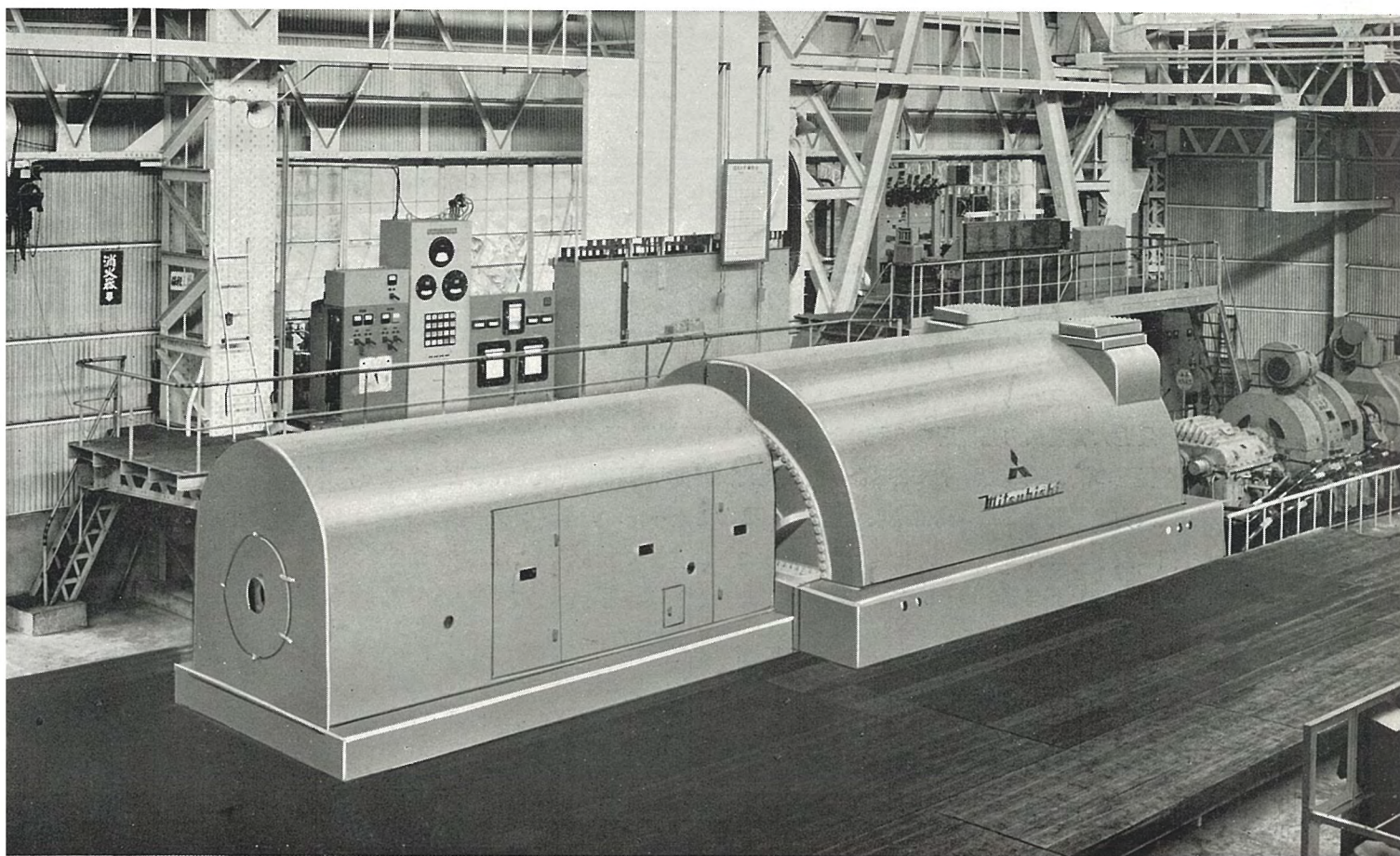


MITSUBISHI DENKI

三菱電機

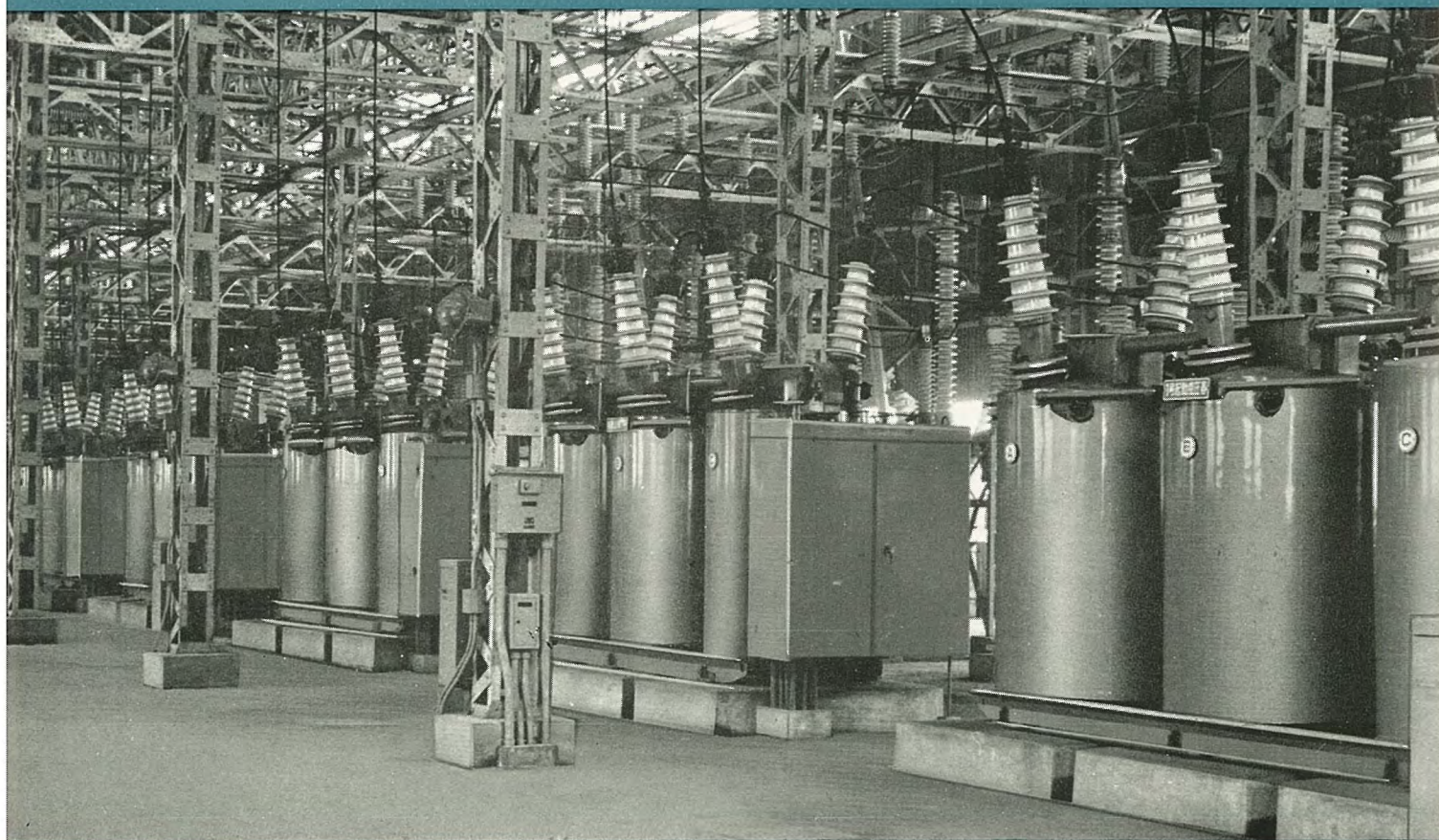


工場試験中の 208,696 kVA タービン発電機

10

VOL 33 1959

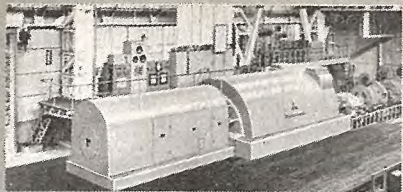
● 84kV 1,800A 3,500MVA タンク形油シャ断器



最近大容量火力発電所の建設，あるいは変圧器単基容量の増大にともなってシャ断器の定格電流も従来の消弧室の接触子による限界をこえた高い定格電流を要求されるようになった．関西電力大阪火力発電所もこの一例で定格電流は 1,800 A となった．元来タンク形油シャ断器は主接触子を別個に設けることによって，定格電流を増すことは容易であるが，このような設計はシャ断時間を長くし，タンクの径を増すなどの点で経済的な設計とはいえない．このシャ断器はこれらの欠点を除くため，特殊消弧室を用い，主接触部なしで 1,800 A の定格電流を満足するよう設計されたので大きさも従来の 1,200 A 定格のものと同一となった．

なお大阪火力発電所には同形式のシャ断器が 19 台（1,800 A，1,200 A 合計）納入され，現在好調のうちに運転されている．

| | | | | |
|------|---------|------------|-----------------|--------------------------|
| ● 仕様 | 形名 | 70-GTR-350 | 定格開極時間 | 0.04 秒 |
| | 形式 | タンク形油シャ断器 | 定格シャ断時間 | 5 サイクル |
| | 定格電圧 | 84 kV | 定格操作圧力 | 12 kg/cm ² -g |
| | 定格電流 | 1,800 A | 投入制御電圧 | DC 100 V |
| | 定格シャ断容量 | 3,500 MVA | 標準動作責務 | |
| | 定格周波数 | 60 サイクル | O-1 分-CO-3 分-CO | |
| | 絶縁階級 | 70 号 | 定格引はずし電圧 | DC 100 V |
| | 定格再起電圧 | 4 kc | 油量 | 6,100 l |
| | 定格投入電流 | 65,600 A | 総重量（油ふくむ） | 12,500 kg |
| | 定格短時間電流 | 24,100 A | | |



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

当社長崎製作所で昭和32年はじめから製作中であった、関西電力株式会社大阪火力発電所向け 208,696 kVA 内部冷却式タービン発電機は予定どおり完成し、去る7月16日、各電力会社はじめ関係者多数来賓の参列のもとに公開運転も無事終了、8月23日現地向け発送された。写真は右工場試験のときのものである。

本機は国産機としてわが国における最大容量であるだけでなく、固定子および回転子の両コイルに内部冷却方式を採用した、いわゆる内部冷却形発電機としても最初の国産機である。



三菱電機株式会社

本社 東京都千代田区丸の内(東京ビル)
(電)和倉(20) 代表 1631・2331
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町
伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水
長崎製作所 長崎市平戸小屋町
無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水
名古屋製作所 名古屋市中区矢田町
静岡工場 静岡市小島 110
中津川工場 岐阜県中津川市駒場町
和歌山工場 和歌山市今宿青木町
福岡工場 福岡市沖野上町
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町
大船工場 神奈川縣鎌倉市大船町
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町
郡山工場 福島県郡山市境橋町
研究所 兵庫県尼崎市南清水
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町
東京工場 札幌市北二条東 12
札幌修理工場 東京都千代田区丸の内 2—20
営業所 (三菱商事ビル 2 階)
(電)東京(211) 代表 2511
大阪営業所 大阪北区堂島北町 8 番地 1
(電)大阪(34) 代表 5251
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通
(電)本局(23) 代表 6231
福岡営業所 福岡市渡辺通り 2 丁目(電気ビル内)(電)福岡(2) 代表 6031
札幌営業所 札幌市大通西 1 丁目(大通ビル)(電)札幌(2) 代表 7236
仙台営業所 仙台市東一番丁 63
(電)仙台(2) 代表 6101
富山営業所 富山市安住町 23 の 2
(電)富山(2) 0151
広島営業所 広島市八丁堀 63 番地(昭和ビル内)(電)中(2) 2211
高松営業所 高松市寿町 1 丁目 4(第一生命ビル)(電)ビル代表 2-5021
直通代表 2-4416
小倉出張所 小倉市京町 10 丁目(五十鈴ビル)(電)小倉(5) 8234
静岡駐在員 静岡市呉服町 2 丁目 1 番地
(電)静岡(2) 2595 (3) 2962
岡山駐在員 岡山市浜田町 20 番地
(電)岡山(3) 2098
金沢駐在員 金沢市田丸町 55 番地
(電)金沢(3) 6213

昭和 34 年 第 33 卷 第 10 号

目次

新鋭火力発電機特筆

| | | |
|-------------------------------------|-------|----|
| 156,250 kW タービンの概要 | 飯田庸太郎 | 2 |
| 208,696 kVA 内部冷却タービン発電機 | | |
| …加賀貞広・松尾 昇・志岐守哉・今井 光・甲斐 高 | | 8 |
| 新鋭タービン発電機のすえ付・運転・保守 | | |
| …米野俊彦・遠藤裕男・鈴木文夫 | | 23 |
| 大形タービン発電機回転子軸材の品質とその評価 | | |
| …今北孝次・山野辺二郎 | | 51 |
| 208,696 kVA 内部冷却タービン発電機用 975 kW 励磁機 | | |
| …萬谷 廣・神浦秀太郎・林 昌宏 | | 69 |

八幡製鉄戸畑製造所納入第2熱間仕上圧延機用電機品

| | | |
|-----------------------------------|-----------|-----|
| 高月 一・伊藤嗣郎・加藤又彦・己斐健三郎・室賀 淳 | 74 | |
| 追値サーボ系の設計 | 真鍋舜治 | 88 |
| 大電流大容量屋外キュービクル開閉装置 | | |
| 樺沢孝治・矢野広男・田和 穰 | | 96 |
| 小形撮像管 6198, 6198A 形ビジコン | 鷺尾信雄・中子睦夫 | 107 |
| 銀系接点の消耗移転現象 (1) | | |
| 山森末男・森田義男・岩村武志・政木淑人 | | 116 |
| 新形温度継電器 (BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器) | 森 健 | 127 |

技術解説

| | |
|----------------------------|-----|
| 火力発電シリーズ: 照明関係(1) 火力発電所の照明 | 136 |
| エレベータ 火力発電所用エレベータ | 148 |

W 社文献抄訳

| | |
|--|-----|
| 消弧媒体としての SF ₆ とその応用・住宅における電気の需要・単一 A-M チャンネルによる立体放送・研究所用回転機万能試験装置 | 152 |
|--|-----|

ニュースフラッシュ

| | |
|---|-----|
| 味の素川崎工場向け 250 V, 6,000 A 風冷式シリコン整流器完成す・中部電力向け 1,550 kW 閉鎖通風屋外形誘導電動機・近畿日本鉄道向け「名阪特急ビスタ・カー」完成・羽田空港において 24,000 Mc レーダ実験公開・10,000 kVA タービン発電機に静止励磁方式・S バンド 2 kW 進行波管・電鉄走行曲線の自動電子計算 | 154 |
|---|-----|

特許と新案

| | |
|-----------------|-----|
| (特) 誘導電動機速度制御装置 | 157 |
|-----------------|-----|

最近における当社の社外講演一覧

| | |
|--|-----|
| | 158 |
|--|-----|

次号予定

| | |
|--|----|
| | 95 |
|--|----|

156,250 kW タービンの概要

新三菱重工業株式会社神戸造船所 飯田 庸太郎*

Outline of 156,250 kW Steam Turbine

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

Rapid increase in power demand has led to earnest investigation of efficiency improvement of steam power generating equipment. Outstanding progress is noted in the use of high pressure high temperature steam, enlargement of turbine output and adoption of reheating cycle. Particularly, the advent of reheating turbine plant has brought great economical advantages in the power generation. A 156,250 kW tandem compound double flow type steam turbine built by Mitsubishi Heavy-Industries Reorganized is the one to carry the laurel in the steam condition and thermal efficiency in the circles. This article covers a brief description of this epochal machine.

1. ま え が き

近時電力需要の急増に伴い、火力発電設備の効率改善が真剣に検討され、高圧高温蒸気の採用、タービン出力の大容量化、再熱サイクルの採用など、その進歩の跡はまことにめざましいものがあるが、とくに再熱式タービンプラントの出現は火力発電設備の採算性にきわめて重要な影響を及ぼしている。この点、本機は使用蒸気条件ならびに熱効率とも、斯界の最高水準をゆくものであり、その容量においても2気筒形式としては最大値を示し、あらゆる面から見て画期的なタービンと考えてさしつかえないと思う。

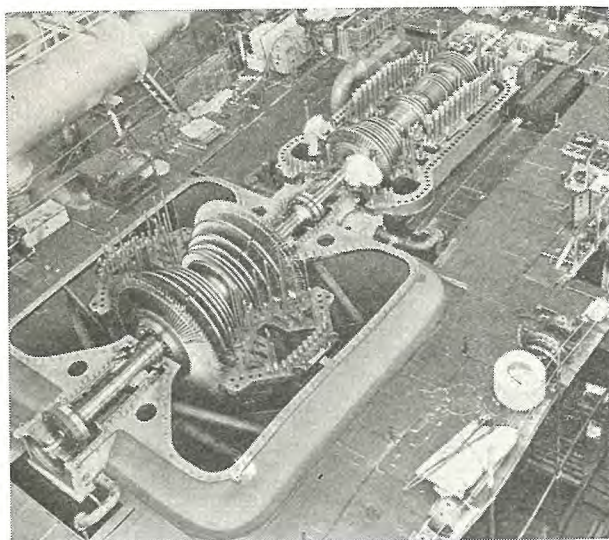


図 1.1 156,250 kW 3,600 rpm 三菱神戸ウエスチングハウス蒸気タービン

Fig. 1.1 156,250 kW 3,600 rpm Mitsubishi Kobe Westinghouse steam turbine.

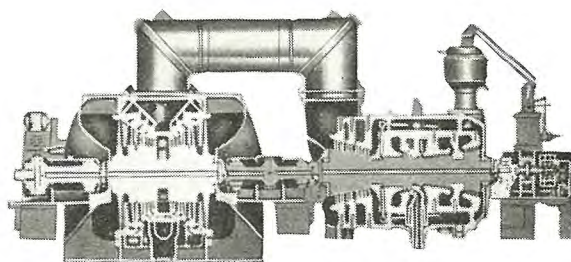


図 1.2 156,250 kW 蒸気タービン組立断面

Fig. 1.2 Cross section of 156,250 kW steam turbine.

2. 蒸気タービンの主要目

形 式 三菱神戸ウエスチングハウス再熱式衝動反動 2 気筒クシ形 2 分流排気形

定格出力 156,250 kW
 回転数 3,600 rpm
 主蒸気圧力 169 kg/cm²G, (2,400 psig)
 主蒸気温度 566°C (1,050°F)
 再熱蒸気温度 538°C (1,000°F)
 真空度 722 mmHg (1.5 inHg)
 段落数

| | | |
|------------|---------|-------|
| 高圧タービン高圧段落 | カーチス段 | 1 段 |
| | リアクション段 | 12 段 |
| 高圧タービン中圧段落 | リアクション段 | 13 段 |
| 低圧タービン低圧段落 | リアクション段 | 2×6 段 |

タービン最終段

翼 長 508 mm (25 in)
 円環面積 7.68 m² (82.6 ft²)
 抽気段数 7 段
 最終給水温度 260.8°C (501.5°F)

蒸気および熱消費量（定格出力時）

| | |
|-----------|---------------------------------------|
| タービン入口蒸気量 | 464,098 kg/h (1,024,500 lb/h) |
| 熱消費量 | 1,906.4 kcal/kW/h (7,565 Btu/kW/h) |
| 熱効率 | 45.11 % |

3. 蒸気タービンの構造と特長

本機はいわゆる“クシ形 2 分流排気式” (Tandem Compound Double Flow Type) と呼ばれるもので、タービンは高圧、低圧の 2 気筒より成り、高圧タービンへ送られた高圧蒸気はまず、高圧段落で所定の仕事をした後、再熱器で再熱され、それから中圧段落を通り、さらにクロスオーバー管を経て低圧タービン中央部に至り、前後 2 分流に分れて復水器に導かれる。このタービンの設計上とくに考慮を払っている特長はつぎの諸点である。

3.1 タービン車室の構造

高圧高温蒸気の採用に伴いもっとも問題となるのは使用材料の高温強度とタービン車室の熱応力である。このうち、車室の熱応力についてはタービン起動速度、蒸気温度の変化、負荷変動の割合などによりいちじるしい影響をうけるからとくに次の 2 点、すなわち

- a. 車室構成部分がそれぞれ自由に膨張収縮でき、つねに他と正しい相互関係を維持すること。

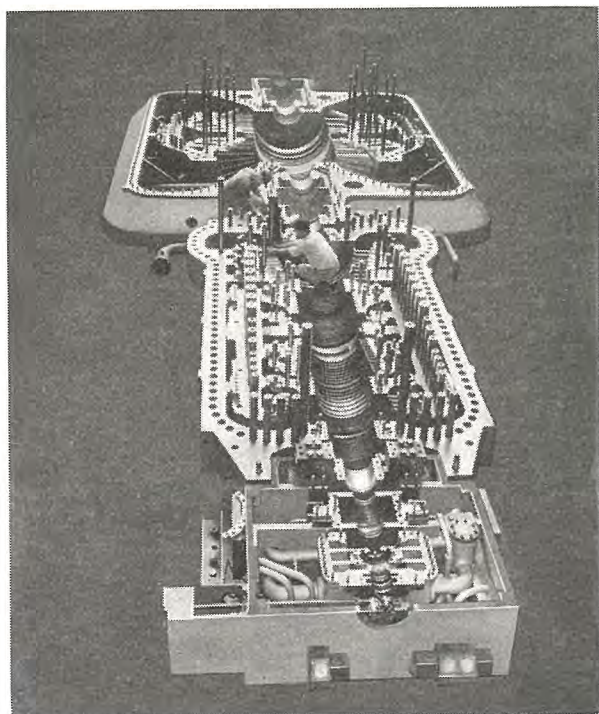


図 3.1 車室
Fig. 3.1 Turbine shell.

- b. 車室構成部分が運転条件の変化にもかかわらずつねに適正な温度コウ配をもつこと。

について基本的考慮を払う必要があるが、本機はこの点下記のような特殊設計をしている。

(1) 蒸気室の分離

高圧高温蒸気に対する特殊設計としてまず主蒸気止弁および蒸気加減弁を内臓する蒸気室をタービン車室から切り離し、それらのものと車室との間を可とう性のある蒸気管で連結する方式を採用している。これによりタービン車室の熱変形はきわめて有効に防止しうると考えられる。

(2) ノズル室の分離

高圧内部車室内に別に 5 個の独立したノズル室を設け、このため各ノズル室だけが高温蒸気にさらされて自由に膨張収縮を行なうことができるので、内部車室の設計が容易になるばかりでなく、材質的にもノズル室と内部車室を別にするのが可能となる。なお高圧第 1 段ノズル板も同じく 5 個のブロックに分れ、それぞれ 1 個ずつ別々にノズル室に取付けられている。

(3) マスフロー冷却方式

この方式は高温蒸気にさらされる車室の設計上もっとも特色を有するもので、高温蒸気を内部車室内のできるだけ小さいスペース内に制限し外部車室が高温にさらされるのを防ぐことを目的としている。まず高圧第 1 段、すなわちカーチス段噴口を流出した蒸気は約 54.4°C (130°F) 減温されるが、この蒸気流により高温ノズル室は囲じょうされ内部車室は高温蒸気の輻射からさえぎられる。この蒸気はつぎに高圧リアクション段落を通して膨張し、初蒸気温度より約 205°C (400°F) 減温されて再熱器へ送られ、ふたたび 537.8°C (1,000°F) に再熱されて中圧第 1 段落に導かれ、ここでさらに膨張して約 85°C (185°F) 減温された後、全量の蒸気は外部車室と内部車室の間のスペースを通して反転逆流し、高圧ノズル室、再熱蒸気入口接続部からの漏洩蒸気およびダンミの漏洩蒸気を混えて中圧第 2 段落へ送られる。したがってこの構造によれば高圧蒸気室から車室内部のノズル室に至る蒸気管が外部車室と溶接される点および再熱蒸気インタセプト弁が取付けられる点を除けば外部車室は比較的低温低温に維持され、このため内部車室の温度コウ配を最小に制限することができるほか、外部車室肉厚および締付ボルト径を縮減することが可能となるなど多くの特色を有している。

3.2 タービン車室材料

高温蒸気の採用に伴い車室材料の選択が問題になるが現状として一応565.6°C (1,050°F)まではフェライト系のものを使用し 593.3°C (1,100°F) 以上はオーステナイト系とするのが標準となっている。したがって本機の使用材料もおおむね下記の温度区分に従って決定されている。

| 蒸気温度 | 車室材料 | | | |
|----------------------------------|--------|---------|---------|--------|
| 441.1~482.2°C (826~900°F) | C 0.30 | Cr 0.50 | Mo 0.50 | |
| 482.8~510°C (901~950°F) | C 0.20 | Cr 1.00 | Mo 0.50 | |
| 510.5~537.8°C (951~1,000°F) | C 0.15 | Cr 2.25 | Mo 1.00 | |
| 538.3~565.6°C (1,001~1,050°F) | C 0.15 | Cr 2.25 | Mo 1.00 | V 0.20 |

なお最近 593.3°C (1,100°F) の蒸気温度に対しフェラ

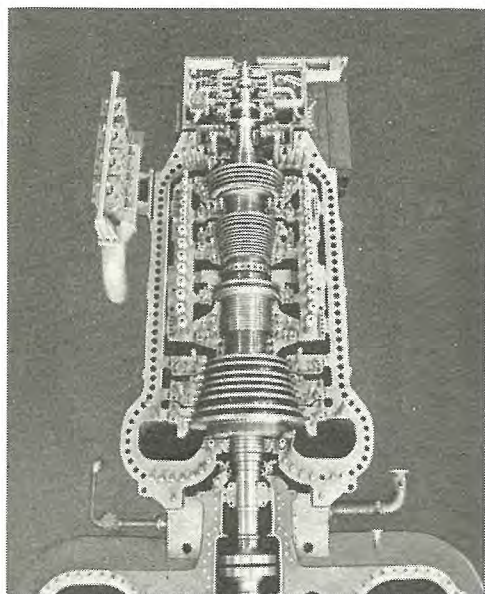


図 3.2 高, 中, 低 部

Fig. 3.2 High, medium and low pressure section.

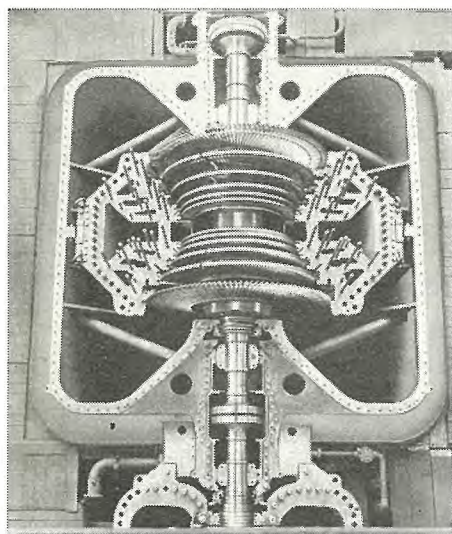


図 3.3 低 圧 部

Fig. 3.3 Low pressure section.

イト系の車室を採用することが試験的に試みられているが、その成果は注目に値するものがあると思う。

3.3 タービン翼車

タービン翼車材料としては高圧タービン翼車には高温におけるクリープ強度の高い Cr Mo V 鋼を、また低圧タービン翼車には機械的強度のすぐれた Ni Cr Mo V 鋼が使用されている。これら翼車素材はいずれも一体形でとくに厳密な材料検査を行ない素材中心部に検査用中心穴を設けて内部を点検するほか、超音波探傷試験、磁気探傷試験を実施しさらに素材の最終工程として熱的安定性を確認するため熱ヒズミ計測試験を行なっている。このほか翼植込後の翼車完成品に対しては動的つりあい試験のほか工場設備によるヒータボックス試験を実施し使用回転速度、使用温度における回転状況を確認している。

なおこれらの翼車は高圧、低圧それぞれ2個の軸受に支持されているから開放点検が容易であるほか、タワミ振動、ネジリ振動についても十分危険回転数を回避している。

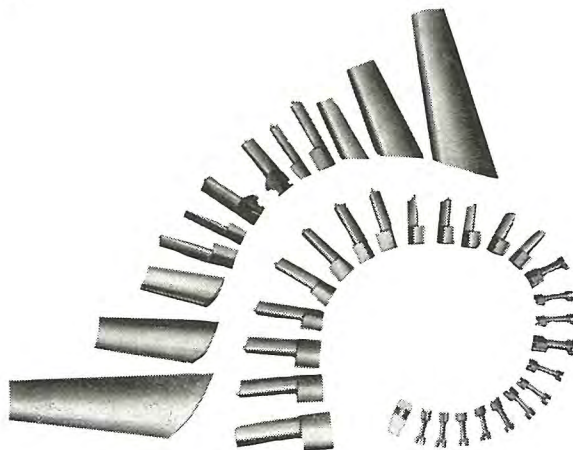


図 3.4 静 翼

Fig. 3.4 Stationary blades.

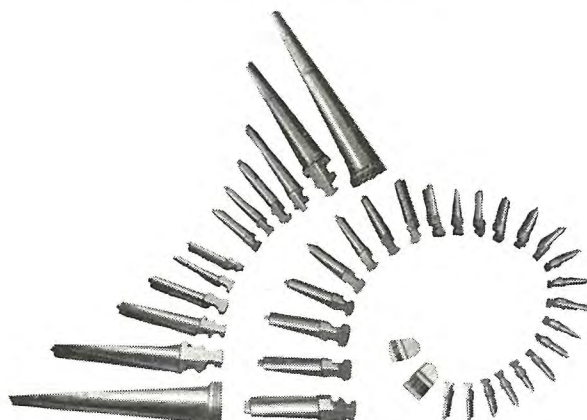


図 3.5 動 翼

Fig. 3.5 Turbine blades.

3.4 タービン翼

高圧高温蒸気の採用ならびに容量の増大に伴いタービン翼の設計も次第に困難となるが、本機に採用しているタービン翼の特長はおおむね下記のとおりである。

(1) 高圧カーチス段動翼

高圧第1段にはいわゆる“調速段”として効果的なカーチス段を採用しているが、この翼は“トリプルブレード”と呼ばれる形式のもので3枚の翼を一群として溶接によりがんじょうに一体とし“K-42B”と称する特殊耐熱材で作った3本のピンで翼車に取付けられている。翼材料にはもちろん高温特性のすぐれた含 Mo 12% Cr 鋼を使用している。

(2) 高温部リアクション動翼

高圧ならびに中圧のとくに高温蒸気にさらされる動翼には 12% Cr 鋼に Ni, Mo, Tu, V を加えた高温強度のすぐれた材料を使用し、強度上の安全をはかるとともに高温部の翼止装置も新しく開発された新形式のものとし翼ミゾ部の応力緩和に努めている。

(3) 中圧部リアクション動翼

タービンプラントの熱効率向上のためには使用蒸気の高圧高温化もさることながらタービン自身の効率改善もきわめて重要であることはいうまでもない。この目的のため中圧段落の比較的長い翼に対し、従来の低压段落と同様“ボルテックス”理論により開発されたネジリ鍛造翼を採用し翼効率の改善を期している。

(4) 低压最終段動翼

低压最終段動翼にはいわゆる“25 in 翼”と呼ばれる長大なネジリ鍛造翼を採用しているが、この翼は優秀な

翼効率を発揮するとともに複雑な振動強度の問題を巧みに解決した信頼性の高いものである。すなわち各種の複雑な翼自然振動数がタービン回転速度と共鳴することを回避するよう設計されているほか、蒸気の流れが翼に過大なエキサイテーションを与えないよう最終段静翼の形状ならびに排気室形状を考慮している。

(5) コニカルシュラウド翼

この設計もタービン翼列内の蒸気流動を円滑にして内部効率の改善をはかる意図のもとに行なわれたもので、主として中圧段落および低压段落の比較的翼長の大きい動翼にはすべてコニカル形のシュラウドを採用し、蒸気流路の広がり円滑にしている。

3.5 推力軸受

一般に翼車には翼列内を流動する蒸気によりある推力が与えられるが、この翼推力は翼列配置によりできるだけバランスをさせるとともに必要に応じて適当な直径のダンミーピストンを設けている。本機においてはとくにこの点に留意し、高圧段落、中圧段落、低压段落それぞれについて完全に推力がバランスするよう設計しているから、高圧タービン前部の軸受台内に設けられたキングスベリー形推力軸受は、ごくわずかの残留推力をうけるだけで主として翼車と車室の軸方向関係位置を決定する役割を果しているに過ぎない。

3.6 制御および保安装置

タービン制御装置としては入口蒸気管に主蒸気止弁と蒸気加減弁、また再熱蒸気管にはリヒートストップ弁とインタセプト弁が設けられ、このうち蒸気加減弁とインタセプト弁は調速装置により開閉を制御され、主蒸気止

弁およびリヒートストップ弁は非常シャ断装置の作動に応じ急速にタービンへの蒸気供給をシャ断するものである。

高圧タービン翼車軸端には遠心式の主油ポンプおよび調速油インペラがあり、主油ポンプは上述の制御機構の作動油のほか軸受潤滑油を供給し、調速油インペラはタービン回転数を油圧に変えて調速機に伝達している。

調速装置は主調速機と補助調速機よりなり、このうち主調速機はタービンの回転および負荷の制御をつか

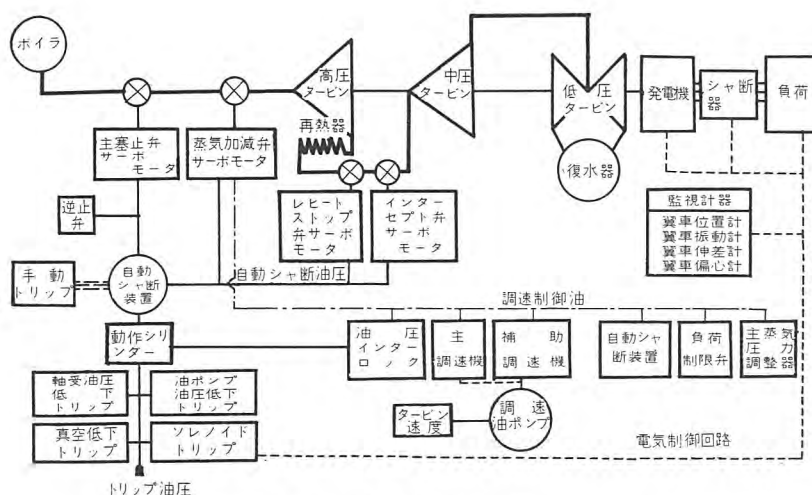


図 3.6 156,250 kW 再熱式タービン制御機構図

Fig. 3.6 Control mechanism diagram of 156,250 kW reheating turbine.

さどり、補助調速機は急激な負荷変動に伴うタービン回転上昇を防止する役割を有している。従来の補助調速機はタービン回転数が約3%程度上昇した後、はじめて作動を開始する方式であったのに対し、新しく開発された加速度式補助調速機は直接回転上昇率を検出して制御を行なう（普通 120 rpm/sec 以上で作動）ため作動開始までの時間遅れが少なく、きわめて優秀な性能を発揮することができる。とくに本機においてはその使用蒸気条件が高く、またタービン側は2気筒式、発電機側は内部冷却式を採用しているため出力あたりの GD^2 が比較的小さいため、負荷急変時の速度制御は従来のものに比しはるかに困難であるが上述の補助調速機がみごとにこの点を解決していることは注目に値すると思う。

参考までに定格出力から負荷をシャ断した場合の調速機特性を次に掲げておく。

慣性モーメント GD^2 :

| | |
|----------------|--------------------------|
| 高圧タービン | 7,300 kg-m ² |
| 低圧タービン | 24,000 kg-m ² |
| 発 電 機 | 11,800 kg-m ² |
| H Constant | 4.90 sec |
| 蒸気加減弁閉止までの時間 | 0.71 sec |
| インタセプト弁閉止までの時間 | 0.57 sec |
| 回転上昇 最大 | 283 rpm |
| 回転上昇率 | 283/3,600=7.86 % |

なお蒸気加減弁ならびにインタセプト弁シャ断後タービン内部に残留している蒸気によってもある程度加速作用が行なわれるが、この点高性能の補助調速機の開発はこの速度上昇の問題を心配することなく自由に理想的な高圧タービン車室の設計を可能としている。さらにインタセプト弁は直接車室上半部に取付け残留蒸気量の軽減をはかっている。

このほか急激な負荷変動に対応し急速に蒸気加減弁およびインタセプト弁を閉じ、タービンの過速を防止するためロードアンチシペータを備えている。これは発電機電流と中圧タービン入口蒸気圧力を検出し、負荷急変によりこの両者のバランスがくずれたとき電磁弁を開いて蒸気加減弁およびインタセプト弁のサーボモータへ高圧油を供給するもので普通この作動時間は1 sec程度であると自動的に調速機制御に切換えられる。

保安装置としては、過速度危急シャ断装置、油圧低下危急装置、真空低下危急装置のほか、発電機の故障や推力軸受のトラブルにより急速にタービンを停止する危急装置を備えている。このほかタービンの最高負荷を制限する負荷制限装置や主蒸気圧力の低下に伴い負荷を制限する装置なども装備し運転操作の完璧を期している。

3.7 急速起動ならびに負荷変動

高圧高温蒸気の採用とタービン容量の増大に伴い、急速起動と負荷の周期的変動に対する具体策が種々検討実施されている。すなわち、蒸気室をタービン車室から分離して可とう性に富む蒸気管で連結する構造の採用は、負荷変動に伴う異常な熱応力を車室に与えることを極限する効果がある。また高圧車室を内外二重構造とし、さらにノズル室をノズル群ごとに別個のものとして、それぞれ自由に内部車室内で膨張収縮できる構造としていることは高温蒸気が直接外部車室に接触することを防いでおり、このいわゆる“マスフロー冷却方式”はタービンの急速起動に対してもっとも効果的である。

なお起動ならびに負荷変動に対応し運転操作の安全を期するためターボグラフ式の監視計器1式を備え、翼車の偏心、軸位置、振動ならびに回転数のほか、翼車と車室の伸差および車室自身の全伸を記録するようになっている。

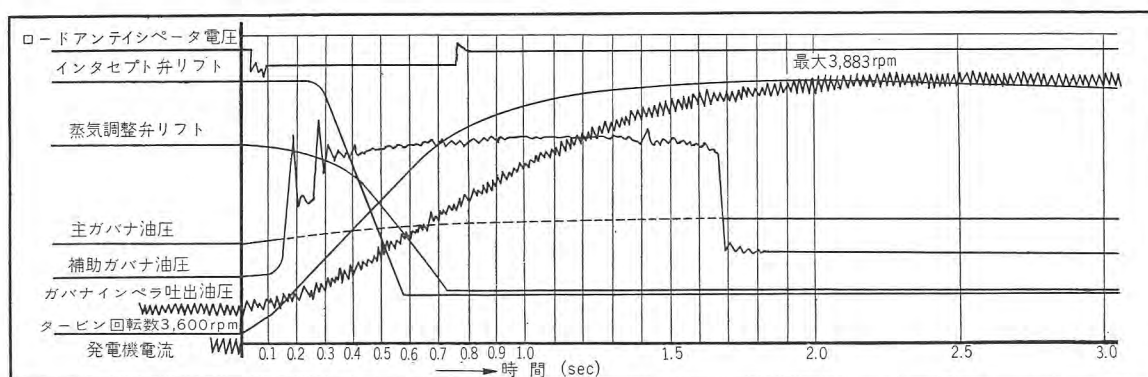


図 3.7 156,250 kW 再熱蒸気タービン ガバナテスト (オシロ)

Fig. 3.7 Oscillogram of governor test for 156,250 kW reheating steam turbine.

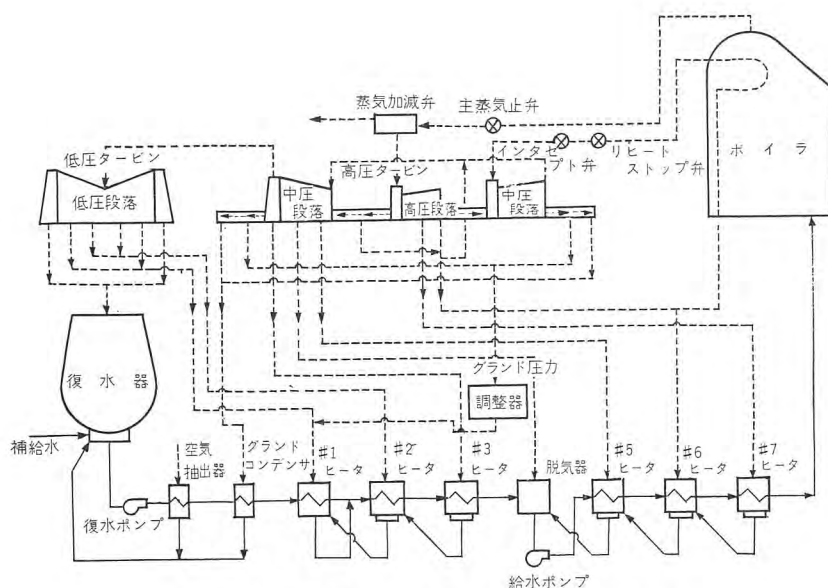


図 3.8 156,250 kW 再熱式タービンプラント系統図

Fig. 3.8 System diagram of 156,250 kW reheating turbine plant.

4. 補機類の主要目

4.1 復水装置

(1) 復水器

| | |
|-------------|--|
| 形式 | ラジアルフロー表面復水器 2 折流 2 分割水室 |
| 冷却面積 | 10,200 m ² (110,000 ft ²) |
| 真空度 (定格出力時) | 722 mmHg (1.5 inHg) |
| 冷却水温度 | 23.3°C (74°F) |
| 冷却水量 | 23,390 m ³ /h (103,000 GPM) |

(2) 空気抽出器

| | |
|-------|---------------------|
| 形式 | 中間冷却器付 2 連 2 段蒸気放射式 |
| 蒸気消費量 | 450 kg/h |

(3) 循環水ポンプ

| | |
|-----|-----------------------------------|
| 形式 | 立テ形斜流式 |
| 数量 | 2 台 |
| 容量 | 12,500 m ³ /h × 14.3 m |
| 電動機 | 650 kW × 360 rpm |

(4) 復水ポンプ

| | |
|-----|-------------------------------|
| 形式 | 立テ形多段ビット式 |
| 数量 | 3 台 |
| 容量 | 180 m ³ /h × 143 m |
| 電動機 | 110 kW × 1,200 rpm |

4.2 給水加熱装置

(1) 低圧給水加熱器

| | 第 1 | 第 2 | 第 3 |
|------|--|--|--|
| 形式 | 横置 U チューブ形 | | |
| 数量 | 1 | 1 | 1 |
| 加熱面積 | 278 m ² (3,000 ft ²) | 297 m ² (3,200 ft ²) | 260 m ² (2,800 ft ²) |

(2) 高圧給水加熱器

| | 第 5 | 第 6 | 第 7 |
|------|--|--|--|
| 形式 | 横置 U チューブ形 | | |
| 数量 | 2 | 2 | 2 |
| 加熱面積 | 212 m ² (2,280 ft ²) | 320 m ² (3,450 ft ²) | 202 m ² (2,180 ft ²) |

(3) 脱気器

| | |
|----------|-----------------------------------|
| 形式 | 横置スプレ形 |
| 容量 | 515 t/h (1,138,660 lbs/h) |
| 残留酸素含有量 | 0.005 cc/ltr 以下 |
| 脱気器タンク容量 | 113.5 m ³ (30,000 Gal) |

5. む す び

火力発電設備の大容量化、高能率化に対する斯界の要請に対応してタービン技術の進歩もきわめて顕著なものがあるが、今後の開発目標としては

- (1) 蒸気条件の向上に伴う材質・構造の研究
- (2) タービン翼効率の改善
- (3) 高性能調速機構の開発
- (4) 火力発電設備の運転自動化と急速起動などに向けられるものと考えられる。

208,696 kVA 内部冷却タービン発電機

長崎製作所 加賀貞広*・松尾 昇**・志岐守哉**・今井 光**・甲斐 高**

208,696 kVA Inner Cooled Turbine Generator

Nagasaki Works

Sadahiro KAGA・Noboru MATSUO・Moriya SHIKI
Hikaru IMAI・Takashi KAI

With the increase of the unit capacity of turbine generators, various means have been worked out to innovate the design and construction. The inner cooled generator is a new apparatus to cope with the situation. A recent achievement by Mitsubishi in this field is a 208,696 kVA 3,600 rpm turbine generator of inner cooled design and the first unit of the kind ever built in this country. This generator is also a record unit in a single capacity and has a number of features unparalleled by conventional machines.

1. ま え が き

208,696 kVA タービン発電機は単位容量の点において国産記録機であるが、なお新形機である点でとくに意義深い製品である。

一般に新鋭火力プラントに設置される発電機の単位容量は非常に大きいのが特色である。わが社ではかかる新鋭火力発電機を新形機で製作する方針を決定し、技術工作両面にわたり早くから基礎研究を行なってきたが、今回これらの研究成果、ならびに幾多の製作経験を織りこんで、新形商用第1号タービン発電機を完成した。(図1.1 参照)この新形機を内部冷却機と名づける。

タービン発電機製作上における重要な進歩の一つに冷却媒体として水素ガスの使用がある。これはタービン発

電機が占める大きい風損、摩擦損を実用的になくしたもので空気冷却機に比べて出力を25~30%増加できた。また運転水素ガス圧は $0.035 \text{ kg/cm}^2\text{g}^*$ から 2.1 kg/cm^2 まで上昇させ、与えられた発電機に対して出力をさらに増加させる。この形の発電機は普通構造形と呼びわが社では17台の製作実績をもつ。

他方新鋭プラントでは要求される発電機単位容量が非常に大きくなり普通構造形の水素冷却機では製作できない場合も起りうるし、たとえ製作可能であっても大形回転子軸を用いなければならないので運転信頼性が劣る。それゆえなんらかの方法で発電機を小形軽量化し要求される大形機を製作する必要が生じ内部冷却法をタービン発電機に導入した。内部冷却機は普通構造機と同じく冷却媒体に水素ガスを用いるが回転子重量を同一とすれば普通構造機の2倍の出力が得られる。

なお普通構造機で 2.1 kg/cm^2 に対応するガス圧は内部冷却機では 3.15 kg/cm^2 で、内部冷却機の最低単位容量は128,000 kVA 3,600 rpm, 106,000 kVA 3,000 rpm と考える。

2. 定 格

この発電機はガス圧 3.15 kg/cm^2 で出力192,000 kVAでガス圧を 4.2 kg/cm^2 に上昇すると208,696 kVAの出力をもつ。タービン出力は156,250 kWでAIEE, AS

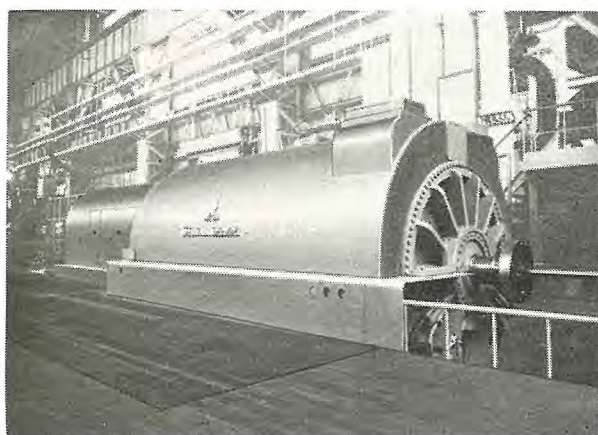


図 1.1 完成した 208,696 kVA 3,600 rpm タービン発電機
Fig. 1.1 Completed 208,696 kVA inner cooled turbine generator.

* 以下 kg/cm^2 と略す。 $0.035 \text{ kg/cm}^2 = 0.5 \text{ psi}$, $2.1 \text{ kg/cm}^2 = 30 \text{ psi}$, $3.15 \text{ kg/cm}^2 = 45 \text{ psi}$ であるがそれぞれ 0.05 kg/cm^2 , 2 kg/cm^2 , 3 kg/cm^2 として述べた部分がある。

表 2.1 要 目

| | | | | |
|---------|-------------------------------|------------|------|-------------------------|
| 主発電機 | 密閉自己通風耐爆固定電子円筒形 磁内部冷却交流発電機 | | | |
| 形 式 | | | | |
| 容 量 | 皮相出力 | 実効出力 | 力率 | 水素ガス圧 |
| | 166,957 kVA | 141,914 kW | 0.85 | 2.1 kg/cm ² |
| | 192,000 kVA | 163,200 kW | 0.85 | 3.15 kg/cm ² |
| | 208,696 kVA | 177,393 kW | 0.85 | 4.2 kg/cm ² |
| 端子電圧 | 18,000 V | | | |
| 相 数 | 三相 | | | |
| 周 波 数 | 60サイクル | | | |
| 回 転 数 | 3,600 rpm | | | |
| 発電機ガス容積 | 50 m ³ | | | |
| 主励磁機 | 分巻閉鎖通風形副励磁機付他励磁 | | | |
| 形 式 | | | | |
| 出 力 | 975 kW | | | |
| 電 圧 | 375 V | | | |
| 回 転 数 | 897 rpm | | | |
| 結合方式 | 減速歯車を介して発電機に直結 | | | |
| 副励磁機 | 分巻閉鎖通風形自励磁 | | | |
| 形 式 | | | | |
| 出 力 | 4 kW | | | |
| 電 圧 | 250 V | | | |
| 回 転 数 | 897 rpm | | | |

ME の Preferred standard の決め方による。すなわち本機では普通構造機の水素ガス圧 1.05 kg/cm² に対応するガス圧を 3.15 kg/cm² にえらんでいる。表 2.1 に本機の要目を示す。

3. 内部冷却機採用の理由

1912年ごろから多数の技術者で考えられ、実験的研究も行なわれてきた内部冷却発電機は、新鋭火力プラントの単位容量の急速な増加により、1950年にはいって米国の各製造会社によりいっせいにとりあげられ、現在では 100 MW から 300 MW におよぶこの種の発電機が続々と運転にはいった。たとえば GE 社は、固定子コイル導体に油を強制循環し回転子には 2 kg/cm² の水素ガスをを用いた 260 MVA 機を完成し、Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）では固定子、回転子とも 3 kg/cm² または 4 kg/cm² の水素ガスで冷却した 125~320 MVA の内部冷却機を数十台完成して好調運転中であり、さらに 384 MVA 機や 412 MVA 機も製作中である。また英国では、MV 社が固定子コイルを水で冷却する方式を 30 MW 機に試験的に採用したのに続いて 200 MW の商用機を製作中であるし、独国や仏国でも内部冷却機を計画または製作中である。このように発電機の単位容量が増せば内部冷却方式を採用するのが世界の趨勢であるが、その理由はつぎの数点に集約される。

3.1 機械的強度による回転子寸法の制限

回転子軸およびコイル押えリングの外径は機械的応力により制限される。製鋼技術の発達により、最近では降伏強さ 65 kg/mm² の軸材あるいは降伏強さ 100 kg/mm² のリング材を入手することもさほど困難ではない

が、このような材料を使用して製作しうる回転子軸の最大外径はほぼ 1.15 m 程度であり、定格回転数における周速は約 200 m/sec である。しかも過速度時の回転子穴の切線方向周辺応力はこの材料の降伏強さの 70 % にも達するから、材料が高い展延性を有し、応力集中を起しにくいような構造にすることに細心の注意を払い、クラック、腐食および種々の熱応力に対する適切な処置を考慮しなければ、限界寸法の軸を製作することはむずかしい。

回転子の長さは、タービンと直結して運転する際、良好なバランスがとれるか否かにかかる。軸長を長くすれば臨界速度がいちじるしく下がるため 0 から定格回転数までの間に一次と二次の臨界速度を生ずることがあり、タービンと直結した運転では少なくとも四つの結合臨界速度を、起動停止のたびに通過する。これに加えて運転時の温度はかなり変わるので、すべての場合に静粛な運転を期待することはかなり困難となり、振動によるトラブルを生じやすい。これらの理由で回転子鉄心長はせいぜい 6~7 m までであるが、このように長い軸では回転子の通風および冷却も非常に困難となることが指摘される。

したがって回転子の寸法が外径 1.15 m、鉄心長 6~7 m という限界に近づけば、信頼性の高い運転を行なうために克服すべき問題点は増加し、そのすべてを満足に解決するのは至難となる。発電機容量がある限度をこえて増大すれば従来の冷却方式を固守するかぎり、上記の制限寸法以上の素材が必要となり、発電機は製作不可能となる。これが回転子に内部冷却方式を導入せざるをえなくなった最大の理由である。

3.2 輸送制限

タービン室に配置される諸装置の中でもっとも大きく、もっとも重い単一の部品は発電機固定子であるが、容量の増大に伴いその寸法および重量は急速に増して、従来の冷却方式では輸送制限を超過する。この対策の一つとして固定子を分割して輸送し、発電所での再組立も考えられるが、構造の複雑化、工程の長期化および組立すえ付作業の困難化などの理由により、使用者、製造者ともに歓迎しない。この障害をのりこえるには固定子コイルにも回転子コイルと同様の内部冷却を採用するほかはない。

3.3 固定子設計上の制限

回転子を内部冷却にすれば、同一寸法の普通構造の回転子に比較して 2 倍の AT を出せるようになるから、回転子だけを内部冷却とし、固定子は普通構造とするこ

とも考えられない訳ではなく、初期の内部冷却機には回転子だけ内部冷却のものがある。

しかしある程度以上に容量が増せば、前述の輸送制限のほかに固定子設計上の本質的な制限が加わり、固定子も内部冷却にしないと製作できなくなる。すなわち、回転子の出力 AT が内部冷却によって大幅に増したのに伴って、固定子には多数の深くてせまい導体ミゾを設けるが必要になるが、これは高い端子電圧による対地絶縁層の厚さの増加とあいまってミゾ内の空間率を低いものとし、實際上製作困難な幅のせまい素線を要求することになる。これが固定子を内部冷却にする第2の理由である。現在ではほとんどすべての大形機が固定子、回転子とも内部冷却で製作される。

3.4 冷却媒体としての水素ガスの採用

内部冷却と称されるものの中には、固定子コイル、回転子コイルとも高圧の水素ガスで冷却する方式もある。

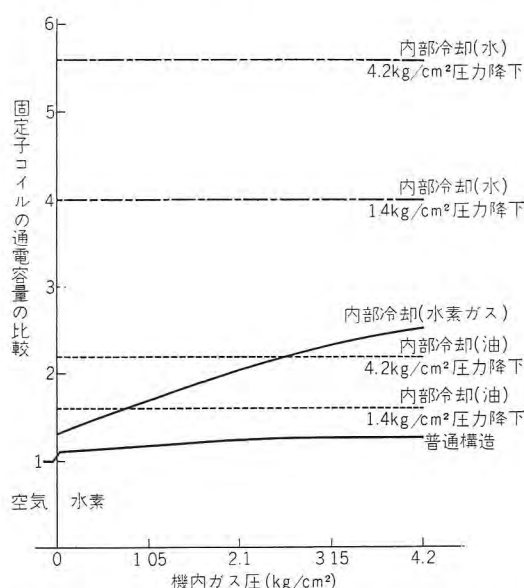


図 3.1 固定子コイルの通電容量の比較(同一スペースあたり)

Fig. 3.1 Comparison of current capacity between stator coils of inner cooled machine and ordinary coils.

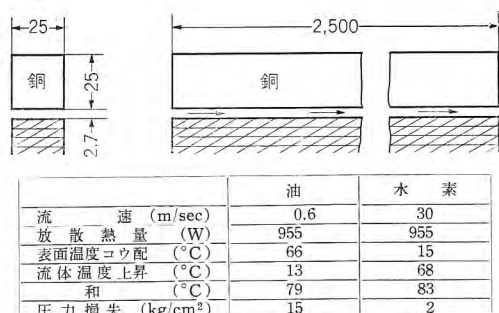


図 3.2 内部冷却における水素と油の冷却能力の比較試験

Fig. 3.2 Comparison test of cooling ability between hydrogen and oil in the inner cooling.

ば、蒸留水や変圧器油のような流体を固定子コイルの冷却に使用し、回転子は高圧の水素ガスで冷却する方式もある。経済性、運転の信頼度、保守の難易などの点をぬきにして特性だけ比較すれば、水がもっとも冷却効果が大きく、油および高圧水素ガスがこれに次ぐ。図 3.1 にこれらの冷却媒体の冷却効果の比較例を示す。

しかしながら図 3.2 に示すように普通程度の流速の数気圧の水素ガスの総合冷却特性は、普通程度の流速の変圧器油の特性に匹敵する。したがって相当な大容量機までは水素ガスを冷却媒体に利用できるし、水素ガスを用いて所期の性能がえられないときはじめて他の媒体を用いればよい。

水や油などの流体を用いるには万全の準備と注意が必要であり、技術的な困難さも高圧水素ガスの比ではない。回転子に対する流体の利用はいまだ未解決の問題であるので論外としても、固定子に対する利用においてさえ水や油の循環系統の絶縁の問題、流体の質の問題などの難点が存在し、少なくとも 500 MVA 程度の大形機にならないと採算が合わない。

これに対し水素ガスを利用すれば、水素の入口、出口ともその空間を絶縁距離に利用できるし、また必要量の水素を循環させるにも、従来と類似の機内のブロワで行なえるので、比較的容易に製作でき運転方法がなんら普通構造機と変わらない。この方式では単機 500 MW 程度までは製作可能であり Cross Compound にすれば 1,000 MW 級の発電機も製作できる。

単機 500 MW をこえるような超大形機が将来もし必要になった場合には冷却媒体に何を使用するかという問題のほかに、負荷損失の急増にもとづく全負荷効率の低下に対する十分の対策が前提条件となろう。

4. 内部冷却法の基礎と特長

タービン発電機の出力を制限する要素はコイルの全温

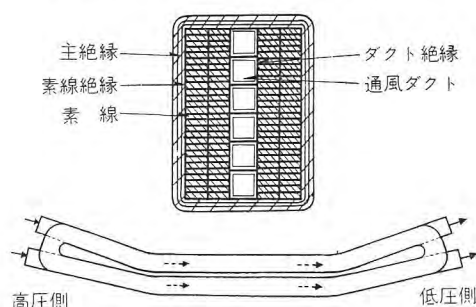


図 4.1 内部冷却固定子コイル

Fig. 4.1 Inner cooled stator coil.

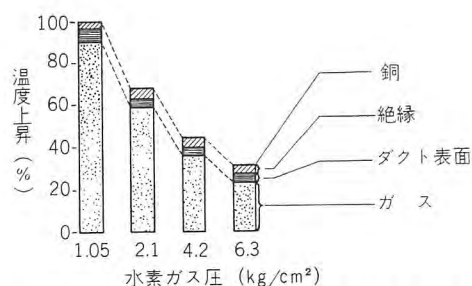


図 4.2 固定子コイルの温度コウ配 (内部冷却式)
Fig. 4.2 Temperature gradient of stator coil.

度である。したがって冷却法を改善し発熱部分に冷却ガスをじかに接触させ温度上昇値を消滅さす方法が内部冷却法である。本機は固定子コイル、回転子コイルともに内部冷却であるが、いま固定子コイルにつき説明する。

内部冷却コイルは図 4.1 に示すように全長にわたって主絶縁物の内側に銅体と接触したガス管を挿入した構造でガス管内に高速媒体を流す。このとき鉄部の温度上昇とコイル絶縁による温度上昇がなくなる。(図 4.2 参照)

入口ガス温度を基にした内部冷却コイルの温度上昇はガス路を流れるガスの質量流の関数である。質量流を増すには差圧、ガス密度のどちらを増してもよい。したがってコイルの最高温度を一定値に押えると内部冷却コイルでは電流量を増すことができる。

内部冷却の基礎的な考え方はつぎの 3 点である。

- (1) 高压絶縁物の内部に冷却ガスを通す。
- (2) 冷却ガス密度を増す。
- (3) ガス路の両端に加える差圧を増す。

すなわち内部冷却機での通風方式はこの考え方を入れて出力増加を図る。

普通構造機に比べて特長を述べるとつぎのようになる。

- (1) 回転子が小形軽量になり軸材の信頼性が増す。

(図 4.3 参照)

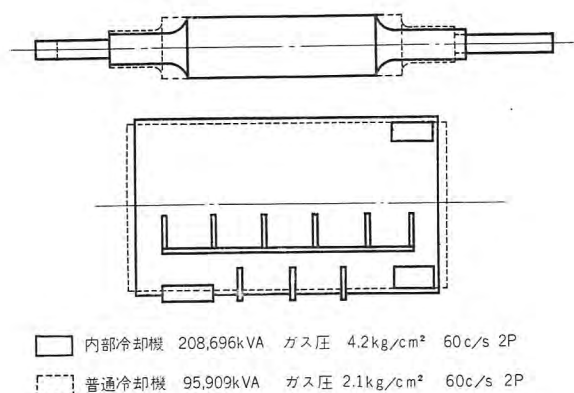


図 4.3 内部冷却と普通冷却の発電機外形寸法比較

Fig. 4.3 Comparison of outline dimensions between inner-cooled and ordinary cooled design.

これは一面かりに普通構造機より多少材力の劣った材料を使用しても同じ信頼度を得ることができるから材料のコストを減じうることにものなるし、また同一材料を使用した場合に普通構造機よりはるかに大きい信頼性を有せしめることが可能になることを意味する。単機容量が大きく絶対に故障の許されない新鋭火力プラントにあっては、もっとも重要視されるべき点である。

(2) 発電機が軽量なので発電機基礎、クレーン容量を節約できる。

(3) 回転子引抜き長さが減る。

(4) 水素冷却であるので運転方法は普通構造機とまったく同一である。

(5) 効率

内部冷却機は小形軽量になるため、軸受損、鉄損、回転子風損が小となる。ブロワ損も冷却ガス量が普通構造機の約 25% 程度に激減するので、その高いブロワ圧力にもかかわらず減少するが、固定子および回転子銅損、漂遊負荷損などの直接に電流値に関係する諸損失は増加する。このうち漂遊負荷損については材質、構造、配置を工夫して極力小にすることができるが、要するに内部冷却機では固定損失が減少し、負荷損失が増加する。現在わが国で計画されている程度の容量 (約 300 MW 以下) では固定損失の減少のほうが負荷損失の増加よりいちじるしいので、効率は普通構造機に比べて全負荷では若干よくなり、低負荷ではかなりよくなる。超大形機になれば逆に負荷損失の増加のほうが固定損失の減少よりいちじるしくなる傾向にあるから、効率は全負荷では多少悪くなる場合も起るであろう。したがって将来、超大形機を製作する場合には負荷損失の減少について慎重な検討が必要になる。

(6) リアクタンス

内部冷却機のリアクタンスは固定子ミゾ寸法やギャップ長さが増すので普通構造機に比べて大きくなり、次過渡分で 200%, 過渡分で 175% 程度の値となる。このようにリアクタンスが増す結果、短絡電流を減じてシャ断器の負担を軽減し、かつ発電機にかかる過渡時の応力を減少させる利点がある。

(7) 安定度

定態安定度の点からは短絡比が重要な因子であるが、内部冷却機ではタービン定格に対する短絡比を普通構造機と同一の値に設計するから安定度もほぼ同じである。内部冷却機では普通構造機と同一の短絡比をもたせるた

めにギャップ長を大にするが、これはギャップをガス路として利用する関係上非常に好都合である。

過渡安定度については発電機よりも系統の諸常数のほうが重要な役割を占めるとされており、また各種リアクタンス、慣性常数などの値の過渡安定度に対する寄与の程度も過渡現象の種類によって異なるから、一概に議論できない。

ただ慣性常数 GD^2 だけについていえば、内部冷却機ではいわゆる GD^2 に対する発電機出力の比が小さくなり、タービンといっしょに考えて普通構造機の場合に比べて 80% 程度となり負荷シャ断後の最大速度上昇率が大きくなる傾向にある。この値をできるだけ小にするため再熱ラインにはインタセプト弁を設け負荷シャ断時には調整弁とともにインタセプト弁を閉じて、ボイラからの蒸気流入をシャ断する。なおこれら蒸気弁の閉止時間を短縮するため主ガバナのほかに作動鋭敏な加速度ガバナを用いる。このガバナはタービン発電機の回転上昇率がきわめて小さな値で急速に動作し調整弁およびインタセプト弁を閉じる。このほかロードアンチシペタを用いる。

結局この二つの装置を用いて瞬時速度上昇率を規定値以内に納めることができるので発電機の回転子の軽量になった点は性能上なんら影響を及ぼさない。

5. 構造の概略説明

図 5.1 に本機の断面を示す。ブラケット形で固定子ワ

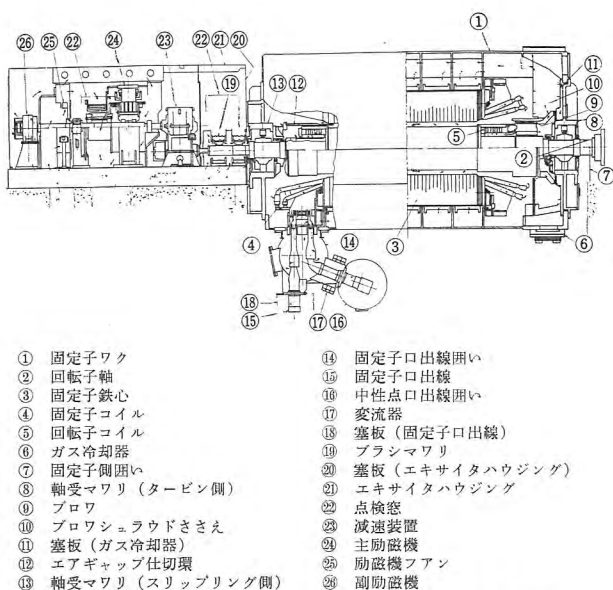


図 5.1 208,696 kVA タービン発電機組立断面図

Fig. 5.1 Sectional view of assembled 208,696 kVA turbine generator.

クは密閉自己通風耐爆自蔵冷却器付で回転子はタービン側にだけブロウをもつ。励磁機は増速歯車を介して発電機に直結する。全重量 242 トンでそのうち固定子重量 175 トン、回転子重量 28 トン、増速歯車を含めた励磁機重量 27 トンである。

本機は普通構造機に用いて十分効果のあった点たとえば固定子コイルのダイアレジン絶縁、固定子鉄心の弾性ささえ装置、含銀回転子銅体などはもちろん取り入れて設計製作した。

6. 各部分の構造

6.1 固定子ワク

固定子ワクは最高使用ガス圧 4.2 kg/cm^2 の 2.5 倍 10.5 kg/cm^2 の耐圧設計とし水圧試験は 2 倍 8.4 kg/cm^2 で行なった。材料はすべて JIS G 3103 ボイラ用圧延鋼板第 3 種 SB 46 B を使用したが、超音波探傷試験を行ないラミネーションその他によるき裂のないことを確かめた。

固定子ワクは最高使用ガス圧 4.2 kg/cm^2 、またガス入換時の弁の誤動作によって機内に爆発性の混合ガスを生じそれが爆発した場合には最大圧力 7 kg/cm^2 になりうるので、全溶接組立後数日間焼鈍を行ない安全度を増すようにした。

その後コア積に先だち両側に軸受ブラケットを取付け 8.4 kg/cm^2 までの水圧を加え、ダイヤルゲージ、ストレンゲージおよびハンマリングの測定、試験を行なった。そのありさまを図 6.1 に示す。ダイヤルゲージによるヒズミ量は水圧 8.4 kg/cm^2 で最大の箇所 0.004 mm 以下でありまたストレンゲージによる応力計算値は図 6.2 のように円筒部の励磁機側端部の切線方向応力が最大で水

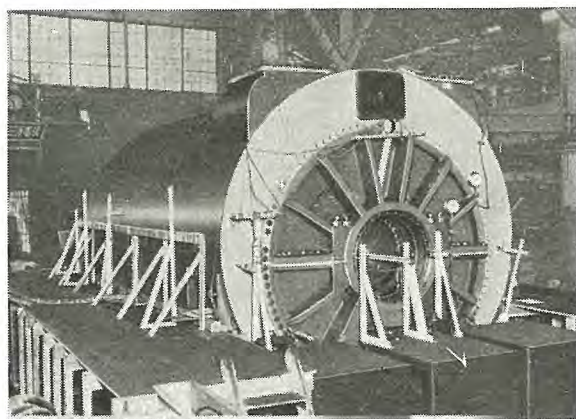


図 6.1 水圧試験中の固定子ワク

Fig. 6.1 Stator frame under test.

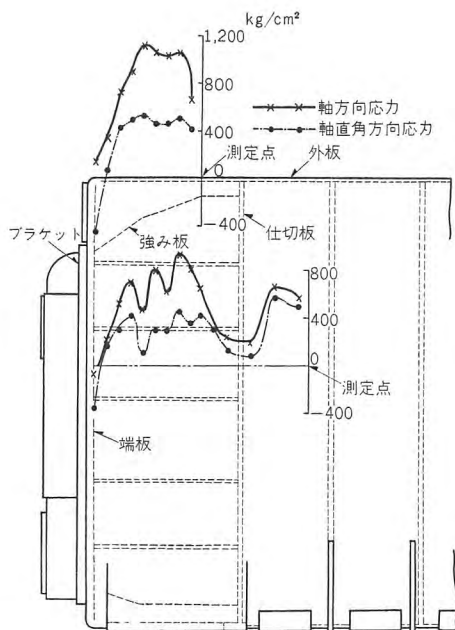


図 6.2 水圧試験結果 (水圧 8.4 kg/cm²)
Fig. 6.2 Result of hydraulic test.

圧 8.4 kg/cm² のとき約 1,100 kg/cm², 材料の降伏強さの 48% となり運転に際しての安全性は十分保証される。

6.2 固定子コイル

固定子コイルは 1 ターンコイルでレーベル転位を施した点は普通構造機と同じであるが下記の 2 点異なる。その 1 は導体を形成する絶縁素線が 2 組あってその中間にガス路を設けた (図 4.1 参照)。その 2 は固定子コイルの両端に開口部があってそれぞれ冷却ガスの入口、出口になることである。このガス路は薄肉の高抵抗金属ク形管をコイルの高さまで積重ねたもので過流損を小さくするためにそれぞれ絶縁する。この 3 者を一体としてその外側に主絶縁 (普通構造機と同じダイヤラスチック絶縁) を施すが主絶縁の厚さに比べるとガス路の絶縁厚さは非常に薄い。また両開口部には絶縁キャップをかぶせてガスの出入を便にした。

スリップリング側にギャップ仕切環をおいてギャップへのガス漏洩を防いだので固定子コイルの両側にブロワの差圧を加えることができる。

固定子コイルの両端では沿面距離、フラッシュオーバー距離を十分にとり電圧破壊を起すことのないよう考慮した。なお、固定子コイルの電流密度が大きいので大きい電磁力の衝撃に耐えるようコイル端部を特殊混合物で押えて支持物に強固に縛りつけた。

6.3 固定子鉄心

鉄心材料は鉄損の少ない国産高級ケイ素鋼板を用い、

208,696 kVA 内部冷却タービン発電機・加賀・松尾・志岐・今井・甲斐



図 6.3 完成した回転子
Fig. 6.3 Completed rotor.

固定子鉄心端部には特殊な構造を用いて漂遊負荷損の減少を図った。固定子鉄心は普通構造機と同様半径方向のガス路をもつ。

鉄心の通風に必要なガス量は、普通構造機に比べて少ない。これは前述のように固定子コイル、鉄心の冷却路が別々になっているからである。

6.4 回転子

回転子は単一鍛鋼の国産 Mo V 鋼を用いた。これは ASTM タービン発電機軸材標準規格 class 7 相当品で、荒削り重量 24 トンである。この軸は運転中の異常熱曲り現象の有無を試験する目的で、熱変形試験を行った。

これに半径方向の導体収納ミゾを切るが、普通構造機と異なり歯部を平行に加工し、これに回転子コイルを収納し上部にクサビを打ちこむ。回転子には、危険速度の 1.2 回転数における振動を極小にするため、磁極部に横ミゾを加工し、かつ巻線後でも軸材の信頼性を試験できるように超音波探傷用ミゾを軸方向に加工した。

図 6.3 は完成した回転子を示す。

6.5 コイル押えリング

コイル押えリングは薄肉円筒で回転子胴部の両端に焼バメするが、非磁性リングを用いて表面ウズ電流損の減少を計った。またリングの表面に通風穴加工をやめて機



図 6.4 コイル押えリングの油圧試験
Fig. 6.4 Oil pressure test of coil retaining ring.

械的強度の低下を防いだ。

材料は Ni Cr Mo などを含むオーステナイト鋼であるが、加工硬化性が大であることを利用して、鍛造後低温加工を施し必要な強度を得た。荒削り後超音波探傷試験とザイグロ試験を行ない、さらに機械加工の後、材料の降伏強さの 80% の最大応力を生ずる圧力で油圧試験を行ない組成、加工度の均一性を試験した。図 6.4 はそのありさまを示す写真で、外側に見える大きな円筒は高圧油が万一漏出した場合の保護、多数の電線はストレンゲージのリード線である。この試験後仕上加工を行ないふたたびザイグロ試験を行なってピンホールその他の欠陥の有無を慎重に検査した。

なおこれらの作業中、リングの発錆防止にはとくに注意し、機械加工面に適当な保護塗料を塗布するのはもちろん、物に載せる必要のある場合には湿気を含む生木やウールフェルトのようなものは避けてマイカルタを用い、またロープはナイロン製のものを用了。

6.6 回転子コイル

回転子コイル導体は冷間引抜銀入銅でそれぞれ二つのコの字形の素線を組合わせ中央部にガスミゾを作った構造である (図 6.5 参照)。

一般に内部冷却機では電気装荷を増すので、電機子減磁 AT が増し、したがって励磁容量が増す。それゆえ回転子の出しうる AT を増加させる工夫を講ずる必要がある。このため前述のように回転子歯部を平行に施工し導体ミゾ断面積を増す。普通構造機はエッジワイズにコイルを巻いて、これを次々に回転子に組込めるが、本機では各ターンの寸法が違うのでこのような工作法ができない。したがって、あらかじめ J 形のコイル導体を製作しておき、これを順次回転子ミゾに入れながら、高周波誘導加熱法で二つのつなぎ目を溶接した。この溶接継目の基礎研究として接着良好なもの、中位のもの、および不良のもののサンプルを作り、それぞれ X 線写真を取り同時に引張試験を行ない X 線による接着の程度と強度の関係をもとめた。このように内部冷却機の製作上の難点と考えられた回転子コイルの製作は、第 1 に特殊曲ゲ機械によるコイルの製作、第 2 に溶接部の X 線合格基準の確立により十分満足のものを得られた。なお本

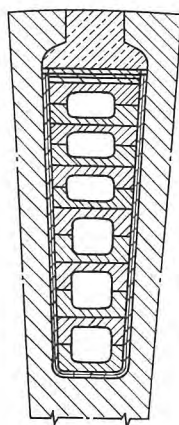


図 6.5 回転子コイル
Fig. 6.5 Rotor coil.

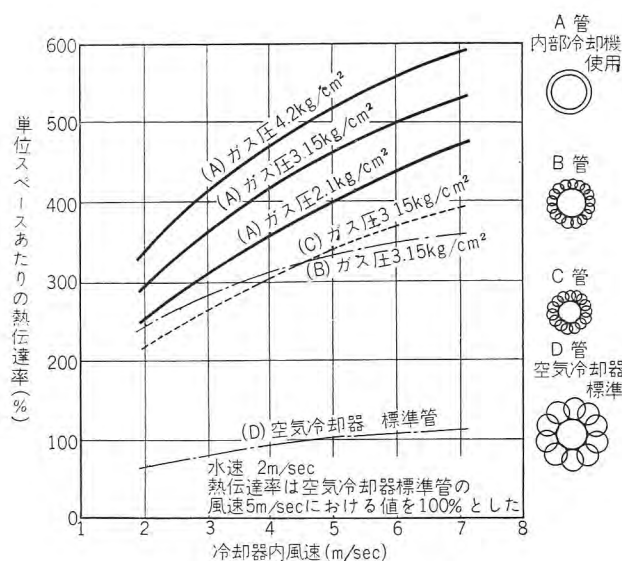


図 6.6 ガス冷却器の熱伝達率

Fig. 6.6 Heat transfer coefficient of gas cooler.

機は逆相電流の吸収作用を行なわせるため制動巻線をもつが、これは強力銅合金、銅、コイル押えリングより成る。

6.7 ガス冷却器

ガス冷却器は発電機内のタービン側に立テ形に左右 2 個配置した。発電機定格が決まると、いずれの形式においても冷却器で取除く熱損失は同一である。しかし内部冷却器では固定子寸法が小形になるので、冷却器も小形に設計する要があり、冷却器の熱特性を改善しなければならない。第 1 に冷却水入口温度 35°C、ガス冷却器出口ガス温度すなわち周囲温度を 45°C とした。このようにすると入口水温と出口ガス温度の差が周囲温度 40°C の場合の 2 倍となり一定の冷却面積に対して処理する熱量が増し冷却器が小形に設計できる。第 2 にガス圧力を増加し冷却器の熱伝達率を改善した。図 6.6 は冷却器の伝熱特性を示す。もちろん管の寸法、配列には熱特性、冷却器部分でのガス圧降下、占有面積を考慮して最適のものとした。本機ではラ旋巻銅フィン付管を用いたが、冷却器の大きさは普通構造機に比べて 70% の大きさとした。

6.8 ブロワ

本機では必要な冷却ガス量は普通冷却形のものの 25% 程度に減ずる。その理由は

(1) ガスの温度上昇は全体の温度上昇の大部分を占め高い値をとることができるので、処理すべき熱損失に対して冷却に必要なガスの量を減らすことができる。

(2) 内部冷却の特長は 2.1kg/cm² 以上の高いガス

圧で発揮されるが、高いガス圧ではガスの密度が大となり大きい質量流が得られる。

ブロワの入力はガス密度すなわちガスの絶対圧力に比例し、またガス流量の3乗に比例することからも冷却ガスを減らしガス圧を上げることのほうが有利であることがわかる。

質量量の増加は普通冷却形では定格の上ではあまり得るところがないが、内部冷却形では冷却および通風上直接の利益があり、必要な冷却ガス量が少ないので普通冷却形のブロワの入力をこえない程度で高い差圧を出すことができる。

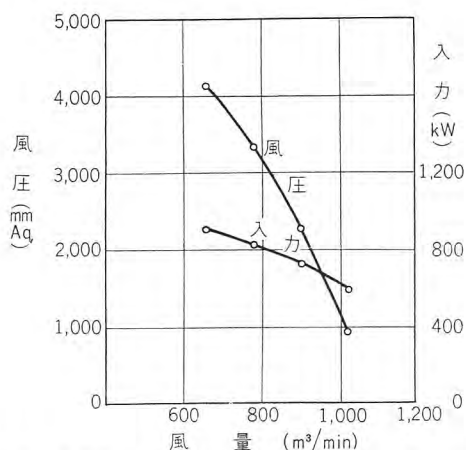


図 6.7 3,600 rpm 4.5 段大気圧空気中でのブロワ性能
Fig. 6.7 Performance of 3,600 rpm 4.5 stage atmospheric pressure blower.

ブロワの設計は必要な差圧、風量、能率を考慮して回転羽根4段、静止羽根5段とし、また軸流のブロワは全段を通じて軸方向風速が一定になるように羽根の高さを流れの方向にだんだん低くするのが普通であるが、いまの場合は1段あたりの圧力上昇比は1.065程度に小さくまた工作組立の点を考えて羽根の高さは全段同じとした。

図 6.7 は大気圧の空気の 600 rpm の実測値から換算した 3,600 rpm における風圧、入力を示す。

6.9 ガスおよび密封油の制御

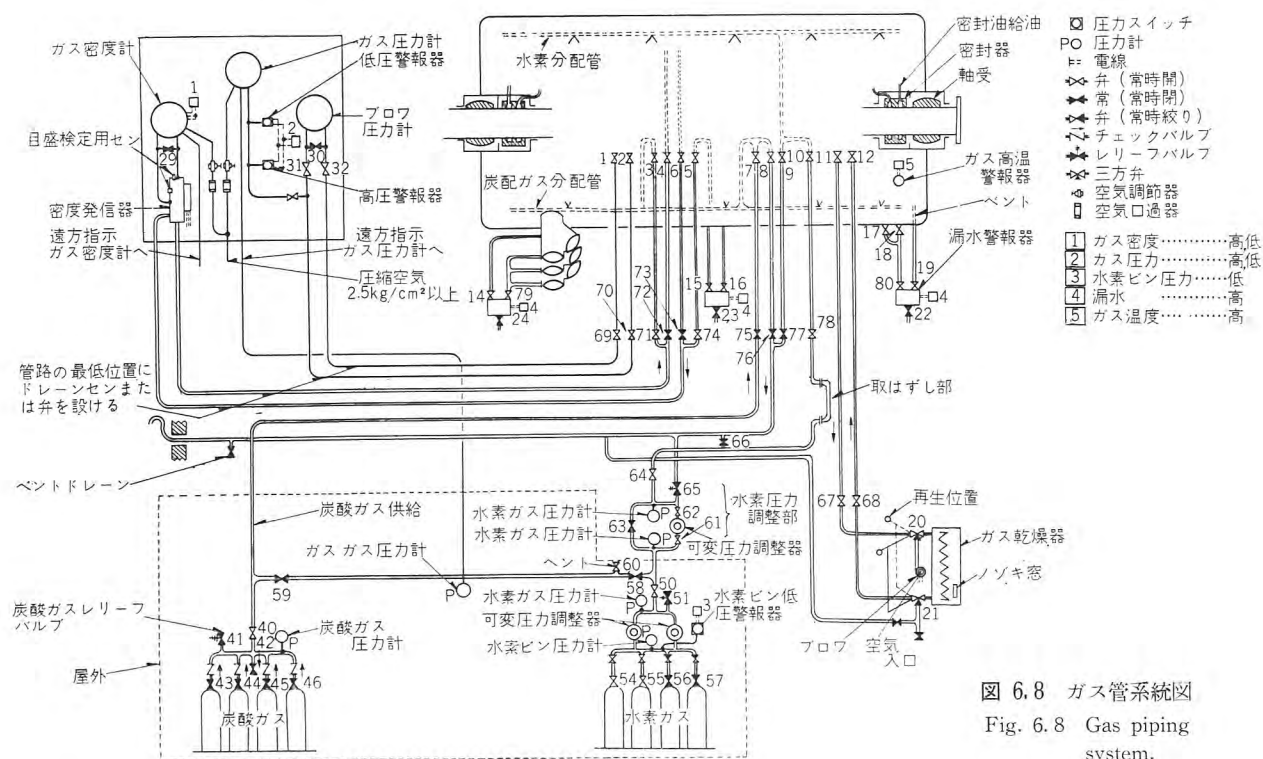
ガス管の系統を図 6.8 に示す。従来と異なるのはつぎの諸点である。

(1) 水素ビンおよび炭酸ガスビンの設置場所を屋外としてガス漏洩に対する安全性を増し、かつビンの入換えに便利のようにし、屋内には水素圧力調整部を設けて運転に必要な操作はここで行なえるようにした。

(2) 水素ガスの供給管は数 10 m の長さになるので、水素ガス供給管と炭酸ガス供給管および屋外排出管をつなぎ、水素ガス供給管を炭酸ガスでパージングできるようにした。

(3) 水素ガス供給管の途中に取はずし部を設け、発電機内のガスを抜いた後にはこの部を取はずし水素ビンから供給管中に漏出した水素ガスが発電機内にはいることのないようにした。

(4) 漏水警報器を3個設けた。



(5) 配管は強度の点から一部を除いて他はすべて鋼管を使用した。

(6) 電気式純度計はやめ機械式密度計だけとした。

(7) ガス盤に取付けたガス圧力計およびガス密度計にはエアトランスミッタを取付け中央制御盤にも同じ指示を出すようにした。

(8) 屋外のビン置場で機内ガス圧を示すガス圧力計に空気式の受信器を採用した。

(9) ガス用弁の種類を減した。

(10) 水素ビン置場に設ける水素ガス放出弁はダイヤフラム式をやめ、小形のスプリング直動式とした。

計器類は特殊なものを除きすべて最高使用ガス圧 4.2 kg/cm^2 の 1.5 倍 6.3 kg/cm^2 の圧力に耐えガスの漏洩が最小になるよう設計した。

計器類のうち、ガス密度計、ガス圧力計、高圧警報器、低圧警報器、漏水警報器および可変圧力調整器は客先の希望により輸入品を使用した。

密封油系統は図 6.9 に示すような複流形密封装置を採用したが、これは密封部における水素側密封油回路と空気側密封油回路を別々に分けたものである。

差圧調整弁により空気側回路の密封油圧は機内ガス圧より 0.84 kg/cm^2 高く保ち、また発電機の両側に設けた均圧弁により水素側回路の密封油圧は空気側回路のそれに等しく保つ。

機内の水素ガスは密封部において水素側回路の油に吸収されるが、この回路は閉回路になっているから吸収される水素ガスはやがて飽和し、機外に逸出するのは密封部において一部空気側回路の油に吸収される分だけである。また空気の浸入は密封部において空気を含んだ空気側回路の油が水素側回路の油にまざることにより行なわれ、したがってこれらの量は機内ガス圧、密封油量などにはほとんど無関係にただ両回路の油圧の差だけによって決まる。

普通構造機で用いた単流形では、ガス圧が高くなれば密封油量が増し、機内ガスの密封油による逸出量と空気の浸入量が増し、ガスの消費量がいちじるしく増加するのに対し、複流形ではガス圧が 2.1 kg/cm^2 以上に高くなっても水素ガスの消費量がそれほど増さないで、密封すきまを大として運転の安全性を増すことができる。

またガス圧が一定以上高くなると密封環が密封環ハウジングの空気側の壁に押しつけられ軸の異常振動の原因になるので、発電機の回転を定速に上げる途中およびガ

ス圧 2.1 kg/cm^2 以上の運転には密封器フロートポンプを運転し、密封環の空気側にフロート油圧を加えてやる。

密封部における油圧とガス圧との差圧が正常値の 0.84 kg/cm^2 から 0.56 kg/cm^2 に低下すれば補給調整弁が開き、タービン系統からの油が空気側回路を通して密封部に供給される。差圧がさらに 0.35 kg/cm^2 に下がれば低差圧を警報すると同時に非常用密封油ポンプが起動する。非常用密封油ポンプは上記のほか AC 電源故障の場合にも自動起動し、空気側回路の油だけで密封を行なうことになる。

低差圧警報器、差圧調整弁および補給調整弁の作動圧力の低圧側は従来はガス圧そのままを利用したが、本機ではガス圧に相当する油圧を加えガス漏洩の可能性を少なくした。差圧調整弁および補給調整弁の作動圧力の高圧側の弁に並列なチェックバルブはこれらの調整弁のハンチング防止のために設けた。

水素側回路の密封部からのモドリ管の途中に設けたトラップは発電機両側のアワ取箱上部のガス圧が内部ブロワにより不同となり油、蒸気がモドリ管を通して一方から他方に循環するのを防止する。

ポンプ警報器は従来の油圧の絶対値の低下警報をやめ、ポンプ前後の差圧の低下を警報するようにした。高油面警報器、低油面警報器、および漏水警報器は、高いガス圧では作動不良の原因となりやすいベローズの使用をやめ完全にガス密としたフロート室に磁石式の水銀スイッチを使用した。

特殊計器類を除きすべて、ガス圧、ガス圧との差圧および設置場所のヘッドの総和の最大値 6.3 kg/cm^2 の 1.5 倍、 9.4 kg/cm^2 の圧力に耐え、漏洩が最小になるよう設計した。

計器類のうち高油面警報器、低油面警報器、均圧弁、密封油差圧計、水素側油ならし箱、差圧調整弁、補給調整弁、低差圧警報器、レリーフバルブ、チェックバルブ、ポンプ警報器、各種油ポンプ類、ベーパーエクストラクタは客先の希望により輸入品を使用し、1, 2 号機と交換可能とした。

7. 試験結果

7.1 試験概要

水素冷却方式がタービン発電機の第一次革命なら、内部冷却方式は第二次革命であり、今後単機容量が 250 MW, 300MW, 350MW と増大しても、この方式の変

更の必要はまったく認められない。

すなわち、内部冷却方式は今後長期間にわたり安定した方式となるので、製作者としても、この第1号機で今後の確たる方針を確立する意図で、従来にない大規模の試験を実施した。

試験項目は、(a) 無負荷飽和特性、(b) 三相短絡特性、(c) 風圧測定、(d) 鉄損温度試験、(e) 銅損温度試験、(f) 損失測定であるが、これらにおいて機内各部の温度を知るために、数100点の特殊サーモカップルを製作し、一部は鉄心積層間に挿入して歯部分、ミゾの背部、鉄心中央部の各温度を測定し、また一部は、固定子コイル絶縁内部の裸銅帯に直接接触させて、最高温度を示す部分の位置を探り、その温度と他の温度との相関関係を調査した。

リード部分でも同様裸銅帯の温度を測定し、その他固定子コイル端部回りの構造物の温度も測定するなどその規模は前代未聞であった。

水素ガス圧も定格点 2.1, 3.15, 4.2 kg/cm² の上下である、1.05, 5.25 kg/cm² においても実施し広い範囲での傾向を調査した。

上記温度上昇試験においては回転に要する動力も従来にない大きさであるので将来に備える意味からもその駆動電動機を新製した。

前述のように、数100点にも及ぶ測定であるため、測定者の人員節約の意味で、マルチバンク温度計を使用した。試験中の写真を図7.1に示すが手前に見えるのがマ

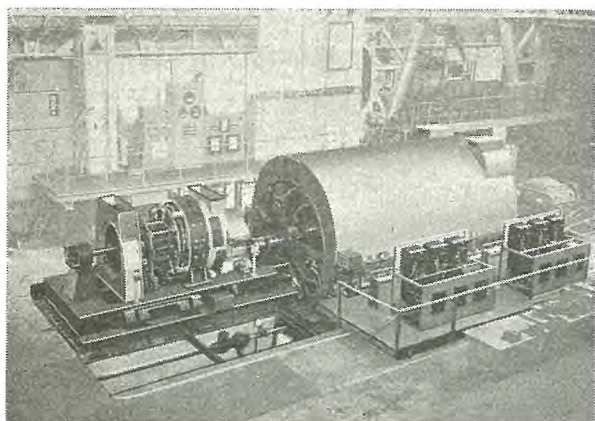


図 7.1 試験中の 208,696 kVA タービン発電機
Fig. 7.1 208,696 kVA turbine generator under test.

表 7.1 短 絡 比

| 短 絡 比 | 仕 様 値 | 試 験 値 |
|---------------|-------|-------|
| 166,957 kVA 時 | 0.736 | 0.79 |
| 192,000 kVA 時 | 0.64 | 0.688 |
| 208,696 kVA 時 | 0.588 | 0.633 |

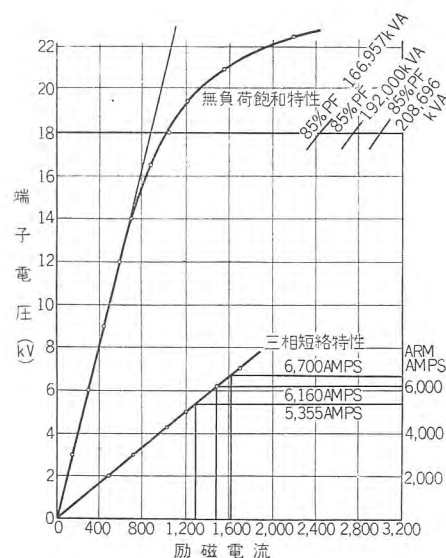


図 7.2 発電機特性曲線

Fig. 7.2 Generator characteristic curves.

ルチバンク温度計である。

以下主要点の結果報告を述べるが、何といても内部冷却はその冷え方に関心の焦点があると考えられるので、結果報告は温度上昇を中心に述べることにする。

7.2 発電機特性

無負荷飽和曲線および三相短絡曲線を図7.2に示す。短絡比については表7.1参照。

普通構造水素冷却と比較して特長視されるのは、励磁電流の多いことであろう。これは冷却効果を良くして電流密度を高く取り得た結果の具体的現われである。

7.3 風 圧 特 性

内部冷却では電流の通る固定子導体、回転子導体中心におのおの独立に冷却通路を設け水素ガスを送るだけでなく、鉄心部分にも別個の回路を設けて冷却するので、普通構造水素冷却に比しかなり複雑な回路となる。また冷却効果が良いので小風量で良く、かつ冷却通路の断面積が小さいので比較的高圧の必要があり、これらの点が普通構造水素冷却と異なる点の一つでもある。

風圧が高いのでたとえばドレーン穴や水素充填用穴、鉄心背部の仕切り板のすきまなど構造部分のすきまを通る風量も無視できない値となり、これらも考慮して主要部分の冷却風量風圧を定める必要がある。この冷却回路をスケルトンで表わしたものを図7.3に示す。

上記すきまはあらかじめ定めた公差内に変動するが、その程度の変動でも主要部の風量に影響が考えられるので、製作機ごとに組立後空気中で回して風圧測定を行ない、各回路の風量を推定し適切な値にするために風量調節を行なわなければならない。これは固定子ワク中にあ

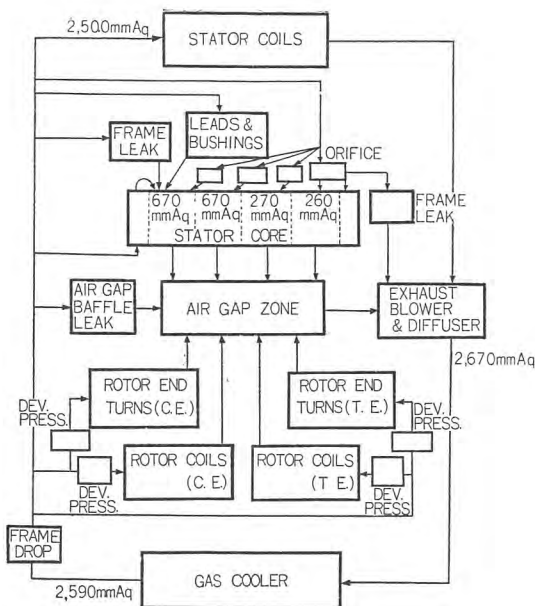


図 7.3 内部冷却通風回路図 (数値は空気における測定風圧を示す)

Fig. 7.3 Inner cooled ventilation circuit diagram.

らかじめ設けた通風管入口のフタの穴の大きさを変えて行なうが図 7.3 に記入したオリフィスはこの役目をなす。

風圧測定の結果は図 7.3 中に概略値を記入したが、この結果、鉄心部ではタービン側が比較的風圧低く集電環側が高いことを示している。これはタービン側に比し集電環側が風量が多く集電環側に対してはもっと風を絞ってもさしつかえないことを示している。しかし固定子コイルの出入口の風圧、その他主要部分の風圧に異状が認められなかったので、このまま温度試験を実施した。後述するがタービン側より集電環側に風量の多いことは、鉄損温度試験中の鉄心積層間各部の温度データによく現われた。

7.4 等価温度上昇試験

まず現行規格や仕様など一般事項を説明する。

(1) 許容温度限界

固定子導体、回転子導体ともに B 種絶縁設計であるので、その温度最高点は 130°C である。固定子鉄心温度最高点は JEC-114 では 110°C である。参考までに ASA, C-50 規格では固定子導体、回転子導体は JEC-114 と同一値であるが、固定子鉄心最高点は 95°C で低励磁運転時の鉄心端部は 110°C 許容となっている。(表

表 7.2 許容温度限界

| | JEC | (ASA C-50) |
|----------|-----------------------|--|
| 固定子導体最高点 | 130°C | (130°C) |
| 回転子導体最高点 | 130°C | (130°C) |
| 固定子鉄心最高点 | 110°C | (95°C) (ただし低励磁運転時鉄心端部などでは 110°C 許容) |

7.2 参照) これら規格は空気冷却や普通構造水素冷却を対象としたもので、その場合には導体内銅損は絶縁物を通して鉄心に伝わりさらに冷却媒体により取り去られるので当然、鉄心温度は導体温度より低くなければならないという見地から定められている。本機の内部冷却方式においては、銅損は導体内部の冷却ガスにより、また鉄損は鉄心ダクトの冷却ガスによりおのおの別個に取り去られうるので鉄心の許容温度限界は導体のそれと同一の 130°C でよいと考えられるが、第 1 号機であるので一応現行規格に準拠して設計した。

(2) 導体温度最高点の位置

普通構造水素冷却機と異なり導体内を軸方向に冷却ガスが通るので、最高温度部分は判然とし運転には非常に便利になる。

固定子コイルでは冷却ガスは集電環側よりはいりタービン側に出るので、最高点はタービン側ガス出口端の導体にある。

回転子コイルでは冷却ガスは両側よりはいり中央部に出るので、最高点は中央部ガス出口の導体にある。

固定子鉄心に対しては最高点は一般に両端にあるが、風量分布は前述のようにすきまの大きさと調整用オリフィスの設定の仕方により変わるので機械によりその位置を異にする。

(3) 温度測定箇所および保証

従来と同様固定子コイル上下間の埋込温度計抵抗法による回転子温度計および冷却ガス温度計のほかに、固定子コイル冷却ガス出口よりダクトでガスを導き出し、固定子コイル出口ガス温度計素子を設け測定した。そのほか工場試験用特殊のサーモカップルを多数設けた。(表 7.3 参照)

表中 A, B, C, D, E, G, H は発電所の中央制御室で記録するが、この中でコイル出口ガス温度と回転子温度が運転上もっとも重要な温度となる。

温度上昇の保証としては、従来同様の固定子コイル上

表 7.3 温度測定素子一覧

| 名 称 | 素子の数 | 素子 種 類 | 発電所記録点数 |
|------------------|-------|-----------|-------------------|
| A. 固定子埋込温度計 | 12 | サーチコイル | 4 |
| B. 固定子コイル出口ガス温度計 | 6 | " | 2 |
| C. 励磁機空気入口 | 1 | " | 1 |
| D. 励磁機空気出口 | 1 | " | 1 |
| E. 低温ガス | 2 | " | 2 |
| F. 高温ガス | 1 | " | — |
| G. 回転子温度計 | 1 | 抵抗法 | 1 |
| H. 軸受油温度計 | 4 | サーモカップル | 4 (タービンと共通10点記録計) |
| I. 固定子コイル裸銅帯温度 | 約 80 | 特殊サーモカップル | (工場試験用) |
| J. 固定子鉄心温度 | 約 50 | " | (") |
| K. その他固定子構造物温度 | 約 100 | " | (") |

表 7.4 温度上昇保証値

| | 温度上昇 (°C) | (全温度) (°C) |
|-------------|-----------|------------|
| 固定子コイル埋込温度計 | 55 | 100 |
| " 出口ガス温度 | 75 | 120 |
| 回転子コイル平均温度 | 55 | 100 |
| 固定子鉄心 | 65 | 110 |

下間埋込温度計の温度、回転子コイルの抵抗法による平均温度および固定子鉄心の温度のほかに、固定子コイル出口ガスの温度も付け加えた。なお低温ガス温度は冷却水温が高いので 45°C と定めた。この温度が 40°C であれば下記の仕様の温度上昇は 5°C 大きくして良いのもちろんである。

温度上昇の保証値を表 7.4 に示す。

固定子コイル埋込温度計は当社では従来とも ASA, C-50 に定められた全温度 100°C としていたのので、内部冷却においても全温度 100°C とし温度上昇 55°C とした。

固定子コイル出口ガス温度は、素線被覆の絶縁物とダクト表面のガス薄膜における温度降下およびその他の構造に起因する素線温度とガス温度の差を 10°C と見込み出口ガスの許容全温度を 120°C と 定め温度上昇 75°C とした。

回転子コイル平均温度は、銅帯温度最高点 130°C とし温度分布を計算しその場合の平均温度 100°C となったので温度上昇 55°C とした。

固定子鉄心については JEC-114 通り全温度 110°C とし温度上昇 65°C とした。

(4) 鉄損温度試験

18 kV 端子電圧の鉄損温度試験時、ガス圧をいろいろ変えて測定した固定子埋込温度計および固定子コイル出

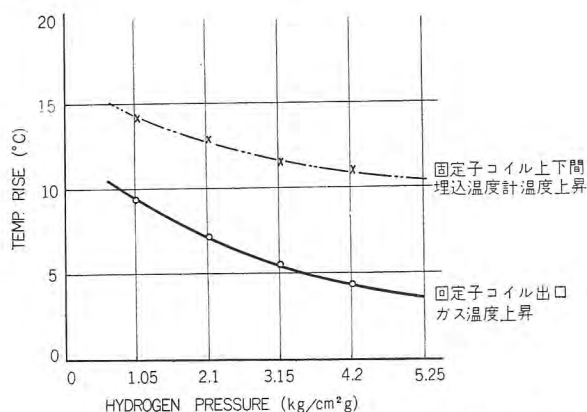


図 7.4 鉄損温度試験時各ガス圧に対する温度上昇

Fig. 7.4 Temperature rise at various gas pressure during iron loss temperature test.

表 7.5 鉄損温度試験 (18 kV) 時の温度上昇

| ガス圧 (kg/cm²) | 2.1 | 3.15 | 4.2 |
|--------------|------|------|------|
| 固定子コイル (°C) | 12.9 | 11.6 | 11.1 |
| " 出口ガス (°C) | 7.2 | 5.6 | 4.4 |

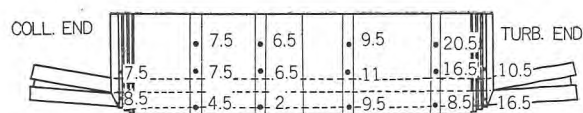


図 7.5 ガス圧 3.15 kg/cm² 鉄損温度試験における鉄心積層各部の温度上昇

Fig. 7.5 Temperature rise of various core lamination at 3.15 kg/cm² gas pressure iron loss temperature test.

口ガス温度計の温度上昇値を図 7.4 に、また定格点については表 7.5 に示す。図で固定子コイル出口ガスの温度上昇が固定子埋込温度計温度上昇より低いが、鉄損だけの場合は鉄心内損失の一部分がコイルの絶縁物を通して固定子コイルに伝わり、コイル内冷却管に移り冷却管内ガスに伝わるので、熱源である鉄心に近接している埋込温度計のほうが、高い温度を示す。

なおこの際鉄心積層内に埋込んだ特殊サーモカップルによる測定温度上昇を図 7.5 に示す。この図では鉄心はタービン側第 1 ゾーンがいちばん高い温度を示し、第 2 ゾーンがその次となり、第 4 ゾーン、第 3 ゾーンの順になっている。これは冷却ガスの風量分布のいかんによるものであり、7.3 項に述べた風圧特性の結果とよく一致している。

(5) 銅損温度試験

各ガス圧および各電流における銅損温度試験時の、固定子埋込温度計および固定子コイル出口ガスの温度上昇を図 7.6 および定格点については表 7.6 に示す。本図では見やすくなるように横軸に電流の 2 乗を目盛り基本電流として、5,355 A=1.0 とした。

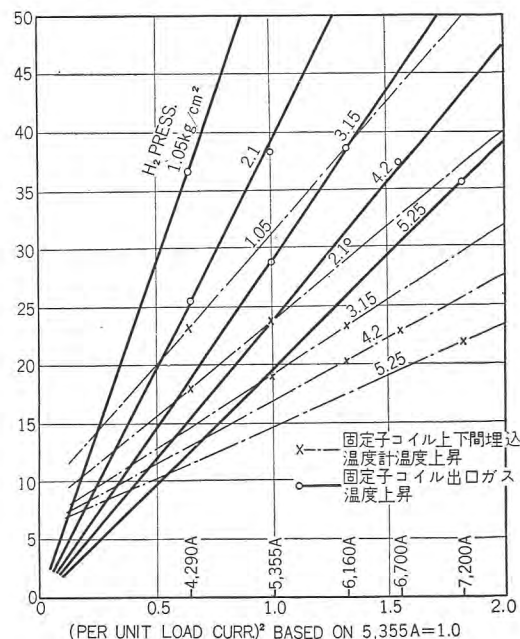


図 7.6 銅損温度試験時温度上昇

Fig. 7.6 Temperature rise in copper loss temperature test.

表 7.6 銅損温度試験時の温度上昇

| | | | |
|---------------------------|------|------|------|
| ガス圧 (kg/cm ²) | 2.1 | 3.15 | 4.2 |
| 電 流 (A) | 5355 | 6160 | 6700 |
| 固定子コイル (°C) | 23.7 | 23.1 | 22.8 |
| # 出口ガス (°C) | 38.4 | 38.4 | 37.2 |

表 7.7 鉄損時と銅損時の温度上昇の合計

| | | | |
|---------------------------|------|------|------|
| ガス圧 (kg/cm ²) | 2.1 | 3.15 | 4.2 |
| 電 圧 (kV) | 18 | 18 | 18 |
| 電 流 (A) | 5355 | 6160 | 6700 |
| 固定子コイル (°C) | 36.6 | 34.7 | 33.9 |
| # 出口ガス (°C) | 45.6 | 44.0 | 41.6 |

固定子コイル出口ガス温度上昇が、固定子埋込温度計の温度上昇よりかなり高いことが判然とする。

(6) 推定温度上昇

鉄損時と銅損時の各温度上昇値を便宜的に両者相加えると、各条件における推定温度上昇値は表 7.7 のようになる。これは機械損による温度上昇を差引いていないので実状より過大な数値を示すはずで、実際運転における温度上昇はこれ以下となり、冷却効果としては十分満足な結果を示している。表よりわかるように、固定子コイル出口ガス温度上昇が、固定子埋込温度計温度上昇より高く、実際運転では固定子コイル出口ガスだけ監視すれば良い。逆にいえば固定子埋込温度計のほうは単なる参考に過ぎず、運転に際しては注意する必要はない。

同時に測定した固定子コイル裸銅帯の温度上昇 2 種類 (B, C 点) について図 7.7 に値を示す。また比較の

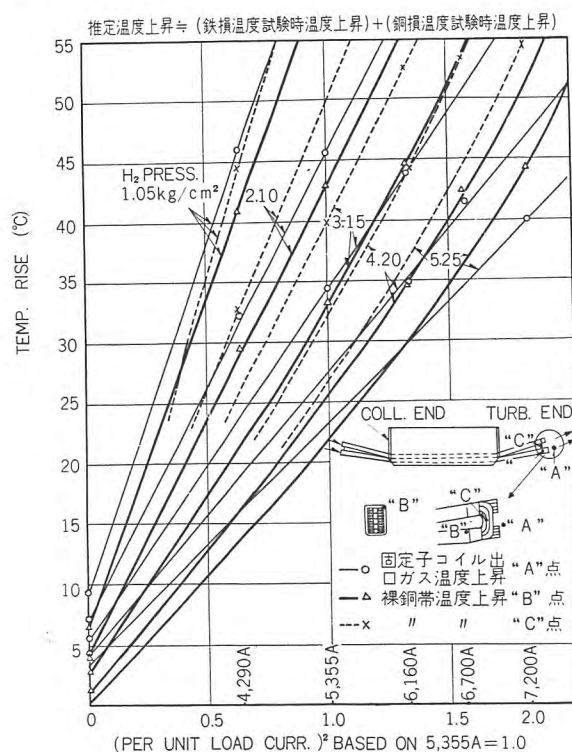


図 7.7 推定温度上昇

Fig. 7.7 Estimated temperature rise.

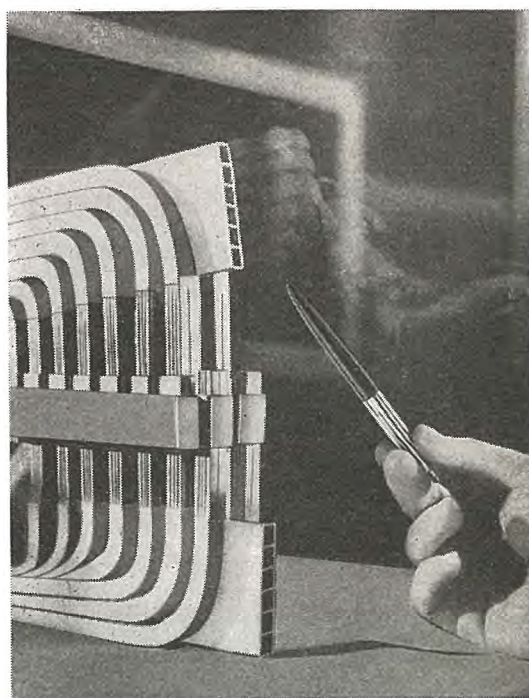


図 7.8 固定子コイルの端部構造

Fig. 7.8 Terminal construction of stator coil.

意味で固定子コイル出口ガス温度上昇 (A 点) も併記する。

裸銅帯温度上昇測定点 2 種類は同図に位置を示しているが、理解の便利のためにガス出口端の構造を図 7.8 に示す。B 点はつなぎ部より少し内側の裸銅帯であり、C 点はつなぎ部の裸銅帯でつなぎ部自身には冷却管がない構造になっている。

図 7.7 より温度上昇の傾向は良くわかるが、A と B または A と C 間の差は当然のことながら電流の増大とともに増大している。A と裸銅最高温度の差はほぼ 10°C と見込み保証を行なったことは前述したが、図 7.7 は上記見込みが大体妥当であることを示す。また C 点のほうが B 点より温度が高いのは C 点自身には冷却管がないので、C 点付近のつなぎ部の銅損は銅自身を伝わりコイル部に行き冷却管に伝達する熱回路となるためである。

注目すべき点は、A と B を比較して見るとたとえばガス圧 3.15 kg/cm² では、6,160A では B が高いが、5,355A では A が高い。すなわち電流が多ければ B が高いが電流が減るとついに逆転して A が高くなり、この傾向は各ガス圧で存在するようである。これはつなぎ部の銅損の冷却管内ガス温度に及ぼす影響と、コイル表面より発散する銅損の割合がガス圧、電流により変り、両者の組合せで上記結果となったと考えている。

その他固定子コイル端部付近の構造物に設けた特殊サーモカップルの温度に、異状に高いものは見受けられなかった。以上の温度上昇データより下記の事項が結論づけられる。

(1) 従来の固定子コイル上下間埋込温度計は運転保守に対してはほとんど重要性がない。また規格に従い保証するとしても、この冷却構造においては全温度はB種絶縁許容最大温度たる 130°C でさしつかえない。

(2) 固定子コイル出口ガス温度が、裸銅帯の温度にもっとも近い値を示す。温度上昇の保証および運転の指針はこの温度に従うのが当を得ている。

(3) 固定子コイル出口ガス温度と裸銅帯温度最高点との差は約 10°C と見込んだが、本機ではほぼ妥当である。ただしこの温度差はコイル端部の構造および電流密度により変わるので将来設計の方向から考えれば 10°C 以上、たとえば 15°C または 20°C 見る必要が生ずる。

(4) 固定子鉄心温度はB種絶縁最大許容温度 130°C でもさしつかえない。

7.5 損失測定

表 7.8 に負荷が変わった場合の損失各成分の割合の変化を示す。ガス圧 2.1 kg/cm² 定格点の損失を 100% としたが、負荷損（固定子 I^2R と漂遊損）と励磁損の割合が大きいのが着目される。これは電流密度が高いため の結果である。

なお比較のために普通構造水素冷却の負荷変化した場合の損失の変化を表 7.9 に示す。

上記 2 表を比較すれば、負荷が減じた場合の効率の向上は内部冷却のほうがいちじるしいことがわかる。これは発電所の実際運転時の能率が良いことを示す。

8. む す び

わが社が普通構造形水素冷却機の商用第 1 号機を完成

表 7.8 内部冷却機損失 (%)
負荷変化の場合

| 水素ガス圧 (kg/cm ²) 出 力 (%) | 2.1 60 | 2.1 80 | 2.1 100 | 3.15 115 | 4.2 125 |
|--|-----------|-----------|------------|-------------|------------|
| 力 率 | 0.85 | | | | |
| 損 失 | % | | | | |
| 機 械 損 | 29.9 | 29.9 | 29.9 | 34.3 | 38.8 |
| 鉄 損 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 | 9.0 |
| 固 定 子 I^2R | 3.5 | 6.5 | 10.1 | 13.4 | 15.8 |
| 界 磁 I^2R | 16.6 | 23.5 | 32.8 | 41.7 | 49.5 |
| 漂 遊 負 荷 損 | 6.5 | 11.6 | 18.2 | 23.5 | 29.7 |
| 合 計 | 65.4 | 80.5 | 100 | 121.9 | 142.8 |

表 7.9 普通構造機損失 (%)
負荷変化の場合

| 水素ガス圧 (kg/cm ²) 出 力 (%) | 0.035 60 | 0.035 80 | 0.035 100 | 1.05 115 | 2.1 125 |
|--|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| 力 率 | 0.85 | | | | |
| 損 失 | % | | | | |
| 機 械 損 | 23.9 | 23.9 | 23.9 | 29.8 | 35.7 |
| 鉄 損 | 21.2 | 21.2 | 21.2 | 21.2 | 21.2 |
| 固 定 子 I^2R | 2.7 | 4.8 | 7.5 | 9.9 | 11.7 |
| 界 磁 I^2R | 9.8 | 13.0 | 16.6 | 19.9 | 22.3 |
| 漂 遊 負 荷 損 | 11.1 | 19.7 | 30.8 | 40.7 | 48.1 |
| 合 計 | 68.7 | 82.6 | 100 | 121.5 | 139.0 |

したのは昭和 27 年であったが、ここにふたたび内部冷却 208,696 kVA、タービン発電機を優秀な成績で完成しえたことは、わが国タービン発電機製造業界の一大進歩である。

わが国で建設されまたは、計画されつつある新鋭火力プラントでは、ボイラ、タービン、発電機はいずれも高温高圧大容量で、この種発電所は運転信頼性、経済性においてきわめてすぐれている。この新鋭火力プラントに設置されるタービン発電機として内部冷却発電機はきわめて適当な安定した形式のものである。この意味において内部冷却商用第 1 号機の完成はきわめて意義が深い。本機は関西電力会社大阪発電所に設置され、本年末発電開始する予定であるが、なお当所では九州電力会社向け 208,696 kVA 内部冷却機 1 台製作中なることを付記しておく。

新鋭タービン発電機のすえ付・運転・保守

長崎製作所 米野俊彦*・遠藤裕男**・鈴木文夫**

Installation, Operation and Maintenance of Turbine Generators of the Newest Design

Nagasaki Works Toshihiko MENO・Yasuo ENDO・Fumio SUZUKI

Technical progress of the latest and highly efficient steam power plants is spectacular with ever-increasing unit capacity and marked improvement of cooling system of the generating apparatus. The newly completed 208,696 kVA inner cooled turbine generator by Mitsubishi outranks any other units of the kind in this country with its unprecedented cooling method and capacity as a single machine. To have this turbine generator give full play to its ability, nothing is more important than to pay careful attention to the installation, operation and maintenance of the apparatus on the basis of the latest information and rich experience.

1. ま え が き

最近の新鋭火力発電所の技術的進歩はまことにめざましいものがあり、タービン発電機においても単機容量の増加、冷却方式の進歩など日新月异の発展を遂げている。

当社が今回完成した 208,696 kVA 内部冷却タービン発電機は、その革新的な冷却方式において、かつまた、その単機容量の大きさにおいて、国産タービン発電機の技術的進歩を誇る記録品である。

しかし、これらタービン発電機の優秀な性能を十分発揮させるためには、斬新な知識と豊富な経験にもとづいた慎重なすえ付・運転・保守が必要なことはいうまでもない。そのためには、それぞれの機器の特長、構造、組立法を熟知し最上の運転・保守方法を知らなければならない。

本文では、内部冷却タービン発電機、および水素冷却機一般を含めた最近のすえ付・運転・保守について述べる。

2. タービン発電機のすえ付

内部冷却機および水素冷却機は通常分解して輸送を行なうが、荷揚設備、建屋、クレーン容量などが許される場合は完全組立輸送を行なう。組立輸送の場合は工場運転のまま発送するので現地組立の手数が省略され、すえ付期間を約 20 日間短縮することができる。また各部の機械的寸法が最良の状態に保持されたまますえ付けられるので信頼度も高い。タービン発電機のすえ付開始の時

期は通常低圧タービンの車軸が納められたときに、タービン車軸を基準として発電機のすえ付を開始する。ただし機器の納入時期の都合上発電機を先に配置することもある。以下すえ付工程の順を追って述べる。

2.1 すえ付および保管中の発電機の保護

荷おろしにあたり機械を損傷したり衝撃を与えないようにし、また荷箱に指定されたワイヤロープ掛け位置でつる。

発電機固定子はコイルが吸湿しないよう、気密に荷造りをして機内に乾燥剤を封入してある。

回転子は防水紙に包み、その上に帆布でおおってあるが輸送中および保管中は風雨にさらされないようにし、湿気の少ない場所に保管する。長期間保管し、または梅雨期のように湿度が高い時期には、乾燥剤をたびたび取換えるか、またはヒータを挿入してコイル温度を室温より数度高く保って湿気の浸入や凝結を防がなければならない。

ヒータは固定子コイル端部の下部に等間隔に置く。ヒータの熱量はほぼ次式で求める。

$$H = \frac{D \cdot L}{3}$$

H : 熱量 (kW)

D : 機械のエンドベルの直径 (m)

L : 固定子の長さ (m)

たとえば、100,000 kVA 級では 200 W スペースヒータ 12 個を各エンドコイル下半分に等間隔に配置した場合機内の温度上昇は 5°C くらいであった。

スペースヒータの表面温度は 300°C くらいに保ち引

* 工作部長 ** 工作部

火しないよう注意する。

部品の保管はすえ付に使用する順位を考慮して、先に使用するものを出しやすい位置に置き順次現場へ搬入する。

2.2 台板配置および固定子のすえ付

(1) 台板配置

発電機の回転子は低圧タービン車軸にならって心合わせを行なうが、軸にはそれぞれ固有のタワミがあるので、まず低圧タービン車軸をその軸頸部で前後部のレベルを振り分ける。これにならって発電機の回転子を心合わせするので、発電機のスリップリング側は図 2.1 のように上がってくる。したがって発電機台板、励磁機台板は図 2.1 のような傾斜になるように配置する。この傾斜度の大きさはタービンおよび発電機を含めた軸系のベアリン

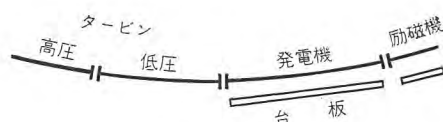


図 2.1 心出しおよび台板レベル説明図

Fig. 2.1 Descriptive diagram of centering and levelling of base plate.

グエレベーションの計算値により決める。

台板配置の方法は(2)項で述べる台板と基礎との締付方法によって非常に異なってくるが、もっとも一般的な方法についてつぎに述べる。

a. 左右の位置決め

アライメントテレスコープまたはピアノ線により、タービンの軸中心より左右を図面により等分に振り分ける。

b. 軸方向の位置

低圧タービンのカップリング端よりカップリングスペーサの寸法を加え、固定子磁気中心が回転子の温度上昇時の磁気中心と一致するようになる位置に台板を配置する。すなわちすえ付ける回転子が室温時には、回転子の熱膨張を考慮に入れた寸法だけ固定子磁気中心をスリップリング側に逃がした位置に台板を配置する。

なおタービン全負荷時に低圧タービンカップリング端が発電機側に数 mm 伸びるので、この伸びの量も回転子磁気中心の伸びに加算して台板を配置する。この伸びの量はタービンの形式、回転子軸の長さ、温度上昇の値により異なることは当然である。

c. 上下の位置

低圧タービン車軸と発電機との直結は運転中における円と面が一致するようにすえ付けるから、台板は図 2.1

のようにスリップリング側を上げて配置する。100,000 kVA 級で約 2.5 mm 上げる。

固定子と台板の間には経年後のセンターリング修正代として 3 mm の調整敷金を挿入するので、この調整敷金の厚みを考慮して台板の高さを決める。

台板に油気があるとモルタルが付着しないので配置前に洗う取る。

(2) 台板・基礎・固定子ワクの締付方法

基礎コンクリート、台板、固定子ワク足間の締付方法は最近の建築技術の進歩によりいちじるしく簡略化されてきている。その大略について述べる。

a. パッカを挿入する方法

基礎鉄骨の上にパッカ座を設け、台板とパッカ座とのすきまをマイクロメータで測定してパッカをすり合わせ挿入し、台板および固定子を支持する方法である。この場合パッカは一体ものかまたはテーパ合わせのものを使用する。この方法はもっとも一般的に用いられる。

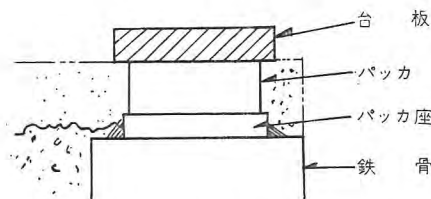


図 2.2 (a) パッカを挿入する方法

Fig. 2.2 (a) Method by inserting a packer.

b. レベリングブロックによる方法

基礎コンクリートの上に調整ネジをつけたレベリングブロックをグラウドして、その上に台板を配置する。あるいはまた台板の傾斜を決めてから、その下にレベリングブロックを押しつけたままグラウドする。この方法ではパッカのすり合わせ作業がないので工期を短縮できる。

c. ジャッキボルトによる方法

基礎コンクリートの上にジャッキプレート置き、ジャッキボルトで台板および固定子を支持する。台板は固定子ワク足に締付けられて、発電機のセンターリングに

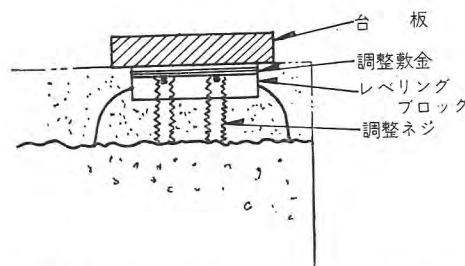


図 2.2 (b) レベリングブロックによる方法

Fig. 2.2 (b) Method by using a levelling block.

はこのジャッキボルトで台板および固定子を移動して調整する。

センターリング終了後台板をグラウンドする。この方法によるときは(1)項の台板配置は単に台板を置く程度の作業となり、工期はいちじるしく短縮される。

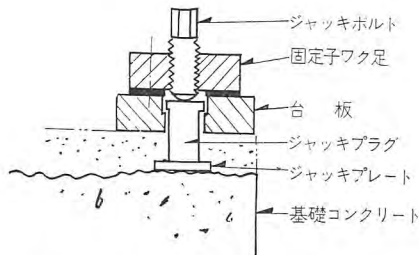


図 2.2 (c) ジャッキボルトによる方法
Fig. 2.2 (c) Method by using a jack bolt.

内部冷却 208,696 kVA 機では (c) の方法を用いた。つぎに固定子ワク足の締付けは、図 2.3 のようになっていて、台板は基礎に締付けられるが、台板と固定子ワク足との間はボルト締めしてなく、軸方向位置はアキシアルキーで止め、横方向位置は下部ブラケットにトランスバースアンカキーを入れて決められているだけである。

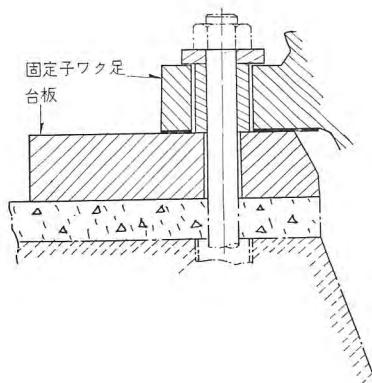


図 2.3 台板と固定子足の関係
Fig. 2.3 Relation between a base and stator legs.

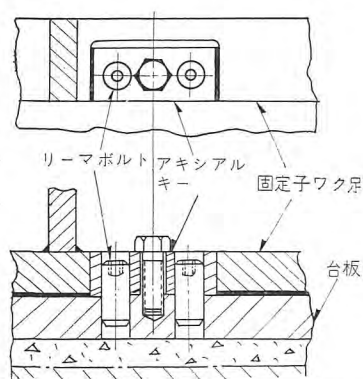


図 2.4 アキシアルキーと固定子足の関係
Fig. 2.4 Relation between axial key and stator legs.

したがって固定子ワクは温度上昇による不規則な移動はなく自由に伸び縮みできようになっている。

(3) 固定子のすえ付

固定子つり上げ用具をつけ、指定の太さのワイヤロープで水平につる。台板に固定子調整敷金を 3 mm 敷く。台板に降ろすときは、リーマを合わせ、ボルトで台板を仮締めする。

固定子を台板に締付けてから固定子鉄心の中心をアライメントテレスコープま

たはピアノ線で測定し、タービンの軸心との狂いがないか調べる。

2.3 メインリードおよびリードブッシングの取付け

内部冷却機ではリードブッシングはリードボックスに取付けて輸送されるが、普通構造機では輸送の都合で取はずして発送する。つぎにリードボックスの組立手順について述べる。

(1) 固定子をすえ付ける前にリードボックスは発電機下部の中 2 階に入れて置く。

(2) メインリードコンネクタを接続する。コンネクタは心合わせ工具を使って締付ける。接続面は銀メッキしてあるので傷ついたり、ヤスリをかけたりしてはならない。

(3) 指定の絶縁階級に従ってテーピングを行ない、耐油、耐コロナのワニスを塗布する。

(4) クリートおよび絶縁板、スペーサなどを組立てる。

(5) リードボックスをつける。リードボックスは取付面を清掃してからクレーンでつり上げて固定子ワクに締付ける。乱暴に扱うとブッシングを損傷するので注意する。

(6) ブッシングとコンネクタとをフレキシブルリードで接続する。

(7) 指定の絶縁階級に従ってテーピングを施し、耐

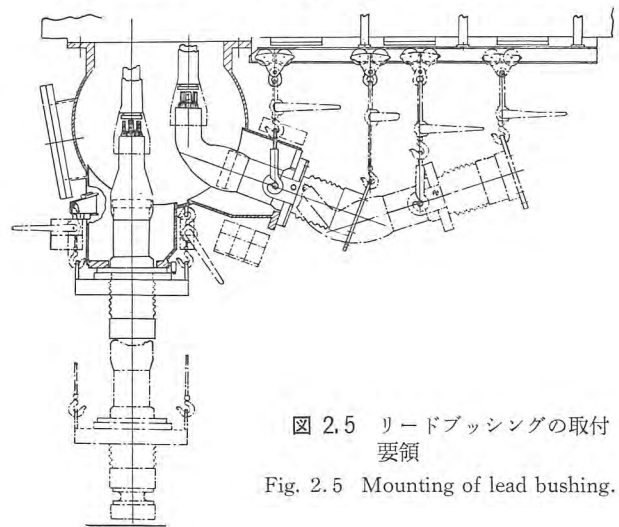


図 2.5 リードブッシングの取付要領
Fig. 2.5 Mounting of lead bushing.

油、耐コロナのワニスを塗布する。

リードブッシングを取換える場合は図 2.5 の方法が役立つ。

2.4 回転子挿入

組立輸送した場合は当然この作業ははぶかれるが、分解輸送の場合は、固定子を台板上に配置した後、回転子

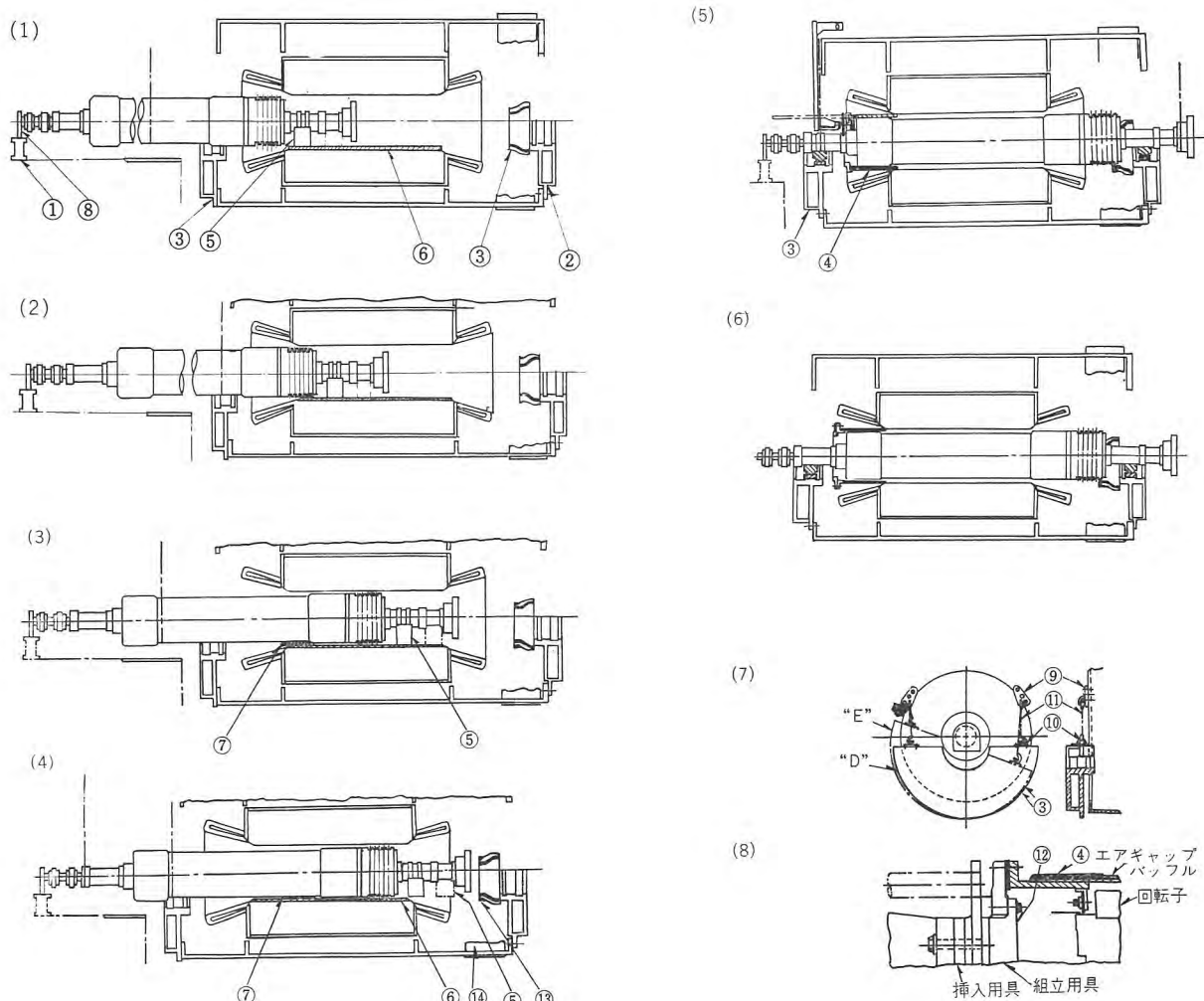


図 2.6 回転子挿入要領
Fig. 2.6 Insertion of rotor.

を挿入する。挿入は次の要領で行なう。(図2.6参照)

- (1) 回転子のブロブレードははずしておく。
- (2) タービン側ブラケットの下半部 ② を正規の位置にボルト締めし、リーマを打つ。
- (3) スリップリング側に ⑨ のつり手を固定子ワクに、⑩のつり手をブラケットに取付ける。
- (4) ハンドホイストでスリップリング側のブラケット下半部をつる。
 - a. 回転子を真直に入れるためブラケット下半部に“D”位置に示すように平行におろしておく。
 - b. 斜めにして回転子を挿入するときは最初ブラケット下半部を“D”位置に置き、ブラケットの内側にカップリングをかわしそれからブラケットを回転して“E”位置のように傾斜させて、コイル押えリングおよび回転子本体を通す。
- (5) 回転子ささえ ⑤ を図示の位置に取付け、敷金 ⑥ を固定子鉄心の内側に置き、上面にはグリースを十分

塗しておく。回転子のスリップリング端に、ささえ ⑧ を取付け、ささえ台 ① に回転子を降ろす。グリースを受けるためにタービン側固定子コイルの上に布を敷く。

(6) 回転子の重心をワイヤでつってワイヤが固定子ワクに触れるまで回転子を押し込む。スリップリング側端部をささえ台 ① に降ろす。

(7) コイル押えリングの近くをつって、ささえ⑤が固定子鉄心の端からこえないうちに、回転子本体の下にスベリ金 ⑦ を敷く。さらに回転子を押し込む。スベリ金 ⑦ にはスリップリング側より十分引出せる長さのワイヤをつけておく。

(8) ワイヤが固定子ワクに触れるまで、さらに回転子を押し込み、スリップリング側端部をささえ台に降ろす。

(9) ワイヤを軸受とスリップリングとの間に移して回転子を押し込み、ささえ ⑤ がタービン側のブラケットに触れる前に止める。

(10) ささえ⑤をはずして回転子を正位置まで押し込む。

(11) スリップリング側をささえ台でできるだけ高くささえ、ワイヤをタービン側に移す。

(12) カップリングの下に台を置いて絶縁座金を挿入して油止めおよび付属品をつけたタービン側軸受を軸頸部におさめ、軸受に設けられた穴にアイボルトを取付け、ワイヤでつりながら回す。

(13) カップリング端をできるだけ高く持ち上げ、スベリ金⑦をスリップリング側に引出す。タービン側軸受に回転子を降ろす。

(14) ワイヤをスリップリング側に移し敷金⑥をスリップリング側より引出す。

(15) スリップリング側のワイヤを軸頸部に移しワイヤが固定子ワクに触れる所でつる。④のエアギャップバッフルをスリップリング側より挿入してワイヤに触れるまで入れる。回転子のスリップリング側端部にささえ台を置き軸頸部をつってあるワイヤをはずす。④のエアギャップバッフルに組立用具を取付け、シール部を破損しないように挿入する。

(16) スリップリング側ブラケット下半部③を正規の位置に上げボルト締めしリーマを打つ。⑨⑩⑪をはずす。

(17) スリップリング側軸受下半部を(12)項に準じて組立てる。

(18) ささえ台①をはずす。

(19) スリップリング側軸受に回転子を降ろす。ささえ台⑧をはずす。

(20) グランドシールを組立てる。

(21) グランドシールにエアギャップバッフルを組立て⑫の用具をはずし、シール部のすきを調べる。

いかなる場合でもコイル押えリングにワイヤをかけないようにし、また回転子の重さをコイル押えリングにもたせないように注意する。

固定子から回転子を引出すときはスリップリング側ブラケットの油箱から油を抜き、上記組立順序の逆を行なう。

軸受部の組立、および分解要領を図2.7に示す。

2.5 ギャップおよび磁気中心の測定

発電機のギャップおよび磁気中心は工場で測定し、最良の状態にしてブラケットのリーマを決めてあるので現地ではリーマを合わせればよい。測定は付属の測定用具を用いる。

ギャップの不同は平均値の0.5mm(±0.3%)以内にしている。ギャップの測定はあらかじめ固定子端板と鉄心内径との関係位置を調べて置けば、固定子端板と軸頸間を棒ゲージで測定してもよい。

磁気中心は台板配置の項で述べたように、負荷時に固定子と回転子との磁気中心が一致するように配置するから、

すえ付の常温時には固定子磁気中心を回転子磁気中心よりスリップリング側に寄せてある。内部冷却機で組立輸送する場合は、カップリング面から固定子ワク端面までの寸法を測定し、固定子端面に刻印してあるので、その寸法にタービン軸の伸びおよび回転子軸の伸びを加算した寸法にカップリングの位置を合わせればよい。

2.6 グランドシールおよびブラケットの取付け

回転子挿入を終え、ブラケット下半部および軸受で回転子を支持し、磁気中心およびギャップの測定を終えてから、グランドシール、シールリング、エアギャップバッフル、ブロワ、ブラケット上半部などを組立てる。

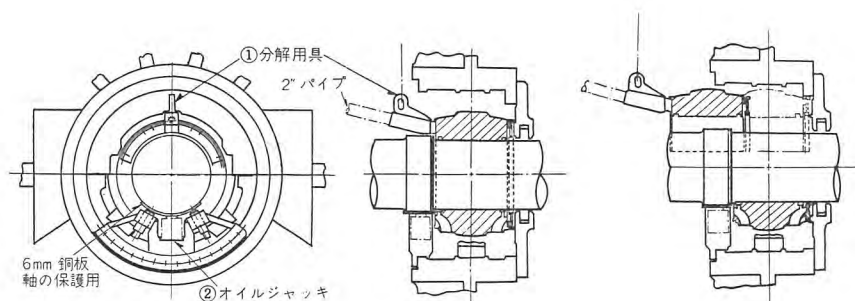


図 2.7 (a) 上軸受分解要領
Fig. 2.7 (a) Disassembling of the upper bearing.

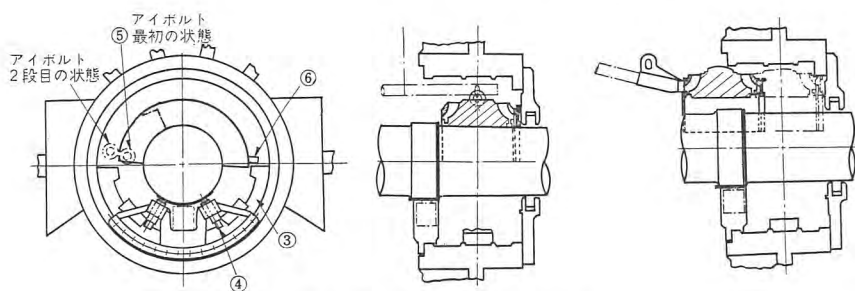


図 2.7 (b) 下軸受分解要領
Fig. 2.7 (b) Disassembling of the lower bearing

(1) グランドシールの組立

グランドシール下半分は合わせ面を損傷しないように組立用具を取付け、ブラケットとの合わせ面には指定のガスケットを接着剤ではりつけ、180 度回転させてから組立用具の調整ボルトでささえる。このガスケット締付面は軸電流防止の絶縁になっているから、締付ボルトは絶縁管、絶縁座金を取付け、油止めのすきを規定の寸法に調整して締付ける。シールリングを組立て軸とのすき、および軸方向のすきを測定する。グランドシールの上半分と下半分の合わせ面には指定の耐油性接着剤を塗ってリーマボルトを通して締付ける。

(2) エヤギャップバッフル

スリップリング側の固定子鉄心と回転子との間には、絶縁物のエヤギャップバッフルを組立てる。このバッフルはグランドシールで支持する。バッフルと固定子鉄心とのすきまを指定値内におさめる。

(3) ブロワの組立

タービン側にはブロワを組立てる。ブロワにはそれぞれ工場組立時の合マークがしてあるのでまちがいのないように組立てる。つぎにブロワシュ라우드およびシュ라우드ささえを組立用具を使って組立てる。

(4) ブラケット上半部組立

ブラケット上半部は固定子ワクとブラケットの間に約 1 mm のすきをあけて置く、つぎに上下ブラケットの合わせ目にボルトを挿入し軽く締める。グランドシール上半部を絶縁管、絶縁座金、およびボルトでブラケット上半部に軽く締める。

ブラケットは真上 1 個と 45 度のところ 2 個および両端 2 個計 5 個のボルトで締めるが、グランドシールのボルトとブラケットのボルトはブラケットが固定子ワクにつくまで交互に締めていく、ブラケットの内部合わせ面のボルトを締める。つぎに外部合わせ面のボルトを締め、最後にブラケットの残りのボルトを全部締める。

シールリングが自由に動くかどうか、プラグをはずして調べる。調べたらプラグはワイヤで回り止めする。つぎに軸受上半部、油止環などを組立てる。

(5) 軸電流絶縁の検査

軸受の下側の絶縁リング、軸受上部の絶縁座金、グランドシールとブラケット、および油止環とブラケットの間で軸電流を防止するため絶縁物を挿入し、絶縁ボルトを取付けてある。

組立後タービンのカップリングが連結されない前に、

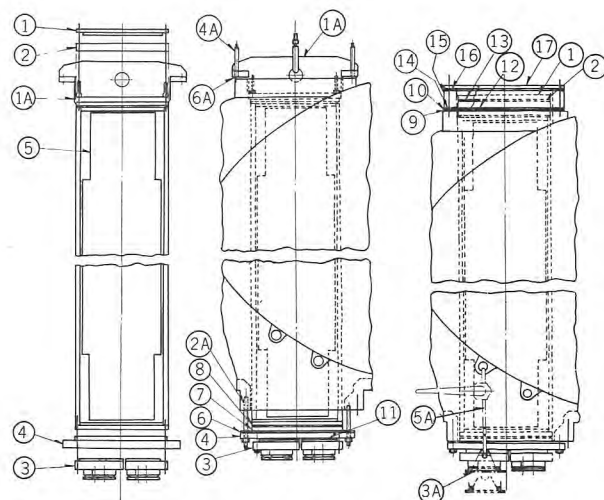


図 2.8 ガス冷却器組立要領

Fig. 2.8 Assembling of gas cooler.

油止めを軸に接触させて 500 ボルトメガーで固定子ワクと軸との間の絶縁抵抗を測定し、最低 1 メグ以上あるか検査する。

2.7 ガス冷却器の組立

ガス冷却器は左右対称に 2 組ある。

冷却器にはネオプレーンパッキングを取付け、固定子ワクとのすきまをなくしてガスの短絡を防止する。

冷却水出入口側の水室は固定子ワクにガスケットを介してボルト締めされ、水返側は温度の変化に対して膨張収縮自在なるようにダイヤフラムを介して気密に締付けられる。その外側は上部スペーサおよびカバーで気密にされ、ガス弁で機内および外気に通じている。

冷却器は工場で使用水圧の 1.5 倍の水圧試験を行ない、組立試験後合マークを打ち、分解して発送される。

荷解後フィン部のジンアイを掃除し、組立用具を使って挿入する。組立要領はつぎのとおりである。(図 2.8 参照)

(1) ガス冷却器上部の水返側水室フタ ① と水室 ② をはずす。

(2) ガス冷却器上部につり揚用具 ①A をつける。

(3) ガス冷却器下部の水入口側水室フタ ③ と水室 ④ をはずす。

(4) 絶縁板 ⑤ がタービン側になるようにする。

(5) 固定子ワクの下部に 4 本のボルト ②A をつける。

(6) 水室 ④ にガスケット ⑥⑦ をはりつける。

(7) 水室 ④ をボルト ②A でささえる。

(8) 固定子ワクのガスケット面とボルト間に敷金 ⑥A を置きつり揚用具 ①A が固定子ワクに触れるまで降ろす。

- (9) 管板(水入口側)⑧に水室④をつける。
- (10) ジャッキボルト④Aでガス冷却器を持上げる。
- (11) 固定子ワクに水室④を仮締めする。
- (12) ガス冷却器上部のつり揚用具①Aをはずす。
- (13) ダイアフラムのスパンを冷却器下部で調整しガasket⑨, ダイアフラム⑩を組立てる。
- (14) ボルト②Aを締付ボルトに取換えて水室④を固定子ワクに本締めする。
- (15) 固定子ワクの下部にジャッキ⑤Aをつける。
- (16) 水室フタ③にガスケット⑪をはりつける。
- (17) つり手③Aとハンドホイスト⑤Aを用いて水室フタ③を所定の位置に持上げ, ボルト締めし③A, ⑤Aをはずす。
- (18) 上部にガスケット⑫と水室②を組立てる。
- (19) ガスケット⑬と水室フタ①を組立てる。
- (20) ガス冷却器の上部にガスケット⑭, スペーサ⑮, ガスケット⑯, カバー⑰を組立てる。

2.8 センターリング

カップリングは固定継手を用いるが, 可とう継手より直結がやりやすく小形である。

センターリングはカップリングの平行度(面)および同心度(円)とを測定して, とともに 0.02 mm 以内になるように発電機を移動して調整する。調整は, すえ付時は台

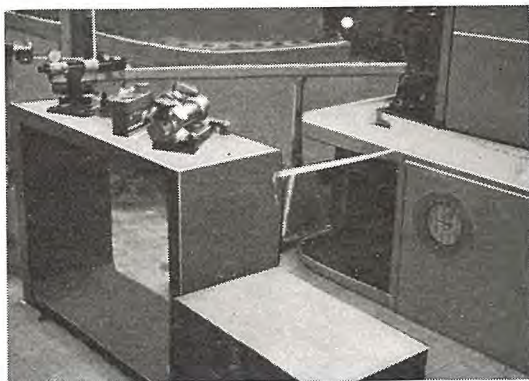


図 2.9 アライメントテレスコープおよびターゲット配置

Fig. 2.9 Alignment telescope and target arrangement.

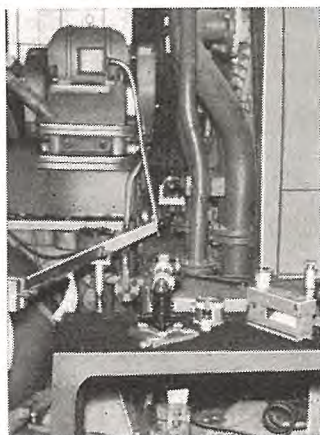


図 2.9 アライメントテレスコープおよびターゲット配置

Fig. 2.9 Alignment telescope and target arrangement.

板のジャッキボルトで行ない, 台板をグラウンドした後は台板と固定子ワク間の調整敷金で行なう。

低圧タービンと発電機との軸頸径および油隙が異なるときは, 各単独で自由な状態で運転すると油膜も異なるので, 運転状態で軸心が一致するように考慮して直結する。

また低圧タービン車軸と発電機とのセンターハイトは冷間時と運転中とは, 種々な要因で変わる。このミスアライメントがはなはだしくなると軸に曲げモーメントとせん断応力がかかり, またオイルウィップや振動の発生原因となるから, 通常の運転状態で軸心が一致するようにすえ付けることが必要であると同時にミスアライメントをできるだけ少なくするような運転をなすべきである。

大形タービン発電機の運転中のセンターハイトの変化を実測した一例を示す。

(1) 測定方法

オブティカル・テレスコープで低圧タービン後部と発電機前部との運転中の変位を計測し, 同時にエレベーションの変位の要因と思われるタービン低圧の真空度, 排気温度, 軸受温度, 発電機の低ガス温度を計測した。軸受の高さは直接計測しにくいので, タービンは軸受キャップ, 発電機はブラケット合わせ目の締付ボルトにターゲット(標的)を取付けた。オブティカル・テレスコープはタービン床面に定盤を置き, その上に配置した。

(2) 測定結果

発電機のベアリングハイトは, 運転方式によっても異なるが一例を採れば図 2.10 および図 2.11 のように変化する。

図中 A, B, C, …… は運転の条件を示し両図とも符号を合わせてある。図 2.10 および図 2.11 に記入した運転条件の真空度, 温度などは試験のたびに多少異なるが大略値を記入した。またベアリングハイトも運転方法によって異なり, とくに起動の場合の暖機, 真空上昇および速

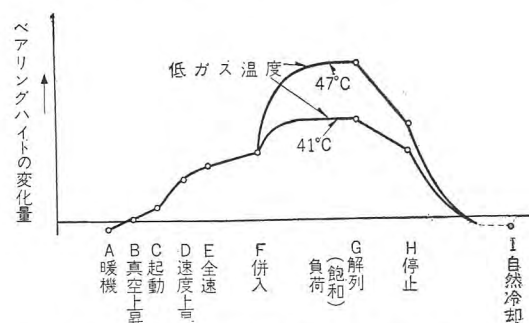


図 2.10 発電機前部軸受ベアリングハイトの変化
Fig. 2.10 Changes in bearing height of generator front bearing.

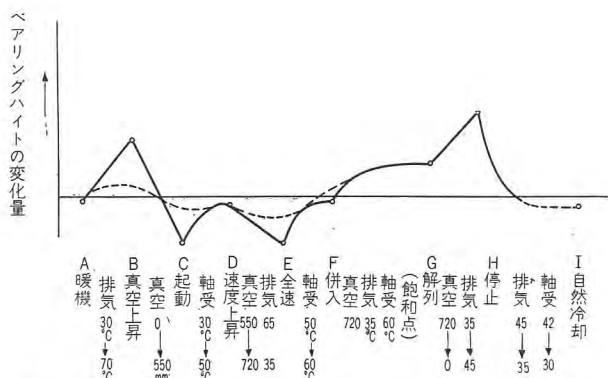


図 2.11 低圧タービン後部軸受ベアリングハイトの変化
Fig. 2.11 Changes in bearing height of low pressure turbine rear bearing.

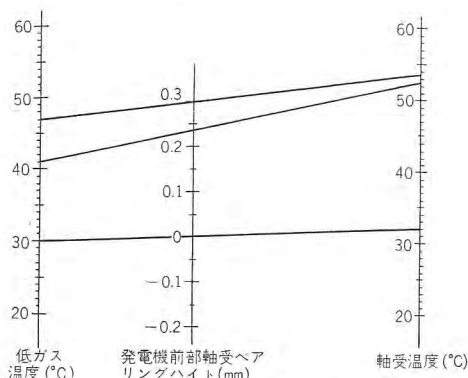


図 2.12 タービン発電機の運転中のベアリングハイトの変化
Fig. 2.12 Changes in height of bearing during the operation of turbine generator.

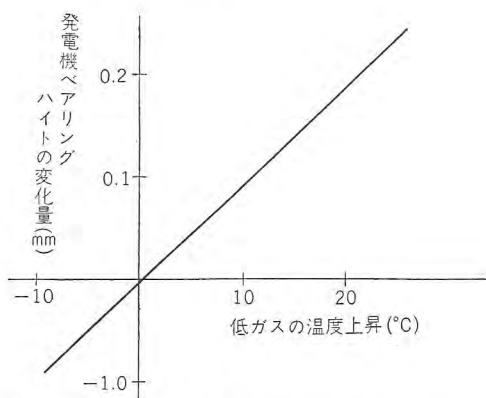


図 2.13 発電機の低ガス温度とベアリングハイトとの関係
Fig. 2.13 Relation between low gas temperature and bearing height of generator.

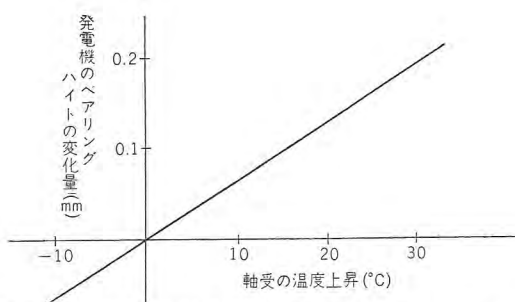


図 2.14 発電機の軸受温度とベアリングハイトとの関係
Fig. 2.14 Relation between shaft temperature and bearing height of generator.

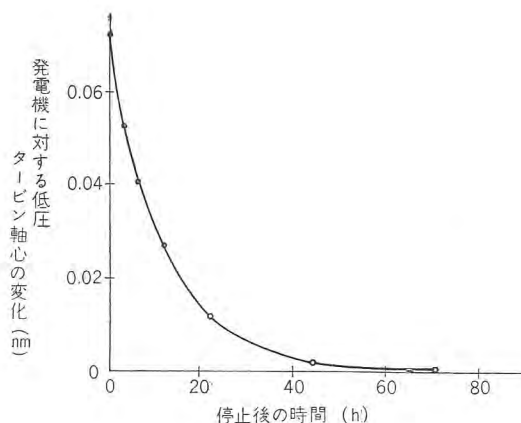


図 2.15 運転停止後自然冷却状態で発電機と低圧タービンの軸心高さの差の変化状況
Fig. 2.15 Changes of shaft center height under natural cooling state after the stop of operations.

度上昇の操作方法によって図 2.11 の点線のように変化が少なくないときもある。

また発電機のベアリングハイトの変化はこの実測によれば図 2.12 のノモグラフのように、低ガス温度と軸受温度によってベアリングハイトが変化した。これを低ガス温度と軸受温度との影響に分けて考えれば、それぞれ図 2.13 および図 2.14 のようになる。

タービンのベアリングハイトの変化については排気温度、軸受温度、および真空度の要因があると思われるが、これらの変化の大きいのは、過渡値であって飽和値でないため運転方法および測定時間によって相当の変化がある。

またこの機器のタービン軸、発電機軸の自然冷却時のベアリングハイトの降下状況の実測値を図 2.15 に示す。これによれば機器の停止後のセンターリングのチェックは各部が室温時まで冷却してから計測し検討すべきものである。

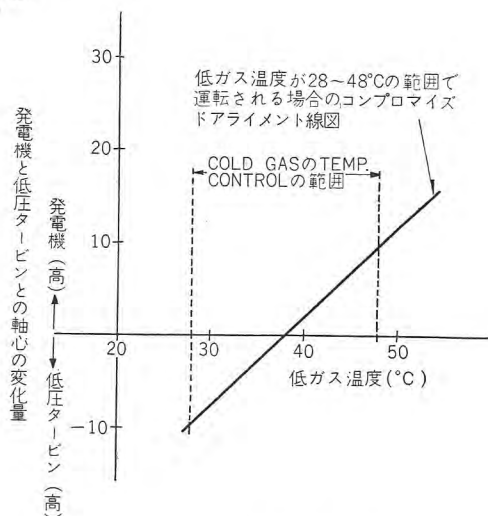


図 2.16 低ガス温度によるベアリングエレベーションの変化
Fig. 2.16 Relation of bearing elevation with low gas temperature.

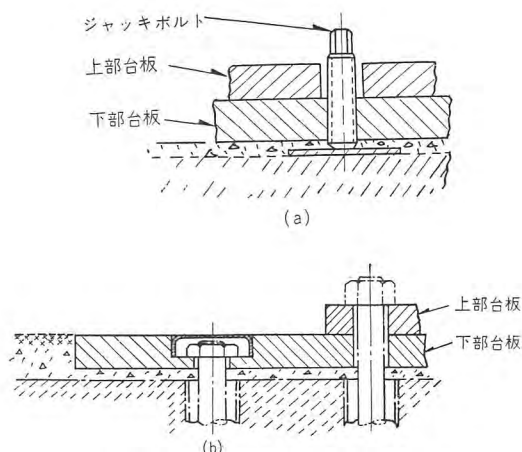


図 2.17 励磁機台板すえ付図
Fig. 2.17 Installation of exciter base.

またタービンのベアリングハイトが冬期または負荷によって変化が少ないと仮定すれば、発電機の低ガス温度は冷却水の種類によって異なるが一般に夏期 48°C、冬期 28°C の範囲に変化すると考えられるので、完全なコンプロマイズドアライメントは図 2.16 のように冷ガス温度が 38°C でエレベーションが 0-0 になるようにして置けばよいことになる。

2.9 励磁機すえ付 および スプリングブラシ保持器の組立

(1) 励磁機のすえ付

励磁機は工場組立試験のまま台板に締付けて発送される。したがって励磁機台板の配置作業はなく、発電機とのセンターリングは台板とともに移動して調整する。

台板と基礎コンクリートとの関係は発電機と同様である。(図 2.17 参照)

(2) センターリング

励磁機は、減速ギヤを介して発電機に直結するものでは、センターリングは、面は 0-0 でよいが円は減速ギヤを 0.10 mm 高くする。これは発電機と減速ギヤとの軸径が異なるので運転状態で軸心が 0-0 となるようにするためである。

(3) 減速ギヤ

減速ギヤのピニオンは中空軸になっていて、発電機に直結されたクイルシャフトが内部を貫通しており、両者はギヤカップリングで接続されている。したがってタービンおよび発電機の軸方向の伸びはクイルシャフトのギヤカップリングで逃げられるようになっている。

またクイルシャフトのギヤカップリングは軸電流防止のため絶縁物がいれてある。

ギヤのスプレイオイルは特別なフィルタを通した油を

新鋭タービン発電機のすえ付・運転・保守・米野・遠藤・鈴木

供給する。

(4) 主励磁機

主励磁機は減速ギヤのホイールに直結される。電機子は片持軸受式で、減速ギヤとの直結は円は 0-0 でよいが、面は 0.15 mm 下広としボルトで締め上げる。

ギャップの不同はその平均値の $\pm 5\%$ 以内とし、ブラシのすり合わせとスプリング圧力の調整を行なう。ブラシはスタガさせる。

(5) 副励磁機

副励磁機は主励磁機軸にオーバハングする。

(6) 回転計用発電機

回転計用発電機は減速ギヤの回転計用ギヤに取付ける。このギヤの反対側はバランシングマシン用発電機が取付けられるようになっている。

(7) スリップリングブラシ保持器の組立

スリップリングのブラシ保持器は追従形を採用している。スリップリングとブラシ保持器のすきは、1.6~2.4 mm とし、ブラシのすり合わせを行ない、スプリング圧力を調整する。

2.10 グラウチング

グラウチングは台板に固定子を乗せ、センターリングが終了してから行なう。普通セメント 1、砂 2 の割合で混合し水をごく少量混ぜて、台板の下全体に十分行きわたるように押込む。

床面および台板は油気や異物が付着していないようにグラウド前に十分に清掃する。

励磁機台板の下は基礎コンクリートとのすきまが少なく押込みにくいので水の量を多くし、かつ乾燥後の収縮を防止するためにアルミニウムパウダを混入する。

グラウチング後 5~7 日間は荷重の変化をさける。運転は 4 週間ぐらい経過後がよい。

2.11 軸電流防止絶縁

発電機の軸電流防止絶縁はつぎの諸点に入れてあるのですえ付組立時に注意する。

- (1) 両軸受と軸受ブラケット間
- (2) ブラケットとグラウンドシール間
- (3) 減速ギヤとクイルシャフト間
- (4) 油止環とブラケット間

組立の際は上記諸点はそれぞれ単独で絶縁を調べるが、全組立完了時タービンと直結する前に、軸と固定子の間を 500 ボルトメガーで測定する。絶縁は 1 メグ以上なければならない。

表 2.1 208,696 kVA 内部冷却タービン発電機すえ付工程

| 作業名 | 期 間 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---------------------|-----|--|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 | 10 | 20 |
| 基礎点検 呂板配置 | | | | | | | | | | |
| 固定子すえ付 | | | | | | | | | | |
| 回転子 | | | | | | | | | | |
| ブロー グランドシール ブラケット取付 | | | | | | | | | | |
| 低圧タービン発電機センターリング | | | | | | | | | | |
| ガス冷却器組立 | | | | | | | | | | |
| リードボックス取付テーピング | | | | | | | | | | |
| 防磁機すえ付 | | | | | | | | | | |
| 発電機-防磁機センターリング | | | | | | | | | | |
| グラウチング | | | | | | | | | | |
| CTおよび離相母線取付 | | | | | | | | | | |
| ブラシ保持器組立 | | | | | | | | | | |
| 温度計圧力計端カバー取付 | | | | | | | | | | |
| ガス冷却器水管配管 | | | | | | | | | | |
| 密封油系統配管 | | | | | | | | | | |
| 潤滑油 " | | | | | | | | | | |
| ガス管配置 | | | | | | | | | | |
| フラッシング (密封油系統) | | | | | | | | | | |
| " (潤滑油系統) | | | | | | | | | | |
| ガス警報盤調整 | | | | | | | | | | |
| 発電機漏洩試験 | | | | | | | | | | |
| 水素封入 | | | | | | | | | | |
| 試運転 | | | | | | | | | | |

運転中絶縁の良否を調べるには、発電機に負荷をかけた状態で接地線を軸に接触させ火花が出るかどうか調べる。火花が出なければ絶縁は良好とみてよい。

一般に故障の原因となる所はボルト穴の切くず、返りなどである。

2.12 ガasketおよびシーリングコンパウンド

発電機は十分気密にするため、ガasketあるいはシーリングコンパウンドを用いて接合部を組立ててある。

グランドシールおよび油止環部分は軸電流防止絶縁を要するので、絶縁抵抗の優秀な特殊ガasketを用いる。このガasketを使用するときは使用前 80~100°C で2~4 時間乾燥してから使用する。

ブラケットおよびリードボックスの接合部はシーリングコンパウンドを使用して密封している。シーリングコンパウンドは経年変化がなく、かつ封入作業の容易な特殊シーリングコンパウンドを使用する。

2.13 すえ付工程

以上すえ付工程順を追ってすえ付方法を説明した。すえ付に要する日数は、作業者の熟練度、設備工具、タービンすえ付とクレーン使用が重なる度合などで異なるが、実績からみた標準のすえ付工程を表 2.1 に示す。作業者は主機および配管とも各 5 名程度とする。

3. ガス制御装置のすえ付

3.1 ガス冷却器の組立および配管

(1) ガス冷却器の組立

ガス冷却器の組立は 2.7 項で述べたとおりである。

(2) 水管の配管

冷却水管は配管途中は溶接接続であるがガス冷却器の

入口ではフレキシブルジョイントになっている。また水管の入口には自動水量調節器が取付けられて、機内ガス温度によって自動的に調節される。

(3) ドレン管

ガス冷却器にはドレン管が取付けられる。ドレン弁は中 2 階の操作しやすい場所に取まとめて配置する。

3.2 ガス制御装置の組立および配管

(1) ガス供給装置

ガス供給装置は通常発電機室の地階にすえ付けられるが、ガスボンベの搬入経路、火災予防上から屋外に設置されることもある。いずれの場合でもボンベ取換えが容易にできるように配置を考慮すべきである。

ガス供給装置は工場で 250 kg/cm² の耐圧試験およびガス漏洩試験を行なって発送される。

(2) ガス乾燥器

通常地階の油制御装置、ガス制御装置の近くに配置し、取扱いが便なるようにすえ付ける。

(3) 漏水警報器

漏水警報器は配管経路をあまり長くしないよう、通常発電機下の中 2 階で取扱いの便利な位置に配置する。

(4) ガス制御盤

制御盤は常時監視できるよう、通路に近く、通常油制御装置の付近に設置する。また発電機のガス入換えの際、操作バルブの近くにあると便利である。盤内の機器は耐爆構造となっている。

(5) ループシールタンクおよびベーパーエクストラクタ

ループシールタンクは軸受油のモドリ管の途中に設置される。ベーパーエクストラクタはタービン床面のすみ、あるいは発電機下の中 2 階に設置される。

(6) ガス管の配管

ガス管は気密溶接して配管される。配管はすべて 1/12 以上のコウ配をつける。配管の最低部にはドレーンプラグをつける。配管はすべて工場で酸洗いをし内部を清掃して、サビ止めして発送される。

現地溶接箇所は清掃し圧縮空気です十分吹かしてから配管してゆく。溶接箇所は石けん水および圧力降下法で漏洩箇所を調べる。漏洩があってもその点をコーキングしてはならない。タガネまたはドリルで削り取って溶接をやり直す。配管は振動を避けるため指定の場所でささえる。

バルブはすべて工場で気密試験をしてある。バルブを

溶接する場合は、バルブのシート面をはずすかまたはバルブを開いておく。

4. 密封油制御装置のすえ付および配管

(1) 密封油制御装置のすえ付

制御装置は共通台床にコンパクトに組立てられ、工場で試験しセットして発送される。

すえ付場所は油冷却器を分解点検できる高さを取った場所とする。すえ付後密封油ポンプ、フロートポンプなどのセンターリングを調べる。

(2) 密封油配管

配管はすべて工場で酸洗いを行ないサビ止めを施して発送される。油管はガス管と同様気密溶接し、空気で漏洩試験を行なう。

配管はすべて 1/24 以上のコウ配をつける。機器との接続部はフランジ接続になっているので指定のガスケットを耐油性接着剤で接合する。配管は振動を避けるため指定の位置でささえる。

配管は漏洩試験後フラッシングを行なう。

5. 発電機潤滑油系統ならびに密封油系統のフラッシング

発電機潤滑油系統はタービン潤滑油系統のフラッシングと同時に同一要領で行なう必要があるが、密封油系統は潤滑油系統のフラッシングを始める 2 週間前に単独に始める。

フラッシングの方法は潤滑油系統、密封油系統でそれぞれ異なるが、考え方はまったく同一であるのでとくに密封油系統のフラッシングだけについて述べる。

5.1 なぜフラッシングは必要か

発電機密封部ならびに密封油装置は工場において十分フラッシングされ完全な状態で組立てられたまま現地に輸送されているが、発電機本体と密封油装置間の連絡配管は現地で行なわれ、配管内部に発錆、溶接スケール、糸くずなどのきょう雑物が侵入することはやむを得ない。

このような状態で密封油装置を運転することはシールリングの焼損、密封油装置の動作不能を起こす原因となるためフラッシングを行なう必要が生ずる。

5.2 フラッシング方法の決定

(1) フラッシングに先だって全系統の検査を行なう。すなわちフラッシングを開始する前にどの程度の手仕事を必要とするかを見出す。手仕事とは異物をワイヤブラ

シを使用して取除いたり圧縮空気で吹き飛ばしたり布などでふきとる作業を意味する。

(2) フラッシング油の充填と循環に先だって油に運ばれるきょう雑物が、密封部あるいは密封油制御装置内に侵入しないよう、またきょう雑物を簡単に取除くことのできるよう、適当な場所にバイパス配管を行なうとともにコシ網を挿入する。

(3) フラッシング油の充填量ならびに性状の決定
充填量は密封油ポンプの能力と絶えず循環させるに十分な量とを考慮して決定する。

油の性状は使用配管に防錆処理を施してあるか、またはタンク配管などの発錆状況、スラッジなどの蓄積状況などより決定する。

新設の密封油制御装置の場合は軸受潤滑油と同一性状の油を使用すれば良い。

(4) フラッシングの順序の決定

すなわち各部を区分してべつべつにフラッシングを行ないフラッシングの効果を上げるようにする。下記の順序で行なうと時間的に短縮されしかも効果的である。

- a. 密封部水素側回路
- b. 密封部空気側回路
- c. 補給油回路

(5) フラッシングの回数

各回のフラッシング油の温度、フラッシング油中のきょう雑物の除去方法、継続時間および測定項目の決定。

この項についてはとくに発電所の運転技術者、製油会社の技術者と協議して決定することが望ましく、経験ある指導者の監督を受けるべきである。

a. 一次フラッシング

(a) 潤滑油と同一性状の再生油使用

(b) フラッシング油の加熱はフラッシング用タンクを作製しスチームヒータで加熱する。油温は最高 80°C、平均 70°C とする。

(c) フラッシング中はペーパーフィルタを使用して、ループシールタンクの油をバイパスさせて油の浄化を行なう。

(d) フラッシングは最初油温が 50°C 以上になったら油の循環をはじめ、約 2 時間連続運転を行なってから、コシ網を点検あるいは取換えてふたたび油の循環を始めるとともに油の加熱を中止して、油温を降下させ常温近いときに配管部をハンマーリングする。

以上の操作を繰り返す。

(e) あらかじめ各部に挿入したコシ網がよごれなくなったら、第一次フラッシングは中止する。フラッシング中はコシ網のきょう雑物は写真撮影などを行ない、比較に便利ようにするとともに、油の資料分析（酸価，界面張力）を行ないフラッシングの進行状況を監視する。

b. 二次フラッシング A

油を加熱しない点だけ一次フラッシングと異なり，他は同一である。

c. 二次フラッシング B

二次フラッシング A が終了した後いったん各部の油を取除き，タンク内その他点検清掃できる部分は毛ばたない布で清掃する。つぎに使用油と同一の油を充填し，加熱せずに各部を循環させる。その他は一次フラッシングと同様に行なう。

d. 新油充填

5.3 フラッシング準備

(1) フラッシング油約 1,200 l.(油の性状は協議の上決定されたものであること)

(2) スチームヒータ容量は約 30 kW 程度のもの 1 個。

(3) 60メッシュより 120 メッシュの各種コシ網を適当量。

(4) 均圧弁 #210, #217 の弁棒は取はずす。

(5) チェックバルブ 224, 225, 237, 238, 267, 268, の弁棒を取はずす。

(6) さらし布約 10 kg.

以上のものを用意する。

5.4 フラッシング工程概要

(1) 1 日目より 3 日間

全系統の点検，予備循環準備，アワ取箱，空気側ドレーンタンク，油ならし箱，ループシールタンクの清掃。

清掃完了後は元どおりとする。配管はとくに必要と思われる箇所だけ点検するとともに，図 5.1 のようにフラッシングのための仮配管を行なう。コシ網は最初 60メッシュを使用する。

以上の作業が完了した後一次フラッシング油を投入する。

(2) 4 日目より 5 日間

予備循環を行ない配管各部の油漏れの有無を確認する。異常のない場合は引続き密封部水素側回路，空気側回路の一次フラッシングを行なう。

(3) 9 日目

一次フラッシング

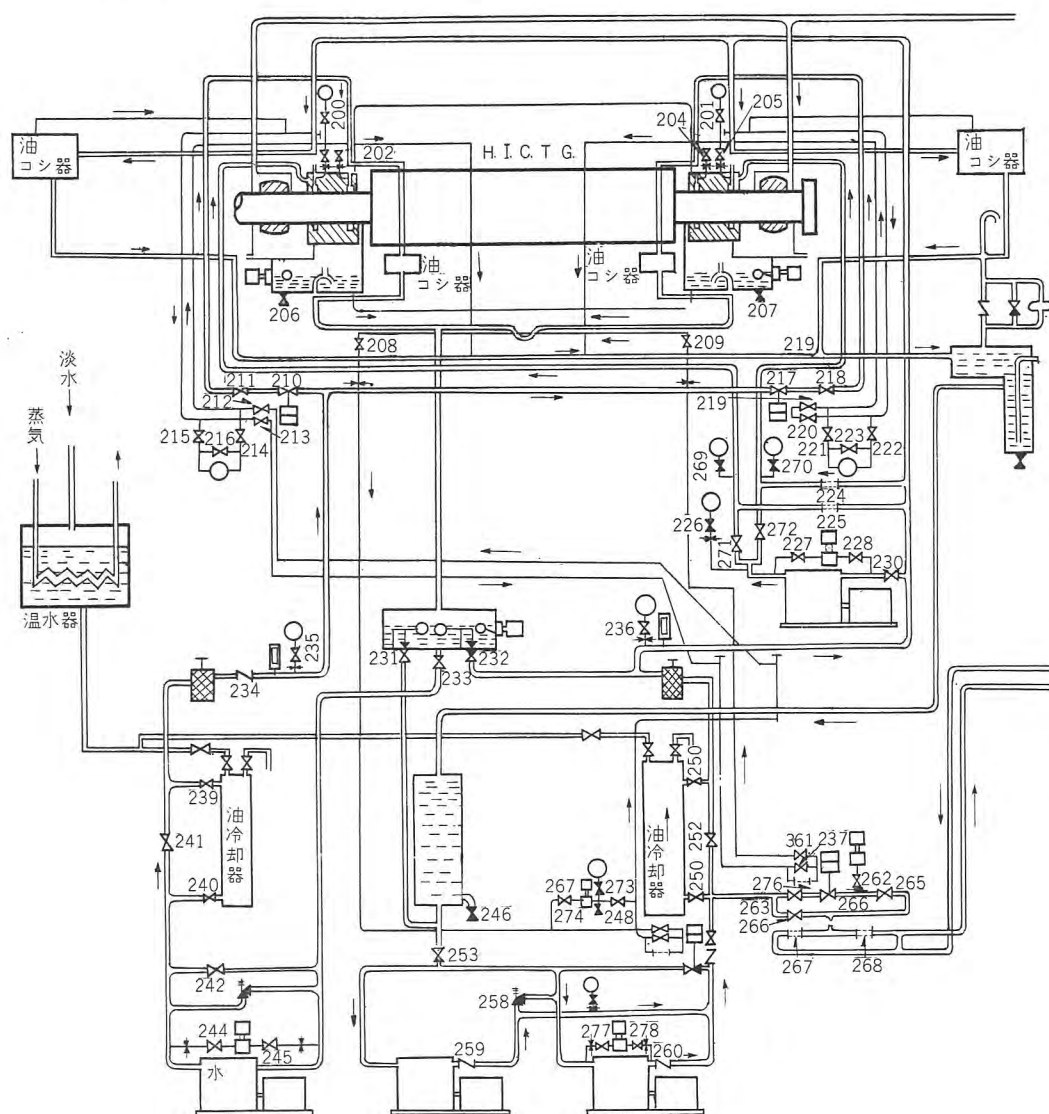


図 5.1 フラッシング時の密封油系統図

Fig. 5.1 Seal oil systems diagram during flashing.

油抜き取り，各部点検清掃，再組立後，未使用フラッシング油を投入する。

（注） コシ網は 80～120 メッシュを使用する。

（4） 10 日目より 2 日間

密封部水素側，密封部空気側の二次フラッシングを行なう。二次フラッシング完了後密封部のフレキシブルパイプを取はずし密封器を正規の配管にもどす。

（5） 12 日目より 2 日間

正常運転時と同一の状態で密封部に通油し，約 40 時間後，ふたたび二次フラッシング油を抜き取る。

以上でフラッシングは完了する。場合によっては 1 日くらい長引くこともありうる。

（6） 14 日目

新密封油を規定量約 600 l 空気側油槽に投入し運転準備完了とする。

（7） 補給油回路はタービン潤滑系統のフラッシング時に行なう。

表 5.1 フラッシングの測定要領

| 測定項目 | 測定方法 | 測定間隔 |
|-------------|----------------|--------|
| 密封油ポンプ出口油圧 | 圧力計 | 30 分 |
| タンク内油温 | 棒状寒暖計 | 30 分 |
| 油冷却器出口油温 | 密封油温度計 | 30 分 |
| 水素側，空気側もど油温 | 棒状寒暖計 | 30 分 |
| 界面張力 | } 資料採取分析室にて行なう | 2 時間 |
| 酸価 | | 約 6 時間 |
| コシ網の写真記録 | | |

5.5 フラッシング中の測定項目ならびに要領

いままで各項に述べた計測を要する項目は表 5.1 に記載する。

6. 内部冷却機の乾燥運転方法

内部冷却発電機は一般に機内が空気の場合には負荷はとれないが，定格速度において定格端子電圧を発生する界磁電流を流しての運転は可能である。

発電機コイルの乾燥運転方法としては一般に下記の三つの方法が推奨される。

（1） 機内が水素ガスの場合で定格速度において行なう方法。

（2） 機内が空気で定格速度において行なう方法。

（3） 静止時に機内が空気の場合の方法。

（1）の方法を採用するとすればタービンが完全に整備されていること，冷却水系統が完全であること，水素ガス制御系統，密封油制御系統がすべて完全であることが第 1 条件である。

（2）の方法も（1）の方法とほぼ同一条件が完備していることが先決問題である。したがって，もし上記の条件

新鋭タービン発電機のすえ付・運転・保守・米野・遠藤・鈴木

が完備しない前に乾燥運転を行なう必要が発生すれば（3）の方法を採用する以外はない。

（1），（2）の方法を詳しく述べる。

予備励磁機を界磁電流用電源として使用する。この場合まず固定子電流が定格値の 40% になるように界磁電流を調整する。コイル温度は固定子，回転子とも最高 80℃ に制限する。温度記録は必ず 15 分置きにとる。温度計測は回転子は回転子の抵抗値より算出する。固定子温度は固定子コイル間に埋込んだ素子を用いる温度記録計と，固定子コイル出口ガス温度より決定しなければならない。またガス冷却器出口ガス温度は 48℃ に調整するようにガス冷却水を調整する。この場合十分な冷却水を循環させて冷却器出口ガス温度を 48℃ に調整すること。もし前に決定した 40% 電流では各コイルが 80℃ に達しないときは回転子コイル，あるいは固定子コイルのいずれかいちばん高い点が 80℃ に達するまで界磁電流を徐々に増加する。なお機内が水素ガスの場合は機内の湿気はガス乾燥器により除去し，空気の場合は発電機両端のマノホールカバーを取はずし，一方から新しい空気を吸込み他方のマノホールから湿気を含んだ空気を排除するようにする。

乾燥運転は絶縁抵抗が一定値かあるいはまた徐々に上昇の傾向に達するまで継続する必要がある。

乾燥運転が終了したかどうかは，つぎの式により判定する。

固定子は 75℃ における絶縁抵抗（1 分値）

$$\frac{\text{定格電圧}}{\text{定格 kVA}} \times \frac{100}{100} \text{ メグオーム以上} + 1,000$$

回転子は 25℃ で 10 メグオーム以上である。

その他絶縁抵抗の時間的変化，いわゆる吸収特性を測定し，10分値と 1 分値の比，すなわち成極指数を求めれば 2.5 の値で一定しているか確認する。

以上の場合はタービンは無負荷運転であるから低圧部排気温度の過熱に注意するとともに乾燥運転時のタービン運転法に関してはタービン製作者の指示を受ける必要がある。もしタービンの無負荷運転に対していろいろと困難な制限がある場合は発電機は静止時の乾燥を行なわなければならない。つぎにこの方法を説明する。

漏洩試験終了後水素封入までの間，密封油処理装置を連続運転し，機内に ACC 用圧縮機の乾燥空気をさらに試験用乾燥器で十分乾燥してリムーバブルパイプ取付口の片方から弁 10 を通して送入する（図 6.1 参照）。この場

合弁 66, 64, 9, 7, 8, 10, 11, 12, 22, 23, 24, は全閉とし弁 1, 2, 3, 5, 14, 25, 26, 27, 15, 16, 17, 18, 19, は全開としておく。機内の空気圧が約 1 kg/cm^2 に達したならば弁 8 を約 1 回転開き機内より空気を少量放出する。そして機内の圧力をつねに 1 kg/cm^2 に保つように送入空気量を調整する。機内の湿度は弁 23 をわずかに開き乾湿球湿度計にてときどき計測する。湿度は 50% 以下であること。

以上の作業を継続すれば発電機コイルの絶縁抵抗は上昇する。

7. 内部冷却機の保守ならびに運転

7.1 点検

(1) 一般的点検

内部冷却機は完全な密閉構造なので、固定子ならびに回転子巻線を清掃するなどの作業は空気冷却機に比してきわめて少ない。しかしながら点検すべき項目を計画しこれを予定表に組み事故を小さな状態で発見し、大事故に発展させないよう心がけ、すべての問題の発生を未然に防止するよう心がけることが大切である。運転 1 年後の点検時は機内の水素ガスを放出して回転子を抜き出し発電機全体を完全に点検する必要がある。以下点検の順

序を述べる。

a. ベアリングブラケットを取はずして固定子コイル端部、ファイガープレートおよび鉄心などの一部に過熱の形跡があるか否か点検する。そのほか短絡事故などによってコイルが変形しているか、ウェッジのゆるみの有無、コイルささえのゆるみの有無、固定子鉄心間に金属性の異物の存在の有無などをとくに注意して点検する。

b. 回転子コイルの点検はまず DC 500 V あるいは、1,000 V のメガー、あるいはメガオームブリッジを使用して、絶縁抵抗測定を連続 10 分間行ない成極指数を求める。

c. 固定子コイルについても b 項と同一の測定を行なう。ただし測定電圧は直流 10 kV とする。

d. 回転子コイルについては、回転子表面の部分的過熱箇所の有無調査および回転子と保持環の間の接触面の過熱の有無を調査する。もし保持環と回転子本体の接触面の過熱の痕跡を発見したならば、ただちに専門技術者と打合わせを行ないさらに十分調査を行ない、今後引続いて使用可能かどうか決定しなければならない。そのほかスリップリング、リード、ブラシ保持器、ブラシなどを十分清掃するとともに十分強固な組立状態にあるか確認する。

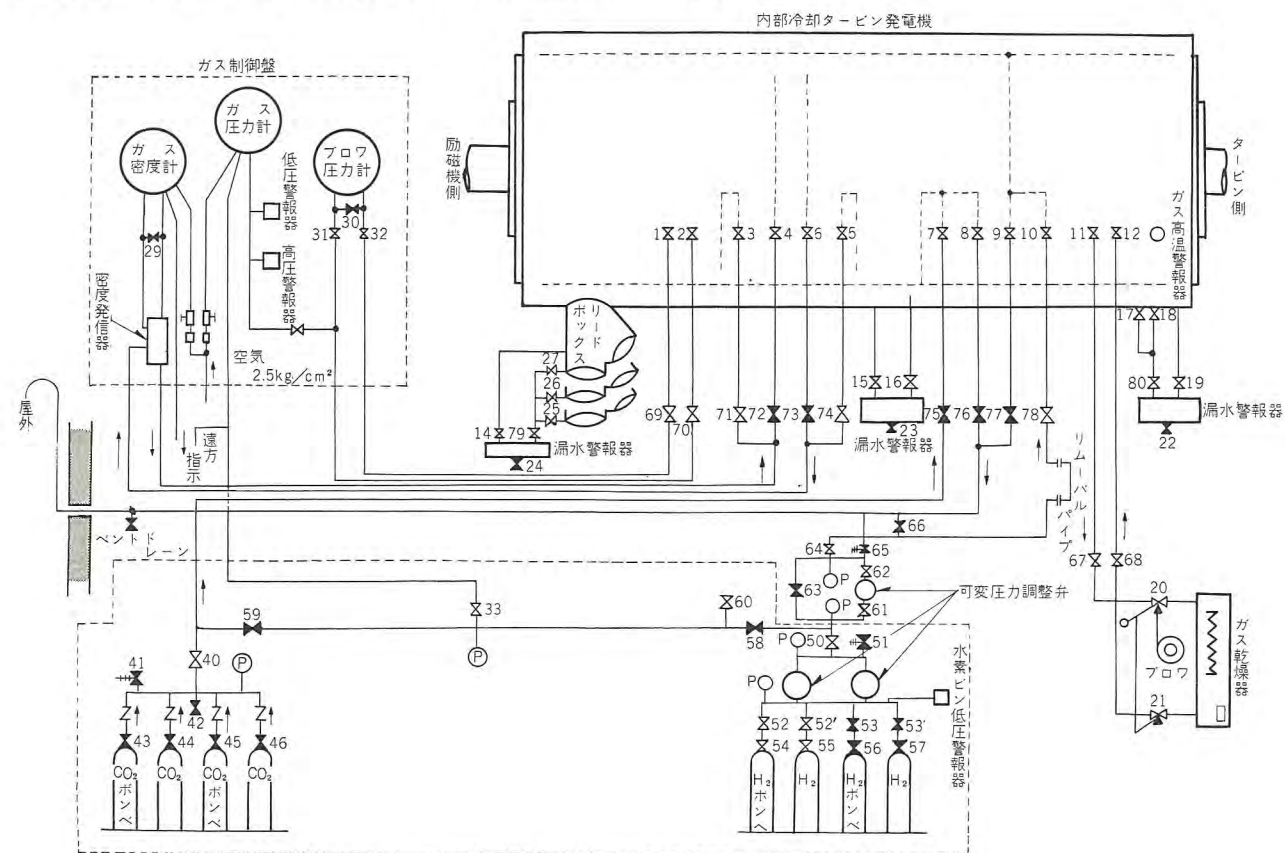


図 6.1 ガス系統図

Fig. 6.1 Gas system diagram.

e. 固定子コイルについても同様ウェッジのゆるみ、鉄心部のゆるみ、過熱の有無を調査する。

以上の試験の結果および保守記録は十分整理し将来の参考とするため大切に保存しなければならない。

なおその他の絶縁保守に関しては A. I. E. E #56 に準拠するが良い。

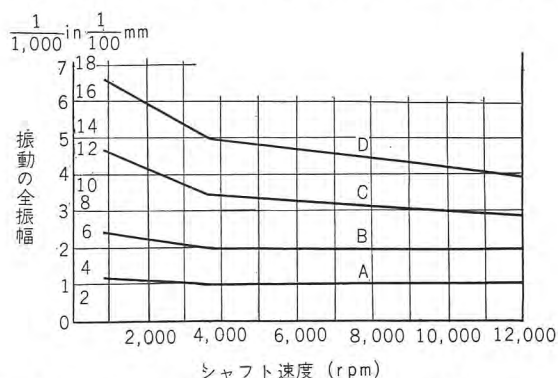
f. 軸受に対しても十分注意して点検しなければならない。もしバビット中に異物を発見したならば全潤滑油系統をフラッシングするとともに油を清浄する。

g. 全ガス制御装置および警報装置の動作試験は各点検ごとに試験を行わなければならない。なお点検の期間については運転中の事故の回数、タービンの修理などの要素を加味して決定しなければならないが最初の点検後は 2~3 年間は大がかりな点検は必要ない。

(2) 回転子の振動

回転部分のバランスが完全にとられてないタービン発電機は、振動のない円滑な運転を行なうことはできない。回転子の不平衡の原因として考えられる点を列記すると下記のとおりである。

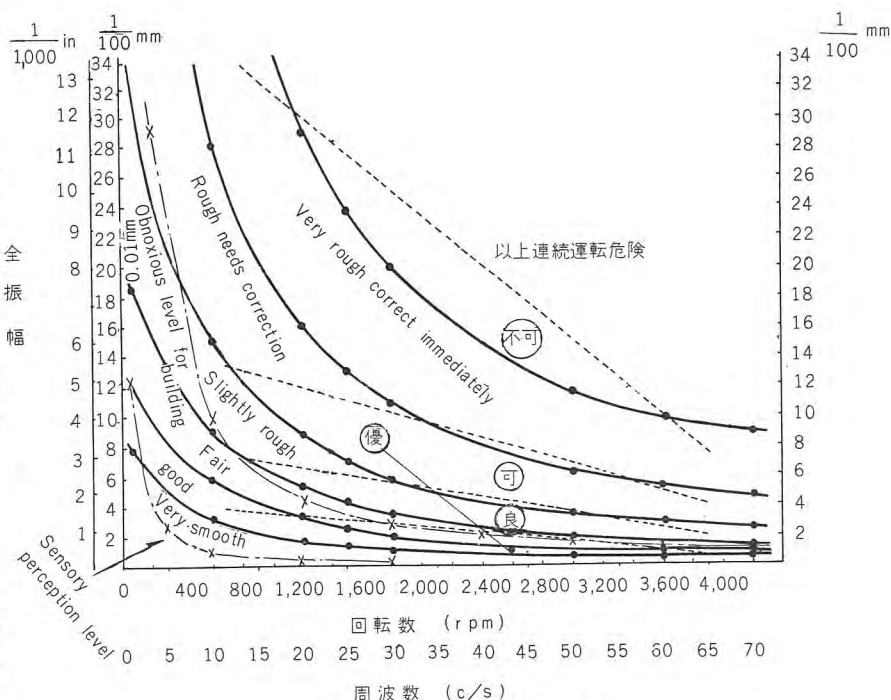
- (a) 回転子ならびに軸受の軸頸の加工のわずかな不正確 (偏心)
- (b) 回転子材料の不均一
- (c) 工作上の問題によるものすなわち回転子コイルを



注. ジャーナルにおいてではなく軸受中心線より 24 in 以内で測定。
これらの値はベアリングハウジングやベドスタルのような静止部分において取られた振動の値に相当するものと考えてはならない。
D: 激しい振動 (短時間の運転に対してだけ許容しうるもの)。
C: 不完全 (たいていの場合運転は安全に行なわれるが早い機会に修正が望ましい)
B: 正常 (受入れられるべきバランス状態)
A: 良好

図 7.1 シャフトの上下振動許容表

Fig. 7.1 Vertical vibration of shaft.



T. C Rathbarne 実線 鎮野山氏. 点線

図 7.2 軸受台の振動許容表

Fig. 7.2 Tolerance chart of pedestal vibration.

完全に対称になるように組立てることが不可能なため振動の原因となるもの。

タービン発電機の円滑な運転には回転子のアンバランスを完全に除去することがもっとも重要なことは明白である。アンバランスの条件によっては発電機ならびにタービン全体を振動させるような振動応力が発生する。この応力は各部の安全性ならびに寿命に危険をもたらす性質のものである。

バランスの方法には 2 種あり「静的バランス」「動的バランス」と呼ばれるものである。回転体の重心が回転軸と一致している場合はその回転体の静的バランスは良好であるといわれるが静的バランスが良好であっても動的バランスが良好であるとはいわれない。タービン発電機の動的不平衡は高速度においてカップルとして知られている力を発生し、その力は回転子の突端を重心の回りに回転させようとする性質のものである。このような力は軸受に大きな反作用力を生ぜしめ振動の原因となる。「動的バランス」の重要性は回転体の回転速度および長さにしたがってますます増大するものである。

不平衡のため発生する好ましくない振動の原因として下記のいずれかの問題が考えられる。

- a. 軸ならびに継手の面の偏心
- b. 心出し不良
- c. 摩擦に起因する局部的加熱 (たとえば油止板と軸

との摩擦により軸が局部的に加熱され振動の原因となる場合が多い)。

d. 回転子の通風の不均一に起因する熱的不平衡，すなわち通風状態の不均一のため回転子が局部的に過熱されてワン曲して振動を発生する場合がある。

e. 機械的バランスの限界まで平衡がとれた後，残留アンバランスが基礎と共振し発電機の振動の原因となる(基礎不良)。

以上の点より一般に次の事項が推奨される。

(a) 使用者はもっとも適切な振動計により軸受部，発電機の固定子ワク部数箇所の垂直，水平，軸方向の3方向の振幅を計測し，前回の計測値と比較し変化の有無を調査する。図 7.1, 7.2 は当社で現在採用されている振動許容表である。

(b) とくにすえ付直後の試運転時には(a)項において述べた各部の振動を各回転数，各負荷(1/4, 2/4, 3/4, 4/4負荷)時計測し記録を保存し保守の参考資料とする。もし営業運転中にアンバランスが発生した場合はただちに専門技術者と協議し，その対策を立案する。とくに現地におけるバランスは相当の熟練した技術者を必要とするのと，特殊なバランシングマシンを必要とするので独断は禁物である。

(3) 固定子スルーボルト

DC 500 V メガーを用いて固定子スルーボルトの絶縁抵抗を定期的に測定する。測定の結果 100 メグオーム以上ならば絶縁の状態は良好であると考えてよい。もし外面にジンアイなどがたまっていたり，締付ボルト用の絶縁ワッシャなどにクラックがはいっておれば絶縁抵抗はこの値以下である。スルーボルトの絶縁が破壊されたことによって発生する大事故に備えてスルーボルトの絶縁を比較的高い値に保持することが望ましいのであるが，表 7.1 は絶縁抵抗によるスルーボルトの状態を判断する参考となる。

(4) 固定子コイル温度検出素子

運転中の固定子コイルの温度を測定するために特殊合金線で作製された埋込式温度検出素子が用いられている。挿入全数は 12 個であるが実際運転に使用しているものは 6 個であり，したがって残り 6 個は予備として万一使

表 7.1 絶縁抵抗によるスルーボルトの状態

| メグオーム | 絶 縁 の 状 態 |
|--------|---|
| 100 以上 | 正 常 |
| 100~10 | ジンアイなどが蓄積していると考えられる。比較的症状は軽く処置対策は都合のよいときまで延期してもよいことを示す。 |
| 10~1 | 絶縁の状態としては好ましくないので，絶縁抵抗の回復をすみやかに行なうよう，次回点検時計画すること。 |
| 1 以下 | 明らかに危険な状態であるからただちに復旧を行なわなければならない。異常な運転はさけるべきである。 |

用素子が断線した場合に交換測定が可能のように考慮している。

温度検出素子ならびに温度指示装置については定期的に絶縁抵抗を計測するとともに，異常があると推定される場合は素子単独で AC 1,000 V を 1 分間加圧して絶縁の診断を行なうことを推奨する。

一般に温度検出素子の絶縁抵抗値が直流 500 V で計測した場合 25°C 換算値で 5 MΩ 以上，温度指示装置配線を含めて 25°C 換算値で 1 MΩ 以上の場合は正常と考えて良い。

7.2 保 守

(1) スリップリングならびにブラシの保守

タービン発電機のスリップリングとブラシの保守が完全に行なわれている場合は発電機は円滑な運転を継続することができ，保守が適当でない場合はブラシとスリップリングの火花発生，スリップリングのフラッシュオーバーの可能性が増加し，大事故を起す場合も考えられるので定期的な保守を計画することが好ましい。

一般につぎの手順による保守計画の立案を推奨する。

a. 毎日行なうべき保守

事故は突然発生する場合が多いのでとくにスリップリングならびにブラシは毎日一定時刻にハウジング点検扉を開き，監視を行なうべきである。この場合次の手順にしたがって行なうが良い。

(a) ブラシ押圧の状態の確認

ブラシ押圧の適正值は大略 1.3~1.5 kg が良い。とくに押圧の不同の場合はブラシの分担電流が不均一となり，ブラシビグテールの焼損あるいは過熱が発生するのでこのような事故を防止するためにもブラシ保持器に記入してある適正押圧範囲にスプリングが調整されているか確認すること。

(b) ブラシの火花発生の有無確認

スリップリングとブラシ間に火花が認められた場合はつぎに述べる 1 週間ごとに行なうべき保守の手順にしたがいブラシを清掃する必要がある。

b. 1 週間ごとに行なうべき保守

1 週間に 1 回ブラシおよびスリップリング回りをつぎの方法で完全に点検しなければならない。

(a) 前項において述べた毎日行なうべき保守の作業についてはもちろん行なうこと。

(b) スリップリングの絶縁物，ブラシ保持器の周囲のジンアイを乾燥した圧縮空気を吹付けて除去する。ある程度以上のジンアイが積れば絶縁破壊を引き起こしたり，ブラシをブラシ箱内に固着させ火花の発生を誘発するの

で注意が必要である。

(c) 各ブラシのピグテールを持ち上げ、ブラシを保持器内で上下に動かして見る。このようにすれば保持器にジンアイがついているかまたブラシがブラシ保持器内で自由に動きうるか点検ができる。

もしブラシが自由に動く状態でなければブラシとブラシ保持器の間に薄いフィッシュペーパー1枚を入れその間げきを点検する必要がある。もっとも適当な間げきは0.1 mm から 0.15 mm である。

このようにして調べた結果欠陥があることが判明すれば新しい保持器と取換える手配を行なうべきである。

(d) ブラシの摩耗の程度を点検する。

ブラシが摩耗してブラシの押え板がブラシ保持器箱の上端と同一高さに達した場合ブラシを取換えること。とくに発電機運転中取換える場合は最大3個は一度に取換えても支障はない。4個以上を一度に交換することは危険である。

(e) ブラシ上部に鉛筆の先端を軽く当てスリップリングが真円でブラシは円滑に動作しているか確認する。

円滑に運転されていない場合はブラシとスリップリングの接触が瞬間的に離れてその結果スリップリングの表面が過熱する結果となる。一般にスリップリングが黒ずんだり、削られたような様相を呈している場合はブラシの状態が不満足な証拠である。

したがって次回の停止時には十分点検しスリップリングを真円にするための補修作業を計画しなければならない。

c. 停止時の保守

停止時にはブラシおよびスリップリングを完全に点検するとともに、とくにつぎに述べる作業を実施しなければならない。

(a) スリップリングならびにブラシ回りに油あるいはジンアイが付着している場合は溶剤で洗浄した後完全にふき取り十分乾燥する。さらにスリップリングならびに回転子コイルの絶縁抵抗を測定するとともに絶縁抵抗が低い場合はスリップリングの絶縁および回転子コイルを十分乾燥し絶縁抵抗の低い箇所を探す必要がある。

(b) スリップリングに過熱の跡が存在したり損傷した跡があれば、ただちに補修を実施しなければならない。

とくに週1回の点検の際にブラシの動作が円滑でないことが判明している場合は、スリップリングの偏心を修正し真円にするための作業を行なわなければならない。

(c) ブラシ保持器に不適當なものがある場合は良品と

交換する。

(d) 全ブラシ保持器からブラシを取はずし、保持器の内面をきれいに掃除するとともに取換えなければならないブラシは新品と取換える。とくに半数以上のブラシを交換する場合はスリップリングとブラシのすり合わせを完全に行なう必要がある。

(e) ブラシ保持器の配列の確認

ブラシ保持器は正しく図面指定どおり取付け、完全な状態に締付けてあるか、また負荷時の回転子軸の膨張に対してもブラシとスリップリングの接触は完全な状態を保てるか否かを確認するとともにブラシ保持器とスリップリング表面との間げきが1.6~2.4 mm の範囲に取付けられているか確かめる必要がある。

(2) 発電機停止中の保守

機内に水素ガスを充填したまま発電機を停止する場合に機内水素ガス中の湿気が露点に達し、凝結して水にならないよう注意するとともに密封油系統はもちろん正常運転状態を確保し、機内水素ガス純度を運転状態と同一の状態を保つように注意する。

a. 水素ガス中の湿気の凝結

水素ガスの相対湿度を制御することにより湿気の凝結は防止できるが、停止中の機内水素ガスの相対湿度は発電機ワクの周囲の温度によって決定される。

すなわち発電機停止時フレーム周囲温度が最初の停止直後の温度と比較して8.34°C以上変化した場合は機内の水素ガスの相対湿度を測定するとともに相対湿度を50%以下に維持するように機内水素の入れ換えを行なう必要がある。

相対湿度の測定は図7.3に示すように簡単な乾湿球による湿度測定装置を使用し、漏水警報器より少量の水素を放出しつつ測定するのである。

周囲温度が15°C以上の場合は乾球と湿球の温度差を8.34°C以上に、15°C以下の場合は5.55°Cに保つよう

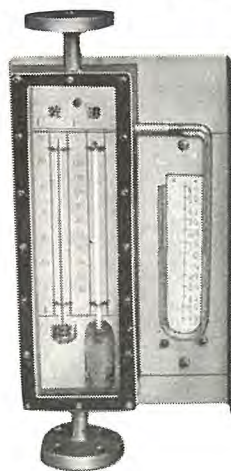


図 7.3 乾湿球による湿度測定装置

Fig. 7.3 Humidity measurement device.

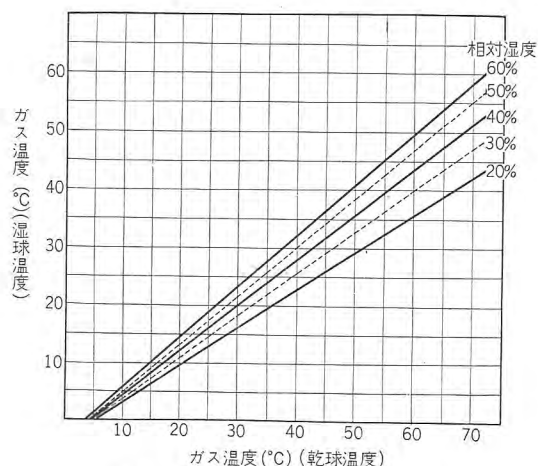


図 7.4 乾湿球による相対湿度図

Fig. 7.4 Relative humidity by using dry and humid bulb.

に考慮しなければならない。

図 7.4 は乾湿球による相対湿度図である。

発電機停止期間が 1 日以上と決定された場合は機内の水素ガス圧を $0.28 \sim 0.42 \text{ kg/cm}^2$ 程度に下げ湿度の凝結を防止するとともに主油槽およびループシールタンクのベーパーエキストラクタの運転を継続し、潤滑油系統に水素ガスが充満することのないように注意しなければならない。

b. 水素関係故障警報装置の動作確認

発電機停止時にはかならず故障警報装置の動作が正常であるか否か各警報素子を動作させて見る必要がある。

7.3 運 転

内部冷却機の運転は、発電機の容量曲線にしたがって行なわなければならないが、ガス出口温度が運転に役だつ。

8. 密封油処理装置の運転ならびに保守

8.1 密封油系統を最初に運転する場合

発電機を起動する前に密封油系統は運転可能な状態に

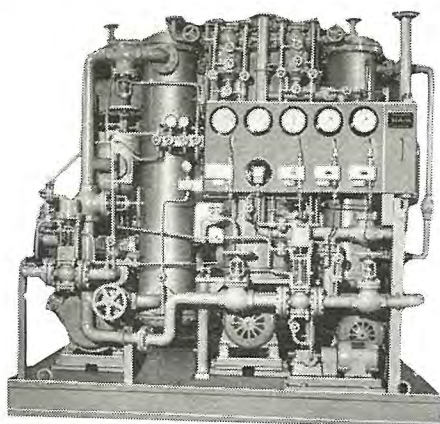


図 8.1 複流形密封油制御装置

Fig. 8.1 Double flow type seal oil control device.

整備しなければならない。初めて密封油装置を運転する場合はとくにアワ取箱、空気側ドレンタンク、水素側油ならし箱の油面に注意するとともに、正規油面を保持するためにさらにタービン油を追加補給する必要があるか調査する必要がある。以下密封油装置の調整順序について述べる。

(1) 密封油制御装置の外形を図 8.1, 系統図を図 8.2 に示す。系統の設定にあたってとくに注意しなければならない点は、各系統ならびに部品は十分清掃されてゴミなどがない状態であることである。

(2) レリーフ弁 #258 を低圧力で作動するようにほとんど調整ネジがはずれるまでゆるめる。これはポンプを誤って起動した場合でも高い油圧によって圧力計などが破損しないようにするためである。

(3) 差圧調整弁 #256 を油圧ならびにガス圧の最少差圧で開くように差圧設定用スプリングをゆるめる。

(4) あらかじめ空気側を運転する間タービンバックアップから切離すため弁 #263, #265 を全閉とする。

(5) 空気側密封油ポンプ(交流)を起動する。

(6) アワ取箱よりのもどり油は水素側油ならし箱に流れる。水素側油ならし箱の正規油面はフロート弁 #231, #232 によって保持される。もし油面が低くなればフロート弁 #232 が作動して空気側密封油系統より油ならし箱へあらたに油が補給される。なお緊急の場合フロート弁 #231, #232 の開閉を手動で行なうことができるように上部、下部手動調整弁が取付けてある。

(7) #254 弁を全閉し差圧調整弁 #256 を全閉するまでスプリングを締める。

(8) レリーフ弁 #258 の調整ネジを徐々に締め、空気側密封油ポンプの出口油圧が 7 kg/cm^2 になるように設定する。

(9) (8) 項完了後弁 #254 を全開とする。

(10) 弁 #238 は差圧調整弁 #256 のハンチング防止のため絞って置く。大体全閉状態より約 1 回転半開いた状態が適当である。

(11) 差圧調整弁 #256 を密封器部において、機内ガス圧より約 1.05 kg/cm^2 高く設定する。

(12) 水素側密封油ポンプ用レリーフ弁 #243 の調整ネジをゆるめてできるだけ低い圧力で作動するように調整する。

(13) 水素側密封油ポンプを起動する。

(14) 弁 #211, #218, #242 を全閉としてレリーフ弁 #243 の調整用ネジを調整して、水素側密封油ポンプ出口

油が 7 kg/cm^2 となるように設定する。

(15) 弁 #211, #218, #242 を開く。

(16) 均圧弁 #210, #217 は水素側密封部油圧を空気側密封部油圧と等しく保つための役割をする。

(17) 弁 #263, #265 を全開する。

(18) 水素側密封油ポンプ(交流)ならびに空気側密封油ポンプ(交流)を停止する。

(19) 補給調整弁 #264 は密封器部において、機内ガス圧よりつねに 0.56 kg/cm^2 に低下したとき作動するように差圧設定スプリングを調整する。

(20) タービン潤滑油系統からの補給油系統は以下述べる四つの油圧源から供給される。

- a. タービン軸に直結されている主油ポンプ。
- b. AC 駆動の補助油ポンプ。
- c. AC 駆動のターニングギヤポンプ。
- d. DC 駆動のターニングギヤポンプ。

以上のとおりであるが補給油圧は緊急の場合においていかにどの能力が期待されうるか、その機能につき個別

に確認する必要がある。

(21) 電動機駆動のターニングギヤポンプは密封器部において約 0.35 kg/cm^2 の圧力にしかならない。したがって密封器油圧を機内ガス圧より 0.56 kg/cm^2 高く保つことはできない。

なぜならばタービン停止時またはタービントーニング中のようにターニングギヤポンプだけが運転中、空気側密封油ポンプ(交流)が故障した場合は、正規の差圧以下に油圧が低下するが、この場合差圧が 0.35 kg/cm^2 に低下すればポンプ警報器“B”が自動的に動作し空気側密封油ポンプ(直流)を起動させ常規の油圧を保持することとなる。

(22) 補給油警報器“C”の動作確認を行なう。補給油圧警報器の動作はタービンからの補給油圧が密封器部において 4.9 kg/cm^2 に低下したときに作動し、作動と同時に補給油圧低の警報を発する。

(23) ポンプ警報器“D”の動作を確認する。“D”は空気側密封油ポンプの出入口間の油圧の差が 0.35 kg/cm^2 に低下したときに動作し同時に空気側密封油ポン

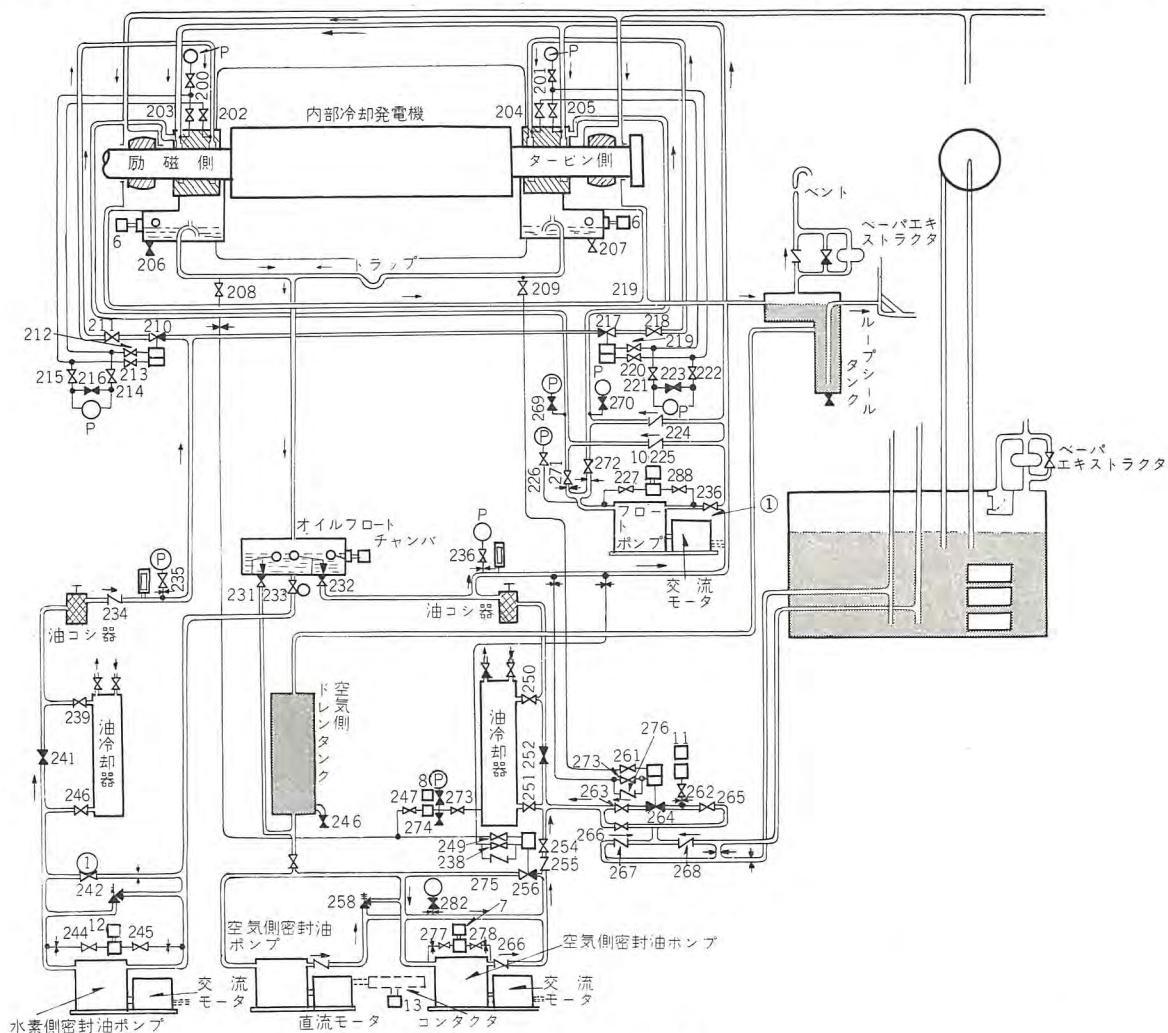


図 8.2 密封油制御装置系統図
Fig. 8.2 System diagram of seal oil control device.

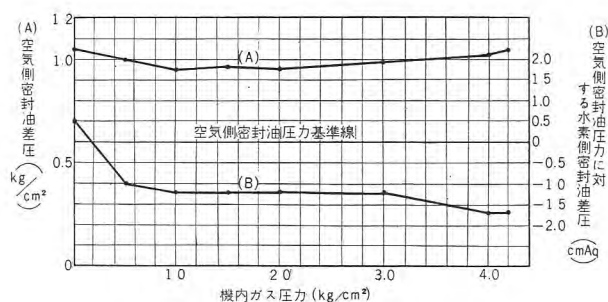


図 8.3 複流形密封油装置差圧特性曲線
Fig. 8.3 Differential pressure characteristic curve of double flow type oil seal device.

プ停止の警報を発生する。

(24) 以上の点検調整完了後空気側密封油ポンプ（交流）を起動する。

(25) 密封器フロートポンプならびにフロートポンプ警報器 #10 の動作機能が適当であるか点検する。#10 警報器はフロートポンプ出入口の油圧の差が 0.35 kg/cm^2 になれば作動してフロートポンプ停止の故障表示ならびに警報を発する。

(26) 密封器フロートポンプは手動で起動停止を行わなければならない。機内ガス圧が 2.1 kg/cm^2 以上の場合あるいはまた発電機回転上昇時だけ使用することに注意する。

(27) 水素側密封油ポンプを停止する。水素側密封油ポンプの出入口油圧の差が 0.35 kg/cm^2 のときポンプ警報器 #12 は動作する。接点動作すれば故障表示ならびに警報を発する。

(28) 水素側密封油ポンプを起動する。

以上の点検調整を完了すれば密封油系統は正常運転にはいって良い。かさねて述べるが上記の点検が完了するまでは発電機を起動してはならない。

(29) 以上の調整完了後機内に乾燥空気を最高ガス圧まで逐次封入し、差圧調整弁、均圧弁の特性を調査する。図 8.3 は実測した特性の一例である。

8.2 運転中の調整

最終のチェックは発電機の並列とともに行わなければならない。すなわち密封油温は密封油冷却器出口において $35 \sim 38^\circ\text{C}$ に保たなければならない。

(1) 空気側密封油圧をガス圧より $+0.84 \text{ kg/cm}^2$ 高く保つために必要ならば差圧調整弁 #256 を再調整する。この調整は機内ガス圧が低いときに行なうべきである。なぜならば機内ガス圧が高い場合はブロウによって発生される風圧がある種の混乱の原因となる。すなわち機内ガス圧が高い場合ブロウ風圧は 0.21 kg/cm^2 になるが機内ガスならびに密封油圧導入管はいずれも発電機の高圧部より取出されているから、差圧調整弁の動作には

機内ガス圧による影響はないはずであるが機内よりの圧力計回路は低圧部より取出されているから機内ガス圧が低い場合は機内ガス圧力計と密封油圧の見掛け上の差圧は 1.05 kg/cm^2 に計器の指示として観察される。この差圧は真値ではないのである。上述したように機内の高圧部のガス圧は低圧部より $+0.21 \text{ kg/cm}^2$ 高くなるため、真の差圧は依然として 0.84 kg/cm^2 である。機内ガス圧が低いときに密封油温 $35 \sim 38^\circ\text{C}$ で発電機並列時に設定された差圧調整弁は機内ガス圧を高くしても再調整の必要のないことを心にとめておく必要がある。

(2) 空気側密封油ポンプ（交流）を停止して補給調整弁 #264 の動作が正常であるかチェックする。すなわち #264 は密封器油圧が機内ガス圧との差圧 0.56 kg/cm^2 で確実に作動しなければならないし、作動後は差圧を 0.56 kg/cm^2 に保たなければならないのである。なお前項と同じ理由で機内ガス圧の高い場合は見掛け上の差圧は 0.56 kg/cm^2 プラス 0.21 kg/cm^2 の 0.77 kg/cm^2 として観察される。補給調整弁自体は発電機並列後密封油 $35 \sim 38^\circ\text{C}$ ガス圧が低い場合一度差圧を 0.56 kg/cm^2 に設定すればガス圧の高い場合でもそのままにして調整してはならない。つぎに直流駆動の非常用密封油ポンプは低差圧警報器 “B” が作動すれば自動的に起動するか再確認する。

8.3 正常運転

(1) 密封油ポンプは機内に水素ガスが充填されている場合、あるいはタービタールニング中はつねに運転しておく必要がある。

(2) 水素ガス圧は最高 4.2 kg/cm^2 まで上昇可能である。

密封部油圧は空気側密封油ポンプ（交流）あるいは非常用密封油ポンプ（直流）が運転中ならば機内ガス圧より 0.84 kg/cm^2 高く保たれる。補給調整弁により密封油圧を供給している場合は機内ガス圧より 0.56 kg/cm^2 高く保たれる。密封器を保持するために必要な差圧は 0.21 kg/cm^2 である。

(3) 密封油冷却器を出る密封油温は 38°C に保持する。

(4) ベーパエクストラクタは発電機内部に水素ガスが充填中は連続運転を行なうこと。ベーパエクストラクタはベアリングブラケット部ならびにベアリングモドリ配管を換気して水素ガスの沈滞を防止する役目をする。

(5) 密封器フロートポンプは発電機回転上昇時および機内ガス圧が 2.1 kg/cm^2 以上の場合に使用する。

(6) 油コシ器は8時間ごとに1回転すること、少なくとも1年に1回は発電機停止時下部のドレンプラグよりドレン抜きを行わなければならない。

(7) 非常用密封油ポンプ(直流)が起動したときはタービン側の交流補助油ポンプを起動しなければならない。万一起動できない場合は機内ガス圧を 0.14 kg/cm^2 以下に下げることが必要である。これはつぎのバックアップは電動ターニングポンプで有効密封部油圧は 0.35 kg/cm^2 であるからである。

(8) 非常の場合には水素側密封油ポンプ、密封器フロートポンプを停止して発電機を運転することができるが、この場合は発電機の水素消費量が増加した軸の振動を発生させる可能性がある。

(9) 主油タンクを清掃するため油抜きを行なったときは発電機内の水素ガスは放出すること。

8.4 水素側密封油ポンプを用いない場合の運転

水素側密封油ポンプは密封部の水素側に空気側の圧力と等しい圧力で密封油を供給する。したがって空気側と水素側の密封油の混合が最小となるのであるが完全に両密封油圧が等しくともごく少量の密封油の混合は存在し、機内に油中の空気が侵入することになるが、つねにガス漏洩に対して機内ガス圧を一定に保つため新しい水素ガスを補給するので機内の純度はあまり悪くならない。

水素側密封油ポンプは保守上の都合でいつでもバイパスすることができる。水素側密封油ポンプが運転されていないときは空気側密封油が水素側に流れる量は非常に増加する。その結果油中の空気は多量に機内に侵入するとともにある量の水素ガスが油に吸収されて発電機から持ち去られる。したがってこのような運転状態では機内の水素ガス純度を維持するためには毎日少量の水素を発電機より追いつけ出す必要がある。

水素ガスをできるだけ節約するために機内ガス純度を90%まで低下しても水素ガスと空気の混合体の爆発範囲の上限値から見ればはるかに純度は高いから心配はない。発電機を定格速度で運転中水素側密封油ポンプをバイパス運転し機内のガス純度を90%に保つとすれば約 $20 \text{ m}^3/\text{Day}$ の水素ガスが必要である。発電機停止中は密封油量はいちじるしく減少するから機内純度を維持するため補給すべき水素ガス量はわずかで良い。要するに機内の純度を保持するために十分な水素ガスを補給する場合は水素側密封油ポンプはいつまでも使用しないで良いことになる。

8.5 発電機停止中の密封油装置の運転

発電機停止が長期間の場合でも発電機内に水素ガスを

充填したままで良いが当然密封油系統は正常な運転を行なっておく必要がある。

発電機停止中は常時はタービンより高圧の補給油のバックアップは得られないので停電などの発生の可能性が考えられる場合は発電機内ガス圧を 0.14 kg/cm^2 またはこれ以下に下げて置くことが必要である。

9. 水素ガス系統の運転ならびに保守

9.1 ガス漏洩量の計算

正確なガス漏洩試験を行なうためには機内ガス圧の降下を機内ガス温度ならびに大気圧の変化を加味して換算する。

次式はガスの漏洩量を求める式である。

$$L = 0.4S \left\{ \frac{P_1 + B_1}{273 + T_1} - \frac{P_2 + B_2}{273 + T_2} \right\} \times \frac{24}{T_h}$$

ただし L : 漏洩量 (m^3/Day)

P_1, B_1 : 試験開始時の機内ガス圧および大気圧 (mmHg)

P_2, B_2 : 試験終了時の機内ガス圧および大気圧 (mmHg)

T_1, T_2 : 試験開始時および終了時の機内ガスの平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)

S : 発電機容積 (m^3)

T_h : 試験時間 (h)

上式により漏洩量の計算を行なう場合とくに注意しなければならない点は、ほとんど等しい二つの量の差(絶対圧)により漏洩量が決定されるのであるからガス温度および機内ガス圧の測定には精密計器を使用するとともに、各項の計算は小数点4ケタまで正確に計算する必要がある。さらにまたこの方法でガスの漏洩を点検する場合、機内のガス温度と大気温度との間の変化に時間的ずれがあるため24時間以上連続に試験を継続する必要がある。しかしながら運転予定などの関係で漏洩試験をできるだけ短時間にしかも正確に行なう必要がある場合はリーケージテストゲージを使用する。このゲージの構造を図9.1に示す。

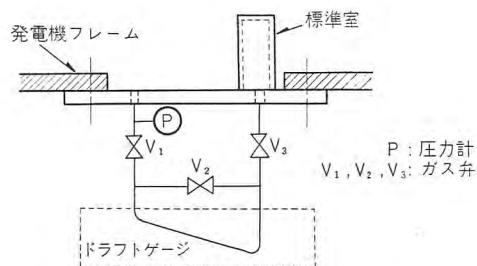


図 9.1 リークテストゲージ
Fig. 9.1 Leakage test gauge.

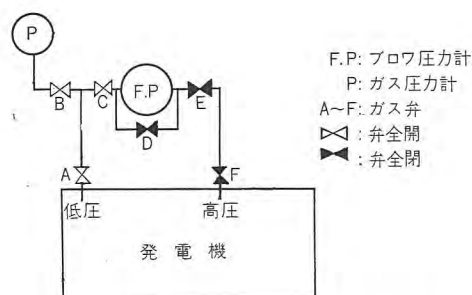


図 9.2 ブロウ圧力計による漏洩測定回路

Fig. 9.2 Leakage test circuit with pressure gauge.

リーケージテストゲージは発電機ノズキ窓に取付けて使用するのであるが感度がきわめて高いために測定には熟練を要する。

漏洩量は次の式で算出する

$$q_L = S \times \frac{P_1 \times 0.0601}{1.033} \times \frac{24}{T_h}$$

q_L : 大気圧の状態を示したガス漏洩量 (m³/Day)

S : 発電機全容積 (m³)

P_1 : 傾斜マノメータ読みの差 (mmAq)

T_h : 試験時間 (h)

しかしながら機内ガスが水素ガスの場合はリーケージテストゲージは使用することができないので、ブロウ圧力計を使用して漏洩量を求める。

ブロウ圧力計を使用する場合は機内ガス温度の変化がごくわずかな場合でないと正確には求めることができないが、簡単な方法でありしかも短時間に結果が判明する利点がある。図 9.2 はブロウ圧力計を使用する場合のガス回路図を示す。

9.2 ガス純度の決定

(1) 密度計による方法 (図 6.1 ガス系統図参照)

発電機内のガス純度は密度計により決定される。

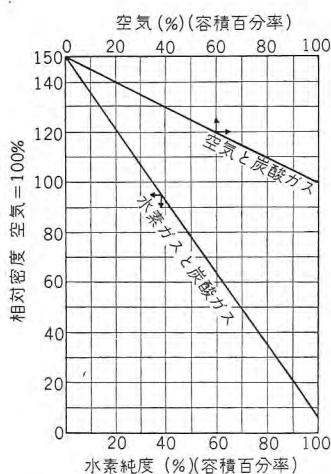


図 9.3 混合ガスの相対密度
Fig. 9.3 Relative density of mixed gases.

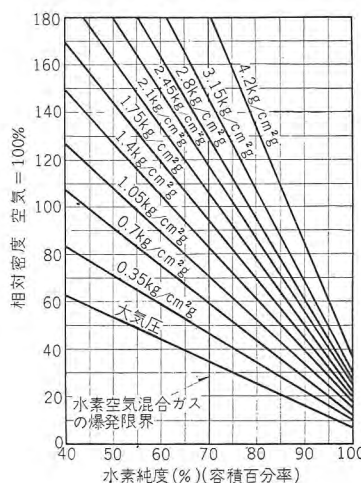


図 9.4 水素-空気混合ガスの相対密度
Fig. 9.4 Relative density of mixed gases of hydrogen and air.

正常運転時は機内ガスは機内の底部より密度発信器に流入しふたび底部に出されるようにセットしなければならない。しかしながら発電機上部のガス純度を測定したい場合には上部よりガスを密度発信器に入れふたび上部に排出することができるようにそれぞれ本体側部にサンプリングバルブが設置してある。密度発信器により形成される圧力は機内のガス密度に比例するので最初に機内ガスが空気の場合指示を 100% とすれば完全に水素ガスの場合は大気圧の場合 7 を指示することになる。図 9.3 は大気圧における混合ガスの相対密度すなわち炭酸ガスと空気、水素ガスと炭酸ガスおよび水素ガスと空気の相対密度と計器の指示ならびに純度の関係を簡単に知ることができるように図示したものである。またガスの密度は化学的な混合の割合はガスによって変化するものであり、図 9.4 は各ガス圧における空気と水素ガスの混合時の計器の指示と純度の関係を示したものである。

(2) ブロウ圧力計により純度を決定する方法

ガス制御盤には発電機ブロウの差圧を指示するブロウ圧力計がある。(ブロウ圧力計目盛は 0~250 cm 水柱である)

発電機ブロウ圧力はもちろん定格速度の運転時だけ有効に使用されるのであるが密度計の場合と同じくブロウ圧力は機内のガス密度に比例して形成されるから、ブロウ圧力計により機内のガス純度の測定が可能である。したがってブロウ圧力計によって密度計の指示が正しいかどうか点検することができる。

運転中万一密度計が故障してもブロウ圧力計によって機内の純度が決定できる。なお一定ガス温度においてはブロウ圧力計の指示と密度計の指示の比は一定であるからあらかじめ 2, 3 の代表的なガス温度において

ブロウ圧力計の読みと密度計の読みを記録しその比を求めておけばブロウ圧力計および密度計の指示に異常があればただちに比較検討することができる。

9.3 密度計ラインの保守

(1) 1 週間ごとに密度計を下記の順序に従いチェックする。

a. 密度計ブロウモータを停止する。ただしバルブは正規の状態のままにしておく。

b. この場合密度計の指示は零を指示しなければならない。約 5 分間ブロウを停止してゲージの整定を待つ。

c. 密度計の指示が零になればブロウモータを起動し指示が前と同一であるか点検する。

d. 密度計の指示の零点検定および指示復帰が良好であり、密度計、ファン圧力計の指示の比およびその指示が理論的に正しければ良好であると考えて良い。

e. これらの点検結果がおもわしくなければ (9.4) (9.5) (9.6) 項において述べる調整を行なう。

(2) 空気での指示検定

a. 約1カ月に1回は密度発信器に空気を入れて、密度計の指示を確認しなければならない。

b. これがためにはまず発電機側面にある密度発信器への回路切換弁4個を全閉とする。

c. 密度発信器の目盛更正用プラグを取はずす。

d. まずブロワの停止時の密度計の指示が零を指示していることを確認する。

e. つぎにブロワを起動し密度計の指示を読む。

f. 密度計に取付けられている指示調整用バイパス弁を調整して計器の指示が100%指示するようにする。

g. 密度計の指示が100%において整定することを確認して後ブロワを停止して指示が零に復帰するか否か調べる。

h. ふたたびブロワを運転し計器の指示が100%であるか否かを点検する。

i. もし以上の点検の結果満足すべき状態ならば、密度発信器の検定用プラグを元にもどし発電機の上部あるいは下部の必要なサンプリングバルブを開ける。

j. 以上の点検結果が満足なものでなければ以下述べる (9.4) (9.5) (9.6) の調整を行なう。

9.4 正常運転中の圧力試験

(1) 密度発信器を停止した後、発電機ケーシング側面に取付けてあるガスのサンプリングバルブ4個を全閉する。

(2) 密度計が平衡するためには約5分間密度発信器を停止する必要がある。5分後に計器の指示を調査する。

(3) 密度計あるいは密度発信器と密度計の接続配管にわずかな漏洩箇所が存在しても密度計の指示は正しい指示を表わさないことになるため、密度計の回路ならびに密度計よりの漏洩は絶対にないよう保守を必要とする。

(4) 発電機の底部に接続されている一対のサンプリングバルブを開閉した場合、あるいはまた発電機の上部に接続されている一対のサンプリングバルブを開閉した場合計器の指示は変化してはならない。

(5) 漏洩箇所がきわめてわずかな場合でも密度計を新鋭タービン発電機のすえ付・運転・保守・米野・遠藤・鈴木

生かす前に完全に手直しすることが大切である。手直しを行わず使用することは密度計の指示が不正確となり発電機内部のガス純度の正確な値が不明となり危険である。

9.5 零セッティング

(1) まず密度発信器を停止する。

(2) 発電機に取付けられている4個のサンプリングバルブを全閉する。

(3) 密度発信器に取付けてある2個の更正用プラグを取はずす。

(4) 密度計の圧力槽底部のプラグも取はずすこと。

(5) 上部の水銀のレベルを示すプラグを取はずし、水銀面がオーバフロー近くあるか否か確認する。この水銀のレベルはさほど厳格な規定はないが、もし水銀面が見える程度であれば良好であるからプラグは元にもどして良い。

(6) この状態で圧力槽の上部および底部に大気圧が掛っているから指針はすみやかに零に復帰するはずである。

(7) 指針を正確に零に設定するために指針上部にある零点調整装置を調整する。この場合計器の摩擦をできるだけ減らすために軽く計器をたたくこと。なおとくに注意すべきことはこの調整は最終的なものであり将来ふたたび行なわなければならないようなことがないようにすることである。調整完了後は密度発信器2個の更正用プラグを元にもどす。

9.6 計器の摩擦のチェック

(1) ブロワを停止する。

(2) 発電機側面に取付けてあるサンプリング弁4個を全閉すること。

(3) 密度発信器に取付けてある2個の更正用プラグを取はずすこと。

(4) 密度計の圧力槽の水銀注入用プラグおよび底部のプラグを取はずす。

(5) 計器の指示機構のガタの有無を点検する。

(6) 指針を零以下約15%だけ動かしてしばらくこの状態を保持し後ゆっくりと離し指示の変化を点検する。つぎに零以上約15%だけ動かし同様の調査を行なう。摩擦による違いは2%以上あってはならない。

摩擦の状況点検後は密度発信器の更正プラグを元にもどして置く。

9.7 発電機内のガス入れ換え

一般に発電機内部のガス入れ換えは発電機静止中かタ

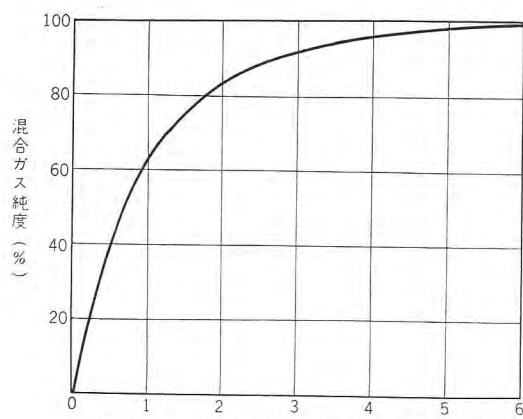


図 9.5 機内をバージするに必要なガス容積

Fig. 9.5 Necessary gas volume for purging the interior of machine.

ーニング中に行なうことが推奨されている。ガス入れ換え時は密封油処理装置は正常運転を保持すること。ただし緊急の場合は発電機の回転上昇中または回転降下中に行なってもさしつかえない。

とくに注意すべきことは発電機定格回転時機内を炭酸ガスで運転してはならないことである。

(1) 空気放出炭酸ガス封入

大気中の空気は容積にして約 21% の酸素を含有している。また水素ガスの爆発上限は水素ガス 70%、空気 30% であるといわれている。したがってこの場合空気中の酸素量は 6.3% となる。

以上のことから機内より空気を追い出す場合は爆発の危険性を考慮して残留空気の量を酸素量に換算して 6.3% 以下にすることが大切である。

図 9.5 により発電機に充填するガス量を簡単に算出できる。

もちろん充填ガス量はあらかじめ予定しているガスの運転純度によって変化する。

炭酸ガス封入中には機内のガスを発電機の上部よりサンプリングする。

発電機容積の約 1.5 倍の炭酸ガスを封入すれば密度計の指示は大略 145% となるはずである。

(2) 機内への水素ガス封入

一般に機内ガス純度は 95% ないし 95% 以上で運転を行なうべきである。図 9.5 より機内容積の約 3.5 倍の水素ガスを封入すれば発電機運転時機内ガス純度が 95% になることを示している。しかしながら実際の封入実績からすると発電機停止時発電機上部より水素ガスを封入する場合、わずかに機内容積の 2.0 倍の水素ガスを封入すれば機内のガス純度を 95% に上昇させることが

判明している。

封入ガス量の少ない理由は封入時炭酸ガスと水素ガスの混合が静止時あるいはターニング時はきわめて少ないものと推定される。

水素ガス封入時に注意すべき点は封入と同時に密度計のサンプリング弁を発電機上部より接続された側を開く。もちろんこの際他のサンプリング弁は全閉とする。

この状態で密度計の指示が 145% より降下を開始することを確認した後、発電機底部に接続されているサンプリング弁を全開として正常にもどすことである。以上の操作によって接続配管のつまりの有無、密度計の動作の確認などが簡単にできる。

(3) 発電機運転時の水素ガスの補給

発電機の正常運転時機内の水素ガスを補給する理由は下記の二つの理由による。

a. 漏洩による機内ガス圧の低下を補うため、すなわち機内の水素ガス圧をつねに一定に保つため。

b. 空気側密封油と水素側密封油との混合により機内に空気が拡散して機内ガス純度を低下させる原因となるので水素ガス純度を予定値に維持するため。

以上である。

とくに複流形においては図 8.2 の密封油系統図に示すように空気側ならびに水素側密封油圧はつねに等しく保持されるのであり、この状態では理論上は両者間の油の混入は存在しないことになっているが油圧のごくわずかな変動により長い期間には油の混合が発生することになる。

この場合空気側に混入した水素側の密封油中の水素ガスはループシールタンクのベーパーエクストラクタによっ

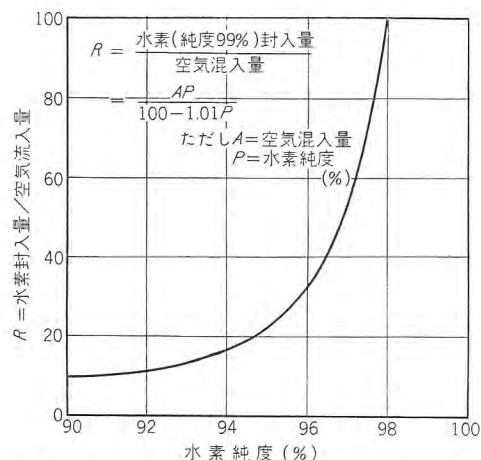


図 9.6 機内純度を保つために必要なガス封入量

Fig. 9.6 Necessary sealing gas volume to maintain purity of inside of machine.

て室外に持ち去られ水素側に混入した空気側の密封油中の空気は機内純度を低下させるので、あらたに水素ガスを補給して純度を一定に保つ必要がある。

もしなんらかのやむを得ざる理由のため、水素側の密封油ポンプを運転しないで発電機を運転する必要がある場合は機内の純度を 90% に保持するためにはきわめて多量の水素ガスを補給する必要があるので、できるだけ機内の純度を低く保持し補給水素量を少なくする必要がある。

図 9.6 はこの間の関係を示している。すなわち機内水素ガス純度を 95% に保持する場合 28l の空気の浸入に対し 0.68 m³ の水素ガスを補給しなければならない。

また一方機内水素ガスを 90% に保持する場合は 28l の空気の浸入に対して 0.28 m³ の水素ガスを補給すれば良いことになる。

図 9.4 は水素と空気混合ガスの各ガス圧における相対密度との関係を示す。

(4) 発電機よりの水素の追出し

発電機底部より炭酸ガスを充填しつつ水素ガスを発電

機上部より屋外に放出する。

この場合機内の水素ガス純度は炭酸ガスとの混合割合で 5% に到達するまで炭酸ガスを封入する。なお水素ガスの放出は発電機停止時かあるいはターニング中に行なうことを推奨する。

炭酸ガスの追出しは乾燥空気を使用すること。

9.8 ガス乾燥器の再生

発電機運転中は常時使用する。なお水素ガス封入直後の運転中は 3 日に 1 回再生を行ない、発電機 2 カ月後は 1 週間に 1 回程度の再生を行なう。

9.9 ガス冷却器の運転

ガス冷却器用冷却水は規定の水質および水量を必要とする。水量の制御は冷却器入口配管に取付けられている弁によって行なうことをたてまえるとする。

ガス冷却器は機内の水素ガスを放出せず水室および水管を清掃できる構造となっているが作業を行なう場合は機内ガス圧を 0.35 kg/cm² とすることを推奨する。

やむを得ない場合は機内ガス圧は 0.35 kg/cm² 以上で水管の清掃を行なっても良いが、いかなることがあつて

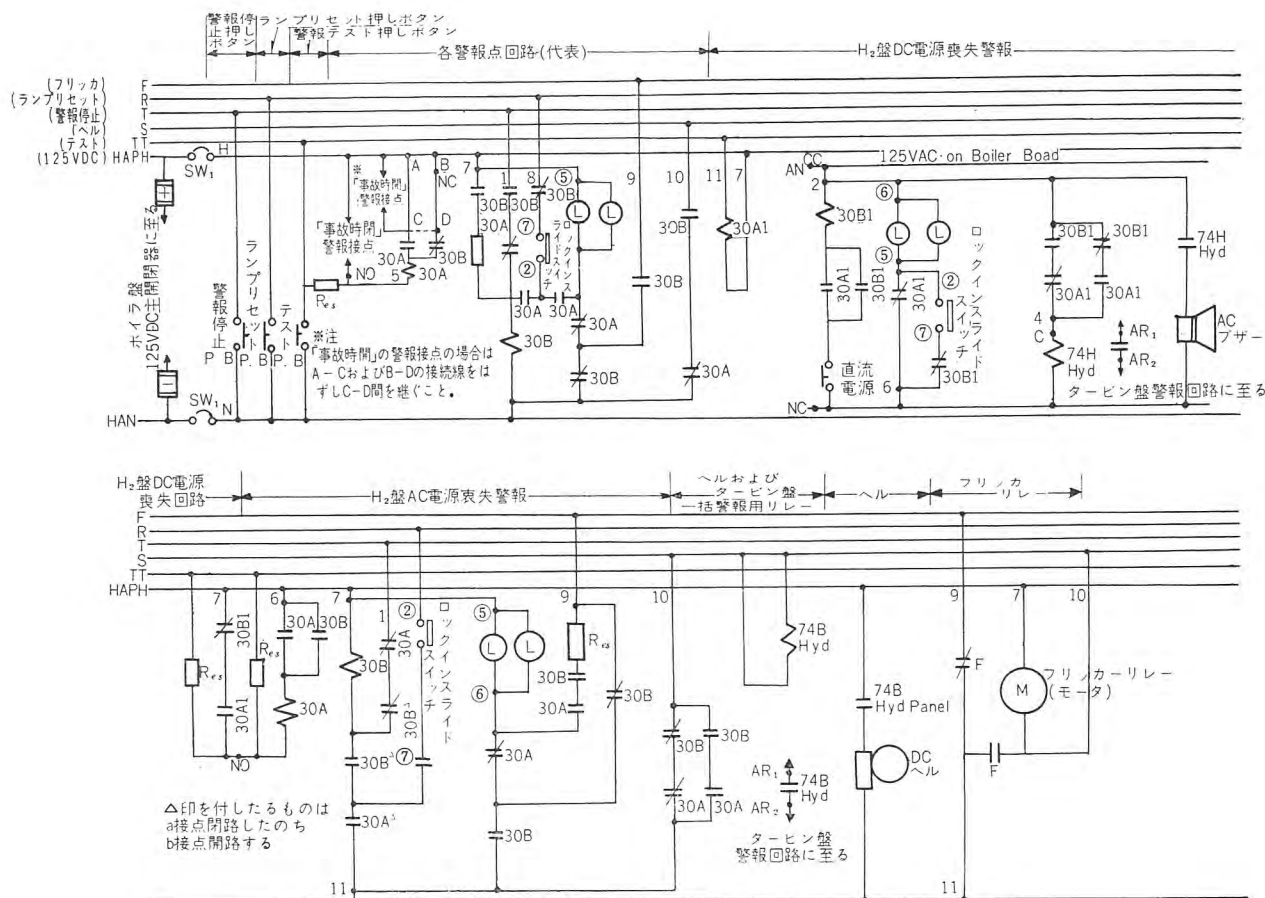


図 10.1 故障警報回路

Fig. 10.1 Fault alarm circuit

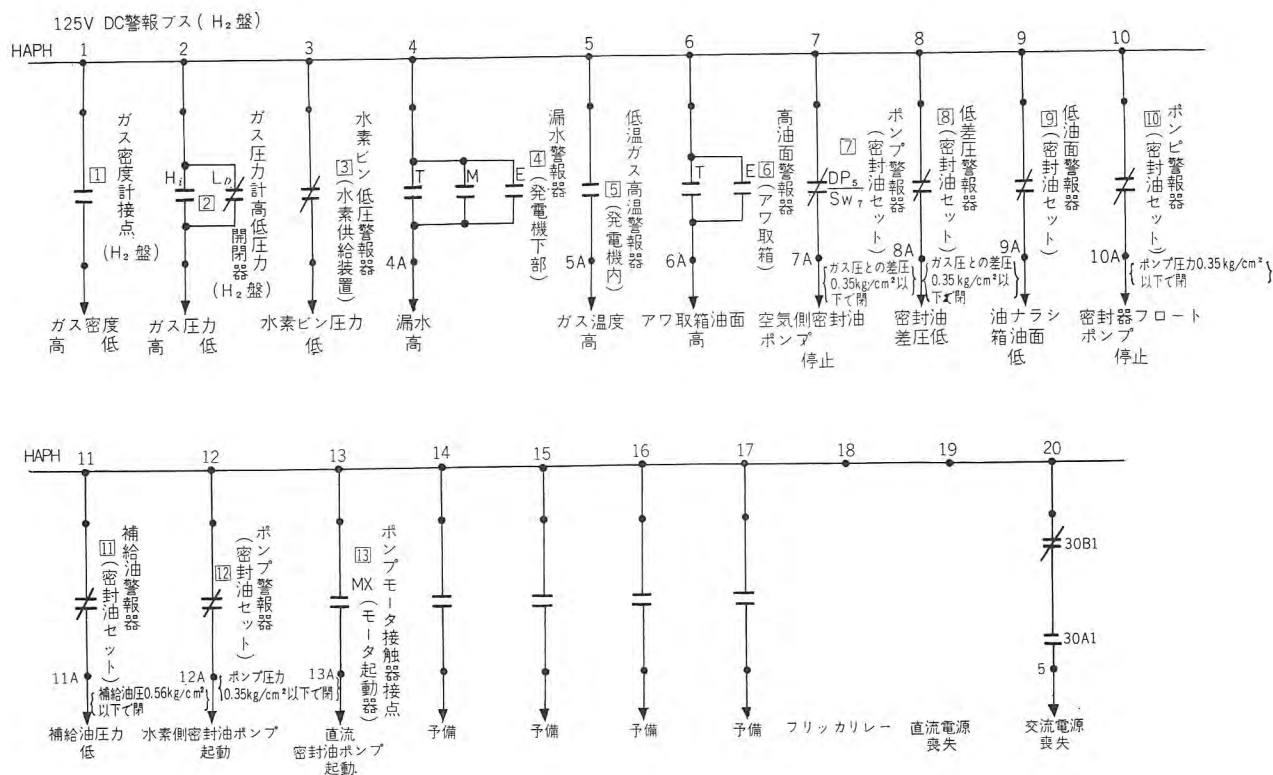


図 10.2 故障警報回路

Fig. 10.2 Fault alarm circuit.

も 2.1 kg/cm^2 以上のガス圧で清掃を行なうことはできない。

ガス圧 2.1 kg/cm^2 以上の場合はガス冷却器上部カバーを一部取はずし、機内とダイヤフラム室の圧力差をなくすようにバイパス弁を全開する。

ガス冷却器の水管の清掃時期は運転実績から決定される問題であるが、規定量、規定温度の水量でもガスが冷却されない場合はすみやかに清掃を行なうべきである。



図 10.3 ガス制御盤

Fig. 10.3 Gas control panel.

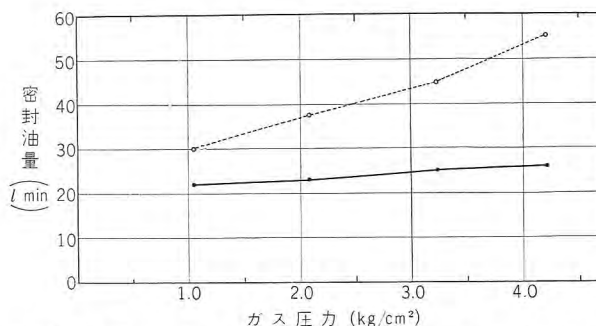


図 10.4 正常運転時のガス圧と密封油量の実測例 油温 38°C
Fig. 10.4 Actual measurements of gas pressure and sealed oil volume during normal operation at gas temp. 38°C .

代表的な設定値はつぎのとおりである。

| 運転圧力 | 高設定値 |
|-----------------------|------|
| 2.1 kg/cm^2 | 50 |
| 3.2 kg/cm^2 | 68 |
| 4.2 kg/cm^2 | 85 |

この警報は均圧弁の動作が適当でないことか、あるいは密封油量の増加したことを示す。

図 10.4 は正常運転時の各ガス圧と密封油量の実測値の一例である。

水素密度——低のシグナルは密度計の低警報接点により与えられ密度計指針 7% 以下に下がったことを示す。この 7% の読みは純水素の場合に得られる最小密度であって、この場合は指針の固着した場合、または密度発信

10. 警報装置の運転

警報装置の結線図を図 10.1, 10.2, 制御盤の外形を図 10.3 に示す。運転員は警報ベルによってガス制御盤へ行けば、一連のシグナルランプ中の 1 個が警報源を示している。以下警報装置の種類と原因、その処置につき述べる。

10.1 水素ガス密度—高低

水素ガス密度高のシグナルは密度計の高警報接点により与えられ機内水素純度があらかじめ予定された限度より低いことを示す。高接点は運転圧力で 90% 水素純度に相当する点で設定しなければならない。

器の電動機が停止したことを示す。

10.2 水素ガス圧力——高低

水素圧力——高のシグナルはガス警報盤内の圧力スイッチの接点により動作する。この警報が鳴れば機内ガス圧が予定ガス圧より高いことを示す。2.1~3.2 kg/cm²の運転では圧力——高警報接点は 3.5 kg/cm² に設定するように推奨されている。

3.2~4.2 kg/cm² の運転に対しては 高警報接点は運転圧力より 0.35 kg/cm² だけ高い値に設定しなければならない。

この警報が鳴れば水素ガス系統を十分点検するとともにガス冷却水関係の異常の有無を確認する必要がある。

水素圧力低警報は上記の圧力スイッチの隣に取付けられた圧力スイッチの接点により動作する。圧力低警報は運転水素圧力より 0.07 kg/cm² だけ低下したとき警報するよう設定されている。

水素圧力の低くなる原因は、水素の漏洩の増大が主であるが、発電機負荷の急激なる減少に対してガス冷却水が減少しない場合も動作することがある。

圧力低警報が動作すればすぐにガス系統、ならびにガス冷却器の水量、負荷を調査しなければならない。

10.3 水素供給圧力——低

水素ビン圧力の低下を示す。これは水素供給管に取付けてある水素ビン低圧警報器の警報接点で動作する。

すぐに新しい水素ビンと交換する。

10.4 漏水警報器——高

漏水警報器の動作は 3 個の漏水警報器中の 1 個に水あるいは油がたまったことを意味する。このシグナルはフロート式水銀スイッチにより動作する。

これらの液体はガス冷却器かあるいは密封油のいずれかであるからできるだけ早い機会に点検する必要がある。

この液は漏水警報器の底部のバルブからドレーンとして抜くことができる。

10.5 水素ガス温度——高

水素ガス温度——高のシグナルは機内ガス温度が高すぎることを示す。これは発電機側部の低温部に取付けられたサーモスタットの接点によって動作する。この接点は発電機を全負荷で運転し、冷却水が予想温度の最高値の場合の温度より 2~3°C 高い温度で動作するように設定する。

この警報が鳴れば過負荷によるものか、ガスの密度が高過ぎるか、冷却水温度が高いか、または他の原因によ

るものかのいずれかである。

10.6 アフ取箱油面——高

アフ取箱油面——高のシグナルはいずれかのアフ取箱の油面が高過ぎることを示す。これはスリップリング側とタービン側にあるアフ取箱中のフロート式水銀スイッチにより動作する。

この警報は油面が排出管の油出口以上になったとき動作するがこの状態は密封部からの油量が多すぎるか、排出管がつまったり、油ならし箱内のフロートバルブ #231 の動作が悪いことに原因する。この警報が鳴ればすぐに油面を点検しなければならない。フロートバルブ #231, #232 には非常の場合手動で開閉できるようにジャッキをもっており、またアフ取箱にはドレーンバルブがあり、これによって余分な油を取り出しうようになっている。

アフ取箱は発電機ガス圧と同圧であるから弁の操作は慎重に行なわなければならない。

10.7 空気側密封油ポンプ——停止

この警報は空気側密封油ポンプモータの交流電源がシャ断されたことを示す。このシグナルは空気側密封油ポンプの差圧スイッチの接点によって動作する。この接点はポンプの差圧 0.35 kg/cm² に下がったとき閉じる。

この警報が鳴れば密封油ポンプの電気回路を点検する必要がある。

10.8 密封油圧——低

このシグナルは密封油圧が機内水素ガス圧力より 0.35 kg/cm² だけ高い値まで下がったことを示す。これは低差圧警報器の水銀スイッチにより動作する。もし発電機運転中、上記警報が鳴れば補給油回路が正しく動作していないことを意味するから調速油圧が正規の圧力であるか、補給調整弁 #264 が故障しているか点検する。

もし #264 補給調整弁が故障していればバルブ #266 を開いてわき道補給を行なう。

この警報器は直流空気側密封油ポンプを起動し、正規密封油圧に回復させるが、警報の原因がタービンの油ポンプにあり、これらがすぐに正規運転に復帰できない場合は次のバックアップとしてはターニングギヤポンプしか得られないから機内水素ガス圧力を 0.14 kg/cm² またはこれ以下に下げなければならない。

10.9 油ならし箱油面——低

油ならし箱油面——低のシグナルは油ならし箱内の油面が低過ぎることを示す。これは油ならし箱に取付けた

フロートスイッチの水銀スイッチによって動作する。この低油面はフロートバルブ #231 が正しく動作していないことによるものである。

この警報が動作すればすぐに #231 を点検しなければならない。#231 の弁坐の漏洩が多い場合は油ならし箱内の油が逃げて水素側密封器は密封油圧が形成されなくなり、同時に空気側ドレンタンクの油も主油槽に逆送されるので、空気側密封器の密封も行なわれなくなり、その結果機内の水素ガスが軸受配管へ逃げて危険な状態になるので注意を要する。

10.10 密封器フロートポンプ——停止

このシグナルはフロートポンプを運転していないことを示す。密封器フロートポンプの入口および出口に接続された差圧スイッチによって動作する。

この差圧スイッチは差圧が 0.35 kg/cm^2 以下に下がれば閉じて警報するように設定されている。

このフロートポンプは発電機の起動、停止時およびガス圧 2.1 kg/cm^2 以上のときに運転しておかなければならない。

もしこの警報が鳴れば電動機の制御回路を点検しなければならない。

10.11 補給油圧——低

補給油圧——低のシグナルはタービン側補給油圧が 4.9 kg/cm^2 まで下がったことを示す。これは主油ポンプまたは補助油ポンプから高圧油が得られないことを意味する。

この警報が鳴れば補給油管系を調査する。

10.12 水素側密封油ポンプ——停止

この警報は水素側密封油ポンプが運転されていないこ

とを示す。このシグナルは水素側密封油ポンプの入口、出口に接続された差圧スイッチによって動作する。

このスイッチは差圧 0.35 kg/cm^2 以下に低下した場合に閉じて警報するように設定されている。

水素側密封油ポンプを運転しないで発電機を水素封入のまま運転することはできるが、この場合は水素消費量が増加するので注意を要する。

10.13 空気側密封油ポンプ(直流)——運転中

この警報は直流密封油ポンプが運転中であることを示す。このシグナルは密封油ポンプ(直流)電動機用のコンタクタのインターロックスイッチにより動作する。

このポンプが起動すれば交流補助油ポンプをすぐに起動し補給油回路には高圧油を供給しなければならない。

もし交流補助油ポンプが起動できない状態で、かつ交流密封油ポンプが復帰できない場合は、機内の水素ガスを放出し圧力を 0.14 kg/cm^2 に保持する。

11. む す び

当社が水素冷却タービン発電機を製作し始めて、すでに 19 台、空気冷却機をも含めれば 300 台以上の機械がすべて順調な運転を続けてきていることは、慎重なすえ付工事とともに発電所関係者の適切な運転・保守の賜であり、深く感謝している次第である。

今回ここに記述した事項はすえ付・運転・保守のすべてをつくしているものではないが、いくぶんでもご参考になれば筆者など望外の喜びであり、またこれを機会に発電所関係者の長年にわたる貴重な経験、資料にもとづいたご批判を賜りたいと願っている。

大形タービン発電機回転子軸材の品質とその評価

長崎製作所 今 北 孝 次*・山野 辺 二 郎**

Quality of Rotor Shaft Materials for Large Turbine Generators and Their Appraisal

Nagasaki Works Kōji IMAKITA・Jirō YAMANOBE

In purchasing large steel forgings to be used for the rotor shaft of turbine generators, necessary qualities in general are: strength to withstand high speed rotation, stability of property in machining, availability with ease, and reasonableness in price. These requisites, though applicable to forged articles in a broad sense, are particularly hard to realize in the case of shaft materials, which are top ranked of all the steel products with difficulty in manufacturing and severity in inspection. The writers accounted for their outlook on the shaft materials for large generators anticipated in future based on the progress in steel manufacturing technique of today—specially on the application of vacuum casting to the domestic industry from the standpoint of users of the material.

1. ま え が き

タービン発電機回転子軸に使用する大形鍛鋼品（以下軸材という）を購入する場合、通則的に必要な品質は、高速回転に耐える強度その他の性質を十分に備え、製造上、安定した状態で、容易に入手できると同時に、妥当な価格であることが肝要である。

以上のことは、一般鍛鋼品にもあてはまるが、軸材に要求する品質の内容は、他にくらべられないほど高いから、すべての要件をみたすことは、たやすいものではない。事実、つくるうえのむずかしさや、検査のきびしさからいって、製鋼品目のなかでは最高級のものの一つに数えられている。

筆者らは、軸材品質をどのように考えるかについて、3年前にも、本誌に発表⁽¹⁾⁽²⁾したのであるが、208,696 kVA 内部冷却タービン発電機の完成を機会に、軸材品質の現状について述べ、あわせて、今後に予想される大形発電機の軸材品質を最近の製鋼技術の進歩、とくに真空鑄造の国内適用にむすびつけながら、主として軸材使用者側の立場でいろいろ考えてみたい。

2. 軸材品質の基本問題

2.1 軸材の品質評価

軸材の品質をどのように評価したらよいかということは、われわれと軸材製造者の間で、以前から、あらゆる

角度で検討され、論争されている。また、そのための研究もずいぶんやってきている。

この問題について、われわれの一貫した主張は、軸材のきびしい使用条件からみて、試験結果にあらわれる諸性質だけではなく、現状の試験では直接につかむことはできないが、ある種の結果を組合わせた場合に考えられる二次的な性質とか、あるいは、学問的に解明されていないが、当然予想してよい未知要素も評価の対象におかなければ、安心できないということである。

表2.1は現状の試験項目とその結果として検出されるいろいろな内容をまとめたものである。

この表のなかには、製造者との取引条件に含まれない試験項目もあるが、品質をたしかめるためには、少なくともこれだけの項目が必要である。しかし、試験結果にあらわれる内容を、そのまま軸材品質にむすびつけて、評価するやり方は、手法的にまとまりがつきにくい。

そこで、軸材品質を大きく分けた四つの性質と、前記の試験結果の内容とを、いろいろな組合わせでむすびつけると、大局的な品質評価が可能になる。

四つの性質は清浄性、均質性、靱性、健全性であって、これらはいずれも概念的な性質である。

このなかで、清浄性と健全性の区別は定義上まぎらわしいが、前者は、軸材の純度を主体にしたもので、後者は強度的な安全性とか、検出されたいろいろな欠陥が有害かどうかということである。

* 工作部第一工作課長 ** 工作部

表 2.1 軸材の各種試験とその結果の分類

| 試験方法 | 試験項目 | 試験結果の内容 | |
|----------|---------|-------------------|-----------|
| | | 数量的に表現できる内容 | 数量的でない内容 |
| 超音波探傷 | 欠陥波透過性 | 数, 分布, 波高 | 欠陥性状 |
| | 図過形 | 透過次数 | 内部組織 |
| 磁気探傷 | 欠陥 | 種別等級 | |
| サルファブリント | 欠陥 | 数, 分布, 大きさ | 深さ, 性状 |
| | 偏析 | 数, 分布, 大きさ | 欠陥性状 |
| 引張試験 | 降伏強さ | 強さ, 偏差 | 偏析濃度 |
| | 引張強さ | 強さ, 偏差 | |
| | 伸び | 伸び, 偏差 | 破断状況 |
| | 絞り | 絞り, 偏差 | 破面性状 |
| 硬さ試験 | シヨア硬さ | 表面硬さ, 偏差 | |
| | 微小硬さ | 組織硬さ | |
| 衝撃試験 | アイゾット | アイゾット値 | |
| | Uシャルピ | シャルピ値 | |
| | Vシャルピ | 15 ft. lb 吸収エネルギー | |
| | 遷移温度 | 50% 破面率 | |
| 寸法検査 | 寸法 | 寸法値 | |
| 表面検査 | 可視欠陥 | 欠陥の大きさ, 分布, 数 | 欠陥の種類, 性状 |
| | 加工粗さ | アラサ | |
| 化学分析 | 成分 | Ladle 分析値 | |
| | | Check 分析値 | |
| | | 成分比 | |
| 中心孔内検査 | 内孔面欠陥 | 数, 分布, 大きさ | 欠陥の種類, 性状 |
| | 加工粗さ | アラサ | |
| | 偏析 | 計測値 | |
| | 寸法 | 寸法値 | |
| 水素ガス分析 | 鋼中水素ガス | 鋼中水素量 | |
| 疲労試験 | 各種疲れ強さ | 平滑材試験値 | |
| | | 切欠材試験値 | |
| 磁気特性試験 | 磁気特性 | B-H 曲線 | |
| | | 履歴特性 | |
| 熱変形試験 | 熱曲り特性 | 製造者試験 | |
| | | 成形品試験 | |
| 熱膨張試験 | 平均熱膨張係数 | 計測値, 偏差 | |
| | | 清浄度検定値 | |
| 顕微鏡試験 | 介在物 | 清浄度検定値 | |
| | 結晶粒度 | 粒度検定値 | |
| | 組織 | | 組織性状, 種別 |
| | 欠陥 | | 欠陥性状, 種別 |
| マクロ腐食試験 | 欠陥 | 数, 大きさ, 分布 | 欠陥性状, 種別 |
| | 偏析 | | 偏析状態 |

以上四つの性質に、表 2.1 の内容をどのようにむすびつけて評価するかは、第 3 章の各項にくわしく説明する。

2.2 軸材の安全性

われわれが軸材に、一般鍛鋼品では考えられないほど高い品質を要求するのは、結局のところ、軸材使用条件のきびしさから考えられる安全性を、できるだけ高めたい意図にほかならない。

したがって、品質を評価する場合の主眼も安全性にあるといつてよい。

数年前から、海外で連続的に発生している大形発電機の破壊事故⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽²⁷⁾は、軸材の安全性を考えるにあたって、よい教訓になっている。

この事故についての、個々の見解は省略するが、材料の破壊という問題は、統計的な手段や実験室的な解明だけで予測されるものでなく、ことに軸材のような大形鍛鋼品では、未知要素を含めた、多くの複雑な要因を考えなければならない。簡単にいえば、小さな試料で出したいろいろな試験結果を、そのまま大きな軸材の性質にむ

すびつけてよいかどうか疑問がある。かといって、現状で考えられる試験研究には限度があるから、われわれのとるべき態度としては、その軸材が、こわれるかどうかでなく、そのような心配がまったくないような軸材を求めることである。このためには、完全無欠陥の軸材がのぞましいことになるが、厳密な意味で、このような材料は存在しないから、その域を目標にして軸材品質を極力安全側におく必要がある。

軸材の安全性を評価する場合、一般には静的な強度を主として考えるが、現状の試験内容とか、方法的な限界からみて、静的強度だけにたよることは賛成できない。安全性をもっと広く考えて、延性、靱性、あるいは動的な強度なども評価の対象におくと同時に、冶金的な性質、とくに欠陥の状態とのむすびつきについて、厳密な解釈を加える必要がある。

この種の研究は以前から各方面でさかんに行なわれているし、われわれも、この問題の解明のために、半恒久的な研究を継続中である。

しかし、とりあげる内容が広範囲であるだけに、はっきりした解決は、今後にまたなければならぬまい。いずれにしろ、現状では安全性を具体的な形でつかむことができないので、上記の研究と併行して、安全性の対象となる電氣的機械的な諸性質を冶金的な諸性質の状態に照合させながら、経験的な評価を行なうほかはない。しかし、これまでの軸材が、製造技術の多年の累積とか前進によって生れているとするなら、冶金的にみた品質のよしあしは製造者の経験の深さとか、技術水準にむすびついて、安全性の有力な尺度を与えていることは一応いえそうである。

以上のことから、軸材の品質はもっと高いものが必要であると同時に、安全性を具体的に表現することは、将来のもっとも大きな課題である。

2.3 軸材の軽量化と真空鋳造

軸材が大形になればなるほど、製造上の制約が大きくなるが、われわれは大きさにあわせて、よりよい品質を要求するから、軸材をつくる立場では二重の苦しみをうけることになる。

この意味で、現状の製鋼水準を考えると、製造上、信頼される大きさというのは、軸材の荒削重量で 50~60 t 程度が限界になろう⁽⁶⁾。

したがって、今後に予想される大形発電機の設計は、軸材の大きさの点で制限されるから、発電機容量あたり

の軸材重量を減らすことが必要になる。

内部冷却タービン発電機では、この処置が十分にとられ、3,600rpm 208,696kVA 発電機の場合、軸材の荒削重量は約 23t 程度である。この重さからいって、従来の水素冷却タービン発電機にくらべると、約半分の重量軽減になる。このように、今後の大形発電機では、少なくとも軸材の大きさの点では心配ない。しかし、使用条件のきびしさから考えると、品質を改善向上して、安全性を高める必要があるのはいうまでもない。また、これを真空鑄造を含めた真空冶金技術の将来の進展にむすびつけるとき、軸材の大きさと質の両面から、明るい期待がもてそうである。

そこで、現在、国内で試用段階にある真空鑄造製品の問題に触れておくことにする。

この鑄造法は、従来の大気鑄造法*に比べて、脱ガス効果をいちじるしく高めることができるわけであるから、鋼中の水素、酸素などが原因になって生れる欠陥の減少とか、安全鑄込範囲、つまり、経験上、有害な欠陥をあらわさないとされている鑄込温度の範囲が広がること、そのほか、造塊、鍛造、調質の面で、つくるうえのむずかしさとかめんどろさをいちじるしく減らすことになるから、製造者には大きなプラスである。また、これによって、軸材品質がよくなるのは当然である。

われわれのほうで、真空鑄造の創案メーカーであるドイツ Bochumer Verein 社の技術情報を集めはじめたのは数年前であり、その後現地調査や引合なども実際に行なっている。当時、軸材購入はいろいろな事情で実現しなかったが、前記 208,696 kVA 発電機に使用した高張力非磁性鋼リテニング・リングは該社製のもので、真空鑄造材料としては最初の入荷であった。その後、米国 USS 社の真空鑄造軸材購入が実現し、国内製造に先だって、各種の調査を行なうことができた。その詳しい内容はあとで述べることにする。

さて、今後の軸材が品質改善の点や、製造上の安全さからいって、真空鑄造でつくられるのはまちがいない。しかし、この方法にも原理的な限界があるから、われわれがしらべた範囲からいって、将来、もっと大形高品質の軸材を要求する場合、真空鑄造だけでは片付けられない問題が予想されそうである。

* 真空鑄造に対し従来の鑄造を大気鑄造または空気鑄造と呼ぶ。

** 照合試験内容は文献 (1)(2) に述べているので、試験内容の具体的な用語説明は省略する。

とはいえ、真空鑄造は、従来の方法に比べて飛躍的な技術改善であって、軸材製造に大きな転機となっていることはたしかである。われわれは、真空鑄造法を中心とした、軸材品質改善向上を期待し、さらには、真空溶解法、消耗電極法、そのほか、一連の革新的な製鋼技術の動向にたえず注目したい。

2.4 超音波探傷試験の意義

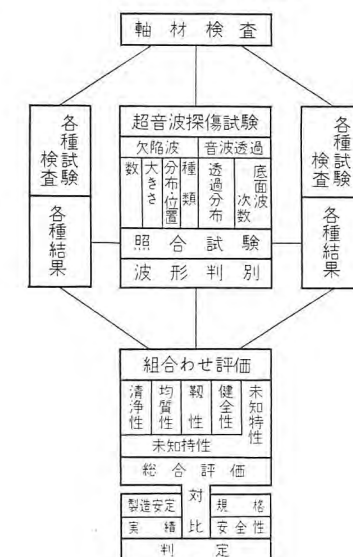
軸材の超音波探傷試験は品質を知るうえに非常に重要な試験であって、後章の説明にもたびたび引用されるので、その意義を基本問題の一つにとりあげた。

超音波探傷試験の意義は、被検体である軸材全体の内部状態を電気的な音波エネルギーの変化としてブラウン管上の波形にあらわしてとらえることにあるが、探傷波形と欠陥実態との関係は、探傷器の機能とか、被検体の探傷条件に左右されるので、この試験の結果だけでは必ずしもはっきりしたものとして、つかむことができない。しかし、被検体の探傷条件が良好であれば、欠陥の実態はともかくとして、位置や数、あるいは分布などについては、探査の精度が高いので、軸材全体の概要をつかむことには不自由しない。

以上のことから、他の適切な照合試験**たとえば、コアドリルによる欠陥部の試料抽出試験、あるいは中心孔のポアスコープ試験などで、波形の裏づけとなる欠陥の実態をつかむならば、超音波探傷試験による評価は、信頼性の高いものにかかわるといえる。

また、現状の超音波探傷試験では、電気的、冶金的な知識とか、経験からくるある程度高級な技法を必要とするが、これは今後、もっと一般化することが必要である。

表 2.2 超音波探傷試験を中心とした品質評価構成図



超音波探傷器の機能的な改善からいうと、欠陥を面とか、立体の映像としてつかまえる方法が期待され、この方面の研究は、次第に目だってきているし、鋼板などには一部実用化されているが、軸材への適用は今後の問題である。

表 2.2 は、超音波探

表 3.1 A, B, C 軸材の成分および機械的性質

| 軸 材 | | 化 学 成 分 % | | | | | | | | | 試 験 片 | | 降伏強さ (0.2%) (kg/mm ²) | 引張強さ (kg/mm ²) | 伸び (%) | 絞り (%) |
|---------------------|---|-----------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|-------------------|-------|---|-------------------------------|-----------|-----------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | V | 位置 径寸法 (mm) | 方向 | | | | |
| 真空鑄造 塩基性 電気炉鋼 | A | 0.25 | 0.24 | 0.52 | 0.014 | 0.022 | 2.75 | 0.50 | 0.32 | 0.10 | 胴 | 14 半径 | 61.2 | 77.9 | 20.8 | 54.3 |
| | | (0.25) | (0.21) | (0.57) | (0.013) | (0.016) | (2.67) | (0.46) | (0.35) | (0.10) | 軸端 | 14 軸 | 62.3 | 77.6 | 24.0 | 62.3 |
| | | | | | | | | | | | 14 切線 | | 63.7 | 78.6 | 20.0 | 47.9 |
| 大気鑄造 酸性 平炉鋼 | B | 0.31 | 0.29 | 0.46 | 0.017 | 0.031 | 2.85 | 0.52 | 0.33 | 0.10 | 胴 | 7 半径 | 65.3 | 79.8 | 19.8 | 42.9 |
| | | (0.31) | (0.27) | (0.46) | (0.016) | (0.022) | (2.88) | (0.51) | (0.34) | (0.10) | 軸端 | 14 軸 | 65.4 | 80.0 | 24.2 | 61.4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | 0.35 | 0.35 | 0.56 | 0.015 | 0.024 | 2.71 | 0.57 | 0.38 | 0.13 | 胴 | 7 半径 | 60.6 | 76.6 | 19.5 | 42.6 |
| | | (0.33) | (0.32) | (0.57) | (0.015) | (0.022) | (2.70) | (0.52) | (0.40) | (0.17) | 軸端 | 14 軸 | 61.7 | 77.0 | 26.0 | 62.8 |

() チェック分析

傷を中心にしながらめた品質評価の構成を示している。

3. 軸材品質の諸特性とその評価

軸材品質を評価する場合の基本的な考え方は 2.1 項にのべているので、この章では軸材の試験結果にあらわれる諸性質を、前記四つの特性に含めて、具体的な評価内容を説明し、あわせて、今後の品質として考えなければならない諸点を指摘してみたい。

なお、われわれの手許には、昨年米国 USS 社から購入した真空鑄造軸材の調査結果があるので、この軸材と従来の軸材とを比較しながら、以下各項の説明を行なうことにする。

表 3.1 は真空鑄造軸材 (A 軸材と呼ぶ) と最近の大気鑄造軸材 (B および C 軸材と呼ぶ) の化学成分および機械的性質を示している。

3.1 清浄性とその評価

どんな材料でも製造上の生れとか育ちに関係して、なんらかの不完全性をもっている。軸材でも同じことがいえるが、この不完全性のなかで、比較的微小な欠陥、たとえば砂疵、偏析、非金属介在物、ガス体などの性状、分布、位置、含有量などの状態を清浄性の対象としてとりあげたい。

清浄性のよしあしが軸材品質にどのような寄与をするかということは、これまで、いろいろな角度からしらべられているが、簡単にいって、まだはっきりした答はでない⁽¹⁰⁾。これは清浄性の対象となる欠陥が、複雑な生成履歴をもっていて、実験室的に再現することがむずかしいからである。使用者側の立場からいえば、清浄性問題ははっきりしなければいけないだけ、軸材使用上の安全性の点から、できるだけ清浄性のよいものを要求しなければならない。

清浄性のよしあしをしらべるにあたって、まず注目しなければならないのは超音波探傷試験の結果である。

この試験の意義は 2.4 項にのべているが、清浄性をし

らべる場合は、個々の欠陥が対象となるのではなく、軸材全体の不完全性の状態把握が主眼であるから、探傷条件が適切であれば、試験結果は有力な目安になる。

この試験では、微小欠陥を十分に探査できるような探傷

条件を設定することが必要で、3Mc, 5Mc の試験周波数を選び、探傷器を高感度におくと同時に、被検体である軸材は、形状、探傷距離などの要素を含めて、良好な超音波透過性をもっていなければならない。

このような探傷条件におくと、微小欠陥の波形が誇張されて、比較的大きな欠陥からの反射波形と混同されやすいが、清浄性をしらべる目的からいうと、軸材の全表面を連続走査した結果にあらわれる欠陥波の総数や分布密度、あるいは、それらの位置などが問題になるだけである。米国資料⁽⁷⁾によると、超音波探傷試験の結果を Purity と Dirty に大きくわけているが、これは対比的な表現である。Dirty というのは欠陥波の分布密度が大きいことで Purity は分布密度が 0 かあるいはそれに近いことを意味している。

分布密度が 0 である場合、軸材にはなんらの不完全性をもたないと思えるのは、もちろん早計である。

軸材には大なり小なり非金属介在物とか偏析をもっているから、被検体探傷条件や探傷器の機能、あるいは軸材の製造履歴などから、この試験の探査精度の問題を考えなければならない。

いずれにしても、最良の探傷条件で Purity であることは、良い清浄性をもっていると考えられるから、照合試験や、その他の確性試験はある程度省略することもできる。

これまでの経験からいうと、高感度探傷条件で、酸性平炉鋼は、塩基性電気炉鋼に比べていくらか Dirty で

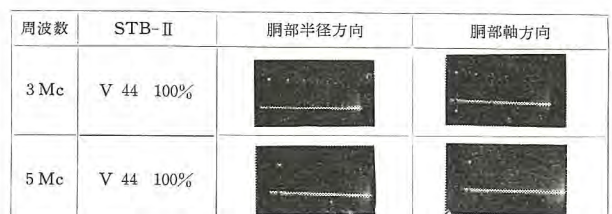


図 3.1 軸材胴部の超音波探傷波形 (A 軸材の音波透過性を示す)

Fig. 3.1 Ultrasonic patterns of A-forging from vacuum cast steel.

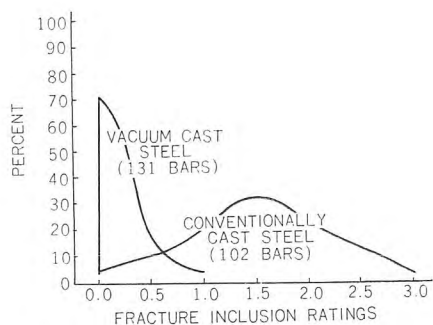


図 3.2 大気鑄造および真空鑄造 Ni-Mo-V 鋼鍛鋼品における破面介在物分布

Fig. 3.2 Distribution of fracture inclusion ratings on Ni-Mo-V forgings from conventional and vacuum cast ingots.

ある。これは製鋼法のちがいによるものだろうが、今後の軸材は現状よりも Purity なものを要求したい。

図 3.1 は A 軸材の超音波探傷試験における代表的な波形を示したものである。

この波形でわかるように、底面波の反射回数からみた超音波透過性は非常に良好である。

A 軸材は 3 Mc, 5 Mc 高感度探傷で欠陥波は全然認めていない。

この結果が真空鑄造によるものかどうかはきめにくい。図 3.2 は、真空鑄造と大気鑄造による非金属介在物の差を示した海外資料⁽⁸⁾⁽²⁰⁾の一例である。

これによると、真空鑄造では、微小な非金属介在物しか認められないことになる。

この微少な非金属介在物が超音波探傷で探査できるかどうかは別にして、従来の大気鑄造による塩基性電気炉鋼でも欠陥波を全然もたない軸材にたびたび出会っている。また、超音波透過性の点では酸性平炉鋼軸材は A 軸材とほとんど同じ程度に良好である。

以下、A 軸材の清浄性の実態を従来の大気鑄造鋼軸材と比べながらいろいろ説明する。表 3.2 は A 軸材の胴部から偏析層を避けて採取したコアドリル試料による非金属介在物の清浄度試験事例である。試料採取*その他の試験条件⁽¹⁹⁾に問題はあるが、従来の塩基性電気炉鋼軸材では面積率にして 0.20 % 程度であるから、真空鑄造の効果がいちじるしいとはいえない。図 3.3 はこの試料から検出した非金属介在物を示す。図 3.4 は胴部端面のサルファプリント、図 3.5 は軸端切捨部の旋削による偏析層の検出状況、図 3.6 は同部 4 分割断面のサルファプリントである。

* 回転子軸の仕上形状からみて、試料採取位置に制限がある。

表 3.2 軸材胴部コアドリル試料による非金属介在物測定結果 (A 軸材)

No. 1 コアドリル試料

| (a) | 格子点に位置した数 (a) | | | | | | | | 格子点に位置した介在物の総数 $\Sigma ab=n$ | 面積率 (%) $d=\frac{n}{400 \times 60} \times 100$ |
|---------|---------------|----|----|---|---|---|---|---|------------------------------|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| (b) 視野数 | 29 | 15 | 10 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15+20+18=53 | 0.22 |
| A | 46 | 8 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | $d60 \times 400=0.22$ | |
| B | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $d460 \times 400=0.09$ | |
| C | 45 | 18 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $d60 \times 400=0.13$ | |

No. 2 コアドリル試料

| (a) | 格子点に位置した数 (a) | | | | | | | | 格子点に位置した介在物の総数 $\Sigma ab=n$ | 面積率 (%) $d=\frac{n}{400 \times 60} \times 100$ |
|---------|---------------|----|---|---|---|---|---|---|------------------------------|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | |
| (b) 視野数 | 35 | 14 | 6 | 3 | 1 | 0 | 1 | 0 | 14+12+9+4+6=45 | 0.187 |
| A | 51 | 5 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | $d60 \times 400=0.187$ | |
| B | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | $d460 \times 400=0.066$ | |
| C | 40 | 14 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | $d60 \times 400=0.121$ | |

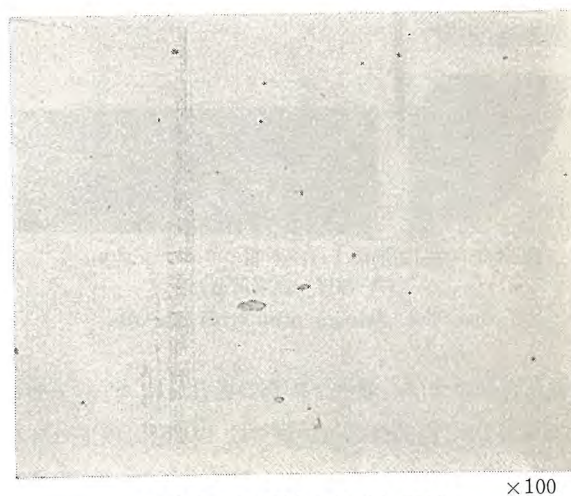


図 3.3 非金属介在物 (A 軸材)

Fig. 3.3 Non-metallic inclusions of A-forging from vacuum cast steel.

このように偏析の点からは、従来の軸材と格別のちがいはない。つぎには、成分的に不完全性を代表する P, S, の含有量であるが、表 3.1 に示したように A 軸材は B, C 軸材に比べて少ない。しかし、これは真空鑄造よりも、酸性平炉と塩基性電気炉の製鋼方法のちがいによるものと考えたがよいと思う。



図 3.4 真空鑄造軸材の胴端面サルファプリント
Fig. 3.4 Sulphur print from body end surface in A-forging.

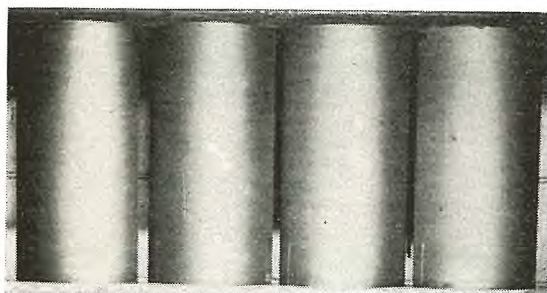


図 3.5 軸端切捨部旋削による偏析層 (A 軸材: 真空鑄造)
Fig. 3.5 Segregation from discards.

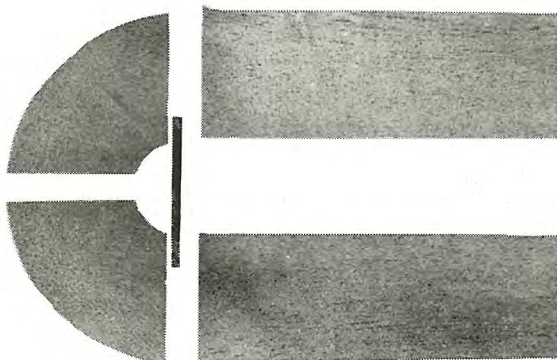


図 3.6 軸端切捨部4分割断面のサルファプリント (A 軸材: 真空鑄造)

Fig. 3.6 Sulphur print from discards.

従来の軸材では、酸性平炉鋼の場合、P, S の許容は 0.035% 以下、塩基性電気炉鋼では 0.025% 以下である。

われわれの集計⁽²¹⁾によると、酸性平炉鋼の約 30 本の大型軸材で S の平均含有量は 0.022% におさまり、また、酸性平炉では P の自己調整がむずかしいとされているが、その平均量は 0.019% であり、最初の時期の平均量が 0.021% であるのに対し、最近では 0.017% の平均量に低下している。

塩基性電気炉鋼では、数 10 本の中形、小形の軸材で、その 8 割以上が P, S とともに 0.020% 以下にある。

以上のようなことから、今後の軸材の P, S が 0.020

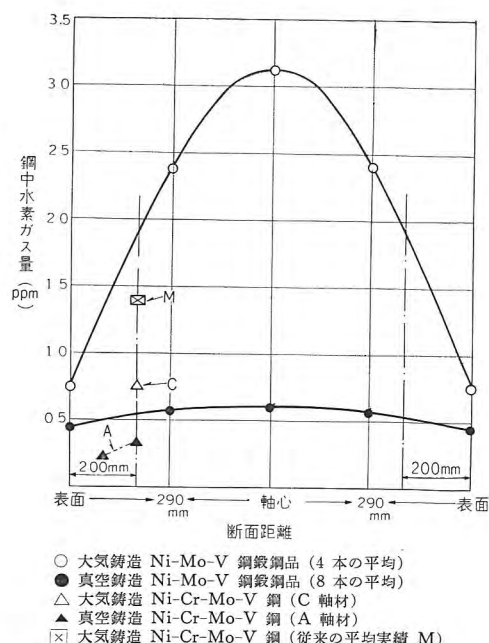


図 3.7 大気鑄造および真空鑄造 Ni-Mo-V 鋼鍛鋼品の断面水素分布 (J. H. Stoll)

Fig. 3.7 Cross-sectional distribution of hydrogen in Ni-Mo-V forgings compares with conventional and vacuum cast ingots.

% 以下に常時おさまることになれば、清浄性の点でも、有利である。

つぎには鋼中水素ガスの問題である。

鋼中水素ガスは水素脆性や白点生成の感受性の点からいって、少ないほどよいのであるが、A 軸材の場合は、胴部所定位置の表面から 100mm、および 200mm の深さから採取したコアドリル試料を分析した結果、それぞれ 0.27cc/100g, 0.36cc/100g, すなわち、ppm* にして 0.24, 0.32 という低い値を示している。

従来の酸性平炉鋼では 1~2cc/100g 程度になるが、軸材の熱扱いを十分にやった C 軸材の場合 0.77 ppm であって、これまでの実績ではもっとも低い値であった。

図 3.7 は J. H. Stoll⁽⁸⁾ が示した大気鑄造鋼と真空鑄造鋼の鋼塊水素ガス分布を示した線図に A, C 軸材とその他の軸材の水素ガスを仮にプロットしたものである。

以上のように、従来の軸材でも入念な工数をかければ、かなりの脱水素を期待することができる。しかし、真空鑄造による脱ガス効果**は、より以上にきいてくるので製造工数を減らす点からも大きなプラスとなる。

今後の軸材は、いずれの製鋼法を問わず 1 ppm 以下を規定するが、真空鑄造を適用すれば十分にはいる値である。以上のほか、清浄性に関係するものとして、軸材

* ppm \approx 1.12 cc/100 g.

** 米国資料によれば、真空鑄造時に電気炉鋼の水素含有量を約 60% 除去し、白点防止および水素脆化の解消、引張靱性の改善、清浄化をもたらすとしている (1959)。

表 3.3 A 軸材の疲労試験成績

| 試験方向 | σ_B (kg/mm ²) | σ_S (kg/mm ²) | ϕ (%) | ψ (%) | σ_T (kg/mm ²) | $\sigma_{\omega'}$ (kg/mm ²) | $\sigma_{\omega'}/\sigma_B$ | $\sigma_{\omega'}/T/L$ |
|------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|-------------------------------------|---|-----------------------------|------------------------|
| 軸方向 | 77.6 | 62.3 | 24.0 | 62.3 | 159.0 | 38.0 | 0.489 | 0.916 |
| 切線方向 | 78.6 | 63.7 | 20.0 | 47.9 | 123.0 | 36.0 | 0.458 | |

表面にあらわれる欠陥をしらべるための試験とか、その評価法があるけれども、個々の説明は省略する。

さて、軸材使用者の立場で、今後、清浄性をどのように考えていくかは、大きな問題であるが、機械的な性質たとえば、引張強さ、疲れ強さ、延性、靱性などに及ぼす効果はもっとも知りたい事であるし、磁気特性への影響も見のがせない。

表 3.3 は A 軸材の軸端部試料による回転曲げ疲労限とその他の機械的性質との関係表である。

このなかで切線/軸の疲れ強さの比が 0.90 以上であることは注目してよい値であるが、これが真空鑄造による効果か、あるいは他の条件がきいているのかは、今後の真空鑄造鋼軸材についていろいろしらべてみなければなるまい。

3.2 均質性とその評価

軸材の冶金学的、機械的、あるいは電気的な諸性質が位置的な差をもたないことは、品質を考えるうえに非常に大切な事である。

しかし、現状の試験方法からみると、このような均質性の評価は、ある限られた試験条件をもとにしなければならぬ。

われわれが、均質性を考える場合、第 1 の目標は内部組織の状態を知ることである。

内部組織が均質であれば、その他の性質もほぼ類似の傾向をもつにちがいない。

試験手段からいうと、まず、超音波探傷試験である。軸材が均質であれば、この試験の結果は、どの位置でも、同じような超音波透過性を示すはずである。

以上のようなことから、超音波探傷試験をもとにして、軸材全体の内部組織を最初にしらべることになる。

一般に超音波透過性の悪いものは、内部組織が粗大であるか、不ぞろいか、あるいは Orientation をもっているのか、このような軸材は、他の試験でも好ましい結果を示さない。このため超音波透過性の悪いものは、不均質の評価をうけることになる。

また、透過性の不良は欠陥の探知精度の点で、前述の清浄性とか、後述の健全性について、不具合な被検体条件となる。

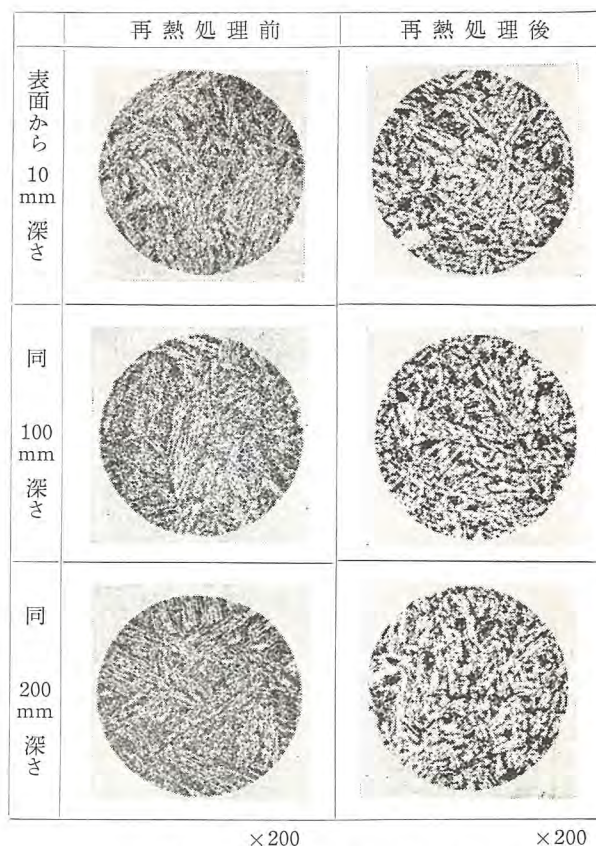
図 3.8 再熱処理前後の組織変化 (縮尺 $1/4$)

Fig. 3.8 Micro-structure of before and after reheat treatment.

軸材の超音波透過性の問題は、中形、小形軸材では数年前に解決していたのであるが、大形軸材では、種々問題があつて、検査基準の点から、いろいろ論争された。そのうち、この方面の研究⁽⁹⁾が進み、超音波透過性は、内部組織の調整によって、ほとんど、解決するというところに落ち着いたので、微細均質組織がえられるという点からも調質技術の改善処置がとられている。

図 3.8 は再熱処理前後の組織を示したもので、Orientation をもった不均質組織が、均質ペイナイト組織にかわっている。再熱前は超音波探傷の飽和底面波次数が 1 回程度であるのに、後者は 4 回程度の多重底面波次数を示し、超音波透過性がいちじるしく向上している。

以上のように、超音波透過性で均質組織をつかむことができる。

図 3.9 は A 軸材と B 軸材の内部組織の比較である。A 軸材が、微細パーライト組織であるのに対し、B 軸材はペイナイト組織であつて、両軸ともに均質組織として認められる。

このように内部組織がちがっているにもかかわらず、超音波透過性が良好で、しかもほぼ、類似しているのは、製造履歴とか、組織形態、あるいは、試験条件などの点

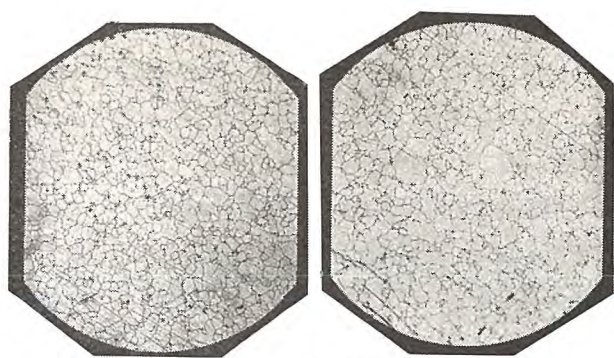


図 3.12 オーステナイト結晶粒度 (縮尺 1/4)

Fig. 3.12 Austenite grains in a vacuum cast steel.

結晶粒度をしらべることもある。

通常、この試験は次項にのべる靱性の問題にむすびつけて行なわれるが、各位置における試験結果の差とか、混粒の程度は、均質性評価の内容に含めてもよいはずである。しかし、これは試験上の制約とか解釈の問題があって、実際的ではない。

図 3.12 に A 軸材のオーステナイト結晶粒の状況を示しておく。

つぎにサルファブリントで偏析層の状態をしらべることは均質性を知らうえに必要である。軸材に偏析層をもつことは、そのまま不均質を意味するが、この種の欠陥は避けにくいものであるから、過度の偏析や、偏心分布の程度をしらべることになる。

しかし、この試験では、場所的な制限があつて、主として表面部の検出になるが、これまでの軸材でしらべた結果⁽²¹⁾を総合してみると、軸頸部にあらわれる表面ゴースト以外ではさほど問題にはなっていない。

A 軸材で偏析の状態をしらべた結果では 3.1 項のなかでも説明したように、従来の軸材と大差はないが、軸端部における逆 V 偏析のひろがりや、偏心の点では、むしろ劣っているから、この点だけでみると、国内製造者の造塊、鍛造技術がすぐれているといえそうである。

図 3.13 は軸端部の偏心状況を示す。ただしこの傾向



図 3.13 軸端面サルファブリント

Fig. 3.13 Eccentric appearance from body end sulphur print.

は、軸端部に限られ、3.1 項の図 3.4 に示したように胴端面では正常である。

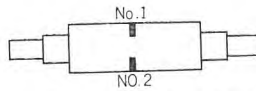
磁気特性試験を各位置でしらべることは、電気的な均質性を知らうえに大切であるが、これは試料採取の点で制限があるので、軸端部や胴延長部などからとったものでしらべるほかはない。

平均熱膨張係数の位置的な差をしらべることは、均質性の目安になるが、これもまた、試料採取の点で制限をうけるから、実際的ではない。

むしろ、この試験は、つぎの熱変形試験にむすびつけて、参考的に行なうことに意味がある⁽¹⁰⁾。

A 軸材の胴部円周面対称位置から採取した 2 本のコアドリル試験片で測定し、両者の平均熱膨張係数の差を求めたところ、表 3.4 に示すように最大 0.05×10^{-6} というわずかな値であった。

表 3.4 胴部コアドリル試料による平均熱膨張係数測定結果 (A 軸材)

| | | | | | | |
|---|--|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|  | | 30°C より各温度までの平均熱膨張係数 $\times 10^{-6}$ | | | | |
| | | 100°C | 200°C | 300°C | 400°C | 500°C |
| A 軸材 | | | | | | |
| No. 1 | | 11.02 | 11.61 | 12.30 | 13.02 | 13.73 |
| No. 2 | | 11.05 | 11.63 | 12.35 | 13.04 | 13.73 |
| 差 | | 0.03 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0 |

さて、軸材の熱変形試験であるが、この試験は回転中の熱曲りの安定性をたしかめる試験として重要である。熱曲り現象の理論的な解明はまだ十分ではないが一応考えられる因子⁽¹¹⁾⁽²⁰⁾⁽²²⁾⁽²³⁾⁽²⁴⁾としては、非対称偏析や不均質組織の存在、あるいは組織の二次的な分解とか、内部応力の弛緩など、軸材の製造履歴に関係したものがあげられ、これはそのまま均質性のよしあしにむすびついているといえる。したがって、熱変形試験の結果は、軸材の均質性にかなりまよった答を与えているようである。

従来この試験は、軸材の出荷前に行なわれ、熱曲りに対する安定性が十分たしかめられたうえで受入れられる。われわれは、これまで数 10 本の大形、中形軸材にこの試験を適用してきたのであるが、熱曲りに対し、不安定な軸材は過去に、2 本でている。

いずれも中形軸材で、再試験や再調質で、十分安定化されたあと、受入れられている。

このため、製造履歴に関係する熱曲りの心配は一応なくなるが、受入後のスロット加工その他の重切削が発生すると思われる残留応力が熱曲りにどの程度影響を与え

るかということは、3 年前まではっきりしたものではなかった。その後、この問題について、製造者と共同実験を行なうことになり、実物大のモデル軸を使って、種々実測し、その結果、100°C 以上で異常熱曲りを降伏させる、いわゆる、ブレーキング現象を認めたので、以後の大形軸材にはこの試験を適用することにした。

荒削軸材の場合の熱変形試験温度は 250°C であるが、成形軸の場合は製品上の考慮から、回転子軸の乾燥運転時の温度を若干上回る 150°C 試験を適用することにした。

図 3.14 は、油圧開閉形 Heater Box を使用して熱変形試験を行なっている状況である。

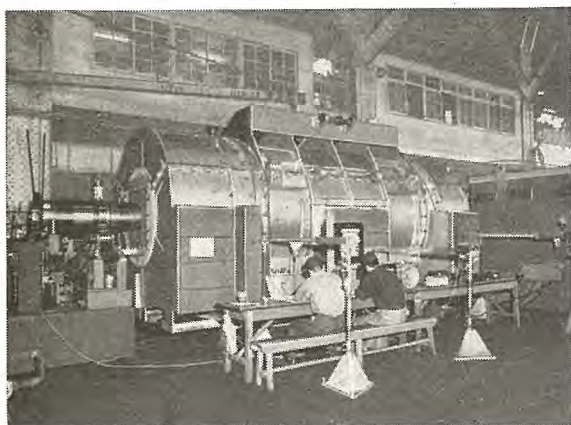


図 3.14 成形軸の熱変形試験

Fig. 3.14 Thermal stability test for machine-finished generator rotor.

計測方法は、一般にとられているテンビン計測であるが回転子軸の各歯部の均一接触が必要なので、テンビン先端に特殊な Shoe をつけていることや、レコーダで変移線図を連続記録する点が従来の方法と異なっている。表 3.5 は B 軸材の出荷前と、成形後の試験結果を示している。

この成形軸の試験で Polar Plot 法による線図の追跡を行なったところ、残留応力の弛緩によると推定されるブレーキングは、120°C から 140°C の間にあらわれたが、その程度は小さいものであった。

一般に荒削軸材の熱変形試験にあらわれる熱曲りの形

表 3.5 B 軸材の熱変形試験結果

| | 軸材形状 | 測定範囲 | 測定位置 | | |
|----------------|------|-----------------|-------|-------|-------|
| | | | I | II | III |
| ベクトル偏心 (mm) | 荒削品 | 250°C→冷却後 常温 | 0.007 | 0.008 | 0.010 |
| | | 常温→150°C | 0.010 | 0.007 | 0.010 |
| | 成形品 | 150°C→冷却後 常温 | 0.010 | 0.010 | 0.005 |
| | | 常温→冷却後 常温 | 0.004 | 0.003 | 0.009 |

式は五つ⁽²²⁾に分けることができるが、その中で心配されるのは、温度に比例して変化する可逆的な曲りである。

この曲りは Reversible Bending⁽¹⁰⁾⁽²⁶⁾ と呼ばれ、主として軸材の冶金の性質の不均衡に基づくものでその因子が均質性の内容に含まれる諸性質に関係があるのはいうまでもない。成形軸の場合は、磁極部と歯部の断面積の差があるから、質量的な不均衡で Reversible Bending の発生が懸念されるのであるが、われわれの実績からいって、この種の曲りはきわめてわずかである。

以上、軸材の均質性は従来から非常にきびしく考えられるが、これまでの実績からいって、主として問題になったのは、造塊時よりも、それ以後の製造要因による不均質であるから、均質性についての真空鑄造の効用は非常に間接的なものであって、むしろ、総体的な製造技術の向上が今後にのぞまれることになる。

3.3 靱性とその評価

軸材の靱性を考える場合、水素脆性に関係する引張試験の伸び、絞りの値、一般衝撃性、切欠靱性が対象になる。

鋼中水素ガスが引張試験の伸び、絞りに影響を与えることは、はやくから知られている⁽⁷⁾⁽¹²⁾⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾。

鋼中水素ガスの量が多いために、試験値の偏差を大きくしたり、破断傾向を不規則にした事例は、過去に何度も経験しているが、従来の軸材では、多少の水素脆性は避けられないものとして考えられ、応力的に問題となる成形軸歯部根元の水素ガス自然放出が数カ月で完了することから、脱水素試験片*による試験結果を正にすることは、ある程度、やむをえまいとする考え方⁽¹⁾⁽²⁾をとってきた**。しかし、なんらかの形で水素脆性の目安をつかむことが必要なので、次のような脱水素効果率を制定することにした。

$$H_e = \frac{A_e - U_e}{U_e} \times 100 \quad (\%)$$

$$H_r = \frac{A_r - U_r}{U_r} \times 100 \quad (\%)$$

H_e = 伸びの脱水素効果率

H_r = 絞りの脱水素効果率

$U_e(U_r)$ = 非脱水素試験片の伸び(絞り) %

$A_e(A_r)$ = 脱水素試験片の伸び(絞り) %

この脱水素効果率は、鋼中水素量が、多ければ多いだけ高くなる傾向をもつと考えてよいから、この率を下げることを製造者にそのつど申し入れてきた。

* 一般には時効処理試験片 Aged specimen と呼ぶ。

** ASTM でも認めている。

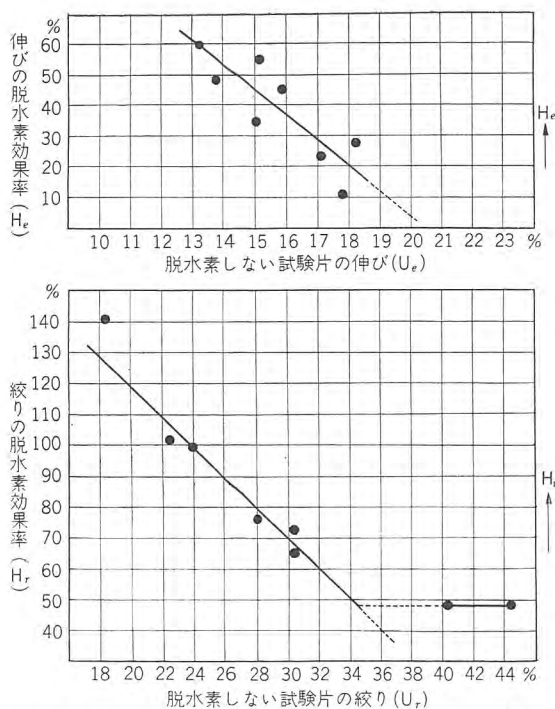


図 3.15 伸び絞りと脱酸素効果率の実績例 (8 本)
Fig. 3.15 Effect of hydrogen increase in elongation and reduction of area in 8 forgings.

図 3.15 は 20 t 以上の軸材 8 本で調べた脱酸素効果率と非脱酸素試験値との関係を示したものである。これによると伸び絞りの低いものほど、高い率を示している。

鋼中水素ガスが軸材内部で不規則な分布濃度をもっていることは予想できるから、このために伸び、絞りの値がばらついたり、破断の傾向を不規則にすることも考えられ、これは、前述の均質性に関係して好ましくない。しかし、鋼中水素ガスは他の場合とちがって、長期間ではあるが最終的には自然放出してしまうので問題のとりあげ方⁽¹⁾⁽²⁾は、いくらか楽観的である。

いずれにしても、鋼中水素ガスの絶対量をへらすことは、水素脆性を緩和し、白点生成の心配をなくす意味で大切である。このため製造者は、溶解、造塊、鍛造、焼鈍の各高熱作業時に、水素ガス混入の抑制とか、強制拡散などの入念な技術対策を以前からとっているが、最近では水素脆性の不具合さを、ほとんど解消する域にきている。たとえば、0.77ppm の水素ガス量を示した C 軸材では、水素脆性を全然みとめていない。

われわれが、胴部の歯部根元位置に相当する深さから採取した分析試料で 1 ppm 以下を指定するのは水素脆性のまったくない軸材をのぞむからである。真空製造では、脱ガス効果は十分であるから、今後は伸び、絞りの脱酸素効果率は問題にならないし、脱酸素処理した試験片の必要もなくなる。

以上の水素脆性の問題とは別に、安全性の向上をはかって引張強度はある程度犠牲にしても、伸び絞りの値を高めようとする傾向にあるが、これは靱性とのむすびつきを重く考えているのにほかならない。

つぎには一般衝撃性の問題である。これには常温におけるアイゾット衝撃値と U ノッチ・シャルピ衝撃値が対象になる。しかし、両者の換算は実測的に不一致な点が多いので、アイゾット衝撃値を正にして、胴部コアドリル試験片で 2.5 以上が目標であるが、これまでの軸材はほぼこの値に近いものである。

軸材の切欠靱性は、数年前の海外破壊事故以来、脆性破壊問題⁽⁷⁾⁽¹⁴⁾⁽²⁷⁾に関連して、にわかに注目されている。

しかし、この切欠靱性は溶接関係でとりあげる場合よりも、多分に未知的な要素をもっているから、一般的な解釈に従って、切欠靱性の尺度となる遷移温度のできるだけ低いものを要求することになる。

単に切欠靱性を高めるだけを目標におくならば、製造上、集中した改善が行なわれるだろうが、他の特性を無視するわけにはいかないから、この点の調整はなかなか微妙である。

いま遷移温度に及ぼす諸因子を考えると、まず化学成分である。表 3.6 は Rinebolt および Harris 両氏の実験例⁽¹³⁾で標準 V ノッチ・シャルピ試験における 15 ft. lb. 吸収エネルギー遷移温度*すなわち Tr₁₅ の温度が、各種の合金元素の成分 1% 増加に伴って増減する温度の変化量を示したものである。

これによると、軸材の成分範囲からみて、C, P, Cr, V などは遷移温度を高め、Ni, Mn は逆に低下させる。

表 3.6 Tr₁₅ に及ぼす各種合金元素の影響
(Rinebolt & Harris による)

| 成 分 | Tr ₁₅ 変化量 (成分 1% 増加あたり) | | 適 用 成 分 範 囲 (%) |
|-----|------------------------------------|--------|--------------------|
| | (°C) | (°F) | |
| C | +147 | +257 | 0~0.40 |
| Si | 0 | 0 | 0~0.60 |
| Mn | +54 | +130 | 0.60~1.80 |
| P | -56 | -100 | 0.30~1.50 |
| S | +560 | +1,000 | 0~0.20 |
| Cu | 0 | 0 | 0~0.05 |
| Ni | +111 | +200 | 0.05~0.15 |
| Cr | 0 | 0 | 0~0.70 |
| Mo | +39 | +70 | 0.70~2.00 |
| V | -39 | -70 | 0~0.40 |
| Ti | -17 | -30 | 0.40~3.00 |
| B | 0 | 0 | 0~0.50 |
| Al | +111 | +200 | 0.50~1.00 |
| | +195 | +350 | 0~0.18 |
| | -42 | -75 | 0.18~0.30 |
| | +334 | +600 | 0~0.14 |
| | -274 | -500 | 0.14~0.22 |
| | -44 | -80 | 0~0.40 |
| | +2,780 | +5,000 | 0~0.0044 |
| | 0 | 0 | 0~0.10 |

* 慣用語. 15 ft. lb. ⇔ 2.1 kgm.

したがって、化学成分から遷移温度の低下をはかるならば、強度に関係する C や Cr, 組織の均質微細化に関係する V 元素に対しても十分考慮しなければならないだろう。P は不純物であるから、極力、その絶対量を減らさなければならないのは当然である。酸性平炉の場合は、P の自己調整がむずかしいが、3.1 項の実績にも示されているように精製原料の使用で、解決できると思う。

A 軸材の成分について考えると、C の含有量が従来の軸材に比べて、かなり低いのは、遷移温度の低下を十分考慮に入れたものであろう。

つぎの因子としては、脱酸問題がとりあげられる。造塊時の脱酸が行届いているなら、軸材の清浄性はよくなるが、遷移温度に対して、どの程度の影響を及ぼすかはっきりしたものではない。しかし、脱酸の十分な材料が不十分なものに比べて、切欠靱性を向上させることは、一般的にいえる。この点からいうと、真空鑄造の脱ガスは確かに効果的である。

フェライト結晶粒度が微細であれば、一般に切欠靱性は向上するが、オーステナイト結晶粒度の場合も関連的に同じことがいえそうである。

表 3.7 には A 軸材のオーステナイト結晶粒度の測定値を示した。結晶粒度の写真は 3.1 項の図 3.12 にのせている。

従来の軸材では、4~6 程度と考えるとよいから、A 軸材ではそれよりも微細である。

一般に真空鑄造の場合は、結晶粒度は粗になる傾向にあるといわれるが、A 軸材では逆であるから、切欠靱性を対象に、粒度微細化の改善処置が施されていることに

表 3.7 軸材胴部コアドリル試料によるオーステナイト結晶粒度測定結果 (A 軸材)

No. 1 コアドリル試料

| 粒度番号 (a) | 視野数 (b) | a×b | 平均粒度番号 (m) | 判 定 結 果 |
|-------------|------------|-----|---|---------------------------------|
| 3 | 2 | 6 | $3 \cdots \frac{6}{100}$ $4 \cdots \frac{3}{100}$ | $G_c\{3.3(9\%)$ +6.8(91%)}20 |
| 4 | 1 | 4 | | |
| 計 | 3 | 10 | $10/3 \approx 3.3$ | |
| 5 | 3 | 15 | $5 \cdots \frac{14}{100}$ $7 \cdots \frac{61}{100}$ $8 \cdots \frac{16}{100}$ | |
| 7 | 11 | 27 | | |
| 8 | 3 | 24 | | |
| 計 | 17 | 116 | $116/17 \approx 6.8$ | |
| 總計 | 20 | 126 | $126/20 = 6.3$ | 6.3 |

No. 2 コアドリル試料

| 粒度番号 (a) | 視野数 (b) | a×b | 平均粒度番号 (m) | 判 定 結 果 |
|-------------|------------|-----|---------------|---------|
| 6 | 3 | 18 | 69/10=6.9 | 6.9 |
| 7 | 5 | 35 | | |
| 8 | 2 | 16 | | |
| 計 | 10 | 69 | | |

なる。

つぎには、調質組織の問題である。切欠靱性にもっとも効果的な因子⁽⁷⁾は、前述の化学成分と内部組織の二つとされている。テンパーマルテンサイト組織や、ベイナイト組織が、切欠靱性を高めることは、よく知られている。このため、熱処理の面から、切欠靱性を改善しようとする試みがいろいろ行なわれている。

たとえば、米国系の軸材では二重焼準焼もどしの空冷方式がとられているが、軸材の脆性破壊問題以後に、空冷と油冷の中間的な冷却速度をとって、噴霧による冷却、すなわち、Fog Quenching が提案され、切欠靱性対策の一つに加えられている。

この処理で、組織の均質性をどの程度に保証できるかという点に問題はあるが、国内でも Fog Quenching の研究が進み、実用の段階にある。

この種の調質では従来のものよりも緻密なベイナイト組織がえられ、遷移温度を下げることに役だっている。このように、調質組織は切欠靱性に対して大きな影響を与える。A 軸材はパーライト組織であって、切欠靱性の点から内部組織的には好ましいものではない。しかし、遷移温度の実測ではたしかに低い値を示しているの、この軸材では他の因子、とくに炭素含有量が低いという点が、よくきいていると思われる。

以上のほかにも切欠靱性に関係した因子を考えることができるだろう。しかし、いずれにせよ、この切欠靱性は、単独では参考的性質にとどまるのであって、他の性質との関連、とくにある種の欠陥の状態とむすびつけて脆性キレツの発生と伝播の公算を考える場合に、はじめて重要な意味をもつことになる。

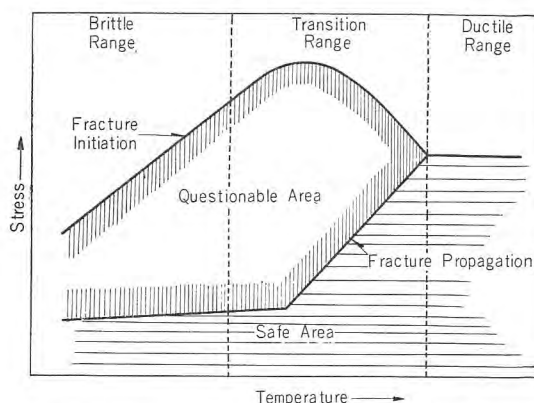


図 3.16 鋭い切欠をもった構造用鋼の破断と応力との関係 (概念図)

Fig. 3.16 The relative stress requirements for fracture of a structural steel section containing a sharp notch. (schmatic)

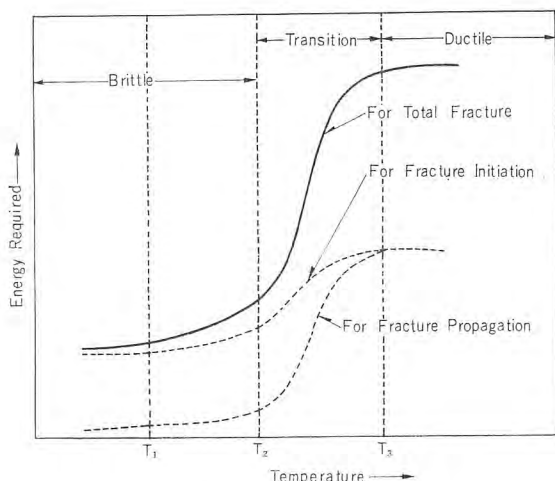


図 3.17 全破断とエネルギーとの関係 (概念図)
Fig. 3.17 The relative energy requirements for total fracture (schematic).

図 3.16 と 図 3.17 は Wesser, Pryle 両氏⁽⁷⁾が示した概念図であるが参考になると思う。

なお、切欠靱性を対象にした試験は、50% 破面率温度や 15 ft. lb. 吸収エネルギー温度などのほかに、種々雑多なものがあり、それぞれに研究⁽⁷⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾が進んでいるが、まだはっきりしたものでなく、切欠靱性問題はそれだけに未知的な要素が多いわけである。

したがって、軸材の切欠靱性を割切って解釈するのは非常に危険であると思わなければならない。

図 3.18 は A 軸材の Tr_{15} の線図である。みられるとおり、軸材としては低い値を示している。

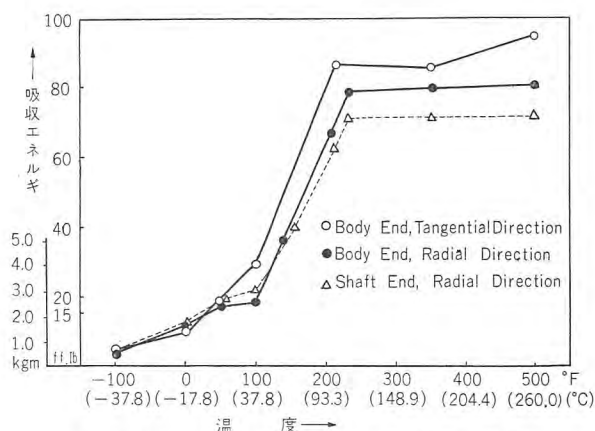


図 3.18 A 軸材の吸収エネルギー遷移温度曲線
Fig. 3.18 Energy transition temperature curves in A-forging.

以上、軸材の靱性についていろいろ説明したが、切欠靱性を考慮に入れた衝撃性の海外規定に、標準 V ノッチ・シャルピ試験で、一定の温度、たとえば 24°C の試験温度で吸収エネルギーが 1.6 kgm 以上、あるいは 2.1 kgm 以上あればよいとか、試験温度 80°C で延性破面

が 50% 以上あればよいとするものもあることをついでに付記しておく。

3.4 健全性とその評価

軸材品質が健全であるかどうかということは、前述の清浄性・均質性・靱性の内容を含めて、非常に広い範囲の内容を対象にしなければ評価できない。

しかし、ここでいう健全性は、冶金的な欠陥が有害か無害かの問題に絞って考えたい。

さて、一般鍛鋼品の欠陥としては雑多なものがあるが、日本鍛鋼会でも不良原因類別⁽¹⁸⁾に 45 種類をあげているほどである。

軸材使用者が欠陥をしらべる機会は、軸材製造工程の終了時期に行なわれる立会検査およびそれ以後になるから、製造者が事前に処置するものを除くと、実際に対象となる欠陥は限られたものになる。

すなわち、前記の不良原因類別に従うと、約 15 種類程度である。

表 3.8 に示した欠陥は代表的なものであるが、必ずしも上記の類別に従っていない。

これらの欠陥の大部分は、超音波探傷試験で欠陥波形としてとらえることができる。

また、そのあとに行なわれる照合試験や、その他の試験で波形の裏付けとなる欠陥の判別を行なうことは比較的容易である。

しかし、各種試験の結果にあらわれた冶金欠陥の状態を、数値的な表現で有害無害を評価することは、非常にむずかしい。

表 3.8 軸材欠陥の評価区分

| 類別 | 種 類 | 大きさ | 形 状 | | | 分布形態 | | | 分 布 密 度 | | | |
|----|---------------------|-----|-----|---|---|------|----|----|---------|---|---|----|
| | | | 鋭 | 中 | 鈍 | 凝集 | 分散 | 極大 | 大 | 中 | 小 | 極小 |
| Ⅰ | 白 点 異状偏析 | ／ | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| | | ／ | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| Ⅱ | ザ ク き ず | 大 | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| | | 小 | A | A | B | A | A | A | A | A | A | B |
| Ⅲ | 砂 か み | 大 | A | A | A | A | A | A | A | A | A | A |
| | | 中 | A | B | B | A | A | A | A | A | A | B |
| | | 小 | A | B | B | A | B | A | A | A | B | B |
| | 裂開性介在物 (ノッチ性介在物) | 大 | A | B | B | A | B | A | A | A | A | B |
| | | 中 | A | B | B | A | B | A | A | A | B | B |
| | | 小 | A | B | B | A | B | A | A | B | C | C |
| Ⅳ | 砂 き ず | 大 | A | B | C | A | B | A | A | B | C | C |
| | | 中 | B | C | C | A | C | A | A | B | C | C |
| | | 小 | C | D | D | A | C | A | B | C | D | D |
| | 偏 析 | ／ | ／ | ／ | ／ | B | D | A | B | C | D | E |
| Ⅴ | 非金属介在物 | 大 | C | D | D | C | D | B | C | C | D | E |
| | | 中 | C | D | D | C | D | B | C | C | D | E |
| | | 小 | D | E | E | D | E | B | C | C | D | E |
| Ⅵ | 組 織 異 常 | 大 | ／ | ／ | ／ | C | C | C | C | C | C | D |
| | | 中 | ／ | ／ | ／ | C | C | C | C | C | C | D |

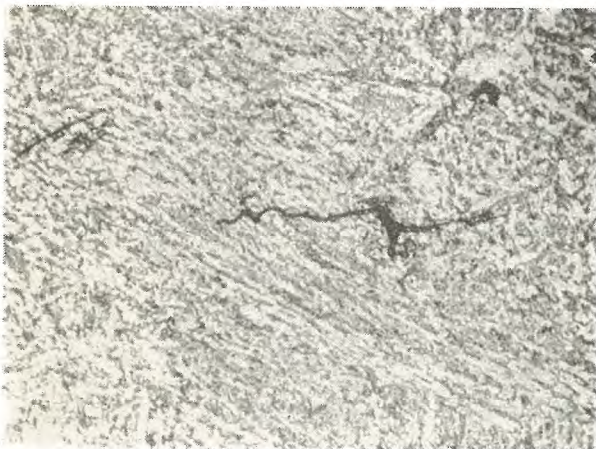
A: 有害とするもの
B: 有害性がつよいもの
C: 有害か無害か他の要素を加味するもの
D: 無害性がつよいもの
E: 無害とするもの

*: 局部除去ができるならば再評価するもの

これは、冶金的な欠陥を数値にあらわしても、その裏付けとなる機械的な諸性質、とくに強度的な結果とのむすびつきがはっきりしないからである。

この意味は、2.2 項や 3.1 項などの説明内容からも十分理解できると思う。

このため、冶金的な欠陥には、経験的なものを加味した官能検査の見方をとることになるが、軸材の安全性の点からいって、欠陥の有害、無害についてはきびしい評



×100

図 3.19 ザクきず

Fig. 3.19 Microstructural appearances of center porosity.

64 (1474)

価基準をとらなければならない。

表中の評価区分は一つの試案であって、実際には、もっと細かく分けて評価する必要がある。

以下この区分に従って説明する。

第Ⅰ類の欠陥は、ここ数年間の軸材検査の実績では、全然、検知していない。この種の欠陥はキレツ性で明らかに有害であるが、主として水素ガスに起因する欠陥であるから、将来も十分避けられる。

第Ⅱ類以下の欠陥は、その大部分が造塊条件に起因する欠陥で、これまで大なり小なり発生している。

軸材の軸心部周辺にみられる粗鬆部欠陥はザクきずとして知られている。ザクきずの例を図 3.19 に示す。この欠陥の生因はまだ十分わかっていないが、軸心部の応力条件やきずの形からいって、有害な欠陥として取扱うから、この種の欠陥防止には以前から、いろいろ対策がとられている。しかし、あとにのべる非金属介在物系の欠陥防止にも気を配らなければならないので、両者の防止を考えた安全鑄込範囲は非常に狭いものになる⁽²⁴⁾から、製造者はこの点で非常な苦心を払っている。

真空鑄造はザクきずの防止に対し、直接の効果はないとされているが、非金属介在物系の欠陥対策の点で楽になるから、間接的には効果がありそうである。

非金属介在物系の欠陥は、清浄性の項でも触れているが、この種の欠陥は鋼に対して異質の介在物であるから、形状、大きさ、分布などの点で極力、無害な方向にもっていく必要がある。

大きな介在物の有害性の事例としては 1956 年 3 月米国 Pittsburg 発電所で起ったロータ破壊事故⁽⁵⁾原因をあげなければならない。

この破壊の直接の原因になったのは 50 mm×125 mm の Woody Area をもった軸心部の大きな Silicate 介在物であった。

われわれは、このように大きな欠陥を検出した経験はないが、この事故例は、平板状介在物の有害性をはっきり示した点に意義がある。

この欠陥について面の広さよりも、先端形状とか周縁組織などを重くみるなら、類似形態をもつ小さな介在物欠陥でも、有害性の対象になるといえる。

以上を前置きして、非金属介在物系の欠陥を大きさの順序で分けると、砂かみ、砂きず、非金属介在物になる。

生因的には装入原料や造塊条件に左右されるものと、造塊時の溶滓巻込みや耐火材の溶込みによるものとがあ

って、砂かみは後者に属し、砂きず、非金属介在物は両者のいずれか、または相互反応から生れるとされている。

砂かみは比較的大きな欠陥で形状的にも、ノッチを伴いやすいから、前記事例に関連して有害性が強い。

砂きずは定義的にまぎらわしいが、大きさからいって砂かみと非金属介在物との中間である。砂きずの大きさの下限では肉眼でやっととめられる程度の非金属介在物もその範囲に含まれる。

この種の欠陥は、形状、大きさ、分布の状態などから、その欠陥に応力集中やキレツ発生・伝播の心配があるかどうかを評価することになる。

この意味からいえば非金属介在物の分布密度の高い偏析層は当然問題になる。この偏析層には C, P, S の成分偏析濃度も高いので組織的な異常をもち、靱性にも乏しくなる傾向が強いので、二次的な有害因子になる場合がある。このことは数年前の Clomby 発電所ロータ破壊事例⁽³⁾⁽²⁷⁾にも指摘されている。

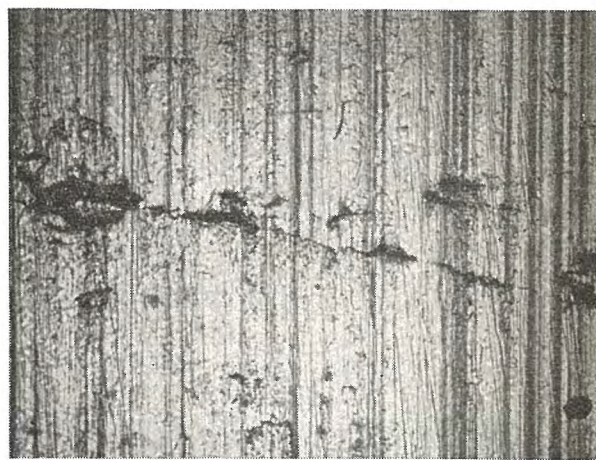
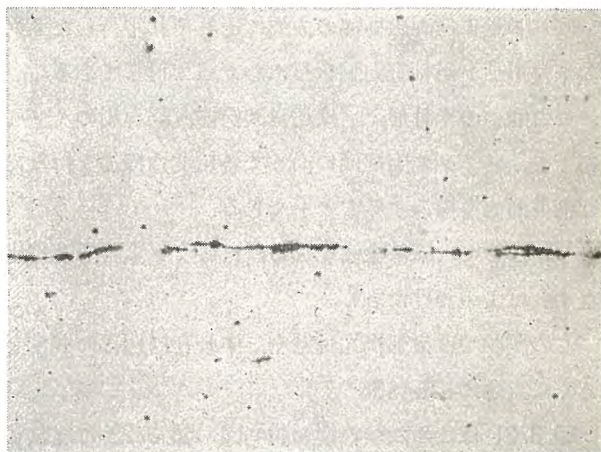
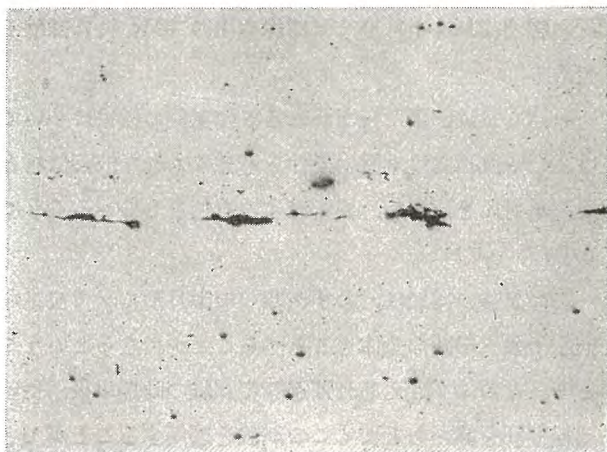
以上の欠陥に関係して、われわれがノッチ性介在物と呼んでいる裂開形の介在物がある。

この欠陥はおもに鍛造化の高い部分、たとえば軸頸部の偏析層やその他の箇所にあられ、一見すると毛割れにみえるもので、形状的に有害性の強い欠陥として注目している。

図 3.20 は、そのノッチ性介在物である。

この欠陥は恐らく、砂きずや、偏析内凝集介在物が鍛伸されて開口したものだろうが、分布密度が高い場合は廃却処分をうけることがある。

その事例は3年前本誌⁽¹⁾⁽²⁾に紹介したので省略する。偏析を含めた非金属介在物系の欠陥は、その成因からみて、避けにくい欠陥であるが、砂かみのような大きな欠陥をなくすことや、その他の欠陥の絶対量をへらすこと、あるいは、偏析を無害な形にすることは可能である。このための対策として考えられるものに鋼中ガスや P, S の減量、脱酸の徹底、十分な高温精錬、良質原料の使用などがあげられる。



×50

図 3.20 ノッチ性介在物（裂開形介在物）

Fig. 3.20 Harmful inclusion with notched appearance

このような対策からみて、真空鑄造の適用は、少なくとも脱酸生成物の減量に大きな役割を果すことになる。

以上、健全性の問題を欠陥の有害性にむすびつけて説明したのであるが、軸材の安全性を考えるならば、非金属介在物系の微小な欠陥であっても、形状その他の点から、応力集中とかキレツ発生、伝播の心配がまったくないようなものを要求することが大切である。同時に、官能検査的な見方にとどまっている健全性の評価を、もっと適切な試験方法とか、新しい研究手段などで、たしかなものにする努力が必要なことはいふまでもない。

この意味で、つぎに紹介する特殊超音波探傷試験は、今後の健全性評価に対する一つの指標になると思う⁽⁷⁾ (11)(27)。

この試験は完成した回転子軸の過速度試験前後に行なわれる。

したがって、軸に実際の応力を加えたあとの内部異常を超音波探傷でとらえようという目的をもっている。

われわれはこの方法を、内部冷却 208,696 kVA 発電機にはじめて適用した。

回転子軸には両磁極部の表面にそれぞれ平行した2筋の半月形ミゾが軸方向胴全長にわたって付してある。

この四つの半月形ミゾは超音波探傷試験専用のミゾであって、各ミゾの円周面に沿うて各角度の探傷を行なえば胴部断面を探傷することができる。

したがって、胴部全体を知るには各ミゾ全長を連続走査すればよいわけである。

この試験では歯部根元付近や、中心孔周辺部の異常をとくに入念にしらべる。

図 3.21 はこの試験の要領説明図、図 3.22 は試験状

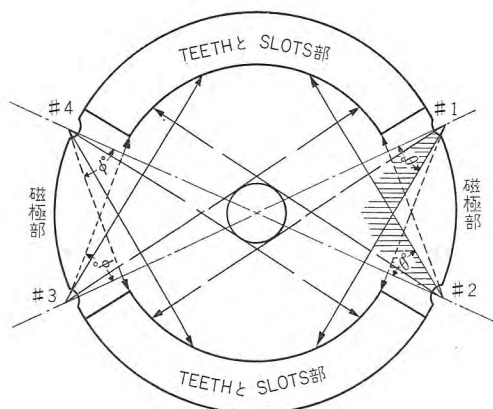


図 3.21 半月形ミゾ超音波探傷試験要領

Fig. 3.21 Nomenclature of ultrasonic inspection for generator rotor provided with crescent grooves.



図 3.22 半月形ミゾによる特殊超音波探傷

Fig. 3.22 Ultrasonic inspection of turbine generator rotor provided with crescent grooves.



図 3.23 半月形ミゾ超音波探傷用 3Mc 専用探触子

Fig. 3.23 Searching unit for ultrasonic testing (3 Mc.).

況、図 3.23 は半月形ミゾ探傷専用の 3Mc 特殊探触子である。

過速度試験前後に行なわれるこの試験の結果については、超音波指向角や反射条件を考慮に入れた波形分析とか波形対比を行ない、異常発生の有無をしらべることになる。

この試験の特長は、わずか四つの半月形ミゾで複雑な回転子軸成形断面全体をしらべることができるということや、このミゾさえあれば過速度試験の時期以後、長い運転期間を経たあとでもこの試験を適用することができるということである。

この試験の探傷技法の発表は後日にゆずるが、健全性問題に関連して紹介した理由は、この試験が回転子軸の運転で実際の応力が加わったあと、内部欠陥のキレツ発生や伝播の危険性について、ある程度の回答を与える新しい試みとして考えたからである。

また、発電機運転時の破壊予知とか防止対策からいって、この種の試験はもっと発展しなければならぬ。

3.5 軸材品質とその総合評価

前項までに説明した四つの性質はその大局的な分け方や内容からみて、表 2.1 にあげたいろいろな試験結果を雑多に組合わせたものである。

また、四つの性質の間でも、共通した内容とか、未解

決な問題があって、軸材全体の品質を代表するかどうかははっきりしたものではない。

しかし、少なくとも評価上の考え方を整理できることや、品質の本筋をつかむことにはなると思う。そこで、もっとたしかなまとめ方を必要とするなら、表 2.1 の試験結果にあらわれる諸性質を冶金的・機械的・電気的性質の三つに分ける一般的な評価方法を併用することである。

この場合、冶金的な性質をまず見きわめ、数量的な結果としてあらわれる機械的性質や電気的性質とむすびつけて、品質のよしあしを評価することになるが、前に何度も断っているように、現状でとられている試験方法には限界があって、機械的・電気的性質としてあらわれる結果が、冶金的性質の内容に対するすべての答えにはなっていない。

このため、試験技術の飛躍的な進歩がのぞまれるし、基礎研究による学理的な解明、経験実績の集積による製造技術の改善向上が期待される。

真空鑄造がその一端を受持つのはいうまでもない。表 3.9 は真空鑄造の A 軸材と従来の軸材との総括的な比較表である。

みられるとおり、A 軸材は従来の品質水準からすると高いところにあるが、真空鑄造の効果そのものは、はじ

めに期待したほどでもない。

いいかえると、これまで軸材にとられてきた品質改善の成果が真空鑄造との差をちじめているといえそうである。しかし、製造の難易からいうと、真空鑄造は製造者に大きなプラスであることはまちがいない。

A 軸材の良好な軸端疲れ強さを別にすれば、とくにすぐれた性質は切欠靱性である。

この性質が真空鑄造の直接的な効果によるものとしてはいまのところ考えていない。これは A 軸材だけでは判断できないからである。しかし、いずれにしろ、この軸材に切欠靱性を高めるためのある種の改善処置がとっているのは事実である。

切欠靱性を向上させる対策は 3.3 項にのべたように、いろいろ考えられるが、切欠靱性を重くみるあまり、必要以上に他の性質を犠牲にすることは好ましくない。

この点では、A 軸材についてとくに問題にするものはなさそうである。強いていえば、内部組織をパーライトにした理由をもっとはっきり知ることである。

以上、この項を含め、われわれの会社で購入した米国製 A 軸材をたびたび例にとって、真空鑄造軸材の品質をいろいろ説明したのであるが、つぎの事がらも十分、再考する必要がある。

すなわち、第 1 には、米国の真空鑄造がすでに軌道に乗っているとはいっても、経験的にはそんなに深くはないということである。第 2 には真空鑄造の原理的な限界はあっても、脱ガス効果や、間接的な効果からみて、本来もっと高い品質を期待できるのではなかろうかということである。この意味からいって、A 軸材だけの調査結果から、真空鑄造軸材の品質全般を論評してもはじまらないだろう。これまでの軸材品質改善に示された国内製造技術の水準からみて、真空鑄造技術は、より高い水準で消化され、発展すると信じたい。

4. む す び

大形タービン発電機に使用する軸材品質の考え方や、品質評価上の問題点、あるいは真空鑄造軸材を中心にした将来の品質について、いろいろ述べたが、以上を総括していえることは次のとおりである。

(1) 軸材の品質は、冶金的性質と他の性質とのつながりや、安全性の点から内容的にはかなりの幅とか、奥行をもっているの、一般鍛鋼品にとられているような類形的な考え方とか評価のやり方ではすっきりしたもの

表 3.9 A 軸材と従来の軸材との比較表

| 比較項目 (一部省略) | | 従来の軸材 | A 軸 材 | | |
|-----------------|------|------------|---------|---------------|-------------|
| | | 酸性平炉鋼 | 塩基性電気炉鋼 | 真空鑄造 の 効 果 | 切欠靱性 効 果 |
| 造 塊 法 | | 大気鑄造 | 真空鑄造 | | |
| 化 学 成 分 | C | 普通 | 低 | | ○ |
| | Si | 普通 | やゝ低 | | △ |
| | Mn | 普通 | 普通 | | ▲ |
| | P | 普通 | 低* | △ | △ |
| | S | 普通 | 低* | △ | △ |
| | Ni | 普通 | 普通 | | △ |
| | Cr | 普通 | 普通 | | |
| | Mo | 普通 | 普通 | | ▲ |
| | V | 普通 | 普通 | | ▲ |
| 超音波探傷 | | 透過性 欠陥波 | 良好 | 良好 | |
| 機 械 的 性 質 | 引張強さ | わずかに Dirty | Purity* | △ | |
| | 降伏強さ | 普通 | 普通 | | |
| | 降伏比 | 普通 | 普通 | | |
| | 伸び | 普通 | 普通(破断良) | △ | |
| | 絞り | 普通 | 普通(破断良) | △ | |
| | 衝撃値 | 普通 | 普通 | | |
| 脱酸素効果(伸び絞り) | | 小 | なし | ○ | |
| 遷移温度 | | 普通 | 低 | △ | ○ |
| 組 織 | 均質性 | 良好 | 良好 | | |
| | 種 別 | ベイナイト | パーライト | | × |
| 清浄度(非金属介在物) | | 普通 | 良好* | ● | |
| 結晶粒度 | | 普通 | やゝ微細 | × | ○ |
| 疲れ強さ | | 普通 | 良好 | △ | |
| 鋼中水素ガス量 | | 普通 | 少 | ○ | |
| 偏析 | 状 態 | 普通 | 普通 | ● | |
| | 偏 心 | 普通 | やゝ目立つ | | |
| 磁気特性 | | 普通 | 普通 | | |

(注) *: 製鋼法のちがいで比較できない
(普通): 現状水準を意味する
○: 効果あり ● 期待したほどでない
△: 効果があったかどうか明確でない
▲: △よりもはっきりしない
×: 効果としては逆

がつかみにくい。

このため、現状で考えられる試験検査方法のすべてを適用して、できるだけ多くの性質をつかみ、これを評価の対象におかなければならないので、複雑かつめんどろな方法になるが、品質の内容をあらわす四つの大局的な性質に集約して評価すれば比較的まとまりのついたものになる。

(2) 真空鑄造技術の適用は軸材品質の改善向上に寄与することは確かである。しかし供試 A 軸材の調査結果の範囲からいうと、真空鑄造による効果は期待したほど顕著ではない。

(3) 供試 A 軸材の総括的な品質評価では、切欠靱性とか疲れ強さの点ですぐれ、今後の品質を考えるうえに注目してよい性質である。

(4) 将来の品質を考える場合、軸材の大形化と高品質の要求がむすびつき、このため製造上の制約が大きくなるから、真空鑄造技術消化や改良発展を含めた総合的な製造技術の向上がのぞまれる。

以上の事がらをそのまま結論とするが、主文の内容については限られた資料や実績をもとに、あくまで軸材使用者の立場で述べている点を再度お断りする。

終りにのぞみ、高級軸材製造を担当される各製鋼会社関係各位のご協力に対し深く感謝するとともに、本文の発表にご援助を賜った井上取締役所長をはじめ、進藤技術部長、米野工作部長ほか長崎製作所関係各位に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 今北・山野辺：タービン発電機回転子軸材に関する考察「三菱電機」30, No. 11 (昭 31)
- (2) 今北・山野辺：タービン発電機回転子軸材に関する考察 OHM, 44, No. 7 (昭 32-6)
- (3) Recent Accident with Large Forgings, Metal Progress, Feb. (1956)
- (4) Report of the Investigation of Two Generator Rotor Fracture ASME: 55-A-215
- (5) Investigation of the Generator Rotor Burst at the Pittsburgh Station of the Pacific Gas And Electric Company ASME: 57-PWR-12 Aug. (1958)
- (6) 米国における蒸汽タービン発電機の技術的進歩“動力”7, No. 35
- (7) Westing house Data.
- (8) Vacuum Pouring of ingots for heavy forgings J.I.S.I. Jan, (1956)
- (9) 高沖：大形鋼材における異状反射の原因について (1957-12)
- (10) The Reversible Bending of Turbine Shafts with Temperature. A. Barker and J.W. Jones. Mech. Eng. Apr. (1955)
- (11) Large Rotor Forgings for Turbines and Generators R.E. Peterson. N.L. Mochel. J.D. Conrad. D.W. Gunther. ASME, No. 55-A-215
- (12) The Effect of Hydrogen on the Tensile Properties of Steel J.I.S.I. Feb. (1953)
- (13) Rinebolts and W.J. Harris. Trans A.S.M.; (1951) p. 1195
- (14) The Work of the Task Group on Brittle Failure of Steel Forgings A.S.M.E. 55-A-208
- (15) Application of the Griffith-Irwin theory of Crack propagation to the bursting behavior of disks, including analytical and experimental studies. D.H. Winne B.M. Wundt A.S.M.E.: 57-A-249
- (16) Progress in the development of steam turbine-generator rotor materials D.R. Deforest D.L. Newhouse B.R. Seguin A.S.M.E. 57-A-280 Oct. (1958)
- (17) A Study of Impact Tests and the Mechanism of Brittle Fracture. J.I.S.I.: June. (1956) p. 146
- (18) 日本鍛鋼会編：鍛鋼品不良原因類別
- (19) 日本学術振興会編：鋼と非金属介在物
- (20) H.C. Bigge: Iron and Steel Engineer. 36 (1959) 1288.
- (21) 三菱電機技術資料
- (22) 日本製鋼技術資料
- (23) 三菱製鋼技術資料
- (24) Stahl und Eisen 72 (1951)
- (25) Ultra Sonic Inspection of Large Rotor Forgings. Rankin and Moriaety Trans. A.S.M.E. Oct. 1956.
- (26) Proceeding of the Forgemasters' Meetings, 1954. I.S.I. Special Report No. 6.
- (27) Trans. A.S.M.E. (1956).

208,696 kVA 内部冷却タービン発電機用 975 kW 励磁機

長崎製作所 萬谷 廣*・神浦秀太郎**・林 昌宏**

Exciters for 208,696 kVA Inner Cooled Turbine Generators

Nagasaki Works Hiroshi MANTANI・Hidetarō KONOURA・Masahiro HAYASHI

Two 975 kW exciters have been built in Mitsubishi Nagasaki Works: One is a geared unit for a 208,696 kVA inner cooled turbine generator of Kansai Electric Power and the other is a motor driven unit for a turbine generator of the same capacity of Kyushu Electric Power. The writers make a report on the ratings, construction features and the principal characteristics of these exciters with several problems deliberately studied in connection with the planning of them. They also advocate that the reduction of the size and weight of the exciters can only be attained by raising the speed, yet with proper care not to increase the peripheral speed of the commutator from the economical viewpoint of the maintenance.

1. ま え が き

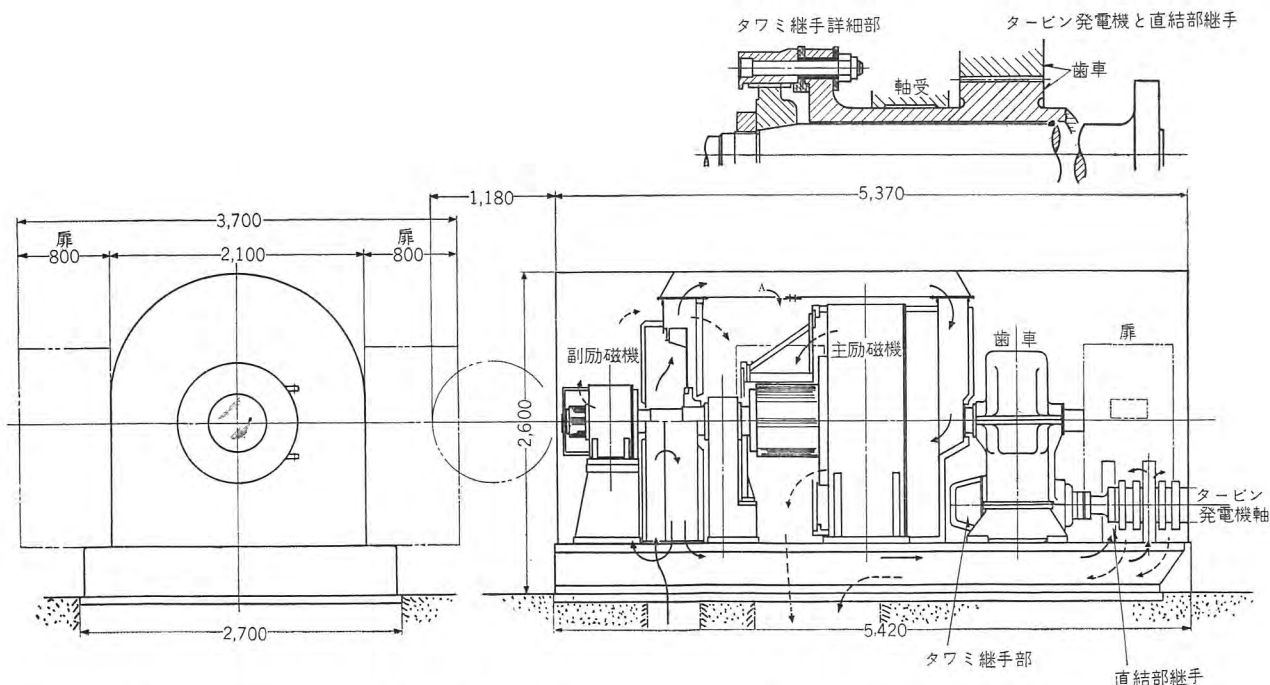
208,696 kVA 内部冷却タービン発電機用として、975 kW の直結減速励磁機 (Geared exciter) および電動励磁機が、最近、あいついで完成した。直結減速励磁機は、関西電力大阪火力発電所第3号発電機の(常用)励磁機として、また、電動励磁機は、九州電力刈田火力発電所第2・3号発電機の予備励磁機として装備されるものであ

る。直結減速励磁機および電動励磁機の概要その他については、すでに発表したもので⁽¹⁾⁽²⁾、ここでは、主として、今般完成し、満足すべき結果を得た 975 kW 励磁機の概要につき報告し、ご参考に供することとする。

2. 直結減速励磁機

2.1 定格および適用規格

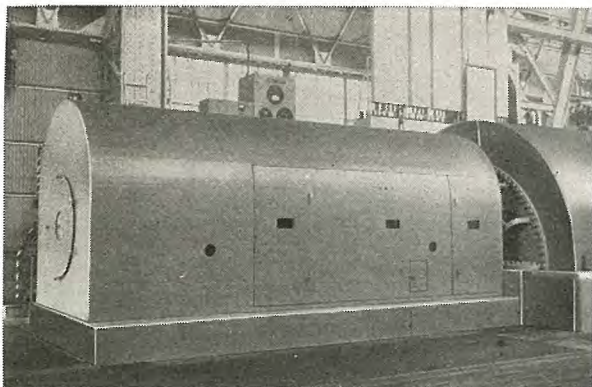
(1) 定 格



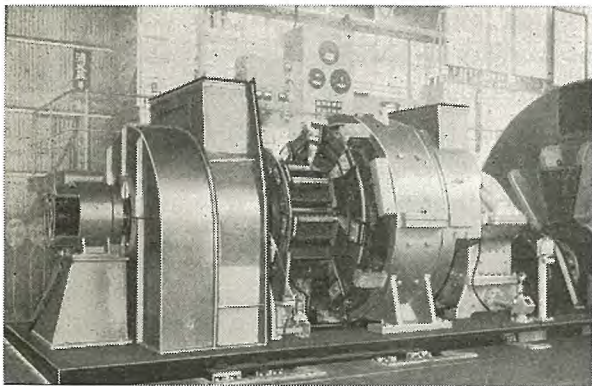
| | 定格出力 (kW) | 電 圧 (V) | 回転数 (rpm) | 重 量 (kg) |
|---------|-----------|---------|-----------|----------|
| 主 励 磁 機 | 975 | 375 | 897 | 25,500 |
| 副 励 磁 機 | 4 | 250 | | |

図 2.1 直結減速励磁機外形図

Fig. 2.1 Outline of geared exciter.



(a) 外観



(b) 内部

図 2.2 975 kW 直結減速励磁機
Fig. 2.2 975 kW geared exciter.

主励磁機 975 kW 375 V 897 rpm 連続 差動直
巻付他励複巻 (励磁電圧 250 V) 閉鎖通
風 A 種絶縁

副励磁機 4 kW 250 V 897 rpm 連続 複巻 A
種絶縁

主励磁機の自動電圧調整器は、直接操作抵抗器形のもの (BJ-30 形) である。

(2) 適用規格

JEC-54 ただし、温度上昇限度は、周囲温度が、40°C をこえないものとして、整流子は 55°C、電機子巻線および界磁巻線は、40°C である。

2.2 構造

図 2.1, 2.2 は構造および外観を示す。

なお、減速装置 (減速比 3,600 : 897) は、米国ウエスチングハウス社製である。

2.3 2.3 の特性

本機の公称速応度は、保証値 0.5 に対し、0.769 (滑動環電圧 320 V、頂上電圧 570 V のとき、図 2.3) である。定格点の効率は、減速装置の損失を含め、90.6% (図 2.4) で、きわめて高い。また、電圧変動率は、定格点で約 6% (図 2.5) である。補用励磁機とのきわめて円滑な切換え

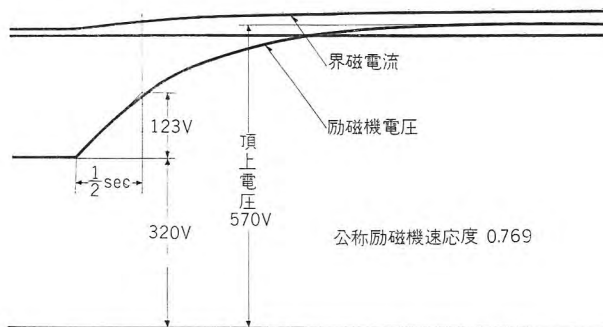


図 2.3 975 kW 直結減速励磁機の電圧上昇曲線
Fig. 2.3 Voltage build-up curve of 975 kW geared exciter.

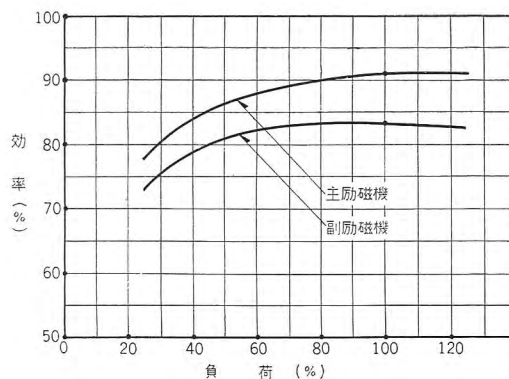


図 2.4 975 kW 直結減速励磁機の効率曲線
Fig. 2.4 Efficiency curves of 975 kW geared exciter set.

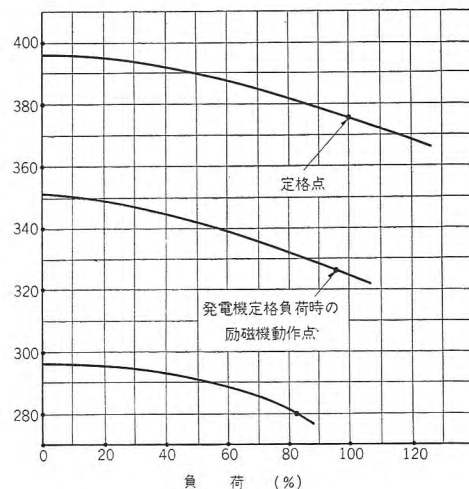


図 2.5 975 kW 直結減速励磁機の外部特性
Fig. 2.5 External characteristic curves of 975 kW geared exciter.

を期待できる特性である。

2.4 計画上とくに留意した 2, 3 の事項

(1) 長期連続運転性能の向上

長期連続運転性能の確保は、とくに重要である。この性能確保のため、下記諸事項などに注意した。

a. 整流

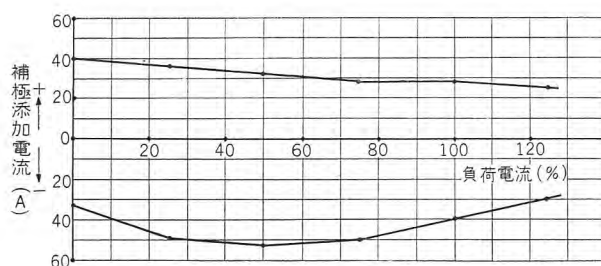


図 2.6 975 kW 直結減速励磁機の無火花整流帯
Fig. 2.6 Sparkless commutating zone of 975 kW geared exciter.

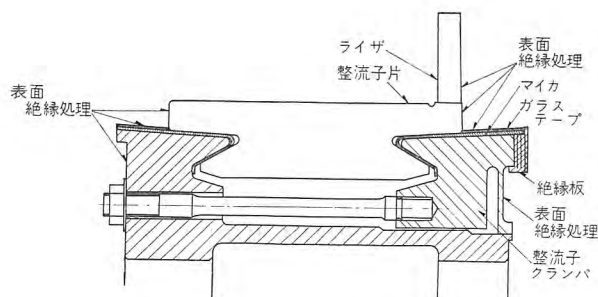


図 2.7 セミフロート V 形整流子
Fig. 2.7 V shape commutator of semi-floating type.

整流が好ましくない機械では、ややもすると、ブラシが異常摩耗し、整流子面が荒廃して、円滑な連続運転の確保にいちじるしい障害となる。良好な整流を確保できるよう、電気・磁氣的諸条件はもちろんのこと、構造についても、細心の考慮を払った。図 2.6 は、本機の整流曲線図である。

とくに、整流子では、Semi-Float 構造 (図 2.7) を採用し、負荷の変化により、整流子の温度が変化しても、整流子に、熱応力による変化が発生しないようにした。また、振動の防止についても、十分考慮した。(4) 項参照)

b. 整流子径

他の諸条件を同じとすれば、ブラシの摩耗は、整流子周速に比例する。高周速のものほど、摩耗量が大きく、したがって、ひんばんなブラシの換装を必要とし、保守費が増大するので、整流子径を状況の許す限り小とし、周速の低下を計った。

c. 運転中のブラシおよび整流子の保守

運転中のブラシおよび整流子の保守が、簡単・安全に行ないうるよう、次記などに留意した。

(a) 保守に必要な十分な空間の確保

小整流子径の採用、整流子周辺の部品配置およびベッド形状の吟味・整流子点検扉の大形化などにより、整流子周辺に、十分な空間を確保した。

(b) 整流子周辺の照明の吟味

(c) ブラシ桿に、マイカルタ絶縁板を取付け、保守員の安全を期した

(d) ブラシの保守に、道具の使用を必要としない構造の採用

ブラシ保持器スプリング強さの調整およびブラシピググテールの保持器への取付けは、ネジによる方式を採用し、それらの操作にあたり、ドライバ・スパナなどの道具を使用することなく、安全・確実にこなえるようにした。

(2) 絶 縁

電機子巻線は、当社のほこる低圧ダイラスタック絶縁を採用し、絶縁の完璧を期した。また、整流子が、保守・点検の困難なライザの内側で、ジンアイにより、ややもすると、絶縁抵抗が低下し、事故の原因となるので、該部の沿面距離を十分にとり、絶縁処理をとくに入念に施行した。(図 2.7 参照)

(3) 通 風 (図 2.1 参照)

ろ過器によって浄化された空気では、まず、巻線部が冷却され、整流子冷却後の炭ジンを含む空気は、ただちに、排気口に導入され、機械内部が、ジンアイで汚損されるけ念の少ない構造とした。なお、主励磁機の冷却風量を、A 分流部 (図 2.1 参照) の調整で、界磁巻線および電機子部と整流子部に、適当量ずつ配分し、それら各部の温度上昇が、それぞれ、適当な値となるよう、調整できるようにした。

(4) 振 動 (図 2.1 参照)

主励磁機軸の反直結側を延長し、その片持ちとなった部分に、通風扇および副励磁機が装備されている。このことが、振動発生の原因となるけ念があるので、該部の剛性が大きくなるよう、軸径を、とくに太くした。

3. 電動励磁機

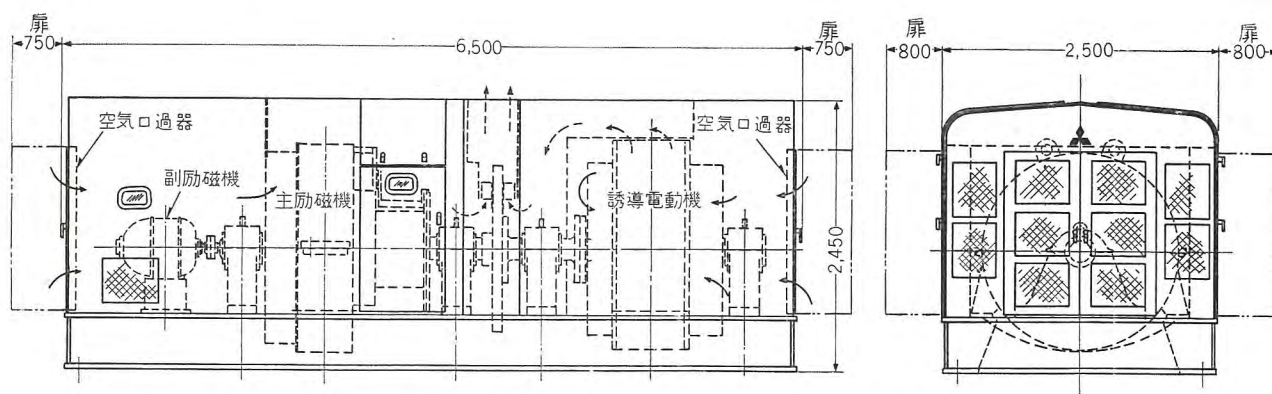
3.1 定格および適用規格

(1) 定 格

主励磁機 975 kW 375 V 885 rpm 連続 差動直巻付他励複巻 (励磁電圧 250 V) 閉鎖通風 A 種絶縁

副励磁機 6 kW 250 V 885 rpm 連続 複巻 A 種絶縁

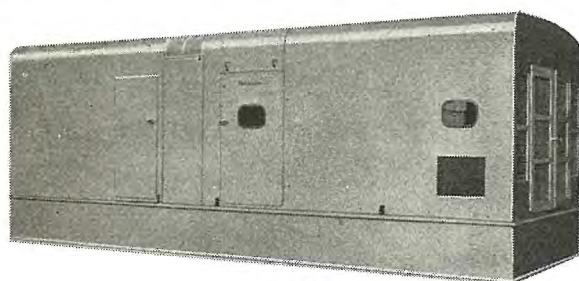
誘導電動機 1,050 kW 3,300 V 60 c/s 八極 885 rpm 連続 二重カゴ形 閉鎖通風 A 種絶縁



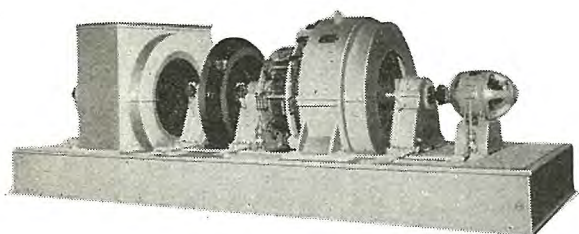
| | 定格出力 (kW) | 電 圧 (V) | 回転数 (rpm) | 重 量 (kg) |
|-------|-----------|--------------|-----------|----------|
| 主励磁機 | 975 | 375 | 885 | 33,000 |
| 副励磁機 | 6 | 250 | | |
| 電 動 機 | 1,050 | 3,300 60 c/s | | |

図 3.1 電動励磁機外形図

Fig. 3.1 Outline of motor-driven exciter.



(a) 外観



(b) 内部

図 3.2 975 kW 電動励磁機

Fig. 3.2 975 kW motor-driven exciter.

(2) 適用規格

JEC-54 JEC-37

なお、自動電圧調整器は、直接操作抵抗器形のものである。

3.2 構 造

図 3.1, 3.2 は、構造および外観を示す。

3.3 特 性

電動励磁機が、実用上、直結励磁機と同等の信頼性を有し、励磁機として、必要にして十分な性能を具備するには、駆動電動機の最大回転力が、定格回転力の 500% 以上、セットの慣性常数が 5 以上、駆動電動機への供給電圧が定格電圧の 70% のときの速度での公称速度および頂上電圧が、それぞれ、0.5 および定格電圧の 120% 以上であることを要する。

この電動励磁機では、電動機の最大回転力は約 600%

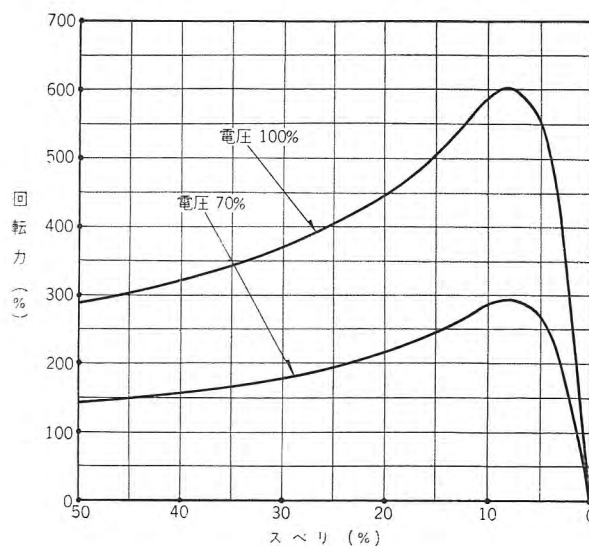


図 3.3 1,050 kW 誘導電動機の回転力曲線

Fig. 3.3 Torque-slip curves of 1,050 kW induction motor.

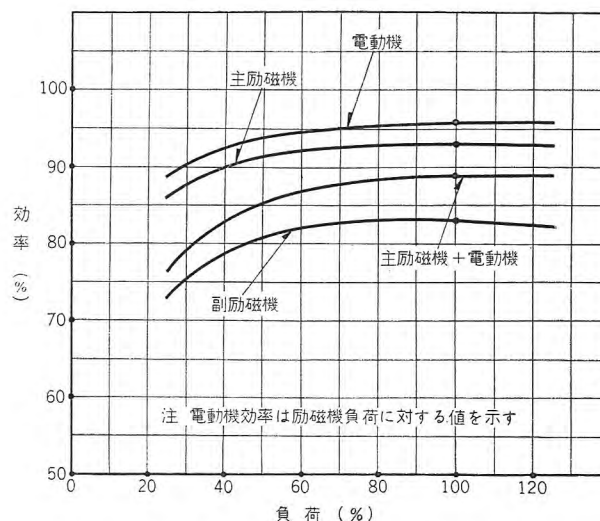


図 3.4 975 kW 電動励磁機の効率曲線

Fig. 3.4 Efficiency curves of 975 kW motor-driven exciter set.

(図 3.3), セットの慣性常数は 5.7 である。また、電動機への供給電圧が、定格電圧の 70% のときの速度での

頂上電圧は、約 560 V（定格電圧の約 150%）であり、集電環電圧 320 V、頂上電圧 560 V に対する公称速度は、約 0.75 である。

この励磁機の電動機・主励磁機および副励磁機の効率（図 3.4）は、定格点で、それぞれ、95.9%・93.0% および 83% である。

この励磁機の計画に際し、とくに考慮した主要点は、直結減速励磁機の場合とほぼ同様につき、割愛する。

4. 直結減速励磁機および電動励磁機の高速度化

直結励磁機は、一応、350 kW を限度とし、それを超過するものは、直結減速または電動励磁機となる。次記は、現在採用されている直結減速または電動励磁機の定格の例である。

| | |
|----------------|-----------|
| 500 kW | 1,200 rpm |
| 750~1,000 kW | 900 rpm |
| 1,150~1,350 kW | 720 rpm |
| 1,450~1,500 kW | 514 rpm |

励磁機容量が小な間は、定格回転数が比較的高く、したがって、その寸法・重量が小なので、小形・軽量化が、比較的問題にならないが、容量が大となるにしたがい、低回転数がとられ、励磁機の寸法・重量は、いちじるしく大となる。1,000 kW 885 rpm の電動励磁機では、約 33 t であるが、より大容量のものでは、その定格回転数が、さらに低くとられることとあいまって、その重量・寸法は、加速度的に増大し、タービン発電機自身の重量・寸法に比しても、相当な値となり、励磁機の小形・軽量化に対しても、深甚な考慮を必要とするに至る。

一般に、回転機を小形・軽量化するもっとも有力な方法の一つは、技術の許す限り、高速化することである。励磁機は、とくに高い信頼性を要求される機械であり、また、特性にも特別の要求があるので、一般直流機とは同一に論じ得ないが、それらの条件を勘案しても、なお

上記諸定格は、やや低回転に過ぎるかに思われる。

上記容量の励磁機に対し、適当なより高回転数を採用しても、整流その他に対しては、さほど問題とする必要を認めない。また、最近の励磁機は、運転中のブラシの換装および整流子の保守が、きわめて容易にできる構造となっているので、励磁機をより高速化しても、長期連続運転上、ほとんど、なんらの支障も発生しないであろう。

励磁機の高速度化に対し、もっとも深甚な考慮を要する点は、高速化することによって、整流子周速が大となり、ブラシの摩耗量が増大し、したがって、保守費の増大を招来する点であろう。

以上の観点より、大容量の直結減速または電動励磁機を考察するとき、それらは、逐次、より高回転のものとして小形・軽量化を計るべきであるが、整流子径は、冷却法の改善その他によって、可及的に小として、周速の上昇を防ぎ、もって、小形・軽量にして、しかも、保守費のわずかな機械とするべきである。今後に残された研究問題の一つであろう。

5. む す び

以上で、関西電力大阪火力発電所第 3 号 208,696 kVA 内部冷却タービン発電機用 975 kW 直結減速励磁機および九州電力刈田火力発電所第 2・3 号 208,696 kVA 発電機用 975 kW 電動励磁機（予備）の概要を報告し、あわせて、この種大容量励磁機についての今後の研究問題の一つを提供した。筆者らの思い至らないところが多いことと思う。大方のご教示を賜われれば幸甚である。

参 考 文 献

- (1) 萬谷：二極タービン発電機直結励磁機、「三菱電機」28 (昭 29) 539.
- (2) 萬谷・神浦：励磁機、「三菱電機」32 (昭 33) 711.

八幡製鉄戸畑製造所納入第2熱間仕上圧延機用電機品

神戸製作所 高月 一*・伊藤 嗣郎*

伊丹製作所 加藤 又彦**・己斐健三郎***・室賀 淳*

Electric Apparatus for Hot Strip Finishing Mill No. 2 of Tobata Plant, Yawata Steel Mill

Kobe Works Hajime TAKATSUKI・Tsugio ITO

Itami Works Matahiko KATO・Kenzaburo KOI・Jun MUROGA

There are two types for, what is generally called, continuous hot rolling mill; one is a continuous mill using 4 or 5 roughing mills in series and the other is a semi continuous mill consisting of one reversible roughing mill. Recent trend in Japan seems to use the latter system. In August last year, Mitsubishi delivered to Tobata mill of Yawata mill a complete set of electric apparatus for 80 inch semi continuous mill—the largest scale in this country—and they have been operating successfully ever since. These mill motors are provided with an individual drive system working on the principle of phase control of sealed-off type ignitron rectifier, being an epochal application of mercury rectifier to motive power.

1. ま え が き

連続式熱間圧延機には連続式 (Continuous mill) と呼ばれる 4, 5 台の粗圧延機を有する方式と半連続式 (Semi continuous type) と称される 1 台の可逆粗圧延機を有する方式とがあり, 最近国内において設けられたものはいずれも半連続式が採用されているようである。昨年 8 月当社はこの種のものとしては最大規模に属する 203.2 cm 連続式熱間仕上圧延機用電気設備 1 式を八幡製鉄・戸畑製造所へ納入, 9 月 24 日試圧延を行ないその後好調に運転中である。この仕上圧延機は主電動機全部に密封形イグナイトロン整流器の位相制御による各個駆動方式 (Individual drive system) を採用しており, わが国における水銀整流器の電動力応用としては記録品となるものである。

主要機械設備は米国 MESTA 社が担当した。

本文は主要回転機, イグナイトロンアーク変換装置, 制御装置ならびに試験結果について述べたものである。

2. 機械設備仕様の概要

米国メスタ社製の仕上圧延スタンドの諸元はつぎのとおりである。

Work Roll 68.58 cm 径×203.2 cm 長

Back Up Roll 135.89 cm 径×190.5 cm 長

| | |
|--------|-------------------------|
| スタンド間隔 | 548.64 cm |
| 最終出側速度 | 最高 710 MPM |
| スラブ厚さ | 100~190 mm |
| 〃 幅 | 50.8~172.72 cm |
| 〃 長さ | 91.44~58.42 cm |
| 成品 厚さ | 1.2~10 mm |
| ホットコイル | 内径 76.2 cm, 外径 177.8 cm |

表 2.1 圧延スタンド諸元

| スタンド番号 | 電動機容量 (kW) | 電動機回転数 (rpm) | 減速比 |
|--------|------------|--------------|------|
| 1 | 3,350 | 175/350 | 5.88 |
| 2 | 3,350 | 175/350 | 3.28 |
| 3 | 3,350 | 84/168 | 直結 |
| 4 | 3,000 | 110/220 | 直結 |
| 5 | 3,000 | 130/260 | 直結 |
| 6 | 2,200 | 150/330 | 直結 |

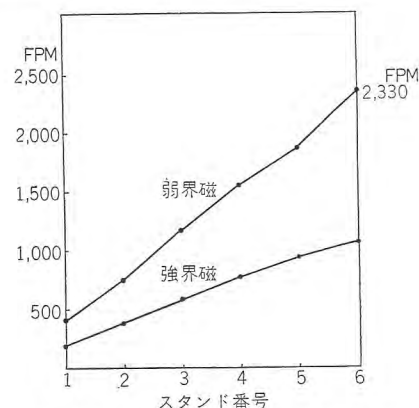


図 2.1 スピードコーンダイアグラム
Fig. 2.1 Speed cone diagram.

各スタンドの仕様は表 2.1, スピードコーンダイヤグラムは図 2.1 に示される。

なおこの仕上スタンドの前には可逆式粗圧延機がありこの部分の電気品は他社が製作した。

表 3.1 主要回転機リスト (その 1)

| 用 途 | 台数 | 機 種 | 容 量 (kW) | 電 圧 (V) | 回転数 (rpm) | 備 考 |
|-------------------------|----|-------|-------------|------------|--------------|--------------------------------|
| 仕上圧延スタンド No. 1 | 1 | 直流電動機 | 3,350 | 750 | 175/350 | |
| " No. 2 | 1 | " | " | " | " | |
| " No. 3 | 1 | " | " | " | 84/168 | |
| " No. 4 | 1 | " | 3,000 | " | 110/220 | |
| " No. 5 | 1 | " | " | " | 130/260 | |
| " No. 6 | 1 | " | 2,200 | " | 150/330 | |
| 速度制御用パイロット 発電機 | 6 | 直流発電機 | 200 W | 220 | 600/1,420 | 減速部直結 No. 1.6 モータにベル ト結合 |
| 連動用パイロット発電機 | 2 | " | 3 | " | 1,200 | |
| スタンド電動機用励磁機 | 6 | 直流発電機 | 40 | 220 | 1,750 | |
| 同上駆動用 | 1 | 誘導電動機 | 150 | 3,300 | " | |
| 定電圧励磁電源 | 1 | 直流発電機 | 40 | 220 | 1,750 | |
| 基準電圧用電源 | 1 | " | 5 | " | " | |
| 交流発電機用励磁機 | 1 | " | 1 | " | " | |
| 同上駆動用 | 1 | 誘導電動機 | 55 | 200 | " | |
| 磁気増幅器用電源 | 1 | 同期発電機 | 15 kVA | 110 | 2,400 | 400 c/s |
| 同上駆動用 | 1 | 直流電動機 | 15 | 220 | " | |
| 補助用定電圧直流電動機 | | | | | | |
| クロップシャー サイド ガイド | 2 | 直流電動機 | 5.5 | 220 | 800 | JEM1109 -602 |
| 仕上スタンド スクリュー ダウン | 12 | " | 55 | " | 515/1,300 | " -612 |
| ホットランテーブル サイド ガイド | 1 | " | 7.5 | " | 725 | " -603 |
| サイド ガード オーバ コイル | 2 | " | 3 | " | 750 | |
| コイル トランスファー パギー ストップ | 2 | " | 2.2 | " | 850 | |
| ダウンコイル ギャップ アジャスト | 1 | " | 1.5 | " | " | |
| デスケーリング | 1 | " | 400/600 W | " | 600/2,400 | |

表 3.1 主要回転機リスト (その 2)

| 用 途 | 台数 | 機 種 | 容 量 (kW) | 電 圧 (V) | 回転数 (rpm) | 備 考 |
|----------------------------|-----|-------|-------------|------------|---------------|------------------|
| 補助用可変電圧直流電動機 | | | | | | |
| フライング クロップ シ ャー | 1 | 直流電動機 | 110 | 220/440 | 460/920/1,150 | JEM1109 -616 |
| 仕上 スケール ブレーカ | 1 | " | 75 | " | 485/970/1,050 | " -614 |
| 仕上 ルーバ | 5 | " | 37 | 220 | 550/1,200 | " -610 |
| ホット ラン テーブル | 208 | " | 3 | " | 750 | |
| テーブル オーバ ダウン コイル | 2 | " | " | " | " | |
| テーブル サイド ガード センタリング ガイド | 2 | " | 1.15 | " | 1,900 | 立形 |
| ダウンコイル ピンチロー ル (上) | 2 | " | 55 | " | 195 | JEM1109 -618準 |
| " " (下) | 2 | " | " | " | 515 | " -612 |
| " ラップ ロール | 8 | " | 11 | " | 725 | " -604 |
| " スイッチ ロール | 1 | " | 3 | " | 750 | |
| ダウンコイル | 2 | " | 220 | " | 125/375 | |
| 可変電圧電源および調整励 磁機セット | | | | | | |
| フライング クロップシャ ー用電源 | 1 | 直流発電機 | 150 | 230/460 | 1,180 | |
| 仕上スケール ブレーカ | 1 | " | 100 | " | " | |
| ルーバ用電源 | 1 | " | 75 | 75 | " | |
| 同上駆動用 | 1 | 誘導電動機 | 300 | 3,300 | " | |
| 同上用調整励磁機 | 2 | トロール | 3 | 220 | 1,750 | |
| 定電圧直流電源 | 1 | 直流発電機 | 25 | " | " | |
| 同上駆動用 | 1 | 誘導電動機 | 37 | 200 | " | |
| ホットランテーブルモータ 電源 | 4 | 直流発電機 | 300 | 230 | 900 | |
| 定電圧励磁電源 | 1 | " | 100 | 220 | " | |
| 同上駆動用 | 1 | 同期電動機 | 1,500 | 3,300 | " | |
| 同上用調整励磁機 | 4 | トロール | 3 | 220 | 1,750 | |
| 同上駆動用 | 1 | 誘導電動機 | 15 | 200 | " | |

表 3.1 主要回転機リスト (その 3)

| 用 途 | 台数 | 機 種 | 容 量 (kW) | 電 圧 (V) | 回転数 (rpm) | 備 考 |
|-----------------|----|-------|-------------|------------|--------------|--------|
| ダウンコイルピンチロール用電源 | 2 | 直流発電機 | 150 | 230 | 880 | 2 セット |
| ダウンコイル用電源 | 2 | " | 300 | " | " | |
| 同上駆動用 | 2 | 誘導電動機 | 335 | 3,300 | " | 2 セット |
| 同上用調整励磁機 | 2 | トロール | 5 | 220 | 1,750 | |
| " | 4 | " | 3 | " | " | 2 セット |
| 定電圧励磁電源 | 2 | 直流発電機 | 25 | " | " | |
| 同上駆動用 | 2 | 誘導電動機 | 37 | 200 | " | |
| 精密計測その他用定周波電源 | 1 | 同期発電機 | 15kVA | 220 | 1,800 | |
| 同上駆動用 | 1 | 直流電動機 | 15 | " | " | 60 c/s |
| 発電機用励磁機 | 1 | 直流発電機 | 1 | " | " | |

3. 主要回転電機

主要回転電機はほとんど直流電機であって表 3.1 のとおりである。

3.1 主圧延用直流電動機の特長

NEMA-S 規格に従い B 種絶縁, 連続定格の温度上昇限度は 40°C, 125% 過負荷 2 時間の温度上昇限度 55°C で 115% のサービスファクタをもたせた。最大回転力は 200% 1 分間で苛酷な衝撃負荷に対して電氣的にも機械的にも必要にしてかつ十分な設計工作を行なった。主電動機の特長は成層ヨークを採用したことで, このため急激な圧延負荷電流の上昇と同時に電動機速度降下を瞬時に回復させるときの電動機電流の急変に際して電動機の整流状況は予想どおりのすぐれた結果を示してくれた。成層ヨークは分塊ミル用発電機だけでなく熱間仕上圧延用電動機にも有効であることがよくわかった。この成果は熱間仕上圧延用電動機の今後の設計の方向を決定したものと思う。さきにわれわれは日新製鋼呉工場の熱間仕上圧延用電動機の増強には補極回路に並列分路リアクタを使用して過渡電流に対する整流能力向上に成功したが, 成層ヨークの効果はさらにすぐれたものであった。

さて熱間仕上圧延電動機システムとして設計上留意すべきことは後述するように電動機回転数の瞬時速度降下とその回復時間の問題であって, 電動機固有の機械的, 電氣的時定数と制御系の特性とがよく協調されることによって仕上圧延ミルの駆動システムが完成されるのである。

仕上圧延スタンドの間で圧延された鉄板に不必要な張力をかけたりたるみを生じたりしないよう理想的な圧延を行なうためには, 電動機回転数の瞬時降下 (Impact Speed Drop 以下 I.S.D. と略す) が小さくまたその回転数の回復時間が早くつぎのスタンドに鉄板がはいるま

で制御が終わっていることが必要である。

I.S.D. を小さくするには電動機の GD^2 を大きくし内部抵抗を小さくすることがもっとも安易な方法であるが、電動機の体格、重量が大きくなり不経済である。また一方電動機の GD^2 があまり大きいと、回転数を早く変えたいときに不得策であり回復時間にも関連してくる。したがって熱間仕上圧延用電動機にいたずらに大きな体格の機械を適用したり、過大な GD^2 を付加することは避けて、すぐれた制御装置の働きにより I.S.D. を電動機の固有の I.S.D. よりも小さくし、回復時間を短縮することを考えなければならない。われわれはアナログコンピュータを使用し、最適の GD^2 と内部抵抗の値を求めて経済的な電動機の設計を進めることができた。

電動機自体の設計としては過渡特性の改善のために補極、補償コイルの位置、ターン数について特別の考慮を払い、内部インピーダンスを低下させた。

図 3.1 は主電動機の外観を示すもので、整流子側のカバーには軽合金製点検フタを設け、また内部にははね上げ式のふみ板を配してブラシ取換作業が楽にできるようにした。整流子側軸受台をカバー内に入れると外観はよ

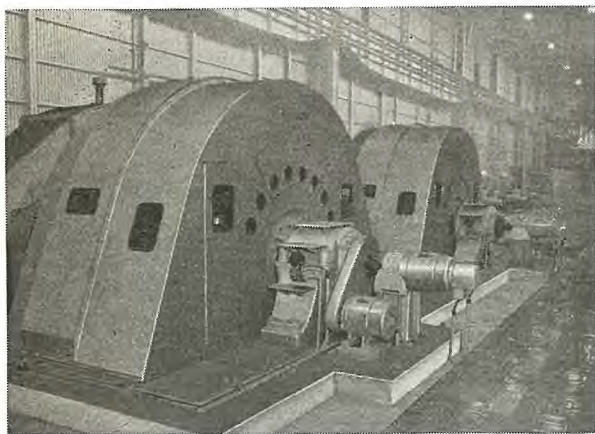


図 3.1 主圧延電動機 3,350 kW 175/350 rpm
Fig. 3.1 Main drive motors.

くなるが、軸受油のシールがとかく問題となるため今回は体裁よりも保守が容易でかつ軸受油漏れの心配のないように軸受台は外に出す方式とした。

速度制御用パイロット発電機は減速電動機の形式を使用して歯車部の潤滑方式を本格的なものとした。もちろん精密な速度制御の基準となるものであるから脈動電圧をきわめて小さくするよう特別の考慮を払っている。

仕上スケールブレーカおよびホットランテーブルとの連動用パイロット発電機は厳密な精度を要求しないので V ベルト駆動としている。

3.2 補助電動機、電源 M-G セット

圧延補機用 JEM 1109 による 600 番シリーズのものが若干あるが、特記すべきはホットランテーブル駆動用の JEM 標準外の全閉防水形で 600 番シリーズ以上にさらに苛酷な仕様を受ける 3 kW 直流電動機が 200 台以上ある。電動機自身の GD^2 よりもはるかに大きい GD^2 をもったホットランテーブルを駆動するためその過負荷トルクは定格トルクの約 500% を要求される。また外部条件が非常に悪いため電氣的にも機械的にも十分慎重な設計工作を行なった。界磁コイルにはサーモスタットを付けて過熱をただちに保護パネルに表示できるようになっている。またターミナル部分には船舶用のプラグ、ソケットを使用しモータ自体の取換えを簡単かつ確実に行

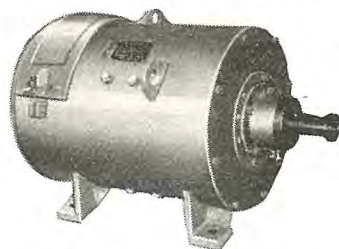


図 3.2 ホットランテーブル用直流電動機
3 kW 750 rpm
Fig. 3.2 3 kW 750 rpm
DC motor for hot
run table.

なうことができる防水構造となっている。図 3.2 はこの電動機の出荷前の外観を示すものである。

つぎにこのホットランテーブル駆動モータの電源は 4 分割されて各 300 kW の可変電圧発電機が設置されているが、ホットランテーブルの駆動には非常に大きな加減速電流を必要とするためこの発電機は成層継鉄を使用し整流能力を高くしてある。

4. イグナイトロンアーク変換装置

熱間仕上圧延機の電源に水銀整流器による静止レオナード方式を採用する場合

共通母線方式 (Common bus system)

分割母線方式 (Split bus system)

各個駆動方式 (Individual drive system)

の 3 方式がある。共通母線方式は簡単であるが事故時の直流短絡電流が大であり、分割母線方式はこの点改善されているが板かみ込み時のセン頭電流によって同一母線に接続された電動機の数に影響を及ぼすことはまぬがれにくい。これに対し各個駆動方式は事故時の直流短絡電流はもっとも少なく、各電動機の数に影響を他のスタンドとは独立して制御することができるため、板かみ込み時のセン頭電流の影響が他のスタンドの速度に波及しないという利点がある。この特性はスタンド間に張力をもた

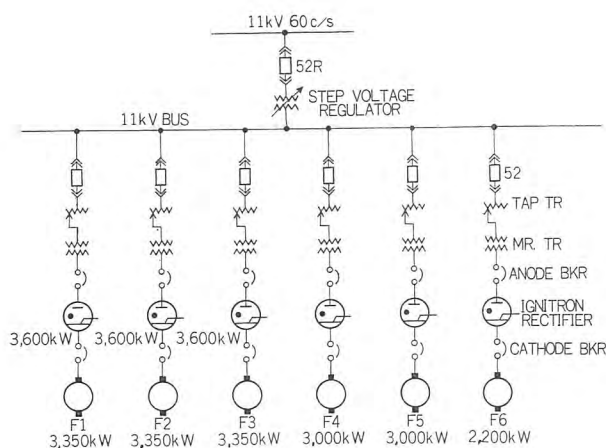


図 4.1 仕上圧延機主回路

Fig. 4.1 Individual drive system for hot strip finishing mills.

せて圧延機を運転する場合、とくにその張力が板厚または板幅の制御に用いられる場合に望ましい特性である。また各個駆動方式は電動機端子電圧を水銀整流器の位相制御により制御するため、共通母線方式ならびに分割母線方式のときに主として採用される界磁制御による速度制御に比し良好な速度制御特性が得られることは以前からよく知られている。今回の熱間仕上圧延機にはこの各個駆動方式を採用しており、その主回路は図 4.1 に示すとおりである。

4.1 イグナイトロン整流器

一般に水銀整流器の冷却方式には風冷式と水冷式とが

表 4.1 イグナイトロン整流器

| 用途 | 容量 (kW) | 直流電圧 (V) | 直流電流 (A) | タンク数 | タンク形名 | 定格 | 台数 |
|------------|---------|----------|----------|------|-------|----|----|
| #1~3 スタンド | 3,600 | 750 | 4,800 | 24 | GU-31 | B種 | 3 |
| #4, 5 スタンド | 3,250 | 750 | 4,330 | 24 | GU-31 | " | 2 |
| #6 スタンド | 2,420 | 750 | 3,220 | 24 | GU-31 | " | 1 |
| 補助電源 | 500 | 240 | 2,080 | 6 | GU-31 | " | 1 |

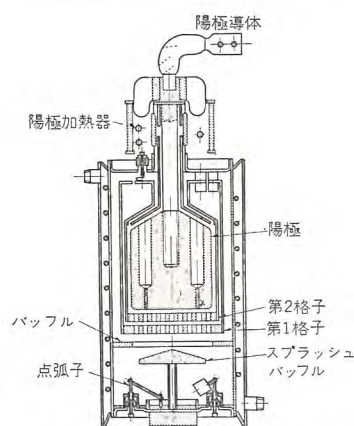


図 4.2 GU-31 形密封形水冷式イグナイトロン内部構造

Fig. 4.2 Type GU-31 sealed water cooling ignitron rectifier



図 4.3 GU-31 形密封形液冷式イグナイトロン整流タンク

Fig. 4.3 Type GU-31 sealed liquid cooling ignitron rectifier.

あり、わが国においては風冷が歓迎される傾向にある。ところが 2m 程度の広幅の仕上圧延機ともなれば各個駆動方式にしても各スタンドの整流器容量が大きくなるため、相当なスペースと大量の冷却空気が必要となる。これに対し水冷式では熱伝達が空冷に対しはるかに大きいため整流タンクを小形に製作することができる。今回は表 4.1 に示すように密封形水冷式イグナイトロン整流器を合計 150 タンク納入した。このイグナイトロンは図 4.2 に示すような二重格子付イグナイトロンでその外観を図 4.3 に示す。

水冷式の小形整流タンクを採用した結果タンクの運搬取扱いが非常に容易で予備器としてもこの小形タンクを数本用意しておけばよいため保守上非常に有利となる。さらにタンクの 2 段積みが可能となり、図 4.4 に示すようなデッドフロントのキュービクルに 6 タンクずつ 2 段に收容しすえ付面積の縮小化を計った。図 4.4 の左側内部には循環水ポンプならびに水槽が取付けてある。かかる構造を採用することにより所要床面積は非常に小と

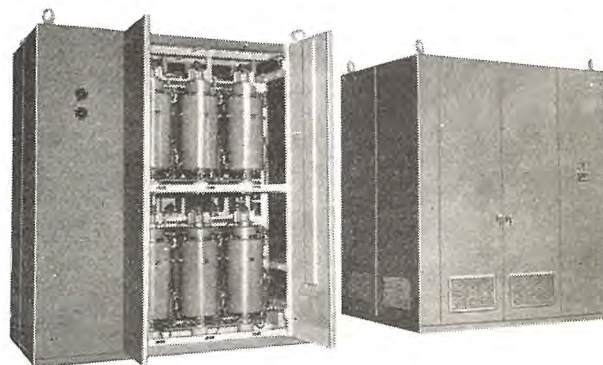


図 4.4 整流器キュービクル

Fig. 4.4 Rectifier cubicle.

なり、750 V, 4,800 A の整流器に対し 7.7 m² にすぎない。またすえ付時の配管工事はきわめて簡単となる。

冷却水は図 4.5, 4.6 に示すような風冷式再冷器を通して循環させ、完全閉回路となっており、この循環水にはイオン交換樹脂を通した純水を使用している。循環水ポンプはインペラが水中にはいつている特殊構造のもので漏水の心配がなく純水補給も 1 カ年 1 回定期的に行なえば可である。

温度の調整は温度継電器により再冷器送風機を運転、停止することによって適切に行なわれる。また冷却水温度の低い場合には電磁弁によって再冷器水路を短絡し、さらに温水槽ヒータにより加熱することもできるので、寒冷時における起動に必要な予熱時間も風冷の場合の数分の一でことたりる。以上の温度調節は温度継電器によ

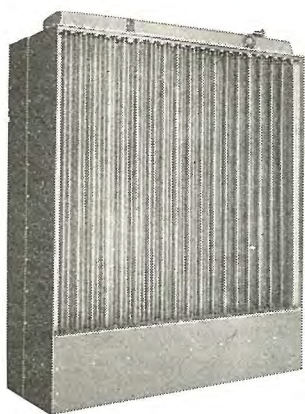


図 4.5 風冷式再冷器
Fig. 4.5 Front view of recoler.

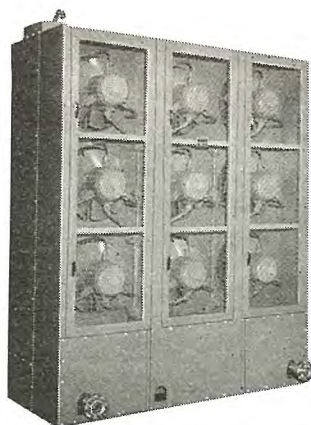


図 4.6 風冷式再冷器(裏面)
Fig. 4.6 Rear view of recoler.

りすべて自動的に行なわれ、整流タンクはつねに最適温度に保たれている。

水冷式の最大の利点は小形となることのほか、タンク温度を容易に制御できることで、これは水のすぐれた熱交換性と大きな比熱によってえられるものである。このためこの装置は大容量の圧延機電源としてとくに負荷変動が大でしかも苛酷な制御特性が要求されるにもかかわらず運転開始以来、現在まで逆弧皆無という好成績を示している。

反面水冷式の欠点とされる電食については十分な考慮が払われており、整流タンク、温水槽および循環水ポンプなどはすべてステンレス鋼を使用しており、その他の配管部も黄銅管あるいはビニル管を用い鉄部はいっさい使用していない。また再冷器以外の冷却系は大地に対して絶縁されている。以上により、純水の使用とあいまって電食および水あかの堆積の問題は完全に解決されたと考えて過言ではない。

図 4.7 は現地にすえ付けられたイグナイトロン整流器

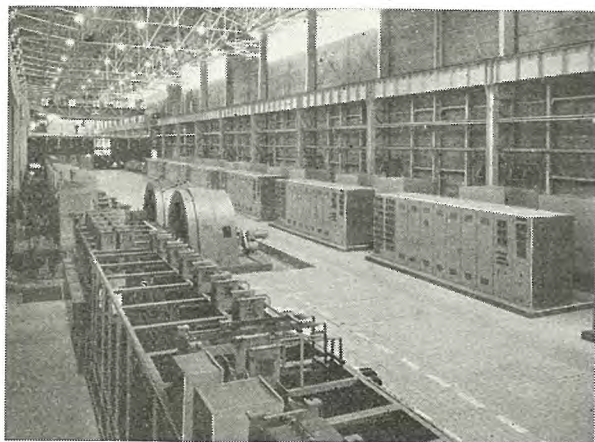


図 4.7 イグナイトロン整流器キュービクルおよび整流器制御盤
Fig. 4.7 Ignitron cubicle and rectifier control cubicle.

および整流器制御盤の外観を示す。

4.2 変 圧 器

図 4.1 に示すように負荷時電圧調整器により 11 kV に保たれた交流母線に 6 スタンド分のタップ変圧器および整流器用変圧器が接続されている。タップ変圧器のタップは負荷時電圧調整器(Under load tap changer)により DC750-450 V 間を 17 段に切換えることができるので、交流シャ断器 (52) を開かなくても定格電圧以下 (Reduced voltage) の速度に設定をかえることができる。

整流器用変圧器は四重千鳥二重星形接続でその諸元は表 4.2 に示すとおりである。なおこれらの主要

表 4.2 主 要 変 圧 器

(1) 整流器用変圧器

| 用 途 | 容 量 (kVA) | 1 次電圧 (V) | 2 次電圧 (V) | 2 次電流 (A) | 台 数 |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|
| #1~3 スタンド | 4,570 | 13,750 | 800 | 692 | 3 |
| #4~5 | 4,570 | 13,750 | 800 | 692 | 2 |
| #6 | 3,040 | 13,750 | 800 | 462 | 1 |
| 補 助 電 源 | 690 | 3,300 | 269 | 427 | 1 |

(2) タップ変圧器

| 用 途 | 自己容量 (kVA) | 線路容量 (kVA) | 入力電圧 (V) | 出力電圧 (V) | 台 数 |
|-----------|---------------|---------------|-------------|--------------|-----|
| 11 kV 母線 | 1,250 | 25,000 | 11,000 | 11,000±550 | 1 |
| #1~5 スタンド | 920 | 4,570 | 11,000 | 11,000±2,750 | 5 |
| #6 " | 610 | 3,040 | 11,000 | 11,000±2,750 | 1 |

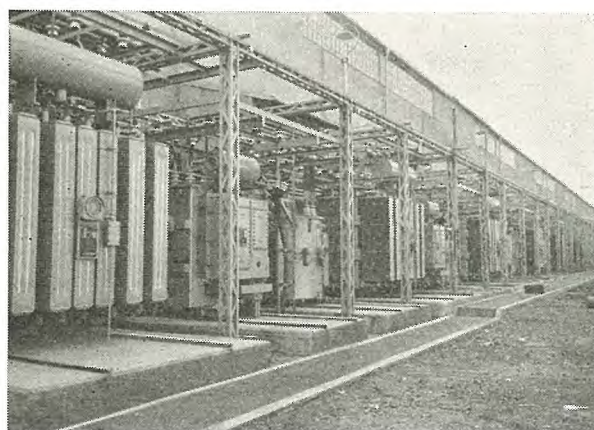


図 4.8 主要変圧器群

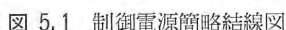
Fig. 4.8 Main transformers.

変圧器はすべて窒素封入形屋外用で図 4.8 に示すように電気室の外側に設置されている。

5. 制 御 装 置

5.1 制御電源設備

仕上圧延機の制御電源としては、定電圧励磁機 (CPE)、基準電圧発電機 (RE)、および高周波発電機 (HFG) がある。これらの簡略結線図を図 5.1 に示してある。CPE は RE の基準電圧、各スタンド電動機のパイロット



ト発電機(PG)の励磁, 磁気増幅器のバイアス巻線の励磁, および制御用電源として用いられる. RE は圧延機の速度の基準電源に, HFG は各磁気増幅器の電源に用いられる.

40 kW 定電圧励磁機は電子管式自動電圧調整器で定電圧制御を行なっている。

5 kW 基準電圧発電機は磁気増幅器で定電圧制御を行っている。この装置の基準電圧は上記の CPE より与えられ、磁気増幅器の電源は 400 c/s の HFG より供給される。

磁気増幅器の電源として 15 kVA, 400 c/s の高周波発電機を設けてある。磁気増幅器に周波数および電圧の安定した交流入力を与えるために、高周波発電機は直流電動機駆動とし、その速度を制御して周波数を一定に保

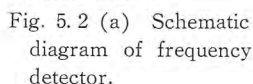


Fig. 5.2 (b) Resonance characteristics.

つようにしている。直流電動機には主界磁と二つの制御界磁があり、主界磁には一定励磁が与えられ、制御界磁は磁気増幅器より励磁される。高周波発電機の周波数は、それぞれ共振周波数の異なる 2 組の LC 直列共振回路で、共振電流として検出される。この 2 組の共振電流を整流して磁気増幅器の二つの巻線 (PW および CW) を互に差動に励磁する。2 組の LC 直列共振回路はそれぞれの共振電流曲線を設定周波数で交差させているから、高周波発電機の周波数が設定周波数からはずれれば、磁気増幅器の出力により直流電動機の制御界磁が励磁されて、高周波発電機の周波数は一定に保たれる。また高周波発電機には専用の励磁機を設け、磁気増幅器により励磁機の電圧を制御して高周波発電機の電圧を一定に保つようにしている。上記の周波数制御および電圧制御用磁気増幅器の交流入力は、制御される高周波発電機より与えられる。周波数検出装置の結線と、共振特性を図 5.2 (a) (b) に示してある。

今回の熱間圧延機にはすでに述べたように各個駆動方式を採用したが、主電動機の制御方式には定速度制御と定電圧制御の両方式を設け、そのいずれかを選択して使用するように計画した。元来熱間圧延機の圧延スケジュールすなわち圧下率と電動機速度の設定は経験によるところがかなりあり、したがってとくに初めての寸法の成品を圧延する場合にミスセットの可能性が多い。たとえば #2 スタンドの設定速度が高すぎた場合には #1 スタンドと #2 スタンド間に張力がかかる。整流器を定電圧制御しているときは #2 スタンドの速度がその主電動機の変動率によって降下し、適当な張力でつりあい、直流シャ断器がシャ断せずに済む場合があるが、圧延電動機を定速度制御するように水銀整流器を位相制御した

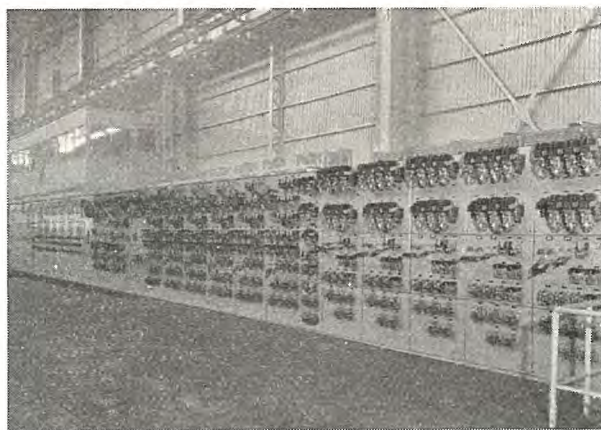


図 5.4 仕上圧延機制御盤

Fig. 5.4 Control panel for finishing trains.

て最適の値にえらび、さらに現地で微細な調整を行なった。図 5.4 に制御盤の外観を示してある。

5.3 ルーパの制御

この圧延機のルーパは直流トルクモータにより駆動される。直流トルクモータ駆動にすれば、圧縮空気による駆動のものより動作速度が速い利点がある。各隣接スタンド間の 5 台のトルクモータは 75 kW 直流発電機より給電される。その簡略結線図を図 5.5 に示してある。鉄板にたるみあるいは張力を与えないで圧延する場合には、鉄板があるスタンドから次のスタンドにかみ込んだ場合、

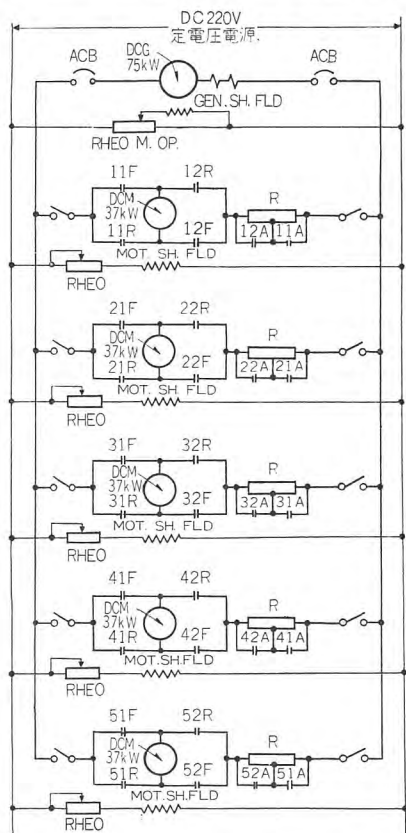


図 5.5 ルーパ制御簡略結線図

Fig. 5.5 Schematic diagram of loop control.

つぎのスタンドの速度降下と回復時間によって定まるループがこのスタンド間に生ずる。このループは、すみやかにループを押上げて除去しなければ、つぎのスタンドに折重なってかみ込んでロールを傷つけるおそれがある。また各スタンドの速度あるいは圧下の設定を誤った場合でも、ルーパがすみやかに動作すれば、鉄板が折重なって次のスタンドにかみ込むのを防ぐことができる。したがってルーパの上昇速度はきわめて速いことがのぞましい。この装置では、ルーパを上昇する場合には、電機子回路の直列抵抗を短絡して大きな加速電流を流し、電動機を急速に加速してルーパを急速に上昇させる。つぎに順次直列抵抗を挿入して、電動機が静止状態になったときの電機子電流を制限する。ルーパを下降する場合も上昇時と同様であるが、一定時間後に電機子回路を開路する。ルーパのトルクは、発電機電圧によって全ルーパのトルクを同時に調整し、各トルクモータの界磁電流を調整して各ルーパのトルクを個々に調整する。ルーパは自動、手動いずれの操作もできるようにしている。自動の場合には、電動機の負荷検出リレーにより、鉄板が隣接する二つのスタンドにまたがったときにルーパを上昇させ、鉄板が通過すればルーパを下降させるようにしている。鉄板に張力を与えて圧延する場合にはルーパを動作しないようにしておけばよい。

6. 試験結果

工場試験では今回の圧延電動機の容量が非常に大きいことと工場の受電電圧が納入先と異なるため、実物電動機とイグナイトロン整流器との組合わせ試験を省略し、小形電動機 (225 kW) との組合わせによるモデル試験を実施した。この場合制御回路の定数は実物であるので問題はないが主電動機の定数が実物といちじるしく異なるため、主回路にリアクトルと抵抗を接続して電氣的時定数を実際の回路と合わせ、機械的時定数は回転数を適当に選択して、実物と合わせるようにした。

試験回路は電動機と発電機を直結し、水抵抗により圧延負荷を模擬するものでこの種の試験にしばしば用いられる方式である。

図 6.1, 6.2 にそれぞれ #1 スタンドおよび #6 スタンドのベース速度 100% 負荷の場合の試験結果の一例を示す。図の上より電動機電圧、電動機電流、発電機電流および電動機回転数を示す。

図 6.3 は現地における試圧延時の試験結果である。図

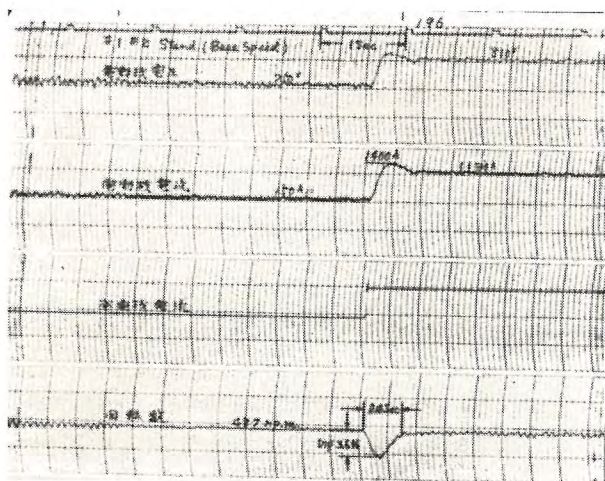


図 6.1 No. 1 スタンド速度特性(ベース速度)
Fig. 6.1 Oscillograph chart of #1 stand at base speed.

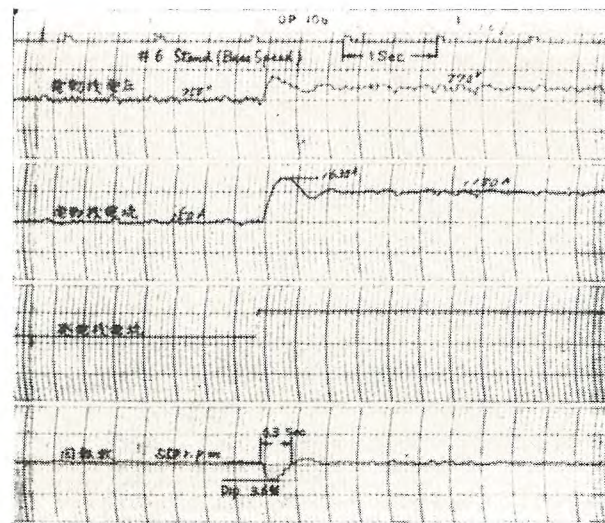


図 6.2 No. 6 スタンド速度特性(ベース速度)
Fig. 6.2 Oscillograph chart of #6 stand at base speed.

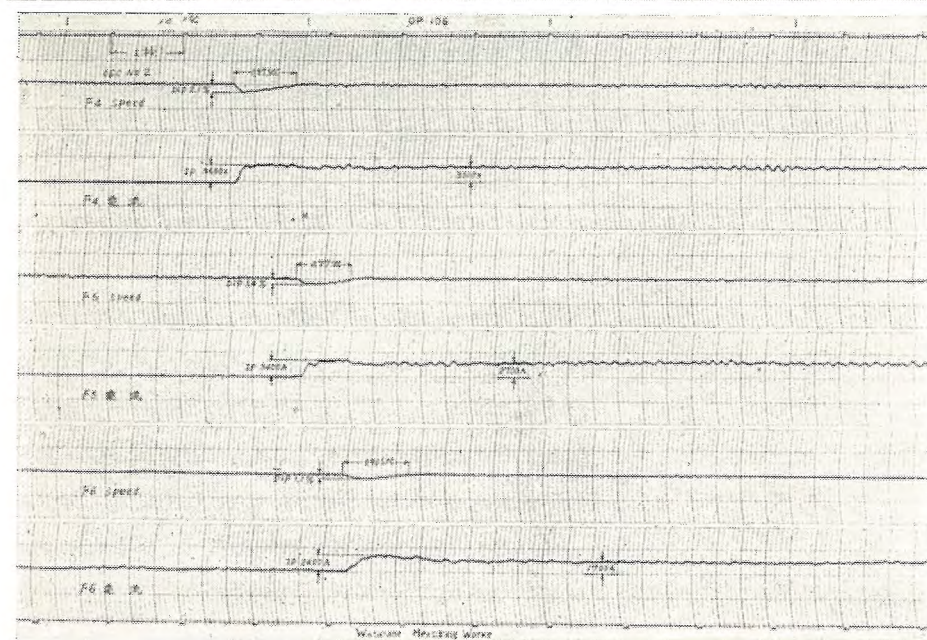
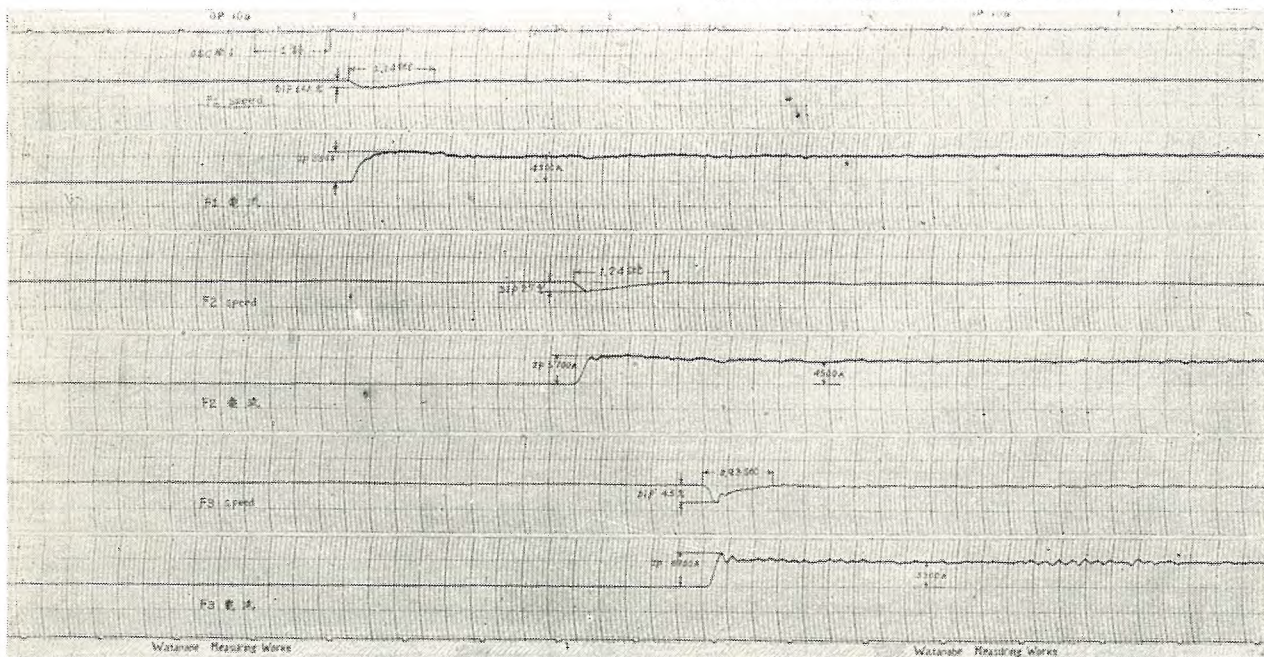


図 6.3 試圧延速度特性
Fig. 6.3 Oscillograph chart of test rolling.

の上より電動機速度および電動機電流を示す。この図では回復時間がかかなり長くなっているが、これは試圧延当時の電源の事情から加速電流を極度におさえるように調整したためである。

7. 補助設備

7.1 ロータリクロップシャー

ロータリクロップシャーは、鉄板の先端が粗圧延機出側テーブルの適当な位置にきたときに起動して鉄板の頭部を切断し停止する。また鉄板の尾部がテーブルの適当な位置を通過すれば、シャーを再起動して鉄板の尾部を切断して停止する。この切断作業は頭部尾部の切断、頭部だけの切断、および尾部だけの切断の3種類が選択できるようにしてある。また操作は自動、手動いずれでもできるようにしてある。自動の場合には、鉄板の位置は赤外線で作動する光電管継電器で検出する。シャーは起動してから停止するまでの1回転の間に上下の刃が合致して鉄板を切断するが、シャーの1回転の速度は鉄板の速度に関係なく一定速度にしてある。したがって任意の鉄板の速度に対して鉄板の切断長を一定に保つためには、鉄板の位置を検出してからシャーを起動する時間を正確に調整しなければならない。この装置では電子管時限継電器を使用して、鉄板の速度に応じて運転盤上より容易に時限を設定できるようにしてある。頭部切断の場合には、鉄板の速度はスリップを考えなければテーブルの速度に一致するが、尾部切断の場合には、鉄板の速度は No. 1 スタンドの圧延速度と圧下量によって決定される。もちろん粗圧延機出側テーブルは、仕上スケールブレーカに取付けられたパイロット発電機により速度制御されているが、頭部切断時の鉄板の速度と、尾部切断時の鉄板の速度を完全に一致させることは不可能であるから、光電管継電器は共用し、時限継電器は頭部切断用と尾部切断用と2台設けてある。鉄板の切断長に誤差を与える原因としては、

- (1) シャーの刃の停止位置の誤差
- (2) シャーの加速時間の変動
- (3) シャーの起動時期の変動

が考えられる。これらの原因を除去して、鉄板の切断長の誤差を最小限に押えるために、シャー電動機は専用の発電機によるレオナード制御とし、発電機はロートローにより制御している。その簡略結線図を図7.1に示してある。

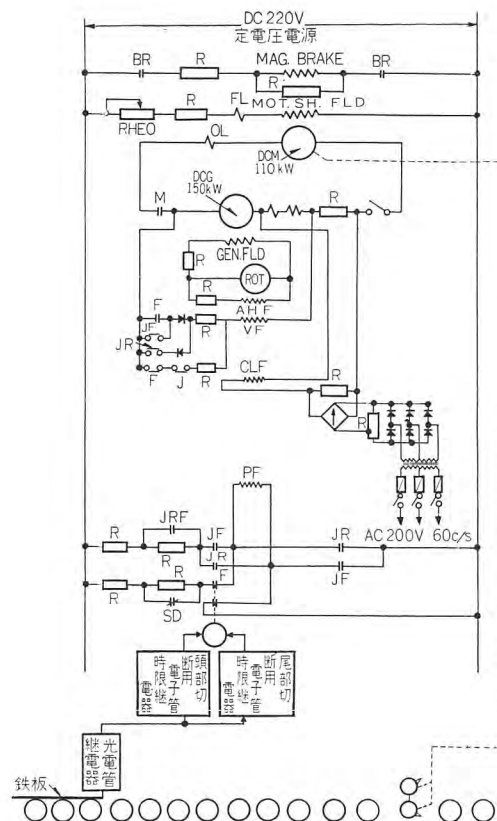


図 7.1 ロータリクロップシャー制御簡略結線図
Fig. 7.1 Schematic diagram of rotary crop shear.

上記の(1)に対しては、シャーに取付けたカム形制限開閉器の減速用接点により、切断が完了すればシャー電動機を減速し、停止用接点によりシャー電動機を停止するようにしてある。さらに万一シャー電動機が規定停止位置より行過ぎれば、行過ぎ防止用接点によりシャー電動機を自動的に逆転して規定位置に停止させるようにしてある。

(2) に対してはシャーの加速時間の変動が、切断長の誤差に占める割合を小さくするために、加速時間をきわめて短くしてある。加速時間の短縮は加速トルクと切断トルクを重複させないためにも必要なことである。加速時間を短縮するために大きな加速電流を流すようにしてあるが、この電流が電動機の許容電流以上にならないように図に示すようなパイアス式電流制限装置を設けてある。

(3) に対してはすでに述べたように電子管時限継電器を使用して、調整時限に対する変動を極力小さくしてある。

7.2 仕上スケールブレーカ

この装置の簡略結線図を図7.2に示してある。

仕上スケールブレーカはその速度を No. 1 スタンド

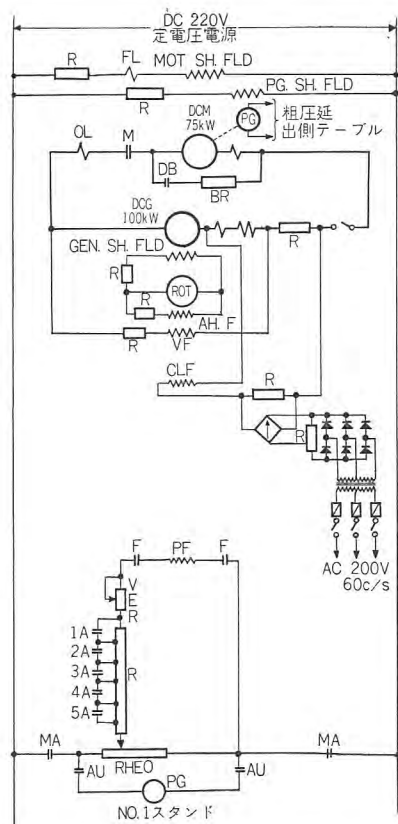


図 7.2 仕上スケールブレーカ制御簡略結線図

Fig. 7.2 Schematic diagram of finishing scale breaker.

の入側速度と一致させるために、図に示すようにロートロールの基準界磁 (PF) は、微細調整器、圧下量補償調整器を経て、No. 1 スタンドのパイロット発電機より励磁される。また非常の場合には No. 1 スタンドとの連動を解き単独に運転できるようにしてある。なお仕上スケールブレーカ電動機には、粗圧延機出側テーブルの速度制御用パイロット発電機を取付けてある。

7.3 ホットランテーブル

ホットランテーブルは、各ロールごとに 3 kW、750 rpm の直流電動機で駆動される総数 208 台のロールで構成されている。このテーブルは 4 セクションに分けられ、各 300 kW の直流発電機でレオナード制御される。ホットランテーブルの制御の特長は大きな GD^2 を有するロールを急速に加減速することと、各セクションのテーブルを No. 6 スタンドの速度と一定の関係の速度に保ちながら運転することである。ロールの GD^2 は電動機の GD^2 の 20 倍程度あり、かつコイルを巻取るたびに起動、停止を繰り返すから、テーブル電動機の定格は、加減速トルクより決定されるといっても過言ではない。この装置のテーブル電動機は 500%、発電機は 300% の過負荷容量を有している。テーブルの 1 セクション分の簡略結

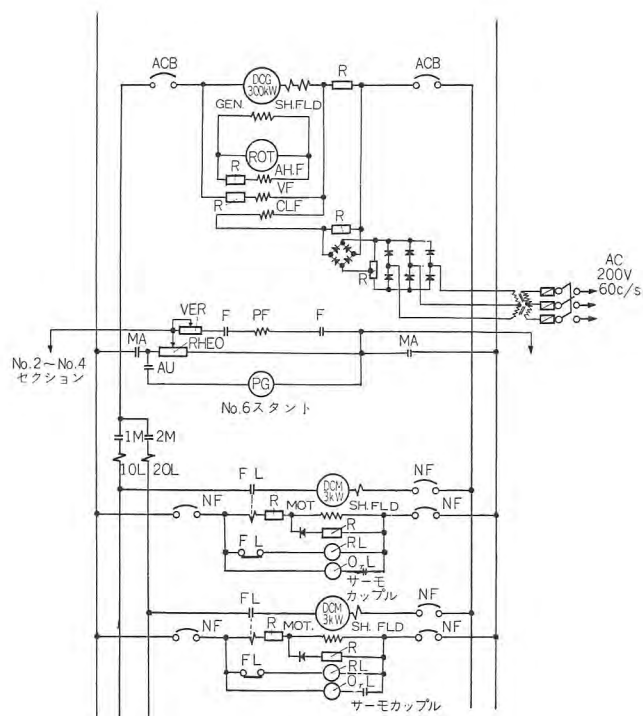


図 7.3 ホットランテーブル制御簡略結線図

Fig. 7.3 Schematic diagram of hot run table.

線図を図 7.3 に示してある。300 kW 直流発電機はロートロールで制御され、自動運転の場合には、その基準界磁 (PF) を No. 6 スタンドのパイロット発電機より励磁して、No. 6 スタンドに対して一定の関係速度で運転するようにしてある。ホットランテーブルは、No. 6 スタンドに近いセクションでは No. 6 スタンドより速度を速め、コイラに近いセクションでは No. 6 スタンドより速度を遅くして運転する。したがってロートロールの PF 界磁回路には、各セクションに共通の速度調整器と、各セクションごとの微細速度調整器を設け容易に No. 6 スタンドに対する関連速度を設定できるようにしてある。すでに述べたように各テーブル電動機は大きな GD^2 を有するロールを急速に加減速するために、定格電流の 500% の加減速電流を流しうるようにしているが、この許容電流値をこえないようにバイアス式の電流制限装置を設けてある。また各セクションは、No. 6 スタンドとの連動を解き手動でも運転できるようにしてある。

各テーブル電動機の保護装置は、各セクションごとにまとめた保護盤に格納してある。保護盤の外観を図 7.4 に示してある。保護盤は下記の機能を備えている。

- (1) 三極ノーヒューズ遮断器を取付け、電機子回路の過負荷保護と界磁回路の切放しに使用する。

場合も PF 回路の速度調整器により速度を調整できるようにしてある。2 基のダウンコイラは交互に鉄板を巻取するために急速に加速する必要がある。したがって十分大きな加速電流を流すようにしてあるが、発電機および電動機の許容電流値以上の過大な電流が流れないように、バイアス式の電流制限装置を備えている。ダウンコイラのマンドレル駆動電動機は、コイルの巻太りを補償して鉄板を一定張力で巻取するために、ロートロールにより定電流制御を行なっている。鉄板の張力はロートロールの基準界磁 (PF) の張力調整器で調整する。電動機の界磁は定電圧電源とロートロールの両者から重畳して励磁されるが、無負荷時には定電圧電源から励磁される界磁電流だけによって電動機が速度が決定される。マンドレルに鉄板を巻取する場合、マンドレルは鉄板の速度より 15% 程度速い速度で運転しておくことが望ましいから、発電機の垂下特性も考慮して、電動機が無負荷速度が No. 6 スタンドの 115% 程度の速度になるように、定電圧電源からの励磁電流を設定してある。この方式は万一ロートロールが故障した場合でも、電動機が過速しない利点がある。

ダウンコイラに鉄板を巻取る最初の間は、ダウンコイラと仕上スタンドとの間に鉄板がまたがるから、後面張力は仕上スタンドで与えられており、ピンチロールは電動機として動作して、巻取速度は圧延速度と一致している。次第に鉄板が巻取られて鉄板が仕上スタンドを離れると、後面張力はホットランテーブルと鉄板の摩擦およびピンチロールが発電機となることによって保持される。この場合ピンチロールが発電機となり、マンドレルの引張張力と平衡する制動電流が流れるまで巻取速度が上昇する。巻取速度の上昇を防止するためには、鉄板が No. 6 スタンドを離れたことによって、ピンチロール発電機

の界磁を弱める必要がある。この設備では、ホットランテーブルが非常に長いために、ダウンコイラの運転者によって、鉄板が仕上スタンドを離れたことを確認することは不可能であるので、リレーの動作時間を考慮して No. 5 スタンドが無負荷になったことを負荷検出リレーで検出して、ピンチロール発電機の界磁を弱めるようにしてある。ピンチロールの上下ロールは各 55 kW の電動機で駆動されるが、各電動機の界磁を調整して負荷を平衡させるようにしてある 4 台のユニットローラは、マンドレルに鉄板を巻込ませるガイドの用をする。マンドレルに鉄板が 2, 3 回巻かれるとユニットローラは上にあげて、マンドレルだけで巻取り、巻終りで鉄板の尾端がピンチロールを離れるところに、ユニットロールの 1 個だけをコイルの表面まで下げて鉄板の尾端を押える。ユニットロールは鉄板が入り込むときは、マンドレルよりも 5% 程度速度を速めておき、鉄板が巻込まれると発電機となり制動をかけるようにしてある。4 台のユニットロール電動機の界磁電流は 1 台の界磁調整器で調整する。

ピンチロールの上下、ゲートの開閉、ユニットロールの上下、マンドレルの広げ縮め、コイルの押出し、チル



図 8.1 吐出用電動送風機群
Fig. 8.1 Suction blowers.

表 8.1 通 風 冷 却 設 備

| グループ (図 8.2) | 用 途 | 電 動 送 風 機 | | | | | エアフィルタ (AAF) | | |
|-----------------|--------------|-----------|------------------------------|----------------|---------|-----------------------------|--------------|--------|-------------|
| | | 台数 | 風 量 (m ³ /min) | 風 圧 (mm Aq) | 形 式 | 駆動用誘導電動機 (全閉外扇形) | 台数 | 形 番 | 風 量 |
| A | 電気室押込用 | 2 | 2,200 | 50 | T V 135 | 37 kW 200 V 60 c/s 6P ベルト駆動 | 2 | 25~108 | 96,950 CFM |
| | 粗圧延補助モータ押込用 | 1 | 500 | (他社担当) | | | | | |
| B | 電気室押込用 | 3 | 2,200 | 50 | T V 135 | 37 kW 200 V 60 c/s 6P ベルト駆動 | 2 | 35~118 | 151,900 CFM |
| | 粗圧延補助モータ押込用 | 1 | 500 | (他社担当) | | | | | |
| | 仕上補助モータ押込用 | 1 | 180 | 140 | T V 67½ | 11 kW 200 V 60 c/s 4P 直結 | | | |
| C | 電気室押込用 | 3 | 2,200 | 50 | T V 135 | 37 kW 200 V 60 c/s 6P ベルト駆動 | 2 | 28~124 | 129,600 CFM |
| D | ダウンコイラモータ押込用 | 1 | 300 | 140 | T V 70 | 15 kW 200 V 60 c/s 4P 直結 | 1 | 7~60 | 11,580 CFM |
| E | F1~F3 吐出用 | 3 | 1,000 | 80 | T V 105 | 30 kW 200 V 60 c/s 10P 直結 | | | |
| | F4, F5 " | 2 | 900 | 80 | T V 105 | 30 kW 200 V 60 c/s 10P " | | | |
| | F6 " | 1 | 750 | 80 | T V 100 | 22 kW 200 V 60 c/s 10P " | | | |

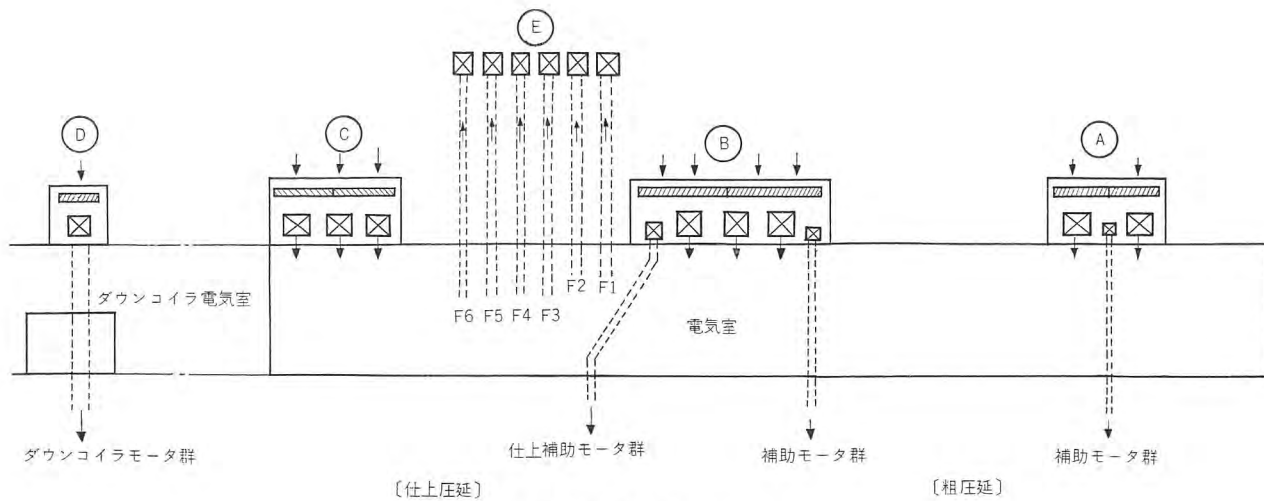


図 8.2 通風系統要領図
Fig. 8.2 Ventilation schema.

タの傾動，トランスファバギーの前後進，およびエレベータの上下はすべて電磁弁で油圧で操作され，運転盤の制御開閉器で操作されるようにしてある。

なお No. 1, No. 2 ダウンコイル間のダウンコイルオーバテーブル，およびスイッチロール用 3 kW 直流電動機，サイドガードセンタリング用 1.1 kW 直流電動機は，ホットランテーブル No. 4 セクション発電機で駆動される。

8. 通風冷却設備

主回転機はダウンドラフト通風方式であり，押込用送風機により外気をエアフィルタを通して電気室に入れ，主回転機には専用の吐出送風機を置いて機械を冷却した空気は屋外に排出される。吐出送風機は配置の関係から図 8.1 のように屋外形である。

各送風機の概略仕様を表 8.1 に，また通風系統要領を図 8.2 に示す。なおエアフィルタは米国 AAF 社のマルティデューティ式を輸入した。

9. む す び

イグナイトロン整流器による各個駆動方式のわが国最大容量の熱間仕上圧延機用電気設備を完成できたことはさきに完成した日新製鋼呉工場の熱間仕上圧延用の各個電源の水銀整流器とともにこの方面における当社の技術史上に残る快挙であった。この電気設備の製作，納入に際しては八幡製鉄所建設局および試験，整備関係各位より終始ご指導ご鞭撻をいただいた。厚く感謝の意を表する次第である。また日本電機工業会より業界の進歩に寄与したゆえをもって発達賞を受けたことは関係者一同の喜びとするところである。

参 考 文 献

- (1) R.E. Marrs: Power requirements and selection of electric equipment for hot strip mills. Iron and steel engineer, July. (1956)
- (2) E.H. Brawning: Electrical drive systems for modern rolling mills. Blast furnace and steel plant, March. (1956)
- (3) 高月・伊藤・室賀：日亜製鋼株式会社呉工場熱間連続圧延機用電機品，「三菱電機」32, No. 12 (昭 33).

追 値 サ ー ボ 系 の 設 計

研 究 所 真 鍋 舜 治*

Design on Follow Up Servo System

Research Laboratory Shunji MANABE

Of various position control systems, there is one in which input signals increase indefinitely while the velocity is limited as in the case of shaft rotation. On the contrary, if the input signal is given by voltage or current, the rate becomes infinitely large, while its magnitude is limited within a certain maximum value. Then, call provisionally the former a follow up servo system, and the latter a position servo system. For this follow up servo system has been suggested a systematic design procedure whereby the best control system is logically available from the given specifications. In this concept are taken into account saturations and transport delays, so that realistic system constants can be obtained. Also a mention is made on a method of selecting motors and gear ratios.

1. ま え が き

一般に位置サーボ系と呼ばれるものの中に、入力信号が軸の回転角のように、無制限に大きくなるものがある。しかしこのような系では、入力信号の変化速度には制限がある。これに反し、入力信号が電圧とか電流で与えられる場合は、最大値は制限されているが、変化速度は、無限大になることができる。いまかりに前者を追値サーボ系、後者を単に位置サーボ系と呼ぶことにしよう。

サーボ系の設計が単に線形の系としてなされているときは、このような区別は不要であろう。しかし系の非線形性、とくに飽和の影響を無視して設計を進めるといじめるしく非現実的な系をうる。また機器の定格など、製作に必要な資料をうるのがむずかしい。このように飽和の影響を考えなければならないときは、系を区別したほうが便利がよい。

本稿は、このような追値サーボ系について、統一的な設計方式を与えるための一つの試みである。自動制御の理論は、いわゆる安定論に偏しがちであり、仕様が与えられてから、論理的な過程で、最良の制御系を設計することについては、あまり成功しているとはいえない。これは、自動制御系は必ず非線形として扱わなければならないが、非線形制御の一般的な理論が完成していないためであろう。しかし系の大体の形が定まっていれば、系が非線形であっても、かなり統一的な取扱いが可能である。ここでは、非線形要素としては2個の飽和要素を、

また特殊な要素として等価むだ時間要素をふくむ系をまず想定し、つぎに、種々の見地より、その常数がお互にもつべき関係と、特性に与える影響を明らかにし、最後にこれらの結果より、論理的に最良の系をうる方法を述べた。また電動機と歯車比の選定法についても言及した。

2. 系 の 概 要

追値サーボ系には、種々の形があるが、大体図2.1の形に還元して考えることができる。この系を代表する方程式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= e_i - e_o = \frac{r}{S} - \frac{c}{S} = \frac{1}{S}(r - c) \\ u &= \text{Sat} [(K_1 + K_2 S)\varepsilon] \\ v &= \text{Sat} [K_3(u - v)] \\ c &= \frac{e^{-\tau S}}{JS}(v - T_d) \\ w &= K_2 J c \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに

$$\text{Sat} [x] = \begin{cases} x & -1 < x < 1 \\ 1 & x > 1 \\ -1 & x < -1 \end{cases} \dots\dots\dots (2.2)$$

e_i ; 入力信号 u ; 前置増幅器の出力電圧
 e_o ; 出力信号 v ; 出力増幅器の出力電圧
 ε ; 偏差 w ; 速度帰還信号電圧
 τ ; 出力装置等価むだ時間 r ; 入力信号の変化速度
 T_d ; トルクじょう乱 de_i/dt

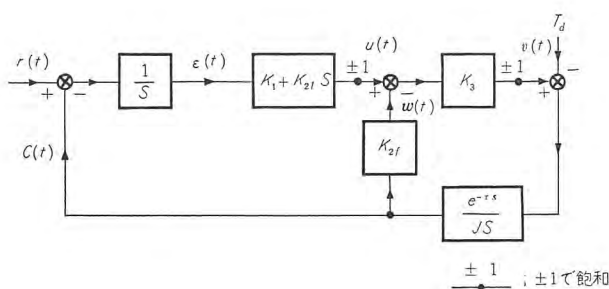


図 2.1 ブロック線図
Fig. 2.1 Block diagram.

J ; 単位法による機械系の慣性能率
 c ; 出力信号の変化速度
 de_0/dt

K_1, K_{2l}, K_{2f}, K_3 ; 常数

式 (2.1) の諸量はすべて単位法⁽¹⁾で表わしたもので、その基準値は次のものをとる。

- r, c ; 入力信号の最大変化速度
- e_t, e_0, ε ; 上記速度で 1 秒間に起る変位
- u, w ; 前置増幅器の飽和レベル
- v ; 出力増幅器の飽和レベル
- T_d ; 出力増幅器の飽和レベルに相当するトルク
すなわち駆動トルクの最大値

なお単位法による慣性能率は次のようになる。

$$J = \frac{GD^2}{375} \frac{\text{基準速度 (rpm)}}{\text{基準トルク (m·kg)}} \dots\dots\dots (2.3)$$

3. 設計の基礎式

図 2.1 に示す系は、飽和をふくむものであるが、偏差 ε およびその変化率 $\dot{\varepsilon}$ が小となると、まったく線形の領域で動作するが、この状態で適度の安定度を保たなければならない。すなわち慣性能率 J は小なるほど、系の到達しうる最高加速度は大となり応答が速くなるが、あまり小さくすると、むだ時間の影響により、制御不可能となる。その限界はアナコムによる計算の結果、つぎのように表わされる。

$$J > 5K_1K_3\tau^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

つぎに K_{2f} について考えてみよう。 K_{2f} として適当な値を選べば、 c の最大値は前置増幅器の飽和の影響で、 $1/K_{2f}$ に制限されるので系の安定度をまし、かつ系が正常な状態から離れたときでも、正常に復帰するのを容易ならしめる。しかし K_{2f} が大きくなりすぎると、必要以上に c を押え、その結果 $\dot{\varepsilon}$ が小さくなり、応答が緩慢になる。これらを考慮して次のようにえらぶ。

$$K_{2f} = 0.5 \dots\dots\dots (3.2)$$

いま $r = ru(t)$ が与えられたとき、偏差 ε の変化を考慮追値サーボ系の設計・真鍋

えよう。 ε の最大値は c が増加して r に到達したときにおこる。したがってそれまでは c の変化率、すなわち電動機のトルクを最大値に保つことが望ましい。図 2.1 で $u=1, c=r$ とおき、つぎの関係がえられる。

$$K_3 = \frac{1}{1 - K_{2f}r} = \begin{cases} 2; & r=1 \\ 1; & r \rightarrow 0 \end{cases} \dots\dots\dots (3.3)$$

最後に速度帰還量 $(K_{2l} + K_{2f})K_3$ について考えてみよう。これが小さすぎると制動不足となって系が振動的になることは明らかであるが、大きくなりすぎてもむだ時間 τ の影響で、発振する。実用上使いうる範囲は次のとおりである。

$$1.8\sqrt{K_1K_3J} < (K_{2l} + K_{2f})K_3 < 0.8J/\tau \dots\dots\dots (3.4)$$

式 (3.4) は系を線形とした場合の設計の基準であって、実際には飽和を考えなければならないので、さらに異なった観点からの考慮が必要である。自動制御系の良否を判定する規準はいろいろあるが、往々にして同一条件で比較していないことがある。制御系において、動特性を支配するものは、ほとんど出力装置であって、よい装置を用いればよい特性を得ることはあたりまえである。たとえば甲乙二つの制御系の特性を比較するのに、2 乗誤差積分を用い、甲のほうがよいことがわかって、甲が値段の高いよい出力装置をもっている場合は、系としては甲がすぐれているとはいえない。単に乙の出力装置を甲のものにとりかえることによってはるかによい特性を示すかも知れないからである。したがって、系のよさの比較は、同一出力装置で設計した場合に、初めて行なうことができる。図 2.1 の系と同じ出力装置をもつ系、すなわち同じ J と τ をもつとき、過渡特性の見地から最良の系は、いわゆる非線形最適制御系である。

図 3.1 にこの系のブロック線図を示す。いま入力として、 $r(t) = ru(t)$ が与えられたとき、偏差 ε を最短時間に、零に収れんさせるように、切りかえが行なわれたときの ε と $\dot{\varepsilon}$ の軌跡を位相面上にえがいたものを図 3.2

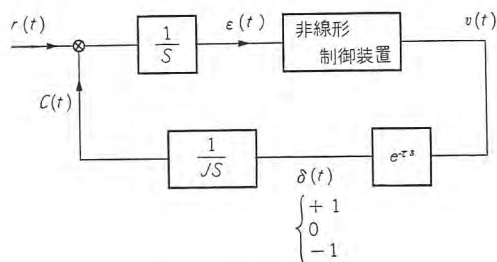


図 3.1 非線形最適制御

Fig. 3.1 Nonlinear type optimum control.

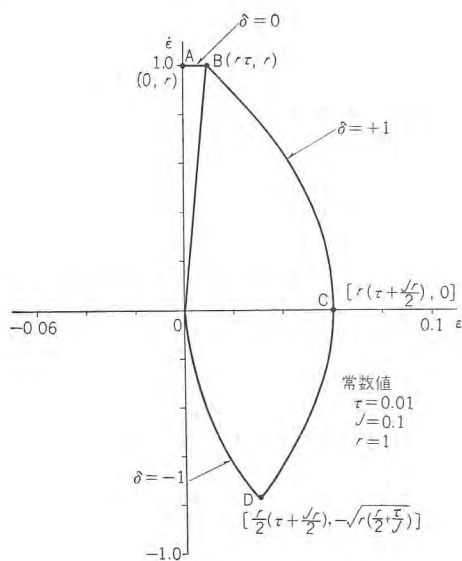


図 3.2 位相面軌跡

Fig. 3.2 Phase plane locus.

に示す。このときの切りかえの条件は、 τ がなければ簡単であるが、 τ をふくむとかなり複雑になる。⁽²⁾ しかも系を構成する要素の常数が設計値と異なった場合、系に自律調整作用のないこと、正弦波入力に対して必ずしもよい特性を示さないで、非線形最適制御系をそのまま採用することはできない。

しかし図 2.1 の系では、 $K_2 K_3$ を適当に選ぶことにより、過渡特性はほとんど最適制御系と同一でありながら、上記の欠点を完全に除去することができる。図 2.1 において、 $K_1 K_2$ が大きな値であることを考慮すれば、 $K_1 \dot{\varepsilon} + K_2 \varepsilon = 0$ を境として $v(t)$ が $+1$ 、 -1 に変化することは容易に理解できる。図 3.1 の位相面軌跡で、 v が切りかわるのは点 D に達する τ sec 前である。したがって $K_1 \dot{\varepsilon} + K_2 \varepsilon = 0$ がほぼその点をとるようにしておけば、非線形最適制御系に似た応答をうることができる。実際にはこの系は線形領域をもつので、アナコムにより実験的に、 $K_2 K_1$ の関係を求めるのであるが、大体次の形で表わされる。

$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{J}{2\sqrt{2}} \left[1 + \alpha \frac{\tau}{J} \right], \quad \alpha \doteq 1 \quad (3.5)$$

したがって、式 (3.5) の条件が同時に式 (3.4) の安定条件もみたすものであれば、式 (3.5) のように K_2 を選ぶことによって、非線形最適制御系とほぼ同じ過渡特性をもつものがえられるが、式 (3.4) をみたさないときは、式 (3.4) により K_2 を定めることになり、最適制御はえられない。これより、最適制御のえられる条件は、式 (3.4) と式 (3.5) を比較し、概略次のようになる。

$$\begin{aligned} K_1 K_3 \tau > 2 & \quad \text{最適制御がえられない} \\ < 2 & \quad \text{えられる} \end{aligned} \quad (3.6)$$

式 (3.6) を用い、 $K_2 K_3$ は概略次のような値が推奨される。

$$K_2 K_3 = \begin{cases} 0.8\tau/J - 1 & \tau K_1 K_3 > 2 \\ 0.353[1 + \alpha\tau/J] JK_1 K_3 & \tau K_1 K_3 < 2 \quad \alpha \doteq 1 \end{cases} \quad (3.7)$$

以上述べた式 (3.1)~(3.7) の条件を満足しておれば、線形領域における安定度、また飽和領域における過渡特性で、よい結果を示す。したがって系の設計は、これらを基礎とする。

4. 系の常数と特性との関係

制御系の設計では、まず動特性あるいは定常特性に関する仕様が与えられ、つぎにこれを満足するように系の常数をえらぶわけである。したがって系の常数と特性の間の関係をまず明確にしなければ設計を進めることはできない。以下それらのうちおもなものについて述べる。

速度信号 $r(t)$ を $ru(t)$ としたとき、偏差の最大値を $\varepsilon_{v \max}$ 、定常状態に達したときの偏差を ε_v 、また偏差が定常値に落ちつくまでの時間を t_v とする。現在の設計では、図 3.2 位相面軌跡で、ABC までは正確に非線形最適制御を行なうように常数をえらんであるから、図 3.2 から

$$\varepsilon_{\max} = r(\tau + Jr/2) \quad (4.1)$$

また図 2.1 で $S \rightarrow 0$ とすれば

$$\varepsilon_v = \frac{K_2 r}{K_1} = \frac{K_2 K_3 r}{K_1 K_3} \quad (4.2)$$

また図 3.2 の位相面軌跡を時間領域にかき直せば、 ε が零に収れんするまでの時間は計算できる。 t_v はほぼこの時間に等しいから、

$$t_v = \tau + Jr \left[1 + 2\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{\tau}{Jr}} \right] \quad (4.3)$$

つぎにじょう乱トルク $T_d = T_d u(t)$ なる場合、偏差はいくらかの行きすぎを生じたのち、一定値に落ち着く。この時の偏差を ε_d とすれば、図 2.1 で $S \rightarrow 0$ 、 $r=0$ として、

$$\varepsilon_d = T_d / K_1 K_3 \quad (4.4)$$

なおこのとき偏差の最大値は、速度入力の場合と異なり、たかだか ε_d の 1.5 倍をこえないから、 ε_d を最大値と考えても実用上さしつかえない。

一般の追値サーボ系で、 $r(t) = r \sin \omega t$ なる信号を与えると、線形理論で与えられる折点周波数よりかなり低

い周波数で飽和の影響が現われ、出力波形が三角波にひずみ、振幅も減少する。このように飽和の影響を考慮した周波数特性を飽和周波数特性、また飽和の起り始める周波数を飽和折点周波数と仮称する。これらは振幅 r の関数となるのが特長である。飽和折点周波数 ω_{cs} (rad/sec) はほぼ次のように表わされる。

$$\omega_{cs}=1/Jr \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

つぎに飽和がない場合の閉路伝達関数について考えてみよう。これらは簡単な計算の結果、つぎのようになる。

$$\frac{c(S)}{r(S)} = \frac{G_v(S)}{1+G_v(S)} = \begin{cases} 1 & |G_v(S)| \gg 1 \\ G_v(S) & |G_v(S)| \ll 1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4.6)$$

$$\frac{\varepsilon(S)}{T_d(S)} = \frac{G_v(S)}{1+G_v(S)} \frac{1}{(K_{2l}S+K_1)K_3}$$

$$= \begin{cases} \frac{1}{JS^2} & |G_v(S)| \ll 1 \\ \frac{1}{K_1K_3+K_{2l}K_3S} & |G_v(S)| \gg 1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

ここに $G_v(S)$ は $c(S)$ でループを切離したときの開路伝達関数で次のように表わされる。

$$G_v(S) = G_{v1}(S) G_{v2}(S) \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

$$G_{v1}(S) = \frac{K_1K_3+K_{2l}K_3S}{S(JS+1)} \quad \dots\dots\dots(4.9)$$

$$G_{v2}(S) = \frac{JS+1}{Je^{\tau S}S+K_{2f}K_3} = \begin{cases} \frac{1}{K_{2f}K_3} & |S| \ll \frac{K_{2f}K_3}{J} \\ e^{-\tau S} & |S| \gg 1/J \end{cases} \quad \dots\dots\dots(4.10)$$

ゆえに $G_v(S)$ を求めるには、 $G_{v1}(S)$ を求めた上で $G_{v2}(S)$ なる補正を行なえばよい。 $S=j\omega$ において周波数特性を求めたものの一例を表 6.2 に示す。 G_{v1} について考えれば、 $\omega=1$ なる点で K_1K_3 なる値をとり -20db/dec. の傾斜をもつ。 $\omega_1=1/J$ で -40db/dec. に折れまがり、 $\omega_2=K_1/K_{2l}$ で上向きに折れまがり、それ以降 -20db/dec. となる。 -40db/dec. の線を延長して 0db に達する点の周波数 ω_3 は、式 (4.9) で $K_{2l}K_3=0$, $G_{v1}(S)=1$ として、 $\sqrt{K_1K_3/J}$ と求められる。 G_{v1} が 0db をきる折点周波数 ω_c は、正確には $K_{2l}K_3/J$ であるが近似的には ω_3 と考えてもよい。 G_{v2} は $\omega_4=K_{2f}K_3/J$ まで 0db/dec. $\omega_4 \sim \omega_1$ 間は -20db/dec. ω_1 以上では 0db/dec. となる。 ω_1 以下では $G_{v2}(S)=1/K_{2f}K_3$, ω_1 以上では 1 である。もちろん τ が問題になってくると、位相特性に変化を生じる。 $K_{2l}K_3=1$ なるときは、 $G_{v2}(S)=1$ においてよく、 $G_v(S)=G_{v1}(S)$ となる。以上をまとめれば

$$\omega_1=1/J \quad \dots\dots\dots(4.11)$$

$$\omega_2=K_1/K_{2l} \quad \dots\dots\dots(4.12)$$

$$\omega_3=\sqrt{K_1K_3/J} \quad \dots\dots\dots(4.13)$$

$$\omega_c=K_{2l}K_3/J=\sqrt{K_1K_3/J} \quad \dots\dots\dots(4.14)$$

$$\omega_4=K_{2f}K_3/J \quad \dots\dots\dots(4.15)$$

$$G_{v1}|=K_1K_3 \quad \dots\dots\dots(4.16)$$

$$\omega=1$$

これらの結果を式 (4.6), (4.7) に代入すれば、つぎの結論を得る。

(1) $c(S)$ は $r(S)$ に対し ω_c まで追従する。

(2) $\varepsilon(S)/T_d(S)$ は ω の全領域にわたり $1/K_1K_3$ 以下である。

なお式 (3.1) の条件は ω_3 を用いれば、つぎのように表わされるが、周波数領域で設計を行なう場合用いて便利がよい。

$$1/\tau=2.236 \omega_3 \quad \dots\dots\dots(4.17)$$

以上系の常数と特性の関係を調べたが、これらを利用すれば、仕様が与えられたとき、常数のとりうる範囲をただちに知ることができる。

5. 電動機の仕様と歯車比の決定

設計をある程度進めてくると、機械系のもつべき慣性性能率 J (単位法による) が自ら与えられる。したがって J が与えられたとき、電動機と歯車比を選択する方法を次に述べる。

まず電動機の単位法による慣性性能率 (以下電動機の単位慣性性能率と略称する) J_M を次のように定義する。

$$J_M = \frac{GD_M^2}{375} \frac{N_{MP}}{T_{MP}} \text{ sec} \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

ここに GD_M^2 ; 電動機の GD^2 $\text{kg}\cdot\text{m}^2$

N_{MP} ; 電動機の許容最高回転数 rpm

T_{MP} ; 電動機の許容最大トルク $\text{m}\cdot\text{kg}$

式 (5.1) を $\text{g}\cdot\text{cm}$ で表わした場合は次のようになる

$$J_M = \frac{GD_M^2}{37,500} \frac{N_{MP}}{T_{MP}} \quad \dots\dots\dots(5.2)$$

$$J_M = 1.067 \times 10^{-4} \times \left(\frac{1}{4} GD_M^2 \right) \cdot \frac{N_{MP}}{T_{MP}} \quad \dots\dots\dots(5.3)$$

なお J_M は物理的には、最大トルクが与えられたとき、最高速度に達するまでの時間となる。

つぎに負荷について次の諸量を定義する。

$$J_L = \frac{GD_L^2}{375} \frac{N_{LP}}{T_{LP}} \quad \dots\dots\dots(5.4)$$

$$T_d = T_{LP}/RT_{MP} \quad \dots\dots\dots(5.5)$$

$$n_P = N_{MP}/RN_{LP} \quad \dots\dots\dots(5.6)$$

$$\gamma = T_{MP}N_{MP}/T_{LP}N_{LP} = n_P/T_d \quad \dots\dots\dots(5.7)$$

ここに

- R ; 電動機負荷間の歯車比
 T_d ; 単位法によるじょう乱トルク p. u.
 n_p ; 単位法による電動機最高回転数 p. u.
 J_L ; 単位法による負荷の慣性能率 sec
 γ ; 電動機出力と負荷の消費する出力の比
 GD_L^2 ; 負荷の GD^2 kg-m²
 N_{LP} ; 負荷の定常回転数の最大値 rpm
 T_{LP} ; 負荷トルクの最大値 m-kG

また J_L の定義から

$$J = \frac{GD_M^2 R^2 + GD_L^2 N_{LP}}{375 R T_{MP}}$$

式 (5.1), (5.4), (5.5), (5.6) を用いて変形すれば

$$J = J_M / n_p + T_d J_L \dots\dots\dots (5.8)$$

さらに T_d に関しては負荷じょう乱のあるときでも、系が十分の余裕をもって、線形領域で動作するため 0.5 以下にとらなければならない。また n_p については、式 (3.2) に示すように、 $K_{sf} = 0.5$ であるから、2 以上でなければならない。もし 2 以上ならば適当な速度帰還をとりつけることにより K_{sf} を 0.5 とできるが、2 以下ならば、速度帰還なしでも、内部の帰還によって 0.5 以上になってしまう。すなわち

$$T_d < 0.5 \dots\dots\dots (5.9)$$

$$n_p > 2 \dots\dots\dots (5.10)$$

式 (5.8) において J, J_L は与えられ、 J_M も大体定っているから、変数は n_p と T_d だけになる。したがって、他にもう一つ条件があれば、これらは定まる。この条件

としては、つぎの三つがあげられる。

- (1) 電動機の出力を最小にする。
- (2) 精度の条件より T_d が与えられる。
- (3) 電動機を他の目的に流用したい場合のように、 n_p が与えられる。

上記のうち (2), (3) のときは、式 (5.8) からただちに設計が定まる。(1) については、式 (5.8), (5.9), (5.10) の条件のもとに式 (5.7) を最小にするようにすればよい。このようにして $J_L/J, J_M/J$ から γ, n_p, T_d を求めた結果を図 5.1, 5.2 に示す。

いま電動機の単位慣性能率を、市販のものについて、カタログより計算した結果を表 5.1 に示す。60 c/s, 400 c/s AC および DC サーボモータにつき、サーボモータとして設計されたものは 0.02~0.08 sec と考えてよい。

表 5.1 電動機の単位慣性能率
 $J_M = 1.067 \times 10^{-4} \times (\frac{1}{2} GD_M^2) N_{MP} / T_{MP}$

| 名 称 | | 形 式 | 出力 (W) | 最大トルク T_{MP} (g·cm) | 最高回転数 N_{MP} (rpm) | $\frac{1}{2}GD_M^2$ (g·cm ²) | 単位慣性 能率 J_M (sec) |
|----------|-------------------------------|---------------------|-----------|-----------------------------|----------------------------|---|---------------------------|
| 山洋電機 | MSR | 2ϕ AC 60c/s | 3.5 | 480 | 3,300 | 40 | 0.0293 |
| | MSQ | | 7.5 | 900 | 3,000 | 200 | 0.0711 |
| | MSP | | 16 | 1,600 | 1,650 | 950 | 0.104 |
| | MSN | | 25 | 4,200 | 1,500 | 5,800 | 0.220 |
| | MSV | | 40 | 7,800 | 1,500 | 7,800 | 0.160 |
| 山洋電機 | MTO | DC | 2 | 100×2 | 2,000 | 300 | 0.32 |
| | MTB | | 5 | 180×2 | 3,000 | 350 | 0.312 |
| | MTM | | 10 | 500×2 | 2,000 | 400 | 0.0856 |
| | MDA | | 40 | 2,000×2 | 3,000 | 500 | 0.04 |
| 桐生英工舎BMB | BSB-1-H BSB-2-S BSB-5-S | 2ϕ AC 60c/s | 0.4 | 100 | 1,100 | 70 | 0.082 |
| | | | 1 | 95 | 3,000 | 5.9 | 0.02 |
| | | | 1.3 | 120 | 3,200 | 5.9 | 0.0168 |
| | | | 5 | 410 | 3,200 | 15.5 | 0.0483 |

注 1. 表の数値は、山洋電機、桐生英工舎のカタログによる。

注 2. 2φ モータで AC 60c/s, 50c/s のものは AC 60c/s の値だけ採用。

注 3. DC モータでは最大トルク T_{MP} は定格トルクの 2 倍を採用。

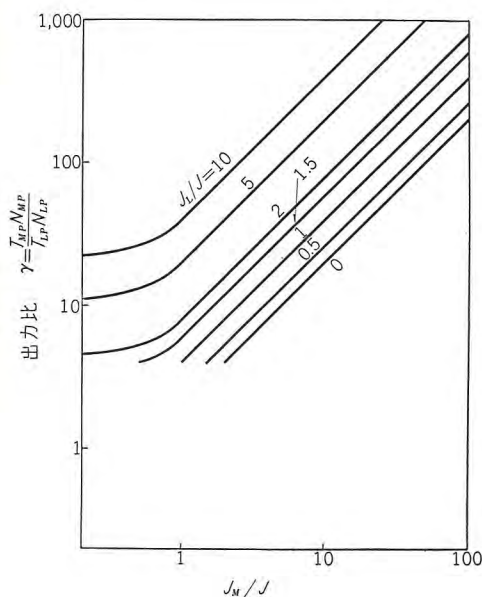


図 5.1 最小出力比
 Fig. 5.1 Minimum output ratio.

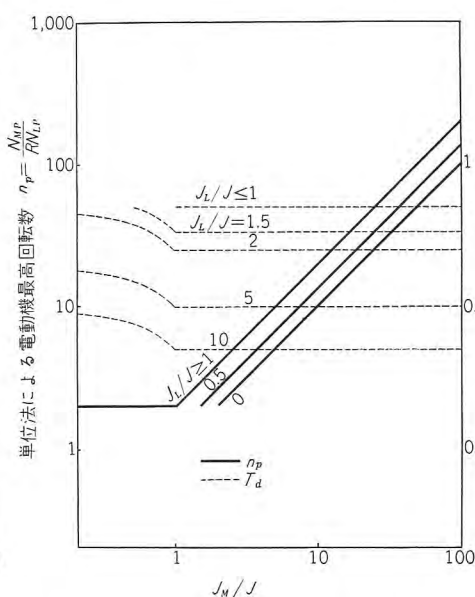


図 5.2 出力比最小なときの n_p と T_d
 Fig. 5.2 n_p and T_d when output ratio becomes minimum.

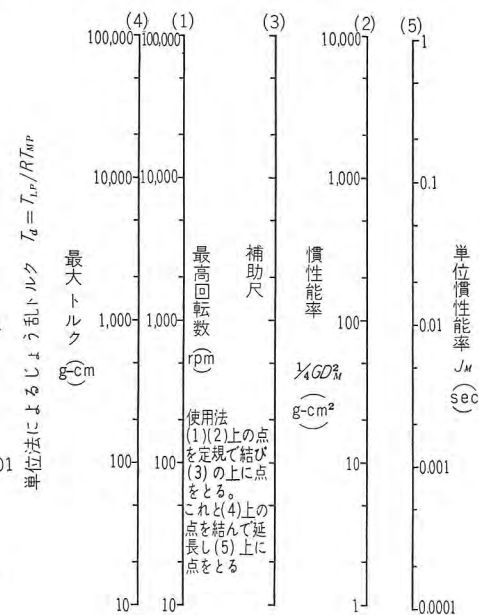


図 5.3 J_M の計算図表
 Fig. 5.3 Calculation diagram of J_M .

うである。

一般にトルク T , 回転数 N で回転している場合の毎秒あたりの仕事 W は, つぎのように求められる。

$$W(W)=1.026T(\text{kg}\cdot\text{m})N(\text{rpm})\cdots\cdots(5.11a)$$

$$=1.026\times 10^{-5}T(\text{g}\cdot\text{cm})N(\text{rpm})\cdots\cdots(5.11b)$$

一般の交流サーボモータでは最大出力は最大トルクのほぼ $1/2$, 最高回転数のほぼ $1/2$ で起る。また直流サーボモータでは, 最大トルクを定格トルクの 2 倍, 最高回転数を定格回転数に等しいとすれば, つぎの関係を得る。

$$W_{AC}=\frac{1}{4}\times 1.026\times 10^{-5}T_{MP}(\text{g}\cdot\text{cm})N(\text{rpm})\cdots\cdots(5.12a)$$

$$W_{DC}=\frac{1}{2}\times 1.026\times 10^{-5}T_{MP}(\text{g}\cdot\text{cm})N(\text{rpm})\cdots\cdots(5.12b)$$

ここに

W_{AC} ; 交流サーボモータの最大出力 W

W_{DC} ; 直流サーボモータの定格出力 W

したがって

$$W_{AC}\doteq 2.57\times 10^{-6}\gamma T_{LP}(\text{g}\cdot\text{cm})N_{LP}(\text{rpm})\cdots(5.13a)$$

$$W_{DC}\doteq 5.13\times 10^{-6}\gamma T_{LP}(\text{g}\cdot\text{cm})N_{LP}(\text{rpm})\cdots(5.13b)$$

つぎに歯車比 R は n_p から求められる。ここで電動機最高回転数 N_{MP} は任意に選びうる。

$$R=N_{MP}/n_pN_{LP}\cdots\cdots(5.14)$$

最大トルク T_{MP} は T_d と式 (5.14) から求められる。

$$T_{MP}=T_{LP}/RT_d$$

このようにして出力・歯車比・最高回転数・最大トルクが計算できたら, 電動機を選択し, そのデータから, J , T_d , n_p などを改めて計算し直して, 最初目標とした値と比較してみなければならない。

なお N_{MP} , T_{MP} , $1/4GD_M^2$ が与えられたとき J_M を求めるための計算図表を図 5.3 に示す。これは J_L にも, また一般の単位慣性効率を求めるのにも使用できる。

最後に計算例を示す。条件として次のものが与えられる。

$J=0.01$, $T_{LP}=400\text{ g}\cdot\text{cm}$, $N_{LP}=600\text{ rpm}$, 負荷ポテンシオメータ。

ポテンシオメータ負荷なるゆえ $J_L=0$ とする。 $J_M=0.04$ と仮定。 $J_M/J=4$, $J_L/J=0$, 図 5.1, 5.2 から, $\gamma=8$, $n_p=4$, $T_d=0.5$

$$W_{AC}=2.57\times 10^{-6}\times 8\times 400\times 600=4.93\text{ W}$$

$N_{MP}=3,000\text{ rpm}$ とすれば

$$R=3,000/4\times 600=1.25$$

$$T_{MP}=400/1.25\times 0.5=640\text{ g}\cdot\text{cm}$$

追値サーボ系の設計・真鍋

ゆえに $R=1$, 山洋電機 MSQ と選択すれば,

$$n_p=3,000/600=5$$

$$T_d=400/900=0.44$$

$$J=0.0711\times 1/5=0.0142$$

すなわち, 仕様をほぼ満足していることがわかる。

6. 設 計 法

これまでに求めた式をまとめれば, 追値サーボ系の設計を, 非常に統一的行なうことがわかる。まず式 (3.1) を図 6.1 に示す。ここで式 (3.6) の条件を用い最適制御のえられる場合を実線で, えられない場合は点線で示す。つぎに式 (3.7) を図 6.2, 6.3 に示す。これは本質的には同じ図で使いやすいほうを使えばよい。

設計の手順の概略を表 6.1 に示す。さらに系の設計が終って特性を計算するときの手順を表 6.2 に示す。

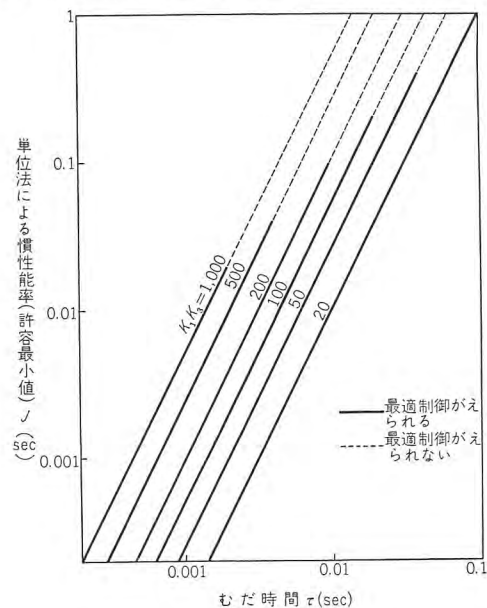


図 6.1 慣性効率 J の最小値

Fig. 6.1 Minimum value of inertial efficiency.

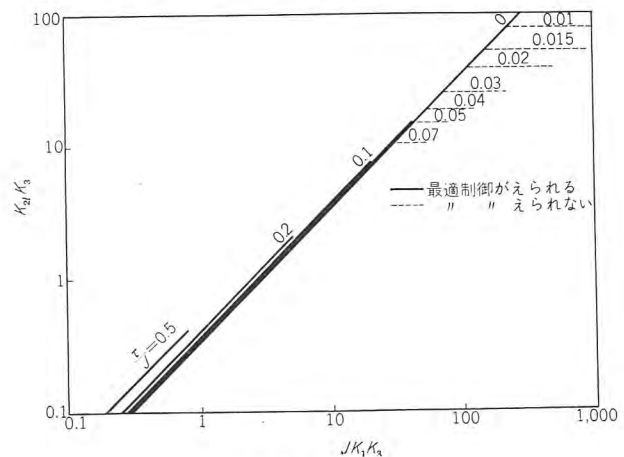


図 6.2 K_{2L}/K_3

Fig. 6.2 K_{2L}/K_3

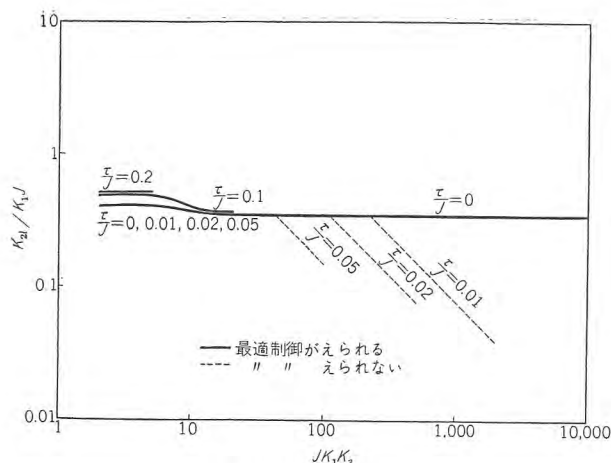


図 6.3 K_{2l}/K_1J
Fig. 6.3 K_{2l}/K_1J

設計の手順は、まず仕様から ①～⑥ を記入する。それによって、⑦～⑫ を計算し K_1K_3 , J の概略値を得る。つぎに図 6.1 から、系の安定度を考慮しながら、 J , K_1K_3 , τ を定める。これら 3 常数は、系の特性を規定する重要な因子であるが、 K_1K_3 は定常状態における精度を、 J は

表 6.1 追値サーボ系の設計表

| 項目 | 記号 | 数値 | 備考 |
|--------|--------------------------|---------|---|
| 仕様 | ① ε_d | p. u. | ⑦ $K_1K_3 = Td/\varepsilon_d \approx 0.5/\varepsilon_d =$ |
| | ② ε_v | p. u. | ⑧ $K_1K_3 \approx r/\varepsilon_v =$ |
| | ③ $\varepsilon_{v \max}$ | p. u. | ⑨ $J \approx 2\varepsilon_{v \max}/r^2 =$ |
| | ④ t_v | sec | ⑩ $J \approx t_v/2.414r =$ |
| | ⑤ ω_{cs} | rad/sec | ⑪ $J = 1/r\omega_{cs} =$ |
| | ⑥ ω_c | rad/sec | ⑫ $K_1K_3 = \omega_c^2/J = \quad \times J$ |
| 三常数 | ⑬ K_1K_3 | | 図 6.1, ⑦～⑫ より定める。 |
| | ⑭ J | sec | 設計できないときは積分制御を併用することにして K_1K_3 を下げてよい。 |
| | ⑮ τ | sec | τ の概略値 |
| | ⑯ $K_1K_3\tau$ | | 60c/s AC; 0.01, 400c/s AC; 0.0015, DC 不定 |
| 位相進み回路 | ⑰ 最適制御 | 可能, 不可能 | $K_1K_3\tau < 2$; 可能, $K_1K_3\tau > 2$ 不可能。 |
| | ⑱ K_1K_3J | | ⑰ 可能なら ⑱, 不可能なら ⑲ のいずれか一方に記入する |
| | ⑲ τ/J | | |
| | ⑳ $K_{2l}K_3$ | | 図 6.2, 6.3 を用いること。 |
| モータ関係 | ㉑ J_M | sec | モータ; 歯車比 R の選択は 5 節による |
| | ㉒ J_L | sec | モータ出力 $\alpha \text{ np}/Td$ |
| | ㉓ Td | | $Td = TLP/RTMP$ |
| | ㉔ np | | $np = NMP/RNLP$ |
| 速度帰還 | ㉕ J | sec | $J = J_M/np + TdJ_L$ |
| | ㉖ 速度帰還 | 要, 不要 | $np \approx 2$ なら不要 $np \gg 2$ なら必要 |
| | ㉗ K_{2f} | | ㉖ 要 $K_{2f} = 0.5$ $K_3 = 2$ |
| | ㉘ K_3 | | 不要 $K_{2f} = 1/np$ $K_3 = 1$ |
| 常数 | ㉙ K_1 | | 積分制御 $K_1(S)$ 要ならば |
| | ㉚ $K_1(S)$ | | ㉙ $K_1(S) = K_1 \left(1 + \frac{1}{5JS + K_1/K_{1\infty}} \right) =$ |
| | ㉛ $K_{1\infty}$ | | $K_{1\infty}$ は ⑦⑧ より定める |
| | ㉜ K_{2l} | | ブロック線図 |
| | ㉝ K_{2l}/K_1 | | |
| | ㉞ K_3 | | |
| | ㉟ J | sec | |
| | ㊱ τ | sec | $r(t) = ru(t); r \sin \omega t$ |
| | ㊲ Td | | |
| | | | |

注 1. ± 1 で飽和

注 2. $e^{-\tau s}$ を K_1K_3 のブロックに移動してもよい

表 6.2 追値サーボ系の特性計算表

| 項目 | 記号 | 計算式 | 数値 | | |
|--|------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | $r=1$ | $r=0.5$ | $r=0.2$ |
| 過渡特性 | ε_d | Td/K_1K_3 | | | |
| | ε_v | $K_{2l}r/K_1$ | | | |
| | $\varepsilon_{v \max}$ | $Jr^2/2[1+2\tau/Jr]$ | | | |
| | t_v | $\tau + Jr[1+2\sqrt{1/2+\tau/Jr}]$ | | | |
| 周波数特性 | ω_{cs} | $1/Jr$ | rad/sec | | |
| | ω_c | $K_{2l}K_3/J$ | | | |
| | ω_1 | $1/J$ | | | |
| | ω_2 | K_1/K_{2l} | | | |
| | ω_3 | $\sqrt{K_1K_3/J}$ | | | |
| | ω_4 | $K_{2l}K_3/J$ | | | |
| | $1/\tau$ | K_1K_3 | | | |
| 過渡特性; 速度階段入力 $ru(t)$ に対する偏差 $\varepsilon(t)$ | | | 開路周波数特性 | | |
| | | | | | |

記号 ε_d : トルクじょう乱 Td に対する偏差の定常値 p. u.
 ε_v : 速度階段入力 $ru(t)$ に対する偏差 p. u.
 $\varepsilon_{v \max}$: 同上過渡偏差最大値 p. u.
 t_v : 偏差が ε_v に対する時間 sec
 ω_{cs} : 飽和折点周波数: 系に飽和の起る周波数 rad/sec
 ω_c : 線形折点周波数 rad/sec
 r : 速度の設定値 p. u.
 c : 速度 p. u.
 J : 系の単位法による慣性率 sec
 Td : トルクじょう乱 p. u.
 τ : 出力装置等価むだ時間

過渡特性のよさを規定すると考えてよい。精度と過渡特性は相反する性質をもち、両方ともよいものはいないのであるが、その上限を与えるものがむだ時間 τ である。このむだ時間は、純粋なものには限らず、入力信号があつてから、有用な信号がえられるまで、時間のおくれのあるもの、たとえば、雑音をふくむ系、変調復調を伴う系、多数の時定数の組合わせ、機械共振系を含む回路、電動機の電氣的過渡現象、不感域、バックラッシュなどが考えられる。大体の目安としては 60c/s AC では 10 msec 以上、400c/s AC では 1.5 msec 以上と考えなければならないようである。なお図 6.1 から求めた J の値は、系としては最適なものであるが、現実の系で τ , K_1K_3 , J が多少異なる可能性のあることを考え、いくらかの余裕をとることは必要であろう。

仕様を満足しかつ図 6.1 を満足する 3 常数がえられないときは、一応積分制御を併用することにして、小さな K_1K_3 をえらび、設計を進める。

位相進み回路の常数は、3 常数から図 6.2, 6.3 を用いてただちに求められる。 K_{2f} は一般に速度発電機による帰還であるが、 $np \approx 2$ とえらべるときは、電動機自身の垂下特性による制動効果を利用することにより、これを省略することができる。 K_{2f} は系の特性に第一義的な

働きをしているのではないので、あまり細かく考えなくてよい。 K_3 は2程度にとるのが望ましいが、1とともてもさしつかえなく、ただ t_v が多少のびる。一般に補償回路として、進相補償と、帰還補償とが合わせて論じられている。系の安定度に関しては両者とも同じ働きをするが、系の過渡特性に与える影響は両者では異なる。この意味で K_{2f} と K_{3f} は区別して考えなければならない。

このようにして常数が定まると ③⑩～③⑧ に記入する。ここで積分制御が必要ならば、適当な伝達関数 $K_1(S)$ を作る。ここで K_1 は設計の結果定めた K_1 を用い、 $K_{1\infty}$ は ⑦⑧ より定められる K_1 を用いる。 $K_1(S)$ については概略の形は示したが、さらに詳細はアナコムで計算する必要がある。なお積分制御を併用すると、過渡特性は必ずわるくなることは留意しなければならない。

7. む す び

以上追値サーボ系の設計法について述べたが、主要な点をまとめれば次のようになる。

- (1) ブロック線図としては、飽和とむだ時間をふく

めて考え、系を現実なものにした。

- (2) 単位法を適用することにより、形式の異なった系の間でも、常数の比較ができるようにした。
- (3) 仕様から系の常数をただちにきめることのできる、統一的な設計法を示した。
- (4) 電動機と歯車比がただちに選択できる方法を述べた。
- (5) 系の特性を算出する方法を述べた。
- (6) 系の精度と過渡特性のよさは互に相反するものであり、この上限はむだ時間によりおさえられる。

なお電動機と歯車比の選択については研究所電気第一研究室大野技師の発案によるもので、ここにあつく感謝の意を表する次第である。 (34-6-4 受付)

参 考 文 献

- (1) 真鍋：自動制御系のアナリシスとシンセシス「三菱電機」32, No. 5, (昭 33)
- (2) 三巻：むだ時間をふくむ系の非線形最適制御自動制御 6, No. 1, (昭 34).

次 号 予 定

三菱電機 Vol. 33 No. 11

- ED713 号交流機関車
- ED713 号交流機関車用主変圧器
- ED713 号交流機関車用イグナイトロン整流器
および制御保護装置
- 278.5 kV 120 MVA 超高圧負荷時タップ切換
変圧器
- 3,450 V 3,000 A メタルクラッド配電盤
- 3.6 kV 300 MVA 3,000 A 新形磁気シャ断器
- 吸湿プレスボードの誘電率と絶縁抵抗の関係

- 富士製鉄 1,860 kW 同期電動機絶縁破壊試験
- 高炉巻上機のリアクトル制御
- WT-R 形スベリ調整器
- ドック照明の一方法
- OP 磁石磁気特性の温度変化
- ジルコニウムとハフニウムの分離
- 技術解説：メーザ・メーバの雑音
：火力発電シリーズ
火力発電所用配電盤

大電流大容量屋外キュービクル開閉装置

伊丹製作所 樺沢孝治*・矢野広男*・田和 穰*

Outdoor Cubicle Switchgear of Heavy Current and High Capacity

Itami Works Kōji KABASAWA・Hiroo YANO・Yutaka TAWA

Outdoor cubicle switchgear delivered to Minami-Kawagoe substation of Electric Power Development in used for the controlling of the tertiary circuit of the main transformer, being of remarkably high current and high capacity. The rated current of 6,000 A and the rated short circuit capacity of 2,500 MVA marking a record in this country, it has features of easy extension because of unit grouping type, no phase short circuit due to segregated bus bars, and ease and safety in maintenance and inspection since each unit is enclosed and isolated with grounded metal partitions.

With these features, its outline dimensions are so reduced as to permit shipment in perfect assembling and to facilitate installation at the site.

1. ま え が き

昭和 26 年東京電力株式会社南鞘町変電所に 500MVA の油シャ断器を入れた 20kV のキュービクルを納入し、引続いて東京電力日比谷変電所に 1,000MVA の横吹付形空気シャ断器を入れた 20kV のキュービクルを納入し⁽¹⁾じ来キュービクル方式による開閉装置のすぐれた特長が顧客の認識をえて約 450 面の製作実績をあげてきた。この間絶えざる創意と工夫を加え、たとえば外形寸法についてみれば、製作初期の同一定格のものに比較して容積が約 7 割に節減され、キュービクル方式の経済性がますます高く評価されるようになってきた。

電力需要の増大にともない電力系統も増大し、送電系統においても単位容量の大なるものが要求されるようになった。当社ではこの要求に沿うため、昭和 26 年以來の実績を基調として逐次、大電流、大容量のものを製作してきたが、昭和 34 年には電源開発株式会社南川越変電所の主要変圧器三次回路制御用に 16.1kV 6,000A 2,500MVA の屋外キュービクル開閉装置を製作し、現地すえ付を完了し良好な成績で運転にはいった。

電源開発の進捗に伴い線路の電圧降下補償対策としての設備に、この種のキュービクル開閉装置が今後ますます発展することと思われるので、これを機会に以下南川越変電所向けキュービクル開閉装置についてその概略を紹介する。

2. キュービクルの概要

南川越変電所は只見川系発電所の発生電力を最短距離で連結する只見幹線 (275kV) を経て受電し 154kV に遁降して、東京中央部に供給するもので出力は、528,000 kVA である。また 275 kV で西東京変電所および東京電力の中東京変電所に連系される。

図 2.1 は主要変圧器の三次回路単線結線図で、鎖線で囲った部分がキュービクル開閉装置として製作され、その仕様は下記のとおりである。

| | |
|---------|-------------------|
| 形 式 | TO-12 形 屋外用 |
| | 単位閉鎖、相間隔壁、前背扉式 |
| 回 路 方 式 | 三相三線式 50 c/s 単一母線 |
| 定格母線電圧 | 16,100 V |
| 定格母線電流 | 6,000 A |
| 定格短時間電流 | 94,000 A 2 秒 |
| 定格最大電流 | 235,000 A |
| 商用周波耐圧値 | 50 kV |
| 衝撃電圧耐圧値 | 125 kV |

キュービクルの構成は主要変圧器単位のグループに分れ、主要変圧器三次側端子からの配線は架空線でキュービクルの端の屋根貫トウ管に接続し、各グループを結ぶ補助母線および、所内変圧器と所内変圧器用キュービクルを結ぶ、所内変圧器回路母線には SL ケーブルが使用されそれぞれのキュービクル床面に床面取付形ケーブルヘッドを備えて接続される。各グループのキュービクルの内訳は下記のとおりである。

| | |
|--------------|-----|
| 1 号主要変圧器グループ | |
| 補助母線用キュービクル | 2 面 |

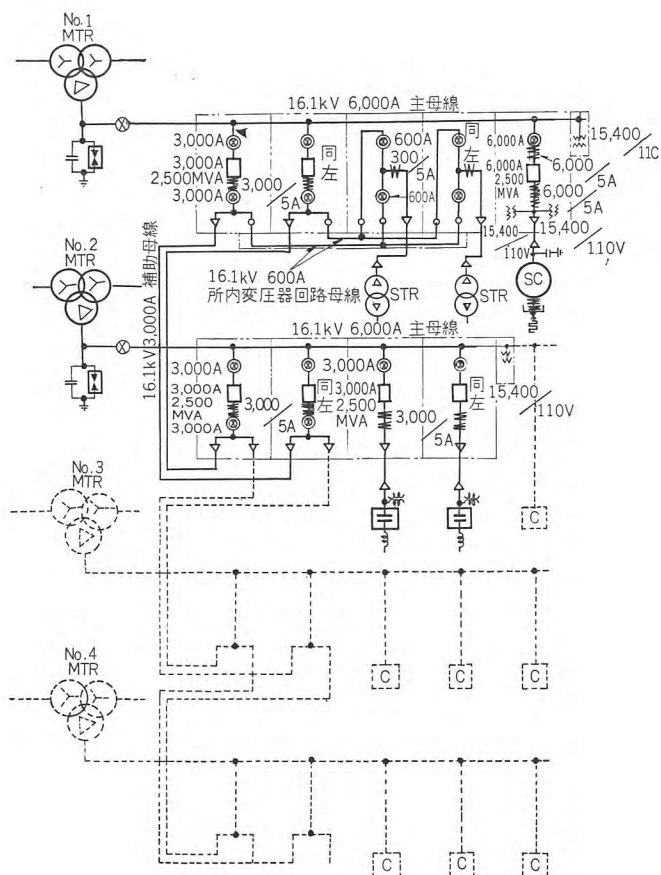


図 2.1 南川越変電所における単線結線図
Fig. 2.1 Block diagram of Minami Kawagoe substation.

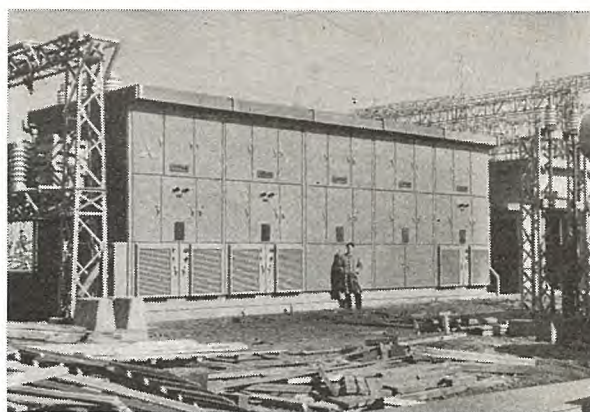


図 2.2 南川越変電所における 1 号主要変圧器
グループキュービクル

Fig. 2.2 Cubicles for the main transformer group No. 1 in Minami Kawagoe substation.

所内変圧器用キュービクル 2 面

同期調相機用キュービクル 1 面

2 号主要変圧器グループ

補助母線用キュービクル 2 面

コンデンサ用キュービクル 2 面

図 2.2 は 1 号主要変圧器グループ用キュービクルの、
シャ断器側より見た現地すえ付状態を示す。

それぞれのグループごとに母線用計器用変圧器キュー
ビクルと、低圧配線および配管を一括引出しする集合
端子箱が付属している。また 1 号主要変圧器グループの補

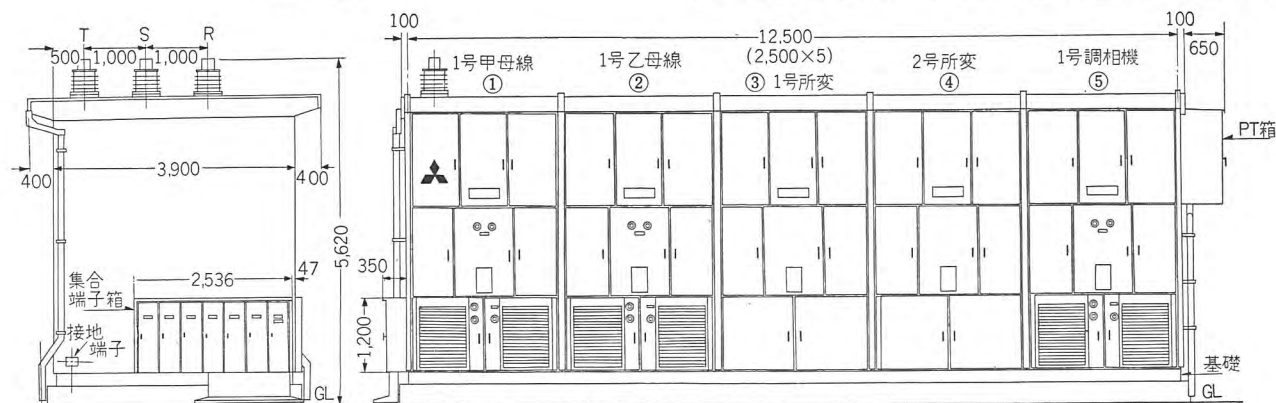


図 2.3 1 号主要変圧器グループキュービクル外形図

Fig. 2.3 Outline of the cubicles for the No. 1 main transformer group.

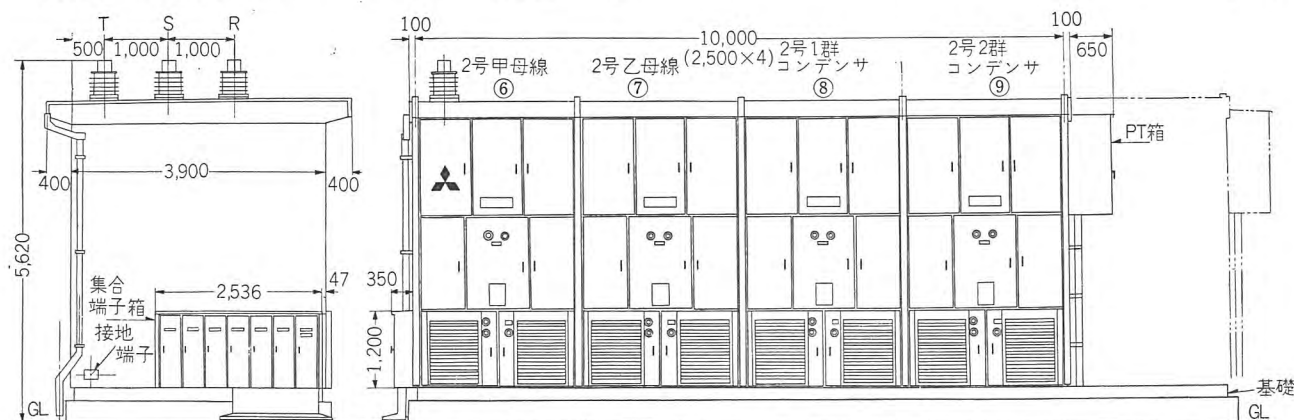


図 2.4 2 号主要変圧器グループキュービクル外形図

Fig. 2.4 Outline of the cubicles for the No. 2 main transformer group.

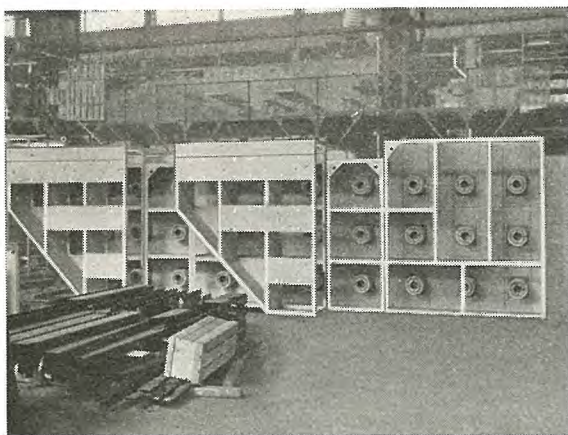


図 2.5 所内変圧器回路用密閉母線
Fig. 2.5 Segregated phase bus for the station service transformer circuit.

助母線用キュービクルと所内変圧器キュービクルを接続する所内変圧器回路母線として、キュービクルの床下ピット内に相間隔壁形密閉母線が付属している。

図 2.3, 2.4 は各グループのキュービクル構成を示す外形図で、図 2.5 は所内変圧器回路用密閉母線である。

3. キュービクルの構造

キュービクルには主母線、空気シャ断器、断路器、負荷断路器、変流器、計器用変圧器、ケーブルヘッド、接続導体および、送風機、低圧配線、空気配管、排水配管、接地母線などが組込んである。これらの内蔵機器は、機器単位、相単位、さらに特高充電部と低圧部とに接地金属板で完全に区画された単位室に収納している。また単位室ごとには点検用扉が備えてある。各キュービクルはすべて同一外形寸法で、相互の横接続には互換性をもち、防水には防水トイ方式を採用し、防ジンは特殊形状の合成ゴムによるパッキン方式で取換え容易な構造となっている。また屋外部はスズメの巣を防止するよう考慮が払われている。

所内変圧器用キュービクルの主母線以外の所内変圧器回路機器は定格電流値が小さいので、自然冷却方式であるが、補助母線用、コンデンサ用は定格電流 3,000 A、また同期調相機用キュービクルは定格電流 6,000 A の、大電流定格機器を収納しているので強制通風式を採用している。空気シャ断器操作機構室に 2 台の送風機を設置し、ガラスウール製空気清浄器を経て取入れられた清浄な空気に高い静圧が与えられ、キュービクル内の発熱部分をノズル吹付式により重点的に冷却し、温度上昇のバランスを保っている。主母線は回路的に点検などによる停電が困難であり、またキュービクル上部の場所的に困

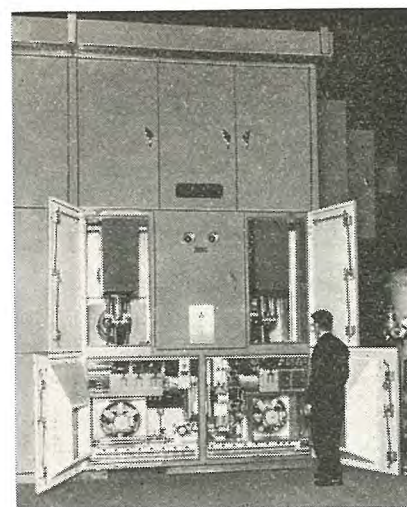


図 3.1 同期調相機用キュービクル外観（シャ断器側）
Fig. 3.1 Appearance of the cubicle for synchronous condenser (circuit breaker side).

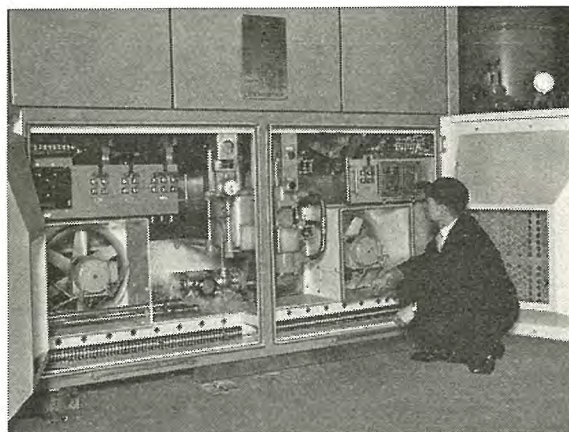


図 3.2 空気シャ断器の制御兼機構室
Fig. 3.2 Control mechanism compartment of air blast circuit breaker.

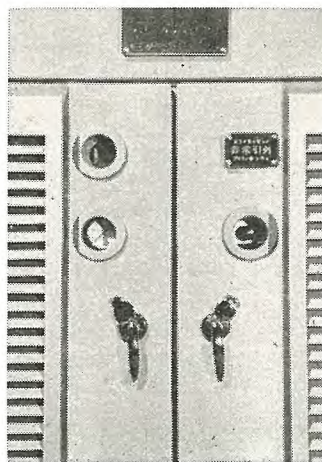


図 3.3 シャ断器側下部扉の外観

Fig. 3.3 Appearance of the lower door on the circuit breaker side.

難な位置にあるので、相間分離形密閉母線とし各相のケーシングを冷却する間接冷却方式により、主母線の導体ならびに支持ガイシの保守点検無用の構造としている。キュービクル運転停止時はキュービクルの下部に設置してあるスペースヒーターを入れることにより、キュービクル内を適当な乾燥状態に保つようになっている。

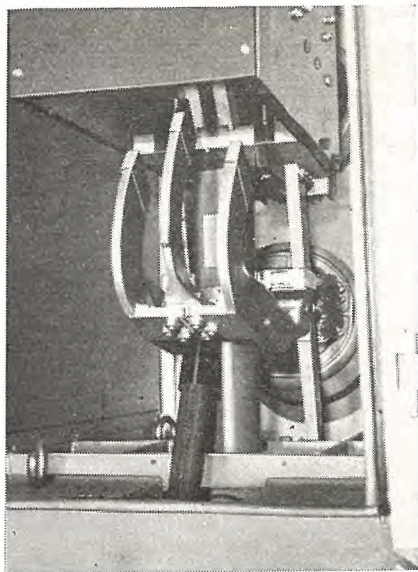


図 3.4 空気シャ断器の接触部
Fig. 3.4 Contacts of air blast circuit breaker.

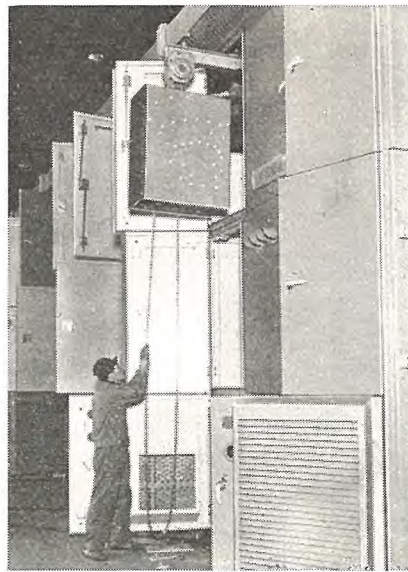


図 3.5 空気シャ断器消弧室搬入状態
Fig. 3.5 Air blast circuit breaker interrupter being moved in.

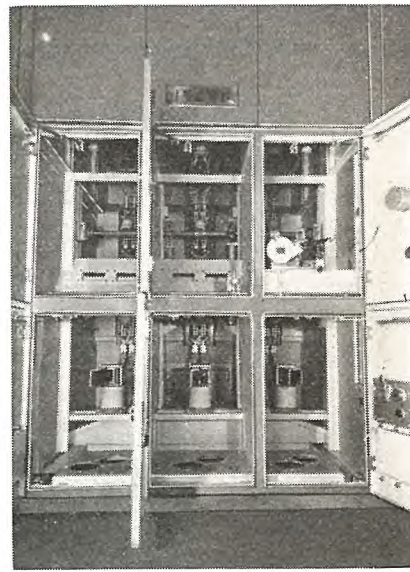


図 3.6 補助母線用キュービクル外観
(断路器側)
Fig. 3.6 Appearance of cubicle for auxiliary bus bar.

図 3.1 は同期調相機用キュービクルの空気シャ断器側から見たところで、下段は補助空気ダメ、吹付弁、駆動軸、操作機構、制御盤、配管、低圧端子台、送風機などの大地電位部分または低圧回路部分からなり、図 3.2 に示すように保守点検を考慮して整然とまとめられている。空気清浄器は扉に取付けられ、取換え容易な構造となっている。また図 3.3 に示すように、空気シャ断器の開閉表示および圧力計の監視と、非常引はずしの操作は閉扉のままで行なうことができる。

中段は各相ごとの室に分れ消弧室、接触子、空気吹付管、操作ロッドなどの特高回路印加部分で構成されている。図 3.4 に示すように、空気シャ断器開の位置において消弧室の下からのぞきこむだけで、接触部の点検が確実に行ないうる。

上段は排気ガス膨張室兼、消弧室搬入室である。図 3.5 は消弧室搬入中の状態を示すもので、付属品の小形チェンブロックにより手軽に操作できる。

図 3.6 は補助母線用キュービクルの断路器側から見たところで、下段は断路器、ケーブルヘッド、接続導体、変流器、接地母線などが収納され、中段は断路器、断路器操作機構、空気配管、接続導体などが収納されている。また上段は 6,000 A 主母線が収納されている。

3.1 フレーム

大電流、大容量のため、収納される各機器の容積、重量、発生熱量および操作力が大きくなるとともに、異状電流による電磁力が増大し、かつ常時の大電流による渦

流損が大きくなるのでフレームの設計にあたっては、温度上昇対策、重量、電磁力、操作力などの荷重分布の問題、さらに震度 0.5 の地震および風速 40 m/sec の風圧に耐える機械的強度を計算に入れて行なった。また完全組立の状態での輸送すえ付が簡便であること、保守点検を容易にするための内蔵機器の取付位置などを考慮し、これらの諸条件が満たされるように留意した。

フレームは各キュービクルともに同一外形寸法とし、分割寸法および方法もまったく同様なものとした。すなわち基礎ベース、下部フレーム、上部フレーム、屋根部の 4 個に分割した、これにより工作が簡単になり精度の高いものが作られた。

(1) 基礎ベースは単独で前広にすえ付現地に発送され、基礎コンクリートに埋込まれるものであるが、キュービクルすえ付の基礎となるので、ベース自体の寸法精度はもとより、コンクリートに埋込の際の埋込寸法精度には細心の注意が払われた。

(2) 下部フレームは空気シャ断器および断路器が取付けられ、上部フレームおよび屋根部が積重ねられるので、重量および操作力の荷重の大半がこの下部フレームに加わるので、非磁鋼材と普通鋼材との組合わせによる溶接組立で、とくに堅牢な構造となっている。

(3) 上部フレームは 6,000 A 主母線が収納されるので、渦流損を防止するとともに、放熱係数を高めかつ重量の軽減を計るため、すべて耐食アルミニウム合金材を使用し、アルゴン溶接組立を行なった。

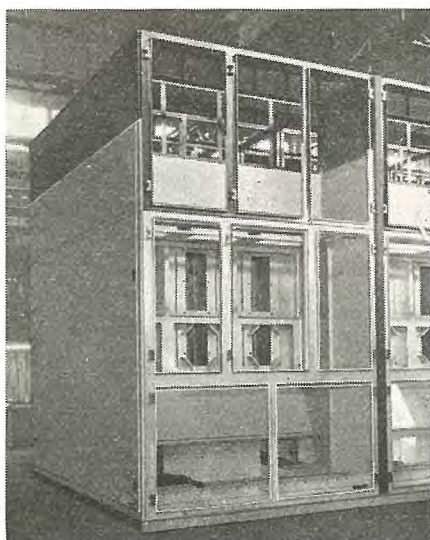


図 3.7 下部フレームと上部フレームとの組合わせ状態
Fig. 3.7 Combination of the lower frame and the upper frame.

(4) 屋根部は換気用ダクトおよび金網窓を備えていて耐食アルミニウム合金材と、純アルミニウム材との組合わせによる、アルゴン溶接組立で、非磁性、軽量、熱伝導、熱反射、耐食性などの条件を満たす構造とした。

図 3.7 は、下部フレームと、上部フレームを積重ねた状態を示す。

キュービクル開閉装置として、収納機器との総合設計により、フレームの外形寸法の縮小を計ったので、フレーム構成材料として、非磁鋼、耐食アルミニウム合金などの特殊材料を豊富に使用しているが、大電流、大容量キュービクルのフレームとしては、資材の合理的節減に成功し、また列車輸送あるいは 10 トントラックでの輸送が可能である。

図 3.8 は工場出荷状態を示すもので、前の 2 両が下部フレームより成る下部キュービクル、後の 2 両が上部フレームと屋根部から成る上部キュービクルで、双方と

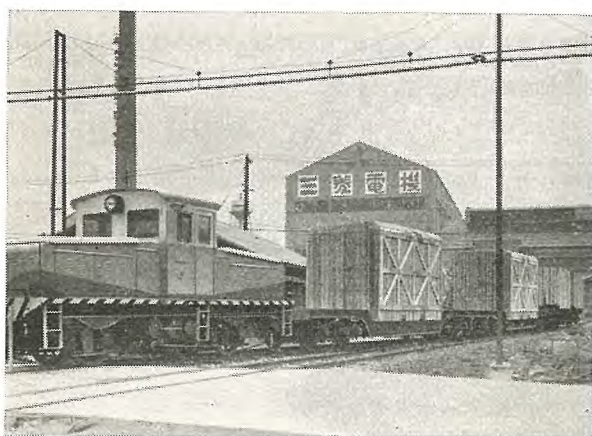


図 3.8 工場出荷のキュービクル
Fig. 3.8 Cubicle for shipping.

も完全組立のまま荷造されている。

3.2 空気シャ断器

キュービクル組込式の横吹付形空気シャ断器で、発電機回路の保護、キャパシタバンクの開閉、都心変電所など高ひん度操作の要求されるもの、あるいは火災の危険が重要視される場所に従来から使用されてきた空気シャ断器であるが、とくに大電流、大容量のものにすぐれた性能を発揮するもので、簡単な構造で大きな短絡電流を、高い再起電圧固有周波数のもとでシャ断できること、接触子を並列に追加するだけで 7,000 A に達する定格電流を、容易に通電しうるものである。この空気シャ断器の詳細についてはすでに発表⁽¹⁾されているので、ここでは詳細説明は省略するが、その定格事項は下記のとおりである。

| | | | |
|--------------|---|-----------------------|------|
| 形 | 式 | 20-C-250L 形 | 三極単投 |
| | | 圧縮空気操作 | 横吹付式 |
| 定 格 電 圧 | | 16,800 V | |
| 定 格 電 流 | | 3,000 A および 6,000 A | |
| 定 格 周 波 数 | | 50 c/s | |
| 定 格 シャ 断 容 量 | | 2,500 MVA | |
| 定 格 再 起 電 圧 | | 15 kc | |
| 定 格 投 入 電 流 | | 235,000 A | |
| 商用周波耐圧値 | | 50 kV | |
| 衝撃電圧耐圧値 | | 125 kV | |
| 定 格 開 極 時 間 | | 0.07 sec | |
| 定 格 シャ 断 時 間 | | 5 c/s | |
| 無負荷投入時間 | | 0.22 sec | |
| 投 入 制 御 電 圧 | | DC 100 V | |
| 定 格 操 作 圧 力 | | 10 kg/cm ² | |
| 定格引はずし電圧 | | DC 100 V | |
| 補助空気ダメ容量 | | 600 l | |

3.3 断 路 器

断路器は無負荷断路器（以下断路器と略す）と負荷断路器の 2 種類に分けられ、断路器は前項空気シャ断器の回路に直列に挿入されて、その回路の断路用および空気シャ断器の回路よりの切放し用である。負荷断路器は所内変圧器回路母線の切換用で、所内変圧器の励磁電流を開閉できるものである。それぞれの定格事項は下記のとおりである。

断路器

| | | | |
|---------|---|----------|--------|
| 形 | 式 | LC-C 形 | 三極単投 |
| | | 圧縮空気操作 | 多重線接触式 |
| 定 格 電 圧 | | 23,000 V | |

定 格 電 流 3,000 A および 6,000 A
 定格短時間電流 94,000 A 2 秒
 定格最大電流 235,000 A
 商用周波耐圧値 50 kV
 衝撃電圧耐圧値 125 kV
 操 作 気 圧 7 kg/cm²
 操 作 電 圧 DC 100 V
 操 作 電 流 0.17 A

負荷断路器

形 式 LC-B 形 三極単投
 圧縮空気操作 多重線接触式

定 格 電 圧 23,000 V
 定 格 電 流 600 A
 定格短時間電流 94,000 A 2 秒
 定格最大電流 235,000 A
 商用周波耐圧値 50 kV
 衝撃電圧耐圧値 125 kV
 操 作 気 圧 7 kg/cm²
 操 作 電 圧 DC 100 V
 操 作 電 流 0.17 A
 定格シャ断電流 励磁電流 10 A

(1) 断路器本体

この断路器はとくにキュービクル用として、すでに設計されていたもので、詳細についてはすでに発表されているので、ここではその概略を述べることにする⁽³⁾。

LC-C 形断路器と LC-B 形負荷断路器は、本体としてはまったく同一設計のものであるが、LC-B 形負荷断路器は図 3.9 に示すように、デアイオン消弧方式とバネによる速切り機構方式による装置が、LC-C 形断路器に付属されたものである。主ブレードの速度に関係なく、補

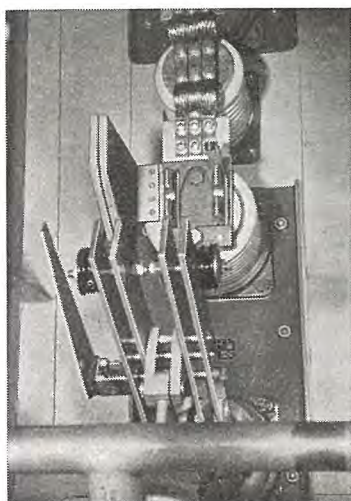


図 3.9 キュービクルに
 組込んだ LC-B 形負
 荷断路器
 Fig. 3.9 Type LC-B
 load disconnecting
 switch set in a
 cubicle.

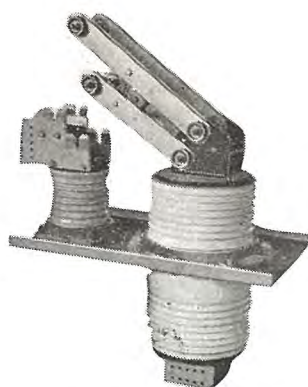


図 3.10 LC-C 形断路器
 23kV 6,000 A
 Fig. 3.10 Type LC-C
 disconnecting switch
 23kV 6,000 A.

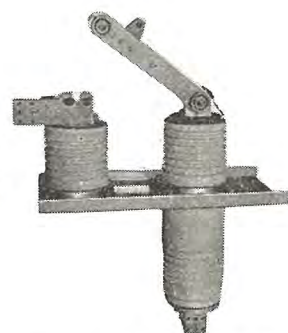


図 3.11 LC-C 形断路器
 23kV 3,000 A
 Fig. 3.11 Type LC-C
 disconnecting switch
 23kV 3,000 A.

助ブレードが高速で開路するので、とくに定格電流の大きい断路器には、開閉速度を必要としないので開閉にともなう機械的衝撃荷重が小さく安定した操作ができる。また、主ブレードが完全に閉の状態では、補助ブレードは電流が流れないように考慮されているので、この速切機構は、異状電流に対する強度は必要としないものである。

主ブレードは多重線接触を採用していて操作はきわめて軽く、安定して通電性を有し 100,000 回の操作試験に耐えるキュービクル組込形にふさわしい特長をもっている。図 3.10, 3.11 に示すように 6,000 A の主ブレードは、3,000 A の主ブレード 4 枚 1 組のものを、上下 2 段に並列に並べて 2 組とし、開閉には 1 組単位の 2 段操作が行なわれるので、操作力は 3,000 A のものとほとんど同様である。

(2) 断路器操作機構

断路器の操作機構は圧縮空気を使用した空気操作機構で、電磁弁を動作して操作シリンダに送気することにより操作する。

操作シリンダは 1 個で、閉路および開路に相互に反対側に送気して操作し、操作時間は約 1.5 秒で操作時の機械的衝撃荷重はほとんどないものである。レバーおよび絶縁ロッドはトグルを形成し、死点を越してストップでささえられているので、電磁力で開放することはない。

配電盤で制御開閉器を閉、または開に操作すると、電磁弁コイルを励磁してアーマチュアを吸引し、排気口を閉じて送気口を開き、操作シリンダに送気して断路器を操作する。

手動操作の場合は、電磁弁についている手動操作用押しボタンを押して、直接バルブを開いて操作する。

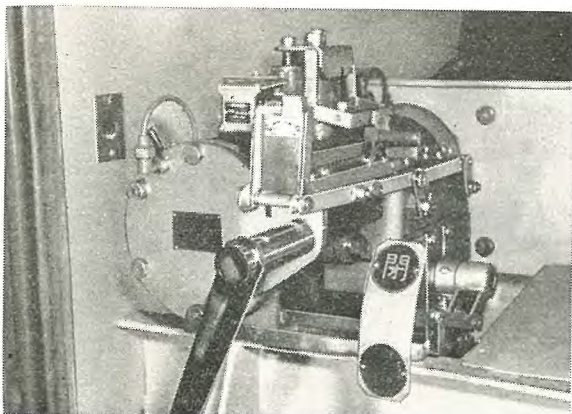


図 3.12 キュービクルに取付けられた断路器操作機構
Fig. 3.12 Disconnecting switch mounted on a cubicle.

調整手動ハンドル操作の場合は、ハンドル挿入用シャフトのカバーを開けると、自動的にウォームのクラッチが掛り、一人で容易に操作することができるようウォームにより減速される。ハンドルをはずしてシャフトカバーを閉じると空気操作態勢にもどる。

図 3.12 はキュービクルに取付けられた断路器操作機構で、調整手動ハンドルを挿入した状態を示す。

3.4 母線および接続導体

主母線の定格電流は 6,000 A、主母線より分岐する接続導体は、同期調相機用キュービクルは 6,000 A、補助母線用およびコンデンサ用キュービクルは 3,000 A である。補助母線用キュービクルと所内変圧器用キュービクルを結ぶ、所内変圧器回路母線ならびに、所内変圧器用キュービクルの接続導体の定格電流は 600 A である。これらの母線および接続導体は定格電流を通ずるとともに、短時間電流として 94,000 A 2 秒間、投入電流として 235,000 A という大電流が流れるので、これによって生ずる温度上昇、電磁力などの熱的、機械的強度に対しては十分な考慮が払われた。

6,000 A 主母線および 6,000 A、3,000 A の接続導体はチャンネル導体を採用し、機械的断面係数、通電有効断面面積、ならびに放熱面積の増加を計りさらに放熱係数を良好にするため、導体表面に黒色塗装を施した。

600 A の母線ならびに接続導体は、短時間電流を計算した機械的、熱的に十分充度のある寸法の硬平銅を使用した。

操作により震動を発生する空気シャ断器および断路器あるいは、機械的強度の比較的弱いケーブルヘッドなどの機器への接続部は、可とう接続導体を使用して機械力の伝達を絶縁している。

接続部はすべて銀、銀接触とし接触面をつねに良好な

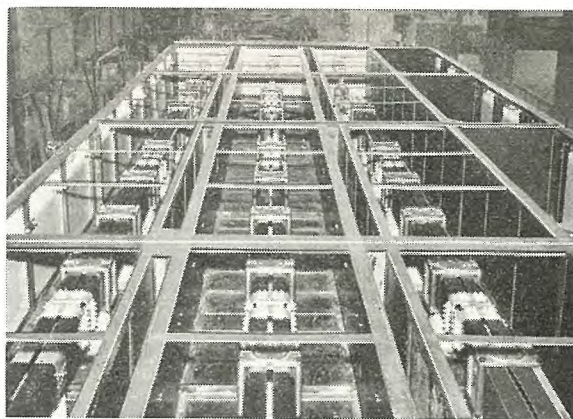


図 3.13 6,000 A 主母線
Fig. 3.13 Main bus bar 6,000 A.

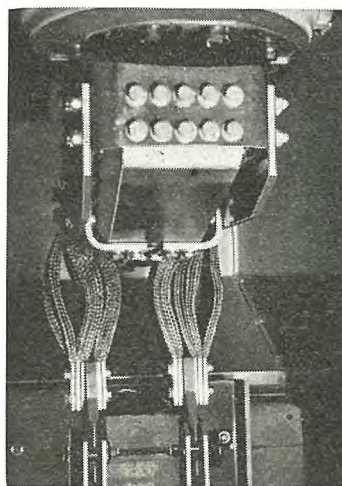


図 3.14 6,000 A 可とう
接続導体
Fig. 3.14 Flexible connecting conductor
6,000 A.

状態に保つようにした、大電流部の締付ボルトは、発熱、熱膨張、機械的強度を考慮に入れた、特殊アルミニウム青銅ボルトを使用し、温度差によって生ずる接触圧力の変動を防止し、さらにパルナットにより完全な回り止めを施している。

図 3.13 は組立中の 6,000 A 主母線、図 3.14 は、6,000 A 断路器接続部の可とう接続導体を示す。

支持ガイシおよびトウ管用ガイ管はとくに電氣的、機械的、熱的ともに強力なものとし、米国規格の「NEMA」に準拠するものを使用した。図 3.15 は曲ゲ荷重試験中

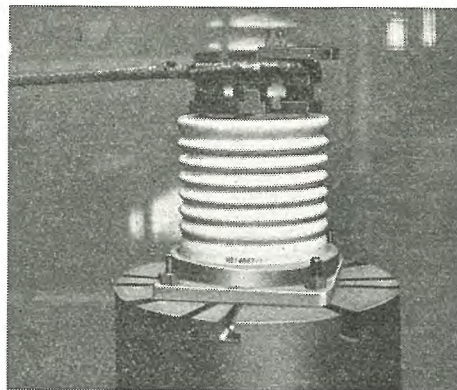


図 3.15 曲ゲ荷重試験中の支持ガイシ
Fig. 3.15 Supporting insulator under bending test.

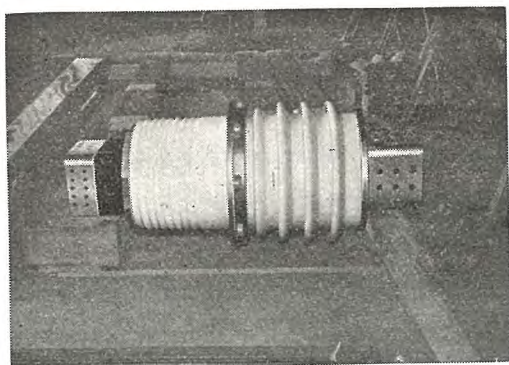


図 3.16 6,000 A 屋根貫トウ管
Fig. 3.16 Roof bushing 6,000 A.

の支持ガイシでその結果は、曲げ荷重 6,950 kg ネジリ荷重 1,700 m·kg 引張荷重 19,500 kg で下部フランジのセメント抜け、あるいは上部取付ボルトのセン断で、圧縮荷重は 28,000 kg で破壊に至らなかった。

図 3.16 はキュービクル屋根貫トウ管で上半部屋外用の 6,000 A のものである。

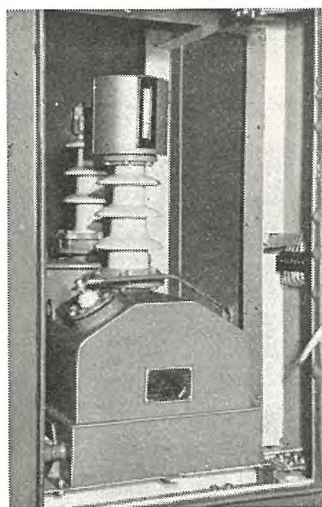


図 3.17 CSF-1S 形単相計器用変圧器のキュービクル取付状態

Fig. 3.17 Type CSF-1S single phase potential transformer mounted on a cubicle.

以上のほかに 450 mm² の接地母線が、フレームを一括して設けられていて地絡電流は接地母線に吸収され、フレームの損傷を防止している。

3.5 計器用変成器

計器用変圧器は相間隔壁形キュービクルに収納するため単相を使用し、不燃性油、完全密封形のものを採用し火災に対する危険と内部絶縁低下を防止して

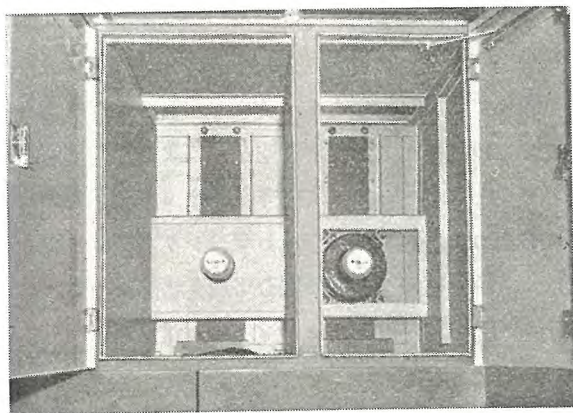


図 3.18 BS 形単相変流器のキュービクル組込状態

Fig. 3.18 BS single phase transformer set in the cubicle.

大電流大容量屋外キュービクル開閉装置・樺沢・矢野・田和

いる。

図 3.17 は CSF-1S 形単相計器用変圧器のキュービクル収納状態を示す。

変流器はトウ管形乾式を採用し、鉄心は巻鉄心を使用して極力、容積、重量の軽減を計り、主として断路器の裏面接続のトウ管部を利用して取付けている。

図 3.18 に示すように変流器は、接地カバーにより特高充電部より完全に隔離された変流器室に収納されているので、一次二次巻線間の絶縁はガイシで保持された上、万一セン絡しても保護されている。

特性は表 3.1 のとおりで誤差階級は全部 1.0 級で、過電流強度はキュービクルの定格短時間電流を上回っている相当苛酷な仕様であるが、実負荷試験に合格している。

表 3.1 変流器の特性

| 変 流 比 | 誤 差 階 級 | 定 格 負 担 | 過電流強度 | 過電流定数 |
|-----------|---------|---------|-------|-------|
| 6,000/5 A | 1.0 級 | 40 VA | 40 倍 | 88 |
| 3,000/5 A | 1.0 級 | 40 VA | 40 倍 | 76 |
| 300/5 A | 1.0 級 | 20 VA | 400 倍 | 84 |

3.6 信号および鎖錠装置

保守、点検の安全および誤動作防止のために次のような信号および鎖錠を施し、事故の絶無を計っている。

(1) 信 号

シャ断器の開閉はシャ断器側扉および配電盤に赤、緑信号灯を取付け、シャ断器側扉にはさらに機械的表示を出している。

断路器の開閉は断路器側扉に機械的表示をするとともに、断路器の補助接点により、配電盤で必要に応じて開閉の状態を看取できるようになっている。

断路器の開閉にあたっては、さらに図 3.19 に示す乳白色の命令灯を、断路器側扉および配電盤に取付けている。命令灯回路は図 3.20 に示すように、その断路器がインタロックされているシャ断器の b 接点を通してあるので断路器を操作しようとしたとき、配電盤の命令灯操作開閉器を開あるいは閉にすると、断路器の操作が安全

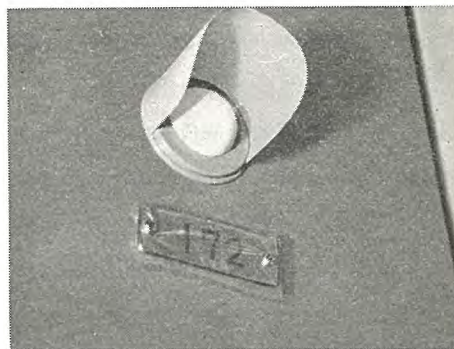


図 3.19 断路器操作命令灯

Fig. 3.19 Order lamp for disconnecting switch operation.

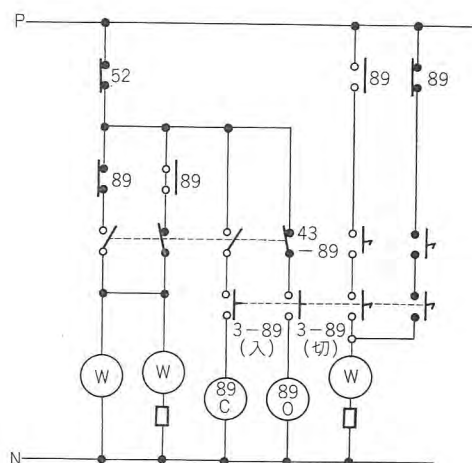


図 3.20 断路器の操作回路
Fig. 3.20 The sequence diagram for disconnecting switches.

な状態すなわちシャ断器が切れているときは点灯し、危険なときすなわちシャ断器が‘入’のときは点灯しない。命令灯点灯を確認してから操作開閉器を操作し、断路器が操作を終了すれば命令灯は消灯して操作終了を明示する。

送風機の事故による運転停止の際は、送風機電源用の NF シャ断器の自動シャ断により、信号用接点が働いて配電盤に警報を送る。

信号灯回路の電源は、キュービクル側は交流 100 V 配電盤側は直流 100 V を使用し、命令灯回路はキュービクル、配電盤とも直流 100 V である。キュービクルの信号灯および命令灯用の電球は、一般家庭用電球の、110 V, 20 W のものを使用して保守の簡便を計っている。

(2) 鎖錠装置

単位キュービクル内相互機器の鎖錠は機械的鎖錠方式を採用することができるが、単位キュービクル間にまたがって鎖錠を必要とする場合は、補助開閉器の組合わせによる電氣的鎖錠方式が簡潔であるので、このキュービクルはすべて電氣的鎖錠方式を採用している。

a. LC-C 形断路器は無負荷の状態でないとは操作してはならないので、同一キュービクル内のシャ断器 b 接点を、操作回路に挿入して誤操作を阻止している。

b. LC-B 形負荷断路器は無負荷あるいは励磁電流負荷だけの状態でないとは操作してはならないので、同一キュービクル内の他の負荷断路器の b 接点と、所内変圧器二次側シャ断器の b 接点を、直列に操作回路に挿入して誤操作を阻止している。

c. 補助母線用シャ断器は通常主変圧器の並列運転を行なわないので、一方のグループの補助母線用シャ断器

が閉のときは、他のグループの補助母線用シャ断器は投入できないよう、相互のシャ断器の b 接点をそれぞれの操作回路に挿入して誤操作を阻止している。また並列運転を行なう場合は、配電盤に備えてある鎖錠解除開閉器により鎖錠を解除できる。

d. 同期調相機用シャ断器は同期開閉器を自動にした場合は同期投入条件が満たされた状態でないと投入してはならないので、同期投入条件接点を操作回路に挿入して誤操作を阻止している。

e. コンデンサ用シャ断器はコンデンサ回路の開閉は無条件で行なえるので、鎖錠装置を備えてない。

c, d, e 項のシャ断器の操作に関する鎖錠は、上記以外に操作圧力低下により、シャ断器自体が投入およびシャ断能力を喪失した場合、圧力開閉器により操作回路を切放してシャ断器の操作を阻止している。また a 項 LC-C 形断路器操作中にはシャ断器を投入すると危険であるがこれは、断路器操作中に点灯する命令灯により誤操作を防止している。

f. キュービクル扉は室内が無電圧で安全な状態でな



図 3.21 扉のシリンダ錠操作状態
Fig. 3.21 Locking of door.

いと開扉せず、また開扉中は無電圧で安全な状態が維持されなければならないが、このキュービクルではこの条件を満たす鎖錠を行なえば、各キュービクルにまたがる複雑なものとなりかつ非常点検などによる鎖錠解除を行なえることにした場合は、保守上かえって危険を伴う恐れがあるので、扉鎖錠は行なわず、シリンダ錠により施錠し、カギの種類を必要に応じて変える簡潔な方式を採用した。図 3.21 はシリンダ錠操作の状態を示す。

3.7 低圧配線

低圧配線は 600 V ビニル電線とジャケット形多心制御用ビニルケーブルを使用し、いずれも 3.5 mm² のもの

であるが、電流が大きくなった場合は2本以上を並列に使用している。

配線については細心の注意が払われていて、キュービクルグループ単位に設けられた集合端子箱から、キュービクル下部に設けられている主低圧配線ダクトを経て各単位キュービクルの端子台に接続されるが、この間にはジャケット形多心制御用ビニルケーブルを流して使用している。単位キュービクルの端子台から機器への配線は600Vビニル電線を使用し、絶縁クリートによるクリート配線を施し、これらはすべて接地金属カバーにより、電氣的、機械的に保護されている。また配線の周囲温度を考慮して低温部分に配線をしているので、ビニルの軟化による絶縁劣下は起らない。ただしスペースヒータの接続部はビニル絶縁をはがして、ジュズガイシによる絶縁を施し耐熱性を考慮している。配線の接続はすべてAMP端子を使用した確実な接続である。



図 3.22 集合端子箱

Fig. 3.22 Collective terminal box.

空気シャ断器および断路器の補助開閉器の予備接点はすべて、集合端子箱の端子台までの配線が施されているので、たとえば将来キュービクルの増設による鎖錠の追加変更などの場合、容易に配線を変更することができる。集合端子箱は、図 3.22 に示すようにキュービクル末端の側面に取付けられ、各キュービクル単位に扉を施して分割され整然と配置されている。

3.8 操作、保守、点検

操作はすべて配電盤よりの遠隔操作で行なわれるが、完備したインタロックにより誤操作の絶無を期している。保守、点検に際しては各機器の合理的組合わせ配置によりとくに保守、点検を必要とする箇所は、点検扉を開くだけでキュービクル外部より、手あるいは目の容易に届く所にあるので安全、確実に保守、点検が行なえる。

空気シャ断器の消弧室を取出す機会のごくまれである大電流大容量屋外キュービクル開閉装置・樺沢・矢野・田和

がこの場合には、一人で容易に操作のできる小形チェンブロックをキュービクル天井部に取付けることにより、簡単に消弧室の搬出入をすることができる。そのほか空気シャ断器と断路器の手動調整用ハンドルが付属しているほかは特殊工具を必要としない。

4. 試 験

大電流、大容量屋外キュービクル開閉装置の記録品であるので、各試験項目に対して厳重な形式試験を実施し裕度のある実用性能をもつことが検証されたので以下おもしろなる項目について述べる。

4.1 絶縁耐圧試験

| | | | | |
|--------|------|------------------|------|----|
| 商用周波耐圧 | 主回路 | 50 kV | 1 分間 | 良好 |
| | 制御回路 | 2 kV | 1 分間 | 良好 |
| 衝撃波耐圧 | 主回路 | 126 kV+(1×40) μs | | 良好 |
| | 制御回路 | 7 kV+(1×40) μs | | 良好 |

4.2 温度上昇試験

現有試験設備の関係で三相 6,000 A の温度上昇試験の施行ができないので、単相 6,000 A 電源により各相を直列に接続して行なった。これは三相 6,000 A 電源による場合よりも苛酷な試験であるが主要部の最高上昇温度は、表 4.1 に示すように優秀な成績を納めた。

表 4.1 6,000 A キュービクル温度上昇試験

| 測定箇所 | キュービクル外周囲温度に対する最高上昇温度 (°C) | |
|---------|----------------------------|--------------|
| | 送風機 2 台運転の場合 | 送風機 1 台運転の場合 |
| シャ断器接触部 | 22 | 33.5 |
| 断路器接触部 | 18 | 25 |
| 断路器周囲空気 | 7 | 8 |
| 母線接続部 | 20 | 28.5 |
| 母線相間バリヤ | 10 | 17 |

ただし試験設備の関係で屋内で試験したものであるから太陽輻射熱による影響は含まれていないが、キュービクル屋根部を二重にすることなどにより極力太陽輻射熱をシャヘイする構造となっているので、最高温度に対する裕度は十分と思われる。

4.3 注水試験

45 度の角度より 1 分間 5 mm の注水を 5 分間行ない防水の完全なことが実証された。図 4.1 は注水試験の状態を示す。

4.4 開閉試験

空気シャ断器、断路器とも 10,000 回開閉試験を実施したが試験後において機械的、電氣的に異状を認めなかった。なお 10,000 回目の操作時間は空気シャ断器は、投入時間 13.7 c/s、開極時間 4.4 c/s、断路器は全閉時間 90.0 c/s、全開時間 73.7 c/s である。



図 4.1 注水試験中のキュービクル
Fig. 4.1 Cubicle under rain test.

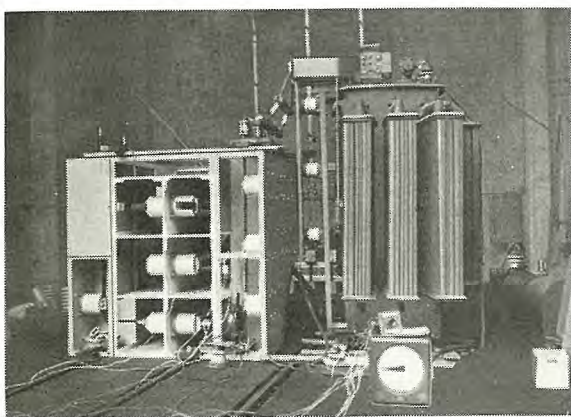


図 4.2 短時間電流試験中の 600 A 所内
変圧器回路相間隔壁母線
Fig. 4.2 600A station service transformer circuit
partitioned bus bars under short-circuit test.

4.5 シャ断試験

短絡電流、充電電流、励磁電流のそれぞれに対してシャ断試験を実施し、大電流、大容量のものに横吹付形空気シャ断器の優秀性が検証されたが、その詳細についてはすでに発表⁽²⁾されているので、ここではその内訳は省略する。

4.6 短時間電流試験

キュービクル開閉装置として完全組立の状態での試験を実施するのが理想であるが、短時間電流試験については本器の所要試験電流が非常に大きく、上述のような完全組立状態では、回路インピーダンスが大きくなり、現有試験設備の大電流変圧器をもってしては短絡電流の減少を生ずることになるので、合理的に回路を分割することにより回路インピーダンスを低下し、所要大電流を通电して有意義に短絡強度を検証した。

図 4.2 は短時間電流試験中の 600 A 所内変圧器回路相間隔壁母線で、短時間電流 59,800 A 通电瞬時の最大電流約 100,000 A を 2 秒間通电したが、通电中および通电後も異状なかった。なおこの際の各部の温度上昇は導体（支持ガイシ間の中央部）が 32°C、導体接続部が 22°C、ケーシングのアンクルが 15°C であった。

キュービクルの試験成績としては満足な結果が得られたが、なにぶん大電流、大容量の記録品であるので、使用上の成績については今後の運転実績にまつほかはない。しかしながらこのキュービクルの製作にあたっては、昭和 26 年来の製作実績から生れたものであるので十分その機能を発揮するものと確信する次第である。

5. む す び

以上述べたようにこのキュービクル開閉装置は、大電流、大容量の記録品であって、しかも外形寸法が極力縮小されているので、工場組立の状態での輸送ならびにすえ付が簡単確実に行なえることを始め、各要素の性能が高くしかも安定していて、また保守点検をあまり必要としないが時に必要な場合でも安全確実かつ容易に行なうことができるなどのすぐれた特長をもっているため、電源開発の進捗に伴いキュービクル開閉装置は今後ますます広範囲に発展することは必至と思われる。今回、南川越変電所に設置されたことは、この種キュービクル開閉装置の標準設計がなされたことと、キュービクル開閉装置の実用性を実証するためにまことに意義深いものと思われる。

終りにのぞみ、このキュービクル開閉装置の製作にあたって終始適切など指導とご協力をいただいた、電源開発株式会社建設部の関係各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 吉岡昌昭：20 kV キュービクル、「三菱電機」27 (1953) 226～231
- (2) 五十嵐芳雄・簗田忠男・米沢克男：最近の C 形空気シャ断器「三菱電機」33 (1959)
- (3) 新井正元・樺沢孝治・亀山三平・岩崎行夫：新高圧負荷断路器「三菱電機」31 (1957) 193～197.

小形撮像管 6198, 6198A 形ビジコン

研 究 所 鷺 尾 信 雄*・中 子 睦 夫*

Trial Manufacture of Vidicons 6198 and 6198A

Research Laboratory Nobuo WASHIO・Mutsuo NAKAKO

It is well known that photoconductive substances have property to become conductive by the irradiation of light. A television pick up tube to which this property is most effectively applied is the vidicon. This low velocity beam pick up tube—vidicon—is small sized and highly sensitive, the resolution exceeding 600 lines. However, because of capacitive lag due to the static capacity of the target layer and photoconductive lag inherent to the photoconductive substances causing persistence, this picture tube is not fitting to the television pick up of high speed moving bodies. Vidicons termed 6198 and 6198A are then chiefly used for a picture tube of industrial television.

1. ま え が き

テレビジョン・カメラで光学像を電気信号に交換する目的で用いられる電子管を撮像管とっている。この撮像管の歴史は古く、1933年ツボルキンがアイコノスコープを発明して、一躍実用の域に達したが、それ以後、各種の撮像管が開発され実用されてきた。これらの撮像管の大部分は蓄積形撮像管で、一走査周期間、各絵素ごとの光電子をターゲットに蓄積しておき、その蓄積電荷をビームで瞬間的に放電して得られる電流を信号として、とり出す機構のものである。だから非蓄積形撮像管に比べて感度はいちじるしく高い。この蓄積形撮像管には、原理的に外部光電効果を利用したものや内部光電効果を利用したものがある。外部光電効果を光電変換部に利用した撮像管の代表的なものはイメージオルシコンであり、内部光電効果を用いたものは本文で述べるビジコンである。このビジコンは半導体としての光導電物質の性質をもっとも有効に応用したもので、イメージオルシコンに比べて、はるかに小形に作ることができ、テレビジョン・カメラとしたときの使用回路も簡単ですむので、現在では広く工業用、医学用、交通用に使われている。この光導電物質を撮像管に応用しようという試みは古い。が、光導電物質特有の時間的遅れ、すなわち残像がいちじるしく、また均一なターゲット面の製作が困難であったために、実用的な撮像管は得られなかった。ところが1950年に、RCAの研究所でワイマー⁽¹⁾などによって工業用TV撮像管としてビジコンが完成された。それ以後種々の改良が加えられて、いろいろの形のビジコン

が開発されてきている。

現在では新しい構造のターゲットをもったビジコンが開発され、残像もいちじるしく軽減されたと発表している。

本文は RCA 6198, 6198A 相当管の試作の概要と試作管の特性について報告するものである。図 1.1 は試作管の 6198, 6198A の外観写真である。

2. ビジコンの構造

ビジコンの構造は図 2.1 に示すようなものであり、動作上から二つの部分に分けることができる。

第1は信号電荷を蓄積する、容量をもったターゲット部であり、第2はこの蓄積電荷を放電させて映像信号を得るための電子ビームを作る電子銃である。



図 1.1 試作ビジコンの外観
左 6198A, 右 6198

Fig. 1.1 Appearance of vidicons of trial manufacture
left 6198A, right 6198.

* 物理第二研究室

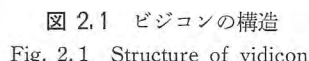


図 2.2 ビジコンのターゲット部

Fig. 2.2 Target structure.

電子銃はこのターゲットの反対側から封入される。電子銃の構造はカソード、第1格子、第2格子、第3格子からできていて、カソードから出た電子流は第1格子で制御され、第2格子で加速される。この第2格子の上部には $50\mu\phi$ の小穴があって、ビーム直径を規定している。この小穴を通ったビームは第3格子にはいり、この部分で外部に設けた集束コイルによる磁界と第3格子による電界で集束作用を受け、1個のループでターゲット面にフォーカスされる。第4格子は減速電界を作る電極で、開口部に微細メッシュを設け走査ビームに対し均一な減速電界を与える。この微細メッシュは1cmあたり200本

電子銃の実物写真を図 2.3 に、口金および外形寸法を図 2.4 に示す。図 2.3 で左側は 6198 用の電子銃で第 4 格子に穴があるが、この穴は光導電膜蒸着用のスリーブを挿入する目的であけたものである。右側の 6198A 用の電子銃は蒸着方法が違うのでこの穴はない。

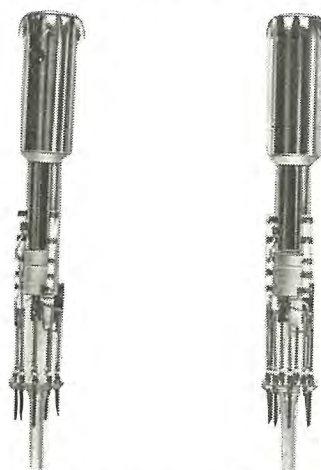


図 2.3 ビジコンの電子銃
左 6198 用, 右 6198A 用
Fig. 2.3 Electron gun of vidicon
left, for 6198, right, for 6198A.

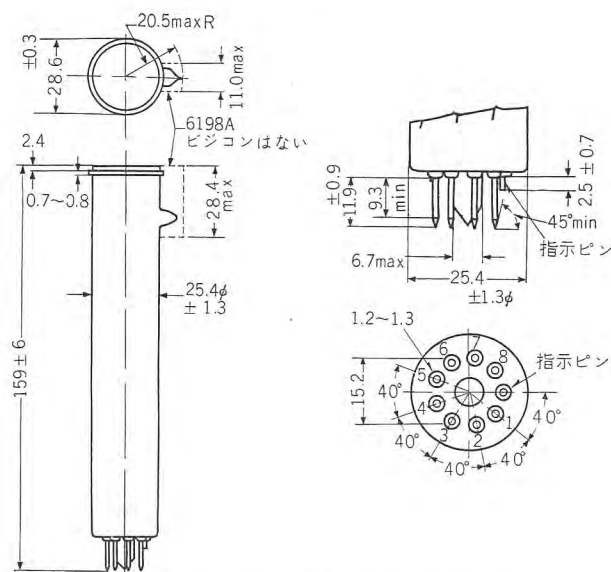


図 2.4 ビジコンの外形寸法とベース寸法図
Fig. 2.4 Outline dimensions of vidicon and base dimensions.

3. 動作原理⁽⁴⁾

光導電物質は暗の状態では $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上の比抵抗をもっているが、光が照射されると、その光の強度に相応して導電性が生じ抵抗が減少する性質をもっている。

この性質を撮像管の光電変換部に応用したものがビジコンであり、その動作図を図 3.1 に示す。

通常ターゲットには 30~50 V の正の電圧がかけられていて、暗の時は光導電膜の抵抗が高いので、電流は流

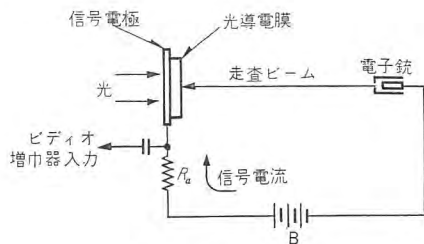


図 3.1 動作原理図
Fig. 3.1 Operation diagram.

れず走査ビームは逆もどりする。ところが光があたると光導電膜はその光の強度に比例した導電性を帯び（これは正孔が寄与する）膜のビーム側にターゲット電圧の一部が誘起して正の電荷が現われる。この電荷は光導電膜がきわめて薄いので横方向には放電せず、ビームで走査するまでの間蓄積される。この正電荷の誘起、蓄積は膜の抵抗と静電容量に相応して行なわれるもので、漸次ビーム側の面電位は上昇してゆく。このようにして光学像は蓄積電荷のパターンに変換される。

走査ビームをこの蓄積電荷にあてると負電荷のために蓄積電荷は中和され、その部分の電位は平衡電位にまで引もどされる。この時の放電電流は信号として信号電極に放電して信号電流となる。この信号電流は信号板に接続されている負荷抵抗を流れ、この一端からビデオ増幅器の入力側に接続される。

以上の動作の等価回路を図 3.2 に示す。この等価回路で K は走査ビームによるスイッチを意味し、R および

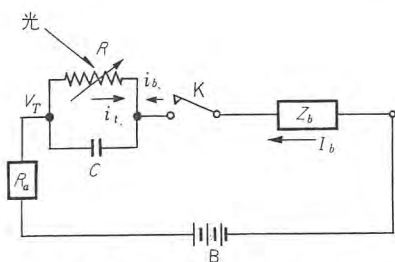


図 3.2 ビジコンの等価回路
Fig. 3.2 Equivalent circuit diagram.

C はターゲットの抵抗および容量を示す。この抵抗 R は光によって変化するものである。Z_b は低速度ビームのビームインピーダンスで、R_a は負荷抵抗を示す。I_b, i_b および i_t はそれぞれビーム電流、ターゲット流入電流および、ターゲット電流を示す。低速度ビームのときは電子速度にバラツキがあるため I_b のうちターゲットに流入できる電流 i_b はビーム側のターゲット電圧の関数となり、

$$i_b = I_b \exp(bv) \dots \dots \dots (3.1)$$

の式で表わされる。

ここで b はビーム付着率を示し、v はビーム側のターゲット電圧を示す。

この i_b が蓄積電荷を放電する電流であり、ビームが定常的にターゲット面にあたっているときは、この i_b がターゲット電流 i_t に等しくなる。

通常走査ビームは 1 フレーム間隔であたり、この間に面電位は平衡電位 v₁ から最高電位 v₂ まで上昇するから、この変化量を Δv とし、フレーム時間を T とすると、

$$\Delta v = v_2 - v_1 = \frac{\Delta Q}{C} \cong \frac{i_t T}{C} \dots \dots \dots (3.2)$$

となる。電位 v のビームがあたったときの時間的変化、すなわち dv/dt の式から任意の時間 t における v の値を計算し、この t にビームが 1 絵素にあたっている時間 T₁ を代入すると平衡電位 v₁ がわかる。この v₁ と式 (3.2) から近似的に i_t は

$$i_t \cong I_b \exp(bv_1) \dots \dots \dots (3.3)$$

で表わされる。だから v₁ の平衡電位はビームが定常的にあたっているときのビーム側のターゲット電位と考えてさしつかえない。

4. 試 作

4.1 電 子 銃

ビジコンの電子銃は先の図 2.3 で示したように構造としては簡単なものである。電子銃を構成する各電極の材料は非磁性合金を使っている。

第 1 格子、第 2 格子電極はこの板を型抜して作ったものを用い、第 3, 4 格子の円筒電極はこの板を丸めて作っている。電子銃の組立で重要なことは、第 1 格子の穴と第 2 格子の上下の穴との中心を合わせるセンタリングで、この三つの穴を精度よく電極中心線上に合わせることである。第 2 格子の上部の穴は 50μ の小穴で、きわめて細いビームを作るために設けられたものであるが、このセンタリングが不十分であると、十分なビーム電流を得

ることができず、散乱も大きくなり、このための残像現象が現われたりする。このような理由から第1格子、第2格子の組立は顕微鏡下で細心の注意を払い、精密な組立治具を使って行なわれる。

第1格子、第2格子および第3格子はステアタイト棒で連結されており、各電極の中心が一致するようにこの組立でも精度のよい組立治具が使われている。このセンタリングが十分でないと、偏向ヒズミを起すことがあり、品位のよい映像を得ることはできない。

これらの組立工程は無ジンふんい気中ですべて行ない、電極などにちりの付着するのを防ぐ。これは光電面の傷をなくす意味から必要なことである。

4.2 微細メッシュ⁽⁵⁾

第4格子電極の開口部に設けられた微細メッシュは、500メッシュの格子網で、素線の幅は約 10μ 、ピッチは 50μ で、透過率は60~70%のものである。

この微細メッシュの作り方に銀鏡反応法、スパッタ法があるが、いずれの方法もマスタ、あるいはマザープレートと称するガラス板上にピッチ 50μ の縦横のミゾをもったものを使う。この拡大図を図4.1に示す。

銀鏡反応法はこのマザープレート上に銀鏡反応で銀を均一な厚みにつけ、そのマザープレートの表面上の銀を削取ることによってミゾだけに銀を残す。これに銅メッキを施して補強し、はぎ取ればよい。またスパッタ法は、この銀鏡反応の代りにパラジウムをマザープレート上に均一にスパッタし、この表面をビニールかゴム片でぬぐいとり、ミゾにだけパラジウムを残す。あとは銅メッキを施し、静かにはぎ取ればできる。

上記二つの方法のうち、銀鏡反応法はマザープレート表面を削る関係上、マザープレート表面に傷がつく可能性が大きく、あまり良好な方法とはいえない。一方ス

パッタ法では表面をぬぐうにビニールとかゴム片でよいので、マザープレート表面に傷のつく心配はない。マザープレートの洗浄を十分に行ない、均一なマザープレートさえ使えば良好なメッシュを作ることができる。

マザープレートに傷や格子欠損などがあると、そのままメッシュに現われて均一なよいメッシュはできないからそのような心配のないマザープレートを使う必要がある。また製作工程中、ちりが付着すると、そのところに欠損ができるので、良質のメッシュは得られない。このためちりを極力避けるべく、無ジンふんい気中で作業する必要がある。メッシュの性能を決める透過率の良し悪しはマザープレートのミゾの幅や銅メッキの厚さで決まるから、高透過率のメッシュを作るにはマザープレートの良いものがどうしても要求される。試作したメッシュを図4.2に示す。

4.3 光導電物質

数多くある光導電物質の中で、無晶形セレンウム Se、硫化物半導体の硫化ゲルマニウム GeS、三硫化アンチモン Sb_2S_3 、酸化物半導体の中の酸化鉛 PbO、などがビジコンにもっとも多く使用されている。この理由は

- (1) 比抵抗が高く高感度である。
- (2) 分光感度特性が視感度特性に近い。
- (3) 均一な光導電膜の製作が容易である。
- (4) 光導電膜にしたとき安定である。

などである。

これらの光導電物質を膜状にしたとき、その膜の抵抗と静電容量とで定まる時定数がテレビジョンの1フレーム時間より長いことが要求されるので、膜の比抵抗としては $10^{12}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上なくてはならない。このように比抵抗の大きいことはビジコンの暗電流が小さく、かつ輻射強度の変化に対する薄膜抵抗の迅速な応動を意味するから、光導電性残像を軽減するのに有利である。

光導電物質は各自固有の分光感度特性をもっているから、撮像管の光導電膜に使うにはこの中から比較的視感度に近い特性をもったものを選ばなくてはならない。しかし同一物質でもその処理の方法や不純物の種類、量によって、かなり変動させることができる。

一般に光導電物質の分光感度特性は基礎吸収域での吸収がいちじるしいの

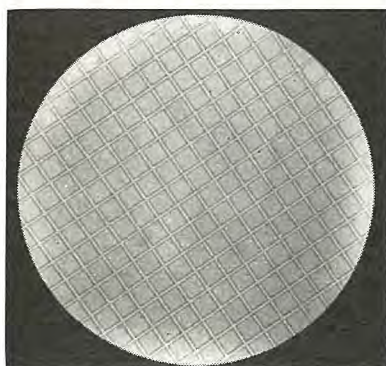


図 4.1 マザープレート (拡大図)
Fig. 4.1 Mother plate.

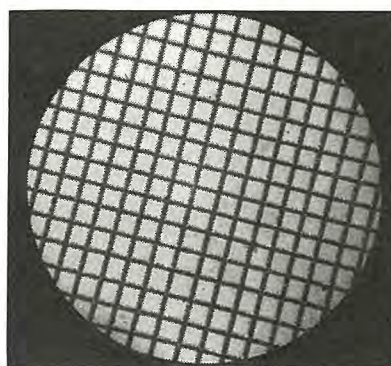


図 4.2 微細メッシュ (拡大図)
Fig. 4.2 Fine mesh.

で、この域での感度は大きい、この吸収端の近くから長波長にかけては吸収係数が減少し、分光感度も指数関数的に減少して行く。

このために上記(1)の条件を満足するような暗抵抗をもった物質では、概して長波長側に感度不足を生ずるものが多いことになる。たとえば無晶形セレンウムを光導電膜とするビジコンは高感度で暗電流も小さいが、この長波長側の分光感度が悪く、赤色にはほとんど感度をもたない。三硫化アンチモンは無晶形セレンウムに比べ、暗抵抗は低い、赤部にまで感度があり、視感度に近い特性のビジコンを作ることができる。

無晶形セレンウムを長時間放置したり、高温で使用したりすると結晶化することがあり、あまり安定な材料ではない。この結晶化が進むと、その部分の比抵抗が下がり画面に白い斑点の疑似信号が現われる。

このようないろいろの条件を考慮して現在では三硫化アンチモンや酸化鉛が多く使用されている。

われわれの 6198, 6198A の試作管もこの三硫化アンチモンを光導電膜に使った。

この三硫化アンチモン Sb_2S_3 は輝安鉱として天然に産するもので、その結晶は斜方晶系の金属光沢をもった大きい結晶のものである。また塩化アンチモンと硫化水素とを反応させて化学的にも作るができる。このときの Sb_2S_3 は粉状で灰褐色を呈している。参考までに Sb_2S_3 の物理的性質を掲げると、融点は 546°C 、比重 $4.15\sim 4.7$ 、エネルギーギャップ 1.7eV 、正孔移動度 $6\sim 8\text{ cm}^2/\text{V sec}$ 、 $\lambda_{1/2}$ は $750\text{ m}\mu$ である。この Sb_2S_3 薄膜

のキャリアは正孔であり、その移動度は上記のように小さいものであるから、いまこの薄膜に短波長の光を照射したときを考えると、この光は薄膜の表面近くでほとんど吸収され、ここで励起されたキャリアは反対側の電極に達するまでに消滅してしまう。そのためキャ

リアの飛程に比べて厚い膜、すなわち膜の静電容量による残像を避けるに十分な $2\sim 3\mu$ の膜厚では短波長で感度が低下し、長波長の赤色のところに感度のピークができる。この赤色の光はターゲット膜の深部にまで入り込むためこのような結果になると考えられる。ここで膜厚を減少させて行くと、赤色の透過率が大きくなり効率が落ちるので、ピークは赤部から黄部に移行する。このときの様子を図 4.3 に示す。

また Sb_2S_3 の暗の状態での抵抗は $10^{11}\Omega\cdot\text{cm}$ 程度で、ハイライトのときは $10^9\sim 10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$ の比抵抗を示すが膜にするときの蒸着条件でかなり変動する。

4.4 光導電薄膜の形成

光導電物質をターゲット面に薄膜として付けるには次の方法が考えられる。

- (1) 沈殿法
- (2) 吹付法
- (3) 蒸着法

沈殿法で作ったターゲット膜は適当な抵抗値をもち、応答速度もかなり早い、感度が低く、粒度の問題が残る。吹付法で作った膜は暗抵抗も小さく、感度も低い。その上、応答速度も遅いのであまり実用的な方法でない。蒸着法はこの二者に比べて膜の均一性や高感度の点からもっとも望ましい方法である。

試作した 6198, 6198A のビジコンのターゲット膜は、この蒸着法により作ったものである。

6198 タイプのターゲット膜の蒸着は側部に設けた枝管を通して挿入したヒータ・スリーブによって行なわれるが、このときメッシュ越しに蒸着するので、蒸着条件によってはメッシュを完全にふさいでしまい、希望の膜厚に蒸着できないこともある。6198A タイプのターゲット膜は側枝管を使わず、あらかじめベルジヤ中で蒸着して作り、電子銃の封止はこの後で行なうので、6198 タイプの蒸着のときより大幅に蒸着条件を変えることができる。

蒸着膜の性質は蒸着時の真空度、残留ガスの圧力および種類、蒸着速度、下地の表面状態、下地の温度、蒸着距離などによって決まる。 Sb_2S_3 の真空中蒸着膜はち密な、ガラス状の膜で、薄いときは黄色であるが、厚くなると赤色の膜となる。この真空中蒸着膜をターゲット膜とするビジコンは暗電流が大きく、残像も非常に大きいが高感度でコントラストのよい、美しい映像を得ることができる。この残像の大きい原因は蒸着膜の誘電率が

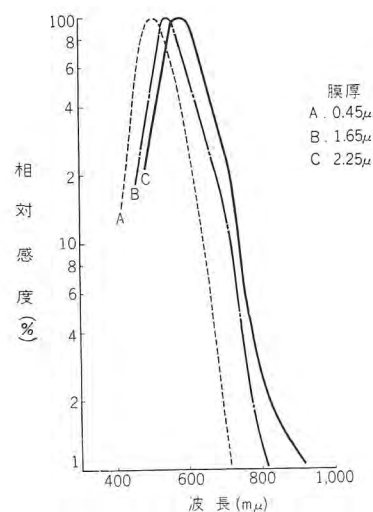


図 4.3 Sb_2S_3 薄膜の分光特性

Fig. 4.3 Spectral response curve of Sb_2S_3 thin layer.

きいので容量性残像がいちじるしく現われていると解釈されている。残像を小さくするためには、この誘電率を下げ、膜の容量を下げてやればよい。この目的で行なわれる蒸着が不活性ガス中蒸着⁽⁶⁾である。不活性ガス中で蒸着した膜は多孔質のもので、空間的に不規則に細かい粒子が連結された凝集構造の膜である。この膜の顕微鏡写真を図4.4, 4.5に示す。この不活性ガス中蒸着膜をターゲット膜にもつビジコンは真空中蒸着膜のビジコンに比べていちじるしく残像が減少しているが感度も同時に減少している。

不活性ガス中蒸着膜の性質は不活性ガスの圧力によってかなり変るが、ある圧力以下では真空中蒸着膜となんら変らない膜になる。この臨界圧力値は実験で確かめられたものであるが、蒸着フィラメントの形状、蒸着速度、蒸着距離などによって変動する性格のものである。

高い圧力での蒸着膜は凝集のはげしい、不均一なものである。この不均一はガスの対流によるものと思われる。ターゲット膜の蒸着はこのようなガスの対流の影響を受けない範囲で行なわれ、実験で最良の圧力が見出されている。

6198タイプのターゲット膜の蒸着は前述したようにメッシュを通して行なうので、ここにかかり付着し、メッシュの透過率を悪くする。この付着した Sb_2S_3 を真空中で加熱して飛散させメッシュの透過率をもとの値にもどす。このとき、飛散した Sb_2S_3 はターゲット膜上に付くが、いろいろの実験の結果この膜のほうに諸特性ですぐれていることがわかった。

ターゲット膜の蒸着はビジコンの構造や形状によって制約を受け、いろいろの蒸着条件を変えて希望の膜を作るにかなりの時間がかかった。また最良の膜の再現性も

むずかしい問題である。

4.5 試作上の注意

ビジコンの試作にあたり、とくに注意を要することはターゲット膜やメッシュに傷がないことである。この傷はビジコンの撮像管としてのよしあしを最終的に決定するもので、通常ビジコンのターゲット面は約400倍に、ブラウン管上に拡大されるから、これらに傷があると、大きくブラウン管上に疑似信号として現われる。だからターゲットやメッシュは傷のない均一なものであることが要求される。このようなターゲット面やメッシュを作るには各製作工程において細心の注意と適切な処置が必要である。たとえば、各部品の徹底的な洗浄、部品の適切な保管、無ジンふんい気中での諸作業、それに蒸着のときの異物蒸着の防止などである。

5. ビジコンの特性

5.1 6198, 6198A の定格

試作した6198, 6198AはRCAのもので、ほとんど同じ定格のものである。その概要は次のとおりである。

6198 の定格

- ・ヒータ電圧, 電流 6.3 V 0.6 A
- ・ターゲット電圧 10~125 V
(暗電流 $0.02\mu A$ に対する)
- ・第3, 4格子電圧 200~350 V
- ・第2格子電圧 300 V
- ・第1格子電圧(カット・オフ電圧) -45~-100 V
- ・走査面積 0.95×1.27 (1.21 cm^2)
- ・信号出力電流 $0.1 \sim 0.2\mu A$
($2,870^\circ K$ タングステン電球で 30~100 lux に照射)
- ・集束および偏向方式 電磁方式

6198A の定格

- ・ヒータ電圧, 電流 6.3 V 0.6 A
- ・ターゲット電圧 100 V (最大)
(暗電流 $0.02\mu A$ に対する)
- ・第3, 4格子電圧 200~350 V
- ・第2格子電圧 300 V
- ・第1格子電圧(カット・オフ電圧) -45~-100 V
- ・走査面積 0.95×1.27 (1.21 cm^2)
- ・信号出力電流 $0.1 \sim 0.2\mu A$
($2,870^\circ K$ タングステン電球で 30~100 lux に照射)

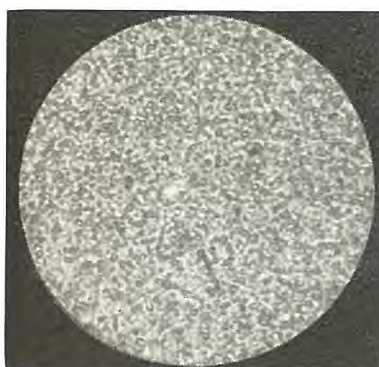


図 4.4 不活性ガス中蒸着膜 ($\times 2,200$)

Fig. 4.4 Evaporated layer in rare gas.

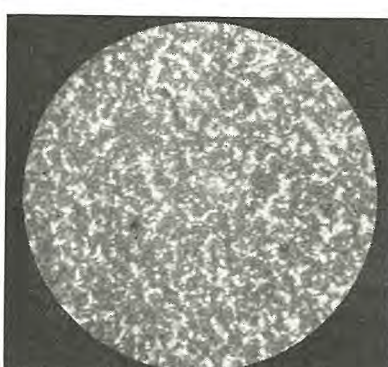


図 4.5 凝集のはげしい不活性ガス中蒸着膜 ($\times 2,200$)

Fig. 4.5 Evaporated layer of great aggregated structure.

- ・ γ 値 ($0.02 \sim 0.2 \mu A$ の信号電流に対して) 0.65
 - ・集束および偏向方式 電磁方式
- なお, 6198, 6198A のベース接続図を図 5.1 に示す。

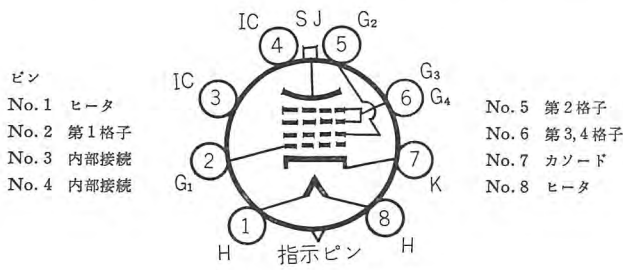


図 5.1 ソケット接続図

Fig. 5.1 Socket connections.

5.2 ターゲット特性

ターゲット特性とはターゲット電圧に対するターゲット電流（光電流，暗電流）の変化で，図 5.2, 5.3 にそれぞれ試作管 6198, 6198A のターゲット特性を示す。

光電流はいずれも面照度 80 ルクスときの値である。

暗電流はターゲット電圧とともに指数関数的に変化するがこの様子を図 5.4 に示す。図で 6198 と 6198A とで曲線が少し異なっているが，これは蒸着方法の差に起因するものと思われる。

真空中蒸着膜をターゲット膜にもつビジコンは暗抵抗が低いので，この暗電流の立上がりは急であり，ターゲット特性は図 5.5 のようになる。ターゲット電圧の高いところで暗電流が飽和し，光電流は負の値を示すが，これはビーム不足や二次電子放出などが原因していると考えられる。このようなビジコンの動作はターゲット電圧 5 V までで，それ以上高くすることはできない。

5.3 光電変換特性

ターゲット電圧を一定にして，光電面に入射する光の

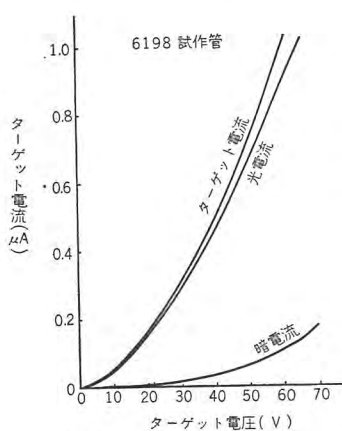


図 5.2 ターゲット特性

Fig. 5.2 Target characteristic.

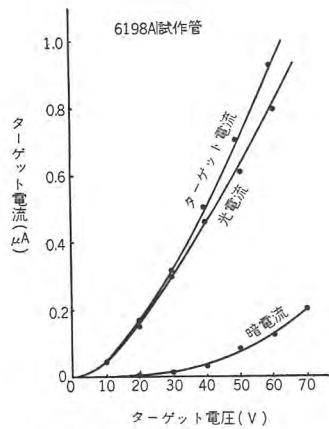


図 5.3 ターゲット特性

Fig. 5.3 Target characteristic.

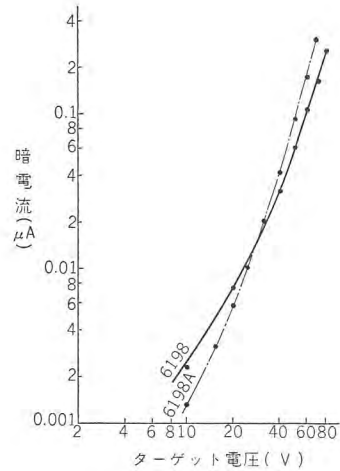


図 5.4 暗電流特性

Fig. 5.4 Dark current characteristic.

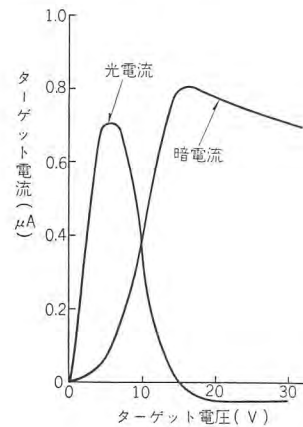


図 5.5 暗電流の大きいターゲット特性

Fig. 5.5 Target characteristic of great dark current vidicon.

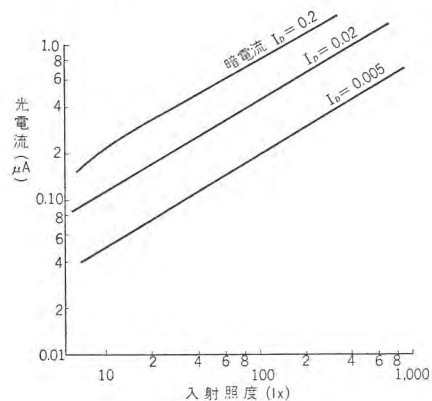


図 5.6 光電変換特性

Fig. 5.6 Photo-current vs. lux transfer characteristic.

照度を増加させて行くと図 5.6 に示すように光電流は増加する。図 5.6 は暗電流をパラメータとして，光電変換特性（あるいは γ 特性ともいう）を描いたものである。各暗電流における光電変換曲線のコウ配から光電変換係数 γ を計算すると 0.62 になっている。

ターゲット電圧の高い、暗電流の大きいときは低照度で γ が少し大きくなっている。

この γ 値が 1 より小さいという物理的意義は、光の強度がキャリアの寿命を減少させることで、直線からはずれているのは光電流の空間電荷制限のためとされている。

この光電変換特性は 6198, 6198A とほぼ等しく差は認められないが、 Sb_2S_3 中に含まれる不純物の種類、量によって多少変化する。

5.4 分光感度特性

撮像管の分光感度特性としては、眼の視感度特性に類似させることが最良であるが、 Sb_2S_3 を光導電膜にもつビジコンでは比較的それに近いものが得られる。

試作したビジコンの分光感度特性を図 5.7 に示す。この分光感度測定は干渉フィルタによって行なわれたもので、有効透過率および光源エネルギー比により校正した値である。参考までに同図に RCA ビジコンの分光感度をカタログより記入する。

ビジコンの分光感度特性はターゲット膜に使う光導電物質によって変るが、同一物質でも処理の方法や蒸着方法によってもかなり左右される。図 5.7 の Sb_2S_3 の分光感度特性は真空中蒸着膜をサンドウィッチ形で測定したものである。この試料での最高感度は $580\text{ m}\mu$ のところであり、 $\lambda_{1/2}$ は $700\text{ m}\mu$ となっているが、試作ビジコンのときは最高感度が $500\text{ m}\mu$ のところにきている。これは膜の厚さや膜の構造の違いによるものと思われる。

ビジコンなどの分光感度特性を知るためには吸収率 $A(\lambda)$ を知ればよく、膜の厚さ d 、入射光の吸収係数 $\alpha(\lambda)$ 、および試料の分光反射率 $\gamma(\lambda)$ とすると $A(\lambda)$ は

$$A(\lambda) = (1 - \gamma) \frac{1 - \exp(-\alpha d)}{1 - \gamma \exp(-\alpha d)}$$

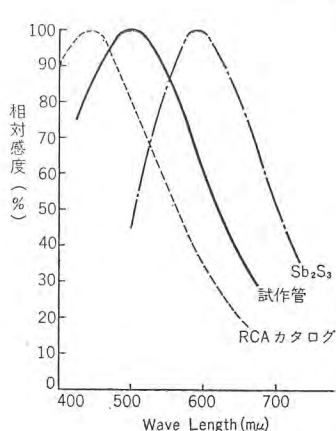


図 5.7 ビジコンの分光感度
Fig. 5.7 Spectral response curve of vidicon.

で表わされ、この式から定量的な計算ができる。このように膜の厚さによって、かなり分光特性が左右することがわかる。

またビジコンの色感度特性を簡単に知る方法にラゴリオ感色表がある。このラゴリオ感色表による試作ビジコンの色感度特性を図

5.8 に示す。この図で A 折線はアルゴン中蒸着の多孔質の膜をターゲット膜にもつビジコンの特性で、感度は赤色のところで非常に悪く最高感度のピークは $574\text{ m}\mu$ の黄橙色のところにできている。試作ビジコンは赤部の感度もかなり上がり、大体満足に近い色感度を示し、RCA ビジコンの C 線と似た値を示している。なお、この図には記入しなかったが、真空中蒸着膜をターゲット膜にもつビジコンの色感度曲線は赤部の感度のよい、青色部で感度の低下したものであった。

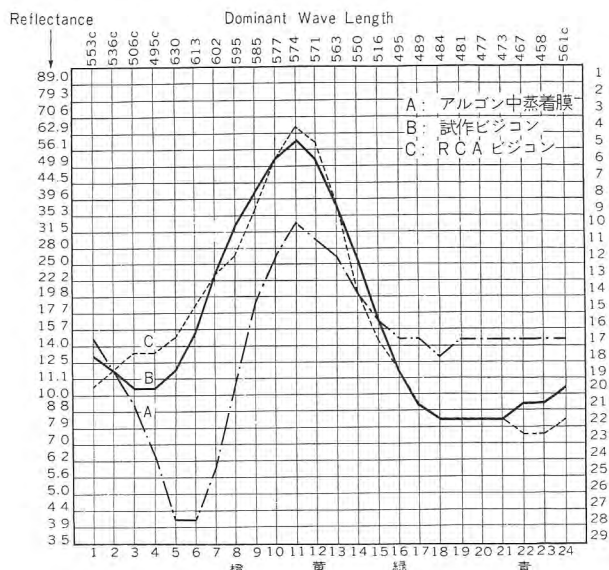


図 5.8 ラゴリオ感色表による色感度特性

Fig. 5.8 Spectral response curve measured by Lagorio's color chart.

5.5 残 像

ビジコンの最大の欠点は残像現象があることで、このためにきわめて速く動く被写体の撮像には不適当である。この残像の原因は容量性の遅れと光導電性の遅れのためとされている。

容量性の遅れは低速ビームに基づくビームインピーダンスとターゲット膜のもつターゲット容量によって、生じるもので、光導電性の遅れは光導電物質固有の性質で、光により励起されたキャリアがトラップなどに捕獲されて寿命が長くなるために起る現象である。

この両者の遅れを比較すると容量性の遅れのほうが一ケタ以上大きいことがわかり、近似的にこの遅れは⁽⁷⁾⁽⁸⁾

$$\tau \cong \frac{C}{bi_i}$$

で表わされる。ここで τ は半減時定数、 i_i は光照射時のターゲット電流、 b はビーム付着率を示す。

上式から i_i を大きくすると残像が小さくなることがわかるが、そのためには照度を大きくするか、ある程度

ターゲット電圧を高くする必要がある。またビーム付着率をよくするためにはビーム分散度を極力小さくする。アライメント不良によるこの分散は非常に大きいから、第2格子の小穴のセンタリングを十分行ない、この分散をなくさなくてはならない。

この残像測定⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾には、ラインセレクト法や回転セレクト法などがある。この回転セレクト法で残像の少ないビジコンを調べると光シャ断後1フレームで光電流は初期値の50%以下になっていることがわかった。

5.6 温度特性

一般に半導体としての光導電物質は温度の影響を受けやすく、ビジコンの使用温度もこのほうから制限される。これは熱励起による暗電流の増加のためで、この増加の一例を図5.9に示す。このように光電流および暗電流は温度の上昇とともに指数的に増加するが、この割合は暗電流のほうがはるかに大きく、70°C以上では実質的に撮像管として使用不可能になる。高温では暗電流が大きいためターゲット電圧を下げて使用しても、ターゲット面の不均一によるシェジニングなどで良質の映像は得られない。

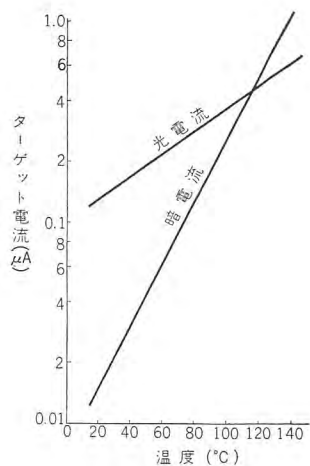


図 5.9 温度特性

Fig. 5.9 Thermal characteristics of vidicon.

不良が決定される。これは膜の均一性、光導電膜面やメ

ッシュの傷、画のコントラスト、分解能などによるもので、膜が不均一なときはシェジニングや濃淡のむらとなって現われ、傷があるときはこれによる疑似信号が現われる。

ビジコンの分解能は走査ビームの電子光学的要素によって決まるもので、現在 500~600 本の解像力が得られている。画のコントラストは階調度としてグレースケールで判別することができるが、この階調度を上げるに Sb_2S_3 に少量の不純物を混入しても可能である。

6. む す び

以上ビジコンの試作にあたり、その製作法の概要と試作管の特性などについて述べた。

ビジコンの動作はきわめて良好で、残像の点をのぞけばイメージオルシコンの性能と大差はない。この残像の軽減には今後の研究を待たなければならないが、使用するときの対称物によって十分実用の域にはいつている。また蒸着法の改良や光導電物質の研究により、さらにビジコンの特性が向上されるものと思われる。

終りにのぞみ、この試作に始終ご助力を賜った関係者各位に深く謝意を表する次第である。

(34-6-4 受付)

参 考 文 献

- (1) P. K. Weimer ほか: RCA Rev., 12, No. 3 (Sep, 1951) 306-313.
- (2) P. K. Weimer & A. D. Cope: RCA Rev., 12, No. 3 (Sep, 1951) 314-334.
- (3) G. Kuwabara: J. Phys. Soc. Japan 9 (1954) 97.
- (4) B. H. Vine, R. B. Janes & F. S. Veith: RCA Rev., 13, No. 1 (March, 1952).
- (5) H. R. Law: RSI 19, No. 12 (Dec, 1948) 879.
- (6) 西田: 特殊電子管委員会資料 (昭 32-11).
- (7) R. W. Redington: IRE ED-4, No. 3 (July, 1957) 220-225.
- (8) 木内: 「テレビジョン」 11, No. 8 (昭 32) 144.
- (9) 堀井: 「テレビジョン」 8, No. 10 (昭 29) 180.
- (10) Heimann: AEÜ 10, (1956) 73.

銀系接点の消耗移転現象 (1)

研 究 所 山森末男*・森田義男**・岩村武志***・政木淑人***

Errosion and Transfer Phenomena of Silver Group Contacts (Part 1)

Research Laboratory

Sueo YAMAMORI・Yoshio MORITA
Takeshi IWAMURA・Yoshihito MASAKI

Using three kinds of materials for contacts-Ag, Ag-CdO and Ag-W, the contact resistance and welded force have been measured of them in clean state at first. Then under operating condition their contact resistance diameter of erroded area, degree of oxidation and contamination, changes of weight due to errosions, and the manner of errosions have been measured and observed with a microscope as the case demanded. In the measurement of the operating conditions, particularly such loading systems as to pass current in closed and in open circuit conditions were employed in addition to the ordinary switching on and off tests. The results of the tests have been analyzed to examine them from the structural and material viewpoint.

1. ま え が き

電気接点の研究が始められてからすでに久しいが、その間、R. Holm⁽¹⁾, G. Windred⁽²⁾, F.L. Jones⁽³⁾, 鳳氏⁽⁴⁾などによって多くの研究成果が発表されてきた。しかしこれらの研究のほとんどが数十アンペア以下の現象に関するもので、大電流範囲の研究は断片的にしか報告されていない。また従来の研究では主として接触抵抗の変化、あるいは消耗、移転量などより接点材料を選択し、その材料の特質を論じたものが多く、また回路条件、開閉条件などとの関連から、接点現象の理論的考察の報告を主として行なわれてきた。消耗の痕跡、モルテン・ブリッジの生成など材料の傷損のうけ方を観察しているものも見うけられるが、純金属の場合が多い。とくに混合物合金の接点については消耗量、移転量、接触抵抗値の変化などの数値の上から、傷損の程度や寿命を判断するだけで、傷損の観察による材料組織学的な対応は皆無に近い。

この研究では試験機器、回路条件などによる因子を第二義に考えて、とくに問題となる比較的大電流 20~800 アンペアの範囲で混合物合金接点を対象とし、接触抵抗の変化、移転消耗量の測定とともに、主として接点の傷損の仕方の一般的傾向を観察して、材料の組織学的な見地と対応させて考察を行なうこととした。

この目的のためにこの研究では普通の通電における開

閉状態のほかに、投入時、あるいはシャ断時だけにそれぞれ通電する負荷方式を併用して、作動時の現象を単純化して観察に便ならしめた。また清浄状態の接点面について、組織の特長と溶着力との関係などを見出して、動作後の傷損状態との関連を求めてみた。このような研究により、今後の接点材料開発になんらかの示唆が得られるものと考えられる。

2. 実験の内容

この研究では比較的大電流、DC 20~800 A の領域で実験を行なった。接点を取付けたリレーの開閉を3種類の方法に区別し、溶着力、接触電圧降下、移転消耗について実験し、傷損の経過を顕微鏡によって観察した。それぞれの方法の詳細は実験結果の項に譲るが次の順序で述べる。

実験試料

実験結果

清浄状態における特長

清浄状態における接触抵抗

清浄状態における溶着力

溶着部の痕跡

動作状態における特長

接触電圧降下の変化

接点表面の観察結果

移転消耗

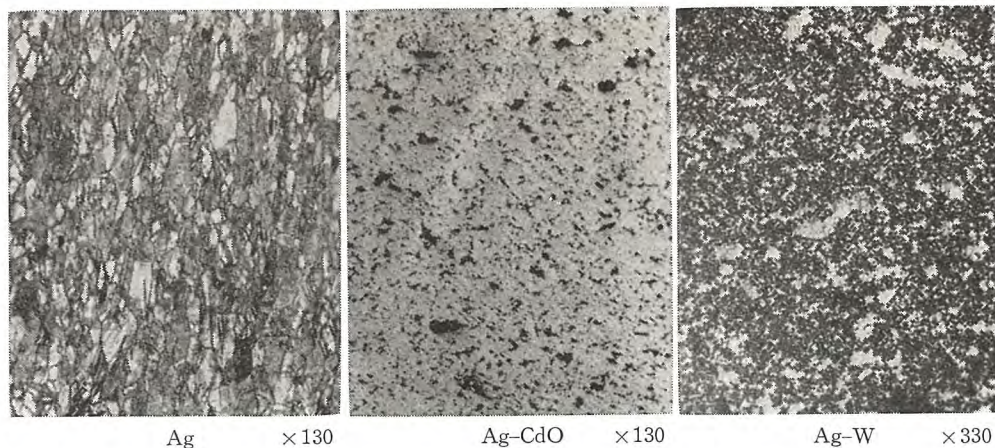


図 3.1 供試接点の顕微鏡組織

Fig. 3.1 Micro-structures of contact-materials.

表 3.1 試料接点の銀分析値と表面硬度

| 試料 | 分析値 (Ag %) | 表面硬度 (HmV 100g) |
|--------|------------|-----------------|
| Ag | 99.51 | 63 |
| Ag-CdO | 89.68 | 62 |
| Ag-W | 36.36 | 142 |

表面組織の変化

総括

考察

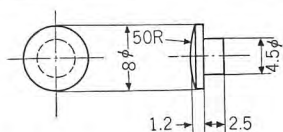


図 3.2 実験に用いた接点の形状寸法

Fig. 3.2 Dimensions of the shape of contact.

3. 実験試料

比較的大電流用として用いられる Ag 系の混合物合

金接点として、最近開発されとくに注目されている Ag-CdO 接点、シャ断器などの用途に重視される Ag-W 接点を選び、これらの基礎材料である純銀接点を加えて考察の便にした。強電用 Ag 系接点としては、以上のほかに Ag-Mo, Ag-WC, Ag-Cd, Ag-Ni, Ag-Cu などの材料が用いられるが他の機会にゆずった。

Ag-W 接点としては、微量 Ni を添加した約 35% Ag の組成のものを、Ag-CdO 接点としては、粉末法による約 10% CdO のものを用いることとした。表 3.1 はこの実験に用いた接点材料の組成、表面硬度を示したもので、図 3.1 はその顕微鏡組織を示した。なお接点寸法は図 3.2 のとおりで対向接点のいずれも径 8mm で 50mm 半径の球面をもつものとした。

4. 実験結果

4.1 清浄状態の特長

動作状態の接触抵抗や溶着現象の基本となる清浄状態（未使用）における特長をしらべるため以下 2, 3 の実験を行なった。

(1) 清浄状態における接触抵抗

銀系接点の消耗移転現象 (1)・山森・森田・岩村・政木

試料は測定の前直前にエメリ・ペーパー 0/3, ついで柔らかい紙でみがいてから使用した。両接点は中心廻りで接触し、圧力が増しても接触点がズレないように注意し、5g から 2kg までの接触圧で、各増段階ごとに測定した。電流は圧力を与えてから DC 10A を流

し、接触電圧降下は両接点面の端部から取り出した。

図 4.1 は測定結果を示すグラフで、これから次のようなことがわかる。

- Ag 接点が圧力の全範囲でもっとも接触抵抗が低い。Ag-CdO 接点は圧力の小さい領域で高い傾向があるが、大きい圧力では Ag 接点に近づいている。
- Ag-W 接点は他のいずれよりも、圧力の全範囲に対してかなり高抵抗である。
- Ag-W, Ag-CdO 接点の圧力に対する傾斜はほぼ同様で、Ag 接点と明らかに異なっている。

要するに高い圧力では、Ag 相互の接触面積が増加して Ag 接点の場合に近づくことが考えられる。しかし低い圧力のところではそれぞれの材料の特長が大きい。

(2) 清浄状態における溶着力

溶着力の測定に用いる接点は台金にカシメたのち、その接触面を (1) に述べた方法でみがいて、後述する測定

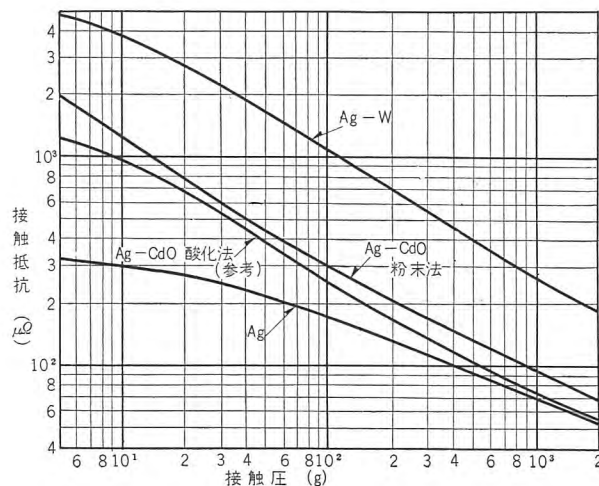


図 4.1 清浄な接点の接触圧と接触抵抗の関係 (接触面は 50R の球面)

Fig. 4.1 Influence of the contact pressure on the contact resistance of the cleaned surfaces. (Spherical radius, 50R)

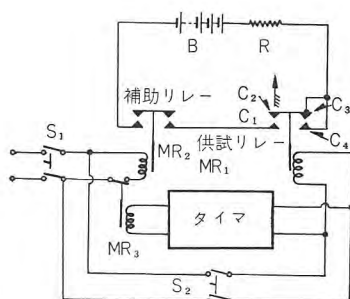


図 4.2 溶着力測定回路

Fig. 4.2 Circuit diagram for the measurement of welded-force.

用リレーに取付けた。所定の電流で一発初投入して、0.2秒通電後の接点の溶着力を測定したが、一度投入した接点はふたたび使用せず、毎回新しいものを用いた。その方法の詳細は次のようである。

測定に用いた回路図は、図 4.2 のとおりである。供試接点 C_1 , C_2 を取付けたプランジャ形リレー MR_1 、これよりも容量の大きいシャ断用の補助リレー MR_2 、電源電池 B 、負荷抵抗 R 、およびタイマ回路から成っている。動作はまずスイッチ S_1 を閉じると補助リレー MR_2 が閉じる。つぎにスイッチ S_2 を閉じると供試リレー MR_1 が閉じて通電が始まるとともに、タイマが働いて約 0.2 秒後に MR_3 が開路し、したがって MR_2 が開いて通電が停止するが、 MR_1 はなお閉じたままである。こ

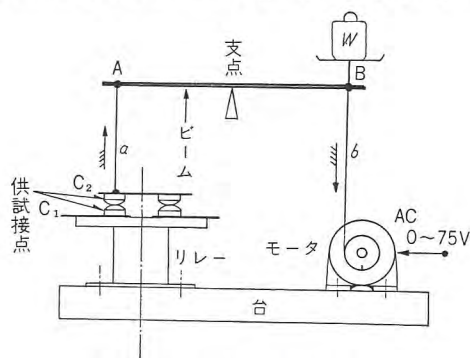


図 4.3 溶着力測定機構の略図

Fig. 4.3 Schematic diagram of the set for the measurement of welded-force.

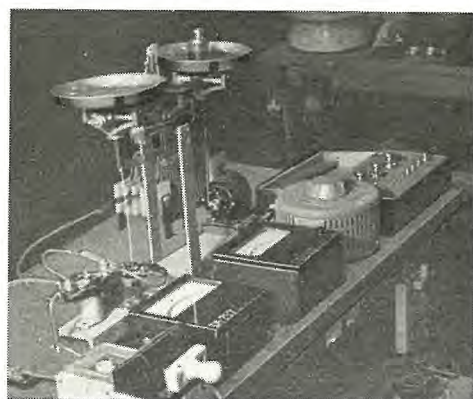


図 4.4 溶着力の測定装置

Fig. 4.4 Apparatus used for the measurement of welded-force.

の状態で可動接触子 C_2 , C_3 側の押えバネをはずし、可動側を自由にして溶着力を測定した。図 4.3 は溶着力の測定機構の略図を、図 4.4 はその装置の写真を示したもので、一つの台の上にモータ、接点を取付けるリレー、およびビームとその支点などを設置した。ビームとその支点は 5kg 上ザラテンピンを利用したものである。いま、投入によって溶着している一対の接点のうち、 C_2 をビームの一端 A から垂れたワイヤ a でつり上げ、その力を次第に増加してゆくと、溶着部が切れて接点が離れる。このときの切断に要した力 P_g を溶着力とした。このような溶着力を測る際には B 点の上ザラに分銅を載せるときの衝撃を避けるためと、分銅を少しずつのせる煩雑を避けて測定速度と精度とを上げるために、小形モータを利用した。モータは 5W, 4P コンデンサ分相形で、この場合 0~70V の電圧をかけて 0~0.5kg の引張り強さをスムーズにビームの B 点に与えることができる。すなわち、分銅荷重を併用すれば、分銅荷重~分銅荷重+0.5kg の範囲の測定はスムーズに可能である。以上の方法で、約 250, 500, 750, 1,000 A の電流で一発初投入し

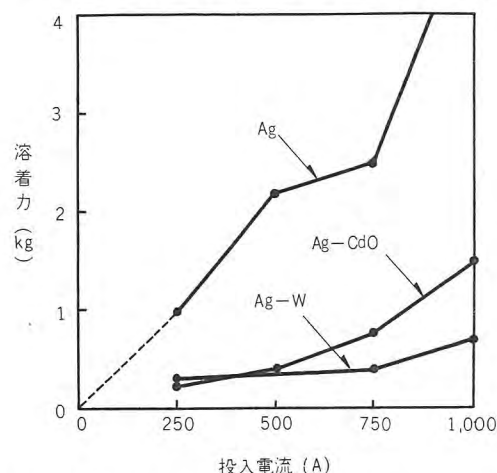


図 4.5 一発初投入したときの溶着力と投入電流値の関係

Fig. 4.5 Influence of the magnitude of the current on welded-force, at one time in the first contact operation.

た合計 300 余組の接点の溶着力の測定を行ない、それぞれの接点で得られた最高値をとって比較した結果を図 4.5 に示した。溶着力としては零に近い場合もしばしば見られるが、ここでは溶着の状態を知りたいために、とくに溶着力の最高値をとって比較したわけである。この結果から次のことを述べることができる。

a. Ag 接点の溶着力がもっとも大で、電流値とともに増大する。

b. Ag-W 接点の溶着力がもっとも少なく、電流値とともにあまり増大しない。

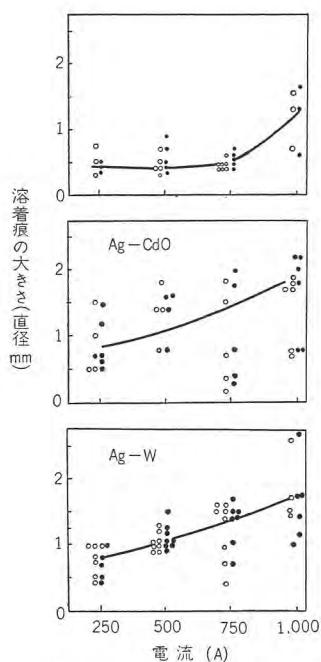


図 4.6 初投入における電流値と溶着部分の痕跡の大きさとの関係 (50R 接点)

Fig. 4.6 The relation of the diameter of welded portion with the imposed current.

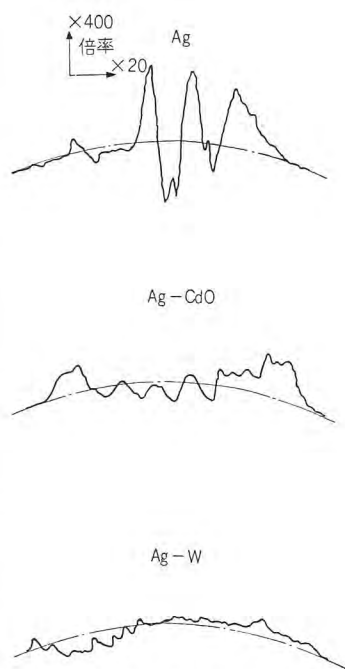


図 4.7 初投入で溶着した部分を引張破断したところのプロファイル
Fig. 4.7 Magnified profile of the torn surface, obtained by the tensile test with the welded contacts.

c. Ag-CdO 接点は Ag-W 接点と大差がないが、電流値が大になると、やや増大する傾向を示している。

以上述べた溶着力の測定結果は、その測定法から明らかに作動状態における溶着と密接な関連をもっているといえよう。

(3) 溶着部の痕跡

それぞれの接点の溶着部痕跡の直径と電流値との関係の大略を図 4.6 に示した。Ag 接点の場合はかなりの大電流まで広がらず、また直径の分散も小さいが、Ag-W, Ag-CdO 接点では Ag 接点に比較して直径が大きく、電流値とともに大となり分散度も大きい。

またこれらの接点の溶着力測定の際に破断した溶着部分のプロファイルを図 4.7 に示した。このプロファイルは日本光学製、触針式仕上面検査器によって測定したものである。これらのプロファイルから Ag, Ag-CdO 接点は溶着部の凹凸が激しく、Ag-W 接点では凹凸が少ない特長がある。

このように溶着部を破断した面の凹凸に大小があり、とくに Ag-W 接点において小であることは、W 粒子の微細分布の結果によるものと思われ、Ag-CdO 接点においては Ag-W における W の分布よりまばらな CdO の分布がかなり凹凸部を大にすることとあいまって、その組織的関係が明らかである。

要するに溶着部の痕跡の大きさは前述の溶着力の大きさと関連するもので、いずれも接点材料の相違による溶着様式の差を示していることがよくわかる。

4.2 動作状態の特長

(1) 接触電圧降下の変化

a. 回路と試験条件

接点の試験回路を図 4.8(a) に示した。まず、同図の B, R, MRn の回路において、MRn を投入し、ついでこれをシャ断する一般的な回路を採用した。この MRn を Normal リレーと名づけた。つぎに B, R, MRb, MRm の回路で、いったん MRb を閉じておき、MRm で電流を投入、これを閉じたまま、ついで MRb で電流をシャ断する方法を採用した。このときの時間関係を同図の (b) に示した。この MRm を Making リレー、MRb を Breaking リレーと名づけた。なお実験条件はつぎのとおりである。

電源……自動車用蓄電池、30 V, (200, or 400

Ah)

負荷……抵抗負荷風冷

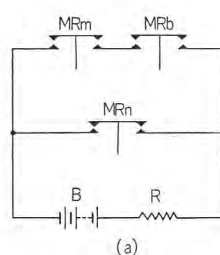
通電時間……0.2 秒

回数……16 回/min

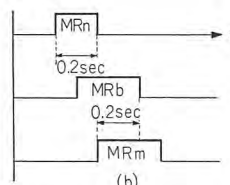
時間制御……同期モータ、カム、マイクロスイッチの組合わせ

リレー……プランジャ形、単相両切り、スプリング圧 1.0kg, 開閉速度 m sec 級、ギャップ 1mm, 直流操作

このような 3 種の方法、すなわち Normal, Making, お



(a)



(b)

図 4.8 試験回路

Fig. 4.8 Circuit-diagram of contact-operation.

よび Breaking のリレーによる試験方法を採用したのは、通常行なわれている Normal の方法だけでは、同一接点面に同時に投入、シャ断の影響があらわれ、この研究の主目的としている材料組織学的な検討を困難にする場合が多いので、Making および Breaking の方法を加えて単純明りょう化をねらった。

動作途中の接触電圧降下

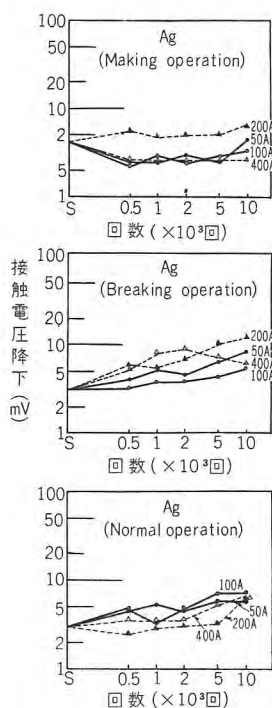


図 4.9 Ag 接点の接触電圧降下の変化
Fig. 4.9 Change of contact voltage-drop with operation cycles measured with Ag contacts.

は、つねに 10A、一定の試験電流で各リレーの両端子間において測定した。したがって、ここに得られた値は 2 対の接点の接触電圧降下と、接点取付部などの抵抗による電圧降下の和である。なお、測定値は 8 回測定平均である。

b. 動作途中の接触電圧降下の変化

通電電流として、50 A、100 A、200 A、400 A、および 800 A を選び、それぞれ 1 万回の開閉試験を前述の方法によって行ない、その途中、500 回、1,000 回、2,000 回、5,000 回、および 10,000 回開閉後の各段階で接触電圧降下を測定した。

(a) Ag 接点

図 4.9 に Ag 接点の結果を示した。どの電流値の場合でも、開閉回数の増加にともなう接触電圧降下の変化は少ない。また試験法による差異も比較的に小であるが、Breaking の場合には、いくぶん抵抗の増加が認められる。

(b) Ag-CdO 接点

Ag-CdO 接点の結果を図 4.10 に示した。Ag 接点と比較すると、きわめて類似の傾向があり、Ag-CdO 材料は本来その抵抗値は Ag より大であるが、開閉回数が増しても Ag 接点とほとんど差がない点が注目される。

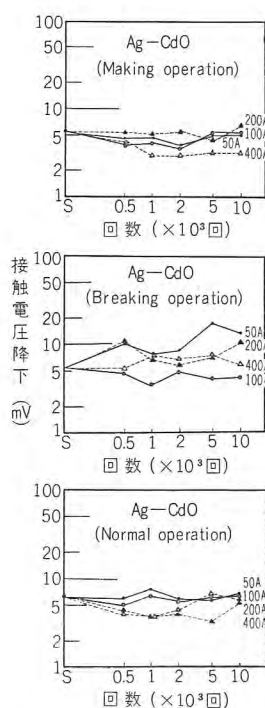


図 4.10 Ag-CdO 接点の接触電圧降下の変化
Fig. 4.10 Change of contact voltage-drop with operation cycles, measured in Ag-CdO contacts.

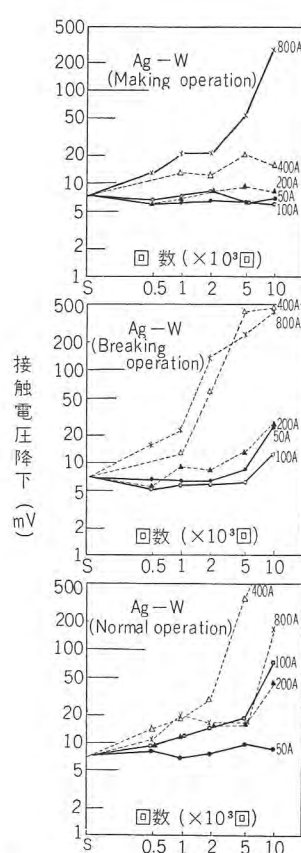


図 4.11 Ag-W 接点の接触電圧降下の変化
Fig. 4.11 Change of contact voltage-drop with operation cycles, measured in Ag-W contacts.

また Breaking の場合に、いくぶん抵抗が高いのも Ag 接点と同様である。

(c) Ag-W 接点

Ag-W 接点の結果を、図 4.11 に示した。この接点は Ag、Ag-CdO 接点とはいちじるしい相違がある。すなわち負荷電流の大小によって、どの試験方法の場合でも開閉回数の増加にともなう接触電圧降下の変化に大きな差があり、負荷電流の大きいときはとくに接触電圧降下が大きい。また Breaking の場合、大電流では Making にくらべて、とくに抵抗の増大が顕著であった。

さて、以上に述べたような接触電圧降下値は、各測定段階時の接点面の特長、たとえば傷損部の形状、酸化汚染および組織などによ

る総合的な結果によるものであり、とくに試験機器の性能に左右される。したがってどの接点についても上述の値だけからでは、その性能を明白に区別し得ない憾がある。

(2) 接点の表面観察結果

1 万回開閉後の各種接点の表面状態について、その酸化汚染の程度を観察し、また傷損部の隆起あるいはくぼみの大きさを測定してその傷損度を比較することにした。

a. 酸化汚染

(a) Ag 接点

Ag 接点の酸化汚染は試験方法によって異なり、Breaking, Normal, Making の順にその程度が小さく、顕著な場合には黒色膜におおわれることがある。このように Breaking 接点の酸化汚染度がいちばん大きいことは、前述の接触電圧降下値がもっとも大であったことと対応する。なお、いずれの試験方法でも (+) 側の接点面は (-) 側にくらべて酸化汚染度が大きであった。

(b) Ag-CdO 接点

Ag-CdO 接点でも Ag 接点と同様に Breaking, Normal, Making の順にその酸化汚染度は小となった。酸化汚染による着色は黄褐色または黒色に近く、これは主として対向する接点面に移転付着した CdO の状態の差によるものと思われる。

(c) Ag-W 接点

Ag-W 接点は小電流域と大電流域との間にとくに顕著な差があった。まず、小電流域では Breaking, Normal および Making の方法による酸化汚染度に大きな差はないが、一般に Making および Normal 接点の表面にはきわめてうすい Ag 膜が存在する傾向がある。Breaking 接点では、他の場合よりも比較的に汚染度がで、その (+) 側接点表面では Ag 膜の存在は認めにくい。つぎに大電流域ではいずれの試験方法でも汚染度が他の Ag, Ag-CdO 接点にくらべて大であり、灰黒色または緑色の酸化物でおおわれるようになる。とくに Breaking 接点面ではこのような酸化汚染が顕著で、Normal および Making 接点面には汚染面に Ag の存在が見られるのに対して、Breaking 接点にはほとんど認められないのが異なっている。以上のような Ag-W 接点表面の酸化汚染度の変化は前述の接触電圧降下の傾向とよく対応し、小電流域では Ag 膜の存在のためにほとんど変化を示さなかったが、大電流域では顕著に増大したことを説明している。

b. 傷損部の大きさ

20A, 50A, 100A, 200A, 400A, および 500A の各電流で 1 万回開閉後の各種接点面の傷損部の大きさを測定し、比較した。この試料には Making および Breaking 接点を使用した。傷損部はいずれの接点も、移転による

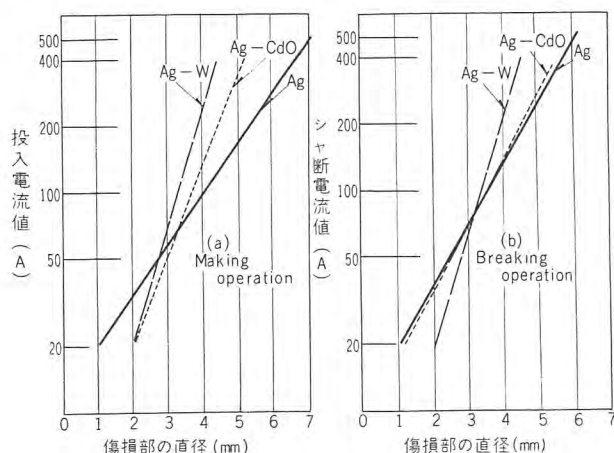


図 4.12 各種接点の傷損部の大きさと通電電流との関係
Fig. 4.12 Relations of the erosion area with the magnified of the current after 10^4 operation cycles.

隆起、あるいは移転跡のくぼみとしてあらわれており、したがってこの外径を測定して傷損部の大きさとした。

この結果を図 4.12(a), (b) に示した。(a) は Making 接点, (b) は Breaking 接点面のもので, (a) (b) ともに傷損部の大きさは 50 A 以下の電流域では, Ag-W および Ag-CdO 接点に比べて Ag 接点のほうが小であり, 50 A 以上の大電流域ではこの関係が逆となっている。すなわち Ag-W 接点がかつとも小となり, Ag 接点がかつとも大となっている。

以上の傷損部の大きさは、接点の開閉動作 1 回ごとの痕跡の集合であり、一発初投入による痕跡の大きさの累積と考えられるが単純ではない。

(3) 移転消耗

a. 移転消耗量および飛散量の測定

各接点について 1 万回開閉後の移転消耗量および飛散量を測定した。その方法は試験リレーの固定側の (+) (-) 両接点については、それぞれ動作前後の重量差を求めたのであるが、可動側では (+) (-) 両接点为一体となっているので両者をあわせてヒョウ量した。この研究においては、移転と消耗を区別せずに移転消耗量として一括して表わし、(+)(-) 両接点のそれぞれの動作前後の重量差の絶対値の和で求めた。なお固定接点と可動接点の動作前後の重量差の代数和を飛散量 (系外に飛散した量) として表わした。

b. 測定結果

(a) Ag 接点

図 4.13(a), (b) にその結果を示した。(a) は移転消耗量, (b) は飛散量である。まず (a) においては Normal, Making の両方とも、電流の増加とともに移転消耗量がいちじるしく大となり、200 A 以上でとくにこの傾向が顕著になる。Breaking ではこれに反してきわめて少ない。つぎに (b) では電流の増加とともに飛散量もやや大

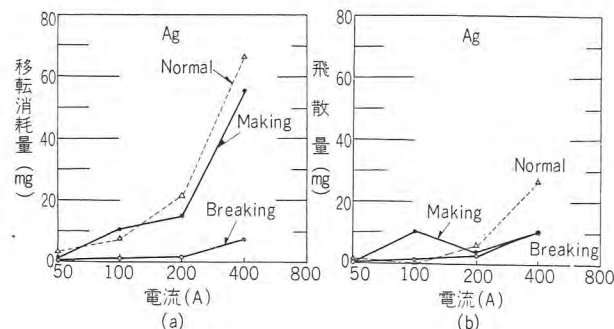


図 4.13 Ag 接点の移転消耗量と飛散量
Fig. 4.13 The weight, obtained by the summation of the gain due to transfer and the erosion-loss, after 10^4 cycles.

となる傾向が見られる。

(b) Ag-CdO 接点

図 4.14(a), (b) にその結果を示した。Ag 接点に比べて、いずれの試験方法および電流域でも移転消耗がやや多いようである。なお飛散量は Ag 接点と大差がない。

(c) Ag-W 接点

図 4.15(a), (b) はその結果である。Ag, Ag-CdO 両接点に比べ、Ag-W 接点の移転消耗量は小さく、とくにこのことは 400A 以下の電流値で顕著のようである。しかし、Ag-W 接点は (+) 側接点の消耗がかなり大きく、(-) 側への移転が小さい特長があり、この点、Ag, Ag-

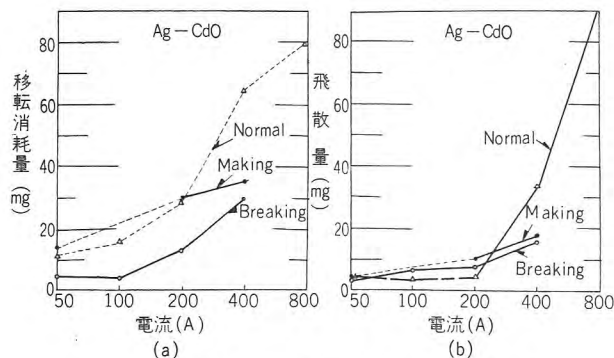


図 4.14 Ag-CdO 接点の移転消耗量と飛散量

Fig. 4.14 The weight, obtained by the summation of the gain due to transfer and the erosion-loss after 10^4 cycles.

CdO 接点において (+) 側および (-) 側の値が近似しているのと異なっている。したがって、移転消耗量としては、とくに大電流域で主に (+) 側の消耗を現わしている場合が多い。(b) の飛散量では 200A 以上で、Ag, Ag-CdO 両接点に比べやや多くなる傾向が見られ、上記の (-) 側への移転の少ないことすなわち飛散量の多いことに対応している。

(4) 表面組織の変化

各通電電流の全般にわたり、種々動作回数後の試料について、主として移転層および移転を与えた表面の組織変化の経過を顕微鏡によって調査した。

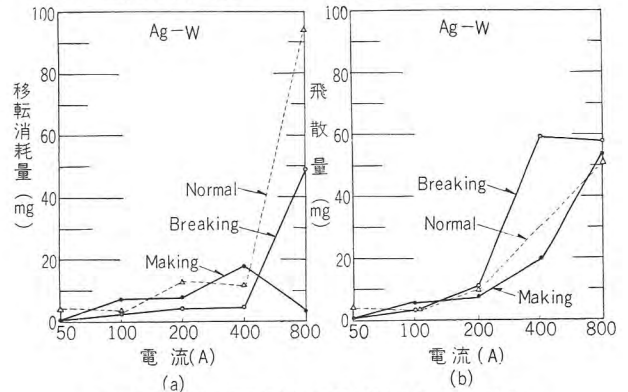


図 4.15 Ag-W 接点の移転消耗量と飛散量

Fig. 4.15 The weight, obtained by the summation of the gain due to transfer and the erosion-loss, after 10^4 cycles



図 4.16 (-) side, 200 Amp, making $\times 100$



図 4.17 (+) side, 200 Amp, making $\times 150$



図 4.18 (-) side, 20 Amp, making $\times 100$



図 4.19 (+) side, 800 Amp, making $\times 150$

図 4.16~4.19 銀接点の傷損部断面の顕微鏡組織

Fig. 4.16~4.19 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag-contacts.

(a) Ag 接点

いずれの試験方法の場合にもすべて(−)側に移転層が成長する。この一例を図 4.16 に示した。また(+)側には移転を与えたくぼみが認められたが図 4.17 はその一例である。まず、移転層について述べると、1 万回動作後の試料の通電電流による影響はつぎのようになった。50A 以下の小電流の場合には図 4.18 のように移転層はきわめて微粒組織を呈し、接点生地との区別が明らかである。100~200A では、図 4.16 の例のように移転層の粒度が大となり、層状のしま模様を形成し、表面近くから柱状晶が接点生地地面に向かって発達する特長がある。800 A におよぶ大電流では、なだらかな丘状をなした移転層は、きわめて粗大な柱状晶からなり、むしろ生地粒度より大きい場合が多い。電流が大きいほど、柱状晶が大であることは、あたかも Arc-Melt の Ingot の柱状組織が成長する場合と同様の例であって、電流値が高くて溶解した容積が大きいほど、大きい柱状晶を与えたことを示している。このような点から、Ag 接点は溶着しやすいことがわかる。Ag 接点の移転組織中の層状のしま模様は硫化物あるいは Carbon などのよごれが介在するためと思われ、主としてこれが抵抗値の上昇に気づかるものと考えられる。このような移転層の成長は

Making および Normal 接点に大きく、Breaking 接点では小さい。

移転を与えたくぼみの表面層は熱影響のために一般に再結晶を認めたが、800 A のような大電流の場合には、図 4.19 に示すように柱状組織をなし、熔融した容積の大きいことを表わしている。

(b) Ag-CdO 接点

前述の Ag 接点の場合と同じく、いずれの試験法によっても、(−)側に移転層、(+)側にくぼみを認めた。また移転層の成長は Making および Normal に顕著で、Breaking に少ないことも Ag 接点と同様である。まず移転層について述べると、100 A 以下では図 4.20 に示すように同程度の微粒組織であり、しま模様のあるのも Ag 接点に類似しているが、さらに Ag 接点よりも組織中のよごれが大である。100 A 以上では移転層の粒度が大となり、よごれが逆に減少し著大な柱状晶が発達する。この一例を図 4.21 に示した。この傾向は大電流になるほど顕著であり、空洞の混在も大となり、生地との間にすきまを形成し密着性不良のものが認められることが多い。以上述べた Ag-CdO 接点の移転層は Ag 接点のそれと同様に Ag 層だけからなり、しかも大電流域では、Ag 接点の場合よりも大きい柱状晶によごれの少ないことを

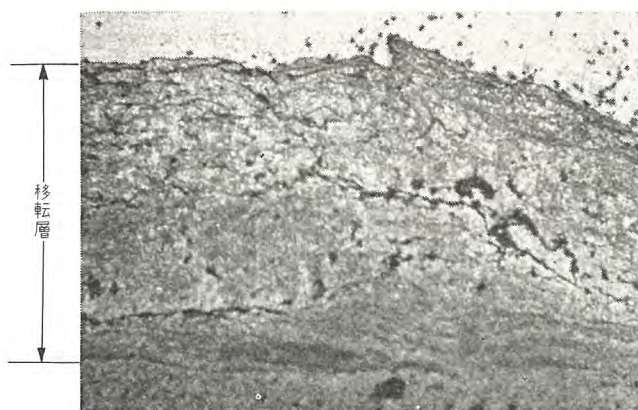


図 4.20 (−) side, 50 Amp, making $\times 110$

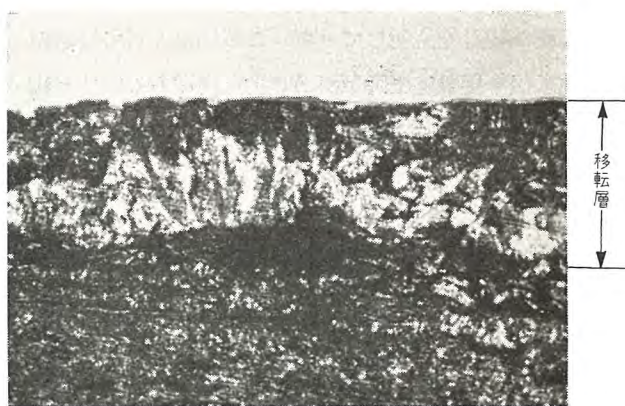


図 4.21 (−) side, 200 Amp, making $\times 110$



図 4.22 (+) side, 800 Amp, normal $\times 110$

図 4.20~4.22 Ag-CdO 接点損傷部断面の顕微鏡組織

Fig. 4.20~4.22 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag-contacts.

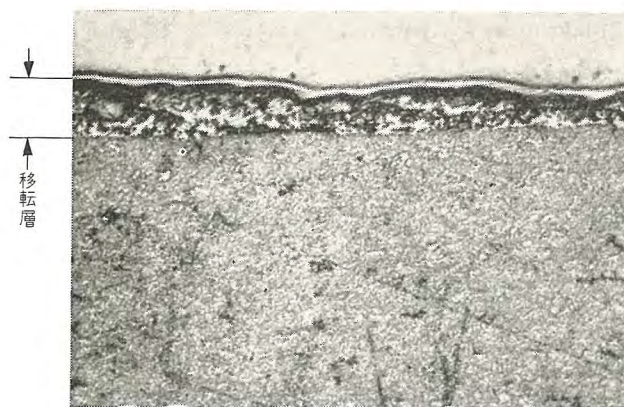


図 4.23 (-) side, 100 Amp, making $\times 110$



図 4.24 (-) side, 800 Amp, making $\times 110$

*これは、とくに大きい部分を選んだ。この層の両側には移転層はほとんど見られない。



図 4.25 (+) side, 200 Amp, normal $\times 110$



図 4.26 (+) side, 800 Amp, making $\times 110$

図 4.23~4.26 Ag-W 接点傷損部断面の顕微鏡組織

Fig. 4.23~4.26 Micro-structure of the cross section of the contact portion in Ag-W contacts.

示したのは注目される。つまり、CdO は移転組織中に混入しがたい特長を説明している。この結果として長期の開閉試験後も接触電圧降下が Ag 接点同様あるいはそれ以下に維持されたのであろう。

(+) 側のくぼみの表面は小電流域では変化がなく、大電流域ではその表面層の CdO が消失して銀層だけとなり、しかもその組織が柱状組織を示すようになる。この一例を図 4.22 に示した。図は Normal の例であるが、Making もほぼ同様であった。

(c) Ag-W 接点

Ag-W 接点は Ag, Ag-CdO 接点が顕著な移転層を示したのに対して、いずれの試験法によっても移転層の蓄積が少ない点に特長がある。とくに Breaking 接点は大電流域においても移転層の発達はずかであった。図 4.23 に移転層の一例を示した。この移転層は前述の Ag, Ag-CdO 接点のそれと異なり、Ag および W, あるいは W 酸化物の集合体であり、空洞も多く、結合力が弱く、層状組織を示していない。また表面に Ag のうすい膜が存在している。通電電流の増加に従い移転層中の W あるいは W 酸化物の占める割合が多くなり、Ag は少

なくなる。800A では、図 4.24 に示したように W 粒も Ag 粒もさらに粗大となる。図に見られるように、移転層の結合力が弱いにもかかわらず、かなりの発達があるのは、このリレーの接触圧力が比較的に小であったからである。

移転を与えた (+) 側の表面は移転層とほぼ同様の組織よりなった表面層を形成することが多く、とくに W あるいは W 酸化物にとみ Ag は少ない点が異なっている。その一例を、図 4.25, および図 4.26 に示した。

以上述べたように、Ag-W 接点の特長は移転層も移転跡の表面層もともに大電流時には、Ag の含有量が減少する点にあって、接点動作によって Ag が系外に飛散消失するものと考えられる。したがって Ag の消失の少ない低電流時には接触抵抗の増加が少なく、大電流時には飛躍的に増加することは明らかである。

5. 総 括

以上、Ag, Ag-CdO および Ag-W 接点について、清浄状態（未使用）におけるそれぞれの特長、ならびに主として大電流通電の際の表面状態の変化を述べてきた。

いま、それらの結果を総括し、さらに相互間の関連を求めている。

清浄状態（未使用）の接点面の特長は、それらの顕微鏡組織の比較に一目瞭然である。Ag-CdO および Ag-W 接点はそれぞれ CdO あるいは W の混在の量的割合さらに接触圧による変形能に応じて、Ag 接点との接触抵抗の差を示している。このような表面組織あるいは組成の相違は、一発の初投入通電に際してとくに大電流域において顕著に溶着の状態に相違を与え、Ag, Ag-CdO, Ag-W の順序に溶着力は小となり、かつ溶着部の痕跡は大となる。すなわち Ag 接点は溶着部の痕跡が小であるが溶着力は大であり、これに反して他の接点、とくに Ag-W は痕跡が大ではあるが溶着力は小であるという相違がある。溶着力および溶着部の痕跡は接点面の相互極間に生ずる溶融金属の架橋状態を示すものであるから、以上の溶着状態の相違はそれぞれの接点の主として表面組織の特長にもとづく架橋状態の相違と見ることができる。すなわち、Ag-W, Ag-CdO の両接点は溶融金属は細かくて数多く広範囲に分散した架橋を作るが、Ag 接点は太くて小範囲に集中した架橋を作る結果によったものであり、W, あるいは CdO が混在すれば Ag 接点と相違する架橋の様式を与え、より溶着させにくくする役割を見ることができる。

つぎに、以上のような清浄状態（未使用）の特長を与えた接点が、開閉動作によりどのように変化するか、あるいは傷損とは組織的にどのような状態変化であるかを検討するために Normal, Making および Breaking の 3 種の試験法を採用したが、以下には、各電流値における傷損の経過を making の方法によって得られた結果を主体としてまとめてみる。しかし Making の方法による結果も、他の方法と比較して特別に大差がなく、接点の (+) 側に消耗による凹痕を生じ (-) 側に移転をうけて突起を作る傾向においては、Breaking にはわずかであるという程度の差はあるが、すべて共通していた。一応 Normal よりも Making のほうが Breaking を区別してあるだけ結果の観察に都合よく単純化されていると考えている。

さて、動作途中に測定した接触抵抗値の変化についていえば、Ag 接点にはこれがいちじるしくないのは当然である。Ag 接点を基準として比較すると、本来、Ag 接点よりも大きい接触抵抗値を示す Ag-CdO 接点が試験回数が増加すると Ag と同等の数値を示すこと、ならび

に Ag-W 接点は他よりもかなり高い数値を示し、とくに電流値が大なる場合ほど大であり、しかも大電流域の実験においては、ある試験回数後は接触抵抗が急増する傾向があることが注目される。このような接触抵抗の変化様式の際の接点表面の酸化汚染度は、Ag 接点がわずかに黒い膜でおおわれているのに対し、Ag-CdO 接点は黄褐色、あるいは黒褐色の膜がかなり付着し、Ag よりも汚染度が高い。Ag-W 接点は小電流域では Ag と同様汚染度も少ないが、大電流域ではとくにはなはだしい点が他と区別される。したがって Ag-W の場合には動作途中の接触抵抗値の変化の傾向を、この表面状態の汚染と対応して考えることができるが、Ag-CdO 接点の場合には汚染と関連させることは許されない。この点については後述する。

外観より見た傷損部の大きさ、すなわちやられ方のひろがりや接触箇所を範囲を示すもので、小電流域では Ag がいちばん小さく、Ag-CdO および Ag-W とが大であった。これは清浄面における一発の投入による溶着部の痕跡の大小と同一の順序で、前述の溶融金属の架橋状態の相違の見解がそのまま適用されてよいと思う。しかし、大電流においてはこの順序の逆が見られた。大電流域では傷損がいちじるしくなり、傷損が接点内部に奥深く浸入する Ag 接点では、接触箇所が順次に移動するが、これに反して Ag-W はとくに傷損による凹凸の度が少ないので接触箇所の移動が少なかった結果に対応したものと思われる。接触抵抗の増加がとくに Ag-W に大であったことは、この接触箇所の移動が少なかったことをよく証明するものである。要するにこの実験においては、Ag-W に対しては適当な接触圧力の下に実施されていないこと、したがって抵抗増大した表面層（酸化層）のはく離が十分でない結果の特例と見るべきかも知れない。しかしながら材料組織学的に傷損に伴う変化を調査するためには、むしろこのように傷損膜をはく離せずに残したまま接触圧力下の実態を採用するほうが適当かも知れない。

つぎに移転消耗量については、Ag 接点に比して Ag-CdO 接点はその量が大であり、Ag-W 接点は小である。飛散消失量は Ag-W 接点にとくに大電流域においてもっとも大きく、Ag, Ag-CdO 接点は大差がない。これらの量的関係の相違、および前述の接触抵抗の変化を説明するためには、接点面に突起を作る移転層、あるいは移転を与えたために作られた凹痕の表面層を顕微鏡で調査

して、接点表面はどのような組織変化をうけて傷損するかを知ることがもっとも重要である。

まず、Ag 接点においては電流が大となるに従い、接点面に大きい柱状晶が認められ、熔融状態が大であった結果を示している。したがって他よりも溶着されやすいこと、接点面が荒れやすいことも当然である。移転層の組織はふんい気よりの影響のため、よごれの混在をそのしま模様を示しているが、これも接触抵抗値が試験回数が増すとともに増大する理由の一つであろう。

Ag-CdO 接点は、小電流域においては CdO が Ag と同時に移転することを移転層の組織のよごれに示すが、大電流域においては Ag だけの移転に終始し、Ag 接点の場合の Ag の移転層よりもよごれが少なく CdO の蒸発による清浄効果かと考えられる。また移転を与えた凹痕表面も大電流域においては顕著に CdO がその組織より消失しており、要するに電流が大なる場合ほど Ag 接点と同一の接点動作にまで変化させる特長がある。このような CdO を消失した Ag 層の清浄結果が表面のよごれと無関係に抵抗値を試験回数の増加とともに Ag の値同等とする原因である。

Ag-W 接点の傷損の特長は、熔融 Ag の溢出において示される。すなわち、小電流域においては表面に Ag のうすい膜を作って抵抗値の特別の増加はないが、大電流域においては熔融 Ag は表面に止まることもできず、蒸発し飛散するものが多くなる。同時に両接点面上に残存する W あるいは W 酸化物は、接触抵抗値を大にする。試験回数がある値以上になると急激に抵抗が増すのはかかる Ag の消失によるものである。

6. 考 察

以上の実験の結果にもとづき、Ag 接点が溶着しやすい本質があることはいたしかたがないとして、Ag-CdO あるいは Ag-W 接点が大電流域で十分満足な動作を与えるためには、どのような組織をもたなければならないかについて考察することにしよう。

さて、そのためには前述の傷損の特長としてとらえら

れた、Ag-CdO では CdO の、Ag-W では Ag の飛散消失の度をわずかにすることが必要条件の一つであり、また、移転層および移転を与えた凹痕の表面の層が、両接点ともにはく離されやすくつねに清浄な表面を与えることも必要条件の他の一つと思われる。たとえば、Ag-CdO 接点においては、CdO は Ag よりも蒸発飛散しやすいので、その難易は CdO の % が一定である場合には、表面における Ag 生地中における CdO の分布状態と密接な関係をもつものと考えられる。すでにわれわれは、この問題を取り上げており、これに対しては第 2 報に説明する予定である。さらに Ag-W についても検討中である。

つぎにこの実験において採用した Normal, Making, Breaking の 3 種の試験法の比較に一言する。Making は Normal と本質的には差異がなく、Breaking の操作がないだけ程度が少ない。Breaking は酸化をやや進めることと移転消耗が少ない点異なる。Making 接点を観察する方法は組織学的研究にはまず適切と認められる。

7. む す び

Ag 系接点を取りあげ、大電流域における接点性能とその組織との関係を見た。もちろん接点にはその性能の限界がある。限界を知るためには、その傷損の本質を知ることがまず重要であり、ついでよりよきものへの発展も可能であろう。その意味でこの研究を継続している。

なお、この研究遂行において当研究室山本技師の協力を煩わせ、また実験は島、播磨両君が担当した。

(34-6-17 受付)

参 考 文 献

- (1) R. Holm; Electric Contacts Handbook, Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, (1958)
- (2) G. Windred: Electrical Contact, Macmillan and Co., Limited, London, (1940)
- (3) F.L. Jones: The Physics of Electrical Contacts, Oxford at the Clarendon Press, (1957)
- (4) 鳳 誠三郎: 電気接点と開閉接触子, 克誠堂出版株式会社, (昭 25) 10.

新形温度継電器 (BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器)

神戸製作所 森 健*

New Thermal Overload Relays— Type BL-1D and BL-1S Thermal Relays

Kobe Works Takeshi MORI

If it is for simple overcurrent protection, it is desirable to cut off the circuit with little time lag as long as the protecting conditions are distinctly known. However, in case of overload protection, the relay must possess operation characteristics as close as possible to the overcurrent permissible time characteristic of the apparatus to be protected. Generally speaking, the overcurrent permissible time characteristic of electric machines is of an inverse time nature, which makes it difficult to produce relays having the operating characteristics identical with the permissible time characteristics of the machines covering a wide range of overload from slightly above the rated value to several hundred percent times. Types BL-1D and BL-1S thermal overload relays developed recently successfully meet the requirements, breaking the impasse mentioned above.

1. ま え が き

一般に電力機器はその定格値によって標準周囲条件下における連続使用限界を保証されており、その定格値より過負荷の状態では、いかに短時間といえどもいかに絶縁物の劣化が促進される可能性がある。

しかし、ばあいによっては以上のことを承知の上で、ある程度の過負荷状態をゆるさなければならないことがある。ただしもちろんそれは過負荷の程度によってきまるある有限の時間以内でなければならない。また電動機では起動時に相当大きな起動電流が流れるものでこれはやむを得ない過負荷である。電動機はもちろんこれを十分見込んで設計されているが、起動、停止がたまたま短時間の間に繰り返されれば、予期しないような過熱状態をひき起すこともある。このように通常過負荷状態はその程度に応じた適当時間だけはゆるされているが、過負荷の大きさと継続時間の積分値に応じて過負荷→温度上昇→絶縁物の劣化というひとつの連鎖現象は生じているわけであるから、無視できないほどの絶縁物の劣化が生ずる以前に過度の過負荷状態を検出し、警報によって負荷を転減するなり、トリップによって一時冷却をまつなり、適当な処置を行なう必要がある。

過負荷電流が定格値の 150% 以下のばあい、温度上昇が普通設定されるような許容温度に達するのは時間のオーダーであり、200% 程度の過負荷でも約 10 分程度の通電がゆるされる。このような時限をもった動作特性を誘

導形過電流継電器で実現することは非常にむずかしいことである。

その上誘導形過電流継電器はタップによって動作値を変更する関係上、いくら定格値の 120% ないし 150% 付近での長時間過負荷を保護しようとしても、整定そのものが困難となる。

つまりこの付近の電流範囲における過負荷保護をおこなうには、どうしても連続的に整定値を変更できるような構造と、この領域に適合した動作時間特性が必要である。

一方またこのような長限時の動作時間特性は、パイメタルを用いた熱動継電器とすれば実現困難ではないが、定格値の 500% 以上の過電流域では許容通電時間が 1 分以下となってくるのに対し、従来の熱動継電器ではどうもそのような短時限の動作を期待することができなかった。

本文は、このような過負荷保護上の諸要求に対してもしっかりと満足すべき特性をもつ熱動継電器として、最近当社が開発した BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の概要を紹介しようとするものである。

2. 構 造

図 2.1 と図 2.2 は BL-1D 形温度継電器の外観を示す。BL-1D 形温度継電器は図のように、独立した熱動継電要素 2 個を同一ケースにおさめたもので、BL-1S 形温度継電器は同じ継電要素 1 個と瞬時過電流要素 1 個を、同

* 技術部



図 2.1 BL-1D 形温度継電器 (引出形のばあい)

Fig. 2.1 Type BL-1D thermal overload relay.

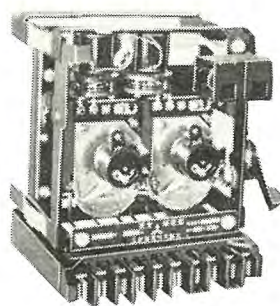


図 2.2 BL-1D 形温度継電器 (引出形で内部を引出したところ)

Fig. 2.2 Type BL-1D thermal overload relay. (inside view)

一ケースにおさめたものである。

この BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の主要素は、モールドケース、動作スプリングブロック、可動接点部、固定接点部からなる。

まず図 2.1 の外観からみるように、正面のいちばん手前にあるのが可動接点部、その後に固定接点部、それからモールドケースとなっている。このモールドケースの中に軸をかこんで動作スプリングブロックがある。動作スプリングブロックは、一端を軸に固定されたウズ巻状のバイメタルスプリング、2 枚の平たいヒータ板、スプリングとヒータ板との間にありスプリングのもう一つの端を固定する役目もはたしているスペーサ、およびこれら全体を外からおさえている放熱特性調整ブロックからなっており、モールドケースによって支持されている。

可動接点部には、補償スプリングがはいっており、その一端は軸に固定され、他端で可動接点をささえている。モールドケースの正面部分にあるのが目盛板である。固定接点はこの目盛板に軸と同心状に回転できるようにはめ込まれており、固定接点の位置はこれと歯車で連結された指針の根元のネジを回すことによって変更される。そして、目盛板の指針の先端にあたる部分には、0.25 A おきに整定用の目盛が付されている。

なお、モールドケースの上の部分には、端子と短絡リンクがある。このリンクを開けば全ヒータに電流が流れて 2.5A から 3.5A の範囲に整定でき、リンクを閉じれば、ヒータの一部が短絡されて 3.75A から 5A の範囲に整定できる。

動作スプリングと補償スプリングは、まったく同じバ

イメタルスプリングで、周囲温度が変わると、補償スプリングは動作スプリングが軸を回転させる角度と同じ角度だけ軸に対して可動接点部を逆方向に回転させる。それで周囲温度が変化しても、可動接点の固定接点に対する関係位置は変化せず、結局いつも一定の電流対動作時間特性をもつことができる。もちろん周囲温度が急変した場合に、補償スプリングと動作スプリングとの周囲温度が若干相違するため、特性が変わっている時期があることが考えられるが、通常おこりうるような配電盤室内温度変化に対しては十分補償の役目ははたすことができる。

また、この熱動継電要素にはバック接点をつけたものも製作されている。

3. 特 長

まず、BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の特長を以下に要約する。これによってこれら継電器の機能の説明もほとんどつくされることになる。

(1) BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器は、電動機の過負荷許容時間特性の平均的な特性と、相似の電流対動作時間特性をもっているから、電動機の過負荷保護に最適の継電器である。

(2) また、電動機と同じような過負荷許容時間特性をもつ発電機や、大部分の変圧器の過負荷保護にも用いることができる。

(3) 継電器要素は十分大きな相対熱容量をもち、機器の過熱状態が一定限度に達すれば動作するから、過負荷となる前の負荷状態により動作時間も短縮される。

また、繰り返し起動を行なう電動機の過熱も、繰り返し周期が短い(分のオーダー)ときには保護することができる。

(4) 軽負荷状態から 1,000 % の過電流状態まで、機器を保護しうる電流対動作時間特性を有している。

(5) 熱動形継電器であるから、交流にも直流にも使用できる。

(6) 100% 負荷電流が 2.5A から 5A までの間ならば、どの値にも連続的に整定可能となっているから、被保護機器の定格がその範囲にありさえすれば、いつも 120% 以上の過負荷保護を完全に行なうことができる。

(7) 周囲温度の補償機構を有しており、周囲温度に関係なくほぼ一定の過電流対動作時間特性を示すことができる。

(8) 各整定電流において、2 ないし 6.25 VA という

低負担である。

(9) BL-1D, BL-1S の 2 種類があり、事情によってもっとも便利なアレンジができるような形を選べるようになっている。

(10) とくに要求があれば、バック接点を設けることができる。バック接点は

- 過負荷の警報をするばあい
 - 電動機の過熱後適当な温度に下がるまで起動を鎖錠するばあい
 - ファンなどの冷却装置の起動に用いるばあい
- に使用することができる。

4. 動作特性

BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器は、保護すべき機器の連続定格電流の CT 二次換算値かそれより少しうわ目の電流値の目盛に整定する。このときに得られる BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の整定値を基準とした標準動作時間特性を、図 4.1 と図 4.2 に示す。

図 4.1 は短絡リンクを開いたときの動作特性で、整定目盛は外側の目盛、つまり 2.5A から 3.5A の範囲を用いる。目盛の間隔は 0.25 A おきにある。これに対し整定指針の指す数値が整定値ということになる。無電流状態から、その整定値の 125% の電流が約 100 分 (1 時間 40 分) 流れると、継電器は接点を閉成する。また整定値の 100% の電流が長時間流れていたあと、整定値の 125

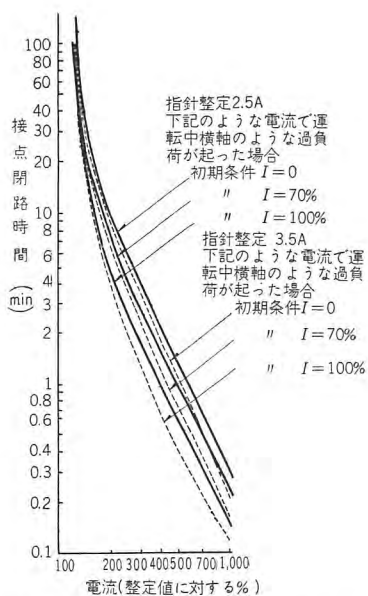


図 4.1 BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器
電流対動作時間特性標準曲線
短絡リンク開放 (2.5~3.5 A レンジ)

Fig. 4.1 Type BL-1D and BL-1S thermal overload relay
current-operating time curves. (2.5~3.5 Amp. range)

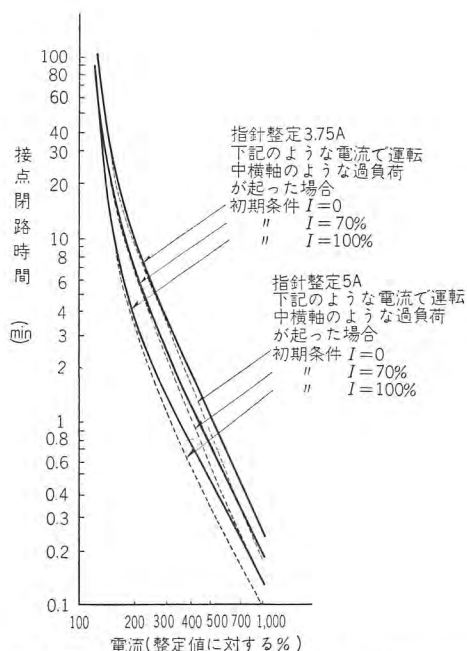


図 4.2 BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器
電流対動作時間特性標準曲線
短絡リンク短絡 (3.75~5 A レンジ)

Fig. 4.2 Type BL-1D and BL-1S thermal overload relay
current-operating time curves. (3.75~5 Amp. range).

% の電流が約 60 分流れると、継電器は接点を閉じる。その他の % の過負荷が流れたときは、図 4.1 のような時間で接点を閉じることになる。図 4.2 は短絡リンクを閉じたときの動作特性で、特性的には図 4.1 とほとんどかわりはない。

すでに BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器が電力機器の過負荷許容時間特性に相似の動作時間特性をもつことを述べた。しかし、実際は機器の過負荷許容時間特性といっても画然とした特性がひけるものではない。その特性のみちびきかたにもいろいろの考え方があるようである。それゆえ、ここでは適当な例を引用して説明する。

図 4.3 は三相誘導電動機の過電流許容時間特性をあたえた一例⁽¹⁾に、BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の動作時間特性を書き入れたものである。図 4.3 の過電流許容時間特性は、以下の要領でひかれている。

- (1) 過負荷状態にはいる以前の電機子銅線の温度は 70°C とする。また過負荷で温度が上昇したばあい、銅線部の最高許容温度は 170°C とする。
- (2) 過負荷状態の継続時間が 30 sec 以内ならば、熱放散は無視でき、発生熱量はすべて銅線の温度上昇に寄与するものとする。
- (3) 継続時間が 0.1 sec から 30 sec の間は、つぎの式によって特性曲線を得るものとする。

$$I = 0.22 \times 10^6 \times A \sqrt{\frac{1}{t} \log_{10} \frac{Q_2 + 234}{Q_1 + 234}} \dots\dots (4.1)$$

ただし

I : 電機子電流 (A)

A : 導体断面積 (Sq. in.)

Q_1 : 導体の初期温度 ($^{\circ}\text{C}$)

Q_2 : 導体の最終温度 ($^{\circ}\text{C}$)

図 4.3 では (1) の仮定によって, $Q_1 = 70^{\circ}\text{C}$, $Q_2 = 170^{\circ}\text{C}$ として, 曲線を得ている.

(4) 定格負荷が継続したばあい, 銅線は規定の温度上昇に達するのに約 20,000 sec を要するものとする.

(5) 過負荷継続時間が 20,000 sec から 30 sec の間は熱放散を考慮し, 30 sec 以下のばあいと別の傾斜をあたえるものとして, 20,000 sec と 30 sec の 2 点を結ぶ.

この図 4.3 からわかるように, 一般に電動機の過負荷許容時間特性は, 設計や用途によって, 相当ちがってこよう. しかし軽負荷時の許容時間は大体同じで, たとえば 150% の過負荷で大体 60 分前後であり, BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器もちょうどそれくらいの時間で接点を閉じる. また重過負荷のときは, 図の曲線 C とほとんど一致した動作特性をもつから, 相当安全側で動作するようになっていることがわかる.

つぎに変圧器の過負荷保護について検討した一例を示そう. 図 4.4 は, 大形変圧器の過負荷保護に, BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器を適用するために検討した一例を示す.

図で, 曲線 A はある大形外鉄形送油風冷式変圧器が, 周囲温度 30°C で 100% 負荷連続使用状態から過負荷を受けたものとし, その過負荷発生ひん度が 1 年に 1 回としたとき, 寿命の犠牲が 1% になるまで過電流をゆるすばあいの過電流許容時間特性である. また曲線 B, C は, それぞれ発生ひん度が 1 ヶ月に 1 回または 1 日に 1 回として算出した過電流許容時間特性である. これら曲線に対し, 実際におこる過負荷ひん度は, 多く見積っても 1 ヶ月に 1 回というところで曲線 B をねらって保護すればよいのではないだろうか. なお曲線 D は, JEC-120 で規定されている変圧器の機械強度による限界特性である. これは変圧器インピーダンスできまる最大短絡電流よりも過電流域でだけ規定さ

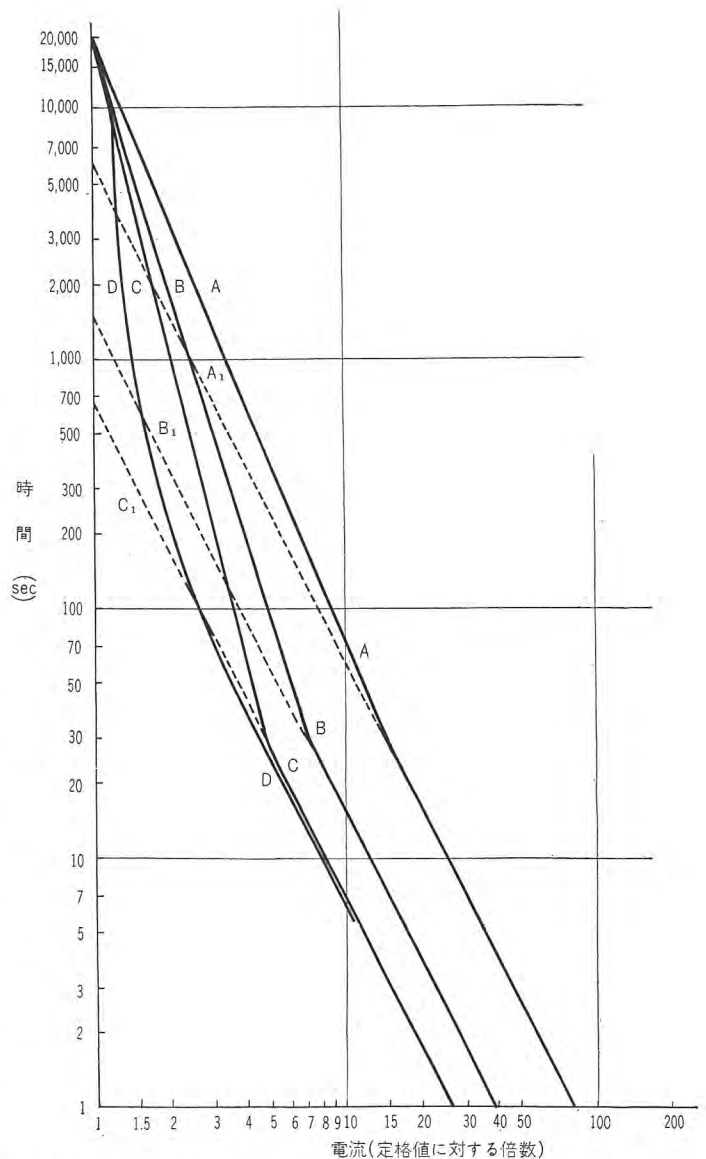


図 4.3 三相誘導電動機の過電流許容時間特性の一例と BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の動作特性

曲線 A: 定格電流の電流密度 1,000 (A/in²) の電動機
B: " " 2,000 (A/in²) "
C: " " 3,000 (A/in²) "
D: BL-1, 整定 5A の動作特性

Fig. 4.3 Comparison between typical overload current-time curves of three phase induction motors and an operating curve of type BL-1D and BL-1S thermal overload relay

Curve A, B, C: Curves of motors
Curve D: Curve of relay.

れているので, 直接の意味はないが, 比較の意味で付記した.

この過電流許容時間特性に対して, もっとも一般によく使用されている定限時反限時特性の誘導形過電流継電器を, 変圧器の定格電流の 150% にタップを整定し, また最大時限にレバーを整定してみると, 曲線 E のような動作時限になる. これでは過負荷保護としてあまり適当ではないことはあきらかである.

つぎに反限時特性の COS-1 形 (もしくは CO-8 形)

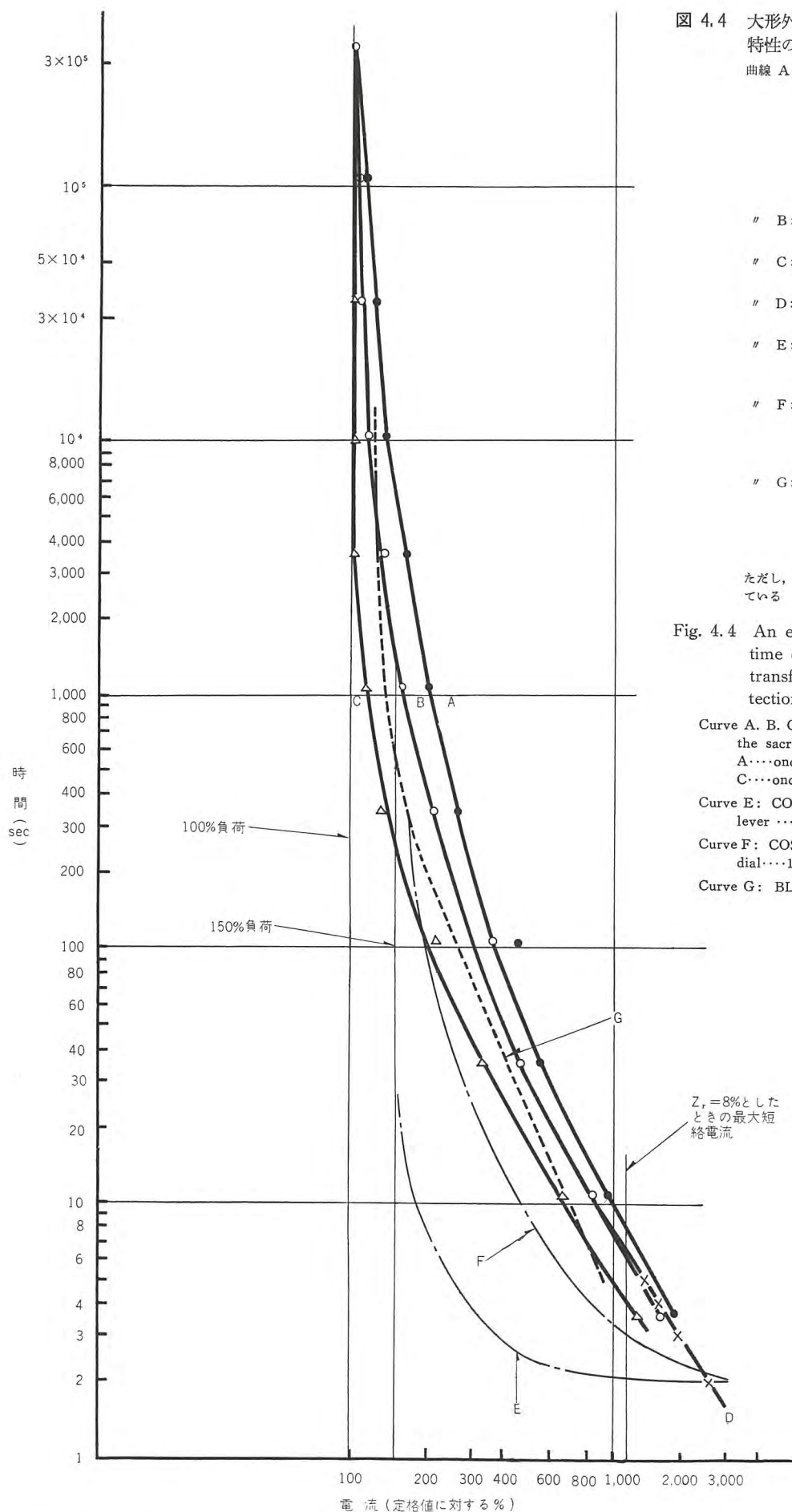


図 4.4 大形外鉄形変圧器の過電流許容時間特性の一例とこれの過負荷保護

曲線 A: 変圧器の寿命を 1% 犠牲にしたときの過電流対許容時間特性
ただし

外鉄形送油風冷式
周囲温度 30°C 100% 負荷連続後の過負荷
発生頻度を 1 年に 1 回とした
ばあい

〃 B: 同上で発生頻度 30 日に 1 回のばあい

〃 C: 同上で 〃 1 日に 1 回のばあい

〃 D: 変圧器の機械強度による限界特性 (JEC-120, ASA)

〃 E: CO (定限時反限時過電流継電器)
整定タップ……変圧器定格電流の 150% レバー……10

〃 F: COS-1 または CO-8 (反限時過電流継電器)
整定タップ……CO と同じ 150%
ダイヤル……11

〃 G: BL-1D 形および BL-1S 形 (温度継電器)
整定: 変圧器定格電流に整定
(特性: 全負荷後整定値の 125%
過負荷で約 60 分)

ただし、この例では、整定値 5A の曲線を用いている

Fig. 4.4 An example of overload current-time curves of a FOA shell type transformer and its overload protection.

Curve A, B, C: the curves of transformer at the sacrifice of 1% of life

A……once a year, B……once a month, C……once a day.

Curve E: CO (definite minimum), tap……150%, lever……10

Curve F: COS-1 or CO-8 (inverse), tap……150%, dial……11

Curve G: BL-1D and BL-1S (thermal)

誘導形過電流継電器の適用を考えてみる。タップは同じく変圧器の定格電流の 150% に、ダイヤルは最大の 11 にしてみる。それが曲線 F である。この曲線 F は曲線 E よりもずっと変圧器の過電流許容時間特性に近くなり、大体過負荷保護としても使用できるところまできている。しかしつぎの曲線 G は、さらに曲線 A, B, C によく一致する。

曲線 G は、BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器を 5A に整定し、100% 負荷継続中に過負荷となったときの動作時間特性である。

このように BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器は、電動機だけでなく、他の回転機や変圧器の過負荷にも使用できる。

5. 周囲温度の補償

周囲温度補償は、BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器が継電器の周囲温度の変化に関係なく、ほぼ一定の電流対動作時間特性を示すために設けられたものである。保護すべき機器の周囲温度が変化すれば、その機器の過負荷耐量が変わる。それゆえ、その変化分だけ継電器の動作特性も変化すれば、理論的にはもっとも正しい意味の過負荷保護を行なうことができそうに見える。それをもっとも簡単に実現する方法は、周囲温度補償機構をもたないヒータによるバイメタル動作形継電器を、被保護機器の周囲温度と同じ周囲温度下に保ち、かつ、動作温度を被保護機器の限界温度と同じにすることであるが、これは、実際問題としては非常に困難であって簡易な方法で実用化される見込みはほとんどない。

またここまで厳密に考えると、過負荷許容限界そのものもいろいろな意味で理論的に疑問を生ずる。

BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器は被保護機器の過負荷許容限界が、一定期間中に日常おこりうる周囲温度変化によって多少変化することまで計算に入れて、動作するほどぎりぎりの許容限界を追求するように設計された継電器ではない。

しかし、自己の周囲温度によっては動作特性がほとんど変化しないから、その整定によって保護特性をなるべく希望のものに近づけることはできるわけである。

BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器は、変流器負担を軽減し、かつ過電流耐量を増加するために実際の電力機器の限界温度よりはるかに低い温度で動作し、しかもそれまでの電流による温度変化の割合は、実際の電力

機器とできるだけ近いように設計されている。

この二大条件を満足するためには、周囲温度補償機構は不可欠のものである。もしこの機構がなければ、日常の室内温度変化によってさえ安定した動作特性を示すことはできない。

6. 応 用

6.1 一般事項

BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器を適用するにあいには、まずつぎの事項に注意する必要がある。

- (1) BL-1D, BL-1S の 2 種類があり、その使い分けによって盤面や費用を節約できる。
- (2) そのおのおのは、とくに仕様すれば、バック接点つきのものを入手できる。
- (3) 整定可能範囲は 2.5A から 5A までであるから被保護機器の定格電流の CT 二次換算値もその間になければならない。
- (4) BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の動作利用範囲は、一応整定値の 1,000% までと考えるべきで、それ以上の過電流は他の継電器によってこの温度継電器が動作するよりも高速度でシャ断する必要がある。そうしないと、温度継電器が損傷するおそれがある。

6.2 BL-1D 形継電器か BL-1S 形継電器だけで保護するばあい

短絡故障電流が整定値の約 1,000% をこえないばあいと、この温度継電器の設置点より電源側に 1,000% 以上の過電流に対する瞬時保護装置のあるばあいには、BL-1D 形温度継電器 1 個で過負荷および短絡保護を行なうことができる。このばあいの接続を図 6.1 に示す。

短絡故障電流が整定値の約 1,000% をこえるようなばあいは、瞬時要素を自蔵している BL-1S 形温度継電器を使用すればよい。このばあいの接続は図 6.2 に示す。

6.3 瞬時過電流要素

電動機保護では、瞬時要素は起動電流で誤動作しない範囲で、もっとも低く整定することがこのましいが、これを単に紙上で算定することは非常に困難である。

それは起動電流の大きさそのものが、電動機とその電源によって変る上に、同電流中に含まれる直流分が、瞬時要素の動作にどう影響するか、はっきり予想できないからである。それゆえ、できればなん回でも電動機を起動して、瞬時要素が不動作である整定限界を求め、つぎ

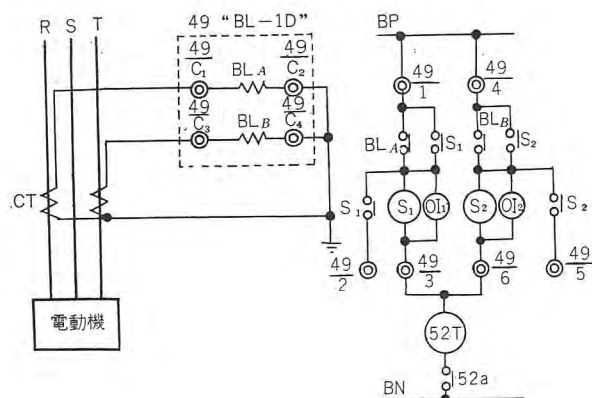


図 6.1 BL-1D 形温度継電器 1 個で保護を行なう例
Fig. 6.1 Motor overload protection using one type BL-1D thermal overload relay.

器具番号および記号説明
49 : BL-1D 形温度継電器
52T : シャ断器トリップコイル
52a : 補助接点
BL : BL-1 要素および接点
S : 補助接触器
OI : 動作表示器

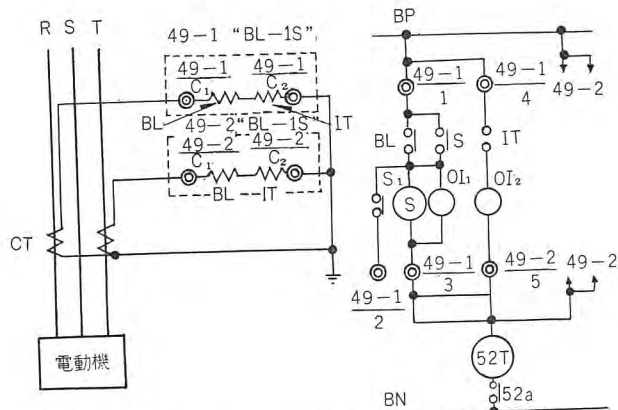


図 6.2 BL-1S 形温度継電器 2 個で保護を行なう例
Fig. 6.2 Motor overload protection using two type BL-1S thermal overload relays.

器具番号および記号説明
49-1 : BL-1S 形温度継電器 (R 相)
49-2 : " (S 相)
52T : シャ断器トリップコイル
52a : 補助接点
BL : BL-1 要素および接点
IT : 瞬時要素
S : 補助接触器
OI : 動作表示器

にいくぶんそれより上の値に整定することがこのましい。(通常約 10% ましにする)。

一般に以上によって求められる整定値は locked rotor current の 160 ないし 170% で、ときには 250% にも達することがある。この値はときには電動機の定格値の 1,000% 以上となるが、このときには後述するように別の過電流継電器を併用されることが必要となる。

直流分に関しては、変圧器保護のばあいにもどうようのことがいえる。しかしこのときに、定格値の 1,000% 以上の整定をしなければならないようなことは、大体においてないはずである。

6.4 トリップと警報

電動機保護のばあい、BL-1D 形または BL-1S 形温度継電器の動作によって、トリップにするか警報にするかは、電動機の運転の重要さと、電動機そのものの重要さのかね合いの問題となる。

電動機そのものの保護だけを考えればもちろんトリップである。しかし、なかには負荷の重要性から絶対に止めてはならない電動機もあるから、このようなものには当然警報となる。通常火力発電所補機の保護では、警報によって過負荷軽減、または、発電機の切換え後に、シャ断などの処置をとることが推奨される。

また、発電機や変圧器の保護では、大体において警報が用いられる。

6.5 誘導形過電流継電器との併用

つぎのようなばあいは、COS-3 形 (または CO-5 形) 長限時誘導形過電流継電器を併用することが推奨される。

- (1) とくに重要な電動機の保護でよく行なわれるが大体 300% 以下の過負荷は警報とし、それ以上ではトリップとするようなばあい。
- (2) 被保護機の大電流による過負荷に対する許容時間がとくに短くて、BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の動作速度では十分安全ではないばあい。
- (3) 短絡故障電流が整定値の 1,000% 以上あるのに、瞬時要素が 1,000% 以下の動作値に整定できないばあい。

このように誘導形過電流継電器と併用するときには、いろいろちがった理由があるわけである。しかしいったん併用するときまったらばあい、各継電器の整定としてはほとんど同じになる。図 6.3 はその一例で、電動機の過電流許容特性が BL-1D 形温度継電器の動作時間特性と約 600% の過電流で交さしており (上記 (2) のばあにあたると)、起動電流が大きくて 1,500% 以下の整定が困難である (上記 (3) のばあいにあたると) ばあいを示している。

誘導形継電器と併用するばあいは、図 6.3 のように、BL-1D 形または BL-1S 形温度継電器は標準整定とし、誘導形継電器は大体定格値の 300 ないし 350% ぐらいに動作し 400% ぐらいから上のほうでは温度継電器よりも早く動作するようにダイヤル整定すればよい。このようにすれば、全電流範囲にわたって理想的な過負荷保護を行なうことができる。

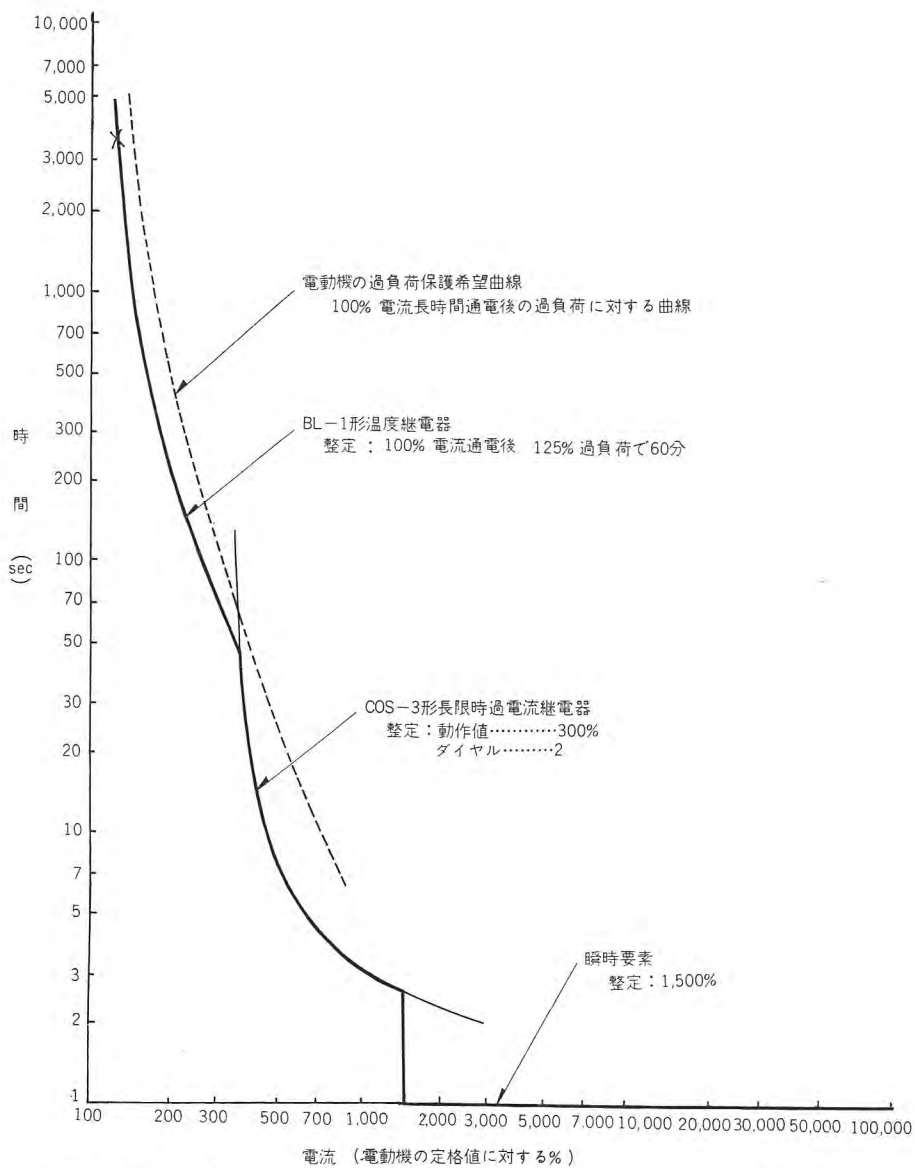


図 6.3 BL-1D 形または BL-1S 形温度継電器と誘導形過電流継電器とを併用した電動機保護例

Fig. 6.3 Motor overload protection using type BL-1D or type BL-1S thermal overload relays and induction type overcurrent relays.

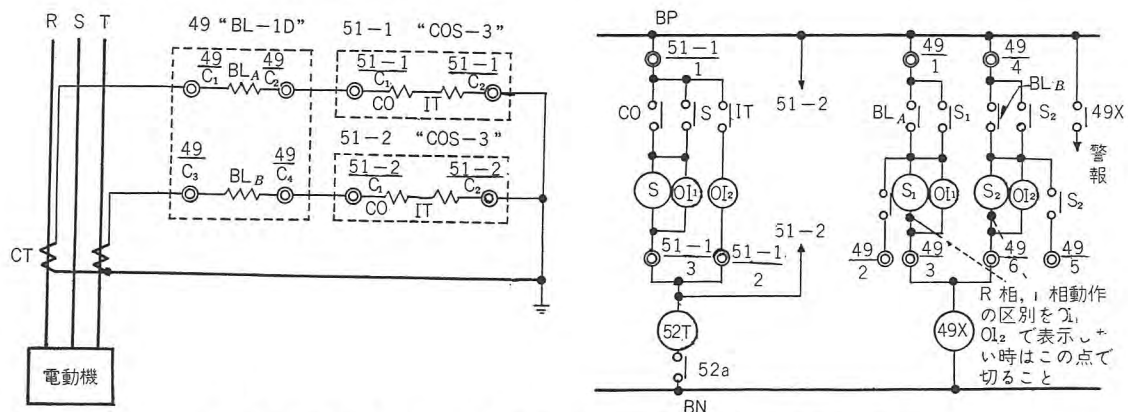


図 6.4 BL-1D 形温度継電器と COS-3 形過電流継電器とを併用した例

Fig. 6.4 Motor overload protection using one type BL-1D thermal overload relay and two type COS-3 overcurrent relays.

49 : BL-1D 形温度継電器
49X : SG 形補助継電器

器具番号および記号説明
51-1: COS-3 形過電流継電器, 瞬時要素付 (R 相)
51-2: " " (T 相)

52T : シャ断トリップコイル
52a : " 補助接点

図 6.4 は, CT が 2 相にし
かないばあいの, 誘導形継電
器の方式例を示したものであ
る. このようなばあいは, BL-
1D 形温度継電器を使用する
ほうが便利である.

図 6.5 は, CT が 3 相に
あるばあいの, 適用例である.
この例のように, CT が 3 相
にあるばあい, BL-1S 形温度
継電器と誘導形継電器を各相
に各 1 個おかず, 簡略化する
ことが推奨される. 図 6.5 で
は, 誘導形過電流継電器は 1
相にだけ設置して 300 ないし
500% 以上の過負荷に対する
保護時間を短縮し, 他の 2 相
には BL-1S 形温度継電器を
設置してそれ以下の電流の過
負荷を保護すると同時に誘導
形継電器をバックアップす
る. 短絡故障に対しては, 各
継電器に内蔵した瞬時過電流
要素で保護する.

なお図 6.4, 6.5 では, 温
度継電器の接点では警報を出
すようになっている. しかし
これは単に例として示しただ

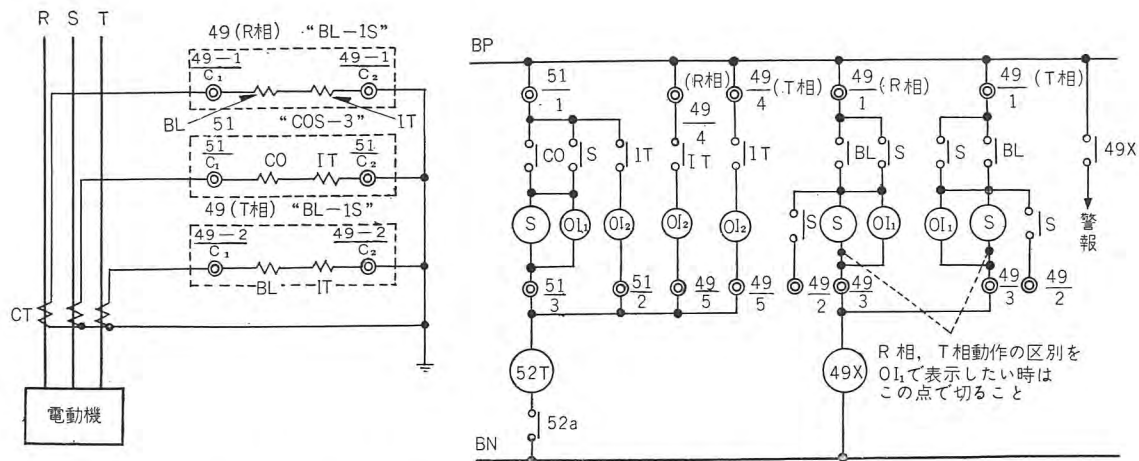


図 6.5 BL-1S 形温度継電器と COS-3 形過電流継電器とを併用した例

Fig. 6.5 Motor overload protection using two type BL-1S thermal overload relays and one type COS-3 overcurrent relay

器具番号および記号説明

- 49 : BL-1S 形温度継電器
- 49X : SG 形補助継電器
- 51 : COS-3 形過電流継電器
- 52T : シャ断器トリップコイル
- 52a : " 補助接点

けであって、トリップとすることはいっこうにかまわない。できればトリップとしてしまったほうがより安全である。

6.6 注 意

BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の動作で、トリップにしようと警報にしようと、注意しなければならないことは接点動作である。動作時限も長限時であるかわりに、いったん動作すれば復帰も相当時間がかかる。したがって継電器が動作したとき、すぐトリップしたとしてもすくなくとも 10 分以上冷却してからでなければ再投入してはならない。これは継電器だけでなく被保護機器でも、いったん過負荷すれば温度が規定の値にもどるまでには相当の時間がかかるのであるから、当然はらわれなければならない注意事項である。

まして BL-1D 形および BL-1S 形温度継電器の動作ではトリップとせず警報とするようなばあい、被保護機器も継電器も常規温度にもどるには相当長時間が必要となる。そのばあいに温度継電器の接点は、図 6.4 や図 6.5 のように補助継電器によって自己保持するか、警報すればいったん制御電源を切るかして、継電器が復帰したことを確認してから原動作位置にもどさないと、接点がいまおそれがある。復帰の確認に、バック接点付のものを利用すれば便利なことは、すでに述べたとおりである。

参 考 文 献

- (1) K.S. Kuka: Short Circuit Protection of Low Voltage Motors and Starters, Iron and Steel Engineer, July, (1956) 78.



照明関係 (1)

— 火力発電所の照明 —

1. まえがき

火力発電所は、内部の諸施設の交錯と、高天井建物の構成のため、その照明は困難とされていた。最近建設される新鋭火力発電所は、新しい諸機器設備とともに、照明関係も、進歩した方式が、採用されるようになった。

今日では、新しい光源を使用することによって、高性能機器の運転に必要な明るい照明環境を、かもし出すことも可能である。たとえばタービン室の水銀灯照明、補機床のケイ光灯、中央制御室の光り天井照明、屋外の水銀灯投光照明など他の諸工場施設に先んじて、有効な新照明方式が、採用施工されている。以下火力発電所の照明について、屋内と屋外に分けてその照明の方法を解説する。

火力発電所の屋内照明

2. 火力発電所屋内照明の特殊性

火力発電所の建物および内部施設に対する照明は、他の工場、施設などにはあまり例を見ない特殊な照明方式が必要とされる。それは、一般の工場やビルの建物と異なっていて、高い建物の内部構造が、片側が幾階にも仕切られた床になっていながら、他方では 20 数 m も吹抜けの状態であったり、各階の床も、コンクリートもあれば、グレーチングにもなっている。ボイラ関係は大部分グレーチング床であるから、上方まで見通し形式のものが多い。もっとも変わった点は、各階の作業床ともほとんど



図 2.1 火力発電所本館内部

壁の仕切のないことである。

また、同じ作業階でありながら、機器諸設備によって、高照度を要求されるものと、低照度でよい場所とがある。近來グレーチングを使用する箇所が非常に多くなったので、照明工事もより困難が加わってきた。

以上のような複雑な建物構成に加えて無数のパイプが縦横に設置されている。防ジン、防湿、防爆を考慮しなければならない作業床もあり、各般を総合してこれらの特殊性を満足させる効率の良い適当な照明方式が必要となってくる。

3. 視作業における基本的な問題

火力発電所における視作業について考えなければならない基本的な問題は、発電所の屋内、屋外いずれの場合でも、まず照度、対象物の大きさ、輝度対比、不快なまぶしさ、および見る時間などである。

3.1 明るさ

よく見えて作業を容易にできるようにする明るさは、単に識別するための明るさの何倍かを必要とする。高度の明るさがあれば、対象物の大きさ、輝度対比、または見るに必要な時間などが、あまりよくない条件のもとでも、これらの欠点を補うことのできるものである。

3.2 対象物の大きさ

対象物の大きさが増せば、見える度合も増し、ある点までは大きさに比例して見やすくなる。

3.3 輝度対比

いつでもすぐ見えうようにするためには、視作業の各精密な細部が、周囲の背景からくる輝度や色と異なっていなければならない。

視作業における対比、すなわち対象物と背景との輝度対比は、それがなければ高い照度が必要である。ゆえに可能な範囲で対比を強くしたほうがよい。

3.4 まぶしさ

まぶしさを感じることは、視作業を妨げ、目に疲労を与える。またまぶしさは光の損失となるものであるから、いかなる原因のまぶしさも避けたいものである。眩輝を避ける方法としては、光源を高くする、光源に対する視角を大きくする、輝度の低い光源を数多くして必要照度を得るようにするなどが考えられる。

3.5 時間

照度を上げれば見るための時間は短縮できる。目は異なった明るさに対しては、調節に時間がかかる。ゆえに安全のため、かつ作業を遂行するためには、関連した地域は、大きな明るさの差がないようにしなければならない。

4. 火力発電所各作業床の照度と光源

発電所屋内作業床について、推奨されている照度および使用光源は、下記のとおりである。もっともこの数字は平均水平照度であるが、同一作業床でも、鉛直面照度あるいは局所的に高照度を必要とする作業もある。建物の内部がタービン運転床側と、ヒータ関係施設、つぎがボイラ側と三大別される場合が多い。この際の光源はタービン側をケイ光水銀灯、ヒータ側をケイ光灯、ボイラ側を白熱電球によって照明する方式がよく行なわれている。

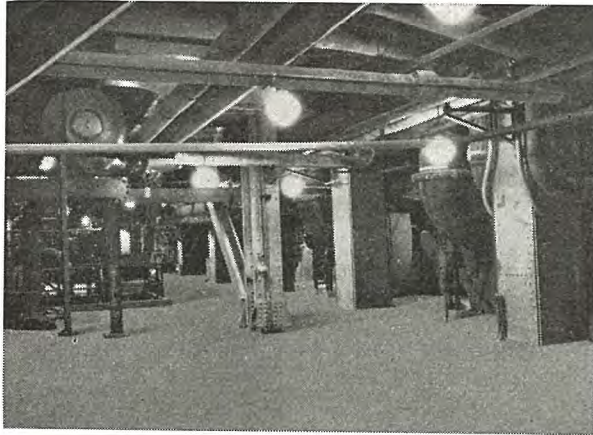


図 4.1 送風機床

| 被照床面 | 照度 (lx) | 使用光源 |
|-----------|---------|------------|
| 復水器床 | 150 | 水銀灯, 白熱電球 |
| 給水ポンプ床 | 150 | ケイ光灯, // |
| ミル室床 | 150 | 水銀灯, // |
| 強圧通風機床 | 100 | // // |
| ディーゼル発電機床 | 100 | ケイ光灯, // |
| 空気圧縮機床 | 100 | // // |
| 油貯蔵タンク床 | 100 | // // |
| 高圧配電盤床 | 250 | // // |
| 油清浄機床 | 100 | // 白熱電球 |
| 冷却水タンク床 | 100 | // // |
| 重油噴燃装置床 | 150 | // // |
| メタルクラッド床 | 250 | ケイ光灯 |
| 給水加熱器床 | 150~200 | // 白熱電球 |
| ボイラ周辺 | 100 | 水銀灯, // |
| 電池室 | 100~200 | ケイ光灯, // |
| タービン台内部 | 100 | // // |
| コンプレッサ床 | 150 | // // |
| リレー室 | 250 | // // |
| 電気室 | 150 | // // |
| タービン運転床 | 200~300 | 水銀灯 |
| 給炭機床 | 100 | ケイ光灯, 白熱電球 |
| 石炭計量機床 | 150 | // // |
| 中央制御室 | 500(鉛直) | // // |
| 空気調節装置床 | 100 | // 白熱電球 |

| | | |
|----------|---------|----------|
| 通信機械室 | 250 | ケイ光灯 |
| 脱気器床 | 100 | // 白熱電球 |
| ケーブル室 | 100 | // // |
| 階段 | 100 | ケイ光灯, // |
| 化学実験室 | 500 | // // |
| 計器修理室 | 500 | // // |
| 機械, 溶接工場 | 200 | // // |
| 事務室 | 250~350 | // // |

5. 各作業床の照明のあり方

火力発電所屋内の各種作業床のうち、その照明に注意を要する数カ所について、個々の照明の仕方を述べる。発電所によって、機器の設置床高は種々異なっているため、その際はそれぞれに適した照明方式を取ることはいうまでもない。

5.1 復水器、循環水ポンプ床

発電所によっては、この種の機器設置の位置は、異なっていることもあるが、大体に1階が多い。この作業床の上部に、グレーチングの床のあるときは、グレーチング床を利用して、灯具が取付けられるので、ケイ光灯でも、白熱電球灯具でも用いられる。グレーチング床が高ければ、ケイ光水銀灯をつり下げて照明することができ、少し大きな光源を用いればよい。しかしこの作業床は、往々上部が吹抜けになっている。このときは、

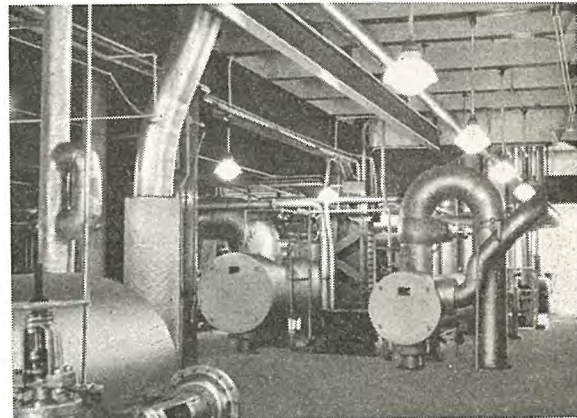


図 5.1 補機床

タービン室天井高までは、20数m あるため天井灯だけでは、照度が不足であるばかりでなく、この床の機器は、鉛直面照度も必要であるから、柱にケイ光水銀灯のブラケット灯具を、数個取付けて照明するのがよい。

5.2 給水ポンプ床

比較的、天井の低い上に、パイプが交錯しているので、つり下げた灯具からの眩輝に注意しなければならない。その点ケイ光灯のほうがよい。白熱電球なら、所要の配光をもったプリズムガラスグローブを使えばよい。計器、開閉器などがよく見えるように照明器具の配置を取らなければならない。パイプの錯雑からくる影を少なくするためには、相当数の器具を用いることと、平均照度を高目にとるようにつとめる。

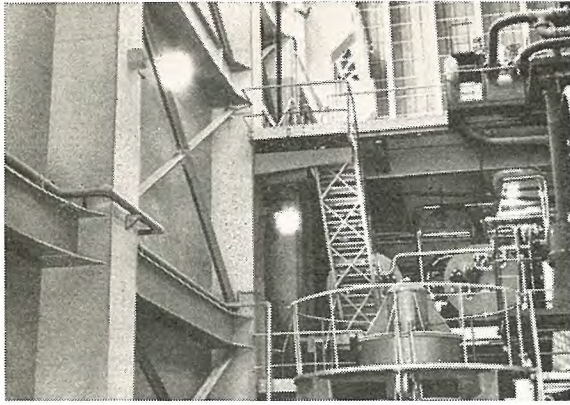


図 5.2 復水器床の水銀灯照明

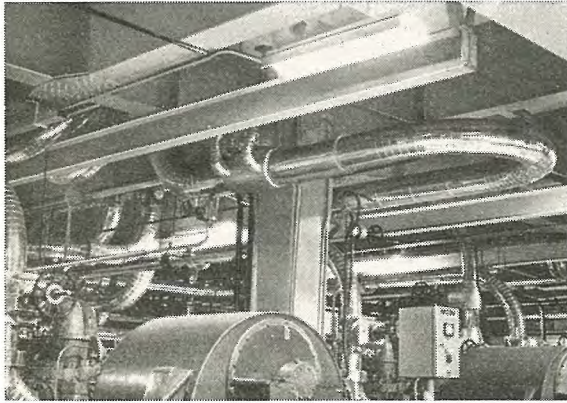


図 5.3 給水ポンプ床

5.3 石炭粉碎機床

従来のミル床は、バンカ、パイプなどのため、灯具の取付けが困難で、暗い作業床の所が多く見受けられた。最近、柱にケイ光水銀灯のブラケットを取付けて照明されるようになって、明るい作業床にすることができた。ホッパ、パイプなどで濃い影を作らないよう、もっとも良い光源の高さと、灯数を選ぶことが大切である。白熱電球なら、大きな容量のランプと、反射効率の高い灯具を使って照明する。

最近、ミル室の上にグレーチング床のある建築構造のものもある。この際はグレーチング床を利用して、ケイ光水銀灯あるいは白熱電灯をつり下げればよい。

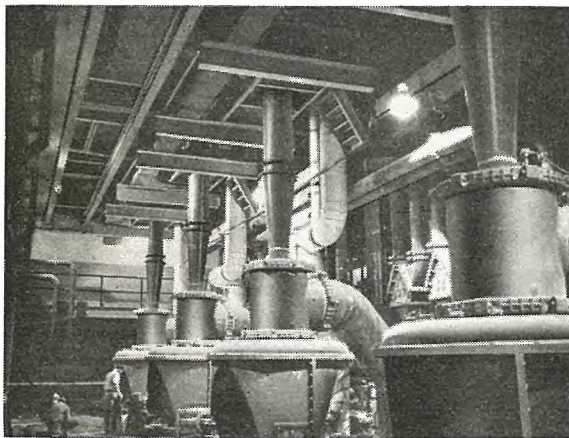


図 5.4 粉碎機床

5.4 電池室

液の比重を測定するためには、相当の照度が必要である。このへやは、たいいてい換気がよく行なわれるようになっているが、ガスに犯されるけ念のあるへやであれば、耐食性の灯具を使用する。光源は、ケイ光灯、白熱電球、いずれでもよい。

5.5 メタルクラッド床

鉛直面の照度を必要とする関係から、普通、ケイ光灯による照明が行なわれる。鉛直面照度を得るため、灯具は比較的多く必要とされるから、連続にして使用するとよい照明ができる。計器面による正反射のため、監視員がまぶしさを感じるような光源の位置を避けることと、鉛直面照度を得られるよう灯具の取付け方に注意しなければならない。

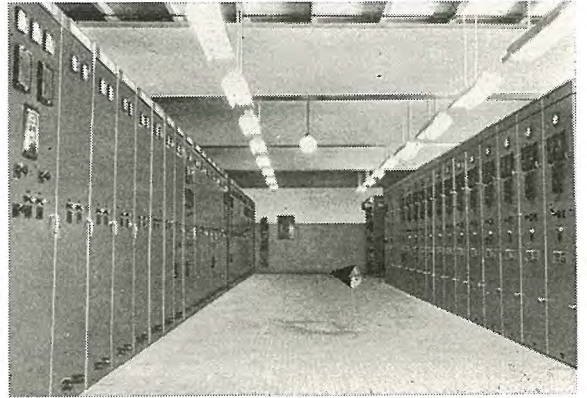


図 5.5 メタルクラッド床

これは、各床にある補機関係の計器盤の照明も、同様の仕方が必要である。

5.6 タービン運転床

最近、照明方式の変ったものの一つに、タービン運転床の照明がある。過去のタービン発電機床は、数ルクスの薄暗い作業床であった。新鋭高速タービン発電機の操作に伴って、この作業床の照度は、200～300 ルクスを必要とされるに至った。

高天井のこの建物を、走行クレーンの上のはりから照明するだけ、強力な光源が必要で、どの発電所もみな、1kW のケイ

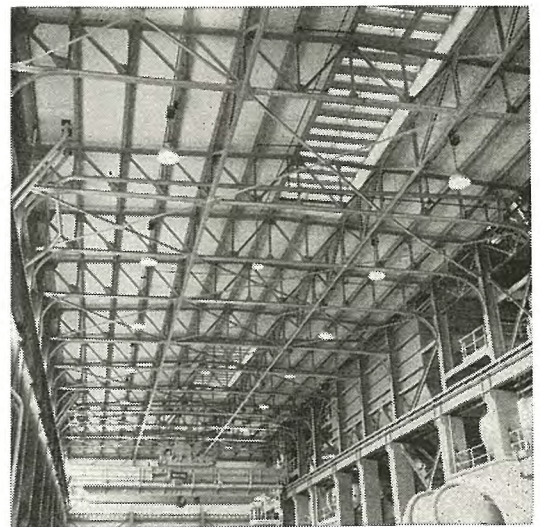


図 5.6 タービン運転床

光水銀灯が用いられるようになった。灯具はアルミ電解研磨の反射ガサ付の集照形のもがよく、10数個を2列または3列に天井のはりに取付けて照明する。非常灯には、1,000 W の白熱電球を数個、同様天井に配置する。ケイ光水銀灯であれば、色補正に白熱電球を用いる必要はない。もし天井の低いタービン室であれば、110 W 高出力ケイ光灯の line light 方式で、天井から照明しても、高照度のよいタービン室照明ができる。

5.7 ボイラ各床

(1) ボイラ回りの通路および作業床

古い発電所では、ボイラ回りの照明には、ブラケット形の灯具が用いられていた。現在のボイラ回りは、グレーチング構造のものが多く、これに灯具をつり下げたり、ジカ付けすることができるので、照明もしやすくなった。したがって各階とも、100 ルクス前後の照明が得られるよう光源が取付けられている。グレーチングで構成された、このボイラ回りの通路や、階段は、その上を通る際、足もとの光源で、眩輝を感じては危険であるから、上方にグレアの出ない灯具を用いるよう心掛けるべきである。この通路、および作業床は、白熱電球を光源として用いられるのが普通であって、灯具としては、広い所要の配光をもったプリズムガラスグローブ器具が、もっとも適している。眩輝の危険を避ける必要の箇所は、このプリズムガラスグローブを用いることをすすめる。ボイラ上層部では、ホウロウ製カサの灯具も使用される。またボイラ床でも1階は、10 m 以上の天井高になっている場合がある。これには、ケイ光水銀灯のつり下げまたはブラケットで、照明するのがよい。アルミ電解研磨反射面をもった 300~500 W 白熱電球灯具を、使用することもある。

(2) ボイラゲージ床

ボイラゲージのあるグレーチング床の照明は、計器像の反射面に眩輝を与えないように注意すべきで、もし内部の状況を中央制御室で、テレビ受像するためには、鉛直面照度を、200 ルクスくらい得られるよう照明することが必要である。

(3) パーナ床

パーナの調整や検査にも、鉛直面照度 200 ルクスは必要であるから、灯具とその配置に気をつけなければならない。パーナのノゾキ穴の状態を、中央制御室にテレビ送信するためには、

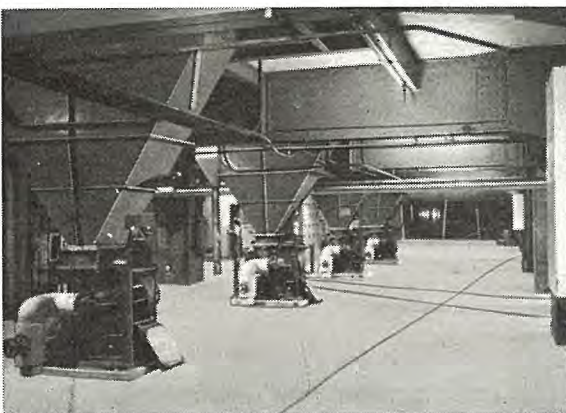


図 5.7 給炭機床

ノゾキ穴と背景との対比が大きくなるよう、照明に注意を払うべきである。

5.8 中央制御室

新鋭火力発電所で、タービン室の照明とともに面目を一新したものに、中央制御室（コントロール・ルーム）の照明があげられる。自動化された機器、キュービクルの計器盤、精巧な操作盤、あるいはテレビ受像機など、すべての計器が集中設置されていて、発電所のすべての運転操作は、この中央制御室で行なわれる。高性能の諸計器を、正確に監視操作するためには、高照度の良い照明が、必然的に要求される。それゆえ、中央制御室の照明、色彩調節、音響、温湿度調節の諸施設は、急速に改善されてきた。中央制御室の照明は重要であるから、少し詳しく説明する。

(1) 中央制御室照明のあり方

中央制御室では、数多い精密な諸計器を、正確迅速に読み取ることができることと、長時間の監視作業に、作業員の疲労を少なくし、快適に執務ができるよう、良い環境照明が必要である。そのためには、下記のような事項に注意するようにしたい。

表 5.1 中央制御室の照度

| 場 所 | 照 度 (lx) |
|----------------------------------|-----------|
| 配電盤の鉛直面照度 (床上 1.5 m) | 500 (300) |
| 配電盤背面の鉛直面照度 (床上 1.5 m) | 300 |
| 操作盤の水平面照度 | 500 |
| 配電盤(またはキュービクル)内側水平面照度 (床上 30 cm) | 100 |
| 各配電盤裏面鉛直面照度 | 100 |
| 非常 灯 | 30 (100) |

a. まぶしさを避けること

光源よりの直接の眩輝、計器のガラスに正反射するもの、監視机上の反射などによって、監視者にまぶしさを与えることを、絶対に避けるようにしなければならない。従来の配電盤室には、天井にケイ光灯の埋込器具、半埋込器具あるいは、つり下げ器具が取付けられて照明されていた。この方式で照明するには、計器盤の前に立って見るとき、あるいは監視機からメータを監視する際でも、配電盤の反射光が、監視者の目に直接はいらない位置、すなわち安全域内に灯具を取付けるようにする。そうして反射によるまぶしさを、最小限に押えることが肝要である。

b. 輝きの対比を小にする

輝きの対比が大きいと、まぶしさを感じ、長時間の監視作業に疲労を与える。輝きの差を少なくするには、まず、輝度の低い光源が好ましいが、部屋内部の輝度構成の諸元である、天井、壁、床、計器盤、操作盤、机、什器などのすべての面の輝きの対比を小さくする。すなわち、おのおのに適当な反射率をもつような仕上をすればよい。近來床が明るい色調になって、反射率 30% 以上の仕上がされるようになったのは好ましいこと

表 5.2 配電盤室内の反射率

| | | |
|------|---|------|
| 天 | 井 | 80 % |
| 壁 | | 50 % |
| 配電盤 | | 50 % |
| 机、什器 | | 35 % |
| 床 | | 30 % |

である。色彩調節も十分考慮して、調和のとれた明るい色で、つやのない仕上をすることが大切である。

c. 輝度の低い光源がよい

a, b の項目を満足させるためにも、低輝度の光源が望ましい。ケイ光灯器具を天井に取付ける方式でも、拡散が大で効率のよい、乳白色半透明のメタクリル樹脂などのカバー付の照明器具を、使用するようすべきである。しかし高照度を得るためには、灯数が多くなって煩雑さを与える。低輝度であるが、間接照明では高照度の要求を満たすことは困難で、従来はルーバロール照明が、多く採用されていた。

最近のように、計器盤の鉛直面照度が 500 ルクスを必要とするようになったことや、温湿度調節および保守の関係で、乳白半透明合成樹脂を、天井拡散面とした、光り天井照明方式が、各発電所とも採用されている。

(2) 中央制御室の光り天井照明

火力発電所の中央制御室は、タービン運転床と同一床面に、独立した部屋の形のものが多い。温湿度調節の関係で、天井の低い建築構造であるから、光り天井がもっとも適している。新鋭火力発電所はもちろん、小規模の自家用発電所も、この照明がとられるようになった。部屋の内壁は、計器類のキュービクルで囲われているため、キュービクルの内側の広さの範囲だけ、光り天井にすれば、工事費も節約されるので、この方式が多くとられている。また、プラスチック、パネルの高さが低いほど、照度も高く、とくに必要な計器盤の鉛直面照度についても、上下部の明るさの差が少なく、見やすい照明ができる。キュービクルと光り天井の間は、フィリングボードでふさぎ、この間に、温湿度調節の吹出口を、位置させた方式は、工事が容易でよい。

光り天井の構造については、本誌 Vol. 32, No. 9, 照明特集 p. 28~40 に記述したので、詳細は省略する。中央制御室の光り天井構造として施工されているものに、天井が低いときは、ケイ光ランプを天井にジ



図 5.8 中央制御室の光り天井照明

カ付けし、内天井 (cavity) に余裕のあるときは灯具をつり下げて照明するものと二通りあり、拡散用のプラスチックパネルは、天井または灯具用チャンネルからつり下げた支持ワックに、並べて置くようにする。

ケイ光灯は、ソケット間を開けない 1 灯用の連続器具を用いるのがよい。プラスチックパネル上にイメージを生じないように、ランプ間隔 S と高さ L が、必ず $S < 1.5 L$ であるようにすべきである。

施工上注意する点は、内天井とその中にある器材は、80% の反射率をもつよう、すべて純白に仕上げること、内天井 (cavity) は適当な深さが必要である。cavity の防ジンと通風を考慮しておく、プラスチックパネルは、帯電防止処理をすることを忘れないようにする。床面は、反射率の高い明るい色の仕上がよい。また中央制御室の光り天井内の非常灯光源は、交流電源を併用して全ケイ光灯の $1/4$ を切換点灯できることが好ましい。

5.9 屋内高圧開閉所

屋内形式の特別高圧開閉所の照明は、屋外のものに比しいっそう困難である。それは、数万ボルトの高圧線が、建物の天井に張り巡らされていて、高所に光源を置くことは、保守に危険

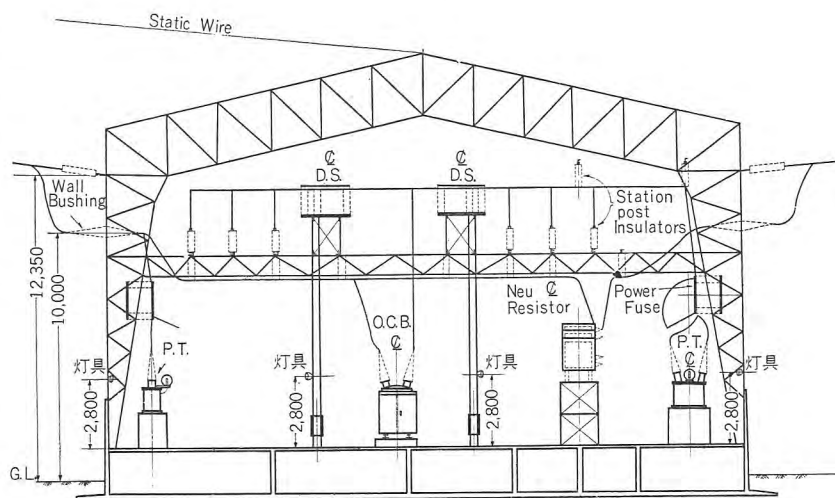


図 5.9 屋内特高開閉所

を伴うからである。今までに 10 m 以上の高い壁面に、光源が取付けられているものもあるが、このランプの取換えや清掃は注意が肝要である。

約 10 m の高さにあるディスコン部を、照明する必要があるが、危険をさけるため、地上 3 m 以内の高さから、投光電球あるいは投光器で、ディスコン部を照射する方法が、米国でもとられている。しかしこの照明方法も、光柱角の狭い光は交錯する配線や機器に妨げられて、濃い影を生じ、必要な照明ができにくいばかりでなく、その眩輝のため、監視不能の所も生じることがある。

以上の照明の不具合を除くため、図 5.10 のような照明器具を開発し、屋内特高開閉所に使用した。この灯具は、アルミ電解研磨の反射面と、前方のプリズムガラスの拡散面との組合

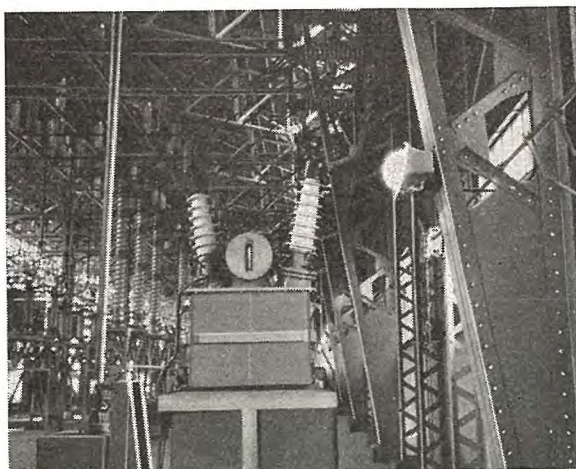


図 5.10 屋内特高開閉所の水銀灯照明

せにより、配光曲線図に示されたように、上方へ 65 %、下方に 35 % の光を、配分照明することができる。光源には高圧水銀ランプを使ったが、白熱電球も使用されるから停電灯兼用に用いてもよい。

この灯具を床上 2.8m の高さの柱または壁に取付けて照明すれば、10~12m 高さのディスコンの箇所でも 50 ルクス、通路の床面も 20 ルクスの所要の照度が得られる。前面のプリズム構成で、正面に出る光束を押えてあるから、投光器や投光電球からくるような激しい眩輝に悩まれるようなことはない。

この灯具の防水形のものは、屋外変電所の柱の低い所に取付けて使用しても、屋内の場合と同様、危険のない良い照明をすることが可能である。

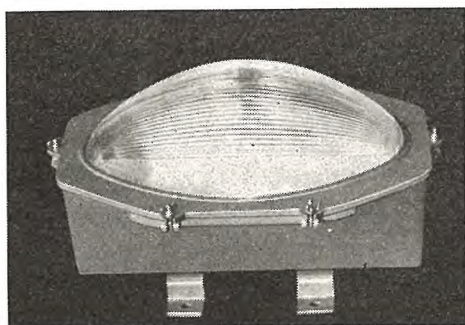


図 5.11 特高開閉所用灯具

5.10 スクリーンハウス

スクリーンハウスで走行クレーンのあるものは、高天井であるから、作業床の照明には、ケイ光水銀灯を、上部はりにジカ付けして 100 ルクスの照度が得られるようにする。定期的に、スクリーンなどを清掃する作業には、鉛直面照度が必要であるから、適当な位置に光源を配するようになる。内部の水面、運行するスクリーンの監視用の灯具は、防湿形であって、方向の可変式のものがよく、200 ルクスの高照度の照明が必要である。

屋外の水面照明には、水銀灯の投光照明が適している。

6. 光源

火力発電所の照明光源としては、従来白熱電球が多く使用さ

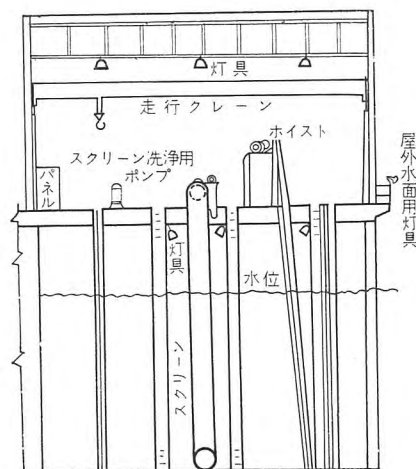


図 5.12 スクリーンハウスの照明

れていたが、最近では照度向上のために、ケイ光灯、および水銀灯が、広く使用されるようになった。

6.1 白熱電球

白熱電球は、各種大小の容量のものが得られるので、使用範囲の広い特長をもっている。しかし作業床照度の増大の要求にあたって、数多くの光源を必要としたり、大容量のランプを使用する際は、その輝度のためにまぶしさを与えることがあるから、これを避けるような方式で、使用するべきである。このために従来乳白ガラスグローブが用いられていたが、形が大きいくと、配光に難点があった。最近、特定の作業床に適した配光と拡散をするプリズム透明ガラスグローブの灯具が、用いられるようになった。このプリズムグローブ灯具を使用すれば、白熱電球でも良い火力発電所照明ができる。寒冷地の冬期屋外用には、白熱電球がもっとも適した光源である。

6.2 ケイ光灯

ケイ光灯は、効率が高かつ輝度が低いため、天井の低い場所、高照度の作業床、鉛直面照度を必要とする所には、適した光源といえる。タービン室も、比較的低い天井構造なら、高出力ケイ光灯の line light 照明は、高照度で快適な照明ができてよい。

ケイ光灯には、予熱起動形と、ラビッドスタート形のものが使用されている。予熱起動形は、一般に普及していて、起動に点灯管（グローランプ）を使用する方式で、ラビッドスター



図 6.1 プリズムグローブ灯具

T形は、点灯管を用いず、ランプ管壁の内側または外側に起動を補助する処理のしてあるものである。

このほか、近ごろ使用され始めているケイ光灯に、高出力ケイ光灯 (H.O ケイ光ランプ) がある。普通のケイ光灯より、はるかに明るい高出力で、60 W, 80 W, 110 W の3種があって、高天井の照明用に適する。また高出力 H.O ケイ光ランプよりいっそう明るい、管長 48"-107W-6,900 lm, 72"-160W-10,900 lm, 96"-212W-15,000 lm, の超出力ケイ光灯 S.H.O (Super-Hi) も作られるようになった。

表 6.1 ケイ光ランプ

| 方式 | 形 | 色の種類 | 色温度 (°K) | 大きさ (W) | 長さ (mm) | 管形 (mm) | ランプ電流 (A) | 全光束 (lm) |
|------------|---------------|----------|----------|---------|---------|---------|-----------|----------|
| チ(グロ)熱起動方式 | FL-20W | 冷白色 | 4,500 | 20 | 580 | 38 | 0.375 | 1,080 |
| | FL-20W-DL | デラックス冷白色 | " | " | " | " | " | 870 |
| | FL-40W | 冷白色 | " | 40 | 1,198 | " | 0.435 | 2,800 |
| | FL-40W-DL | デラックス冷白色 | " | " | " | " | " | 2,200 |
| ラピッドスタート形 | FLR-20W | 冷白色 | 4,500 | 20 | 580 | 38 | 0.375 | 1,080 |
| | FLR-20W-DL | デラックス冷白色 | " | " | " | " | " | 870 |
| | FLR-40W | 冷白色 | " | 40 | 1,198 | " | 0.435 | 2,800 |
| | FLR-40W-DL | デラックス冷白色 | " | " | " | " | " | 2,200 |
| 高出力ケイ光灯 | FLR-60H-W | 冷白色 | 4,500 | 60 | 1,193 | 38 | 0.8 | 4,150 |
| | FLR-60H-W-DL | デラックス冷白色 | " | " | " | " | " | 3,260 |
| | FLR-80H-W | 冷白色 | " | 80 | 1,500 | " | 0.9 | 5,500 |
| | FLR-80H-W-DL | デラックス冷白色 | " | " | " | " | " | 4,320 |
| | FLR-110H-W | 冷白色 | " | 110 | 2,363 | " | 0.8 | 8,200 |
| | FLR-110H-W-DL | デラックス冷白色 | " | " | " | " | " | 6,450 |

このほか 10 W, 15 W, 17 W, 30 W の大きさのもの、各大きさに対する昼光色 (6,500°K)、白色 (3,500°K)、温白色 (3,000°K) とそのデラックス形の光色のもの、およびカラードケイ光ランプ、低温用ランプ、健康ケイ光ランプなどがある。

表 6.2 高圧水銀ランプ

| ランプ形式 | ランプ入力 (W) | 起動時管電流 (A) | 安定時管電流 (A) | ランプ回路無負荷電圧 (V) | 安定時管電圧 (V) | 起動時間 (min) | 再起動時間 (min) | 全光束 (lm) | 点灯方向 |
|-----------|-----------|------------|------------|----------------|------------|------------|-------------|----------|------|
| HF-1000-A | 1,000 | 14.0 | 8.3 | 200~220 | 130 | 4 | 5 | 55,000 | 任意 |
| H-1000-A | " | " | " | " | " | " | " | " | " |
| HF-1000-B | " | 6.0 | 4.0 | 460 | 265 | 6 | 6 | " | 鉛直 |
| H-1000-B | " | " | " | " | " | " | " | " | " |
| HF-700-A | 700 | 10.0 | 5.9 | 200~220 | 130 | 3.5 | 5 | 37,000 | 任意 |
| H-700-A | " | " | " | " | " | " | " | " | " |
| HF-400 | 400 | 5.0 | 3.3 | 200~230 | 130 | 2.5 | 4.5 | 21,000 | " |
| H-400 | " | " | " | " | " | " | " | " | " |
| HF-300 | 300 | 4.0 | 2.5 | 230~220 | 130 | 3 | 4 | 13,500 | " |
| H-300 | " | " | " | " | " | " | " | " | " |
| HF-200 | 200 | 2.5 | 1.7 | 250 | 130 | 4 | 5 | 8,000 | " |
| H-200 | " | " | " | " | " | " | " | " | " |
| HR-300-N | 300 | 4.0 | 2.5 | 230~230 | 130 | 3 | 4.5 | 10,000 | " |
| HR-300-M | " | " | " | " | " | " | " | 11,000 | " |
| HR-300-W | " | " | " | " | " | " | " | 11,500 | " |

記号 HF……ケイ光高圧水銀ランプ、H……高圧水銀ランプ、HR……反射鏡形高圧水銀ランプ、このほか、HF-X……シルバホワイト高圧水銀ランプ、HF-SD……高演色性ケイ光高圧水銀ランプ、HRF……反射鏡形ケイ光高圧水銀ランプ、および各種の硬質ガラス製のT形がある。

6.3 水銀灯 (高圧水銀灯、ケイ光高圧水銀灯)

高天井のタービン室には、必ず水銀灯が使われている。そのほか天井の高い部屋、または天井のない作業床には、ブラケットとして水銀灯がよく使用されるようになった。屋内用には、光色を補正したケイ光高圧水銀灯 (HF 形、HF-SD) を使い、屋外には、普通の高圧水銀灯 (H 形) と、ケイ光水銀灯が使用されている。効率がよいので、投光器の光源としても、使用されるようになった。水銀灯投光器は、火力発電所の屋外照明、とくに屋外変電所、屋外式タービン発電機、および揚炭岸壁、油タンクなどの照明には適した光源である。水銀灯は、起動および再点灯に数分を要するから、必要の場所には、停電灯用の白熱電灯を併置するようにする。

7. 照明器具

前述のように、火力発電所の建物および施設は、他の工場およびビルなどとは異なった特殊な構成からなっている。たとえば、グレーチングの作業床、壁仕切がない床面、高い吹抜けなどは、特殊な照明となるから適した照明器具を必要とする。

7.1 白熱電球用灯具

白熱電球用灯具としては、乳白色ガラスグローブ灯具と、ホウロウ製反射ガサ灯具が、多く用いられていた。しかし乳白色ガラスグローブは、放熱の必要から大きな電球には、径の大きなグローブが用いられるため、取扱いがやっかいである。また配光の関係で使用場所によっては、眩輝を与えることもある。最近これに代って、透明プリズムガラスグローブ灯具が使われるようになった。

このプリズムガラスグローブ灯具は、配光曲線図に示されたように、必要な作業床を照明すると同時に、グレーチング上の歩行者に眩輝を感じさせることがない。また幅の狭い作業床および道路には、2 方向配光のプリズムグローブを用いるとよい。ランプは 150~200 W が使用されている。

少し高い所より照明する際は、アルミ電解研磨の反射面をもった灯具で、300~500 W の白熱電球を使用する。

ホウロウ製反射ガサ付のものは、ボイラ上層部、その他一般

| 灯 具 | 灯 具 図 | 配 光 曲 線 図 | 光源の大きさ (W) | 用 途 |
|---------------|-------|-----------|-------------------|-------|
| プリズムグローブ灯具 | | | 150 200 | 屋内一般 |
| ホウロウ引seed灯具 | | | 100 150 200 | 屋内一般 |
| アルミ電解研磨seed灯具 | | | 300 500 | 屋内高所用 |
| ガード付ブラケット灯具 | | | 150 | ブラケット |

図 7.1 屋内用白熱電球灯具

| | |
|------------------|----|
| 屋外貯蔵所 | 10 |
| 駐車場 | 10 |
| 広場 | 2 |
| 屋外ボイラ床およびタービンデッキ | 50 |
| 屋外変電所 | |
| {全般水平面 | 20 |
| 鉛直面（ディスコン部） | 20 |

9.2 対比とまぶしさ

屋外では、背景が真暗であるから、光源と周囲との対比が大で、ためにまぶしさを生じやすい。対比が大であると、実際の照度より明るいように錯覚を起すことがあるから注意を要する。使用の光源は、小さいものを数多く使用し、高さも高くして、明暗の差を少なくすることが、屋外照明では好ましい方法である。投光器も多く使用されるが、これには光柱角の広いものがよく、高さと指向角を適正にきめて、作業者へのまぶしさを、できるだけ少なくするよう心掛けるべきである。

10. 各部の照明のあり方

10.1 保安照明

境界のさくおよびへの照明は、守衛が、侵入者を容易に発見できることが必要で、侵入者にはまぶしさを盲目にさせ、守衛は暗い位置にいても、まぶしさを与えない照明方式が必要である。灯間隔が広がるため、両方に配光をもつ懸垂形灯具を用いるとよい。また 400 W 水銀灯投光器を、150 m 間隔で、へい、さくに平行に投射する簡易な方式も行なわれている。

10.2 通用門、通路、広場など

通用門では、通行人および車の認知、積荷の検査が容易にできる照明の方式と照度が必要であって、自動車の中も見分けられることが望ましい。

通路はハイウエー街路灯を用い、交差点や曲りかどの照明をとくに注意する。高圧送電線の下も、事故を起さないよう、通路と同様な照明を考えたほうがよい。

屋外物置、パーキングなどには、全方向配光の灯具を用いるが、眩輝に注意したい。

10.3 石炭の荷揚、運搬、置場

揚炭岸壁は相当明るくする。本船またははしけより荷揚げする場合の船内照明は、クレーン取付けの照明灯が用いられるの

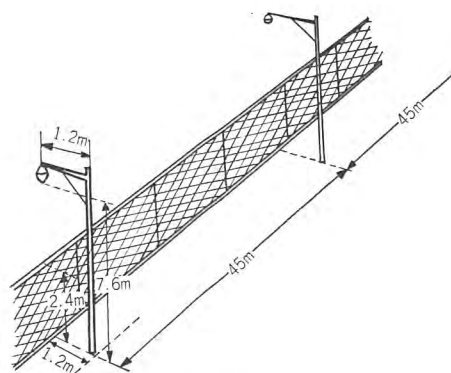


図 10.1 さくの保安照明

で、ボールや建物に取付けた投光器によって、揚炭岸壁の全般照明をする。投光照明は、航行する船舶にまぶしさを与えたり、荷揚げ作業者を眩惑したりしないよう、投光器と照射位置を正確に選ぶことが大切である。

貨車輸送の際は、ブラケットまたは投光照明が行なわれるが、貨車の残留物の監視に、まぶしさを与えない位置に光源を置くようにする。

船よりの揚炭、貨車より降ろされたものは、すぐにコンベヤで貯炭場に運ばれる。このコンベヤの照明は、これと平行する通路と共通に街路灯を使用してもよい。

貯炭場には、100 万 t 以上の石炭が貯蔵されることが多い。石炭の山の上を平均にならして、計測されているので、このような場所には、高いポールまたは鉄塔の上から、広い光柱角をもった投光器によって、全体を均整に照明するようにする。

また小規模の貯炭場で、石炭が円錐形の小山に積まれている際は、その周辺に懸垂式ポール灯具で照明すればよい。

10.4 油の輸送と貯蔵場所

燃料油の輸送は、油槽船またはタンク車が用いられる。これらは石炭の荷揚げと同じ照明の仕方でもよいが、パイプの連結箇所の照明をとくに留意する。

油貯蔵タンクは、全般的な照明がよい。高い所に光源があれば、オイルのレベルを検査するときの照明にも役立つ。またタンク下部のバルブのある箇所、ホースの連結部には、補助照明をするのが好ましい。非常用バルブの所は、とくに目ざつ照明が必要である。

タンクとタンクの間小路や、タンクに登る階段は、つねに十分照明しておくようにする。

10.5 屋外変電所

屋外変電所の照明には、ボール灯具、ブラケット灯具、あるいはフラッドライトなどが従来使用されていた。いずれの場合も、作業が正確にできるよう、全般照明が十分得られるようにする。ディスコン箇所など、高所の監視および作業のためには、鉛直面照度が必要であるから、水平面、鉛直面両方の照度が確保できるように必掛ける。この照明にあたっては、機器のもっとも重要な箇所の監視が、十分にできる光源が必要であるが、特定の箇所を監視するとき、まぶしさを与えるものであってはならない。また光源は保守に安全で、かつ便利な位置を選ぶことと、濃い影を生じることと避けるようにするべきである。

常時、高圧送電されているため、灯具を地上 3 m 以下に位置させることが推奨されている。屋内特高開閉所に用いた水銀灯ブラケット灯具を、地上 3 m に取付けて、上下 2 方向に配光照明する方法は、鉛直、水平両面の照明も得られ、かつ安全でよい。非常灯兼用の灯具光源は白熱電球を用いる。

10.6 屋外火力発電所

屋外形式の火力発電所が、普通の発電所と異なる点は、屋内に設置されている機器および施設が、ある程度雨ざらしになっていることである。屋外に設置される割合はいろいろであって、中央制御室と電池室の全部、ボイラ室の一部を除いたほかは、すべての機器が露出している場合が多い。中には、タービ

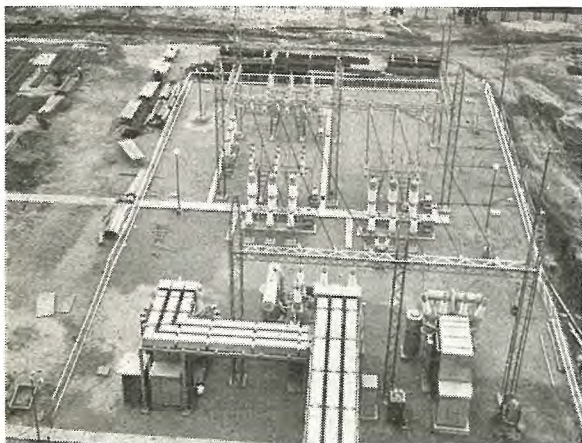


図 10.2 火力発電所の屋外変電所

ン発電機床は屋根があり、他は屋外になった中間形式の発電所もある。

屋外発電所では、中央制御室、電池室、その他建物内にある機器施設箇所の照明は、屋内発電所と同じ方法で照明を行なってさしつかえない。

屋外発電所機器の照明では、その光源と夜空または暗い構築物との対比が、あまりにも大であるから、普通では考えられないようなまぶしさを与える。そのため、実際に照明されているより明るく感じさせるから、その点は考慮に入れておくべきである。

照明器具は、全部防水形のものを用いることは、いうまでもないが、海岸などで風当りの強い所では耐風圧および耐腐食性も考慮しておいたほうがよい。

光源としては、水銀灯を用いるが、極寒地方では白熱電球が便利である。

(1) ボイラおよび給水ポンプ床

普通の全般照明用の灯具で照明されているが、プリズムガラスグローブの全方向または2方向配光の灯具が適している。上方に灯具を取付ける箇所のない場合は、ブラケット方式か、ポール器具で照明する。ボイラ周囲の地上が、水銀灯の屋外照明が施してあるときは、ボイラの1階、あるいは2階まで、同じ光源の水銀灯を用いたほうがつりあいのとれてよい。

(2) タービン床、ヒータ床、およびキュービクル

ボイラ構築物の、適当な箇所から投光照明で、必要な照度を得るようにする。投光照明だけでは、照度不足や影ができることもあるので、ポールまたはブラケットで、補助照明を併用しておくのがよい。

(3) 走行クレーン

タービン発電機の保守の際は、常時の照明施設のほかに走行クレーンに取付けてある灯具によって、補助照明をする。

11. 光源と照明器具

発電所屋外照明用の光源としては、白熱電球、水銀灯、ケイ光灯とも、使用されている。構内の広場、通路および投光器の光源として、水銀灯の使用が、目だって多くなってきた。屋外

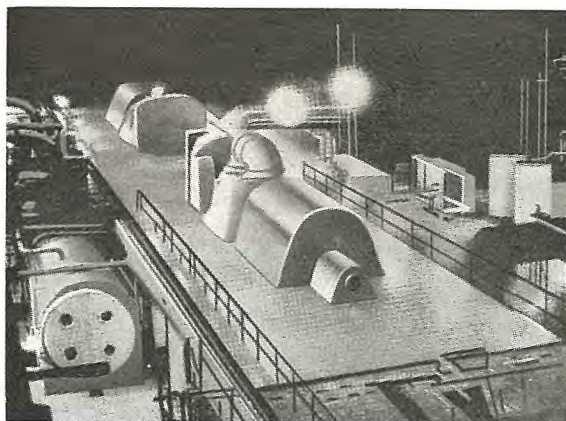


図 10.3 屋外タービン床の照明

用照明器具は、いずれも防湿形であることはもちろん、強風にも耐えるじょうぶなことが肝要である。

11.1 懸垂形プリズムガラス灯具

広場、通路、その他ポールを用いる灯具には、古くから、柱頭式のものが用いられていたが、現在では、効率のすぐれた懸垂式のものが多く使われている。とくに水銀灯のような容量の大きな光源は懸垂式がよい。また、拡散グローブも光学的にすぐれたプリズムガラスが採用され、効率の悪い乳白色ガラスグローブは、次第に使用が少なくなった。

この種の灯具は、効率のよいアルミ電解研磨の反射鏡面をもっている。プリズムの構成によって、全方向、2方向、3方向など各種の配光が得られるものが作られているから、使用目的に適した配光の灯具を選ぶことができる。

懸垂形灯具は、ポールを用いるもののほか、プラット、出入口などには、ブラケットとして使用する。通路、コンベヤなどには、ハイウエー用がよく、その他は、全方向配光プリズムグローブ灯具がよい。

灯具用のポールは、各種のものが用いられているが、水銀灯用には、専用のパンザーマスト（富士製鉄製）が便利である。

11.2 白熱電灯灯具

白熱電灯灯具は、ホウロウ製のものが多い。ソケットその他完全防水構造で、広い範囲を照射できる配照形がよい。

| 灯 具 | 灯 具 図 | 配光曲線図 | 光源の大きさ(W) | 用 途 |
|-------------|-------|--------------------------|---|------------------------------|
| 全方向配光プリズム灯具 | | Hの垂直配光・Hの垂直配光 | H-300 H-400 HF-300 HF-400 | 広場、通路 油タンク 屋外変電所 |
| 2方向配光プリズム灯具 | | Hの垂直配光・Hの水平配光 HFの垂直配光 | H-300 H-400 HF-300 HF-400 | 通路、屋外 式ボイラ プラットホ ーム |
| 2方向配光プリズム灯具 | | 垂直配光・水平配光 | H-300 H-400 | 通路、コン ベヤ |
| 投 光 器 | | Hの配光・HFの配光 | H(HF)-300 H(HF)-400 H(HF)-700 H(HF)-1000 | 貯炭場、岸 壁、その他 一般 |

図 11.1 屋外水銀灯灯具

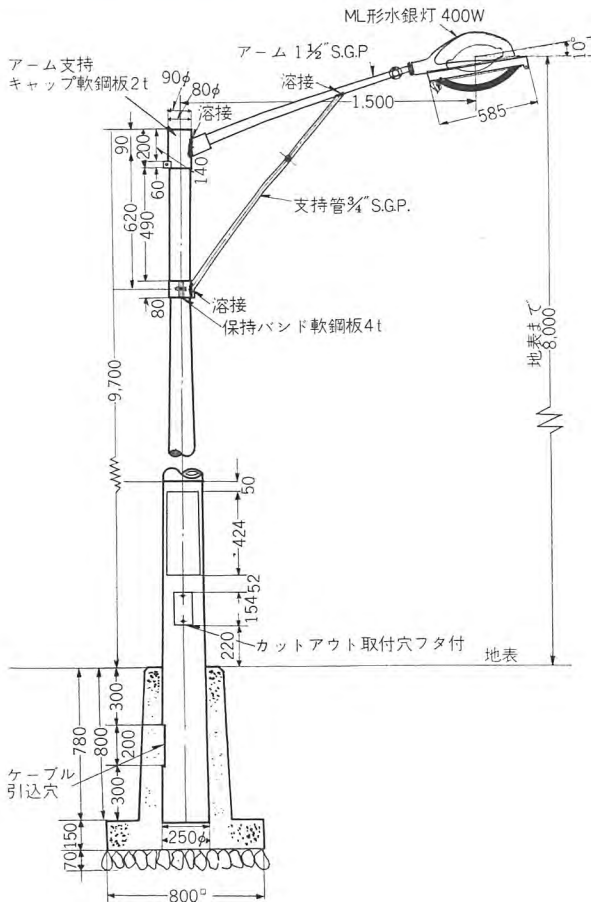


図 11.2 通路灯取付図

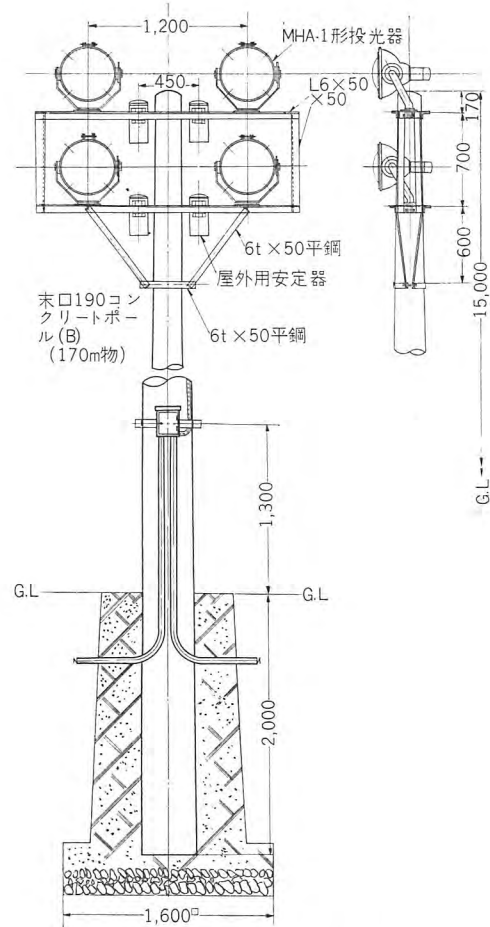


図 11.4 投光器取付図

| 灯 具 | 灯 具 図 | 配光曲線図 | 光源の大きさ(W) | 用 途 |
|---------------------------|-------|-------|-------------------|------|
| ホウロウ引セード灯具 | | | 100 150 200 | 屋外一般 |
| 2方向配光壁取付灯具 (プリズムグローブ付) | | | 200 | 変圧器室 |
| 2方向配光ブラケット灯具 | | | 150 | 出入口 |

図 11.3 屋外用白熱電灯灯具

11.3 投光器

揚炭岸壁、貯炭場、ボイラ付近その他、煙突および建物の広告照明にも、水銀灯を光源とした投光器が使用される。ランプに高圧水銀灯(H形)を使用すると、光柱角は小で、ケイ光高圧水銀灯(HF形)を用いると光柱角の大きい投光照明ができる。(ビーム角度 20~80度)

投光器は、構築物を利用して取付けるか、ポールを用いるときは、地上 15m くらいのコンクリートポールを、1 本または鳥居形に立ててこれに取付ける。

11.4 ケイ光灯具

プラスチックまたはガラスでカバーした防水形の屋外用灯具を用いる。

12. む す び

以上火力発電所の屋内、屋外照明の方法について解説した。実施例図は新鋭火力発電所のものであって、中央制御室の光り天井照明、タービン室のケイ光水銀灯照明などは、いずれの発電所も同様実施されている。

前述の新しい照明器具とそれに適した光源を用いて、火力発電所という建物と設備の特殊な機構に対し、満足しうる屋内屋外の明るいすぐれた照明環境の実現を願う。

(本社 上川忠夫)

参 考 文 献

- (1) I.E.S. Committee Reports: Lighting for Central Station High Bay Areas. Lighting Indoor Location of Central Station Properties. Lighting Outdoor Location of Central Station Properties. Lighting of Control Room.
- (2) New Footcandle Table, I.E. 53, 426, (1958)
- (3) 上川忠夫: 光り天井照明, 「三菱電機」32, No. 9 (昭33) 28~40



エ レ ベ ー タ

—火力発電所用エレベータ—

1. ま え が き

4階または5階以上の建物には、縦の交通運輸設備としてエレベータは不可欠なものである。

最近の火力発電所は、おおむね大容量でかつ高層建物になっているから、どの発電所もエレベータの設備をもっている。本項においては火力発電所用エレベータとしてとくに注意すべき諸点を説明する。

2. 火力発電所用エレベータの特長

2.1 エレベータの種類

エレベータの用途別種類として、乗用、貨物用、人貨用の3種類があるが、過去の実績から見ると大部分人貨用である。人貨用とは、乗用にも貨物用にも適当するようなエレベータで、カゴの意匠は実用本位で床のしき物はゴムタイルまたはしま鋼板である。表2.1は当社製火力発電所用エレベータの10例を一

ければならない。理想的なのは直流可変電圧制御であるが、設備費は交流式に比べて40%ほど高いから、一般に交流二段速度制御が多く用いられている。

昇降速度は、45 m/min または 60 m/min のいずれかが一般である。貨物専用の場合は 30 m/min にして着床差を、±10 mm 以内にする。着床差とは、自動着床の場合無荷重と最大荷重における乗場とカゴ両床面の高低差である。これは二段速度の誘導電動機によって

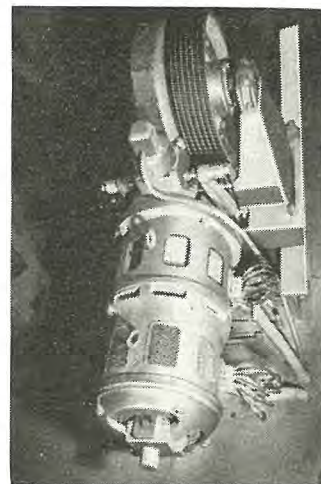


図 2.1 交流二段速度エレベータ巻上機 19 kW $\frac{8}{32}P$ (関西電力大阪発電所)

表 2.1 火力発電所エレベータの一覧表

| 符 号 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| す え 付 場 所 | 松山火力発電所 | 新名古屋発電所 | 新名古屋発電所 | 新宇部火力発電所 | 新宇部火力発電所 | 関西電力姫路発電所 | 関西電力姫路発電所 | 関西電力大阪発電所 | 九州電力菊田発電所 | 住友共同火力 |
| 用 途 | 人貨用 | 人貨用 | 人貨用 | 人貨用 | 乗 用 | 人貨用 | 人貨用 | 人貨用 | 人貨用 | 人貨用 |
| 積 載 量 (kg) | 1,500 | 1,100 | 1,100 | 1,500 | 750 | 1,500 | 900 | 1,500 | 1,600 | 1,100 |
| 定 員 | 19 | — | — | — | 10 | — | 12 | 13 | 16 | 15 |
| 速度 (m/min) | 60 | 60 | 60 | 45 | 30 | 45 | 60 | 60 | 60 | 45 |
| 制 御 方 式 | AC-2 | AC-2 | AC-2 | AC-2 | AC-1 | AC-2 | AC-2 | AC-2 | AC-2 | AC-2 |
| 操 作 方 式 | 2BC(AS) | 1B | 2BC(AS) | 2BC(HE) | 1B | 1B | 1B | 1B | 2BC(HE) | CS(2BC) |
| 行 程 (m) | 34.303 | 10.000 | 36.471 | 36.500 | 10.500 | 32.100 | 37.775 | 36.449 | 36.450 | 38.450 |
| 停 止 箇 所 | 5(1, 3, 5, 7, 8) | 3(1, 2, 3) | 6(1, 3, 5, 6, 7, 8) | 8(1~8) | 4(1~4) | 5(1, 3, 5, 7, 9) | 6(1, 3, 5, 7, 9, 11) | 10(1~10) | 9(1~4, 6~10) | 9(1~9) |
| カゴの大きさ 開口×奥行(mm) | 2,185×1,760 | 1,600×1,800 | 1,700×1,700 | 2,000×1,570 | 1,400×1,500 | 2,500×2,650 | 2,000×1,400 | 2,120×1,560 | 2,100×1,778 | 2,000×1,800 |
| 出入口幅(mm) | 1,400 | 900 | 1,050 | 1,300 | 900 | 1,600 | 1,000 | 1,200 | 1,320 | 1,300 |
| カゴ内法面積 (m^2) | 3.16 | 2.38 | 2.36 | 2.52 | 1.7 | 6.00 | 2.25 | 2.65 | 3.04 | 2.95 |
| 戸 閉 方 式 | 電動 2S | 電動 CO | 電動 CO | 電動 2S | 手動 2S | 電動 2CO | 電動 CO | 電動 2S | 電動 2S | 電動 2S |
| 電動機(kW) | 19 $\frac{8}{32}P$ | 15 $\frac{8}{32}P$ | 15 $\frac{8}{32}P$ | 15 $\frac{8}{32}P$ | 7.5 8P | 15 $\frac{8}{32}P$ | 15 $\frac{6}{24}P$ | 19 $\frac{8}{32}P$ | 19 $\frac{6}{24}P$ | 15 $\frac{6}{24}P$ |
| カゴシキ物 | 6 mm ゴムタイル | 6 mm ゴムタイル | 6 mm ゴムタイル | 6 mm しま鋼板 | 6 mm ゴムタイル | 10 mm ゴムタイル | 6 mm ゴムタイル | 6 mm ゴムタイル | 6 mm しま鋼板 | 9 mm ゴムタイル |
| 扇 風 機 | 30 cm 壁掛 | 30 cm 壁掛 | 30 cm 天井扇 | 30 cm 壁掛 | 30 cm 壁掛 | 30 cm 壁掛 | 30 cm 壁掛 | 30 cm 壁掛 | 30 cm 天井扇 | 30 cm 壁掛 |
| 電 話 機 | あり | あり | あり | あり | なし、ベル | あり | あり | あり | あり | あり |
| 設 置 台 数 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 (1号機) | 1 (2号機) | 4 (1号~4号) | 1 | 1 |

備考 (1) 操作方式欄の符号は本文 2.4 に準ずる。(2) 戸閉方式欄の 2S は 2 枚戸片開、CO は 2 枚戸中央開、2CO は 4 枚戸中央開を示す。

覧表にして示す。

2.2 積 載 量

1,000~1,500 kg を普通とする。昭和 34 年 1 月 1 日から実施の建築基準法によるエレベータに関する政令では、カゴの定員の算出には、1 人あたり 65 kg としている。また貨物用として使用する場合には、床面積 $1 m^2$ につき 250 kg が最大積載量である。なお容量 2,000 kg 以上の場合には労働基準法の安全規則にも合格しなければならない。

2.3 制御方式と昇降速度

貨物用として使用する場合、着床差はできるだけ少なくしな

駆動し、着床階の手前一定距離で高速を低速に(普通 $\frac{1}{4}$)自動的に切換えて低速度で自動着床させる方式である。

2.4 操作方式

発電所内の人が取扱うのであるから、人件費の節約も合わせて考えて、専用運転手なしの自動式エレベータが適当である。交流自動式エレベータとしては、もっとも簡単なシングル・オートマチック 1B と選択性と乗合式とを兼ね備えたセレクティブ・コレクティブ 2BC および専用運転手でも一般の人でも、いづれでも操作のできる併用式カースイッチ・セレクティブ・コレクティブ・ジュアル CS(2BC) の 3 種が多く用いられる。

1B は乗場には昇降共通の呼寄せボタンが 1 個あり、カゴ室内には階数に相当するボタンがある。これらのうち、目的階のボタンを押すことによりカゴは起動しその階に行って自動停止の上開扉する。一つの呼に応じて運転中は他の呼に応じない不便は免れない。停止階数が 5 ぐらいならば 1B でも良いが、これ以上の停止階数になると待時間が長くて能率が悪い。

2BC は乗場に昇降 2 個のボタンがある。カゴおよび乗場ボタンによる呼は同時に多数記録される。カゴはその呼に答えて起動し、一方向に運転中は同方向の呼およびカゴ内の押された目的階ボタンに答えて順次停止し開扉する。前方に呼のある限り同一方向に進む。前方に呼がなくなれば、自動的に運転方向を反転し順次その方向の呼に応じて運転停止する。

顧客のご要求に応じ、2BC では付加動作として、2BC(AS)と 2BC(HF) とがある。(AS) は運転手付にも切換えられ、そのときは乗場呼寄せボタンは信号用ボタンとなりカゴ内の呼かけ知らせ盤に信号点灯され、運転手はこれを見ながらカゴボタンにより運転する。運転手がつくと、戸の開速度は自動運転のときよりも速くなる。(HF) は必要に応じすなわち貨物専用に使う場合に、乗場のボタン回路は全然シャ断してカゴ内のボタンだけで運転が可能である。比較的大きな貨物の運搬で、カゴからの出入に時間を要する場合などに便利である。

CS(2BC) は、常時は運転手がついてカースイッチで操作し、閑散時には運転手なしで前記のセレクトブ・コレクティブに切換えられる。もちろん運転手付の場合は扉のしまる速度は自動的に速くなる。

2.5 戸閉方式

乗場およびカゴの戸を手で開閉する手動戸閉と電動戸閉とがあるが、火力発電所向けエレベータの従来の実績ではすべて電動戸閉である。電動戸閉は 図 2.2, 2.3 に示すようにカゴの上部に戸閉機械を設けて、直流電動機でウォームギヤによって減速されたクランクアームを回し、リンクとカム機構とでカゴと乗場の扉を同時に開閉するもので、手動戸閉とは比較にならないほど能率的である。

2.6 電動機容量の算定

積載荷重 L kg と昇降速度 V m/min とが決まれば、電動機容量は次式で求められる。

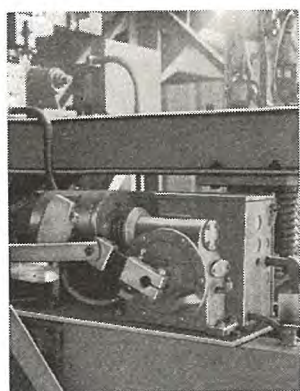


図 2.2 電動戸閉装置

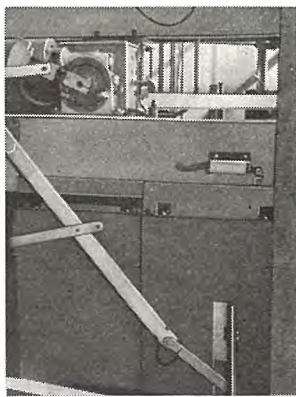


図 2.3 電動戸閉装置

$$kW = \frac{LVF}{6000\eta}$$

F : つりあいオモリの % による係数で、乗用は 0.6、貨物用は 0.5 とする。

η : エレベータの全効率で概略の値は交流エレベータで

速度 30 m/min で 0.50

45 m/min で 0.55

60 m/min で 0.60

電動機の定格は 30 分、起動トルクは全負荷トルクの約 250 % が必要である。

2.7 カゴの形状

従来の実績から見ると、間口と奥行の寸法割合は間口を広くし有効出入口の幅を広くしたものが多く、これは貨物の出入に便利にしたためである。

主として人貨併用のエレベータであるから、意匠はとくに高

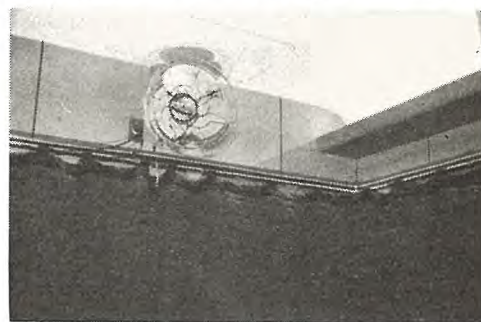


図 2.4 カゴ室の照明

級にしないで堅牢を主とした設計で良い。カゴ室内の照明は図 2.4 のようにケイ光灯の間接照明が多い。また図 2.5 に示すように貨物搭載の場合カゴ室壁面を傷つけないために保護幕を張る設備にしたものもある。電話器を備え監視室かエレベータ機械室に通話できるし、扇風機を備えているものもある。



図 2.5 カゴ室と保護幕

2.8 建屋構造と三方

ワク

火力発電所はおおむね鉄骨構造で一般のビルのエレベータのようにその昇降路はコンクリートで囲まれていない。したがって昇降路としては鉄骨建屋内にエレベータ用の鉄塔を建てる必要がある。もちろん鉄塔の各階床面や、機械室は主構造物に連結しているから、鉄塔に対する風圧強度は考える必要はない。

三方ワク（出入口）はみがき鋼板製のラッカ塗装をしたもので、一般ビルの場合は建物と三方ワクとの間げきには心出し後、コンクリートを流し込んで固定するが、この場合は相手も鉄骨であるから鉄ブラケットによって固定した後周囲を亜鉛引

鉄板、クリンプ金網などで張り詰めるのが一般である。昇降路内およびカゴ上には電気器具が取付けられジンアイが多いと接点を傷つけ故障の原因となるから、クリンプ金網の開放形の囲いはなるべく避けたほうが良好である。また発電所の床は格子床が多いから、これと三方ワクおよびしきいの寸法取合わせには留意しなければならない。

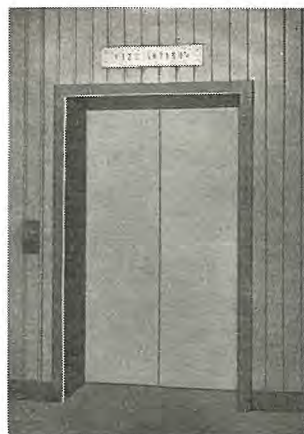


図 2.6 三方ワクと乗場扉
(関西電力大阪発電所)

3. 安全性と電気器具

エレベータは主として人を運ぶのが目的であるから、電気的にも機械的にも機構各部に十分な安全率を見て設計するし、安全装置自体も完備している。図 3.1 は安全装置の動作系統を示す。

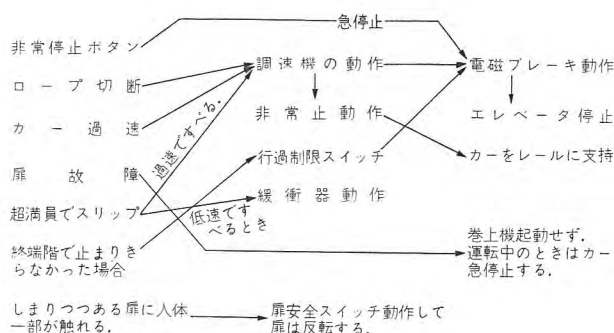


図 3.1 安全装置の動作系統図

調速機と非常止めは関連動作をして、なんらかの原因でカーが過速下降したり、ロープが切断したりした場合、カーを安全に案内レールに支持するとともに電動機を停止させるものである。調速機は機械室にあって、定格速度の 130% に過速するとガバナスイッチが動作して電動機を停止させるし、140% になると非常止めを動作させるようになっている。(定格速度 45 m/min 以下のエレベータにあっては 60 m/min をこえないうちに動作しなければならない)。カゴをつっているロープは 3 本以上で日本工業規格に適合し、安全率は 10 倍以上、かつ綱車の直径はロープ直径の 40 倍以上という規定が建築基準法の昇降機の構造に示されている。

そのほか同規定には、昇降路の頂部すき間、ピット深さ、機械室の最小床面積および高さ、昇降路およびカゴの戸の安全装置、カゴ内およびカゴ上(主として保守上に用いる)の動力シャ断スイッチ、などが完備していることを要求されている。

機械室には巻上機、調速機および制御盤、リレー盤などがあるが、電気器具はすべて防ジン形の鉄製箱内に納めているし、とくに火力発電所ではボイラ室が付近にある場合もあるから制

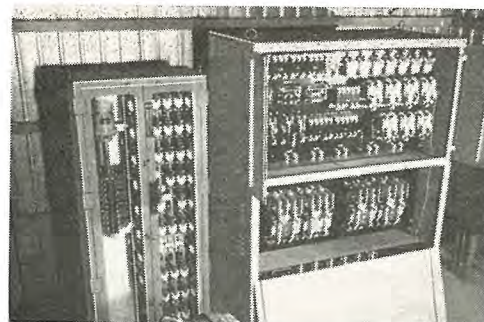


図 3.2 制御盤およびリレー盤
(鉄板製箱およびガラス窓付カバー)

御盤など裏面の配線にはアスベスト電線を用い各線の端子は圧着端子を要求される場合が多い。

4. 設置台数の算定

4.1 貨物運搬の目的から算定

エレベータの平均 1 周時間を算定して、毎時の往復輸送回数を見出しその結果を検討する。

V : エレベータの昇降速度 m/sec

T : エレベータの平均 1 周時間 sec

t_a : 1 停止ごとの加速および減速時間の合計 sec

t_d : 扉の開閉時間 sec

t_l : 1 停止ごとの荷物の積みおろし時間の合計 sec

S : 昇降行程 m

s : 1 停止ごとの加速および減速距離の合計 m

n : 1 往復中の荷物積みおろし回数または停止回数

C : 余裕消費時間で 10% ぐらい見込む

$$T = nt_l + nt_d + nt_a + \frac{2S - ns}{V} + C$$

t_a は電動戸じめ自動エレベータでは開閉合計で 4~5 秒、 t_a および s は加速減速の合計で次の値ぐらいであろう。

| 速度 m/min | 制御方式 | 加減速時間 t_a sec | 加減速距離 s m |
|----------|--------|-----------------|-------------|
| 30 | 交流一段速度 | 2 | 1.5 |
| 45 | 交流二段速度 | 5 { 低速走行時 } | 2.0 |
| 60 | 交流二段速度 | 6 { 間を含めて } | 2.5 |

たとえば 1,000 kg (定員 15 人)、60 m/min の人貨用交流二段速度電動戸閉のエレベータで、各階高 3.75 m、1 階 9 階間の昇降行程 $S = 3.75 \times 8 = 30$ m、 $t_d = 4$ sec、 $n = 3$ 、 $t_l = 30$ sec とすれば

$$\begin{aligned} T &= n(t_l + t_d + t_a) + \frac{2S - ns}{V} + C \\ &= 3(30 + 4 + 6) + \frac{60 - 3 \times 2.5}{1} + C \\ &= 120 + 52.5 + 17.5 \\ &= 190 \text{ sec} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 時間の往復輸送回数} = \frac{3600}{190} = 19 \text{ 回}$$

1 台のエレベータで、1 往復の途中で平均 3 回荷物の積みおろしを毎時 19 回可能である。火力発電所向けとしては 1 建屋

に1台の割合で十分だろう。

4.2 乗用としての算定

一般の事務所ビルでは、朝の出勤時（up peak）または夕刻の退出時（down peak）が最大輸送となり、5分間にエレベータを利用する予定人数を基礎にして設置台数を決定するが、火力発電所ではかかる状況は起らないだろうから、平常時（off peak）の交通計算で台数を決めれば良い。4.1 以外の符号として、

r : 1往復中に1台あたりに乗る人数

t : 乗客1人あたりの乗降時間 sec

n : 1往復中の停止階数で平常時は1階9階間の往復で5停止とする。

r は平常時の場合は定員の60%とする。

t は平常時の場合は1人あたり4secとする。

$$T = rt + n(t_d + t_a) + \frac{2S - ns}{V} + C$$

$$= 15 \times 0.6 \times 4 + 5(4 + 6) + \frac{60 - 5 \times 2.5}{1} + C$$

$$= 36 + 50 + 47.5 + C$$

$$\approx 147 \text{ sec}$$

したがって1時間あたりエレベータ1台の輸送能力は

$$\frac{3600}{147} \times 15 \times 0.6 \approx 220 \text{ 人}$$

発電所内の人数とその分布状態ならびに外来者の利用範囲などを仮定して、このエレベータで十分であるか否かを検討すれば良い。

5. エレベータのすえ付工事

すえ付工事の手順、施工法は一般ビルのものと大差はないが、

火力発電所用エレベータとして次の点に注意すべきことがある。

(1) 鉄骨建物が主体であるから昇降路は鉄塔である。鉄塔の垂直度が良く出るようにあらかじめ鉄骨施工業者と打合わせで検査することが必要である。

(2) 建物の完成前すなわち主機器の取付完了前にエレベータのすえ付完成を要求される場合が多い。工事用として使用するためである。建物は未完成であるからとくに安全作業を実行し、三方ワクや扉には十分な養生を施しておかないと実際使用前に傷つくけがある。

(3) ジンアイのたまることが多いから、試運転前には十分な掃除と点検が必要である。

(4) すえ付完了し各部の点検を終えて、低速運転より高速運転へ上げて行く。その間に加速、減速、乗心地および着床状態の調整をあわせて行なう。

(5) 調整後は建築基準法の規則に準拠して、テストを行なう。この際発注側として監督官庁の検査に合わせて、受取試験を行なう。

- a. 仕様書および建築基準法条令のチェック
- b. 荷重試、無荷重、平衡荷重、定格荷重、および120%過負荷まで行なう。
- c. 着床差試験 定格荷重と無荷重で昇降の着床差を測定する。
- d. 調速機の動作試験
- e. 非常止めの動作試験
- f. 定格速度試験
- g. 乗場の鎖錠および錠スイッチの試験
- h. 行過ぎ制限スイッチの作動試験
- i. 絶縁抵抗の測定

(本社 木村武雄)

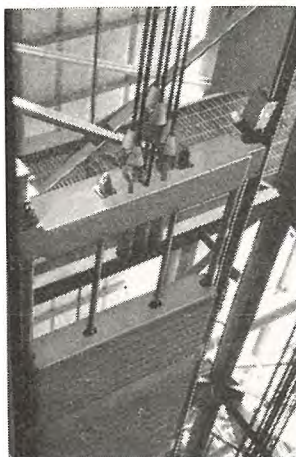


図 5.1 つりあいオモリ



図 5.2 カゴ上で調整点検する

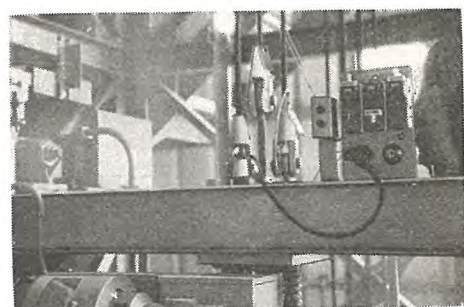


図 5.3 カゴ上のすえ付時および調整時に用いるスイッチ

消弧媒体としての SF₆ とその応用

Sulfur Hexafluoride—For Arc Interruption, SF₆ Circuit Breaker—A New Design Concept: (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 2, March, 1959, p. 47, p. 51)

従来消弧媒体は空気および油が使用されていたが最近 Westinghouse 社では SF₆ ガスが消弧媒体としてきわめて優秀な性能を有していることに着目し、この消弧特性およびシャ断器への応用を研究して大きな成果をおさめつつある。

SF₆ は非常に安定した不活性ガスで人体に無害であり、比重は空気の約 5 倍、絶縁耐力は空気の 2~3 倍、3 気圧で油とほぼ同じ絶縁耐力をもち、とくに交流アークにつき並切形シャ断点で比較した結果、その消弧能力は空気の 100 倍以上にも達する。消弧媒体としてもっとも必要な条件は電流零値後のアーク路の絶縁耐力回復速度が大きいことであるが、図 1 より明らかなように回復度の時定数は小さく、空気に比して絶縁回復速度はるかに早いことがうなずける。また SF₆ はアークによって分解しても大部分は再結合し人体に有害な生成物はなく消弧能力の低下も無視し得、とくに純度の高い SF₆ を使用すると分解

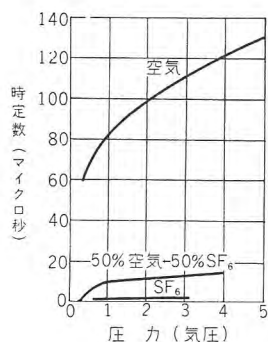


図 1 並切りシャ断点における絶縁回復の時定数

生成物はきわめて少量に押えることができ、活性アルミナを使うと分解生成物を吸収するとともにガスの乾燥度も良好に保持できる。

このように優秀な消弧媒体である SF₆ をはじめて実際に使用したのは 1953 年に開発された負荷断路器で、その後 1955 年に 115kV 1,000 MVA シャ断器、1956 年に高速度接

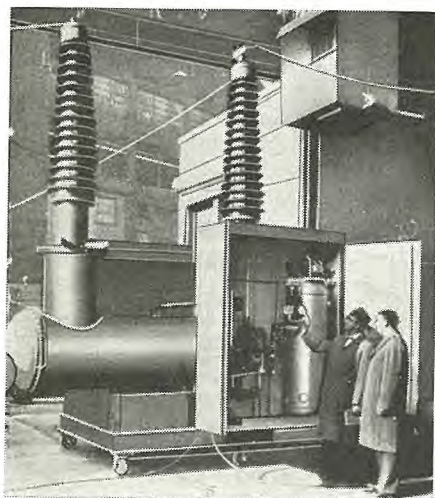


図 2 230 kV 15,000 MVA SF₆ シャ断器の単機

地スイッチ、1957 年に 46 kV 250 MVA 多重再閉路用シャ断器が製作され 1958 年に至って、230 kV 1,500 MVA タンク形シャ断器が完成された。これらシャ断器の特長としては完全密閉形であるから外部に火炎の出ることがなく騒音が少ないこと、湿気に対する心配が絶無であることなどがあげられるが、ことに最新設計の 230 kV シャ断器は SF₆ ガス 200 psi の高压室と 30 psi の低压室があり 3 個直列のシャ断点へ接触子の開路と同時に高压の SF₆ ガスをアークに吹付けて消弧し、吹付ガスは圧縮機によりふたたび高压室へ送られるようなガス循環系統をもっており、SF₆ ブッシングを備えるのでブッシング CT が使用できること、外形寸法およびすえ付け面積が少なくてすむこと、シャ断特性が再起電圧に対してあまり敏感でないこと、タンク形で構造的にきわめてがんじょうであるなどの大きい利点があり、460 kV あるいはそれ以上のものも設計可能で、この種 SF₆ ガス吹付シャ断器は将来を大いに期待されている。

(伊丹製作所 富永正太郎訳)

住宅における電気の需要

Residential Use of Electricity (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 3, May, 1959, p. 79)

住宅に使用される電気は近年いじりしく増加した。今後の増加率についての産業界での見込と Westinghouse の長期予測では多少くい違いがあり二者の見込の比較は図のようである。

住宅負荷は数個のブロックに分けられる。

照明——1968 年には全住宅負荷の 32% となり、1968 年までに家庭の照明は今までの生長率を維持しえなくなり 1978 年には約 28% となる。

戦前応用品——第 2 次大戦前に開発されたものは市場飽和レベルに近いものが多く、全体としては全負荷に対して 1968 年 48% で 1978 年には 40% と衰微することとなる。

戦後応用品——戦後応用品は飽和曲線に対し低いレベルのものが相当多いので最初の 10 年間では少し増加し、その後また下降するから 1978 年には 9% くらいとなる。

新規製品——新規製品の 1968 年における住宅負荷に対する割合は 4% で 1978 年には約 10% となる。新しい負荷を構成する応用品は過去と同一比率でのびるであろう。というのはテレビのように一般に普及するものや、エアコンディショナのような新負荷の良いにない手になるものはまれにしか出ないから。

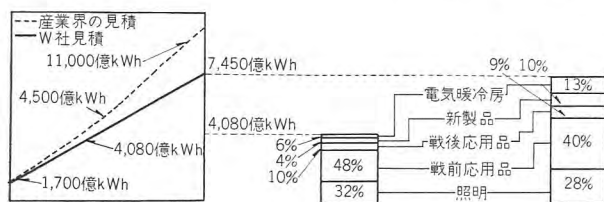
電気冷暖房——このグループの生長率はいちばん大きな可能性を示す。1968 年 6% 1978 年 13% という連続上昇カーブをもつ唯一のブロックである。

全電化家庭は“Weather control center”をもち、暖房・冷房・日除の自動調節が行なわれ微粉や細菌を除去したりまた風の方角・風速・気圧・屋内外の気温、相対湿度などを示す計器盤をもつことになる。また娯楽・食物の調理・洗たくなどの全電化センタをもつこととなろう。

将来の電気負荷を構成する開発応用品の典型的なものを以下に示すと、電子冷蔵庫、運動部分がなく音もなく、振動もなし

に電気から直接冷却を生ずる完全な機能をもつ冷蔵庫で明日の冷蔵庫の原形である。超音波サラ洗機、60 c/s からトランスデューサで 20,000 c/s に上げられ水中にエネルギーを与える。超音波のサラ洗効果は普通のサラ洗機よりはるかに顕著である。電子除湿機、新ポータブル形で電気から直接冷却を作る。サイズは標準除湿機の圧縮機だけの大きさよりわずかに大きい。超短波オーブン、標準の焼焙り用電気素子と超短波クッキング用マグネトロンを備えた二つのオーブンをもちものである。

(本社 上野 弘訳)



1968 年および 1978 年における住宅の電気負荷に対する W 社の内容別見積り

単一 A-M チャネルによる立体放送

What's New in Engineering: Stereophonic Broadcasting on a Single A-M Channel (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 3, May, 1959, p. 85)

新振幅変調ステレオ放送システムは今まで紹介されたどの方式とも違う——しかし、W 社のラジオ開拓者であるフランク、コンラッド博士によって特許を得た、二重ラジオ伝送システムに非常に密接な関係がある。

立体音響信号は、振幅周波数同時変調搬送波によって達成される。

新方式によれば

- (1) 普通の a-m 受信機で立体音響信号の単音受信に対するすぐれた適合性
- (2) 2 台の普通の a-m 受信機で合理的立体音響受信と再生
- (3) このシステム用にとくに設計された安価な受信機での高性能立体音響受信と再生

新方式は現在の a-m 放送用 F.C.C. 標準方式に適する。

この a-m 変調は本来普通の商業放送波帯の信号のそれであり、立体音響情報は搬送周波数を変化することによって与えられる。

立体音響情報は 300~3,000 c/s のバンドに含まれる。

それゆえ隣接 a-m 信号に干渉なしに、立体音響情報のためには周波数変調を使用することが実際的である。

振幅変調と周波数変調信号の伝送は任意の標準 a-m 受信機で、無歪の、バランスした単一音響をピックアップし再生させる方法を完成する。すなわち

立体音響受信機——分離回路と多重スピーカ——はこれら a-m と、f-m 信号を真の立体音響音に変える。

このシステムの興味あるその他の特長は注意深く同調された二つの標準 a-m 受信機——一つは a-m チャネルの低い側に、

他はその高いサイドに——そして 122~244 cm 離して置けば合理的な立体音響を再生することができる。

(無線機製作所 糟谷一郎訳)

研究所用回転機万能試験装置

What's New in Engineering, Generalized Machine for Engineering Laboratories (Westinghouse Engineer, Vol. 19, No. 3, May, 1959, p. 84)

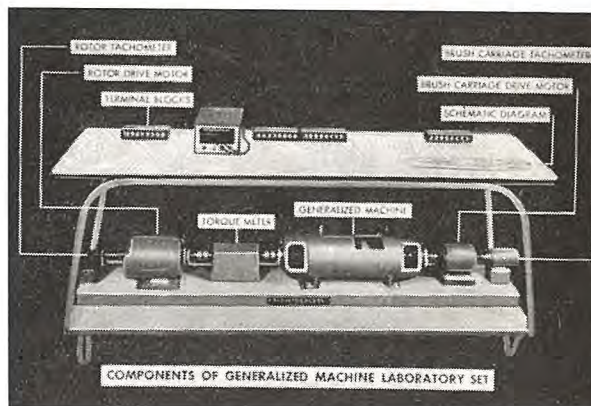
各種回転電気機の動作特性が実験研究できる電気関係研究所用の万能試験装置が開発された。この装置で模擬できる回転機は直流分巻および直巻電動機、直流他励および自励分巻発電機、多相および単相誘導電動機、同期電動機および発電機、同期変流機または複流発電機などである。このほかローゼンベルヒ発電機、反発電機、直流誘導電動機、万能形電動機のような特殊のものも可能である。また直流—交流、交流—直流または直流—交流電動発電機の定状および過渡特性も研究できる。

これらすべての変換をテーブル上の端子接続板で簡単に行なうことができるようになっている。この装置は 2 個の直流機、2 個のタコメータ発電機、1 個のトルク計および 1 個の万能機から構成されている。この万能機は一方の直流機で駆動されて交流または直流発電機となり、またそれは直流機の一つを駆動する交流または直流電動機としても使用できる。したがって回転機から構成されたあらゆる状態を模擬することができ、また電気的エネルギーと機械的エネルギーの変換またはその反対の場合の過渡特性はもちろん静特性をも研究できる。

電気要素および機械要素の回路を書いたアルミ板がテーブル上に取付けてあり、また簡単に配線できるようにすべての端子板は下の機械と大体同じ位置関係にある。いかなる試験にも支障ないように交流および直流の 115 V と 230 V のいずれでもよいようになっている。

研究所で回転機の原理を一括して実験できるように MIT の学部員がこの装置の基本設計をし、W 社の技師によって最終設計がなされたものである。

現在この装置を W 社の奨学資金で作って各大学の優秀な約 150 の電気工学科へ寄付している。(研究所 浜岡文夫訳)



回転機万能試験装置

■ 味の素川崎工場向け 250 V, 6,000 A 風冷式シリコン整流器完成す

食塩電解用直流電源として古くから使用されてきた回転変流機の更新に伴ってもっとも新しい風冷式シリコン整流器が代って納入され、他種変換装置と並列運転することになった。この直流電圧 250 V 級のシリコン整流器は写真に示すようにキュービクル形でトレー構造になっている特長のほかつぎの諸特色を有している。

1. 319-H 形、ダイオード 2 個を直列接続として 336 個を使い、200%、40 秒間の過負荷耐量がある。
2. キュービクル形で H. S. C. B. を内蔵し、冷却空気を循環させており、その通風路に水冷式再冷器を設置してある。すなわち耐腐食ガス構造である。
3. トレー構造式で 1 トレー内に 8 個のダイオードを取付けて



図 1 1,500 kW 250 V 6,000 A 風冷式シリコン整流器キュービクル外観（正面向かって右側は H.S.C.B. が挿入されている）

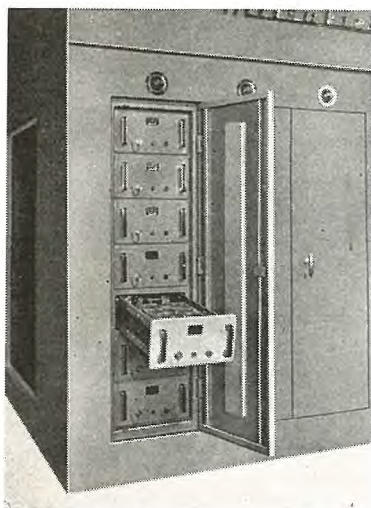


図 2 1,500 kW シリコン整流器のトレー（7 段 6 列）の配置ならびに 1 トレーをぬき出したところを示す。

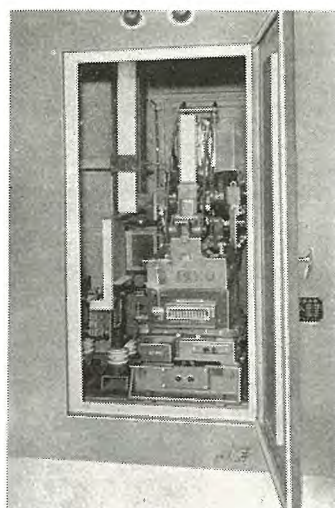


図 3 6,000 A 逆性高速度シャ断器

おり、負荷時中といえども引出して予備のトレーと取換え可能である。

4. 直流出力電圧は誘導電圧調整器で制御するが他種整流器との並列運転時の故障除去のため逆性の高速度シャ断器を主回路に挿入して責任分岐点を明確にした。（図 3 参照）
5. 変換装置 1 式の総合効率では工場試験では 95.2% を確保することができた。

仕様はつぎのとおりである。

1. 誘導電圧調整器（既設）……1 台
2. シリコン変圧器 1,780 kVA……1 台
3.33 kV—3.5—3.67—3.92—4.06 kV/210 V
全重量 11,700 kg
外形寸法 2,580×2,510×3,500(h)
窒素封入式
3. シリコン整流器 1,500 kW 250 V 6,000 A……1 台
風冷式、循環冷却方式（水冷式再冷器付）
全重量……5,420 kg
外形寸法 2,300×3,200×2,600(h)
（高速度シャ断器をふくむ）

■ 中部電力向け 1,550 kW 閉鎖通風屋外形誘導電動機

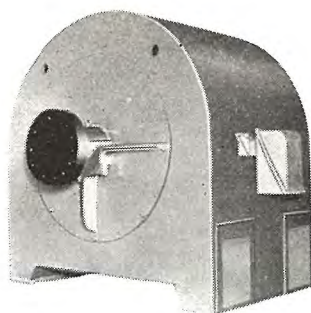
中部電力新名古屋発電所 2 号缶 726 t/h 用、誘引通風機駆動電動機として 1,550 kW 閉鎖通風屋外形誘導電動機を 2 台製作し、昭和 34 年 2 月に納入したがなお現在 3 号缶用として、同形のものを 2 台製作中である。

最近火力発電所の補機用電動機を屋外形として建設費の低減をはかることが行なわれ、昭和 27 年九州電力築上発電所誘引通風機用として屋外形誘導電動機を製作して以来、この形のものを 90 台あまり製作しており、その中で本機が最大である。

この形のものは、フレームが二重になっており、フレームの下部吸気穴から吸入された外気は、コイル、コアに至る途中、風速がきわめて低くなる部分を通り、雨滴はこの間において効果的に分離され、外部へ排出される。

電動機の主要目は下記のとおりである。

| | |
|-------|----------|
| 出力 | 1,550 kW |
| 電圧 | 4,000 V |
| 周波数 | 60 c/s |
| 極数 | 10 |
| 回転数 | 705 rpm |
| 回転子形式 | 深ミゾカゴ形 |



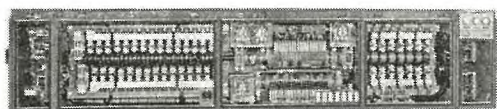
閉鎖通風形屋外形三相誘導電動機

■ 近畿日本鉄道向け「名阪特急ビスタ・カー」完成

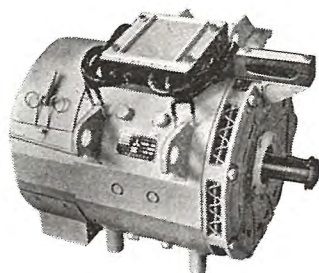
当社がその主要電機品を鋭意製作中であった近畿日本鉄道の高速電動列車「名阪特急ビスタ・カー」第1編成は7月末に完成し、そのデラックスな容姿をあらわした。この「名阪特急ビスタ・カー」はその豪華な車内設備とともにわが国最強力、超高速を誇る電動列車であって、将来大阪一名古屋間2時間運転を目指している。この電車の性能試験は8月に行なわれ、33%急コウ配を100 km/hで登坂するなど所期の目的を達し好成績をもって終了した。なお残りの編成も続々完成しており全12編成が勢ぞろいする日も近く、いよいよ来春には名古屋、中川



「ビスタ・カー」外観



主制御器箱



MB-3020-D形主電動機



図1

羽田空港ビル屋上のアンテナ



図2 DC-4 on B-apron no FTC

間の狭軌も広軌化され、待望の「ビスタ・カー」による大阪一名古屋間の快適な直通運転が実現の運びとなろう。

諸元その他次のとおりである。

MTM 3車体4台車連節編成

自重 91.8t

定員 188人

最大運転速度 135 km/h

最大許容速度 172 km/h

主電動機 MB-3020-D形 WNドライブ式、8台

1時間定格 125 kW, 340 V, 410 A, 1,800 rpm

歯車比 77/20=3.85

制御装置 ABFM-178-15MDH形、8個電動機、

単一制御、永久並列方式

空気制動装置 HSCD 電空併用方式

■ 羽田空港において24,000 Mc レーダ実験公開

最近ますます盛んになってきた空の交通と、それに伴う空港の拡張などは夜間、悪天候の際に管制員の肉眼による空港内の監視を次第に困難にしている。そこで管制員が一見して空港全面を監視できる装置として種々検討の結果、レーダが選ばれずでにロンドン、ニューヨークなどの大空港では、ASDE (Airport Surface Detecting Equipment) として実用され地上管制装置としての威力を発揮している。

わが国の空港でも次第にこのような装置による空港管制が必要となり、今回運輸技術研究所主催のもとに当社の24,000 Mcレーダ装置を用い7月中旬から約1ヵ月間羽田空港において現地実験が行なわれた。

空港のほぼ中央、地上約18mのターミナルビル屋上にアンテナを取付け、観測室内に指示機を置いて観測を行なった。(図1)

半径1kmのレンジで見たPPIパターン(図2)では草原からの一面の反射の中に黒く交差して走っているのがB滑走路で、その上に飛行機(DC-4)の姿がほぼその形どおりに白く見えている。空港の右側は東京湾、下側が多摩川で小さな船や、

時により海面の波立ちまで見ることができる。

実験は主として分解能の測定を行ない、アンテナから1,000mの地点で距離分解能 10 m、方位分解能 30 分が得られた。

今回の試験により空港の Surface Traffic Control 用レーダの実用機設計上貴重な設計資料が得られた。

■ 10,000 kVA タービン発電機に静止励磁方式

かねて商談中の山陽パルプ岩国工場向け 10,000 kVA タービン発電機は今回、静止励磁方式で受注が決定した。船舶用発電機などでは出力の一部を整流して界磁コイルを励磁する、いわゆる自励交流発電機が最近広く採用され、当社でも多数の製品を納入しているが、電力用の大形発電機にこの方式を採用したのは本機がはじめてであり、業界でも記録的製品である。

励磁回路の構成を図に示すが、端子電圧に比例する電流と負荷電流に比例する電流を重畳して整流し、界磁コイルに与える複巻自動式で、整流器としてはシリコンダイオードを使用する発電機定格

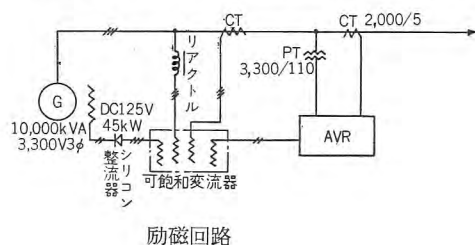
10,000 kVA 80% PF 8,000 kW 3,300 V 60 c/s 3,600 rpm

励磁容量

125 V 45 kW

特長

1. 保守が簡単である。
2. 負荷急変時の過渡特性がきわめて良好である。
3. 系統との並列運転が容易である。
4. 雷撃、開閉サージ、短絡などの事故に対しても 100% 信頼できる構成とし、保護装置にとくに留意している。



励磁回路

■ S バンド 2 kW 進行波管

リニアークセレイタなどに使用される MW 級の S バンド大電力クライストロンでは利得が 30~50 db のものが普通である。したがってその励振には数 10 W~数 kW の電力を必要とする。市販の反射形クライストロンまたは進行波管では出力不足でこの管と大電力クライストロンの間に一段の増幅を必要とする。この前置増幅器に使用できる S バンド飽和出力 2 kW (パルス動作)の進行波管を開発してきたが成功を見るに至った。写真に示すように同進行波管は中出力進行波管と大差ない構造をしている。この遅波回路にはヘリックスを使用しているが、

出力が大きいためヘリックスに取られる電流も増加するのでこれが許容熱損失を増加するため熱放散の良いガラス圧着形ヘリックスを採用している。電子銃はピアース形の集束電子銃を使用しているが入力電力を増加する必要上普通の進行波管には見られない高バービアンス電子銃を採用している。

電子流の集束はソレノイドを使用する直流磁界で行なっているが磁界立上りを急しゅんにする必要上カソード側逆磁界ソレノイドコイルを使用している。動作特性の一例は次に示すとおりである。

| | |
|---------|----------------|
| 周波数 | 2,800~3,600 Mc |
| ヘリックス電圧 | 8 kV (セン頭値) |
| コレクタ電流 | 0.7 A (セン頭値) |
| パルス幅 | 4.0 μ s |
| デューテ | 0.008 |
| 飽和出力 | 2 kW |
| 小信号利得 | 40 db 以上 |
| 集束磁界 | 1,500 ガウス |



S バンド 2 kW 進行波管

■ 電鉄走行曲線の自動電子計算

走行曲線の計算は従来手計算で行なわれていたが、これは非常に手数のかかる仕事であり、かつこれを誤りなく正確に遂行することはきわめて困難であった。昨年研究所に Bendix G15D 電子計算機が導入され各種計算にその威力を発揮している。走行曲線の計算を電子計算機で行なう計画が今年の 3 月ごろから着手され、7 月に一応完成された。

この走行曲線ルーチン (TRUNC) はモータ特性、走行抵抗など必要なインプットデータをタイプインするとともに計算条件を与えることにより以後自動的に計算が行なわれて、最後に必要なデータを一定の書式に従ってタイプアウトしてくるようになっている。

計算条件とは運転条件を数値的に取扱ったものであり、たとえば手計算でする場合ももっとも手数を要した、ある与えられた距離で与えられた時刻に与えられた速度になるという運転条件の計算も高精度で行なうことができる。

このルーチンは大きな融通性をもっているのが一つの特長である。たとえば計算条件としていくつかの場合を指定できるし、また出発時のコントロールにおいて適当なシグナルをタイプインすることにより全界磁から弱め界磁への移行が可能である。弱め界磁としては 3 種のものまでインプットできる。またギャレイションをかえて計算することもできるようになっている。さらに Elementary subroutine system というべき方法を採用しているので、必要とあれば適当なサブルーチンを付加することによってその能力を拡大することが容易である。

このルーチンの計算法は従来電鉄課で行なわれていたものを計算機に適するように組みなおすとともに、いくつかの新しい計算法を付加したものである。

このルーチンは、走行曲線計算の精度と能率とを上げるのに役だっている。



特許と新案

誘導電動機 の 速度 制御 装置

発明者 吉田太郎・高岡明雄

巻線形誘導電動機に逆相制動と回生制動とを適用して巻上機の巻下げ運転を行なう場合、その制動切換えは一般に電動機電源回路を開放した後逆の相電圧を給電するとともに電動機二次側抵抗の挿脱を行なっている。

ところで、電動機に生ずる制動回転力は、電源回路の開放している間は零であり、また電源回路を再開成し電動機に大なる制動回転力を発生させるまでの間は、負荷回転力のほうが電動機の制動回転力より大である。このため、逆相制動と回生制動との切換時に、電動機が負荷荷重のために過速され電動機速度制御に支障をきたすことがある。

そこで、この発明は、電動機給電電圧の正相（巻上げ運転方向）あるいは逆相（巻下げ運転方向）の切換えを、一対の可飽和リアクトルにより、電源回路を開放することなく行なわせるとともに、逆相制動と回生制動との相互切換時の電動機二次側抵抗の挿脱を制動切換後に行なわせ、制動切換時に電動機制動回転力が負荷回転力より小にならないようにした。

図1はこの発明による速度制御装置の接続図、図2は電動機主回路、図3は電動機給電電圧のベクトル図で、図中の $(W_1) \cdots (W_7)$ は、可飽和リアクトル(6)(7)のインピーダンス変化に応じて、電動機端子(W)の電位のベクトル位置が、電源端子(T)(Q)の間を移動することを示す。図4および図5は後述する逆相制動、および、回生制動時の速度回

電位は端子(T)へと接近し、給電電圧を逆相より正相に連続変化して、電動機に逆相制動をかける。この電動機の運転状態は、図4中の曲線(C)に示される。

巻下げ速度をさらに大とすためには、逆相制動より回生制動に切換えられる。すなわち接触子(18)(19)を操作装置(図示せず)により閉成すると、操作コイル(20)がまず付勢され、接触子(20b)を開放、接触子(20a)を閉成させる。これによりリアクトル(6)のインピーダンスは大、リアクトル(7)のインピーダンスは小となって、電動機に逆相電圧を印加させ、電動機速度を上昇させる。電動機速度が同期速度に達すると速度検出装置(22)の接触子(21)が閉成され、操作コイル(26)を付勢して、接触子(26a)を閉成させる。これにより電動機は回生制動がかけられ、同期速度よりわずかに大なる速度で巻下げ運転を行なう。この運転状態は、図5中の曲線 (W_7) などに示される。

一方減速のため回生制動より逆相制動に切換えるには、操作装置(図示せず)で接触子(18)(19)を開放する。これにより操作コイル(20)(25)が消勢して接触子(20a)は開放、(20b)は閉成し、リアクトル(6)のインピーダンスを小、リアクトルと(7)のインピーダンスを大に変化させ、電動機給電電圧を正相に変える。そして継電器(23)は瞬時作動限時復帰形のもので、上記接触子(19)の開放により今まで付勢されていた操作

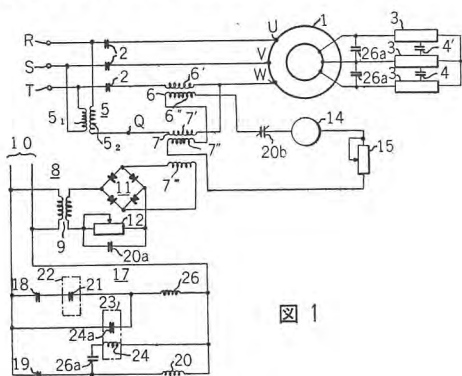


図 1

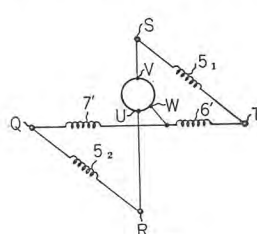


図 2

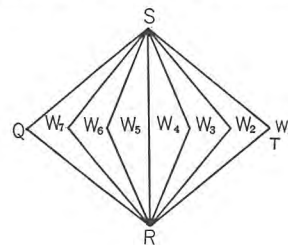


図 3

転力特性を示す曲線図で、図中(A)は負荷荷重に対応する回転力、(B)は電動機の同期速度を示す。

いま巻下げ運転を行なうため、電源開閉器(2)を閉成すると、このときはまだ指速発電機(14)の出力は零であるから、リアクトル(6)のインピーダンスは大である。これに対しリアクトル(7)はバイパス巻線(7'')によりそのインピーダンスを小になされているので、電動機端子(W)の電位は端子(Q)の位相に接近し、したがって電動機(1)に逆相電圧を印加して起動させる。起動後電動機速度の漸増により、指速発電機(14)の出力は増大するのでリアクトル(6)のインピーダンスは小となり、一方リアクトル(7)はバイパス巻線(7'')の付勢を打消されてインピーダンスが大となり、電動機端子(W)の

コイル(24)が消勢され、限時復帰作動を行なって所定時限後に接触子(24a)を開放させ、操作コイル(26)を消勢させ、接触子(26a)を開放して、電動機に逆相制動による運転を行なわせる。なお、電動機は、たとえば指速発電機の出力回路内に設けられる電圧調整器(図示せず)などにより、リアクトル(6)(7)の作動を制御され減速停止される。

上述の回生制動より逆相制動に切換えるとき、二次抵抗の挿入を同時に行なうと、電動機速度回転力特性は図4の曲線 $(W_7)(W_4)$ などになるため、電動機速度は図中の $(W_7)(V_4)$ の速度まで過速するに至る。したがって上記抵抗の短絡接触子は、電動機給電電圧の端子間不平衡の度合が、端子(W)のベクトル位置で、 (W_7) より (W_3) 位置に相当する程度までに移動したときに開放するよう、継電器(23)の作動時限を設定される。

このようにして、この発明によれば、電動機の巻下げ運転時における逆相制動と回生制動との相互の切換えを、3個の可飽和リアクトルにより、電動機電源回路を開成することなくこれをなしており、かつ抵抗の短絡ならびに開放を行なうにあたり、電動機速度が過大にならないように、上記電源切換えに対し時限性をもつてなすので、つねに安全確実な巻下げ運転を行なうことができる。(特許第 246291 号) (山田記)

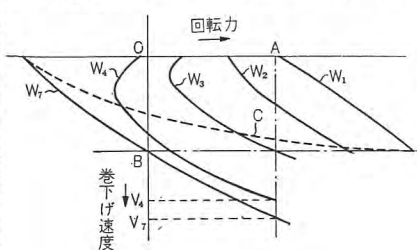


図 4

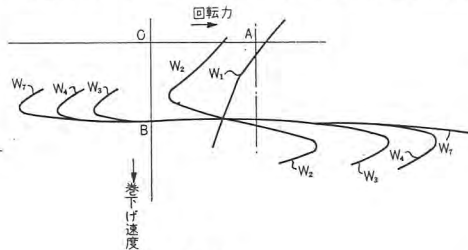


図 5

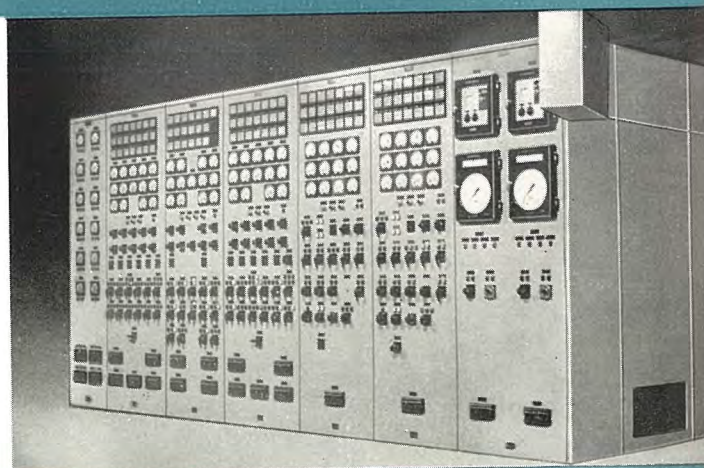
最近における当社の社外講演一覧

| 講演年月日 | 主催または開催地 | 題 名 | 講 演 者 | 所属場所 |
|-------------|------------------|--|----------------------|------|
| 34- 4- 5 | 電気4学会連合大会 | TV 用受像管三極部電圧電流特性に関する一考察 | 鷹野 泰 | 研究所 |
| "- 4- 5 | " | 絶縁液体中へのガス飽和溶解度 | 白井万次郎 | " |
| "- 4- 7 | 日科技連アナコム研究会 | 時分割乗算器の応用 | 倉橋浩一郎 | " |
| "- 4- 8 | 物理学会, 分科会 | 中性子モノクロメータ | 宮下 恭一 | " |
| "- 4- 8 | 精 機 学 会 | 放電加工の研究 (第 5, 6 報) | 斎藤長男 | " |
| "- 4-20 | 兵庫県電気協会 | 電気機器絶縁に関する最近の問題 | 原 仁吾 | " |
| 34- 5-14 | 日本電気協会 | 120 V 14 kA 化学工業用シリコン整流器 | 加藤又彦 | 伊 丹 |
| "- 5-14 | 関西電力株式会社 | シャ断器の等価試験法について | 潮 恒郎 | 研究所 |
| "- 5-15 | 日本電気協会 | 電気機器に関する研究会「可搬式小形自動交流発電機」 | 杉山昌司・町野康男 | 名古屋 |
| "- 5-15 | " | 電気鉄道に関する研究会「イグナイトロン電気機関車補機回転機」 | 八木 勝・大野寛孝 | " |
| "- 5-19 | 日本規格協会関西支部 | 社内標準化と運営 | 松尾 準一 | 本 社 |
| "- 5-20 | NDI 第4分科会 | タービン発電機回転子の応力測定 | 穂原 智 | 研究所 |
| "- 5-26 | 学 士 会 館 | Metal-Mesh-buried Dielectric Radome for Antenna System | 喜連川隆・有田不二男 | " |
| "- 5-27 | 関西電力本社 | 最近の超高压変圧器 | 村上 有 | 伊 丹 |
| "- 5-28 | 電気学会東北支部 | 米国における最近の磁気増幅器 | 浜岡 文夫 | 研究所 |
| "- 5-29 | 非線形応用委員会 | 米国帰朝報告 | " | " |
| 34- 6- 5 | 福島市公会堂 | 積算電力計の電流磁路の導磁率が軽負荷特性に及ぼす影響について | 広瀬 薫 | 福 山 |
| "- 6-8~10 | 北陸電力富山支店 | 照明技術講習会 (商店照明の手法と最近の動向および臨店指導) | 小堀富次雄 | 本 社 |
| "- 6-11 | 日本規格協会関西支部 | 品質管理と標準セミナー「抜取検査」 | 吉川 洸 | " |
| "- 6-11 | 大阪市教育会館 | 社内標準化の手法 | 松尾 準一 | " |
| "- 6-12 | 日刊工業新聞社 | 抜取検査 | 吉川 洸 | " |
| "- 6-12 | 関西能率技師協会 | 社内規格の作り方 | 松尾 準一 | " |
| "- 6-13 | 清 和 会 | 電気冷蔵庫について | 石川 嘉孝 | 静 岡 |
| "- 6-16 | テレビ学会 TV 用電子管委員会 | 文献の照会と検討 「Drive Factor & Gramma of Conventional Kinescope Guns」 | 鷹野 泰 | 研究所 |
| "- 6-20 | 真空協会関西支部 | レニウムを線条とした電離真空計 | 藤永 敦・中村 貢 | " |
| "- 6-20 | 日刊工業新聞社 | 機械計測技術の現状とその問題 | 八島 英之 | " |
| "- 6-25 | 小倉日成電機 | SM-6 形安全ブレーカ説明 | 武藤 正 | 福 山 |
| "- 6-26 | 九 州 電 力 | Po-2C 形 PCT 説明 | " | " |
| 34- 7- 8 | ケイ素樹脂委員会 | ケイ素樹脂の電車電動機への応用 | 中野雅行 | 伊 丹 |
| "- 7- 9 | 日本規格協会 | 社内規格 | 松尾 準一 | 本 社 |
| "- 7-15~27 | 中部電力株式会社 | MZ-3DF 形記録積算電力計 | 益田鑑五・林 正之 | 福 山 |
| "- 7-21, 22 | 日本規格協会 | 「簡略製図法」講習会 | 松尾 準一 | 本 社 |
| "- 7-29 | 関西能率技師協会 | 社内標準化の進め方 | " | " |
| "- 7-30 | 兵庫県電気協会 | 避雷器の特性と動作について | 岡田昌治 | 伊 丹 |
| 34- 8-3, 4 | 工業技術会議 | プリント配線技術講習会 | 松田 寧 | 無線機 |
| "- 8- 4 | 日刊工業新聞社 | 機械操作のための最近の電気知識 | 高見 滋 | 名古屋 |
| "- 8- 5 | 中国電力 (島根支店) | 積算電力計および記録積算電力計 | 神原 昇・広瀬 薫 林 正之 | 福 山 |
| "- 8-5, 6 | 大阪中央電気クラブ | 三菱 BM 形安全ブレーカについて | 松尾昭二 | " |
| "- 8- 7 | 京都染色会館ホール | " | " | " |
| "- 8-12 | 電気通信学会 | 6GC 帯超多重通信用アンテナ系 | 喜連川隆・森川允弘 | 研究所 |
| "- 8-17 | 日本学術会議振興会 | Zr およびその合金の高温酸化 | 山森末男・実 博司 | " |
| "- 8-18 | 電気関係学会関西支部 | 1. ク形特性距離継電器 2. 熱間仕上圧延電動機速度制御 3. 新形キ電用直流高速度シャ断器 | 北浦孝一・室賀 淳 岩 垂 邦 昭 | 神 戸 |
| "- 8-20 | 電気化学協会 | シリコン整流器 | 加藤又彦 | 伊 丹 |
| "- 8-27 | 日本自動制御協会 | 飽和とむだ時間をふくむ制御系の一解法 | 真鍋舜治 | 研究所 |
| "- 8-28 | 日刊工業新聞社 | 放電加工について | 斎藤長男 | " |
| "- 8-29 | 静岡汽缶士会 | 当工場の地下水について | 長谷川武男 | 静 岡 |

大阪火力発電所納入の.....

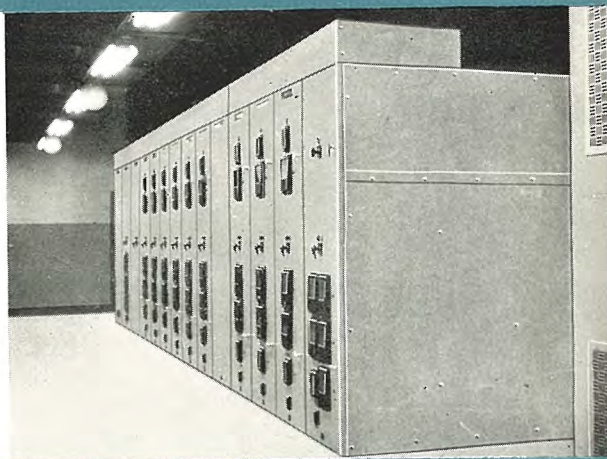
発電機盤

1. 中央制御室設置の3,4号発電機, 所内変圧器, 起動変圧器用配電盤である.
2. 盤内配線用電線として TA 形アスベスト絶縁電線を使用している.



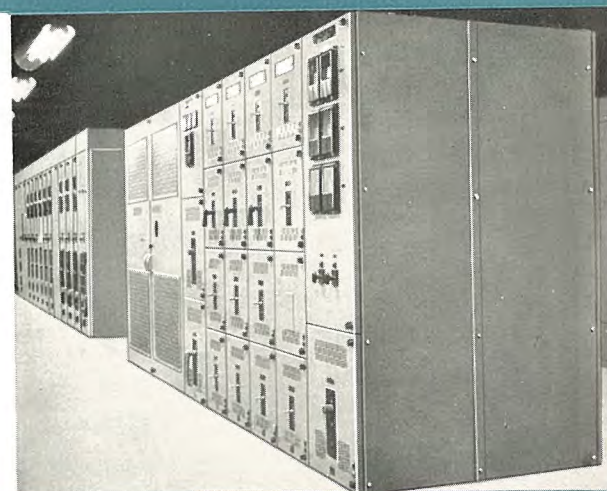
メタルクラッド配電盤

1. 高圧所内補機用として 3 kV 回路には 3-DH 形遮断器を使用した WH 形メタルクラッドが数多く使用されている.
2. 所内補機保護用として新しく設計された BL-1 形熱動継電器を過電流継電器および高速度過電流継電器と組合わせて使用している.
3. 接地保護には 1,500 A の接地電流を流し高速度過電流継電器を使用している.
4. 400 A 以上の CT には新しく設計された BS-O 形 CT を使用している.
5. ZCT もまた BS-O 形を使用している.



パワーセンタ

1. 低圧所内補機用として 400 V 回路には DB 形遮断器を使用したパワーセンタが使用されている.
2. DB 形遮断器専用のブッシング CT-BS 形を新しく採用している.



昭和 34 年10月 24 日 印刷

昭和 34 年10月 25 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

| | | | |
|------|--------|------|-------|
| 委員長 | 吉村 誠一郎 | 常任委員 | 松田 新市 |
| 常任委員 | 浅井 徳次郎 | " | 宗村 平一 |
| " | 荒井 潔 | " | 山田 栄一 |
| " | 安藤 安二 | 委 員 | 岡井 正元 |
| " | 市村 宗明 | " | 進藤 精二 |
| " | 木村 武雄 | " | 竹内 貞和 |
| " | 小堀 富次雄 | " | 津村 真一 |
| " | 高井 得一郎 | " | 豊田 隆三 |
| " | 中野 光雄 | " | 松尾 又一 |
| " | 馬場 文夫 | 幹 事 | 井上 八郎 |
| " | 船橋 正信 | | |

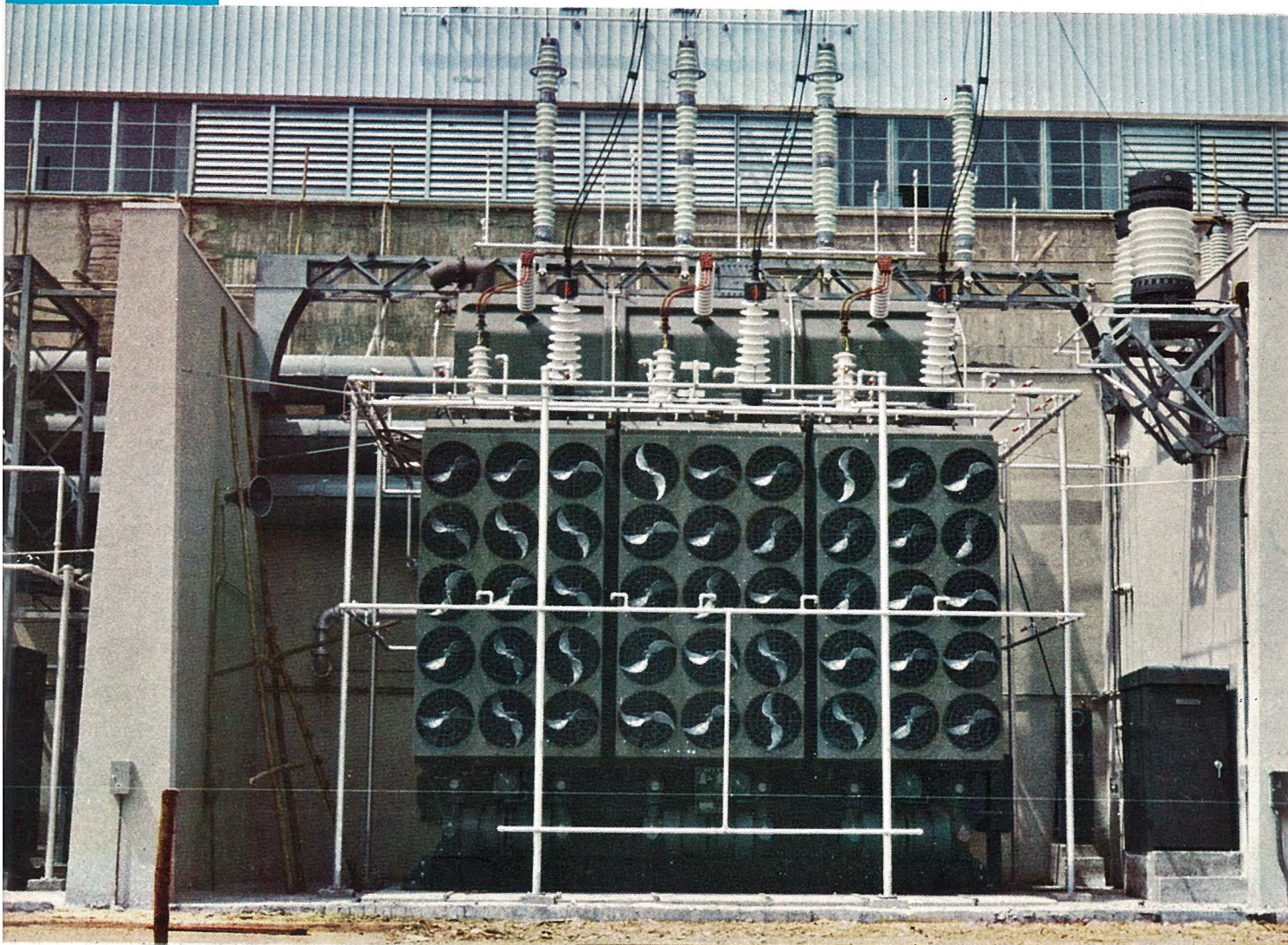
(以上 50 音順)

編集兼 発行責任者

| | |
|--------------------|-------------------|
| 東京都千代田区丸の内2丁目3番地 | 吉村 誠一郎 |
| 印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 | 大日本印刷株式会社 |
| 印刷者 東京都新宿区市谷加賀町1丁目 | 高橋 武夫 |
| 発行所 三菱電機株式会社内 | 「三菱電機」編集部 |
| | 電話 和田倉 (20) 1631 |
| | 日本出版協会会員番号 213013 |
| 発売元 東京都千代田区神田錦町3の1 | 株式会社オーム社書店 |

電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018

関西電力 / 大阪火力発電所納め 190MVA変圧器



大阪火力の 190 MVA の主要変圧器である。輸送を容易にするため特別三相式構造にした。すなわち本体は完全分割形で各相の端子がでており一次側はコンサベータ内で三角形接続を行なう。放熱器は各相 2 個あて大形の送油風冷ユニット冷却器を前後面にとりつけている。

仕 様

| | | | |
|-----|--------------------|-------|------|
| 容量 | 190 MVA | 特別三相式 | 送油風冷 |
| 一次 | 17.2 kV | | △ |
| 二次 | 80.5—77—73.5—72 kV | | 人 |
| 総重量 | 240,000 kg | | |
| 油量 | 50,000 l | | |
| 床面積 | 6,600 × 4,900 mm | | |
| 高さ | 8,050 mm | | |
| 台数 | 4 台 | | |

