

MITSUBISHI DENKI

三菱電機



国鉄山陽線加古川変電所

4

VOL 32 1958



MITSUBISHI DENKI

三菱電機

表紙説明

国鉄山陽線は姫路まで電化が完成、4月12日より営業運転にはいった。

この電化区間の新設直流変電所は大久保、加古川、曾根、姫路、英賀保の5箇所で、それぞれ1,500 V 3,000 kW, 6ターン、密封形、風冷式イグナイトロン整流器1組を設置する単位無人変電所で、これらを姫路中央制御所から遠方制御するいわゆる集中遠方制御方式である。

この方式による電化は国鉄として初めてで、注目されている。

この区間の変電所主要機器および集中遠方監視制御装置はすべて三菱電機が納入したが、写真は上記5変電所のうち、加古川変電所の全景である。

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 兵庫県尼ヶ崎市南清水町
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 兵庫県尼ヶ崎市南清水町
長崎製作所 長崎市平戸小屋町
無線機製作所 兵庫県尼ヶ崎市南清水町
大船工場 神奈川県鎌倉市大船
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町
郡山工場 福島県郡山市字境橋町
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町
福山工場 福山市沖野上町
中津川工場 岐阜県中津川市駒場町
和歌山工場 和歌山市岡町
福岡工場 福岡市今宿青木
静岡工場 静岡市小鹿110
家庭電器工場 名古屋市東区矢田町
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町
東京工場 札幌市北二条東12
札幌修理工場 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) 福岡(5) 代表 2431
札幌営業所 札幌市大通り西1丁目(大通ビル)
(電) 札幌(2) 代表 7236
仙台営業所 仙台市東一一番丁63
(電) 仙台(2) 代表 6101
富山営業所 富山市安住町23の2
(電) 富山 4692・5273・2550
広島営業所 広島市袋町6(富国生命ビル)
(電) 中(2) 2211
高松営業所 高松市寿町1丁目(第一生命ビル)
(電) 高松 3178・3250
小倉出張所 小倉市京町10丁目(五十鈴ビル)
(電) 小倉(5) 8234

昭和33年第32巻第4号

目次

トレーラ式移動変電所	国松賢四郎・西村恭一郎 加藤又彦・亀山三平 坂田邦寿・小滝喜久二 岩垂邦昭	2
東京電力大手町地下変電所の概要と変圧器の新冷却方式		
.....	三宅義治・山田三郎 村上有・谷中頼朝 田村良平	16
70-GM-350形油入遮断器	平田康夫	23
超小形ゲルマニウムダイオード	清水潤治	28
小又川直接接地系保護継電装置	藤井重夫・北浦孝一 天野恒	35
ゼレンの金相学的研究(1)	山森末男	42
水素冷却器の特性試験(1)	明石克寛・荻野治	51
ケーブル系統保護用 HCB-2形表示線継電器の高調波および過渡現象応動特性	藤井重夫・北浦孝一・古谷昭雄	55
ビニール基およびフェニール基を含む低粘度シリコーン油	馬波久・小山二郎	63
技術解説		
加圧水形発電用原子炉とその問題点	長沼辰二郎・小倉成美	66
火力発電シリーズ: 発電機と励磁機(4)発電機の水管系統		72
原子力情報		
加圧水型原子力発電所について(3)	木村久男・前沢芳一・川口修・迎久雄	74
W社文献抄訳		
負荷断路器と自動接地開閉器の応用		
W社シャロン工場の変圧器テストセンタ		91
ニュースフラッシュ		
電源開発田子倉発電所向105,000 kVA水車発電機、台湾電力谷関発電所用57,500 kVA水車発電機2台受注、神戸製作所の工場拡張、電源開発南川越変電所用312 MVA変圧器受注、交直両用電車完成す!、三相交流機関車完成、内部冷却発電機製作進む、京都市交通局トロリーバス用電機品受注、三菱金属鉱業川口第二発電所竣工、水銀燈の生産本格化す、秩父セメント向2500 Mc-SS-FM多重無線装置受注、三菱原子力会社発足す、NA-2形自動電気釜(1升吹き)	94	
特許と新案		
(特)電力系統の充電電流補償方式		99
最近における当社の社外講演一覧		100
最近登録された当社の特許および実用新案		102
次号予定		71

ト レ ー ラ 式 移 動 変 電 所

日本国有鉄道電気局電化課長 国松 賢四郎
 日本国有鉄道電気局電化課長補佐 西村 恭一郎
 伊丹製作所 加藤又彦*・亀山三平**・坂田邦寿***
 神戸製作所 小滝喜久二***・岩垂邦昭***

Trailer Type Mobile Substations

Japanese National Railways Kenshiro KUNIMATSU
 Kyoichiro NISHIMURA

Itami Works Matahiko KATO・Sanpei KAMEYAMA・Kunikazu SAKATA
 Kobe Works Kikuji KOTAKI・Kuniaki IWADARE

Progress in the manufacturing technique of the latest sealed-off mercury rectifiers and advancement in the allied apparatus permit the building of a mobile substation carried on a car or a trailer. Though a number of d-c substations for power supply are in operation here and there, the one on a trailer specially manufactured for the Japanese National Railways involves many novel features. To install it on a trailer is confronted with varied restrictions. Such a large capacity as 3,000 kW 70 kV a-c and 1500 V d-c is an epochal mobile unit, which manifests the company's years experience and unchallenged technique.

1. まえがき

近時封じ切り形水銀整流器の製作技術の発達をはじめとして諸機器の進歩は車両またはトレーラに積載した移動式変電所の製作を可能にし、電力用直流変電所の製作計画が多くなった。ことに電気鉄道用直流移動変電所は古くから各種各様の方式のものがあるが最近は新変電所制御方式の採用とともに新しい用途と意図のもとに新構造の移動直流変電所が製作されている。

今回製作納入し運転実績をえた 3,000 kW, 1,500 V の直流出力を有するトレーラ式移動変電所は構想において新規であるばかりでなく定格出力において本邦における最高にして最初のものである。

このトレーラ式移動変電所が計画され、製作されるまですでに製作納入している直流移動変電所の種類と使用実績を述べることにする。これらの利害得失はすなわちトレーラ式移動変電所成立必要条件になるからである。

昭和 25 年 3 月、今日より 8 カ年前に日本国有鉄道では破損した地上固定変電所の応急援助用を目的として 2,000 kW, 1,500 V 出力の国鉄チキ 1500 形四軸貨車に積載した移動変電所を製作した。その当時はポンプ付多陽極形水冷式変換装置の時代であったため整流器の付属装置にはかなりの制限があった。また変圧器の一次側タップ電圧も 6.6 kV, 11 kV, 22 kV の 3 種を必要としたのである。その後排気ポンプのない整流器の代表であるガラス製の封じ切った整流器で相管式ガラス整流器を使った 300 kW, 600 V の移動変電所が京福電鉄に運

行された。これは定格出力の点で小規模であるという欠陥があった。外国の例ではスエーデンの Polish State Railway に A.S.E.A. が 1952 年に製作納入した 3,000 kW, 3,150 V, 準封じ切り形多極風冷式整流器を積載した移動変電所がある。昭和 30 年になって南海電鉄へ 1,500 kW, 600 V (3,000 kW, 1,500 V 定格負荷) の三菱電機製の密封形イグナイトロン整流器、12 タンクを載せた車両積載の移動変電所が納入された。なお昭和 32 年になって西武電鉄へ南海電鉄と同一形式であるが 2,000 kW, 1,500 V, 6 タンクの風冷式密封形イグナイトロンを製作納入した。

以上の実例のとおり整流タンクの製作技術の進歩に相応してその形式とタンク数は変化している。そして最近はこの種の代表例ともいえるイグナイトロン電気機関車が出現し、営業運転を行っている。このイグナイトロン交流電気機関車は液冷式の密封形整流タンクであるが、これは設計目標と使用条件によって冷却方式は当然変化すべきものであるといえよう。一般的にいえば積載機器の形式と外形寸法の変遷は機器の発達の歴史に依存することになる。かかる既納の移動変電所はその使用目的が次の諸項にある点が特長である。

- (1) 直流電力系統の負荷の分布が季節的または特殊事情によって増加するときに適切なる箇所へこの移動変電所をもって行き需要に対処する。
- (2) 地上固定変電所の既設機器の故障時または改修時の応援運転のとき。
- (3) 移動変電所がなかったときの広義の作業 能率の

低下が発生するとき、また移動変電所の直流変換装置が一時的の過負荷耐量を有し、要望条件に合致しているとき。

しかし今回製作したトレーラ式直流移動変電所は新しい時代の輸送形態を維持する上からみれば大都市内および近郊の変電所と地方幹線の一部の直流変電所とではその作用と効力とが若干相違する。これは封じ切り形水銀整流器の変換単位と列車編成の長短、列車運行回数、そのための負荷電流の尖頭値と継続時間とによって決定される。しかし大都市内の直流変電所の出力増加は尖頭負荷時（ピーク時）の克服が主目的である。そのため1台の整流器の故障は並列整流器の故障を誘発し、その被害を拡大する恐れがある。このときの応急処置は予備機の必要性を確認する結果になるがこれは整流器1台の稼働率と資金計画とが関連し、なかなかむずかしい課題となっている。

また一方老朽化しつつある地上固定変電所がある。これを輸送責務完遂の観点から合理化しなくてはならない。合理化にもその進捗度を無視するわけにはいかないとすれば既設変電所補強形態の正しい選択をおこなうことが必要であり、最も重要事項でもある。この選択は現在技術に立脚したものでなくてはならない。かく考察してくればトレーラ式移動変電所が開閉器車、変圧器車、整流器車の3車の編成よりなり、各車とも別個独立に行動をおこすことができる自由度のあることまたその定格出力が現在技術の最大級のものである点は誠に有意義であることが了解されるであろう。

以下にこの方式の採用の経過および各機器とその積載車についてそれぞれの特色と性能ならびに試験結果を記述することとする。

2. トレーラ式移動変電所について

2.1 採用の経過

移動変電所の初めての試みとして、国鉄では昭和25年に多極水冷式水銀整流器（1,500 V, 2,000 kW, 排気形）、変圧器および開閉設備その他を車両上に積載したものを製作使用して、直流変電所の事故時または改良工事にと大いにその効果をあげてきたが、車両積載であるため、変電所構内に引込線の設備があるか、あるいはその都度線路の敷設を必要とし、さらに冷却水の入手等について、その使命である機動性が欠ける場合があった。また国鉄の既設直流変電所には、ほとんど構内に引込線がなく、新たに設備することは経済的に問題であるばかりでなく、技術的にも本線からの途中分岐そのものに問題があったので移動変電所の活用は特別の場合に限られていた。

終戦後水銀整流器の発達は著しく、水冷式から風冷式へ、多極から单極へ、排気形から封じ切りへと躍進し、昭和28年には南海電鉄が三菱電機による、風冷单極封じ切り水銀整流器（600 V, 1,500 kW）を車両積載した移動変電所の完成を見た。国鉄においては、幹線電化の実

施、大都市通勤輸送対策、変電所過負荷救済その他のため相次いで新設される変電所は、従来の集中方式から分散方式を採用するため変電所の設置は駅の中間に位置することが予想されるので、列車運転確保上道路上を移動する変電所の出現が期待されていたが、昨夏三菱電機の手によって 1,500 V, 3,000 kW の移動変電所が完成され9月9日国鉄本社構内で展示された後直ちに使用開始の運びとなった。

2.2 使用の目的

前記採用の経過のところでその目的について触れてあるが、移動変電所は次の場合に使用され、電気運転区間に適当数配置してその機動性の活用に妙を得れば、従来変電所にもっていた予備機器の節約ができる国鉄経営合理化に大いに寄与することとなるのである。

- (1) 既設変電所の事故または主器の定期検査
- (2) 老朽変電所機器取替または大改良工事
- (3) 季節的負荷増加時の変電所救済
- (4) 電車増発等による急激な負荷増大に対して一時仮設変電所として使用する。

2.3 設計条件

設計に当ってこの移動変電所は道路上を移動するので、道路運送車両法の保安基準（運輸省令第67号）の適用を受けるので、これによるほか次の設計要項によるとした。

(1) 台車関係

- a. 移動車は積載荷重制限、輸送中の行動性、使用回数等を考えて、開閉器車、変圧器車、整流器車の3車に分割する。
- b. 長距離輸送の場合も考えて積載電気設備は必要に応じて車両積載もできるよう分割構造とし、この場合第5縮小車両限界内に納めること。
- c. 移動車はいずれもけん引自動車でけん引できる共通な連結装置を備え、積載荷重に耐え安全な制動装置を備えること。
- d. 移動中の行動を容易にするため移動車にはいずれもドリー付として、セミトレーラとして使用できること。
- e. 軸当たり 10 t 以下であること。
- f. 積載した場合の車体の最大安定傾斜角度は 35 度以上であること。
- g. 各車輪の1タイヤ当たりの負荷率は次の値以下であること。

前輪 110 %, 後輪 130 %

- h. タイヤの接地荷重は 1 m 当り 150 kg 以下であること。
- i. ブレーキの制動能力は次のとおりであること。

けん引車の最高速度	制動初速度	制動停止距離
15~25 km/h	15 km/h	5 m 以下
25~35 km/h	25 km/h	10 m 以下

(2) 整流器車関係

- a. 整流器本体、配電盤、高速度遮断器(54P)の3室に区切ること。
- b. 主器は六相鉄製風冷封じ切り 1,500 V, 3,000 kW, E種定格とすること。
- c. 直流電圧制御は(-) 10% の電圧制御を行い、既設変電所の各種の水銀整流器と並列運転に支障のないこと。
- d. 屋外で使用されるので、気象状況(気温、風)の変化に応じて整流器の温度調整が容易にできる構造であること。
- e. 移動中の振動に十分耐える構造とし、整流タンクは保守、点検および予備タンクとの取替も簡単にできること。
- f. 制御装置および主配電盤は、極力小形設計として耐電圧および耐震形を十分に考慮した構造で、保護連動は、地上変電所のものと変りのないものであること。

(3) 変圧器車関係

- a. 受電々圧は、広範囲に使用できるよう考慮して 70, 60, 20 kV のいずれにも、また 50 サイクル、60 サイクルにも使用できること。
- b. 変圧器はできるだけ軽量(20 トンをこえないこと)となるよう、特殊鉄心、特殊巻線等の採用をすること。
- c. 定格電圧は 66,500 V とし、交流側タップ電圧は次のものとしその切替は簡単に行えること。

F 73.5 kV, F 70 kV, R 66.5 kV

F 63.0 kV, F 60 kV, F 21.2 kV

F 20.2 kV, F 19.2 kV

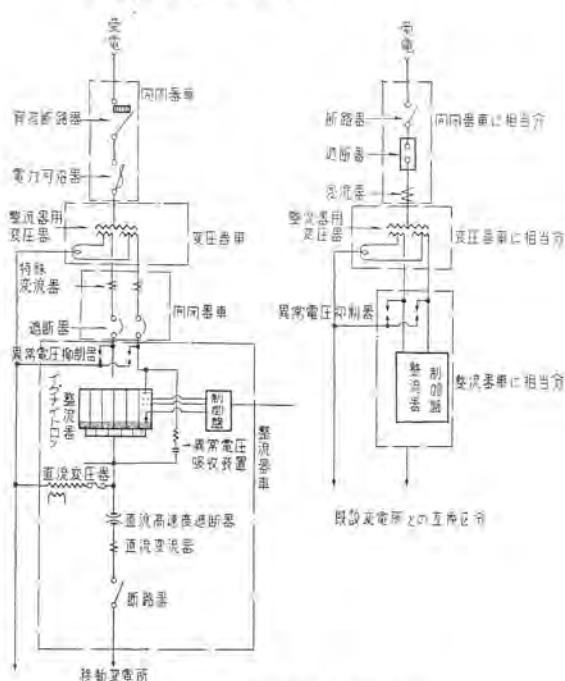


図 3.1 移動変電所単線結線図

Fig. 3.1 Single line wiring diagram of mobile substation.

- d. 変圧器の結線は次のものであること。

交流側 70 kV, 60 kV 受電の場合は三相星形
20 kV 受電の場合は三相三角形

直流側 六相二重星形相間リアクトル付

- e. 強制風冷方式

(4) 開閉器車関係

- a. 短絡保護には電力用ヒューズを使用する。
- b. 常時電源回路には、負荷遮断器を使用する。
- c. 電力ヒューズ、負荷遮断器は、伸縮自在の組合せとする。
- d. 整流器逆弧時保護用として変圧器二次側に磁気遮断器を設けること。

3. 移動変電所の概要

今回製作したトレーラ式の直流移動変電所は受電々圧 50, 60 サイクル, 77 kV, 66 kV, 22 kV, 共用、直流側出力 1,500 V, 3,000 kW の定格を持っている。この移動変電所は道路上を輸送する関係上できるだけ重量の軽いことが必要であることおよび既設変電所の一部機器の事故の場合にそれに相当する部分だけを輸送するという運転上の必要から 3 台のトレーラに分割されている。すなわち受電側開閉器を積載した開閉器車、変圧器を積載した変圧器車、整流器および直流高速度遮断器ならびに制御機器を積載した整流器車の 3 車に分割してある。

3.1 トレーラ式移動変電所としての特性

移動変電所の機器の構成をいかにするかにあたって、問題となる点はすでに設計条件の中で述べたとおりであるが、これらに対する考慮から既設変電所と異なった新しい方式が採用されている。すなわち図 3.1 の単線結線図に示されているように受電側の遮断器、断路器の組合せをやめ、負荷断路器、電力可溶器の組合せとしたこと、および受電側の計器用変流器を省略し、変圧器二次側に特殊構造の変流器を使用し遮断器を二次側に置いて、アノードブレーカと類似の作用を行わせたことなどである。

遮断器および断路器の組合せは、単独負荷の受電変電所では一般に不経済であるということから負荷断路器の出現により、これと電力可溶器との組合せが使用されるようになってきたことは衆知のことである。とくに移動変電所などの場合には、油入遮断器はその重量および大きさ、あるいは相間隔を輸送中に狭めることの困難さなどから高電圧の受電にはほとんど使用不可能であり、また空気遮断器の場合には機械的の衝撃に対して弱いという移動変電所用としての根本的欠点がある外、圧縮空気発生装置などの補助機器を必要とするという欠点があるのでこの移動変電所ではこの新しい組合せを採用した。ただ一般変電所の場合と違って直流変電所においては逆弧の問題がある。すなわち変圧器二次側での短絡は永久事故のみでなく逆弧の場合が多いので、逆弧に対して毎回電力可溶器が溶断することは不経済であり、一方逆弧時には直流高速度遮断器のトリップや点弧子制御を行って

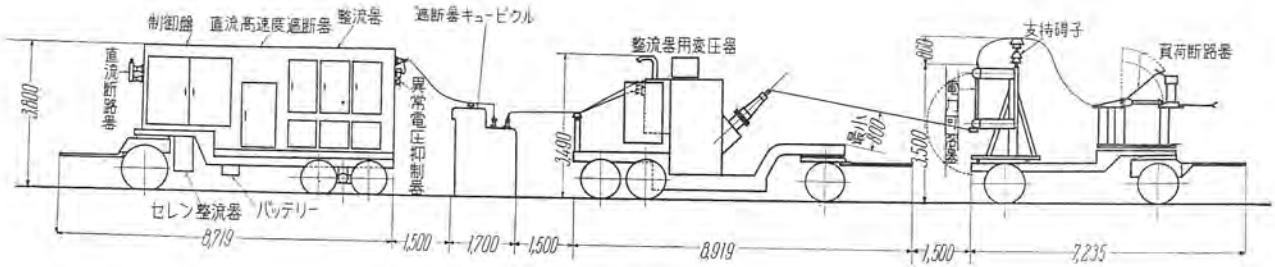


図 3.2 移動変電所展開図
Fig. 3.2 Mobile substation.

もなお逆弧が続く場合はこれを遮断することが必要である。したがって変圧器、整流器間に遮断器を設けこの遮断器を直流高速度遮断器や点弧子制御を行ってもなお逆弧が続いている場合にのみ動作するようにした。

また既設変電所においては一次側に変流器を設置し、ここで過電流を検出していたが、電流値小さくブッシング用貫通形変流器を使用できず、したがって別置となると高電圧に対してはかなり大きく移動変電所としては不適当である。そのため変圧器二次側に3個の特殊変流器を設けた。二重星形結線の各線の電流は一方向の半波ゆえ互に逆方向の線を一つの鉄心に巻き磁束としては一次側に変流器を置いた場合と同一としたものである。

これらの負荷断路器、電力可溶器、低圧側遮断器および変流器を1車に積み、既設変電所の遮断器など受電側開閉器具の点検、事故時の出動車としている。

変圧器は積載荷重20トン以下とするため、硅素鋼板としてT90を使い一方低床式トレーラを使用して高さを輸送限界以内に納めてある。

整流器、直流高速遮断器、制御盤等を積載したトレーラはとくに振動を考慮して二軸の後輪とし、ダーリ付のフルトレーラを採用、セミトレーラとしても使用できるようにしてある。整流器はすでに南海電鉄株式会社等に納入、突放しの衝撃に対して実績をもっている当社の密封形イグナイトロンを使用したがさらに各種道路条件での走行に対して実験し、安全のため速度制限を設けた。タンクは6タンク式でオードナンス扇を用いて風圧風量を上げるなど3,000kWとしても最も小形にできており、地上高さ3,700mm以下に納めることができた。

各車共に最少の行動回転半径となるよう長さもまた短くするようにし、最も長い変圧器車においても90度回

転最小半径5,450mm、45度回転最小半径5,800mmで6mの道路の幅なら90度の回転でも牽引車を外すことなく回転できる。

なおトレーラ式と軌条式の移動変電所との相違としてはすでに述べたように、第一にトレーラ式は軌条式の場合のように各変電所に側線を必要とせず、これのない所でも使用できることである。また今回のように高圧受電となると、機器相互間の絶縁距離の問題もあっても床面積としてはトレーラ式の方が狭くできる。一方日本のような道路状況では、トレーラ式の場合には軌条式に比べて重量の問題および輸送許容限界の点でかなり制約を受けることになり、また機械的衝撃に対してもトレーラ式の方が場合によっては若干苛酷になることも考える必要がある。

3.2 移動変電所の回路の構成

図3.1は単線結線図であって、回路構成上の既設変電所との相違についてはすでに述べたが、既設変電所との互換区分を示すと、たとえば整流器の事故の場合には整流器車を出動させ既設変圧器と接続し、遮断器制御回路、信号燈回路、変流器二次回路の整流器車端子板への接続、継電器の調整を行えば直ちに運転にはいることができる。また遮断器事故の場合には開閉器車を出動させ、受電端、変圧器間に負荷断路器および電力可溶器を、変圧器、整流器間に遮断器キューピクルを接続し、既設変電所の遮断器制御回路に遮断器キューピクル制御回路を接続し、継電器の調整を行えばよろしい。ただこの場合、若干のシーケンス上の簡単な変更は必要であろう。

3.3 機器の配置

図3.2は移動変電所の全機器を直線に配置したときの略図であるが、もちろん場所の関係によって各車の配列は自由に曲げて変電所を構成することができる。

開閉器車は移動の場合、負荷断路器、電力可溶器共に相間隔を押し縮め、さらに電力可溶器はトレーラ上のレールの上を前方に転がし、その後に遮断器キューピクルを積載する。その際上部の支持碍子も取外す。支持碍子は導体その他と一緒に別途トラックで輸送する。図3.3の写真は日本国有鉄道田端電修場における展開写真である。

4. 移動変電所積載機器

4.1 開閉器車



図 3.3 国鉄田端電修場における展開
Fig. 3.3 Mobile substation in operation at Tabata station. The Japanese National Railways.



図 4.1 開閉器車（輸送状態）
Fig. 4.1 Switches on the car in transit.

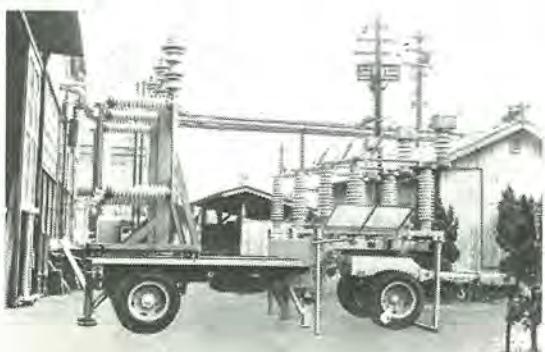


図 4.2 開閉器車（展開状態）
Fig. 4.2 Switches on the car in use.

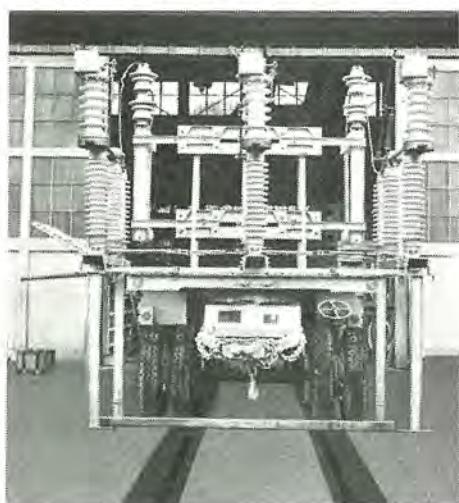


図 4.3 開閉器車前方より（展開状態）
Fig. 4.3 Switches on the car front view.

(1) 全容

図 4.1 は輸送状態における開閉器車の写真で、前方より VLB 形負荷断路器、DBA 形電力可溶器、DH 形遮断器キューピクルである。諸元を次に示すと、

積載荷重	4,800 kg
トレーラ自重	4,200 kg
総重量	9,000 kg
全長	7,235 mm
全幅	2,450 mm
全高	3,500 mm
形式	後輪 一軸四輪 タイヤ…7.50×20 12 P 前輪(ダーリ)四輪 タイヤ…7.50×20 12 P



図 4.4 遮断器キューピクル
Fig. 4.4 Circuit breaker cubicle.

空気および手動制動付

図 4.2 および図 4.3 は展開状態を示す写真で、DH 形遮断器キューピクルを下すと共に、DBA 形電力可溶器をトレーラ台車上のレール上を引き出したものである。VLB 形負荷断路器、DBA 形電力可溶器共に輸送中の補強および止めピンを外せば左右の相は容易に手動で引き出され、規定の相間隔を保って固定される。VLB 形負荷断路器の補強脚を止め、安全用の金網を付け、一方 DBA 形電力可溶器支持枠上に支持碍子を取りつけて結線を行えば準備が完了する。

(2) VLB 形負荷断路器

定格電圧	80.5 kV (50, 60 サイクル共用)
定格電流	600 A

六弗化硫黄ガスを充たした遮断碍筒を V 形断路器に取り付けたもので通電時は断路器となんら変わることなく、遮断動作の際にのみ電流は遮断碍筒および補助ブレードの回路に流れる。遮断は六弗化硫黄ガス中で動く可動コンタクトに取り付けられたテフロン製のオリフィスによるガス吹付で安全に行われ、70,000 kVA 変圧器の励磁電流および 7,500 kVA 蓄電器バンクの開閉も 600 A 負荷電流の遮断と同様に行うことができる。

全負荷電流遮断 500 回の寿命を有し、寿命中のガスの補給は不要で保守点検がきわめて容易であり、寿命がきた場合には工場での内部点検、調整、ガス再充気を行えば再度使用できる。支持はラップ碍子を用い、機械的強度を増している。

(3) DBA 形電力可溶器

定格電圧	80.5 kV
定格電流	100 A
遮断容量	1,500 MVA

ただし次の可溶筒の取付可能

定格電圧	23 kV
定格電流	200 A (E)
遮断容量	500 MVA

硼酸結晶水の氣化を利用した電力可溶器で大きな遮断容量と安定した遮断特性を有するものである。遮断と共に上部のフックが外れて 180 度回転落下し、遮断の表示をすると共に十分な絶縁距離を保つようにしてある。整流器の逆弧時一次側に流れる電流は、70 kV で 400 A, 60 kV で 463 A, 20 kV で 1,390 A であるが、電力可

溶器の短時間許容電流値はそれぞれ 0.7 秒, 0.5 秒, 0.7 秒でいずれも低圧側あるいは直流側の逆弧保護装置の動作時間よりはるかに長く、したがって逆弧のたびに電力可変器要素が細るなどの心配はない。

(4) DH 形遮断器キューピクル

図 4.4 は同キューピクルの正面の写真で左右は 3.45 kV, 1,200 A, 遮断容量 150 MVA の DH 形磁気吹消交流遮断器で、中央は制御继電器および投入電源用整流器である。背面には変圧器二重星形結線の相対向する (u, x), (v, y), (w, z) 相を鉄心に通した 3 個の 1,000 A/5 A の特殊変流器が取り付けられている。

DH 形磁気吹消遮断器は董青石の消弧板の間隙に電磁力によって電弧を吹き付け、電弧長を長くし冷却を効率



図 4.5 整流器車
Fig. 4.5 Rectifier car.

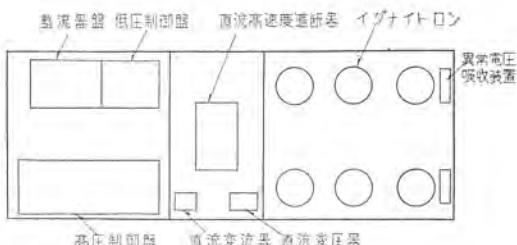


図 4.6 整流器車機器配置図
Fig. 4.6 Layout of rectifier car.

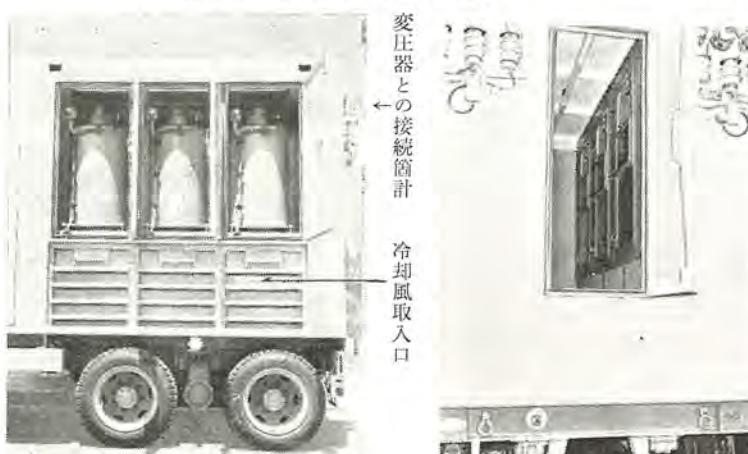


図 4.7 3,000 kW, 1,500 V, 2,000 A. 6 タンク E 種定格 風冷式 密封形 イグナイトロン 整流器 整流タンク積載状況を示す。

Fig. 4.7 Rectifier car, 3,000 kW, 1,500V, 2,000 A air cooled sealed-off ignitron.

図 4.8 整流器室内部
Fig. 4.8 Interior of rectifier room.

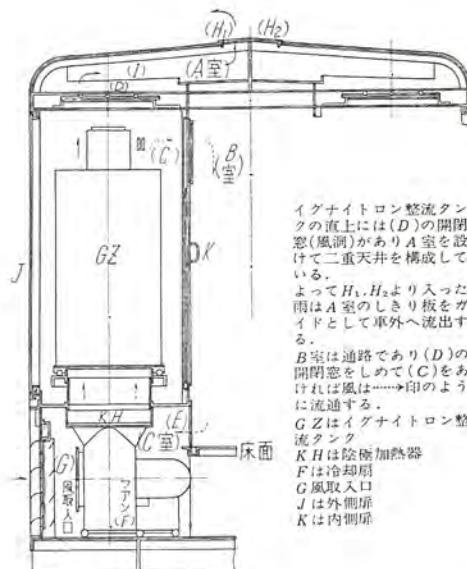


図 4.9 3,000 kW 移動変電所内通風説明図
Fig. 4.9 Ventilation of mobile substation.

的に行わせて消弧するもので、メタルクラッド用として広く用いられているものである。

4.2 整流器車

(1) 全容

図 4.5 は整流器車の外形写真で図 4.6 はその内部機器の配置を示す略図である。すなわち後部にイグナイトロン整流器 6 タンクおよびその温度調節装置類を内蔵し中央部には直流高速度遮断器、前部には高圧制御盤、低圧制御盤、整流器盤等の制御関係機器を積載してある。

整流器の冷却は側面下部の吸入口より風を吸込み上部から車外に排気される。上部は常時開口となっているが、二重天井の形となっているので風は彎曲して車外に出、雨水は上部側面の小口から排水される。また冬期は吸入口排気口のシャッタを閉めて内部で風が循環する。イグナイトロンの修理には側面上部の扉を開き、タンクリフタを整流器車の側面につけて行う。

直流高速度遮断器室は全周絶縁板で完全に囲んであるが側面上部は二重となっており、遮断時のイオン化されたガスは側面下部の換気口と二重の絶縁板間の隙間を通して自然換気される。また保守あるいは点検の際は側面扉内の絶縁板を引き上げて行い、遮断器の引出しもこの側面扉から行うことができる。

制御盤室の内部は蛍光燈で照明され、各計器は十分に見易くまた、排気扇によって下部側面から空気を吸込み制御盤での発生熱を車外に放出する。制御回路の電源あるいは制御線の接続は入口左のターミナルボックスで行う。

整流器の運転状況は前後の入口上の青赤ランプで明示されると共にキューピクル上面左右前後には積載物限界表示燈がついている。諸元を次に示すと



図 4.10 整流タンクの配列
Fig. 4.10 Arrangement of rectifier.



図 4.12 整流器車の内部左側
Fig. 4.12 Left side interior of rectifier car.



図 4.11 冷却風取入口
Fig. 4.11 Intake of cooling air.



図 4.13 換気調整用窓を閉めた状態
Fig. 4.13 Interior of rectifier car with air tight door shut.



図 4.14 整流タンク上部の開閉装置ハンドル
Fig. 4.14 Handle above rectifier.

積載荷重	12,880 kg
トレーラ自重(含ダーリ)	6,360 kg
全重量	19,240 kg
全長	8,719 mm
全幅	2,460 mm
全高	3,800 mm
形式 後輪	二軸八輪 タイヤ 7.50×20 12P
前輪(ダーリ)	四輪 タイヤ 7.50×20 12P
空気および手動制動付	

(2) 整流器および温度制御

本器は風冷式、密封形整流タンク 6 本より構成された水銀整流器であり、新しい JEC 規格 (JEC-133) に準拠した国鉄 E 種定格の水銀アーケ変換装置である。

風冷式、密封形水銀整流器の仕様は次のとおりである。

定格負荷(kW)

…3,000kW

定格電圧(V)…1,500 V

定格電流(A)…2,000 A

整流タンク数…6 タンク

整流タンク、6 本は 2 列に 3 タンク 1 組として配置し、整流器車の外側よりタンクリフタを用いて挿入する。図 4.7 は整流器車の外側の扉を開放したときの 3 タンクの配置を示したものである。

整流器車の整流器室の中央部は図 4.8 に示すように点検通路でありかつ冬季の風洞を構成している。図 4.9 は整流器室の断面図であり、冷却風の通路と冷却扇 (2 HP, 220 V, 50/60 サイクル), 陰極加熱器, 開閉扉の状況を示したものである。これを写真で示すと図 4.10, 図 4.11, 図 4.12 であり、図 4.11 は冷却風取入口と防雨扉の外観ならびに風量調整用二重扉を示す。冬季における風の通路は図 4.13, 図 4.14 の中央通路に面した扉を開閉して行われる。

冷却扇は各整流タンクにそれぞれ 1 台ずつ設けて温度継電器によって自動運転される。その他冬季の温度調整用として人為的には整流器車の開閉扉の開閉度とさらに陰極加熱器, 陽極加熱器の継電器による自動開閉操作によって制御する方式がとられている。

(3) 整流タンクの構造

3,000 kW, 1,500 V, 6 タンクの大形風冷式、密封形の標準構造は図 4.15 に示すとおりである。この特長を列記すれば次のとおりである。

- a. 二重格子構造で複数個の点弧子を有し、その浸漬度は外部より調整しない固定式である。
- b. 陽極板、タンク外被、陰極板の 3 部よりなり、それぞれ別個独立して組立、多量生産方式を確立した。

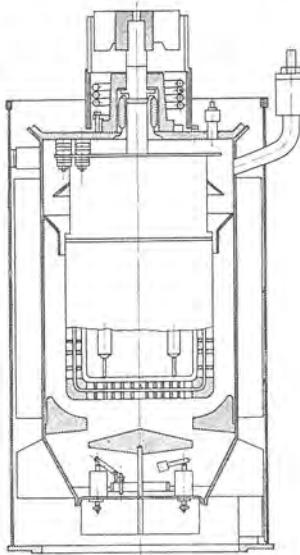


図 4.15 GZ-46 形イグナイトロン
Fig. 4.15 Type GZ-46 Ignitron.

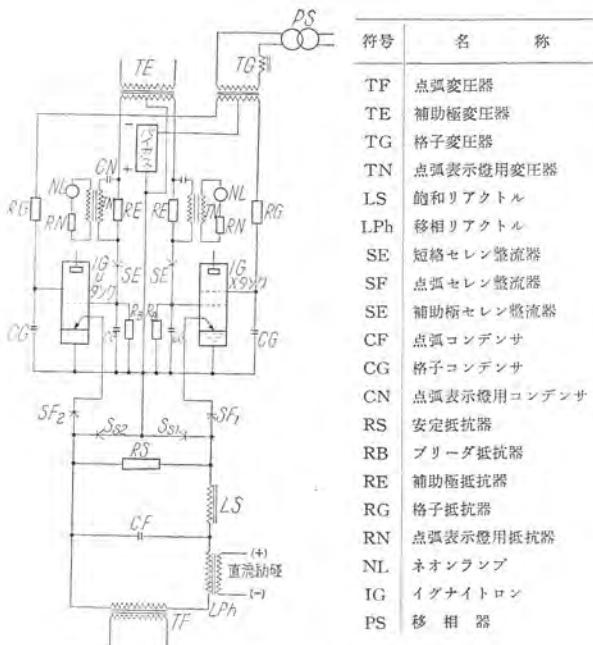


図 4.16 イグナイトロン整流器制御回路
Fig. 4.16 Control circuit of ignitron rectifier.



図 4.17 高圧制御盤内部
Fig. 4.17 Interior of high voltage control panel.

100 V AC 電源使用のアルミカヒータであって常時整流タンクの陽極頭部を加熱、保温し、水銀滴の付着を防止している。

陰極加熱器は 2 kW, 100 V AC 電源使用のアルミカヒータであり、大地電位にあり、整流タンクに付けてある温度継電器によって自動的に開閉される。



図 4.18 高圧制御盤内部
Fig. 4.18 Interior of high voltage control panel.

トレーラ式移動変電所・国松・西村・加藤・亀山・坂田・小滝・岩垂

整流タンクの温度特性は整流器車が屋外に臨時停車した場合の冷却条件、風の方向その他諸条件に左右されるので車内に 2 段の開閉通風扉を設けて人為的に調整する設計とした。この点さらに運転実績によって検討し改善の必要もあるかと思うが必要にして簡易なる点で一つの特長となっていることと思う。よって夏形と冬形の運転という方式を生むにいたった。

(4) 制御回路

点弧回路と格子回路と補助回路の三つより構成されており、整流タンク u, X, v, Y, w, Z の 2 タンクずつ一つに組合せて（ともに 180 度の位相差のあるタンク）1 組ずつの回路をもっており、格子回路にバイアス電源と位相器が付属している。 u, X タンクの 1 組の制御回路を示したもののが図 4.16 である。図 4.17, 図 4.18 は制御盤の配線状況を示す写真である。

点弧回路の動作状態は図 4.16 に示したネオンランプによって當時表示する点が特長であり、この制御回路は安定した回路になったことを証している。

(5) 直流高速度遮断器

図 4.19 は、直流高速度遮断器室の扉を開放した写真である。

トレーラ式移動変電所水銀整流器正極用遮断器として、その仕様は次のとおりである。

形名	HP-30 B 形逆性高速度遮断器
定格電圧	DC 1,500 V
定格電流	3,000 A
動作電流目盛	500 A
操作電圧	DC 100 V

地上変電所に使用される直流高速度遮断器は、その取付台が絶縁碍子で支持されているのを標準としているが、この直流高速度遮断器は移動変電所としての特殊性から、取付台支持方式を絶縁棒支持方式とした。それ以外の構造は地上変電所用標準直流高速度遮断器とまったく同一である。この絶縁支持方式の変更は、変電所移動中の衝撃に対して機器の耐衝撃性を増すとともに、天井高さの制限の大きい移動車両で機器の床上高さを減らしうるために採用した。HP-30 B 形逆性直流高速度遮断器は、DC 1,500 V, $L=0.5 \text{ mH}$, 推定短絡電流最大値 50,000 A の故障回路を遮断しうる遮断容量をもっているほか、つぎの特長を備えている。

a. 大電流を遮断する場合のイオン化ガスによる混触をも考慮して、高圧主回路と低圧制御回路間の絶縁



図 4.19 直流高速度遮断器
Fig. 4.19 D-C high speed circuit breaker.

が強化されており、主回路-制御回路間、主回路-取付台間、制御回路-取付台間は 20 kV の衝撃電圧試験に合格し、大電流遮断時異常電圧侵入時の高低圧間混触防止に対して信頼度が大きい。

- b. 自己保持電流値が高いので、遮断器を手動開放する場合保持コイルの逆励磁を必要とせず、保持コイルの減勢のみで手動開放が可能である。
- c. 不要動作防止用の安定装置を備えており、10,000 A 以上の正方向電流の急減により誤動作しない。
- d. 遮断器を投入する場合の機械的衝撃を緩和するために、特殊な投入回路を使用しており、常に安定した電磁投入操作が可能である。もちろん投入時の強励磁は必要としない。

(6) 配電盤

配電盤としての特記事項は、耐振形となっており、据付面積の関係上極力小さくすることが要求されるので、構造、配置その他に特別な考慮が払われており、またこの移動変電所は隨時各地に装置されるために、受電々圧は 70 kV, 60 kV, 20 kV, 50 サイクル, 60 サイクルとそれぞれ変化し、かつ既設の整流器と変圧器車、既設の変圧器と整流器車というような組合せでも使用できるように、配電盤が製作されている。

a. 制御方式

制御方式は操作の簡易化と監視の容易を主眼とした一人制御方式を採用した。操作は間違えても安全なように完全な連動を設け、操作の結果はランプ式集合表示器でつぎつぎと確認しながら進行するから操作の安心感は一段と増している。

主回路としてはすでに述べたように交流側には交流遮断器を設けず、電力ヒューズにより整流器用変圧器の短絡故障保護をなしており、整流器の制御連動は整流器用変圧器の二次側に挿入してある交流遮断器と点弧回路、直流遮断器により既設変電所と全く同一の連動方式にしてあり、保守員の操作ならびに点検に便なるように製作されている。

自動装置としては陰極加熱器と器槽冷却扇とにより整流器温度を常に適温に保っている。

b. 保護装置

整流器の保護装置としては下記のように分類することができる。

(i) 重故障-1

- ア. 主回路に過電流が流れ直流過電流遮断器(#76)または交流過電流遮断器(#51)動作したとき。
- イ. 主回路に短絡故障発生し高速度過電流遮断器(#50)動作したとき。
- ウ. 整流器逆弧し逆性高速度遮断器(#54 P)自動遮断したとき。
- エ. 連動不具合により起動渋滞し渋滞遮断器(#48)動作したとき。

上記の場合は機械的鎖錠遮断器により点弧回路を開閉

すると共に、直流遮断器を開放して整流器を停止し、故障内容を故障表示器に表示しベルにて警報する。鎖錠の復帰は復帰用ボタン開閉器により整流器を起動前の状態に戻す。既設の交流遮断器を使用するときは同様に連動遮断する。

(ii) 重故障-2

- ア. 整流器温度上昇し温度遮断器(#26 H)動作したとき。
- イ. バイアス電圧降下し直流電圧遮断器(#80)動作したとき。

ウ. 制御電源に逆相欠相低電圧を生じ交流電圧遮断器(#47 C)動作したとき。

エ. 整流器用変圧器に急激なるガス発生しブッホルツ遮断器(#96-1)動作したとき(既設変電所の場合)。

上記の場合は電気的鎖錠遮断器により重故障-1 と同様の連動をするが、鎖錠の復帰は一次遮断器の復帰により自動的に整流器を起動前の状態に戻す。

(iii) 軽故障

- ア. 整流器温度下降し温度遮断器(#26 L)動作したとき。
- イ. 整流器用変圧器に緩慢なるガス発生しブッホルツ遮断器(#92-2)動作したとき(既設変電所の場合)。

ウ. 整流器用変圧器温度上昇し温度遮断器(#26 T)動作したとき。

上記の場合は整流器の運転を停止せず故障表示器のみに表示しブザーにて警報する。

故障表示器としては機械的故障表示器とし、故障表示は白のターゲットにより表示し、手動により復帰するが、継続故障に対しては故障中を表示させるために二重表示にし、黄色のターゲットにより連続表示させている。この復帰は一次遮断器と共に自動復帰する。

4.3 変圧器車

(1) 全容

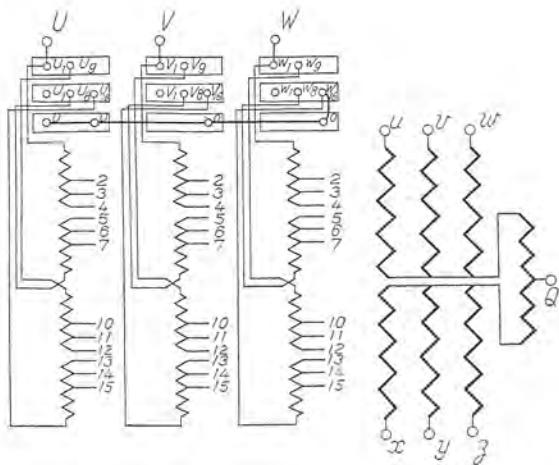
図 3.2, 図 3.3 に変圧器車の外形が示されているがその諸元および仕様は下記のとおりである。

a. 諸元

変圧器重量	20,000 kg
トレーラ自重(含ダーリ)	7,640 kg
全重量	27,640 kg
全長	8,919 mm
全幅	2,490 mm
全高	2,870 mm
形式 後輪 二輪八輪	タイヤ 11,000×20-14 P
前輪(ダーリ)四輪	タイヤ 11,000×20-14 P
空気および手動制動付	

b. 変圧器仕様

定格容量	3,350 kVA
定格周波数	50/60 サイクル
相数 交流側	三相
直流側	2×三相
定格電圧 交流側	73.5 F-70 F-66.5 R-63 F-60 F kV (星形接続)
	21.2 F-20.2 F-19.2 F kV (三角接続)
直流側	1,370 V (二重重星形接続)
絶縁階級	70 号



電圧 V	タップ切換器		接続	△人
	番号	接続		
R 73500	1	4-5 12-13	U ₈ -U ₉ V ₈ -V ₉ W ₈ -W ₉	人
F 70000	2	4-6 11-13		
F 66500	3	3-6 11-14		
F 63000	4	3-7 10-14		
F 60000	5	2-7 10-15		
F 21200	1	4-5 12-13	U ₁ -U ₉ V ₁ -V ₉ W ₁ -W ₉	△
F 20200	2	4-6 11-13		
F 19200	3	3-6 11-14		
(18200)	(4)	(3-7 10-14)		
(17300)	(5)	(2-7 10-15)		

図 4.20 卷線タップ切替を示す図
Fig. 4.20 Tap changing of windings.

相間リアクタ内蔵

(1) 特長

a. 構造

この移動用変圧器車はトレーラ式であるので道路輸送の点から下記のような制限を受ける。すなわち最大地上高、幅はそれぞれ 3,500, 2,500 mm 以下であること。また使用けん引車の定格により車台重量も含み約 28 トン以下であること。

上記制限の上に変圧器仕様に見られるように 60-20 kV の切替えのみならず 60 サイクル系使用の 70 kV のタップをも必要とする。これは 50 サイクル関東地区のみならず、60 サイクル関西地区へもこの変圧器のみは完全組立の貨車輸送を行い、既設地上変圧所の応援に当らせようとする要望によるものである。

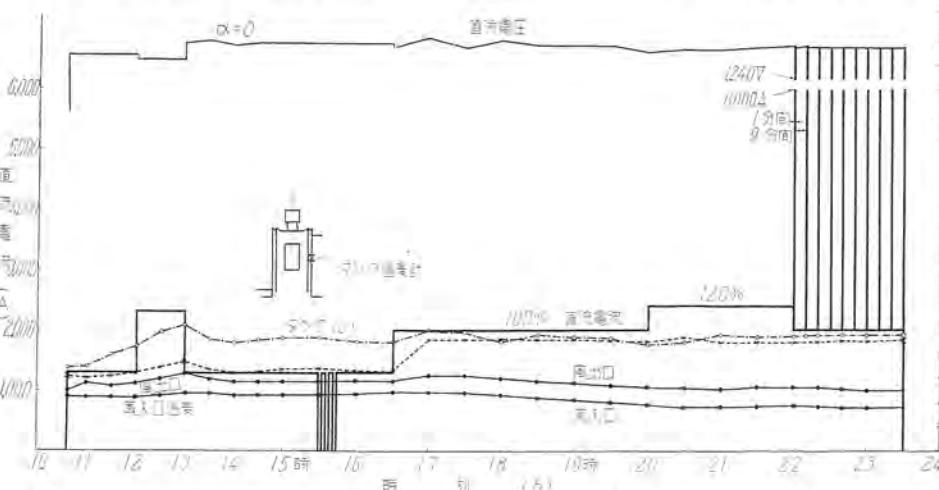


図 5.1 E種定格負荷試験、変圧器は小田急 22/1370 V 3,000 kW 用使用、制御回路は納入品使用
Fig. 5.1 Rated load tests of class E.

このため主変圧器、相間リアクタは共に高級珪素鋼板 T 90 を使用し、タンクには超高張力鋼板を使用、さらに冷却方式としては送油風冷式として、三菱電機独自の U フィン管式放熱器を使用し、小形軽量でしかも放熱効果を増大し全重量の軽減を図った。さらに変圧器に対称性を持たせて重心のかたよりを防ぐため冷却器は 2 ユニットとし、1/4 HP 送風機全 6 個、3 HP 送油ポンプ 1 個をもって冷却する方式をとった。

また送油式であるので冷却油の循環をよくするために、タンク上部に水平に取り付けられた直流側套管両側より配管し油ポンプを通じてタンク下部よりタンク底部に設けた油ダクトを通り反対側交流側套管下部より冷却された油がはいりすべてのコイルの内面をも循環し、ホットスポットのできないよう考慮してある。

b. 卷線

交流卷線は三菱電機独自の高直列容量巻線を採用して衝撃電圧の初期電位分布を直線分布に近づけ、内部電位振動の僅少な、したがって絶縁耐力の大なるような構造となっている。また高直列容量巻線は円盤コイルの一種であるので機械的にもきわめて強固なものである。

交流巻線の内側に巻かれる直流巻線は電流が大きいのでらせん巻とし水平油隙を形成する導体数に等しい間隙中の箇所で導体軸位を完全に行い渦流損を極少にしている。

整流器用変圧器の特性として必要かつ十分なる条件は n 、X 相は交流巻線に対して相等しい % リアクタンスを有することであるが、このために同一絶縁管上に油隙を介して巻きあわせてある。この場合直流巻線のコイル幅は普通の円筒コイルのそれに比べてはるかに大であり、したがって絶縁ワッシャを介して上、下コイル押さえ金で十分強固に締め付けることができ機械力の点でもすぐれている。

つぎに交流側巻線は星形—三角接続の切替えを行う必要があるが、これにはタンク油中に切替え板を設けてマグホールより行うこととした。またタップ切替えは図 4.

20 のように交流巻線を 2 群に分け各群の中央にて同時にタップを抜くことにしたのでタップチェンジャは一相当り 2 個使用した。このため漏洩リアクタンスの増加を防ぐことはもちろん交流巻線の磁気センタのずれも少なく、したがって短絡時の機械力も少くなつて好都合である。

5. 工場試験および現地試験

5.1 E 種定格負荷試験

統計的資料によれば水銀アーケ変換装置の定格出力を1時間電力に等しくとった場合、その時間内の瞬時最大出力としては定格出力の250%を限度とし、このような変動負荷と等しい銅損を与える連続負荷としては定格出力の110%を取ることが妥当であると考えられる。E種定格はこのような負荷を前提として新しく設けられ

表 5.1 溫度上昇試験結果

温度上昇	油 (°C)	交流巻線 (°C)	直流巻線 (°C)
100 % 負荷連続	22	36.8	32.3
120 % 負荷 2 時間	26	49.0	40.0

た定格であり、120%負荷2時間の試験は銅損による温度上昇に対する保証を与えるものであり、また300%1分間、10回繰返しの負荷条件は逆弧限度を検定するためのものである。

図5.1は13時間半にわたるE種定格の負荷試験の結果を示したものであり、そのときに使用したイグナイトロン用変圧器は22kV/1,370V、小田急電鉄へ納入の3,000kW用を使用した。300% (6,000A) 負荷 10回、1分間ずつ9分間隔に印加して逆弧が発生しなかったため合格となり、GZ-46形の形式試験は終了した。

また変圧器としても耐圧試験において異常のなかったのはもちろん、温度上昇試験においても変圧器単独の等価試験にて表5.1のごとくでありE種定格としても十分余裕があると思われる。ただし120%2時間後の温度上昇は変圧器運転指針による計算結果である。

5.2 整流器車内温度上昇試験

整流タンク6本を整流器車に積載し、夏季と冬季との冷却条件を決定して図4.9に示した各部の開閉扉を開閉して試験を実施した。夏形運転とよばれるのは中央通路(B室)に面した開閉窓はすべて全閉としGの防雨扉を全開として運転し6月5日10時45分より100%負荷2時間半13時20分より120%負荷、2時間負荷したが整流タンクの温度は52°C、冷却風入口21°Cに対して出力風温は34°Cの13°C上昇であった。15時30分より冬形運転を行った。それは整流タンク直上のDの開閉扉をしめてB室に冷却風を放出しE窓より流入せしめ風を循環させる方法である。この場合100%負荷2時間で整流タンク温度86°C、B室温度64°Cに達した。外気空気温度は15°Cである。

Fig. 5.2 Rectifier car temperature rise test.

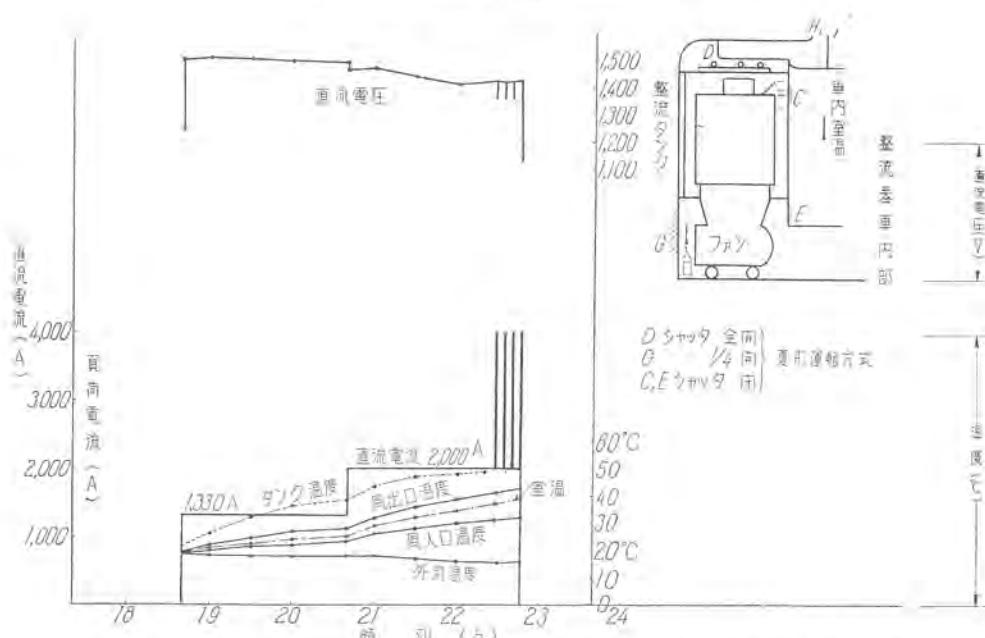
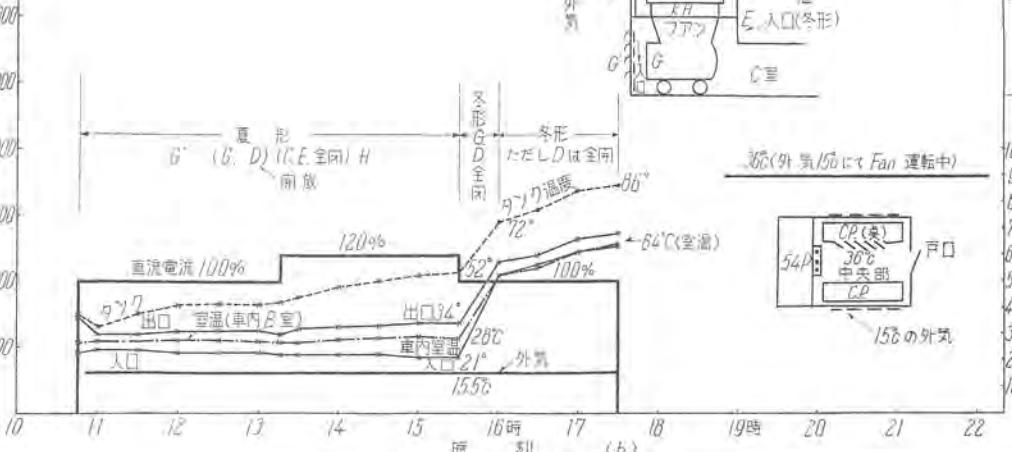


Fig. 5.3 Rectifier high voltage operation test.

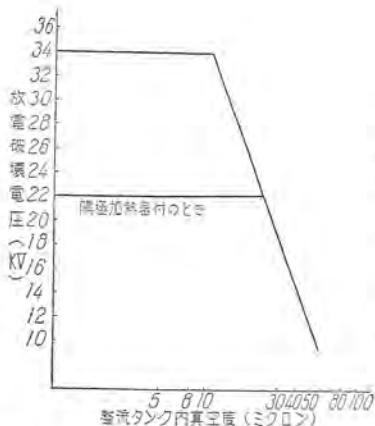


図 5.4 風冷式密封形イグナイトロン整流タンク真密度探知曲線
Fig. 5.4 Vacuum in rectifier tank.

り、その差約 50°C ある。従来の経験によるとこの程度の差は必要であるとされている。

また制御盤室中央部の温度は 36°C であった。図 5.2 は上記の試験結果を示したものである。

5.3 走行試験

工場内において試験用牽引車を使い整流器車を牽引して走行試験を行った。16 km/h の速度でコンクリート道路上を走行し、短時間ではあるが 30 km/h の速度を出して試験を完了した。走行試験後異常の有無を確認するため図 5.3 に示した 2,000 kW, 1,500 V の夏形における負荷試験を実施して整流タンクをはじめ制御回路の良否の判定を行ったがなんら異常を発見しえなかった。また常温に整流タンクを冷却して真空探知試験を行った。整流タンク内真密度の曲線は図 5.4 に示す。

また開閉器車、変圧器車共に工場内において 16 km/h で約 2 時間の走行試験を行い、変圧器内部その他の点検を行ったがなんらの異常を認めなかった。

5.4 使用実績

移動変電所は、展示会終了後直ちに高崎線の神保原、籠原両変電所の改良工事のため、開閉器車、変圧器車、整流器車の全車両が同地に向って出発した。以下その移動状況運転実績について述べることにする。

(1) 神保原変電所の場合

a. 運搬および据付

移動変電所として初めての運搬であるため、振動、衝撃等による影響については、とくに整流器車が問題であるので、その車内床上に鉄研車両運動研究室の加速度頻度計を据付け、あらかじめ定めておいた区間毎の上下、左右の振動の大きさ、回数を測定記録した。加速度頻度計は、上下、左右の各振動について 0.1~0.2 g, 0.2~0.3 g, 0.3~0.4 g, 0.4~0.5 g, 0.5 g 以上の 5 段階に分割しそれぞれの振動数を積算するもので、走行速度はおおむね鋪装道路では 10~12 km/h、非鋪装道路では 3~6 km/h を採ったが、振幅は鋪装道路では上下振動、非鋪装道路では左右振動のものが概して多かつた。各区間の平均振動数（各段階の振動を累計平均したもの）を図示すれば図 5.5 となる。

また移動変電所運行の編成を示せば次のとおりである。

指揮者 2 名 運行指揮、各車両間の連絡

測定員 2 名 整流器車振動測定

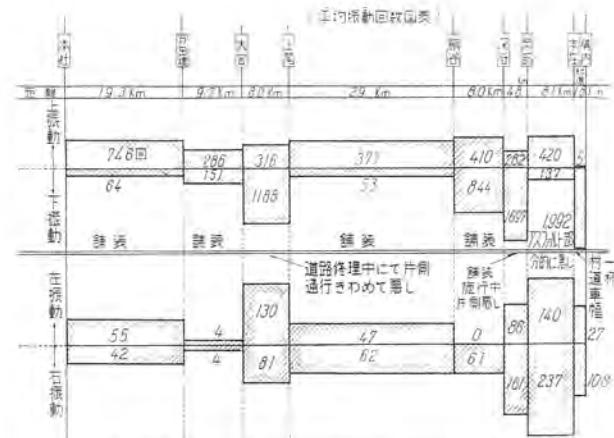
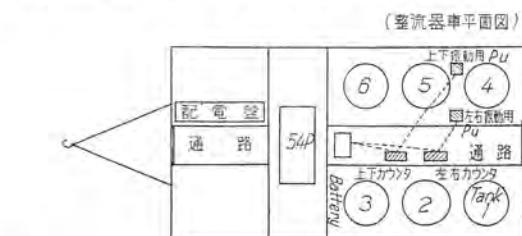


図 5.5-(1) 移動変電所整流器車振動測定記録

Fig. 5.5-(1) Mobile substation vibration measurements.



測定器	加速度振動計 (カウンター)	Pu	蓄電池	備考
カウンター	AKASHI 製	上下振動用	鉄研車両運動	No. 2
"	"	左右 "	"	No. 3
Pu	"	上下 "	AVS-V	No. 6026
"	"	左右 "	AVS-H	No. 6026

蓄電池 18V 12AH

行 程				
項目	測定区間	距 離 (km)	距離累計 (km)	記 事
1	本社出発	8	8	電線場一本社
2	本社一戸田橋	19.3	27.3	鋪装道路
3	戸田橋一大宮	9.7	37	"
4	大宮一上尾	8.0	45	" 修理中片側通行
5	上尾一熊谷	29.0	74	"
6	熊谷一深谷	8.0	82	"
7	深谷一岡部	4.8	86.8	鋪装施行中片側通行
8	岡部一本庄	8.1	94.8	アスファルト、部分的に不良箇所あり
9	本庄一構内	1.8	96.6	桑畠道一車輪一杯
	計		88.6	

図 5.5-(2) 振動測定記録

Fig. 5.5-(2) Vibration measurements.

牽引車 6 名 3両の運転要員

5名 大物仲仕

付隨車 2両 資材積載 4トントラック 1両

連絡用小形 " 1両

今回の移動は、おりからの台風 14 号の影響を受けて、進行途中から強雨となり、かつ大宮一上尾間は、道路工事中で、道路が非常に悪く片側通行の実施等で時速も 3 km 位にまで低下させたので、一般的のトラックその他の交通をかなり困らさせざるを得なかった。変電所入口の道路は桑畠地で降雨による軟弱化も一部補強で突破し、開閉器車、整流器車は所定の位置に配置した。変圧器車は重量が大きいため、降雨による構内軟弱化で行動が思うようにならず、相当難渋をきわめたが出発以来なんら事故もなく据付作業が完了した。

この悪条件下の最初の長距離移動から運転までの工程を要約すれば次のとおりである。

9月 9日 15時 10分 本社出発

10日 2時 00分 深谷到着 仮泊

10日 8時 20分 同地出発

10日 13時25分 開閉車変電所到着
 10日 14時10分 整流器車変電所到着
 10日 16時20分 變圧器車変電所到着
 11日 14時30分 据付配線完了

すなわち本社を起点とし神保原変電所構内までの全走行距離 88.6 km, 実走行時間 11 時間 10 分, 平均時速 8 km, 最大時速 12 km また出発から据付完了までの全所要時間は 47 時間 40 分 (約 2 昼夜) であった。

b. 試験

試験は道路移動によって、故障発生箇所を詳しく調査するため入念に施行された。まず現状において絶縁抵抗測定、全般外観検査を始めとして、一般の地上直流変電所電気設備試験要項に準じて各種の測定試験を時間を十分にとって慎重に行われた。

試験の結果、計器、継電器その他器具全般について振動による損傷箇所は全くなかったが、全車両について端子類の弛緩 92, 脱落 12, 欠損傷 5 を数えたが、初めてのことやむを得ないものと考える。

c. 運転

神保原変電所は 9 月 16 日～11 月 11 日、籠原変電所は 10 月 15 日～10 月 31 日まで運転使用したが、前者で 9 回、後者で 3 回の逆弧発生を見たがこれは運転の初期に多くかつ夜間の気象状態が悪いときまた軽負荷時に発生する傾向が多かったので、温度と運転方法の調整を検討して種々の運転方式を試みた結果、安定した運転を行うことができるようになった。

また温度調節状態の一例として今回の神保原変電所の場合を示すと大体次のとおりに行われた。

晴天日中 (9 時～17 時)

G 10～20 mm 開放

D 全開

C 50 mm～全開

その他 (17 時～翌 9 時)

G 全閉

D 全開～全閉

C 50 mm～全開

さらに槽温、冷却風温、室温を測定し槽温上限 45°C、冷却風温 27°～35°C 程度で運転した。

この移動変電所の運転は、従来の水銀整流器が屋内に設備されたものと異なり、直接外気温の変化、風の方向等の影響を受け易くわが国の 9 月中旬のように気候不順のときにはとくに温度調整が難かしいものである。

(2) 篠原変電所への移動

神保原変電所から篠原変電所まで約 21 km の運搬、据付、ならびに運転は、前回の経験によって順調に行われた。その工程は大約次のとおりである。

10月 12日 8時45分 解体に着手
 14時15分 同上作業終了
 17時5分 引出準備完了
 13日 7時12分 出発
 19時40分 所定の位置に据付
 14日 9時10分 運転開始準備着手
 15時0分 非常の場合には、直ちに運転可能
 15日 10時30分 同上作業完了



図 5.6 篠原変電所移動変電所負荷曲線
Fig. 5.6 Mobile substation load curve.

図 5.7 移動変電所イグナイトロン冷却扇開閉頻度チャート
Fig. 5.7 Ignitron cooling fan operation frequency chart.

11時0分 運転開始

この移動に当つた処置は次のとおりである。

開閉器車	碍子、電力ヒューズの取外し
	振止め組合を車両限界内に縮納
変圧器車	油止弁の閉鎖
	低圧側碍子架台までの導線取外し
整流器車	整流器冷却開閉窓の全閉
	各扉の鎖錠
	次の計器、繼電器の振れどめ
	記録電流計 37, 47°C 48, 52 Z, 76

この間の10月18日の負荷曲線およびイグナイトロン冷却扇の開閉動作状況を示すチャートを図5.6、図5.7に示す。これによれば最大尖頭値3,000A、冷却扇の開閉は午前8時前と17時以後によく行われることを示している。そしてこの移動変電所の水銀アーケ変換装置の定格出力を確保する基本要素はハウジングを含めた冷却方式に依存することになることは従来の経験からして明かである。

工場試験における図5.2、図5.3の100%負荷時の温度上昇と換気量(F)との関係を夏形冬形の両運転方式で検討してみると

$$Q = \text{整流タンク内発生熱量} \\ = F \times C \times \gamma \times \Delta T \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

しかし $\begin{cases} C = \text{空気の比熱} \\ \gamma = \text{空気の比体積} \\ \Delta T = \text{空気の入口、出口温度差} \end{cases}$

夏形運転を標準として式(5.1)は式(5.2)となる。

$$Q_{100} = F \times C \times \gamma \times \Delta T_s \quad \dots \dots \dots (5.2)$$

同様に冬形運転は

$$\beta \cdot Q_{100} = \alpha \cdot F \times C \times \gamma \times \Delta T_w \quad \dots \dots \dots (5.3)$$

式(5.2)、(5.3)に図5.2、図5.3の実測値を代入すると

$$\frac{Q_{100}}{\beta \cdot Q_{100}} = \frac{F}{\alpha \cdot F} \times \frac{\Delta T_s}{\Delta T_w} \quad \dots \dots \dots (5.4)$$

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\alpha} \times \frac{10}{5} \quad \dots \dots \dots (5.5)$$

しかし $Q_{100} = 100\%$ 負荷の整流タンク内発生熱量

$\beta = 64^\circ\text{C}$ のアーケ降下低減係数

α = 開閉窓による通風量変化係数

ΔT_s = 夏および冬の入口、出口風温度差

ΔT_w = $\begin{cases} 10^\circ\text{C} \\ 5^\circ\text{C} \end{cases}$

式(5.5)において $\beta = 0.95 \sim 0.94$ である。

ゆえに $\alpha = 1.9$ 程度である。

このことはハウジングの開閉窓の構造を疑う結果になるが実測の結果は以上のとおりである。

図5.8はアーケ降下と整流タンク温度差(ΔT)を各負荷電流に対して測定した値である。

6. むすび

一般に移動変電所は近年に至って電力供給面でのサービスの向上と、予備機器の有効な利用という面から広く着目されてきたものであるが、今回製作したトレーラ式

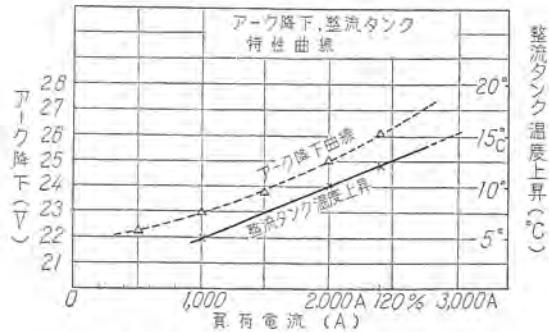


図5.8

Fig. 5.8 Arc drop-load current.

の直流変電所は実にわが国において最初のものであるばかりでなく諸外国においてもその例をみないものである。とくに70kV、60kVといふ高圧受電であることから機器構成として斬新的な負荷断路器、電力可溶器の組合せを使用したこと、3,000kWの容量の密閉形イグナイトロンを使用し、変電設備としてきわめて小さな大きさにまとめ得たこと等、数多の新しい考えを入れて初めて可能になったものである。

すでに神保原、籠原変電所に応急援助に出動し良好な成績を得ているが、今後も輸送量の季節的に変動する線の変電所の応援、あるいは、変電所建設が輸送量増加に追いつかない変電所の援助、あるいはまた変電所機器の点検、事故の際に出動するなどこのトレーラ式移動変電所に対する期待も多く、今後もこの種移動変電設備の需要はますます高まるであろうと思われる。

もちろん今回の移動変電所は、なにぶんにも初めての試みであり、わが国の道路の劣悪状態、また変電所入口の道路状態、橋梁の重量物通過制限等の制約を受けて果して所期の目的を果し得るか否やが、危惧されていたが、悪条件下神保原変電所への全車の長距離移動に成功し、運転実績は必ずしも満足するものでないが、所期の目的を達したことは喜ばしい次第である。

つぎに出発より据付完了、使用開始まで相当の時間を要しているが、これは全車両が出動したため一般に発生する変電所事故は、整流器がほとんどであるから、整流器車のみの出動で事足りかつ非常事故時には移動から運転開始の時間は、大幅に短縮できうるので、大いに活用を期待してよいと思う。また設計の当初、移動中は編成車両が長大になるため、方向変換に対する行動の自由、回転半径に対する道路の関係等に不安がない訳でなかつたが、3車に分割しおののダーリ付としたことによってなんらの支障も起きたことは実に幸いであった。

しかしながら、この種の移動変電所のさらに一層円滑な運用をはかるため次の諸点について、設計、受入の態勢の両面から今後検討しなければならないと考える。

(1) 変電所入口道路、構内空地の整備。

入口道路は直角路のない幅3m以上のもので構内に相当の空地(全車両に対しては、15×13m)を必要とする。

(2) 整流器の温度制御の改良。

(3) 各車の軽量化、分割化をはかる。

(4) 移動変電所取扱者の単一化。

東京電力大手町地下変電所の概要と変圧器の新冷却方式

東京電力工務部変電課改良係長 三宅義治・山田三郎
伊丹製作所 村上 有*・谷中頼朝**・田村良平***

Outline of Otemachi Underground Substation of The Tokyo Electric Power Co. and New Cooling System of Transformers

Tokyo Electric Power Co. Yoshiharu MIYAKE・Saburo YAMADA
Itami Works Tamotsu MURAKAMI・Yoritomo TANINAKA
Ryohei TAMURA

The density of load in the heart of the metropolis has soared up recently, which has brought the necessity of building new large capacity substations at 60 kV in the quarter of office building. Otemachi Buildings Substation is one of those facilities built underground not to spoil the beauty of scenery and also to save the utility of land. There are two 30,000 kVA and two 6,000 kVA transformers of a special three phase construction for the convenience of carrying into the basement of a building. They are cooled by water fed from a cooling tower constructed on the roof-unprecedented installation ever completed.

1. まえがき

東京都心部においては高層建築物の新增設とともに伴う付帯設備の高度の電化によりビルジングの自家用変電設備は2,000~6,000 kVA程度のものが続出し、また一般繁華街の電力需用も激増する傾向にある。かかる負荷中心地帯の電源強化のため60 kV電源を導入し、大ビルジングの大口需用に対する20 kV送電と3 kV配電の用途に供する大容量の中間変電所を新設する必要にせまられ今日までに日比谷、南鞘町などの変電所が新設されてきたのであるが、需用に追いつかず今回新たに大手町変電所を新設することとなった。

大容量変電所の新設に当っては相当の敷地を要し市街地にかかる変電所用地を求めるることはきわめて困難であり、新設用地を入手し得たとしても繁華街の中央に周囲と調和のとりににくい変電所を地上に建設することは、周辺の商業地域の繁栄を阻害し高価な用地の利用効率を低下せしめ、また最近とくに重視されるpublic relationの見地よりかかる変電設備は地下に施設し地上階は一般商業ビルに使用することが望ましいことである。

このような考え方から比較的入手容易な大ビルジングの地下室を利用する場合が多く、この変電所は千代田区の三菱地所株式会社第三丸の内ビルジングの地下2階および3階の一部を利用し建設されたものである。

地下大容量変電所の新設に際し問題になる事項は主変圧器の冷却方式、主要機器の搬入方法、騒音、防火装置および地下変電所勤務員の衛生施設などである。大手町変電所の主変圧器は搬入を容易にするため特別三相式と

し、変圧器の冷却方式は新しい節水式の送油水冷式を採用した。

2. 変電所の施設概要

2.1 変電設備容量および回路接続方式

この変電所の変圧器は60/20 kV、30,000 kVA×2パンクを主体として局部配電用の60/3.45 kV、6,000 kVA×2パンクを併置し計72,000 kVAの設備容量である。機器配置については図2.1を参照されたい。

変圧器一次側遮断器を省略し図2.2単線図に示すように主要変圧器と局配用変圧器は各パンク2組として二次側変流器の電流和および一次側変流器の二次電流を差動繼電器に導き送電端の遮断器をトランスファー・トリップ方式により事故時には遮断することとした。

20 kV側は母線は単母線とし、空気遮断器を収納し、キューピックル方式を採用した。

20 kV送電線は3組のループ送電と遠方監視制御変電所の親変電所として2ヵ所の被制御変電所に5回線および20 kV連絡線として2回線を他系統の変電所に連繋し計13回線を引出している。

局配用開閉装置は単位式自動変電所方式とし再閉路繼電器を備え配電盤室には故障表示と饋線の状態監視盤のみを設け、配電盤室の床面積の節減を図った。

2.2 変圧器の搬出入設備

地下変電所の大容量の主要変圧器の搬出入に際しては変圧器のつり込み用の起重機とつり込み室を必要とするが、地上1階の最も利用価値の高い部屋を建設の時および変圧器の故障時以外は使用することのない作業場とし

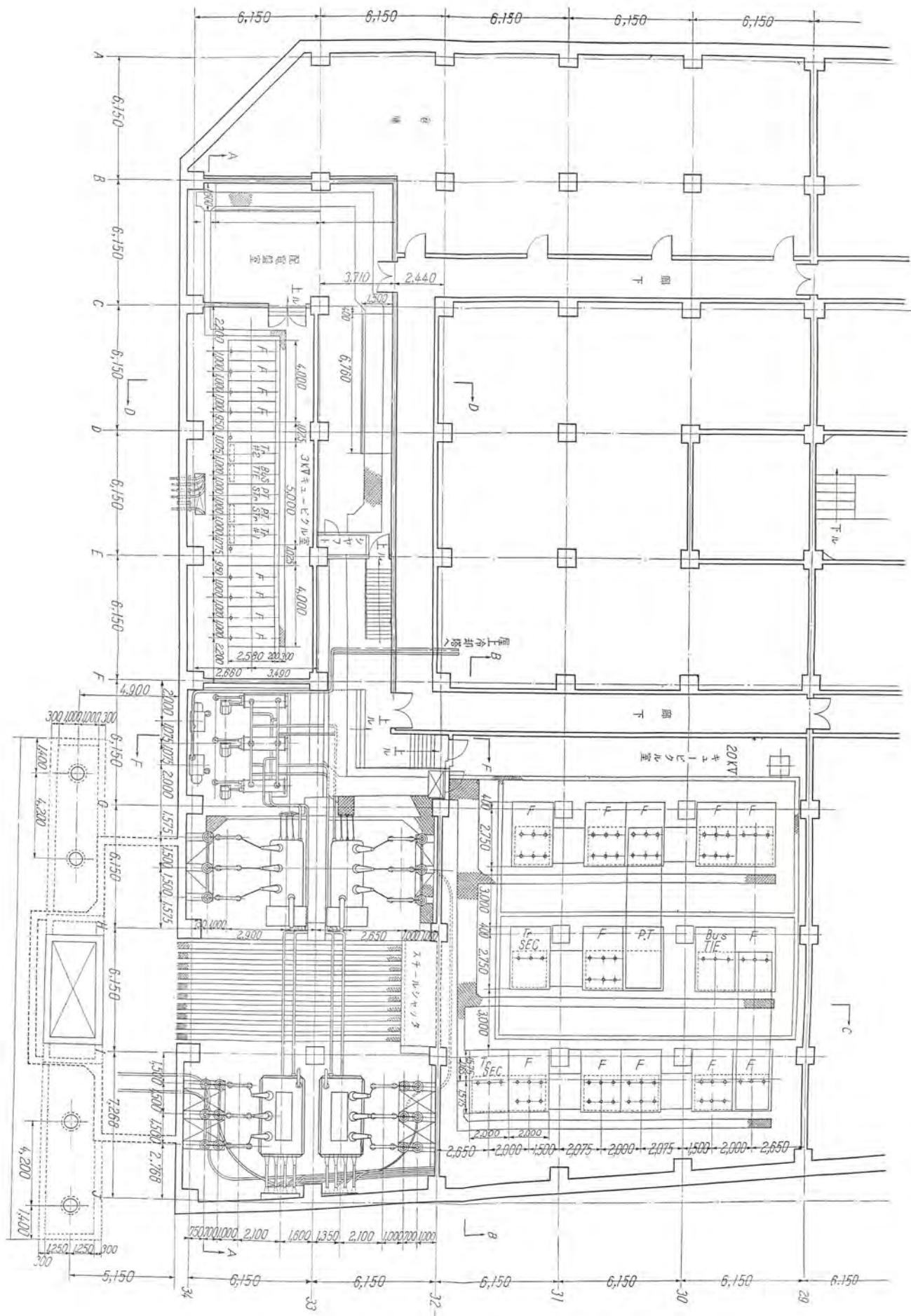


図 2.1 大手町変電所機器配置平面図
Fig. 2.1 Plan of Otemachi substation.

Fig. 2-1 Plan of Otemachi Substation.

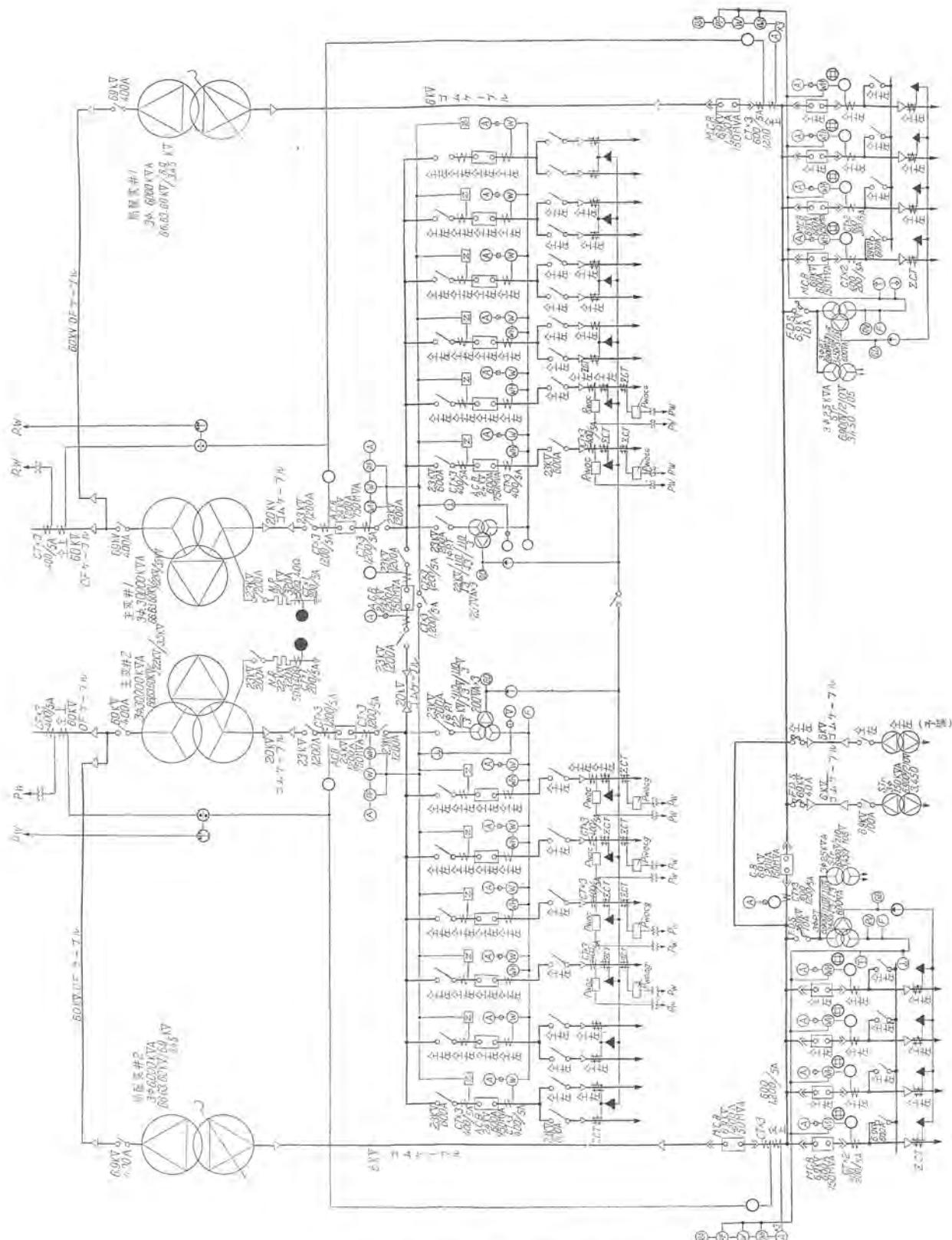


図 2.2 大手町変電所単線結線図
Fig. 2.2 Connection diagram of Otemachi substation.

て占有することは不経済であるから、この変電所においては地中送電線の引込み用マンホールをビルジングに隣接した鋪道に設け、これより搬出入をする設計とし、あわせて簡単なウインチで搬出入できるように変圧器の運搬重量を軽減すべく、特別三相式変圧器を採用した。搬入口の部分は図 2.3 のマシンハッチ図に示すとおりであ

る。

2.3 変圧器の冷却方式

変圧器の冷却方式としては自冷式、送油自冷式、水冷式および送油風冷式などがあるが、都心部の大ビルジングの地下変電所としては機器の据付床面積が最小で騒音がなく最も信頼度の高いものが望ましいので、最近は送

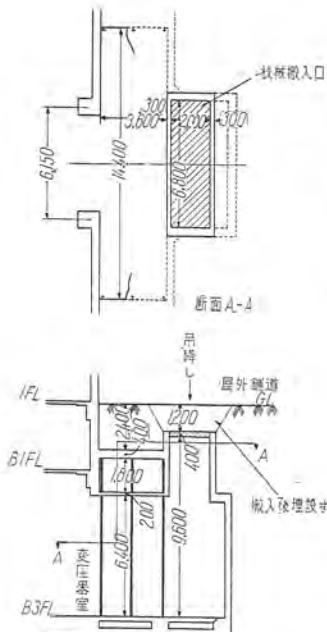


図3 2.マシン・ハッチ

Fig. 2.3 Machine hatch.

据付床面積の点で最も有利な水冷方式を採用した。水冷方式は従来多くの使用実績もあるが、漏水、水源の確保、水循環ポンプの保守、冷却水管の清掃などの点に難点があるので、以上の点の解決を図るために、水質のよい上水道を常用することとし、屋上に冷却能約100トンの冷却塔2基を設け地下室の油冷却器とを6inの引抜鋼管で放圧水槽を経て連結し常時冷却水を循環せしめ冷却塔よりの微量の冷却水蒸発量のみを補給し、点検保守が容易にできるように変圧器4バンクに対し、2基の予備油冷却器を設備した(図2.4模型参照)。

冷却塔も夏期 1~2 週間の最暑期に 2 基運転となるが、常時は 1 基で十分の冷却効果があり無停電点検が可能である。冷却水源を深井戸に依存することは都心部においては湧水量の変動、枯渇等の恐れがあるので、深井戸を予備として上水道との切替えを準備している。

地下変電所においては変圧器の故障時などの変圧器の搬出が困難で相当の日数を要するので、1パンク故障時においては残りの1パンクに相当の期間過負荷の状態が続くことが予想されるから、かかるときに変圧器1パン

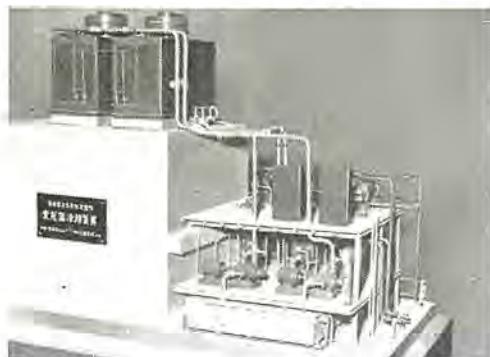


图 2.4 变压器冷却装置模型

油風冷式にして騒音の処理を建築構造に依存する傾向にあった。今回は風冷式の風洞の面積が相当の広さとなり地下3階床面よりビルジングの屋上まで変圧器冷却用の風洞を設けることは各階の床面積を $24m^2$ 程度風洞として空費し各階延150坪前後の借室面積の増加となり、またビルジングの間取りその他に無理を生じビルジング全体の利用価値を減殺することとなるので風洞設置が困難であった。

クに2パンク分の冷却装置を切替え長期の過負荷運転に耐えさせ変電所稼働率の低下を防止する、詳細については後節を参照されたい。

2.4 騒音対策

騒音防止対策としては変圧器室は防音壁を設け出入口には防音扉を設けてあるので室外に対しては 45 ホン以下に騒音を保つことができる。

屋上の冷却塔の送風機は地上約36mの地点に設置され側壁により区画された室内にあり一般ビルジング居住者ならびに街路歩行者に対しては騒音として到達し得ない距離にあるからなんらの問題を生じない。

2.5 地下変電所勤務員に対する衛生施設

この地下変電所の全気積は $6,854 \text{ m}^3$ でうち変圧器室
気積 $2,406 \text{ m}^3$, 配電盤室気積 385 m^3 で全室に対し $22,000$
CFM の容量の換気ファンを設備し, 全変電室の空気を
毎時 5.5 回の割合で換気することとし常時作業員 10 名
とすれば気積 $685 \text{ m}^3/1$ 人, $3,750 \text{ m}^3/\text{毎時}/1$ 人の換気量を
有するものである. 配電盤室はビルジングの営業時間の
 9 時から 17 時までの間は冷暖房を施行し夜間は換気の
み実施する.

蓄電池室に対しては別系統の換気装置を設け地下室にガスの滞留することを防止している。

2.6 所內電源

地下変電所においては常時点燈し、また変圧器の補機損が多く、また排水、換気設備の動力を余分に必要とするが、同程度の容量の変圧器を送油風冷式とした場合と比較しほとんど大差がない。

3. 変圧器の概要

3.1 主要变压器

特別三相式 30,000 kVA 50 c/s 外鉄形 送油水冷式
窒素封入式 SUW 形
一次 66-63-60 kV 星形（中性点端子なし）
二次 22 kV 星形（中性点端子あり）

三次 3.5 kV 三角形
(6,000 kVA 零相
回路盲端子)
総重量 88,500 kg
油量 17,500 l
輸送重量 23,000 kg
寸法 2,410×1,320
×3,760 mm

图 3.1 30 000 kVA 主变压器

Fig. 3.1 30,000 kVA Main transformer.

前述のように特別三相式変圧器を採用して街路面より据付位置への搬入を容易にし、このようないベルジングの地下変電所に対する応用例として効果をあげた。

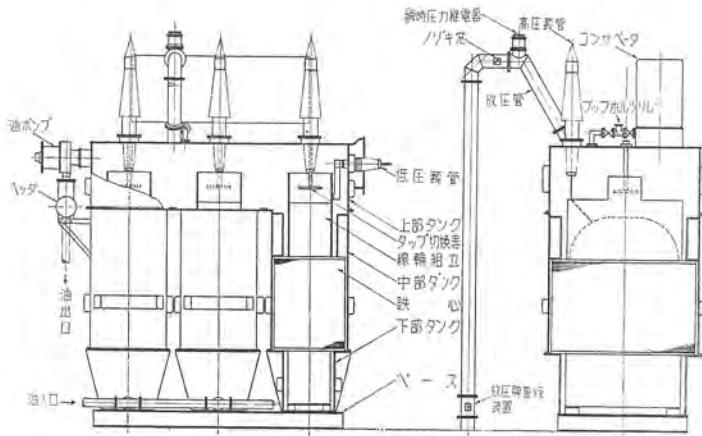


図 3.2 30,000 kVA 特別三相変圧器式構造図
Fig. 3.2 Section of special three phase transformer.

図 3.1 は外観を、図 3.2 はその特別三相式構造を示す。

3.2 局配用変圧器

三相 6,000 kVA 50 c/s 内鉄形 送油水冷式

窒素封入密封式 CUW-URS 形

一次 66-63-60 kV 三角形結線

二次 3.45-6.9 kV 三角形結線

二次調整電圧 $\pm 345 \text{ V}$ 17 点タップ ± 8 段切替

総重量 34,300 kg

油 量 12,000 l

負荷時タップ切替変圧器で一次電源電圧の $\pm 5\%$ の変動および負荷の 0~100% (力率 80%) の変化に対し二次側タップを自動的に調整しつねに 3,450 V あるいは 6,900 V 一定に保つ。図 3.3 はこの外形写真である。

3.3 油冷却器

油冷却器は清掃点検に便利な別置横位式で各 2 バンクに常用 2 個、予備 1 個を置く。油循環用ポンプは変圧器側上部出口に主要変圧器は 5 HP、局配用変圧器は 3 HP をそれぞれ各台常用 1 個予備 1 個備える。



図 3.3 6,000 kVA 負荷時タップ切替変圧器

Fig. 3.3 6,000 kVA Transformer with on-load tap changer.

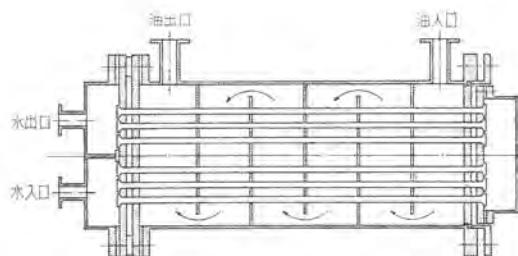


図 3.4 油冷却器構造図
Fig. 3.4 Section of oil cooler.

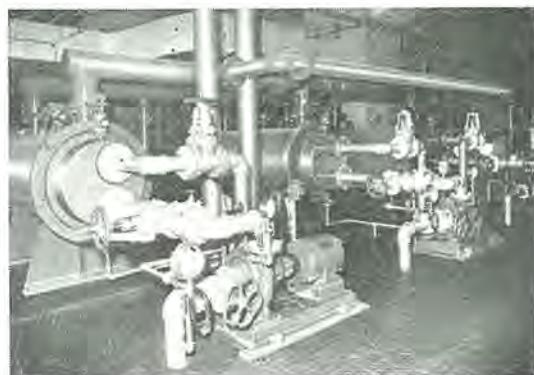


図 3.5 油冷却器
Fig. 3.5 Oil cooler.

$2 \times 30,000 \text{ kVA}$ 用、上段に $2 \times 6,000 \text{ kVA}$ 用を設置し立体的配置とした (図 4.3 参照)。

3.4 保安装置

変圧器の事故に対し差動継電方式による回路遮断、また断水に対する警報など従来の保安装置を施行してあるが、とくにブッフホルツ継電器とともに最近当社で開発した瞬時圧力継電器を採用して、前者の不評の解決を図った。さらに万一の事故噴油の際の放圧弁からの油は床下に排出するよう配管し、弁膜の異常の有無を容易に外見できるようにするとともにこれに警報装置をつけた。

図 3.2 および図 3.3 にこれを見ることができる。

(1) 瞬時圧力継電器

従来変圧器の内部事故に対してブッフホルツ継電器がもっぱら使用されていたが、これは温度または負荷の急変あるいは振動により誤操作することがあり、なお働くべきときに確実に動作するか否かを判定し確認することができない欠点があった。また差動継電器についても励磁突流による誤動作がしばしば問題になり、敏感で安全確実な保護装置が強く要望されていた。瞬時圧力継電器はこの目的に開発され好成績を得ているもので衝撃性圧力のみを検出して動作するガス圧力継電器である。

構造は図 3.6 に示すようにマイクロ・スイッチつき圧力継電器、イコライザと容器からなり、内部絶縁破壊の際のガス発生の瞬時圧力により器内の圧力差が一定限度 (最低動作圧力差 0.025 kg/cm^2) 以上になると圧力継電器を動作し、イコライザ (小さな調整可能な気道) の作用によりその圧力上昇速度 (最低動作圧力上昇速度は $0.0055 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$) に応じた時間で鋭敏に働くようにな

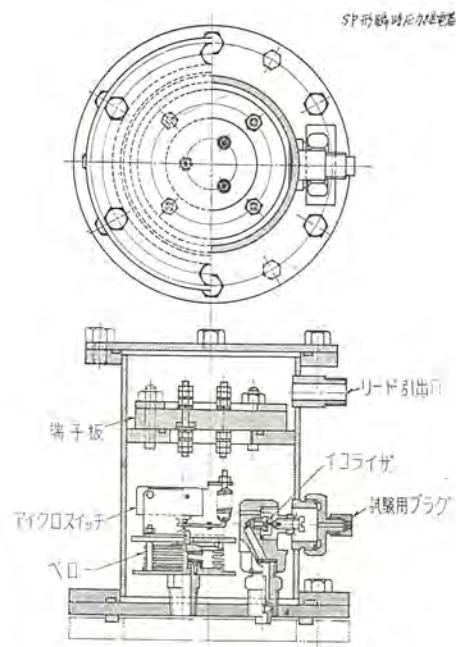


図 3.6 SP 形瞬時圧力継電器

Fig. 3.6 Type SP sudden pressure relay.

っている。たとえば内部短絡により $1.0 \text{ kg/cm}^2/\text{sec}$ の圧力上昇が起つたとすると 0.025 sec 後に、 $0.1\text{kg}/\text{cm}^2/\text{sec}$ では 0.24 sec 後にマイクロ・スイッチが動作する。一般に放圧筒の上部に取りつけられるが、本器の特長は取りつけたままで試験用プラグを開いて簡単に動作特性をチェックできる点にある。

(2) 放圧膜警報装置

変圧器は地下変電所で狭い室内に置かれるから万一の事故の場合の噴油は火災予防のためにとくに考慮しなければならない。放圧管は上部に前記瞬時圧力継電器を付するとともに床下まで配管して噴油を安全に排出するが放圧弁膜が外部から点検できないと困るので点検用窓を設け、さらに弁膜にビニール製袋を外被して弁の破裂あるいは漏洩に対して警報電気接点をついている（図 3.7 参照）。

4. 変圧器の冷却方式

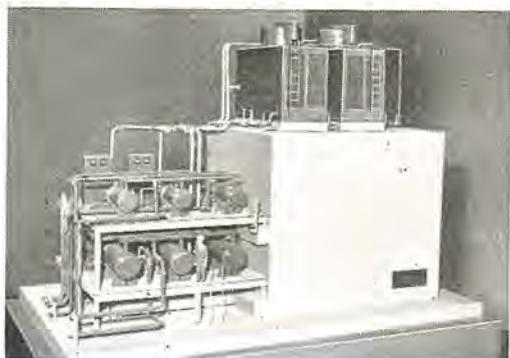


図 4.1 変圧器冷却装置模型

Fig. 4.1 Model of cooling equipment.

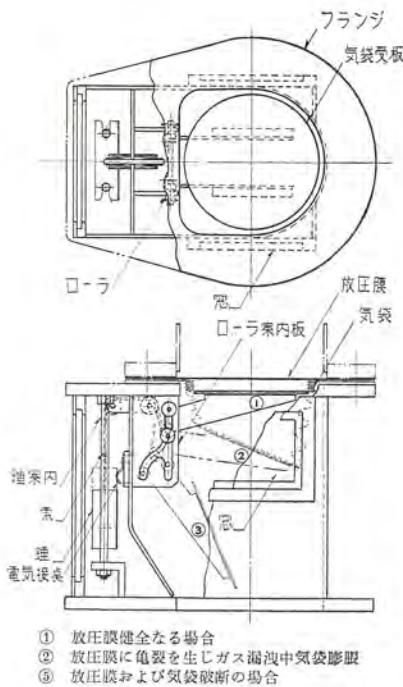


図 3.7 放圧膜警報装置

Fig. 3.7 Alarm device for pressure relief.

冷却塔はビルジングの冷暖房用にしばしば用いられるものであるが、油冷却器および変圧器は地下室、冷却塔は屋上にと熱交換室を2段に用い、ビルジングの上下端を有効に使って電機を収納したことは冷却方式の先駆的試みである。図 4.1 はこの冷却装置の配置を示す模型であるが実際には油冷却器と冷却塔とは約 50m の高低差がある。

4.1 冷却塔

冷却塔は交叉流形（クロスフロー）構造で変圧器の熱損失を油冷却器冷却水出入口温度差約 7°C に最低必要循環水量 1100 l/min で熱交換するように設計されており、2基よりなり1基は

容量 $300,000 \text{ kcal/h}$

軸流送風機風量 $30,000 \text{ cfm}$

風圧 $3/8 \text{ in W.G.}$

同上電動機	7.5 HP
循環水量	$1,100 \text{ l/min}$
乾重量	$3,200 \text{ kg}$
湿重量	$5,900 \text{ kg}$

である。濡格子（ウェットデッキ）は良質のヒノキ材で組立てられ防腐材を滲透させて十分な耐久力をもたしてあり、補給水は盛夏で循環水量の 2% を予想している。

4.2 油冷却器

構造は前項で説明したが、全体の水系は図 4.2 に示すごとくで点検時の切替えが考慮されている。 $30,000 \text{ kVA}$ 用は1器にて循環油量 $1,800 \text{ l/min}$ 、循環水量 560 l/min 、冷却面積 38 m^2 、総重量 $2,850 \text{ kg}$ で、 $6,000 \text{ kVA}$ 用は

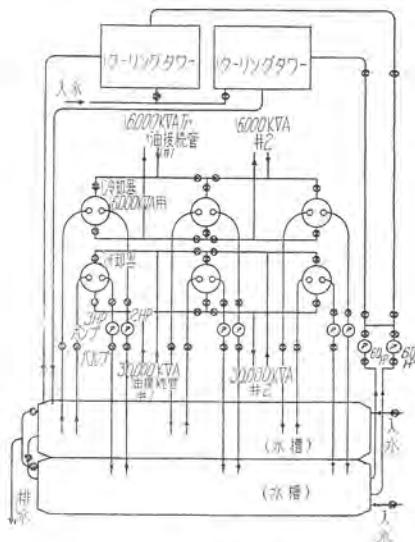


図 4.2 冷却水系図

Fig. 4.2 Skelton diagram of cooling water system.

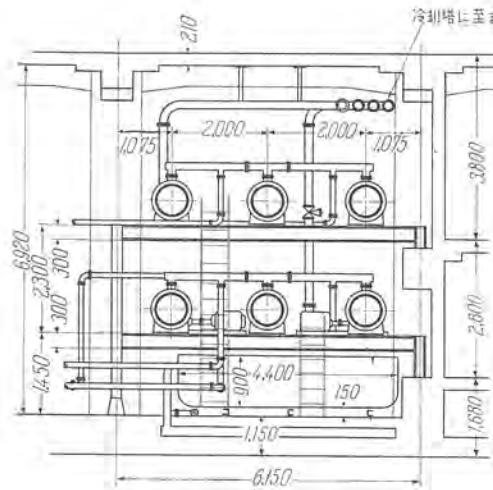


図 4.3 水冷式冷却器据付図
Fig. 4.3 Layout of water coolers.

循環油量 800 l/min, 循環水量 420 l/min, 冷却面積 15 m², 総重量 1,650 kg である。

4.3 ポンプ、貯水槽、配管

冷却塔用循環ポンプは 60HP, 水頭 75m のタービンポンプ 2 基を備え 1 基は予備である。なお補助循環ポンプとして 2HP, 水頭 8m のうず巻ポンプ 2 基を有する。30,000 kVA 用油冷却水循環ポンプは 3HP, 水頭 11 m のうず巻ポンプ 3 基 (1 基は予備) で、6,000 kVA 用油冷却水循環ポンプは 2HP, 水頭 9m のうず巻ポンプ 3 基 (1 基は予備) である。

油冷却器の下位に放圧貯水槽を置く。これは温水槽と冷水槽に分れ、屋上からの水圧の放圧を計り水位を調整するためのものである (図 4.3 参照)。

配管は水圧 20 kg/cm² に耐え、高水頭部分に使用する 6 in 径弁は特殊高圧弁を使用し水圧 30 kg/cm² に耐える構造になっている。

4.4 温度上昇試験

温度上昇試験は変圧器、油冷却器、および冷却塔を組合して行い万全を期した。試験水系は図 4.4 に示すように 30,000 kVA と 6,000 kVA 変圧器 1 台をそれぞれ単独にその必要冷却水量を循環させて行った。したがって冷却塔自体については参考試験となる。

試験結果を表 4.1 に示す。水冷式は経年の使用中の能力減を考慮して一般に相当の余裕を見込んで設計されるが、この場合はとくに冷却水温が高いことと、ビルジング内設備で据付後の改造あるいは増強が不可能であるのでできるだけ安全側裕度をもって製作した。

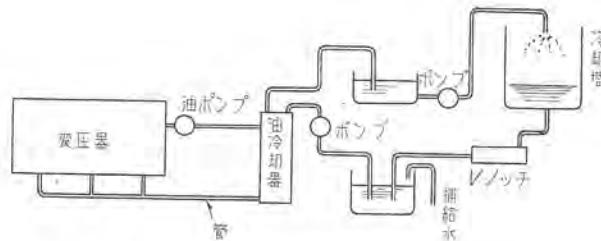


図 4.4 試験系統図
Fig. 4.4 Diagram for heat-run test arrangement.

表 4.1 溫度上昇試験結果

	30,000 kVA	6,000 kVA
油 (丸形温度計)	16°C	13°C
線輪 (抵抗法)	H 36°C L 36°C	34.5°C 30°C
全損失 (内無負荷損)	175kW (60kW)	60kW (18kW)
油冷却器	油出口 15°C 油入口 12.5°C 水出口 — 水入口 3.5°C	11°C 8°C 0 1.5°C
タシタ	冷水 0 温水 4.5°C	0 2°C
冷却塔	入口 5.0°C 出口 —	3.5°C 0.5°C
補給水量	230 l/hr (湿度 80% 27°C)	102 l hr (湿度 63% 27°C)

この実測値の裕度から巻線の最高温度上昇値を 65°C として、たとえば 30,000 kVA 主変圧器の過負荷許容値を計算すると、130% 強となる。(6,000 kVA 局配用変圧器についてもほぼ同様結果を得る)。

前述のように油冷却器は変圧器 1 台停止のとき、切替えて運転変圧器に 2 パンク分の冷却器をかけることができるが、このようにすると数%の温度上昇低下を計りうるので、さらに数%の過負荷が許容されることになる。ただし運転指針としては 30% までの過負荷を考えることにしている。

5. むすび

都心地下変電所の漸進的な設計として大手町変電所は注目のうちに完成し現在、好成績で運転されている。この変圧器に採用した新冷却方式は変電所としてはまったく新規な計画であり、ビルジングの櫛立する都心部の電源設備として興味ある実例を作ったが、なお、今後の運転実績に待つところ多くここに一端を紹介して一般のご批判をおおきたい所存である。この変電所の建設に際しては三菱地所株式会社、大成建設株式会社、三菱電機施設部その他工事関係各位より絶大なるご協力を賜ったことを誌上を通じて深謝する次第である。

70-GM-350 形油入遮断器

伊丹製作所 平田 康夫*

Type 70-GM-350 Oil Circuit Breakers

Itami Works Yasuo HIRATA

For circuit breakers of the class above 80.5 kV a low-oil-content type, that is porcelain-clad circuit breakers are chiefly employed now-a-days. Air blast circuit breakers are coming into popular use with vigor. Steel tank type oil circuit breakers, however, have regained recognition of their advantage and a number of applications are reported here and there. Newly developed type 70-GM-350 oil circuit breakers are among them with the advantages of the steel type taken into the design in full as a stationary type unit. The rating is 80.5 kV, the rupturing capacity 3500 MVA and the full rupturing time is below 3.5 cycles.

1. まえがき

最近の電力需要の急増に伴い電力系統も漸次増大し、したがって各所に用いられる遮断器も大容量遮断、高速度遮断の要求が高まってきた。80.5 kV 級の遮断器を例にとってみても、最近の製作実績の約 65% は遮断容量 2,500 MVA 以上のものである。

この種 80.5 kV 級の遮断器には近来少油量形すなわち碍子形遮断器が主として用いられており、また最近は空気遮断器が非常な勢で伸展してきている。しかしタンク形の油入遮断器もその有利性がようやく認められるようになり大いに使用されるようになった。

元来タンク形油入遮断器まで 80.5 kV 級以上のものになると、形も大きくなり油量も多く、したがって価格も高い等々碍子形に比較されいろいろと批判をこうむつてきたが、今回当社で開発した 70-GM-350 形油入遮断器はタンク形の有利性を十二分に生かして製作した油入遮断器であって、優秀な消弧性能を有する Multi Flow 形消弧室の取付に伴い、旧来のタンク形に比し遮断容量および遮断性能が格段の向上を示しているにもかかわらず、軽量小形となり、したがって所要油量も約半減した。

以下項を追ってその定格、構造ならびに性能を紹介する。

2. 定 格

この遮断器の定格はつきのとおりである。

形 名	70-GM-350
定格電圧	80,500 V
定格電流	1,200 A
定格遮断容量	3,500 MVA
定格短時間電流	30,000 A
定格投入電流	63,000 A
定格対地絶縁	70 号

* 技術部

全遮断時間	0.055 sec
定格投入操作気圧	10 kg/cm ²
油 量	6,100 l
重 量	7,100 kg (油不含)

3. 構 造

3.1 一般構造

図 3.1 はこの遮断器の外観で、関西電力姫路変電所へ納入し現在好評裡に運転中である。図 3.2 に外形寸法を示してある。これらの写真および寸法図によつても明らかなように、この遮断器は油槽据置形を採用しているが各油槽は下部チャネル上に置かれ溶接にてチャネルに固定されているから、据付は非常に簡単である。すなわち工場で三相の連結調整された状態は据付時にもそのまま維持されているので、据付時の三相連結調整が不要となり据付に要する時間は非常に短縮された。図 3.3 は遮断器单槽の断面図である。油槽上部天蓋には油入密封形コーンサブッシングを傾斜して取付け、この下部に Multi Flow 形消弧室があり中央部には可動コンタクトの上下運動を司るリフティングロッドおよびその上部には機構室がある。各油槽にはその横洞部に横開きする窓を設けてあり油槽内への出入は容易でしたがて内部の点検、消弧室の調整に便利な構造となっている。

3.2 消弧室

この遮断器に使用されている消弧室は、Multi Flow 形消弧室



図 3.1 70-GM-350 形油入遮断器
(関西電力株式会社姫路変電所納)

Fig. 3.1 Type 70-GM-350
Oil circuit breaker.

型 名	A	B	C
70-GM-350	3,620	5,000	1,410
*70-GM-350S	3,910	5,250	1,520

* 基本地向としてブッシング基部 100 号絶縁としたもの。

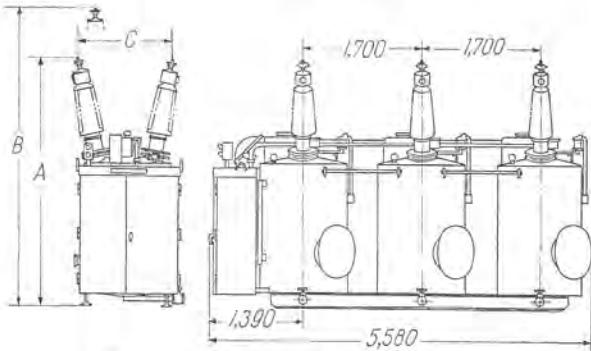


図 3.2 70-GM-350 形遮断器外形寸法図

Fig. 3.2 Outline dimensions of type 70-GM-350 circuit breaker.

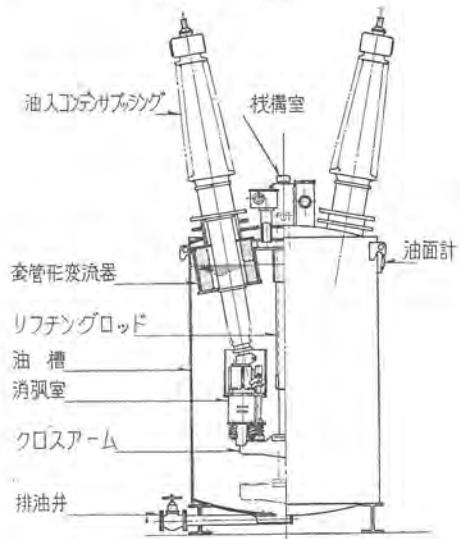


図 3.3 70-GM-350 形遮断器構造説明図

Fig. 3.3 Construction of type 70-GM-350 circuit breaker.

で、図 3.4 はこの消弧室の構造説明図である。接触部は上部接触子 (R)、中間接触子 (S)、下部接触子 (V) に分かれ、遮断時に上下に二つの直列アーカーが発生する。上部アーカー (F) の発生する室はがんじょうな金属壁で閉まれていて、このアーカーによって発生した油の分解ガスはこの室内に大きな圧力を発生し、この圧力によって油は矢印のように押されて下部のファイバ板を重ねて作った消弧室グリッド内の通路を経て下部アーカー (J) に吹き付けられる。下部アーカー (J) の部分には噴出孔 (I) が数個存在し、これと直角の方向に上からの油の流入口 (U) があり、この流入口 (U) と噴出孔 (I) とは同一平面にはなく、下部接触子 (V) の移動によって噴出孔 (I) が開くようになっており、電弧の全長にわたってつぎつぎと新たに油吹付が行われる訳で、これが Multi Flow の名を生じたゆえんである。このため下部アーカー (J) はとくに引き伸ばされることなくアーカー・エネルギーはできる限り低い値に保つことができる。上部接触子 (R) は

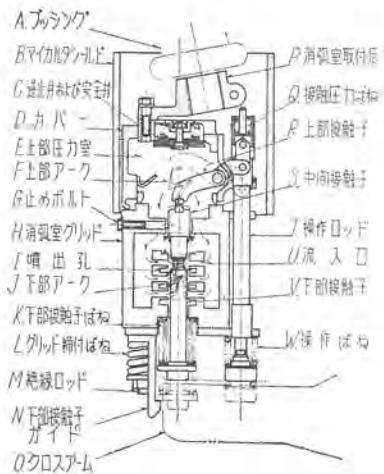


図 3.4 消弧室構造図

Fig. 3.4 Construction of arc extinguishing chamber.

クラシック形をしており軸によつて上部圧力室 (E) の内外の油を絶っており、この操作は消弧室の外に取付けられた操作ロッド (T) によって行われ、この操作ロッド (T) 下部には強力なばね (W) があってこれで上部接触子 (R) を開く。この操作ロッド (T) および下部接触子 (V) を動作させる可動部はクロスアーム (O) であり、断路器としての役目を持ちまた他の一極と同時にまたがって通電部分となつてゐる。閉路動作はクロスアームがまず下部接触子 (V) と当りこれを押し上げつつ上昇し、ついで操作ロッド (T) の下端に当りこれを押し上げる。操作ロッド (T) の上部にあるばね (Q) は接触子に圧力を加えるもので、接触子が接触してからさらにこのクロスアームが上昇するとこのばねが圧縮される。上部圧力室 (E) には逆止弁と安全弁 (C) とがあり、いずれもその動作は図 3.4 に示すように遮断完了後は逆止弁が下降して残留ガスを排除すると共に新油を注入し、安全弁は大電流遮断時に異常圧力によって消弧室が破壊されることを防ぐ。図 3.5 は消弧室外観を示す写真である。油道を形成するファイバ板は薄い板に種々の穴があけてあるものを数十枚重ね 4 本の絶縁ロッド (M) で下部のグリッド締付けばね (L) を介して締付けてあるのでファイバ板の加年による収縮に対しても安全である。各接触子はバット形でそのコンタクト部分には銀、タングステン合金の耐弧メタルを使用し遮断電弧による損耗を少くしている。またコンタクト部分の点検には上部圧力室 (E) の外側にあるカバー兼上部シールド支持金 (D) をはずせばその窓から直接上部接触子 (R) と中間接触子 (S) 上側の両コンタクトを見ることができる。中間接触子 (S) は止めボルト



図 3.5 消弧室

Fig. 3.5 Arc extinguishing chamber.

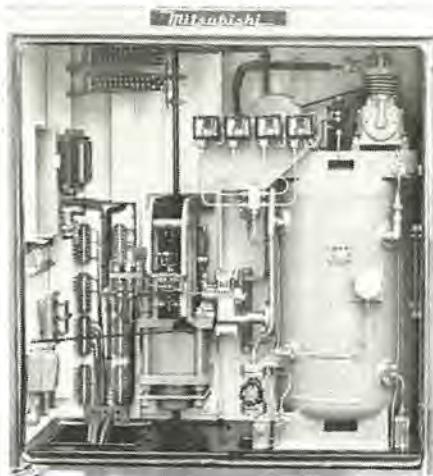


図 3.6 操作機構箱

Fig. 3.6 Operating mechanism.

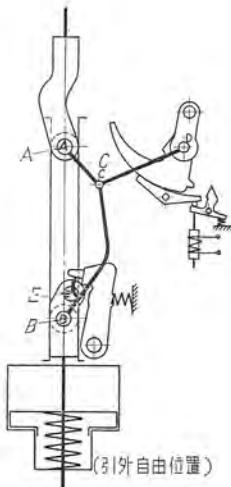


図 3.8 操作機構説明略図

Fig. 3.8 Operating mechanism.

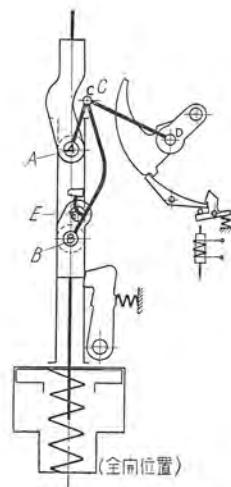
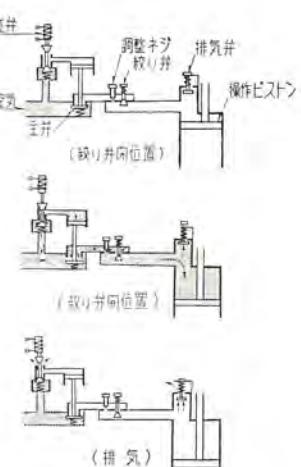


図 3.9 制御弁動作説明図

Fig. 3.9 Control valve operation.



り、このリンクの他の一端はピンDにより引外自由レバーに接続されている。引外自由レバーの先端にはローラを備えたピンがありこれがトリガに支えられている。引外コイルが働くとトリガが反時計式に回転し前記ローラとトリガとの掛合が外れこの結果ピンCは自由となってピストンロッドに関係なく遮断器は遮断される。この状態を図3.8に示す。このときに投入リンクはBを中心として回転しキッカがラッチを押してピンEとの掛けを外す。したがってピストンは下部復帰ばねにより上方に押上げられ全開位置に達しレバー系は元の状態に復帰する。制御弁の動作は図3.9に示す。その特長とするところは主弁とシリンド間に2個の調整弁を有することで、1個は調整ねじで最初に供給される圧縮空気量を加減し、他の1個は操作機構ロッドと連動する絞り弁で、投入終端時期にのみこれを聞くことによりいたずらに可動部を加速して衝撃を与えないようにとくに考慮されている。

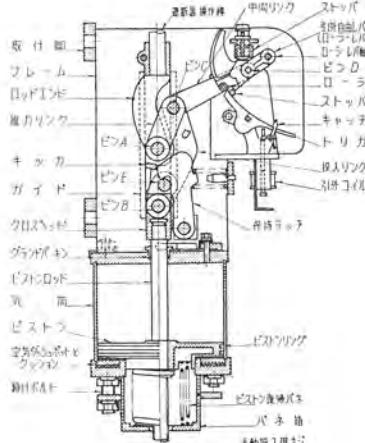


図 3.7 操作機構説明図
Fig. 3.7 Operating mechanism

(G)をゆるめることにより、この窓から容易に取出すことができ、接触子の点検保守はきわめて容易な構造になつてゐる。

3.3 操作機構

この遮断器に使用されている操作機構は当社の M 形碍子形遮断器その他大形遮断器に使用されている AL 形圧縮空気操作機構で、図 3.6 の操作機構箱外観写真でわかるように、操作機構および補助空気槽などを一緒に入れてその間の配管を短くし投入時の圧力降下を減じて圧縮空気のむだな消費をさける構造を探っている。図 3.7 は操作機構の構造説明図で本図では投入位置を示している。図 3.8 は引外自由位置および開路位置を示した略図である。圧縮空気がシリンダ内にはいるとピストンはピストンロッドと共に下降する。ピストンロッドは遮断器操作棒と推力リンクと投入リンクを経て接続ピン A,B,C によって接続されている。A,B のピンはガイドに沿って上下に運動しうるので、ピストンロッドの下降に伴って遮断器操作棒も推力リンクと投入リンクと接続されたまま下降し投入を完了する。ピストン下部には空気ダッシュボットがあり投入時のショックを緩和する。投入リンクと推力リンクはピン C によって接続され、このピン C を左方に押して遮断器を錠錠するのが中間リンクであ

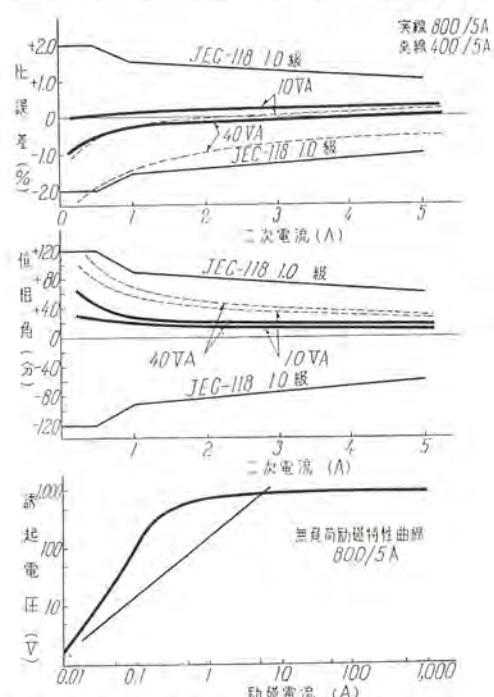


図 3.10 80.5kV 800-400/5A 40VA B.C.T の特性

Fig. 3.10 Characteristics of 80,5kV 800-400/5A 40VA B.C.T.

3.4 B.C.T (套管形変流器)

旧来 B.C.T といえば、特性が悪いものとされていたが、最近では大いに特性が改善され、一次電流の大きさによってはむしろ巻線形をしおぐほど優秀な特性が得られるようになった。この遮断器に使用される B.C.T も一次電流 300 A 以上のものは定格負担 40 VA で 1.0 級にはいる。図 3.10 は 80.5 kV 用 B.C.T の試験成績で 400A, 800A のもののいずれも 1.0 級にはいっている。また励磁特性曲線よりわかるように過電流 10~30 倍でもその比誤差は 1% 内外でありその過電流常数はこの特性曲線より算出すれば 112 となった。このように優秀な B.C.T が製作できるようになった理由は鉄損の少ない冷間圧延の硅素鋼板が入手されるようになりまた特殊な補償方法を採用しているためであり、さらに、コンデンサブッシングの胴が套管締付方法の改良で細くなったので B.C.T の磁路長を短くすることができたことも理由の一つに数えられる。従来碍子形などでは C.T の絶縁劣化等の問題で別置にする傾向もあるが、B.C.T では絶縁劣化による事故の憂もなく安価で特性が良い。かつタンク形には上記特性のものを 6 個付属させることができるので総合的には非常に経済的である。

4. 試験成績

32年6月の工場試験および7月の関西電力、東北電力株式会社立会の下に行われた遮断試験の成績の大要は表 4.1 および表 4.2 に示されている。その代表的なオシログラムは図 4.1~図 4.3 のとおりである。短絡電流遮断ではすべて 3 c/s 前後で遮断している。充電電流遮断試

表 4.1 70-GM-350 形遮断器 短絡電流遮断試験成績

試験番号	動作責務	極数	遮断電流		給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	遮断時間 (c/s)	投入電流 (A)
			交流分(A)	直流分(%)				
752-1	O	1	1,300	12.0	1,310	70	97.5	1.55 1.40 2.95
-2	O	1	1,300	3.5	1,300	70	97.5	1.55 1.55 3.10
-3	O	1	1,300	3.0	1,300	70	98.0	1.55 1.30 2.85
-4	O	1	2,900	0	2,900	72.8	98.0	1.55 1.25 2.80
-5	CO ^{1分}	1	2,810	0	2,810	72.8	96.5	1.55 1.25 2.80 4,720
-6	CO ^{3分}	1	2,840	0	2,840	72.8	98.0	1.55 1.05 2.60 6,670
-7	O	1/2	6,670	38.0	7,600	38	98.0	1.55 1.55 3.10
-8	CO ^{1分}	1/2	6,480	18.0	6,680	38	97.5	1.55 1.15 2.70 16,300
-9	CO ^{3分}	1/2	6,400	21.2	6,710	38	95.5	1.55 1.65 3.20 18,300
-10	O	1/2	13,600	0	13,600	13.2	95.5	1.55 1.45 3.00
-11	O	1/2	13,600	0	13,600	13.2	95.5	1.55 0.85 2.40
-12	O	1/2	26,700	22.7	28,000	14.5	98.5	1.55 1.00 2.55
-13	CO ^{1分}	1/2	25,200	0	25,200	14.5	96.0	1.55 0.95 2.50 47,000
-14	CO ^{3分}	1/2	25,500	22.3	26,800	14.5	96.0	1.55 1.20 2.75 73,400

表 4.2 70-GM-350 形遮断器 充電電流遮断試験成績

試験番号	動作責務	遮断電流 (A)	再点弧数		給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	遮断時間 (c/s)			異常電圧 (%)
			発弧	点弧			開極	アーケ	全遮断	
751-1	0	43	0	0	56	100	1.55	0.70	2.25	200 以下 100 以下
-2	0	43	0	0	56	100	1.55	0.85	2.40	200 " 100 "
-3	0	43	0	0	56	100	1.55	0.50	2.05	200 " 100 "
-4	0	10.5	0	0	56	100	1.55	0.65	2.20	200 " 100 "
-5	0	10.5	0	0	56	100	1.55	0.30	1.85	200 " 100 "
-6	0	10.5	0	0	56	100	1.55	0.50	2.05	200 " 100 "
750-3	0	21	0	0	56	100	1.55	0.55	2.05	200 " 100 "
-6	0	21	0	0	56	100	1.55	0.70	2.20	200 " 100 "
-7	0	21	0	0	56	100	1.55	0.35	1.85	200 " 100 "

試験番号	動作責務	70kV 3,000A			短絡電流遮断試験			第3-2回			
		遮断電流 (A)	直流分 (%)	r.p.m.(A)	給与電圧 (kV)	回復電圧 (%)	開極時間 (ms)	アーケ時間 (ms)	全遮断時間 (ms)	電圧 (%)	
752-4	O	0	2,700	0	2,900	70±1.04	96.0	1.55	1.25	2.00	140 6.5
752-5	C.O ^{1分}	2,810	0	2,810	70±1.04	96.5	1.55	1.25	2.00	138 6.5	4,720
752-6	C.O ^{1分}	2,840	0	2,840	70±1.04	98.0	1.55	1.05	2.00	133 6.5	6,670

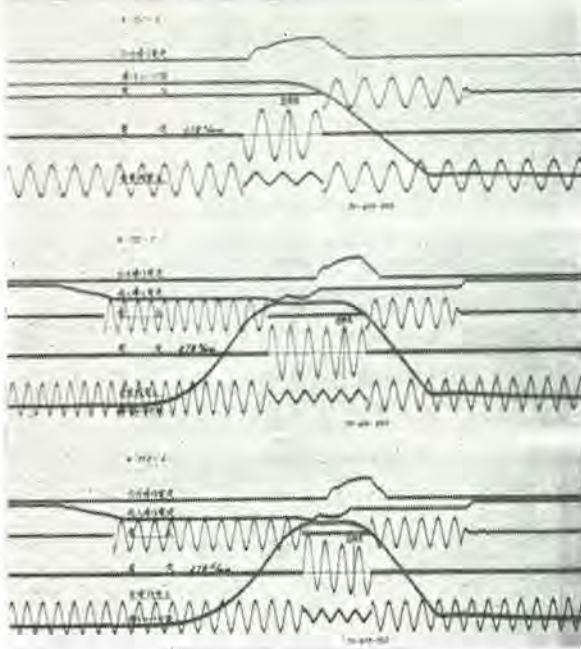


図 4.1 短絡電流遮断試験オシログラム 72.8 kV 3,000 A

Fig. 4.1 Oscillogram of short circuit current interruption test.

験では単相 56 kV, 5~40 A を再発弧再点弧なしで遮断しているので現場においては再点弧による異常電圧は起きないと考えられる。図 4.4 は遮断試験後の各コンタクトの写真で、図 4.5 は消弧室ファイバで

いずれも損耗は非常に軽微であった。なお投入時間は 10 kg/cm² の操作圧力で 14.5 c/s, 開極時間は 1.55 c/s (いずれも 60 c/s ベース) であった。

5. 特長

この遮断器は油槽据置形であるから、碍子形に比較すればタンク形の共通あるいは特有の種々の利点を有している。すなわち、

1. 油洩れの憂がない

油槽据置形を採用しているのでパッキン部分が少くて油洩れの必配が生ずる箇所が少い。

2. 保守点検が容易である

油槽横胴部にはマンホールがあって据置形にもかかわらず油槽内への出入りが容易であり、接触部の点検調整などは遮断器の動作状態をそのまま見ながら行える。

3. 据付が容易である。

試験番号	鉄 質 料 名	132 kV 25,000 A 短絡電流遮断試験 第3-5回							
		遮 断 電 流 量 (A)	遮 断 電 流 率 (%)	遮 断 電 流 量 (A)	遮 断 電 流 率 (%)	遮 断 電 流 量 (A)	遮 断 電 流 率 (%)	遮 断 電 流 量 (A)	遮 断 電 流 率 (%)
752-13	0	26,700	22.7	28,000	12.2±1.1	92.5	1.55	1.00	2.55
752-13	C.O.**	25,200	0	26,500	13.2±1.1	96.0	1.55	0.95	2.50
752-14	C.O.**	25,500	22.3	26,500	13.2±1.1	96.0	1.55	1.20	2.75

動作状況
無 L 無 L 無 L 噴出せず 拡張子

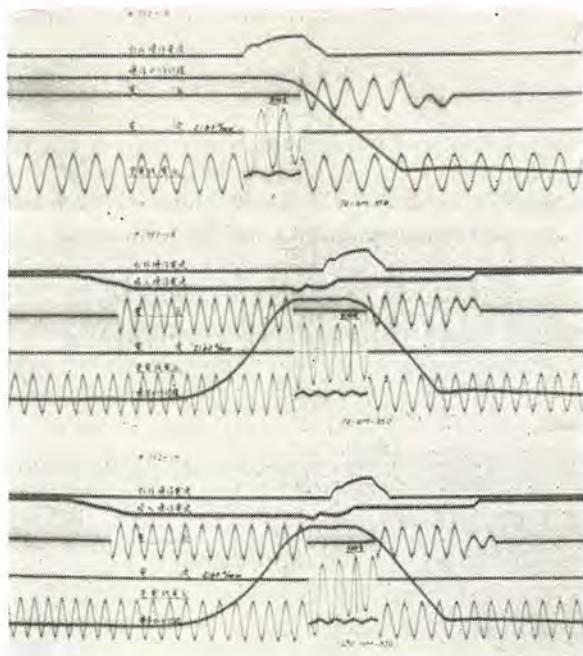


図 4.2 短絡電流遮断試験オシログラム 14.5kV 25,000 A

Fig. 4.2 Oscillograms of short circuit current interruption test.



図 4.4 遮断試験後の各コンタクト
Fig. 4.4 Contacts after interruption test.

各油槽は共通チャネル上に固定されているので、三相連結調整は現地据付の際行わなくて良い。

4. 塩害対策が容易である

最近各地で種々論議されている塩害に対する処置はタンク形では套管の得管のみを考慮すれば良い。得管自身が遮断器本体の構造の一部を形成している他の形の遮断器と異なり、遮断器本体各部寸法部品は豪も変更する必要がない。

6. むすび

以上で 70-GM-350 形油入遮断器の構造および性能を紹介したが、従来より 161kV 以下の遮断器ではタンク

試験番号	56 kV 10.5 A 短絡電流遮断試験 第2-2回							
	遮 断 電 流 (A)	遮 断 電 流 率 (%)	遮 断 電 流 量 (A)	遮 断 電 流 率 (%)	遮 断 電 流 量 (A)	遮 断 電 流 率 (%)	遮 断 電 流 量 (A)	遮 断 電 流 率 (%)
751-4	0	10.5	0	0	56	100	1.55	0.45
751-5	0	10.5	0	0	56	100	1.55	0.30
751-6	0	10.5	0	0	56	100	1.55	0.50

動作状況
無 L 無 L 無 L 噴出せず 拡張子

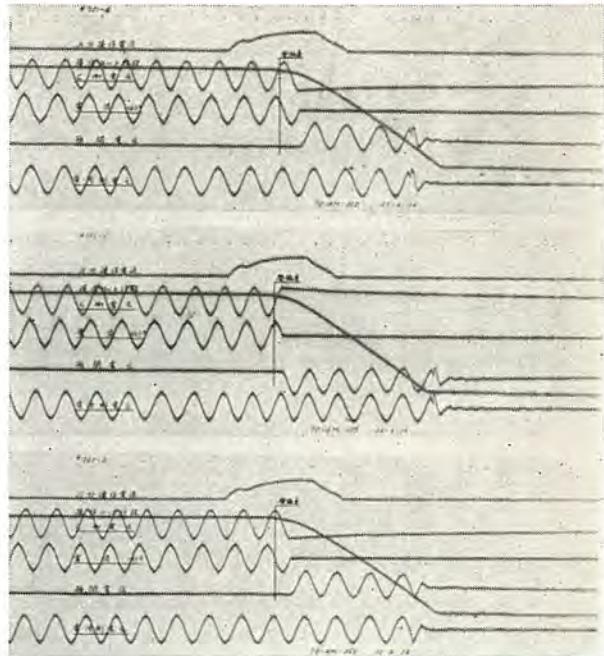


図 4.3 充電電流遮断試験オシログラム 56 kV 10.5 A

Fig. 4.3 Oscillograms of charging current interruption test.



図 4.5 遮断試験後の消弧室ファイバ板

Fig. 4.5 Fiber board of arc extinguishing after interruption test.

形は不経済であり、かつ旧式のような印象を与えてきたがこの遮断器の出現により据付保守が容易であり機械的にも安定なタンク形の有利性がさらに認められるものと確信する。かつ優秀な遮断性能を有し油の寿命も長く加えて改良された B.C.T の内臓等により経済的にもなんら損色がない。なお同類系には 140-GM-500 形、100-GM-500 形油入遮断器があり、それぞれ 161 kV, 5,000 MVA, 115 kV, 5,000 MVA の定格でありすでに関西電力、中部電力、中国電力株式会社等へ納入され 70-GM-350 形を合わせて 100 台をこえる受注があり、今後需要の伸展に伴ないますます好評を博すことと信ずる。

超小形ゲルマニウムダイオード

研究所 清水潤治*

Ultra-Small Germanium Diodes

Engineering Laboratory Junji SIMIZU

In the manufacture of glass-sealed germanium diodes of new development, the most vital problem is how to protect the germanium crystal from high temperature in the process of sealing, which, then, has brought an entirely new method of production. A polishing method of cat whisker and electrical forming process fit to the mass-production have been also determined as a result of trial manufacture. To guard against the lowering of the rectifying sensitivity of the germanium diode at high frequencies it is essential to shorten its recovery time. The employment of a crystal with a small resistivity together with an application of heavy forming is found effective.

1. まえがき

ゲルマニウムダイオードは小形で、しかも高性能を有するために、通信機器、電子応用装置等に数多く用いられつつある。のみならず、最近はテレビの映像検波用、スーパーラジオの第二検波用にも賞用されつつある。これに伴って生産原価の低下が一層強く要望されるに至っている。当研究所で最初に開発したものは、図1.1に示すようなガラスとコバルトとの封止による、ハーメチックシール（気密封止）を行ったものであった。これは製作工程に無理を伴わず、しかも安定した特性が得られる点において、現在もなお第一線に立ちうるものである。しかし構成部品の比較的多いことのために量産に不向きであり、生産価格の低減を行うことは困難であった。

この理由のために量産に適するような新形構造のものの開発を引続いて行っていたのであるが、32年度にはいって新形の製作上の諸問題が解決されるに至り、生産も順調に進むようになった。この新形ダイオードは米国Hughes社で最初に実用化された全ガラス封止のものを範としたものであって、図1.1(b)に示すような外形を有し、直径約2.5 mmの超小形である。現在、わが国のダイオード、トランジスタ製作者のうち、この種の構造

を探っているのは当社以外わずか1社に過ぎないことは、製作上多くの困難点のあることを物語っており、しかも製作方法、あるいは装置などは、すべて当所で独自に開発されたものである点に意義がある。

2. 構造

構成要素をできるだけ簡略にして、必要なものだけに止めることは、部品の小形化にのみならず、生産価格の低減にも必要なことである。現在、主要製作会社の製品は、初期の複雑でしかも大形の構造のものから、次第に簡単で小形の構造のものへと移行しつつある。ダイオードの構造上もっとも留意すべき点は水分の侵入を防ぐことにある。初期のものは構成部品が多いために、湿気の

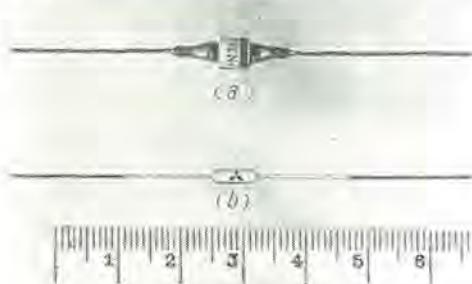


図1.1 コバルト封止形ダイオード(旧形)と超小形ダイオード(新形)

Fig. 1.1 Ultra-small diode compared with old type of kovar sealing.

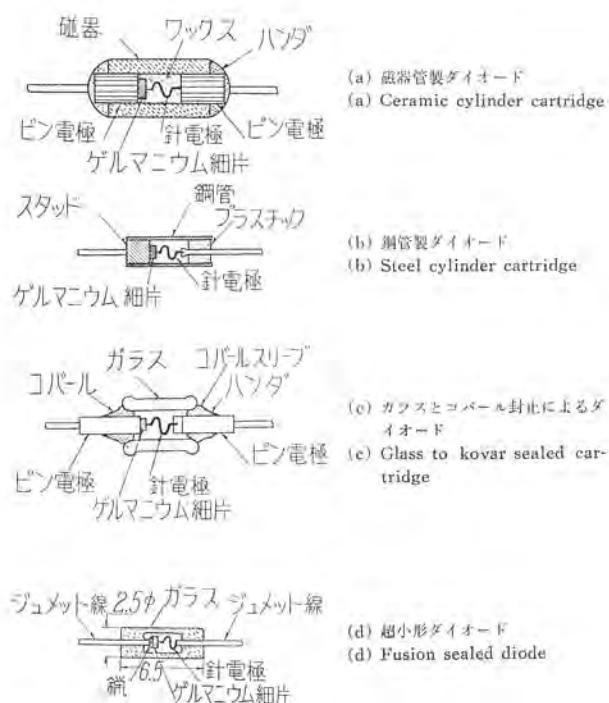


図2.1 各種ダイオードの構造
Fig. 2.1 Typical cartridges for germanium diodes.

浸入する通路ができやすく、防湿は単にワックス類の充填物のみに頼っていたのであるが、現在は乾燥ガスを封入したのち、気密封止を行った構造のものが次第に常識化しつつある。

つぎに、現在の欧米の主要な製品の構造について述べる。ダイオード用ケースとして用いられている材料には磁器とガラス、および鋼管がある。これらの代表的な構造は図2.1に示してある。図2.1(a)はたとえばドイツS.A.F.社のもので、直径約4mmの磁器管を用いたものである。管の両断面には白金焼付が施されていて、図のように両端から挿入したピン電極をハンダで気密封止をする。なおピン電極はその周囲にはナールのような条溝がつけられてあって、管に圧入することによって固定されるようになっている。この構造は磁器の製作、あるいは白金焼付に高度の技術を必要とする。

钢管によるものは、たとえば米国シルバニヤ、レイセオンの製品に見られる。図2.1(b)のようにゲルマニウム細片を鐵づけした金属スタッドは管に溶接されており、針電極はプラスチックによって管から絶縁されて接着されている。直径約3mmで、小形で量産に適するが、プラスチックと金属部材との気密接着に問題があると思われる。

ガラスを用いたものは最も完全な密封構造が得られる。図2.1(c)はコパールとの封止を利用したものの一例である。すなわちガラス管の両端にコパールの輪を溶着しておき、その後ピン電極を挿入してハンダで気密封止をする。この構造はRCA、シルバニヤをはじめとしてわが国でも多くの製作者が採用している。ただ前述のように製作工程が多いため量産に適しない点が短所である。

さて新形の構造は構成要素がきわめて簡単である点において、上述の各種のものとは趣を一変したものである。すなわちリード線に直接ゲルマニウム片および針電極を接着して、これを直接ガラス管に封止した構造になっている。図2.1(d)に示すようにリード線としてジュメット線を用いており、これをガラス小管に直接封止したもので、これによって外形寸法を図に示すようにきわめて小さくすることができたばかりでなく、製作工程が簡単となり、量産に適した構造のものにすることができた。しかもガラスとジュメット線との封止を利用しているから、気密封止が完全であり、その上振動や衝撃に対しても強い。ただ以下に述べるように、組立工程中ジュメット線をガラス管に封止する際に、ゲルマニウム細片が数100°Cの高温にさらされることになるので、これに耐えうる接着方法と、ゲルマニウム表面の酸化を防ぐことが重要な問題となる。これらの問題のために製作工程は従来のものと非常に異なったものとなる。

3. 製作工程の概要

製作に当って最も問題になるのは溶融封止の際の熱で

超小形ゲルマニウムダイオード・清水

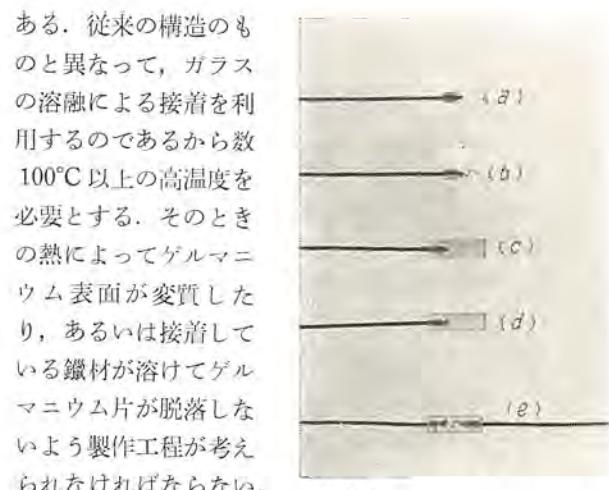


図3.1
Fig. 3.1 Process of producing ultra-small germanium diode.

まず図3.1(a)に示すようにあらかじめジュメット線にガラスビードをつけておく。つぎに一方のジュメット線に同図(b)のように針を溶接し、もう一つの方にはガラス管を溶着して(c)に示すような片方の開口したガラス管体をつくる。その後(d)のようにゲルマニウム片を鐵づけする。ゲルマニウム表面を化学的にエッチングした後、針電極を挿入して適当な圧力で固定しつつ、ビード部分を加熱して管本体と融着する。これで(e)のようなダイオード本体ができ上ったことになる。最後に電力フォーミング処理を行って特性の改善と安定化を行う。

以上の工程においてとくに注意すべき点を述べよう。まず封止のときの熱は輻射によってゲルマニウムの表面をも同時に加熱する。したがって酸化などの悪い影響を避けるために不活性ガス中で封止を行うとともに、これに要する時間をできるだけ短くすることが必要である。封止に要する時間を短くするためにはガラスの溶融点を下げる、およびガラス管の肉厚を薄くすることが望ましい。たとえばゲルマニウム細片、そのほかの材料、および製作条件を同一にして、鉛ガラスとソーダガラスを用いた試作品の特性の分布を比較すると図3.2に示すようになる。ソーダガラスは鉛ガラスより軟化点が50~70°C高い。したがってそれだけ封止の際に高温を必要とする結果、逆方向特性に悪い影響が現われるものと思われる。

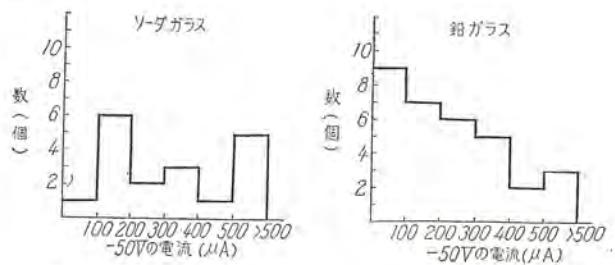


図3.2 ソーダガラスと鉛ガラスを用いたダイオードの逆方向特性の分布

Fig. 3.2 Distribution of back current at 50 volts for diodes from soda-glass and lead glass.

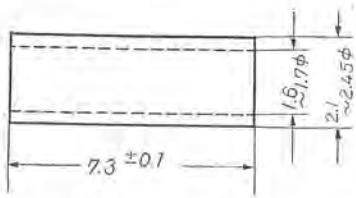


図 3.3 ガラス管寸法

Fig. 3.3 Dimension of glass tube.

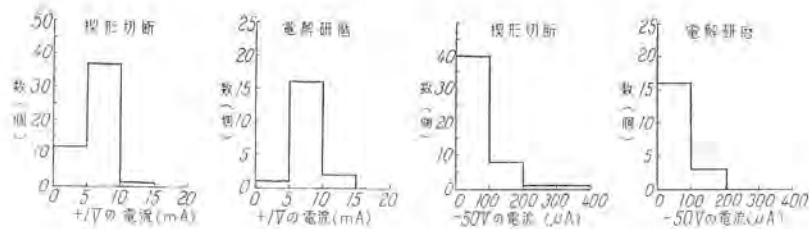


図 3.4 2種類の針電極の成形法によるダイオードの直流特性の分布の比較

Fig. 3.4 Comparison of distributions of D-C characteristics for diodes using whiskers formed by mechanical and electrolytic methods.

ガラスの内厚を薄くすることは上に述べた点に関して有効であるが破損しやすくなる。現在用いているものは図3.3に示すもので、あとで述べるように苛酷な振動試験にも十分耐えうることが確認された。

針電極の寸法および材質はこの種の整流器の特性に大きな影響を及ぼす。このダイオードでは $0.125 \text{ mm} \phi$ のタンクステン線を S 字形に成形したものを使っている。先端の成形法として電解研磨によるものと、一定角度で切削して、いわゆる楔形にする機械的な方法がある。前者は円錐形にとがりゲルマニウムに圧着後の接触面は円形になるが、後者は梢円形になる。また組立時ににおける接触圧力の調整は前者の方が円滑に行える。しかし量産には後者の方が適している。そこでこれら2種の針を使った試作品についてその特性を比較すると、図3.4に示すように順方向特性にも逆方向特性にも有意差は認められなかった。このような理由から針の先端の成形法として機械的切削による方法をえらんだ。

フォーミング処理は工程中もっとも経験と熟練を必要とする操作である。ダイオードに直流あるいは交流によるパルス大電流を適當回数通すことによって、直流特性、とくに逆方向抵抗を増加させ、かつ特性を安定化することができる。パルス時間は数十ミリ秒程度が適當ともいわれ⁽¹⁾、また数百ミリ秒が適當であるともいわれている⁽²⁾⁽³⁾。フォーミング電流の方向による差異はダイオードのようにタンクステン線を針電極に用いたものでは認められず、いずれの方法をえらんでも到達しうる結果は同じである⁽¹⁾。その機構として一般に、ゲルマニウムの表面の針電極の接触部の近傍で熱的にアクセプタ準位を生じ、その結果一種の $n-n$ 接合を生じるといわれている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。試作結果によると、パルスの時間は實際は歩留に微妙な影響を与えるようである。傾向としては、パルス時間の短いほどフォーミング電力の調節が容易で失敗が少いが、その後において逆方向抵抗がフォーミング前の低い値に逆戻りしやすくそのための不良率が多くなる。これらを総合して歩留が最大になるような時間をえらぶことが量産上重要である。図3.5はパルス時間400ミリ秒と600ミリ秒のフォーミングを行った2組のダイオードのロットについて、フォーミング直後および100時間エージング後の特性の分布を示したものの一例である。たとえば -10 V で $10 \mu\text{A}$ 以下の規格が要求されるときには、400ミリ秒のものはフォーミ

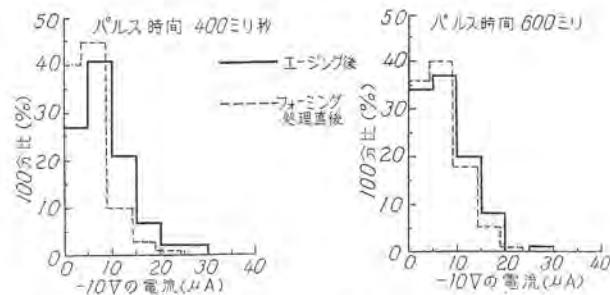


図 3.5 フォーミングのパルス時間による逆方向特性の分布の相違

Fig. 3.5 Effect of pulse time of electrical forming on the distribution of reverse characteristics of germanium diodes.

グ直後の歩留はよいがエージング後かえって歩留が低下して、結局 600 ミリ秒の方が有利であるということになる。どの程度の時間が最適であるかは要求されている特性からも決定されなければならない。

4. 直流特性

点接触形ダイオードにおいて直流特性を支配する要素として結晶の比抵抗、寿命時間、移動度などの特性、表面処理、フォーミング処理などがあげられるが、ここではおもに、この構造の直流特性に及ぼす影響について述べる。

この超小形ダイオードでは、逆耐電圧が最高 150 V の高逆耐圧用の MD55、あるいは順方向抵抗のとくに低い高伝導用の MD56 を始めとして各種の規格のものが得られる。この構造において最も重要な問題の一つは、針電極の接触点に発生した熱の放散である。点接触形ダイオードでは熱の放散はおもに半導体からピンを経て外部

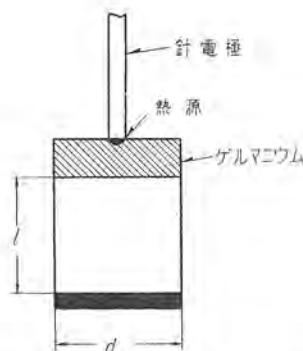


図 4.1 ダイオードの構造の模型

Fig. 4.1 Idealized diode package drawing.

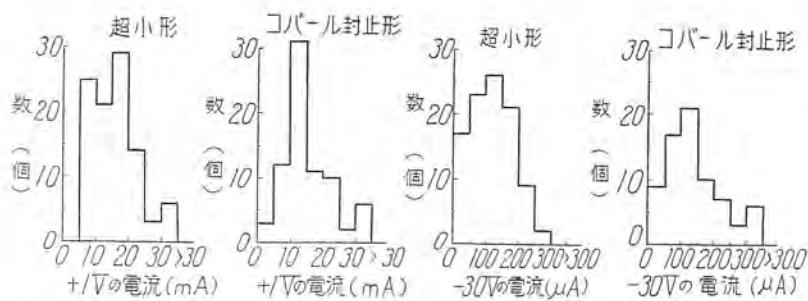


図 4.2 超小形ダイオードとコバール封止形ダイオードの直流特性分布の比較
Fig. 4.2 Comparison of the distributions of forward and back current of diodes by fusion sealing and by glass to kovar sealing.

への伝導によるのであって、針からの伝導は無視できる。そしてこの伝導を支配するおもな要素はピンの寸法と熱伝導率である。すなわち図 4.1 に示すようにピンの直径を d 、熱除去源までの長さを l 、熱伝導率を k とすると、 $4l/\pi d^2 k$ が小さいほど熱放散がよいことになる⁽⁸⁾。この構造のものは、 d および k はジュメット線の直径および熱伝導率になるから、太くて熱伝導率の良好な材質のピンを用いた従来の構造のものに比較して熱放散がやや劣る。たとえば逆方向印加電圧が 200 V 以上になると、発生熱量が十分に放散されないために温度上昇を起し、動作が不安定になる。この理由によって 150 V がこの種の構造の逆耐電圧の限度であると考えられる。この点をのぞけば他のすべての点においてこれまでの構造のものを凌駕している。とくに全ガラス封止による気密構造は残留水分がきわめて僅かであること、湿気の浸入するおそれが皆無であることなどの特長があるため、得られた直流特性は良好で、かつ安定である。図 4.2 は高伝導用 MD 56 を目標にした製品の特性分布を示している。用いた結晶の比抵抗は $2 \sim 3 \Omega \text{cm}$ 、寿命時間は $10 \sim 20 \mu\text{s}$ である。なお比較のために同じ比抵抗値の結晶を用いた旧形のコバール封止形のものの特性分布を示してある。

5. 高周波特性

ゲルマニウムダイオードは高い周波数において整流特

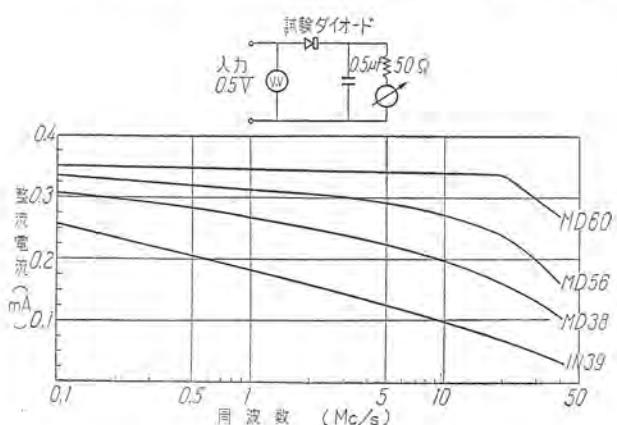


図 5.1 各種ダイオードの周波数特性および試験回路
Fig. 5.1 Rectified current as a function of frequency for the typical germanium diodes and circuit for measuring rectified current at 40 Mc/sec vs.

超小形ゲルマニウムダイオード・清水

性が低下する傾向がある。これは普通に考えられる単なる静的な堰層容量に起因しているものではなく、針側からゲルマニウム体内に注入された小数キャリヤー n 形ゲルマニウムのときは正孔の蓄積、いわゆる正孔蓄積効果(Hole storage effect)によって起るものである。この現象は点接触形トランジスタにおいて見出されて以来⁽⁷⁾、とくにこの効果の強い接合形ダイオードを対象として多くの研究がなされている。

点接触形ダイオードにおけるこの効果についてのべると、まずこれに順方向電圧が加えられると、針の接触点近傍のゲルマニウム表面の反転層(Inversión layer)における正孔がゲルマニウム体内に浸入してゆく⁽⁸⁾。その結果ゲルマニウム体内のこの層に隣接している部分では平衡状態よりも多い正孔が蓄積され、奥に行くにつれて電子と再結合するため減少して平衡状態に近づく。つぎに印加電圧が逆方向に転換されると、蓄積していた正孔が引出されるため、それによる電流が流れて本来の高い抵抗値に回復するまでに若干の時間を要する。この時間は一般に回復時間(Recovery time)といわれており、上述のことから明かなように正孔の蓄積量が小であるほど短くなる。そして周波数が高くなるにつれてこの時間が無視できなくなつて整流作用が減じることになる。さて正孔の蓄積量を支配するおもな要素は正孔の寿命時間(Life time)と移動度である。これらの値が大きいほど蓄積量は大である。寿命時間と移動度は一般に結晶が高純度かつ完全であるほど大である。したがつてこのような結晶を用いたダイオードほど蓄積効果が大であるためにかえって周波数特性が悪いといふ結果になる。結晶の比抵抗が高いほどこのような傾向が強いから、逆耐電圧の高いダイオードほど周波数特性が悪くなる。

図 5.1 は種々の比抵抗の結晶を用いたダイオードの周波

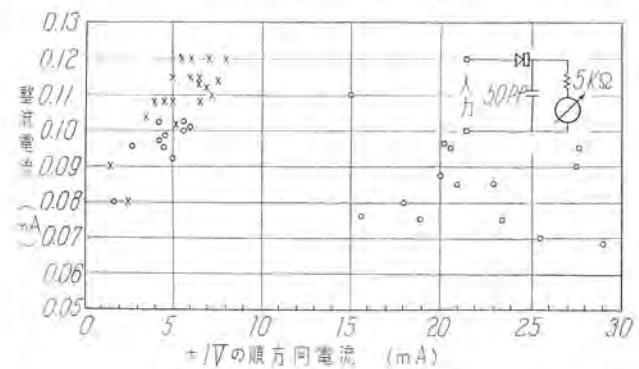


図 5.2 結晶の異なるダイオードの 40 Mc/sec の整流特性と順方向電流との関連性
○ 3~4Ω cm × 1Ω cm □ 5KΩ

Fig. 5.2 Plotting of rectified current at 40 Mc/sec vs forward current at 1.0 volt for a number of samples of diode from different ingots of single crystal.
○ 3~4Ω cm × 1Ω cm □ 5KΩ

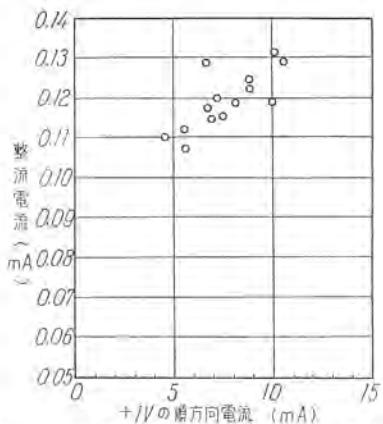


図 5.3 同じ結晶を用いたダイオードの 40 Mc/sec の整流電流と順方向電流との関連性

Fig. 5.3 Plotting of rectified current at 40 MC/sec vs. forward current at 1.0 volt for diodes from same ingot.

数と整流電流の関係を示すものである。ただし整流電流は図に示す回路に 0.5 V (rms) の電圧を加えたときの値をとったものである。IN39, MD38, MD56, MD60 に用いている結晶の比抵抗はそれぞれ約 $30\Omega\text{cm}$, $10\Omega\text{cm}$, $2\Omega\text{cm}$, $0.5\Omega\text{cm}$ である。ダイオードの直流特性の点からいえば結晶の寿命時間が長く、移動度の大であることが望ましいが、このことは一方周波数特性の上から見て好ましいことでないという矛盾した傾向になる。図 5.1 より明かのように 40 Mc 程度の高い周波数帯での整流感度はおもに正孔蓄積効果によって支配されるから低い周波数でのものとかなり異なってくる。したがって直流特性の優劣のみで感度の良否を判定することは困難である。たとえば比抵抗の異なる 2 種類の結晶で製作した多くのダイオードについて順方向特性と 40 Mc の整流感度との関係をとると図 5.2 のようになる。ただし整流感度として同図に示す回路において 40 Mc, 1 V (rms) を加えたときの整流電流をとってある。また逆方向特性の相違による影響をさけるため試料として逆方向電流が -30 V で $300\mu\text{A}$ 以下のものをえらんだ。同図で明かのように比抵抗の高い結晶によるロットは順方向特性がすぐれているにもかかわらず、高周波特性が劣っていることから、いかに正孔蓄積効果が高周波特性に大きく影

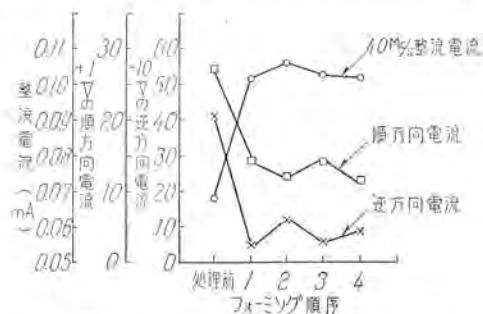


図 5.4 フォーミング処理による 40 Mc/s 整流特性および直流特性の変化

Fig. 5.4 Variation of rectified current at a frequency of 40 Mc/sec and D-C characteristics during electrical forming treatments.

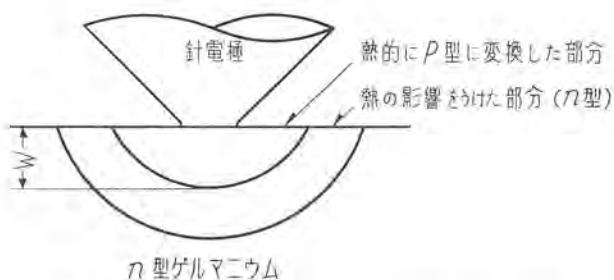


図 5.5 ゲルマニウムダイオードの針電極近傍の状態

Fig. 5.5 Section of region near the point in a point contact germanium diode.

響を及ぼすかがわかる。

つぎに同じ単結晶から製作されたダイオードで逆方向抵抗のほぼ等しいものについて、図 5.2 と同様に順方向特性と 40 Mc 整流感度との関係をとると図 5.3 のようになる。この図から明かのように結晶や表面処理法が同一の条件であっても、なおかつ高周波特性においてはつきが認められる。この原因について検討した結果、フォーミングにあることが明かになった。たとえば同じ試料についてフォーミング前、およびフォーミングを数回繰返してそのつど直流特性と高周波特性とを測定した結果は図 5.4 のようになる。ただし直流特性として $+1\text{ V}$ と -10 V の電流値をとり、高周波特性として図 5.1 と同様の条件で測定した 40 Mc 整流電流をとっている。この図から明かのようにフォーミングによって高周波特性がいちじるしく向上すると同時に、フォーミングの程度によっても高周波特性に変動がある。これはフォーミングによって直流特性が改善されたためではなく、回復時間が短くなったことによることは同図から推測できる。このようにフォーミングによって回復時間が短くなるのはつきの機構によるものと考えられる。n 形ゲルマニウムに針を接触したときの順方向電流のうち正孔によって運ばれる割合、いわゆる注入比 (Injection ratio) γ は 1 である⁽⁹⁾。そして γ が小であるほど正孔蓄積効果は減じる。しかしにフォーミングを加えると γ が非常に減少する⁽¹⁰⁾。これは前述のようにフォーミングによって針の接触点近傍が p 形に変換して一種の p-n 接合が生じることに起因する。すなわち図 5.5 に示すようにフォーミング後に形成された p 層の厚さを W , p 層および n 層の伝導度をそれぞれ σ_p , σ_n , 正孔の拡散距離を L_p とすると

$$\gamma = \frac{1}{1 + \sigma_n L_p / \sigma_p W}$$

となる。そして W は一般に非常に小になり γ は 1 より非常に小になる⁽¹⁰⁾。このほかフォーミングのときの熱的ショックによって正孔の寿命時間が減少することも考えられる⁽¹¹⁾。このような原因によってフォーミングによる正孔蓄積効果が減少し、かつまたそのたびごとに p 層の厚さ W や寿命時間が変るためにこの効果に変動のあることも予想できる。

以上述べたように映像検波用ダイオードのようなどく

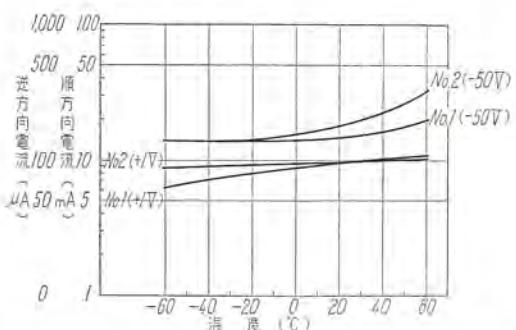


図 6.1 ゲルマニウムダイオードの直流特性の温度変化

Fig. 6.1 Variation of D-C characteristics with temperature for germanium diodes.

に高周波特性の要求されるものに対しては、比抵抗の低い結晶を用いるばかりでなく、十分強いフォーミングを加えることが望ましい。

6. 温 度 特 性

ゲルマニウムダイオードは温度上昇の生じる箇所で使用されることが多い。したがって許容周囲温度が高いことが望まれる。その限度はゲルマニウムの禁制帯の幅によって決っているが、一般に点接触形は接合形より高温度に耐える。点接触形では表面堰層による整流機構のほかフォーミングによる $p-n$ 接合による整流機構をもあわせて考えなければならない。したがって $p-n$ 接合の生成の状態の相違から、温度特性は個々のものによってばらつきがある。図 6.1 は MD34 形について +1V および -50V の電流値の -60°C ~ +60°C の温度特性である。試料によって温度特性に違いがあるが、一般に順方向特性は逆方向特性に比較して特性の変化は小である。普通の使用条件では -60~70°C の温度範囲で十分に動作することが同図より明かである。

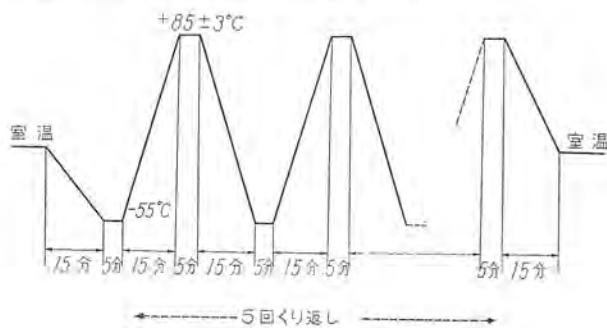


図 7.1 温度サイクル

Fig. 7.1 Temperature cycles.

表 7.1 MD34 形の温度サイクル試験前後の直流特性の変化

試料	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
+1V 前	11.0	9.0	11.5	10.0	10.1	13.1	15.0	10.1	7.6	7.7
(mA) 後	11.1	8.3	10.2	9.7	10.4	13.9	14.3	9.9	7.3	7.6
-10V 前	10.0	5.0	10.0	8.0	13.0	3.0	5.0	4.0	3.0	5.0
(μA) 後	10.0	4.0	6.0	7.0	12.0	2.0	4.0	3.0	3.0	7.0
-50V 前	190.0	135.0	180.0	165.0	120.0	45.0	74.0	21.0	32.0	57.0
(μA) 後	182.0	131.0	173.0	158.0	114.0	49.0	70.0	20.0	26.0	56.0

超小形ゲルマニウムダイオード・清水

表 7.2 振動試験前後の直流特性の変化

試料	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
+1V 前	11.0	11.4	7.4	9.7	7.2	10.5	10.1	12.5	11.5	14.5
(mA) 後	10.1	11.5	7.9	10.0	7.4	10.4	10.1	12.5	12.5	14.4
-10V 前	8.5	8.5	12.0	15.0	16.0	11.5	10.0	7.0	14.0	11.0
(μA) 後	8.2	8.5	12.0	15.0	19.5	12.0	10.5	8.5	12.0	10.0
-50V 前	250	130	180	200	200	215	310	140	270	110
(μA) 後	240	130	160	190	230	220	320	160	290	110

7. 機械的試験

ダイオードは使用条件によって、たとえば航空機用無線機などに使用されるときには、急激な温度変化と機械的振動を受けることを考慮に入れなければならない。そのため多くの試験項目が制定されているが、そのうち最も重要であると思われる温度試験と振動試験を行った結果について述べる。

温度試験については無線通信機械工業会制定の CES 規格に基づいて行った。すなわち -55~85°C の間の温度サイクルを図 7.1 のような時間で 5 回反復する。試料 10 個について、その前後における特性の変化を測定した結果は、表 7.1 に示すとおりいずれも規格を満足しているばかりでなく、試験前後の変動もきわめてわずかであった。温度試験で問題になるのはタンゲステン針とガラス本体の膨脹係数である。前者は 0~100°C の範囲で約 45×10^{-7} 、後者は 95×10^{-7} で反対方向に影響を与える。一方、鋼あるいはモールド管は膨脹係数がこれより 10 倍程度大であるから、全ガラス式はこの点においても優秀性を示している。

振動試験については JAN/ARC-27 に使用する部品の特殊試験方法に基づいて行った。すなわち振幅 $\pm 0.4\text{mm}$ 、振動数 5~55 c/s の範囲を 1 分間に約 50 c/s の割合で変化する振動を、ダイオードの上下、左右、前後の三方向にそれぞれ 2 時間ずつ、計 6 時間加えた後、その特性の変化を調べた。(その後ゲルマニウムダイオードについて JAN/ARC-27 用仕様書が CES で制定された。それによる振動試験の条件は、振幅 $1\text{ mm} \pm 5\%$ で周波数 $25 \pm 2\text{ c/s}$ の正弦波振動をする台上にダイオードを固定し、その接合面に平行な方向に 10 分間振動させるのである。これに比較すると上述の試験条件はいちじるしく厳重であると思われる。) MD34、10 個についての測定結果は表 7.2 に示すとおりであって、いずれも規格内に十分はいっているばかりでなく、試験前後の特性の変化は僅少であった。これは構成素材が簡単なこと、全体が小形で一体化していることなどのために、振動試験に対してもきわめて強固であることが実証された訳である。

8. 寿命試験

この種の部品はいわゆる半永久的であると称されている。しかし現実にはやはり時間の経過と共に劣化が起りうる。劣化の最大原因は水分である。すなわち周囲の気体中の水分によってゲルマニウム表面は徐々に化学的に変質して、最後に導通不良の状態になる。そしてこの作用はダイオードに消費される電力損失による発熱によって促

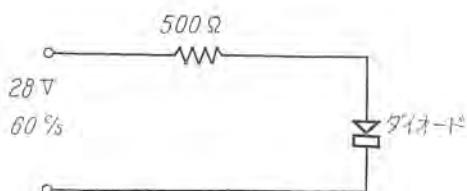


図 8.1 寿命試験回路
Fig. 8.1 Lifetest circuit.

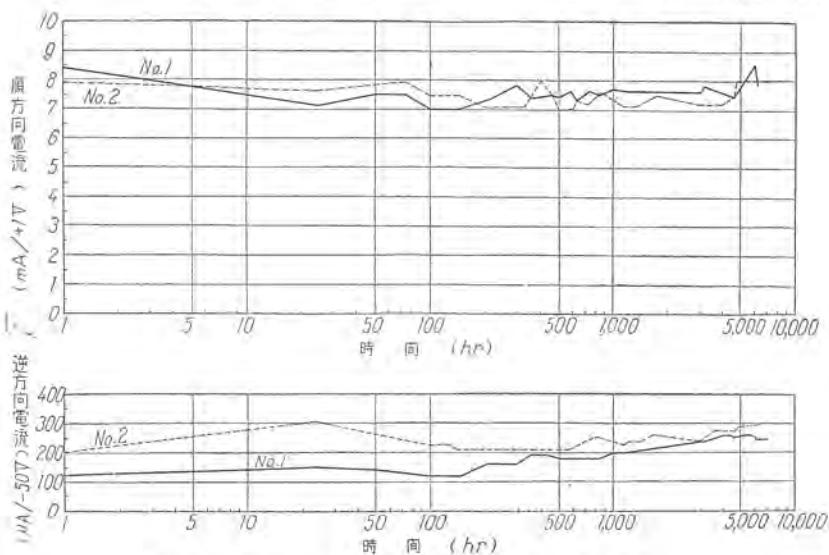


図 8.2 寿命試験中の順方向および逆方向電流の変化
Fig. 8.2 Variation of forward and reverse currents of diodes during the lifetest.

進される⁽¹²⁾。また相対湿度 20%以上になると整流特性が直ちに影響を受ける。すなわちゲルマニウム表面での吸着水によるイオン伝導によって順逆両方向の抵抗に変化が起る⁽¹³⁾。とくにエッティング液による不純物イオンが、表面に残留したときは、一種の電解液層を生じて、漏洩電流増加の原因になるばかりでなく順方向抵抗に変動が起る⁽¹⁴⁾。またこれより少い量の水分によっても、表面の状態、たとえば表面電位は影響をうけ⁽¹⁵⁾、あるいは表面再結合速度に変化が起り⁽¹⁶⁾、その結果整流特性が変動する。したがってダイオードの内部に水分が残留しないこと、および完全な気密構造によって外部から水分の浸入しないことが、安定な特性と長寿命に必要な条件である。

新形ダイオードはこれらの点において、従来のものよりも一段とすぐれているといえよう。それは封止に当っていったん排気してから乾燥ガスを導入するため水分の残留するおそれがないこと、またガラスとジュメット線のみによる封止であるから真空管と同程度の完全な気密封止が得られることなどの理由による。

さて各形のものについて現在寿命試験を続行中であるが、その結果について述べる。その方法は防衛省規格に準拠したもので、図 8.1 に示すようにダイオードに 500 Ω の抵抗を直列に結んで、60 c/s, 28 V (rms) を加える。したがってダイオードには半波ごとに約 50 mA の順方向電流が通じ、逆方向には尖頭値 40 V に近い電圧が印加されることになる。これはダイオードの普通の使用状態に比較して、相当苛酷な条件であるといえる。このような試験条件に対して、寿命終止点を +1V で 5 mA,

-10 V で 75 μA, -50 V 1,100 μA と規定したときの最低許容時間は、1,000 時間と定められている。図 8.2 は MD34 形試料 2 個についての寿命試験中の +1 V と、-50 V における特性の変化の模様の一例を示したものであるが、7,000 時間の経過後においても、寿命終止点にお余裕があるばかりでなく、ほとんど劣化の微候をも示していない。各ロットに対して引続いて寿命試験を行っているが、十分満足すべき結果を示すことが明かになりつつある。

9. む す び

新形ダイオードの特長を要約するとつぎのようになる。

1. 小形軽量で、重さは旧形のコバルト封止形の約 1/6 である。
2. 真空管と同程度の気密構造がえられ、いったん排気してから封止するから水分の残るおそれがない。
3. 全体が一体化しているから機械的にじょうぶである。
4. 構成部品が少いから量産に適し、生産価格を安くすることができる。

この超小形ダイオードは物理第二研究室、化学第二研究室、工務課の協力を仰いで量産態勢にはいることができ、その結果大幅な生産価格の低下を実現することができた。現在当社無線機製作所をはじめとして各方面に利用されつつある。

擱筆に際し、終始ご指導とご援助を賜った、大野研究所長、菅野物理第一研究室長、八十田物理第二研究室長、塩見工務課長、吉松、神崎両研究員に、また、材料ならびに製作装置の設計、製作にご協力をいただいた、樋野、藤林、田中、松本各技師、その他の関係各位に深い感謝の意を表す。

引 用 文 献

- (1) H. K. Henisch: Rectifying Semi-Conductor Contacts, 127 (1957).
- (2) H. C. Torrey, C. A. Whitmer: Crystal Rectifiers, 370 (1948).
- (3) E. G. Roca, C. H. Jackson, R. P. Ulrich: J. App. Phys. 24, 228 (1953).
- (4) L. B. Valdes: Proc. I. R. E. 40, 445 (1952).
- (5) A. C. Sim: J. Elect. Cont. 3, 139 (1957).
- (6) J. N. Carman, W. R. Sittner: I. R. E. Conv. Rec. 3 (3), 105 (1955).
- (7) L. A. Meacham, S. E. Micheals: Phys. Rev. 78, 175 (1950).
- (8) J. Bardeen: B. S. T. J. 28, 428 (1949).
- (9) W. Shockley, G. L. Pearson, J. R. Haynes: B. S. T. J. 28, 344 (1949).
- (10) J. C. Henderson, J. R. Tillman: Proc. I. E. E. 104 (B), 318 (1957).
- (11) H. K. Henisch: Rectifying Semi-Conductor Contacts, 308 (1957).
- (12) 清水、増田: ゲルマニウムダイオードの劣化について
三学会連大予稿 (昭 30-5)。
- (13) J. T. Law: Proc. I. R. E. 42, 1367 (1954).
- (14) J. T. Law: J. Phys. Chem. 52, 67 (1955).
- (15) W. H. Brattain, J. Bardeen: B. S. T. J. 32, 1 (1953).
- (16) S. R. Morrison: J. Phys. Chem. 57, 860 (1953).

小又川直接接地系保護継電装置

神戸製作所 藤井重夫*・北浦孝一*・天野 恒*

Protective Relaying System of Komatagawa Loop Power Lines

Kobe Works Shigeo FUJII・Koichi KITAURA・Hisashi AMANO

As a countermeasure of increasing load on the Komatagawa transmission line system, the connection of sending and receiving transformers on the line side has been changed from delta to star to boost up the transmission voltages from 30 kV to 52 kV. With the neutral grounded directly the power line system has been made into of a loop so as to reduce the troubles by abnormal voltages, to increase the transmission capacity, and to improve efficiency and stability. The protective relaying system has been radically changed in line with it. A section provided with power line carrier telephone devices is to be changed over on the protective relaying side so as to operate as a directional power comparison carrier relaying. A section where there is no carrier devices, being relatively of a short distance, a pilot wire relaying is employed. The loop system taken into there protective system and power line assures the continuity of power by simultaneous interruption at both ends and three phase reclosing.

1. まえがき

三菱金属鉱業株式会社小又川送電線はわが国最初の直接々地ループ系統として計画されたものでその完成による成果が注目されていた。今回この系統に適用する保護継電装置5区間 10端子分すべてが工場試験を無事終了して去る8月中旬に現地据付も完了したので装置の詳細を紹介するとともに工場試験結果の大要を述べることにする。

2. 小又川送電線の概要

小又川送電線は昭和3年に初めて運転されたもので当時は小又川第1発電所の発生電力 1,400kW を尾去沢鉱業所へ送電するために建設された直長 32 km 中性点△非接地 20 kV の並行2回線送電線であった。その後小又川第2、第3発電所ができるに伴い発生電力も 4,200 kW となつたので碍子等を取替えて 30 kV 送電線として使用されてきた。ところが数年前頃から急激に負荷が増大しその負荷を補うために小又川第4発電所ができるに当たり発生電力も 10,000 kW 以上と増加して系統はすこぶる

不安定となりなんらかの改良が必要となってきたのである。この対策として 30 kV 側△を Y に接続変更し 52 kV として送電容量を増し、また中性点を直接々地して系統安定度の増大をはかるという方式が提案され昭和27年6月および昭和28年5月と2回にわたって直接々地昇圧現地試験が行われ、その結果なんら支障がないことが確認された⁽¹⁾。現地試験の貴重な結果から系統構成が検討され図2.1のごとく決定したのでこれに適合する保護継電装置としてつぎのようなものが考えられた。

(1) 獅子沢変電所一小又川第4発電所間に既設の搬送電話があるのでこのチャンネルを利用して故障時のみ継電装置に切替えて電力方向比較搬送保護方式とする(ただし本系統では既設装置が老朽化していたので後で搬送電話装置も新設のものと取替えた)。

(2) 獅子沢変電所一小又川第2発電所間、小又川第2発電所と小又川第4発電所間の距離が比較的短いので表示線で小又川第2発電所の継電器動作を小又川第4変電所に送り、獅子沢変電所との間で電力方向比較搬送保護方式を行う。このため搬送装置が節約されることになる。

(3) 小又川第2発電所一小又川第1発電所間、小又川第4発電所一小又川第1発電所間および小又川第3発電所一小又川第1発電所間はいずれも短距離であるから電流循環式交流表示線保護方式を採用する。

(4) ループ系統の故障時には三相低速度再閉路装置により再閉路1回行う。

小又川全系の保護方式は以上の原理より構成されており電力方向比較方式として短絡は HZ-1 形高速度インピーダンス継電器、接地は HR 形電力方向継電器を使用している。表示線継電装置は HCB-2 形表示線継電器を用いている。これらの詳細は次節にゆずることにする。

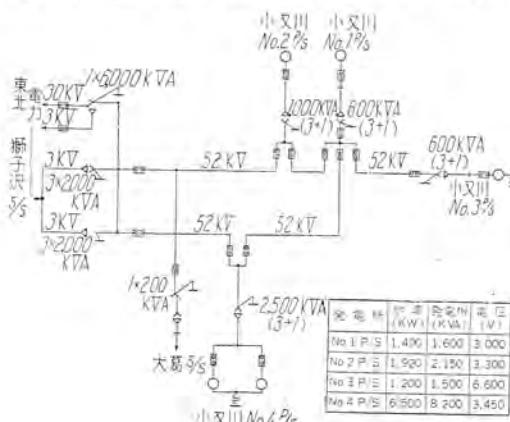


図 2.1 三菱金属鉱業株式会社小又川ループ系送電線

Fig. 2.1 System diagram of Komatagawa loop.

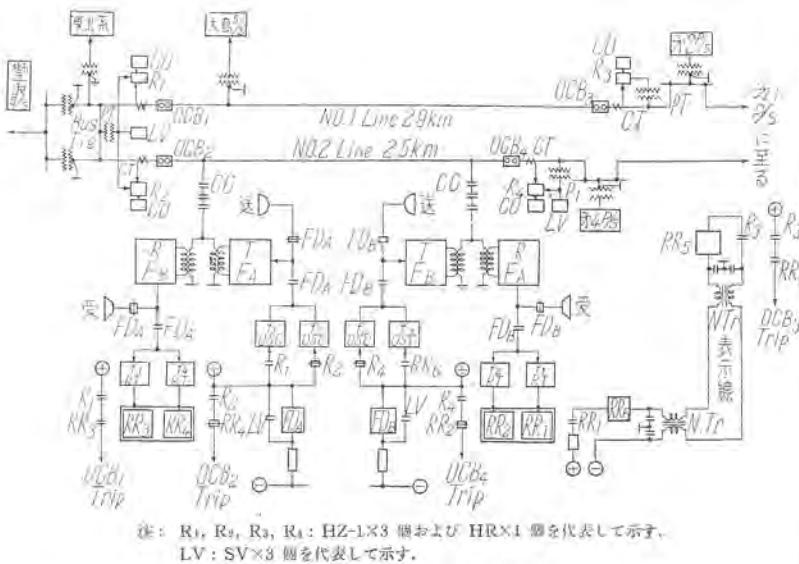


図 3.1 小又川系搬送継電方式説明図
Fig. 3.1 Diagram of carrier relay system.

3. 搬送継電装置

3.1 装置概略

図 3.1 は獅子沢変電所—第 2 発電所および獅子沢変電所—第 4 発電所間に設けられた搬送継電装置の原理、図 3.2 は同装置の接続展開図を示す。図で明らかのように搬送装置は獅子沢変電所—第 4 発電所間にのみに設置せられ常時は搬送電話として使用し、故障時に継電装置と切替えるものである。またこの装置を利用して獅子沢変電所—第 2 発電所間も保護するようにしておいたため第 2 発電所—第 4 発電所間で表示線を利用して信号を交換するようしている。この方式は 3 電気所のうち、ある 2 領所の距離が比較的短かく、この 2 領所と他の 1 領所が相当長距離であるばあいには経済的に有利である。これらの動作を図 3.1 により説明することにする。

獅子沢変電所の両回線に設置する主継電器は図示のごとく 1 号線では R₁、2 号線では R₂ を代表させているが、これらは前にも述べたように短絡故障に対しても HZ-1 形高周波インピーダンス継電器 3 個と接地故障に対しては HR 形高周波電力方向継電器 1 個とを示しているもので、いずれも第 2 発電所または第 4 発電所方向に故障が発生した場合にその接点を閉じるよう極性がきめてあるものとする。なお母線側には低電圧継電器 LV が接続されているがこれは SV 形低電圧継電器 3 個を代表するもので、正常な線路電圧がある場合には常に動作状態になりその接点を閉じているものである。

つぎに第 2 発電所端の R₃ および第 4 発電所の R₄ は同様に HZ-1 形継電器 3 個と HR 形継電器 1 個とを代表して示し、これらはいずれも獅子沢変電所方向に故障が発生したばあいにその接点を閉じるよう極性がきめられているものとする。なお第 4 発電所に設置せられた低電圧継電器 LV は獅子沢端のものと全く同様な動作をなし低電圧時その接点を開くように動作するものである。

搬送電話回線は図示のように接続されており、獅子沢変電所—第 4 発電所間で送受話が行えるようになっている。したがってこれら両端に設置された搬送装置を故障時のみ保護継電器回路に切替えて保護区間両端の継電器動作を搬送信号波によって相互に比較すれば、保護区間の内部の故障であるか外部の故障であるかの判別を両端において高速度で行わせることができ、もし内部故障であれば両端を高速度で同時に遮断することができるわけである。しかし第 2 発電所の継電器動作を第 4 発電所にまで伝達するためにはこの間に図示のように表示線 1 回線を設置することが必要である。

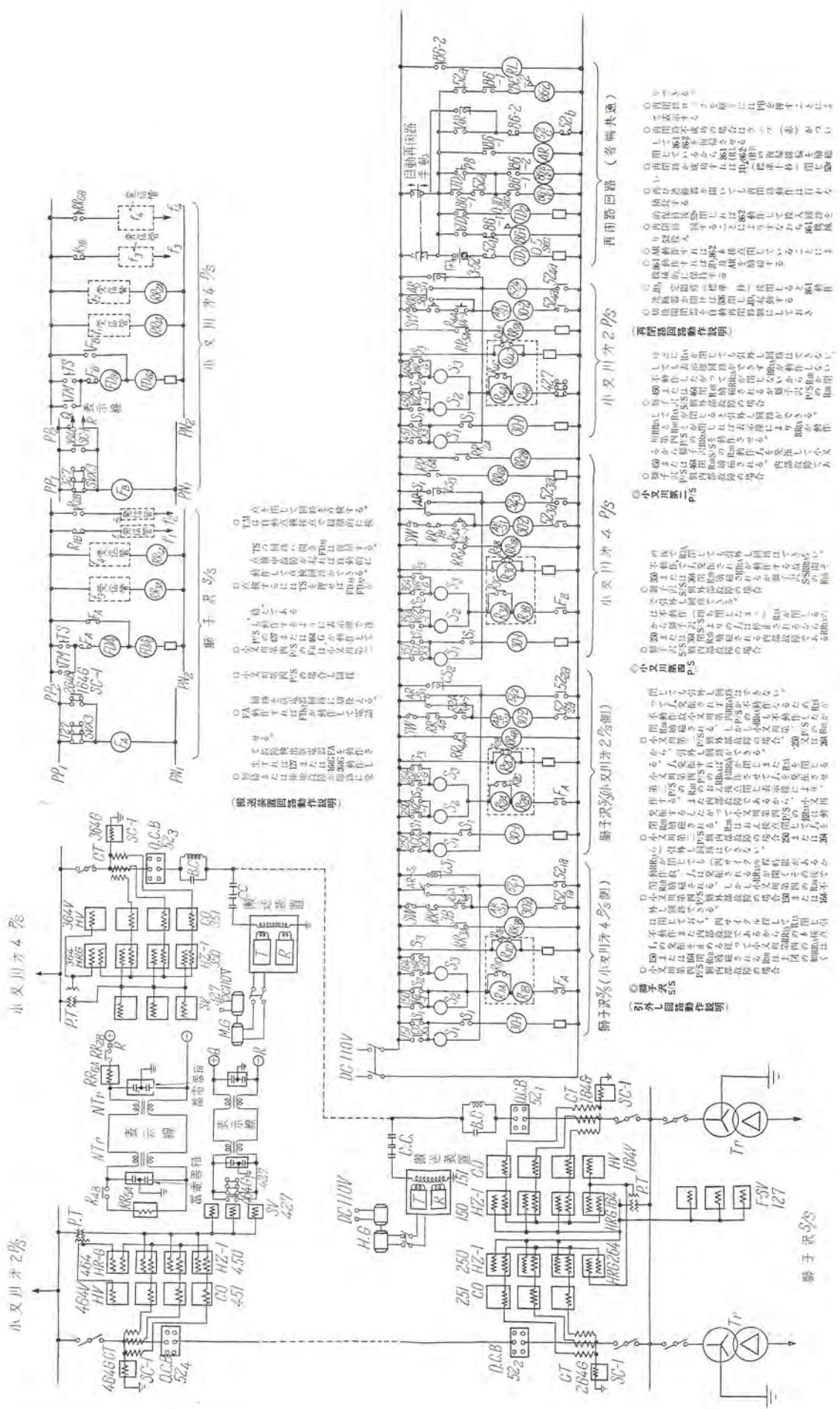
なお 4 端子の継電器動作を相互に伝達するためには 4 つの信号波が必要であり

このために獅子沢端送信装置には低周波発振装置 f₁OSC および f₂OSC を付加し第 4 発電所端送信装置には同じく f₃OSC および f₄OSC を付加し R₁ 動作時は f₁OSC を発振送出させ R₂ 動作時は f₂OSC の発振を停止させ第 4 発電所の表示線受信継電器 RR₄ が動作時には f₃OSC を発振送出、また R₄ 動作時には f₄OSC の発振を停止し、これらの低周波信号を搬送波に重畳させて各端の継電器動作をそれぞれの相手端に送出するようになっている。

他方これら 4 つの信号を受信するためには第 4 発電所受信装置に低周波受信增幅装置 f₁RT および f₂RT をまた獅子沢変電所受信装置には同じく f₃RT および f₄RT を付加しそれぞれの出力が得られたばあい、これらに対応する受信継電器 RR₁, RR₂, RR₃ および RR₄ がそれ動作し得るよう構成されている。

また獅子沢変電所および第 4 発電所に設置せられている故障検出継電器 FD_A および FD_B は常時線路に規定電圧があるばあいには LV が動作状態にありその O_n 接点を閉じて FD_A および FD_B を短絡しているから不動作状態にあるわけである。しかしもしこのループ系に一線接地故障あるいは短絡故障が発生したとすると系統の各相電圧は少くとも 1 相以上において相当程度に低下するから LV がその O_n 接点を開きこれによって FD_A および FD_B がほとんど同時に動作して両端の搬送電話送受話回路を切離しこれを保護継電回路に切替接続することとなる。

いま図示 No. 2 線路に故障が発生し故障電流が両端から流入したとすると、まず前述のように低電圧継電器 LV が両端において FD_A, FD_B をそれぞれ動作させ搬送電話回路を保護継電回路に切替える。この切替動作とともに両端送信装置からは f₁OSC および f₂OSC の信号が送出されこれを受信した両端装置の f₃RT および f₄RT はそれぞれ RR₂ および RR₄ を動作させ、その接



小又川直接接地系保護繼電装置・藤井・北浦・天野

Fig. 3.2 小又川ループ系搬送保護継電装置原理展開図

Back 接点によってそれぞれの引外し回路の 1 部を鎖錠する。

続いて両端継電器 R_2 および R_4 が動作するまではその Back 接点によって f_2OSC および f_4OSC の信号送出を停止するから両端の受信継電器 RR_2 および RR_4 も消勢し R_2 および R_4 の O_n 接点が閉じるとともに $R_2-RR_4-OCB_2$ および $R_4-RR_2-OCB_4$ の引外し回路が完成し両端同時に高速度同時遮断することとなる。

すなわち No. 2 線路の内部故障時には両端からの搬送信号波 f_2OSC および f_4OSC を阻止することによって引外し回路の鎖錠を解く方式によっているわけであるから故障点を経て搬送信号を伝送する必要がなく最も信頼性のある方式である。

つぎに第 4 発電所側に外部故障が発生したとすると前述同様に搬送電話回路は保護継電回路に切替えられ同時に両端より f_2OSC および f_4OSC の搬送信号波が線路に送出されこれを受信して両端の RR_2 および RR_4 が両端の引外し回路を鎖錠することは前述のとおりである。しかしこのはあいには故障電力は獅子沢変電所より流入し第 4 発電所端より流出するわけであるから獅子沢端の R_2 のみが動作し第 4 発電所端の R_4 は動作することはない。

したがって R_2 動作によって獅子沢端よりの抑制信号 f_2OSC は阻止され第 4 発電所端の RR_2 を消勢することとなるが第 4 発電所の引外し回路は R_4 不動作のため形成されることはない。他方 R_4 不動作から第 4 発電所端よりの抑制信号 f_4OSC の送出は故障中継続して線路に送出されるのでこれを受信する獅子沢端 RR_4 は連続してこの端の引外し回路を鎖錠していることとなりこの端においても引外し回路が形成されるおそれはない。

すなわち外部故障時には電力流出端よりの抑制搬送信号波が電力流入端の引外し回路鎖錠をおこなうわけいかなる外部故障時にも誤動作のおそれはない。

つぎに図示 No. 1 線路保護区間に短絡故障が発生したばあいを考えると、No. 1 保護区間と No. 2 保護区間が獅子沢高圧側母線、獅子沢低圧側母線、および第 1 発電所回りに 1 箇所以上で連繋されているかぎり No. 1 保護区間の故障時 No. 2 区間両端に設置せられた低電圧継電器 LV はその O_n 接点を開き FD_A および FD_B を動作させて搬送電話回線を保護継電装置に切換えることとなる。なお最悪のはあいも考慮して第 2 発電所にも LV を設置してその動作を表示線により第 4 発電所へ送って切替えができる。(このばあい No. 2 線路用保護継電装置の保護動作については前述外部故障時のばあいと同一であるから述べないこととする。)

つづいて両端の継電器 R_1 および R_3 が動作してその接点を開じると獅子沢端では f_1OSC の搬送波を線路に送出するとともに OCB_1 の引外し回路の一部を閉合する。一方第 4 発電所の受信装置 f_1RT は獅子沢端よりの搬送波を受信して受信継電器 RR_1 を動作させ第 4 発電

所端において表示線の一部を閉合する、他方第 2 発電所端でも同様に R_3 が表示線の一部を閉合して待機状態にあるから RR_1 の動作と同時に表示線には直流電流が環流し表示線両端の受信継電器 RR_5 および RR_6 を同時に動作させることとなる。

したがって第 2 発電所端では R_5-RR_6 を経て OCB_3 の引外し回路が完成される。同時に RR_6 の動作は第 4 発電所端より f_3OSC の搬送信号波を線路に送出させることとなりこれを受信する獅子沢端 f_3RT はこの端の受信継電器 RR_3 を動作させて R_1-RR_3 を経て OCB_1 の引外し回路を完成することとなる。

すなわち内部故障時には R_1 の動作を f_1OSC の指令信号によって第 4 発電所の RR_1 にまで伝達しこの時 R_3 が動作しておれば表示線に直流電流を環流させて RR_5 、 RR_6 を動作させ RR_6 の動作を f_3OSC の指令信号によって獅子沢端の RR_3 にまで伝達しそれぞれの引外し回路を完成させるわけである。

もし第 2 発電所側に外部故障が発生したばあいには R_1 は動作するが R_3 が不動作である。したがって R_1 の動作が f_1OSC の指令信号によって第 4 発電所端の RR_1 を動作させ表示線の 1 端を閉合したとしても第 2 発電所端表示線は R_3 不動作のために閉合されないから表示線には直流の環流電流を生ずることなく RR_5 も RR_6 も動作し得ないわけである。したがって両端とも引外し回路を形成することはできない。

以上のごとく No. 1 保護区間の故障保護には指令方式を採用しているがこれは搬送伝送回路が No. 2 線路側に接続されているためこの方式によれば No. 1 保護区間の内部故障時の搬送指令信号を No. 2 線路区間に伝送し得ればよいからである。すなわちもし No. 2 区間に内に故障が発生し R_1 動作 R_3 不動作の外部故障状態になったとき R_1 動作による f_1OSC の指令信号が第 4 発電所端 RR_1 にまで伝達されなくても誤動作するおそれがないからである。

保護回路が説明図のとおりであれば系統全停時 No. 2 区間両端の LV はその O_n 接点を開き FD_A 、 FD_B を動作させて停電中は搬送電話回路は継続して保護継電回路に切替えられていることとなり通話が不能となる。これを防止するためには No. 2 区間両端の LV と並列に CV 形低電圧継電器 1 個づつを接続し停電発生後 2~4 秒後にその Back 接点によって FD_A および FD_B をそれぞれ短絡させればよいわけである。この CV は故障発生時にも当然応動し得るわけであるがこの Back 接点が FD_A および FD_B を短絡する以前に搬送保護動作および他区間の表示線保護動作は完了しているから保護動作上なんら支障とはならない。

以上の方によれば No. 2 保護区間の内部故障時には OCB_1 および OCB_4 は約 5~7 c/s で両端同時に遮断が可能であり、また No. 1 保護区間の内部故障時には OCB_1 および OCB_3 は約 8~10 c/s で引外し回路を形

表 3.1 小又川系搬送保護継電装置工場試験結果

試験番号	故障条件	箱子沢 S/S 繼電器動作状況			小又川第2(第4) P/S 繼電器動作			判定
		電圧(V)	電流(A)	動作時間※(C/S)	電圧(V)	電流(A)	動作時間※(C/S)	
1	獣-#2 内部 3相S	4	9	10.2	30	9	8.8	○
2	獣-#2 外部 3相S (獣)	4	10	不動作	42	10	不動作	○
3	獣-#2 外部 3相S (#2)	46	10	不動作	42	10	不動作	○
4	獣-#4 内部 3相S	8	9	8.4	27	9	8.5	○
5	獣-#4 外部 3相S (獣)	4	10	不動作	38	10	不動作	○
6	獣-#4 外部 3相S (#4)	39	10	不動作	4	10	不動作	○
7	獣-#4 外部 3相S (△)	20	5	不動作	4	5	不動作	○
8	獣-#2 内部 1相G	15	6	12.1	15	6	10.2	○
9	獣-#2 外部 1相G (獣)	15	6	不動作	15	6	不動作	○
10	獣-#2 外部 1相G (#2)	15	6	不動作	15	6	不動作	○
11	獣-#4 内部 1相G	20	5	11.5	20	5	11.3	○
12	獣-#4 外部 1相G (#4)	15	5	不動作	15	5	不動作	○
13	獣-#4 外部 1相G (△)	15	5	不動作	15	5	不動作	○

注： 振動作時間は模擬遮断器（補助繼電器）動作を含む
 △ #4 外部 3相短絡除去後潮流反転

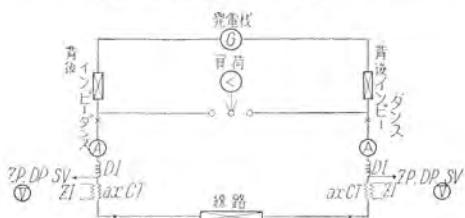


図 3.3 模擬試験回路単線結線図
 Fig. 3.3 Single line diagram of simulated test circuit.



図 3.4 小又川系搬送保護継電装置工場試験装置
 Fig. 3.4 Factory testing device for carrier protective relaying.

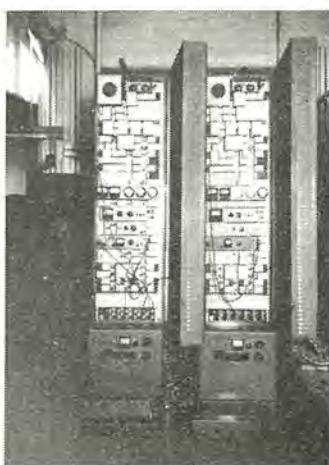


図 3.5 搬送装置外観

Fig. 3.5 Carrier equipment.

小又川直接接地系保護継電装置・藤井・北浦・天野

成することができる。

なお両端を同時遮断後約1秒後3相再閉路が行われるのであるがもし再閉路に失敗して脱調状態に発展したとしてもこのときは区間内部に3相短絡故障が発生したのと同様な搬送保護動作をおこない、ただちに再遮断がおこなわれることとなる。

以上述べたのは本装置の原理であって詳細は図3.2の接続展開図を参照されたい。

3.2 工場試験

本装置を納入するにあたり不具合のないよう工場では厳重な試験をおこなった。試験に先立ちこの系統の各点での故障時の電圧電流を交流計算盤によりあらかじめ算出しておき工場試験のときにはこれら予想しらるるあらゆる故障状態を考慮して試験し十分満足な動作が期待される結果を得た。とくに本装置は電力方向比較式であるから主繼電器の動作のバラツキが装置全体に与える影響は大きいのでこの点を詳細に試験したが誘導環形および平衡桿形要素の動作条件最悪のばあいでもな

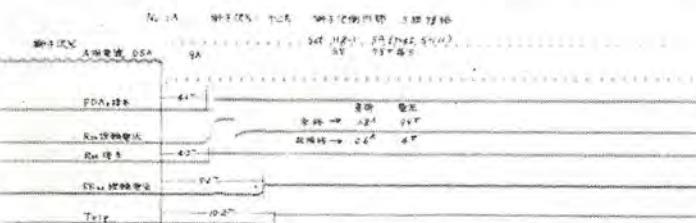
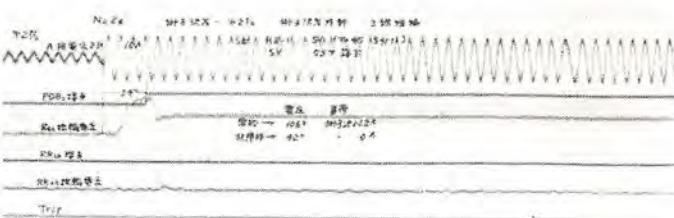
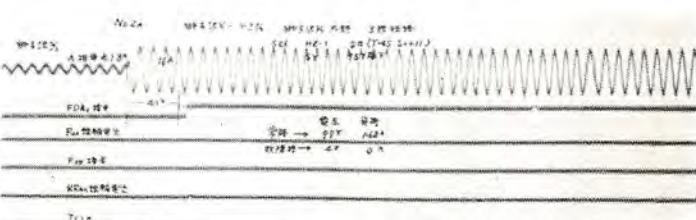
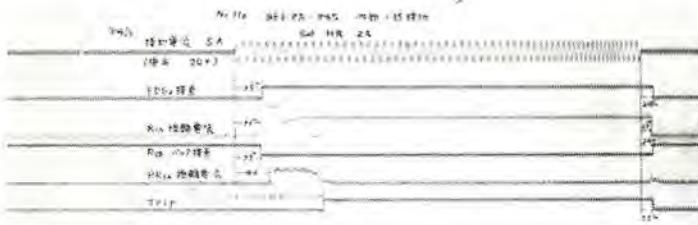
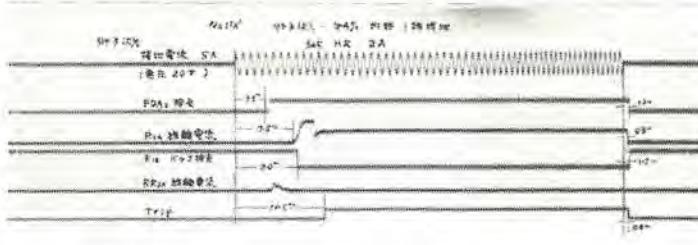


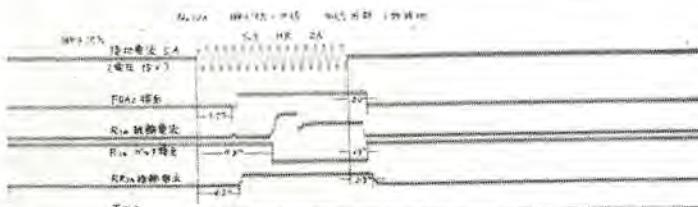
図 3.6 (A)
 Fig. 3.6 Oscillogram of test results of relaying.



(B)



(C)



(D)

ら支障のないことも確認された。

本装置の試験回路として CT , PT の 2 次回路および制御回路は実際のばあいと同一結線とし搬送装置の結合は送電線を模擬した適当な減衰定数を有する回路で接続し主継電器に供給する電流電圧はあらかじめ算出しておいた値のものを図 3.3 のとき回路であたえるようにした。

表 3.1 は立合試験のときの記録であり図 3.4 はこのときの試験装置の全景。図 3.5 は搬送装置の外観および図 3.6 (A)～(D) は代表的なオシログラフである。

なおこのオシログラフの図 3.6 (A) は表 3.1 の試験番号 1 のもの、おなじく図 3.6 (B) は試験番号 2、図 3.6 (C) は試験番号 11、および図 3.6 (D) は試験番号 12 のものを示している。

4. 表示線式保護継電装置

小又川第 2 発電所—第 3 発電所間、第 3 発電所—第 4 発電所および第 1 発電所—第 3 発電所間の送電線保護には三菱電機標準の HCB-2 形表示線式保護継電装置が納入されている。この装置はすでに東京

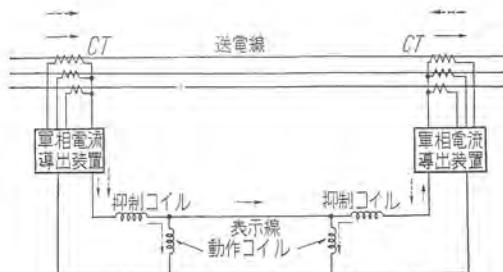


図 4.1 電流循環式表示線式継電装置原理図

Fig. 4.1 Principle-diagram of current circulation pilot wire type relaying.

電力株式会社鶴見第 2 発電所—川崎変電所間、台湾電力公司、その他に納入し、実績もあるので詳細な説明ははぶくことにして装置の大要と工場試験の結果を述べることにする。

普通、交流表示線式保護継電装置には電流循環式と電圧反応式の 2 種類があるが HCB-2 形は電流循環式に属する。この方式の原理図は図 4.1 のごときものであって送電線故障電流に比例する単相電流を導出する濾波器を両端に設けこの単相電流のベクトル差で動作させるようにしている。したがって負荷電流および外部故障電流のように貫通する電流であれば単相電流導出濾波器の出力は絶対値も方向も等しいから表示線を環流して抑制コイルにのみ電流が流れて継電器は動作しない。区間内故障時には両端の単相出力電流に差ができるこのベクトル差の電流が継電器動作コイルに流れて継電器は動作する。この単相電流導出濾波器は送電線の正相電流と零相電流を所定の混合比で合

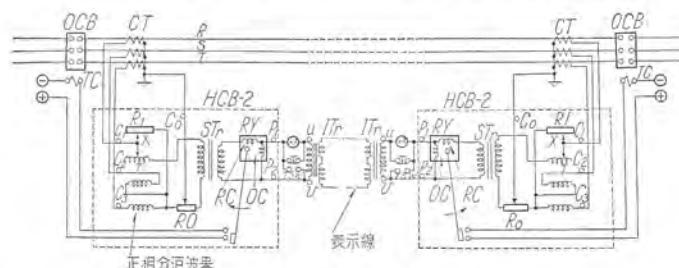


図 4.2 HCB-2 形表示線継電装置基本接続図

Fig. 4.2 Fundamental wiring diagram pilot wire type relaying.

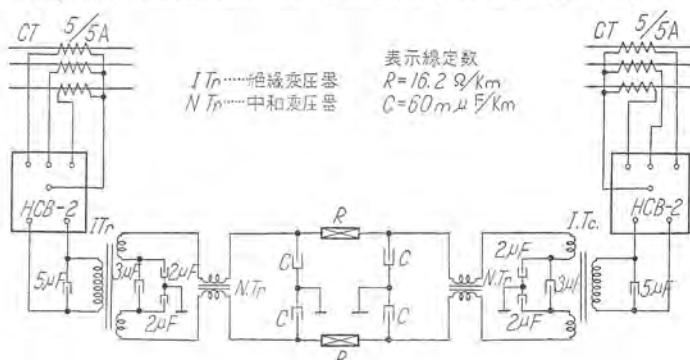


図 4.3 HCB-2 形表示線継電器組合結線図

Fig. 4.3 Connection diagram of relay combination of type pilot wire.

成した値($I_1 + KI_0$)に比例した電流を導出するもので、またある程度以上の過電流になれば飽和特性を持たせるよう飽和変流器も継電器内部に内蔵している。

この装置の概要は図4.2に示してあり整定タップは短絡感度 1.2—1.8—2.7と3タップ、接地感度は 0.25—0.5—0.75—1.0—1.25と5タップある。このタップ値は継電器単独のばあいの最低動作値であって表示線に接続したばあいは表示線インピーダンス等によって多少異なるが両端から故障電流が流入するときはタップ値の1.3~1.5倍また一端からのみ故障電流が流入するときはタップ値の2.8~3.3倍で両端の継電器は動作する。なお今回は装置の取扱いを簡略化したため表示線の自動点検は行わず手動点検のみにしている。本装置も工場において詳細に試験を行った。図4.3は工場試験結果であり図4.4はそのときの代表的なオシログラフを示す。

5. む す び

以上小又川ループ系全体の保護継電装置の概要ならびにその性能について述べたが日本全国には改良前的小又川系と同様搬送電話装置、有線電話装置を有しているが搬送継電装置、表示線継電装置等を有しておらず、そのため絶対無停電を期待しつつも保護の万全を期し得ない系統が見うけられる。このような系統に対しても前述のごとく故障時に搬送電話装置を搬送保護継電装置へ切替えかつ電話線中の遊び線を保護用連絡線に振り向け両端同時遮断の成果を挙げ再閉路方式を採用すれば無停電対策が確立される。もし本文がこのような系統に対する保護継電装置改善のご参考ともなれば幸甚である。

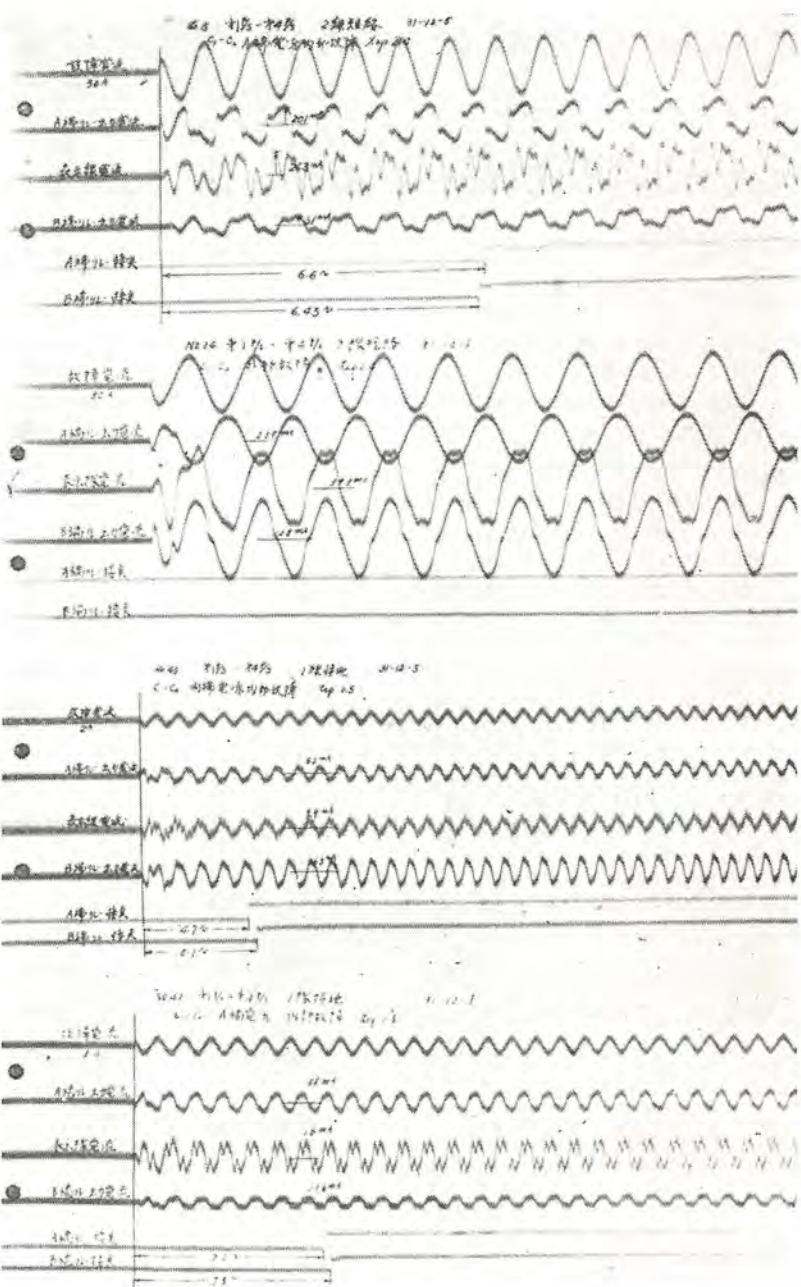


Fig. 4.4 Oscillogram of test results on the relay combination in Fig. 4.3

参 考 文 献

(1) 直接々地と誘導障害 オーム社 木村久男著

ゼレンの金相学的研究(1)

研究所 山森末男*

Metallurgical Research on Selenium

Engineering Laboratory Sueo YAMAMORI

X-ray examination of the metallic selenium by the writer has disclosed that other extra diffraction lines other than those of the hexagonal pattern are observed. These lines have diffraction angles analogous to the monoclinic selenium deposited from CS_2 solution of the vitreous selenium. A microscopic examination has revealed that the nuclei have grown in the course of the metallization to a set of textures, each radiating out from a nucleus into the vitreous region. Furtherance of heating procedure, it is observed, break down this texture into minute structure, augmentation of each grain taking place. A suggestion of classifying the conductivity-temperature curves into eight types makes it possible to judge the history of heat treatment on a metallic specimen.

1. まえがき

ゼレンが半導体として工業的に利用されるようになって以来、その電気的性質に対する研究が盛になってきたが、研究者が多くなるにしたがってゼレンの電気的性質の複雑性が次第に明かとなり、ますます研究の必要性を高めてきた。問題の焦点は単結晶と異なり半導体に現用されている整法による多結晶体すなわちガラス状から結晶化せしめたゼレンは、その処理条件によってその電導度-温度曲線（以下電導度曲線と略称する）が千差万別であり、帰一するところを知らない状態をまず整理解決するにあると考えられる。

著者はこれに関して研究を行ってきたが、数多くの実験を行った結果、処理履歴と前記曲線の関連性についてある程度明かにすることことができたので、ここに報告する次第である。なお、著者の研究成果を述べるに先立ち文献に現われている研究を総括することとする。

1.1 古典的文献

ゼレンには次に示すような種々の状態⁽¹⁾が知られている。

ガラス状、六方晶、単斜晶（ α および β ）、赤色非晶質。溶融ゼレンを冷却すれば過冷し易くガラス状となる。このものを加熱して結晶化（普通にはこれを金属化と呼

んでいる）せしめるか、 α または β の単斜晶をそれぞれ $110^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$ または $125^\circ\text{C} \sim 135^\circ\text{C}$ ⁽²⁾ に熱すれば六方晶が得られる。整流器に用いられているのはこの六方晶で半導体の特性を持っている。ガラス状ゼレンは CS_2 に可溶であるが、その飽和溶液から常温で析出してくるものは α ⁽³⁾、 $60^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ で析出してくるものは β 单斜晶とされている。 α 、 β の電気的性質はあまり調べられていないが、絶縁体⁽⁴⁾と見られている。これらの六方晶および α 、 β 单斜晶ゼレンはいずれも X 線⁽⁵⁾的に認められたものである。亜ゼレン酸の水溶液に SO_2 を通じて生ずる赤色の沈殿は非晶質とされているが、その本質はほとんど調べられていない。

Saunders⁽⁶⁾ は上述の α および β 单斜晶が六方晶に転移すること、六方晶の融点が 218°C であることおよび彼自身の実験結果として α および β 单斜晶の融点が約 180°C であると認めたことに基づいて、これらの状態相互の関係を図 1.1 のように現わす試みをしているが、十分な再現性ある実験的裏付けはなされていないと同時に近時の研究においてもこれを引用することは少い。また、この図では過冷されたガラス状ゼレンより单斜晶のゼレンが出現することになり、従来ガラス状からは单斜晶が生じないとされてきている点⁽¹⁾が一致しない。

1.2 最近の研究

著者はその成果についてはその都度断片的に発表して來たので、この報告のようにこれを総括する場合、最近の文献をここにあげることは著者独自の研究と時期的に混淆する恐れがあるから、以下において過当な箇所に引用することとし、ここでは最近の文献の動向について一言することとする。

1949 年に研究された单結晶ゼレンの電導度曲線⁽⁷⁾は図 1.2 に示すように半導体形の典型的な形状を示すのであるが、ガラス状から結晶化せしめ

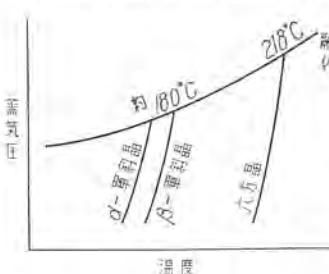


図 1.1 ゼレンの蒸気圧温度関係図
Fig. 1.1 Pressure-temperature diagram of selenium.

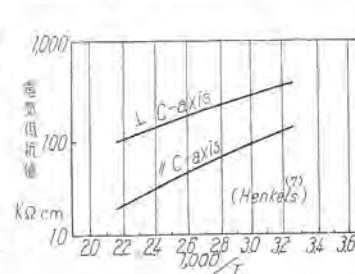


図 1.2 ゼレン单結晶の電導度温度曲線
Fig. 1.2 Conductivity-temperature curve of a single crystal of selenium.

た多結晶ゼレンの曲線⁽⁸⁾はこのような単純な形を示さないのみならず、可逆的でないことが多い、履歴によって著しく異なり、温度係数が負の部分を有することが多い。最近の研究の一つの動向は、この負の温度係数の部分の現われる原因を X 線および Hall 係数の測定等の実験から、空格子その他の格子欠陥に求めんとするにあるが、著者は電気的性質の由つて来るところを追求する前に履歴と電導度曲線その他の関係を明確にし、再現性ある電導度曲線はいかにして得られるかについて明かにすることがより重要であると考えてこの研究を行ったものである。電導度曲線の外、膨脹曲線や比重の測定、X 線分析などの研究もしばしば文献上に現われているのであるが、著者の求めんとする点には比較的系統的な研究が少く、断片的な発表によってますます現象を複雑ならしめているきらいがないでもない。

1.3 著者の研究概要

著者はガラス状ゼレンから結晶化せしめたものについて種々の金相学的研究を行っているうちに、かかる試料の X 線回折像の中に单斜晶に属すると解される回折線の存在を発見したので、これと熱処理条件および顕微鏡組織、電導度曲線相互間の関連性を明かにすることができた。また、CS₂ から析出せしめた单斜晶ゼレンについても種々の金相学的研究を試み、この系統のゼレンもガラス状のゼレンもその性質に類似性のあることを明かにできることができた。その外、電導度曲線の形状について分類をなし、形状によりその履歴その他をほぼ推定しうることを明かにした。したがってこの研究によって多結晶ゼレンに関する諸現象がこれまでよりも簡単化され、今後の研究に便になったものと考えられる。

2. 実験

試料および実験の方法

著者の実験はガラス状より結晶化せしめたものと、CS₂ より析出せしめたものとの 2 部に分れている。ガラス状ゼレンは化学的に精製後真空蒸溜したものを用いたが、スペクトル分析により Fe, Si 等がわずかに認められる程度のものである。单斜晶試料はかかるガラス状ゼレンを CS₂ に溶解し析出せしめて作った。

実験の方法は一般的の金相学的方法を採用したが、とくに電導度曲線について詳しく行い、これと検鏡および X 線分析結果とを対照して検討した外、比重、熱膨脹、熱分析等をも併用した。この実験としては従来の文献にあるよりも熱処理の条件を温度および時間について広範囲にわたって追求した点がゼレンの複雑性を単純化することに役立ったように思われる。

3. 実験結果の I ガラス状より出発せる場合

3.1 X 線分析⁽⁹⁾ (常温測定)

(1) 回折角度の大なる部分について。

この実験においては、Fe の特性 X 線を用い回転ゼレンの金相学的研究 (1)・山森

表 3.1

結晶化条件	Hex. (1010) _a 回折線の回折角度
80°C 900 hr.	14°46' (拡散顕著)
200°C 1 hr.	14°49'
" 30 hr.	14°52'
" 50 hr.	14°49'
" 60 hr.	14°51'

*H. Krebs⁽¹¹⁾および千早、塩田、小野崎 [日本金属学会誌 7 (1950) 43; 2 (1951)] によれば、格子常数の精密測定の結果として、結晶化温度が高くしかも長時間加熱維持されたゼレンほど、室温冷却後は六方晶の軸比 c/a が一定値にまで漸次大となること、その際 c は結晶化温度に無関係にほぼ一定であり、したがって a は高温長時間結晶化によるほど小になる、と報告している。

ン試料 (0.4 mmφ のガラス棒にガラス状ゼレンを塗布しこれを種々の条件で結晶化せしめたもの) との距離 47.1 mm にて撮った板状フィルム上の回折像は六方晶を与えたので、これについて (1010)_a 線の回折角度を比較したが、表 3.1 に示すように熱処理条件による相違^{*}は明白には認められなかった。この点は諸文献⁽¹⁰⁾とよく一致している。Krebs⁽¹¹⁾によれば低温結晶化試料ほど、結晶性が微細であり格子ひずみが多く、そのため回折線の拡散が著しいとされているが、著者の場合にも同様の結果が得られ、図 3.1 および図 3.2 に示すように高温結晶化せるもの(図 3.2 参照)に拡散は著しくはなかった。

(2) 回折角度の小なる部分にみとめられた未知の線について。

回折線の拡散については、たとえば図 3.3 (80°C, 900 hr. 結晶化試料) に示すようにかなり著しいので、これを



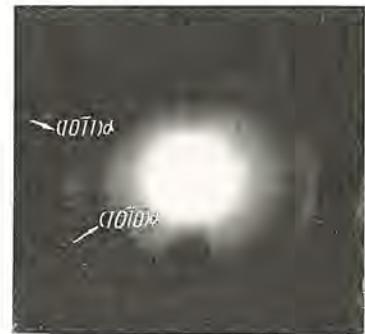
図 3.1 100°C 2 hr. 处理による結晶化ゼレンの X 線回折像 (Cu 対陰極)

Fig. 3.1 X-ray pattern of a metallic Se, converted from the vitreous state by the heat-treatment of 2 hr. at 100°C (Cu-anticathode).



図 3.2 180°C 3 min. 处理による結晶化ゼレン X 線回折像 (Cu 対陰極)

Fig. 3.2 X-ray pattern of a metallic Se, converted from the vitreous state by the heat-treatment of 3 min. at 180°C (Cu-anticathode).



〔距離 47/mm Fe 対陰極〕

図 3.3 80°C 900 hr. 处理による結晶化ゼレンの X 線回折像

Fig. 3.3 X-ray pattern of metallic Se converted from the vitreous state by the heat-treatment of 900 hr. at 80°C.

図 3.4



図 3.5

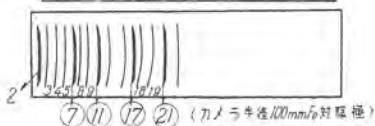
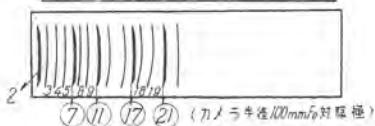


図 3.6



結晶化ゼレンの X 線回折像

X-ray pattern of metallic Se converted from the vitreous state.

図 3.4 80°C 25 hr. 処理試料

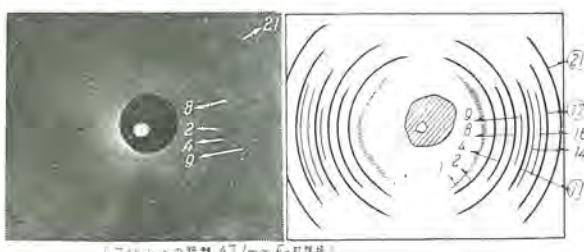
Fig. 3.4 heat-treated at 80°C for 25 hr.

図 3.5 120°C 50 hr. 処理試料

Fig. 3.5 heat-treated at 120°C for 50 hr.

図 3.6 200°C 1 hr. 処理試料

Fig. 3.6 heat-treated at 200°C for 1 hr.



(アーチルムヒタガラス 47.1 mm Fe 対陰極)

図 3.7 200°C 60 hr. 処理による結晶化ゼレンの X 線回折像

Fig. 3.7 X-ray pattern of metallic Se converted from the vitreous state by the heat-treatment of 60 hr. at 200°C.

ひずみまたは微結晶によるものとして片づける前に、回折角度の小なる部分についてなお吟味することとした。そのため試料とフィルムの距離を大にし（阪大産研西山研究室 X 線装置による。カメラ半径 100 mm. Fe 対陰極）回折角度の小なる領域の分解能をたかめて撮影を試み図 3.4, 図 3.5 および図 3.6 を得た。これらの写真には明らかに六方晶格子に属しない未知の線（図 3.6 の下部に示した写真において○印を付してない番号の線）の存在がみとめられる。同様の未知の線はガラス状ゼレンを真空中で 200°C, 2 hr. 加熱して結晶せしめたものにおいても認められたから、この未知の線が酸化物によるものでないことはわかる。なお図 3.7(図の右は写真)は 47.1 mm 距離にて撮った回折像であるが回折角度の小なる部分がとくに明良に認められるので付加した。さて以上の図 3.4, 3.5, 3.6 および図 3.7 について回折線の角度 θ を小さなものから順に示せば表 3.2 のようになる。同表には六方晶に属するもの（○印の付いたもの）も記入してある。表の回折線番号は写真と共通である。

これらの未知の回折線が何よりくるかを検討するために CS_2 より析出せしめた α および β 单斜晶の回折像（図 3.8, 図 3.9, 図 3.10 および表 3.3）と比較してみた。その結果、前記の未知の回折線は单斜晶ゼレンのそれときわめてよく一致することが知られた。（表 3.2 と表 3.3 との回

表 3.2

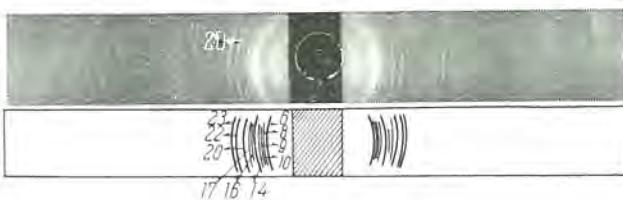
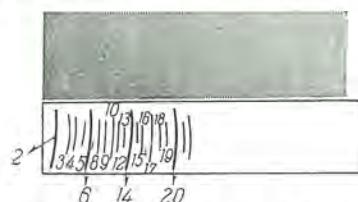
回折線番号	試 料		備 考
	120°50 h. 図 3.5	200°60 h. 図 3.7	
1		7°52'	
2	8°57'	8°48'	
3	9°30'		
4	9°47'	9°45'	
5	10°15'		
6			
7	10°41'		
8	11°56'	10°51'	
9	11°20'	11°13'	
10			
11	11°47'	11°46'	Hex. (1010) α
12	12°27'		
13	12°15'		
14		12°21'	
15			
16		12°59'	
17	13°29'	13°27'	Hex. (1010) β
18	13°56'		
19	14°18'	14°13'	
20			
21	14°55'	14°52'	Hex. (1010) α
22	15°39'		
23	16°13'		

(回折角度は、以下の都合により、Cu の特性 Y 線による場合として換算した。)

折線番号において同一番号は相互にきわめて近似する回折角度のものである。しかばら、これは一応六方晶ゼレンが单斜晶ゼレンに変化したものあるいはガラス状が单斜晶に変化したものと想像されるのであるが、文献⁽¹⁾⁽⁴⁾によればこのような変化の起ることは知られておらず、したがってこの点をさらに詳しく検討することとした。

(3) 单斜晶形回折線とその出現条件および顕微鏡組織との関係

上述の单斜晶に属するものと認められる回折線が CS_2 からの单斜晶ゼレンのそれと線の回折角度がよく一致することは表 3.2 および表 3.3 に示すとおりであるが、各線の強度の順序は両者において必ずしも一致しない。すなわち、单斜晶においては No. 6, 14 および 20 の回折線の強度が大であるが、ガラス状より結晶化したゼレンにおいてはむしろ No. 8 および 9 が認め易く、No. 14 はきわめて微弱であり、No. 6 および 20 はほとんど認めにくい。したがって以上の結果のみからは、このような回折

図 3.8 常温析出 α -单斜晶 Se (カメラ半径 40.14 mm, Cu 対陰極)Fig. 3.8 X-ray pattern of α -monoclinic Se precipitated from CS_2 solution at room temperature. (radius of camera 40.14 mm, Cu-anticathode)図 3.9 α 单斜晶 Se (カメラ半径 100 mm, Fe 対陰極)
Fig. 3.9 X-ray pattern of α -monoclinic Se (radius of camera 100 mm, Fe-anticathode)

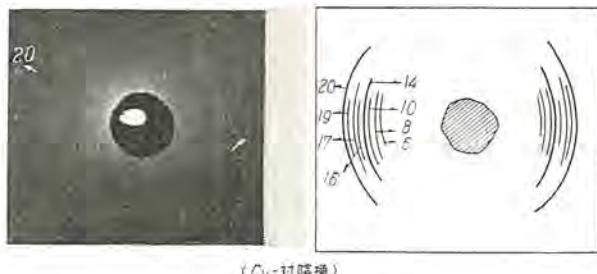


図 3.10 β -単斜晶 Se

Fig. 3.10 X-ray pattern of β -monoclinic Se. (Cu-anticathode)

表 3.3

回折線番号	折出單斜晶ゼレン		備考
	図 3.8	図 3.9	
1			
2	8°32'	9°0'	
3		9°33'	
4	10°2'	9°54'	
5		10°14'	
6	10°32'	10°33'	
7			Hex. (1010) _β
8	11°6'	11°1'	
9		11°20'	
10	11°40'	11°38'	
11			Hex. (1010) _α
12		11°56'	
13		12°14'	
14	12°27'	12°30'	
15		12°48'	
16	13°1'	13°9'	
17	13°31'	13°32'	
18		13°55'	
19		14°13'	
20	14°31'	14°28'	
21			Hex. (1011) _α
22	15°35'	15°39'	
23	16°9'	16°16'	

(Cu-特性 X 線による回折角度として示す)

線を示す試料中に六方晶の同素体である単斜晶ゼレンが存在しているとは断定し得ないが、とにかく、微弱ではあるが単斜晶形回折線を示す状態が微量に存在するということはいい得られる。

つぎにいかなる処理をうけた試料にこのような線が現われるかを顕微鏡組織との対照において調べることとした。すなわち表 3.4 に一括するごとく単斜晶形回折線を与える試料は概して低温保持ならば長時日、高温保持ならば短時間加熱のものである。別項に述べるように顕微鏡組織もまた加熱保持の時間の長短、温度の高低によって変化するものであるが、これらの結果を対照すれば、ガラス状から結晶化した時に生ずる放射状組織が次の段階において崩壊するか、崩壊後結晶化して粒状の結晶組織が認められるに至れば X 線的に単斜晶形回折線が現われるも、放射状組織を有する限りはかかるとの少ないことを知り得た。

K. Das Gupta⁽¹²⁾ 等はガラス状ゼレンを約 30°C に 7 年間放置したものに単斜晶ゼレンを X 線的に確認しているが、戦時の文献で著者はこれとは独立に上記の事実を発見したのである。なお、この印度の研究者は約 30°C 付近の低温放置の試料のみについて発表しており高温結晶化試料について行っていない点が相違する。著者の発見後 E. G. Ramberg⁽¹³⁾ もまたガラス状ゼレンを真空蒸着せるものの電子回折線に単斜晶に属するものが微弱に現われたと報告している。

ゼレンの金相学的研究 (1)・山森

表 3.4

ガラス状 Se の結晶化条件	単斜晶 Se の回折線の数	備考
ガラス状 Se 長時日後	1 本 きわめて微弱	掲載せず
80°C 25 hr	5 本 拡散している	図 3.4 参照
100°C 2 hr	ほとんど見出しにくい	図 3.1 参照
120°C 1/2 hr	ほとんど見出しにくい	掲載せず
150°C 10 hr	ほとんど見出しにくい	掲載せず
200°C 1/60 hr	9 本	図 3.6 参照
	7 本	図 3.7 参照

なお表 3.4 を仔細に検討すれば、100°C~150°C 加熱の場合は単斜晶線が比較的見出しにくい結果となっているが、顕微鏡組織の上では崩壊が十分進行したとはい難い試料に対応していることが確認された。

著者は以上の結果を六方晶より単斜晶を生じたことの証拠と考えることを控え、単斜晶形回折線を与える状態の存在という表現を用いることとした。なお、X 線から推定されるこの単斜晶形状態の分量はきわめて微量であると考えられ、この事実も六方晶から単斜晶を生じたと速断することを控えさせる一因である。近年、結晶化したゼレンの X 線的、あるいは電子線的研究が多く発表されているが、その一例を付記すると次のようである。すなわち、千田⁽¹⁴⁾ はガラス状ゼレンを空気中約 200°C に加熱して結晶化したものおよび空気中にて蒸着した結晶化ゼレン中に認めた六方晶に属しない回折線の格子間隔 (d) として

4.40 3.94 3.74 3.55 3.48 3.25 3.16 3.07 2.85
2.75 をあげている。これらを著者の結果 (表 3.3) と対応すると、3.94 は No. 9, 3.74 は No. 11, 3.48 は No. 16, 3.25 は No. 17, 3.16 は No. 18, 3.07 は No. 19, 2.85 は No. 22, 2.75 は No. 23 に一致が良好である。

3.2 処理条件による顕微鏡組織の変化⁽⁹⁾

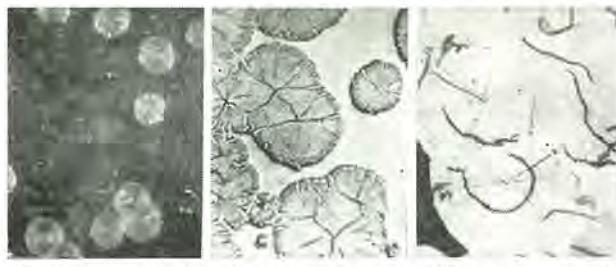
(1) 検鏡試料の作成

蒸溜した高純度ゼレンの溶融したものをマイカではさんでサンドイッチ形とし過冷せしめる。これを種々温度で種々時間加熱して結晶化する。ガラス状ゼレンは結晶化に際して発熱し保持温度を変化せしめるので、発熱による温度の蓄積を避けるためゼレンの厚さはできるだけ薄く 0.3~0.5 mm とした。かかる加熱処理後、マイカを剥離すると結晶化したゼレンは光学的に平滑なものとして得られるから発煙硝酸で腐食すれば直ちに鏡査しうる。

(2) 初期組織とその崩壊

ガラス状から結晶化せしめた初期組織は図 3.11 から図 3.16 に示すようにいずれも核からの発達をよく示すところの放射状組織であるが、処理温度が低いほど、繊細に見える。Borelius⁽¹⁵⁾ の研究は戦時の発表であり著者の研究と独立に行われたものであるが、90°C 以上の処理では放射状組織を認めないとしているが、これは処理時間の長いためであることが、著者の研究から指摘される。その後、Plessner⁽¹⁶⁾ も 175°C 2 hr. 処理で放射状であったと報告し、千田⁽¹⁷⁾ も図 3.14 から図 3.16 と同様の結果を得ている。

上掲の放射状組織はその後、同一温度にて加熱をつづけると高温では短時間に、低温では長時間後に崩壊を始める。図 3.17 から図 3.22 にこれを示す。図に見るよう、放射状組織が崩壊して微細化していることは明かで



80°C 5 min 試料の組織 ×400 80°C 2hr 試料の組織 ×400 120°C 2hr 試料の組織 ×400

Micro-structure of a metallic Se converted from the vitreous state.

図 3.11

Fig. 3.11 heat-treated at 80°C for 5 min.

図 3.12

Fig. 3.12 heat-treated at 80°C for 2 hr.

図 3.13

Fig. 3.13 heat-treated at 120°C for 2 hr.



140°C 2hr 試料の組織 ×400 150°C 2hr 試料の組織 ×400 180°C 2min 試料の組織 ×400

図 3.14

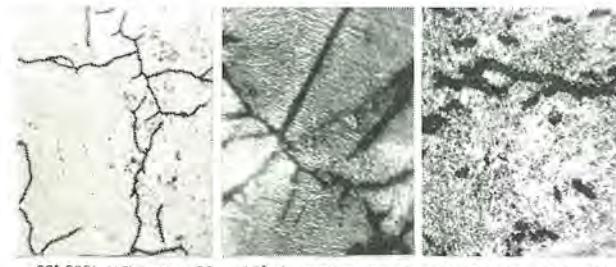
Fig. 3.14 heat-treated at 140°C for 2 hr.

図 3.15

Fig. 3.15 heat-treated at 150°C for 2 hr.

図 3.16

Fig. 3.16 heat-treated at 180°C for 2 min.



80°C 900hr 試料の組織 ×400 120°C 86hr 試料の組織 ×400 130°C 20hr 試料の組織 ×400

Micro-structure of a metallic Se subjected to the prolonged heating at its own crystallization temperature.

図 3.17

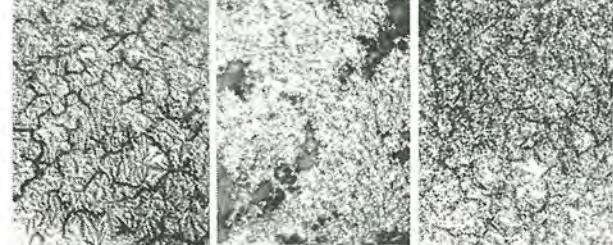
Fig. 3.17 heat-treated at 80°C for 900 hr.

図 3.18

Fig. 3.18 heat-treated at 120°C for 86 hr.

図 3.19

Fig. 3.19 heat-treated at 130°C for 20 hr.



150°C 30hr 試料の組織 ×400 180°C 10hr 試料の組織 ×400 200°C 30min 試料の組織 ×400

図 3.20

Fig. 3.20 heat-treated at 150°C for 30 hr.

図 3.21

Fig. 3.21 heat-treated at 180°C for 10 hr.

図 3.22

Fig. 3.22 heat-treated at 200°C for 30 min.



150°C 70hr 試料の組織 ×400 200°C 100hr 試料の組織 ×400

Micro-structure of a metallic Se subjected to the more prolonged heating at its crystallization temperature.

図 3.23

Fig. 3.23 heat-treated at 150°C for 70 hr.

図 3.24

Fig. 3.24 heat-treated at 200°C for 100 hr.

あるが組織の特長はつかみにくい。

X 線の分析によれば、放射状組織のものは六方晶の回折線のみであるが、崩壊せるものには単斜晶形の回折線が認められることが多かった。図 3.23 および図 3.24 は崩壊したものをさらに長時間同一温度において熱したもので、成長した結晶粒を明良にみとめられ崩壊組織とは著しく異なるが、これを X 線分析すればその大部分は六方晶で単斜晶形回折線は崩壊組織よりはさらに明良ではあるが、その量が著しく多くなったとも思えない。したがって、放射状も崩壊組織も成長組織も外見は著しく異なるが大部分は六方晶の回折像を与えるゼレンよりも異なるものである。

3.3 処理条件と比重の変化⁽¹⁸⁾

(1) 比重測定実験法

精製後、真空蒸溜したゼレンを用いて顕微鏡試料と同一のマイカによるサンドイッチ形試料を作り、これを種々温度に種々時間加熱して結晶化した。このような結晶化試料を乳鉢により微粉状に砕き、その約 1.2 グラムを小さな硬質ガラス容器(約 10 c.c.)に採り、ベンゼン液を加えて攪拌し気泡を十分除去した後、約 200 c.c. 容積のベンゼン液の中に沈めて秤量した。ベンゼンの比重は測定毎のベンゼン液中のガラス容器の重量より求め、ついでゼレンの比重を導出した。

(2) 比重値の測定結果

ガラス状から結晶化したゼレンの比重については古くは田中⁽¹⁹⁾の測定があるが、結晶化の温度が低ければ低いほど、比重値が六方晶の比重値 (Mellor, Comprehensive Treatise on Inorg. and theor. chem. によれば 4.80~4.81) よりも小さいので低温結晶のものほどガラスが多く残存するとの解釈を与えているが、佐藤、金子⁽²⁰⁾は顕微鏡的に 100% 結晶化すれば(種々時間、種々温度に処理して結晶化した試料について検鏡してガラス状地を残存しない場合 100% 結晶なりとした)、結晶化温度に無関係に六方晶としての一定値をとると発表している。こ

表 3.5

温 度	2min.	5min.	10min.	30min.	50min.	1 hr.	2 hr.	72 hr.
200°C	4.78 _g	4.79 _g	—	4.79 _g	4.79 _g	—	—	—
160°C	4.77 ₄	4.77 ₅	—	—	4.78 ₉	—	—	—
120°C	—	4.52 ₈	4.75 ₅	4.75 ₉	4.76 ₆	—	4.76 ₂	4.76 ₉
100°C	—	—	—	4.46 ₈	4.63 ₃	4.73 ₉	4.74 ₀	—

温 度	2 hr.	5 hr.	7 hr.	10 hr.	11 hr.	800 hr.
80°C	4.45 ₉	4.66 ₈	4.68 ₁	4.72 ₃	4.71 ₅	4.72 ₆

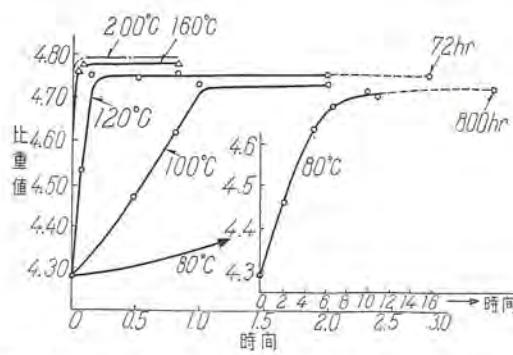


図 3.25 ガラス状 Se を種々温度に種々時間加熱維持した場合の比重値の変化

Fig. 3.25 Influence of the crystallization temperature and its heating period on the density of selenium when it is converted from the vitreous state.

の佐藤、金子の報告は実験記録が十分に明確でないので検討に不便であるが、著者の結果は図 3.25 および表 3.5 に示すように、傾向として田中の結果と一致した。なお、かつて Kruyt⁽²¹⁾ は比重値の測定結果から $\alpha\text{Se} \leftrightarrow \beta\text{Se}$ の dynamical allotropy を主張していたが、これに対して Campbell⁽²²⁾ は否定的な見解を彼の加熱時の比重の測定結果から発表している。

さて、著者の結果によれば図 3.25 に示すように結晶化温度に応じて比重の飽和値が存在し、それ以上同温度に保持しても比重の増加が認め難い。田中の推定するようにガラスの残存を仮定すれば、120°C, 72 hr. 試料においても約 10%, 200°C 50 min. 試料が約 3% のガラスを含んでいることとなる。しかしながら、図 3.25 に示すように、80°C 800 hr. 試料の比重が 11 hr. 試料の比重とほとんど相違なく、しかも図 3.17 に示すように 80°C 900 hr. 試料の組織から見て、かかる処理のものは 100% 結晶化していると見ざるを得ない。しかも比重飽和値は 4.72 というような著しく低い値を示している。120°C 86 hr. 試料の組織図 3.18 についても同様のことがいわれる。したがって比重値の低い原因是残存ガラスに求め難いように考えられる。

このように結晶化温度の低いほど、比重飽和値の小さ

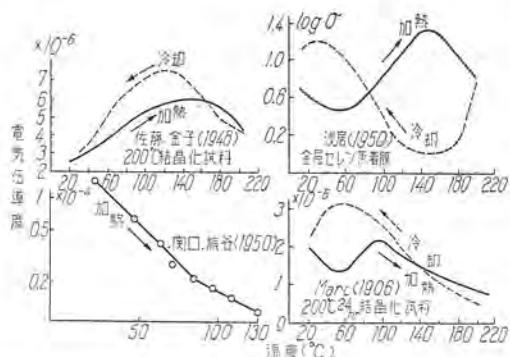


図 3.26 ガラス状より結晶化した Se の種々電気伝導度-温度曲線の報告例

Fig. 3.26 Few examples of the conductivity-temperature curves hitherto reported as the result of the measurement of the metallic Se specimen which was converted from the vitreous state.

* 単結晶の六方晶ゼレンは C 軸に平行な方向と直角方向とは、それぞれ電気伝導度を異にすることが知られている。したがって、多結晶ゼレンの電気伝導度は結晶の集合状態に、また、結晶化条件に依存して相違することは当然であるから、正確に電気伝導度を求めるために大した意味がなく定性的に取り扱い得るにすぎない。

いことは検討を要する現象と考えられる。また、後に示す電導度曲線の熱処理による変化が、この飽和低比重と直接のつながりを有するもののように見えない点も特記すべきことと思われる。

3.4 電気伝導度-温度曲線⁽²³⁾

まえがきにも述べたように、ゼレン研究の多くは電気伝導度に関するものであることは半導体としての利用から見て当然であり、工業的半導体ゼレンの製法はガラス状より結晶化せしめるのであるから、研究もまたこのゼレンに関するものが多い。ガラス状から結晶化せしめたものは、図 3.26⁽²⁴⁾ にその例を示すように測定者により、熱処理履歴により曲線の形状が著しく相違し、かつ加熱と冷却とで必ずしも可逆的ではない。また温度係数は正であることが予期されるにもかかわらず、負の部分が曲線に現われ、かつその温度が広範囲に異なっている。

このような複雑な現象を解明する常套手段は、まず、単結晶について研究することにあるが、単結晶ゼレンでは融点の近くまで正の温度係数を持つことが多い人々⁽²⁵⁾ によって報告されたのみで、多結晶ゼレンとのつながりを明かにした報告は現されていない。したがって多結晶ゼレンの電導性に関しては依然として問題が残されたのであった。しかしてこの問題を解明せんとする研究の多くは、試料の熱処理条件に深い注意を払うことなく得られた曲線すなわち著者の本研究結果から見れば、特定の処理に基づく特定の曲線に過ぎないものに対して種々の考察を試みていることとなり、依然として問題は未解決といわざるを得ない状態である。

著者は以上のごとき諸研究の進められ方にかんがみ、曲線の再現性を明らかにすることの必要性を認め、熱処理の種類、温度および保持時間を広範囲に変化せしめて数多くの実験を行い、その結果を整理してなんらかの結論を導き出そうとした次第である。

著者の得た結果は、つぎに述べるごとくであるが、すでに顕微鏡組織および X 線研究結果について記述したので、電導度曲線について述べるにも便宜上組織および X 線結果と対照して行くこととした。

(1) 試料および測定法

試料は顕微鏡検査に使用したものと同様である。溶融ゼレンをマイカによりサンドイッチ形にはさみ、過冷後加熱結晶化してマイカを剥離した。すべて顕微鏡的に 100% 結晶化したものを採用した。したがってこの測定試料は図 3.25 の比重測定結果と対照すれば、すべて飽和値に達するような熱処理をうけたものについて行ったことになる。結晶化したゼレン試料の厚さは 0.2~0.5 mm. である。Ni 電極を押しあて、マイクロアンメータによって一定電圧の際の電流値を測定(測定の際にのみ通電し、瞬時の電流値の読みを採用した)し、これをもって電気伝導度^{*} の表示とした。試料は恒温槽の暗黒中に置きさきの影響を避けた。加熱速度は約 2°C/min. である。(5°C の温度間隔毎に測定)。

電気伝導度の測定において問題となることは、ゼレンは電気伝導度⁽²⁴⁾⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾ が相違する。すなわちオームの法則に従わないという点である。たとえば関口、熊谷⁽²⁴⁾ に

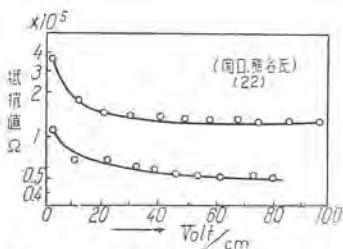


図 3.27 結晶化ゼレンの電気抵抗測定時に於ける電圧の影響
Fig. 3.27 Influence of the applied voltage in the measurement of the electric resistance of metallic Se.

より結果を引用すれば図 3.27 に示すように電圧が低い範囲ほど、抵抗が大で、電圧が高くなるとほぼ一定値の低い抵抗値となる。このような関係は電極との接触部あるいは多結晶の場合にはとくに結晶粒界⁽²⁷⁾に電圧降下が著しいことに帰因するものであるとされ、したがってこれらの影響を無視しうるに十分の大きさの電圧を印加するならばゼレン自体の抵抗が求め得られることになる。著者は測定電圧として 1~2V を選んだが、ゼレンの厚さを考慮すると 40~100V/cm に対応する。したがってゼレン自体の抵抗を探り上げているといつても差支えない。しかも著者の実験目的は抵抗の絶対値を求めることがあるのではなく、温度による相対的の変化すなわち電導度曲線の形の変化を検討することにあるから、以上の測定法によつても無難であると思う。なお、関口、熊谷⁽²⁴⁾によれば測定電圧が 20V/cm 以下においても電導度曲線の

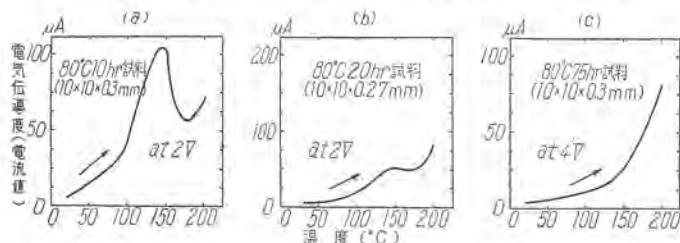


図 3.28 80°C 結晶化試料の電導度曲線
(a) 80°C 10 hr. 結晶化試料
(b) 80°C 20 hr. "
(c) 80°C 75 hr. "

Fig. 3.28 Conductivity-temperature curve of a metallic Se converted from the vitreous state heat-treating at 80°C.

- (a) with its heating period of 10 hr.
- (b) with its heating period of 20 hr.
- (c) with its heating period of 75 hr.

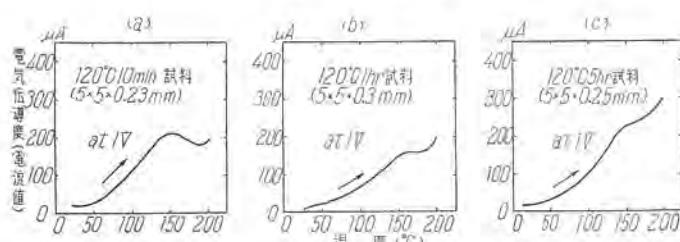


図 3.29 120°C 結晶化試料の電導度曲線
(a) 120°C 10 min 結晶化試料
(b) 120°C 1 hr. "
(c) 120°C 5 hr. "

Fig. 3.29 Conductivity-temperature curve of a metallic Se converted from the vitreous state by heating at 120°C.
(a) with its heating period of 10 min.
(b) with its heating period of 1 hr.
(c) with its heating period of 5 hr.

* * 図 3.30 (a) および (b) の第 1 目の加熱曲線が図 3.28 および図 3.29 の (a) と処理条件が同じであるにもかかわらず少しだけ形状が異なっているが、この点はこの研究を通じて得た著者の経験によれば (a) の形に偏らせるべきものと考えられる。

形状には差異を生じなかったことを報告している。

(2) 結晶化処理条件との関係

まず電導度曲線の形状に対する概念を得易くするために、ガラスの結晶化処理条件によってこの曲線がいかなる形状を示すかを述べることにする。

a. 低温短時間結晶化試料

この場合は単純な半導体形可逆曲線を示す、低温というもとくに何度以下と限定するのではなく、短時間の場合単純形の曲線が得られるがごとき低温範囲を指すに過ぎないが、120°C 以下で結晶化したものは X 線の回折線の拡散が著しいことが認められるので、この実験では 120°C 以下を指すこととした。

加熱時の電導度曲線を図 3.28 および図 3.29 に示す。これらの図の (a) および (b) の曲線は単純ではないが、これは保持温度低くかつ時間が短いためにガラスが結晶化する際の容積変化(収縮)に伴うひずみの存在によるものと著者は解釈し、ひずみが少なければ (c) のような単純な形態を示すと考えるのである。この解釈は次の事実に基づいている。

図 3.28 および図 3.29 のいづれも保持時間が長いと、(c) に示すように半導体としての典型的な曲線を示すのみならず、図 3.30** (a) および (b) に示すように保持時間の短い試料もより高温約 165°C まで加熱すれば冷却後の再加熱曲線は (c) 形に変化するからである。もしこのように解釈できない性質の曲線であるならば、

図 3.28 および図 3.29 の (a), (b) → (c) または図 3.30 に示すような変化を示すことは後にこの研究の主眼として述べるように決してないのである。この研究で問題とする曲線の形状は図 3.26 の内に示しそのところで言及したように、負の温度係数を示す部分が

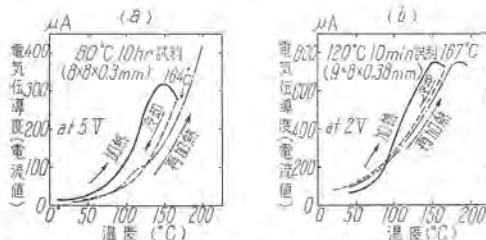


図 3.30 80°C 10 hr. 結晶化試料および 120°C 10 min 結晶化試料を約 165°C まで加熱した後の冷却曲線及び再加熱曲線

(a)
(b)

Fig. 3.30 Cooling and reheating curves obtained in the measurement followed after the heating upward to the temperature of about 165°C.

- (a) due to the specimen, crystallized at 80°C with its heating period of 10 hr.
- (b) due to the specimen, crystallized at 120°C with its heating period of 10 min.

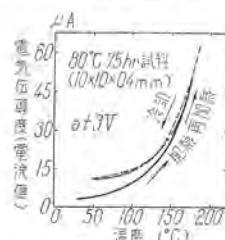


図 3.31 80°C 75 hr. 結晶化試料における電導度曲線の可逆な例

Fig. 3.31 An example of the reversible type of conductivity-temperature relation, illustrated in the measurement of the specimen, crystallized at 80°C with its heating period of 75 hr.

曲線上に現われる点であつて、かかるものはその後いかに熱処理しても(c)形にはならないからである。

しかし図3.28および図3.29の(a),(b),(c)試料はいずれも放射状組織を明瞭に示しその崩壊は認められなかつたものである。この単純形の曲線は図3.31に一例を示すように、冷却曲線は加熱曲線とほぼ可逆的であつて単結晶の曲線(図1.2)と同タイプである。なお、比重測定で低い飽和値を示す理由をひずみクラックに求めれば図3.28および図3.29の(a),(b)が(c)となることはひずみがなくなるとは考え難く、この点問題である。

b. 低温長時間結晶化試料

この例は120°C 86 hr.保持試料であつて負の温度係数を示す温度範囲が曲線上に現われ、その後、いかなる処理を施しても図3.28、図3.29の(c)のような単純な形状を示すものとはならないものである。図3.32はこれを示す。このものの組織は図3.18に示すように放射状組織は完全に原形を失い微細な再結晶組織となつてゐる。

図3.32では加熱の最初すなわち低温範囲に負の部分を示し、やがて120°C辺から正に変化している。このタイプの加熱曲線を示す試料はいったん120°C以上に加熱後の冷却曲線においても、またその再加熱曲線(図3.33参照)この場合は200°C以上に加熱)においても温度範囲は多少異なるが依然負の部分を示すのである。すでに表3.4に示すように120°C 50 hr.の試料は単斜形回折像を含んでいた。120°C 86 hr.の試料についてこのX線結果は調べていないが、同様のX線図を示すものと思われる。

なお、すでに述べたようにこの研究の検討の対象となつた現象はこの負の係数を示す部分の出現についてである。かような部分は120°Cよりもより高温たとえば180°C以上で結晶せしめた試料に現われ易い。図3.28および図3.29に示した形の試料は比較的長時間保持で結晶化の際のひずみが除去されて単純な半導体形の曲線となるが、さらに長時間保持すればなんらかの内部変化を生じて図3.32形となるものであり、この異常性は以下に示すように種々の様相を現わすも消失はしがたいのである。

c. 高温結晶化試料

著者の実験例は150°C、180°Cおよび200°Cにおいて結晶化せしめたものを高温結晶化の例としてここにあげることとした。150°C処理のものは図3.34において(a)に

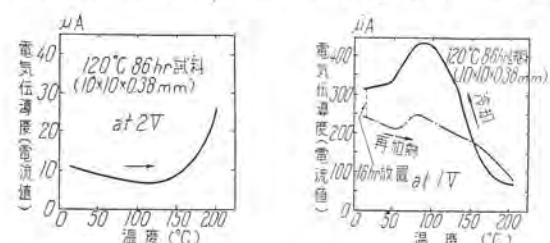


図3.32 120°C長時間(86 hr.)加熱処理試料の電導度曲線

Fig. 3.32 Conductivity-temperature curve obtained by the specimen, which was heat-treated at 120°C with prolonged period of 86 hr.

図3.33 120°C 86 hr. 加熱処理試料の冷却及び再加熱電導度曲線

Fig. 3.33 Cooling and re-heating-conductivity curve, the specimen, the crystallization conditions of which are of 120°C & 86 hrs., is used.

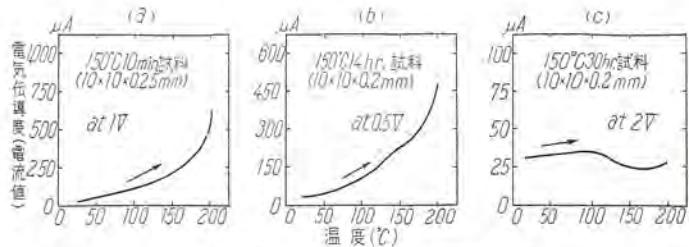


図3.34 150°C結晶化試料の電導度曲線

- (a) 150°C 10 min 結晶化試料
- (b) 150°C 14 hr. "
- (c) 150°C 30 hr. "

Fig. 3.34 Conductivity-temperature curve of the specimen which was heat-treated at 150°C.

- (a) with its heating period of 10 min.
- (b) with its heating period of 14 hr.
- (c) with its heating period of 30 hr.

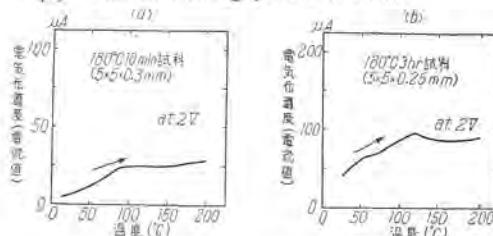


図3.35 180°C結晶化試料の電導度曲線

- (a) 180°C 10 min 結晶化試料
- (b) 180°C 3 hr. "

Fig. 3.35 Conductivity-temperature curve of the specimen, which was heat-treated at 180°C.

- (a) with its heating period of 10 min.
- (b) with its heating period of 3 hr. 200°C.

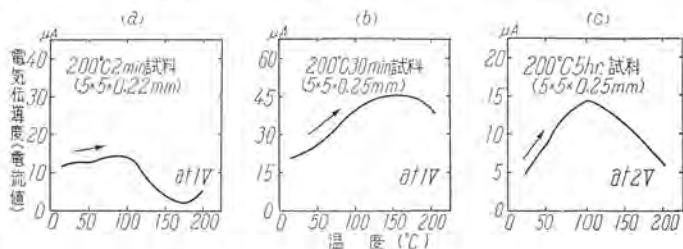


図3.36 200°C結晶化試料の電導度曲線

- (a) 200°C 2 min 結晶化試料
- (b) 200°C 30 min "
- (c) 200°C 5 hr. "

Fig. 3.36 Conductivity-temperature curve of the specimen, which was heat-treated at 200°C.

- (a) with its heating period of 2 min.
- (b) with its heating period of 30 min.
- (c) with its heating period of 5 hr.

示すように短時間処理では曲線に異常が現われない(図3.29(a)形のひずみによる異常が処理温度が高いために現われない)が、14 hr.保持(b)ではきわめてわずかに、30 hr.(c)にては顕著な異常が現われる。180°Cおよび200°C処理のものではそれぞれ10 min.および2 min.のような短時間処理においてもすでに異常が現われる(図3.35(a)および図3.36(a)参照)。150°C 14 hr.以下の処理のものは単純形(正の係数)に近く、加熱冷却ともにほぼ可逆的である。しかしこれのように加熱温度が200°Cを越すとか、200°C付近の高温に長時間保持すれば150°C 14 hr.保持の直後では単純形のものも異常性を示すようになる。

組織およびX線試験の結果と対照すれば、図3.34(a)試料は図3.15の例と同様な放射状組織を示す。しかしながら負の係数を示す部分を有する試料(図3.34(c)と図3.20の組織とは同一処理)は崩壊微細化を伴う再結晶が、



図 3.37

Micro-structure of a metallic Se.

Fig. 3.37 Crystallized at 180°C with its heating period of 10 min.



図 3.38

Crystallized at 200°C with its heating period of 30 sec.

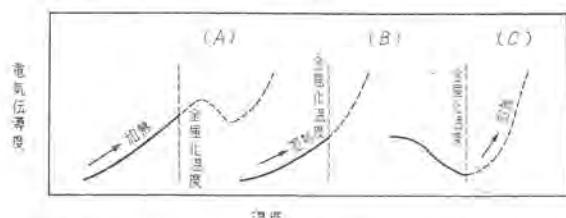


図 3.39 一定温度における結晶化加熱維持の際時間の増大に伴う電導度曲線の形の転移

Fig. 3.39 The change shown in the conductivity-temperature relation of a metallic Se. with the prolongation of the crystallization period at constant temperature.

他の結晶化温度のものよりは微細度が小ではあるがなおかなり進行している点が相違する。

180°C 結晶化試料の曲線は、図 3.35 に示すようにすでに 10 min. 处理で異常を示し、3 hr. 处理は異常がより低温に始まり複雑化している。異常の始まる温度は結晶化処理温度よりもつねに低い温度であることは、この実験を通じて認められた一つの特長と見なされる事実と思う。図 3.35(a) 試料は図 3.37 に見るように放射状組織崩壊の段階にあたるが、粗大粒であり、長時間加熱維持すると異なる組織(図 3.21 参照)になる。

200°C 結晶化せるものは図 3.36 に示すように 2 min. 处理においてもすでにかなりの異常曲線を示していると同時に結晶化処理時の保持時間が長くなるにつれて異常の様相がかなり変化する。図 3.38 は 200°C 30 sec. 結晶化処理した組織であって、図 3.13、図 3.14、図 3.15 および図 3.16 に比べてこれらのような放射状組織は見えないが、しかし粗粒化した方位組織を示している。これが 30 min. 处理ともなれば図 3.22 に示すようにまるで違った組織となる。

このような電導度曲線の異常性を示した試料は、一例として 200°C 1 hr. 处理の X 線像(図 3.6 参照)に見るように単斜晶形の混在に該当している。

d. 総括

以上に示したように種々結晶化温度およびその温度に処理する保持時間の長短とのかかる処理をうけた結晶ゼレン(この際の試料中にはガラスは残っていない)は、その加熱に際して、電導度曲線は処理温度が低いか時間が短い場合には正常な形状を示し、時間が長くなるか温度が高くなると負の係数を示す部分が現われる。これに対応して組織も放射状から崩壊再結晶へと転移し、X 線像も単斜形を混える場合が多い。すなわち、ガラスが消失して全部結晶化したものの曲線は、結晶化の組織が放射

状である限り正常な曲線(冷却曲線も加熱と一致する)であるが、保持時間が長くなつて放射状組織が崩壊再結晶をはじめると、多くの場合負の係数を示す部分が曲線上に現われ微細粒の生長したものでは常に負の部分を現わした。

さて、図 3.39 は一定温度にて結晶化した場合に、維持時間の長い試料ほど (A)→(B)→(C) と移行する一般関係を示したものである。すなわち、(A) は主として低温短時間結晶化の試料に認め易い結晶化ひずみの存在と関連した曲線である。高温結晶化試料は結晶化の短時間の場合においてもすでに(B)の形をとる。(C) は再結晶後の加熱維持により負の係数が出現したことを示すものであり 180°C 以上の高温結晶化の際には放射状組織の崩壊とほとんど同時に認められるが、より低温の結晶化の際には崩壊後長時間の加熱維持の後に現われる。なお、(C) はさらに加熱維持によつても(B)にならない点が(A)と異なりここに特長がある。しかも負の係数を示す部分の温度は結晶化処理温度よりも常に低い。しかして、後にも示すように負の係数部分を示す試料においては冷却曲線が可逆的でない場合が多い。

このように電導度曲線は一度異常の現われたものにはその後の処理によって種々の形状の異常曲線を現わすもので、この点が今までの文献ではあまり注目されなかつた点である。(つづく)

参考文献

- (1) Comprehensive Treatise on inorg. and theo. chemistry.
- (2) Muthmann, Z. Krist., 17 (1890) 336, 353.
Z. Phys. chem., 8 (1891) 396.
- (3) Harold P. Klug, Z. Krist., 88 (1934) 128.
- (4) Gmelin, Handbuch der inorg. chem.
- (5) Harold P. Klug, 前出 (3)
F. Halla, F. X. Bosch and E. Mehl, Z. Phys. Chem., 11 (1931) 445.
Robinson D. Burbank, Acta Cryst., 4 (1951) 40, 5 (1952) 236.
Richard E. Marsh and Linus Pauling, Acta Cryst., 6 (1953) 71.
- (6) Saundar, J. Phys. Chem., 4 (1900) 423.
- (7) Herbert W. Henkels, Phys. Rev., 76 (1949) 1373.
- (8) 佐藤, 金子, 日本金属学会誌 6 (1948) 12.
関口, 熊谷, 科学研究所報告 2 (1950) 55, 6 (1950).
浅尾, 科学研究所報告 11~12 (1950) 1.
R. Mare, Z. anorg. Chem., 48 (1906) 393.
山森, 日本金属学会誌 6 (1951) 74.
- (9) A. J. Bradley, Phil. Mag., 48 (1924) 477.
K. Tanaka, Mem. Coll. Sci. Kyoty, Imp. Univ., A-17 (1934) 2.
- (10) H. Krebs, Z. Phys., 126 (1949) 769.
- (11) K. Das Gupta, S. R. Das and B. B. Ray, Indian J. Phys., 15 (1941) 389.
- (12) P. K. Weimer, Phys. Rev., 79 (1950) 171.
- (13) 千田, 日本金属学会誌 1 (1955) 47.
- (14) G. Borelius, F. Pihlström, J. Anderson, K. Gullberg, D. Glausholm, Arkiv För Fysik, 30 (1949) 305.
- (15) K. W. Plessner, Proc. Phys. Soc., 64 (1951) 681.
- (16) 千田, 塩田, 有賀, 日本金属学会誌 2 (1953) 63.
- (17) 山森, 1950 年 4 月日本金属学会に発表
- (18) K. Tanaka, 前出 (10) 及び Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., A-18 (1935) 309.
- (19) 佐藤, 金子, 日本金属学会誌, 28 (1948) 2~3.
- (20) Kruyt, Z. anorg. Chem., 69 (1909) 305.
- (21) A. N. Campbell and S. Epstein, J. Amer. Chem. Soc., 64 (1942) 2699.
- (22) 山森, 1951 年 4 月及び 10 月, 日本金属学会大会に一部発表, 日本金属学会誌 1 (1952) 6 に一部掲載.
- (23) 前出 (8) に同じ.
- (24) 上田, 常葉, 池田, 物性論研究 10 (1950).
H. W. Henkels, Phys. Rev., 76 (1949) 1737; J. appl. phys., 22 (1951) 916.
K. W. Plessner, Nature 165 (1950) 970; Proc. Phys. Soc., 64 (1951) 681.
- (25) H. W. Henkels, Annalen der Phys., 31 (1938) 337.
- (26) H. W. Henkels, Phys. Rev., 79 (1945) 1737.

水素冷却器の特性試験(1)

研究所 明石克寛*・荻野治*

Test on Characteristics of Hydrogen Coolers

Engineering Laboratory Katsuhiro AKASHI · Osamu OGINO

With the recent trend of increasing in the internal gas pressure of the hydrogen cooled generator, it has become necessary to make a test on the characteristics of hydrogen coolers in the high pressure hydrogen gas flow and prepare the information of design based on it. For this purpose a hermetically sealed tight wind tunnel of Göttingen type with 500 mm diameter nozzle has been constructed. At present a test on the characteristics of U fin tube coolers in a hydrogen gas flow is going on using the foregoing facilities. In this article interim reports are given on the test results with a few model coolers as well as the description of the principle of measurement and outline of the equipments.

1. まえがき

最近における水素冷却発電機の機内水素圧力増加の傾向に伴って、高圧水素気流中で同機に使用する冷却器の特性試験を行い、これに基づいた設計資料を準備することが必要になった。このためノズル径 500 mm のゲッティング形水素気密風洞を建設し、現在これによって U フィン管冷却器の水素気流中における特性試験を行っている。ここではその測定原理、方法、装置などの概要および 2, 3 の冷却器模型の試験結果について中間報告を行う。

2. 測定原理

2.1 冷却器模型

試験に使用する試料は図 2.1 に示すような U フィン管を 4 列 4 段の錯列に配置した 1—4 热交換器に属する冷却器模型である。その寸法は高さ約 300 mm、幅約 250 mm、奥行き約 500 mm であり、冷却管の種類と配列のピッチにより表 2.1 のように 5 種類製作した。

2.2 冷却器特性

冷却器の特性はその配列における冷却管の単位伝熱面積あたりの熱貫流率 α と、冷却器通過に伴う各流体の圧力損失によって表わすことができる。この冷却器では外部流体として水素を、管内流体として通常の水を用いている。

これらのうち、熱貫流率は主として、冷却管の構造、配置、水素圧力、水素風速、水素の純度および水の流速によって変化し、管外圧力損失は冷却器の構造、水素圧

力、水素風速および水素純度によって、また管内圧力損失は冷却器構造と水の流速によってそれぞれ変化する。

2.3 热貫流率の測定原理

冷却器を実際に設計する場合には、使用する冷却管の種類がきまっているから、熱貫流率としては単位伝達面積ではなく単位長さを基準として定義した値を採用する方が便利である。この熱貫流率は、試料を加熱した水素気流中におき、水流によって気流を冷却させ、定常状態



図 2.1 冷却器試料

Fig. 2.1 Model coolers.

* 物理第一研究室

に達した後各流体の流量および体積平均温度を測定すれば、次式によって計算することができる。

$$U = \frac{q}{L \cdot (\Delta t_m)} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

$$U_0 = \frac{U}{N} \quad \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

ここに Δt_m は水素気流と水流との対数的平均温度差で試料前後の水の温度差が小さいときには、

$$\Delta t_m = \frac{t_1' - t_2'}{\ln \frac{t_1' - t_0''}{t_2' - t_0''}} \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

で定義される。

q は交換熱量で今の場合、水流の獲得する熱量を基準とし $q = W \cdot C_{W\cdot} (t_2'' - t_1'')$

を採用する。ただし、

t_1' , t_2' = それぞれ気流の入口、出口の平均温度

t_1'' , t_2'' = それぞれ水流の入口、出口の平均温度

$$t_0'' = (t_1'' + t_2'')/2$$

W = 水の流量

$C_{W\cdot}$ = 水の比熱

L = 冷却管束の全長

U = 管束 1 m あたりの熱貫流率

U_0 = 単管 1 m あたりの熱貫流率

N = 折流段数

である。

2.4 流体の圧力損失

冷却器通過に伴う水素気流および水流の圧力損失は適当な差圧計を設けて測定することができる。この測定結果を設計に適用する場合、折流段数 N による補正を行わなければならないが、さらに水流の圧力損失については、端効果を考慮しなければならない。

3. 測 定 方 法

上記の原理に基づいて試験を行うにあたって、必要な測定項目と使用する測定器について述べる。図 3.1 に測定装置の概略を示す。

3.1 試料前後の水の体積平均温度

冷却水の出入口に銅コンスタンタン熱電対を取り付け電

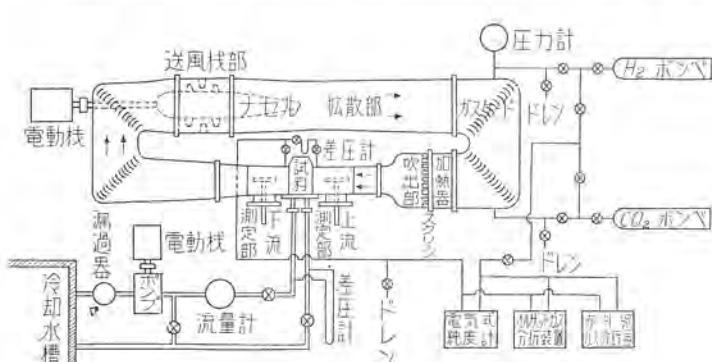


図 3.1 測定装置略図

Fig. 3.1 Schematic of test device.

位差計と高感度の検流計を用いて測定する。水の温度差は非常に小さいにもかかわらず、交換熱量測定の基本量であるから測定にはとくに注意を要する。そのため出入口ともそれぞれ 10 箇の熱電対を直列に接続して使用している。さらにこれによって感温部の熱時定数が大きくなり細かい温度変動が計器に攪乱を与える度合を軽減することができる。

3.2 試料前後の水素気流の体積平均温度

試料の上流側と下流側にそれぞれ 1 カ所ずつ設けた測定部に気密測定桿を挿入し、その先端に銅コンスタンタン熱電対を取り付け、気流断面全体にわたって測定桿を走査させることによって温度分布を測定し平均をとる。すなわち、各点の温度を t とすれば、体積平均温度は、

$$\bar{t} = \frac{\int t \cdot ds}{\int ds} \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

である。実際には、多数の測定点をとり図式積分によつて平均をとる。

3.3 試料を通過する水素の流量

試料の上流側測定桿の先端にビード形サーミスタ測風素子を取り付け、その出力を指示計器で読み取りつつ気流断面を走査させ断面全体に積分する。このサーミスタ水素風速計は、圧力および気流温度の種々の場合につき、別に作ったベンチュリー風速計によってあらかじめ較正されてある。

3.4 水素圧力

水素の封入圧力は風洞上流部にブルドン管圧力計を設けて測定する。

3.5 水素純度

封入水素の純度は、島津製の電気式純度計で測定したが、試験の結果、冷却器特性に及ぼす水素の純度の影響が比較的大きいことがわかったので、オルザットガス分析装置と赤外線ガス分析器を用い測定精度を上げることにした。

3.6 水の流量

水の流量はオーバル歯車形積算流量計によって測定する。

3.7 水素気流の圧力損失

試料前後における水素気流の圧力損失は傾斜形油差圧計によって測定する。

3.8 水流の圧力損失

試料前後における水流の圧力損失は U 字管形水銀差圧計により直読する。

4. 風 洞

水素気流を試料に通過させるための風洞は、水素冷却器試験装置のもっとも重要なものの一つである。こんど設置したものはノズル径 500 mm のゲッチンゲン形水素気密風洞でその概略は表 4.1 および図 4.1 に示すとおりである。

表 4.1 風洞要目

全長 (mm)	8,000
最大直徑 (mm)	1,000
整流格子部 (mm)	1,000
吹出口径 (mm)	500
案内翼列部	
I	長径 990 短径 700 楕円断面 9 翼カスケード
II	同上
III	長径 1414 短径 1000 楕円断面 14 翼カスケード
IV	同上
	カスケードベース翼形 NACA632A-015 円弧翼 弦長 148 Turning Angle 90 度
最大空気量 (m³/s)	7.8 (設計値)
風洞加熱部直徑 (mm)	1,000
加熱器容量 (kw)	30
拡散部全長 (mm)	3,540
拡散部等価拡散角(度)	7
ナセル全長 (mm)	1,260
ナセル最大直徑 (mm)	640
軸封装置型式	ゲイコシール方式
送風機部	
形式	輪流二段
翼車外径 (mm)	894
動翼枚数	20 枚 (各段共)
静翼枚数	20 枚 (各段共)
回転数 (rpm)	1,450 (設計値)
電動機出力 (HP)	13

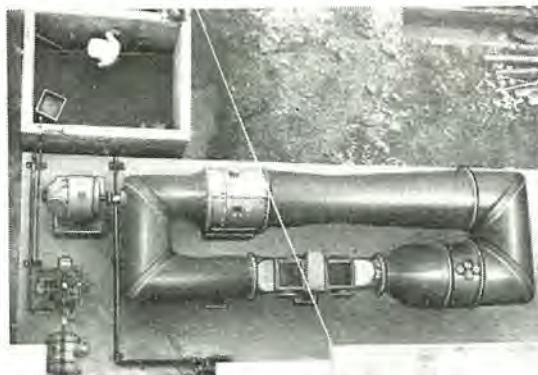


図 4.1 風洞鳥瞰

Fig. 4.1 Top view of the wind tunnel.

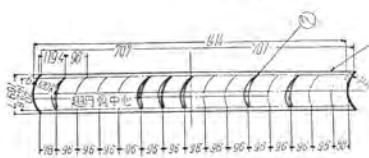
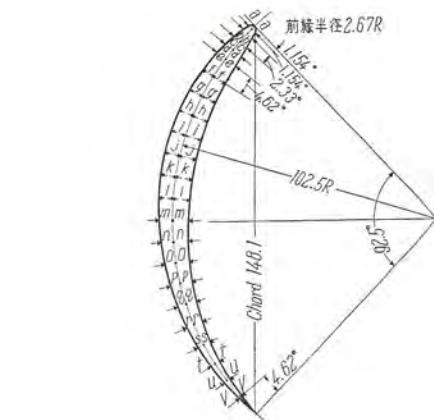
- この風洞を設計するにあたってとくに留意したことは、
1. Guide Vane Cascade および Screen を含む整流能率,
 2. 拡散部の境界層剥離防止,
 3. 軸封装置

の諸点である。

第 1 の点は使用送風機出力が比較的小さく、したがって吹出口径を大きくできないことから、測定部における気流の乱れを極力制限すべき問題であって、翼形 NACA 632A-015 を基礎とし、翼列理論によって設計した Circular-Camber Cascade と Aspect 比 4 の Honey-Comb Screen によって処理した。図 4.2 は案内翼および翼列、図 4.3 はスクリーンを示す。

第 2 の点に対しては風洞効率の低下が主として Diffuser における境界層剥離に基づくことに注意し、実効開角を 7 度に設定し、拡散部に全長 1,260 mm、最大直徑 640 mm のナセルを設けることによって剥離を防止した。図 4.4 にナセルの外観を示す。

第 3 の軸封装置としては、Gaco-Seal 4 枚構成を採用



寸法表

記号	長さ (mm)	記号	長さ (mm)
a	1.50	l	5.96
b	2.10	m	5.67
c	3.00	n	5.29
d	3.60	o	4.81
e	4.10	p	4.28
f	4.90	q	3.70
g	5.47	r	3.09
h	5.86	s	2.47
i	6.10	t	1.86
j	6.20	u	1.25
k	6.15	v	0.64

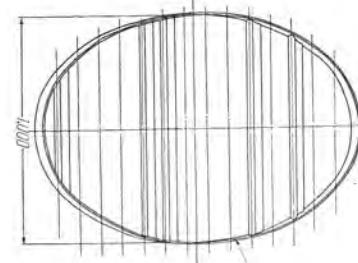


図 4.2 案内翼列
および翼型

Fig. 4.2 Guide vane cascade and aerofoil section.

した。

使用電動機は 13 HP 直流複巻で、送風機外部直結とし、電機子電流と界磁電流をいずれもサイラトロンによって制御する直流電源を作り、400～1,600 rpm に調速することができるようになっていいる。

風洞への水素充填は図 3.1 に示すガス配管系により炭酸ガスによる置換法を用い機内への酸素の混入を防止してある。

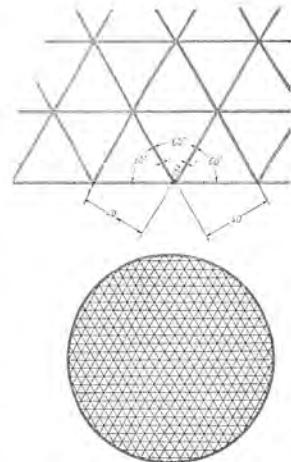


図 4.3 スクリーン
Fig. 4.3 Screen.



図 4.4 ナセル外観 Fig. 4.4 Outlook of nacelle.

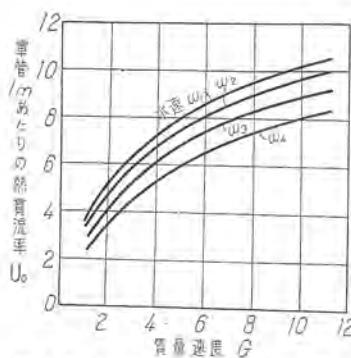


図 5.1 U フィン管冷却器の水素中ににおける熱貫流率の測定結果

Fig. 5.1 Test results of heat transmission coefficient.

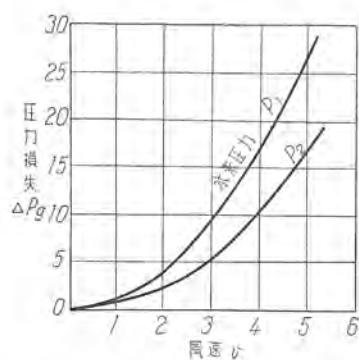


図 5.2 U フィン管冷却器の管外圧力損失の変化

Fig. 5.2 Frictional pressure drop of a model coolers due to the hydrogen.

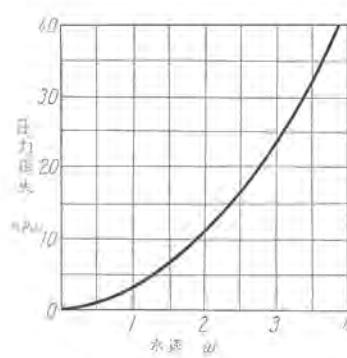


図 5.3 U フィン管冷却器の管内圧力損失

Fig. 5.3 Frictional pressure drop due to the water flow inside the model cooler tube bundle.

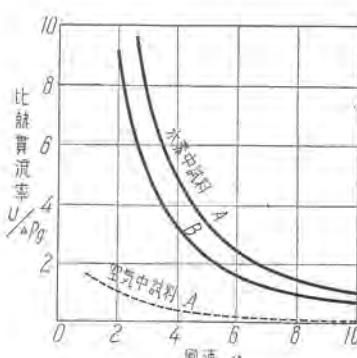


図 5.4 U フィン冷却器の総合特性の比較

Fig. 5.4 Comparison of overall efficiencies of the model coolers.

ぎの事項があげられる。

6.1 気流温度分布の問題

冷却器試料の入口における気流の温度分布は、風洞配置が横形であるために加熱気体の自然対流の影響を受けて上暖下冷の傾向をもち、気流速度が小さいほどこの効果が著しい。このため気流の体積平均温度を求めるには相当数多くの測定点からの、図式積分が必要で、これは、測定時間を長くし多大の労力消費を伴う結果をもたらす。対策として、小さい加熱電力を試験することが望ましいが、そうすると気流の温度が低くなり、冷却水の得る熱量が小さくなるから、水温の測定精度を考慮して適当な気流加熱電力を定めなければならない。さらに温度の不規則な分布は、冷却形風速計のわずらわしい補正を必要とするので、測定部の下流に加熱器を設けるように改良することを計画している。

6.2 水素純度による影響

これまでの測定結果から、水素純度が冷却器の熱貫流率および管外圧力損失に大きく影響することがわかった。そこで今後の試料については純度測定の精度を高め、水素純度を変化させた場合の熱貫流率および管外圧力損失の変化をしらべる必要がある。またサーミスタ風速計は水素純度が低下した場合、著しく測定精度が悪くなるから純度に対する校正を行わなければならない。

7. む す び

以上に水素気流中における U フィン管冷却器の特性試験につき原理、測定方法を中心に中間報告を行ったが、この試験は、上述の問題点を解決しながら今後なお継続されるものであって、上述の測定結果は試料模型と実用冷却器の寸法の相違による端効果補正を行っていないのでただちに実用器の設計資料として適用することはできない。この点については全試料の試験完了の後に報告したいと思う。また内部冷却機の出現によって出力あたりの機器容積が小さくなり、冷却器に対する要求も次第に厳しくなる傾向にある。内部冷却機用クーラの試験も今後に残された大きい課題の一つであろう。

最後にこの試験にあたって、実際上の貴重な助言とご鞭撻をいただき、また試料製作を担当された長崎製作所の方々に深い感謝の意をあらわす次第である。

5. 試験結果の一部

上述の測定方法にしたがい風洞の封入水素純度を96%以上に保ち、表 2.1 に示す試料について、それぞれ封入水素圧力、水素風速および水の流速を種々の値に変化させて特性試験を行った。図 5.1 は水速をパラメータとして求めた質量速度に対する熱貫流率変化の模様を示す。横軸に密度と風速の積として質量速度をとったのは、形状一定のとき、粘性係数の温度変化を無視すれば質量速度はレイノルズ数に比例するので、封入圧力の変化と風速変化とを同時に示すことになるからである。この結果によれば熱貫流率は水速とともにほぼ直線的に増加し水素の質量速度に対しては幾分飽和する傾向がある。図 5.2 は水素圧力をパラメータとし、風速に対して示した管外圧力損失の測定結果で、ほぼ風速の平方に比例して大きくなることがわかる。図 5.3 は管内圧力損失の測定結果で水速とともに急激に増加している。図 5.4 は管束あたりの熱貫流率と気流の圧力損失との比、すなわち、比熱貫流率と管外風速との関係を示したものである。これによれば比熱貫流率は風速とともに減少し飽和の傾向をもつことがわかる。また空気(大気圧)中の測定から求めた比熱貫流率も同時に示すが、水素中の値は空気中の値にくらべ、はるかに大きいことがわかる。また冷却管の配列による影響としては気流の方向のピッチが小さく、流れに垂直なピッチが大きい方が熱貫流率、管外圧力損失ともに小さくなり、比熱貫流率としては幾分高くなるようである。

6. 問題点

この試験は引き続き実施するが考慮すべき問題としてつ

ケーブル系統保護用 HCB-2 形表示線 継電器の高調波および過渡現象応動特性

神戸製作所 藤井重夫*・北浦孝一*・古谷昭雄*

Response Characteristics for Higher Harmonics and Transient Phenomena of Type HCB-2 Pilot Wire Relays for the Protection of Cable Systems

Kobe Works Shigeo FUJII・Koichi KITAURA・Akio FURUYA

The protection of short distance transmission lines such as underground cables of great cities calls for pilot wire relay scheme in the modern practice. It is, however, reported that transient currents peculiar to the cable system often cause the misoperation of the relays. To overcome it characteristics immune to these currents are specially required in the design of the relay. As the outgrowth of the company's experience and studies type HCB-3 pilot wire relays have been developed with a number of tests to verify their successful response to higher harmonics and transient phenomena and expected to be on the market very soon.

1. まえがき

HCB-2 形表示線継電器に関する研究はとくに十分行っており、通常の諸特性については十分なる資料を得ている。またその設計開発もほぼ完成して、近日 HCB-3 形と改名し、標準品として流しうる段階に至っている。重要短距離送電線保護として好適のパイロット継電方式は、近時、東京、大阪等、市街の地下ケーブル保護に適用され、その需要は著しくのびてきた。

それと同時にケーブル系統特有の種々の問題が、各電力会社始め電気試験所等で重要な問題として討議され、従来あまり問題とならなかった継電器の過渡時における応動特性が表面化される機運になり、この過渡特性に対する良否がリレーの適、不適の判定基準となってきた。

当社の表示線継電器が従来より過渡電流に応動していくことは理論的に予想されていたが、現在まで実際に実験によって確かめる機会を逸していた。

今回、ケーブル系統特有の問題点が一部明らかになってきたので、それをもととしてこのリレーの高調波および過渡電流に対する応動特性を解明する総合試験を行った。その結果は予期以上のものであり、当社表示線継電器がケーブル系統保護用として好適のものであり、自信をもって推奨しうるものであることが確認された。

その主な試験項目は

- (1) Peak current 応動試験
 - (2) 高調波応動試験
 - (3) 変圧器励磁過渡電流応動試験
- 等である。

* 技術部

2. ケーブル系統に発生する過渡現象と 表示線継電器適用上の問題点

2.1 ケーブル系統に発生する過渡電流

ケーブル系統に接地事故が発生すると、その発生瞬時に相当高値の大きい高調波過渡電流が流れることが最近、実験および実測によって明らかにされた。

それらについて論述することは、本文の目的でないで、試験適用に際して基準としたものにつき記すにとどめる。

(1) 過渡電流発生の時機

ケーブル系統で過渡電流が発生する時機は

- a. 事故発生時
- b. 組合分離時
- c. 事故除去時

であり、その大きさは b. a. c. の順に弱くなる。それぞれの場合に発生する過渡波形については一概に予想できないが、事故発生時のものにつき考え、他はそれに準ずるものとする。

(2) 過渡電流波形の例

継電方式委員会で発表された電試の研究例によると「ケーブルと架空線とを連繋するとき、架空線に地絡故障が発生すると、図 2.1 において A 点に 0.5~1 サイクルの間過渡高調波（基準周波の 2~3 倍周波）電流が発生する。

これは B 端の接地方式、地絡点までの距離 l km、故障相々電圧位相等により相違するが、

- a. 故障点が A 端に近づくほど大きく、PC 系および

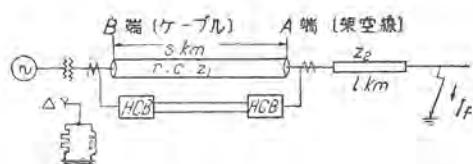


図 2.1 ケーブル系統と架空線との連繋回路
Fig. 2.1 Equivalent circuit on which cable and aerial line are connected.

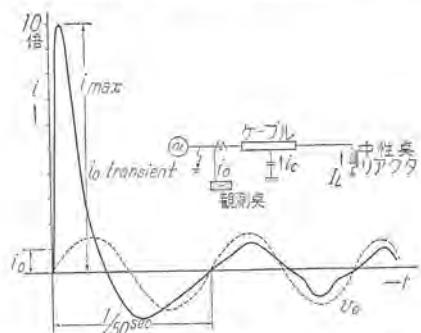


図 2.2 ケーブル系統に現われた過渡電流波形の例
Fig. 2.2 An example of transient current waveform appeared in cable system.

- a. PC+NGR 系では最大 10 倍にもおよぶ場合がある。
- b. 投入位相が 90 度のとき最大となり、90 度をこえるときは最大値を有する波が第 2 波以降に生ずる。
- c. 接地方式により相当変化する。すなわち、直接接地系、NGR 接地系ではほとんど問題となるほどの波高値のものはないが、PC 系および PC+NGR 系では問題である。
- d. PC 系では、PC の補償度が不足補償より完全補償に近づくほど波高値は高くなる。

これは、当社交流計算盤による解析例で、系統状態によって相当変化するものである。

実系統においてオシロ観測の波形例を図 2.2 に示す。これは中性点リアクタによる基本波電流が重畠された場合のもので、CT 二次に第 3 高調波程度の過渡電流として、区間内充電電流 i_0 の 10 倍程度の波高値のものがでている。

(3) Peak current 波形例

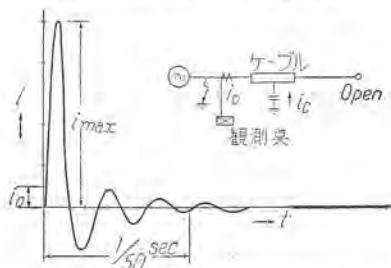


図 2.3 ケーブル系統に現われる peak current

Fig. 2.3 An example of peak current waveform appeared in cable system.

今、整定を 0.24A タップに選定する。(別のタップにしても、このリレーの構造よりして比例的に考えるものである。)

この場合の波高値は 2.5A、第 2 波高値は 0.5~0.7A 程度となる。なお、本文では他の過渡電流との混同を避ける意味で、この過渡電流波形を便宜上 Peak current と呼ぶこととする。

2.1 ケーブル系統用表示線継電器適用上の問題点

表示線継電器が誤動作を起す系統はつぎのような場合である。

(1) 片端電源の場合

外部接地故障に対して、区間内充電電流が一端より流出するときは、一端より故障電流が流入する現象と同等となり、誤動作の可能性がある。

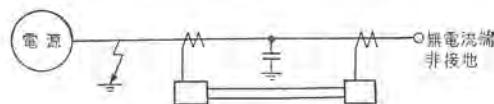


図 2.4 片端電源の場合
Fig. 2.4 In case of one end open line.

(2) 両端電源リアクタ接地の場合

外部接地故障時、中性点リアクタより零相分が供給されるまでの間、区間内充電電流のため過渡的に動作電流を生じ、誤動作の可能性がある。

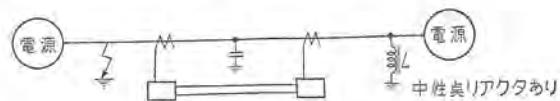


図 2.5 両端電源リアクタ接地の場合
Fig. 2.5 In case of both ends neutral reactor grounded line.

(3) 両端電源抵抗接地の場合

接地抵抗により一般に抑制電流が貫通するので、ほとんど誤動作の心配がない。

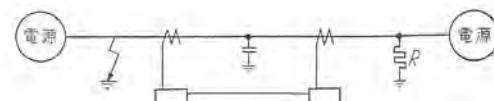


図 2.6 両端電源抵抗接地の場合
Fig. 2.6 In case of both ends neutral resistance grounded line.

(4) 両端電源抵抗リアクタ接地の場合

この場合は NGR 投入までは PC 系と同じであるから問題となる。

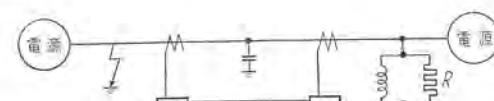


図 2.7 両端電源抵抗リアクタ接地の場合
Fig. 2.7 In case of both ends neutral resistance and reactor grounded line.

通常、かかる表示線継電器誤動作の可能性が考えられる系統には、零相電圧と逆相電圧との比で動作する HSV-2 形高速度一線接地検出継電器によるロック方式を併用してある。

しかし、かかるロック方式のみに依存することは、このリレーで必ずしもすべての場合がロックできるとは限

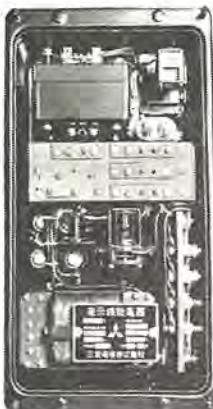


図 3.1 HCB 形表示線継電器
Fig. 3.1 Type HCB-2 pilot wirerelay.

らないから、あまり望ましくない。

ゆえに、この試験ではロック方式を度外視して、表示線継電器のみの過渡電流応動特性を論ずることにする。

3. 試験研究内容

3.1 供試 HCB-2 形継電器

その外観は図 3.1 に示す。また内部回路は図 3.2 に示す。

(1) HCB-2 形継電器等価回路

試験に先立って、表示線継電器の等価回路を記してみる。

a. 縮電器単独の場合

HCB-2 形表示線継電器は、図 3.2 のように正相フィルタ、飽和トランジス、および二重誘導環形継電要素より成る。

ここで C_1, C_2, C_3 は線路 CT よりの三相入力端子であり、 C_0 は線路 CT の中性点に接続されるものである。

b. 絶縁トランジスのみ接続の場合（接地要素のみを考える）

これは、表示線断線時に相当する。

c. 他端リレーがあり、表示線等価回路を含む場合（中和トランジス含まず）

通常の使用状態では c または d のように、表示線を介して他端の HCB リレーが接続されている。表示線等価回路常数 R, C の値は、表示線直長 20km 相当のものが接続された場合を想定している。

d. 他端リレーがあり、表示線等価回路を含む場合（中和トランジスを含むとき）

（注）表示線に起る誘導電圧の大きさが相当程度大きいとき、中和トランジスを必要とする。

この場合、同じ直長の表示線に対して c. と違った R, C_1, C_2 の値のものとなる。

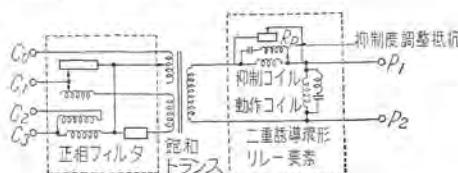


図 3.2 HCB 形継電器回路
Fig. 3.2 Internal connection of type HCB-2 pilot wire relay.

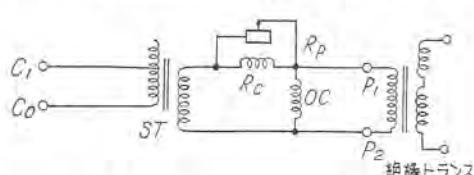


図 3.3 絶縁トランジスつきの場合
Fig. 3.3 Equivalent circuit of type HCB-2 relay with insulation transformer.

ケーブル系統保護用 HCB-2 形表示線継電器の高調波および過渡現象応動特性・藤井・北浦・古谷

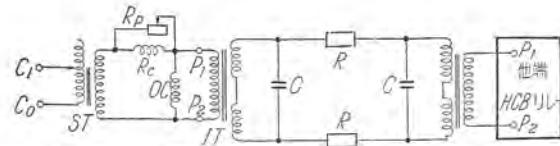


図 3.4 バイロット・ワイヤ等価回路つきの場合
Fig. 3.4 Equivalent circuit of type HCB-2 relay in usual application.

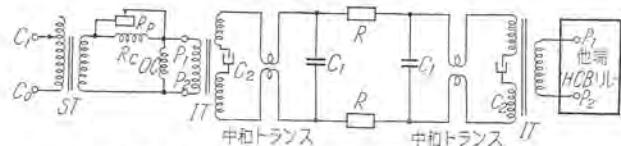


図 3.5 中和トランジスのある場合の等価回路
Fig. 3.5 Equivalent circuit of type HCB-2 relay in usual application with neutralized transformer.

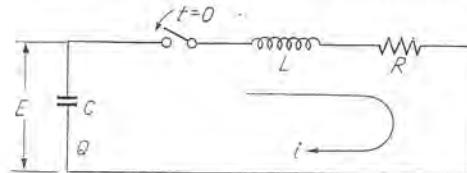


図 3.6 LCR 放電回路
Fig. 3.6 Discharge circuit with L.C.R. circuit element.

(2) 整 定

区间内充電電流の 2 部にセットするとして、接地タップ 0.24 A タップに整定することにする。

3.2 Peak current 応動特性

(1) Peak current generator の試作

2.1 (4) に述べたように、ケーブル系統で問題となる Peak current は通常の L, C, R 回路からなる放電回路の示す過渡電流の軌跡と考えてよい。

a. 算式の導出

図 3.6 の常数を有する放電回路において

$$\frac{Q}{C} = E \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$R^2 < \frac{4L}{C} \quad (\text{振動条件}) \dots \dots \dots (3.2)$$

を満足するものとすると

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0 \dots \dots \dots (3.3)$$

なる微分方程式の解として、過渡電流は

$$i = -\frac{2E}{\sqrt{\frac{4L}{C} - R^2}} e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \sin \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4L}{C} - R^2} \cdot t \dots \dots \dots (3.4)$$

$$i = -\frac{E}{L\beta} e^{-\alpha t} \sin \beta t \dots \dots \dots (3.5)$$

ただし

$$\alpha = \frac{R}{2L} \dots \dots \dots (3.6)$$

$$\beta = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4L}{C} - R^2} \dots \dots \dots (3.7)$$

で表わされる。

上式は、図 3.7 のような波形を表わしている。

試験用として印加される過渡直流分波形としてはつぎ

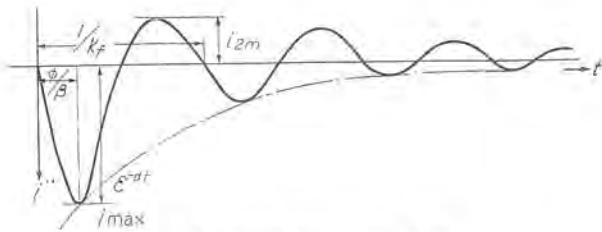


図 3.7 試験用 Peak current 波形
Fig. 3.7 Current waveform generated by a peak current generator.

の点が自由に変えられるものであることを要す。すなわち、過渡電流最大値 i_{\max} 、振動周波数 k_f 、減衰度 δ である。

それぞれにつき変数を見出してみる。

$$i_{\max} = \frac{E}{\sqrt{L/C}} e^{-\frac{\delta}{k_f} t} \quad (3.8)$$

ただし $\phi = \cot^{-1} \frac{\alpha}{\beta}$ (3.9)

$$\Rightarrow \frac{E}{\sqrt{L/C}} \quad (3.10)$$

また、振動の周波数を $F=k_f$ (f : 基本周波 50c/s または、60c/s) とすると

$$\beta = 2\pi F = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4L}{C} - R^2} \text{ より}$$

$$k_f = \frac{1}{4\pi L} \sqrt{\frac{4L}{C} - R^2} \quad (3.11)$$

減衰率は式 (3.6) の α で表わされるが、オシロでは第一極大値と第二極大値の比をもって、図 3.7 の

$$\frac{i_{2m}}{i_{\max}} = \delta \quad (\text{減衰率}) \quad (3.12)$$

で表わすものとする。

b. 希望条件および計算例

上記 i_{\max} , k_f , δ の希望値としては 2.1 (3) 等価の試験をするため

$$\begin{cases} i_{\max} = 1 \text{ A} \sim 10 \text{ A} \\ k_f = 50 \text{ c/s}, 100 \text{ c/s}, 150 \text{ c/s} \\ \delta = \text{任意} \end{cases}$$

のものが必要である。

ゆえに、式 (3.10), (3.11), (3.6) より、 R , L , E , C の値を任意に選べばよいことがわかる。

表 3.1 定数変化表

k_f (c)	f	$2f$	$3f$
	$20\mu F$	$5\mu F$	$2\mu F$
i_{\max} (E)			
	10 A	5 A	2.5 A
	2000 V	800 V	400 V
	500 V	3,200 V	1,600 V
	200 V	5,000 V	2,500 V
δ (R)			
	10 Ω	100 Ω	500 Ω
	0.95	0.98	0.30

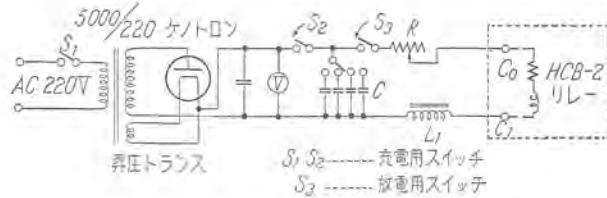


図 3.8 Peak current generator 構成図
Fig. 3.8 Connection diagram of peak current generator.

今回は、 $L=0.5 \text{ H}$ 一定のものを使用することにして、つきの方法によって上記を満足させた。

i_{\max} の変化……コンデンサ充電電圧を変える。

k_f の変化……コンデンサ容量 C を変える。

減衰率の変化……直列抵抗 R を変える。

その計算例を表 3.1 に示す。

なお、ここで供試繼電器の入力側よりみた回路定数は無視してあるが、発生器の R , L の値に対して十分無視できるものである。

c. Peak current generator 構成図

試験回路は、ケノトロンによる整流回路、静電々圧計を付加した図 3.8 のようなものである。

この回路によって、オシロに見られるように、一応満足すべき Peak current が得られた。

なお、印加 Peak current のエネルギーを表わすものとして、振動波形の全積分量すなわち、エネルギー量(換言すれば、放電スイッチ投入前コンデンサ C に充電されている電気量 Q) を I として表わすこととする。

すなわち

$$I = \int_0^\infty \left[-\frac{2E}{\sqrt{4L/R^2}} e^{-\frac{R}{2L}t} \cdot \sin \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{4L}{C} - R^2} \cdot t \right] dt$$

$$= CE \quad (3.13)$$

(ただし、 I の次元としては $C: \mu F$, $E: \text{kV}$ とした場合で 10^{-3} クーロンを示すものとする。)

(2) 試験結果

a. 概要

試験は前記の Peak current generator によって、任意の過渡電流波形を、繼電器端子 C_0 , C_1 間に加えて行った。

この際リレーは 3.1 a, b, c, d の四つの場合を考え、それにつき動作限界値を見出すと共に、各リレー内部を循環する電流の大きさ、波形等をオシロにより観測した。

そのデータは、相当にぼう大なものゆえ、個々に検討することは、かえって繁雑を招くので、総合的な結果のみを記すことにし、個々の循環電流波形等は代表的オシロを添付することにより、理解していただくことにする。

b. オシロ説明

(オシロ #1) 回路 (c)

このオシロは、通常の使用例において、図 2.3 と等価な Peak current (タップ値の 10 倍, 3f) が流れても

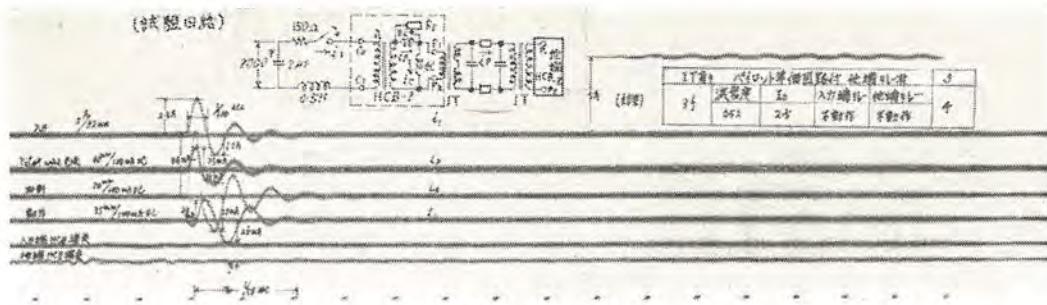


図 3.9 オシロ #1
Fig. 3.9 Oscilloscope #1

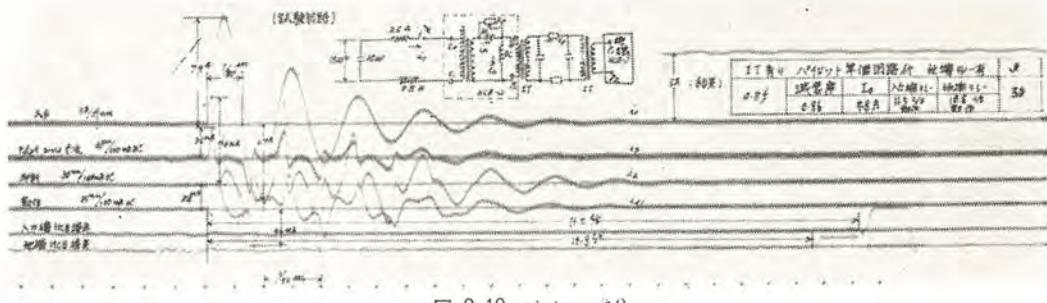


図 3.10 オシロ #2
Fig. 3.10 Oscilloscope #2

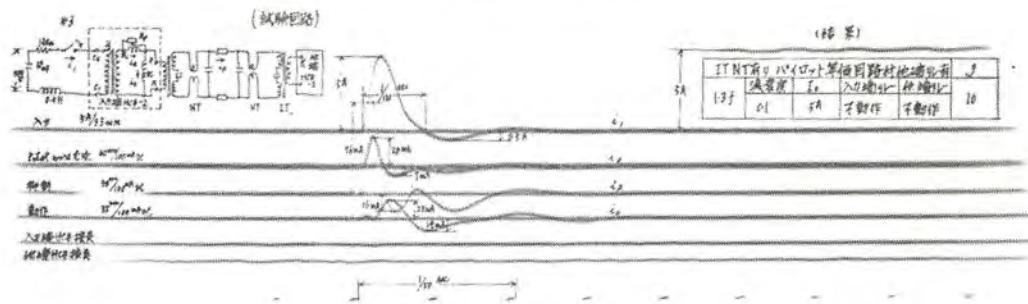


図 3.11 オシロ #3
Fig. 3.11 Oscilloscope #3

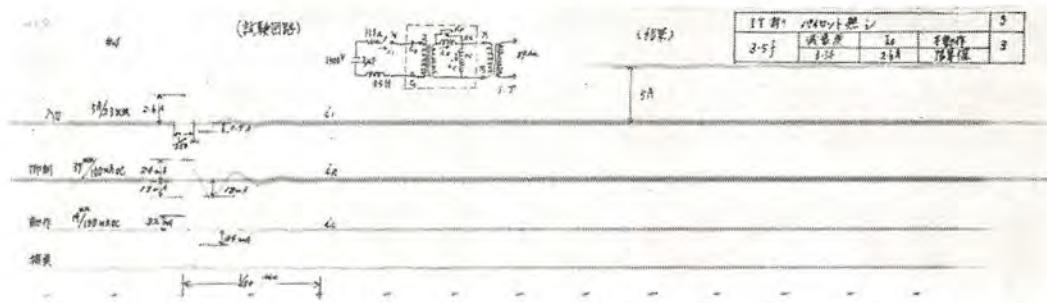


図 3.12 オシロ #4
Fig. 3.12 Oscilloscope #4

繼電器が動作しないことを示している。この場合、自端動作電流 i_c 、抑制電流 i_R 、表示線循環電流 i_P の波形も観測してある。

なお、波形がほとんど歪まないことと、自端動作電流と同程度のものが相手端に伝達されることとに注意されたい。

(オシロ #2) 回路 (c)

このオシロは、基本周波近くの波形で、タップ値の 30 倍近くのものが加ったとき、リレーが動作した例である。

この場合 i_c , i_R , i_P の波形が歪むことに注意されたい。

(オシロ #3) 回路 (d)

このオシロは、中和トランジストがはいっているときリレーはいっそう動作し難くなることを示している。

(オシロ #4) 回路 (b)

表示線が断線したり、または何らかの原因によって相手端に分流されない場合でも、図 2.3 と同程度の Peak current のものまで動作しないことを、このオシロは示している。

(オシロ #5) 回路 (b)

上と同程度の波高値のものでも周波数が低くなれば、

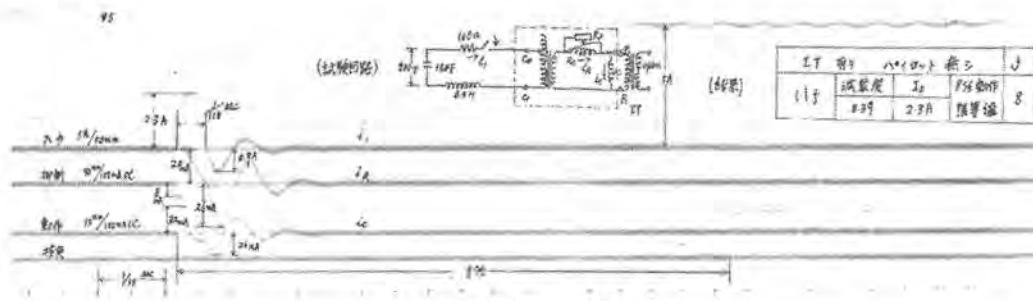


図 3.13 オシロ No. 5
Fig. 3.13 Oscillogram No. 5

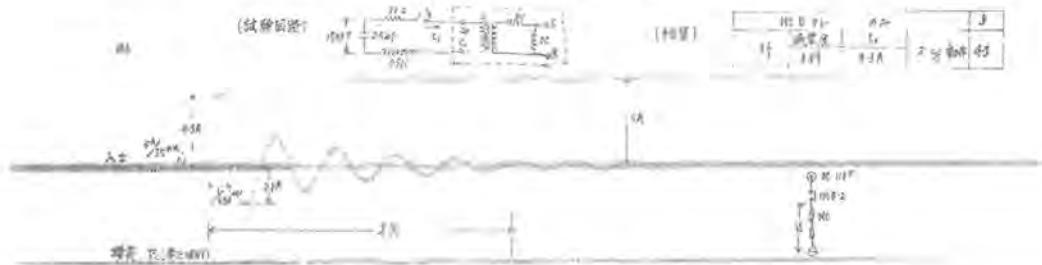


図 3.14 オシロ No. 6
Fig. 3.14 Oscillogram No. 6

入力エネルギー I が増加するので動作することとなる。

このオシロは、その動作限界値のものである。

(オシロ No. 6) 回路 (a)

表示線も絶縁トランジストも何ら接続せずに、リレーだけでは当然動作し易くなる。

この場合は後述のように、タップ値の 4 倍程度のものでも働いてしまうから、このオシロのように十分大きな波高値のものでは、高速度で動作することとなる。

c. 試験結果の要約

(i) 通常の使用状態（表示線あり）では、基本周波の 3 倍程度の高調波（減衰率 0.3 度）過渡電流に対し、タップ値の 20 倍程度の波高値のものまで（通常タップ整定は区間内充電電流の倍に整定するから、区間内充電電流の 40 倍程度まで）両端リレーとも接点動作に至

る応動はない。

(ii) Peak current 応動特性保証値

表 3.2 に示されるとおりである。

(iii) 初期の過渡波高値がかなり高いものでも、急激に減衰するものではあまり影響を受けない。

(iv) 一般に、入力過渡電流波形の積分量に比例する。

(v) 過渡波形の周波数が基本波近くになると、比較的低い波高値のものでも動作するが、基本波以下の周波数のものでは、また動作し難くなる（周波数特性参照）。

(vi) 一端よりの過渡電流によって繼電器が動作するとき、他端の方が早く動作する。

(vii) 入力振動波形が基本周波の 3 倍程度のものは繼電器抑制コイル、動作コイルを流れる電流波形は入力波形と大差ないが、2 倍または基本周波近くになると、相当歪んだものとなる。

3.3 繰り返し Peak current 応動特性

(1) 概要

2.1 (1) に述べてあるような過渡電流は、最悪の場合連続して起ることがありうる。

すなわち、外部事故発生によって系統分離を行い、すぐに故障が除去されたというケースである。

このようなときには、数サイクル（5 サイクル内外）間に連続して三つの過渡電流が加わることになり、考えうるもっとも苛酷なものといえる。

試験回路は図 3.15 で、充電された C を三つ並べつづりに放電させるもので、各 Peak current 間の時間差は、MC リレーによって 2 サイクル程度あるようにしてある。

この場合、現実にはそれぞれ大きさ、波形が相違するのが普通であるが、実験では三つとも同一のものを加え

表 3.2 Peak current 試験結果一覧表

等価回路	試験回路	I_0	I
(a)	HCB-2 リレーのみ	3	1
(b)	絶縁トランジストのみある時	10	3
(c)	他端リレーあるバイロットワイヤ等価回路(中和トランジストなし)	20	20以上
(d)	" (中和トランジストあり)	20以上	30"

ただし I_0 : 繼電器一端のみより基本周波の 3 倍程度の過渡電流分（減衰率 0.3 度）がはいったとき両端とも動作するにいたらない最大入力のタップに対する倍数（不動作限界値と tap 値との比）
 I : 繼電器一端より過渡直流分がはいったときその時間的電流波形の積分量換算すればその入力エネルギーがどの程度の電気量のものまで、両端とも接点動作にいたる応動のないことを表わす量

dimension: 10^{-8} ターキン

しかし、これは次章の周波数特性によって変化があるので、一応の目安にすぎない。

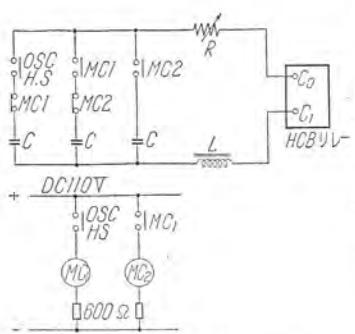


図 3.15 連続 Peak current 応動試験回路

Fig. 3.15 Test circuit for repeating peak current characteristics.

である。

なお、この実験では
継電器の通常の使用状
態図 3.4 (b), 図 3.5
(c)についてのみ行っ
た。

(2) オシロ説明

(オシロ #7)

回路 (c)

このオシロは、通常
の使用状態で波高値が
タップ値の 8 倍程度の
もので、動作しないこ

とを示している。

(オシロ #8) 回路 (d)

基本周波近い波形では、中和トランジストの挿入の状態で、
波高値がタップ値の 10 倍のものでは、相手端のみ動作
していることを示している。

(3) 実験結果の要約

a. 通常の使用状態では、中和トランジストの有無にかか
わらず、基本周波の 3 倍程度の高調波（減衰率 0.5 程度）
過渡電流に対し、タップ値の 8 倍程度*の波高値のもの
まで（すなわち、区間内充電電流の 16 倍程度まで）両
端リレーとも接点動作に至る応動はない。

*試験に使用した L の絶縁破壊のため、3f ではこれ以
上電流は上げられなかったが、この値までは動作して
いない。

f を加えた他の実験よりして、タップ値の 10 倍程度
まで保証できると思う。

b. 基本周波の 1.5 倍程度の高調波（減衰率 0.5 程度）

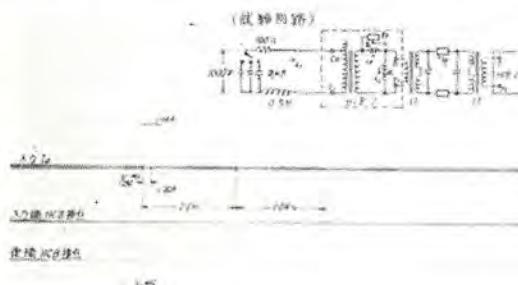


図 3.16 オシロ #7
Fig. 3.16 Oscillogram #7

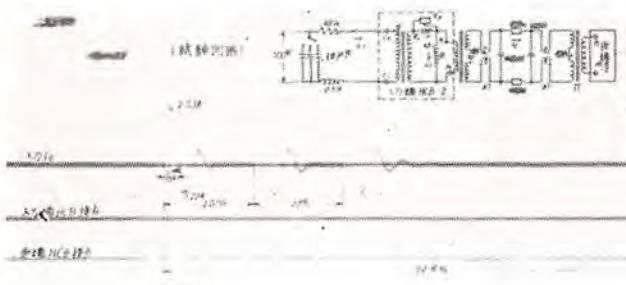


図 3.17 オシロ #8
Fig. 3.17 Oscillogram #8



図 3.18 HCB-2 リレーの周波数特性（接地要素）

Fig. 3.18 Frequency characteristics of type HCB-2 relay (for ground element)

過渡電流では、動作限界値はタップ値の 10 倍程度である。

c. このことは、単独 Peak current 応動特性の場合
に比して、波高値で 1/2~1/3 ぐらいに低下することを
示している。

3.3 高調波応動特性

(1) 概 要

可変周波発電機により、50 サイクルから 150 サイクルまで入力電流を変化させて、最低動作値を測定した。

これは、接地要素のみについて 0.24 A タップで測つ
たものである。

(2) 試験結果の要約

上の試験結果を要約すると

a. 60 サイクル程度で一番感度よく、それより周波数

IT 有り パイロット等価回路作動時 リレー有					
試験回路	接地回路	動作時間 t_a	過渡用限 I_p	入力限 I_{in}	感度 α
Z81	成形器	1.0	2.1 G	2.1 G	2
	2.4 G	1.44 A	2.1 G	2.1 G	2

IT 有り パイロット等価回路作動時 リレー有					
試験回路	接地回路	動作時間 t_a	過渡用限 I_p	入力限 I_{in}	感度 α
Z81	成形器	1.0	2.1 G	2.1 G	2
	2.4 G	1.44 A	2.1 G	2.1 G	2

が上っても下っても急激に感度は低下する。

b. 基本周波の3倍程度では両端リレーとも動作しない。

c. 表示線回路がない場合には、それほど顕著な周波数特性を示さない。

すなわち、HCB-2形継電器は、表示線を接続した状態では故障時に問題となるような高調波電流に対しては、不感動の特性となっている。

これによって Peak current 特性の結果もある程度説明がつく。

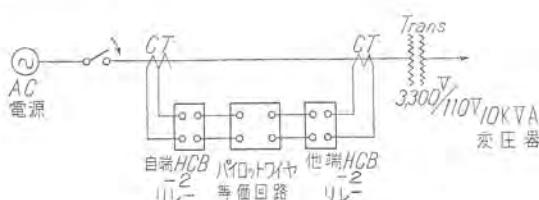


図 3.19 変圧器励磁過渡電流応動試験回路

Fig. 3.19 Test circuit of type HCB-2 relay in response to transformer-inrush transient current.

3.4 変圧器励磁過渡電流応動特性

変圧器励磁過渡電流が表示線継電器を貫通したとき第3高調波電流が貫通することになるが、この場合の継電器動作を調べるために、図3.19のようない、実際の変圧器励磁時の試験回路を組み、リレー最低動作の数10倍の励磁電流を貫通させて、リレー動作をチェックした。

a. 短絡要素

2Aタップを使って C_1-C_2 間に最大波高値66Aまでの励磁電流を貫通させたとき、動作コイルに最大20

mA近い電流が流れるも、抑制電流が100mA近くかかるため、両端HCB-2形継電器とも動作することはない。(タップ値の30倍程度の波高値の励磁電流でも誤動作することはない。)

オシロ #9 参照

b. 接地要素

0.24Aタップを使って、 C_0-C_1 間に最大波高値50A程度の励磁電流を貫通させたとき、動作コイルに最大30mA近い電流が流れるも、抑制電流が30mA以上かかるため両端リレーとも動作することはない。(タップ値の200倍程度の波高値の励磁電流でも誤動作することはない) オシロ #10 参照

以上のことは、中和トランジスタの有無に関係しない。なお、変圧器が保護区間内にある系統を表示線継電器で保護する場合には、励磁時容易にリレーは動作してしまう。

やはり変圧器を介した系統をHCB形リレーで保護するには、適当なロック装置を必要とすることがわかる。

5. む す び

以上の試験の結果「HCB-2形表示線継電器は、高調波過渡電流に対してきわめて優秀な応動特性を有し、通常のケーブル系統に適用した場合、問題となるような過渡現象によって誤動作することはまずありそうにない。」という結論が得られた。

なお、上の保証はHCB-2形表示線継電装置のみでなしるものであるが、HSV-2形一線接地検出継電器を併用すれば、さらにその信頼度は向上する。

最後に、この試験研究に対し多大のご便宜を賜わった東京電力関係者各位に深甚の謝意を表す次第である。

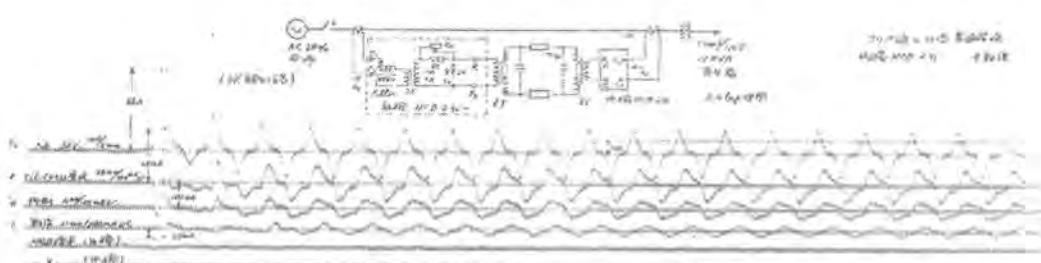


図 3.20 オシロ #9
Fig. 3.20 Oscillogram #9

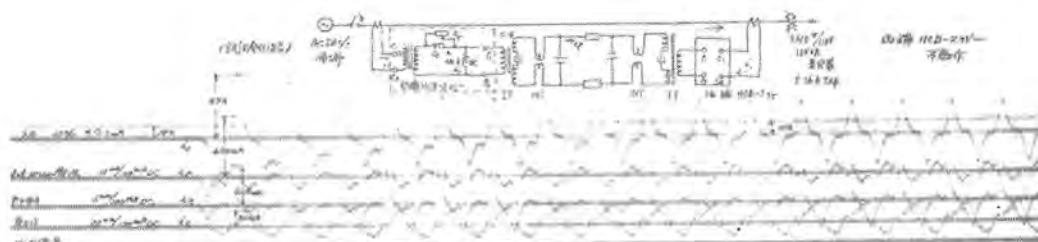


図 3.21 オシロ #10
Fig. 3.21 Oscillogram #10

ビニール基およびフェニール基を含む低粘度シリコーン油

研究所 馬波 久*・小山二郎*

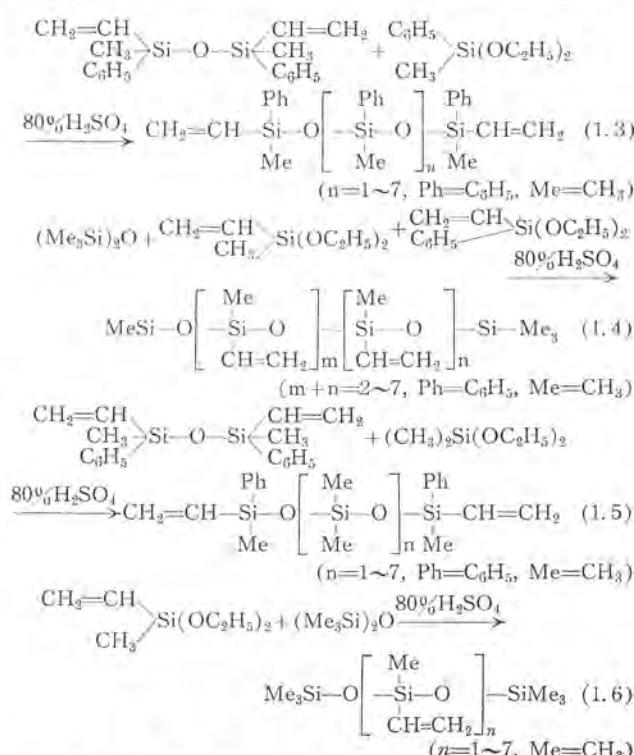
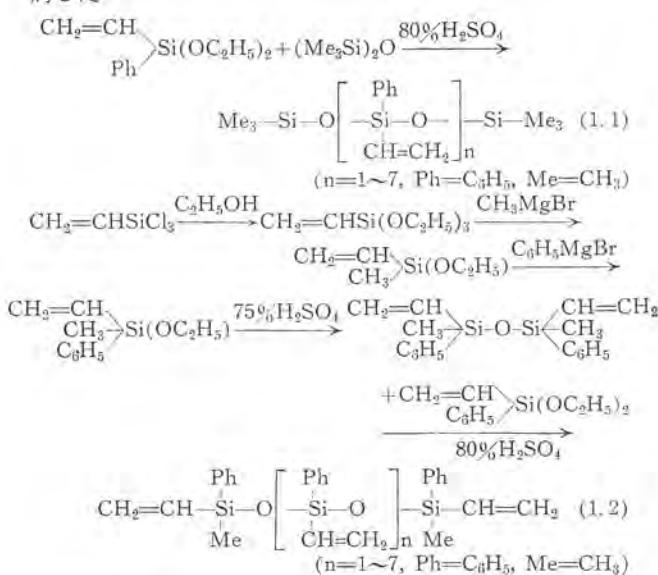
Low Viscosity Polysiloxane Fluids Containing Vinyl- and Phenyl Radicals

Hisashi MANAMI・Jiro KOYAMA

For the trial manufacture of solventless varnish of silicone, synthesis of low molecular silicone fluids which are made by substituting the end block siloxy radical of linear methylpolysiloxane with vinylphenylmethyl siloxy radical or substituting the stock siloxy radical with either vinylphenyl siloxy radical or vinylmethylsiloxyl radical has been studied together with the investigation of its quality. In particular through cohydrolysis and equilibration of triorganooethoxysilane and diorganodiethoxysilane, linear polysiloxane has been synthetized, measuring its viscosity, specific gravity, refractive index, and temperature viscosity coefficient and studying the effect of phenyl radical. The silicone fluids thus formed has a low vapour pressure and a high boiling point. It is found possible to polymerize it at a relatively low temperature by the use of organic peroxide as catalyst.

1 まえがき

直鎖状ジメチルポリシロキサン油はポリシロキサン油の中で最低の粘度をもっているが、比較的揮発性であって 50 c.p. 以下の粘度のものならば容易に沸騰する。ジメチルポリシロキサンのメチル基の代りにフェニール基またはその他の高級ラジカルを導入したものは蒸気圧は低いが低分子量のものでも著しい粘度上昇があることが知られている。フェニール基を導入して耐熱耐寒性を改善しさらにオレフイン基などを導入して反応性と性能の改善をする方法は弾性体などにその試みが行われた報告がある。しかし油状の直鎖状ポリシロキサンに関してはこの報告がない。著者らはつぎの式(1.1)～(1.6)に示すようにメチル基、ビニール基、フェニール基を珪素原子に直接結合した鎖状停止体を有する直鎖状ポリシロキサンでしかも低蒸気圧のもの、および主鎖シロキサン群にフェニール基、ビニール基等を導入した数種の直鎖状ポリシロキサンをつぎの方法により合成し、その性質を検討した。



2 実験の部

2.1 ビニール、トリエトキシシラン⁽¹⁾

三つ口フラスコに無水エチアルコール、6 モルを仕込み 0~5°C においてビニールトリクロロシラン、2 モルを攪拌下に滴下し、滴下終了後、乾燥空気を導入して、大部分の塩酸を除去し、さらに約 5 時間湯浴中に還流して十分塩酸ガスを放出させる。つぎに生成物を分離して B.P. 157~161°C の溜分を集め、収量約 75%。

2.2 ビニール、メチルジエトキシシラン⁽²⁾

無水エーテル 300 c.c. にビニール、トリエトキシラン 4 モルを溶解したものを三つ口フラスコに仕込み、攪拌下に 0~5°C において 4 モルのメチルマグネシウムブロマイドを滴下して反応せしめる。滴下終了後、さらに攪拌下に 2 時間還流する。つぎにエーテルを溜去した後、

*化学第一研究室

分溜して B.P. 132~135°C の溜分を集める。収量 347 g, 収率約 55%。

2.3 ビニール, フェニールジエトキシシラン⁽³⁾

ビニールトリエトキシシラン, 4 モルと無水エーテル 300 c.c. の混液を三つ口フラスコに仕込み、攪拌下に 0~5°C においてフェニールマグネシウムブロマイド, 4.2 モルを滴下する。滴下終了後、さらに 2 時間還流して反応を完結せしめる。つぎに生成塩を濾別し、濾液を分溜して B.P. 117~120°C/15 mm の溜分を集める。収量 532 g, 収率約 60%。

2.4 ビニール, メチル, フェニールエトキシシラン

ビニール, メチルジエトキシシラン, 2 モルと無水エーテル 300 c.c. の混液を三つ口フラスコに仕込み、攪拌下に 0~5°C においてフェニールマグネシウムブロマイド, 2.2 モルを滴下する。滴下終了後、さらに 2 時間還流して反応を完結させる。つぎに濾別して生成塩を除去し、濾液を分溜して B.P. 59~60°C/2 mm の溜分を集める。収量 264 g, 収率 69%, 分析 Si%: 計算値 14.57%, 分析値 14.54%, n_D^{25} 1.4909. この化合物は文献未知の新化合物である。

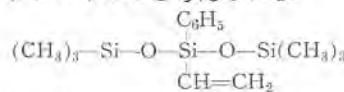
2.5 1,3-ジメチル, -1,3-ジフェニル, -1,3-ジビニールジシロキサン

ビニール, メチル, フェニールエトキシシラン, 1 モルをベンゾール 600 c.c. に溶したものを三つ口フラスコにとり 0~5°C において攪拌下に 75% H₂SO₄, 375 c.c. を徐々に加える。この間 1/4~1/3 時間である。滴下終了後、さらにその温度において 1 時間、つぎに 25°C において 1 時間攪拌する。静置後、分離したベンゼン溶液層を分別して稀アルカリと水で洗い、無水芒硝で乾燥して分溜し B.P. 160~161°C の溜分を集める。収率約 97% 分析 Si%: 計算値 18.06%, 分析値 17.94% n_D^{25} 1.5302. この化合物は文献未知の新化合物である。

2.6 試料(I)の製法

ビニールフェニールジエトキシシラン 0.9 モルとヘキサメチルジシロキサン, 0.3 モルをベンゾール 600 c.c. に溶して三つ口フラスコに仕込み、氷冷浴中で攪拌しながら、80% H₂SO₄, 375 c.c. を滴下する。この間約 1/4 時間である。滴下終了後、1 時間攪拌し、つぎに氷冷浴を除き 25°C においてさらに 1 時間攪拌する。つぎに 700 g の氷片を徐々に加えて約 1/2 時間攪拌して後、ベンゾール層を分別して、稀アルカリと水で洗い、無水芒硝で乾燥後、ベンゾールを溜去する。収量約 170 g である。さらにこのポリシロキサンを 100°C/0.5 mm にて減圧処理する。溜出物は主として B.P. 116°/86 mm の物質であって、 d_4^{25} 0.9224, n_D^{25} 1.4580, 分析 Si%:

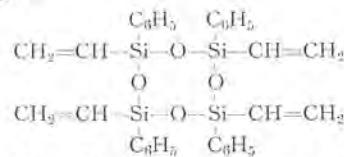
計算値 27.09%, 分析値 26.78% でありつぎに示す構造を有するトリシロキサンと考えられる。



残溜ポリシロキサンは分子量 621 であって主として $n=3$ のポリシロキサンと考えられる。ここに生成した $n=3$ を主成分とするポリシロキサンは 0.8% のターシャリー、ブチルバーベンゾエトを加え 130~135°C, 1 時間加熱すれば硬化する。

2.7 試料(II)の製法

ビニール, フェニールジエトキシシラン, 0.1 モルと 1,3-ジメチル, -1,3-ジフェニル, -1,3-ジビニールジシロキサン, 0.05 モルをベンゾール 100 c.c. に溶したもの三つ口フラスコに仕込み、氷冷下 0~5°C において急激に攪拌しながら 50 c.c. の 80% H₂SO₄ を滴下する。この間約 1/4 時間である。この混合物を 0~5°C で 1 時間、つぎに 25°C で 1 時間攪拌する。つぎに 200 g の氷片を加えて暫時攪拌して後、ベンゾール層を分離して試料(I)と同様にして酸を除きベンゾールを溜去する。収量約 29 g. ここに生成したポリシロキサンをそのまま静置すれば針状結晶が析出する。これを分離して融点を測定すれば M.P. 142~145°C に示し、Si 分析値 18.88%, 計算値 18.91% であってつぎの構造式を有するテトラビニール, テトラフェニル, シクロテトラシロキサンと考えられる。⁽¹⁾



結晶を分離した後のポリシロキサンを 150°C/0.5 mm にて減圧処理した残溜物は分子量: 600 であって主として $n=2$ に相当するポリシロキサンであると考えられる。

表 2.1 平衡化油

(d) 試料番号	(a) C_6H_5 基モル%	(a) $\text{CH}_2=\text{CH}$ 基モル%	(a) CH_3 基モル%	(b) m	平衡粘度 C.S. 25°C	減圧処理結果 (C) 溜出物 g	生成油粘度 C.S. 25°C 残留%		
I	-102	20	20	60	0.50	16.9	19	79.0	46.8
	-104	28.6	28.6	42.8	.33	44.1	7	91.8	94.0
	-107	35	35	30	.22	112.0	1	98.0	192.0
II	-102	40	40	20	.50	12.9	2	97.8	20.6
	-104	42.8	42.8	14.4	.33	18.8	16※	80.0※	44.4
	-107	45	45	10	.22	32.0	8※	90.0※	88.0
III	-102	40	20	40	.50	10.0	1	98.7	15.8
	-104	42.8	21.4	35.8	.33	20.6	3	95.7	30.4
	-107	45	10	45	.22	40.6	2	97.1	53.6
IV	-111	10	20	70	.50	4.4	21	65.0	6.6
	IV-A-131	7.1	28.6	64.3	.33	5.0	12	82.0	7.5
	IV-A-161	5	35	60	.22	5.7	9	82.0	8.3
	IV-B-113	21.4	28.5	50.1	.33	10.0	3	94.7	13.5
V	IV-B-116	30	35	35	.22	21.8	2	97.2	28.4
	-102	20	20	60	.50	4.2	3	96.3	5.0
	-104	14.3	14.3	71.4	.33	4.4	9	84.3	5.6
	-107	10	10	80	.22	4.4	18	77.0	5.9
VI	-102		20	80	.50	2.1	24	62.0	4.1
	-104		28.5	71.5	.33	2.7	21	67.0	4.9
	-107		35	65	.22	3.3	18	71.0	5.7

注 (a) 全有機ラジカルに対する C_6H_5 基, $\text{CH}_2=\text{CH}$ 基, CH_3 基のモル %

(b) 鎮状停止体と主鎖シロキサン基のモル数の和で鎮状停止体のモル数を除した数字。すなわち

$$m = \frac{\text{R}_3\text{SiO}^{1/2}(\text{モル数})}{\text{R}_3\text{SiO}^{1/2}(\text{モル数}) + \text{R}_2\text{SiO}(\text{モル数})}$$

(c) 減圧処理 100°C/0.5 mm, ※ 印のものは 150°C/0.5 mm

(d) 試料番号の次の 1 ケタ目の数字は鎮状停止体のモル数を示し 3 ケタ目の数字は主鎖シロキサン基のモル数を示したものである。

IV-A は主鎖の $(\text{C}_6\text{H}_5)(\text{CH}_2=\text{CH})\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$ を 1 モルにして $(\text{CH}_3)(\text{CH}_2=\text{CH})\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_2$ を 3, 6, % に変化させたもの。IV-B はその反対である。

表 2.2 減圧処理油

試料番号	比重 25°/25°C	N _d ²⁵	粘度 C.S.25°C	凝固点 °C	粘度温度係数 1-210°F 100°F	分子量 (水点降下法)	n 級
I -102 -104 -107	1.052 1.071 1.092	1.5181 1.5300 1.5398	46.8 94.0 192.0	-55 -45 -24	0.752 0.796 0.839	621 917 1178	3.10 5.10 6.87
	1.061 1.081 1.097	1.5470 1.5500 1.5513	20.6 44.4 88.0	-60 -50 -37.5	0.715 0.794 0.848	600 768 867	1.96 3.10 3.76
	1.057 1.079 1.095	1.5360 1.5403 1.5439	15.8 30.4 53.6	-50 -40 -27.5	0.700 0.734 0.800	552 701 753	1.77 2.87 3.23
IV -111 IV-A-131 IV-A-161 IV-B-113 IV-B-116	0.984 0.994 1.003 1.037 1.069	1.4702 1.4639 1.4575 1.5070 1.5268	6.6 7.5 8.3 13.5 28.4	-72.5 -70> -70> -62.5 -52.5	0.620 0.610 0.580 0.690 0.734	492 591 720 653 680	
	0.989 0.983 0.977	1.4910 1.4702 1.4565	5.0 5.6 5.9	-70> -70> -70>	0.515 0.585 0.640	451 641 752	1.90 4.47 5.95
	0.917 0.907 0.906	1.4202 1.4228 1.4261	4.1 4.8 5.7	-70> -70> -70>	0.761 0.758 0.742	472 614 690	3.60 5.25 6.14

注 指標シロキサン群の Si の数

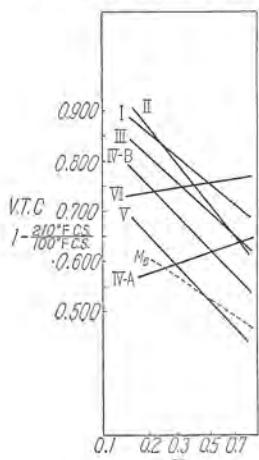


Fig. 2.1 Relation between of Mand Viscosity-Temperature Coefficient.

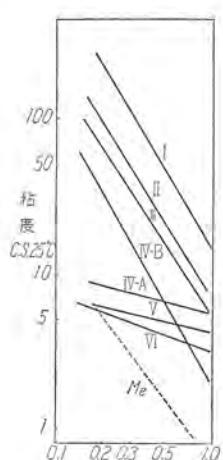


Fig. 2.2 Relation between of M and Viscosity.

2.8 試料(III)の製法

1,3-ジメチル,-1,3-ジフェニール,-1,3-ジビニールジシロキサンとメチル, フェニールジエトキシランとをベンゾールに溶し試料(I)または試料(II)の方法と同様にして縮重合する。収量 73-79%。

2.9 試料(IV)の製法

ヘキサメチルジシロキサン, メチルビニールジエトキシラン, およびフェニールビニールジエトキシランをベンゾールに溶し試料(I)または試料(II)の方法と同様の方法で縮重合する。収量 85-91%。

2.10 試料(V)の製法

ジメチルジエトキシランと1,3-ジメチル,-1,3-ジフェニール,-1,3-ジビニールジシロキサンとの混合物をベンゾールに溶し試料(I)または試料(II)の方法と同様にして縮重合する。収量 83-89%。

2.11 試料(VI)の製法

ビニールメチルジエトキシランとヘキサメチルジシロキサンをベンゾールに溶し試料(I)と同様にして縮重合する。収量 70-80%。

出発原料のフェニール基, ビニール基, およびメチル基の含有モル%, および生成物の平衡粘度, 生成油粘度

などの測定結果を表2.1に示し、減圧処理油につき物理恒数を測定した結果を表2.2に示した。またmと粘度温度係数(V.T.C.)との関係, mと粘度との関係を図2.1および図2.2にそれぞれ示した。なお比較のためジメチルシリコーン油の三量体～六量体を図中に書入れてみた。

3 むすび

ビニール基, フェニール基, メチル基を含有する種々の直鎖状ポリシロキサンを合成し、物理恒数を測定した結果つきのことが判明した。

(1) 減圧処理した油の分子量を測定し(水点降下法), 平均のnの数(主鎖シロキサン群のSi原子の数)を算出する

と、大体所期のものが生成しているが、試料(II), (III), (IV-B), において主鎖シロキサンとなる原料シランを6~7モル用いたものはn=3~5程度のものが生成しており、フェニール, ビニールジエトキシランの反応速度が比較的おそく、さらに長時間平衡化処理の必要が考えられる。

(2) 試料(II)と(III)を比較するとビニール基が主鎖にはいった(II)の方がやや高い粘度-温度係数(V.T.C.)を示している。試料(V)はジメチルシリコーン油に近い値を示している。

(3) 試料(I)と(II)を比較すると、ビニール基, フェニール基が鎖状停止体にはいった(II)の方がmに対する粘度-温度係数(V.T.C.)の影響が大きくあらわれる。また試料(III)と(V)を比較すると主鎖にフェニール基のはいった(III)の方が全般的に粘度-温度係数(V.T.C.)が大きい。

(4) 試料(IV-A), (IV-B), においてメチルビニールシロキサン群の増加により粘度-温度係数(V.T.C.)は小さくなり、フェニールビニールシロキサン群の増加により大きくなる。

(5) 試料(IV-A), (VI)のようにビニールメチルシロキサン群が主鎖にはいったものは他のものと変った粘度-温度係数(V.T.C.)対mの関係を示し、mに対する影響が比較的少なく、ことに(VI)において著しい。これはメチルビニールシロキサン群の増加は粘度にあまり影響がないことを示している。

(6) 凝固点はフェニール基の数の増加により高くなり、ビニール基の影響は比較的少ない。

(7) mと比重の関係は試料(V)と(VI)が同一傾向を示し、他のものとジメチルシリコーン油は同一傾向を示している。しかし試料(VI)以外はジメチルシリコーン油より大なる比重を示している。

(8) 生成したビニール基含有ポリシロキサンはいずれも、ターシャリー、ブチルバーベンゾエト等の有機過酸化物を触媒として比較的の低温度において加熱することにより硬化する。

文 献

- (1) Nagel, R. Tamborski and Post H. W.: J. Org. Chem. 16 1768 (1951)
- (2) M. Cohen: J. Am. Chem. Soc. 75 988 (1953)
- (3) U. S. 2,386,452
- (4) 桃井, 鈴木: 日化誌 78 581 (1957)



加圧水形発電用原子炉とその問題点(1)

三菱原子力工業株式会社 研究部 長沼辰二郎
三菱電機株式会社 研究所 小倉成美

1. まえがき

昨年9月に東海村の原子力研究所において、わが国最初のウオーター・ボイラ形実験用原子炉 JRR-1 が運転に入り、わが国の原子力の開発および研究の広範囲にわたる実験ならびに原子力技術者の訓練用として大いに期待されている。これにつづいて11月には原子力発電会社が発足し、わが国のエネルギーの供給源として、発電用原子炉が設置されるもの近い将来に実現されそうな状勢にある。さらに発電のみでなく、原子力船にも力が入れられており、昭和41年までに大型船2隻を建造するという目標のもとに研究が進められている。

さて、現在発電用原子炉として注目され、各種の委員会などにおいて将来日本に設置することを目標に、発電プラント全般にわたり、詳細な検討が行われているものにつきの2種類がある。一つは燃料として天然ウランを用いる英國のコールダ・ホール形の発電炉であり、他の一つは濃縮ウランを用いる、主としてアメリカにおいて開発された加圧水形原子炉(Pressurized Water Reactor 略して PWR) および沸騰水形原子炉(Boiling Water Reactor 略して BWR)である。

これら原子炉の利害得失については、種々比較検討が行われているが、実際には各形の炉が出そろって、ある期間の運転経験が積まれるまでは、単なる机上の論議に終るにすぎないであろう。したがってここでは各形式の比較検討というような問題から離れ、内容を PWR に限って、その原理、構造、機能、運転保守ならびに安全性などについて説明し、この炉を日本に建設するさい、問題となるべき諸点について、われわれが今までに知り得たことを簡単に述べることにする。

2. PWR の概説

PWR はアメリカの潜水艦ノーチラス号の推進機関として用いられていることは周知のことで、就航以来ほとんど事故もなく全潜航距離 6 万カイリにおよぶ満足な運転を続け、昨年3月に始めて燃料取替えを行ったと伝えられている。アメリカ海軍が発注している原子力艦船の大部分がこの形の原子炉を積むことになっていると聞いていますが、これはノーチラス号の実績が高く評価された結果であろうと考えられる。このほかアメリカにおいては、APPR (Army Packaged Power Reactor) が昨年4月から運転されており、これは電気出力が 2,035 kW の軍用の PWR で、ANL (Argonne National Laboratory) にある EBWR (Experimental Boiling Water Reactor) につぐ第2番目の発電試験炉である。さらに現在建設中のものには Duquesne Light Co. の 60 MW の Shipping Port 発電所、Consolidated Edison Co. Indian Point の 275 MW および 134 MW の Yankee Atomic Co. のものなどがある。

2.1 PWR 発電所の原理

原子力発電においては原子炉内の燃料(U^{235} または P_u 等の核分裂性物質)が核分裂するときに発生する熱を冷却材によって炉外に取出し、蒸気発生器と呼ばれる熱交換器に導き、ここで熱を熱交換器の二次側を流れる給水に与えて、これを蒸気にする。すなわち原子力発電においては蒸気をつくるまでの過程は従来の火力発電の場合と異なっているが、蒸気をタービンに送って発電機をまわす以後の電気設備には変わったところがない。これらの循環系統を示したものが図2.1である。図において原子炉の圧力容器と蒸気発生器および冷却材循環ポンプを結ぶ系統が、原子炉系(または一次系)と呼ばれ、蒸気発生器の二次側のタービン、復水器、給水加熱器、給水ポンプ等を結ぶ系統をタービン系(または二次系)と呼んでいる。

PWRにおいては一次冷却材として普通の水を使用しており、これはまた高速中性子を熱中性子に減速するための減速材の役目を担っている。この冷却材が燃料の装填してある炉心部において沸騰するのを避けるため、通常、加圧器を用いて 1,500~2,000 psi 程度に加圧しているから、原子炉系を循環する冷却材は高温高圧の状態にあり、さらに炉の運転中は放射能を有するので、冷却材の循環ポンプには高温高圧に耐え、しかも漏洩のないキャンドル・モーター・ポンプが使用されている。このように一次系には細心の注意が払われているが、予期しないような、万一の事故の場合に備えて、一次の高圧系全体をコンテナと呼ばれる球状鋼製の容器に入れておき、安全性を確保する役目を果さしている。

二次系は、前述のごとく火力発電の場合の設備と異なるところはない。しかし一次系の圧力が圧力容器の製作技術の点から、2,000 psi 程度に抑えられるので、冷却材の最高温度が制限をうけ、したがって蒸気発生器で作られる飽和蒸気温度はたかだか 500°F 程度のものとなり、現在の火力発電のものに比較してかなり低温の蒸気しか得られないことになる。したがって原子力

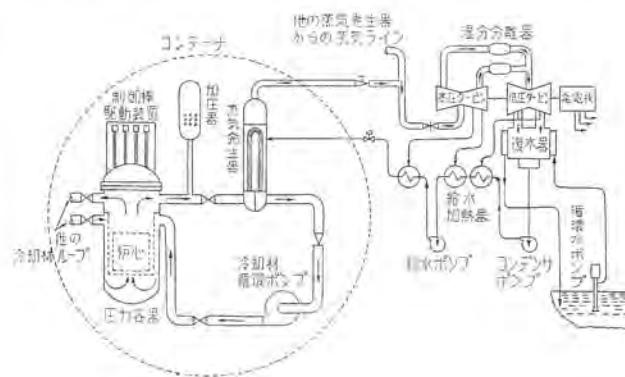


図 2.1 PWR の循環系統図

発電においてはこれに適するような低圧タービンでしかも効率の良いものを選ぶことが必要である。

2.2 PWR の構成要素

原子力発電所を構成している要素は前述のごとく原子炉系とタービン系とに大別でき、さらに原子炉系に属するものは、主要機器、補助機器、コンテナおよび遮蔽に分類することができる。主要機器に属するものとしては炉心、圧力容器と熱遮蔽、制御棒駆動装置等の制御および計測装置、蒸気発生器、および主ポンプ等があり、補助機器には圧力制御装置、体積制御および注入装置、純水装置、燃料取替装置、停止時冷却装置および廃棄物処理系などがある。

炉心は原子炉の心臓部に相当する部分で U^{235} 等の燃料が UO_2 または他の金属との合金燃料の形で装填される部分である。炉心は圧力容器の中に収容されてこの中を高温高圧の冷却材が循環するわけであるが、圧力容器およびその外側の生体遮蔽材中に炉心からの放射線によって生ずる過剰の熱発生を防ぎ、これらの中に生ずる熱応力を許容値以下に抑えるために炉心と圧力容器との間に数枚の鋼鉄板からなる熱遮蔽を設ける。炉心には炉の反応度を制御するために制御棒が設けられるので、この運動を制御するための制御棒駆動装置が必要となる。制御棒は普通、炉の微細な調節を行う調整棒、大きな調節を行うシム棒および事故時のような緊急時態に炉を急速に停止させるための安全棒の3種類があるがシム棒と安全棒とは兼用させることも多い。

つぎに圧力制御装置は正常運転のさいに、炉の出口における冷却材の圧力を規定の値に保つための装置で、この主体となるものは加圧器である。これはさらに体積制御および注入装置と共にタービンの負荷の変動によって生ずる冷却材の体積の膨張または収縮の際、加圧器から冷却材を除去または注入することによって、冷却材の体積制御を行なうと共に体積変化の結果生ずる圧力変化を許容範囲内に限定する役目を果す。注入装置は上述の作用の外に、炉を停止させとき、中性子の吸収材であるボロン溶液を一次系に注入したり、正常運転のとき高圧の冷却材の圧力を低下させて純水装置に送り出す働きをする外、一次の高圧系の水圧試験を行う機能も備えている。燃料取替装置は燃料を炉から取り出してコンテナの外側の燃料貯蔵槽に移したり、あるいは逆に貯蔵槽から炉内に装填する装置で、作業員を放射能から防護するため、すべて水の中を通して行なわれるようになっている。停止時冷却装置は、炉停止直後炉心から生ずる余熱を取り除く装置で、蒸気発生器にはダンプ・ライン、蒸気駆動の給水ポンプおよびコンデンサがついており、これらによって蒸気発生器の二次側の熱が吸収されるので、炉の中では自然対流を生じて補助電源を用いないでも余熱を取り除くことができるようになっている。さらにその後の余熱は一次冷却材を停止時冷却系用の熱交換器に導いて取り除く。この熱交換器の二次側は河水等で冷却するが、河水が汚染されるのを防ぐために、これに使用する管は二重壁構造になっている。

2.3 PWR の特長

PWR の第一の利点は、冷却材兼減速材として、簡単に入手

できる水を使用していることである。減速材としてグラファイトを用いる炉と異なり、水に対しては化学的反応とか放射線による損傷や変形を考える必要がなく、循環させることが容易であり、しかも熱伝達特性がすぐれている。さらにその他の工学的特性も非常に詳しくわかっていることは、炉を設計したり、あるいはこれを使用する者にとってきわめて便利である。

炉の動特性の面から見ても、PWR は $-2.7 \times 10^{-4} \frac{dk}{k} \frac{1}{^{\circ}\text{F}}$ 程度の大きな反応度に対する負の温度係数を持っていて、これは他の種類の炉より1桁近く大きい値になっているから、炉心の温度が上昇する場合には自然にその反応度が抑えられ、逆に温度が下降すると自然に反応度が大きくなる。したがって PWR の運転に際して普通行われている冷却水の平均温度を一定とするような運転計画に対して十分な自己制御性を持たすことができるので、発電プラントとして満足すべき特性を持っているといえる。これは定常運転時における負荷の微小変動だけでなく負荷の急激な変動に対しても応答動作は確実であり、温度が過大または過小になったときにのみ制御棒を操作して調整すれば良いので、プラント全体としての制御が簡単となる。

なんらかの事故によって炉心内に体沸騰が生じ、蒸気による気泡が少しでも発生すれば、反応度に対する負の温度係数の外に気泡のためにさらに急激に反応度が低下するから、原子炉の暴走事故として心配されている状態にはなかなか到達しないので、PWR は非常に安全であるといえるだろう。図 2.2 は負荷の急変した場合の系内の各種現象の一例を示したものである。

PWR の一次系は完全に閉じた系になっているので、放射能に対しては熱交換器までの一次系を遮蔽してやればよく、二次系の各機器は平常の状態では放射能の汚染はないので、従来のプラントと同様に保守作業を行うことができる。また一次系の冷却材中の主な放射線源は N^{10} と N^{17} であるが、そのいずれも半減期が短いので炉の停止後急速に減少してしまい、停止後48時間たてば冷却水系に近づいても危険はない。さらに燃料取替え操作や保守作業についてもノーチラス号で数年の経験を積ん

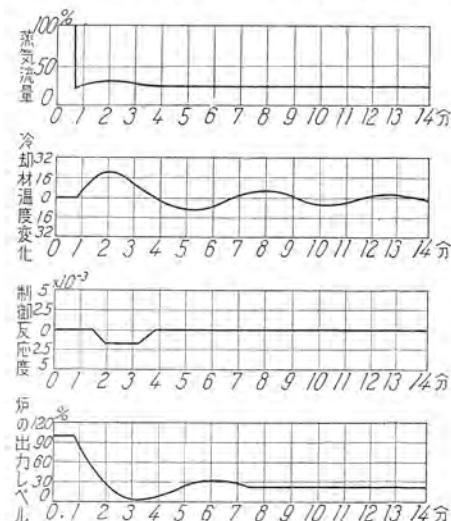


図 2.2 負荷を 100% から 25% に急に落した場合に対応する過渡変化 (温度係数は $-3 \times 10^{-4} \frac{dk}{k} \frac{1}{^{\circ}\text{F}}$, 冷却水流量は 100%)

技術解説

表 2.1 濃縮ウラン価格表

U^{235} の重量比	kg 当りの公式価格(ドル)	含有 U^{235} の 1g 当りの価格(ドル)	U^{235} の重量比	kg 当りの公式価格(ドル)	含有 U^{235} の 1g 当りの価格(ドル)
0.0072	40.50	5.62	0.045	616.50	13.70
0.0074	42.75	5.78	0.050	698.25	13.96
0.0076	45.25	5.95	0.060	862.50	14.38
0.0078	47.50	6.09	0.070	1,028.00	14.68
0.0080	50.00	6.25	0.080	1,195.00	14.94
0.0082	52.50	6.40	0.090	1,362.00	15.13
0.0084	55.00	6.55	0.100	1,529.00	15.29
0.0086	57.50	6.69	0.115	2,374.00	15.83
0.0088	60.00	6.82	0.20	3,223.00	16.12
0.0090	62.75	6.97	0.25	4,078.00	16.31
0.0092	65.25	7.09	0.30	4,931.00	16.44
0.0094	67.25	7.21	0.35	5,793.00	16.55
0.0096	70.50	7.34	0.40	6,654.00	16.64
0.0098	73.00	7.45	0.45	7,515.00	16.70
0.010	75.75	7.58	0.50	8,379.00	16.76
0.011	89.00	8.09	0.55	9,245.00	16.81
0.012	103.00	8.58	0.60	10,111.00	16.85
0.013	117.00	9.00	0.65	10,979.00	16.89
0.014	131.25	9.38	0.70	11,850.00	16.93
0.015	145.50	9.70	0.75	12,721.00	16.96
0.020	220.00	11.00	0.85	14,475.00	17.03
0.025	297.00	11.88	0.90	15,361.00	17.07
0.030	375.50	12.52	0.95	16,258.00	17.11
0.040	535.50	13.39			

だ結果、十分な自信をもっていることが公表されている。

しかしながら、PWR は水を減速材として高温で運転するために、核物理上の要求から燃料として、濃縮ウランを使わなければならぬ、濃縮ウランは値段が高い（表 2.1 参照）だけではなく、国産できる可能性は当分考えられない。また前述したように水の沸騰を抑えるために、1,500~2,000 psi 程度の高压状態で運転しなければならないので、それに耐える圧力容器を作らなければならないことも、PWR の不利な点である。容器の内径が 110 in 近くなると、容器の厚さは 8 in になり、現在の技術ではこの程度が限界であろうと考えられている。

一次系はコンテナーと呼ばれる鋼鉄球殻（ヤンキー形のものでは直径 125 ft、厚さ 7/8 in）の中に納められているが、これは RWR だけが持たなければならない設備ではなく、これを備えることによって安全度が高まり、しかも定常運転時の立入禁止区域を狭くできるものであれば、わが国のように人口稠密な国ではこの設備は十分に利用されるべきものであろう。

3. 原子炉の設計基準

一般に原子炉を設計しようとするとき、設計者が考慮しなければならない事項としてつきのものがある。

(1) 原子炉が核分裂の連鎖反応を維持するのに十分なだけの中性子を保持するようにすること。

(2) 核分裂の結果、従来の火力発電等の場合に比べて狭い空間に非常に多量の熱が発生すること。

(3) 核分裂生成物は放射性であるため、人体に対する放射線防護を考えなければならないこと。

これらの基本的事実から要請される条件を満足した上でさらに発電炉としては、

(4) プラント全体の効率を高め、経済的な電力を作りだすよう努力すること。

(5) 正常運転時はもちろん、地震、停電等の非常事態においても、プラント全体の安全性が確保されていること。の二つのことからをつねに念頭におく必要がある。

まず(1)の要請を満足させるために中性子経済ということを考えなければならない。すなわちウランの核分裂に使われた 1 個の中性子に対して平均約 2.5 個の新しい中性子が放出される。いいかえると 1 回の核分裂について中性子の利得は 1.5 個となるが、中性子は物質を透過する性質が非常に強いので、原子炉外に逃げ去るものがある。さらにまた原子炉内においても U^{238} 、冷却材その他の構造物質に捕獲されてしまうものがある。残りのものが U^{235} に捕獲されて、その一部が再び核分裂を起すことになるのであるから、炉外に逃げ去ったり、構造物質に捕獲される中性子数が多くなれば、連鎖反応が生じなくなることは明らかである。このようなが心の中性子経済についての設計を核設計と呼んでいる。

つぎに核分裂の結果、炉心部において発生する多量の熱を効率よく取り去るための冷却系の設計が必要である。この場合、高温による構造物の歪とか蒸気温度に対する要請ならびに核設計から要求される諸条件の釣合といったものを考慮する必要があり、普通熱設計と呼ばれている。

さらに構造材料ならびにその組立等に関する機械設計、(4)の要請を満足させるための遮蔽設計等がある。

4. 炉心の核設計

炉心は原子炉において最も重要な部分であって、PWR においては燃料として天然ウランを用いることができず、濃縮の燃料を用いている。これは減速材および冷却材として普通の水（軽水）を用いており、水は中性子に対してすぐれた減速能力を有しているが、熱中性子の吸収断面積が重水や黒鉛等の減速材に比べて大きいからである。ヤンキー形の炉においては 2.6% 濃縮の二酸化ウラン (UO_2) のペレットを不銹鋼の被覆材に入れられたものを燃料として使用している。

以下に炉心の核設計に当り考慮すべき重要な事項ならびに問題点について説明する。

4.1 燃料および被覆材

炉心を設計するに当り、最初に考えなければならないことはいかなる燃料を使用するかということである。PWR においては濃縮燃料を用いないことは前に述べたとおりであるが、いかなる形で使用するかが問題となる。金属ウラン燃料では運転中に放射線の照射を受けて変形し被覆管を破壊する恐れがあるので、最高 3,000 MWD/ton 程度の燃焼率しか得ることができない。しかしヤンキー形のごとく UO_2 燃料を使用すれば最高 5,000°F 程度の使用温度に耐え、平均 8,230MWD/ton の燃焼率が得られ、たとえ燃料棒被覆の一部に破損が生じ冷却水と接するようなことがあっても化学反応をおこさないので安全である。

燃料の被覆材として、シッピングポート形炉や BTR (ペルギー向け PWR) においてはジルカロイ 2 を使用していたが、ヤンキー形炉においては、不銹鋼を使用している。中性子経済の面からは不銹鋼の使用は不利であるが、強度、耐食性にすぐ

技術解説

れ、材料費も現段階においてははるかに安いため、不銹鋼のとく使なれた材料を使用できることは強味である。被覆材は厚ければ中性子経済に悪影響を及ぼし、薄ければ機械的強度が不足するから、その厚さの決定に当っては核的要求および核分裂生成ガスによる被覆管内のガス圧等を考慮してきめなければならない。

4.2 寿命と燃焼率

炉心の寿命を延ばし燃焼率を高めることは、この炉によって生産される電力のコストを下げるためにぜひ必要なことである。炉心の寿命に対する反応度の影響は減速材としての水と燃料との体積比および被覆材の厚さ等に大きく左右されるから、これらをパラメータにとり、いろいろの炉心を比較検討してみる必要がある。ヤンキー形炉においては、水と燃料ウラン(濃度 2.6%)の体積比として 2.8、不銹鋼被覆管の厚さとして 0.015 in を選んでいる。この炉内のいたるところにおいて一様な燃焼率が得られるものとして寿命を計算すると 13,300 時間となる。しかし実際の寿命は一様な燃焼率として計算したものより 30% 低くなることがわかっているから、この 2.6% 濃縮燃料のときの寿命は 10,000 時間となり、これに対する燃料率が 8,230 MWD/ton となる。炉心の寿命をさらに延すことは可能であると考えられ、そのためには、燃焼に対して割当てる事のできる過剰倍率が大きくなるように炉心内の熱中性子のむだな吸収を防ぐこと、燃料中の親物質の分裂性物質への転換比を大きくすることを設計の目標としなければならない。しかし過剰倍率を大きくすると軽水を減速材に使用した炉では制御棒の効果が悪いため、それだけでは制御しうる過剰倍率に限度があるので、ヤンキー形原子炉では制御棒の補助として化学的制御を行っている。

燃料の平均燃焼率を増すために炉心をいくつかの部分に区切って燃料取替えを行うことが有効であると考えられている。燃焼の割合は炉の中央で最も大きく周辺部では小さいので、中央の燃焼率の高い部分のみを取り出して、周辺部の燃料を中央に入れ替え、周辺部には新しい燃料を入れて運転するようすれば、炉心燃料の平均燃焼率が増すわけである。この炉心の区分数を増せば増すほど良いわけであるが、実際に可能な区分数は 2 あるいは 3 の程度であろう。

燃料に金属ウランを使用した場合の材料的な寿命は非常に短いことを述べたが、 UO_2 も長期間使用すると崩れてくることが考えられる。この場合、燃料塊から放出されるガス状の分裂生成物により燃料棒内圧が大きくなる危険性はあるが、金属ウランの場合のように燃料体積の大きな変化を伴わないので危険度は少い。

4.3 反応度の温度係数、圧力係数、ドップラ係数、ボイド係数

(1) 反応度の温度係数

原子炉の動特性を良くするためには、反応度の温度係数が適当な大きさの負の値を持つことがのぞましい。したがって炉心設計にあたっては、あらゆる運転条件において負の温度係数を持つようにすることが必要である。しかしあまり温度係数の値が大きすぎると炉の温度を常温から使用温度に上げるために大

きな過剰倍率を必要とし、燃料経済上不利であるから適当な値のものが要求される。

温度係数に影響を及ぼす因子としては、減速材の密度変化、中性子温度および燃料温度の変化による各種反応断面積変化

があるが、このうちで最も大きな影響を与えるのは減速材の温度変化による密度変化である。

温度変化によって減速材の密度および各材料の反応断面積が変化するため、いわゆる 4 因子公式中の各因子が影響を受け無限中性子倍率の値が変化する。それと同時に炉心からの中性子の漏れも変るので、これらの総合効果として有効中性子倍率、したがって反応度が変化することとなる。

ヤンキー炉における反応度の温度係数を表 4.1 および図 4.1 に示す。同図によって減速材の温度が上昇するに従って負の温度係数が大きくなることがわかる。また表 4.1 から減速材にボロンが溶解した場合には温度係数が小さくなることがわかる。この係数は炉の動特性を支配する重要な因子であるが、減速材が温められたり、あるいは冷やされたりして密度が変化するまでに若干の時間遅れがある。

表 4.1 減速材の温度変化に伴う反応度の温度係数

減速材の温度	68°F	508°F
1. 中性子倍率への効果		
高速中性子効果 $(\frac{\Delta k}{k}, ^\circ\text{F})$	$+0.5 \times 10^{-5}$	$+4 \times 10^{-5}$
共鳴を逃れる確率 $(\frac{\Delta k}{k}, ^\circ\text{F})$	-2.5×10^{-5}	-33×10^{-5}
熱中性子利用率 $(\frac{\Delta k}{k}, ^\circ\text{F})$		
ボロンの無い場合	-0.3×10^{-5}	$+6 \times 10^{-5}$
ボロンの溶解した場合	$+0.8 \times 10^{-5}$	$+17 \times 10^{-5}$
2. 中性子の漏れによるもの $(\frac{\Delta k}{k}, ^\circ\text{F})$	-0.4×10^{-5}	-4×10^{-5}
ボロンが無い場合の全効果 $(\frac{\Delta k}{k}, ^\circ\text{F})$	-2.7×10^{-5}	-27×10^{-5}
ボロンが溶解した場合の全効果 $(\frac{\Delta k}{k}, ^\circ\text{F})$	-1.6×10^{-5}	-16×10^{-5}

(2) 反応度の圧力係数

一次系(原子炉系)の圧力は加圧器を主とする圧力制御系によって制御されて 2,000 psia に保たれているが、冷却材の温度の急変によって ±150 psi 程度変化することが予想されている。このような圧力変化によって水の密度が変化し、反応度が変化することとなる。反応度の圧力係数は正の値であるがその値はきわめて小さい。表 4.2 にヤンキー炉における反応度の圧力係数を示す。

表 4.2 反応度の圧力係数

減速材温度	508°F	} において 一次系の正常圧力 2,000 psia
ボロンがない場合	$+2.8 \times 10^{-6} (\frac{\Delta k}{k}, \text{psi})$	
ボロンが溶解している場合	$+1.7 \times 10^{-7} (\frac{\Delta k}{k}, \text{psi})$	

(3) 反応度のドップラ係数

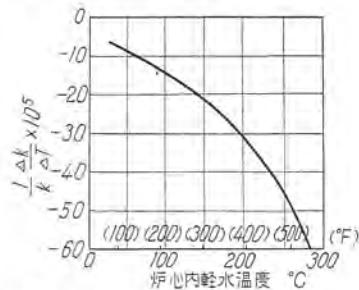


図 4.1 炉心内軽水温度に対する反応度の温度係数(ボロンが溶解していない場合)

技術解説

燃料の温度が直接反応度に影響を及ぼすものとしてドップラ効果がある。これは温度が上昇すると、 U^{238} の中性子に対する共鳴吸収の有効巾が増加し、このため、ウラン原子核の自己遮蔽が減少して反応度が小さくなる現象である。このドップラ係数は温度係数と同じく負の値で、その値は温度係数に比べると、小さな値であるが、時間遅れの小さいことと、燃料棒の温度変化が大きいために、炉の動特性には重要な効果を持っている。表 4.3 に常温と運転温度における値を示す。

表 4.3 反応度のドップラ係数

燃料温度	68°F	508°F
ドップラ効果による温度係数 $(\frac{\Delta k}{k})/\text{°F}$	-0.7×10^{-5}	-0.8×10^{-5}

(4) ポイド係数

ヤンキー形原子炉においては、後述するように、炉心において局部的沸騰の生ずることは許している、これはシッピングポート形炉と異なる大きな点であるが、正常運転においては、体沸騰の生ずることは許されていない。しかし事故時においては、体沸騰が生ずるような場合も起り得るわけである。炉心の限られた小さな部分に局部的沸騰が生じても、反応度に変化は起らないが、体沸騰が生ずると蒸気によって反応度が変化することとなる。この蒸気によってできた気泡が反応度に及ぼす効果はポイド係数として表わされており、減速材の温度が上昇した場合の効果と似ているが、数値ははるかに大きい。ヤンキー形炉においては $-0.003 \frac{\Delta k}{k} / \% \text{ 気泡体積}$ となっている。ここで $\%$ 気泡体積とは炉心中に占める気泡の体積比を $\%$ で示したものである。いま一次系の配管が破損して冷却材が流れだし、系の圧力が低下するといったような事故の場合を想定しても、このドライド係数と制御棒とによって炉心を臨界以下に保つことができる。

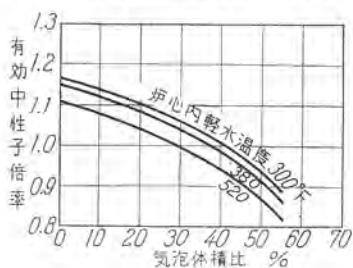


図 4.2 気泡体積比と有効中性子倍率との関係

10%の気泡があったという極端な場合を考えても、加圧器によって 2,000 psia まで圧力を高めるのに 16.5 分を要するので、気泡がなくなるために加えられる反応度は毎秒 3.0×10^{-5} となり、これは制御棒で十分に制御しうる程度のものである。この気泡による有効倍率の変化を気泡の量および減速水の温度に対して示したのが図 4.2 である。

4.4 制御棒

PWR は前述のごとく反応度に対する負の温度係数が大きいため、きわめて自己制御性が良く短時間の過渡状態を処理するのに、制御棒に頼ることなしにすむ場合が多い。したがって制御棒の設計に当っては、その動きに関する問題より、むしろ制御可能な過剰倍率をできるだけ大きくすることに努力が払わ

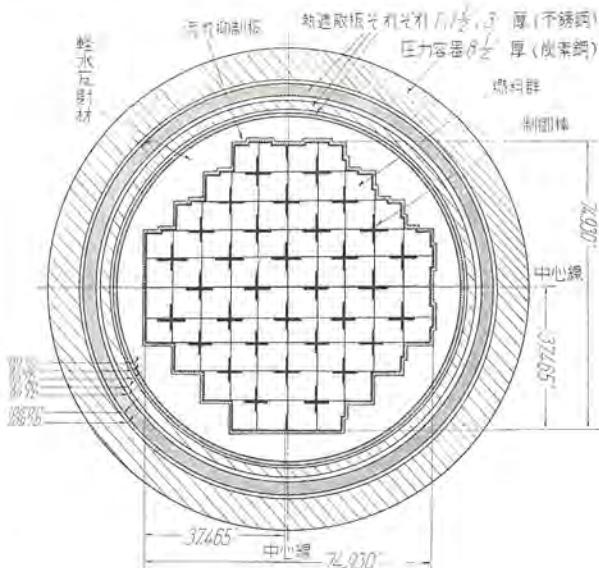


図 4.3 炉心断面図

れている。炉に負の温度係数を持たせたため、常温から運転温度に上げるのに必要な過剰倍率が大きく、また、連続運転期間を長くとりたい場合にはそのためできるだけ大きな過剰倍率を見込んでおくことが望ましい。ヤンキー形炉の場合には燃料装填の初期には、0.186 の過剰倍率を制御する能力が必要である。しかし軽水を減速材として使用した原子炉は拡散距離が短いため、1 本の制御棒の効果が小さいので制御棒を多数使わなければならない。一方構造上、実際に使用しうる数に限度があり、よほど上手に制御棒の構造と配置を決めて、0.20 の過剰倍率を制御することは困難である。現在では大きな十字形断面の制御棒の多数を炉心内に一様に配列したり、板状の制御棒で炉心を細かく区切ってしまったりする方法がとられている。

ヤンキー形炉の制御棒の配置を図 4.3 の炉心断面図に示すが

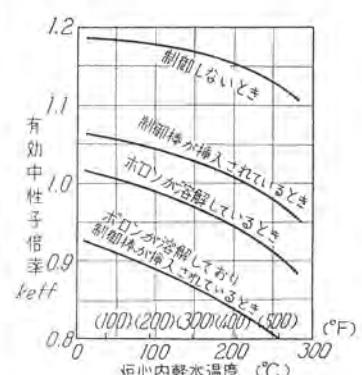


図 4.4 炉心内軽水温度に対する有効中性子倍率（軽水 1 l あたり天然ボロン 1.6 g が溶解している場合）

ン 1.6 g を溶解させようとしている。反応度に毒作用を及ぼす X_e および S_m が平衡状態に達した状態において、制御棒およびボロンによる化学的制御を行ったときの有効倍率と温度との関係を図 4.4 に示す。これから制御棒および化学的制御の制御効果と温度との関係を読みとることができる。上記の濃度で

あれば化学的制御のみで高温状態で臨界以下にすることができる事を示している。制御装置はいかなる場合においても炉を中性子倍率で 0.03 だけ臨界以下にしなければならないとされているが、上記のように二つの方法を並用すると低温でしかもまだ分裂生成物が蓄積していない状態でも十分にその条件を満すことができる。現在の設計では化学的制御は炉を停止して高温状態から常温まで温度を下げるときにのみ使っている。運転時にも使用することも考えられるが、それにはまだ若干の検討が必要とされている。

4.5 炉の臨界設計

炉心の臨界設計にあたっては単に燃料の使用量を少くするという規準だけでは不十分で、前述した各条件を考慮するとともに、熱設計の条件との妥協につとめなければならない。

使用する燃料の材質や被覆材を決定してしまうと、燃料の濃縮度、燃料棒の太さ、被覆管の厚さ、燃料棒配列の間隔、炉心の形状等が設計の自由度になる。燃料棒の太さは燃料の中心温度をあまり高くしないためと、伝熱面積を大きくするために比較的細く設計するのが普通で、直径が 0.3 in 程度のものが使われている。被覆管の厚さは主として機械的強度により決まってしまうので核設計に残された自由度は濃縮度と燃料の配列方法とに関するものである。ウラン 235 の臨界使用量は水と燃料の体積比によって異なり、使用量の最小条件が存在する。その条件よりも水の体積比を減少させれば炉に負の温度係数を持たせることができ、また親物質の分裂性物質への転換比も大きくなる。臨界量を最小にする条件は水素とウラン 235 との原子数の比が 400~500 程度とされているが、ヤンキー形炉の場合には 118.0 となっており、減速材の燃料に対する体積比は 1.33 である。このような体積比に設計することは、幸い熱設計から要求される条件とも一致しているので、機械設計の要求や、臨界量の制限を満す範囲でできるだけ体積比を小さく設計することが有利なわけである。

減速材と燃料との体積比を小さくした場合のもう一つの利点

は、高速中性子効果が増すとともに全出力の中ウラン 238 からの出力の割合が大きくなることである。ヤンキー形炉においてその割合は 6.8% である。また親物質の分裂性物質への転換比の初期値は 0.733 であり、全出力中ブルトニウムからの出力によって占められる割合は 22.8% である。

臨界量決定の立場からは、減速材と燃料との体積比が臨界量最小条件から非常に異なっていると、体積比のわずかな差で臨界量がはげしく違ってくるので、設計誤差が大きくなり、設計計算が困難になる。さらに軽水減速の場合には理論的にも扱いにくいくことが多い、計算のみで炉心を決定することは危険である。炉心構造を最終的に決定するまでには、計算と実験の過程を何度も繰りかえさなければならない。

炉心設計上の制限として圧力容器の大きさも考慮に入れることが必要である。円筒形炉心においてウランの使用量最小を考える場合には直径と高さとをほとんど等しくすればよいが、一方圧力容器はその作りうる直径に限界があり、炉心の直径を 2 m より大きくすることは圧力容器製作に困難を伴う。したがって半径をその程度に抑え、体積と伝達面積の不足は高さで補うことになり、熱条件を十分に考慮したうえで縦長の炉心を設計するようになってきている。これは PWR の場合はガス冷却の場合に比べて、冷却循環ポンプに要する電力が小さいので炉心を縦長にすることが許されるからである。

燃料にトリウム 232 とウラン 235 (後のサイクルではウラン 233) の組合せを用いる計画もあり、インディアンボイントの発電用原子炉にはその種の炉心が入れられる予定である。トリウム 232 とウラン 235 の組合せは熱中性子領域で最も転換比を高くとることができると考えられているので、燃料の燃焼に対して見込んでおかなければならぬ過剰倍率が小さくてすむことが予想され、燃焼率の高い炉の設計が可能になるだろう。

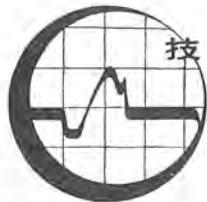
核設計としては燃焼率をできるだけ大きくとり、しかも熱設計に無理を生じないような設計で進むべきであり、上述の各問題点の今後の研究によって炉心の改善が期待される。(つづく)

次号予定

三菱電機 Vol. 32 No. 5

自動制御機器特筆

- 自動制御系のアナリシスとシンセンス
- 磁気論理要素による計数指令装置
- 磁気增幅器形サーボ
- 電気式衡器
- 帶鋼のループコントロール装置
- ビスコースプラントのプロセス制御
- 阪神ビルにおける最新式電気室設備
- 衝撃波比較試験器
- 電力用シリコン整流器
- H 種絶縁乾式変圧器
- 極光分光器自動露出装置
- 160 in 厚板圧延用 10,000 HP 電気設備
- 技術解説「火力発電シリーズ」
- 原子力情報 加圧水型原子力発電所について (4)



発電機と励磁機 (4)

— 発電機の水管系統 —

空気冷却器の特性と水管系

回転子の両端に装荷したプロワにより発電機および表面冷却器を通じて空気を循環させ、発電機の発生熱量を空気に伝え、ついで冷却器管内を流れる水に伝える方法がとられる。このように発生熱量を十分冷却水で取り去るが、空気冷却機では表面冷却器を基礎内部に配置することが多い。(図1,2参照)一般に各部空気温度の計算はつぎの式を基にする。

$$\text{熱損失 (kW)} \times 860 = \theta_m \times U$$

$$\text{平均温度差 } (\text{°C}) : \theta_m = \frac{(t_2 - t_{w2}) - (t_1 - t_{w1})}{2.3 \log(t_2 - t_{w2}) / (t_1 - t_{w1})}$$

U : 冷却器の熱伝達係数 kcal/h°C

t_1 : 発電機入口空気温度(周間温度)

t_2 : 発電機出口空気温度

t_{w1} : 冷却水入口温度

t_{w2} : 冷却水出口温度

発電機の熱損失 (kW), 風量 (m³/min), 最大冷却水入口温度, 冷却器の熱伝達係数を既知として冷却器を設計するが、図3に冷却器を種々な風量, 水量で運転した場合の一例を示す。ここで風量, 水量の規定値を100%で表わしてある。また冷却器の特性に左右されるのはもちろんである。同図では冷却水入口温度 t_{w1} を30°C一定で表わすが、 t_{w1} が変わると大約 t_{w1} 面が

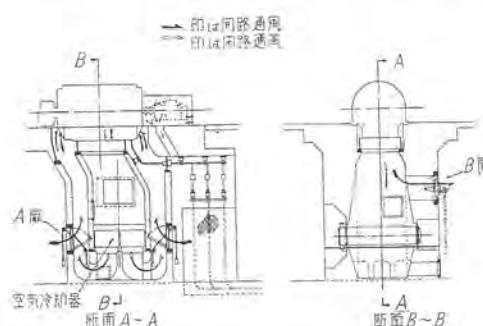


図1 空気冷却機の基礎回り



図2 空気冷却器の外形

その値だけ上下に移動すると考えて差支えない。風量, 水量は図に示すように温度に影響するが、冷却器の熱伝達係数は風速, 水速にたいし漸次飽和するので($t_2 - t_1$)値も次第に飽和する。また t_1 値は規格値により40°Cを越えないことが必要で、 t_2 値もコイルの温度上界の点からあまり高く取るのは望ましくない。かりに $(t_2 - t_1)$ 値すなわち発電機内での空気の温度上界を20°Cとすれば、1 kW の損失に対して40°Cの空気が2.64 m³/min 必要となる。実際 kW 当りの風量はタービン発電機では、1.8 m³/min ~ 2.5 m³/min 程度である。空気冷却装置管系図を図4に示すが冷却水には海水を利用することもあった。しかし発電機の低負荷運転時において水量を調節する方法はあまり取られなかったようである。

水素冷却機のガス温度

水素冷却発電機ではガス漏洩の機会を少くするためガス冷却器をフレーム内に設置し、冷却管の腐食による漏水の機会を減らす目的で一般にガス冷却器に直接海水を使用しない。また水素冷却機ではガス圧を変化すると出力が変わること、基準ガス温度(周間温度)がガス圧と共に変わるので空気冷却機に比べて高ガス温度(発電機出口温度 t_2), 冷ガス温度(発電機入口温度 t_1)の変化がいささか変わってくる。前述のようにガス温度には発電機の発生熱損失と冷却器の熱伝達係数が関係するが、共にガス圧により変わる。またもちろん冷却管の種類によって熱伝達率が変わるが図5に水素冷却機の熱損失対負荷曲線の代表例を、図6にガス冷却器の熱伝達率対水量曲線例をガス圧の函数として示す。前者では0.5 psig ガス圧、全負荷を100%として表わし、後者では0.5 psig ガス圧時の水量を100%として表わす。図7に上記2曲線より算出した水量一定の場合の負荷対ガス温度曲線を示す。実線に示すように0.5 psig, 100% 負荷時冷温ガス40°Cであれば15 psig, 115% 負荷、30 psig, 125% 負荷、無負荷でそれぞれ41°C, 41.5°C, 36.3°Cとなる。

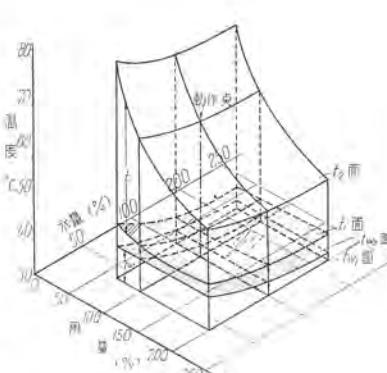


図3 発電機の各部温度と風量、水量の関係の一例

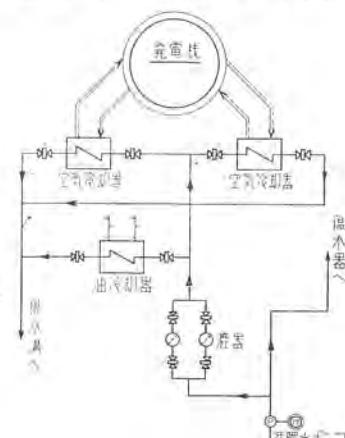


図4 空気冷却機の水管系図

技術解説

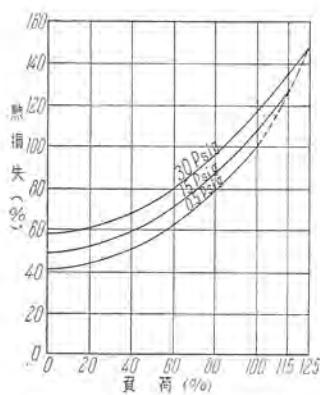


図 5 各負荷に対する熱損失

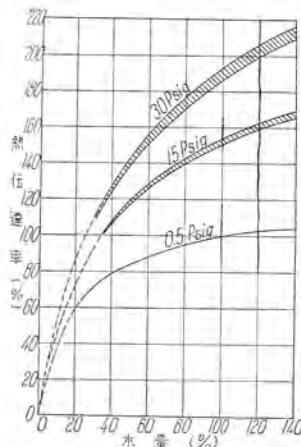


図 6 水量に対する熱伝達率

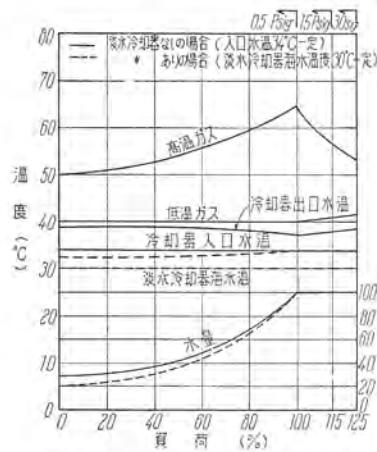


図 8 冷温ガス一定にするための水量変化

わかる。つぎに図 8 に冷温ガス温 40°C に保つための水量変化を示すが 0.5 psig 100% 負荷をこすと、それ以上の水流を流せぬ場合が多いので水量一定としてガス温度の変化を示す。淡水冷却器なしの場合では負荷を 50%, 0% にすれば必要水量はそれぞれ 40%, 28% でよいことがわかる。

水素冷却機の水管系

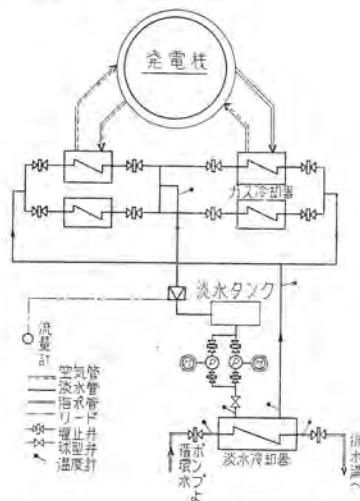


図 9 水素冷却機の水管系図（淡水使用）

また点線は後述のように、淡水冷却器の海水温度を一定とした場合で図よりガス冷却器の入口温度が変わることがわかる。この場合 0.5 psig, 100% 負荷時冷温ガス 40°C であれば 15 psig 115% 負荷, 30 psig 125% 負荷、無負荷でそれぞれ 42°C , 43.5°C , 34°C となる。ここで高温ガス温度の変化は 0.5 psig 全負荷時を境として、いずれの側にも大きいことがわかる。

わたくし、つぎに図 8 に冷温ガス温 40°C に保つための水量変化を示すが 0.5 psig 100% 負荷をこすと、それ以上の水流を流せぬ場合が多いので水量一定としてガス温度の変化を示す。淡水冷却器なしの場合では負荷を 50%, 0% にすれば必要水量はそれぞれ 40%, 28% でよいことがわかる。

水素冷却機の水管系

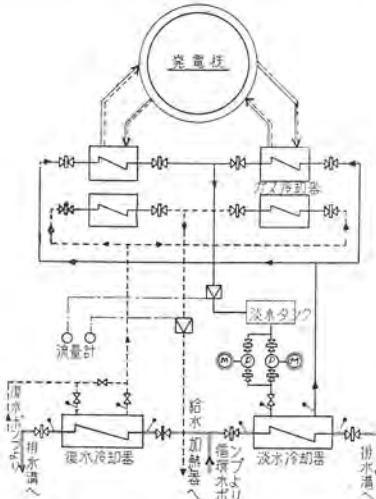


図 10 水素冷却機の水管系図
(淡水 $\frac{1}{2}$ 、復水 $\frac{1}{2}$ 使用)

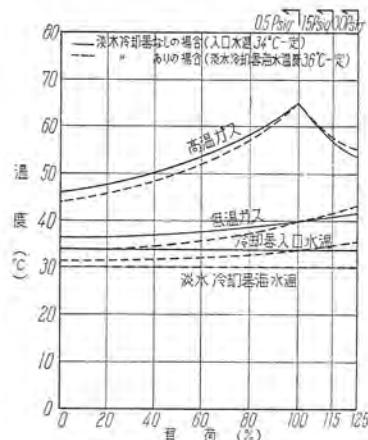


図 7 負荷に対する温度変化

熱損失を吸収してこれを熱効率の向上に利用する、(ii) 許しうる限り復水を利用して淡水の使用を節約する、(iii) 発電機の負荷にたいして水量を調節し電力を節約する考え方などがある。

いずれの系統にしてもガス冷却器に所定温度、所定水量を流せばよいが、直接ガス冷却器に海水を流さないため図に示すように淡水冷却器（または復水冷却器）において海水で冷却した淡水（または復水）をガス冷却器に用いるのが普通である。表 1 にこれら系統の利点、欠点を示しておく。なお水素冷却機では、プラケット形軸受でタービン後部軸受と別箇な構造なので、運転上の問題として軽負荷時には水量を調節して冷温ガス一定にして振動の原因となる bearing elevation の変化をなくすることが望ましい。この温度は大約 34°C 以上で海水温度がとくに低い場合、この点から水量調節の必要が生ずる。

（長崎製作所 加賀貞広）

表 1

利得 水管系方式	利点	欠点
淡水使用	系統簡単 誤操作少なし	淡水ポンプの容量大
淡水復水切替使用	復水使用時に熱損失の回収ができる	配管複雑、淡水復水が混らぬ注意がいる
淡水と復水使用	熱損失の回収ができる	系統が簡単でない
全部復水使用	系統が簡単	復水量はガス冷却器の必要とする水量より少く、温度も高いので十分な熱回収が得られない

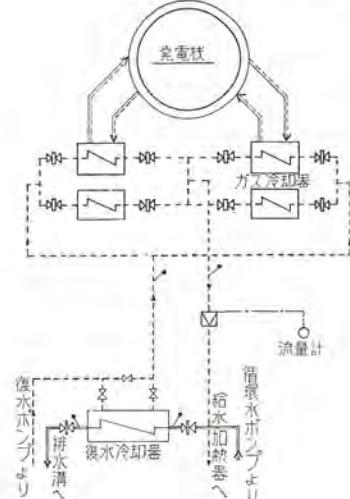


図 11 水素冷却機の水管系図
(全部復水使用)



加圧水型原子力発電所について(3) (Yankee型 134 MW-PWR)

木村 久男*・前沢 芳一**・川口 修***・迎 久雄****

第2章 発電所の設計(つづき)

第13節 化学的停止系

13.1 機能

化学的停止系の機能は、停止時に中性子吸收制御棒で足りない反応度制御を補って主冷却系に化学的中性子吸收材を注入することおよび、発電所起動の際、約11時間以内に化合物の95%をとり去ることである。系は通常の停止用に設計され、時間の要素が問題にならないようゆっくりした場合に使用される。

13.2 概要

化学的停止系は、2個のイオン交換器、混合槽、伝送ポンプ、種々の配管、弁および付属品よりなり、これを図2.13に示す。

13.3 設計の基礎

系は、主冷却材1リットル当たり、約1.6gの硼素を加えるような大きさとする。この化学的中性子吸收材は、15重量%の硼酸溶液の形で加えられ、原子力発電所がまだ運転温度と運転圧力にある間に注入される。1つの循環系を排水させながら化学的中性子吸收材溶液をポンプで注入し、後で硼素の濃度が変る可能性のないように、一次系全体に分布させる。

硼酸は、系の腐食率を増加させない。

長期間にわたる試験の結果、304形不鏽鋼に対する硼酸の腐食率は無視できる程度であることがわかった。

また、硼酸は短時間しか不鏽鋼と接触しないものである。硼酸は、ポンプの流量100 gpmの割合で、30分の間に一次系に加えられる。

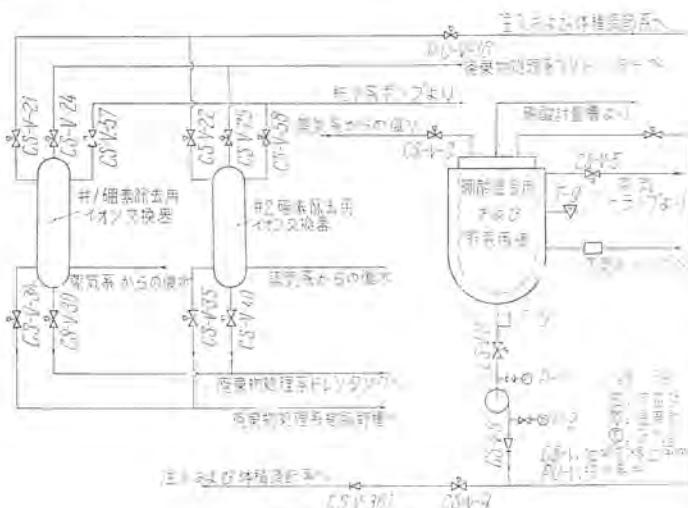


図2.13 化学的停止系

起動運転をしながら、硼酸溶液は一次系からとり去られる。まず最初の段階として、硼酸の濃度を稀釈と再循環によって11.2時間後には主冷却材中に硼酸がわずかに5%だけ残る程度まで減少させる。

残った硼酸は、22時間後には一次系の溶液の中に、硼酸が全然検知されない程度までイオン交換器によってとり去られる。

イオン交換樹脂の温度は、最高140°Fに抑えられる。使用済樹脂の取替えと処理は遠隔操作で行われる。硼酸混合槽は15%の硼酸溶液を得るために、150°Fに保たれる。

系の放射性部分の隔離と遮蔽は、遮蔽を貫通して近づけられるようになっている延長棒または、他の熟練した弁操作員によって操作される手動弁によって行われる。

第14節 蒸気コンテナ

14.1 機能

蒸気コンテナは一次系を取り囲み、加圧部分のすべてを包む鋼製の球殻である。これは制御できない破壊がおこり、容器内の加圧ループから液体が放出するという万一の事故の際は、大気中への放射能の放散を防止する。

一次系が遮蔽し加圧されている場合は蒸気コンテナは閉じられ、気密である。すべての出入口、ガス抜き、運転に必要な配管は気密の遮断弁またはガスケット付戸によって気密に保たれる。

蒸気コンテナの閉鎖中はその内部の圧力は大気圧よりねにわずか高く保持され、温度変化に伴う変化に応じ、絶えず漏洩を指示されている。

この外側の鋼製蒸気コンテナと共に、内部には鉄筋コンクリート構造物があり、一次系の装置を支え、コンテナ外部の放射線を許容レベルに低減し、運動エネルギーを有する放射線に対する遮蔽物としての作用をする。このコンクリート構造は圧力に耐えるように設計されていない。

14.2 概要

蒸気コンテナの配置図は図2.14蒸気コンテナ(A)ないし2.20蒸気コンテナ(G)までに示される。

蒸気コンテナは外径125 ft、厚さ7/8inの鋼製球殻である。球形を選んだのは与えられた体積と内圧に対して使用材料を最小とするからである。球形は二次応力を正しく計算することができ、必要な貫通部の設計を容易とする。

使用鋼板は、圧力容器用として加工、溶接に適する炭素珪素鋼ASTMA300, 201B、引張応力60,000~70,000

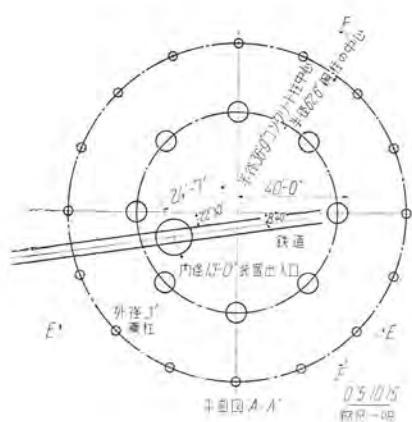


図 2.14 蒸気コンテナ (A)

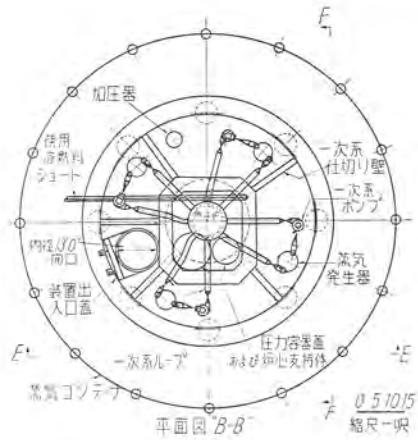


図 2.15 蒸気コンテナ (B)

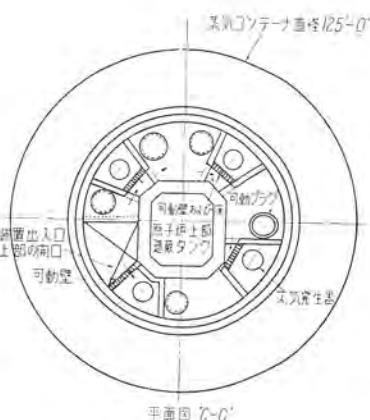


図 2.16 蒸気コンテナ (C)

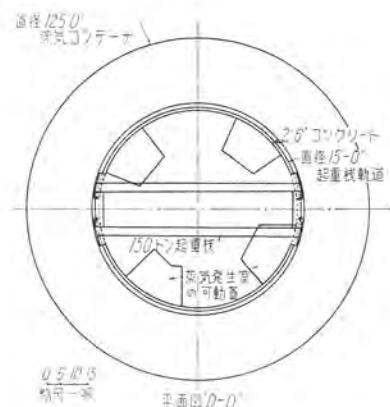


図 2.17 蒸気コンテナ (D)

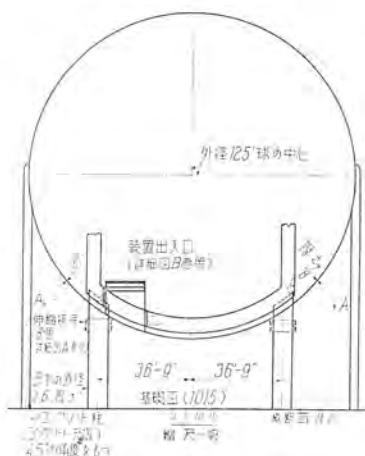


図 2.20 蒸気コンテナ (G)

psi, 下降伏点 32,000 psi である。外気の温度は -25°F に達する所以あるので、コンテナの温度は運転中冰点に近づく場合がある。この種の鋼板は -50°F で 15. lb ft. の優秀な衝撃値を有するから使用される。

蒸気コンテナは ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII (Unfired Pressure Vessel) に完全には従っていないが、適用できる規定は詳細設計を取り入れてある。ただし、つぎの点で異なるっている、1. リリーフ弁を備えていない。2. 37 psig の設計圧力において計算された殻材（筒面）の応力はボイラコードに規定されたものより高い。重大な水のそう失事故により生ずる内圧に対する設計応力は下降伏点の $\frac{1}{2}$ に等しい 16,000 psi である。この設計応力は重大な水そう失事故はきわめてまれであるから容器が殻応力としてこの値をとれば、十分な余裕を与える。

ンテナ (G) とされる。ボイラ規定では溶接効率を 90% とし、完全な放射線透過検査を行った場合の最大許容応力は 13,500 psi である。

腐食に対して板厚に余裕はとっていないから、球の内面は適当な保護ペイントを用いる。

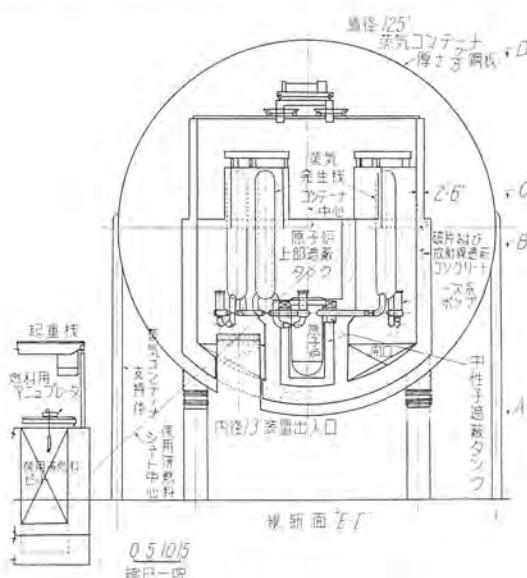


図 2.18 蒸気コンテナ (E)

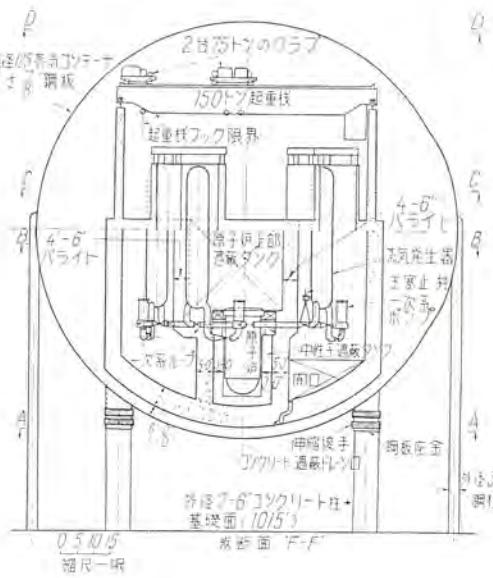


図 2.19 蒸気コンテナ (F)

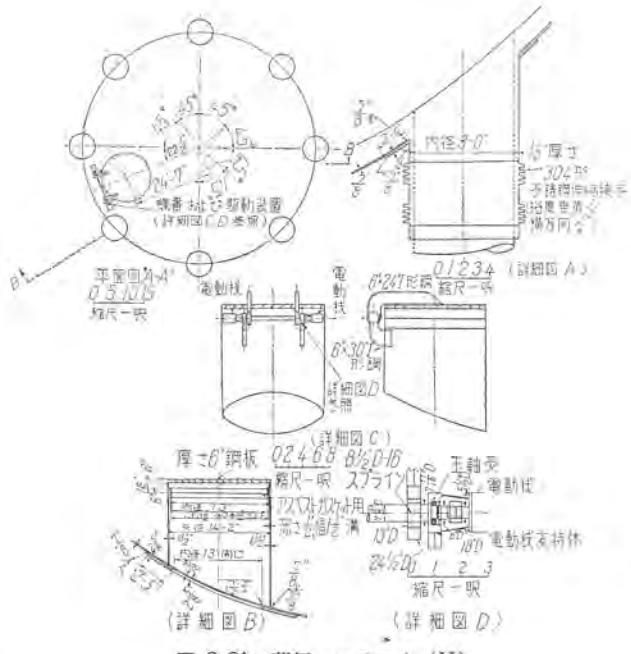


図 2.21 蒸気コンテーナ (H)

球状の容器は鋼柱で支えられる。

蒸気コンテーナ内部の加圧された装置は球状の底部をもつ鉄筋コンクリートの円筒で取り囲まれている。コンクリートの壁の厚さは 5 ないし 7ft である。普通コンクリートは 150 lb/ft³ の密度を有し、高密度を必要とする場所に用いるバライトコンクリートは 220 lb/ft³ の密度を有する。

コンクリート構造物は球状コンテーナを貫通する 8 本の鉄筋コンクリート柱で支持される。貫通部は不銹鋼の伸縮継手で密封される。この伸縮継手はその下部でコンクリート柱の補強棒鋼に溶接され、また柱を完全に横ぎる鋼板に溶接されて、コンテーナの蒸気密封を完全にしている。この支持構造は鋼とコンクリートが相互に自由に移動することを許し、熱応力を逃げている(図 2.20, 図 2.21 参照)。

蒸気コンテーナにはいり、正常運転に必要な配管はコンテーナの密封を維持するため容器壁の外側に弁を設け、閉鎖される。容器内にはいり、正常運転に必要な配管は容器内外に 1 個ずつ 2 個の逆止弁をもっている。外側へ流れる配管はコンテーナの圧力上昇に応じて自動的に閉止する引外し弁を備えている。

14.3 蒸気コンテーナの詳細

蒸気コンテーナの詳細図を図 2.20 蒸気コンテーナ (G), 図 2.21 蒸気コンテーナ (H) に示す。

球の貫通部はすべて移動可能の構造となり、十分な強さに補強されている。可能な所は貫通部の溶接部同様球殻継目はすべて完全に放射線透過試験が行われる。放射線透過試験の行えない溶接部は磁気探傷を行う。高温配管の球殻に入出する部分はすべて鋼製保護スリーブを溶接し、これに取り付けた伸縮継手と球殻とが結合している。この伸縮継手は管膨脹による力とモーメントを逃げ、球殻を補強する必要を省略している。(図 2.22 高温配管蒸気コンテーナ貫通部参照)

電線管は球殻に溶接した突出部の頭部に集められて溶接される。この設計は建設、試験および補修を容易とする。導線は一

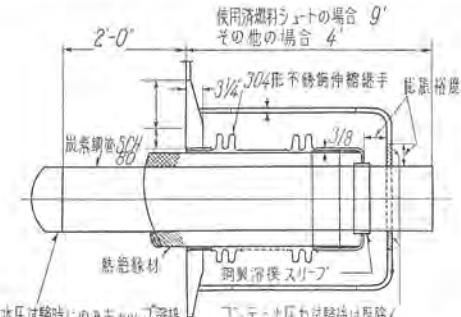


図 2.22 (A) 高温配管蒸気コンテーナ貫通部

表 2.1 コンテーナの伸縮継手結合部

配管系	管径	個数	管材料および厚さ	伸縮継手大きさ	絶縁厚さ
一次系	12"	4	炭素鋼 SCH80	20"	3"
給水系	6"	4	炭素鋼 SCH80	10"	1 1/8"
吹出タンク冷却管	8"	2	炭素鋼 SCH80	12"	1 1/8"
蒸気発生器二次吹出管	2"	4	炭素鋼 SCH80	10"	3"
使用済燃料ショート	14"	1	15" 内径管	60"	15" 鋼

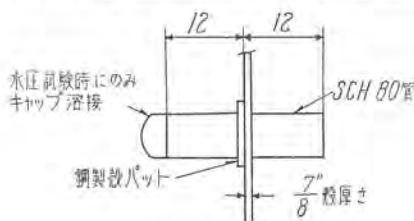


図 2.22 (B) 高温配管蒸気コンテーナ貫通部

表 2.2 配管のコンテーナ貫通部

配管系	管径	個数	管材料および厚さ	殻パットの大きさ
圧力制御系補給管	2 1/2"	1	不銹鋼 SCH80	外径 7"×内径 2.94"×厚さ 7/8"
圧力制御系吹出管	2 1/2"	1	不銹鋼 SCH80	外径 7"×内径 2.94"×厚さ 7/8"
圧力制御系補助冷却管入口	4"	8	炭素鋼 SCH80	多様 7"×内径 4.56"×厚さ 7/8"
圧力制御系補助冷却管出口	10"	1	炭素鋼 SCH80	外径 16"×内径 7.88"×厚さ 7/8"
原子炉上部遮蔽タンク	6"	1	炭素鋼 SCH80	外径 11"×内径 6.72"×厚さ 7/8"
体積制御系冷却管	4"	2	炭素鋼 SCH80	外径 9"×内径 4.36"×厚さ 7/8"
体積制御系冷却管スプレ	3"	1	炭素鋼 SCH80	外径 7 1/2"×内径 3.56"×厚さ 7/8"
体積制御系ドレン	6"	1	炭素鋼 SCH80	外径 11"×内径 6.72"×厚さ 7/8"
体積制御系通気管	18"	2	炭素鋼 SCH80	外径 25"×内径 19"×厚さ 7/8"

般に鉛物質絶縁の銅被ケーブルであって、漏洩防止のため導管に密封ろう接けされる。(図 2.23 電気配線蒸気コンテーナ貫通部参照)

コンテーナ内部のコンクリート構造は 3,000 psi の圧縮強さをもつ鉄筋コンクリート 2 個の同心円筒より成る。この円筒は 5 個の半径方向の鉄筋コンクリート仕切り壁と結合し、一次系のおののおのに対し独立の室とその出入口を形成している。(図 2.16 参照) 外側円筒の壁と半径方向仕切壁には重大な水そう事故のときにコンクリート壁両側の圧力差を 6 psi 以下に制限するような大きさの穴が設けてある。

内側のコンクリート壁は溶接器の支持体、炉容器を取巻く水を満した中性子遮蔽タンクおよび容器上部の遮蔽タンク室の役目をする。燃料取扱い時に水を満たす遮蔽タンク室は完全な水密を保つため不銹鋼板で内張りされる。(図 2.16, 図 2.18, 図 2.19 参照)

コンクリート表面を金属でおおわない場合には、汚染蒸気の吸収防止および除染に役立てるため滑らかで硬く仕上げたプラスチック・ベンキで表面を保護する。

14.4 蒸気コンテーナの試験

蒸気コンテーナの建設が終り、溶接および放射線透過や磁気探傷が完了すると、マンホール気密部や球殻貫通部を含み蒸気

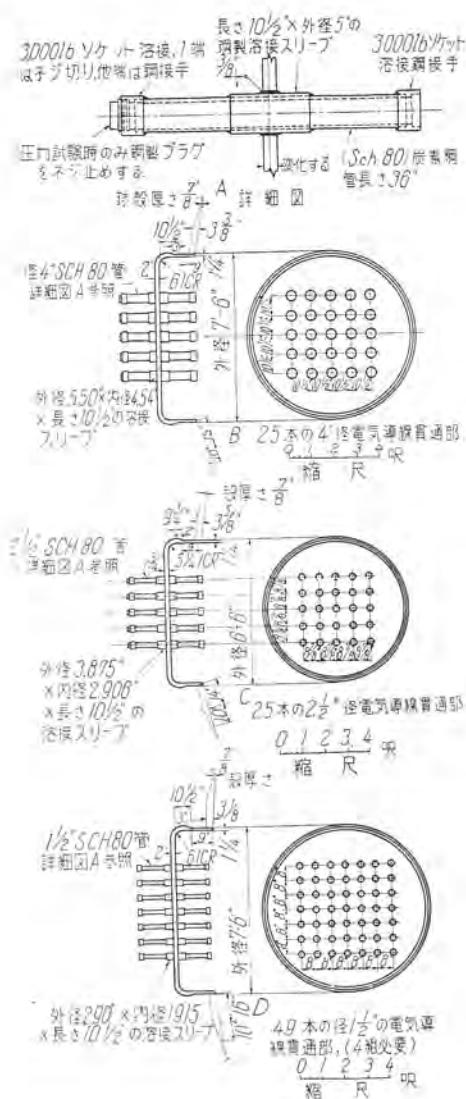


図 2.23 (A~D) 電気配線蒸気コンテナ貫通部

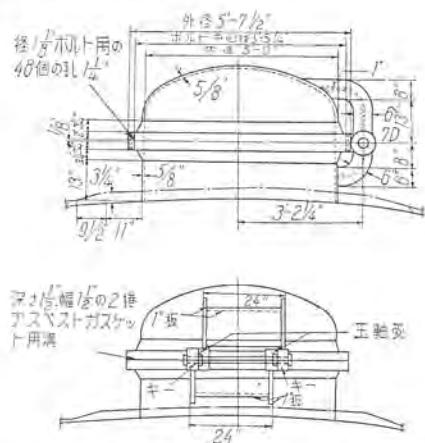


図 2.24 蒸気コンテナマンホール

コンテナは完全に閉じられ、現場受入れ試験が行われる。これには気圧試験、漏洩検出試験および漏洩率試験が含まれる。

(1) 気圧試験

蒸気コンテナは 37 psig の設計圧力まで空気で加圧され、6 時間保持される。気泡試験で漏洩が検出されると容器は減圧

され、漏洩部が修繕されて再検査を行う。気圧試験はすべての貫通部・閉鎖部を含み、蒸気コンテナの設計の完全さを確認することができる。

(2) 漏洩検出試験

漏洩検出試験の目的は容器の組立に行った溶接部のすべておよびこの設計に用いたガスケット閉鎖部の漏洩気密を確かめることおよび 15 psig の圧力で毎時間空気の 0.0001 ft³ の程度のコンテナよりの漏洩を検出することである。

トレーサガスによる漏洩検出試験はコンテナの完全さ、とくに貫通部周辺の漏洩を確かめる最も適切敏感な手段と考えられる。

漏洩検出試験はハロゲン漏洩検出器で行われる。蒸気コンテナがトレーサガス・フレオン 12 を体積で 1% 含む場合、これの毎時間 0.0001 ft³ の漏洩率を検出できる敏感な装置である。試験中、蒸気コンテナは 15 psig の空気で加圧され、フレオン 12 はコンテナに挿入される。溶接継目、貫通部の溶接部およびコンテナ閉鎖部はすべて漏洩検出器をもち歩いて試験する。見出された漏洩は修繕され、その部分は再び検査をうける。この試験が完了すると蒸気コンテナは最後の漏洩率試験の準備が終る。

(3) 漏洩率試験

蒸気コンテナの最終評価は漏洩率試験に基く。蒸気コンテナは 15 psig の空気で加圧され、温度と圧力変化が数日間以上記録される。この試験圧力は一次系の重大破壊に引続く 24 時間に予想される平均圧力に相当するものである。蒸気コンテナ内の平均空気温度が始めの温度とほとんど同じ場合に、圧力変化が記録される。漏洩率が 24 時間に含有空気量の 0.1 重量 % 以下であるならば、蒸気コンテナは気密であるとみなされる。これは標準状態で毎時間 70 ft³ に相当する。

この漏洩量は 24 時間中の圧力減少水柱 0.8 in または温度低下 0.5°F に相当する。これらの測定量の大きさの小さことおよび含有空気の真の平均温度測定の困難なことは漏洩率標示の正確さに影響する。

14.5 運転中の連続的漏洩指示

運転中蒸気コンテナからの漏洩率を量的に測定し、炉の運転を停止しコンテナを開放した後再び閉鎖する場合、不適当に閉鎖されることによる漏洩の機会を防ぐために、蒸気コンテナはつねに監視される。この発電所は原子炉の温度が上昇する前に蒸気コンテナは閉じられ、圧縮空気系で約 1 psig に加圧されるようになっている。その後は蒸気コンテナの圧力は、減圧弁を経てコンテナに連なる圧縮空気溜で制御される。圧縮空気溜の空気の重量損失が期間中測定され、蒸気コンテナの漏洩の尺度となる。気象条件の変化による温度と圧力変動の影響を長期間にわたり調節することができる。

第 15 節 蒸気コンテナ換気装置

15.1 冷房装置

蒸気コンテナ内の機器およびその周囲から空気に伝達される熱を除去する装置は、冷却水にはシャーマンボンド貯水池の水を使用し空気露過器、冷却管および電動機駆動送風機などからなる。露過器は冷却管および蒸気コンテナ内の表面の塵埃の集積を最小限に抑えるためその約 50% を除去するよう設計されている。夏と冬のシャーマンボンド貯水池の水温の相違な

そのため、蒸気コンテナ内部の空気の設計温度は夏は最高100°F、冬は50°Fである。空気冷却管を通るシャーマンボンド貯水池の水は夏には最高約65°Fになる。

通常運転時は蒸気コンテナ内部に人は立入らない。また換気のため蒸気コンテナ内に外気を入れることはおこなわない。

廃水および復水系には管の漏洩の際の放射能を検出するための監視装置がある。

15.2 暖房装置

冬期蒸気発生器が1基稼動していないような通常運転時および保守期間中蒸気コンテナ内部を暖めるため、蒸気管をもちいる送風形加熱器が別に備えられている。発電所の運転停止中は蒸気は補助蒸気ボイラからとられる。

15.3 蒸気コンテナ内空気の総入替え

保守作業に先立ち、あるいはその期間中蒸気コンテナ内部の空気を外に排出する装置がある。この系は1時間に1回空気が入れ替るのに相当する容量をもっている。発電所の運転を完全に停止した後、空気は蒸気コンテナ内に外部から入れられ、コンテナの外につけられた放射能をもつ粒子濾過器を通って通風機により換気用煙突から排出される。濾過できない核分裂生成物の放射能の濃度を制御するため、煙突に放出する前に排出する空気を外気で稀釈する装置がつけられている。

冬期においては入替えのため蒸気コンテナ内に送られる空気を蒸気管により暖める装置がある。

放射性空気濾過器は前段および後段濾過器よりなり、後段濾過器では3ミクロンより大きい粒子を99%以上除去するよう設計されている。

15.4 搅气用梗突

換気用煙突は主要な建物の屋上に、またはその近くにつけられる。煙突は放出されるガスおよび蒸気が建物を汚染しないよう十分高くなる。煙突は放射性汚染の可能性をもつ源であるが、通常は測定にかかるほど低い放射性物質を出す系からガスおよび蒸気を放出する。この煙突からの放出物質は監視され、警報がついている。運転員は換気用配管の弁により煙突への放出量を制御することができる。この操作は気象条件と発電所運転にもとづいておこない、警報器のついた監視装置がある。蒸気コンテナの外にさらに蒸気噴射抽気器、発電所研究室の排気孔および焼却器煙突は発電所の換気用煙突に排気される。

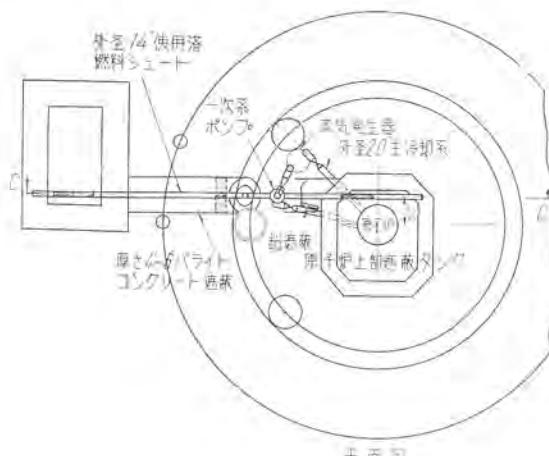
外気換気系への配管には、通常は閉じた、手動、気密、ゴム座蝶形弁があり外気と換気するときにのみ開かれる。

第 16 節 燃料取扱系

16.1 機能

放射線による災害を与えないで原子炉への必要な燃料装荷および再装荷を行うために、次の方法がとられている。原子炉からの燃料要素の取出しは水中で行う。燃料要素は蒸気コンテナの中から、蒸気コンテナの外側に設けられた、水を満した貯蔵ビットに移される。水中で燃料を取り扱うことは次の3つの理由により最善の方法と見られている。

1. 水は燃料要素を取扱うときに、機械的に妨げるものではなく、また適当な冷却機能がある。
 2. 水は放射能を遮蔽するものであり、また工具の取扱いも透明な水中では容易である。
 3. 水は廉価であり、取扱容易である。



十一

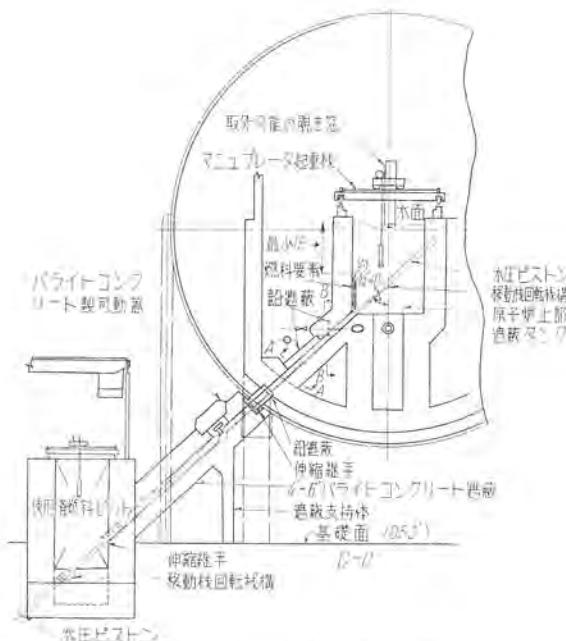


図 2.25 燃料取扱装置

使用済燃料を、許容しうるレベルまで減衰せしめるために必要な長い期間水中に貯蔵する。その使用済燃料要素を鉛で遮蔽された輸送容器の中に入れる。使用済燃料を入れた輸送容器を貯蔵ビットからとり出し、貨車に積込む。新しい燃料要素は貨車から降ろし、輸送容器からとり出し、貯蔵ビット中に沈め、蒸気コンテナ内部に送り込む。これは使用済燃料のとり出し方と逆の機構と手順で

原子領山に敗仗せしれ

160 105

16.2 概要

図2.25および図2.26に燃料取扱装置の一例を示す。原子炉上部遮蔽タンクは、鉄筋コンクリート製の不銹鋼内張り容器で、深さ25 ft の硼酸水で満され、その主目的は燃料要素を炉心からとり出すとき、水中で取扱うため

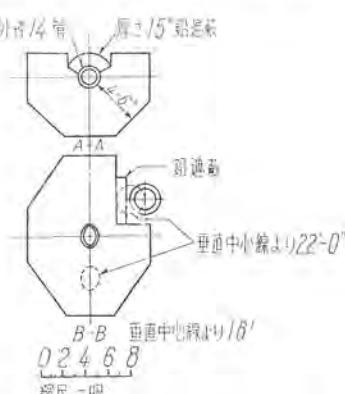


図 2.26 使用済燃料ショート詳細図

である。

燃料要素を原子炉上部遮蔽タンク内で取扱いまた燃料要素を使用済燃料シートへ置くためのマニュピレータ起重機が、原子炉上部遮蔽タンクの上に設けられている。

蒸気コンテナの外側に作られている使用済燃料貯蔵ピットは、鉄筋コンクリート製、不銹鋼内張で深さ 35 ft の水で満され、使用済燃料要素をシートから受けとり、定められた減衰期間の間、水中に貯蔵するようになっている。

使用済燃料貯蔵ビットの上には、燃料要素をショートから受けとったり、ショートへ移したりするのに、ビットの中で取扱うためのマニュブレータ起重機が設けられている。

燃料要素を輸送容器に入れたり、とり出したりするためには、
使用済燃料貯蔵ピットには別の起重機がある。

燃料シートは、使用済燃料貯蔵ビットと蒸気コンテナ内の原子炉上部遮蔽タンクとを結ぶ、外径 14 in の傾斜した管である。燃料シートには水圧操作の円錐形プラグ弁があって、原子炉運転中蒸気コンテナの機密を維持し、また、燃料要素の移送進行中に、水が原子炉上部遮蔽タンクから燃料貯蔵ビットへ自然に流出するのを防ぐようになっている。

燃料シートの中の両端にあるピストンのある移動機(Shuttle)は、水圧制御により燃料要素をシートの中で上下に移動させるものである。燃料シートの貯蔵ビット端には水圧シリンドラが設けられている。これは、燃料要素をのせた移動機を燃料シートの中に押し上げ、またはシートの下端で移動機を受けて位置を定めるためのものである。燃料シートの原子炉上部遮蔽タンク側の端にも、同様な目的で水圧シリンドラが設けられている。

各水圧シリンダには移動機を正しい位置に回転させる機構が設けられており、これは移動機がシートを上方または下方に移動中に向きが狂ったような場合、マニュプレータ起重機による取扱を容易ならしめている。燃料要素を圧力容器から取り出すには、原子炉上部遮蔽タンクに水を入れない間に圧力容器蓋の締めつけボルトをまず外し、しかる後原子炉上部遮蔽タンクに硼酸水を満たして蓋を天井回転起重機で取り外し、原子炉上部遮蔽タンクの中の水の中においておく。マニュプレータ起重機もまた、制御桿案内管および内部の付属機器をとり外し、原子炉上部遮蔽タンクの中においておく。

次いで、マニュプレータ起重機で燃料要素を取り出し、移動機の中に入れる。このとき移動機は低端にはたらく水圧によって、燃料シートの上部に位置している。

遮蔽の目的のために、燃料要素の上に最小 15 ft の水を、つねに維持する必要がある。それから支えている水圧をとり去り、上部水圧ピストンで燃料要素をのせた移動機を、燃料シートの中にピストンの下端が燃料シートの口に、管をふさいでいり込むまで押し下げる。このとき下部水圧ピストンは、燃料シートの下端をふさいで最上部の位置にあり、燃料シートの弁は開いている。

次いで、水圧が移動機の上端に加えられ、移動機はショートの中を押し下ぼされる。

降下速度は、移動機の下のショートからの流量を調整する流量制御弁によって制御される。

移動機の下端が下部水圧シリンダのピストンシールに接触すると、燃料ショットの弁が開き、下部ポンプによる移動機を駆動する。

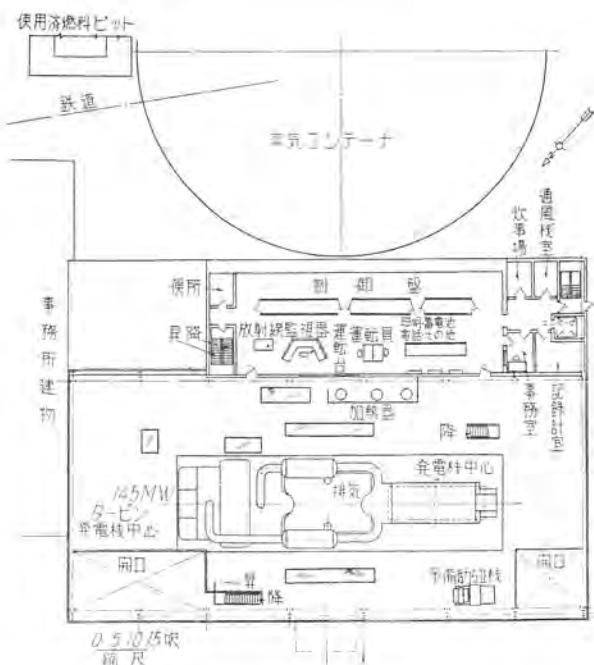


図 2.27 連軸階機械配置図

7

移動機を所定の位置まで回転し、貯蔵ビットマニュブレータ起重機で燃料要素を移動機からとり出し、貯蔵ビットの底にある使用済燃料貯蔵架の中に挿入する。

必要な減衰期間をおいた後、マニュブレータ起重機で燃料要素を貯蔵架からとり出し、輸送容器に移す。燃料要素の上には、最小 15 ft の水をつねに維持する必要がある。

燃料要素を圧力容器の中に挿入するため、蒸気コンテナの中に持ってくるときには、使用済燃料ピットマニュプレータ起重機で燃料要素を降ろし、移動機の中に挿入する。

このとき燃料シートの弁は閉じ、下部および上部のどちらの水圧シリンダも最も引込んだ位置にある。次いで、下部水圧シリンダが進み、燃料要素をのせた移動機を、ピストンシールが燃料シートの口にはいるまで燃料シートの中に押し上げる。燃料シートの弁が開き、水圧が移動機の下端に加えられ、移動機はシートの中を押し上げられる。移動機の上端が上部

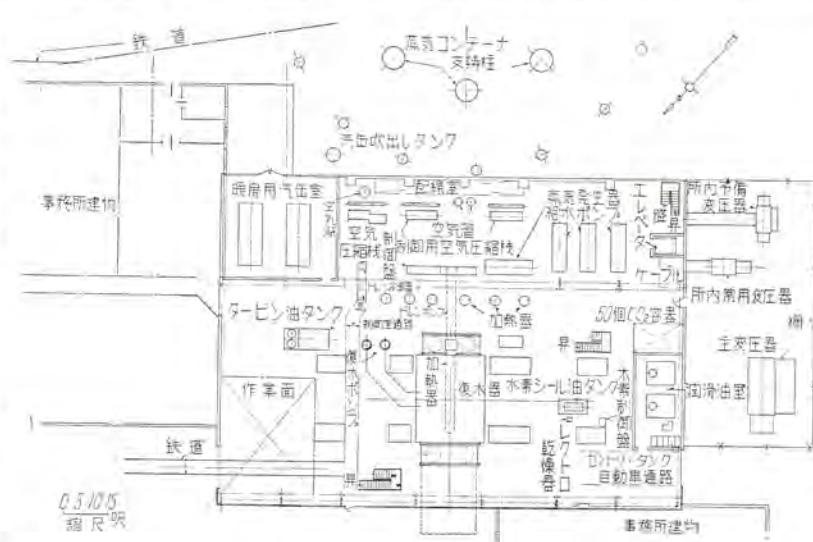


図 2.28 基礎階機械配置図

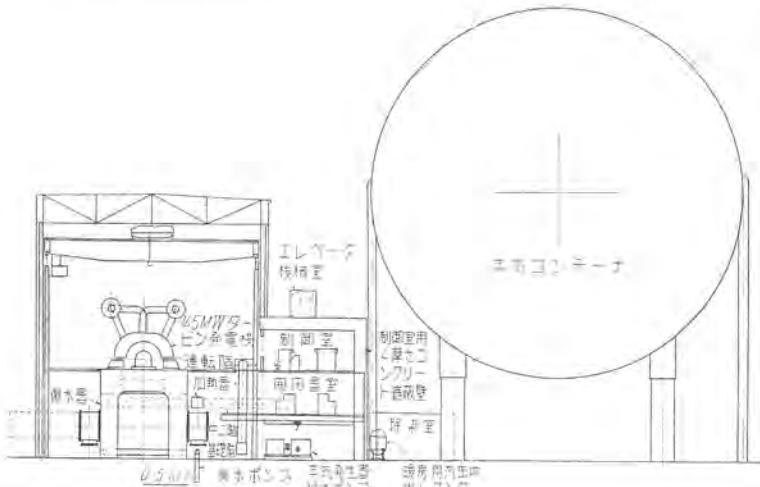


図 2.29 機械配置垂直断面図

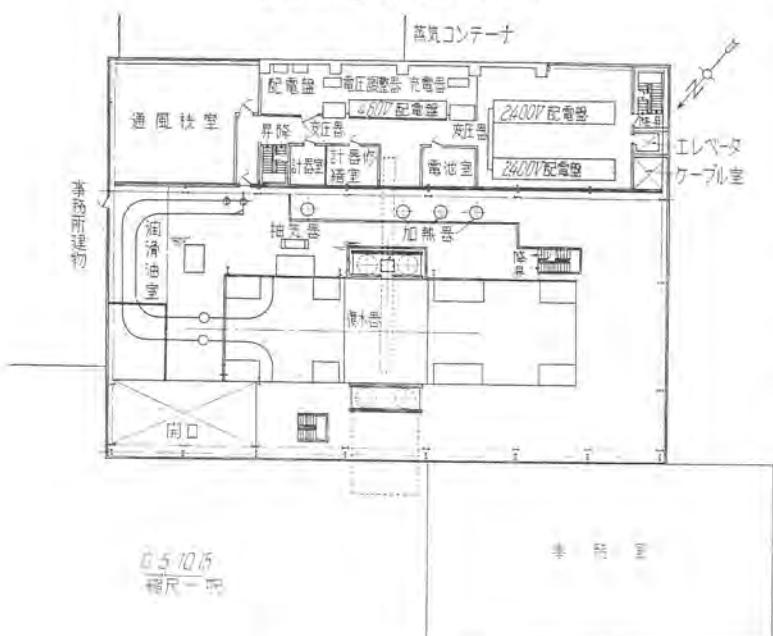


図 2.30 中2号機械配電図



図 2.31 循環水系平面図

水圧シリンダのピストンシールに当ったならば、所定の位置まで回転させ、原子炉上部遮蔽タンクマニュプレータ起重機で燃料要素を取り出す。

このマニュプレータ起重機によって、燃料要素を圧力容器の中に挿入するに先立って、回転機構によって正しい向きをとらせるようになっている。かくして、燃料要素は圧力容器の中の正しい位置に挿入される。

第17節 蒸気タービン発電機施設

17.1 機能

原子力発電所の二次系は復水器付単一タービン発電機で原子炉熱出力 492 MW を電気出力 134 MW の送電系統に送り出しつつ一次系の熱出力を利用し所内動力を発生するように設計されている。二次系は全負荷より無負荷までのタービン発電機の急停止によって、一次系に存在または発生する全熱量を受取り、発電所の冷却系によって処理するように設計されている。

全負荷における熱消費率は水銀柱 $1\frac{1}{4}$ in の復水器背圧において kWh 当り 11,200 Btu である。全負荷時の平均補助動力消費量は 12,000 kW である。したがって全負荷時正味電気出力当り熱消費率は kWh 当り 12,210 Btu である。

二次系の構成部分は大容量発電所に使用される往來形のものであり、安全性や経済性を損うことなく原子力発電所の熱効率を最高にするように配列されている。

17.2 概要

三次系および装置の配置図を次に示す。

図 2.27 は運転階の平面図、図 2.28 は基礎階平面図、図 2.29 は機械配置垂直断面図、図 2.30 は中 2 階機械配置図(配電盤室)

図 2.31 は循環水系平面図

図 2-32 け冷却水系断面図

卷之三

17.3 地熱井上78桿

用地の水平高さは復水器基礎面 (New England Power Co.) で 1,015 ft である。

3 方面の森林側の半径 1,000 ft の鉄条網垣およびディーヤフィールドの木柵と鉄柵によって発電所用地への立入りは制限されている。構内の金網垣によって構造物が囲まれ、守衛と所員の出入口がある。用地勾配は 33° 以下の傾斜である。

17.4 發電所基礎工事

蒸気コンテナの基礎は基面下のほぼ 30 ft の定積土壌の上にある。一般にコンクリートは 28 日強度として最低 2,500 psi の圧縮強さを生ずるよう設計されているが、タービン支持体コンクリートは最低 3,000 psi 以上の圧縮強さを有している。コンクリート鉄筋は ASTM-A15 の棒鋼規格および ASTM-A305 の変

ポンプは保守期間を除き連続的に運転される。電動蝶形弁が各ポンプの出口にあり、ポンプ電動機の破損したときには自動的に閉じられるようになっている。各ポンプは独立のコンクリート管を通じて復水器に送水する。復水器入口の水室は2つに分けられていて、その各々は互に電動蝶形弁で結合している。この弁は手動制御であって、通常は閉止しているが循環ポンプが1台しか運転できないとき、復水器の両側を運転できるように開かれる。復水器冷却管のスケール落しの期間には1台のポンプと復水器の片側のみが運転される。

復水器各半分のサイフォンを維持し、復水器出口水室上部の真空度を制限するため循環水が復水器から堰のある鉄筋コンクリート・シール・ピットへ排出される。シール・ピットは埋設コンクリート管によりシャーマン水力発電所取入口にあるシャーマンボンド貯水池出口に排出する。

17.11 復水および給水系

系の加熱器で復水および給水の加熱のためにタービンより3段抽気が行われる。第3と第2給水加熱器の間にドレン冷却器があり、高圧と低圧タービン間のつなぎよりの分離水分を受ける。

二次系供給水は基礎階に位置する100,000ガロンの鋼製脱イオン水貯槽より浮子による低水位制御により復水器の温水溜に補給される。この貯槽は酸素吸収を最小とするため浮動シールを備えている。二次系で過剰となる供給水は温水溜の高水位制御により脱イオン水貯槽へ主復水ポンプでもどされる。

復水は通常復水器温水溜より抽気器の復水器および第3と第2給水加熱器を通り、蒸気発生器給水ポンプ吸込側に2台の立て形電動復水ポンプの1台によって送られる。ターピングランドシールの復水器が抽気器の後部に備えられる。

3台の電動給水ポンプが第一加熱器を経て給水を蒸気発生器に送る。このポンプのうち2台が全負荷時に必要で1台は予備である。

第一高圧加熱器よりの復水は水位制御によって第二加熱器に送られる。一緒にになった復水は2台の電動加熱器ドレンポンプの1台によって蒸気発生器給水ポンプ吸込側に送られる。タービンつなぎのドレン冷却器の復水は第三給水加熱器に送られ、次いで水位制御で主復水器に送られる。

給水加熱器は加熱器復水同様順次に下方に送られる。

運転しない加熱器を回って復水の排出物をバイパスするように設備されている。

加熱器管側には安全弁を備え、胴側に熱漏洩のある場合水側に対し防護している。加熱器胴側は管側の最大圧力に耐える場合を除き、1本の破壊管、2つの管端よりの流れを防ぐ能力をもつように安全弁を備えている。

17.12 用水の供給

補給および冷却用水は循環水ポンプ井戸室の中に備えられた3台の電動ポンプの2台により得られる。原子力発電所の装置に供給する冷却水は重要であるから、3台のポンプの1台は予備として重要である。予備ポンプは運転ポンプの事故時に放出圧力スイッチによって自動的に起動する。この装置は循環水ポンプが運転しないとき、発電所用水の供給を確保する。

瀘過器(ストレーナ)を経てポンプより直接水を供給される冷却器には次のものがある。

1. 一次系装置熱交換器
2. タービン油冷却器
3. 発電機ガス冷却器
4. 水素シール油冷却器
5. 使用済燃料ピット冷却器

供給水ポンプはまた水処理施設用瀘過器(フィルタ)を備えている。瀘過水ポンプは次のものに水を供給する。

1. 発電所用および主冷却材用補給水のための脱イオン槽

2. 瀘過器清掃
3. 蒸気コンテナ冷却器
4. 発電所用
5. 使用済燃料ピット
6. その他小冷却用
7. 二次系給水設備用補助化学薬品供給装置
8. 一次系の化学的除染装置
9. 腐食防止用冷却水再循環系へのクロム化合物溶液

17.13 冷却系

供給水はタービン油冷却器、発電機ガス冷却器および密封用油冷却器を経てポンプにより送られる。これらの冷却器は並列で運転する。タービンには2台の油冷却器があり、常時1台のみ運転する。発電機は4台のガス冷却器を備え、そのすべては常時運転状態にある。しかし発電機1台のガス冷却器を休止しても負荷がかけられる。密封油冷却器は必要ならばバイパスできる。冷却水は循環水出口管に送出される。

各冷却器は入口および出口塞止弁とドレンおよびメント弁を備えている。

17.14 二次系ドレン

二次系のすべてのドレンの最終処理は2基の1日間保留タンクにより循環水出口管に排出する前に放射能に対しドレンの試料採取と監視を行うことができる。蒸気発生器の吹き出しと蒸気系のドレンは吹き出しタンクに排出される。これは保留タンクに送り出される。ポンプ基礎板よりのドレンと他の冷水ドレンは直接保留タンクに送出する。

17.15 圧縮空気系

1台の電動空気圧縮機(毎分500立方フィート)は中間および後部冷却器および空気受けと1組になっており、一般用空気を供給する。

無潤滑・炭素環形の2台の電動空気圧縮機がおのおの後部冷却器と空気受けとともに設備されている。

この单一セットは孤立しているので、2台の同じ大きさの制御用空気圧縮機がある。予備圧縮機は自動起動ができるようになっており、それから常時は閉止している結合管によって二次的自動辅助装置となっている。

乾式空気瀘過器およびシリカゲル空気乾燥器が制御空気配管系の前部にある。

17.16 配管

発電所配管は一般に炭素鋼を用いる。鉄管は埋設冷却水およびドレン管その他腐食防止用に用いられる。

埋設钢管は外側の腐食防止のため塗装および被覆される。真鍮管が水および制御用空気管径2インチ以下に使用される。

17.17 制御および計測

主要な装置は制御室より起動、制御される。ただし例外としてタービン発電機は起動するときに局部制御により徐々に運転速度まで上げられる。主要装置はまた局部的に手動で起動ができる。

多くの場合、予備の電動ポンプは運転ポンプの事故に際して放出圧力スイッチにより自動的に起動する。

圧力計は各ポンプの出口、安全弁の入口近くおよび各圧力制御弁の入口近くに設けられる。二次系の運転圧力が記録され、制御に必要なときは制御室に指示される。

指示温度計または温度計試験槽が各温度記録槽の隣りに設備される。二次系の運転温度が記録され、制御に必要なときは制御室に指示される。

各蒸気発生器には給水に対する三要素制御(給水量、蒸気量、水位)を設備してある。

廃棄物貯槽を含むすべてのタンクは水面計をもっている。水位が運転員によって連続的に観察されなければならない運転中のタンクは制御室に遠隔指示される水面計を有する。高位および低位の水位警報がすべての運転中のタンクに備えられる。

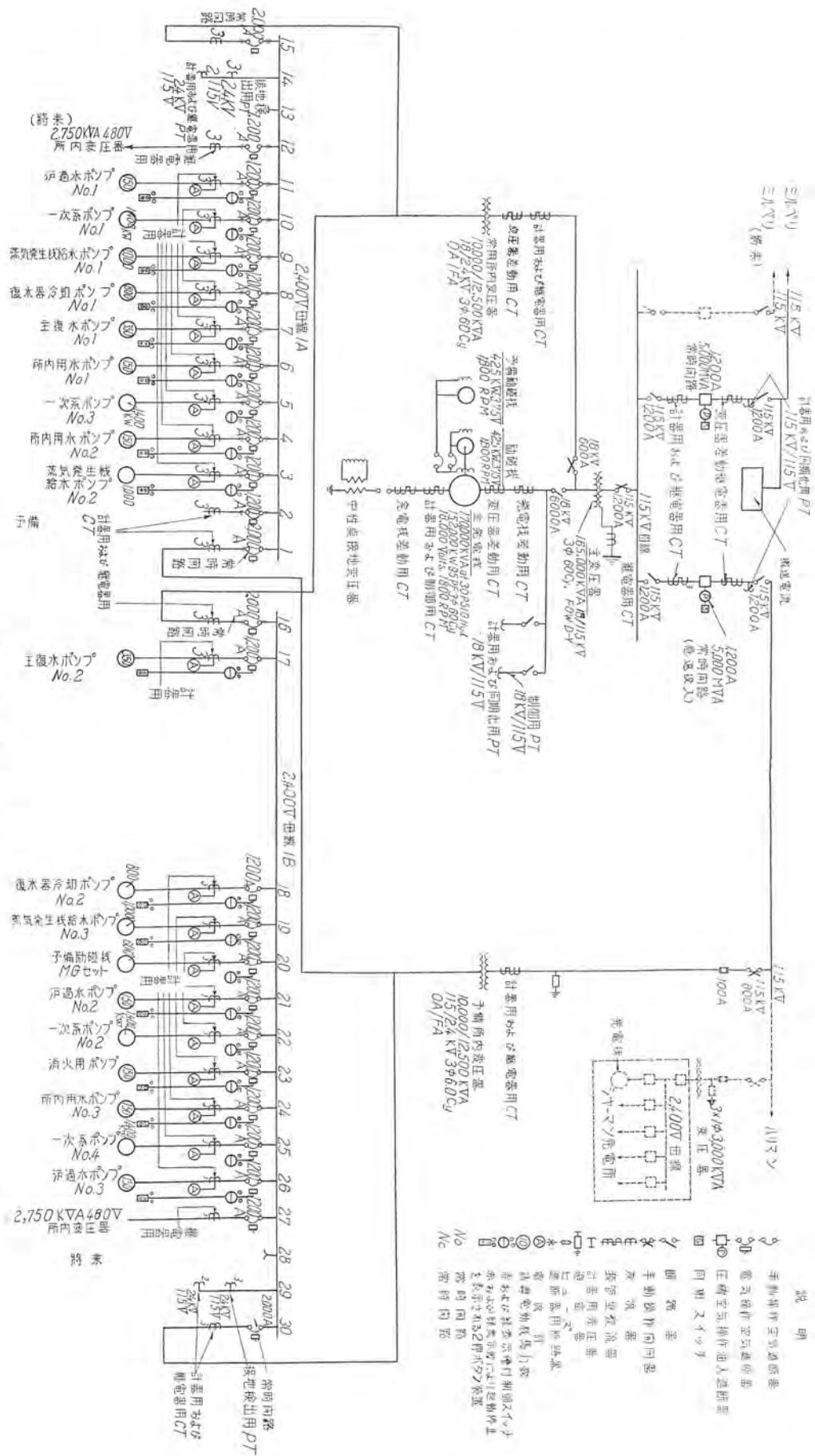


表 2.3 所内用動力および負荷

	台 数	1台当りの負荷 (kW)	許 容 値 (kVA)	全負荷時の所要負荷(見積) (kW)
一次系ポンプ 加熱器の加熱器 崩壊熱冷却ポンプ	4 1 2	1,160 240 24	6,570 300 60	4,630 48 24
化学吸収材注入ポンプ 純水系ポンプ 注入ポンプ(内1台は水圧試験用)	1 2 3	3 2 100	4 5 250	— 3 100
辅助冷却系 排水溝ポンプ 空気圧縮機	4 1 1	60 50 75	75 60 75	60 48 40
水圧試験用ポンプ 除染用送風機 廃棄物処理ポンプ	1 2 4	10 80 5	10 160 14	— — —
原子炉計測制御用電源 制御座駆動用電源 制御障害位置指示計	1 3 3	20 50 4	20 150 10	20 50 12
空気調節系 電池充電用電動発電機 (ターピン補機)	1 1	150 15	150 15	100 6
蒸気発生機給水ポンプ 循環水ポンプ 温水ポンプ	3 2 2	900 900 325	2,700 1,800 650	2,160 1,700 520
冷却水ポンプ 予備動力機 抽気系ポンプ	2 1 2	200 750 200	400 750 400	160 — 160
ターピン油ポンプ 回転車用油ポンプ 回転車用電動機	1 1 1	30 20 50	30 20 50	24 — —
真空ポンプ シール油ポンプ 制御用空気圧縮機	1 1 1	50 3 40	50 3 40	20 3 20
発電所ポンプ(雑) 冷却水ポンプ 排水ポンプ	— 2 5	— 15 10	500 30 50	200 12 16
排気用送風機(雑) 潤滑油移動ポンプ エレベータ	— 1 1	— 7 25	35 7 25	16 — 8
発電所照明 変圧器(起動盤) (起動盤及び巻上機)	2 —	— —	— 150	160 100
作業場用起動機 ターピン室起動機 水処理施設	1 1 —	70 145 —	70 145 40	20 48 24
用水取入口施設	—	—	270	120
合 計		16,143		10,631

給水加熱器胴には高位および低位の水位警報がある。

給水流量から各蒸気発生器へ行く二次主蒸気流量が、一次系熱出力の決定のためにおよび三要素蒸気発生器水位制御の一要素として測定される。

同期化、負荷の維持および電圧と周波数調整の標準的制御および発電所補機の制御設備が備えられている。

17.18 電力機器の概要

電力系統の単線結線図を図 2.34 に示す。またおもなる所内用動力および負荷の一例を示せば表 2.3 のごとくであるが、それぞれの発電所の特殊な要求により多少変更があるのをつねとするので概念として参考にしていただきたい。

ヤンキー発電所の出力は通常ニューアングラント発電会社の送電線を経てミルベリーへ 115 kV で送られる。また出力を減じて約 3 マイル離れた所にあるニューアングラント発電会社のハリマン発電所へ 115 kV で送電される。ミルベリー系の 115 kV 油入遮断器は通常閉じており、ハリマン送電線への 115 kV 油入遮断器は開いている。115 kV のミルベリー送電線が遮断する場合にはハリマンの 115 kV 遮断器を急速に投入して送電する。

発電所には 2 つの電力供給設備がある。1 つは発電機より常用所内変圧器経由で供給され、第 2 は予備所内変圧器経由で 115 kV のハリマン発電所から供給される。おもな発電所補機

は発電所母線で 2 部分に分けられ、正常運転時には母線遮断器は開いている。所内母線は電圧がいずれかの母線で失われる場合に自動投入装置がついている。この装置はどちらかの電力供給が事故の場合はいつでも最少 2 台の一次系ポンプを運転させることができる。瞬間的所内電圧降下を避けるために大電動機には起動遅延装置が設備されている。2 つの信頼性ある別個の電源があるために、一時的停電による障害は考えられない。

17.19 変圧器

主変圧器は 165,000 kVA、三相、18/115 kV、60 c/s、送油水冷形でターピン室壁の外側に位置する。

主変圧器の隣に常用および予備の所内用変圧器がある。その定格は 10,000 kVA 自冷—12,500 kVA 送風、三相 18/2.4 kV である。低圧用には 2 台の 1,000 kVA、2,400/480 V 乾式変圧器が用いられる。

制御室、研究室、階段および作業室には 125 VDC 蓄電池より緊急照明電源が供給される。

17.20 火災警報

12 個の無番号警報箱よりなる火災警報系があり、もよりの消防署への音響警報および信号装置が設備されている。

17.21 その他の電気装置

安全およびその他の便利な設備として警報表示器、PBX 形電話系、工業用テレビジョンおよび公衆電話装置がある。

17.22 空気調節

放射線研究室と計測室で分析作業を正確にし、放射線汚染の拡大を最小とするために換気口の中で空気流を制御できるように空気調節系が設備されている。

この系はつねに 100% の外気を利用し、放射性ガス排気系とともに地域に含まれる放射性物質の外気への漏洩を防ぐように制御される。

17.23 換気系

放射性排気系が研究室の換気口およびその区域に設けられている。この系は装置のひさしにおされた送風機に連結する配管ならびに放射性研究室の換気口やグローブ箱の放射性空気濾過器よりなる。送風機は換気煙突を経て大気へ排出する。

一般的の換気供給系は洗濯室ならびに便所、更衣室およびシャワー室用に濾過空気を、冬季は暖めて供給する設備となっている。

研究室のガス換気用として放射性空気濾過器のない非放射性排気系がある。

放射性空気濾過器のない排気系が洗濯室に備えられている。

制御室の空気条件を許容値に維持するために新しい空気の供給と廃気のために換気設備が設けられる。供給系は冬季の加熱用に蒸気加熱管をもっている。

蒸気コンテナーが開いている時にのみ原子炉からの使用済燃料要素は原子炉上部遮蔽タンクで取扱われる。使用済燃料取扱時に生ずる汚染蒸気を除去するために外気へ放出する換気口と配管系がこの遮蔽室に設備されている。

使用済燃料要素は炉から取り去って後一定期間蒸気コンテナーの外側の水を満たした使用済燃料ピットの中に貯蔵される。このピットには蓋があり、水面上の部分はつねに換気用煙突へ送り出し換気されている。

ターピンと復水器室の換気は必要の場合は電動装置で部分的に補われた自然通風で行われる。一般に空気は自然通風でターピン室の屋根から排出され、夏季は開いた窓と戸より空中へ流れ出る。

他の一般地域の換気はできるだけ自然通風で行われる。

17.24 暖房

正常運転時にはコンテナ内部の装置からの伝熱損失はコンテナ球殻より外気への伝熱損失を相殺するので、コンテナ内部の加熱は不要である。寒冷期の停止時には、蒸気コンテナの内部には蒸気管によって加熱された空気が供給される。

研究室、事務所および外気に接する窓をもつ同様な場所の暖房には温水を用いたヒレ付暖房管が備えられる。装置のひさしには循環器、蒸気対熱交換器や膨脹タンクがある。

制御室の暖房には暖房および換気系にある蒸気加熱管が用いられる。

タービンおよび復水器室の暖房には蒸気加熱器が設備される。便所、更衣室およびシャワー室の暖房は蒸気加熱管で換気装置によって行われる。

その他の場所の暖房は蒸気または温水を用いるヒレ付暖房管、あるいは小形加熱器のいずれかを用いる。

17.25 加熱用蒸気源

発電所正常運転期間中は 10 psig に減圧されたタービンよりの抽出蒸気がすべての加熱場所の熱源となる。停止期間中の加熱用蒸気は 100 psig の圧力で運転する軽油燃焼の補助蒸気発生器から供給され、減圧して用いられる。

100 psig の蒸気は洗濯室と除染地域の蒸気ホースに供給される。

17.26 排水系

蒸気コンテナの排水系は洗滌または除染作業中に用いられた水を集め、水があふれたり漏洩した場合にコンテナから水を除くために備えられている。蒸気コンテナの排水は監視され、放射能が許容値をこえる場合は排水に先立って放射能廃棄物処理設備に送出される。コンテナ排水の放射能が許容値以下ならば直接下水設備に排出される。

普通の設計である屋根、道路、ヤードの排水系はできるだけ自然流下の溝や地下配管を利用して設備されている。

汚染の可能性のある地域の小便所や水洗便所はおのの 1 日間保留能力をもつ 2 個のタンクのいずれかに排水し、腐敗タンクや瀘過所 (leaching field) へ放出する前に放射能のために毎日試料をとり、下水の分析をする。汚染されない場所よりの衛生的な排水は中間保留をせず腐敗タンクや瀘過所へ放出する。

汚染された洗滌室の便所、シャワーおよび非放射性の流しのようない通常放射性でない器具よりの排水は容器に集め、監視のために、必要ならば最終排水に先立って廃棄物処理区域に送られる。

放射性廃棄物を取扱う器具や区域からの排水は近接および移動可能な配管系によってタンクに集められ、排水に先立って監視および処理のために廃棄物処理系に送られる。

17.27 飲料水

シャワー、便所用および飲料用の冷水は井戸から得られる。

井戸水は必要あれば軟化して、流しやシャワー、洗濯用の温水用として使用する。

正常運転中は温水は抽出蒸気によって、運転停止期間中は補助蒸気発生器よりの低圧蒸気によって加熱される。

流しやシャワーの水は温水貯槽加熱器で 140°F に加熱され、洗濯用水は別の温水貯槽加熱器で 180°F に加熱される。

第 18 節 消火装置

18.1 屋外消火栓

屋外消火栓には、消火ポンプの放水口に連結される地下消火用配管がきている。

屋外主消火栓からそれぞれ弁のついた配管が分歧し、潤滑油室、タービン発電機室、屋内ホース室に達している。

18.2 変圧器消火装置

発電所変圧器は過去の経験によれば火のもとになるとは考えられない、変圧器の下およびその周囲の地面は絶縁油の漏洩の場合それを保持し冷却するために十分な砂利が詰めてある。ホース、噴霧ノズル、可搬消火装置を備えた消火栓は変圧器区域内にある。

18.3 潤滑油室

噴霧弁のついた自動の水スプレ消火装置が中心潤滑油室に備えられている。

18.4 タービン・発電機室下部

水スプレ消火装置がタービン発電機の下シール油貯槽、潤滑油貯槽の近くにある。この系の弁は火に対し保護される機器から離れ、かつ燃焼の可能性のあるものから遮蔽された場所にあり、手動で操作される。

18.5 屋内ホース設置場所

消火ホース設置場所は蒸気コンテナ以外の発電所の屋内に設けられている。ホース設置場所には一般にホース・リールと油の火事を消すのに適した水スプレノズルが固定された丸形の 75 フィートのゴムホースが置いてある。

事務所のような油の火事が起りそうもないところで、しかも場所が限られた所ではホース設置場所には麻布製のホースを置いたホース棚と戸棚に入れた注水管がある。

屋内ホース設置場所用の水は主屋外消火栓から弁のついた配管により供給される。

放射性物質を扱う研究室では消火用ホース設置場所は設けられない。これはこの中の火を消すため使用される注水が放射性汚染を拡大するのを防ぐためである。消火用のホース設置場所は蒸気コンテナ内部には設けられない。これは内部には運転中人が立入らないからである。保守期間中は携帯用の消火器が蒸気コンテナ内で使われる。

18.6 水 源

瀘過槽構造物内におかれた 2 台の立て形タービン式消火ポンプはシャーマン・ボンド貯水池から瀘過器を通して水を汲上げる。各ポンプは 100 psig, 1,000 gpm の公称容量を持ち、電動機により駆動される。

屋外消火配管の圧力は容量が約 75 gpm の補給水ポンプにより一定に保たれ、屋外配管内の圧力が設定値より下ったときには自動的に動作する。圧縮空気供給装置をもつ加圧タンクが屋外消火管に連結され、その水面および圧力制御装置は補給水ポンプ、主消火ポンプ、圧縮空気流入装置を動作させる。

主消火ポンプ用電力は 2 つの母線により供給されるが、そのうち 1 つはつねに生きている。各ポンプはそれぞれ別の母線に連結されている。

18.7 携帯用消火器

携帯用の炭酸ガス消火器および加圧水消火器はボヤを消すた

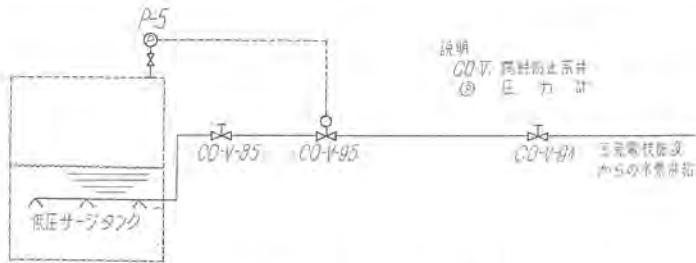


図 2.35 腐食防止系

め発電所内に配置されている。

18.8 規定と規準

すべての防火装置と機器はそれぞれの規定と規準に従う。

第19節 腐食防止系（水素注入系）

19.1 機能

腐食防止系の機能は、一次系機器の過度の腐食を防ぐ目的のために、一次系中に水素ガスを入れることである。水素ガス注入系は、発電所が運転にはいったならば寿命がくるまで間歇的に動作する。系は、通常の状態では、自動差圧制御で動作するが、自動、手動のいずれでも動作できるように設計されている。

19.2 薦 烟

図 2.35 に、この系を示す。系はタービン発電機施設から、主発電機用の良質の水素を引いてきている 1 本の水素ガス供給管よりなっている。

この1本の配管に、系統隔離弁、自動圧力制御弁が含まれており、またサージタンクにガスを噴出させるノズルがついている。

19.3 設計の基礎

系はサージタンクの蒸気空間に、30 psia の分圧になるように水素ガスを注入する。

この圧力と、120°Fないし130°Fという、タンクの中の水の通常の運転温度において、1kgの水の中に、25ないし30cc(標準状態)の水素が溶解される。水素のこの濃度で、一次系の金属表面の腐食率は、月当り10mg/dm²以下という設計になっている。

この系を動かせる主要な機構は、タンクの中の圧力を、大気圧から 30 psia までのどんな設定圧力でも維持するように設定できる、圧力制御弁である。

サーボタシクの圧力は、発電所を運転している途中において、主冷却材中に集まる核分裂生成物と、核分裂生成物崩壊ガスが放出されることによって、徐々に、また周期的に内部圧力が 30 psia をこえて高くなることがある。内部圧力が 40 psia となると、リリーフ弁が働いて吹き出し、タンクの圧力を 20 psia 付近まで下げる。この動作に引き続き、圧力制御弁が働き、最小 30 psia の圧力が得られるまで、タンクの中に水素を入れる。

圧力制御弁はサージタンクの近くに設けられている。

手動操作の玉形弁もこの系の配管に設けられており、圧力制御弁と直列に接続されている。この弁は、圧力制御弁が故障したときに、水素の供給を遮断するため、近づ

いて手動操作ができるようになっているものである

噴出ノズルはタンク中の通常の水面付近にあり、溶解した水素の濃度を均等にするようにしている。

系は、ASA の圧力配管の標準規格に基いて設計されている。

第20節 安全注入系

20.1 機能

安全注入系の機能は燃料取替作業の間、原子炉上部遮蔽タンクに中性子吸収材を供給すること、制御系による炉の常温停止を補うことおよび一次系の重大事故による冷却材喪失というめったに起らない場合に炉心を冷却することである。

20.2 概 要

この系は安全注入系貯水タンク、2台の二重目的ポンプおよび種々の配管・弁・付属物よりなる。これを図2.36に示す。制御室から遠隔操作のポンプと弁によってこの系の制御を行う。

20.3 設計の基礎

この系は水 1 リットル当り硼酸として硼素 1.6 グラムを含む脱イオン水 110,000 ガロンを取扱える大きさになっている。この水量は燃料取替作業中使用済燃料貯槽に移す間、つねに燃料要素の上部に遮蔽水が少くとも 15 フィートあるように、原子炉上部遮蔽タンクに 25 フィートの深さに満水するに十分である。1,000 gpm の注入満水ポンプは貯蔵硼酸溶液を混合し、炉上部遮蔽タンクを約 2 時間に満水することができる。100 gpm の注入脱イオン槽ポンプは燃料取替作業中、炉上部遮蔽タンクで主冷却材と混合し、わずかに汚染される場合は浄化のために遮蔽タンクの水を送水することができる。

この系の安全注入機能は炉上部遮蔽用木の貯蔵および満水装置を用いて達成される。安全注入は4個の一次系主塞止弁の外向き配管のおのおのおよび1個の主塞止弁内向き注入配管に連結している、1,000 gpm の注入率で10分以内に原子炉容器炉心の上部まで満水する。この作業は一次系の中程度破壊事故の場合に冷却材を失後、約12分で始まる崩壊熱による炉心の溶融を防ぎ、またいかなる事故の場合でも炉心の蒸発を防止する。一次系主塞止弁外向き配管への注入速度は1個の破壊ループのポンプ全送水量の25% そく失を補う大きさをもつていい。

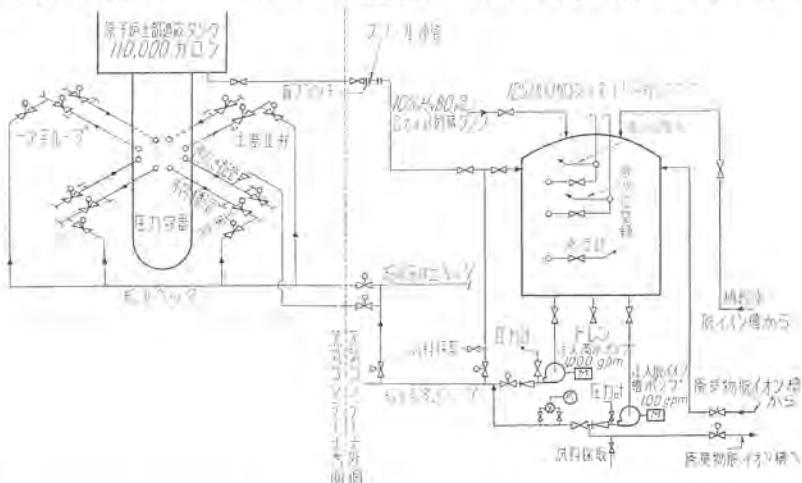


図 2.36 安全注入系

る。1,000 gpm 注入満水ポンプは炉容器が満水後停止される。その後は 100 gpm 注入脱イオン槽ポンプが崩壊熱放出による水の蒸発損失を補給する。125,000 ガロン安全注入系貯水タンクは炉停止後ほぼ 300 時間の間、崩壊熱冷却のため十分な水を供給することができる。このタンクには 300 時間以上、外部からの補給により低率で注水を続けることができる。

第 21 節 試料採取系

21.1 機能

試料採取系の機能は主冷却材から定期的に試料を採取し、pH、伝導度、硼酸濃度、溶解された水素ガス濃度を調べる。試料採取は立入りできない地域の遠隔操作塞止弁を除いては手動で操作される。

系の運転は発電所運転中断統的に行われる。

21.2 概要

試料採取系は 3 つの採取系統からなる。

1. 純水系脱イオン槽の入口ヘッダ

2. 脱イオン槽の出口ヘッダ

3. 純水系の塞止弁内側および各主冷却系のドレンヘッダ

各系統は塞止弁およびニードル弁をもち、発電所研究室にある試料受けに達している。3 番目の系統は液体試料の温度を約 500°F から約 70°F に下げる冷却器をもっている。この系統の塞止弁はすべて 2,500 psig に耐えることが要求される。手動ニードル塞止弁が塞止弁のバックアップとして設けられている。

試料から出る放射性ガスを廃棄物処理系に抜くために換気口

が設けられている。試料採取に先立ち系から廃棄物処理系に送られる水を保留し、排出するため流しが設けられている。換気口と流しは試料採取箱の中にある。

21.3 設計の基礎

試料採取系は脱イオン槽の入口ヘッダ、出口ヘッダまたは停止時冷却系、一次系から水を 1 gpm の割でとることができる。

各脱イオン樹脂床の条件は分析により他の床と無関係に決定することができるよう設計されている。試料採取管は脱イオン槽間でなくヘッダの末端につけられている。停止時冷却系および主冷却系の試料採取系統の設計圧力は 2,500 psia で、他の系統では 150 psig である。試料採取系統はすべてニードル弁の先で大気圧におとし排出される。

系統の設計温度は停止時冷却系および一次系と連結されている配管の 500°F を除いてはすべて 140°F である。

試料採取系で使用される材料はすべて 304 形不銹鋼またはそれと同等の規格のものである。

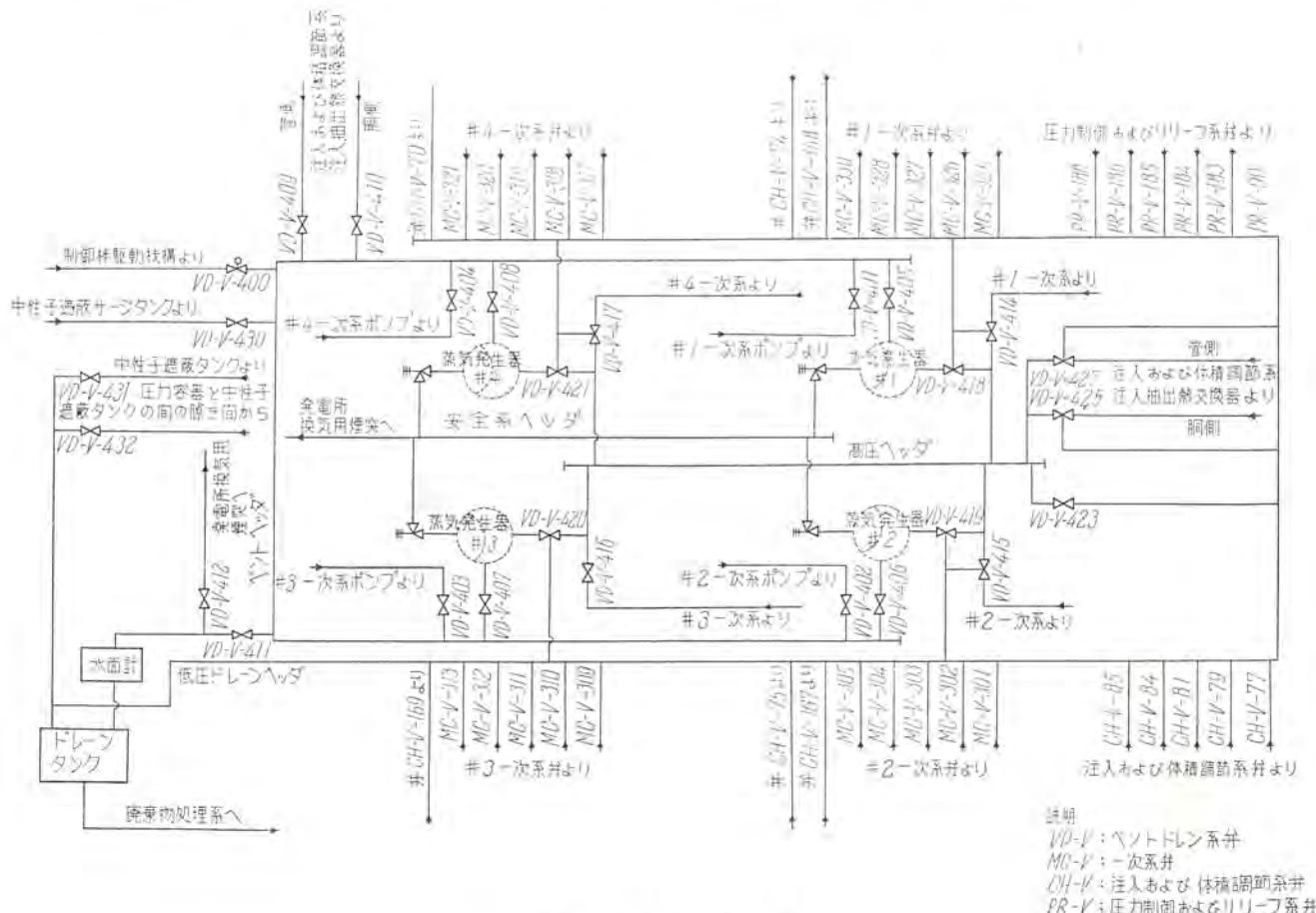
第 22 節 ベント・ドレン系

22.1 機能

ベント・ドレン系は以下述べるように設計されている。

1. 一次系、隔離された系または、原子力発電所補助系の注入、排水および放出の間に、すべての放射性流体を廃棄物処理系へ送りこむようになっている。

2. リリーフ弁および安全弁から低圧サージタンクへ放射性の水およびガスを送りこむようになっている。



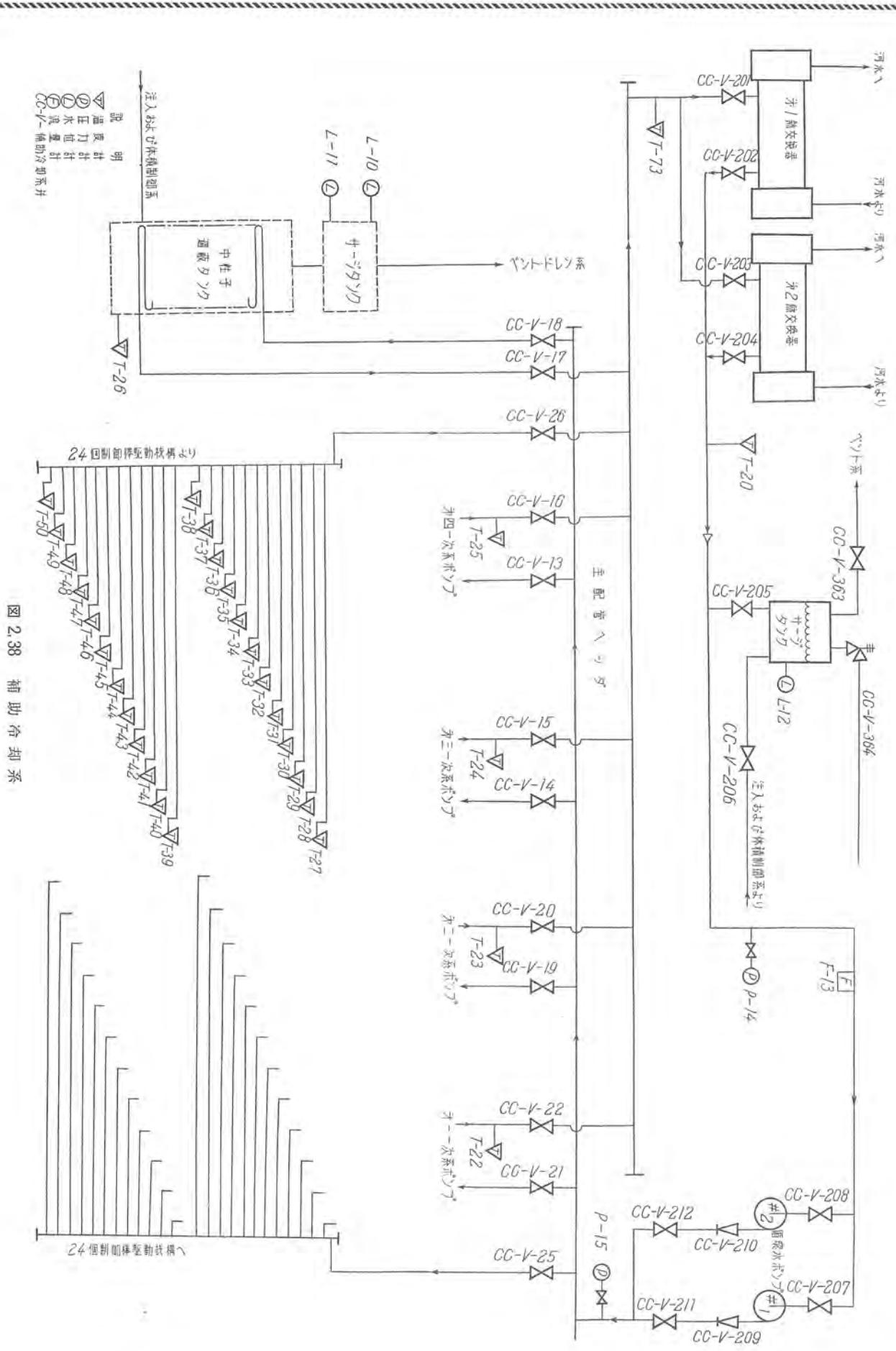


図 2,38 補助冷却系

3. 一次系およびその補助系から廃棄物処理系へ放射性のガスを排氣するために、完全密封の配管になっている。
4. 一次系およびその補助系から空気を排氣するようになっている。

22.2 概 要

ベント・ドレン系を図 2.37 に示すが、これは次のような装置である。

1. 隔離された一次系、蒸気発生器の胴側および注入・抽出熱交換器の管側および胴側を排水する高圧ドレンヘッダ。
2. 一次系、注入および体積調節系、高圧ドレンヘッダおよび、圧力制御およびリリーフ系の各種の弁のパッキン押えから排水する低圧ヘッダ。
3. 一次系ポンプ、注入、抽出熱交換器、蒸気発生器の胴側、中性子遮蔽タンクおよび圧力容器からの排気を集めるベントヘッダ。
4. 蒸気発生器の蒸気側への安全リリーフ弁の吹出しを集め、それを発電所の煙突に排出する安全リリーフ弁ヘッダ。

高圧ヘッダの中のドレンは、高圧ドレンとつながった各弁に対して、保護弁として働く手動塞止弁を通じて、低圧ヘッダに放出される。これは高圧系と低圧系の間のすべての塞止弁を保護する原則である。

一次系リリーフ弁、高圧弁のパッキン押えおよび、圧力容器と中性子遮蔽タンクの間の隙き間は、低圧ヘッダへ排水される。弁の両側に高圧がかかる弁は、パッキン押えで排水する。

入口側に高圧が、出口側に低圧がかかる弁では、弁を通して低圧系へ排水されるから、パッキン押え排水は必要ない。

排水を制御する手動塞止弁は、圧力容器と中性子遮蔽タンクの間の隙き間および中性子遮蔽タンクからのドレン系にとりつけられている。

低圧ドレンヘッダは、ドレン集合タンクに放出する。ガス抜き配管は、一次系機器のできるだけ高い所にとりつけられる。ベントヘッダ配管は、発電所換気用煙突への排気と、ドレン集合タンクへの放出用に設けられている。

圧力容器のガス抜きは、制御棒電動機構のベント配管を通じて行われる。23 個の制御棒駆動機構が、蒸気コンテナへ放出する。

遠隔操作の塞止弁のついた系は、人間が蒸気コンテナに入れない場合に、ガス抜きができるように、残った 1 個の電動機構にとりつけられる。このベント系は、ベントヘッダに放出される。一次系が注入されているときに、最も多量の排気ガスが放出される。

蒸気発生器の蒸気側にある安全弁は、発電所換気用煙突に放出する系へ接続されている。

ベント・ドレン系の配管は、ASA の標準規格によって設計されている。

第 23 節 補助冷却系

23.1 機 能

補助冷却系の機能は各種原子力発電所の補助装置を所要運転温度に維持するために熱を除去し、吸収した熱を補機冷却水から川の水に放出することである。

23.2 概 要

補助冷却系は 2 個の熱交換器、2 台の循環ポンプ、サーボタンク、配管、弁および付属品よりなる。この系を図 2.38 に示す。この装置は 2 本の主配管ヘッダに連結し、それより枝配管が冷却される装置に連結している。川の水は補助装置冷却水を冷却するために用いられる。熱交換器、ポンプおよびサーボタンクは蒸気コンテナの外側にある。

第一と第二のポンプおよび熱交換器はいずれも 1 台のポンプまたは熱交換器の事故の場合に原子力発電所の停止を防止するために十分な大きさをもち、切替えができるように連結してある。

23.3 設計の基礎

2 台の電動循環ポンプが補助冷却系に用いられ、その 1 台は予備である。各ポンプは修繕のために配管から遮断することができる。逆止弁が逆流防止のためにポンプの送出管に使用されている。各ポンプ電動機は別々の動力系をもち、運転ポンプの事故の場合にはポンプ送出ヘッダの圧力スイッチより予備ポンプが自動的に起動する。

2 台の熱交換器は補助装置冷却水から川の水へ熱を放出し、その 1 台は予備である。熱交換器はいずれも正常運転時に十分な冷却能力をもつように設計されている。

川の水は 65°F で熱交換器の管側にはいり、約 80°F で出る。補助装置冷却水は 125°F で胴側にはいり、約 65°F で出る。

サーボタンクは系に補給水を供給し、系の水の膨脹、収縮を調整する。タンクの水位は高水位および低水位警報によって制御される。

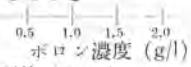
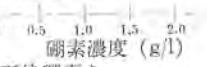
系は始め注入および体積調節系によって脱イオン水で満される。腐食防止材が腐食を最少とするために補助装置冷却水に用いられる。

系の最高許容圧力は 125 psig で、設計温度は 250°F である。補助装置冷却水と接触する材料は炭素鋼またはその相当品で、主冷却材と接触する材料はすべて 304 形不銹鋼またはその相当品である。

補助冷却系によって冷却される装置を遮断するために適当な弁が用いられている。

加圧水型原子力発電所について(1)
(Yankee型 134 MW-PWR)

正 誤 表

通し 頁	左上 右下 から行	誤	正
249	左上から3行	……不銹鋼管に装入されて、……	……不銹鋼管に挿入されて、……
250	右上から10行	(第1.1表参照)	(表1.1参照)
251	左上から8行	$F_{\Delta T}$ は……	$F_{\Delta T}$ は……
252	表1.1	温度	温度 °F
"	"	平均熱流速	平均熱流束
"	"	最高熱流速	最高熱流束
"	"	焼損熱流速	焼損熱流束
"	"	熱流速 F_q	熱流束 F_q
"	"	冷却材温度上昇 $F_{\Delta T}$	冷却材温度上昇 $F_{\Delta T}$
"	"	被せ金厚さ	被せ金厚さ in.
"	"	燃料棒総数	燃料棒総数 本
"	"	断面積	断面積 sq. ft
"	"	等価直径	等価直径 ft.
"	右上から14行	$P_u 239$ および $P_n 240$ の…… $\varepsilon - 1 = \frac{0.1565}{1 + 0.875 \rho_w \frac{V_w}{V_n} + 0.288 \frac{V_s}{V_w}}$ ρ_w =水の密度	$P_u 239$ および $P_n 240$ の…… $\varepsilon - 1 = \frac{0.1565}{1 + 0.875 \rho_w \frac{V_w}{V_n} + 0.288 \frac{V_s}{V_w}}$ ρ_w =水の密度
"	右下から5行		
"	右下から4行	燃焼率ウラニウム当り MWD _{avg} 9000*	燃焼率ウラニウム t 当り MWD _{avg} 9000
253	表1.2	ジルカロイ	ジルカロイ-2
"	"	有効倍率	有効倍率 K_{eff}
"	左下から9行	偏心制御棒の値値が J_{0^2}	偏心制御棒の値値が J_{0^2}
"	左下から4行	5.1 図に示すごとく……	図1.14 に示すごとく……
"	右下から8行	2.7 図に温度と温度係数の関係を……	図1.9 に温度と反応度の温度係数の関係を……
254	左表1.4下1行	プラントの温度状態	発電所の過渡状態
"	左表1.4下7行	プラントの過渡状態に……	発電所の過渡状態に……
"	左下から1行	UO_2 密度の温度変化によって……	UO_2 密度の変化によって……
255	左上から1行	3.1 表に示すよう	表1.6 に示すよう
"	左下から19行	3.3. X_e の過渡現象	3.3. X_e の過渡現象
"	右上から8行	$\frac{dk}{dt}$ がグラフにしてある。	$\frac{dK}{dt}$ がグラフにしてある。
"	右上から9行	$+3.5 \times 10^{-6} \frac{\Delta k}{k} \text{ sec}^{-1}$	$+3.5 \times 10^{-6} \Delta K/K/\text{sec}$
"	右上から14行	Δk に対する寄与を示す。	ΔK に対する寄与を示す。
"	右上から15行	最大の k を示す……	最大の K を示す……
256	左上から5行	この決論は……	この結論は……
258	左下から22行	中性子吸収物	中性子吸収材
"	左下から21行	化学的中性子吸収物	化学的中性子吸収材
"	左下から5行	……水中にボロンを入れる……	……水中に硼素を入れる
258	左下から4行	ボロジは長期全出力……	硼素は長期全出力……
"	左下から3行	出力時に炉の中にボロンを使	出力時に炉の中に硼素を使
"	右上から7行	残留ボロンの無い場	残留硼素の無い場
"	右上から11行	(1) 2 領域炉心が……	1. 2 領域炉心が……
"	右上から19行	(2) 出力運転中に……	2. 出力運転中に……
"	右上から26行	化学的中性子吸収物を残す	化学的中性子吸収材を残す
"	右上から29行	(3) ほゞ 2.5% に……	3. ほゞ 2.5% に……
"	右上から32行	(4) 現在の炉心設計……	4. 現在の炉心設計……
"	右下から12行	(5) もしすべての……	5. もしすべての……
259	図1.14	炉が出力域にあるとき…… 	炉が出力領域にあるとき…… 
"	左上から6行	1.6 グラムの天然ボロンを	1.6 グラムの天然硼素を
"	左下から17行	注入注出系を用いて……	注入抽出系を用いて……
"	左下から16行	最高の注水率は……	最高の注入率は……
"	左下から13行	注入注出率	注入抽出率……
"	図1.15	N_2O/U 体積比	H_2O/U 体積比

負荷断路器と自動接地開閉器の応用

C. W. Upton: Application of Load-break Switches and Automatic Grounding Switches. (Westinghouse Engineer. July 1957, P 103~P 105)

すぐれた消弧作用を有する媒体としての六弗化硫黄ガスを使用することによって遮断器と断路器の中間の能力を有する2種類の新しい開閉器が作られるようになった。機構としてはいずれも同じように六弗化硫黄ガスのはいった碍筒の中で開閉動作を行うが、目的はまったく違っている。すなわち一つは138 kVまでの600 Aの電流の遮断用であり、一つは196 kVにおいて20,000 Aまでの電流を短絡するためのものである。

屋外用負荷断路器

電力系統においてしばしば事故大電流を遮断する遮断器と保守の際に線路から機器を切り離すのにおもに用いられる断路器との中間の作用をする開閉器を必要とする。たとえめったに動作することのないために遮断器を用いることが適当でない所などでは負荷断路器が使用されるだろう。もちろん断路器でも15 Aぐらいまでならば変圧器励磁電流とかあるいは線路充電電流を遮断してはいるけれどもそれが成功するかどうかには風の状態が影響するので若干の危険がある。遮断器や断路器がいろいろの理由で好ましくないような代表的応用面としては変圧器励磁電流、線路充電電流、負荷電流の遮断であるがこの新しい負荷断路器は、このような場所への応用とか蓄電器バンクの開閉、線路の区分、並列負荷の投入や切り離し、電圧調整器の切り離しなどの応用のために設計されたものである。

新しい負荷断路器(VLB)は新形縦切断路器にガスを充填した遮断碍筒を取りつけたものであって、消弧作用の良いガスを使用しました。遮断碍筒の回路は當時は主回路で短絡されている

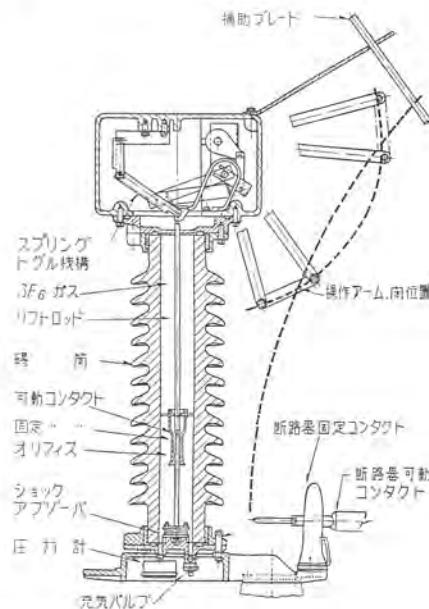


図1 VLB遮断碍筒

ので小さく軽くまた遮断部分は容易に操作できる構造となっている。

遮断部は密閉されているので、外部からのガスの供給設備とか、遮断操作のための補助機構とかを必要としない。ガスは操作中に消耗せず長い寿命を有している。

遮断部分は図1に示してあるとおりで、ガスの充填してある室内に軸方向ガス吹付の遮断機構がはいっている。スプリングトグル機構によって可動コンタクトは動かされるので、遮断速度は断路器部分の操作速度と無関係に一定である。六弗化硫黄ガス中でコンタクトが開放されるが実験によると115 kVの回路の遮断でも大気圧のガス中で6インチの距離を動かすだけでも十分であった。このことから遮断部が非常に小さく軽くできた。

六弗化硫黄ガス中の並形遮断でも高電圧で高い遮断能力を有しているが、強制的にイオン化していないガスを電弧に吹付けることによって相当高い遮断能力を有するようになる。ビストンとテフロン製オリフィスによってこの吹付を行っている。

下部の圧力計によって内部圧力が見えるようになっており、内部は2気圧のガスで満されているが1気圧のガスで十分の能力を有している。現場の経験によると2年半から3年ごとに再充填する必要があるようであるが、この圧力の低下はガス分子が密閉材料を通って拡散するためである。

VLBは15~138 kVに対して50%力率600 Aの電流を最少500回遮断できる。現地および工場の試験の結果この程度の遮断容量のものが実際に非常に有効であるということがわかった。他の特長は非常に簡単に据付けのできることである。

高速度接地開閉器

高速度接地ということは電力系統では別に新しい考ではないが、昨年新しい試みと開発がなされて、この高速度接地もまったく新規な魅力をもってきた。

ペンシルバニア電力会社が従来の短絡時間15~30 c/sの代りに5 c/sで196 kVの回路の20,000 Aの投入を行う高速度接地開閉器の作成をW社に要望した。この要望に答えて2台の開閉器が製作され上記会社のパックヴィル変電所に設置された。

高速度接地開閉器は電源側遮断器を省いた変圧器の内部故障の際に送電線を接地して送電線電源側遮断器を開放させるもので図2に代表的な例が示してある。すなわち変圧器内部事故の



図2 代表的接地開閉器応用例

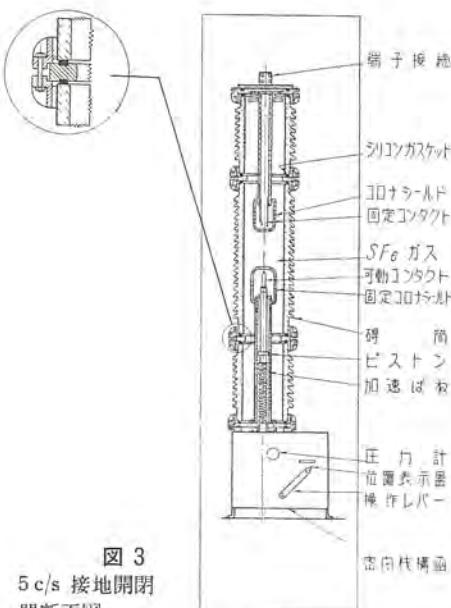


図3
5 c/s 接地開閉
器断面図

保護だけのために高圧側遮断器を設置するのが不経済である場合に接地開閉器で強制的に接地事故を起させると、この接地電流によって電源側のリレーが働き遮断器は開放し、変圧器の事故が大きくなる前に送電が停止される。普通の接地開閉器はブレードの動く形式で 15~30 c/s の投入時間が必要であるが、高速度遮断の考え方から適当でない。また普通のブレード形では結水の問題もある。

ブレードのまわる方式、碍子の回転する方法などいろいろと実験を行ったが、いずれも 5 c/s 投入には実用的でないことがわかった。そこで六弗化硫黄ガス中で軸方向動作をする方式をとった。図3はその構造を示すものである。上部に固定コンタクト下部にアルミニウムでできた可動コンタクトがあつて、これらも固定したシールドによって閉まれていて間隔を短くしても高い電圧に耐えるので投入距離がきわめて短くできる。

この 20,000 A の投入開閉器は結水の問題もないし 5 c/s 以下で投入でき、可動部分も少ないので保守はきわめてやさしい。六弗化硫黄ガスを使用しているのでコンタクトの消耗も少く、空気中よりも近く極間を配置でき、したがって投入時間もきわめて早い。

ガス圧力 1 気圧で十分の能力をもっているが、ガス分子が密閉材料を通して拡散することを考えて 2 気圧に充氣してあり一方なんらかの原因でガスが逃げた場合の安全のためには 0.8 気圧になると投入能力のあるうちに自動的に投入するようになっている。

5 c/s の投入開閉器を使用すれば搬送波とかバイロットワイヤ繼電方式によって電源側に連絡し遮断器を開放するのと同じ程度の高速度保護をすることになり、しかも保守も簡単、安価でより信頼度が高くなる。(伊丹製作所 亀山三平証)

W社シャロン工場の変圧器 テストセンタ

Transformer Test Center (Westinghouse Engineer, Vol. 17, No. 2, Mar. 1957, P. 47~49)

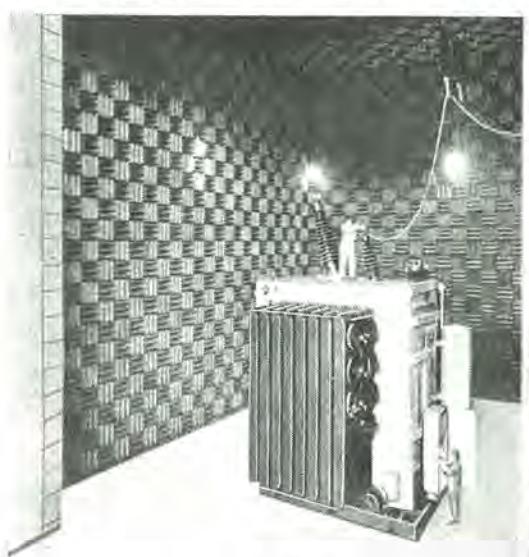
電力用変圧器の容量がいぜん増加の一途をたどるにつれて、開発、工作、試験などのための設備も、これに対応して進歩しなければならない。電力用変圧器は、単にその寸法を大きくすれば容量が増えるというような、簡単なものではなく、巨大な新製品は、そのおののについて、設計、開発、試験などを行わなくてはならない。このような要求を満たすために、W社の電力用変圧器の生産設備は、近年 30% 以上増大されたが、これに伴って、新しい変圧器テストセンタが完成された。これについては、本誌 1957 年 7 月号に、その大略が紹介されているが、ここでこの設備についてやや詳細に述べたいと思う。

この新テストセンタは、今後 10 年間に製作を予想される最大容量変圧器について、コマーシャルテスト、開発試験を行う設備を有している。これは、大体四つの部分に分かれている。すなわち、コマーシャルテスト用の設備、巨大な無反響室、種々の試験のための高圧試験設備、および高周波障害測定用の特殊室の四つである。これらの設備は、完全に組立てられた 50 万 kVA 以上のユニットについて、損失測定、温度上昇試験、騒音測定、耐圧試験などを含めた完全なテストを実施することができる。

無反響室

変圧器の騒音の原因は、いろいろ考えられるが、そのおもなものは磁歪現象である。鉄心中の交流磁束によって、鉄心の長さが周期的に変化し、音波を発生する。また冷却ファン、ポンプ、タップチェンジャーなどの付属品も、無視できない騒音源である。これらに加えて、変圧器各部の共振という困難な問題があり、共振が起った場合には、通常よりもはるかに大きな騒音を発生する。

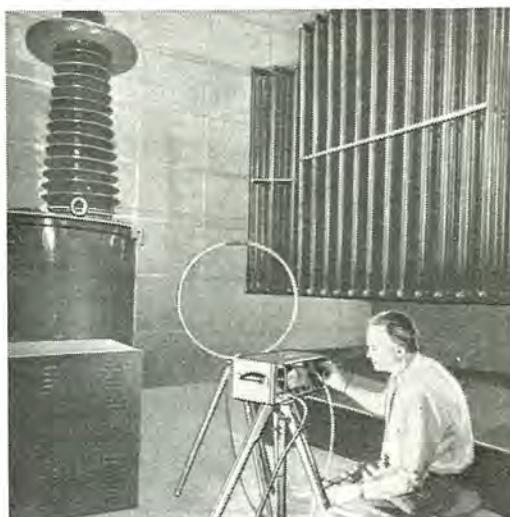
この新しい無反響室は、製品を試験して変圧器騒音の原因を探求し、さらに騒音の少ないユニットを製作するのに貢献するで



無反響室



105万V 試験用変圧器



高周波障害測定室

あらう、この室は大きなコンクリートの防音壁を有しており、その内部の寸法は、幅 55 ft, 奥行 70 ft, 高さ 60 ft である。これは、コマーシャルテスト用設備に隣接しているので、外部よりの騒音を遮蔽するために、このような重い防音壁が必要となった。この室の壁の構造は、外側のコンクリート壁から内側へ、9 in の空間、2 in 厚のファイバーグラスのブランケット、アルミニウム箔、枠組の上にとりつけられたじょうぶな合板、それから、もっとも内側には無反響にするためのファイバーグラスウェッジとなっている。この室は構造的に、他の建物から隔離されており、また高周波障害試験のために、電磁遮蔽を施してある。試験される変圧器は、レールによって、この室内に運びこまれるが、この室では、幅 30 ft, 高さ 40 ft, 重量 400 t に及ぶ変圧器を試験することができる。

この室を用いていろいろな新しい試験を行うことができる。たとえば、騒音の低い良好な変圧器の騒音周波数分布を、記録しておいて、他の変圧器のそれがこれと非常に異なったものであればこれを探知してその原因を確かめ、その対策を講ずる、というようなこともできる。試験のほかにいろいろな特殊研究も行うことができる。たとえば油入変圧器の内部に吸音材を配置することによって騒音を減ずることが考えられている。適当な材料が発見されれば、この方法で 10 db 減少させることができると言われるが、このような研究は大きく役立つであろう。その他のいろいろな方法もこの室によって発見されることが期待される。

高圧試験設備

これは、主としていろいろな絶縁材料およびその配置について絶縁構造を研究するのに用いられる。この設備は 520 万 V, 400 万 V, 60 万 V の三つの衝撃電圧発生設備と、三つの試験用変圧器をカスケードにした 105 万 V 交流耐圧試験設備、および 200 cm 玉間隙を有している。この設備はコマーシャルテスト、開発研究の両方の目的に用いられる。

高周波障害測定設備

変圧器の発生する高周波は、ラジオやテレビの受信を妨害するし、またこの高周波を測定することによって変圧器内部の電



コマーシャルテスト設備

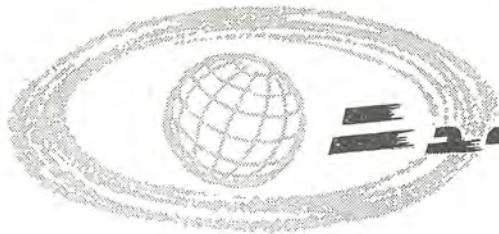
離作用の状態を或る程度知ることができるので、これの測定、研究をすることは重要なことである。前述のように、無反響室は電磁的遮蔽を施してあるのでこの目的にも用いることができるが、ほかにとくにこの目的のために設計された特別室がある。無反響室、高周波障害実験室へのすべての電気回路は高周波の侵入を防ぐためにフィルタを備えている。

コマーシャルテスト設備

これは、新テストセンタの第四の部分である。ここには同様の試験設備が二つあるので 2 台の変圧器について同様の試験を同時にを行うことができる。試験は一連の 60 c/s 試験、400 万 V 衝撃電圧発生装置によるサージテスト、105 万 V カスケード試験用変圧器による加圧試験、ついで 120 c/s 誘導試験の順に行われ、付属品その他もここで試験される。

これらの新テストセンタの設備は、今後 10 年間に製作を予想されるすべての変圧器に対して、完璧なものであり、またさらに遠い将来のための研究設備ともなっている。

(伊丹製作所 菅寿郎訳)



■ 電源開発田子倉発電所向 105,000 kVA 水車発電機

電源開発田子倉発電所向 105,000 kVA 水車発電機(立て形フランシス水車直結)は受注以来1年数ヶ月、工場をあげての努力により製作工程も順調に進み、大形機組立工場では現在最後の組立作業が行われている。

図1はリム積を完了した回転子である。回転子リムはプレスでダブテール溝、ボルト穴などを打抜いた薄鋼板扇形片を積重ねたもので、6枚で一円周を形成し、でき上り外径7m以上、積厚は2mを越している。

図2はコイル挿入を終えた固定子である。固定子枠は外径9.2m、16角形で外側には8個の空気冷却器を取付ける。固定子線輪は3並列、各回路はすべて外部に引出している。

図3は上プラケットである。図4は下プラケットである。推力軸受を納める油槽を兼ね、水車発電機の回転部荷重を支持する。油槽の外径は4mに近く、内部に収容する潤滑油量は10,000lをこえる予定である。

“本機の定格”

立て軸、傘形、回転界磁閉鎖風道循環形
105,000 kVA 13,200 V 三相, 50 c/s. 167 rpm



図1 回転子



図2 固定子



図3 上プラケット



図4 下プラケット

力率 0.9. 36 極、保証 $GD^2 = 13,600 \text{ t} \cdot \text{m}^2$

風道外径 11.5 m、全上高さ 3.7 m に及ぶ世界的にも屈指の大形大容量機であって、発電上の性能を満足せしめるはもちろんのこと、運転保守の便も十分考慮し、とくに外観の構造美には細心の注意を払っている。本機の特色は大体つきのとおりである。

1. 傘形構造の大形大容量機である。
2. 固定子線輪はダイヤラスチック絶縁を施したB種絶縁で1ターンコイル、渦流損減少のため溝内でローベル転位を行っている。
3. 推力軸受はミッチャエル形で、各セグメント上の負荷分布を均一にするよう、特殊な平衡ビームを介してボルトで支持されている。軸受調整は下部から行い負荷の大きさを直視できる構造である。

■ 台湾電力谷関発電所用 57,500 kVA 水車発電機 2台受注

当社は昭和30年に台湾電力天輪発電所に 28,500 kVA 水車発電機を納入し、昨年は滝澗発電所用として記録的な横軸水車

発電機 62,000 kVA を納入してそのすぐれた性能は好評を得ていたが、このたび当社としては田子倉発電所向に次ぐ大容量水車発電機を激しい国際入札の末に受注した。

谷関発電所は台湾電力が総力を擧げて開発実施中の大甲渓開発計画の一環として建設されるもので、さきの天輪発電所の上流に位し将来はさらに2台増設される計画であり、その上流にはまた達見発電所が建設される見込みになっている。

仕様を簡単に挙げれば次のとおりである。

発電機 $2 \times 57,500/50,000$ kVA ($80^{\circ}\text{C}/60^{\circ}\text{C}$)

13.8 kV 60 c/s p. f 90% 300 rpm

主副励磁機、自動電圧調整器、 15 kV キュービクル、配電盤、密閉母線、予備品。

■ 神戸製作所の工場拡張

神戸製作所では昨秋大物工場の拡張を完成し、その後銳意新配電盤工場の建設を急いでいたが、このほど竣工しすでに同所の増産態勢の有力な一翼となっている。大物工場の拡張に際しては、既設の大形水車発電機の試験用ピットのほかに、大形機械の製作組立に必要な十分の設備と床面積を持たせ、とくに重量物の取扱いには考慮を払って、床面は十分に補強されている。2台の200トン天井走行クレーンと相まって遺憾なく新鋭の威力を発揮している。目下田子倉発電所向 $105,000$ kVA 水車発電機の工事が進捗し、大形部品が続々と製作され近く組立試運転が行われる運びになっている。

新設された配電盤工場は2階建約1,600坪の作業面積を持ち、所要の工場設備のほか電気機器にはとくに有害な塵埃の発散を防止し、また製品の工場組立を容易にするための床面の配慮、大形螢光灯による照明、暖房および換気など衛生設備の面にも十分新しい考慮が払われている。近來躍進する生産の増大に対



拡張後の大物工場



新配電盤工場

し、従来の工場では作業面積狭隘のうらみがあったが、新工場の完成と共に配電盤ならびに関連機器の飛躍的増産が期待されている。

前記大物工場の拡張と新配電盤工場の完成により、従来重電機類製作に健実な歩みを続けた神戸製作所は一段とその地歩を固めることになった。

■ 電源開発南川越変電所用 312 MVA 変圧器受注

当社ではわが国における最大容量の変圧器として、東京電力中東京変電所用 260 MVA 変圧器を製作中であり近く完成されるが、今回受注した電源開発南川越変電所用 312 MVA 変圧器2台はさらにこれを上回る記録品で、同社田子倉発電所の電力を受電するものである。

つぎにこの変圧器の定格を示す。

電圧 一次 $275-262.5-250$ kV (中性点直接接地)

二次 154 kV (中性点抵抗接地)

三次 15.4 kV

容量 一次 240 MVA

二次 264 MVA

三次 120 MVA

等価 312 MVA

周波数 50 c/s

形式 特別三相 外鉄 Form-fit 形 送油風冷式

この変圧器の特長は上記 260 MVA 変圧器と同じく特別三相式構造の採用と冷間圧延方向性ケイ素鋼帯の使用により組立輸送を行なうものであって、このような世界的に見ても記録的大容量超高压変圧器を組立輸送することは、最近の当社輸送技術の進歩を示すものといえよう。

■ 交直両用電車完成す！

かねて試作中の交直両用電車が完成し、近く国鉄仙山線で各種の試験が行われることになった。

この電車は、交直両電圧区間を全出力で、しかも自由・安全に走行できるという画期的な電車で、つぎのような特長を有している。なお、この電車の完成によって、今後交流電化を進めて行く上の懸案事項であった交直接続方式を解決し、大きな成果を収めた。

特長

1. 交直両電圧区間を全出力で、しかも自由・安全に運転で



交直両用電車

きる。

2. 電圧切替方式は無電圧区間を介して行う方式であるため、装置、回路が簡単・確実で切替操作も手動式のほか自動式にもすることができます。

3. 電源車+電動車の2両編成をもって1ユニットとしてあるが、このうち電動車は従来の直流電車をごく一部変更するだけで転用でき経済的である。

4. 主変圧器や整流装置は、とくに電車用として設計したもので、いろいろの工夫を施して小形軽量に納めている。

5. 電気回路には万全の保護装置が設けてある。すなわち、交直切替時に起る不測の事故に対しては誘導警報装置により、また交直混触に対してはそれぞれの冒進保護装置により主回路を開放するほか、主変圧器やコンデンサには不燃性油を用い万一の場合でも火災を起すことなく安全である。

性能要目

編成	電源車+電動車 2両固定編成
自重(空車時)	34t+50t
電気方式	単相交流 50 c/s 20 kV および直流 1,500 V
1時間定格	
出力	568 kW
速度	63 km/h (60% SF)
引張力	3,200 kg (〃)
最大運転速度	95 km/h
主変圧器	外鉄形フォームフィット送油自冷式 440/418 kVA, 20 kV/1855-212 V
整流器	液冷密封式イグナイトロン 8 in タンク 4本
制御方式	自動加速式抵抗および弱界磁制御
交直切替方式	電磁空氣式、無加圧区間切替方式
主電動機	MT 40B (DC 750 V 142 kW) × 4 台

■ 三相交流機関車完成

かねて、川崎製鉄向として製作中であった三相交流、20トン電気機関車1両はこのほど完成し同社千葉工場に納入した。

この機関車は、炉に発生した灼熱コークスを消火して排出する消火車を牽引するもので、この種用途には必要欠くことができない。



三相交流電気機関車

おもな特長はつきのとおりである。

- 一般工場用電源(三相交流)で運転できる。
- 標準の三相誘導電動機1台で、二動軸を同時に駆動する方式のため、運転操作が簡単であると共に点検保守も容易である。
- 3本の電車線より集電するが特殊なパンタグラフを用いてあるので離線の恐れがない。
- 機関車出力は75 HPで65トンの消火車を牽引し、ブッシャの速度に応じ10トンのコークスを受入れながら円滑に走行しうる。
- ブレーキ装置はもとより、牽引消火車の扉開閉操作も圧縮空氣式で、自動的に制御しうる。
- 機関車は、消防作業その他を監視できるよう万全の考慮が払ってある。

■ 内部冷却発電機製作進む

大形タービン発電機を内部冷却形で製作することは世界の趨勢である。長崎製作所では、この種新形発電機を2台製造中であるが、両者同一定格で国産3,600 rpm機として記録的大容量発電機である。それぞれ関西電力会社、九州電力会社に設置せられる。

新形発電機は水素冷却式で固定子コイル、回転子コイルが内部冷却となる点において著しく普通構造機と異なる。とくに回転子コイルは従来製作したものとは根本的に異なるので、この加工をするため特殊ベンディングマシンなどを設置した。第1台目は昭和34年上旬完成する予定である。

定格	出力 208,696 kVA 177,393 kW 60 psig 192,000 kVA 163,200 kW 45 psig
	電圧 18,000 V
	加率 85%
	周波数 60 c/s
	回転数 3,600 rpm
励磁機容量	975 kW (減速ギヤーを介して発電機に直結)

特長

- 回転子寸法が小さいので信頼性ある軸材を使用できた。
- 発電機基礎の費用、回転子引抜き長さの減少。
- クレーンが小さくてすむ。
- 冷却方法を機械全体にわたって均一にした。
- 複流形密封油処理式を用いガス消費量を小にし、しかもガス圧に無関係とした。
- 固定子鉄心の2倍周波数振動吸収装置をつけた。
- 固定子コイルにダイヤレジン絶縁を採用した。



機工中の内部冷却回転子

■ 京都市交通局トロリーバス用電機品受注

京都市交通局では大規模のトロリーバス化を計画されているが、これが第一次として四条大宮一梅津間 3.7 km に使用するトロリーバス 10両分の電機品を受注した。

この電機品は米国のクリープランド、ボストンなどで好成績を収めている Westinghouse 社製品を基本とし、しかも日本の実情に合うよう設計されたもので、大略つきのような仕様・特長を有している。

このトロリーバスは 10月1日より開通予定で、開通のあかつきには、従来のトロリーバスでは見られない高性能が發揮されるものと期待されている。

1. 主電動機は 1両当たり 1台装備し、仕様は DC 600 V, 140 HP, 1,700 rpm (65% 分路) で界磁コイルは直巻コイルのほか分巻コイルを有するいわゆるスーパー・シリーズモータである。
2. 起動時は通常の電気車同様直巻電動機として働くので、速度一引張力特性がすぐれている。
3. 電気制動は直巻コイルを使用せず、分巻コイルを特殊の差動回路に入れ働くかせるので、一つのステップで高速より低速までほぼ一定の制動力が得られ、しかも器具は簡単ですむ。
4. 起動・制動ともペタルの踏み加減により、加・減速度を自由に選ぶことができる。

■ 三菱金属鉱業川口第二発電所竣工

この発電所は北上川支流一迫川の総合治水対策として建設された宮城県営花山ダムの一環として三菱金属鉱業(株)が計画されたものであって、発電所の機器一式の製作ならびにこれが据付は当社が一括受注し昨年末竣工したものである。

発電機 1台

立軸回転界磁閉鎖風道換気形三相交流同期発電機
(容量) 1,900 kVA (電圧) 3,450 V (同波数) 50 c/s
(回転) 500 rpm ダイヤレジンコイルを使用した。

水車 1台 (新三菱重工業製)

立軸単輪単流うず巻カブラン水車
(容量) 1,750 kW (有効落差) 22.65~10.7 m
(回転) 500 rpm

変圧器および配開器具 一式

3,450 V 以下は屋内に施設されたがこれらの電気品にはすべて乾式絶縁のものが採用された。すなわち



川口第二発電所全景

ニュース フラッシュ



発電機

3DH-15A 形	しゃ断器	3,450 V	600A	100 MVA	3 台
3DH-5 形	しゃ断器	3,450 V	600A	50 MVA	2 台
所内変圧器		30 kVA	単相	3,450 V / 105 V	3 台
計器用変成器 一式					

主変圧器 (3,450 V/34,500 V) および 34,500 V 側の機器は建屋に隣接して屋外に設置された。

配電盤および制御装置

この発電所は下流約 2,000 m の地点にある川口第一発電所(三菱金属鉱業)を親発電所とする遠方監視制御発電所である。遠方監視制御方式は同期選択式が採用され、バイロットワイヤは第一第二発電所間の 33 kV 連絡送電線に吊架されている。

またこの送電線も当社が建設しパンザーマストが使用された。

■ 水銀燈の生産本格化す

当社の水銀燈は 20 年以上の歴史をもち製品は水銀溜電極の太陽燈から出発して青写真焼付用水銀燈、超高圧水銀燈その他特殊水銀燈およびこれらの応用と最近は照明用の高圧および螢光水銀燈が主なものであった。この照明用の水銀燈の需要が近來とみに増加したことと、社内事情によって水銀燈の生産部門が昨年 10 月より無線機製作所管球製造部に第三製造課として発足した。

今まで研究室の中で生産を行っていたため、設備陣容その他に不備の点があり客先および販売関係の諸氏にご迷惑をかけた場合も少くなかつたことをこの紙上で深謝すると同時に現在では面目を一新して生産に努力していることをご紹介すると共に関係各位のご指導ご鞭撻をお願する次第である。とくに最近に至り今までと変わった点を二、三列記すると

1. 品質の向上と均一性

- 発光効率の良好と演色性の優秀は他社の追従を許さない。
2. 寿命の長いことも同様である。
 3. 工作法の改良により量産体形が整い、月産、数千個の製造が容易となり、製品歩留の飛躍的な向上も相まって価格の大削減が可能になった。
- 今後は照明用のものばかりでなく青写真用のもの、殺菌燈も本格的生産を行い、良品を安くしかも豊富に供給すると共にいろいろな面でのサービスにおいても万全を期しているのでなおいっそうのご愛顧をお願する次第である。



量産される水銀燈

■ 秩父セメント向 2,500 Mc-SS-FM 多重無線装置受注

今回秩父セメント株式会社向 2,500 Mc SS-FM 多重無線装置一式を受注した。この装置は同社本郷分室および羊山を両端局、釜伏を中間中継局とするマイクロ波回線と有線、搬送ケーブルを結んで本社、秩父第一工場を結ぶトールドイヤル多重電話中継回線の幹線ルートを構成すると共に釜伏、羊山より 400 Mc 回線に分岐して周辺各工場間を連結するものである。

この装置は 2,500 Mc 帯 FM 無線機、48CH SSB 端局装置、空中線およびその他の付属装置より構成される。無線機は各局とも予備機を併置し故障時自動切替を行う。空中線は送受共用とし直径 3 m および 1.2 m のパラボラ空中線である。また釜伏中継局は完全無人局とし遠隔制御ならびに遠隔警報表示を行いうる設計である。

仕様の概要は次のとおりである。

無線機

周波数	2,460 Mc および 2,580 Mc
送信出力	2 W
変調方式	FM
変調周波数	0.3~224 kc
受信方式	单一スーパー・テロダイブ方式
受信機帯域幅	6 Mc
受信機雑音指数	12 db 以下

端局装置

伝送方式	搬送波阻止単側帶波方式 (SSB)
通話路容量	最大 48 CH
最高周波数	224 kc
音声周波数	300~3,400 c/s
空中線	
反射鏡直径	1.2 m および 3 m
インピーダンス	50 Ω
VSWR	使用周波数において 1.3 以下
利得	直径 1.2 m 25 db 以上 〃 3 m 32 db 以上

■ 三菱原子力会社発足

かねて設立準備中であった三菱原子力工業株式会社は去る 4 月 1 日三菱本館で創立総会を開催し、即日設立の登記を終り正式に発足した。

新会社の取締役社長には当社の関社長が就任し、三菱グループの原子力開発を継承して原子力の平和利用に関する研究、技術指導、原子炉および原子動力設備の設計、製作ならびに原子燃料の成形加工などを事業目的としている。

■ NA-2 形自動電気釜 (1 升炊き)

当社の電気釜製作の歴史は約 30 年にわたっており、わが国で最も古い経験を生かして製作したのがこの電気釜である。

方式は直接加熱式で内釜の底に発熱体を密着させてあり釜は完全密閉形で熱効率がよく短時間で炊き上る。他の方式よりも電力消費量が 3 割少ないと大きな特長といえるが、電気釜の生命である熱動スイッチは Westinghouse 電機会社特許のスナップアクション式を採用、接点は最高級の銀一酸化カドミを使用、バイメタルはドイツの G. RAU 社のもので実に正確に作動する。

その外に炊き上りが一目でわかるパイロットランプ付、ふきこぼれしない形状の蓋、酸化したり汚れないアルマイト処理の外釜、内釜などすぐれた長所をもっている (¥ 4,500)



NA-2 形自動電気釜



電力系統の充電電流補償方式

発明者 藤井重夫・森健

保護系統の全流入出電流の位置またはベクトル量を相互に比較して故障を検出する方式の保護繼電器においては、電流ベクトル量伝達方式のいかんを問わず線路の分布静電容量を補償する必要があり、そのためには線路電圧に比例する電圧を任意の静電容量に印加し、その充電電流で補償すればよいことは明かである。しかし線路 R.S.T の静電容量は図 1 のように線路大地間静電容量 C と線間静電容量 C' とに分解され、線路に対称に印加された電圧、すなわち正相逆相電圧に対しては一相当り $C + 3C'$ に対する充電電流を補償するのみでよいが、接地故障がある場合には零相電圧は C のみを充電することを考慮しなければ完全な補償を行ふことはできない。

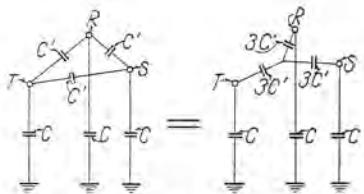


図 1

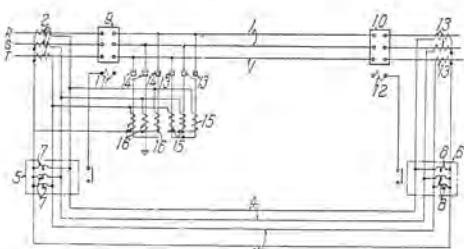


図 2

この発明は以上のような正相逆相電圧による充電電流と零相電圧による充電電流とを区別して線路電圧のいかんに係わらず完全に充電電流を補償する方式に関するもので、図 2 に

おいて、その一例を説明する。図において保護系統(1)の両端に同一変成比の変流器(2)(3)を設置し、両端から同一電流が流入する場合に変流器二次側を電流が循環するように表示線(4)を用いて相互に連絡し、両端には継電器(5)(6)の動作線輪(7)(8)が表示線を短絡するように接続しておけば、動作線輪(7)(8)には両端流入出電流の差電流のみが流れる。したがって保護系統(1)内に故障が発生すれば故障電流に比例する電流が動作線輪(7)(8)を流れ継電器(5)(6)を動作せしめ、両端遮断器(9)(10)のトリップ線輪(11)(12)を付勢し故障区間を切離す。ところが保護系統(1)には上述の C, C' を示す対地・線間静電容量があり、これへの充電電流が両端流入出電流の差電流となり継電器(5)(6)の動作線輪(7)(8)を付勢することとなる。このための継電器(5)(6)の誤動作を防ぎ、動作感度を十分鋭敏に保つために、蓄電器(13), (14), 変流器(15)(16)よりなる充電電流補償装置を設ける。蓄電器(13), 変流器(15)は線路の線間容量 C' に対する充電電流を、蓄電器(14), 変流器(16)は線路の大地容量 C に対する充電電流を補償する。すなわち蓄電器(13)(14)の静電容量を C_1, C_2 , 変流器(2)(15)(16)の変成比を K_1, K_2, K_3 とし、 $\frac{C_1}{K_2} = \frac{3C'}{K_1}, \frac{C_2}{K_3} = \frac{C}{K_1}$ なる関係を持たせておけば、変流器(15)の二次電流は線間容量 C' に対する充電電流の変流器(2)(3)の二次側電流に等しく、変流器(16)の二次電流は対地容量 C に対する充電電流の変流器(2)(3)の二次側電流に等しい。線間容量 C' は正相逆相電圧にのみ関係するものであるから、蓄電器(13)の充電回路の中性点を接地せず、対地容量 C は零相電圧にも関係するものであるから蓄電器(14)の充電回路は中性点を接地する。したがって変流器二次側から見た場合、 C' と蓄電器(13), C と蓄電器(14)とは全く等価であり、図のように変流器(2)(3)の二次差電流を打消すように変流器(15)(16)を接続すれば、充電電流に相当する差電流は完全に補償されることになる。(特許 231106 号)

(葛野記)

==== 最近における当社の社外講演一覧 ====

講演月日	主 催	演 题	講 演 者	所 属
6月 29日 7月1, 3, 5, 9日	三菱電機(札幌, 小樽, 鈴鹿, 旭川, 函館, 各地産業会館)	三菱螢光燈, 高圧水銀燈, 積層燈, 健康灯	三宅桂吉・山下源一郎	本社・大船
7月 17日	東京電力(東京小山児童文化会館)	三菱螢光燈, 高圧水銀燈	山下源一郎	大船
7〃 31〃	日本工業経済連盟, 日本熔接協会, 原子力研究委員会	加圧水型原子力発電所	前沢芳一	本社
8〃 13〃	大阪住友金属钢管製造所	Industrial Engineeringについて	和田巖	本社
8〃 17〃	32年度電気関係学会関西支部連合大会	電力用シリコン整流器	加藤又彦	伊電
8〃 17〃	"	並列回路合成インピーダンスの図式解法	岡田昌治	"
8〃 17〃	"	衝撃電圧比較試験器による電車電動機の絶縁試験法	岩崎晴光	"
8〃 19〃	東京電力(東京電力幡ヶ谷サービスステーション)	三菱螢光燈	三宅桂吉・山下源一郎	本社・大船
8〃 21〃	電気学会北海道支部	無接点継電方式	浜岡文夫	研究所
8〃 23〃	"	誘導電動機を用いた巻上機の速度制御	"	"
8〃 24〃	32年度電気関係学会関西支部連合大会	超高压電力機器について	大中臣輔	伊電
8〃 27〃	日科技連アナコン短期セミナー	非線形要素の近似的取扱法偏微分方程式の解法	馬場準一	研究所
9〃 5〃	電源開発株式会社	燃料要素の電気的バーン・アウトテストの問題点	迎久雄	本社
9〃 10〃	北陸電力, 三菱電機富山営業所	134 MW 及び 230 MW 加圧水型原子力発電所について	前沢芳一	"
9〃 13〃	大阪 QC 研究会	QC 教育について	和田巖	"
9〃 18〃	MAP ジルコニウム分科会	ジルコニウムの高温酸化	前川立夫	研究所
9〃 21〃	日本短波放送大阪支店	標準化講座	前田幸夫	本社
9〃 21〃	放射線利用講習会	工業用放射線源	菅野正雄	研究所
9〃 25〃	規格協会 QC セミナ応用コース	工場管理からみた品質管理	前田幸夫	本社
9〃 25〃	紫翠会(大阪工業クラブ)	避雷器に関する最近の諸問題	大木正路	伊電
9〃 25, 26〃	火力発電技術協会	発電用原子炉の種類と構造原子炉の運転と制御	横須賀正寿	研究所
9〃 27〃	日本産業会議, 中部電力懇談会, 東海工業教育協会	加圧水型原子力発電所	前沢芳一	本社
9〃 27〃	北海道電力株式会社	134.000 kW ヤンキー原子力発電所について	川口修	"
9〃 27〃	電気三学会関西支部(大阪中央クラブ)	電力用半導体整流器の現状	加藤又彦	伊電
9〃 28〃	電気学会東海支部	交流計算盤	早瀬通明	"
9〃 29〃	通信用磁性材料研究会	トーレーサーによる B-H カーブ測定法	水上益良	大船
9〃 30〃	東北電力株式会社	13400 kW ヤンキー原子力発電所について	川口修	本社
10〃 1〃	兵器工業会	GM と一般産業	小田達太郎	無電
10〃 5〃	輻射科学第 1-5 部会	Van de Graaff 加速器について	今村元	研究所
10〃 10〃	応用物理学会	水銀拡散ポンプの冷却効果について	藤永敦	"
10〃 10〃	四国電力本社	134 MW 原子力発電所について	川口修	本社
10〃 11〃	オーム社	交流遮断器の今昔	浅井徳次郎	"
10〃 14〃	中国電力本社	134 MW 原子力発電所について	川口修	"
10〃 14〃	日本金属学会	ジルコニウムおよびその合金の高温酸化	前川立夫	研究所
10〃 18〃	電気協会神戸技術部会	新しい照明用光源	山下博典	"
10〃 21〃	東京大学	24.000 Mc/s レーダについて	渡部優	無電
10〃 22〃	粉末冶金技術研究会	フェライト系磁性材料	中村弘	大船
10〃 26〃	32年度電気関係学会関西支部連合大会	大電流容量ゲルマニウム整流器	清水潤治	研究所
10〃 26〃	"	純縁油の劣化におよぼす紫外線の影響	白井万次郎	"
10〃 26〃	"	工業用テレビジョンの応用	馬場文夫	無電
10〃 26〃	京都自動制御研究会	繊維工業におけるオートメーション	宗村平	本社
10〃 26, 27〃	32年度電気関係学会関西支部連合大会	ED70 形イグナイトロン電気機関車	小川清一	伊電
"	"	電力用シリコン整流器	加藤又彦	"
"	"	衝撃電圧比較試験器による電車電動機の絶縁試験法	岩崎行夫	"
"	"	並列回路合成インピーダンスの図式解法	岡田昌治	"

==== 最近における当社の社外講演一覧 ====

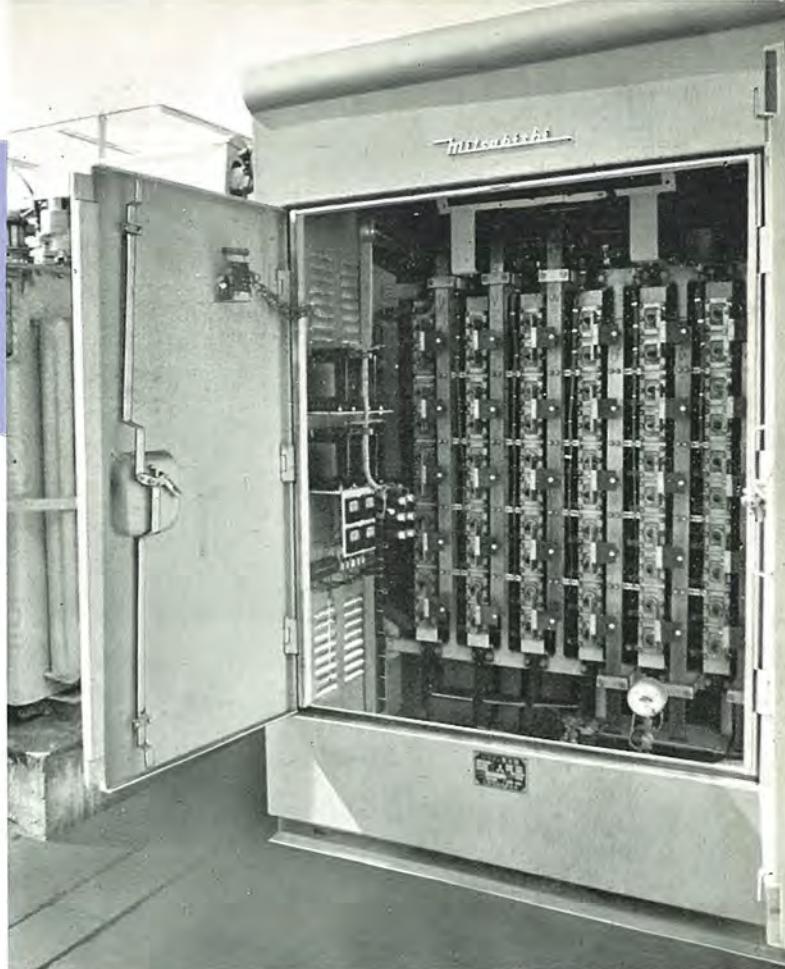
講演月日	主 催	演 题	講 演 者	所 属
10月26, 27日	32年度電気関係学会関西支部連合大会	超高压系統の諸問題	大中臣輔・田宮利彦・新井正元・大木正路・岡田昌治	伊電
10〃 26〃	関西電気5学会（大阪府立大学）	工業用テレビジョンの応用	馬場文夫	無電
10〃 27〃	32年電気関係学会関西支部連合大会	同軸形無反射抵抗内の電磁界に対する考察	小林	"
10〃 28〃	通信学会アンテナ研究専門委員会	大口径パラボラアンテナ	樋本俊弥	"
10〃 28〃	阪大工学部	大口径パラボラアンテナ	喜連川隆・竹内宏	研究所
10〃 29〃	日刊工業社 絶縁材料講習会	電気機器における最近の絶縁方式について	森田義男	"
10〃 30〃	通信学会航空電子機器研究専門委員会	24,000 MC Radarについて	渡部 優	無電
10〃 30〃	照明学会東京支部	高圧水銀燈講演会	小椋義正	"
10〃 30〃	電気通信学会航空電子機器研究専門委員会	24,000 Mc/s Radar	渡部 優	"
10〃 30〃	照明学会	高圧水銀燈の製品施設紹介	山下源一郎	大船
11〃 3〃	全国鉛山協会東海支部大会	不発電気雷管の検出装置について	馬場文夫	無電
11〃 5〃	住友電工本社	生産技術の管理について	前田幸夫	生技
11〃 6〃	浮選研究会	最近の高磁力選鉱機について	高島秀二	大船
11〃 6, 7〃	規格協会関西支部	採取検査（標準化と品質管理ゼミナード）	吉川 洋	生技
11〃 7〃	新三菱大江工場	三菱抵抗溶接機	馬場利彦	伊電
11〃 11〃	中部鍍金技術研究会、中部鍍金組合、名古屋市工業研究所	メッキ工場品質管理	今泉喜平	名古屋
11〃 11〃	東北7県電力使用合理化協議会 花巻	①モートルの故障と診断 ②制御器具の故障と対策	関野 博・高見 澄	名電
11〃 13〃	〃 山形	〃	〃	"
11〃 15〃	日本機械学会、精機学会東海支部	電動機用ステーターコアーコンバウンドダイについて	杉山道治	名古屋
11〃 15〃	東北7県電力使用合理化協議会 郡山	①モートルの故障と診断 ②制御器具の故障と対策	関野 博・高見 澄	名電
11〃 15〃	人工鉱物討論会	硫化亜鉛単結晶の生成	立原芳彦・栗津健二	研究所
11〃 15〃	溶接学会	18-8ステンレス鋼の溶接におよぼすバウダカットの影響	石原克己	"
11〃 16, 22, 24〃	幅研 2, 3, 4 部会	指向性コニカルヘリックスアンテナ	喜連川隆・信岡正祐・有田不二郎	"
11〃 16, 22, 24〃	〃	無指向性誘導体アンテナ	岩佐 実	伊電
11〃 16〃	溶接学会秋季学術講演会	18-8ステンレス鋼におよぼすバウダカットの影響	浜岡文夫	研究所
11〃 19〃	愛知県電力協会オートメーション講習会	サイバトロン	浜岡文夫	研究所
11〃 19〃	〃	電気式衡器	吉山祐二	"
11〃 20, 22, 29〃	日本建築学会	JIS新規格乗用エレベータのカゴ及び昇降路寸法	木村武雄	本社
11〃 24〃	通信学会全国大会シンポジウム	5,300 MC 帯出力 300 kW マグネトロンの試作	戸田哲雄	研究所
11〃 27〃	京都府立工業指導所講習会	放電加工の研究	斎藤長雄	"
11〃 28〃	国鉄田端電修場	直流変換装置とその将来性	加藤又彦	伊電
11〃 28〃	碧南市商工会議所	電動機の選び方とその問題点	関野 博	名電
11〃 29〃	関西電力南営業所	照明用拡散材料の光学的特性	八島英之	研究所
11〃 30〃	日本能率協会	MAP1 の例題について		

==== 最近登録された当社の特許および実用新案 ====

区別	名 称	特許又は登録日	特許又は登録番号	発明考案者	所属場所
特 許	導波管濾波装置	32- 9- 5	234631	東野義夫	無線機
"	主幹制御器	32- 9-10	234694	武田英夫	長崎
"	電気弁の格子制御回路	"	234695	平塚 鑑	研究所
"	冷蔵庫	32-10-29	236168	石川嘉孝・木下忠男	静岡
"	回転電機の回転速度検出装置	32-11-27	237170	武田英夫	長崎
"	輪円偏波率測定器	33- 1-23	238523	喜連川隆	無線機
新 案	回路遮断器の接触子	32- 7- 3	463152	森 鉄哉	名古屋
"	静電塗装装置	32- 8-16	464387	立原芳彦・秦卓也・前川立夫	研究所
"	電気機器端子	"	464388	岩崎晴光・佐藤五郎・安藤安二	伊丹
"	さし込みプラグ	"	464389	東邦弘・祖父江常雄	名古屋
"	テーパー嵌合締付用ボルト	"	464390	高松利夫	姫路
"	緩衝装置	"	464391	津村 隆	無線機
"	ダイナミックスピーカー	"	464392	山下精一・藤木 一	"
"	油コシ器	"	464393	陣内敏太	長崎
"	限時形電磁装置	"	464394	広瀬 薫	福山
"	界磁調整器制御装置	"	464395	川添 晃	神戸
"	螢光燈ソケット	"	464396	船田淳三	大船
"	螢光燈ソケット	"	464397	山下源一郎・田中民雄	"
"	制動装置	32- 9- 6	465072	清水一郎	長崎
"	螢光燈用ソケット	"	465073	山下源一郎・今泉令彌	大船
"	磁石発電機	32-10-28	467189	三木隆雄	姫路
"	計器繼電器用制動装置	32-10-29	467274	加藤義明	福山
"	磁石発電機の鉄心	"	467275	大村半弥	姫路
"	スピーカ・コーン	"	467276	山下精一・藤木 一	無線機
"	内燃機関保護装置	33- 1-28	470826	岡本弘之	姫路
"	内燃機関点火自動進角装置	"	470827	森本 保	"
"	液体抵抗器	"	470828	武田英夫	長崎
"	内燃機関点火自動進角装置	"	470829	森本 保	姫路
"	内燃機関点火自動進角装置	"	470830	大村半弥	"
"	湿式磁気選鉱機	"	470831	河合 登・小堀富士雄 柳下儀兵衛	大船
"	小型直流機の整流子	"	470832	万谷 広・神浦秀太郎	長崎
"	変流器	"	470833	武藤 正	福山
"	磁心入線輪	"	470834	平岡敏也	無線機
"	浮遊いかだ	"	470835	尾島学二・成沢一男	世田谷
"	放電加工装置	"	470836	齊藤長男・岩村武志	研究所
"	ダイヤル操作軸支持装置	"	470837	牟田克己	無線機
"	巻上機の非常制動装置	"	470838	清水一朗	長崎
"	電気車電気制動装置	"	470839	北川和人	伊丹
"	電気車制御装置	"	470840	"	"
"	誘導子回転型磁石発電機	"	470841	宮崎秀夫	姫路
"	エスカレータ	"	470842	堀田鉄太郎・木村武男	本生技・阪宮
"	ミシンの布押え圧調節装置	"	470843	三津沢武夫・堀内義憲	和歌山
"	内鉄型変圧器	"	470844	田宮利彦	伊丹
"	磁石発電機	"	470845	宮崎秀夫	姫路
"	真空攪拌装置	"	470846	伊藤公男	研究所

日本最初の 電力用シリコン整流器

整流器界の最尖端をゆき各種の特色ある電力用整流器を開発、製作してきた三菱電機が完成した電力用シリコン整流器は日本最初のもので、三菱化成黒崎工場へ納入、直流 125 V, 2,100 A 電解用直流電源として好成績で運転中である。



シリコン整流器（三菱化成黒崎工場納）



外観

仕様

3.3 kV 受電 60 c/s の 80 kVA 誘導電圧調整器	1 台
300 kVA 油入自冷式変圧器	1 台
一次星形 二次三角形接続	
液冷式シリコン整流器	1 台
262.5 kW 125 V 2,100 A 125% 過負荷	
速応ヒューズ サージ吸収装置 定電流装置一式を含む	

特長

1. 液冷式全閉形屋外用キューピックルである。
2. 全自動無人変換装置である。
3. 速応ヒューズ付、自動警報方式。
4. 出力直流電圧調整は誘導電圧調整器で自動的に行う。

昭和 33 年 4 月 17 日 印刷 昭和 33 年 4 月 20 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	大久保謙	常任委員	宗村	平二和彦
副委員長	石川辰雄	委員	岡屋	一隆
常任委員	浅井徳次	"	藤原	精貞芳真
"	荒井潔	"	内村	立竹津松
"	安藤二郎	"	尾又	又郎
"	木下富次	"	上村	八宗
"	小堀雄一	"	市	明郎
"	高野得一	"		
"	馬場光文	"		
"	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
發 売 元	東京都千代田区神田錦町 3 の 1 株式会社オーム社書店	電話 (29) 0915・0916 振替 東京 20018