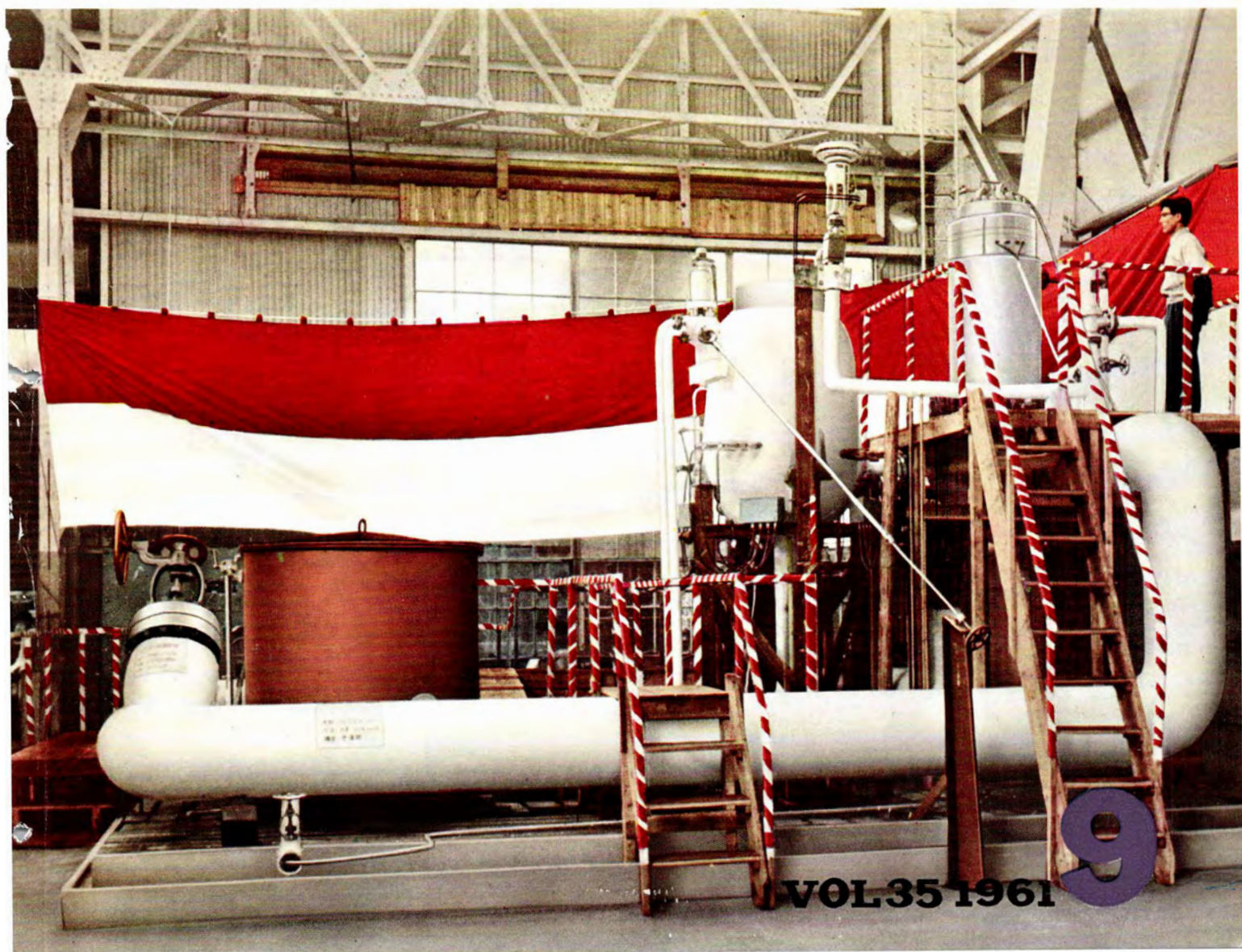


MITSUBISHI DENKI

三菱電機

350 kVA キャンドモータポンプ および テストループ



VOL 35 1961

9

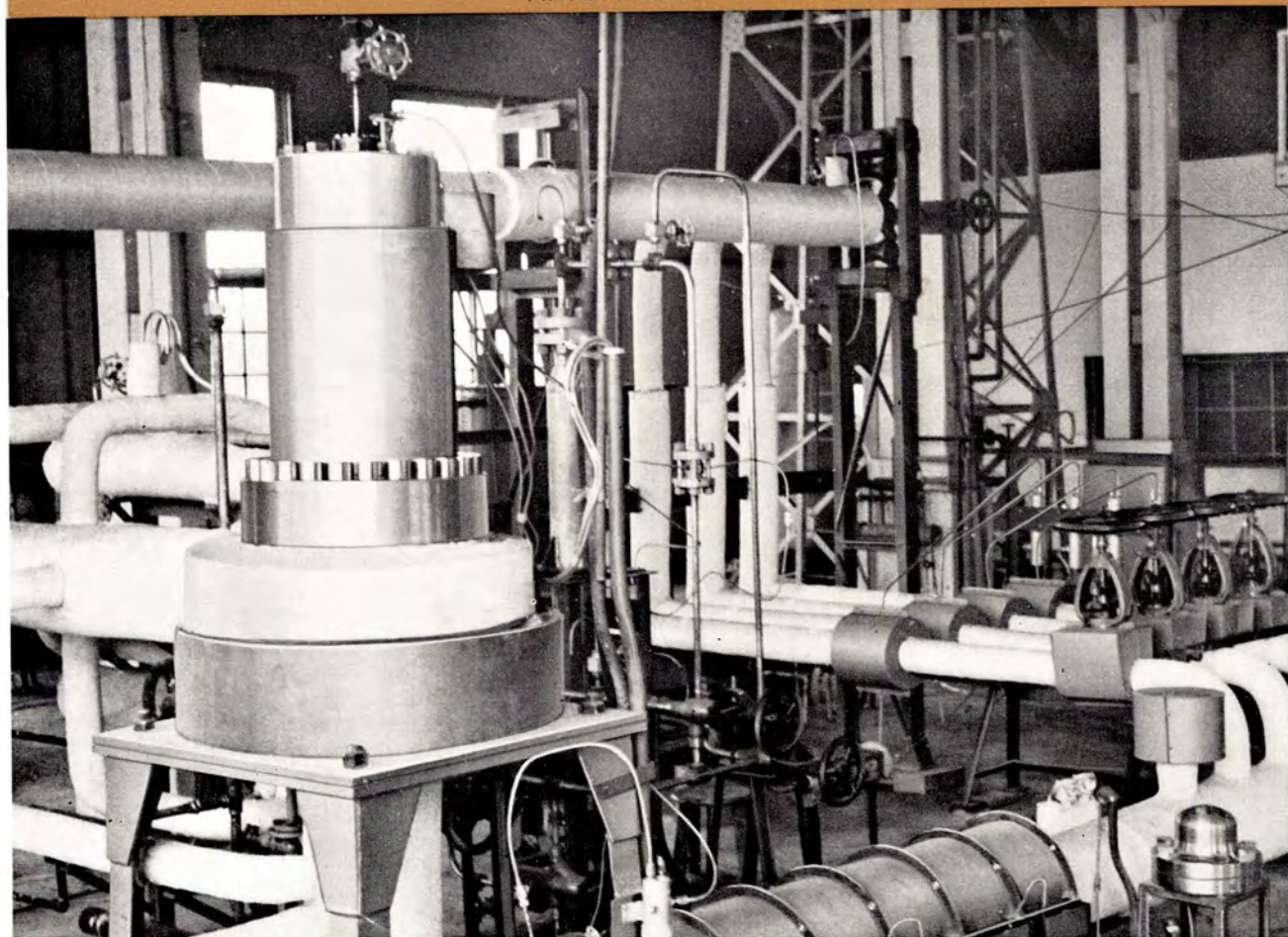
● 高温高压水強制循環式動的腐食試験ループ

当社は、本文記載のように 350 kVA キャンドモータポンプ を昭和 33 年度の原子力平和利用研究補助金を得て完成したが、これよりさき、昭和 31 年度にも同様の補助金を得て 15 kW キャンドモータポンプ の試作を完成、これをさらに改良し、あらたに写真に示すように三菱原子力工業株式会社研究所の 動的腐食ループ用のものを製作納入した。

定格はつぎのとおりでこの キャンドモータポンプ により常用 300°C、140 気圧の高温高压水を強制循環させ 原子炉用材料の腐食研究が行なわれている。

容量	13 kW (入力)
電圧	200 V 50 c/s
絶縁階級	H
回転数	3,600 rpm
二次冷却水量	0.4 m ³ /h
ポンプ 揚程	24 m
流量	60 m ³ /h

高温高压水強制循環式動的腐食試験ループ





表紙説明

昭和33年度の科学技術庁の補助金交付を受けて、350 kVAのキャンドモータポンプを製作した。これはわが国最大のものであり、圧力140 kg/cm²、温度300°Cの流体を全然漏れなく循環させることができる。完成後ステンレス製のテストルーに組み込んで、高温高压で総合試験を実施した。写真はキャンドモータポンプおよびテストルーの全景である。



三菱電機

昭和36年 第35巻 第9号 (キャンドモータポンプ特筆)

目次

キャンドモータポンプの概要	山田良平・片山仁八郎	2
350 kVA キャンドモータポンプ	谷 光雄・甘粕忠男	6
キャンドモータポンプの試験	角正隆夫・遠藤裕男・軸丸正行	14
キャンドモータポンプの据付、運転、保守	中村正二・遠藤裕男	23
東京電力株式会社納め 10,000 kVA 負荷時タップ切換変圧器 CR-URA 形	小林国雄・米沢輝雄・山内 敦・安孫子博	32
近畿日本鉄道恩智変電所電機品—3,000 kW シリコン整流装置—	新名昭吉・嶋田政代士・坂田邦寿・横島洋志・鈴木一男	38
工作機の数値制御用プログラム方式	吉江高明・首藤 勝	45
CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M 形過電流継電器	森 健	53
新形リレーケース (M 形引出形継電器箱)	藤井重夫・森 健・井村利春	61
三菱 C コア	荻野 脩・清水英範	68
焼結形 CdS 光導電セル	山下博典・伊吹順章・吉沢達夫	76
電力系統における 並列リアクトルの適用	馬場準一・森本英男	83
帝都高速度交通営団日比谷線用 3000 形電車の性能試験結果	宇田川銑造・小川清一・北岡 隆・太田宣次	87
直列インバータ総論 (5)		
—容量性回路網に充電する場合の基本形回路の定常特性—	河合 正・杉本盛行	92
《技術解説》		
静止形インバータ (1)	加藤又彦	102
《文献抄訳》		
宇宙線の軌跡の写真撮影・太陽面の観測に新威力加わる・ベルギーに建設された BR-3 原子炉		116
《ニュース・フラッシュ》		
中性子回折装置 2, 3 号機を完成・移動式のマススレイブコンレータ・食塩電解用大変換単位シリコン整流器・ローラモータ用可変周波制御装置完成・プロダック制御装置・新形限流継電器・燃料電池研究進む・新形 EM-35 形交流電磁開閉器・EK-65 形交流電磁開閉器・60 kV キュービクル受注		118
《特許と新案》		
(特)弾体性・(特)並行2回線保護継電装置		122
《最近登録された当社の特許および実用新案》		123
《表紙》		
2. 三菱原子力研究所納め高温高压水強制循環式動的腐食試験ルー		
3. 6 スタンド タンデム コールドミル用電機品		
4. 近畿日本鉄道恩智変電所納めシリコン整流器		

キャンドモータポンプの概要

新三菱重工業株式会社神戸造船所
三菱電機株式会社長崎製作所

山田 良平*
片山 仁八郎**

Summary of Canned Motor Pumps

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited,

Kobe Shipyard and Engin Works

Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Nagasaki Works

Ryōhei YAMADA

Nihachirō KATAYAMA

Growth of nuclear industry has led to the development of canned motor pumps which circulate high temperature, high pressure fluid with no leakage. Because of high dependability and of easy maintenance they have come into other fields than the atomic power engineering, e.g. thermal power plant application. Canned motors are devices to build a motor and a pump into an integral part and submerge it in a pumping fluid under high temperature and high pressure. They are of a extremely special construction. Herein are described the principle, the state of development, applications and characteristics of this device.

1. ま え が き

原子炉プラントにおいては、その形式のいかんをとわず、炉に発生する熱を大量にとり出す冷却材の循環ポンプとして、高温高压に耐え、かつ無漏れのポンプを必要とする。これらの中でとくに水を冷却材とする原子炉は、高温高压に耐え、かつ無漏れを要求されるために、モータを水中に密閉したいいわゆるキャンドモータポンプが開発された。このキャンドモータの方式は、従来の軸封方式にくらべ、完全な無漏れ運転が行なわれ、信頼性が非常に高く保守が簡単であるため、軽水炉だけではなく低圧重水炉にも用いられる。このようにキャンドモータポンプは、原子力工業において重要な役割をはたすものである。また原子炉の冷却材循環ポンプばかりでなく、火力発電所の汽水循環ポンプ、高温のテストルーなど、高温高压の流体をとる扱うところに広く用いられている。

三菱電機では、今回、わが国最大の入力 350 kVA のキャンドモータポンプおよび、高温高压テストルーの試作試験を完了し、良好な結果が得られた。これを機会にキャンドモータポンプについて簡単に紹介する。

2. キャンドモータポンプの原理

普通のモータとポンプを直結したものは、図 2.1 (a) に示すとおりであって、高

圧の流体を扱う場合には、回転部のシールは困難であり、どうしてもポンプ軸の貫通部より矢印のように高压流体が漏れて来る。

キャンドモータポンプは、図 2.1 (b) のように、モータとポンプを共通軸とし、一つのケーシングにおさめた構造になっている。このケーシング内部のモータ部には、運転に先だって、あらかじめポンプ流体と同一の流体が入れてある。運転中高温高压の系統流体は、ポンプ側から漏れて容易にモータ側に侵入して来るが、モータ側には、すでに系統流体と同じものがはいつているのでなんら支障ない。したがって、モータとポンプの間に流体の授受はあるが、共通のケーシングから外へ漏れず、ケーシングのシールだけで、回転部分のシールは全然なくなり、非常に信頼性が高い。

しかし、モータのコイル・コアが、系統流体にじかに接す

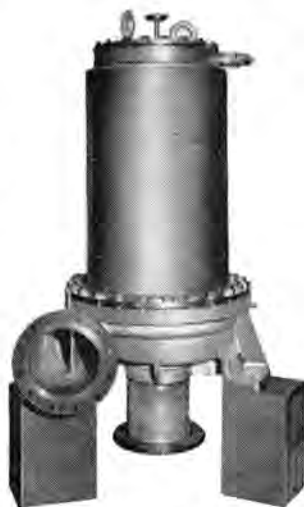


図 1.1 国産1号炉 (JRR3) 用 90 kW キャンドモータポンプ
Fig. 1.1 90 kW Canned motor pump for JRR3.

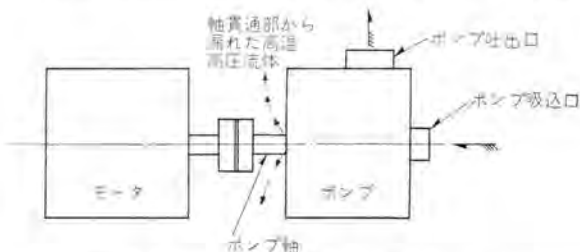


図 2.1 (a) 普通のモータとポンプの組合せ

Fig. 2.1 (a) Ordinary combination of motor and pump.

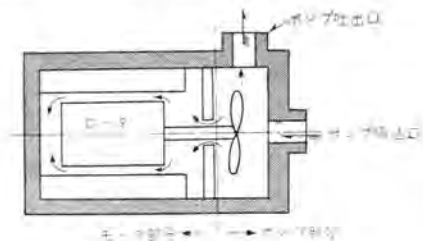


図 2.1 (b) キャンドモータポンプ

Fig. 2.1 (b) Canned motor pump.

ると コイル・コア の腐食や汚染の原因となる。それで、ステータ、ロータの コイル・コア部 には耐熱、耐食性の金属で作った薄い キャン をかぶせ、流体からこれらを保護している。キャンモータの名称はここから生まれている。その他の部分で、直接流体と接する部分は、全部不銹鋼を用いており、軸受は、系統流体で潤滑する。モータの冷却はケーシング外側に、常温常圧の水を流しておこない、運転に要するのはこの冷却水だけであり、運転に高圧水を要する他の leak off 形に比べ運転が非常に簡単である。

3. 開発状況

キャンモータポンプの原理は、かなり以前から一部に利用されていたものであって、完全に密封された系統の中で流体を循環させるのに使用されていた。しかし従来は、その適用範囲も少なく、定格も小さいものに限られていた。ところが原子力の平和利用が急速に発展するとともに、大形高性能の キャンモータポンプ の要求が高まり、その製作技術は画期的な進歩をとげた。

アメリカにおいては、Westinghouse 電機会社（以下 W 社と略す）がもっとも多くの実績を持っており、同社は 1956 年にすでに Shipping port 原子力プラント用として 1,400 kW 級の キャンモータポンプ を製作している。

日本における開発はややおくれ、三菱電機が昭和31年度の科学技術庁の補助金によって、昭和32年4月に完成した 15 kW が国産第1号であり、今回製作した 350 kVA が国産最大のものである。

三菱電機で昭和35年11月までに製作した キャンモータポンプ のおもな要目は次のとおりである。このうち 15 kW を除くすべての キャンモータポンプ の ポンプ部分 は新三菱重工業で製作した。

定格出力 または入力	11 kW (出力)	15 kW (入力)	90 kW (出力)	350 kVA (入力)
電圧 (V)	200	220	440	440
周波数 (c/s)	50	60	50	60
同期速度 (rpm)	3,000	3,600	1,500	1,800
絶縁階級	H	H	H	H
定格	連続	連続	連続	連続

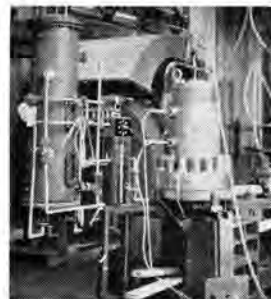


図 3.1 金属材料研究所納め 11 kW キャンモータポンプ

Fig. 3.1 11 kW Canned motor pump supplied to metal research laboratory.

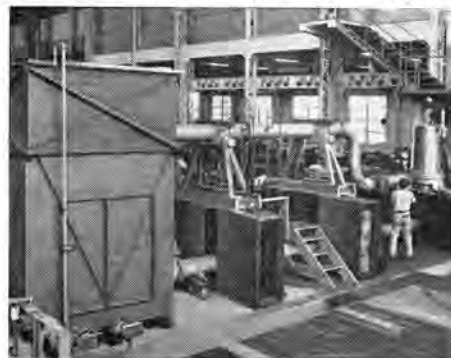


図 3.2 工場テスト中の 90 kW キャンモータポンプ
Fig. 3.2 90 kW Canned motor pump under test at the factory.

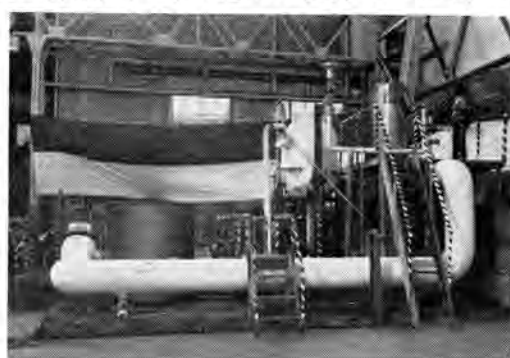


図 3.3 350 kVA キャンモータポンプ および テストループ
Fig. 3.3 350 kVA Canned motor pumps and test loop.

ポンプ揚程 (m)	50	24	32	70
流量 (m ³ /h)	20	60	600	1,200
ポンプ流体	軽水	軽水	重水	軽水
流体温度 (°C)	320	300	40	300
流体圧力 (kg/cm ²)	140	140	1	140
製作台数	1	4	1	1
製作年月	35-6	32-4 ~35-7	35-11	35-10
納入先	科学技 術庁	三菱原 子力	原研	—

11 kW は、科学技術庁金属材料研究所の 腐食ループ用 に製作したものであり、ポンプは新三菱重工業で製作した。

15 kW は、昭和31年度の科学技術庁補助金で作ったものおよび、これと同一形式のもので、現在三菱原子力工業株式会社の 熱ループ に使用しており、すでに4年間の運転実績を持っている。

90 kW は、東海村に作られている日本原子力研究所の 国産1号炉主重水ポンプ用 であり、ポンプ部分 は新三菱重工業で製作したものである。本機は、昭和35年10月に原子力研究所のお立合のもとに、120 時間の連続運転をおこない、優秀な成績をおさめ、翌月に納入した。

350 kVA は、昭和33年度の科学技術庁補助金によって製作したもので、重量約 5,000 kg、高さ 2.5 m、フランジ径 1 m であり、特殊加工法を採用している。小形の キャンモータポンプ では ポンプケーシングはステンレス鋳物 で作っていたが、350 kVA 程度になると、ポンプケーシングの重量も 1,000 kg 近くとなり、ステンレスの一体鋳物は困難であると考えられていた。そこで ポンプケーシングは炭素鋼で作り、このうち系統流体と直接接触する ポリユート面 は腐食のおそれがあるので、ステンレスの溶接棒を用いて盛り金を施し、機械加工によって盛り金面を仕上げた。モータケーシングは、円筒で外面だけ水と接し、内面は常温の空気と接している。それでステンレスのフラッド鋼板を使って円筒を作り、水と接する部分にだけ ステンレス を用いて価格の低減をはかった。特殊加工法とは、これらの加工法のことである。350 kVA キャンモータポンプ完成後、全ステンレス製の 高圧高温のテストループ に組み込んで、温度 300°C、圧力 140

kg/cm² で長時間の運転をおこない、諸特性を調べ、今後さらに大形機を製作する場合の基礎資料を得、高温高压での運転方法を修得した。

なお、前にあげた製作経歴中定格容量の称呼に、入力基準のものと出力基準のものと両方あるが、アメリカでは多くの場合、入力の kVA 基準で称呼しているようである。これはキャンドモータポンプが、普通のモータ・ポンプの組合せと異なり、モータとポンプが一体となっているために、モータの軸馬力がいくらあるかということとはあまり問題でなく、ポンプに定格流量、揚程を出させるには、何 kVA の入力を必要とするかということに重点が置かれているからである。

4. 用途

キャンドモータポンプの用途は、現在の状況では大別して原子力用、ボイラ缶水循環用、テストループ用となる。

原子炉の冷却材循環用については、まえがきでも触れているので、くり返すのを避け、配置の一例を図 4.1 に示すだけにとどめておく。この場合には、圧力 140 kg/cm² 温度 250~300°C が普通である。出力 134 MW の Yankee Atomics 原子力発電所では、1,500 kW 級のキャンドモータポンプが 1 炉あたり 4 台用いられている。原子力関係では、冷却材循環ポンプ用以外に、小形のキャンドモ

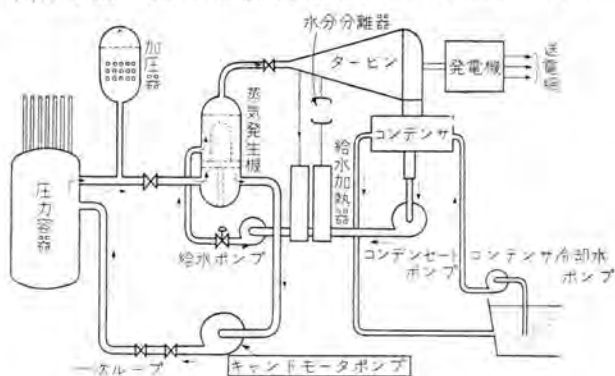


図 4.1 加圧水形原子力発電所説明図
Fig. 4.1 Schematic diagram of pressurized water type nuclear power plant.

タを高温高压炉の制御棒駆動用モータとしても使用する。アメリカでは、原子力プラント以外に、原子力潜水艦用として数多く使われている。

つぎに火力発電所のボイラ缶水循環用に用いた配置図を図 4.2 に示す。ボイラが高圧になって来ると缶水の循環を確保することが問題となる。従来圧力 140 kg/cm²、蒸発量 400 t/h (プラント出力 125,000 kW 程度) 級以下のものは、自然循環ボイラとし、加熱される火炉水管と非加熱降水管内の気水の密度差、すなわち Thermal Head により缶水の循環をおこなっていた。圧力がさらに上がり、140~200 kg/cm² 程度になると気水の比重の差が少

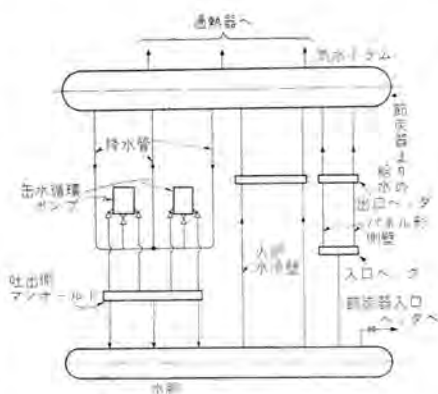


図 4.2 缶水循環ボイラ説明図
Fig. 4.2 Schematic diagram of can water circulating boiler.

なく、Thermal Head だけで循環を確保することが困難となり、強制循環ボイラが採用された。強制循環ボイラでは、降水管の途中に缶水循環ポンプを備え、缶水を強制的に循環させると同時に、火炉水管入口にオリフィスを設け、冷却管の管長、熱負荷に応じて循環水量をコントロールできる。この缶水循環ポンプ用にキャンドモータポンプが用いられており、わが国の 156,000 kW 以上の発電所はほとんど強制循環ボイラとなっている。ボイラ用に用いられるキャンドモータポンプは、原子炉用のものよりも容量が小さく、156,000 kW 級発電所で出力 170 kW、圧力 190 kg/cm²、温度 345°C 程度のものが 1 缶に 3 台用いられ、現在のところ全部輸入品である。

テストループ、その他高温高压の流体を扱うループにキャンドモータポンプを使用する場合、そのループの目的によって構造・圧力・温度などがさまざまであり、一般的なことは述べるにいが、キャンドモータポンプの容量は割合に小さい。このほか液体金属、化学関係流体、爆発性流体などの循環にも使われる。

5. 特性

キャンドモータポンプで、流量のコントロールをする場合、バルブによって調節するのが普通で、回転数制御は一般におこなわない。したがってモータには、構造が簡単で、取扱いの容易なカゴ形またはソリッドロータのインダクションモータを用いる。ソリッドロータは構造が非常に簡単ではあるが、効率が悪く、スベリが大きいため、ごく小形のものにしか適さない。

キャンドモータでは、ステータコイル、コアを保護するステータキャップに、多くの渦電流損が発生し、この損失が全体の損失の約半分を占める。その上、水中(または系統流体中)で回転するので、摩擦損失も大きく、モータ効率は、普通のインダクションモータよりやや低下するが、力率は普通のものと同じくらいである。ポンプ効率は、一般のものと変

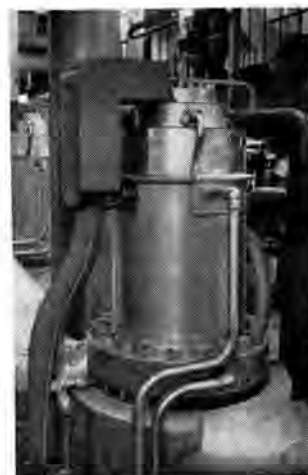


図 4.3 発電所缶水循環用に使われている 170 kW 440 V 60 c/s 1,800 rpm キャンドモータポンプ
Fig. 4.3 Canned motor pump, 170 kW 440 V 60 c/s 1,800 rpm, used for circulating can water of power plant.

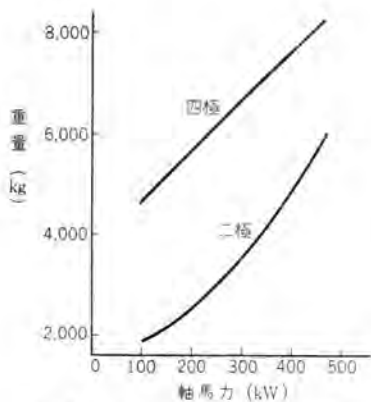


図 5.1 キャンドモータポンプの全重量
Fig. 5.1 Total weight of canned motor pump.

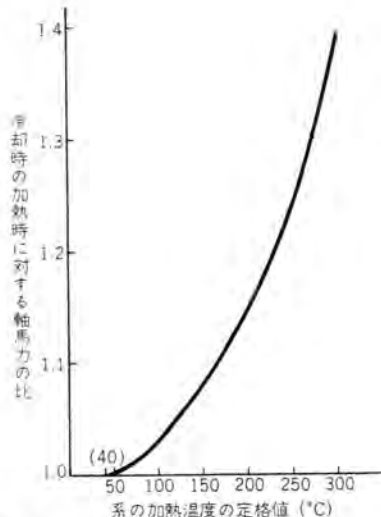


図 5.2 加熱系の水に必要なポンプ馬力に対する冷水(40°C)の場合のポンプ馬力
Fig. 5.2 Pump horse power in case of cooling water being 40°C against necessary pump horse power for water of heating system.

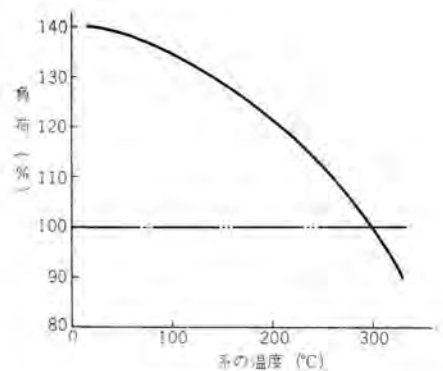


図 5.3 定格温度が 300°C の場合の温度—負荷曲線
Fig. 5.3 Temperature—load curve when rated temperature is 300°C.

わりない。

モータの回転数は、ポンプの揚程、流量から決まるが、小形中形は二極、中形大形には四極が多い、同一出力では二極機よりも四極機のほうが効率が高く、大形になるほどその差が大きくなっている、同一出力の二極機と四極機の重量を比べると四極機のほうがずっと重く、200 kW 程度では倍近くなる。(図 5.1 に示したのは概略の値であり、圧力、ポンプ流量、揚程によって変動がある。)

キャンドモータで速度を変化させたい場合には、コンセクティブポールとして 2 段速度とすることもできる、W 社では、1,600kVA のもので四極八極の 2 段速度とした例がある。

起動時にルーラの温度が常温である場合には、水の比重が約 1.0 であり、定格の 300°C 付近では、比重は約 0.7 となる。それで流量を一定とすれば起動時には、定格負荷の $1.0/0.7 \approx 1.4$ 倍の負荷となることがある。図 5.2 は横軸の定格温度のものを 40°C で起動したとき、定格負荷の何倍になるかを示すものである。この過負荷の度合は、起動後次第にルーラの温度が上がるにつれて減少する。図 5.3 には定格温度が 300°C の場合、ルーラ温度の上昇にともなう負荷がどのように減るかの一例を示す。このことを考慮してキャンドモータは、起動時ルーラの温度が上がるまで、ある程度の過負荷に耐えられるように設計されるのが普通であるが、過負荷の度合、温度の上がり方は、個々のルーラによって違うので、キャンドモータポンプの設計に先だって、これらの概略の数値を知っておく必要がある。大形のものでは、ステータコイル中や軸受にサーモカップルを埋め込み、運転中の温度をつねに監視できるようにしているものもある。

キャンドモータポンプは、GD² が小さく、停止から定格回転数まで上がるに要する時間は非常に短かく数秒であり、また定格回転数で運転しているモータポンプのスイッチを切ってから停止するまでの時間は、水の摩擦抵抗が働き 10～20 秒くらいである。

放射線のモータ寿命に対する影響に関しては、現在の

ところデータが少なく、明確な値は出ていないが、加圧水の系統では、モータ中の放射線のレベルは、その寿命に重大な影響を与えるほど高いとは考えられていない。モータの絶縁には H 種が用いられ、H 種の絶縁材は放射線障害に対して非常に強いものであり、今のところキャンドモータポンプの寿命は 15～20 年と一般に考えられている。

6. む す び

キャンドモータポンプは、水を冷却材とする原子炉には、欠くことのできないものであり、新鋭火力発電所にも多く使用され、今後ますますその用途は増加すると思われる。しかしながら、現在わが国で使用されているものは、テストループ用の小形のものが、ごく低圧のものを除いては、全部輸入品であった。

今回完成した 350 kVA のキャンドモータポンプは、普通火力発電所に用いられているものよりも大形であり、この程度のもは、十分国産でできることが、立証された。この試作研究で得られた設計、製作、運転保守に関する資料を基にし、今後さらに研究、改善を加え、いっそう大形のキャンドモータポンプを開発し、将来は輸入に依存せず、全部国産品を使用できるようにしたいと考える。

最後に、この研究に当たって、いろいろご指導、ご協力たまわった、科学技術庁原子力局、日本原子力研究所、三菱原子力会社の各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) B. Cametti and A. J. Mei: Hermetic Motor Pumps for Sealed Systems. Mechanical Engineering June (1955).
- (2) H. M. McConnel and E. F. SUERDRUP: The Induction Machine with Solid Iron Rotor. AIEE Trans. June (1955).
- (3) 木村・前沢: 加圧水形原子力発電所, 原子炉講習会論文集 (昭 32-9).
- (4) B. Cametti: Pumping in Hermetically Sealed Systems, ASME Paper No. 54-A119.

350 kVA キャンドモータポンプ

長崎製作所 谷 光 雄*・甘 粕 忠 男**

350 kVA Canned Motor Pump

Nagasaki Works Mitsuo TANI・Tadao AMAKASU

A coolant circulating pump in a canned construction is now in an extensive use in the nuclear engineering. The latest achievement of Mitsubishi is a 350 kVA canned motor pump that is the largest among home produced units of the kind. It has been built on a subsidy of the Scientific and Technical Agency. The work, completed in October, 1960, involves numerous novel techniques such as stainless steel weld depositing inside a carbon steel pump casing which comes in contact with water direct, and employment of stainless steel clad steel plates for a motor casing. After the completion, it has been tested set up with a high temperature high pressure test loop built of stainless steel to verify all the characteristics meeting with requirements.

1. ま え が き

原子力工業の発展にともない、冷却材の循環ポンプ用として、キャンドモータポンプが注目をあびるようになった。キャンドモータポンプの特長は、高圧の流体を完全に無漏れで循環させることであり、高温高圧で、かつ放射能を帯びた流体を扱う原子炉には適している。

三菱電機では、“特殊加工法による原子炉用大形キャンドモータポンプの試作研究”に関して、昭和33年度の科学技術庁補助金の交付を受け、新三菱重工業神戸造船所のご協力を得て、国産最大の350 kVAのキャンドモータポンプを製作した。完成後テストループに組んで、高温高圧で連続運転を行ない、良好な成績で試作研究を完了した。

本文では350 kVAキャンドモータポンプの設計、工作について述べて参考にする。



図 1.1 テストループに据付けられた
350 kVA キャンドモータポンプ

Fig. 1.1 350 kVA Canned motor
pump installed in a test loop.

2. 試作研究の内容

この試作研究に着手した昭和33年8月には、国産のキャンドモータポンプは、当社が32年4月に作った15 kW だけであり、本機試作の目的は大形のキャンドモータポンプを国産化することであった。しかし350 kVA 程度の大きさになってくると、従来のように全体をステンレスで作ったのでは、いたずらに費用だけ高くなり、またポンプケーシング部分の鋳造も大形化にともない困難になってくると考えられていた。そこでステンレス鋳物のポンプケーシングの代わりに、炭素鋼のケーシングを用い、内面の直接水と接する部分には、ステンレスの盛り金を施し、モータケーシングには、ステンレスのクラッド鋼板を使用するなど、特殊加工法、特殊材料を採用した。

キャンドモータポンプ完成後、全ステンレス製の300°C 140 kg/cm²の高温高圧のテストループに組んで、各温度、圧力における総合特性、温度分布、振動、運転方法、寿命など諸特性につき詳細に試験した。

350 kVA キャンドモータポンプのおもな仕様は

定格入力	350 kVA
電 圧	440 V
周波数	60 c/s
同期回転数	1,800 rpm
絶縁階級	H
定 格	連続
モータ形式	カゴ形三相誘導電動機
ポンプ形式	立軸一段エンドリクシオン形 遠心ポンプ
ポンプ揚程	70 m
流 量	1,200 m ³ /min
ポンプ流体	軽水
流体温度	300°C
流体圧力	140 kg/cm ²

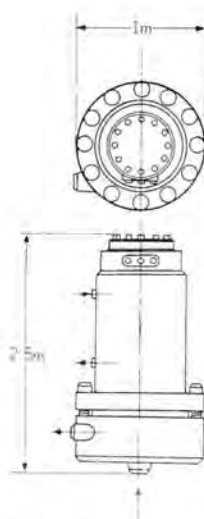


図 2.1 350 kVA キャンドモータ
ポンプ主要寸法

Fig. 2.1 Principal dimension
of 350 kVA canned motor
pump.

である。主要寸法は図2.1に示す。

3. 設計上の問題

3.1 概略構造

キャンドモータポンプの断面図を図3.1に示す。普通立形形で、モータ部分が上部、ポンプ部分が下部になっている。以下()内の番号は図3.1の品番と一致している。

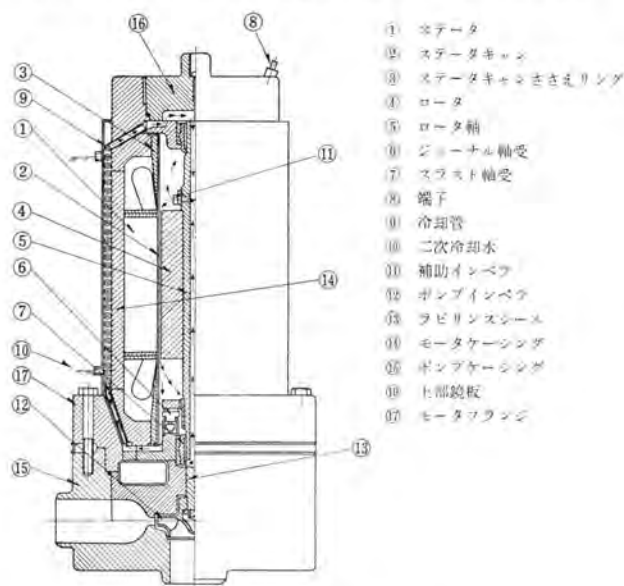


図 3.1 キャンドモータポンプ 構造図

Fig. 3.1 Cutaway constructional drawing.

(1) はステータであり、普通の インダクションモータのステータと大差なく、コイルには許容温度上昇のもっとも高いH種絶縁を採用している。

(2) はステータキャンであり、不銹鋼でできており、ステータコイル、コアを高圧の水から保護している。

(3) はステータキャンを補強しているささえリングである。

(4) はカゴ形のロータであり、ステータ同様表面を不銹鋼のキャンで保護している。

このステータ、ロータキャンで保護された部分以外は、モータポンプの内部は全部ルーブと同一の高圧水と接している。

(5) はロータ軸で中空となっている。

(6)、(7) はスラスト軸受 および ジャーナル軸受であり、油で潤滑することができず、モータ内部の高圧水で潤滑する必要があり、その構造には特別な考慮が払われている。

(8) はモータリードを外部に引き出す端子である。

(9) はモータ内部の熱を外部に取り出す冷却管であり、モータケーシングにラセン状に巻いてある。

(10) は(a)の熱を取り去る二次冷却水であり、常温常圧の水が用いられる。

(11) は補助インペラである。

(12) はポンプインペラであり、不銹鋼でできている。

(13) はラビリンスシールである。



図 3.2 キャンドモータポンプロータ

Fig. 3.2 Canned motor pump rotor.

(14) はモータケーシングであり、内側は空気と、外側は二次冷却水と接するため、ステンレスクラッド鋼板を用い、外側をステンレスとしている。

(15) はポンプケーシングであり、炭素鋼で作ってあって、直接水と接するポリュート内面だけステンレスの盛り金を施している。ポンプポリュートはダブルポリュートとして半径方向のスラストが働くのを防止し、効率の向上をはかっている。ポンプの吸入口、吐出口は直接主配管に溶接され、主配管の熱膨張に追従して動きうるように取付けられる。

(16) は上部鏡板であって、中央部にはモータ内部の気泡を抜く空気抜き用の穴があけてある。

(17) はモータケーシングに設けられたフランジであり、ポンプケーシングと接合される。分解の際には、この部分のボルトをはずすとポンプケーシングだけ主配管へ残り、モータ部分とポンプインペラは取はずすことができる。

以上のように、モータ・ポンプ内部で、じかに水と接する部分はすべて不銹鋼が使用されている。



図 3.3 キャンドモータポンプ用ポンプインペラ

Fig. 3.3 Pump impeller for canned motor pump.

3.2 耐圧構造

キャンドモータ運転中には、ポンプ部分には系統圧力がかかり、モータ部分の内圧は、ポンプインペラ、補助インペラの揚程、各部の圧力降下によって多少変わるが、ほぼ系統圧力と同じになる。それでキャンドモータポンプ全体として圧力容器となる。本機の設計には、ASMEのBoiler and Pressure Vessel Codeを適用し、設計圧力は使用圧力 140 kg/cm^2 の1.25倍の 175 kg/cm^2 としている。

キャンドモータポンプの耐圧構造は、

(1) ポンプポリュート部分

(2) ポンプ・モータ間接合部、および上部鏡板部分

(3) ステータキャン部分

(4) モータケーシング部分

の四つに大別できる。

このうちポンプポリュート部分は、普通のものとは比べ耐圧構造の上で特異な点はないので説明は省略する。

モータケーシングと上部鏡板の間、およびポンプケーシングと

モータケーシング下部に設けられたフランジの間は、それぞれボルトで結合されて、密閉した圧力容器を形成している。接合部の気密を保つために、ステンレスとアスベスト合成のパッキングが用いられているが、このほかさらにレニューアブル・シール・ウェルドもできるように作っており、漏れ防止には万全を期している。これらの接合部は、内圧による応力だけでなく、温度勾配による熱応力も考慮して、材質の選定、設計をしている。

ステータキャンは、後に述べるキャン損失の上から、なるべく薄い金属であることが望ましいが、この薄いキャンだけで、 140 kg/cm^2 をこえる高い内圧に耐えることは困難であり、いろいろなキャン支持方法が考えられている。中央のステータコア部では、スロット・オープニング部の形状構造の特殊なステータ・ティースを用い、これとコアとで、キャンを裏面（外周）からささえている。両端のステータ・コイルエンド部では、キャンは図 3.1-③ のささえリングによってバックアップされている。このリングの厚さは、スロット深さとも関係があり、厚いものを採用できないため、材力の高い非磁性の金属を用いている。またこのリングとステータコアの接続部で、内圧のかかったときの変位が異なり、極端に食い違いを生ずると、薄いキャンがせん断破壊を起こすおそれがあり、この部分の構造には、とくに注意が払われている。

正常状態では、モータ内部の圧力は、キャンがささえているから、ステータコイルのはいつている空間は常圧であり、ステータケーシングやステータ端子には圧力はかからない。し

かし、万一ステータキャンが破損した場合にも、ケーシングおよび端子は、系統圧力に耐え、被害をモータケーシング内部だけにとどめ、外部に高温高压の放射能を帯びた流体を飛散させないように、耐圧構造としている。

3.3 冷却法

普通のカゴ形インダクションモータで、過度の温度上昇により、いちばん損傷を受けやすい部分は、ステータコイルであり、これを規格によって定められた温度以下に保つためにいろいろ冷却法がくふうされている。キャンドモータでも、ステータコイルの



図 3.4 350 kVA キャンドモータポンプ モータケーシング
Fig. 3.4 Motor casing of canned motor pump.

温度を H 種絶縁の規格以下に保つことがもっとも重要であるが、このほかに熱応力、軸受部分の温度、耐食性などの面からも制約を受ける。

キャンドモータの冷却法は、通常のモータとまったく異なり、モータ内部にはいつている系統流体によって冷却しなければならない。これをモータ内部の自然対流だけで

行なわせると冷却効果がきわめて悪い。その上、ステータキャンには、キャン損失を発生し、高温流体を扱うポンプ側からも相当量の熱が流入する。キャンによって保護されたステータ内部の鉄損、銅損も、この部分には空気の流れがないため、取り去られにくい。

そこで、モータとポンプの境界の軸貫通部に、ラビリンスシール（図 3.2-⑬）を設け、ポンプ側の高温流体がモータ内部にはいり、モータ部分の温度を上げるのをできるだけ防止している。その上、ポンプからモータへ熱が移動するのを防ぐために、ポンプ・モータ間に熱シャハイのスペースを設けている。

モータ内部の冷却は、キャン損失、摩擦損失などで生ずる熱を、内部流体を強制的に循環させてうばい、モータケーシング外周に取付けた冷却管内に送り、この冷却管外側に二次冷却水（普通の水道水）を流し、これによって熱を取り去るという方法を採用している。この際モータ内部の水を循環させる作用は、ロータ軸に取付けた補助インペラが行なっており、内部の水は、図 3.1 の矢印のように一部はステータ、ロータ間のギャップをとおり、下部軸受を潤滑し、ここで冷却管へ流れ、冷却管中を通過して上部からふたたび軸の中へ流入するものと、下部軸受から中心孔を通過して元へ戻るものとに分かれる。一方補助インペラ出口で分流した他の一部は、上部軸受を潤滑し、冷却管中を通過した水と合流して補助インペラへ戻る。このように補助インペラは、内部の水を冷却路へ流す役目と、潤滑作用を行なわせる役目とを兼ねている。

補助インペラ、各部流路の寸法、冷却管寸法、冷却管数は、ステータ、ロータの熱を取り去るのに十分な流量が流れるように決定してある。

運転中モータ冷却に要する水は、二次冷却水用の常温常圧の水道水だけで良く、熱交換器が、モータケーシングの外側に巻いた冷却管でできており、非常にコンパクトであるというのは、キャンドモータポンプのすぐれた特長の一つであって、高压水を要する他の Leak off 形に比べると保守が容易である。

350 kVA キャンドモータでは、ステータコイル中に、サーモカップルを埋め込んでおり、このリードはやはり耐圧の端子を通して外部に引き出し、運転中のコイル温度がつかねに監視できる。

3.4 キャン

キャンドモータの特色の一つは、前記のように、ステータ、ロータを系統流体から保護しているキャンであるが、このキャンのためにうず電流損を発生し、モータの効率を低下させる。

ステータのキャン損失 W_1 は、

$$W_1 = \frac{\pi}{8} D^2 \times L \times t \times B^2 \times \omega^2 \times \sigma \quad [W]$$

で表わされる。ここで

D : キャンの直径

L : ステータコアの長さ

t : キャンの厚さ
 B : 空隙磁束密度
 ω : 回転磁束角速度
 σ : キャンの固有導電率
 (単位はいずれも MKS 単位)

である。ただし上式を導くに当たって

- (1) 磁束は正弦波分布である。
- (2) キャンの厚さは直径に比し、非常に小さい。
- (3) キャンのリアクタンスは無視する。
- (4) ステータコア部以外の部分のキャンは無視し、うず電流はすべて軸方向にだけ流れる。

と仮定した。

この中でもっとも大きな誤差を生ずるのは、(4)項であり、実際の誘起電流路は、極間では楕円に近づき、キャン損失は低下するはずである。この減少係数は、ステータコアの長さ、極間隔だけによって決まる関数であり、この値は、理論的にも、実験的にも求められている。前記の数式を用いて計算した値に減少係数を掛けた値と、製品について実測した結果は、大体よく一致している。

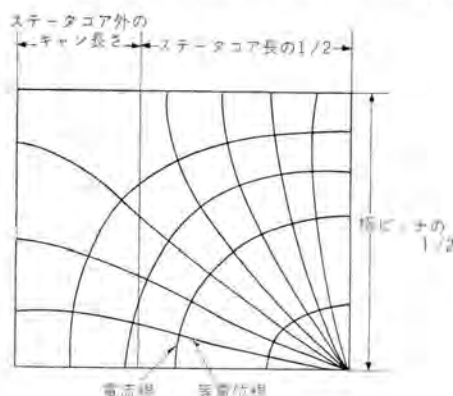


図 3.5 ステータキャンの電流分布

Fig. 3.5 Current distribution of stator can.

一方ロータのキャン損失についても、ステータとまったく同じことがいえるが、モータのスベリが小さく、ロータの周波数が低く、損失はステータに比べ 1/1,000 以下程度にしかならない。それで主磁束によるものは考えず、高調波うず電流損だけを考えれば良い。これを W_2 とすると、

$$W_2 = F(R) \times W_1$$

で表わされる。 $F(R)$ はスロット幅、カータ係数の関数である。上記によって求められた高調波うず電流損も、普通主磁束によるステータキャン損失に比して数十分の一にしかない。

以上のことから、キャン損失を減らすためには、ステータ内径を小さくし、キャンを薄くし、電気抵抗の高い材料を用いるべきである。インコネルやインコネル X は、18-8 系のステンレスに比べ電気抵抗は 1.4 倍以上あり、その上耐熱・耐食性に富んでいるため、キャン用材料として有利である。ステータ内径を減らすことは、キャン損失を減らすだけでなく、回転による摩擦損失を少なくさせる上

でも大いに効果があり、また耐圧構造部分の板厚を減少させるという利点がある。

3.5 軸受

軸受は、前に述べたとおり、モータ内部の高圧水で潤滑しなければならないのでとくに問題となる。水潤滑の軸受については、当社研究所で軸受試験機を作って、長期にわたる研究が行なわれた。

軸受試験機での試験は、できるだけキャンドモータポンプが実際に運転している状態に近い条件にすることが望ましいが、140 kg/cm² の高圧を加えられる装置を作ることは、もちろん困難であるし、後述するように、温水中で運転して見ることで、十分意義があると判断し、試験機はつぎのような主旨で設計された。

- (1) 試験すべき軸受は、常圧の水中に浸漬するようにする。
- (2) 水は原子炉程度の純水を使用し、100°C 以下の任意の温度に加熱できるようにする。
- (3) 軸の回転数と、軸受荷重は変えられるようにする。
- (4) 水中における腐食を促進させるため、純水は酸素加压できるようにする。
- (5) 長時間連続運転できるようにする。

一般に完全潤滑状態にある軸受の潤滑剤の性質としては、その粘性係数が重要な意味を持つが、140 kg/cm² の水と、大気圧下の水の粘性係数を比較してみると、100°C の場合、前者は 29.8×10^{-10} kg-s/cm²、後者は 28.9×10^{-10} kg-s/cm² でその差は 3% しかない。したがって大気圧に近い条件で軸受試験を行なっても、高圧とはほぼ類似の結果が得られると考えられた。ただ軸受内部に理論上生じる負圧部の挙動や、密度・比重・熱伝導率がかなり変化するから、これらが関係する諸性質や、さらに耐食性のような化学的性質は、大気圧に近い状態では再現することはできない。しかし材料、構造を変えたときの相対的な良否判断となるものと思われる。

この観点より、各種ステライト、ステンレス、黒鉛などで軸と軸受を作り、上記の試験機を用い、材質の組合せをいろいろ変え、イオン交換樹脂で浄化した $5 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ 以上の電気抵抗を有する純水を使って試験した。この際軸受荷重を数通りに変化し、長時間の連続運転を行ない、停止後寸法変化、当たり面の状態、水の電気抵抗の変化などを測定した。その後荷重を加えたまま起動し、30秒後

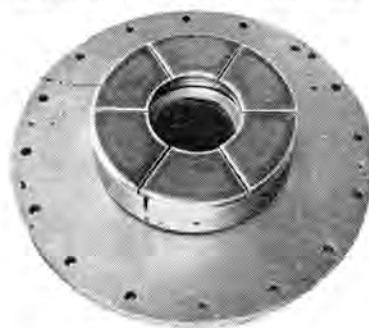


図 3.6 キャンドモータスラスト軸受

Fig. 3.6 Thrust bearing of canned motor.

にスイッチを切り、30～50秒後にまた起動するというサイクルを、荷重を変えて、おのおの数百回ずつ行なって、摩耗量、当たり面の状況をしらべた。荷重をかけたまま起動停止を繰り返すと、連続運転に比べ摩耗量が多いことが知られている。これらの結果に基づいて軸および軸受メタルの材質、構造を決定し、実際のキャンドモータポンプに適用し、満足な結果を得ている。

水潤滑の軸受では、水の粘度が油に比して小さいので軸受面の水膜は、普通のものの油膜より薄く、負荷能力が低い。それで、ポンプインペラに圧力バランス用の穴をあけて、スラスト軸受にかかる荷重を極力小さくしている。ポンプスラストは流量によって変わるが、運転範囲のいかなる流量でも、ポンプスラストに、回転部分の重量を加えたものが上向きとなつてはいけな。スラスト軸受はキングスベリ形を採用しているが、各パッドの微細な調整を組立の際に行なうことは、キャンドモータの構造上非常に困難であるので、イクオリザを用いて各パッドの高さの調整を自動的に行なえる構造としている。またジャーナル軸受も同様の理由により自動調心形とし調整を容易にしている。

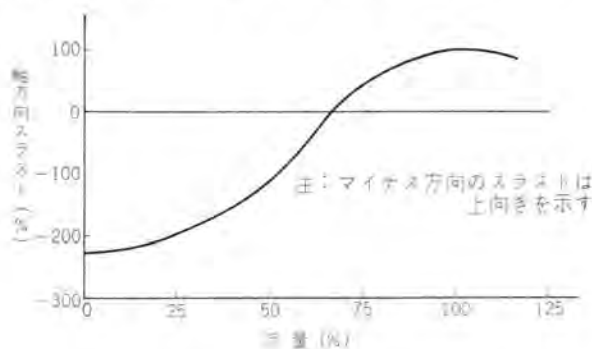


図 3.7 軸方向スラストと流量の関係の一例

Fig. 3.7 Example of the relation between axial thrust and flow quantity.

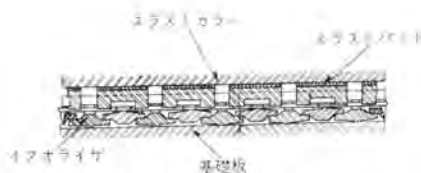


図 3.8 イクオリザ構造図

Fig. 3.8 Equalizer construction.

運転中軸受関係で注意をしなければならないのは、軸受部に気泡がはいらないようにすること、ゴミがはいらないようにすることである。

4. 材 料

キャンドモータポンプの水と接する部分には、軸受部などを除いて、全部ステンレスが用いてある。このうち溶接を要する部分は、18-8系のオーステナイト・クロムニッケルを用いるべきであるが、これは430～870℃に加熱された場合あるいはこの範囲を冷却すると、結晶の粒界にクロムの

炭化物が析出し、その部分のクロム含有量が低下して耐食性および耐熱性を劣化する。溶接中母材の熱影響部がこの温度範囲にはいった部分は腐食されやすく、いわゆる Weld Decay の現象を呈する。

炭化物の析出する度合は炭素含有量にほぼ比例し、0.02%以下ではこの現象がない。しかし実用的には0.06%以下であれば良いといわれている。

Weld Decay は熱処理によって完全に防止することができるが、キャンドモータポンプでは、一部に絶縁物などがあり、構造的に溶接後の熱処理はできないところが多い。

このような場合、炭素との親和力がクロムよりも大きい元素を添加し、クロムが炭化物として析出するのを防止すればよい。かくしてコロムビウムを添加したものが AISI・347 であり、チタニウムを添加したものが 321 である。347 は、321 よりもいっそう安定で、また溶接中に酸化蒸発による損失が少なく、有利であり、安定化熱処理を必要としない。コロムビウムで 18-8 系ステンレスに含まれている炭素を安定させ、その有害な影響を完全に除去するに必要な最低量は、炭素量の 10 倍である。コロムビウムはフェライト生成元素の一つであるために、コロムビウム添加によりオーステナイトの安定度がみだされるので、必要以上のコロムビウムの含有はかえって有害なことがある。

このほか、18-8 系ステンレスで、溶接後の安定化熱処理を必要としないものには炭素含有量を 0.03% 以下として炭化物の析出を防止しているものがある。これが AISI 304L である。しかしこの程度の炭素量を含むものは、長時間劣化温度に保つ場合には、粒間析出による耐食性の劣化を皆無ならしめることは困難である。

AISI 347, 304 L, 304 の成分、機械的性質は表 4.1, 4.2 に示す。

以上の理由から、キャンドモータポンプで、溶接部分のあるところは、ほとんど全部 AISI・347 タイプのステンレスを使用している。溶接部分がなく、系統流体に接する場所には、普通の 18-8 系のステンレスが使っている。

表 4.1 18-8 系ステンレスの化学成分

成分(%)	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Nb+Ta
AISI・304	<0.08	<2.00	<0.04	<0.03	<1.00	18.00～20.00	8.0～11.0	—
AISI・304L	<0.03	<2.00	<0.04	<0.03	<1.00	18.00～20.00	9.00～13.00	—
AISI・347	<0.08	<2.00	<0.04	<0.03	<1.00	17.00～20.00	9.00～13.00	>10×C% <1.00

【注】 コロムビウムは原料にてタンタルと同時に存在し、タンタルにもコロムビウム同様の効果を与えることが知られているので Nb+Ta で安定化元素の量を表わすことが多い。

表 4.2 18-8 系ステンレスの機械的および物理的性質

材 料	耐 力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び(%) G.L.= 50mm	硬 さ			比抵抗 (μ cm)
				ブリネル	ロックウ ール B	ヴィ カース	
AISI・304	21<	52<	50<	<185	<90	<200	72
AISI・304L	18<	49<	50<	<185	<90	<200	
AISI・347	21<	52<	45<	<185	<90	<200	73

ステンレスの鋼板、鍛鋼品、鋼管の検査は、購入時に

- (1) 成分分析
- (2) 機械的試験
- (3) 超音波探傷試験
- (4) 耐食試験 (Huey test および Strauss test)
- (5) 染色または 紫外光探傷

を行なっている。

特殊なものについては、さらに顕微鏡試験・X線試験・水圧試験・曲げ試験・製品と同一条件の溶接試験を実施している。

インコネル、インコネル X は、耐食性にすぐれ、電気抵抗が高いためにキャンドモータのキャンド用材料としてすぐれている。350 kVA キャンドモータ製作の際、これらの金属についても多くの試験を行なった。インコネル、インコネル X はともに耐熱合金として広い用途を有しており、普通インコネル X は、インコネル に比しとくに高温における強度を要求される部分に使用される。インコネルは冷間引き抜きあるいは冷間圧延により、所要の強度が得られるが、インコネル X は、時効硬化形合金に属し、熱処理により強度を上昇せしめられる。この両合金の化学成分および諸特性は表 4.3～表 4.5 に示す。

本機では、前述のように モーターシフト には、ステンレスとボイラ鋼板のクラッド鋼板を使った。このクラッド鋼板は、母材にボイラ鋼板 SB 46 B を、合材に AISI・304 L タイプの 10 mm 厚さのステンレスを用いた。

クラッド鋼板 購入時には、

表 4.3 インコネル および インコネル X の標準化学成分

成分(%)	Ni	Cu	Fe	Cr	Al	Ti	Nb	Mn	Si	C
材料										
インコネル	76	<0.20	7.5	15.5	—	—	—	<0.25	<0.25	<0.08
インコネル X	>73	<0.20	6.0~10.0	14~17	<0.9	2.5	0.7~1.2	<0.50	<0.40	<0.04

表 4.4 インコネル および インコネル X の物理的性質

材 料	比重	融点(°C)	比熱(cal/g/°C) (25~100°C)	比抵抗(μ cm)	熱伝導率(cal/cm²/sec/°C/cm)	弾性係数(kg/mm²)	導磁率
インコネル	8.43	1,395~1,425	0.109	100~120	0.036	21,800	1.007
インコネル X	8.30	1,395~1,425	0.10~0.11	100~120	0.035	21,800	1.0028

表 4.5 インコネル および インコネル X の機械的性質

材 料	形状および熱処理		耐 力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸 び (%)	ブリネル 硬 度
インコ ーネル	冷間引抜 Bar および Rod	焼 な ま し	18~35	56~70	55~35	120~170
		引抜のまま	35~88	67~105	30~10	180~290
	熱間 ロール	ロールのまま	25~63	60~84	50~30	140~210
		焼 な ま し	18~35	56~70	55~35	120~170
		鍛 造 材	25~63	60~84	45~25	140~210
	板	熱間仕上 焼なまし	21~42	56~77	50~35	120~170
		熱間仕上 圧延のまま	32~67	63~98	40~20	160~240
		冷間仕上 焼なまし	21~32	56~70	55~35	
		冷間仕上 圧延のまま	63~88	88~105	15~2	
	インコ ーネル X	熱間仕上 鍛造材	時効処理	65	115	24

350 kVA キャンドモータポンプ・谷・甘粕

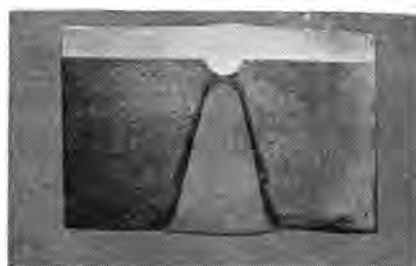


図 4.1 ステンレスクラッド鋼板の溶接試験片
Fig. 4.1 Welding test piece of stainless steel clad steel plate.

- (1) 成分分析
- (2) 機械的試験 (ASTM A-264-44 T に準ずる)
- (3) 寸法 外観検査
- (4) 超音波探傷試験
- (5) 腐食試験 (Huey test および Strauss test)
- (6) 熱間せん断試験

を実施した。

ステンレスクラッド鋼板については、圧延後の残留応力、接着面に生ずるせん断応力、耐食性、溶接性などに関し種々の興味ある問題があるが紙面の都合で省略する。

5. 工 作

5.1 溶 接

前に述べたように、キャンドモータポンプに使用した材料は、主としてコロム含有の AISI・347 ステンレスであり、これを溶接する際には、普通の 18-8 系ステンレス鋼 (AISI・304) に比較してクラックがでやすいのでクラック防止が問題となる。

AISI・347 タイプステンレス鋼の溶着金属中に、少量のフェライトが含まれていると、溶着金属の高温割れの発生度が減少する。一方このフェライトは、高温にさらされると、硬くてもろいシグマ相に転化しやすく、そのため物理的性質が悪化する。それゆえクラックを防止するのに必要とするフェライト量は、フェライトのシグマ相への転化と相関的に研究しなければならない。

このように、347 タイプステンレス鋼の溶接は、金属組織上の特殊性から解決して行かなければならない問題を持っていると同時に、またルートクラックのように、溶着金属の成分によっての解決は、ほとんど望みがなく、溶接技術、被溶接物の設計上から検討しなければならない問題もある。

上記の問題を考慮し、種々のメーカーの 347 タイプステンレス鋼溶接棒を用い、割れ試験、顕微鏡試験、機械的試験、耐食試験を行なった。このほか、構造上裏面から溶接のできない部分、薄板と厚板の溶接などについては、開先の形状を変えて多数の試験片を作って実験し、これらの結果を基にしてキャンドモータポンプの溶接に着手した。

キャンドモータポンプの溶接部は、高信頼性が要求されるので、各部の溶接は、できるだけ手溶接を排し、自動溶接とした。



図 5.1 キャン溶接条件試験中発生したキャンの割れ（ビード面を上からながめたもの）
Fig. 5.1 Crack occurred to a can during the test of can welding condition.

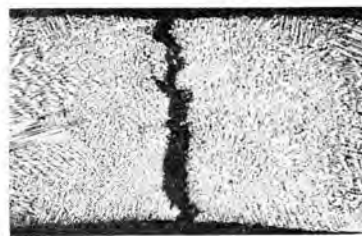


図 5.2 溶接試験中生じた キャン破断面の顕微鏡写真（キレットは溶接部からおこっている）

Fig. 5.2 Microscopic photograph of breakage occurred to a can during welding test.

検査法としては、肉眼、染色検査はすべての溶接継手に、X線検査は可能な個所に適用し合格基準を JIS 1 級とした。構造上どうしても X 線検査の不可能な個所に対しては、多数の試験片を作り、実物と同一条件の溶接をして、試験片の結果から信頼性を確かめるとともに、溶接条件を厳重に管理した。圧力水が触れる部分はヘリウムリークテスト、耐圧試験も併用している。

二、三の例をあげると、ステータキャンは、材料を仕上り寸法より長くとして、長手方向の溶接を行ない、端部から試験片を切り出して、機械的試験、耐食試験を実施した。キャンは溶接成形後、溶接部の肉眼検査、染色検査を行なっている。

この後 キャン 両端にフタをして、内部に圧力をかけ、不良個所の有無を確かめ、キャンに欠陥がなければ、リークテストを実施する。完全なキャンができ上がれば、あとはこのキャンをステータに組み込んで、端部を溶接する。ステータができ上がったのち、キャンドモータ全体を仮組立し、ASME の Boiler and Pressure Vessel Code に従って設計圧力 175 kg/cm^2 の 1.5 倍の 263 kg/cm^2 ($263 = 140 \text{ kg/cm}^2 \times 1.25 \times 1.5$) で耐圧試験をして、最後にヘリウムでリークテストを行ないキャンの端面溶接部、その他の部分から漏れないことを確認している。

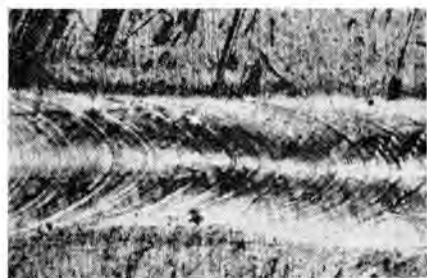


図 5.3 完全なキャン溶接部の ビード ($\times 150$)

Fig. 5.3 Bead at a perfect welded section of can.



図 5.4 キャンドモータポンプ 部品の洗浄中

Fig. 5.4 Canned motor pump component under washing.



図 5.5 ジンアイのない部屋で組立中の キャンドモータ

Fig. 5.5 Canned motor under assembling in a dustless room.

ステータケーシングの周囲に設けてある冷却用パイプについては、パイプ単独で耐圧テストを実施し、これに合格したものを所要長さだけ溶接によって継ぎ合わせ、溶接部を X 線検査する。その後、再度耐圧テスト、リークテストによってパイプ溶接の可否を判定する。これに合格したパイプは、モータケーシングに巻き付け、両端をケーシングに溶接し、溶接部は、染色探傷、肉眼検査、X 線検査によって検査する。なお、パイプ同志、パイプとケーシングの溶接に先だて、この溶接部と同一寸法のテストピースを作り、溶接試験をしてその信頼性を確かめている。パイプをケーシングに溶接したあとは、ステータキャンと同様に、でき上がりの状態で耐圧テスト、ヘリウムリークテストを受ける。ヘリウムリークテストは、大気圧 $+0.5 \text{ kg/cm}^2$ に加圧し、積分法により漏れ量 $1 \times 10^{-6} \text{ cc/sec}$ 以下をもって合格としている。

5.2 ポンプポリウートの肉盛り

(1) ステンレス鋼の肉盛り溶接を行なう場合、できるだけ母材を溶かさず母材の化学成分とくに炭素の肉盛り部に及ぼす影響が少なく、欠陥のない肉盛り溶接のできる溶接条件を見出すことが必要である。かかる点から種々の溶接方法による肉盛り部の希釈率を調べた。

(2) 肉盛り溶接を行なう際生ずる割れとしては、母材成分の希釈による割れ、肉盛り溶接のフェライト量の多少による高温割れ、母材熱影響部のビード下割れの三つが考えられる。これらに対してはどのような心線材料が適当かを実験により調査した。

(3) 肉盛り部の耐食性を調べるため、各種溶接方法、溶接材料の組合せて、肉盛り溶接を行なった後、問題と考えられる全面腐食、局部腐食ならびに粒間腐食について試験した。

さらに機械的試験も行ない、これらの結果を総合して、ポリウート各部の適正な肉盛り方法、材料を決定した。

5.3 組立

キャンドモータポンプ 仮組立の状態では、水圧試験がすむと、分解して部品各部に付着した異物、スケール、油脂分を除去するための洗浄を行なう。洗浄は、ニューレックス、トリクレソ、アルコールによる洗浄と、水洗とを繰り返す。最後に排水比抵抗が $5 \times 10^5 \Omega \text{cm}$ 以上で飽和するまで水洗している。洗浄後は ジンアイ のない特別の部屋で組み立て、モータ 内部にゴミ が侵入し、モータ・ポンプ を損傷するのを防止している。

キャンドモータポンプ は、四極の高速機であるので、ダイナミックバランス はとくに入念にとってある。

6. 試験

キャンドモータポンプ の試験は、

- (1) モータ単独の特性試験
- (2) ポンプ単独の特性試験
- (3) 総合試験

の三つを行なわなければならない。

モータ単独試験 では、ポンプインペラを取付けず、モータ だけで、拘束試験と無負荷試験を実施して、普通の インダクションモータ 同様に、円線図を描いて特性を求める。この際に、機械損と、鉄損プラス キャム損失 の分離も行なっている。

ポンプ単独試験 は、別の モータ を用いて、普通の ポンプ 同様の特性試験を行なっている。本機では、別に実物と同一寸法の ポンプケーシング を1個作り、この ポリユート部 に穴をあけ、ポリユート 各部の圧力と流量の関係を測定し、流量の変化にともない、ポンプ の半径方向、軸方向の スラスト がどのように変化するかを求めている。

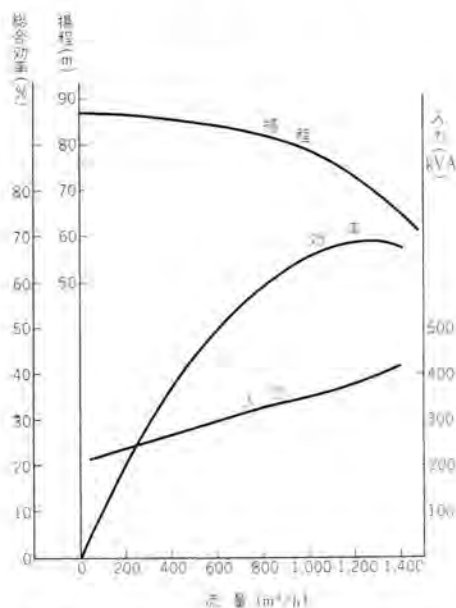


図 6.1 キャンドモータポンプ 総合特性 (100°C)
Fig. 6.1 Canned motor pump characteristic.

総合試験は、モータ と ポンプ を合わせて、テストループ に組み込み、総合の特性試験、温度試験、振動試験などをするものである。図 6.1 には 350 kVA キャンドモータポンプ の総合特性の一例を示す。

試験の詳細については、本誌「キャンドモータポンプ の試験」を参照されたい。

7. むすび

350 kVA キャンドモータポンプ の試験研究は、昭和 35 年 10 月に終了し、昭和 35 年 12 月には各界の関係者ご出席のもとに公開運転を行ないご批判を仰ぎ、昭和 36 年 1 月に、科学技術庁原子力局のお立合を受け、すべてを完了した。この結果、頭初の目的である大形 キャンドモータポンプ の国産化は、きわめて満足すべき成績をもって達成することができた。今後いっそう大形の キャンドモータポンプ を開発するに当たって、設計上、工作上幾多の問題に遭遇すると思われるが、この試験研究で得られた貴重な体験を生かし、さらにすぐれた キャンドモータポンプ を製作して行く所存である。

終わりにのぞみ、この試験研究にご指導、ご助力を賜わった、科学技術庁原子力局、新三菱重工工業神戸造船所、三菱原子力株式会社および当社研究所の関係各位に深く謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) R. C. Robinson, I. Row, L. E. Douelan: The Calculation of Can Losses in Canned Motor, AIEE Transaction paper, 57-134.
- (2) R. L. Russell, K. H. Norsworthy: Eddy currents and Wall Losses in Screened-Rotor Induction Motor, The Institution of Electrical Engineers (Apr., 1958).
- (3) Paul D. Agarwal: Equivalent Circuits and Performance Calculation of Canned Motors, AIEE Transaction paper, 60-165.
- (4) Unfired Pressure Vessels, ASME Boiler and Pressure Vessel Code.
- (5) R. W. Dayton, C. M. Allen, H. A. Van Dyke: The Performance of Water-lubricated Sleeve Bearings, BMI-843 (June, 1953).
- (6) B. Cametti, A. J. Mei: Hermetic Motor Pumps for Sealed Systems. Mechanical Engineering (June, 1955).
- (7) 河合正吉: ステンレスクラッド鋼板について、『原子力発電』, 2, No. 4 (昭 33).
- (8) Waler Tleishmann: Determination of Ferrite in Type 347 Stainless steel weld Deposits, The welding Journal (Sept., 1954).
- (9) A. A. Raimondi, John Boyd: Applying Bearing Theory to the Analysis and Design of Pad-Type Bearings, Transaction of THE ASME (April, 1955).

キャンドモータポンプの試験

新三菱重工業株式会社神戸造船所
三菱電機株式会社 長崎製作所

角 正 隆 夫*
遠 藤 裕 男**・軸 丸 正 行**

Test of Canned Motor Pumps

Mitsubishi Heavy-Industries, Reorganized, Limited,

Kobe Shipyard and Engine Works Takao KAKUSHO

Mitsubishi Electric Manufacturing Company,

Nagasaki Works Yasuo ENDO・Masayuki JIKUMARU

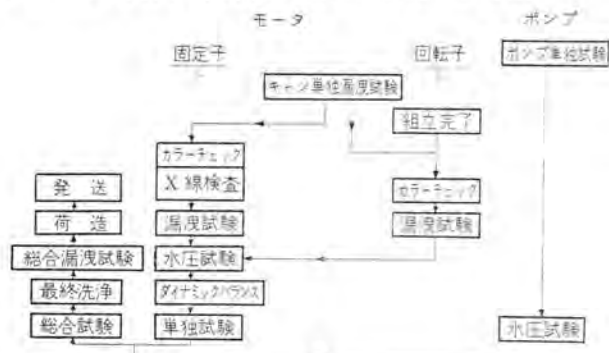
Very special construction of canned motor pumps makes it necessary to carry on test and experiment entirely different from those on general three phase induction motors. Any defects, if found after the completion of the set, may upset all the painstaking efforts. Aside from this, the device must operate in a plant where extraordinary conditions prevail to necessitate extremely rigid performance. Inspection points, examination items and test facilities, therefore, must be very carefully selected at each step of manufacturing processes. The writers, from their experience of 90 kW and 350 kVA canned motor pumps, have made description on the test of this unique apparatus.

1. ま え が き

キャンドモータはその構造が特殊であるため、一般の三相誘導電動機と異なった試験検査を実施しなければならない。すなわち、製作完了後の運転試験時に欠陥箇所を発見してもこの時点ではその手なおしのためには最初から製作をやりなおさなければならない部分が多いこと、使用されるプラントが特殊条件下であるためにすべての性能がきわめて厳格に規定されてこれを満足しなければならないことなどのため、製作に際してはまず各工程における検査項目、試験項目を明確にするとともに性能を明らかにするための使用計器ならびに装置の選定が問題となる。本文においてはこれらの問題についてすでに製作完了した 350 kVA、90 kW キャンドモータの試験を主体に述べることにする。

2. 試験検査時点

品質保証のための試験検査の時点を下記のフローチャートに示すように決定し、その基準は東海村に設置された国産1号炉主重水ポンプ用の 90 kW キャンドモータポンプに対するすべての必要事項を満足するようなものとした。



3. 試験ならびに検査項目

2項のフローチャートに示したおもな試験を項目別に分類すれば下記ようになる。

3.1 試験項目

- (1) 材料試験
- (2) 水圧試験
- (3) 漏れ試験
 - a. 単独漏れ試験
 - b. 総合漏れ試験
- (4) 単独特性試験
 - a. ポンプ単独特性試験
 - b. モータ単独特性試験
- (5) 総合特性試験(ポンプとの組合せ試験)

である、以下項目別にその試験内容を述べる。

3.2 試験内容

(1) 材料試験

各種の材料はあらかじめ機械加工前に成分分析、機械的強度試験、超音波探傷試験、耐食試験、染色またはケイ光探傷を行ない、とくに重要なものに対しては顕微鏡写真、X線写真を併用してその適否を判定した。

(2) 水圧試験

キャンドモータはその内部に直接ループの圧力が印加されるので運転時十分安全な状態で使用でき、人命や他の機器に損傷を与えないことを保証するため、JIS B 8241、ASME Boiler Code、高圧ガス取締り規格、高圧容器検査基準を参照し、設計圧力の1.5倍の水圧を1時間加圧し、水漏れの有無ならびに圧力降下、加圧時の各部の変形測定などを行なった。とくに運転圧力が高圧である場合は試験中危険のないよう注意するとともに被試験物は強固なる鉄ワクその他類似の物で囲って後加圧する方法を採

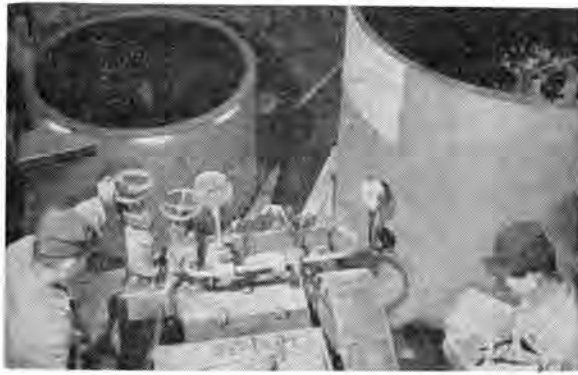


図 3.1 水圧試験
Fig. 3.1 Hydraulic test.

用した。図 3.1 は水圧試験状況を示す写真である。

(3) 漏れ試験

とくに漏れは致命的な欠陥となるので、冷却管、ファンなどは部品の段階において漏れ試験を行なうとともに製作過程においてそれぞれ、固定子、回転子製作完了後単独で漏れ試験を行ない、規定値以内の漏れ量であることを確かめるとともに総合漏れ試験を実施した。

なお、試験基準は国産 1 号炉 (JRR-3) の水、ガス系統のヘリウム漏れ試験基準を採用した。すなわち、漏れ許容量は機内をヘリウムガスで $0.5 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ に加圧して各漏れ個所につき $1 \times 10^{-6} \text{ cc/sec}$ 以内とした。

(4) 単独特性試験

a. ポンプ単独特性試験

ポンプはインペラを仮軸にそう入し試験用ケーシングに組み込んでつぎの各項目について行なった。

- (a) 機械的点検 (振動調整)
- (b) 特性試験
- (c) 推力測定

b. キャンドモータ単独特性試験

キャンドモータは組立完了後、一般三相誘導電動機と同様 JEC-37, JEM-1020 に従ってつぎの各項目について行なった。

- (a) 機械的点検
- (b) 抵抗測定
- (c) 拘束試験
- (d) 無負荷試験
- (e) 過速度試験
- (f) 騒音試験
- (g) 起動電流および時間の測定
- (h) 絶縁抵抗測定ならびに絶縁耐力試験

上記項目中 (a) (b) (c) (d) (h) は商用試験として行ない、(e) (f) (g) は設計上必要な資料を得るための試験として行なった。

(5) 総合試験

キャンドモータ単独試験完了後インペラを取付け、実物のケーシングに組み込み、試験用ループに据付けてつぎの各項目につき行なった。

キャンドモータポンプの試験・角正・遠藤・軸丸

- a. ポンプ特性試験
- b. モータ温度試験
- c. 高温、高圧運転
- d. 振動解析

とくに d. の試験は一般三相誘導電動機との構造の違いによるものでループの純水、温度、圧力、二次冷却水水量、水温の変化による振動の変化を問題にしたものである。

以上、おもなる試験、検査項目についてその大要を述べたが具体的に次項においてその試験法について述べる。

4. 試験法ならびに試験結果

本項においてはとくに一般的な試験の説明は省略し特殊試験に属する漏れ試験、総合試験を主体として述べることにする。

4.1 漏れ試験

(1) 試験法

漏れ試験法を大別すると、真空法、加圧法があるがそれぞれ一長一短があり被試験物の形状、構造、寸法などによって選択しなければならない。以下両者の方法について説明する。

a. 真空法

真空法には吹付法、覆囲法の 2 種類の方法があるが、吹付法は被試験物内部を補助真空ポンプにより真空にしてヘリウムガスを外部より被試験物の漏れ発生可能個所に吹き付けて被試験物内部に漏入するヘリウムガスを漏れ検知器により検知する方法である。この方法では漏れ個所の検知と大体の漏れ量が測定可能である。覆囲法は被試験物全体を鉄製の容器などの内部に密閉し、ヘリウムガスを満たし、同時に被試験物内部を補助真空ポンプで真空に保持し漏れ個所よりのヘリウムガスの漏入を検知器により検知する方法で、この方法は漏れの有無および全体の漏れ量の測定が迅速で感度の高い点が多くてはいるが、個々の漏れ個所の検知ができないことと、その個所の漏れ量が定量的に測定できないため検知される漏れ量は、1 箇所より漏れているものとみなさなければならない。

なお、上記の両者の方法はいずれも被試験物内部を高真空に保持しなければならないので検知器付属の真空ポンプ以外に補助真空ポンプを用意しなければならない点、被試験物の構造によっては適用できない物もあり採用に当たってはあらかじめ十分検討した後施行することが望ましい。図 4.1 (a), (b) は真空法による漏れ試験法を図示したものである。

b. 加圧法

加圧法にはスニフ法と積分法とがあるが、真空法と異なる点は補助真空ポンプを必要とせず被試験物内部にヘリウムガスを適当な圧力に加圧封入して漏れ個所からのヘリウムガスの漏入を検知器により検知する点にある。当所においてはキャンドモータの漏れ試験は構造上おもに加圧

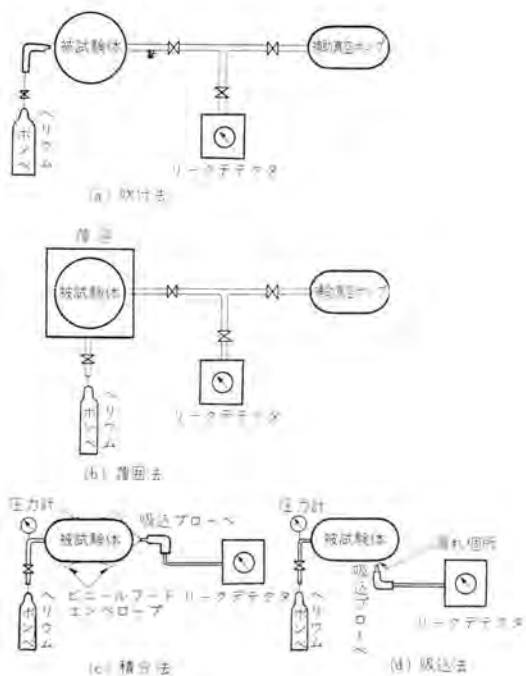


図 4.1 漏れ試験各種方法要領

Fig. 4.1 Various methods of leakage test.

法を採用した。図 4.1 (c), (d) は加圧法の説明である。

(a) スニファ法

この方法では漏れ個所の発見は可能であるが漏れ量の定量的な測定を確実に実施することは困難である。したがって漏れ個所を発見した場合は他の試験方法により漏れ量を測定しなければならない。この方法は被試験物内部を乾燥空気で置換した後ヘリウムガスを適当な圧力まで充填し、試験しようとする場所にプローブを移動しつつ漏れ個所を探すのであるが、この場合感度はプローブが被試験物の表面を移動する速度、プローブの先端の形状および表面に対する関係位置によっても異なるので、プローブの移動速度は 5 mm/sec 以内として、プローブの先端は垂直にし、しかも被試験物表面に対して 3 mm 以内に接合させて試験を行なう必要がある。図 4.1 (d) はスニファ法の説明図である。

(b) 積分法

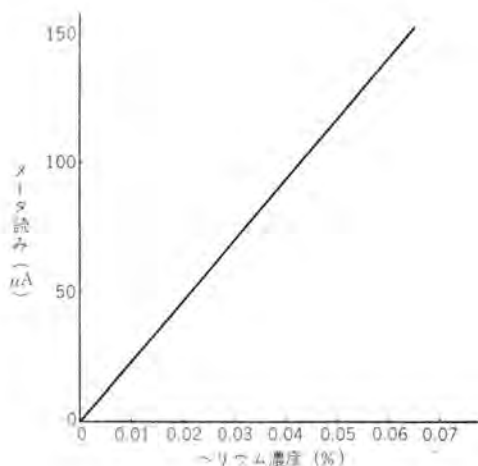
積分法はスニファ法と同様に被試験物内部を乾燥空気で置換（大気圧）後、さらにヘリウムガスを規定圧力まで加圧する。そして漏れ試験を行なおうとする部分に、図 4.2 のようにビニルシートをはり、周囲をセロテープまたはビニルテープで密閉して一定時間放置する。一定時間後にビニルシートを破り、プローブを差し込みそのときの漏れ検知器の指示より漏れ量を計算によって求めるのである。これがためにはあらかじめ試験前に漏れ検知器の校正試験を行なってヘリウム濃度とリークレート値の関係曲線求めておく必要がある。図 4.3 は試験に使用した漏れ検知器のヘリウム濃度とリークレート値の関係を示す曲線である。漏れ量は図 4.3 の曲線と式 (4.1) から算定する。

$$Q_m = V \times A / D_h \times T \quad (4.1)$$



図 4.2 90 kW キャンドモータ総合漏れ試験

Fig. 4.2 Combined leakage test of 90 kW canned motor.



$$S = \frac{L}{M \times R} = \frac{1.3 \times 10^{-6}}{20 \times 500} = 1.3 \times 10^{-10}$$

ただし

- S: 漏れ 1 に対するリークレート (cc/sec)
- L: スタンダードリーク (cc/sec)
- M: メータの読み (μA)
- R: メータ倍率

図 4.3 ヘリウム濃度—リークレート関係

Fig. 4.3 Helium density vs leak rate curve.

ただし Q_m : 漏洩量 (cc/sec)

V : インベローブ容積 (cc)

A : ヘリウム濃度 (%)

T : 放置時間 (sec)

D_h : 被試験体内部のヘリウム濃度 (%)

この方法による試験に際して注意する点は漏れ検知器の感度を高めるためにできる限り、インベローブの容積を小さくすること、漏れ量が充填圧力の平方根に比例するので機器の構造上許容される値までヘリウムガスを充填することである。図 4.4 は 350 kVA キャンドモータポンプの総合漏れ試験中の写真である。なお、この試験に使用したヘリウム漏れ検知器の感度は 1×10^{-10} cc/sec で許容量 1×10^{-6} cc/sec を検知するには十分満足すべきものであった。



図 4.4 350 kVA キャンドモータヘリウム漏洩検知器による漏れ検出
Fig. 4.4 Leakage test of 350 kVA canned motor with helium leakage detector.

(2) 漏れ試験結果

a. 回転子単独漏れ試験

キャン溶接後、絞り整形を行なって キャン単独 で漏れ試験を施行し、さらに回転子製作完了後 $0.5 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ までヘリウムガスを加圧封入し、積分法により各溶接部個々の漏れ量を求め、計算によって総合漏れ量を算出した。表 4.1 は国産 1 号炉用 90 kW キャンドモータ回転子単独の漏れ試験結果である。

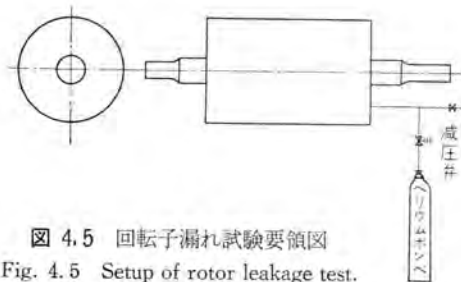


図 4.5 回転子漏れ試験要領図
Fig. 4.5 Setup of rotor leakage test.

表 4.1 90 kW キャンドモータ回転子単独漏れ試験結果

漏れ箇所	試験法	放置時間 (sec)	漏れ量 (cc/sec)
回転子全溶接部合計	積分法	2.7×10^5	6.66×10^{-10}

b. 固定子単独漏れ試験

回転子と同様の手順でキャン単独漏れ試験終了後、固定子にキャンならびに冷却管を溶接し両端に盲フタを取付け、図 4.6 に示す試験要領に従って漏れ試験を行なった。ヘリウムガス封入圧力などは回転子の場合と同じ値を採用した。表 4.2 は 90 kW キャンドモータ固定子単独漏れ試験結果である。

c. 総合漏れ試験結果

回転子、固定子単独漏れ試験終了後、キャンドモータポンプとして総合組立し、最終的な漏れ試験を行なう。図 4.7

キャンドモータポンプの試験・角正・遠藤・軸丸

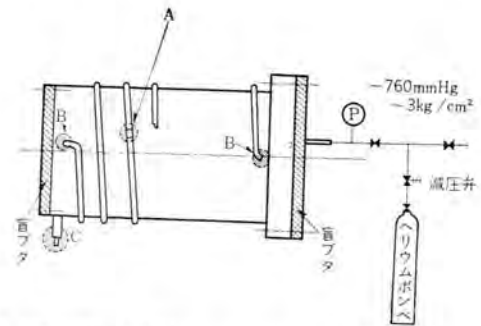


図 4.6 固定子漏れ試験要領図

Fig. 4.6 Setup of stator leakage test.

測定位置

記号	測定位置
A	一次冷却水管継目溶接部
B	一次冷却水管出口、入口溶接部
C	固定子キャン上、下溶接部

表 4.2 90 kW キャンドモータ固定子単独漏れ試験結果

記号	漏洩箇所	試験法	放置時間 (sec)	漏れ量 (cc/sec)
1	固定子キャン全体	積分法	9×10^4	5.61×10^{-7}
2	一次冷却管継目	"	"	1.48×10^{-9}
3	一次冷却管出入口部	"	"	1.67×10^{-9}
1~3	総合漏洩量			5.61×10^{-7}

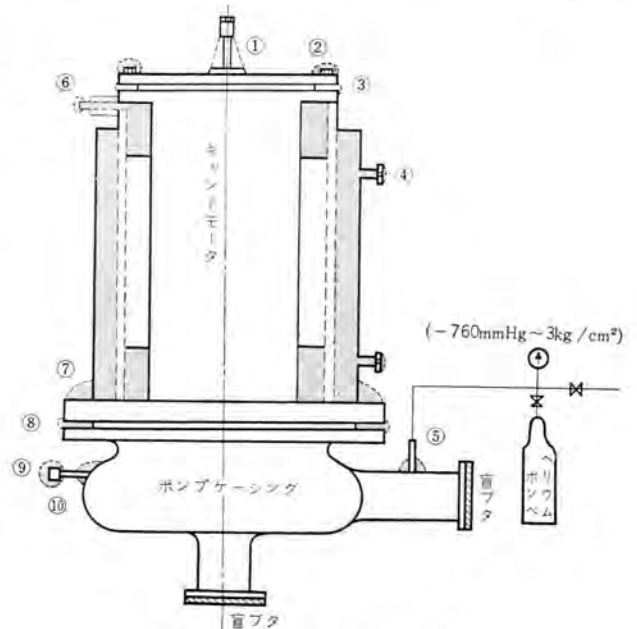


図 4.7 総合漏れ試験要領図

Fig. 4.7 Setup of combined leakage test.

表 4.3 90 kW キャンドモータ総合漏れ試験結果

記号	漏洩箇所	試験法	放置時間 (sec)	漏れ量 (cc/sec)
1	空気抜き管溶接部	積分法	1.5×10^5	0
2	上部フランジガスケット部	"	"	"
3	同上	"	"	"
4	二次冷却水室	"	"	3.8×10^{-7}
5	吐出圧力取出し管溶接部	"	"	0
6	固定子コイル室部	"	"	"
7	ポンプ締付けガスケット部	"	"	"
8	同上	"	"	"
9	胴内圧取出し管プラグ部	"	"	"
10	胴内圧取出し管溶接部	"	"	"
1~10	総合漏れ量			3.8×10^{-7}

は総合漏れ試験要領図であり、図中 ①～⑩ は漏れ量測定のためのエンベロープである。表 4.3 は 90 kW キャンドモータポンプの総合漏れ試験結果で、原子力研究所立合試験時の記録である。

d. 漏れ試験時の一般的注意事項

ヘリウムガスによる漏れ試験を行なう場合の注意事項を列記するとつぎの各項である。

- 被試験物は事前に寸法測定、水圧試験などの各種試験を終了していなければならない。
- (a)の試験を終了し合格したものは規定の方法により十分清掃、洗浄を実施し乾燥を完全に行なう。
- ヘリウム漏れ検知器のバックグラウンドがあまり高いと測定の精度が問題となるので極力低い状態で試験を行なうよう十分注意する。
- スタンダードリークによる較正は試験前および試験終了後必ず行なうとともに試験が長時間に及ぶときは中間において感度の点検を再行なう。
- 漏れ検知器の電源電圧を一定に保持すること。

4.2 単独特性試験

(1) ポンプ単独特性試験

ポンプ単独試験はすべて常温で行なったが、特性算定は仕様条件に換算した。図 4.8 は 350 kVA キャンドモータ用ポンプの単独特性の実測結果である。

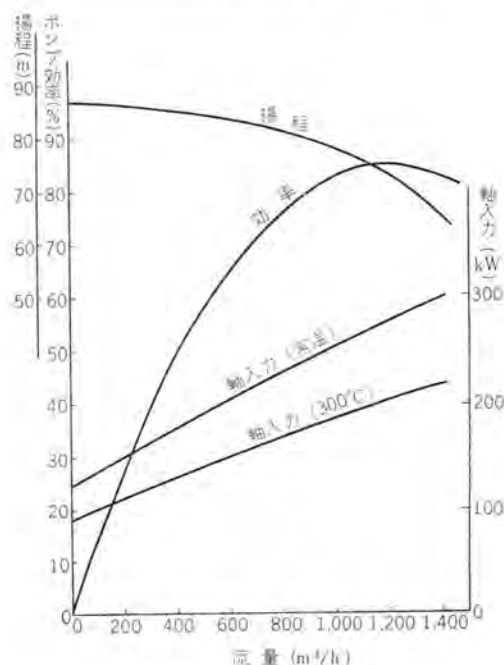


図 4.8 ポンプ単独特性曲線

Fig. 4.8 Individual pump characteristic curve.

軸方向のスラストの測定はインペラの上部および下部の圧力差より計算した。その結果定格流量のとき下向きに 150 kg、流量ゼロのとき上向きに 440 kg であった。また半径方向のスラストはスパイラルケーシングおよびクラウンクリアランススペース、シュラウドリング・クリアランススペースの圧力の不平

衡から計算した。その結果、半径方向スラストは定格流量において 130 kg であった。

(2) モータ単独特性試験

キャンドモータはエアチャップならびにベアリングはルーブの一次流体に浸されて運転するので特性試験を行なう際は、図 4.9 に示すような試験回路を使用し以下に述べる各項を確実に実施しなければならない。

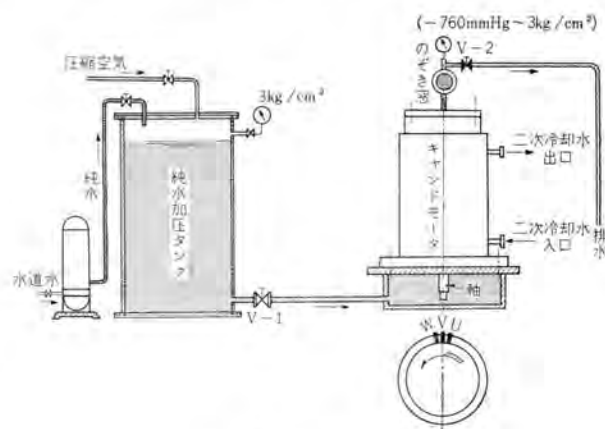


図 4.9 単独試験回路

Fig. 4.9 Individual test circuit.

- 試験回路はキャンドモータと同様十分な洗浄を実施し完全に異物を除去すること。
- 一次流体には比抵抗 $5 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の純水を使用すること。
- 機内への純水封入は徐々に行ない機内が満水したら入口弁 V-1 を全閉しモータ上部鏡板を取はずし手で数回回転子を回し各部に付着している気泡を完全に除去する。とくにキャンドモータは組立後エアチャップの測定が不可能であるので組立が正常であることを確認する意味においてもぜひ行なわなければならない。
- 機内の封水完了後、固定子巻線絶縁抵抗を DC500 V メガーで測定し $1 \text{ M}\Omega$ 以上なることを確認してモータ端子の接続を行なう。とくにあらかじめ電源の相回転を確認し起動時逆転させないよう注意する。したがって起動時はモータ回転方向を再確認する必要がある。
- 試験回路は最低 $1 \text{ kg/cm}^2 \text{g}$ 加圧し運転時機内の局部的負圧の発生を防止する。
- 初起動時は電圧、周波数が自由に調整しうる正弦波交流電源を使用し段階的な回転上昇が望ましい。とくに注意する点は 150 rpm 以下の連続運転を行なわないことである。
- 運転中は振動、音響、ショックの有無を確認するとともにモータ上部ののぞき窓に注意する。
- 二次冷却水は運転中連続通水すること。
- 無負荷試験時は各相電流、入力値およびその変動に注意するとともに安定した状態において計測を行なうこと。

以上おもなる事項を述べたが、そのほかは一般三相誘

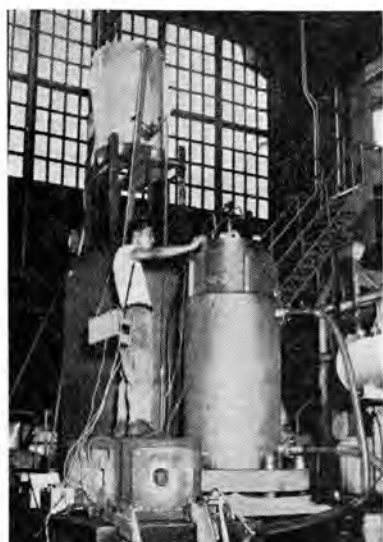


図 4.10 350kVA キャンドモータ単独試験
Fig. 4.10 350 kVA Canned motor individual test.

表 4.4 350 kVA 負荷特性一覧 (特殊甲門線図法)

定格入力 350 kVA 電圧 440 V 60 c/s 1,800 rpm

負荷 (%)	出力 (kW)	線電流 (A)	効率 (%)	力率 (%)		
125	312.5	573	82.3	88.5	最大出力 (%)	181
100	250	460	79.5	90.5	最大トルク (%)	199
75	187.5	351	75	90.5	起動電流 (A)	1,390
50	125	275	68.5	89	起動トルク (%)	43
25	62.5	186	52	83.5		

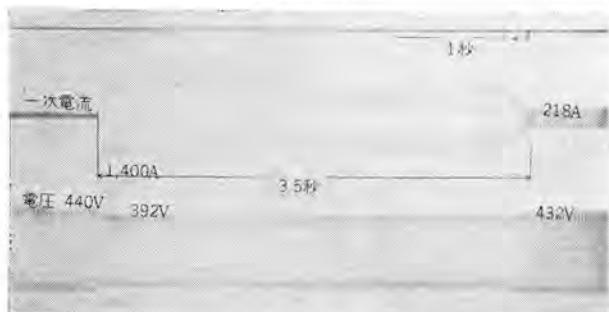


図 4.11 350 kVA キャンドモータ起動特性オシログラム

Fig. 4.11 350 kVA Canned motor start characteristic oscillogram.

導電動機の試験と同一要領で良い。図 4.10 は 350 kVA の単独試験中の写真である。表 4.4 は JIS C 4207 特殊甲門線図法により算定した 350 kVA の特性値の一覧表で、図 4.11 は同機の定格電圧における直入起動時の起動電流、起動時間の関係を示すオシログラムである。

4.3 総合試験

モータならびにポンプの単独試験完了後、両者を直結してテストループに組み込み、総合特性試験を行なうのである。350 kVA キャンドモータポンプは 300°C 140 kg/cm² の高温、高圧における総合特性試験を行なったのでこれについて説明する。

この目的は

- 高温高圧におけるモータ入力とポンプ流量、総合効率の測定。

- キャンドモータポンプの各部の温度および加圧器、ループ

キャンドモータポンプの試験・角正・遠藤・軸丸

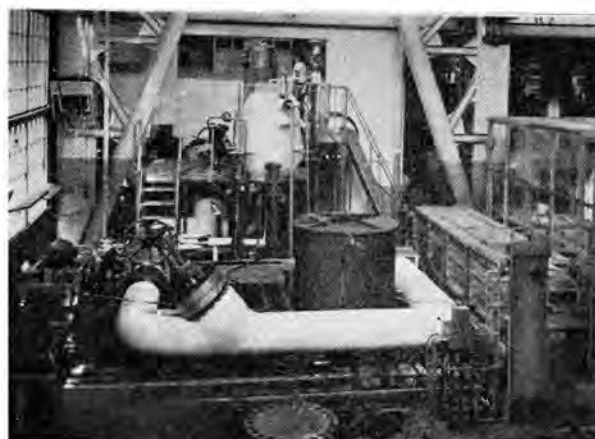


図 4.12 350 kVA キャンドモータポンプテストループ外観
Fig. 4.12 Exterior view of 350 kVA canned motor pump test loop.

の温度分布測定。

c. キャンドモータの高温、高圧運転時のキャンドモータポンプの構造の適否の確認。すなわち、漏れ、変形の有無、軸受部の潤滑状態などを主体として調査することであった。

以下、テストループの概要ならびに試験結果について述べる。図 4.12 はテストループの外観であり、図 4.13 はテストループの系統図である。このテストループの使用限度は 2,000 m³/h までで、キャンドモータポンプを 140 kg/cm²g 300°C で運転するために製作したものである。

(1) テストループ主要構成機器

このテストループはつぎの機器装置より構成されている。

a. 主回路

キャンドモータポンプ吐出ノズルより試験回路を形成し吸込ノズルに至る不銹鋼管製の密閉回路であり、縦約 8 m、横約 5 m の長方形を形成し、流量計用フローノズルおよび流量調節弁など、ポンプの性能試験に必要な種々の機器が全溶接構造にて取付けられている。なお、この回路には保温材を巻き、熱の逃げるのを防止している。

b. 加圧器

この加圧器はサ形鏡板を有する鋼板製の密閉容器であり、内面にはステンレス溶接肉盛を行なっており上部には人孔戸を設けスプレーノズルを取付け、また下部には特殊シースヒータ、下部鏡板には多孔板および加圧連絡管ノズルが取付けられている。

c. 冷却器

主回路の一部より分岐回路を設け二重管式熱交換器を取付け、ループの純水温度調整用とした。内管は不銹鋼、外管は配管用鋼管で構成されている。

d. 純水タンク

鋼板製円筒形のタンクで内面にはエポキシ樹脂コーティングを行ない、上部空気抜きにはフィルタを取付け純水中に異物の混入することを防止している。

e. 補給水ポンプ

補給水ポンプの仕様はつぎのとおりである。

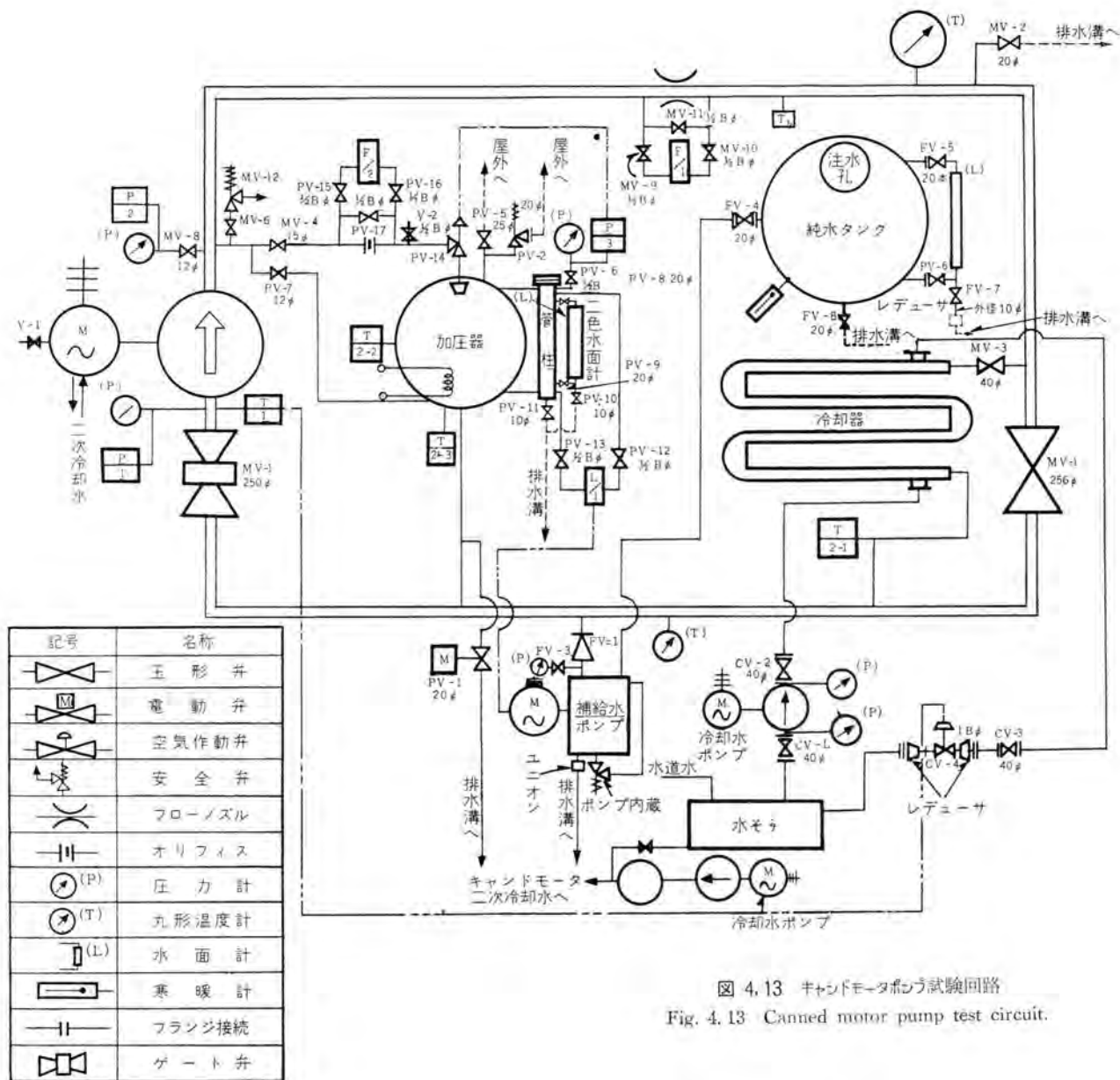


図 4.13 キャンドモータポンプ試験回路
Fig. 4.13 Canned motor pump test circuit.

(a) ポンプ仕様

形式 電動機駆動直動ポンプ
容量 1 m³/h
吐出圧力 175 kg/cm² a.b.s.
吸込圧力 1 kg/cm² a.b.s.
給水温度 常温

(b) 駆動電動機仕様

形式 全閉外扇カゴ形
容量 10 kW
電圧 220 V
周波数 60 c/s
回転数(同期) 1,200 rpm

f. 冷却水ポンプ

冷却水ポンプの仕様はつぎのとおりである。

(a) ポンプ仕様

形式 電動機直結横置単段渦巻ポンプ

容量 10 m³/h
揚程 30 mH₂O
吸込温度 常温
(b) 駆動電動機
形式 全閉外扇カゴ形
容量 3 kW
電圧 220 V
周波数 60 c/s
回転数(同期) 3,600 rpm

g. 計測制御装置

計測制御装置はつぎの諸計器ならびに装置により構成されている。

(a) 加圧器水位計

Foxboro リボン形指示計(警報接点付)で計器目盛は -250 mm H₂O ~ +250 mm H₂O で警報接点は、-100 mm H₂O (補給水ポンプ起動), +100 mm H₂O (補給水

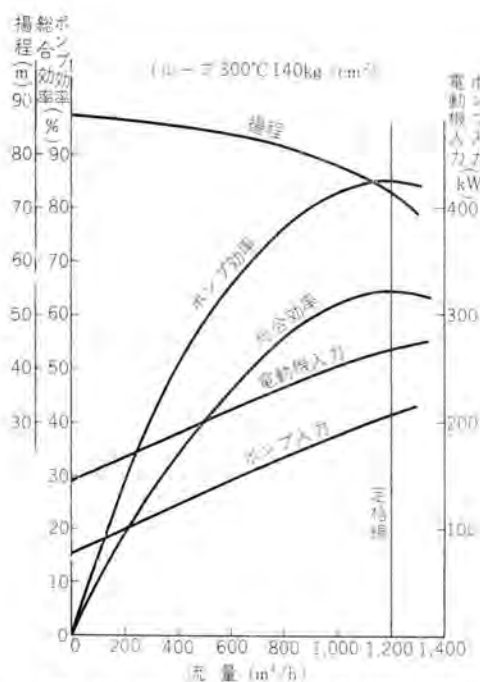


図 4.14 350 kVA キャンドモータポンプ総合特性
Fig. 4.14 350 kVA Canned motor pump combined characteristic.

ンプ停止) に設定してある。

(b) 主回路流量計

Foxboro コンソール形指示記録計で、流量積算計を付属しており、指示範囲は 0~2,000 m³/h である。

(c) ポンプ吸込側、吐出側圧力計、加圧器圧力計

ポンプ圧力計 はいずれも Foxboro コンソール形指示記録計、加圧器圧力計は Foxboro コンソール形指示記録調節計で、指示範囲は 0~180 kg/cm² である。

(d) ポンプ吸込側温度計

小形電子管式自動平衡形温度指示記録調節計で、目盛範囲は 0~350°C である。なお、本器により主回路温度、300°C を基準として冷却水量が制御される。

(e) 補助三点温度計

電子管式自動平衡形三点記録温度計で、加圧器上水部、下水部、主回路水冷却器出口側温度の測定に使用され、計器目盛は 0~350°C である。

(f) 加圧器スプレー流量計

加圧器圧力計により制御される圧力調節用のスプレー流量を指示記録する計器で、Foxboro コンソール形指示記録計を使用している。目盛範囲は 0~150 l/h である。

(g) その他

調節計用空気源として空気圧縮機、加圧器ヒータ用電源盤、付属配管、弁類など。

以上 a.~g. がテストループの主要機器である。つぎに総合試験時の測定結果について述べる。

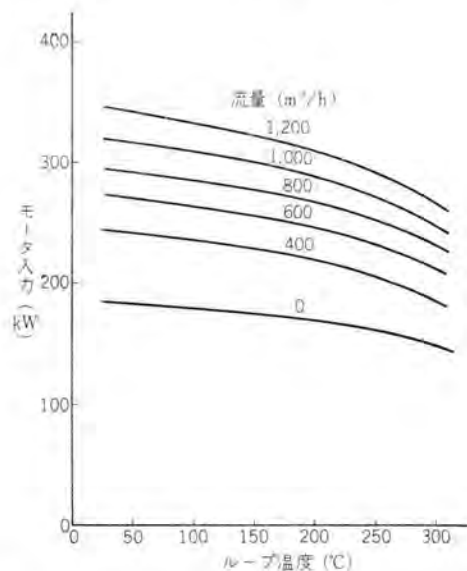


図 4.15 350 kVA キャンドモータ温度—入力特性曲線
Fig. 4.15 350 kVA Canned motor temperature—input characteristic curves.

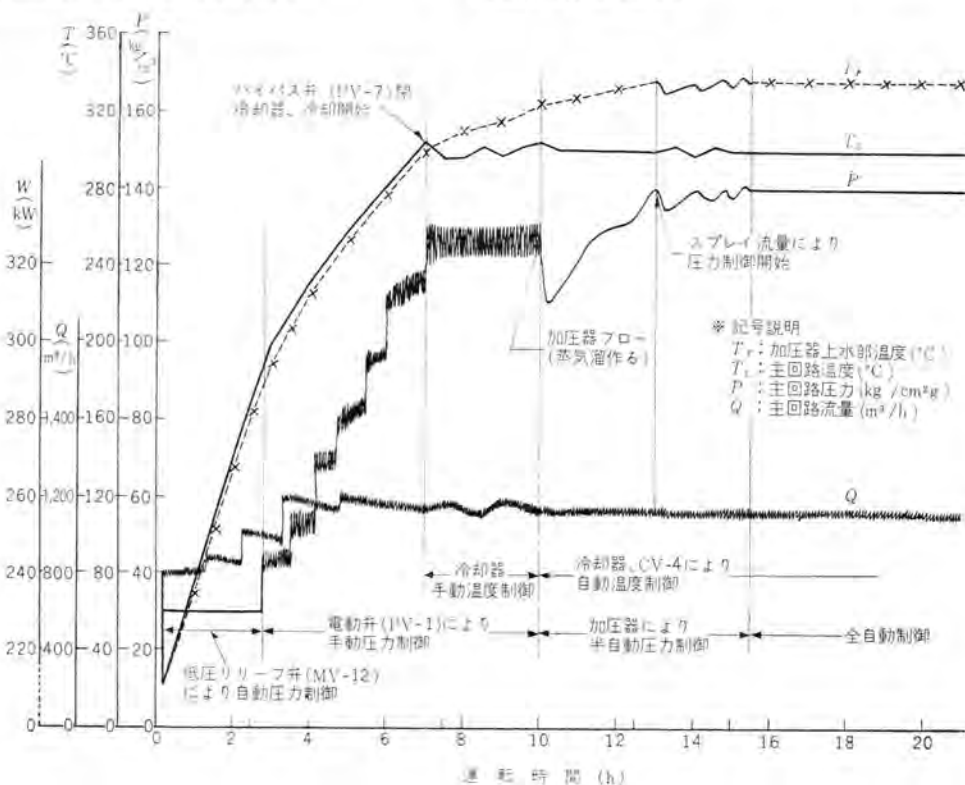
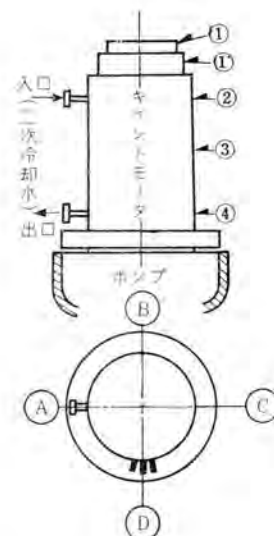
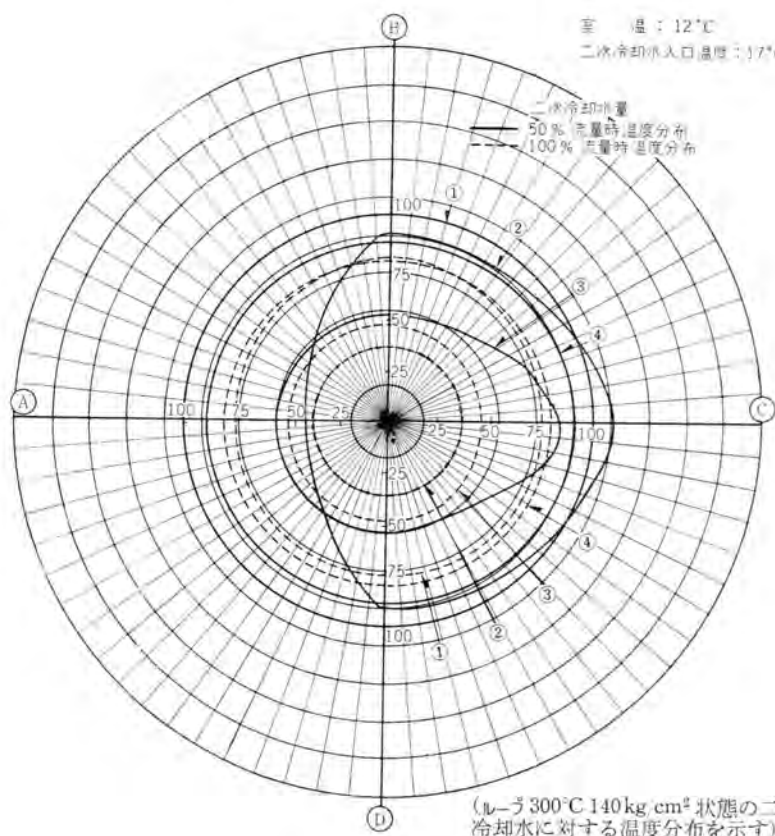


図 4.16 350 kVA テストループ運転特性曲線
Fig. 4.16 350 kVA Test loop operation characteristic curves.



軸方向の数値は 100%流量時のモータ最高温度上昇を 100 として各点の温度上昇を%で示したものである。

記号	温度測定箇所
1	上部機板円周
2	冷却管側上部円周
3	冷却管側中部円周
4	冷却管側下部円周
1'	上部フレーム円周

図 4.17 350 kVA キャンドモータポンプ表面温度分布

Fig. 4.17 350 kVA Canned motor pump surface temperature distribution.

(2) 総合試験結果

図 4.14 は 300°C 140 kg/cm²g のときの 350 kVA 総合特性試験結果を図示したもので、ポンプ規定流量 1,200 m³/h のときモータ入力 は 267 kW であり、ポンプ効率、モータ効率とも設計予想以上の好結果であることが判明した。

図 4.15 はループの温度を変化した場合のモータ入力の変化を示したものである。実測結果によればループ温度 50°C の場合は 300°C の場合に比較して約 28% の入力増加となる。

図 4.16 はテストループ昇温、昇圧時の運転特性をキャンドモータ起動後 24 時間図示したものであり、起動後約 10 時間は電動弁 PV-1 により圧力を、CV-4 により温度を手動制御し、つぎの約 5 時間は主回路温度だけ自動制御し、圧力は加圧器、PV-14 により半自動制御を行ない、圧力、温度ともほぼ目標値に安定した後全自動運転に切換えている。この図のように全自動運転時はきわめて安定した制御状態であることがわかる。

なお、300°C 140 kg/cm²g 連続運転中キャンドモータの二次冷却水量を変化した場合のモータ表面の温度分布を図

4.17 に示した。図のように規定流量 100% とした場合、50% 流量では表面温度分布はかなり不均一となるとともに巻線温度上昇も急激に上昇し危険で、70% 程度までが安全許容限度であることが判明した。

キャンドモータの振動をループの各圧力、温度において計測した結果は、とくに変化は検知できなかった。すなわち、モータ上部で全振幅 2/100 mm が最大の振動であった。

諸試験終了後、分解点検したが各部とも変形、損傷はなく試作品の構造で 140 kg/cm² 300°C の流体を無漏れで運転できることが確認できた。

5. む す び

350 kVA, 90 kW の試験ならびに試験結果を主体としてキャンドモータの試験一般について、その概要を述べたが、とくに高温、高圧下における、キャンドモータポンプの運転試験より将来より大形のキャンドモータポンプを国産化する自信を深め得たことは最大の収穫であった。最後に試験に協力下された関係各位に感謝する。

キャンドモータポンプの据付, 運転, 保守

長崎製作所 中村正二*・遠藤裕男*

Installation, Operation and Maintenance of Canned Motor Pumps

Nagasaki Works Shōji NAKAMURA・Yasuo ENDO

Canned motor pumps have been developed by Westinghouse and are now in practical use at nuclear power power plants to circulate coolant taking out heat generated in the reactor. They are also finding their way into the thermal power plant to circulate boiler water. Withstanding high temperature and high pressure with no leakage are characteristic features of this device differing from ordinary mechanically sealed pumps. This unique construction needs special care in installing operating and maintenance of the canned motor pump. Mitsubishi has had much experience in building them with success. Some of them have been operating for four years. This article gives a few examples for the explanation of these points.

1. ま え が き

キャンドモータポンプは、Westinghouse 電機会社にて開発され、現在原子力プラントにおいて、炉に発生する熱を取り出す冷却材の循環ポンプとして実用されているばかりでなく、最近では火力発電所ボイラ給水の循環ポンプとしても広く使用されている。

キャンドモータポンプは高温高圧に耐え、かつ無漏れのポンプであることが従来のメカニカルシールのポンプと異なっており、非常に信頼性が高いのであるが、その構造が特殊であるため正しい運転と適切な保守が厳格に要求される。

当社においては、昭和31年よりキャンドモータポンプの試作を開始し、すでに金属材料研究所の高温高圧腐食試験装置用、三菱原子力株式会社太宮研究所ならびに、原子力研究所 JRR-3 用としてそれぞれ 11 kW, 15 kW, 90 kW, キャンドモータポンプを完成した。11 kW は現在円滑に稼働中で運転時間も 1,000 時間程度に達しており、15 kW は国産第 1 号のもの、およびこれと同形のものが他に 3 台あり、もっとも長いもので 4 年間の運転実績をもっている。

また、最近 350 kVA のキャンドモータポンプならびにその高温高圧における試験用ルーを製作し、数ヵ月に及ぶ高圧高温運転を完了したのでこれらの組立ならびに試験結果を基礎とし、据付けと正しい運転法、適切な保守について概略説明する。

2. キャンドモータポンプの概要

運転、保守に対する理解を深めるために、キャンドモータポンプの概要について説明する。

図 2.1 は構造断面図である。(各部の名称は一覧表参照のこと)

メインインペラはモータ回転子軸に取付けられており、

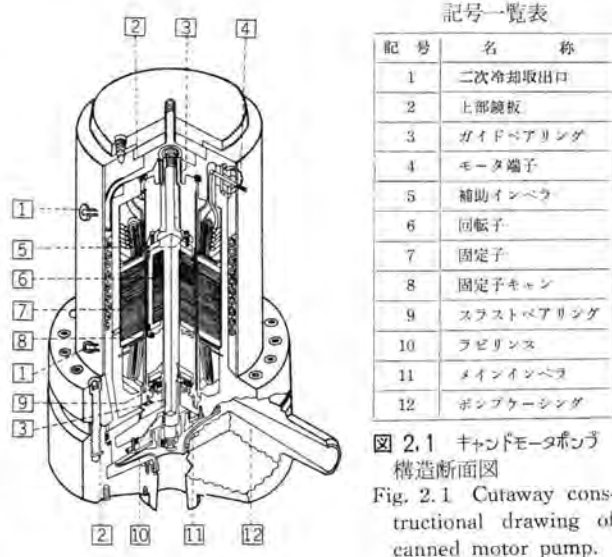


図 2.1 キャンドモータポンプ構造断面図
Fig. 2.1 Cutaway constructional drawing of canned motor pump.

ルー中の水はメインインペラにより循環する。モータ内部にはルー内と同じ流体がはいっており、この流体が回転子、固定子の鉄心、巻線と接触しないように固定子、回転子とも耐腐食性のキャンドで保護されている。

モータポンプ各部はルーの全圧力に耐えるような構造になっている。

固定子と回転子のギャップには水が循環しており、モータとポンプ間の軸シールの必要はない。モータ内部にルーと同一の流体があり、ベアリングは油で潤滑できず水潤滑である。固定子と回転子のギャップには補助インペラにより水を循環させ、モータより発生する熱を放散させるとともに、ベアリング潤滑を行なわせる。この水は固定子の周囲に巻かれた冷却水管を通りふたたび補助インペラに戻る。固定子ケーシングの周囲は熱交換器となっており、モータ冷却水はここで二次冷却水（低圧冷却水ともいう）により冷却される。

モータの組立はガスケットでシールし、ボルトでポンプケーシ

ングに締付けられる。分解の際にはこのボルトをはずすとポンプケーシングだけループに残し他は容易に取はずすことができる。モータケーシングの上部は、上部鏡板でシールする。上部鏡板には起動時のモータ内部の空気抜き用のベントが設けてある。

3. 受入・取扱い・据付

一般にキャンドモータポンプは、配管にポンプの吸込口および吐出口を溶接して支持するよう設計されており、その他の支持は必要としない。ポンプケーシングはモータ部分を取はずして、単独に溶接するのであるが、配管系から

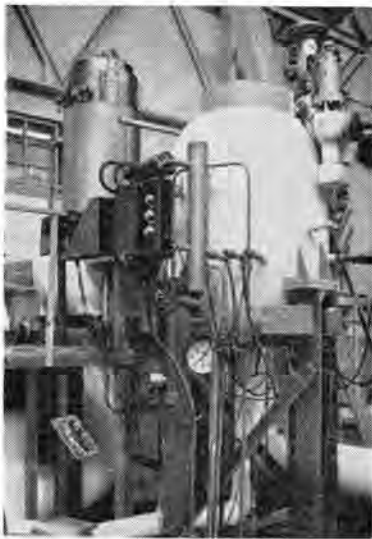


図 3.1 キャンドモータポンプ据付け
Fig. 3.1 Exterior view of canned motor pump installed.

異物やパイラスケールがポンプ内部に侵入しないよう十分注意する必要がある。

本項においては受入および取扱い、据付けに関する一般的な問題について述べる。

3.1 受入および取扱い

梱包を解いて、まず輸送中にポンプが損傷していないか確かめる。できる限りポンプは垂直にして取扱うことが望ましい。インペラ端部に取付けてある回転子固定用具を取はずして、インペラを手で回して異常のないことを確認する。

名板記入値が供給電源の電圧、周波数に合致しているかも確かめ、すべてに異常を認めない場合は据付けまでの期間もとの梱包に戻して、乾燥したチリのない場所に保存することが必要である。

3.2 据付

据付けの問題は、使用される個々のループにより異なるので一概に論ずることはできないが、いずれのループに据付ける場合においても適用しなければならない点について述べる。

(1) ポンプケーシングを所定の位置に置きレベルを合わせて固定する。

(2) 吸込および吐出側の配管をポンプの吸込口および吐出口に合わせる。

(3) ポンプ吸込口および吐出口と主配管を溶接する。この際、溶接に先だって、バックリングと配管接続部分のギヤップを検査し、適正な値になっていることを確かめる。溶接のノロがポンプ内部にはいり込むと、軸受、ラビリンス、インペラなどに損傷を与えることがあるから、ノロの侵入を絶対に防止することが必要である。

(4) キャンドモータポンプは製作時の工場試験ですでに水圧試験が完了している。それでモータを取つける前に、ポンプと配管の溶接部も含めて規定の圧力で水圧試験を行ない、ループの洗浄も実施する。

(5) ポンプケーシングの配管溶接完了後、つぎに述べる要領でキャンドモータの固定子を据付ける。

a. モータの固定子と回転子とを組合せた状態で、ポンプケーシングに取つけるのであるが、キャンドモータ軸端には、すでにポンプインペラが取付けてある。これをポンプケーシング上に組立てる場合は、各部のすきまは小さいためクレーンの昇降は慎重に行なわなければならない。

b. ポンプケーシングの植込ボルトとモータ固定子のボルト穴を合わせて、キャプスクリューにて各部均一になるように締つける。なお、締つけ時、ボルト締付面とキャプスクリューとの焼付防止用として、炭素粉を使用することを推奨する。

3.3 電気結線

キャンドモータポンプを組立てた後、モータ端子を電源に接続するのであるが、電気配線はメーカーの図面指定に従うとともに、電気工作物規定に準拠して行なわなければならない。なお配線、スイッチ、制御器、過電流継電器などあらかじめ十分な試験を行ない、異常の有無を確認する必要がある。

周波数が10%あるいは周波数ならびに電源電圧がともに10%変化しても十分に運転可能なように、電気配線寸法を選定しなければならない。またモータ端子に接続される配線は湿気に対して十分な考慮を払うとともに、接続時は端子に過度のトルクを加えないよう注意すべきである。端子は電源の相回転がR. S. T. のときU. V. W. となっているので、電源の相回転はあらかじめ確認しておかなければならない。

キャンドモータポンプは決して正規の方向と逆方向に回転させてはいけな。もし逆回転させると回転子が浮き上がったり、スラスト軸受を焼いたりするおそれがある。接続配線ははずした場合そのつど電源相回転を確認して、端子に接続する必要がある。

なお、モータ自体の絶縁抵抗は、直流500Vメガにて測定し最低1メガオーム以上であることが望ましい。

3.4 冷却水配管

二次冷却水配管の接続は、保守・点検のためにポンプを分解する場合を考慮して、適切な接続継手を使用すべきで一般にはフレキシブル配管が採用されている。二次冷却水の入口は上部、出口は下部が普通である。ポンプを起動する前には、必ず二次冷却水を循環させなければならない。なお冷却水系の水温が上がり過ぎたり、圧力

が低下したときの警報装置を備えるとともに非常用冷却水が通水可能なように別途配管を考慮することが望ましい。

3.5 フラッシング

キャンドモータポンプは工場において完全な洗浄を施行してあるので、とくに現地ではフラッシングを行なう必要はないので据付完了後は、ふたたびモータ部分をポンプケーシングより取はずし、ループのフラッシングを行なわなければならない。フラッシングの方法は、原子炉プラントあるいはボイラ循環ループ、その他各ループの特性により異なるので共通な方法はないが、目的はキャンドモータポンプの円滑な運転を可能ならしめることにある。とくにモータの軸受部ポンプのインペラとケーシングのクリアランスなど、非常に小さいので、これらの部分にわずかな異物が侵入しても重大な事故を起こし、ポンプならびにモータに損傷を与える結果となるので、厳密なるフラッシング方法を立案し、慎重に実施することが望ましい。

フラッシング用流体としては、原子炉プラントには比抵抗 $5 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の脱塩水を使用し、別途にフラッシング用ポンプを設備して規定流量で行ない、清浄度はジーンアイ、サビなどの異物回収用の不銹鋼の金網をループの適当な箇所に取り付けて点検するとともに純水比抵抗の変化を測定して判定する。なおフラッシングを完全に施行することが不可能と推定される部分は窒素ブローを行なって洗浄効果を高める。その他ボイラプラント、あるいはこれに類似するループの場合は、一般軽水で行なうことをたてまゑとしている。この場合はループ中の軽水はフラッシング中、たびたび新しい軽水と入れ換えて行なうと効果的である。

フラッシングの完了後は、キャンドモータポンプを正式に据付けて、満水の状態に保持する。とくに乾燥は行なわない。給水用として軽水を使用する場合は、発錆防止剤として重クロム酸ソーダの0.5%溶液とすることがある。

4. 運 転

キャンドモータポンプの運転についてまず一般的な注意事項を述べる。運転前キャンドモータポンプならびに配管系統に給水する場合、内部の空気が完全に排除できず、空気が至る所に残っており、したがって低圧力において、低温起動を行なうとこれらの空気はポンプ中に溜りやすく、ベアリングおよびモータ各部の潤滑、冷却作用を悪くし、事故の

原因となるおそれがある。したがって系統中に残る空気をできる限り少なくするため、つぎに述べる各項に注意が肝要である。

(1) キャンドモータポンプに給水する場合は、系統中の1箇所から徐々に給水する。

(2) 給水時は各ベントバルブ、循環バルブは全開して置く。

(3) キャンドモータポンプ起動前には水位がゲージグラス上端よりも高いことを確認する。起動後も適切な水位を保持する。

(4) ポンプ運転開始時は、連続して各部の点検を行なうとともに、ポンプ付属のゲージ、その他の計器およびモータ入力電流に注意する。高温のループでは定格の温度のときのポンプ流体の比重と、起動時(低温)の流体比重に大きな差があるので、低温運転時に定格の流量に保つと負荷は、比重の比によって増え過負荷となる。起動時の過負荷の度合、過負荷の継続時間は定められた範囲内に保たなければならない。

電流が不規則に変化、変動するのはモータキャビティに空気が残っていることに起因する場合が多い。このような状態になった場合は、ポンプは直ちに運転を中止し、ふたたび系統ならびにキャンドモータポンプの空気抜きを行なう。このほか起動時には音響にも注意すべきことはもちろんである。

(5) 系統によっては排水する場合は、ポンプの吸込側ならびに吐出側弁を閉じてから排水する。小さなモータキャビティが一部負圧になり固定子キャブを損傷する場合がある。

(6) ポンプ吸込側弁は全開して運転する。

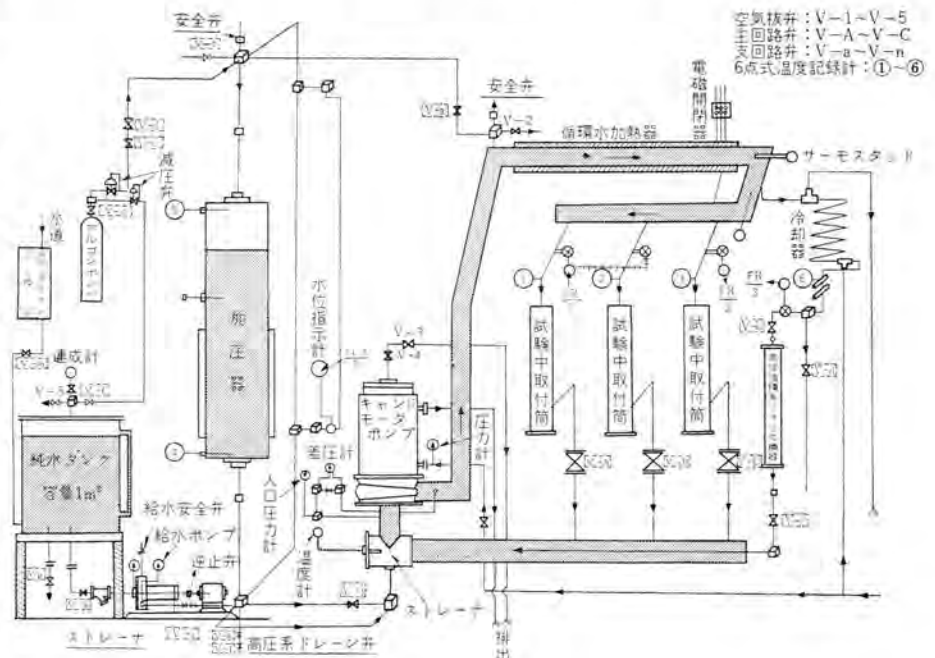


図 4.1 11 kW キャンドモータポンプ腐食試験回路図

Fig. 4.1 Corrosion test circuit diagram of 11 kW canned motor pump.

流体 軽水
温度 320 °C
圧力 140 kg/cm²

純水温度は常用 318 °C, 最高 350 °C 吸込圧力 140 kg/cm² である。ループの各構成機器は試験片取付筒 3 個を備え、流水温度は、循環水加熱器により加熱されるとともに、サーモスタットにより一定温度に調整されるようになっている。ループの流水圧力は 加圧器ヒータの加熱によって、昇圧制御されるとともに、流水の純度は高温循環系イオン交換器により、つ

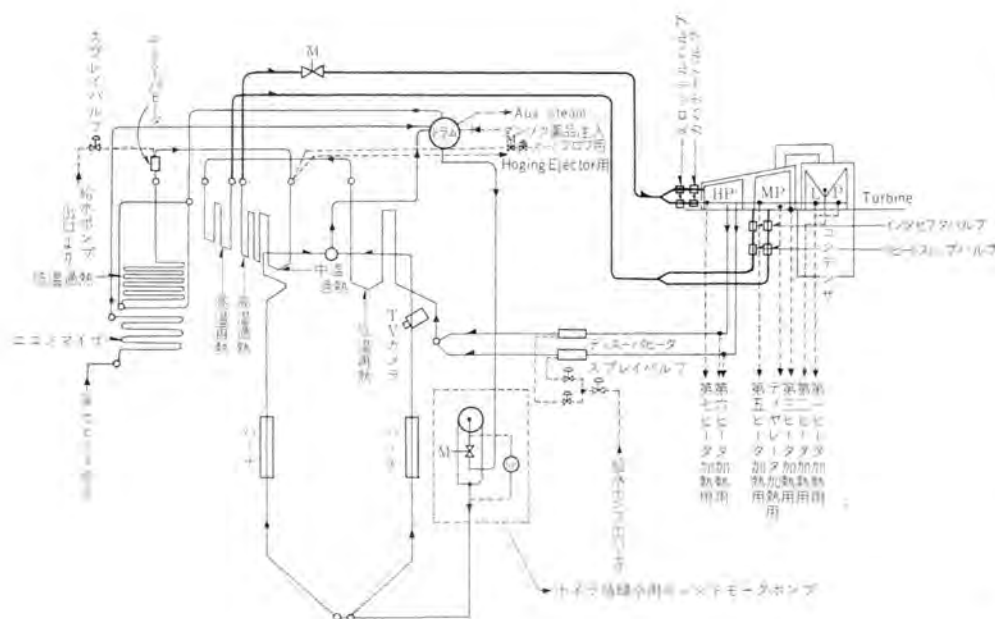


図 4.2 ボイラおよび スチームライン
Fig. 4.2 Boiler and steam line.

以上、運転一般について述べたが、キャンドモータポンプが使用されている個々の系統の構成状態により、細部の運転はそれぞれ異なるものである。以下代表的な事例につき運転法を説明する。

5. 金属腐食試験ループにおける運転

図 5.1 は某研究所の金属の高温、高圧流水腐食試験装置の外観写真である。

当社はこの装置の 純水強制循環ポンプ として、下記仕様の 11 kW キャンドモータポンプ を納入した。

定格出力	11 kW
電 圧	200 V
周 波 数	50 c/s
同期回転数	3,000 rpm
絶縁階級	H
定 格	連続
ポンプ揚程	50 m
流 量	20 m ³ /h

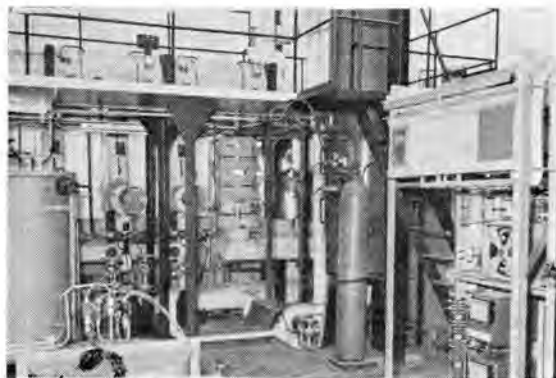


図 5.1 高温・高圧腐食ループ
Fig. 5.1 High temperature high pressure corrosion loop.

ねに規定の値に保持される。

以下 11 kW キャンドモータポンプ の運転について順次説明する。

5.1 封水操作

(1) ループ内 の各弁の開閉状態を下記の状態に設定する。(図 4.1 参照)

弁開閉状態

全 開:

- a. 主回路弁
V-A, V-B, V-C,
- b. 空気抜き弁
V-1, V-5,
- c. 支回路弁
V-a, V-c, V-h, V-n,

全 閉:

支回路弁
V-e, f, g, i, j, k, l, m, o,

(2) この状態で 給水ポンプ を運転し、吐出弁 V-i, を徐々に開いて ループ に給水する。

(3) キャンドモータポンプ の空気抜き弁 (V-3, V-4) より気泡が完全に出なくなるまで給水を続行する。

(4) 給水中、主回路弁 (V-A, V-B, V-C) の開閉操作を順次行ない、弁の空気溜りをできるだけ少なくする。

(5) ループ の最上部にある空気抜き弁 (V-1, V-2) より純水があふれはじめても、この状態でさらに給水を続行し、気泡が完全に認められない状態にて、弁 (V-1, V-2) を全閉する。弁 (V-1, V-2) 全閉後もさらに給水し、キャンドモータポンプ の上部の空気抜き弁 (V-3, V-4) より気泡が完全に出ないことを確認して、V-3, V-4 を全閉する。流水中の気泡の有無を確認するため、空気抜き

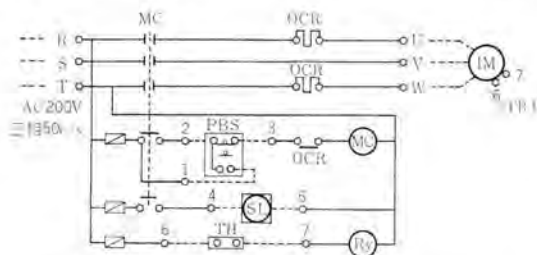
弁の先端に透明な ビニールホース を取付けて、透かして見るとよい。弁より直接大気に純水を放出しては気泡の有無が判定できないので注意を要する。

5.2 予備運転

封水完了後電源の相回転ならびに キャンドモータ自体の絶縁抵抗を再確認してから、電気結線を行なう。

電気結線のスケルトンを図 5.2 に示す。

起動前に回路の誤接続の有無および継電器の設定値が適当か否かを確認する。異常がなければ ループの空気抜き運転を下記に述べる順序に従って行なう。ただし、あ



記号説明

MC	電磁開閉器
Ry	過熱保護継電器
OCR	過電流継電器
PBS	発停用押しボタン
SL	運転用標示灯
TH	過熱保護用素子
IM	キャンドモータ

図 5.2 11 kW キャンドモータ用起動器結線図

Fig. 5.2 Connection diagram of 11 kW canned motor pump starter.

らかじめ二次冷却水を規定流量通水することを忘れてはならない。

(1) 常温、常圧下において、給水ポンプを運転状態のまま キャンドモータポンプ を起動する。まず最初は 1～2 秒間で停止して空気抜き弁 V-3、V-4 を徐々に開くと、ループ中の各部に付着していた気泡は移動し、ビニールパイプより純水とともに放出される。ビニールパイプを透かして気泡の放出しないことを確認して、ふたたび キャンドモータ を起動する。この場合、弁の開閉は下記の状態にて行なう。

全 閉：

主回路弁

V-A、V-B、V-C

空気抜き弁

V-1、V-4

支回路弁

V-a、b、c、d、e、f、g、k、l、m、o、

(2) 空気抜き運転は短時間に行なうことは不可能であり、ループの状態によっては、数十時間を要する場合がある。しかしながら、いずれにしても長時間慎重に行なわなければならない。下表に空気抜き運転回数と運転時間の関係を示す。

この表は他の ループ には適用できない。

運転回数	運転時間	備 考
5	1～5 秒	各回とも 5 分間の休止を行なうこと
10	5～10 秒	各回とも 5～10 分間の休止を行なうこと

キャンドモータポンプの据付、運転、保守・中村・遠藤

(3) (2) の運転により気泡の放出が停止したことを確認後主回路吐出弁 (V-A、V-B、V-C) を交互に徐開して主循環系の空気抜き運転を行なう。この場合も運転回数、運転時間については(2)と同一の要領で施行することが望ましい。もちろん 給水ポンプ は溢流分を補給できるように、常時運転状態に保つことが必要である。

5.3 確認運転

主回路の循環空気抜き運転完了後、給水ポンプを停止し、アルゴンガスで 5 kg/cm² 段階にて 20 kg/cm² まで ループを加圧する。この各段階において、予備運転と同一要領で空気抜き運転を行なう。とくに、運転時異音の有無に注意すべきである。

5.4 高圧、高温運転

上記の確認運転の結果異常が認められなければ、高圧、高温運転を施行する段階となるのである。

(1) まず確認運転時の加圧を取り除き、ふたたび給水ポンプを運転し、加圧器内部の気泡を弁 V-1 より放出する。

気泡が完全に取り除かれたことを確認して、給水ポンプを停止する。

(2) つぎに 加圧器ヒータに通電する。加圧器内部の純水の温度上昇とともに、ループの圧力は上昇する。

(3) 加圧器圧力が 5～10 kg/cm² に上昇したことを確認して、キャンドモータポンプを起動する。各試験片筒の流量を規定値に調整して後、循環水加熱器に通電する。

(4) 昇温昇圧中の ループの圧力調整は手動で、弁 V-k、V-l を開閉して行なうのであるが操作は慎重に行ない飽和蒸気圧以上の完全限界圧につねに保たなければならない。

(5) 主循環回路の純水温度が規定温度に到達後は、目標温度に保持するように、循環系加熱器温度調節器の設定を行なう。

(6) この状態において、加圧器の内部の純水温度が、主循環回路の純水温度に対し、飽和蒸気圧以上の安全限界温度にあることを確認するとともに、水位計の温度較正を施行して後弁 V-k、V-l を徐々に開閉し、加圧器内部の水位を規定水位まで脱気する。

(7) 以上の操作完了後、規定の圧力に設定するため、加圧器の温度調節計の設定値をふたたび変更する。この状態が ループの正常運転である。図 5.3 は昇温、昇圧時の運転曲線の一例である。

(8) 運転状態の変更、連続運転中、温度ならびに圧力の設定値を変更する場合は、前述のように、主循環回路の温度ならびに加圧器内部の純水温度に注意し、飽和蒸気圧以下の安全限界温度に保つことが必要であることはもちろんである。

たとえば運転目標温度、圧力を下げて引き続き運転を継続したい場合は、主循環回路の純水温度を降下させるために加圧器、加熱器および循環系加熱器の通電を一部停止するのであるがこの場合急激に温度が降下したた

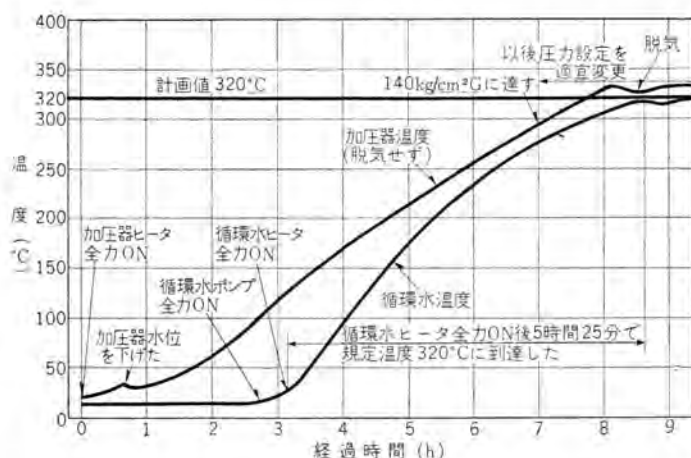


図 5.3 昇温曲線

Fig. 5.3 Temperature rise curves.

め、加圧器内部の純水レベルが異常低下して、加圧器の空加熱あるいは、ループ内に蒸気を発生させ、キャンドモータポンプの軸受損傷などの事故のないよう、慎重な操作が必要である。

(9) 運転中の注意事項について キャンドモータポンプを主体にして述べる。

- キャンドモータの入力、電流値とポンプ吐出流量の関係をあらかじめ、メカより提出してある試験成績と比較して、大差ないことを確認する。この値は4-(4)にのべたように温度によって大幅に変動するので、温度による補正をおこなう必要がある。
- モータの入力、電流の変動に注意する。
- 運転中の弁の開閉を行わないこと。
- 二次冷却水はつねに規定流量に保持し、二次冷却水が断水した場合は、直ちに、キャンドモータは後述の非常停止を行わなければならない。
- 振動、異音の有無を聴音棒で確認する。
- ループ内の圧力はその温度における飽和蒸気圧以上にあることを確認する。

以上が運転中のおもな注意事項である。

5.5 停止操作

停止操作は正常な状態における停止と、異状現象発生時の場合の非常停止が考えられる。

以下それぞれの場合について説明する。

(1) 普通停止

a. キャンドモータポンプを停止するに当たっては、主循環回路吐出弁 V-A, V-B, V-C を全閉して後、キャンドモータの電源をシャ断する。

b. つぎに加熱器の通電を停止し、ループの最上部の空気抜き弁 V-1, V-a を微開して大気に通じさせて置く。なおキャンドモータポンプ二次冷却水は停止操作中においても、つねに通水を続行し、キャンドモータの異状温度上昇を防止する。

c. b の状態でループならびにキャンドモータポンプを自然冷却させる。ループが 100°C 以下の温度に降下したら、給水ポンプを運転し内部を低温度の給水にて冷却する。

(2) 非常停止

普通停止と異なる点は、すみやかに電源をシャ断し、ループ温度ならびに圧力を降下させるために、空気抜き弁 V-1, V-a, V-2 を全開する点だけで、他は普通停止と同一要領で行なう。なお故障部分の点検、手直しは十分温度が低温になって後、純水を完全に除去して行なうべきである。

6. ボイラプラント用キャンドモータポンプの運転

本項においては、もっとも一般的なボイラプラントにおけるキャンドモータポンプの運転について述べる。

図 4.2 はボイラ蒸気配管系統図の概要である。給水ポンプより第7ヒータを通ったボイラ給水は、ボイラエコノマイザに供給加熱され、ボイラドラムにはいりドラムよりキャンドモータポンプにより管壁とドラム間を強制循環されるのであるが、このループは規模が大きいのので運転にはとくに注意を要する。

以下運転前の諸作業、運転準備、運転法について説明する。図 6.1 はキャンドモータポンプ回りの詳細なスケルトン配管図である。本図により説明することとする。

6.1 給水および空気抜き

給水および空気抜きの要領は次の順序に従うこと。

(1) 低圧冷却水弁 V₃₀, V₃₄, V₃₄' を全開する。つぎにポンプの吸込側弁 V₁ ならびに吐出弁 V₂, V₂' が全閉の状態にあるか確認する。

(2) ポンプバイパス弁 V₄, V₁₀, V₁₂, およびドレン弁 V₁₄ を全閉する。

(3) 注水管の弁 V₉, V₁₀, V₁₁ を全閉し、バイパス弁 V₃, V₆ および空気抜き弁 V₆ を全開する。さらに、空気抜き弁 V₃₇ の全閉を確認する。

(4) 下部注水管を弁 V₁₅, V₁₆, V₄₂, V₄₃ を通してブローし、管内の異物その他不純物を除去して後、V₁₄ を全閉する。

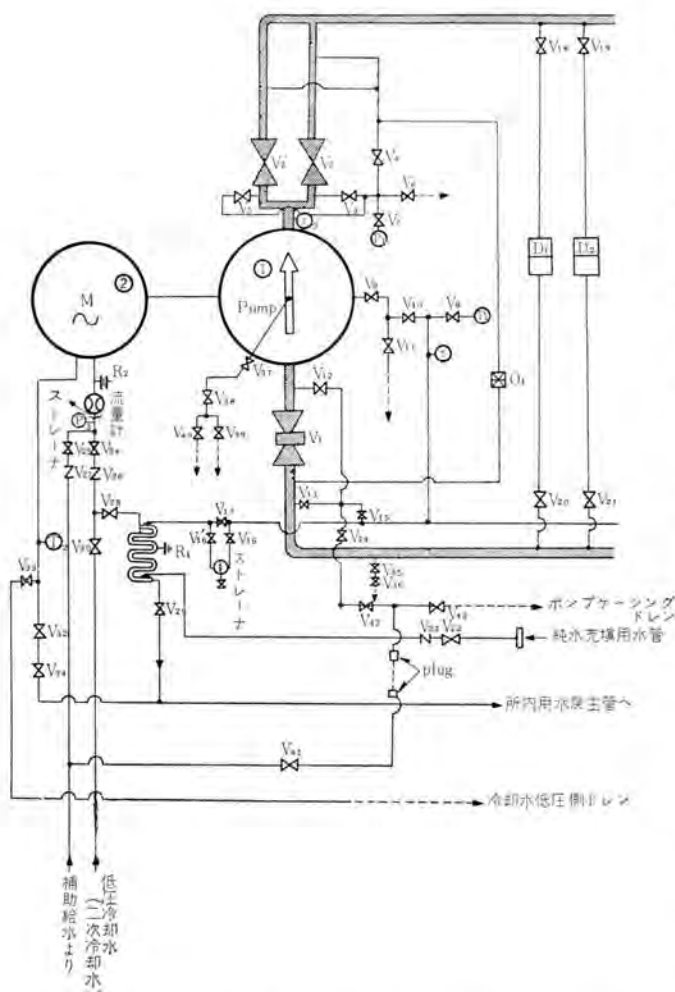
(5) ポンプケーシングを弁 V₂₂, V₂₃, V₁₆, V₁₆', V₁₅, V₁₂ 全開、V₂₈, V₂₉, V₁₇ 全閉にてボイラ水にて満たす。V₁₀ より気泡のない水が出るまで給水を続行する。気泡が出なくなれば

(6) 弁 V₆, V₃, V₅ および注水管用弁 V₁₅, V₁₂ を全閉する。

(7) つぎに上部注水管弁 V₁₀, V₁₁ を全開して、スケールその他の不純物を除去する。完了後は V₁₁ を全閉する。

(8) ポンプのモータ側弁 V₁₀, V₉ を全開し V₃₇, V₃₈, V₃₉ から空気を抜きながら注水する。V₃₉ から出る水に気泡がなくなるまで給水を続行する。ついで徐々に 35 kg/cm² まで加圧する。

(9) 弁 V₃₇, V₃₈, V₄₀ を徐開して 14 kg/cm² まで排水しつつ減圧しふたたび徐々に 35 kg/cm² まで加圧する。(8), (9) の項を5回以上繰り返す。



番号	名称	番号	名称
1	ボイラ循環ポンプ	V ₂₀	低圧冷却水元弁
2	Canned motor	V ₂₁	ストレナドレインバルブ
V ₁	吸込側ゲート弁	V ₂₂	低圧冷却水戻り元弁
V ₂ ~V _{2'}	吐出側ストップ弁	V ₂₃	低圧冷却水ドレイン弁
V ₃	ポンプ吐出側バイパス弁	V ₂₄	ストップ弁
V ₄	"	V ₂₅	吸込側ドレインバルブ
V ₅	"	V ₂₆	"
V ₆	ポンプケーシングベントバルブ	V ₂₇	モータキャビティバルブ
V ₇	圧力計用ストップ弁	V ₂₈	"
V ₈	"	V ₂₉	モータキャビティベントテスト弁
V ₉ ~V ₁₁	ストップ弁	V ₃₀	ストップ弁
V ₁₂	ポンプ吸込側バルブバイパス弁	V ₃₁	ストップ弁
V ₁₃	"	V ₃₂	ポンプケーシングドレイン弁
V ₁₄	ポンプケーシング吸込側ドレイン弁	V ₃₃	"
V ₁₅	ポンプケーシング吸込側補給水弁	P ₁	ポンプ吐出側圧力計
V ₁₆ ~V ₂₁	ストップ弁	P ₂	圧力計
V ₂₂	"	T ₁	温度計
V ₂₃	チェック弁	T ₂	温度計
V ₂₄	低圧冷却水入口ストップ弁	D ₁	蒸気カススイッチ
V ₂₅	補助冷却水用ストップ弁	D ₂	"
V ₂₆	チェック弁 (正常回路用)	O ₁	ポンプケーシングパージラインオリフイス取付器具
V ₂₇	" (補助回路用)	P ₃	圧力計 (冷却水)
V ₂₈	ストップ弁 (冷却器用)	R ₁ R ₂	レリーフバルブ
V ₂₉	"		

図 6.1 ボイラ循環水用キャンドモータポンプ回りの配管詳細図
Fig. 6.1 Piping diagram of canned motor pump used for boiler water circulation.

キャンドモータポンプの据付、運転、保守・中村・遠藤

ポンプが完全に満水後、回転子を手動にて数回動かして、各部に付着している気泡を除去する。

(10) その他とくに注意することは給水の温度は 50℃以下に保つとともに、弁 V₁₇ を閉じてストレナを使用することである。なおポンプ内部の換水は最初、起動後3日間は24時間ごとに行ない、その後は少なくとも月1回行なうことである。その他ボイラの洗浄作業中はモータは低温の清浄な水で連続パージして、モータ各部によごれた水が浸透しないよう考慮する必要がある。この場合の水圧は吸込圧力よりも +0.7 kg/cm² 以上に保持する。

以上の操作完了後ポンプの運転準備を行なうのである。

6.2 ポンプ運転準備

つぎの各項につき再確認する。

- (1) ポンプならびにモータは完全に給水、排気されているか。
- (2) 低圧冷却水は規定の流量にあるか。
- (3) 各計器・警報器の動作は良好か。

計器類としては一般に次のものが付属されている。

圧力計：低圧冷却水入口側、ポンプ吐出側

ポンプ給水、排水管

温度計：低圧冷却水給水管、低圧冷却水吐出側

ポンプ給水、排水管

モータキャビティ下部 (警報付)

流量計：低圧冷却水 (警報付)

6.3 運転

運転準備完了後、キャンドモータを起動する場合系統によってそれぞれこれに対応した運転を行なわなければならない。

以下代表的な状態における運転法について述べる。

(1) ボイラ低温、ポンプ低温時

a. 吸込、吐出側弁より下部に残っている空気を抜くため弁 V₄、V₆ を徐開する。V₆ より排水される水に気泡がないことを確認して V₄ を全開する。

b. 弁 V₃、V₅、V₈、V₉、V₁₀、V₃₇、V₃₈、V₄₀ を開く。これはボイラ系統中の空気がポンプ中に残るのを防止するためボイラベントが閉じるまで開放して置く。ただし排水量は給水クーラの容量をこえてはいけない。

c. b 項完了すれば吸込側 V₁ および吐出側 V₂、V_{2'} を全開しポンプを起動する。

(2) 高温停止状態よりの起動

この状態よりの起動はまず V₁、V₂、V_{2'} を全開、バイパス弁 V₃、V₄、V₅ 低圧冷却水弁 V₃₀、V₂₄、V₃₄ を開き、前述の“運転準備”の各項を確認後ポンプを起動する。起動後 V₃、V₄、V₅ を全閉する。

(3) ボイラ高温、ポンプ低温、かつ排水の状態よりの起動

この状態は緊急時の予備のポンプの運転を意味するので、とくに慎重に行なわなければならない。

a. つぎの要領で ポンプ に給水する.

(a) 仮給水管と ポンプケーシングドレーン分岐管 を継ぐ.

(b) 低圧冷却水各弁が全開され、規定流量であるか確認する. 他の弁はすべて全閉とする.

(c) 仮給水管弁 V_{41} , V_{43} を全開し、補助給水により管内をブローする. 管内に不純物が認められなくなったら V_{43} を全開する.

(d) 弁 V_{14} , V_{12} , V_3 , V_5 , V_6 を全開する. 弁 V_3 , V_5 , V_6 から空気を抜きながら V_{12} , V_{14} より、ポンプケーシングに給水する. V_6 より排水する水に気泡が含まなくなるまで給水を続行する.

(e) (d) 完了後、 V_3 , V_5 , V_6 を全閉とし、つぎに V_{12} , V_{14} , V_{41} を閉じ仮給水管をとりはずす.

(f) つぎに「給水ならびに空気抜き」の項で説明した方法でポンプケーシング内部に給水する.

b. バイパス弁 V_3 , V_4 , V_5 , V_{12} , V_{13} を全開する.

c. V_1 を開き ポンプ を暖める.

とくに、緊急の場合はやむを得ないが、少なくとも1時間程度は行なうことが望ましい.

6.4 停 止

本項においては ポンプ の停止後の問題についてのべる.

(1) ボイラ高温、ポンプ高温 の状態で停止して置く場合.

この場合は、モータを停止し V_1 , V_2 , V_2' , V_{30} , V_{24} , V_{34} の各弁は全開状態に保持するとともに、吸込、吐出管を通じて 高温ボイラ 水が循環できるよう バイパス弁 V_3 , V_4 , V_5 を開いて置く.

(2) ボイラ高温、ポンプ冷状態で放置する場合、モータを停止し、 V_1 , V_2 , V_2' の各弁を全閉とするとともに低圧冷却水用弁 V_{30} , V_{24} , V_{34} は全開し、規定流量を通水して置く.

以上 5, 6 章で代表的な二つの ループ につき キャンドモータポンプ の運転法について述べた.

7. 点検、保守

キャンドモータポンプ は ポンプ とモータ の回転部分が完全に系統流体内に浸されているので、定期的な開放点検による以外は、日常内部の状態を確認できない. しかしながら全閉構造であるので従来の メカニカルシール を使用した ポンプ と異なり漏れ発生の心配がないこと、軸受関係の潤滑も系統内の流体によって行なわれるので、潤滑剤の供給を要しないこと、また 構造上モータケーシング の外周に熱交換器を設けてモータ内部 の冷却を行なっているので冷却回路の汚損が少ないなど点検・保守の計画が簡単となるが、以下、本項においてのべる各項については予定表を作成し、事故を小さな状態で発見し大事故に発展させないよう心がけることが大切である.

7.1 プラントを長期間停止する場合の保守

プラント を長期間停止する場合、ポンプ を運転可能な状

態に保つためには特別の注意を必要とする. すなわち

(1) キャンドモータポンプ を系統中に満水の状態で、30 日間以上放置してはならない.

(2) キャンドモータポンプ に満水の状態で 30 日程度放置する場合は 2 週間に 1 度電氣的に回転させる.

(3) キャンドモータポンプ ならびに ループ を排水して、30 日間以上運転せずに系統中に放置する場合は、2 週間に 1 度の割合で モータ上部鏡板 を取はずして回転子を手動で回すなどであるがこれらの操作は腐食によって正常な運転ができなくなることを防ぐ目的である. しかしながら系統に据付けたばかりでまだ給水していないものに対しては上記のような特別な考慮は要しない.

7.2 キャンドモータポンプが加熱された系統中で停止している場合の保守

二次冷却水が モータ を安全な絶縁温度内に保つよう制御されていれば、特別な注意は要しない. この場合二次冷却水の流量は全負荷時の必要流量の 大体 30~40% に減じてよい.

7.3 キャンドモータポンプ運転時の保守

前述のようにこの ユニット は構造上点検できる部分が限られているので、実際の運転時間を記録し、予定運転時間を経過した場合は、ポンプ を系統から切り離して完全点検するように計画すること. とくに運転中は下記の各項の記録を保存することが望ましい.

(1) ポンプ を起動したら正常運転時の入力を測定する. 入力電源電圧の変動以外の原因にて不規則に変動していないか一定時間ごとに確認する.

(2) さらに騒音および振動を一定期間ごとに測定し、記録を保存する. とくに振動の変化が問題である.

(3) 二次冷却水流量の監視

二次冷却水は キャンドモータポンプ 運転中、あるいは熱状態、冷状態にて静止しているかを問わず、常時通水しなければならない. とくに運転中は二次冷却水の流量によりモータ部分 の温度上昇が大きく変化するので警報付の流量計を設置することを推奨する.

図 7.1 は 350 kVA キャンドモータポンプ 高温、高圧運転時 (140 kg/cm² 300°C) 二次冷却水の流量と固定子巻線の温度上昇の関係を示した記録である. なお、二次冷却

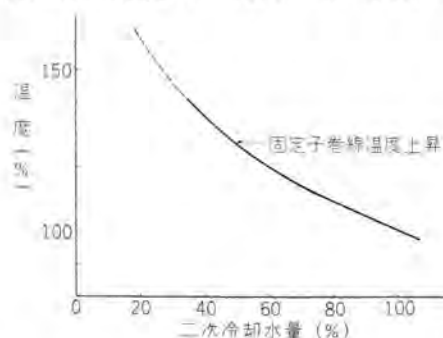


図 7.1 二次冷却水量と固定子巻線温度上昇の一例
Fig. 7.1 Example of relation between secondary cooling water quantity and stator winding temperature rise.

水が停止し冷却そうに水が満水されており、流れていない状態の運転可能時間は数分であることが判明している。停水時はすみやかにポンプを停止する必要があることを重ねて付記する。

(4) 高圧冷却水の採取

正常運転時は毎月1回キャンドモータ内部より高圧冷却水を採取し、色相・純度を調査する必要がある。採取した水が黒く変色している場合は、試料をメカに送付し、診断を受ける。採取量はモータ容量により異なるが100cc以内とすること。

7.4 キャンドモータポンプの短時間停止の場合の保守

2日以上、1週間以内キャンドモータポンプを停止する場合はモータリードを取はずし、絶縁抵抗の測定を行なう。絶縁抵抗値が1MΩ以下で停止期間中徐々に低下する場合は、端子部の清浄と乾燥を行なうべきであるが、その傾向がいちじるしい場合は固定子巻線の任意の2相間に単相変圧器と接続して、定格電流の数パーセントを流して通電部分に水分が凝縮することを防止しつつ、巻線の乾燥を行なう。

7.5 分解、点検時の検査項目

定期的な点検時の分解検査項目について述べる。ポンプ中の水温が十分降下して、取扱いが安全になるまで十分に放置して後分解する。分解後は下記の各項について点検する。

(1) 表面の状態 各部寸法およびクリアランスを測定、記録する。ジャーナルスラストベアリングを点検し、傷や異常摩耗した個所の有無を調べる。回転子および固定子のキャップならびにその溶接部を点検し、変形、キレツの有無を調べる。

(2) 摩耗や破損した部分が発見された場合はトラブルの原因を解析するのに役だつように写真を撮って置くこと。

(3) 事故の原因に進展する可能性を持つ部品については新品と交換すること。

(4) ケルビンダブリッジを用いて端子間の抵抗を測定し工場試験成績表と比較して見るなどである。なお検査完了後は十分にメカ指定の洗浄を行なって組立を行なうこと。

7.6 故障と対策

キャンドモータの構造上事故は通常下記の3項に限定される。すなわち

(1) 電氣的故障、通常短絡あるいは断線

(2) 水の漏れ

(3) ベアリングの摩耗あるいは破損

で、これらの徴候は各種の機能不良となって現われるので、その原因と対策について列記する。

8. む す び

以上、据付、運転、保守に対する一般的な問題について

不具合項目	原因	処置
冷却水量の 上昇	a. 冷却水管内エアポケット b. 冷却水管内部に異物あり c. サーマルバリヤフビリ シスシールの摩耗 d. サーマルカップルの故障 e. 冷却水源の事故	a. 空気を追い出す。 b. 冷却水管のフラッシングを行なう。 c. 摩耗部分の取換え d. 接触部の調査ならびに校正を行ない、故障あれば修正する。 e. 冷却水量のチェックを行なう。
モータ入力急 増	a. ステータ巻線の絶縁 破壊 b. ステータ巻線短絡 c. ベアリング摩耗	a. 分解修理を要する。 ステータ巻線の断線箇所を 新しいものに交換する。 b. 端子間の抵抗を測定し、正常でなければ a. に準ずる。 c. モータベアリングを点検し、摩耗した部 分を取換える。
振 動	a. 回転部に異物 b. ベアリング摩耗	a. 点検して、異物を取除く。 b. ベアリングを点検し、不良品を取換える
ステータ巻線 温度上昇	a. 水漏れ b. ステータ巻線短絡 c. 冷却水量の不適 (エアポケットあるいは 管内異物) d. サーマルカップル故障	a. DC 500 V メガーを使用して湿度の有無を 点検、端子-大地間の絶縁抵抗が1MΩ 以下のときはステータ修理を行なう。 b. 端子間の抵抗を測定し、異常あれば修理 c. 冷却水量ならびに流量測定、もし流量 が少なれば管内の空気を除去すると ともにフラッシングを行なう。 d. 接続個所の接触点検ならびに校正を行な う。
絶縁抵抗低下	a. ターミナルあるいはリ ード湿気 b. ステータキャップ漏れ	a. ターミナルボックスカバーをはずし、清 浄な布で拭くあるいは熱風乾燥を行なう b. 500 V メガーを使用して、湿度の有無を点 検し、端子間絶縁抵抗1MΩ以下の時に 乾燥または修理を要す。
送水量変動大	a. メインインベラに異物	a. メインインベラおよびケーシング清浄
流量および揚 程低	a. 吸込配管のリーク b. 吐出配管に異物が存 在する。 c. ポンプ回転方向逆	a. リークを止める。 b. 管内の清浄 c. 電源相回転チェック
水 の 漏 れ	a. ガasket不良 b. 締付圧力不足	a. 点検し、必要があればガasketを取換 える。 b. 規定の締付圧力にて増補する。
起 動 不 能 運転状態異常	a. 短絡 b. 断線 c. 過負荷	a. 巻線および電源チェック b. 電流値およびバランスチェックを行な う。 c. 電圧、電流をチェックするとともに流量 のチェックも行なう。
ポンプ運転不 能	a. 回転部に異物	a. 点検して破損の程度を見る、不良箇所を 取換える。
騒 音 大	a. モータ逆回転 b. インベラ内に異物あり	a. 電源相回転チェック b. インベラ点検
金属音発生	a. ベアリング破損 b. ロータキャップとステ ータキャップの摩擦 c. インベラのクリアラン ス不適	a. 検査して取換える。 b. 破損したロータあるいはステータキャ ップを取換える。 c. クリアランスをチェックし修正する。

て述べたが、本文がこの方面の関係者の方々に多少でも役だてば、筆者の目的は達せられたことになる。

個々のルーブに対する問題点について説明すべきことがまだまだ多く残っているが、それらは日をあらためて筆をとりたい。

東京電力株式会社納め 10,000kVA 負荷時 タップ切換変圧器 CR-URA 形

伊丹製作所

小林 国雄*・米沢 輝雄*
山内 敦*・安孫子 博*

Type CR-URA 10,000 kVA On-Load-Tap-Changing Transformers for Tokyo Electric Power

Itami Works

Kunio KOBAYASHI・Teruo YONEZAWA
Atsushi YAMAUCHI・Hiroshi ABIKO

Seventeen units of type CR-URA on-load-tap-changing transformers rated 10,000 kVA 60 kV/6.9~3.45 kV were built in 1960 for Tokyo Electric Power, now operating successfully. Following this lot thirty one units are on order to be completed in the fiscal year of 1961 and another thirty five units have been booked up for the supply in 1962. Complying to a standard specification of the power company for distribution purpose, they have numerous feature but the most made are a dry type transfer switches (type URA) free from oil contamination, a double soundproof structure to minimize noise disturbance around substation and a fully assembled transportable. This is an epoch to receive such a big order enbloc.

1. ま え が き

当社は、東京電力管内各地変電所納めとして 10,000 kVA 60 kV/6.9~3.45 kV 負荷時 タップ切換 変圧器 CR-URA 形を、昭和 35 年度には 17 台を受注完成し、好成績で各種性能試験を完了、現在運転にはいっている。続いて昭和 36 年度は 31 台受注し、順次完成しつつある。また昭和 37 年度分として 35 台受注が決定している。この変圧器は東京電力の配電用変圧器の標準形として昭和 35 年から大量に発注されたもので、当社としては同一定格、

仕様の中容量変圧器として初めての大量受注である。

近年、全国的な電力需要の増加にともない、従来多かった 3,000 kVA、6,000 kVA 程度の配電用変圧器から 10,000 kVA 以上の単器容量が必要とされ、電力の質的向上の要求に応じるために負荷時 タップ切換器 を取付ける傾向にある。また最近、電力需要の都市集中化から配電用変電所を都市周辺、内部に設置しなければならなくなり、変電所用地も十分広くとれないなどのことから、低騒音変圧器が強く要求されるようになった。その他、急激な需要の増加、万一の事故を考慮して、トレーラで組立輸送できる、すなわち移設の簡易な構造の必要性が生じた。

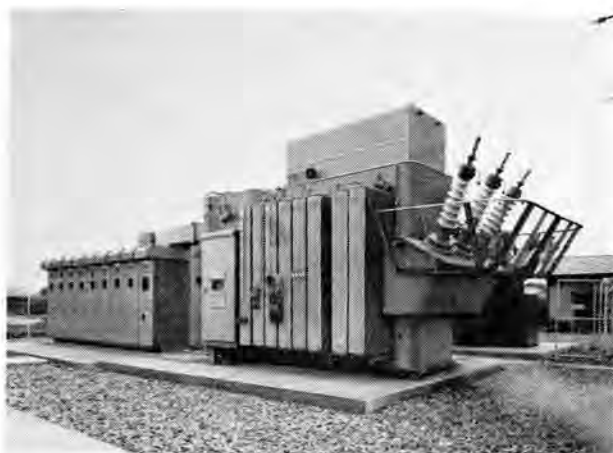


図 1.1 昭和 35 年度分 10 MVA 60/6.9~3.45 kV
負荷時タップ切換変圧器

Fig. 1.1 10 MVA transformer with on-load-tap
changer at site.

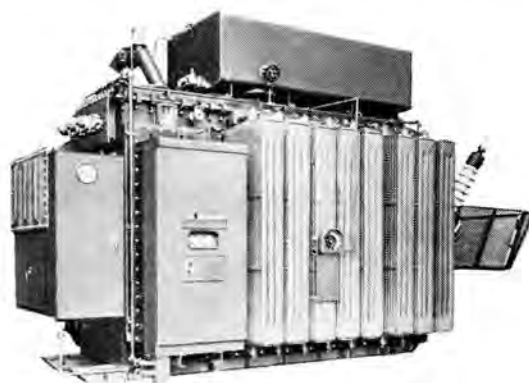


図 1.2 昭和 36 年度分 10 MVA 60/6.9~3.45 kV
負荷時タップ切換変圧器

Fig. 1.2 10 MVA transformer with on-load-tap
changer.

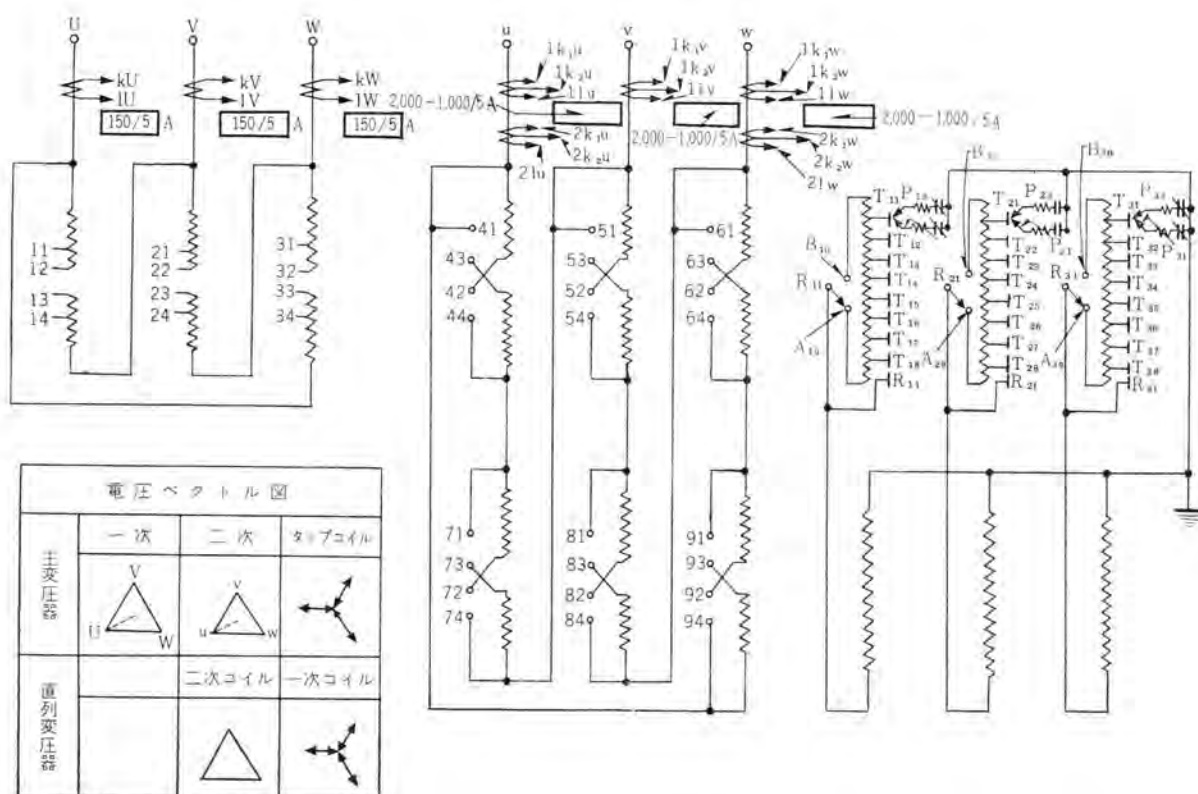


図 2.1 結 線 図
Fig. 2.1 Connection diagram.

今回の 10,000 kVA 変圧器は、近年における変圧器製作技術のいちじるしい進歩と、材料面の向上により、これらの要求をすべて満足した最新形の変圧器である。

また URA 形負荷時 タップ切換器 はこの変圧器のために新たに開発されたものである。

ここにこの変圧器の特長、構造および同一定格、仕様の大量受注であることから、とくに設計、製作に合理的方法を講じたので、これらについて概要を述べてみる。

2. 定 格、仕 様

- (1) 形 式 屋外用油入自冷式、内鉄形、負荷時
タップ切換変圧器 CR-URA 形窒素封
入密封式
- (2) 特殊仕様 組立輸送形、低騒音形 (55 ホン以下)
- (3) 定格出力 一次 10,000 kVA
二次 10,000 kVA
- (4) 相数、周波数 三相 50 c/s
- (5) 電 圧 一次 66(F)-63(F)-60(R) kV
二次 6.9-3.45 kV
電圧変動範囲 $\pm 10\%$
低圧切換え
- (6) 結 線 一次 三角、二次 三角
- (7) 角変位 一次-二次間 零度
- (8) インピーダンス 電圧 定格タップにおいて 7.5%
結線については図 2.1 参照

3. 特 長

(1) 負荷時 タップ切換器 に乾式 URA 形を採用した。
URA 形 タップ切換器 はこの変圧器に対して新しく開発されたものである。タップ選択器は油中であるが、切換開閉器、電動操作機構は乾式とし、磁気吹消形、空気吹付形開閉器を用いており、従来の油中切換開閉器に比し、アーク時間が短く、接点の寿命が長く、また油の汚損、絶縁耐力の低下、油の汙過などの問題がない。

さらに、構造が簡単で保守点検が容易であるとともに、動作が確実である。なお本器は東京電力の形式試験として負荷電流開閉試験 30 万回、無負荷操作試験 100 万回を行ない良好な結果を得ている。

(2) 二重防音壁構造を採用した低騒音変圧器で、当社はすでに多数のこの種の変圧器を製作しているが、これに改良を加えた。試験結果 35 年度分 54.2 ホン 36 年度分 52.3 ホン と好成績であった。

(3) 完全組立輸送形である。従来一般に 6,000 kVA までは全装可搬形が可能であるとされてきたが、本器は 10,000 kVA でしかも低騒音形、負荷時 タップ切換器 付および負荷時 タップ切換器 制御盤直付ときつい条件にもかかわらず、コンサベータ 以外はすべて完全組立のままトラで輸送可能である。

(4) 高級方向性 ケイ素鋼板 を用いているので損失も少なく、外形寸法、重量を最少限まで切りつめた。

(5) 同一定格、仕様で大量受注したため、材料面で合理的な設計、製作ができた。

4. 変圧器本体構造

4.1 内部構造

本器は負荷時 タップ切換えを 低圧側で行なっている。低圧側は 6.9-3.45 kV の切換えを必要とするのと URA 形の電流量から直列変圧器を内蔵した構造となっている。(図 2.3 参照)

(1) 直列変圧器は外箱を容易な構造とするために、リアクトル と積重ねて主変圧器の高さ以下に、しかも横幅も主変圧器の縦幅と同程度にしている。

(2) 鉄心の歩留りを良くするためにとくに苦心し、従来の標準断面積によらず、本器のために、素材の ケイ素鋼帯の幅より、もっとも歩留りの良い鉄心幅を採用した。従来の歩留率 115 % から 107 % に減少できた。

(3) 高圧側巻線は高直列容量巻にしてあるので、コイル巻回間の静電容量が飛躍的に増大し、衝撃電圧に対する絶縁耐力は非常に大である。

また鉄心の場合と同様巻線、絶縁物に対しても銅線の紙巻き時に引き ワイヤ を用いたり、合理的な型抜きなどによって歩留率の向上を計った。

(4) 中身組立関係はとくに組立作業を簡易化した。たとえば組立、乾燥作業を容易にするために主変圧器と直列変圧器は分離できる構造とした。リード は可とうヨリ線を使用するので、従来の銅管端子にロウ付の方法はやめ AMP 端子を採用し、工数の低減をはかった。

4.2 外部構造

この変圧器は完全組立輸送形であるので、図 4.1 のような寸法構造になっている。これは昭和36年度分のもの

である。とくに問題になるのは、寸法で、幅寸法 3,300 mm が押えられているため、特殊設計により中身の幅をせまくし、リード線 などの配置に注意してある。

タンク構造は内部構造の項で述べたように、35 年度分は直列変圧器を内蔵するため、変形タンク になっていたが、36年度分は直列変圧器の設計改良により、矩形の単純なタンク構造 にできた。また タンク寸法 も内部の合理的な配置により小さくなっている。このため周囲防音壁構造も単純となり、外観がととのうとともに、タンク重量、油量の節減および工作が簡単となり工作時間が大幅に節減できた。

タンク補強 35年度分の タンク を ストレンジャーで強度試験を行なったが、この結果にもとづき 36 年度分の タンク 補強は合理的な補強に成功した。このため強度を減じることなく材料を節減できた。

高圧側 ブッシング は全装可搬構造のため横出しとし、充電部の高さが低くなり、保守上危険であるので、危険防止のため保護金網をめぐらしてある。この金網は変圧器タンク に直付けしてある。

高圧側 無負荷 タップ切換器 は三相縦に 3 連とし主変圧器と直列変圧器の間に溶し込むように配置し、カバー上の一つの ハンドル で簡単に切換操作ができる。

コンサバータ は窒素封入完全密封構造のため、変圧器全油量の 20 % の容量をもたせ、負荷および周囲の温度変化によりおこる油の膨張、収縮に対し、変圧器内圧を 0~0.6 kg/cm² 以内に押えるようにしている。また内圧は連成計により容易に知ることができる。

防音壁構造 上記のようにこの変圧器は騒音55 ホン以下という低騒音変圧器のため、タンク を二重構造とし、防音壁側内面には吸音材を取付けてある。図 4.2 参照。吸音材には ロックウール を使用した。また防音壁内部に雨水の侵入しないよう注意をはらっている。

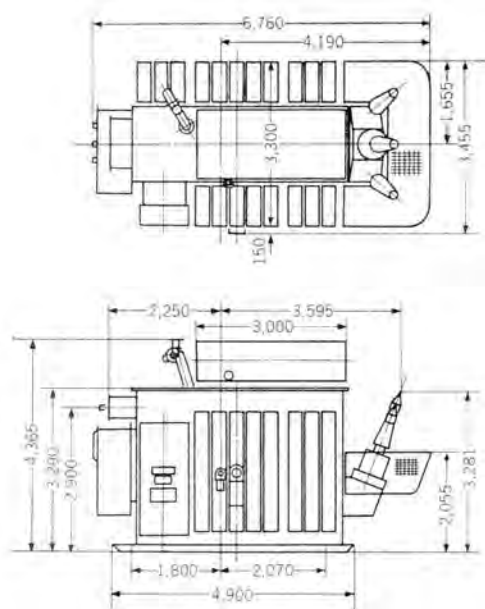


図 4.1 外形寸法図

Fig. 4.1 Out-line dimensions.

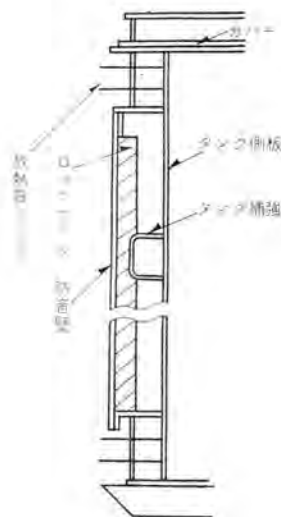


図 4.2 防音壁構造

Fig. 4.2 Structure of double soundproof enclosure.

5. URA 形負荷時タップ切換器

5.1 定 格

定格電圧	6.9 kV
定格電流	400 A
タップ数	± 8 (17 点) および ± 16 (33 点)
絶縁階級	6 号 A

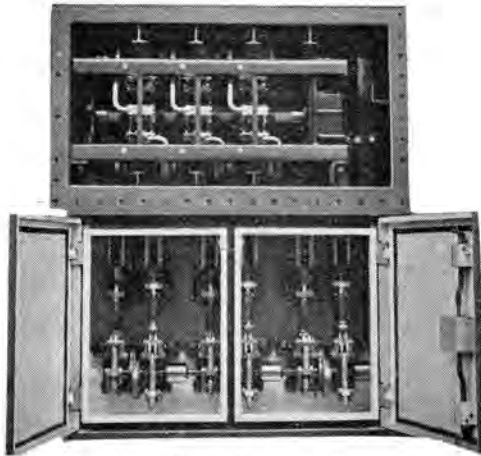


図 5.1 URA 形負荷時タップ切換器
Fig. 5.1 Type URA on-load-tap changer.

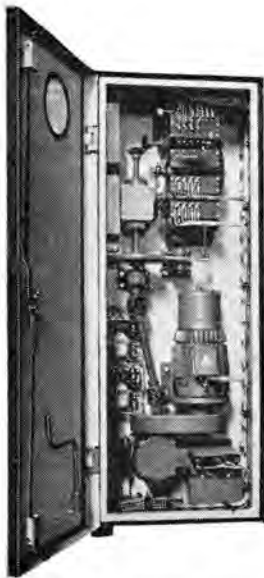


図 5.2 電動操作機構
Fig. 5.2 Motor operated mechanism.

5.2 特 長

この切換器は、とくにひんばんな動作に対しても信頼度が一段と高く、保守点検が簡単容易なように設計製作されている。その特長を列举すると、

- (1) 切換開閉器を乾式とし、磁気吹消形空気吹付形開閉器を用いており、小電流から大電流までアーク時間が短く、接点の寿命が大である。
- (2) 油中切換開閉器のように油の汚損、絶縁耐力の低下、油の汙過などの問題がない。
- (3) タップ切換器は 1 組のゼネパヤによって三相一括

駆動される。

- (4) 制動はコンデンサによる発電制動と電磁ブレーキを併用しているので、停止が確実である。

5.3 構 造

この切換器は切換開閉器、タップ選択器、制御スイッチ、駆動装置が一体の外箱に組み込まれ、制御盤が別箱で変圧器本体に取付けられている。以下各部の構造について述べる。

(1) 切換開閉器

各相 2 個の開閉器は、駆動軸により ミジカム が回転すると、ミジ中の ニードルベアリング付カムフォロワ が動作して操作レバーを上げ、操作パネを圧縮する。圧縮が十分行なわれたところで操作レバーの端部がレバーを突き上げて、トリ

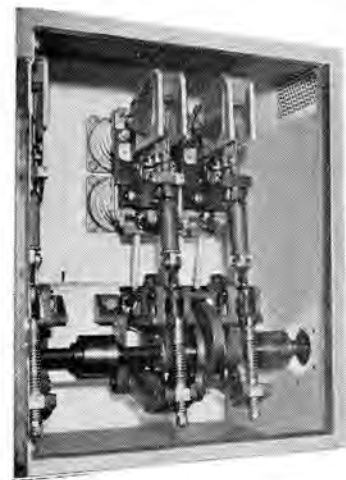


図 5.3 切換開閉器
Fig. 5.3 Change-over switch.

ックを死点からはずし操作パネによって急速な開路動作をする。このとき吹付用シリンダ内の空気が空気吹付管からアークに吹き付けられる。この空気吹付により小電流から大電流までのアーク時間が短いと同時に操作時の空気緩衝装置としても作用する。投入は ミジカム が回転し操作レバーの端が引き下げられると、操作棒を押し上げ、コンタクトレバーが回転して可動コンタクトが固定コンタクトに接する。しかしレバーはそれ以上押し上げられるので、コンタクト用パネによって接触圧力を得る。パネの中にはいっているピストンは投入時の可動コンタクトの跳躍を防ぎダッシュポット役目を果たす。

(2) タップ選択器、極性切換器

タップ選択器は絶縁二重軸によって可動コンタクトが三相一括駆動され、内外軸は交互に間欠的に運動する。可動コンタクトは 2 個のフィンガコンタクトがコンタクトワクの中にあつて、コイルパネによって固定コンタクトおよび集電板と接触する。フィンガ両端には特殊銀合金チップがろう付されている。またコンタクト中央には鉄ヨークがあり短絡電流によるコンタクトの損傷を防ぐ。タップ選択器にもメカニカルストップがありいかなることがあつてもタップ切換器のオーバーランがないよう保護している。極性切換器はゼネパヤ

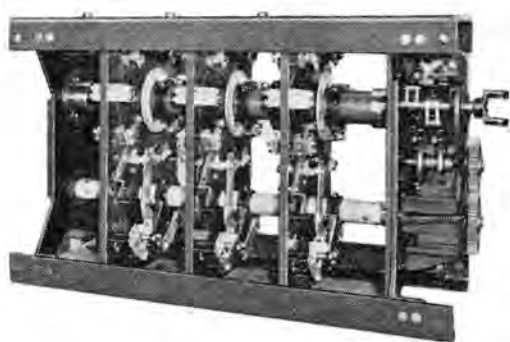


図 5.4 タップ選択器
Fig. 5.4 Tap selector.

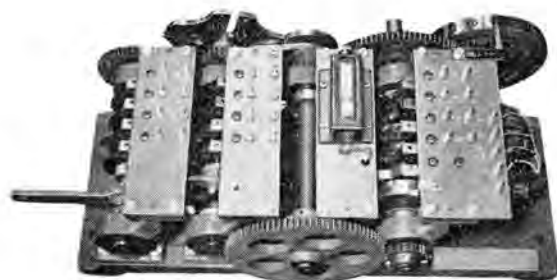


図 5.5 制御スイッチ
Fig. 5.5 Control switch.

によってタップ切換器の調整ゼロの位置で急速に切換えられる。これらに使用の絶縁物には電気的機械的性能のすぐれているガラスエポキシ積層板を使用している。

(3) 制御スイッチ

制御スイッチはパイロットスイッチ、リミットスイッチ、メカニカルストップ用カム、レバー、タップ位置指示器、分度器、セレン送量器および動作回数計から成る。リミットスイッチには制御回路およびモータ回路用があり、またカムによって動かされるメカニカルストップがある。これらによって制御、保護が確実になされる。

(4) 駆動装置

操作電動機 (220/200 V 60/50 c/s 0.4 kW 6 P) 減速機、メカニカルストップ および電磁接触器から成る。操作用電動機は高抵抗回転子形で起動トルクがとくに大きく、またコンデンサと抵抗による発電制動は高速において300%の制動トルクを有し、電磁ブレーキの併用により制動停止が確実に100万回動作後もほとんど調整を要しない。減速機はサイクロ減速機を使用、電動機フランジ取付とし、小形化した。タップ選択器への軸部のオイルシールはリップ形のを3個使用し、油圧および変圧器の真空に対して十分な構造である。

6. 試 験

6.1 変 圧 器

35年度分についてはすでに全数完成し、絶縁耐力試験、温度上昇試験、騒音試験をはじめ完全な試験を行ない、優秀な結果を得た。また36年度分についてはすでにその半数近くを完成し、35年度分同様満足すべき結果を

表 6.1 保証値に対する36年度各種性能試験比較表

		保証値 ^{35年度} 36年共通	35年度分	36年度分
損失	二次調整タップ中央にて鉄損 (W)	22,000	15,300	15,690
	銅損 (W)	73,000	70,310	67,410
	合計 (W)	95,000	85,610	83,100
効率 (%)	二次調整タップ中央にて	力率 100% 80%	100% 80%	100% 80%
	100% 負荷	力率 100% 80%	99.06 98.82	99.15 98.94
	75% 負荷	力率 100% 80%	99.17 98.95	99.27 99.09
	50% 負荷	力率 100% 80%	99.20 99.01	99.35 99.18
	25% 負荷	力率 100% 80%	98.96 98.69	99.22 99.02
無負荷電流 (%)	定格電圧において	2.2	0.46	0.54
	110%電圧において	3.5	0.80	0.75
インピーダンス電圧 (%)				
定格タップにて		7.5	7.57	7.54
電圧変動率	二次調整タップ中央にて			
	力率 100% (%)	1.03	0.98	0.91
	力率 90% (%)	4.3	4.12	4.06
	力率 80% (%)	5.5	5.24	5.17
温度上昇	油の温度上昇 (°C)	50	45.0	39.0
	巻線の温度上昇			
	一次巻線 (°C)	55	51.8	52.0
	二次巻線 (°C)	"	48.0	46.0
	タップ巻線 (°C)	"	49.0	45.2
騒音	二次調整タップ中央にて			
	上部 (全高の2/3) (ホン)		53.9	52.2
	下部 (全高の1/3) (ホン)		54.5	52.3
	平均 (ホン)	55	54.2	52.3
総重量 (含む油) (t)			61	54.5
外形寸法	幅×横 (mm)		3,455×6,760	3,700×7,220
	高さ (mm)		4,365	4,485

得た。表6.1は保証値に対する35年度、36年度分の試験結果の比較表で、損失、無負荷電流など保証値を十分に上回る良好な成績である。温度上昇値もJEC-120の規格値に対して、適当な余裕を持っている。もっとも問題であった騒音に対しても、35年度分54.2ホン、36年度分52.3ホンと良好であった。

35年度と36年度試験結果を比較して見ると、中身構造の多少の改良によって、36年度の銅損は多少減少した。油温度上昇値の差は変形タンクを、矩形タンクにし、油の局部温度上昇をさけたためである。そのほか、騒音についても36年度分の改良の効果がみられる。

なお絶縁耐力試験としてはつぎの試験を行なった。

(1) 誘導試験 各巻線とも、最高電圧の2倍

180 c/s 40 sec

(2) 加圧試験 高圧巻線 140 kV 1分間

低圧巻線 15 kV 1分間

(3) 衝撃電圧試験

高圧巻線 全波 350 kV 載断波 400 kV

低圧巻線 全波 60 kV 載断波 70 kV

つぎに35年度分17台の特性を統計的にみると、表6.2のようになる。すなわち無負荷電流はバラツキが大きい。これは鉄損のバラツキとともに、多分に素材のバラツキに関係するものと思われる。しかしインピーダンスのバラツキは非常に小さく、巻線、組立の工作面に誤差が少なく非常にすぐれた工作がなされたことを示している。

6.2 負荷時タップ切換器

負荷時タップ切換器が系統の重要機器である変圧器および調整器に取付けられるのでその電気的機械的信頼度

表 6.2 昭和 35 年度分 17 台特性、平均値および標準偏差

	平均値	標準偏差 S
二次調整タップ中央にて 鉄損	15.3 kW	0.346
銅損	68.0 kW	1.0
無負荷電流 定格電圧において	0.436 %	0.0285
110%電圧において	0.743 %	0.0655
インピーダンス電圧 (%) 定格タップにて	7.49 %	0.053

の高いものであるとともに停電困難な今日、長期間保守点検ができなくても十分かどうかを調べるためにつぎの試験を行なった。

- 30 万回の負荷開閉試験（ほぼ 10 年間の動作回数に相当）によって切換開閉器接点の寿命の確認。
- 100 万回の無負荷開閉試験（ほぼ 30 年間の動作回数に相当）によって各機構部分の機械的寿命および電磁接触器、電磁ブレーキなど補器の寿命ならびに調整ひん度の決定。

(1) 負荷開閉試験

実際の使用条件に近い状態で試験を行なった。10 MV A 変圧器におけるタップ切換器の負荷は 1 タップ電圧 220 V 負荷電流 254 A である。試験は回復電圧 420 V 負荷電流 263 A リアクトル負荷を用い、力率 0 で 30 万回の試験

表 6.3 負荷開閉試験温度上昇結果

	0 回	10 万回	20 万回	30 万回
A 側 接 点	20.5°C	24.0°C	25.0°C	27.5°C
B 側 接 点	19.0°C	25.0°C	26.5°C	25.0°C
タップ選択器接点	8.0°C	12.5°C	14.0°C	15.0°C

表 6.4 負荷開閉試験接触抵抗値

	0 回	10 万回	20 万回	30 万回
A 側 接 点	$3.49 \times 10^{-5} \Omega$	$2.29 \times 10^{-5} \Omega$	$1.59 \times 10^{-5} \Omega$	$1.05 \times 10^{-5} \Omega$
B 側 接 点	$1.2 \times \Omega$	$2.16 \times \Omega$	$1.14 \times \Omega$	$1.81 \times \Omega$
タップ選択器接点	$3.49 \times \Omega$	$4.3 \times \Omega$	$4.8 \times \Omega$	$4.74 \times \Omega$

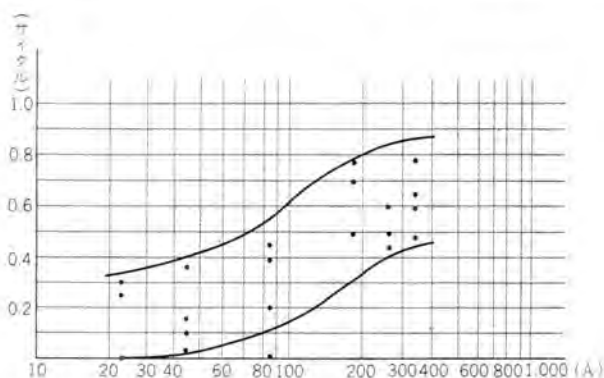


図 6.1 30 万回負荷開閉試験後のシャ断特性
Fig. 6.1 Interruption characteristic after 300,000 openings and closings of load.

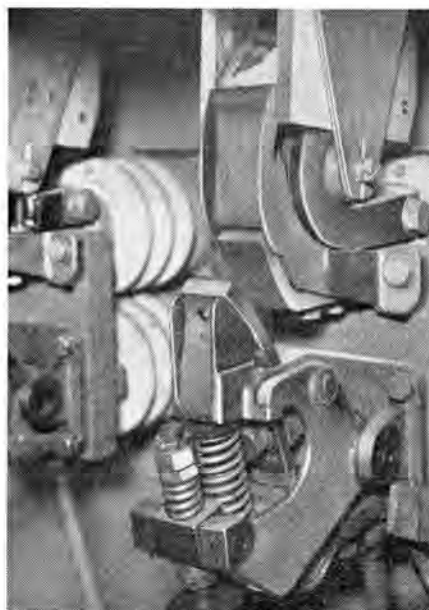


図 6.2 30 万回開閉試験後の切換開閉器
Fig. 6.2 Change-over switch after 300,000 operation tests.

を行なった。その温度上昇、接点接触抵抗、シャ断特性の結果は表 6.3、6.4、図 6.1 のとおりである。30 万回開閉後の接点は図 6.2 のようにその消耗はわずかであり、この定格では 100 万回以上の寿命が十分予想される。

(2) 無負荷開閉試験

負荷開閉試験に引き続いて(2)項を検証するため 1 タップごとの起動停止を 100 万回行なったがその結果は動作シーケンスのくるい、機構各部の摩耗、がた、ボルトナットのゆるみなどはまったくなく電磁接触器、制御スイッチなどの補器もななら異常なかった。電磁ブレーキは電気制動の併用によって摩耗はほとんどなく、100 万回まったく無調整で確実に正規位置に停止していた。

7. む す び

以上、2 年間に製作した東京電力納め 10,000 kVA 負荷時タップ切換変圧器 CR-URA 形について、変圧器本体およびタップ切換器の概略構造、性能について述べた。コンパクト、低騒音、信頼性の高い負荷時タップ切換付変圧器として、電力需要増加の一途をたどる都心に据付けられ、その性能をいかんなく発揮することと思う。また続けてこの種の配電用変圧器の需要は増加するものと考えられ、今後いっそう小形、軽量化と性能、特性の向上に努力したい。

最後にこの変圧器の製作および負荷時タップ切換器の開発に種々ご指導を賜わった、東京電力株式会社各位、製作、試験にご協力いただいた当所関係各位に紙上より厚く御礼申し上げる。

近畿日本鉄道恩智変電所電機品

—3,000 kW シリコン整流装置—

神戸製作所

新 名 昭 吉*・嶋田政代士*

伊丹製作所

坂田 邦 寿*・横 畠 洋 志*・鈴 木 一 男**

Electric Equipment of Onji Substation, Kinki Nippon Railway

—3,000 kW Silicon Rectifier—

Kōbe Works

Shōkichi NIINA・Masayoshi SHIMADA

Itami Works

Kunitoshi SAKATA・Hiroyuki YOKOHATA・Kazuo SUZUKI

It was only a few years when the silicon rectifier was on the threshold of practical use. Now it has built a firm foothold in the field of the electro chemical industry for a DC power source of low voltage heavy current. It is further developing into the sphere of high voltage DC engineering, being applied to the railway substation equipment and promising to replace the mercury arc rectifier. Mitsubishi has built a silicon rectifier rated 3,000 kW 1,500 V used for remote controlled and unattended substation of the Kinki Nippon Railway CO. This is the largest rectifier of the kind in this country, entering a practical operation from the end of March this year with success. This proves that the silicon rectifier has a quite promising future.

1. ま え が き

実用性を研究されはじめてわずか数年にしかないという状態でありながら、直流変換装置としてのシリコン整流器は、化学工業用などの低電圧大電流分野においては、すでに確固たる実績と地位をきずきあげたが、高電圧用としての代表的な直流変換装置である電鉄変電所用としても、いまや水銀整流器に取って代わろうとしている。

技術の進歩につれて、能率のよい、保守の便利な機器が採用されるのは当然であり、その制御方法も自動制御、遠方制御による無人変電所にふさわしいものが広く取り入れられつつある。

今回、近畿日本鉄道恩智変電所に納入した3,000 kW 1,500 V シリコン整流装置は、わが国私鉄業界としては最初の最大容量単位であり、しかも隣接変電所よりの遠方監視制御の無人変電所用である。

上記変電所は、昭和36年3月末より運転にはいり、好調な成績を納めているので、ここにそのあらましを記し、参考に供するものである。

2. 近鉄恩智変電所の概要

この変電所は近鉄北大阪線に属し、上本町を東へ約15 km、弥刀、二上変電所間に新設された、全自動無人操作式変電所であり、6.3 km離れた弥刀変電所から遠方監視制御を行なっている。

図2.1は変電所の外観を、図2.2は変電所内の機器配置を、図2.3は単線結線図を示す。



図 2.1 近鉄恩智変電所

Fig. 2.1 Onji substation.

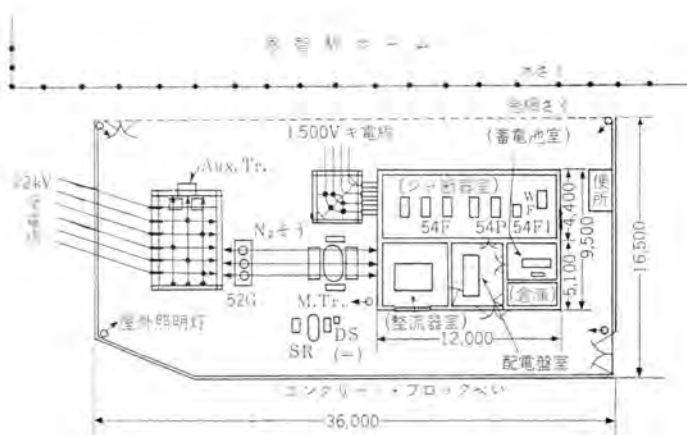


図 2.2 恩智変電所平面図

Fig. 2.2 Layout of each apparatus of Onji substation.

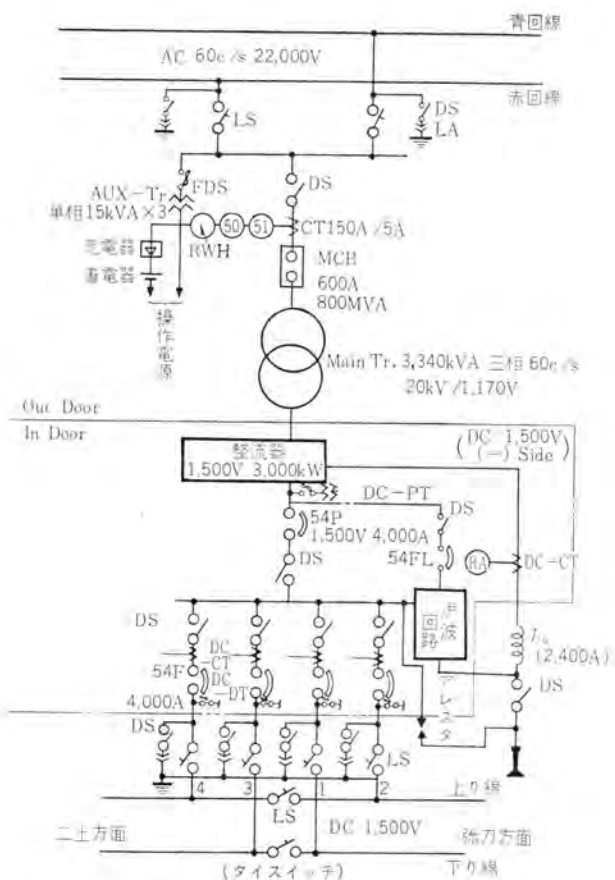


図 2.3 恩智変電所単線結線図
Fig. 2.3 Skeleton diagram of the Onji substation.

3. 風冷式シリコン整流器

3.1 シリコン整流器の仕様と定格

シリコン整流器はトレイ式構造とし、保守の簡便化をほかり、万一のシリコン整流素子の破損のさいも、負荷をきりはなすことなく素子の取換えができるだけでなく、



図 3.1 3,000 kW 1,500 V シリコン整流器
Fig. 3.1 Outside view of the silicon rectifier rated 3,000 kW 1,500 V.

定格を減ずることなく連続運転をすることができる。

シリコン整流器の仕様と定格は下記のとおりである。

形 式：SF 形 屋内用強制風冷式

定格出力：3,000 kW

直流電圧：1,500 V

直流電流：2,000 A

定格の種類：超重負荷公称定格

100 % 連続，150 % 2 時間，300 %
1 分間，5 分間隔で 10 回

結線方式：三相全波ブリッジ結線

図 3.1 は シリコン整流器 の外観を示す。

3.2 シリコン整流素子

製作技術の進歩向上とともに素子の定格は電圧，電流ともに大きくなり，したがって変換容量は，昭和 34 年に近畿日本鉄道玉川変電所に 500 kW，600 V の設備を設置した当時と比較すると約 4 倍になっている。

形 名：SR 200 F-20

定格ピーク逆耐電圧：1,000 V

最大順方向電流：200 A

図 3.2 はその外観を示す。

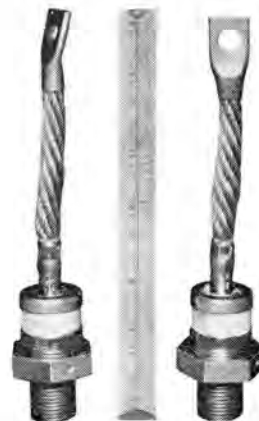


図 3.2 SR 200 F-20，シリコン整流素子
Fig. 3.2 Silicon rectifying element, SR 200 F-20.

SR 200 F-20 は合金形 シリコン整流素子 であり，有効にハードツルダ法を応用してある。そのためソフトツルダ法で製作したものに比較して使用温度を高くとれる特長がある。そのほか ハーメチックシール として，セラミック を使用して高圧用としての外装上の耐圧の問題を解消している。

3.3 シリコン整流器の構造と特長

風冷式 シリコン整流器 の特長を最大に生かして，運転の連続性と保守の簡易化を目的とし，トレイ方式を採用している。

シリコン整流器トレイは，回路設計上もっとも有利な分割単位とし，トレイ内 にシリコン整流素子，分圧器，その他付属装置を収納し，その寸法，重量なども保守員一人で容易に取り扱いできるようになっている。

図 3.3 にトレイの外観を示す。

3,000 kW，1,500 V 用としては，合計 72 トレイ よりな

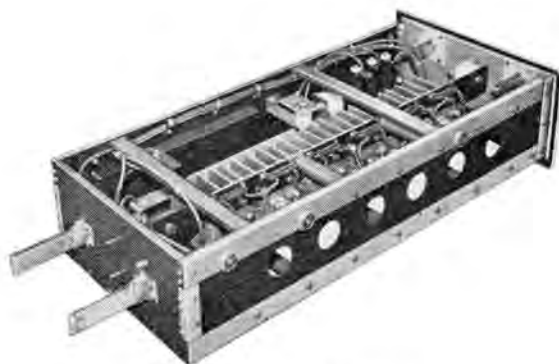


図 3.3 シリコン整流器トレイ

Fig. 3.3 Tray of the silicon rectifier.

り、内部に設けた通路を介して表、裏両側に6列、6段に配置されている。

キュービクルは全体を絶縁板で絶縁し、万一の内部接地事故を検出しようになっている。送風機は2列のトイルに対して1台の割合でキュービクル最上部に取り付け、両側下方の通風口より冷却風を吸込み上部へ排気している。

3.4 シリコン整流器の保護

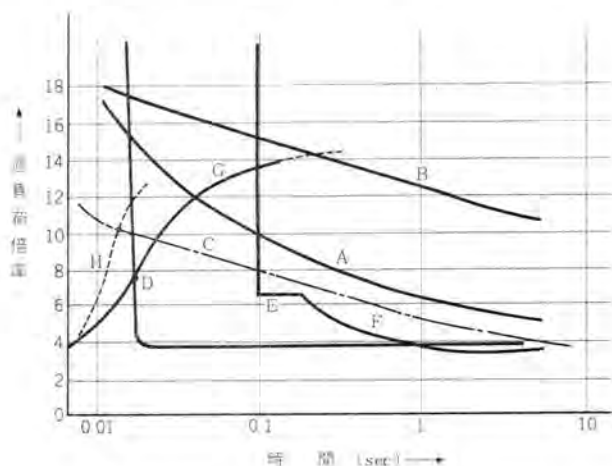
(1) 過負荷保護

過負荷保護協調曲線を図3.4に示す。

直流負荷側での短絡事故は直流高速度シャ断器で保護し、一般的な過負荷は、誘導形過電流継電器と交流シャ断器の組合せ、および直流過電流継電器と直流高速度シャ断器の組合せにより保護する。

(2) 過電圧保護

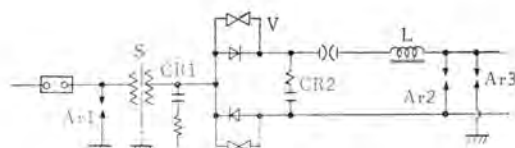
図3.5に異常電圧保護方式を示す。



- A : シリコン整流器過負荷特性
- B : 速応動ヒューズ消断特性
- C : 内部短絡のばあいの速応動ヒューズの消断特性
- D : 直流高速度シャ断器特性
- E : 瞬時交流過電流継電器による保護特性
- F : 誘導形過電流継電器による保護特性
- G : 直流短絡電流
- H : 交流(内部)短絡電流

図 3.4 過負荷保護協調曲線

Fig. 3.4 Over load protection curve.



- Ar1 交流アレスタ
- Ar2 直流アレスタ
- Ar3 直流アレスタ
- CR1 交流側C-R
- CR2 直流側C-R
- V バリスタ
- S 変圧器静電シヤヘイ板
- L 直流リアクトル

図 3.5 異常電圧保護方式

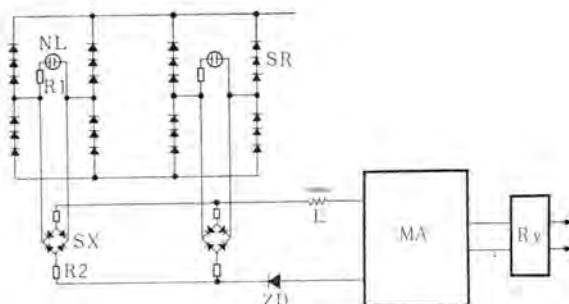
Fig. 3.5 Surge voltage protection system.

コンデンサに直列にそう入されている抵抗は、回路のインダクタンス分と共振を起こして振動電圧がでるのを抑制するためのもので、無誘導抵抗を用いている。バリスタではサージエネルギーを吸収する、また交流側から移行してくるサージ電圧の移行率を低減するために、整流器用変圧器に静電シヤヘイ板をそう入している。

(3) 故障検出回路

これは、この装置に多数使用されているシリコン整流素子に万一故障が発生したときに、ただちに必要な警報と保護操作を行なう装置である。

図3.6にその原理図を示す。



- SR シリコン整流素子
- MA 跳躍形磁気増幅器
- NL ネオンランプ
- R1 抵抗器
- R2 抵抗器
- SX 補助整流器
- Ry 補助継電器
- L リアクトル
- ZD 定電圧ダイオード

図 3.6 故障検出回路の原理図

Fig. 3.6 Fault detection circuit.

3.5 冷却装置

シリコン整流器は水銀整流器とちがって、使用温度の限界が上限だけであるので、整流器の運転中は常に冷却送風機をまわす。また熱時定数が小さいので送風機の故障はただちに検出して停電しなければならず、その目的のためには断風継電器と温度継電器を併用して、万全を期している。

4. 整流器用変圧器

変圧器の結線は三相全波結線を採用しているのも、その巻線構造は普通の電力用変圧器となんら異なる点はない。ただ同心的に巻回された交・直流巻線の中間に静電シヤヘイ板を設けて、交流巻線側から直流巻線側への異常電圧の移行率を少なくしてシリコン整流器の異常電圧に

に対する保護を行なっている。

この場合静電 シェイ板 のそう入個所が、交・直流巻線の中間で、しかも交流巻線は タップ を有しているので、静電 シェイ板 は漏れ磁束の直角成分の影響でうず流損を生ずることが考えられる。このうず流損を極力小さくするために、固有抵抗の大きい黄銅板を網状として使用している。

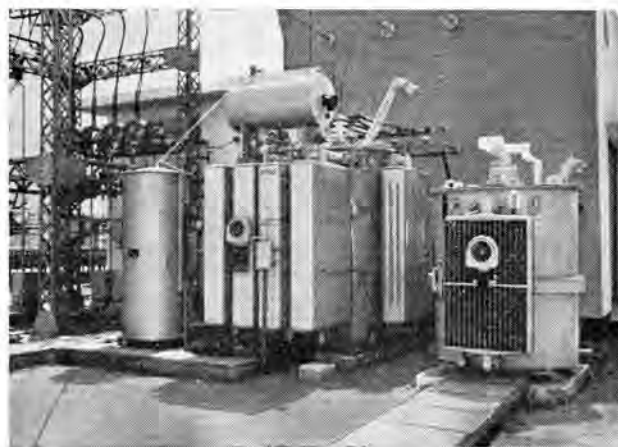


図 4.1 3,350 kVA 整流器用変圧器
Fig. 4.1 Rectifier transformer.

変圧器の定格、諸元はつぎのとおりである。

(a) 定 格

内鉄形油入自冷式窒素封入式 CR 形

相 数 : 3 相

周 波 数 : 60 c/s

容 量 : 3,300 kVA

電 圧 : 交流側

23F-22.5F-22R-21.5F-21F kV △

直流側 1,170 V △

定 格 : D 種定格

絶 縁 階 級 : 交流側 20 号

(b) 諸 元

重量 (油なし) : 10,300 kg

油 量 : 3,900 l

床面積×高さ : 2,770×2,710

×3,525 mm

5. シリコン整流装置の試験

電鉄用大容量 シリコン整流装置 においては、その負荷特性、使用条件によって、一般の整流器とは異なった問題を含んでいる。主として工場においては下記の各項目について試験を行なったが、それぞれ留意した点をひろってみる。

5.1 絶縁耐力試験

高圧電位部対大地間は各種規格に明記されているが、高圧電位部相互間の絶縁保証を行なう必要があるため、回路を分

割して行なった。

5.2 素子電流のバランス測定

もちろん 300 % 負荷においても全並列整流素子は許容電流を超過してはならない。また各 パーセント 負荷における素子電流も形式試験として明確に把握される必要があり、これを測定した。今回のものは測定端子がついているが将来はそれを省略するような方向に向かっているので今後の測定には配慮がいとえられる。

なお高圧の整流装置には 強制電流バランス の手段は、互換性、短絡時の電流平衡のために講じがたく、またその必要のないことも立証された。

5.3 温度上昇試験

トレイ式の場合は 単位トレイ ごとに、実際冷却条件で実施し標準温度上昇を測定した。その後これらを組合せ、各位置において冷却条件が低下しないことを確認するために、冷却風の風速分布を測定した。

5.4 逆電圧分圧測定

高圧整流装置ではいくらかの素子が直列に接続されるが、それらに印加される逆電圧は全素子に均等に加わらなければならない。分圧回路が 高インピーダンス回路 であるため、この測定には電子管増幅器を用いた波高値電圧計、マイクロ電流計 を用いた波高値電圧計で精度をあげ、被測定回路には定格交流逆電圧を印加して行なった。

5.5 負 荷 試 験

水銀整流器の場合のように耐逆弧試験には相当せず、現実には負荷運転可能を証明するだけであるので、長時間の試験は不要で温度上昇の時定数も小さく、各 パーセント 負荷 において 30 分で十分と考えられる。

負荷は イグナイトロン逆変換装置を用いた。

図 5.1 に負荷試験結果を示す。

5.6 人工故障試験

シリコン整流器の直流側を短絡し短絡電流に耐えることを証明する試験である。この場合、前記の電流バランスが

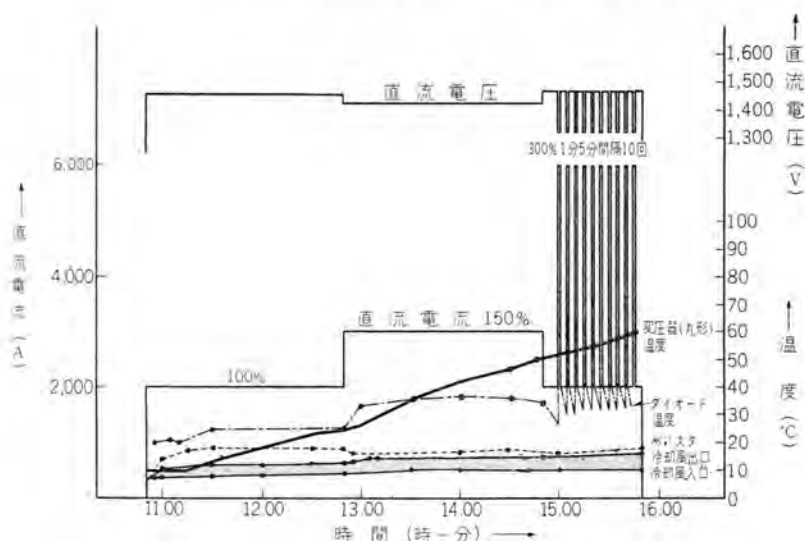


図 5.1 3,000 kW 1,500 V シリコン整流器負荷試験

Fig. 5.1 Load test on 3,000 kW 1,500 V silicon rectifier.

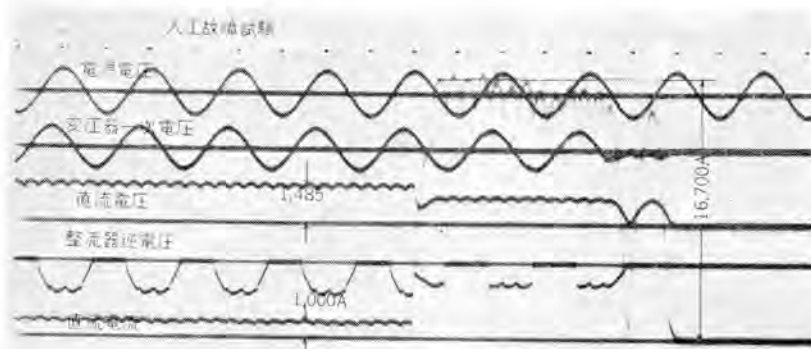


図 5.2 人工故障試験の オシログラム
Fig. 5.2 Oscillogram of short circuit test.

十分行なわれていれば、各素子の過電流試験は行なわれているので問題はない。試験の オシログラム を図 5.2 に示す。図の場合、15,000 A 以上流しているが、実使用の場合は 直流リアクトル と高速度 シュ断器 の限流作用によりキ電線短絡時の責務はこの値以下となるはずである。

5.7 整流器効率の測定

整流器において効率は、入力一出力法によると、損失と測定の誤差とが同じ程度になるので、損失の90%以上を占める順方向損は、短絡法によって測定することとした。この場合整流素子の温度、導体の温度によって損失が左右されるので、測定時の条件を一定に保つことがたいせつである。整流器効率は定格時 98.9% であった。

5.8 サージ試験

整流装置には受電側（交流）、キ電側（直流）それぞれからの サージ電圧 の侵入に対して、保護回路が構成されているが、その動作を各 シュ断器 の投入、シュ断 によって測定する。組み合わせた後では、装置自体大きなキ容量となっているので、実測ではほとんど異常電圧は検出できないのが普通のようなのである。このため各機器ごとに電位分布を測定し、それらを組み合わせて検討した。

一次側の2線接地、1線に電圧印加のばあい、変圧器整流器の組み合わせにおいて変圧器二次巻線間電圧の移行率は、約4%で巻線比の5.3%よりも小さい値であった。

5.9 補助回路試験

制御回路はほかの形の整流器に比べ簡単であり、一般の方法も大差ない。しかし整流素子劣化検出回路は、検出部分が高圧電位であり、小入力で動作させるために、誤動作を防ぎ確実に調整を施さなければならない。

また前述の保護曲線で過負荷保護を表わしているが、現地試験においては、それらが忠実にこなされているかいないかチェックした。

6. 遠方監視制御装置

恩智変電所は約 6.3km 離れた弥刀変電所を制御所として遠方監視制御されるもので装置内容はつぎのとおりである。

盤構造

制御所（弥刀変電所）

机形遠方監視制御盤 1面

監視制御継電器盤 1面

被制御所（恩智変電所）

監視制御継電器盤 1面

制御電源（遠制装置用専用）

遠方監視制御装置用の電源は専用にコンデンサを設けている。

制御所（弥刀変電所用）DC 110 V 24 AH

（充電装置付）

被制御所（恩智変電所用）DC 110 V 12 AH

（充電装置付）

連絡線

連絡線は心線径 1.0 mm ポリエチレン絶縁（静電電磁シヤヘイ付）ビニールシース 14 心 ケーブル を使用しそのうち 11 心を使用している。

連絡線使用内訳

表 6.1 制御・監視・計測項目一覧表

選 ボ ジ シ ョ ン	項 目	目	
		制 御	計 測
第 1 群	S 1	表示試験切換	試験中表示
	S 2	(群選振信号送受信1群、2群)	
	S 3	(" " 3群、4群)	
	S11	89-1 (赤回線) 開閉制御	89-1 状態監視
	S12	89-2 (青回線) "	89-2 "
	S13	タイマ使用除外切換制御	タイマ使用中表示
	S14	シリコン整流器 (52) 運転 停止制御およびロック解	52状態監視・運転中表示
	S15		火災・接地
	S16		重故障-1、重故障-2
	S17		軽故障・SRロック
	S18		54P 開閉監視 54F1 開閉監視
	S21	連絡シュ断	
	S22	54F 1 開閉制御・ロック解	54F 1 状態監視
	S23	54F 2 "	54F 2 "
	S24	54F 3 "	54F 3 "
	S25	54F 4 "	54F 4 "
	S26		直接中表示、54F ロック
	S27		DC故障 (80B)、トビラ
第 2 群	S31	89F 1 開閉制御	89F 1 状態監視
	S32	89F 2 "	89F 2 "
	S33	89F 3 "	89F 3 "
	S34	89F 4 "	89F 4 "
	(S35)	制御予備	同左 予備
	S41	89L13インタロック開閉制御	89L13インタロック開閉表示
第 3 群	S42	89L24 " "	89L24 "
	S43	89L13 開閉制御	89L13 状態監視
	S44	89L24 "	89L24 "
	(S45)	制御予備	同左 予備
	S46	表示 "	"

5 E

…無選択

積算電力量常時 …常時計測

被制御所電源電圧…同上

遠方監視制御用	6心
遠方計測用	3心
電話用	2心
予備	3心

遠方監視制御方式

遠方監視制御方式はすべて小形継電器を使用した同期群選択式を採用し操作時間の短縮および均一化を計っている。

遠方監視制御項目

恩智変電所の遠方監視制御項目、計測の種類および群別は表6.1に、その中の故障表示の内容は表6.2に記載

表6.2 故障表示内容一覧表

故障名	内 容	連 動
重故障-1	51 (50を含む) 47C (交流制御電源異常) 54P (54P自動シャ断) 63B (断弧継電器動作)	52, 54Pトリップ ロックなし 再起可能
重故障-2	82 (再閉路失敗) 88B (冷却ファン故障) 64 (Si整流回路接地) 96-2 (主変圧器温度上昇) 32 (過流継電器動作) 26H (整流器温度上昇) 8A (Si用制御電源+8A自動トリップ)	52, 54Pトリップ ロックする 再起不能 (32だけ52→54Pトリップ)
軽故障	33Q (主変圧器油面低下) 26T (主変圧器温度上昇) 96-1 () 63-N () SDA (Siダイオード故障) 54FI 73FI	
火災	28 (火災)	(52→54Pトリップ-全停)
接 地	64P-1 (正極母線接地)	
DC故障	80BM, 80BL	
トビラ開	92	
54Fロック	86F	
54Pロック	36-1 86FI 86-2	
直 接	43-R	

しているとおりであるが制御の特色を述べると

(1) 連動シャ断

弥刀変電所と恩智変電所のキ電用シャ断器は相互に連動シャ断を行なうが、それは遠制装置を介して行なわれる。自動シャ断した側のシャ断器は鎖錠せず、再投入可能であるが、連動シャ断した側のシャ断器は鎖錠してシャ断の自動・連動の区別がつくようになっている。

(2) 遠方よりのシャ断器の鎖錠解

シリコン整流器用シャ断器#52、およびキ電用シャ断器#54Fは故障の種類、再閉路投入後再びシャ断したとき、あるいは連動シャ断したときは鎖錠されるがその鎖錠は弥刀変電所からの遠方操作によって解くことができる。鎖錠がとければロック中の表示は消えて解けたことを表示する。

6.1 配電盤

(1) 配電盤構成

- (a) シリコン整流器盤
- (b) キ電盤

- (c) 総括盤
- (d) 所内盤
- (e) 室内換気扇盤
- (f) 恩智駅警報盤
- (g) 二上変電所、恩智変電所間連絡シャ断装置

(2) 操作連動

遠方無人および一人制御方式を採用しているが以下各項目別に記する。

(a) 受電系

動力操作式断路器#89R-1, 2は遠方、直接いずれでも操作可能であるが下記2条件を考慮している。

- (i) 整流器用シャ断器#52が開放されていること。
- (ii) #89R-1, 2間の相互インタロックがなされていること。

(b) 整流器系

(i) 遠方

制御所よりの運転指令により、#52→冷却ファン→#54P→#54FIの順に運転され、停止指令のときには#52→冷却ファン、#54P→#54FIの順に停止となる。

(ii) 遠方タイムスイッチ

制御所より「タイムスイッチ運転」の指令を受けるとタイムスイッチにより自動運転される。

(iii) 直接自動

#3-52の入操作、切操作により遠方のときと同一連動により運転、停止できる。

(iv) 直接手動

各機器ともそれぞれの操作開閉器により単独に操作できる。

特殊仕様として遠方操作中または直接自動運転中に直流側過負荷となれば#54Pだけを開放し1分後に自動再投入する。この後なお過負荷となれば整流器の運転を停止する。

(c) キ電系

キ電用高速度シャ断器#54F-1~4、動力操作式断路器#89F-1~4、二上、弥刀連絡用動力操作式断路器#89L-13, 24は遠方、直接いずれでも操作可能であるがそれぞれ下記のように条件を考慮している。

(i) #54F

鎖錠継電器が動作していないこと。

(ii) #89F

#54Fが開放されていること。

(iii) #89L

各対応する#54F、#89F全部が閉路していること。

#54F自動シャ断のときには1分後に自動再開路を1回行ない再度自動シャ断したときには鎖錠する。

(3) 保護連動

詳細は表6.3に記載しているとおりであるが、それ以外に下記の点が考慮されている。

表 6.3 保護連動表

故障原因または動作継電器	30による表示	開放するシャ断器	鎖錠の有無	警報種別	制御所への故障類別表示
交流過電流継電器動作	51	52.54P, 54FI	なし	ベル	重故障 1
直流側高速度シャ断器54P自動シャ断	54P	" " "	"	"	"
制御電源異常	47C	" " "	"	"	"
冷却ファン断風継電器動作	63B	" " "	"	"	"
整流器接地	64	" " "	あり	"	重故障 2
54P再閉路失敗	82	" " "	"	"	"
冷却ファン用コンタクタ、サーマル動作	38B	" " "	"	"	"
整流器温度過熱	26H	" " "	"	"	"
ブッフホルツ2段動作	96-2	" " "	"	"	"
制御電源用NFブレーカ自動シャ断	8A	" " "	"	"	"
主変圧器油面低下	33Q	なし	なし	ブザー	軽故障
" 窒素封入装置故障	63N	"	"	"	"
" 過熱	26T	"	"	"	"
" ブッフホルツ1段動作	96-1	"	"	"	"
シリコンダイオード故障	S DA	"	"	"	"
予波装置用高速度シャ断器自動シャ断	54FI	"	"	"	"
" コンタクタ異常	73FI	"	"	"	"
逆流継電器動作	32	52.54P, 54FI 54F全部	52のみあり	ベル	重故障 2
直流キ電線再閉路使用時の再閉路失敗または不使用時の54F自動シャ断	54F	54F	あり	"	54Fロック
直流キ電線連絡シャ断	—	54F	"	"	"
直流母線接地継電器動作	64P	52.54P, 54FI 54F全部	左記シャ断器全部	"	接地
火災検出継電器動作	28	"	"	"	火災
バッテリー電圧低下(スーパ用)	80BL	なし	なし	"	DC故障
" (所内用)	80BM	"	"	"	"

自変電所と制御所の弥刀変電所から非常停止をかけ全シャ断器を開放することはもちろんできるが、近接の恩智駅に警報盤を設け、ここからも非常停止することが可能であるとともに、整流器の運転停止状態および変電所のトビラ開、火災などを常時監視できるようにしてある。

7. 現地運転実績

この変電所は、春の行楽シーズンによる列車運行の増強に間に合わせるべくその工事を急いでいたが、36年3月27～29日をもって通産、陸運両局の監査を終了し、そ

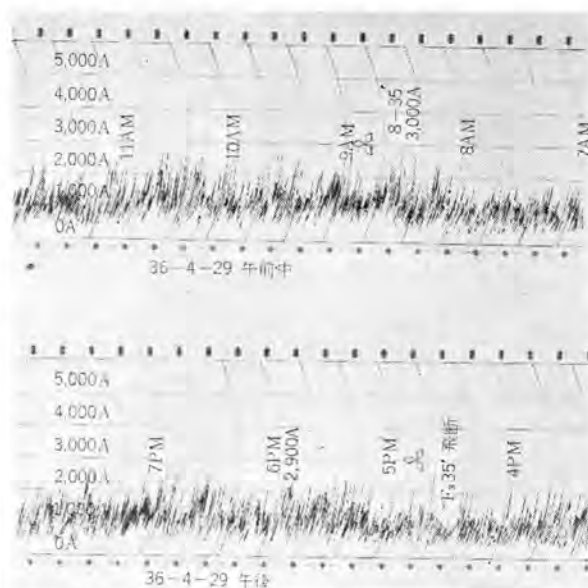


図 7.1 3,000kW 1,500V シリコン整流装置の負荷状況

Fig. 7.1 Load charts of the 3,000kW 1,500V silicon rectifier at Onji substation.

のまま営業運転にはいり、現在に至るまで好調な運転が続けている。最大負荷は1時間最大3,000 kW程度である。図7.1に負荷曲線のオシログラムの一部を示す。

8. む す び

この変電所により実証されたように、冷却装置以外にほとんど補助装置を必要としない便宜さのゆえに、シリコン整流器による無人自動運転、遠方制御の変電所は、今後いっそう広く採用されることとなるであろう。

三菱電機では、豊富なシリコン整流器製作の技術と、経験を生かし、需要家各位のご要望に自信をもって答えるべく、よりよいシリコン整流素子の製作、保護方式の確立などに不断の努力を重ねている。最後に、今回の変電所用電機品の製作、試験に際して、多大の協力をいただいた関係者各位に厚くお礼申し上げる次第である。

工作機の数値制御用プログラム方式

研 究 所 吉 江 高 明*・首 藤 勝*

A Program System for Numerical Control of Machine

Research Laboratory Takaaki YOSHIE・Masaru SUDO

It is an aim of numerical control of machine tools to turn out products according to information on basic designs with a minimum human effort. A system described herein comprises two major groups of equipment: one is a machine directly connected with a control unit, and the other a small general purpose, small scale digital computer for data preparation. Information from a design drawing is typewritten on a process sheet by a flexowriter and simultaneously punched on a process tape. Interpreting these codes, the program system works out a continuous cutter center path and punches the results on a control tape in a predetermined format. Being of a transistorized logical circuits, the control unit controls the travel of the cutting tool on the instructions from the tape.

1. ま え が き

工作機の数値制御は1953年に発表された M. I. T. の三次元フライス盤⁽¹⁾の制御を端緒として急速に発達し、最近ではきわめて融通性に富んだ高性能の実用機⁽²⁾が活躍している。数値制御工作機は高性能のサーボ機構により、与えられた指令に従って自動的な加工切削がなされることとともに製作に必要な情報（たとえば工作図面など）から実際の加工までの段階に情報処理装置を適用することにより、従来設計者や工作技術者などが行なっていたいろいろの作業の手数、時間、費用および誤りなどが軽減されていることが大きな特長であろう。この情報処理装置の適用は単に従来の作業の自動化というだけでなく図面方式、工作設計あるいは作業の流れなどの工作システムの改良が行なわれる可能性を有している。実用機では目的とする工作の規模、価格などに応じてこれらの特性を生かすようにシステムが設計されているが、その構成要素は工作機と直結して on-line で動作する指令部とおもに図面からの情報を指令部に与えるコントロールテープに変換する情報変換部、およびいろいろなサーボ機構、工作機などからなる工作機部とに分けることができよう。これらの各要素は相互に密接な関連を持っており、とくに図面から実時間の指令情報までの変換作業は指令部と情報変換部とを通じて行なわれ、この作業をどのようにおのおのに分担させるかはむずかしい問題である。指令部は工作機と直結して on-line で動作する部分であるからなるべく論理構成の簡単な信頼性の高いことが要求されよう。そこで情報変換の大部分の作業は情報処理装置で off-line で処理するのが望ましいであろう。また研究試作の段階では種々の改良が行なわれると予想されるサーボ方式、指令部の理論方式などに対処し、また種々の形状の切削（刃物の運動経路の複雑なもの）を受け入れるにはどうしても融通性に富んだ情報処理装置を採用

しなければならない。情報処理装置としては専用の計算機を用いる方式も考えられるが、プログラムの改良あるいは拡張などに対する融通性と種々のサブルーチンの利用などの点からわれわれは汎用の小形電子計算機 Bendix G-15 D を用いることにした。おそらく実用機に対しても汎用の電子計算機を使用することは図面情報の処理、計算式の変更、異なった種類の工作機の運転、並列運転などを考えたときに有効な経済的方式と考えられる。

以下に作成した約2,000語からなる三次元切削用のプログラムシステムおよび試作した全システムの概要について述べる。プログラムシステムは加工物の外形の座標、刃物の径、送り速度などを数種の命令とともに印字し同時に穿孔したプロセステープを入力とし、それらの情報に従って刃物の経路をきわめて精密に近似計算し、その結果は定めた形式の穿孔テープとして打ち出され直接指令装置の入力として与えることができる。

2. システムの構成

システムのブロック図を図2.1に示しておく。加工に必要な情報はそのままの形（たとえば工作図面）で計算機の入力として与えるのがもっとも望ましいが、幾何的図形や文字を計算機で識別することはまだ実用の段階でないのでやむをえず情報を読み取ってフレクソライタ（受信印刷穿孔を行なう）を使用して、プロセスシート（表5.1プロセスシートの書式を参照）に印字し同時にプロセステープを穿孔した。このテープは本文に述べるプログラムに従って計算機に読み込まれ、ついで刃物の経路の計算が行なわれ結果は一定の形式でコントロールテープとして自動的に穿孔される。

計算はプロセステープから読み取った情報の変換、各種の判定、刃物の経路の近似計算、コントロールテープ作成などが主体である。Bendix G-15 D 電子計算機は内部2進数方式であり指令装置も論理構成を単純化するため内

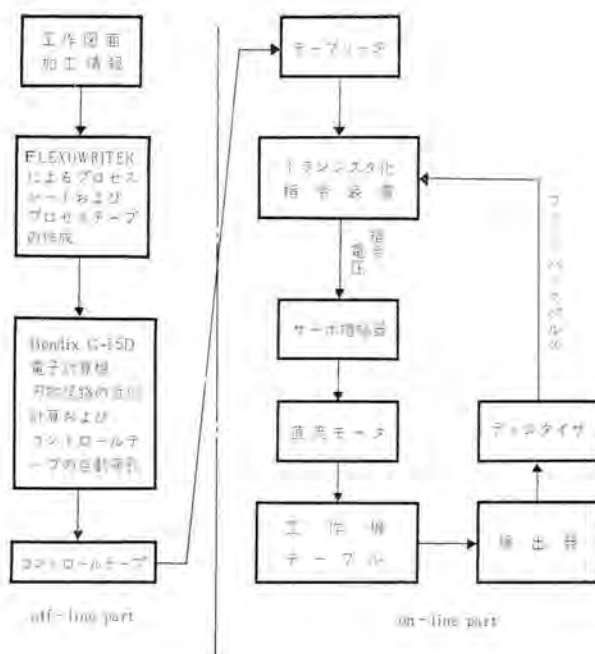


図 2.1 システムのブロック図

Fig. 2.1 Block diagram of the system.

部 2 進数の論理方式である。コントロールテープを直接読み取る必要はほとんどないと考えられるのでテープの表示は 2 進数をそのまま用いて 10 進数 2 進数の相互変換のプログラムと指令装置入力論理回路を節約した。

指令装置は約 300 個のトランジスタ化したプリント配線のパッケージを主体として組み立てられている。コントロールテープが読み取られた後その情報は一時補助記憶に貯えられ前の情報による切削が終了したときに主記憶に移される。主記憶回路と半加算器およびシフトレジスタとを主体とした簡単な論理構成のパルス分配回路からの指令パルスはカウンタ構成（可逆ではない）の偏差レジスタにはいり指令電圧となってサーボ増幅器にはいる。サーボ増幅器は磁気増幅器を主体とし直流モータを駆動し精密なホールリットネジで工作機テーブルを移動させる。この移動量は精密なネジで検出されデジタル化された帰還パルスとして偏差レジスタに返されている。本稿では主として制御用プログラムについて述べる。

3. 切削の基本

3.1 直線部分の切削

フライス盤でプロフィール切削をする場合、刃物の中心は切削面から刃物半径 R だけ離れた位置になければならない。もっとも簡単な例として刃物軸の方向に x 軸をとり切削面が xy -平面上で直線で表わされる場合を考えると、刃物中心の軌跡は図 3.1 に示すように切削面から刃物半径 R だけ離れた直線となる。当然のことではあるが同一の直線で表わされる切削面でもどちらから刃物を当てるかによって刃物中心の軌跡は図 3.1 の (a), (b) の 2 本がある。

2 直線でできる角部の切削について考える。これは以

下のプログラム作成の基本となるものである。図 3.2 に示すように、まず線分 P_1P_2 の部分を削ったのち線分 P_2P_3 の部分の切削に移る場合、切削進行方向に向かって刃物が切削面の左右どちら側を進むかによって二つの場合ができる。

ある直線について、それを左側から削るとき刃物中心の軌跡を左側線、右側から削るとき刃物中心の軌跡

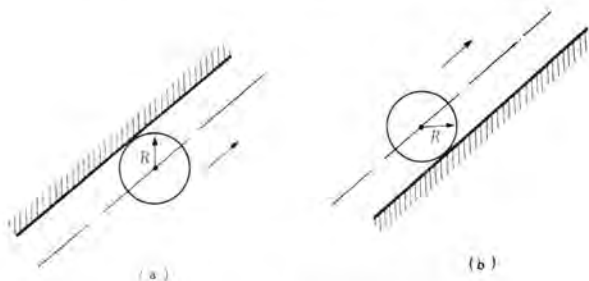


図 3.1 切削面と刃物中心の軌跡との関係

Fig. 3.1 Machined surface and cutter center path.

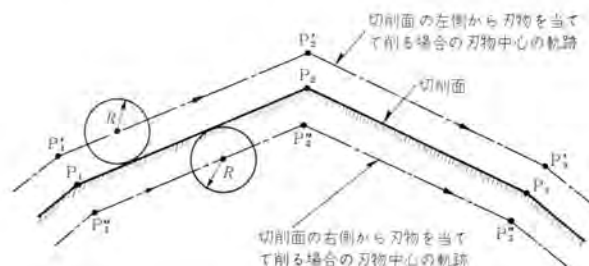


図 3.2 2 直線でできる角部とそれを削る刃物中心の軌跡との関係

Fig. 3.2 Machined surface and cutter center paths.

を右側線と名づける。2 本の左側線の交点を左側交点、2 本の右側線の交点を右側交点と呼ぶ。図 3.2 では直線 P_1P_2 の左側線が $P_1'P_2'$ 、右側線が $P_1''P_2''$ であり、直線 P_2P_3 の左側線が $P_2'P_3'$ 、右側線が $P_2''P_3''$ である。 $P_1'P_2'$ と $P_2'P_3'$ の交点 P_2' が P_2 の左側交点であり、 $P_1''P_2''$ と $P_2''P_3''$ の交点 P_2'' が P_2 の右側交点である。刃物中心の軌跡は、左側切削の場合には $P_1'P_2'P_3'$ となり、右側切削の場合には $P_1''P_2''P_3''$ となる。刃物が P_1' または P_1'' に来ているとし、次に P_1P_2 の部分の切削に移るとすると、それに先だって P_1 , P_2 , P_3 の座標および R の値から P_2' または P_2'' の座標を計算し、刃物の x , y , z 各方向の運動距離を算出して制御装置に与えなければならない。

左側交点 P_2' (x_2' , y_2') および右側交点 P_2'' (x_2'' , y_2'') は次の式で求められる。

$$\begin{aligned} \begin{matrix} x_2' \\ x_2'' \end{matrix} &= \begin{matrix} x_2 - \frac{R_1(x_3 - x_2)\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{(x_3 - x_2)(y_2 - y_1)} \\ - \frac{R_2(x_2 - x_1)\sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{-(x_2 - x_1)(y_3 - y_2)} \end{matrix} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} y_2' &= y_2 - \frac{R_1(y_3 - y_1) \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{(x_3 - x_2)(y_2 - y_1)} \\ y_2'' &= \frac{-R_2(y_3 - y_1) \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_2)} \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

この式は

$$(x_3 - x_2)(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1)(y_3 - y_2) \neq 0 \quad (3.2)$$

がみたされれば2直線の間隔のいかんを問わず適用できる。また、式中 R_1, R_2 と2種類の刃物半径があるのは、 P_1P_2 を半径 R_1 の刃物で、 P_2P_3 を半径 R_2 の刃物で削るとして式をたててあるため、左側交点を求めるときは $R_1 = R_2 = +R$ とし、右側交点を求めるときは $R_1 = R_2 = -R$ とすればよい。 R_1, R_2 のうち一方を0にすると、のちに述べる種々の補助的な刃物運動の処理が同じ式、したがって同じサブルーチンを使ってできる。このような理由で R_1 と R_2 とを区別しておくとう便利である。

3.2 曲線部分の切削

プロフィールが曲線になる場合の切削法はいろいろあるが、ここでは制御装置が直線運動だけを扱うものであるから、曲線を多くの線分の組合せで近似する方法をとる。もっとも簡単な円弧切削の場合について近似の方法とデータ処理の手順を述べる。

円弧の近似直線として弦を採用する。図3.3で円弧 P_1P_2 を線分 P_1P_2 で近似した場合、両者間の最大の隔りは l である。円弧の中心角 θ を増すほど l は大きくなるから、切削の許容誤差 T よりも l が小さくなるように θ を必要に応じて小さくとらねばならない。 θ の最大値 θ_{\max} は、

$$\theta_{\max} = 2T_{\text{an}}^{-1} \sqrt{\frac{2T}{r}} \quad (3.3)$$

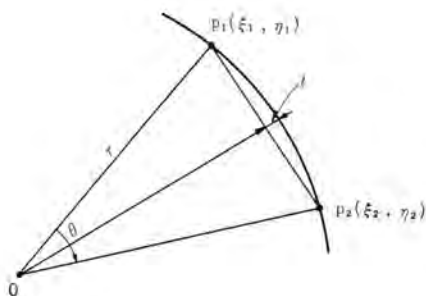


図3.3 円弧の直線近似
Fig. 3.3 Approximating circle by sequence of straight lines.

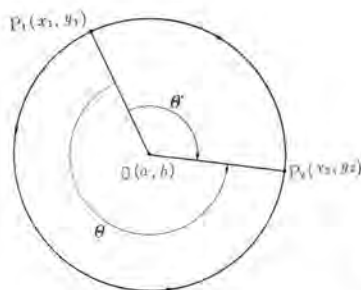


図3.4 円弧に対する中心角
Fig. 3.4 Two arcs of a circle.

によって計算する。

半径 r の円弧を点 $P_1(x_1, y_1)$ から点 $P_2(x_2, y_2)$ まで切削するという場合、切削の方向が時計方向か反時計方向かによって図3.4のように二つの経路がある。どちらの方向に削るかを決定すると、円弧 P_1P_2 に対する中心角 θ または θ' がきまる。そこでこの中心角を適当に分割して前述の θ_{\max} より小さい中心角 θ をもつ多数の円弧群 P_iP_{i+1} ($i=1, 2, \dots$) を作る。円の中心 $O(a, b)$ と円弧上の点 $P_i(\xi_i, \eta_i)$ とから円弧上の次の点 $P_{i+1}(\xi_{i+1}, \eta_{i+1})$ を求める式は次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} \xi_{i+1} &= \xi_i - 2 \sin \frac{\theta}{2} \left[(\xi_i - a) \sin \frac{\theta}{2} + \{\text{sign}(r)\} (\eta_i - b) \cos \frac{\theta}{2} \right] \\ \eta_{i+1} &= \eta_i - 2 \sin \frac{\theta}{2} \left[(\eta_i - b) \sin \frac{\theta}{2} - \{\text{sign}(r)\} (\xi_i - a) \cos \frac{\theta}{2} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

ただし半径 r の符号は、反時計方向切削のときは $r > 0$ 、時計方向切削のときは $r < 0$ とする。

このような方法で直線近似をしたのち、前述の2直線でできる角部の切削の手法を使って実際に刃物の中心が通る軌跡を算出する。

3.3 補助的な刃物運動

前述のように切削物のリッカクの切削は2直線でできる角部の切削を基本として行なわれる。刃物中心は切削面と刃物半径 R だけ離れた側線上を動くことを原則としている。いいかえれば刃物中心はプロセスシートで指定した座標上を動かさない。しかし刃物の運動を処理する場合、常に切削面を考えに入れなければならないのは不便である。とくに切削面をせずに単に刃物をほかの位置に送る場合とか、刃物の位置合わせをする場合、半径の異なる刃物と交換する場合などには刃物が側線上にあるとせずに、刃物中心そのものの運動をプロセスシートで指定できるほうがよい。そのために二三の補助的な刃物運動の処理法を考えておく。

まず、工作物と関係のない刃物だけの運動の場合は、図3.5に示すように、刃物の運動は2点 P_1, P_2 の座標の差だけとなり、簡単に処理できる。

図3.5のような運動から図3.2のような運動への移り変わり、およびその逆の移り変わりが問題となる。前者は切削面に刃物が接近して行く場合であって、図3.6に示すように、 P_1 から P_2 に向かって出発した刃物が P_2 に到達する前に P_2' または P_2'' で側線上の運動に移り変わる。このときの P_2' または P_2'' の座標は前述の式(3.1)で $R_1=0, R_2=\pm R$ とすれば求まる。 R の符号の正負が左側切削、右側切削にそれぞれ対応していることは前と同様である。

後者は切削面から刃物が退出する場合であって、図3.7に示すように、直線 P_1P_2 を切削している刃物が P_2' または P_2'' で P_3 に向かう運動に移り変わる。この場

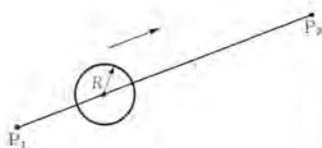


図 3.5 刃物の移動
Fig. 3.5 Shifting cutter to another point. (sending)

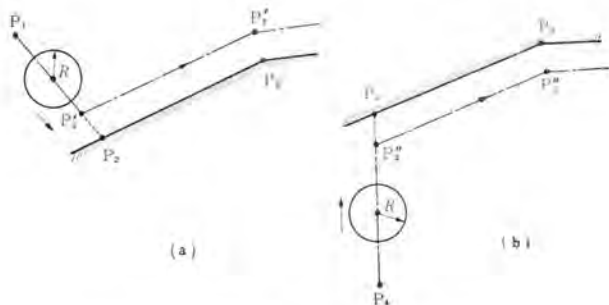


図 3.6 工作物に刃物が接近して行く場合
Fig. 3.6 Cutter approaching workpiece.

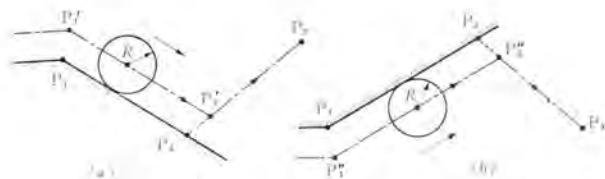


図 3.7 工作物から刃物が退出する場合
Fig. 3.7 Cutter leaving workpiece.

合の P_2' または P_2'' の座標はやはり式 (3.1) で $R_1 = \pm R$, $R_2 = 0$ とすれば求まる。 R の符号と左側切削、右側切削との対応関係は前のとおりである。

4. プログラムの考え方

4.1 基本的な性質

数値制御プログラムの機能を端的にとらえると、工作図面から制御テープへの情報の変換である。実際上工作は時間的に順を追って直列的に処理されるから、平面的な図面の情報を操作の直列的の列に変換したプロセスシートがプログラムの入力として用いられる。プロセスシート作成の過程は人間の手である程度の経験と判断を用いて処理されるが、できることならこの過程は簡単であるほどよい。われわれは最初の実験として、計算機の命令に類似の形でプロセスシートの各行を表わす方法をとった。工作の最小単位はある2点間を所定の様式で切り進む動作であるから、現在着目している点の座標はわかっているとして次の目標点の座標とそこに達するまでの工作の種類をプロセスシートに書き込むことにする。工作の種類を演算の種類とみて、目標点の座標をオペランドの番地とみると、単アドレス形の計算機のプログラムとこのプロセスシートが対応する。計算機の命令に四則演算以外の特殊なものがあるようにプロセスシートの命令にも通常の切削以外の特殊なもの、たとえば左側切削、右側切削、送り速度、刃物半径の指定などがある。

このような考え方をすれば、数値制御プログラムは一種

のインタープリティブプログラムシステムとみなすことができる。ただ、その使用目的が計算そのものではなく制御用テープの作成であるから、原則として各命令（すなわちプロセスシートの各行）の処理をするたびにテープ1ブロックを出力として出すことが形の上で異なっている。

われわれのプログラムに採用する命令は表4.1のような

表 4.1 命令の種類

分 類	命 令			
	左	側	切	削
常 用 命 令	右	側	切	削
	刃	物	半	径
	許	容	誤	差
	送	り	速	度
	粗	削		り
通 常 切 削 命 令	ホウキ口切削			
	直	線	切	削
	円	弧	切	削
	開			始
	移			動
特 殊 切 削 命 令	接			近
	退			出
	停			機
	終			了

種類がある。

4.2 プロセスシート処理のモード

先に説明したようにこのプログラムでは2直線でできる角部を削る場合の刃物中心の軌跡を基本としてそれに幾つかの補助的運動を組み合わせて一連の切削経路を構成する。プログラムでプロセスシートからの情報に従って工作物のつぎつぎの部分に眼を移しながら処理を進めてコントロールテープを作っていく場合に、単なる刃物の移動のように着目した部分の切削データをただちにテープにパンチする過程と、直線切削のように現在着目する部分の資料を使って計算はするけれどもパンチされる切削データはそれよりも前に着目していた部分のものであるという過程とがある。これらを統一的に処理するため、つぎのように4種のモードを考える。

(1) モード0

図4.1に示すように、点 P_0 に刃物中心があるときに点 P_1 の座標を得て直線 P_0P_1 上を P_0 から P_1 まで刃物が移動する場合、これをモード0の運動をすると表現する。この場合は P_0 から P_1 への移動データを算出してそのままパンチすればよい。

モード0では入力（プロセスシート情報）に対する出力（コントロールテープ情報）の遅れはない。

(2) モードII

図4.2に示すように、直線区間をつぎつぎに切削する

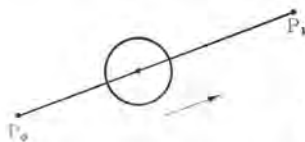


図 4.1 モード0の運動
Fig. 4.1 Cutter motion in mode-0.

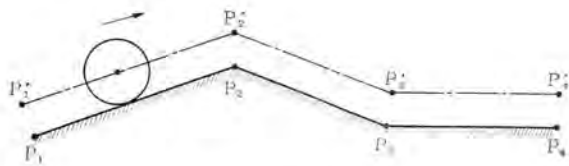


図 4.2 モードIIの運動
Fig. 4.2 Cutter motion in mode-II.

場合にはある程度先の情報を得ておかなければ 切削データの算出ができない。

点 P_1' に刃物中心があるときに P_1, P_2, P_3 の座標が与えられると P_2' の座標が算出できる。 P_1' から P_2' に至る切削データはそのとき一応得られるが、実際に刃物を駆動するサーボ系の特性からの要求で、刃物が P_2' に達したのちの運動量変化をある値以下に抑えねばならないということを考慮して、 P_2, P_3, P_4 および P_2' を用いて P_3' を求め、 P_2' から P_3' に至る切削データも算出しておく。それで P_2' における刃物の運動量変化*を調べて、 P_2' の付近で減速すべきかどうかを決定する。減速の必要がなければ P_1' から P_2' に至る切削データをパンチする。したがって P_4 に至るまでのプロセスデータを得たのちはじめて P_2' に至るプロセスのテープが作られる。換言すればモードIIでは出力は入力より2区間遅れている。

P_2' の前後での刃物の運動量変化が大きすぎる場合には、 P_2' の前後の区間に分点 Q_1 および Q_2 を作り Q_1 から P_2' を経て Q_2 に至るまで減速運転をする。 Q_1, Q_2 の作り方にはいろいろの方法があるが、ここでは P_2' から一定距離 L のところに Q_1, Q_2 を置くことにする。また Q_1 または Q_2 を過ぎるとき刃物の運動量変化が大き過ぎないかということも調べる必要があり、もしそれが大きければさらに分点を作って減速する処置を取り、必要に応じて減速、加速をしつつなめらかな切削を行なうよう心がけるべきである。

(3) モードI

モード0は入出力間に遅れがなく、モードIIは出力に2区

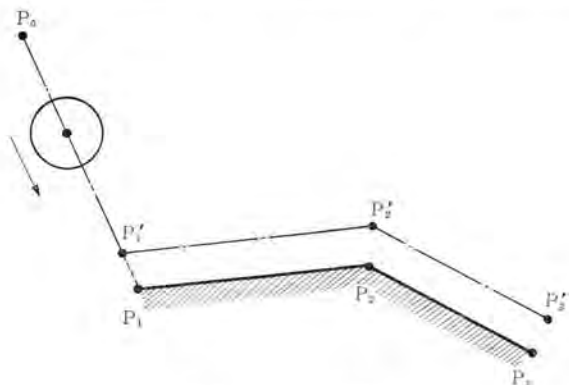


図 4.3 モードIの運動
Fig. 4.3 Cutter motion in mode-I.

間の遅れがある。したがってその二つのモード間の移行のために適当な処置をとる必要がある。モード0からモードIIへの移行のときの運動をモードIと呼ぶ。モードIでの動作を図4.3に示す。

点 P_0 に刃物中心があり P_1 に向かって接近して P_1' から P_2' に向かって直線切削を開始するとする。 P_1' を求めるためには P_0, P_1, P_2 が与えられなければならないから、 P_1 への接近のプロセスデータを読み取っても出力は出さない。次に P_2 に向かうプロセスのデータを読み取ると一応 P_1' が計算できるから P_0 から P_1' に至る切削データが得られるが、ここでそれを出力としてテープにパンチするとモードIの状態を固定してしまうことになりモードIIへの移行ができないから、さらに P_3 に向かうプロセスのデータを読み取って完全にモードIIの動作が可能となるまで P_0 から P_1' に至る区間の切削データを保存する。モードIは出力の入力に対する遅れを作る過程であり、2区間分の入力を得るが出力は出さない。

(4) モードIII

モードIIからモード0への移行のときの運動をモードIIIと呼ぶ。このモードでの動作を図4.4に示す。

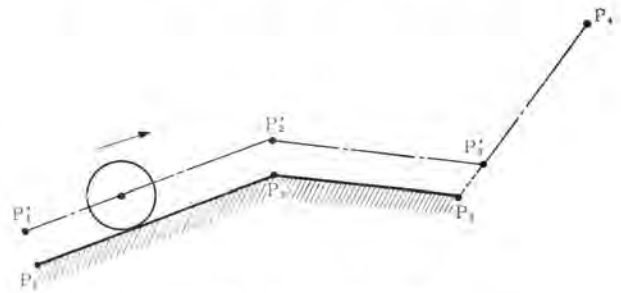


図 4.4 モードIIIの運動
Fig. 4.4 Cutter motion in mode-III.

モードIIでの切削で刃物中心が P_1' に来たとする。このとき P_1, P_2, P_3 はすでに得られており入力として P_4 に向かうプロセスのデータが読み取られる。 P_4 に向かうプロセスが直線切削ならば通常のモードIIの動作をする。 P_4 に向かうプロセスが刃物の退出であると、 P_4 に達したのちはモード0の運動をすることになるから、 P_1' から P_4 までの過程でモードIIからモード0への移行をする。

まず、すでに得られている P_1, P_2, P_3, P_1' および P_2' と新しく得た P_4 を用いて P_3' を算出する。 P_1' から P_2' に至る区間についてはモードIIと同様に諸判定を処理して切削データを求めテープにパンチする。次に P_2' から P_3' に至る区間について同様の処理を行なうが、このとき次の切削が P_3' から P_4 に至るものであることに注意する。計算ののちこの区間のテープをパンチする。さらに、 P_3' から P_4 に至る区間の切削データを算出してただちにテープにパンチする。

モードIIIは出力の入力に対する遅れをとりもどす過程であり、1区間分の入力を得て3区間分の出力を出す。

4.3 一連の切削過程のプログラム化

* 実際にはフライス盤のベッドの運動量変化

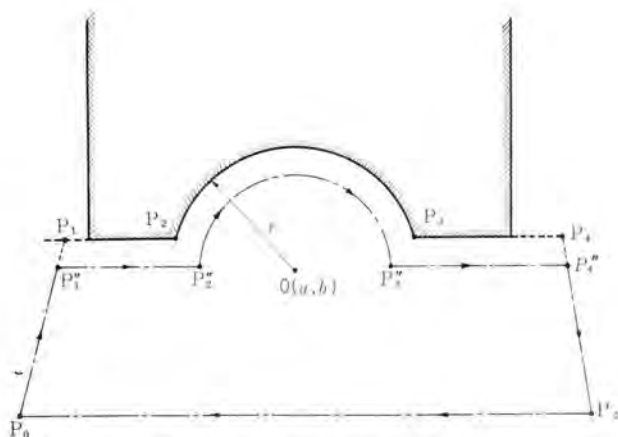


図 4.5 簡単な切削径路の構成

Fig. 4.5 Simple example of constructing cutter path.

表 4.2 図 4.5 の切削のための プロセスシート記入事項 と プログラム処理事項

プロセスシート 記入事項		プログラム事項	
プロセス	目標		
開始	P_0	} 記憶	モーフ I
右側切削			
刃物半径 R			
許容誤差 T			
送り速度 FR		} モーフ I	モーフ II
接近	P_1		
直線切削	P_2		
円弧切削 (中心 O, 半径 r) (時計方向)	P_3		
直線切削	P_4	} モーフ III	モーフ III
退刀	P_5		
移動	P_0	} モーフ II	モーフ II
待機			
停止			

前述の 基本モード が切削命令によってどのように構成されるかを簡単な例で示そう。

4.4 種々の制限事項

数値制御プログラムで行なう計算は大部分が刃物中心の軌跡の算出のためのもので、計算自体は質的にはそれほど高級ではない。そのほかに制御装置のほうの要求で数の位取りとか出力テーラの形式とかに関して多少の制限事項があるので、それらの計算および判定が必要である。そのおもなものを列記する。

(1) 連続運動の条件

サーボ系の動作からの要求で刃物の運動は連続的である必要がある。制御装置はコントロールテープを読んでデータ処理をして刃物の運動を指令するが、運動を連続にするために1区間の切削を行なう間に次の区間のテープを読んでおくことになっている。したがって1区間の切削に要する時間が1区間分のテープを読み取る時間より短くなってはいけなない。

点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ から $P_2(x_2, y_2, z_2)$ に至る区間を刃物が所定の送り速度 F_r で動く場合、移動時間 ΔT は、

$$\Delta T = \frac{\Delta S}{Fr} = \frac{\sqrt{\Delta x_2^2 + \Delta y_2^2 + \Delta z_2^2}}{Fr}$$

$$\Delta y = y_2 - y_1$$

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

となる。制御装置のテープ読取機が1区間分のテープを読むのに要する時間を T_{read} として、切削時間 T_c を、

$$\Delta T > T_{\text{trans}} \quad \text{ならば} \quad T_c = \Delta T, \dots \dots \dots (4.1)$$

$$\Delta T \leq T_{\text{read}} \quad \text{ならば} \quad T_c = T_{\text{read}} \quad \text{G.O.O. (4.2)}$$

と選びこの T_d を次に述べる ΔT_e の計算に用いる。これは、指令パルスをなるべく連続して出し、サーボ部への入力電圧変化を少なくするためである。

(2) コントロールテープの書式

コントロールテープとしては計算機付属のパンチで5単位の紙テープにパンチしたものをを用いる。1区間の切削テ

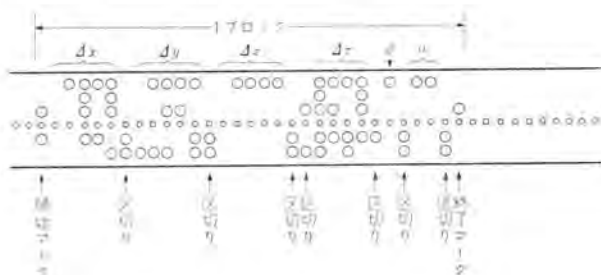


図 4.6 コントロールテラの形式

Fig. 4.6 Typical format of one block of control tape.

一軸を1ブロックに入れ、その形式は図4.6のとおりで、このうち Δx , Δy , Δz は各軸方向の切削距離で、0.005 mm を単位として16ビットの2進数で表わされる。これらは出力の際に4ビットずつに区切って16進記号としてテープにパンチされる。

また $\Delta\tau$ は切削時間に対応する数値で次のようにして計算される。まず

$$\Delta T' = \frac{1}{T_c} \cdot \frac{2^{16} \times 16}{f_c}$$

を求め、 $\angle \tau' < 1$ ならば

$$\Delta\tau = \Delta\tau', \quad \mu = 0$$

とし, $\Delta\tau' \geq 1$ ならば

$$\Delta\tau = \frac{\Delta\tau'}{2n} < 1, \quad \mu = n$$

とする。ただし Tc は、式 (4.1) あるいは (4.2) で求めた値をとり、 f_c は制御装置のクロック周波数である。 μ はスケールファクタで、上のようにすることにより Δt は小数になっている。これらはすべて2進数で表わされ、 Δx , Δy , Δz と同様にパッチされる。

なお、上の計算の結果、

$$\Delta S \times 2 \mu > 2^{17}$$

となっておればプログラムによる処理を停止する。これらは制御装置の論理回路からの要求で記憶レジスタの長さの制限によるものである。

5. プログラムの構成

5.1 使用する計算機

前節で述べたような操作手順を実現するための電子計算機としては中形以上の万能計算機なら何でもよい、われわれは手もとにある Bendix G-15 D を用いることにした。この計算機は直列式2進法の機械でクロック周波数100 kc、磁気ドラム記憶容量2,000語のもので、磁気テープ記憶装置も使用可能である。入出力装置として光電テープリーダーと紙テープパンチャ、および電動タイプライタが使える。

5.2 入力、出力の形式

数値制御プログラムへの入力はプロセスシートである。図面から適当に作られたプロセスシートの記入事項をオフラインのフレクソライタで紙テープにパンチする。プロセスシート1行分がテープ1ブロックとなる。できたテープを計算機の光電テープリーダーにかけて数値制御プログラムを動作させるとつぎつぎとテープを読み取って計算を行ない、必要に応じて出力テープをパンチする。これがそのままコントロールテープとなって制御装置の入力となる。出力テープの書式は図4.7に示したとおりである。

プロセスシートの作り方は、表4.2に簡単に示したが、その具体的な書式は表5.1のとおりである。

5.3 プログラムの流れ

プログラムの流れの大略を図5.1に示す。

表 5.1 プロセスシートの書式

命 令	プロセスシート記入事項					備考
	x 値	y 値	z 値	諸 値	コード	
左 側 切 削					X01	
右 側 切 削					X02	
刃 物 半 径				R	X03	
許 容 誤 差				T	X04	
送 り 速 度				FR	X05	
粗 削 り				n	X06	
ポケット切削					X07	
直 線 切 削	x	y	z		Y01	
円 弧 切 削	x	y	a	b	Y02	r
開 始	x	y	z		Z01	
移 動	x	y	z		Z02	
接 近	x	y	z		Z03	
退 出	x	y	z		Z04	
待 機					Z05	
終 了					Z06	

6. プログラムの現況と改良

ここに述べたプログラム方式は命令総数約2,000語からなっている。そのうちわけは命令(表5.1)の翻訳、径路の計算、各種の判定などの主ルーチンに約600語、入出

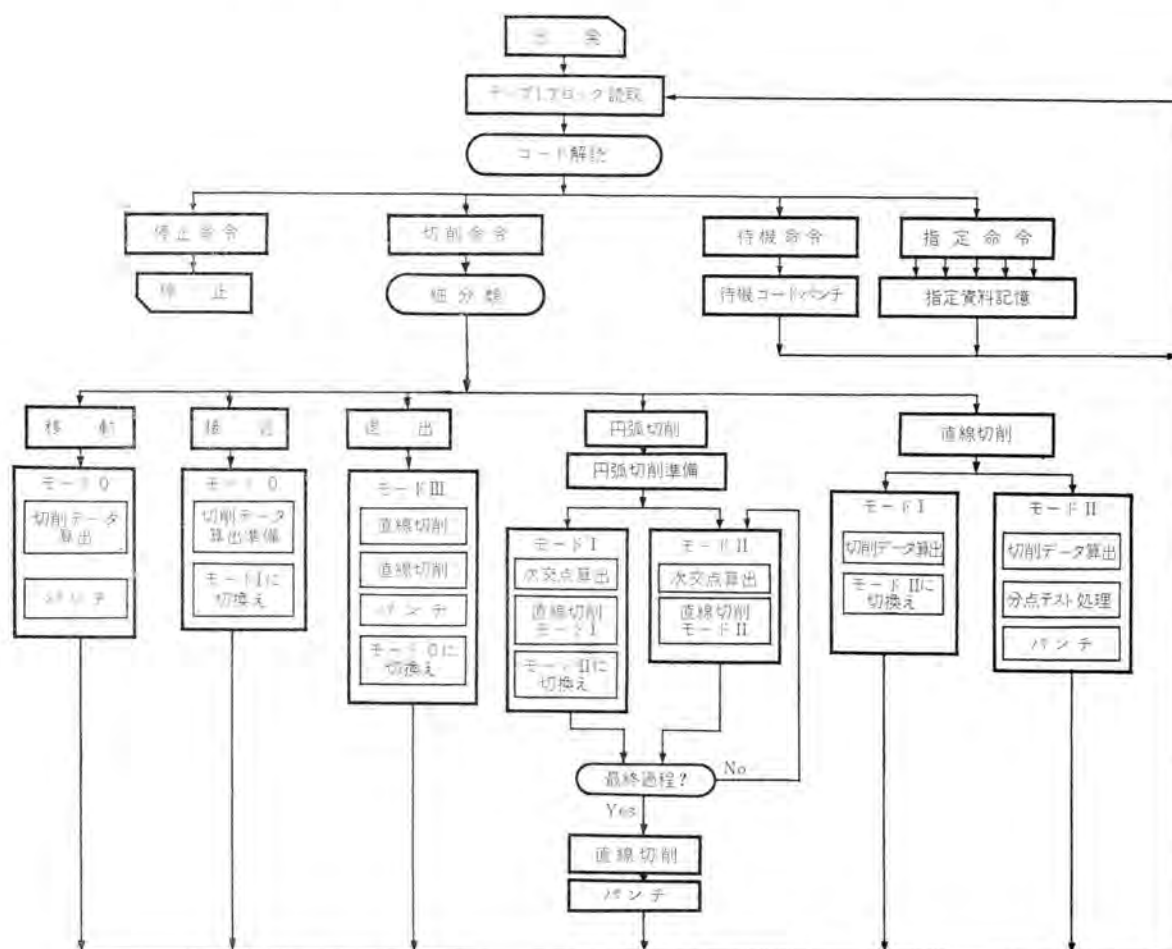


図 5.1 プログラムの流れ図

Fig. 5.1 Flow chart of numerical control program.

力および関数サブルーチンに約500語、中央小数点演算サブルーチンに約500語、データ処理用の場所として約200語を使用している。

このうち中央小数点演算サブルーチンは整数部7ケタ、小数部12ケタの固定小数点数を扱う四則演算と開平演算および10進数2進数の変換を行なうもので、Bendix G-15 Dに組み込みの浮動小数点演算装置がないのでプログラムの便宜上これを用いた。また出力サブルーチンは指令装置に与えるコントロールテープの形式でテープを穿孔するためのFormatの準備などを含んでいる。

現在プロセステープの読み込みとコントロールテープの1ブロックに必要なデータの計算およびその穿孔に約9秒を要している。

このプログラムシステムは実際の工作加工によって、いろいろと拡充改良しなければならない点があると思われるが、おもなものをならべると荒削りから精密削りまでの一連の刃物径路の自動作成（この場合は素材の形状も必要である）、工作機の性質に対する補正、切削物の形状が円、直線以外の関数形で与えられた場合、などに対応するサブルーチンの作成である。

また指令装置の規模をさらに小さくすることと、より良好な制御を行なうために計算を拡張して指令パルス列およびフィードフォワードパルス列に対応したビットを持った数値列を計算し、制御信号とともに計算機に直結した補助テープ記憶装置(MTA-2)に書き込んでおき、指令装置ではこの磁気テープを再生した信号を入力として与え実行時間パルス列の指令とすることも考えている。

しかし現在のプログラム方式をそのまま拡張しても「まえがき」に述べた要求は十分満足はされない。

すなわちプログラム方式が自動プログラム化が十分でないために人間との情報の交換は不十分な点が残る。

現在のように切削物の形状を定める各点を原点の固定した直交座標の値で表わすことは実際の場合に常に好ましい方法ではないであろう。

また形状の表現も直線と円弧だけでなくもっと一般的な表現で与えられるであろう。（包絡線、軌跡などのように）

また数値制御方式の発展とともに工作機の扱う刃物の種類、運動の自由度もふえ、冷却、潤滑など刃物の運動のほかに制御しなければならない量もふえると考えられる。

このような場合にいちいちそれに対応する命令(コード)や計算を設けて行くのは得策でない。

そこで機械の運動は三次元空間の中で行なわれるのであるから三次元空間を一般的に取り扱えるような自動プログラム方式が考えられる。たとえば二つの点で表わした直線、三点を通る平面、面と面との交線といった一般的な幾何的表現を可能とし、相当多種の工作法に対するStatementをもったプログラムシステムが考えられる。

これはちょうど数値計算を一般に取り扱えるFORTRAN

やALGOLに対応するようなものとなる。

さらに冷却、潤滑や刃物の交換のようにON、OFFや信号の大きさを制御するようなものに対してはSuffixed variableを指定するような考え方を採用すれば制御対象の増加などに対応しやすいと考えられる。

このような自動プログラム方式は人間との情報の交換の容易さ、それによる誤りや時間の軽減、などから考えて望ましい方式と考えられる。また融通性に富むから、各種の数値制御工作機を制御できる入力を供給することができよう。

しかしこのような方式を採用するにあたっては二、三の問題点がある。

すなわちこのようなプログラム方式で、対象とする数値制御工作機が異なったときに制御テープが作成できるであろうか。この問題はプログラム（あるいは計算機）の出力方式の問題であるが紙テープあるいは磁気テープを入力とする指令装置であれば、計算機出力のこれらのテープに対して出力Formatを指令するStatementを設ければ多くの場合解決されるであろう。

もう一つはこのような方式のとれる電子計算機の規模である。現在のBendix G-15 D計算機では質的および量的にこのようなプログラム方式は多少荷が重すぎるが、中形の計算機(MELCOMなど)では十分考えられるであろう。このような方式が得策か否かは電子計算機の規模と工作および工作機の規模によって一概には論じられないが発展性のある経済的方式とし採用される可能性があらう。

7. む す び

ここに述べたプログラム方式の作成と指令装置の試作は昭和33年度の通産省補助金の交付を受けて行なわれた。

研究にあたって終始ご指導をいただいた電気第二研究室豊田室長、機械研究室前田室長に厚く感謝いたします。またご協力いただいた関係者各位に感謝いたします。
(昭 36-4-14 受付)

参 考 文 献

- (1) 左治木清吾: オーム, 44, No. 8, pp. 10~16 (昭 32).
- 中田 孝: マシナリ, 19, No. 8, pp. 744~754 (昭 31).
- (2) 岡崎 松三: 自動ユニバーサルマシンについて, No. 6, マシニスト (昭 35).
- (3) George H. Mc Daniel and Robert C. Sims: Electrical Manufacturing 61, No. 2, pp. 85~92 (1958).
- (4) Compac System Process Planning Manual Bendix Aviation Corporation.
- (5) The IBM Auto Prompt System Mathematics and Application Department International Business Machine Corporation.
- (6) 豊田・吉江・首藤: 電子計算機の仕事機数値制御への応用, 昭和35年電気関係学会, 関西支部連合大会シンポジウム予稿 VI-5.

CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M 形過電流継電器

神戸製作所 森 健*

Type CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M Overcurrent Relays

Kobe Works Takeshi MORI

Mitsubishi type CO induction overcurrent relays have thirty years history as a background in their development. But electric power engineering of late has made farther advance than old relay can catch up. With the increase of fault current CT burden enlarges unjustifiably. To cope with the situation smaller size relays with less CT burden are called for and as a result a series of new CO relays has been brought into being; they are provided with a type M draw-out relay box, auxiliary elements and new CO elements. Based on this new series, new type CV voltage relays and other new induction relays have been developed, too.

1. ま え が き

従来の当社 CO 形誘導形過電流継電器は過去 30 数年間各方面に愛用されてきたが、最近の電力技術の進歩とあいまって要求される各種動作特性を十分に満足できなくなったこと、事故電流が格段に増大した今日 CT 負担が約 17 VA で過大に失すること、また外形をさらに小形で合理的なものにし応用面での サービス をはかると同時に生産性を高めたいという希望が次第に集積されてきたことなどから飛躍的なモデルチェンジの必要が感ぜられるに至った。

そのためまず従来のものとまったくことなつた構造の E 形鉄心電磁石と渦巻形円板をもつ高性能の COS-1, COS-2 形反限時特性過電流継電器を実用に供し、さらに最近 2 年間 COS-3 形長限時電動機保護用過電流継電器や COS-4 形反限時定限時特性過電流継電器をそのシリーズに加えてまず目下の要求に答えるとともに、これらをいっそう改良してケース、補助素子の完全な切換え、COS 要素を標準化改良することによる新 CO 要素の開発などを基盤とした新 CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11 形過電流継電器を完成し、このほどこれを市場に供することによって完全なモデルチェンジを完了した。

またこの新 CO 形継電器を基礎として旧 CV 形電圧継電器にかわる新 CV-1, 2, 4, 5, 6, 7 形電圧継電器、高感度高連続電圧形の CV-8-M 形接地過電圧継電器、シリコン要素による不足電圧起動を付加した COV-6, 7, 8, 9-M 形過電流継電器、また旧 CR 形方向過電流継電器にかわる CR-6, 7, 8, 9-M 形方向過電流継電器、逆相分汜波器を内蔵した COQ-M 形逆相過電流継電器などが同時に完成した。

これら新誘導形継電器の開発は当社がここ数年来進めてきた M 形継電器ライン⁽¹⁾の重要な一環を形成するものである。

本文は表題を骨格としてこれら一連の新形誘導形継電

器の概要を紹介するものである。

なお以上のような新形継電器の開発完了にともない、すでに生産していない旧 CO, COLH, COH 形過電流継電器などのほか、さらに COS-1~5 形過電流継電器、COG 形過電流継電器、CV 形電圧継電器、CR, CRG 形方向過電流継電器の生産も本年中に順次新形継電器の生産に切換えられるはずである。ただし COG-2 形小勢力過電流継電器はとくに小勢力動作の必要なばあいのために従来どおり標準として残ることになる。

2. 新 CO 要素

図 2.1 は新 CO 形継電器の外観を示す。名板の右側にあるのが ICS 形表示接触器、左側にあるのが IIT 形瞬時要素で、いずれも今回同時に開発されたものである。



図 2.1 CO-5 I-M 形過電流継電器

Fig. 2.1 Front view of type CO-5 I-M time overcurrent relay.

これらの背部に新 CO 要素が配置されている。名板の上にみえるのが可動・固定接点で、その上に時限整定用のダイヤルとその指標（ダイヤルの上）がある。またこれらの上部に動作値整定をおこなう。

図 2.2 (a), (b) は新 CO 要素と母形である現在の標準形の COS 要素の比較写真である。

図の左の要素が新 CO 要素である。

(1) E 形要素

E 形要素とは、COS 形継電器以来三菱独特の鉄心構造をもつ電磁石で、新形誘導形継電器はすべてこの要素

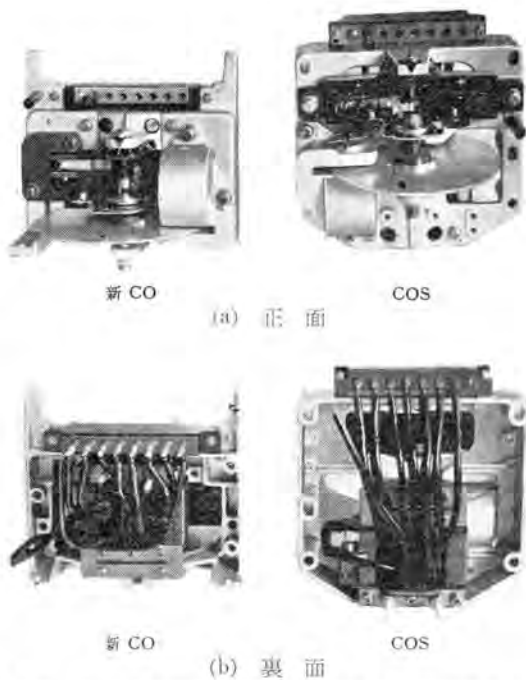


図 2.2 新 CO 形継電器要素と旧 COS 形継電器要素比較
Fig. 2.2 Comparison between new CO relay element and former standard COS relay element.

を用いている。

E 形要素とよぶわけは図 2.2, 2.3 にみられるように、E の字を横にしたような鉄心構造をもっていることからきている。

図 2.3 のように一般に E 形要素では中央脚に主コイルが巻かれ、トルク発生のための極コイルが円板動作回転方向と逆の側、つまり図で左の脚にまかされている。右の脚には動作特性の調整に用いられる調整コイルがまかされている。

この要素はもちろん移動磁界形要素の一種であるが、限取コイル形要素の構造と比較すると理解しやすいと思

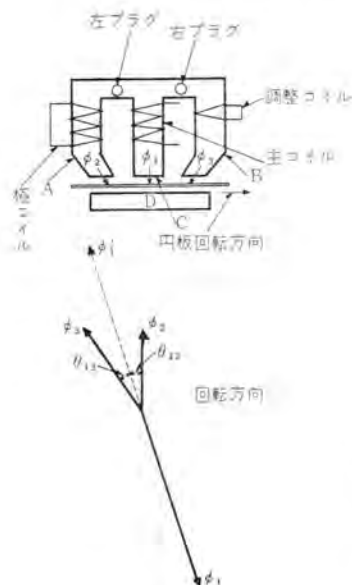


図 2.3 E 形要素鉄心と磁束
Fig. 2.3 Type E element core and vector diagram.

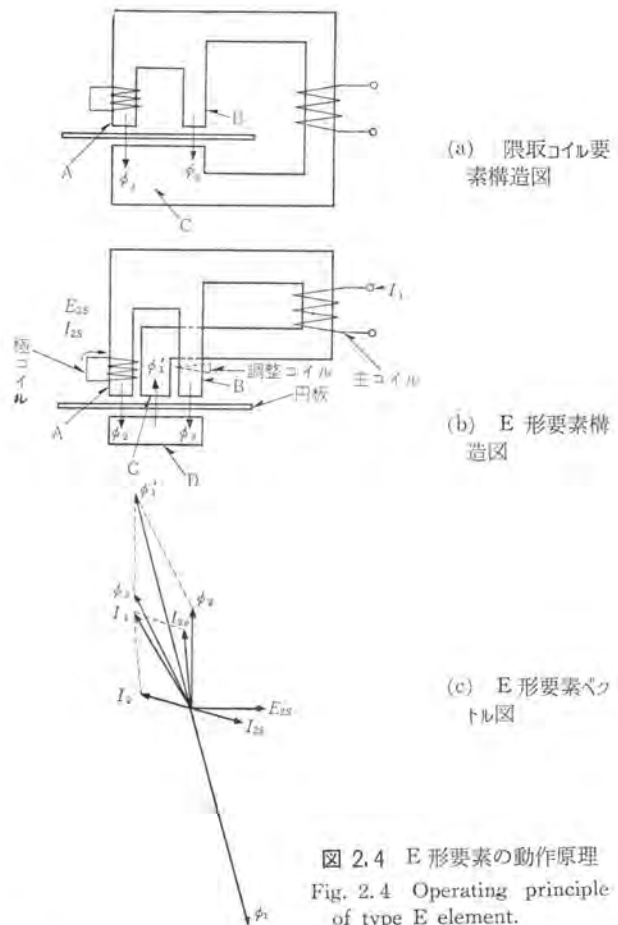


図 2.4 E 形要素の動作原理
Fig. 2.4 Operating principle of type E element.

われる。そして後述するように限取コイル形要素と極コイルのある鉄心脚に対する円板の動作回転方向が逆になるのは興味あるところである。

図 2.4 (a) は限取コイル形要素の略図である。限取コイルのある脚の磁束 ϕ_A と、コイルのないほうの脚の磁束 ϕ_B 、その位相差 θ とすれば、

$$T = k f \phi_A \phi_B \sin \theta \quad (2.1)$$

なるトルクが発生する。(k: 常数, f: 周波数)

E 形要素で最初一応調整コイルの存在を無視して考えると、限取コイル要素の C の部分を、A, B の部分の間に移し、円板をよぎる磁路を構成するための鉄心 D を付加したものが E 形要素である。

したがって極コイルのある A 脚の磁束 ϕ_2 によって、極コイルに起電力 E_{2s} が発生すると、極コイルの抵抗および若干ある漏れリアクタンスで定まる E_2 より少しおくれた電流 I_{2s} が極コイルに流れる。この電流アンペアターンを打ち消すための電流 I_2 が主コイルに流れなければならないから、主コイルには ϕ_2 を発生する励磁電流 I_{2e} とこの電流 I_2 の和の電流 I_1 が流れていることになる。脚 B には電流 I_1 により発生する鉄損のため I_1 より若干おくれた ϕ_3 が発生する。また中央脚 C には漏れを無視すると ϕ_2 と ϕ_3 のベクトル和 ϕ_1' なる磁束が存在する。

各脚の磁束 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 を図 2.3 のように鉄心 D の方向に極性を定義すれば、図 2.3 のベクトル図のような位

相関係が得られる。

$$\phi_1' = \phi_2 + \phi_3 \quad (2.2)$$

$$\phi_1 = -\phi_1' \quad (2.3)$$

ϕ_1' と ϕ_2 、 ϕ_1' と ϕ_3 の位相差を θ_{12} 、 θ_{23} とすれば、動作トルク T は下式であらわされる。

$$T = K_{12} f \phi_1 \phi_2 \sin \theta_{12} + K_{13} f \phi_1 \phi_3 \sin \theta_{13} - K_{23} f \phi_2 \phi_3 \sin (\theta_{12} + \theta_{13}) \quad (2.4)$$

定数 $K_{12} = K_{13} = K$ であるから

$$T = K f \phi_1 (\phi_2 \sin \theta_{12} + \phi_3 \sin \theta_{13}) - K_{23} f \phi_2 \phi_3 \sin (\theta_{12} + \theta_{13}) \quad (2.5)$$

となる。

実際は $K \gg K_{23}$ なので第2項は第1項に対し小であり、全体としては十分な動作トルクが発生するのである。しかし第2項がいわば限取コイル形要素のトルクにあたるから合成トルクの方は逆になる。

このトルクが渦巻パネの反抗トルクより大となれば、継電器は動作する。

調整コイルは極コイル断面積の1/10以下の断面積を持ち、はるかに大きな等価抵抗をもっている。したがって主コイルの電流 I_1 に対し極コイル側の磁束 ϕ_2 ほどのおくれないが、調整コイルをはめることによってコイルをはめないばあいより ϕ_3 はおくれ、調整コイルの誘起電流によって励磁電流が若干減少する分だけ ϕ_3 は減少する。

ゆえに式(2.5)において ϕ_3 が若干小となり、また θ_{13} が若干小となる分だけ動作トルクが減少する。

このように調整コイルは動作トルクを抑制するものであるが、なにゆえにそれを入れればよいかというと、次項にのべる磁気プラグの効果を抑えるわけである。

たとえば脚Aにあなをあけ飽和しやすいようにしておけば大入力時の ϕ_2 と ϕ_3 の大きさ関係が大きく変化するばかりでなく、調整コイルによる ϕ_2 のおくれが拡大されて動作トルクが増大しないことになる。

なお調整コイルが以前に有していたもう一つの役目、すなわち渦巻パネのパネ定数の相違による始動値傾度の調整⁽²⁾は、実際には一定のパネ定数のパネを量産することが可能で調整の必要がみとめられなくなったので、新CO形継電器ではこの機能を廃止し上述の目的だけとして調整機構のない単なる金属板を打ち抜いたコイルをはめこんでいる。

以上述べたようにE形要素は極コイルのスペースが大で自由な設計ができ、調整コイルの運用や後述の磁気プラグの適用が容易であり、また鉄心の加工がしやすく、種々の動作特性を要求される過電流継電器の要素として非常に有利な構造となっている。

(2) 調整機構

新CO要素の調整機構はそのもっとも特長とするところである。

すなわち誘導形過電流継電器の調整点として

渦巻パネ絞り角調整機構

CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M 形過電流継電器・森

動作値を規定

大入力での動作時間特性

小入力での動作時間特性

磁気プラグ
制動磁石

が用意されている。そしてこれらはドライバだけで容易に調整が可能である。

なかでも磁気プラグによる調整機構はE形要素独特のもので、図2.3の鉄心図にあるように、鉄心脚A、Bにあなをあけ純鉄のプラグをはめこみ、それを出し入れることによって両脚の飽和度の平衡をくずして動作時間特性を変更するものである。

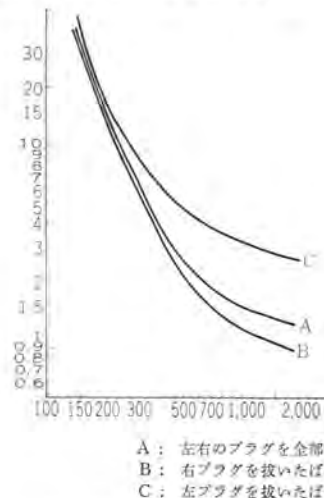


図2.5 CO-8要素における磁気プラグ効果の例

Fig. 2.5 Effectiveness of the magnetic plugs of CO-8 relay element.

A: 左右のプラグを全部突込んだばあい
B: 右プラグを抜いたばあい
C: 左プラグを抜いたばあい

図2.5はCO-8-M形反限時過電流継電器での実測例で

A: 両方の磁気プラグを全部そう入した状態での特性とすれば

B: 正面からみて右側の磁気プラグ(図2.3参照)を抜いたばあいで、このようにすると調整コイル側の脚の過電流域における飽和を大きくし、過電流域での動作トルクを増大させるように作用するため、動作時間が早くなる。すなわち反限時特性が強くなる。

C: 図2.3で正面からみて左側の磁気プラグを抜いたばあいで、極コイル側の脚の過電流域における飽和を大にし、過電流域での動作トルクの増加を弱めるように作用するため、動作時間がおそくなる。すなわち反限時特性が弱くなる。

このような作用があるので、とくにフィード保護のように特殊な時間特性を必要とするばあいがおこりうるとき、必要に応じて時限特性を変更することができる。事実CO-8形反限時継電器とCO-9形強反限時継電器とは鉄心・コイル・制動磁石などまったく同じもので、ただ磁気プラグの調整がちがうだけであるから、その中間の特性を得ることなどはまったく容易なことである。

ただしCO-6形反限時定限時継電器などになると、定限時特性を得るために鉄心飽和を強化する目的でプラグのほかさらに鉄心にあなをあけてあるため磁気プラグの効力が若干弱められている。しかしそれでも50 c/sと60 c/sとに対しまったく同じ設計のものを供給し部品の共通化を実現しているが、これはおもに磁気プラグの効果

によるものということができる。

(3) 整定機構

整定機構としては動作値を決定する タップ機構 と、時限を決定する 時限ダイヤル機構 がある。

なお円板の動作方向の回転につれて 渦巻バネ を絞り込むので誘導形継電器は 動作トルク が円板の回転につれて増加するような補償が必要であるが、当社はすべて独得の電磁石をよぎる円板の半径が回転とともに直線的に増大する渦巻式外周形円板を使用しており、始動値は十分水平になるようになっている。

誘導形継電器の時限整定は 従来時限レバー によってきたが、時限ダイヤル式 では図 2.2 でもわかるようにつねに正面で整定されるため、もっとも使用に便利な合理的なものということができる。

3. 付 属 装 置

新 CO・CV 形継電器の開発はまた別に紹介した M 形継電器箱および以下の ICS 形動作表示器と IIT 形表示付瞬時要素の開発とまったく不可分の関係がある。すなわち M 形継電器箱中もっとも小形の M-A 形継電器箱は新 CO・CV 形継電器用としてもっとも適合するように設計された。

3.1 ICS 形表示接触器

従来継電器の動作表示は D 形動作表示器で、自己保持用補助接触器としては S 形補助接触器が併用されてきたが、付勢回路の性質と電流の大きさによって定格、結線の変更が非常に増加してきたため納入直後はともかく、事後の サービス その他の面からみると次第に不便を感じるようになってきた。

また継電器の外形を制限するためにはやはり上述の二つの素子を一つの素子にまとめてしまうことが必要であると着目されるに至った。

以上のような事情から

- (1) 新形継電器の標準制御回路はできるだけ広範囲な接点負荷の変化に順応し、制御回路の特殊仕様はほとんど必要がないようにする。
- (2) そのための表示接触器を新たに開発する。
- (3) その表示接触器は表示と自己保持を同時におこなうことができ、小形でしかも一般特性において従来のものよりまさるものとする。

という方針を定めた。

今回実用に供された ICS 形表示接触器は以上のような背景のもとに生まれ出たものである。

図 3.1 はこの ICS 形表示接触器の外観を示す。このように小形の クラップ形 の直流継電器で、コイルに電流が流れると アタッチア が磁極に引付けられ接点を閉じると同時に表示器をおとす。

ICS 形表示接触器の コイル は上述の目的から複定格となり接点負荷によっていずれかの コイル を用いるようになっている。またおもなる性能はつぎのとおりである。



図 3.1 ICS 形表示接触器
Fig. 3.1 Type ICS indicating contactor switch.

- a. 動作値：コイル定格 の 85 % 以下
- b. 復帰値：コイル定格 の 25 % 以上
- c. 動作速度：電流の立上がり、1 msec 以下の回路でミリ秒コンドメータ で試験して定格値に対し
100 % 入力にて 20~35 msec
200 % 入力にて 11~21 msec
500 % 入力にて 11~20 msec
- d. 表示特性：動作値の $\pm 10\%$ 以内の電流値で 確実に表示器が落ちること。
- e. コイル通電容量：つぎのばあいほぼ 55°C rise
定格値の 160 % の電流で 連続
定格値の 1,000 % の電流で 5 sec
定格値の 1,800 % の電流で 2 sec
- f. 接点容量：閉成 30 A

3.2 IIT 形表示付瞬時要素

長限時の電動機保護用誘導形継電器に瞬時要素を取付け短絡事故に対し瞬時保護をおこなわせることは、COL H 形継電器の時代から実施してきたことである。

このばあいの瞬時要素の目的は

- a. 瞬時に動作して短絡事故に対し主要素の動作を待たずにトリップする。
 - b. 過大な入力において主要素の動作完了まで放置するならば主要素自体の コイル が過熱してしまう。しかし瞬時要素があるので、このような問題がない。
- に要約できる。

新 CO 形継電器では継電器の過電流耐量が増大したので上記中 b. の件は無視できるが、a. の観点からやはり電動機保護用長限時継電器には必ず併用すべきものと考ええる。



図 3.2 IIT 形表示付瞬時要素
Fig. 3.2 Type IIT instantaneous overcurrent relay with indicator.

しかしさらに進んでいろいろの過電流継電器の応用を検討するとこれに簡易な瞬時動作過電流継電器を内蔵させて併用すれば、非常に保護能力の増加をはかりうることが判明する。その実例を要約すれば

- a. 図 3.3 (a) のように負荷末端の CO 形継電器に瞬時要素を併用すれば、短絡事故に対し瞬時保護が可能になり、事故の影響を最小限度におさえるほか、次段の継電器の協調整定をいちいち容易にすることが多い。すなわちこのような場所には別に長限時 CO 形継電器でなくとも瞬時要素を併用するとよい。
- b. フィーダ回路で変圧器の高圧側に設置した CO 形継電器に瞬時要素を付加し、変圧器高圧側の短絡事

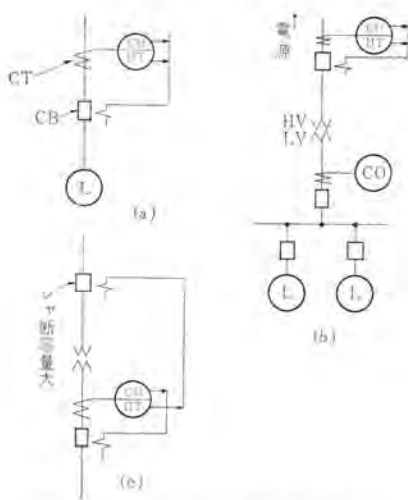


図 3.3 IIT 形表示付瞬時要素の応用
Fig. 3.3 Applications of type IIT instantaneous overcurrent relay.

故を瞬時保護すれば上記 a 項と同様の利点が生ずる。(図 3.3 (b))

- c. ショ断器のショ断容量が不足するとき CO 形継電器に瞬時要素を設け、過大事故電流時にはより電源側のショ断器をトリップさせることができる。(図 3.3 (c))

IIT 形表示付瞬時要素はこのように拡大された各種用途に適合する新しい瞬時動作簡易過電流継電器として開発されたものである。

IIT 形表示付瞬時要素は、図 3.2 に示すような ICS 形表示接触器と非常によく似た外観・構造をもち、共通部品で製作される。ただ ICS 形表示接触器と異なる点は磁極にシェーディングコイルがあり、また頭部に動作値整定用のネジがついている。

IIT 形表示付瞬時要素を用いた標準 CO 形継電器の制御回路は、上述の各種の用途にいつでも使用できるように考慮されてある。また IIT 形表示付瞬時要素は、30 A の閉路容量があり、別に自己保持継電器を必要としない。

IIT 形表示付瞬時要素の標準コイルは以下の 4 種類である。2~7 A, 4~14 A, 10~35 A, 20~70 A。

4. 特 長

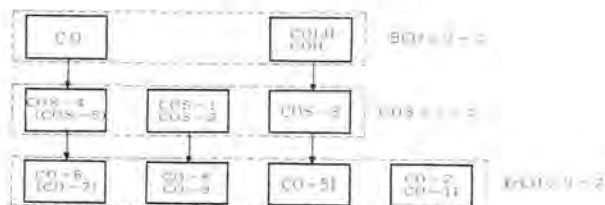


図 4.1 CO 形過電流継電器の変遷
Fig. 4.1 Transition of type CO time-overcurrent relay series.

図 4.1 に示すように、旧 CO 形反限時過電流継電器は、COS-4 形反限時定限時過電流継電器を経て、今回 CO-6 形反限時定限時継電器に完成された。COS-4 形継電器は新 CO-6 形継電器と同じ原理のものであるが、継電器としての総合設計は旧 CO 形継電器の基準にしたがったものである。

また反限時特性の COS-1, COS-2 形過電流継電器は E 形要素の開発によって初めて実用に供されたものである⁽²⁾。今回これは CO-8, CO-9 形継電器に完成された。

電動機保護用長限時特性の旧 COLH および COH 形過電流継電器は、COS-3 形長限時過電流継電器を経て、今回 CO-5I 形長限時過電流継電器に完成された。

以上の変遷を総合し、新 CO 形継電器の特長を要約すればつぎのとおりである。

(1) 総合設計

今回の新 CO 形過電流継電器の開発は、M 形継電器箱、ICS 形表示接触器、IIT 形表示付瞬時要素の開発もふくめ総合的に評価されなければならない。そしてその結果得られた収穫は、性能の向上はもちろん小形化であり、標準生産の改良でもある。

小形化という点では具体的にどの程度の成果があったかという点、図 4.2 と図 2.2 がそれを示している。図 4.2 は従来形の COS 形過電流継電器（ただし引出形ケース）と新 CO 形過電流継電器の外形である。すなわちカバー高において

$$\frac{195}{262} \times 100 = 74.5 \% \dots \dots \dots (4.1)$$

に縮小できている。その理由はケースそのものの改良と図 2.2 に示す要素の改良と総合設計である。

(2) 選択性の向上

制御回路などよく標準された反面、共通部品を用いて全部で 7 種類の動作特性と IIT 形表示付瞬時要素などの継電器でも取付けうるようにしたことは過電流継電器による保護能力つまり選択性をさらに向上させたことになる。

なお新 CO 形継電器では、特性の相違を番号で示し

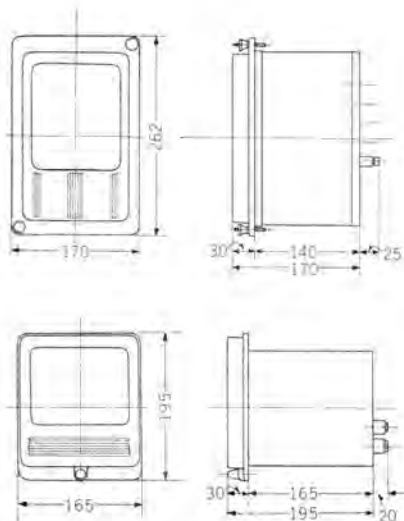


図 4.2 CO-2~11-M 形継電器と COS-1~5-F 形継電器外形比較図

Fig. 4.2 Comparison of outline between new CO relay and COS relay, (in mm)

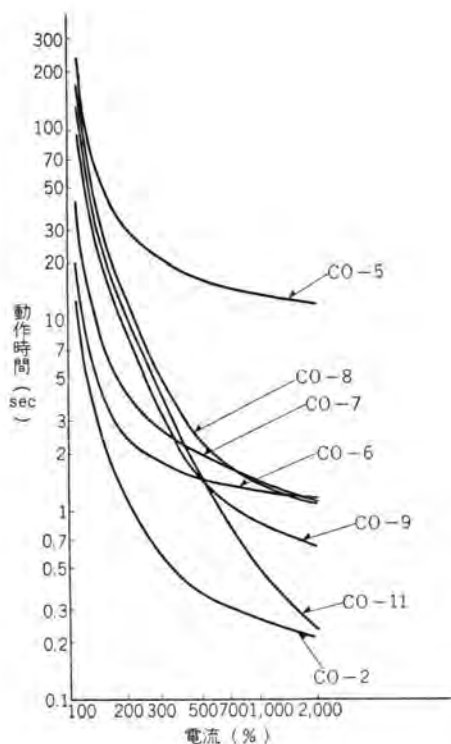


図 4.3 CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M 形過電流継電器動作時間特性比較図 (ダイヤル整定 6 のばあい)

Fig. 4.3 Time-overcurrent characteristics of CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11, -M relays. (dial 6)

て仕様指定の誤りを防止するとともに、旧 CO 形継電器と区別もしている。またこれらに瞬時要素を付したばあいは番号のあとに“*I*”をつける。また形名の最後にケースを示す記号 (例 “-M”) をつける。“-M”は M 形引出形継電器箱を、“-F”をつければ F 形継電器箱を示す。たとえば

引出形長限時過電流継電器……CO-5-M

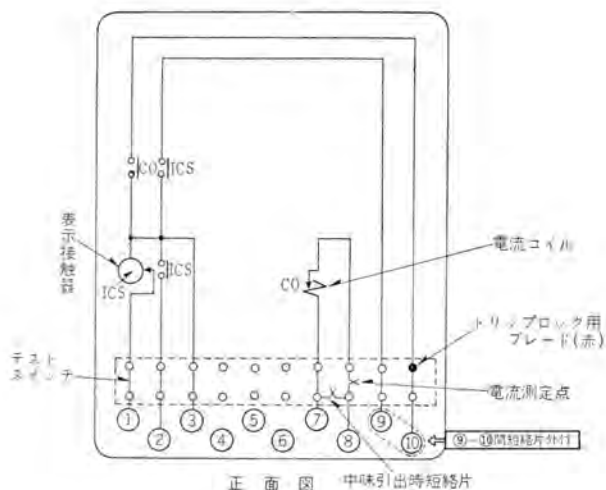


図 4.4 (a) CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M 形過電流継電器内部接続図

Fig. 4.4 (a) Internal connection of type CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M time-overcurrent relays.

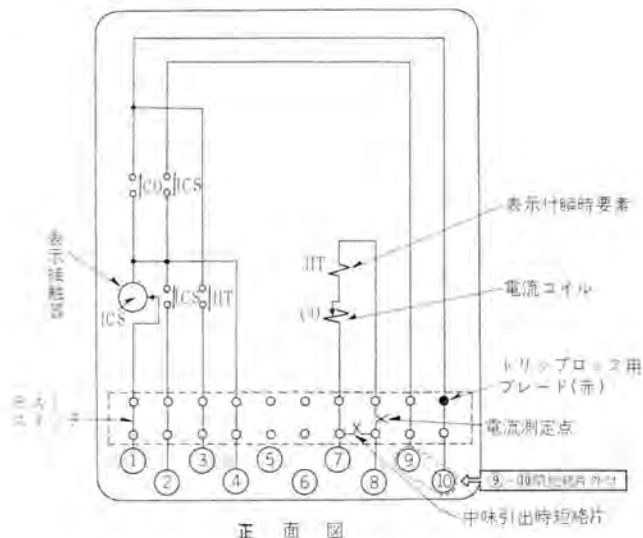


図 4.4 (b) CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11 I-M 形過電流継電器内部接続図

Fig. 4.4 (b) Internal connection of type CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11 I-M time-overcurrent relays.

引出形長限時過電流継電器で瞬時要素付

……CO-5 I-M

非引出形長限時過電流継電器……CO-5 I-F
というふうに定めている。

(3) 性能の向上

全部共通の部品によって標準生産されているのは品質にも大きなプラスであるが、各パートを十分に吟味することによって精度と信頼性を高めている。

また機械的にみると従来の誘導形継電器の円板と軸の固定方法などは完全なダイキャスト化が実用化し非常に確実なものとなっている。

また一般に新 CO 形継電器の CT 負担は旧 CO 形継電器の負担より約 25% に低減されたのも特長としてあ

げることができる。

(4) 付属補助装置の改良

すでに述べたとおり補助要素もふくめ継電器全体としてあらたに完成され、総合して十分な機能を発揮する。

(5) 価格の段階

新 CO シリーズとしては M 形引出形継電器におさめた CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M 形過電流継電器シリーズのほか、このなかでもっとも一般的な定格と特性のものだけをえらんで内容・外観ともまったく M 形継電器と同じであるが、引出形である機構だけを省き原価の低減をはかった一般工業用の CO-5, 6, 8, 9-F 形過電流継電器シリーズも同時に用意した。

なお後述の新 CV シリーズについても同様の配慮がなされた。

5. 応 用

新 CO 形継電器に特性を使いわけることによって非常に選択性の向上をはかることができるが、反面種類の選択に困るばあいもあるかと懸念される。表 5.1 はそのようなばあいのために使用機種決定上の指針を与えたものである。

表 5.1 は二つの指標を与えている。その一つは特性上から来る一般的適用場所を要約していること

である。一般に CO-6, 7, 8, 9, 11 の間では負荷に近い位置ほど反限時性の強いもの、つまり数字の大きな形式を使用すれば、時限協調が容易となる。電動機保護では一般に

起動電流が大きいとき.....CO-5

起動電流が小さいとき.....CO-11

が最適であるが、起動電流が小さいときにも CO-5 を使用して保護はできるのでどちらか 1 種類に統一して使用されるほうが保守上は得策であろう。

もう一つの選択の指標は、生産個数から来る準備の問題で、A とあるのがもっとも一般的であり、B がそれにづく、C は今のところ特殊品と考えている。

なお電動機保護には BL-1 形温度継電器⁽³⁾が併用されるとさらに最適のものとなる。

6. 同時に開発された新形誘導形継電器

6.1 CV-1, 2, 4, 5, 6, 7-M (F) 形電圧継電器

CO 要素をそのまま電圧要素に再設計したもので、従

CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11-M 形過電流継電器・森

表 5.1 新 CO 形継電器ライン応用指針表

(ただし、方向過電流 (CR ライン)、電圧抑制付過電流 (COR, CZ ライン) をふくまず。)

形 名	動作時間特性 (sec)	時限比較 (sec)	主 要 用 途	理 由	相当従来継電器	取扱
CO-2	短 限 時	0.47	①瞬間時保護 ②差動保護 ③高速後備保護	時限選択を必要としたいときに適す。抑制なしで差動保護をするときに適す。安定度の見地から非常に短時間動作が必要となき適す。	なし	B
CO-5	長 限 時	24.0	電動機保護	長限時なので起動電流で誤動作しない。短絡大事故は HIT 形時要素で、遅時トリップするように通常 CO-5I-M (引出形) または CO-5I-F として用いる。	COLH COS-3	A
CO-6	反限時 定限時	2.0	①送電線保護 (後備保護をふくむ) ②発電機保護 (中容量以上)	同一地点の故障で電流が大幅に変動するようない。つまり送電線保護に適す。協調段階の終段として協調上最適なばあが多い。	CO COS-4	A
CO-7	弱反限時	2.48	協調上必要となったときに用いる	CO-6 より反限時、CO-8 より定限時で協調設計上必要となったときに用いる。一般に CO-8 より電源側、CO-6 より負荷側に使用する。	COS-5	C
CO-8	反 限 時	2.52	①フィーダ保護 (配電線保護をふくむ) ②変圧器保護 ③短距離線その他の後備保護の一部 ④接地保護の一部	一次、二次、高圧配電線およびフィーダ保護に適す。反限時特性のため電流による故障点判別に、変圧器の過電流耐流時性にも特性がよく合っている。反限時性ゆえ電流により時限が変化し、事故の拡大防止に適す。CT 負担が小さい。CT 負担が小さくても標準的な継電器である。	COS-1	A
CO-9	強反限時	1.50	①フィーダ保護の一部 配電線保護の一部 ②接地保護の一部	負荷の保護用。断り過電流トリップ特性やヒューズの特性などに対しフィーダ保護の第 1 段として CO-9 が適することがある。接地保護の第 1 段として協調上必要になることがある。	COS-2	B
CO-11	超反限時	0.8	①電動機保護の一部 ②接地保護の一部	起動電流の小さい電動機保護に適す。そのばあい協調上 CO-11I-M とするほうがよい。CT 負担が CO-2~11 で最小なので利用されることがある。	なし	B
CO-2~11 シリーズ以外の標準継電器						
COQ	逆相過電流	—	同期機逆相保護	発電機の逆相過電流保護に用いる。 $I_a^2t = K$ の特性を有す	COQ	A
COV-6	不定電圧 起動付 過電流	2	大形発電機後備保護およびその他左記	事故電流が負荷電流より小さなばあいに用いる。すなわち一般には大形発電機の後備保護などに用いられる。また COV-8, 9 はフィーダ保護などに用いられる。	なし	A
COG-2	小勢力 過電流	2	高抵抗 (100 A) 接地の残留回路または三次巻線による接地保護	とくに小勢力動作が必要なばあいに用いる。	CO G ₂	A

注 (1) “A”——とくに標準と考えられているもの。“B”——標準品。C——特殊

(2) 時限比較はダイヤル位置 10、動作電流 1,000 % のときのものを比較してある。

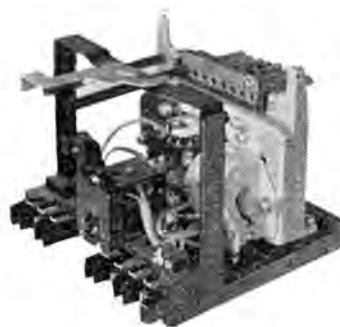


図 6.1 CV-17-M 形継電器本体

Fig. 6.1 Internal construction of type CV-17-M voltage relays.

表 6.1 CV-1, 2, 4, 5, 6, 7-M 形電圧継電器形式表

形 名	時 間 特 性	動 作
CV-1	長 限 時	低 電 圧
CV-2	普 通	低 電 圧
CV-4	長 限 時	過 電 圧
CV-5	普 通	過 電 圧
CV-6	長 限 時	過 電 圧、低 電 圧
CV-7	普 通	過 電 圧、低 電 圧

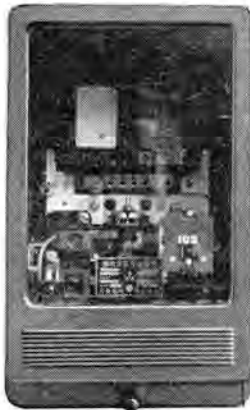


図 6.2 CV-8-M 形接地過電圧継電器
Fig. 6.2 Type CV-8-M high sensitive ground overvoltage relay.

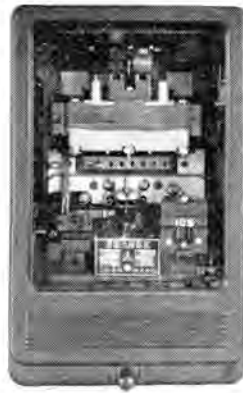


図 6.3 COV-6/9-M 形不足電圧起動付過電流継電器
Fig. 6.3 Type COV-6/9-M time-overcurrent relay with undervoltage start.

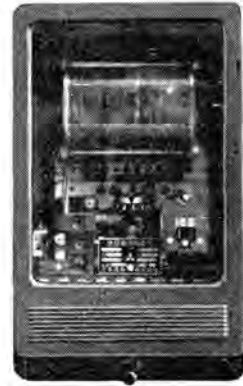


図 6.4 COQ-M 形逆相過電流継電器
Fig. 6.4 Type COQ-M negative sequence overcurrent relay.

来の CV 形電圧継電器に比して新 CO 形継電器とまったく同様の特長を有するほか

- a. 連続容量が高くなった。
- b. 時限がふつうのもの (CV-2, 5, 7) のほかに長限時のものが製作された (CV-1, 4, 6)。

などの改良がある。

新 CV 形電圧継電器の外形は新 CO 形継電器と同じである。

6.2 CV-8-M 形接地過電圧継電器

また回転機接地保護や一般接地保護のためには、とくに低い電圧で動作して接点を閉じ、かつ高い電圧で連続に使用できる誘導形の接地保護用過電圧継電器として CV-8-M 形継電器が製作された。

CV-8-M 形継電器のなかで回転機接地保護用継電器としては定格 110 V, グループ 5.5-30 V, 一般接地保護用継電器として定格 190 V, グループ 30-60 V の 2 種類が用意されている。

また CV-8-M 形継電器は接地保護として必要な高調波において感度が低下する特性を有している。

6.3 COV-6, 7, 8, 9-M 形不足電圧起動付過電流継電器

事故電流が負荷電流より小なるばあい電圧の要素を導入して事故検出をしなければ、単なる過電流継電器では保護できない。

COV-M 形継電器はこのようなばあいに使用する目的で、不足電圧検出 CO 要素起動要素として新形のシリンダ要素を使用し、これが接点を閉じたときはじめて CO 要素にトルクが発生し動作するように設計されたものである。このようにすれば協調は通常の CO 形継電器と同様になり非常に簡単にできるうえに保護能力がひろがる。

COV-M 形継電器の CO 要素は、新 CO 要素と同形で時限特性として、6, 7, 8, 9 の 4 種類がある。

なお COV-M 形継電器では電圧が低下しないと保護できないが、これの対策として新 CO 形継電器はとくに

に小形であり、1 相に CO 形継電器を併用して過負荷保護をおこなわしめることも考えられる。

また別に COV-M 形継電器のほかに電圧抑制付過電流継電器も製作している。

COV-M 形継電器と類似した構成の新 CR-M 形方向過電流継電器も開発された。これについてはまた別の機会に紹介されよう。

6.4 COQ-M 形逆相過電流継電器

発電機の逆相分過電流保護に使用されるもので、

$$I_2^2 \cdot t = K \quad \dots \dots \dots (6.1)$$

であらわされる発電機の不平衡過電流耐量特性に適合する特性をもつ逆相分汜波器を内蔵した強反限時特性 (CO-11 と同形) の過電流継電器である。

これは従来 COS 形継電器のシリーズとして逆相分汜波器を外付したものが製作されていたが、今回の開発によって以前の本体と同じ盤面で逆相分汜波器を内蔵できることになった。また回路のほうも CT 回路の終端に使用しないでもよいように改良された。

7. む す び

以上紹介したように、ここに M 形継電器箱の開発を基礎とした新 CO・CV 形継電器シリーズが完成した。これらの継電器が今後大いに実用され、保護の改善に役だつならばわれわれの非常によろこびとするところである。

また、これらの新シリーズの開発に当たっていろいろの面から助言および協力を賜わった、客先担当者各位、社内関係者とくに精器工場、品質管理課および工作技術課各位に対し深甚なる謝意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) 藤井・森・井村：新形継電器ケース (M 形引出形継電器箱)、「三菱電機」, 35, No. 9 (昭 36)。
- (2) 天野：新形誘導円板形過電流継電器,「三菱電機」, 31, No. 7 (昭 31)。
- (3) 森：新形温度継電器,「三菱電機」, 33, No. 10 (昭 33)。

新形リレーケース (M形引出形継電器箱)

神戸製作所

藤井重夫*・森

健*・井村利春**

New Relay Cases (Type M Draw-Out Models)

Kobe Works

Shigeo FUJII・Takeshi MORI・Toshiharu IMURA

Much is expected nowadays on the performance of relays and relay system for the protection of transmission networks which grow big year after year. Dependability of function is a vital requisite of relays and logical design is being searched for to this end. Under the circumstances, Mitsubishi has completed new relay cases, type M draw-out models, which will serve the base of a new relay line as a result of painstaking effort in the replacement of cases, development of indicating contactor switches, indicating instantaneous overcurrent tripping elements, new CO overcurrent and new CV voltage elements, high speed cylinder type elements, high speed polar elements, new type plunger elements and the like.

1. ま え が き

最近継電器および継電方式に課せられる期待はますます重大となり、つぎつぎと新しい原理・方式が考案せられ、また当然継電器の本体もその責務を十分に完遂する信頼性の向上と合理的な設計が要求されつつある。

このような情勢に対応し、当社においては以前から保護継電器の飛躍的な性能の向上と設計の合理化を計画し、ケースの切替、新しい表示接触器と表示付瞬時要素の開発、新 CO (電流)・CV (電圧) 形誘導形継電器シリーズの開発、高速度円筒形要素・高速度極性要素・プラグ要素などの新形継電要素およびその適用継電器ラインの開発を並行しておこなってきたが、このたび新継電器ラインの基礎となる M-A, B, C, D, E 形埋込式引出形継電器箱の完成をみたのでその概要を紹介する。

2. M 形継電器箱の特長

一般に継電器の引出形ケースとして満足すべき条件は下記のとおりである。

- (1) 構造が完全であり信頼性の高いこと。
- (2) 洗練されたデザインで配電盤の外観に適合すること。
- (3) 試験、保守、点検が容易かつ確実におこなえること。
- (4) 継電器本体の発達に適合し、少ない盤面占有面積で十分な内容が収容できること。

M-A, B, C, D, E 形埋込式引出形継電器箱は、従来からある当社 FT 形埋込式引出形継電器の特長をさらに押し進め、上記の所要条件の最近の要求に適合するように再設計されたものである。

したがって M-A, B, C, D, E 形継電器箱は当社独特



図 2.1 M形埋込式引出形継電器正面 (本例は M-E 形継電器箱を示す)

Fig. 2.1 Front view of type M flush mounting draw-out type relay case.

のテストスイッチ式引出形継電器箱であり、以下のようなすぐれた点をもっている。

外形：M 形継電器箱では従来の FT 形継電器箱に比しテストスイッチの部分コンパクトになり、盤面有効利用率が増大した。

外観：従来よりさらに洗練された設計となり、実用性の向上とともにどのような配電盤にもよく適合する。

カバー：カバーの締付ナットが1個ですむ新しい方式を採用しており、カバーの取付、取はずしが非常に容易になっている。

また完全気密式のゴムパッキングとなっているから、従来のフェルトパッキングに比べ気密性が良好である。

端子：端子が箱の裏面の下部 (全ケース) および上部 (M-D, E) に集中され、外部結線が便利になると同時に箱の空間利用率が増大した。

テストスイッチ：テストスイッチ方式を採用しているため、各回路ごとにテストスイッチが設けられ、任意の回路の開閉および試験が容易におこなうことができる。

接触の確実：テストスイッチ方式は電気回路のケース部と中味引出部との相互位置に過大な精度を要求せず、各接触部の閉路状態は高い信頼性を維持することができる。

使用の容易：その他 CT 回路の取扱いなどに対する十分なインタロックが取られており、容易に使用することができる。

フレーム：内部構造は新継電器ラインに最適な構造となっている。

互換性：治工具などが完備し精度が向上したため十分な互換性を有している。

3. M 形継電器箱の構想

3.1 寸法上の構想

一般に継電器の箱に対する外部的要求としては、配電盤盤面をもっとも節約できることであり、そのためにはなるべく小形であると同時に、うまく配列できる寸法であることが望ましいことはいうまでもない。したがって箱の設計は、有効利用体積を減らさず、また調整とか点検の容易さを失うことなく、また絶縁強度を落さずに合理的な小形化ができることが根本目標となった。

(1) カバー寸法

継電器箱の盤面占有の程度はカバーの寸法である。カバーの機能上の必要条件は

- (a) 盤の穴をかくすこと。(寸法的な必要条件で、かならずしもカバーそのものが穴をかくすわけではない。以下も同様の意味で必要条件としてあげられる)
- (b) 確実にカバーが本体に締め付けられること。
- (c) パッキングが有効にその目的を達すること。
- (d) 箱の盤に対する取付けが確実におこなうること。

などであって、これらを満足するためのカバーの幅および高さ(図3.1の x および y)と継電器本体を収容する箱の寸法との差を切り詰めることは必然的に限度がある。また本体の箱の容積も要素などの寸法で適当寸法があるから、これらの事項とつぎに示す盤面を有効に使用できる寸法とを比較し最適なものがえられた。

(2) カバー幅

図3.1は配電盤の横断面を示す。この図において盤幅 Y 、カバー幅 x 、隣接カバー間隔 y' 、横に並ぶ継電器個数 N 、盤の側に配線および補強のため必要なポケット A の間には下記の関係がある。

$$y' = \frac{Y - (2A + xN)}{N - 1} \quad (3.1)$$

ただし継電器箱取付用のスペースはカバーのつばの長

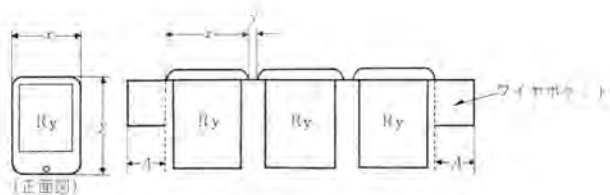


図 3.1 M 形継電器箱と盤横断面

Fig. 3.1 Type M case and switchboard cross section.

さと等しくとっている。A は当社のばあい 40 mm である。

このような関係において 700 幅の盤で比較的余裕があり、やむをえないばあい少し無理をすれば 600 幅の盤で $N=3$ 、800 幅の盤で $N=4$ となり、しかも内部的にいっても要素の設計上必要な空間を与えるものとして

$$x=165 \text{ mm}$$

が選定された。

このばあい盤の各幅に対する横に並ぶ最大継電器数は表3.1に示す。

表 3.1 M 形継電器箱の収容可能数

盤幅 Y (mm)	横に並ぶ 最大数 N	許容最大ケ ース間隔 y' (mm)	備 考
300	1	—	
400	1	—	
500	2	40	
600	3	12.5	
700	3	62.5	盤配線上考慮を要し、盤標準としては $N=2$ 個盤としてもっとも標準的
800	4	15	"
900	4	40	
1,000	5	21.25	経済的
1,100	5	43.8	
1,200	6	28	準経済的

なおこの表は $y' > 10$ として最大 N を求め間隔 y' を表にしたが、一方盤標準としては $y' = 20$ となっている。このように実際に盤として製作されるばあいはまた各種の条件から適当な N 、 y' がえらばれるのであって、表3.1は参考表であるからその点はお含みおきたい。

(3) カバー高

M 形継電器箱は小さいものから大きなものの順に M-A、M-B、M-C、M-D、M-E と名付けてある。M-A は新形の CO・CV 形継電器を収容するもので、カバー高 y は最小 182 mm を要した。また最大の M-E は搬送継電器など大形継電器を収容することを主目的としカバー高は 510~520 mm が適当と考えられた。

M-A を 182 mm とすることはあまりに小形化し、中味の動作の監視や整定に不便があり、また従来の補助継電器よりもあまり小さくなってつり合いがとれないということもあって 190~200 mm が適当と考えられた。

M-B は従来からの一般標準誘導形継電器が収容されるので、従来の同種継電器の箱の高さ (262 mm) と大体高さを合わせサービスに便利のように考慮した。

M-C、D は M-B と M-E との中間に当たり比較的

汎用に近い高速度継電器を収容するものである。

また盤面を有効に使用できるためにはカバー高が適当な最小整数公倍数をもつほうがのぞましいのでこの点も考慮された。

以上のような構想のもとに、M-A は 195 mm、M-B は 267 mm、M-C・D は同じ高さで 410 mm、M-E は 517 mm の寸法を選定した。

この寸法は表 3.2 の関係式、つまり図示すれば図 3.2 の関係を満足し、上述の所要条件を満足するものであった。

表 3.2 M 形継電器カバー高の相互関係 (図 3.2 参照)

名 称	関 係 式	結 果
M-A	A	195
M-B	$B=1/3 (4A+y'')$	267
M-C, D	$C=1/2 (4A+2y'')$	410
M-E	$E=1/2 (5A+3y'')$	517

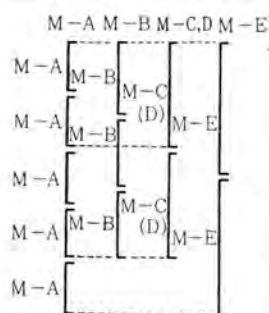


図 3.2 M 形継電器箱カバー高の相互関係
Fig. 3.2 Relationship of type M relay cover heights.

図 3.2 は カバー の縦方向間隔 $y''=20$ mm とすると

- (a) M-A 形継電器箱 × 4 個
 - (b) M-B 形継電器箱 × 3 個
 - (c) M-C, D 形継電器箱 × 2 個
- とが同列に並び、

- (a) M-A 形継電器箱 × 5 個
 - (b) M-B × 3 個 プラス M-A × 1 個
 - (c) M-C, D × 2 個 プラス M-A × 1 個
 - (d) M-E 形継電器箱 × 2 個
- とが同列に並び、

が同列に並ぶことを示したものである。

3.2 構造上の構想

構造上はすでに本文の最初にのべたように従来の FT 形引出形継電器箱の特長を生かし、それに 2 項にのべた特長を十分に具備する構造を適切な加工法によって得ることに努力がはらわれた。

4. 構 造

M 形継電器箱の構造の概要を説明する。詳細はリーフレット L-30990 にあるので、必要なばあいにはこれを当社あて請求していただきたい。

図 4.1～図 4.5 は M-A 形継電器箱の構造を示す。

引出形継電器箱の生命である電気回路接続部は、M 形継電器箱のばあい ナイフスイッチの構造になっている。この接続部つまり テストスイッチ部 はつぎのような機能をはたすように設計した。

- (1) 十分な強度と接触圧力を有し大きい通電容量を

新形リレーケース (M 形引出形継電器箱)・藤井・森・井村



図 4.1 M-A 形継電器箱正面
Fig. 4.1 Front view of type M-A relay case.

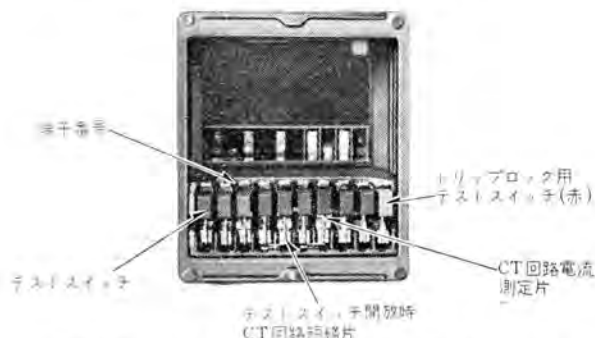


図 4.2 M-A 形継電器箱のカバーをはずしたところ
Fig. 4.2 Internal view of type M-A relay case.

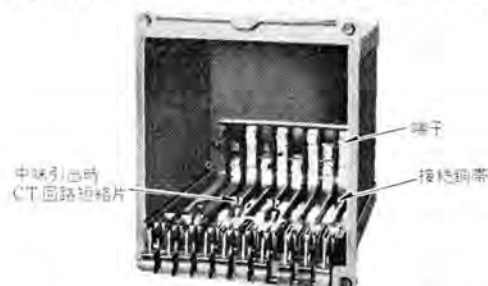


図 4.3 M-A 形継電器箱のカバーをはずし本体を引き出したところ
Fig. 4.3 Test switches and current transformer secondary circuit shorting pieces.



図 4.4 M-A 形継電器箱本体用フック
Fig. 4.4 Frame for mounting relay elements of type M-A relay case.



図 4.5 M-A 形継電器箱背部
Fig. 4.5 Rear view of type M-A relay case.

もって、回路接続を行なう。

- (2) 各回路は適当な隔壁などによって十分相互に絶縁されている。
- (3) 継電器本体が内部に收容された状態で、任意の回路の電圧、電流の測定、および継電器の試験ができる。なおそのばあい CT 回路が開放になってはならない。
- (4) CT 回路はテストスイッチを開くことによって自動的に短絡される。(テストスイッチ開放時 CT 回路短絡片の作用) また継電器本体を内部から引き出したあとと放置するときホコリをふせぐためカバーをする必要がある。カバーをするためにはテストスイッチを閉位置にもどすことになるので、本体が引き出されたときさらに別の部分で CT 回路が短絡されること。(中味引出時 CT 回路短絡片の作用)
- (5) 保守に便利のように引はずし回路用テストスイッチの絶縁部は赤色モールドとし、色別する。

またカバー関係ではつぎのようなインタロックを設け、M 形継電器箱の実用にさいして失敗を防止するように考慮した。

- (1) テストスイッチが確実に閉じていないとカバーが完全に固定されない。
- (2) 本体の掛け金が完全に掛けられていないとカバーができない。

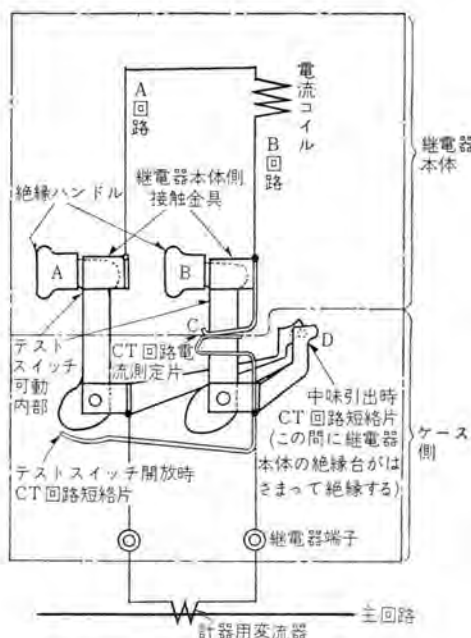


図 4.6 CT 回路用テストスイッチ構造図

Fig. 4.6 The construction of current coil circuit of type M relay case.

5. 性能

5.1 試験

M 形継電器箱は完成時において厳重な形式試験および寿命試験をおこない下記の性能限界を設定した。

電流容量：継電器箱として 10 A 連続、200 A 2 秒を

通電して問題なし。

絶縁耐力：相対湿度 80 % 以下で 全回路-ケース間 AC 1,700 V または 2,000 V

絶縁抵抗：相対湿度 80 % 以下において 500 V または 1,000 V メガー で 100 MΩ 以上。

寿命： 掛け金および テストスイッチ部分 の繰り返し開閉 5,000 回以上。

5.2 電流容量

CT 回路としては、継電器本体が内部に收容されている通常の状態、これに単に CT 回路のテストスイッチを開いて計器をそう入している状態、それと継電器本体を引き出したあとと電流が中味引出時 CT 回路短絡片を通過している状態の三つのばあいが考えられる。

10 A 連続印加したばあいの温度上昇は各回路接触部の接触抵抗損よりも導電部全体の抵抗損が重視されなければならない。そのため M 形継電器箱に使用するバネ導体の材質は十分吟味し、導電率が高くしかも弾性のよい材料が使用された。

導電部でもっとも温度上昇が高いものは中味引出時 CT 回路短絡片で、ほかの部分はいずれも余裕がある。この部分は図 4.6 にみられるようにバネが相対して押し合っていて先端に十字形に接触する接点部がある。常時は本体のモールドがこの接点の間にはいつてきて回路を開く。接点は閉じるとき若干のワイピングをもつので一般に問題はないが、間にホコリなどがはさまれているとき 200 A のような大電流が流れると溶着するばあいがある。

この部分の許容耐量は温度上昇と接点圧の変動から検討したが、最大 200 A の回路でも実用しうると判断された。たとえば AC 200 A を 2 秒ずつ 30 分に 1 回の割合で 40 回通電し、その前後の短絡片のバネ圧力を測定してみる。ワイピングがあるので正確な圧力測定は困難であるが、つぎのようなデータが出て全然劣化はみとめられなかった。

試料	通電前	通電後
No. 1	350 g	250 g
No. 2	370 g	410 g
No. 3	280 g	450 g
No. 4	380 g	390 g

5.3 絶縁耐力

M 形継電器箱が継電器自体の保証値に対し十分な絶縁耐力を有しなければならないことはいうまでもない。

(1) 電路一括-ケース間

電路一括-ケース間 は大体 AC 7,000~9,000 V で絶縁破壊する。ゆえに特殊なばあいとして耐圧 5,000 V まで使用できる可能性があるように思われる。なお弱点は絶縁台取付ネジと電路用銅帯の間であって若干改良できる余地もある。

(2) 電路間

隣接電路間の耐圧も大体 1 電路間であれば、同じく A

C 7,000~9,000 V で破壊する。しかしこの電路の配置、たとえば極端なばあい $\oplus\ominus\oplus\ominus\cdots$ と電圧を印加するようなことをすれば AC 3,500 V で破壊したデータもある、やはり電路間是个々の継電器全体としてでない、箱だけの耐圧を論じてあまり意味がないとおもわれる。

電路をひとつとびにとつて耐圧試験すれば、破壊限界は AC 10,000 V 以上になる。特殊応用例ではこれを利用したいと思っている。

(3) 絶縁抵抗

絶縁抵抗は既述の保証値に対し相当高い実測値になっていて、形式試験中のデータは大体1ケタ高い数字を示しているが、これは当然であろう。

(4) 衝撃電圧

一応参考までに衝撃電圧試験結果を紹介する。5個の試料について、電路一括へケース間に標準波形の衝撃電圧を印加したところ 9.5, 10, 11, 11.5, 12kV でおおの1個ずつが閃絡した。

したがって箱自体は相当高い値を示しているが、継電器本体は小さな箱に多数の部品を組み込むので相当ひどい値となるのが実状である。

5.4 寿命試験

掛け金、テストスイッチなどについて繰り返し操作試験の結果実用しうることを確認した。

なお操作の繰り返しによってしゅう動する部分にすりきずができることは、電気的接触や機械的な固定を十分確実にするためにはやむをえないことで、約200回以下の繰り返し操作で発生する。また動く部分の軸には良質の時計油を少量用いるほうが操作を円滑にし、無用のトラブルを減らすことができる。

6. M形継電器における約束

6.1 接続図

図6.1にM形継電器の接続図の例を示した。このようにM形継電器では継電器の取扱いの便宜(盤裏面結線では不便なことがあるが)を考へて正面図を採用した。端子番号の端子位置により固定したものとし、図6.1のようにした。

M形継電器の接続図の一般シボルはJIS C 0301によっているが、継電器箱の構造上特殊記号が若干必要で、それは表6.1のとおりである。

6.2 端子配置

使用端子位置はJEM 1032に準拠した。すなわち

(1) 直流の極性は継電器を正面からみて右を正、左

箱の形式記号	正面図	側面図	穴あけ図	箱裏面から見た端子配置
M-A				
M-B				
M-C				
M-D				
M-E				

図 6.1 M-A, B, C, D, E 形埋込引出形継電器箱外形および穴あけ図

Fig. 6.1 Type M relay case outline. (in mm)

表 6.1 M 形継電器接続関係図用表示記号表

番号	名 称	記 号	備 考	番号	名 称	記 号	備 考
1	継電器端子		a は接続展開図だけに用いる。	7	短中味絡引出片時		これはかならず下図のように配列する。 下部絶縁台に取付けのとき 上部絶縁台に取付けのとき
2	端子番号の表示 (例)		同 上 b, c に端子番号を分数で示すときは分子を形式記号または器具番号分母を端子番号とする。	8	極性		+印は社内記号ゆえ一般に文章による極性の説明を添付する。
3	プレート (黒)			9	巻 コイル 始 始 お よ び		
4	プレート (赤)		●が継電器内部、○が継電器端子側とする。	10	変成器の極性		
5	プレート (テストターミナル) (外部接続図)		b は短絡片付を示す。 とくに必要はないにだけ使用する。	11	I C S		a は複定格コイルを示し矢印のあるほうが、そのコイル変更タップ位置を示す。 b は単定格コイルを示す。
6	プレードに おける 電流測定点			12	I I T		
				13	D 形 表 示 器		

(注) この表にないものは JIS C 0301 による。

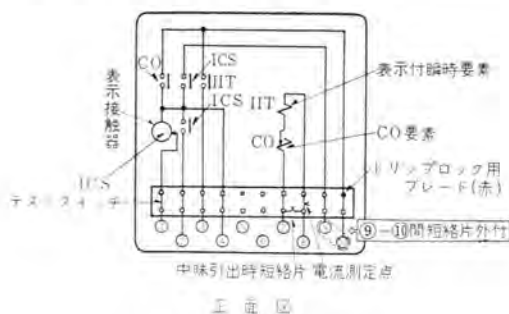


図 6.2 接続展開図例

(CO-2, 5, 6, 7, 8, 9, 11 I-M 形過電流継電器接続展開図)
Fig. 6.2 An example of internal connection of type M case relay. (The illustration shows the connection of type CO-2/11 I-M overcurrent relays)

②とする。そして 赤プレート で示す。

(3) 交流の極性は左より右へ第一相、第二相、第三相の順とする。

(4) また原則として 2 回路以上の交流回路があり、相互間の極性が問題になるときは各回路の盤正面からみて左側の端子同志が正となるととき a 接点を閉じるものとする。

を負とする。

(2) 制御回路のはじまりは通常右端の端子⑩および



図 7.1 10点試験用プラグ
Fig. 7.1 Ten circuit test plug.



図 7.2 補助プラグ
Fig. 7.2 Auxiliary test plug.



図 7.3 電圧測定用テストプラグ
Fig. 7.3 Test plug for voltage measurement.



図 7.4 CT 回路電流測定用テストプラグ
Fig. 7.4 Test plug for secondary circuit current measurement of current transformer.

7. 付 属 品

M 形継電器箱の試験のため、つぎのような付属品を用意した。

(1) 10点試験用プラグ

図 7.1 のようなもので、テストスイッチを開きこれをそう入すれば、継電器本体と外部回路とは完全に絶縁され盤に取付けたままで試験できる。また継電器本体を箱から出して試験するときにも利用できる。

(2) 補助プラグ

テストスイッチを開いて、本体側のスイッチそう入部にこれをそう入接続すれば、内部回路の試験が個々にできるものである。

(3) 電圧測定用テストプラグ

試験回路と接続するために継電器のテストスイッチの可動

刃部にそう入される刃部と接続導線からなるものでこれによって継電器が使用されたままで CT・PT 回路の電圧を測定できる。

(4) CT 回路電流測定用テストプラグ

図 7.4 に示すとおり薄い絶縁片で絶縁された 2 枚の接続片を モールド したもので、これに電流計を接続して補助プラグ、CT 回路の電流測定片にそう入して使用中の電流を測定するのに用いられる。

(5) 携帯用付属品箱

以上のような各種プラグと試験のために必要な絶縁片など 1 式を携帯に便利な ケース におさめている。

(6) アダプタ

これは上述のような付属品とはことなる。

すなわち従来 FT 形継電器で納入されご使用願っている継電器は原則として今後 M 形継電器で補充をしていただかなければならない。通常同一継電器であれば M 形継電器箱に収容されたものは以前と同等もしくは小形になっている。それゆえこのような補充・交換のばあい別に用意されたアダプタを使用（同等のばあいは不要）していただくことによって配電盤の美観をそこなうことなく取付け願うことができる。これの詳細はリーフレット L-30990 に説明してあるので参照願いたい。

8. 今後の問題点

以上 M 形継電器箱の概要について紹介した。今後この継電器箱による継電器は近いうちに完全に整備することができる。

しかし筆者らはこの M 形継電器箱もすべての用途に對し最良のものとは考えているわけではない。

そのひとつは トランジスタ継電器 についてであるが、今後の入力の状態や内部の設計の変革に對し、当然別の形の箱の設計がおこなわれるべきであろう。

また補助継電器において端子数の点での制限が問題であり、やはり CT 回路に對する対策に重点をおいた M 形継電器箱の限界がここにもうひとつあらわれるのである。

このような問題については、この M 形継電器を開発した技術を十分活用してさらに継電器の進歩に寄与したいと考えている。

9. む す び

M 形継電器箱およびこれによる新形継電器の開発に奔走せられたがその完成をみることなく急逝された故平岡忠博技師の努力と献身に對し深い感謝をもって本文を捧げたいと考えているものである。なお試験研究に尽力された長浜技師ほかご関係者に対してもあつく御礼を申し上げます。

三菱 C コア

伊丹製作所 荻野 脩*・清水 英範**

Mitsubishi C Cores

Itami Works Osamu OGINO・Hidenori SHIMIZU

Quantity production of oriented silicon steel strips has spurred the development of wound cores and C cores a great deal. It is now a matter of common sense to employ the C cores to medium and small transformers. Mitsubishi, however, has developed M cores, wound core built on step lap joint, for pole transformers, confining the use of the C cores to special transformers, reactors and cores for electronic equipment. The writers report on designing and manufacturing problems of apparatus using the C cores as well as the standard series of Mitsubishi C cores, their quality, specification and actual examples applied to various machines.

1. ま え が き

電気機器用鉄心として方向性ケイ素鋼帯が量産されるようになって以来、巻鉄心およびCコアはいちじるしく発達した。現在では中、小形の変圧器鉄心としてCコアを用いることは常識になったといってもよいであろう。もともとCコア鉄心は柱上変圧器用鉄心、通信機部品としての鉄心として発達してきたものであり、現在わが国における需要もこの二分野における量が大半を占めているが、当社においては柱上変圧器用鉄心としては、ステップ・ラップ接続による巻鉄心Mコア⁽¹⁾を開発し量産しているので、Cコアはもっぱら特殊変圧器、リアクトル、通信機器用小形鉄心⁽²⁾に適用され、油入変圧器としてよりは乾式機器として用いられていることが多い。

大容量の変圧器においては、製作上の問題でCコアは採用されず、切板の積鉄心が今なお用いられるが、圧延

方向にだけ磁気特性がすぐれている方向性ケイ素鋼帯の特長を完全に利用するためには巻鉄心構造の開発について、今後いっそうの努力が必要であろう。

本文においては、当社Cコアの標準系列および仕様について紹介するとともに各種機器に用いられたCコアの特性について紹介することとした。またCコアを使用する場合設計上、工作上問題となる点、たとえば車両用機器として用いる場合の耐振動強度、衝合せ面接合用接着剤の効果などについて検討した結果の一部を報告することにした。

2. C コア構造の特長

電気機器用鉄心として方向性ケイ素鋼帯を使用する場合巻鉄心にする方法が広く用いられている。

一般に変圧器の鉄心構造としては、(1)環状鉄心、(2)方形巻鉄心、(3)Cコアなどの巻鉄心の系列、(4)E1形、(5)U1形、(6)Dコアなどの切板積鉄心の系列があるが、Cコアは次にのべるような特長によって、従来もっともよく用いられてきた積鉄心にかわってきわめて多くの用途に用いられるようになった。

電気機器鉄心としてのCコアの構造上の特長をあげると次のとおりである。

(1) 鉄心とコイルとの組合せは1組2個のU形鉄心のコイル内そう入とバンド締付けによって完了するから、作業は単純、迅速になり、製品中身の構造も簡単になる。積鉄心のような1枚ごとの積重ね作業とバンド締め、またはコア押えが不要になる。

(2) 1組2個の鉄心によって構成されるので、機器用部品としての系列化が容易である。部品化することが容易であるから量産に適している。

(3) 積鉄心では製品試験を行なわないと鉄心の良否が判明しないが、Cコアでは鉄心の特性が保証されるから製品管理をきわめて合理的に行なうことができる。

(4) 鉄心部は容易に2分割できるから、不測の事故



図 1.1 各種巻鉄心比較

Fig. 1.1 General view of several types of wound cores.



図 1.2 弱電機器電源変圧器

Fig. 1.2 Power transformers for electronic use.

時にも解体点検が簡単である。

(5) 分割部を持っているから、空隙付リアクトル の構造として最適である。すなわち空隙長の調節、スペーサの 入法が容易であり、フリッジ低減のための空隙分割 を自由に行なうことができる。

(6) 鉄心層間は接着剤で完全に固着されているから 鋼板相互間の磁氣的振動を抑制するとともに 磁ノイズも 低減し、騒音が小さい。

3. 三菱 C コアの標準系列

3.1 一般

三菱 C コアでは各部の名称を図 3.1~3.3 のように記 号で表示している。すなわち鋼帯幅を D、窓の長辺を G、 短辺を F、巻厚さを E、外形の長辺を A、短辺を B、切 断位置を K としている。形状は用途に応じ環状巻鉄心 およびカット・コア、角形单相用、角形三相用などがあり、 おおのの最大、最小寸法は次のとおりである。ただし 断面積を大きく取るためであれば図 3.4 のように 2 個ま

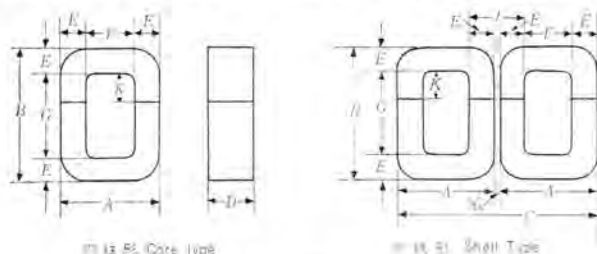


図 3.1 角形单相

Fig. 3.1 Square type single phase unit.

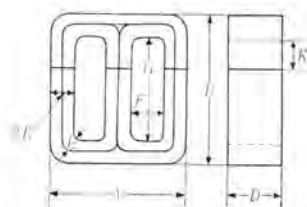


図 3.2 角形三相

Fig. 3.2 Square type three phase unit.

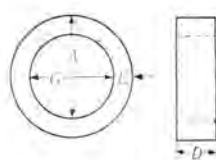


図 3.3 環状巻鉄心

Fig. 3.3 Wound core.



図 3.4 C コアの並列使用

Fig. 3.4 Parallel use of C-core unit.

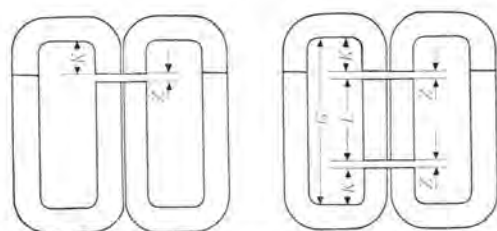


図 3.5 空隙リアクトル用 C コア

Fig. 3.5 C core air gap reactor.

表 3.1 C コアの標準寸法

標準寸法 mm	
D	F × G
10	150
15	55 × 160
20	170
25	160
30	60 × 170
40	180
50	200
65	170
70	65 × 180
75	200
80	180
90	70 × 200
100	220
110	200
120	80 × 220
130	240
140	220
150	90 × 240
170	260
180	260
200	100 × 280
	300
	120 × 280
	300
	340
	150 × 300
	340
	390

表 3.2 電子機器用 C コア標準寸法

形名	寸法 E × F × G × D	形名	寸法 E × F × G × D
1101	10 × 10 × 28 × 10	1113	25 × 25 × 70 × 35
1102	10 × 10 × 28 × 15	1114	25 × 25 × 70 × 50
1103	10 × 10 × 28 × 25	1115	25 × 25 × 70 × 70
1104	10 × 10 × 28 × 40	1116	32 × 40 × 110 × 35
1105	15 × 15 × 43 × 15	1117	32 × 40 × 110 × 50
1106	15 × 15 × 43 × 20	1118	32 × 40 × 110 × 75
1107	15 × 15 × 43 × 30	1119	40 × 55 × 150 × 40
1108	15 × 15 × 43 × 40	1120	40 × 55 × 150 × 55
1109	20 × 20 × 56 × 25	1121	40 × 55 × 150 × 75
1110	20 × 20 × 56 × 35	1122	46 × 70 × 185 × 50
1111	20 × 20 × 56 × 50	1123	46 × 70 × 185 × 70
1112	25 × 25 × 70 × 25	1124	46 × 70 × 185 × 100

たは 3 個の C コア を並べて、コア間にスペーサを入れて構 成すれば容易に十分な断面積を得ることができる。

空隙付リアクトル に用いる場合の各部記号を図 3.5 に示 した。このように自由に空隙部を変化しうるのは C コ アの大きな特色である。

3.2 当社において、とくに通信機用として系列化され ている C コア は表 3.2 に示す種類である。現在 JIS C 6442 電子機器用 C 形鉄心によって国内各社の寸法系 列を整理しているが、これらは必要以上に多種になっ ているらしいがある。

リアクトル および特殊変圧器として用いられる C コア は きわめて多種多様であるが、これについては、表 3.1 に 示す標準寸法があり、コア幅 に対して巻厚および窓寸法 を変化させることによって必要な断面積と磁路長を得る ことができる。

4. 品質規格

C コアの品質は外観、形状、寸法および磁気特性によ って保証されている。当社製 C コア について各部の寸法 公差を表 4.1 に示した。C コア においては窓寸法、外形 寸法ばかりでなく切断に基づく形状誤差を考えなければ

表 4.1 寸法公差表 (一般)

G	50 以下	50~100 未満	100~150 未満	150 以上
E	±0.5	±1.0	±1.0	±1.0
F	+1.5 -0	+2 -0	+2 -1	+3 -0
G	+2 -0	+2 -0	+3 -1	+4 -1
D	±1	±1	±1	±1.5
A	+2 -0	+2 -0	+3 -0	+4 -0
B	+3 -0	+3 -0	+4 -0	+6 -0
K	±2			

表 4.2 C コア磁気特性規格表
(磁束密度 15,000 G, 周波数 50 c/s)

重量区分	G ₁₂		G ₁₃	
	W/kg	VA/kg	W/kg	VA/kg
5 kg 未満	2.20	12.0	2.40	12.0
5~10 kg 以上	1.85	10.0	1.90	10.0
10~15 kg 以上	1.75	7.0	1.85	7.0
15 kg 以上	1.70	7.0	1.80	7.0

注 W/kg, VA/kg はおのおの単位重量当りの鉄損及び励磁損

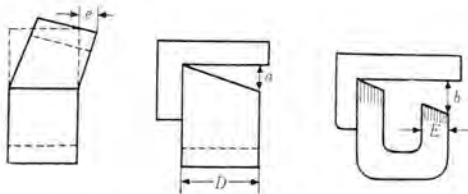


図 4.1 C コアの切断面傾斜図

Fig. 4.1 Inclined cut-away cross section.

ならない。これは図 4.1 に示す切断面の傾斜度であるが、これらの誤差が大きいとコイルをそう入し、タクトを打ち込んだ際、C コア衝合せ面に空隙を生じる可能性があるから注意しなければならない。

磁気特性は一般には鉄損および励磁損が保証されている。当然用途に応じて保証される磁気特性は異なるべきであるが、C コアの特性はすなわち 方向性ケイ素鋼帯 の特性と考えてよいから、通常方向性ケイ素鋼帯 が種別分けされている。磁束密度 15,000 G, 周波数 50 c/s における鉄損値で C コアを種別分けすることが使用者には便利と考えられる。

磁気特性保証値は C コアの大小および材質により異なっているが、規格値は表 4.2 に示すとおりである。

これら一般的特性の保証だけでなく三菱 C コアは要求に応じて次のような特性について 参考試験データ を提供している。

- (1) 高周波鉄損および励磁損 400 c/s, 1 kc, 10 kc
- (2) 低磁場磁気特性
- (3) 直流, 交流ヒステリシス曲線

これらの特性の代表例は次章に示されている。

5. C コアに使用される鉄心材料

C コアを利用する機器としては後述するようにほとんどあらゆる種類のリアクトル, 変圧器があるけれども、これに使用される鉄心材料はほとんどケイ素鋼板で、それ

も現在市販されている C コアについては厚さ 0.35 mm または 0.30 mm 方向性ケイ素鋼帯に限られている。0.1 mm, 0.05 mm などの薄厚の方向性ケイ素鋼帯は最近生産量の高まるにつれて、高周波機器, パルス・トランスなどにこれらを利用した C コアが作られるようになってきたが、鉄, ニッケル合金などの薄板は巻鉄心として切らずに利用されている。

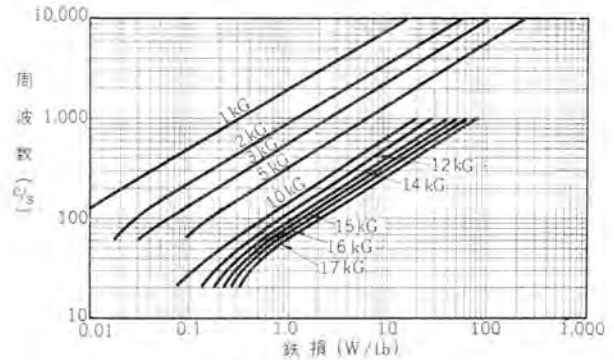


図 5.1 鉄損特性

Fig. 5.1 Iron loss characteristics.

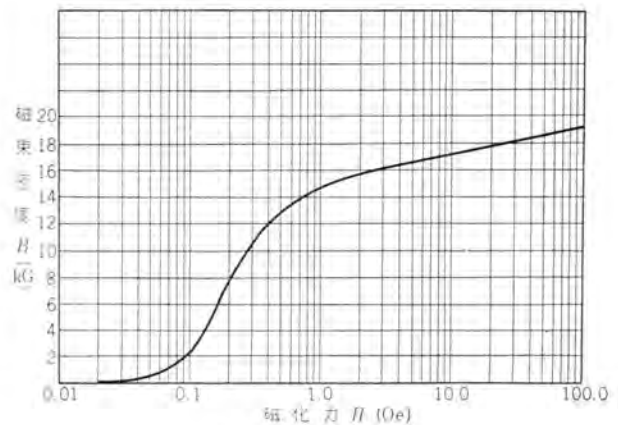


図 5.2 直流磁化曲線

Fig. 5.2 DC magnetization curve.

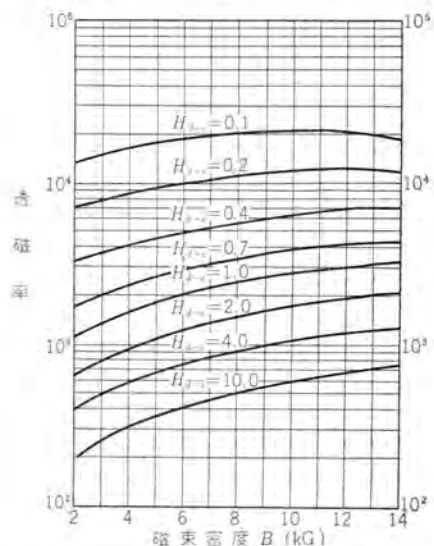


図 5.3 インクレメンタル透磁率 (0.30 mm, 60 c/s)

Fig. 5.3 Incremental permeability.

C コアはもともと 方向性ケイ素鋼帯 の磁性を有効に利用するために考えられたものであるが、最初に述べたような使用上の便宜を利用する意味では、特性の要求度によっては従来のケイ素鋼板たとえばダイライト・コア(八幡)、リバー・コア(川鉄)、などを使用すれば材料費の点で有利である。これらの コア はケイ素量が少ないので加工は容易である。0.35 mm または 0.30 mm の 方向性ケイ素鋼帯については JEM 2008 (1958) に、従来の 無方向性ケイ素鋼板については JEM 2007 (1958) に一般的規定があり、0.1 mm 以下の 薄厚ケイ素鋼板 については現在日本規格が準備されている。鉄、ニッケル合金 はいわゆる パーマロイ として知られているがこれについては JIS H 4533 に規格が設けられている。

6. C コア使用上の問題点

C コア は接着鉄心であり、1 組 2 個の鉄心体の組合せで用いられるところから使用上、従来の切板積重ね鉄心とは当然異なった方法がとられるが、これに伴ういくつかの問題について検討した結果を報告する。

6.1 鉄心の結合方法

鉄心の結合は接合部に接着剤を塗布すること、バンドを外周にかけて固定することの二つの方法を併用する。

(1) 接合面用接着剤

接着剤の使用目的は、①防錆、②層間短絡の防止、③騒音の抑制、④面の移動による特性変動の防止などにある。騒音抑制の効果については別項に詳述しているが、接着剤による マスキング振動抑制 が求められる。

接合面接着剤は接着強度の大きいこと、経年変化を生じないことだけではなく作業性のよいことすなわちぬりやすく、しかも故障時に容易にはずしうることが必要である。C コア を使用する機器は絶縁物の耐熱温度から区分すれば、A 種 105°C、B 種 130°C であるが鉄心の温度はこれよりも 5~10°C 低いものとみてよい。当社においては現在 A 種 B 種に別個の接着剤を適用している。いずれもおのおのの運転温度においては十分な強度を有し、巻線修理の場合には コイル構成材料 を傷めることなく、コア を取はずしことができるよう考慮されている。これらは塗布する場合の初期にはきわめて低粘度であるが、風乾されると 5~10 分後には最終強度の 30~40% 程度に達し、予備硬化するので 鉄心コイル の取扱いによってコア面 が移動するようなことはない。

接着剤粘度は慎重に管理する必要がある。粘度の高いものを用いると有効空隙を増大することになり特性が劣化する。指定粘度内のものを用いれば接着剤層による励磁電流増加は無視できる。その状況を表 6.1 に示した。鉄心の組合せ圧力が大きすぎると接着剤が融出するため強度の低下を生じることがあるから注意しなければならない。現在液状接着剤に代わって フィルム状接着剤 を準備中であるが、これによれば粘度管理が容易になる。また当社独自の分割形 CT においては客先において自由

表 6.1 接着剤塗布による特性変化
L=480

B	塗 布 前		塗 布 縮 付 後			
	W (鉄損)	I (励磁電流)	W		I	
7	8.0	0.294	8.0	—	0.297	+1.0%
10	14.6	0.374	14.6	—	0.383	+1.0%
13	23.5	0.482	23.8	+1.2%	0.496	+2.0
15	30.1	0.558	30.7	+1.9	0.573	+2.5
16	34.0	0.602	34.6	+1.7	0.62	+3.0
17	38.4	0.660	39.0	+1.6	0.68	+3.5
18	43.2	0.736	44.0	+1.8	0.748	+2.5

表 6.2 接合面用接着剤

種 別	A 種 用	B 種 用
	熱可塑性樹脂	熱硬化性樹脂
溶 接	含 有	な し
硬 化 剤	使用せず	使 用
硬化温度 (°C)	120~130	140~180
使用温度における抗張力 kg/cm ²	70~100	60~80
剥離するための加熱温度 (°C)	110 以上	140 以上

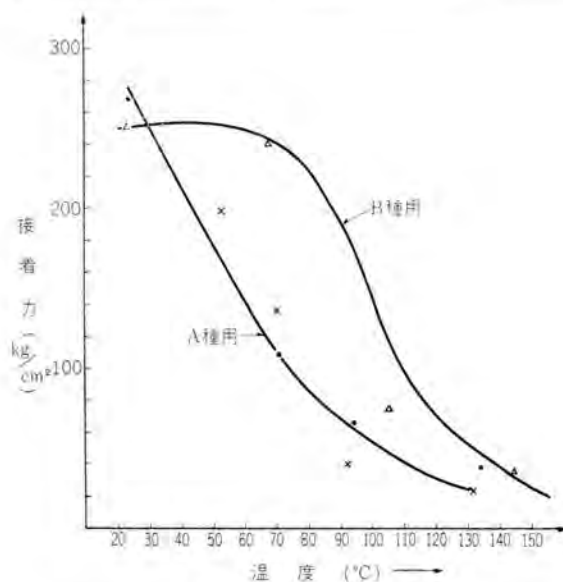


図 6.1 接着力の温度特性

Fig. 6.1 Temperature characteristics of jointing compound.

に取付け、取はずしを行なうことが要求されるので、防錆処理のため次の二つの方法が採用されているが、いずれも 2,1,000 mm 程度の チャップ効果 なので励磁電流の増加は無視できる程度に小さい。

- ①コア切口面 に無機塗料を処理するもの。
- ②コア切口面 に 絶縁薄膜フィルム をはりつけたもの。

(2) 締付用工具

当社においては製品組立用に独自の締付工具と衝合せ面接着剤を使用している。締付工具は図 6.4 に示すように、引張器、封かん器、止め金および バンド からなっているが、このうち引張器はとくにスプリングによって、掛かりうる最大の引張力を調整できるようになっている。この バンド締付工具 を用いた場合の製品の特性に及ぼす影響は図 6.2 に示すような状況であるが、いずれも パン

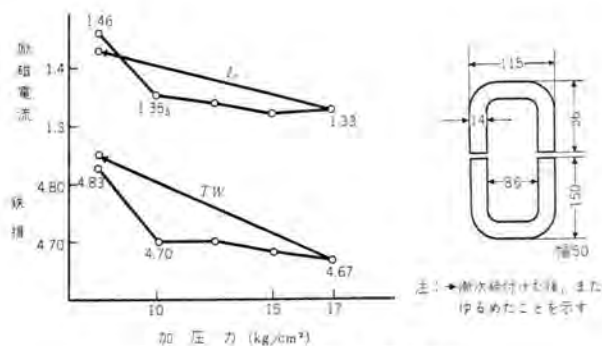


図 6.2 バンド掛けによる特性変化

Fig. 6.2 Characteristic change by banding.

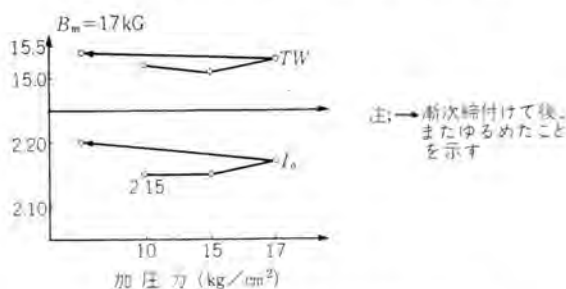


図 6.3 バンド片縮めによる特性変化

Fig. 6.3 Characteristic change by unbalance banding.



図 6.4 締付工具 1 式
Fig. 6.4 View of banding tool.

ド締めにより接合面の密着度が良好となり励磁電流において 5~10% の低減がみられる。この締付具に指定する範囲内であればヒズミによる特性劣化はみられない。また通常適正締付圧力としては断面において 5~10 kg/cm² の数値が選ばれるが、とくに振動の大きい車両用として用いられる製品に採用される 15~17 kg/cm² の圧力に対してもなお十分安定であることがわかる。ただここでとくに注意すべきことは、片締めであって、図 6.3 に示すように空隙または加圧の影響により励磁電流において 5% 程度劣化する例もある。

バンドによる漂遊損は鉄損にして 0.1 W 1 本以内で実用上まず問題にならない。

6.2 衝撃および振動に対する強度

(1) 耐振動特性

主として車両用機器部品として用いられる場合および航空機電装部品として用いられる場合には C コアの接合面および鋼板層間の固着状態が使用振動状態において影響を受けないことが必要である。車両用機器振動試験条件の一例を表 6.3 に示した。

これら条件に従って C コアを試験した結果を表 6.4 に示す。

すなわち振動試験前後の磁気特性および接合部の

表 6.3 ボギー車体上に直接取り付けの機器の耐振試験 (50 kg 以上のもの)

(1) 振動加速度 1 g			
(2)			
片板幅 (mm)	0.1	2.5	10.0
振動数 (c/s)	50	10	5

各 24 h 共通電で行なった後最小 2 h 以上定格電流および load cycle に従った電流を通電して異常のないことを確認する。

(3) 全域に対し共振点のないことを確認する。

表 6.4 振動試験結果

形状	条件	振動試験前			振動試験後		
A×B×D×E	W15/50	VA15/50	接着力 (kg)	W15/50	VA15/50	接着力 (kg)	
335×192×150×70	1.55	5.50	—	1.55	5.50	—	
145×104×50×25	1.30	4.10	295	1.30	4.06	208	

接着強度について変化のないことを確認した。

(2) 衝撃強度

C コア運搬中または使用中の衝撃についてはもちろん保護してあるのが普通であるが、何らかの原因でまたは誤って落したりしたときどのような影響を受けるかにつき、垂直落下式試験器により組み立てられた C コアにつき実験した。これによると 100 G 程度の猛烈な衝撃にもほとんど影響を受けていない。やはり多少バンドがずれたり、接合面に変位を生じて励磁電流が増加しているが、鉄損はほとんど変化していない。

局部的に衝撃を受けるとか、損傷を受けるとかによっては当然相当の劣化を受けるものとみられるが、これらの実験により C コアは接着剤固化により実用上きわめて強固になっていることがわかる。ほとんど完全な剛体と考えて扱ってよいであろう。

6.3 騒音

C コアは配電盤制御盤関係の機器部品として使用されることが多いので低騒音に対する要求度はきわめて大きい。

変圧器騒音の発生源は主として鉄心であり C コアについては鉄心の一部に切口を持っていること、乾式機器に使われることが多いことから騒音の状況について検討しておかねばならない。

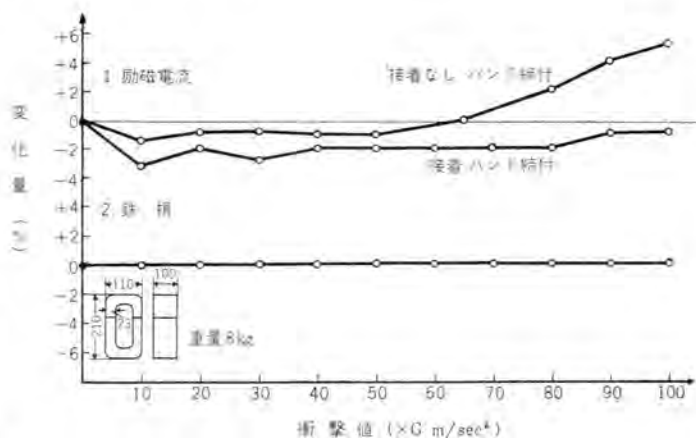


図 6.5 衝撃による特性変化

Fig. 6.5 Characteristics change by break down test.

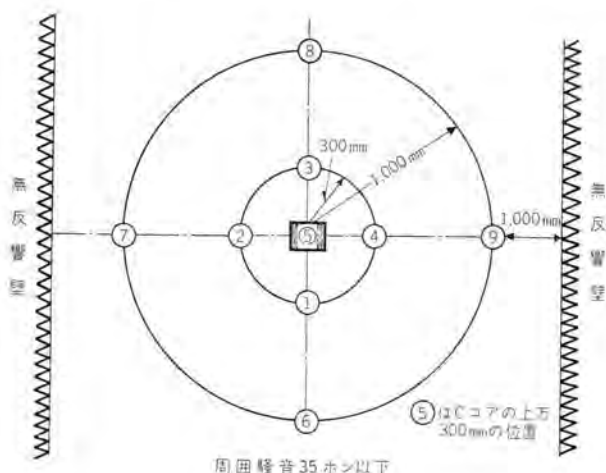


図 6.6 騒音測定位置

Fig. 6.6 Measuring position of noise test.

表 6.5 各種形状 C コアの騒音 (距離 30 cm)

位置	1	2	3	4	5	平均	形状 $A \times B \times D \times E$	積 (kg)
$B(kG)$								
1	15 20	44 52	52 60	44 54	55 63	44 52	210×110×100×23	8.5
2	15 20	46 63	48 73	42 60	51 77	43 61	425×280×120×58	22
3	15 20	45 60	54 66	44 54	54 65	46 55	385×200×100×25	55
4	15 20	53 65	55 67	43 67	52 67	62 75	335×192×150×68	50
計	15 20	188 240	209 266	173 235	212 263	195 243		

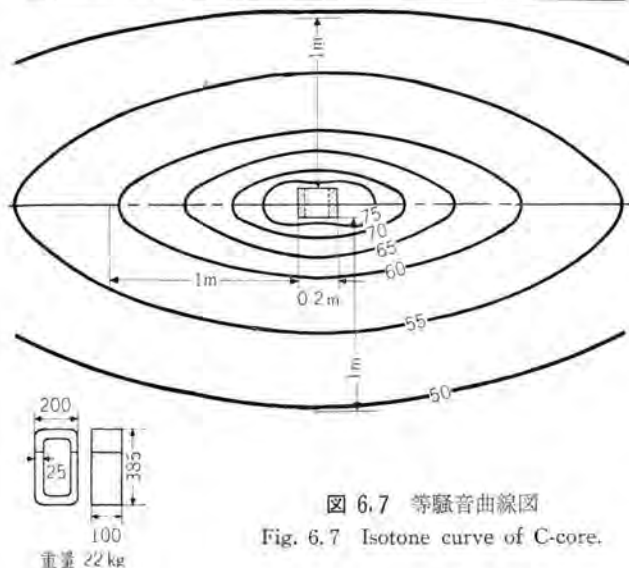


図 6.7 等騒音曲線

Fig. 6.7 Isotone curve of C-core.

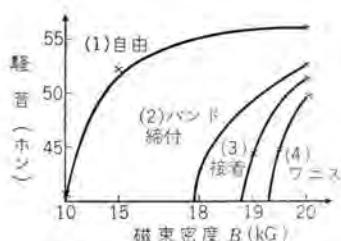


図 6.8 各種固定法における騒音特性

Fig. 6.8 Noise vs induction curve at several fixing method.

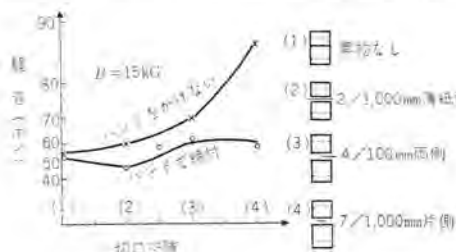


図 6.9 空隙状況と騒音

Fig. 6.9 Noise change with gap characteristics.

変圧器鉄心を接着鉄心とすることが騒音低減に効果があることは、電力用内鉄形変圧器⁽³⁾、大容量空隙リアクトル⁽⁴⁾などに適用した例によって明らかであるがこれは鉄心継目および成層間に働く磁気力による振動を抑制することが騒音低減の上からきわめて重要であることを示している。C コア は本質的には接着鉄心としての低騒音鉄心であり、鉄心面の衝合せ、固定方法に注意すればタングステン鉄心よりも低騒音の変圧器を製作することができる。C コア においては騒音発生源は、切口における鉄心間の吸引、解放の繰り返しによる振動音が付加されているので、これを抑制し、通常の磁ワイによる振動に局限することが必要である。

C コア を各種の状況において騒音対磁束密度曲線を示したのが図 6.8 である。

- (1) 締付けを行わない場合
- (2) バンドで締付けた場合
- (3) 接着剤をぬり、バンドを締付けた場合
- (4) (3) の鉄心に 保護ワニス をどぶ漬けし乾燥した場合

C コア を自由状態で励磁した場合には当然大きな騒音が発生しているが、バンドによって締付けると急激に低減され、飽和磁束密度に達しても約 50 ホン 程度にしかない。接着剤および ワニス が効果をあげているのは主としてマスキング作用 と考えられる。

C コア が衝合せ面に異物をはさみこんだ場合の状況について実験した結果を図 6.9 に示す。

これによるとバンドを用いなければもちろん 20～30 ホン 増加し、90 ホン に達する高騒音が発生するが、適正な締付力を与えれば 20 kG 程度の高磁束密度においても 5～7 ホン の増加にとどめることができる。接合面全体に薄紙を入れて締付けるとかえってマスキング され騒音が低下する現象がみられる。したがって C コア 組立て作業においては局部的な ゴミ に十分注意すること、締付力を十分に加えることによって飽和磁束密度においても 40～50 ホン またはそれ以下の低騒音にすることができる。

油入り機器に使用する場合はさらに低減されるわけであるが、乾式機器としては、モールド するか ワニス 漬けることによってさらに完全な効果をあげることができる。騒音の方向性は図 6.7 によって明らかなように振動

面積の広い方向で大であり継目の影響などは表われていない。鉄心の大小によって騒音値の異なることは当然であるがその程度を表 6.5 に示した。

また切口面の仕上げ状態によっても騒音は異なるけれどもここには省略した。

7. C コアの使用例⁽⁵⁾⁽⁶⁾

C コア鉄心 は 方向性ケイ素鋼帯 の

すぐれた磁気特性を有効に利用していることと取扱上の
 便利さによって広く用いられているわけであるからおよ
 そあらゆる機種が考えられるが、使用されている機器を
 簡単に整理すると表 7.1 のようになる。

これら機器の中で代表的なものについて製品の特性の
 一例を紹介することとした。

7.1 計器用変成器⁽⁷⁾

当社におけるダイアレジン含浸計器用変成器においては、
 巻線形の変成器、変圧器がすべて C コアを採用している。
 変成器の特性は鉄心の磁気特性（とくに透磁率の大きい
 こと、励磁電流の少ないこと、飽和値の高いことなど）
 のいかによるところが多いわけであるが、C コアが方
 向性ケイ素鋼帯の優秀な磁気特性を十分に生かしている
 ことによりこれら変成器の誤差特性はいちじるしく向上
 した。計器用変成器について従来の T 級ヤング鉄心と
 最近の G 級鉄心のうち、Z₁₃ と Z₁₀ の C コアを用いた
 おおのの場合について（1）比誤差特性（2）位相角特
 性を比較して図 7.1～7.2 に示した。これらにより方向
 性ケイ素鋼帯の材質進歩により変成器の誤差特性がい
 ちじるしく改善されてきていることがわかる。

また C コアの特長をもっともよく利用しているものに
 ケーブル入用分割形 CT がある。

最近 OF 形（油入）ケーブルが 70 kV
 以上の高圧回路に非常に多く使用
 されているが、これに分割 C コアを
 用いれば任意の個所において任意の
 時期に変成器を装着しうることにな
 り、従来別置巻線形変成器を用いて
 いた不便がなくなって大いに作業
 性が改善されている。当社では、分
 割入用式計器用変成器としては
 BS-S 形を標準化し多重比すなわち
 1,000-800-600-500-400-300/5A 負担
 は 500 A 以上は 40 VA、400 A は
 30 VA、300 A は 15 VA、おおの

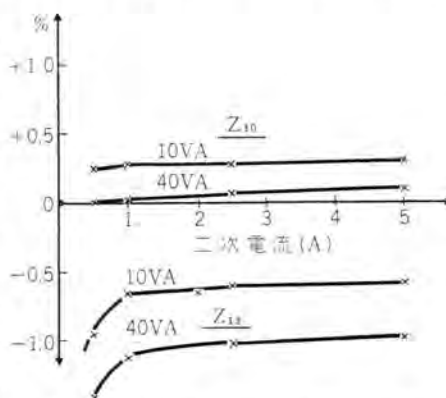


図 7.1 C コアを使用した計器用変成器
 (比誤差特性)
 Fig. 7.1 Ratio error of current
 transformer.

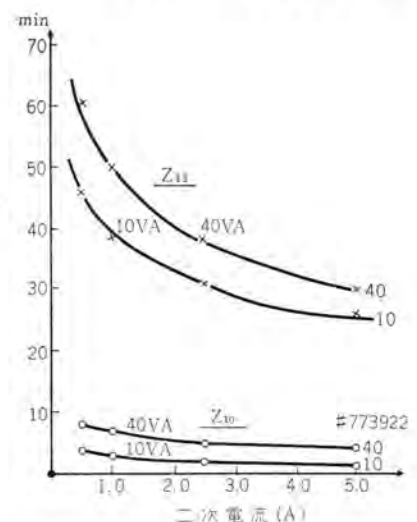


図 7.2 C コアを使用した計器用変成器
 (位相角特性)
 Fig. 7.2 Angle characteristics of
 current transformer.

表 7.1 C コア適用機器一覧表

弱電機器	小形電源変圧器 低周波トランス チョークコイル	低損失、小形軽量
	テレビ受像機 ブラウン管使用測 定器	誘導が少ないこと
	大電力バリス部品	飽和磁気値高く小 形、低損失
電力用機器	変成器 (計器用 継電器用)	初透磁率 μ_0 大きく、 励磁電流が小さい 飽和磁気値高い
	直流機器部品 (シリコン整流器) 水銀整流器 相間リアクトル 平衡リアクトル 直流リアクトル	直流飽和磁気値高 く、 μ が大きい
	磁気増幅器 直流励磁飽和リ アクトル	飽和磁気値高く、 角形性がよい
	柱上変圧器	鉄損、励磁電流少 い、小形軽量



図 7.3 TVC-1 計器用変圧器
 Fig. 7.3 Type TVC-1 instrument
 potential transformer.



図 7.4 BS-S 形零相変流器
 Fig. 7.4 Type BS-S zero phase
 sequence current trans-
 former.



図 7.5 交流電気
機関車用直流リ
アクトル組立品

Fig. 7.5 DC re-
actor assembly
for AC loco-
motive.



図 7.6 三軸フライス盤用連続切削数値制御装置電源部

Fig. 7.6 Power source of numerical controller of
3 dimensions milling machine.

フリッジングの影響により正確な設計は困難なことが多いが、 μ の高い C コア鉄心では式 (7.2)⁽⁸⁾ によりかなり精度のよい設計を行なうことができる。

$$L = 0.4\pi N^2 A \times 10^{-8} / (l_c / \mu' + l_g) \quad (\text{H}) \quad (7.1)$$

$$L = 3.2 N^2 A \times 10^{-8} / l_g \times \left[1 + \frac{kl_g}{2\sqrt{A}} \log_e \frac{S}{l_g} \right] \quad (7.2)$$

N : コイル巻数 A : 鉄心断面積 l_g : 空隙長

l_c : 鉄心磁路長 μ' : インクレメンタル透磁率

Z_{13} 使用の直流リアクトルにつきインダクタンス曲線の一例を
図 7.7 に示した。

7.3 弱電機器電源変圧器⁽⁹⁾

(1) 一般機器⁽¹⁰⁾

弱電関係機器の電源変圧器、塞流コイルなどについて C コアを採用した場合、これらが小形軽量化されることはよく知られている。すなわち電源変圧器の出力容量は式 (7.3)

$$VA = K_f B_m S \cdot A \quad (7.3)$$

f : 周波数 B_m : 最大磁束密度 S : コア断面積

A : コア窓面積

で示されるように磁束密度に比例するが、従来の T 級鉄心に比し方向性ケイ素鋼帯は 50~60% 磁束密度を高くとりうるから、同一容積では大出力を、同一出力では小形軽量化をねらうことができる。

(2) カラーテレビ

テレビ受像機の電源としてトランス式とトランスレス方式と
三菱 C コア・荻野・清水

があり、一般の黒白テレビのほとんどがトランスレス方式を採用していることはよく知られている。これは真空管のヒータ電源と B 電圧源として変圧器を用いると、漏れ磁束のため影像に悪影響を受けるので、真空管のヒータをすべて直列に接続しこれに商用の 100 V をじかに加え B 電圧源としても倍電圧整流して用いる方式である。ところがカラーテレビ受像機では使用真空管の数が多くて全部を合計すると 100 V をこえてしまうことや B 電圧も倍電圧整流では得られない高電圧を使用するためトランスレス化することはむずかしい。とくにカラーテレビは消費電力が大きいので漏れ磁束が増える傾向があり、従来の T 級タンザク鉄心では、設計上きわめて不便を感じるわけであるがここに C コアを採用することにより、鉄心としての消費電力の低減、小形化とともに、内鉄形として製作しやすいこと、巻線に完全バランス巻線を採用することなどによって漏れ磁束の影響を完全に除去することができ、映像の安定、電源非同期の克服、体積、重量の軽減などにおいてすぐれた特性を示している。

8. む す び

三菱 C コアについて現状を紹介し、きわめて多方面に利用されていることについて述べた。C コアは磁気特性の上でも構造上からみても今後いっそう発展するさまざまな特長を有しているが、C コアは構造上従来のタンザク形とはまったく異なるのでその特長をあらためて十分知っていただいて使用されないとせっかくの優秀な特性、便利さがかえってそこなわれることにもなるので、実用上問題になる点につきできるだけ具体的に説明した。

この文章をまとめるにあたって、研究所伊藤研究員ならびに各種機器設計者のかたに種々ご指導をいただいた。また第一工作課岡崎技手に援助をしていただいた。これらのかたがたに厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 木村久雄: 変圧器の設計製作法, p.p. 169~200 (昭 35).
- (2) Horstman: Progress in Core Material for Small Transformer, Westinghouse Engineer (1952).
- (3) Brechna: New Design Trends in the Construction of Transformer Cores, Bulletin Oerlikon, 326, 7.
- (4) 山内・清水・青木: 20 MVA 77 kV 分路リアクトル, 「三菱電機」, 34, 1300 (昭 35).
- (5) OHM 特集号: 巻鉄心変圧器の技術と開発, OHM 46.
- (6) OHM 特集号: 磁気増幅器とその応用, OHM 44.
- (7) 樺山・大野: ダイアレジ含浸計器用変成器, 「三菱電機」, 31, No. 4.
- (8) Poulsen: Effect of Fringing on Air Gap in Hipersil Cores, Conference on Magnetism, pp. 321~323 (1955).
- (9) 古山・沼田: C 形鉄心の特性と変圧器に及ぼす影響, エレクトロニクス, 3, 1155.
- (10) 馬場・渡辺: 工作機械数値制御装置, 「三菱電機」, 34, 386 (昭 35).

焼結形 CdS 光導電セル

本 社 山 下 博 典*

研 究 所 伊 吹 順 章**・吉 沢 達 夫***

Sinter-Type CdS Photoconductive Cells

Head office

Hirosuke YAMASHITA

Research Laboratory

Sumiaki IBUKI・Michio YOSHIZAWA

Cadmium sulphide has been studied for a decade as photoconductive material. Though photoconductive cells made of CdS single crystals are in a practical use, single crystals of a large size are hard to obtain by local vaporization and recrystallization. It is impracticable to operate the cells on large current. To overcome the difficulty sinter type CdS cells are introduced so as to be relatively free from the restriction of size and shape, thus enabling them to be used for large current in addition to their simple productive process. Mitsubishi has been successful in the regular production of the sintered cells since last winter. The writers report herein various characteristics of the cell such as voltage, illumination, temperature and spectral dependency on dark or visible rays.

1. ま え が き

光導電性物質の研究が、将来の有用性とあいまって最近各方面で急速に進められている。紫外線に感度を有する酸化亜鉛 (ZnO) は電子写真に、赤外光線に感度をもつゲルマニウム (Ge) はホトラジオスタとして実用化しているほか、硫化鉛 (PbS) などもすでに赤外用光導電物質として特殊な用途をもっている。しかし中でも 2.4 eV のエネルギー間隔をもつ硫化カドミウム (CdS) は、可視光線に非常にすぐれた光導電特性を有する唯一の物質であるところから相当古くから研究、開発が進められてきた。

昇華再結晶法で製作した CdS 単結晶を用いた光導電セルは、当所でもかなり以前に開発を終わり、すでに報告したようにホトリレー関係に広く実用化されてきた。⁽¹⁾ しかし昇華再結晶法ではあまり大きな単結晶を製作することが非常に困難であるため、大電流用のものができず、これが大きな欠点となっていた。そして製作方法がめんどうなうえ、不純物のコントロールがむずかしく、大量生産には適さないものであった。

ここに報告する焼結形 CdS 光導電セルは、純粋な CdS 粉末を適当な活性化不純物および焼結のための融剤とともに基板(一般にはガラス、セラミック、マイカ板など)の上に薄く塗布したのち焼成し、所要の光導電特性をもたせる形式のものである。このため比較的大きな受光面積をもつもの、また任意の形のものも望めるわけで、大電流形はもちろん今後いろいろのタイプのものが開発されて行くものと思われる。しかも活性化不純物の種類、量または焼成時間、温度などを適当にコントロールすることによって大幅にセルの特性を変化させうるという大きな特長をもっている。

この焼結形 CdS セルは一昨年暮に研究、開発に着手

し昨年暮より試作量産の段階にはいっている。現在では、すでに街灯の自動点滅装置、エレベータのトラフィック・センサ、戸閉装置 (乗客の流れに応じて制御する方式)、テレビの A. B. C 回路 (自動輝度調整) に実用されているほか、最近 8 ミリシネカメラの連動露出計、自動車ヘッドライトの角度切換、電子オルガン の光学的スイッチ素子としての用途も開発されつつある。また従来の光電管、セル電池などに代わって今後多くの光学的な自動制御回路に広く取り入れられて行くものと思われる。そこで当所で進めてきた焼結形 CdS セルの製作方法ならびに照度特性、分光感度特性、温度特性などの一般的性質について簡単に記述する。

2. 焼結形 CdS セルの製作および構造

純粋な CdS 物質に光導電性をもたせるためには、適当な活性化不純物を導入する必要がある。これには大きく分けるとつぎの方法がある。

- (1) 純粋な CdS 粉末と微量の活性化不純物および焼結のさい融剤の役目をする物質とを含んだ水溶液を作り、これを適当なベース (セラミック板、ガラス板など) の上に塗布して、焼結と同時に不純物を導入する方法。
 - (2) 適当量の活性化不純物が導入されている粉末を用意し、これに融剤だけを加えた混合液を適当なベースの上に塗布して焼結する方法。
 - (3) 活性化不純物を含んだ CdS 粉末を強大な圧力でプレス成形し、これを適当なふんい気中で焼結させる方法。
- (2) の方法は (1) と比較して、すでに 1,000°C 近くで焼成し活性化してある粉末を用いるので、できたセルは性能的にもっとも安定であるが、そのような粉末を製作

する手間が必要である。また(3)はプレス成形するので、あまり薄くすることができない。その点(1)の方法は非常に簡単でしかも添加する活性化不純物の量を変化することによって、大幅に特性を変えうるという大きな特長を持っている。

現在一般に行なわれている(1)の混合液組成は、純粋な CdS 粉末;1モルに対し CdCl_2 ;0.2モル, CuCl_2 としての Cu 量;0.05~0.1 atom%, そして適当量の水で焼成条件は不活性ガスふい気中で 600°C , 約5分である。

上記のようにして焼結された CdS 膜は Cu, Cl の原子が CdS 微結晶中に適当に導入されると同時にじょうぶな膜に焼結され、大きな光導電性を有するようになる。図2.1に焼結膜の電子顕微鏡写真を示した。粉末粒子の

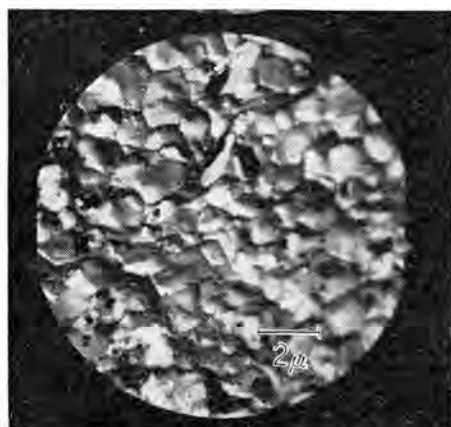


図 2.1 CdS 焼結膜の電子顕微鏡写真 (4,000 倍)
Fig. 2.1 Electron micrograph of CdS sintered layer ($\times 4,000$).

大きさは約 $0.01\sim 0.05\mu$ であるが、焼結により $1.0\sim 2.0\mu$ の微結晶に成長していることがわかる。ただし結晶成長の過程は焼成条件によって大きく異なるのは当然である。

つぎに焼結膜の光導電性を測定しあるいは利用するためには電極を形成する必要がある。この際 CdS の光導電特性を十二分に活用するためには、CdS とオーミック接触をなす金属、たとえばインジウムが使われる。これについては4節でさらに検討を加えるつもりであるので、この測定にはインジウムを用いたことを記すにとどめ、詳しい電極の問題は後にゆずることにした。最後に焼結膜光導電セルの製作手順を図2.2にまとめてみた。

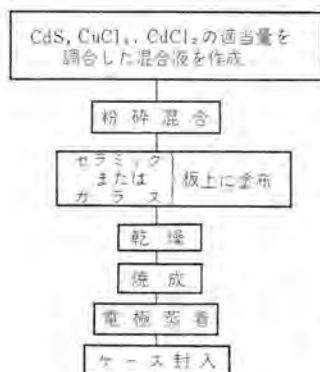


図 2.2 焼結形 CdS セル製作手順

Fig. 2.2 Production process of CdS sintered cell.

3. 諸 特 性

3.1 光電流特性

光導電セルは光強度に応じてその抵抗値が変化するもので、一定電圧を印加することによって光学的信号を電流変化として取り出せる。一般に照度: L および電圧: V に対する光電流値: I の関係は、次式で表わすことができる。

$$I \propto k V^a L^b \quad (3.1)$$

ここで k は定数。

電圧に対する指数 a は焼結形セルの場合、 $1.0\sim 1.2$ になるが、粉末を樹脂などに埋めたセルでは CdS 微結晶相互間の接触抵抗などのために比較的大きな値を示し $2\sim 4$ にもなる。

また照度に関する指数 b は T. S. Moss⁽²⁾ によって、伝導帯にある自由電子の数が電子トラップの数より多い場合は約 0.5 になり、逆にトラップの数のほうが多い場合には 1.0 になることが説明されている。すなわち伝導帯中の自由電子の数を n , 単位時間に充滿帯から伝導帯に光励起される電子の数を Q , 再結合係数を B , 再結合中心の数を M とすれば光電流の時間的变化は次式で表わせる。

$$\frac{dn}{dt} = Q - Bn(n+M) \quad (3.2)$$

光電流の平衡状態では $dn/dt=0$ であるから、

$$n(n+M) = Q/B \quad (3.3)$$

となる。そこでもし入射光強度が小さく $n \ll M$ とみなせるような範囲では、

$$n = Q/BM \quad (3.4)$$

となって、光電流は単位時間に光励起される電子の数: Q に比例する。すなわち入射光強度が十分小さい範囲では、光電流は光強度に比例して変わる。しかし光強度が $n \gg M$ となる範囲では、

$$n = (Q/B)^{1/2} \quad (3.5)$$

となり、入射光強度の $1/2$ 乗に比例して光電流は変化するがこの屈曲は $n=M$ の点で生ずる。

単結晶形セルは一般に不純物の量が少ないため M が小さく比較的低照度で $n=M$ になり屈曲を生ずる。一方焼結形セルでは比較的多量に活性化不純物を導入するので一般に数万ルクスまでも屈曲を示さないセルを作ることができる。

また λ は励起波長および温度によってもわずかながら変化するが、温度による影響は次節に記した。

今回試作した焼結形セルの照度対光電流特性を、昇華再結晶法で製作した単結晶形セルのそれと比較して、図3.1に示した。また電圧対電流特性を図3.2に示した。

最後に式(3.1)の係数: k は電極間隔, 自由電子の易動度などに関連した定数で次式で表わすことができる。

$$k = e\tau\mu/d^2$$

ただし τ : 自由電子の寿命時間, μ : 自由電子の移動度,

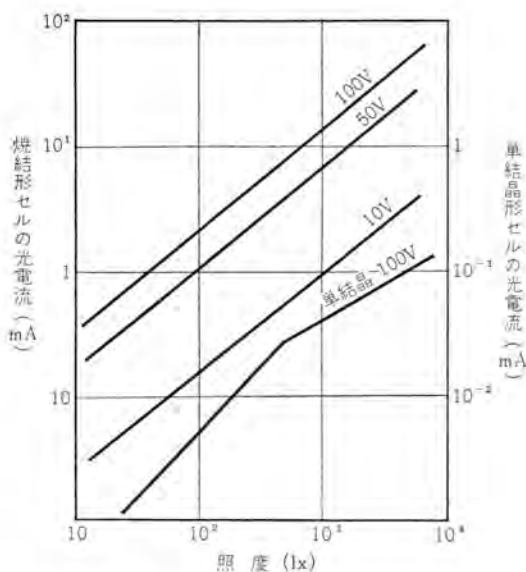


図 3.1 焼結形と単結晶セルの光電流対光強度特性
Fig. 3.1 Photocurrent vs. light intensity of sintered type and single crystal type cells.

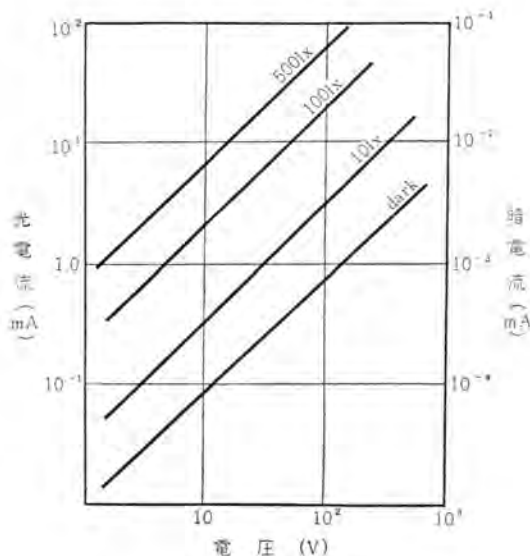


図 3.2 電圧特性
Fig. 3.2 Voltage dependency of photocurrent and dark current at sinter type cell.

d : 電極間隔.

すなわち電圧、照度などが一定の場合には光電流は電極間隔の自乗に逆比例して変化することがわかる。

3.2 光抵抗の温度特性

半導体は一般に非常に大きな温度係数をもっておりこの CdS セルも例外ではない。しかし変化の大きさは不純物の種類や濃度によって異なり、ある場合にはまったく逆の温度特性を示すこともある。CdS の温度による抵抗変化はおもに温度の上昇によって電子トラップから熱放出される電子の数が増すと抵抗は減少し、またホールトラップから熱放出されるホールの数が増すと伝導帯電子とその自由ホールとの再結合率が増すので抵抗は増大する。

もっとも一般的なセルについて測定した結果を図 3.3

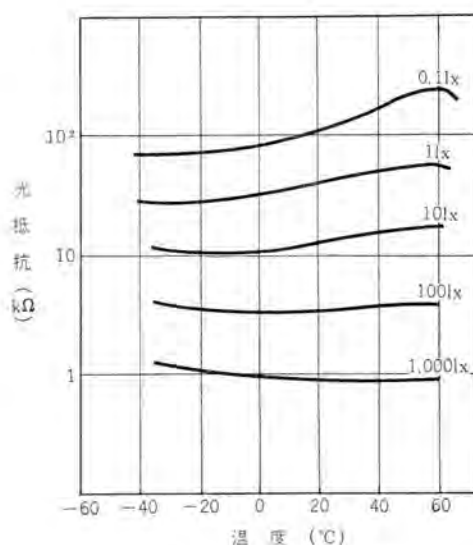


図 3.3 光電流の温度特性
Fig. 3.3 Temperature dependency of photocurrent.

に示した。温度の上昇とともに抵抗値は最初上昇するが、さらに温度が上がると逆に減少しはじめる。この変化割合は照度が小さいほど大きく、一方 10 lx 以上ではほとんど変化しない。照度が比較的高い場合には自由電子密度が高いためにこうした変化はほとんど無視できるが、照度が低くなるに従って自由電子密度が減少するために当然変化割合としては大きくきいてくるようになる。すなわち温度の上昇とともにホールが熱励起され伝導帯の自由電子の数を減少させるため次第に抵抗は増大する。これは前にも述べたように照度が低いほど自由電子数が少ないため影響は大きい。さらに温度が上がると抵抗は減少するが、照度が高い場合にはほとんどみられないところからわずかに含まれている深い電子トラップの影響とみられる。この電子の熱放出エネルギーは、thermal stimulation current の測定結果から CdS の格子振動定数を 10^7 として求めると 0.64 eV になる。これは Bube⁽³⁾ が S vacancy に基因する電子トラップが伝導帯の下約 0.66 eV のところに生ずると説明していることからこれと同一のものであろうと思われる。

温度が 100°C を越えると Cd vacancy あるいは Cu-impurity に基因すると考えられる非常に深いホールトラップから熱的にホールが励起されるため急激に抵抗が増大することが知られている。

つぎに式 (3.1) の照度に関する指数 b は前に温度によっても変化することを記したが、図 3.4(a) に温度をパラメータとして測定した照度特性を 100 lx で normalize して示した。また図 3.4(b) に温度に対して照度指数 b をプロットしてみた。温度の上昇とともに b は次第に大きくなる。さらに 100°C 以上になると b は 1 より大きくなりいわゆる superlinearity を示すことが報告されている。superlinearity はある照度、温度に対して 2 種の再結合中心として働く準位が生じ、この二つの中心がそれぞれ自由キャリアに対し違った捕獲断面積をもつような

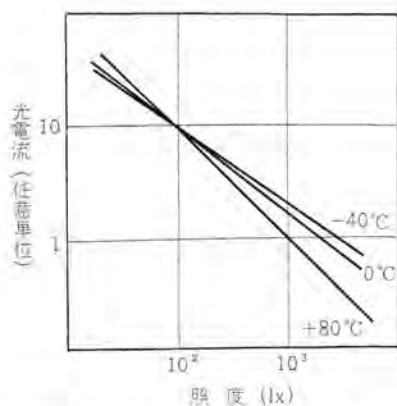


図 3.4(a) 照度特性の温度依存性
Fig. 3.4(a) Temperature dependency of photocurrent vs. light intensity.

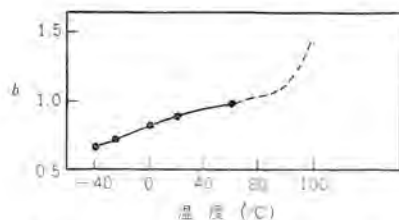


図 3.4(b) 照度指数: b の温度依存性
Fig. 3.4(b) Variation of b with temperatures for a sinter type cell.

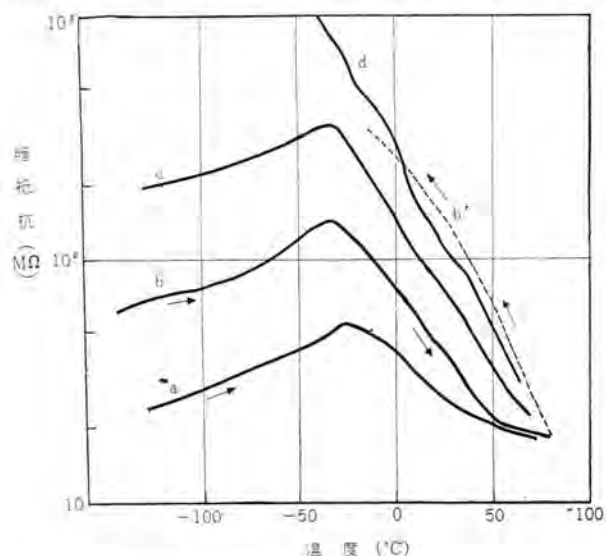
条件において一種の増感作用を生ずるために起こる現象である。セレン化カドミウム光導電セルは band gap が小さいため室温でも superlinearity を生ずる物質として知られている。これについては別の機会に報告する。

3.3 暗抵抗温度特性

光導電セルは特種な場合を除いて、暗抵抗ができるだけ高いことが望ましい。しかし一般にはセル表面の湿気、よごれなどによる漏れ電流のほか、space charge あるいは donor level から熱放出された電子が存在するために電極間に電圧を印加すると電流が生ずる。前者は十分注意することによって除けるが、space charge あるいは donor level に起因する暗電流は焼結層中に導入される不純物の種類や量によって大きく異なる。Cl などのハロゲンあるいは Al などの 3 価金属のようにドナー単位を作るとみられる原子を多く含むときは光抵抗が減少するとともに暗抵抗も小さくなり、一方 Cu, Ag などのアクセプタ単位を作るとみられる 1 価の金属原子を多く含むと逆に抵抗は増大する。したがって暗電流値は温度、印加電圧によって変化するとともに完全に dark の状態に復帰していない場合にはそのセルの前歴にも影響することは当然で図 3.5 にこの様子を示した。すなわち光シャ断後の時間が短い場合には、完全に dark の状態に復帰しておらず、まだ伝導帯あるいは深いトラップ単位にある数の電子が残っている。この電子が温度を上げていく過程においても徐々に減少を続けるため最初抵抗値は増大する。しかしある温度をこえ電子トラップから熱的に放出される電子の数が増してくると再び温度の増加とともに暗抵抗は減少する。

に暗抵抗は減少する。

もし光シャ断後の時間が長く、完全に dark の状態に復帰しているセルでは $n=n_0 \exp(-E/2kT)$ に従って伝導帯に電子が供給され暗抵抗は温度の上昇とともに減少する。(図 3.5 の曲線 d) また一度温度を上昇したのち再び温度を下げて測定した場合も図 3.5 の曲線 b' に示したように、曲線 d と同様の变化をすることが観測された。



a. 光をシャ断後すぐ測定開始
b. 10 分後に測定開始
c. 20 分後に "
d. 2 時間後に "
b' b. を 80°C まで測定後、逆に冷却しながら連続して測定

図 3.5 暗抵抗の温度特性

Fig. 3.5 Temperature dependency of dark resistance.

3.4 分光感度特性

光導電物質は一般に不純物が比較的に少ない場合には、その物質固有の基礎吸収端付近にだけすぐれた感度をもっている。CdS セルの場合も単結晶形は不純物の含有量が非常に少ないため、分光感度特性は図 3.6 に点線で示したように基礎吸収端に相当する 5,200 Å 付近に鋭い感度の山をもっている。しかし焼結形セルの場合はしばしば記したように活性化不純物を比較的多量に導入するため図 3.6 に示したように 5,200~7,000 Å 程度まで広がっ

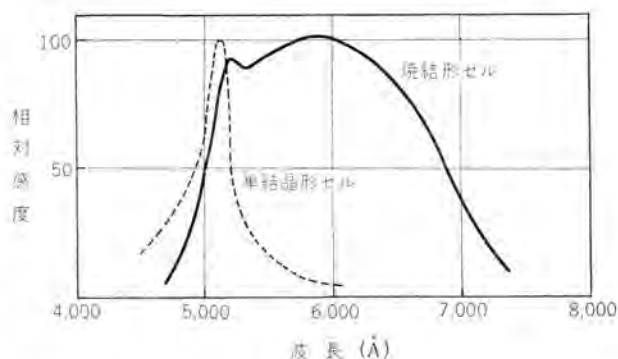


図 3.6 分光感度特性

Fig. 3.6 Spectral sensitivity curves of sinter type cell and single crystal type cell.

ている。

すなわち光導電体は光が照射されなければ、ほとんど絶縁体に近いが、入射光子のエネルギーが伝導帯と充満帯のエネルギー差より大きいならば充満帯から伝導帯に電子を励起し、これが伝導に寄与する。このため不純物の少ない場合には、充満帯と伝導帯のエネルギー間隔 2.4 eV に相当する約 520 mμ のところに鋭いピークを生ずる。また入射光子のエネルギーがエネルギー間隔より小さい場合でも不純物単位のイオン化に必要な大きさをもつときにはやはりドナーあるいはアクセプタ単位からのイオン化により生じた自由キャリアによって伝導が生ずる。(光励起によりもちろん自由電子とともに自由ホールもできるのであるが、CdS の場合には一般に自由ホールの寿命は非常に短いので、主として伝導電子についてだけ考えればよい。) このため焼結形セルでは長波長側へ感度の広がりを生ずる。

また温度を変化させて分光感度特性を測定した結果、温度の上昇とともに吸収端がわずかながら変化し、次第に吸収端に相当するピークの位置が長波長側にずれる。この様子を図 3.7 に示した。Bube⁽³⁾ は同様の実験からつぎのような実験式を求めているが、これはわれわれの結果とよく一致している。

$$E = 2.57 - 0.00052T \text{ (eV)}$$

$$\lambda = 4807 + 1.10T \text{ (Å)}$$

ただし E : 禁止帯幅, λ : 感度ピークの波長, T : 絶対温度。

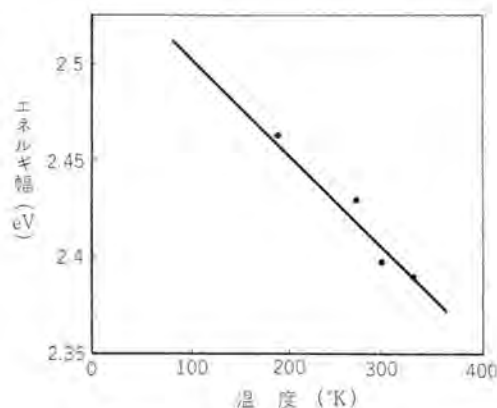


図 3.7 基礎吸収端の温度変化

Fig. 3.7 Temperature dependency of fundamental absorption edge.

さらに長波長側のもう一つのピークは、不純物の種類、量によって当然大幅に違って来るが、温度の上昇とともに次第に小さくなり、とくに 100°C を越え不純物単位が再結合中心としての働きを失なうようになると急激に減少すると考えられる。

3.5 時定数

光導電セルに光を照射あるいは遮断した場合、抵抗値は瞬間的に変わるのではなく平衡状態に達するのに多少の遅れ時間を示す。すなわち光励起によって生じた電子は浅い電子トラップに捕えられ、またすぐ熱的に励起

されるという状態をくり返しながら伝導帯中を電場の方向に引かれて走る。そして充満帯中の自由ホールあるいは再結合中心のホールと再結合してその寿命を終る。このように自由電子はその寿命のうち、ある部分を伝導帯内で、残りをトラップ内で消費する。(寿命としては、伝導帯内ですごした時間だけをいう。) そのため浅い電子トラップは定常状態の光電流には影響を与えないが、光を照射した場合の光電流の立ち上がり時間および照射停止後の減衰時間に関係し、このような浅いトラップ単位に捕えられている時間が長いほど立ち上がり時間および減衰時間は遅くなり、しかもこの時間はキャリアの真の寿命より長くなる。そして光が強くなり自由キャリアの密度が浅いトラップ単位に捕えられたキャリアの密度より大きくなれば、光導電セルの応答時間は自由キャリアの寿命に近づくことがわかる。

このように遅れ時間の大きさは、不純物の種類、量によって大きく違って来るほか、照度によっても非常に異なった値を示す。そこで照度による時定数への影響を検討してみよう。

光電流の時間的変化は前にも記したように次式で表わされる。

$$dn/dt = Q - Bn(n+M) \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

いま光照射を中止した場合、すなわち $Q=0$ を考えると光強度が小さく $n \ll M$ で示される領域では、

$$dn/dt = -BnM$$

$$n = n_0 \exp(-BMt)$$

$$\tau = 1/BM$$

となり、光強度は $1/BM$ に比例して減衰していく。一方光強度が大きく $n \gg M$ の領域では、

$$dn/dt = -Bn^2$$

$$n = n_0 / (1 + Bn_0 t)$$

$$\tau = 1/\sqrt{QB}$$

となり、光電流は双曲線的に減少していく。そして Q 、すなわち照射されていた光強度が大きいかほど減衰は早くなることがわかる。

光電流の立ち上がり、立ち下りの様子を 500 lx で 10 V を加えペン書きオシロで観測した結果を図 3.8 に示した、また図 3.9 に室温で照度を変化して光電流の立ち下

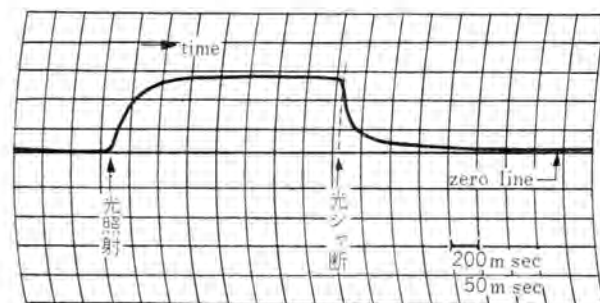


図 3.8 光電流の立ち上がり、立ち下り

Fig. 3.8 Build-up and decay time of photocurrent of sinter type cell.

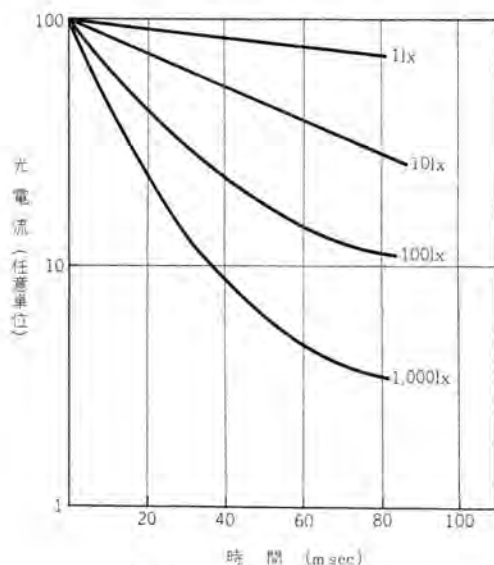


図 3.9 光電流の減衰曲線

Fig. 3.9 Decay curve of photocurrent.

がりを測定した結果を示した。これからわかるように照度が低い場合には時間とともに指数関数的に光電流は減少するが、照度が高くなると双曲線的に減衰していくという上に述べた理論と一致することがわかる。また図 3.10 に照度対時定数でプロットした。

さらに時定数は周囲温度および励起光の波長によって

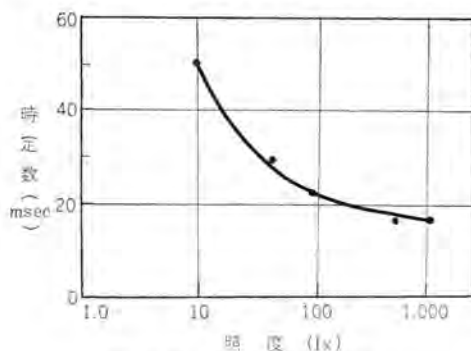


図 3.10 照度対時定数特性

Fig. 3.10 Light intensity dependency of decay time.

も変化する。周囲温度が低い場合には電子がトラップに捕えられている時間が長くなるため再結合定数 B が小さくなる。一方励起波長の影響は、波長が短い場合には表面における再結合定数が大きくなるため吸収端より短い波長の光を照射した場合のほうが遅れ時間は小さくなることが知られている。

3.6 交流電圧特性

光導電セルは主として直流電圧で使用されることが多く、いまでも述べてきた測定などの結果もすべて直流電圧で行なったものである。しかし CdS セルは光強度で変化する一種の抵抗体であるので、もしオーム接触をもつ場合には極性などもなく、交流電圧でもまったく同様に利用できるが、二、三異なる点についてふれておこう。

電源周波数が低い場合には光電流の照度特性は直流電圧結形 CdS 光導電セル・山下・伊吹・吉沢

圧のときとまったく同一であるが、電圧特性は交流電圧を使用したときのほうがわずかに傾斜が小さくなる。もっとも重要なのは周波数特性でこれについては図 3.11 に示した。すなわち光電流は数十キロサイクルまでは比較

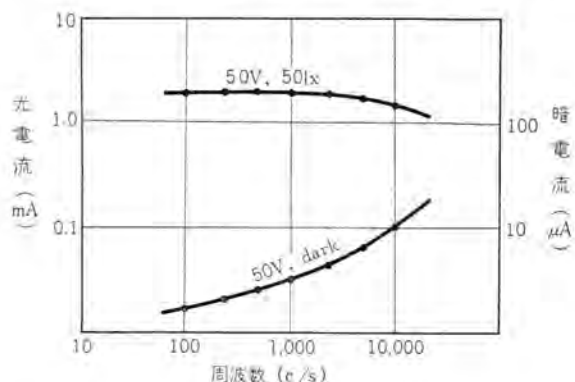


図 3.11 周波数特性

Fig. 3.11 Frequency dependence of photocurrent and dark current.

的であるが、それ以上になると急激に減少する。これは伝導電子の実質的な移動距離が減少するためであろう。また暗電流は逆に周波数の上昇とともに徐々に増大して行く、これはセルの容量のためであると考えられる。

4. 電極物質の問題

整流性および光起電力効果を利用する場合を除いて、一般に半導体物質と電極物質のオーム接触の問題は非常に重要である。この CdS 光導電セルの場合も、光電流は本質的に二次光電流であるため電極から結晶中に自由に電子がはいりうる必要がある。もし非オーム接触の場合には電極金属と半導体物質の間に Mott-Schottky type の exhaustion layer ができることに基因すると思われる空間電荷層が存在し、二次電子の補給が妨げられるため、光電流が減少し電圧-電流特性が非直線性を示し、光電流が時間的に不安定になり雑音が生じ、そしてその他のいろいろの複雑な現象の原因となる。

CdS セルはこの場合 n 形の半導体であるため、これのもつ仕事関数、約 4.1 eV より小さい仕事関数をもつ金属たとえばインジウム、ガリウムがもっともよいオーム接触を作る金属として知られている。しかしいづれも融点が低いため、セルの用途によってはしばしば金、銀、あるいはウッドメタルなどが使用されている。これらの金属は仕事関数がだいたい 5.0 eV 以下であるため、測定電圧が非常に低い範囲を除いて比較的良好なオ

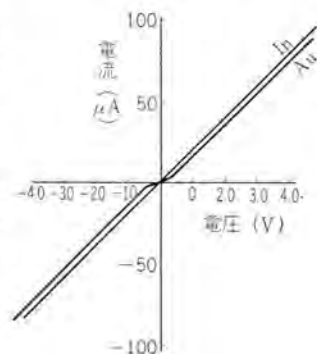


図 4.1 電圧-電流特性

Fig. 4.1 Voltage vs. current property.

ーミック接触を作る。図4.1にイッジウムおよび金を用いた場合の電圧—電流特性を示したが金の場合でも測定電圧が0.5V以上では良いオーミック性をもっていることがわかる。

5. 寿 命

光導電セルの寿命はもちろん使用条件によって相当異なり、とくに湿気、温度については注意しなくてはならないことはいうまでもない。図5.1に三つの異なった条件で寿命特性を測定した結果を示した。一般に最初の150時間の間に不良セルはほとんど劣化してしまう。また正常なセルでは最初の150時間である程度の劣化が生ずるが、その後は数千時間までも比較的安定に保っているため、使用する場合あらかじめ200時間程度のaging試験を行なったものを用いる必要がある。寿命に関する詳しい検討結果は別の機会にゆずることとする。

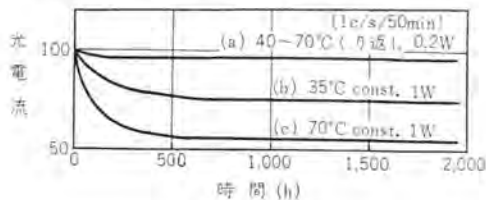


図 5.1 寿命特性
Fig. 5.1 Aging property.

6. 焼結形 CdS セル試作品

現在までに試作を完了し、すでに試作量産の段階にはいっている焼結形 CdS セルの外観写真を図6.1に示した。また各セルの特性を単結晶形セルと比較して表6.1に示したが、これらセルの用途は現在すでに利用しているところでは PZC-3101 はテレビの ABC 回路に、PZC-3102 はカメラの露出計として、PZC-5101 はエレベータのトラフィックセンサ、戸閉装置に、そして PZC-7102 は街灯の自動点滅器あるいは、自動車のヘッドライト切換装置用

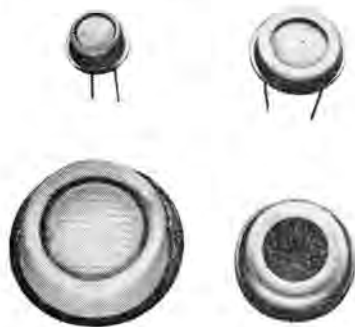


図 6.1 CdS 光導電セル
Fig. 6.1 CdS photoconductive cell.

表 6.1 CdS 光導電セル特性表

形 式 記 号	PZC-1005	PZC-3101	PZC-3102	PZC-5102	PZC-7102
寸 法 (mm ²)	10×6	10×6	18×4	24×10	32×8
概 略 重 量 (g)	1.3	1.4	2.5	10	11
受 光 面 積 (mm ²)	1×1	2×7	11×	12×	20×
最 適 使 用 電 圧 (V)	100(AC, DC)	100(AC, DC)	50(AC, DC)	100(AC, DC)	100(AC, DC)
最 大 許 容 電 圧 (V)	300(AC, DC)	300(AC, DC)	100(AC, DC)	300(AC, DC)	300(AC, DC)
最 大 許 容 電 源 周 波 数 (kc)	1	1	1	5	5
最 適 負 荷 抵 抗 (k Ω)	1,000	200	10	25	5
感 光 度 (mA)	0.01~0.07	0.04~0.2	0.5~2.5	0.4~2.0	4~20
瞬 間 最 大 許 容 光 電 流 (mA)	0.4	2.5	5.0	20.0	100
運 転 最 大 許 容 光 電 流 (mA)	0.2	0.5	1.0	4.0	20
暗 電 流 (μA)	0.1以下	1以下	5以下	10以下	20以下
有 効 波 長 域 (Å)	3,500~5,500	5,000~7,500	5,000~7,500	5,000~7,500	5,000~7,500
応 動 お よ び 遅 延 時 間 (msec)	10以内	50以内	50以内	80以内	100以内
最 大 許 容 温 度 (°C)	60	60	60	60	60
瞬 間 消 費 電 力 (W)	0.1	0.25	0.25	1.0	2.5
連 続 消 費 電 力 (W)	0.02	0.05	0.05	0.2	0.5

(注) 感光度はいずれも A 光源に対するもので、PZC-3102 を除き 100 V, PZC-3102 は 10 V, また照度は PZC-1005 が 500 lx, PZC-3101, PZC-3102 が 100 lx, PZC-5102, 7102 は 50 lx の値である。

としておもに使われているほか、今後いろいろな用途がさらに開発されていくものと思われる。

最後に焼結形 CdS セルの特長を列記しておく。

- (1) 小形で 金属ケース に封入してあるから機械的にも じょうぶである。
- (2) 光電子増倍管に近い高い感度を有し、しかも信号対雑音比は ホトトギス よりはるかにすぐれている。
- (3) 光電管などに比較して温度特性が非常にすぐれており過負荷に対しても じょうぶであること。
- (4) 分光特性も可視光全域に広がっている。
- (5) 使用法がいたって簡便で、電池と マイクロアンメータがあればごく手軽に測定できる。
- (6) 寿命が半永久的である。

7. む す び

焼結形 CdS セルの試作研究を約1年にわたって続けてきたが、一応完成したのでここに光電流、暗電流などに関する一般的特性について総括的に述べ、また現在までに開発された各 CdS セルについての諸性質を報告した。

以上からわかるように現在各種 ホトリレー などに使われている光電管、セル光電池、Ge ホトトギス などと比較して、用途によっては非常にすぐれているので今後各種応用装置、測定関係などに利用されていくだろうことはまちがいないと思われる。

おわりに研究を進めるにあたり、いろいろご指導を賜わった八十田物理第二研究室長、また試作に対し協力いただいた樋野試作部第三工場主任、そのほか関係者に心から感謝いたします。(昭 36-5-2 受付)

参 考 文 献

- (1) 山下・伊吹: 応用物理, 28, 253 (昭 34).
- (2) T.S. Moss: Photo conductivity in the Element.
- (3) Bube: Photo conductivity of Solids, John, Wiley p. 160.

電力系統における並列リアクトルの適用

研 究 所 馬 場 準 一*・森 本 英 男**

Application of Shunt Reactors in High Voltage Power System

Research Laboratory Jun-ichi BABA・Hideo MORIMOTO

Long distance, extra-high voltage transmission lines or cable systems are becoming on a great scale year after year. This makes the charging capacity of the line enormously large. Under the circumstances, installations of shunt reactors are found very appropriate from technical and economical viewpoint to compensate the charging current. The writers make a report on their study how to determine the capacity of shunt reactors with regard to various problems such as the relation between the charging capacity and SIL, BIL of systems, line distance and a number of generators in operation.

1. ま え が き

長距離、超高圧送電線、あるいは、ケーブル系統の増大に伴い、線路の充電容量はいちじるしく増大し、これを補償するために並列リアクトルが適用されるようになってきた。ここでは、送電線の充電容量と SIL との関係を調べ、つぎに

系統の BIL
線路互長
発電機運転台数 } などを与えて、並列リアクトルの容

量を決定する方法について述べ、あわせて並列リアクトルの経済性について言及した。

2. 充電容量と固有送電容量 (SIL) との関係

補償されていない線路の充電容量と SIL との関係を述べよう。

線路電圧 V (線間値)
正相インダクタンス L } (単位長当たり) (2.1)
正相容量 C

運転角周波数 $\omega = 2\pi f$

運転周波数 f

線路互長 l

とすれば、

充電容量
 $Q_c = \omega C V^2 l$ (2.2)

$[SIL] = V^2 / \sqrt{LC}$ (2.3)

$\therefore Q_c = \omega \sqrt{LC} \cdot l \cdot V^2 / \sqrt{LC}$ (2.4)
 $= \omega \sqrt{LC} \cdot l [SIL]$

しかるに、

$\sqrt{LC} = 1/v$ v : 伝播速度 (2.5)

であるから、伝播速度と光速 v_c との比を k

$v/v_c = k$ (2.6)

とすれば、

$Q_c = \frac{\omega}{v_c} \frac{1}{k} \cdot l [SIL]$ (2.7)

$v_c = 3 \times 10^8$ km/sec であるから、

$Q_c = 1/k \cdot 1.05 \times 10^{-3} l [SIL] \cdots \cdots 50$ c/s 系 } (2.8)
 $= 1/k \cdot 1.26 \times 10^{-3} l [SIL] \cdots \cdots 60$ c/s 系 }

架空線の場合は、 $k=1$ であるから、50 c/s 系統では、 $Q_c = 1.05 \times 10^{-3} l [SIL]$ となり、大略 1,000 km の充電容量がその送電線の [SIL] に等しい。

60 c/s 系統では、大略 800 km の充電容量がその送電線の [SIL] に等しい。

ケーブルの場合は、 $k=0.5$ 、かつケーブルの Surge impedance は架空線の Surge impedance の約 1/10 であるから、大略 50 km の充電容量がその電圧の架空線の [SIL] に等しくなる。

3. 並列リアクトルの容量の決定

3.1 並列リアクトルの容量は次の2点を考慮して行なう

(a) 負荷シタ断時の機圧抑制

(b) 発電機の進相運転の防止

(a) の機圧抑制効果を期待するときには、並列リアクトルは線路に接続したままとなるから*さらに、

(c) 重負荷時の潮流の検討

を行なわなければならない。

3.2 計 算 式

(1) 負荷シタ断時の機圧上昇

送電線路計画のときには、リアクトルの設置しうる地点についても十分明確でないこともあり、また解析の手段の容易さから (このようにしても精度の損失は 1% 以内

*並列リアクトルを線路に接続したままにする理由は、

(a) Controlled Reactor によって Q を調整するときの時定数がかなり長く、故障時の過電圧を抑制しえない。

(b) Reactor の非線性をうまく用いればよいかも知れないが、この方向の研究は十分でない。また実績がない。

にとどまる) 分散して設置される並列リアクトル, 直列コンデンサを線路に一樣に分布するものとして, 計算を行ない, 線路の補償度を決定する。

負荷シャ断時の機上上昇は, つぎのような条件に対して算出される。

(a) 送電端変圧器出口で 1.0 p.u. の電圧で, $P+jQ$ なる電圧を送電中に,

(b) 受電端にて, 一線地絡が発生して負荷をシャ断, 直列コンデンサ補償の線路では, すべてのコンデンサの保護チャップが放電したとして計算する。

(c) 受電端の健全相の電圧上昇が避雷器の定格電圧を決定する。

(d) 避雷器の定格電圧よりその放電電圧が定まり, これより BIL が求まる。

このような考え方に従えば, 系統の BIL は下記の式で算出される。

$$(\text{系統の BIL}) = k_1 k_2 k_3 k_4 e' (1 + \text{margin}) V_{\max} \quad (3.1)$$

e' : 故障直前の発電機(系統)の背後起電力(p.u.)

k_1 : 送端電圧 V_S / 背後起電力 e'

k_2 : 受端電圧 V_R / 送端電圧 V_S

k_3 : $\left\{ \begin{array}{l} \text{系統が有効接地ならば} \dots\dots\dots 0.8 \\ \text{系統が有効接地でないならば} \dots\dots\dots 1.0 \end{array} \right\}$ 無負荷線路の値

k_4 : 避雷器定格電圧と放電電圧の比

V_{\max} : 最高線路電圧(線間値 kV_{eff})

$k_0 \sim k_4$ の値については付録を参照されたい。

(2) 潮流の検討

前項において, BIL を与えられた値に収まるようにこれを決定した。つぎに系統の負荷, 負荷率などを与えてもつとも経済的な潮流を計算し, 受電端進相容量などを決定するわけであるが, これに関しては別の機会にゆずる。

(3) 発電機進相運転の防止

この問題はケーブル系統によって給電する都市の火力発電機に対して問題となることが多い。計算式は下記のとおりである。

系統の軽負荷時の電力 P とそのときの受端の電圧 V_R を与え, さらに, 送電電圧を V_S とすれば, このとき,

$$P = 1/|B| V_S V_R \sin \theta$$

$$\therefore \theta = \sin^{-1} \left(\frac{P|B|}{V_S V_R} \right) \quad (3.2)$$

$$\therefore \theta_S = 1/|B| [A|V_S|^2 - V_R V_S \cos \theta] \quad (3.3)$$

一方発電機の進相容量を Q_G とすれば, 送端における Q_S は,

$$Q_S \geq -Q_G - \sqrt{P^2 + Q_G^2} \tan \phi = Q_G - \lim \quad (3.4)$$

でなければならない。

もし式(3.4)の満足されないときは λ をます。

4. 計算の Flow chart

以上述べてきたところから従って, 計算の Flow chart を示せば, 図 4.1 のとおりである。

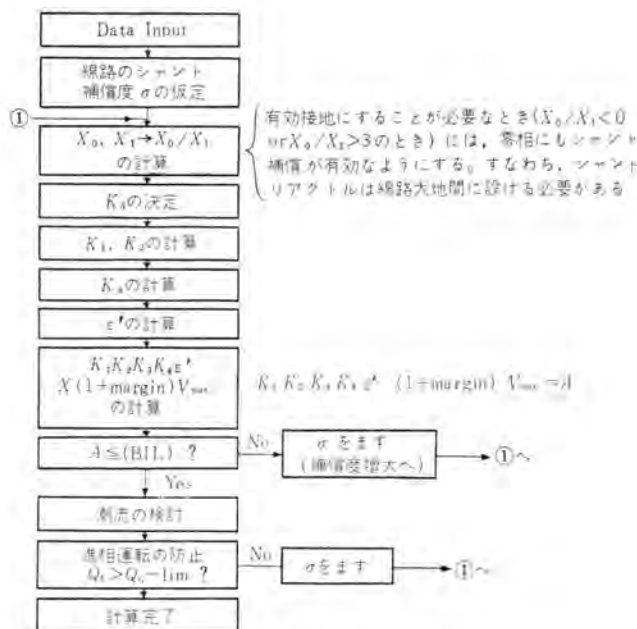


図 4.1 Flow chart
Fig. 4.1 Flow Chart.

5. 例題

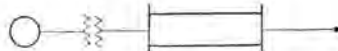


図 5.1 送電系統
Fig. 5.1 Power transmission system.

60 c/s 直接接地系

送端における $x_0/x_1 = 0.5$

線路 2 回線 300 km

固有のサージインピーダンス $\left\{ \begin{array}{l} \text{正相 } 320 \Omega \\ \text{零相 } 770 \Omega \end{array} \right.$

固有の伝播速度 $\left\{ \begin{array}{l} \text{正相 } 3 \times 10^5 \text{ km/sec} \\ \text{零相 } 2.6 \times 10^5 \text{ km/sec} \end{array} \right.$

固有の SIL 500 MVA/回線

最高運転電圧 420 kV (nominal 400 kV)

最小発電時の送端短絡容量 3,000 MVA

最小発電時の送端潮流 (750+j0) MVA

BIL 1,550 kV

計算方法

Flow chart に従って計算すれば下記のとおりである。

(1) Data Input

2 回線の SIL $2 \times 500 \text{ MVA} = 1,000 \text{ MVA}$ を Base とする。

$$x_{s1} = \frac{1,000}{3,000} = \frac{1}{3}$$

$$x_{s0} = 1/3 \times 0.5 = 1/6$$

$$\text{直列補償度 } \varepsilon = 0$$

(2) まず, $\sigma = 0$ として計算する。

$$\beta_1 l = \frac{\omega l}{v_1} = \frac{377 \times 300}{3 \times 10^5} = 0.377$$

$$\beta_0 l = \frac{\omega l}{v_0} = \frac{377 \times 300}{2.6 \times 10^5} = 0.435$$

(3) x_0, x_1 を求める

2 回線の BIL を Base としているから、

$$\omega_1=1.0 \quad \omega_0=\frac{770}{320}=2.4$$

$$X_1=\frac{1/3+\tan 0.377}{1-1/3\tan 0.377}=\frac{1/3+0.394}{1-1/3\times 0.394}=0.836$$

$$X_0=\frac{1/6+2.4\times \tan 0.435}{1-1/6\times \tan 0.435}=1.37$$

$$X_0/X_1=1.64$$

(4) $0 < X_0/X_1 < 3$ だから $k_3=0.8$

(5) k_1, k_2 の計算

$$k_1=\frac{1}{1-1/3\times \tan 0.377}=1.15$$

$$k_2=\frac{1}{\cos 0.377}=1.075$$

(6) k_4 の計算

$1=5 \text{ kA}$ として Beek の表を用いれば、

$$k_4=3.67$$

(7) ε' の計算

$$P_s=\frac{750}{1,000}=0.75 \quad Q_s=0$$

$$\varepsilon'=\sqrt{1+(0.75\times 1/3)^2}=1.03$$

(8) A の計算

$1+\text{margin}=1.075$ として

$$A=1.15\times 1.075\times 0.8\times 3.67\times 1.03\times 1.075\times 420=1,700 \text{ kV}$$

(9) これは、与えられた BIL 1,550 kV を超過する。

(10) そこで、 σ をふやしてみる。

$\sigma=1.05$ として上と同様の計算をすすめると、

$$X_1=0.77$$

$$X_0=1.37$$

$$X_0/X_1=1.78$$

$$k_3=0.8$$

$$k_1=1.06 \quad k_2=1.03$$

$$\therefore A=1.06\times 1.03\times 0.8\times 3.67\times 1.03\times 1.075\times 420$$

$$=1,500 \text{ kV} \cdots \cdots \text{与えられた BIL 1,550 に近い。}$$

$$\therefore \sigma=0.5\sim 50\% \text{ の補償を採用する (200 MVA)}$$

6. 並列リアクトルの経済性

前節において、系統の BIL は

$$[\text{BIL}]=k_1 k_2 k_3 k_4 \varepsilon' (1+\text{margin}) V_{\text{max}} \cdots \cdots (6.1)$$

で示されることを述べた。

このうち

k_3 : 接地の有効度によって定まるもので、とくに並列リアクトルによって、影響をうけるものではない。

k_4 : これもとくに並列リアクトルの適用によって、影響をうけない。

したがって、

$$[\text{BIL}]=k_1 k_2 \times (\text{一定定数})$$

と考えることができる。

また、275 kV 以上の超高圧計では、BIL の標準値は、

電力系統における並列リアクトルの適用・馬場・森本

1,175 kV, 1,300 kV, 1,425 kV, 1,550 kV, 1,675 kV, 1,800 kV のような系列であって、各 Step では、ほぼ 10% ましになっている。

そこで並列リアクトルの経済性を下記のように考える。

k_1, k_2 の値を無補償 ($\sigma=0$) の値から 10% さげるのに必要な補償容量を Q_1 とし、送電線の送電電力を N [SIL] とすれば、BIL の step reduction による利益は、送受両端の変圧器容量が $2N$ [SIL] であるから、 $2N$ [SIL] $\times \gamma$, γ は BIL の one step reduction によるコスト低減率、したがって、

Q_1 のコスト $\leq 2N$ [SIL] のコスト $\times \gamma$

であれば、並列リアクトルの設置が経済的にも認められる。

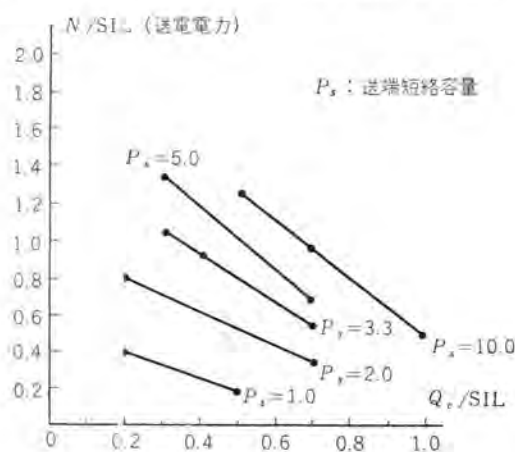


図 6.1 リアクトルの経済性
Fig. 6.1 Economy of reactor.

図 6.1 に $\gamma=0.1$, Reactor cost/Transformer cost=1.0 としたときの、補償の有利となる送電電力 N (SIL unit) を与える曲線を示してある。

7. 異常現象の防止 (単相再開路時の過電圧防止)

超高圧長距離送電線においては、並列リアクトルを設置して、線路の充電容量の補償を行なうが、このような線路において単相再開路を行なうと、並列リアクトルと線路の線間の C とが直列共振を起こして、故障線の回復電圧が異常に高くなり、故障点のアーカの消弧不能を招き単相再開路を不成功にしてしまう。

このような共振異常電圧の発生原因は、正相容量 C_1 と零相容量 C_0 とが異なり、したがって正相回路の補償度と零相回路の補償度とが異なるために発生するものである。これらの異常電圧は、したがって、正相容量と零相容量を等しくするように零相コンデンサをおく方法 (図 7.1) あるいは並列リアクトルの正相値と零相値とを C_1, C_0 に応じて変えるように YY 接続の結果を用いる方法 (図

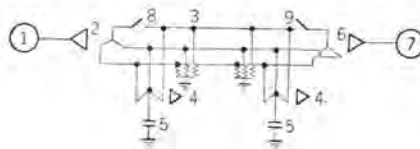


図 7.1 零相コンデンサ
Fig. 7.1 Zero phase sequence capacitor.

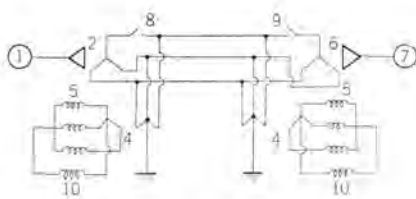


図 7.2 特殊並列リアクトル
Fig. 7.2 Special shunt reactors.

7.2) によって、ほとんど 0 とすることができる。(特許出願中)

8. む す び

電力系統の運用上の見地から、並列リアクトルの適用について、技術的ならびに経済的考察を行なったものである。わが国においても、超高圧送電の計画されているとき、この報告がいくらかでもお役に立てば幸いである。(昭 36-5-8 受付)

付 録 1. 無 損 失 時 の 諸 公 式

分布回路において、直列損失 r 、並列損失 g を無視すると式は簡単になる。

この場合の方程式は下記のようになる。

(a) 線路定数

$$\left. \begin{aligned} Z &= \omega L (1 - \varepsilon) \\ Y &= \omega C (1 - \sigma) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (付 1)$$

サージインピーダンス

$$W = \sqrt{\frac{L}{C}} \sqrt{\frac{1 - \varepsilon}{1 - \sigma}}$$

伝播定数

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \sqrt{ZY} = j\omega \sqrt{LC} \times \sqrt{(1 - \varepsilon)(1 - \sigma)} = j\beta \\ \beta &= \omega \sqrt{LC} \times \sqrt{(1 - \varepsilon)(1 - \sigma)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (付 2)$$

(b) 線路の方程式

$$\left. \begin{aligned} V_S &= V_R \cos \beta l + jI_R W \sin \beta l \\ I_S &= j \frac{V_R}{W} \sin \beta l + I_R \cos \beta l \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (付 3)$$

$$\left. \begin{aligned} V_R &= V_S \cos \beta l - jI_S W \sin \beta l \\ I_R &= -j \frac{V_S}{W} \sin \beta l + I_S \cos \beta l \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (付 4)$$

(c) 線路端よりながめたインピーダンス
絡端インピーダンス $Z = jX$ としたときには、送端からながめたインピーダンス Z_S は、

$$Z_S = j \frac{X + W \tan \beta l}{1 - \frac{X}{W} \tan \beta l} \dots\dots\dots (付 5)$$

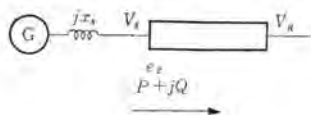
(d) 潮流関係の公式

$$\left. \begin{aligned} |A| &= \cos \beta l \\ |\dot{B}| W \sin \beta l \\ Q_A &= \theta_R = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (付 6)$$

$$\left. \begin{aligned} P_R &= 1/|B| V_S V_R \sin \theta \\ \theta_R &= 1/|B| (V_S V_R \cos \theta - |A| V_R^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots (付 7)$$

$$\left. \begin{aligned} P_S &= 1/|B| V_S V_R \sin \theta \\ Q_S &= 1/|B| (|A| V_S^2 - V_R V_S \cos \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots (付 8)$$

付 録 2. 定数 k_0, k_1, k_2, k_3, e' について



付図 1 送電系統

(a) 系統の背後起電力 e'

$$e' = e_t \frac{jx_s}{e_t} (P - jQ) \dots\dots\dots (付 9)$$

$$\therefore |e'| = \sqrt{\left(e_t + \frac{\theta x_s}{e_t}\right)^2 + \left(\frac{P}{e_t} x_s\right)^2} \dots\dots\dots (付 10)$$

(b) k_1

送端よりながめたインピーダンスは、 $-jW \cos \beta l$

$$\therefore k_1 = \frac{-jW \cos \beta l}{jX_s - jW \cos \beta l} = \frac{1}{1 - \frac{X_s}{W} \tan \beta l} \dots\dots\dots (付 11)$$

(c) $k_2 = 1/\cos \beta l \dots\dots\dots (付 12)$

(d) k_3

正相、零相インピーダンスを計算して求める。とくに線路を無損失したときは、

$$0 < X_0/X_1 < 3 \text{ ならば } k_2 = 0.8$$

$$X_0/X_1 > 3, \text{ または } X_0/X_1 = 0 \text{ ならば } k_1 = 1.0$$

とする。

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \frac{x_{s1} + W_1 \tan \beta_1 l}{1 - \frac{x_{s1}}{W_1} \tan \beta_1 l} \\ X_0 &= \frac{x_{s0} + W_0 \tan \beta_0 l}{1 - \frac{x_{s0}}{W_0} \tan \beta_0 l} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (付 13)$$

(c) k_4

k_4 は アレスタ の防電電流によって異なる。

$$k_4 = k_4(I)^a V \text{ rating} \dots\dots\dots (付 14)$$

の形式であらわされる。

k_4 : 定数

I : 放電電流

$V \text{ rating}$: アレスタ定格電圧

Beck : Lighting Protection for Electric Systems p. 154 の例では、Station Type Arrester に対し、下記の数字が出ている。

$$k_4 \quad 3.67 \quad 3.96 \quad 4.35$$

$$I \quad 5 \text{ kA} \quad 10 \text{ kA} \quad 20 \text{ kA}$$

このときには

$$k_4 = 3.02 (I)^{0.122}$$

帝都高速度交通営団日比谷線用 3000形電車の性能試験結果

帝都高速度交通営団
三菱電機株式会社伊丹製作所

宇田川 銑造
小川 清一*・北岡 隆**・太田 宣次***

Performance Test Results of Type 3,000 Electric Cars for Hibiya Line of Teito Rapid Transit Corporation

Teito Rapid Transit Authority

Mitsubishi Electric Manufacturing Company, Itami Works

Keizō UDAGAWA

Seiichi OGAWA・Takashi KITAOKA
Nobutsugu ŌTA

Outgrowth of traffic congestion on the ground has led to the development of underground railways in great cities. This is a great help to commuters. But at the junction of the surface facilities to the subway another Jam confronts the passengers unless some measures are taken. To solve this problem new underground railway cars have been built so as to be able to run both the underground track and suburban tracks. They combine high speed performance as a surface car and high acceleration and deceleration characters as underground cars. Built of stainless steel, the car is provided with pantograph collectors. The control equipment is of a program control together with provision of ATC. Performance test results are very satisfying, particularly ATC being better than anticipated.

1. ま え が き

最近大都市の交通事情は急激に悪化し、路面での交通機関は麻痺状態に近くなってきている。したがってこれを緩和するものとしては地下鉄道が唯一の手段である。すなわち地下鉄道は専用軌道を有しているので路面の場合のように各種の制限を受けることがなく高速運転が可能であり、また車両の定員も多いから輸送量も格段に大きくできるわけである。

ところが、さらに考慮すべき点がもう一つある。それは郊外電車と市内交通機関の接続の問題である。すなわち郊外より運ばれてきた通勤客が市内交通機関と乗り換える接続駅の混雑が大きな問題であって現在もっとも大きなネックとなっているものである。この問題を解決しようとするのが、郊外電車の地下鉄道への乗入れであって帝都高速度交通営団日比谷線は最終的には中目黒、北千住を結ぶことにより、東急、東武両電鉄路線をつなぐことができ、郊外からの通勤客は都心まで乗換なしで直行できることになり輸送はきわめてスムーズに行なわれることになる。

つぎにこれらの路線に使用する車両であるが、上記のような役割を果たすためには、郊外電車としての高速性能と、地下鉄用としての高加減速性能をあわせ持つ必要があることはもちろんのこと、車両および各種部品が双方の必要条件を満たしていなければならない。

高加減速性能をもたせることにより表定速度を向上で



図 1.1 日比谷線 3000 形車全景

Fig. 1.1 Complete view of type 3000 car for Hibiya line.

きるが、これによる乗心地の悪化があってはならない。日比谷線用新車は超多段を有するパーコ方式に加減速度のプログラムコントロール方式を適用することによりこの点を解決した⁽¹⁾。

またさらに運転ヘッドを短縮することにより輸送量を増大することができるが、これに対して追突の危険性がでてくる。この解決案としてキロサイクル連続誘導式軌道信号による自動列車制御装置を使用している⁽²⁾。

以下これらの性能試験結果について報告することにする。

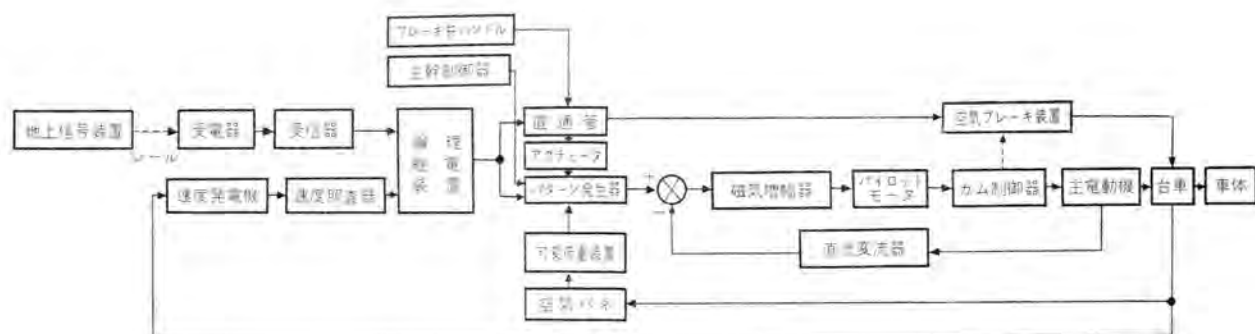


図 2.1 制御装置および ATC 装置 ブロック図

Fig. 2.1 Control apparatus and ATC apparatus block diagram.

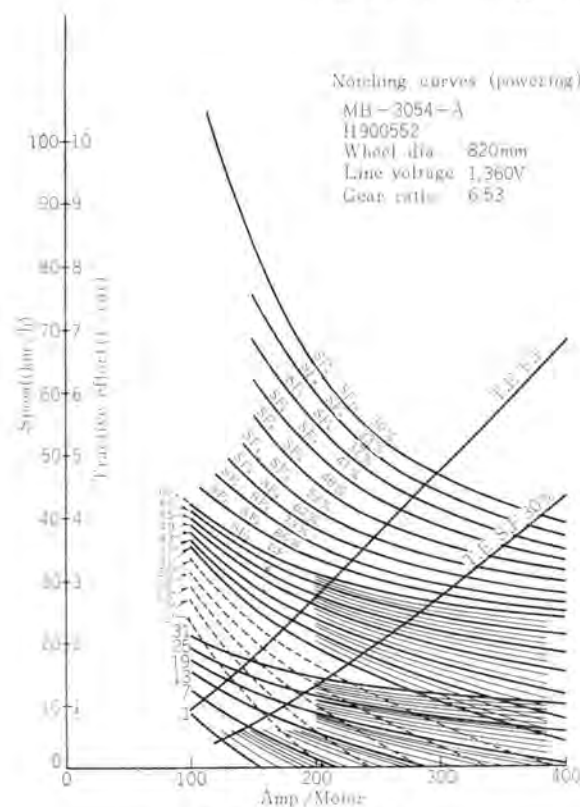


図 2.2 力行ノッチ曲線

Fig. 2.2 Power running notching curve.

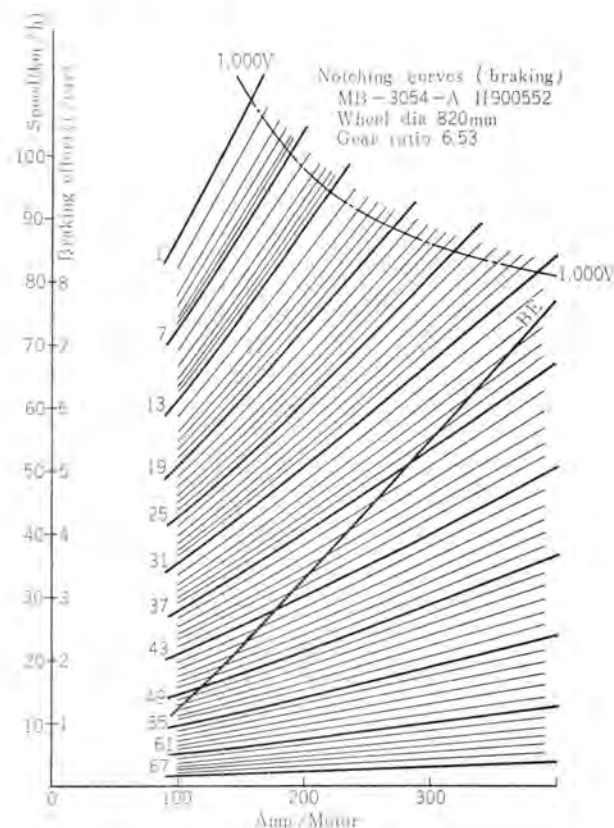


図 2.3 ブレーキノッチ曲線

Fig. 2.3 Braking notching curve.

2. 諸元と構成

編 成	CM ₁ -CM ₂ または CM ₁ -M ₂ -M ₁ -CM ₂ 固
定編成	
定 員	150 人
自 重	34 t
最高速度	100 km/h
加減速度	$\alpha=4$ km/h/s または 3.5 km/h/s $\beta=4$ km/h/s (常用) 4.5 km/h (非常)
車輪径	860 mm
主電動機	MB-3054-A 形 74 kW (連続) 8 台
制御装置	ABFM-108-15 MDH 形 応荷重超多段 プログラムコントロール方式
自動列車制御装置	SD 13 A 形速度照査器 CMR-120-1 形論理継電装置

架線電圧	1,500 V
集電方式	パンタグラフ による剛体架空線式
制御電圧	AC 200 V 120c/s DC 100 V (バッテリー付)
空気ブレーキ	HSCD 方式 No. 60 ユニットブレーキ (レゾンモールドシュー 使用)
台 車	空気パンタ台車 使用
構成	図 2.1 のブロック図 で示されている。また図 2.2, 2.3 は超多段の ノッチ曲線 を示したものである。

3. 主電動機および制御装置

主電動機は地下鉄道用としての高加減速性能と郊外電車用としての高速性能を兼ねそなえた特性をもたせる必

要がある。したがって過負荷時の整流がよいこと、熱的な余裕をもつこと、弱め界磁率の高いこと、過電圧強度が大であることなどの考慮が払われている。試験結果も非常によく、30% 弱め界磁率は楽々で、界磁のエポキシモールドによる効果も顕著であり、過電圧 1,000 V も十分保証されることがわかった。

この新車は前述のように高性能化を第一として設計されているので、制御装置もつぎのような新しいアイデアがもりこまれている。

(1) 乗心地の改善

パーコヤによる超多段方式
加減速度 プログラムコントロール
特殊直並列渡り
超低速までの電気ブレーキ
戻しステップおよび強め界磁 シャ断 (力行)、弱め界磁 シャ断 (電気ブレーキ) の併用

(2) 無接点化

直流変流器、制御用磁気増幅器によるパイロットモータの無接点制御

(3) 器具の小形化

双投カムスイッチの採用など

力行、ブレーキとも パターンに対する追従性および限流精度は非常によく制御安定度も高いことが認められた。

図 3.1 は力行試験のオシログラムで磁気増幅器の速応性が十分満足すべきものであることがわかる。この程度の超多段となると主回路電流のステップ移行時の電流ピークはほとんどなくなり連続制御とまったく変わらない。

図 3.2 は加速計によって起動時の加速度を示したものである。弱め界磁起動による抵抗ステップ節減効果が顕著であることがわかる。また特殊直並列渡りを行なっているため渡り際のショックはまったくない。なお、図 3.1 は強め界磁 シャ断を行なっているが、減流効果は大である。また全界磁および弱め界磁率の小なるときは戻しステップシャ断を行なうようになっており、図 3.3 はこれを示す。

つぎに電気ブレーキであるが直巻電動機を用いた発電ブレーキ回路は自励式の回路となっており、立上がり制御

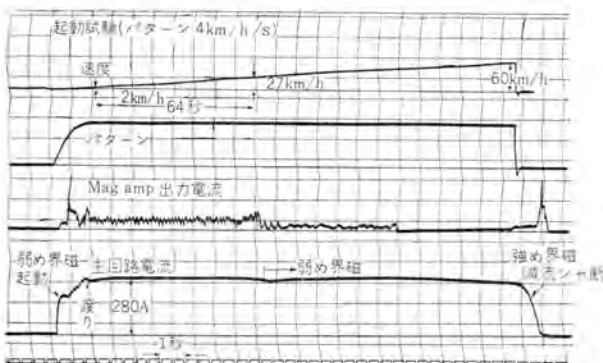


図 3.1 起動試験オシログラム

Fig. 3.1 Starting test oscillogram.

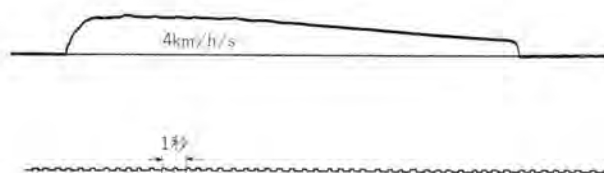


図 3.2 起動試験加速度オシログラム

Fig. 3.2 Starting test acceleration oscillogram.

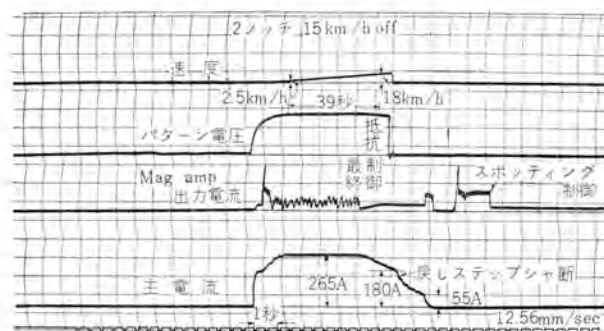


図 3.3 力行戻しステップシャ断オシログラム

Fig. 3.3 Reversing step rupturing test oscillogram.

が力行の場合に比べてむずかしいので、惰行中自動的にスポッティングを行なうようにしたほか、磁気増幅器回路にも特別の考慮が払われている。図 3.4、3.5 はそれぞれ電気ブレーキ試験のオシログラムを示している。

図 3.6 はパターン指示に対する精度を示したものである。また図 3.7 はブレーキ初速とブレーキ距離との関係を示す。減速度のプログラムコントロールを行なうと乗心地は格段によくなるが、等価空走距離が少し大きくなるので、

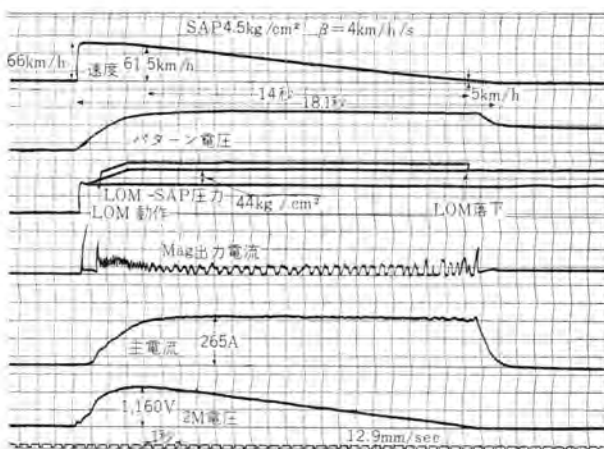


図 3.4 電気ブレーキ試験オシログラム

Fig. 3.4 Dynamic brake test oscillogram.

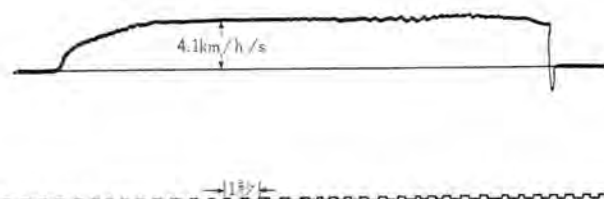


図 3.5 電気ブレーキ減速度オシログラム

Fig. 3.5 Dynamic brake retardation oscillogram.

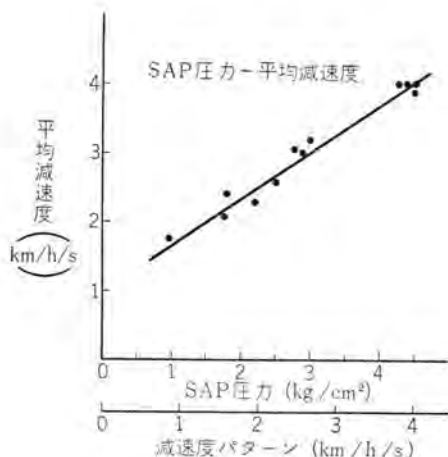


図 3.6 SAP 圧力—平均減速度特性

Fig. 3.6 SAP pressure—mean retardation characteristic.

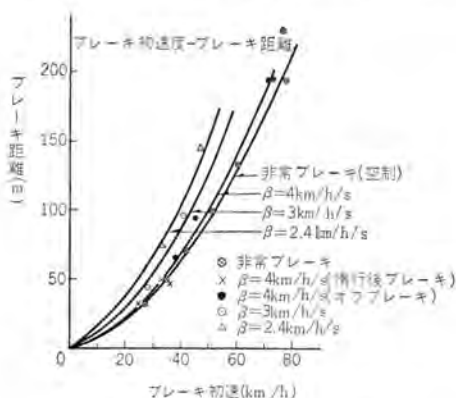


図 3.7 ブレーキ初速度—ブレーキ距離特性

Fig. 3.7 Braking initial speed—braking distance characteristics.

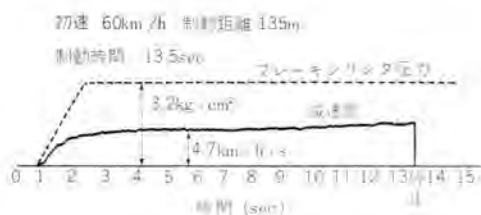


図 3.8 非常ブレーキオシログラム

Fig. 3.8 Emergency brake test oscillogram.

立上がり時間は乗心地を害しない程度で短くする必要がある。しかし試験結果は十分満足すべきものであることが証明された。また超低速での電気ブレーキのブレーキ弁ハンドル操作に対するレスポンスもきわめてよく、停止位置の調整も容易であることが確かめられた。

また空気ブレーキはHSCD方式であるが、シューは地下鉄用として最適と考えられるレジンモールドを使用しているので非常ブレーキをかけても従来の電車のような停止直前のショックはずっと少なく、反対にブレーキ距離は短い。図 3.8 は非常ブレーキのときの減速度を示したもので、きわめてスムーズであることがわかる。

4. 自動列車制御装置 (ATC 装置)

前に述べたようにこの新車には ATC 装置を備えているが、その構成は図 2.1 に示したブロック図に含まれている。ATC 装置は地上信号を車上で受信して信号の指示する速度に制限することが目的であるからつぎの条件を満足しなければならない。

表 4.1 信号と制限速度

信号区間	6 T	5 T	4 T	3 T	2 T	1 T	切換区間
信号表示	G	YG	Y	YY	R ₁	R ₂	
信号入力	10 c/s (A)	15 c/s (B)	25 c/s (C)	35 c/s (D)	0	85 c/s (x)	
全ブレーキ	—	—	40 km/h	25 km/h	確認後 15 km/h	D 信号確認後 15 km/h	
非常ブレーキ	—	—	—	—	15 km/h	絶対停止	

- 故障が皆無であること。
- 地上信号が確実に車上へ伝達されること。
- 空走距離を減らすために動作上のむだ時間が短いこと。
- 各種の外部条件が変化しても精度が悪くならず、経年変化もないこと。

故障を皆無とするために各器具はすべて無接点化されている。すなわち発電機は誘導子形とすることにより可動部分はまったくなくまたしゅう動部分もない。受信器、速度照査器はトランジスタ化され論理継電装置もサイバックおよび磁気増幅器を用いることにより無接点化してある。ただし最終段の全ブレーキ継電器、非常ブレーキ継電器は従来の電車用有接点継電器を用いているが、これは経済上ならびに回路上の点よりやむをえず用いた。しかし常時励磁使用により故障時安全側となるように考慮してある。なかでも重要なことは各装置間はずべて無接点接続ができるよう入出力レベルを考慮してある点で、トランジスタ回路とサイバック回路の接続はお互いに悪影響を与えないように特殊の配慮がしてある。試験結果も各部の動作上の協調が十分とれていることを示している。

つぎに地上信号の車上への伝達の問題であるが高周波連続誘導式で周波数偏位方式を採用しているの、SN 比がよく、送信器の近傍および末端いずれの点でも確実に受信できることが確認された。また軌道回路絶縁継目での受信および、信号転換時の無信号時間などの問題も支障とはならないことがわかった。図 4.1 は車上での受信状態を示すものである。

動作上のむだ時間については、有接点継電器式と異なり速度照査器、論理回路などのいずれもきわめて短時間動作を行なうことはもちろんでありむだ時間は無視できる程度である。問題となる点は地上信号系統からくるもので、軌道回路絶縁個所の無信号区間および信号転換時の無信号時間の問題が当初懸念されたが、前者については絶縁区間に重畳回路を付加することによりまた後者に

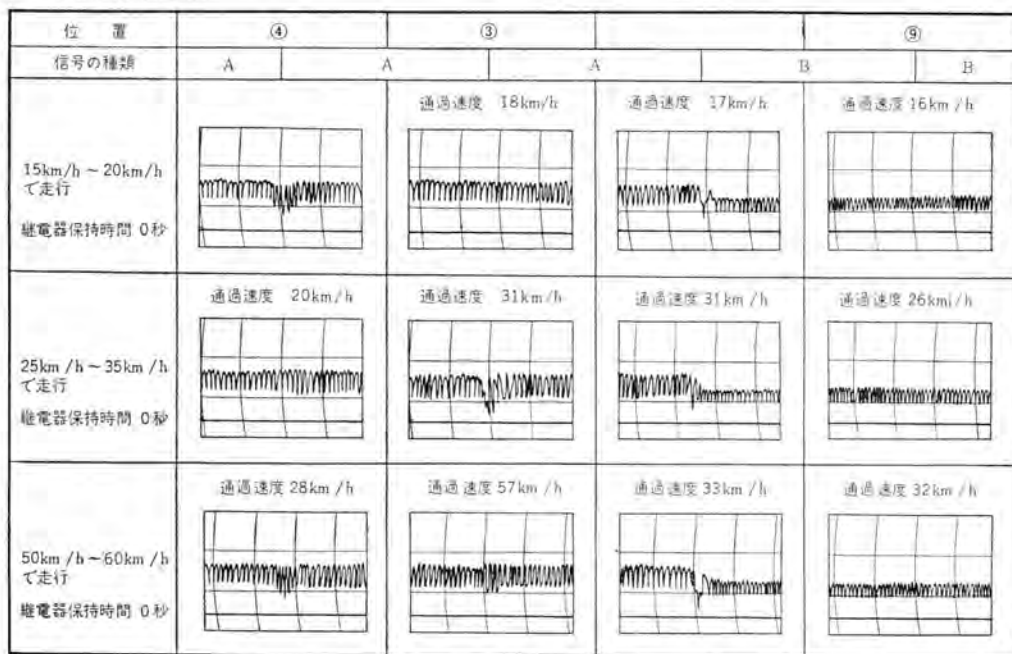


図 4.1 信号接続区間での受信器出力

Fig. 4.1 Receiver output on a section of rail circuit.

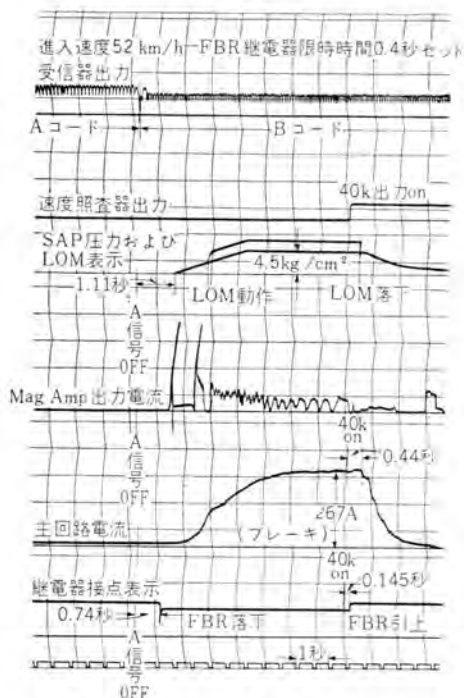


図 4.2 ATC による速度制限 オシログラム

Fig. 4.2 Speed limit test oscillogram by means of ATC.

についても転換時間を極力小さくするよう考慮した結果、これに基づく論理回路での必要むだ時間もきわめて小にすることができた。したがって地上信号送信後から考えた空走時間も実用上問題とならない程度である。

ATC 装置の性能を決定するものの一つとして速度検知精度があるが、トランジスタを用いた回路の共通の問題として温度の広範囲の変動に対する誤差の増加がある。

この照査器では移相器と位相検波回路を組合わすことにより周波数基準式の動作を行ない安定な検知が可能で、速度発電機出力、電源電圧の変動、外部温度条件の変化に対して検知誤差は 2% 以内であることが確かめられた。もちろん車輪径補正も行なえるようになっている。

このほか地上信号設備区間より非設備区間へ乗出す場合は変調周波数 85 c/s の X 信号を受けると論理回路の記憶素子がこれを記憶し ATC 装置の動作を停止するようになっている。またふたたび設備区間に進入すると自動的に復帰するようになっているが、この動作も完全であった。ただし地上路線で ATC 以外の目的で地上信号を流している区間での誤動作がないかどうかはさらに十分の検討を要すると思われる。

5. む す び

日比谷線は昭和 36 年 3 月開通以来、各種の新しいアイデアを取り入れた電車として斯界の注目をあび好評のうちに営業運転をつづけているが、これらの一端をここに紹介した次第である。

幸いにして現車試験の結果も予期以上の好成績をおさめたが、技術は日進月歩のときであるから、今後なお、いろいろの研究すべき課題が残されていると考えられる。今後関係各方面よりのご指導をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 北岡：電車のプログラムコントロールと無接点化「三菱電機」, 35, No. 3, p. 44 (昭 36).
- (2) 小原・北岡：自動列車制御装置「三菱電機」, 35, No. 3, p. 51 (昭 36).

直列インバータ総論 (5)

—容量性回路網にキ電する場合の基本形回路の定常特性—

研 究 所 河 合 正*・杉 本 盛 行*

General Aspects of Series Inverters (Part 5)

—Steady State Characteristics of Prototype with Capacitive Load Network—

Research Laboratory Tadashi KAWAI・Moriyuki SUGIMOTO

Theoretical and experimental studies have been made on steady state characteristics of prototype of series inverters with capacitive load network. With analysis on the assumption of the load voltage being of purely sinusoidal wave, theoretical expressions have been derived on the behavior of the inverter and general operating characteristics of the complicated inverter circuit have been made understandable with clarity through the numerical evaluation by means of a computer. The results of experiments verify the validity of the analysis and attest its applicability to the problems, thus contributing to the improvement of the inverter a great deal.

6. 容量性回路網にキ電する場合の 基本形回路の定常特性

抵抗負荷や誘導負荷の場合については前報告⁽¹⁷⁾までで論議を終わった。しかし、実用器では負荷と並列にコンデンサ（以下 C_p と記す）を入れ、 C_p や負荷で構成される出力母線中の回路全体（以下負荷側回路とよぶ）のインピーダンスをある程度容量性にしておくのが普通のやり方となっているが⁽⁸⁾⁽⁹⁾、回路構成が複雑となるため、実験や理論のいずれにたよるにせよその特性の全般をつかむのは容易なことではない。幸いに以下で述べるような簡便な近似理論が非常によい見通しを与えてくれるので、IBM 650 によるその計算結果を用いて特性の全般を概略解説し、その後で実験結果の一部を引用して理論との照合や現象の補足説明を行なうこととしよう。

この場合の動作様式も今までの場合と同様に、強制転流、臨界、自然転流の三状態に分類できる。第一のものは実用上なるべく避けたい状態ではあるが、解析の上では解の不確定性などの問題があって少し解説を加える必要があると思われるので、これからまず論じることとする。

6.1 強制転流状態

本文では容量性の負荷側回路の場合を一般的に取扱う関係上、負荷側回路の構成のいかんを最初は問題にせず、単にその端子電圧（図 6.1 の e_0 ）を純正弦波であると仮定し、その電圧の実効値および放電管点弧位相に対する位相差を図 6.2 のように E_0, γ で表わす。 E_0, γ は回路構成や運転条件のいかんによって従属的に変化する量であるが、ここではこれらを先に与えて問題を解く。

さらに本節では放電管の強制転流は抵抗負荷のときと同様に瞬間的に行なわれるものとする。したがってインバータ出力電流 i_0 は転流の瞬間に極性が飛躍的に反転す

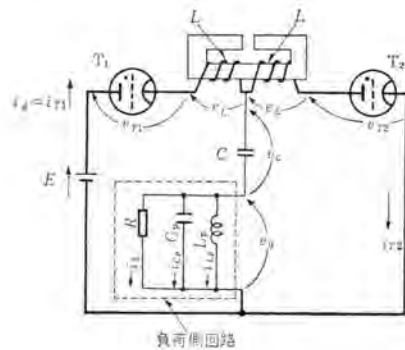


図 6.1 回路図
Fig. 6.1 Circuit diagram.

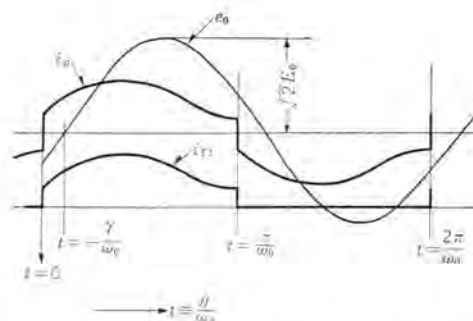


図 6.2 i_0 と e_0 の位相関係（この図の場合 $\gamma < 0$ ）
Fig. 6.2 Phase relation between i_0 and e_0 .
($\gamma < 0$ in this figure)

る方形波状電流となる。この第二の仮定が成り立つためには、負荷側回路に極性反転の妨げとなるようなインダクタンスがあってはならない。図 6.1 に例示した負荷側回路の場合には C_p が瞬間的な転流を可能にしている。この解析では、方形波状の i_0 が負荷側回路に流入してもその端子電圧 e_0 は正弦波状に保たれるとしているから、

転流の妨げとなるような インダクタンス は存在しないはずで、したがって第二の仮定は第一の仮定により自動的に満足されているといえる。

そこで、今までのように回路状態を放電管 T_1, T_2 がそれぞれ単独に通電している第一および第二状態の二つにわけて解を求めることとする。 i_0 , コンデンサ 電圧 v_C の第一, 第二状態における表式 i_1, i_2 , および v_1, v_2 はそれぞれの状態の始点を時間原点にとって

$$\frac{i_1}{I} = S f(\theta) + 2 \left(1 - \frac{v_1^{-0}}{E} \right) \sin \frac{\theta}{\mu} + \frac{i_1^{-0}}{I} \cos \frac{\theta}{\mu} \quad \dots (6.1)$$

$$\frac{i_2}{I} = S f(\theta) + \frac{2v_2^{-0}}{E} \sin \frac{\theta}{\mu} + \frac{i_2^{-0}}{I} \cos \frac{\theta}{\mu} \quad \dots (6.2)$$

$$\frac{v_1}{E} = \frac{S}{2} \varphi(\theta) + 1 - \left(1 - \frac{v_1^{-0}}{E} \right) \cos \frac{\theta}{\mu} + \frac{i_1^{-0}}{2I} \sin \frac{\theta}{\mu} \quad \dots (6.3)$$

$$\frac{v_2}{E} = -\frac{S}{2} \varphi(\theta) + \frac{v_2^{-0}}{E} \cos \frac{\theta}{\mu} + \frac{i_2^{-0}}{2I} \sin \frac{\theta}{\mu} \quad \dots (6.4)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} f(\theta) &= -\sin \gamma \sin \frac{\theta}{\mu} + \mu \cos \gamma \cos \frac{\theta}{\mu} - \mu \cos(\theta + \gamma) \\ \varphi(\theta) &= \sin \gamma \cos \frac{\theta}{\mu} + \mu \cos \gamma \sin \frac{\theta}{\mu} - \sin(\theta + \gamma) \\ S &\equiv 2\sqrt{2} E_0 \{E(1 - \mu^2)\}, \quad I \equiv E/Z_s \\ Z_s &\equiv 2\sqrt{L/C}, \quad \mu \equiv \omega_0 \sqrt{LC} \\ \theta &\equiv \omega_0 t \equiv 2\pi f_0 t \quad [f_0: \text{出力周波数}] \end{aligned} \right\} \quad \dots (6.5)$$

ただしこれらの式は $\mu \neq 1$ のときにしか成り立たない。 $\mu = 1$ のときの解はここでは省略する。

上記の式中の初期値 $i_1^{-0}, i_2^{-0}, v_1^{-0}, v_2^{-0}$ を求めて定常解を定めるための条件式は、

$$\left(\frac{i_1}{I} \right)_{\theta=\pi} = \frac{i_2^{-0}}{I}, \quad \left(\frac{i_2}{I} \right)_{\theta=\pi} = \frac{i_1^{-0}}{I} \quad \dots (6.6)$$

$$\left(\frac{v_1}{E} \right)_{\theta=\pi} = \frac{v_2^{-0}}{E}, \quad \left(\frac{v_2}{E} \right)_{\theta=\pi} = \frac{v_1^{-0}}{E} \quad \dots (6.7)$$

である。しかしながら、式 (6.6) と式 (6.7) とは実は同一内容のもので、これらを式 (6.1) ~ 式 (6.4) に代入しても次式

$$2 \cos \gamma = \tan \left(\frac{\pi}{\mu} \right) \frac{E}{\sqrt{2} E_0} \left(\mu - \frac{1}{\mu} \right) \quad \dots (6.8)$$

が得られるだけで初期値はすべて不確定である。式 (6.8) は二つの電源すなわち e_0 と E とが直列素子 L および C と放電管とをへだてて接続できるための電圧平衡の条件を示している。図 6.2 から推察できるとおり、おおざっぱにいうと $\cos \gamma$ は負荷側回路の力率に大体等しい。したがって式 (6.8) は μ が一定のとき E_0/E が負荷側回路力率によってほとんど一義的に定まることを示している。

上記のような解の不確性は、損失のないリアクトルに交流電圧を印加した場合印加時の初期条件の影響が永久に消滅しないために通常の意味での定常解が得られないのと同様な理由にもとづく。解を確定させるためには最初適当な回路損失を取り入れて方程式をとぎ、その後で損失項をゼロとおくのが常道であるが、ここではこの手続の詳細は省略して、

$$i_1^{-0} = i_2^{-0} = i \quad \dots (6.9)$$

とおく。これと前掲の諸式から、

$$v_1^{-0}/E + v_2^{-0}/E = 1 \quad \dots (6.10)$$

が得られる。したがって i_0 や v_C の第一, 第二状態の表式の間にはそれぞれ次の関係、

$$i_1/I = i_2/I \quad \dots (6.11)$$

$$(v_1/E - 1/2) = -(v_2/E - 1/2) \quad \dots (6.12)$$

が成り立つ。これらは i_0 が正負対称の波形、 v_C が直流分 $E/2$ と正負対称の交流分とから成る波形であることを示すもので、抵抗負荷時、誘導負荷時の定常状態でも成立する関係である。ただし、これだけでは解はまだ定まらない。 e_0 と E とは損失のない直列素子、通流角がつねに 180° であるような放電管をへだてて対向し電圧平衡状態にあるけれども、その間を流れる電流は与件としてあらかじめ与えられなければならない。ここでは、直流電源電流の平均値 I_d が与えられたものとする。すると、

$$I_d = C f_0 (v_2^{-0} v_1^{-0})$$

またはこれを無次元化した式

$$\frac{\mu}{\pi} \left(1 - \frac{2v_1^{-0}}{E} \right) = -\frac{\mu}{\pi} \left(1 - \frac{2v_2^{-0}}{E} \right) = \frac{I_d}{I} \quad \dots (6.13)$$

から v_1^{-0}, v_2^{-0} が定まり、また電流の初期値は次式、

$$\frac{i^{-0}}{I} = \frac{1}{1 - \cos(\pi/\mu)} \left\{ S f(\pi) + \left(1 + \frac{\pi I_d}{\mu I} \right) \sin \frac{\pi}{\mu} \right\} \quad \dots (6.14)$$

または式 (6.8) を用いて変形した式

$$\frac{i^{-0}}{I} = \cot \frac{\pi}{2\mu} \left(-S \sin \gamma + \frac{\pi I_d}{\mu I} \right) \quad \dots (6.15)$$

で与えられる。このようにして初期値は定まったから式 (6.1) ~ 式 (6.4) の電流電圧の表式は完全に確定し、以後これを用いてすべての特性を算出することができる。

ただし実際運転の場合、この強制転流状態に陥ることは運転の安定度の上からあまり好ましいことではないので、ここでは特性の計算は割愛しこの状態に陥るための条件だけを求めておこう。この条件は i^{-0} が正となることであるから、 $\mu > 1$ の場合次式

$$-S \sin \gamma + (\pi/\mu) (I_d/I) > 0 \quad \dots (6.16)$$

で表わされる。ここでインバータの入力と出力のつりあいの式、

$$E_0 I_{or} = E I_d \quad \dots (6.17)$$

$I_{or}: i_0$ の基本波中の有効成分の実効値

を用いて式 (6.16) を書き直すと、

$$\left(\frac{I_{or}}{E_0} \right) Z_s > \frac{4(E/\sqrt{2} E_0) \mu}{\mu^2 - 1} \frac{\pi}{\pi} \sin \gamma \quad \dots (6.18)$$

となる。ここで左辺は負荷側回路のコンタクトス を基準アドミタンス ($1/Z_s$) に対する比率で表わしたものである。一方式 (6.8) から μ のいかんにかかわらず $\cos \gamma > 0$ で γ は $\mu/2$ と $-\pi/2$ の間に二値を持っているが、放電管を電流が正方向に流れる正当な解としては γ は負値をとるべきである。このことは負荷側回路が進み力率となること、いいかえればそのインピーダンスが容量性となることを示している。したがって $\sin \gamma < 0$ で式 (6.19) は、

$$\left(\frac{I_{or}}{E_0}\right)Z_s > \frac{4(E/\sqrt{2}E_0)\mu}{\mu^2-1} \frac{\pi}{\pi} \sqrt{1-\cos^2\gamma} \dots\dots\dots (6.19)$$

または式 (6.8) を用いて,

$$\left(\frac{I_{or}}{E_0}\right)Z_s > \left(\frac{\mu}{\mu^2-1}\right)^2 \frac{8\cos\gamma}{\tan\frac{\pi}{2\mu}} \sqrt{1-\cos^2\gamma} \dots\dots\dots (6.20)$$

となる。上式は μ や負荷側回路力率が一定のとき、負荷側回路コンダクタンスが一定値を越すと強制転流状態になっていることを示している。この境界が臨界状態であって表 6.1 はこの際の数値例を示している。この表の結果は次節で吟味する。

表 6.1 臨界域における負荷側回路コンダクタンス ($\mu=2$)

$\sqrt{2}E_0/E$	$(360/2\pi)\gamma$ (度)	$\cos\gamma$	コンダクタンス
1.0	-41.25	0.763	0.558
1.5	-60	0.5	0.49
2.0	-68	0.374	0.392

$\mu < 1$ のとき、 e_0 を純正弦波とするかぎり強制転流状態は生じないと考えられる。このことを解析の上で一般的に証明することは困難であるが、式 (6.20) と同様な強制転流状態の条件式を導いてみると物理的意味の納得できない形となることからこの推測は正しいと思われる。

元来この解析では放電管の整流性を方程式中の条件として完全な形で導入することができないため、得られた解の中には放電管の整流性に反するような解も含まれている。上記条件式が物理的に奇妙な結論を与えるのはこのためである。

6.2 自然転流状態、臨界状態

ここでは i^- はゼロである。放電管の通流角 θ_c は自然転流状態では π より小、臨界状態では π に等しい。強制転流の場合と違ってこれらの場合、定常解に不確定性は存しない。以後 $\mu \neq 1$ の場合だけ記すと前節の式 (6.8) に対応する式は、

$$\sin\left(\frac{\theta_c}{2} + \gamma\right) + \frac{(1-\mu^2)E}{2\sqrt{2}E_0\Theta(\theta_c)} \dots\dots\dots (6.21)$$

$$\Theta(\theta_c) = \sin\frac{\theta_c}{2} \left(\cot\frac{\theta_c}{2} - \mu \cot\frac{\theta_c}{2\mu} \right) \dots\dots\dots (6.22)$$

となる。前節の場合、 μ と γ とが定まれば E_0/E は一義的に定まったが、いまの場合もう一つの変数 θ_c がこの関係式の中に介入している。後で述べるように θ_c は負荷に対応して変化し、 e_0 と E とは前節のように固定した関係で結びつけられることはない。式 (6.22) は近似的に、

$$\gamma = k_0(\theta_0 - \theta_c) \dots\dots\dots (6.23)$$

で表わされる。 k, θ_0 は図 6.3 に示してある。

放電管の整流性に反しない正当な解の存在範囲は、

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \theta_c \leq \pi \quad (\mu > 1 \text{ のとき}) \\ 0 \leq \theta_c \leq \mu\pi \quad (\mu < 1 \text{ のとき}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.24)$$

$$-\pi/2 \leq (\theta_c/2) + \gamma < 0 \dots\dots\dots (6.25)$$

となる。式 (6.25) における上限の正確な表現は、

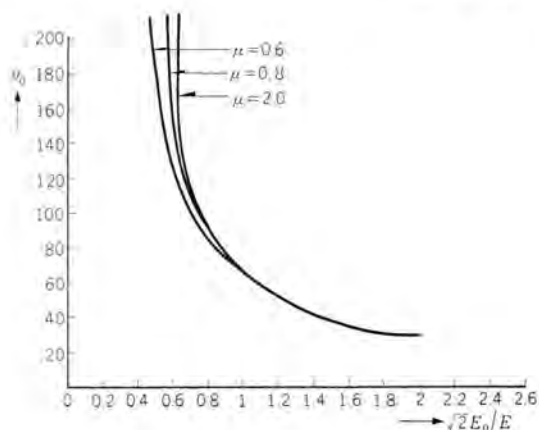
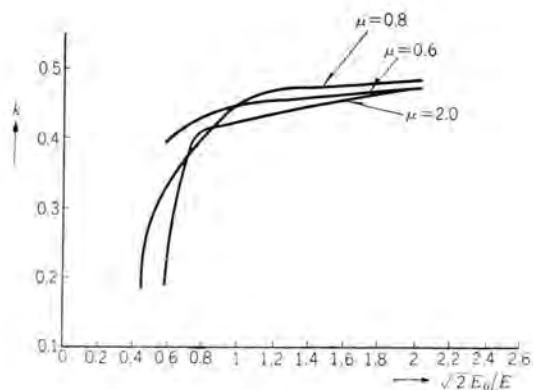


図 6.3 式 (6.23) の k, θ_0

Fig. 6.3 Values of k and θ_0 in Equation (6.23).

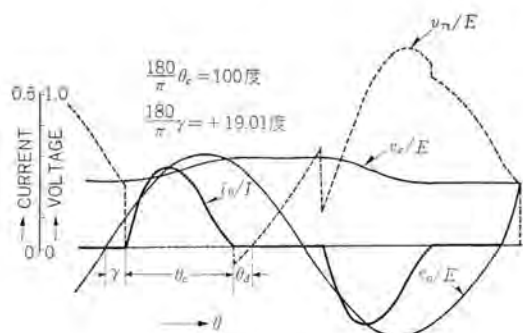
$$\cot\gamma = \frac{\mu \cos\theta_c \sin(\theta_c/\mu) - \sin\theta_c \cos(\theta_c/\mu)}{1 - \mu \sin\theta_c \sin(\theta_c/\mu) - \cos\theta_c \cos(\theta_c/\mu)} \dots\dots\dots (6.26)$$

である。これらの諸境界の導出やその検討については別の報告で述べることにし、ここでは現象波形を例にとって少し解説しよう。

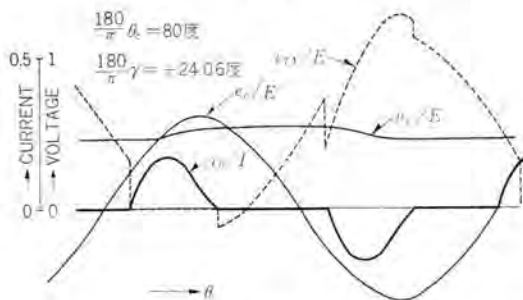
図 6.4 ~ 図 6.7 は $\mu < 1$ の代表例として $\mu = 0.95$ のときの計算波形を示している。 $\sqrt{2}E_0/E = 0.6$ のとき、 θ_c が増すにつれて i_0, v_c の振幅 $v_2^0 - v_1^0, I_d$ 、放電管や L の電圧セン頭値はすべて増大するが、これに反して余裕角 θ_a や飛躍逆電圧 i_0 の各半波の波尾の傾斜は減少する。この極限 (θ_c が 120 度のとき) では、 θ_a や飛躍逆電圧はゼロとなりインパタの正常な運転は絶対に不可能となる。この極限は式 (6.26) で与えられるが、以後これを転流限界と呼ぶこととする。

抵抗負荷の場合には軽負荷の領域にこのような限界が存在しているが、今の場合には重負荷の領域に限界が生じることに注意されたい。

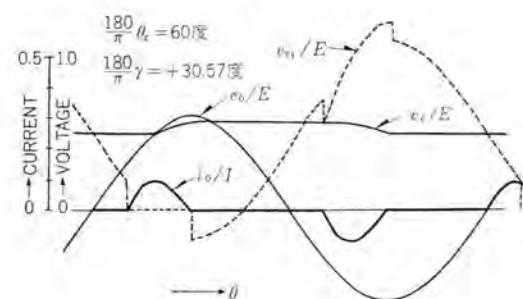
ただし、これらの図の中で転流限界の存在するのは、 $\sqrt{2}E_0/E = 0.6$ の場合だけで、その他の場合にはこれと異なった状況が生じる。たとえば $\sqrt{2}E_0/E = 0.7$ のとき、 θ_c の増大につれて $i_0, v_2^0 - v_1^0, I_d$ 、放電管や L の電圧セン頭値は前同様にすべて増大するが、 θ_a は θ_c の大きい所ではかえって増加する。このように重負荷領域で θ_a が増す傾向は抵抗負荷、誘導負荷の場合でも見られ、直



(a)



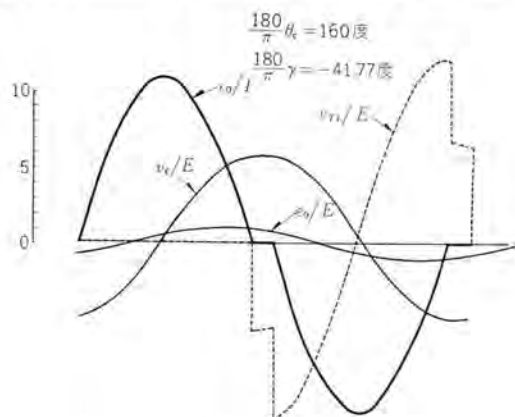
(b)



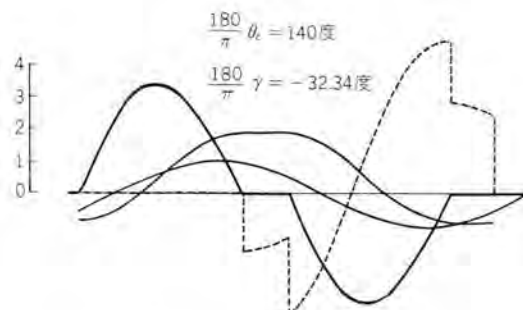
(c)

图 6.4 计算波形 ($\mu=0.95, \sqrt{2} E_0/E=0.6$)

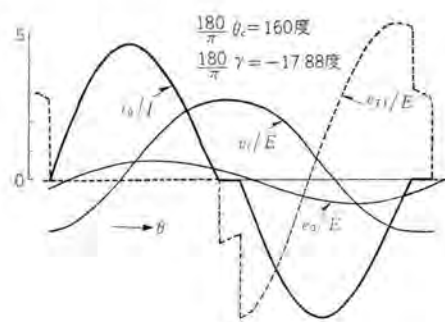
Fig. 6.4 Calculated wave forms. ($\mu=0.95, \sqrt{2} E_0/E=0.6$)



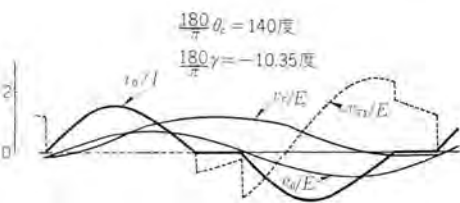
(a)



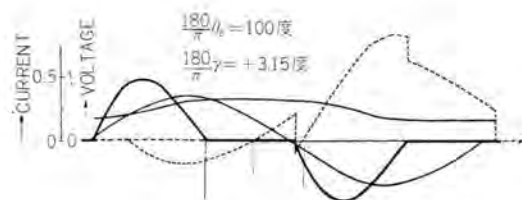
(b)



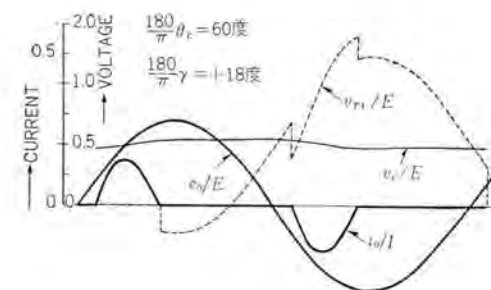
(c)



(d)



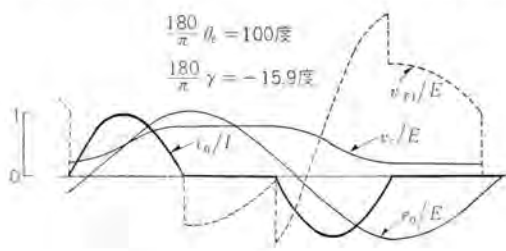
(e)



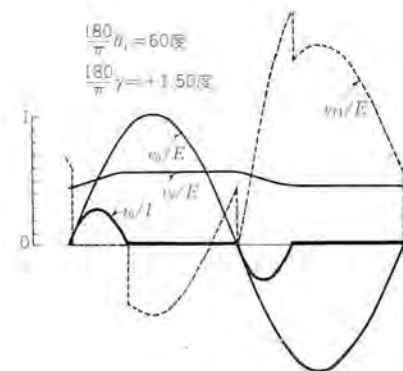
(f)

图 6.5 计算波形 ($\mu=0.95, \sqrt{2} E_0/E=0.7$)

Fig. 6.5 Calculated wave forms. ($\mu=0.95, \sqrt{2} E_0/E=0.7$)



(a)



(b)

图 6.6 计算波形 ($\mu=0.95, \sqrt{2} E_0/E=1.0$)

Fig. 6.6 Calculated wave forms. ($\mu=0.95, \sqrt{2} E_0/E=1.0$)

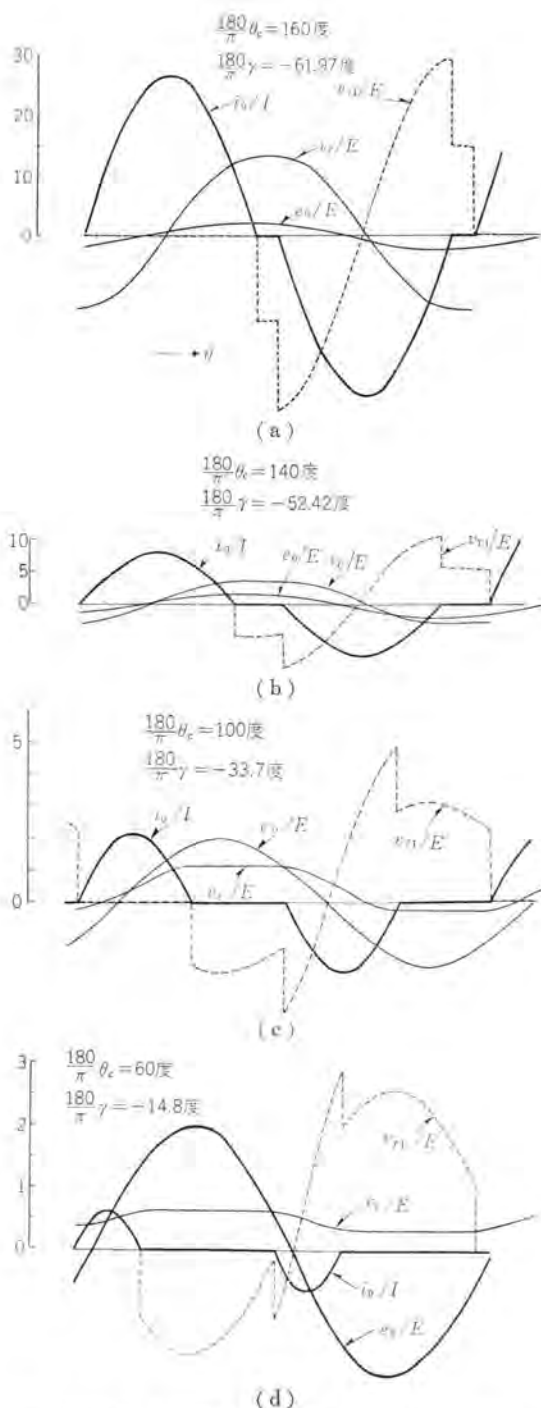


図 6.7 計算波形 ($\mu=0.95$, $\sqrt{2}E_0/E=2.0$)

Fig. 6.7 Calculated wave forms. ($\mu=0.95$, $\sqrt{2}E_0/E=2.0$)
列インパタの重要な特長となっているのである。なお、この場合 θ_c が $\mu\pi$ に近づくにつれ i_0 は急激に増大し $\theta_c=\mu\pi$ の所で i_0 は無限大となる。正確にいうとこの際には、 i_0 の波形中に含まれる二つの周波数 f_0/μ および f_0 の成分のうち、 f_0/μ の成分が無限大となるのであって、この周波数は直列素子すなわち L と C との共振周波数に相当しているからこの現象は一種の直列共振に相当している。 $\sqrt{2}E_0/E$ がこれより大きい所でも、 θ_c の増加に対する動作状況の変化の傾向は同じであって、 $\theta_c=\mu\pi$ の所で同じく共振が起こる。この共振の起こる領域を以後共振限界と呼ぶこととしよう。 θ_c が $\mu\pi$

より大きくなるような動作状況は放電管に逆流が生じない限り起こらない。これは通常の直列共振の場合に、共振点を越すと電流の位相が 180 度急変するのと同じ機構によるものである。

上記のように本質的に異なった二つの領域の境界は次のようにして与えられる。まず式 (6.26) で $\theta_c=\mu\pi$ において γ を求め、これを式 (6.21) に入れるとこの境界に相当する $\sqrt{2}E_0/E$ の値 $(\sqrt{2}E_0/E)_c$ を与える式、

$$\left(\frac{\sqrt{2}E_0}{E}\right)_c = \frac{1-\mu^2}{2\sin\frac{\mu\pi}{2}\cot\frac{\mu\pi}{2}} \quad (6.27)$$

が得られる。 $\mu=0.95$ のとき $(\sqrt{2}E_0/E)_c=0.622$ であって、実際に $\sqrt{2}E_0/E$ がこれより小さいときと大きいときで動作状況が異なることはすでに示したとおりである。

$\mu>1$ の場合でも同様に $(\sqrt{2}E_0/E)_c$ が存在し、これより小さい $\sqrt{2}E_0/E$ の場合には転流限界が存在するけれども、これより大きい $\sqrt{2}E_0/E$ の場合には共振現象は生じない。 μ の大小によるこのような差異は後の説明でさらに明らかとなるであろう。

上記のような動作様式の区分のほか γ の変化についても少し注意をうながしておきたい。計算波形からわかるとおり、同じ θ_c の値のときには $\sqrt{2}E_0/E$ が増すほど、同じ $\sqrt{2}E_0/E$ の値のときには θ_c が増すほど、 γ は減少する。放電管の点弧位相を基準にとって考えると、 γ の減少は e_0 の位相が遅れること、 θ_c の増大は i_0 の基本波の位相が遅れることを意味している。このような位相関係は θ_c や $\sqrt{2}E_0/E$ と負荷側回路の力率について比較的簡単な関係の成り立つことを暗示しているけれども、計算によってこの関係を定量化して見よう。

元来、 γ は本文の場合負荷側回路の状況などによって従属的に変化する量であって、運転状態を支配する独立変数としては、三つの無次元化された回路条件すなわち直列素子に関する μ 、負荷側回路の無次元化されたアドミタンス および力率をあげなければならない。この 3 量が与えられれば、無次元化された諸回路現象は完全に決定できる。ただし、負荷側回路に流入する i_0 は多くの高調波を含んでいるが、ここでは力率としていわゆる皮相力率 I_{0r}/I_0 の代わりに基本波だけについて考えた力率 (相差率と呼ぶ人もある) PF すなわち、

$$PF = I_{0r}/(I_{0r}^2 + I_{0i}^2)^{1/2} \quad (6.28)$$

を採用し、またアドミタンスとして基本波だけについて考えた次の値

$$Y = (I_{0r}^2 + I_{0i}^2)^{1/2}/E_0 \quad (6.29)$$

を採用する。ここで I_{0r} , I_{0i} は i_0 の基本波の有効および無効成分である。また無次元化されたアドミタンスは YZ_s である。PF と Y の 1 組の特定値を満足する負荷側回路の種類は数限りなく存在し、高調波におけるそれぞれのアドミタンスは互いに異なっているけれども今はそのよう

な差異を問題にしない、この解析では高調波を含んだ i_0 が負荷側回路に流入してもその電圧 e_0 は純正弦波状に保たれるとしているのだから、高調波に対するアドミタンスの大きい負荷側回路になればなるほど計算に近い動作特性を示すこととなる。

μ , E_0/E , γ を独立変数として求めた I_{or} , I_{of} から、そ

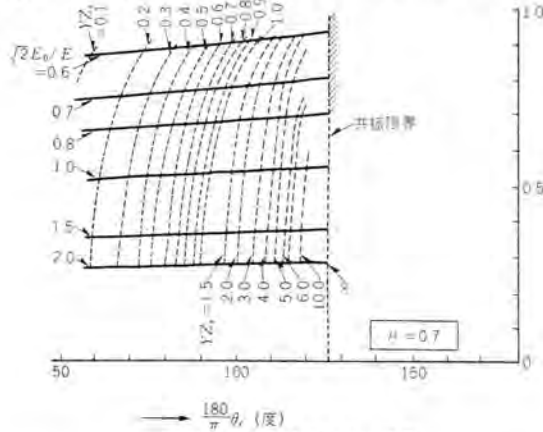


図 6.8 運転特性 ($\mu=0.7$)

Fig. 6.8 Operating characteristics, ($\mu=0.7$)

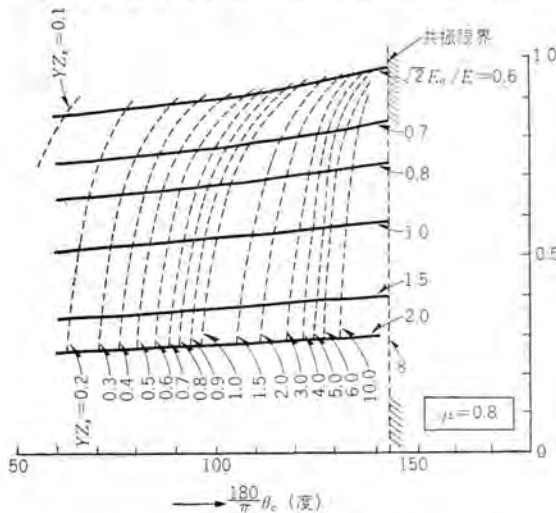


図 6.9 運転特性 ($\mu=0.8$)

Fig. 6.9 Operating characteristics, ($\mu=0.8$)

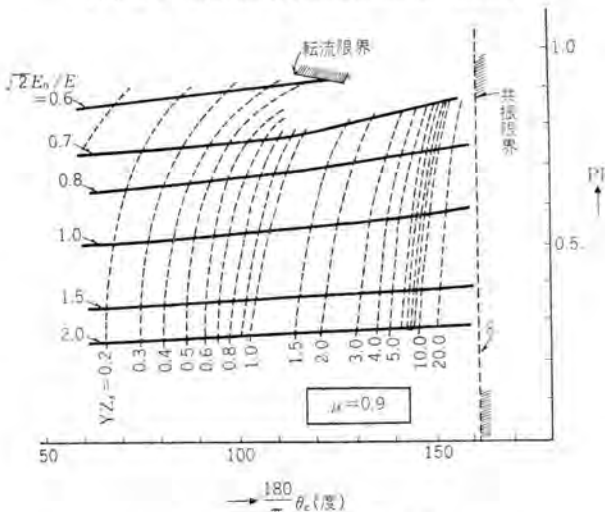


図 6.10 運転特性 ($\mu=0.9$)

Fig. 6.10 Operating characteristics, ($\mu=0.9$)

のときの PF や YZ_s を算出して運転特性曲線を作ると図 6.8~図 6.13 のようになる。これらの図は θ_c と PF の関係を示すもので、実線は $\sqrt{2E_0/E}$ 一定の曲線、点線は YZ_s 一定の曲線である。ただし、この PF はこれらすべての場合を通じて進み力率となっており、 e_0 を純正弦波とした解析が実用上もっとも重要な容量性の負荷側回

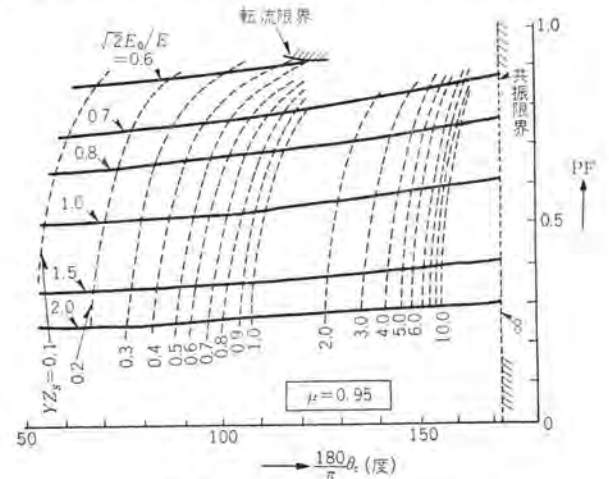


図 6.11 運転特性 ($\mu=0.95$)

Fig. 6.11 Operating characteristics, ($\mu=0.95$)

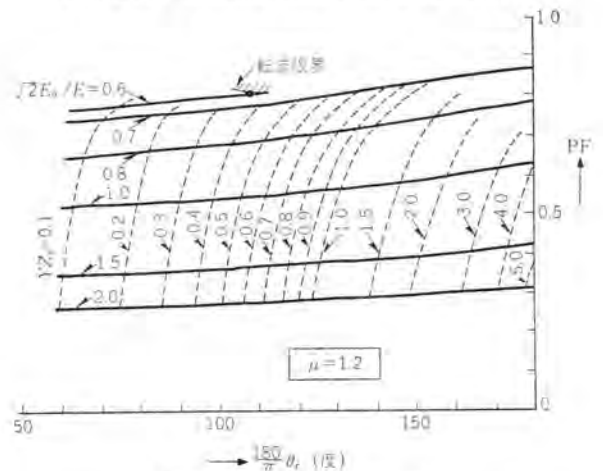


図 6.12 運転特性 ($\mu=1.2$)

Fig. 6.12 Operating characteristics, ($\mu=1.2$)

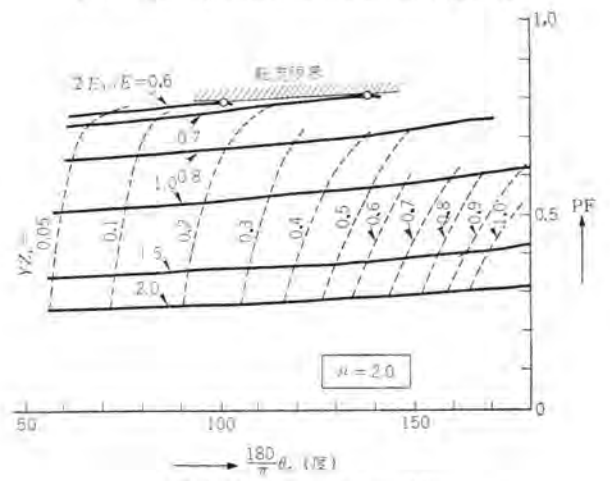


図 6.13 運転特性 ($\mu=2.0$)

Fig. 6.13 Operating characteristics, ($\mu=2.0$)

路の理論に相当することがここで明らかとなっている。実線の曲線が横軸に大体平行していることは、負荷側回路の力率が一定であればそのアドミタンスとはほぼ無関係に出力電圧が一定となることを示すものであって、特性の把握についてはなほだ簡明で貴重な結論を与える。この結論を別の形で表現したものが、図 6.14 であって、 $\sqrt{2}E_0/E$ が PF の単純な関数で近似できることを示している。試みに第 2 報告で扱ったような抵抗負荷時の計算値の中から無次元アドミタンス ($1/\lambda$) が 10 のときの値をこの図に記入してみると、 $YZ_s=10$ の場合の曲線の延長上にうまく乗ることがわかる。

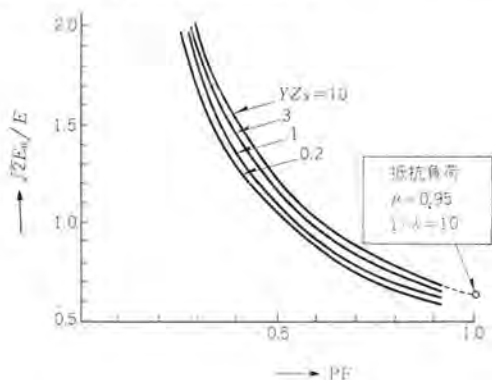


図 6.14 負荷側回路力率 PF と出力電圧 E_0 との関係
Fig. 6.14 Output voltage E_0 as a function of power factor of load network PF.

また、負荷アドミタンスが増すにつれ θ_c が増大し、同じアドミタンス値では力率が悪くなるほど θ_c が減ることもこの図からわかる。このような関係を利用したインバータ方式については「総論 (その 6)」で報告する。

$\mu < 1$ のとき、曲線が $\theta = \mu\pi$ の所で中絶しているのは先に述べた共振現象がここで生じるためであって、この線上で YZ_s は無限大となる。ここでは図示しなかったが $\mu = 1$ のときには $\theta_c = \pi$ の線で共振が起こることはいうまでもない。 $\mu > 1$ のときには共振は起こらず、 $\theta \rightarrow \pi$ すなわち臨界状態の際でも YZ_s は低い値にとどまっている。たとえば $\mu = 2$ 、 $\sqrt{2}E_0/E = 1$ のとき、臨界状態では $PF = 0.62$ 、 $YZ_s = 0.9$ 、したがって無次元化された負荷側コンダクタンス $YZ_s \times (PF)$ は 0.57 となり、当然のことながら表 6.1 で与えたコンダクタンスと計算誤差の範囲で一致している。 μ が大きくなるにつれ YZ_s の値が θ_c の大きい所でも非常に低くなることは、実用器の設計の際 μ の選定にあたって十分考慮しなければならないことである。

また、 μ のいかにかわらず、 $(\sqrt{2}E_0/E)_c$ より小さい $\sqrt{2}E_0/E$ の所で曲線が途中で中絶しているのは、先に述べた転流限界につき当たるためであって、このような領域では運転安定度が脅かされる危険が多いことを物語っている。これについては次節で実験結果を引用しながら今少し詳しく説明を加えることとする。

以上によって容量性の負荷側回路の場合の基本的な諸現象は大体説明できた。もちろん、実用器については問

題は決してこれだけに尽きるものではない。たとえば、運転安定度に重大な関係をもつ放電管電圧の波形は、回路条件によってかなり複雑な変化を示すので、その様相を十二分に理解しておかなければならないが、ここでは計算および実測波形をその資料として例示するにとどめて詳しい論議は割愛する。

6.3 実験結果

インバータの開発の当初に測定した数多くの実験結果の中から二、三の例をひいて先の計算結果と比較して見よう。

実験はサイラトロン 6 G 76 を用いた三相インバータについて行なわれた。回路結線は図 2.7 「総論 (その 1)」と同じである。これは C 分割形を 3 相分組合せたものであるが、これについて得られた結果を本文のような基本形の場合に換算することは容易である。負荷側回路は図 6.1 にあげた例と同一であって、主回路定数は表 6.2 に示してある。インバータのサイラトロン格子制御回路には、周波数 $6f_0$ の単相方形波を計数回路によって周波数 f_0 の六相方形波に変換し、これらをパルス変圧器を介して各相のサイラトロン格子に送る方式を採用した。

表 6.2 実験主回路定数

Data No.	C_p (μF)	L_p (mH)	$1/(2\pi\sqrt{L_p C_p})$
10	64.3	149	51.5 c/s
19	32.9	293	51.5
20	32.9	—	—

$C = 64.34 \mu F$, $L = 92.5 \text{ mH}$, $1/(2\pi\sqrt{L_p C_p}) = 65 \text{ c/s}$,
 $f_0 = 61.75 \text{ c/s}$, $\mu = 0.95$,
 $E = 200 \text{ V}$, $Z_s = 75.6 \Omega$, $I = 2.64 \text{ A}$
(* OSC 20-13-16 のときは半分)

直流電源は同じく 6 G 76 を用いた六相整流器であって、直流母線には平滑器を入れて直流電圧の脈動を防いでいる。

負荷側回路には負荷抵抗以外にリアクトルなどの損失があるので、電力計で全損失を測定し、この全損失を消費する図 6.1 の等価抵抗 R を算出した。また直流電源電圧 E としては式 (3.28) 「総論 (その 2)」を使ってサイラトロンアーク電圧の影響を補正した値を用いた。

表 6.2 に記された主回路定数の下で、 R を $400 \sim 40 \Omega$ の範囲で変えて撮影したオシロを図 6.15～図 6.17 に、このときの負荷条件と測定値および理論値とを表 6.3～表 6.5 に示す。理論値は図 6.11 の計算曲線の内そうから求めたものである。

Data No. 10 の場合、軽負荷から重負荷にいたるまで、 E_0/E および θ_c の実測値は計算値に対して大体 5% 以下の差しかない。ただし OSC 10-2, 3 および 4, 5 の場合の理論値は計算曲線の外そうが不正確となるおそれがあるため省いてあるが、ちょうどこのあたりで出力電圧が $(\sqrt{2}E_0/E)_c = 0.44\sqrt{2}$ に等しくなっているのがこれらの実測値は貴重な価値を持っている。確かにこれらのオシロは飛躍逆電圧や θ_c が非常に小さくなっており転流限界に近いことを示しているが、飛躍逆電圧の直後にかか

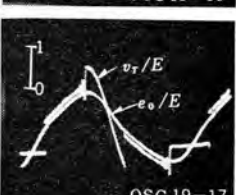
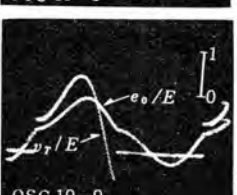
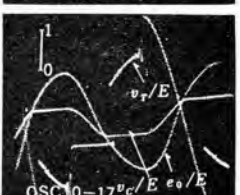
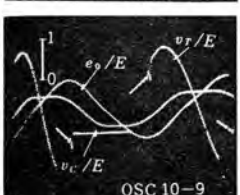
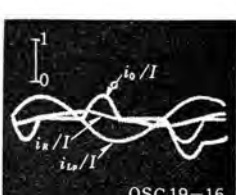
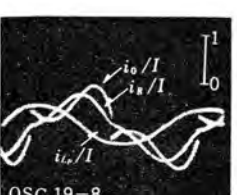
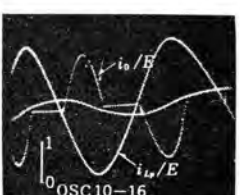
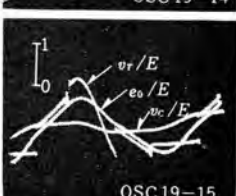
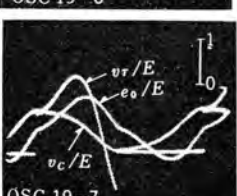
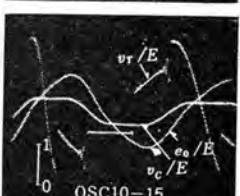
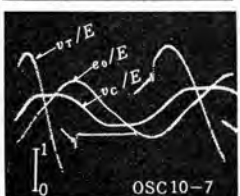
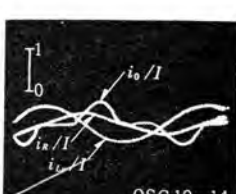
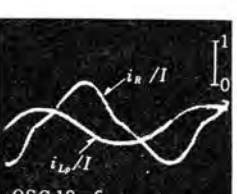
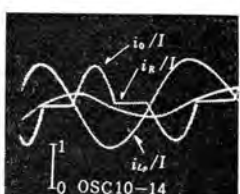
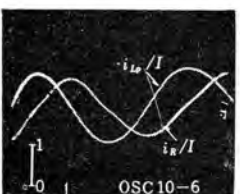
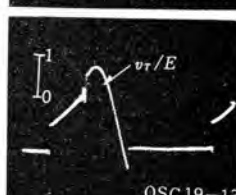
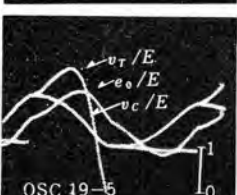
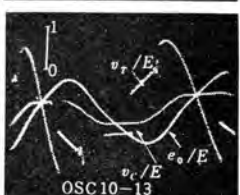
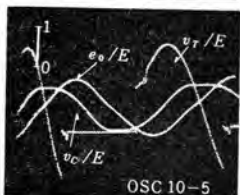
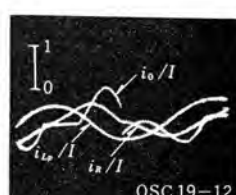
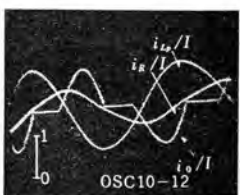
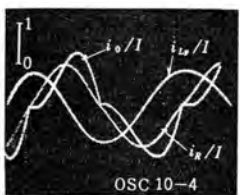
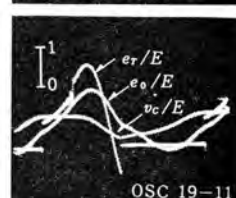
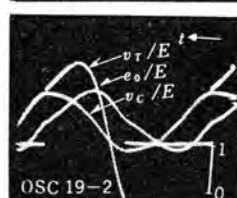
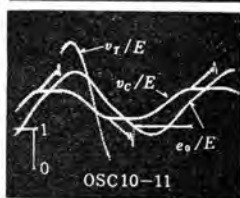
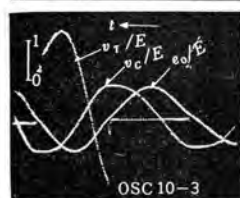
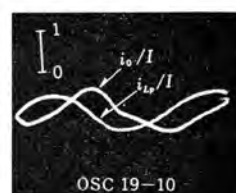
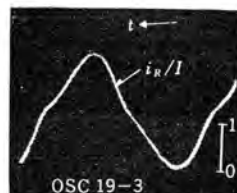
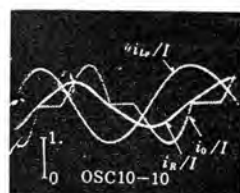
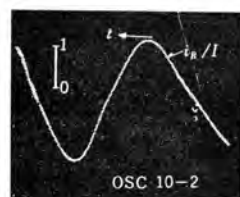


図 6.15 オシロ (Data No. 10 の場合)

Fig. 6.15 Oscillograms in the case of Data No. 10.

図 6.16 オシロ (Data No. 19 の場合)

Fig. 6.16 Oscillograms in the case of Data No. 19.

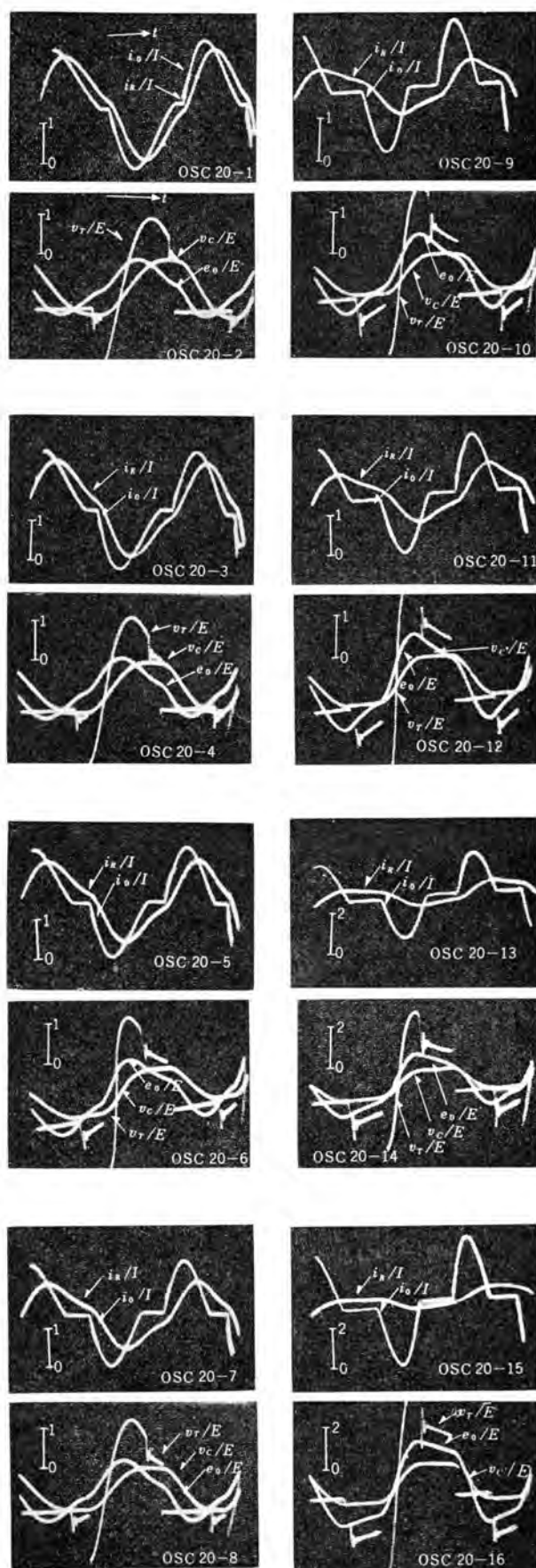


図 6.17 オシロ (Data No. 20 の場合)

Fig. 6.17 Oscillograms in the case of Data No. 20

表 6.3 Data No. 10 の負荷条件, 実測値, 理論値

OSC No.	1/R (mU)	Y (mU)	PF	YZ _s	E _o /E		θ _c (度)	
					計 算	実 測	計 算	実 測
10-2, 3	27.4	28.4	0.965	2.15		0.432		163
4, 5	19.2	20.6	0.958	1.56		0.442		158
6, 7	13.7	15.7	0.875	1.19	0.438	0.457	137	135
8, 9	13.0	15.0	0.868	1.14	0.449	0.460	135	130
10, 11	10.6	13.0	0.812	0.98	0.431	0.485	124	120
12, 13	8.4	11.3	0.744	0.85	0.516	0.518	116	116
14, 15	5.7	9.4	0.605	0.71	0.635	0.625	106	110
16, 17	3.7	8.4	0.442	0.63	0.860	0.830	98	99

表 6.4 Data No. 19 の負荷条件, 実測値, 理論値

OSC No.	1/R (mU)	Y (mU)	PF	YZ _s	E _o /E		θ _c (度)	
					計 算	実 測	計 算	実 測
19-2, 3	25.7	25.9	0.993	1.95		0.442		180
4, 5	20.8	21.3	0.980	1.61	転	0.448	転	180
6, 7	17.8	18.0	0.982	1.34	流	0.455	流	180
8, 9	13.6	14.2	0.960	1.07	限	0.47	限	180
10, 11	10.3	10.6	0.942	0.80	界	非*	界	非
12, 13	7.8	8.4	0.948	0.60	↓	非	↓	非
14, 15	4.8	5.9	0.816	0.44	0.466	0.457	104	97
16, 17	2.8	4.5	0.64	0.33	0.571	0.563	85.8	80.4

*非: 非対称動作状態

表 6.5 Data No. 20 の負荷条件, 実測値, 理論値

OSC No.	1/R (mU)	Y (mU)	PF	YZ _s	E _o /E		θ _c (度)	
					計 算	実 測	計 算	実 測
20-1, 2	27.0	29.7	0.908	2.24	0.458	0.435	152	165
3, 4	21.9	25.5	0.861	1.93	0.466	0.447	144	153
5, 6	15.1	20.4	0.793	1.54	0.507	0.475	134	140
7, 8	12.7	17.8	0.714	1.35	0.55	0.505	124	126
9, 10	8.6	15.2	0.567	1.15	0.67	0.587	115	118
11, 12	7.4	14.5	0.515	1.09	0.73	0.670	113	107
13, 14	5.2	13.5	0.388	1.02	0.99	0.88	110	100
15, 16	2.6	12.7	0.20	0.96	1.84	1.41	107	99

る順電圧はほとんどゼロに近くその後ふたたび大きな逆電圧がかかるので θ_a は実質上ははなはだ大きいことになり運転はきわめて安定に行なわれている。たとえ消弧直後の順電圧の所でサイatron が再点弧したとしてもほとんど間をおかずに強制転流が行なわれるので実質的な危害はほとんどないといってもよいであろう。その他の一連のオシロを一見してわかるとおり、 e_o は決して正弦波とはいえず、とくに軽負荷の場合10%程度の高調波を含んでいるにもかかわらず、上記のように実験値が理論値に近いということはこの簡明な近似理論の効用の大いさを如実に物語るものである。

Data No. 10 より C_p の小さい No. 19 の場合にはさらに興味のある現象が見られる。きわめて負荷の軽いOSC 19-16, 17 および 14, 15 の場合には前同様実測と理論のかなり良好な一致が存している。負荷がこれより重くなると PF と YZ_s の値は理論で予見された転流限界に近づく。事実 OSC 19-12, 13 の場合には異常な現象があらわれる。この際 i_o の負の半波はゼロから始まって後132度の所でいったんゼロ線に接するが、このときに放

電管が消弧しないのでふたたび上昇をはじめ、ほかのサイラトロンが点弧した際に強制転流によって極性が飛躍的に反転する。したがって i_0 の正の半波はある値から突然流れ始めることとなり、図のように i_0 ははなはだしく非対称の波形となる。このため二つのサイラトロンの電圧波形は同一でなくなり、ことに強制遮断されるほうのサイラトロンの余裕角は図に示すようにはなはだ小さい。同様な非対称現象はこれより負荷のやや大きい OSC 19-12, 13 のときにも見られる。転流限界ないしこれより負荷の重い領域においては理論上は運転が不可能であるとしたが、これは波形の対称性を想定したために出た結論であって、実際運転ではこのような非対称動作によってかろうじて運転が維持できるのである。さらに負荷が重くなるとふたたび対称的な動作が行なわれるようになる。ただしこれらはすべて強制転流域に属し、OSC 19-8 に示すように i_0 の各半波はある値から突然流れ始めいったんゼロ線近くまで下降して後ふたたび上昇し、その後強制転流によって極性が飛躍的に反転している。 e_0 を純正弦波とした理論では、 $\mu < 1$ の際に強制転流状態は生じないと思われるが、それはさておき現実の非正弦波動的な e_0 の場合には強制転流によって運転が維持でき、重負荷になるほど θ_d は上昇してゆく。

Data No. 10 や 19 の転流限界近傍で生じたこのような諸現象は、本文の場合の転流限界が抵抗負荷の場合のそのように致命的なものではないことを物語っているのである。

Data No. 20 は先の No. 19 の回路で L_p だけを除いた場合に相当するもので図 6.17 に示すように e_0 は一体にいちじるしくひずんでおり、ことに軽負荷では方形波に近い。No. 19 の場合と比べると L_p が e_0 の波形改善にどれほど寄与していたかが如実にわかる。このことはわれわれの開発したインバータ方式の特長の一つにも関連のあることである。 e_0 がこのようにひずんでいるため、表 6.5 にかかげた実測値と理論値の間には相当な食違いが生じている。ことにこの差は軽負荷時では大きい。もっとも負荷の軽い場合を除けばこれらの差は大体 10% の

範囲に納まっている。本文の理論は、実用器ではとうてい起こらないようなひずんだ出力電圧波形の場合にもある程度適用できるのである。なお、この No. 20 の場合は全般に PF が小さいので転流限界から非常に離れた領域に属しており、 θ_c は小さく θ_d は大きい。また軽負荷では電圧の上昇がはなはだしいので、表 6.5 の下側の 2 段では E をそれ以外の場合の半分 (100 V) に下げて測定を行なった。このように軽負荷時に出力電圧の上昇やその波形ヒズミが大きくなるのは C_p が負荷にくらべて不均衡に大きくなるためであって、その点では並列インバータと動作傾向が似ている。ただし、重負荷領域では出力電圧は負荷によってあまり変動せず余裕角もまた十分であって直列インバータ本来の特質は保存されている。

以上の解析および実験によって、実用上もっとも問題となる容量性負荷側回路の場合の基本的な定常特性は明らかとなった。ことに、出力電圧を正弦波と仮定した近似理論が実際の場合に比較的よく適合し、したがってその理論から導かれた運転特性曲線によって複雑な回路現象の全般を把握することが可能となり、また共振現象や転流限界近傍の現象などについて理論および実験の両面から深く理解することができたのは特筆すべき成果であった。

これらの諸結果は、筆者らの開発した改良形直列インバータの基礎を築くのに非常に役だったものであるが、その他直列インバータと回転機との並列運転の問題についてもこの理論が適用できることはいうまでもない。ただし、この並列運転の問題については後日別の誌上で報告することとする。

最後に、本文の解析についてご協力下さった伊丹製作所的場技師、IBM 650 による計算を遂行して下さいった本社迎技師に対してあつく御礼申し上げる。

(昭 36-5-8 受付)

参 考 文 献

- (17) 河合：直列インバータ総論 (4)。三菱電機、35, No. 5, p. 89 (昭 36)。

静止形インバータ (1)

伊丹製作所 加藤 又彦*

1. まえがき

静止形インバータ(逆変換装置)というのは在来の回転機形の周波数変換機、電力回生時の電動発電機に対応した整流器使用の逆変換装置を指示している。定義としては直流電力または一定周波数の交流電力を別の周波数の交流電力に変換する電気機器装置で、出力電圧、電流および周波数をそれぞれ制御しうる装置のことである。従来 inversion と conversion という二つの言葉がしばしば混用されている。在来の回転部のない電子装置が交流電力を直流電力に convert (変換) するのに使用されるとそのときは Power Rectifier とよび、同一の装置がその制御方法をちょっとかえただけで逆に直流電力を交流電力に reconvert (逆変換) するときには Power Inverter とよぶ。そしてかかる変換装置系の一部に直流が流れれば DC Link (直流結合) とよばれその装置はときには converter とよばれる。この DC Link の部分が長くなればいわゆる直流送電と名づけられるものであるがその内容が同一でも直流送電系の長さ、目的が直流送電自体でなければ frequency changer (周波数変換器) とよばれる。なお明確にする必要があるものに inversion と commutation の方法に関連した事項があるがこれは磁気材料、半導体整流素子の利用という点から新しい課題と興味をいだかしめるにいった。さらにまた静止器で広義の周波数を変換させるという観点から一つの分類表を作ったものが表 1.1 である。これは交流電力を直流へ、またその逆の変換、直流電力を交流電力に、交流電力でも単または複数の変換器を介して交流電力に変換するものを総括して電子式周波数変換装置 (Electronic Frequency Converter) とよび、機器名称や整流方式にもとづく分類が記入してある。

この見解によれば水銀順変換装置で交流電力を直流電力(無限大の周波数)に変換するものも含まれている。表 1.1 内にインバータと記されているものは狭義の名称である。これらは従来の変換器で実用になりうるものの名称とその区分であるが特殊

用途と新形スイッチ要素の発達でなんらかの改変を必要とする段階にある。近く開催される I. E. C. 国際会議で専門の見地から検討され、新しく規格が制定されるであろう。

本文は最新めざましく発達した パワートランジスタ、シリコン制御整流素子(制御電極付 P. N. P. N 整流素子のこと、以下 S. C. R. と略記する)などを使ったインバータをふくめて実用上の課題とその内容、将来性などを各種の整流器および回路を中心に解説しようとするものである。現在当面している事項は S. C. R. を用いた電力用インバータの技術的、経済的問題; 直流モータ駆動方式に関連した回生制動ならびに逆転時のインバータ さらには航空機などに使用される特殊用インバータ、また将来実用化される熱電子発電器、熱イオン発電器、流動導体発電器などの新発電法にもとづく熱エネルギーを直接電気エネルギーに変換する方法(表 1.2 参照)はともに直流電力という形でエネルギー変換がおこなわれる。この大直流電力を適当なインバータで交流電力に変換する必

表 1.2 三つの熱-電気エネルギー変換技術の特性比較

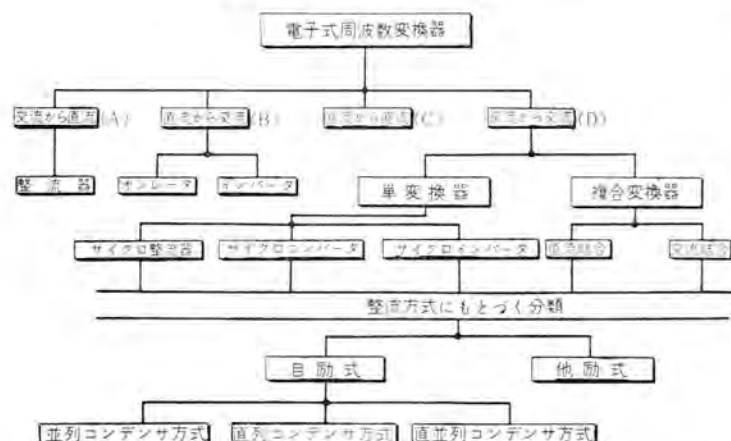
変換器の形式	電力	効 率 (%)		出力	タービン発電機との比較	
		現 在	将 来			
熱電子発電法	1~10 kW 50 kW (将来)	Material 効 率 18% Device 効 率 6% →	30% (5~10年後)	直流	利 点 1. 可動部分なし 2. 騒音なし 3. ジェイロスコープ式効果なし 4. 効率は出力に比例しない 5. 化学熱、太陽熱、核エネルギーより直接できる	欠 点 1. 効率が低い 2. 出力電圧インピーダンスが低い 3. AC 電力にするインバータが必要 4. 高温材料の特性 5. 酸化作用をさける
熱イオン発電法	1,500 W 50 kW (将来)	Diode 効 率 15% → 総合効 率 6~7%	30%	直 流 (交流も発振あり)	利 点 同 上	欠 点 6. 材料の問題 7. ガスダイオードならば高温シールドの問題 8. 真空形のものに對するスペース
液体発電法 (MHD 法)	10 kW 100 MW (将来)	—	60%	直 流	利 点 同 上 さらに 60% の効率は	欠 点 1. 2,000°C 以上の高温の問題 2. この温度範囲の熱源は制限されている 3. 特殊材料の開発

要があり、そのときの最実用的逆変換装置とこれが技術的課題とを今から調査、研究しておくのも必要であろう。かかるインバータに関する将来性を水銀整流器または S. C. R. の進歩を中介として解説するのが本文の目的である。

2. インバータ用整流器の基本特性

現在電力用インバータを構成する変換機器には MG、水銀整流器、S. C. R. の 3 種類がその代表としてあげられる。うち後者の二つが静止形であり、電力用インバータの定格出力に応じて水銀放電管、水銀整流器、パワートランジスタと S. C. R. などそれぞれ構成要素とする変換装置が製作される。インバータの成立条件は使用電圧、電流および容量によるが簡便、迅速に電力変換が実用上でき、かつ製作費、保守費などの諸経費の少ない運営ができるものでなくてはならず、この条件をはずれるものでかつ使用

表 1.1 周波数変換器の分類



されるということは独特な特性たとえば全系統の特性改善、周波数制御などの利点を具備しなくてはならない。

水銀整流器はこれまで 3,000 kW 級～20,000 kW 級の周波数変換器にしばしば利用されている。これは水銀アーク放電特性を利用した真空電子工学に立脚した作用を有する開閉装置であるため自由に制御することができるがその反面、変換された交流電圧、電流波形は正弦波でなく高調波を含んでいたり、転流時に過渡現象を発生することがある。これに対し半導体整流素子は固体内の電子工学である点が基本的に相違し、そのほかは類似している。ただ過負荷特性に、逆耐電圧許容値に一定の限界が存在し、その限度をこせば必ず永久破壊となる。表 2.1

表 2.1 S.C.R. と サイラトロン の比較

比較項目	S.C.R. (シリコン制御整流素子)	サイラトロン
寸法の比較	3 周力モータ用 2 in	8~9 in
機械的強度	基本的構造が固体であるため がんじょう。	水銀ガス入りであり加熱フォ メーションがあるため機械的震動には 注意を必要とする。
電気的特性	低電圧で有効に動作する。 通電による電圧降下 15 V ヒー ト要素がない、よって効率が 高い。たとえば 1 kW 装置で 20 W の損失。 冷状態からいきなり負荷するこ とができる。 予熱装置が必要でない。 3~5 V, 50 mA のゲート回路電 力で起動する。 使用電圧 440 V 電流定格は 50 A/1 個 (平均値) 以上。 単相および多相で動作確実。 負荷全域で比較的安全。 運転温度 -85~+300°F。 周囲温度の影響は大。	高電圧に有利。 通電によるアーク電圧降下 10 V ~15 V 効率が S.C.R. に比して 低い。 たとえば 1 kW 装置で 150 W の損失。 陰極をあたためなくては破壊す ることになる。 予熱装置ときにはアノードヒー タも必要。6~30 秒間。 40~80 V のグリッド電流ピー ク値 1 A。 使用電圧 1,500 V 25 A/1 本 (平均値) 以下。 イオン化消イオンの時間があり 多相では転流に時間がかかる。 負荷電流、サイクルで起動電圧 が変わる。 -70~+165°F。
その他	電流制限装置をとりつけること がやさしい。	ガス放電特性を合わせるため付 加装置をつけることがむづかしい。

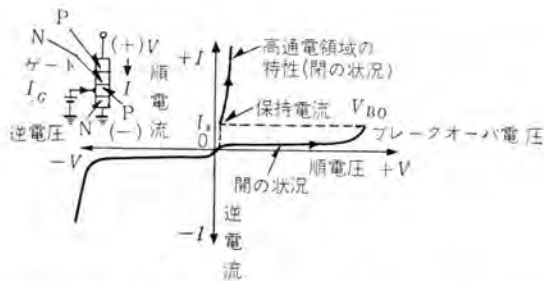


図 2.2 (a) 制御電極付シリコン整流素子の電圧-電流特性

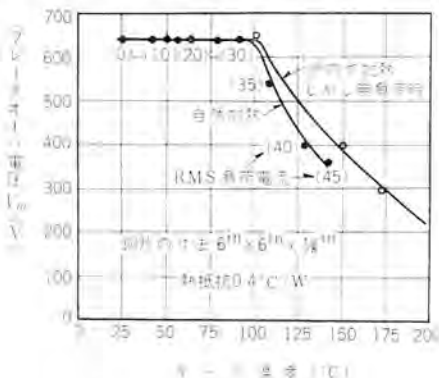


図 2.2 (b) V_{BO} -温度関係曲線

は水銀放電管の代表例である サイラトロン と S.C.R. との特質上の比較表であるとともに保守の難易を示すものでもある。インバータ製作上 S.C.R. などの スイッチング要素 はインバータの核心であってインバータの入力から出力側へ電力の流れを開閉する基本源である。よって負荷へ電力を供給する量と要素内で消費される損失との比率はインバータの有効性を表わす尺度である。ことに S.C.R. および ユニジャンクショントランジスタ を使えばインバータの有効性は運転温度、ことに低電圧使用のものに対して新形式と興味とを賦与した。そしてこれらの スイッチング作用 は電圧と温度の観点からみて正確なものであり、周波数応答性はある種の通信の分野では満足すべきものではないが普通の inversion の要求に対しては適切である。

現在商品化されている パワートランジスタ および S.C.R. は前者は 30~50 A/1 個, 200 V の逆耐圧、後者は トリニスタ⁽¹⁾ などの商品名で 50 A, 30 A, 10 A 級セルで P.R.V. (Peak Reverse Voltage) 400 V のものが市販され、これが将来性は図 2.1 に示

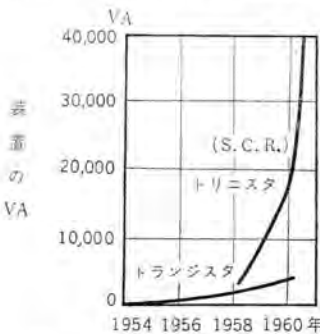


図 2.1 SCR および トランジスタ の発達予想

したように S.C.R. が有望視されている。そして 1965 年までには 1,000 A/セル, P.R.V. 1,000 V のものが出現すると想定されている。

S.C.R. は トランジスタ と P-N 整流素子との両特性を備えており、素子の順電圧と逆電圧定格とが大約等しいことは応用的見地からみてかなり重要なことである。S.C.R. の動作特性を

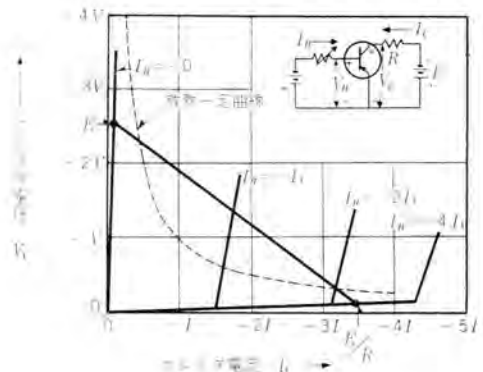


図 2.3 (a) トランジスタ動作特性

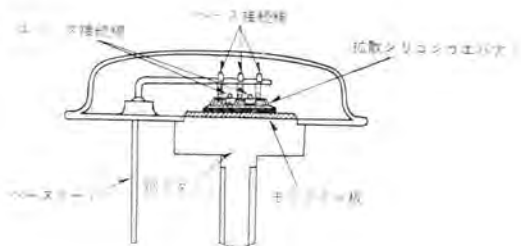


図 2.3 (b) パワートランジスタ構造の一例

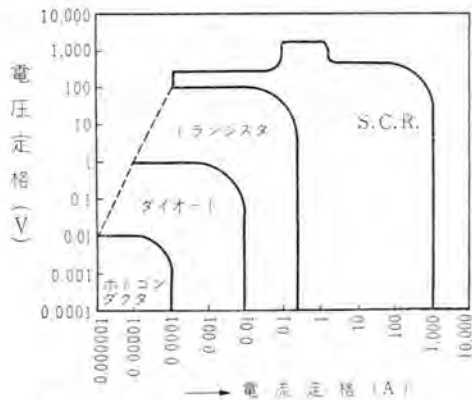


図 2.4 スwitching要素の電圧-電流定格

表 2.2 S.C.R. と パワー・トランジスタ の特性比較表の一例

	S.C.R. ZJ39A-400形	トランジスタ DT-100形	トランジスタ 2M574-A形	トランジスタ 2N158形
電圧定格 (V)	400	100	80	80
最大ピーク電流定格 (A)	20	13	15	5
最大平均電流定格 (A)	15	13	15	5
スイッチング時間 (μsec)	ターンオン ton=1 ターンオフ toff=3	ton=30 toff=60	ton=15 toff=27	ton=26 toff=80
スイッチの電流 (A)	0.010	1.0	1.5	0.200
順電圧降下 (V)	1ボルト (10Aで)	0.7V (12Aで)	0.5V (10Aで)	0.24V (5Aで)
材料	シリコン	ゲルマニウム	ゲルマニウム	ゲルマニウム

表 2.3 封じ切り形イグナイトロ整流器

直流 (V)	出力 (kW)	形名 (水冷式)	重量 (kg)	形名 (風冷式)	重量 (kg)
600	500			GZ-22 6 タンク	110
	500~750	GU-20 6 タンク	10	GZ-40 6 タンク	350
	750~1,000	GU-31 6 タンク	130	" "	" "
	1,000~1,500	GU-41 6 タンク	170	GZ-46 6 タンク	550
1,500	750			GZ-22 6 タンク	110
	750~1,000	GU-21 6 タンク	52	GZ-32 6 タンク	230
	1,000~1,500			GZ-45 6 タンク	550
	1,500~2,000	GU-31 6 タンク	130	GZ-46 6 タンク	550
	2,000~3,000	GU-41 6 タンク	170	GZ-50 6 タンク	650

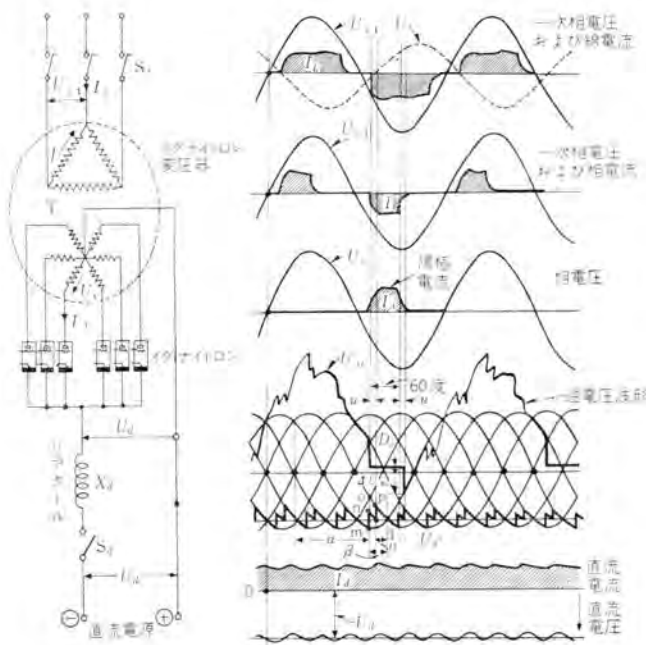


図 2.5 (a) U : 重畳角 μ : 余角角
(b) D_c : アーク電圧降下 U_{ac} : 陽極-陰極間電圧
 β : 進み制御角

図 2.2 (a) (b) に、トランジスタの動作特性およびその構造を図 2.3 に示す。両者の特性対照表を表 2.2 に、図 2.4 に定格図を示す。この種半導体整流素子を使った各種容量のインバータは小形、軽量で効率よく、起動や負荷変化、エネルギー貯蔵回路の縮減の諸点で新形インバータの概念を創作し、新機軸となろうとしている。

一方水銀整流器を使ったものは電力用逆変換器とよばれ、異周波数交流系間の接続に利用された。これが整流タンクは封じ切り形、二重格子構造のものがインバータ用の標準である。その使用直流電圧は 1,500 V 級以上が普通であり、直流電動機逆転制動時には 600 V 級のものもある。周波数変換器では整流タンク

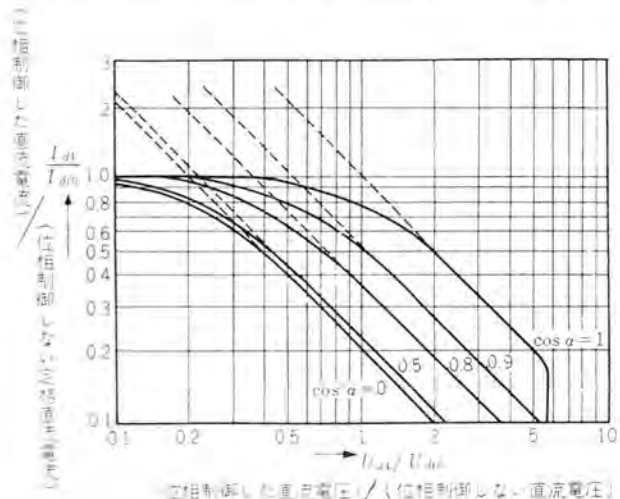


図 2.6 位相制御率と定格との関係曲線 (冷却温度 60°C のとき)

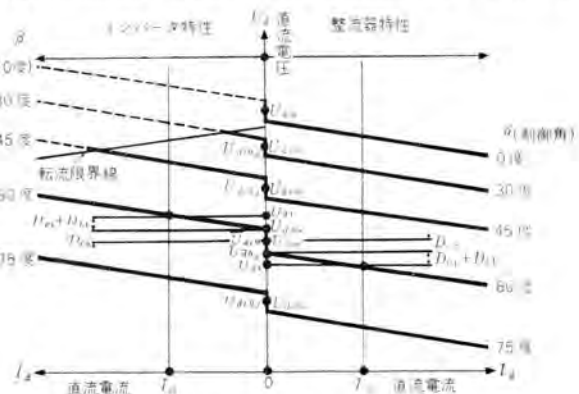


図 2.7 電圧-電流特性

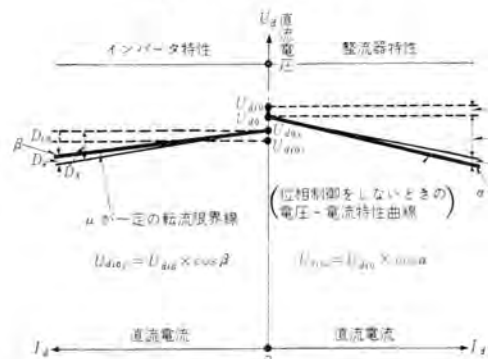


図 2.8 電圧-電流特性

内の消イオン時間]で実用変換周波数が制限される。現在は数千サイクルが現用の鉄製整流タンクの実用的上限値とされている。表2.3は六相、一変換単位としての整流器容量を示したものであるがインバータ運転は図2.5(a)(b)に示すように主回路各部に図示の電圧、電流を流す。そして整流器の定格出力は位相制御角 α によって図2.6のように変化するものである。よって水銀順変換器と水銀逆変換器とでは使用方法、その他の諸条件によって定格出力が同一構成単位でも異なることになる。

水銀順変換器と水銀逆変換器(仮義のインバータ)の静的特性を図2.7, 2.8に示す。図2.7は直流電圧-電流特性を示す。図中インバータ特性は直流負荷電流(I_{dl})が増加すると直流電圧(U_{dl})はますます高くなり、ついには転流失敗をおこす転流限界線に達する。これに反して整流器特性はインバータと反対の特性があり、整流器自体の過負荷特性が運転時の限界条件を与えている。図2.8は整流器特性の無制御時の電圧変動率曲線とインバータ特性の余裕角(μ)一定時の転流限界線を示す。

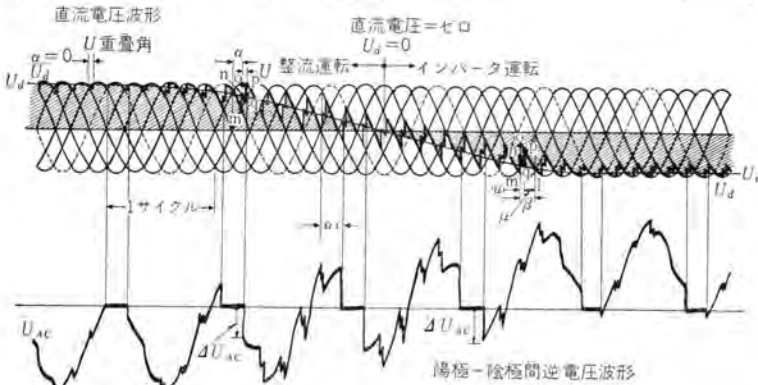
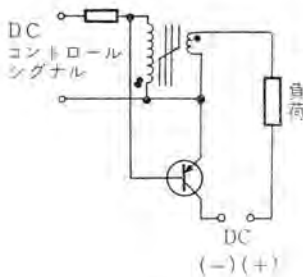


図 2.9 整流器運転からインバータ運転への移行

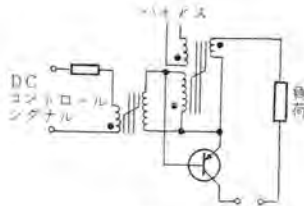
表 3.1 電力変換技術の比較 (パワートランジスタ使用)

	M-Gセット 直流→400c/s 交流	M-Gセット 直流→60c/s 交流	特殊イン 直流→方形波 400c/s交流	同左 直流→方形波 60c/s交流	同左 直流→400c/s 正弦波交流	振動形イン 直流→60c/s 交流
効 率	65%	70%	90%	90%	80%	80%
大きさ/kW	558cm ² /kW	930cm ² /kW	139cm ² /kW	279cm ² /kW	372cm ² /kW	112cm ² /kW
重さ/kW	15.9kg/kW	45.3kg/kW	2.7kg/kW	7.25kg/kW	8.2kg/kW	31.8kg/kW
価 額	約100%	約100%	44.5%以下	44.5%以下	89%以下	約89%
①設計された一定の過負荷容量をもっている。 ②起動には一定の時間が必要の保守手入必要。 ③信頼性は良好。 ④大電力用(MW級)						
⑤過負荷耐量は各変換器ごとに設計されなくてはならない。保護装置も用意されなくてはならない。 ⑥瞬時起動する。 ⑦保守手入必要なし。 ⑧信頼性および寿命がともにすぐれている。 ⑨比較的大電力用(kW級)						
⑩過負荷耐量は制限される。 ⑪瞬時起動がパイプレータをとりかえる。 ⑫寿命がみじかい。 ⑬定格に制限あり。						



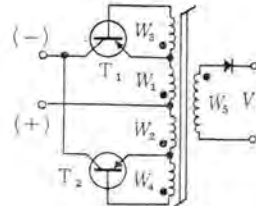
(a)

(a) 可飽和トランス付トランジスタインバータ



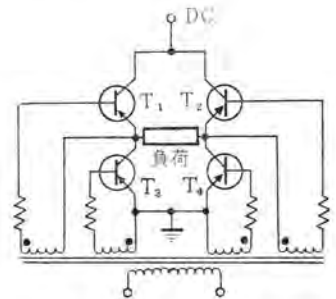
(b)

(b) マグアンプ付トランジスタインバータ



(c)

(c) 結合トランス付トランジスタインバータ



(d)

(d) ブリッジ形トランジスタインバータ

図 3.1

次式は上記特性曲線の数式である。

$$\text{整流器特性} \quad U_{d0\alpha} = U_{d10} \cdot \cos \alpha - D_{c0} \quad (2.1)$$

$$\text{インバータ特性} \quad U_{d0\beta} = U_{d10} \cdot \cos \beta + D_{c0} \quad (2.2)$$

もし $\alpha = \beta$ ならば

$$U_{d0\beta} - U_{d0\alpha} = 2 D_{c0} \quad (2.3)$$

$$\text{また} \quad \beta = 180^\circ - \alpha \quad (2.4)$$

$$\mu = \beta - \alpha \quad (2.5)$$

記号はすべて I. E. C.-84 による。なお理論的取扱いは本文では省略する。

図2.9は整流器運転からインバータ運転への移行時の波形を示したものである。

3. インバータおよびその回路系統

3.1 インバータの種類

静止形インバータを実用的見地から区分すればつぎの条件により回路方式、設計内容が異なってくる。すなわち

- (1) 小電力用(数十キロボルトアンペア以下の定格出力)か、大電力用か
- (2) 単相か三相か
- (3) 使用目的による要求度

表 3.2 1kVA 静止形インバータの大きさ、重量の比較代表例

(a)	1.130cm ² (大きさ)	1,000c/s 方形波電圧、周波数不可変インバータ
	1.8kg (重さ)	
(b)	1.610cm ²	400c/s 方形波電圧、周波数不可変インバータ
	2.72kg	
(c)	2.580cm ² (大きさ)	400c/s 正弦波電圧、周波数可変インバータ
	4.53kg (重さ)	
(d)	3.870cm ²	400c/s 正弦波電圧、周波数可変インバータ
	8.18kg	

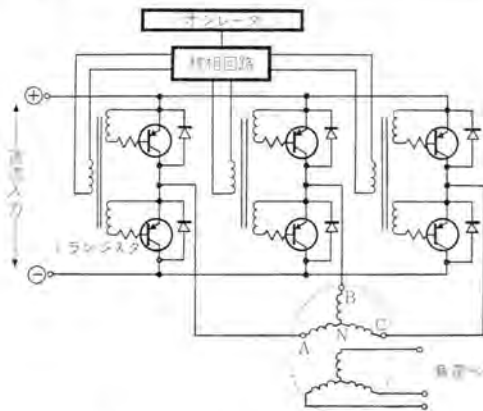


図 3.2 三相インバータ方式

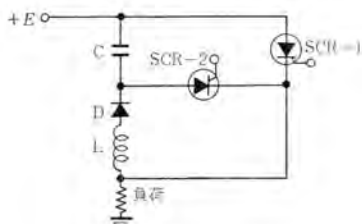


図 3.3 直列形インバータ

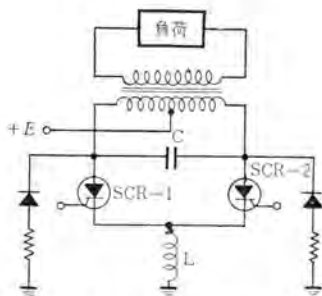


図 3.4 並列形インバータ

たとえば周波数制御精度、運転系統の総括制御などによる。

(4) その他

以上の事項を技術的・経済的な観点から表にしたものが表 3.1、3.2 とともにパワー transistor を使用し、出力側の波形および周波数によりそれぞれ区分される。図 3.1 は transistor を用いたインバータの区分を示した一例である⁽⁷⁾。この図は単相の例を示したが図 3.2 は三相ブリッジ形インバータ方式の回路例である。

またつぎのような分類もおこなわれている。

(1) 直列形インバータ…… 図 3.3 参照……⁽¹⁷⁾

(2) 並列形インバータ…… 図 3.4 参照 これらの基本回路については「三菱電機」第 33 巻第 8 号：河合技師の直列インバータ総論⁽¹⁷⁾に記述してある。

これらはすべて小容量のもので、主として transistor を使用したものが多い。かかるものでは位相変位 (phase displacement) が応々経験されている。その対応策として図 3.5 に示すように Follower⁽⁹⁾ または Slave inverter⁽⁸⁾ をもうけて交流出力を制御するものがある。図 3.6 はその一例である。一方動作

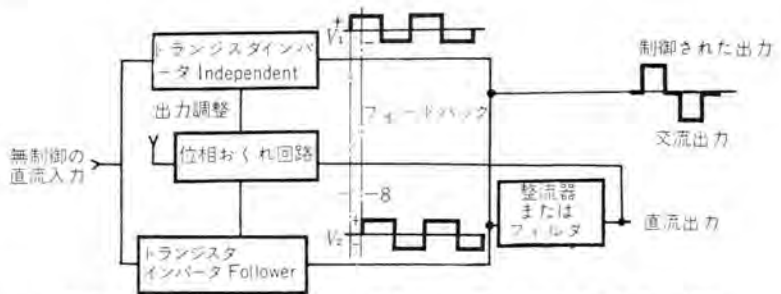


図 3.5 二組のトランジスタインバータを使用する位相調整法ブロック図

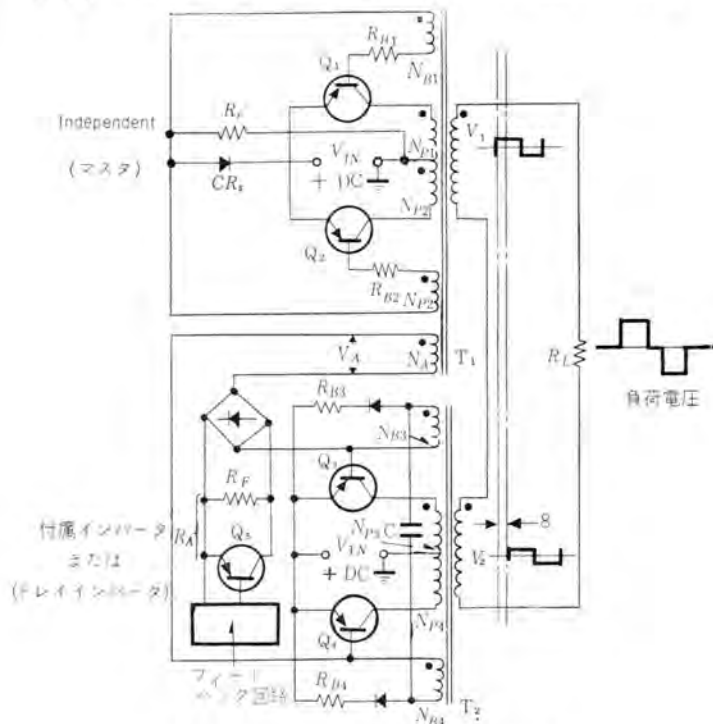


図 3.6 位相制御法を使った電力供給回路図

表 3.3 トランス組合せ DC-DC コンバータ

出力 (W)	最大出力電圧 (V)	直流入力電圧 V_{IN} (V)	飽和抵抗 (Ω)	コレクタベース電圧 V_{BO} (V)	ピークコレクタ電流 (A)	放熱定数	トランスの鉄心				回路効率定数
							材料	断面積 (cm^2)	磁気長 (cm)	運転周波数 (ke)	
10	400	12~18	1.5	45	2	0.1	フェライト	0.5~5	2.5~10	1~5	0.85
	600	18~28	1.5	60	1	0.5					
	400	12~18	1	45	5	3					
25	400	12~18	1	45	5	3	同上	1~5	5~15	0.1~0.8	0.85
	600	18~28	1	60	3	1.5					
	250	8~18	0.5	45	12	10					
50	500	18~28	0.5	60	8	5	Si-Fe またはオリ エンタコア	2~7.5	7.5~20	0.1~0.8	0.85
	600	18~28	0.5	60	5	2					
	800	28~38	0.5	80	7.5	5					
100	400	12~18	0.5	45	18	15	同上	3~12	10~25	0.1~0.8	0.85
	600	18~28	0.5	60	10	10					
	800	28~38	0.5	80	7.5	5					
200	400	12~24	0.2	60	20	25	同上	5~15	15~35	0.1~0.8	0.8
	600	24~36	0.2	80	15	15					
	800	36~48	0.5	100	10	10					

周波数は直流入力電圧には無関係であり、その電圧値にも比例関係にない。transistor のスイッチング割合は $R-C$ 回路の定数により定まり、 $R-C$ 回路の R または C のいずれか一方を変化させれば広範囲に動作周波数は可変となる。

また 12~48 V のバッテリー電圧の直流電力を一度上記のインバータで交流とし、さらに整流して 400~800 V 級の直流電力に変換する方式のものを表 3.3 に示す。

三相、電力用インバータとよばれるものは用途によりその方式、回路条件がかわるのが普通である。すなわち

- (1) 周波数変換器、または直流送電
 - (2) 直流モータ駆動用インバータ
 - (3) 特殊用インバータ、たとえば粒子加速器用、航空機エンジン直結形周波数変換器などがある
- (1) の周波数変換器は図 3.7 に示すように 60 c/s と 25 c/s

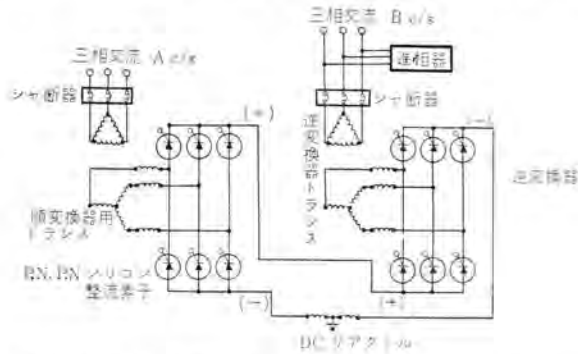


図 3.7 直流結合方式複合変換装置

表 3.4 モータ駆動に関係したインバータ方式の区分

	回路方式	備考
単変換器形	a. モータ電機子回路切替方式	図 3.21 参照 大電流開閉器が必要。
	b. モータ界磁回路切替方式	図 3.22 参照 界磁電流は小さい故開閉器の責務は小さい。
複変換器形	a. 交差接続方式	図 3.23 参照 循環電流が流れる。
	b. 逆、並列接続方式	図 3.24 参照
	(a) 循環電流非制御方式 (b) 循環電流制御方式	図 3.25 参照

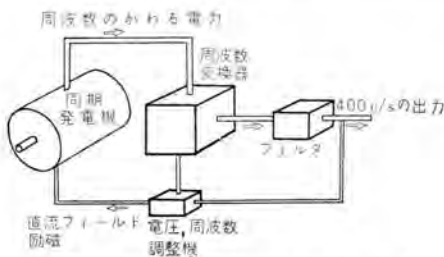


図 3.9 周波数変換器の系統のブロック図

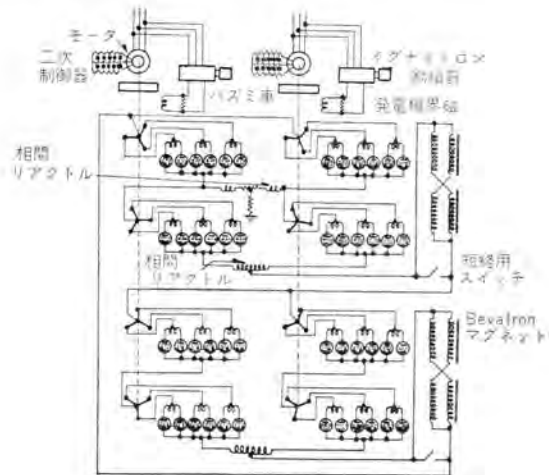
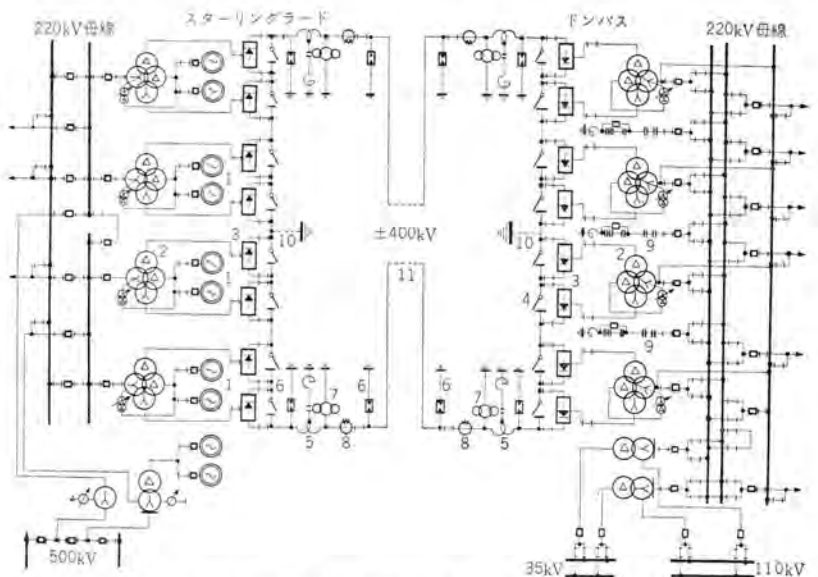


図 3.10 カリフォルニア大学ベクトロンマグネット電力供給回路

との両系統を直流結合形変換装置で結び、電力を両系統のいずれの方向へも送、受電できること、また両交流系統の周波数の変動にこの静止形変換器は影響されことなく運転制御ができるものである。

また直流送電とは上記の周波数変換器の直流結合部すなわち水銀順変換器と水銀逆変換器との間の直流母線間が長くなり、直流送電線とよぶうる経済的条件を備えたものをいう。図 3.8 は ± 400 kV の直流送電の順、逆変換装置の結線図である。

(2) の直流モータの逆転制御を整流器を利用して円滑にかつ速応的に実施し、生産の向上を計ることが普通一般に行なわれるようになった。現用の方式を区分すれば表 3.4 に示すようである。この表は使用する変換器の台数と回路方式によって区分されたものであるが、それぞれの用途上の要求によりかつまたモータ容量による経済的条件によってかなりの制限と区分をうけるものである。



- (1) 水車発電機 (2) 主変圧器および ± 10 のブースタートランス (3) 水銀整流器 (ブリッジ結線) (4) シェントスイッチ (5) リアクトル (6) アレスタ (7) 直流 PT (8) 直流 CT (9) コンデンサバッテリー (10) 接地回路 (11) ± 400 kV 架空線

図 3.8 スターリングラード・ドンバス間 800 kV 直流送電

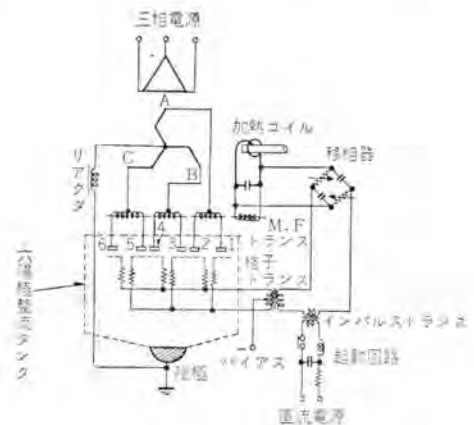


図 3.11 サイクロインバータ回路図

特殊形インバータとしては図3.9に示す航空機用の高精度周波数発電のものと図3.10および図3.11に示すベトロマグネット電力供給方式と加熱コイル用高周波電源としてのサイクロインバータなどが代表例としてあげられる。

3.2 インバータ回路系統

上記の各種のインバータは一つの機器でなく、各種の電気的要素によって構成された装置である。この各要素のうちの電気的定数はインバータの周波数、波形などを決定する基本要素であり、無視しえない潜在力をもっている。まずインバータの基本回路を図3.12(a), (b), (c), (d)に示す。このほかコンデンサを使用した変形回路もあるがこれは応用のところで述べる。図3.12(d)は単相L形のもので負荷が高リアクタンスのものにもっとも有効である。以上の基本回路にもとづき小容量のもので単相、三相、負荷の性格差による波形差その他を説明しよう。

図3.13はラッシュアル方形波インバータの代表回路であり、抵抗負荷のとき(図3.14(a))、誘導負荷のとき(図3.14(b))、コンデンサ負荷のとき(図3.14(c))では各図に示したようにコレクタ電流(I_c)とコレクタ電圧(V_c)の波形はそれぞれ異なり、トランジスタの責務が若干相違する。図3.14(d)は V_c - I_c 関係曲線を負荷特性に応じて描いたものである。以上は単相の場合であるが三相の図3.2に示す方形波インバータにおける各相の波形を負荷の性格により図3.15, 3.16, 3.17にそれぞれ示す。この三相インバータ系も結合変圧器の中性点のあるとき、ないとき、三

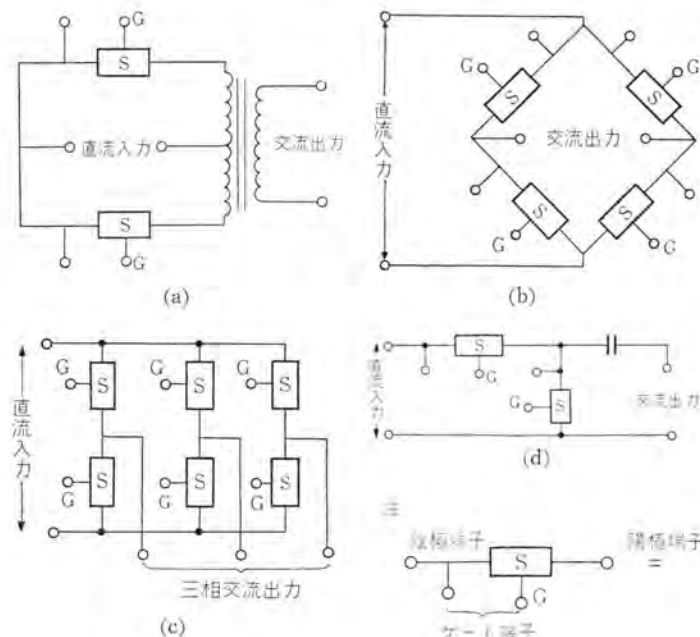


図 3.12 基本インバータ回路

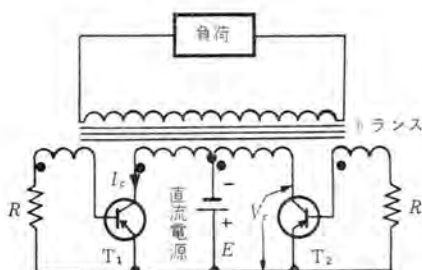


図 3.13 代表的ラッシュアル方形波インバータ

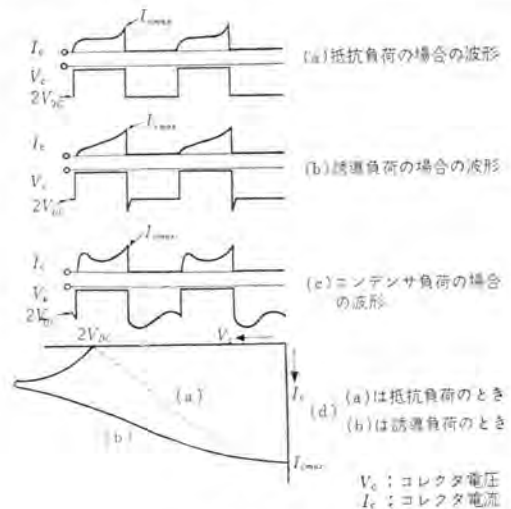


図 3.14

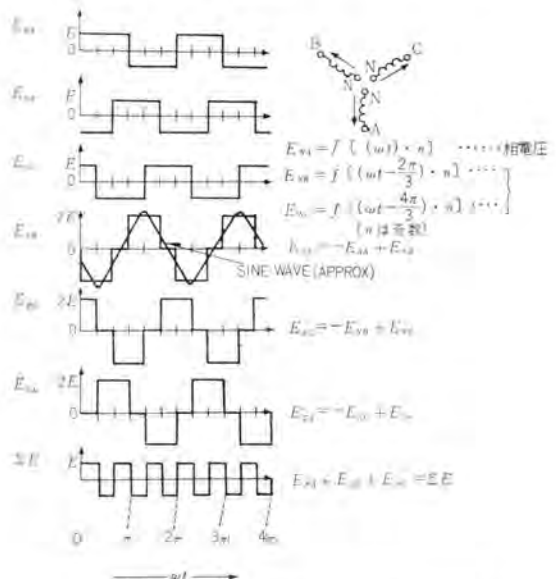


図 3.15 方形波、三相インバータの電圧波形

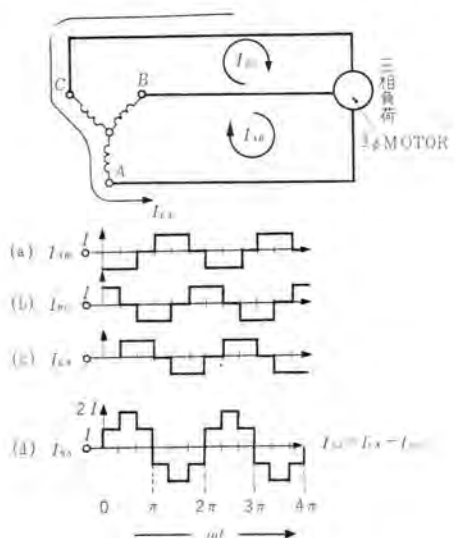


図 3.16 抵抗平衡負荷の電流波形

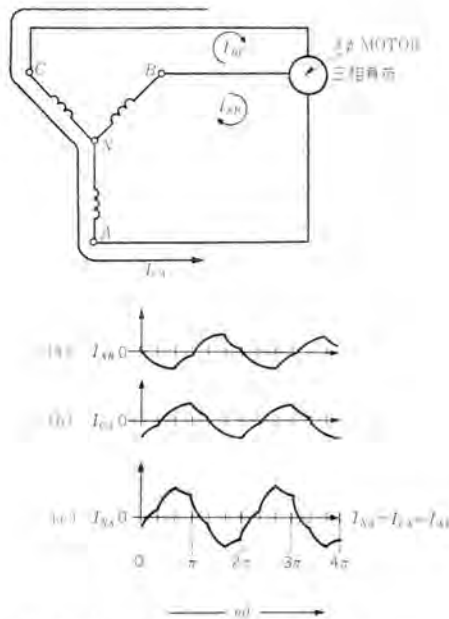


図 3.17 インダクタンス平衡負荷の電流波形

角接続の三つの場合がある。

図 3.15 は互に 120 度の位相差のある相電圧 E_{NA} , E_{NB} , E_{NC} の波形と線路電圧 E_{AB} , E_{BC} , E_{CA} と三角結線時の第三高調波の循環電流を E_{AB} の波形の上に描いてある。なお図 3.16, 3.17 はそれぞれ抵抗、インダクタンス負荷に対する電流波形を示したものである。

以上はインバータ単独の回路を述べたのであるがこのインバータが一つの系統を構成し、装置の形態をとってもなおインバータと呼ばれるときがある。図 3.18 は 1,500 c/s の高周波ケイ光電灯電源を 1 組作り、各電灯群に共通にしたものの一例。また図 3.19 は直流結合回路を作り、保護と保守の面に重点をおいた 1,500 c/s

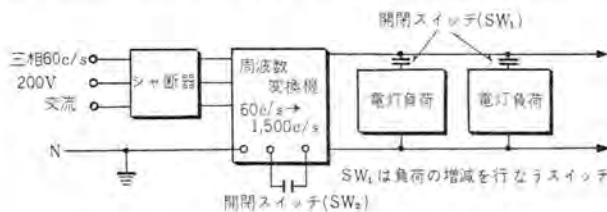


図 3.18 トランジスタ使用の高周波ケイ光電灯電源回路図

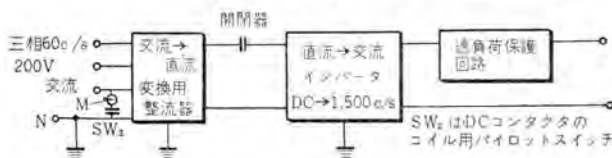


図 3.19 逆変換器回路図

インバータの回路系図である。三相インバータ系の代表例を図 3.20 に示す。これは共通の直流電源から 400, 2,000 c/s などの各種のインバータを並設して一群としたものであって単相のものも含まれており、各種のインバータの重量、周波数変動限界値が示されている。

大電力用および特殊用の回路系は図 3.7 から図 3.11 に示している。ただ直流モータ駆動方式のインバータは表 3.4 の回路方

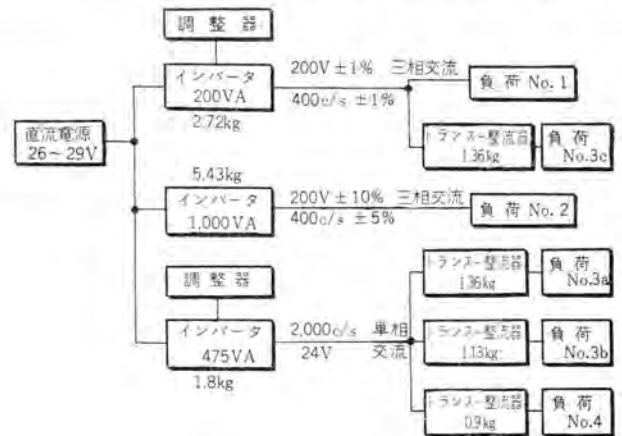


図 3.20 静止形インバータ系統図

式に示したようにその形態により分類し、つぎの特質がある。

図 3.21: モータ電機子主回路を切換えて 1 台の整流器を水銀順変換器と水銀逆変換器とにそれぞれ運転する。その変換は図 2.9 に示すように位相制御 ($\angle \alpha$ を大きく) して行き直流電圧 (U_d) がゼロの点で切換用開閉器を動作させて回路電流方向を反転させるもの。

図 3.22: モータ界磁回路を上記同様に切換えて逆転をさせるもの。

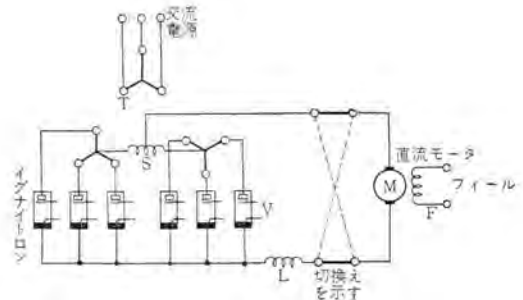


図 3.21 電機子回路切換方式 (単変換器形)

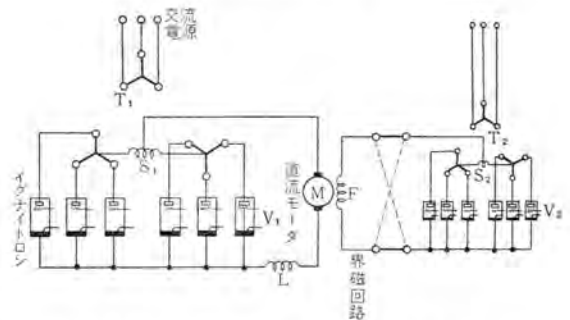


図 3.22 モータフィールド切換方式 (単変換器形)

図 3.23: 上記の図 3.21 に対応した方式であり、2 組の整流器を使って、切換開閉器を除去している。この方式は必要に応じてインバータとして働かすことができるし、生産、稼働速度を早めうる点から有利である。2 群の整流器間に循環電流が流れるがそれは $\angle \alpha$, $\angle \beta$ の角度に依存する直流分と 2 整流器の脈動電圧による交流分であり、前者は $\angle \alpha$, $\angle \beta$ の角度によって、また後者は L_1, L_2 のリアクトルによって制限される。

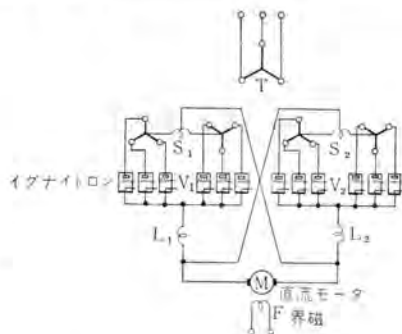


図 3.23 複変換器形交差接続方式

図 3.24: 2組の整流器を逆、並列に接続し、循環電流は S_1 から $L_1 L_2 S_2 \rightarrow V_2 V_1 S_1$ と流れる。

図 3.25: 2組の整流器の位相制御によって循環電流をおえることを特長とする方式である。この場合は S も L もともに1台となしうる利点がある。

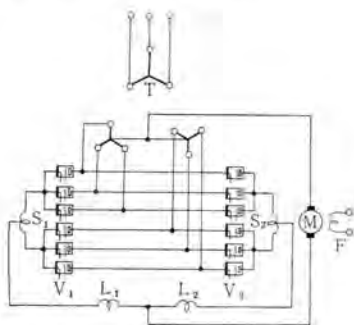


図 3.24 複変換器形逆並列接続方式 (循環電流非制御形)

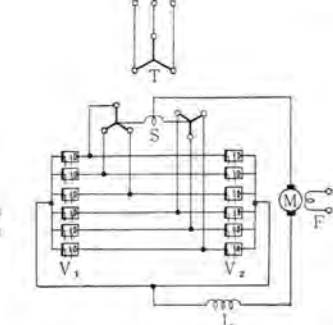


図 3.25 複変換器形逆並列接続方式 (循環電流制御形)

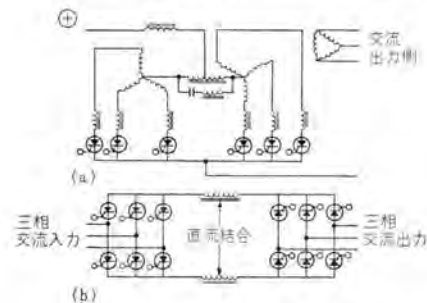


図 3.26 (a) 高周波転流形の回路 (b) 位相転流形の回路

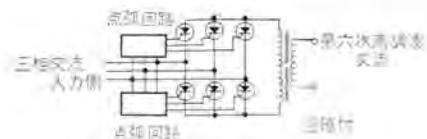


図 3.27 高周波数転流形の回路

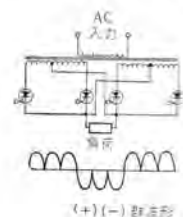


図 3.28 低周波数転流形の回路

以上述べたように狭義のインバータと広義のインバータとが回路系を中介として実際に混用されているときがある。そして回路転流形からの分類には(1)位相転流形、(2)並列コンデンサ転流形、(3)直列コンデンサ転流形、(4)高調波転流形、(5)周波数転流形のものがある。

図 3.26 (a) は高調波転流形の回路を、図 3.26 (b) は位相転流形の回路を、図 3.27, 3.28 には周波数転流形の回路を示し、前者は高周波数変換に、後者は低周波数変換を行なっている。

4. 応用例の解説

4.1 小容量インバータ

1 kVA 級の 400 c/s, 1,000 c/s 級のトランジスタ使用のインバータは表 3.2 に示した。

図 4.1 は 24 W 連続、150 W ピーク、 $(400 \pm 1\frac{1}{2})$ c/s, 115 V 交流のインバータで三相ジャイロスクー電動機を負荷として使用されるものである⁽²³⁾。これは若干の改造で 1,000 W, 連続の出力のインバータとなる。この回路は信頼性がたかく、高度に安定した特長をもっている。この出力側電圧、電流波形は図 3.15, 3.16, 3.17 を参考にされたい。

この種のインバータの実用例はケイ光灯電源に多くみられる。問題はインバータ系の波形とその高周波数を何サイクルにすればケイ光灯および補助回路をふくめての総合効率を高めかつ経済的であるかという点であるが現在は 1,500 c/s が多く使用されている。そして一般に定出力形のインバータで、負荷へのキ電方法はいろいろあるが図 3.18 のように部分負荷の開閉もできる全負荷起動である。かかる電源用インバータで 40 W 1,500 c/s のものは 60 c/s のものより小形、軽量でその損失は 1/4 といわれている。注意すべき点は回転機と競争の立場にあるため降圧用変圧器、トランジスタの定格条項などは成立条

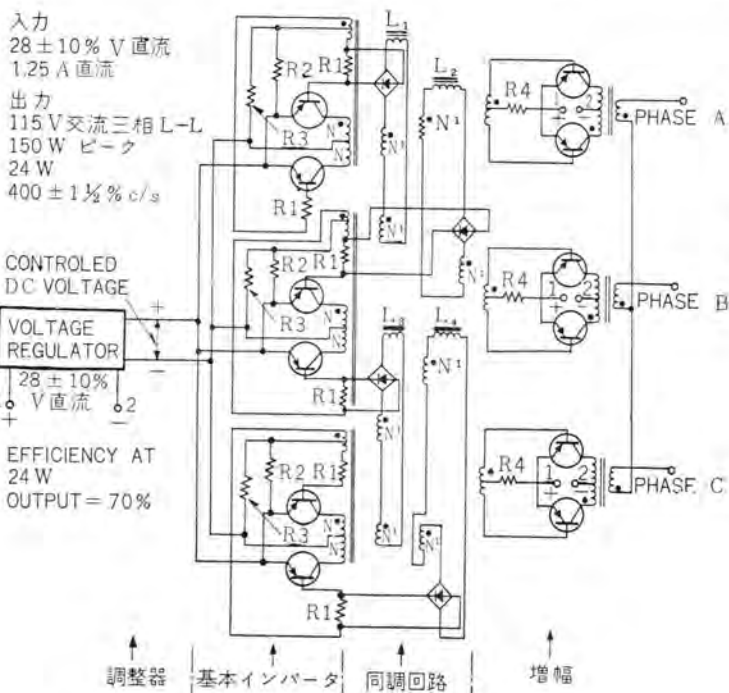


図 4.1 調整器付三相インバータの結線図

件の弱点となることがある。しかし発達途上の電子機器であるためインバータ回路の基本内容についてはなお検討の余地があるが図4.2 (a)に示すL形と単相ブリッジ (図3.12 (b)参照) インバータとは使用トランジスタの特性と個数において相違があり、L形はブリッジ方式の1/2の使用個数でよく、効率は94%、負荷に流れる電流、電圧波形を図4.2 (b)に示した。通電時には出力最高電圧は+300Vとなる。この図のものは1,500W出力、交流105V RMSである。

同じケイ光灯電源でも車両用のものは種類が多く、12V、24Vの直流電源より40W級のインバータ、1,500c/sを取付け (大約10in×5in×6inの大きさ) 4ftのケイ光灯を点灯している使用例がある。また図4.3に示すように700Vの直流でケイ光灯直列群を点灯させるのにランプの陰極の予熱用に補助パ

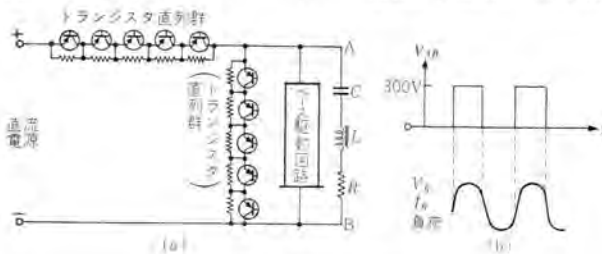
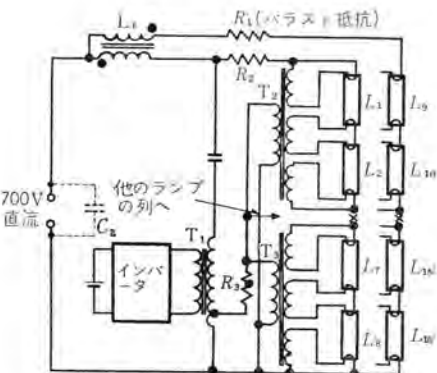


図4.2 C, Lは直列共振回路
(a) L形 1,500W インバータ回路
(b) 同上インバータ出力電圧波形



8個直列、2列並列のランプ群を700Vで点灯。
T₁: 100V AC T₂ T₃で降圧する

図4.3 ランプ陰極の予熱形インバータ (電鉄用)

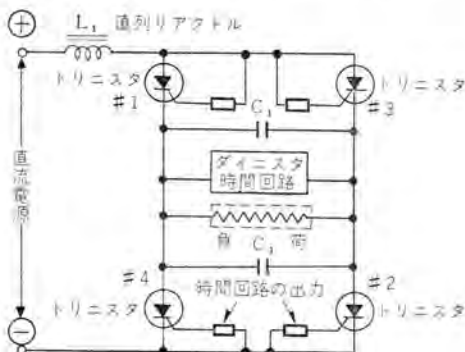


図4.4 4個のトリニスタを使ったインバータ回路

テリを電源とする 方形波インバータを取付けた例もある。British Railway で 1,000 c/s 20 W ケイ光灯電源として 60 台の正弦波インバータを 18 か月間運転し、満足すべき成績をおさめた報告がある⁽²¹⁾。

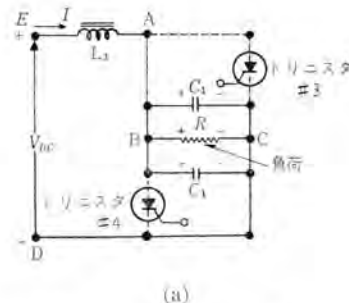
つぎに4個のトリニスタ (20 A/セルの S.C.R.) を使った単相ブリッジインバータの代表回路例を図4.4に示す。この実施例は400~1,500 c/s で 3,000 W、の出力 (50°C の周囲温度下) で約 94 % の効率であり、400 c/s では 10,000 W 200 V 50 A の出力を得て逆変換効率は 97 % を示している⁽²⁾。またこの方式は #1, #2; #3, #4 の各 S.C.R. が 1 組となってターンオン、オフするのでその動作状況を図4.5 (a) (b) (c) (d) に示した。そして C₁ の電圧 v_c と負荷電流 I、負荷抵抗 R との間には式 (4.1) が成立する。

$$v_c = IR(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \dots \dots \dots (4.1)$$

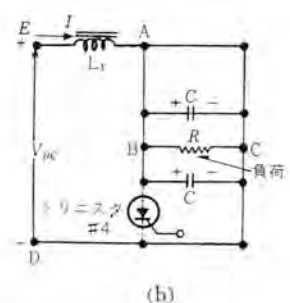
しかし v_c = 0 ~ IR の間

t は v_c = 0 から計る

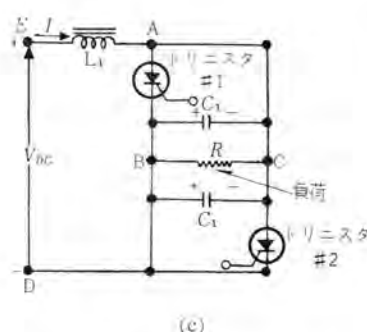
図4.6は上記インバータ回路のブロック図を示したものである。これと同一方式で 75 kVA の単相ブリッジインバータを図4.7に示す。このインバータの用途はケイ光灯電源、高速度モータ駆動用であり、その動作周波数はオシレータにより左右される。この回路中ダイオード D₁ D₂ D₃ および D₄ は C₁, C₂ が負荷を通して放電するのを防ぐ作用を行なう。またトリニスタに並列に抵抗とダイオードの直列結線回路がそう入されているがこれはターンオフの期間、S.C.R. を流れる逆電流を制限する役割を演じている。正弦波の出力が必要なときには負荷に直列に直列共振フィルタを



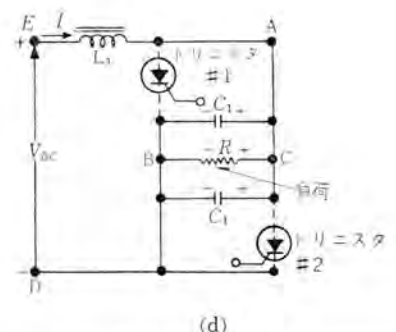
負荷の一端 B が正で他端 C が負のインバータの定常運転状態。(トリニスタ #1 #2が通電)



インダクタ L₁ が V_{DC} の短絡を防止している状況。



トリニスタ #1 #2 がターンオフした状態。



負荷の一端 B が負で他端 C が正トリニスタ #3 #4 が通電しているインバータの定常運転状態

図4.5 S.C.R. ターンオン、オフ動作状況

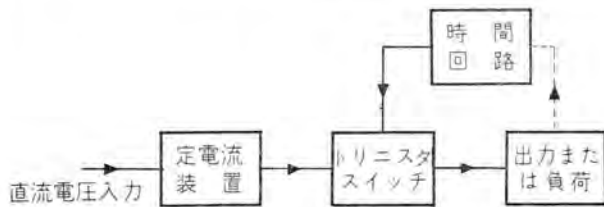


図 4.6 トリスタ整流素子を使ったインバータ回路のブロック図

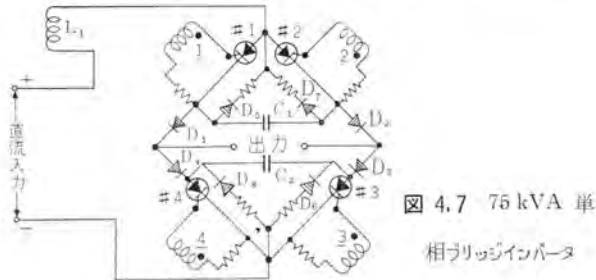


図 4.7 75 kVA 単相ブリッジインバータ

そう入すればよい。

S. C. R. を使用した三相インバータで 50 kVA の一例をあげれば図 4.8 である。これは直流電圧 125 V を電源とし、三相 120 ~ 240 V 交流で、その周波数はユニジャクショナルオシレータを使って 50 ~ 500 c/s の間調整できるといっている。回路系は三相変圧器を経てフィルタ回路が接続されている。図示のようにベクトル的に各位相が加算される。この位相関係を調整することによってフィルタを経過しての三相出力が 120 V から 240 V の間にわたって変化することになる。S. C. R. の効率 50 A 定格のもので 95 % 以上、インバータ系としての総合効率は 80 % 以上であり、周波数精度は $\pm 1\%$ である。そして高調波分は 5 % 以下とされている。またサイラトロンを使い 45 kVA ユニットの直流結合形インバータが日本でも IBM の電源に、放送局の電源用と

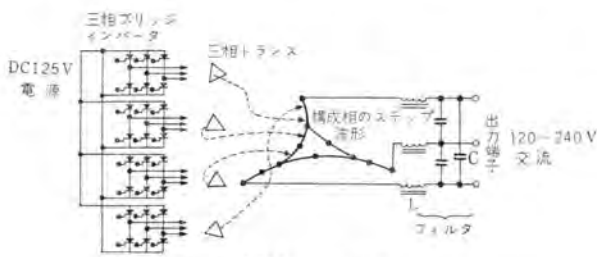


図 4.8 50 kVA 三相ブリッジインバータ



図 4.9 45 kVA 50 c/s 三相を 60 c/s 単相に変換する周波数変換器の外観

して納入され、変換交流電力の周波数の安定を主要目的としたものが実用化され、満足すべき結果を得ている。図 4.9 は 6.6 kV 50 c/s 三相電力を 100 V 45 kVA 60 c/s 単相電力に変換し、放送局のテレビ電源としたものの外形である。

4.2 中容量以上のインバータ

この種の容量のものは電流定格の大きい S. C. R. か水銀整流器を使用したものでその主回路方式も容量の増大に伴ない、DC Link 方式のものとなる。図 4.10 は在来の実績と図 2.1 の S. C. R. の発達見込とを考慮したインバータ定格出力の経年進見通し図である。図 4.11 はインバータ出力 1,000 kVA までのもののうち MG セットと静止形インバータとを 60 c/s、400 c/s との両場合についてその kW あたりの重量を比較している。この図によれば静止形インバータの重量は各 kVA とも約 1/2 である。図 4.12 は同一比較を外形寸法一定定格 kVA について行なったものである。図 4.13 は MG セットと静止形インバータの各 kVA に対する効率比較曲線であってつねに後者のほうがその総合効率はすぐれている。

3,000 ~ 20,000 kW 級のインバータすなわち周波数変換器であり、直流送電である実施例をあげよう。

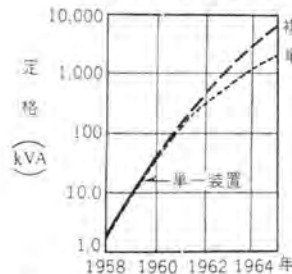


図 4.10 電力用インバータの発達見込

1934年に当時の Carnegie-Illionis Steel 会社の Gary, Indiana に多陽極形で初め 6,667 kW、後ポラ付エキサイトロン形周波数変換器として 8,000 kW 連続定格、10,000 kW 2 時間の過負荷耐量のあるものとした。これは ± 0.1

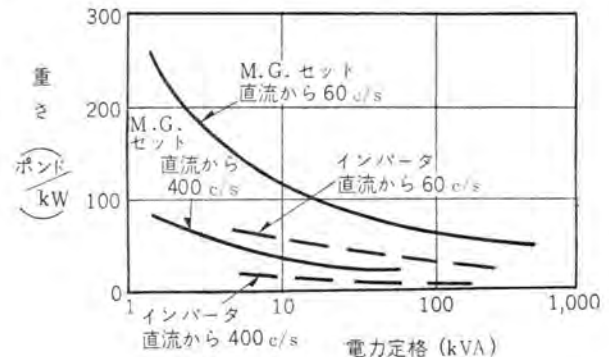


図 4.11 電力定格 kVA-重量の比較表

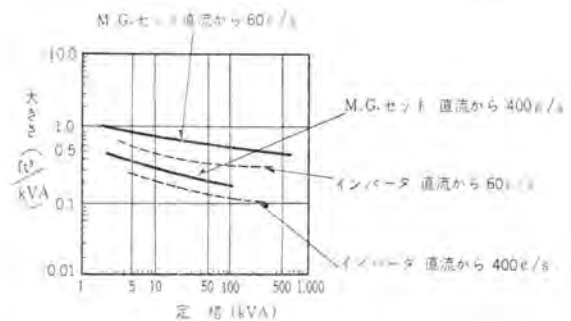


図 4.12 外形寸法一定定格 (kVA) 比較曲線

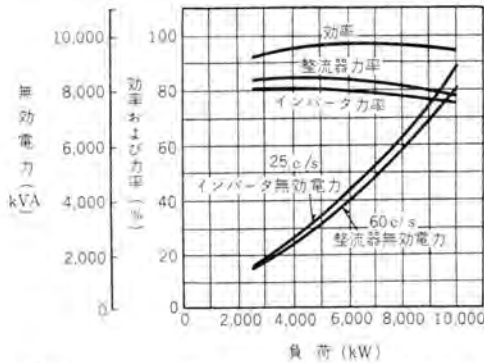


図 4.15 逆変換装置の無効電力 効率 力率曲線

$$\cos \phi'_{1a} = \cos \alpha - (1 - \cos \phi'_1) \dots \dots \dots (4.2)$$

$$\cos \phi'_{1b} = \cos \beta + (1 - \cos \phi'_1) \dots \dots \dots (4.3)$$

直流送電は前記図 4.13 の直流結合部を送電線としたものであり、これが在来の交流送電に対して経済的に有利であることが成立の条件となる。両者の経済的な送電距離上の限界は一定ではなく、送電技術、建設費、電力経費などによって変化する。この比較は一つの仮定の上に立って計算されるのが普通である。図 4.17 に示すように送電方向が可逆的で中間変電所のないものとする。また送受電端における無効電力は交流系より補償されたとする。直流送電 ± 300 kV, ± 400 kV では単極水銀整流器として陽極電流 ± 900 A, 直流電圧 130 kV のものを ± 600 kV では 2,000 A, 180 kV のものをブリッジ 8 回路に (図 4.18 参照) 構成されているものとすれば表 4.1 (a) (b) に示すような結果になる。すなわち送電電力が 500 MW, 年間送電量 2,500 GWh のものでは限界距離は約 900~1,000 km であり、建設費が等しくなる距離は 700~900 km 以上である。

直流送電で 2 連の スターリングラード・ドンバス間 ± 400 kV の送

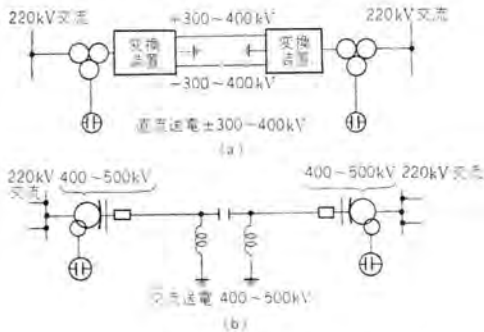


図 4.17

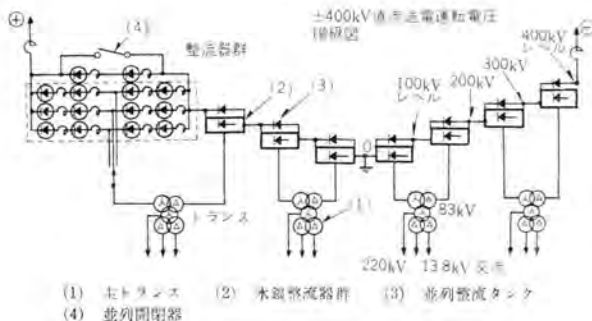


図 4.18 ブリッジ形結線の水銀整流タンクの運転レベルを示す図

表 4.1 (a) 送電方式の比較例

例	電圧 (kV)	送電方式	送電容量 (MW)	年間送電量 (GWh)	送電距離 (km)	
G ₁	± 300	DC (直流送電)	500	2,700	200~1,000	送電方式は可逆式。中間変電所がないとき
G ₂	± 400	"	750	2,500	"	
G ₃	\pm	"	"	4,000	"	
D ₁	400	AC (交流送電)	500	2,700	"	
D ₂	"	"	750	2,500	"	送電方式は一定。無効電力は交流系より供給される
D ₃	"	"	"	4,000	"	
D ₄	500	"	"	"	"	
G ₄	± 400	DC	750	2,500	200~1,000	送電方式は一定。無効電力は交流系より供給される
G ₅	"	"	"	4,000	"	
G ₆	± 600	"	2,000	14,000	400~2,000	
D ₅	400	AC	750	2,500	200~1,000	
D ₆	"	"	"	4,000	"	中間変電所を設けたとき
D ₇	650	"	2,000	14,000	400~2,000	
G ₇	± 400	DC	750	4,000	200~1,000	中間変電所を設けたとき
D ₈	AC	"	"	"	"	

表 4.1 (b) スターリングラード・ドンバス間直流 および交流送電の経済比較値 (%)

指 数	直 流 送 電	交 流 送 電
投資額 (%)		
線 路	71	100
変 電 所	170	"
送電系統全体	102	"
送電損失 (送電電力に対する)		
線 路	1.9	4.65
変 電 所	4.1	1.35
送電効率 (%)	6.0	6.0
	94	94

スターリングラード・ドンバス送電は大差ないことを示す

受電端機器の単線結線図をかいたものを図 3.8 に示した⁽¹²⁾。この系統は線間電圧 800 kV, 出力 750 MW, 中性点接地式でここに使用される水銀整流器は 130 kV, 900 A 定格の単陽極形である。スターリングラードは水力発電所側で主として整流器運転に、ドンバス変電所はインバータ側で 75 kVA の同期調相機 4 台と 37.5 kVA の 並列コンデンサ 4 組が設備されている。ドンバスからの逆送電ももちろんできるようになっている。送電線路の コウ長は 473 km, 40 cm 間隔の複導体水平配置の架空線である。直流ケーブル採用の研究が行なわれたが価額が 2~3 倍、架空線よりたかくなるため架空線式を採用することにきまった。

また直流送電の代表例としては スウェーデン本土・ゴットランド島間に離島開発の目的で 100 kV, 20 MW の ケーブル による直流送電が世界で最初 (1954 年) に実用にはいり、満足すべき状況にある。直流送電には (+), (-) の 2 本の送電線を必要とするが離島一本土間の直流送電では 1 線を接地して海水を帰路とし、2 本の ケーブル 中 1 本を省略することができる。こうした立地条件は直流送電計画を有利にしている。日本では九州本土と高島の間約 5 km を 海底ケーブル による 50 kV, 7.5 MW の直流送電の試験送電が行なわれた。図 4.19 はこれに使用された高圧イグナイトロン整流器である。



図 4.19 50 kVA 高電圧イグナイトロン整流器

以上のような直流送電の運転特性は変換装置とくに逆変換装置（インバータ）側の特性が運転特性を決定するといえよう。そのうち特記すべきことは逆変換装置の消費する遅れ無効電力は出力に比例して、図 4.15 に示したように増加する。よって無効電力を少なくするため進み制御角（ $\angle\theta$ ）を小さくする必要がある。しかしこれも整流タンク内の消イ時間、転流限界線（図 2.7 参照）により制限される。給電交流系統の交流電圧が低下したときは無効電力の不平衡のため逆変換装置は停止することもおこるから直流送電の運営上交流系統の無効電力の平衡に留意しなくてはならない。また過負荷運転制御方式として順変換装置側で定電流制御を行なうことが普通である。このほか直流送電系統特有の逆弧、転流失敗などの保護方式、起動、停止方法なども考えられている。表 4.2 は整流器—インバータ運転時の事故内容と保護方式を表にしたものである。

上記の大電力用周波数変換器の起動、停止、負荷調整が在来の交流送電系とかなり相違している。それは表 4.2 に示した特性をもっているからでもあるが制御角（ $\angle\alpha, \angle\beta$ ）をわずかな電力で変化させれば図 2.9 に示したように 2～3 サイクル間に直流出力はゼロとなり整流器運転、インバータ運転の負荷調整が容易にできるだけでなく、迅速に実施しうる特長があるためである。図 4.20 (a) は A 系統の負荷を B 系統へ変換するときに一定

表 4.2 整流器—インバータ運転時の事故保護方式

事故の種類	短絡回路	保護方式
逆弧	相間短絡、モータはトランス巻線に直接つながる。	点弧をとめ、陽極および陰ブレーカを開放する（直流送電はのぞく）
通流失敗	トランスの相間短絡	同上
電源短絡	1 サイクル電圧がなくなる	表示だけ、自然になおる
負荷側短絡	AC 側短絡	AC ブレーカ開放
	DC 側短絡	DC ブレーカ開放（直流送電はのぞく）

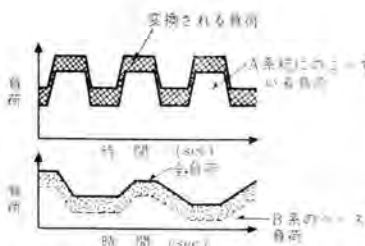


図 4.20 (a) A, B 両系の負荷分配

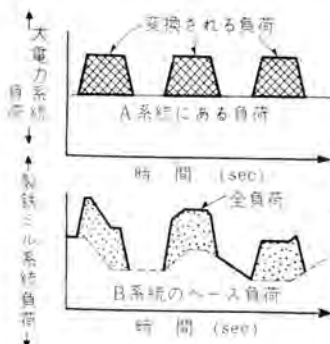


図 4.20 (b) A, B 両系の負荷分配

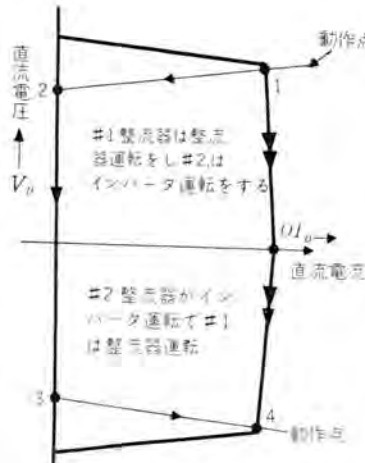


図 4.21 運転調整方式

量の電力をつねに変換するときと図 4.20 (b) に示すように部分的なヘッド負荷だけを必要に応じて変換するときとがあり、後者の場合が製鉄用ミル電源としてその例が多い。また変換装置の出力を調整するのに一系統の負荷に比例して調整するときと一系統の周波数に応じて出力制御する二つの場合がある。そのほか変換装置の変圧器のタップ変換器を使って行なうときもあるが主として $\angle\alpha, \angle\beta$ の制御角の調整で行なわれる⁽²²⁾。図 4.21 は整流器運転からインバータ運転へ、またその逆の運転調整方式を図示したものである。すなわち

- (1) 直流電流を一度ゼロとしてすなわち 1234 の経路によって 1 の動作点から 4 の動作点へうつす方法。
- (2) 直流電流は一定であるが直流電圧をゼロとする方式。これは経路 104 とするもので送受電変電所の整流器の位相角の急速な協調動作が必要である。

この方式は次項の直流モータ駆動時の逆転方式の説明時に今少し詳しく解説する。

また大電力の発電に関する将来性あるインバータとしては図 4.22, 4.23 に例示した M.H.D. 発電機 (magneto-hydro-dynamic generator) の直流電力を交流電力に変換するものがある。これは 380 MW もあり楽しい夢である。

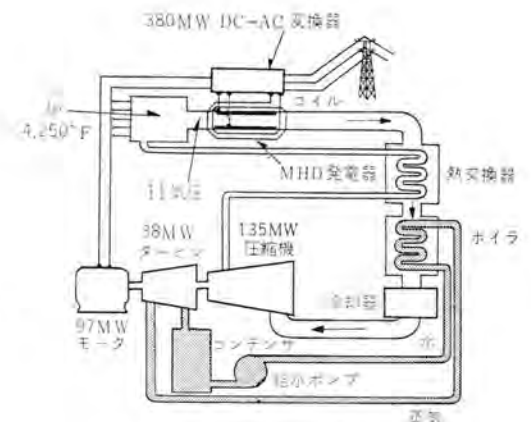


図 4.22 閉路式 MHD 発電機

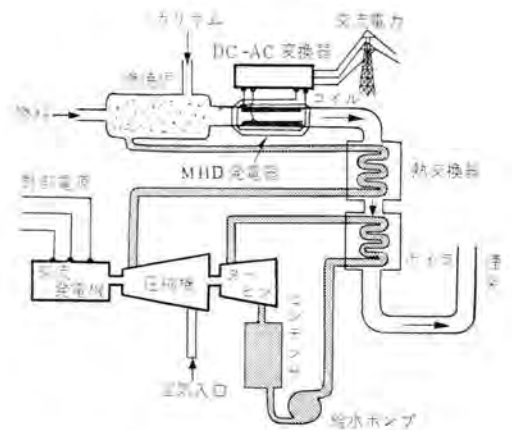


図 4.23 Jossil Juels を使用した MHD 発電所（開路式 MHD 発電機）

宇宙線の軌跡の写真撮影

Photographing Cosmic Ray Tracks (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 1, Jan., 1961, p. 28)

新しい電子管、それは個々の光の粒子を見ることができるといって、感度のいいものである。それを用いて、ウエスチングハウス社の科学者は、光速に近い速さで結晶中を通過する宇宙線の薄い軌跡を写真撮影することに成功した。

軌跡の撮影に用いられる高エネルギー粒子用カメラは原子核物理学者の新しい探求器具の一つである。宇宙線あるいは他の高エネルギー粒子は、約十億分の一秒くらいで結晶中を通過するが、その時その粒子の軌跡からそれが何であるか、またそのふるまいがどんなものかわかる。しかしこれらの軌跡は非常に薄暗く、何らかの方法でその輝度を相当に増幅しなくては、肉眼で見たり、写真にとったりすることはできない。

この実験では、“アストラコン”と呼ばれる新しい光増幅管を用いて、輝度が増加された。アストラコンは入射光量子を捕えて、光に感じやすい薄膜から電子を引き出させるもので、この放出された電子は加速され、上手に薄膜の列の上に導かれる。おのおのの薄膜で、1個の入射電子はさらに5ないし6個の電子をとび出させ、さらにこの数個の電子は次の薄膜のほうに動く。このような方法で数段階を経て増幅された後、これらの電子は、テレビジョンの画面に用いられているのと同じようなケイ光スクリーンに衝突する。そこでは、始めに増幅管にはいって来たおのおの1個の電子に対して、この4段階を経て、約10,000個の光量子を再放出する。その結果、管の入力面上での薄暗い像は出力として数千倍の輝度に増幅される。

これらの実験は、高エネルギー粒子の研究に“アストラコン”を用いる可能性を示している。アストラコンの光増幅度は近代物理学において、シンチレーションクリスタルをますます有力な道具とするに違いない。その分野で原子核や宇宙線の探求に、なじみの深い霧箱やアッ箱の欠陥を補うことになるであろう。

結晶中を通過する宇宙線あるいは他の高エネルギー粒子の軌跡に沿って放出される光は、鏡面系によってアストラコンの入力面上に収束される。そのアストラコンによって生じた像は、レンズ系を通過して第2のアストラコンの入力面に収束される。この第2の管は求める光のフラッシュが結晶中に起きた時にだけ動作するようにトリガされる。かくして、それは1秒の何分の一の間、開かれたり閉じられたりするシャッターとして、また開いている間は光の増幅管として働く。第2のアストラコンによって生じた像は写真フィルム上に導かれ、粒子の軌跡の像が記録される。

この系の利点は装置がとくべつ簡単なことと、小さくまとまった点にある。各アストラコンは直径約10.16cm長さ15.24cmである。全体の系——シンチレーション・クリスタル、アストラコンとその収束系の磁石、結合レンズ系、それにカメラ——は長さが91.4cmよりも短く、それに必要な電源やその他の装置はそれよりほんのわずかに大きいだけである。

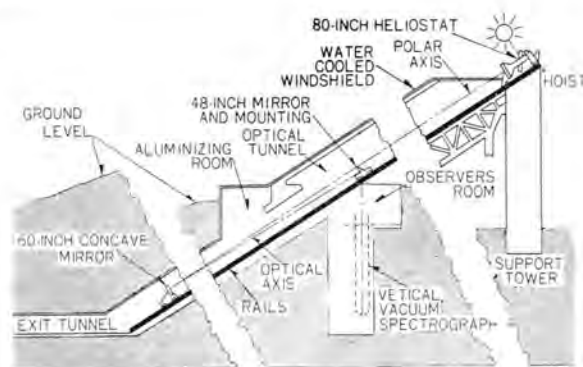
他の一つの利点は、アストラコン自身の持つ暗電流のとくに小さなことである。これは光の衝撃（アストラコンはそれを強めるように設計されている）がないときに、結像部に正常に流れてい

る電流である。暗電流は偽りのフラッシュや背景的な明るさとしてあらわれ、求める像を不明にする。原子核の軌跡の写真撮影や他の（輝度の）低い光に応用するには、アストラコンの暗電流特性はさらに適している。アストラコンはすでに天文学で、遠方の星の像やスペクトルの輝度の増幅に用いられている。さらにその他の面の応用が予測されている。（研究所 秋葉稔光訳）

太陽面の観測に新威力加わる

A Better Look at the Sun (Westinghouse Engineer, Vol. 21, No. 1, Jan., 1961, p. 31)

AURA (Associated Universities for Research in Astronomy) の National Observatory では、アリゾナ州 タクソン 付近の キットピーク山 に世界最大の太陽望遠鏡を建設中である。製作、試験、設置等はすべて ウエスチングハウス社 の手で行なわれる。焦点距離は90mで、観測室に直径85cmの太陽像を映し出せる予定である。



装置の配置は図のとおりである。太陽光は傾斜トンネルの頂点のヘリオスタット鏡からとり入れられ、32度の傾斜のトンネル光路を通過して、地下深いトンネル底部のパラボラ鏡に導かれ、さらに第三の鏡によって真下の直径180cm、長さ22.5mの真空分光器の感板上に投影される。

ヘリオスタット鏡は光電サーボ系で太陽の動きに自動的に追従する。三つの巨大な反射鏡（直径それぞれ203cm、152cm、122cm）は National Observatory で準備される。

太陽望遠鏡は太陽面の分光分析に使用される。地球物理学者は多年の間、太陽に関する重要な科学研究に従事してきた。すなわちそれは、非常な速度で噴出するガス、放射、電磁的な力、その他原子力研究、気象学その他の分野に寄与する種々の現象等である。（研究所 安東 滋訳）

ベルギーに建設された BR-3 原子炉

W. F. Davis: The BR-3 Reactor (Westinghouse Engineer, Vol. 20, No. 6, Nov., 1960, p. 162)

米国の会社として国外に輸出した最初の商業用動力原子炉が近くベルギーで運転を開始する。

BR-3はベルギー最初の原子力プラントであり、Brusselsの北西約80kmのMol付近に建設された。これは原子力発電のか

たわら、動力用原子炉運転の訓練および、基礎的な実験の目的にも使用される。

主要機構

BR-3 は米国、Yankee 原子力発電所より小さいが、それと同種の加圧水形で 11.4 MW の発電能力がある。炉心は直径約 86.4 cm、高さ約 142 cm の円柱状で 32 個の燃料集合体と 12 本の制御棒が配置してある。この炉心は、内径 147 cm、厚さ 11.1 cm、高さ 549 cm の圧力容器に納められている。重量 50t の

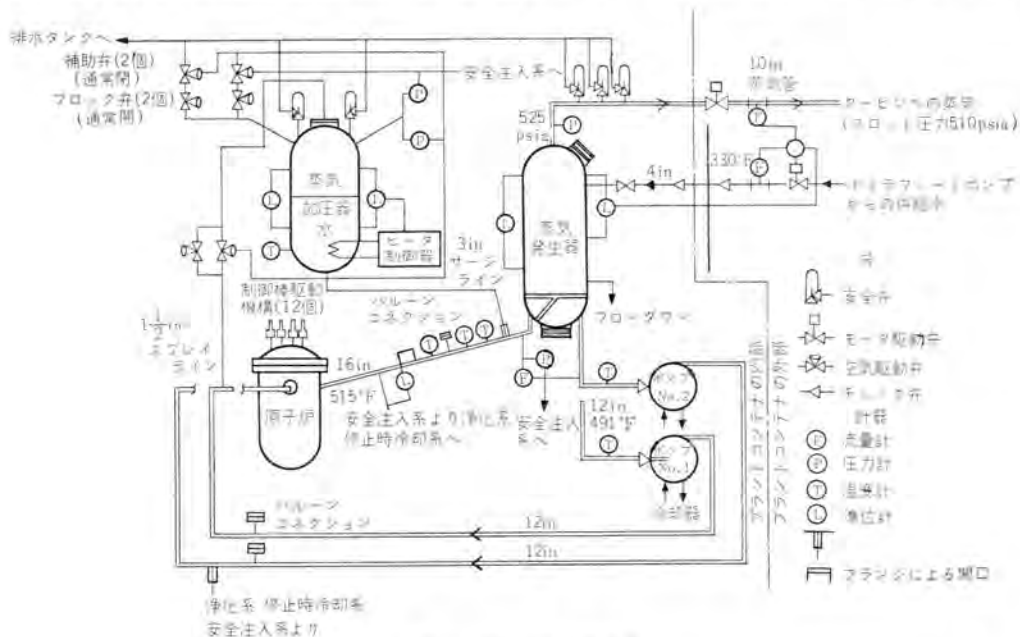


図 1 BR-3 熱交換器系

この容器は、上部で フランジ で封じられていて、必要に応じて上部機構をとりはずすことができる。図 1 は熱交換器系の主要な配管のダイアグラムである。蒸気発生器は垂直逆 U 字形で、直径 152.4 cm、高さ 793 cm、一次側の設計圧力は炉心容器と同じ 2,500 psi、二次側は 900 psi で、運転圧力は全負荷時に 525 psi 無負荷時 712 psi まで変化する。加圧器はこの一次側圧力を 2,000 psi に保つための装置である。

付 属 系

付属系は普通の加圧水ラントと同様のものであるが、この系は冷却材を循環させ、浄化し、また、気体、液体の廃棄物を処理するものである。

安全注入系は一次系の冷却材が失われ炉心を損傷するおそれのある場合に働く。

炉 心 部 分

BR-3 は燃料被覆物質に ステンレス鋼 を用いた最初の商業用原子炉である。燃料は 91 個の UO_2 ペレットを厚さ約 0.51 mm、内径約 8.7 mm のステンレスの管に収め、密封したものをさらに、約 110 本にまとめて 1 個の集合体を形造っている。全燃料は 5,000 lb である。また濃縮度の変った燃料を半径方向に 2 段階に分けて配置し(中心部 3.7%, 外側 4.4%), 出力分布、熱水路係数を改善している。炉心の性能、安全性については WREC (Westinghouse Reactor Evaluation Center) で 3 か月にわたる厳重に試験された。

制御系と安全系

BR-3 の自動制御系は一次側の冷却材平均温度を規準にして、その温度が設定値から $3^{\circ}F$ ずれると制御棒が動かされる。また炉出力と蒸気流量を比較して、その差が設定値をこえると制御棒が動かされる。制御棒駆動装置は磁気ジャック形で可動部分はすべて密封された圧力容器内に収納されている。磁気ジャック機構は安全性の面からも適当である。それはいつでもただ励磁電流を切るだけでスクラムが起こるからである。またラッチ、歯車など機械的なものが使われていないので摩耗、破損の心配がなく安全性を高めている。

核計装は起動時から全出力運転時まで常時炉出力を監視し、安全限界を越えた場合にはただちに炉の運転を停止させる。線源領域および中間領域はそれぞれ 2 チャンネルで、また出力領域は 3 チャンネルで監視して、2 out of 3 の同時信号でスクラムを起こさせる。これで雑音による誤ったスクラムを防いでいる。

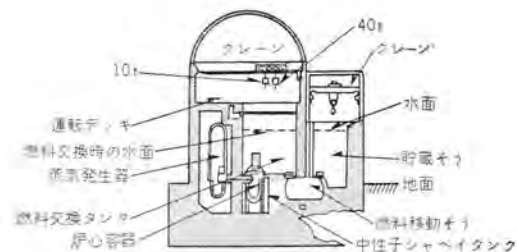


図 2 コンテナ、貯蔵そうの断面図

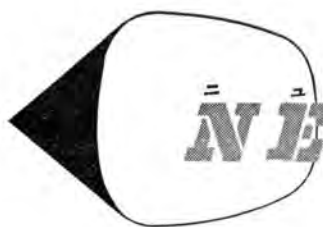
プラントコンテナと設備の配置

図 2 は プラントコンテナと貯蔵そうの断面図である。主要機構と付属の高圧部分は コンテナ内 に納められている。コンテナは直径 16.47 m、高さ 32.64 m で内圧、45 psi まで耐える設計である。運転デッキの放射線レベルはコンクリートのシールドによって安全値以下に下げられている。

コンテナは万一の事故に備えて漏洩をふせぐため、気密になっていて、すべての出入口は二重にしてある。貯蔵そうは燃料の貯蔵と使用済の炉心の取扱いをする場所であり、燃料の交換はここを通じて行なう。その場合、燃料交換タンクを水で満たして、作業者を放射線から防護している。

貯蔵そうに接して運搬施設があつて、燃料その他の取扱いに便利である。その他に廃棄物処理と換気のための建物があり、燃料交換の際の水を貯蔵する場所にも使っている。

このような BR-3 は規模の小さい点を除くとすべての点で動力炉としての性能をもっている。(研究所 川島彦彦)



NEWS

FLASH!

■ 中性子回折装置 2, 3 号機を完成

日本電信電話公社電気通信研究所および東京大学物性研究所納めとして作成した中性子回折装置を二つほど日本原子力研究所 JRR-2 原子炉に据付け、運転を開始した。中性子回折は原子炉から発生する中性子線を用いて物質の構造をきわめる有力な手段であり、従来行なわれてきた X 線回折などに比べ多くのすぐれた利点をもっているが、その実験については大形の原子炉を必要としかつ回折装置としても大形精密実験装置となりまたその研究も近年緒についたばかりである。さきに当社で製作し、日本原子力研究所へ納めたわが国最初の中性子回折装置はその後運転を続け研究成果をあげており、今回のものはそれに続くものであるが多くの新しい考えが織り込まれた新鋭機である。この装置のおもな特長は次のような点である。

1. 1 本の実験孔からでる中性子線を 2 本の単色中性子線とし、同時に 2 台の装置を動かして中性子回折を行なえる。
2. 粉末試料および単結晶試料のいずれについても実験が行なえる。
3. モノクロメータの部分には ポラライザ を用いて偏極中性子線を取り出すことができる。
4. ゴニオメータには大形電磁石や低温実験の装置を乗せることができる。とくに物性研究所納めの ゴニオメータ A は速度分析を行なえる ダブルゴニオメータ である。
5. すべての操作が制御板から遠隔操作で行なわれる。
6. プログラムコントロール装置 を用いて結晶面の交換、回折角度の選択、測定値や バックグラウンド の測定および各種の記録をあらかじめ穿孔した テーパ の指令に従って連続自動的に行ない長時間の無人運転ができる。

おもな仕様

モノクロメータ A 角度 42 度 固定

モノクロメータ B 角度 -5 ~ 30 度 可変

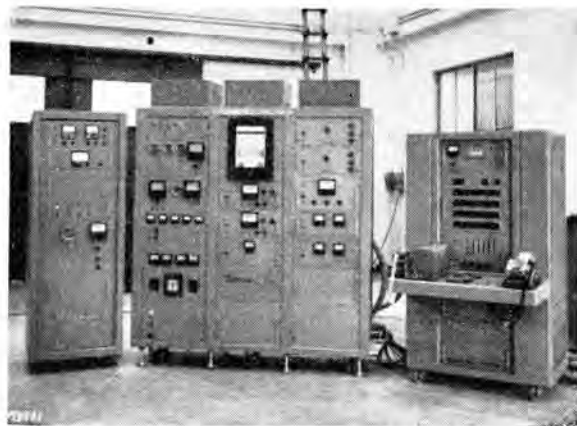
中性子ビーム断面積 30 × 30 mm

ファインコリメータ分解能 5', 15', 30' 交換可能

ビームノア 30 mm, 20 mm, 10 mm, 5 mm 角 交換能



JRR-2 原子炉に据付けられた中性子回折装置



電気通信研究所納め中性子回折装置の測定記録装置と プログラムコントロール装置

ゴニオメータ B 可動範囲 -30 ~ 120 度

自動送り角度 0.05, 0.1, 0.15, 0.5 度

角度精度 ± 0.01 度

テーブル許容荷重 1,500 kg

ゴニオメータ A ダブルゴニオメータ

その他は B に同じ

■ 移動式のマススレイブマニプレータ

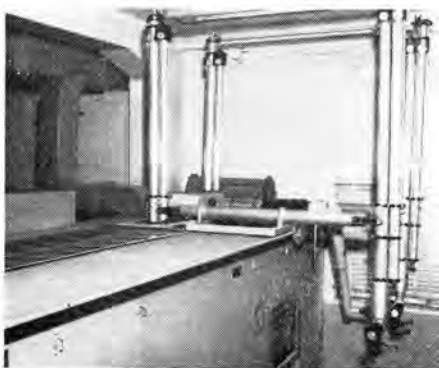
国立衛生試験所へ アイソトープ取扱い のための セミホットケープ用として MA-M 26 形マススレイブマニプレータを納入した。このマニプレータは MA-M 20 形標準形に運動範囲を拡大するため前後方向に ± 30 cm の移動ができるようにしたもので、ケープ内にホストで重量物を容易に持込める特長がある。ホストの操作スイッチとマニプレータの位置は リレー で連動し誤動作に対する安全を保障している。

また昭和電工中央研究所では、標識肥料の研究を行なうため



ケープ内 (MA-M 25 形)

1.2 m × 5 m の大形セミホットケープを建設したが、このケープ中を 1 組のマニプレータで操作するためマニプレータを走行台車に乗せて左右に 3 m の移動が行なえるようになっていた。MA-M 25 形マニプレータを納入した。ホットケープ内の有毒ガスを排気するためケープ内は水柱 3 cm の負圧にされており、天井は樹脂加工されたシャッター幕がマニプレータとともに移動し、たえず



昭和電工株式会社中央研究所に据付けられた MA-M25 形開孔部をふさぐような構造となっている。走行台車には 10 kg の重量を運搬する小形の受皿やペリスコープも搭載できるようになっていて種々の操作を容易に行なうことができる。

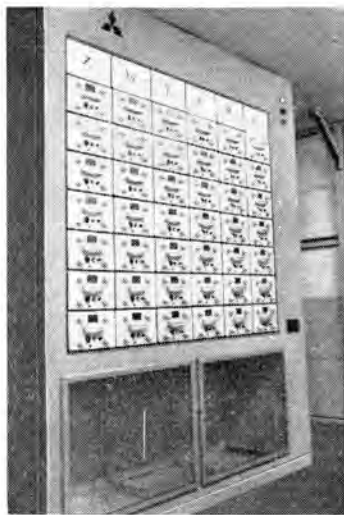
■ 食塩電解用 大変換単位シリコン整流器

日本曹達株式会社二本木工場納め 115 V 46,000 A 5,290 kW 風冷式シリコン変換装置は 3.3 kV 50/60 c/s 両用の交流電源を 1 台の変圧器と 1 台のシリコン整流器という大変換単位の構成で電力変換し、食塩電解用直流電源として使用されている。盛夏の間を経て満足すべき運転状況にある。本器は今まで、製作した電気化学用シリコン整流器中、最大の変換単位のものである点で特筆すべきものであり、つぎの特長をもっている。

1. 115 V 46,000 A の定格のシリコン整流器変換装置が 1 トラス、1 シリコン整流器の構成で両者を上下配置としたため機器据付面積がいちじるしく狭小となっている。
2. 負荷時電圧調整器と可飽和リアクトルとを併用して 115~80 V、65~45 V の間をそれぞれ連続的に調整する。また従来の負荷時電圧調整器は油中タップ切換方式であったが今回は気中切換方式とし点検保守の便がはかってあり、この方式の最初の製品である。



日本曹達二本木工場の新電解工場および同変電所（右端）



115V 46,000A 風冷式シリコン整流器（トレイ方式）

3. シリコン整流器は風冷式でトレイ方式、冷却はユニテッド冷却と自然冷却風との併用により、合理化した冷却方式である。
4. シリコン用変圧器は乾式相間リアクトル付二重星形結線方式、送油風冷式変圧器である。
5. 全無人変電所である。

■ ロールモータ用可変周波制御装置完成

バネ材や線材、条材など製品が多種類にわたる場合には、圧延される製品の種類に応じて最終圧延機を出る材料の速度が変化するので、それに応じてランアウトテーブルの速度も変化させなければならない。この可変速度ロールテーブルの駆動モータには現在まで直流モータが使用されてきたが、ロールモータに直流モータより安価で取扱い容易なカゴ形誘導電動機を使用し、かつその速度範囲を直流モータと同程度にしたいとの要望があった。今度、当社は日新製鋼（尼崎工場）に可変周波数による可変速度ロールモータ、その制御装置 1 式を立形圧延機用電動機などといっしょに納入し現在好調に運転している。

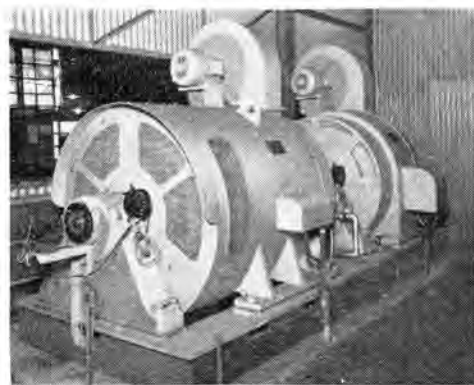
ランアウトテーブルはバネ鋼最終圧延機と巻取機との間 57 m に設置した 108 台のロールモータより構成されており、このテーブルの速度をバネ鋼の種類に応じて 5.9 m/s (33 c/s) から最高 19 m/s (113 c/s) まで 1:3.4 の速度範囲にわたって設定できるようにし、全速度範囲にわたってロールモータのトルクを一定に保つようになっている。

108 台のロールモータは 4 群に分けて正転、逆転、停止を行なうが、第 4 群のロールモータはとくに毎時 400 回の正転、逆転、停止ができるように設計されている。

交流発電機はオートコントロールにより電圧制御されている。

交流発電機および発電機駆動用直流電動機のおもな仕様はつぎのとおりである。

交流発電機	直流電動機
出力 137.5/471 kVA	出力 75/175 kW
電圧 124/225 V	電圧 400/550 V
電流 641 A	電流 210/353 A
周波数 33/113 c/s	回転数 396/1,356 rpm
回転数 396/1,355 rpm	
力率 0.35 lag	
極数 10	



75 175 kW 直流電動機と可変周波発電機

■ プロダック制御装置

製鉄ミルの制御にデジタル電子計算機構を応用した新しい自動制御方式として、プロダック方式の研究ならびに試作を行ない、実用化テストを行なった結果、好成績を収めることができた。今回の開発は水平ロールについてのものであるが、エッジロールも同様に制御することができ、他のドラフト補償、ミル速度などの制御も各パスごとに同時に制御を行なうことができる。

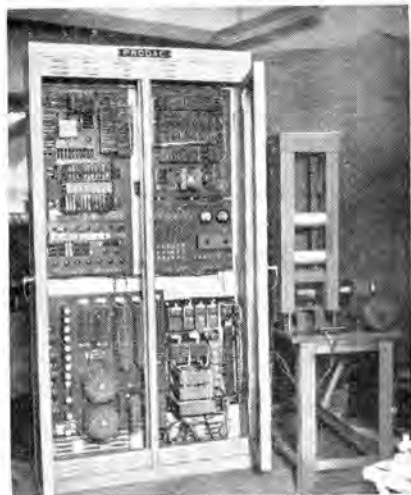
プロダックとは Programed Digital Automatic Control のイニシャルをとったもので、その制御方式をよく表わしており、この適用対象は製鉄ミルに限ったものではない。

圧延プログラムは鋼塊の各パスの圧延量を2進法で表わしてIBMカードの各行に穿孔して作る。

つぎに、このカードの情報をカードリーダを用いて記憶装置に記憶させ、その読み出しは第1パスから最終パスまでのミルのシーケンス制御に従って行なう。

ミルロールの開度の制御はデジタル形フィードバック定値制御で、記憶装置から読み出したプログラム2進数と、ロールの実際の開度を2進数で表わしたフィードバック量とを比較する。

その結果、2数の差の正負および量を検出して増幅し、最終的にはロールの開度を所期の値に到達させるのである。このほか誤信号を検出する方法として、簡単に検出能率の高いパリティチェック方式を採用している。



プロダック方式を用いた場合の利点は、鋼塊の生産においては、(1) 生産量の増加。(2) 製品の品質向上。(3) 労力の軽減、などをあげることができる。

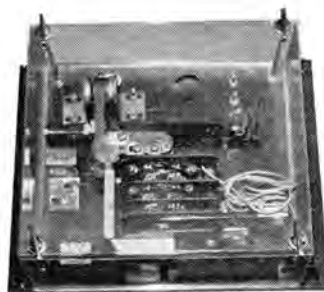
■ 新形限流継電器

電車の自動加減速制御を行なうため限流継電器を用いてその主回路電流を制御する方式が広く使用されているが、この場合乗客の多寡や運転手の操作ハンドル角度により限流値を自動的に変化させる必要がある。この方法として、在来はそれぞれの変位量を可変抵抗器を介していったん電氣量に変換したのち制御していたが、新しい限流継電器はそれぞれの変位量により直接、限流継電器の調整パネを加減して制御しうるもので、その原理は図のとおりでおもな特長はつぎのとおりである。

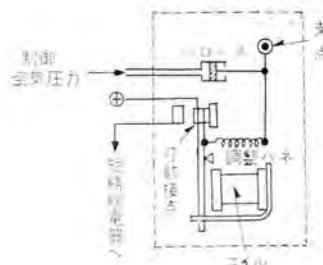
特長

1. 精度が高い

空気圧力により直接、限流継電器の調整パネを加減して限流



新形限流継電器



新形限流継電器
原理図

値を制御する方式であるため精度をいじめるしく向上しうる。すなわち、従来は可変荷重装置のリンク機構やブレーキ用アクチュエータなどの誤差が含まれるが新しい方式では空気ベローズとパネの直線性だけを確保すればよく、また、制御電源電圧などの変動にも左右されない。

2. 連続制御が可能である

可変抵抗器を使用するときはどうしてもステッパ状にしか制御できないが空気圧力で直接行なうときは完全な連続制御が可能で乗心地を向上しうる。

3. 装置が簡単となる

ベローズは限流継電器の裏面につけることができるのでコンパクトで従来のようなアクチュエータや可変抵抗器を省略しうる。

(実用新案申請中)

■ 燃料電池研究進む

研究所では、かねてから燃料電池の研究を進めてきたが、今度写真のような試作品を完成した。これは単位電池3個からなる常温用のもので2.5Vで15~30mA流すことができる。燃料には水素、酸化剤には酸素が使用される。電極は特殊な多孔性ニッケル炭結体で二重または三重の構造になっており、ガスに接する側は孔径100~200μで有孔率40~50%、電解液に接する側は孔径20~40μで有孔率60~70%である。電解液には25%のカセイカリ水溶液を使用している。

このタイプの燃料電池は小形軽量なることを特長とし、可搬用小形電源として注目されている。このほか中温用、高温用があり、高温用は燃料電池の特色たるエネルギー変換効率の高いことから低廉燃料、大電力発電用として火力発電と肩を



並べうるものとして期待されている。

このタイプのものは town gas に使える 700°C 0.5 V 50 mA/cm² のものも試作できたが耐熱耐食性構造の問題があり基礎的研究に努めている。

■ 新形 EM-35 形交流電磁開閉器

大幅な小形軽量化と価格低減した高性能新形 EM-35 形電磁開閉器の開発を完了した。おもな特長と性能は

1. 大幅な小形軽量化: 箱入、開放形とも従来の EK-35 形と比較して取付面積は約 65 % となった。
2. 最高級の性能: 水平形動作をとり入れた構造をとり JIS A 級 1 号 1 種を上回る高性能、長寿命である。
3. 広範な使用: 構造が簡単で安定な性能と補助接点が 2a 2b まで取付けられ広い応用範囲がある。
4. 過電流継電器は正しい保護特性と動作電流の可調整式。
5. 保守点検がきわめて容易: 箱入りの場合ツタの着脱また本体部分、接点、コイルの点検、取扱いがきわめて容易。

仕 様

EM-35 形電磁開閉器

定格容量	200-220 V 7.5 kW	400-550 V 11 kW
制御回路	200 V 50 c/s	220-200 V 60 c/s

M-35 形電磁接触器

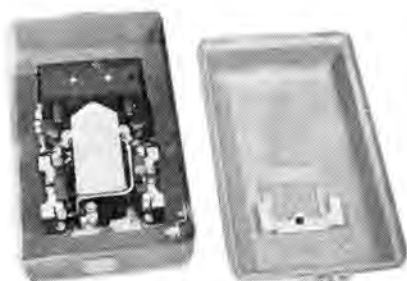
定格電圧	600 V
定格電流	30 A (250 V)、25 A (600 V)
補助接点	2a 2b 取付可能



新形 EM-35 形交流電磁開閉器

■ EK-65 形交流電磁開閉器

従来の EK-55 形 (200 V 11 kW 用) と同一サイズで 15 kW に使用できるよう容量格上げを行なった EK-65 形の開発を完



EK-65 形交流電磁開閉器

了した。性能は JIS C 8326 の A 級 1 号 1 種を十分に満足するものであり、実質的な小形化は取付面積の節約と大幅な価格低減となった。

おもな仕様

形名	EK-65 形	EK-2×65 形
仕様	非可逆式	可逆式
定格容量	200~220 V 15 kW 400~550 V 22 kW	200~220 V 15 kW 400~550 V 22 kW
連続通電電流	60 A	60 A
制御回路	200 V 50 c/s 220~200 V 60 c/s	
型式承認番号	▽ 5-3550	▽ 5-3561

なお電磁接触器 N-65 形としては定格電圧 600 V 定格電流 60 A、閉路遮断電流容量 600 A である。

■ 60 kV キュービクル受注

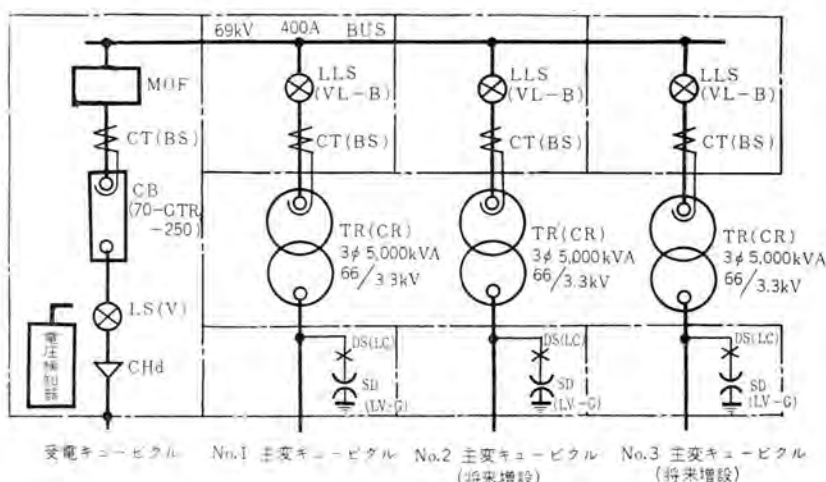
経済の発展にともない電力需要の増加はいちじるしいものがある。とくに大口需要家の 60~70 kV 受電が急激に増加しているが、大都市におけるビルディングも次々と大形化され、その電力契約量もうなぎのぼりに記録が更新されている。

今回受注した三菱地所株式会社ご注文 第三大手町ビル据付のキュービクルは受電容量 15,000 kVA のもので、安全度の増大と、据付容積の縮小をはかった、ビル用としてはわが国最初の 60 kV キュービクルである。

単線結線図に示す鎖線で囲った部分が、キュービクルにより製作されるものであるが、その仕様はつぎのとおりである。

仕 様

回路方式	三相三線式 50 c/s 69 kV
形 式	屋内用 閉鎖形
定格母線電圧	69 kV
定格母線電流	400 A
定格短時間電流	20,000 A 2 秒
定格最大電流	50,000 A
商用周波耐圧値	140 kV
衝撃波耐圧値	350 kV



第三大手町ビル受電設備単線結線図



弾 性 体

発明者 新 倉 宗 寿

この発明は、使用および取扱いの容易な油漏れまたは空気漏れ防止用パッキン、あるいは機械力の伝達媒体、あるいは緩衝座としてもまた使用することのできる弾性体に関するものである。

すなわち、塩化ビニールあるいは酢酸ビニールなどのビニール系熱可塑性合成樹脂に、この合成樹脂を侵すことのない油を混合した軟かい固体(1)を、ポリエチレンあるいはポリアミド系樹脂などの合成樹脂よりなる可撓性で弾力性のある被膜(2)内に封入したものである。

したがって、この発明の弾性体(4)を、たとえば図1に示すようなリング状に成形し、これを図3に示すように軸(7)に対しフランジ(5)を締付けるとき、締付ネジ(6)を締付ければ弾性体(4)は軸(7)を締付けるもので、適当な構造と組合すことにより、コレットチャック、オイルシール、または防振材などの目的に使用することができる。

また、この発明の弾性体(4)を、図2に示すような形状に成形し、これを図4に示すように周囲をおおった機構の中に収めて、その一部の位置(9)に加える力(p)を、他の位置(10)で(p')の力として作用させることができるから、拔型、治具、取付具などの製作を容易に行なうことができるもので、油や空気を媒体とした従来のもののように、油漏れあ

るいは空気漏れに対する対策を必要としない効果を有するものである。
(特許第 255723 号)(土居記)

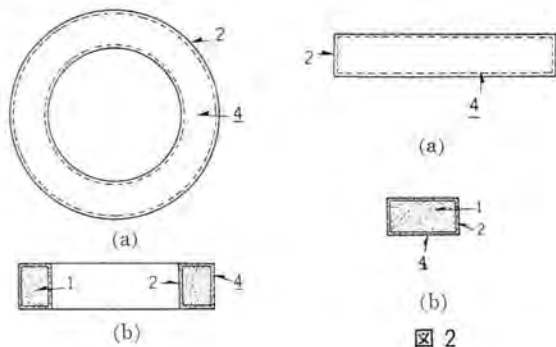


図 1

図 2

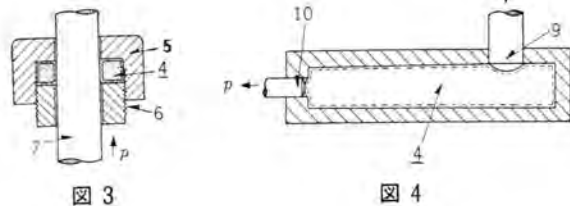


図 3

図 4

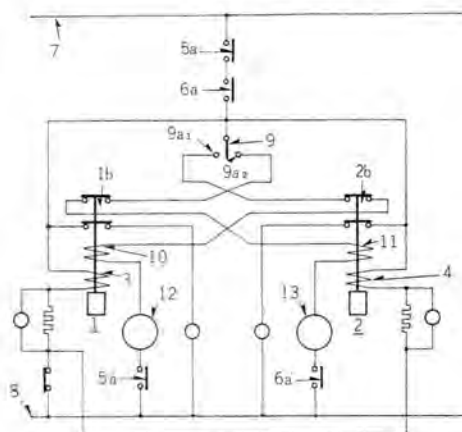
並行2回線保護継電装置

発明者 森 健

この発明は、並行2回線保護継電装置において、選択継電器が故障回路を選択したとき、相手端の選択シ断が完了するまでに健全回線が誤シ断されないように鎖錠するための、新しい確実な鎖錠方式を提供したものである。図において継電器(1)(2)はそれぞれ各回線の鎖錠用補助継電器で、その保持コイル(3)(4)は常時シ断器補助接点(5a)(6a)を経て制御電源(7)(8)から付勢されている。しかしこの保持コイル(3)(4)の励磁アンペアターンは継電器の最小動作アンペアターンより小さく選んであるために継電器(1)(2)は動作しない。選択継電器(9)が1回線を選択し接点(9a1)を閉成すれば、上記継電器(1)の電流コイル(10)および1回線用トリップ継電器(12)を付勢し、継電器(1)を動作させかつ1回線のシ断器を開放するよう動作する。上記継電器(1)の動作により、接点(1b)を開き2回線側の継電器付勢回路を開放し、また継電器(1)がいったん動作したら、シ断器が開放し補助接点(5a)が開くまでは保持コイル(3)が保持されているから、つぎに選択継電器(9)の誤動作により接点(9a1)を開いても継電器(1)は消勢せず、接点(9a2)を閉しても継電器(2)(13)が動作することはない。このように、シ断器トリップ用継電器(12)(13)を選択継電器(9)の接点

により直接励磁しているため、シ断器引はずしが迅速かつ確実であり、シ断器トリップ継電器(12)(13)に直列に挿入された鎖錠用継電器コイルの電圧降下を極限しているため、シ断動作になんら影響を与えず、さらに鎖錠用継電器の動作時間を極少にし鎖錠動作を確実化し、シ断器補助接点のわずらい動作による誤動作をなくすることができる。

(特許第 257373 号)(葛野記)



区 別	名 称	特許または 登 録 日	特許または 登 録 番 号	発 明・考 案 者	関係場所
特 許	回転変流機	36- 3-31	273761	仁和義信・杉山昌司	名古屋
"	車両用回転電機の防壁装置	36- 3-31	273784	内海雄三・酒井嘉夫	伊丹
"	自励式インバータと他電源との並列運転装置	36- 3-31	273787	河合 正	研究所
"	巻鉄心の製造方法	36- 4-5	273878	伊藤 明・塚田義雄	名古屋
"	電気弁制御装置	36- 4-5	273896	室賀 淳	伊丹
"	多相電気弁制御装置	36- 4-5	273914	馬場利彦	伊丹
"	内燃機関点火装置	36- 4-5	273949	大島義夫	姫路
"	粒子加速装置	36- 4-5	273955	三木隆雄・藤永 敦	姫路研究所
"	粒子加速装置	36- 4-5	273972	{藤永 敦・後藤正之 今村 元	{研究所 三菱原子力
"	開閉扉の錠止装置	36- 4-5	273818	木下忠男	静岡
"	避雷器	36- 4-17	274565	大木正路・岡田正治	伊丹
"	ケイ光灯ルーバの支持装置	36- 4-17	274444	小笠原善丸・鈴木 実	大船
"	ケイ光物質	36- 4-17	274571	井手平三郎・山崎 肇	大船
"	酸化金属磁心材料	36- 4-20	274605	{中村 弘・井手平三郎 水上益良・坂田秀昭	大船
"	開閉扉の錠止装置	36- 4-20	274612	木下忠男	静岡
"	電波探知機の周波数掃引方式	36- 4-26	275191	東野義夫	無線機
"	逆探装置の周波数掃引方式	36- 4-26	275192	{東野義夫・中西一郎 東田原清一	無線機
"	高速度ブラウン管測定装置	36- 4-26	275207	横須賀正寿・潮 恒 郎	研究所
"	自動追尾レーダ装置	36- 4-26	275225	渡辺 優	無線機
"	精密水位指示方式	36- 4-26	275238	岡本孝治	神戸
新 案	水位応動素子	36- 2-28	530924	平野琢磨	福岡
"	救命具用ガス発生装置	36- 2-28	530925	宇川 彰	{研究所 世田谷
"	電磁ブレーキ自動調整装置	36- 2-28	530926	藤木博愛・入江 厚	福岡
"	シェル形接着装置	36- 2-28	530927	星野克英・栗原成男	名古屋
"	シェル形接着装置	36- 2-28	530928	星野克英・栗原成男	名古屋
"	磁石発電機	36- 2-28	530929	本庄由尙	姫路
"	刃形開閉器	36- 2-28	530930	杉野重幸・米崎増雄	長崎
"	フライホイール形磁石発電機	36- 2-28	530931	三木隆雄	姫路
"	蓄勢装置	36- 3-29	532688	加藤義明・神本明輝	福岡
"	積算電力計用の増防止装置	36- 3-29	532689	坂本 章	福岡
"	機器の表示装置	36- 3-29	532690	平野琢磨・福田 巧	福岡
"	冷凍圧縮機	36- 3-29	532691	大門敬治	長崎
"	衝撃電圧試験装置	36- 3-29	532692	岩崎晴光	伊丹
"	接触子装置	36- 3-29	532693	新井正元・米沢輝雄	伊丹
"	巻鉄心	36- 3-29	532694	山田三郎	名古屋
"	電気車の電気制動装置	36- 3-29	532696	北川和人	伊丹
"	粒子加速装置	36- 3-29	532697	三木隆雄	姫路
"	電気ホイスト	36- 3-29	532698	上原利夫	福岡
"	交流電圧の変化率に応動する装置	36- 3-29	532699	尾畑喜行	神戸
"	パルス送受信装置	36- 3-29	532700	大鳥羽幸太郎	無線機
"	二重ナベにおける温度調節装置	36- 4-20	534314	祖父江常雄・加藤 悟	三菱電機
"	フライバックトランスの鉄心締付装置	36- 4-20	534316	{中村 弘・井手平三郎 水上益良	大船
"	洗タワ機用絞り機	36- 4-20	534565	{東 邦弘・武井久夫 服部信道	日本建鉄
"	電波反射板	36- 4-20	534312	{喜連川 隆・武田忠夫 渡辺 優	無線機
"	交直両用電気車の制御装置	36- 4-20	534315	小原太郎・米沢輝雄	伊丹
"	油画計	36- 4-20	534317	相川一男	伊丹
"	スピーカ	36- 4-20	534326	津村 隆・藤木 一	無線機
"	環状電球の口金	36- 4-20	534313	牧野六彦	大船

本社 営業所 研究所 製作所 工場 所在地

本社	東京都千代田区丸の内2丁目3番地(東京ビル内) (電) 東京 (201) 大代表 1611
本社商品事業部	東京都千代田区丸の内2丁目20番地(三菱商事ビル内) (電) 東京 (211) 代表 2511・2531
本社施設部	東京都千代田区丸の内1丁目8番地(仲27号館) (電) 東京 (211) 代表 1261・1271・1281
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目20番地 (三菱商事ビル3階)(電) 東京 (211) 代表 2511
大阪営業所	大阪市北区堂島北町8番地1(電) 大阪 (34) 代表 5251
名古屋営業所	名古屋市中区広小路通り2の4(電) 本局 (23) 代表 6231
福岡営業所	福岡市天神町58番地(天神ビル内) (電) 福岡 (75) 代表 6231
札幌営業所	札幌市大通り西1丁目13番地 (電) 札幌 (3) 代表 9151
仙台営業所	仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル内) (電) 仙台 (2) 代表 6101
富山営業所	富山市安住町23番地2(電) 富山 (2) 0151
広島営業所	広島市八丁堀63番地(昭和ビル内)(電) 中 (2) 2211
高松営業所	高松市寿町1丁目4番地(第一生命ビル内) (電) 高松 (2) 代表 5021(ビル) 4416(直通)
小倉出張所	小倉市京町10丁目281番地(電) 小倉 (5) 8234
静岡出張所	静岡市七間町9番地10(電) 静岡 (2) 2595(3) 2962
金沢出張所	金沢市田丸町55番地1(電) 金沢 (3) 6213
岡山駐在員	岡山市内山下30番地(佐々木ビル)(電) 岡山 (3) 2948
研究所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電) 大阪 (48) 8021
商品研究所	神奈川県鎌倉市大船782番地(電) 大船代表 3131
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目(電) 兵庫 (6) 代表 5041
伊丹製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電) 大阪 (48) 8021
長崎製作所	長崎市平戸小屋町122番地(電) 長崎 (3) 代表 3101
無線機製作所	兵庫県尼崎市南清水字中野80番地(電) 大阪 (48) 8021
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地(電) 名古屋 (73) 1531
静岡製作所	静岡市小島110番地(電) 静岡 (3) 0141~0145
中津川製作所	岐阜県中津川市駒場(電) 中津川 2121~8
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地(電) 和歌山 (3) 代表 1275
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地(電) 福岡 (82) 代表 1568
福山製作所	福山市沖野上町6丁目709番地(電) 福山 代表 2800
姫路製作所	姫路市千代田町840番地(電) 姫路 代表 6900
大船製作所	神奈川県鎌倉市大船800番地(電) 大船 代表 2121
世田谷製作所	東京都世田谷区池尻町437(電) 東京 (414) 代表 8111
郡山製作所	福島県郡山市字境橋町1番地(電) 郡山 1220~1223
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地(電) 伊丹大代表 5131
無線機製作所	東京都世田谷区池尻町305(電) 東京 (414) 代表 8111
東京工場	東京都世田谷区池尻町305(電) 東京 (414) 代表 8111
札幌修理工場	札幌市北二条東12丁目98番地(電) 札幌 (2) 3976

次号予定

三菱電機 Vol. 35 No. 10

照明特集号

- 巻頭言
- 照明と眼に関する一、二の問題
- 電気ルミネセンスの二、三の特性
- ケイ光水銀灯用ケイ光体の光学的特性
- 高演色性ケイ光水銀ランプの改良
- 気体状アイソトープ、トリウムおよびウラン-235の応用および原子灯
- ケイ光灯の陰極エミッションの測定
- ケイ光灯の防爆に関する研究
- 天然色写真の写場の照明と光源(1)
- 作図による局部照明設計法の一試案
- 住宅照明基準化への指針
- 設計製図室の照明
- 新名古屋火力発電所の照明設備
- 東京読売ゴルフ場のナイター設備
- 硫化カドミウムを使用した自動点滅器
- 技術解説：電気ルミネセンス
静止形インバータ(2)

雑誌「三菱電機」編集委員会

委員長	小倉弘毅	常任委員	宗山片樫	村岡本崎	平一示
常任委員	浅井徳次	委員	山片樫	岡本崎	示助
	荒井深二		樫	本崎	博
	安藤清一		樫	本崎	雄
	小堀富次		樫	本崎	彦
	高井得一		樫	本崎	郎
	中野光雄		樫	本崎	
	馬場文夫	幹事	井上	野上	
	船橋正信				

(以上 50 音順)

昭和36年9月13日印刷 昭和36年9月16日発行
「禁無断転載」 定価 1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目3番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内「三菱電機」編集部

電話 東京 (201) 1611

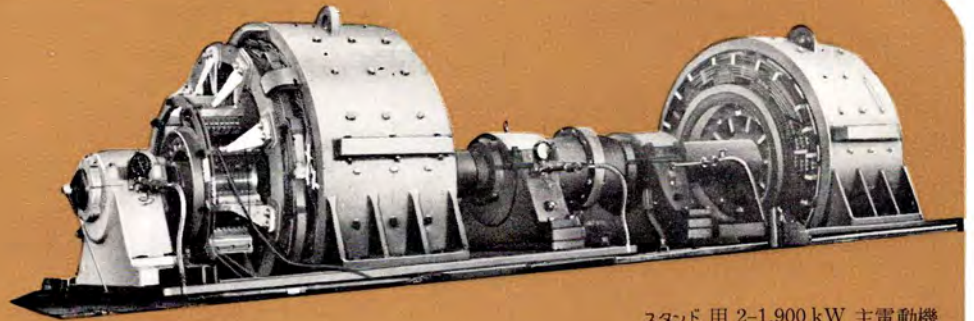
発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店

電話 (291) 0915・0916 振替東京 20018

6スタンド タンデム コールド ミル用電機品

このほど、八幡製鉄戸畑製鉄所納めタンデムコールドミル用電機品を完成した。従来のこの種設備は5スタンドであったがこの設備はわが国最初の6スタンドであるほか圧延速度も従来数値より一躍して最高 2,200 m/min と高速化し圧延電動機総出力 26,100 kW に及び、わが国では最大規模、最新鋭の設備で、その稼働が期待される。主直流電動機は下記のとおりである。



スタンド用 2-1,900 kW 主電動機

スタンド電動機

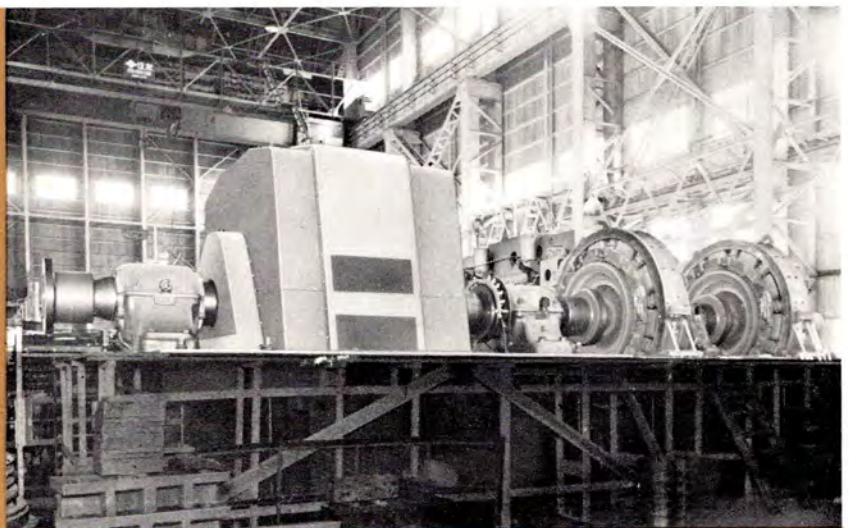
No. 1	2-1,100 kW	750 V	125/375 rpm	双子形
No. 2, 3	2-1,900 kW	750 V	212/520 rpm	双子形
No. 4, 5	2-2×1,100 kW	2×375 V	255/637 rpm	二重電機子双子形
No. 6	2-3×950 kW	2×375 V	300/635 rpm	三重電機子双子形
リール	2-2×450 kW	2×375 V	200/1,000 rpm	二重電機子

発電機セット

2,400 kW×5 台、2,000 kW×8 台
でこれを次のように3セットに分け、
9,500 kW×2 台、11,500 kW×1 台
の同期電動機でそれぞれ駆動される。

1-11,500 kW 同期電動機	2-2,400 kW 直流発電機	3-2,000 kW 直流発電機
1-9,500 kW 同期電動機	1-2,400 kW 直流発電機	3-2,000 kW 直流発電機
1-9,500 kW 同期電動機	2-2,400 kW 直流発電機	2-2,000 kW 直流発電機

タンデムコールド用 2,400 kW 直流発電機
および 11,500 kW 同期電動機



なお制御装置もつぎのような画期的特長がある。

- (1) 今までの回転機による制御装置に代わり、磁気増幅器を用いたため応動性が早くなる。
- (2) 自動板厚制御装置の採用で、自動的に一定の厚みの製品が圧延される。
- (3) テータログ（記録装置付の電子計算機）方式により、製品の板厚・長さ、不良品の長さなど必要事項がコイルごとに自動的にタイプライタで記録されるしくみになっているため、作業管理、品質管理の自動化が行なわれるようになる。



私鉄変電所としてわが国最初の1,500Vシリコン整流器完成

最近シリコン整流素子の製作技術の進歩により電鉄変電所用としても、水銀整流器にとってかわり、シリコン整流器が採用される傾向にある。

このたび近畿日本鉄道本線の恩智変電所に納入したシリコン整流器は、私鉄変電所として最初の直流1,500Vを採用したもので、容量3,000kW超重負荷公称定格は私鉄業界として最大容量のものである。

恩智変電所は既設の弥刀、二上変電所間に新設された全自動無人操作式変電所であり、6.3kmはなれた弥刀変電所から遠方監視制御される。試運転以来引続いて好成績で運転している。

仕 様	定格出力	3,000 kW
	直流電圧	1,500 V
	直流電流	2,000 A
定 格	超重負荷公称定格	
	100 % 連続	150 % 2時間
	300 % 1分間	5分間隔で繰り返し10回
形 式	屋内用強制風冷式	
整流回路	三相全波ブリッジ結線	
受電電圧	20 kV 三相	
周 波 数	60 サイクル	

