

MITSUBISHI DENKI

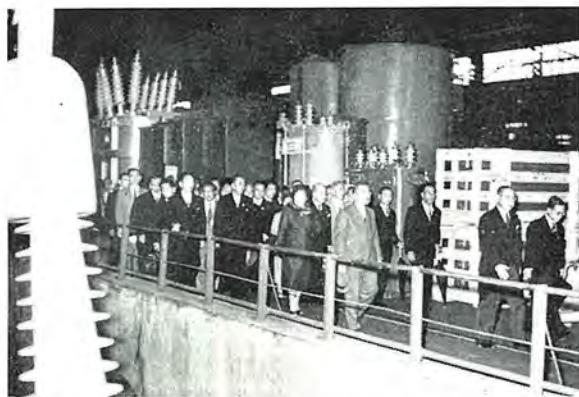
三菱電機



国鉄能登川変電所

12
VOL30 1956

天皇・皇后両陛下 当社工場に行幸啓



電動機工場をご巡覧中の両陛下



交流計算盤室
でご興深げな
両陛下



テレビの量産状況をご聴取 右端は高杉社長



両陛下には京阪神における重要産業に関心をもたれ、兵庫県下で行われた第11回国民体育大会に臨まれたおり10月30日当社無線機製作所ならびに伊丹製作所、研究所に行幸啓遊ばされた。

従業員のアラシのような歓呼に迎えられた両陛下は貴賓室でご昼食をすまされたのち、高杉社長のご先導でオートメーション方式によるテレビ組立工場を始め、各工場内を順次入念にご覧なされた。とくに工業用テレビジョンの前では受像機に写し出されたご自分のお姿に両陛下お顔を見合わせてほほえまれる場面もあった。

その他完成品の試験・調整、船舶用レーダ・交流計算盤・重電機器などの組立や実演をことのほかご熱心にご覧になり午後2時、万歳の声にいちいちお手をあげられ、ご機嫌うるわしくお帰り遊ばされた。



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

東海道線は11月19日に全線電化を完成したが、その最終工区である米原・大阪間の能登川変電所の全景である。オール三菱製品で、写真の左側の屋外鉄構部には3,000 kW 整流器用変圧器2組をはじめ70-V-150 型碍子型遮断器など交流70 kV 器具、汜波器用直列リアクトル、3 kV 用屋外キュービクルが配置されている。

右側の建家の内部には3,000 kW セミシールドオフ型イグナイトロン整流器2組とその制御盤、配電盤、高速度遮断器などが配置されている。

変電所の位置は東京より大阪に向かって車窓の左側、能登川駅を出てしばらくの所である。

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) 和田倉(20) 代表 1631・2331

研究所 兵庫県尼崎市南清水

神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町

名古屋製作所 名古屋市東区矢田町

伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水

崎製作所 長崎市平戸小島町

無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水

大船工場 神奈川県鎌倉市大船

世田谷工場 東京都世田谷区池尻町

郡山工場 福島県郡山市宇境橋町

福山工場 福山市仲野上町

姫路工場 兵庫県姫路市千代田町

和歌山工場 和歌山市岡町

中津川工場 岐阜県中津市駒場安森

福岡工場 福岡市今宿青木

静岡工場 静岡市小島 110

札幌修理工場 札幌市北二条東 12

大阪営業所 大阪市北区堂島北町 8 番地 1

(電) 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 福岡市天神町

(電) 中 (4) 7031—7036

札幌営業所 札幌市大通リ西 3 の 5

(電) 札幌 (2) 代表 7236

仙台事務所 仙台市東一番丁 63

(電) 仙台 (2) 代表 1601

富山事務所 富山市安住町 23 の 2

(電) 富山 4692・5273・2550

鳥島事務所 広島市袋町 6 (富国生命ビル)

(電) 中 (2) 2211—4

高松出張所 高松市紺屋町 34 番地

(電) 高松 3178・3250

小倉出張所 小倉市京町 10 丁目 (五十鈴

ビル) (電) (5) 小倉 3614

昭和 31 年 第 30 卷 第 12 号

目次

八幡製鉄構内連絡用 VHF 無線電話装置……………

……………木村五郎・並木友弥・津村 隆・上野芳雄… 2

炭鉱切羽の電気施設の進歩……………上津原常男… 6

最近の切羽設備用制御機器……………山縣 満・平野琢磨…10

FN-105 型交流電磁接触器の試験……………山田栄一・森本英男・山縣 満…16

坑内における低圧配電線路の短絡電流計算法

とデアイオンノーヒューズ遮断器適用に関する注意……………平野琢磨…22

タービン発電機回転子軸材に関する考察……………今北孝次・山野辺二郎…26

電力用単巻変圧器と外鉄型 Form-Fit 変圧器 ……村上 有・田村良平…37

誘導電動機振動の実験的解析……………

……………金子清三郎・滝 平七・臼田長一・佐藤良雄…45

プールの水中照明……………佐々木武敏…55

鋳鉄鋳物組織の研究 第 4 報

接種に及ぼす酸素量と冷速の関連性その 2 珪素量の大なる鋳鉄の組織に

及ぼす酸素量および冷却速度の相互関連性、ならびに接種効果について

……………鈴木一郎…59

ニュースフラッシュ……………63

昭和 31 年第 30 巻総目次……………65

品質奉仕の三菱電機

八幡製鉄構内連絡用 VHF 無線電話装置

八幡製鉄株式会社八幡製作所動力部副長

電気課電気通信掛長

三菱電機無線機製作所 津村

木 村 五 郎

並 木 友 弥

隆*・上野芳雄**

VHF Radio Telephone Equipment for Communication in Yawata Iron and Steel Co. Compound

Yawata Iron and Steel Co.

Goro KIMURA・Tomoya NAMIKI

Electronics Works

Takashi TSUMURA・Yoshio UENO

Transportation is a vital requisite to the operation of factories. In the Yawata Steel Mill locomotive hauling freight cars are running here and there in the vast space of the compound. Motor-cars are also going round on errands. On these vehicles are equipped VHF radio telephone equipment built by Mitsubishi, with which mutual communication thought impossible is now available with promptness and accuracy. To this equipment is further added a selective calling system to make contact with a desired mobile station, thus carrying out necessary transportation to the fullest extent.

1. ま え が き

八幡製鉄株式会社では、今回構内の資材運輸用機関車および現場巡回用自動車と運輸指令所に無線電話を設け、広大な構内における指令、連絡の迅速正確化を企図し、三菱電機製の選択呼出方式 VHF/FM 無線機の設置を完了したのでその概要を紹介する。

2. 移動無線採用の理由

八幡製鉄では、鉄鋼一貫作業によって鉄鉄、鋼塊、各種鋼材および化成品などを生産しているが、これらの作業達成には運輸、港湾、水道、電気等あらゆる業務が密接不可分の関係にあるため、相互の通信連絡機関として従来有線電話を使用してきたが、近來汽車、汽船、自動車など移動体の利用が著しく活発となり、とくに専用鉄道は構内 173 万坪に延長 380 km、機関車 140 両、貨車 3,200 両を数え、輸送貨物の種類は多種多様であるから、その輸送経路もまた複雑多岐にわたっており、輸送本部またはその関係機関と輸送車乗務員との通信連絡は従来の有線電話および拡声器等では移動する相手に対してはなほだしく不便があり能率を阻害していた。さらにまた構内巡回用自動車についても、それぞれの現場からの連絡は有線によっていたため生じた不便を解消するため、これらの一部に移動無線を採用し業務の円滑化を図ることとなった。

3. 施設の概要

基地局は八幡製鉄構内のほぼ中央に当る尾倉交換所の 3 階交換室の一隅に無線室を設け、基地局装置、制御装置一式をすえ付けている。空中線は同建物の屋上に無指向性空中線を設置し、構内全般の電波伝播を良好ならしめるようにしている。

基地局装置は 50 W 送受信機本体、制御器、選択呼出

器、交換器および自動電圧調整器よりなり、交換手が常勤して交換および呼出操作を行うものである。

指令用予電話器は無線用交換器より直通電話回線 1 回線により結ばれ、西田運輸、西八幡運輸、西八幡駅および鉄道課の 4 カ所に設置されている。

移動局は機関車用無線機 9 台および自動車用無線機 2 台の計 11 台で、選択呼出装置により 4 群に分割されている。各群はそれぞれ 2~4 台の移動局により構成され、基地局の選択呼出装置により選択して呼出されるように



1 図 基地局アンテナ

Fig. 1. Antenna for base station.



2 図 基地局、本体、交換制御器、自動電圧調整器

Fig. 2. Base station.

なっている。

施設の構成は3図のとおりである。

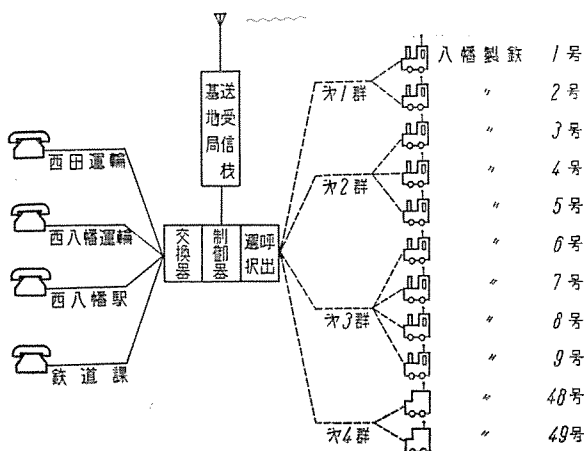
4. 各機器の仕様概要

ア. 基地局

基地局は三菱電機 VHF/FM 50 W FS-1 型固定用無線電話装置に若干の改良を行ったものである。

(1) 送受信装置

周波数 152.29 Mc の FM 送受信機で、送信機の定格



3 図 構内連絡用無線電話構成図

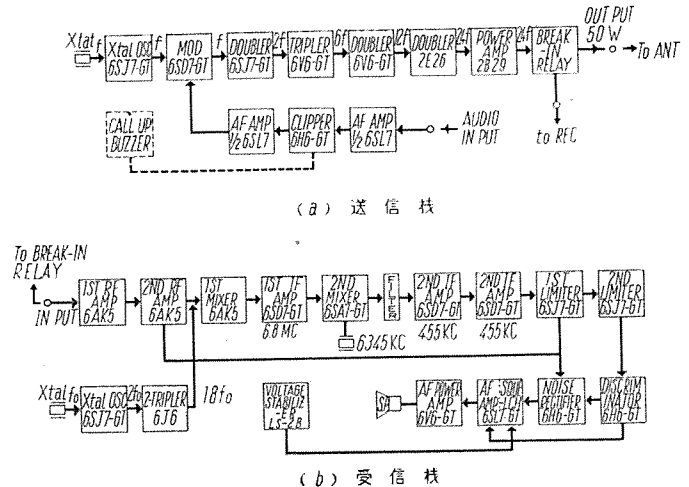
Fig. 3. Radio-telephone for communication in the yard.

出力は 50 W である。電源は 100 V で AVR により常に一定電圧に保つようにしている。送受信機の詳細仕様は1表および4図のとおりである。

(2) 制御器系統

制御器系統は無線室に設置する制御器、交換器、選択呼出器と、各指令所に設置される子電話器により構成される。

制御器、交換器および選択呼出器は機能上一体となつてゆくもので、外形構造はそれぞれ卓上型とし、操作従



4 図 基地局送受信機系統図

Fig. 4. Transmitting and receiving system diagram at base station.

1 表

送 信 部	基 地 局	移 動 局
周 波 数 範 囲	148~152 Mc または 152~158 Mc	148~155 Mc または 155~162 Mc
周 波 数 通 倍 数	24 (2×3×2×2)	24 (2×2×2×3)
周 波 数 許 容 偏 差	-20°~+50°C にて ±0.003 % 以内	±0.003 % 以内ただし 60~65°C 恒温槽
変 調 (位 相)	100 % 変調に対し 1 kc にて ±15 Rad.	100 % 変調に対し 1 kc にて ±15 Rad.
定 格 出 力	50 W	10 W
ス プ リ ア ス 強 度	搬送波に対し -60 db 以下	搬送波に対し -60 db 以下
歪 率	70 % 変調に対し -20 db 以下	70 % 変調に対し -20 db 以下
変 調 周 波 数 特 性	1 kc を基準とし 0.3 kc で -10.5 ±3 db, 3 kc で 0±3 db.	1 kc を基準とし 0.3 kc で -10.5 ±3 db, 3 kc で 0±3 db.
電 源 入 力	AC 6.3 V 6 A 以下 DC 500 V 320 mA 以下 DC 250 V 90 mA "	AC 6.3 V 6 A 以下 DC 350 V 130 mA 以下 DC 250 V 70 mA "
受 信 部		
周 波 数 範 囲	148~152 Mc または 152~158 Mc	148~155 Mc または 155~162 Mc
同 路 方 式	水晶制御 2 重スーパーヘテロダイ	水晶制御 2 重スーパーヘテロダイ
局 部 発 振 通 倍 数	18 (2×3×3)	16 (2×4×2)
第 1 中 間 周 波 数	6.8 Mc	6.8 Mc
第 2 中 間 周 波 数	455 kc	455 kc
感 度	入力 0 db において S/N 20 db 以上 入力 20 db にて 40 db 以上	入力 0 db において S/N 20 db 以上 入力 20 db にて 40 db 以上
帯 域 幅	±20 kc 以上 (-6 db)	±20 kc 以上 (-6 db)
選 択 度	±40 kc にて -80 db 以下	±40 kc にて -80 db 以下
スケ ル チ 感 度	入力 0 db~20 db 可変	入力 0 db~20 db 可変
周 波 数 許 容 偏 差	-20°~+50°C にて ±0.003 % 以内	-20°~+50°C にて ±0.003 % 以内
不 正 周 波 数 感 度	-70 db 以下	-70 db 以下
低 周 波 特 性	1 kc 0 db とし 0.3 kc にて +10.5 ±3 db, 3 kc にて 0±3 db.	1 kc 0 db とし 0.3 kc にて +10.5 ±3 db, 3 kc にて 0±3 db.
低 周 波 出 力	600 Ω 1 kc にて 1.0 W 以上 (至 10%)	600 Ω 1 kc にて 1 W 以上 (至 10%)
電 源 入 力	AC 6.3 V 7 A 以下 DC 250 V 130 mA 以下	AC 6.3 V 5.6 A 以下 DC 200 V 70 mA 以下 DC 120 V 50 mA "
電 源 部	機 関 車 用	
人 力 消 費 電 力	100 V 50/60 CPS 送信時 5 A 以下 受信時 2 A 以下	100 V 240 CPS 送信時 3.5 A 以下 受信時 2.5 A 以下
方 式	エリミネータ (商用電源)	エリミネータ ターボ発電機
		6 V バッテリ 送信時 32 A 以下 受信時 23 A 以下 コンバータ

事者は通常この制御装置により通話の制御を行っている。

選択呼出装置は4回線で増設用の端子を有し、第1群から第4群に至る各群の呼出周波数に対する呼出用発振器を内蔵し、呼出用電鍵により各群の対応周波数を選択発振して送信機から発射する電波を変調する。

交換器は5回線（実装4回線）で増設用端子を有し、各子電話器に対する呼出、通話を行う。子電話器からの呼出はランプおよびブザーにより確認することができる。

制御器は上記選択呼出器、交換器と一体になって無線機を制御するもので、下記の諸操作および表示を行う。

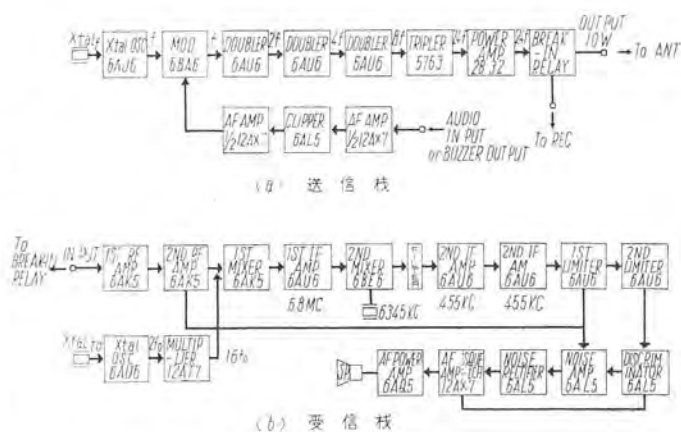
- 制御器系統電源の開閉
- 上記のランプによる表示
- プレストーク方式による送受話
- スケルチ動作の調整
- 送信時の送話レベルの監視
- 送信時の送信出力の監視
- 受信時の受信機リミタ電流の監視
- スピーカによる受信および音量調整



5 図 機関車移動局
Fig. 5. Locomotive mobile station.



6 図 機関車本体、制御器
Fig. 6. Locomotive and controller.



7 図 移動局送受信機系統図
Fig. 7. Mobile station transmitting and receiving system diagram.

- 子電話器との打合電話
- 子電話器が無線通話を行う場合のスピーカによるモニタ
- ランプによる送信表示

子電話器は4号桌上型電話器に押釦付送受話器を組合せたもので、交換器との間は電話線1回線で接続されている。

制御器から呼出してきた場合には電話器内のベルが鳴り、こちらから呼出す場合には送受話器の押釦を押す。通話はすべてプレストーク方式で、押釦を押して送話し離して受話する。

イ. 機関車用移動局

本体、制御器および空中線の3部より成っている。

本体は機関車運転室上部天井に吊下げ、コイルばねおよびゴムスプリング複合ゴムクッションにより衝撃および振動を吸収している。

本体内には送信部、受信部、電源部および選択呼出部が収容されている。送信部、受信部の詳細仕様は1表および7図のとおりである。

電源はターボ発電機より100V、240c/sの供給を受け送受信部に必要な直流高圧および低圧を発生している。高圧直流には真空管を使用せずセレンを使用している。選択呼出部には各群に相当する周波数の帯域濾波器とリレー管を設け、自局が呼出されたときのみリレーが働いて制御器よりブザー音を鳴らすようにしている。別にスケルチ制御器から制御電圧を受け、他局が送信している場合には表示燈が点火するようにしている。

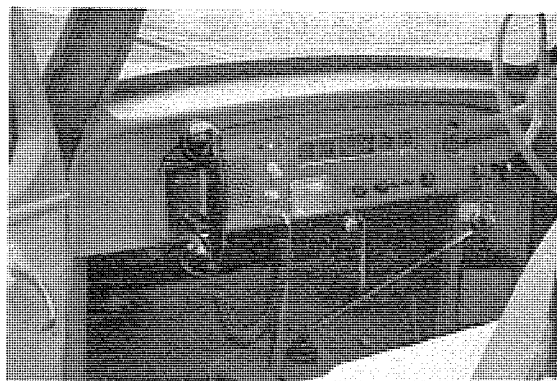
上記無線機の操作はすべて制御器により行うが、その操作および表示はつきのごとくである。

- 電源の接断
- 電源表示（緑色）
- 送話表示（赤色）
- 話中表示（白色）
- スケルチ調整
- 音量調整
- 送受話器によるプレストーク方式送話器



8 図 自動車移動局

Fig. 8. Motor-car mobile station.



9 図 自動車用制御器

Fig. 9. Motor-car control equipment.

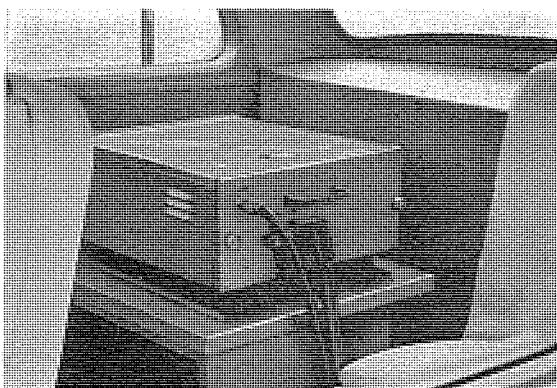
h. スピーカ回路の断

空中線は可撓素子による地線付ホイップアンテナである。

ウ. 自動車用移動局

本体、制御器および空中線の3部よりなり、本体の電源部にコンバータを使用している外は機関車用とほぼ同一である。

空中線としては $1/4$ 波長ホイップ空中線を使用している。



10 図 自動車用本体

Fig. 10. Motor-car.

5. 通話試験

電波監理局の落成検査終了後、基地局と各移動局の通話試験を行って総合動作の状態を調査した。その結果構内はほとんど問題なくきわめて良好であり、構外、小倉、門司方面、折尾、遠賀川方面への通達状況についても相当良好な成績を得ている。

6. む す び

本装置の設置後約半年を経過するが、すでに連絡の急

速正確化による輸送能率等の向上は著しく、今後各操作員の熟練と共にその成果はさらに向上するものと期待される。本工事は第1次計画によるものであったが、引続き第2次、第3次の計画を遂行し、生産能率の向上発展に貢献したいと念願する次第である。

炭 砒 切 羽 の 電 気 施 設 の 進 歩

三菱鉱業株式会社崎戸鉱業所

上 津 原 常 男

Progress in Electrical Equipment of Coal Faces

Mitsubishi Mining Co. (Sakito)

Tsuneo UETSUBARA

Various projects are on foot to rationalize the coal mine, mechanization of the coal face being one of them. It has made a rapid progress recently, achieving a great effect. This innovation, however, has aroused varied problems on the electrical equipment of old design which is unfitting both technically and economically. Then, electric machines of new system have been developed to answer the purpose with success. The coal mining has experienced many vicissitudes, with which electric equipment has been changed considerably and the old and new make an amusing contrast.

1. ま え が き

石炭砒山合理化対策の一環として、切羽内を機械化する問題は、戦後カッベ採炭法などの急速な普及により、国内の各石炭砒山において著しい効果をおさめている。

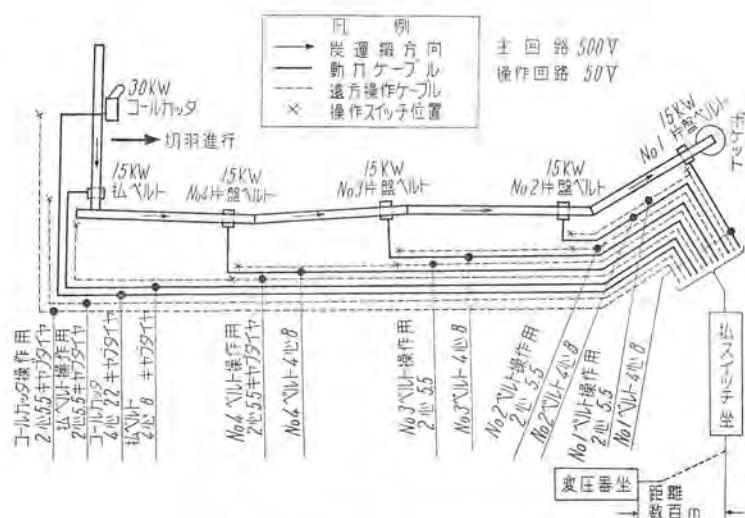
しかるに機械化にともない電動機負荷容量ならびに設備台数の急増さらに採炭現場の深部移行、配電方式および電動機群の制御方式などについて種々の技術的、経済的な問題が発生し、根本的な改善策を必要とするに至った。これらの問題を要約すればつぎのとおりである。

- (1) 電動機の負荷容量の増大による起動時の電圧降下の増加、このため起動回転力は不足し電動機の運転は不可能となる。
- (2) 切羽使用の電動機の台数増加により、制御機器、制御方式が複雑となり、このため合理的な維持管理が不徹底となった。
- (3) 設備費の急増

当所においては上記の問題点の合理的な改善案について種々の検討の結果、三菱電機製メインパワーセンタを採用し、一応良好なる結果を得ることができたので本誌上をかり大方のご批判に供したい。

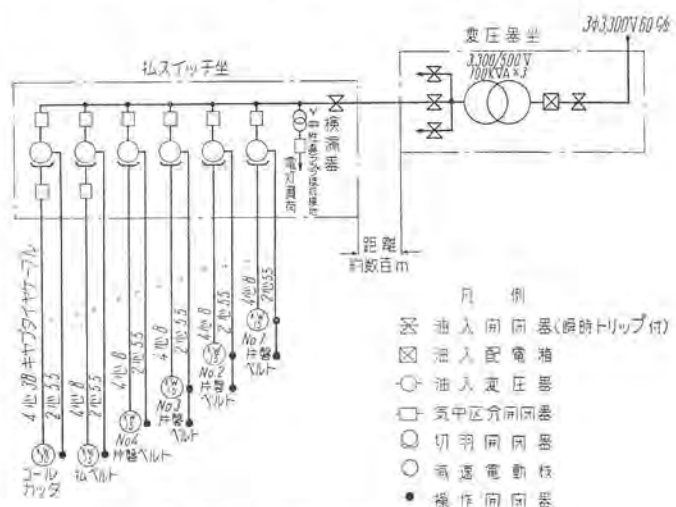
2. カッベ採炭法以前の切羽電気施設

カッベ採炭法以前の当所採炭切羽の電気施設は 1 図および 2 図に示すとおりである。採炭方式は山丈 5 尺ないし 6 尺の 150 m 長壁式切羽の炭壁をコールピック要すればコールカッタの併用により破碎しショベルにより払ベルトコンベヤ (500 V 15 kW 減速電動機) に積載し、順次数台の片盤ベルトコンベヤによりポケットに運搬し貯炭、これより炭車に積



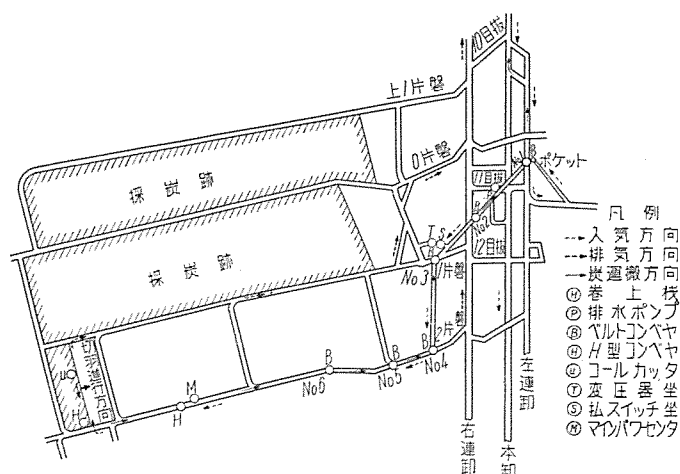
1 図 カッベ採炭以前の切羽機械配置図

Fig. 1. Old machine layout of working face.



2 図 カッベ採炭以前の切羽配線系統

Fig. 2. Block diagram of old arrangement.



3 図 三菱崎戸礫業所一抗北御右二片払付近
Fig. 3. Map of working face.

載し、電車、巻上機などにより坑外に搬出する。防爆保安上、電動機用制御器はとくに慎重に留意し全部通気良好で管理容易な片盤坑道入口付近に払スイッチ坐を設け集中設置し、50 V 操作線により電動機位置から遠方操作して運転を行う、以上の施設の保守に電工 1 名を常置させる。電源用油入変圧器 (100 kVA × 3,300/500 V) は火災および感電の危険性を恐れ、払スイッチ坐よりさらに数百 m 離れた好条件位置に設ける。使用電動機およびケーブルの仕様は 1 図のとおりである。なお参考までに当所北卸片払の通気および機器配置略図を 3 図に示す。

3. カッペ採炭法採用後の切羽電気施設

カップ採炭法の採用により払コンベヤおよび最終の片盤コンベヤは H 型コンベヤ(30 kW 4p 60 c/s 500 V シンクレアカップリング付電動機 2 台付)に変更し、片盤ベルトはベルト幅 26 in より 28 in とし 22.5 kW 500 V の減速電動機付に強化、またコールカッタは従来のシングルジブ付 30 kW をダブルジブ付 37.5 kW に変更するなど容量の飛躍的増加を図った。これらの施設状況を 4 図および 5 図に示す。

負荷容量の急激な増加により電圧降下は著しくなり起動回転力不足のため運転不能の状況が頻発した。これが解決策として払スイッチ室内に電源変圧器および H 型コンベヤ専用変圧器 (3,300/600 V にタップと変更) を併設した H 型コンベヤ用ケーブルを 4 心 38 mm² または 22 mm² に増大した。しかしいずれも根本的な解決策とはいいい難く設備費の増大は著しく、さらに電動機制御器の設備は複雑となり管理保守の不徹底が未解決問題として残された。また電源変圧器の払スイッチ室への前進, すな

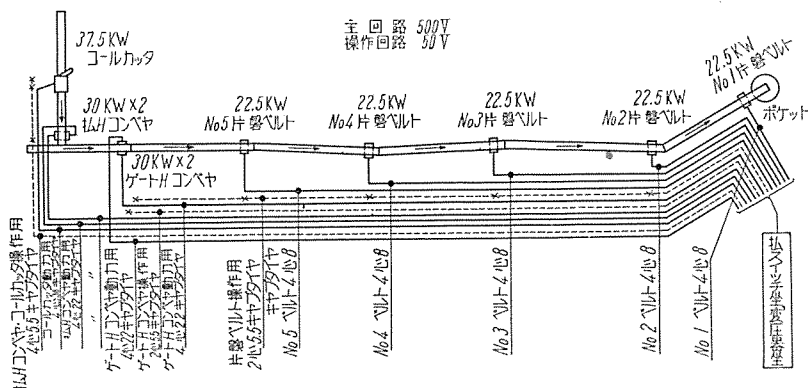
わち大容量油入変圧器を払付近の悪条件箇所に据付けたための保安状況の悪化はみのがせない点である。しかしその反面技術の向上により従来の電燈による中性点接地方式の漏電計を三菱電機 EP 型接地継電器に取替ることにより接地感電事故の減少、対地絶縁抵抗の常時監視が可能となり、また 500 V 用油入開閉器を三菱電機 NX 型気中遮断器に変更することにより遮断能力は増加し防火上も安全となるなど保安管理上著しく進歩を示した。

さらにモートルタイマ方式レジアルマグネット方式などによる片盤ベルトコンベヤの順序起動は4図より明らかなように操作ケーブルの節約、無駄運転防止による電力節約、さらに従来ベルト1台につき落炭掃除夫を兼ね1名当り常置していたベルト運転者を2台ないし3台当り1名とすることができた。

4. 切羽電気施設改善案の検討

ア. 起動回転力の減少

H 型コンベヤモータ (500 V 30 kW 4P 60 c/s) の起動回転力不足の現象は起動電流による電圧降下によるもの



4 図 カッベ採炭切替後の切羽機械配置図 (マインパワーセント設置前)
Fig. 4. New machine layout.

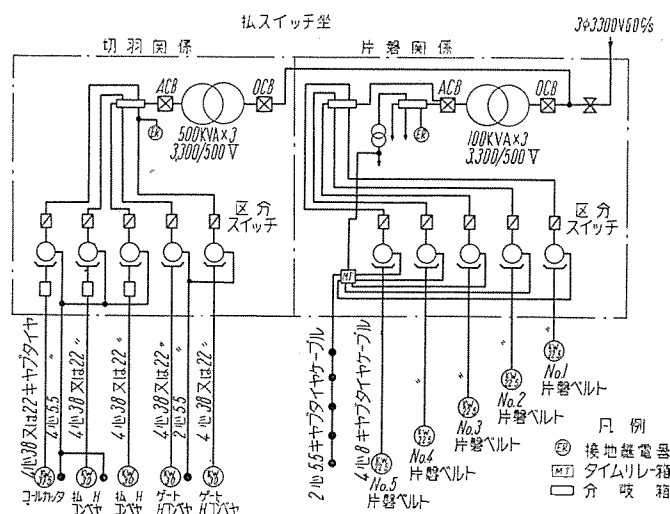


Fig. 5. Block diagram of new layout.

1 表 各種キャブタイヤケーブルの抵抗

公称断面積 項目	5.5	8	14	22	38	備 考
抵抗 $\Omega/1000\text{ m}$	3.424	2.425	1.378	0.8827	0.5192	
電圧降下 $\text{V}/1000\text{ A}\cdot\text{m}$	5.93	4.20	2.39	1.53	0.90	3 相回路
安全電流	25	35	50	70	100	4 種 4 心キャブタイヤケーブル(JCS197)

2 表 コンベヤモータの起動時における電圧降下と回転力の減少率

ケーブル長さ 公称断面積 mm^2	200	300	400	500	600	備 考
14	51.0% 143 V	35.6% 215 V	18.3% 286 V	—	—	電動機 500 V 60 c/s 4P 30 kW 定格電流 50 A 起動電流 300 A %表示は起動回転力 V表示は電圧降下
22	66.6% 92 V	52.4% 138 V	39.9% 184 V	29.1% 230 V	20.1% 276 V	
38	98.4% 54 V	70.2% 81 V	61.5% 108 V	53.3% 135 V	45.7% 162 V	

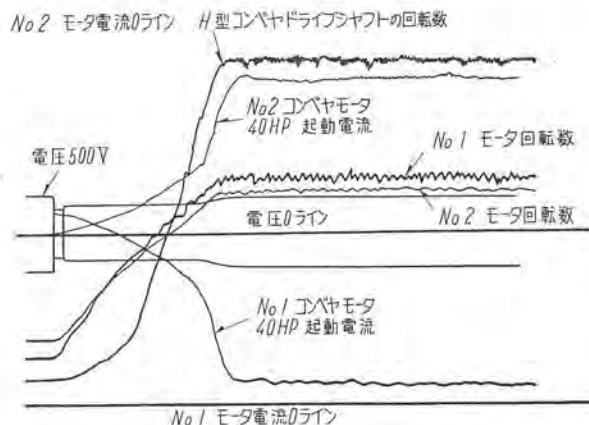
のである。参考のため各種サイズのキャブタイヤケーブル 1,000 m 当りの抵抗、1,000 A・m 当りの電圧降下および安全電流の値を 1 表に示す。上記コンベヤモータの定格電流値は 50 A であり起動電流は定格電流の約 6 倍とし 300 A である。以上により各サイズのキャブタイヤケーブルの起動時の電圧降下および起動回転力の減少は 2 表のとおりである。

2 表より 3,500 V 側の電圧変動を無視しても 30 kW H 型コンベヤに対する 500 V ケーブルの長さは 14 mm² にて 300 m, 22 mm² にて 500 m, 38 mm² にて 700 m が限度であることが明瞭である。これは切羽配電電圧の昇圧により電圧変動率が改善されたことを示している。参考までに当所で撮影した H 型コンベヤの起動時のオシログラムを 6 図に示す。

電圧電流は電源変圧器の位置にて測定したもので起動時における電圧降下、トルクおよびこれに対するシンクレーアカップリングの効果など推定できる。

イ. 切羽用電気機器の特殊条件

切羽配電電圧の昇圧を最も簡単に実施するには切羽付近すなわち切羽電動機群のロードセンタに電源変圧器および制御器類を設置することが必要である。しかるに炭坑々内とくに切羽付近は周知のごとく、きわめて特異な条件にあるため使用機器はこの条件に適合することが必



要である。以下これについて一般的に述べる。

(1) 爆発性ガス(メタン)および炭塵の発生。

石炭鉱山においてはガス、炭塵爆発の予防が最重要条件であり他のいかなる条件にも優先する。機器は防爆構造とくに切羽付近には耐圧防爆を要求される。ガス発生の恐れが多い場所では電気機器の設置禁止または送電停止を要するため配電技術上ロードセンタに電源変圧器を設置することが困難である。

(2) 火災の発生を極端に恐れる。

坑内火災の消火は困難であり、火災による 2 次的災害はガスまたは炭塵の爆発、一酸化炭素の発生などが起り石炭鉱山にたいして致命的である。このため油入防爆の機器は好ましくない。

(3) 湿度高く腐食性の湧水がある。

当坑では海底坑であるためとくに条件が悪いが一般的に湿度高く場所によっては塩分二硫化炭素などを含む腐食性の湧水がある。

(4) 照明が不足しがちである。

坑内における機器の精密な分解、組立、点検などは不可能に近く、構造の単純化が要望される。

(5) 移動性多く据付が完全には行いにくい。

坑内設備とくに切羽施設は数ヵ月ごとに据付位置を変更するため小型軽量であると共に接続その他組立作業の少ないものが希望される。また据付場所が狭く据付地盤が変動することもありうる。

(6) 故障の際の復旧が迅速にできること。

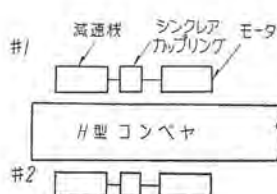
石炭鉱山は一貫した流れ作業であるため故障の迅速な復旧がとくに望ましく、構造単純にして部品の分解取替えが容易でありさらにその互換性を希望される。

(7) 専門知識の少ないものにより取扱われる。

構造が頑丈であり同時に保護装置、監視装置の完備が望ましい。

ウ. マインパワーセンタ

最近 H 種絶縁による乾式変圧器の発達がめざましく、当所においては前項の問題点の解決案として、戦後米国の炭鉱における Westinghouse 電機会社製のマインパワーセンタの使用例を目撃してきたが、三菱電機のマインパワーセンタ製作に当り最も時宜に適したものとして直ちに採用し、当所の使用条件に最も適合する下記の型式のものの製作を依頼しきわめて良好なる使用成績を示している。



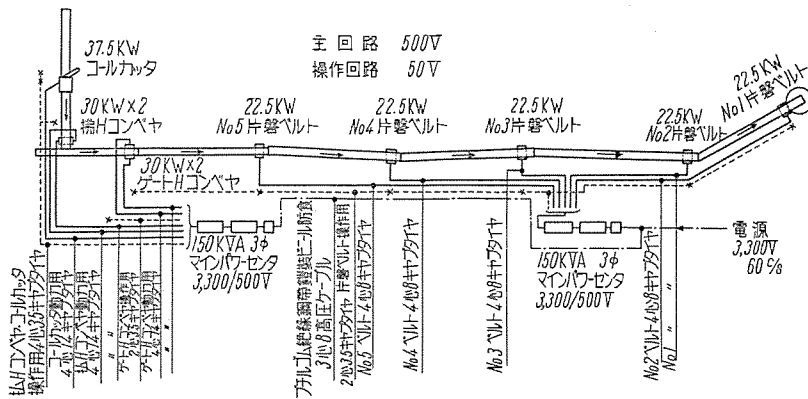
6 図 H型コンベヤモータ起動時のオシログラム

Fig. 6. Oscillogram of conveyor motor starting.

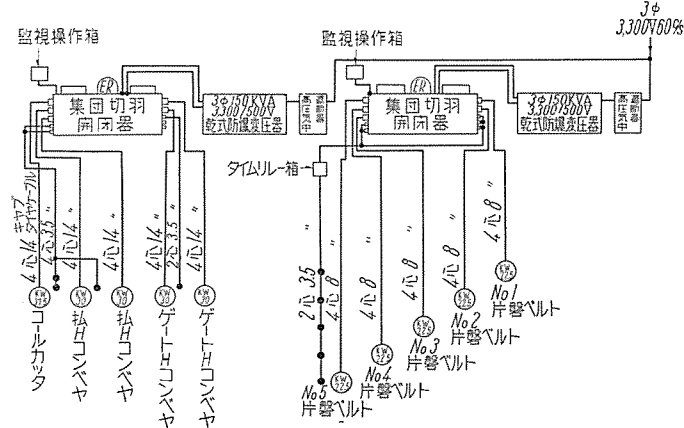
崎戸型の最も特長とする点はつぎのとおりである。

(1) 運搬および据付場所を考慮しマインパワーセンタの変圧器部と開閉器部とを別ケースとした。

(2) 開閉器類を集約し管理保守の徹底、据付面積の減少、移設費用の節減を図りとくにブ



7 図 最新の切羽機械配置図 (メインパワーセンタ設置後)
Fig. 7. The latest machine layout of working face.



8 図 最近の切羽配電系統
Fig. 8. Block diagram of the latest layout.

ラグを採用し区分開閉器を省略した。

(3) 短絡、接地、過負荷などの保護装置を完備した

(4) 監視装置を設け専門知識のないものでも容易に取扱えるようにした。

なお製品の詳細については次ページ「最近の切羽設備用制御機器」参照。

5. 最近の切羽電気設備

当所における最近の切羽電気設備は 7 図および 8 図に示すとおりである。切羽用メインパワーセンタは払面の移動につれて常に払面より 100 ないし 150 m の位置に

設置する。著しい特長としてケーブル設備費の急減は付図からも明らかに推定できる。なお全電気設備の管理保守に電工 1 名を常置しているが将来は廃止可能ではないかと考えられる。またメインパワーセンタ用 3,300 V ケーブルはとくに研究の結果その移動性および防食性を考慮してブチルゴム絶縁ビニールの特長ケーブルを採用している。

6. メインパワーセンタ使用による経費節減

メインパワーセンタを使用した場合と使用しない場合について 4 図と 7 図の例について設備費の比較を 3 表に示す。ただし簡単とするため切羽用電気設備部分のみに限定した。3 表は片盤長 600 m の場合における比較であり、切羽面の前進により金額差は少くなる。とくに強調を要することは数字的には算出不可能であるが払採掘終了によりつぎの新払への転換時の設備移動が迅速に行われる点で、ケーブルその他の手持ち資材がきわめて少量で済まされることである。

7. む す び

当所においてはメインパワーセンタの使用により一石四鳥の効果を収めることができた。すなわち

- (1) 電力の質の改善
- (2) 設備費の節減
- (3) 保安の向上
- (4) 施設保全の簡便

以上は低压側ケーブル所要量の減少、据付移設費の減少、保護装置の完備、設備の集約、監視装置の完備などにより達成することができた。昭和 29 年 10 月以降現在までに三菱電機製 150 kVA メインパワーセンタ 5 台を使用中であるが、さらに将来数台購入し合理化の実を収めたいと考える。終りに当り三菱電機関係各位のご協力ならびに当所上司とくに松本副長、安西課長、八野課長代理のご指導に深謝の意を表したい。

3 表 新旧設備費比較表

項 目	旧 設 備	マ イ ン パ ウ ー セ ン タ 設 置
器 具 関 係	3300 V 油入配電箱 1 台 50 kVA 1 φ 油入変圧器 3 台 低圧気中遮断器 1 台 気中区分開閉器 8 台 分 線 箱 1 台 接 地 継 電 器 1 台 切 門 開 閉 器 5 台 操 作 開 閉 器 3 台	メインパワーセンタ 1 式 内 高圧気中電磁開閉器 1 台 150 kVA 乾式変圧器 1 台 集団切羽開閉器 1 台 接 地 継 電 器 1 台 操作開閉器 3 台
高低圧用 主回路ケーブル	4 心 4 種 38 キャブタイヤケーブル 600 m 4 心 4 種 22 " 460×2 m " 22 " 400×2 m	高圧鋳装ケーブル 3 心 14 300 m 4 心 4 種 14 キャブタイヤケーブル 300 m " " 100×2+150×2 m
操作ケーブル	4 心 3 種 5.5 キャブタイヤケーブル 600 m 2 心 3 種 5.5 " 400 m	4 心 3 種 3.5 キャブタイヤケーブル 300 m 2 心 3 種 " 100 m
合 計	460%	264.5%

最近の切羽設備用制御機器

福岡工場 山縣 満*・平野 琢磨*

The Latest Controlling Equipment for Working Faces

Fukuoka Factory Mitsuru YAMAGATA・Takuma HIRANO

With the progress in the rationalization of the coal mining in the colliery, the working faces become longer, mining machines become large sized and motors used for them get bulky and numerous. This has brought a trend of general employment of mine power centers, circuit centers and oil-less apparatus, because the conventional controlling equipment will no longer meet the requirements. These improved facilities assure improvement of power quality, economy in installation costs, betterment of safety and simplicity of maintenance.

1. ま え が き

石炭の採掘は一貫したサイクル作業の連続であり、効率向上のため、切羽は集約され強力なカタローダコンベヤ、最近ではホーベルなどを使用し、切羽の進行速度を向上することに力が注がれている。

この結果払付近の採炭運搬用の電動機は台数容量共に増加し、電気機器の管理運転方式は複雑化してきた。このため従来の受配電方式では作業上、保守上から不具合な点が多くなり新しい機器の開発を要望されてきた。当社では最近切羽および片盤用として保安を向上し、設備移設の経費を節減し電圧降下を改善できる可搬式メインパワーセンタまた変圧器2次側の遮断器と電磁開閉器とを組合せて一体とした集団切羽開閉器(サーキットセンタ)を多数製作しているのが代表的なものについて大要を述べる。パワーセンタの製作実績を1表に示す。

2. 最近の切羽用電気機器の概要

戦後、石炭鉱山保安規則の施行により各鉱山においては保安設備の充実に努力され、年々坑内保安の状況は改善されてきた。これを電気機器メーカーから見ると

- (1) 非防爆品から防爆品への改修、取替
- (2) 各種保護装置の完備
- (3) 油入機器の乾式化
- (4) 切羽の集約にともなう大型電気品の採用

(5) 使用機器増加のため電圧降下の問題が採上げられての昇圧工事

(6) 接地、感電事故防止のため接地継電器の採用などであった。これらのうち特に油入機器の乾式化は爆発性ガスの存在する坑内に油入機器を設置することは危険区域内に発火源を持込むに等しく、これが保守について苦勞されている炭坑関係の技術者にとって油入機器の駆逐は長年にわたる念願であった。

当社では、低圧油入開閉器に代る NX 型気中遮断器、感電防止のための EP 型接地継電器、油入変圧器に代る乾式変圧器、さらにこれを開閉器群と一体にしたメインパワーセンタ、また集団切羽開閉器などを製作し最近高圧

1 表 耐圧防爆型メインパワーセンタ製作実績表

納入先	容量 (kVA)	電 圧 (V)	台数	備 考	納入期日
三菱鉱業嵯峨戸鉱業所	150	3150△/500△	1	変圧器のみ、集団切羽開閉器付	29-6
同 高松鉱業所	150	3150△/440/220△	1	200 A 気中遮断器 4 個付	29-7
羽根炭礦築別鉱業所	150	3150△/440/220△	1	同 上	29-9
三菱鉱業上山田鉱業所	100	3150△/440/220△	1	変圧器のみ、集団切羽開閉器付	29-10
日本炭礦二島鉱業所	150	3150△/440/220△	1	200 A 気中遮断器 2 個付	30-2
同 上	150	3150△/440/220△	1	メータ付 200 A 気中遮断器 4 個付	30-5
三菱鉱業嵯峨戸鉱業所	150	3150△/500△	2	変圧器のみ、片盤ベルト自動運転用集団切羽開閉器	30-9
日産鉱業江迎鉱業所	150	3150△/440△/380Y	1	変圧器のみ、2 次側 2 分岐	31-1
三菱鉱業嵯峨戸鉱業所	150	3150△/500△	1	変圧器のみ、切羽メータ自動運転用集団切羽開閉器	31-3
日本炭礦二島鉱業所	150	3150△/440/220△	1	メータ付 200 A 気中遮断器 4 個付	31-4
同 高松鉱業所	150	3150△/440/220△	1	メータ付 200 A 気中遮断器 3 個付	31-5
羽根炭礦築別鉱業所	5	440Y/220Y	1	変圧器のみ	31-5
三菱鉱業嵯峨戸鉱業所	150	3150△/500△	1	変圧器のみ、集団切羽開閉器付	31-6
※東亜燃料和歌山製油所	450	3150△/230Y	1	1500 A 遮断器 4~600 A 遮断器付	31-7
※ 同 上	300	3150△/220Y	1	1500 A 遮断器 3~600 A 遮断器付	31-8
三菱鉱業嵯峨戸鉱業所	150	3150△/500△	1	変圧器のみ、2 次側 2 分岐	31-8
大日本炭礦勿来鉱業所	100	3150△/440/220△	1	変圧器のみ、2 次側 2 分岐	31-8
明治炭礦鹿島鉱業所	150	3150△/440△/350Y	1	200 A 気中遮断器 4 個付	31-8
羽根炭礦築別鉱業所	150	3150△/440△/220△	1	メータ付 200 A 気中遮断器 4 個付	製作中
大正炭礦中島鉱業所	150	3150△/440△/220△	2	変圧器のみ、集団切羽開閉器付	"
三菱鉱業太田鉱業所	150	3150△/440△/220△	1	変圧器のみ、2 次側 3 分岐	"
同 美根鉱業所	150	3150△/440△/220△	2	メータ付 200 A 気中遮断器 4 個付	"
雄別炭礦鉄道雄別鉱業所	150	3150△/440△/220△	1	200 A 気中遮断器 4 個付	"
三菱鉱業嵯峨戸鉱業所	150	3150△/440△/220△	1	変圧器のみ、集団切羽開閉器付	"
日産鉱業江迎鉱業所	150	3150△/440△/380Y	1	変圧器のみ、2 次側 2 分岐	"
明治炭礦平山鉱業所	150	3150△/350Y	2	メータ付 200 A 気中遮断器 4 個付	"
同 上	100	3150△/350Y	1	同 上	"

※ 印は工場防爆型 (一般ガス) d. A. I

油入開閉器を乾式化した AHX 型高圧気中開閉器を開発した。集団切羽開閉器は最初には単に遮断器および開閉器類を一体にまとめたのみであったが、片盤および切羽に使用されている機器を連動し遠方操作することが望ましくすなわち切羽電動機群の合理的な管理方式の確立と片盤ベルトコンベヤの自動運転化により、採炭運搬系統の制御監視が可能となり、採炭運搬作業を一元化し能率的な出炭が期待できる。

上記の方式を三菱鉱業株式会社崎戸鉱業所のご協力により採用していただき納入以来好成績で運転しており以下これについて紹介する。

3. パワーセンタの概要

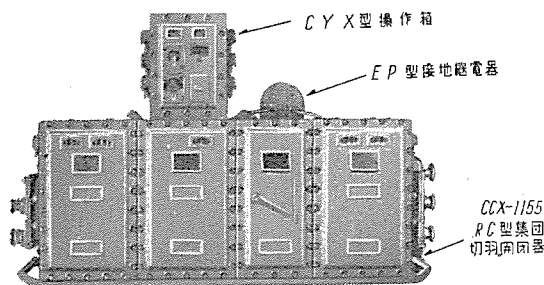
現場の使用条件に適した方式とするためつぎの点に考慮をはらった。

ア. 採炭運搬の合理化を計った

電源設備としては乾式変圧器 150 kVA 2 台を使用した。採炭用の切羽電動機は連動運転とした（コールカタ H 型コンベヤ、ゲートコンベヤ）。運転用の片盤ベルトコンベヤ 5 台は自動運転とした。これらのおおのに操作箱を設け連動一単独、自動一手動の切換開閉器によりワンマンコントロールが可能となり全機器を管理できるようにした。

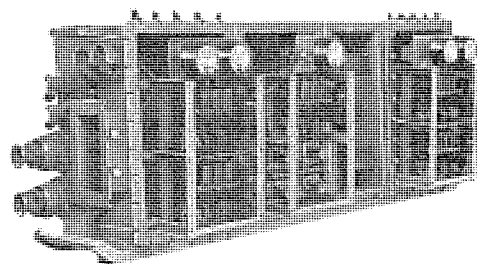
イ. 運搬据付の便を計った

片盤坑道に設置できるよう変圧器部分と 2 次側制御器部分とに分離し、据付単位面積の縮少を計りおのおのは可搬式の構造とした。またプラグの採用により区分開閉



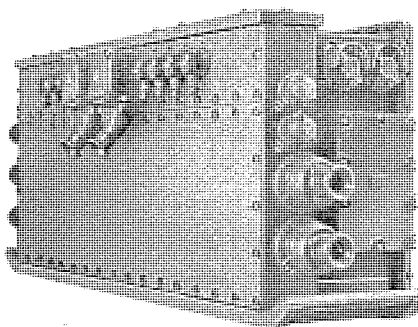
1 図 切羽電動機連動運転装置 九検 2302 (圧)

Fig. 1. Interlocked motor operation device for working face.



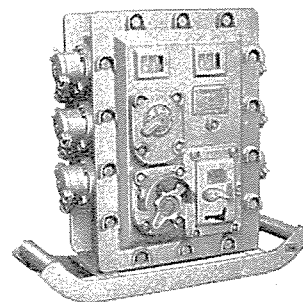
2 図 CCX-1155RC 型集団切羽開閉器の内部を引出したところ

Fig. 2. Interior of working face switch.



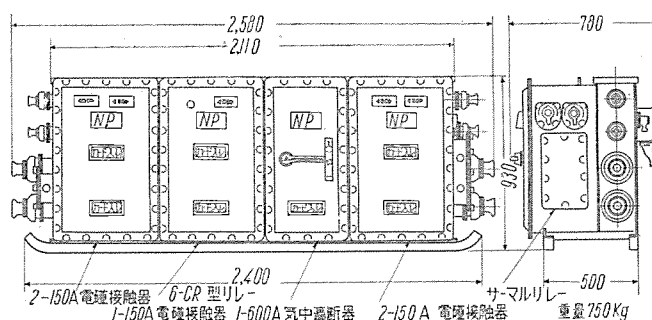
3 図 集団切羽開閉器裏面

Fig. 3. Grouped working face switch.



4 図 CYX 型防爆型操作箱 九検第 2305 号。連動単独切換、故障検出（短絡、接地、過負荷）

Fig. 4. Explosion-proof operating box.



5 図 CCX-1155RC 6 型防爆型集団切羽開閉器 (50 V 操作) 600 V 600 A

Fig. 5. Explosion-proof group switches for working face.

器を省略すると共にケーブルジョイントの手間を省き移設の迅速化と費用の節減を計った。

ウ. 保守点検を容易にした

取付品は集約してケース内に納め点検の際はカバーをはずせば内部部品は引出せるようにし、細部にわたる点検、部品の取換を容易にした。機器間の配線は裏面カバーを開けば点検できる。1 図に本器の外観を示す。2 図はカバーを開き内部を引出したところ、3 図は背面、4 図は操作箱、5 図に寸法図を示す。

エ. 保護装置を完備した

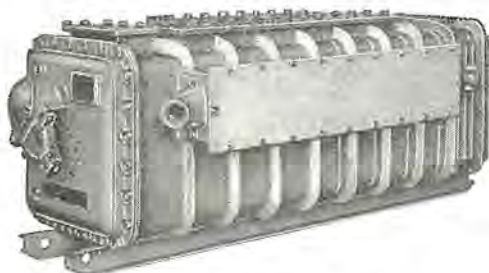
故障突発の際は迅速に発見処理し出炭減を押えるため故障検出切換装置を操作箱に設けた。

(1) 短絡保護

変圧器 2 次側遮断器として定格 600 V 600 A 遮断容量 25,000 A のすぐれたデアイオン・ノーヒューズ遮断器を使用している。このため短絡事故発生の際は瞬間的に電磁引外しを行い高価なキャブタイヤ・ケーブルの焼損を防止する本遮断器は瞬間引外電流を 300 % ~ 1,000 % の広範囲に調整できる点が大きな特長である。

(2) 接地事故

EP 型接地継電器の接点と上記デアイオン・ノーヒューズ遮断器の分路引外装置を連動させ、接地事故の際は自動遮断させる。この接地継電器は活線時の接地抵抗が実測できるため線路の保守が容易であり、接地電流は坑内爆発の限界電流 400 V において 10 mA 以下に



6 図 耐圧防爆型 150 kVA 乾式変圧器。
九検 1970 (圧)

Fig. 6. Explosion-proof dry type transformer.



7 図 150 kVA 変圧器中身
Fig. 7. Content of 150 kVA transformer.

押えてあり、感電防止に十分の考慮を払っている。

(3) 過負荷保護

各電動機回路にはおのおの熱動式過電流継電器が付いており連続する過負荷に対しては迅速に電動機を停止する。

(4) 操作回路の保護

50 V 操作回路には電源用として 2 線切の 125 V 15 A 定格のクイックラグ・デアイオン・ノーヒューズ遮断器を使用し回路の安全性とケーブルの焼損事故発生を押えている。

オ. 単純な回路とした

坑内切羽付近は照明が悪く、かつ設置場所も一般陸上では考えられぬ特殊条件にあるため単純な回路が望ましい。故障の起り易い要素をできるだけ少くすると共に、操作ケーブルの本数を極力少くして経費の節減を計った。

カ. 確実な運転方式とした

異常発生の場合ベルを鳴らしランプを点じて警報を発する原因を取除き、戻し釦を押すまでは再起動しないため事故発生後の再運転は専門知識のない人にも容易に行うことができる。

4. 乾式変圧器

ア. 仕様

型式 MPC-150X 型

容量 3 相 150 kVA (50 kVA 1φ×3)

電圧 1 次 3,450 3,300 R. 3,150 3,000 2,850

2 次 500 V

周波数 60 c/s

温度上昇値 140°C (H 種絶縁)

構造 耐圧防爆型、混触予防板付

イ. 構造

坑内での運搬に便利な構造とするため単相変圧器 3 台を直線上に並べ △—△ 接続としたもので、幅と高さが小さく台車上に据付けて運転できる形態とした。

本変圧器は H 種絶縁物で構成されているため一時的な過負荷に耐えることができ、負荷の変動の激しい切羽用に最も適している。外箱は厚鋼板をもって構成しその外周を多数の型钢材によって包囲した構造で、局部に集中応力がかからぬよう隅部分はすべて曲板をもって構成

しさらに冷却兼補強リブを溶接しており 8kg/cm² の圧力に十分耐えることができる。耐圧防爆構造においてとくに注意を要することは坑内の湿気による絶縁低下である。第 1 回の製品ではとくにこの点を考慮し、耐圧防爆構造に内圧構造を加味して全溶接をもって構成し

出荷に際しては内部に窒素ガスを封入した。これは使用されるまでに数カ月放置されることを予想し慎重を期したためである。その後湿度 100% における試験を繰返し実用上差支えない自信を深めた後、全溶接式をやめ一般の耐圧防爆型と同様両側カバーを開放できる構造とし、フランジ面にグリース塗布、箱内に変色性吸湿剤を入れる方法を取り今日に及んでいる。本器を 6 図および 7 図に示す。

ウ. 絶縁物

H 種絶縁物に関してはすでに広く知られているため詳述を避け、A 種絶縁物を用いた変圧器との比較を 2 表に示す。

エ. 特性

前述の 3 相 150 kVA 変圧器の特性は 3 表のとおりである。本器の温度試験の結果を 4 表に示す。全負荷状態にて温度が飽和するまで約 17 時間を要した。

2 表 A 種, H 種, 変圧器使用材料比較

部分名称	A 種	H 種
導 体	クラフト紙または鉛巻銅線	2 重ガラス巻銅線またはマイカガラステープ巻銅線
心 型	フラボードまたはマイカルタ	ガラスマイカルタチューブまたはマイカガラスクロス
層間絶縁	フラボードまたはクラフト紙	マイカガラスクロスまたはクインテラー(アスベスト製品)
間 隔 片	フラボード	磁器製品マイカガラスマイカルタ
絶 縁 板	フラボードまたはマイカルタ	マイカまたはガラスマイカルタ
ワ ニ ス	普通ワニス	シリコンワニス

3 表 3 相 150 kVA 変圧器特性表

3,150 V 力率 100% 75°C		
鉄 損 W	970	
銅 損 "	1,321	
全 損 "	2,291	
% インピーダンス	2.68	
効 率 %	98.49	
励 磁 電 流 "	6.7	
電 圧 変 動 率 "	0.91	

4 表 変圧器温度試験値

測定箇所	温度上昇値 °C	備 考
低圧コイル	138	抵抗法
高圧コイル	110	"
鉄心上部	101	"
低圧導線	78	
高圧導線	64	
内部空気	46	
(外箱)上部	38	
(外箱)下部	27	

5. 運転方式

ア. 切羽電動機の連動運転

つぎの電動機を 150 kVA パワーセンタで連動運転する。

(A) コールカッタ 1 台 50 kW 500 V 60 c/s

(B) H 型払コンベヤ 2 台 30 kW " "

(C) H型ゲートコンベヤ 2台 30 kW 500 V 60 c/s
 コールカッタは使用上から常時単独運転できるように
 しており操作線は3線操作としている。

H型コンベヤは(C)の運転後(B)は運転可能となり
 (C)が停止すると(B)も停止するように連動している。
 また試運転時やコンベヤのチェーン切れ、その他特殊の場
 合、単独に運転する必要がある、操作箱の切換開閉器に
 よりおのおの単独運転ができるようにしている。H型コ
 ンベヤはすべて2線操作式とし、材料送りなど稀に逆転
 の必要がある場合は、プラグをさし替えることによって
 行うこととしている。配置要領を8図に示す。

イ. 片盤ベルトコンベヤの自動運転

つぎの電動機を 150 kVA パワーセンタで自動運転す
 る。

- (A) ベルトコンベヤ 3台 22.5 kW
 (No. 1, No. 2, No. 3)
 (B) " 2台 22.5 kW
 (No. 4, No. 5)

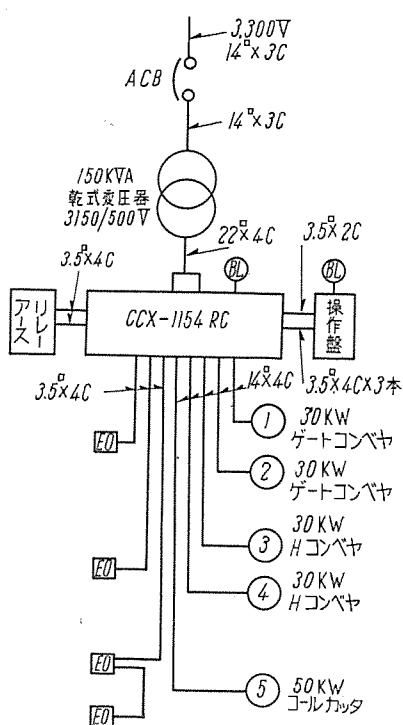
運転方式としてはつぎの3方法を行うことができる。

順序起動 (No. 1, No. 2, No. 3) → 連動 (No. 4, No. 5)

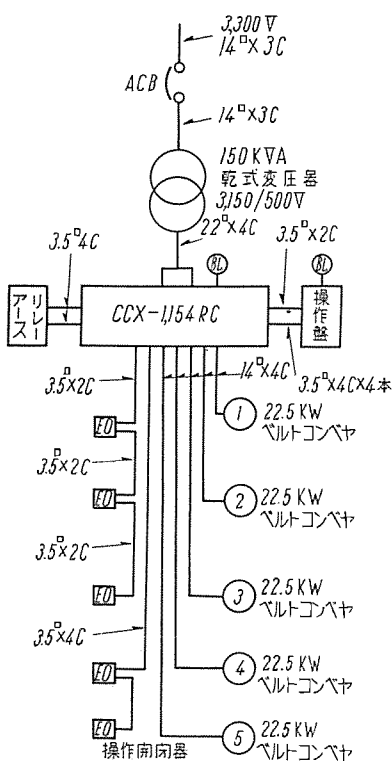
順序起動 (No. 1, No. 2, No. 3) → 単独 (No. 4, No. 5)

単独 (No. 1, No. 2, No. 3) 単独 (No. 4, No. 5)

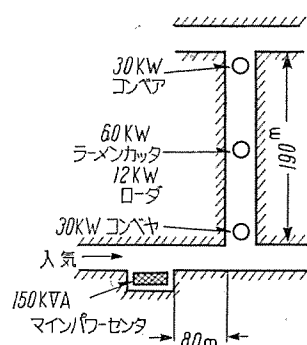
順序起動は No. 1, No. 2, No. 3 および No. 4, 5 を
 0~25 秒の時限をもたせて起動する。No. 5 と No. 4,
 No. 4 と No. 3 とおのおのは連動している。各運転方
 式は操作盤の切換開閉器によって行う。操作はすべて 2



8 図 切羽電動機の制御装置
 Fig. 8. Control equipment of
 working face motor.



9 図 片盤ベルトの制御装置
 Fig. 9. Control equipment.



10 図 マインパワーセンタ
 設置例
 Fig. 10. Mine power center.

ウ. 保護装置

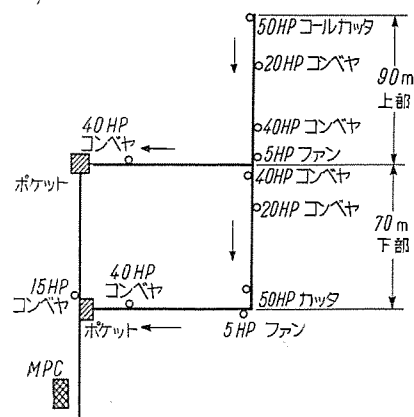
前項 エ. (1)~(4) に大略を記述しているので省略す
 る。

6. 使用状況

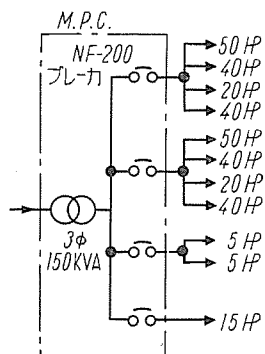
パワーセンタの使用に当り、最も問題となる点は乾式
 変圧器の温度上昇である。坑内切羽付近に高温を発する
 機器を持込むことは通気上面白くないため、心配されが
 ちである。

切羽内における負荷状況はすべての電動機が同時に全
 負荷運転を継続する時間は比較的短かくピークは通常 3
 ~4 時間程度で交替時間があるため冷却されさらに通気
 が冷却に役立つため割合上昇せず、坑内温度 20°C にお

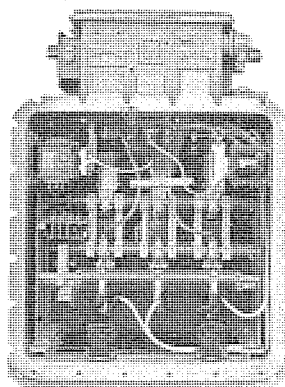
いて変圧器の外箱は 16~19°C の上昇
 にすぎない。また10図のごとく切込みに
 設置した例では通気量 300 m³/min
 で 20°C の上昇値となっている。連続
 して負荷がかかる場合の例を 11 図に
 示す。ここでは上部と下部の払を交互
 に作業する。電源には 150 kVA のパ
 ワーセンタを使用している。接続図を
 12 図に示す。ここでは切羽面が若干傾



11 図 マインパワーセンタ設置例
 Fig. 11. Installation of mine
 power center.



12 図 接続図
Fig. 12. Connection diagram.



13 図 AHX-205 高圧
中遮断器
Fig. 13. High pressure air
circuit breaker.

斜しているためおよび通気状態の良い立入坑道に設置してあるため、外箱の温度上昇は 20°C 前後にすぎず、H 種絶縁の変圧器を用いる場合温度上昇に関する心配は無用と思われる。

7. 気中式高圧電磁開閉器

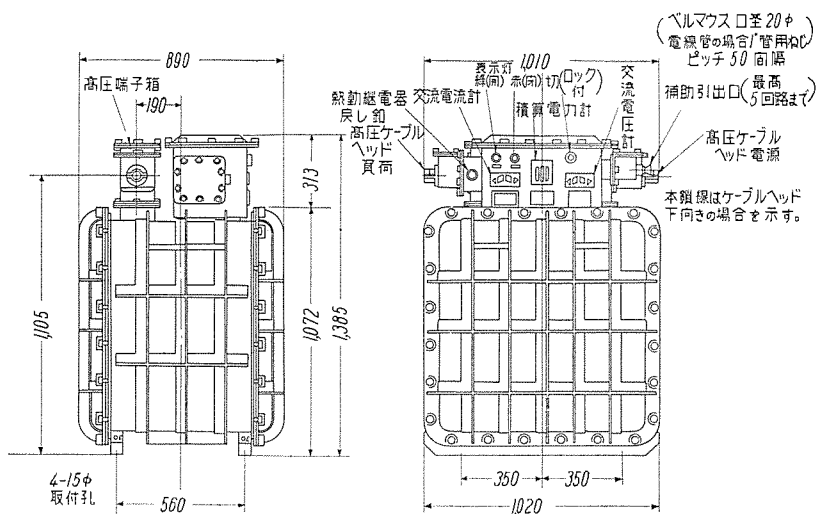
坑内における高圧開閉器はほとんど油入を使用されており本器の乾式化により切羽付近より油入機器を駆逐することができる。本器には AH-205 高圧電磁接触器を使用している。これについては本誌 29 巻 8 月に報告されているので参照願いたい。本器はつぎの定格である。

3,450 V 200 A 投入容量 2,000 A
遮断容量 30 MVA

ア. 構造

本器はパワーセンタの 1 次側開閉器また坑底ポンプその他の高圧電動機の起動用に用いられるほか、一般化学工場などにも使用できるよう JISC 0901 電気機器の防爆構造(炭坑用)および工場電気設備防爆指針に準拠した耐圧防爆構造である。

ケースは上下の 2 部分よりなり、すべて鋼板製で外周



14 図 耐圧防爆型高圧気中電磁開閉器
Fig. 14. Pressure proof explosion proof magnetic switch.

5 表 耐圧防爆箱内における遮断試験
3,450 V 60 c/s 回路力率 0.0875

遮断電流			電弧時間			備考
U 相	V 相	W 相	U 相	V 相	W 相	
2,280A	1,950A	2,280A	1.56 c/s	1.11 c/s	1.19 c/s	遮断成功 異常なし
2,240	2,340	2,200	1.39	1.0	1.5	"
4,600	4,980	4,980	1.07	0.93	0.71	"
5,850	4,800	6,720	1.40	1.0	1.15	"
6,580	4,980	6,000	0.91	1.06	1.36	"

は型钢材をもって包囲し 10 kg/cm² の内部圧力に十分耐えるごとくしている。下部ケースには高圧電磁開閉器、操作用変圧器、計器用変成器などの高圧用器具を立体的に配置し周囲は絶縁および耐弧性の強い絶縁物で包まれている。上部ケースには各種計器、保護装置などの低圧用器具を納め高低圧回路を区分し、保守点検取扱いの便を計っている。13 図 14 図に本器を示す。

イ. 特長

(1) 遮断容量が大きい

強力な吹消線輪の効果と大きな消弧箱により電弧は短時間で消弧される。耐圧容器内における遮断試験の結果を 5 表に示す。

(2) 接触子の消耗が少い

耐弧性の強い特殊合金接点を使用しているので長期の使用に耐える。

(3) 保守が容易

高低圧回路は区分されており、安全性はきわめて高く保守のための手入が少なくてすみ、また点検容易である。

(4) 電磁石は交流式

固定部は 3 脚 E 型、可動部は T 型とし水平に取付けであり、可動鉄心は浮動鉄心構造で強力な吸引力があり投入時のおどり現象少く、しかも可動部は作動軸に対し平衡がとれており、形態の割には鉄心部分が小さくこのため消費電力が少い。

ウ. 取付品

坑内用のものでは外部操作電圧を 50 V としており、つぎのものを取付けている。

- 1—AH205 型高圧電磁接触器
- 1—操作用変圧器 500 VA 3,300/220/110 V
- 2—計器用変圧器 30 VA 3,300/110 V ヒューズ付
- 2—計器用変流器 15 VA
- 1—熱動過電流継電器
- 1—過電流引外装置
- 2—表示燈 5 CP 100 V (赤緑)
- 1—交流電流計
- 1—交流電圧計
- 1—積算電力計
- 1—非常停止用押釦開閉器
- 1—操作変圧器 50 VA (200/50 V)
- 2—筒型ヒューズ

FN-105 型 交 流 電 磁 接 触 器 の 試 験

本 社 山 田 栄 一^{*} 研 究 所 森 本 英 男^{**} 福岡工場 山 縣 満^{***}

Test on Type FN-105 A-C Magnetic Contactors

Head Office Eiichi YAMADA • Engineering Laboratory Hideo MORIMOTO
Fukuoka Factory Mitsuru YAMAGATA

Motors employed around the coal face require frequent starts and stops from the standpoint of the use, leading to quick wear of contact pieces of magnetic contactors thereof. In the mine, however, durability for a long period is a vital requisite of the apparatus in terms of maintenance. Mitsubishi Type FN-105 magnetic contactors are designed for the purpose, having their contact pieces made of copper plate covered with silver-tungsten alloy which helps prolong the life and avoids sticking by fusion. The contactors have been recently tested to confirm that they are fully in conformity with the standards of the JIS C-8325 for A-C magnetic switches. As a result it has been proved that they are of class A No. 1 class 1 products.

1. ま え が き

石炭坑内の片盤切羽付近にて使用される電動機はその用途上から起動、停止が頻繁に行われるため、これに使用される電磁開閉器の接触片は傷みやすい傾向がある。坑内では保守上長期間にわたり使用できるものが望ましく、当社で防爆型電磁開閉器または集団切羽開閉器などに使用している FN-105 型電磁接触器の接触片は銅ベース上に銀タングステンを貼付けて寿命の増大、溶着防止などを図っている。今回本器について JIS C 8325 (交流電磁開閉器) により諸試験を行い、目標とした A 級 1 号 1 種に該当することを確認することができた。

2. 試 供 品

防爆型電磁開閉器 EX-101 型 (6 図参照) について試験を行った。電磁接触器は FN-105 型定格 600V 100A でプレスワークによる鋼板とモールドを主体として構成されており、電磁石の固定部は E 型 3 脚鉄心、可動部は逆 T 型で水平に取付いている。可動鉄心は浮動式で投入時の喰りは全くなかった。消弧装置はデアイオン・グリッド方式である。接触片は銅ベース上に銀タングステン (3:7) 14×15 厚さ 1.5mm が接着されており、接触

面積は 210 mm² であった。接触圧力はいずれも設計値 2.7±0.2 kg の指定内にある。220 V 60 c/s のコイルを取りつけた場合の最低動作電圧は 167 V (76%)、落下電圧は 102 V (46.5%)、投入後のコイル電流 0.68 A、消費電力 37 W であった。

本器を 1 図および 2 図に示す。

3. 試 験 規 格

次に参考のため試験規格 (JIS C 8325) を要約する。本規格においては電磁開閉器の呼び方として級別、号別および種別を記入するよう定められている。

ア. 級 別

級別は 1 表に示す電流で遮断電流量試験および閉路電流量試験を実施して定めることになっている。これらの試験条件は 4 項に記す。

イ. 号 別

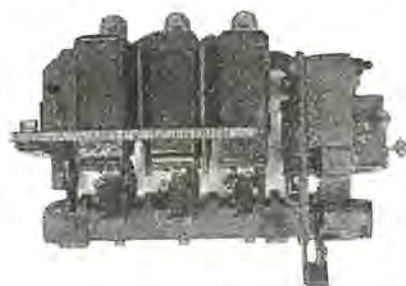
号別は開閉頻度の種類による別であって 2 表に示す基準によって定める。

ウ. 種 別

種別は 3 表に示す機械的および電氣的寿命回数によって定まる。

エ. 電氣的寿命試験

部品を取替えず手入れも行わず、操作電磁コイルには定格周波数の標準操作電圧を加えて 2 表の号別に



1 図 FN-105 型電磁接触器
Fig. 1. Type FN-105 magnetic contactor.



2 図 FN-105 型電磁接触器
Fig. 2. Type FN-105 magnetic contactor.

1 表

級 別	定格容量に対する全負荷電流倍数	
	遮 断	閉 路
A	10 以上	10 以上
B	5 以上	5 以上
C	2 以上	2 以上

2 表

号 別	開閉頻度 (回/毎時)
1 号	1,200
2 号	600
3 号	300
4 号	120
5 号	30
6 号	規定せず

備考: 開閉頻度の回とは開閉動作を1回とする回数で表す。

3 表

種 別	機械的寿命	電氣的寿命
1 種	500 万回以上	50 万回以上
2 種	250 万回 "	25 万回 "
3 種	100 万回 "	10 万回 "
4 種	25 万回 "	5 万回 "
5 種	5 万回 "	1 万回 "
6 種	5,000 回 "	1,000 回 "

備考: 寿命とは開閉器の手入を行わないで、使用しうる限度をいい、開閉動作を1回とする回数で表す。

4 表

級 別	定格容量に対する 全負荷電流値の倍数			
	閉 路		遮 断	
	倍 数	力 率	倍 数	力 率
A	5	0.4 以下	1	0.7 以下
B	2	0.7 "	1	0.7 "
C	1	1.0 "	1	1.0 "

応じた開閉頻度で主回路は定格電圧、定格周波数の4表の電流を閉路し、ただちに遮断電流値に低減して使用率40%の通電を行うものとする。

オ. 機械的寿命試験

部品を取替えず手入れも行わず(注油または操作電磁コイルの取替えは差支えない)主回路には通電せず操作電磁コイルには定格周波数の標準操作電圧を加えて2表の号別に応じた開閉頻度で動作せしめるものとする。

4. 遮断および閉路電流容量試験

ア. 遮断試験の条件

- (1) 遮断電流は定格電流の10倍1,000Aとする。
- (2) 標準動作責務は (CO-15"-CO-15"-CO-15"-CO-15"-CO)とする
- (3) 電圧は550Vとする
- (4) 力率は0.4以下とする
- (5) 放電電弧が接地せられた金属に達しないこと
- (6) 遮断試験後接触子以外の部分は引続き使用上支障ない状態にあること

イ. 閉路試験の条件

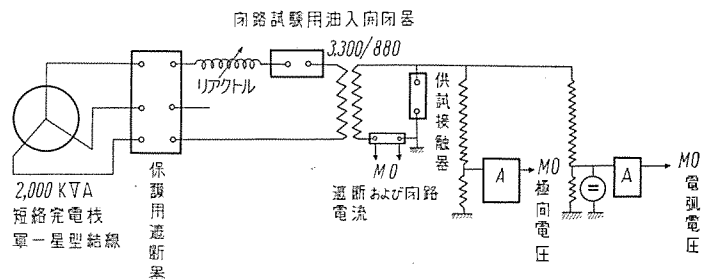
- (1) 閉路電流は定格電流の10倍1,000Aとする
- (2) 接触子は消耗する厚さの3/4を減じて1/4とする
- (3) 電圧は550Vとする
- (4) 力率は0.4以下とする

(5) 回数は100回とする

(6) 閉路動作後ただちに閉路状態とし(電流遮断を行わず)約2秒おいて同一動作を行いこれを繰返す。

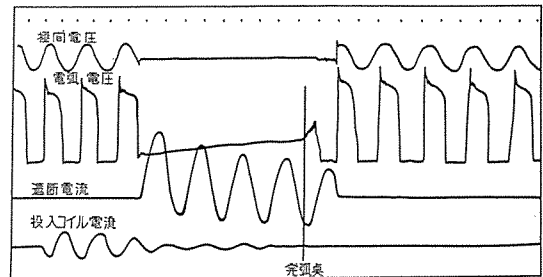
ウ. 試 験

試験には研究所設置の2,000kVA短絡発電機を使用し回路の都合上単極試験を行った。したがって電圧は $550 \times \sqrt{3}/2 = 477V$ で行っている。電流は発電機の直列リアクトルにより加減し約1,000A(交流分実効値)となるようにした。試験回路を3図に、遮断試験の結果を5表に示す。なお代表的オシログラムを4図に示す。



3 図 試 験 回 路

Fig. 3. Testing circuit.



FN-105-1

発 電 機 Single Star

Reactor 6 個

発 電 機 1,790 V

試 験 電 圧 477 V

投入電流

交流分 $X=1,460A$

直流分 $Y=1,125A$

Total $\sqrt{\frac{X^2}{2} + Y^2} = 1,300A$

遮断電流

交流分 $X=1,365A$

直流分 $Y=182A$

Total $\sqrt{\frac{X^2}{2} + Y^2} = 980A$

電弧時間 0.7 c/s

4 図 遮断試験オシログラム

Fig. 4. Oscillogram of interruption test

5 表 遮 断 試 験

FN-105 動作責務試験 (CO-15"-CO-15"-CO-15"-CO-15"-CO) 発電機 Single Star Reactor 6 個 発電機電圧 1,790 V 試験電圧 477 V					
試 験 順 序	1	2	3	4	5
投 入 死 時 間	3.03 c/s	2.91	2.67	3.15	2.86
投 入 電 流	交流分 X	1,460A	1,450	1,540	1,550
	直流分 Y	1,125A	590	1,270	1,400
	$\sqrt{\frac{X^2}{2} + Y^2}$	1,300	1,108	1,410	1,470
電 流 流 通 時 間	4.6 c/s	5.8 c/s	5.8 c/s	5.2 c/s	5.1 c/s
	交流分 X	1,365A	1,320A	1,320	1,350
	直流分 Y	182A	0	0	250
遮 断 電 流	$\sqrt{\frac{X^2}{2} + Y^2}$	980A	940	940	986
	電 弧 時 間	0.7 c/s	0.88	0.94	0.75
	全 遮 断 時 間	1.55 c/s	2.1	2.2	1.63
備 考	時間は 50 サイクルベース				

閉路試験は同一電流を 100 回 2 秒間隔をもって投入した。遮断には 3,300 V の炭鉱用油入開閉器を用いた。100 回の試験により接点表面は相当荒れたが溶着はしなかった。試験前後にオシログラムをもって投入状態を測定したが、いずれも前記遮断試験のばあいと同様で、とくに異常現象は認めないのでその結果は省略する。

エ. 試験結果の検討

5 回の CO の結果を見ると遮断性能はとくに変化しておらず、十分な遮断能力を有していると考えられる。試験後接点の損耗は相当あったが、その他の部分は引続き使用に差支えを来すような損傷は全く見られなかった。投入死時間(投入コイル閉路より主回路閉路に至る時間)は 3 c/s 程度で試験ごとに幾分のばらつきがある。

電弧時間は 0.59~0.94 c/s でいずれも 1 c/s 以内には遮断している。全遮断時間(投入コイル閉路より遮断完了までの時間)は 1.55~2.25 c/s で接触器性能としては満足すべきものと思う。

100 回の閉路試験では溶着は起らずその後も支障なく投入を行うことができた。

以上の試験はいずれも回路力率はほぼ零であって規格の条件よりはさらに相当苛酷なものであるが、試験の結果より見れば A 級の電磁開閉器としての満足すべき十分な性能を有しているものと考えられる。

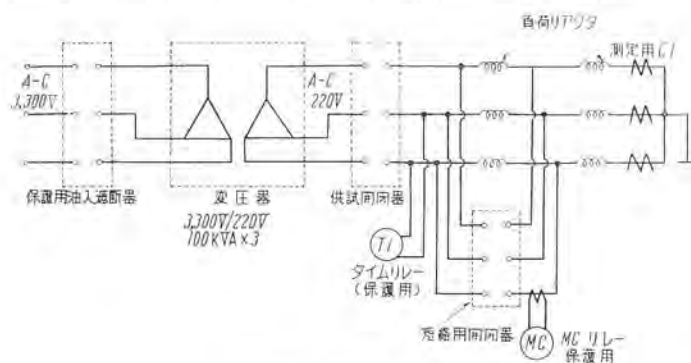
5. 電氣的寿命試験

電氣的寿命試験は前項エの条件で行うもので、この場合毎時 1,200 回の開閉頻度で 500 A (力率 0.4 以下)を閉路し、直ちに電流を低減し 100 A (力率 0.7 以下)を開路して使用率 40% の通電を行うものである。

試験は 50 万回という龐大な回数であり、しかも電流は閉路電流 5 倍で直ちに遮断電流 1 倍に低減するという複雑な負荷である。このような負荷をかけるためシーケンス回路および事故防止回路など、相当複雑なものとなった。また万一の事故あるいは停電などのことも考え夜間は運転を休止したため、実動時間は大体 1 日 8 時間位でこのため延べ 80 日の長きにわたった。

ア. 試験回路

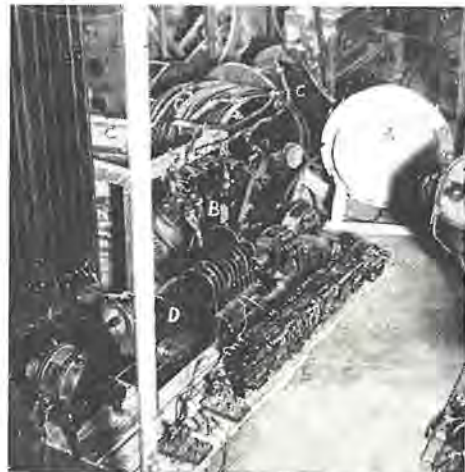
電源は研究所整流器実験室にある試験用電源を使用し 5 図に示す回路で試験を実施した。すなわち負荷としては空心リアクタを使用し、投入時にはそのリアクタの一部を短絡し、遮断時にはその短絡を開いて電流を減少せしめた。シーケンスは No. 2 接触器(リアクタ短絡用



5 図 試験回路

Fig. 5. Testing circuit.

接触器)を閉じた状態で No. 1 接触器(試供品)を投入し、直ちに No. 2 を開き 1.2 秒後に No. 1 を開く。次に No. 2 を投入し 3 秒間でこの 1 c/s を完了する。これらは回転円板スイッチ、MC リレー、タイムリレーを組合わせた操作回路によってこのシーケンスを行った。試験装置と試供品を 6 図に示す。



注: A 供試器 D 回転円板スイッチ
B 短絡用開閉器 E 操作及保護リレー
C リアクタ

6 図 試験装置

Fig. 6. Testing apparatus.

投入時

	L	R (1 相当り 60 c/s にて)
変圧器	0.0155 Ω	0.004 Ω
リアクタ	0.232	0.056
	0.2475 Ω	0.060 Ω
	$Z = 0.254 \Omega$	
力率	$\frac{0.060}{0.254} = 0.236$	
予想電流	= 500 A	

遮断時

	L	R (1 相当り 60 c/s にて)
変圧器	0.0155 Ω	0.004 Ω
リアクタ	1.25	0.087
	1.2655 Ω	0.091 Ω
	$Z = 1.27 \Omega$	
力率	$\frac{0.091}{1.27} = 0.072$	
予想電流	= 100 A	

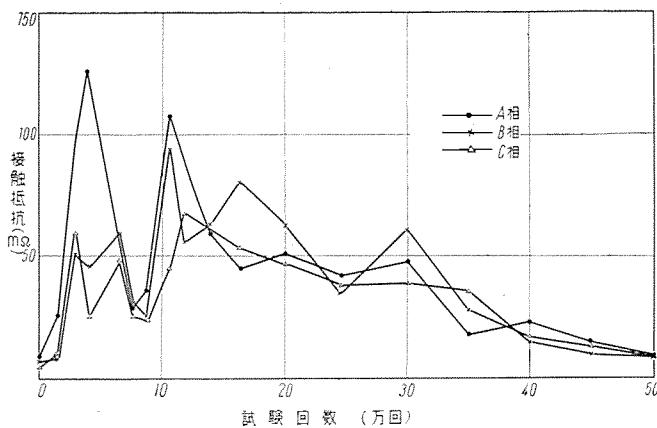
イ. 試験結果

7 図は試験中の各相接触抵抗の変化(携帯ブリッジで測定)を、8 図は可動および固定接触子の重量変化を、9 図は消耗量の変化、10 図は各相接触面積の変化を示す、11 図は 10 万回および 50 万回完了後の接触子表面の写真、12 図および 13 図は 10 万回および 50 万回後の接触子表面のスケッチ、14 図は 50 万回目における投入ならびに遮断時のオシログラムを示す。

ウ. 試験結果に対する考察

(1) 力率と遮断特性

試験回路の力率は設備の関係上非常に悪く、試験としては苛酷であったと思われるが、このよう



7 図 接触抵抗の変化

Fig. 7. Change of contact resistance.

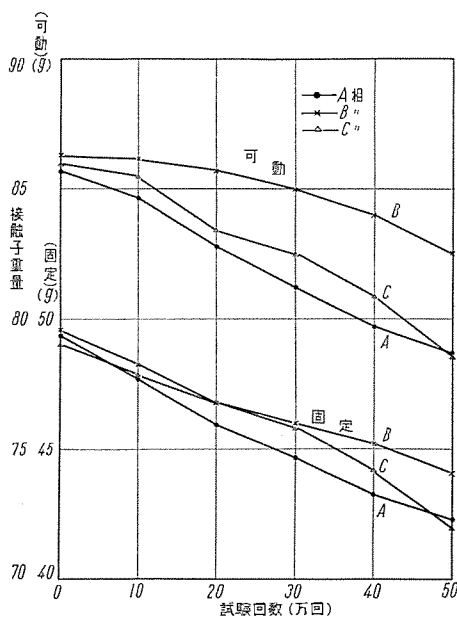
な低圧の機器に対して力率が遮断特性，したがって接点の寿命にどの程度の影響を及ぼすかは今後研究すべき課題である。

(2) 接点の接触状況と消耗量

銅基材に銀付けせられている銀—タングステン材質は大体 30 万回でほとんど消耗し，それ以後は銅と銅のコンタクトとなったために，その後の消耗は大きい。接触面の状態は可動コンタクトの面は凹み，それに相対して固定コンタクトは凸出してくる。消耗量の変化は 9 図に示すように可動，固定ともに B 相が一番小さく，A 相 C 相は大体同程度である。このことは接点の開離が B 相が一番遅いことと一致している。30 万回以後の消耗量も，重量の変化でいえば急激な変化は曲線上からは見られないが，30 万回以後はほとんど銅と銅のコンタクトであり，銅の比重が銀およびタングステンに比して小さいから，消耗容積は急激に増大しているわけである。これは接触面積が 30 万回以後に急増していることからいえる。

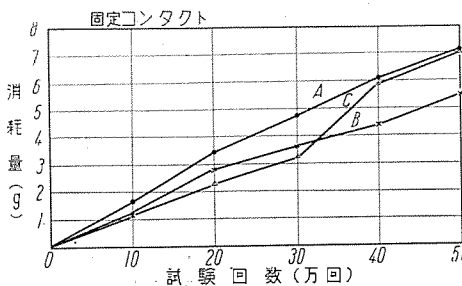
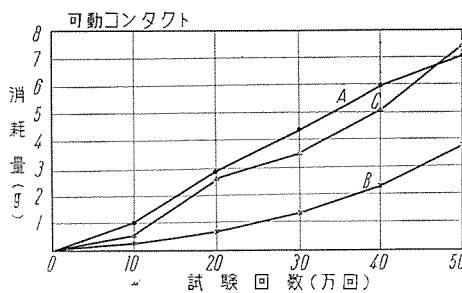
(3) 接 触 抵 抗

接点の接触抵抗は 30 万回までは高くなったり低くな



8 図 接触子重量の変化

Fig. 8. Change of contactor mass.



9 図 接触子消耗量の変化

Fig. 9. Change of consumption of contactor.

ったり，測定ごとにまちまちであるが，それ以後はある程度低下している。30 万回までは銀—タングステンの材質が存在する接触であり，硬いタングステンの点接触の状態と考えられる。したがって測定の時期によってその接触状態がことなり，抵抗値もばらつくものと思われる。30 万回以後は銅と銅の接触であり，10 図に示すように接触面積が広くなるために接触抵抗は 7 図のように減っている。

(4) 電氣的寿命

銀—タングステン材質が存在することは非常に有効であり，30 万回にてほとんど消耗しているのだから，接点それ自体としては 30 万回がその寿命と称すべきであるが，現在の銀—タングステンの接点材質の厚みは 1.5mm で，大体 30 万回の寿命であるから，直線的に考えてもう 0.5 mm 程度厚くすれば 40 万回位はもつと思われる。30 万回以後においても銅—銅コンタクトとなっても接触器としてはなんら不都合なく使用可能であり，50 万回の試験終了後においてもまだある程度の厚さが残っているのだから，続けて使用可能である。なおこの結果により製品の銀—タングステンの厚さは 2 mm と変更された。

(5) そ の 他

接点材質の銀付けは良好であり，試験中にはけたり，めくれたりすることはなかった。接点の周辺に，赤紫色のすすが付着したが，これは銀付けの際の溶剤などに起因するものと思われるが，別に悪影響はない。

接点以外は電磁石や操作機構などの可動部分も，またその他の固定部分も，電氣的にも機械的にも全然異常はみられなかった。

6. 機械的寿命試験

試験の条件は前項 3・オに記したとおりで主回路には通電せず毎時 1,200 回の頻度でもって 500 万回以上に耐えなければならない。試験品には EX-103 型耐圧防爆型電磁開閉器を使用した。これは 50 V による遠方操作方式のもので取付品は FN-105 型接触器の他に小型変圧

器，筒形ヒューズ，操作継電器などがあり，これらの耐久試験をも兼ねた。本試験は実に 7 箇月の長期にわたった。500 万回の試験の結果 FN-105 型接触器についてはなほだしい異常は認められず十分使用に耐えることが判ったが，品質向上のため，工作上，組立上注意すべき点が判明したので，主要点を述べる。

ア. 固定接触子の變形

試験終了後接触子の状態を調べたところ，3 極中の 1 極の可動接触子のみ變形が，やや大きかった。調査の結果銅ベースの硬度が少し低いことが判った。これは銀—タングステン溶接時の作業むらのため，すなわち加熱時間が長

いと硬度が低下するためであり作業改善を行った。

イ. 締付ナットのゆるみ

主回路の主回路導電部の締付は、2重ナット方式、その他の大部分はばね座金も使用している。130万回程度ではね座金を用いたナットが1個半回程度ゆるんでいった。組立時の締付不足と考えられるが、全般的にみて、完全に締付けられた、2重ナット方式はゆるむことはないが、ばね座金のものはややゆるみやすい傾向があり、主回路は2重ナットを用いていることがよいことが判った。

ウ. ヒューズの断線

小型単相変圧器の2次側に2個の筒型ヒューズを入れているが、左右おのおの4万および5万5千回目に断線した。このヒューズは両端をキャップに溶接した方式のものである。断線は振動によるものと考え、接着方法を改めたが、さらに12万および27万回目に断線した。以後も大体10~20万回程度にて断線することが判ったので、その後は臨時的に10Aヒューズと取替えて試験を続行した。

エ. 操作継電器の可撓燃線の断線

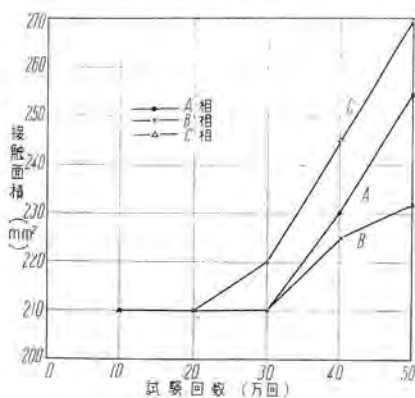
操作継電器の可動接触板に取付けている可撓燃線が16万5千回にて切断した。これは可動板に鉤付しているもので、取替えたがその後も16~18万回程度で切断するため、取付方法を改め可動板押え用のばねの下部に挿入したところよくなった。これは鉤付の際の加工硬化によって切れやすくなることが判った。

オ. FN-105 用補助接触子可動板の不良

68万回にて補助接触子の可動板が機械的打撃により変形して接触不良となった。これは板厚を増すことによって解決した。

カ. 塵埃の発生

試験終了後、取付部品のすべては黒く汚損し、扱うと手は黒く汚れる状態であった。これは耐圧構造の密閉箱内で試験を行ったため、動作中に発生した微粉は箱内に浮遊して全面的に汚損したものと考えられる。これを分析したところ、大部分は鉄で少量の接点材料および銅を含んでいることが判った。



10 図 接触面積の変化
Fig. 10. Change of contact area.

以上のごとく、種種の弱点が判明し、品質向上のためうるところが多であった。

7. 保守上の注意事項

以上の諸試験を行った結果、気付いた点、保守上の注意事項について記す。

ア. 使用別による定期的な点検

電磁開閉器のごとく、開閉のたびに消耗する接触部を有する機器では、保守点検を適宜に行わないと、いつかは役立たなくなるといえるが、全開閉器に対して画一的な点検は不要である。坑内では電動機の用途により、使用頻度は非常に異っており、これらに応じた定期的な点検計画を立てて行った方が効果的であろう。とくに切羽用のものでは、一切羽終了後他に転用することなく、一応坑外に上げ、点検、清掃を行うべきである。

イ. 点検記録の作成

点検の際、たとえ1本のボルトのゆるみにしろ記録を作成しておくことが必要であり、この記録の集積によりその機器の弱点、寿命、必要な予備品が判り、先手をうつことができ能率のよい保守ができる。

ウ. 注意事項

(1) 消弧箱

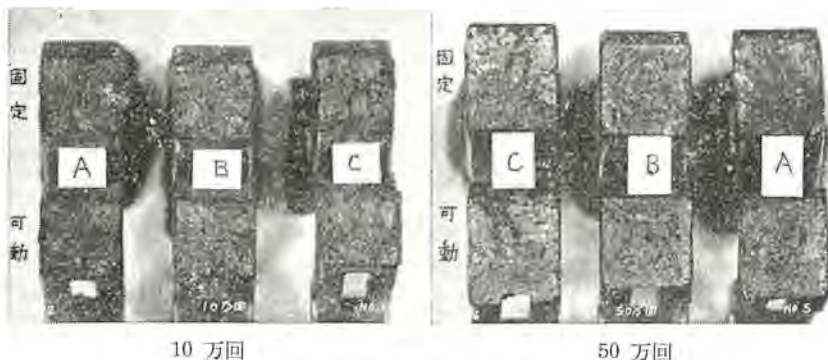
大電流の遮断を行うたびに、銀-タングステンの微粉が消弧箱内部のアスベスト壁に付着することが判った。付着量が大きくなると、遮断性能は落ちる故、年1回位内部の付着物をドライバの先端などで除却するとよい。

(2) 内部の清掃

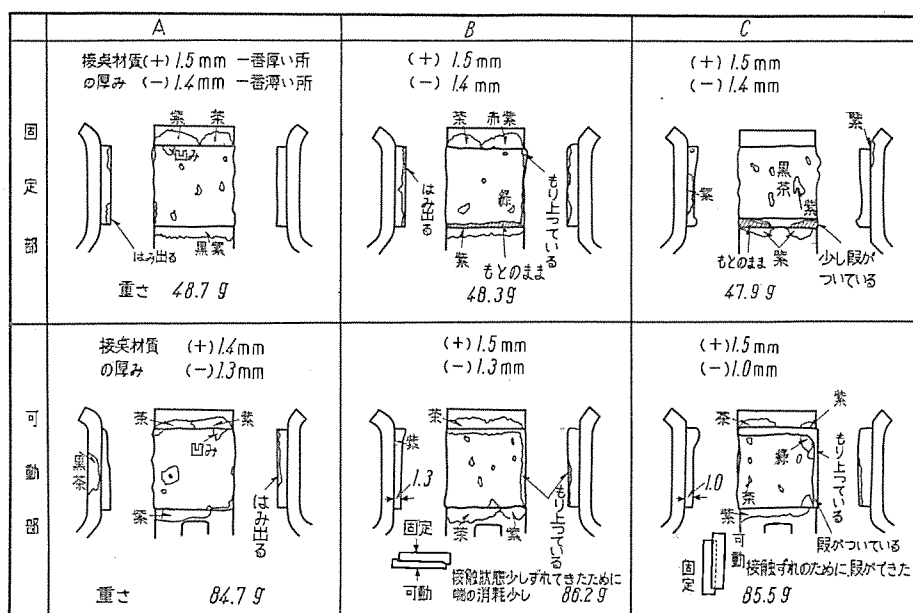
6・カ項に述べたごとく、長期間密閉したままで使用すると箱内の汚損はいちぢるしい。これらが絶縁物上に集積すると事故原因となることが予想されるので、坑外に引上げられた際は、内部をエアーで吹かしたがい。また銀-タングステン接点を使用したものでは開閉のたびに少量の微粉を生じるため、密閉箱内で上下配置とする時は、中間にセパレータを設けたがい。

(3) 接触子の手入れ

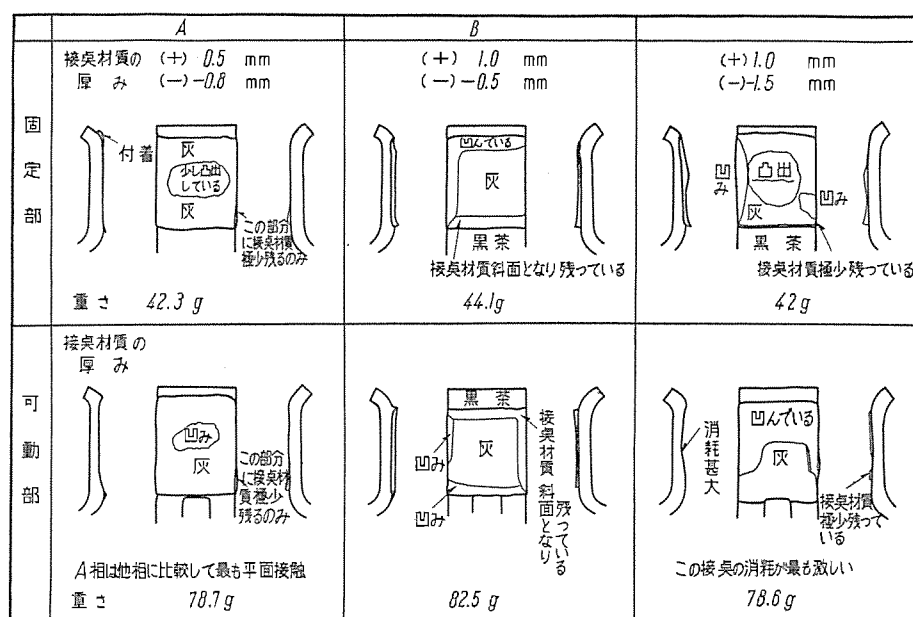
5・ウ項の結果で判るごとく、従来の銅接点のように点検の際接触子表面をやすりでこする作業は不要である。



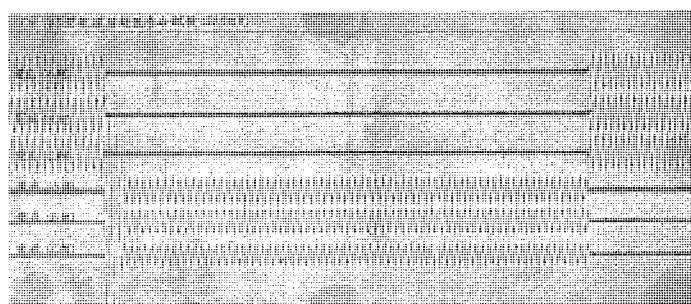
11 図 接触子表面の状況
Fig. 11. Condition of contactor surface.



12 図 接 触 子 表 面 の 状 況
Fig. 12. Condition of contactor surface.



13 図 接 触 子 表 面 の 状 況
Fig. 13. Condition of contactor surface.



14 図 遮断試験オシログラム
Fig. 14. Oscillogram of interrupting test.

特に大きな突起が生じない限り、接触子の手入れは不要である。

(4) 点検箇所

6 項の機械的寿命試験の結果出た欠点については特に注意する必要がある。すなわち固定接触子の形状、ねじ類のゆるみ、ヒューズの断線、操作継電器の可撓熱線の断線および電気インターロックの接点などである。

この中でヒューズの断線を防止するためには、大きいヒューズを使用すればよいが、変圧器の保護ができなくなるため、使用頻度に応じて定期的に取り替えることが必要である。なおこれについては防震方法について研究中である。

8. む す び

今回 JIS C 8325 (交流電磁開閉器) に基づく諸試験の結果、主開閉部の特性が A 級 1 号 1 種に該当することを確認することができた。また補助回路用器具は部分的改良により、主開閉部の寿命に似合う耐久度になることが判り、炭鉬用開閉器の品質向上のために有益な多くの資料を得ることができた。

銀—タングステン材料は本開閉器については、銅—銅のコンタクトに比較して明らかに優れており、有効なことが判った。その他の材質との比較が今後とりあぐべき問題である。

最後に試験設備その他について、種種と援助を賜った研究所阿部研究員に深謝する。

坑内における低圧配電線路の短絡電流計算法と デアイオンノーヒューズ遮断器適用に関する注意

福岡工場 平 野 琢 磨*

Instruction for Calculation of Short-Circuit Current on Low Voltage Circuit in Mines and Application of De-ion No-fuse Breakers

Fukuoka Factory Takuma HIRANO

Power lines in coal mines are mostly made of armored cables or cab tyre cables and on the secondary side of transformers are employed oil immersed distribution boxes as a circuit interrupting device. The oil immersed apparatus, however, has been mostly displaced with NX explosion prove air breaker using Type NF de-ion no-fuse breaker because the former is sometimes found dangerous in places where explosive gas presents. Even the latter is not safe and unexpected trouble may result in if too much trust is placed on its protective ability. In this article are given instructions for a proper application of the apparatus without complicated calculation of possible failure current.

1. ま え が き

石炭鉱山における低圧配電線路は坑内の特殊性によりすべて石炭鉱山保安規則にもとづいて計画される。このため坑内の動力線はいが装ケーブルまたはキャブタイヤケーブルが用いられ、変圧器2次側には過電流開放装置付自動遮断器を設けるようになっている。2次側遮断器として従来は油入配電箱が設けられていたが、油入機器を爆発性のガスが常に存在している坑内で用いることは防爆上、保安上あるいは保守の面からも好ましくないもので、最近では油入配電箱は影をひそめNF型デアイオンノーヒューズ遮断器を使用したNX防爆型気中遮断器が広く坑内において用いられている。

しかしながらそのすぐれた短絡保護装置と遮断特性を信頼するあまり配電線路の計画にあたり、故障電流に対する動作特性の検討が不十分であるとせっかくの保護装置が有効に用いられず、ケーブル終端などで短絡事故が発生してもケーブルのインピーダンスのために低い故障電流しか流れないので気中遮断器の短絡保護用電磁引外装置は動作せず、熱動過電流保護装置により遮断器はトリップし、故障回路を切り離すため故障発生より開路まである時間が必要となり、短絡電流によるケーブル焼損更には、坑内火災の発生する危険性が起ってくる。

本文はこのようなトラブルを少しでも減らす目的で、坑内電気関係者を対象とし坑内配電線路の短絡電流を予測するのに、複雑な計算をしなくても図表により容易に求める方法を記しあわせてノーヒューズ遮断器適用に関する注意事項について述べたものである。

2. 短絡電流の計算

遮断器の遮断容量の決定や、引外電流の整定などを目的として3相短絡電流を計算する標準計算法については、おもに電学誌67-8記載の「送電系統短絡電流計算法」を参照した。

ア. 短絡電流計算法

遮断器の定格遮断電流は普通実効値で表わされるから3相短絡電流の実効値を計算しておけばよい。3相短絡電流の算出は次式により行う。

$$I_{s0} = \frac{V_n}{\sqrt{3} Z_s} = \frac{100 \times I_n}{\% Z_s} = \frac{\text{kVA} \times 100 \times 1000}{\sqrt{3} V_n \times \% Z_s} \quad (1)$$

$$I_n = \frac{\text{系統全容量} \times 10^3}{\sqrt{3} V_n} \quad (2)$$

I_{s0} : 3相短絡電流交流分(実効値)の短絡瞬時の値

V_n : 回路の常規電圧(V)

Z_s : 短絡点よりみた系統合成インピーダンス(Ω)

$\%Z_s$: V_n, I_n を基準とし%で表わした Z_s [%]

イ. 系統インピーダンス

(1) 変圧器のインピーダンスにはリアクタンスのみを用い抵抗分は無視する。

(2) 機器および線路の定数はすべて(Ω)にて行い定数不明のばあいには便宜上次の値を用いた。

a. 変圧器のリアクタンス [%] 4%

b. 線路のリアクタンス

坑内動力線はすべてケーブル配電方式であるため4種4心キャブタイヤケーブルを対象して扱った。キャブタイヤケーブルの3線に平衡3相電流が流れるばあい、各線は燃られているので各相のインダクタンスは等しくなると共に虚数分が消える。各相インダクタンスを L_{a0}, L_{b0}

1 表 線路定数 (4 種キャブタイヤケーブル)

寸 法	インダクタンス mH/km	抵抗 20°C Ω/km
8	0.360	2.425
14	0.331	1.378
22	0.317	0.8827
30	0.305	0.6538
38	0.296	0.5192
50	0.295	0.4065
60	0.292	0.3253
80*	0.249	0.2340
100*	0.243	0.1857

ただし 80, 100 は 3 種キャブタイヤケーブル

L_c 線間距離を D_{ab}, D_{bc}, D_{ca} とし導体半径を r にすれば

$$L = \frac{L_a + L_b + L_c}{3} = 0.05 \mu + 0.4605 \log_{10} \frac{\sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}}{r}$$

$D_e = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ca}}$ とおけば正三角形のばあいと同じ形で与えられる。

$$\text{すなわち } L = 0.05 + 0.4605 \log_{10} \frac{D}{r} \text{ mH/km (3)}$$

4 種 4 心キャブタイヤケーブルの線路定数を上 (3) 式により求めたのが 1 表である。

(3) 変圧器より負荷までのインピーダンス

a. 変圧器のリアクタンス $xt(\Omega)$

$$xt = V_s / \sqrt{3} I_n = \%xt \times V_n / \sqrt{3} I_n$$

$$= V_n^2 \times \%xt / kVA \times 1000 (\Omega) \quad (4)$$

$$\%xt = V_s / V_n$$

V_s : 変圧器インピーダンスボルト (V)

xt : 変圧器のリアクタンス (Ω)

$\%xt$: 変圧器の%リアクタンス (%)

b. 線路のインピーダンス

$$Z_L = R_L + jx_L (\Omega) \quad (5)$$

Z_L : 線路のインピーダンス (Ω)

R_L : 線路の抵抗 (Ω)

X_L : 線路のリアクタンス (Ω)

c. 系統合成インピーダンス

$$Z = R_L + j(xt + x_L) (\Omega) \quad (6)$$

ウ. 3 相短絡電流

$$I_{s0} = V_n / \sqrt{3} Z \quad (7)$$

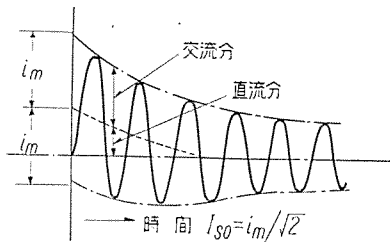
I_{s0} は 1 図のように短絡直後においては交流分と直流分からなり 3 相短絡電流の実効値 I_s (A) は直流分だけ増加する。直流分を見込み 1.25 倍し更に電動機回路のばあい短絡時に電動機が一種の発電機となり短絡点に流れ込んでくるのでこれを加算する。誘導電動機のばあい全負荷電流の約 3.6 倍の値となる。その結果短絡電流は次の値となる。

$$I_s = V_n \times 1.25 / \sqrt{3} Z + \text{各電動機全負荷電流の和} \times 3.6 \quad (8)$$

単相のばあい上記の値に $\sqrt{3}/2$ を乗ずればよい。

ノーヒューズ遮断器の動作時間は各フレームとも 2~5 c/s であるから普通 0.1 sec 経過後に開路されるとみてよいので直流分は省かれる。また変圧器より先の線路の条件を考慮に入れば遮断器の遮断電流は低いものとなる。

(8) 式は遮断器の遮断容量を決定するのに必要なのであるが、瞬時引外電流を決定するばあいには上述の理由より、変圧器高圧側の影響を考慮し、直流分を省いた線間短絡のばあいを対象としておけばい



1 図 短絡電流曲線

Fig. 1. Short circuit current curve.

になる。

$$I_s'' = V_n / \sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 \times 0.95 + \text{電動機全負荷電流の和} \times 3.6 \quad (9.1)$$

○ 0.95 は高圧側の影響を考慮したために乗ずる係数

○ 電動機電流は事故系統のものを除いた他の電動機の和となる。

(2) 遮断器を主回路にのみ設けるばあい。

3 図のばあい X 点での線間短絡に際しては遮断器に流れる事故電流は次のようになる。

$$I_s'' = V_n / \sqrt{3} \times \sqrt{3}/2 \times 0.95 \quad (9.2)$$

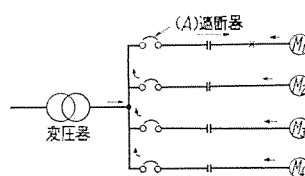
遮断器に流れる事故電流についてはとくに上記 (a), (b) のばあいを考慮して、遮断器瞬時引外電流を決定する必要がある。

3. 図表の説明

ア. 変圧器のリアクタンス計算表 (4 図)

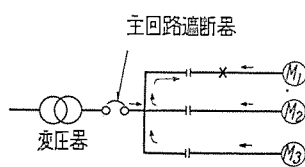
本図表は (4) 式の計算図表である。求め方は次のとおり。

(例) $V_n = 440$ V 変圧器容量 150 kVA, $\%x = 4\%$ とする。



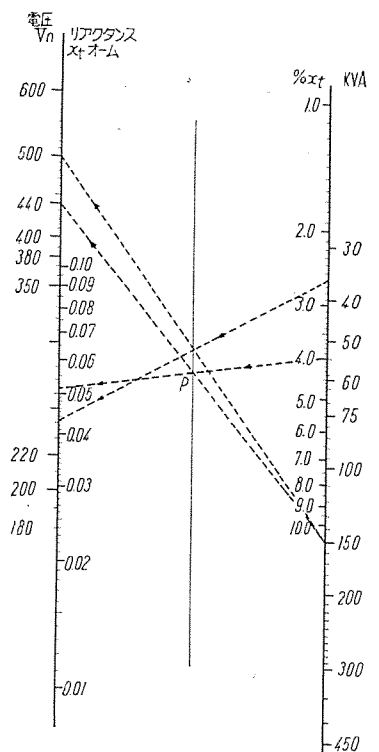
2 図 電動機分岐回路ごとに遮断器を設けた場合

Fig. 2. When a breaker is provided on each branch circuit of motors.

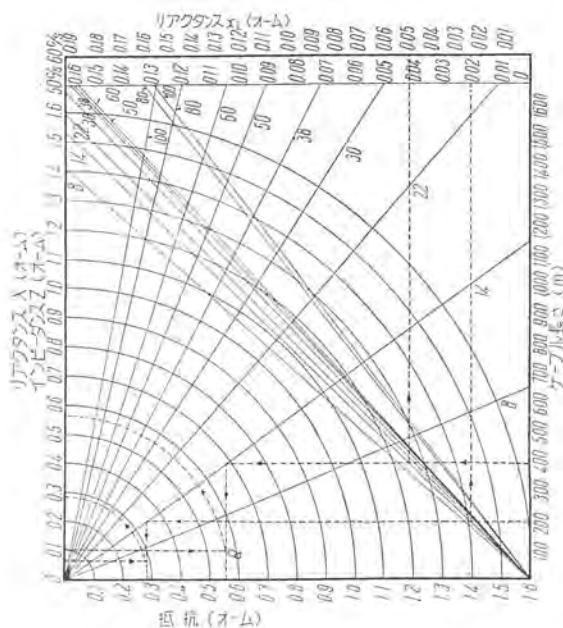


3 図 主回路のみ遮断器を設けた場合

Fig. 3. When a breaker is provided on a principal circuit only.



4 図 変圧器リアクタンス計算表
Fig. 4. Calculation table of transformer reactance.



ただし 80, 100 は 3 種キャブタイヤケーブルの値である。

5 図 線路定数 (4 種キャブタイヤケーブル)

Fig. 5. Circuit constant.

V_n 軸上の 440 と kVA 軸の値 150 を結び補助線との交点 P と $\%xt$ 軸上の値 4 を結び、 xt 軸上にリアクタンス 0.052Ω が求められる。

イ. 線路定数計算表 (5 図)

本図表は線路のインピーダンスを求める表である。

R の値は 25°C のばあいの抵抗値、 L の値は 50 c/s , 60 c/s におけるリアクタンスを示している。

(例) 14 mm^2 4 種 4 心キャブタイヤケーブル長 400 m のばあい、ケーブル長さ 400 の点より垂線をたて斜線 14 との交点の値を R_L , x_L 上に求めればよい。

$R_L = 0.55 (\Omega)$ $x_L = 0.049 (\Omega)$ 60 c/s のとき

系統の合成インピーダンスは(6)式により求められる。

図で求めるばあい次のようにする。 R_L の値を R_L 軸上、 $(x_L + x_L)$ の値をリアクタンス X 軸上にとり、各垂線を立て交点を Q とし O 点と結ぶ線 OQ の値を Z 軸上に求めればよい。

$$Z = 0.55 + j(0.052 + 0.049) = 0.57 (\Omega)$$

ウ. 短絡電流計算表 (6 図)

本表は(7)式の図表である。求め方は V_n 軸上の 440V と Z 軸上の 0.57 を結び I_s との交点を求めれば $I_{s0} = 446 (\text{A})$ となり、単相短絡のばあいは I'_s の交点の値を求めればよい。

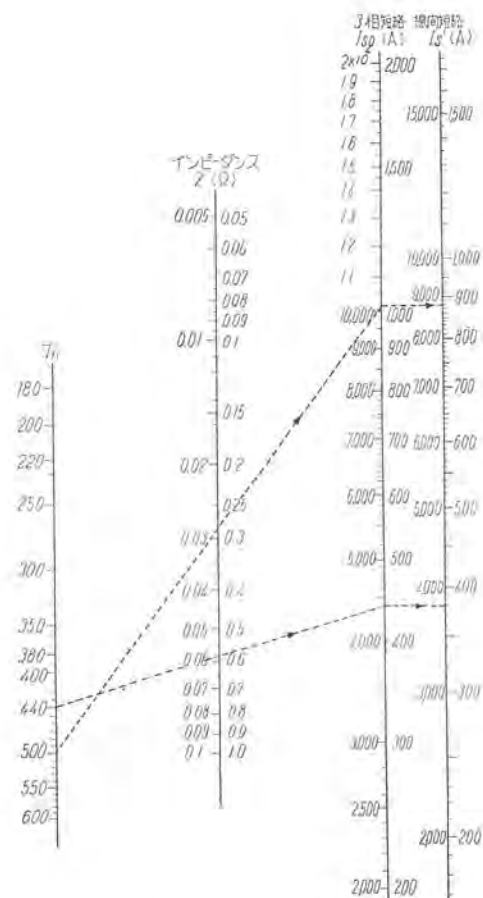
3 相短絡電流 (I_s) = 446 A

単相短絡電流 (I'_s) = 386 A

4. 計算例

7 図は九州の某炭鉱の切羽における配電系統図である。ここでは切羽動力用として、 150 kVA マインパワーセンタ 1 台、定格 1 次電圧 3150 V , 2 次電圧 500 V , 60 c/s , 3 相 H 種絶縁変圧器を用い、2 次遮断器と切羽電動機群の管制装置を 1 体にした集団切羽閉閉器を變圧器の横に設けて、各電動機へ給電している。

各電動機の仕様は、 500 V , 60 c/s , 37.5 kW コールカ



2 表 NF 型デアイオン遮断器の遮断容量と瞬時引外整定電流

遮断器の フレーム	遮断器の 電流容量(A)	遮断容量(A) ・A-C	瞬時引外電流 の範囲(A)	動作時間 (c/s)
50A	50	2,500(500V) 5,000(250V)	300±50 500±100 600±150 800±200	2~5
100A	100	15,000(600V) 10,000(250V)	800±200	
225A	225	15,000(600V) 10,000(250V)	500±50 700±70 900±90 1,000±100 1,250±125 1,500±150 1,750±175 2,000±200 2,250±225	
600A	600	25,000(600V)	700~2500 800~3000 1,000~3500 1,100~4000 1,200~4500 1,300~5000 1,500~6000	

て短絡したばあいについて計算すると

ア. ケーブル終端 X 点のばあい

変圧器リアクタンスは 2.6% である(既知)から 4 図より $x_t = 0.043(\Omega)$.

ケーブルの長さは 200m, 14mm² 4 種 4 心キャブタイケーブルを用いてあるから 5 図により

$$R_L = 0.28(\Omega) \quad x_L = 0.025(\Omega)$$

$$Z = 0.28 + j(0.043 + 0.025) = 0.285(\Omega)$$

6 図より $I_{s0} = 1010(\text{A})$ $I_s' = 875 \text{ A}$

$$I_s = 1010 \times 1.25 + (4 \times 49 + 58) \times 3.6 = 1,370 + 915 \\ \doteq 2285(\text{A})$$

$$I_s'' = 0.95 \times I_s' + 58 \times 3.6 = 875 \times 0.95 + 210 = 830 \\ + 210 \doteq 1040(\text{A})$$

I_s'' が最悪のばあいの事故電流である。

イ. 開閉器出口◎点のばあい

このばあい変圧器と近接して設けられてあるので変圧器のリアクタンスのみで差支えない。

$$I_{s0} = 6650(\text{A})$$

$$I_s = 6650 \times 1.25 + (4 \times 49 + 58) \times 3.6 = 8300 + 915 \\ = 9215(\text{A})$$

以上のように短絡電流は求められるがノーヒューズ遮断器の適用は果してうまく協調されているか検討してみる。

5. ノーヒューズ遮断器の適用について

前述のばあいノーヒューズ遮断器は 800~3,000 A の範囲で調整できるが、もし 2,000 A 以上でトリップするようにしたばあい、ケーブル最終端において短絡事故が発生しても遮断器は瞬時のトリップはせず、熱動引外の時間だけおくれて開路することになる。このばあいケーブル焼損の危険性が極めて大である。

2 表はノーヒューズ遮断器の瞬時引外整定電流と遮断容量を示したものである。

ノーヒューズ遮断器を選定するにあたっては特に次の点に注意して適用しなければならない。

(1) 遮断容量の決定にあたっては(8)式を用いること。

一般に坑内においては変圧器は 1 バンク容量は 150 kVA 以下であり 225 A フレーム、600 A フレームで十分である。たゞしバックパワーの大きいばあいには次の方法をとること。

25,000 A 以下、NF 600 AF 遮断器を用いること

25,000 A 以上、限流リアクトルや限流ヒューズを用いたりあるいは % リアクタンスの高い変圧器を用い故障電流を押える対策をたてる必要がある。25,000 A 以上となるのは 1 バンク 450 kVA 以上のばあいとなり一般には坑内においては考えられない。

(2) 遮断器の瞬時引外電流の決定にあたっては(9)式を用いること。前述のように坑内における故障電流は極めて低い値となり、遮断器が故障発生後開極されるまでの時間は 0.1 sec 以後になると考えられるし、単相短絡のばあいを対称としておけば、いかなる短絡事故においても、確実に遮断できることになる。

(3) 坑内では短絡電流は少いので変圧器はできるだけロードセンタ附近に設けることが望ましい。これはケーブルインピーダンスを減少させるだけでなく、電動機端子における電圧降下が減り、ケーブル使用量も少くなり経済的な面よりも得である。

(4) 遮断器の引外電流値は調整できるものがよい。切羽進行速度と電気坐の前進速度のずれよりケーブルの長さは変りやすく、このため故障電流も変化してくるので可調整のものの方がより安全である。

NF 600 A フレームは電流定格の 300~1000% 調整可能

NF 225 A フレームは調整できない。調整できるものは現在開発中であり、開発後は切替える予定である。

NF 600 AF フレームの最低動作電流値は 750 A,

NF 225 A フレームは 500 A である。

(5) 変圧器より負荷までの距離、およびケーブルの寸法には特に注意すること。ケーブルの使用長さにはおのずから制限があることを忘れてはならない。

(6) 容量の比較的大きな電動機の同時起動はさけること。最近切羽の長さは 100 m を越すものがあり、このためコンベヤ駆動用電動機は 80 HP~120 HP にも達しておりこのため同時起動を強く要求される向もあるが、同時起動すれば電流のピークはしばしば遮断器の瞬時引外電流に近い値に達し遮断器が開路することがある。またかかる電流をケーブルにしばしば流すことはケーブルの寿命を短縮させるし、変圧器の電圧降下の面よりも好ましくない。

起動は 1 台宛時間をずらせることが望ましい。

6. む す び

以上坑内配電線路の短絡電流の計算法とノーヒューズ遮断器の適用上の注意事項を述べたが、これらを十分考慮して系統の計画あるいは設計がなされるならば、ノーヒューズ遮断器も一応満足な働きをするものと信ずる。

本文が坑内の保安向上の一助ともなれば幸いとするところである。不備の点または不具合な点があればご批判ご指導を願う次第である。

タービン発電機回転子軸材に関する考察

長崎製作所 今北孝次*・山野辺二郎*

Consideration on Rotor Forgings of Turbine Generators

Nagasaki Works Koji IMAKITA・Jiro YAMANOE

Although very rigid inspections have been given to the rotor forging of turbine generators for a long while by an application of ever advancing methods such as ultra sonic or non-destructive ones, service conditions and experiences of accidents force the turbine engineers to strive for solving a number of pending problems remain unsettled. Under the present circumstances, it will be some time before any decisive solution is available to release the engineers of their worry on materials. They have no other way than having recourse to leniency and understanding of steel mill engineers to accept severe specification.

1. ま え が き

タービン発電機回転子軸材（以下、軸材と略す）には従来から高品質の鍛鋼品を使用しているが、近年、発電機には高速度、高容量のものが要求されているので、使用軸材も次第に大型なものとなり、品質もより以上に高いものが必要になってきた。一方、鍛鋼品軸材が大型化するにつれて製鋼上に種々の制約をうけるようになるので、筆者らが考えている品質の領域からみると、今日なお、多くの問題が残っている。

また、戦後急速に発達した超音波探傷法その他一連の非破壊検査法は、軸材検査の精度をはるかに向上させているが、この方法でもまだ満足なものではないのである。なるほど、新しい方法によると軸材内部欠陥の大部分を推定できるけれども、検出した欠陥状況を基にして軸材検査の可否を決める場合には、その欠陥が軸材使用上に有害であるか、無害であるかの判別については多くの未解決面を持っているので、その取扱や考え方に慎重な態度が必要になってくるのである。そこで、軸材の品質とか、欠陥の判定を行う場合には、現在考えられるすべての検査方法を適用して、結果として現われる検出現象について綿密周到な検討を行うことになる。このことは、最近海外に頻発している大型回転体の事故例に徴してもいえることであって、破壊に関する未知要因の解明は今日世界共通の研究テーマである。

さて、本文には、筆者らが過去、現在にわたって適用している検査の内容とか、軸材そのものの考え方を述べてみたいと思うが、もともと、経験とか実績を基にした見方であるから、多少妥当性に欠けるものもあるだろうし、あるいはその考え方が神経質であるとの批判をうけるかも知れない。しかし、あえてこうした紹介を行うの

は、以下に述べる筆者らの懸念とか見方が、近い将来において明快に解明できることを期待しているからである。この点を前もってお断りして置きたい。

2. 軸材の品質と欠陥

筆者らが軸材の品質を判定する機会は、立会検査や受入検査の時であって、その検出内容から品質要因を選別し判断することになるが、現行の限られた検査項目やその精度を基にして品質を即断するのには問題がある。なぜなら、その品質要因は、原材料を含めた製鋼条件に左右されて複雑、微妙に関係し組合せられるから、たとえ、その検査を精細に行ったとしても、それはあくまでも類推される品質要因を検出できるだけであって、正確な判別にはならないのである。

このことは軸材検査を行う上に1つの大きな悩みであるが、少なくとも現行検査の方法は、以前のそれに比べてはるかに精度が高いものであるから、軸材品質の目安を立てることにはかなりの信頼性がある。

さて、筆者らが以上に述べた前提を基にして、軸材品質を総合的に判断する場合には、数値として計りうる材力、硬さ、成分、結晶粒度、清浄度、ガス含有量などの測定を行うけれども、品質判定の最も大きな要素は何と云っても軸材欠陥の性状、分布の状態である。では、軸材の欠陥とは、どの範囲までを言うかとなると、その限界の設定に苦しむけれども、外部疵は別として、内部欠陥については次のように割切ることになっている。すなわち、後に述べる超音波探傷条件によって現われる欠陥波の因子となるものはすべて内部欠陥の対照に置くことである。したがって、高感度探傷条件下に現われるGhostとかInclusion、あるいは異常組織などもその範囲にはいることになるが、この場合、その欠陥が有害か

無害かは別問題として、内部欠陥そのものの考え方が非常に広義なものになるから、品質の目途を立てることや、欠陥の形態とか性状をつかむためにはかえって煩雑になるきらいがないではない。しかし筆者らの考え方の中には、今よりも一層高品質の軸材を得ようという強い願望が伴っている。たとえばここに材力が規格値を上回っている軸材で、結晶粒が荒く、または組織に均一性を欠くものがあるとして、もしこの軸材になんらかの方法で結晶粒を微細にし、組織を均一にする工夫が加えられていたならば、より安定した軸材として受取れたであろうということである。

3. 鋼種とその考え方

軸材に使用する鋼種は特定の炭素鋼または合金鋼であるが、発電機の容量別に各鋼種の特性が生かされ、また所要の設計値にしたがって各成分量にかなりの増減がある。炭素鋼の場合には、その強さは炭素含有量に比例して増すが、粘性とか磁気特性は逆に低下するので、その含有量にもおのずから制限があって、約 0.35 % 以下に押えて使用することになっている。また、炭素鋼軸材の使用限度重量は 5~8 トン程度になるのではないかと考えられる。実績からの推定では、この程度の重さの軸材になると、不合格率が非常に高いものになる。この理由にはいろいろあるだろうが、一般に鋼塊が大きくなると、後で述べる逆 V 偏析帯に欠陥を伴いやすいのである。特に炭素鋼は、その安全鑄込範囲、つまり、経験上有害欠陥を現わさないと考えられる鑄込温度の範囲が狭いので、溶解、造塊の条件に多くの制約をうけるからだとされている。

この点、合金鋼になると、強さや靱性は炭素鋼よりも高いところにあるし、安全鑄込温度範囲も広がるから、溶解、造塊においてこの点に関しては炭素鋼よりもよほど楽になることが考えられる。また、逆 V 偏析帯の内包欠陥感受性を軽減することになるのでいきおい、軸材合格率は高いものになる。したがって合金鋼を使用する方が安全ということになるが、價格的に安い炭素鋼を使用すれば製造原価を下げることになるから、強さをあまり問題としない小容量発電機軸材としての効用が考えられ、軸材不合格率を減減させるなんらかの対策、改善が加えられるならば、経済的に優位にある炭素鋼を使用するのが得策である。これは製鋼資源節約の意味からも製鋼技術者に十分考えてもらう必要がある。

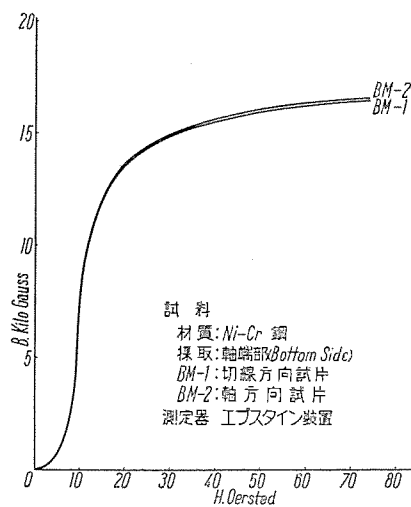
さて、合金鋼の有利な点は今述べたとおりであるが、50,000~100,000 kW あるいはそれ以上の高容量用軸材になると、その軸材重量も大きくなり、鋼塊重量にして 100 トン以上のものが必要になるから、質量効果からんで欠陥感受性は高いものになってくる。また、高速度、高容量発電機の苛酷な使用条件から考えると、高応力に耐える軸材が要求されるから、高級高力合金鋼を使用して、高強度、高靱性の軸材としなければならない。

タービン発電機回転子軸材に関する考察・今北・山野田

ASTM 292-52 T, Class 6~9, をみると、材力の規格下限値は、引張強さ 67~81 kg/mm², 降伏強さ 53~67 kg/mm², 伸び 17~14 % (軸方向) の範囲になっている。また、これを成分的にみれば、炭素量に若干の増減があるほかに、Ni, Mo の規格下限量はほぼ同一で、Cr 量はいずれも 0.25 % 以下に押えてある。そして、結晶粒の微細化を計るために用いるといわれる V 量は 0.03 % 以上である。当社もこの級に類似する特定の規格を持っているが、これはおもに 60,000 kW 以上の高容量軸材に適用している。そして、ASTM 規格との相違をいうなら、Cr 量が 1 % までを許してあることである。欧州系の軸材では Cr 量は 1 % をこえるものが多く、高いところで 3 % のものまである。このような Cr 量の指定については、それぞれ製鋼技術上の問題があると思うが、筆者らが目下、注目しているのは、Cr 量が軸材の磁気特性にどのように影響するだろうかという点である。つまり、Cr の磁気特性限界量をいくかに押えたらよいかを確かめたいのであって、この他にも C, Mo, Si, Mn などについてもあわせて検討を加えているが、今のところ明確なものではない。

ともかく、高速度高容量軸材の苛酷な使用条件を前提にする場合は、大型鍛鋼品に質量効果の軽減、所要材力とその均質化、あるいは欠陥感受性の低下を求めることが先決問題であって、磁気特性に関しては、現在の平均磁気特性から十分安全側にあるよう設計上の考慮を払うことで補うことができる。

1 図に磁気特性の一例を示す。



1 図

Fig. 1. B-H Curve showing permeability of rotor shaft.

4. 超音波探傷とその照合試験

軸材にはじめて超音波探傷法を適用したのは昭和 25 年 5 月である。その 6 年間の経験から得たものは次に述べるような通俗的な結論になる。それは、超音波探傷法の内容に新しさを加えている今日ですら、指示される欠陥波と欠陥実態との関連は必ずしも明確なものではない

ということである。なるほど、軸材内部欠陥の数とか位置あるいは分布を知るのには非常に鋭敏であるけれども、大きさや性状の判定精度には不安が残されるから、超音波探傷結果だけで軸材検査の可否を決めるのは早計である。したがって、ここにその不具合を補う意味で各種の照合試験を行い、欠陥実態把握の便にする必要が生じてくる。

ア. 探傷条件

超音波探傷による欠陥判別の方法として、今日一般にとられているのは、使用周波数あるいは使用感度の交換による欠陥波の増減、欠陥波と底面波の波高比の測定、減衰波の検定、標準感度試験片の利用などである。筆者らもこの方法を適用しているが、探傷条件を決めるに当たって考えなければならないことは、被検体そのものに探傷条件を低下させる因子を含んでいることである。そしてまた、軸材が大型になればなるほど、欠陥波と欠陥実態との関係をますます不鮮明にすることである。

さて、前にも述べたように、筆者らが内部欠陥と呼んでいるのは、超音波探傷の際の欠陥波の因子となるものとしているから、最高の欠陥検出性を持つ探傷条件を設定して、あらゆる微小欠陥を摘出するようつとめることになる。そこで筆者らは3つの探傷感度、すなわち、最高感度、消失感度、切替感度を定めることにした。

最高感度というのは超音波探傷器の安定状態で感度が最大である場合で、受信部の同調回路が最良の時に、低周波入力電圧 (Audio Input Voltage) が最大という条件である。この感度で問題となるのは探傷器の保守状態のいかんによって変動したり、器差に左右されることである。そこで、この不具合をつとめて避けたいために、特定の使用器を常に最良感度状態に置いて一種の原器として取扱い、他器感度をこれに準拠させることにしている。また、このときの使用周波数は3 Mc にしている。次には消失感度であるが、これは軸材の探傷透過度が良好である場合など、最高感度では欠陥波因子の感受性が非常に高いものになるので、Inclusion のような微小欠陥でも波高比の大きな欠陥波として現われ、しかもそれは軸材の全面に散在、あるいは群在する傾向を持つから、他の有害欠陥波との区別が困難になってくる。そこで使用感度を下げて、波高比の小さな欠陥波を消去し、残った欠陥波について判断するという便法を取るようになる。この消失感度の感度条件は、軸材の探傷透過度、あるいは欠陥波の検出状態で適宜選定することができる。

切替感度というのは3 Mc 以下の周波数を用い最大感度で探傷する場合の感度である。普通には1.5 Mc, 1 Mc

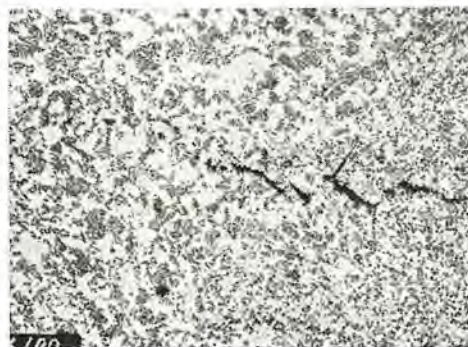


写真 1.

×100

Photo. 1.

Photomicrograph showing hair crack in a segregated portion of carbon steel forging magnification 1:100.



写真 2.

×1,000

Photo. 2.

Photomicrograph showing hair crack in photo 1 magnification 1:1,000.

のいずれかを使用しているが、この切替感度で検出される欠陥波の因子は有害な亀裂性欠陥であることが多く、また、3 Mc に比べて軸材の探傷透過度が高いなどの利点があるので、軸材の探傷条件はこの感度だけでよいとする見方もあるが、筆者らは軸材品質についての考え方や経験からこの感度だけでは危険であるという立場をとる。

写真 1, 2 に示す事例は1 Mc で現われなかった欠陥波が3 Mc で現われ、その欠陥波位置から Core Drill 試片を抽出して見出した欠陥の状態である。これは炭素鋼軸材に現われたもので、異常偏析斑と呼ばれる亀裂性の欠陥であって、この軸材は廃却になった。

以上3つの感度について述べたが、筆者らはその適用区分から、3 Mc 最高感度を品質感度と呼び、他の2つを選別感度と呼んでいる。これは最高感度が軸材品質のおおよそを推定させるし、他の2つの感度はあとに述べる照合試験の代表波形の選別に主として用いられるからである。

イ. 最高感度における波形傾向

健全軸材といわれるものでも3 Mc の最高感度の探傷を行えば、Ghost, Inclusion, Sand Mark, などが欠陥波として現われ、その波高比は他の有害欠陥のそれに比



写真 3

Photo. 3.
Ultrasonic reflection in a sound portion of Bethlehem's Forging.



写真 4

Photo. 4.
Photomicrograph showing bainite in sound structure of Bethlehem's Forging.

べると一般には小さいが、軸材の探傷透過度、探傷距離あるいは清浄度などの影響で、同等の波高比を示す場合も多い。しかし、写真 3, 4 に示すようにほとんど欠陥波らしいものを現わさぬ軸材もある。これは、戦後、米国の Bethlehem 社から購入した大型軸材の探傷波形と内部組織である。この軸材は胴部半径方向の探傷で底面反射線回数 4 回以上、また、組織は Bainite と思われるが、表面から 200 mm 深さまでを調べた結果ではほとんど均一なものであり、かつ清浄度も高いものであった。Bethlehem 軸材がその後の軸材検査に 1 つの目標を与えたのは当然であるが、当時、この軸材を見学した製鋼技術者にも大きな刺激となった。そしてその後、製鋼技術に改善が加えられ、今日ではこの軸材に匹敵するものも現われるようになってきている。しかし全体的にみれば、Bethlehem 軸材は最上位に属するものであり、一般には最高感度によって何らかの欠陥波を示すものだと考えるのが妥当かも知れない。これは国内製鋼事情に関係するものがあるだろうし、また諸種の資料を総合してみると、米国でも必ずしもこうした軸材だけができていないようである。

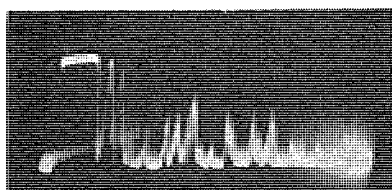


写真 5
Photo. 5.
Ultrasonic reflection
from abnormal stru-
cture in a large
forging.

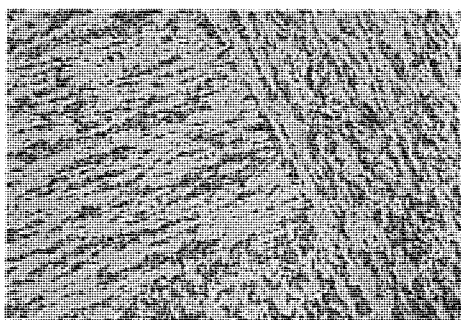


写真 6
Photo. 6.
Abnormal
structure.

さて、次には軸材の内部組織異常に起因すると思われる欠陥波について述べよう。筆者らはこの欠陥波を疑似欠陥波と呼んでいるが写真 5, 6 はその疑似欠陥波と組織異常の一例である。見られるとおり、組織には Orientation が認められ、探傷波形はシャープな鋸状のもので、パルスの根元から連なっている。

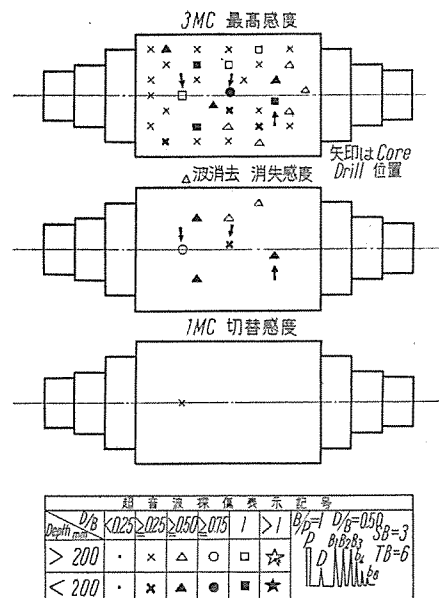
この種の波形は、炭素鋼、合金鋼を問わず現われるもので、しかも軸材の一部に限らず、全面に検出され、その波形はほとんど同じ傾向を持つものであるから、直ちに察知できるのである。主として調質組織の異常が原因であるといわれているこの種の疑似欠陥波については 2, 3 の経験を持っているが、この場合、組織異常そのものが問題となるのではなく、疑似欠陥波の中にまぎれ込んでいるはずの、真の欠陥波を選別できない点が不具合である。このため、疑似欠陥波を現わさない 1 Mc 切替感度

によって探傷すると同時に、軸材の各 Slot 中心線上から多数の Core Drill* 試片を抽出して、各種の欠陥検査を行った経験がある。しかし、3 Mc 最高感度を品質感度とする検査基準にしたがえば、疑似欠陥波の検出は好ましいものではない。このため、現在では、この波形を示す軸材は再調質によって組織を改善した後に再検査することになっている。そして、今日ではこれに対する製鋼上の改善が加えられて、疑似欠陥波を示す軸材はほとんどまれになっているのは喜ばしいことである。長崎製鋼所の河合博士はこの疑似欠陥波をシャワー波と呼んでおられるが、これは当事者間の通用語になっている。

以上、最高感度における 2 つの傾向について述べたが、前述のように欠陥波の判別には最高感度だけでは不具合であって、選別感度を併用し、次に述べる代表欠陥波によって欠陥実態の照合を行うことが必要になる。

ウ、代表欠陥波とその表示法

筆者らが代表欠陥波と呼んでいるのは、その軸材の欠陥波分布と欠陥波の大きさに関連して選別される欠陥波の中で、欠陥実態について照合試験を必要とする種類の欠陥波の代表ということで、この代表欠陥波の位置から Core Drill 試片が抽出されることになる。2 図は現行の波高比表示法の一例で、矢印は代表欠陥波を示す。(こ



2 図

Fig. 2. Nomenclature of ultrasonic inspection.

のほか、分布波表示法を用いることもあるがここでは省略する)。この場合、代表欠陥波は軸材の Pole Zone または Slot Zone に相当する部分から選定しなければならないという制限がある。なぜなら、前述の Core Drill 試片採取位置でもあるからである。そして、Core Drill 試片の数は欠陥波分布状態にしたがっておのずから増減があり、欠陥波と実態欠陥との関連がまだ十分でない今日では、その数が多いほど、確かさを増すけれども、軸

* Core Drill... 軸材から 13 mmφ 程度の試片を抽出するための特殊な鉋である。Trepan Drill と呼ばれる。

材の使用条件からいってむやみに採取するのは好ましくないから、まずその中で著しい波高比を持つものに代表欠陥波を集約して、その若干数を選び、Core Drill 試片を採取するのが普通である。そして、もしもその試片に有害な欠陥を含まないなら、その軸材に現われる他の多くの欠陥波にも有害欠陥を持たないと想定するのである。しかし、場合によっては波高比の中位以下のものも代表欠陥波として選ぶことがある。

エ. Core Drill による照合試験

代表欠陥波位置から 25mmφ の Core Drill によって抽出した 13φ×100mm の試片は Magnaflux あるいは Magnaglo, Sulphur Printing, Macro 組織, Micro 組織などの試験や, Bending, Impact, あるいは引張試験などで欠陥が観察される。写真 7, 8 は Core Drill 試片の Magnaflux による検出欠陥と、その破面を示す。このような亀裂性欠陥を伴う軸材は廃却になる。Magnaflux によって、磁粉の凝集があまりシャープでない場合は、写真 9, 10 のような Inclusion の集合であることが多い。この写真は Mn-Sulphide の状況である。

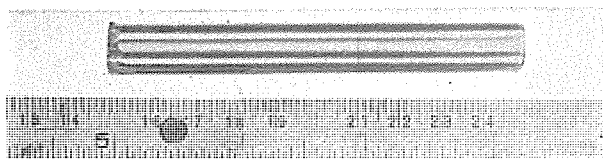


写真 7

Photo. 7. Trepan core showing a crack.

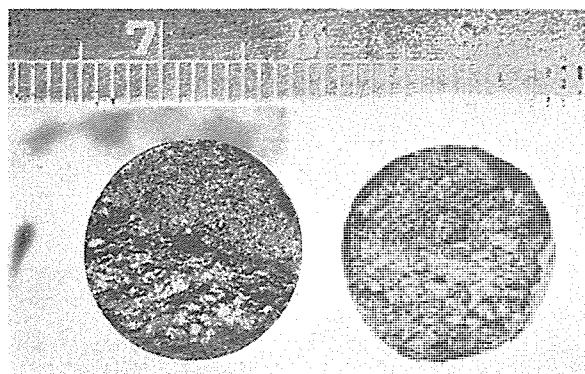


写真 8

Photo. 8. Cross-section of broken trepan core.
This crack shown in photo. 7.

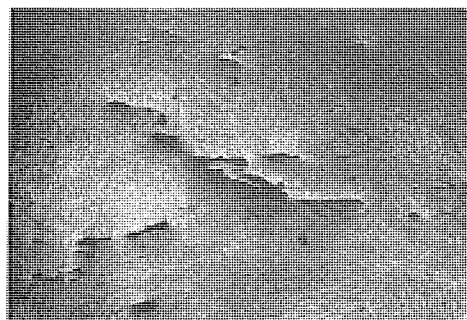


写真 9

Photo. 9. Microstructure of segregated nonmetallic inclusions.

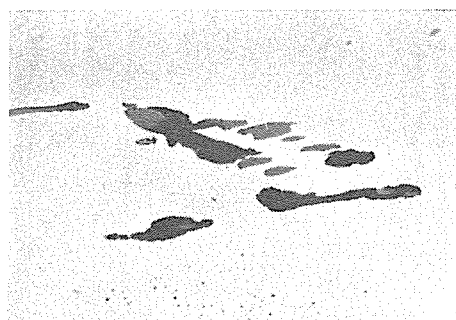


写真 10

Photo. 10. These inclusions showing Mn-Sulphides, shown in photo. 9.

このほか Inclusion は成因によって種々の性状に分れるが、筆者らが注目するのは、その分布濃度と形状である。Core Drill 試片の観察で見出される熱ワレ、白点、ザク疵、異状偏析疵、などは有害な内部欠陥として取扱われるが、Inclusion, Sand Mark, 砂かみなども分布濃度と形状から、有害欠陥の因子として検討されることがある。なお、Core Drill 試片に何らの欠陥因子も発見できなかった場合はさらに類似欠陥波から代表欠陥波を選定して、別の Core Drill 試片が追加される。これは、代表欠陥波には必ず欠陥因子を含んでいなければならないとする前提に立つからである。

以上の欠陥照合用 Core Drill 試片とは別に、軸材胴部の半径方向材力を求めるための Core Drill 試片が特定の図面指定位置から抽出される。この試片についても、念のため前述の試験が行われるが、この方法はおよそ 20 年前から適用され、次に述べる中心孔検査などと共に、超音波探傷法を中心とする現行検査法が出現するまでの最も有効な軸材検査項目の 1 つであったことを思えば、昔日の感を深くするのである。

オ. 中心孔について

軸材の軸方向に中心孔を貫通して、軸内中心部の欠陥状態を調べる方法は、古くから行われている。この方法は、中心孔を明けることによって造塊時の自由晶、沈澱晶域に現われやすい欠陥を取除き、あわせて中心孔内面に残った欠陥の性状から軸材品質を推定しようという目的を持っていた。そして中心孔を明けることで応力が倍加しても、内部欠陥の切欠効果を減らす方がよいという考え方がとられ、中心孔内面に残留して表出するノッチ性欠陥とかザク疵、Sand の凝集があれば中心孔径を広げて除去するとか、その部分の袋穴加工を逐次行って除くとか、あるいは穴加工面のムシレをきらって鏡面仕上を行うとか、以前から中心孔にはかなり神経を使っている。また、中心孔は調質の際の温度勾配を少なくするという利点もあり、中心孔法は超音波探傷法が出現した今日でも、そのまま踏襲されている。しかし一方では超音波探傷で無欠陥と考えられる軸材にはその必要がないではないかという考え方も出ている。現在の新しい軸材調質法によれば、中心孔の効用はさほど重視しなくなったし、無欠陥波の軸材であればノッチの効果を気にする必要はないだろう。

事実、小容量用軸材には中心孔が省略されているし、従来から穴明指定のあった中容量用軸材に中心孔を省略した事例を持っている。しかし、今の場合、よほど、透過度のすぐれた軸材でなければ原則的にいって省略する勇気はないのである。筆者らは無欠陥軸材だと考えられた軸材にも

中心孔に Sand の凝集を認めたことがあるが、これは探傷距離と透過度に関係する欠陥感受性の低下であると考えている。

したがって、この問題は高容量用軸材についてかなりの不安が残ると思われるが、軸材品質の向上や超音波探傷の欠陥感受精度が上るにつれて将来、省略される段階にくるかも知れない。しかし、筆者らは次の2つの点を新たに検討項目に加えて中心孔法を残したいと考える。その1つは、中心孔面を超音波探傷の底面反射位置とすることができるので探傷距離が半減することや、欠陥方向が明瞭になるという利点である。次には軸材内部の水素放出を早めることである。この2つの考え方は欠陥検出性を増す目的と、後述の水素脆性の影響を幾分でも軽減しようとするものであるから、中心孔省略についての直接の反論にならないかも知れない。いずれにしろ、中心孔については結論的なものを持合せていないが、中心孔による応力の倍加と、穴明加工のめんどろさ、長い加工時間、などの不利を考えると、このようなものを犠牲にしてもなお中心孔の利点を重くみるかどうかについての疑問は、絶えず筆者らの念頭にあるのである。

カ. その他の照合試験

以上の試験のほかに、軸材胴端面やその他の表面部の Sulphur Printing が行われる。これはおもに Ghost Zone の状態を知るためのものであって、この試験の結果

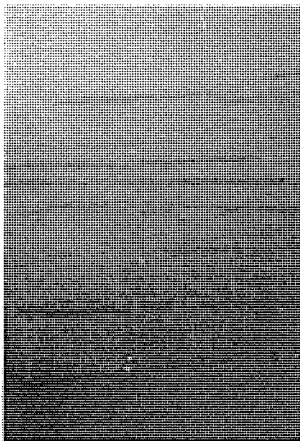


写真 11

Photo. 11. Ghost line on rough turned surface in a neck portion of forging.

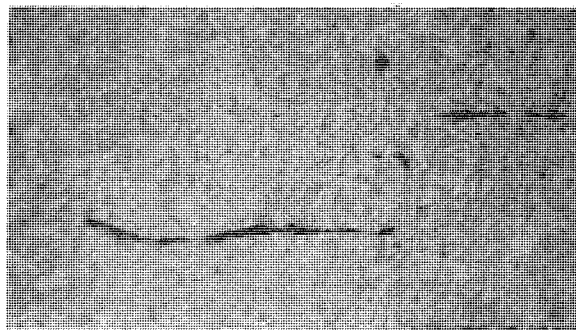


写真 12

Photo. 12. Nonmetallic inclusions with thin and sharp edges.

果だけで軸材を廃却にすることはしない。しかし、軸材に Ghost がどのように重視されるかは後に説明を加える。軸端の余肉部からは軸方向、切線方向について材力試験片が切出される。この試験成績は胴部材力値よりも良好に現われるのが通例で、軸小径部分の材力の推定値となり、胴部材力の参考値となる。また、この余肉部からは磁気特性用の試験片も採取して

いる。次には外観検査であるが、この場合は表面状況にしたがってスンプ撮影、直接拡大装置の検鏡、などを併用することがある。そして、この検査は立会時、受入時以後にも軸材加工の工程を追うて、逐次繰返すことにしている。これは超音波探傷の際に、ブラウン管上のパルス幅に追込まれる不感距離（表面から 50 mm 深さ程度）の部分の伏在欠陥を監視する目的を含んでいる。写真 11, 12 は受入後の機工途中に発見された欠陥事例で、荒仕上面に現われた表面 Ghost の状況と、精仕上面に見出された表面疵の拡大である。後者は、一見すると亀裂性の欠陥にみえるが、この表面疵は軸材小径部に現われたもので、鍛

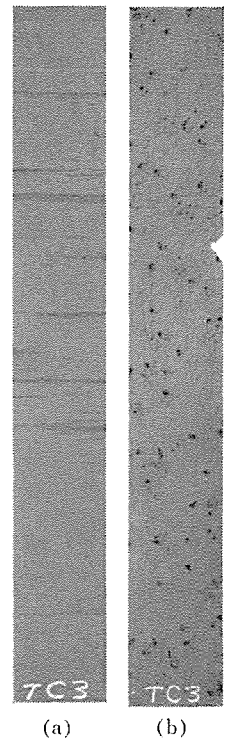


写真 13

Photo. 13. Macrostructure of section through two surface (a, b) of segregated specimens, (a) Longitudinal section, (b) Transverse section.

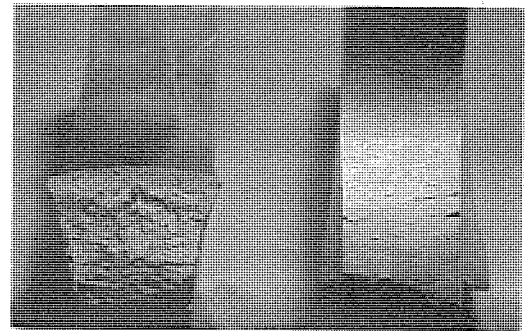


写真 14

Photo. 14. State of inclusions in a segregated surface of specimen after bending test.

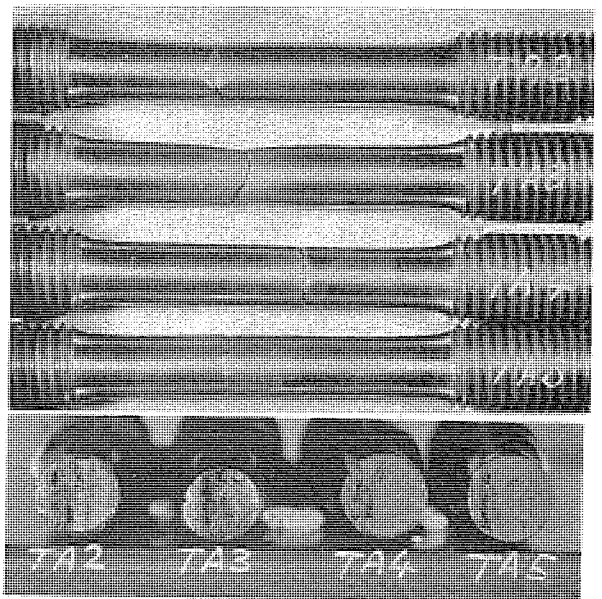


写真 15

Photo. 15. State of segregated specimens after mechanical test.



写真 16
Photo. 16. State of sulphur printing in a section of rotor disk specimen for bursting test.

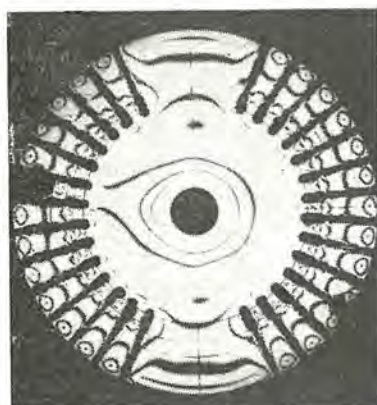


写真 17
Photo. 17.
Stress figure of rotor disk specimen in term of photo-elasticity.



写真 18
Photo. 18.
Moment of bursting in a model disk at 7,000 rpm.

造比が大きいことによって、線状に伸ばされた砂痕であった。この痕の照合のため、隣接する軸端余肉部から多数の試片を切出して調査したが、その内容の一部を写真 13, 14 に示す。これは試片面の Macro 写真と、曲げ試験による疵開口の状況である。写真 15 は同部分の切線方向引張試験片の破断状況である。また、この部分の疲労試験では軸方向、回転曲げ疲労限 37 kg/mm^2 、切線方向 30 kg/mm^2 であった。

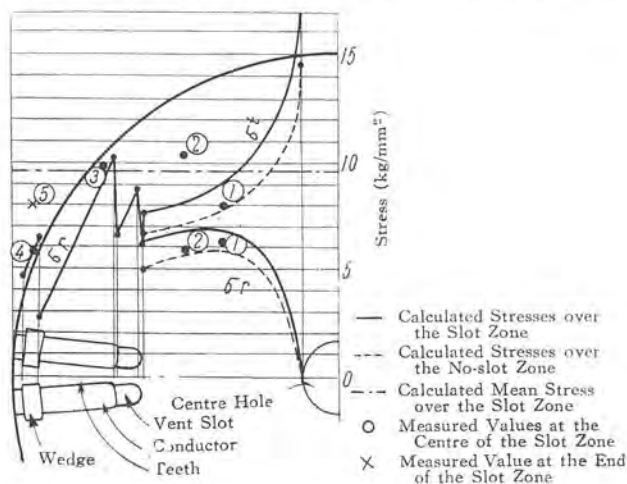
5. Ghost および微小欠陥

溶鋼の凝固過程で筆者らが便宜的に、Ghost* と呼んでいる V 状偏析や逆 V 状偏析が形成されることは一般に知られている。この Ghost には P, S, およびその化

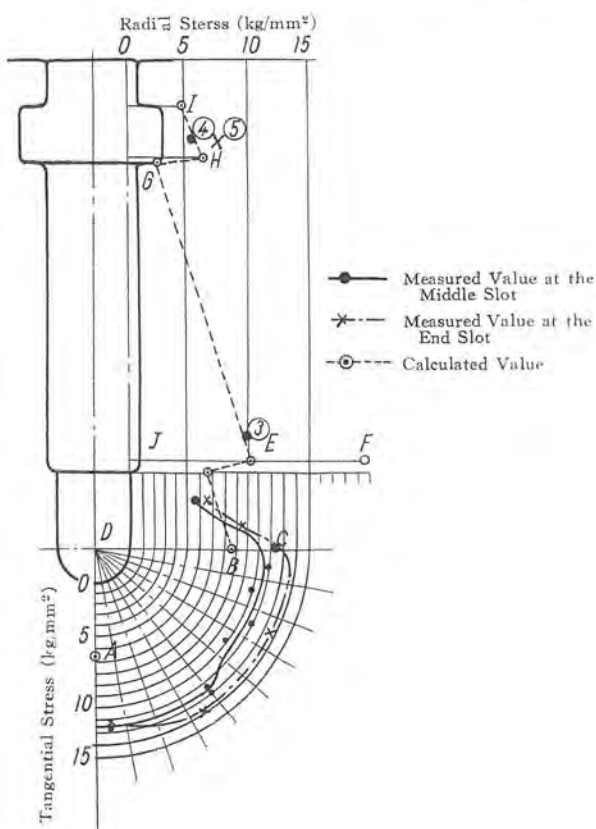
* Ghost: 偏析線の切削性の異常性とその肉眼的検出を可能ならしめる程度まで顕著になったものをいう (河合)。

合物、あるいは珪酸塩、Mn 酸化物などの酸化物系非金属介在物、ならびに酸素、水素、窒素などのガス体を内包するが、筆者らが特に問題にするのは逆 V 偏析である。この偏析はラムダー・ゴースト (Λ Ghost) あるいは Ring Ghost ともいわれている。

写真 16 は筆者らが参加した回転子軸の回転破壊試験の際に使用した試験円盤の Sulphur Printing の状況である。この円盤は実物を輪切りにして作られたもので、最小断面を持つ Teeth 部が Ghost Zone に含まれていることがよく判ると思う。写真 17 の光弾性写真は Teeth



3 図
Fig. 3. Stress distribution of disk at 3,000 rpm.



4 図

Fig. 4. Inside tangential stress of vent slot and radial stress of tooth at 3,000 rpm.

が1個だけ切損した時の回転時にうける応力分布を示し写真 18 はモデルジスクの回転破壊の状況である。3, 4 図は回転破壊試験の際に実測した値から作成した応力線図である。

このように、回転子軸の形状、使用状態を考えると、Ghost Zone の性状とか材力は看過できないのであって、この問題については今までに数多くの研究が行われ多数の文献も紹介されているが、その論点にはそれぞれ相違があるので、結果的には筆者らの判断を迷わせている。しかし、少なくとも材力的に Ghost をみる場合には、静荷重における健全部との比較ではなくして、動的荷重下の疲労とか破壊を今後、問題にすべきではなかろうか。

事実、この問題は新しい観点と試験法によって再検討されているようである。Ghost を性状的にみる場合には他の有害欠陥を内包する感受性を考えなければならない。今日の改善された製鋼水準の下では、過大な欠陥を持つ頻度は小さく、中心部付近に現われるザク斑などの発生はほとんどまれになっているので、いきおい、有害欠陥についての問題は逆 V 偏析帯に集約されているといっても過言ではないと思う。筆者らが廃却にした軸材の大部分はこの偏析帯に有害欠陥を持っていたのである。また、廃却軸材は炭素鋼の場合に多く、その理由は前にも述べているが、要するに炭素鋼と合金鋼では鋼塊凝固過程にかなりの相違があるから、Ghost Zone の位置とか分布にもおのずから差を生ずるわけである。

合金鋼の場合は、添加された Ni, Cr, Mo などが液相、固相温度を低下させ、凝固温度範囲も増すことになるので炭素鋼に比べて Ghost Zone の濃度は疎となり、また、炭素鋼が傾向として表面近くに現われるのに比べて、合金鋼では中心部の方に近寄っているようである。もちろん Ghost の発生傾向は製鋼法、鋼塊形状および大きさ、鋳型冷却能、鋳込温度や速度などによって同一成分でもかなりの変動があるのでいまいちにはいえない。しかし、少なくとも合金鋼が炭素鋼よりも好ましいこ

とは考えられ、有害欠陥の内包感受性もまた小さいと考えられる。写真 19 は著しい Ghost を持つ軸材胴部端面の Sulphur Printing である。この程度のものになると、その中に有害欠陥を内包しているということは容易に想像できる。しかし、これは特例であって、一般には Sulphur Printing だけで判断できない。このため、前述の超音波探傷とその照合試験が行われることになるが、その際 Ghost Zone は特に入念に調べられる。ここで検出される有害欠陥というのは、白点、異常偏析斑あるいはその他の微小な Crack など、亀裂性と思われる欠陥のすべてをいうのであるが、筆者らが捕える欠陥は現象として現われたものの検出であって、その成因については製鋼技術者の説明を待たなければならないことが多い。次には Ghost 部にも関連する微小欠陥の問題である。筆者らは製鋼技術者と一般には無害であるとしている Sand とか Inclusion などの微小欠陥について有害か無害かの論争を長い間、繰かえしてきた。この論争は、見方によれば、常識を逸脱したものであったかも知れない。しかし筆者らの懸念は、こうした欠陥がきわめて過度に凝集したり、シャープな隅角を持つものであった場合はどうなるだろうかということであった。たとえば前掲の写真 12, 13, 14, 15 および、ここに示す写真 20 のようなものである。また写真 21 は清浄度の悪い材料の Macro 状況である。

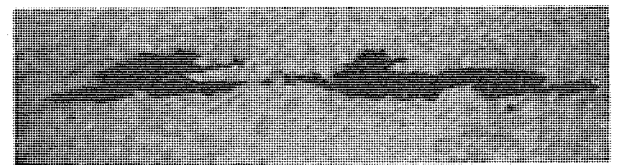


写真 20

Photo. 20. One of the typical "Harmful nonmetallic inclusions".

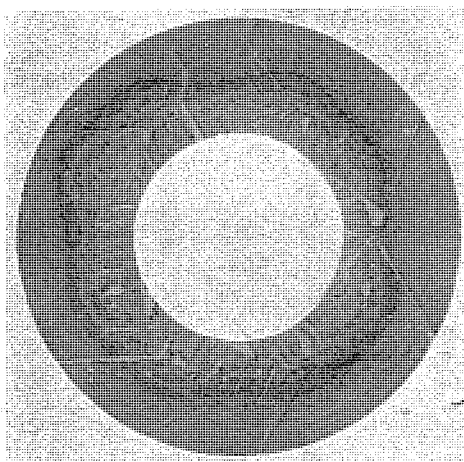


写真 19

Photo. 19. Sulphur printing of rotor shaft with harmful defects.

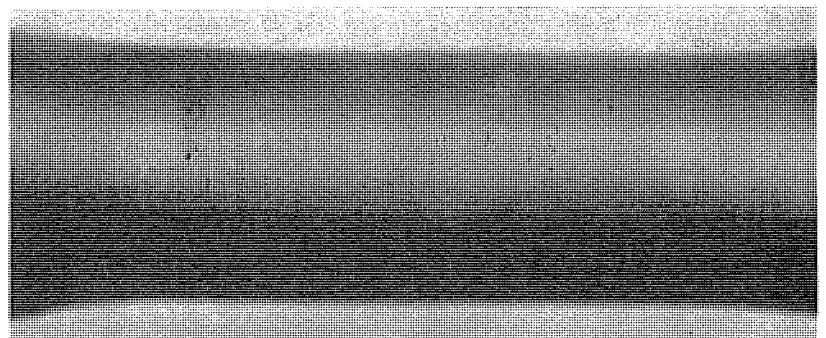


写真 21

Photo. 21. Distribution of countless defects of a specimen.

たいと思うのである。

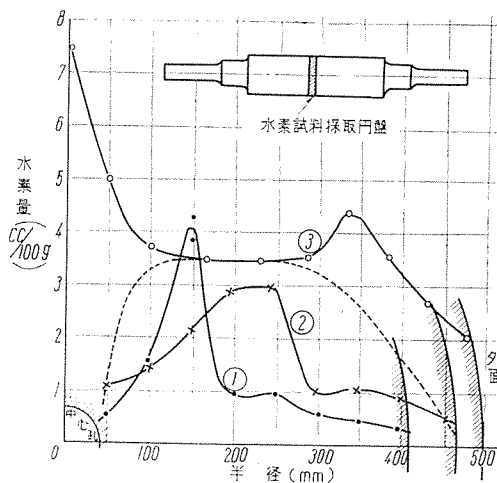
ここで筆者らは海外事故報告の中の Cromby ロータ破壊原因について強い関心を持っていることも付記しなくてはならない。この回転子軸破壊の直接の原因は他にあるが、破壊箇所の近くに展延性の低い積層偏析線が走っていたことも副次原因として考えられていることである。また、海外でも「有害な Inclusion」について発電機製造業者から提起され、その Inclusion は薄く鋭い尖端を持つ形のものでされている。

いずれにしろ、発電機が高容量化するに伴って、軸材の有害欠陥の領域が Inclusion のような微小欠陥にまで及んでいる今日、筆者らの懸念は破壊についての未知要因が解明されるまで続けられるであろう。

6. その他の問題

ア. 水素ガス

軸材から試片を採取した直後に材力試験を行った結果と、数日間放置した後に行った結果とを比較すると、引張強さや降伏強さはほとんど変わらないが、伸び、絞りの値は後者の方が高くなるという時効現象がある。そして破断面は前者が Lamination, あるいは Shear などであるのに対して、時効後のものは Fiber, Cap, Cone, Star などである。この現象は鋼中の水素ガス放出が原因であるといわれている。水素ガスの放出速度は温度に依存するので、常温以上で強制脱水素を行えば、短時間で自然時効と同じ結果が出る。したがってこの時効現象から、



(1) 測定時期

- ①……調質後 14 カ月 (材番 2612 MBCX)
- ②……" 8 カ月 (" 26293 VMCX)
- ③……焼鈍後 2.5 カ月 (" 27740 VMX)

(2) 化学成分

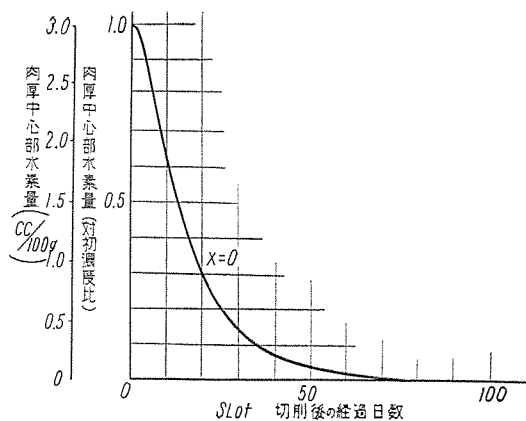
番号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	H ₂ *
①	0.32	0.25	0.42	0.020	0.032	1.49	1.01	0.44	—	3.09
②	0.34	0.35	0.50	0.030	0.020	2.81	0.51	0.36	0.08	4.37
③	0.30	0.37	0.50	0.021	0.011	3.80	0.19	0.44	0.14	—

* 溶鋼水素量 cc/100 g.

(日本製鋼提供)

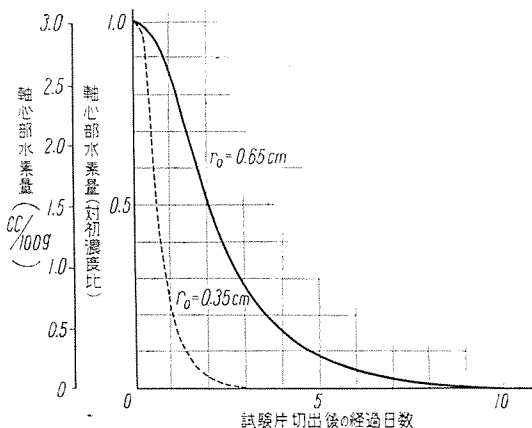
5 図 大型ターボ発電機用回転軸内部の水素量分布

Fig. 5. Distribution of hydrogen contents in following three large forgings.



6 図 Teeth 部水素量の経日減少の状況

Fig. 6. Decrease curve of hydrogen contents in teeth portion of rotor shaft.



7 図 試験片中水素量の経日減少の状況

Fig. 7. Decrease curve of hydrogen contents in trepan core (dia. 13 mm) specimens.

軸材は両様の材力値について考えることになる。

では、軸材そのものの水素放出はどうかというと、鋼中の水素は温度のほかに放出距離の影響を受けるから、大型軸材のばあいには、水素の放出が終るまでに数年を必要とすることが計算としてあらわれてくる。また、水素の時効現象は、水素の量だけではなく、水素の含まれている状態に左右されるので、時効現象を感じなくなるまでの水素量限界についても問題がある。筆者らは一応 0.5~1.0 cc/100 g を目標に置いているが、一般には 2 cc/100 g 以下であれば時効現象を起さないとされているようである。5 図は大型タービン発電機用回転子軸内部の水素量分布を示す。

さて、軸材で最も重視されるのは最小断面を持つ Teeth 部であるが、この部分は Slot 加工によって水素の放出面を広げ、また放出距離が非常に短くなるので、少なくともこの部分の水素放出による時効は早く終るのではないかと考えられる。そこで、Slot 加工後の経過日数と水素量の関係についてその対初濃度比を計算してみると、6 図のようになる。この場合 Teeth の幅を 2.4 cm、水素の拡散恒数を $D=5 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{sec}$ とした。また、水素放出の主体を肉厚中心部に置き、最初の水素量を

3 cc/100 g とした。この図において、Slot 加工後水素量は半分に減るのは約 2 週間、1 cc/100 g になるのは約 20 日、0.5 cc/100 g では約 1 カ月である。合金鋼では添加元素によって拡散速度が抑制される場合があるので、いま仮に 1/2 に低下するとして 0.5 cc/100 g で 60 日ということになる。また、完成品状態の乾燥運転（約 100°C 24 時間）の際に、間接的に強制時効が行われることになるので、Teeth 部の時効はさらに促進される。7 図は 13 mm 径 Core Drill 試片の水素量経日減少の曲線である。

以上のような計算から、軸材受入後の加工期間、および、工場運転時までに Teeth 部に限って水素の時効現象が終ることが予想されるが軸材内部には依然としてかなりの水素量を内包しているので軸材全体の材力値は抜取直後の試験結果に基づくのがよいと思われる。しかし、その際、伸び、絞りが規格値を下回る時、それがそのまま不合格の理由となるかについては問題がある。この場合、下回った値がどの程度のものであるかということ、および、残りの試片で自然時効あるいは強制時効後に再試験した結果の変化量について検討が加えられる。この検討の中で筆者らは次の点で懸念している。1 つには、時効前の伸び、絞りの値を水素脆性として考える場合、一般にはこの値が軸設計上、ほとんど計算に乗らないし、また Impact の値はこの時効現象にほとんど影響を受けないとされており、実績からもそうであるから、静荷重試験の結果値から脆性について適切な判断を下し得ないということである。

次には、時効前後の伸び、絞りの変化量であって、これを脆性回復量といえるならば、その量が著しく多い場合に、その軸材には多量の水素が内包されていて、他の欠陥因子、たとえば、白点発生の危険性を持つ軸材であろうということを懸念するのである。この 2 つの懸念の中で、前者は今後の研究に待つべきであり、後者については、水素量測定とか超音波探傷および、その照合試験によって一応、確かめることができる。したがって、この脆性問題に関しては、材力的な現象だけをつかまえるのではなくして、全体の欠陥現象から総合的に判断する必要がある。いずれにしろ、時効前の値が規格を上回っていれば、その懸念は軽減されるし、小型軸材ではほとんど、この問題が提起されたことはない。

ともかく、筆者らの希望は製鋼技術者に受入れられ、水素軽減のための溶解、鋳込、あるいは調質、成分、原材料にわたって研究改善が加えられている。特に、脱ガスを目的とした真空鋳込法の研究には大きな期待を寄せているのである。

イ、熱変形試験

この試験は一般に Stability Test と呼ばれている。これはタービン軸の場合に重視され、温度の上昇に伴う曲りを安定化しようとする目的のために行われるが、発電機軸材にもこの試験を適用することになっている。しかし、その試験温度はタービン軸に比べるとかなり低いと

ころにある。なぜかという、発電機軸の場合、回転時にうける温度の最大は、工場における乾燥運転時の場合であって、前者の使用条件に比べると温度的にははるかに緩和されるからである。しかし、それでも筆者らはその試験温度を乾燥運転温度の 2 倍程度に当る 200~250°C に置いている。これは安全を見込んだ指定温度であるが、測定方法から考えて偏位の精度を出すのにこの程度の温度は必要であるとしたのである。この試験における中心偏位許容値は 1/100 mm である。さて、筆者らがこの試験を適用したのは数年前にさかのぼるが、当時、試験温度から考えて曲りはほとんど問題ではないだろうという予想であった。しかし実際には 5/100 mm 以上の値を示す軸材が出て驚いたことがある。この軸材は歪取焼鈍後の再試験で合格になったが、その後はこのような事例はない。

こうした変形を起す要因としては、内部応力、組織不均一その他多くの条件を想定できるが、この試験が製鋼工程のほとんど最終段階にあることを考えると、製鋼技術上の対策はもちろんとして、曲り発生に伴う検査上の対策もまた十分に行う必要がある。

ウ、調質について

軸材にすぐれた強度とか靱性が要求される以上、均一微細な組織が望ましいことはいうまでもない。また、これは超音波探傷の精度を高めるためにも必要なことである。1953 年に購入した Bethlehem 社の軸材は前述のように以上の条件をほとんど満足している。当時、筆者らが取扱った国産軸材には、これに匹敵するものはなかったのであるが、今日では、調質改善に関する製鋼技術者の不斷の努力の結実によって、この級の組織を示す軸材が多数現われていることは喜ばしいことである。

戦後の軸材には米国流の多重焼鈍法が適用されてきた。これは従前の油冷焼入焼戻法とは異なり、質量効果とか残留応力などを軽減させる点で効果的であるといわれている。しかし、それにもかかわらず今日、米国では歐洲流の油冷方式による調質法に再検討を加えており、このことは筆者らにとってもきわめて興味深い事柄である。

7. む す び

以上のようにタービン発電機回転子軸材に関するかぎり一般の鋼材では比較にならないほど、厳格な見方とか考え方を持っているから、これをもとにした現行の検査方法の内容、手順、観察、判定などには当然、煩雑さが起ってくる。したがって、結果的には製鋼工程を狂わせたり、納期を遅延させたりする。しかし、軸材の使用条件とか、不測の欠陥要因を考えると、検査の方法にめんどろさがあっても、予想される懸念についてできるだけ解明した上で判断を加えることが絶対に必要となるのである。したがって一般の鋼材検査にとられているような固定した判定基準ではこの軸材の判断はできないので

あって、現在考えらるすべての検査の総合的な結果の観察から弾力性のある判断を下すことが筆者らのとるべき態度になっている。そして、その中には筆者らが理想とする軸材に一步でも近づこうとする強い願望も含まれるから、将来においてその領域に到達し、安定するまでの研究的な検査の意義をも持つことになる。こうした前提に立てば、筆者らの考え方の独善性とか、あるいは一営利会社の検査の領域から逸脱しているとかの、抗議や批判を受けるかも知れない。しかし、現在国内で一般に行われている検査方法に対する疑問を含めて実験室的研究では解明できない未知要因への懸念を打消しうる何らかの新しい検査方法とか、すぐれた理論が出現しないかぎり、その抗議や批判をあえて甘受しなければならないと思う。現行検査に関する以上のような筆者らの主張は幸いにして製鋼技術者の寛容と理解によってささえられ、品質改善という共通の目的のために絶えず努力が払われている。

終りに臨み、日本製鋼所室蘭製作所ならびに三菱製鋼長崎製鋼所の研究、検査関係各位のご協力に対して厚く御礼を申上げる。

文 献

- (1) Recent Accident with Large Forgings, Metal Progress, Feb., 1956.
- (2) Improved Manufacture of Large Alloy Steel Forgings, Metal Progress Jan., 1953.
- (3) Investigation of Large Steam-Turbin Spindle Failure, ASME, 55-A-172.
- (4) ASME Technical Digest, Mechanical Engineering, Jan., 1956.
- (5) Out Goes Hydrogen, Steel, Nov., 1955.
- (6) Segregates, Iron and Steel Dec., 1951.
- (7) Current Study of Large Forgings, Metal Progress, April, 1956.
- (8) Acceptance Guides For Ultrasonic Inspection of Large Rotor Forgings ASME 55-A-194.
- (9) The Work of the Task Group on Brittle Failure of Steel Forgings ASME 55-A-209.
- (10) Report of the Investigation of Two Generator Rotor Fractures ASME: 55-A-208.
- (11) Large Rotor Forgings For Turbines and Generators, ASME: 55-A-215.
- (12) The Effect of Hydrogen on the Tensile Properties of Steel, Journal of the Iron and Steel Institute Feb., 1953.
- (13) E. Dixon, Super Sonic Methods of Metal Inspection in Electronic Methods of Inspection of Metals, American Society for Metal, 1947.
- (14) The Behavior of Metals Under Dynamic Loading, Metal Progress, Nov., 1953.
- (15) Westinghouse Data S. ASTM Data.
- (16) 日本製鋼所技術資料(下田, 谷口, 鈴木, 阪部, 渡辺他).
- (17) 三菱製鋼所技術資料(河合, 曾木, 小松, 本月, 勝本, 石井他).
- (18) 三菱造船所技術資料(奥田, 金森, 宇野, 山口他).
- (19) 三菱電機長崎製作所技術資料(井上, 進藤, 加賀, 今北, 今井, 山野辺, 玉田).
- (20) 三菱電機研究所技術資料(前田, 藤原他).
- (21) 回転破壊試験資料(研究所, 長崎製作所, 日本製鋼所).
- (22) 金属 1956 年 7 月(加賀, 今井).
- (23) 電気学会 1955 年 8 月(井上, 進藤, 今北).
- (24) 火力発電 1955 年 9 月(今北).

電力用単巻変圧器と外鉄型 Form-Fit 変圧器

伊丹製作所 村上 有*・田村 良平*

Auto-transformer and Shell Type Form-fit Transformers for Power Systems

Itami Works Tamotsu MURAKAMI・Ryohei TAMURA

A practice prevalent in the grounding the neutral of power systems is employing the ground fault neutralizer or the resistor of high value. This had made it impracticable to use the auto-transformer in the power system until one unit of this design to be specifically applied to the solidly grounded system was for the first time in Japan built in Itami Works. Now that the system has been changed to the solidly grounded one with this new application, its voltage has been raised to $\sqrt{3}$ times to increase the capacity. How the unit differs from the conventional transformer and how the shell type form-fit design adopted to it are accounted for herein.

1. ま え が き

単巻変圧器を採用すれば普通の2巻線変圧器に比して寸法重量が縮減し能率がよく経済的になる利点があり、古くから工業用あるいは小規模の電力面に使用されていたが、電力系統用としては考慮すべき問題があり、とくにわが国では系統が非有効接地であるため単巻変圧器を採用できがたい状況であった。

中性点直接接地系統が普及している米国では電力用に盛んに単巻変圧器が使用されていることは衆知の通りである。欧州においても最近の超高圧系統は直接接地で連繫変電所に単巻変圧器が採用されている。わが国においても新しく建設されあるいは施工中の超高圧の系統は全

部直接接地方式が採用されまた旧系統を直接接地にして送電電圧を昇圧することが企てられている。単巻変圧器の中性点接地は2系統の接地問題に相關連するための障害と消弧リアクトル系統には一般に単巻変圧器を使用しては不可ない⁽¹⁾原則によって、残念ながらわが国で単巻変圧器の実現がはばまれていた。すなわち直接接地の有利性の1つに単巻変圧器採用可能の利点が唱えられてはいたが止むを得ない事情にあったのである。

直接接地による旧系統昇圧の1例に四国電力宇和島線袖原系における $\sqrt{3}$ 倍昇圧が実施されているが⁽²⁾、津賀発電所の連繫用変圧器として単巻変圧器が採用され、わが国で初めて本格的な電力用単巻変圧器が製作された。仕様は

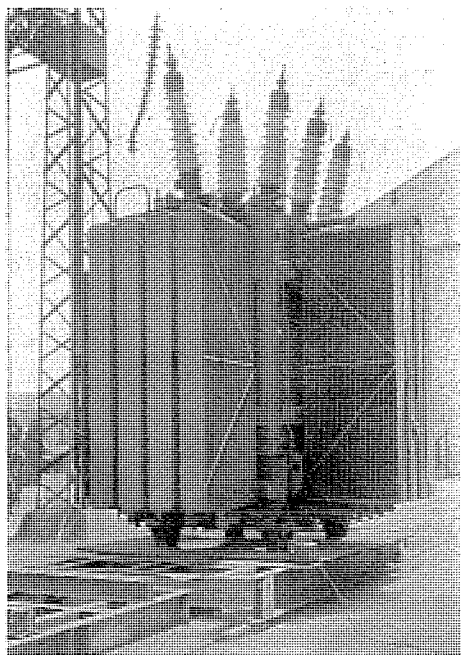
3 相	13,000 kVA (3 次 6,000 kVA)
1 次	110,000 V
2 次	54,500 V
3 次	11,000 V
60 c/s	油入自冷式

で外鉄型 Form-fit 式である。(1 図に外観を示す)

外鉄型 (Shell Form) 変圧器は単巻変圧器にも好適の構造でその特長を最大に発揮できるものであることを、これを機会に単巻変圧器の特異性ととも述べてみたいと思う。

2. 単巻変圧器の線路出力と自己容量 (巻線容量)

単巻変圧器 (Auto-transformer Spartransformator) は低圧巻線が共通巻線、高圧巻線がそれを共有しそれと直列に接続されている直列巻線との合体である直列誘導器で、普通の2巻線変圧器と比較すると2図のように共通巻線には低圧電流と高圧電流の差が流れアンペア・ターンは共通巻線と直列巻線とが平衡相殺する。すなわち直列巻線と共通巻線をもって2巻線とする2巻線変圧器と作用が等価である。よって直列巻線あるいは共通巻線



1 図 13,000 kVA 単巻変圧器

Fig. 1. 13,000 kVA 'auto-transformer.

* 技術部

の電圧電流の積を自己容量 (self-capacity) といつてこれが2巻線変圧器の容量と同じ意味での単巻変圧器の大きさを表わすことになる。直列巻線 (巻数 n_s) と高圧巻線 (巻数 n_s+n_c) の巻数比、すなわち

$$\frac{\text{高圧-低圧}}{\text{高圧}} \equiv r = \frac{n_s}{n_s+n_c}$$

を巻数分比と称し、これを用いて単巻変圧器の自己容量と線路出力 (line-capacity) の関係を求めると

$$n_c I_c = n_s I_s = n_s I_H \quad \frac{E_s}{n_s} = \frac{E_c}{n_c} = \frac{E_L}{n_c}$$

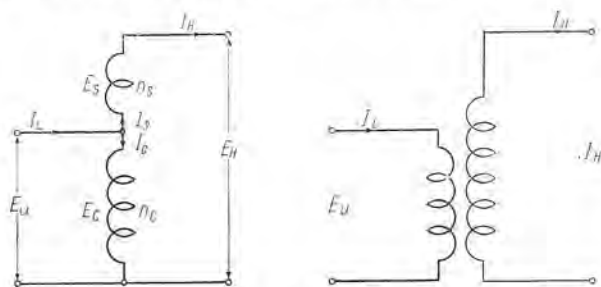
$$I_L = I_s + I_c = \left(1 + \frac{n_c}{n_s}\right) I_c = \frac{1}{r} I_c$$

$$E_H = E_s + E_c = \left(1 + \frac{n_c}{n_s}\right) E_s = \frac{1}{r} E_s$$

$$\begin{aligned} \text{したがって、線路出力} &= E_L I_L = \frac{1}{r} E_c I_c \\ &= E_H I_H = \frac{1}{r} E_s I_s \end{aligned}$$

となり、自己容量 $= r \times (\text{線路出力})$

すなわちよく知られているように1次2次の巻線比が1に近づくほど (r が小さいほど) 同じ線路出力に対し自己容量が小さくなり単巻変圧器の経済性が高くなる。



2 図
Fig. 2.

3 相には単相変圧器 3 台、あるいは 3 相単巻変圧器が用いられる。配電系統等に V 結線、三角形結線、あるいは辺延三角形結線の単巻変圧器が使用され、この場合の線路容量と自己容量には別の関係が加味されるが、ここにはこの詳細は省略する。いわゆる電力系統用として使用される単巻変圧器はすべて星形結線である。

星形結線の変圧器は励磁電流の第 3 高調波成分を環流さすために三角形結線 3 次巻線を備えるのが望ましい。内鉄型三脚鉄心変圧器も電力用のものは三角形 3 次巻線を有している。この 3 次巻線の巻線容量は線路の接地事故による故障大電流を考慮して定めねばならぬが、単巻変圧器の場合は自己容量の最小 35% の容量を必要とするとしている⁽³⁾。

単巻変圧器はこのように三角形結線 3 次巻線を備えねばならぬから 3 次巻線端子を出して 3 次負荷をとるように設計されるのが有利である。すなわち 3 回路単巻変圧器とされるのが一般である。このときには普通の 3 巻線変圧器と同様に等価容量 (equivalent capacity) をもって単巻変圧器の大きさを呼称する。すなわち

等価容量 (kVA equi.)

$$= \frac{1}{2} (kVA_s + kVA_c + kVA_T)$$

しかしながら 3 巻線変圧器の大きさはその等価容量と同一容量の 2 巻線変圧器よりは大きく内鉄型変圧器では一般に 107% の容量の 2 巻線変圧器と等価である⁽⁴⁾が、外鉄型変圧器では小さく 104% 程度である。

前述の自己容量は電圧タップのない変圧器について考えたが、単巻変圧器にタップがある場合には 2 巻線変圧器と違って巻線容量が大幅に増大する。2 巻線変圧器のときはタップのある巻線がタップ分だけ巻線容量を実質的に増加するだけであるが、単巻変圧器ではタップによって巻数分比が変わるので増加率が大きく巻線容量は最大巻数分比でしかも電流の最大で決まる。すなわち

直列巻線容量 (kVA_s)

$$= (\text{線路出力}) \frac{H_{\max} - L_{\min}}{H_{\max}} \left(\times \frac{H_{\max}}{H_{\min}} \right)$$

共通巻線容量 (kVA_c)

$$= (\text{線路出力}) \frac{H_{\max} - L_{\min}}{H_{\max}} \left(\times \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \right)$$

となる。したがって単巻変圧器ではできるだけタップをつけないこと、あるいは範囲を小さくすることが望ましい。また内鉄型変圧器では高低圧が同心配置であるために構造上低圧側からタップを出しがたい欠点がある。なおタップについてはさらに後述する (7 図参照)。

3 回路単巻変圧器では巻線容量を決定するにあたって注意すべき点がある。たとえば 1 次 2 次の自己容量より 3 次容量が大きいとき高圧 2 次が無負荷で 3 次出力全負荷となるためには共通巻線は 3 次と同じ容量を有さねばならぬ。一般に直列巻線は

$$kVA_s = kVA_H (H - L) / H = r \times kVA_H$$

共通巻線は、低圧側 1 次するとき

$$kVA_c = r \times kVA_H + kVA_T$$

あるいは $kVA_c = r \times kVA_H$ (大きい値をとる)

高圧側 1 次するとき

$$kVA_c = r (kVA_L + kVA_T) - kVA_T$$

あるいは $kVA_c = r \times kVA_H$

あるいは $kVA_c = kVA_T L / H$ (大きい値をとる)

ただし式中の加減はベクトル算法による。

すなわち 3 次と 1 次は 2 巻線であるから巻数分比と線路出力だけで巻線容量を求めると負荷の状況によって容量不足をきたすことがある。したがって負荷の力率および各回路の使用状態の組合せを考慮して共通巻線容量を決めねばならぬ。1 例として 1 次 220 kV 2 次 154 kV 単巻、3 次 13.2 kV 3 φ Δ で、2 次 100 MVA 遅力率 75%、3 次 40 MVA 調相機負荷の変圧器を考えると、直列巻線は 3 次負荷 0 として

$$MVA_s = 100 \times (220 - 154) / 220 = 30 \text{ MVA}$$

共通巻線は

$$\begin{aligned} MVA_c &= \{100(0.75 + j0.661) - j40\} \times (220 - 154) / 220 \\ &\quad + j40 \\ &= 52.9 \text{ MVA} \end{aligned}$$

となる。ちなみに等価容量は

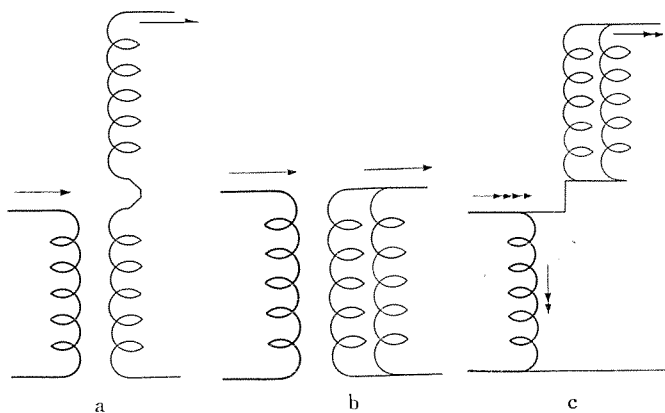
$$\text{MVA}_{\text{eq}} = \frac{1}{2}(30+52.9+40) = 61.45 \text{ MVA}$$

単巻変圧器は普通の変圧器に比しどれだけ経済的かとごく一般に問われるが、電力用単巻変圧器には人々の結線がなく C 入で (1 次 2 次角変位なく) 必ず 3 次の巻線を備えることを識るべきである。

3. 単巻変圧器のインピーダンスおよび短絡電流

単巻変圧器は損失、漏洩リアクタンスが小さいことが利点でもあるが、短絡電流が過大になり器内発生機械力および熱が許し得ぬまでに大きく巻線の強度が耐えられなくなるきらいがある。とくに単巻変圧器は中性点を直接接地して使用されるから条件が苛酷である。単巻変圧器のインピーダンスを 2 巻線と対比してわかりやすく考察する。今 3 図 a の 2 巻線変圧器を b および c のように結線変更すると c は単巻変圧器で (L と H の電圧比は 1:2) 線路容量は a の 2 倍になる。インピーダンスは巻数の 2 乗に比例するから、H 側からみたインピーダンスは b, c は a の $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$ に減少する。また L 側からみると a, b は等しいが c は同じく $\frac{1}{4}$ に減少することが容易にわかる。(H 側を短絡して考えれば L 側の同一電圧により矢印の倍率で示す短絡電流が流れる) すなわち単巻変圧器 c の短絡電流は 2 巻線変圧器 a に比し 4 倍になる訳である。しかしながら線路を対象にして同一出力の 2 巻線変圧器と比較すると (a と同じ % インピーダンスの 2 倍の容量の変圧器、すなわちオーム・インピーダンスは a の $\frac{1}{2}$) 電源無限大として短絡電流は 2 倍 (すなわち単巻変圧器の % インピーダンスが $\frac{1}{2}$) になる。また短絡時巻線機械力は短絡アンペア・ターンの 2 乗に比例するから c は a の 4 倍の機械的衝撃を発生する。c は a と機械的強度が同一であるから、安全率が $\frac{1}{4}$ になったものとみなされ一般に強度的に危険になる。一般的に単巻変圧器のインピーダンスを求めると、4 図より

$$e_s = \frac{n_s}{n_c} e_c \quad n_s I_s = n_c (I_L - I_c)$$



3 図
Fig. 3.

$$e_c + e_s - (I_s - I_L) Z_c - I_s Z_s = E_H$$

ただし e は主磁束による誘起電圧 (理想変圧器の電圧) $E_H = 0$ として e_s, I_s を消去すると

$$e_c = \left(\frac{n_c}{n_c + n_s} \right)^2 I_L (Z_c + Z_s) - \frac{n_c}{n_c + n_s} I_L Z_c$$

低圧側からみたインピーダンスは $Z_{LN} = \frac{E_L}{I_L} = \frac{e_c + I_c Z_c}{I_L}$ であるから、 e_c を代入し少し演算すると

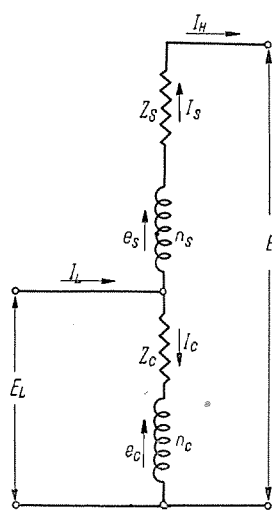
$$Z_{LN} = \left(\frac{n_s}{n_s + n_c} \right)^2 \left(Z_c + \frac{n_c^2}{n_s^2} Z_s \right)$$

また直列巻線端子を短絡し共通巻線に電圧を加えてその間のインピーダンス Z_{cs} を求めると

$$e_s = \frac{n_c}{n_s} I_L Z_s \quad e_c = \frac{n_c}{n_s} e_s$$

$$Z_{cs} = \frac{E_L}{I_L} = \frac{e_c + I_L Z_c}{I_L} = Z_c + \frac{n_c^2}{n_s^2} Z_s$$

よって $Z_{LN} = r^2 Z_{cs}$



4 図
Fig. 4.

となる。すなわち共通巻線と直列巻線との間の直通インピーダンスの r^2 倍に減少する。したがって短絡電流は単巻変圧器の自己容量と等しい出力の 2 巻線変圧器に比して $1/r^2$ 倍に、また短絡時機械力も $1/r^2$ 倍に増大する。これを同一線路出力の単巻と 2 巻線変圧器について比較すると、設計内容が同一のとき 2 巻線変圧器の漏洩リアクタンスは Z_{cs} と百分率の値で等しくオーム値で r 倍となるから、 Z_n を 2 巻線変圧器のインピーダンスとすれば

$$Z_{LN} = r Z_n$$

となり短絡電流は $1/r$ 倍になる。

三角形結線 3 次巻線を有する星形結線単巻変圧器の 1 次 3 次および 2 次 3 次間のインピーダンスは、それぞれ 2 次、1 次端子を開放して低圧巻線あるいは高圧巻線と 3 次巻線を 2 巻線変圧器として存する。

また直列巻線、共通巻線、および 3 次巻線を 3 巻線変圧器として互のインピーダンスも考えられる。(Z_{cs}, Z_{ct}, Z_{st}) 低圧 3 次間のインピーダンスは

$$Z_{LT} = Z_{ct} = Z_c + \frac{n_c^2}{n_t^2} Z_t$$

であるが、高圧 3 次間のインピーダンスは

$$Z_{HT} = Z_c + Z_s + \left(\frac{n_c + n_s}{n_t} \right)^2 Z_t$$

$$= \left(\frac{n_c + n_s}{n_c} \right) Z_{ct} + \left(\frac{n_c + n_s}{n_s} \right) Z_{st} - \frac{n_s}{n_c} Z_{cs}$$

$$= \frac{1}{1-r} Z_{ct} + \frac{1}{r} Z_{st} - \frac{r}{1-r} Z_{cs}$$

となる。低圧側電圧基準では $(1-r)^2$ を乗じて

$$Z_{HT(L)} = (1-r)Z_c r + \frac{(1-r)^2}{r} Z_{sT} - r(1-r)Z_{eq}$$

である。

単巻変圧器はタップをつけると巻数分比 r が変わるので大幅にリアクタンスが変化し、高圧側低タップでインピーダンスおよび損失（実効抵抗）が減少することは特異な性質である。

普通の3巻線変圧器と同様に3回路単巻変圧器における等価回路を考えることができる（5図b）。

$$Z_H = \frac{1}{2}(Z_{LH} + Z_{HT(L)} - Z_{LT})$$

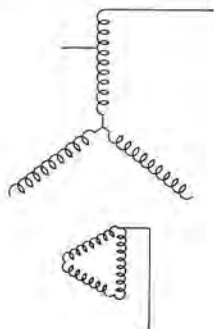
$$Z_L = \frac{1}{2}(Z_{LH} + Z_{LT} - Z_{HT(L)})$$

$$Z_T = \frac{1}{2}(Z_{LT} + Z_{HT(L)} - Z_{LH})$$

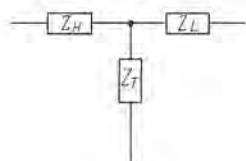
零相回路に対して中性点非接地のときは

$$Z_0 = Z_{sT}$$

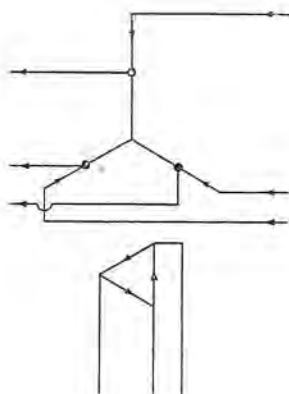
となり電圧電流の変成をしない特殊な回路になることは注目しなければならない（6図）。



5 図 a
Fig. 5. a



5 図 b
Fig. 5. b

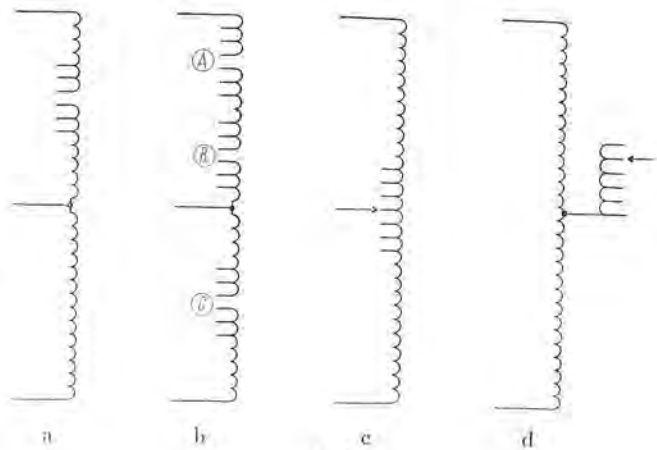


6 図
Fig. 6.

4. 単巻変圧器のタップ

変圧器の巻線にタップをつけておくとその変成比を換え回路電圧の調整ができて便利であるが、変圧器を大きくし注意しないとアンペア・ターン分布の不均衡のため漂遊損失の意外な増加と短絡時機械力の異常な過大をきたすことになる。とくに単巻変圧器は高圧側の巻数を加減するには直列巻線にタップをつけねばならず（7図a）低圧側の巻数のみを調整するには一般に共通巻線にタップをつけるとともに直列巻線にもタップをつけて高圧巻数を補償してやらねばならない。とにかく絶縁上楽な共通巻線にタップをつけたのでは巻数比の変換に効き方が悪いので困る訳である（7図b）。

直列巻線にタップをつけた場合そのタップ部分の高圧



7 図
Fig. 7.

巻線に占める割合 t に対し実際構造上問題となるタップの直列巻線に占める割合は

$$\frac{t(n_s + n_r)}{n_s} = \frac{t}{r}$$

で、これは巻数分比が小さいほど大になる。したがって単巻変圧器では特にタップ範囲を小さくして電磁機械力を減じたい。低圧側を調整するために共通巻線にタップをつける場合にもそれを補償して直列巻線に加えられるタップのことを考慮して決めねばならない。

タップは線路端に設けるのは避けるがよい。それはタップ部分に異常電圧によるストレスがかかるのを防ぐためである。しかしながらタップにそれに十分耐える絶縁構造を施すことによって線路端タップとすることもできる。

7図c, dがその例でdはフォーク結線といいインピーダンスを大きくしうる利点がある。（フォーク巻線の中央部からタップを抜く場合もある）。

一般に単巻変圧器のタップと電圧の関係を求めると、

$$E_H = E_L + \frac{n_s + t_s n_s}{n_c + t_c n_c} E_L = \frac{n_c(1+t_c) + n_s(1+t_s)}{n_c(1+t_c)} E_L$$

ここに t_s , t_c はタップ巻数のそれぞれ直列巻線、共通巻線に占める割合（正および負）。

ア、 E_L が一定のとき（ $E_L = 1$ とする）

(1) タップが直列巻線だけについているとき

$$E_H = 1 + \frac{n_s}{n_c} + t_s \frac{n_s}{n_c}$$

電圧変換率は

$$\Delta E_H = t_s \frac{n_s}{n_c + n_s} = r t_s$$

(2) タップが共通巻線だけについているとき

$$E_H = 1 + \frac{n_s}{n_c} - \frac{t_c n_s}{n_c + t_c n_c}$$

$$\Delta E_H = -\frac{t_c}{1+t_c} \times \frac{n_s}{n_c + n_s}$$

(3) タップが直列共通両巻線についているとき

$$E_H = 1 + \frac{n_s}{n_c} + \frac{t_s - t_c}{1+t_c} \times \frac{n_s}{n_c}$$

$$\Delta E_H = \frac{t_s - t_c}{1 + t_c} \times \frac{n_s}{n_c + n_s}$$

イ. E_H が一定のとき ($E_H=1$ とする)

(1) タップが直列巻線だけについているとき

$$E_L = \frac{n_c}{n_c + n_s} - \frac{n_c}{n_c + n_s} \times \frac{t_s n_s}{n_c + n_s (1 + t_s)}$$

$$\Delta E_L = -t_s \frac{n_s}{n_c + n_s (1 + t_s)}$$

(2) タップが共通巻線だけについているとき

$$E_L = \frac{n_c}{n_c + n_s} + \frac{n_c}{n_c + n_s} \times \frac{t_c n_s}{n_c (1 + t_c) + n_s}$$

$$\Delta E_L = t_c \frac{n_s}{n_c (1 + t_c) + n_s}$$

(3) タップが直列共通両巻線についているとき

$$E_L = \frac{n_c}{n_c + n_s} + \frac{n_c}{n_c + n_s} \times \frac{(t_c - t_s) n_s}{n_c (1 + t_c) + n_s (1 + t_s)}$$

$$\Delta E_L = \frac{n_s (t_c - t_s)}{n_c (1 + t_c) + n_s (1 + t_s)}$$

$t_s = -t_c n_c / n_s$ であれば (1 巻当り電圧が不変)

$$\Delta E_L = t_c$$

変圧器は 1 巻当り電圧を変えないで運用されるのが好ましい。前記はアの (1) およびイの (3) の特殊のとき 1 巻当りの電圧が変わらない。したがって要すれば送電線路 1 次 2 次の電圧変動範囲を勘案しその定格電圧とタップの配置を有効に組合せることが必要である。

5. 単巻変圧器の絶縁および保護

前述のように単巻変圧器が高電圧電力線に使用されなかった最大の理由は高压回路と低压回路が絶縁されていないために外線の事故による異常電圧が両系統をおびやかす低圧回路に高電圧が襲来する危険性である。送電線路に直列に入るいわゆる直列誘導器には 1 次と 2 次の絶縁階級が同一レベルであるもの (電圧調整器, 直列変圧器) と 1 次 2 次の絶縁階級が相異なる単巻変圧器があげられるが, 後者はインピーダンスも割に大きく絶縁の異なる 2 系統を結ぶものであるから絶縁上外部的にも内部的にも困難が多い。

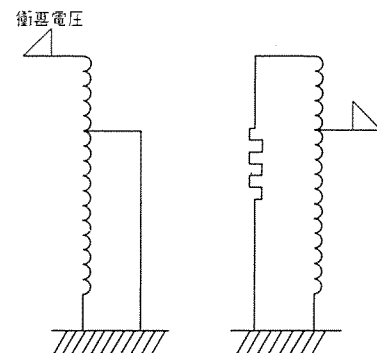
第 1 に述べるべきは中性点反転現象 (Inversion)⁽⁵⁾ で, 単巻変圧器の星形中性点が非接地であれば 1 線接地事故の場合に中性点電位が反転し, 中性点および健全相端子の電位ならびに直列巻線端子間電圧が異常昇騰をきたす危険がある。これは回路のインピーダンス, 鉄心の飽和もあり簡単に考えるほど高い電圧には実際にはならないが大きな恐威であるので単巻変圧器の中性点は必ず直接接地されねばならない。また系統が有効接地の条件を満たすものであることが必要であり, 1 系統の地絡故障が他系統に過電圧を及ぼさないように三角形 3 次巻線を設けるのが望ましい⁽¹⁾。

単巻変圧器は中性点が直接接地されるから段絶縁を施すことができる。絶縁耐力試験は誘導電圧と衝撃電圧をもって行うのが実状に則しているのである。この段絶縁が実施可能であることは単巻変圧器に限らないがその重

量寸法を更に減少し, 特に高電圧の変圧器において顕著で効率もよくなる。

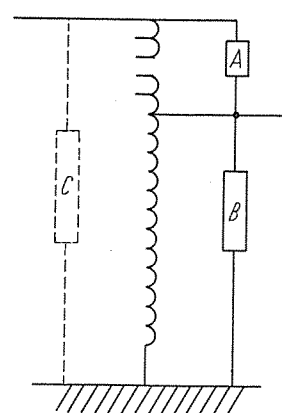
有効接地系の絶縁階級は消弧リアクトルあるいは高抵抗接地系統の絶縁階級に対して回路電圧は同一でも制限電圧の低い避雷器が採用できて, いわゆる基準衝撃絶縁強度 (BIL) を 1 段あるいは 2 段低減することができる。したがって単巻変圧器の絶縁階級は一般に低減絶縁が採られ, これも超高压変圧器になるとその利するところは大きい。前記津賀発電所の 13,000 kVA 単巻変圧器は 1 次 54.5 kV に対して 40 号 (BIL 250 kV), 2 次 110 kV に対して 70 号 (BIL 400 kV) とした。

単巻変圧器の絶縁は衝撃電圧に対して特別の考慮を払わねばならぬ。高压端子に侵入したサージ電圧は 2 巻線変圧器における高压巻線と違って直列巻線を経た巻線途次に低压外線が結がっているためそのほとんどの全電圧が直列巻線に加圧される。これは低压端子が線路あるいは負荷に接続されているため低压端子と大地間のインピーダンスが比較的低いことにもとづく。また直列巻線はその端子のどちらからも衝撃電圧をうけることが考えられこれらの諸条件が組合さって起ると種々特別な問題を惹起する。このように直列巻線に現れた初期電圧は巻線内で過渡的振動を誘発するが, 前述のように高压巻線のタップは直列巻線につけられ, その範囲は巻数分比が小さいほど大きくなるのでタップに加わる電氣的ストレスも著しく大きくなりその絶縁をおびやかす。



8 図

Fig. 8.



9 図

Fig. 9.

すなわち単巻変圧器は巻数分比が小さくなると直列巻線およびタップの絶縁が非常に困難になる。実地運転の最悪の条件に対して設計するには 8 図のように直列巻線のみで高压側衝撃試験電圧に耐えるように直列巻線を絶縁しなければならない。このために高電圧の単巻変圧器は特に小巻数分比でタップがついている時には自己容量に比して遥かに大きなものになる。これは

特に内鉄型変圧器でははなはだしく1次2次の電圧が近いと製作困難になる。

この困難を解決するために直列巻線(高圧低圧端子間)に側路避雷器(By-pass Arrester または Series Arrester)を設けて保護することが行われる。9図のAがそれである。高圧および低圧線路端子が避雷器で保護されることは普通の変圧器と同様である。低圧側避雷器と側路避雷器とで高圧端子の適当な保護ができれば高圧側の避雷器は省くことができる。また単巻変圧器はたとえば高圧側線路がもしも開路の状態にあるとき低圧側からサージが侵入すると高圧側端子にその絶縁階級以上の電圧が発生する場合が多い。したがって単巻変圧器は必ず端子を避雷器で保護しておく必要がある。

側路避雷器としてはあらゆる条件のもとで続流を遮断し得る性能のものを選ばねばならぬ。たとえば低圧側線路で1線地絡が起った場合、このとき高圧側が全電圧を維持し得るとすれば側路避雷器には高圧側対地電圧がもろに加わる。しかし巻数分比の小さい単巻変圧器では電源系統のリアクタンスが当然大きく総合インピーダンスのためにこの電圧は相当低下するけれども、なお直列巻線端子常規電圧よりはずっと大きい電圧となる。よってこの電圧を求め避雷器の定格を定める。この側路避雷器に則して直列巻線の端子間絶縁階級を決定するのである。この避雷器が責務を果たえないときには変圧器を短絡し系統に大きい影響を及ぼす点は注意しなければならない。

6. 外鉄型変圧器と単巻変圧器

単巻変圧器の特性について一般的に述べてきたが、ここで単巻変圧器の利点欠点について要約しその対策とあわせて外鉄型変圧器の特長とを関連説明したい。

ア. 単巻変圧器の利点

(1) 重量が減少し所要資材量が少く、寸法が小さくなる。したがって損失が減少し(自己容量相当の2巻線変圧器の損失と同等)効率がよく、経済的である。

(2) 漏洩リアクタンスが小さくなって、電圧変動率が少く、系統の安定度をよくする。

(3) 有効接地の系統に使用されるから、段絶縁、低減絶縁が採用できて経済性が倍加する。

数量的に単巻変圧器の利点をあげることは個々の仕様によって著しく相違した変圧器の構造(外鉄型、内鉄型)で大きく変わってくるので一概には述べられない。1例として前記 13,000 kVA 単巻変圧器を3巻線全絶縁変圧器として設計したものと比較すると

中身重量(コイルおよび鉄心)	53%
全重量(油なし)	56%
油量	57%
全負荷損失	52%

となる。

イ. 単巻変圧器の欠点

(1) 直通インピーダンスが小さくて回路の故障時の短絡電流が過大になる。単巻変圧器のインピーダンスが4%以下のときは3相短絡電流は25倍以上流れることになり、熱的および機械的に耐え難い。電圧調整器などと同様巻数分比の小さい単巻変圧器ではインピーダンスが4%よりも小さくなることも止むを得ないときがしばしばあるが、遮断器の遮断容量とも関連して要すれば限流リアクトルを挿入して故障電流を制限してやらねばならない。単巻変圧器の場合も短絡過電流は熱的には25倍2秒間、機械的には65倍(最大波高値)の耐量までしか保証できないのであって、系統のインピーダンスを考慮して短絡電流を検討してみることが必要である。また三角形結線3次巻線を有する単巻変圧器では3次の故障電流が大きくその強度に留意せねばならぬ。

(2) 高圧側と低圧側の回路が分離絶縁されていない(導電結合)ために、前述のように絶縁上の重要問題があり中性点端子は直接接地されねばならず両系統が有効接地系であることが必要条件であって、特に衝撃電圧に対しては保護装置について考慮が払われねばならない。側路避雷器をつけるときには選定に当ってその許容端子電圧を慎重に検討しなければならぬ。しかしできれば高低圧端子間は側路避雷器に頼らない絶縁にする方が望ましいことはもちろんである。

(3) タップの配列が複雑になり、絶縁上また機械的強度上の弱点となりやすい。単巻変圧器は電圧タップ範囲に対し構造作用上のタップ範囲が広くなり、実質的容量を大幅に増大する。最近低圧調整に対して直接式負荷時タップ切換単巻変圧器が発達しているが⁽⁶⁾、これはタップの絶縁を強化しても線路端タップ(7図c,d)にすることによりタップ存在による巻線のむだを省こうとする考え方である。機械力の発生を極小にし、内部異常電圧を防ぎ、巻線の強度を大にするのに、タップ巻線の配置と構造には特に苦心するところで、直列巻線タップに特別の静電遮蔽が施されることもある。または巻線と並列に非直線性抵抗体を接続して電位分布の改善を計る方法⁽⁷⁾も一部で行われている。

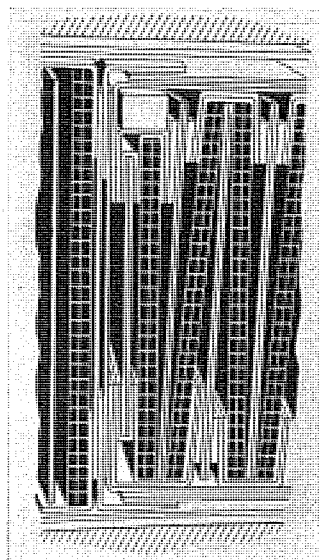
ウ. 外鉄型フォーム・フィット変圧器の特長と外鉄型単巻変圧器

外鉄型変圧器は高電圧大容量変圧器に好適な構造をそなえているが、その優れた特長は単巻変圧器が強く要求する前述の諸要件とも合致しそれを十分に満足するもの



10図 外鉄型変圧器の1枚のコイル

Fig. 10. One coil of shell-form transformer.



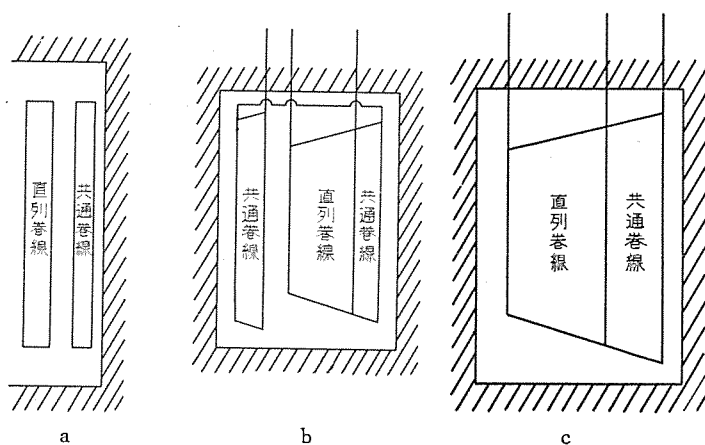
11 図 絶縁構造
Fig. 11. Construction of insulations.

で、単巻変圧器には外鉄型が最適であると考えている。

(1) 動揺電圧（雷、開閉サージ）に対する絶縁

外鉄型変圧器は内鉄型円板コイルに比し直列につながるコイル（10 図）の数が少くコイル幅が大でその間の対向面積が大きくて合成直列静電容量が大きく、巻線内での大地への静電容量が小さい。したがって衝撃電圧侵入に対して巻線内の初期電位分布が本質的に良好で、電位振動が僅少である。また 11 図に示すように個々のコイルおよびコイル群はプレスボードの型絶縁物で包む構造をとり電界が沿面に垂直にかかるようになっているから衝撃電圧に対して特に絶縁が強大で絶縁構造が合理的である。

単巻変圧器の巻線の構造は 12 図のように内鉄型は直列巻線と共通巻線を同心配置に（12 図 a）、外鉄型は直列巻線と共通巻線を交互配置に（12 図 b および c）するが、いずれも 2 巻線変圧器の場合と同様である。サージ電圧に対しては直列巻線が 2 巻線変圧器の高圧巻線全体に相当するものと考えれば両者に相違するところは直列巻線の 1 巻当りのサージ電圧が倍増することである。このために電位分布の悪い巻線では数倍の絶縁補強を施さないとサージに耐えられなくなる。この倍率は前述のように巻数分比が小さくなるほど大きくなり、絶縁強化をもってしては不経済になって別の保護が必要になる。しかしながら本質的に良好な巻線内電位分布をもっている外鉄型サージ・プルーフ巻線は元来衝撃電圧に対する絶縁の安全係数が大で、特に巻回間の絶縁の安全度は高



12 図
Fig. 12.

く、単巻変圧器においてもほとんど絶縁強化を必要としない。また内鉄型変圧器のタップはコイルが小さく数コイルにわたるので電気的に大きな不連続点となるが、外鉄型コイルでは巻線内部で他巻線に対せずコイルの一部分に収まるのでタップによる電位振動が少く、これも実質的タップ範囲が大きくなる単巻変圧器に外鉄型巻線が有利な理由である。

外鉄型巻線は静電遮蔽にコイルとほぼ同等な幅の静電板を用い端コイル内の初期電圧分布を均等化し、よって全体の電位分布を制御するが、簡単な構造で遮蔽の効果が大きいことも単巻変圧器としては有効な価値をもつ。また巻線端に 2 巻線間の集中相互静電結合をもっている特質は静電板の活用が広く⁽⁸⁾単巻変圧器に有効である。

外鉄型単巻変圧器は以上の利点を活かして巻数分比の小さいものも直列巻線に高圧側試験電圧に耐える絶縁を施すのを標準としている。したがって特に直列巻線に側路避雷器を付するの必要がなく、高低圧の端子に避雷器を設置して保護するだけでよい。これは欧米においても行われているブラクティスで⁽⁹⁾、運転上の信頼度が高い訳である。

なお外鉄型変圧器は段絶縁を危険なく効果的に施すことができるが、特に単巻外鉄型変圧器の場合は直列巻線と共通巻線の接続点には主絶縁が不要である（12 図参照）。これは 12 図 c のように巻線間主絶縁が全然要らない設計もあって占積率はなほだよく単巻変圧器の有利性の大きな因子となるが、これも外鉄型変圧器において発揮できることを付言したい。

(2) 短絡強度

外鉄型フォーム・フィット変圧器はコイルが完全に絶縁物で包まれ、その四周囲を鉄心およびタンクにより完全に締め上げているから広い締め付面積を有し、タンク全側面鋼板の弾力性をもって締め付けられており、構造的にみて機械的強度の大なることが明らかである。また上下方向には鉄心を積み重ねた上に金属楔を挿入して内圧で締めあげているから変移の余地がない。コイルの枚数が少ないから絶縁物の枯れは非常に小さいことになる。

よく方形コイルは円形コイルに比して弱いといわれていたが、これは誤りで⁽¹⁰⁾全体を鉄で締め付けた交互配置方形コイルはなんら弱体ではなく内鉄型変圧器に比して著しく強いことを経験している。

タップを使用したときの非対称による機械力は外鉄型変圧器では内鉄型変圧器と異なりはなほだしく小さい。それは前述のようにタップが空間的にコイルの小部分を占めるだけで全体のアンペア・ターンの平衡をくずす率が小さいからである。上下垂直方向の機械力に対しては絶対にずれは起り得ない。

このことは単巻変圧器としては最大の利点であって、外鉄型変圧器では内鉄型単巻変圧器でタップコイルの配列と構造に苦慮し不経済にしてしかもなお十分の強度を得られないのとは大いに相違するので

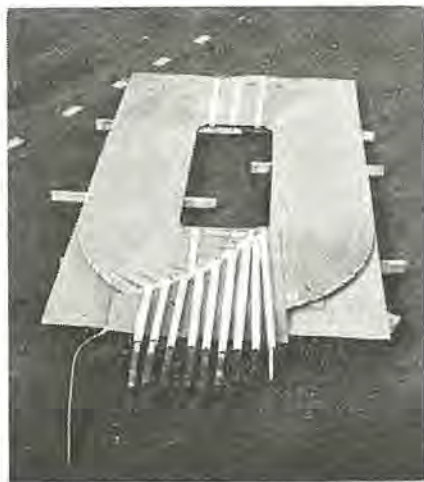
ある。

更に外鉄型ではインピーダンスを容易に大幅に変える特長がある。すなわち巻線群の数を変えるのであってたとえば 12 図 b を 12 図 c のように 2 群を 1 群にすることによってインピーダンスを数倍に増大することができる。3 次巻線については 3 次は 1 群にして 3 次に対するインピーダンスを大きくすることもできる。また静電遮蔽をコイル間で行うので遮蔽を十分に施して巻線間あるいはコイル間を大きくし無駄なくインピーダンスを増加できる。このとき巻線間の間隔が広がっても鉄心のみがやや大きくなるだけで内鉄型のようにコイル鉄心とも大きくならない点も特長の 1 つにあげられる。これは 3 次巻線をつけても全体の重量があまり大きくならないことの理由でもある。前述のように 3 次巻線の強度が弱体になりがちな単巻変圧器では外鉄型設計により強度の大きな 3 次巻線を容易に作る事ができる。

内鉄型変圧器でも外鉄型コイルの構造原理に類似させて多重同心型円筒コイル（無振動巻線）と称する耐雷絶縁構造を採用することが最近一部に行われているが、これは機械的強度の上では弱点となるをまぬがれず電力用単巻変圧器としては信頼性がないと思われる。またこれはタップの構造が難しくなる点もあり、外鉄型構造の敵ではない。

（3） タップの配置

外鉄型変圧器は巻線の配列が交互配置であるから高圧・低圧とも同じくタップを出すことが容易である。単巻変圧器は前述のように直列共通両巻線にタップをつけたい



13 図 タップ
Fig. 13. Taps.

要望が多く、運用上変圧器自身もその方がよい。タップは 13 図のようにコイルの広い油隙にそって上に出すからリード線が短かく多数のタップが出ていても弱点にならない。これも外鉄型変圧器の特長というべきものであろう。

7. む す び

単巻変圧器は今後わが国においても直接接地方式の普及と系統の連繫が発展するにつれて広く採用される趨勢にある。しかし従来電力用単巻変圧器の製作使用の経験がなかったので、割合その特殊性について一般の認識が浅いようである。今回当社で初めて直接接地電力用単巻変圧器を製作する機会をえたので、ここに単巻変圧器の総括的復習と特異性を述べ、外鉄型フォーム・フィット変圧器がいかに単巻変圧器に適しているかを説明した。一般にその巻数比が 1:2（巻数分比 1/2）以下のものは経済的利益が大きく単巻変圧器が採用されるべきである。

東南亜電力開発には単巻変圧器の計画が多く、国内の関心も高いが本文がいささかでも寄与するところあれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) Application Guide on Methods of Neutral Grounding of Transmission Systems A.I.E.E. Misc. Paper 49-280.
- (2) 直接接地 $\sqrt{3}$ 倍昇圧について 小原、国近、電力 40 巻 2 号、3 号。
- (3) Transmission and Distribution Reference Book Westinghouse Ele. Corp.
- (4) Auto-Transformers for Power Systems O. T. Farry A. I. E. E. Tract. Paper 54-324
- (5) Inversion Currents and Voltages in Auto-Transformers A. Boyajian A. I. E. E. April, 1930
- (6) Auto-transformers with Direct Regulation for Extra High Voltage B. B. Review June, 1955
- (7) Thyrite Protection for Series Windings of Autotransformers A. I. E. E. Tract. Paper 55-52
- (8) Control of Electrostatic Voltage Distribution in Power Transformer Design S. Bennon, R. J. Cossaart A. I. E. E. Tract. Paper 55-521
- (9) Voltage Testing of the First 380 kV Transformer E. Stenkvis ASEA Journal 1952
- (10) Mechanical Forces in Interleaved Rectangular Pancake Transformer Coils R. L. Bean, E. C. Wentz A. I. E. E. Tract. Paper 54-246

誘導電動機振動の実験的解析

名古屋製作所 金子清三郎*・滝 平七**・白田長一**・佐藤良雄**

Experimental Analysis of Vibration of Induction Motors

Nagoya Works Seizaburo KANEKO・Heishichi TAKI・Choichi USUDA・Yoshio SATO

With progress of the precision machine tools of late measurements of motor vibration are demanded to be of high accuracy. To this end a committee of motor vibration study has been set up to take up varied matters. Simultaneously experimental analysis has been made by the use of a Reut Linger vibration meter, with the result that various causes of vibration have made clear that dynamic unbalance of the rotor, unbalance of magnetic attractive forces, ball-bearings etc. have important relations with the phenomena.

1. ま え が き

この報告書は現今とみに厳しく要求されるようになってきた電動機振動に関する問題を、その製造の過程においてとらえ、工場実験を計画し、振動の素因の解析を行い、これが防止対策に関する諸結果をまとめたものである。第1次振動委員会においては、A級振動の電動機に関する工作仕様について一応の結論を得たのであるが、第2次委員会においては振動素因の解析に重点を置き、とくにボール・ベアリングに帰因すると考えられる不良事故に着目し、これが精度、嵌合、グリース、シール方式の問題を解明し、更には電動機極数に、対応する磁氣的機械的振動を捕捉してこれらの周波数分析を行い、振動素因を実験的に探求しこれらの結果から材料の剛性、工作、設計上の将来の改善対策のいくつかをつかむことができた。以下各項においてこれら実験的諸結果をのべる。

2. 電動機振動の発生原因

電動機(主として誘導電動機を対象とする。)振動の発生原因および現象は理論と経験からつぎのように考えられる。

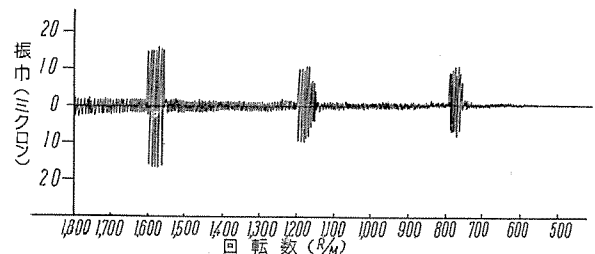
ア. 振動の現象

振動の現象はつぎの4種にわけることができる。

- A: 加速途中の異常振動
- B: 減速途中の異常振動
- C: 運転中の唸り振動および断続振動
- D: 運転中の連続的な振動

上記のうち、A, B, Cの現象は玉軸受を用いた電動機で特に顕著に現われるもので玉軸受の普及にともなって近

来研究の対象となってきたものである。Dの現象は回転体の動的アンバランスおよび磁気吸引力のアンバランスにより発生するものである。なおAとBとはほぼ同一の現象であるがAでは磁氣的な原因も加えられているのにたいして、Bでは全く機械的な原因であることがことなっていて、AとBとでは特定の2~3の回転数において異常な唸り振動が発生するものであってその1例を示せば1図の如きものがある。この例は10 HP 4 Pの電動機を60 c/sで運転し電源を切って減速途中の振動を測定したもので、1,600~1,550 rpm, 1,200~1,150 rpm,



1 図 玉軸受に原因する共振現象 10 HP 4 P 60 c/s

Fig. 1. Resonance due to the ball-bearing.

800~750 rpm の各範囲にて通常振幅の5~10倍に達する唸り振動の発生が認められる。これらの振動の周波数は可聴周波範囲であるためにはなだらしい騒音の発生も認められる。

イ. 振動の発生原因

a. 電氣的原因

・空隙寸法のアンバランス

空隙寸法にアンバランスがあるときには磁気吸引力の不平衡をおこし、固定子鉄心および枠に半径方向の歪をあたえ、振動を発生させる。しかしこの影響は比較的軽微である。

- 高調波磁界による磁気吸引力のアンバランス

固定子および回転子の溝数とその組合せによって生ずる溝高調波、巻線分布によって生ずる高調波等によって磁気吸引力のアンバランスが発生し、それにより固定子鉄心および枠に半径方向の歪をあたえ、振動を発生させる。もし振動の周波数が軸の固有振動数と共振すると甚しいトルクの低下を来しかつ回転体ははなはだしい振動を起すことがある。

- 基本周波数の2倍周波数の磁気吸引力の変化によるもの

一般に誘導電動機では基本周波数の2倍周波数の磁気吸引力の変化があり、それにより固定子鉄心および枠に半径方向の歪が生じ振動を発生させる。2Pの電動機では特にこの現象が顕著にあらわれる。

b. 機械的原因

- 各構成部分の剛性

電気的原因による磁気吸引力のアンバランスは各構成部品の剛性が小さいほど著しい振動を発生させる。したがって振動精度を向上するには部品の剛性を増すことが必要である。

- 各構成部品の加工精度

ブラケット、フレーム、シャフト等の加工精度は回転体の偏心、空隙寸法のアンバランス、ベアリングのこじれ等の原因となり振動を発生せしめるから、その程度については十分に検討されなければならない。

- 回転体の動的アンバランス

回転体の動的アンバランスは振動の発生にもっとも大きい影響をあたえるものである。

- 玉軸受の精度

玉軸受は可聴周数の振動発生的主要原因をなしているののでその回転精度、すなわちレース面の仕上、曲率、ボールの仕上、真球度、相互差、レースとボールとの遊隙、横ぶれ等については今後も更に検討されなければならない。

- 軸、玉軸受、軸受箱を総合した振動系

軸、玉軸受、軸受箱を総合したものは非線型の振動系を形成し、周期的な繰返し振動を発生する。この振動系の固有振動数が軸の特定回転数と共振するとはなはだしい唸り振動となるのである。これに対しては軸受箱の剛性、軸受箱と玉軸受の嵌合、玉軸受の精度、グリース等が各振動系の要素として考えられる。

- 構成部品の枯れによる変形

構成部品に鋳鉄を用いる場合には鋳込んだときの内部応力による経年変形により空隙のアンバランス、回転体の偏心等の不具合を生ずる。したがって鋳鉄部品は十分に枯しをおこなってから使用しなければならない。

- 構成部品の固有振動数

各構成部品の固有振動数は使用される回転数にたいして十分低くとられ、共振を起すことがあってはならない。このことは電動機側のみでなく、電動機の据付基礎

条件に対しても同様に考えられなければならない。

- 軸の内部応力による歪

軸材料で焼鈍処理のわるいものには内部応力が残存し、加工後または使用中に軸が歪み、そのため回転体の動的アンバランス、空隙寸法のアンバランスを起し、振動の原因となる。

- 組立精度

構成部品の加工精度、玉軸受の精度等が良好であっても組立が拙劣であれば良好な結果は得られない。一般に組立精度とは、軸受への玉軸受の押込、玉軸受と軸受箱との嵌合、ボルトの締め方、各部品の清掃、すり合せ等を意味するがそれらについては十分なる指導が必要である。

以上振動の現象とその原因について予想される事項をのべたが、これらはそれぞれ単独に起るのではなく、複雑な組合せにより発生するので、現象のみから適確な原因を推定することは難しい場合が多い。したがって特定の要因のみを強くとりあげ、実験によりその振動性質を解析することが必要な手段であると考えられる。

3. 振動測定法と測定器

振動の性質を解析するには正しい標準の測定法と測定器とを規定しておかねばならない。

ア. 振動測定法

振動測定法は早くからその標準化が考えられ、日本においても日本電機工業会で1950年に制定された誘導電動機試験規定〔J. E. M. 1020〕において標準方法を決定した。この考え方はN.E.M.A規格を基本とし、国内の設備状況を考慮してきめられたもので容量15 HP以下、重量200 kg以下の電動機はスプリング台上で測定すること、それ以上のものにたいしては定盤上で測定することを原則としたものであった。1956年本試験規定の改訂においてN.E.M.A規格を更に忠実に生かして、弾性体上で測定することを原則とし、重量が200 kg以上で、かつ回転数が900 rpm以下のもののみは定盤上で測定しても差支えないことになった。また弾性体の意味もスプリング台、またはゴム台上に電動機をのせてもよいし、あるいはスプリングで吊り下げてもよいとしてかなり広げられた。

当社では本試験規程改訂に先立ち、N.E.M.A規格に準拠し、弾性体上で測定することを早くから実施してきたが、今回J.E.M.規格とほぼ一致したことは幸なことであった。しかれば何故に弾性体で支持して測定する必要があるかというに、電動機の振動は電動機と電動機の支持台との合成振動としてあらわれるものであるから、電動機自身の振動のみを測定しようとするときには電動機をその支持台とは完全に附絶しなければならない。もし電動機と支持台との中間にその固有振動数が電動機回転数の1/4以下の弾性体を挿入するならばほぼ電動機と支持台とを無関係にすることができる。このことは同一周

有振動数条件のスプリングで電動機を吊り下げても同様の結果がえられる。またスプリング台上にのせる場合には、スプリング台の重量は電動機重量の 1/10 以下であることが必要でこの条件が満たされないと正しい測定は困難である。

定盤上で測定することはほとんど無意味で、定盤の条件により、必ずしも同一の測定値はえられぬであろう。なぜならこの場合には電動機と定盤とを総合した振動系の振動を測定することになるからで、無限に大きく無限大の重量をもった定盤上に電動機を固定して振動を測定するものとすれば電動機から発生する振動

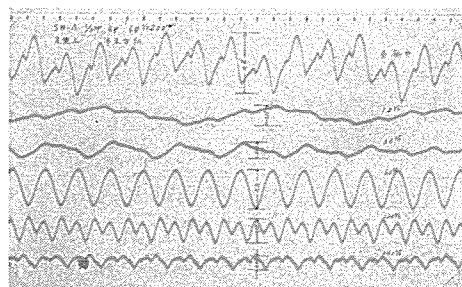
エネルギーはほとんど定盤に吸収され、真の値よりはるかに少ない振幅を測定してしまうことになるであろう。一方定盤が非常に小さく、かつ設置条件も不安定なものであれば定盤の固有振動数が電動機の回転数と共振を起すこともありうるわけで、このときには真の値よりはるかに大きい振幅を測定することになる。同様のことは機械に電動機を設置するときにも考えられる。もし非常に剛性が大きく固有振動数の低い機械に電動機が完全に固定された場合にはその振動は非常に減少せしめらるであろうが機械の剛性が小さく、かつ固有振動数が電動機回転数に近い場合、または機械の重量と電動機の重量とが比較的近い場合などには共振またはそれに近い状態となり、著しく振動が拡大されるであろう。その具体例を 1 表に示す。これは 10 HP 2 P 玉軸受 6310 の高速旋盤用電動機にて実験したものである。また振動の性質も電動機の

1 表 定盤の条件による振動の差異

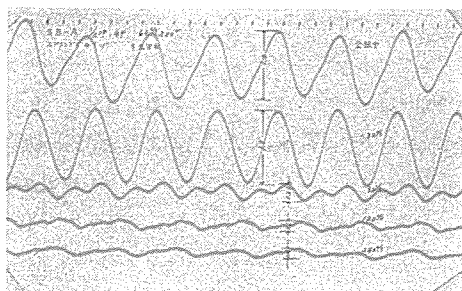
振 動 振 幅	定 盤 の 条 件
30~50 μ	100×100×20 cm の定盤 adjusting block の上に設置
15~20 μ	150×250×30 cm の定盤 adjusting block の上に設置
5~7 μ	200×200×20 cm の定盤 コンクリートにて根巻きす

設置条件によってことなるもので電動機の振動を正しく解析するためには設置条件による誤差を除去することが望ましい。具体的な例を 2 図、3 図、4 図、に示す。

本実験は 3 相 1/2 HP 4 P 玉軸受 6203 にて実施したもので 2 図はコンクリートで根巻きした重量約 1 t の定盤上で測定したもので、全振幅は 0.4 μ であるが波形は極めて不規則でありかなりの高周波成分が含まれている。

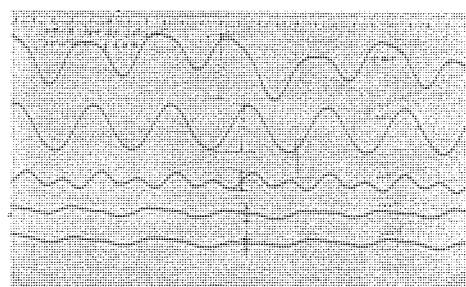


2 図 SB-A 1/2HP 60c/s 200V 定盤上半径方向
Fig. 2. Oscillogram of motor vibration in a radial direction set on a surface plate.



3 図 SB-A 1/2HP 4P 60c/s 200V
スポンジゴム上半径方向

Fig. 3. Ditto but suspended by springs.



3 図 SB-A 1/2HP 4P 60c/s 200V
スポンジゴム上半径方向

Fig. 3. Ditto but on a sponge rubber.

一方回転体の動的アンバランスの影響はあまり示されていない。

3 図はスポンジゴム上で測定したもので、スポンジゴムの固有振動数は十分低くとられている。この図で明らかな如く、電動機の振動の性質はかなり単純なもので、その主成分は回転体の動的アンバランスによる振動であり、これに磁気吸引力のアンバランスによる振動がわずかに重畳されていることが示されている。また全振幅は定盤上

の測定値よりはるかに大きくなり約 3 倍の 1.1 μ になった。

4 図はその固有振動数が電動機回転数の 1/4 以下になっているスプリングで電動機を吊り下げて測定した結果である。この振動の性質は 3 図に示したスポンジゴム上の結果とほぼ同様であり、かつ全振幅値も変っていない。以上のべたとく 2 図に示した定盤上のは電動機と定盤との合成振動系の振動を測定したことになる。3 図、4 図に示した弾性体で支持してえられた結果は正しく電動機の振動をとらえたものといえるであろう。

これらの説明からいかなる測定法が採用されなければならぬかは大略了解したものと思う。以下に当所にて用いている標準測定法を記し参考としたい。

〔標準振動測定法〕

定格周波数、定格電圧にて電動機を無負荷運転し、振動を測定する。

振動の測定にあたっては電動機を弾性体上に支持して運転することを原則とする。

測定はできうるかぎり軸受部、枠部、それぞれで軸方向、軸方向と直角の上下方向、および水平方向の 3 方向について測定しその全振幅を波高値にて記録するものとする。

また運転にあたってはブリー、またはカップリングをつけた状態でおこなうことを原則とし、つけえない場合には標準キーの半分のキーを軸端につけなければならない。

電動機を支持する弾性体はつぎの条件に合致するものでなければならない。

(1) 弾性体は実際の圧縮(伸長)量の少なくとも 2 倍の厚さ(長さ)を持たなければならない。

(2) 弾性体の固有振動数が電動機回転数の 1/4 以下

なるようにその圧縮量(伸長量)は2表に示すものでなくてはならない。

ただし2表は最低値を示す。

2表 弾性体の圧縮標準表

電動機の 回転数	(rpm)	900	1,200	1,800	3,600
最 小 圧 縮 量	(in)	1	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$
	(mm)	25.4	14.3	6.4	1.6

ここで弾性体とはゴムまたはスプリングをいう。また全振幅とは N.E.M.A 規格に示す total peak to peak displacement の意味である。

イ. 振動測定器

振動測定器として具備すべき条件は

- 5~2,000 c/s までの振幅を確実に指示すること。
- 測定振幅の $\frac{1}{10}$ 以下の精度を持っていること。たとえば 1μ の振幅を測定する場合には振動計の指示の最小目盛りは 0.1μ 以下であること。
- 振動体の各部分の振動をあらゆる方向から測定できるようなピックアップ構造であること。
- 振動の周波数分析ができること。
- 可搬式で取扱いに便利なこと。

以上である。

当社ではドイツ製のロイトリンガー [Reut Linger] 振動計を用いているがほぼ以上の条件をそなえたものと考えられる。国産品でも同一性能のものが出現することを要望する次第である。

5図にロイトリンガー振動計の概観を示した。ただしブラウン管オシログラフは振動計とは別個のもので、振動波形をとるために併用しているものである。

4. 振動の解析と実験

振動を防止するためには振動の性質を解析しその原因を明らかにしなければならない。そのためには適当な振動計を用いて成分周波数を分析し、更に実験的な現象を再現して原因と結果とを対応させる必要がある。

ア. 振動の解析方法

振動波形は多くの周波数成分の合成であるから感度のよい周波数分析器を用いて連続的に周波数を分析し、そ



5図 Reut Linger 振動計
Fig. 5. Reut Linger vibration meter.

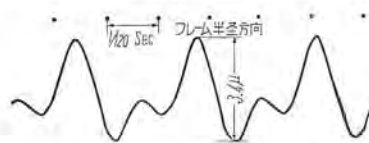
のおおのの振幅をもとめなければならぬ。合成波形は非常に複雑で図式解析は非常に困難であると考えてよい。振動の解析においてはさきにも述べたように、電動機のみ振動が測定できるようにその設置条件は十分に考慮されなければならぬ。

ア. 振動解析方法とその実例

まず電気的原因であるか機械的原因であるかを判定することが必要である。それには次の方法を用いるとよい。

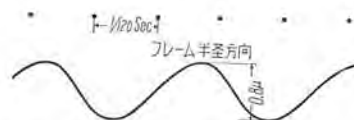
・電源が入っているときには電気的振動と機械的振動との合成が測定されるが電源が切れなお電動機が回転を継続しているときは純粋に機械的振動のみと考えてよい。その実例を6図に示す。本例は 150 HP 2P、電動機を 60 c/s にて運転したものである。6図は電源が入っているときを上図に示し、電源を切った瞬間の波形を下図に示す。上図は電気的振動すなわち 120 c/s の成分と機械的振動すなわち 60 c/s の成分の合成であることがわかる。下図では 60 c/s の成分のみで、ここでは完全に電気的振動は除去されている。本例で考えれば機械的振動よりは電気的な2倍電源周波数の振動の方が重要であることがうかがえる。機械的な振動は 60 c/s、すなわち 2P 電動機の回転体の動的アンバランスによる振動のみということになる。

純電気的振動は電動機が回転しないようにして、これに電源を入れた場合に測定できる。7図に示す実例は巻線型誘導電動機の2次側を開放し、1次側に電源を入れ固定子側の振動を測定したものである。



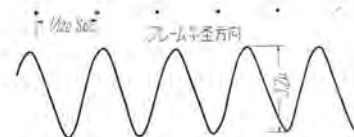
6図 a 運転中の合成振動波形
150 HP 2P 60 c/s

Fig. 6-a. Resultant oscillation wave form during operation.



6図 b 電源を切った瞬間の振動波形
150 HP 2P 60 c/s

Fig. 6-b. Oscillation wave form at a moment when the power supply is cut off.



7図 回転させず電源を入れた時の振動波形
150 HP 2P 60 c/s

Fig. 7. Oscillation wave form when power is switched on without rotation.

この結果はさきに予想したごとく、単純なる 120 c/s のいわゆる2倍電源周波の振動であることを示している。

・また電源周波数を一定として電圧を加減したときに振動の大きさが変化するとすれば電気的振動と見ることができる。その実験例を3表に示す。

この表は4Pの電動機を 60c/s で無負荷運転してフレーム上にて半径方向の振動を測定し周波

3 表 電氣的振動の変化 周波数 60 c/s 一定

電 圧 (V)	全振幅 (μ)	各周波数成分の振幅 (μ)				
		30 c/s	60 c/s	90 c/s	120 c/s	180 c/s
200	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
220	0.7	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2
240	1.0	0.2	0.6	0.4	0.4	0.3
260	1.4	0.2	0.9	0.5	0.5	0.3
280	1.6	0.2	1.1	0.6	0.6	0.4

数分析したものである。30 c/s の振動成分は回転体の動的アンバランスに原因するものであって、電動機回転数が一定であれば、その振幅は電圧変化があっても変化しない。他の周波数成分は磁束密度の増加とともに増加しており一応電氣的原因によるものと考えてよいであろう。

・磁束密度を一定として電動機の回転数のみを変化させれば可変な振動は機械的振動のみである。その実験例を 4 表に示す。

4 表 機械的振動の変化 磁束密度一定

周波数 (c/s)	電 圧 (V)	全振幅 (μ)	各周波数成分の振幅 (μ)	
			$1/3 \times$ 電源周波	$2 \times$ 電源周波
45	180	0.6	0.4	0.2
50	200	0.8	0.6	0.2
55	220	1.0	0.8	0.2
60	240	1.5	1.3	0.2

この表は 3 表の実験と 6 P の電動機を無負荷運転し、周波数および電圧を V/f が一定になるようにして変化させたものである。

6 P の電動機であるから回転体の動的アンバランスに起因する振動周波数は ($1/3 \times$ 電源周波数) になる。

表で明らかになるようにこの試験条件で可変となっているのは機械的振動のみと考えてよい。

電氣的原因のうち最も顕著なものは ($2 \times$ 電源周波数) の振動であるが、これはほとんど変っていないことが見られるであろう。

・直流機の振動

機械的特に回転体の動的アンバランスに起因する振動が明瞭に発生する 1 例として直流機の振動の性質を解析してみよう。

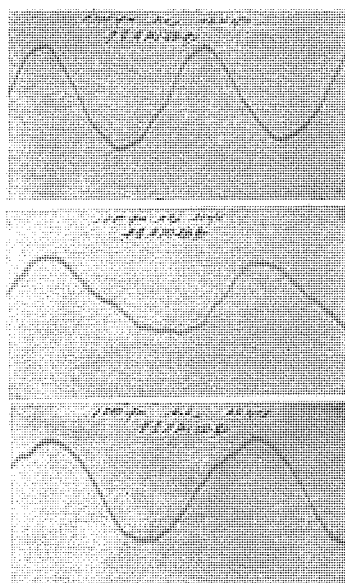
直流機は誘導機の如く磁気吸引力のアンバランスに起因するような振動成分はない。

その実験例を 8 図に示す。

したがって直流機では回転体の動的アンバランスを完全にとれば、ほとんど完全に振動を防止しうるものと考えてよい。

8 図に示したものは動的バランスの不完全なものであるが、2,300 rpm では 18μ の振幅であるが 1,200 rpm では 8μ に減少し 回転数/60 c/s の周波数成分以外のものはほとんどあらわれていないことは注目してよいであろう。

以上を考えると直流機の振動は極めて単純である



8 図 直流電動機 5 HP の振動波形
Fig. 8. Oscillation wave form of D-C motor.

から誘導機のみが特に解析の必要な対象になる。

b. 振動の原因とその周波数

前節 a においてものべたごとく解析を行えば振動の原因とその周波数はほぼ関連がつけられる。すなわち

・電動機の回転数/60(c/s) の周波数振動は回転体の動的アンバランスに起因するものである。たとえば 4 P の電動機を 60 c/s で運転して、30 c/s の振動成分

分がえられたとすれば振動発生原因は回転体の動的アンバランスに起因するものと判断してよい。

・ $2 \times$ 電源周波数, 電源周波数の振動は不平衡磁気吸引力による電氣的振動である。

したがって 60 c/s で運転して、120 c/s, 60 c/s の振動成分がえられたとすれば電氣的振動と判断してよい。この振動はとくに 2 P において顕著にあらわれる。

以上の主成分はいずれも回転数, または電源周波数の整数倍になるものであって、それ以外の振動成分は玉軸受その他に原因するものと考えてよい。

玉軸受に起因する振動成分の周波数については後述するとして詳しく解析した例を 5 表に示す。

5 表は玉軸受 6310 を用いた 4 P 電動機を 60 c/s で運転してえられたものである。

5 表 振動周波数とその発生原因

振動周波数 (c/s)	発 生 原 因
12	Ball-Bearing の Ball の公転による振動
30	回転体の動的アンバランスによる振動
50	Ball-Bearing の Ball の自転による振動
60	空隙のアンバランスによる磁気吸引力の不平衡
92	Ball-Bearing の Outer Race に起因する振動
120	極間の磁気吸引力の変化に起因する振動
122	Ball-Bearing の Ball の 2 次高調波振動
147	Ball-Bearing の Inner Race に起因する振動
182	Ball-Bearing の Ball の 3 次高調波振動

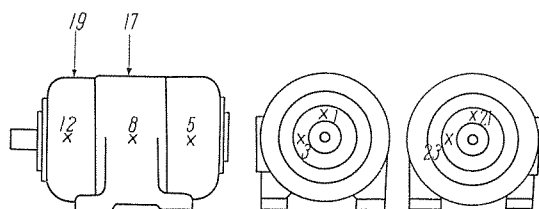
c. 測定方向による差

振動の測定方向により振幅に差異があるのは当然で振動を解析する場合にはできるだけ多くの箇所において測定しその性質を明らかにしなければならぬ。概略的にいうならば、軸方向に測定した場合には回転体のアンバランスおよび玉軸受に起因する振動が明らかになるであろう

う。また半径方向に測定した場合には回転体のアンバランス、および磁気的原因に起因する振動が明らかになる。9 図に示すように電動機の各部分で振動を測定した実験例で詳細に説明しよう。振動波形を 10 図～16 図に示す。実験は 4 P の電動機を弾性体で支持して 60 c/s にて運転したものである。

軸方向の振動は負荷側では軸受箱で測定しているが、その振動成分をみると回転体のアンバランスによる 30 c/s の振動が主成分となり、これにほぼ 90 c/s の玉軸受に起因する振動が重畳されている。すなわち 10 図、11 図がそれを示している。

半径方向の振動はブラケット上とフレーム上にて測定しているが 12 図、13 図、14 図に明らかなようにブラケットは回転体の動的アンバランスを直接に支持する部分であるため振幅も 6μ 、 7.7μ と相当に大きく、その振動成分もほとんどが回転体の動的アンバランスに起因する 30 c/s の振動であることがわかる。一方フレーム上では 13 図に示すように振幅は 2.6μ に減少、フレームの剛性がブラケットに比してはるかに大なることが示されている。ブラケット部分の振動成分にほぼ 360 c/s の振動があらわれているが玉軸受に起因するものである。



9 図 振動測定箇所の明細
Fig. 9. Description of measuring points of oscillation.

上下方向は 15 図に示すフレーム上と 16 図に示すブラケット上の振動とは性質はほぼ同様であるが水平方向と同じようにブラケット上はフレーム上の約 60% 増しになっている。

遊び側の軸方向振動は負荷側より大きく、30 c/s の振動は負荷側とほぼ同程度であるが玉軸受に起因する 90 c/s の振動が非常に多く、遊び側の玉軸受があまり良好でないことがうかがえる。

以上を総括して電動機の振動を解析するにはどの箇所かで測定するのがよいかというにつぎの原則が成立つてあろう。

◎回転体の動的アンバランス検出に重点をおいて解析する場合には、軸受箱またはブラケットにおいて軸方向および半径方向の振動を測定する。

◎回転体の動的アンバランスが十分に除去され、電気的振動の検出に重点をおく場合には、フレームまたは軸受箱にて半径方向の振動を測定する。

◎玉軸受の振動を問題にする場合には負荷側、および遊び側の軸受箱にて軸方向の振動を測定する。

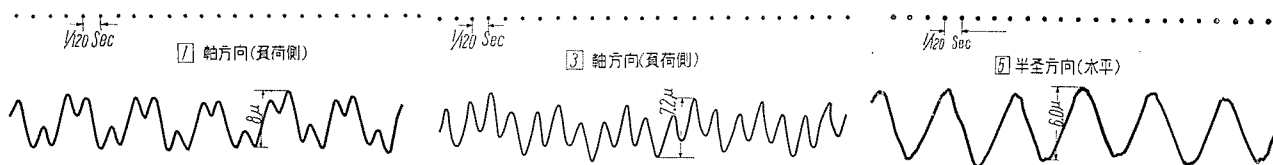
イ. 回転体の動的アンバランスに起因する振動

回転体に動的アンバランスがあるとその偶力が半径方向および軸方向に変位運動を一定周期に起す。これが振動としてあらわれる。

ところで回転体の動的アンバランスを表わすのには重心偏心距離で表すのが便利である。すなわち 19 図において

右側からみた重心の偏心距離は

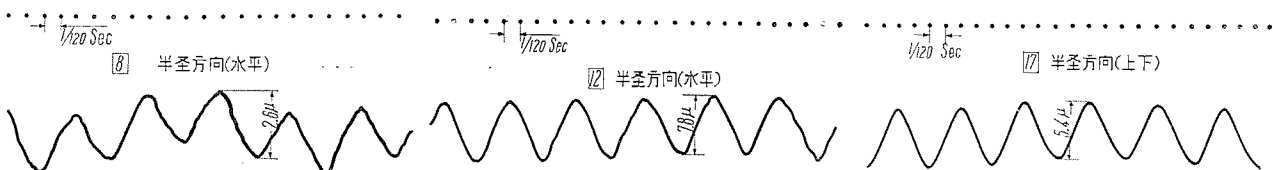
$$e_L = \frac{m_2 r_2 B}{W \cdot A}$$



10 図 1 HP 4 P 振動波形
Fig. 10. Oscillation wave form.

11 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 11. Oscillation wave form.

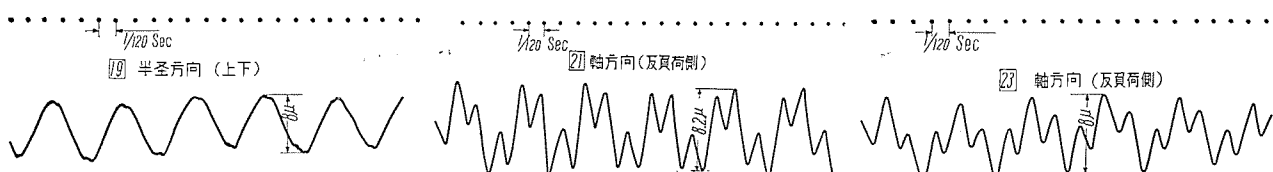
12 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 12. Oscillation wave form.



13 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 13. Oscillation wave form.

14 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 14. Oscillation wave form.

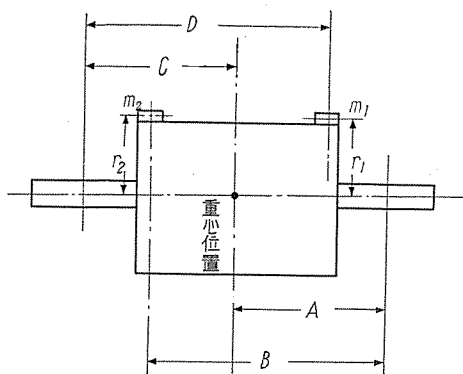
15 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 15. Oscillation wave form.



16 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 16. Oscillation wave form.

17 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 17. Oscillation wave form.

18 図 1 HP 4 P 振動波形 60 c/s
Fig. 18. Oscillation wave form.



19 図 重心偏心距離の説明図

Fig. 19. Explanation of distance of center of gravity deviation.

左側からみた重心の偏心距離は

$$e_R = \frac{m_1 r_1 D}{W \cdot C} \quad \text{と表わされる。}$$

ただし、 W = 回転体の重量 (g)

A, B, C, D } = 距 離 (cm)

r_1, r_2

m_1, m_2 = バランス重量 (g)

e_L, e_R = 右側, 左側, それぞれよりみた
重心偏心距離 (mm)

e_L, e_R は $1/1,000$ mm 単位にとるのが普通で以後の説明
においては $1/1,000$ mm すなわち μ を単位にとる。

a. 動的アンバランスの精度規準

動的アンバランスをどの程度にとればよいかはかなり
経験的要素も加わるがほぼ次の各表にしたがえば
大過ない精度がえられる。

6 表は回転数に対する規準を示したものである。

7 表は回転子重量と機械重量との比に対する規
準を示したものである。

以上の2表はギンショルト社の文献によるもので
あるが当社ではこれらを参考として、実際の適用
においては振動階級と電動機回転数とから8表に
示す規準を用いている。本表で振動階級に V-5 等と記
してあるのは、全振幅が 5μ 以下等を意味する。

6 表 回転数による動的バランス規準

回 転 数 (rpm)	動的バランス規準 (重心偏心距離 μ)
500	12~15
1,000	5~12
5,000	2.5~5
10,000	0.6~2.5
20,000	0.006~0.6

7 表 回転体重量比による動的バランス規準

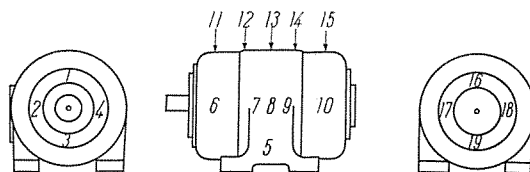
回転子重量/機械全重量 (%)	動的バランス規準 (重心偏心距離 μ)
5 以上	12~25
10 以上	5~12
25 以上	1.2~5
50 以上	0.6~1.2
5 以下	静的バランスのみで可

8 表 振動階級と回転数とによる動的バランス規準

電動機 振動 階級	動的バランス規準 (重心偏心距離 μ)			
	2 P	4 P	6 P	8 P
V-3	0.5	1.0	1.5	2.0
V-5	1.0	2.0	3.0	4.0
V-10	2.0	4.0	6.0	8.0
V-15	3.0	6.0	9.0	12.0

b. 動的アンバランスの影響

理論的にも回転体のバランスは、静的バランスをとっ
たのみでは不十分であることは明瞭であるが、実際の例
で示してみよう。供試電動機は 4 P, 1 HP 玉軸受 6305
で 60 c/s で無負荷運転したものである。9 表に結果を
比較して示したが、振動成分のうち、回転体の動的アン
バランスに起因する 30 c/s の振動のみを取りあげた。表
中の測定位置は 20 図に示すごとくである。この電動機
では、振動の主成分はほとんど回転体の動的アンバラ
ンスに起因するものであるから、動的バランスをとること
によりその振幅は $1/6 \sim 1/7$ に減少していることがみとめ
られる。



20 図 振動測定位置詳細 1 HP 4 P

Fig. 20. Detail of oscillation measurement.

9 表 動的バランスと静的バランスの比較表

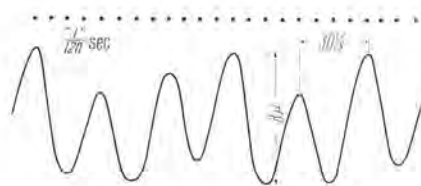
測定方向 測定位置	軸 方 向 (負荷側)				半径方向 (水平)						半 径 方 向 (上 下)				軸 方 向 (反負荷側)				条 件	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		19
振幅(μ)																				静的バ ランスをと ったもの
合 成 振 幅	8.8	5.8	1.4	6.0	2.4	8.0	5.2	3.0	3.8	6.4	8.6	5.0	2.4	4.6	7.6	9.6	6.6	6.2	2.0	
30 c/s 振 幅	8.7	5.6	1.4	5.9	2.3	7.8	5.0	2.8	3.6	6.2	8.4	4.8	2.4	4.4	7.5	9.5	6.4	6.0	2.0	動的バ ランスをと ったもの
合 成 振 幅	1.4	1.2	1.2	1.4	1.2	1.4	1.2	1.4	1.4	0.8	0.8	1.0	1.0	0.8	1.4	1.4	1.2	0.6		
30 c/s 振 幅	1.0	0.8	0.7	1.0	0.6	1.0	0.6	0.5	0.8	0.8	0.3	0.3	0.9	0.8	0.6	1.0	1.0	0.8	0.2	

またその振動波形を比較すると 21 図に示すごとく静
的バランスのみの場合には 30 c/s の振動のみであるが
動的バランスをとることにより 30 c/s の振動が極めて
減少したことが認められる。そのかわり組立直しにより
玉軸受の振動が発生、図に見られるごとく高調波成分が
増加している。

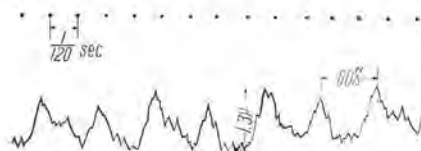
ウ. 磁気的原因による振動

誘導電動機では有限の溝に有限の巻線が分布している
ために巻線高調波、溝高調波等が発生し、このうちの特
定のは、はなはだしい磁気吸引力のアンバランスの
原因となり磁気振動を発生する。これらの研究は起動異
常現象解明の1つとしてかなり進んでおり、多くの文献
も発表されているので詳細な論述は省略する。

現在の設計技術ではほとんど極端な磁気振動を起すも
のではないと考えてよい。

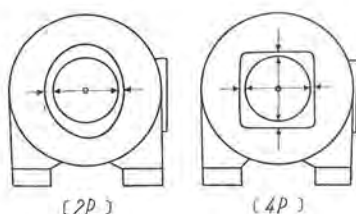


a. 動的アンバランスのある場合
a. When there is a dynamic unbalance.



b. 動的アンバランスを除去した場合
b. When the dynamic unbalance is removed.

21 図 動的アンバランスの有無による電動機振動の変化 1 HP 4 P 60 c/s



22 図 基本周波の2倍周波数の磁気振動
Fig. 22. Magnetic oscillation having a frequency twice the frequency of the fundamental wave.

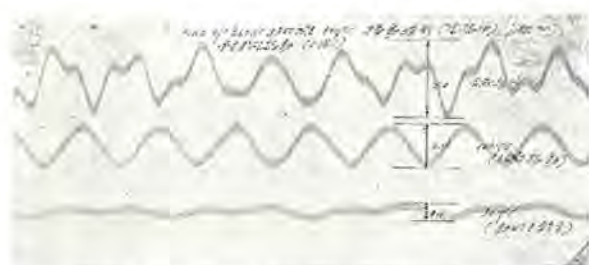
しかしながらいまだに問題になっているのは1次の基本波により電源周波数の2倍の周波数で回転する多角形力が残ることであって2Pでは楕円形力、4Pでは四角形力等が発生する。これを図示すれば22図のごとくなる。

2Pではこの楕円形力は無視できなく23図に示すように動的アンバランスをほとんど除去しても相当な磁気振動が残ってしまうものである。

振動精度が 3μ 以下を要求されるようになると動的アンバランスをとるだけでは不十分で磁気振動を防止するために特殊なフレーム、ブラケットの構造を考える必要がある。

エ. 玉軸受に起因する振動

玉軸受に起因する振動については、まだ完全な定量的解析がなされていないので定性的な概念と単純な条件で



23 図 基本周波の2倍周波数の磁気振動の例
Fig. 23. Example of magnetic oscillation having a frequency of twice the frequency the fundamental wave.

の現象を考察する。われわれは玉軸受の振動に関しては経験的に次の現象を知っている。

- 玉軸受に衝撃を加えると振動の状況が変化する。
- 玉軸受を交換すると振動の状況が変化する。
- 軸受箱を交換すると振動の状況が変化する。
- 玉軸受に予圧を加えると振動の状況が変化する。
- グリースをかえると振動の状況が変化する。

これらをまとめてみると、玉軸受自体の自励振動と、玉軸受と軸受箱との嵌合を主体にした振動発生源とを考えればよいことになる。

a. 玉軸受の自励振動

玉軸受は玉の真球度不良、真球度の相互差、玉の質量の不均一、保持器質量の不均一、転走面の曲率、真円度不良、玉および転走面の仕上不良、等によって非線型の自励振動を発生する。

- 玉が公転する時に保持器の質量が不均一であれば振動を発生する。
- 玉が自転するときに玉の質量が不均一であれば振動を発生する。
- 玉の真球度が不良である場合には玉の1点が外側転走面に接触する回数が不揃いになり振動を発生する。
- 外側転走面が真円でないときには、振動を発生する。この振動は高調波を含む。
- 内側転走面が真円でないときには振動を発生する。この振動は高調波を含む。

したがって玉の自転、公転角速度、および玉の数によって振動数は決定されるのである。

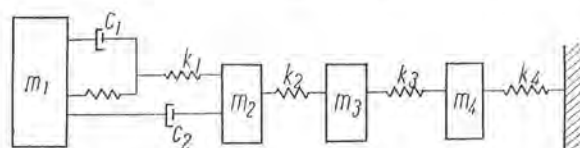
b. 玉軸受と軸受箱の嵌合

玉軸受と軸受箱の嵌合を主体とした振動系を考えることにより異常振動現象を説明することができる。その定量的な振動系を24図に示す。

この振動系ではつぎのことが明らかになるであろう。

- $k_2 > k_1$ 、すなわち玉軸受と軸受箱の嵌合がきつい場合には運動エネルギーも大きくなり共振を起すことがある。 k_2 が小であれば大きな振動は発生しない。

このことは非常に重要なことで、嵌合は緩嵌合でなければならぬことはかなり一般的にも認められてきた。わ



- m_1 = 回転体の質量
- m_2 = ball-Bearing の質量
- m_3 = Bracket の質量
- m_4 = 電動機の質量
- k_1 = Ball-Bearing の Ball と Race との間のばね定数
- k_2 = Ball-Bearing と Housing との嵌合によるばね定数
- k_3 = Bracket のばね定数
- k_4 = 電動機と支持台との間のばね定数
- c = Lubrication による damping factor.

24 図 定量的な電動機振動回路

Fig. 24. Quantitative motor oscillation circuit.

れわれは実験的にこの問題を検討した結果軸受箱嵌合公差を新 J.I.S. 嵌合公差の H_5 あるいは H_6 を採用することに決定実施しているが、きわめて好成績をえている。

- ブラケットの剛性は一般に比較的大きいから $k_3 < k_1$ の関係があり、振動を発生することは少い。

- k_4 、すなわち電動機の支持条件によるばね常数は非常にことなるから、場合によっては共振を起すことがある。

c. 玉軸受の予圧

玉軸受の外輪に軸方向の予圧をあたえることにより玉軸受の軸方向のばね常数を小さくし、また玉軸受のこじれを補正して振動を防止することができる。

予圧力は各玉軸受によって異なるが数 kg ないし数十 kg 程度のものである。予圧を加えるときには玉軸受の嵌合は当然緩嵌合でなくてはならぬ。軸受と軸受箱とは $10 \sim 20 \mu$ の間隙があることが望ましい。

d. グリース

24 図でグリースを減衰常数として考えたが、グリースの性能は振動の発生に大に関係することは経験するところである。グリースはかかる観点から次の条件をみたすものを選定すべきである。

- 油膜強度が大なること。

四球式試験器で 5.0 kg/mm^2 以上の耐圧強度がのぞましい。

- 摩擦係数が小であること。

- 摩耗が小さいこと。

- シャリングに耐えること。

Working Tester または Shell Roll Tester により、シャリングテストを行い稠度変化の少ないものをえらぶ。

- 耐湿性があること。

水分にとけないようにリチュームグリースのような金属石鹼ベースグリースがのぞましい。

- 熱的安定性がよいこと。

- 金属に対して密着性がよいこと。

以上は必ずしも振動とは直接には関係がないが必要な条件である。

e. 組立精度

組立精度とは広範囲の作業内容を含んでいるがそのうち特記すべきもののみを記す。

- 玉軸受と軸との組立

玉軸受を軸に組立てるときは、玉軸受をこじらせたり破損させたりしてはならない。焼嵌するときには玉軸受を 120°C 以上に加熱してはならない。

- 玉軸受と軸受箱の嵌合

ききにのべたように、この嵌合は緩嵌合でないと組立にさいして玉軸受をこじらせ異常振動を発生する。したがって緩嵌合公差を採用し、かつ軸受箱を玉軸受に直角に偏心なく、組立てることが必要である。

- ブラケットの締つけ

ブラケットはフレームに正しくとりつけられ、嵌込面

はよく清掃されていること。またボルトは 2 級以上のものをを用い片締めすることのないよう気をつけなければならない。

- その他各部品の取扱いには十分留意し歪をあたえてはならない。以上のことは特に熟練を要するものではなく、わずかな指導で達成できるものである。

5. 振動の規準とその適用

振動の規準をいかに分けるかは種々論議のあるところであるが、まず日本電機工業会の規準を 10 表に示す。

10 表 J.E.M. 1020 (1956) 振動階級表

振動階級	振幅 (全振幅、波高値)	備 考
V-10	10μ 以下	
V-15	15μ 以下	以前は B 級と称した
V-30	30μ 以下	以前は C 級と称した

この表は単なる程度の規準を示したもので電動機の容量、極数と対応しての適用は示されていない。

一般に電動機は容量が大きくなるほど、また回転数が多くなるほど高い振動精度をうることがむずかしくなってくる。したがってその適用の概略を示さないといたずらな混乱をまねくものと思う。

当社では振動階級の表示では J.E.M. よりやや細かに分類したものをを用いている。これを 11 表に示す。

11 表 三菱電機、振動階級表

振動階級	振幅 (全振幅、波高値)	備 考
V-3	3μ 以下	以前は AA 級と称した
V-5	5μ 以下	以前は A 級と称した
V-10	10μ 以下	以前は BA 級と称した
V-15	15μ 以下	以前は B 級と称した
V-30	30μ 以下	以前は C 級と称した

かかる表を用いる理由は、最近振幅 10μ 以下の要求が精密工作機械等で多くなり 5μ 以下、 3μ 以下等のものの製作が行われているためである。

なお従来振動階級の表示としては、A, B, C, D 級が用いられてきたので、その関連を 10 表、11 表の備考に記してある。

ところで振動階級と各電動機への適用は別問題であるが、これについて概略の説明をしておく。

4 P 以上の多極で、かつ小型の電動機では動的バランスをとることによって V-5 級、すなわち全振幅 5μ 以下の振動にすることは、困難ではない。当社の小型標準電動機で 4 P 以上のものはすべてこれに合格しているといつて過言ではない。

12 表 電動機の容量、極数と振動階級

容量 振動階級 極数	小 電 動 機	中 電 動 機	大 電 動 機
2 P	V-10	V-15	V-30
4 P	V-5	V-10~V-15	V-15
6 P 以上	V-5	V-10	V-10~V-15

13 表 機械の種類と電動機振動階級の適用

機 械 の 種 別			適用すべき電動機振動階級
工 作 機 械	旋 盤 (直 軸 式)		V—5—V—10
	タ ー レ ッ ト 旋 盤		V—5—V—10
	フ ラ イ ス 盤		V—5—V—10
	研 磨 盤	砥石軸用	V—3—V—5
		送 り 用	V—10—V—15
		油 圧 用	V—10
	ホ ー ル 盤		V—10—V—15
	ボ ー リ ン グ ・ マ シ ン		V—10—V—15
	フ ァ イ ン ・ ボ ー リ ン グ ・ マ シ ン		V—5—V—10
	ブ レ ス		V—10—V—15
シャ リ ン グ ・ マ シ ン		V—15	
農 事 用 機 械			V—15
ボ ン ブ			V—10—V—15
送 風 機			V—10—V—15
圧 縮 機			V—10
家 庭 用 電 気 器 具			V—5—V—10
映 写 機			V—3—V—5

しかし 2P, または中型以上の電動機まで, すべて V—5 級にすることは極めて困難で, 特殊な構造, 工作を必要とする。したがって特別な要求のない限り, 標準電動機では 12 表に示すように 2P 電動機は小型でも V—10 級中型では V—15 級, また大型電動機では 4P でも V—15 級が普通と考えてよい。それ以上の精度を必要とする場合にはそのつど仕様を決定しなければならない。

電動機を選定する場合どの程度の振動階級のものをとるかは据付ける機械の要求精度に対して適当なものを選定するのが経済的である。もちろん振動の小さいものを選ぶのが最も安全には相違ないがききにいった如くすべての電動機の振動を 10μ 以下とか, 5μ 以下にすることは困難で, 構造の強化, 加工精度の向上, 特殊精度軸

受の採用のため相当価格が増加する。したがって不必要に高精度のものを要求しないで機械に適合したものを選定するようにすべきである。13 表にわれわれが今までに取り扱った経験から機械の種類とこれに用いる電動機の振動階級との関連を示した。大略の区分であるから例外はあると思うが利用していただきたいと思う。

8. む す び

本実験において最も特長とする所は振動周波数の実験的分析を行い振動素因を探索して行ったことである。

すなわち電源周波数およびその整数倍の振動, 回転数に対応する周波数振動を基準とし更にその端数の周波数の検出を行って, 電動機極数, 構造等よりこれら各周波数の分析, 検出される素因を検討して行った。この結果特に顕著に上記現象を支配するとみられまた実験的定量的に確認された素因は次の如きものである。

- (1) 玉軸受とブラケットおよび軸との嵌合 (新 JIS 規格採用)
- (2) 玉軸受用グリース (新規種グリースを 1 部採用)
- (3) 玉軸受の精度 (現在 M 級)
- (4) 軸の内部応力 (鋼材メーカーの製造過程のもの)
- (5) プレロード, スプリング (新規設計)
- (6) フレーム, ブラケットの剛性 (実験的に確認)
- (7) 測定に際しての周囲条件
- (8) 動的不釣合の修正量
- (9) 電源電圧の不平衡
- (10) エヤー, ギャップの不同
- (11) 基本周波の 2 倍周波数の振動力

以上の素因を規制することにより現在の設計, 工作仕様により振動を A 級以上にすることが実証されたのであるが, 更に社内振動基準を制定し, 振動対策の目標をも確認できたものと考えられる。

プールの水中照明

本社 佐々木 武 敏*

Underwater Illumination of Swimming Pools

Head Office Taketoshi SASAKI

From the standpoint of both sports and recreation illuminating the swimming pool is now drawing attention of parties concerned. The practice, however, is unlike other facilities where the light is projected from the sky and lighting fixtures are installed in the water. This new idea is welcomed not only from the economy in power but also from show value and other merits. The first project of the kind has been completed at the Ishibashi Cultural Center. Distinctive features concerned are given herein both on theory and practice of the underwater lighting.

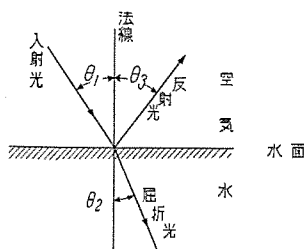
1. ま え が き

照明界の著しい進歩はスポーツ界でもナイター時代を出現せしめた。職業野球のナイターは最もよき例であり近年はゲームの大半をナイターで行っている。一方水泳界では夜間照明設備を設けたプールが逐次増加し夜間のレースもしばしば行われている。リクレーションとしての利用では昼間より夜間の利用度が高くなるに高いので今後プールの照明設備は必要不可欠のものとなってきた。

次に述べる水中照明方式のプールは従来の上空よりの投光式に比べて、電力費の経済の外シヨウ的の価値など幾多の特長を有している。このたびわが国最初の水中原のプールが久留米市石橋文化センターで完成し異彩を放っておりここにご紹介する次第である。

2. 水中照明の理論

水中での光の放射は空気中の場合に比べて少々異なるところがある、すなわち空気中での照度計算に利用される逆自乗の法則もそのまま適用することはできない。特にプール照明の場合は限られた割合に偏平な立体の照明であり相当複雑な問題がある。空気中より水中に光が投射される場合、光は水面に達した位置で屈折して進入することは一般に知られていることである。1図で入射光



1 図 反射と屈折の関係
Fig. 1. Relation between reflection and refraction.

と水面との交点に垂直線を立て入射光と垂直線のなす角を θ_1 、水中に進入屈折した線となす角を θ_2 、水面で反射する角を θ_3 とすると次の関係がある。

$$\sin \theta_1 = n \sin \theta_2$$

$$\theta_1 = \theta_3$$

n ...屈折率

n はおのおの物質によ

って異なり1表に一例を示す。

一般の投光器による照明の場合には投射された光線の一部は水面で反射する分と屈折して水中に進入する分とに分れる。前者の表面反射される光は水中の照度には何ら寄与しないのみならず光源と反対側のスタンドに反射して観客にまぶしさを与え水面が見え難くなりとはなはだ有害である。水の表面の反射率は Fresnel の式

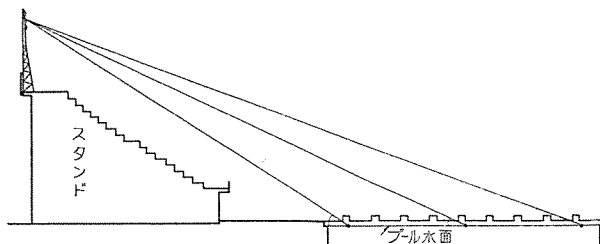
$$\rho = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} + \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} \right\}$$

で計算される。(1図参照)

投光器によるプール水面の照射角度は各施設によって異なるが一般に2図のようにスタンドの後部に投光器が置かれる関係で水平角度は大きくとれない。普通最も近いコースの所で 30° 中央コース付近で 25° 位である。上の式を計算して曲線にしたものを3図に示す。曲線でわかるように水平角度で 35° 位までは反射率は大した値ではないが 30° を越すと急激に増加し 20° においては22%となり反射率の影響を無視することはできない。投光器の位置はこの角度を考慮に入れて設置さるべきである。

1 表 各種物質の屈折率
(18°C 5893 Å において)

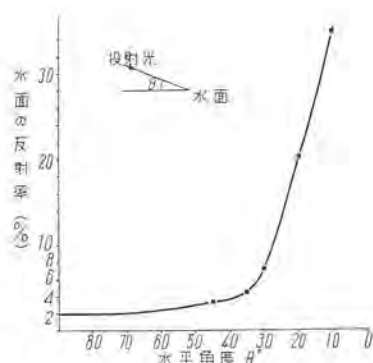
物 質	屈 折 率
空 気 (0°C 1 atm)	1.0002918
水蒸気 (")	1.000256
エチル アルコール	1.362
二硫化炭素	1.630
水 (-3°C)	1.310
ダイヤモンド	2.4173
石英ガラス	1.4585
水	1.3332



2 図 投光器の光線とプール水面の角度
Fig. 2. Angle between the light projector beam and water surface of pool.

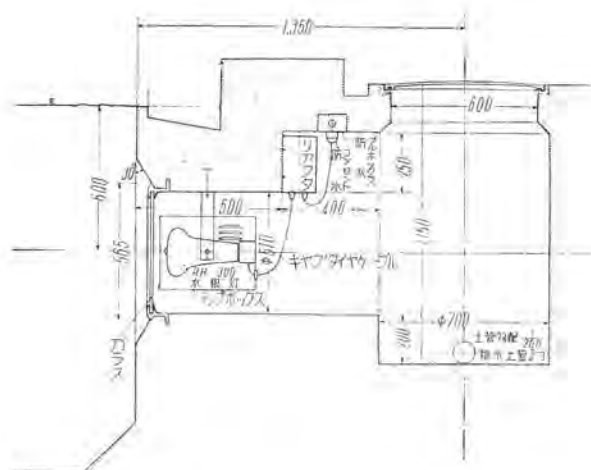
* 営業部照明技術課長

水中照明の場合は光が水中で屈折全反射し水面上にほとんど洩れないのではなはだ都合がよい。光源は4図に示すようにプール水面下の側壁面に埋込まれ、したがって水中に放射される光束はごく一部(臨界角度以下の部分およびプール底面壁面よりの拡散反射による



3 図 投射角度と水面の反射率の関係

Fig. 3. Relation between light incoming angle and reflection coefficient of water surface.



4 図 プール側面に設けられた光源

Fig. 4. Light source at the pool side.

一部)が空气中に逸散する外ほとんど大半は水中で反射を繰返し水面上に出ないことと、上空よりの投光器照明に比べて光源の位置が近いので非常に能率的である。プール水中照明の状態を空气中の部屋にたとえて見ると、ちょうど天井が反射率 100% の材料(鏡のごときもの)で張られしかも天井の低い部屋の壁面にブラケットを点燈した照明のようなものである。

水中の必要な照度は、第一に観客にとっては競泳者または遊泳者が明るく照し出され見易いこととプール全体がむらなく綺麗に見えることが必要であり、プレーヤーとしてはこの外にコースラインが明瞭に見え泳ぎ易いことが必要である。

プール内の物体(競泳者)の C 点の照度を考えて見ると(5 図参照)光源 A より直射による AC、一度水面で全反射する ABC、プール底面に反射する ADC による照度の外に AB'D'C AD''B''C 等のように水面とプール底面、壁面に数回反射を繰返す分による照度の合計である。さらに空气中と異なり水中では水の吸収作用を考慮せねばならない。

水中での光の透過に対しては次の如き(Lambertの法則)がある。

光束 F_0 が厚さ t の層を通り F_T に減るとき

$$F_T = F_0 e^{-\alpha t}$$

α ...吸収係数

$e^{-\alpha t}$...透過係数

$F_T/F_0 = \tau(t)$ を透過率という

2 表に水(蒸留水)の光の各波長に対する α の値を示す。水の吸収率は各波長によって相当大幅に異なっている。水銀燈の可視部波長は

5461 Å と 5770~5791 Å であり、この波長の光束は全光束に対する割合は 98% である。白熱電燈の場合は連続スペクトルであるが、全光束に対して 5000~6000 Å の光束の割合は 73%、3800~5000 Å で 3.3% である。吸収係数の最も少ない範囲 4000~5800 Å の間で両者を比較すると水銀燈の波長が水中透過に対してはなはだ有利であることがわかる。

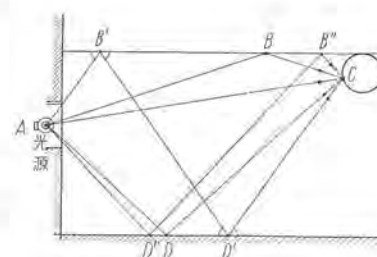
しかしプールに使用される水は普通水道水で 2 表と幾らか異なるがさらに注意すべき点はプールの使用中に人体や風の持込む浮遊物やその他による影響で次第に混濁すると、光線の透過率が急激に低下するので実用上の計算はそのまま適用できない。したがって水中照明のプールでは水を清浄に保ち水による光線の吸収をできるだけ少ないように保つことが一番大切なことである。このため完全なる濾過装置を設置することは衛生上の見地と共に絶対に必要なことである。

3. 装 置

6 図に石橋文化センターのプール、7 図に夜間の点燈状況の写真を示す。プールは長さ 50 m、幅 20 m、深さ 1.6 m~1.4 m 9 コースの公認プールである。照明はプール水中両側壁面に左右に各 13 個の高圧水銀燈による水中照明とプールサイドおよびスタンド最高部に水銀燈のボールヘッド型外燈 6 個を使用している。(上空よりの投光器による一般照明は予算の都合で見送りとなった)水中照明の要領は第 3 図に示すようにプール側面をガラスで防水したランプハウス内に光源および安定器を納めている。光源としては水中の透過率のよい高圧水銀燈を利用し内面反射鏡付高圧水銀燈 300 W(三菱 RH-300)を使用し、周囲の水滴の落下を防護する目的で燈内に納め

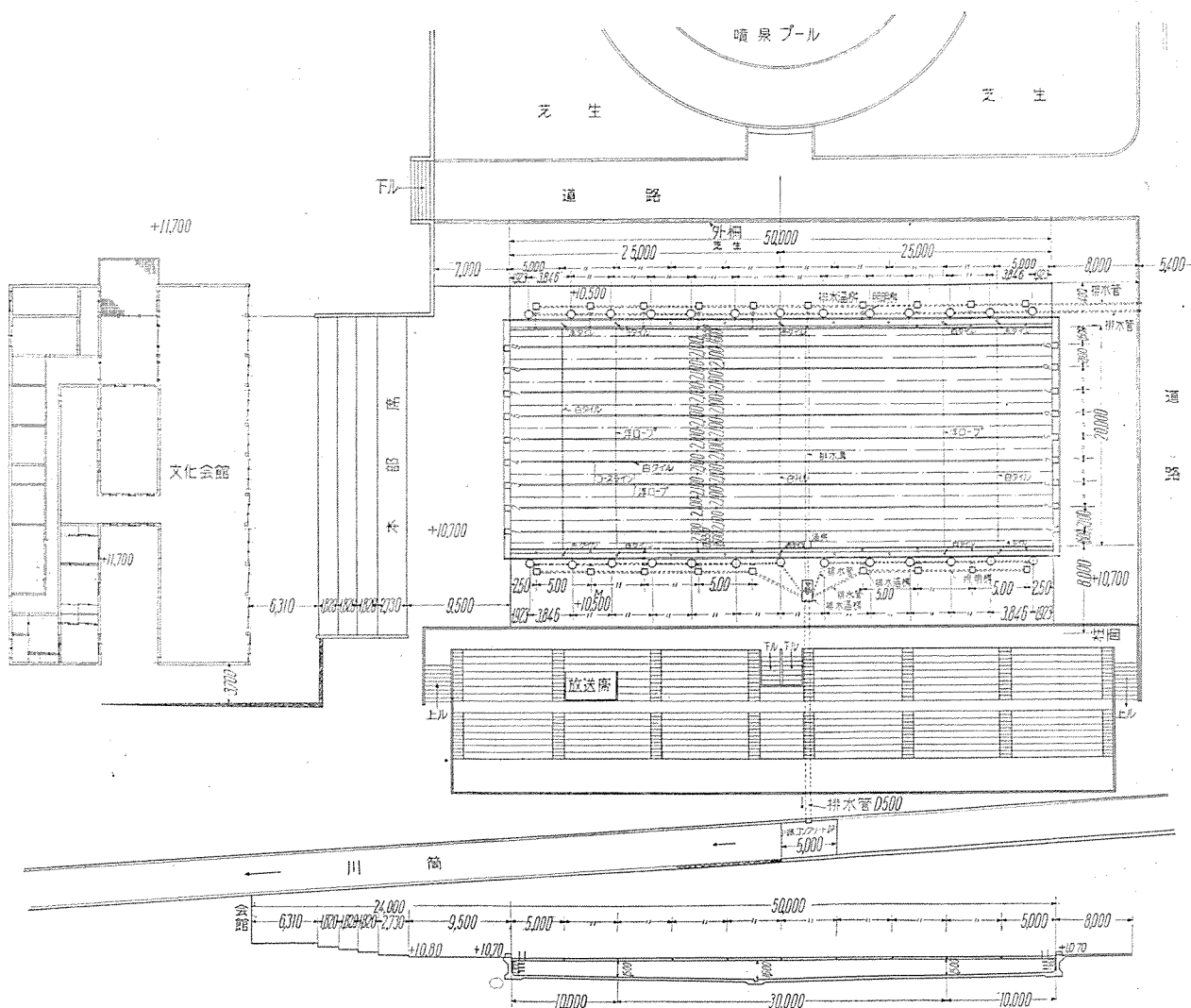
2 表 蒸留水の各波長に対する吸収係数 (20°C において) (Smithsonian Institution Table による)

波 長 mμ	α (吸収係数)	波 長 mμ	α (吸収係数)
300	0.00640	520	0.00040
340	0.00280	540	0.00044
380	0.00130	580	0.00084
400	0.00080	600	0.00197
420	0.00061	620	0.00265
440	0.00046	640	0.00292
480	0.00037	680	0.00406
500	0.00038	700	0.00580



5 図 プール水中での照度

Fig. 5. Luminous intensity in pool water.



6 図 石橋文化センタープール

Fig. 6. Pool at Ishibashi Cultural Center.



7 図 石橋文化センター水中照明プール

Fig. 7. Underwater illumination at Cultural Center pool.

ている、安定器、コンセント類はすべて防水型を使用した。防水ガラスは遊泳者、その他の衝突に耐える強度、および光源の熱とプール水温との温度差が高いことで 10 mm 厚の強化ガラスを使用し万全を期している。

光源の配光および防水ガラスの破損の場合の保護装置は特許出願中につき説明を省略する。水中照明と共に上

プールの水中照明・佐々木

空よりの一般照明も必要であるがこれは次項で説明する。

4. 照明効果

水中照明による特長は

1. 水中の物体がよく見えるので最近流行の潜水泳法の観察、水泳の基本練習等に便利である。シンクロナイズスイミング等のショウ的な催しには最適である。特に高圧水銀燈の光は黄色性が問題になると思われるが実際に使用して見ると人体は白く浮出し水面のしぶきは薄緑色の微光を放ち実に優美である。
2. 電力費が少なく済み経済的である。
3. 水中が明るくプール全体として優美爽快な感じでリクレーションにも好適である。
4. 遊泳中の事故の場合は水底がよく見えて発見が早いと考えられる。

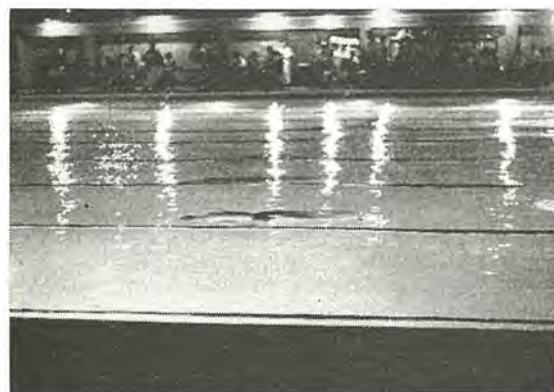
水中照明の効果は実に優美という言葉に尽る。しかし先にも述べたように水中照明のみでは完全な照明ではなくこれにあわせて一般照明が必要である。プール水面およびプールサイドは投光器により照明する。照度は使用目的によって異なり、リクレーションには全般的に 30 lx



8 図 水中照明のプール
Fig. 8. Pool with underwater illumination.



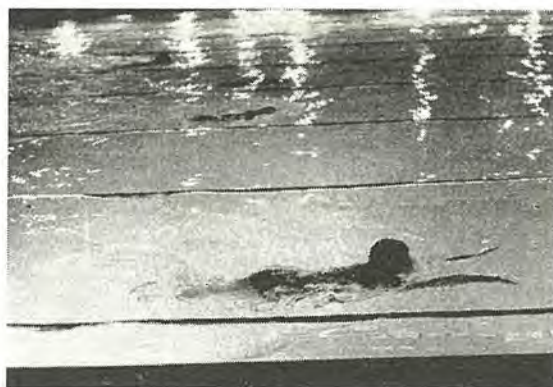
9 図 水中照明のみでは水上に出た部分はシルエットになる
Fig. 9. With underwater lighting alone, figures above water are seen as silhouette.



10 図 競泳中の写真
Fig. 10. Scene of swimming contest.

もあれば十分であり、公式レースには水面 50lx プールサイド 100 lx 位が要求されるのでプールの使用目的によって計画を立てるべきである。ただし一般の投光器のみによるものと異なる点はプール水面上の明るさおよびプールサイドの必要な照度のみを与えればよいので一般の照明方式よりははるかに電力は少なくて済むことになる。

8 図は夜間点灯したプールの写真でコースラインが明瞭に見える。9 図は水中照明のみによった場合で水中の部分は白く見えるが水上部は全然光線がないのでシルエットになる。10, 11 図は本夏同プールで初めて水中照明により開催された全九州選手権試合の写真で10図は平泳のスタート直後の場面で全コース共潜水中であるが



11 図 競泳中の写真
Fig. 11. Scene of swimming contest.



12 図 プール内の照度測定
Fig. 12. Measurement of illumination in the pool.

あざやかに認められる。11図は白波を立て力泳中の写真でこの白波が薄緑色に光り美事である。天然色写真で紹介できなかったのが残念である。なお本大会で日本新記録が出たことも一言付言して置く。

12図はプールにボートを浮べて水中照度測定中の写真である。

5. む す び

プールの水中照明方式は水中が明るくしたがって水面上の照度は相当低くても十分快くであり、電力費の経済となる。しかもはなはだ優美であり、リクレーションやショウ的の利用には最適である。

わが国最初の水の中照明を実施新設した久留米市石橋文化センタープールの今夏の使用実績ははなはだ好評で特に夜間の利用者がものすごく多く（午後 10 時まで公開した）そのため汙過装置の容量が不足して困ったと聞いている。衛生上の見地もあわせて特に汙過装置は十分な設備が必要である。

最後に本計画にご指導ご援助賜ったブリヂストンタイヤ株式会社藤田英一、宮地太郎氏、日本水泳連盟松沢一鶴氏、当社研究所、大船工場の関係者に深く謝意を表する次第である。

文 献

- (1) 照明学会：照明のデータブック（昭和 28 年）
- (2) 電気学会：電気工学ハンドブック（# 26 年）

鑄鉄鑄物組織の研究 第4報

接種に及ぼす酸素量と冷速の関連性

その2 珪素量の大なる鑄鉄の組織に及ぼす酸素量および冷却速度の相互関連性、ならびに接種効果について

名古屋製作所 鈴木 一郎*

Study on the Structure of Cast Iron. Part 4.

Mutual Effects of Oxygen Content and Cooling Velocity on Inoculated Structure.

Chapter II. Mutual Effects of Oxygen Content and Cooling Velocity on Structure of High Silicon Cast Iron, and the Effects of Inoculation

Nagoya Works Ichiro SUZUKI

A cast iron having compositions of C 3.19 %, Si 2.80 %, Mn 0.48 %, P 0.094 %, S 0.007 % has been treated with some reducing or oxidizing slags, devised by the present author, and the deoxidized cast iron inoculated by 0.3 % Fe-Si (75 %) or Ca_2Si . These 5 kinds of melts have been cast in an oil sand mould of $60 \times 60 \times 120$ mm having a chilling block at its bottom. The structure of 10 portions from the bottom to the centre of the ingot at its longitudinal centre line has been examined under the microscope.

I. ま え が き

著者は、鑄鉄の組織に及ぼす酸素量と冷却速度の相互関連性に関する一連の前研究⁽¹⁾⁽²⁾において、普通に強力鑄鉄の組成とみなされている範囲の組成 (C 3.0~3.2 %, Si 1.2~2.0 %, Mn 0.5~0.7 %) を有し、不純物として $\text{P} < 0.1$ %, $\text{S} < 0.02$ % を含有する鑄鉄の組織に及ぼす酸素量と冷速の相互関連性を論じ、さらに Fe-Si, Ca_2Si 接種による組織変化⁽³⁾を論じてきた。従来の文献によれば、鑄鉄成分中の Si を増加すれば共晶組織が現れやすくなるといわれているが、それが酸素量と冷却速度によってどのように影響されるかはふれられていない。また、鑄鉄中の Si 量が増加すれば Fe-Si, Ca_2Si による接種効果が減少すると報告⁽⁴⁾されているが、この点も酸素含量と冷速とによってその効果も違うであろうが、この点はまだ明かにされていない。したがって、著者は上記2点を系統的に明かにすることを本研究の目的とし、Si を 2.8 % に高めたものについて実験した。

II. 実 験

まえがきに述べたように、本研究は C 3.19 %, Si 2.80 %, Mn 0.48 %, P 0.094 %, S 0.007 % の組成を有する鑄鉄について (1) 冷却速度と酸素量が相互に関連して組織をいかように変化せしめるかを明かにし、ついで (2) これに対する接種の効果を調べたものである。以下便宜上 (1)(2) に分けて記述することとした。

試験片の作成

1. 実験 (1) の場合

本実験 (1) の試料の溶製および鑄造その他は前研究 (第1報) と同様にした (冷し金使用)。したがって異なるところは Si % のみで a_3 , A, b_3 はいずれも第1報と同処理を受けたものである。酸素分析は行っていないが、著者の現場作業の統計的結果からこの3種の鑄鉄の酸素量は第1報の研究同様 $a_3 < A < b_3$ の関係となっているものと考えて支障ない。

1 表は、 a_3 , A, b_3 の組成分析結果で、各元素含有量には、脱酸後も、酸化後もほぼ差のないことを示している。

1 表 試験片の化学組成

成分 試験片符号	C	Si	Mn	P	S
a_3	3.14	2.89	0.46	0.088	0.006
A	3.19	2.80	0.48	0.094	0.007
b_3	3.11	2.99	0.43	0.097	0.008

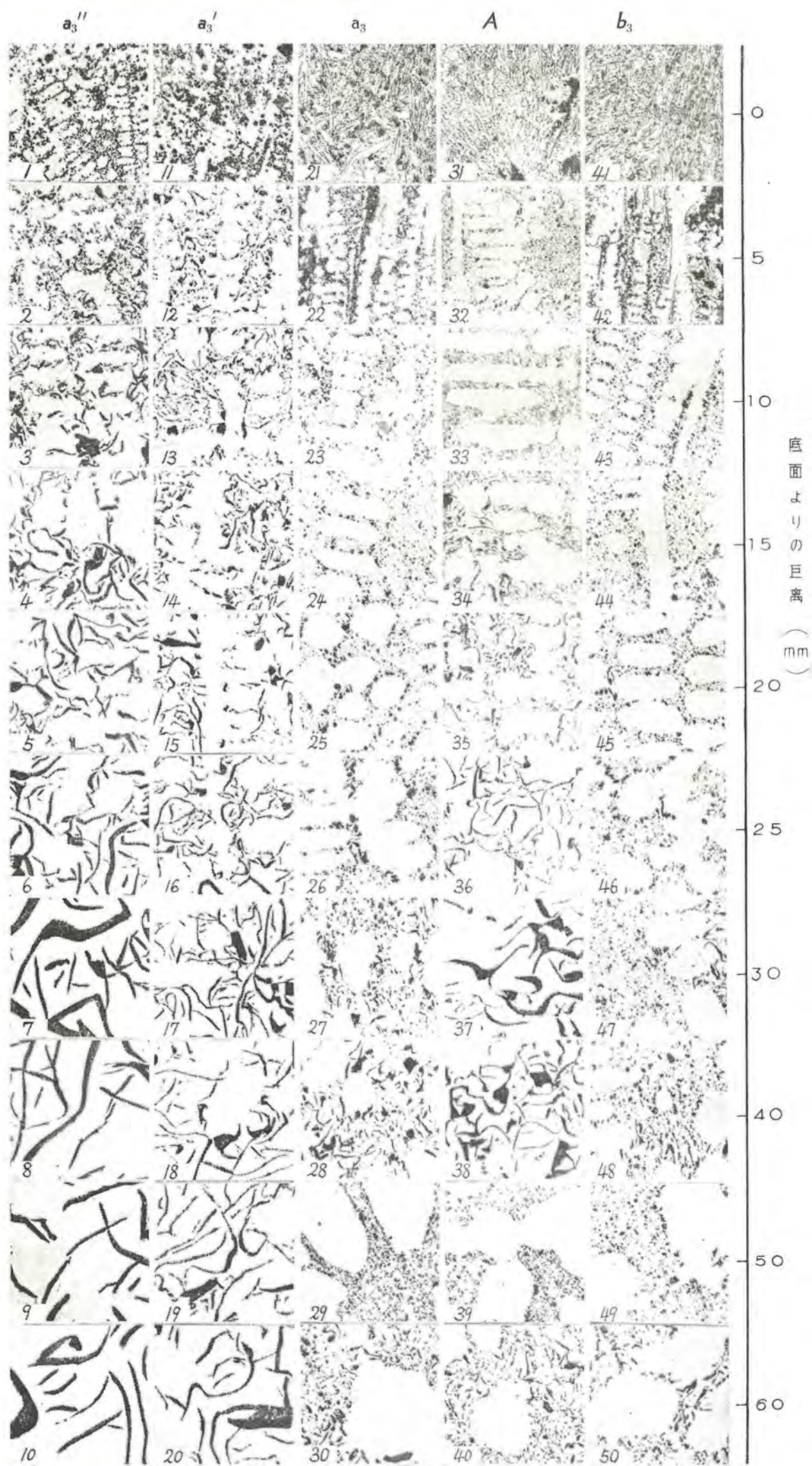
2. 実験 (2) の場合

(1) において酸素含量および組成が 1 表の a_3 で示される溶湯を、第3報の場合とまったく同様にして、0.3 % Fe-Si (75 %) および 0.3 % Ca_2Si で接種した。この場合の鑄造温度および鑄型はもちろん (1) の場合と同様にし、 a_3 を Fe-Si で接種した試験片の符号を a_3' , Ca_2Si で接種した試験片符号を a_3'' とした。

III. 実験結果とその考察

1. (1) 実験の結果を観察してみる。1 図に示すように、A 級試験片の組織は冷速の大より小に向って次のよ

* 工作部鑄造課長



1 図 酸素と冷却速度による変化組織及び接種による組織変化
Fig. 1. Change of micro-structure by oxygen and cooling velocity, and by inoculation.

うになっている。(組織分類は第3報と同じ)

No. 31 は L に黒鉛を混えている。すなわち、 $L+L_g$ である。

No. 32 は初晶と黒鉛共晶、黒鉛は粒状、 $U_{粒}$ である。

No. 33, No. 34 は $U_{微小片}$

No. 35 は $U_{小片}$

No. 36 は $U_{F片}$

No. 37 は $F_{U大片}$

No. 38 は $U_{F片}$

No. 39 は $U_{粒}$

No. 40 は $U_{小片}$

黒鉛の大きさの順は、粒、微小片、小片、片、大片の順に大きくなっている。

すなわち、冷却速度の速いものから、おそい方へと No. 31→No. 40 の組織変化を示し、ここでやはり No. 37 よりもより徐冷の No. 38, 39 が共晶中の黒鉛が細くなる傾向すなわち逆転している。No. 39 より No. 40 の黒鉛が大きいすなわち正常化している。しかし、No. 32, 33 と No. 39 とは表現としては $U_{粒(微小片)}$ で同一であるが、写真を見れば初晶の配列等に著しい相違がみえる。これについては後の論文にゆずることとする。

上記組織変化を前報告第1報の写真A列と比較してみると、変化傾向についてはまったく同一と言えるが、詳細に観察してみるならば、Uで表現されている部分に著しい相違がある。すなわち、第1報の写真A列においては、冷速の大より小に向っての組織変化は $L \rightarrow U_G + L \rightarrow U_G + L \rightarrow U \rightarrow U_F \rightarrow F \rightarrow F \rightarrow U_F \rightarrow U \rightarrow U$ で示される。また上式にはFのみで表現されている組織があるけれども、本実験はFのみの組織は存在していないが、No. 37 がやや似ている。しかし、両者の試験片についての条件は、溶解炉の炉性も、溶解処理もしたがって酸素含量も、鋳型および鋳造温度もしたがって冷却速度もほぼ一定であるように選ばれているから、異なるのはSiの含量のみとすることができる。したがって上記組織の相違はSi含量の相違により発生したものと結論される。換言すれば、他のすべての条件を一定にした場合には、Si含量の多いほど(Si量が1.0~3.0%の範囲において)共晶組織を発生し易く、したがって典型的な共晶組織 $U_{粒}$ 、 $U_{微小片}$ を生じ易く、 $F_{U大片}$ がFまでくずれ難いと見ることが出来る。この事実はHannemanの研究にも見られ、多くの人々によって考えられている“高珪素は共晶が出易い”を肯定すると同時にさらにより詳しく高珪素鋳鉄組織の冷速による変化を明瞭に示すものである。

以上は中庸の酸素量とみられるA級についてであるが、これが酸素の増減によってどう影響されるかを次に吟味することとした。この点については文献上には報告がない。

すなわち、脱酸せる試験片 a_3 の冷速の大より小に至る間の組織変化を観察してみると大勢は次のごとくなっている。すなわち、

No. 21 $L+L_g$,	No. 25 $U_{粒}$,	No. 29 $U_{粒}$
No. 22 $U_{粒}+U_G$,	No. 26 $U_{粒}$,	No. 30 $U_{粒+小片}$
No. 23 $U_{粒}$,	No. 27 $U_{粒+小片}$,	
No. 24 $U_{粒}$,	No. 28 $U_{片}$,	

となっており、A列に比較してすべての冷速において黒鉛結晶が細くなっていることおよびU組織の維持性の強いことを示している。また、No. 32 にはセメンタイトが存在しないのに No. 22 では少しく残存している。また、黒鉛結晶は No. 28 を最大として No. 29 では微細化するすなわち、逆転をみせ、No. 30 では正常化傾向をみせている。

なお、冷却速度の小なる位置すなわち No. 29~30, No. 39~40 の写真における初晶の大きさは、冷却速度の大なる位置すなわち No. 22~27, No. 32~34 の写真における初晶の大きさに比較して著しく大となっていることが目立つ。

以上の結果をSi量は少いが、その他はまったく同条件とみなせる前研究第1報の a_3 列と比較してみよう。Si量の少い第1報の結果では底面よりの距離30, 40mmの位置以外は前後共すべてセメンタイトを含んでいるが本報の実験はSi量が多いから底面よりの距離0~5mmの位置以外にはまったくセメンタイトは存在していない。これは珪素の黒鉛化助長作用のためと思われる。また、セメンタイトが0~5mmの位置以外にはないのであるから共晶が出易くなっているとも言える。また、第1報においては底面より或距離の組織を横軸方向に見るときには、その組織変化はA列→ a_3 列に黒鉛結晶は小さくなり、ついにセメンタイトを混えたのであったが、本報ではA→ a_3 に黒鉛結晶が小さくなり、共晶化傾向が強くなっているのが見られる、このことは換言すれば、Si量が多いときには脱酸をよけいかさないと第1報 a_3 列のごとくにはなり難いことを示していることとなる。

つぎに、A列を加酸せる試験片 b_3 の冷速の大より小に至る間の組織変化を観察してみるとつぎのごとくなっている。

No. 41 L,	No. 45 $U_{粒}$,	No. 49 $U_{粒}$
No. 42 $U_{粒}+U_G$,	No. 46 $U_{粒}$,	No. 50 $U_{粒+小片}$
No. 43 $U_{粒}$,	No. 47 $U_{粒+小片}$,	
No. 44 $U_{粒}$,	No. 48 $U_{粒+小片}$,	

すなわち、A列に比較して a_3 列の場合と同様に、すべての冷速において黒鉛結晶が細くなっていることおよびU組織の維持性の強いことを示している。また、No. 31 では $L+L_g$ であるのに No. 41 は L, No. 32 にはセメンタイトが存在しないのに No. 42 ではセメンタイトが少しく残存して、チル化し易くなっている。また、黒鉛結晶は No. 48 を最大として No. 49 では微細化するすなわち逆転をみせ No. 50 では正常化傾向を示している。なお、冷却速度の小なる位置 No. 49~50 の写真における初晶の大きさは、冷却速度の大なる位置すなわち No. 42~48 の写真における初晶の大きさに比較して著しく大となっていることも a_3 列の場合と同様である。

以上の結果を珪素含有量は少ないが、その他はまったく同条件とみなせる第1報の a_3 列の写真と比較してみると、セメンタイトの存在区間は著しく狭くなり、共晶化傾向が強くなっているのが見られるが、これらの相違は前同様いずれも珪素含有量の多いことに起因するものと思われる。

次に A 列を中心に a_3 列、 b_3 列の組織変化を冷速の大より小に向って対比してみると、A 列を中心として a_3 列と b_3 列とが前報までに説明した意味において対称的であると言えることも前報までの結果と同様である。

2. (2) の実験結果を観察してみる。(2 表)

2 表 接種後の化学組成

成分 試験片番号	C	Si	Mn	P	S
a_3'	3.09	3.17	0.49	0.092	0.006
a_3''	3.07	3.03	0.45	0.084	0.007

$a_3 \rightarrow a_3'$

No. 21 \rightarrow No. 11 $L+L_E \rightarrow U_{\text{粒}}+U_{\text{U}}$

No. 22 \rightarrow No. 12 $U_{\text{粒}}+U_{\text{U}} \rightarrow U_{\text{小片}}$

No. 23 \rightarrow No. 13 $U_{\text{粒}} \rightarrow U_{\text{小片}}$

No. 24 \rightarrow No. 14 $U_{\text{粒}} \rightarrow U_{\text{F}}$

No. 25 \rightarrow No. 15 $U_{\text{粒}} \rightarrow U_{\text{F}}$

No. 26 \rightarrow No. 16 $U_{\text{粒}} \rightarrow U_{\text{F}}$

No. 27 \rightarrow No. 17 $U_{\text{粒}}+U_{\text{小片}} \rightarrow F_{\text{U}}$

No. 28 \rightarrow No. 18 $U_{\text{小片}} \rightarrow F_{\text{U}}$

No. 29 \rightarrow No. 19 $U_{\text{粒}} \rightarrow F$

No. 30 \rightarrow No. 20 $U_{\text{粒}}+U_{\text{小片}} \rightarrow F$

a_3 列は脱酸がかなり進んでいるから急冷によりチル化し易く、No. 21 は $L+L_E$ 、No. 22 は $U_{\text{粒}}+U_{\text{U}}$ となっているが、0.3% の Fe-Si 接種で $L+L_E \rightarrow U_{\text{粒}}+U_{\text{U}}$ 、 $U_{\text{粒}}+U_{\text{U}} \rightarrow U_{\text{小片}}$ となりチル化はかなり防止されている。また、No. 28~No. 30 に認められた逆転現象は No. 18~No. 20 で防がれている。また、総じて接種により黒鉛は大きくなる傾向を示し、初晶は No. 12~No. 15 でわかるように著しく不明瞭となっている。

以上の結果を第3報の $(1-a_3) \rightarrow (1-a_3')$ の結果と対照してみると、Fe-Si の接種により、チル化が防止されること、初晶の輪郭が不明瞭化すること、黒鉛形状の大きくなる傾向等は共通の変化傾向と言える。なお、これらについて詳細に検討してみると、本報においてはセメンタイトの存在するのは写真 No. 11 のみであるが第3報においては No. 11~No. 12 に存在すること、初晶輪郭の明瞭さにおいて本報 No. 12~No. 16 と第3報の No. 12~No. 16 とを比較してみると本報の方が不明瞭化していること、 F_{U} および F で表現される範囲の黒鉛の形状は少しく本報の方が大きいようである。しかし、本報と第3報の実験条件の相違は珪素含有量のみとすることができ、以上の相違は珪素含有量の大小に支配されていると言えるようである。

次に、本報の $a_3 \rightarrow a_3'$ 、第3報の $(1-a_3) \rightarrow (1-a_3')$ と $(2-a_3) \rightarrow (2-a_3')$ とを対照してみると、非接種組織においては珪素含有量の大小の順に従ってその共晶組織は fine になっていると言える。すなわち、 a_3 列、 $(1-a_3)$ 列、 $(2-a_3)$ 列の順にその共晶組織は fine になっている。逆に接種組織においては珪素含有量の大小の順とは反対に、すなわち珪素含有量の少い順 $(2-a_3')$ 、 $(1-a_3')$ 、

a_3' 順に共晶組織は fine になっていると言える。ただし、上記の事柄は一連の本研究の組成範囲内すなわち C 3.0~3.2%, Si 1.2~3.0%, Mn 0.4~0.7%, P<0.1%, S<0.02% 以内のみのことで、これ以上に組成が変化する場合については他の機会にゆずることとする。

$a_3 \rightarrow a_3''$

a_3 列を Ca_3Si 0.3% で接種せる場合の組織変化は次のごとくになる。

No. 21 \rightarrow No. 1 $L+L_E \rightarrow U_{\text{粒}}+U_{\text{U}}$

No. 22 \rightarrow No. 2 $U_{\text{粒}}+U_{\text{U}} \rightarrow U_{\text{小片}}$

No. 23 \rightarrow No. 3 $U_{\text{粒}} \rightarrow U_{\text{F}}$

No. 24 \rightarrow No. 4 $U_{\text{粒}} \rightarrow U_{\text{F}}$

No. 25 \rightarrow No. 5 $U_{\text{粒}} \rightarrow U_{\text{F}}$

No. 26 \rightarrow No. 6 $U_{\text{粒}} \rightarrow F_{\text{U}}$

No. 27 \rightarrow No. 7 $U_{\text{粒}}+U_{\text{小片}} \rightarrow F_{\text{U}}$

No. 28 \rightarrow No. 8 $U_{\text{小片}} \rightarrow F$

No. 29 \rightarrow No. 9 $U_{\text{粒}} \rightarrow F$

No. 30 \rightarrow No. 10 $U_{\text{粒}}+U_{\text{小片}} \rightarrow F$

a_3 級まで脱酸したものを Ca_3Si で接種してあるのでその効果は著しく、No. 1 のみはわずかにセメンタイトを残存しているが、 U または U_{F} 組織は No. 5 までで、No. 6, No. 7 は F_{U} となり、No. 8~10 は F 組織となっている。もちろん、逆転現象はなくなっている。

これを $a_3 \rightarrow a_3'$ の組織変化と比較すると、セメンタイトの存在範囲および逆転現象の防止されていることは同じであるが、 a_3' 列において U 組織は No. 12~15、 U_{F} 組織は No. 16、 F_{U} 組織は No. 17~18、 F 組織は No. 19~20 であるが、 a_3'' 列においては U 組織は No. 2~4、 U_{F} 組織は No. 5、 F_{U} 組織は No. 6~7、 F 組織は No. 8~10 となり、 U および U_{F} 組織の存在範囲が狭くなり、 F_{U} および F の存在範囲が広がっている。すなわち、 a_3 級試験片に対して Ca_3Si 接種の方が Fe-Si 接種より効果が大きいと言える。また、 a_3' 列と a_3'' 列の黒鉛形状を比較してみると a_3'' 列の方が幅広くなっており、特に F 組織においてそれが目立つ。

次に、本報の a_3'' 列と第3報の $(1-a_3'')$ 列および $(2-a_3'')$ 列の組織を比較してみると、セメンタイトの存在範囲、逆転現象の防止はまったく同じであり、冷速の大より小への組織変化の傾向については個々には若干の差異はあるが傾向としてはほぼ同一とみなせる。ただし、 F にて表現される黒鉛組織にはかなりの差異が認められる。すなわち、 a_3'' 、 $(1-a_3'')$ 、 $(2-a_3'')$ の順に F 組織の黒鉛の幅および長さが大きいようである。この順位はそのまま珪素含有量の大小の順位であり、他の実験条件が同一であるから、珪素量が多くなれば黒鉛の形状が幅、長さ共に大となると言うようである。この事実から、あまり珪素量の多い鑄鉄は接種しても、高抗張力は期待し難いと言える。この事柄が高珪素鑄鉄は接種してもその効果が少いと考えられている原因のように思われるが、組織変化の上から考えれば接種の効果が少いとはいえない。

最後に、終始ご指導を戴いた岩瀬教授に厚く謝意を表し、また実験に協力下さった本社星野技師ならびに今井技師小川技手に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 鈴木一郎: 三菱電機 Vol. 30, No. 6.
- (2) 鈴木一郎: 三菱電機 Vol. 30, No. 8.
- (3) 鈴木一郎: 三菱電機 Vol. 30, No. 11.
- (4) 網谷俊平: 接種について. 日本鑄物協会講演会 昭和29年12月5日.

南極探検に一役買う

三菱電機のゴムボート

1957 年の国際地球観測年の南極探検に日本も参加することになり予備観測のため南極探検隊は「宗谷」にのりこみ、11 月 8 日に晴れの壮途についたのである。この探検隊の極地における水上交通の重要装備として三菱電機のゴムボートが採用されている。その要項数量をあげると次のようなものである。

南極観測隊用ゴム浮舟

1. 荷物運搬用（両端上り） 6 隻

長 さ	6,180 mm
幅	1,680 mm
空気室の直径	560 mm
浮 力	4.5 t
使用エンジン	15 HP×2 基

3 隻 1 組としてそれぞれ桁受けを取付け、その上に導板を並べて雪上車をのせ 15 HP エンジン 2 基を取付けて走る。

2. 人員輸送用（先端上り） 2 隻

長 さ	4,100 mm
幅	1,850 mm
空気室の直径	450 mm
有効浮力	約 1.5 t
使用エンジン	15 HP×1 基

船尾にエンジン架を取付け 15 HP エンジンで走る。

3. 急救用（先端上り） 7 隻

長 さ	3,050 mm
幅	1,500 mm
空気室の直径	400 mm
有効浮力	約 800 kg

MZ-E の同型（ネオプレン+ナイロン）

2 重布を使用、きわめて軽量にできている。犬糧に搭載して携行する。

4. 航 空 用

○1 人用（1 隻）

長 さ	1,470 mm
幅	970 mm
空気室の直径	260 mm
有効浮力	約 150 kg
ポンペ	0.4 l

MX-A と同型

○2 人用（2 隻）

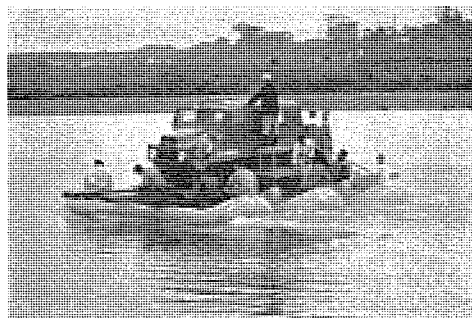
長 さ	1,800 mm
幅	1,000 mm
空気室の直径	270 mm
有効浮力	約 250 kg
ポンペ	0.4 l

MX-B と同型

これらについてはすでに伊豆の戸田海岸、多摩川等において数回にわたる厳密な試験研究が行われたが、その性能はまことに優秀であって外国品に比して何らおとるところのないことが立証された。

三菱電機のゴムボートが南極において縦横に活動し、大成功裏に探検をおわり日本の技術を中外に宣揚する日を期待している次第である。

写真は多摩川における試験で、雪上車運搬用のゴムボートおよび人員輸送用のゴムボートが進行中を示す。



試験中のゴムボート



試験中のゴムボート

福岡工場が JIS 優良工場として 通産大臣賞をもって表彰された

通商産業省では去る 10 月 29 日東京グランドホテルにおいて、石橋通産大臣出席のもとに 31 年度（第 4 回目）の工業標準化実施優秀工場として 18 工場の表彰式を行った。

今回品質管理および製品とも優秀と認められた工場は全国で 18 工場あり、通産大臣表彰は 6 工場、工業技術院長表彰は 12 工場であった。

福岡工場は鋳山用電気機器、電気グラインダおよび電気ドリルなどの生産を行っているが、今回通産大臣表彰という輝かしい業績を納めることができた。

携帯用電気ドリルは、昭和 29 年 10 月 JIS C 9605 として、日本工業規格に制定され、さらに工業標準化法に基き「指定商品」に指定されたものである。

工業標準化法によると、主務大臣は、製造設備、検査設備、検査方法、品質管理方法その他品質保持に必要な技術的生産条

件を審査したうえ、その製造する製品が日本工業規格に該当するものであることを認めたととき、特別な表示すなわち「JIS マーク」をつけることを許可することになっている。

福岡工場は昨年、携帯用電気ドリルの製造工場として指定され、JIS マークをつけた携帯用電気ドリルを生産してきたが、鋭意製品の向上に努め、今回その製品および全工場の品質管理とも優秀と認められ、昨の通商産業大臣賞を獲得したものである。



通産大臣表彰状



石橋通産大臣から表彰状をうける大神工場長

わが国最初の電気化学工業用 密封型イグナイトロン整流器 完成

この水冷式、密封型イグナイトロン整流器は食塩電解用として南海化学工業株式会社、和歌山工場へ納入したものであり、密封型イグナイトロンが電解電源として使用された日本最初の製品である。

このイグナイトロンは次のようなすぐれた特長をもっている。

特 長

1. 密封型イグナイトロンであるため排気装置の保守を簡略にしうる。
2. 整流タンクは水冷式であるため、1 整流タンクの重量が 50 kg であり、取替が簡単である。
3. 小型、軽量であって据付が容易である。

4. 整流タンクは小型であるためアーク降下が少く、したがって能率がよい。

このイグナイトロン整流器の仕様

型 式.....水冷式、密封型整流タンク

タンク数.....12 タンク

定格容量.....1,000 kW 250 V 4,000 A 連続

150% 負荷 (6,000 A).....1 分間

1 整流タンクの縦長 約 1,000 mm (リード線を含む)

〃 〃 直径 225 mm

〃 〃 重量 50 kg

12 整流タンクを 1 つのキュービクルに挿入したときの諸元は次のとおりである。

縦 長.....1,500 mm

横 長.....2,000 mm

高 さ.....2,300 mm

全重量.....2,000 kg (含冷却水)



1,000 kW 250 V 4,000 A 12 タンク水冷式密封型イグナイトロン整流器の外観



1,000 kW 水冷式密封型イグナイトロン整流器の整流タンクの取替状況を示す。整流タンクは容易に取りはずすことができる。

三 菱 電 機 昭 和 31 年 巻 総 目 次

第 1 号 昭和 30 年度回顧特集

巻頭言	取締役社長 高杉晋一	3
電力用電機品		4
電力研究一般		4
火力発電機器		6
水力発電機器		12
送電・変電・配電用機器		14
変換機器		25
電力応用電機品		27
一般概況		27
製鉄用電機品		27
鉱山用電機品		30
船舶用電機品		34
繊維, 化学, 製紙, セメント, 工業用電機品		39
荷役, 運搬, 建設用電機品		44
工作用電機品		45
一般工業用電機品		48
エレベータ・エスカレータおよびケーブルカー		55
冷凍, 冷房装置		58
電装品		62
車両用電機品		64
無線機器		70
蛍光灯, 照明器具および照明施設		77
家庭用電気品		85
特殊な開発品と材料		91
研究所		91
有機絶縁材料研究		93
無機材料, 金属材料の研究		94
世田谷工場製品		95
ニュースフラッシュ		97

第 2 号 研究所創立 20 周年記念特集

研究所創立 20 周年を迎えて	取締役 堀 元夫	100
研究所の役割	大野才三	101
模擬回路による直流送電の研究	阿部久康・山口肇男	103
遮断器の残留電流	潮 恒郎	109
小型広帯域マイクロ波 1/4 波長板	喜連川 隆・信岡正裕	114
導磁率による鋼の硬度の測定	馬場文夫・渡辺文明	118
加圧水型発電原子炉の設計	長沼辰二郎・弘田実弥	121
赤外線ガス分析計	八島英之・安東 滋	126
直視型ガス分析装置	後藤正之	131
硫化カドミウムの光電導性	伊吹順章	136
塗料, エナメル, ラッカ類の諸種の特性試験	村山三郎・紫山 恭一・小鯛正二郎・川本善美	141
絶縁液体の誘電強度に及ぼす気体有機塩素化合物溶解の影響	白井万次郎・原 仁吾・大杉 肇	145
電子管電極金属微量酸化の検査法	立原芳彦・秦 卓也・鬼塚正浩	149
シュランクガラス	立原芳彦・林 次郎	154
最近における応力測定とその応用	前田裕雄・水野 茂・梶原 智	157
正面切削法による超硬バイトの寿命試験	斎藤長男	162
当社研究所の概況		168

第 3 号

[特別寄稿] 蛍光健康燈による佝僂病の予防および治療に関する実験的研究 赤塚京治・宮沢寿一郎・足立 健・小堀富次雄		178
三菱不燃性合成油“ダイヤクロール”とそれを用いた変圧器および蓄電器	南角英男・神谷友清	188
自動負荷選択遮断装置	堀 謙二郎	194
CO 型過電流継電器の超過電流域における動作特性	藤井重夫・森 健・天野 恒	199
船用平復巻発電機の並列運転	万谷 広・森屋貞夫	202
電子管式直流電動機制御装置	武藤 哲	211
ニュースフラッシュ		216
最近における当社の社外寄稿一覧・社外講演一覧		217
最近登録された当社の特許および実用新案		218

第 4 号

交流電化特集		
鉄道の近代化と交流電化	島 秀雄	220
50 c/s 単相交流による鉄道電化	矢山康夫	221
[ED 451] イグナイトロン電気機関車性能試験	佐藤恒徳・田村文徳	234
[ED 451] イグナイトロン電気機関車を負荷とせる交流変電所の諸特性	林 正己	238
[ED 451] イグナイトロン電気機関車の通信誘導障害とイグナイトロンの運転特性	塩見幸三	241
[ED 451] イグナイトロン電気機関車走行振動試験	国枝正春	250
[ED 451] イグナイトロン電気機関車の通過試験	小林正安	254
交流電気機関車の誕生に際して	弘田実福	259
50 c/s 電気車の現状と将来	松田新市	260
[ED 451] イグナイトロン電気機関車	小川清一	272
[ED 451] イグナイトロン電気機関車の変圧器およびリアクトル	田村良平	278
[ED 451] イグナイトロン電気機関車用液冷式, 密封型イグナイトロン整流器	加藤又彦	281
[ED 451] イグナイトロン電気機関車の通信誘導障害とその対策	己斐健三郎・阿部久康	287
[ED 451] イグナイトロン電気機関車用イグナイトロン整流器制御回路	室賀 淳	290
[ED 451] イグナイトロン電気機関車の避雷器, 断路器, ヒューズ	大木正路・樺沢孝治	292
[ED 451] イグナイトロン電気機関車用 MB-3026-A 型主電動機および駆動装置	浅越泰男	294
イグナイトロン電気機関車の制御装置	待鳥 正	299
イグナイトロン電気機関車の塗装	小原太郎	302
イグナイトロン電気機関車の補助回転機	八木 勝	305
[ED 451] イグナイトロン電気機関車の台車および車体	曾根嘉年	309
ニュースフラッシュ		312

第 5 号

これからの発電所機器特集		
わが国の原子力発電の将来	一本松珠瑛・吉岡俊男	318
内部冷却タービン発電機	加賀貞広	322
ダイヤラスチック絶縁	石黒克己・伊佐山好延	329
これからの発電所用変圧器	村上 有	337

最近の発電用スイッチギヤ	新井正元	343
三菱スタートバントファン風の風量制御	宮内貞夫	356
発電所と工業用テレビジョン装置	馬場文夫・嶋村和也	360
電気計算装置の電力系統への応用	横須賀正寿・馬場準一	367
電気絶縁材料の温度区分に対する最近の情勢	大西洋一郎	376
ニュースフラッシュ		383

第 6 号

徳島県営日野谷発電所 26,200 kW 堅軸フランシス水車	山本秋久	388
徳島県営日野谷発電所 24,000 kW A 水車発電機運転制御装置および配電盤設備	三浦 宏・梅名茂男	400
電磁クラッチ付同期電動機	斎藤 寛・松村敏三	411
MZ-3 型記録積算電力計	加藤義明	421
鋳鉄鋳物組織の研究 第 1 報		
酸素量と冷速の関連性 その 1 冷し金使用の場合	鈴木一郎	427

第 7 号

照明特集	常務取締役 岸本久雄	436
巻頭言	稲村耕雄	437
“蛍光灯”とカラコン	河合 登・井手平三郎	439
硫酸マグネシウム系およびクロロ硫酸カルシウム・カドミウム系蛍光物質の光学的特性	河合 登・井手平三郎・立原芳彦・秦 卓也	444
ハロゲン酸塩およびハロゲン酸塩系蛍光物質の光学的特性	久保幸正・村井直道	448
蛍光灯の管電流に対する照明の経済的考察	小堀富次雄	455
照明設計法の簡易化と設計書様式の設定	山下源一郎・田中民雄	465
屋内照明における蛍光水銀燈	小堀義正	471
屋外作業場照明用水銀燈	吾郷侃二	473
工場照明の在り方	佐々木武敏	478
造船所船台照明の一例	上川忠夫・八島英之	483
最近の火力発電所と高天井建物の照明		
織物検査用光源と蛍光ランプ	上川忠夫・八島英之	493
ニュースフラッシュ		497

第 8 号

風冷式、密封型、3,000 kW、1,500 V 大容量イグナイトロン整流器の完成	加藤又彦・室賀 淳・塚本昭三・阪上 茂	500
ポリエステル積層板の電気的性質を中心としての検討	尾島学二	509
粉末切断とその銅合金への応用	岩佐 実	517
RF-200 型移動ファン	瀬原田三郎	521
名古屋鉄道納 8 個電動機単一制御装置	待島 正	524
鋳鉄鋳物組織の研究 第 2 報		
酸素量と冷速の関連性 その 2 油砂型使用の場合	鈴木一郎	530
ニュースフラッシュ		537
最近登録された当社の特許および実用新案		540

第 9 号

無線機特集	取締役 大久保 謙	542
巻頭言	津村 隆	543
無線機部門の新製品紹介	喜連川 隆・森川 洋・渡部 優・有田不二男・明石克寛	557
Cosecant Square ビームのレーダ・アンテナ	河津祐元・榎本俊弥・喜連川 隆	561
直線偏波および円偏波の広帯域パラボラ・アンテナ	小田達太郎・黒田忠光・上野芳雄・平岡敏也	568
FT-2 型 VHF 多重無線装置	馬場文夫・小島一男	573
DF 型模写電送装置	榎本俊弥・吉田武彦・上村康雄・石井 茂	580
気象用レーダ	大島羽幸太郎・嶋村和也・竜田直紀	587
HKB-2 型常時位相比較搬送保護継電方式に使用する PC-3 型電力線搬送装置	豊田準三・茂木 充・柴谷浩二・伊藤修助	598
両端同時標定式 B 型閉路点指示装置	杉多重雄・武居 明・植竹勝人・糸賀正己	605
最近の三菱テレビ受像機 14T-210	津村 隆・藤木 一・進藤武男	616
高忠実度 2 Way speaker 装置の設計	馬場文夫・福島義藏	630
パラメトロン		
ニュースフラッシュ		638

第 10 号

建築と電気特集	常務取締役 岸本久雄	640
巻頭言	木村武雄	641
丸ビルおよびそのエレベータの交通実態調査	宮城 晃	649
セレクト・ボタン方式（最新のエレベータ群管理方式）	石川理一	656
アパート用エレベータ	武長 豊	665
エレベータ C 型電動戸閉装置	木村武雄	669
三菱エスカレータの展望	吾郷侃二	675
都内におけるビルディング照明の最近の実施例	井上八郎	678
ビル用変電所機器の選定	清水一朗	685
冷暖房用高速多気筒冷凍機	垣見太郎・安藤 孝	690
ヒートポンプ式空気調和	牛田善和	697
小型冷暖房用 DU 型ユニテヤ		701
ニュースフラッシュ		704
最近登録された当社の特許および実用新案		

第 11 号

電源開発株式会社榎平発電所 23,500 kW フランシス水車	佐藤 博	706
電源開発株式会社榎平発電所 23,000 kVA 水車発電機	山下喜美雄	712
カゴ形誘導電動機の起動異常現象	白田長一・梶谷定之	718
鋳鉄鋳物組織の研究 第 3 報		
接種に及ぼす酸素量と冷速の関連性その 1 C, Si の含量の少ない場合	鈴木一郎	724
交流磁気特性直視装置	野口英男・須藤英司	733
外被型クリネヤ（電気式空気清浄装置）	田附和夫	738
ニュースフラッシュ		742
最近における当社の社外寄稿一覧・社外講演一覧および最近登録された特許・実用新案		746

第 12 号

八幡製鉄社内連絡用 VHF 無線電話装置	木村五郎・並木友弥・津村 隆・上野芳雄	748
炭鉱切羽の電気施設の進歩	上津原常男	752
最近の切羽設備用制御機器	山縣 満・平野琢磨	756
FN-105 型交流電磁接触器の試験	山田栄一・森本英男・山縣 満	762
坑内における低圧配電線の短絡電流計算法とデアイオンノーヒューズ遮断器に関する注意	平野琢磨	768
タービン発電機回転軸材に関する考察	今北孝次・山野辺二郎	772
電力用単巻変圧器と外鉄型 Form-Fit 変圧器	村上 有・田村良平	783
誘導電動機振動の実験的解析	金子清三郎・滝 平七・白田長一・佐藤良雄	791
ブルの水の中照明	佐々木武敏	801
鋳鉄鋳物組織の研究 第 4 報		
接種に及ぼす酸素量と冷速の関連性その 2 珪素量の大なる鋳鉄の組織に及ぼす酸素量および冷却速度の相互関連性、ならびに接種効果について	鈴木一郎	805
ニュースフラッシュ		809

製鉄圧延電動機駆動用

三菱風冷式密封型イグナイトロン整流器

日亜製鋼株式会社・尼崎工場より受注した帯鋼圧延電動機駆動用イグナイトロン変換装置は 1,000 kW, 550 V, 1,820 A, 6 タンク方式の風冷式、密封型イグナイトロンで去る 9 月 6 日より運転にはいった。

本器は既設の 2,085 kW の電動発電機と並列運転を行いうるよう設計してあり、性格と定格のことなる 2 種の直流変換装置を使って既設の直流電源を強化し、新圧延方式を確立し得た点は特に注目するに値するものである。以下に簡単にその仕様を列記する。

1. 受電電圧 3.3 kV 3 相 60 c/s

2. イグナイトロン整流器の仕様

型式……風冷式、密封型整流タンク

タンク数……6 タンク

定格電流制御率……20%

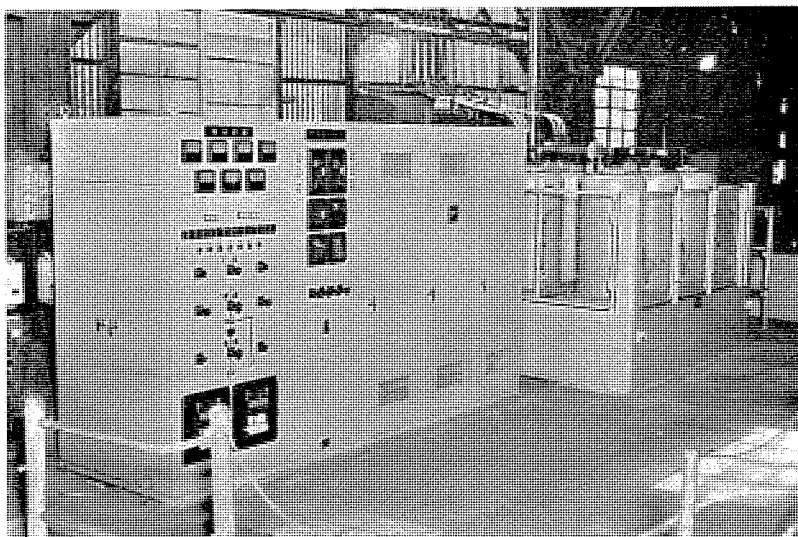
冷却扇方式……プロペラファン 2 HP 6 台

定格容量 { 1,000 kW 550 V 1,820 A, 連続
2,720 A (150%) 2 時間
3,640 A (200%) 1 分間

3. 既設の 2,085 kW の電動発

電機と常時並列運転であり、
両者の負荷分担は 2 : 1 の比
になるようイグナイトロン整
流器を常に電圧制御する方式
である。

4. 点弧回路はリアクトルと蓄
電器を組合せた鉄共振回路で
あってリアクトルの直流巻線
の直流励磁を変化せしめてイ
グナイトロンの点弧位相を変
化せしめる新方式である。そ
のため消耗劣化する物品を包
蔵しない。



昭和 31 年 12 月 8 日 印刷

昭和 31 年 12 月 10 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 60 円 (送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大石久保	謙	常任委員	宗村	平
副委員長	浅川辰	雄	委	石橋	樹
〃	井德次	郎	〃	岡屋	二
〃	荒井潔	二	〃	進藤	和
〃	安藤安	雄	〃	津村	隆
〃	菅野正	二	〃	松尾	一
〃	木村武	雄	〃	山田	市
〃	小堀富	郎	〃	井森	男
〃	高井得	郎	幹	市	郎
〃	中野光	夫	〃		
〃	馬場文	夫			
〃	松田新	市			

(以上 50 音順)

編集兼発行人	東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地	市村宗明
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	長久保慶一
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 20016