) 最近ベースロード用大容量火力の整備拡充に伴い、ピーク負荷用発電設備の経済性、運転上の問題が各方面で検討され始めており海外においても低価格の気力発電所(たとえばアメリカの Southwest Electric Co. では 100 MW の非再熱ユニットをピークロード用の設計として建設している)ディーゼルエンジン、ガスタービン、揚水発電の採用によるピーク専用設備の問題、あるいは既設火力をピークに使用する場合の経済性などについていろいろ研究されているようである。

ピーク負荷用発電設備の経済的検討は、燃料費の高いわが国の場合、とくに負荷の特性を明確にしなければなかなか困難と思われるが、将来この種のプラントも実現する可能性が大きい。

(4) 蒸気条件の向上は熱効率の改善をもたらすが、それにはある限界があるはずである。

ここに蒸気条件は同一としてプラント効率を改善する方策として、ガスタービンとの結合サイクルがある。この問題は数年前からとりあげられ、サイクル的な検討はかなり行なわれているが、世界的に見てその実現は遅々たる状況にあった。その原因は、信頼性のあるベースロード大容量ガスタービンの開発が容易でなかったためと思われるが、最近の技術の進歩とともにあらためて脚光をあびてきており、これまた近い将来に実現するものと思われる。

5. む す び

以上大容量ボイラの現状および将来について述べたが、ボイラ設計ならびに製作技術の進歩はまことにめざましいものがあり、現在では、外国技術を消化して 350~400 MW の超大形ボイラを純国産で製作する時代になっている。近い将来には、この国産技術は超臨界圧ボイラまで拡大されるであろうが、そのためには常に新鮮な視野と優秀な研究開発が必要であるので、今後とも大いに努力したいと念願している次第である。

大形タービンの現状と将来

飯田 庸太郎*

Present State and Future Outlook of the Large Capacity Steam Turbine

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Ltd. Kōbe Shipyard & Engine Works Yōtarō IIDA

There appeared steam condition of 1,450 psig and 1,000°F or above it after the World War II. This is, the so called, high pressure, high temperature steam to work for reheat regenerating cycle. The generating equipment designed to meet these new demands has made great development ever since and a giant generator rated 500 MW as a single unit is found in America. It has gone so much that a 1,000 MW single unit is reported under construction. In this country a 75 MW machine was the first to come out, now a 375 MW one being culminated in the capacity of a single unit. There have been developed a number of types for steam turbines. They are have different merits and demerits to suit particular conditions.

1. ま え が き

第二次世界大戦終了後、蒸気条件 1,450 psig, 1,000°F またはそれ以上のいわゆる高圧高温蒸気を採用した再熱再生サイクルが出現したが、この新設計のタービン発電設備はその後世界的な電力需要の波に乗って、いちじるしい進歩発展を遂げ、高効率大容量プラントがアメリカをはじめとして各地にあいついで建設され、その単機容量も逐年増加の一途をたどり、1,000 MW 機もすでに製作に着手という勢にある。

本稿では最近の大形タービンの設計上の問題点にふれ、わが国の電力需要に応えるメーカーの態勢を紹介したいと思う。

2. 2,400 psig 級またはそれ以下のプラント 効率向上対策

現在一般に実用化されている高効率火力プラントの最高圧力は 2,400 psig (169 kg/cm²G) であるが、この級のプラントについて発電原価を左右するものは、ユニット容量の増大、蒸気条件の選定、タービン効率の向上の三要素といってさしつかえない。

2.1 ユニット容量の増大

定格出力 75 MW に出発したわが国の再熱式火力プラントは、その後毎年増大の一途をたどってきたが、現在のところ、国産機では関西電力姫路第二発電所の 325 MW 機が最大であり、また輸入機では中部電力尾鷲発電所の 375 MW 機、東京電力横須賀発電所の 350 MW 機があいついで建設されている。一方、欧米ではすでに 500 MW 以上の大形ユニットが完成し、とくにアメリカでは最近 1,000 MW 機が発注されるなど、その進歩発展はまことにめざましいものがあり、わが国においても、500 MW 級の大形機の設置が具体化するのには時間の問題と思われる。

2.2 蒸気条件の向上

1,450 psig × 1,000/1,000°F で出発した再熱式火力プラントは、ユニット容量の増加に伴い逐年蒸気圧力および温度を向上させて今日に至ったが、現在わが国で一般に使用されているのは、150 MW 以下は、蒸気圧力 1,800 psig, 温度 1,000°F であり、また 156 MW 以上は蒸気圧力 2,400 psig, 温度は、1,050°F または 1,000°F となっている。このうちもっとも多いのは 2,400 psig × 1,050/1,000°F であるが、熱効率に重点を置いて 2,400 psig × 1,050/1,050°F を採用しているプラントも一、二あり、また重油専焼ボイラの場合、用心

して 2,400 psig × 1,000/1,000°F にしているところもある。

もちろんこの蒸気条件は、圧力、温度ともに高ければ高いほど、プラント効率は良好になるが、一方タービン、ボイラなど機器の製作費が高騰することになるから、そのプラントに最適の蒸気条件を求めるためには、燃料費と機械代の両者をあわせ考えた発電原価を算出して見なければならない。またこのプラントの経済性を考える場合 2,400 psig がドラム形ボイラの設計可能最大圧力であり、1,050°F がフェライト系の材料の使用限度であることに注目しなければならないと思う。

いま代表的蒸気条件に対するタービンプラント効率の差を示すとつぎのようになる。

定格出力 156 MW タービンプラントの場合

標準蒸気条件	タービンプラント効率の差
1,450 psig × 1,000/1,000°F	基準
1,800 psig × 1,000/1,000°F	+1.8 %
2,400 psig × 1,000/1,000°F	+4.2 %
2,400 psig × 1,050/1,000°F	+5.0 %
2,400 psig × 1,050/1,050°F	+5.6 %

(数字は百分比で示す)

2.3 タービン効率の向上

火力プラントの効率向上にとって、タービンそれ自身の効率向上もまた欠くことのできない要素である。とくに長大な低圧最終翼の開発により、十分大きい最終段排気面積を与えるとともに低圧エレメントの数を減らすことが可能となり、タービン効率の向上に大いに寄与している。

3. タービン形式選定基準

大形タービンの基本設計方針としてもっとも重要な問題は、高圧タービン、中圧タービン、低圧タービンといった個々のエレメントの標準設計を整備し、これらの標準化されたエレメントをいかに簡単容易に組合せていくかということにある。

3.1 高圧タービンおよび中圧タービンの形式

高圧タービン・中圧タービンは、コシ形機でも併列形機でも普通 3,600 rpm (60 サイクル)、または 3,000 rpm (50 サイクル) の設計を使用する。この理由は高圧段落、中圧段落ではタービン内の蒸気の比容積が小さいため、各段落の翼寸法も短くしかも高圧高温に耐える車室の設計としてはなるべく小さいものが好ましいからである。

る。

一方、タービン機械の原価低減という見地から、なるべくタービン車室数を減らすことが考えられているが、この対策の一環として与うかぎり高圧タービンと中圧タービンは同一エレメント内に納められるようにしたい。具体的にはクシ形機で定格出力 300 MW 以下の場合、また併列形機でも高圧タービンと中圧タービンが1軸に接続される形式で、定格出力 300 MW 以下の場合はこの高中圧一体形エレメントの設計が採用されている。その他の場合は高圧タービンと中圧タービンは別個のエレメントに分れており、高圧タービンは出力に応じ単流形と複流形に使いわけが、中圧タービンはつねに複流形として、翼推力のバランスをはかるのが普通である。ただし3車室3分流排気式のように中圧タービンと低圧タービンが同一のエレメントに納められている形式では、構造上中圧タービンは単流式である。

3.2 低圧タービンの形式

与えられた蒸気条件、ならびに定格出力に対し、もっとも適当なタービン形式を選ぶことはプラントの経済性保持のため重要なことであるが、とくに低圧最終段の総出口面積の大小はタービンの排気損失、ひいてはタービンプラント効率を左右するだけに十分関心をはらわなければならない。一般に適正な出口面積としては、単位面積 1 ft² あたり復水器真空 1.5" Hg の場合、1,500 ないし 2,000 kW また復水器真空 1.0" Hg の場合 1,000 ないし 1,500 kW といわれている。

現在開発されている低圧最終翼について、上記数字を用いてその組合せを考えると大要つぎのようになる。

(1) 3,600 rpm 機 (60 サイクル用)

排気 分流数	最終翼長 (in)	最終段 出口面積 (ft ²)	可能定格出力 (MW)	
			真空 1.5" Hg	真空 1.0" Hg
2	20	52.6	75~110	50~75
2	23	65.8	100~130	65~100
2	25	82.6	125~165	85~125
2	28.5	107.2	160~220	110~160

3 分流排気式の場合は上記数字の 1.5 倍、4 分流排気式では 2 倍となるが、さらに必要に応じ、6 分流排気式、8 分流排気式にすれば最終段出口面積はそれだけ大きくなり可能定格出力も比例して増大する。

(2) 3,000 rpm 機 (50 サイクル用)

排気 分流数	最終翼長 (in)	最終段 出口面積 (ft ²)	可能定格出力 (MW)	
			真空 1.5" Hg	真空 1.0" Hg
2	20	52.6	75~100	50~75
2	23	78.0	115~156	75~115
2	28	108.0	160~220	100~160

この場合もちろん、3 分流排気式、4 分流排気式、さらには 6 分流排気式、8 分流排気式という具合に排気分流数を増すことにより最終段出口面積を増し、これによって可能定格出力を比例的に大きくすることができる。

(3) 1,800 rpm 機 (60 サイクル用) または 1,500 rpm 機 (50 サイクル用)

排気 分流数	最終翼長 (in)	最終段 出口面積 (ft ²)	可能定格出力	
			真空 1.5" Hg	真空 1.0" Hg
2	40	206.5	310~410	210~310

大形タービンの現状と将来・飯田

2	44	254.8	380~510	250~380
2	50	330.4	500~660	330~500

この場合もちろん 4 分流排気式にして出力を倍加することができる。

以上の数字から明らかなように定格出力 450 MW またはそれ以下に対しては、3,600 rpm または 3,000 rpm で 4 分流排気式が採用可能であり、450 MW 以上の場合は 6 分流排気式または 8 分流排気式を使用すればよい。

併列形にすれば低圧タービン回転数を 1,800 rpm または 1,500 rpm にすることができるので、定格出力 500 MW 以下でも復水器真空が 1.0" Hg の場合や、定格出力 500 MW ないし 1,000 MW 級に対し 4 分流排気式、すなわち複流形低圧タービンエレメント 2 個を使用して簡単に設計することができる。

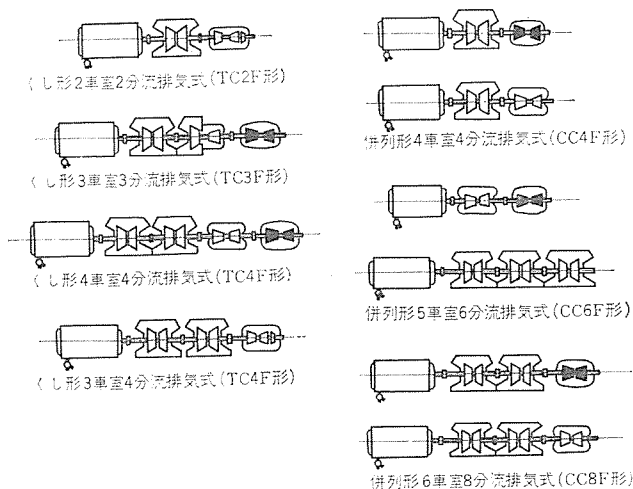
以上の構想に基づき各種代表的タービン形式の組合せを一覧表示したものが図 3.1 であり、また表 3.1、表 3.2 にはこれらの代表的タービン形式について車室数、最終翼長、定格出力の適用範囲を示している。

表 3.1 タービン形式と定格出力 (60 サイクル機)

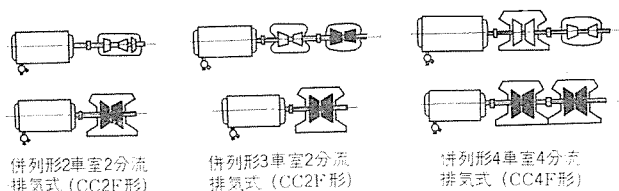
タービン形式	回転数 (rpm)	車室数	排気分流数	最終翼長 (in)	定格出力 (MW)
TC2F-20	3,600	2	2	20	60~100
TC2F-23	3,600	2	2	23	100~125
TC2F-25	3,600	2	2	25	125~156
TC2F-28	3,600	2	2	28.5	156~250
TC3F-23	3,600	2	3	23	156~200
TC3F-25	3,600	2	3	25	175~250
TC4F-23	3,600	3	4	23	200~275
TC4F-25	3,600	3	4	25	250~300
TC4F-28	3,600	4	4	25	300~350
TC4F-28	3,600	4	4	28.5	350~500
CC4F-23	3,600/3,600	4	4	23	200~275
CC4F-25	3,600/3,600	4	4	25	250~350
CC4F-28	3,600/3,600	4	4	28.5	350~500
CC6F-25	3,600/3,600	5	6	25	375~500
CC6F-28	3,600/3,600	5	6	28.5	500~700
CC8F-25	3,600/3,600	6	8	25	500~700
CC8F-28	3,600/3,600	6	8	28.5	650~1,000
CC2F-40	3,600/1,800	2	2	40	200~300
CC2F-40	3,600/1,800	3	2	40	300~400
CC2F-44	3,600/1,800	3	2	44	350~500
CC2F-50	3,600/1,800	3	2	50	500~650
CC4F-40	3,600/1,800	4	4	40	500~650
CC4F-44	3,600/1,800	4	4	44	500~750
CC4F-50	3,600/1,800	4	4	50	750~1,000

表 3.2 タービン形式と定格出力 (50 サイクル機)

タービン形式	回転数 (rpm)	車室数	排気分流数	最終翼長 (in)	定格出力 (MW)
TC2F-20	3,000	2	2	20	60~100
TC2F-23	3,000	2	2	23	100~156
TC2F-28	3,000	2	2	28	156~220
TC3F-23	3,000	3	3	23	175~250
TC4F-23	3,000	3	4	23	220~300
TC4F-28	3,000	4	4	28	300~450
CC4F-23	3,000/3,000	4	4	23	220~300
CC4F-28	3,000/3,000	4	4	28	300~500
CC6F-23	3,000/3,000	5	6	23	320~450
CC6E-28	3,000/3,000	5	6	28	450~650
CC8F-23	3,000/3,000	6	8	23	450~600
CC8F-28	3,000/3,000	6	8	28	600~1,000
CC2F-40	3,000/1,500	2	2	40	200~300
CC2F-40	3,000/1,500	3	2	40	300~400
CC2F-44	3,000/1,500	3	2	44	350~500
CC2F-50	3,000/1,500	3	2	50	500~650
CC4F-40	3,000/1,500	4	4	40	500~650
CC4F-44	3,000/1,500	4	4	44	500~750
CC4F-50	3,000/1,500	4	4	50	750~1,000



(a) 3,600 rpm または 3,000 rpm



(b) 3,600/1,800 rpm または 3,000/1,500 rpm

図 3.1 タービン形式一覧

Fig. 3.1 List of types of turbines.

4. 代表的タービン形式

4.1 クシ形2車室2分流排気式 (Tandem Compound Two Element Two Exhaust Type)

この形式は高圧段落と中圧段落が1個のエレメント内に納められているいわゆる『高中圧タービン』と複流式の低圧タービン各1個をクシ形に接続したもので、この種大容量タービンとしてもっとも簡単な形式のものである。

低圧最終翼としては、60 サイクル用には 20", 23", 25", 28.5" の4種が、また 50 サイクル用には 20", 23", 28" の3種がそれぞれ開発されており、これらの翼の適宜の選択により下は 75 MW から上は 250 MW までの広範な出力範囲をカバーすることができる。

高中圧タービンの構造は使用蒸気圧力および温度によって定められるが、入口蒸気 2,400 psig × 1,050°F, 再熱蒸気温度 1,000°F までは同一設計が採用されている。

4.2 クシ形3車室3分流排気式 (Tandem Compound Three Element Three Exhaust Type)

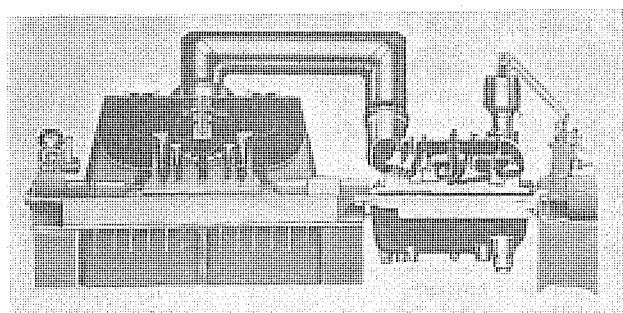


図 4.1 クシ形2車室2分流排気式

Fig. 4.1 Tandem type two wheel chamber two bypath flow discharge system.

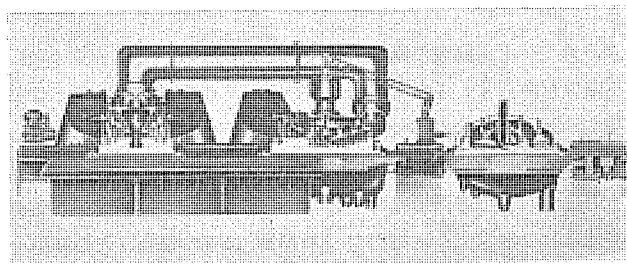


図 4.2 クシ形3車室3分流排気式

Fig. 4.2 Tandem type three wheel chamber three bypath flow discharge system.

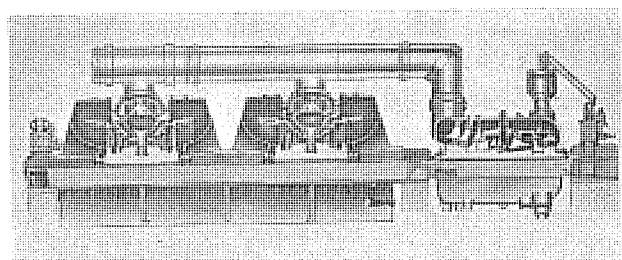


図 4.3 クシ形3車室4分流排気式

Fig. 4.3 Tandem type three wheel chamber four bypath flow discharge system.

この形式は高圧タービン1個、中圧段落と低圧段落が1個のエレメント内に納められているいわゆる「中低圧タービン」1個および複流式の低圧タービン1個の計3個のエレメントをクシ形に接続したもので、低圧最終翼には 23" または 25" 翼が採用されている。この3車室3分流排気式は2分流排気式に比して同一の最終翼を使用した場合排気面積が 1.5 倍になるため、従来よりクシ形大容量タービンの典型的形式として、比較的出力の大きいものに広く採用されていたが、中低圧タービンが再熱温度から復水器真空飽和温度までいちじるしく大きい温度コウ配をもつため、設計的にもまた運転保守の面でもいろいろ複雑な問題があり、そのため今後はあまり採用されなくなるものと思われる。すなわちこの形式で最終翼 23" を使用のものは前述の2車室2分流排気式で翼長 28" 使用のものに代り、また最終翼 25" 使用のものは後述の3車室4分流排気式で翼長 23" 使用のものに変わっていくであろう。

4.3 クシ形3車室4分流排気式 (Tandem Compound Three Element Four Exhaust Type)

この形式は高圧段落と中圧段落が1個のエレメント内に納められている高中圧タービン1個と複流式の低圧タービン2個の計3個のエレメントをクシ形に接続したもので、構造的には前述の2車室2分流排気式に低圧タービンをもう1個追加したと考えてよい。

この形式の低圧最終翼としては、60 サイクル用には 23", 25" 翼を、また 50 サイクル用には 23" 翼を使用しており、出力 200 MW ないし 300 MW 級の大形タービンの新形式として今後急速に普及するものとみられている。この3車室4分流排気式は、製作費と性能の両面において前述の3分流排気式をしのぐほか、高圧段落と中圧段落を1個のエレメントとしてまとめ、低圧段落を中圧段落から切離しているから、各エレメント内に生ずる温度コウ配も3分流排気式に比していちじるしく減少し、構造的にもまた運転取扱上もきわめて安定した形式である。

4.4 クシ形4車室4分流排気式 (Tandem Compound Four Element Four Exhaust Type)

この形式は高圧タービン、中圧タービン各1個と複流式の低圧タービン2個の計4個のエレメントをクシ形に接続したもので、低圧最

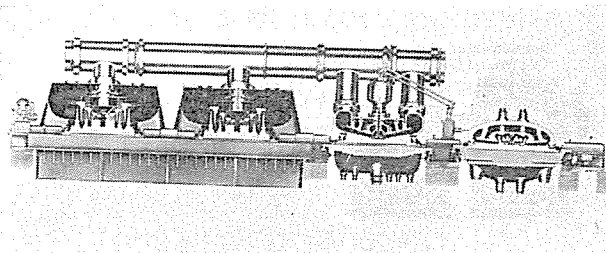


図 4.4 クシ形4車室4分流通気式
Fig. 4.4 Tandem type four wheel chamber
four bypath flow discharge system.

終翼としては、60 サイクル 用には 23", 25", 28.5" 翼のいずれかを、また 50 サイクル 用には 23" または 28" を採用する。この 4 車室式は前述の高圧段落と中圧段落が一体となった 3 車室式に比し、高圧、中圧が独立分離しているため、タービンの全長が長くなる欠点はあるが、高圧段落、中圧段落とも十分に所要の翼列を配置するスペースをもっているから、主として 300 MW 以上の大形タービンに適している。とくに最近実用化された 28" 翼を用いたこの形式は 1 機で 500 MW までの出力発揮を可能にしたが、この場合は高圧タービンにも複流式を用いて多量の供給蒸気量が高圧入口の調速段に部分送入されるための苛酷な条件を克服している。また中圧タービンは再熱蒸気入口部に可とう性にとんだノズル室を有しているため再熱蒸気温度は 1,050°F まで使用さしつかえない構造になっている。

4.5 併列形 (Cross Compound Type)

上記 4 形式はいずれもクシ形で 1 個の発電機を駆動するものであったが、場合により 2 個以上の発電機を有する併列形が採用されることもある。併列形には各軸の回転数が同一 (3,600 rpm または 3,000 rpm) の Single Speed 形と、高圧、中圧軸が高速 (3,600 rpm または 3,000 rpm) で低圧軸が低速 (1,800 rpm または 1,500 rpm) の Two Speed 形とあるが、後者はアメリカの北部寒冷地の高真空地域で使用される大形機に採用されるのみで、ヨーロッパやわが国では今後も採用の機会は乏しいと思う。

一方 Single Speed 形の併列形タービンは発電機容量が設計上または工作上の理由から制限をうける場合とか、既設発電所の増設機などで据付面積の形状に制約をうける場合にもっぱら採用されているが、現在の技術水準は 1 台の発電機で 500 MW を発揮することを可能としたため、併列形は特殊の場合を除きあまり普及しないように思われる。

以上大形タービンの代表的形式について紹介したが、タービンの経済性、すなわち最高の効率と最低の価格という両輪を満足するためには、併列形からクシ形へ、また同一形式でもエレメント数の減少へと進んでおり、『Component Design』の確立整備とあいまち、今後の発展と飛躍が期待されるのである。

5. 大容量タービン設計上の特色

5.1 低圧最終翼

前項で述べたように長大な最終翼の開発はタービンのエレメント数を減じ、また大形機の設計を可能とするため、各メカは競ってその開発に努力をはらっている。この最終翼はその固有振動が蒸気流動による励振力の振動と共鳴しないよう慎重に考慮されたものであるが、流体力学的にもまた完全なものであらねばならない。翼の流体理論としてはかずかず発表されているが、ここでは『Mass Flow 一定』すなわち全翼長にわたって流線の分布が均一となる

大形タービンの現状と将来・飯田

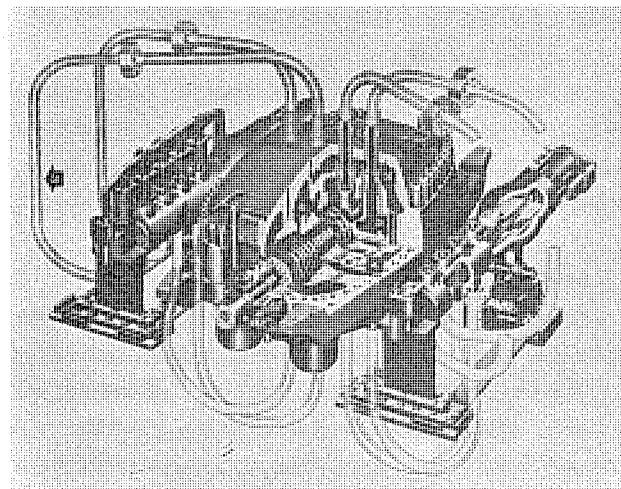


図 5.1 分離形蒸気室を有する高圧タービンエレメント
Fig. 5.1 High pressure turbine elements with
separate steam chamber.

よう設計され、実際使用の結果きわめて優秀な成績を収めている。

なお現在までに完成している最終翼で 20" 以上の有効長をもつものは、3,600 rpm 機用として 23", 25", 28.5" の 3 種が、また 3,000 rpm 機用として 23", 28" の 2 種があるが、つぎの段階として 33.5" 翼の開発が着々進められていることを申し添えておこう。

5.2 分離形蒸気室

高温蒸気が直接ふれることによって起る高圧車室の熱応力を制限するため、蒸気室を高圧車室から切離して別個に設置している。この場合、蒸気室に内蔵されている数個の蒸気加減弁を通った蒸気は、それぞれ加減弁 1 個につき 1 本あての蒸気管により高圧タービンノズル室に導かれている。このため高圧車室の構造が簡単になるばかりでなく、起動時や急激な負荷変動時も車室に過激な熱応力がかかるおそれがない。

5.3 マスフロー冷却方式

高圧および中圧エレメントでは、車室は内外 2 車室に分かれ、この内外両車室間のスペースを比較的低温の蒸気を流して冷却を行っている。これをマスフロー冷却方式と呼んでいるが、この方式の効果は内外車室の肉厚を軽減するとともに、局部加熱を防いで車室の熱変形を最小限に抑制するものである。このほか車室数の比較的多いクシ形機では、この方式の採用により高圧および中圧エレメントにおける回転部と静止部の熱膨張差が、過大になるのを防

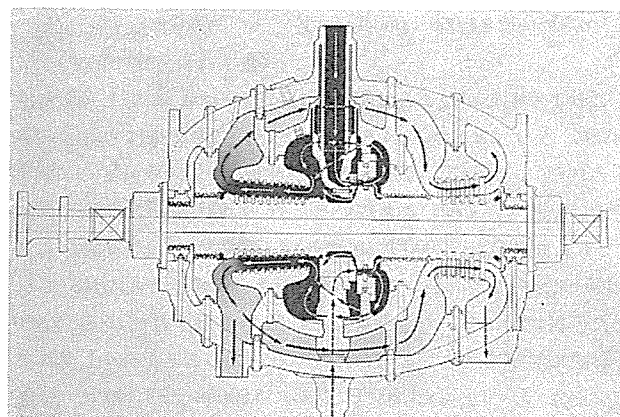


図 5.2 高圧タービンエレメントのマスフロー冷却
Fig. 5.2 Mass flow cooling of high pressure turbine
elements.

止することができるのも特長の一つと数えてよい。

5.4 リアクション翼

大形タービンの翼には、高圧第1段落に設けられる調速段を除きリアクション翼が広く使用されているが、この翼は単に翼効率がすぐれているばかりでなく、静翼と動翼との間ギャップが広く取れるから、車室数の多いツェン形機に用いても車室と翼車の伸差を心配する必要がない。

5.5 調速装置

高圧高温再熱式タービンの調速装置はとくに迅速な作動と確実な制御が要求されるが、300 psig 油圧を採用した新形油圧式ガバナはこの要求を完全に満足する性能を有している。一般に再熱式タービンの場合、蒸気加減弁のほかに再熱器と中圧タービンの間にインタセプト弁を設けているが、負荷急断時にこれら蒸気弁をできるかぎり迅速に閉鎖するため、主ガバナのほかに加速度を検出して作動する補助ガバナを併設している。

5.6 スロットル併入

従来はタービン起動後おおよそ規定回転数の90%に達すると、主ガバナが作動して蒸気加減弁を閉じ、スロットル蒸気はある特定の第一加減弁のみを通して高圧タービンに送気されるため、往々にして高圧タービン車室が急激な温度変化を受けていた。これに対しタービン起動後、併入から約20%負荷位まで全蒸気加減弁は全開のままスロットル弁で蒸気量の制御を行なう方式が最近流行している。これをスロットル併入と呼んでいるが、この方式ではスロットル蒸気は全周からタービン車室に送気されるため車室は一律な加熱を受け、しかも併入前後急激な温度変化を受ける心配もない。

なおスロットル弁の開閉をつかさどるサーボモータ油圧を自由に換えられる油圧コントローラを設置すれば、中央操作室から遠隔操作でこのスロットル併入を容易に行なうことができる。

6. 超高压タービンプラント

ユニット容量の増大は高効率プラントの出現を要請し、その結果超高压プラントが欧米ではすでに実用化の段階に入っている。現在稼働中のもので最高圧力はPhiladelphia Elec. Eddystone P/S1号機の5,000 psigであるが、現在の技術水準において推奨できる蒸気条件はつぎの三つであり、その効率比較も参考までに掲げておく。

推奨蒸気条件 効率差 (出力 400 MW)
(2,400 psig × 1,000/1,000°F を基準として)

3,500 psig × 1,000/1,000°F	+2.1 %
3,500 psig × 1,000/1,025/1,050°F	+5.0 %
3,500 psig × 1,050/1,050/1,050°F	+6.0 %

(数字は百分比で示す)

これより明らかなことは蒸気圧力 3,500 psig に対し蒸気温度 1,000°F がすすめられていることである。この意味はタービンの高圧入口部の強度が、3,500 psig × 1,000°F と 2,400 psig × 1,050°F で設計上まったく同じことになるため、3,500 psig の超高压プラントでも入口温度を 1,000°F にすれば、従来数多くの実績をもつ 2,400 psig 級の設計がそのまま採用でき、信頼性の面においても、また価格の面においても今もっとも広く使用されている 2,400 psig 級に対抗できることを示している。このことを今少し具体的にいえば、5,000 psig × 1,200°F とか、3,500 psig × 1,100°F、3,500 psig × 1,050°F の場合はいずれもいわゆる高圧エレメントの前に超高压エレメント (Super-Pressure Element) を必要とするのに対し、3,500 psig × 1,000°F にすれば、従来の高圧エレメントだけで良いわ

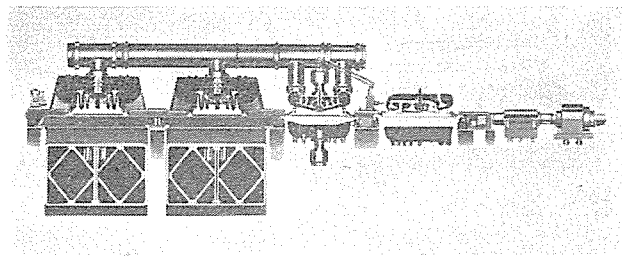


図 6.1 400 MW 超高压タービン (4 車室 4 分流 排気式 最終翼 28.5°)

Fig. 6.1 400 MW super high pressure turbine.

けで図 6.1 に示す 400 MW 超高压タービンは蒸気条件 3,500 psig × 1,000/1,025/1,050°F に対しそのエレメント数はわずか4個に過ぎず一般の 2,400 psig のものと変るところはない。

7. ピークロードプラント

火力プラントのあいづく増設はわが国における水力と火力の比率を逆転するにいたったが、最近この新鋭火力ピークロードの問題が大きく取上げられている。すなわち新鋭火力は本質的にはベースロードとして使用されるべきであるが、このベースロードプラントに過負荷をかけてピークロードに対処しようという考え方である。このための具対策として技術的に考えられるのはつぎの四つである。

7.1 Overload Capacity の増大

最近の新鋭火力は定格出力に対し約10%程度の過負荷に耐えられるよう設計されているが、製作開始前から定められていれば、これを20%程度に大きくすることはさして難しいことではない。この方式は処置が簡単で設計的に問題となる点はないが、過負荷容量を大きくするほど定格出力時の熱効率が低下する欠点がある。

7.2 高圧給水加熱器のカットアウト

高圧給水加熱器をカットアウトすれば、抽気量が減ずるから、同一の Throttle Flow に対しタービンの出力は増加する。普通給水加熱器を1段カットすればタービン出力は4~5%増加するから2段カットすれば10%近くの出力増加が可能となる。もちろん給水加熱器をカットすれば給水温度が下がるから、過負荷時の熱効率が悪くなるが、全段抽気の場合の定格出力時の熱効率は最高値を示す特長をもっている。

7.3 蒸気圧力の上昇

ピーク時だけボイラ蒸気圧力を上昇させてタービンの Throttle Flow を増加する方式であるが、ボイラの圧力温度をうまくコントロールすることに種々問題があるため、今のところあまり使用されていない。

7.4 高圧段落のバイパス

ピーク時高圧段落をバイパスしてタービンの中途段に蒸気を送る方式であるが、バイパス弁を必要とするなどその構造が複雑となるのが最大の欠点である。

いずれにしても以上の方式をうまく組合せていけば技術的に見てピーク時の過負荷容量は定格出力の130%ないし140%に達することはさして困難ではない。

8. タービンプラント補機

8.1 蒸気タービン駆動ボイラ給水ポンプ

最近タービンプラントの大形化に伴い、ボイラ給水ポンプ容量もいよいよ大きくなってきたが、この場合従来の電動式よりも、むしろ蒸気タービン駆動方式を採用した方が経済的であるというのが一

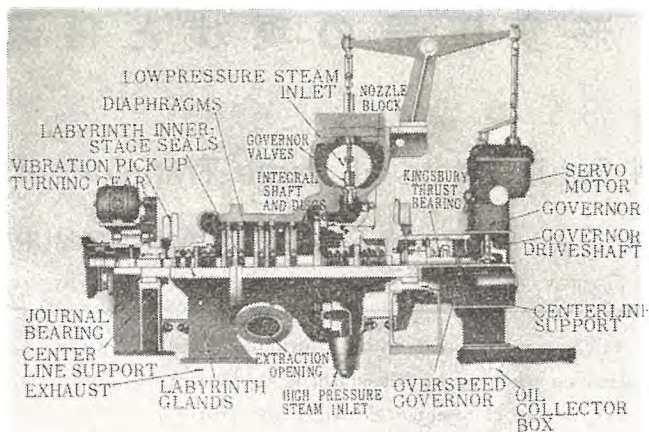


図 8.1 給水ポンプ駆動用タービン（抽気背圧式）
Fig. 8.1 Feedwater pump driving turbine.

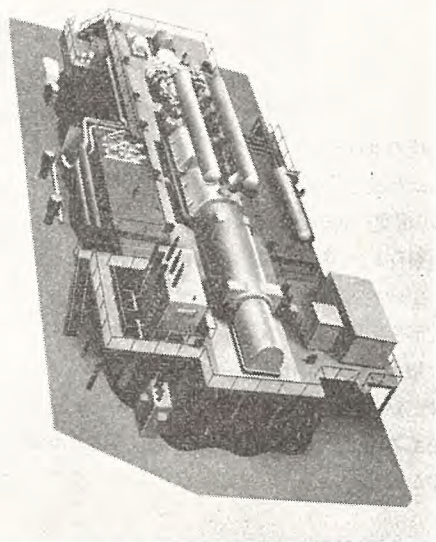


図 8.2 側方排気式 350 MW タービン
（クシ形 4 車室 4 分流式最終翼 25'）
Fig. 8.2 Side discharge type 350 MW turbine.

般通念となってきた。図 8.1 は現在もっとも広く採用されている抽気背圧式タービンで、高圧タービン排気すなわち低温再熱蒸気管（負荷運転中）とボイラヘッド（起動時）のいずれからも蒸気が取れるよう、別個の蒸気室をもっており、その抽気、排気はそれぞれタービンサイクルの給水加熱用に使用されている。

このほか給水ポンプを直接主タービン軸から駆動する方式（図 6.1 参照）もアメリカではかなり採用されているが、わが国ではまだ例を見ない。

8.2 復水器の設計

タービンプラントの容量増加に伴い、その排気処理する復水器の形状寸法についても種々新しいしかも複雑な問題が現れてくる。この場合角形復水器は据付スペースが極度に利用できること、および発送時の部品数の少ないことに大きな特長をもっている。

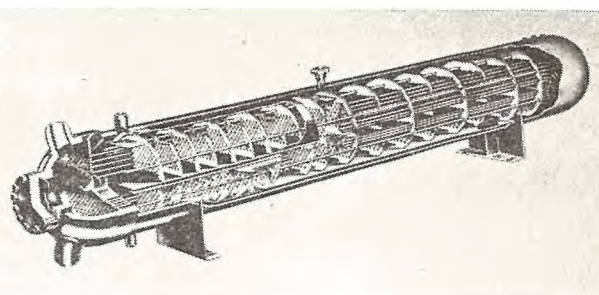


図 8.3 全溶接式高圧給水加熱器
Fig. 8.3 Completely welded type high pressure feed water heater.

なお、とくに大形タービンプラント用として復水器を 2 分割して低圧タービン車室側方に左右それぞれ 1 個ずつ配置する形式が最近アメリカで二、三の発電所で採用されているが、タービン基礎を低くすることができ、また据付面積が節約されるので今後相当普及すると思われる。図 8.2 はその一例で、定格出力 350 MW のタービンである。

8.3 溶接式高圧給水加熱器

タービンプラントの容量増加に伴い、給水加熱器の形状寸法もそれに比例して大きくなっているが、とくに高圧給水加熱器については据付後の蒸気漏れを皆無とするため、最近の設計では水室と管板、管板と加熱管をいずれも溶接式とし、完全確実に漏えい箇所をなくしている。とくに管板と加熱管の溶接については、鍛鋼製の管板の上にニッケル 1 層とモネルメタル、またはキュプロニッケル 2 層を盛金（Metal Cladding）し、このクラッドメタルと加熱管をイナートガス溶接によって確実に接着させている。

8.4 プラントのフルオートメーション化

最近アメリカでは火力発電所の運転を完全に自動化する計画が具体化し、すでに数個所でこの新方式を採用しているが、このプラントのフルオートメーション化の一環として、タービンの運転方式も変り、従来もっとも複雑といわれた起動から併入までの一連の人為操作を電気ガバナの採用によって自動的に行なわせたり、ターニングギヤの自動はめはずし方式を新しく開発したり、その進歩はまことにめざましいものがある。

9. むすび

最近各方面における技術革新はまことにすばらしいものがある。50 年、年の歴史をもつ蒸気タービンプラントもまた時代の要請にこたえて着実な歩みを続けている。本稿では単に最近の設計上の進歩のいくつかをとりあげて紹介したにすぎないが、今後ますますプラントの大形化高能率化に向って長足の進歩・発展が行なわれていくと思われる。とくに超高压プラント、ガスタービンとのコンバインドサイクル、原子力タービンなどについてはいずれ稿を新たに述べてみたいと思う。

大形変圧器の現状と将来

田村良平*

Present and Future State of Large Transformers

Itami Works Ryōhei TAMURA

Ever expanding power demand brings about increase of the scale in power generation and distribution, resulting in large size transformers never dreamed of in the past. The shell form construction taken up by Mitsubishi is a powerful key to attain the aim of completing giant apparatus aside from the progress in the manufacture of oriented electrical steel strips, the rationalization of insulation technique and also the new contrivance of transporting the assembled unit. However, the engineers are wrestling with a number of problems in electrical, mechanical and thermal points for furthering the building of much greater capacity units. Of many future concepts stands out the inner cooled transformers, the completion of which will not be long before.

1. ま え が き

膨張する電力需要に対して、発・変電の運営と規模は大形化し、この数年の間に面目を一新した感がある。電力用変圧器の容量の増大、電圧の上昇もその一つで、将来とも進展していく情勢にある。

大形化の技術的推進には、ケイ素鋼帯の進歩、絶縁冷却設計の合理化、輸送方法、あるいは工作設備管理面における多くの開発の成果と、付帯する新しい技術の採択が大いにあずかったと断じてよい。大形変圧器を設計製作するにあたっては、過去に遭遇した特殊な事例やまたは段階的に経験したもろもろの問題など重要懸案を解決せねばならぬ。多数の実績と高度の総合技術が必要とするゆえである。

寸法重量の制約のもとに要求される単器出力の増大のため、熱的、機械的、電気的に加重される苛酷さを克服して、信頼度高い大形変圧器を製作するうえの問題点は、変圧器設計の基礎的事項と製作実績にもとづく関連した施策にかかっている。

大容量化の傾向は、約 10 年前までは 100 MVA を超大容量変圧器と称していたが、累年そのテンポを早め、200 MVA、400 MVA と増大して、昔日の記録品は中容量変圧器の域に脱落した。400 kV 級超々高圧送電が実現すればパツク約 1,000 MVA になるといわれている。

2. 大容量、高電圧への推移

水力発電所の変圧器単器容量は 100 MVA 以上の大出力器が現われ、超高圧 287.5 kV に昇圧する記録的な変圧器が製作された。なかには複数台の発電機に変圧器 1 パツク組合せの発電所もある。

火力発電に基底負荷をもたせる火主水従の方策と製作技術の進歩から、火力発電所の単機容量の大形化はめざましく、156 MW、175 MW、250 MW、325 MW のタービンが実現し、これ以上の系列が計画されている。250 MW に対し変圧器は 290 MVA、325 MW に対し 370 MVA である。

電源の単器容量増大にしたがって、送配電設備とくに一次変電所の変圧器が大形化し、150 MVA、200 MVA、240 MVA となり、さらに 300 MVA、または現行電圧で

400 MVA になろうとしている。

工場地帯、大都市を中核とする負荷の集中的発展をもとに将来の電力系統の構成をはかると、現在の 275 kV 超高圧送電線では数年後には行詰ると予想され、次代の超高圧送電電圧として 440 kV 送電が現実的に企画されている。

当社が製作した 50 MVA、および 100 MVA 以上の大形変圧器の年度別生産延容量を図 2.1 に示す。製作中を含めて 150 MVA 以上の大形変圧器実績一覧を表 2.1 に示す。これより大形変圧器の数量の増大と大容量化の傾向をうかがい知ることができる。現在の容量記録は南川越変電所の 312 MVA (等価容量) で、わが国の記録であるが、製作中の変圧器に姫路第 2 発電所の 370 MVA の記録品がある。

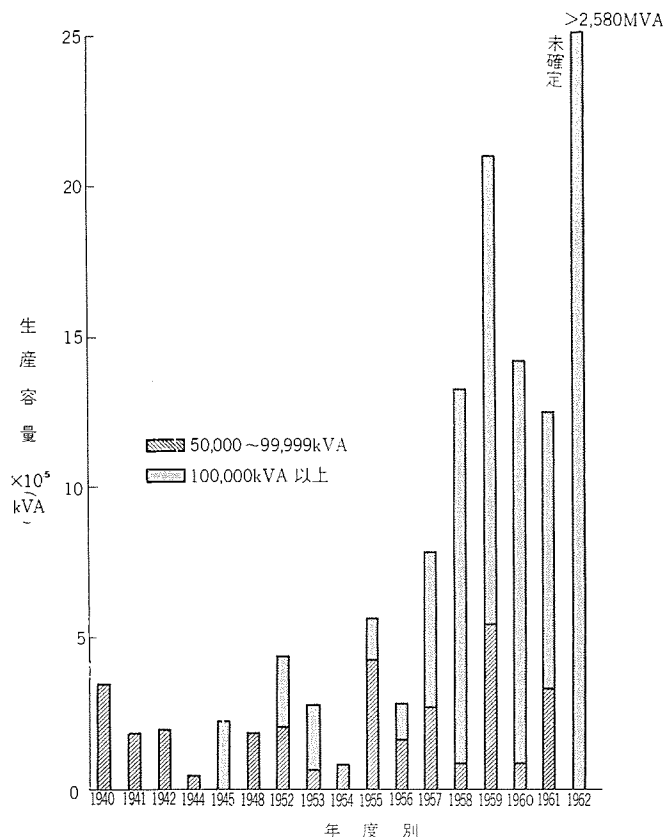


図 2.1 年度別生産延容量

Fig. 2.1 Aggregate capacity of TR-production each year.

表 2.1 変圧器製作実績 (150 MVA 以上) (37.7 現在)

注 文 元	相	周波数	容 量 (kVA)	電 圧 (kV)			冷却装置	基	製作年月	備 考
関 西 電 力 (姫路第 2 P/S)	3	60	370,000	250人		24 △	送油風冷	2	製作中	エレファント負荷時電圧調整器別置
電 源 開 発 (南川越 S/S)	S3	50	240,000/264,000/120,000	275人	147人	15.4△	"	2	1958-9	
"	"	"	"	"	"	"	"	1	製作中	
関 西 電 力 (姫路第 2 P/S)	3	60	290,000	250人		24 △	"	1	製作中	エレファント負荷時電圧調整器別置
" (堺 港 P/S)	3	60	290,000	147人		19 △	"	1	製作中	"
東 京 電 力 (中 東 京 P/S)	S3	50	200,000/220,000/100,000	275人	147人	15.75△	"	2	1957	
" (京 浜 S/S)	3	50	"	275人	147人	15.75△	"	2	1959-60	負荷時電圧調整器別置
西日本共同火力 (新 堀 田 P/S)	3	60	250,000	220人		12 △	"	1	製作中	
東 京 電 力 (房 総 S/S)	3	50	220,000/200,000/40,000	275人	147人	66 △	"	2	製作中	負荷時電圧調整器別置
" (横 浜 P/S)	3	50	210,000	147人		17.55△	"	1	1962	
関 西 電 力 (大 阪 P/S)	S3	60	190,000	77人		17.2△	"	4	1958-9	
九 州 電 力 (珂 田 P/S)	S3	60	190,000	220人		17.2△	"	2	"	
中 国 電 力 (新 宇 部 P/S)	3	60	190,000	110人		17.2△	"	1	1961	
関 西 電 力 (姫路第 1 P/S)	3	60	180,000	77人		17.2△	"	1	"	
" (尼崎第 3 P/S)	3	60	180,000	77人		17.2△	"	1	1962	
"	"	"	"	"	"	"	"	1	"	
" (多 奈 川 P/S)	3	60	180,000	77人		17.2△	"	2	"	
九 州 電 力 (新 小 倉 P/S)	3	60	180,000	110人		17.2△	"	1	"	
中 国 電 力 (新 徳 山 S/S)	S3	60	150,000/150,000/50,000	220人	110人	66△	"	1	製作中	負荷時タップ切換変圧器
関 西 電 力 (南 大 阪 S/S)	3	60	150,000/150,000/45,000	275-140人	77人	15.4△	"	1	1960	
" (南 大 阪 S/S)	3	60	150,000/150,000/45,000	275人	77人	15.4△	"	1	1962	
東 北 電 力 (新 潟 P/S)	S3	50	150,000	154人		14.2△	"	2	製作中	低騒音

3. 大容量変圧器製造上の問題点

大容量変圧器設計上の問題点は変圧器設計の根本に戻り、電気的、機械的、熱的にすべてのスケールが大きいことについて基礎的検討から始まる。次いで経済性と要求される電気的性能、および立地条件、輸送方法からくる絶対的制約事項との広範な協調をはかり最適・最良の素材、寸法、構成を求めるにある。

製作上は、工作設備方法、材料の調達、および工程的な問題があり、とくに試験設備と方法は重要な案件となる。商用試験についてだけでなく、部分的基礎的な試験を実施するための電源設備と付属装置に多額な資本を要する。

設計上の問題点をひろって项目的に考えてみる。

3.1 局所過熱、冷却の不均衡

冷却の問題は容積と放熱面が同率に増加しないために、大形化につれて深刻になる。絶縁油の冷却は強制送油式の採用により有利に解決できるが、真に問題とすべきは内部発熱体の冷却であり、絶縁物の温度である。巻線、鉄心の形状は冷却条件から相似的に大形にできず、発熱部の単位冷却面積あたりの損失は限度値以上には採れない。巻線はコイル絶縁紙などの被覆を施され、ここに単位面積あたりの損失と絶縁厚さに比例する温度勾配が存する。また油に対しては面積あたりの損失と冷却油流速に関係する界面温度差がある。

この3要素によってコイルと油の温度差が定まるが、商用試験ではコイル温度の平均値を測定するにとどまり、完成品各部分の温度あるいは温度差を判定する方法がない。

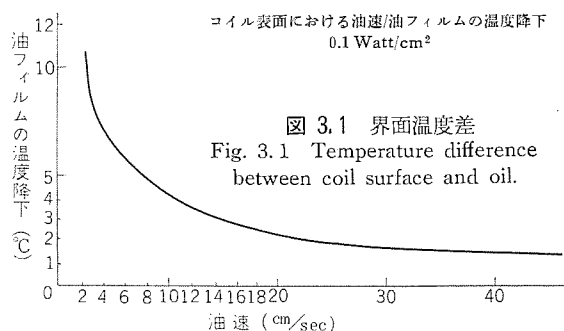


図 3.1 界面温度差
Fig. 3.1 Temperature difference
between coil surface and oil.

コイルと油の温度差が各部均等化しているのが冷却設計の理想であるが、実際にはプレスボードの絶縁材や支持スペーサなどあり、油道の均一を徹底するのは総合的に不利であって許しうる妥協がなされている。大形変圧器では総油道断面、油道長が大きく、高電圧器では絶縁構成も複雑で、温度差の均等化が難しくなり、局部過熱の懸念が増加する。

変圧器巻線の界面温度差と油速との関係は図 3.1 のように、油速が低下すると急に温度差が高くなるから、コイル各部に必要な十分の油流を与えるよう総送油量には中身からの要求がある。

3.2 短絡強度

外部線路短絡時に巻線に発生する電磁機械力は容量の増大にほぼ比例して倍加する。容量が変わって容量ベースの % インピーダンスが一定であると、巻線の巻回数は容量の 1/2 乗にほぼ逆比例し、短絡電流は定格電流の 100/% インピーダンス 倍であるから、短絡時巻線アンペア・ターンは容量の 1/2 乗にほぼ比例し、機械力はアンペア・ターンの 2 乗、すなわち容量にほぼ比例することになる。

したがって超大容量変圧器に対しては、巻線の機械的強度について注意深い配慮が肝要で、十分な対策が講じてなくてはならない。とくにタップ・コイルの配置に考慮が必要であり、三次コイルと同様にコイルとリード自体の強度には細心の処置がとられねばならない。三次巻線は機械的強度の見地から直接接地系統では主巻線の最小 1/3 の容量が必要であり、三次巻線のインピーダンスを三次回路の短絡容量(シャ断容量)の制限から、不経済でも特別に大きくせねばならぬこともある。

3.3 漂遊損失、異常過熱

前述のように容量の 1/2 乗にほぼ比例して定格アンペア・ターンが、また高電圧の変圧器では漏れ空間が大きくなるため、漏れ磁束の磁界エネルギーは容量に比例して増大し、これが巻線などにウズ電流損を、構造物に漂遊損失を発生する。小・中形変圧器においてはこれは僅小な値で問題にならないが、大容量器になると単位重量あたりの上記損失値が同一素材厚さとしても大略容量に比例するので、重視せねばならぬ値になる。この損失が冷却と平衡していれば実用上問題ないが、不注意で予想外の損失を発生したとき、異常過熱して焼損事故をきたす。

漏れ磁束だけでなく鉄心を通る主磁束についても、磁束量は容量の1/2乗にほぼ比例して増大するから、鉄心構造物に生ずるウエス電流、循環電流に対して、極小に押える考慮がはらわれる。

3.4 騒音および振動

鉄心の磁束密度は同じでも、大容量器ほどに磁ワいのエネルギーが大きく、発生騒音が大きくなるのはやむをえない。変圧器騒音レベルの基準値(JEM-1118)においては変圧器容量が増加すると3~4ホーン基準値が大きくなっている。しかし異常な騒音あるいは振動が発生すれば、その加速度、振幅が大きいために、付属器具を損傷し変圧器自体に悪影響を与えかねない。大形変圧器としてとくに共振を防ぎ、強固な構造が必要になる。

4. 大容量変圧器の製作実例と特長

大容量変圧器の現状を理解するために当社の代表的な製作実例をあけて、おもな特長を述べる。

4.1 電源開発(南川越 S/S) 納 312 MVA 特別三相式変圧器

代表的な一次変電所の3巻線変圧器で現在運転中の記録製品である。1号器(1958年納)は輸入の、2号器(1959年納)は国産の方向性冷延ケイ素鋼帯を使用し、特別三相式構造で横倒し組立輸送した。現在3号器を製作中である。

おもな仕様は

特別三相式 外鉄形送油風冷式 50 c/s

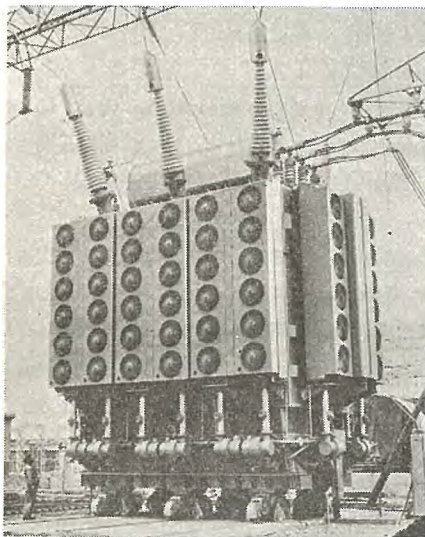


図 4.1 312 MVA 変圧器外観
Fig. 4.1 312 MVA transformer.

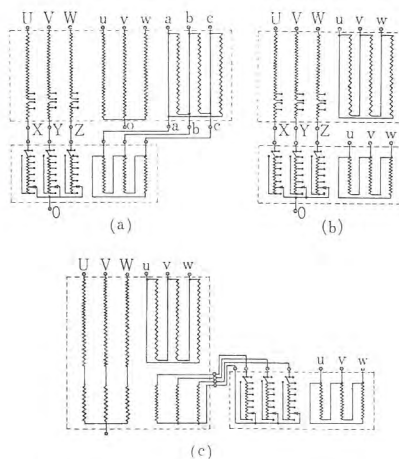


図 4.3 260 MVA 変圧器内部結線図
Fig. 4.3 Connection diagram.

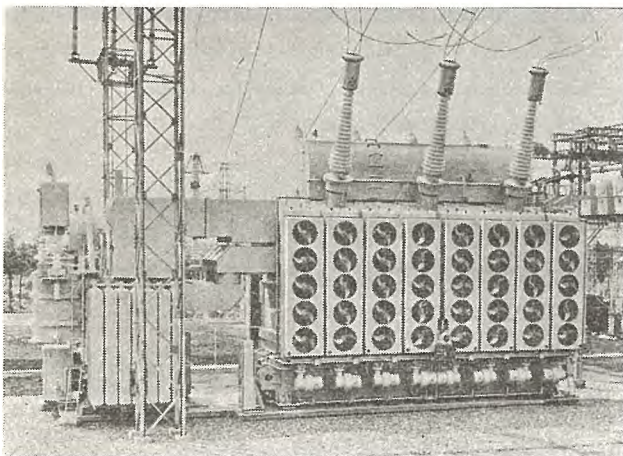


図 4.2 260 MVA 変圧器および負荷時電圧調整器
Fig. 4.2 260 MVA transformer with on-load voltage-regulator.

一次	240 MVA	275-268.75-262.5 kV	人
二次	264 MVA	147 kV	人
三次	120 MVA	14.4 kV	△
油なし重量	419 t	油量 90 kL	総重量 500 t
インピーダンス	一次-二次	10.55%	240 MVA ベース
	一次-三次	10.47%	120 MVA ベース
	二次-三次	4.33%	120 MVA ベース

図 4.1 に外観を示す。

4.2 東京電力(京浜 S/S) 納 260 MVA 変圧器

東京電力の 275 kV 一次変電所の標準的仕様の変圧器として製作され、別置式負荷時電圧調整器を備えている。シキ-400 B₁ 形(240 トン積)大物車をもって車両形組立輸送された。

三次端子はコンデンサ負荷用と負荷時電圧調整器励磁用と両側に端子を引出し、負荷時電圧調整器と直列接続励磁接続とともにダクトを通じて本体に直結されている。図 4.2 はこの外観である。

負荷時タップ切換器は抵抗式ガイシマウント形の YTR 形を使用した。結線は図 4.3(a) に示す方式である。

おもな仕様は

三相外鉄形送油風冷式	50 c/s	7.5%	負荷時電圧調整器別置
一次	200 MVA	275-268.75-262.5 kV	±7.5% 人
二次	220 MVA	147 kV	人
三次	100 MVA	15.75 kV	△
油なし重量	305 t (43.5 t)	油量 80 kL (13.5 kL)	
総重量	377 t (56 t)	輸送重量 235 t	

() 内は負荷時電圧調整器の値である。

インピーダンス

一次-二次	11.85%	200 MVA ベース
一次-三次	11.82%	100 MVA ベース
二次-三次	5.01%	100 MVA ベース

4.3 東京電力(横浜 P/S) 納 210 MVA

主変圧器および 100 MVA 局配用変圧器

175 MW の新鋭火力発電所の昇圧主変圧器と 147/66 kV の通降用負荷時電圧調整器別置式エレファント変圧器である。

一般の火力発電所がそうであるように、建設地点が海岸の埋立用地であり、隣接し

て大工場が操業しているため苛酷な塩害煙じん害をうける。このため主変圧器は耐塩害ラッシングを使用し、局配用変圧器は OF ケーブル直結の間接式エレファント変圧器となった。

耐塩害ラッシングは汚損条件を、対地電圧(161 kV / $\sqrt{3}$ = 93 kV, 10% の余裕をみて 93 kV × 1.1 = 102.3 kV) に対しては 0.1 mg/cm², 事故時(線間電圧)に対しては 0.03

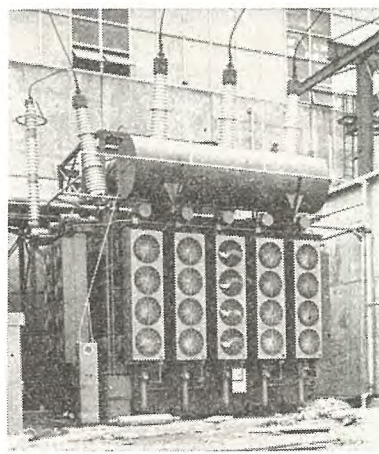


図 4.4 210 MVA 変圧器
Fig. 4.4 210 MVA transformer.

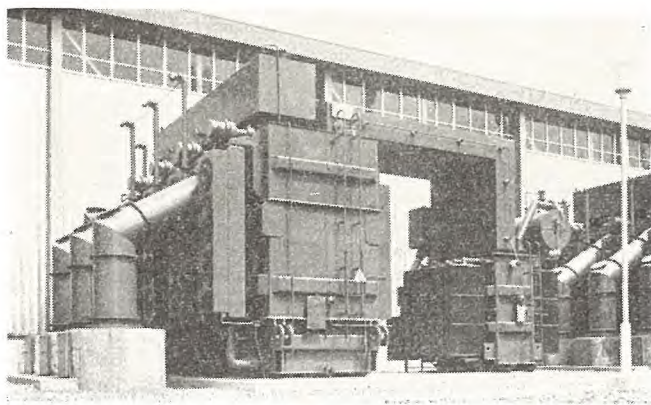


図 4.5 100 MVA エレファント変圧器
Fig. 4.5 100 MVA elephant transformer with on-load voltage-regulator.

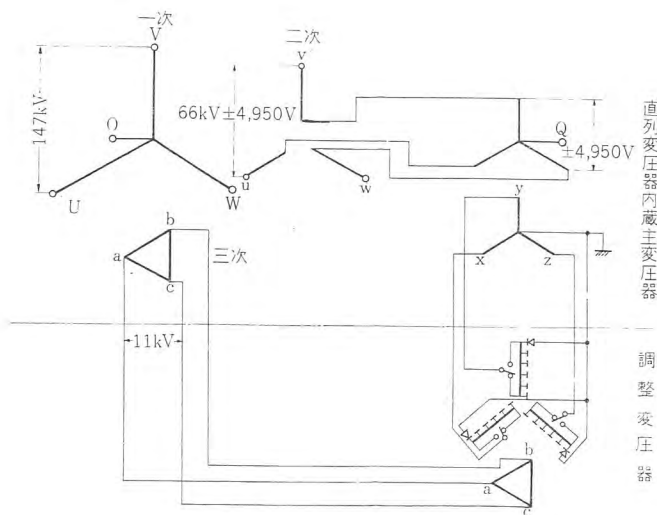
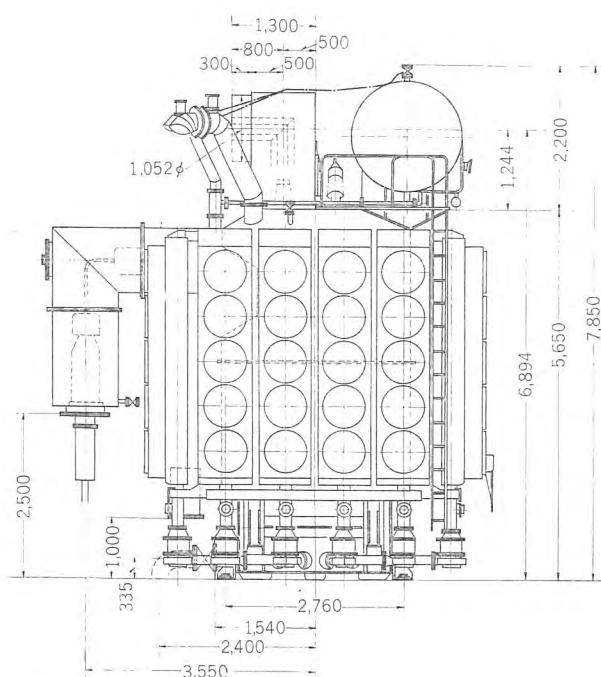


図 4.6 各変圧器の結線図
Fig. 4.6 Connection of each transformer.



三相変圧器 370 MVA 60 c/s 連続定格 外鉄形 送油風冷式 一次側△ 24,000 V 8,900 A 二次側 Y 275-262.5-250 kV 777-814-854 A 重量 266,000 kg 油量 64,000 l 総重量 323,000 kg 一次側端子アイソレート・ブス接続 二次側端子エレファント式ケーブル接続 二次中性点端子 ブスダクト接続 (二次中性点側負荷時タップ切換直列変圧器接続)

図 4.7 (a) 370 MVA 変圧器外形図

mg/cm² として耐電圧 (50% セン 絡) を保証し設計した、コンデンサ・ラッシングであり、胴径が細いため、耐塩害特性上有利であるが、ガシの漏れ間隔は 6,000 mm を越えるものとなり、水切りカサを 2 箇所つけた。図 4.4 は 210 MVA 主変圧器の外観で、この耐塩害ラッシングが見られる。

局配用変圧器の外形を図 4.5 に示す。エレファント変圧器のとき、負荷時電圧調整器が 66 kV 以上の高電圧側に接続される場合は、直列変圧器を主変圧器に内蔵させると両者の接続と電圧調整器の切り離しが容易になる。100 MVA 局配用変圧器は 66 kV 中性点側に負荷時電圧調整器用直列変圧器を接続内蔵し、電圧調整器との接続は励磁用の低圧 (11 kV 級) 側のみとなりブス・ダクトで連結している。図 4.6 はこの結線図である。

おもな仕様は

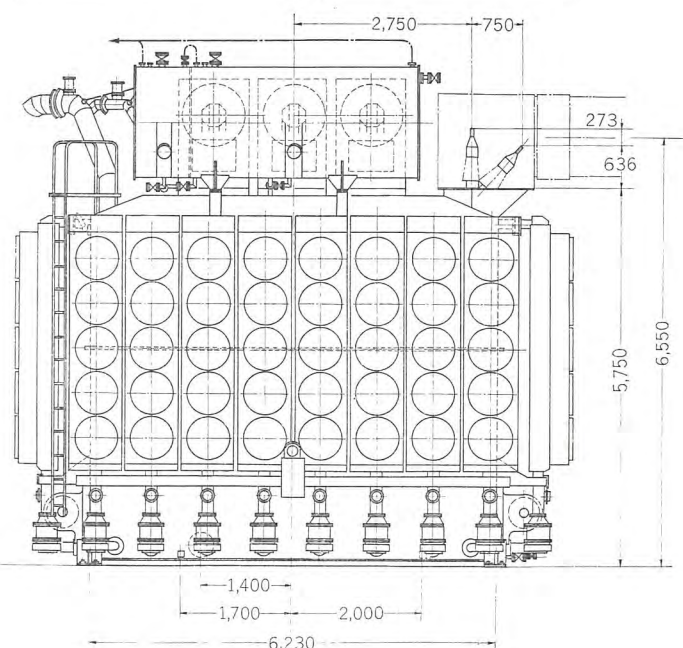
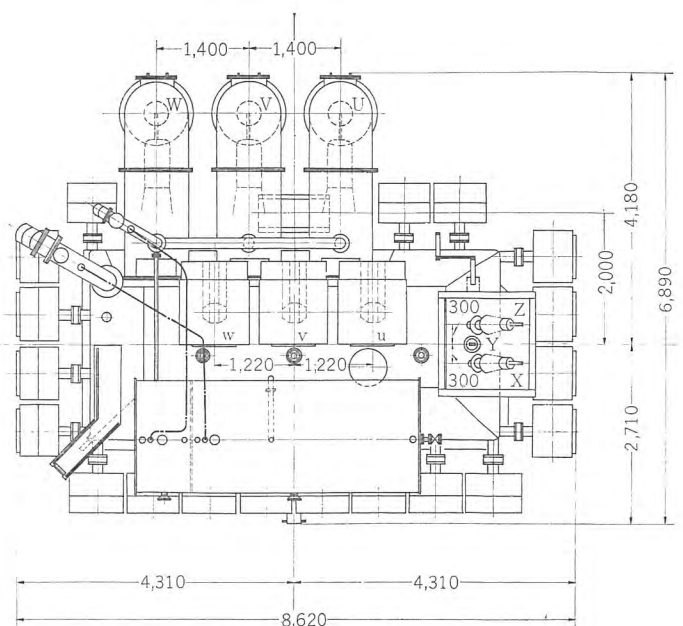


Fig. 4.7 (a) Out line of 370 MVA transformer.

主変圧器

三相 外鉄形送油風冷式 50 c/s

210 MVA

一次 17.55 kV

二次 150.5-^R147.0-143.5-140 kV

油なし重量 187 t 油量 50 kL

総重量 232 t 輸送重量 159 t

インピーダンス 12.51% 210 MVA ベース

局配用変圧器 (内蔵直列変圧器は内鉄形)

三相 外鉄内鉄形送油風冷式 50 c/s 8100 kVA 内鉄形自
冷式負荷時電圧調整器別置 100 MVA

一次 147-143.5 kV

二次 66 kV $\pm 7.5\%$

三次 11 kV

油なし重量 172 t (24.5 t) 油量 63 kL (12 kL)

総重量 229 t (35.3 t) 輸送重量 138 t

() 内は負荷時電圧調整器 (別置) の値である。

4.4 関西電力 (姫路第 2 P/S) 納 370 MVA 変圧器

1 号器 290 MVA に次いで 2 号器, 3 号器は 370 MVA 変圧器で現在製作中, 関西電力の新鋭姫路第 2 火力発電所に設置される。塩害のきびしい火力発電所であるため, 275 kV 超高圧のエレファント変圧器である。昇圧用主変圧器であるが, 別置式の負荷時電圧調整器が付属される。負荷時タップ切換器は URT 形リアクトル式を採用する。負荷時電圧調整器と主変圧器は図 4.3 (b) に示す結線方式により, 互いに 30 号絶縁のバス・ダクトで直結され, 励磁は主変圧器の離相母線から分岐した離相母線により発電機に接続される。

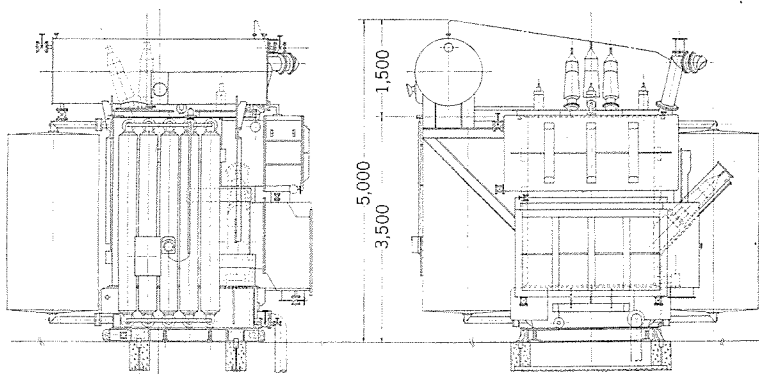
図 4.7 (a)(b) はそれぞれ 370 MVA 主変圧器と, 18.5 MVA 負荷時電圧調整器の外形である。

おもな仕様は

負荷時電圧調整器 三相 60 c/s 線路容量
370 MVA 調整容量 18.5 MVA 連続定格
外鉄形 油入自冷式 SR-URT 形 調整電
圧 $\pm 12,500$ V ($\pm 5\%$) 17 点 定格電流 855
A 励磁電圧 24,000 V 励磁巻線電流 445
A 重量 42,700 kg 油量 17,000 L 総重量
58,000 kg 主変圧器 250 kV 中性点側直列
接続 中性点直接接地式

図 4.7 (b) 負荷時電圧調整器外形図

Fig. 4.7 (b) Outline of on-load voltage-regulator.



三相外鉄形送油風冷式 60 c/s エレファント 変圧器
5% 負荷時電圧調整器別置

370 MVA

一次 24 kV

二次 275-262.5-^R250 kV $\pm 5\%$

油なし重量 266 t (43 t) 油量 64 kL (17 kL)

総重量 323 t (58 t) 輸送重量 228 t

() 内は負荷時電圧調整器 (別置式) の値である。

インピーダンス 14% 370 MVA ベース

姫路第二発電所の 1 号器と同じ容量 290 MVA であるが, 147 kV に昇圧する変圧器を関西電力 堺港 火力発電所向けに製作中である。これも別置式負荷時電圧調整器が付属されるが, この場合は前記横浜火力発電所の局配用変圧器と同じ理由で エレファント変圧器であるため, 図 4.3 (c) の結線方式が採られる。

5. 外鉄形フォーム・フィット大形変圧器の特長

前節にあげた大形変圧器の問題点に対して, 外鉄形変圧器は大形器に適合した構造を自ら備えていること, したがって処策が容易完全に講ぜられるなどの要点をまとめて述べたい。ちなみに図 5.1 は外鉄形変圧器の構造を示す断面図である。

5.1 中身の冷却

コイルは長方形で長手方向に垂直状態に締持ちされており, 油道はすべて上下方向に設けられて広い冷却面積を有し, 対流に順方向で油流を妨げるものが少ない。フォーム・フィット構造であるから冷却油は主として巻線の内部を通過するよう構造自体で適当値に案分され, とくに油流の案内を設ける必要はない。高圧低圧 コイル群が交互に配置されるから, 油流の条件は各部均等である。タンクの底部に必要なヘッドと油量を与えれば, 超大容量変圧器といえども冷却の不均衡は起こらず, 局所が過熱する心配はないと見てよい。

鉄心の冷却については, いかなる超大形変圧器といえども輸送可能寸法に納めるかぎりにおいて, 外鉄形変圧器の鉄心幅は冷却油ゲキを必要とする幅長には至らない。油ゲキを要するほど大きな幅になったとしても容易に単純な構造で油ゲキを設けることができる。

最近, 特別の薬品処理を施すことによって, コイル絶縁紙の耐熱性を格段に向上させる工業化に成功した (HI-L 絶縁紙)。これは従来のクラフト紙に比べ 30°C 高い温度で使用しても寿命は同等である実験結果を得



図 5.1 外鉄形変圧器構造説明図

Fig. 5.1 Out-away view of shell-form transformer.

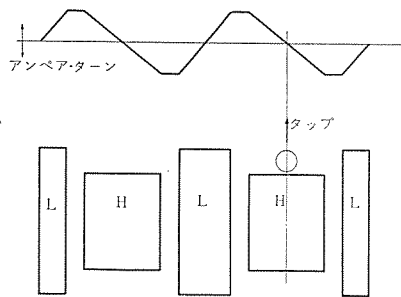


図 5.2 アンペアターンとタップ
Fig. 5.2 Ampere-turn and taps.

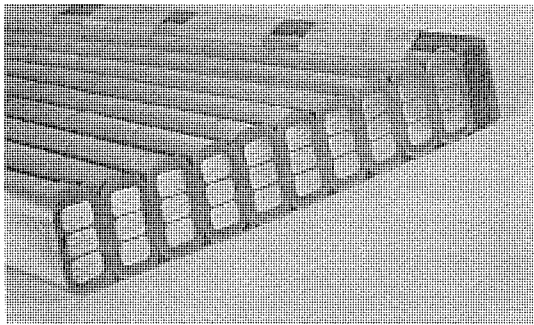


図 5.3 外鉄形変圧器 コイル 素線断面
Fig. 5.3 Sectional view of a shell-form transformer coil.

ており、油入変圧器に全面的に採用することになった。これによって超大形器の信頼性はさらに高まり、過負荷耐量の考え方も変わってくる。

5.2 電磁機械力および機械的強度

外鉄形変圧器は容量が大きくなれば、高低圧のコイル群数を増加する。それは経済設計の見地からと、輸送限界寸法の制限のためにもよるが、巻線間に発生する電磁機械力の減少にはなほ有効である。

機械力 F_H は

$$F_H = 1.28 \times \left(\frac{NI}{n_{HL}} \right)^2 \frac{1}{a \times 10^7} \text{ kg/cm}$$

で表わされる。

ここに n_{HL} : 高低圧巻線群の数, $\frac{NI}{n_{HL}}$: 群あたりの アンペアターン (r. m. s), a : 漏れ磁路長 (cm)

% インピーダンスは巻回数の 2 乗に比例し群数に逆比例するから (ほかの関連条件を無視して), % インピーダンス が等しければ, 群数を n 倍することにより, 機械力は $1/n$ に減ずる。すなわち $1/n$ 容量の変圧器と等価になる。機械力が群数に分割され, それらが水平軸上交互に直列するからである。

これはとりもなおさず大形化に対して, 基本形で備わった強度をそのまま群数を倍して, 倍容量の変圧器に拡張適用できることである。

巻線の タップ は大容量外鉄形変圧器においては図 5.2 に示すように アンペア・ターン (漏れ磁束) 分布の ゼロ 点, すなわち巻線群の中央部分から取るから, タップコイルが遊んでも交差漏れ磁束がなく機械力の発生は極小である。

外鉄形変圧器の巻線は水平方向に鉄心 コブ と タンク 壁により, 上下方向には積層鉄心 タップ により, 巻線を広い面積で締付け恒久的に保持するから, コイルの短絡強度が大であることがうかがえる。

外鉄形変圧器は高・中低圧いずれの巻線からも タップ を出すことが構造上容易であり, コイルが大きいから, 多数の タップ を取出

大形変圧器の現状と将来・田村

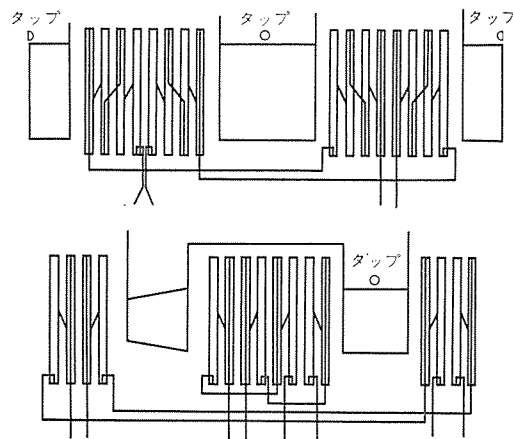


図 5.4 並列コイル
Fig. 5.4 Parallel coil.



図 5.5 23 kV
7,500 A ブッシング
Fig. 5.5 23 kV
7,500 A bushing.

すことに支障なく, 機械的に信頼度高く, 負荷時 タップ 切換変圧器に好適である。巻線が交互配置であるから, 三次巻線のそう入によって, 一次二次巻線の寸法特性にぜんぜん影響しない。また巻線群数が多いから, その配置方法によって, 各巻線間の インピーダンス の関連を大きく変更することができ, 三次の インピーダンス を大きくするときには有利である。

5.3 ウズ電流, 漂遊損および大電流コイルに対する処置

外鉄形変圧器の漏れ磁束は巻線内では コイル 幅方向に大略平行に通る。したがって, コイルの ウズ 電流は コイル 厚さを構成する銅線素体の磁束に直角な厚さ寸法の 2 乗に比例して単位重量あたりの損失を発生する。群あたりの アンペア・ターン は大形化につれて容量のほぼ $1/2$ 乗に比例し, 単位重量あたりの ウズ 電流損は容量にほぼ比例して増大するので, 大容量変圧器では ウズ 電流損の減少に配慮がこらされる。

外鉄形変圧器では平角銅線素体はコイル厚さ方向に複数本の素線に区分され, おのおのを薄く絶縁した線をあわせた外周に巻回間コイル 絶縁紙を巻装し (図 5.3 参照), この絶縁銅線を 1 コイル 巻回中に中央巻回で導体転位する。これによって厚さ方向並列素線間の起電力はほぼ相殺し, 区分数のほぼ 2 乗分の 1 に ウズ 電流損が減少することになる。要すれば, コイル 幅方向並列銅線の転位を行なう完全転位や, タップ・リードの転位, また後述の巻線間直列接ぎ線転位が工夫される。

使用平角銅線には ウズ 電流損の減少のためと工作上の都合から大きさに限界があり, 大電流 コイル は許しうる最大の平角銅線を並列にしてできるだけ並列本数を減じて巻回するとしても, 3,000 A 程度を越えると コイル の 1 巻の幅が大きく, 成形上も電磁機械力 ウズ 電流損の見地からも難点が起ってくる。外鉄形変圧器においては, 巻線群を並列に接続することにはなんら支障はなく, 場合によっては コイル を多数並列に接続して 1 コイル の巻回数を増し並列銅線を減じて, 困難な コイル を作らずに大電流・大容量の巻線とすることができる。図 5.4 は高・低圧 2 群並列および低圧 4 並列の例を示す。

数千 A から 1 万 A を越える口出 ブッシング 端子は一般に離相母線によって接続され, ブッシング 取付 フランジ や カバー 面は非磁性鋼を用い, あるいは非磁性鋼を溶接して磁路に キャップ を作り, 鋼板に発生する損失を極力防ぐ。図 5.5 は 23 kV, 7,500 A の ブッシング で フランジ には青銅鋳物を用い, 中心締付形になっている。

前述のように、漏れ磁束のエネルギーは容量に比例して増大するから、タンクなどの導電(磁性)体構造物に生ずる漂遊損失が軽視できなく、対策を講じないと異常損失と過熱をきたす。対策としては一般にタンク、タンク支え板などの磁束通路面に漏れ磁束量に応じた量のケイ素鋼帯を積層して壁面に溶接し、空ゲキとケイ素鋼板の磁路を作って構造物に磁束が通らないようにする。図5.6は下部タンクにつけたシールド鉄心である。

5.4 鉄心

外鉄形変圧器の鉄心は素材がすべて同一幅のケイ素鋼帯の切断板であり、方形断面の水平積層体を形成し、締付ボルトを用いなしで全面を均等にタンク壁とタンク(クサビ)で締めている単純で堅固な構造であるから、恒久的に鉄心自体あるいは絶縁の劣化をきたすことがなく、大形の鉄心を製作するに容易であり、組立てに特別大がかりな設備を必要としない。

ボルト穴がないので磁束の乱れがなく、均等全面的締付けがな

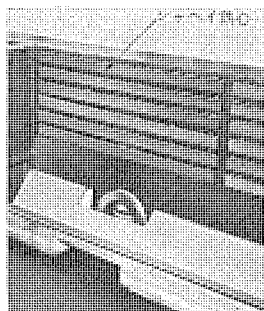


図 5.6 シールド鉄心
Fig. 5.6 Shield.

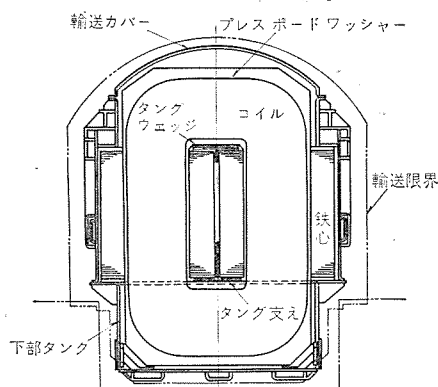


図 5.7 外鉄形変圧器輸送断面図
Fig. 5.7 Shipping cross section of shell-form transformer.

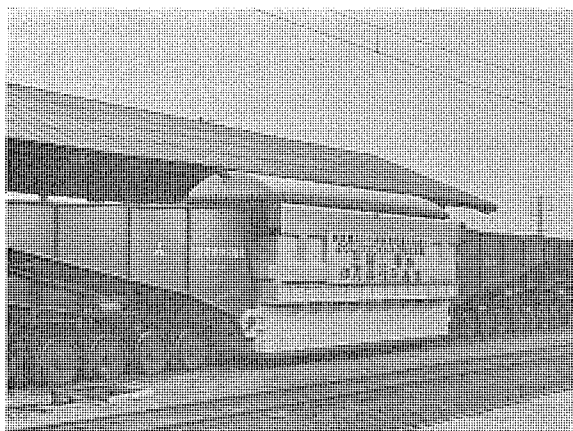


図 5.8 大形変圧器の車両形組立輸送
Fig. 5.8 Transportation on rail of 260 MVA transformer assembled body.

れ、ラップ摩擦面で機械的に必要な剛性を持っており、磁歪による騒音発生が比較的小さいことは実績が証明している。

5.5 組立輸送

外鉄形変圧器はその形態を変える自由度が大きい。すなわちコイルが方形円であり、巻心になる磁気回路断面が方形で長短辺の比を相当に変えうるとともに、高・低圧交互配置であり結合群数を変えコイル幅とその枚数つまりコイル・スタックを大きく増減することにより、外鉄形変圧器は中身形状を自由に設計することができる。これは組立輸送にきわめて有利なことである。

(1) 車両形組立輸送

外鉄形フォーム・フィット変圧器は外箱が中身の形と合致し、箱体の断面外形が輸送限界寸法線とほぼ相似で、輸送空間を有効に余すところなく利用できる。また中身重量は鉄心を介して、下部タンク側板が受け、トラス吊掛式輸送の場合はタンク側板と鉄心押え金で引張り、突張りの強度メンバーになるので、構造物を十分に活用できる。外鉄形変圧器輸送断面図を参考に図5.7に、車両形組立輸送中の変圧器を図5.8に示す。

(2) 特別三相式変圧器

外鉄形変圧器の水平断面は方形をなしており、フォーム・フィット外箱であって、中身の接地外周部とタンクの寸法はきわめて小さい。したがって単相変圧器本体3相を直結に並設しても、三相変圧器の外形寸法とあまり変りない。中身タンクを単相変圧器で製作し、外部まわりと端子接続を三相変圧器と同様な構造にする変圧器を特別三相式と称し、輸送重量が約1/3になるので、設置場所の関係から輸送重量の制限がきびしく三相変圧器では輸送できないときに、組立輸送が可能となり大いに偉力を発揮する。

変圧器本体は組立輸送するのが現在当然の建前であり、製作容量の限界は輸送制限により定まるのが実状であって、特別三相式構造によれば、将来計画されるいかなる大容量変圧器でも組立輸送できる。

6. 大容量変圧器の将来(内部冷却式変圧器)

米国では1,000 MWの電源ユニットを製作中であると聞き、わが国でも近い将来、単機500 MWの火力発電が実現するという。これにつれて変圧器の単器容量も昇圧用、変電所用ともに、ますます大形化していくことが予定される。

わが国は土地が狭小であり、海岸線は長く、都市工場地帯の負荷、人口の密度が高いから、用地難のための特別な設置条件、住宅地域に近接するため変圧器の騒音低下、輸送上の制約、耐塩びん害など、一般に大形化に対しつらい条件が多い。たとえば騒音の点では、200 MVAあるいは300 MVAの変圧器に対して標準製品より10~20ホン、レベルの低い変圧器が要求されることがある。

大形変圧器将来の問題には、組立法の改革による新しい構造、特別な冷却絶縁方式、あるいは超伝導原理を採用する変圧器など研究が進められている。なかんずく現実に重大な変革は内部冷却式変圧器の出現である。これは外鉄形変圧器独特の開発で、電力用変圧器が小形軽量になり、将来一層の進歩を期待できる夢をもつ変圧器絶縁構造であり、この稿ではこれについてのみ触れることにする。

図6.1(b)は従来の絶縁構造、すなわち油浸プレスボードと油ゲキが直列に構成されたパリア絶縁方式である。これに対し内部冷却式設計は、コイル縁その他の高電界部の油ゲキを完全に油浸ラ

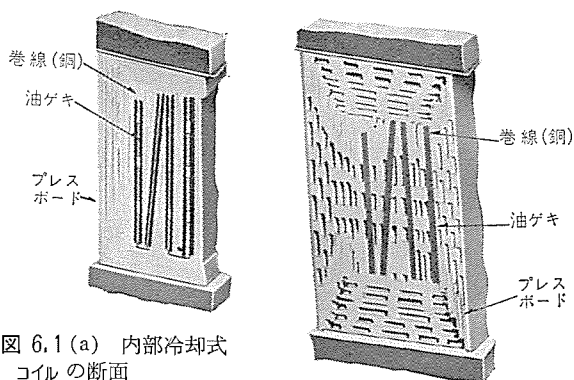
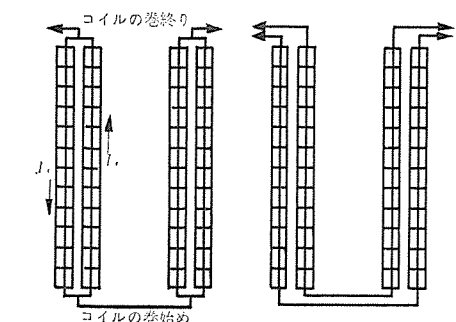
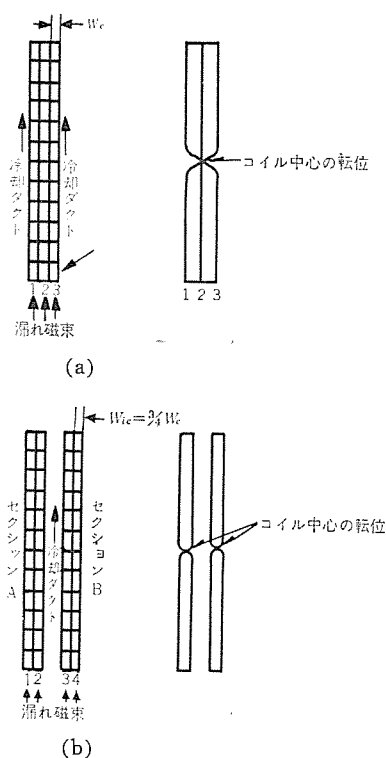


図 6.1 (a) 内部冷却式
コイルの断面
Fig. 6.1 (a) Sectional
view of inner cooled
winding.

図 6.1 (b) 標準外鉄形巻線
の断面
Fig. 6.1 (b) Sectional view
of conventional shell form
winding.



(c) 適正設計により右図のように内部冷却式
コイルのセクション間循環電流は消去できる

図 6.2 転位
Fig. 6.2 Transposition.

スボードで充てんし、冷却の手段として並列銅線（前述の複数銅線素体）を2セクションに分割して巻き、その間を油ゲキとする。図 6.1 (a) がこれである。

従来の絶縁構造は油に分担電位傾度が高くかかり、絶縁強度は大形変圧器の現状と将来・田村

これによって定まり、プレスボードの持つ高い絶縁耐力を有効に活用していなかった。内部冷却式絶縁ではコイルを冷却する絶縁耐力の比較的低い油ゲキは電界の小さいセクション間にあり、電位傾度の高い部分は貫通に強いプレスボードなどで包んで、その高い絶縁耐力を利用する結果、絶縁寸法を縮小しうる。プレスボードはテープ接合するように特別に加工製作して、コイル縁その他のコイル近傍には油のボイドがないように密接し、コイル接続部の不連続部は加工困難なのでプレスボードと類似性質のコンパウンドで詰め盛りする。各コイルの2面が油流に接しているから冷却の条件は従来形と同然であり、かえってコイル縁をふさぐミノ形絶縁などがなく最高温度は下がる。

内部冷却式絶縁を採用すれば、絶縁寸法は一般に25~35%縮小が可能であり、高電圧になるほど利得は大きく、変圧器の大形化を進める有力な手段となる。細部の技術向上によって縮小率はなお拡大できる予想である。

内部冷却式変圧器には付随してウズ電流損の減少策が採られる。図 6.2 (a) は従来形変圧器の転位を示し、図 6.2 (b) が内部冷却式変圧器のセクション内転位である。なお、セクション相互のセクション間転位をコイル内で行なうこともある。

内部冷却式変圧器ではさらに図 6.2 (c) の左図のように1コイル巻始め、巻終りでセクションを結ぶことをせず、右図のようにコイルは全巻線にわたってセクションを分離して直列に接続し、適当なコイル間で接ぎ線転位を施してセクション間の循環電流を消滅する。すなわち全巻線ループで漏れ磁束による合成電圧がゼロになるように接続し、しかも循環全回路の直列抵抗が高くなるから、素線の厚さが小さいことと相まって、この両転位によりウズ電流損を大幅に減少することができる。これは前述したように従来形変圧器にも適用できる方法である。

内部冷却式変圧器は、米国ウエスチング・ハウス社では現在開発段階を一応終って、標準への切換えを進めており、製品は多数出荷されている。当社は第1の試作を完了し、さらに研究を進めるとともに製品化への適用を考慮中である。

7. む す び

急速に大形化している大容量変圧器の最近の代表的製作例数件について概要を紹介し、大形変圧器製造上の問題点と、外鉄形変圧器の大形器に対するすぐれた適合性を詳しく述べた。当社の大容量変圧器における記録保持と多数の納入実績は従来から誇りうるもので、外鉄形大形変圧器の真価を裏づけている。

大形変圧器の将来については紙数の都合で、近く製品化される予定の内部冷却式変圧器だけの説明にとどめた。ウエスチング・ハウス社では内部冷却式設計により大形変圧器が同じ寸法で35%大容量化できるといっている。また将来は油浸セルローズ絶縁物に代る新しい高耐力の絶縁が開発されて、コイルに密着させるのに直接装着することにより絶縁強度はさらに改善されよう。内部冷却式絶縁では冷却油は電界の小さい道を通れるから、冷却媒体として絶縁油に代る新しい冷却効率のよい冷却液を使用し、熱特性を向上することも考えられる。

“必要は発明の母”というとおり、大形化のすうせいに沿って切望される要求が派生的、画期的に新技術を生み、大容量変圧器は不断に進歩している。外鉄形変圧器の特長を生かして、要望にマッチするだけでなく、リードできる変圧器を製作するために一層の研究を期したい。

火力発電機器および変圧器の保護方式

森 健*・堀 謙 二 郎*

Protective Systems of Thermal Power Generators and Transformers

Kôbe Works , Takeshi MORI・Kenjiro HORI

New-powerful large-capacity thermal power plants have been brought to completion one after another since last year, making a great contribution to the economical development of modern Japan. During this period Mitsubishi has produced a number of protective devices of related apparatus as well as the generators and transformers. This report makes a description of the standard systems of protection in thermal power plants, chiefly on the protection of generators, transformers and high and low voltage buses with introduction to newly developed devices.

1. ま え が き

昨年来、続々と新鋭火力発電所が完成し、わが国の経済的發展に貢献していることは、まことに喜ばしいかぎりである。

いうまでもなく、このような発電所は良く吟味された最良の保護方式によって保護されることにより、はじめて安全に運転されているのである。このような観点から火力発電機器および変圧器の保護方式について通観すると、つぎのような事項を一般的傾向としてあげることができる。

(1) まず発電機の保護であるが、個々の保護方式としてとくに目新しい原理のものは発見されないが、継電器そのものは従来よりさらに改良、標準化が進んだ。また、いくつかの保護の軽・重の順序が入れ換わり、新たに標準として装備されたものがある。そのおもな変化、改良点を列挙すれば、

- a. 電機子巻線地絡保護……発電機容量の増加のため、系統的に瞬時保護が不可能となった。そのため配電用変圧器保護が一般的となり、主変静電容量結合による高圧側地絡時、中性点電位の発電機側への移行対策である高圧側電位により抑制を加える方式は無意味なものとなり、単なる接地過電圧保護 1 本に統一されてきた。
- b. 過電流保護……不足電圧起動付の過電流保護に統一された。また、逆相過電流保護は標準装備されている。
- c. 界磁保護……界磁接地保護は非線形要素を利用した不感帯がなく別の電源も不要な継電器が開発された。また、2 点地絡事故の重大性にかんがみてこれが標準的に採用されるようになってきた。
- d. 過電圧保護……発電機端子電圧の異常上昇は従来火力のみ使用されてきたが、一種の後備保護として最近では使用される例がある。
- e. ヒューズ 断線保護……AVR、界磁喪失保護、電機子過電流保護などに対する PT ヒューズの断線対策としては、2 組の PT 電圧比較により断線事故を検出し適当な処置をなさしめる方式が標準として使用されるようになった。
- f. 電動機化保護……従来発電機の電動機化の発電機駆動電力による保護は十分な感度が得られないため、ごく後備保護の意味でしか使用されなかったが、今後は標準的に使用される傾向が見られる。
- g. Preheating……固定子予熱の場合低周波運転が行なわれる

ので、それに対し保護方式に若干考慮を要する。しかし、すでに現在の標準継電器において一部考慮されており、とくに新しい保護を付け加える必要もない。

(2) 変圧器の保護においては他の保護との協調と保護速度を改善するため、高速度形の比率差動保護が使用されるようになった。

(3) 最近母線保護の効果の認識が高まり、高圧母線の母線保護が新設の場合ほとんど採用されるようになった。なおその場合、母線保護用、他の継電器用、計器用と CT を別個にして各端子に設置することも常識的になってきている。

(4) 所内母線保護においては簡易差動保護が行なわれるようになり、母線自動切換えにも新しい方式が採用されている。

2. 発電機関係保護方式

2.1 最近の継電器

発電機関係保護方式の最近の進歩については上に述べたとおりである。一方、対応する継電器もこれに即応し、一層の信頼性の向上と合理的な設計改良が加えられた。

とくに、新鋭火力発電所用継電器は新 CO (電流)・CV (電圧) 形誘導形継電器 シリーズ、高速度円 トウ 形要素 シリーズ、高速度極性要素 シリーズ、SF 形 ランジャ 要素 シリーズ を主とする新しい引出し形の M 形継電器にほとんど切換えて納入された。

また、一部の継電器にトランジスタも導入されてきており、今後この傾向はさらに増加するものと思われる。

2.2 電機子巻線の短絡および地絡保護

発電機・タービン の保護用継電器についてはすでに本誌上で述べたことがある⁽¹⁾。

発電機電機子の短絡保護は従来から比率差動保護が採用されており、図 2.1 に示す HAG-2-M 形比率差動継電器 (高速度形) と図 2.2 に示す CAG-M 形比率差動継電器 (誘導円板形) とが製作されている。そのうちで最近の大容量機はほとんど高速度形が使用されている。

つぎに電機子巻線地絡保護であるが、新鋭火力発電所においては配電用変圧器接地が採用され、事故電流を極力小さくして限時をもった警報およびトリップの方式が一般化している。

そのために主変静電容量結合による高圧側接地時中性点電位の発電機中性点への移行による誤動作の可能性がないので、最近では CV-8-M 形接地過電圧継電器による単なる V_0 検出による保護に

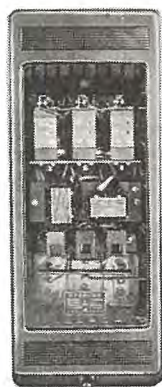


図 2.1 HAG-2-M 形
比率差動継電器
Fig. 2.1 Type HAG-2-M
ratio-differential relay
for generator protection.

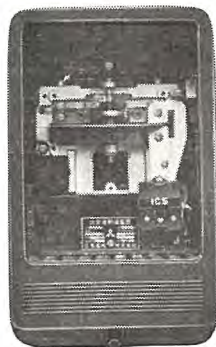


図 2.2 CAG-M 形
比率差動継電器
Fig. 2.2 Type CAG-M
ratio-differential relay for
generator protection.

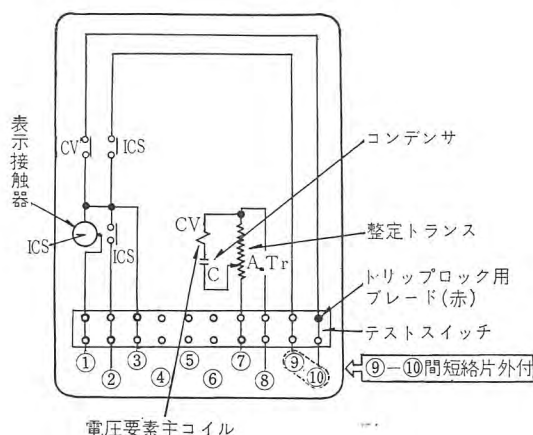


図 2.3 CV-8-M形過電圧継電器内部接続展開図(正面図)
Fig. 2.3 CV-8-M overvoltage relay.

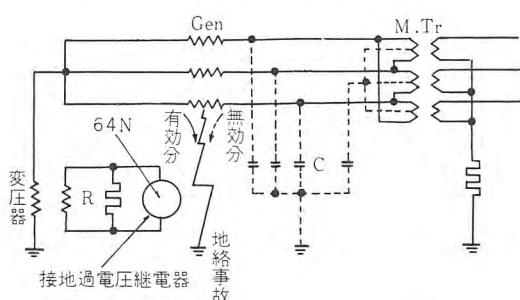


図 2.4 配電用変圧器接地方式における
電機子巻線の地絡保護
Fig. 2.4 Armature winding ground protection in
distribution transformer grounding system.

統一した。

CV-8-M 形接地過電圧継電器は誘導円板形の高感度継電器で、図 2.3 のようにタップトランスに継電要素とコンデンサが直列にして接続され、この回路は基本波に共振するから高調波には応動しない。CV-8-M 形接地過電圧継電器のなかで電機子地絡保護に用いられるものは、一般に 5.5~30 V タップ付、定格 110 V のものである。

通常この継電器が動作したばあい、

- 動作後 5 または 10 分間の限時後トリップ
- 動作後警報
- 動作後警報、さらに 5 または 10 間の限時後トリップ

火力発電機器および変圧器の保護方式・森・堀

の 3 様の処置が考えられる。V₀ は最大 110 V の場合が多いが、CV-8-M 形接地過電圧継電器は 5.5 V タップで 5 分、8 V タップで 10 分の容量をもつので、5 V タップを使用すれば 5%、8 V タップを使用すれば 7.3% の地絡保護能力をもつことになる。

なお、もちろん比較的中小容量機の自家発でユニット方式でないため発電機の地絡事故と他の部分の地絡事故を分離検出する必要のあるときは 100 ないし 300 A 接地とし、比率差動保護を行っている。

2.3 過電流保護

同期機では同期インピーダンスが大きいので故障電流が小さく、故障時に後備保護継電器の受ける入力電流と動作値との差が非常に小さくなる可能性がある。このため後備保護用過電流保護としては図 2.5 のように不足電圧要素を結合し、図 2.6 のように一定電圧以下ではじめて過電流要素が起動し、しかも電圧に関係なく一定の動作特性を示す不足電圧起動付過電流保護方式を開発した。

一般に過電流保護の目的は、

- 発電機・主変圧器など発電機回路の後備保護
- 主変高圧側母線の（後備）保護
- 発電所につながる送電線および相手電気所母線の後備保護にあるが、この方式でも c. については並列発電機が多い場合、いまのところ十分な保護は期待できないがやむを得ない。もちろん a.、b. の各項に対しては問題はない。

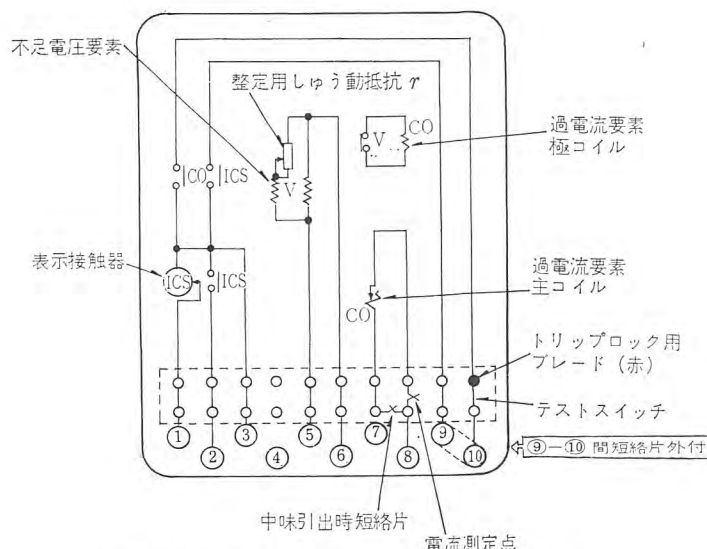


図 2.5 COV-6-M 形不足電圧起動付過電流継電器
内部接続展開図(正面図)
Fig. 2.5 Type COV-6-M voltage controlled overcurrent relay.

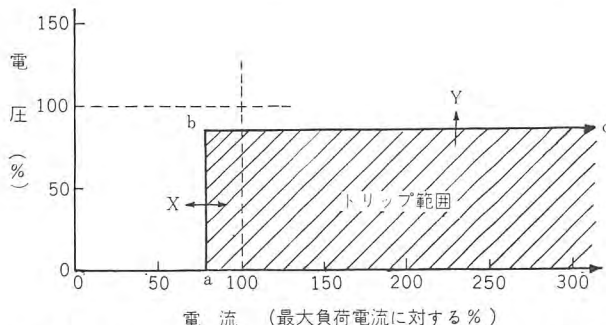


図 2.6 COV-6-M 形不足電圧起動付過電流継電器の原理
Fig. 2.6 Principle of type COV-6-M voltage controlled
overcurrent relay.

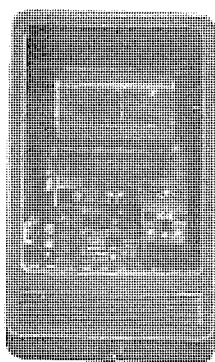


図 2.7
COQ-M 形逆相過電流継電器
Fig. 2.7
Type COQ-M negative-sequence
overcurrent relay.

また別に標準として、誘導形強反限時特性の継電器による逆相過電流保護を行なっている。

この保護は系統に 2 線短絡線、2 線接地あるいは 1 線接地などの不平衡故障電流中に含まれる逆相分電流が $I_2^2 \cdot t = K$ を越えた場合に動作するもので、発電機の不平衡電流の許容特性を基準として容易に整定できるようになっているから他の系統条件は度外視して整定が可能であり、しかも系統の各保護継電装置が万一不動作の場合、それが不平衡故障で発電機に危害をおよぼすような電流値であるかぎり確実に動作するから、非常に適切な後備保護ができる。図 2.7 はこのような逆相過電流保護に使用される COQ-M 形逆相過電流継電器を示す。

なお、COQ 形継電器は誘導要素のみで、警報および瞬時トリップ用の瞬時動作要素はもっていない。これは逆相過電流の原因は他の系統にあり、たとえ逆相過電流によって警報が出ても短時間の間ではなんら処置をなし得ないこと、また発電機回路に主変より高圧側の事故で瞬時保護を行なう必要のあるような逆相大電流は流れ得ないことにより、そのような瞬時保護は無意味であるからである。

2.4 界磁喪失保護

発電機の界磁が異常に低下したり喪失したりすれば、電機子巻線には過大電流が流れ、回転子が過熱し、同期化力を失って脱調し、また系統の電圧を低下して系統を混乱させる恐れがある。それゆえ、できるだけ早く界磁の異常低下あるいは喪失を検出し、適当な処置をとることが必要である。

このような界磁喪失が発生したとき発電機端子電圧 E_t と電機子電流 I がどのように変化するかを要約すると、

- a. 有効電力出力にはほとんど変化はないが、無効出力は進みとなって徐々に増加する。

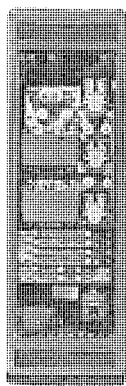


図 2.8 HLF-M 形
界磁喪失継電器
Fig. 2.8 Type HLF-M
loss-of-field relay.

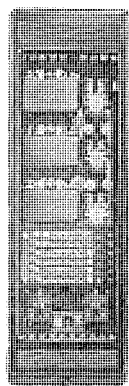


図 2.9 HFS-2-M 形
脱調および界磁喪失継電器
Fig. 2.9 Type HFS-2-M
out-of-step and loss-of-field
relay.

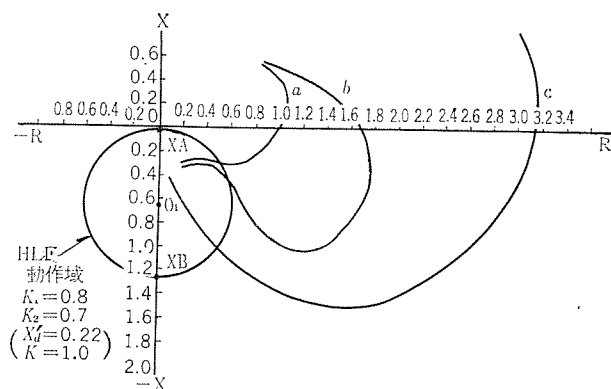


図 2.10 発電機界磁喪失時の端子インピーダンス軌跡と
HLF 界磁喪失継電器整定例
Fig. 2.10 Generator terminal impedance locus in
cases of loss-of-field.

- b. 端子電圧 E_t は徐々に低下し、事故発生数秒後に顕著に落ちる。
- c. リレーインピーダンス

$$\frac{E_t}{I} = z = R + jX \quad (2.1)$$

をみると、図 2.10 のように第 2 象限より第 3 象限へと変化が進む⁽²⁾⁽³⁾。

このような現象のはあくから、図 2.10 の円のような特性をもつ距離継電器を主体とし、これに発電機端子電圧の低下検出継電器をかみ合わせて構成されている。

このような界磁喪失保護には、図 2.8 に示す HLF-M 形界磁喪失継電器または図 2.9 に示す HFS-2-M 形脱調および界磁喪失継電器を使用する。

2.5 界磁接地保護

発電機の界磁回路の 2 個所の異った部分が接地すると、過電流によって大事故となったり、一部の界磁巻線の短絡であれば回転子に磁氣的不平衡や振動を発生し、さらに大きな事故に発展する可能性が大きい。しかし、このような 2 点地絡を検出する適当な方法がないので、これを未然に防止することが大切である。そのためには界磁回路のどこか 1 個所で地絡が発生したことを検出保護する必要がある。

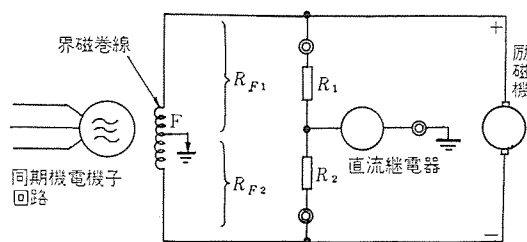
界磁回路の 1 点地絡検出の手段としては、つぎの 3 つの方法が一応考えられる。

- a. 別置交流電源を使用する。
- b. 別置直流電源を使用する。
- c. 励磁機電圧をそのまま利用する。

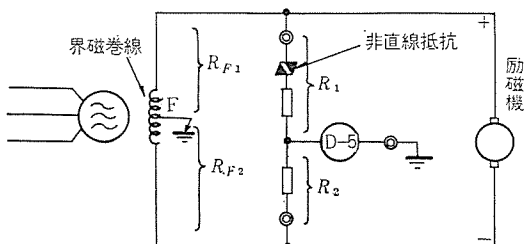
しかし、これらの方法については、つぎの諸点に注意せねばならぬ。

- (a) 軸受は非常に微小な電流が流れても永年の間には表面を破損し、ひいては重大な事故を発生する恐れがある。とくに界磁巻線の分布容量は相当大きいから、別置交流電源を使用すれば常時軸受に電流を流すことになり好ましくない。
- (b) 界磁回路の絶縁耐力はあまり高くはなく、常時必要以上に高い電圧をかけておくことは好ましくない。
- (c) 保守員が界磁回路の一部に触れたとき感電しないことが必要である。この点と (b) の点から別置直流電源を使用することも推奨できない。

結局、第 3 の方式が、上記のような危険がなく、もっとも簡易



(a) 従来の界磁接地検出原理図



(b) DGF-M 形継電器原理図

図 2.11 励磁機電圧を利用した界磁接地保護方式
Fig. 2.11 Generator field ground protection without any relaying source except exciter voltage.

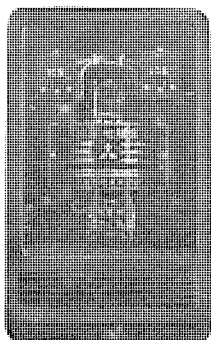


図 2.12 DGF-M 形
界磁喪失継電器
Fig. 2.12 Type DGF-M generator
field ground relay.

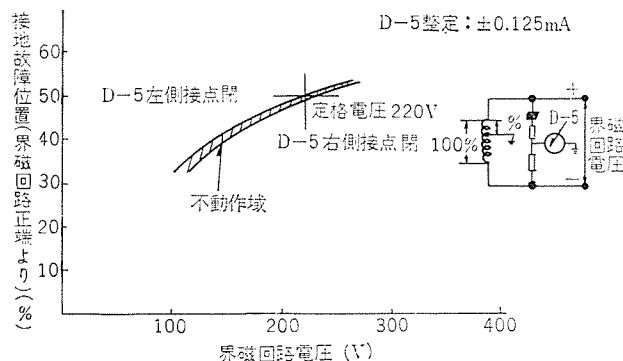


図 2.13 DGF-M 形継電器不感帯移動特性例
(定格電圧 DC 220 V)
Fig. 2.13 Type null point shifting characteristics of
type DGF-M generator field ground relay.

な方法であるが、図 2.11 (a) のように従来の方法では抵抗 R_1 , R_2 , R_{F1} , R_{F2} が、

$$\frac{R_{F1}}{R_{F2}} = \frac{R_1}{R_2} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

なる平衡条件を満足する点の付近の地絡事故は検出することができなかった。

しかし、このような第 3 の方式の欠点は、図 2.11 (b) のようにブリッジの一辺に非直線抵抗を付加することによって解決された。

このような原理に基づく DGF-M 形界磁喪失継電器は、表 2.1

表 2.1 DGF-M 形界磁接地継電器標準表

形式番号	定 格 (回路電圧) (V)	直 列 抵 抗			制 御 回 路	ケース
		R1 (kΩ)	R2 (kΩ)	⑦-⑧間 (kΩ)		
P 5450	DC 110	0	23+22	23	DC 110 V (DC 80 ~140 V)	M-B
	DC 125					
	DC 220	4				
	DC 250	5				
	DC 330	9				
	DC 375	10				

のような標準の種類があり、図 2.12 のようなものである。また、図 2.13 はこの継電器の界磁電圧に対する不感帯移動特性の一例を示したものである。

2.7 過電圧保護

結合される系統容量が大きいときには、異常電圧上昇がありうるかどうか疑問である。しかし、一時的に系統が分離されたり制限されていることはありうるものである。このような場合に、電圧調整不調によって過電圧を発生することが考えられる。また、条件の悪いときに負荷シタ断のために電圧が上昇することもありうる。

それゆえ万一の場合過電圧となったときの保護として、CV-5-M 形過電圧継電器を最近では設置される例がある。

2.8 PT ヒューズ断線保護

また、電圧調整器に関連して PT ヒューズ断線の問題がある。また、電圧の要素をもつ界磁喪失保護や過電流保護は、PT ヒューズの断線によって当然誤動作の可能性がある。

そのために PT ヒューズ断線を検出し、調整不調や誤動作の発生を防止する必要があるが、従来行なわれてきた不足電圧継電器による方式は、負荷によってヒューズが継線しても電圧があまり低下せず検出不能となることがあるので実験的に良く確かめて使用しなければならなかった。

これに対し、発電機端子では通常 2 組以上の PT が設置されていることに着目して、2 個の PT 出力の不平衡を高速度で検出する LVB 形継電器方式が開発され、標準的に使用されている。

LVB-M 形電圧平衡継電器は図 2.14 のような構造で、トランジスタを使用し、2 組の三相電圧 E_{A1} , E_{A2} , E_{A3} と E_{B1} , E_{B2} , E_{B3} の各相電圧同志を比較し、下記の動作式が満足されるとき低下した側の PT 回路を選択検出している。

$$\left. \begin{aligned} K|\dot{E}_A| - |\dot{E}_B| &\geq V_0 \\ K|\dot{E}_B| - |\dot{E}_A| &\geq V_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.9 電動機化保護

既述のように発電機流入電力による電動機化保護は、タービンの



図 2.14 LVB-M 形電圧平衡継電器
Fig. 2.14 Type LVB-M transistorized
voltage balance relay.

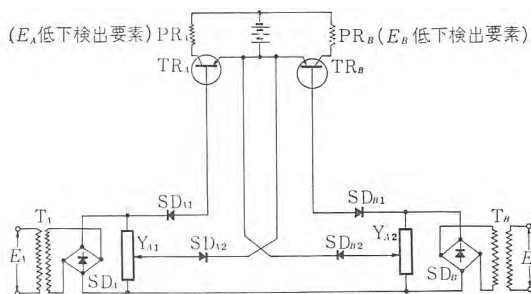


図 2.15 LVB-M 形電圧平衡継電器の動作原理
Fig. 2.15 Principle of type LVB-M voltage balance relay.

機械的または温度による保護の後備保護としてとくに要求のある場合のみ使用してきた。しかし他の方法も絶対確実とはいえない面があるので、今後は従来よりさらに高感度な電力継電器で電動機保護を標準化したいと考えている。

3. 変圧器関係保護方式

3.1 比率差動保護

変圧器回路の保護は比率差動方式によって行なわれる。

なお、その際変圧器保護用差動継電器としてはつぎの条件を満足するものがもっとも望ましい。

- (1) 変圧器内部（正確には差動保護域内部）の故障をできるだけ高感度に検出すること。
- (2) 常時負荷電流が流れている場合、変圧器本体の変圧比と差動保護用 CT の変流比の相違により生ずる不平衡電流で誤動作しないこと。タップ 切換器付変圧器の場合、タップ 切換えで生ずる不平衡電流でも誤動作しないこと。
- (3) 外部事故に応動しないこと。
- (4) 変圧器投入時などに発生する励磁突入電流に応動しないこと。

当社の標準形変圧器保護用差動継電器としては、図 3.1 に示す高速度形の HUB-2-M 形比率差動継電器と、図 3.2 に示す誘導形の CAT-M 形比率差動継電器とがあるが、前者は保護速度が早く、励磁突入電流に対する不感動特性が確実であり応用が容易なので、増設を除いて大容量火力発電所のほとんどが前者高速度形を使用している。

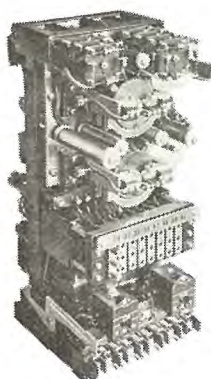


図 3.1 HUB-2-M 形第 2 高調波抑制付比率差動継電器
Fig. 3.1 Type HUB-2-M ratio-differential relay with 2nd harmonic restraint for transformer protection.

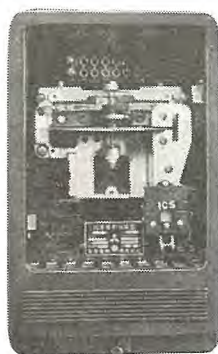


図 3.2 CAT-M 形比率差動継電器
Fig. 3.2 Type CAT-M ratio-differential relay for transformer protection.

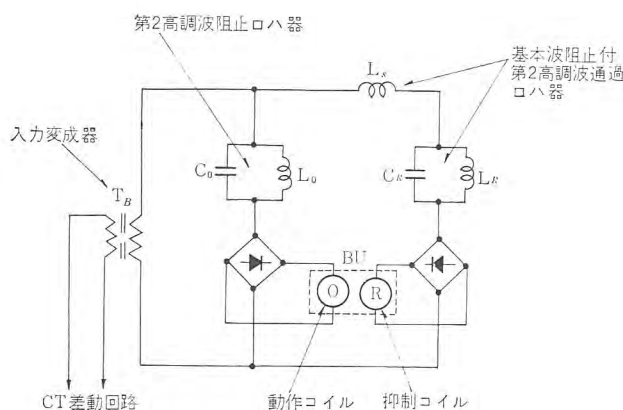


図 3.3 第 2 高調波抑制方式の基本回路
Fig. 3.3 Principle of 2nd harmonic restraint.

すなわち、HUB-2-M 形比率差動継電器⁽⁴⁾は、図 3.2 のように差動電流中の直流分を入力変成器で除いたのち、 $L_0 \cdot C_0$ による第 2 高調波阻止ろ波器によって基本波および第 2 高調波以外の高調波成分は動作 コイル に流れ、 L_S, L_R, C_R によるとくに基本波阻止を強調した第 2 高調波通過ろ波器によって第 2 高調波のみが抑制コイルに流れるように構成した励磁突入誤動作阻止要素 (BU 要素) を有する、いわゆる第 2 高調波抑制付の比率差動継電器である。

この継電器は昭和 35 年後期より実用化され、主要発・変電所に使用されたが、非常に良い結果が得られている。

3.2 応用例

図 3.4 は主変圧器の差動保護の例であるが、この図のように一般に所内変圧器も発電機も差動保護域内に含め、後備保護を兼ねている例が多い。ただし、このような時でも所内変圧器は別に差動保護される必要がある。

参考までにここで、HUB-2-M 形比率差動継電器を整定した例を示そう。

(1) 機器定格

発電機	192 MVA	18 kV	3,600 rpm
主変圧器	180 MVA		
一次	17.2 kV	△	
二次	73.5—77.0—80.5 kV	人	
所内変圧器	15 MVA		
一次	16.4—17.2—18.0 kV	△	
二次	3.45 kV	人	

(2) R_{Y1} の整定計算

- I_P : 最大定格出力での一次電流
 I_S : " 二次電流
 I_R : " 継電器入力電流 (同一 MVA 基準)

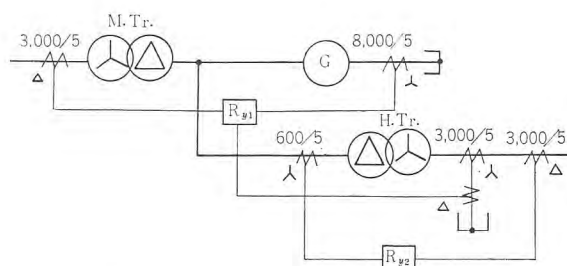


図 3.4 主変圧器および所内変圧器保護例
Fig. 3.4 Typical differential protection of main transformer and house transformer circuit.

T: タップ値

	主変 高圧側	発電機側	所変低圧側
a. I_P	$\frac{180,000}{77 \times \sqrt{3}}$ =1,350 A	$\frac{192,000}{17.2 \times \sqrt{3}}$ =6,450 A	$\frac{15,000}{3.45 \times \sqrt{3}}$ =2,500 A
b. CT 比	3,000/5	8,000/5	3,000/5
c. I_S	$1,350 \times \frac{5}{3,000}$ =2.25 A	$6,450 \times \frac{5}{8,000}$ =4.06 A	$2,500 \times \frac{5}{3,000}$ =4.16 A
d. I_R	$2.25 \times \sqrt{3} \times \frac{192}{180}$ =4.16 A	4.06 A	$4.16 \times \sqrt{3} \times \frac{192}{15}$ =92.5 A
		補助 CT を 1/20 とする	$92.5 \times \frac{1}{20}$ =4.62 A
e. T	4.2 とする	$4.2 \times \frac{4.06}{4.16}$ =4.1 4.2 とする	4.6 とする

f. ミスマッチ率 m の計算

$$\begin{aligned} \frac{I_{RT}}{I_{RG}} &= \frac{4.16}{4.06} = 1.02, & \frac{T_T}{T_G} &= \frac{4.2}{4.2} = 1.0 \\ \frac{I_{RG}}{I_{RH}} &= \frac{4.06}{4.62} = 0.88, & \frac{T_G}{T_H} &= \frac{4.2}{4.6} = 0.913 \\ \frac{I_{RH}}{I_{RT}} &= \frac{4.62}{4.16} = 1.11, & \frac{T_H}{T_T} &= \frac{4.6}{4.2} = 1.095 \\ m_{TG} &= \frac{\frac{I_{RT}}{I_{RG}} - \frac{T_T}{T_G}}{\frac{T_T}{T_G}} \quad (\text{主変高圧一発電機}) \\ &= \frac{1.02 - 1.00}{1.00} \\ &= 0.02 \cdots \cdots \text{タップ 切換え } \pm 4.6\% \text{ を加え} \\ &\quad \quad \quad \underline{-2.6 \sim +6.6\%} \\ m_{GH} &= \frac{\frac{I_{RG}}{I_{RH}} - \frac{T_G}{T_H}}{\frac{T_G}{T_H}} \quad (\text{発電機一所変低圧}) \\ &= \frac{0.88 - 0.913}{0.913} \\ &= -0.038 \cdots \cdots \text{タップ 切換え } \pm 4.7\% \text{ を加え} \\ &\quad \quad \quad \underline{-8.5 \sim +0.09\%} \\ m_{HT} &= \frac{\frac{I_{RH}}{I_{RT}} - \frac{T_H}{T_T}}{\frac{T_H}{T_T}} \quad (\text{所変低圧一主変高圧}) \\ &= \frac{1.11 - 1.095}{1.095} \\ &= 0.014 \cdots \cdots \text{タップ 切換え } \pm 9.3\% \text{ を加え} \\ &\quad \quad \quad \underline{-7.9 \sim +10.7\%} \end{aligned}$$

g. 結 論

	線路 CT	補助 CT	リレータップ
主変高圧側	3,000/5 A	—	4.2
発電機側	8,000/5 A	—	4.2
所内低圧側	3,000/5 A	5/0.25 A	4.6

(3) RY₂ の整定

上記と同様の方法で整定される。

このように主変圧器保護に HUB-2-M 形比率差動継電器が使用された場合は、所内変圧器も起動変圧器も同様 HUB-2-M 形継電器によって高速度保護されている。

3.3 地絡保護

主変圧器高圧側の地絡保護はつぎのように行なう。

(1) 母線保護の行なわれない発電所では中性点接地抵抗に発生する V_0 により動作する接地過電圧継電器を置く、その場合電圧継電器は瞬時動作とし数秒程度の時限を置いて主変をトリップする。

(2) 母線保護が行なわれる発電所では母線 PT の零相電圧に応動作する瞬時動作接地過電圧継電器を設け、動作後数秒を経てから零相電圧を供給する PT のある母線に接続されている端子を選択トリップする。

最近は母線保護が行なわれることが多いので、ほとんど後者の方式が採用されている。

所内変圧器および起動変圧器の低圧側は一般に反限時過電流継電器で保護する。

4. 母線保護方式

今後重要発電所の高圧母線は、正式の母線差動保護によって瞬時保護されるべきである。すなわち、最近の新鋭火力発電所は系統上非常に重要な地位を占めており、母線も大形化している。一方、発電所は工業地帯に近い海岸に建設されることが多く、煙害や塩害をこうむる可能性が大であり、とくに台風時に事故発生の可能性があるから、母線保護によって事故の拡大を防がねばならない。

4.1 母線保護構成

最近の発電所母線は複母線が普通である。複母線は、

- 分割保護方式
- 選択保護方式

のいずれかによって必ず事故母線のみトリップとしなければならない。

また最近が発電所の大形化のため甲、乙各母線をさらに中間断路器によって4分割または6分割する場合が多く、その場合母線運用の方針に適した継電方式によって適宜選択トリップが可能ないように設計されねばならぬ。

ただし、このような4分割以上の母線保護においては一般に、

(a) 甲、乙各母線中間断路器は平常開なので、開のときのみ母線差動保護を中間断路器の両側に別個のグループとして設け、閉のときは差動保護は行なわない。(もちろん、閉のとき保護するようにすることは可能で、そのように実施した例もあるが複雑になるので一般的ではない)。

b. 中間断路器の両側の選択は故障検出継電器による。したがって、同断路器の開閉に関係なく母線保護は可能であるが、断路器両側の選択は十分ではない。

のいずれかの方式を選ぶ必要がある。

4.2 母線継電方式

最近の発電所母線は大形化し、20 端子前後は十分保護可能で、分割保護可能な継電器方式でなければ実用にならない。

ゆえに新鋭火力発電所の母線保護は、

- 空心変成器による電圧差動方式
- 通常形 CT の場合 位相比較比率差動方式

のいずれかを使用している。

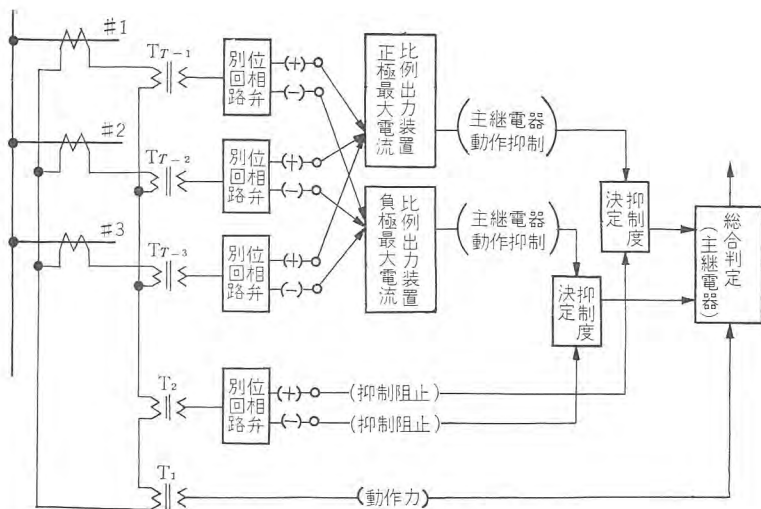


図 4.1 LBB 形母線保護方式原理図
Fig. 4.1 Principle of phase comparison ratio differential relay for bus protection.



図 4.2 LBB-1-M 形
位相比較比率差動式母線
継電器
Fig. 4.2 Type LBB-1-M
phase comparison ratio-
differential relay for bus
protection.

表 4.1 一般比率差動方式と LBB 方式との比較例

	最大電流抑制式 比率差動	LBB 方式
外部事故	$IRC=If$ $Ioc=(0)$	$IRC=If$ $Ioc=(0)$
内部事故	$IRC=If$ $Ioc=If$	$IRC=0$ $Ioc=If$

前者はすでに何回か紹介されたのでここでは述べないことにする。

後者は LBB 形と称し、つぎのような原理に基づいている⁽⁵⁾。

すなわち、一般に差動方式とは、差動電流と端子電流の大きさによって内・外部事故を判定してきたものである。

しかしこのような電流の大きさ関係のみに着目せず母線内部事故のとき全端子電流が同位相となり、外部事故のときには必ず流入端と流出端とがあるという母線内外事故についてもっとも基本的な現象を利用（あるいは併用）すれば、さらに内外事故の判別能力を飛躍的に増大させるはずである。

LBB 方式はこのような観点からもっとも普遍的な母線保護方式として考案された方式であって、ひとくちに言えば位相比較原理により統制された比率差動方式とされるべきものである。

LBB 方式を比率差動方式と比較するならば、一般比率差動方式では内・外部事故において抑制力は差がなく、ただ動作力となる差動電流が抑制電流に比して、内部事故には同等の大きさとなり外部事故時にはゼロとなるというだけの関係を用いたものであるが、もし内部事故のとき抑制力がゼロとなれば、はるかに大きな判別能力をもたせることができるというものである。

この装置の動作式は下記のとおり、

(ただし、 $\text{Max } |\dot{I}_{T1}| \cdot |\dot{I}_{T2}| \cdots |\dot{I}_{Tn}| \geq |\dot{I}_D|$ のとき)

$$|\dot{I}_D| \geq I_{D0} + \eta_R \left[\text{Max} \left\{ \frac{\text{Max}(|\dot{I}_{T1}| \cdot |\dot{I}_{T2}| \cdots |\dot{I}_{Tn}|) - \eta_P |\dot{I}_D|}{\text{Max}(|\dot{I}_{T1}| \cdot |\dot{I}_{T2}| \cdots |\dot{I}_{Tn}|)} \right\} - I_{RS} \right]$$

$$\text{ただし、} I_{RS} \doteq \frac{I_{D0}}{\eta_R} \cdots \cdots (4.1)$$

($\text{Max}(|\dot{I}_{T1}| \cdot |\dot{I}_{T2}| \cdots |\dot{I}_{Tn}|) < |\dot{I}_D|$ のとき)

$$|\dot{I}_D| \geq I_{D0} + \eta_R \{ \text{Max}(|\dot{I}_{T1}| \cdot |\dot{I}_{T2}| \cdots |\dot{I}_{Tn}|) \cdots I_{RS} \} \cdots (4.2)$$

図 4.1 はこの方式の原理説明図、図 4.2 はこの方式の主継電器である LBB-1-M 形母線継電器を示す。

4.3 母線地絡保護

母線保護を行なうのに母線地絡保護を閉却することはできない。地絡保護は、一般に高インピーダンス接地系統であるため、4.2 に述べた短絡保護に準じつぎのように行なう。

- 空心変成器方式ではトランジスタ化した高感度差動継電器により保護する。

- 通常形 CT 方式では残留電流差動方式により保護する。

これらの 2 方式はいずれも昨年来、実用している。

また、別に接地過電圧継電器および タイマ による後備保護を行なうことはすでに述べたとおりである。

5. 所内母線保護方式

5.1 短絡保護

火力発電所の所内母線は通常、直結所内母線と共通所内母線の 2 つの母線に分けることができる。

これらの母線の短絡保護は反限時・定限時特性の CO-6 形誘導形過電流継電器によって行なわれるが、5.3 所内母線切換えのところでも述べるように、この過電流継電器を所内母線の自動切換えに利用する関係上差動保護形式を採っている。

すなわち、各所内母線の受電側 CT と母線連絡回路の CT とを二次側においてそれぞれ差動接続し、その差動回路に過電流継電器を接続している。これによっていずれの母線に短絡事故が発生しているかを区別することはできるが、その母線に接続される負荷回路に起った短絡事故は区別することができない。また負荷回路に接続される大容量のモータをラインスタートさせた時の起動電流によって誤動作しないようにする必要がある。このためそれぞれの母線を単独で使用する場合について考えると、単なる過電流継電器が入っているに過ぎず、各負荷回路の過電流継電器と時限協調をとる必要のあることはいうまでもない。したがってこの方式の利点は二つの母線を並列に使用した場合のみに発揮されるもので、差動接続をやらなかった場合に比べて 1 段だけ時限を短く整定することができる。

5.2 接地保護

所内母線の接地保護については、

- 運転制御方式
- 故障点の損傷
- 保護の難易
- 異常電圧発生の可能性
- 経済性

などの諸点を考慮して決定しなければならない。

所内母線および所内母線回路に接続される機器の側からいえば、

接地故障発生すれば、直ちに回路を電源から切り放すことが望ましい。しかしながら、その回路の重要性についての顧客の考え方、すなわち運転制御方式の考え方によっては直ちに電源を絶つことなく、そのまま運転を継続しなければならぬ場合もある。

いずれの場合においても故障点の損傷をできるだけ小さくしなければならぬことはいうまでもない。このためには故障点に流入するエネルギーを少なくなるようにすればよい。すなわち、接地電流を小さくすると同時に通電時間を短くすればよいことになる。しかるに上述するようにトリップしてよい場合とアラームのみの場合とがあり、アラームのみの場合は接地電流を小さくする以外に方法がないことになるがトリップしてよい場合は通電時間が短いので接地電流は比較的大きくてもさしつかえないことになる。アラームのみの場合接地電流は小さいほど良いとはいっても、保護のやり易さ、ことに充電電流による誤動作を防ぐためにも、また異常電圧を発生させないためにも、系統の充電電流以上の電流（この値は通常の火力発電所では 10 A を越えることは少ない）を流す必要があり通常 10 A 程度の電流値を選定することが望ましい。

一方、故障点に流入する電流を $I(A)$ 、通電時間を $t(c/s)$ とし、アラームのみの場合の通電時間を仮りに 1 時間と仮定する。故障点に流入するエネルギーは I^2t に比例するから、アラームのみの場合は、

$$I^2t = 216 \times 10^5$$

となる。これに対してトリップ時間をシャ断器の動作時間も加えて 10 c/s と仮定すると、上述のエネルギーに等しい電流値は、

$$I^2 = 216 \times 10^5 \div 10 = 216 \times 10^4$$

$$I = 14.7 \times 10^2 = 1,470(A)$$

となる。すなわち、運転制御方式よりトリップすることが許されるならば、かなり大きな接地電流を流しても故障点の損傷という点では有利である。一方、保護リレーの適用から考えると、接地電流が 100 A 程度になれば接地過電流継電器によって保護することが可能となり、零相電圧がなくてもよいことになる。しかしながら零相電圧を取り出すことが比較的簡単であれば、トリップする場合といえども 10 A 程度まで接地電流を下げるができる。以上の点から考えトリップする場合、接地電流をいくらに選ぶべきかは、個々の場合について経済的比較を行なう必要がある。

5.3 所内母線切換え

所内母線切換えについては従来瞬時切換え方式、残留電圧の位相が母線電圧の位相に近づいた時に投入する時限切換え方式などが採用されてきた。最近、母線低電圧 リレー を利用する方式が採用されている。この方式にも 2 種類あり、その 1 は受電用 シャ断器が開路したあと、母線電圧が低下し相手側電源電圧が規定値以上あることを確認して自動切換えを行なう方式、その 2 は相手側電源電圧は必ずあるものとしてこれを確認することなしに投入する方式である。もちろん、いずれの方式においても母線短絡保護継電器または母線接地保護継電器が動作していないことを条件とすることはいうまでもない。従来の瞬時切換え方式では、残留電圧がまだ十分に大きい間に投入するため残留電圧の位相が母線電圧の位相と大きく異なる可能性があること。また時限切換え方式では残留電圧の位相を確認するために時限整定を行なう前に残留電圧をオシロで測定する必要がある。しかも、こうして測定した残留電圧の減衰特性は、そのとき回転していた補機 モータの種類によって若干異なるため完全であるとはいいがたい。その点、この母線低電圧 リレー 方式では現地テストの必要もなく、また残留電圧の位相が母線電圧の位相と大きく異っていてもさしつかえない点が利点である。一方、この方式の欠点は切換えに要する時間が比較的長くかかるということであって、これによって発電所の安全運転が確保できるかどうかについてチェックしておく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 森：発電機・タービンの保護方式、「三菱電機」33, No. 6 (昭 34)
- (2) 森：HLF 形界磁喪失継電器および HFS-2 形脱調および界磁喪失継電器、「三菱電機」33, No. 12 (昭 34)
- (3) 馬場、芝滝、森：同期発電機の界磁喪失、「三菱電機」33, No. 12 (昭 34)
- (4) 森、寺田：変圧器保護用第 2 高調波抑制付比率差動継電器、「三菱電機」35, No. 11, 1589 (昭 36)
- (5) 森：LBB 形位相比較比率差動式母線保護方式、昭和 37 電四学連大 617.
- (6) F.X. Bonnes: "Insure Safe, Fast Bus Transfer," Power, Sep. p. 82 (1960)

最近登録された特許

名 称	特 許 日	特 許	発 明・考 案 者
静圧推力軸受	37- 4-27	298258	田附和夫
着火用磁石発電機	37- 4-27	298259	市川 和・藤田隆雄
水溶性粘結剤の製法	37- 5- 7	298536	{ 河合 登・山本莊司 井手平三郎・依田 功
誘導形継電機	37- 5- 7	298562	北浦孝一
充電発電機の制御装置	37- 5- 7	298564	浅野哲正
無接点開閉	37- 5- 7	298565	吉田太郎
巻線故障検出装置	37- 5- 7	298566	藤山長三郎・川根 清
結合多重同調帯域	37- 5-19	298913	北垣成一
カプラン水車の调速装置	37- 5-19	298939	尾畑喜行
距離継電器の脱調鎖錠装置	37- 5-19	298943	尾畑喜行
真空蒸着用蒸発源の製作方法	37- 6- 5	299307	西岡 直
自動制御装置	37- 6- 9	299411	真鍋舜治
カード分類方式	37- 6- 9	299413	大島羽幸太郎
光源方向真視装置	37- 6- 9	299416	三谷尚正・石井 茂
直流電動機の揃速運転装置	37- 6- 9	299420	細野 勇
酸化物陰極用基体ニッケル合金	37- 6- 9	299421	{ 立原芳彦・吉本正二 秦 卓也
内燃機関始動電動機兼用充電発電機	37- 6-20	299553	宮崎秀夫
過電流検出装置	37- 6-20	299610	室賀 淳

最近登録された実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	発 明・考 案 者
注型コンデンサブッシングの電界調整電極	37- 5-31	702274	岸田光弘
遮断器引き外し装置	37- 6- 8	702402	武藤 正・松尾昭二
電気機器の防爆装置	37- 6- 8	702405	山懸 満
充電発電機制御装置	37- 6- 8	702407	平田 毅・荒金堅次郎
充電発電機制御装置	37- 6- 8	702408	平田 毅
交流電気車の制御装置	37- 6- 8	702461	小原太郎
エスカレータの自動運転装置	37- 6-11	702514	田中由男・横本巳敏
磁気遮断器の消弧装置	37- 6-11	702519	新井正元・富永正太郎
キャビネット静電気式集塵器	37- 6-11	702526	津寺 剛
充電制御装置	37- 6-11	702529	平田 毅
警報装置付回転電機	37- 6-11	702543	川口広治
カシメナット	37- 6-13	571619	兼松 豊・杉浦 博
ジグザグミシンにおける千鳥加減手動操作装置	37- 6-13	571620	三津沢武夫
パラメトロン単位体	37- 6-13	571628	福島幾蔵
電線支持具	37- 6-13	571629	小笹兼男・木藤六喜
電線支持具	37- 6-13	571630	小笹兼男・木藤六喜
複数電動機の制御装置	37- 6-13	571836	平野琢磨
複数電動機の運転表示灯装置	37- 6-13	571837	木内 修・藤井二郎

火力発電所におけるシャ断器の傾向

潮 恒 郎*

Trend of Circuit Breaker Installation in Thermal Power Plants

Itami Works Tsunerō USHIO

With the increase of the unit capacity of new powerful thermal power plants, selection of appropriate circuit breakers has come to pose various problems. The thermal power plants are mostly located in the environment of large cities, which brings about a number of particular restrictions to the installation of the apparatus. For instance, extra high tension equipment is sometimes averted in spite of engineering advantage. This makes the circuit breakers interrupting rather high current even on the high voltage side. Then depending upon the frequency of operation, careful selection must be made what type is suitable for particular circumstances, oil or air blast type. This article elaborates on other numerous questions on the trend of circuit breaker installation in thermal power plants, covering increase of breaker capacity, increase of rated current, and also protection against salt and smoke pollution.

1. ま え が き

申すまでもないが、現在のところ火力発電所用のシャ断器として特殊機種のものがあるわけではなく、標準品の中から適宜選択されて使用されているのであるが、現在ならびに将来にわたり、新鋭火力発電所のユニット容量が急速に増大してゆく傾向にともなう、電力用シャ断器についても、注目すべき問題点が二、三浮び上がりつつある。

新鋭火力発電所は、極度に集中した電力源として電力系統内で特異性を持っており、同時にその設置場所に関連しての系統構成上の考慮などから、構成機器に対してもいろいろと特殊な考慮を必要とするようになりつつある。とくにわが国では系統主体が都市周辺の新鋭火力に漸次移行しつつある段階であって、今後その建設は数においても単位容量においてもめざましい発展が期待されるわけであるが、これにともなうたとえばシャ断器なども、新製品の開発、新設計の採用というような製作面からの考慮と同時に、火力発電所における仕様に関連して、規格構成の上からの十分な検討をも必要とするに至ると思われる。

以下この稿では、とくに個々のシャ断器の細部にわたる問題は割愛し、主として将来のわが国の新鋭火力発電所用機器として、適用上問題となると思われるような諸点を一般的にとりあげて、順次簡単に検討していくこととしたい。

2. 新鋭火力発電所の一般的構成と現用シャ断器

詳述するまでもないが、新鋭火力発電所のシャ断器に関する一般的構成は、たとえば図 2.1 に示すとおりであって、シャ断器としては大別して高圧側のシャ断器と、所内動力用低圧側のシャ断器とがある。

高圧側 シャ断器には

- ・系統連係用の線路 シャ断器
- ・高圧母線分離用 シャ断器
- ・発電ユニット変圧器用 シャ断器
- ・起動用変圧器用 シャ断器
- ・必要に応じて、リアクトル用あるいはキャパシタ用 シャ断器が含まれ、低圧側 シャ断器には、

- ・所内用変圧器ならびに起動用変圧器二次側 シャ断器
- ・所内動力母線連絡用 シャ断器
- ・所内+電用 シャ断器
- ・所内変圧器接地用 シャ断器

などがある。

発電所高圧側の電圧としては、もちろん 66 kV 以上の高圧で、連係系統との関連によっていずれかの電圧が選ばれるが、場合により、起動用と連係用として違った電圧の母線を持つ場合もある。一般的傾向としては漸次高い系統電圧での直接連係が行なわれるようになると思われ、将来は 460 kV 系統への直接昇圧連係も行なわれるに至るであろう。

しかし都市部海岸地帯の新鋭火力発電所においては、用地問題、保安上の問題などから系統電圧として超高圧を選びたくない場合があり、そのためより低い電圧階級での連係に関連して、後述のようなシャ断器にとっては難しい問題が起ってくることが予想される。

これら高圧側 シャ断器として現在使用されているのは、一般規格に準拠したタンク形油シャ断器あるいは空気シャ断器であるが、とくにシャ断容量、定格電流ともに最大級のものが使用される場合も多い。油シャ断器と空気シャ断器とではそれぞれ一長一短があり、将来の傾向を速断することはできないが、とくに電流定格

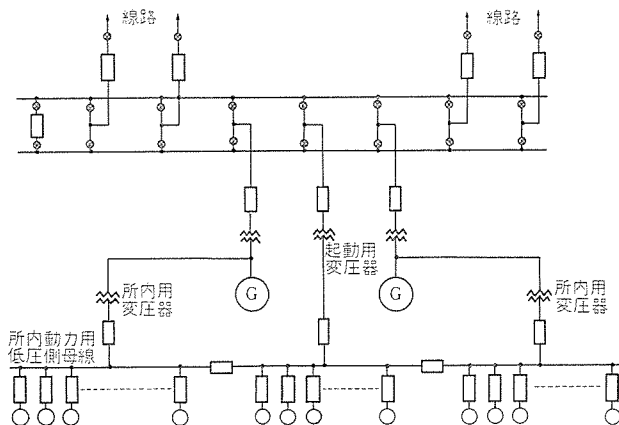


図 2.1 新鋭火力発電所の代表的シャ断器配置
Fig. 2.1 Typical switchgear application in thermal plant.

表 2.1 最近のシヤ断器使用例

工 事	高 圧 側 シ ャ 断 器				所内動力用低圧シヤ断器	
	線 路 用	母 線 連 絡 用	変 圧 器 用	備 考	所変起動変二次側 および母線連絡	負 荷 用
姫路第二 (1 期) 320 MVA 24 kV 1 台 396 MVA 24 kV 1 台	300 kV 15,000 MVA 2,000 A (250-GW-1,500 S) 4 台 84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350) 1 台	300 kV 15,000 MVA 2,000 A (250-GW-1,500 S) 1 台	(発) 300 kV 15,000 MVA 2,000 A (250-GW-1,500 S) 2 台 (起) 84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350) 1 台	全屋内開閉所	7.2 kV 500 MVA 2,000 A (6-DH-50) 9 台	7.2 kV 500 MVA 600 A (6-DH-50) 38 台
多奈川 (2 期) 192 MVA 18 kV 1 台	84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350 S) 2 台	84 kV 3,500 MVA 2,000 A (70-GTR-350 FS) 1 台	(発) 84 kV 3,500 MVA 2,000 A (70-GTR-350 FS) 1 台 (起) 84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350 S) 1 台	屋 外	3.6 kV 300 MVA 3,000 A (3-DHM-30) 3 台	3.6 kV 200 MVA 1,200 A (3-DH-20 A) 23 台
多奈川 (3 期) 192 MVA 18 kV 1 台	84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350 S) 2 台		(発) 84 kV 3,500 MVA 2,000 A (70-GTR-350 FS) 1 台	屋 外	3.6 kV 300 MVA 3,000 A (3-DHM-30) 2 台	3.6 kV 200 MVA 1,200 A (3-DH-20 A) 20 台
尼崎第三 (1 期, 2 期) 192 MVA 18 kV 2 台	84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350) 8 台	84 kV 3,500 MVA 2,000 A (70-GTR-350 F) 2 台	(発) 84 kV 3,500 MVA 2,000 A (70-GTR-350 F) 2 台 (起) 84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350) 1 台	全屋内開閉所	3.6 kV 300 MVA 3,000 A (3-DHM-30) 5 台	3.6 kV 200 MVA 1,200 A (3-DH-20 A) 32 台
姫路 (4 期) 192 MVA 18 kV 1 台	84 kV 3,500 MVA 1,200 A (70-GTR-350) 2 台		(発) 84 kV 3,500 MVA 2,000 A (70-GTR-350 F) 1 台	全屋内開閉所	3.6 kV 200 MVA 2,000 A (3-DH-20) 2 台	3.6 kV 200 MVA 1,200 A (3-DH-20 A) 23 台
新宇部 (3 期) 192 MVA 18 kV 1 台	120 kV 5,000 MVA 1,200 A (140-GM-500) 2 台		120 kV 5,000 MVA 1,200 A (140-GM-500) 2 台	屋 外	3.6 kV 300 MVA 3,000 A (3-DHM-30) 3 台	3.6 kV 200 MVA 1,200 A 42 台



図 2.2 300 kV 15,000 MVA 2,000 A
油シヤ断器 (250-GW-1,500)
Fig. 2.2 300 kV 15,000 MVA 2,000 A
oil circuit breaker.

シヤ断容量の大きいものについてはいろいろの点から油シヤ断器が推奨され、開閉ひん度のとくに高いものなどについては空気シヤ断器が有利であるといえるであろう。

低圧側発電所所内動力母線の電圧は主として 3.3 kV または 6.6 kV であって、現在磁気シヤ断器が一般化している。台数が多いため構造が比較的簡単でスペースが小さくてすみ、高い開閉ひん度に耐えることから、現在磁気シヤ断器が最適であると思われる。とくに衝撃耐圧において改善され、寸法的に縮少が可能となったセンタローアウト方式の磁気シヤ断器 (当社, DHM シリーズ) は、この用途には最適であると思われ、今後多数使用されるものと思われる。

表 2.1 には、最近新設あるいは増設の新鋭火力発電所の二、三の例について、使用されるシヤ断器の種別を示す。図 2.2 は代表的

火力発電所におけるシヤ断器の傾向・潮

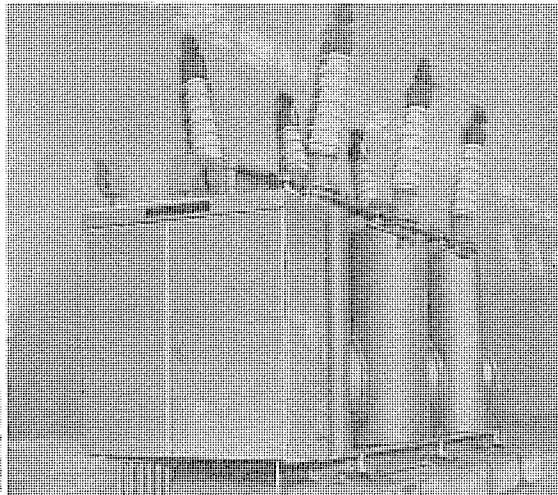


図 2.3 84 kV 3,500 MVA 1,200 A 油シヤ断器
(70-GTR-350)
Fig. 2.3 84 kV 3,500 MVA 1,200 A oil circuit
breaker.

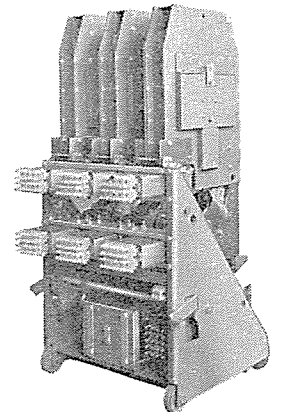


図 2.4 3.6 kV 300 MVA 3,000 A 磁気シヤ断器 (3-DHM-30)
Fig. 2.4 3.6 kV 300 MVA
3,000 A magnetic blast
circuit breaker.

な 300 kV タンク形節油形油シヤ断器, (250-GW-1500) 図 2.3 は 84 kV タンク形油シヤ断器 (70-GTR-350) を示し、センタローアウト方式磁気シヤ断器の代表例 (3-DHM-30) を図 2.4 に示す。

3. 系統的に見た大容量火力発電所の特異性

現在ならびに将来の大容量新鋭火力発電所は、回転機としては最大級の電源であり、250 MVA, 356 MVA のユニットはすでに製作されており、400 MVA, 500 MVA ユニットも近々話題にのぼるものと思われる。このような大容量の回転機が系統に連係されるにあたり、母線ならびに線路の電力負担はいちじるしく大きくなり、母線短絡容量もまたいちじるしく増大するが、とくにこの場合一般系統内電気所とはかなり異なって、タービン発電機に固有のいろいろな特長が顕著に出てくることになる。

シヤ断器の適用に関連してとくに問題となる系統の特性は、定

格電流、短絡電流、再起電圧、回復電圧、異常電圧などであるが、アモルト効果の大きい円トウ回転子を持つタービン発電機を電源とする火力発電所では、電圧よりもむしろ電流的に問題があるように思われる。

まず、短絡電流に関連した特長的な問題点を取り上げて見ると、

(1) 短絡電流の初期値がいちじるしく大きい。

発電機固有の小さい次過渡リアクタンスのため、設備容量わりの短絡容量が大きくなり、大容量の系統に連係しながらも、系統よりの短絡容量寄与に比して、発電機からの局所電力寄与の比重が大きくなる。

(2) 短絡電流交流分の減衰が早い。

短絡電流初期値が大きいにもかかわらず、その対称分電流の減衰が早く、しかも初期値に対しての減衰がきわめて大きい。

(3) 短絡電流直流分の減衰がおそい。

短絡電流対称分とは逆に、直流分の減衰は一般系統内電気所に比較してゆっくりとしている。これは発電機電機子抵抗が低いためであるが、機器に対しての初期の電流苛酷度をきつくする。

(4) 短絡電流に対しての電動機寄与が大きい。

多くの所内設備を持ち、これは大容量の誘導機が多いので、短絡電流の初期値に対しての誘導電動機寄与を無視することができない場合が多くある。これはとくに、高圧母線におけるよりも低圧の所内電源+電回路において顕著である。

などの事柄が列挙される。これらの特性はたいていの場合、現在の標準規格のベースとなっている一般の系統特性からはややはずれたものであることに注意せねばならない。

つぎに、シヤ断器適用に関連して電圧的に特長的な点を列挙すると以下のとおりである。

(1) 回復電圧が低い。

対称分短絡電流の早い減衰と対応して、短時間の短絡であっても回復電圧は大きく減少する。

(2) 再起電圧における局所電力寄与がいちじるしい。

新鋭火力発電所は、再起電圧における局所電力寄与が大きく比較的大容量のシヤ断において変圧器に固有の高い再起電圧周波数が高い振幅で発生する可能性のある代表的な場合の一例である。再起電圧波形は、変圧器+発電機の波形であるため複周波数というよりむしろ、準単一周波数の波形となるが、周波数が高いため、シヤ断器にとっては苛酷である。

(3) 典型的なキロメートル故障の起こりやすい場所である。

一つの母線に大容量が集中的に存在し、いわゆるキロメートル故障の発生に対して苛酷な条件を与える場所である。とくに都市部に設置される火力発電所では、短距離の連係線路が多く、故障シヤ断の条件がキロメートル故障となる可能性がかなり大きい。

(4) 異常電圧の発生をきらう。

タービン発電機はとくに過電圧の侵入を防ぐ必要があり、過度の開閉異常電圧の発生を避けねばならない。ケーブル系統の場合など、再点弧には十分注意せねばならない。

なおこのほか、都市部海岸地帯に多い新鋭火力発電所では、短い連係線路の多いこと、ケーブル系統を多く持ち軽負荷時の電圧上昇の抑制と無効電力補償に問題のあること、一般に塩じん、煤煙害のきつい所であるためその対策がとくに考慮されねばならないことなどが特長である。

4. 高圧側シヤ断器の問題点

以上のような特長的な新鋭火力発電所の高圧側シヤ断器にとって、今後問題化してくると思われる事柄を拾って、簡単に考察してみよう。

4.1 定格電流の増加

発電機変圧器のユニットシステムを採用し、ユニットの容量が飛躍的に増加してゆく傾向にあるため、シヤ断器の定格電流も次第に大きなものが要求されるようになってくる。これに対し連係電圧を高くして、超高圧、超超高圧による直接連係の方向に進むのは当然の一般的傾向である。しかしこのように高い電圧での連係を行なう場合でも、都市部の火力発電所に対しては連係線は多くの場合短線路であって、安定度のうえからの制約はほとんどないので、むしろ、線路導体の電流容量いっぱいの潮流をのせることが可能であり、とくに超高圧、超超高圧で複導体線が採用されれば、当然に潮流は大きくなり、シヤ断器の定格電流もまた大きくなる。

ところが一方わが国の場合には、都心海岸部の火力発電所に対しては、用地問題、保安上の問題、雑音障害の問題などから、超高圧連係線路の使用が困難である場合が多く、どうしても連係電圧として154kV、あるいは77, 66kVを採用したくなる場合もかなりある。同時に、連係線路の数もできるだけ少なくしたいことになる。このような場合、数少ない低圧大電流線路での連係の可能性は、一にかかって定格電流の大きいシヤ断器、断路器の実現の可能性いかにあるということができるとであろう。従来、2,000あるいは2,500Aを限度とした高圧シヤ断器の定格電流として、3,000Aあるいは4,000Aという値が要求されるのも近い将来であると思われる。

シヤ断器の定格電流の大幅の増加は、いかなる種類のシヤ断器にせよ、かなり大きな設計変更を必要とするが、84kVタンク形油シヤ断器について、定格電流の2,000Aから3,000Aへの変更を試験的に実施した一例を図4.1に示す。これは従来の消弧室に2枚のフィンガコンタクト橋絡部を付加したものであるが、温度上昇試験その他に満足すべき結果を得ている。

より高圧においては、定格電流の大幅の格上げにはいろいろと困難がともなうが、最近のSF₆を利用した新形シヤ断器の出現

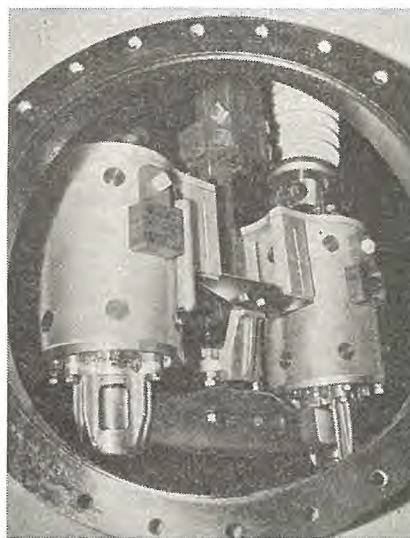


図 4.1 84kV 3,500 MVA 2,000 A 消弧室の3,000 A 定格への改造

Fig. 4.1 Reconstruction of interrupting chamber of 84 kV 3,500 MVA 2,000 A rating to 3,000 A rating.

はこれにきわめて明るい見通しを与えており、大電流定格の新しいシ断器の近い将来の開発が期待されるものである。

4.2 短絡容量の増大

定格電流の増加と同時に、母線の短絡容量、すなわち、シ断器のシ断容量がいちじるしく大きくなってゆくことは前述のとおりである。しかしここでとくに規格面から考慮すべきことは、その交流分と直流分の減衰特性の特異性であろう。

短絡電流の交流分の減衰は、短絡にともなう回転機の空け磁束の減衰にもついて起こるものであるから、系統短絡点への回転機と外部リアクタンスとのリアクタンス比が問題であり、元来、減衰特性の大きいタービン発電機を持つ火力発電所の母線は、系統内でもっとも減衰の大きい場所である。系統の特性として二つのパラメータ、すなわち、

(1) 短絡点の系統短絡比 $= W/G = \text{短絡容量} / \text{系統内設備容量}$

(2) 局所電力寄与 $= k_p = \text{局所発電容量} / \text{系統内設備容量}$ を用いて、短絡後 0.1 秒時の短絡電流対称分の減衰比を計算すると、たとえば図 4.2 のようになるが、現在ならびに将来の新鋭火力発電所では、 W/G もかなり大きいから、とくに k_p が大きいということに注目すべきであって、たとえば、図の×印のような所に

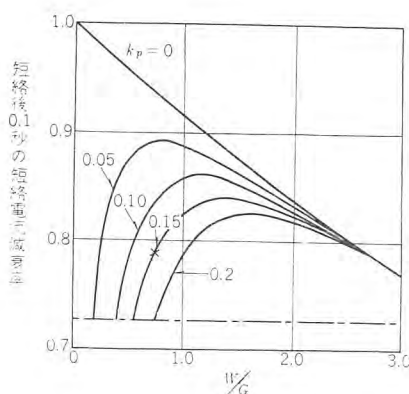


図 4.2 系統短絡比と短絡電流
Fig. 4.2 System short circuit ratio and short circuit current.

位置する。すなわち、一般の系統内電気所では、0.1 秒後の減衰が 95 % というような値であるのに対して、新鋭火力発電所出口の母線ではこれが 80 % を下回る場合が往々にしてある。

これは同時に、短絡電流シ断時の回復電圧もこの程度に低下することを意味するのであって、系統内の最大級のシ断容量を要求される地点であるだけに、このことは当然将来の規格面に反映されるべきものであらうと思われる。

しかしながら一方では、短絡電流の直流分の減衰はきわめてゆっくりした特性となる傾向を持っている。

一般に系統内短絡電流の直流分の減衰は、単一時定数ではなくて複時定数となるものであるが、とくに、火力発電所出口ではこの傾向が顕著であり、系統側から寄与する比較的早い時定数 (14 ~ 18 ms) と発電所側から寄与するゆっくりした時定数 (100 ms) との組合された特性となり、しかも長い時定数の成分比がかなり大きいのが普通である。

直流分時定数が長く、これがいつまでも維持されることは、シ断器の短時間電流定格に考慮すべき要因であると同時に、とくに投入電流初期値を大きくする。この点の考慮に対しても現行規格は不十分な点があるように思われる。

4.3 塩害および煤煙対策

最近一般に問題化している塩じん害問題は、現在および将来の火力発電所に対してはとくに深刻である。新鋭火力発電所はとくに、都市工業地帯の中心で海岸地区に設置される場合が多い。

これに対しては周知のとおり、シ断器その他の活線洗浄の実施から、さらに進んで特高設備の屋内化の傾向が顕著となってきており、すでに超高压の屋内開閉設備も実施されるに至っている。その傾向は、表 2.1 に見るとおりである。

塩害ならびにその対策に関しては、すでにいろいろな調査や報告がなされているので、ここに詳細を述べることは避けるが、元来、タンク形の油シ断器は空気シ断器に比較して、塩じん害に対して有利なことは周知のとおりである。空気シ断器における極間ガイシ群の存在はとくに汚損に対して好ましくない弱点を露呈することになるわけであって、単に開路時の極間絶縁に不安を与え、外雷による極間セン絡などの危険を増大させるばかりでなく、故障電流のシ断時に汚損のため直列多段のシ断点の電圧分布が乱されて、シ断性能に影響を及ぼすことになる。とくに好ましくないのは、不均一な極間ガイシの重汚損であって、これはたとえばキロメートル故障のような非線形抵抗のあまり有効でない条件において再起電圧や回復電圧の分布を悪化させる可能性がある。したがって屋外用としては、定期的な活線洗浄の実施は必須であり汚損を許容限度以下に維持することにはつねに注意がはらわれなければならない。

油シ断器では、高压部分がすべて dead tank の中に納められ、塩じん汚損の対象となるのは、トウ管ガイシの対地絶縁のみである。とくにこの場合コンデンサ形トウ管の使用は、トウ管ガイシの外径を小さくできることから、従来から有利であったが、最近の朗報は、ガイシ製作者の努力によって、トウ管用ガイシとしてガイシのカサに下ひだをつけて漏れ間隔をいちじるしく増加し、ガイシの長さを減少することができるようになったことである。

下ひだ付ガイシは、ヨーロッパにおいては早くから採用され、近年アメリカにおいても使用されているもので、とくに超高压用耐塩害トウ管は従来品のカサ形状では非常に長く不経済となるため、ガイシ会社に研究を依頼し、今年に入って製品化に成功したもの

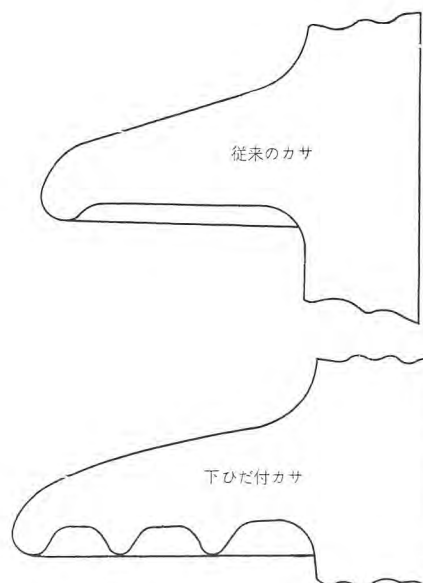


図 4.3 トウ管ガイシの下ひだ付カサの一例
Fig. 4.3 Improved design of bushing insulator against pollution.

である。耐汚損特性は、ガイシ会社からも発表されているように、いちじるしく向上しており、また洗浄に対しても注水量を幾分多くすることにより、従来品と同様の洗浄が可能である。その一例を図4.3に示すが、従来形の「カサ」に比べて、ガイ管表面の漏れ間隔を25%以上増加することができ、たとえば超高圧ガイ管では、 0.1 mg/cm^2 という重汚損に対して、従来の「カサ」形状では約4,500mmの長さとなるのに対して、下ひだ付「カサ」形状のときには約3,750mmとすることができる。

下ひだ付ガイ管の出現は、タンク形油シ断器の一つの大きなメリットとなったが、今後さらに、この耐塩害ガイ管の改良は進められることが期待されるものである。

5. 低圧側シ断器

5.1 シ断容量、定格電流の増加

単機ユニットの容量の増大は、当然低圧側のシ断容量、定格電流についても漸次大容量のものを要求することとなる。

5.2 スペースの制限

容量的に大きなものの要求と同時に、所内動力用シ断器の台数もまた漸次増加する傾向にあり、このためスペース上の制限から小形化の要求は今後一層強くなるものと思われる。すべてメタルラッド形式で収納されるが、センタローアウト方式はとくに有利である。

5.3 短絡電流に対する誘導電動機寄与

動力系統は多数の大形誘導電動機を持っているため、短絡電流に対しての誘導電動機からの寄与は決して無視できない。普通の系統では、短絡容量の考慮には発電機電源のみが対象となり、誘導電動機からの寄与は無視される場合が多いが、火力発電所では

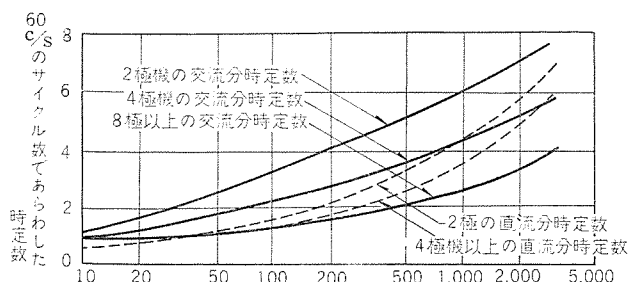


図 5.1 60 サイクルの誘導電動機の端子短絡時定数
Fig. 5.1 Short circuit time constant of 60 c/s induction motor.

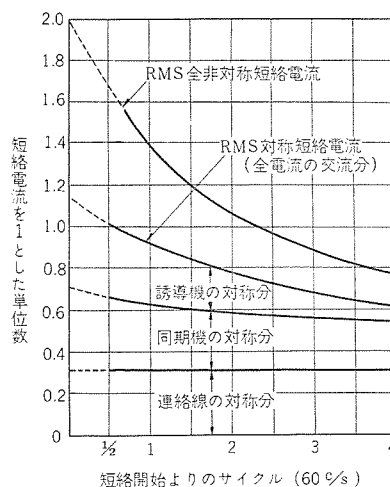


図 5.2 誘導電動機を多く持つ主母線短絡電流の一例
Fig. 5.2 An example of short circuit current contribution from induction motor.

これがかかりのものとなることがある。

誘導電動機からの短絡電流寄与は、その運転端子電圧と拘束リアクタンスによって決定されるもので、初期値としては同容量の同期発電機と同程度の寄与をする。もちろんこの寄与は同期発電機と違って、回転子時定数（同期機の次過渡時定数と大体同程度である）（図5.1）で減衰消滅するものであるから、その影響はシ断時におけるよりもむしろ短時間電流ならびに、故障電流投入時の投入容量に対して問題である。誘導電動機寄与の大きい単純なモデル系統についての計算された結果の一例を図5.2に示すが、場合によっては、一般的なシ断器のシ断容量と投入容量とを規定する現行規格とは、別個の規格を考慮せねばならないかも知れない。

6. む す び

現在ならびに将来の新鋭火力発電所を対象として、適用されるシ断器についての問題点の傾向を列举して簡単に考察した。発電所単位容量の増大とともに、とくにシ断器は、シ断容量、定格電流の増大、対塩害煤煙対策などで、設計的にも、また規格面からも検討すべき問題が多くあるが、当社としてはこの方向へ向っての応じうる態勢をとって、将来の発展にそなえている。

発電所内補機とその制御に対する最近の傾向

中野光雄*・宮内貞夫**・甘粕忠男**
九村 稔***・林 徴***

The Latest Tendency toward Power Plant Auxiliary Machines and Their Control

Mitsubishi Electric Manufacturing Co.

Mitsubishi Electric Manufacturing Co., Nagasaki Works

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Ltd., Kōbe Shipyard & Engine Works

Mitsuo NAKANO

Sadao MIYAUCHI・Tadao AMAKASU

Minoru KUMURA・Akira HAYASHI

In keeping with the enormous increase of the scale of thermal power plants, the auxiliary machines are enlarging in their capacities. This brings about new problems to meet demands. To enlarge the size of machines in a sliding scale only is meaningless. For instance, the ventilation of the plant undergoes a change, because the advent of oil burning boilers makes a considerable reduction of the combustion gas volume, leading to the need of a gas recirculating ventilator for controlling the steam temperature. Likewise the driving power of feed-water pumps accounts for much larger proportion of the station power than that of old stations, calling for special attention in the design to the pump efficiency dependability and safety. This article states large ventilators, feed water pumps and canned motor pumps which are key apparatus in the plant.

1. ま え が き

火力発電所の大形化に伴い、発電所内の補器も大容量化してきた。単に大容量化といっても、従来採用されていた補器をスライド的に増大するわけには行かない。たとえば、発電所用通風機を例にとっても、国内の燃料事情により重油専焼ボイラが出現してくると、石炭燃焼ボイラに比べて燃焼ガス量が少なくなるので、燃焼ガスを炉内に導き、蒸気温度を制御する目的のガス再循環通風機が必要となってくる。給水ポンプにしても発電容量が大形化すると給水ポンプ駆動用動力の占める割合が大幅に増大してくるため、その設計にあたっては、ポンプ効率の向上およびその信頼性、すなわち運転の安全性をとくに留意する必要がある。

本文では、発電所内補器のうちでもとくに重要な役割を持つ大形通風機、給水ポンプ、ボイラ水循環ポンプ（キャンドモータ、ポンプ）および補器電動機について項別に論じてみたいと思う。

れらを気密に保つ必要がある。したがって漏風が少ない。

b. 燃焼率が大きい。すなわち、一時に多量の燃料を燃やすことができる。

c. 誘引通風機がないので修費が少なくてすむ。

d. 消費動力が少なくてすむ。誘引通風機の取扱うガスは吸入空気量の1.5ないし1.8倍になるから通気抵抗が同じで、この抵抗を押込通風機だけでまかなえば通気用消費動力は7割ないし8割に下がる。

最近火力発電所向け通風機として、軸流通風機の応用が話題となっている。軸流通風機は従来、船用ボイラに用いられており、外国においては発電所用として使用された経歴もある。

利点としては最高効率が高いこと、動翼の可変ピッチを行なった時の部分負荷効率が高いこと、小形になることなどがあり、欠点としては騒音と飛灰による摩耗確実性、運転中の性能変化などがある。押込通風機は新鮮空気を取扱うので、軸流通風機に変え

2. 大形通風機

2.1 概 要

火力発電所主機の大容量化と国内の燃料事情のために、最近の発電所用通風機には屋外設置で重油燃焼用の機械が増加した。重油燃焼用ボイラでは石炭燃焼ボイラに比べ燃焼ガス量が少ないので、燃焼ガスを炉内に導き蒸気温度を制御する目的のガス再循環通風機が必要である。ここ一、二年の経歴を示すと図2.1のようになる。これから明らかなように、ボイラの通気は平衡通気から押込通気に変ってきていることがわかる。平衡通気ではボイラの炉内圧力がほぼ大気圧に等しく押込通風機および誘引通風機が必要であるが、押込通気では炉内圧力が大気圧以上で押込通風機だけがあればよい。

押込通気は従来主として船用ボイラに用いられた形式で、その特長はつぎのとおりである。

a. 炉内および煙道中の圧力が大気圧以上であるため、こ

表 2.1 最近のボイラファン一覧表

製作 年次	納入先	発電所名	発電機 出力 (MW)	ボ イ ラ				フ ァ ン		
				燃料	容量 (t/h)	蒸気圧 (kg/cm ²)	温度 (°C)	FDF (kW)	IDF (kW)	GRF (kW)
35	常盤共同	勿来 II	75	石炭	260	113	541	220	480	
	九州電力	新 港	156	"	560	179	569	340	760	
	" "	新 小 倉	"	"	560	179	569	360	660	
	台湾電力	深 澳	125	"	440	—	—	450	750	
	中部電力	三 重	"	"	435	140	541	720		—
36	常盤共同	勿来 III	75	"	260	113	"	220	480	
	" "	" IV	"	"	"	113	"	"	"	
	東京電力	横須賀 II	265	石炭	908	169	566	820	2,000	670/1,100
	中部電力	新名古屋 IV	220	重油	730	186	541	1,000	1,400	820
	関西電力	姫 路 IV	156	"	520	"	571	400	700	
37	住友共同	新居浜西 II	75	石炭	260	102	538	185	420	
	電源開発	若 松 I	75	石炭	260	111	541	220	510	
	" "	若 松 II	"	"	260	111	541	220	510	
	関西電力	多奈川 II	156	"	520	181	571	400	950	400
	" "	姫路第二 I	250	重油	830	186	"	1,200		250
	中部電力	四日市 I	220	"	730	176	541	1,150		300
	" "	" II	"	"	"	"	"	"	"	"
	" "	" III	"	"	"	"	"	"	"	"
	四国電力	新 徳 島	125	"	435	139	"	750		310
	和歌山共同	和 歌 山	75	ガス	260	111	543	185	790	
	東京電力	五 井	265	重油	900	186	569	1,050		500
	中部電力	新名古屋 V	220	"	730	176	541	1,150		300
	関西電力	多奈川 III	156	石炭	520	181	571	400	950	400

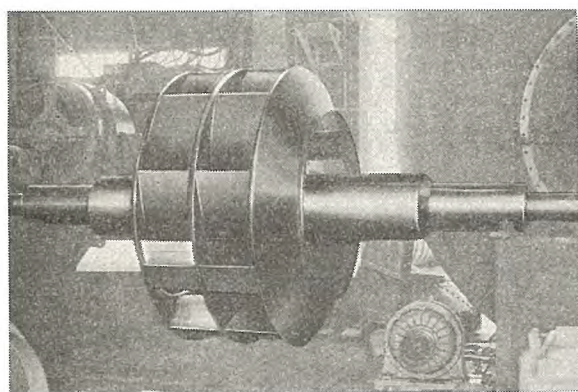


図 2.1 FA-4081 両吸込 ターボファン 扇車
Fig. 2.1 FA-4081 double suction turbo-fan wheel.

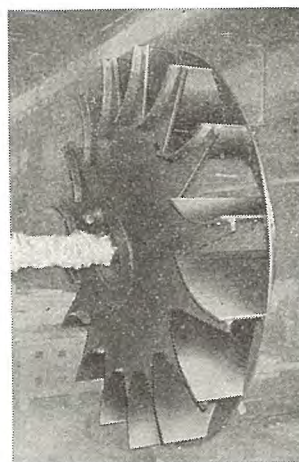


図 2.4 ID-1013 片吸込 ターボファン 扇車
Fig. 2.4 ID-1013 single suction turbo-fan wheel.

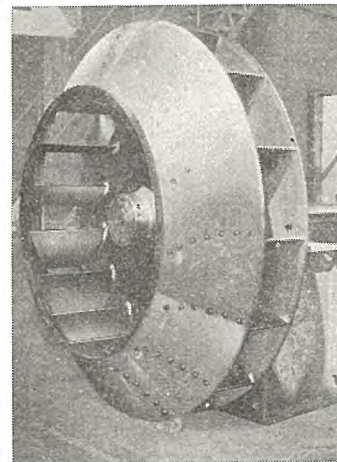


図 2.5 ID-1010 片吸込 ターボファン 扇車
Fig. 2.5 ID-1010 single suction turbo-fan wheel.

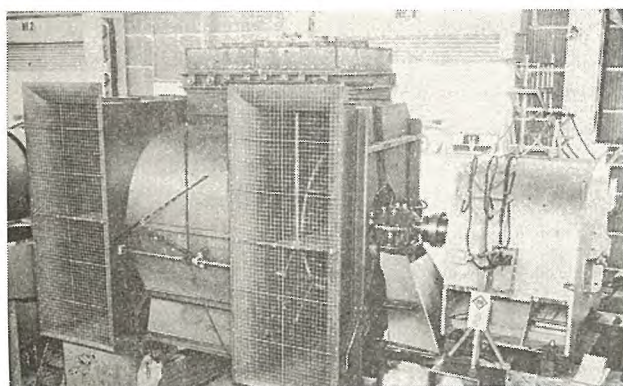


図 2.2 FA-4073 両吸込 ターボファン
Fig. 2.2 FA-4073 double suction turbo-fan.

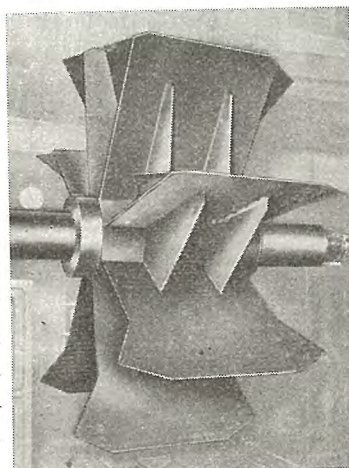


図 2.6 FB-7120 両吸込 プレートファン 扇車
Fig. 2.6 FB-7120 double suction plate-fan wheel.

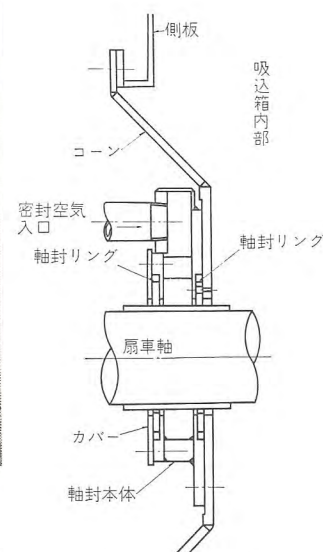


図 2.7 軸封装置
Fig. 2.7 Shaft seal.

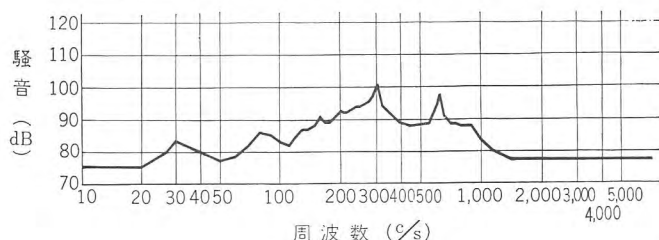


図 2.3 騒音分析
Fig. 2.3 Noise analysis.

るには一番適当であるが、押込通気では発生風圧が高いせいもあって騒音は 5 ないし 10 ホン 高くなるであろう。

2.2 押込通風機

三菱電機では昭和 34 年、翼形通風機の第 1 号機を航空研究所に納入して以来、従来の TV 形ターボファンを漸次翼形通風機に変更してきた。周知のように TV 形ターボファンの羽根は平板であるが、翼形通風機の羽根は流線形の航空機翼形を採用しているため効率は 5 ないし 7% 良くなり、騒音は 2 ないし 3 ホン下がってきた。最近、重油専焼で押込通気の通風機を多数製作しているが、いずれも発生風圧が平衡通気の約 2 倍になっており、回転数も非常に高く、4 極または 6 極の電動機を直結することが多い。翼形通風機は TV 形ターボファンに比べて高速回転に適し回転慣性モーメント GD^2 も小さいので押込通気には最適である。通風機自体の容量が大きくなったために高効率の機械が必要なのはもちろんであるが、高風圧、高速回転では騒音が問題になることが多い。

押込通風機を屋外設置にすることが多いせいもあって、雨滴の浸入防止および騒音防止を兼ねて吸込箱を併用する場合がある。吸込箱付通風機を使うと、開放形通風機に比べて騒音は数ホン低くなり、さらにサイレンサを併置すると 10 ホン以上の低減が可能で

ある。ただし、サイレンサは吸込箱前方に接続されてかなりの場所占め、風圧損失を伴うものであるので使用例は少ない。図 2.3 は中部電力三重発電所に納入した、翼形通風機 FA-4054 の騒音分析結果であって、総合騒音は 103.5 ホンである。押込通風機の風量制御は、もっぱらベーンコントロールが用いられている。

2.3 ガス再循環通風機

石炭燃焼用の ID 特殊形扇車は飛灰による摩耗を考慮して主板に切欠きがあり、羽根表面にライナを取付けたがん丈な構造である。重油専焼の ID 特殊形扇車は摩耗の必要がないので、比較的簡単な構造になっている。すなわち、主板には切欠きがなく、主板と羽根は溶接組立てで、羽根と側板はリベット組立てとなっている。温度約 350°C の熱ガスを取扱うため、起動時の振動防止運転中のクリークなどに耐えるよう、いずれの扇車も十分な強度を持っている。これら特殊 ID 形通風機はやや風量の少ない場合に用いるもので、大風量になると FB 形プレートファンが適している。また風圧がかなり低い場合には、両吸込 ID 形を使用することができる。高温の熱ガスを取扱うので、軸貫通部のシールには注意が必要である。とくに押込通気の場合はガス再循環通風機では図 2.7 のような二重シールが適当である。また、これら通風機に使用

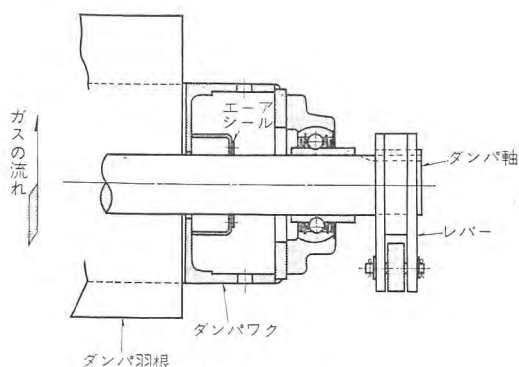


図 2.8 軸封装置
Fig. 2.8 Shaft seal.

する入口ダンパまたは出口ダンパのシールには、図 2.8 の構造が適している。いずれも高圧の軸封空気を注入する形式で、軸封空気としては空気予熱器を通った高温空気を簡単なフィルタを通して使うのが普通である。亜硫酸ガスによる腐食があまり問題にならない場合には、押込通風機出口の常温空気を使用することができる。ガス再循環通風機の風量制御は入口ダンパまたは出口ダンパが用いられるが、効率のうえからいうと入口ダンパがすぐれている。

2.4 誘引通風機

石炭燃焼用の ID 形および FG 形耐食性羽根車には、ガス再循環通風機 ID 形の場合と同様に主板の切欠きおよび羽根ライナが設けてあり、重油専焼用の標準形羽根車にはこれらが省いてある。風量制御はベーンコントロールおよび入口ダンパのどちらも用いられるが、重油専焼または石炭重油混焼の場合には入口ダンパを使うことが多い。

集じん装置の性能が良くなってきたために、燃焼ガス中の灰分量が少ない場所では多翼形通風機 FM 形を使用することもある。

3. 給水ポンプ

3.1 大形給水ポンプ設計の最近の傾向

火力発電所の大形化と軌を一にして、給水ポンプもここ数年いちじるしい発展の途をたどっている。昭和 30 年ごろまでの国内火力発電プラントはタービン出力最大 66 MW、給水ポンプも多くは吐出圧力 85 kg/cm² 以下に限られていた。わが国ではじめて吐出圧力 100 kg/cm² を越える給水ポンプを採用したプラントが、昭和 30 年暮から 31 年初めにかけて、2, 3 竣工したが、ポンプは輸入品であった。しかし、これに大いに刺激された国内ポンプメーカーの懸命の努力の結果、吐出圧力 125 kg/cm²、水量 160 t/h (タービン出力 66 MW 用) および 129 kg/cm²、150 t/h (75 MW 用) の国産給水ポンプを採用したプラントが 31 年から 32 年初頭に竣工して以来、続々と建設された 75 MW クラスのプラントにはすべて国産の給水ポンプが採用され、いずれも好成績を収めることができた。この間、国内給水ポンプ製作技術はいちじるしく進歩したが、中でも、とくに画期的であったものとして、2 重ケーシング構造、軸心調整法の 2 項目をあげることができる。これにより、まことに苛酷に使用条件下にある高圧・高温給水ポンプの安全性、ならびに効率がいちじるしく高められた。前者は高圧、高温によるケーシングのヒズミ、安全性の不足、合わせ面からの水漏れなどの諸問題を解決し、後者はポンプ軸の軸受部の中心をケーシングの中心線から上方に移動させることにより大きい軸たわみをなるべく小さな間ギャップで処理して高効率とし、安全運転に耐えるようにしたものである。

さて、32 年ごろから現われた 125 MW クラスのプラントでは給水ポンプは吐出圧力 160~172.5 kg/cm²、水量 225~250 t/h となり、34 年ごろから続々と建設されている 156 MW 以上のプラントにおいては、吐出圧力も一様に 210 kg/cm² クラスの給水ポンプが必要とされている。とくにわが国でも最近ぼつぼつ採用されている貫流ボイラには 240 kg/cm² の給水ポンプが要求され、すでに国産の途についているが、外国の例では Hudson #1 (タービン出力 400 MW)、吐出圧力 330 kg/cm²、全圧力 304 kg/cm²、3,540 m、Philip Sporn #5 (450 MW)、吐出圧力 320 kg/cm²、全圧力 287 kg/cm²、3,510 m、Eddystone #1 (325 MW) 吐出圧力 456 kg/cm²、全圧力 163 kg/cm²、2,278 m といった非常に高圧の給水ポンプが用いられている。このように発電容量の大容量化、プラント熱効率の向上といった点から、蒸気条件がいちじるしく上昇している状況下において、給水ポンプの高圧高温化はきわめて重要課題で、ポンプ設計・製作の技術上解決しなければならない多くの問題が起っている。これらの問題の一つとして、適切なポンプ回転数、ポンプ駆動機および駆動方式の選定に関する問題をあげることができる。

発電容量の大形化に伴い給水ポンプ駆動用動力の占める割合がますます大となってきた現況、給水ポンプ設計にあたり、もっとも注意をはらうべきは、ポンプ効率の向上であり、プラント構成の一要素としてのポンプの経済性に関する問題であろう。しかし、それにもまして重要なものとしてポンプの信頼性、すなわち運転の安全性を考えねばならないことはいうまでもない。給水ポンプを高圧にするには、ポンプ羽根車の直径、段数または回転数のいずれかを大にしなければならない。電動機直結による駆動は従来もっとも多く採用されてきた方式で駆動方式としての経済性および信頼性に対しては申しぶんがないが、この方式では、なにぶん回転数が 3,000~3,600 rpm に限られ、高圧にするためには羽根車径、段数の増大をはからねばならない。しかし前者によれば羽根車重量の増大によるたわみ量の増加に伴う信頼性の減少、ならびに比較回転度の低下による効率のいちじるしい低下を招き、後者によれば必然的にたわみ量がきわめて大となり、また軸径をも大とせねばならないことから、信頼性、効率ともに重大な低下をきたすであろう。このような観点から、吐出圧力 200 kg/cm² クラスのポンプでは多く増速形が採用され、より高圧のポンプに対しては回転数をより大としてポンプ主軸のたわみを小さな量に押さえ、ポンプ効率と運転安全性の向上をはかっている。ポンプの高速化は、高圧大形ポンプをより小形に製作することを可能にするものであるから、この面でも経済的であり、発電プラントの向上による蒸気条件の上昇、ポンプの高圧化として高速化といった一連の因果関係は現在のポンプ設計の一つの大きな傾向であるといえよう。これに対し各ポンプメーカーが、たとえば軸封装置、軸受機構、さらに材料強度的な諸問題、使用材料の選択といった事柄に対し、多大の研究を行なっていることはいうまでもないが、ここではポンプ駆動に関する一、二の問題点について述べてみたいと思う。

3.2 給水ポンプ駆動方式

従来採用されている給水ポンプ駆動方式としては、

- (1) 電動機—給水ポンプ
- (2) 電動機—流体継手—給水ポンプ
- (3) 電動機—増速装置—給水ポンプ
- (4) 電動機—流体継手—増速装置—給水ポンプ
- (5) 別置タービン—給水ポンプ

(6) 主タービン発電機—流体継手（または電磁継手）—給水ポンプ

(7) 主タービン発電機—流体継手（または電磁継手）—増速装置—給水ポンプ

の7とおりがあげられるが、(1)、(2)の方式は60 c/s 地区においてもせいぜい156 MW クラスのプラント用が限度を考えられ、それ以上の出力のものに対しては(3)以降の方式を採用するのが妥当であると思われる。しかし、これらをさらに比較検討すると、これは現在も、なお、にぎやかに論議されているところの問題でもあり、ずばり結論を求めることができるような公式が確立されているわけでもない。この点当事者の考え方に大きく左右され、豊富な経験と適切な判断が必要とされるゆえんである。ポンプ技術者の立場から、これら各駆動方式の長短をまとめてみよう。

電動機駆動——電動機駆動は給水ポンプ駆動用原動機として従来もっとも多く採用されてきた実績を有し、その確実さ、信頼性の点からは申しぶんのないところであり、その取扱いの簡便さの点からも魅力ある存在である。さらにこの方式によれば、ポンプ据付位置を自由に選ぶことができるので、場所を節約できるという利点もあり、プラント容量、蒸汽条件によっては、プラントの管理、経済性の面でこの方式はもっとも有利な駆動方式でありうる。

しかしプラント発電容量の増大に伴い、ポンプ駆動用動力が大馬力になってくると、給水ポンプ、蒸汽タービンはその大きさが増すにつれて、馬力当たりの単価が急に減ってくるのに対し、電動機はその馬力当たりの単価がほとんど変わらないという傾向にあるうえ、大馬力の電動機に対しては、付属電源設備がいちじるしく膨大なものとなり、また過大な起動電流に対する心配もでてくる。結局、300 MW、450 MW、600 MW といった大発電ユニットに対しては、給水ポンプ用動力もいちじるしく大馬力化するために上述のような種々の制約を受け、この方式による駆動はまず不適当であると考えねばならない。もちろん正しくは、以下に述べる駆動方式との経済比較、技術的な検討をなさねばならないが、200 MW 以下の発電ユニットでは、この方式が相変らず用いられるであろう。

別置タービン駆動——別置タービン駆動ポンプでは、流体継手の損失4%および増速装置の損失3%の、約7%動力損失が節約できるとともに、速度制御が可能であり、かつ高速回転が得られることなどはまず絶対の強みというが、取扱上の問題は別としても、総合熱効率では必ずしも電動機駆動よりもすぐれているわけではなく、電動機駆動に比べての優劣はプラント制御、使用実績、さらに経済比較などと合わせ検討することにより、プラント計画者が総合的に判断して決めるべき性質のものである。上に述べたようなこの駆動方式のまず絶対的な強みと思える長所のほか、この方式によれば、前述したような大馬力電動機に付随する欠点は避けられ、また発電所全体の蒸汽系統を総合的に考えて別置タービンを設計すればプラント全体の熱効率をかなりあげることができる。たとえば、このタービンの形式には抽気背圧式と抽気復水式とがあり、主タービンの排気円環面積の関係でそれぞれ使いわけ、熱効率のもっともよい形式とするわけであるが、排気円環面積の都合によっては主タービン直結に比べ、抽気復水タービン駆動のほうが熱効率の良くなる場合もあるのである。

しかし反面、たとえば予備用ポンプがどうしても必要な場合は、これは経済的にいってどうしても電動機駆動にしたほうが有利であるとか、相当高い吐出圧力の始動時ポンプが必要だとする説がある。もっとも後者に対しては、これまでの実際の経験からい

って普通オープン・サイクルの場合にはブースタ・ポンプが給水ポンプ駆動用タービンを回し始めるに必要な蒸汽を発生し、所要の圧力でボイラへ給水する役目をし、またクローズド・サイクルの時は、復水ポンプか復水ブースタ・ポンプが同じ役目を果たすから、貫流ボイラの場合以外は始動時ポンプは不要であるとする説がある。いずれにしても外国でこの方式が採用されはじめた初期において盛んに宣伝されたように、この方式が絶対的に有利な方法であると結論づけることは適当でなく、前述したような比較検討が必要である。

主タービン発電機駆動——主タービン発電機駆動は、プラント全体の熱効率の面でもしばしば最良の熱効率を得ており、それにもましてまず電動機および制御器、付属電源設備、あるいは別置蒸汽タービンおよび蒸汽配管設備などの不要により、設備費が大幅に減少するなど、駆動用動力としてはまず最良のものであることはうなずけることである。もちろん、どんな場合でもこの方式で最良であるというわけではなく、この場合も幾度か述べるように綿密な経済比較など、検討の結果に待たねばならないが、将来の姿として考えた場合、すでにアメリカ国内で実動に入っている数例のように主機駆動の全容量ポンプがおそらく理想的な最終段階となるのではないかと思われる。

クロス・コパウンド形主機にこの方式を採用する場合、常用給水ポンプとして100%容量のものを1台とするか、あるいは50%容量のものを2台とするかは、どちらが有利が一概に結論づけられない問題である。また主機駆動方式では、別置タービン駆動の場合と違い、主機が急にトリップされたあとで負荷再起動しなければならない時のために、全ボイラ圧を出せる予備ポンプがどうしても必要である。この予備ポンプとして全容量をまかなうものが必要であるかどうか、主機駆動全容量ポンプ方式の経済性に大きな影響を与える。常用ポンプの信頼性が十分高ければ、予備用ポンプの容量はかなり小さくできる。こうなれば、上述したような主機駆動全容量ポンプがポンプ駆動方式としてもっとも経済的であろう。この場合、できれば増速ギヤを設けず主機直結するのが効率的に最良であろうことはいうまでもないが、この場合回転数が3,000~3,600 rpmに限られてしまい、ポンプがきわめて大形化するなどの欠点を生ずる。

このほか、この場合にとくに考えねばならないことは、主タービン発電機の回転数を変えることができないため、着脱クラッチを兼ねた速度制御装置を設けることを要求されることがあり、これは伝達動力がきわめて大きいだけに製作が難しいことである。これらの諸点を含め、この主タービン発電機駆動は目下のところわが国においてはまだまだ研究の段階にあるといえよう。

この方式の駆動では、タービンのガバナ端に直結するものと発電機端に直結するものがある。いずれも電磁継手または流体継手を介して直結もしくは増速装置により増速するのであるが、いずれにしてもタービン発電機の伸びが小さいほうを選ぶべきであろう。

3.3 制御方式

ボイラへの給水を制御する方式としては、ポンプを定速にし調整弁を絞る弁制御と、ポンプ速度を加減する速度制御の2方法があげられる。弁制御では弁による絞り損失が大きく、とくに部分負荷では増大するし、また弁の摩耗も避けられない。したがって、駆動機のいかにかわらず速度制御が好ましいが、流体継手と設備費の関係から、従来この方法は電動機駆動ではあまり採用されなかった。しかし、部分負荷運転の多いプラントでは絞り損失を少なくするうえから、経済的に成り立つ場合もある。

タービン駆動ではタービンの调速機により速度制御が容易に行なえ、かつ流体継手および増速装置の動力損失がないので、高速の給水ポンプを制御するに適している。

定速の弁制御を行なう電動機駆動ポンプと、速度制御を行なうタービン駆動ポンプとを並列運転する場合には、各ポンプの流量を制御信号にフィードバックするなどの処置が必要となる。給水制御の信号の検出およびその配分についてはドラム形ボイラ、ワンスルー形ボイラによって根本的に異なり、またおのおのについても種々の組合せがあり興味ある問題であるが、ここでは割愛する。

3.4 電動機駆動とタービン駆動の経済比較

電動機駆動とタービン駆動といずれの方式が有利であるか比較するにはプラントの効率を合わせ考慮しなければならないので、厳密に行なうには土木建築費の相違まで算出してみなければならず相当面倒である。すなわち、発電端出力を合わせ、その時の送電端電力における電力代を比較する。

簡単に行なうには熱効率の差の現在価値を求め、機器代の差と比較すればよい。すなわち ΔH kcal/kWh の熱効率の差の現在価値 P は

$$P = \Delta H \times N \times h \times F \times \frac{1}{\alpha} \text{ 円}$$

ΔH = 熱効率の差 kcal/kWh

N = 出力 kW

h = 年間負荷時間 = $8760 \times$ 利用率

F = 燃料費 円/1,000 kcal

α = capitalize (普通 0.125)

なおこの時、熱効率は定格負荷のみでなく部分負荷も考え、年間負荷時間もそれに対応して考えるとさらに精度が高くなる。

プラント出力において、どのくらいからタービン駆動が有利かということは一概にいえない。主タービンの形式、主タービン排気面積、ポンプタービンの形式(背圧:復水)、燃料費、負荷率、制御方式などによって大幅に違うからである。しかし、大体 250 MW 付近から上では一応比較して、その駆動方式を決定すべきであろう。

4. ボイラ水循環ポンプ

4.1 ボイラ水循環ポンプの概要

発電所が大形化し、ボイラが高圧になってくるに伴って、ボイラ水の循環を確保することが問題になってきた。

従来、圧力 140 kg/cm²、蒸発量 400 t/h (プラント出力 125,000

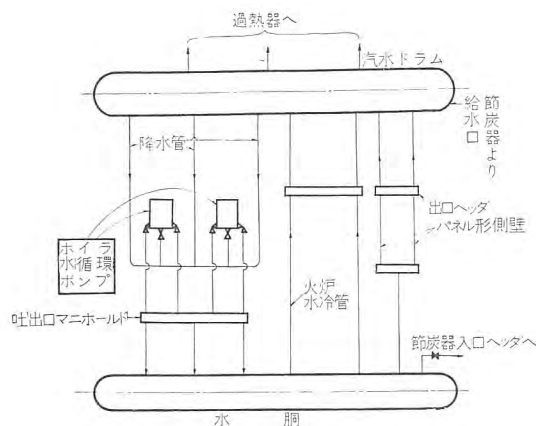


図 4.1 ボイラ水循環説明図
Fig. 4.1 Block diagram of boiler water circulation.

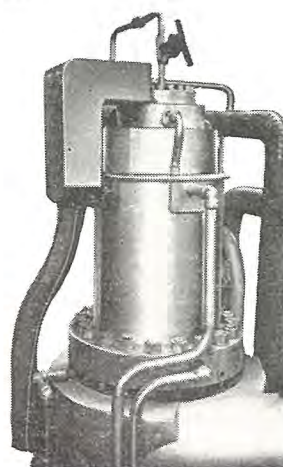


図 4.2 キャンドモータポンプ
Fig. 4.2 Canned motor pump.

kW 程度) 級以下のものは自然循環ボイラとし、加熱される火炉水管と非加熱降水管内の汽水の密度差、すなわち Thermal Head によりボイラ水の循環を行っていた。圧力がさらに上がり、140~200 kg/cm² 程度になると汽水の比重の差が少なく、Thermal Head だけで循環を確保することが困難となり、強制循環ボイラが採用された。強制循環ボイラでは、降水管の途中にボイラ循環ポンプを備え、ボイラ水を強制的に循環させると同時に、火炉水管入口にオリフィスを設け、冷却管の管長、熱負荷に応じて循環水量をコントロールできる。

わが国の 156,000 kW 以上の発電所はほとんど強制循環ボイラとなっており、ボイラ水循環ポンプは高温高圧のボイラ水を漏れなく循環させねばならず、これにはキャンドモータポンプまたはメカニカルシールのポンプが用いられている。

わが国の代表的な発電所のボイラ水循環ポンプは表 4.1 に示すとおりである。この表では、キャンドモータポンプよりもメカニカルシールのポンプのほうが大きな出力を要するよう見えるが、キャンドモータの場合、定格温度における出力で称呼しており、メカニカルシールの場合には常温時最大負荷のかかる時の出力で称呼しているためである。

以下ボイラ水循環ポンプ中、その構造、取扱いの特殊なキャンドモータポンプについて述べる。

現在のところ、発電所に用いられているキャンドモータポンプは全部輸入品であるが、国産品でも 350 kVA (出力 250 kW) 4 極のものを昭和 35 年に完成しており、近い将来は国産品が使われるものと思う。

4.2 キャンドモータの構造

普通のモータとポンプを直結したものは図 4.3 (a) に示すとおり

表 4.1 主要発電所ボイラ水循環ポンプ

発電機出力 (kW)	156,250	220,000	250,000	265,000
ボイラ蒸発量 (t/h)	542	726	830	908
最高圧力 (kg/cm ²)	190	197	183	199
ボイラ水循環ポンプ (kW×台)	170×3	260×4	325×4	370×4
ポンプ容量 (t/h)	1,806	1,028	2,000	2,154
揚程 (m)	24.6	28	28	28
入口圧力 (kg/cm ²)	181	184	187	191
温度 (C°)	343	347	349	352
ボイラ水循環ポンプ形式	キャンドモータ	メカニカルシール	キャンドモータ	メカニカルシール

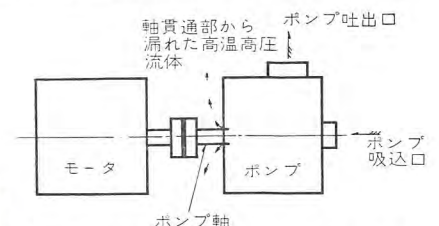


図 4.3 (a) 普通のモータとポンプの組合せ
Fig. 4.3 (a) Combination of ordinary motor and pump.

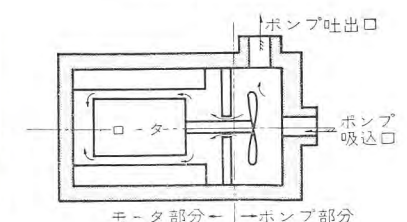


図 4.3 (b) キャンドモータポンプ
Fig. 4.3 (b) Canned motor pump.

であって、高圧の流体を扱う場合には、回転部のシールは困難であり、どうしてもポンプ軸の貫通部から矢印のように高圧流体が漏れてくる。

キャンドモータポンプは、図4.3(b)のように、モータとポンプを共通軸とし、一つのケーシングに納めた構造になっている。このケーシング内部のモータ部には、運転に先立って、あらかじめ水が入れている。運転中ポンプが扱う高温高圧の水は、ポンプ側から漏れモータ側に侵入してくるが、モータ側には始めから水が入っているため、圧力に耐えうればならぬ支障はない。したがって、モータとポンプの間に水の交流は多少あるが、共通のケーシングから外へ漏れず、静止したケーシングのシールのみを完全に行なえば、回転部のシールは全然考慮する必要がなく非常に信頼性が高い。しかし、モータのコイルやコアが水にじかに接すると、コイルやコアの腐食の原因となる。それで、ステータ、ロータのコイル、コア部には耐熱、耐食性の金属層で作った薄いキャンをかぶせ水から保護している。

キャンドモータポンプの断面図の一例を図4.4に示す。以下この図について構造を説明する。普通立形であり、モータ部分が上部、ポンプ

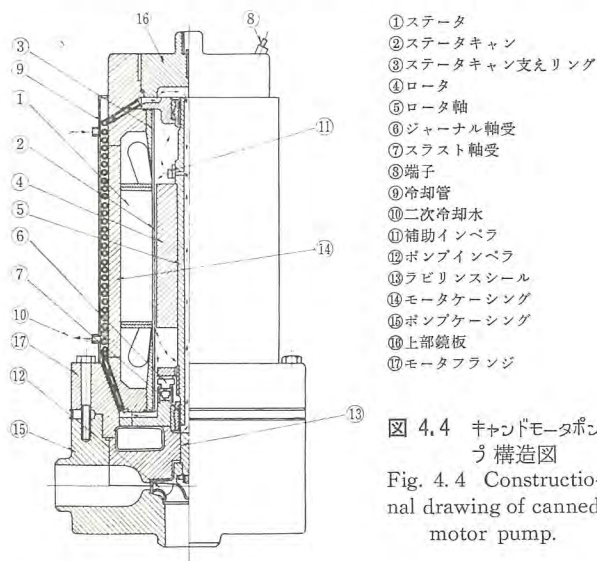


図 4.4 キャンドモータポンプ構造図
Fig. 4.4 Constructional drawing of canned motor pump.

部分が下部になっている。

以下()内の番号は図4.4の品番と一致している。

(1) はステータであり、普通のインダクションモータのステータと大差なく、コイルには許容温度上昇のもっとも高いH種絶縁を用いるのが普通である。

(2) はステータキャンであり、ステンレス鋼でできており、ステータコイル、コアを高温の水から保護している。このキャンは薄いがルーの圧力に耐えうようになっている。

(3) はステータキャンを補強している支えリングである。

(4) はカゴ形のロータであり、ステータ同様表面をステンレス鋼のキャンで保護している。

このステータ、ロータキャンで保護された部分以外のモータポンプの内部は、全部ルーと同一の高圧水と接している。

(5) はロータ軸で一部中空となっている。

(6), (7) はジャーナル軸受およびスラスト軸受であり、油で潤滑することができず、モータ内部の高圧水で潤滑する必要があるが、その構造には特別な考慮がはらっている。

(8) はモータリードを外部に引き出す端子である。万一キャンが破損した場合にも、モータ内部の水が飛散しないように耐圧構造としている。

(9) はモータ内部の水を流して熱交換を行なわせるための冷却管であり、モータケーシングにラセン状に巻いてある。

(10) は(9)の熱を取り去る二次冷却水であり、常温・常圧の水が用いられる。

(11) は補助インペラであり、モータ内部の水を矢印のように循環させるためのものである。

(12) はポンプインペラであり、ステンレス鋼でできている。

(13) はラビリンスシールであり、ポンプ側の熱がモータ側へ移動するのを極力防止する。

(14) はモータケーシングである。通常高圧はかからないがキャンが破損した場合にもルーの圧力に耐えうようになっている。

(15) はポンプケーシングであり、ポンプの吸入口、吐出口は直接主配管に溶接され、主配管の熱膨張に追従して動きうように取付けられる。

(16) は上部鏡板であって、中央部にはモータ内部のエアを抜く空気抜き用の穴が設けてある。

(17) はモータケーシングに設けられたフランジであり、ポンプケーシングと接合される。分解の際には、この部分のボルトをはずすとポンプケーシングだけ主配管へ残り、モータ部分とポンプインペラは取りはずすことができる。

5. 主要補機電動機

5.1 電圧と絶縁

発電所の補機電動機電圧として現在用いられているものには、6,000 V 級、4,000 V 級、3,000 V 級の高圧と、400 V 級、200 V 級の低圧とがある。4,000 V は、アメリカからの技術導入、発電機、補機の輸入に伴って入ってきたものであり、最近の大容量発電所の補機電動機は 6,000 V または 4,000 V が増加する傾向にある。

同一出力の小容量電動機で、3,000 V 以上の高圧と 400 V 級の低圧とを比較すると、高圧のものは低圧のものに比べ絶縁物の厚さが増し、スペースファクタが悪く、電動機寸法は大きくなる。そのうえ絶縁距離を増さねばならず、コイル・エンドの寸法も伸び、ますます大形化し、高圧電動機のほうが一般に価格は高くなる。一方、大容量の電動機にあまり低い電圧を採用すれば、コイル導体の断面積を大きくし巻回数を減少せねばならず、設計上巻回数の選定が困難となり所望の特性を出しにくくなる。電動機の電流はほぼ電圧に逆比例するため、低圧のほうが電流が大きくなり、制御装置のほうから制約を受けることもあり、電動機の使用条件、制御装置を考慮して電圧を選定しなければならない。以上のことは 3,000 V 級と 6,000 V 級とを比較する場合にも成り立つ。400 V 級と 3,000 V 級の限界は 50~150 kW 位のところにあり、400 V 級と 6,000 V 級の限界になると 200 kW 程度となり、表 5.1 にあげた範囲の電動機は全部高圧と考えてさしつかえない。

絶縁の種類は、普通用いられるのは A 種と B 種である。三菱電機では、発電所用高圧電動機には B 種相当のダイラスタック絶縁を採用するのを建前としている。ダイラスタック絶縁とは、主絶縁層を形成するマイカテープまたはマイカラップの接着剤としてポリエステルあるいはポリエステルビニール系のボンドを用い、低粘度のポリエステル系含浸用ダイレジンによって重合反応を起こさせたものである。ダイラスタック絶縁は、耐湿性がすぐれ、機械的にじょうぶであり、絶縁耐力が大きいなどのすぐれた特性を持っている。

6.2 外被の形、保護方式

発電所の補機電動機に用いられるのは主として開放屋外形、全

表 5.1 発電所主要補機電動機一覧表

発電機出力	75,000 kW	125,000 kW	125,000 kW	156,250 kW	175,000 kW	220,000 kW	220,000 kW	250,000 kW	265,000 kW	325,000 kW
使用電動機	kW 台	kW 台	kW 台	kW 台	kW 台	kW 台	kW 台	kW 台	kW 台	kW 台
給 水 ポ ン プ	850×3	1,500×3	1,500×3	1,860×3	1,860×4	2,100×4	2,100×4	3,750×1	2,600×4	2,600×2
誘 引 通 風 機	500×2	750×2	—	930×2	1,150×2	1,550×2	—	—	2,000×2	—
押 込 通 風 機	200×2	370×2	750×2	450×2	410×2	675×2	1,150×2	1,200×2	820×2	1,700×2
ガ ス 再 循 環 通 風 機	40×1	190×2	310×2	300×2	600×1	675×2	300×2	250×2	1,100×1 670×1	390×2
循 環 水 ポ ン プ	220×2	370×2	480×2	650×2	380×2	560×2	560×2	900×2	525×2	1,100×2
復 水 ポ ン プ	195×2	190×2	280×2	110×3	280×2	240×3	240×3	220×3	225×3	260×4
灰 流 し ポ ン プ	75×2	190×2	—	75×4	320×2	240×1	—	—	600×2	—
石 炭 粉 砕 機	320×3	265×5	—	320×6	110×6	320×8	—	—	320×10	—
電 動 機 電 圧	3,300	4,000	3,300	3,300	4,000	4,000	4,000	6,600	4,000	6,600
備 考			重油専焼				重油専焼	重油専焼		重油専焼

* の給水ポンプには他にタービン駆動のものがある。

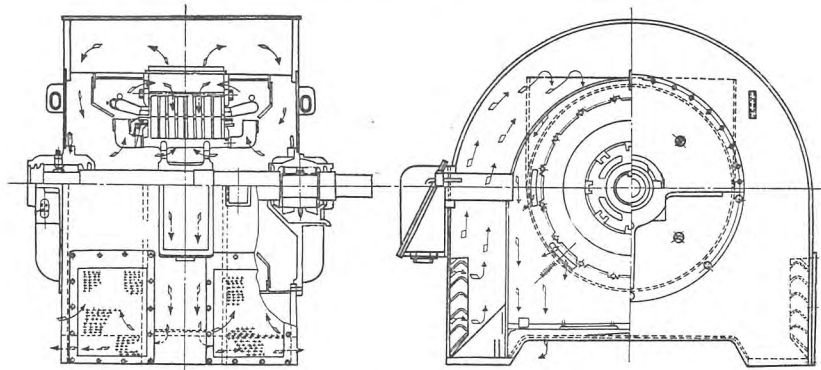


図 5.1 開放屋外形電動機通風説明図
Fig. 5.1 Descriptive drawing of open outdoor type vertical motor ventilation.

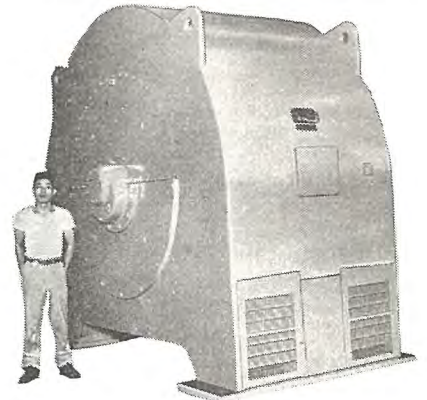


図 5.2 1,550 kW 4,000 V 10 極
MKB-W 形 開放屋外形電動機
Fig. 5.2 Type MKB-W open outdoor type motor.



図 5.3 900 kW, 6,600 V 28 極
MKB-WR 形 開放屋外形電動機
Fig. 5.3 Type MKB-WR open outdoor type vertical motor.

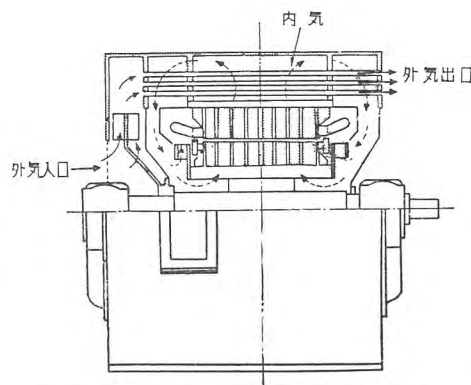


図 5.4 全閉外扇形電動機通風説明図
Fig. 5.4 Descriptive drawing of totally enclosed fan cooled motor ventilation.

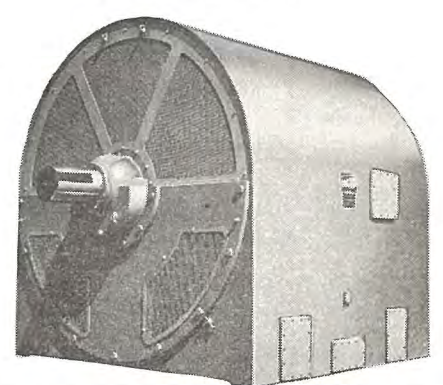


図 5.5 2,000 kW 4,000 V 10 極 MKT 形
全閉外扇形電動機
Fig. 5.5 Type MKT totally enclosed fan cooled motor.

閉外扇形，開放防滴保護形である。以下この三つの形式について説明する。

(1) 開放屋外形

屋外形については，わが国ではまだ規格化されていないため，メーカーによっていろいろの方式を用いており，その特長，効果にもかなりの相異が見受けられるが，アメリカでは NEMA MGI-1.20 H に屋外形の定義がされている。三菱電機の開放屋外形電動機とは NEMA の “Weather Protected Machine Type II” に定義されたものであり，従来の外被にカバーを追加しただけのものではない。

屋外形電動機は outer housing と inner housing とからなり，outer housing の中の一部で，電動機に吸込まれた雨滴などを含んだ冷却風がきわめて低速で上方に通るようにし，さらに数回にわたって方向を急変する。そして冷却風が，コイル や鉄心のある

inner housing に入る前に雨滴および空気に混じったホコリを落としてやる。電動機が強烈な暴風雨にさらされた時も，雨や砂まじりの高速の風は “by through” を通り電動機内部に入ることなく吹抜けるように設計してある。この構造にすれば開放防滴保護形よりも大形になり，当然高価になるけれども，建屋を作り屋内形にしたり屋外用として考えられる他の形，たとえば全閉内冷形を採用したりするよりも安価であり，普通の屋外設置の場合には十分信頼性がある。開放屋外形は横形のみでなく立形にも用いられている。

(2) 全閉外扇形

普通の屋外設置の電動機は前記の開放屋外形で十分の信頼性があるが，とくに埋立地などで塩害の多いと考えられるところや，屋内でもホコリの多い場所に用いる電動機に全閉外扇形を使用することがある。

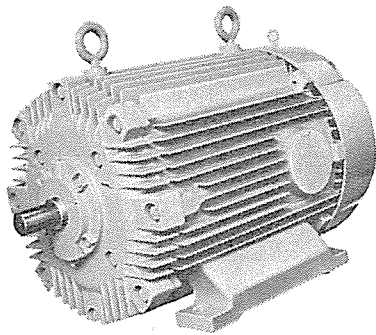


図 5.6 SFA 形 全閉外扇形電動機
Fig. 5.6 Type SFA totally enclosed fan cooled motor.

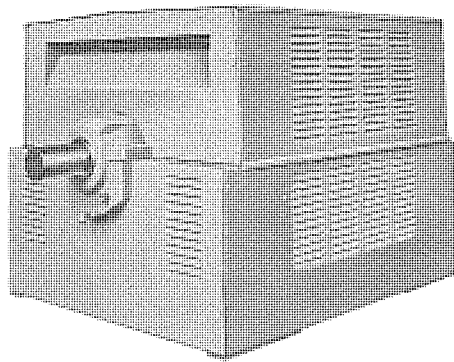


図 5.8(a) UKB 形 開放防滴保護形電動機
Fig. 5.8(a) Type UKB open dripproof protection motor.

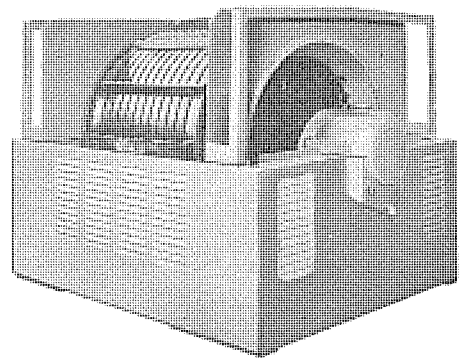


図 5.8(b) 上部カバーをはずしたところ
Fig. 5.8(b) Type UKB motor with upper cover removed.

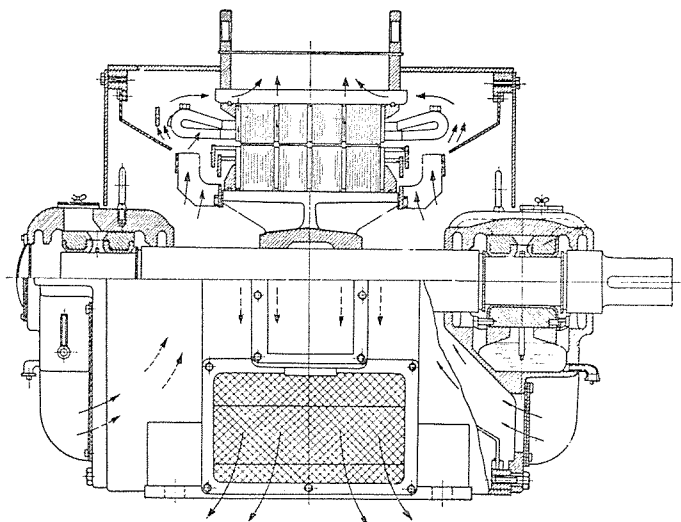


図 5.7 MKB 形 開放防滴保護形電動機通風説明図
Fig. 5.7 Descriptive drawing of type MKB open dripproof protection motor ventilation.

三菱電機では、100~250 kW 以上(回転数によって異なる)の外扇形は、冷却管付全閉外扇形としている。この形では、固定子鉄心外周部に冷却管を配置している。通風方式は図 5.4 のとおりで、外部冷却空気は外部ファンによって冷却管に送り込まれ、管内を流れる電動機内部の空気は内部ファンおよび回転子ダクトピースによって固定子鉄心、コイル端部を通り、冷却管の層の間を通り、管壁を介して熱交換を行ない、冷却する。横形のみでなく、立形も同様の構造で製作している。

100~250 kW 以下の全閉外扇形は図 5.6 に示すように、フレーム表面に冷却ヒレをつけた構造としている。

小形電動機を屋外形にする場合には前記の開放屋外形よりも、図 5.6 の全閉外扇形を推奨する。これは小形電動機では、housing を内外 2 重構造としても、その間の容量が小さく、雨滴を分離するための距離が短く、十分な防水防シ効果期待できないからである。

(3) 開放防滴保護形

屋外や、とくにホコリの多い場所以外に使用される補機電動機は、開放防滴保護形で十分である。開放防滴保護形は屋外形、全閉外扇形に比して外被の構造が簡単であり、冷却効果が良いので小形で安価であり、分解組立、調整が簡単である。2 極と大型 4 極を除く 150 kW 程度以上の横形の開放防滴保護形には図 5.7 のものが用いられている。

このほか開放防滴保護形の一つに、図 5.8 のようにフレームが上

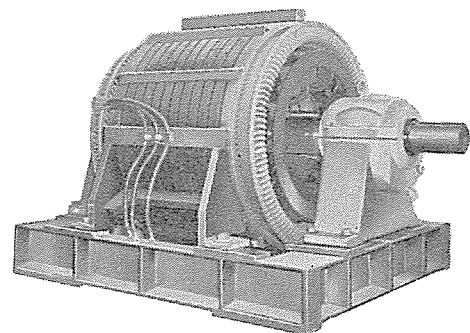
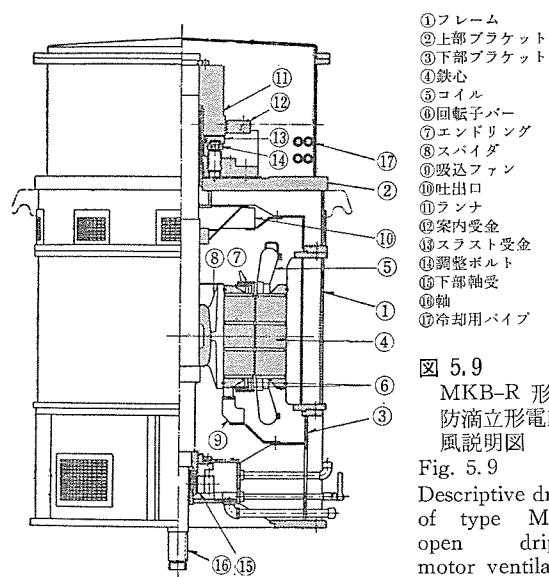


図 5.8(c) カバーを全部はずしたところ
Fig. 5.8(c) Type UKB motor with all covers removed.



- ① フレーム
- ② 上部ブラケット
- ③ 下部ブラケット
- ④ 鉄心
- ⑤ コイル
- ⑥ 回転子バー
- ⑦ エンドリング
- ⑧ スパイダ
- ⑨ 吸込ファン
- ⑩ 吐出口
- ⑪ ファン
- ⑫ 案内受金
- ⑬ スラスト受金
- ⑭ 調整ボルト
- ⑮ 下部軸受
- ⑯ 軸
- ⑰ 冷却用パイプ

図 5.9 MKB-R 形 開放防滴立形電動機通風説明図
Fig. 5.9 Descriptive drawing of type MKB-R open dripproof motor ventilation

下 2 つに分割され容易にはずせる構造になっているものがある。分割フレームのため従来のものでは点検しにくかった固定子鉄心背面、コイルエンドの点検・手入れが非常に簡単になる。また、フレーム内部に消音材を張り、騒音を低下させることが容易である。

立形の開放防滴保護形電動機の構造図は図 5.9 であり、主としてポンプ駆動用に用いられる。スラスト軸受は、電動機の回転子重量とポンプスラストを受けるように設計されており、スラストの小さいものにはコログリ軸受、大きいものにはキングスベリ形スラスト軸受を使用している。キングスベリ形の時、上部ブラケット油槽内にスラスト軸受冷却用の水管を設け、冷却水を通して、上部案内軸受はスラスト軸受と同一油槽内に設け、下部案内軸受は下部ブラケットに設け、潤滑方式は油溶式とし、必要によっては水冷式としている。

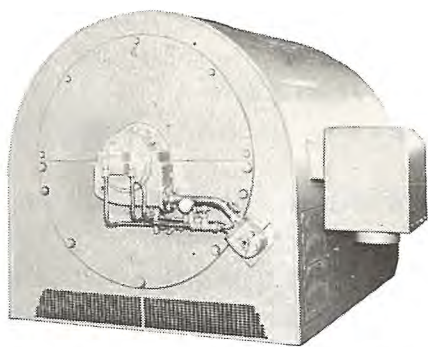


図 5.10 1,860 kW 3,300 V 2 極 3,600 rpm
MKB 形給水 ポンプ 用電動機
Fig. 5.10 Type MKB feed water pump motor.

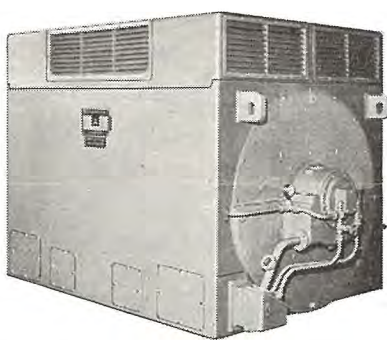


図 5.11 2,280 kW 3,300 V 4 極 1,800 rpm
MKB-H 形給水 ポンプ 用電動機
Fig. 5.11 Type MKB-H feed water pump motor.

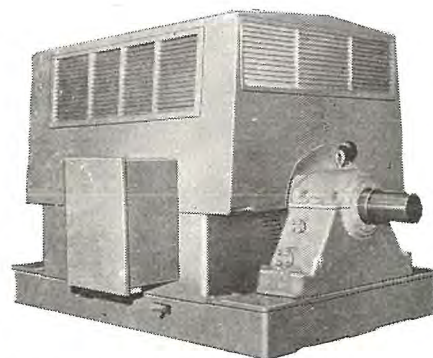


図 5.12 3,750 kW 6,600 V 4 極
1,800 rpm UKB 形給水 ポンプ 用電動機
Fig. 5.12 Type UKB feed water pump motor.

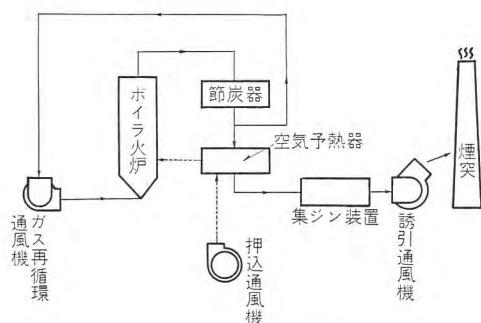


図 5.13 ボイラ 通風装置配置図
Fig. 5.13 Arrangement of boiler ventilation.

5.3 主要電動機

(1) 給水 ポンプ 用電動機

電動機は 2 極または 4 極のカゴ形であり、156,000 kW 以下の発電所では大体 2 極の電動機を用い、ポンプに直結している。156,000 kW 以上では、ポンプの回転数を 3,600 rpm よりも高くする必要があるため 4 極の電動機を用い、ギヤで 5,000~7,000 rpm に増速している。発電所によっては、タービン駆動の給水 ポンプと電動機駆動のものとを併用しているところがある。

回転子 パーには、電気的特性を向上させるため特殊 クサビ 形のものをを用いている。軸受は スベリ 軸受であり、潤滑は強制給油であるが、オイルリングを併用し、起動時や非常時の給油にも万全を期している。給油方式は、ポンプ 側より給油を受けるものと、電動機の反負荷側軸端に ギヤポンプを直結し、自己給油する場合とある。

電動機は開放防滴保護形であり、2 極の場合は複式放射通風としている。4 極のものは電動機の上部にサイレンサを取付け、これを通して冷却風を吸込み、吐出する。

(2) 通風機用電動機

Balance Draft のボイラの場合、誘引通風機、押込通風機、ガス再循環通風機の配置は図 5.13 のとおりである。Pressure Firing のボイラになると図 5.13 から誘引通風機がなくなった配置となっている。通風機駆動用電動機に共通の問題は、通風機の GD^2 が大きいと生ずる起動時の温度上昇であるが、これについてはのちに述べる。

a. 誘引通風機用

ボイラ 1 基に 2 台用い、8~12 極ぐらいが普通であり、設置場所はほとんど屋外である。最近では Pressure Firing のボイラが多くなり誘引通風機がないのが多い。

b. 押込通風機用

ボイラ 1 基につき 2 台用いられ、設置場所は屋内のことも屋外の

こともある。誘引通風機がある時には押込通風機用電動機は 8~10 極であるが、誘引通風機がないときには押込通風機の風圧を約 2 倍に増さねばならぬため回転数を上げ、4 極あるいは 6 極となっている。この場合電動機の出力も当然大きくなっている。

c. ガス 再循環通風機用

電動機極数は 8~12 極であり、設置場所、保護方式は押込通風機と同じである。負荷の GD^2 は押込通風機よりも大きくなるのが普通であり、そのため回転数を特殊な設計とし、電動機のスリップが通常のものよりもやや大きくなることがある。起動時間は 20 秒前後である。

(3) 循環水 ポンプ 用電動機

キングスベリスラスト 軸受付立形電動機で、極数は 12~32 極ぐらいであり、大容量のものほど低速である。設置場所は屋内のこともあるが屋外の場合が多い。屋内の場合には開放防滴形で良く、屋外の場合は普通は開放屋外形、とくに周囲条件の悪い場所は全閉外扇形となる。

(4) 復水 ポンプ 用電動機

キングスベリスラスト 軸受付立形電動機で、極数は 6 極程度である。設置場所は屋内が多い。

(5) 石炭粉砕機用電動機

重油専焼の場合、不要である。

ボイラ 1 基に 4~10 台用い、300 kW 程度の 6~8 極で、設置場所は屋内であり、開放防滴保護形で良い。起動時には割合に大きな起動トルクを必要とするので二重カゴ形としている。通風機ほどではないが、負荷の GD^2 がかなり大きいので特別の設計としなければならないことがある。

上記のほかには、発電所の比較的大容量の大きい重要電動機には、スツープロウコンプレッサ用、重油 ポンプ 用、灰流し ポンプ 用、タービン補助油 ポンプ 用、予備励磁機駆動用などがある。

5.4 起動時の問題

通風機のように GD^2 の大きい負荷を起動するとき、起動時の温度上昇、起動時間などが問題になる。

電動機と負荷の運動方程式は、

$$T_A = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \quad \text{m} \cdot \text{kg} \dots \dots \dots (5.1)$$

T_A : 加速トルク (電動機トルク) - (負荷トルク) $\text{m} \cdot \text{kg}$

GD^2 : 電動機 + 負荷の GD^2 車効果 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$

n : 回転数 rpm

である。電動機が速度が n_1 から n_2 まで加速するのに要する時間は、

$$t = \frac{GD^2}{375} \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{T_A} \text{ sec} \dots\dots\dots (5.2)$$

である。負荷と電動機を、停止の状態から全負荷速度 n_F まで加速するのに要する時間は、平均加速トルク T_A を求めて近似的に、

$$t_{st} = \frac{GD^2 \cdot n_F}{375 \cdot T_A} \text{ sec} \dots\dots\dots (5.3)$$

として大差ない。これから起動時間は平均加速トルクが一定であれば、 GD^2 に比例し、逆に GD^2 が定まっていれば、起動時間を縮めるためには、平均加速トルク T_A を増さねばならないことがわかる。

一方、電動機の回転子導体に発生する熱量は、任意の時間 t_1 から t_2 までの間では、

$$Q_2 = \int_{t_1}^{t_2} m_1 \cdot R_2 \cdot I_2^2 dt \quad \text{W} \cdot \text{s} \dots\dots\dots (5.4)$$

m_1 : 一次の相数

R_2 : 一次一相に換算した二次抵抗 Ω

I_2 : " 二次電流 A

である。カゴ形電動機ではこれが全部 エンドリング と回転子 パーに発生し、その割合はそれぞれの抵抗の比によって決まる。また固定子にも、

$$Q_1 = \int_{t_1}^{t_2} m_1 \cdot R_1 \cdot I_1^2 dt \quad \text{W} \cdot \text{s} \dots\dots\dots (5.5)$$

R_1 : 一次一相の抵抗

I_1 : " の電流

の熱が発生する。この時の発生熱量 Q_1, Q_2 のすべてが導体の温度上昇のみに費されるのではなく、一部は鉄心中に放散されたり、起動中に空気に放散されたりする。起動時には電動機の冷却効果が悪く、そのうえ I_1, I_2 が定格の 5~6 倍になるので、この間発生する銅損は定格の 30 倍ぐらいになり、起動時の固定子 コイル 回転子 パー、エンドリング などの温度上昇は相当高くなる。その温度は GD^2 が大きいほど高くなるのが式 (5.3), (5.4) からわかる。負荷の GD^2 が大き過ぎると、運転中の温度上昇には余裕があっても起動時だけのために電動機寸法を大きくしたり、特殊な設計をしなくてはならぬことがある。

GD^2 が大き過ぎ、起動時間が長いと、

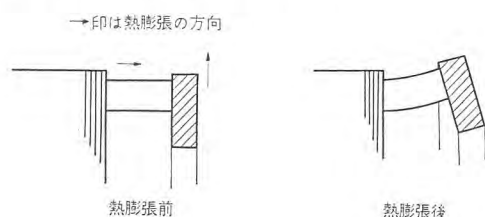


図 5.14 回転子 パー、エンドリング の熱膨張による変形
Fig. 5.14 Deformation of rotor bar and endring due to thermal expansion.

(a) エンドリング の温度が上がり過ぎ、エンドリング は半径方向に膨張しようとして、図 5.14 のように変形し、エンドリング、回転子 パーともに曲げ応力を生じ破損の原因となる。

(b) 固定子 コイル の温度が許容値以上に上がり、絶縁物が急激に劣化する。

(c) 大きな起動電流が長時間流れ、電源へ悪影響をおよぼす。などのトラブル が起こる。

通風機用の電動機として深ミツカゴ 形が多く用いられるのは、二重カゴ形よりも起動トルクは小さいが、回転子 パー、エンドリング の熱容量が大きく、起動時の温度があまり上がらないことと、運転中の特性が二重カゴ形よりも良いことに起因している。

5.5 電動機の保護装置

高圧電動機の保護装置として、過電流継電器、接地継電器、低電圧継電器がある。各継電器の動作は、

(a) 短絡の場合には全電動機は瞬時にトリップする。

(b) 過負荷の場合には過電流継電器の時限特性にしたがってトリップする。

(c) 接地の場合には、誘引通風機と押込通風機を除いて全部瞬時にトリップする。

誘引通風機と押込通風機は、警報だけでトリップしない場合と、警報を発し、ある時間後にトリップする場合とある。

(d) 低電圧の場合には、誘引通風機と押込通風機以外は瞬時にトリップするか、ある程度の時間をおいてトリップする。

誘引通風機と押込通風機に対しては、接地の場合と同様に取扱う。上記の (c), (d) で誘引通風機と押込通風機が特別扱いとなっているのは、誘引通風機あるいは押込通風機が停止すると、インタロックによって、発電所全停まで事故が波及するので、そのような機会を少なくするためである。

低圧の補機電動機に対しては、短絡保護装置ならびに過電流継電器が設けてあり、

(e) 短絡の場合には、全部瞬時にトリップする。

(1) 過負荷の場合にもトリップするのが普通である。

いずれの場合にも適宜警報する。ただしタービン補助油ポンプ、ターニング補助油ポンプなどは、停止するとタービン関係の事故を招く可能性があるので、警報だけでトリップしないことがある。

6. む す び

本文では発電所内補機のおもなもののみにつき論述したが、もとよりこの外に多種多様の補器があり、その一つ一つにも大容量化と近代化方式の採用により、ゆるがせにできない多くの問題を有するが、紙面の都合により割愛せざるを得なかった。要は、これらの各補機が、一連の総合時設計のもとに企画されることが肝要であることは当然である。これらの問題については、稿を改めて発表する機会があると思う。

火力発電所の全自動化

新宅三喜男*

Automatic Control of Thermal Power Plants

Head office Mikio SHINTAKU

Automatic control of thermal power plants is now under discussion in the circler. In old thermal power plants the control had recourse to human intelligence, but ever increasing capacity of the plant has reached a stage where highly complicated arrangement can hardly be controlled without under stress on the operators. In America a few thermal power station are provided with computer control. It is a new trend that ingeniously set electronic apparatus take the place of human efforts with speed and accuracy and no fatigue. So is this computer control of thermal power plants, thus automatic operation being carried out at modern giant set-up.

1. ま え が き

近年の火力発電所単位容量の増加はいちじるしく、すでに 500 MW 級の大容量ユニットの計画が論議されつつある段階である。このようなユニットの大容量化の当然の結果として、プラント設備が非常に大規模となり、その運転制御も極度に複雑化するため、従来の火力発電所のように全面的に運転制御を人間の判断および動作に任せることは困難になり、危険の度合がふえる。確かに人間の判断力は非常に正確であり、信頼性が高い。しかし火力発電所のように、時々刻々と変化する一つの系統を操作する場合、その制御能力としては正確な判断と同様、極度に敏活、沈着な動作が要求されてくる。すなわちたびたび人間にありがちな錯覚からくる誤判断あるいは誤動作は決して許されない。このような段階に至っては、もはや人間にすべてを依存することは不可能であり、したがっていかなる信号でも忠実に受け入れ、正確かつ高速度に判断あるいは分析して、その結果を表示する、あるいは出力信号として出さる自動装置が要望される次第である。

昨今の自動制御の高度の発達に伴って、計算機工学の進歩はめざましい。計算機は制御分野にも進出し、その制御能力および広範な適用性は十分実証されてきており、製鉄プラント、化学プラントなどの制御に不可欠のものとなりつつある。このような情勢から、火力発電所においても、計算機制御あるいは全自動化の問題が提起されるに至り、すでにアメリカの二、三の大容量プラントに適用され、稼働しているほどである。この傾向はいちじるしく、今後アメリカで建設される大容量発電所にはほとんど、計算機を導入する方針であるといわれているほ

どで、火力発電所の計算機制御が常識化されつつある。表 1.1 にアメリカで計算機を導入している火力発電所を示す。つぎに火力発

表 1.1 自動化発電所一覧表

電力会社名	発電所名	製作	形式	機能	入力信号		出力信号	
					アナログ	接点	アナログ	デジタル
Arizona Public Service Co	Cholla	GE	D	PM	375	100	4	217
Boston Edison Co	Mystic	ISI	D	PM	540			
Carelina Power & Light Co	HB Robinson	D	D	PM	384	32	5	64
Carelina Power & Light Co	Goldsboro	D	AD	CC	1024	1344	64	700
City of Memphis	TH Allen	BM	D	PM	856			
Duquesne Light Co	Shipping port	D	D	PM	250			
Georgia Power Co	McDonough	GE, H	AD	PM	680	750	18	86
Gulf States Utilities Co	Sabine	BM	D	PM	445			
Gulf States Utilities Co	Willow Glen	D	D	PM	350			
Gulf States Utilities Co	Riverside	RCA	D	SS	200	200		
Kansas Gas & Electric Co	Gordon Evans	D	D	PM	384	64	5	64
Louisiana Power & Light Co	Sterlington	D	D	PM	338			6
Louisiana Power & Light Co	Little Gypsy	D	AD	CC	576	740	16	448
New England Electric Power Co	Brayton Point	RCA	D	PM	1100			
New York State Electric & Gas Co	Milliken	BM	D	DL	348			
Northern Indiana Public Service	Bailey	LM	D	DL	400			
Public Service Electric & Gas Co	Hudson	WE	D	CC				
Public Service Electric & Gas Co	Sewaren	WE	D	SS	1024	512	8	279
Public Service Electric & Gas Co	Bergen	LN	D	PM	1396			
Public Service Electric & Gas Co	Mercer	LN	D	PM	1396			
Public Service Co of Oklahoma	Northeast	GE	D	PM	472			
Public Utility District No. 1	Rocky Beach	BM	D	DL	110			
Public Utility District No. 1	Rock Island	BM	D	DL	125			
Puerto Rico Water Resources Auth	Palo Seco	GE	D	PM	300			
S. Carolina Electric & Gas Co	S. McMeekin	MH	AD	DL	103	13		
S. Carolina Electric & Gas Co	Canadys	GE	D	PM	176		5	
Southern California Edison Co	Huntington Beach	GE	D	SS	870		20	632
Southern California Edison Co	Alamitos	GE	D	SS	1102		20	1100
Southwestern Public Service Co	Nichols	BM	AD	PM	163			
Tennessee Valley Authority	Widows Creek	H	AD	DL	475			
Tennessee Valley Authority	Colbert	RW	D	PM	600		20	80
Tennessee Valley Authority	Paradise	RW	D	SS	1130		40	400
Texas Electric Service Co	Handley	WE	D	PM				
West Texas Utilities Co	Oak Creek	BM	D	DL	175			

D	Digital computing		operation	MH	Minneapolis-Honeywell
AD	Combination digital-analog computing	BM	The Bailey Meter Co		Regulator Co
DL	Data logging, including alarm scanning	D	Daystrom Control Systems Div	RCA	Radio Corporation of America
PM	Performance monitoring	GE	General Electric Co	TRW	TRW Computers Co
SS	Start-stop control, performance monitoring	H	Hagan Chemical & Control Co	WE	Westinghouse Electric Corp
CC	Computer Control of full	ISI	Information System Inc	*	Noninteracting adaptive control
		LN	Leeds & Northrup Co		

電所を計算機制御することにより、われわれはいかなる利益を期待できるのだろうか。その目的を明確にしておくことは、計算機制御の可否を決定する際、十分意義があると思われる。

計算機制御の目的

(1) 最大の利点として、従来の非自動化操作で生じた数多くの誤動作の減少がある。誤動作の減少の結果、炉爆発の危険、運転休止時間の削減が可能になり、経済的にも大きな利益が期待できる。

(2) 制御用計算機の採用により、火力発電所の運転、制御、監視および記録が総合的かつ単一的に行なうことが可能になり、その結果発電所設備および要員の面からいって、非常に合理的かつ能率的なものとなる。

(3) 制御用計算機のすぐれた解析能力、制御能力を駆使することにより、ユニットを経済的に最適な状態に維持することが可能であり、その結果、燃料費などの発電経費を十分削減することができる。

Sewaren 発電所ユニット(325 MW)で、経済比較を行なうとつぎのようになると報じられている。

自動化による利益

(a) 燃料費節減	170 (百万円)
(b) 利用率向上	36
(c) 大事故減少	90
(d) 人件費減少	140
制御用計算機経費	270
総合利益	$436 - 270 = 166$ (百万円)

2. 自動化の方法

火力発電所を自動化する場合、まず考慮すべき問題は、自動化のレベルをどこに設定するかということになる。単に火力発電所の自動化といっても、小は簡単な自動データ処理装置(Data Logging System)から、大は制御用計算機の使用する全自動運転(Computer Control System)まで、その目的、条件に応じて多種多様である。現在わが国で盛んに論議されている方法は、上記2つのレベルの中間に位するもので、自動データ処理装置に計算機を導入して、監視および計算機能を付加したもの(Computer Logging System)である。図2.1に計算機制御方式のブロック図を示す。図に示すように、制御計算機の機能を大別すれば、つぎの三つに分けることができる。

1. 種々データの処理および分析機能(Reporting Function)

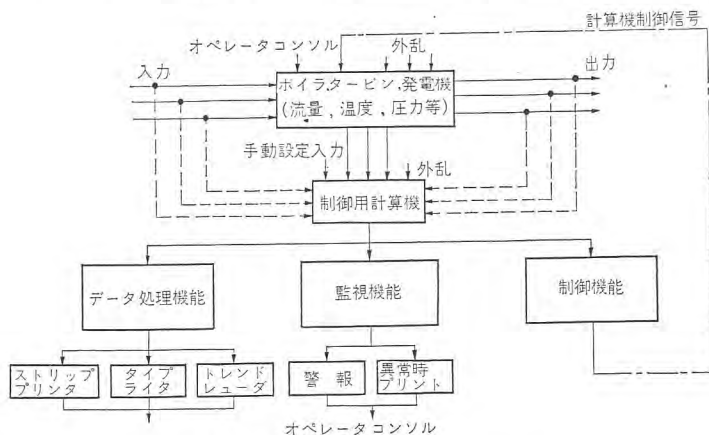


図 2.1 計算機制御の方法および機能

Fig. 2.1 Method and function of computer control.

2. 制御対象の状態監視機能(Supervisory Function) 3. 帰還制御機能(Control Function)

前述のとおり、1. および 2. の機能は、データ処理装置の場合と同様であり、いままでたびたび説明されているので、2 節では、3. の機能、すなわち計算機制御の本質について論述することにする。

制御用計算機の帰還制御機能(Feedback Control Function)をさらに細かく分類すればつぎのようになる。

(a) シーケンス制御

ユニットの起動、停止の諸操作などを、あらかじめ計算機に記憶させている運転プログラムにしたがって自動的に行なう。

(b) 監視制御

アナログ・サブ・ループを活用し、サブ・ループ制御系の設定点を監視制御する。

(c) 直接制御

アナログ・サブ・ループを活用せず、直接計算機により制御対象を制御する。

現在アメリカで計画あるいは製作されている、自動化発電所のほとんどは、起動、停止時のシーケンス制御および定常運転時の監視を主要機能としており、最適値化制御あるいは多変数制御を行なっている例は非常に少ない。Sewaren 発電所の方式は、さらに一歩進んで定常運転時につぎの三つのサブ・ループ制御系を監視制御する機能を導入している。

1. 燃料制御系(負荷、圧力、給水、燃料、空気、蒸気温度)
2. 励磁制御系
3. タービン速度

火力発電所の制御方式として、監視制御を行なうか、直接制御を行なうかの決定は非常にむづかしい問題であるが、現在では直接制御に踏切することは、技術的にも非常に危険な問題が残されているので、過渡手段として監視制御を行ないアナログ・サブ・ループの信頼性を最大限に活用する段階にあるようである。しかし制御特性からみれば、当然直接制御がすぐれているわけで、計算機および計測装置の信頼度の向上、各種制御対象の特性解明とともに、順次直接制御に移ることは明白である。

3. 系 統 解 析

火力発電所の計算機制御を計画するにあたって、最初に問題となるのは、制御装置自体よりむしろ、制御特性および運転要領の解析にある。制御対象が明確化されて、はじめて制御対象を能率良く制御できる自動制御装置が開発されるわけである。この意味からつぎの事項に関して十分検討を加える必要がある。

(1) 火力発電所各機器の特性解明

各機器ならびに制御系の特性を十分解明するとともに、それら制御系と計算機との協調の可能性を明確にする。とくに制御系の動特性の解析にはシミュレーションを行なうことも必要であろう。

(2) アナログ・サブ・ループの問題

現在開発されているサブ・ループの特性を明かにするとともに、サブ・ループの火力発電所における機能および効果を十分究明して、計算機制御の方針を決定すること。さらに新しいサブ・ループを開発して、現在の手動操作を可能なかぎり、遠隔操作に切換えるようにする。

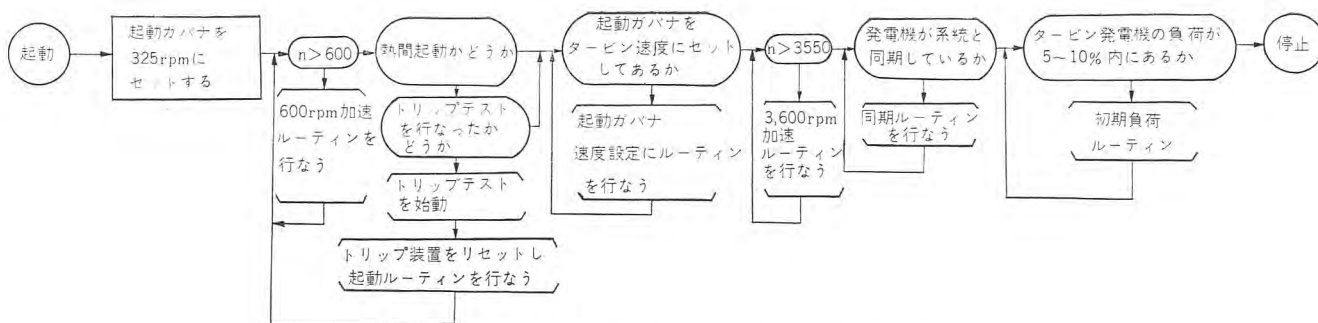


図 3.1 シーケンス制御の方法 (Sewaren 発電所 #5 ユニット)

Fig. 3.1 Method of sequence control.

(3) 運転手順の明確化

火力発電所が実際どのように運転されているのか、あるいは運転員の負担の程度を十分考慮したうえで、火力発電所の運転手順を明確化し、計算機のシーケンス制御の基本プログラムを作成することが必要である。

図 3.1 に起動時のプログラムの一例を示す。

(4) 運転操作の時間的関連性

火力発電所の運転には非常に多くの操作を必要とし、しかもその大部分の操作が、ボイラ・タービンおよび発電機相互間で並列に行なわれるのが実情である。いま計算機により起動、停止、運転をシーケンス制御する場合、計算機としては並行操作を行なうことは不可能であるので、各種操作間の時間的関係を明白にし、安全かつ合理的に運転できるような、シーケンス・プログラムを作成することが必要である。

4. 制御装置

これまででは、火力発電所の計算機制御に関し、おもにソフト・ウェアの側からその可能性を論じたわけであるが、ソフト・ウェアと同様、実際的にはハード・ウェアが製作面および実施面で非常に問題になってくる。自動制御系の良否を論議する場合、必ず問題となるのが、制御装置の応答度と信頼性であるといえる。信頼性のない自動制御系は無用の長物にすぎない。

現在各種計測技術のレベルは次第に向上しつつあり、すでに火力発電所でもデータ処理装置の開発に便乗して十分検討され、その問題点の摘出、究明と同時に、さらに信頼度の高い、計測器の開発に努力している段階である。また計算機に関しても国内外で盛んに研究、開発されつつあり、多種機能を備えた高速度かつ高信頼度の計算機が世に現われてきている。しかし全自動化発電所の完遂には、いま以上の信頼度と複雑な機能が要求されるのは必至であり、今後の不斷の努力が要望される次第である。以上のように火力発電所の自動制御を行なうにあたって、ソフト・ウェアの研究と並行して、つねにハード・ウェアの研究を続行することが肝要であり、一つの発電プラントに最適の制御形態を確立するために、

プラント技術者と制御系技術者との緊密な連絡が重要な要素となる。

5. むすび

火力発電所の自動化は、現在国内外において大いに論議されている段階にあり、その導入の可否を一義的に決定することは非常にむづかしいようである。

しかしアメリカでは、すでにほとんどの大容量火力発電所に導入される傾向であり、早くも二、三の全自動化発電所が稼働している段階である。ここに至って、いまやわれわれとしても、この新しい火力発電所の制御方式を十分に調査、検討するとともに、その必要性を慎重に討議する必要に迫られたわけである。要するにこの課題は内容的に非常に広範囲な知識および技術が必要であり、その実施にあたっては、計算機技術者、計測器技術者、プラント技術者および運転技術者の相互の密接な連絡、あるいは意見の交換が円滑に行なわれることが重要である。

これら技術者の研究、開発の結晶を計算機に盛りこむことにより、安全かつ合理的な運転制御が可能になる。すなわち、火力発電所の計算機制御の根本は大容量装置の開発と並行して、火力発電所の運転データを詳細に検討分析し、計算機に記憶させることにある。今後火力発電所の全自動化が急速に実現されることを希望して、本稿を終ることにする。

参考文献

1. Westinghouse Prodac Digital Steam Station, Westinghouse Elec. comp
2. Westinghouse Prodac Digital Control Computer System for Unit No. 5 Sewaren Generating Station, Westinghouse Elec. comp
3. Computers for Steam Station Control J.W. Skooglund, R.B. Squires: Westinghouse Engineer, Sept. (1961)
4. Design of a Control Computer W.W. Ramage: Westinghouse Engineer, Sept. (1961)
5. Computers in Plants, Power, Oct. (1961)
6. 火力発電所の計算機制御報告書 技研報告 (火力 6102 号)
7. 最近の工業計測技術 (工業用 データ処理装置) 電気学会, 関西支部資料.

データ処理装置

—火力プラントへの適用例—

松元雄蔵*・竜田直紀**・貴田篤志**

Data Processing System

—Application to Thermal Power Plants—

Electronics Works
Kamakura WorksYūzō MATSUMOTO
Naonori TATSUTA・Atsushi KIDA

A data processing system is now in wide applications to various industrial processes. Here is an example adapted to thermal power plants, which are turning to a giant size lately and involving many new problems for effective operation. A type MELDAP-7371 unit is the particular one supplied to the Yawata Steel and Iron Manufacturing Co.; description is made about its function, input characteristics, a method of performance calculation. In this system, performance monitoring, the above calculation and outputs are under independent control to assure high reliability of on-line data processing system. Furthermore, a new method is employed to work out the enthalpy in the above performance calculation.

1. ま え が き

火力プラントは近年急速に大形化の傾向にあり、このプラントを最適なシケンスで運転し、プラントの信頼性・安全性を高めるとともに稼働率、機器の寿命などを考慮した総合的なプラントエコノミの向上が問題となりつつある。

これらプラントの運転監視と制御のために必要なプロセス変数も、プラント容量の増大とともに加速度的にその数を増し、200 MWでは入・出力合計 1,200 点、さらに大容量のものでは 1,500 点を越える⁽¹⁾ともいわれている。このように膨大なプロセス変数を迅速、適確に処理して、そのプラントの最高能力を発揮させるには、もはや熟練した運転員と、従来の計装のみでは解決できない問題であり、ここに電子計算機の技術を駆使したプラントの自動化が不可欠の命題となってくるのである⁽²⁾。

火力プラントの制御方式は、起動・停止時および異常時の制御と、定常運転時の制御に大別できるが、これらをただちに全自動化して計算制御を行なうには、現在なお幾多の問題があり、むしろ現状ではデータ処理装置を駆使して、高速走査による監視（計算を含む）、とボイラ、タービンなどの性能計算を高速に行ない、運転制御の指針を得るとともに、得られたデータに基づく最適制御条件の解析などを中心に考えるのが妥当であろう⁽³⁾。

一方、データ処理装置に要求される第1の問題は、プラントの安全と運転の確実性を保証するに足る高度の信頼性であり、このためには、機器の設計、工作、プログラミング、ならびに保守のうえでのいろいろの対策が考えられている。

本文ではすでに発表したもの⁽⁴⁾⁽⁵⁾に引き続き、火力発電プラントのデータ処理装置の適用例として、八幡製鉄納入の MELDAP-7371 について、その機能、入力点、性能計算などについて概説する。

なお、このプラントは自家発としては最新鋭に属する 50 MW 出力のもので、ボイラ、タービンは三菱造船株式会社により、また発電機とその他の電気品は三菱電機によりそれぞれ製作納入されたものである。

2. 方式と機能

MELDAP-7371 は、データの収集ならびに監視を行なう部分と高速電子計算機部分とが巧みに連結されて、いわゆるコンピュータ・ロガーという一つのシステムを構成しており、その概要は図 2.1 に示すとおりであり、その構成機器の要部のみを示せば図 2.2 のとおりである。計算機としては、すでに発表されている MELCOM-1101⁽⁶⁾ をこのシステムに適合するよう改造したものを使用している。（この図には変換器およびデータ出力用の機器は含まれていない）。

プラント各部の計測量は空気信号、電気信号、パルス、接点の ON-OFF 信号などの形で導入され、変換器によって、すべて電気信号への変換が行なわれたのち、この装置に接続される。

入力点数は総計約 100 点で、作表は 4 台の電動タイプライタ（起動停止時印字用 1 台、定常運転時作表用 3 台）を用いて行なわれ、このほか小形ラインプリンタが 1 台あり、異常時印字、指定点呼出印字などに使用される。

また指定点呼出表示を行なうための数値表示器が操作卓上に設置されている。

この装置では、上記の各種信号を受けて、つぎのような動作を行なう。

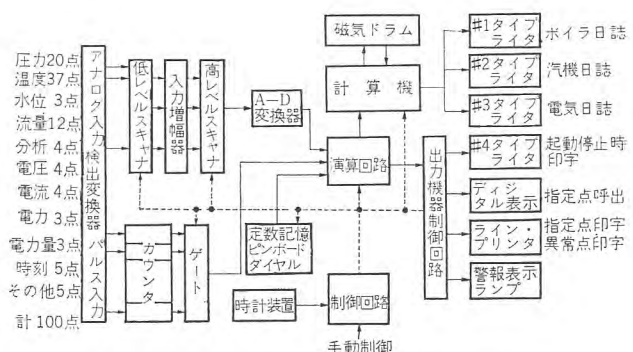
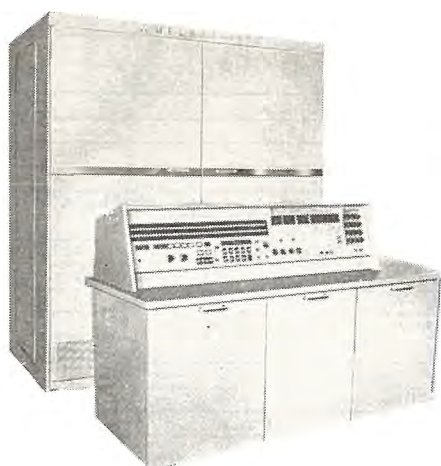


図 2.1 MELDAP-7371 システム・ブロック図

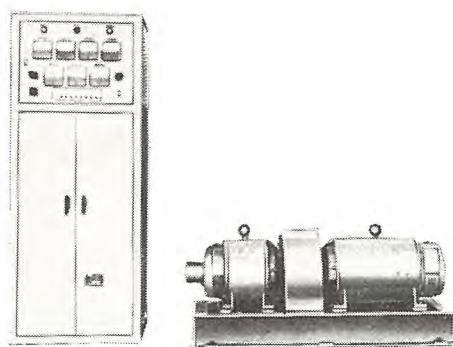
Fig. 2.1 System block diagram of MELDAP-7371



(a) 本体と操作卓



(b) 電子計算機



(c) 無停電電源装置 (M-M-G)

図 2.2 火力プラント用データ処理装置 MELDAP-7371
Fig. 2.2 MELDAP-7371, data processing system
for thermal power station.

- (1) プラント起動時および定常運転時にはそれぞれ指定の入力を1秒間約4点の速度で走査して監視を行なう。
 - (2) 走査監視により異常を発見した場合には、警報表示を行なうとともに、異常印字用ラインプリンタを用いて、その時刻、入力点番号、データを印字する。
 - (3) すでに異常状態にあった点が正常に復帰した場合には表示を解除するとともに、ラインプリンタを用いて、その時刻、入力点番号、データを印字する。
- なお、異常発生時と復帰時との印字を区別するため、特別の符号を含めて印字を行なう。
- (4) 起動時には指定のデータを5分間隔に印字作表する。
 - (5) 定常運転時には指定のデータを1時間間隔に印字作表する。
 - (6) 上記の監視作表を行なうために必要な各種の計算を行なう。
 - (7) 各種効率算定に必要なデータについては、1時間の平均値、積算値を自動的に算出し、これを用いて効率を算出する。
 - (8) 上記の走査監視、計算、ならびに作表などの出力動作は相互に並行して行なうことができ、したがって走査監視は他の動作のために中断されない。
 - (9) 任意の時刻に手動指令により、定時刻印字と同様の印字作表を行なわせたり、指定した入力点のデータをラインプリンタによって印字させたり、あるいは数値表示させたりすることができる。
 - (10) 内部記憶装置に記憶されている効率計算用定数など各種定数を手動指令によって任意に変更することができ、この際に

データ処理装置・松元・竜田・貴田

は変更後の定数はラインプリンタで自動的に記録される。

- (11) スケールファクタ、上・下限設定値などは指令によって、ラインプリンタに記録させ、確認できる。
- (12) 起動時と定常運転時の動作の切換えは自動的に行なわれる。
- (13) その他、各部にはセルフチェック機能を有し、各動作ステップの確認照合、基準入力による動作確認、診断プログラム

による計算機のチェックなどが常時くり返し行なわれる。

3. データ処理項目と検出方法

この装置によるデータ処理項目は、表3.1に示すとおりである。同表に示すように、入力信号としては各種のものがあるが、これらは変換器盤でそれぞれつぎのように変換される。

- (1) 空気圧信号 ($0.2 \sim 1 \text{ kg/cm}^2\text{g}$) は空電変換器により $1 \sim 5 \text{ mA}$ に変換。
- (2) 熱電対 (IC, CA) および測温抵抗体については、温度変換器により $1 \sim 5 \text{ mA}$ に変換。
- (3) 電流信号 ($0 \sim 5 \text{ mA}$, $0 \sim 200 \text{ mA}$, $0 \sim 50 \text{ mA}$) は抵抗で受け、 $0 \sim 50 \text{ mV}$ に変換。
- (4) スライド抵抗は抵抗両端に直流電圧を与え、 $0 \sim 5 \text{ V}$ または $0 \sim 50 \text{ mV}$ に変換。
- (5) その他、交流電圧、電流はそれぞれ電圧、電流変換器により $0 \sim 5 \text{ V}$ に変換、電力はサーマルコンパタを用いて $0 \sim 50 \text{ mV}$ に変換。

これらの信号はいずれも入力増幅器により、絶縁増幅されてからAD変換器に与えられるよう考慮してあり、またパルス信号についても絶縁を兼ねた中継用リレーが使用されている。

4. 計算内容

この装置で行なう計算には各種のものがあるが、ここでは火力プラントにおいてとくに重要なボイラ効率、タービンプラント効率ならびに全プラント効率の計算方法について述べる。これらの効率を算出するにはかなりの種類の測定データを必要とし、また精度の高い結果を得るには測定データに高い精度が要求されるわけで、計測点の選定、計測位置、検出方法などに細心の注意が必要である。

4.1 ボイラ効率

ボイラ効率の算出方法⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾には周知のように、入力-出力法と損失法とがある。

入力-出力法では供給燃料の全発熱量と、熱出力(蒸気および給水の温度、圧力、流量を測定することにより求められる)を求めて効率を算出するものであり、損失法では、供給燃料の全発熱量と各種損失熱量(または熱出力と損失熱量)とを求めて効率を算出する。損失法では計測によって求めるのが損失であり、現今のボイラでは諸損失の和が10~15%程度であるため、現在の計測方法によってもかなり高い精度で効率の算定が可能である。とくに

表 3.1 データ処理項目一覧表 (その 1)

番号	項 目	起動時	常時	監視	記録	スケール	単位	合計	平均	最大	最小	計 算	計 器 目 盛	入 力	備 考
1	過熱器出口蒸気圧力	○	○	H.L	○	3	kg/cm ² g	○	○	○	○	80~120kg/cm ² g	0~50mA DC		
2	ドラム圧力	○	○		○	3	kg/cm ² g					0~150kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
3	ドラム水位	○	○	H.L	○	3	mm					-250~0~+250mm	0~50mA		
4	過熱器出口蒸気温度	○	○	H.L	○	3	°C		○	○		300~600°C	0~50mA		
5	飽和蒸気温度上昇率	○	○	H	○	3	°C/h				○	0~70°C/h			ドラム圧力より飽和蒸気温度を換算
6	主蒸気流量		○		○	3	t/h					0~200 t/h	0~50mA		
7	主蒸気流量積算		○		○	4	t	○	○	○		0~6,000 t	パルス		時間毎の積算値に対する1日のmax.min 平均および1日のtotalを印字し時間毎の積算値は印字しない流量について以下同様
8	給水ポンプ出力圧力	○	○	L	○	3	kg/cm ² g					0~250kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
9	節炭器出口給水温度	○	○		○	3	°C					0~300°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
10	給水流量		○		○	3	t/h					0~220 t/h	0~50mA		
11	給水流量積算		○		○	4	t	○	○	○		0~6,000 t	パルス		
12	FDF出口空気圧力	○	○		○	3	mmH ₂ O					0~400mmH ₂ O	0.2~1.0kg/cm ² g		
13	ユングAH出口空気圧力	○	○		○	3	mmH ₂ O					0~250mmH ₂ O	0.2~1.0kg/cm ² g		
14	ユングAH入口空気温度	○	○		○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
15	ユングAH出口空気温度	○	○		○	3	°C					0~300°C	C A		
16	火 炉 内 圧	○	○	H.L	○	3	mmH ₂ O					-25~+0~+25mmH ₂ O	0~200mA		
17	IDF出口圧力 (左)		○		○	3	mmH ₂ O					-50~+100mmH ₂ O	0.2~1.0kg/cm ² g		
18	IDF出口圧力 (右)		○		○	3	mmH ₂ O					-50~+100mmH ₂ O			
19	ボイラ出口ガス温度	○	○		○	3	°C					0~600°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
20	節炭器出口ガス温度	○	○		○	3	°C					0~300°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
21	空気予熱器出口ガス温度	○	○		○	3	°C					0~300°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
22	重 油 温 度		○	H.L	○	3	°C					0~120°C	0~50mA		
23	BFガス流量		○		○	3	KNm ³ /h					0~200 KNm ³ /h	0~200mA		
24	同 上 積 算		○		○	4	KNm ³	○	○	○		0~4,800 KNm ³	パルス		
25	重 油 流 量		○		○	3	Nm ³ /h					0~15 Nm ³ /h	0~50mA		
26	同 上 積 算		○		○	3	Nm ³	○	○	○		0~360 Nm ³	パルス		
27	O ₂ % (Eco出口)		○	H.L	○	2	%					0~10%	スライド抵抗		
28	熱量混焼比		○		○	3	%					0~100%			燃料の全発熱量に対するBFガス発熱量の比
29	ボイラ効率		○		○	3	%					0~100%			平均効率には流量、電力量の1日の積算値を用いて計算する
30	ボイラウォータ電導度		○	H	○	3	μU/cm					0~1,000 μU/cm	スライド抵抗		
31	復 電 導 度		○	H	○	2	μU/cm					0~10 μU/cm	スライド抵抗		
32	タービン入口蒸気圧力	○	○		○	3	kg/cm ² g					0~150 kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
33	第1段落蒸気圧力	○	○		○	4	kg/cm ² g					0~150 kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
34	タービン入口蒸気温度	○	○		○	3	°C					0~600°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
35	主蒸気調速弁前蒸気温度	○	○		○	3	°C					0~600°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
36	第1抽気圧力		○		○	3	kg/cm ² g					0~40 kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
37	第2抽気圧力		○		○	3	kg/cm ² g					0~15 kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
38	第3抽気圧力		○		○	3	kg/cm ² g					760mmHg ~ 4kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
39	第4抽気圧力		○		○	3	kg/cm ² g					760mmHg ~ 1.0kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
40	復水器真空	○	○	L	○	3	mmHg					760mmHg ~ 0	0.2~1.0kg/cm ² g		
41	排 気 温 度	○	○	H	○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
42	脱気器内圧力	○	○	H.L	○	2	kg/cm ² g					-760mmHg ~ 4kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
43	復水器ホットウェル水位	○	○	H.L	○	3	mmH ₂ O					-500~+500mmH ₂ O	0.2~1.0kg/cm ² g		
44	脱 気 器 水 位	○	○	L	○	3	mmH ₂ O					-1,000~+1,000mmH ₂ O	0.2~1.0kg/cm ² g		
45	復水器出口復水温度		○		○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
46	第1加熱器出口給水温度		○		○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
47	脱気器出口給水温度		○		○	3	°C					0~300°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
48	第2加熱器出口給水温度		○		○	3	°C					0~300°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
49	第3加熱器出口給水温度		○		○	3	°C					0~300°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
50	復 水 流 量		○		○	3	m ³ /h					0~180m ³ /h	スライド抵抗		
51	同 上 積 算		○		○	5	m ³	○	○	○		0~4,320m ³	パルス0.1m ³ /パルス		
52	補 給 水 流 量		○		○	3	t/h					0~4,000 t/h			
53	同 上 積 算		○		○	4	t	○	○	○			パルス		
54	調 速 油 圧	○	○	L	○	2	kg/cm ² g					0~15 kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
55	潤 滑 油 圧	○	○	L	○	2	kg/cm ² g					0~4 kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g		
56	油冷却器出口油温度	○	○	H.L	○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
57	油冷却器入口油温度	○	○		○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
58	復水器入口循環水温度		○		○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
59	復水器出口循環水温度		○		○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
60	復水器出口循環水温度		○		○	2	°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント 熱電対
61	タービン前部軸受温度		○	H			°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント C A 熱電対
62	タービン後部軸受温度		○	H			°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント C A 熱電対
63	タービンスラスト軸受温度		○	H			°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント C A 熱電対
64	発電機前部軸受温度		○	H			°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント C A 熱電対
65	発電機後部軸受温度		○	H			°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント C A 熱電対
66	励磁機前部軸受温度		○	H			°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント C A 熱電対
67	励磁機後部軸受温度		○	H			°C					0~100°C	C A		ダブルエレメント C A 熱電対
68	内車室フランジ内外温度差	○		H			°C						C A		計 6 点の温度計測点のデータから算出する
69	外車室フランジ内中温度差	○		H			°C						C A		
70	外車室フランジ内ボルト温度差	○		H			°C						C A		
71	タービン軸受振動	○	○	H			mm					0~0.1mm	0~5mA		(max 0.05mm)
72															
73	タービン軸位置	○	○	H.L			mm					-0.8~+0.8mm	0~5mA		(max ± 0.3mm)
74	ロータ車室伸差	○	○	H.L			mm					-3~+6mm	0~5mA		
75	ロータ偏心	○	○	H			mm					0~0.15mm	0~5mA		
76	タービン効率		○		○	3	%								

表 3.1 データ処理項目一覧表 (その2)

77	発電機電圧		○	H	○	3	kV		○		0~15kV	110V	
78	発電機電流		○	H	○	3	kA				0~5kV	5A	
79	発電機電力		○		○	3	MW				0~75MW	60mV	
80	発電機電力量		○		○	4	MWh	○	○	○	0~2,000MW	パルス: 1MWh/パルス	1時間毎の積算および1日の合計を印字
81	力率		○		○	2	%		○	○			
82	励磁電圧		○		○	3	V				DC. 0~300V	スライド抵抗 0~50mV	
83	励磁電流		○	L	○	3	A				DC. 0~75.0A	スライド抵抗 0~50mV	
84	周波数		○		○	3	c/s		○			60 c/s	発電機電圧変換器より入力を得る
85	所変電圧		○		○	3	kV				0~4.5kV	110V	
86	所変電流		○		○	3	kA				0~1.2kV	5A	
87	所変電力		○		○	3	MW				0~10 MW	60mV	
88	所変電力量		○		○	4	MWh	○	○	○	0~200 MW	パルス 0.1MWh/パルス	
89	起変電圧		○		○	3	kV				0~4.5kV	110V	
90	起変電流		○		○	3	kA				0~1,200A	5A	
91	起変電力		○		○	3	MW				0~10 MW	60mV	
92	起変電力量		○		○	4	MWh	○	○	○	0~200MW	パルス 0.1MWh/パルス	
93	回転子温度	○	○	H		4	°C				0~150°C	スライド抵抗 0~50mV	Kovar 10 Ω/25°C
94	固定子温度	○	○	H		4	°C				0~150°C	測温抵抗体	
95	水素ガス圧力	○	○	H.L	○	2	kg/cm ² g		○		0~5 kg/cm ² g	スライド抵抗	
96	水素ガス純度	○	○	H.L	○	3	%		○		80~100%	スライド抵抗	
97	水素ガス温度	○	○	H	○	4	°C		○		0~150 C	測温抵抗体	Pt 25 Ω/0°C
98	密封油差圧	○	○	L		3	kg/cm ² g				0~1.5 kg/cm ² g	0.2~1.0kg/cm ² g	
99	送電電力量		○		○	4	MWh	○	○	○			(80) - (100)
100	所内電力量		○		○	4	MWh	○	○	○			(80) + (92) × 1/2
101													
102	プラント効率 (送電端)		○		○	3	%		○	○			
103	負荷率		○		○	3	%		○	○			1日1回 平均送電電力量/最大送電電力量
104	利用率		○		○	3	%		○	○			1日1回 平均発電電力量/定格
105	所内比率		○		○	3	%		○	○			1日1回 所内電力量/発電電力量
106	所変起動時刻	○			○	4	時分						○ ○ 時 ○ ○ 分 52 H
107	起変停止時刻	○			○	4	時分						52 H
108	起変起動時刻	○			○	4	時分						52 S
109	起変停止時刻	○			○	4	時分						52 S
110	点火時刻	○			○	4	時分						110, 115, はローガー専用押しボタンの接点
111	通気時刻	○			○	4	時分						110, 114, は主閉止弁 Limit Switchの開閉
112	併列時刻	○			○	4	時分						52 M
113	解列時刻	○			○	4	時分						52 M
114	通気停止時刻	○			○	4	時分						
115	消火時刻	○			○	4	時分						

このプラントでは燃料に重油と BF ガスを使用しているため、熱入力が比較的正確に求められるので後者の方法を採用した。燃料の発熱量としては低位発熱量を用いるものとし、実際の効率計算はつぎのように行なう。

$$\text{ボイラ効率 } \eta_B = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) (\%) \cdots \cdots (4.1)$$

ここに L_1 は乾き排ガス損失, L_2 は燃料中の水分および水素分による損失, L_3 は放射熱損失, L_4 はその他の損失である。

L_1 は次式により算出する。

$$L_1 = \frac{P_d \cdot C_g \cdot (T_g - T_a)}{LHV} \times 100 (\%) \cdots \cdots (4.2)$$

ここに P_d は燃料 1 kg が燃焼した場合の乾き排ガス量で、

$$P_d = 1 + \alpha \gamma \mu A_o - W_f \text{ (kg/kgFuel)} \cdots \cdots (4.3)$$

で与えられる。ここに

α : 修正係数 (≤ 1)

γ : 空気の比重 (1.293 kg/Nm³)

μ : AH 出口における空気過剰率

A_o : 理論空気量 (Nm³/kgFuel)

W_f : 燃料中の水分および水素分 (kg/kgFuel)

空気過剰率 μ は図 4.1 の関係で廃ガス中の O₂ % を計測して、これより算出する。 α , γ , A_o および W_f は、手動で設定するものである。

さらに、式 (4.2) において、

C_g : 排ガスの平均定圧比熱 (0.24 kcal/kg°C)

T_g : 排ガス温度 (AH 出口で計測)

T_a : 空気温度 (FDF 出口で計測)

LHV : 燃料の低位発熱量 (kcal/kgFuel)

つぎに L_2 は次式により算出する。

$$L_2 = \frac{W_f \cdot (i_g - i_a)}{LHV} \times 100 (\%) \cdots \cdots (4.4)$$

ここに $i_g - i_a$ は次式により求める。

$$i_g - i_a = 0.465 T_g - T_a \text{ (kcal/kg)} \cdots \cdots (4.5)$$

さらに、 L_3 は図 4.2 に示す関係で蒸発量から算出するものと

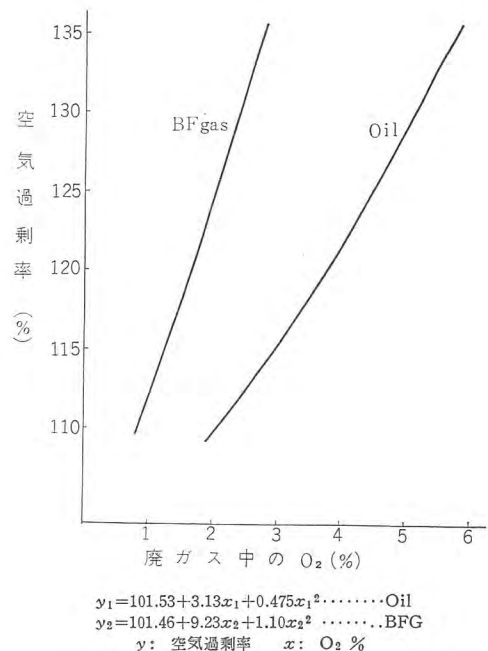


図 4.1 廃ガス中の O₂ % に対する空気過剰率の関係
Fig. 4.1 Relation of oxygen with excess air.

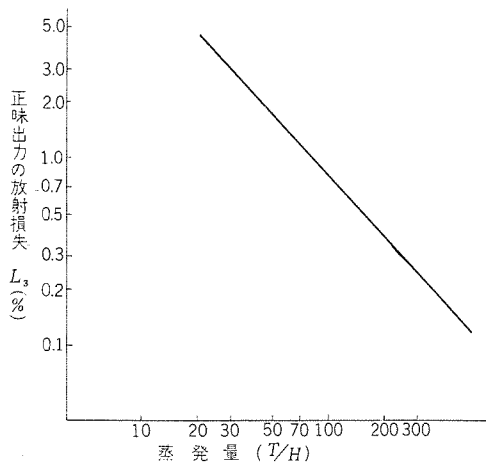


図 4.2 放射損失 (ABMA 資料による)
Fig. 4.2 Radiation loss.

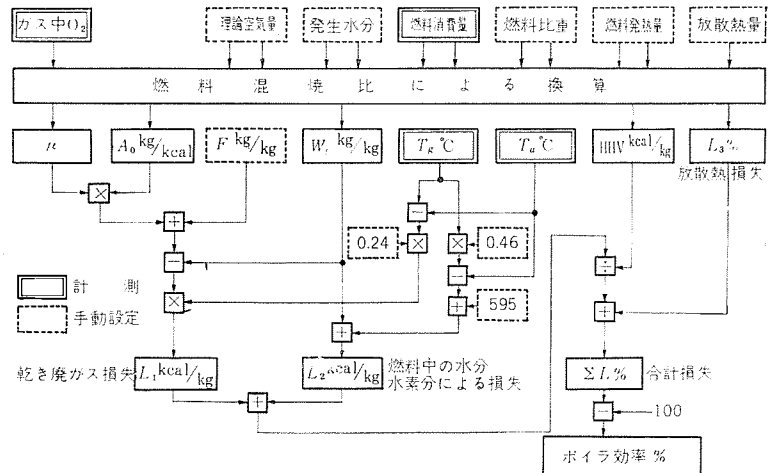


図 4.3 ボイラ効率計算法 (損失法)
Fig. 4.3 Boiler efficiency calculation procedure (Loss method).

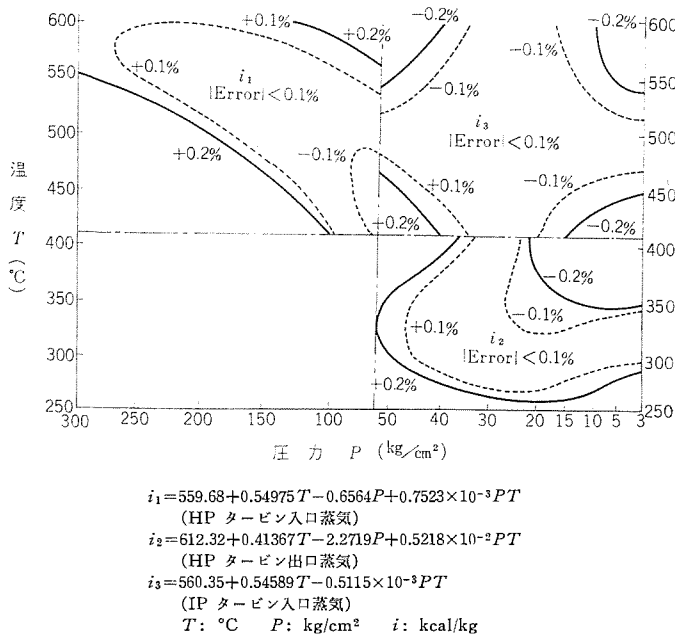


図 4.4 エンタルピー計算用近似式とその誤差分布 (過熱蒸気)
Fig. 4.4 Approximate equations and their error distribution for enthalpy calculation (super heated steam).

し、この関係は次式で近似させる。

$$\log_{10} L_3 = 2.078 - 1.0875 \log_{10} \delta \cdot F_{11} \dots (4.6)$$

ここに F_{11} は給水流量計測値 (t/h)

δ は換算係数 (1.00~1.03)

L_4 はそのほか計測不可能な損失であり、0~2% の間を手動で設定可能としてある。

実際には重油と BF ガスを燃料として混焼するので、その場合には、混焼比を自動的に算出し、これによって前記の各式を修正する。すなわち、

$$LHV' = (LHV_g \cdot W_g + LHV_o \cdot W_o) / (W_g + W_o) \dots (4.7)$$

$$W_f' = (W_{fg} \cdot W_g + W_{fo} \cdot W_o) / (W_g + W_o) \dots (4.8)$$

$$A_o' = (A_{og} \cdot W_g + A_{oo} \cdot W_o) / (W_g + W_o) \dots (4.9)$$

$$\mu' = (\mu_g W_g + \mu_o W_o) / (W_g + W_o) \dots (4.10)$$

ここに LHV' , W_f' , A_o' , μ' はそれぞれ混焼燃料に対する等価換算値を表わし、上式の右辺において、添字 g は BF ガスに対する値、添字 o は重油に対する値をそれぞれ示すものとする。

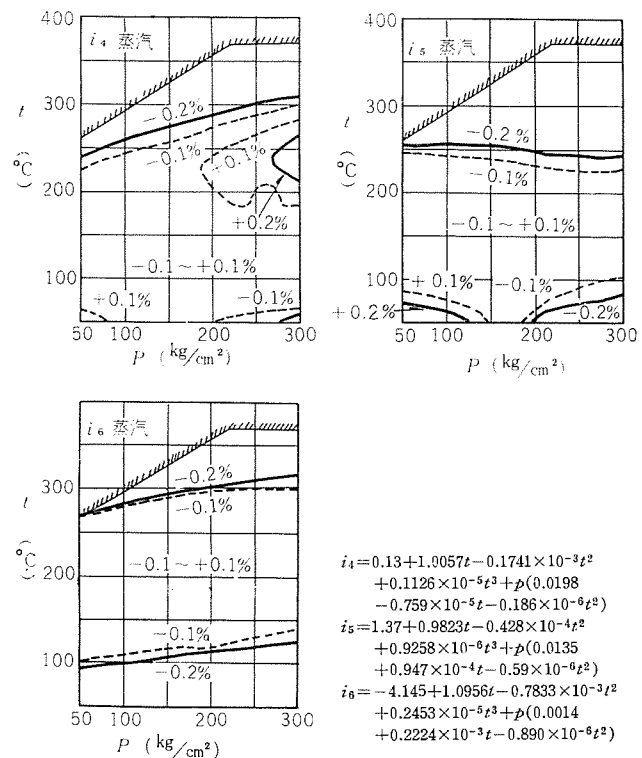


図 4.5 エンタルピー計算用近似式とその誤差分布 (圧縮水)
Fig. 4.5 Approximate equations and their error distributions for enthalpy calculation (compressed water)

以上の計算過程を略図にして示せば、図 4.3 のとおりである。実際に計測を行なうのは燃料の流量、給水流量、廃ガス中の O_2 % 空気温度、排ガス温度であり、その他の数値は分析その他により設定する。

4.2 タービン効率

タービン効率 η_T の算定は、つぎのように行なう。

$$\eta_T = \frac{860 \times \text{発電機出力 (kW)}}{\text{総熱消費量 (kcal)}} \times 100 (\%) \dots (4.11)$$

ここに、総熱消費量 $= H_1 + H_2 - H_3 + H_4 \dots (4.12)$

H_1 : タービン流入蒸気の有する総熱量 (kcal)

H_2 : 空気抽出器により与えられる総熱量 (kcal)

H_3 : 最終給水加熱器出口における給水総熱量 (kcal)

H_4 : 連続フローの有する総熱量 (kcal)

であり、つぎのようにして求める。

$$H_1 = i_s \times Q_s \dots\dots\dots (4.13)$$

$$H_3 = i_w \times Q_w \dots\dots\dots (4.14)$$

$$H_2 + H_4 = 0 \sim 10^6 \text{ kcal (手動設定)} \dots\dots\dots (4.15)$$

ただし、

i_s : 主蒸気の有するエンタルピー (kcal/kg)

i_w : 給水の有するエンタルピー (kcal/kg)

Q_s : 主蒸気流量 (kg)

Q_w : 給水流量 (kg)

なお、蒸気および給水のエンタルピーはそれぞれの温度圧力を計測して、図4.4および図4.5に示す近似式⁽¹⁰⁾を用いて算出する。ここに示した式は蒸気表⁽¹¹⁾のデータをもとにして、IBM-650を使用して係数、および、その誤差を算出してあり、対象とする範囲内においては0.1%の誤差範囲内で、蒸気表の数値と合致するものである。

したがって、この式を使えばエンタルピー算出用プログラムが大いに節減でき、さらに計算時間も短縮できる。

4.3 全プラント効率

全プラント効率 η_P はつぎの式により算出する。

$$\eta_P = \frac{860 \times \text{発電機出力 (kW)}}{\text{供給燃料の全発熱量 (kcal)}} \times 100 (\%) \dots\dots\dots (4.16)$$

以上の各計算にあたって、各種の流量、電力については1時間の積算値を、また温度、圧力などについては1時間の平均値をそれぞれ使用する。また上記各効率の間には

$$\eta_P = \eta_B \times \eta_T \dots\dots\dots (4.17)$$

が大略成り立つが、実際にはボイラ、タービンに含まれない雑損失があって、正確には上式が成立しないこと、および、1効率の計算誤差が他の効率の誤差に影響しないようにするため、それぞれをまったく独立に算出するという方法をとった。

5. む す び

以上データ処理装置の火力プラントへの適用例としてMELDAP-7371についてその機能を中心に紹介した。

われわれが究極的に指向しているのは、いうまでもなく火力プラントの計算機による全自動化であり、これを実現させるためには、たとえば

- (a) 各種検出変換器における精度と信頼度の向上
- (b) プラント自体の解析の推進
- (c) システム工学的見地からのプラント設計の再検討
- (d) 運転基準の明確化と合理化

などを解決しなければならない。しかしながらいらずらにこれら

の問題が解決されるのを待つだけでなく、積極的に本文に述べたようなデータ処理装置を設置して、高速走査監視とか運転指針の計算などを行なわせて、運転員の判断を助けるようにすれば、運転の安全・能率化にも役立ち、またプラントの解析、機器の信頼度についての疑問なども次第に明確化されることになり、計算制御への移行を速めることになると考える。

今回は紙数の都合もあり、構成機器の詳細についてはふれることができなかったが、いずれ稿をあらためて発表する予定であり、また火力プラント用として、この他にも完成間近にあるものがあり、内容的にも本稿とはかなり相違する面もあるのでこれについても機会をみて発表していく予定である。

終りにのぞみ、この計画の推進にあたり種々指導いただいた、八幡製鉄株式会社、三菱造船株式会社をはじめ、社内外の関係者各位に衷心より深謝申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) W. L. Chadwick: General Philosophy and Objectives of Power Plant Automation, AIEE, Pow. App. and Systems, 51, 1034 (1960-12)
- (2) J. W. Skooglund and R. B. Squires: Computers for Steam Station Control, West. Eng., 21, 5, 150 (1961-9)
- (3) 馬場・大鳥羽・松元・竜田: 火力発電プラント用データ処理装置, 電四連大, 294 (昭 37)
- (4) 武田・竜田: データ処理装置による火力発電所の監視と制御, 「三菱電機」34, No. 4, 65 (昭 35)
- (5) 松元・竜田: データ処理装置 (第1報), 「三菱電機」36, No. 5, 64 (昭 37)
- (6) 馬場・渡辺・嶋村・高橋・中嶋・樋田: MELCOM-1101 計数形電子計算機 (1), 「三菱電機」34, No. 12, 60 (昭 35)
- (7) JIS B 8222 陸用蒸気ボイラの熱勘定方式
JIS Z 9202 熱勘定方式通則
- (8) A. J. Horfack: Performance Computer for Steam electric generating units, AIEE, Pow. App. and Systems, 37, 647 (1958-8)
- (9) 千葉・星沢: 微粉炭燃焼用ボイラの熱効率測定法について, 電研技研報告, 火力 61009 (昭 36-9)
- (10) 竜田・貴田: エンタルピー計算用近似式について, 電気関係学会関西支部連合大会, 4-29 (昭 36)
- (11) 蒸気表および線図: 日本機械学会 (昭 25)

火力発電所の監視

— 電気関係の監視 —

堀 謙二郎*

Monitoring of Electric Apparatus in Thermal Power Plants

Kōbe Works Kenjiro HORI

A variety of devices are needed in the monitoring of electric apparatus in thermal power plants. Classified by the uses, they involve indicators, integrating meters, recorders, indicating lamps and fault indicators. They undergo improvement year after year, turning to new types. Of them, this paper particularly picks up automatic oscillographs to record the phenomena automatically when the apparatus are in troubles. Also operation recorders, taking records of correlated devices in faulty period, are taken up. Lastly fault indicators are described in details. Those stated herein are rather of new types of the latest adaptation.

1. ま え が き

電気関係の監視装置としては定常状態を監視するもの、異常状態を監視するもの、またはアナログ量を表示するもの、デジタル量を表示するもの、状態のみを表示するものなどがある。

これらの装置を種類別に分けると指示計器、積算計器、記録計器、信号灯、故障表示器などがあることは周知のとおりである。

指示計器については従来アナログ量を表示するものが大勢を占めてきたが、最近 データローガーの進出にともないデジタル量表示装置が採り入れられつつある。すなわち一例をあげると、配電盤に取付けられた回路選択スイッチおよび電氣量選択スイッチの双方を操作することによって、任意の時間に任意の回路の任意の電氣量を数字表示管によってデジタル表示させるものが採用されている。

積算計器についてはパルス発生機構を付け加えることにより、これをデータローガーに組み込むことが行なわれている。

記録計器については事故時の現象をより正しくつかむために、従来の記録計器以外に自動オシログラフおよびオペレーションレコーダが採用されている。

信号灯については各シャ断器や断路器の状態表示灯以外に、照光式の模擬母線が採用され、状態の表示をより一層明らかにすることが行なわれている。

さらに、故障表示器についてはその回路がより複雑化し、また回路を構成するエレメントが静止化される傾向にある。

以上のように種々新しい装置が採用されつつあるが、このうちデータローガーを中心としたデジタル量表示装置については別項に譲り、ここではそれ以外のものについて簡単に説明する。

2. 自動オシログラフ

電力系統の事故原因を解明するために、事故時の現象を自動的に記録させる自動オシログラフが使用されている。この自動オシログラフにはペン書きのもの、磁気録音テープを使用するもの、光学オシロによるものなどがある。

ペン書きのものおよび磁気録音テープを使用するものは常時記録が行なわれているため、故障発生以前の現象を記録に残すことができる。一方、光学オシロによるものは常時待機状態にあり故障発生と同時に起動させるため若干の時間的遅れを伴うことは避けられない。

ペン書きのものは測定せんとする電圧または電流をパイプレータ用励磁コイルに印加し、常時パイプレータを振動させる。このパイプレータは記録用ドラムの上部に配置され、このドラムの表面には常にインクが塗られているためパイプレータの振動がドラム上に記録される。記録された波形はドラムの最下部において新しく塗られるインクによって消されて行く。

事故が発生すると外部からの信号によって、記録紙圧着用ローラが記録紙をはさんで記録用ドラムに圧着される。以後、記録用ドラムの回転に伴い記録紙も送られ、記録ドラム上の波形を写しとって行く。これにより事故発生から記録が開始されるまでの時間を無視すると、事故発生より記録用ドラムの1/4周だけさかのぼった時間から波形を記録させることができる。この時間は約1/2秒である。

磁気録音方式のものは記録用ドラムの代りにエンドレスに回転する磁気録音テープが使用され、パイプレータの代りに録音用ヘッドを備えている。この方式もペン書きのものと同様常時記録が行なわれ、事故発生前の記録を残すことができる。この方式ではペン書きオシロのような可動部をもたないこと、事故発生前の記録時間を変更することができることなどの特長をもっているが、一方、ペン書きの記録紙幅に比較してテープの幅がせまいため、記録する現象の振幅が小さく、また記録しうる現象の数も少ない。

光学形オシロは常時待機形であって、測定せんとする現象は常

表 2.1 自動オシロの表示項目 (一例)

ペン書オシロの場合 (その 1) ペン書オシロの場合 (その 2)

1	母線電圧 (R 相)
2	" (S 相)
3	" (T 相)
4	" (零相)
5	送電線電流 (零相)
6	キャリア (発信)
7	" (受信)
8	送電線シャ断器トリップ

1	送電線電流 (R 相)
2	" (S 相)
3	" (T 相)
4	母線電圧 (R 相)
5	キャリア (発信)
6	" (受信)
7	送電線シャ断器トリップ

光学形オシロの場合

1	母線電圧 (R 相)
2	" (S 相)
3	" (T 相)
4	中性点電流
5	1 号送電線電流 (零相)
6	2 号 " (")

時 ガルバノメータに加えられて待機している。事故発生を知らせる起動パルスによってサイatron および補助リレーを働かせ、これによって駆動用モータ、光源ランプ、シャッタが動作して現象を記録する。この間の時間的遅れは 25 ms 以下となっている。

以上述べた自動オシロの表示項目の一例をあげれば表 2.1 のとおりである。

3. オペレーション・レコーダ

上述した自動オシログラフが主として事故時の系統電圧や電流の波形を記録するのが目的であるのに対して、このオペレーション・レコーダは事故発生時に各種の保護装置やシャ断器の動作した相対的時間関係を記録するものである。

たとえば、ある事故が発生した時保護継電器が動作すれば、動作用マグネットを励磁しペンを動かして記録紙の上に継電器が動作したことを記録する。この継電器によってシャ断器がトリップされた時は若干の時間的遅れを伴い同様にシャ断器の動作が記録される。

また、発生した事故の種類によって、記録紙の送り速度を一時的に変更し、きわめて短い時間間隔を読みとることもできる。

オペレーション・レコーダの表示項目の一例を示せば表 3.4 のとおりである。

表 3.1 オペレーション・レコーダの表示項目（一例）

1	発電機用シャ断器手動シャ断	○
2	母線保護リレー動作	○
3	発電機不平衡負荷リレー動作	○
4	逆電力リレー動作	○
5	比率差動リレー動作	○
6	過電流リレー動作	○
7	接地過電圧リレー動作	○
8	界磁喪失リレー動作	○
9	主変圧器比率差動リレー動作	○
10	直結所内変圧器比率差動リレー、 接地過電流リレー、過電流リレー動作	○
11	発電機用シャ断器自動シャ断	
12	直結所内変圧器用シャ断器自動シャ断	
13	母線低電圧リレー動作	○
14	起動変圧器特高側シャ断器自動シャ断	○
15	高圧側	
16	比率差動リレー 接地過電流リレー、過電流リレー動作	○

注：○印は高速度要素付

4. 故障表示器

故障表示器にはランプ式のものとターゲット式のものとがあることは周知のとおりである。またターゲット式については二重表示式と称し、白色ターゲットによって故障の発生を、黄色ターゲットによって故障の継続を示すものであることもよく知られているとおりである。

一方、ランプ式ののものには実に種々様々な方式のものがあるが、その一例を図 4.1 に示す。図 4.1 の方式では故障の発生をランプリツカとベルによって表示し、ランプの連続点灯によって故障の継続を示している。すなわち、図 4.1 において故障発生し故障表示接点 F 閉路すれば、補助継電器 A のコイル A₁ が励磁され接点 A が閉路する。これによりコイル A₁ は自己保持し故障継続中と同様な

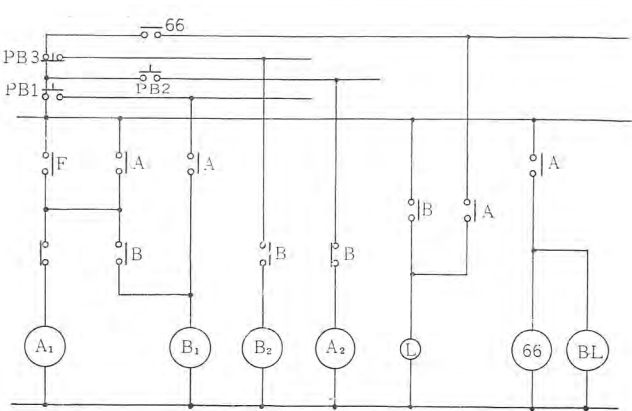


図 4.1 故障表示回路
Fig. 4.1 Annunciator circuit.

効果をもたらす。接点 A の閉路によりフリッカ継電器 66 付勢され故障表示灯 L がフリッカし、同時にベルを鳴らして警報する。故障の発生を確認したのち、押しボタン PB1 を押すと補助継電器 B のコイル B₁ が励磁され A₁ が消勢される。これによってフリッカ停止し、ベルも鳴り止み、ランプは連続点灯になる。

この時継電器 B のコイル B₂ の回路を押しボタン PB3 に接続してあれば、継電器 B は B₂ によって自己保持され押しボタン PB3 を押すまでは故障が回復しても点灯を続ける。もし B₂ を接続しなければコイル B₁ は故障接点 F によって付勢されたままであるため、故障解除すれば自動的に B₁ 消勢されランプは消灯する。

押しボタン PB2 を押せば継電器 A のコイル A₂ が励磁され、故障接点 F によってコイル A₁ が励磁された時と同様の働きをする。すなわち PB2 によって故障表示回路のテストを行なうことができる。

なお、以上の説明からもわかるとおり、継電器 A および B はそれぞれコイル A₁ および A₂、B₁ および B₂ をもつダブルコイルのリレーであって、いずれのコイルを励磁してもまったく同じ動作を行なうものである。またターゲット式は補助継電器を内蔵し、ランプ式のものの最近ではランプボックスの背後に A、B 2 個の補助継電器を内蔵したリレー部をプラグイン方式で連結し一体とした構造のものを採用している。

ランプ式の補助継電器としては通常テレホンリレーが使用されているが、今後の方向としては、すでにごく一部に採用されかけているトランジスタ方式のものが採用されるようになる。その機能としては従来のテレホンリレー方式となら変ることはないが、可動部分がないため信頼度が増し、保守も簡単になるものと思われる。

5. そ の 他

まえがきにも述べたように照光模擬母線を採用することによって母線、発電機、変圧器などの状態表示を行なうようになったこと。

所内変圧器回路の積算電力計にパルス発生機構を設けデーターガーを使用して、母線連絡回路の電力量を加算または減算し直結所内母線および共通所内母線および共通所内母線で消費される電力量を算出すること。

以上が上述したもの以外に、新しく採用されるようになった方式である。

人間工学と製品の外観設計

若 林 弘 章*

1. ま え が き

近時、科学のいちじるしい発達にあわせて、あらゆる機器の自動化・精密化と、装置工業・工場設備などのオートメーション化が急速に進むにつれて、これらの機器のもつエネルギーが巨大なものになってきた。反面これらの機器を制御し、駆使する立場の人間自身は頭脳こそ進んだものになってきたが、肉体的にはそれこそアダム の頃と大差ない状態である。そこでこの人間が機器をうまく使いこなせるようにするために、人間のもつ限界性・特性を認識することが重要になってきた。つまり人間の扱う機器が、いくら大きなものであっても、また、どういう形であって、絶えず人間が機器と接触する面だけは、人間に良く合ったものにする必要が生じてきたわけである。そうすれば人間は、機器と自由にインフォメーションの授受を行ない、小さな操作エネルギーで、大きなエネルギーを駆使することが可能になるのである。それにはまず機器・装置の設計にあたって、人間特有の肉体的、精神的諸条件がどんなものであるかを十分はあくした上で、これらの機能を図面の中に導入してゆくことが必要になってくるのである。

ところが、われわれが使用したり、製作したりする機器の中には、実用性を第一とするものと審美性（美的要素）を主とするものがある。従来の実用性を第一とする設計といえば、機器の効率の向上だけをはかってきた傾向にあって、人間の効率向上は軽視されがちであり、ましてその審美性については問題外という場合が非常に多かった。ここに人間と機器とが密接な相関関係をもって快適に、効率よく機器を統御すべく人間-機械関係を研究する人間工学 (Human Engineering)、工業意匠 (Industrial Design) が誕生したのである。しかし、あくまでも人間-機械系の生産性の向上を目指す人間工学的設計 (Human Engineered Design) には審美的プロセスを楽しむ余地はなく、美的造形ということに関して消極的である。したがって実用性を主体とする場合には、色彩にしても、これによって弁別をいかによくするか、視機能に対する効率から考えて何色の組合せがよいか、といったことから色彩を考える。こうしてみると人間工学的設計による機器はまったく味気のないものになってしまう恐れが多分にある。であるから人間要素を第一義的に設計に取り入れたら次に美の要素を十分考慮しなければならない。すなわち実用的なものだからといって審美性（美的要素）を取り去る必要は少しもないのである。また実用性の程度によっては審美性を大きく評価してゆかねばならない場合もある。要は設計の初期に、設計しようとするものがどこまで実用性、あるいは審美性を主体に持たせるべきかをよく考慮することが大切である。

では広義の設計が行なわれてゆく過程を考えてみると、まずある機器なり設備なりについてのアイデアが、調査、研究の結果生れてくる。そのアイデアを具体化するために、純粋工学理論をもとにしてエンジニアが機器の諸元を決定する。これが機能設計 (Functional

Design) と称される段階である。機能設計はあくまで機器・設備の理論的な構造を示しているに過ぎないから、これに美的感覚と顧客・消費者の心理にマッチする感覚を折込む意匠設計 (Industrial Design) の段階と、さらに材料・加工技術等を考慮して製品を具現化する生産設計 (Production Design) の段階という三つの過程があるが、いずれもこの過程は何度もサーキュレートしながら最終的に或る形に落ち着くのである。

この場合の形はあくまで「人間を主対、あるいは人間を対象として明確な目的と意識をもつ造形活動」であるべきであり、またすぐれた形（外観）にする場合は、すぐれた製品を設計するための一部として人間工学なり、工業意匠をもっとも効果的に利用するときを得られるのである。

2. 人 間 工 学

最近、人間工学の必要性が日本において高まっているが、人間工学という概念がはじめて形成されたのは、第二次大戦中のアメリカ陸海空軍からであった。それは戦時の人間の消耗に伴って完全に訓練されていない者まで戦闘に参加した結果、兵器の操作も十分でなく、結局、精密な高性能を誇る兵器・機器はできたが、その操作が複雑で熟練を要する場合には、使用に制限が加わざるを得なかったのである。そこでこの問題解決のために心理学、生理学、身体計測学、さらに社会学、物理学、化学、数学等の関連各科の専門家を動員し、設計工学と密接に協力させたのであった。その結果、兵器・機器設計は設計者が物理的諸原則と同程度に人間要素を考慮してなされるまでになり始めたのである。戦後この問題に拍車をかけたのは自動制御が産業界に広く採用されるに至ったからである。一方イギリスでも戦時中から人間工学に属する研究が行なわれて、この方面の分野にたいしてエルゴノミクス (Ergonomics) という言葉が使用され Human Machine Relation の適正化を計る運動がおきており 1957 年に機関誌 Ergonomics 1 号を発刊した。

2.1 人間工学的設計方法

人間工学的な設計を進めてゆく上の順序という点から考えてみると、あらかじめ設計者は、人間機械系がどんな生産をしてゆくのかその仕事を確かめ、加工上加えられている制限と要求は何であるかを十分承知しておかねばならない。つぎに人間機械系でおよそどの部分を機械にまかせ、どこまでを人間がやるかを決定するとともに、要求されている仕事を遂行するために必要な要素を選び出すことである。ここで人間要素がどこまで、どんな状態の時に生産過程に入ってくるかを決定するのである。（しかし人間要素は弾力性のあるものであって、1 人でかなりの種類の異なる要素をやっているのが限界のあることにくに注意しなければならない。）設計上の種々の制限もあり、まず大綱を立てたら要素の特性を一つ一つ吟味してもっともよいと思われるものを選び組合せてゆくのである。一応でき上がったならばさらに生産の経済面か

ら操作効率から、維持面から設計を眺めて欠点を排除してゆく。最後にこれまで気付かなかった設計上の欠点を発見するために、人間機械系全体として設計が適当であるかどうかを評価するのである。すなわち環境を通してくる障害を取り除いた適正な環境条件で、正しい情報を得、正しい決定をし、正しい行動ができるように使用者に正しく適合した形を決定しなくてはならないのである。

W. E. Woodson は準備、選択、検討の三つにわけて次の手順によるべきことをのべている。

- (1) 準備
 - ・ 人間-機械の結合が行なう仕事の内容を確める。
 - ・ 設計についての要求と、制限を確認する。
 - ・ 人間-機械の結合が動作する環境を決める。
 - ・ 与えられた作業をする装置の一部として利用できる既存の設備の特性を決める。
- (2) 選択
 - ・ 与えられた作業を行なうための回路、装置、部分組立など各部の計画をしてみる。
 - ・ 機能的な特性、設計の制限に対する適合性、予想される動作条件の下での信頼性などの見地より、各設計について各要素や要素間の結合を調べる。
 - ・ こうして一番有望だと思われる設計を選び、仕様の細目をきめてゆく。
 - ・ 必要ならば、ある設計を選んだ結果としておこる作動条件を変える方法を考える。
 - ・ 生産コストの低下、動作の能率、保守の容易といったことについて設計の仕上げをする。
- (3) 検討
 - ・ できれば人間を含んだ装置全体を働かせてみて検討する。
 - ・ 全装置を働かすことができないときは、各部分ごとに働かせて、おのおのが全系統の中で自分の役目を果たしているかどうかを調べる。

いずれにしても人間工学的設計は、その各段階においてできるかぎりの情報を吸収し、人間工学の諸法則に照らして評価し、人間-機械系の不都合をなくして完全な設計とすることが必要である。

2.2 人と機械との持つ能力

人間-機械系を構成する人間と機械の両要素がこの系の中でおのおのがどれだけの分担をしたらいかがということが問題になってくる。米国の Psychological Research Associates は人間と機械のもつ能力を次のように比較している。

人間の能力が機械よりまさる点。

- (1) 微量の光や音を発見できる。
- (2) 光や音を受け取ってこれを体系づける。
- (3) 自由自在に手順を既決遂行する。
- (4) 長期間大量の情報を貯えて、適時関係事項を取り出す。
- (5) 帰納的推理力
- (6) 判断力
- (7) 概念を発展させ方法を造り出す。

機械が人間の能力よりまさる点。

- (1) シグナルに対する迅速な反応。

- (2) 大量の力を円滑に正確に出す。
- (3) 繰返しのきまった作業を遂行する能力。
- (4) 情報を手短かに貯えて、これを完全に消し去る。
- (5) 迅速なる計算能力。
- (6) 多くの異なった機能を同時に遂行する。

したがって、設計は基本的な人間能力の長所をとり、短所を機械力によって補なうようにすれば良いものができることになる。いま、人間-機械系に与えられた仕事を遂行してゆく上に、人間の受け持つ作業が上記の能力の特性にしたがって決められたとしても、その受け持った作業をどのようにやらせるかという方法の選択も重要な要素となってくる。たとえば警報を視覚に訴えるか、聴覚に訴えるかという可能な幾つかの方法を比較検討して適切なものをとることになるのである。

2.3 情報受取りの段階で設計上考慮すべき事項

情報受取りに関係する感覚器は主として視覚と聴覚である。R. Henneman (1952) は両者の特長を次のようにまとめている。

- (1) 聴覚刺激は本質的に一時的なもので、時間的にこそ情報としての特長を持つが、視覚刺激は空間的であって刺激は空間のある場所を占めている。
- (2) 聴覚刺激は時間的に次から次へと感覚器に到達するが、視覚刺激は逐次的でもまた同時でも示すことができる。
- (3) したがって聴覚刺激は作業者の前に一つの刺激を保持し続けることができなくて、わずかに周期的にその刺激を繰返すことができるに過ぎないが、視覚刺激は容易にこれを達成する。
- (4) 聴覚刺激はその情報を解釈することは比較的簡単である。すなわちその目的そのもので伝えるが、視覚刺激は受取った刺激を種々解釈しなければならない。
- (5) 聴覚刺激の一種である言語に対しては弾力性を持たせることができて種々の情報を与えるが、視覚刺激ではこれと同じ情報を与えるためにはさらに多くの解釈を必要とする。
- (6) 聴覚を通ずる場合には送文をあまり選択する必要はないから時間がかからないが、視覚刺激の場合は表や図から情報を探さなければならない。
- (7) 言語の伝達はしゃべる早さによって制限されてくるが、視覚による場合はこの制限はない。
- (8) 聴覚刺激の場合は視覚よりも多くの注意をひくことができるが、視覚では表示をみているだけである。このことは何かほかの刺激が重なる場合に重要である。
- (9) 聴力は疲労という点からみれば視力よりも抵抗が強い。これら各感覚器の有する情報能力は、おのおのが持っている数種の次元の組合せによって高められている。たとえば視覚では色とか明るさなどの差、音では高低、強弱などの差の組合せがある。設計者は仕事によって異なる種類の刺激（たとえば視覚、聴覚）の順序を考え、情報速度と情報量とが感覚器の許容量内でおさまるように考慮すべきである。すなわち情報数は必要な最少数とすること。感覚器の得失を考えて最適の感覚器を選ぶこと。一つの感覚器では負荷が大きすぎるとき、または一つの刺激がイキ値以下の場合に第二の感覚器を考えること。表示は必要なとき、必要な場所でのみ明了に与えること。視覚表示では、眼の動きが最少となるよう、また重要な表示は見やすい場所に置くよう配列を工

夫すること、などがあげられる。

2.4 筋肉の反応の段階で設計上考慮すべき事項

情報受取りや、反応決定段階と関連して、反応の度数も考えておかねばならない。元来われわれは連続的な刺激よりも、不連続的刺激に反応する傾向をもっている。反応の率は1秒間に二つといわれている。したがって設計上反応度数にも注意が向けられるべきであろう。筋肉の反応の段階で設計上考慮すべき点をまとめてみると次のようになる。コントロールのための動作はできる限り少なくする。ある目的を達成するための動作は一つにし、同じ目的のために異なる多くの方法をとることを避ける。コントロールは形、大きさ、色、位置などによって識別を容易にする。コントロール操作は最適状態でなされるようにする。コントロールの運動方向はなされる効果と同じ方向とする。配列も重要性、使用度数などを考えて設計をする。またコントロールの選択も重要な課題であり、その作業にもっとも適したものを選び出す必要がある。

以上おもに人間工学的設計の観点から分析してきたが、人間-機械系全体としては外部環境条件とか作業集団などがある。いづれにしても最適条件で安全に効率よく生産に進めるよう配慮すべきである。

3. 人間の生理的、心理的特性

つぎに外観設計に直接関係する人間の生理的、心理的特性に問題を絞って述べる。

3.1 知覚

外界を直接に認知する作用を知覚といい、知覚は身体に備わっている種々の感覚器官を通して行なわれる。この外界を知覚する感覚にはいろいろあるが、それらはそれぞれ特殊な役割をもっている。その特性を並べてみると表3.1のようになる。

この知覚の識別の基礎となるものは表3.2のような種々のものがある。

表3.1 信号をうける点からみた感覚の特性

(工業デザイン 全書 5 人間工学)

	視覚	聴覚	触覚	味覚	嗅覚
知覚時間	0.188"~0.206"	0.115"~0.182"	0.117"~0.201(空気)	0.6"~1.0"	0.2"~0.37"
知覚の広さ	極限性がある	極限性がない	極限性がない	極限性がない	極限性がある(風向による)
知覚させる強さ	2.6-0.3×10 ⁻¹⁰ erg	Fille of hesing		食塩 1-5×10 ⁻² M	0.005 mg/l
知覚させる困難度	かなり容易	もっとも容易	少し困難	かなり困難	容易
刺激されるまでの時間	瞬間的	瞬間的	瞬間的	少し時間がある	かなり時間がある
先の状態に戻すことの難易	容易	容易	容易	簡単でない	簡単でない
作業に利用される知覚の関連性	多くの場合大	多くの場合大	ある程度あり	なし	ほとんどなし
実用性	大	大	可能性あり	可能性なし	ある程度あり
従来使用されている程度	大	大	小	なし	小
知覚の方法が直接的か間接的か			直接的	直接的	間接的
知覚する部位	眼	耳	皮膚層	舌	鼻

表3.2 識別の基礎となるもの

(工業デザイン 全書 5 人間工学)

視覚	聴覚	皮膚感覚
<ul style="list-style-type: none"> ・色彩 ・明るさ ・遠近 ・位置 ・運動 ・長さ ・大きさ ・形 ・数字 ・文字 	<ul style="list-style-type: none"> ・音の強さ ・音の高さ ・Pattern (周波数別エネルギー) 音色 ・音の太さ ・Tempo (Rhythm) ・音の密度 ・方向 ・音の時間的間隔 	<ul style="list-style-type: none"> ・温度感覚 ・圧の感覚 ・触の感覚 ・痛みの感覚 ・振動の感覚 ・擦感 ・痒感 ・部位覚 ・空間覚 <ul style="list-style-type: none"> 同時的空間覚 接時の空間覚 ・方向覚 ・運動覚
嗅覚	味覚	深部感覚(筋覚、関節感覚)
<ul style="list-style-type: none"> ・辛香 ・華香 ・樹胸香 ・焦臭 ・腐臭 	<ul style="list-style-type: none"> ・甘味 ・酸味 ・苦味 ・鹹味 	<ul style="list-style-type: none"> ・位置 ・運動 ・抵抗 ・重量
平衡感覚		
<ul style="list-style-type: none"> ・回転運動 ・直進運動 ・動揺 		

3.2 知覚の心理

知覚は神経系の統一的活動であって、あらゆる感覚器官の協力的活動でなされている。そして知覚は外界の忠実な受動的模写ではなく、自然にかつ無意識的に、いかなる場合でも選択淘汰が行なわれている。すなわち対象の外的、客観的な環境や対象が提示されるしかたなどによって一方的に定まるのではなく、知覚する人の心構え、注意の状態、興味や関心の度合と過去の記憶や経験の累積などとかが強い影響力をもっている。

また知覚の錯覚としては幻覚、刺激の質が誤って知覚される質についての錯覚、量が誤って知覚される量についての錯覚(後述)などがある。

3.3 視覚

視覚は一般に目という感覚器官に外界より光が入ることにより網膜に興奮をひき起し、それが視神経を通じて大脳に伝えられ、外界の認知を行なって視覚が成立する。

遠近にたいする調節は水晶体により行なわれるが老令になると水晶体の弾性がなくなり、ケタ違いに調節力が悪くなり、いわゆる老眼になるのである。網膜の構造はきわめて複雑であるが、主としてすい体細胞とかん体細胞とから成っている。すい体は外光の照度が0.1 lx よりも高いときに働き視力はよく、色にも感ずることができる。これに反しかん体の方は外光の照度0.01 lx 以下の光にのみ感じ、視力は不良でおおよそ0.1 以下で色の弁別はできず明暗を区別するだけである。このようにすい体とかん体で特性が異なっているということは人間が明るさの環境変化に即応しうることを意味している。すなわち明るい所ではすい体が明順応を

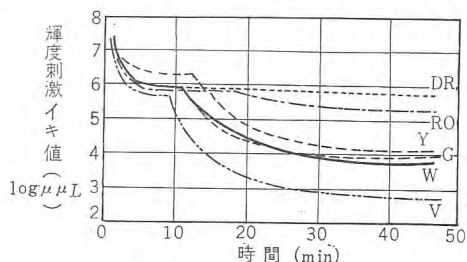


図3.1 色光線と暗順応 (チャパニス 1947)

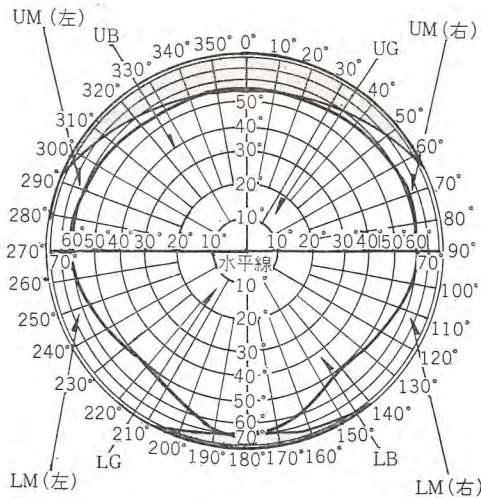


図3.2 両眼視野

行っており、暗い所ではかん体が暗順応を行なうからである。

図3.1は色光線と暗順応の時間経過を示す。

視覚のなかで機器の設計にあたってとくに重要なことは人間がどの程度の範囲までを見ることができるか、ということを知ることである。人間が眼の位置を変えないで見ることができる範囲を視野といい、両眼を使った場合を両眼視野、片眼だけのときには単眼視野といわれ、正常人の両眼視野は図3.2のようになる。

一点を注視しても相当広範囲の部分が同時に視野に入ってくるが、もっともよく見えるところは中心から15度くらいの範囲である。中心から30度までのUG (8.4%) LG (8.4%)の範囲でもかなり見ることができるし、まぶしさもこの範囲でとくに感ぜられる。さらに60度くらいのUB (20.2%) LB (20.9%)でもぼんやり見ることができる。ここまでは両眼にたよったがそれから先のUM (15.1%)とLM (27%)との区域は片目だけにたよらねば見ることができない。

3.4 照明

視覚は光が網膜を刺激して生ずるのであるが、物が見えるための条件としては明るさ、視角、対比、時間の四つの条件が必要であり、良い照明の条件としては次の五つを考慮すべきである。

(1) 適切な照度であること

視力は約50 lx以上では照度を増しても視力は増さないが、視速度は照度が増加するほど速くなる。しかし1,848 lx以上の高照度になると8 lx以下の低照度でみられるように疲労現象・機能低下があらわれる。日本照明学会では推奨照度表を發表している。表3.3。

(2) 均斉度が高くまぶしさのないこと

視野内を同一の照度とするともっとも見やすく、とくにまぶしさは極力さけて視力の減退や不快感をなくす必要がある。とくに細部まで見るためには、主光線によって照明されると共に陰影部にも相当の明るさが必要である。正しい立体視、細部までの認識には光の質、方向が重要な問題となってくる。

- ・ 光源の明るさを減少させる。(低い明るさの光源を数多く使用するか、散光を用いる。)
- ・ 光源を視線やその付近に置かないこと。少なくとも視線より60度以内には持てこないようにする。

表3.3 日本における推奨照度表 (単位 lx)

(照明学会 1953)

(a) 工場

精粗	作業の種類	全般、局部併用の場合		全般照明だけの場合
		局部照明による作業箇所の照度	全般照明による照度	
超精密	機械 (超精密機械操作および細工台上)、時計精密彫刻、時計、機物 (刺繍に類する作業)、検査 (超精密)	5,000~1,000	100~50	
精密	機械 (精密機械操作および作業台)、金属 (板検査)、印刷 (植字・文撰)、暗色布地 (切断・検査・裁縫)、検査 塗装 (精密手塗仕上)、自動車 (飛行機)、組立 (修繕)、紡織 (暗色物)	1,000~300	80~40	200~100
普通	機械 (操作、削磨、研磨、普通加工)、鋳造 (型造)、溶接、明色布地 (切断、検査、裁縫) 金属 (熱処理)、製菓、製紙、化学 (汙過、蒸溜、結晶)、塗装 (吹付、塗塗)、紡織 (明色物)	300~100	60~30	100~50
粗	木工 (荒切) 金属 (炉)、化学 (炉窯)、鋳造 (鋳込作業)	100~50	40~20	50~20

(b) 事務所、学校、住宅、商店

種	類	照度
事務室	* 製図 * タイプライタ * 計算事務 一般事務室、会議室、応接室	400~200 200~100 100~50
学校	製図室 * 図書室、裁縫室 * 黒板面 普通の教室、実験室 講堂 (聴講のみ)、体操場、集合室	200~100 100~50 50~20
住宅	* 裁縫、* 子供勉強室 * 読書 △客間、△居間、△台所、	400~200 200~100 100
旅館	△談話室、△客室、調理場 大広間 ホール、廊下、階段、手洗場、浴室	200~100 100~50 60~30
百貨店	1階 2階以上 地下	500~200 200~100 400~200
商店	衣料、洋品、帽子、時計、貴金属、写真機、眼鏡、 電機 (器) 書籍、文具、薬、化粧品、生花、楽器、運動具、玩具、靴、 服物、皮具、食器、果物、菓子、パン、食料品、売店、 家具、金物、雑貨、古物、肉、魚、野菜、乾物、煙草	500~200 300~150 200~100

* は局部照明を併用し、その他は全般照明による可とする。

△は作業範囲にこの照度が得られればよい。

- ・ 対比が少なくなるようにまぶしさ源の周囲の明るさを増す。
- ・ 光源に笠やその他カバーを使用する。

(3) 対比を考えること

対比によっても視力はいちじるしく変化する。対比の強いほど見やすく、弱いほど見にくい。対比の弱いものを見やすくするためには照度を高くしなければならぬ。対比について労働安全衛生規則第196条に次のように述べてある。採光と照明は、明暗の対象をいちじるしくしないようにし、かつまぶしさを起させない方法で行なわなければならない。一般に対比は次の値以内であることが必要であるといわれている。

作業面と隣接部分	5:1
作業面とそれより離れた周囲	20:1
作業面とその周辺部	40:1
作業者の周囲でもっとも対比の大きい場所	80:1

(4) 経済的であること

色彩調節などを利用して効率よく、配光も適当な照明方式、照明器具を用いて経済的にすべきである。

(5) 光の心理的效果

光の心理的效果について、一般に上から下への光線は静的で安定し、逆に下方からの光は動的であり、いらだたしさ、恐怖、憎悪の感じを生ずる。

3.5 色彩

色彩が人間に及ぼす影響としては明るさのような物理的因子があるとともに、色そのものによる心理的因子があり、これらは視覚表示で重要な役割をもっている。

色には光源色と物体色とがあり、物体色の中には透過色と表面色とがある。

(1) 色の性質

色は有彩色と無彩色の2群に大別され、有彩色には色相、明度、彩度の3属性があり、無彩色には明度だけがある。この性質を立体的にまとめれば、無彩色の明度段階を中心軸とし、周囲に色相環、軸から放射状に彩度段階を配することによって色の立体ができ、あらゆる色はこの中に含まれる。色立体を中心軸を含む平面で縦断すれば一対の等色相面ができ、軸に垂直な平面で横断すれば等明度面が得られる。

色の性質は3属性のほかに光沢、透明性、地肌(Texture)などがあるからこれらの性質を利用するとよい。

(2) 色彩表示法

マンセル表色系(Munsell Color System): 色相(Hue)、明度(Value)、彩度(Chroma)、に基づく記号(H v/c)で色を表すものである。しかしマンセルの“Book of color”は色の3属性について感覚的等歩度という点でかなり不規則性があり、その後Optical Society of Americaにより測色的に検討された結果、修正マンセル(改良マンセル)表色系が発表され現在のマンセル表色系は主としてこれによっている。わが国のJIS規格(JISZ-8721)などはこの表色系である。

その他、ドイツのオストワルド表色系(Ostwald Color System)、日本色彩研究所色票系、ICI表色系(International Commission on Illumination)などがある。ICI表色系はJISZ-8701と同じである。

(3) 色彩の生理的、心理的作用

色彩はただ色が見えるとか見えなとかいうことのほかに、種々の生理的、心理的作用をもっている。これがまた色彩調節(Color Conditioning)として実際に色彩が利用される基礎をなしているのである。

1. 色彩の温度感覚(暖色と寒色)

温度感覚の感情は主として色相に伴うものといわれ、赤の系統(赤、橙、黄、赤紫)は暖く感じ暖色といわれ、青の系統(青、青緑、青紫)は冷く感じ寒色といわれる。一方無彩色系列にも認められ白が寒色の源点とし、黒に至って暖色になるとみられる。

2. 色彩の軽重の感覚

この感覚は主として明るさに伴うもので、明るい色を軽く、暗い色を重く感ずる。また色相より受ける感情は暖色系の色は重く、寒色系の色は軽く感ずるものといわれている。

明度 0~4 重い、重厚

明度 4~6 中性

明度 6~10 軽い、軽快

3. 色彩の遠近感覚(進出色と後退色)

同一の距離にある色でも近くに見える色と、遠くに見える色とがある。色相に関しては暖色系の色が進出し、寒色系は後退して見える傾向があり、明度に関しては明るい色がより進出する傾向がある。この性質は、色の大きさの見え方と軌を一にしている。

4. 膨張色と収縮色

進出色と後退色とに密接な関係がある。大体進出色は膨張して見える。しかしこれは色の対比と関連して起るものであるから、対比条件を完全に除去するとこの現象が起きるかどうか不明である。

5. 派手、地味の感覚

一般に色は、色相のいかにかわらず、彩度の高いほど派手さの感じが増し、彩度の低くなるに応じて地味さが増すといわれる。

6. 柔かい、硬いの感覚

柔かいと感じられる色は白色味、灰色味を含んだ色であり、色立体の主として上部に位する一連の色である。これに対して純色系列の色、および暗い澄んだ色、すなわち色立体の主として下部のとくに表面に近い色は一般に硬く感じる。また一般に暖色系は柔かく、寒色系は硬い感じであるとされている。さらに光沢の高い色は硬い感じを伴い、無光沢な色ほど柔かく感じられる。

7. 色彩のコウ常

実際に照明光が変わっても感覚的にはそれほど対象の色が変わったように見えない。

8. 色彩の明視度

一般に背景と図柄との明度の差が大きいほどよくみえる。

9. 色彩と暗順応阻害度

赤の長波長側の色は暗順応を阻害する程度が低く、青の短波長側の色は暗順応を阻害する程度が高い。

10. 感覚的退色度

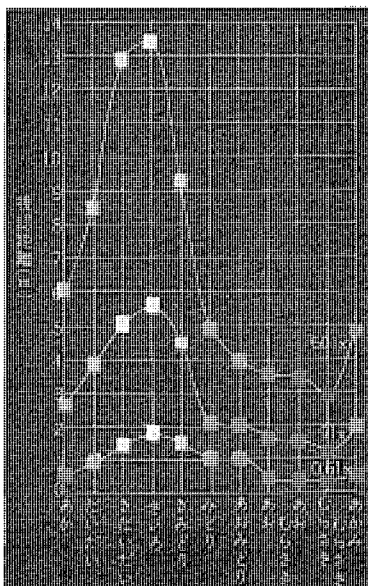


図 3.3 背景黒の場合の視認距離

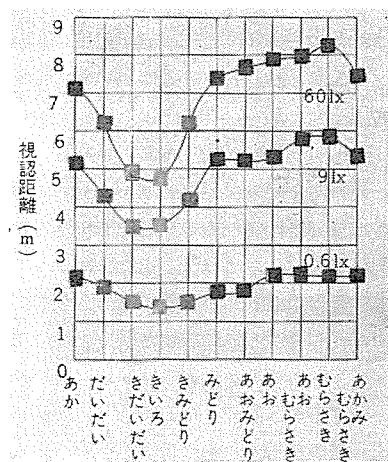


図 3.4 背景白の場合の視認距離

暖色は感覚的退色度が早くかつ大きく、冷色はその程度が低い。

11. 色彩の表情的象徴

たとえば赤は熱情、勇気を、青は沈静、沈着などの抽象的概念と結びつく感情をひきおこすとともに、赤は血を連想し、青は海を連想させるという性質がある。

12. 色彩とし好、慣習

どの色彩を好むかは地域的、個人的なさまざまな条件によって変化する。

3.6 形態

われわれの周囲には種々な形態があるがこれを分類してみると、純粹形態（幾何学におけると同様に点、線、面、立体を基本形とするもので、円すい、角すい、正立方体、球、だ円球、円筒の六つに集約される）と現実の形態とに大別され、現実の形態はさらに自然形態と人為形態に二分される。

(1) 形態視

視知覚の心理的法則または原理は ゲシュタルト 心理学派によって提唱されたものである。

1. 形態は過去の影響、経験の影響をうける。
2. 形態はみなれた形としてなじみやすい。

3. 形態は単純なもののほど知覚されやすい。

(単純化の原理)

形態または図形で構造、構図の簡単なものがたやすく知覚され、またそのときの状況の事情がゆるすかぎり複雑な構成要素を単純な構造に分離してみようとする性質がある。またある複雑な形態を記憶してから長時間たつと一般に単純化されてゆくのもこの原理である。したがって対象からの刺激（物理的）が弱いとき、あるいは形態の強調を必要とするときには単純化をいっそう押し進めなくてはならない。

4. 群化の法則（類似の原理）

部分のあるものを、他のあるものよりも密接に結びつかせるファクタをいう。大きさ、形状、位置、方向、色相、明度の類似性と移動方向、速度の類似性により群化が起る。

5. 地 (Ground) と図 (Figure) との関係

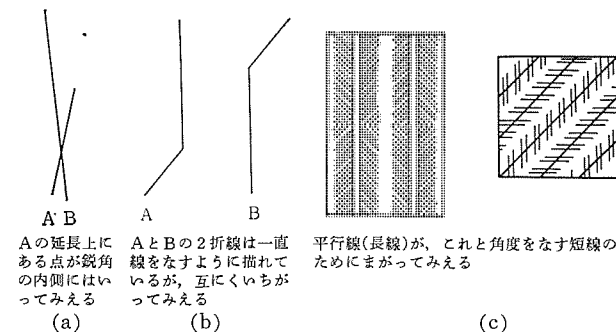
図形になりやすい条件として下記の八つがある。

- ・ 視野の中央を占めるものが図形となりやすい。
- ・ 水平または垂直方向にあるものが、斜め方向のものよりも図形のためによい条件をもつ。
- ・ かこんでいる領域よりも、かこまれている領域が図形にな

(1) 角度の大きさの錯覚

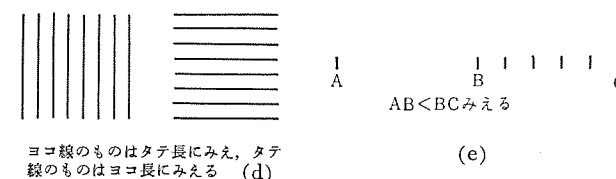
鋭角は実際よりも過大視され、鈍角はこれに反して過少視される

(2) 方向についての錯覚 (a)~(c)

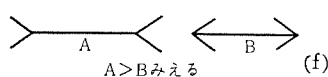


(3) 分割錯覚

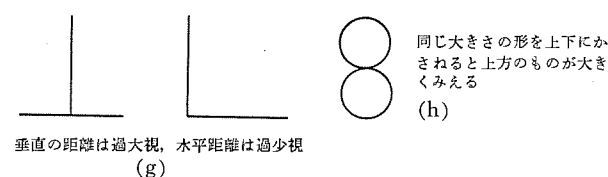
ひとしい長さであっても分割されている長さは、そうではない長さよりも大きくみえる



(4) Fmüller-Lyer の図形



(5) 垂直距離と水平距離の錯覚

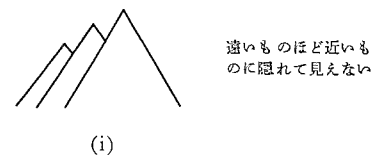


(6) 遠近法の錯覚

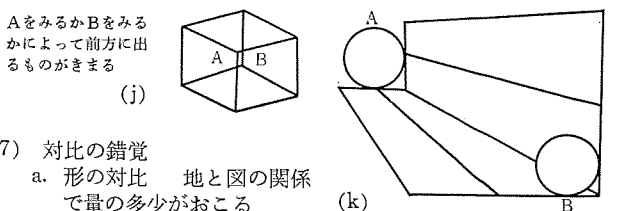
遠近知覚は必ずしも網膜像の大きさだけで決定されるものではない

遠近知覚の心理的条件

- a. 鮮明度 近いもの程輪郭も表面も明瞭である
- b. 陰影と隠蔽



- c. 注視点と視線の運動 視線の運動の出発点が最も近く、その後注視される点はそれだけ遠方にあるようにみえる
- d. 視覚の高さより上にあるか下にあるか
- e. 前景、背景、近くにある物体または状態との比較



(7) 対比の錯覚

- a. 形の対比 地と図の関係で量の多少がおこる

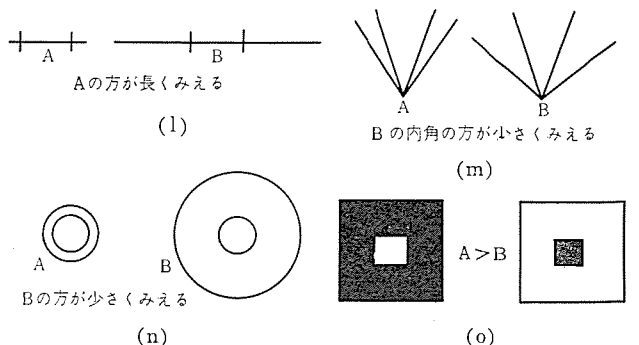


図 3.5 量についての錯覚

りやすい。

- ・ 図は大きいものよりも、小さいものが有利である。図は一般に小さくなろうとする傾向がある。
- ・ 一定の領域内において同性質のものよりも異性質のものが図形となりやすい。
- ・ 群化したものは図形になる。
- ・ 対称形は、そうでないものよりも容易に図形になる。
- ・ 過去において図形として体験したことのあるものが図形になりやすい。

3.7 視覚の錯覚

ものの見え方は対象物の物理的な刺激と比較して異なる場合がある。この見え方の変様は場合によると事故の原因ともなりうるものであり、また設計者が客観的に正しく描いたり、作ったりしたものが、心理的にしる生理的にしる所望のとおりに見えない場合がある。そこで錯覚で起る種々の現象を理解し活用して、形態の表現や作成の際に導入してゆかねばならない。

(1) 量についての錯覚

刺激の大きさ、強度、方向、距離、数量などについての知覚錯誤である。

(2) 色彩の対比

色彩には明るい色はより明るく、暗い色はより暗くみえる明度対比、対比により鮮明にみえる色相対比、対比による差が生ずる彩度対比がある。しかし色彩の対比は3属性が複合して生ずる場合が多い。また面積の大小によっても生じ、同一有彩色でも面積が小さくなると彩度と明度は低くみえる。この現象は地色が暗い場合よりも明るい場合の方がいちじるしい。

さらに第一の刺激を受けてから第二の刺激を受けるまでの時間差のあるときには色彩の継続対比が起る。継続対比は次の場合がいちじるしく起る。

- ・ 前の刺激が強いとき、または十分長時間持続するとき。
- ・ 刺激が除去されてすぐつぎに反対の傾向の刺激が与えられたとき。
- ・ 前の刺激がきわめて微弱でこれを拡大して受け入れようと努力が続けられてのち突然強い刺激が与えられたとき。

4. 視覚表示

表示器設計の研究は第二次大戦中から主として兵器について行なわれたのであるが、この問題は決して兵器に限ったことではなくオートメーションが進めばますます計器やダイヤル使用は多くなり重要性を増してくる。とくにそれが人間の目を通して情報を得るものであるから、視覚の諸条件と最も密接な関係がある。それゆえ計器は視覚についての諸法則をもっとも適切にとり入れ、もっとも見やすい条件を満足させるものでなければならない。

計器ダイヤルの種類は千差万別ではあるが、およそ3群に分けられる。一つは測定の量的表示、正常の範囲にあるかどうかを示す質的表示、現在ある状態が進行しているかどうかを示す点検用表示がある。いずれにしても量的表示がもっとも設計に考慮を要するものである。

4.1 ダイヤルの形

ダイヤルの形は図4.1のように五つの形があり R. Sleight がこ

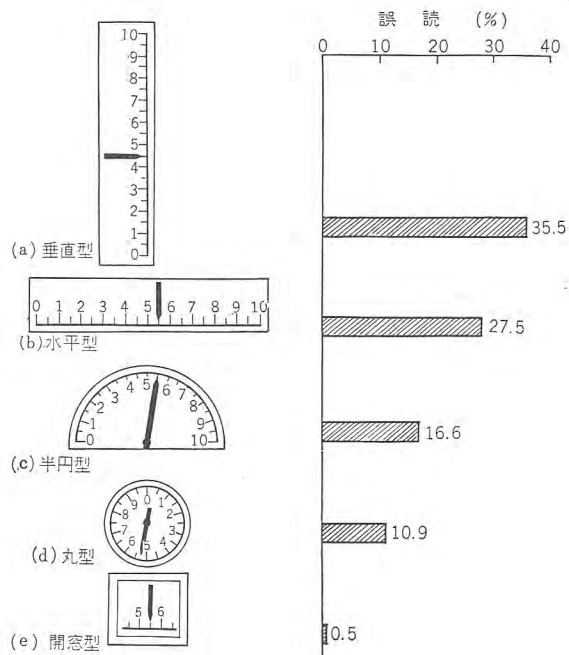


図 4.1 ダイヤルの形 (R. Sleight, 1948)

の形と誤読率との関係を実験している (0.12 秒みせて読み取らせたい結果)。

読み取りの時間が短いときはダイヤルの形が問題となる、しかし計器全部をもっとも誤読率の少ない開窓形にしてしまうことも他の条件が許さないことであるから、一般には丸形が多く実用化されている。

4.2 スケール目盛

目盛は数字の読みを容易にし、さらに細かく読みとることができるようにしたもので、この目的に合うような条件が整えられる必要がある。W. Woodson, C. Baker のすすめる数値がある。

4.3 数字、文字ならびに記号

視覚表示においては文字、数字、記号あるいは図表の見やすさ、読みやすさ、正確さが効率に影響してくる。

数字は計器の形によって進む方向を定める必要があるが一般的には、時計の方向に増加する。左から右の方向に増加する。下から上の方に増加することが望ましい。その他飾り書きでなく、その向きはすべて垂直にすべきである。カウンタ方式の表示は連続的ではなく断続的に動くようにし、数は毎秒2個以上変化することのないようにする。またカウンタドラムが上方に動くとき増加を示すようにするのが望ましい。

4.4 指針の必要条件

- ・ 計器盤から離れていないこと。(影のできないこと。)
- ・ 指針の先端と目盛、数字と重ならないこと。
- ・ 指針の色は目盛、数字と同じ色とすること。
- ・ 指針の先端の幅は最小の目盛の幅と同一にすべきである。
- ・ 指針の先端は単純な形とすること。
- ・ 指針は振動のないようにすること。

4.5 計器盤の必要条件

- ・ 計器のワックと計器の目盛板との関係でワックの影ができないよ

表 4.1 指示装置の良否判定表

(1) 指示装置の良否の判定表
(a) 計器は要求された方法で、速く読み取ることができるか？(要求された方法とは、たとえば量的、質的に読みとったり、ある値をこぎぬかどうかチェックしたりすることなどをいう)
(b) 計器は操作員の必要とする精度で読みとれるか？(なるべく必要以上の精度で読めないようになっていること)
(c) 計器は読みがはっきりしなかったり、大きく間違ったりする恐れのないようにできているか？
(d) 指示の変化したことを容易に見出せるか？
(e) 指示の読みを別の表示に頭の中で換算しないでもすむよう、一番直接的表示になっているか？
(f) 必要とする制御の動き、計器の動きが直線的に一致しているか？
(g) 必要とする人々に指示が一番新しいデータを提供しているか？
(h) その計器は他の計器と区別がつくか？
(i) 計器の働いてないことが作業員にわかるか？
(j) 照明はどんな状態の下でも、あるいは予想される状態の下でも十分であるか？

めて類別化をはかる必要がある。(つづ取り、色分け、群と群の間隔をあけるなど.)

- ・計器を見る順序は計器の相互の関連度を考慮して配列する。
- ・視野の広がりを考慮する必要がある。
- ・工程をほうふつさせるような計器の配列を考慮する。

5. 人体測定

人間と機械の接触面においては、当然人間が仕事を行なうわけであるから設計をする場合、人間の身体各部位の寸法測定値を頭の中に入れて仕事を行なう必要がある。

6. 作業域

人間工学として設計を行なう場合に人体測定値だけという静的な見方では不十分である。人間はその身体各部をダイナミックに動かして仕事をするのであるから、その各部によって作り出される平面領域や立体的空間を設計のよりどころとすべきである。

作業姿勢の条件として下記のものが考えられる。

- ・作業点からくる条件。(作業点距離)

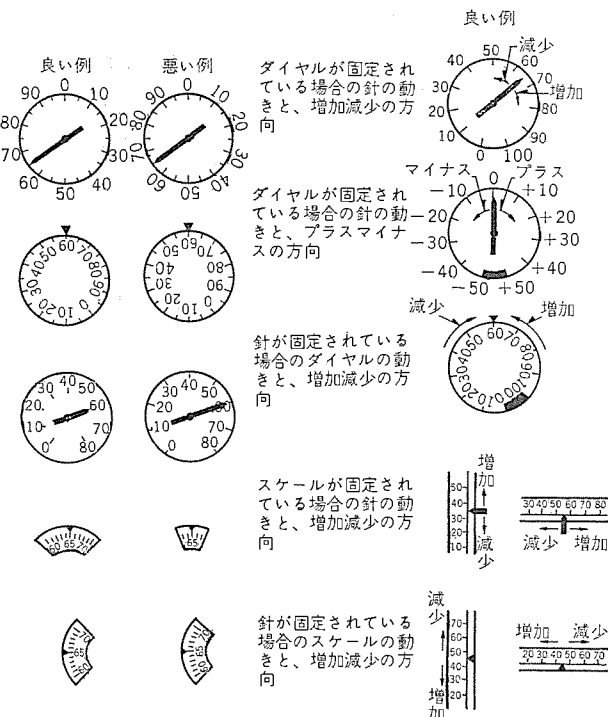


図 4.2 ダイヤル設計について (E. Me Cormick, 1957)

うにする。またこの影の中に数字、目盛が入らないようにする。

- ・計器の目盛板はつや消しとすること。
- ・計器のガラスの表面は反射のないようにすること。
- ・計器と視線との傾斜があまり大きくて計器が見えにくいことのないようにすること。

視覚表示のデザインの選定には、必要とする表示形式・量・精度に関する完全な知識を必要とする。そして必要以上の表示は害があるからしてはならない。また人間の視力の限界や周囲の状態などを無視した細かい表示も禁物である。

指示装置の形がきまり、表示すべき量の精度が定まったら、次に指示を見やすくするいろいろの要素について考えてみなければならない。細かい目盛の大きさ、数字と針の大きさ形、照明などは視覚表示を利用する作業員の能率に影響する。

4.6 計器の配置

いくつかの計器をパネルに配列するとき、その数が非常に多い場合、人間工学上つぎの条件を満足させることが必要になってくる。

- ・もっともひん繁にみる計器はなるべく見やすい位置にまとめ、見る度数、見る時間の長さによって配列を考慮する。
- ・計器パネル全体はなるべくコンパクトにまとめるほうが望ましい。
- ・同種類の計器はなるべく1カ所にまと

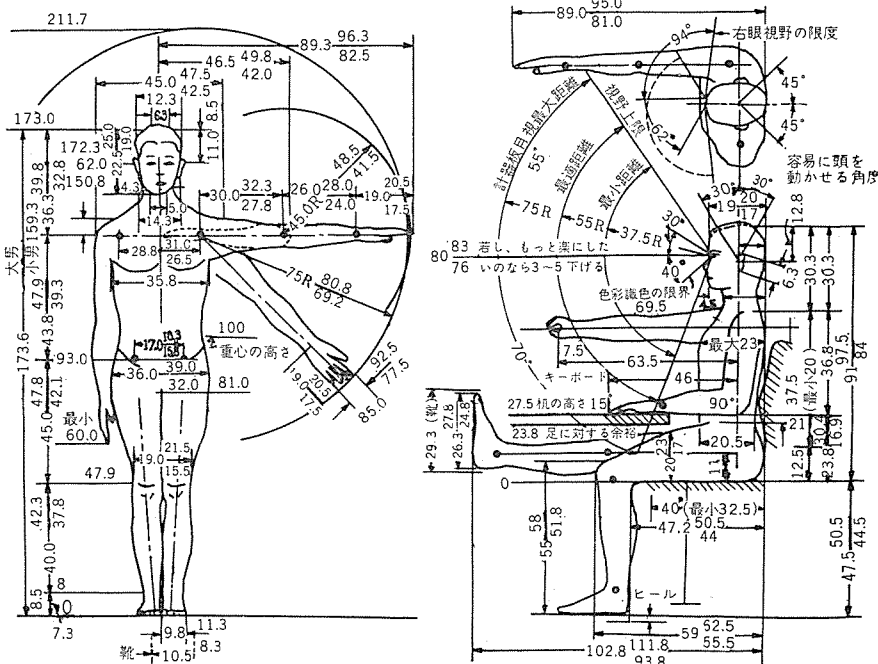


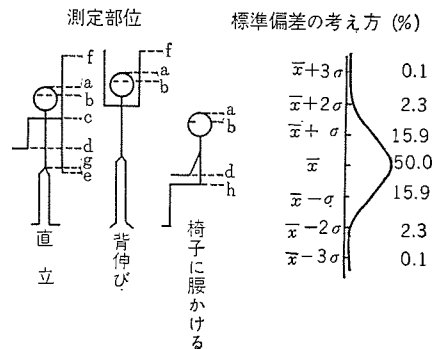
図 5.1 アメリカ工員の身体寸法 (cm) (ドレフス 1955)

表 5.1-1 日本人の身体各部位
(古武, 変瀬, 船越, 守屋 1953)

姿勢	測定部位	7才	9才	11才	13才	15才	成人
		\bar{x} σ	\bar{x} σ	\bar{x} σ	\bar{x} σ	\bar{x} σ	σ \bar{x}
直立	身長 A_a	115.3 4.8	124.5 4.8	133.6 5.6	142.8 7.0	155.1 7.3	164.7 5.3
	目の高さ A_b	103.9 4.6	113.0 4.8	122.1 5.5	131.2 6.9	144.6 7.6	153.7 5.4
	肩の高さ A_c	92.2 4.2	100.3 4.4	108.3 5.0	116.3 6.1	128.0 6.6	134.9 4.9
	ひじの高さ A_d	70.1 3.3	76.1 3.4	82.1 3.9	88.1 4.8	96.8 5.3	102.0 3.9
	中指先端の高さ A_e	43.8 2.6	47.5 2.5	51.2 2.6	54.9 2.9	59.8 3.7	63.1 3.0
	手をあげた時の中指先端の高さ A_f	139.3 6.5	152.4 6.8	165.5 7.5	178.6 9.2	195.5 10.3	204.7 7.3
	頭の長さ B_a	120.9 4.9	130.6 5.0	140.3 5.9	150.1 7.1	163.0 7.8	172.0 5.7
背伸び	背伸びをして増加する高さ B_a-A_a	5.6 0.9	6.1 1.0	6.6 1.0	7.2 1.0	7.5 1.0	7.2 1.1
	目の高さ B_b	109.6 4.6	119.2 5.0	128.8 5.8	138.4 7.1	152.0 8.1	160.9 5.4
	手をあげた時の中指先端の高さ B_f	144.9 6.4	158.4 6.8	171.9 8.1	185.5 9.5	203.0 10.5	211.4 7.8
椅子に腰かける	座高 C_a-C_h	65.5 2.6	69.3 2.5	73.0 3.0	76.8 3.8	84.3 4.4	89.9 2.9
	目の高さ C_b-C_h	54.3 2.5	57.9 2.6	61.6 3.0	65.2 3.8	73.0 4.5	78.8 2.9
	ひじの高さ C_d-C_h	19.5 1.7	20.9 1.9	20.8 2.2	22.4 2.1	25.5 3.0	27.0 2.4
	椅子の高さ C_h	29.1 2.3	32.0 2.1	34.9 2.5	37.8 2.4	42.9 3.1	42.7 2.6
正座	頭の高さ D_a	70.7 3.0	75.2 2.9	79.7 3.4	84.2 4.2	93.4 5.0	98.3 3.0
	目の高さ D_b	59.3 2.8	63.8 2.9	68.2 3.2	72.7 4.1	82.3 5.1	87.2 3.0
	ひじの高さ D_d	25.0 2.0	26.5 2.5	26.8 2.5	30.4 2.6	34.8 2.5	35.5 2.6
安座	頭の高さ E_a	63.9 3.0	67.9 2.8	72.0 3.1	76.1 4.1	83.5 4.5	88.8 2.8
	目の高さ E_b	52.6 2.7	56.5 3.0	60.5 3.1	64.4 4.0	72.5 4.6	77.7 3.1
スパン	手をいっぱい広げた幅 X	112.9 5.3	122.6 5.2	132.3 5.5	142.0 7.8	156.6 8.9	166.8 6.2
	肩幅 Y	29.3 1.6	30.9 1.5	32.4 1.5	34.0 2.0	38.2 2.6	41.0 1.6

〔各欄の上段は男子、下段は女子である。単位は cm〕

表 5.1-2 日本人の身体各部位



- ・平衡を保つために起る条件 (無理な姿勢からくる筋肉の負担をなくす)
- ・必要とする筋力からくる条件 (必要最小限度の筋肉にとどめる)
- ・精密度からくる条件
- ・明視の距離, 方向からくる条件
- ・使用する道具からくる条件
- ・姿勢反射からくる条件

7. 人間動作の分析

人間の動作のはあくがはじめて動作対象となる種々のものの合理的規制が可能となってくるのである。動作研究, 時間研究は F. Gilbreth 夫妻 (1923) 以来, 動作の経済と能率に関する原理が積重ねられてきている。

8. にぎりについての必要な条件

にぎりについては W. Jenkins の研究がある。彼はにぎりが触覚に頼って識別が簡単に行なわれることが望ましいとして 11 種の形を区別している。

- ・触覚によって識別できること。
- ・必要な力に対し適当な大きさであること。
- ・スベリの少ないものであること。
- ・手が (指が) はずれる恐れのないこと。
- ・手に傷害を与えたり, 手袋などがひっかかったりしないもの。
- ・一方向ばかりでなく, それをもどす方向に対しても形が具合よいかどうか検討されていること。

9. 表示器, 制御テーブルの配列

使用度数の観点から表示器やコントロールを並べても必ずしも生理的に好都合な場所と一致しないし, 機能的に類

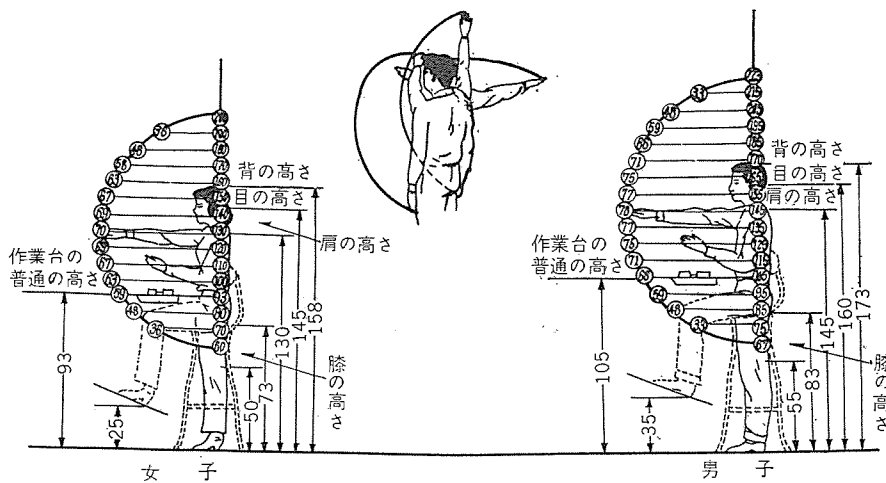


図 6.1 垂直作業域 (cm) (R. Farley 1955)

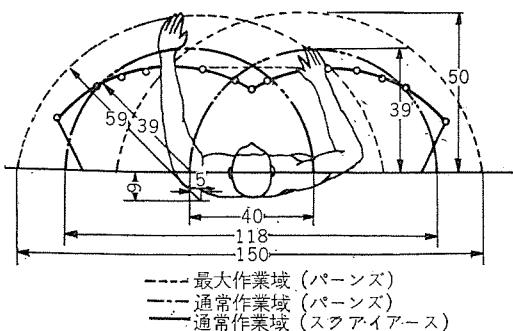


図 6.2 平面作業域 (cm)
(R. M. Barnes 1949. P. C. Squires 1956)

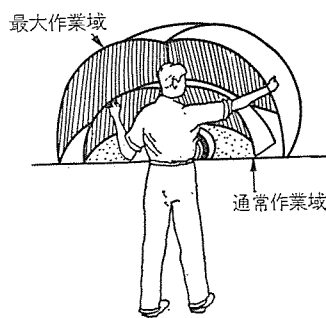


図 6.3 立体作業域
(R. M. Barnes 1944)

似したものを集める和使用順序の観点からみて原則に一致しないというような状態が起り理想的な形に作り上げることは困難である。一般には使用度数と使用順序の原則が重視されているがいずれの場合でも一番よい妥協点を得るような設計に近づけることは大切である。

- ・機能的に同種の表示器あるいはコントロールをまとめて置く。
- ・重要な表示やコントロールはパネルのもっとも良い場所に置く、たとえひん繁に使わないものでもその作業にとって重大な意義を持つと考えられるものには良い場所を与える。
- ・生理的に容易な位置を考える。
- ・その作業での普通行なわれる操作順序とか傾向からみて都合よく配列する。
- ・表示器やコントロールの使用度数の高いものから順に良い位置、または都合のよい位置を与えてゆく。

この選び方は視距離、見る角度、照明、他の計器の存在、関連する制御装置と動作方法などの機能的要求にしたがって定める。

制御テーブルはいろいろな機器がごたごたせず、機能的に有効に働ける配置で、手入れも手が届きやすく、関連した他の装置、表示との関係なども考慮に入れて設計すべきである。

これら外観設計に関する人間工学の諸問題を消化し応用すれば製品の使い勝手の良さというものが満足されるのである。この上に美的なもの、商品性を向上させるものがその製品の使命目的にしたがって適用されていくのである。

10. インダストリアル・デザインの対象

デザインの対象は実用的美的造形である。そのためにデザインは実用性をもつこと、美しくあることを満足させるように進めなければならない。しかし実際われわれが直面している形態というものは単に実用とか美とかいう言葉だけで表現し得る内容を持ちながら一つのものを形づくっているからなかなか厄介である。

まず実用的形態といえ、それはある所定の目的や役割を十分にはたすことであるが、それを実現させるためには機能や構造に合致する形態の発見や選択、材料の適正な使用、加工法の決定などの問題を解決しなければならない。これらの点において実用的形態のデザインは合理的でなければならない。また製作にあたって材料費や労務費も無制限にいくらかかってもよいというわけではない。最小経費で最大効果を収めるという経済原則が適用される。

美的形態はそれが時代性とか社会性とかの空間知覚に立脚して、しかも魅力ある新鮮さを持たなければならない。このような場合に良く訓練された造形感覚がこのにない手となるのである。先覚者は“形態は機能にしたがう”と喝破したが、合目的であり、合理的なものはそれなりの美しさを発揮するときもあるが、美しいものは必ずしも合理的であるとは限らない。

11. デザインにおける美術形式

デザインされたものは美しくなければならないのは当然である。しかしある製品のデザインの美的価値があるかないか、あるいは美的価値が多いか少ないかをどのように判定するか、実は非常に困難な場合が多い。すでに述べたようにデザインは美的要素のみで成立するものでなく、それだけでデザインの優劣良否を決定すること

はできない。これはデザインの美しさがいわゆる美的要素以外の諸要素と密接に関連しているからである。

けれども現実には、デザインであろうとなかろうと、美的教養を持つと持つまいと、日常生活面でつねにデザインが良いとか悪いとか評価を行なう機会が多い。この評価の心理的プロセスあるいは美的なものについては美学で解明されることと思うが、美的要素とは何か、すなわち美的価値に影響を与えるものは何かということとは、古来から単に形態・色彩の問題としてではなく美的現象や芸術作品一般に通ずる原則というようなものとして求められてきた。このような美的形式原理は発生の歴史からみて、デザイン評価の立場よりも、デザイン創造の立場にあるものにとってはるかに重要な役割をするのである。しかしこれらの原理をうのみにすることなく、このような考え方があることを批判的に理解することが望ましい。ラスキン“すべての美しい線は、数学的な法則を有機的に犯しつつひかれる”といっている。

11.1 全体と部分の秩序

全体というこの意義は統一体という点にある。この統一体の中で部分と部分はある関係を持って組織されているのである。部分と部分は一方が支配的な役割を持ち、他方がそれに従属的な立場をとる場合もあるが、いずれの場合にせよ、全体と部分あるいは部分と部分がそれぞれの役割をはたし、一定の秩序を保つ必要がある。秩序のあるものは美であり、無秩序は醜であるといえる。

秩序をもたらす造形上の美的原理としては次のようなものがある。

- | | |
|---------------------|----------------------|
| (1) 支配 (Dominance) | (8) 割合 (Proportion) |
| (2) 強調 (Accent) | ・ Root Rectangle |
| (3) 階調 (Graduation) | ・ Golden Section |
| (4) 対照 (Contrast) | ・ Modulor |
| (5) 対称 (Symmetry) | ・ θ Rectangle |
| (6) 均衡 (Balance) | (9) 調和 (Harmony) |
| (7) 律動 (Rhythm) | |

いずれにしても美的対象を構成する部分と部分との相互の間に質的にも量的にも矛盾することなく秩序づけられていること。すなわち諸部分の多様性の統一により美的な状態を生じるように心がけることである。

さらに形態視の心理、色彩の調和、錯覚の応用(修正)などを利用して単純、明快で健康的な美しさを訴えるようなデザインを行なわねばならない。

12. む す び

これまで主として人間の感覚に直接インフォメーションの授受を行なう部分の人間工学と、工業意匠の一部について概括的に述べてきた。これらはすぐれた製品を市場に送り出すために必要な条件としての性能、経済性などと同様に使い勝手の良さと美しさについて考慮しなければならない一つの要素として取りあげたのである。すなわち機器の特性を知るとともに人間特有の生理的、心理的条件を認識して、その接触面は常に効率を高めるような美的造形とするように努めねばならないのである。このことは単に外観設計者のElaborationの仕事ではなく企業各分野の有機的なCollaborationの仕事として、その完全な発展は望めるのである。

溶接用ユニバーサル タングステン電極

What's New in Engineering: Universal Tungsten Welding Electrode (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 2, March, 1962, p. 63)

タングステン不活性ガスアーク溶接はとくに航空機、ミサイル、原子炉などの工業においてもっとも大切な精密溶接法の一つになってきた。このアーク溶接法は非消耗タングステン合金を電極としてアークを発生させ、溶接面は空気による悪影響（酸化、窒化）を防止するために不活性ガスでシャヘイされるようにしている。この溶接に用いるタングステン電極としては従来四つの異なった合金電極が必要とされ、そのおのおのの電極は特殊な利用に対して互いに特長があった。

今回ウエスチングハウスの電球工場の技師らによってあらゆる溶接条件に適合する“ユニバーサル電極”が開発された。この電極はあらゆる場合に用いることができ、また従来のものよりその特性は良好である。たとえば複雑な形をした溶接物を溶接する場合にしばしば起るアークの“パタツキ”を防止することにすぐれている。またタングステンによる溶接面の汚れを最小にする。このことはウラニウム燃料要素の製作においてとくに重要なことである。新しい電極では不適当な電極を選択する危険がなくなりその工程管理や貯蔵が容易となった。（研究所 山本利雄訳）

ピッツバーグ会館の可動屋根駆動装置にリアクトル制御

A. J. Baeslack, J. G. Petersen, JR.: Pittsburgh Auditorium Roof Drive System (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 2, March, 1962, p. 48)

新しくできたピッツバーグ会館（Pittsburgh Auditorium）は約8,100 m²の広さで1年中公会堂、展示会場、競技場、スケートリンク、野外劇場などとして使用され7,000～13,500名を収容できる。この建物の大きな特長は自由に開閉できる屋根を持っていて、2分30秒の時間内に屋根をたたんで、屋内から屋外競技場に変えることができる事でドーム状の屋根の大きさは直径が約137m、中央部の高さが約36mあり、屋根は45°宛8枚に仕切られ、この内2枚は固定で6枚が可動となっている。可動の方はおのお



ピッツバーグ会館の外観（屋根を開放した状態）

の約300tの重量で、可動トラック上に乗っており可動トラックはレール上を走るようになっている。6枚の可動トラックは一番外側の一對（Top leaves）、中間の一對（Intermediate leaves）、と内側の一對（lower leaves）の三対よりなっており、全開時は固定分の内側に入る。

駆動装置

この駆動装置に要求された特性は、押しボタンの操作により2分30秒の時間内に開、閉の動作が自動的に正確にできること、使用ひん度は非常に低い信頼度が高く保守が容易なこと、また風速20 m/secの風がある場合でも2分30秒の時間内に閉じることができ、それ以上の風速27 m/secまでの風に対しても駆動できることが要求されている。制御方式は保守を容易にするためカゴ形誘導電動機を使用したリアクトル制御が採用されている。図1は制御方式の概略図で、5台の駆動用ギヤードモータ（減速電動機）が並列に接続されその電源回路に可逆用の可飽和リアクトルが入っている。リアクトルは磁気増幅器により制御され基準電圧と指速発電機の電圧偏差に応じて電動機が速度が制御される。基準電圧は直流電動機で駆動されるインダクタの出力電圧により与えられ、インダクタは回転子の回転角度により定まり起動時は出力電圧は低く全速に至るまで徐々に上昇し、減速域に至ると再び低くなる。

各移動トラックにはポジションシンクロが歯車で連結され、その位置に対応する電圧を発生する。位置誤差検出器はこの電圧とマスターポジションシンクロの電圧を比較して位置の補正を行なう。

制御装置

各トラックには5台のギヤードモータが取付けられており電動機の容量は外側のトラックが19 kW、中間が15 kW、内側が11 kWでNEMA D、高スベリ誘導電動機が使用され、図2のAおよびBは電流およびトルクに対する速度特性を示す。この特性は起

動時に最大トルクを与えまたリアクトル制御を行なうに適している。各電動機には電磁ブレーキがあり、各トラックにつきレール上にて合計9,300 kgの制動力を与える。制御用可飽和リアクトルは、2チャンネルの1段の磁気増幅器で制御される。この制御装

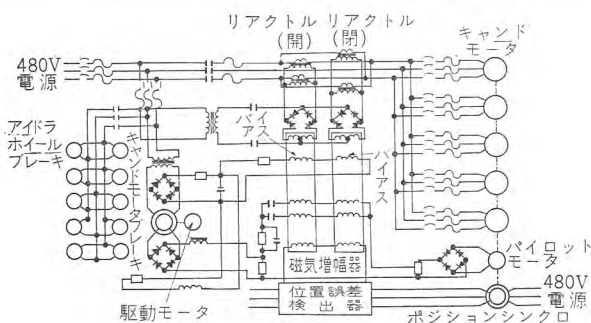


図1 制御回路

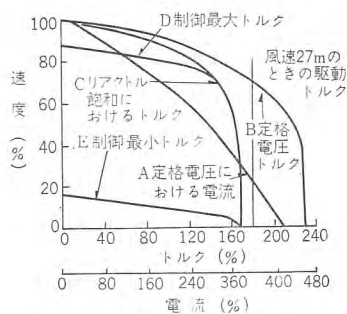


図2 電動機特性

置で無負荷から全負荷までの負荷変動に対して全速点で 9%, 最低速度点で 7% の速度調定率 (Regulation) を与える。(図 2 の曲線 D および E) 曲線 C はリアクトルが飽和の状態での制御なしの場合の特性を示す。風速 27 m/sec の風による荷重 (3,600 kg) が加わった場合の所要トルクはリアクトル飽和の状態での最大トルク(曲線 C) の値より大きくなっているが、定格電圧におけるトルク値より小さい。したがってこの状態で起動する場合は最大トルク押しボタンを押してリアクトルを短絡する。主制御盤はスタジアム中央の最上段の制御室にあって、リセット、全開、全閉、微速、一対開、一対閉、非常停止、等の押しボタンや位置表示灯、位置誤差表示器、故障表示器などがついている。(長崎製作所 加来政博訳)

T 接 続 三 相 変 圧 器

What's New in Engineering: T—Connected Transformer (Westinghouse Engineer Vol. 22, No. 2, Mar. 1962, p. 64)

T 接続の原理と進んだ変圧器製造技術によりすぐれた三相配電用変圧器ができた。新しい三相変圧器は 2 個の単相変圧器を T 接続し、一つの箱に納めたものである。

単相変圧器は三相変圧器に比べ広く使用されており、製造技術も進んでいるので、このすぐれた点を取入れることができた。もっとも重要な点は普通の三相設計と比べると実質的に利益になることである。すなわち 225~500 kVA の範囲では無負荷損失、負荷損失とも少なくなる。たとえば、容量 500 kVA につき普通の三相設計と T 接続設計を比較すると下表のようである。この結果運転費用が下がる。300 kVA 品を年平均負荷 240 kVA で運転した場合の運転費用は従来の SL 形に比べ約 131 ドル安い。

T 接続の欠点は電圧の不平衡を生じることにある。しかし、インピーダンスを小さくすることにより不平衡を 0.5% 以下におさえており、多くの配電盤用メータの誤差範囲内に入るので問題にならない。

T 接続は 2 個の鉄心コイル組立を重ねて丸タンクに入れることも横に並べることもでき、構造的な自由度が大きい。(名古屋製作所 木野崎泰三訳)

三相 500 kVA 変圧器特性

	無負荷損失 (W)	全 損 失 (W)	インピーダンス (%)	全 重 量 (lbs)
従 来 品	1800	7720	4.9	6,000
T 接 続 品	1350	6900	3.1	4,270

S. C. R. 回路はいかに設計すべきか

D. A. PISARCIK: How to design practical S. C. R. circuits (Westinghouse Electric Corp. Youngwood, Pa. May, 24, 1962, pp. 68~75)

シリコン制御整流素子 (S.C.R.) は最近真空管、MAG, AMP, リレーなどの代用として利用されつつあるが、S.C.R. を利用する最

善の設計法は、その回路の解放と設計とを S.C.R. は半導体整流素子であることを念頭において、そもそもの第一歩からやりなすことが最も必要であると注意しており、70A のトリニスタ (S.C.R. の W 社商品名) の基本性能であるターンオン特性、ターンオフとジャンクション温度、および逆電流特性などを図解している。高周波用に使われる S.C.R. はその制限上限はターンオフ時間でおさえるが中程度、電力用 S.C.R. では大体 20~30 kc であり、一定の冷却条件下ではその出力は数 kc 以上になると低減することになる。またサイクリンバータ用としての S.C.R. の設計には 200 V/μs 以上の立上り率が問題となることを指摘している。なお本文中には S.C.R. の通弧 (Premature firing) を防止する諸方式が列挙され、なお通弧と S.C.R. の直列、並列群の運転時の問題点のべられている。その他過電圧保護方式、S.C.R. の順電圧保護方式にも言及し、後者に対してはゼナーダイオードなどを陽極-ゲート間にそう入して陽極点弧方式でその目的を達せしめている。なお変圧器の励磁電流、モータ負荷などのように反復印加される過負荷電流制限用に、図 1 に示すような S.C.R. のゲート信号を 1 c/s 以内に発生を停止せしめる回路方式を発表している。この方式では負荷電流は CT のセット値で監視されており、過負荷となってセット値を超えれば Q₃ がターンオフしてゲート回路への出力をとめる。その他基本的な S.C.R. のターンオフ回路例 3 種が列記されている。これらは直流電源を一定の回路定数の C.R.L. と S.C.R. とを組合せて 10 kc 程度の交流電力を発生せしめうる実用回路である。

(伊丹製作所 加藤又彦訳)

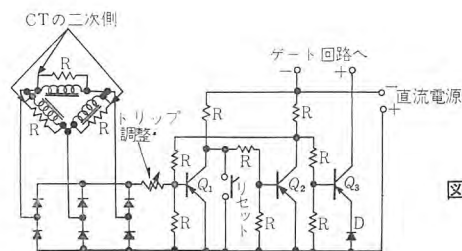


図 1 反復過負荷制限回路方式

効 率 1.5 倍 の 新 形 水 銀 ラ ン プ

Products for Industry: More Lumens per Watt (Westinghouse Engineer, Vol. 22, No. 3, May. 1962, p. 96)

新しい水銀ランプが開発され、光束が 50% 増加した。すなわち発光効率は従来のものが 54 lm/W、白熱電球がわずか 17 lm/W であるのに比較して、新形ランプは 78 lm/W もある。水銀ランプやケイ光ランプが出現した当初に比べると、効率は正に倍増した。

これは研究者達が、水銀蒸気にタリウムを添加すれば、光の出力が増加することを発見したことによる。発光スペクトルは視感度の大きい緑色光に富み、したがって効率が上がり、また緑色部の演色性も改善された。テストは定格 400 W のランプでなされた。従来の 400 W のランプと交換するには、起動のため無負荷電圧を 300 V とした安定器が必要である。(大船製作所 大盛真次訳)

■ 大日電線向け 2,600 kVA 正弦波発電機完成

先年同じく大日電線へ 200 kVA ケーブル 耐圧試験研究用正弦波発電機を納入したが、このほどさらに 2,600 kVA 正弦波発電機を完成納入した。

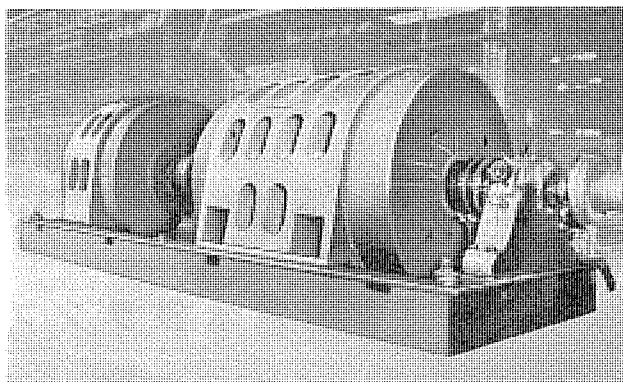
本機は 500 kV 7,500 kVA ケーブル 耐圧試験装置用電源として使用され、正弦波発電機としてわが国最大容量のものである。

仕 様

定格出力	2,600/1,500 kVA	相数	三/单相
定格	連続	電圧	0~3,300 V
周波数	60 c/s	極数	6
回転速度	1,200 rpm	形式	開放保護, SFC 形
力率	±80%	絶縁	B 種

特 長

1. 回転子は円筒形界磁で単相分布巻界磁を採用し正弦波起磁力を得るようにし、強力な制動巻線を設けてある。
2. 界磁 コイル 端部には非磁性 リティニグリング をはめ強大な遠心力に耐えるようにしてある。
3. 固定子は 2 スロットキュー とし、分布巻定数、短節巻定数などを適当に選定して高調波成分を打消している。
4. 発電機残留電圧を打消すため励磁は逆極性にすることができ、また電圧の超微細調整が可能である。



左方: 1,400 kW 同期電動機

右方: 2,600/1,500 kVA 正弦波発電機

■ 飛躍的に改良された電解加工機試作完成

当社では、かねて電解加工機について研究開発中であったが、当社研究所を中心とし、名古屋製作所、および鎌倉製作所の協力によってこのほど、飛躍的に改良された電解加工機を完成した。

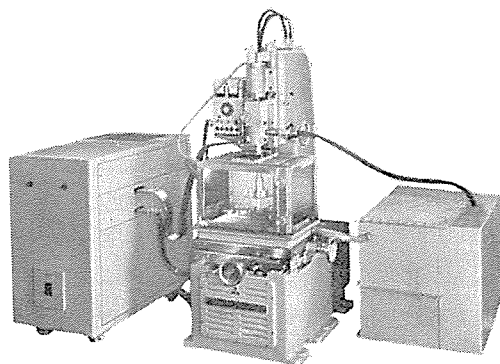
電解加工法とは、電気分解の溶出作用を、金属のセリ孔、型彫りなどの加工に応用した新しい金属加工法である。工具とワークの極間距離を、臨界間ギャ（本誌 36 巻 9 号参照）以下に保ち、そ

の間ギャに相当早い流速の電解液を供給しながら、ワークを陽極、工具を陰極にして、直流電圧 10 V 程度を印加し、20~200 A/cm² の高い電流密度で電解を行ない、これによってワーク側に、工具に対し雌形となる加工を行なうものである。

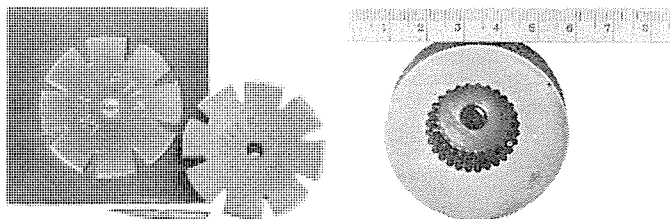
この場合、原理上から陰極工具の消耗はなく、そのために電極形状がワーク底面に写りやすく、また 1~10 g/min 程度の加工速度を、比較的に良い仕上面のもとにおいて得られやすい利点はあるが、電解液の循環孔を中心とした、深い放射状の条痕を生じやすく、電解加工だけによる仕上加工が不可能に近かった。

三菱電解加工機は、この条痕を除去することに成功したものである。その方式は、高圧気体を電解液中に混入して極間を通過させながら、電解を行なうものである。加工面はほぼ鏡面に近く、また表面全体の平坦度が向上し、電極形状が忠実にワーク底面に模写される特長をもち、電解加工のみによる最終仕上を可能としたものである。高圧気体の混入のはたらきは、気体が極間で急激に膨張することによって、電極面全体が均一な電解条件となり、イオン濃度の部分的な不均一が是正されるためではなかろうかと考えられる。（特許出願中）

電解加工機としての機能を備えるには、機械部の使いやすさ、剛性、精度、耐食性およびサーボ機構が重要である。本機は、電



三菱電解加工機



電極面積 21 cm²
加工深さ 1 mm
加工時間 4 min
ワーク材質 軟銅
電極材質 黄銅
電流 300 A

(a) 刻 印 加 工

電極面積 4.5 cm²
加工深さ 11.5 mm
加工時間 10 min
クリアランス(入口) 0.2 mm
クリアランス(底) 0.1 mm
ワーク材質 高炭素焼入鋼
電極材質 黄銅板
電流 180 A

(b) 板状電極を応用した止り孔加工

加 工 例

極の取付後、回転可能となっており、油圧サーボによる上下送りのほかに、手動操作による上下送りも、可能である。電解液の飛散する部分は全部ステンレス製となっている。また、機械部の高い剛性と共に再現性の高い加工が可能である。

今回開発された電解加工機は、つぎのような仕様および性能であり、37年10月大阪において開催された日本国際工作機械見本市に出品した。

加工速度

電極面積 約 36 cm² のとき 10 g/min, 3cm² のとき 1 g/min
最大加工面積 約 36 cm²

加工精度 仕上面 アラサ 最小 1~3 μHmax
クリアランス 0.1~0.5 mm

加工材料 鉄合金, ニッケル合金, アルミ合金など

電極材料 銅合金, 鉄合金など

電源入力 三相 200~220 V 60 c/s (50 c/s) 10 kVA

出力 無負荷電圧 15 V
最大負荷電流 1,000 A

全床面積 3,100 mm × 1,900 mm

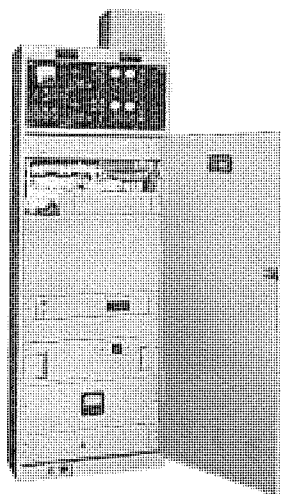
電極送りストローク 自動 75 mm
手動 160 mm

■ 近畿地方建設局大阪一淀川回線に 12 Gc 帯簡易マイクロ多重通信装置を納入

本誌 36 巻 5 号に発表した 12Gc 帯簡易マイクロ多重通信装置 1 対向をこのほど近畿地方建設局に納入した。この回線は大阪の本局と淀川工事事務所間に SS 方式 12CH 容量の多重電話中継回線を構成するものである。

無線機はクライストロン以外をすべてトランジスタ化したので、小形で消費電力が少なく、信頼度も高い。電源は交流、直流（蓄電池電源）いずれでも使用できる。さしあたり無線機は現用機のみ実装しているが、将来予備機を増設できるようになっていて架の高さは 1,500 mm である。

端局装置は群別搬送方式の SS12CH 容量で 6CH を実装し、



近畿地方建設局納め
12Gc 帯簡易マイクロ
無線機

打合せ電話回線を別に 1CH もっている。

空中線は直径 1.8 m のパラボロ空中線で垂直偏波を使用している。この回線の伝播路は距離 17.3 km であるが淀川流域にそって霧などが多いがドロップアウトマージンは約 36 dB あるので回線の安定度も高いと考えられる。

■ DU形ダイヤパワー交流発動発電機シリーズ完成

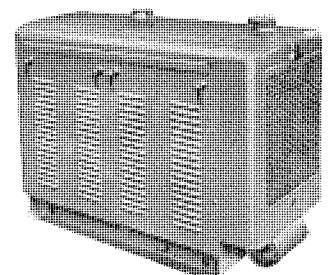
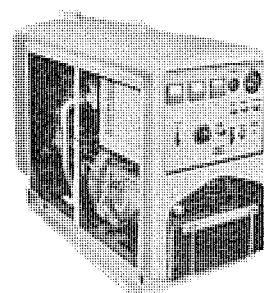
当社では小形ディーゼル発電機を多数製作しているが、今回新三菱重工業とタイアップして 6.25~25 kVA のディーゼル発電機（商品名 DU 形ダイヤパワー）のシリーズを完成し量産を開始した。このダイヤパワーは、交流発電機とディーゼルエンジンとを共通台床上に直結し、これに燃料タンク、ラジエータ、バッテリーおよび配電盤などをとりつけたもので常置用はもちろん、可搬用として各用途に使用することができる。

特長

1. 小形軽量で可搬に容易である。
2. 安定した電圧特性で電圧変動が少ない。
3. 薄幅制御方式で操作が簡単で取扱いが容易にできる。
4. 運転経費が安く安価な電力がえられる。

DU 形 ダイヤパワー

項目	形名	DU 7.5			DU 15			DU 25		
		KE35-31			KE31-31			KE36-31		
ディーゼルエンジン	シリンダ数-内径×行程	2-79.4×111.1			4-79.4×111.1			6-79.4×111.1		
	総排気量(cc)	1,100			2,199			3,299		
	連続定格出力(ps/rpm)	8.5/1,500 10.5/1,800			16.5/1,500 20/1,800			25.5/1,500 32/1,800		
	1h定格過負荷出力(ps/rpm)	10/約1,450 12.5/約1,750			19.5/約1,450 24.5/約1,750			32/約1,450 40/約1,750		
	始動電動機	12V 2kW			12V 2kW			12V 3kW		
	充電発電機	12V 250W			12V 250kW			12V 250W		
	ガバナ	メカニカル			メカニカル			メカニカル		
	ラジエータ	付			付			付		
	燃料容量(ℓ)	約 20			約 40			約 60		
	タンク運転時間	8/7.1			9.1/7.8			8.9/7.4		
	バッテリー	12V-100Ah			12V-120Ah			12V-150Ah		
	燃料消費率(g/kWh)	410/390			360/350			345/335		
三相交流発電機	(定格負荷時)(g/psh)	240/230			220/215			215/210		
	燃料消費率(定格負荷時)(g/h)	2.5/2.8			4.4/5.1			6.7/8.1		
	形名	開放保護形			開放保護形			開放保護形		
	出力(kVA)	6.25 7.5			12.5 15			20 25		
	出力(kW)	5 6			10 12			16 20		
	電圧(V)	210 220			210 220			210 220		
	電流(A)	17.2 19.7			34.4 39.4			55 65.6		
	周波数(%)	50 60			50 60			50 60		
	回転数(rpm)	1,500 1,800			1,500 1,800			1,500 1,800		
	効率(%)	80			80			80		
	励磁方式	静止励磁式			静止励磁式			静止励磁式		
エンジン発電機全装置重量(kg)		約 600			約 800			約 1,100		



DU 形 ダイヤパワー 交流発動発電機

■ 大電流切換開閉器

大電流切換開閉器を開発し、電気清浄ラインおよび電気メッキライン設備として、八幡製鉄および日本鋼管に計10台納入した。

この開閉器は、無電圧、無通電状態で、電源の切換えまたは負荷の極性切換えを行なうために使用されるものであり、おもな定格および特長は次のとおりである。

定 格

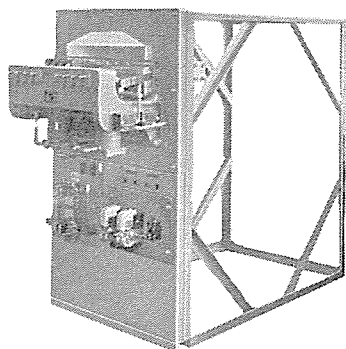
定格電流 10,000 A 二極双投

操作方式 圧縮空気操作

定格操作圧力 5 kg/cm²

特 長

1. 構造が簡単であり、保守点検がしやすい。
2. 単純で、安定かつ強靱な機構部分の構成により、寿命が長く、25万回の寿命試験終了後も、なお十分使用できる状態にあった。
3. 永年の使用により、接触部が多少損耗しても、接触圧力はほとんど変わらない構造になっている。(特許出願済)
4. 巧みな機構の採用により、接触子の切換速度は、ストロークの初めは速く、終りは適当に制限しているのので、接触子の損耗が少なく、かつ、全体の切換時間は比較的短い。(特許出願済)



切換開閉器 定格電流 10,000 A

■ ヒューズ断線時の継電器誤動作防止用新形継電器

一般に PT 二次側にはヒューズがそう入されているが、このヒューズが断線すれば、電圧抑制のある継電器においては正常な動作をしなくなる。とくに距離継電器などの誤動作は高速度で鎖錠する必要がある。三菱 LVB-M 形(図2)および LVB-2-M 形電圧平衡継電器(図3)は以上のような目的で新しく開発された継電器でどちらも極性継電要素を主体としており、トランジスタを使用してより高速度化と動作の確実化をはかっている。

その原理としては同一回路に2組の PT を設置し、その二次側に電圧平衡継電器を接続して、その両者の出力電圧の平衡状態を監視しており、一方のヒューズが断線すると、一般の誘導性受動回路負荷においては断線側 PT の二次電圧ベクトルは図1の半円 RST よりも入ってくるので、いずれかの相の電圧は健全側の対

応相電圧の 70.7 % 以下 $\left(=\frac{1}{\sqrt{2}} \times 100 \%\right)$ に低下することになり電圧平衡継電器はそのb接点をひらき、距離継電器の動作を鎖錠すると同時に ICS 形表示接触器を動作させて動作表示を行なうものである。

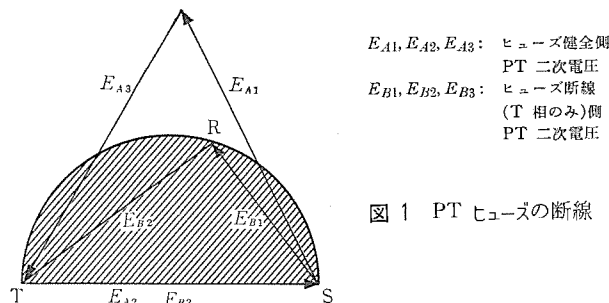


図1 PT ヒューズの断線

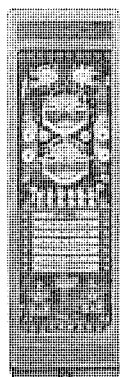


図2 LVB-M 形電圧平衡継電器

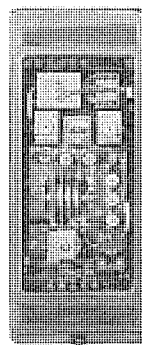


図3 LVB-2-M 形電圧平衡継電器

■ ホール素子を使ったガウスメータ

従来用いられている静磁場測定用のガウスメータはサーチコイルと弾動検流計によるものが多く、測定中に振動を与えると大きな誤差を生じ、またフローが大きいのでせまいギャップの磁束密度を測定したりすることは不可能であった。また交流磁場の測定もサーチコイルと真空管電圧計とかオシロスコープを組合せて行なわれていたが、サーチコイルの出力は被測定磁場の時間変化率に比例するので、被測定磁場が高調波を少しでも含む場合は、サーチコイルの出力を一度積分回路を通してから真空管電圧計とかオシロスコープに入れる必要があり、かなりめんどろであった。

このたび開発したガウスメータは n 形シリコン単結晶のホール効果を利用して、静磁場および交流磁場の磁束密度を測定するもので、この外観を図1に、ブロック線図を図2に示す。この装置では上記のような欠点はない。測定範囲は静磁場、交流磁場ともフルスケールが 1, 3, 10, 30 kGauss である。

ホール効果とは図3に示すように半導体の板に4本の端子を付け、制御端子 1, 2 間に制御電流 I_c を流しておいて、半導体の板に直角に磁場 B を作用させるとホール端子 3, 4 間に次のような電圧を生ずる現象である。

$$V_H = \frac{R_H I_c B}{t}$$

ただし t は素子の厚さであり、 R_H は半導体のホール係数である。

この現象を利用して磁束密度 B を測定する場合、ホール係数 R_H が表1のように B と共に変化するので、 B とホール電圧が正確に

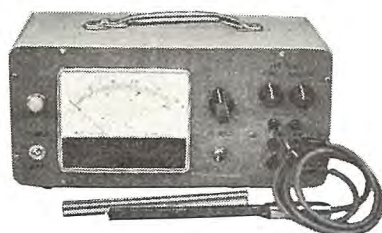


図 1

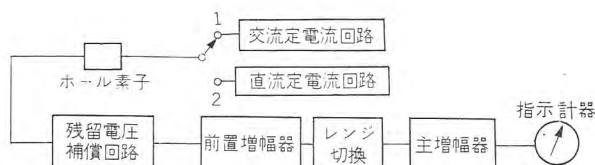


図 2 ガウスメータのブロック線図 (切換スイッチは測定磁場が静磁場か交流磁場かにより、それぞれ1または2とする)

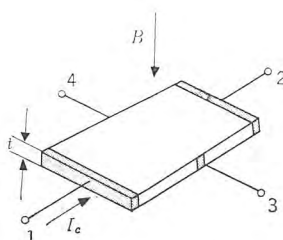


図 3 ホール効果の原理

表 1 R_H の磁場による変化 (1 kGauss の R_H を 1 とする)

B	$R_H(B)/R_H(1)$		
	Si	Ge	InAs
1 kGauss	1.000	1.00	1.00
5	1.002	0.98	1.07
10	1.004	0.94	1.16

は比例しない。しかし表1からわかるようにシリコンの場合は R_H の磁場による変化が少なく、 B と V_H は比例していると考えてもよい。したがってこのガウスメータでは校正曲線を用いる必要がなく、等間隔の目盛で直接 B の値を読むことができる。

このガウスメータでは、静磁場を測定するときは、 I_c を交流の定電流回路から供給している。また交流磁場の測定の場合は I_c を直流の定電流回路から供給している。いずれの場合もホール電圧は交流となるから、それを増幅しダイオードでブリッジ整流してからメータを振らせて、直接磁束密度 B を読むようにしてある。定電流回路の安定度、増幅器の直線性と安定度は十分検討してあるが、ホール係数が正の温度係数を持ち、周囲温度が 10°C 変化したときに1%弱変化するので、測定精度を望む場合は、温度補償をする必要がある。この装置では、長期にわたる真空管の劣化、指示計器の温度特性、ホール係数温度変化などすべての影響からのがれるため、整磁鋼により温度補償した小形永久磁石の空ゲキ磁束密度を3 kGauss にあわせ、標準磁石としてパネル内におさめてある。標準磁石の経年変化は1.0%以下であるから、ガウスメータを使う前に一度感度の調整をしておけば、1%以上の精度が得られる。実際に核磁気共鳴による測定値と比較したところ誤差は1%以内であった。

この装置は標準磁石を持っているので、いろいろな形状のホール素子をそのつどさしかえて使用できる。また素子の厚さは0.5 mm 以下にもできるから非常にせまい空ゲキの磁束密度も測定可能である。

256 チャンネル・パルス波高分析器

多重チャンネルのパルス波高分析器は、放射線計測の分野で、 γ 線スペクトロメータで代表されるようなエネルギー分析の有効な手段として広く利用されている。

このほど研究所で開発した波高分析器は、自家研究用に製作したもので、放射線計測の場合だけでなく他の応用にも適するよう考慮されている。そのため構成はある特定の目的に対してはそれぞれの場合に適合する前置装置を付加する形式とし、本体としては分析に必要な基本単位だけでまとめている。それと共に、被分析入力パルスの波形に対する制限をゆるくしたほか、機能の上でも二、三の新しい試みを加えている。

分析器本体は、入力パルスの波高値をデジタル量に変換するADコンバータ、入力パルスの到着数を各チャンネルごとに蓄積・記憶する磁心記憶装置、必要な演算と動作の制御を行なう制御回路、および分析結果をブラウン管上に表示する表示回路から構成されている。回路はすべてトランジスタ化されており、磁心記憶装置と制御回路はパッケージ・タイプとしてある。

この装置の主要な仕様は次のとおりである。

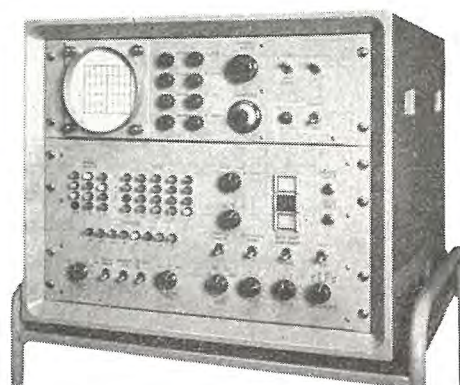
1. 入力信号：負極性、フルスケール 10 V
立上がり時間 0.2~100 μs
2. チャンネル数：256
3. メモリ分割：1×256 および 2×128
3. 記憶容量：1チャンネル当り 10^5 カウント
5. デッド・タイム：10 μs + 0.5 N μs + Tr

N はチャンネル番号

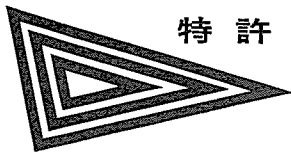
Tr は入力パルスの立上がり時間

また、2分されたメモリの間でのデータの転送が可能であり、出力装置としては、8ケタ並列で1ケタが2進10進符号の入力をもつプリンタ、および追従速度が1秒以内のX-Yレコーダであれば、直接接続して使用できる。

現在、広島大学から、メモリを4分割とし、かつ分割されたメモリの各部に対応する入力制御回路を付加した波高分析器を受注し、製作中である。



256 チャンネル・パルス波高分析器



逆 弧 検 出 継 電 器

発 明 者 藤 井 重 夫

この発明はたとえばイグナイトロンの水銀整流器の逆弧現象を高速で検出し、整流器および付属機器の高速保護ならびに故障表示を行なうことを目的とした逆弧検出継電器に関するものである。

図において、(1)は電源変圧器、(2)(3)は水銀整流器、(4)は負荷である。(5)はこの発明による逆弧検出継電器で、E形鉄心(図はこの断面図)からなる動作側磁極(6)とコ形鉄心(同じく断面図)からなる抑制側磁極(7)とを備え、図示のように主導体(8)(9)がそれぞれその窓にそう入されている。

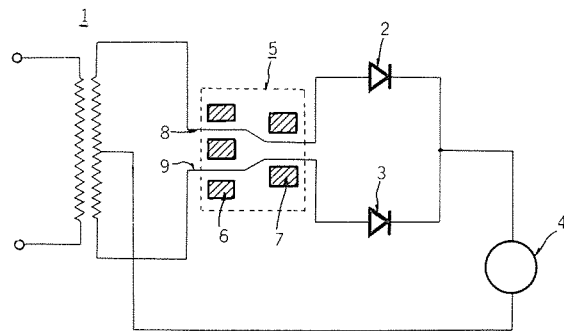
いま整流器が正常運転時には主導体(8)(9)のいずれかにのみ電流が流れ、動作側磁極および抑制側磁極はそれぞれ付勢される。しかしこの時には動作鉄片(図示しない)は抑制側または平衡位置になるようあらかじめ設定しておくものとすれば継電器は動作しない。

つぎに整流器(2)の通電時に整流器(3)に逆弧現象が発生したとすれば抑制側磁極の起磁力は互いに打消され、動作側磁極

にのみ動作起磁力が発生し、作動鉄片は動作側に回動して継電器は所定の動作をする。ここで作動鉄片が動作側に回動した時これを鎖錠する機構を設けておけば次の半波で整流器(2)が不導通になった時鉄片が復帰するのを防止することができる。

以上要するにこの発明は簡単な装置で整流器の逆弧を迅速かつ確実に検出し、各機器を保護するものである。

(特許第 293652 号) (大岩記)



冷 陰 極 表 示 放 電 管

考 案 者 植 竹 勝 人

図1に示すように、数字の形状をした数個の陰極電極(4)(5)(6)(7)を管球(1)内に設け、これと対向して設けられた1個の網状陽極電極(3)との間に放電を行なわせると、放電している陰極電極が光るから、その電極形状に応じた数字を上記管球(1)の表示部(2)から表示することができる。

このような放電管は一般に表示放電管と呼ばれているものであって、一般には計数表示に使用されている。

この考案はこの種の放電管の陰極(4)(5)(6)(7)の配置を図2に示すように正面すなわち表示部(2)側から見て異なった向きにしたことを特長とするものである。すなわち電極(4)の数字

1に対して次の電極(5)の数字2は90°回転した位置に、また電極(6)の数字3はさらに90°回転した位置に、という具合に配置したものである。

このようにしておけばたとえばテレビのチャンネル切換えをこの表示管によって表示する場合、この表示管を切換つまみの内部に納め、つまみの中央に表示管の表示部(2)を出してこれによってチャンネルの表示を行なうことができるから、テレビの意匠的效果をあげることができる上見やすく、操作もしやすい。この表示放電管はテレビのほかにも切換つまみと組合せて使用する場合には一般に使用し得るものであるし、またもちろん表示する符号は数字に限らず文字でもその他の記号でもよい。

(実用新案登録第 567192) (竹蔵記)

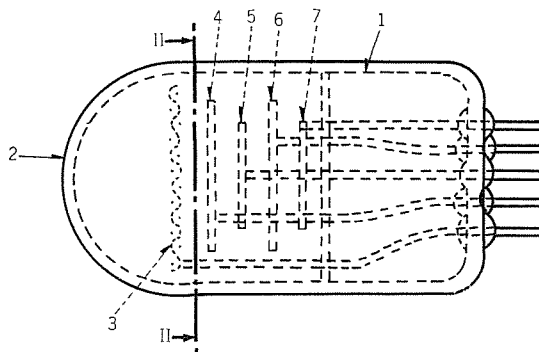


図 1

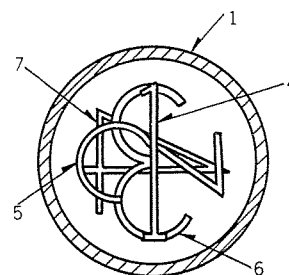


図 2

最近における社外講演一覧

年 月 日	主催または開催場所	演 題	講 演 者	所属場所
37- 4- 3	日本化学会	各種 アミン および希釈溶媒による亜鉛の抽出	小 巻 仁	研究所
37- 4- 3	関西経営管理協会中部支部	切削加工に於ける治具取付具	伊 藤 明	名古屋
37- 4- 4	日本能率協会	“ WF・MIMS ”	奈川敏雄	本 社
37- 4- 3	電気四学会連合大会	プログラムによる列車自動運転装置	小原 太郎	伊 丹
37- 4- 3	早稲田大学	昭和 37 年度 電気四学会連合大会		
37- 4- 5		・ トランジスタ化距離継電器の諸特性	北 浦 孝一	神 戸
		・ 一線地絡地検出継電器のトランジスタ化について	伊 吹 喜一	神 戸
		・ LBB 形位相比較比率差動式母線保護方式	森 健	神 戸
		・ 電源開発滝発電所向 ランナベーン 調整装置	長 沢 保明	神 戸
		・ 2 円複合特性の エレクトロニクス 継電器	垣 内 永至	神 戸
		・ 変形多相距離継電器を用いた優先 シェ断電方式	三上 一郎	神 戸
		・ 脱調保護継電方式	島 田 五郎	神 戸
37- 4- 4	日本化学会	ポリマーカーボンについて (第 2 報)	草川英昭	研究所
37- 4- 4	日本化学会	アルキッド樹脂の粘弾性におよぼす芳香環側鎖の影響	柴 山 恭一	研究所
37- 4- 4	電気四学会連合大会	交流電気車単相両波整流回路の脈流率計算法	河 村 寿三	伊 丹
37- 4- 4	電気四学会連合大会	乾式機器用 C コアの耐熱性	清 水 英範	伊 丹
37- 4- 4	早稲田大学	シリコン抵抗による Ge トランジスタ の温度補償	小 林 信三	無線機
37- 4- 4	早稲田大学	プレイバック 方式の軸数値制御 フライス 盤	中 島 碧	無線機
37- 4- 5	早稲田大学	可変周波水晶発振器	太 田 堯久	無線機
37- 4- 5	早稲田大学	自動歯切器の電子停り制御の無接点方式について	金 森 剛明	無線機
37- 4- 5	早稲田大学	小形電子計算機の諸問題	嶋 村 和也	無線機
37- 4- 5	電気四学会	スイッチングタイム 小なる磁心	水 上 益良	大 船
37- 4- 5	電気四学会連合大会	一次系統における直列機器の 定格電流 と 短絡電流 について	川 上 剛 潮 恒 郎	伊 丹
37- 4- 5	電気四学会連合大会	避雷器の制限電圧測定の問題点	岩 崎 行夫	伊 丹
37- 4- 5	電気四学会連合大会	多回線接続母線の雷 サージ 保護	永 井 信夫	伊 丹
37- 4- 5	日本物理学会	Optical Pumping の実験	安 東 滋	研究所
37- 4- 5	電気学会	磁気演算増幅器と トランジスタ による時分割乗算器	大 野 栄一	研究所
37- 4- 5	電気学会	磁心 トランジスタ A-D 変換器	阪 尾 正義	研究所
37- 4- 5	電気学会	接着鉄心 (第 3 報)	伊 藤 利 朗	研究所
37- 4- 5	電気学会	電機用磁気材料の 1,000 c/s までの磁化特性	野 口 英男・土屋 英 司	研究所
37- 4- 5	電気学会	気圧と コナ 特性の関係	平 林 庄 司	研究所
37- 4- 5	電気学会	400 kV 急峻衝撃波測定用 シールド 形抵抗分圧器	新 田 東 平	研究所
37- 4- 5	電気学会	発電機 コイル の熱膨脹による導体変位	川 上 剛	研究所
37- 4- 5	電気学会	高圧回転機の沿面 コナ 抑制法と 表面電位分布の測定	水 野 邦 男	研究所
37- 4- 5	電気学会	サーボ 機構の設計	真 鍋 舜 治	研究所
37- 4- 5	電気学会	Z 変換を用いた非線形自律性順序回路の理論	福永圭之介	研究所
37- 4- 5	電気学会	交流 アーク の電圧, 電流, 電力	林 重 雄	研究所
37- 4- 5	電気学会	過渡現象解析機の付属装置の半導体化	森 本 英 男	研究所
37- 4- 5	電気学会	分布回路の過渡現象解析法	芝 滝 寿 宏	研究所
37- 4- 5	電気学会	共振回路に $\varepsilon^{-1/2}$ なる形の電圧を印加した時の異常電圧	石黒富士雄	研究所
37- 4- 5	電気学会	電流場を用いた磁界模擬	岩 本 雅 民	研究所
37- 4- 5	電気学会	避雷器用吹消線輪の保護間隙の消弧能力	八 代 稔 穂	研究所
37- 4- 5	電気学会	SF ₆ ガス 中 アーク の シェ断零点近傍の特異現象と 電子の共鳴付着について	宮 本 紀 男	研究所
37- 4- 5	電気学会	SF ₆ ガス 中並切 シェ断点の アークシヤ断性能	宮 本 紀 男	研究所
37- 4- 5	電気学会	アークによる SF ₆ ガス 分解生成物の生成過程および再結合速度について	高 見 紀 二	研究所
37- 4- 5	電気学会	真空 スイッチ の絶縁耐力回復特性	大 倉 敏 幹	研究所
37- 4- 5	電気学会	シェ断零点近傍の アーク 空間 における 粒子再結合速度と空間の熱的性質との関係	伊 藤 利 朗	研究所
37- 4- 5	電気学会	電力用 S 整流素子の一時的絶縁破壊	岡 久 雄	研究所
37- 4- 5	電気学会	電力用 S ₂ 整流素子の過電流破壊	大 島 征 一	研究所
37- 4- 5	電気学会	多段中間陽極を有する 高圧整流器の サージ 発生限界電流	高 島 惇	研究所
37- 4- 5	電気学会	イオン鞘破壊と水銀整流器の逆弧	木 村 孝 之	研究所
37- 4- 5	電気学会	変動負荷時における水銀整流器の予想逆弧率	阿 部 久 康	研究所
37- 4- 5	電気学会	陰極無絶縁形 エキサイトロン	池 田 和 郎	研究所

本社	営業所	研究所	製作所	工場	所在地
本 社	東京都千代田区丸の内2丁目3番地 (東京ビル内)	(電) 東京 (201)	大代表	1 6 1 1	
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地 (三菱商事ビル内)	(電) 東京 (211)	代表	2511・2531	
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地 (仲27号館)	(電) 東京 (211)	代表	1261・1271・1281	
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目20番地 (三菱商事ビル3階)	(電) 東京 (211)	代表	2511	
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8番地1 (電)大阪 (312)	代表	1231		
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地1 (電)大阪 (312)	代表	1231		
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り2の4 (電)本局 (23)	代表	6231		
福岡営業所	福岡市天神町58番地 (天神ビル内)	(電) 福岡 (75)	代表	6 2 3 1	
札幌営業所	札幌市北二条西4丁目1番地 (北海道ビル内)	(電) 札幌 (3)	代表	9 1 5 1	
仙台営業所	仙台市大町4丁目175番地 (新仙台ビル内)	(電) 仙台 (2)	代表	6 1 0 1	
富山営業所	富山市総曲輪490の3 (明治生命館内)	(電)富山 (3)	代表	3151	
広島営業所	広島市八丁堀63番地 (昭和ビル内)	(電)広島 (2)	4411~8		
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地 (第一生命ビル内)	(電) 高松 (2)	代表	5 0 2 1 4 4 1 6 (直通)	
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地 (電)小倉 (52)	8234			
静岡出張所	静岡市七間町9番地10 (電)静岡 (2)	2595 (3)	2962		
金沢出張所	金沢市田丸町55番地1 (電)金沢 (3)	6213			
長崎出張所	長崎市江戸町30 (電) (2)	0293			
岡山出張所	岡山市上石井174番地 (岡山会館4階)	(電) 岡山 (3)	2 9 4 8 (2)	2 5 6 4	
研 究 所	尼崎市南清水字中野80番地 (電)大阪 (481)	8021			
商品研究所	鎌倉市大船782番地 (電) 大船 (6)	代表	3131		
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目 (電)兵庫 (67)	代表	5041		
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電)大阪 (481)	8021			
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地 (電)長崎 (3)	代表	3101		
無線機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電)大阪 (481)	8021			
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地 (電)名古屋 (73)	1531			
静岡製作所	静岡市小笠110番地 (電)静岡 (3)	0141~0145			
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場928番地2 (電)中津川	2121~8			
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電)和歌山 (3)	代表	1275		
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電)福岡 (88)	代表	0431		
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地 (電)福山 (2)	代表	2800		
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電)姫路 (23)	1251			
鎌倉製作所	鎌倉市大船800番地 (電)大船 (6)	代表	2121		
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町437 (電)東京 (414)	代表	8111		
郡山製作所	郡山市字境橋町1番地 (電)郡山 (2)	1220~1223			
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電)伊丹	大代表	5131		
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電)大船 (6)	4141			
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1 (電) 高槻 (5)	1 6 0 7	神足401		
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町305 (電)東京 (414)	代表	8111		
東京工場	札幌市北二条東12丁目98番地 (電)札幌 (2)	3976			
札幌修理工場					

次号予定

三菱電機技報 Vol. 36 No. 11

国鉄新幹線試車用電機品特筆

- 整流器式電気車における電圧変動率の曲線
- 国鉄新幹線試車用変圧器
- 国鉄新幹線試車用シリコン整流器
- 国鉄新幹線試車用自動運転装置
- 国鉄新幹線試車用タッパ切換器
- 国鉄新幹線試車用主電動機
- 国鉄新幹線試車用電機品の組合せ試験

庄延用電機品特筆

- 八幡製鉄戸畑製造所納め6スタッド冷間連続庄延機
- 最近のスキンパミル用電機品
- 線材ミル用電機品
- 三菱スーパーラインD直流機
- 八幡向けインゴットバギー用電機品
- 有機シンチレータを用いた速中性子検出器
- 4,000 Mc 垂直水平偏波共用空中線
- 大日電線納め500kV試験用変圧器
- 放電におけるSF₆ガスの化学的特性
- 真空スイッチ
- 乗用車用油圧エレベータ
- 運転指令装置
- 技術解説: 高周波誘導加熱装置 (5) 焼入機械装置の応用例
- 電子機器の信頼度 (1)

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅	常任委員	山田栄一郎
副委員長	宗村平	委 員	岩原二高
常任委員	安藤安二	"	片岡俊弥
"	北川和人	"	樫本善助
"	小堀富次雄	"	篠崎善信
"	高井得一郎	"	仁礼真幸
"	中野光雄	"	堀義雄
"	馬場文夫	"	前田祐雄

(以上50音順)

昭和37年10月22日印刷 昭和37年10月25日発行
「禁無断転載」 定価1部 金100円 (送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地 小倉弘毅
印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社
印刷者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

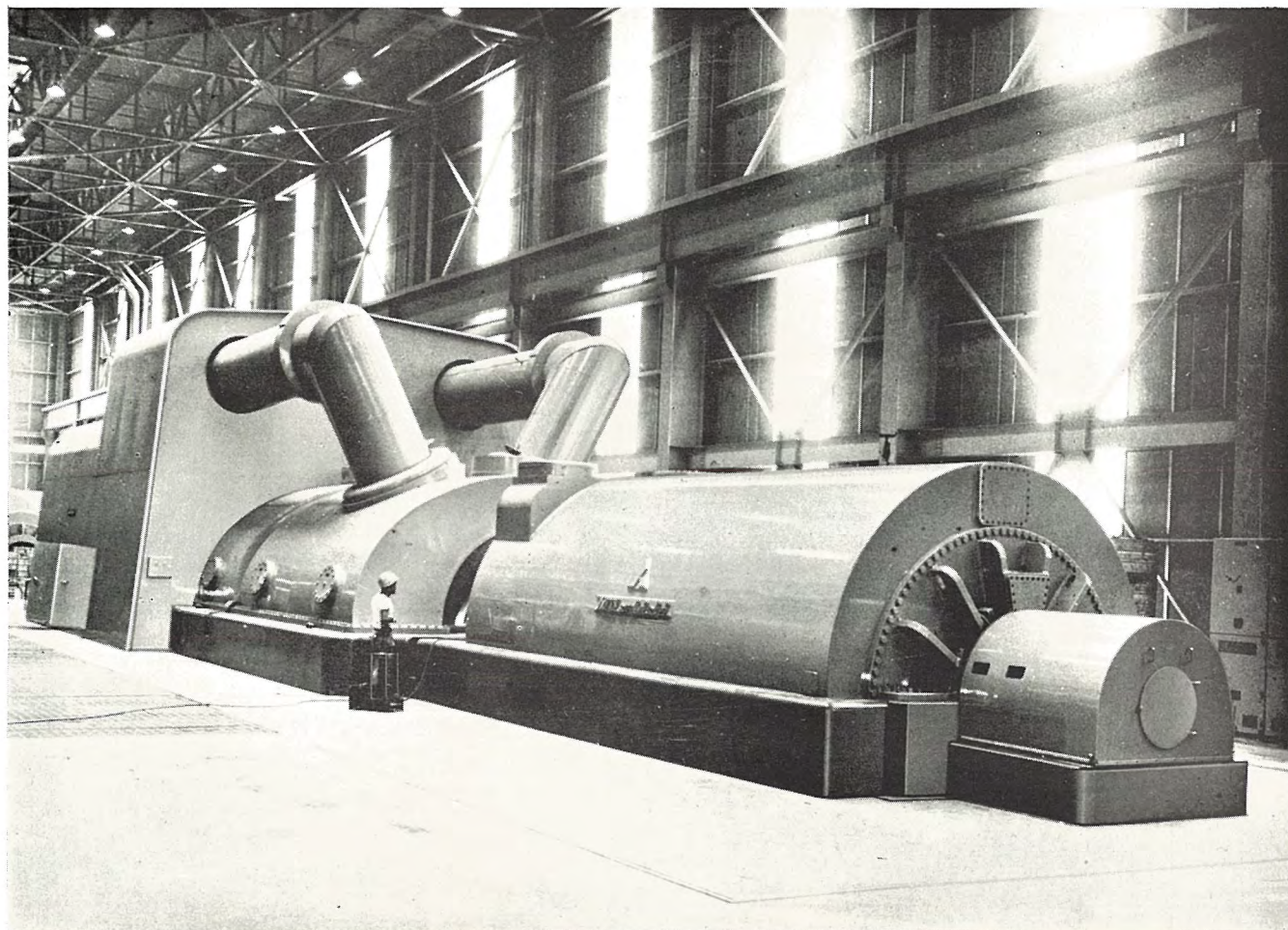
発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内2丁目3番地 電話東京 (201) 1611

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
電話 (291) 0915・0916 振替東京 20018

東京電力横浜発電所納め 224MVA3,000rpm 内部冷却タービン発電機



本機は東京電力横浜発電所の 2 号機で 新三菱重工製の
175MW タービンと直結している。

50 c/s としては初めての内部冷却であり、十分の活躍が期
待されている。定格は次のとおり

224 MVA 190.4 MW 18 kV 7,180 A 0.85 力率
短絡比 0.64 ガス圧 3 kg/cm² 50 c/s 3,000 rpm
375 V 励磁