

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol. 48 November 1974

原子力発電特集

11

関西電力株高浜発電所1・2号ユニット



未来を開発する
三菱電機

関西電力(株)高浜発電所納め

タービン発電機

原子力・火力を含めて国産最大容量の920MVAタービン発電機であり、固定子コイルには2列ベントチューブ内部冷却、回転子コイルには標準内部冷却、固定子鉄心には軸方向通風方式を採用している。回転子軸材は荒削り重量158tの国産単一鍛鋼品である。固定子最大重量400tの巨大な機械である。特に重量の大きい回転子を支持するブラケットの強度を増すための考慮を払っている。励磁機は3500kWのブラシレス励磁機で、大容量化にともない、交流励磁機鉄心長を伸ばし、回転整流器直径を大きくするとともに、副励磁機の定格を40kVAとした。

放射線監視装置・2号機納め

原子力発電プラントに使用される放射線監視装置は、プラント内外の必要箇所の放射線を測定し監視する装置であり、プラントの正常運転を確認し、また、人体に対する安全を確保するために設置される。



中央制御室に設置された放射線監視盤で、発電所内各所に設けられた放射線検出器からの信号を受け、測定監視を行っている。屋外写真は、発電所外の地域に設け空間の放射線を常時監視するためのモニタリングポストで、この装置内で測定記録を行っている。





原子力発電特集

目次

《特集論文》

- (巻頭言) 原子力発電特集号によせて……………片岡高示…1259
- 関西電力(株)高浜発電所の計画と概要……………園田忠一・林 昭夫…1260
- 関西電力(株)高浜発電所の電気設備……………井上 通・津田元裕・山田進也・松本信郎…1268
- 原子力発電所用電気機器の耐震設計……………八島英之…1274
- 関西電力(株)高浜発電所納め 920 MVA タービン発電機および 3,500 kW ブラシレス励磁機
……………速水 和夫・天笠信正…1279
- 関西電力(株)高浜発電所納め三相 860 MVA 275 kV 変圧器……………但馬 常夫・大野孝雄…1287
- 加圧水形原子炉の核計装設備……………川島克彦・吉島宇一・上田敏晴・松尾正和…1292
- 放射線監視装置……………岩井 優・仲森誥貢・池田 洋・小田 稔…1297
- フルレンジ制御棒制御装置……………榊田征也・西沢行夫・佐藤 勝・加治屋 脩・山口利昭…1300
- 高速実験炉「常陽」の2次冷却系電気・計装設備……………高木高志・多田恒幸・西沢行夫・猪谷耕太郎・飯田昌二…1306

《普通論文》

- FD-210 S 形 超音波探傷器……………大貫益夫・佐藤春治…1315
- 軽合金用整流式機動形点熔接機と溶接現象(I)……………奥田 滝夫・稲田幹夫・馬場利彦・中谷亘美・原 且 則…1321
- エポキシ樹脂の硬化反応に及ぼす促進剤の影響……………宮本晃男・柴山恭一…1325
- 防災システムの考察……………池見 慎一・小沢純一郎…1330
- 昭和産業(鹿島)納めサイロ設備用電機品……………加来政博・水溜和哉・松本公雄…1334

《技術講座》

- 超音波探傷試験法(2) ——超音波探傷例——……………河野勝美・田中洋次…1340

《特許と新案》

二段圧縮冷凍装置・非常ブレーキ装置・ステップモータ駆動装置・弁操作機構……………1313

《表 紙》

関西電力(株)高浜発電所1・2号ユニット

高浜発電所1・2号ユニットは、ともに加圧水形軽水炉を有する電気出力826MWの原子力発電所で、1号ユニットの着工昭和44年12月、初併入昭和49年3月、2号ユニットは着工昭和45年11月で現在試運転中である。

表紙写真の手前からタービン建屋、原子炉補助建屋、円筒状の原子炉建屋と並び、向って右が1号ユニット、左が2号ユニットである。下の挿入写真は1号ユニットの中央制御盤で、原子炉盤・タービン発電機盤から成り立っている。

三菱電機は920 MVAタービン発電機・860 MVA主変圧器をはじめ275 kV 特高開閉所機器・ジーゼル発電機・補機用電動機・配開装置・制御盤など主要電気設備を納入している。





SPECIAL EDITION FOR NUCLEAR POWER GENERATION

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

Concept, Construction and Plant Facilities of KEPCO'S Takahama Power Plant.....	C. Sonoda • A. Hayashi...	1260
Electrical Auxiliaries for KEPCO'S Takahama Power Plant.....	T. Inoue • M. Tsuda • S. Yamada • N. Matsumoto...	1268
Aseismic Qualification of Electrical Equipment for Nuclear Power Plants.....	H. Yashima...	1274
920 MVA Steam Turbine Generators and 3500 kW Brushless Exciters for KEPCO'S Takahama Power Plant	K. Hayami • N. Amagasa...	1279
Three-Phase 860 MVA 275 kV Power Transformers for KEPCO'S Takahama Power Plant	T. Tajima • T. Ono...	1287
Nuclear Instrumentation for Pressurized-Water Reactors	K. Kawashima • U. Kichishima • T. Ueda • M. Matsuo...	1292
A Radiation Monitoring System for Nuclear Power Plants.....	M. Iwai • S. Nakamori • H. Ikeda • M. Oda...	1297
A Control System for the Drive Mechanism of Full-Length Control Rods	Y. Masuda • Y. Nishizawa • M. Sato • O. Kajiya • T. Yamaguchi...	1300
Electrical Equipment and Instrumentation for the Secondary Coolant System of the "Joyo" Fast-Breeder Reactor.....	T. Takagi • T. Tada • Y. Nishizawa • K. Itani • S. Iida...	1306

TECHNICAL PAPERS

The Type FD-210 S Ultrasonic Flaw Detector.....	M. Onuki • H. Sato...	1315
A Rectifier-Type Mobile Spot Welder for Aluminium Alloys (Part 1)	T. Okuda • M. Inada • T. Baba • N. Nakatani • K. Hara...	1321
The Effects of Accelerators on Epoxy Resin Curing Reactions.....	T. Miyamoto • K. Shibayama...	1325
Software for Fire Protection Systems.....	S. Ikemi • J. Ozawa...	1330
Silo Electric Equipment for Showa Sangyo's Kashima Works.....	M. Kaku • K. Mizutamari • K. Matsumoto...	1334

TECHNICAL LECTURE

Ultrasonic Flaw Detection Method (Part 2).....	K. Kono • Y. Tanaka...	1340
--	------------------------	------

PATENTS AND UTILITY MODELS

1313

COVER :

No. 1 and 2 Units for the Takahama Power Plant of the Kansai Electric Power Co., Inc.

The No. 1 and 2 units of Kansai Electric Power's Takahama Power Plant use pressurized-water type, nuclear reactors with an electrical output of 826 MW each. Construction of the No. 1 unit was started in December 1969, and it was put into initial powering for trial in March 1974. Construction of the No. 2 unit was started in November 1970, and trial operation is now in progress.

The cover (top) shows the turbine building, the reactor auxiliary building and the cylindrical-reactor building (No. 1 unit at right, No. 2 unit at left). The insert below shows the central control board of the No. 1 unit, comprising the reactor and turbine-generator control boards.

Mitsubishi Electric has supplied the major electrical equipment for this power plant, including 920 MVA turbine generators, 860 MVA main transformers, 275 kV extrahigh-voltage switchgear, diesel generators, auxiliary motors, switchgear, and control boards.

「三菱電機技報」 アブストラクト

UDC 621.311.25:621.039.001./005

関西電力㈱高浜発電所の計画と概要

園田忠一・林 昭夫

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1260～1267

関西電力高浜発電所1号機、2号機は同一容量機で、原子炉設備は加圧水形で3ループ、電気出力826MWである。本機は加圧水形として我が国での記録品であり、いろいろな特色をもっている。

本文では高浜発電所1号機、2号機の概要について紹介する。

UDC 621.3.042:621.3.045:621.3.049

関西電力㈱高浜発電所納め三相860MVA 275kV変圧器

俣馬常夫・大野孝雄

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1287～1291

1973年に納入された2台の三相860MVA、275kV変圧器は、記録的な大容量器である。変圧器は、外鉄形フォームフィット構造で製作され、430MVA相当の2組のコイルを同一鉄心脚に直列配置し、電気回路的には2並列接続した構造で、大容量化に伴うコイルの巨大化、電流回数に比例して大きくなる漏れ磁束と漂道損などの問題を抑制した。この変圧器の輸送重量は411tで、工場より発電所まで海上輸送された。また1,000MW級火力・原子力プラント向け変圧器の製作に直面して、超大容量変圧器に関連するいろいろな技術内容と、現在進行中の開発試験についても紹介する。

UDC 621.311.25:621.039:621.311.6

関西電力㈱高浜発電所の電気設備

井上 通・津田元裕・山田進也・松本信郎

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1268～1273

関西電力高浜発電所は、加圧水形原子炉を有する電気出力826MWのユニットを2機設置した原子力発電所である。1号機の着工1969年12月、初併入1974年3月であり、現在我が国で設置された原子力発電所としてはユニット当たり最大出力のものである。また2号機は1号機と同一容量で目下試運転中である。

本文では1号機を中心として高浜発電所の電気設備の概要を紹介するとともに、原子炉の安全性確保のための基準や指針にもふれて、電気設備設計上の留意点について具体例にもとづいて説明する。

UDC 621.311.25:621.039.56:621.3.038

加圧水形原子炉の核計装設備

川島克彦・吉島宇一・上田敏晴・松尾正和

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1292～1296

原子炉の主要計測装置として核計装設備がある。核計装設備は、中性子検出器と検出器信号を処理する電子回路から成り、連続して原子炉内の中性子束レベルを監視している。この装置は測定範囲が非常に広いので、三つの系統に分けて測定を行い、出力信号として原子炉の安全保護に必要なトリップ信号、警報信号及び原子炉の制御に必要な信号を出す。ここでは関西電力㈱高浜発電所2号機の核計装を中心に述べる。

UDC 621.311.25:621.039.56:699.84.001.45

原子力発電所用電気機器の耐震設計

八島英之

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1274～1278

原子力プラント用電気機器が在来形の機器と設計上、大きく異なっている点の一つは、耐震設計の要求があることである。この報告では、前報(三菱電機技報Vol.48・No.3・P351,昭49)で主要な電気機器の耐震設計について述べたのに引きつづき、その背景にある耐震性の確証法の考え方、及びその具体的手法の現状について説明し、耐震試験の結果得られた諸情報と機器の耐震性能との関連について検討を行った。

UDC 621.311:621.039.55:621.3.038

放射線監視装置

岩井 優・仲森諒貢・池田 洋・小田 稔

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1297～1299

原子力発電プラントが増加するにしたがい、放射線障害の防止がより一層必要とされるようになった。放射線モニタはこのために設置され、常時測定監視を行っている。

この放射線モニタは、プロセスモニタ、エリアモニタ、屋外モニタの3種に大別される。本文ではこれらのモニタの目的、設置場所、仕様及び回路の概要を述べ、原子力発電プラントにおける放射線モニタを知る上での参考に供する。

UDC 621.311.25:621.039:621.313.322-815

関西電力㈱高浜発電所納め920MVAタービン発電機及び3,500kWブラシレス励磁機

速水和夫・天笠信正

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1279～1286

国産最大容量の関西電力高浜発電所の920MVAタービン発電機及び3,500kWブラシレス励磁機につき、試験結果を中心にその概要を紹介する。大容量化に伴う設計面での考慮はもちろん、工場において、あらゆる角度からの各種試験を実施し、その信頼性の確保に総力を結集した。本機の製作経験は800～900MW機クラスの基礎資料にとどまらず、1,000～1,200MWクラス機の製作にも生かすことのできる貴重なものであった。

UDC 621.039.524:621.039.577

フルレングス制御棒制御装置

梶田征也・西沢行夫・佐藤 勝・加治屋脩・山口利昭

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1300～1305

この装置は、制御棒駆動機構を動作させ、が中の制御棒クラスタをそう入又は引抜きすることにより、加圧水形原子炉の出力を制御するものである。

この制御装置で制御される制御棒駆動機構の原理は、磁気ジャッキ方式で三つの駆動コイルを備え、それらのコイルにそう入、引抜きによってそれぞれ決まったタイミングの電流を流すことにより、制御棒駆動軸をそう入、引抜きするものである。

昭和48年に国産1号機を関西電力㈱高浜発電所2号機向けに納入したので、その内容を紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1287~1291
UDC 621.3.042:621.3.045:621.3.049

Three-Phase 860MVA 275kV Power Transformers for KEPCO's Takahama Power Plant

by Tsuneo Tajima et al.

The two three-phase 860MVA 275kV transformers supplied from Mitsubishi Electric in 1973 achieved a new high in terms of capacity. Shell-form form-fit construction is employed, with two sets of series coils, each equivalent to 430MVA, mounted on the same core leg and connected in parallel. By this means the increase in core size (due to increased capacity) and leakage flux and stray loss (proportional to ampere turns) were held to the minimum. Due to their unprecedented shipping weight of 411 tons each, they were transported to the power plant by sea.

This article also deals with technical problems encountered in the manufacture of the 1000MVA-class transformers soon to be used in fossil-fuel and nuclear power plants, and outlines the development and test programs now in progress.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1260~1267
UDC 621.311.25:621.039.001/.005

Concept, Construction and Plant Facilities of KEPCO's Takahama Power Plant

by Chuichi Sonoda et al.

The No. 1 and 2 units of Kansai Electric Power's Takahama Power Plant, with electrical outputs of 826MW each, use nuclear reactors of the 3-loop pressurized-water type, a breakthrough in Japan for this type of reactor, and this article discusses number of their unique features.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1292~1296
UDC 621.311.25:621.039.56:621.3.038

Nuclear Instrumentation for Pressurized-Water Reactors

by Katsuhiko Kawashima et al.

The nuclear instrumentation system is an important part of nuclear reactor instrumentation. The system described in this article is used for continuous supervision of the neutron-beam level in the reactor of the No. 2 unit of Kansai Electric Power's Takahama Power Plant. It consists of a neutron detector and an electronic circuit that processes the detector's signals.

Since a very broad range of items are metered, the system is divided into three sections, outputting: 1) a trip signal for assuring the safety of the reactor, 2) an alarm signal, and 3) signals for reactor control.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1268~1273
UDC 621.311.25:621.039:621.311.6

Electrical Auxiliaries for KEPCO's Takahama Power Plant

by Toru Inoue et al.

Kansai Electric Power's Takahama facility is a nuclear power plant having two pressurized-water reactors, with electrical outputs of 826-MW each. Construction of the No. 1 unit was started in December 1969, and it was put into initial powering for trial in March 1974, generating the largest unit output of any existing nuclear power plant in Japan. The No. 2 unit is currently in trial operation.

The article briefly describes the electrical auxiliary equipment, primarily that for the No. 1 unit, discusses standards and policy for the safety of nuclear reactors, and gives some examples of problems encountered in the design of the electrical auxiliaries.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1297~1299
UDC 621.311:621.039.55:621.3.038

A Radiation Monitoring System for Nuclear Power Plants

by Masaru Iwai et al.

Safety with respect to radiation is a vital factor, particularly in view of the increasing number of nuclear power plants. For this purpose, a radiation monitoring system is provided to perform constant supervision.

This article describes the purpose, installation location, specifications and circuitry of a system which is divided into three units: the process monitor, area monitor and off-site monitor.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1274~1278
UDC 621.311.25:621.039.56:699.84.001.45

Aseismic Qualification of Electrical Equipment for Nuclear Power Plants

by Hideyuki Yashima

The design of nuclear power plant electrical equipment departs from that of conventional equipment in three basic respects, one of which is the requirement for aseismic design. In a previous article (*Mitsubishi Denki Giho* Vol. 48, No. 3 1974 p. 351), the aseismic design of the principal electrical equipment for nuclear power plants was discussed. The present article presents the basic methodology for confirming aseismicity, and the present state of such techniques. Comparison of aseismic test results, and actual aseismic performance data is also included.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1300~1305
UDC 621.039.524:621.039.577

A Control System for the Drive Mechanism of Full-Length Control Rods

by Yukiya Masuda et al.

This article describes the control system manufactured by Mitsubishi Electric in 1973 for the drive mechanism that inserts and withdraws the control rods of the pressurized-water reactor of the No. 2 unit of Kansai Electric Power's Takahama Power Plant.

The drive mechanism is the magnetic jacking type equipped with three coils, which are energized according to an appropriate timing pattern to move the control-rod drive shaft in or out as required.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1279~1286
UDC 621.311.25:621.039:621.313.322-815

920MVA Steam Turbine Generators and 3500kW Brushless Exciters for KEPCO's Takahama Power Plant

by Kazuo Hayami et al.

Primarily concerned with the test results, this article describes the 920MVA steam turbine generator, having the largest capacity ever built in Japan, and the 3500kW brushless exciter supplied to Kansai Electric Power's Takahama Power Plant. To ensure total reliability of these large machines, rigorous care was taken in the design stage, and various tests, covering all possibilities, were carried out in the factory. Manufacture of these generators yielded not only basic data for 800~900MVA units but also knowledge of value in the manufacture of units of the 1000~1200MVA class.

UDC 621.039.572:621.311.6

高速実験炉「常陽」の2次冷却系電気・計装設備

高木高志・多田恒幸・西沢行夫・猪谷耕太郎・飯田昌三

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1306～1312

我が国のナショナルプロジェクトとして建設中の高速実験炉「常陽」の2次冷却系電気・計装設備のうち、当社で担当した主要な設備について、その概略を述べた。高速増殖炉の特長は、冷却材にナトリウムを使用することであり、これに由来して要求される設計条件は種々の点で軽水炉と異なる点があり、また必要となる電気・計装設備にも軽水炉にはみられない特異なものが多いのが特長である。

UDC 728.2:614.8

防災システムの考察

池見慎一・小沢純一郎

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1330～1333

最近超高層ビルの出現、及び火災発生時における死者の増加により、防災設備のシステム化が強く叫ばれるようになった。このような状況にあつて、計算機はシステム化を計る上で不可欠な機器である。しかしながら、ソフトウェアの構成をするにあつて重要なことは、計算機の主対象が人間であることを忘れてはならない。ソフトウェアの内容は、センサからの信号処理、避難ルートの決定、排煙制御、その他多くのプログラムであり、これらは建物の焼失面積を最小にするばかりでなく、建物内に居る人間の安全の確保が目的となる。ここではソフトウェアの概略について述べる。

UDC 534.8-8:681.89

FD-210S形超音波探傷器

大貫益夫・佐藤春治

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1315～1320

超音波探傷技術による非破壊検査は鉄鋼、造船、建築などの我が国主要産業の生産部門又は製品品質管理部門などにおいて年々その必要性が増大してきており、今日では製品の評価及び安全面を支える手段として確固たる地位を占めつつある。一方超音波探傷試験に対する公的規格も整備されつつあり、探傷技術面での要求も検査の省力化、能率向上面に重点がおかれ、自動化、高速化、探傷結果の定量的な把握と評価などもますます高度化されている。FD-210S形探傷器はこのような厳しい要求に答えるために開発したもので、本文ではそのあらましを紹介するとともに我が国探傷器メーカーとして初めて採用した新しい技術について概説した。

UDC 621.316.7

昭和産業(鹿島)納めサイロ設備用電機品

加来政博・水溜和哉・松本公雄

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1334～1339

我が国の食糧事情はその多くを輸入に頼っている。そのため備蓄用の大形サイロが必要となつてきている。今回鹿島臨界工業地帯西部地区の一角に建設された、昭和産業(株)のサイロ設備はこのような需要を基に建設されたもので、大豆、菜種など穀物の陸揚げ、輸送、貯蔵、出荷の各業務を全自動化することにした。このため、輸送ラインとしてはMELMAC 100、在庫管理としてはMELMIC 100を採用し、これを組合せることにより複雑な要求に答えることができた。本文ではこれら設備の概要と、その制御装置について概略説明した。

UDC 621.791.76

軽合金用整流式機動形点溶接機と溶接現象(I)

奥田滝夫・稲田幹夫・馬場利彦・中谷亘美・原 且則

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1321～1324

従来、機動形点溶接機には三相低周波方式が用いられてきたが、今回重量の軽減に伴う機動性の向上及び、電源容量の低減を目的として三相整流方式のものを製作した。この機動形点溶接機はふところ深さ2,200mm、間隔800mmで、点溶接機としては我が国最大の大きさを有し、大形構造物の点溶接が可能である。またアルミニウム合金では我が国最大の板厚の組合せである3+9mmの溶接能力を有するものである。

この論文はこの溶接機の概要と、三相整流式点溶接機及び溶接法の特長について述べている。

UDC 534.8-8:681.89

超音波探傷試験法(2)

—超音波探傷例—

河野勝美・田中洋次

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1340～1344

前回の講座では、公的検査基準のいくつかを紹介したが、これだけでは各種被検査物に対する超音波探傷検査の要求に、十分応じきれない。そこで今回の講座は、これら各種被検査物の要求に対して少しでも参考になるように、炊事用手なべ取っ手の溶接部、鋳鋼製ロール、自動車用鋳鉄製シリンダライナ、連続鋳造製スラブ、ベリリウム銅、及びナイロンの探傷例を紹介した。

UDC 541.124.54-44:541.68:541.64

エポキシ樹脂の硬化反応に及ぼす促進剤の影響

宮本晃男・柴山恭一

三菱電機技報 Vol.48・No.11・P1325～1329

酸無水物硬化エポキシ樹脂の硬化機構に及ぼす硬化促進剤の影響を、示差走査熱量計(DSC)、粘弾性、電子顕微鏡で調べた。硬化促進剤としてのベンジルジメチルアミンと、カプリル酸亜鉛の反応過程を等温的にDSCで追跡した。結晶化の理論によって解析された反応過程から予想される構造は、電子顕微鏡によって観察された構造とよく一致した。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1330~1333
UDC 728.2:614.8

Software for Fire Protection Systems

by Shinichi Ikemi et al.

Increasing building heights, and the consequent possibility that fire will result in heavy death tolls have strengthened calls for improved fire protection systems and, in such systemization the computer is indispensable. This paper discusses the development of software, emphasizing the fact that human beings are the most important concern. Software must incorporate a wide variety of programs aimed at processing signals from sensors, determining escape routes, controlling smoke dispersal, etc., for the purpose of not only minimizing the area of damage but also assuring maximum safety to occupants of the building.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1306~1312
UDC 621.039.572:621.311.6

Electrical Equipment and Instrumentation for the Secondary Coolant System of the "Joyo" Fast-Breeder Reactor

by Takashi Takagi et al.

Mitsubishi Electric is manufacturing the electrical equipment and instrumentation for the secondary coolant system of Japan's 'Joyo' experimental fast-breeder reactor, a national project now under construction. This article describes some of the major equipment of this system.

The fast-breeder reactor is characterized by the use of sodium as the coolant, and design requirements differ in many respects from those of light-water-reactor systems. It also has a number of unique instrumentation systems not required by the light-water reactor.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1334~1339
UDC 621.316.7

Silo Electric Equipment for Showa Sangyo's Kashima Works

by Masahiro Kaku et al.

Japan depends on imports for a great deal of her food supply, and there is a need for large-scale silos to provide reserve storage. The silo facility recently completed for Showa Sangyo at Kashima caters to this demand by providing full automation of the unloading, transportation, storage and shipment of cereal grains, soybeans and oilseeds. A MELMAC 100 computer controls the transportation line and a MELMIC 100 supervises stock management, and their interaction provides response to a complex range of requirements. The main items of equipment are described, along with the control equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1315~1320
UDC 534.8-8:681.89

The Type FD-210S Ultrasonic Flaw Detector

by Masuo Onuki et al.

The use of ultrasonic flaw detection for nondestructive inspection is constantly increasing in the fields of production and quality control, in such industries as iron and steel making, shipbuilding, and construction. This technique plays an important part in evaluation of product quality and safety, and official Japanese standards for ultrasonic testing are now in preparation.

Equipment performance objectives include labor saving, efficiency, promotion of automatic and high-speed inspection, and quantitative evaluation of detected result. The article describes the FD-210S flaw detector, developed to meet these severe requirements, and outlines the new techniques incorporated in it.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1321~1324
UDC 621.791.76

A Rectifier-Type Mobile Spot Welder for Aluminium Alloys (Part 1)

by Takio Okuda et al.

Mitsubishi Electric has produced a new three-phase rectifier-type mobile spot welder that features improved mobility by reduction of both the weight and power-source-capacity requirements. The new unit is the largest of its kind in Japan, having a throat depth of 2,200mm and a horn spacing of 800mm, enabling spot welding on large structures. It is also capable of welding aluminium alloy plates of 3+9mm, the thickest combination ever used in Japan. This article gives an outline of the new welder, and the general features, and the methods of use of this type of equipment.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 48, No. 11, pp. 1325~1329
UDC 541.124.54-44:541.68:541.64

The Effects of Accelerators on Epoxy Resin Curing Reactions

by Teruo Miyamoto et al.

The effects of accelerators on the mechanism of acid anhydride curing of epoxy resin were studied with a differential scanning calorimeter (DSC), and by electron microscope examination of visco-elastic properties.

The reaction mechanism, using benzine di-methyl amine and zinc caprylate as accelerators, was followed with the DSC, operated isothermally.

The cured resin structure, as observed by the electron microscope, showed close conformance with crystallization theory prognostication.

原子力発電特集号によせて

三菱電機株式会社 取締役 片岡 高 示

原子力発電では、軽水炉の開発、商業化という過程をたどって軽水炉が主流となったが、この間単位容量の増大、出力、密度、燃焼度、標準化、経験などにみられる高性能化により、経済性を高め、在来火力と競合可能な段階に達し、1960年半ばより一躍実用化の段階に達した。すなわち世界各国では積極的に原子力発電の開発を推進しており、1973年6月末現在で運転中の原子力発電所は、132基、40,471 MW、建設計画中のもの336基、315,446 MWで、軽水炉がその主流である。我が国では運転中のもの7基、3,067 MW、建設計画中のもの19基、13,849 MWで原子力発電開発規模は1980年(昭和55年)で32,000 MW、1990年度(昭和65年)で100,000 MWに達するものとみこまれる。これは発電設備でいえば1980年度は18%、1990年度は、33%を占めることになる。

また昨年おこったエネルギー危機ではその打開策として、国際協力、燃料の多角化、エネルギーの節約、代替エネルギーの開発が叫ばれてきた。この中で代替エネルギーの開発では早急に利用できるのは、原子力以外にないと考えられてきたのである。

このように原子力の緊急開発が要請されている時期に、関西電力株式会社高浜原子力発電所1号機が、昭和49年3月臨界に達し営業運転に近づいたことは一層意義深いものと思われる。本機は関西電力(株)としては、加圧水形原子力発電所として美浜発電所1号機、2号機に次いで3基目、我が国では8基目の商業用原子力発電所となる。

この発電所は、我が国で建設された原子力発電所として屈指の容量のもので、原子炉単位容量は加圧水形として記録品で、スケールメリットを十分実現したものである。熱出力2,440 MW_t、電気出力826 MW_eで発電設備は横置きくし(串)形3車室再熱再生式826 MW、59.9 kg/cm²、1,800 rpm タービン、水素内部冷却920 MVA、90% PF

タービン発電機、外鉄形860 MVA、262.5 kV 主変圧器などである。プラント全体として、1号機ではウエスチングハウス社(W社)が、RESPONSIBILITYをもち、1次系機器の設計製作はW社、据付は三菱グループ、2次系機器は設計、製作、据付を三菱グループが担当している。

さて、原子力発電所の設計方針では、安全基準と放射線管理の二つの問題が強く打ち出されている。原子力1次系機器の計測制御装置には核計装装置、炉内計装装置、放射線監視装置、制御棒制御装置がある。これらは原子炉計測制御システムの中核部といえるもので在来の火力発電所にはない原子力発電所に特異なもので高度の信頼性が特に要求される。これら機器の国産化は大体完了しているが、制御棒駆動装置でのアナログ方式からデジタル方式への進展、リレーラック類の無接点化などについても、先進技術を範として、技術の取得につとめ品質の保証された製品を作り、原子力発電所の複雑多岐にわたっている計測制御システムを取りまとめている。

なお、この外に原子力関係で、動力炉、核燃料開発事業団が大洗工学センタに建設中の高速増殖炉「常陽」については、三菱グループが各社と共同作業をしているが、この中で2次冷却系電気計装設備についてご紹介することにした。

今後原子力プラントの建設はますます本格化すると思われるが、三菱グループの一員として、技術革新のテンポの早い原子力プラント技術を確実に吸収、消化し、構造システムを研究開発し、国産技術を一層強固なものとして安全、簡単、れん価な原子力発電所を建設できるように万全の努力を払い各位のご期待に沿いたいと念願する次第である。

最後にこの特集号の発刊にさいし、貴重な玉稿を賜った関西電力(株)に深甚なる謝意を表する次第である。

関西電力(株)高浜発電所の計画と概要

園田 忠一*・林 昭夫*

1. ま え が き

関西電力では、先に営業運転に入った美浜発電所の1号機(昭45年11月)及び2号機(昭47年7月)につづいて高浜発電所1, 2号機, 美浜発電所3号機, 及び大飯発電所1, 2号機の建設を進めているが, 高浜発電所1号機は昭和49年3月27日初送電を開始後順調に調整運転を続けており, 2号機も主要機器の据付を終え年内に初臨界を迎えるべく努力中である。

以下, 高浜発電所1, 2号機の計画と概要について紹介する。

2. 高浜発電所の特色

高浜発電所は, 福井県の西端大飯郡高浜町田ノ浦にあり, 美浜発電所から西に約55km離れ, 高浜町の中心より北西約5.5kmで, 内浦湾の東側に突出した内浦半島の付け根にあり, 東は直接若狭湾に接し, 西は内浦湾の奥まった場所に面している。西方12kmに京都府舞鶴市人口9.7万人, 東方22kmに小浜市人口3.4万人を控えているが, 高浜町は人口1.1万人で主要産業は農林業及び漁業である。近年は若狭湾の汚染のない海が京阪神, 中京の人々に人気を呼び, 海水浴シーズンは盛況である。付近の状況を図1に示す。

敷地面積は約250万 m^2 (約75万坪)であるが, 大部分が山林で, 中央部約34万 m^2 を発電所用地として利用し, 南部と北部は標高200m前後の丘陵であって, 丘陵半島の一部の狭い平地を利用して設備を最も有効的に配置したレイアウトになっている。

1, 2号機とも, 美浜発電所の経験を十分に生かすため, 加圧水形を採用し, 電気出力はともに826MWである。その発生電力は

275kV超高压送電線2回線によって京阪神方面に送られる。

原子炉設備は, 電気出力が826MWと大容量となるので, 美浜発電所1, 2号機の2ループに対し, 3ループ形を採用している。

また, 1号機は当社として初めての大容量発電所であるので, 原子炉設備をウエスチングハウス社(以下W社という), タービン発電機設備を三菱グループ供給, 土木建築工事は関西電力施工としたが, 2号機は, 原子炉設備, タービン発電機設備とも三菱グループ供給とした。

建設費は, 1号機約660億円, 2号機約550億円である。

3. 建設地点に対する諸調査

原子力発電所の計画に際しては, 周辺の地形, 地質, 気象, 海象, 地震歴, 社会環境などを調査し, 周辺環境が原子炉の設置に適しているか, また原子炉事故を誘発するような大きな自然災害が起こる可能性がないかについて十分検討する必要がある。

3.1 地質調査

地盤については, 昭和41年より163本延べ6,716mのボーリング, 総長815mの試掘坑を掘り, 載荷試験や弾性波試験を実施して, 原子炉建屋の設置位置の決定を行った。原子炉建屋は, 長期許容地耐力200 t/m^2 (短期400 t/m^2)の良質な岩盤上に設置している。

3.2 気象調査

気象関係としては, 安全解析に用いる気象資料をえるため, 昭和42年8月より現地で観測を開始した。観測項目は, 風向, 風速, 気温, 湿度, 気圧, 日射量, 降雨量, 気温こう(勾)配, 風向風速鉛直分布のほか, 舞鶴における雲形, 雲量などで, その結果, この地域では年間を通じて北寄り及び西寄りの風が卓越し, また大気の安定状態

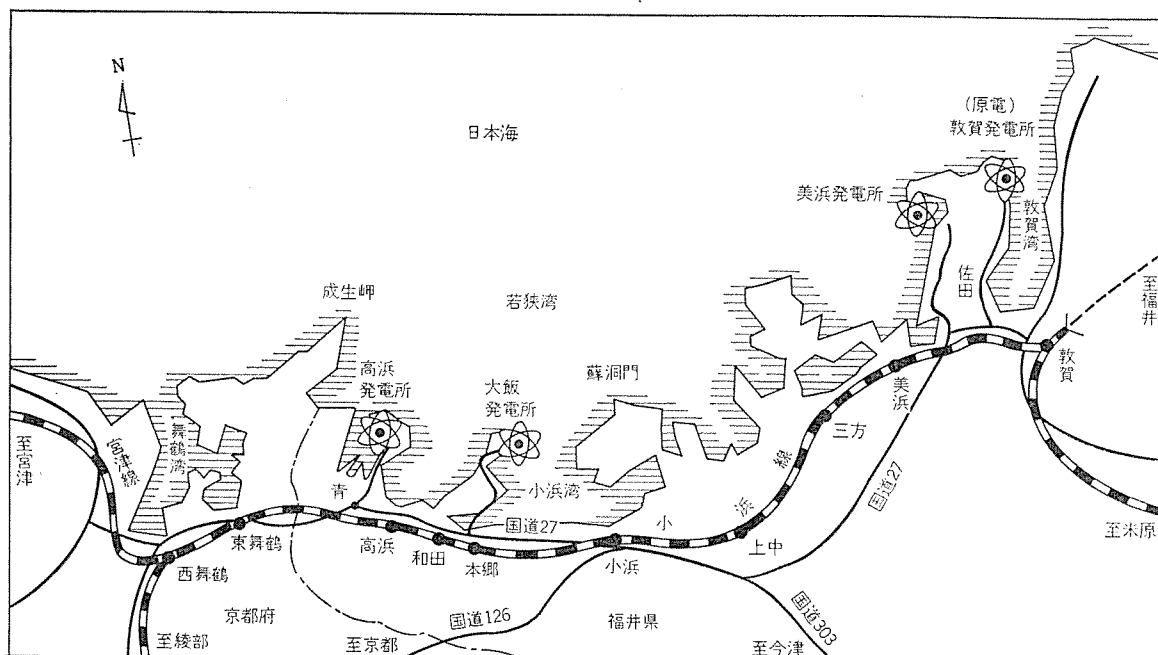


図1. 原子力発電所付近図

(英国気象局方式 E, F, G 形) の出現 ひと(頻)度は年間 18 % である。また過去の記録調査より、設計に用いる最低気温は -11°C と決定した。

3.3 海象調査

近海に波高計、潮位計、水温計を設置して設計資料の収集を行った。日本海側の特長として、潮差は小さく、大潮ます(升)で約 25 cm にすぎない。海水温度は、内浦湾水深 3 m の点で夏期最高 29.5°C を記録している。

3.4 地震歴

過去約 1,200 年間の記録によれば、福井県近辺での大きな地震は数回みられるが、中でも 1891 年の濃尾地震 ($M=8.4$) はその規模において最大級のものであるが、高浜においては被害はほとんどなかったと記録されている。また津波、高潮による被害もみられない。

3.5 淡水源

発電所用地より約 4 km 離れた所を流れる関屋川及び敷地南西境界を流れる才谷川の水量調査を実施した。また関屋川流域の地下水調査も実施し、地元と協定を結んで伏流水 3,000 t/日 を取水し、才谷川にも取水設備を設け、主として工事用水を取水することにした。

4. 構内配置

構内の設備配置にあたっては、特に次の点を考慮した。

- (1) この地点は若狭湾国定公園特別地域内にあり、自然の景観に与える影響を最小にする。
- (2) 原子炉は堅ろう(牢)な岩盤上に置く。
- (3) 復水器冷却用海水は、若狭湾側より取水し内浦湾側に放水する。
- (4) 工事用地をできるだけ確保する。
- (5) 掘削土量をなるべく少なくする。

この結果決定した構内配置は図 2. に示すとおりである。

EL+1 m で良質な岩の必要面積が得られるように、北方の山の尾根を削って、原子炉建屋及び原子炉補助建屋を設置した。その南にタービン建屋を配し、南西の山裾を削って EL+15 m に 275 kV 特高開閉所を配置した。復水器冷却用海水は、若狭湾に面して取水口を設け、開水路で約 500 m 導きポンプ室で揚水する。復水器冷却後は約 200 m を配管で、その後開水路約 250 m を通し、最後に有孔斜堤により周囲の冷海水と混合をよくして放水する。内浦湾側に、建設期間の重量物の水切りや、運転開始後の使用済燃料を積出すため、3,000 t 級の船が接岸できる岸壁を設置した。

内浦半島の先端にある音海村落に至る県道が敷地中央を通っていたので、北部山をトンネルで貫き、取水路上部に橋りょう(梁)を架けて県道の付け替えを行った。

1, 2 号機はともにユニット方式で共用設備が少ないので、それらの主要機器は原子炉建屋中心間隔 115 m の中点に直交する軸に対称形に配置されている。すなわち、タービン発電機は発電機同志が向き合っている。対称軸上に中央制御室、立入管理室、スイッチギヤ室、純水装置などの共用設備が配置されている。原子炉補助建屋は、原子炉建屋の 3 方向を囲む形で配置されているが、使用済燃料貯蔵水そう(槽)を北側に配し、北側の道路に使用済燃料輸送キャスク用トラウが横付けできるようにした。また原子炉建屋基礎を EL+1 m としたので、この北側道路は使用済燃料貯蔵水そうの水位の関係で、EL+32 m となった。この道路を利用して、原子炉容器、蒸気発生器などの重量機器を搬入するので、約 6 % のこう配の坂道が岸壁ま

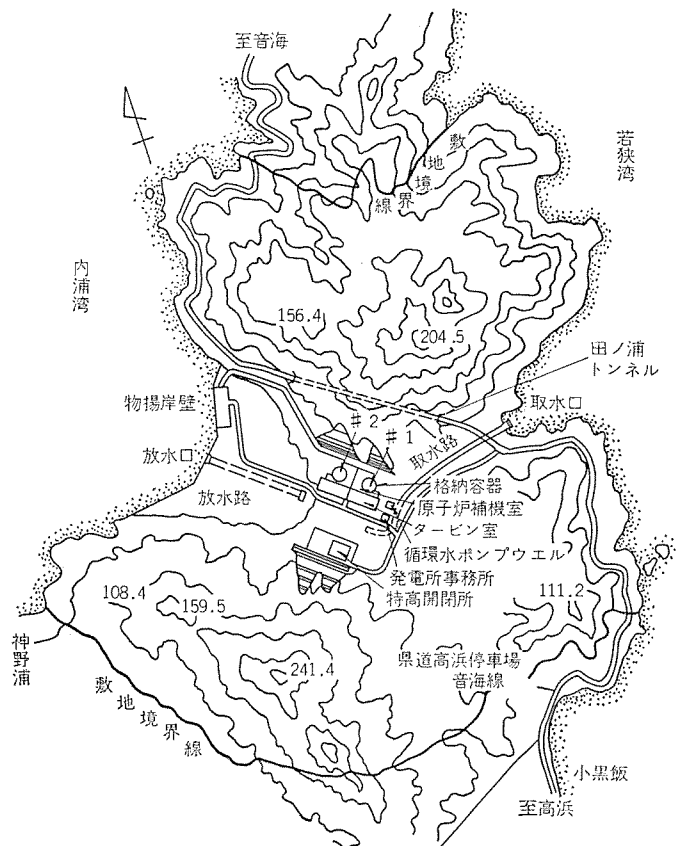


図 2. 高浜原子力発電所配置図

で通じている。

共用設備の補助ボイラ(10 t/h×2)室をタービン建屋東側に、2 次系純水タンク (2,700 t×2) を EL 32 m 道路の東端に、復水貯蔵タンク (700 t×2) は 1, 2 号それぞれタービン建屋の東及び西側の岩盤上に、原水(淡水)タンク (6,000 t×4) を東南 EL 13.5 m の台地にそれぞれ配置した。給水の脱気加熱器は通常タービン建屋上に置くのが慣例であったが、非常に大形(水圧試験時 1,100 t、運転時 660 t)となるので、地上に設置することとし、1, 2 号それぞれタービン建屋の東と西に隣接して配置した。

また、固体廃棄物庫は比較的高放射能レベルの高いものを貯蔵する B 庫 (300 m²) を 2 号機原子炉建屋の西北の EL 32 m 台地に、低いものを貯蔵する A 庫 (2,000 m²) を敷地東南の谷間に設置した。

5. 発電所の仕様概要

主要設備は、原子炉設備、原子炉補助設備、タービン設備、電気設備、計測制御設備及び土木構築物設備などであるが、以下にそれらの概要を紹介するが、特に記載のないものは 1, 2 号同じ設計である。

5.1 原子炉設備

この発電所の原子炉設備は、3 ループ加圧水形で、既に営業運転に入った米国バーヂャ電灯電力会社のサリー 1, 2 号機と同じ設計のもので、原子炉の熱出力は 2,440 MWt である。

5.1.1 炉心

炉心の装荷ウラン量は約 70 t で、157 体の燃料集合体に収納されている。この燃料集合体を支える炉心構造物と原子炉の出力を制御する制御棒が、原子炉容器の中に収容され炉心を構成する。

燃料集合体は、2 酸化ウラン (2.2~3.4 W/O 低濃縮) を小指の先の大きさに焼結したペレットをジルコイ-4 の被覆管の中に長さ約 12 f

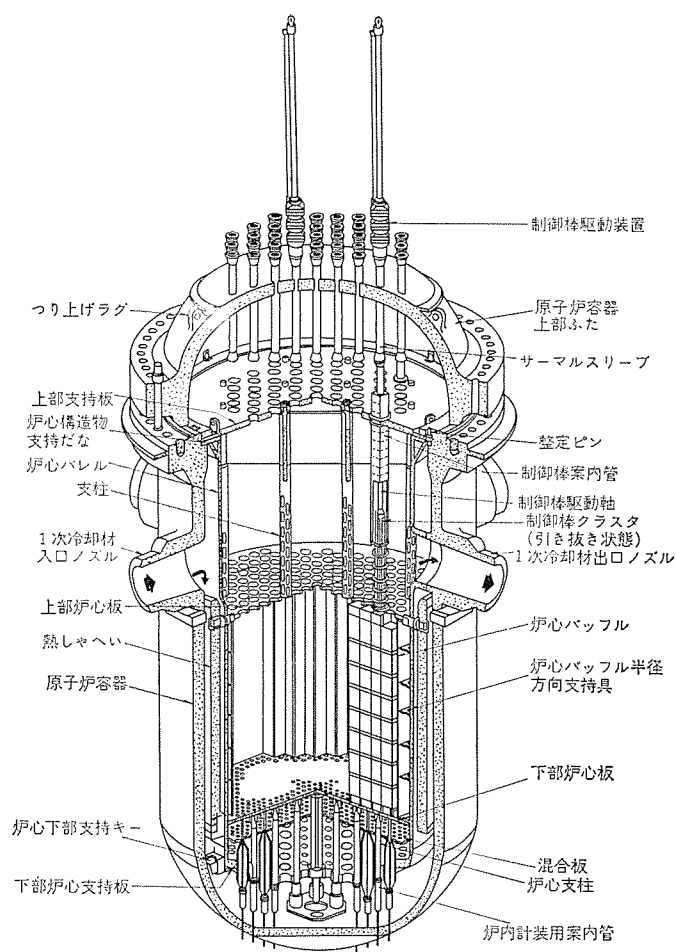


図 3. 原子炉容器内構造図

ート(3.66 m) になるよう充てん(填)し、ヘリウムガスにより $40 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 程度に加压して先端を溶接 プラグした燃料要素を 15×15 の配列にインコネルのグリッドを介して組立てたものである。 $15 \times 15 = 225$ の配列のうち、燃料要素は 204 本で、残りの位置は制御棒 クラスターの通る 20 本と炉内核計装用の 1 本の管が配置されている。1号機の初装荷燃料は W 社製で2号機は三菱原子燃料社製である。

157 本の燃料集合体は図 3. に示すごとく下部炉心板の上、炉心バッフル内にほぼ円筒状(等価直径 3.04 m)に並べられ、その周囲に熱しゃへい(SUS 304)を置いて原子炉容器壁が中性子照射によってぜい(脆)化することを防いでいる。燃料集合体のやや上部の原子炉容器の周りには、1次冷却材出入口ノズルがそれぞれ3個あって、冷却材は入口ノズルより入り、炉心バッフルの外側に沿っていったん下流れ(この部分が反射材の役目もなす)燃料集合体の下方より上方に向かって流れて減速材の役目をするとともに燃料の発生熱により高温となって出口ノズルより出る。

原子炉容器ふた(蓋)の上部には、制御棒駆動装置がついている。制御棒には、全長にわたって中性子吸収材(銀-インジウム-ガドミウム合金)を持ったフルレンス制御棒 48 本と、長さ方向の一部に中性子吸収材を持ったパートレンス制御棒(出力分布調整用)5本があり、前者は磁気ジャック式駆動装置により、後者はローラナット式駆動装置によって駆動される。これらの駆動装置は、1次冷却材中で制御棒駆動軸を動かすので冷却材の漏えい(洩)の心配はない。

炉内核計装は原子炉容器下部より、冷却材温度分布計測用温度計は上部より炉心にそう(挿)入されている。

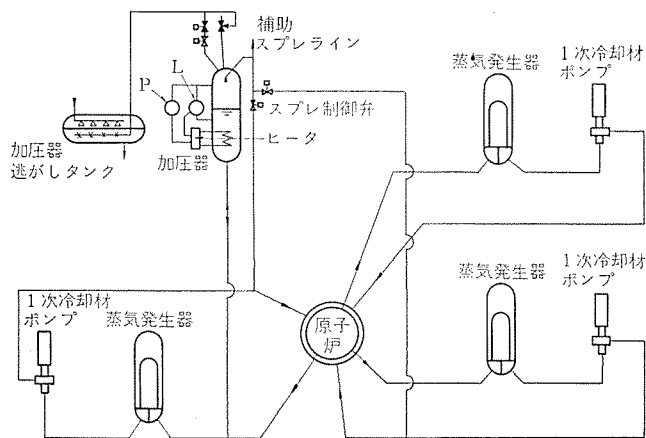


図 4. 1次冷却設備系統図

5. 1. 2 1次冷却設備

1次冷却設備は、炉心で加熱された冷却材を循環し、蒸気発生器で高温高压の蒸気を発生する設備で、図 4. に示すように三つの閉回路よりなっている。それぞれの回路には1次冷却材ポンプ、蒸気発生器がある。また回路の圧力を調整する加圧器は1回路にのみ設けられ、減圧用のスプレ水は2回路のポンプ出口より取っている。

1次冷却材ポンプは漏えい制御軸封式たて置単段斜流ポンプ(W社製)で4,500 kWの電動機駆動で20,100 t/hの容量をもっている。

蒸気発生器は図 5. に示すように、たて置きU字管式で全高 21 m、下部胴直径 3.3 m、上部胴直径 4.2 mの大形のもので、インコネルU字管 3,390 本(伝熱面積 4,780 m^2)をもち、定格出力時 $62.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ の飽和蒸気を 1,600 t/h 発生させる能力をもっている。上部胴の内部には、サイクロン形と波板形の2重の湿分分離器があって、発生蒸気の湿度を 0.25 W/O に押さえている。この大形蒸気発生器は1号機は W 社製で、2号機は三菱重工製である。

加圧器は容積 40 m^3 (全高 13 m) で、1,400 kW の電熱器を有して冷却材の局部加熱による蒸気発生で加压し、先に述べたスプレ水によって蒸気を冷却することによって減圧を行う。また逃がし弁、安全弁が設けられ回路の圧力異常上昇に備えている。

1次冷却材配管はすべてステンレス鋼管で内径 70 ~ 80 cm であるが、特に高浜では直管部に遠心鋳造管(久保田鉄工社製)を採用した。

1次冷却設備の運転圧力、温度は、 $157 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 、 $322 \sim 289^\circ \text{C}$ であるが、設計圧力温度は、 $175 \text{ kg/cm}^2 \text{ G}$ 、 343°C (加圧器だけは 360°C) である。なおこれらの設備は、すべて原子炉格納容器の中に收容されている。

5. 2 原子炉補助設備

原子炉の補助設備としては、運転に必要な化学体積制御設備、余熱除却設備、原子炉補機冷却設備、燃料取扱及び貯蔵設備、廃棄物処理設備、換気設備などのほか、事故を想定した安全設備などがある。

5. 2. 1 化学体積制御設備

原子炉設備が保有する1次冷却材は、その量の調節やほう素濃度の調整及び不純物の浄化が必要である。化学体積制御設備はこれらの目的をはたすもので、1次冷却材の一部を閉回路の途中から取り出し、2段のクーラで冷却したのち、イオン交換器(27 t/h $\times$ 2)及びフィルタを通して体積制御タンクに導き、このタンクより再び充てん(填)ポンプ(34.1 $\text{m}^3/\text{h} \times 3$ 、1号 W 社製、2号三菱重工製)にて閉回路に

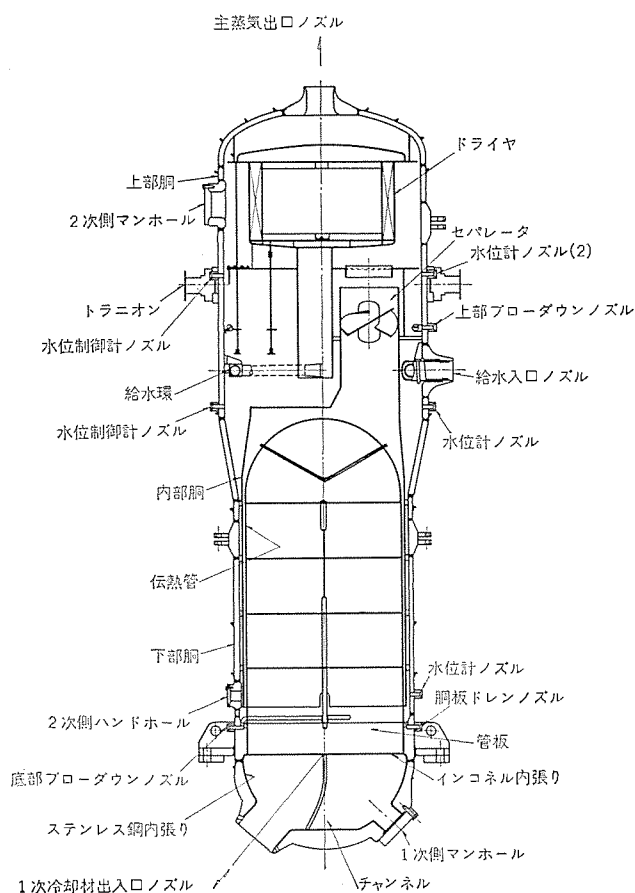


図 5. 蒸気発生器構造図

もどしている。ほう素濃度の調整は、上記系統の体積制御タンクの上流より更に抽出を行い、ほう酸回収装置（エバポレータ）でほう酸と水とに分離し、これを再び充てんポンプの吸込側より系統にもどすもので、ほう素濃度を高める場合は濃いほう酸をもどし、薄める場合は水をもどして行く。

このほう素濃度の調整は、加圧水形原子炉に採用されている独特な原子炉の制御方式で、燃料の燃焼を均一に行う（炉心の出力分布を平均化する）のに有効であり、先に述べた制御棒は出力変化や高温停止など短期の炉制御に用いられるのに対し、燃料の燃焼などによる速度のおそい炉特性変化や冷態停止に用いられる。また制御棒が万一そう入できなくなったような場合には高濃度のほう酸を注入して原子炉を停止することもできる。

5.2.2 余熱除去設備

原子炉停止後に、炉心の余熱を除去し1次冷却材の温度を下げるため、第1段階として蒸気発生器の発生蒸気を復水器にダンピングして熱を除去するが、炉心の余熱が減少し1次冷却材の温度圧力が下がれば、第2段階として余熱除去設備に切換えて冷却する。

この設備は、冷却能力 $8.6 \times 10^6 \text{ kcal/h}$ のクーラ2台と、ポンプ2台で構成され、クーラは原子炉補機冷却設備で冷却される。

5.2.3 原子炉補機冷却設備

この設備は、冷却される原子炉補機と冷却海水との間の熱媒体として働く中間冷却系で、タービン補機冷却とは分離されている。

冷却能力 $7 \times 10^6 \text{ kcal/h}$ のクーラ3台とポンプ3台よりなり、この設備で冷却される補機は余熱除去クーラ、換気クーラ、使用済燃料ピットクーラ、サンプルクーラ、1次冷却材ポンプ及び化学体積制御系の非再生クーラ、封水クーラ、余剰抽出水クーラなどである。

5.2.4 燃料取扱い及び貯蔵設備

この設備は、新燃料の搬入から使用済燃料の搬出までの取扱いを安全確実にを行うためのもので、新燃料貯蔵庫（56集合体分）、使用済燃料ピット（220集合体ラック設置）、ピット水冷却浄化設備、使用済燃料輸送キャスクピット及び除染ピット、燃料取換用キャビティ及びキャナル、燃料取換用水タンク（ $1,720 \text{ m}^3$ ）、マニピュレータクレーン、使用済燃料ピットブリッジクレーン、及び燃料移送装置などがある。

燃料の取換操作はすべて水中（しゃへい材）で操作され、特に使用済燃料取扱い中に故障を起こすことは極力避けねばならないので慎重に設計製作されている。

マニピュレータクレーンはふたを開けた原子炉の上部より、正確に位置決めされた自動グリッパを上下して燃料を扱うので、精度の極めて高いものでスタンジョース社製である。

燃料移送装置は、燃料集合体を横置きにして格納容器貫通孔より出し入れするもので、1号機はW社製、2号機は椿本チェン社製である。

使用済燃料輸送キャスクピット及び除染ピットは、耐震設計的配慮や除染操作の容易さを考えて設置されたものである。

5.2.5 廃棄物処理設備

(1) 気体廃棄物処理設備； 放射性気体廃棄物は、主として1次冷却材中のほう素濃度を変更する際、抽出排水中の気体状核分裂生成物が、溶解している水素とタンクの気相空間に充てんしている窒素とともに排出されるものである。この気体は必要に応じガス圧縮機（2台）でガス減衰タンク（ $15 \text{ m}^3 \times 4$ ）に貯留し、放射能を減衰させたのち排気筒より放出する。

(2) 液体廃棄物処理設備； 放射性液体廃棄物は、主として洗浄排水、各機器ドレン、イオン交換樹脂再生廃液及び実験室から出る廃液などで、これらはいったん廃液ホールドアップタンク（ 93 m^3 ）に貯留し、次いで廃液蒸発装置によって溶存固形分を濃縮分離して、蒸留液は復水器冷却海水と混合して放出する。放射性濃縮液は、ドラミング装置でドラムかん（罐）の中にセメント固化して固体廃棄物庫に貯蔵する。

この廃液処理能力は、1号機で $0.45 \text{ m}^3/\text{h}$ 1基であるが、美浜の実績を考慮し、設計進ちょく状況も勘案して2号機に $1.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 2基を設け、1、2号機のタイラインを設置した。

(3) 固体廃棄物処理設備； イオン交換樹脂廃液は固化材と混合し、また布紙など雑固体廃棄物はベアで圧縮減容したのち、ドラムかんにつめて固体廃棄物庫に貯蔵する。

5.2.6 換気設備

原子炉・原子炉補助建屋の換気設備は主として原子炉格納容器系統、アニュラス（後述）系統、補助建屋系統、制御建屋系統とに大別されるが、これらの系統の排気はすべて高さ80mの排気筒より放出される。

(1) 原子炉格納容器系統； 送気ファン $965 \text{ m}^3/\text{分}$ 2台と排気ファン $965 \text{ m}^3/\text{分}$ 2台とで格納容器の換気を行うが、これは原子炉停止中に作業員が立入る場合に使用する。この換気とは別に、循環ファン $5,250 \text{ m}^3/\text{分}$ 3台と冷却コイルにより循環冷却を行い、また浄化ファン $255 \text{ m}^3/\text{分}$ 2台とチャコールフィルタにより浄化できようになっている。そのほか原子炉しゃへい冷却、制御棒駆動装置冷却、キャビティエアーカテンなどの単独設備も設けられている。

(2) アニュラス系統； 循環換気ファン $113 \text{ m}^3/\text{分}$ 2台とチャコールフィルタでアニュラス部の空気を循環して浄化を行うものであるが、循環ラインと排気ラインのそれぞれのダンパ調整でアニュラス部を負圧に保

っている。

この系統は、アニュラス部への立入りなどにも使用するが、主目的は冷却材喪失事故時のためのものである。

(3) 補助建屋系統；送気ファン $1,640\text{ m}^3/\text{分}$ 2台と排気ファン $1,640\text{ m}^3/\text{分}$ 2台により補助建屋の換気を行うもので、必要な場合はヒータリングコイルで暖房を行う。また充てんポンプ室や余熱除去室など放射性ガスの漏えいが考えられる所の排気はチャコールフィルタを通すことができる。

この系統とは別に、ジーゼル発電機室、蒸気ヘッダ室、補助給水ポンプ室、補機冷却水ポンプ室には単独系統の換気設備が設けられている。

(4) 制御建屋系統；送気ファン $2,640\text{ m}^3/\text{分}$ 2台と循環ファン $2,250\text{ m}^3/\text{分}$ 2台及びチラーユニットによるクーリングコイルと蒸気によるヒータリングコイルにより、中央制御室、スイッチギヤ室、計算機室、リレー室などを冷・暖房している。原子炉事故時を考慮して中央制御室はチャコールフィルタを通して送気できるようになっている。放射性ガスの存在が考えられる立入り管理室、洗たく室、放射化学室などは、上記系統より排気ファン $410\text{ m}^3/\text{分}$ 2台とチャコールフィルタによって直接排気筒に排出される。このほかバッテリー室は単独の換気設備を設けている。

5. 2. 7 安全設備

安全設備は万一の事故時に備えて原子炉が安全に停止し、周辺の住民に放射性被爆を起こさせないために次の設備を設けている。

(1) 原子炉格納施設；この施設は格納容器と外部シャヘい壁及びアニュラスよりなる。格納容器は円筒形の胴(38mm厚)と半球形の屋根(19mm厚)をもった全鋼板溶接製の容器で、大きさは直径38.4m、高さ約80mである。格納容器の中には、原子炉、蒸気発生器、加圧器、1次冷却材ポンプ、主冷却材配管など原子炉設備の主要部分を収容し、万一の事故時には放射性物質が飛散することを防止する役目を果たすものである。原子炉冷却材喪失事故時にはこの内部に蒸気を保持することになるが、その時の圧力は $2.4\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ となる。また安全解析上では、この時の格納容器からの漏えい率は $0.3\text{ \%}/\text{日}$ まで許容されているが、実際に漏えい率試験を行うと $0.1\text{ \%}/\text{日}$ よりも少ない。また外気にふれる構造であるので、鋼板及びその溶接部は -11°C (3.2節参照)において低温ぜい性破壊を起こさないよう設計製作された。

外部シャヘい壁は、格納容器の周囲を鉄筋コンクリート壁で囲んだ構造で、その内径は42.5m、壁厚は90cm、高さは格納容器の頂上と同じである。この壁は格納容器内に放射性気体が充満した場合に周辺の被爆を防ぐためのシャヘいが目的である。

上記格納容器と外部シャヘい壁との間に約2m程の空間があるが、格納容器の円筒部分の最上部に両者の相対変位を吸収できる構造のリング状の屋根を設けて2重格納構造(アニュラス部)としている。

(2) 安全注入設備；この設備は近年ECCS問題として有名になった設備であるが、高浜においては諸問題を十分反映した設計がとられている。

1次冷却材が喪失した事故の場合に作動するもので、燃料交換用水タンクのほう酸水を直接原子炉内に注入するものと、窒素ガスで常に加圧($50\text{ kg/cm}^2\text{ G}$)された、ほう酸水を保有するアキュムレータ($43\text{ m}^3\times 3$)から注入するものがある。この設備は、通常運転中充てんポンプで補給可能な漏えい量であれば作動しないが、加圧器の水位が下がり、格納容器内圧力が上昇すればただちに作動する。1次

冷却材の漏えい量が比較的に少ない場合は、1次冷却系統の圧力が高いので高圧注入系統で注入する。この場合充てんポンプが使われ、ポンプサクションが燃料交換用水タンクに切換わり、吐出し側も高圧注入系(各ループの高温、低温ノズルに連結する)に切換わる。1次冷却材の漏えい量が多い場合は、圧力は急激に下がるので前述のとおりアキュムレータよりまず注入が行われる。これは1次冷却系統とアキュムレータは逆止弁で仕切られているので、1次冷却系統が窒素圧力より下がれば自動的に注入される。同時に低圧注入系統も運転されていて注入が行われるが、これは先の高圧注入系に加え余熱除去ポンプのサクション側と吐出し側が余熱除去系統より安全注入系統に切換えられ大量の水を注入することができる。

なお、これらの設備は多重性を考慮して設計されており、1系統の作動不良があっても効果が十分ある容量をもっている。

(3) 格納容器スプレ設備；1次冷却材喪失事故の時に、格納容器の中は放射性ガスと蒸気で充満され、約 $2.4\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ の内圧となるが、できるだけ早く圧力を下げることが望ましい。このため格納容器に水を降らせるスプレ設備がある。

燃料取換え用水タンクのほう酸水を内部スプレポンプ($423\text{ m}^3/\text{h}\times 4$)でスプレするが、系統の途中による素除去薬品(苛性ソーダ)をエグクタ(水ポンプ)で注入するようになっている。格納容器内のスプレヘッダは、容器の内周にそってリング状になったものが8リングあり、それぞれのリングに多数の噴射ノズルがあって極めて細かい水滴を降らすことができる。長時間のスプレで格納容器の底の水量が増え、再循環を行い、クーラによって除熱するようになっている。

5. 3 タービン設備

この設備は、火力発電所とほぼ同様な設備であるので、原子力発電所特有のものについて述べる。

5. 3. 1 タービン本体

蒸気発生器で発生する蒸気は、圧力 $62.5\text{ kg/cm}^2\text{ G}$ 、湿度 0.25 W/O の飽和蒸気であるので、タービンは $1,800\text{ rpm}$ のTC-6F-40で高圧と低圧よりなり、その間に湿分分離器を設けて主蒸気により再熱している。超大形タービンであるので、制御にはEHガバナを採用している。また、軸受部にはハロン消火設備(川崎重工製)を設けるほか事故対策が配慮されている。

5. 3. 2 復水器

運転の制御性や原子炉の余熱除去などの目的により、全負荷時タービン蒸気流量の40%を復水器にダンプすることができる。また真空ポンプとしては、ナッシュ社製のメカニカルポンプを使用し、排気は常に放射線モニタされている。

5. 3. 3 給水設備

復水ポンプを出た復水は、4段の低圧給水加熱器と脱気器を経て、給水ポンプで昇圧後高圧給水加熱器を通して蒸気発生器に給水する。脱気器は米国内の原子力発電所では採用例はないが、水質管理や運転安定性を重視して採用している。

この主給水とは別に、脱気器、復水タンク、または2次系純水タンクを水源とした、蒸気駆動1台と、非常電源駆動ポンプ2台があって、外部電源喪失時でも原子炉の余熱除去のため蒸気発生器に給水することができる。

5. 3. 4 補給水設備

純水装置(イオン交換器)は通常塩酸・苛性ソーダで再生するが、原子力設備はステンレス鋼が多いのでClイオンをきらい、硫酸・苛性ソーダを用いる。また原子炉冷却系統への補給水は、脱気塔を用いて

脱酸素を行っている。

5.3.5 薬注装置

蒸気発生器への給水は、インコネルチューブに対する影響など極めて高度な管理を必要とするので、りん酸ソーダ、ヒドラジン、アンモニアなどの多くの薬品タンクとポンプを置き、系統の注入点も増加している。

5.3.6 補助ボイラ

通常運転中はスチームコンバータにより原子炉発生熱を補助蒸気の熱源として使用しているが、プラントトリップ時にはできるだけ早く補助ボイラに切換えて、タービン・グランド蒸気を確保し復水器の真空を保つことが望ましい。当所では川崎重工製の貫流ボイラ(10 t/h×2)が設置されている。

5.4 電気設備

主発電機は、タービン直結で1,800 rpmの4極機で、水素内部冷却方式である。励磁装置には直結ブラシレス励磁機を採用し、予備励磁機を省略した。緊急時には水素ガスを放出し、窒素ガスを封入する。

発電機から主変圧器(タービン建屋横)間は強制風冷相分離母線で直結し、主変圧器から特高開閉所間はOFケーブルを用い、地面下のコンクリートトンネル内を通して。特高開閉所はEL 15 mにあり、高低差約11.5 mの傾斜にOFケーブルを布設するので、すべり止めに留意している。

主変圧器(86万kVA)と並んで、所内変圧器(4万kVA×1, 1.7万kVA×1)と、1, 2号機共用の起動用変圧器(6.6万kVA×1, 2万kVA×1)がある。また特高開閉所には、7.7 kV系統受電の予備変圧器(6万kVA×1)がある。これらの変圧器はすべて三菱電機製である。

特高開閉所は全屋内式シングル母線で、主しゃ断器には三菱電機製三相SF₆ガス屋外形(定格しゃ断容量25,000 MVA)を採用している。

外部電源喪失事故に対し、非常電源としては1, 2号機にそれぞれジーゼル発電機(三菱重工・三菱電機製4,875 kVA, 6.9 kV×2)、無停電電源装置(三菱電機製10 kVA×4)及び直流電源装置(新神戸電機製2,200 AH, 129 V×2)を設置して発電所を安全に停止できるようにしている。

5.5 計測制御設備

計測制御回路、安全保護回路はフェイルセーフ、多重性、独立性を基本的考え方とし、運転継続の信頼性が加味されている。特に高浜ではケーブル配線に至るまで独立性を確保し、耐震、防火性に対する配慮も払われた。

5.5.1 制御設備

発電所の制御方式は、原子炉設備はもちろん、タービン発電機設備も含めてすべて中央制御室での集中制御方式で、通常運転中の出力変更は、発電機出力にみあうようにタービン側の蒸気流量が加減されれば、1次冷却材の温度がこれに追従して変動し、これによって原子炉は制御棒が操作され出力が加減されるようになっている。

原子炉の制御は、定格出力の15%以下では手動であるが、15%以上では自動で行い、±5%/分のランプ状変化と、±10%のステップ状変化に応ずることができ、蒸気ダンブ制御系を併用すれば定格出力の50%相当までの急激な負荷減少でも原子炉スクラムを起こすことなく対処できる。

5.5.2 計装

計装は原子炉計装とプロセス計装とに大別され、原子炉計装は炉外計装、炉内計装、制御棒位置指示計装及び停止余裕監視装置などから

なっている。

炉外計装は、原子炉容器外周の1次しゃへいコンクリート壁内に直接原子炉容器に面するように取付けられた中性子源領域(比例計数管2)、中間領域(ガンマ線補償形電離箱2)、出力領域(非補償形電離箱8)の3領域の熱中性子束検出器で、これらの領域の測定範囲は相互に若干の重なりを設け、定格出力の120%まで連続測定ができる。これらの測定器はW社製である。

炉内計装は、5個の可動核分裂形小形検出器を遠隔操作により炉心内に設けられた50本の案内管のうち任意のものにそう入し、必要に応じ炉内の中性子束分布を測定する。また、多数の熱電対により燃料集合体出口の冷却材温度を計測する。

制御棒位置指示計装には、駆動軸とその周囲の位置指示コイルとの磁気結合を利用したアナログ方式のものと、駆動ステップ数を計数するデジタル方式のものがある。

停止余裕監視装置は、制御棒が常に原子炉の急速停止に必要な余裕をもった位置に保たれているかを監視する装置で、アナログ計算機によりそう入限界値(下限)を計算し、制御棒の位置がこの限界値に近づいたときは警報を発する。またこの計算は別置の主計算機でも算出できる。

通常運転用としては炉外計装が使用されるが、原子炉起動時の中性子源領域の計測性能を良くするため、炉心に中性子源があらかじめそう入されている。初装荷炉心の初期の起動に使用する1次中性子源(プルトニウム-ベリリウム)と、原子炉の運転によって放射化されたアンチモンを利用する2次中性子源(アンチモン-ベリリウム)とがある。

また、運転性能を向上させるため計算機を備えている。これは、三菱電機製MELCOM 350/30 F1形で、付属機器として、オペレータコンソール1面、ロギング、トレンドリング、アラーム、システム、サマリタイプライタ各1台(計5台のタイプライタ)、トレンドレコーダ2台、紙テープパンチ及びリーダー各1台を備え発電所全体を処理している。

プロセス計装は、在来火力発電所の計装と同様、温度、圧力、流量、水位などを測定するものである。計装に用いられる空気は、計器用コンプレッサ(石川島製8.2 Nm³/分×2)と空気乾燥器(大同製鋼製2筒自動切換式×2)によって供給するが、原子炉設備の計装は特に重要であるので原子炉補助建屋の中に設置し、耐震設計もAクラスで実施した。

中央制御室に配置された制御盤は、正面と側面に原子炉盤、タービン発電機盤(三菱電機製ベンチタイプ)を配し、その奥に核計装盤、共通盤、空調盤、モニタ盤、リレー盤(おのおの自立形)などを置き、タービン建屋側に電気盤(デスク形)を置いている。また中央制御室の照明は防火の目的から従来のアクリル光天井を採用せず、アルミルーバを使用した。

中央制御室以外で原子炉を安全に停止できるよう、原子炉補助建屋にエバキューション盤を置いている。

5.5.3 安全保護回路

安全保護回路は多重チャンネル構成で、2 out of 3方式などのスクラム回路とし、原子炉スクラム、制御棒引抜き阻止、警報及びその他の補助保護動作(安全注入設備動作など)を行うようになっている。

原子炉スクラム信号としては、加圧器圧力高、同圧力低、同水位高、温度過大ΔT、過出力ΔT、出力領域中性子束高(高、低設定)、出力領域中性子束率大、中間領域中性子束高、中性子源領域中性子束高、1次冷却材流量低下、安全注入装置作動、蒸気発生器水位低、蒸気・給水流量差大、地震トリップ、タービン発電機トリップ、手動トリ

アップがある。またこれらの安全保護回路は、通常運転中にできるだけ実作動に近似した回路の試験が行えるようにテストパネルを設けている。

5. 5. 4 放射線管理設備

放射線管理の主な設備には、屋内管理用設備として固定エリアモニタ、プロセスモニタ、移動式放射線検出器、ハンドフットモニタ、個人管理用計測器及び分析用放射線測定装置などの監視設備のほか、放射線管理室、放射化学室、除染室などがあり、屋外管理用として排気モニタ、排水モニタ、気象観測設備のほか、敷地内外の固定モニタ、放射線観測車などを設けている。

敷地内外の固定モニタは、連続監視用のモニタステーション1箇所とモニタポスト10箇所があり定期測定用のモニタポイントを多数置いている。

6. 耐震設計法

原子力発電所の設計においては、ほかのプラント設計と異なり、特に耐震強度の検討が重要視されている。この高浜発電所の設計においてとられた方法を簡単に述べる。

6. 1 重要度の分類

各建物、構築物、機器、配管などは、それぞれの機能よりみて重要度をA、B、Cの3段階に分類する。

- Aクラス…その機能喪失が原子炉事故を引き起こす可能性のある施設、又は周辺公衆の災害を防止するために重要な施設。
- Bクラス…高放射性物質に関連するAクラス以外の施設。
- Cクラス…A及びBクラス以外の施設。

6. 2 設計地震力

静的解析に用いる地震力は、A、B及びCクラスの施設に対し、それぞれ建築基準法で規定された値の3倍、1.5倍、及び1倍とする。

動的解析に用いる地震力は、敷地付近の地震歴(3.4節参照)及び地質(3.1節参照)などを考慮して、Aクラスの施設に対し、建物基礎面における最大加速度を270ガルとする。なおAクラスの中でも特に原子炉格納容器と原子炉安全停止機構に対しては360ガル

でもその安全機能が保持されることを確認する。また動的解析に用いる地震波形は、その1質点系応答スペクトルが、周期0.04秒付近より上昇し、0.1~0.2秒の間でピーク値(質点系のダンピングファクタ5%で3倍、1%で5倍)となり、その後降下する特性をもったものとする。

6. 3 許容応力

上記地震力と通常荷重による応力の和が、建物などにおいては建築基準法で規定された短期荷重許容応力度とし、機器設備については材料の使用される温度下における降伏点応力を許容応力とする。

6. 4 解析法

静的解析は建築基準法に定められた片持はり法で行う。

動的解析は多質点系モデルを考え、1質点系応答スペクトルを用いて解析する。また機器、配管への入力は、建物各床の上の1質点系を考えた応答スペクトル(フロアレスポンスカーブ)を用いて解析した。電気設備関係の複雑なものについては、極力モックアップ振動実験を行って確認した。

7. 建設工程

1、2号機の建設工程表を図6.に、また電源開発調整審議会以来のKey Dateの実績及び今後の予定を表1.に示す。

着工後選開まで56箇月を要する長い工程であるが、これは高浜発電所(美浜も同じ)のような原子炉格納容器を採用すると、まず原子炉建屋の基礎を作り、その上に仮支柱を立てて格納容器を組立て、耐圧、漏えい試験をした後に内部コンクリートを打設し、その完成を待ってボラクレンを据付け、その後にはじめて原子炉容器や蒸気発生器の据付けが開始できるという一連の工程となり、並行工程が組めないのが大きな理由である。

高浜発電所では、美浜発電所で経験する諸問題に対し、いかに設計、工事の段階で、工程に支障なく採り入れていくかに苦勞した。

また826MWという新規模についても、各機器が記録的容量のものが多いため、設計、製作、据付けに当たっては十分に慎重を期した。

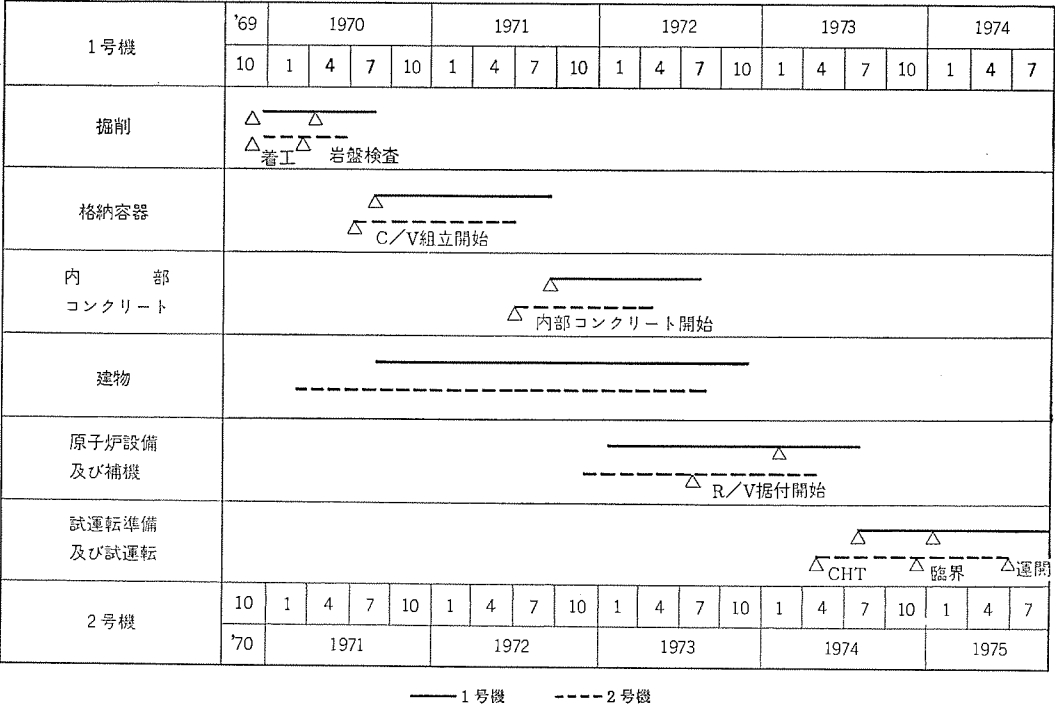


図 6. 高浜1、2号機 建設工事工程表

表 1. 建設工事実績及び予定

	1 号 機	2 号 機
電 調 審 承 認	44 年 5 月 23 日	45 年 5 月 29 日
着 工	44 12 15	45 12 1
格 納 容 器 着 手	45 8 24	46 7 5
同 上 完 成	46 9 9	47 6 21
原 子 炉 容 器 据 付	47 11 3	48 7 30
主 冷 却 系 水 圧 試 験	48 7 31	49 5 29
温 態 機 能 試 験 開 始	48 9 25	49 8
燃 料 装 荷 終 了	49 2 5	49 11
初 臨 界	49 3 14	50 12
初 併 入	49 3 27	50 12
運 開	49	50 7

8. 試 運 転

加圧水形原子力発電所の建設が完成に近づき運転に入っていく段階で特異な点を簡単に述べる。

8.1 フラッシング

原子炉設備の配管の大半は SUS 304 で作られ、系統の水には不純物の混入は許されないので、配管完成後に純水を使用してフラッシングを実施する。1号機では 2,000t/日の純水装置をフル稼働して約半年にわたって 24 万トンの純水が使用された。

給水管は化学洗浄（2号はポリビッド併用）を行い、主蒸気管は作業員が管内に入って清掃した。

8.2 1 次冷却設備の水圧試験

原子炉容器（低合金鋼内面 SUS クラッド）が低温ぜい性破壊を起こすことを避けるため、水圧試験時に水温を 80～120℃ に上げる必要があるが、この熱源として冷却材ポンプを運転し、その熱損失により加熱するので、水圧試験時にはこのポンプを運転可能状態にする必要がある。またこのポンプは軸シール部が漏えい制御式であるので、この漏えい量にみあう容量の水圧テストポンプが必要である。

8.3 温態機能試験

加圧水形原子力発電所独特の試験で、燃料装荷前に 1 次冷却系統に水をはり、3 台の冷却材ポンプを運転して 1 次冷却設備の圧力、温度を通常運転零出力状態まで上昇させ、原子炉設備の調整や各種の機能の確認を行うものである。また蒸気発生器の 2 次側にも水をはっておき、この発生蒸気を使って蒸気タービンを 1,800 rpm まで運転することができ、振動の状態や発電機の電圧上昇などの確認ができる。このように核燃料を使用しないで各部の運転条件における機能が前もって確認でき、不具合があれば放射線管理の必要なしにこれを修正することが可能であるので、非常に有効な試験である。

8.4 燃料装荷

加圧水形原子炉は、原子炉容器のふたを開け、容器の上面まで 2,000 ppm のほう酸水をはり、ポータブルな BF₃ カウンタを入れて置いて、一気に 157 本の燃料集合体をそう入する。この操作はマニピュレータクレーンを用いて行い、24 時間作業で数日間で実施できる。その後、原子炉容器のふたを締め付ける。

8.5 初臨界操作

1 次中性子源から出る中性束を中性子源領域検出器で計測しながら、スクラム用制御棒を引き抜いておいて、冷却材中のボロン濃度を慎重に薄めていき、計画した濃度で制御用制御棒を抜いて未臨界であることを確認し、これをステップ状に繰り返して最後に零出力臨界濃度に達する。もちろん冷却材温度、圧力は運転状態である。

9. む す び

以上、高浜発電所の計画と概要を紹介したが、設備が複雑なうえ、紙面も制約があり、説明不足の点が多々あると思われるが、当社美浜 3 号、大飯 1、2 号のみならず、日本の今後の原子力発電所の計画・建設に当たって幾分なりとも御参考になれば幸甚である。

現在まだ 2 号機が工事途上にあるが、1 日も早く当社の発電戦線に加われるよう努力するつもりである。

関西電力(株)高浜発電所の電気設備

井上 通*・津田 元裕*・山田 進也*・松本 信郎**

1. ま え が き

高浜発電所1, 2号ユニットは電気出力各826 MW, 3ループのPWRプラントで, 1ユニットあたりの出力としては本邦記録容量である。1970年ごろから米国で軽水炉プラントを中心に, 設計基準類が一層の充実をみたのでこのプラントの設計計画にあたっては, 我が国の技術基準や指針に準拠するのは当然のことながら, これらの米国の基準類も大幅にとり入れ, 安全性, 信頼性確保の点で従来以上に厳しい方針で対処するものとなっている。本文では高浜発電所電気設備の概要及び最近の設計基準についてその考え方一端を紹介する。

2. 電 気 系 統

2.1 設計基準

原子力発電所の諸設備に対する設計基準は, 我が国でも次第に整備されつつあるが, この方面で1歩先んじている米国では原子力委員会(U. S. AEC)から「原子力発電所一般設計指針」の具体的なガイドとして軽水炉プラントを中心にした“Safety Guide”が1970年ごろから発表され, 1972年末には“Regulatory Guide(R. G.)”として原子力関連諸設備全般に関するガイドに発展している。またプラント全般にわたる事項に関して American Nuclear Society が, 電気設備関係について IEEE が基準を出しているほか, 機械設備や材料関係でも, 関連団体が基準を作成発表している。

米国における基準類を整理すると, 次のように分類できる。

(1) 設計条件の設定に関するもの

設計時に考慮すべき気象, 地震などのサイトの環境条件, 仮想事故条件など, いわゆる設計基準事象や放出放射性物質の規制などがある。

(2) 系統, 機器に対する要求仕様に関するもの

設定された設計条件に対応して, それぞれの系統・機器が最小限満足しなければならない仕様を記している。これらの基準類の第1の目的は原子炉の安全性の確保であり, 電気, 制御, 計装に関してもその例外ではなく安全性に関連するものに最重点がおかれている。要求仕様の考え方を一言に言うといかなる設計条件においても, 原子炉の安全停止又は隔離が可能で, 放射性物質が外部に出ないようにする」ことである。具体的には必要に応じて系統・機器はすべて多重化し, かつ各系列を完全に独立させ一方の系列での故障が他方へ波及しないようにすること, 随時各系統・機器の動作確認ができること, 保守点検の容易性, 高信頼性などが要求されている。地震時においても安全確保のため機能喪失が許されない系統の機器の耐震設計は原子力発電所設計のうちでも極めて重要な課題になっている。別稿「原子力発電所用電気機器の耐震設計」参照。

(3) 信頼性, 品質保証, 品質管理に関するもの

広範囲にわたり高度の要求がなされている。機器の性能試験に関する基準も多数あり, 実証性を重んじていることがうかがわれる。

数多い基準類の中でも電気設備設計に関しては, IEEE Std 279-

1971「原子力発電所保護系に関する基準」, IEEE Std 308-1971「原子力発電所のクラスIE電気機器に対する設計基準」, IEEE Std P 384-1973「クラスIE機器及び回路の分離基準(案)」, R. G. 1・6「多重所内予備電源間並びにその所内系統間の独立性」などが最も重要なものであろう。

高浜1号ユニットは原子炉系の設計を米国ウエスチングハウス社とギルバート社が担当した関係もあり, 先に述べたような米国における基準類が完成公表される以前から先行して設計方針に盛りこんでいるところが多い。特に安全防護系の2系列間の分離独立については, 系統の回路的な分離独立と, 物理的な分離独立との両面から実施し, 機器の配置やケーブルレイ, 電線管についても系列間の分離独立をはかるため一部の設計変更をも辞せず実施した。

2.2 基本構成と特長

高浜発電所1号ユニットの主単線接続図を図1に示すが2号ユニットは1号ユニットにおける440 V 母線3-1E相当の母線が無いほかは, 1号ユニットと同じ母線構成である。母線構成はいわゆるユニット方式で, ユニットの起動・停止時には起動変圧器から受電し, 定常運転時には発電機母線に直結した所内変圧器及び起動変圧器より受電する。ただし後述する安全防護系2母線は定常運転時も起動変圧器から受電する構成とし, 所内変圧器からの電源切換えは行わない。

所内母線は6.6 kV 5母線, 440 V 6母線から成っている。そのうち6.6 kV 2母線と440 V 2母線は安全防護系(Safeguard)の母線で原子炉安全停止などの機能維持に必要な補機がそれぞれの母線に, 独立して接続されている。外部電源としては上述のように275 kV 系統より起動変圧器を通して常時受電するとともに, 後備電源として77 kV 系統から予備変圧器を通して受電できる。なお起動変圧器と予備変圧器は1, 2号ユニット共用である。更にこれらの外部電源喪失時の予備電源としてジョーゼル発電機が各安全防護系6.6 kV 母線に1台ずつ設けられており, 原子炉の安全停止に必要な最小限の電源はそれぞれ独立に確保できるようになっている。また安全防護系2母線間は完全な分離独立がはかられており, 一方の故障で2系列とも機能喪失をきたすことのないようにしている。例えば安全防護系2母線間の連絡しゃ断器は普通は使用しないが, 何らかの理由で両母線を接続している場合連絡しゃ断器1台のみであると万一の故障時に2母線の完全な切離しができず, 両母線とも使用できなくなる可能性がある。このためしゃ断器を2台直列に設け母線間の切離しが確実にできるようになっている。

他の6.6 kV 3母線と440 V 4母線は安全防護系母線に対し非安全防護系(Non-Safeguard)の母線と呼ばれ, 通常の発電所運転に必要な補機が接続されている。1, 2号ユニット共通の440 V 3-1E母線を除いてはユニット起動・停止時は起動変圧器より, 通常運転時は所内変圧器より受電する。これらの母線の補機類は原子炉の緊急停止には直接必要でなく, 外部電源喪失時など事故時には給電されない。

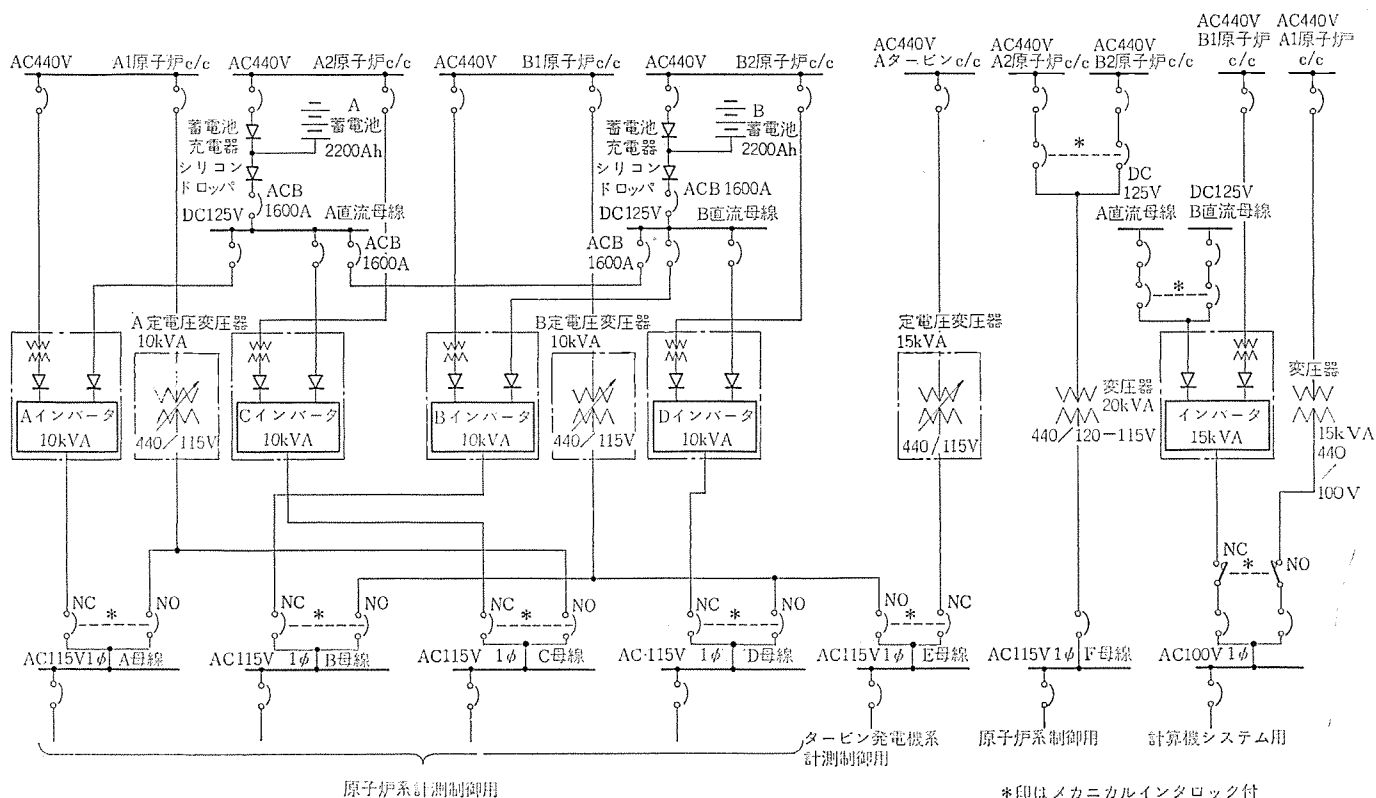


図 2. 直流及び計測制御用 交流電源単線接続図

代表的な補機としては1次冷却材ポンプ(4,500kW 3台)がある。このポンプは原子炉運転上の最重要補機であるが安全防護系機器ではないので、非安全防護系母線に接続されている。ただし1母線の電源喪失によって1次冷却材流量の50%が喪失しないように、このユニットのように3ループで3台の1次冷却材ポンプを有する場合には、ポンプ1台ごとに母線を分ける必要がある。このため6.6kVの母線構成は安全防護系の2母線と非安全防護系3母線の計5母線となる。給水ポンプがすべて電動で、3,800kW×2のタンデム形の電動機を3組有することをはじめとし、大容量の電動補機が多く440V母線の補機数よりも6.6kV補機数の多いのも特長の一つである。このため許容電圧降下及び短絡電流の両面から所内回路構成を検討し、3巻線変圧器を採用することによって種々の問題を解決した。所内回路の接地方式は6.6kVが高抵抗式(10A)、440Vが非接地である。

次に1ユニット分の所内直流電源系統及び計測制御用交流電源の単線接続図を図2に示す。直流電源は2組それぞれ独立した125V蓄電池、充電器から構成されている。充電器は安全防護系のコントロールセンタから給電され、蓄電池は通常浮動充電されている。直流系統は安全防護系の電源としても最重要であり、2系列の完全な独立性が計られている。直流2母線間の連絡しゃ断器を2台直列に設置していること、均等充電中に他母線よりき(饋)電しなくてもよいようにシリコンドロップを設けていること、両系列から同一場所に電源を引込むような使い方を避けていることなどである。また直流漏電警報装置を設け選択接地検出が可能となっている。

次に計測制御用交流電源であるが、原子炉系4母線は安全防護系に属し125V直流母線から4組のサイリスタインバータにより単相115Vを得ており、外部電源喪失時も電源喪失を起こさない無停電電源となっている。後備電源は定電圧変圧器より得ているが、この切換は負荷側事故時の事故拡大防止のため手動が原則である。原子炉系の計測電源が2系列でなく4系列なのは、保護系などの検出器出力

を2 out of 4や2 out of 3に組むため、これらの電源もそれぞれ4系列独立に必要となるからである。

送電系統は275kV 2回線(高浜線)あり、新綾部変電所を経て丹後幹線につながっている。

3. 主要電気設備

3.1 主発電機及び励磁装置

別稿「高浜発電所納め920MVAタービン発電機及び3,500kWブラシレス励磁機」にゆずる。

3.2 発電主回路接続装置(GMCS)

ユニットシステムとして主発電機、主変圧器、所内変圧器を22kV定格の相分離母線で接続する。主導体部(25,500A定格)及び発電機端子部は強制風冷、所内変圧器への分岐導体部(12,500A定格)は自冷である。

3.3 変圧器

仕様を表1に示す。主変圧器は別稿「高浜発電所納め三相860MVA 275kW主変圧器」にゆずる。

所内変圧器2台のうち1台は3巻線変圧器である。ユニット出力100%時の運転補機容量を基準に容量決定している。

起動変圧器Aは安全防護系母線2母線に接続されていて、起動・停止時のほか、定常運転時にも所内変圧器への母線切換は行われず、原子炉系の海水ポンプ、補機冷却水ポンプなどへの電源を供給する。起動変圧器Bは非安全防護系母線4-Dに接続されているので、起動・併入後は所内変圧器Bに電源切換を行い、切離される。起動変圧器の容量は2ユニット同時に冷態停止状態から起動し、1ユニットは1/4負荷、他ユニットは高温待機状態に維持するに必要な補機容量をベースにして決定している。

予備変圧器は2ユニット同時に定常停止するに必要な補機容量をベースとして容量を決定している。

表 1. 変 圧 器 仕 様

仕 様	主 変 圧 器	所 内 変 圧 器		起 動 変 圧 器		予 備 変 圧 器
		A 所 変	B 所 変	A 起 変	B 起 変	
形 式	屋外, 送油風冷, 三相, 外鉄形, 2 巻線, 負荷時タップ切換器付き	屋外, 油入自冷/風冷, 三相, 内鉄形, 3 巻線	屋外, 油入自冷, 三相, 内鉄形, 2 巻線	屋外, 油入自冷/送油風冷, 三相, 外鉄形, 3 巻線, 負荷時タップ切換器付き	屋外, 油入自冷/風冷, 三相, 外鉄形, 3 巻線, 負荷時タップ切換器付き	屋外, 油入自冷/送油風冷, 三相, 内鉄形, 3 巻線
数 量	1	1	1	1 (1, 2 号ユニット共用)	1 (1, 2 号ユニット共用)	1 (1, 2 号ユニット共用)
定 容 格 量 (MVA)	860	30/16.5-16.5(油入自冷) 40/22-22(油入風冷)	17	33/16.5-16.5(油入自冷) 66/33-33(送油風冷)	15 (油入自冷) 20 (油入風冷)	30/15-15 (油入自冷) 60/30-30 (送油風冷)
電 圧						
1 次 (kV)	22	R 22-F 21.5-F 21	R 22-F 21.5-F 21	262.5±25	262.5±25	F 80.5-R 77-F 73.5-F 70
2 次 (kV)	275±12.5	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
周 波 数 (Hz)	60	60	60	60	60	60
結 線						
1 次	三 角	三 角	三 角	星 形	星 形	三 角
2 次	星 形	星形-星形	星 形	星形-星形 (3次めくら三角)	星形(3次めくら三角)	星形-星形
インピーダンス (%)	14	7.0(22 MVA 基準)	5.5(17 MVA 基準)	10.7(33 MVA 基準)	9.0(20 MVA 基準)	5.0(30 MVA 基準)
外 部 引 出 方 式						
1 次 側	GMCS(IPB)	GMCS(IPB)	GMCS(IPB)	エレファントブッシング	エレファントブッシング	堅置きブッシング
2 次 側	エレファントブッシング	6.6 kV バスダクト	6.6 kV バスダクト	6.6 kV バスダクト	6.6 kV バスダクト	6.6 kV バスダクト

表 2. 所内動力用 開閉装置仕様

	6.6 kV メタルクラッド開閉装置	440 V パワーセンタ	440 V コントロールセンタ
(1) 形 式	三菱 WN 形メタルクラッド開閉装置	三菱 ED 形パワーセンタ	三菱 E 形コントロールセンタ
(2) 定格電圧	6,900	600	600
(3) 電気方式	60 Hz 三相 3 線 10 A 接地式	60 Hz 三相 3 線 非接地式	60 Hz 三相 3 線 非接地式
(4) 電流容量 (A)	2,000	1,600, 3,000	600, 800(水平) 400(垂直)
(5) 数 量 (面)	82(74)	30(25)	116(99)
しゃ断器			
(1) 形 式	三菱 6-DHE-50 形磁気しゃ断器 (受電用及びフィード用) 三菱 6-DHE-50M 形磁気しゃ断器 (受電用及び母線連絡用)	三菱 DB-75 形気中しゃ断器 (受電用及び母線連絡用) 三菱 DB-50 形気中しゃ断器 (フィード用)	三菱 NF 形ノーヒューズしゃ断器
(2) 定格電圧 (V)	7,200	600	550
(3) 定格電流 (A)	1,200, 2,000	1,600, 3,000	100, 225, 400 (フレーム)
(4) 定格しゃ断容量又は電流	500 MVA	42,000 A(対称) DB-50	15,000 A(非対称)
交流電磁開閉器			三菱 MSO 形
(1) 形 式	—	—	500
(2) 定格電圧 (V)	—	—	35 以上
(3) 定格電流 (A)	—	—	—
動力変圧器			
(1) 形 式	—	乾式, 自冷/風冷三相	—
(2) 電 圧	—	6.9-6.75-6.6-6.45-6.3 kV/460 V	—
(3) 容 量	—	1,500/2,000 kVA	—
(4) 数 量	—	6(5)	—

注) 数量は 1 号ユニット (2 号ユニット)

3. 4 所内動力設備

仕様を表 2. に示す。特記事項は次のとおりである。

- (1) 安全防護系に属するものは、耐震設計を行い、代表的な構成で耐震試験を実施し機能喪失のないことを確認している。
- (2) 安全防護系の一部のメタルクラッド開閉装置及びパワーセンタは、プラント運転中にも安全防護系としての機能を満足するかどうかを確認するため、しゃ断器コイルの断線監視がいかなる場合でもできるようになっている。このテストは単体ごとのチェックではなくシステムレベルで行われるもので、「安全防護系テストラック」から操作・実施される。
- (3) 安全防護系の設備は母線系列ごとにそれぞれ別の室に設置している。

表 3. 計測制御用 電源装置仕様

インパータ	計測制御用無停電電源装置	計算機用無停電電源装置
(1) 数 量	4	1
(2) 形 式	FC-1D10 形屋内用風冷式	FC-1D 15 形屋外風冷式
(3) 容 量 (連 続)	10 kVA	15 kVA
(4) 入 力	直 流 DC 125 V(105~140 V) AC 440 V±10% 60 Hz 三相	直 流 DC 125 V(105~140 V) AC 440 V±10% 60 Hz 三相
(5) 出 力		
(a) 電 圧	AC 115 V ±2%以内 5 サイクル以内	AC 100 V ±3% 10 サイクル以内
電 圧 変 動 (定常時)	±2%以内	±3%
過 渡 時 回 復 時 間	5 サイクル以内	10 サイクル以内
過 渡 時 変 動	入力電圧±10%に対し 負荷変動75%±15%に 対し	±5%以内 ±10%以内
(b) 周 波 数	60 Hz	60 Hz
周 波 数 変 動	±0.5%	±0.5 Hz
(c) 相 数	単 相	単 相
(d) ひ ず み 率	3%以下	5%以下
(負荷25~100%, 力率0.8)		
(6) 効率(力率0.8, 100% 負荷)	70% 以上	70%
定 電 圧 変 圧 器	計測制御用無停電電源装置予備用	計測制御用(2次系)
(1) 数 量	2	1
(2) 形 式	鉄共振形	磁気増幅器形
(3) 容 量 (連 続)	10 kVA	15 kVA
(4) 入 力	AC 440 V±10% 60 Hz 単相	AC 440 V±10% 60 Hz 単相
(5) 出 力	AC 115 V±2% 60 Hz 単相	AC 115 V±2% 60 Hz 単相
過 渡 時 回 復 時 間	0.5 秒以内 ±15%以内	0.5 秒以内 ±10%以内
入 力 電 圧 ±10% 対 し	±10%, -15% 以内 (50%±30% 対し)	±10% 以内 (50%±25% 対し)
負 荷 変 動	3%以下	5%以下
ひずみ率(負荷25~100% 力率0.8)		

3. 5 計測制御用交流電源設備

計測制御用電源母線は図 2. に示す構成でその仕様を表 3. に示す。原子炉系計測制御用及び計算機電源用のインパータは交流 440 V 及び直流 125 V の 2 入力につき合わせとなっていて、2 入力間の切換えを必要とせず、信頼性を高めている。

3. 6 非常用ジーゼル発電機

4,875 kVA, 6,900 V, PF 80%, 三相, 60 Hz の横軸突極回転界磁形の発電機で励磁装置は静止自動形, エンジンは三菱 M. A. N. V 6 V 形出力 5,520 PS であり, 1, 2 号ユニットにそれぞれ 2 組を設置して

表 4. 主要電動機仕様

用 途	台数	電 圧 (V)	容 量 (kW)	同期速度 (rpm)	形 式
原子炉系					
1 次冷却材ポンプ	3	6,600	4,500	1,200	防滴保護 立
高圧注入/充てんポンプ	3	6,600	675*	1,800	防滴保護 横
海水ポンプ	4	6,600	580**	900	開放屋外 立
補助給水ポンプ	2	6,600	370	3,600	防滴保護 横
余熱除去ポンプ	2	6,600	280	1,800	防滴保護 立
1 次系補機冷却水ポンプ	4	6,600	250	1,200	防滴保護 横
チラーユニット***	2	6,600	245	3,600	冷凍機用
格納容器スプレーポンプ	4	6,600	220	3,600	防滴保護 立
格納容器再循環ファン	3	440	190	900	全 閉 立

* 2 号ユニットは 830 kW

** 2 号ユニットは 430 kW

*** 1, 2 号ユニット共用

表 5. 特高開閉所 設備機器一覧

項 目	数 量	備 考
275 kV 系統		
(1) し ゃ 断 器	5 台	三菱 250-SFH-2500 形ガスしゃ断器
(2) 断 路 器	9 台	三相水平切屋外形 (高岳)
(3) 避 雷 器	9 台	三菱 SSV 形オートバルブ避雷器
(4) 計 器 用 変 流 器	7 × 3 台	三菱 PC-25 S 形単相がいし変流器
(5) 計 器 用 変 圧 器	8 台	コンデンサ形 (日新)
(6) 壁貫きブッシング	6 本	コンデンサ形 (日新)
77 kV 系統		
(1) し ゃ 断 器	1 台	三菱 70-SFL-350 形ガスしゃ断器
(2) 断 路 器	1 台	三菱 70-HDT-12 G
(3) 避 雷 器	3 台	三菱 SSV 形オートバルブ避雷器
(4) 計 器 用 変 流 器	1 × 3 台	三菱 PC-7 S 形単相がいし変流器
(5) 計 器 用 変 圧 器	3 台	コンデンサ形 (日新)
(6) 壁貫きブッシング	3 本	三菱 OT 形屋外耐害害コンデンサブッシング

いる。起動信号を受けてから 10 秒以内に電圧整定し、その後投入シーケンスに従って負荷起動・運転をする必要がある。電圧変動率を小さくするために、低インピーダンス($X_d' = 17\%$)の発電機になっている。安全防護系の最重要電源であるので、エンジンの常時予熱や定期的な起動試験の実施など、確実に起動するよう十分な注意を払っている。

3. 7 補機電動機

表 4. に主要な補機電動機の仕様を示す。原子炉系では 1 次冷却材ポンプを除いては、表 4. 中の補機はすべて安全防護系に属している。一般電動機と異なり、設置環境、使用条件を考慮し設計的にも十分の配慮を払っている。

タービン系関係では給水ポンプ用電動機に特色がみられる。3,800 kW のものを 2 台タンデム連結として、それぞれ異なる 2 母線から給電され、起動は 2 台同時に行う。

3. 8 開閉所設備

275 kV と 77 kV の 2 系統から成る。母線構成については図 1. を、主な機器については表 5. を参照されたい。275 kV 系統の母線構成は単母線である。架空送電線とは屋内開閉所の壁貫きブッシングによって、また開閉所から主変圧器及び起動変圧器間は OF ケーブルで接続されている。

77 kV 系統は 1 回線で、開閉所と送電線及び予備変圧器間は壁貫きブッシングを通して接続されている。

いずれも操作は中央制御室から行われる。また 275 kV 及び 77 kV 系統の事故は、中央設置の運転記録計によって自動監視される。275 kV の母線保護方式は一括 2 重保護である。

4. 計測制御装置

4. 1 プラントインタロック

総合インタロック線図を図 3. に示す。同図中央部分の原子炉、タービン、発電機間のインタロック基本事項に示されているように、原子力発電所では、原子炉の保護が最優先となる。原子炉トリップ後も崩壊熱が放出されるので、トリップ直後の冷却が重要である。原子炉 1 次冷却

材ポンプは慣性が大きく、トリップ直後外部電源がなくなっても、安全に必要な冷却材流量は確保できるが、より確実にするためにタービントリップ後も 10 秒又は 30 秒間は発電機を解列せずに電源を確保するようになっている。

原子炉トリップ、タービントリップ、発電機トリップの原因となる事象についてはトリップ信号を発すると同時に、第 1 原因表示警報(ファーストアウト)を発し、かつ計算機にも記録される。第 1 原因によって引続いて起こるトリップ信号も順次警報表示するとともに計算機に記録され、トリップ原因調査を容易にしている。

4. 2 制御盤

中央制御室、リレー室の盤配置を図 4. に示す。以下特色のある 2, 3 の盤について既述する。

4. 2. 1 中央制御室

(1) 原子炉盤

原子炉の各系統(安全防護系、格納容器スプレー系、海水系、余熱除去系、安全注入系、純水系、補機冷却水系、化学体積制御系、補給水系、1 次冷却材系、原子炉制御保護系、制御棒制御系、核計装系、主蒸気・給水系など)の運転、監視を行う。

ベンチボード形で、上部に故障表示器、中間直立部に指示計、記録計、調節計、各種表示灯を、またデスク部に各種操作開閉器、切換開閉器、操作レバー、押しボタン形開閉器などを配置している。

表示灯のうち原子力特有のものとして次があげられる。

(a) モニタライト

安全防護系をはじめ重要な弁、ダンプの開閉状態を集中的に監視するために設けられたもので約 230 灯ある。

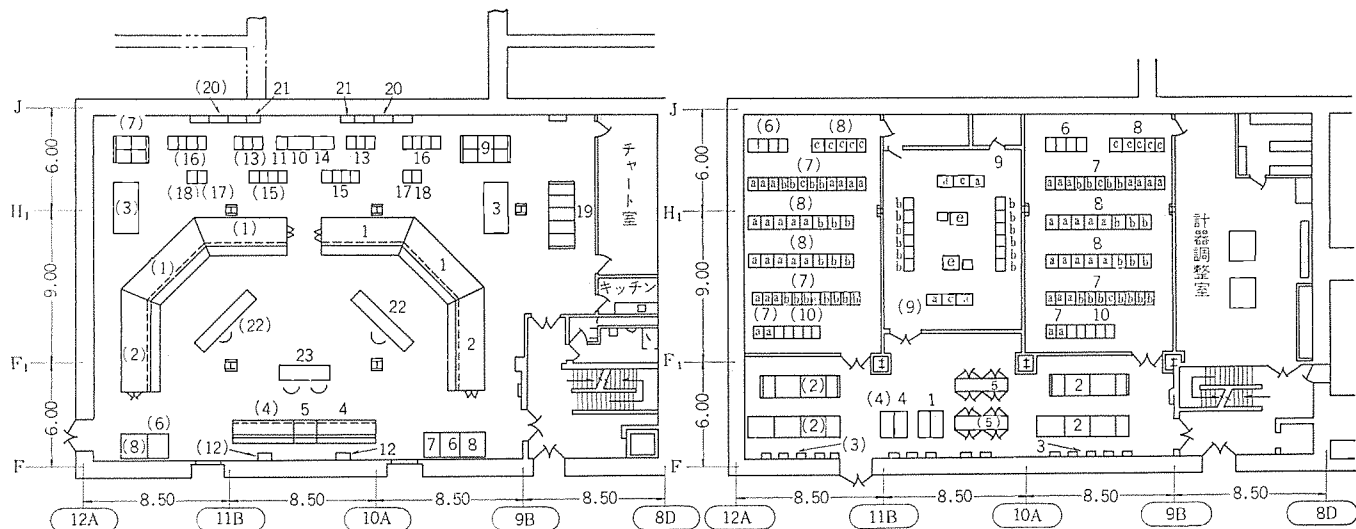
(b) ステータスライト

原子炉保護回路、安全防護回路その他プラントの運転に必要な重要回路の状態表示を行う。原子炉トリップ信号を発する個々の機器や、回路がトリップ信号を発していることを示すトリップステータスライト約 250 灯、トリップ回路など重要回路を運転上の必要性や試験のためにバイパスしていることを示したり、運転条件信号の状態を示すバイパスアンドパーミットステータスライト 42 灯がある。

原子炉盤の盤内配線は耐燃性、耐熱性のあるふっ素樹脂系絶縁電線を使用し、分離した系列別にそれぞれ色分けをしている。各系列ごとに束ねた配線は、異なった系列と交わらないように必要な間隔をおいて配線する。配線用ダクトは金属ダクトを使用している。端子は盤内前後に系列別に配し、ケーブル引込用穴についても前後に設けて系列別にケーブルを分離して引込んでいる。

盤は耐震設計を要求されており、解析及び盤のモデル試験や取付機器の単体試験を行い、構造的、機能的に必要な耐震性を有することを実証している。

(2) タービン発電機盤



()内数字は2号ユニットを示す。

項目	中央制御室	1号ユニット (面)	2号ユニット (面)	合 計
1	原子炉盤	2	2	4
2	タービン発電機盤	1	1	2
3	空調盤	1	1	2
4	所内盤	1	1	2
5	送電盤	1	0	1
6	計測計器盤	1	1	2
7	送電計器盤	1	0	1
8	AI・R・AQR盤	1	1	2
9	発電機変圧器保護リレー盤	3	2	5
10	共通盤	1	0	1
11	ノイズモニタ盤	1	0	1
12	タービン発電機潤滑油非常停止盤	1	1	2
13	放射線監視盤	3	3	6
14	野外放射線監視盤	1	0	1
15	核計装盤	4	4	8
16	炉内計装盤	4	4	8
17	コンピュータパッド盤	1	1	2
18	T/G系計器補助盤	1	1	2
19	キャリアリレー盤	5	0	5
20	ヒューズパネル	3	3	6
21	直流分電盤	1	1	2
22	計算機用オペレータコンソール	1	1	2
23	運転指令機	1	0	1

項目	リレー室	1号ユニット (面)	2号ユニット (面)	合 計
1	母線保護リレー盤	2	0	2
2	無停電電源装置	8	8	16
3	計測制御用分電盤	5	5	10
4	T/G系計測制御用定電圧変圧器	1	1	2
5	EHガバナ盤	5	5	10
6	制御棒位置指示盤	4	4	8
7	計装制御ラック (a)保護	12	12	24
	(b)制御	11	11	22
	(c)計算機パッド	2	2	4
8	リレーラック (a)原子炉保護	10	10	20
	(b)安全保護	6	6	12
	(c)補助	5	5	10
9	計算機 (a)PC-1 I/Oコントローラ	1	1	2
	(b)I/O 入出力キャビネット	6	6	12
	(c)CPU セントラルプロセッシング ユニット	1	1	2
	(d)電源	2	2	4
	(e)T/W タイプライタ	1	1	2
10	故障表示装置	5	5	10

図 4. 中央制御室及びリレー室配置図

タービン、発電機及び関連補機の運転、監視を行う。原子炉盤と列盤で、盤の形状、器具の配列方式は原子炉盤と同様である。盤内配線は従来火力と大差はない。

(3) 空調盤

原子炉系建屋（格納容器、補助建屋、制御建屋、中間建屋）に対する空調設備の運転、監視を行うもので、盤内配線、耐震設計については原子炉盤と同じ基準によっている。

(4) ノイズモニタ盤

格納容器内には常時に入れないので、格納容器内機器の近辺にマイクロホンを設け運転音をモニタするものである。

4. 2. 2 リレー室

(1) 故障表示装置

IC使用のロジック回路と電源とを収納している。入力としては電圧(AC 115 V)と接点入力(NO, NC)が入れられる。故障表示モードは通常形のほかにファーストアウト形及び多入力を扱うリフラッシュ形がある。

(2) EHガバナ盤

原子力発電用タービンでEHガバナを採用するのは本機が本邦最初である。EHガバナ盤には半導体使用の演算回路が収納されタービン速度・負荷を検出し、起動・停止時の速度や運転中の負荷に応じてタービンの各蒸気弁を開閉する電気信号を各弁のアクチュエータに伝達する。蒸気弁の操作、監視、テストはタービン発電機盤に取付けた操作パネルで行う。

4. 2. 3 現 場

(1) 中央制御室退避時制御盤

何らかの理由で中央制御室で発電所を運転できなくなったとき、中央制御室を退避してなおかつ高温停止状態まで炉を安全停止できるようにするもので、中央制御室のすぐ室外に換気設備操作の壁掛盤、補助給水ポンプ室にその他の制御を行う直立盤を設けている。

(2) 加圧器ヒータ制御盤

加圧器内を基準圧力に保つため、加圧器圧力偏差信号を用いて加圧器のヒータの電力制御を行うもので、SCRを用いている。

4. 3 計算機システム

この発電所向け計算機システムは、プラントの運転状態の総合判断や炉内外の計装データから炉の正確な状態推定、更に事故時の関連データ収集を行うことを目的としている。計算機システムは火力発電所におけるようなプラント制御の分野にまでは使用されていないが、多量の計算を高速で行う必要性から中央演算処理装置(CPU)や補助メモリ容量は火力と同程度か、それ以上である。

設備の概要を図 5. に、機器の配置を図 4. に示す。

4. 3. 1 中央演算処理装置

原子力発電所向けのシステムで採用している Reliability Bit 付浮動小数点演算について述べる。これは浮動小数点データ(合計 32 ビット)の最下位ビットを数値としてではなくそのデータが信頼できるか否かを示すためのビットとして使用するものである。例えば同一計測点

原子力発電所用電気機器の耐震設計

八島 英之*

1. ま え が き

原子力発電所は、計画、設計の段階から、安全性の検討、評価が必要不可欠の条件となっている。耐震設計もその重要な部分を占めるもので、原子力発電所が大地震に遭遇した場合、その施設や機器が損傷し、動作不良を生じて安全の確保が不能にならないよう、十分の耐震性をもつことが、それらの施設や機器に要求される。そして、これらの耐震性能を何らかの方法で確認 (Qualify) することが必要となっている。この確認のためのプログラムを示したものが表 1. で、その内容は次の三つのカテゴリにわかれる。

- (a) 機器がプラントの安全に寄与する程度に応じて、どの程度の耐震設計を施すべきかを示した耐震設計重要度分類リスト。
- (b) 機器が置かれるべき地震環境条件の規定。
- (c) 確認の具体的方法及び評価の基準。

現在のところ、各カテゴリに対する規定や指針は、場合に応じて作られているが、全体のシステムを統一的に包括する公式の基準は開発の段階にある。この報告では、原子力プラント用電気機器の耐震性確認に関する基準や指針の現状とその背景について検討し、またその具体的手法について述べようとするものである。

表 1. 電気機器の耐震性確認のプログラム

項 目		内 容, 結 果
対象機器	重要度分類	As A B(Aチェックを含む) C(A, Bチェックを含む)
		系, 機器の耐震設計重要度分類リスト
地震環境条件	地震ランク	設計地震 安全余裕検討用地震
	地震現象の表現	時刻歴法 応答スペクトル法
		最大加速度, 変位 時間対加速度記録など 地盤(基礎)応答スペクトル 床応答スペクトル
確認方法	解 析	盤 類 装置(モータ, 変圧器など) 電路(ケーブルトレイ, バスダクトなど)
	実 験	盤 類 器 具
		振動特性(振動モード, 固有振動数など) 応答倍率 応 力 電氣的機能(実装機器に対して)
	解析及び実験の照合	盤 類 装置など
	判定基準	器 具 盤 類 系
		機能保持すべき範囲, 限界値 機能保持のための前提条件 許容応力

2. 機器の耐震設計重要度分類

現在, わが国で行われている原子力発電所用機器の耐震設計分類は次のとおりである。

Aクラス——その機能喪失が原子炉事故をひき起こす恐れのあるもの、及び、原子炉事故の際に、放射線障害から公衆を護るために必要なものを A クラスとする。A クラスのうちで安全上、特に重要なもの、すなわち原子炉格納容器、原子炉停止装置は通常 As クラスに分類される。

Bクラス——高放射性物質に関係するもので A クラス以外のもの。

Cクラス——A クラス 及び B クラス 以外のもので通常の耐震性を有するもの。

原子力プラント用機器は分類階級に対応した地震力に対して、適切な強度と機能の保持が要求される。ここで適切な強度とはどの程度の強度か、機能の保持とはどのような条件のもとで成立たなければならないかなどは別に定められる判定基準による。また、A クラスと C クラスの機器が近接して配置されている場合、地震によって C クラスの機器が破損して A クラス機器に損傷を与え、機能を損なうようなことがあれば、プラントの安全性を保つことができないであろう。この場合には C クラスの機器でも強度上は A クラスの設計が要求されることになる。(A チェック)

我が国の原子力プラント(加圧水形)に設置される電気機器の耐震設計重要度分類の一例を表 2. に掲げる。

表 2. 電気計装機器 耐震重要度分類表

項 目	重要度分類	項 目	重要度分類
中央制御室設置盤		制御棒駆動系	
原子炉盤	A	制御盤, 位置指示装置	C
タービン発電機盤	C	MG セット	C
所内電気盤	C	ジーゼル発電機系	
空調盤	A	制 御 盤	A
核 計 装 盤	A	非常用ジーゼル発電機	A
放射線監視盤(一部)	A	スイッチギヤ, コントロール センタ	
炉内計装盤	C	安全防護系	A
計算機オペレータ コンソル	C	そ の 他	C
発電機変圧器保護リレー盤	C	蓄電池及び充電装置	A
リレー室設置盤		空調制御現場盤(一部)	A
原子炉保護系計器ラック	A	分 電 盤(一部)	A
その他の計器ラック	C	タービン発電機	C
原子炉保護系リレーラック	A	変圧器(起動, 所内, 予備)	C
安全防護系リレーラック	A	格納容器無線貫通部	As
その他のリレーラック	C	地 震 計	A
アナシージャラック	C	各種検出器	
計器用インバータ キュービクル	A	炉停止安全系, 安全防護系など	A
計算機用インバータ キュービクル	C	クラス A に属するもの	
計器用定電圧変圧器キュービクル	C	系統上 A クラスの流体に接するもの	A
EH ガバナ キュービクル	C	系統上 B クラスの流体に接するもの	B
制御用計算機	C	その他の検出器	C
原子炉トリップ遮断器盤	A		

3. 地震環境条件の規定

地震という自然現象は、今日の科学技術でも最も解明のむずかしい対象の一つである。元来、地震は1回1回が異なった現象で、その結果も反復性、再現性に乏しい。しかし、耐震設計とは地震現象の特性を物理的に再現させて、その条件のもとで、問題の機器が十分な耐性をもつように作りあげることである。そこで耐震性確証のプログラムの第2のカテゴリは、この機器の置かれるべき地震環境条件を規定することになる。

地震現象を性格づけるものは、その強さと波形（周波数特性）である。まず、強度については、発電所の立地点で発生することが考えられる最強地震が問題になるが、地震強度の基準としては次の二つの階級が定められている⁽¹⁾。

設計地震——特定の敷地で予想される最強の地震で、その強さは敷地付近で入手し得る地震歴、地盤条件を参考に決定される。Aクラスの機器の耐震設計はこの設計地震に基づいて行われる。

安全余裕検討用地震——Asクラスに属する機器に対しては、上記の設計地震を上回る（例えば1.5倍の）強さの地震をもって安全上の余裕の検討が行われる。これが安全余裕検討用地震である。

この日本の規定に対応して、よく引合いに出されるのはアメリカの基準である。それには次のような地震階級が定められている⁽²⁾。

Safe Shutdown Earthquake (SSE) ——その敷地の地震歴や地質構造から決定される最大の地震で、安全に重要な関係のある構造物や系や機器は、この地震動に対して、その機能を保つように設計されなければならない。

Operating Basis Earthquake (OBE) ——この地震動に対しては、発電に必要な構造物、系、機器は運転機能を保つように設計されなければならない。

SSEは在来定義されていたDesign Basis Earthquake (DBE)と同等であると見なして差し支えない。この地震階級を別の言葉でいえば、SSEはそのプラント敷地で永い年月の間に、いつかは発生することが考えられる最大の地震で、OBEはプラント運転期間中には発生が十分予想される地震である。SSEとOBEの間には特に数値的關係は定まっていないが、大体1/2 SSEがOBEに近い値とされている。

以上のようにアメリカのSSEは、いつかは起こるかも知れない最大の地震であるのに対し、日本の安全余裕検討用地震は最大地震に安全係数をかけた“仮想的地震”といえよう。地震階級について統一された合理的な考え方が確立されるには、今後更に幅広い研究が必要であろう。

なお、プラントや機器の設計の例からいえば、どのような敷地に対しても適用できる統一的な具体的な数値が与えられることが望ましい。現在、アメリカのメーカの中には高震度地域及び低震度地域プラントに分けて標準化している例がみられる。

次に、地震現象の他の一つの特性についていえば、地震波の記録をみてもわかるように、非常に多くの周波数成分を含んだ複雑な波形で、しかもそれは、地震を観測する場所、例えば土壌か、岩盤か、あるいは建物の上かなどで全く異なってくる。この特性を表現する方法として次の二つがひろく採用されている。

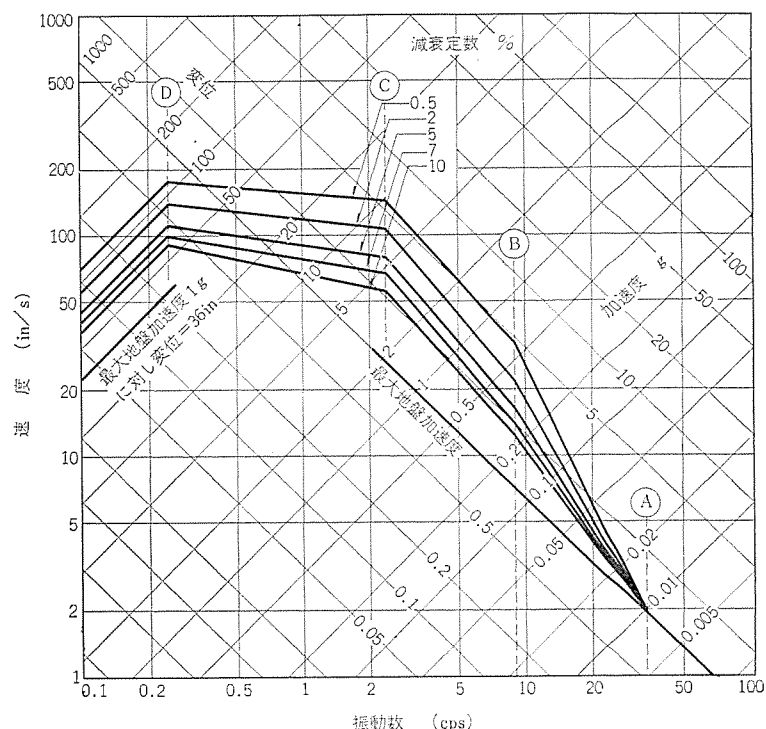


図 1. 水平方向設計応答スペクトル（基礎水平加速度 1.0 g 基準）

(1) 時刻歴法

横軸に時間を、縦軸に地震の振幅、速度、加速度などをとったものである。時刻歴記録を根拠に検討することは、機器が実際の地震時に示す挙動を推定する情報が得られる。時刻歴地震波としては実際に観測された顕著な地震波（例えば El Centro 地震）、あるいは人工地震や過去の地震記録から推定されるプラント敷地の地震波、また全く人工的に合成されたランダム波などが採られている。

(2) 応答スペクトル法

応答スペクトルとは1自由度の減衰振動系の群が振動入力を受けたときに示す最大応答（加速度、速度又は変位）を、その固有振動数に対してプロットしたものである。振動系が地盤自体に、あるいは建物の床に取付けられているかによって、地盤（基礎）応答スペクトル (Ground Response Spectrum)、あるいは床応答スペクトル (Floor Response Spectrum) が与えられる。

機器の固有振動数に対応する床応答スペクトル上の加速度は、機器の重心にかかる加速度に相当するものと考えてよい。したがって機器と建物の固有振動数が一致するときには、応答スペクトルのピーク値に相当する程度の加速度をうけることがわかる。

応答スペクトルは個々の地震によって異なるが、原子力プラントの耐震設計の共通の基礎になるような応答スペクトルが、アメリカのAECから設計応答スペクトル (Design Response Spectrum) として提案されている⁽³⁾。この規格化された応答スペクトル（図1.）は過去の多くの地震記録を統計的に処理して作られたもので、震央から離れた地点で、岩石又は堅い（堆）積土壌の地盤に対して適用できるものとしている。

据付けられた機器がうける最大加速度は、応答スペクトルのゼロ周期の点に対応する加速度をもって与えられる。ゼロ周期の点では、図から明らかなように、いかなる減衰率であっても同一点に収れん（数）するので、最大加速度は一義的に定まる。機器の耐震試験においても、加振入力にはこの最大加速度を採用している。

4. 耐震性確認の手法

原子力プラント用電気機器の耐震性確認の手法には解析と実験の二つがある。電気機器は一般に多くの部品から構成された集合体で、構造的にも機能的にも設計地震に対して十分な耐性をもっていなければならない。この手法を示したフローチャートが図2.である。

4.1 解析の手法

フローチャートに示すように解析には静的及び動的解析があるが、それは次のような意味をもっている。すなわち、

静的解析——建築基準法によって与えられた静的震度を割増した値の地震力を想定して静的応力、変形を計算し、耐震性を検討する。

動的解析——静的解析では敷地の地盤特性、地震活動度、建物の振動特性などの相違が十分に採り入れられていない。これらの条件や特性を考慮し、機器の応答を調べるものが動的解析である。

静的解析では水平静的震度 a_{SH} は次式で与えられる。

$$a_{SH} = 1.2 a K \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで1.2は機器の場合の係数、 a はクラス分けによる倍率でAクラスは3、Bクラスは1.5、Cクラスは1を採る。 K は

$$K = 0.8 K_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

K_0 は建築基準法震度（基礎より高さ16mまでは0.2、それより4m増すごとに0.01を加えた値）、0.8は建物が岩盤に固定されている場合の低減率である。静的垂直震度は高さに関係なく、16mまでの水平震度の1/2を採っている。

静的、動的解析の関係を示すものが図3.で、床応答曲線と静的震度を示す直線との交点ABの間では、動的応答が静的震度を上回り、この外の領域では小さい。今Bより長周期側を柔領域、Aより短周期側を剛領域と定義すれば、（これは剛領域の一つの定義であるが、このほかにも（1）応答スペクトルのピーク周波数の2倍以上を剛とする、（2）経験的に例えば20Hz以上を剛とするなどの考え方がある。）機器の固有振動数がこの範囲にあれば、静的解析の結果は動的応答値を上回り、十分安全側であることがわかる。しかし、柔領域にあれば、その高調波がABの間に入ることもあり得るので、柔構造をさけ、剛構造が望ましいとされる理由がある。

盤や開閉装置のように構造が複雑なものは、モデル化解析によって振動特性を求めるのはかなり面倒である。これらは構造上多自由度系に属し、簡単な力学モデルとしては、いくつかの質点をはり（梁）で連結したものが採られている⁽⁴⁾。ここで骨組やはりの強度をどのように評価しモデルの常数を与えるか、また各部に分布している器具や部品の質量をどのような等価質量にまとめるかなど、検討を要する問題がある。

機器の応答解析法としては、モーダル解析、時刻歴（モーダル）応答解析、時刻歴（直接積分）応答解析などがよく使われている⁽¹⁾。今後、実験の面から盤類の振動特性データが集積され、また解析のモデル化、コードの開発が進むにつれ、解析による確認法はもっと簡便に、一般的に使えるようになるであろう。

4.2 実験の手法

実際に作られている標準的な盤や開閉装置は必ずしも剛構造ではなく、また動解析の適用も困難であるため実験的手法の適用が必要に

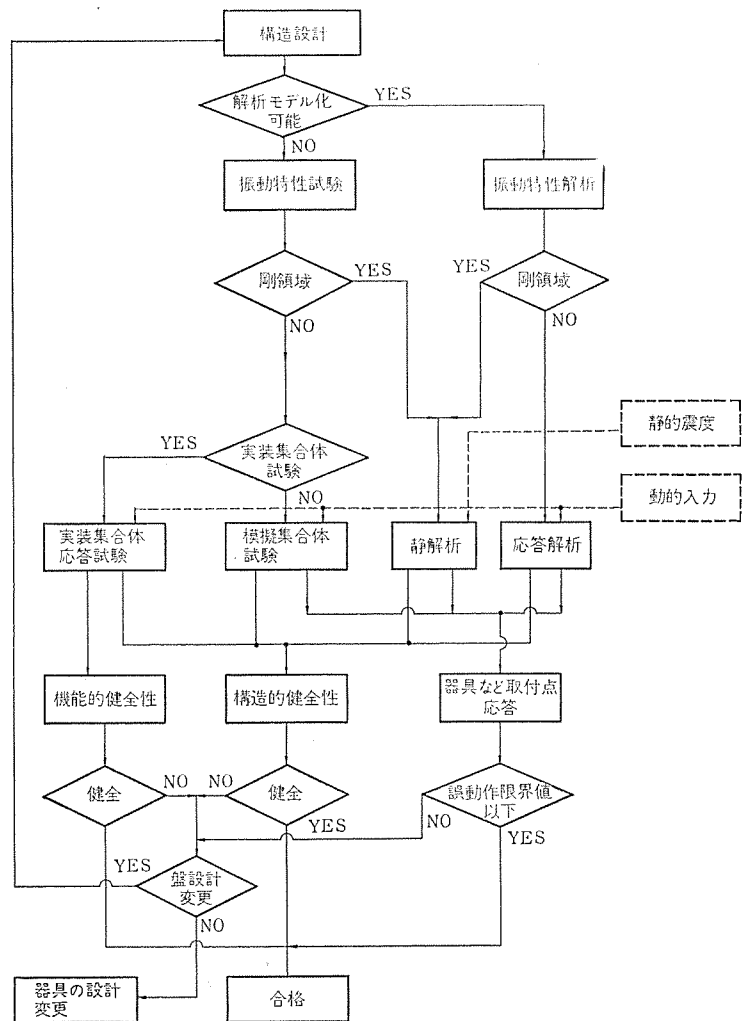


図2. 電気機器耐震設計のフローチャート

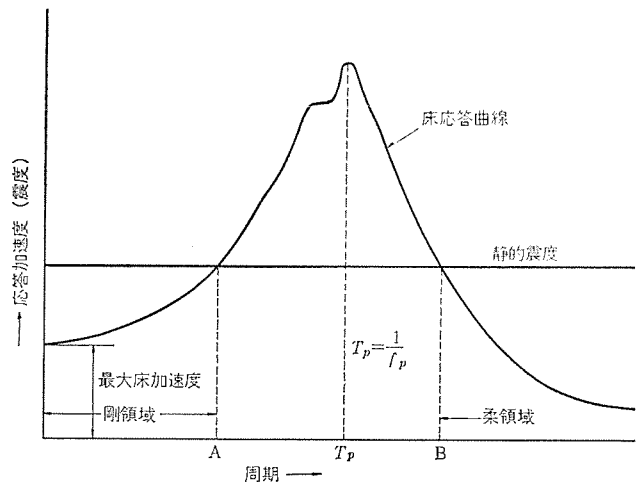


図3. 動的応答曲線と静的震度の関係

なる。電気機器の耐震実験は次の三つの主要な目的をもっている。

- (1) 解析が困難な機器、あるいは剛構造化がむずかしい機器に対し、その耐震性を実証する。
- (2) 電気的機能保持能力について実装機器によって実証する。
- (3) 解析法を確立するために必要な諸データを求める。

耐震試験は機器と器具とにわかれ、更に振動特性試験と大入力による応答試験（器具では誤動作限界値測定）が行われる。前者には小振幅の正弦波が多く用いられ、後者には次のような入力が使われて

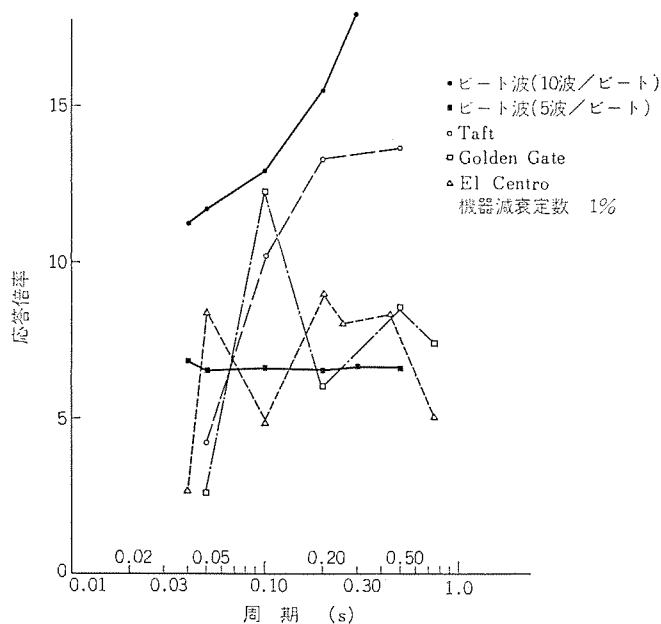


図 4. 正弦ビート波と実地震波の効果の比較

いる。

- (1) 実地震の時刻歴波，あるいはランダム波など
- (2) 地震波の特性を模擬した比較的簡単な変調正弦入力，すなわち，連続正弦波，正弦ビート波，正弦ろ波，減衰正弦波など。

我々は加振入力の効果を比較し，実験上の便宜から正弦ビート波を採用した。正弦ビート波は実際の地震波が建物のフィルタを通して，機器が据付けられる床に達したときの波形を模擬したものである⁽⁴⁾。図 4. は正弦ビート波と実際の地震波の効果と比較したもので，1ビート当たり 10 波の正弦ビート波を使えば，実際の地震より大きい応答倍率を示し，十分安全が見込まれていることがわかる⁽⁵⁾。

5. 実験の結果と検討

代表的な電気機器の耐震試験については前報⁽⁴⁾で述べてあるが，ここではそれに関連した 2，3 の問題について検討を加えたい。

5.1 減衰定数

原子力プラント用機器の減衰定数は一般に 0.5 ないし 1.0 % が仮定されているが，これは元来タンクやポンプのような機械装置に関するものであり，電気機器，特に盤類はもっと大きいことが予想されている。この値がどの程度の大きさであるかということは，実験的に求めなければならない。減衰定数の測定法には，

- (1) 自由振動の減衰曲線から求める。
- (2) 共振点の応答倍率 Q から求める。 $\left(\text{減衰定数 } \zeta = \frac{1}{2Q}\right)$
- (3) 減衰定数をパラメータとして解析によって応答を求め，実験と比較，照合して，その機器の減衰定数を推定する⁽⁴⁾。

一例として，空調制御盤について，その実測値を表 3. に示すが，全く別の方法で求められた減衰定数は 3 ~ 5 % となることがわかる。この値は溶接による骨組板張構造の盤の例であり，形態や工作法が異なれば変わってくるのは当然である。しかし，これらの実験結果をみると，従来仮定されていた 0.5 ~ 1.0 % より，かなり大きい値を採用するのが妥当と考えられる。

なお，加振入力が大きくなれば減衰定数も大きくなり，そのため応答倍率は下がる傾向にある。その非線形性は理論的にも予想されるが，最近のアメリカの Regulatory Guide でも，これを考慮して機器

表 3. 減衰定数 (空調制御盤)

方 法	減 衰 定 数 (%)
自由振動減衰曲線	3.1 ~ 3.5
共振点応答倍率	3 ~ 4
解析との照合	~ 5

表 4. 地震力と減衰定数

構 造	地震力	OBE 又は $1/2$ SSE	S S E
溶接構造機器		2 %	4 %
ボルト締め構造機器		4 %	7 %

表 5. 加振入力と応答倍率 (440 V スイッチギヤ)

加振方向 測定点	前 後			左 右		
	1	2	3	1	2	3
0.4 g	2.17	2.37	2.37	2.36	4.36	2.79
0.6	1.62	2.10	2.58	2.22	4.17	2.76
0.8	1.38	1.81	2.19	2.15	4.20	2.68
1.0	1.40	1.64	2.06	2.20	4.18	2.28

表 6. 各種の盤の応答倍率

	振動方向	共振周波数 (Hz)	最上部応答倍率
空調制御盤	前 後	13	5.8
ジーゼル制御盤	"	24	4.4
リレー盤	"	19	9.2
無停電電源装置	"	9	7.1
6.6 kV スイッチギヤ	左 右	12	7.2
440 V スイッチギヤ	前 後	13	3.8
コントロールセンタ	"	9	5.4

の減衰定数を表 4. のようにとることを提案している⁽⁶⁾。今後更に各種の機器に対して実験が行われ，合理的な減衰定数の値がきめられることが望ましい。

5.2 応答倍率

上述のように，加振入力が大きくなると応答倍率が小さくなる傾向は，どの機器にも見られる。表 5. は 440 V スイッチギヤに関する測定結果の一例で，大きい入力で応答倍率が頭打ちになる傾向が看取できる。この非線形効果は解析によって定量的に求めるのは困難で，実験によるのが現実的な方法であろう。いずれにせよこの効果は，機器の耐震性には有利な結果をもたらすものである。また，表 6. は代表的な盤の（最上部位位置の）共振点における加速度応答倍率の測定値であるが，これらは 5 から 10 の間に分布していることがわかる。

5.3 盤の応答倍率と器具の照合

実験又は解析で求めた盤類の振動特性と器具の特性を照合し，機器の機能保持能力を検討する方法について述べよう。図 5. は応答

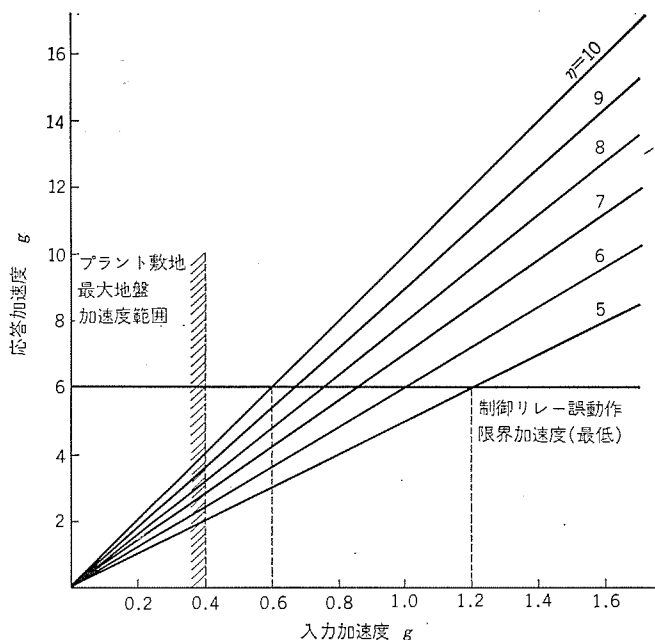


図 5. 盤類の応答倍率と誤動作限界入力

倍率 η をパラメータとして盤への入力と応答加速度の関係を示したもので、水平の直線は器具の誤動作限界入力を示し、その交点は誤応答倍率の盤類が機能保持するための限界入力となる。いま例えば、制御リレーをとればその最低限界加速度は 6 g 程度であるから、最悪の場合 ($\eta=10$) 機器の機能保持限界入力は 0.6 g となる。現在のプラントでは機器据付床面の最大加速度はこれ以下であるのが普通である。特に床加速度が大きい場合、機能保持に十分の安全を見込む場合には、重要な器具類は盤の下部、あるいは η の小さい盤に取付けることを計画すればよい。また η を小さくするため建屋の壁から盤の頂部に支持はりを取付け、振幅を抑制することは有効で、このようにして機器の耐震性を十分確保することが可能である。

5.4 耐震性の評価

電気機器の耐震性の評価は既に述べたように機械的耐性と機能の確保の面から検討すべきである。機械的強度については、配管系などでは内圧荷重、熱荷重と同時に地震荷重が考えられているが、盤類では地震荷重だけを考えればよい。そして、許容応力は鋼構造設計基準⁽⁷⁾などに準拠して定められるのが普通である。なお、電気機器

の耐震試験の結果では、機械的損傷や変形は全く認められなかった。

電気的機能については、機器単独で機能を確保できることが一つの条件であるが、窮極的な機能として個々の機器で構成される系、あるいはシステムの機能が確保されればよいという判定もあり得る。また、加振中でも正常な機能が保たれなければならないか、あるいは地震中は機能が働かなくても、地震が終わったとき正常な機能を回復すればよいのかなども、プラント全体、あるいはシステムから機器への要求として判定基準が作られるべきであろう。

6. む す び

前報⁽⁴⁾では電気機器の耐震試験とその結果について述べたが、本文では、その背景にある耐震性確認法の体系に関する考え方や手法について説明し、更に試験によって得られた諸情報と、これが機器の耐震設計への関連についても検討が加えられた。

現在、耐震設計基準の開発をめぐる状況はかなり流動的で、ここで述べた考え方や手法は今後更に検討が行われ、展開を示すであろう。元来、原子力プラント用の電気機器が在来形の機器と異なる大きな点の一つは、それに耐震設計が要求されていることである。いかに耐震設計を合理的に行うかは、解析及び実験によってできるだけ多くの情報を集成し、実証的な立場に立った耐震設計基準が確立されることにかかっている。

参 考 文 献

- (1) 電気技術基準調査委員会：原子力発電所耐震設計技術指針，電気協会（昭45）
- (2) 10 CFR Part 100, Appendix A: Seismic and Geological Siting Criteria.
- (3) US AEC Regulatory Guide 1.60: Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants.
- (4) 八 島：原子力プラント用電気機器の耐震試験，三菱電機技報 48, No. 3, 351 (昭49)
- (5) 三菱原子力工業，山内澄氏の計算による
- (6) US AEC Regulatory Guide 1.61: Damping Values for Seismic Design of Nuclear Power Plant.
- (7) 建築学会：鋼構造設計基準

関西電力(株)高浜発電所納め 920MVAタービン発電機及び 3,500kWブラシレス励磁機

速水 和夫*・天笠 信正*

1. ま え が き

我が国の原子力発電も実用段階にはいり、多数の大容量原子力発電所の建設、計画が推進されているが、当社では既に営業運転中の関西電力(株)美浜発電所1号機 400 MVA、同2号機 560 MVA に引続いて最近運開された関西電力(株)高浜発電所1号機 920 MVA を製作したほか、現在8台のタービン発電機を据付又は製作中である。(表1. 参照)

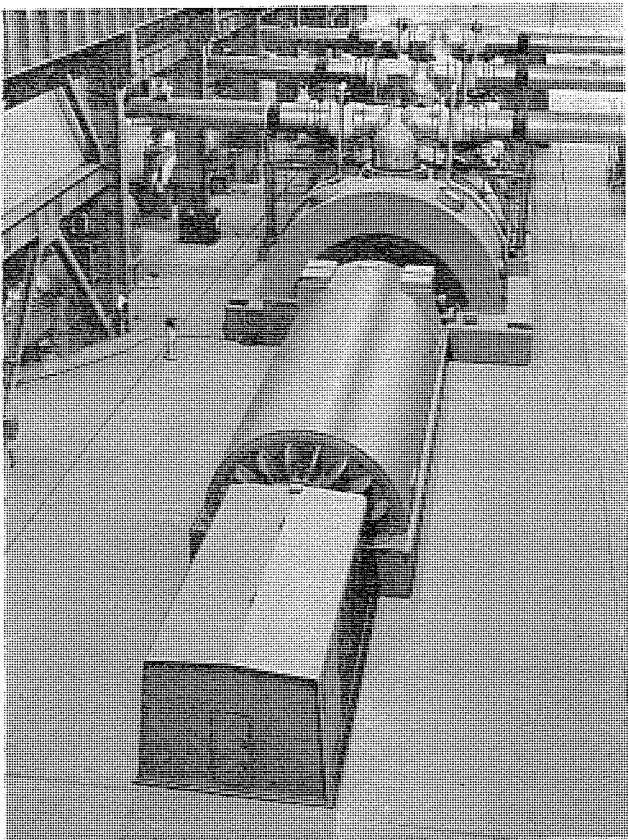


図 1. 高浜発電所1号タービン発電機及びブラシレス励磁機

原子力用タービン発電機の特長並びにすう勢、更に美浜1、2号機については既に紹介⁽¹⁾⁽²⁾したので、ここでは割愛し、火力、原子力を含めて国産最大容量の920 MVAタービン発電機及び3,500 kW ブラシレス励磁機の構造、工場試験結果、現地試験結果を大容量化に対する考慮点を中心に紹介する。

高浜2号機は試運転中、美浜3号機は据付中であるが、いずれも各種工場試験を好成績で終了し、このクラスのタービン発電機、ブラシレス励磁機の製作技術を確立した。

2. 920 MVAタービン発電機の仕様、構造及び材料

高浜1号機は昭和47年8月工場試験を完了し、現地据付、試運転を経て引きつづき運開される。次いで2号機は昭和48年7月工場試験を完了し、現地据付を終了して49年8月より試運転が行われている。

2.1 仕 様

本機の定格を表1.に、可能出力曲線を図2.に示す。

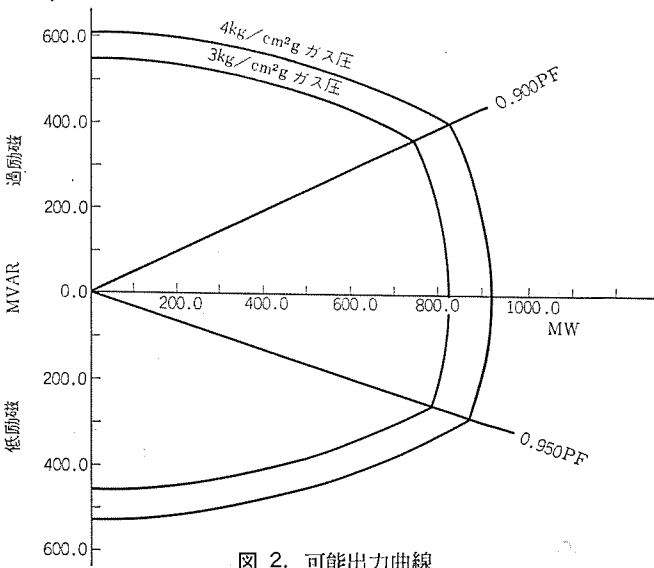


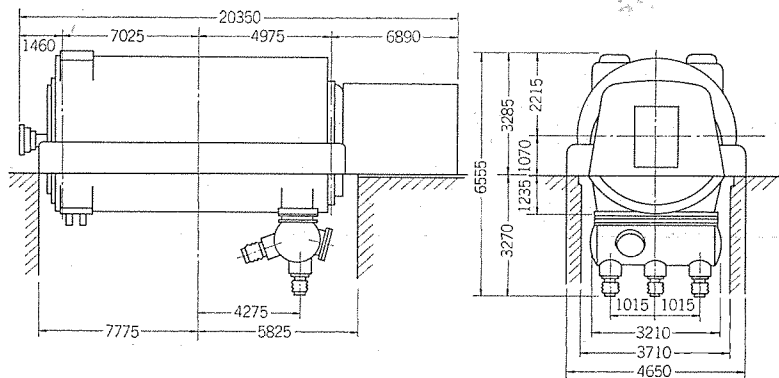
図 2. 可能出力曲線

表 1. 原子力タービン発電機製作経歴

納入先	タービン 定格 (MW)	容 量 (MVA)	力 率	電 圧 (kV)	短 絡 比	ガス 圧 (kg/cm ² ・g)	周 波 数 (Hz)	回 転 数 (rpm)	励 磁 機		
									容 量 (kW)	電 圧 (V)	形 式
関西電力大飯発電所 #1	1,175	1,300	0.9	24	0.58	5	60	1,800	5,500	525	B
" " #2	1,175	1,300	0.9	24	0.58	5	60	1,800	5,500	525	B
" 高浜発電所 #1	826	920	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,500	440	B
" " #2	826	920	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,500	440	B
" 美浜発電所 #3	826	920	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,500	440	B
メキシコCFE Laguna Verde #1	675	750	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,000	525	B
" " #2	675	750	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,000	525	B
四国電力伊方発電所 #1	567	630	0.9	19	0.58	4	60	1,800	2,300	440	B
九州電力玄海発電所 #1	559	625	0.9	19	0.58	4	60	1,800	2,300	440	B
関西電力美浜発電所 #2	500	560	0.9	17	0.58	4	60	1,800	2,600	500	B
" " #1	340	400	0.85	17	0.64	4	60	1,800	1,550	500	B

B: ブラシレス励磁機

* 神戸製作所



全重量 (ガス冷却器を含む)	665,500 kg
固定子組立 (ブラケット、ブッシングを含む)	441,000 "
回転子	166,000 "
台板及び基礎ボルト	9,000 "
ガス冷却器	10,000 "
ブラシレス励磁機	34,500 "
その他	5,000 "
最大重量部	400,000 "
回転子引抜寸法 (発電機中心より)	
真直ぐの場合	19,300
45° 斜めの場合	17,800 × 9,500
ガス冷却器引抜寸法	
発電機室床面より	7,500

図 3. 概略外形寸法, 重量

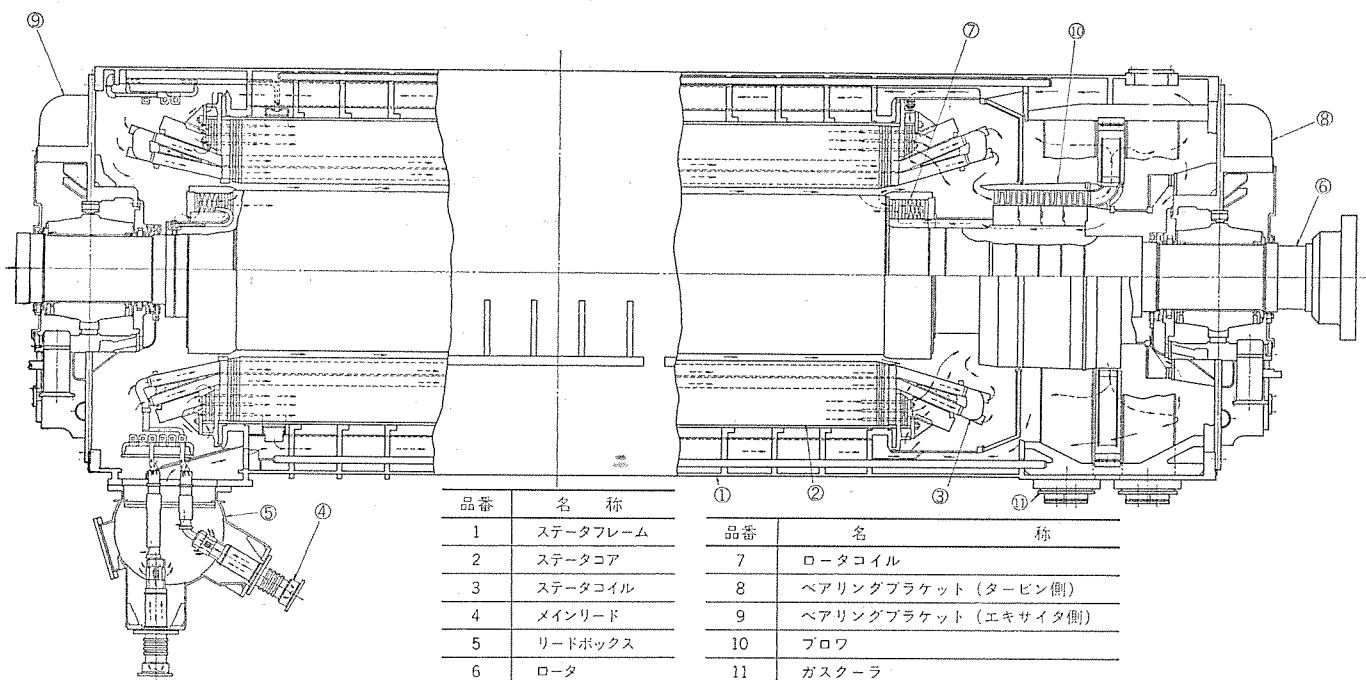


図 4. 920 MVA, 1,800 rpm 原子力発電機の断面構造

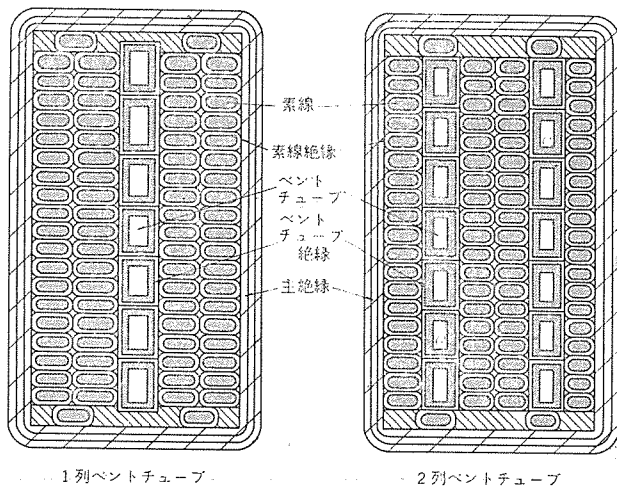


図 5. 固定子コイル断面の比較

2. 2 発電機各部の構造及び材料

本機の概略外形寸法重量を図 3. に, 断面を図 4. に示す。

美浜 1, 2 号機と比べて回転子軸径は 1 段上で, 鉄心長も長く, 軸材荒削り重量は 158t と重くなっている。

美浜 2 号機と主要構造, 冷却方式はほぼ同一で固定子コイルに 2 列ベントチューブ方式, 固定子鉄心に軸方向通風を採用している。

各部分の構造及び材料につき, 大容量化の考慮点を含めて次に紹介する。

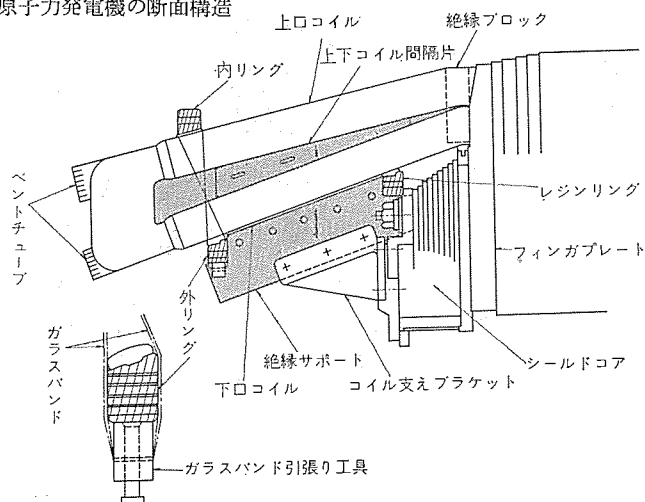


図 6. 固定子コイルエンド支持構造

2. 2. 1 固定子コイル

内部冷却固定子コイルでは導体内銅損の大部分は素線及びベントチューブ絶縁を通り, 水素に吸収される。図 5. の 1 列ベントチューブ方式では外側素線の熱流は素線絶縁 3 層とベントチューブ絶縁 1 層を通り, これら絶縁の温度差がかなり大きくなる。2 列ベントチューブ方式はこの温度差低減に効果的であり, 大容量機冷却法改善の手段として本機にも採用している。また定常時及び短路時電磁力の増大に伴い図 6. に示すようにコイルエンド外径側にレジンリング 2 個を設置すると

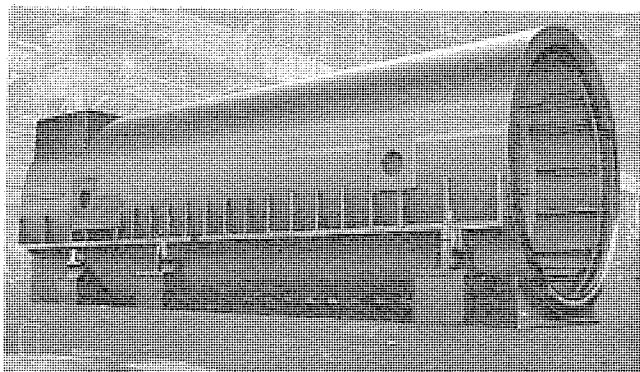


図 7. 完成した固定子 フレーム

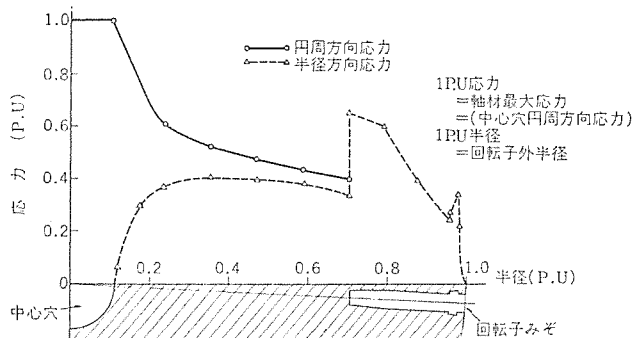


図 8. 4 極, 920 MVA, 1,800 rpm 回転子の各部応力分布

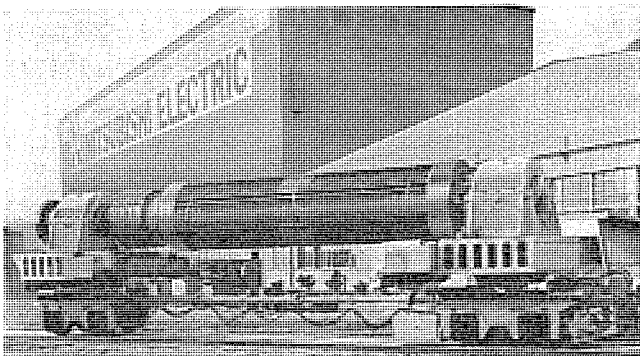


図 9. 完成した回転子

もに、内径側にもレジンリングを設け、両者の間をガラスバンドにより一定張力で緊縛してコイルエンド挙動を拘束する方式を採用し、一段と信頼性向上を図っている。

2. 2. 2 固定子鉄心

直接冷却の固定子ではコイルと鉄心が別個に冷却されること、4極機では回転子磁束密度が低いことから、鉄心の冷却に効率的な軸方向通風が採用できる。積層鉄心の熱伝導度は沿層方向が貫層方向の数十倍にも達し、半径方向ダクトが不要の分だけ鉄心長を短くできるので、美浜2号機から4極内部冷却機には軸方向通風を採用している。本機の固定子鉄心背部の厚さが大きいので、鉄心背部中央を貫通絶縁ボルトで軸方向に強固に締付けける構造を4極機で初めて採用した。

2. 2. 3 固定子フレーム

フレーム材料は溶接構造用圧延鋼板であるが、外径増大と5 kg/cm²・gに耐える構造を目的として外板厚みを大きくし、フレーム各部応力が材料強度に対し十分な余裕をもつよう設計している。特に回転子を支持するブラケットは板厚、補強リブの数、締付ボルト本数などを増加して、運転の信頼性を上げるための考慮をはらっている。

2. 2. 4 回転子軸

荒削り重量158tのNi-Mo-V鋼で日本製鋼製、国産発電機軸材で当時の記録品である。機械的強度では耐力53 kg/mm²で2極機に比べてかなり小さいが、巨大な鍛鋼品であり、2重脱ガス真空造塊法を採用し均質性とじん性向上を図っている。

本機回転子は美浜1、2号機に対し胴径が1段上で断面形状も異なるので、各部応力を詳細に検討した。回転子胴部の半径方向及び円周方向応力分布の計算例を図8.に示す。特にみぞ(溝)底部、開口部近傍については有限要素法を利用して、応力集中状況も計算し、軸材の耐力に対し一定応力以内に収まっていることを確認している。

2. 2. 5 回転子コイル

4極機ではコイルエンド長さが2極機より短い、本機では励磁アンペアターンが大きいため、エンド部と直線部を別回路で冷却する4並列通風回路を採用するとともに、半径方向通風ダクトを小判穴形状として面積を広げ、十分な通風量確保を図っている。

図9.に組立完了後の回転子を示す。

2. 2. 6 コイル保持環

本機のコイル保持環は美浜2号機よりも外径、機械的強度の面で1段上で、耐力84 kg/mm²の日本製鋼製、冷間加工非磁性Mn-Cr鋼を採用している。コイル保持環は回転子コイル端部遠心力を支えるため、回転中最大応力を受ける材料であり、本機では有限要素法を利用して、応力集中状況も(把)握し、応力が材料強度に対し一定割合以内にあることを確認している。

2. 2. 7 ブロワ

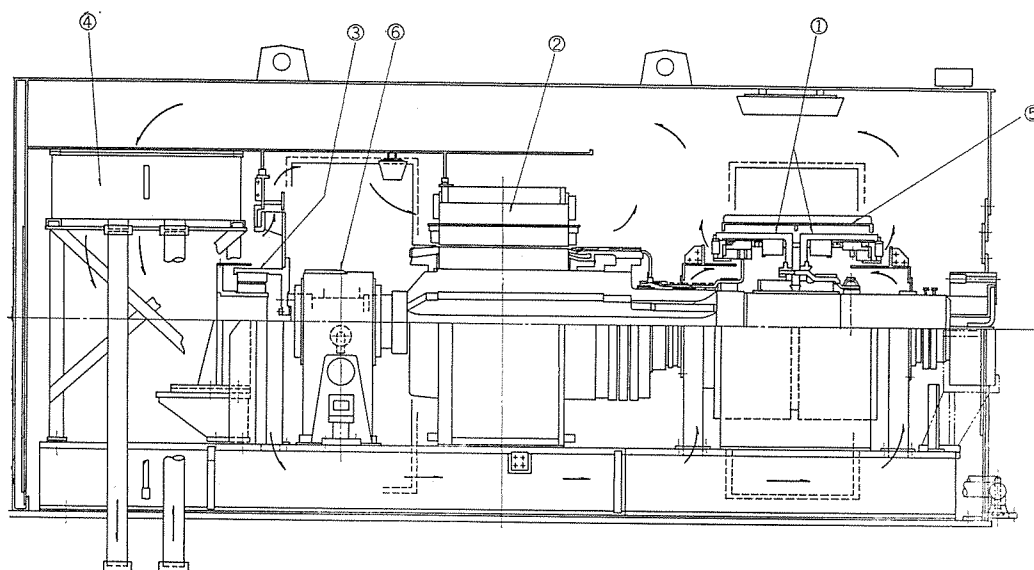
軸方向通風システムを採用しているので、多段ブロワであるが、美浜2号機よりも多くの風量を要するので翼長の長いブレードを採用している。8段のロータブレードと9段のステータブレードで構成したブロワである。ブロワ単体で詳細な性能特性試験を実施するとともに、発電機組立後の工場試験でも、回転数を数回変えて風圧の側定を行い、実機運転中の動作点を確認している。

3. 3,500 kW ブラシレス励磁機の仕様、構造及び材料

原子力発電機用励磁機としては、関西電力(株)美浜発電所1号機用の1,550 kW、500 V、1,800 rpm及び2号機用2,600 kW、500 V、1,800 rpm ブラシレス励磁機が運転中である。高浜1、2号発電機用励磁機は火力用も含めて、励磁機として国内最大容量の記録品である。

表 2. 励磁機の仕様

主 励 磁 機	機 式	ブラシレス、全閉循環通風形 (空気冷却器付き)
形 出 電 電 回 駆 励	力 圧 流 数 法	3,500 kW 440 V 7,955 A 1,800 rpm 発電機に直結 他励 (副励磁機及びサイリスタ増幅器による)
副 励 磁 機	機 式	永久磁石回転界磁形
形 出 電 力 相 周 回 駆	力 圧 率 数 数 法	40 kVA 125 V 95% 3 420 Hz 1,800 rpm 主励磁機に直結



品 番	名 称
1	回 転 整 流 器
2	交 流 励 磁 器
3	永 久 磁 石 発 電 機
4	空 気 冷 却 器
5	ホ イ ル カ バ ー
6	軸 受 中 心

図 10. 3,500 kW, 1,800 rpm ブラシレス励磁機の断面構造

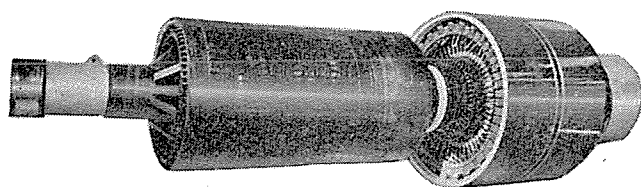


図 11. ブラシレス励磁機回転子

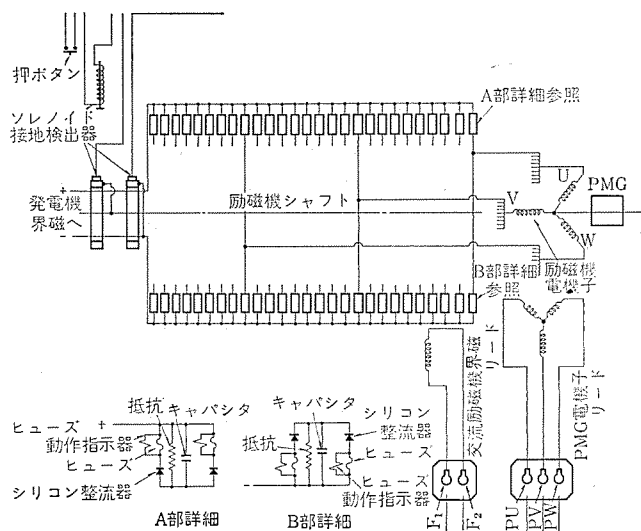


図 12. ブラシレス励磁機結線図

表 3. 回転整流器 構成部品仕様

シリコン整流素子	SR-200 PH-32
形 名	240 (A mean)
定 格 順 電 流	1,600 (V peak)
せ ん 頭 逆 電 圧	2,000 (V peak)
過 渡 せ ん 頭 逆 電 圧	
ヒューズ	限流形
形 名	400 (A rms)
定 格 電 流	1,200 (A rms) 1秒
溶 断	
抵抗	平形 (無誘導)
形 名	3,000 (Ω)
抵抗	
コンデンサ	マイカコンデンサ
形 名	0.6 (μF)
容 量	

3.1 仕様

本機の仕様を表 2. に示す。主励磁機の容量増加にともない、副励磁機の定格を 40 kVA とした。

3.2 励磁機各部の構造及び材料

励磁機の断面構造を図 10. に示す。基本構成は既に実績のある原子力用 ブラシレス 励磁機と同一であるが、大容量機であるため、交流励磁機鉄心長さ、回転整流器などの寸法を大きくし、また整流器並列回路数を増加した設計にしている。重量、軸方向寸法では美浜 2 号機用励磁機に対しほぼ 10% の増加である。

各部分の構造及び材料につき、大容量化の考慮点を含めて次に紹介する。

3.2.1 回転子

美浜 2 号機用励磁機に比べて本機の交流励磁機鉄心長を伸ばした分だけ回転子軸を長くしたが、全長からみれば数 % の伸びにしかならず、軸受スパンへの影響は少ない。この結果、原子力用励磁機の特長である危険速度が定格速度以上であることに変わりはない。

本機の回転子軸は三菱製鋼製の Ni-Cr-Mo 鋼である。組立途中の回転子を図 11. に示す。

3.2.2 回転整流器

結線は図 12. に示すように 1S×18P×6A である。整流回路の各エレメントの特性を表 3. に示す。

大容量化にともない部品数が増加したので、整流器 ホイルの直径を大きくしている。ホイルは通電回路であると同時に整流回路部品を内部に強固に保持するため Ni-Cr-Mo 鋼の鍛造品を採用し、有限要素法を利用して、応力集中状況を計算し、材料強度に対し一定割合以内に収まっていることを確認している。また絶縁を介して回転子軸に焼ばめしているが、この絶縁は焼ばめ温度、締付圧力に十分耐えるもので、かつ、良好なクリープ特性を有していることを試験を行い確認している。

3.2.3 交流励磁機

電機子鉄心は S-10 級の特殊高抗張力けい素鋼板を積層した構造で、クランプキーにより鉄心間に十分な面圧を保持させて軸方向に締付固定している。電機子 コイルはガラスエポキシバンド及びくさびで回転子に強固に固定し、エポキシの硬化後は一体となり、高速回転に対しても十分耐えられる構造である。

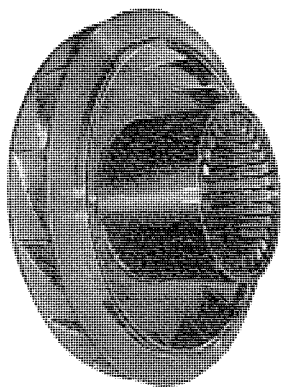


図 13. 副励磁機回転子及びファン

3. 2. 4 副励磁機

副励磁機は最も信頼性の高い方法として主励磁機に直結し、かつ永久磁石界磁をもつ構造を採用した。回転子は図 13. に示すようにファンと組立て後、励磁機軸端にインローを介してボルトで強固に締付けている。

アルニコ系の永久磁石は圧縮力に強いので回転子の内面に配置し、かつ、周囲を非磁性金属で覆い保護している。

4. 工場試験結果

920 MVA タービン発電機及び 3,500 kW ブラシレス励磁機とも国産最大容量であり、今後の 800~900 MW 級発電機、3,000~4,000 kW 級副励磁機の基礎となるので、工場組立後各種技術試験を実施した。

4. 1 920 MVA タービン発電機工場試験結果

温度、磁束、振動を計測するため発電機各部に数百点に及ぶ熱電対、サーチコイル、圧電形ピックアップを取りつけて、電流、電圧、水素ガスを交えて、各種性能を確認した。

4. 1. 1 発電機特性

無負荷飽和曲線、三相短絡曲線及び V 曲線を図 14. に示す。

短絡比は 920 MVA 基準で保証値 0.58 に対し試験値 0.639 であり、全負荷界磁電流は 920 MVA、22,000 V、90% 力率において 6,760 A である。

4. 1. 2 損失及び効率

826 MW、4 kg/cm²・g、90% 力率における効率は 98.73% であり、100% 力率では 98.95% である。損失の内訳は機械損と鉄損の和が 44%、固定子抵抗損と漂遊負荷損の和が 33%、残り 23% が界磁抵抗損である。

4. 1. 3 等価温度上昇試験

本機の許容温度限界は米国規格 ANSI・C 50・13-1965 円筒回転形同期機に準拠しており、固定子コイル出口ガス、固定子コイル及び回転子コイル温度は 110°C、固定子鉄心は 130°C 以下と定めた。工場試験では低温ガス、コイル出口ガス及び固定子コイル温度は測温抵抗体で、回転子コイル温度は抵抗法で、固定子鉄心温度は熱電対で計測した。このほか、ブラケットハブ、グランドシール、メインリード冷却ガス、中性点短絡導体、中性点カバーなどの各部温度も実測した。

(1) 固定子コイルの温度上昇

表 4. に各種試験条件における固定子コイル及び固定子コイル出口ガスの温度上昇を示す。この結果から各水素ガス圧での最大出力における等価温度上昇は表 5. に示す値となる。920 MVA の定格出力における固定子コイル及びコイル出口ガス温度上昇は、おのおの 37.2°C、32.4°C であり、65°C の許容値に対し十分余裕がある。

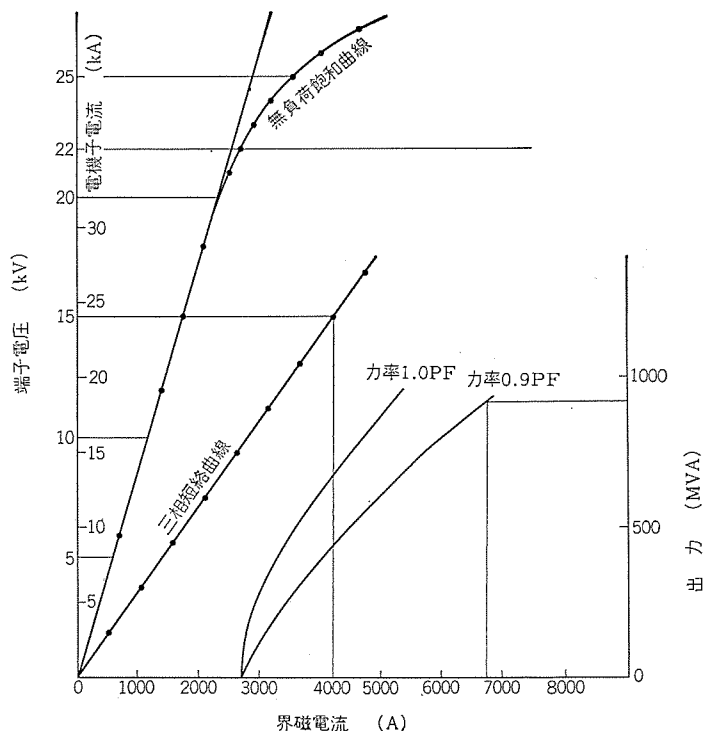


図 14. 発電機特性曲線

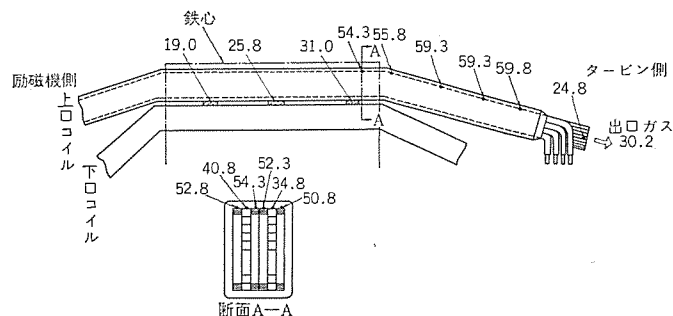


図 15. 固定子コイルの温度上昇分布

表 4. 各種温度試験時の固定子コイル温度上昇

水素ガス圧 (kg/cm ²)	3	4	3	4
電機子電流 (A)	—	—	21,416	24,144
端子電圧 (V)	22,000	22,000	—	—
温度上昇 (°C)				
固定子コイル最高	8.9	6.2	30.4	31.0
固定子コイル出口ガス最高	3.2	2.2	31.4	30.2

表 5. 各水素ガス圧における等価温度上昇

水素ガス圧 (kg/cm ²)	3	4
最大出力 (kVA)	817,778	920,000
等価温度上昇 (°C)		
固定子コイル最高	39.3	37.2
固定子コイル出口ガス最高	34.6	32.4

(2) 固定子コイル各部の温度上昇分布

新設計発電機であり、固定子コイルの最高温度の位置と温度を把握し、将来の同クラス機的设计基礎データとするため、各部に多数の熱電対をそう(挿)入して温度上昇分布を詳細に測定した。その結果を図 15. に示す。タービン側鉄心端部の固定子コイル断面 A-A での温度上昇はコイルの幅方向中心線の両側でほぼ対称な温度分布を示している。

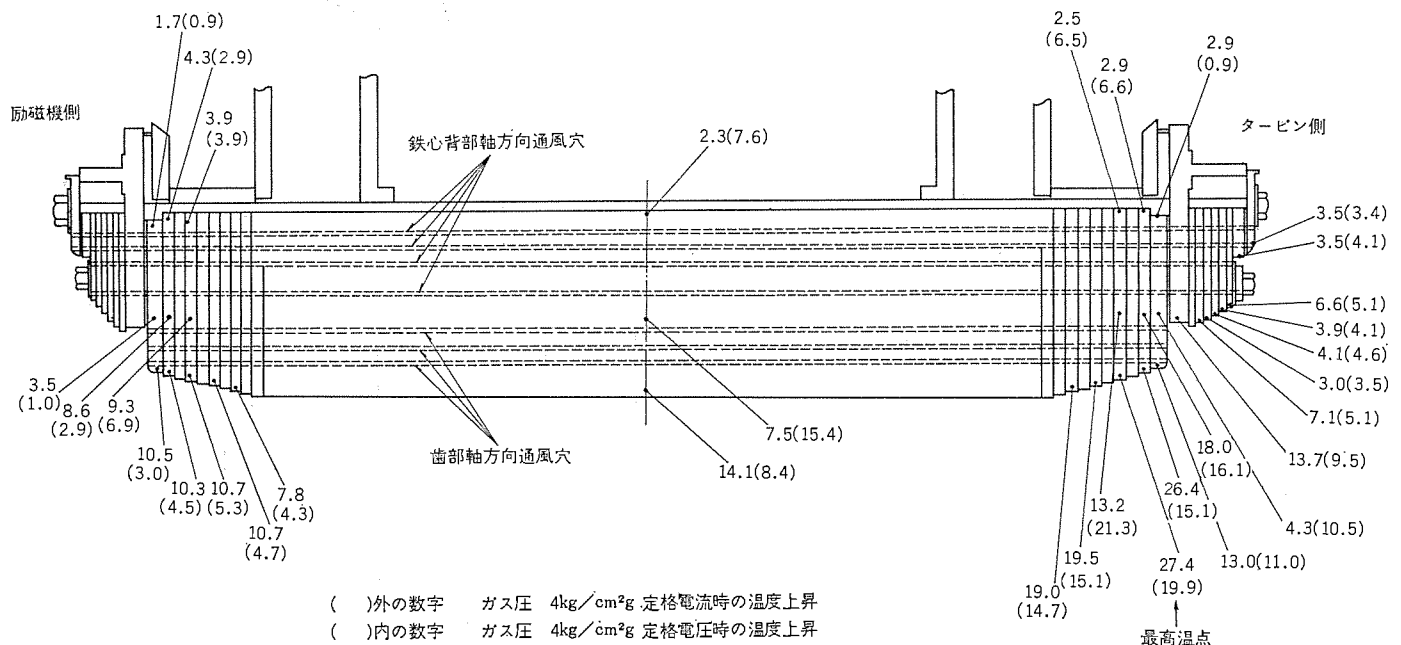


図 16. 固定子鉄心の温度上昇分布

固定子スロット内上下コイル間に埋込んだ測温抵抗体でコイル軸方向の温度分布を測定した結果はタービン側に近いほど高温になっており、軸方向通風であることを考えれば妥当な結果である。

コイル端部の最上層素線での温度上昇分布の測定結果から定格負荷時の固定子コイル最高温度は低温水素ガス温度を45℃とすれば次の値となる。

$$\begin{aligned} \text{最高温度} &= 45^\circ\text{C} + \text{コイル出口ガス等価温度上昇} + \text{出口ガスと最高温度との温度差} \\ &= 45 + 32.4 + (59.8 - 30.2) = 107.0^\circ\text{C} \end{aligned}$$

B種絶縁の許容限界130℃に対し、十分の余裕があることが確認された。

(3) 鉄心温度上昇

図16.に定格電圧時(鉄損温度試験)並びに定格電流時(銅損温度試験)の鉄心各部の温度上昇分布を示す。この結果から定格負荷時の等価温度上昇の最高温度点はタービン側鉄心端部の歯部先端であり47.3℃(鉄損温度上昇試験時19.9℃+銅損温度上昇試験時27.4℃)と推定され、温度上昇限度85℃に対し、十分の余裕がある。なお可能出力曲線内での進相運転時の温度上昇も、上記温度試験結果から問題ないと推定できる。

(4) 回転子コイル温度上昇

回転子コイルの温度上昇は図17.に示すように、界磁電流の2乗に比例している。920 MVA, 22,000 V, 90% 力率時の界磁電流は6,760 Aであるから、この時の回転子コイル温度上昇は41℃と推定され、許容限界65℃に対し、十分余裕がある。

(5) その他各部の温度上昇

固定子電流の増大にともない影響を受ける上記以外の導体並びに近傍の構造物の各部温度を実測した。すなわちメインリード、中性点短絡導体グラウンドシール、中性点短絡導体カバー、リードボックスなどに熱電対をはりつけ、銅損ヒートラン時に温度上昇を測定した。その結果、いずれも予想温度を下まわった上、十分低い温度に収まっており、設計の妥当性を確認した。

4.1.4 ブラケット及びフレームの変形

ブラケット及びフレームにストレンゲージをはり、大気中で停止時、ガス圧

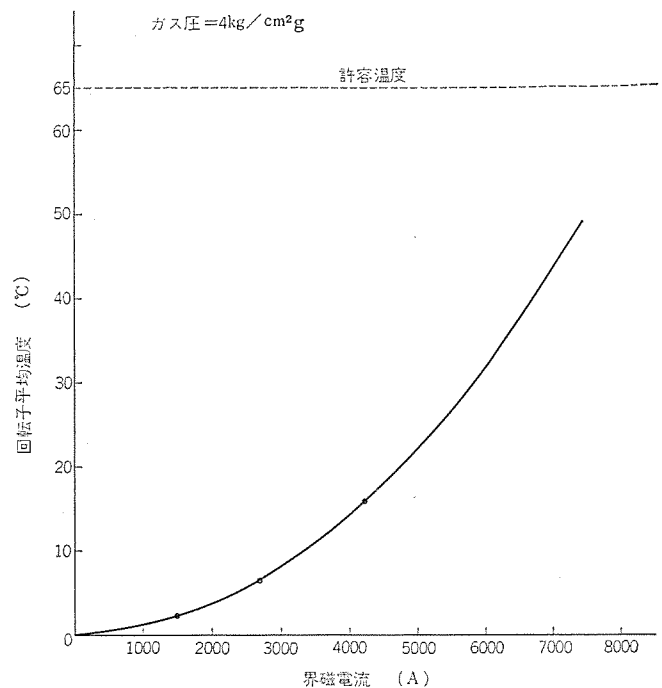


図 17. 回転子コイルの温度上昇

4 kg/cm²gで停止時、ガス圧4 kg/cm²gで定格回転時、ガス圧4 kg/cm²gで定格回転、定格電流通電時の4条件で変形量の変化状況を調査した。本機は大容量化にともないブラケット、フレームの剛性を大きくしたこと、各部に適当な冷却を施したことにより、機内ガス圧の影響、回転による影響並びに通電導体近傍の構造物温度上昇の影響はそれぞれわずかであり、大容量化に対応する設計の妥当性を確認した。

4.1.5 固定子鉄心の振動

固定子鉄心は回転子磁界による磁気吸引力で2倍周波振動を発生するので、鉄心背部厚みは振動振幅が一定値以下となるよう設計している。4極機では2極機に対し、振動ノード数が増加するので、共振周波数が高くなり、鉄心の振動振幅がかなり小さくなるが、本機でも鉄心外径にピックアップをとりつけて、鉄損ヒートラン時に振動を

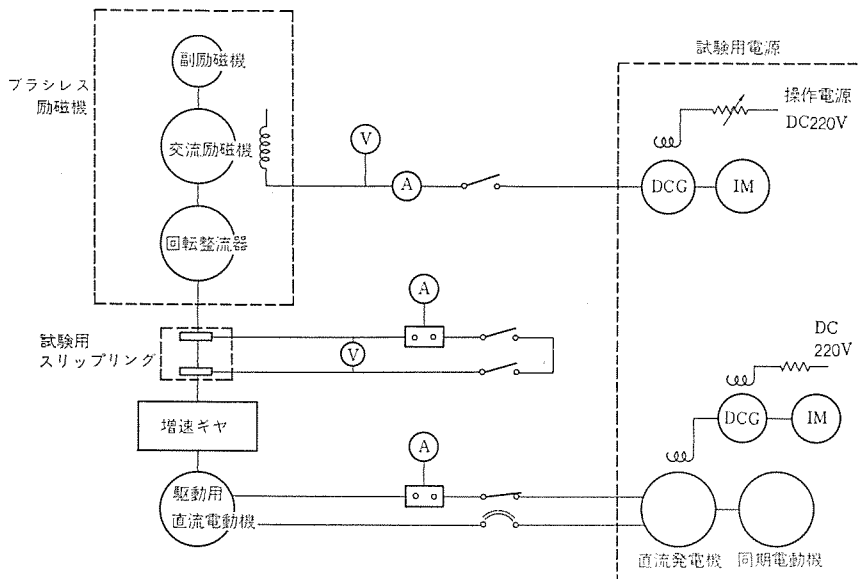


図 18. ブラシレス 励磁機の試験回路

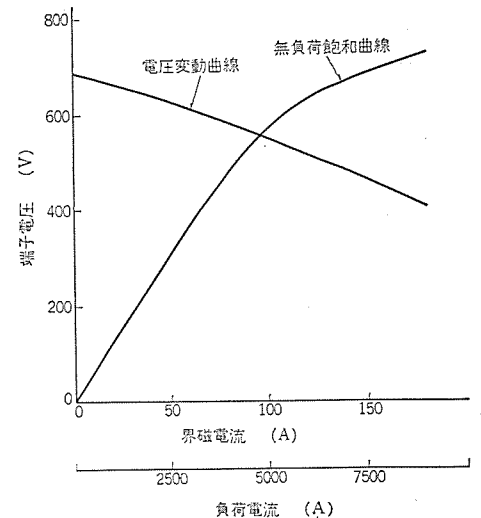


図 19. 励磁機特性曲線

実測し、十分低い値に収まっており、設計値にもよく合致することを確認した。

4. 1. 6 固定子コイル端構造物への侵入磁束

大容量化にともない固定子コイルもれ磁束が増大するので、鉄心端部並びにグラウンドシールなど固定子コイル端近傍の構造物への侵入磁束が問題となる。電子計算機を利用して、これら構造物への侵入磁束量を計算しているが、本機の各部にサーチコイルをとりつけ、銅損ヒートラン時に磁束密度を計測し、磁束量と磁束分布を把握した。いずれも計算結果にほぼ合致し、設計の妥当性を確認するとともに、同クラスの設計資料を得ることができた。

4. 1. 7 回転子軸の浮上がり量

回転子軸の挙動と軸受油膜量をは握するため、本機の回転子軸ジャーナル部に非接触形振動計をとりつけ、回転数変化にともなう回転子軸浮上がり量を計測した。定格回転時の軸浮上がり量は軸受クリアランスの約 1/3 程度であり、計算結果ともほぼ合致した。

4. 2 3,500 kW ブラシレス励磁機 工場試験結果

ブラシレス 励磁機は直流出力をタービン発電機の回転界磁に直接伝える構造となっている。このため、発電機並びに励磁機の各単体の特性試験を実施する場合にはおのおの、別々に試験用スリップリングと直結し、例えば図 18. のごとき試験回路を採用している。

当社では、大容量 ブラシレス 励磁機の試験にはタービン発電機など大形回転機と同様に等価試験法を採用している。この方式は事業用第 1 号 ブラシレス 励磁機製作時より、実負荷及び等価試験法の両者を実施し、十数台の実績により、信頼性を確認した上で、実施している。等価試験で問題となるのは界磁電流の算定及び温度上昇の求め方であるが、基本的にはいずれも JEC 114 の方法と同一である。ただし、界磁電流の算定において、通常回転機と異なり整流回路を有するため、直流出力から交流出力への換算を必要とする。これに対しては、試験結果より電算機を利用して界磁電流を計算している。

高浜 1 号発電機用 3,500 kW ブラシレス 励磁機の工場試験結果を以下

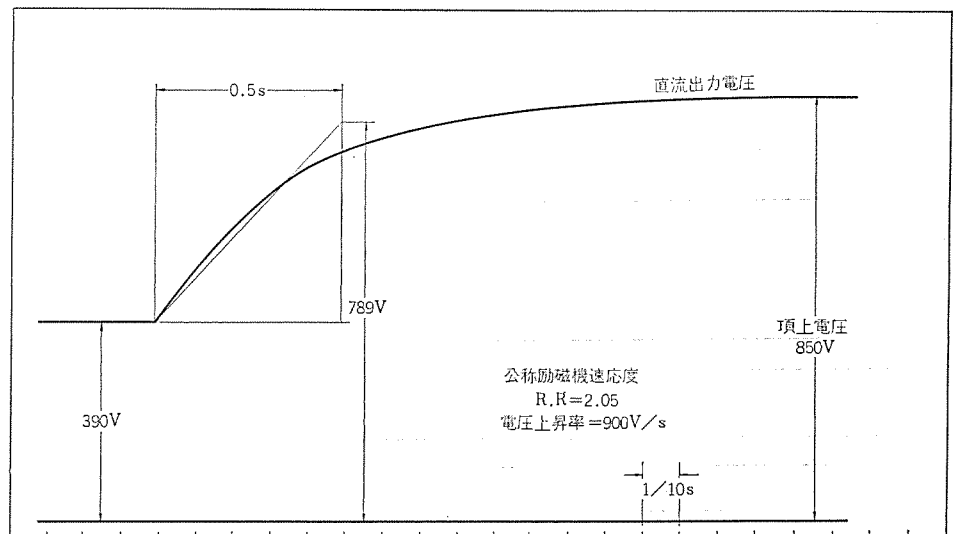


図 20. 励磁機速応度

に示す。

4. 2. 1 励磁機特性

無負荷飽和曲線と電圧変動曲線を図 19. に示す。

4. 2. 2 励磁機速応度

励磁機速応度の試験結果を図 20. に示す。

4. 2. 3 温度上昇試験

鉄損、銅損、機械損ヒートランを実施し、負荷時の温度上昇値を推定した。試験結果を表 6. に示す。

4. 3 発電機ブラシレス励磁機直結試験

大容量化による軸長増大にともない、軸系振動に及ぼす各種要因が増加するので設計面での考慮に加えて、製造管理面での振動に対する適切な対策が極めて重要である。タービン発電機、励磁機の総合機能を信頼性の高いものにするため、軸系振動については発電機、励磁機の支持系の強化、電子計算機による軸系の詳細解析に加えて、工場試験時に充実、整備された計測技術を駆使して各単体並びに直結組合せ後の精密な振動調整を実施した。

回転数、水素ガス圧を変化させるとともに、電流通電、電圧誘起などの条件についても発電機、励磁機の各軸受、ジャーナル部、フレーム、台板などの振動振幅、位相を詳細に実測した。高浜 1 号機振動

表 6. ブラシレス 励磁機の各部温度上昇

機 械 の 部 分	測 定 法	2,600 kW 500 V 時温度上昇 °C	
		保 証 値	試 験 値
電 機 子 コ イ ル	温 度 計 法	60	54.0
界 磁 コ イ ル	抵 抗 法	70	63.0
界 磁 鉄 心	温 度 計 法	70	33.0

表 7. 発電機及び励磁機軸振動

発 電 機 軸		励 磁 機 軸 単位 μ (両振幅)
タ ー ビ ン 側	励 磁 機 側	
21.3	22.3	22.5

ガス圧 4 kg/cm²・g, 回転数 1,800 rpm, 発電機・励磁機直結時

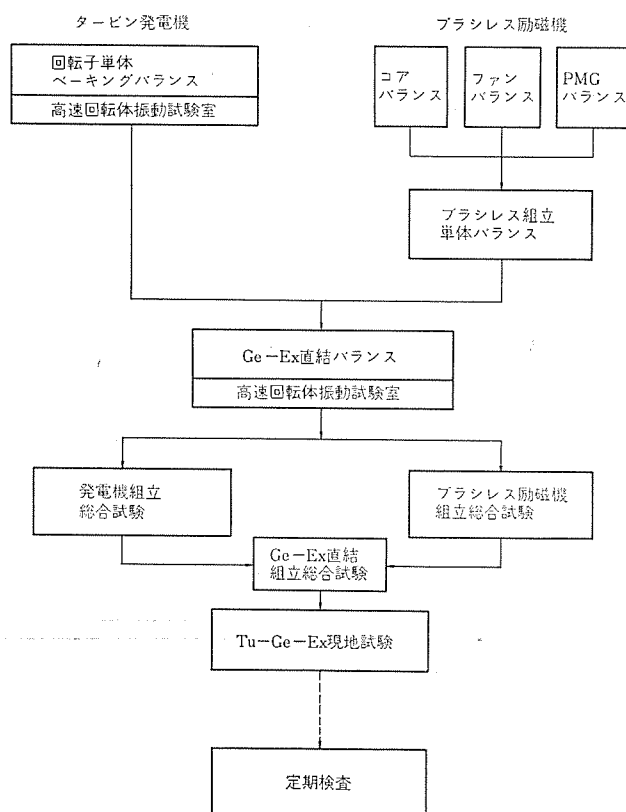


図 21. タービン 発電機 振動調整工程

測定結果の一例を表 7. に示す。

振動振幅は危険速度時、定格時、過速度時を含めて各条件で極めて良好な結果が得られ、設計上の考慮並びに振動調整手法の妥当性が確認された。

図 21. にタービン発電機及びブラシレス励磁機の大容量機における基本的な振動調整工程を示す。

5. 現地試験結果

高浜 1 号機は約 1 年間の現地試運転を経てひきつづき営業運転に入るが、ここでは試運転結果の一部を紹介する。

工場では発電機、励磁機とも等価温度試験を実施しているため、現地試運転において、実負荷時の各部温度を確認する必要がある。

各条件における試験結果から、タービン発電機の定格条件（920 MVA, 22,000 V, 90% 力率, ガス圧 4 kg/cm²）における温度上昇は次のようになる。

固定子コイル：32.5°C

固定子コイル出口ガス：31.0°C

固定子鉄心：48.0°C

いずれも工場試験結果に極めてよく一致しており、等価温度試験の妥当性が証明されるとともに、おのおのの許容限界に対し十分低い値に収まっており、運転の信頼性が確認されたことを意味する。

ブラシレス励磁機は空気冷却器入口温度（高温空気温度）で管理されているが、設計値に比べて 1~3°C 程度低く、許容空気温度 85°C に対し、定格時においても 10°C 以上の余裕があり、満足な性能を有することが確認された。

なお、軸系振動の抑制に対し基礎から、ブラケット又は軸受台までの支持剛性が重要である。この据付部の剛性を確認するため、発電所に据付後、軸受台の加振試験を実施した。その結果、発電機、励磁機とも、支持系剛性が油膜剛性に比べて十分に高く、かつ共振周波数も定格よりかなり上にあり、設計の妥当性に加えて、据付状態も良好であることを確認した。

6. む す び

国産最大容量の原子力用 920 MVA タービン発電機並びに 3,500 kW ブラシレス励磁機を試験内容を中心に紹介した。

特に大容量化にともなう信頼性の確保に最重点において設計、製作を実施してきたこともあり、現地試運転も順調に進行中であるが、これらの経験は 800~900 MW クラスの設計、製作に対してはもちろん、更に大容量の 1,000~1,200 MW クラス機の製造に対しても、十分生かす所存である。

美浜 1, 2, 3 号機、高浜 1, 2 号機並びに大飯 1, 2 号機の発注に当たって、2 次系国産の英断を下され、三菱グループに国産技術確立の機会を与えていただいた関西電力（株）首脳部のかたがたに、誌面を借りて深じんの謝意を表するとともに、これら貴重な経験を生かして、今後の我が国の原子力発電の進歩、発展に全力をつくす覚悟であることをあらためて表明したい。

参 考 文 献

- (1) 志岐, 甲斐：三菱電機技報 43, No. 4, 491 (昭 44)
- (2) 甲斐ほか：三菱電機技報 45, No. 3, 356 (昭 46)

関西電力株高浜発電所納め 三相 860MVA 275kV 変圧器

但馬 常夫*・大野 孝雄*

1. ま え が き

高浜発電所は、原子力発電プラントとして記録的な大出力プラントであるが、昇圧送電用の主変圧器についても、従来の大容量火力プラントより一段と飛躍した超大容量の記録品になる。現在、高浜発電所に納入した2台の三相860MVA・275kV主変圧器の完成を契機として、1,000MW級の火力・原子力プラント向け主変圧器も数台製作中であり、ここでは超大容量変圧器特有の技術と、変圧器の構造及び大形変圧器の生産設備についても紹介する。(図1.)

2. 超大容量変圧器への推移

当社では、電力用の大形変圧器を外鉄形で製作しているが、外鉄形変圧器におのずと備わっている特長を基礎に、電力需要の伸びと呼応して大形変圧器の製作技術の研さんや、製造設備の改善などを実施し、変圧器の単器ユニット増大の要求に応じて組立輸送で納入される変圧器の大容量の記録をつぎつぎと書き改めてきた。

図2.には、当社における変圧器の容量記録の変遷が示されている。昭和27年に初めての超高压250kV変圧器が製作され、昭和30年には変圧器の鉄心・コイルを各相ごとに独立タンクに入れて輸送する特別三相方式によって三相93MVA、275kV変圧器などが、電源開発佐久間発電所へ納入されて変圧器の組立輸送の限界が拡大されてきた。昭和40年に製作されたオーストラリア納めの特別三相400MVA、348kV変圧器、及び昭和42年製の関西電力姫路第2発電所納めの三相510MVA、262.5kV変圧器は、いずれも巻線の交互配置数が8群構成で、大容量になるほどきびしくなる漏れ磁束の問題を解決しており、今日の超大容量変圧器においてもこの群数を増加する手法は同じである。また、昭和40年ごろより超々高压変圧器の絶縁構造が改良され、⁽¹⁾変圧器の輸送重量が軽量化されて鉄道による組立輸送の限界容量が増大するとともに、昭和47年には大形変圧器製作の専門工場として臨海地区に建設されていた赤穂工場がか(稼)動に入り、工場より直接海上輸送することも可能になり、この高浜発電所納め860MVA器を初めとする臨海火力・原子

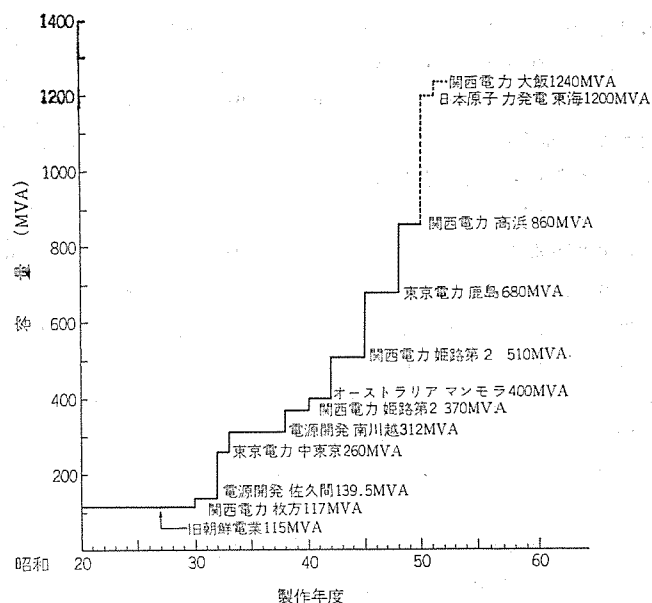


図2. 当社における変圧器容量記録の推移

表1. 原子力プラント用主変圧器製作リスト

納入先	周波数 (Hz)	容量 (MVA)	定格電圧 1次/2次 (kV)	製作年
日本原子力発電 敦賀1号	60	390	21/275	1968
関西電力 美浜1号	60	370	17/262.5	1969
関西電力 美浜2号	60	525	17/280	1971
関西電力 高浜1号	60	860	22/275	1973
関西電力 高浜2号	60	860	22/275	1973
九州電力 玄海1号	60	590	19/230	1974
関西電力 美浜3号	60	860	22/275	製作中
東京電力 福島4号	50	870	16.575/281.25	製作中
四国電力 伊方1号	60	600	18.5/187	製作中
日本原子力発電 東海2号	60	1,200	18.525/275	製作中
関西電力 大飯1号	60	1,240	24/515	製作中

力プラント向けの超大容量器が三相組立てで海上輸送されるようになった。

また、原子力発電所納め的主変圧器については、表1.に見られるように、昭和43年に商業ベースの原子力発電プラントとして国内2番目の日本原子力発電 敦賀発電所に三相390MVA 275kV主変圧器が納入されたのを初めとし、既に6台の主変圧器が納入されており、更に、5台の主変圧器が工場で作成中であり、その中には関西電力 大飯原子力発電所向けの三相1,240MVA 515kV主変圧器

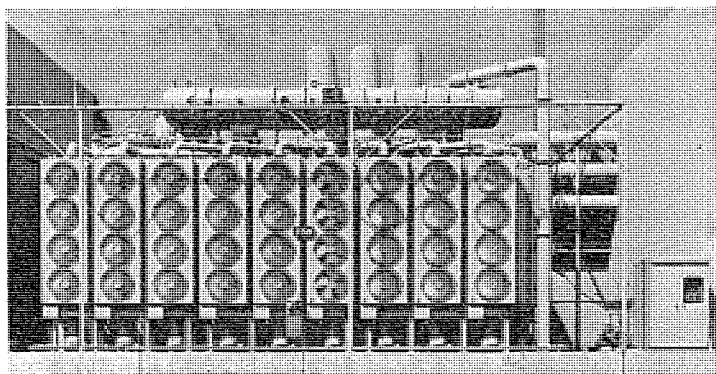


図1. 高浜発電所納め、三相860MVA 275kV変圧器

* 伊丹製作所

という記録的な超々高圧・超大容量器が含まれている。

3. 大容量変圧器の製作技術と製造設備

大容量変圧器を製作するに当たり、電氣的・機械的・熱的のすべての問題においてスケールが大きくなり、これらの問題の基礎的検討から経済性と、要求される性能との協調を図り、最適な設計がなされるが、ここでは大容量変圧器に特有の技術的問題とその解決策を述べる。また、製造設備についても、スケールの大きい変圧器の構成部品を工作する設備や、完成試験を実施する諸試験設備が充実されなければならない、新工場の建設を契機にして諸施設がより一層整備された。

3.1 大容量変圧器の基本構造⁽²⁾

(1) 交互配置群数

外鉄形変圧器では、高・低圧巻線が交互に配置されており、変圧器の容量が増大するに伴ってこの交互配置群数を増し、1群当たりの実質的な容量を押さえて設計することを基本方針にしている。一般的に、500 MVA 級以下の主変圧器では4群構成とし、600 MVA 級以上の主変圧器については8群構成の交互配置にしている。この交互配置数増加により、次のような利点が生じる（なお、ここで、 kVA =変圧器の容量、 q =交互配置群数とする）。

(a) 鉄心断面積、1群当たりのコイル断面積などの大きさは、 kVA の $\frac{1}{4}$ に比例して大容量器になるほど大きくなるが、群数を増加すれば、 (kVA/q) の $\frac{1}{4}$ に比例して過大にならず、単位表面積当たりの鉄心及びコイルよりの発生損失は適度に押えられ、また、工作の面でも各部の寸法が大きくならないのでむずかしさは増さない。

(b) 巻線内の最大漏れ磁束密度は、1群当たりの電流回数に比例し、すなわち、 (kVA/q) の $\frac{1}{2}$ にほぼ比例するので、やはり群数を増すことによって漏れ磁束による漂遊損を低減させ、局部過熱を押さえることができる。

(c) 短絡時の電磁機械力についても、 (kVA/q) にほぼ比例するので、群数を増加すれば、大容量器における短絡時の機械的強度を保持するのが容易になる。

(d) 低圧大電流コイルについては、コイル1枚当たりの通電電流が約3,000 Aを越えると、コイルの製作がむずかしくなるが、低圧巻線は原則として群数に等しい数までの多並列回路にできるので、数万アンペアになる大容量低圧巻線でも、普通の構造で製作可能になる。

(2) 鉄心

鉄心構造は、外鉄形普通三相構造で、鉄心材料に方向性けい素鋼帯を使用し、45度接合のラップジョイント額縁形鉄心である。鉄心は、コイル起立後に積み重ねられ、その後、中部・下部タンク内部のわく組みによって一様に締付けられる外鉄形フォームフィット構造である。鉄心の断面形状はく(矩)形で、鉄心幅は、大容量器でも50 cm以下であり、鉄心は一様に冷却される。

(3) コイル構造と絶縁構造

コイルは、高・低圧ともにく形コイルであり、導体としては小断面積の平角銅線を素線として複数本並列使用し、うず(渦)電流損を少なくしている。この素線の相互間に生ずる漏れ磁束の誘起起電力による循環電流を押さえるため、主漏れ磁束に対しては、各コイルごと



図 3. コイル絶縁組立工場の内部（空調工場）

にその巻数の $\frac{1}{2}$ の位置で転位し、また、コイル面に鎖交する漏れ磁束については、その積分値は小さいが、必要に応じてコイルとコイルとのつなぎ部分で転位している。

絶縁構造としては、昭和39年より400 kV 変圧器の絶縁構造として開発されたE形絶縁方式を超高圧変圧器にも採用しており、外鉄形サージブーフ構造が持つすぐれた耐雷特性とあいまって絶縁の信頼性は高い。

(4) 構造物の漂遊損対策

コイル近傍の漏れ磁束量の多い場所については、けい素鋼帯を使用した磁気シールドで構造物の漂遊損による過熱を防止するとともに、低圧大電流ブッシング引出し部についても、非磁性鋼板とアルミ板による導電シールドを併用して過熱対策をしている。

(5) 冷却

変圧器の損失は、 (kVA) の $\frac{3}{4}$ に比例して増加するのに対し、コイルなどの表面積は、 (kVA) の $\frac{1}{2}$ に比例し、冷却が困難になってくる。したがって、コイルの冷却については、コイル1枚当たりの厚さを一定にしてコイル枚数を増加して表面積を増しているが、発生損失が大きいので、冷却の不均一がないように冷却油の通路の設計に細心の注意を払っている。また、油より空気への冷却についても、冷却効率が高く長寿命の放熱器が要求されるようになり、フィンチューブ形の高性能放熱器が使用される。

3.2 大形変圧器専門工場

従来、当社の大形変圧器は伊丹製作所で製作されていたが、工場設備の拡大と海上輸送のメリットを生かすことができる地点として兵庫県赤穂市に敷地面積約430,000 m²を取得し、大形変圧器専門工場として赤穂工場が昭和47年6月より全面的にか動しはじめた。この工場の規模は、電圧750 kV・容量2,000 MVA 級の変圧器が製作できるもので、将来には1000 kV 級変圧器の製作も可能になる増設の余地を残している。

おもな工場設備をあげると、次のようになる。

(1) 巻線の製作、絶縁物加工、コイル絶縁の組立、鉄心積みまでの変圧器の中身組立作業を実施するすべての工場は、空調された清浄化工場になっている。

(2) 組立工場は、2ラインよりなり、外部付属品の組立、最終乾燥、完成試験が実施されるが、それぞれのとう(棟)には170 t及び300 tの主クレーンが設置されており、大容量変圧器は後者のライン

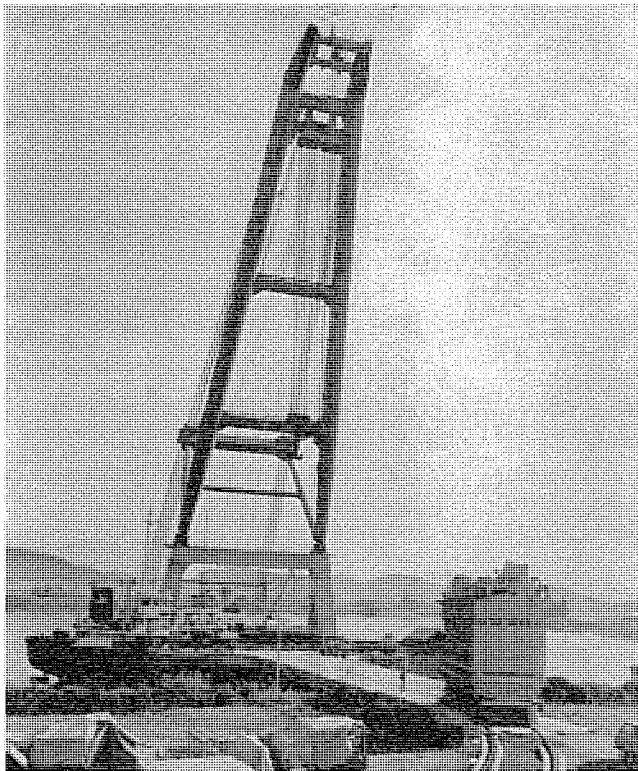


図 4. 700 t 自走式軌条台車で移動中の 860 MVA 変圧器と積出し岸壁

で組立てられる。この組立工場は、完全無窓の鉄骨構造で、じんあいの侵入を防ぐとともに、変圧器の完成試験時における外部雑音も阻止できるシールド構造になっている。

(3) 変圧器の出荷は、鉄道引込みによる貨車輸送と、専用岸壁よりの海上輸送のいずれの方法でも輸送できる。後者の場合には組立工場より専用岸壁へ自走式軌条台車に変圧器を積載して運搬するが、この台車の許容荷重は 700 t で、油圧モータを駆動力にしている。また、専用岸壁には約 3,000 t 級の船舶が接岸可能である。

また、試験設備に関しても、超大容量変圧器に十分な試験ができる能力がある。すなわち、無負荷損及び銅損の損失測定、交流及び衝撃電圧耐電圧試験、温度上昇試験などに使用される、容量の十分に大きな試験電源がそれぞれ設置されており、その外に部分放電測定装置、絶縁油に関する各種分析器などの特殊測定器も完備している。試験用電源のうちの主なものは、次のとおりである。

(a) 商用周波交流電源 (損失及び温度上昇試験用)

正弦波発電機：50/60 Hz 三相

1 台×20/30 MVA 13.2 kV (電動機 7/9 MW)

1 台×15 MVA 13.2 kV (電動機 7 MW)

昇圧変圧器：

1 台×20/30 MVA 13.2/3~83.1 kV

その他 5 台

補償コンデンサ：

1 バック×140 MVAR 13.2 kV

1 バック×70 MVAR 13.2 kV

(b) 交流耐圧試験装置

試験用変圧器：1,500 kV

第 1 段 6.6/750 kV 5 MVA

第 2 段 6.6/750 kV 2.5 MVA

高周波発電機：2 台×単相 240 Hz 2.5 MVA

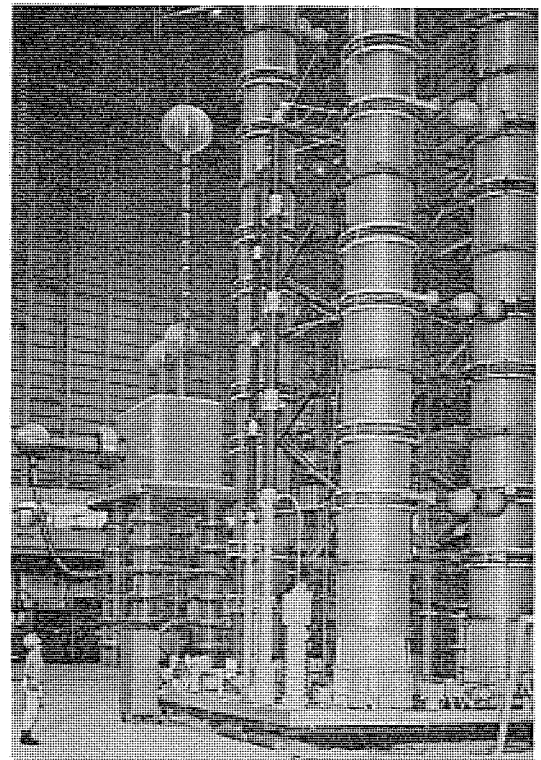


図 5. 4,000 kV 衝撃電圧発生器及び 1,500 kV 試験用変圧器

6.6 kV (電動機 2 MW)

昇圧変圧器：2 台×6 MVA 6.6/20~210 kV

その他 2 台

補償リアクトル：1 バック×18 MVAR 6.6 kV

(c) 衝撃電圧試験装置

衝撃電圧発生器：1 台×4,000 kV 0.6 μ F 600 kJ

1 台×2,000 kV 1 μ F 100 kJ

4. 860 MVA 変圧器

この三相 860 MVA 275 kV 変圧器は、関西電力高浜発電所の No. 1 及び No. 2 フラント用に各 1 台ずつ計 2 台を製作・納入したもので、その主な定格と構造は、次のとおりである。

4.1 変圧器の定格

形式：外鉄形 送油風冷式 SUB-MRG 形

相数：3

容量：860 MVA

周波数：60 Hz

電圧・結線：1 次：22 kV 三角結線

2 次：275 kV $\pm$ 12.5 kV

(負荷時切換タップ 9 点)

星形結線 (中性点直接接地)

インピーダンス：14 % (860 MVA 基準)

4.2 構造

巻線配置は、大容量器の基本設計である交互配置数が 8 群のものであるが、図 7. のコイル断面で見られるように、実際には交互配置数が 4 群のコイルを鉄心軸を中心にして対称に配列したもので、片側 4 群のコイルは、三相 860 MVA の $\frac{1}{2}$ 容量の三相 430 MVA の設計であり、2 組の 4 群配置コイルを並列接続して所要の容量を得ている。したがって、前章にも述べたように、この三相 860 MVA 変圧器は、コイル・鉄心などの寸法や、漏れ磁束密度、短絡時電磁機械力

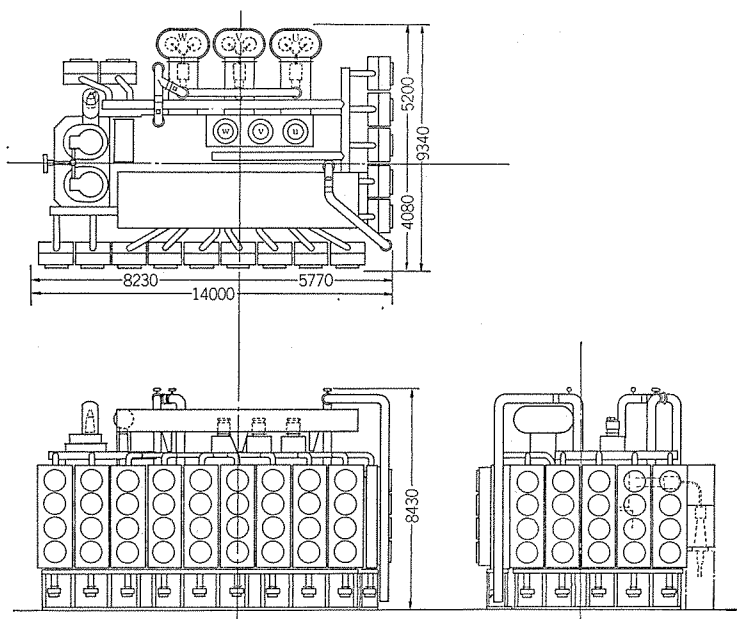


図 6. 三相 860 MVA 275 kV 変圧器の外形図

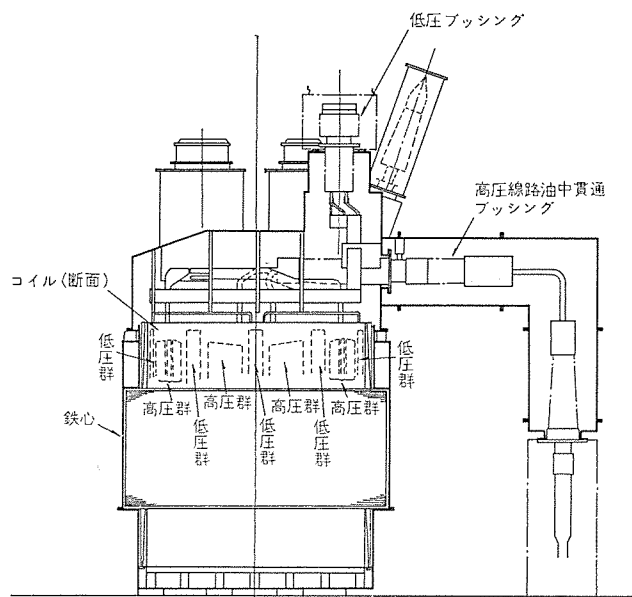


図 7. 三相 860 MVA 275 kV 変圧器の断面図

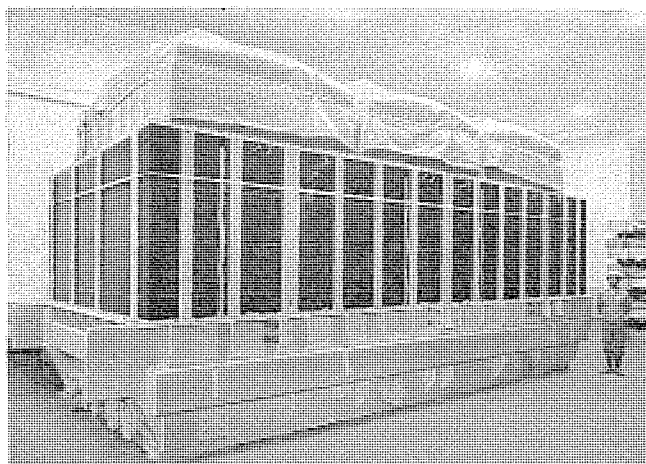
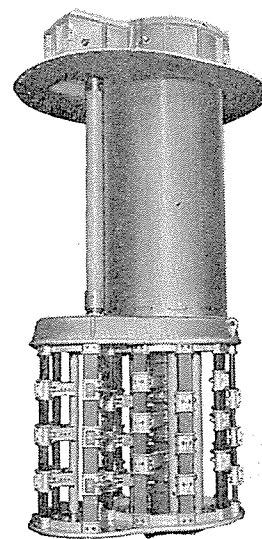
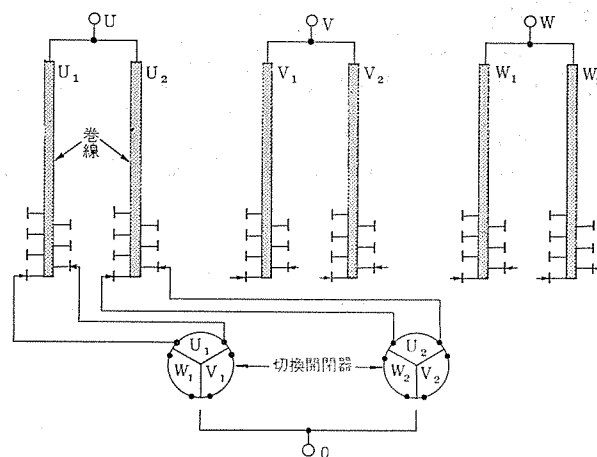


図 8. 三相 860 MVA 275 kV 変圧器の中身



(a) MRG 形負荷時タップ切換器



(b) 負荷時タップ切換器2台の並列使用時における変圧器巻線との接続

図 9. MRG 形負荷時タップ切換器と接続

などは、いずれも三相 430 MVA 変圧器相当で、大容量器にもかかわらず、十分に検証された変圧器の技術で製作された。

高圧巻線には負荷時切換タップが設けられ、タップ切換器には、西独 MR 社より輸入した MRG III-1600 形を2台並列に使用している。すなわち、この変圧器の高圧側の最大負荷電流は 1,890 A、切換電圧は $3,125/\sqrt{3}$ になるが、1 台のタップ切換器では電流切換能力が不足するので、上述したように、三相 430 MVA のコイルが2並列になっていることを利用し、図 9. のようにそれぞれの高圧巻線に1台ずつの三相負荷時タップ切換器を接続し、1 台当たりに分担する切換電流を $\frac{1}{2}$ の 945 A としている。この場合、2 台のタップ切換器は、同一駆動軸で切換動作をさせるので、タップずれの心配はないが、タップずれが生じた場合でも、三相 430 MVA 変圧器2台の並列運転時の変圧比のずれとほぼ同様になる巻線配置であるので、2 台のタップ切換器の分担電流の不平衡分はわずかである。

低圧巻線は相電流 13,000 A で大電流であるが、全体で8並列回路にしてあるので、1 回路ごとの電流は約 1,500 A で、1 コイル当たりの導体断面積が小さく、コイル製作が容易である。

線路端子については、高圧側は油中エレファントで OF ケーブル 275 kV $1,500 \text{ mm}^2 \times 2$ 条に接続されており、低圧側は気中ブッシングで

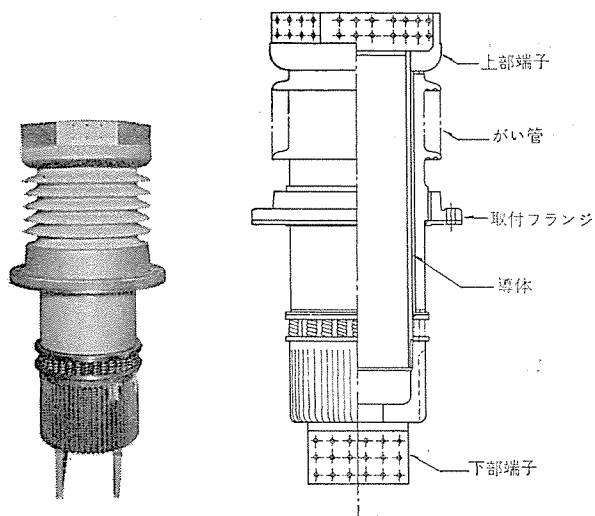


図 10. POT 形 25 kA プッシングとその断面

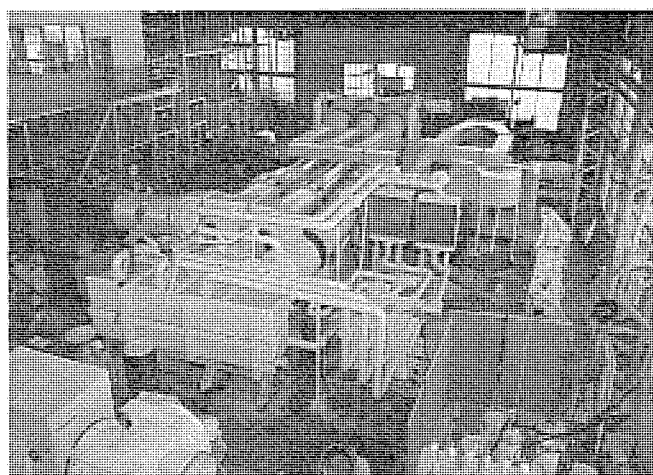


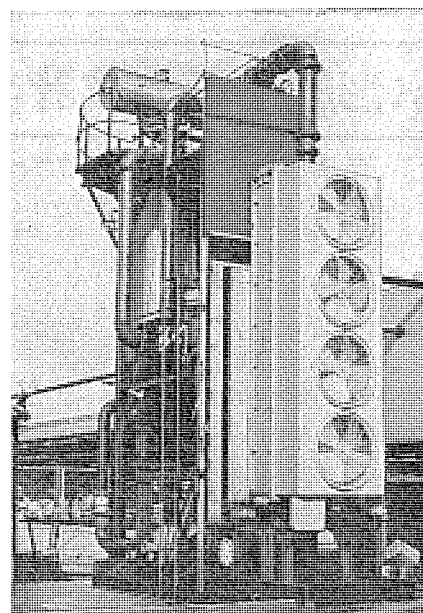
図 11. 実負荷試験中の 30 kA 相分離母線と変圧器低圧端子部の実規模モデル

相分離母線に接続されている。この低圧側は、線路電流 22.6 kA と大電流であり、プッシングには単一銅管を使用した POT 形、25 kA 定格のものを使用している。また、低圧側の相分離母線との接続部については、変圧器タンクと相分離母線（相分離母線の定格電流は 30 kA である）とを接続したときの相互影響を検証するため、実器の製作に先行して変圧器の低圧プッシングとその周辺を模擬したタンクと、十数 m の相分離母線とを接続し、三相実負荷電流で温度上昇試験を実施して満足な結果を納めた。

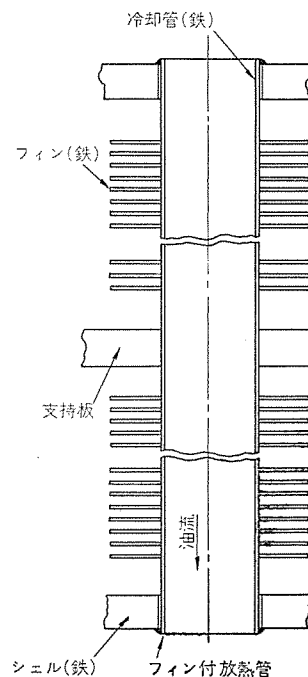
送油風冷式冷却器に使用した単位放熱器は、EF-4 形で、その構造は、図 12. に示すように、フィンチューブ構造で、熱伝達面積を大きくして冷却能力を向上させるとともに、フィンチューブの材質に鉄を使用して亜鉛めっきを施し、耐食性の向上に努めている。

5. む す び

ここに紹介した三相 860 MVA、275 kV 変圧器の製作により超大容量変圧器時代へのステップとして貴重な経験を得たが、引続いて三相 1,100 MVA、515 kV 変圧器をはじめとする 1,000 MW 級プラント向けの超大容量変圧器を数台受注している。これらの変圧器では、特に大容量化に起因するいろいろな技術的問題点とその解決策について検証するため、実納入器に先立って実器相当の変圧器やコイルを



(a) MRG 形負荷時タップ切換器



(b) 負荷時タップ切換器 2 台の並列使用時における変圧器巻線との接続

図 12. EF-4 形送油風冷式変圧器とフィンチューブの構造

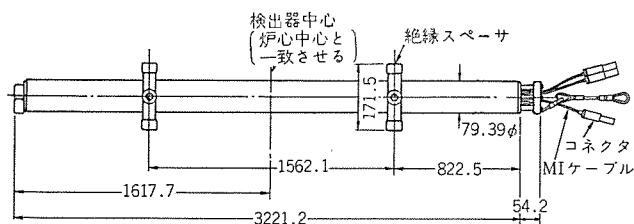
製作し、製造技術の確立、絶縁や冷却性能の検証試験を実施するとともに、低圧大電流プッシング引出し部と相分離母線との接続部に関しても 50 kA 級の実規模モデルを製作して温度試験を実施中であり、超大容量変圧器製作の態勢を万全にして顧客の要求に添いたいと願っている。

参 考 文 献

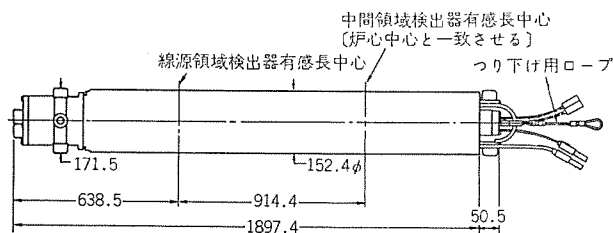
- (1) 村上ほか：三菱電機技報，41，No. 3，409（昭 42）
- (2) 田村：三菱電機技報，36，No. 10，36（昭 37）

1. ま え が き

三菱電機技報・Vol. 48・No. 11・1974



(a) 線源中間領域用アセンブリ



(b) 出力領域用アセンブリ

図 4. 核計装検出器外形図

ぶ。(図 9. 参照) 加圧水形原子炉において、原子炉の制御は主として炉の出入口の冷却材平均温度により行われているが、制御系の速応性と安全性を高めるために、核計装による中性子束レベル信号もあわせて用いられている。また原子炉を停止状態から運転状態まで起動上昇させるには、核計装による中性子束レベルの情報は他のプロセス情報に比べ格段と応答速度が早いので、絶対に欠くことのできないものとなっている。

中性子検出器としては、線源領域には BF_3 比例計数管、中間領域には γ 線補償形電離箱、出力領域には長尺電離箱を用いている。 BF_3 比例計数管と γ 線補償形電離箱は 1 本のアセンブリに収納されている。長尺電離箱は同一構造の 2 本の非補償形電離箱を 1 本のアセンブリにまとめたものである。これらの検出器は図 3. に示すとおり炉心の周囲に設置され、炉心の全長にわたって中性子束を積分して測定するようになっている。各検出器の外形図を図 4. に示す。

核計装盤は中性子検出器からの信号を処理するための電子回路を備えたもので、盤〔I〕、〔II〕、〔III〕、〔IV〕の 4 チャンネルに分割され

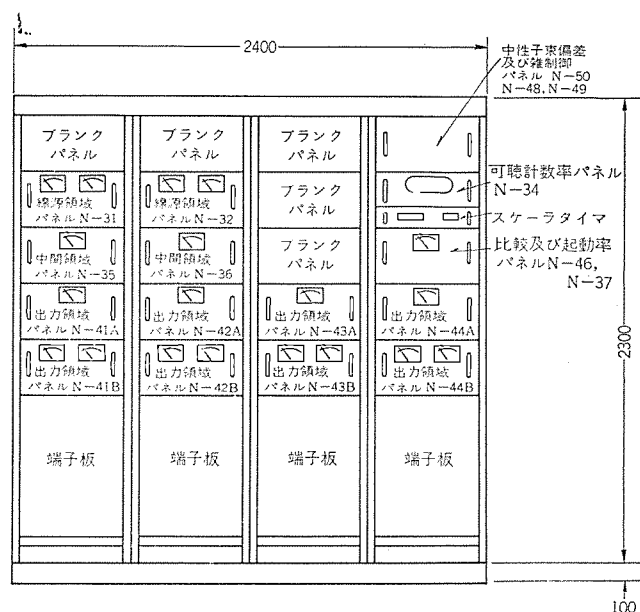


図 5. 核計装盤面配列図

ている。これらは多重チャンネル間の分離、独立性が電気的にも物理的にも図られて、相互干渉を避けている。

核計装盤の盤面配列を図 5. に示す。

3. 線源領域チャンネル系統

この系統のブロック図を図 6. に示す。

線源領域チャンネルは N 31 及び N 32 と番号づけられた独立して動作する二つのチャンネルにより構成され、原子炉の停止中及び起動時において、原子炉内の中性子束レベルを測定する。

線源領域では検出器として BF_3 比例計数管を用い、検出器からの信号は、微小パルス信号であるため、前置増幅器を備えている。この前置増幅器を電流増幅形の増幅器とすることにより、また伝送ケーブルとのインピーダンス整合を計ることにより、長距離の伝送が可能となった。従来、前置増幅器は、格納容器外アンナス部に設置され

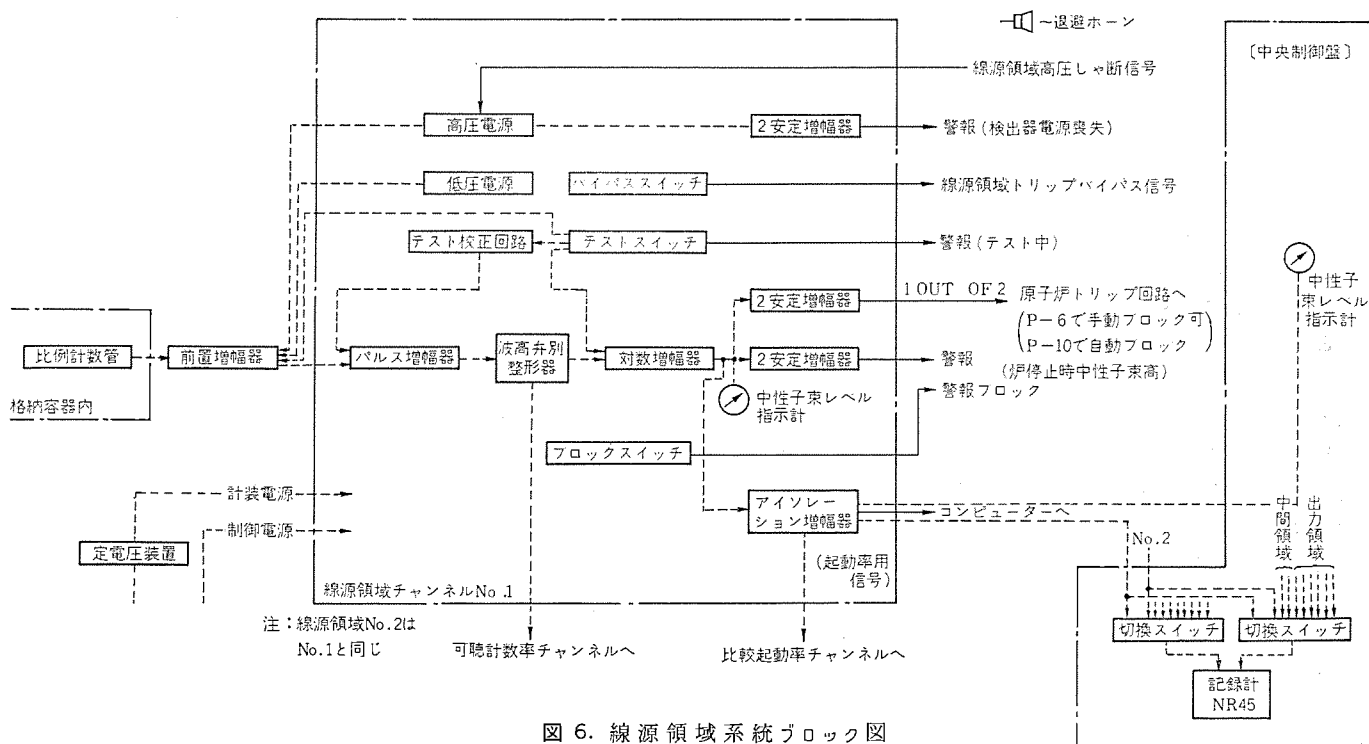


図 6. 線源領域系統ブロック図

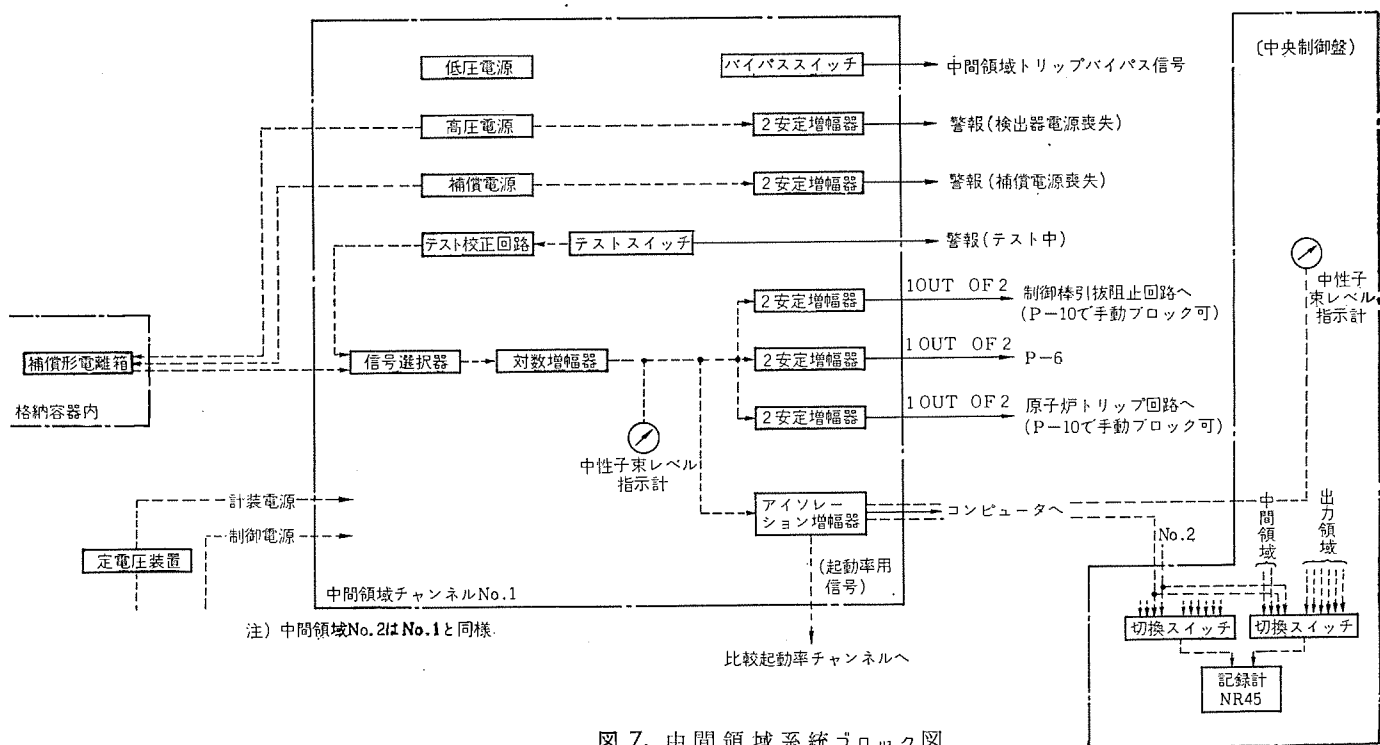


図 7. 中間領域系統ブロック図

ていたが、最近、補助建屋に設置される傾向にある。これにより、環境条件が良くなり保守点検も容易となった。前置増幅器からの信号は線源領域箱のパルス増幅器に導かれ、更にパルス増幅される。増幅されたパルス信号は外来雑音及びγ線による雑音を弁別するため波高弁別整形器に導かれ、パルス整形、積分演算される。この積分された電流信号は対数増幅器により、パルス計数率の対数に比例するアナログ電圧に変換される。検出器からのパルス信号は通常 1 mV p-p, 0.3 μs 幅, 10⁶ cps (ランダムパルス) で非常に信号レベルが低く、また周波数成分が高いためパルス増幅関係の基板をプリント基板から金属基板に変えて、アースラインの安定化を計った。これによりパルス増幅器は安定して動作し、耐雑音性も改善された。

対数増幅器からのアナログ信号は 10⁰~10⁶ cps の測定範囲に相当し、この信号は、指示計を振らすとともに 2 安定増幅器、及びアイソレーション増幅器に導かれる。アイソレーション増幅器は利得が 1 の増幅器で、出力端が短絡されても、AC 120 V、又は、DC 125 V の過電圧が印加されても、測定回路には影響を及ぼさないように設計されている。2 安定増幅器は入力信号レベルとあらかじめ設定されたレベルとを比較し、設定レベルよりも高くなると、原子炉保護系へトリップ信号を与える。原子炉保護系への信号は中性子束高トリップ信号があるが、その他の系への信号としては炉停止時中性子束高警報、検出器電源喪失の警報信号がある。アイソレーション増幅器からの中性子束レベル信号は中央制御盤の指示計、記録計で表示されるとともに比較・起動率チャンネルに送られ、中性子束レベルの増減の状態を示す起動率信号を発生する。また、パルス信号は中性子束レベルに相当した可聴音を発生するため、可聴計数率チャンネルに送られる。

加圧水形原子炉では、中性子束レベルが高くなり、測定領域が線源領域から中間領域に移っても線源領域の検出器は引抜かず、中間領域からのパルミッパ信号 P-6 警報の発生により、手動で線源領域原子炉トリップ信号をブロックすると同時に高圧電源を断っている。これにより線源領域の検出器が保護される。

4. 中間領域チャンネル系統

この系統のブロック図を図 7. に示す。

中間領域チャンネルは N 35 及び N 36 と番号づけられた独立して動作する二つのチャンネルにより構成され、原子炉起動時の後半から通常運転状態まで、原子炉の起動のために使用される。

このチャンネルの検出器としてはγ線補償形電離箱を用いている。検出器からの信号は 10⁻¹¹ A~10⁻³ A の 8 けたにわたる微小電流信号で、伝送ケーブルを通じて直接中間領域チャンネル箱の対数増幅器に導かれる。対数変換された電圧信号は核計装盤あるいは中央制御盤にて、記録・指示される。またこの信号は 2 安定増幅器に導かれ、原子炉トリップ信号、制御棒引抜阻止信号、及び線源領域原子炉トリップ信号の手動ブロックを許容するパルミッパ信号 P-6 を発生する。その外に警報信号として検出器電源喪失、補償電源喪失信号を出す。

中間領域原子炉トリップ信号及び制御棒引抜阻止信号は出力領域のパルミッパ信号 P-10 により手動ブロックすることができる。また中性子束レベル信号はアイソレーション増幅器を通して比較・起動率チャンネルに送られ、中性子束レベルの増減の状態を示す起動率信号を発生する。

5. 出力領域チャンネル系統

この系統のブロック図は図 8. に示す。

出力領域チャンネルは N 41~N 44 と番号づけられた独立して動作する四つのチャンネルにより構成され、原子炉の出力運転中に用いられる。定常運転中では、核計装より原子炉トリップ信号、原子炉制御信号を出すのは、この系統だけであるので、核計装中、最も高い信頼性と精度が要求される。このチャンネルの検出器としては長尺電離箱を用いるが、この検出器は上下 2 個の非補償形電離箱からなっており、これらの 2 個の検出器信号電流は、それぞれ可変抵抗回路網によって電圧信号に変換されるとともに、電流加算増幅器によって加算平均され、炉出力に比例した電圧を発生する。この電圧信号は

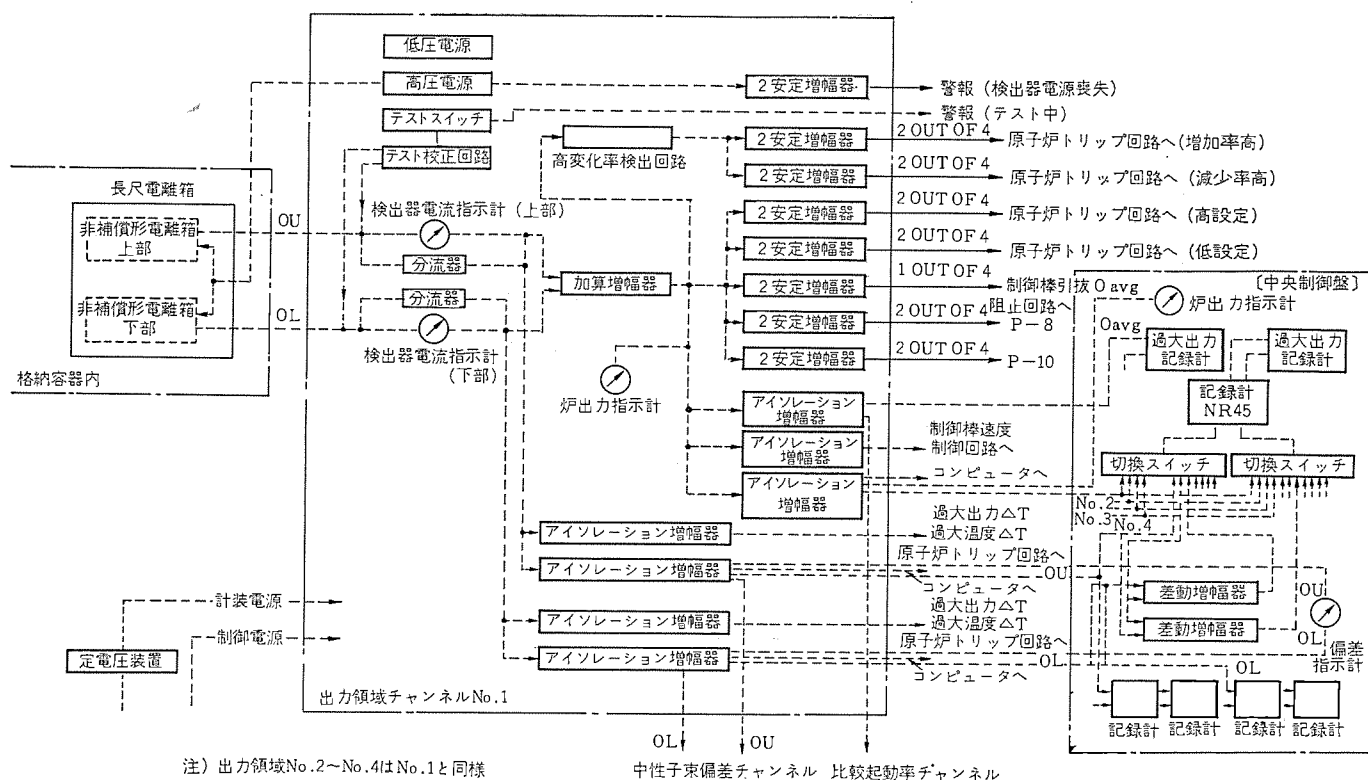
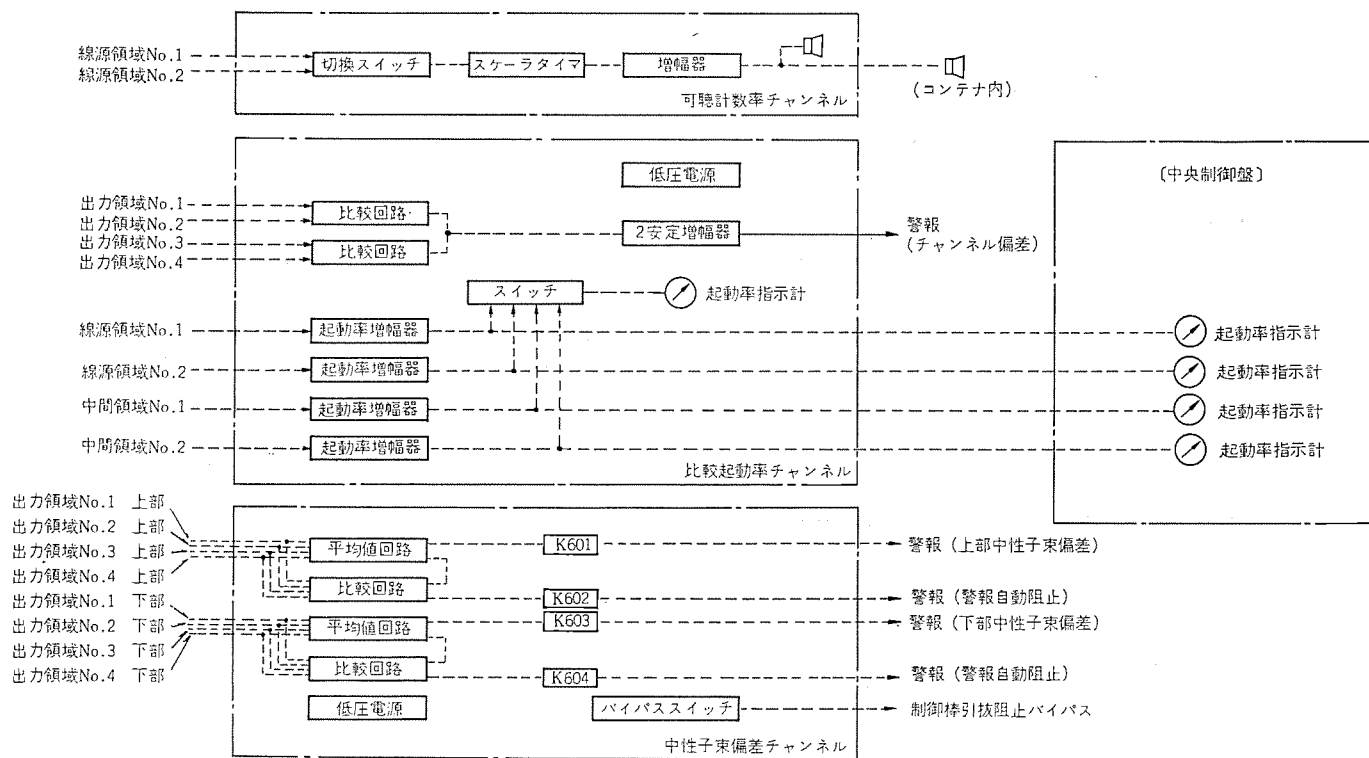


図 8. 出力領域系統ブロック図



2 安定増幅器に導かれ、原子炉トリップ信号、制御棒引抜阻止信号、パーミッシブ信号を発生し、原子炉保護系に送られる。またこの信号はアイソレーション増幅器に送られて、制御棒速度制御回路用信号の発生や、炉内の中性子束分布の不均一性の監視のために比較チャンネルに送られる。他方、抵抗回路網により電圧に変換された信号はそれぞれアイソレーション増幅器を通して、中性子束偏差チャンネル、あるいは中央制御盤に送られ、偏差量を指示する。

出力領域から保護系及び制御系への信号として、次のようなものがある。

- (1) 制御棒引抜阻止信号……………1 OUT OF 4
- (2) パーミッシブ P-8……………2 OUT OF 4
(1 次系冷却材流量喪失トリップのブロック)
- (3) パーミッシブ P-10……………2 OUT OF 4
(低設定トリップ手動ブロック許可)

表 1. 主要チャンネル概略仕様

チャンネル	検出器	中性子束範囲 (n/cm ² /s)	指 示 範 囲	高 圧 電 源	電 源 入 力	出 力 信 号	
						ア ナ ロ グ	デ ィ ジ タ ル
線源領域	WL-23706 (WL-23690)	10 ⁻¹ ~10 ⁵	対数計数率 1~10 ⁶ cps 起 動 率 -0.5~+5.0 DPM	300~2500 V DC	AC 115 V 5 A (計装, 制御)	0~10 V DC 0~5 V DC 0~50 mV DC 0~1 mA DC	トリップ信号(1) 警 報 信 号(2)
中間領域	WL-23707 (WL-23690)	2.5×10 ² ~2.5×10 ¹⁰	対数計数率 10 ⁻¹¹ ~10 ⁻³ A 起 動 率 -0.5~+5.0 DPM	300~1500 V DC 0~-100 V DC (補償用)	AC 115 V 5 A (計装, 制御)	0~10 V DC 0~5 V DC 0~50 mV DC 0~1 mA DC	トリップ信号(1) パーミッシブ信号(1) 警 報 信 号(3) 制 御 棒 引 抜(1)
出力領域	WL-23708 (WL-23686)	10 ⁶ ~10 ¹⁰	検出器電流 0~5 mA 線形出力 0~120 %	300~1500 V DC	AC 115 V 5 A (計装, 制御)	0~10 V DC 0~5 V DC 0~50 mV DC 0~1 mA DC	トリップ信号(4) パーミッシブ信号(2) 警 報 信 号(1) 制 御 棒 引 抜(1)

表 2. 中性子検出器概略仕様

名 称	形 名	全 (mm) 長	外 径 (mm)	重 量 (kg)	中性子有感物質	熱中性子感度	熱中性子束範囲	使 用 電 圧 (V)
BF ₃ 比例計数管	WL-23706 (WL-23690)	1948 +	171.5 max	45.4	BF ₃ ガス 550 mm Hg	13 cps/nv	4×10 ⁻² ~4×10 ⁴	2050
γ線補償形電離箱	WL-23707 (WL-23690)	5486(ケーブル)			B ¹⁰	7.6×10 ⁻¹⁴ A/nv	2.5×10 ² ~5×10 ¹⁰	100~1500
長尺電離箱	WL-23708 (WL-23686)	3221 + 4267(ケーブル)	171.5 max	27.2	B ¹⁰	3.1×10 ⁻¹³ A/nv	5×10 ² ~1×10 ¹¹	100~1500

(中間領域トリップ手動ブロック許可)

- (4) 減少率高トリップ……………2 OUT OF 4
 (5) 増加率高トリップ……………2 OUT OF 4
 (6) 低設定トリップ……………2 OUT OF 4
 (7) 高設定トリップ……………2 OUT OF 4
 (8) 上部過大出力 ΔT 過大温度 ΔT トリップ用信号
 ……………アナログ信号
 (9) 下部過大出力 ΔT 過大温度 ΔT トリップ用信号
 ……………アナログ信号
 (10) 制御棒速度制御用信号……………アナログ信号

6. 雑制御チャンネル系統

この系統のブロック図を図 9. に示す。

この系統は線源領域, 中間領域, 出力領域からの信号を受けとり, 原子炉がより安全に運転できるように情報を処理するチャンネルであって比較・起動率チャンネル, 可聴計数率チャンネル, 中性子束偏差チャンネルにより構成されている。

比較・起動率チャンネルは, 比較チャンネルと起動率チャンネルに分かれている。比較チャンネルは出力領域からの信号を受け, 各チャンネル間の偏差を監視し, 偏差大となると警報信号を出す。

起動率チャンネルは線源領域及び中間領域からの信号を受け, それ

ぞれの中性子束変化率を測定する。またこの信号は中央制御盤にて指示される。可聴計数率チャンネルは線源領域からのパルス信号を受けて, 可聴信号に変換する。この可聴音は中央制御室及び格納容器内にて鳴らされる。中性子束偏差チャンネルはラジアル方向の中性子束分布の偏差が大きくなることを防ぐために設けられたものである。すなわち, 出力領域の長尺電離箱の上部検出器又は下部検出器 4 本の出力平均値とそれぞれの検出器の出力を比較し, いずれかの検出器出力に規定値以上の偏差が生じた場合に警報信号を発生し, 運転員に対し適切な修正操作を行うよう警告することにより, より安全な炉運転を可能にした。ただしこの機能は炉出力が 50 %以上のときにだけ動作するようになっている。

7. む す び

関西電力(株)高浜発電所 2 号機向け核計装設備を中心として加圧水形原子炉の核計装設備のあらましについて述べたが, 原子炉の大容量化にともなって, また原子炉の安全性をより深めるため, 核計装の考え方が変化していく傾向にある。特に炉内の中性子束分布の測定する計装関係の発展が期待される。

参 考 文 献

- (1) 川島 吉島: 三菱電機技報, 45, No. 3, 368 (昭 46)

放射線監視装置

岩井 優*・仲森 詔貢*・池田 洋*・小田 稔**

1. ま え が き

原子力プラントにおける放射性物質の管理は、国土のせまい我が国においては特に重要である。一般公衆及び運転員を放射線障害から守るため、及びプラントが正常に動作しているかどうかを監視するために放射線監視装置（放射線 モニタ）が設置される。

このモニタはプラント内の施設及びプラント外の必要な場所に設置され常に監視を行っている。

この監視の目的に応じて次の3種に大別される。

- (1) プロセス放射線モニタ
- (2) エリア放射線モニタ
- (3) 屋外放射線モニタ

放射線監視盤を図1に示す。

2. 放射線モニタの概要

2.1 プロセスモニタ

このモニタは、配管、排気筒などのプロセスラインの水やガスの放射能を測定し、プラントの運転状態での放射能レベルの監視を常時行う。

表1にプロセスモニタの代表的な例を示す。

2.2 エリアモニタ

このモニタはプラント内の運転員が常時立入る区域に設置され、その区域の空間ガンマ線量率を測定し、主として運転員の放射線障害の防止を目的とする。

検出器にはGM計数管を使用し、測定範囲は、 $0.1 \sim 10^4$ mR/hである。

エリアモニタの設置場所の代表例を次に示す。

- (1) 中央制御室 エリアモニタ (R-1)
- (2) 格納容器入口 エリアモニタ (R-2)
- (3) 放射化学室 エリアモニタ (R-3)
- (4) 充てんポンプ室 エリアモニタ (R-4)
- (5) 使用済燃料ピットエリアモニタ (R-5)
- (6) サンプル室 エリアモニタ (R-6)
- (7) 炉内計装 エリアモニタ (R-7)
- (8) ドラム詰室 エリアモニタ (R-8)

2.3 屋外放射線モニタ

このモニタは発電所敷地内及び敷地外の必要箇所に測定点を設け放射線を測定監視するものである。

3. 機器の構成

3.1 検出部

プロセスモニタは配管及びダクト内の液体又は気体が規定の放射線濃度以下であることを、常に監視するために設けられている。

検出部は、この測定対象及び被測定体の物理的状態により構造が決定され、次のように大別される。

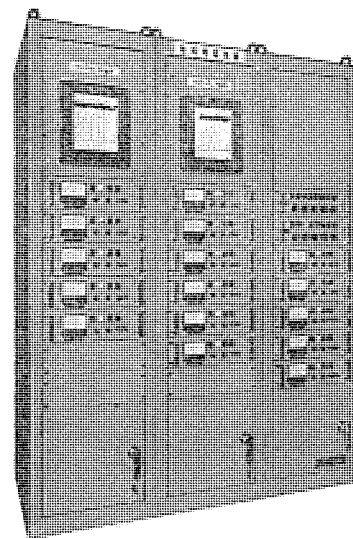


図1. 放射線モニタ監視盤

表1. プロセスモニター一覧

チャンネル名称	チャンネル番号	測定対象	測定値	測定範囲 ($\mu\text{Ci/cc}$)	検出器
格納容器じんあいモニタ	R 11	じんあい	γ	$10^{-9} \sim 10^{-6}$	シンチレータ
格納容器ガスモニタ	R 12	ガス	$\beta\gamma$	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	GM
補助建屋排気筒ガスモニタ	R 14	ガス	$\beta\gamma$	$5 \times 10^{-7} \sim 10^{-4}$	GM(4本)
復水器空気抽出器ガスモニタ	R 15	ガス	$\beta\gamma$	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	GM
原子炉捕留冷却水モニタ	R 17	水	γ	$10^{-5} \sim 10^{-2}$	シンチレータ
廃棄物処理設備排水モニタ	R 18	水	γ	$10^{-5} \sim 10^{-2}$	シンチレータ
蒸気発生器ブローダウン水モニタ	R 19	水	γ	$10^{-5} \sim 10^{-2}$	シンチレータ
格納容器排気筒ガスモニタ	R 24	ガス	$\beta\gamma$	$5 \times 10^{-7} \sim 10^{-4}$	GM(4本)
補助蒸気復水モニタ	R 26	水	γ	$10^{-5} \sim 10^{-2}$	シンチレータ
補助建屋排気筒じんあいモニタ	R 27	じんあい	γ	$10^{-9} \sim 10^{-6}$	シンチレータ
補助建屋排気筒ガスモニタ	R 28	ガス	γ	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	シンチレータ

- (1) 格納容器又はダクト内の気体をサンプリングし、測定するじんあい、ガスサンプラ (図2, 3. 参照)
- (2) 主配管及びダクトの気体を測定対象とするインライン形ガスサンプラ (図4. 参照)
- (3) 主配管内の液体を測定対象とするインライン形水サンプラ (図5. 参照)
- (4) 主配管から分岐し、測定するオフライン形水サンプラ (図6. 参照)

これらのサンプラに使用している検出器は、じんあい及び水サンプラが測定対象核種より、 γ 線感度の高いNaI(Tl)シンチレーション検出器とした。ガスサンプラは被測定体に対し広い感度範囲を持ち、系統上要求される温度範囲に対しても十分機能を発揮し、かつ測定対象核種の線質が β 線が主であることからGM計数管とした。

次に各検出部について説明する。

じんあい・ガスサンプラは格納容器又は排気筒からの気体を吸入し、

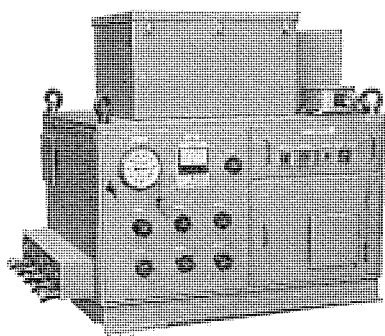


図 2. じんあい及びガスモニタ
(R 11, R 12, R 27, R 28)

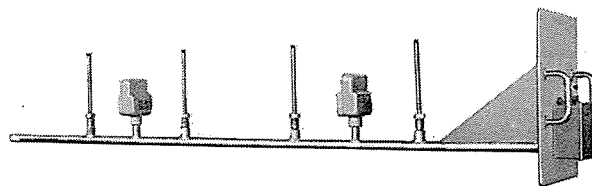


図 3. 排気筒ガスモニタ検出器 (R 14, R 24)

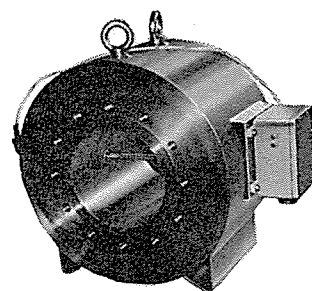


図 4. 復水器空気抽出器ガスモニタ
検出部 (R 15)

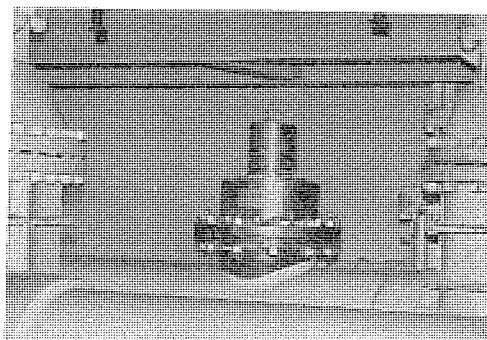


図 5. 補器冷却水モニタ検出部 (R 17)

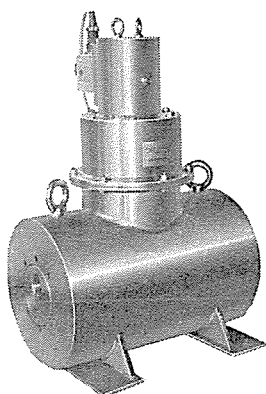


図 6. 水モニタ検出部
(R 18, R 19, R 26)

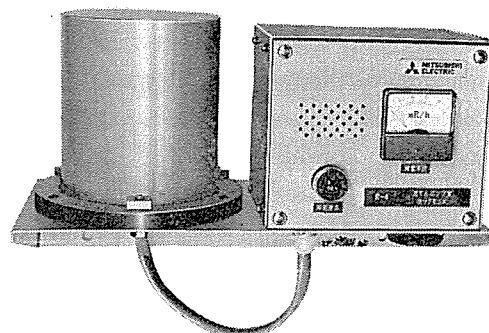


図 7. エリアモニタ検出部 (R 1~8)

まず移動ろ(濾)紙により捕集されたじんあいに含まれる放射性物質の濃度を測定する。次に、ろ紙を通過した気体はタンクに導かれ、ガス状の放射性物質の濃度を測定する。サンプリング式のサンプラの構成要素は、上記の外にポンプを中心とし、流量計、圧力計及びポンプの制御回路で構成されており、制御指令は中央制御室設置の監視盤に収納されているコントロールパネルにおいて発せられる。空調系統の排気ダクトに設けられるガスモニタは検出部を直接ダクト内に設置し通過する気体に含まれる放射性ガスの濃度を測定する。通常、被測定体の量が非常に多いため、検出器である GM 計数管(シリンダ形、 β , γ 線用)を 4 本並行に並べ、その平均量を検出している。インライン形ガスモニタは、配管内を流れる被測定体の気体に対し直角に検出器を設けている。この検出器は被測定体の厳しい温度条件に対し、十分耐える GM 計数管(シリンダ形、 β , γ 線用)が用いられている。インライン形水サンプラは放射線に対する有感部を直接、主配管に浸るよう設計されている。オフライン形水サンプラは 4(B) 以下の配管径に対しフランジの穴明け加工のみ追加すれば、適用することができる。また、インライン及びオフライン形水サンプラに対する被測定体の圧力は 10 kg/cm² まで使用できる。これらプロセスモニタの検出部はいずれもチェック線源とその駆動機構を有し、中央制御室の監視盤から、検出器及び信号伝送経路の機能確認を行うことができる。また排気ダクトに設置のガスモニタ検出部を除き外はすべて、検出部の据付場所における環境放射線に対し十分なシールドがなされている。エリアモニタはプラント内の所定の区域の空間ガンマ線量率を測定することを目的としており、その設置場所は格納容器内及び比較的線量率の高い場所に設置されるものが多い。したがって保守上検出部はこれを考慮し、信頼性をより一層増すため能動素子を省き、かつ回路要素をできる限り少なくした。この外に、フルスケールの 100 倍の線量率 (1,000 R/h) に対しても指示の低下が生じないことを確認した。また 100 keV~2 MeV の入射 γ 線に対し、感度の変化が $\pm 20\%$ 以下になるよう工

夫されている。

検出部の構成は次のとおりである。

- (1) 空間 γ 線量率 (β 線も検出する) を検出する GM 計数管
- (2) 中央制御室に設置されている監視盤に信号を送る インピーダンス変換トランス
- (3) 検出器及び伝送経路の機能を確認するためのチェック線源とその駆動機構

この検出部の外観を図 7. に示す。

3.2 測定部

この測定部はおのの放射線検出器により検出された放射性物質の濃度及び線量率に対応する計数率のパルス信号を、前置増幅器又はインピーダンス変換トランスと専用の放射線モニターケーブルを経由して受け、所定の信号に変換し、指示計及び記録計に供給するとともに、所定のレベルを越えたときに警報信号及び制御信号(接点信号)を外部に供給する。

この測定処理部には、次のテスト機能を持ち故障発生時の早期復旧に重点がおかれている。

- (1) パルス校正……内部のパルス発生器により信号入力部から直流増幅器の出力まで動作確認する。
- (2) レベル校正……直流増幅器入力に模擬入力を与え直流増幅器及び 2 安定増幅器の動作確認、また 2 安定増幅器の設定及び設定点の再確認をする。
- (3) チェック線源……検出部内蔵のチェック線源を開閉することにより、検出器から測定処理部の終段に至る系の異常の有無を確認する。

また、測定部はドロウ形式とし、スライド機構を取付け各回路の入出力点にはテスト端子を設け、保守を容易にしている。この外に、Live Zero 方式による故障検出回路を設けダウンタイムをできる限り少なくするよう設計されている。特にエリアモニタには、GM 管の窓

表 2. プロセス及びエアモニタ測定部仕様

項 目	プロセスモニタ	エアモニタ
1. 入力信号	β , γ 用 GM 管出力 γ 用シンチレーション検出器出力	GM 管出力
2. 出力信号		
(1) 遠隔指示計出力	0~1 mA ($10^{-1} \sim 10^6$ cpm 相当)	0~1 mA ($10^{-1} \sim 10^4$ mR/h 相当)
(2) 記録計出力	0~10 mV ($10^{-1} \sim 10^6$ cpm 相当)	0~10 mV ($10^{-1} \sim 10^4$ mR/h 相当)
(3) 計算機出力	0~5 V ($10^{-1} \sim 10^6$ cpm 相当)	0~5 V ($10^{-1} \sim 10^4$ mR/h 相当)
(4) トリップ出力	高計数率トリップ信号 設定範囲 10~10 ⁶ cpm 接点出力 4a, 4b 接点容量 125 V DC 2 A 以上 形 式 自己保持	高線量率トリップ信号 10 ⁻¹ ~10 ⁴ mR/h
(5) チャンネル故障出力	設定点 BG 以下に固定 接点出力 ラック代表として 4a, 4b 接点容量 125 V DC 2 A 以上 形 式 自動復帰	同 左
(6) テスト警報信号	レベル校正, パルス校正, リセット及び線源校正時ラック代表リレーを「接」とする 4a, 4b 接点出力 125 V DC 2 A 以上	同 左
3. 検出器用電源	電圧範囲 800~2000 V DC 電流容量 0~40 mA 安定度 $\pm 0.5\%$ 以下	400~1000 V DC 0~20 mA 同 左
4. テスト信号	(1) レベル校正 0~100% フルスケール (2) パルス校正 6×10^4 cpm 相当	同 左 同 左 (600 mR/h 相当)
5. 指 示 計	$10^{-1} \sim 10^6$ cpm 5 けた対数目盛及び 0~2 kV 直線目盛の 2 重目盛	$10^{-1} \sim 10^4$ mR/h 5 けた対数目盛及び 0~1 kV 直線目盛の 2 重目盛
6. 精 度	指 示 計 $\pm 6\%$ フルスケール 記 録 計 $\pm 4\%$ フルスケール 設定点再現性 $\pm 3\%$ フルスケール	同 左

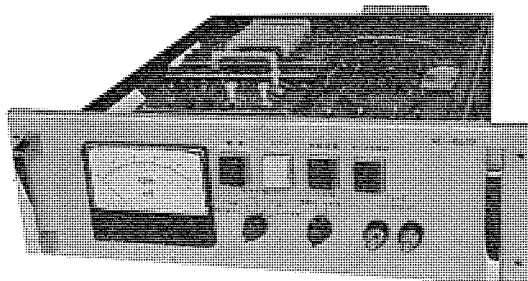


図 8. 放射線 モニタ 測定部

息現象によるスケールダウンを防ぐ、窒息防止回路も設けられている。ここに測定処理部外観図を図 8. に、ブロック図を図 9. に示す。

4. 屋外放射線モニタ

この装置は一般に次のように分類することができる。

(1) 中央監視用 モニタポスト

空間 γ 線量率とその積算線量を測定

(2) 現地監視用 モニタポスト

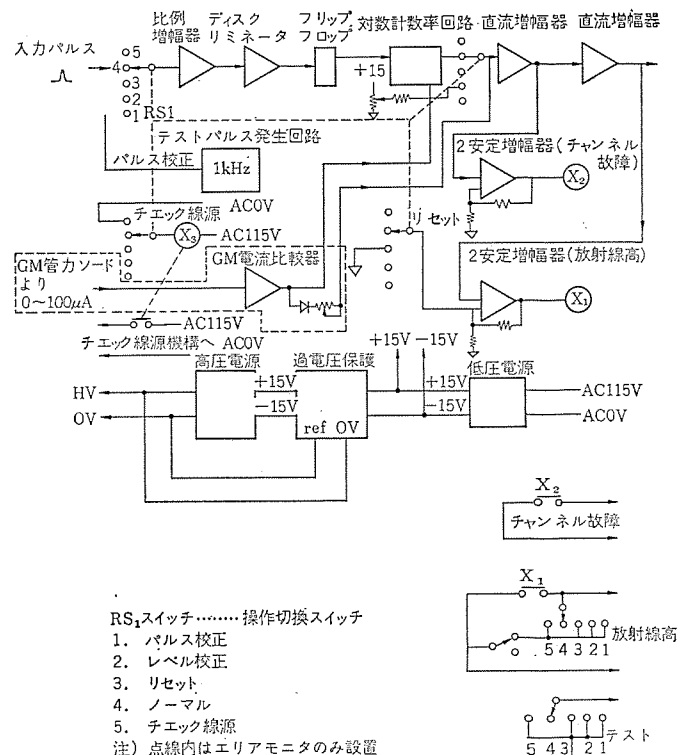


図 9. 放射線 モニタ 測定部 ブロック 図

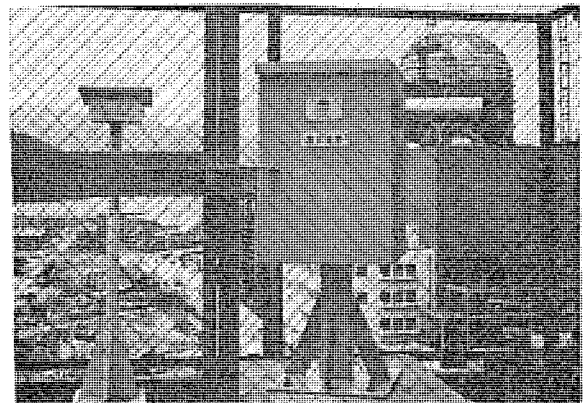


図 10. 屋外放射線 モニタリングポスト

空間 γ 線量率とその積算線量を測定

(3) モニタステーション

空間 γ 線量率, 空間 β , γ 線量率, じんあい β , γ 線濃度及びよう(沃)素ガスを測定

(1)及び(2)は通常, 一般住民の居住区域に。

(3)は発電所の敷地内に設置されるのが常である。

中央監視用モニタポストは空間 γ 線量率を GM 計数管で検出し, 線量率の対数 (5 けた) に比例した直流電流信号に変換される。また, 積算線量は検出器から得られたパルス信号の 500 分の 1 の周期の接点信号に変換される。これらの信号は中央制御室に設置されている監視盤に伝送されて, 指示, 記録されるとともに, 所定のレベルを越えた場合, 警報を発する。この方式の特長は長距離伝送のさい問題となる耐雑音性が非常によく, 安定した動作を行う。

フルレンジ制御棒制御装置

梶田 征也*・西沢 行夫*・佐藤 勝*・加治屋 脩**・山口 利昭**

1. ま え が き

この装置は、原子炉の熱出力の制御及び原子炉トリップに使用する多数のフルレンジ制御棒を、炉物理などからの要求によりあらかじめ定められたプログラムに従い、炉内にそう(挿)入又は引抜きを行うものである。

制御棒の駆動は、磁気ジャッキ方式で、リフトコイル、ムーバブルグリッパコイル(以下 MG コイルという)及びステーションナリグリッパコイル(以下 SG コイルという)と呼ばれる3個のコイルに、そう入又は引抜きによってそれぞれ決まったタイミングで電流を供給することにより行われる。引抜きの場合、待機状態では SG コイルが励磁されており、駆動軸は SG 用ラッチで保持されている。次に、MG コイルが励磁され MG 用ラッチがかかり、SG コイルへの電流を断して SG 用ラッチをはずす。リフトコイルに電流を供給すると MG 用ラッチ部分が引上げられ、と同時に制御棒が1ステップ上昇する。SG コイルを励磁して SG 用ラッチをかけ MG コイルの励磁を解き MG 用ラッチをはずし、最後にリフトコイルの励磁を解くと、MG 用ラッチ部分が元の位置にもどって最初の待機状態となる。かかる動作を繰り返すことにより、制御棒は、所定の位置まで引抜くことができる。そう入の場合は、ほぼ逆の操作をすることにより行われる。

2. M-G セット及び M-G セット制御盤

原子炉の緊急停止の際は、制御棒駆動装置の電源を開放して、制御棒を落下させるのであるが、その反面、電源に万一瞬停が起こった場合にも同様な状況となり、不要な原子炉停止を招くことになる。

このため、瞬停防止を目的とした電源装置として、M-G セットが設置されている。

2.1 制御棒駆動用 M-G セットの構成

この装置は、駆動用三相誘導電動機とフライホイール、及び三相交流発電機を共通台床上に、据付けた M-G セットとその制御盤より構成される。(図 3. 参照)

M-G セットは、冗長性を持たせるため、2 台設置し、常時並列運転を行わせている。(図 4. 参照)

交流発電機は 438 kVA, 260 V, 58.3 Hz 1,750 rpm, 駆動用誘導電動機は 110 kW, 440 V, 60 Hz 1,750 rpm なる連続定格を持つ。

2.1.1 駆動電動機及びフライホイール

駆動電動機は、三相かご形誘導電動機であり、1 台の容量も負荷合計約 100 kW に対し 110 kW としている。軸材は、鍛鋼品を使用し、急激な負荷の変動に対しても十分耐え得るよう設計されている。

制御棒駆動装置の電源に瞬時停電が生じても、安定した電圧、周波数の電力を給電するために、発電機と電動機の間に大きな慣性をもったフライホイールを装備している。

フライホイールの GD^2 は、100 kW の負荷に給電中に、電動機に 1 秒間の全電圧喪失があっても、その間、発電機出力電圧が、線間

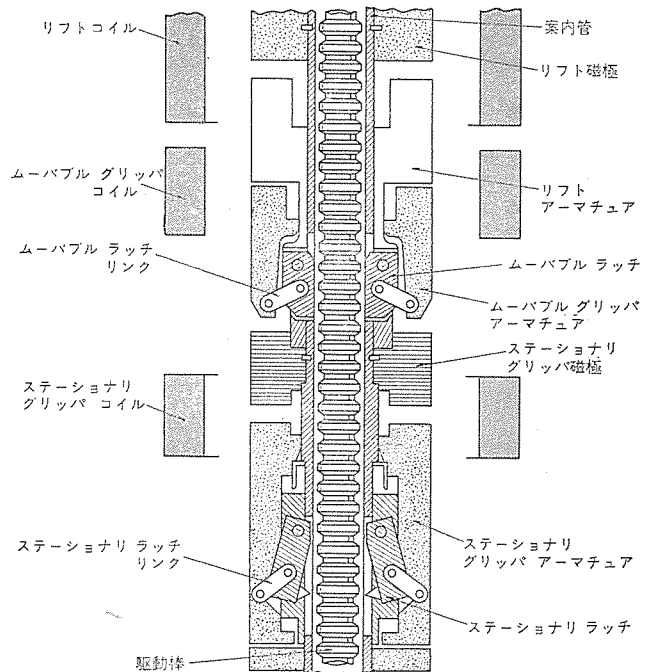


図 1. 制御棒駆動機構 概略構造図

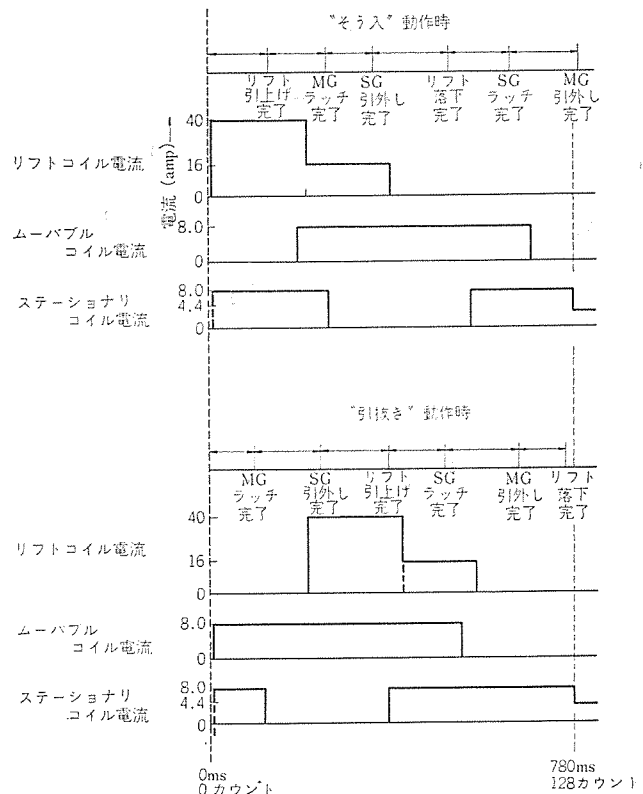


図 2. 制御棒駆動機構のタイミング図

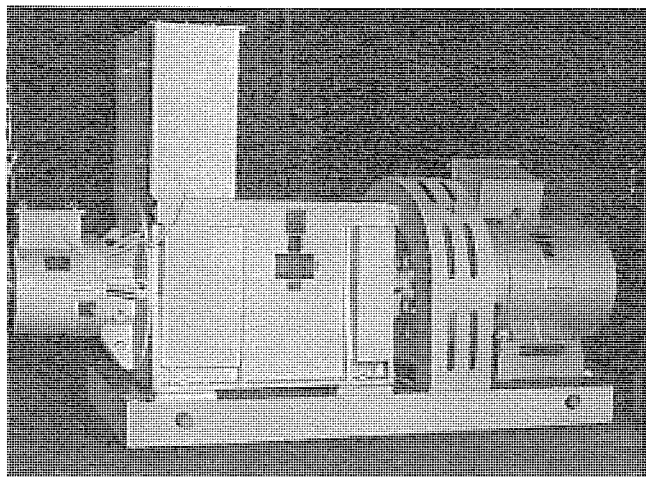


図 3. M-G セット外觀

260 V の 5 % 以内の降下であり、周波数は 53.3 Hz 以下にならないような大きさのものとして設計されている。

取付けは、発電機軸端のカップリング部外周に堅く焼ばめしており、過速度時の遠心力にも十分耐えるようになっている。

2.1.2 交流発電機

発電機は、ブラシレス 励磁方式を採用し、ブラシ 回りの点検、保守を不要にして取扱いを簡単になっている。負荷にサイリスタの半波整流回路を持っているので、整流された直流電流による鉄心の直流偏磁を避けるため、固定子 コイル の巻線に ジグザグ Y 結線（千鳥結線）を採用した。

また、本機の重要性より、耐久性、信頼性を増すためにコイルには特殊絶縁処理を施した。

その他、サイリスタ制御の回路全体のインダクタンスを極力小さくするために、発電機の次過渡リアクタンス x''_d は、438 kVA ベースで計算して 10 % を越えないよう設計されている。発電機に要求される実際の出力は、約 100 kW であるが、次過渡リアクタンスを小さくするため、通常の発電機の大きさの約 3 倍の大きさになっている。

軸系としては、1次系統の重要機器であること、発電機の突発短絡トルクにも耐えること、フライホイールの荷重がかかること、半波整流負荷による脈動トルクに対し軸径を大きくしなければならないことなどの理由から特殊鍛鋼品を採用した。

発電機短絡の条件としては、最もか(苛)酷な 105 % の電圧発生中に 1 台で全負荷 100 kW を持ち、このとき線間短絡を生じたとしても材料の降伏応力に対し、何ら問題ない応力としている。

ロータには、同心巻を採用し、特性的にも機械的にも十分な考慮を払っている。

2.2 M-G セット制御盤

各発電機の出力しゃ断器、励磁装置、保護装置、計測装置、及び駆動電動機の起動、停止用スイッチのほか、共通部品として、自動同期投入装置、中性点接地装置から成る。

2.2.1 並列運転

M-G セットの並列運転は、IM のスリップを利用して行う。以下にその方法を 3 とおり述べてみる。

(1) 先発機が無負荷の場合

後発機も当然無負荷であり、両者のわずかの出力周波数差を利用し、自動同期投入装置によって同期検出を行い、出力しゃ断器を自動同期投入させる。

(2) 先発機にわずかの負荷をかけておく場合

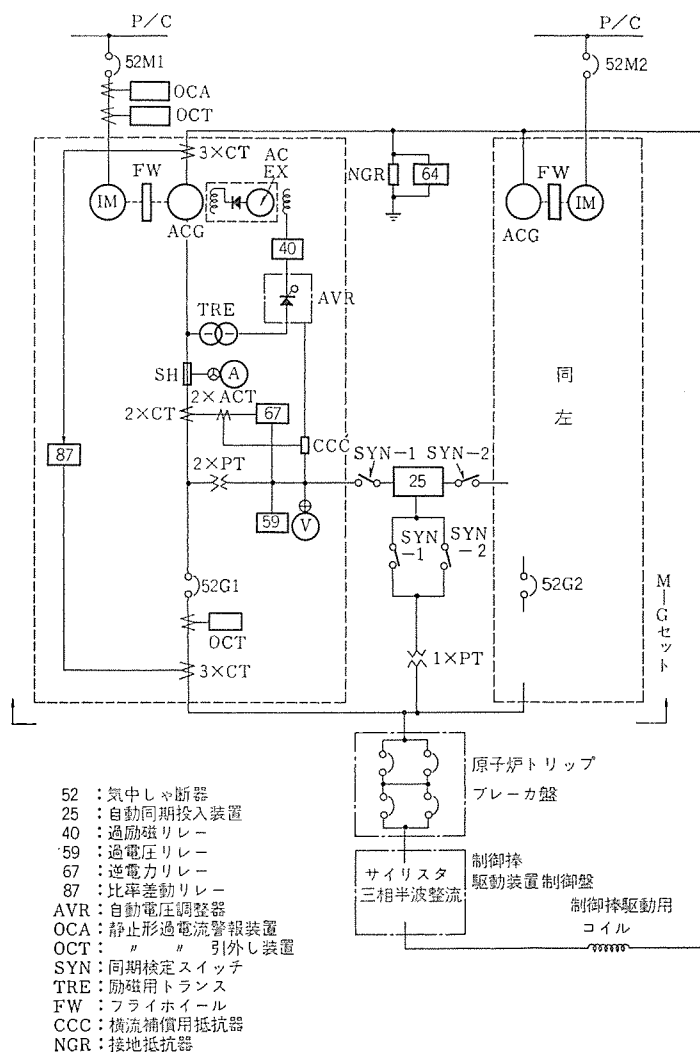


図 4. M-G セット 単線結線図

(1)の方法で、両者の出力周波数差があまりにも小さい場合には、先発機にわずかの負荷をかけ出力周波数差を適度につけて、あとは(1)と同様の方法をとる。

(3) 発電機の負荷が大きすぎる場合

負荷を減らすことができれば適度に減らしてやればよい。負荷を減らすことができない場合には、後発機が無負荷であり、出力周波数が高いので、後発側の IM 入力をいったん手動で開放する。後発機の出力周波数は徐々に下がっていくので、その途中で同期点を検出し、後発側の出力しゃ断器を自動投入させるとともに、IM 入力も自動的に再投入させ、並列運転を持続させる。

(1)の方法では後発機の起動を15分ていど遅らせ両方のIMのスリップに差をつけなければならないし、また(3)の方法では後発機の出力周波数の減衰が早すぎ投入できる可能性が少ないなどの点があり、(2)の方法が望ましいと考える。

2.3 工場試験結果

2.3.1 立会試験

(1) 電圧確立試験

(2) 同期投入試験

(3) 瞬停試験 発電機に負荷をかけ、定格回転数で運転中、IM 電源をしゃ断した場合の1秒後の電圧、周波数のオシログラフを図5.に示す。電圧は259.5 V、周波数は57.4 Hz となり、共に制限値よりはるかに高い値を維持していることが分かった。

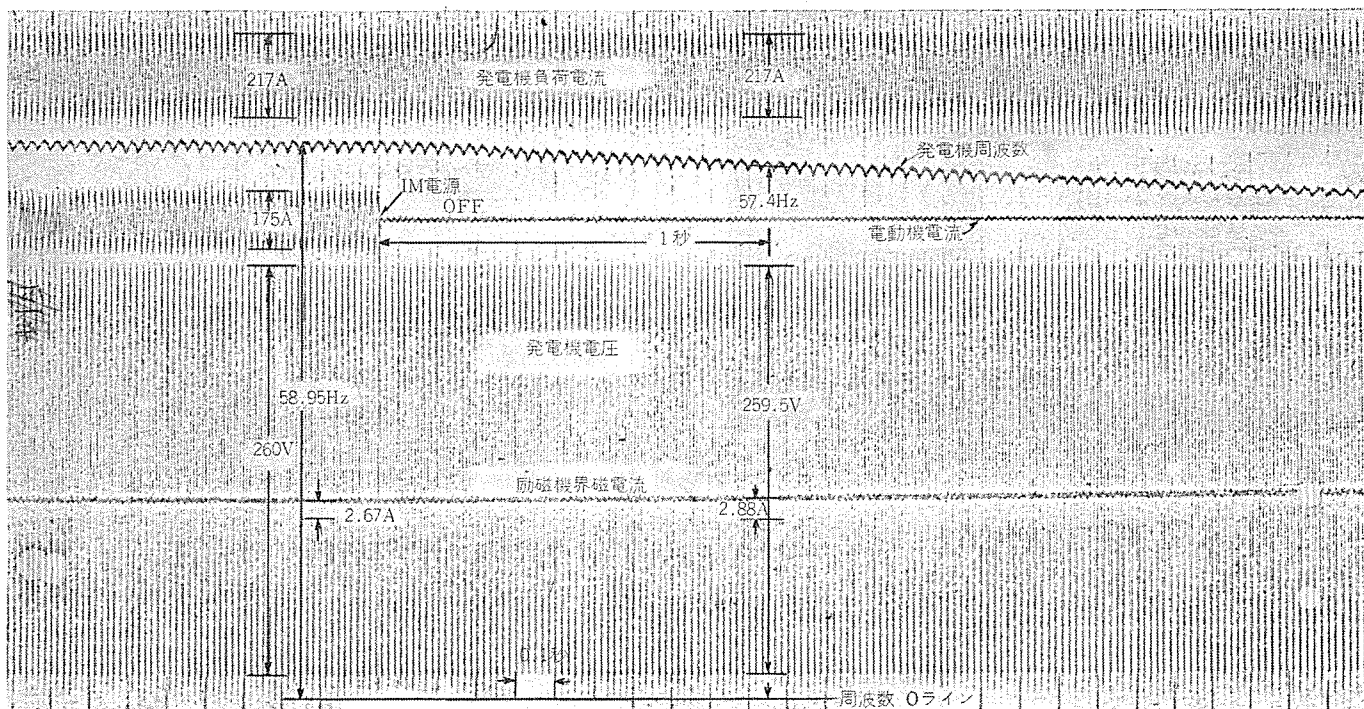


図 5. 全負荷瞬停試験オシログラフ

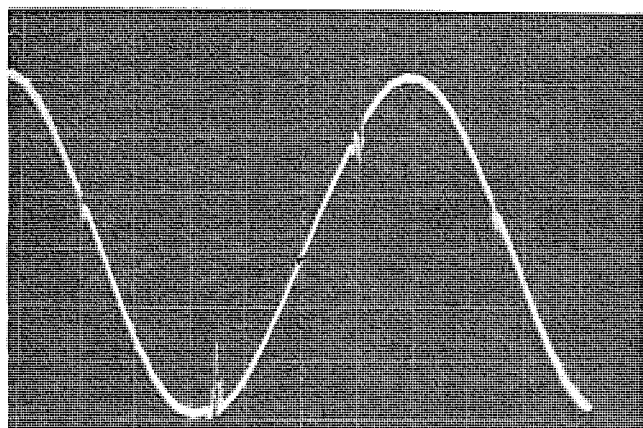


図 6. 半波整流負荷時の電圧波形

図 6. に半波整流負荷時の電圧波形を示す。

試験の結果、発電機各部の温度上昇、振動、騒音、波形ひずみなどのトラブルはなかった。

3. 制 御 装 置

主な仕様は、次のとおりである。

- フルレンジ 制御棒：48 本
- 制御棒駆動速度：6～72 ステップ／分
- 1 ステップ の動作時間：約 780 ms
- リフトコイル 電流：全電流の場合 約 40 A
- 通減電流の場合 約 16 A
- MG コイル 電流：約 8 A
- SG コイル 電流：全電流の場合 約 8 A
- 通減電流の場合 約 4.4 A

3. 1 ロジック キャビネット

このキャビネット 1 面は、メモリ 及び制御回路、発振回路、バンク オーバラップ回路、マスタサイクラ、スレーブ サイクラ、警報回路などから構成される。(図 7. 参照)

3. 1. 1 メモリ及び制御回路

プロセス 制御系又は中央制御盤からの そう 入又は引抜信号及びバンク 選択信号を 1 ステップ 動作中 メモリする。

駆動命令信号がないとき、又は緊急警報が検知されたときに、発振回路の動作を停止させるための禁止信号を発する。

3. 1. 2 発振回路

パルス と オシレータ の 2 種類があり、いずれも自走し (弛) 張発振器である。パルス は、プロセス 制御系からの制御棒駆動速度信号に比例したパルス列を発生し、その信号をマスタサイクラに送る。一方、オシレータは、前記のごとく、3 個のコイル に シーケンシャル に電流を流すためのタイミング信号を発生するもので、167 Hz のパルス をスレーブ サイクラに送る。

(4) 振動測定 定常時及び加速度試験後の振動とも、片振幅で 0.002 mm 以内であり、問題なかった。

(5) 過速度試験 定格回転数の 1.25 倍の 2,250 rpm で 1 分間であるが試験結果では、機械的に問題ないことを確認した。

(6) 絶縁抵抗測定

(7) 絶縁耐力試験

(8) 構造検査

この外に、温度試験、騒音テスト、三相突発短絡試験、パラシ など を施行したが、M-G セットの運転になんら差し支えない結果であった。

2. 3. 2 制御棒駆動装置との組合せ試験

M-G セットの負荷として、初めての大容量の半波整流負荷がかかるが、発電機回りの影響 (温度、振動、騒音、電圧調整、波形、同期投入、パラシ など) は、正弦波又は非常に小さな半波整流負荷で、工場出荷時確認されるだけであったため、実負荷での確認が必要であった。このため制御棒制御装置の現品を工場へ搬入し、システムとしての総合試験を実施した。

3.1.3 バンクオーバーラップ回路

制御棒のバンクには、コントロール用 A～D の 4 バンク と シャットダウン 用 A, B の 2 バンクがある。ただし、オーバーラップするのは、コントロール用のみで、例えば引抜時、バンク A→AB→B→BC→C→CD→D のように、オーバーラップして上昇する。

バンク 選択信号は、 マスタサイクラ、 データロギング
回路及び パワー キャビネット に送られる。

3.1.4 マスタサイクラ

駆動すべきグループを指定するのが、マスタサイ
クラである。

マスタサイクラは、一種の6進可逆カウンタであり、パルサからの駆動速度信号により決まるカウンタ値と前記バンク選択信号により、スレーブサイクラ起動信号を送る。

3.1.5 スレーブサイクラ

マスタイクラからの上記起動信号によりゲートが開き、オシレタパルス をカウントし始め、128 まで連続して計数する。6 個のデコーダにそのカウンタの出力は与えられ、図 2. に示すごとく、各動作モードに必要な電流命令信号をパワーキャビネットに送る。カウンタが 128 までくると 1 ステップの動作が完了し、次の起動信号が与えられるまで休止する。

3.1.6 警報回路

このキャビネット内の故障に加え、パワーキャビネット内の故障をも処理し、警報ランプを点灯させるとともにアナウンシェータにリレー接点信号を送る。

警報には、緊急、非緊急の2種類があり、緊急警報は、スレーブサイクラの故障、オシレータの故障、プリントカードの引抜きの場合に発せられ、非緊急警報は、冗長したDC電源の一つの故障の場合に発せられる。

緊急警報信号が出た場合、オーバーラップ動作は禁止され、3.1.1項で述べた禁止信号が発振回路に送られる。

3.2 パワー キャビネット

パワー キャビネット（4面）は ロジック キャビネット からの電流制御命令にもとづいて、制御棒駆動機構（CRDM）の電流要求に見合うように、3 個のコイルに電流を供給するものである。

三相半波サイリスタブリッジがCRDMへの電流を制御する。このブリッジは、SGコイル用に3組、MGコイル用に1組、リフトコイル用に1組設けられている。MGコイルは、各グループがマルチプレックス用サイリスタに接続されている点で、またリフトコイルは、各コイルが切離しスイッチとして使用されるサイリスタに接続されている点でそれぞれSGコイルと異なる。更にリフトコイルとMGコイルは、それぞれの3グ

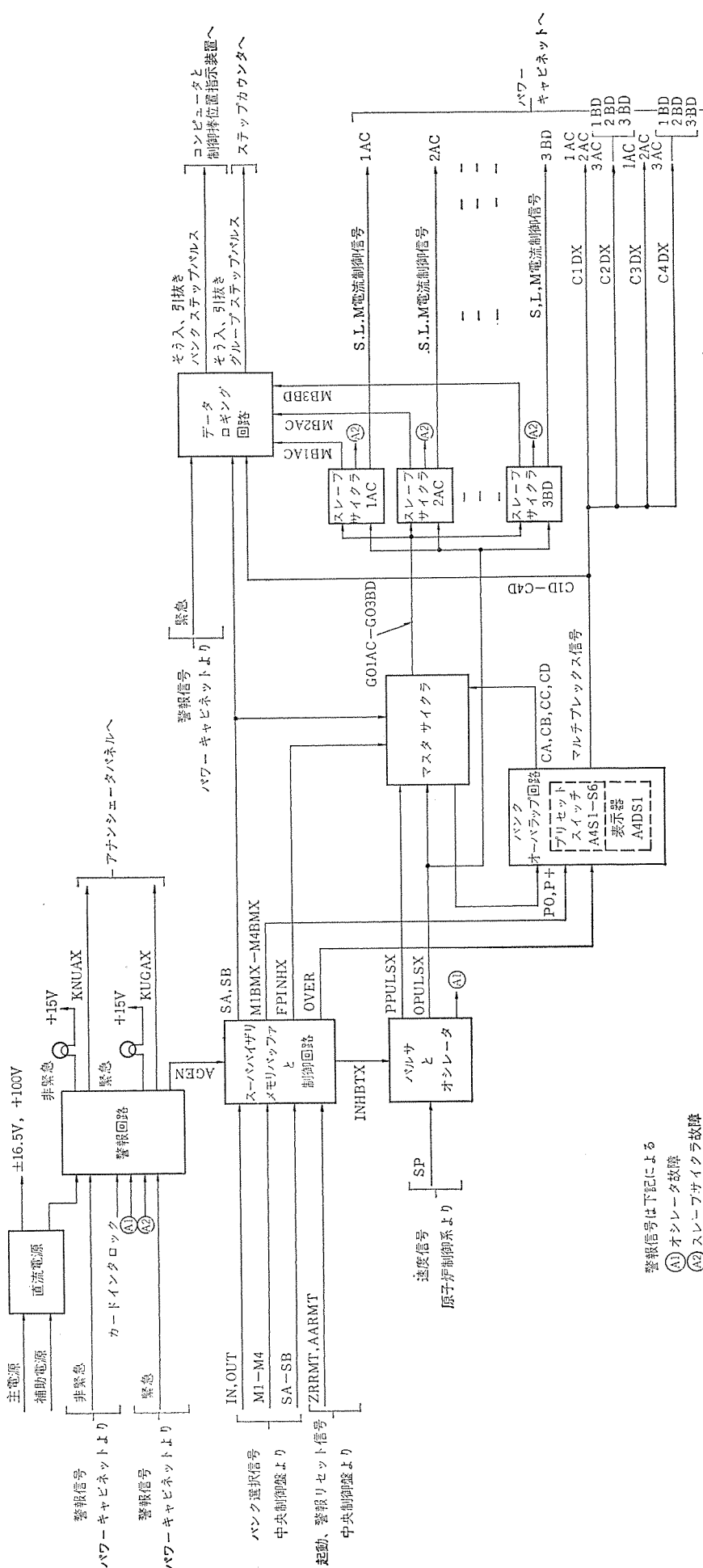


図7. 全体のブロック図

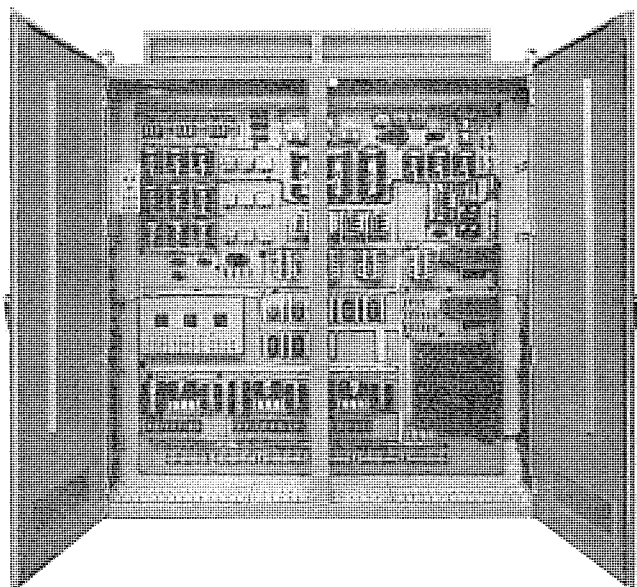


図 8. パワーキャビネット (前面扉開放)

ループに対してただ1組の4個の電流検出抵抗が用いられている点がSGコイルと異なる。(図9. 参照)

3. 2. 1 電流制御回路

この回路の目的は、ロジックキャビネットのスレーブサイクラからの命令に従ってCRDMに正しい電流パターンを与えることである。電流命令の情報はロジックキャビネットから2進符号の2ビットの形(R_z , R_R)でサイリスタ点弧カードを経由し、レギュレーションカードに与えられる。もしサイリスタ点弧カードへの R_z 入力と R_R 入力が共にオープンにされるなら、あるいは R_z 入力がオープンで、 R_R 入力がショートされるなら、サイリスタ点弧カードはサイリスタブリッジの出力電流を零にする。もし R_z 入力と R_R 入力が共にショートされるなら全電流が要求される。もし R_z 入力がショートで、 R_R 入力がオープンにされるなら、減速電流が要求される。 R_z と R_R の電流命令は、レギュレーションカードの基準電圧発生回路の出力電圧を制御する。レギュレーションカードの出力であるエラー信号は上記基準電圧と、四つのうち最大のサンプル電流信号との差に比例し、位相制御カードに与えられる。このカードは位相検出回路からの位相基準電圧と上記エラー信号により点弧信号を発生させる。点弧信号はサイリスタ点弧カードへ送られ、増幅整形された後、サイリスタに120°間与えられる。

3. 2. 2 マルチプレクシング回路

パワーキャビネットは、1グループが選択される間、他の2グループは保持されるように設計されている。この選択は、2個のリレーによって行われる。両リレーが消磁されているとき、グループCのリフトコイルとMGコイルが選択される。SGコイルの選択は、SGコイルは制御棒が動かされていないときは減速電流に保たれるので、レギュレーションカードによって行われる。すなわち、選択されないSGコイルに減速電流を流し、選択されたグループのSGコイルの電流をロジックキャビネットのスレーブサイクラからの電流命令に従って変化させる。上記2個のリ

ーは、中央制御盤内のリフトコイル切離しスイッチを通してリフトコイルの切離し用サイリスタの点弧用トランスに1次電圧を供給し、リフトコイル切離しスイッチを操作することにより、制御棒を1本ずつ駆動することもできる。

3. 2. 3 警報回路

警報は“緊急”警報と“非緊急”警報に区別される。制御棒動作の機能に影響を及ぼすすべての故障は“緊急”に属し、制御棒動作に直接影響しない冗長性のある一部の故障は“非緊急”に属する。

“緊急”警報は、リフトコイルを自動的に消磁し、SGコイルとMGコイルの双方を減速電流にし、すべての自動制御棒動作を停止させ、アナシエータ“制御棒制御緊急故障”を付勢する。

“非緊急”警報は、冗長されたDC電源の故障により発生する。

3. 3 DC ホールド電源キャビネット

このキャビネットは、パワーキャビネットの保守点検中、制御棒保持のための電源を供給するもので、Y-Δ変圧器と全波整流ブリッジダイオードから成る125V DC電源(最大出力80A)と70V DC電源(最大出力50A)から構成されている。

3. 4 試験結果

制御棒制御装置(以下CRDM-CSとする)は、国産第1号機ということで、工場試験では種々の試験を実施した。

特に三菱重工神戸造船所において、実機(CRDM)との組合せ試験を実施した。

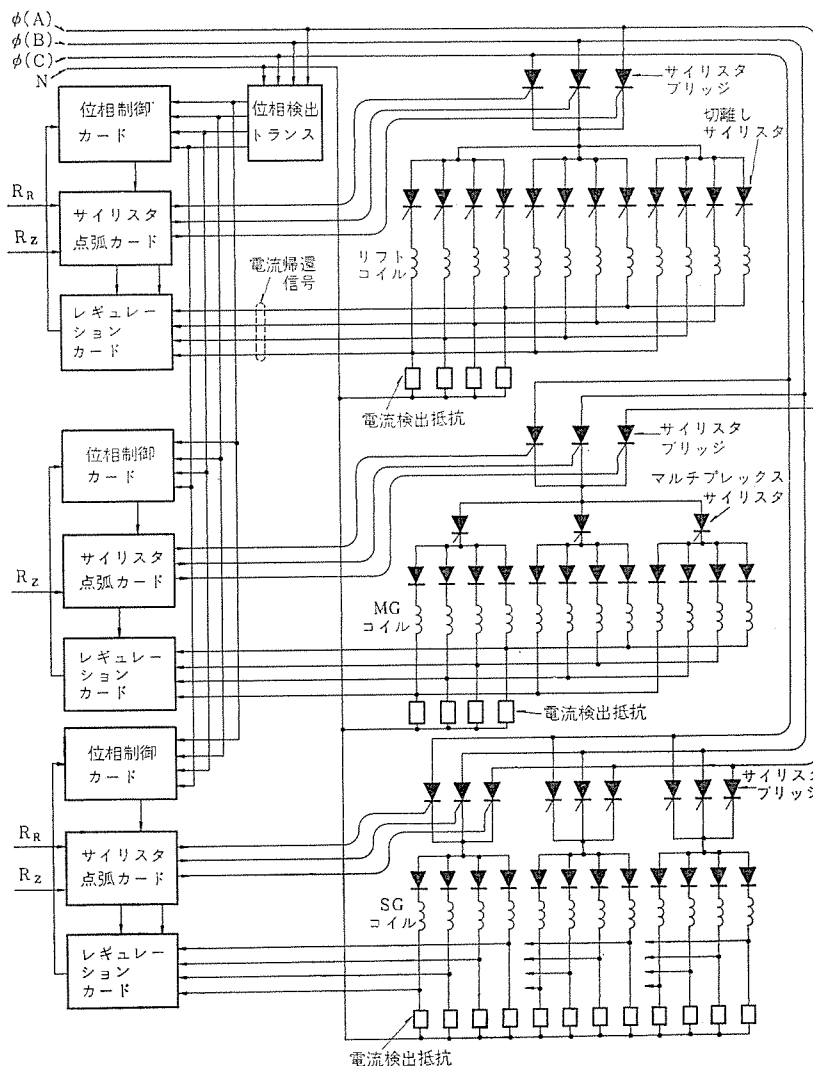
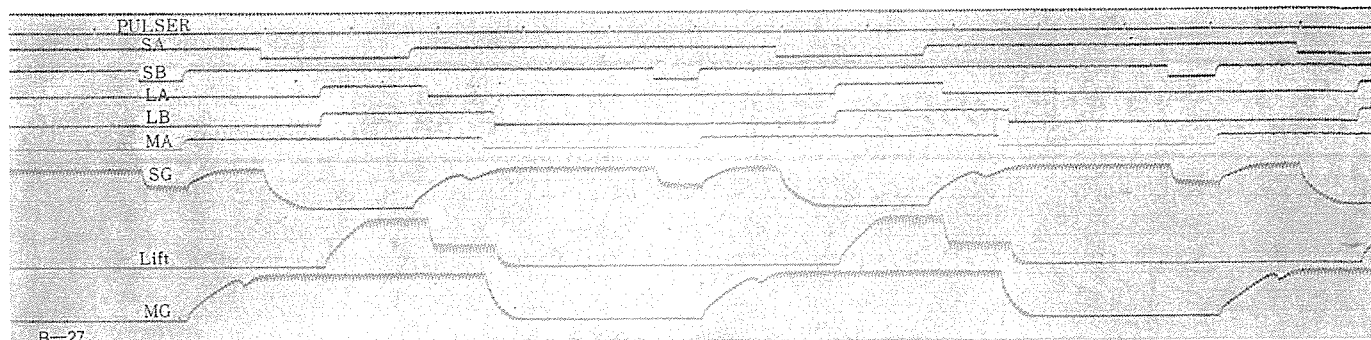
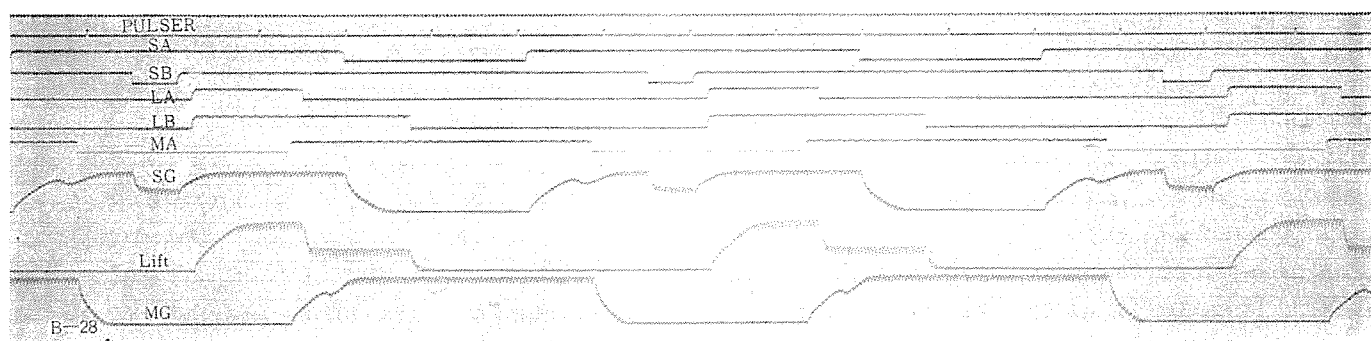


図 9. パワーキャビネット 概略回路図



引抜動作



そう入動作

図 10. 実負荷 コイル 電流波形

表 1. CRDM-CS 周囲温度による コイル 電流値の変化

基準値 温度	S G コ イ ル			M G コ イ ル		リ フ ト コ イ ル		
	零 電 (A) 流	通 過 電 流 (A)	全 電 (A) 流	零 電 (A) 流	全 電 (A) 流	零 電 (A) 流	通 過 電 流 (A)	全 電 (A) 流
	0.3 Max	4.4	8.0	0.3 Max	8.0	1.0 Max	16	40
0°C	0.08	4.36	8.15	0.06	8.15	0.4	16.1	40.3
22°C	0.08	4.40	8.22	0.06	8.21	0.4	16.4	40.5
50°C	0.08	4.21	7.78	0.06	7.90	0.4	15.8	38.8

3. 4. 1 模擬コイルによる試験結果

実機に組み込まれているコイルと同じコイルを使用して、以下の試験を実施した。

(1) 連続通電試験

ロジックキャビネットとパワーキャビネットを組合せて、パワーキャビネット1面につき150時間(50時間/グループ)連続通電試験を行った。これをパワーキャビネット4面について実施し、SG、MG、リフト各コイルの電流値、電流波形を測定した。

すべて正常であった。(データ省略)

(2) 温度試験

パワーキャビネット、ロジックキャビネットを恒温そう(槽)に入れ、0°C、22°C、50°Cにおける種々の機能動作試験を実施した。

すべての温度状態において機能動作は正常であった。また、コイル電流値は規格内にあり、電流波形も異常なかった。

表 1. は各温度におけるコイル電流値を示す。

3. 4. 2 実機との組合せ試験

社内試験完了後、三菱重工神戸造船所において、CRDM実機とCRDM-CSとの組合せ試験を実施した。制御棒駆動回数は50エキスカ-ション実施し、現地での運転においても何ら問題のないことが確認できた。図 10. はエキスカ-ションにおける電流波形を示す。

4. む す び

加圧水形原子炉の制御棒制御装置は炉の出力制御に直接関係した装置であり、また炉の大形化に伴います信頼性が要求されるものと思われる。

我々は、今後とも品質管理には特に注意を払って製作していく考えである。

高速実験炉「常陽」の2次冷却系電気・計装設備

高木 高志*・多田 恒幸*・西沢 行夫*・猪谷耕太郎**・飯田 昌二***

1. ま え が き

高速増殖炉は、核燃料資源を無駄なく有効に利用できる原子炉として注目され、1985年代以降において現在の動力炉である軽水炉にとって代わるべく、世界的に開発が進められている。

高速実験炉「常陽」は、このような情勢の中で、動力炉核燃料開発事業団がナショナルプロジェクトとして開発する、我が国初のナトリウム(Na)冷却形高速実験炉であり、昭和45年から茨城県大洗町の大洗工学会社内に建設中のプラントである。

「常陽」の建設目的は、Na冷却形高速炉としての設計・建設・運転を通じて、その経験をうるとともに、完成後はこれを用いて、燃料及び諸材料の照射試験を行うことにより、我が国の高速増殖炉の開発推進に役立つことである。そのため設計の重点は、安全性と信頼性の確保におかれ、製作にあたっては、可能な限り国産化することを前提として進められた。建設は、国内原子力産業4社が主務会社(東芝)を中心として分担実施している。

三菱グループは、2次冷却系設備全般を主要として、炉容器回転プラグ・炉心上部機構などの設備・機器を分担している。ここでは2次冷却系における電気・計装設備のうち、当社が分担製作した主要なものについて概略を紹介する。

2. 高速実験炉「常陽」の概要

「常陽」は、現在世界の主流であるNa冷却形的高速増殖炉で、1次冷却系の構成は、いわゆるループ形を採用している。建設の目的が前述のとおり高速炉の経験にあるため、蒸気発生器を含むタービン

・発電機の系統設備は除外されているが、蒸気発生器については別途研究開発が行われている。図1.にこのプラントのふかん(俯瞰)写真を示す。

「常陽」の冷却系統を図2.に、主要目を表1.に示す。主冷却系には、原子炉からの熱を冷却する1次系、この熱を中間熱交換器を介して空気冷却器に伝達する2次系とがある。空気冷却器は、2次系の熱を大気中に放散させる設備であるが、発電プラントの場合はこれが蒸気発生器と置き代わることになる。1次系、2次系とも冷却材はNaであるが、Naは98°Cに融点をもつ反応性の高い金属であり、充てん(充填)前に所定の温度まで加熱し液状にする必要がある。またNaの固化を防ぎ、配管・機器類の腐蝕予防のため、Naの純度管理を厳重に行わねばならない。しかし、Na冷却高速炉は、熱

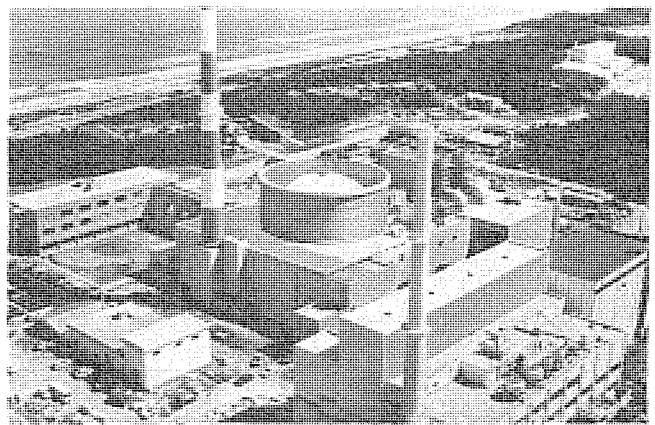


図1. 高速実験炉「常陽」サイト(動燃事業団提供)

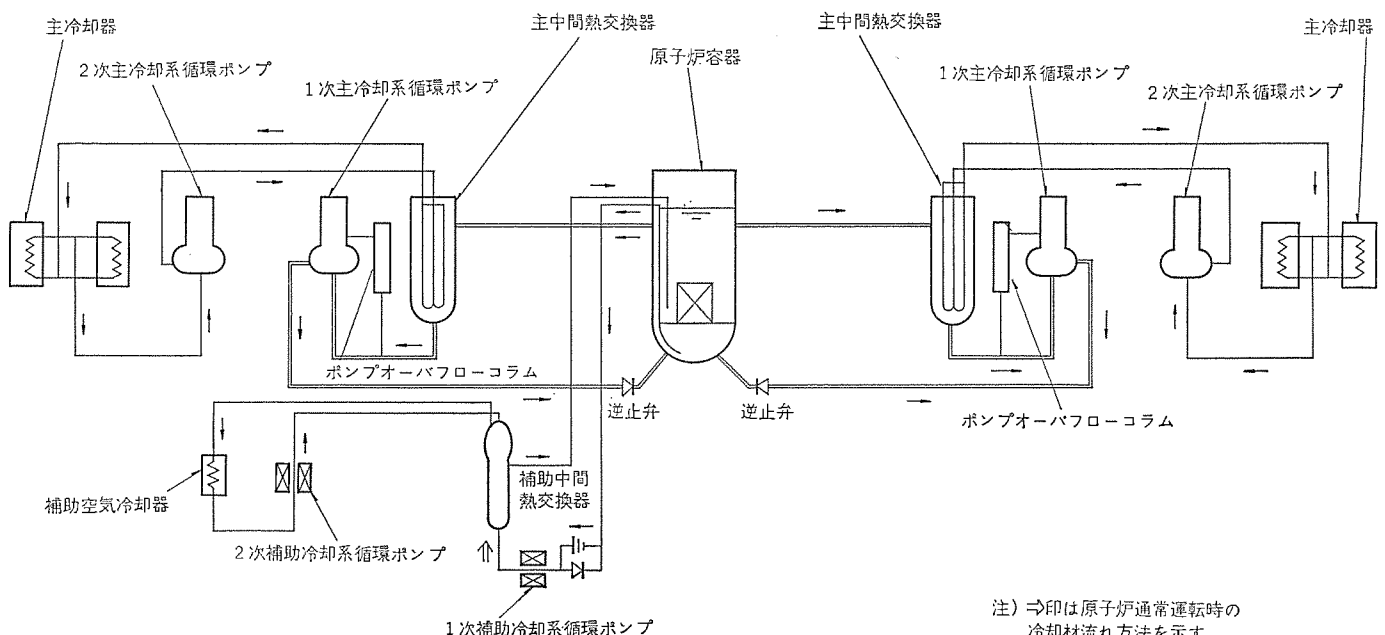


図2.「常陽」冷却系統図

注) ⇒印は原子炉通常運転時の冷却材流れ方法を示す

表 1. 「常陽」主要目表

1. 核特性		燃料部長さ	60cm
炉心体積	252 l	燃料要素数/集合体	91
アイソトープ組成比		スプーサ スパイラルワイヤ形	
炉心燃料 $\text{Pu}^{239}/\text{Pu}^{240}/\text{Pu}^{241}$		燃料体 PuO_2+UO_2 焼結ペレット	
	70/25/5 a/O	ペレット径	5.4 mm
炉心燃料 U^{235} 濃縮度	23 W/O	被覆管外径	6.3 mm
炉心燃料 Pu 富化度		ブランケット燃料要素外径	15 mm
$\text{PuO}_2/(\text{PuO}_2+\text{UO}_2)$	17.7 W/O	ブランケット燃料要素数/集合体	19
炉心燃料装荷量		炉心高さ	60 cm
PuO_2	163 kg	炉心等価直径	約 73 cm
UO_2	740 kg	ブランケット厚さ(半径方向) 約 33 cm	
炉心中性子束 (平均)		4. 炉 体	
$1.1 \times 10^{15} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$		炉容器形式	2 重壁方式
増殖比	1.01	炉容器内径(上部)	約 3.9 m
最大熱焼度	25,000 MWD/T	炉容器全高	9.89 m
2. 熱特性		回転プラグ	2 重回転プラグ方式
原子炉熱出力(第 1 期)	50 MW	5. 冷却系	
出力密度(炉心部; 平均)		冷却回路数	2
	202 kW/l	主循環ポンプ基数(1 次冷却系)	
冷却材流量(1 次冷却材)	2,200 t/h		1/回路
炉心部流量	450 kg/s	2 次冷却系循環ポンプ基数	1/回路
原子炉入口温度	370 °C	主中間熱交換器基数	1/回路
原子炉出口温度	435 °C	主冷却器(空冷式)基数	2/回路
燃料体最高温度(定格)	1,570 °C	冷却材流量(1 次系, 2 次系)	
被覆管温度(最大)	560 °C		1086.5 t/h
燃料要素単位長出力(最大)		冷却材量	1 次/2 次
	235 W/cm		137.7 m ³ /77.6 m ³
3. 炉 心		主中間熱交換器冷却材温度	
炉心燃料集合体数	67	1 次入口/出口	435°C/370°C
ブランケット燃料集合体数(半径方向)	191	2 次入口/出口	355°C/420°C
反射体(SUS-27) 数	48	6. 格納容器	
制御棒数 調整棒	2	形 式	半 2 重格納方式
安全棒	4	全 高	54.3 m
中性子源	1	内 径	28 m

媒体が金属であることによって、その熱特性に優れ、したがってこれをいれた発電プラントにおいては、その蒸気条件は火力発電にのみ以上となしうることが分かっている。この利点と燃料の増殖性とは、現在の実用炉である軽水炉(熱中性子炉)と液体金属冷却形高速炉との大きな違いである。

3. 「常陽」電気・計装設備の特長

3.1 所内電気系統

「常陽」の電気系統を図 3. に示す。基本的には、非常電源系と、一般電源系の 2 系統で構成される。

非常電源系は、原子炉保護系統、原子炉格納容器隔離系統、工学的安全(防護)系統(補助冷却系)並びにその他非常用機器系統に供給する電源系統である。この系統電源には、(1) 単一故障においても、機器の作動に支障ないこと、(2) 冗長性と独立性を備えていること、が要求されている。

一般電源系は、通常運転を行う系統設備に供給する電源系統である。

各系統の母線は、母線故障時に原子炉保護機能が喪失しないよう、2 母線に分割して負荷を分散している。また非常電源系には、非常用ジーゼル発電機を設けて、外部電源喪失に備え、かつ安定確実な電

源を必要とするものに対しては、蓄電池による直流無停電系及び交流無停電系をも備えている。

3.2 プラント制御

(1) 原子炉制御保護設備

「常陽」の原子炉制御保護設備に関連する安全動作項目は、原子炉格納容器を隔離するアイソレーション信号、原子炉を急速に停止する原子炉スクラム信号及び原子炉出力を減少させる原子炉調整棒一斉そう入信号の 3 項目にわけられる。その構成は次のとおりである。

(a) アイソレーション信号

i) 格納容器内温度及び圧力高

ii) 格納容器内放射能レベル高

(b) 原子炉スクラム信号

i) 起動系及び中間系中性子高

ii) 起動系及び中間系ペリオド短

iii) 1 次冷却材流量低

iv) 炉容器 Na 液面低

v) 1 次主循環ポンプトリップ

vi) 格納容器内温度、圧力及び放射能レベル高

vii) 電源喪失

viii) 地震水平方向震度 150 gal 以上

(c) 原子炉調整棒一斉そう入信号

i) 炉容器出口及び入口冷却材温度高

ii) 炉容器 Na 液面高

iii) 2 次冷却材流量低

iv) オーバフローポンプトリップ

v) 2 次主冷却系循環ポンプトリップ

これらの信号は、2 out of 3 あるいは 1 out of 3 の多重化を構成するとともに、プラント運転中に回路及び装置類が正常動作しているかを試験できるような回路構成となっている。

(2) 工学的安全(防護)施設

通常の主冷却系による炉心冷却が不可能になった場合に作動すべき、炉心溶融防止設備(補助冷却系設備)及び核分裂生成物放散防止用格納施設などである。この系統施設は、高い信頼性、十分な多重性及び独立性を備えており、運転中又は停止時にその機能確認、試験及び検査が行えるようになっている。

3.3 耐震設計

原子炉保護系、格納容器隔離系、工学的安全(防護)系及びその他非常系機器類に対しては、その機能確保のため、耐震、ミサイル防護及び防火など、機器配置上の考慮も含めて万全の対策が構じられているが、ここでは特に耐震設計について概略説明する。

原子炉建屋、原子炉付属建屋及び主冷却機建屋は、耐震 A クラスで、これらの建屋に設置される非常系機器も耐震 A クラスとして以下の基準によって設計施行されている。

(1) 設計水平震度

設計水平震度は、建物基礎底面に加えられる設計地震波に対し、機器と建物とからなる連成系の動的解析結果から求められる水平方向震度の 1.2 倍及び建築基準法・建設省告示第 1074 号からきまる震度 3.6 Co とを比較して、大きいほうを採用する。動的解析に用いる設計地震は、原子炉建屋及び原子炉付属建屋にて 150 gal、主冷却機建屋で 180 gal である。

(2) 設計垂直震度

設計垂直震度は、高さに関せず一定とし、それぞれの建屋の基礎底

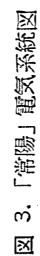


圖 3. 「常陽」電氣系統圖

面における設計水平震度の1/2を下回らない値とする。

また、垂直及び水平方向の地震力は、同時にかつ不利な方向に作用するものとする。

例えば、中央制御室設置の盤は耐震Aクラスであり、水平方向で0.875g、垂直方向で0.32gの震度に耐えるような構造としている。

3.4 Na火災対策

火災対策としては、各機器にできるだけ不燃及び難燃材を用いることはもちろんであるが、Na冷却形高速炉の場合は、特に高温Naの漏えい(洩)による火災を考慮しなければならない。高温Naが空気中に漏えいすると、酸素及び水と激しく反応し、白煙を発生して急速に燃焼する性質がある。この対策として、Naと接触の可能性のある室はすべてその壁面を鋼板でライニングをしている。原子炉格納容器内においては、Naの外部漏えい防止のため1次冷却系の機器及び配管類は2重壁(2重管)構造とし、その間げき(隙)には窒素ガスを通してあり、更に機器室内をも窒素ガスふんい気として、万一の漏えいにおいても空気との接触を防止するよう考慮している。

消火法としては密閉窒息消火を適用して、室の密閉率を高めるとともに、火災波及防止の意味からも、各室は小さく仕切ることとしている。

4. 2次主冷却系循環ポンプ駆動装置

2次主冷却系は、1次主冷却系・中間熱交換器を介して伝熱される原子炉の熱を主空気冷却器で大気中に放散する系統であり、1次主冷却系に合わせて2回路からなる。冷却材のNaを循環するポンプ及びその駆動電動機の仕様は表2.に示すとおりである。

駆動電動機的设计・製作にあたっては、最重要機器という認識のもとに、品質管理に万全を期するとともに、下記のような考慮を払った。図4.に駆動電動機の外観を示す。

- (1) 絶縁には巻線後、コイル、つなぎ線、口出線を一体化して絶縁処理を行う当社独自のダイエポキシ絶縁を採用した。
- (2) 速度制御を行うので低速域での冷却効果の低下を補うため、磁束密度、電流密度を低く抑さえ、発生損失を小さくするとともに、合理的な冷却構造を採用して、温度的に余裕のある設計とした。
- (3) 上部軸受の上部に、スリップリングと速度計測用回転計発電機が付属されて軸長が長くなるため、軸の剛性と回転子のバランスには特に注意を払い、振動を極力抑さえるようにした。

ポンプの回転数制御は、この電動機の2次抵抗(金属抵抗器)を、カム形制御器によって切換えることによって行う。切換タッポの選定操作は中央制御室2次冷却系制御盤の操作開閉器により行う。

表 2. 2次主冷却系循環ポンプ及び駆動電動機仕様

ポンプ		電 圧	3,000 V
形 式	立 形 1 段自由液面式	周波数	50 Hz
	遠心ポンプ	回転子形式	巻線形
定格吐出量	1085.6 t/h	外被形式	防滴保護形
定格揚程	35 m Na(340℃)	絶縁種別	B 種
定格回転数	975 rpm	回転数制御	2 次抵抗制御
駆動電動機		切換タッポ	
形 式	立形誘導電動機		100~86% 間 2 % ごと
出 力	180 kW		70%, 50%
極 数	6 P		

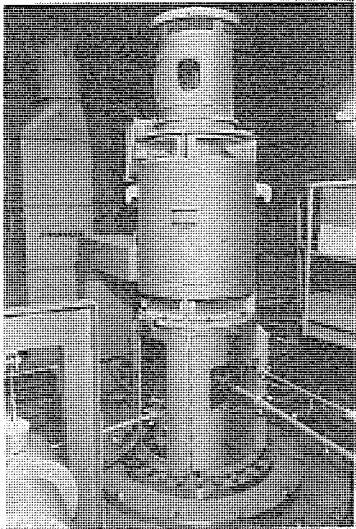


図 4. 2 次主循環ポンプ駆動電動機

5. 2次補助冷却系循環ポンプ

2次補助冷却系は、原子炉非常停止時に、炉停止後の余熱を1次補助冷却系より補助中間熱交換器を通して受け入れ、補助空気冷却器により大気中に放散させる系統で、循環ポンプはその主要構成部分をなすものである。

定格運転時における系統のNa流量は、56.5 t/h (340℃)であり、冷却容量は2.6MWの能力を有する。

5.1 仕様・性能

2次補助冷却系循環ポンプは、工学的安全(防護系)施設としての高信頼性を確保するため、比較的大流量に対して高性能を有する誘導形電磁ポンプ(Linear Induction Pump : LIP)を採用した。これはダクト上・下の両側式リニアモータ(固定子)により、ダクト内部の液体金属Naに電磁的な駆動力を与え、圧力を生じさせるものである。表3.に仕様、図5.に外観、図6.に性能曲線を示す。

5.2 特 長

通常の電磁機器とは異なり高温・高圧の電磁流体を取扱うため、設計に際しては下記事項につき詳細な検討及び実験による確認を行っている。

- (1) 耐震設計 応答スペクトル法による動的解析及び静的解析を行い、耐震Aクラスの条件を満足することを確認した。
- (2) ダクト応力解析 ポンプダクトの板厚はポンプの性能及び信頼性に大きな影響があるため、内圧・地震力・配管応力などを総合的に考慮し、有限要素法による応力解析及びASME Section IIIによる

表 3. 2次補助循環ポンプ(LIP)の仕様

形 式		ポンプダクト	
保護方式	他力管通風屋内形	設計圧力	8.5 kg/cm ² ~ 1 kg/cm ²
入力容量	130 kVA	設計温度	400 °C
	(3φ 50 Hz 400 V)	管内径	3 B Sch 20 S
制御方式	電圧制御	材 質	SUS 316
絶縁種別	H種	駆動流体 溶融金属 Na	
運転温度	340 °C		
定格流量	56.5 t/h		
定格吐出圧力	4 kg/cm ²		
流量制御	10~100%		
予熱方式	誘導及び電気ヒータ		

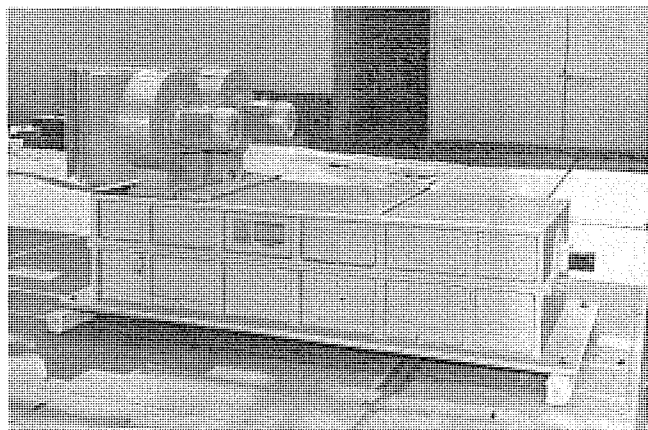


図 5. 2次補助循環ポンプ (LIP)

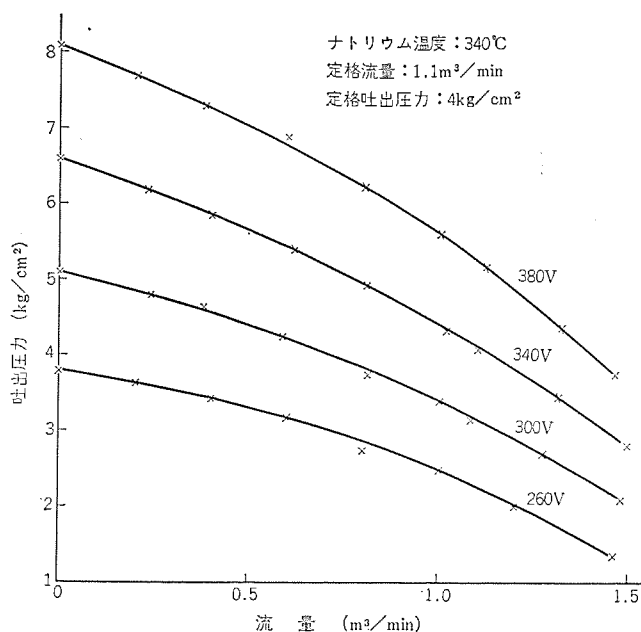


図 6. リニアインダクションポンプの吐出圧力-流量特性

応力評価を行った。

(3) 熱絶縁設計 工学的安全(防護系)施設としての信頼性の向上のため、ダクトより固定子への熱移動が最小となるよう設計し、冷却ファン故障時にもある程度の定格運転が可能とした。

(4) 通風路の自動切換 図 5. にみるごとく冷却ファンは予備を含めて 2 台装備しているが、通風路の切換えには風圧による自動切換装置を採用した。

(5) ダクト温度 設計温度以上に高い内圧がかかるのを避けるため、400℃を越えた場合、電源断となるようにした。

(6) Na 漏えい検出器 万一のダクト破損による Na 漏えいに備え、通電式 Na 漏えい検出器(後述)を装備するとともに、外部流出防止のためフレームは密閉構造となっている。

6. 予熱制御装置

2 次冷却系の配管及び機器類は、Na の凝固を防ぐため電気ヒータにより予熱を行っている。この装置は、予熱箇所の温度を設定値に保つため電熱ヒータのオン・オフ制御を行うとともに、予熱温度が設定温度を越えた場合は警報を発するものである。

この装置は、2 次主冷却系の A・B 各ループ及び 2 次補助冷却系に 1 台ずつ使用されている。制御点数は各ループにより異なっているが、各制御点は数点又は数十点ずつのブロックに分けられて制御さ

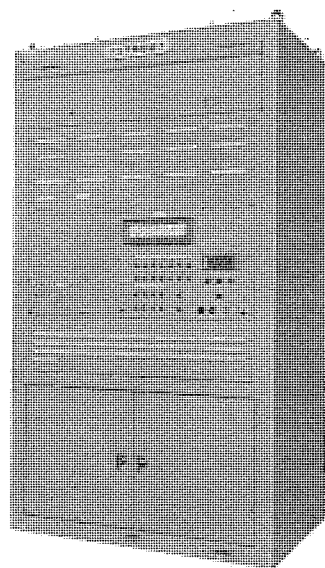


図 7. 予熱制御盤

表 4. 予熱制御盤仕様

制御方式	ゾーン制御方式	
制御点数	2 次主冷却系 A ループ用予熱制御盤	156 点 11 ブロック
及びブロック数	2 次主冷却系 B ループ用予熱制御盤	171 点 12 ブロック
	2 次補助冷却系用予熱制御盤	81 点 5 ブロック
走査速度	1 秒/1 点及び 3 秒/1 点	
温度検出器	クロメルアルメル熱電対	
制御温度	設定範囲(上限・下限とも)	120~400℃
	設定精度	±10℃以下
警報温度	設定範囲(上限・下限とも)	50~600℃
	設定精度	±10℃以下
温度計測	計測範囲	0~600℃
	計測精度	±0.5%
電源	110 V AC 50 Hz 単相	

れる(表 4.)。各制御点を 1 秒又は 3 秒の速さで走査して温度を計測し、ブロック別に設定温度に保つようヒータのオン・オフ制御信号を出す。この信号によりヒータ用電磁接触器が開閉する。装置(予熱制御盤)の外観を図 7. に示す。

温度制御方式にはゾーン制御方式を採用したが、この方式は、制御の上・下限温度をおのおの別々に設定し、制御点の温度を常にこのゾーン内に保つよう制御するものである。制御の上・下限温度はブロックごとに設定し、警報の上・下限温度は全点共通に設定する。

6.1 仕様

概略仕様を表 4. に示す。

6.2 構成と動作の概要

ブロック図を図 8. に示し、以下にその動作の概要を示す。

(1) スキャナ 熱電対の熱起電力スキャナに入力される。スキャナは、この入力を順次切換えて比較回路へ送りだすとともに、出力リレー部と警報リレー部のリレーを、入力と同期して逐次切換える切換器であり、切換素子にはワイヤスプリングリレーを用い、切換速度は 1 点 1 秒と 3 秒の 2 とおりを選択することができる。タイミングの基準時間用クロックには商用周波数(50 Hz)をカウンタにより分周して用いている。

(2) 比較回路 比較回路は、制御上・下限温度検出用おのおの及び警報上・下限温度検出用おのおのに、1 回路ずつ設けており、熱電対の起電力と基準電圧とを比較する。信頼性を高めるため、走

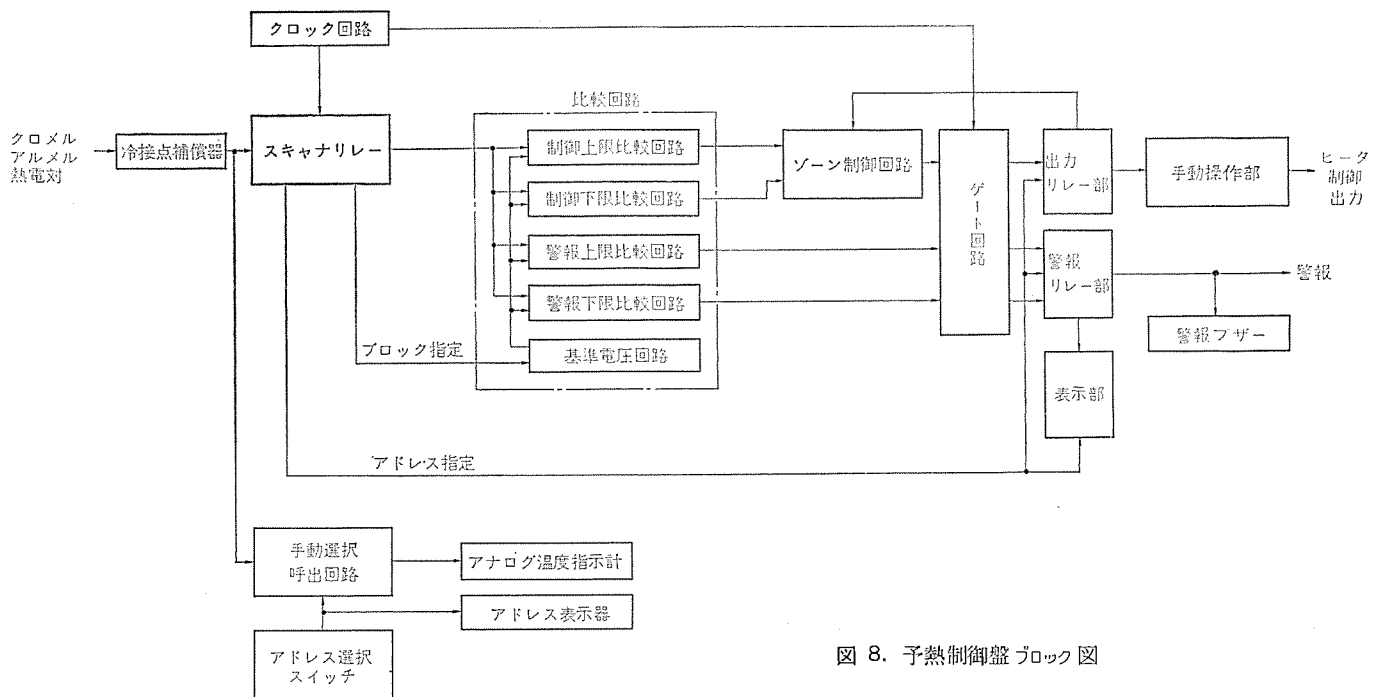


図 8. 予熱制御盤 ブロック図

査 1 サイクルごとに、各比較回路にチェック信号を入れて比較回路の自己チェックを行い、故障の場合は直ちに警報を発する。

(3) ゾーン制御回路 出力リレー部と合わせてフリップフロップ回路を構成しており、比較回路の出力と出力リレー部に記憶されている 1 サイクル前の出力との比較により、制御点の温度が上昇か下降かを判別し、ヒータのオン・オフを決定する。

(4) ゲート回路 ゲート回路は、クロック回路からの信号によって開くもので、比較回路に入力が接続され、回路が安定な状態になったとき開くようタイミングを定める回路である。

(5) 出力リレー部 ゾーン制御回路の出力を受け、制御点温度が上限に向かって上昇している場合は、ヒータをオンにし、下限に向かって下降している場合は、ヒータをオフにする信号を出す。この動作は、次の 1 サイクル後まで記憶保持される。

(6) 手動操作回路 装置に故障が生じ自動操作が不可能なとき、手動スイッチによりヒータを各アドレス（制御点の）ごとにオン・オフ操作をすることができる。

(7) 警報リレー部 制御点温度が、上・下限設定器の限界を越えた場合、表示ランプを点灯すると同時に警報を発する。

(8) 表示部 アドレス表示灯及び温度上・下限警報表示灯が 1 組となり、各アドレスごとに設けられている。

(9) 手動選択呼出回路 アドレス選択スイッチにより、呼出リレー（ワイヤスプリングリレー）が働き、測定温度入力をアナログ指示計に接続するとともに、呼出したアドレスを表示器に示すものである。

7. Na 漏えい検出装置

Na 漏えい検出器に要求される仕様は、ごく少量の漏えいをするだけ早期に確実に見いだす事とされるため、配管・機器用に通電式を、空気冷却器用には煙式をとそれぞれ最適の方式を採用している。いずれも検出器よりの信号は中央制御室設置の Na 漏えい警報盤に伝達され、漏えい事故発生場所がランプで表示される。

7.1 通電式漏えい検出器

この原理は極めて簡単である。電圧の印加された検出器の電極間が、

漏えい Na によって電氣的に短絡されることを検出するものである。原理は簡単だが、適用すべき検出器には極めて高い信頼性が要求されることから、その設計・製作に当たっては次の点に留意した。

(1) 2 次冷却系ホットレグ温度は最高 470℃ であるため、最高使用温度を 500℃ とした。

(2) 空気中に漏えいした Na の表面は直ちに酸化膜に覆われみかけ上表面張力が大となって、小さいすき間などには入りにくくなる。そのため検出器の電極は十分に露出させなければならない。

(3) 漏えい量が微少の場合及び漏えいした Na が燃焼した場合は、酸化物の生成のため流動性が悪くなる。したがって限られた数の検出器で、配管のどの位置に漏えいが生じてもそれを確実に検出するためには、検出器の電極部分の長いことが必要である。

(4) 検出器の電極が空気中での加熱によって酸化されると、検出特性が劣化するので、電極には耐酸化性金属を使用する。

検出器の概略構造を図 9. に示すが、このような構造の検出器の特長は次のとおりである。

(1) 長尺検出器が可能であり、長さを自由に換えられる。

(2) 可とう（撓）性に富むため、配管湾曲部への取付けが容易である。

(3) 長尺物にしても絶縁耐湿性の低下が少ない。

この検出器による作動特性試験として、模擬配管に検出器を取付け、漏えい率・温度・配管こう（勾）配及び配管長を変えた種々の条件で Na を漏えいさせて試験を行い、良好な結果を得ている。

上記の検出器は、配管用及び機器用として用いているが、配管用としては、有効長 3 m を基準として 2 m ないし 7 m の間隔をおいて設置している。機器用は機器に応じて長さを決めている。

通電式漏えい検出器としては、以上のほか、弁用及び主中間熱交換器用として使用するものがある。これは配管用となり、漏えい Na により 1 点接地する方式で、従来形のものであるが、材料・構造とも信頼性の高いものとして設計・製作している。

通電式漏えい検出器の設置数量は配管用形 174 点、弁用形 32 点であり、これらを約 10 点ごとにまとめて 1 ブロックとし、計 35 ブロ

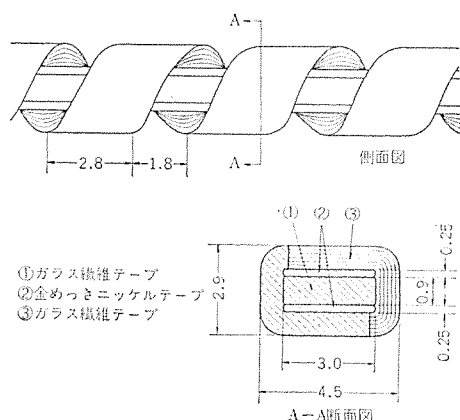


図 9. 配管用通電式漏えい検出器

ックの警報回路を構成するようにしている。

7.2 煙式漏えい検出器

主空気冷却器のダクト内には 250℃ の熱風が通っているため、ダクト内で配管の破損により Na が漏えいすれば、直ちに Na_2O ミストになり白煙を発生する。しかし白煙の発生部は高温のため、イオン式などの煙検出器は使用できないので、光学式煙検出方式を採用した。構成は投光器、受光器、演算回路及び電源より成り、投・受光器はダクトに、演算回路と電源は現場制御盤に収納している。

投受光器の設置場所、長時間の連続使用、外部光の影響、経年変化などによる誤動作を考慮し、設計に下記の事柄を留意した。

- (1) Na 煙に対する感度を上げるため短波長の光源を用いる。
- (2) 連続使用に際して生じる窓のほこりによる光の減衰では動作せず、煙の通過による光量の時間的に急激な変化にのみ動作する。
- (3) 外部光の影響を除くため、投光器光源は直流に高周波分を重畳させ、検出には高周波だけを位相検波する方法を採用する。
- (4) 光量変化を 1% 生ずる煙濃度のある場合は、確実に検出器は動作し、警報を発する。
- (5) 投受光器はダクトの振動が伝わらぬように天井より固定し、内部に熱風が入らぬよう石英ガラス窓を設ける。このガラス窓は任意に取りはずせ、表面のほこりが簡単に掃除できる。
- (6) 人為的に光量を 1 及び 10% 変化させ回路チェックを行える構成にする。

これらの考慮を払った上で製作した検出器は、模擬ダクトを用いて検出感度試験を行い、0.1g の Na の発煙にも十分動作することを確認した。ガラス窓の曇りは光の透過率が約 50% になるぐらいまで放置しても、動作には差支えないことも確認している。

取付台数は、空気冷却器の各ダクト 1 本につき 2 組である。

8. 制 御 盤

2 次冷却系設備の制御盤としては、下記のようなものがある。

8.1 中央制御室設置盤

(1) 2 次冷却系制御盤

耐震 A クラスのベンチ形盤で、2 次冷却系プロセス信号のうち、原子炉の出力運転に必要な信号の監視及び 2 次冷却系主要機器の操作を行うものである。図 10. にこの制御盤の外観を示す。

(2) 2 次冷却系補助継電器盤

耐震 A クラスの直立形盤で、2 次冷却系プロセス信号のうち、原子炉

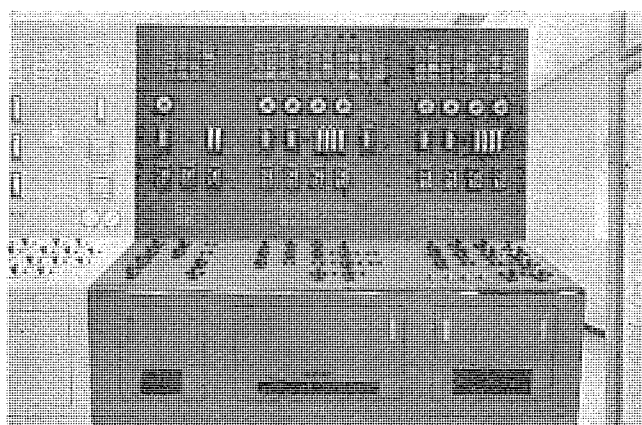


図 10. 2 次冷却系中央制御盤

出力運転に必要な信号の変換器、増幅器、アイソレータ及び補助継電器類を収納し、制御を行うものである。

(3) 2 次冷却系 Na 漏えい警報盤

耐震 A クラスの直立形盤で、2 次冷却系の Na 機器及び配管に取付けた前述の Na 漏えい検出器の信号を受けて、警報を発し、漏えいの発生場所を表示するものである。

8.2 主冷却機建屋電気室設置盤

(1) 2 次冷却系現場制御盤

2 次冷却系 Na の純化を行う純化系及び 2 次冷系内に必要な Na の受入れ、充てん、ドレンを行う充てんドレン系のプロセス信号の監視及び機器の操作を行うものである。

(2) 2 次主冷却系循環ポンプ制御盤

前述の 2 次主冷却系循環ポンプ駆動電動機の回転数切換装置を収納したものである。

(3) 2 次冷却 Na 純化系ポンプ制御盤

2 次冷却系タンク内にある Na を、2 次冷却系系統内にくみ上げるポンプ（ファラデー形電磁ポンプ）の流量制御装置を収納したものである。

(4) 2 次主冷却系予熱制御盤

前述の予熱制御装置を収納したもので、A・B 各 1 面である。

8.3 原子炉付属建屋設置盤

(1) 2 次補助冷却系現場制御盤

耐震 A クラスの直立形盤で、2 次補助冷却系のプロセス信号の監視及び制御を行うものである。

(2) 2 次補助冷却系循環ポンプ制御盤

耐震 A クラスの直立形盤で、前述の 2 次補助冷却系循環ポンプ（誘導形電磁ポンプ）の流量制御装置を収納したものである。

(3) 2 次補助冷却系予熱制御盤

前述の予熱制御装置を収納したものである。

9. む す び

高速実験炉「常陽」の 2 次冷却系統設備のうち、電気・計装設備について、その主要なものについて概要を述べた。

この電気・計装設備の設計製作にあたっては、動力炉・核燃料開発事業団の実験炉建設部の方々に、種々の御指導をいただきましたことをここに記し、深甚の謝意を表する次第である。



特許と新案

二段圧縮冷凍装置 (特許 第659087号)

発明者 菊池 照弘

この発明は、低段側吐出ガスの冷却装置を受液器内に収納した二段圧縮冷凍装置に関し、その目的とするところは、低段側吐出ガスの冷却及び受液器内に溜っている冷媒液の冷却を同時に行うことにより、冷凍装置の効率を高め、かつ、装置全体を小型かつ簡便化せんとすることにある。

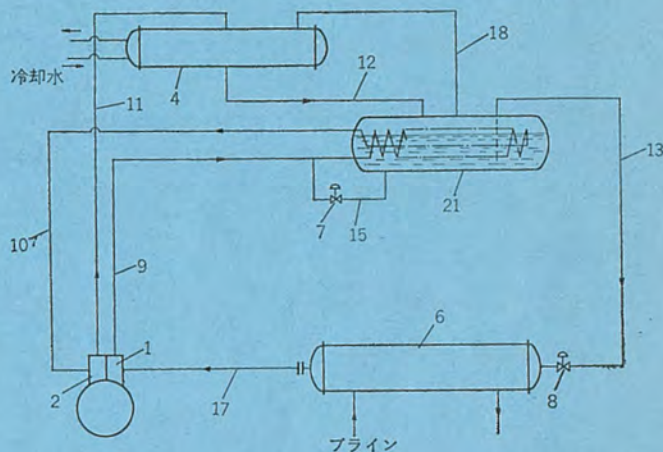
図について説明すると、低段圧縮機(1)を出た冷媒ガスは配管(9)を経て冷却式受液器(21)の胴体内の熱交換コイルに流入する。そして、受液器(21)の胴体内より、配管(15)を経て膨脹弁(7)にて減圧された冷媒は一部ガス状となって配管(9)を通る冷媒ガスと合流する。そして、低段吐出冷媒ガスと膨脹弁(7)を通った冷媒との混合冷媒は受液器(21)の胴体内の熱交換コイルを通過する。

この熱交換コイル内では低段吐出の過熱ガス、膨脹弁(7)の通過時に発生した飽和ガスおよび冷媒液が混和し、低段吐出ガスを冷却し、更に胴体内の冷媒液と熱交換してこれを冷却する。そして、コイル内で十分乾き飽和蒸気となって受液器(21)を出て配管(10)を通り、高段圧縮機(2)に吸入される。

次に、高段圧縮機(2)から吐出された冷媒ガスは配管(11)、凝縮器(4)、配管(12)を経て冷却式受液器(21)内に流入する。この受液

器(21)に溜った液は配管(9)(10)に連通する熱交換コイルで過冷却され、その一部は配管(15)を通り配管(9)への吹込み液として用いられ、他の大部分は配管(13)を経て膨脹弁(8)で減圧され、蒸発器(6)にいたり、ここで蒸発し、配管(17)を経て低段圧縮機にもどる。

この発明によれば、従来の二段圧縮冷凍装置の機器である中間冷却器と受液器とを統合体化しているの、コンパクトになる。



非常ブレーキ装置 (実用新案 第969815号)

考案者 武谷 勝次・国友善雄

この考案は、巻上機や電動ホイスなどの非常ブレーキ装置の改良に関するものである。巻上機やホイスにおいては、安全性を考えて巻下速度を押える必要があり、このため従来はメカニカルブレーキを用いているが、これは巻下時に絶えず動作するので、摩擦による発熱を生じ、このため熱放散及び潤滑油の汚染を考慮した構造にする必要があり、構造が複雑で保守点検が不便となる欠点がある。この考案はこのような欠点をなくすことを目的とする。

図1.及び図2.において、今なんらかの原因で電動機の巻下速度が定格以上に増加すると、オモリ(19)に作用する遠心力が大きくなり、ばね(26)の引張力に打ち勝ってオモリ(19)が外側に開き、その先端がレバー(34)の先端の側面に衝突する。このため、レバー(34)はこの原理でX、Y点を支点として傾斜し、相対向する2個のブレーキシュー(27)(28)を矢印方向に押し開くので、制動力が発生する。オモリの先端がレバー(34)の先端に引っかかったままであるので、ブレーキシュー(27)(28)も回転軸(1)と一緒に回転し、モータ軸は制動される。

この考案によれば、過速回転による遠心力を利用して制動力を発生させているので、従来のように巻下時に絶えず動作するようなことはない利点がある。

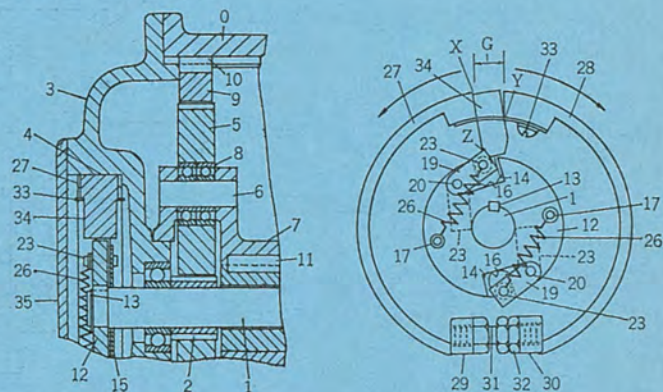


図1

図2

ステップモータ駆動装置 (特許第661587号)

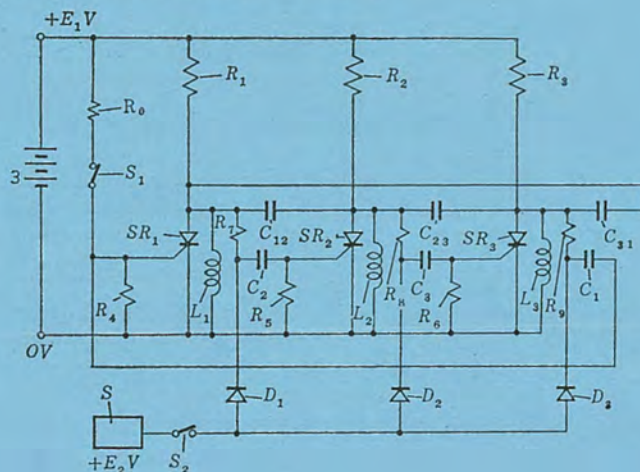
発明者 佐藤 安 俊

この発明は、ステップモータを2相励磁方式にて駆動する駆動装置の改良に関するものである。

図において、まず、スイッチ S_1 を投入してサイリスタ SR_1 にゲート信号を与えると、このサイリスタ SR_1 はオンとなり、ステップモータの励磁コイル L_1 は短絡されて消勢され、 L_2 と L_3 とが励磁される。次に、スイッチ S_2 を短時間投入すると、サイリスタ SR_2 が点弧されてオンとなり、このため、コンデンサ C_{12} の電荷が SR_1 の逆方向に放電するので SR_1 はオフとなり、また SR_3 もオフを維持する。よってステップモータの励磁コイルは L_3 と L_1 が励磁される。その後、スイッチ S_2 を短時間投入すると、サイリスタ SR_3 のみがオンとなって、励磁コイル L_1 と L_2 が励磁される。

この発明によれば、サイリスタを用いて3段リングカウンタを構成しているので、トランジスタ式のものに比べて大容量のステップモータを駆動でき、また、2相励磁式であっても、オンしているサイリスタは1

個であるので、誤動作することがない。



弁 操 作 機 構 (実用新案第974241号)

考案者 中野 大典・深川 吉 則

この考案は、常時は電動機や油圧駆動体によって自動操作し、停電時あるいは調整時などにおいては手動操作するようにした弁操作機構の改良に関するものである。

図1. において、電動機を起動すれば、ウーム(6)を介してウームホイール(4)が回転する。したがって、ウームホイール(4)と一体のピン(5)がクラッチ(8)の突起(10)と係合するので、クラッチ(8)は回転し、出力軸(2)にキー(7)を介して回転力が伝達される。次に、たとえば停電時にハンドル(12)の操作によって出力軸(2)を駆動する場合は、操作レバー(22)を時計方向に回す。その結果、図2. に示すように、突起(11)がハンドル(12)の突起(14)とかみ合い、また、保持用カム(24)が切換レバー(17)の下側に入り込み、この位置に切換レバー(17)を保持する。よって、ハンドル(12)を回すことにより、出力軸(2)が回転する。

次に、出力軸(2)を再び電動機によって駆動する場合は、単に電動機を起動するだけでよい。すなわち、図2の状態では電動機を起動すると、ウーム(6)およびウームホイール(4)を介してピン(5)が回転する。したがって、ピン(5)が保持用カム(24)と衝突してこれをひねりばねに抗して押しのけるの

で、クラッチ(8)はばね(15)の押圧によって図1の状態にもどされる。この状態で、ピン(5)が突起(10)と衝撃的に係合するから、出力軸(2)は大きい負荷が加わっていてもなめらかに起動される。

この考案によれば、クラッチ(8)を復帰させるピン(5)によって出力軸(2)に衝撃を与えるようにしているので、クラッチ復帰用ピンと出力軸に衝撃を与えるピンとを別個に設けている従来のものに比べて構造が簡単である。

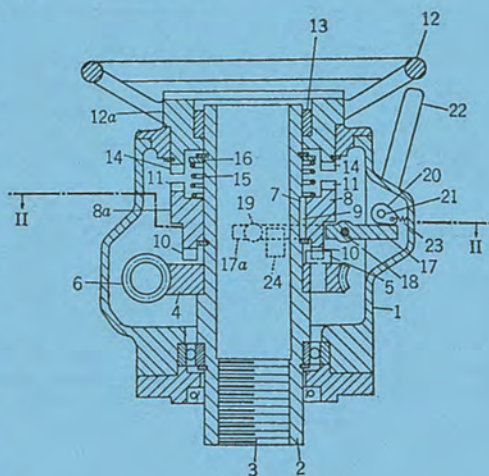


図1

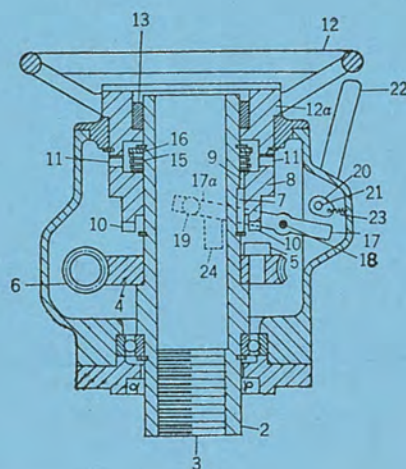


図2

FD-210S形超音波探傷器

大貫 益夫*・佐藤 春治*

1. ま え が き

溶接技術や高層建築技術の進歩により50万トン級タンカや巨大な高層建築物、橋梁などが次々と出現するようになったのはつい最近のことであるが、一方これらの安全性についての認識も高まりつつある。このような社会的背景を契機として超音波による非破壊検査が見直され、またその必要性及び重要性が一般的に認識されつつあることは事実である。その一つとして規格面での見直しや新しい検査規格の立案、検討などが日本非破壊検査協会(NDI)を中心に活発に行われ、既にJIS-Z-2344(パルス反射法による超音波探傷試験法)の改訂、及び追加、JIS-Z-0801(圧力容器用鋼板の超音波探傷検査)の成案審議、NDIS-2404(鋼構造物溶接部の超音波斜角探傷試験方法及び等級分類)の改訂などが行われている。また使用面では日本海事協会が超音波検査をX線検査と同等に評価し、これを並列に採用するなどますます重要性を増しつつあり、昨今では工業生産活動における品質管理になくてはならぬものになってきている。我が国産業界のこのような動きに対応して探傷器メカとしてもこれに答えるべく日夜努力を続けているわけであるが、一方外国からの売込みもますます活発化されつつあるこの頃である。FD 210 S 形探傷器は、これら社会的市場状況をふまえて使用者により簡単にかつより適確に超音波探傷試験データが得られる装置を提供しようとする当社技術陣が生んだ、最新鋭高級ポータブル形超音波探傷器である。

2. 特 長

FD-210S形超音波探傷器(以下FD-210Sという)はこれまで最も多く生産し、技術的にも高い評価を得ているFD-210形ポータブル探傷器の基本的性能を生かしつつ、更に性能を改善するとともに新しい機能を追加するなど高級ポータブル探傷器として多くの特長を具備しており、主なるものを挙げれば次のとおりである。

(1) 距離振幅補償機能(DAC機能)

超音波が被検材中を通過する距離に対応して減衰し、欠陥エコーレベルが低下するのを補正し、距離に関係なく欠陥評価を可能にする機能を有している。この補正は距離によるエコーの減衰量をスロー調整用精密マルチダイヤルで設定することにより容易に行うことができる。

(2) 試験検査結果の記録が容易

(a) A スコープ記憶出力

ブラウン管Aスコープ表示と全く同一波形をペン書きレコーダで容易に記録できるAスコープ記憶出力を有しており、従来のめんどろで時間のかかる写真撮影は全く不要となり、検査データの必要な探傷に最適である。

(b) ゲートアナログ出力

ゲート内のエコーレベルの最高値をペン書きレコーダを用いて連続的に記録できる出力を有しており、半自動又は自動探傷に最適といえる。

(3) リニアリジェクション

リジェクションは一般に超音波雑音やスプリアスエコーを除去するためのものであるが、通常のリジェクションではエコー高さに関する直線性が失われるが本器においては新技術の適用によりJIS 2級(8%)以上の直線性が保証される。

(4) 高輝度高精密ブラウン管

ブラウン管の加速電圧を高くしているため2倍以上(当社製品比)の明るさとなっている。また内面ひずみの非常に小さい精密形120mm角形ブラウン管を使用し、時間軸(横軸)50等分、縦軸10等分しているので精密測定が可能である。

(5) 良好な操作性

被検査物の材質に応じて超音波音速を設定する直読式精密音速ダイヤルを有しているため、試験片による時間軸の調整が不要である。一方、主要なダイヤルはすべて前面パネルに配置しており、取扱いが容易である。またダイヤルはすべてロック式精密多回転形又はステップ式のものを使用しているため再現性の点ですぐれ、また使用中や運搬中にダイヤルが回るようなことはなく、良好な操作性を具備している。

(6) 2電源方式と自動電源シャ断方式

専用バッテリーを内蔵したバッテリーパックと商用交流電源で動作するパワーパック(バッテリーチャージャ兼用)のどちらでも使用可能となっている。またバッテリーの出力電圧が一定値以下になると電源スイッチが自動的にシャ断して過放電による劣化を防止している。

(7) 高性能万能形

増幅器直線性1級、分解能A級、時間軸直線性1%以下という高性能と良好な安定性を有し、特に送信出力は高分解能から高感度まで4段階の設定が可能であり万能形となっている。

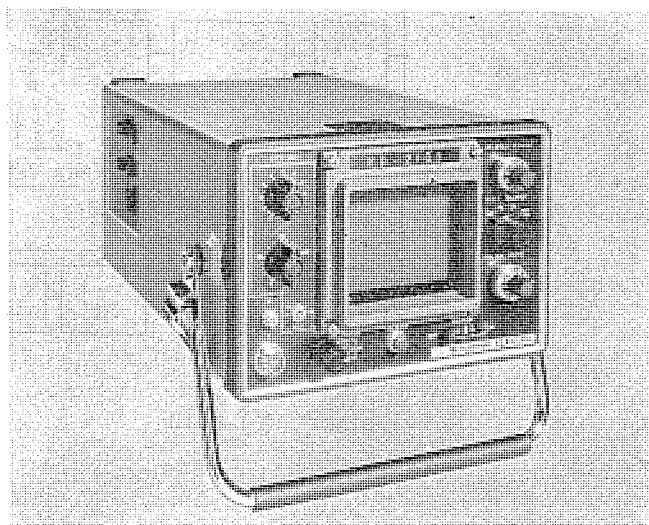


図 1. FD-210S形 超音波探傷器

3. 外觀

図 1. に FD-210 S 本体の外観を示す。

4. 主要性能

- (1) 総合感度……試験周波数 5 MHz の場合減衰器を 26 dB 低下させても STB-G-V 15-1 のエコー 高さは 50 % 以上
(COM-SEP=COM・W 2, REJ=OFF, 水晶 20 φ)
- (2) 遠距離分解能……2 MHz 以上 A 級, (JIS-Z-2344-1973)
- (3) 近距離分解能……試験周波数 5 MHz で銅板 6 mm 完全分離
- (4) 増幅直線性……1 級 (JIS-Z-2344-1973) (5 MHz 以下)
- (5) 表示方式……A スコープ DC 表示 (不飽和形)
- (6) ブラウン 管画面寸法……横軸約 70 mm, 縦軸約 60 mm, (120 mm 角形 ブラウン 管, 内面目盛)
- (7) 測定範囲……2.5 cm~4.5 m (フルスケール)
直読 レンジ 2.5, 10, 25, 100 cm の 4 段
- (8) 音速設定範囲……1.4~6.4 km/s
- (9) 試験周波数……1~10 MHz (探触子の交換のみ)
- (10) 利得調整範囲……総合 70 dB
20 dB×1+2 dB×20 ステップ+0.5 dB×20 ステップ
- (11) 時間軸の直線性……1 % 以下 (JIS-Z-2344-1973)
- (12) 電 源……直流 6 V (バッテリーパック 使用) 及び交流 100 V±10 %
50/60 Hz (チャージャ 兼用 パワーパック 使用)
- (13) 連続使用時間……約 8 時間 (標準 バッテリーパック, +20°C)
- (14) 探傷法……1 探法及び 2 探法
- (15) ゲート……1 チャンネル レベル は エコー 高さ 10~100 % の任意

の点に設定でき、起点は 0～500 mm まで可変できる。また範囲は 10 mm 以下～500 mm 以上可変できる。(鋼中縦波換算)

- (16) ゲートアナログ 出力……入力抵抗 2 k Ω 以下、感度約 2 V/cm 以上の記録器で記録できる。
- (17) A スコープ 記憶出力……前項に同じ
- (18) DAC SLOPE……約 0.5~3.5 dB/cm
- (19) くり返し周波数
- (a) TEST RANGE (2.5/10 cm)……約 400 Hz
- (b) TEST RANGE (25/100 cm)……約 200 Hz
- (20) 使用可能周囲温度……-5°C~+45°C
- (21) 外形寸法
- (a) FD-210 S 本体……約 220 (幅)×約 150 (高さ)×約 370 (奥行)
- (b) FDP-210 B 形 パワーパック……約 73 (幅)×約 127 (高さ)×約 135 (奥行)
- (c) FDB-210 B 形 バッテリーパック……約 73 (幅)×約 127 (高さ)×約 135 (奥行)
- (22) 重量
- (a) FD-210 S 本体……約 6.6 kg (バッテリーパック 込み)
- (b) FDP-210 B 形 チャージャ……約 1.2 kg
- (c) FDB-210 B 形 バッテリーパック……約 1.5 kg

5. 回路及び動作

図 2. に FD-210 S の電氣的系統図を示す。

以下各回路の動作について概略説明する。

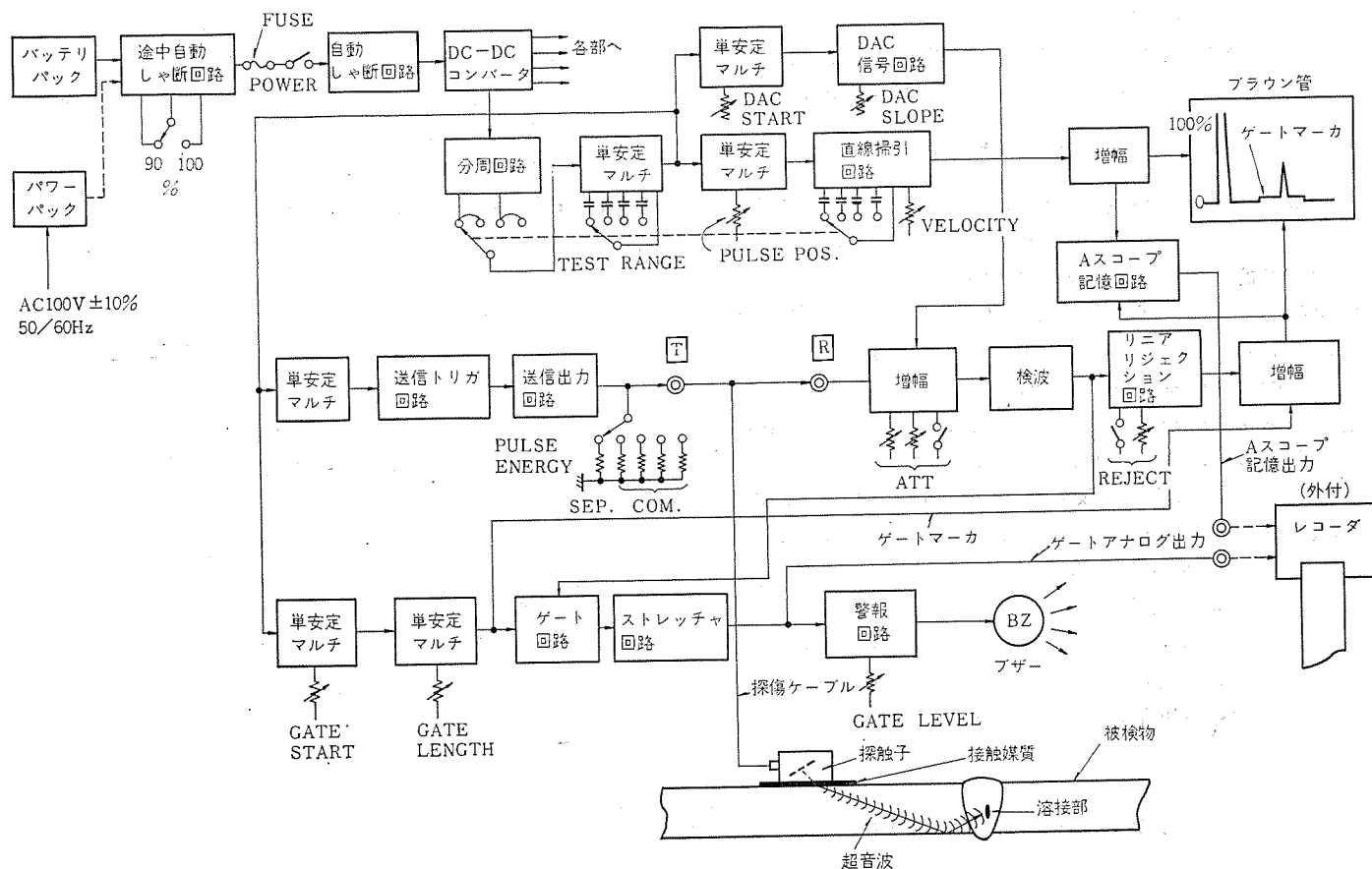


図 2. FD-210 S形 超音波探傷器 電気系統図

(1) パワーパック (バッテリーチャージャ 兼用)

FD-210 S を AC 100 V で使用するとき用いる。このパワーパックはバッテリーパックの専用充電器も兼ねており過充電防止回路を具備している。また、形状がバッテリーパックと全く同じであるから、FD-210 S 後部にそう (挿) 入することができる。バッテリーパックよりも軽いため FD-210 S を含めた全体重量もバッテリーパックで使用するときよりも軽くなる。

(2) バッテリーパック

6 V, 6 AH の密閉式鉛蓄電池を内蔵しており、充電は上記チャージャ (パワーパック) で行うことができる。寿命は充電回数で決まり 100 ~ 150 回程度である。

チャージャで完全充電すると、FD-210 S 本体の連続使用時間は 8 時間を保償している。また完全放電したものを完全充電する時間は 15 時間以内である。なお完全充電の表示はチャージャ前面の発光ダイオード 2 個により行われ、明確に確認できる。なおパワーパック、バッテリーパックとも FD-210 と共通に使用できる。

(3) 自動しゃ断回路

バッテリーパックにてか動中、その出力電圧が一定値以下になると POWER スイッチを自動的にしゃ断する回路である。したがってバッテリーパックの過放電を防止できるとともに本体の性能を一定にし誤った測定をしないなどの効果がある。

一方、“途中自動しゃ断回路”のスイッチを 90 % 側に設定しておくと、途中でいったん自動しゃ断回路が動作し、その後スイッチを 100 % 側に設定することにより更に約 1 時間使用でき再度自動しゃ断が行われる。このように使用可能時間 1 時間前に予知できるため作業時間のコントロールができる。

(4) 分周回路

超音波のくり返し周波数 (PRF) を決定する回路で、TEST RANGE スイッチ 切換えで変わり、残響が出にくいように PRF を決定している。

(5) 直線掃引回路

コンデンサと定電流放電回路により直線性良好なきょ (鋸) 歯状波を発生させ、これを増幅してブラウン管の時間軸を作っている。

ブラウン管を用いているパルス式超音波探傷器においては、時間軸の直線性は特に重要で、直線性が悪いと欠陥の位置を間違えて読みとったり、欠陥エコーでないエコーを欠陥エコーと判断する可能性がある。FD-210 S では 1 % を保償している。

(6) 送信回路

送信トリガ回路で検査周波数の半波長パルスが発生させ、それを送信出力回路で増幅して送信接せん (栓) [T] より出している。出力は探傷ケーブル (同軸コードを使用) を経由して探触子に接続される。

探触子内にはマッチングコイルが収容されており、送信部と探触子中の振動子間のマッチングをとるとともに、所定の検査周波数 (探触子から発生される超音波周波数) が得られるようマッチングコイルの仕様が決められている。

実際に発生される超音波波形は減衰振動となっており、そのパルス幅や波高値の違いによって被検材中への透過度に変化する。PULSE ENERGY スイッチはパルス幅や波高値を 4 段階に切換えることができ、1 探触子法 (COM) と 2 探触子法 (SEP) 間の切換えも兼ねている。

(7) 受信回路

増幅、検波、リジェクション回路より成り増幅回路の途中にアッテネータ (ATT) が入っている。

リジェクション回路としては国内初のリニアリジェクション方式を採用しており、その特長は次のとおりである。

リジェクションとはそもそもブラウン管上探傷図形を見るときに、被検物中の粒子間境界面からの雑エコーなど、レベルの低い雑エコーをブラウン管上に出さないようにし、探傷図形を見やすくするのが目的である。ところが従来のリジェクション方式では、上記目的は達せられるが、同時にエコー高さの直線性が失われてしまうため、エコーの高さをブラウン管縦軸の % 目盛でよみとって意味のないデータになってしまう欠点があった。FD-210 S で初めて採用されたリニアリジェクション方式ではこの欠点をなくしておりリジェクションレベル (リジェクトできるエコー高さ (%)) 以上の範囲では JIS-Z-2344 による、2 級のエコー高さの直線性を保証している。

(8) ゲート回路 (マーカー、警報、ゲートアナログ出力)、2 個の単安定マルチによりゲートマーカーを作っている。このゲートマーカーの特長は、TEST RANGE 及び VELOCITY ダイアルを変化させても (ブラウン管時間軸の範囲 (測定範囲) を切換えても) 送信パルスとゲートマーカー間の実質距離 (被検物長さに換算した距離又は絶対時間) が変わらないということである。これは、あらかじめ測定したい距離と範囲にゲートマーカーをかけた後に TEST RANGE 又は VELOCITY によりゲートマーカーをブラウン管時間軸いっぱいに拡大して測定することもできるし、もしゲートマーカーの幅が被検材距離 40 mm に相当するなら、ブラウン管時間軸上 40 % の幅に設定して欠陥の位置を簡単によみとることができるという作業性のよい使用法を可能にしている。

なお、ブザーはゲートマーカー内に GATE LEVEL にて設定した警報レベルよりも高いエコーを検出したときに鳴り、一方、ゲートアナログ出力はゲートマーカー内の最大エコーの高さに比例した電圧出力であり、これを外付のレコーダに接続すれば、連続的にゲートマーカー内の最大エコー高さを記録できる。

(9) A スコープ記憶回路

この機能は超音波探傷器としては世界で初めてのもので、その特長とするところは、従来のようなブラウン管波形をカメラでとる作業を排除できたところにある。記録方法は上記ゲートアナログ出力の記録方法と同じで、外付のレコーダに接続するだけでゲートマーカーを含めたブラウン管波形を何枚でも記録できる。なお、ブラウン管波形 1 画面を記録するのに要する時間は約 20 秒間である。(図 6. (b). 図 7. (b) 参照)

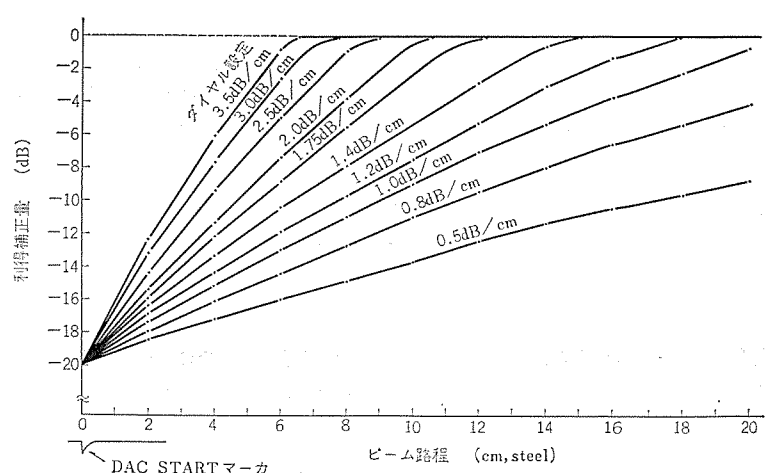


図 3. 距離振幅補償特性

回路は1枚の基板に収められており最近のFD-180及びFD-210Sには標準として取付いており、FD-210には、第5ロット分以降よりオプションとして取付けが可能である。

(10) ブラウン管

ブラウン管は超音波探傷器専用の内面目盛を具備した120mm角形ブラウン管を使用しており、視差がないため測定誤差が軽減できる。なおこのブラウン管はFD-210、FD-210Pにも共通に使用できる。

6. 主要特性に関するデータ

FD-210Sの主要特長のうち2章(1)(2)(3)で述べた特性に関するデータ及び温度変動に対する安定性に関する測定データを以下に記す。

(1) 距離振幅補償特性(DAC特性)

図3はDAC(Distance Amplitude Compensation)モードにした場合のビーム路程に対する増幅器利得補償特性を示したもので、補正量はDAC SLOPEダイヤルにより約0.5~3.5dB/cmの間任意に設定できる。また最大補正量は約20dBである。一般にビーム路程に対するエコー高さの減衰特性は試験周波数、探触子直径、材質、音速などに関係するが、遠距離音場においては距離の1乗又は距離の2乗に反比例するといわれている。

JIS-Z-2347に規定されるA2形標準試験片の4φ×4人工欠陥を屈折角45°にて射角探傷した場合のDAC特性測定結果を図4.(a)(b)、図5.(a)(b)に示す。図中(a)(b)の違いはビーム路程の違いである。図4.と図5.の違いはそれぞれ使用探触子の周波数(2MHzと5MHz)の違いを示しており、この違いによりエコー減衰量がそれぞれ異なることが分かる。またビーム路程に対する減衰量を補正した結果はほとんど±1dB以内に入っていることが分かる。

図7.(a)はDACをかけたときのブラウン管上の多重波形を示したものでDACをかけないときの波形を示す図6.(a)と対比させてみればDAC作動状況がよく分かる。なおDAC作動領域はDAC STARTマーカーより速でありこのマーカーはFD-210Sの側面にあるDAC STARTダイヤルにより任意に設定できる。

(2) Aスコープ記録特性

図6.(b)、図7.(b)はそれぞれAスコープ記憶出力信号を熱ペン形記録計で記録したもので、原形であるAスコープ波形は図6.(a)、図7.(a)に示すものであり、JIS-STB-A1の25mm厚部の多重反射エコーである。図8.はAスコープ記憶出力のエコー高さに対する直線性を示したもので、エコー高さ10~100%では3%以内の偏差であり、一般市販の記録器の直線性は通常2%以内であるので10~100%のエコー高さでは5%以下の精度で記録できるといってよい。

(3) ゲートアナログ出力直線性

図9.はゲートマーカー内の最大エコー高さをアナログ記録する場合の直線性を示し、エコー高さ20%以上では3%以下の精度に入っている。

(4) リニアリジェクション直線性

ここではリニアリジェクションを使用したあとのエコー高さの直線性測定結果を示す。

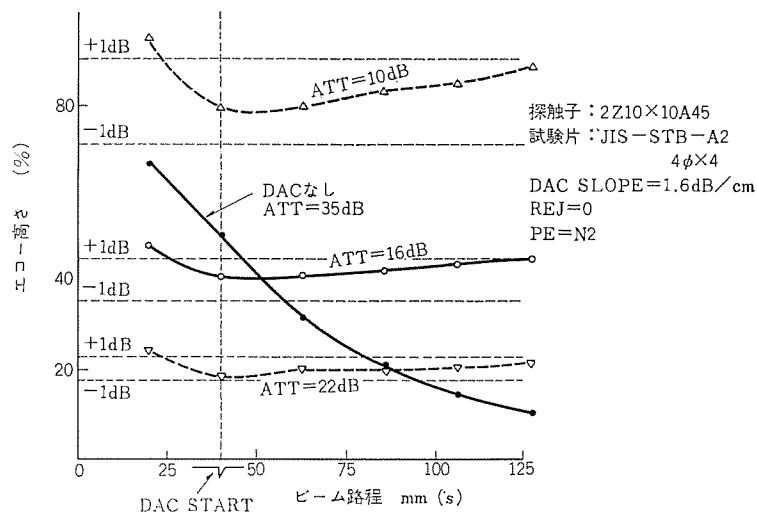


図4.(a) DAC特性測定結果

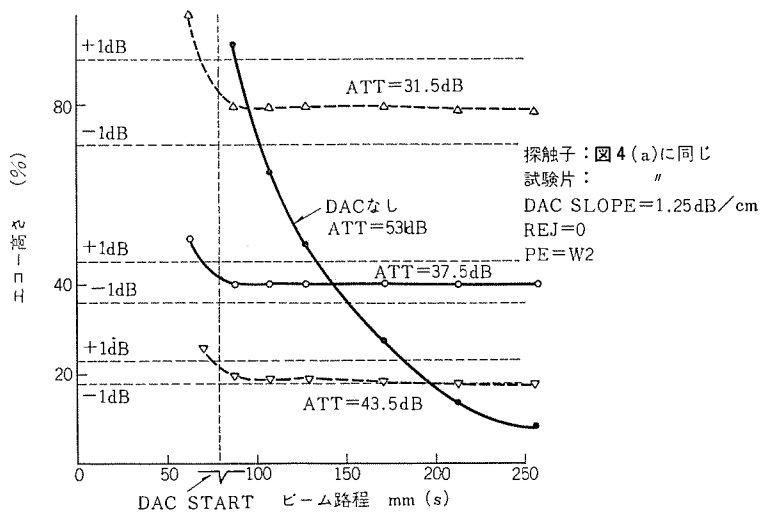


図4.(b) DAC特性測定結果

(a) 測定方法

リジェクションレベルを30%程度(40%以下であること)に設定し、JIS-Z-2344の方法に準じて0dB(100%)~8dB(39.8%)の範囲で測定する。概略を記すと次のようになる。

任意の試験片と垂直探触子により、エコーを出し表1.の理想値に対する偏差を百分率でよみとる。よみとりは0~8dBまで2dBピッチでアッテネータを変えて行う。よみとった偏差の最大値 $d(+)$ と $d(-)$ より $d(+)+d(-)$ を計算し、6%以下は1級、8%以下は2級、8%より大きい場合(又は規定しない場合)は級外とする。

(b) 測定結果(16台測定)

No. 1	$d(+)=0\%$, $d(-)=1\%$
No. 2	$d(+)=3\%$, $d(-)=2\%$
No. 3	$d(+)=4\%$, $d(-)=0\%$
No. 4	$d(+)=2\%$, $d(-)=0\%$
No. 5	$d(+)=4\%$, $d(-)=0\%$
No. 6	$d(+)=2\%$, $d(-)=0\%$
No. 7	$d(+)=0\%$, $d(-)=1\%$
No. 8	$d(+)=0\%$, $d(-)=1.5\%$
No. 9	$d(+)=2\%$, $d(-)=0\%$

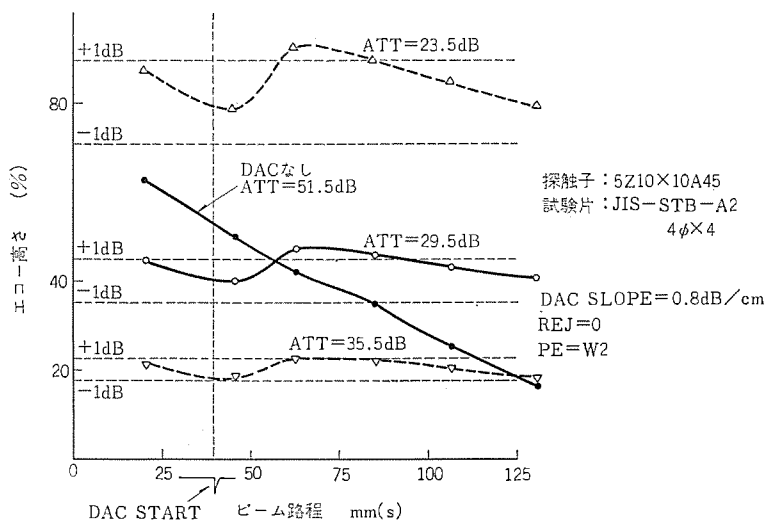


図 5. (a) DAC 特性測定結果

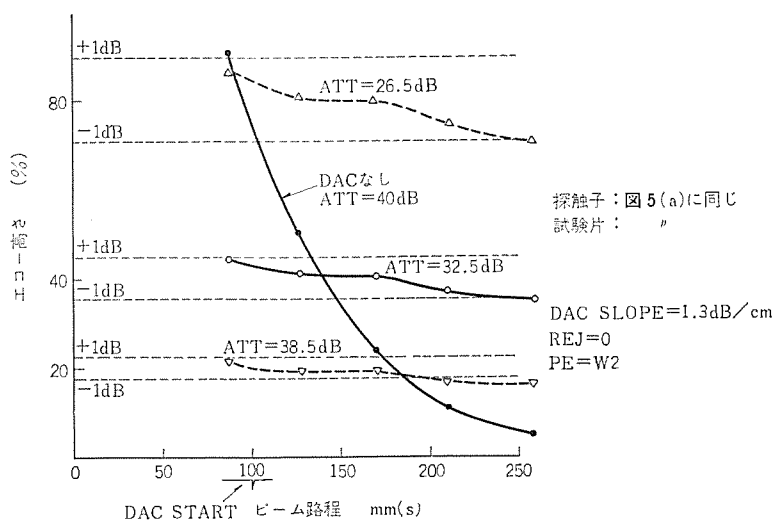


図 5. (b) DAC 特性測定結果

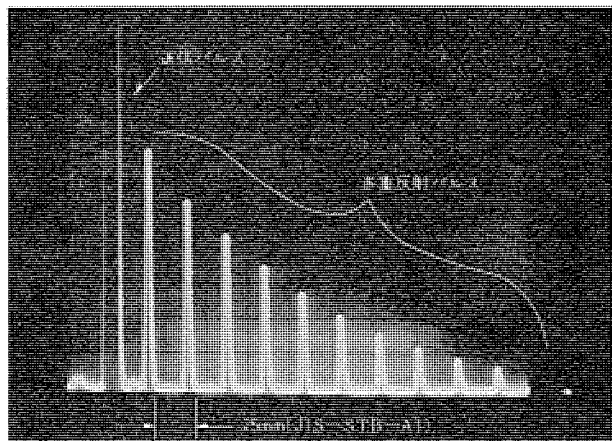


図 6. (a) DAC をかけないときの多重反射波形

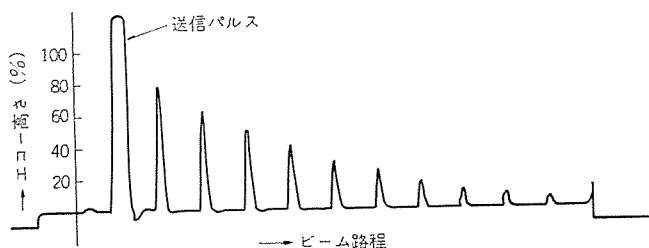


図 6. (b) A スコープ記憶出力 (DAC: OFF 時)

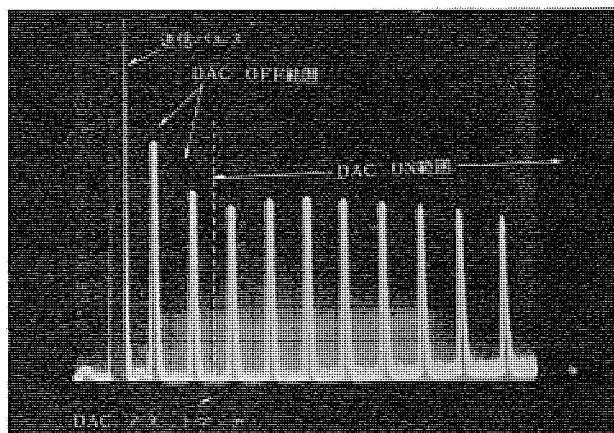


図 7. (a) DAC をかけたときの多重反射波形

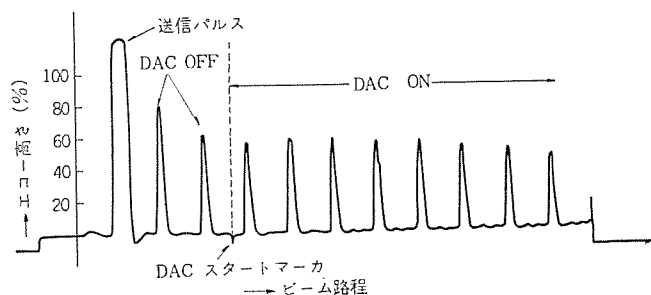


図 7. (b) A スコープ記憶出力 (DAC: ON 時)

- No. 10 $d(+)=3\%$, $d(-)=2\%$
 No. 11 $d(+)=0\%$, $d(-)=2\%$
 No. 12 $d(+)=0\%$, $d(-)=2\%$
 No. 13 $d(+)=1.5\%$, $d(-)=0\%$
 No. 14 $d(+)=2\%$, $d(-)=2\%$
 No. 15 $d(+)=4\%$, $d(-)=0\%$
 No. 16 $d(+)=2\%$, $d(-)=0\%$

以上 No. 1～No. 16 のデータをみると $d(+)+d(-)$ は 6% 以内であり、したがってこのデータの結果では「リニアリジェクションを使用するとリジェクションをかけたあとでもエコー高の直線性は 1 級である。(ただしリジェクションレベル以上にて)」と言える。

(4) 温度変動に対する安定性について

去る昭和 48 年 10 月 1 日付で改定された JIS 規格 JIS-Z-2344「金属材料のパルス反射法による超音波探傷試験方法」には、温度に対する安定性について次のように規定されている。「温度に対する安定性は、 20°C における標準状態に対し、温度を $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 変化させた場合の感度変化 (dB)、縦軸、横軸の移動量 (百分率) により表示する。

これによると $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 変化させた後の性能の変化について具体的には規定していない。

当社の超音波探傷器では使用温度範囲を $-5\sim+45^{\circ}\text{C}$ としており、上記 JIS に規定されている温度範囲以上で使用できることとしている。以下に本器温度試験結果の一例を示す。

(a) 測定方法……探触子 5Q20N (5MHz, 水晶 20φ, 垂直形) にて試験片 JIS-STB-G-V8 の標準きずエコー F1 を出し、ブラウン管フルスケールを鋼中縦波換

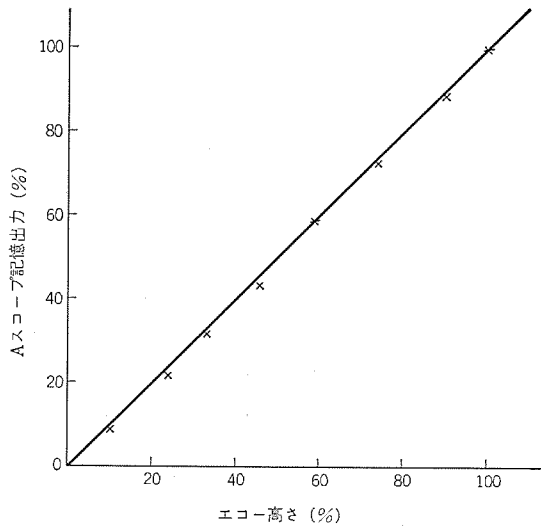


図 8. A スコープ記憶出力直線性

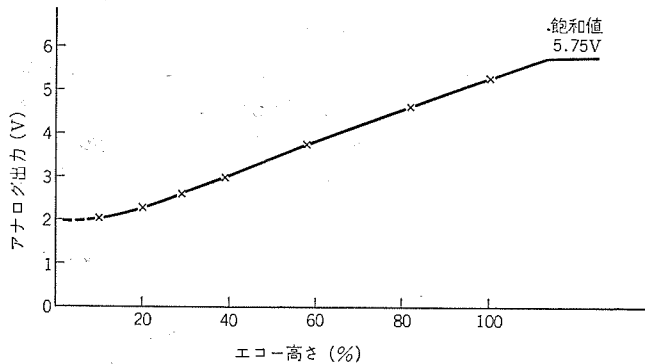


図 9. ゲートアナログ出力直線性

算 20 cm にしておく。これは +20°C(常温) で設定し、2 時間以上動作させた後 +45°C 及び -10°C に設定し、各 2 時間動作させてエコー F1 の変動と左右の移動量を測定する。

(b) 測定結果

(i) エコー高さの変動 (8 台測定, その平均値)

+20°C→+45°C……2.9 dB 下降

+20°C→-10°C……2.6 dB 上昇

この結果では ±3 dB 以内に入っている。

(ii) エコーの左右移動量 (8 台測定, その平均値)

+20°C→+45°C……3.0 % 左へ

+20°C→-10°C……3.2 % 右へ

この結果では ±3.5 % 以内に入っている。

7. 使用例

FD-210 S は万能形であるため、たいていの探傷に使用できるが、

表 1. 直線性測定データの記録表 (JIS-Z-2344 抜すい)

減衰量 (dB)	エコー高さの理想値 (%)	測定値 d(+) (%)	測定値 d(-) (%)
0	100.0		
2	79.4		
4	63.1		
6	50.1		
8	39.8		

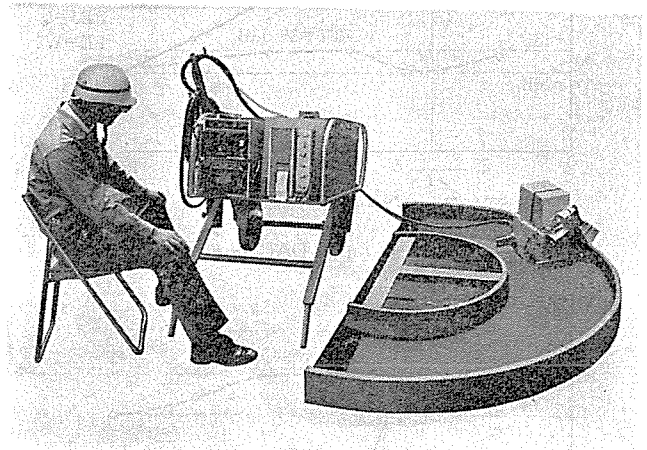


図 10. 船舶用減速歯車 自動超音波探傷

記録を必要とする溶接部の自動探傷などには DAC 特性、記録特性を十分に活用できる。図 10. は船用減速歯車の溶接部の自動探傷に FD-210 S を使用した例で、探傷ヘッドに斜角探触子を取付けた自在走行形の自動探傷車でジグザグ走査探傷した結果を、台車上に置かれた FD-210 S 及び記録計でモニタできる。

8. む す び

今日、超音波探傷に対する要求が高度化しつつある中で FD-210 S の開発は非常に有意義であったと思う。それは本器の持つ距離振幅補償 (DAC) 特性や記録特性が時代のすう(趨)性に適合したものであり、また自動探傷などに対しても十分適用可能であるからであり、ユーザのかたがたにも必ずや満足して頂けるものと信じている。FD-210 S の性能は社内外における評価試験などにより十分保証されているが、今後ともフィールドデータの集積、ロットごとの評価試験などにより性能及び信頼性の維持向上に努力したいと考えている。最後に終始御指導いただいた関係各位に厚くお礼を申し上げる。

(昭和 49-4-5 受付)

軽合金用整流式機動形点溶接機と溶接現象(I)

奥田 滝夫*・稲田 幹夫*・馬場 利彦**・中谷 亘美**・原 且則**

1. ま え が き

アルミニウム合金は軟鋼に比べて、固有抵抗が低いこと、熱伝導が良いこと、高温塑性範囲が狭いこと、酸化皮膜の電気抵抗が高く均一でないことで表面状態の影響を受けやすいことなどのため、その点溶接には大容量で精密な溶接機と豊富な経験が要求される。

もともとアルミニウム合金の点溶接は航空機の部品の接合を中心に発達してきた技術であり、したがってその材質も A 2024, A 7075 といったジュラルミン(熱処理合金)が主体で、板厚も 2 mm 以下のものがほとんどであった。ところが、1962 年に我が国で本格的なアルミニウム車両が製作されるに至って、その骨組と外板といったところにまで点溶接が利用されるようになり、板厚が 3+6 mm と厚くなるとともに、その材質も A 5083, A 5005, A 5052 といった耐食アルミニウム(非熱処理合金)が主体となり、一部 A 7N 01 などの 3 元合金が用いられるようになった。

この車両工業分野における厚板アルミニウム合金の点溶接に対して、当社は古くからその技術開発を手がけてきた結果、現在ではほとんどの大手車両メーカーにおいて当社の三相低周波式機動形点溶接機が使用され、数多くのアルミニウム車両が製作されている。

その後、山陽新幹線あるいは東北新幹線用のアルミニウム車両計画が具体化するに伴って、更に厚い板厚のアルミニウム合金の点溶接が要望されるに至った。この技術要求に対処すべく大容量の三相整流式機動形点溶接機の開発を手がけてきたが、このたび我が国では最大容量、溶接能力を有する 1, 2 号機の製作を完了したので、その溶接機の概要と整流式点溶接機及び溶接法の特長について述べる。

2. 整流式点溶接機及び溶接法の特長

整流式(あるいは直流)点溶接とは、溶接電流を大容量整流素子により直接整流して得られた直流電流によって点溶接を行う方式であるが、ここではこの方式について単相交流式あるいは低周波式と比較した場合の特長について述べる。

2.1 溶接機としての特長

単相交流式と比較した場合の長所及び短所は次のとおりである。

〔長 所〕

(1) 三相平衡負荷である。

単相交流式では三相電源の一相から電源をとるため、非平衡負荷になるが、三相整流式の場合は三相全波整流により直流電流を得るため、電源に対して三相平衡負荷となる。

(2) 所要電源容量が小さい。

直流電流であるため無効電力がほとんどないので、同じ溶接電流を得るために必要な kVA が交流式の場合に比べて少なくて済む。この傾向はふところ深さが大きいほど顕著である。

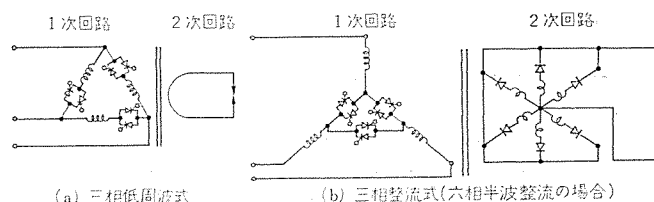


図 1. 三相低周波式と三相整流式の原理図

〔短 所〕

(1) 溶接機のコストが高い。

溶接変圧器の 2 次側で溶接電流を整流するため、大容量の整流素子が必要であることと、制御装置が複雑となるため、溶接機のコストが高くなる。

(2) 制御装置が複雑である。

部品点数が多く制御装置が複雑であるため、保守・修理に時間を要する。

次に三相整流式と三相低周波式との比較を行うと以下になる。

図 1. は整流式と低周波式の原理図を示したもので、低周波式はサイリスタを 1/3 ずつ順次点弧することにより、トランスの 1 次側に直流電圧を加え、鉄心を介して 2 次側に直流電圧(電流)を発生させる方式である。2 次回路が導体だけで構成されているので、構造が簡単で堅ろうであるが、鉄心の飽和現象のため、通電時間を長くするためには鉄心を非常に太くする必要があり変圧器の寸法・重量が大きくなる。特に機動形点溶接機に対しては機動性の面で重量の軽減が要求されるため、通常最大電流において溶接時間 5 サイクル、ディケイ時間 15 サイクル程度のものが実用化されている。

これに対して整流式は、トランスの 2 次側の大電流を直接整流素子によって整流して直流電流を得る方式で、溶接機の熱容量の許す限りいくらでも通電時間を長くとり得る長所がある。

更に詳しく両方式を比較すると次のとおりである。

(a) 主回路構成

両方式の主回路は低周波式が電力制御ユニット、溶接変圧器、2 次導体により構成されているのに対し、整流式は整流装置が余分に必要であるので、それだけ構成は複雑となる。次に同一溶接電流を流すという前提で構成機器を比較すると、電力制御ユニット、2 次導体は両方式ともほぼ同じと考えられるが、溶接変圧器は低周波式のほうが鉄心重量で約 9 倍も重くなり、寸法も大きくなる。しかし整流式には整流装置が余分に必要であるので、溶接機全体の寸法については整流式のほうが大きく、重量は低周波式のほうが大きくなる。同一溶接能力で比較すると、整流式は通電時間を長くとり得るので、それだけ溶接電流を低くできるため、更に重量の低減が計れる。

したがって機動式点溶接機については、整流式のほうが機動性の点で優れているといえる。

(b) 制御回路

制御回路については両方式ともおおむね同じ構成となるが、低周波式では溶接変圧器の印加電圧の周期的な極性変換が必要であるのに対し、整流式は電源周波数に同期して制御用サイリスタを点弧すればよいので、ゲート制御回路を簡素化できる。

(c) 溶接変圧器容量

図 3. に示される主回路結線において両方式の 2 次電圧 E_s 、直流電流 I_d を同じとして、溶接変圧器の 1 次容量 P_1 、2 次容量 P_2 を比較すると；

$$\text{変圧器 1 次容量 } P_1 \quad \begin{array}{ll} \text{整流式} & \frac{\sqrt{3}}{2} E_s I_d \\ \text{低周波式} & \sqrt{2} E_s I_d \end{array}$$

$$\text{変圧器 2 次容量 } P_2 \quad \begin{array}{ll} \text{整流式} & \sqrt{3} E_s I_d \\ \text{低周波式} & \sqrt{3} E_s I_d \end{array}$$

となるが、実際に同一溶接電流を得ようとすれば整流式は整流部分の損失のため、2 次電圧 E_s を高くとらねばならない。

さきに述べたように整流式では通電時間を長くとれるので、同一溶接能力で比較した場合は整流式のほうがかなり電源容量は小さくなる。

2.2 溶接法としての特長

整流式あるいは低周波式を交流式と比較した場合の特長としては隣接溶接点への分流効果に対して自己制御作用があること、溶接機のあるところへ磁性体がそう(挿)入された場合の電流変化が少ないことなどがあり、短所としては極性効果のあることである。

次に整流式と低周波式を比較すると、通電時間が 5 サイクル以下の場合や厚板鋼板のように低周波式でマルチパルスにより溶接する場合には両者の溶接上の差異は全くない。両者の差異は以下で説明するようなアルミニウム合金厚板をシングルインパルスで溶接する場合に生じる。

すなわち、機動式点溶接機などのように、その重量に制限のある場合、低周波式は整流式に比べて通電時間を短くする必要があるもので、両者の溶接上の比較は厚板アルミニウム合金における大電流短時間通電条件と小電流長時間通電条件との比較ということになる。

板厚 1 mm のアルミニウム合金は、1 サイクル程度の短い通電時間で溶接することにより高品質の接合部が得られるといわれているが、1 mm の 1 サイクルは、2 mm の 4 サイクル、3 mm の 9 サイクルと熱的には等しく、したがって 1 mm の場合と相似的なナゲット及び熱影響部を作るということに関しては 3 mm の板を 5 サイクルで溶接する必要はなく、上記の通電時間を選ぶのが合理的といえる。

ところで接合部を相似的にすることは熱影響部も板厚に比例して大きくなるということであり、はたしてこのような熱影響部の大きさでもよいのかということは問題である。この問題に関しては今後の研究あるいは長時間通電条件で溶接された製品の実績(現在のアルミニウム車両は短時間通電条件で溶接されている)を待たねば何とも言えないわけであるが、もし、“熱影響部はできるだけ小さくすべきである”ということになれば、上記の値よりももっと短い通電時間を選ぶ必要がある。

従来アルミニウム合金の点溶接はジュラルミンなど熱処理合金が主流であったため、材料の劣化を防ぐため、短時間通電条件が推奨されてきたが、耐食アルミニウム合金に対しては熱処理合金ほど短時間で溶接する必要はなく、特に以下で紹介するような上板と下板の板厚比の大きい場合は、短時間通電で溶接するとどうしても厚板側の溶込みが不足するので、多少長い目の通電のほうが安定したナゲットができるのではないと思われる。

3. 整流式機動形点溶接機の概要

この溶接機は被溶接物を溶接位置に搬送するのではなく、溶接機を溶接打点位置まで移動して溶接を行うもので、被溶接物に対して水平方向 2 軸に移動できることはもちろん、垂直方向及び垂直方向の傾向をも行うことができ、被溶接物に対して常に直角に電極を当てることができる。機動式溶接機の電源方式として従来は三相低周波方式が用いられてきたが、今回は既に述べたように重量が軽減できるため機動性がよく、しかも低い溶接電流で溶接できるため電源容量を小さくできる整流方式を採用した。図 2. は三相整流式機動形点溶接機の外観写真である。

3.1 溶接機本体

今回製作した機動式直流点溶接機は鉄道車両の台わく(枠)、側構、妻構及び屋根の内側構、妻構及び屋根を、各ブロック時において強度メンバと外板とを点溶接するものである。溶接機本体の主な仕様は次のとおりである。

溶接機本体仕様

形 式	WT 400 SB 形
定格容量 (50 % 使用率)	400 kVA
定格 1 次電圧(無負荷時)	三相 440 V
(負荷時)	三相 380 V
制御電圧	三相 220 V
最大短絡電流	130,000 A
最大入力	2,200 kVA
最大加圧力	4,000 kg
ふところ深さ	2,200 mm
ふところ間隔	800 mm
第 1 台車移動距離	25.4 m
第 2 台車移動距離	2.5 m
本体昇降距離	0.6 m
本体傾斜角	最大 13°

(本体が 0.5 m 上昇した位置から下方へ)

被溶接材の側構及び屋根は非常に長く、被溶接材では 25 m にも達する。この点溶接機は車両の長手方向に対して並行に、地上に敷設されたレール上を走行する第 1 台車と、第 1 台車の走行方向と直角に第 1 台車上を走行する第 2 台車があり、更に第 2 台車に重心付近を支えられて昇降及び傾動をする点溶接機基幹本体がある。溶接変圧器と整流装置は点溶接機基幹本体に収納し、制御装置は第 2 台車

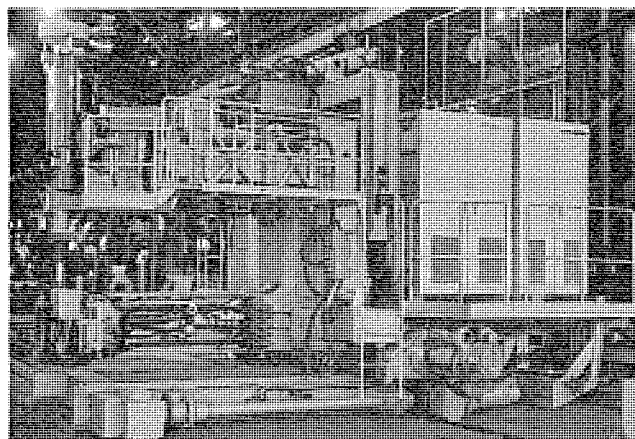


図 2. 三相整流式機動形点溶接機

上に設置している。

第1台車は2.2kW、1,750rpmの直流電動機1台を用い、溶接送り速度4m/minと急行送り速度8m/minで25.4m走行する。第2台車は0.75kW、1,150rpmの直流電動機1台を用い、溶接送り速度4m/minで2.5m走行する。

また、第1台車、第2台車の定ピッチ送りについてはピッチ誤差を少なくするため、後述のNC制御方式を採用している。

昇降装置及び傾動装置は被溶接材が曲線を有しているため、電極チップが常に被溶接材に直角に加圧するように点溶接機基幹本体を姿勢制御するもので、昇降装置は7.5kW、1,750rpmの直流電動機2台を用い最高1m/minで昇降し、また、傾動装置は0.75kW、1,150rpmの直流電動機1台を用い0.056rad/sで13°傾斜する。

姿勢制御はコントロールスイッチによる手動制御のほかに、後述のサーボ機構により自動制御が行える。

点溶接機の基幹本体は溶接変圧器及び整流装置も収納しているが、これらを除けば軽合金用三相低周波式点溶接機と同様な構造をしており、電極加圧シリンダはダイヤフラムパッキンを用いて、極めて速いレスポンスで電極が追従するように考慮している。

この機動式直流点溶接機は極めて大形で、Cフレームのふところ有効深さ2,200mm、間隔800mmと点溶接機としては世界的にも最大級で、溶接機の大さは幅5.4m、奥行は最縮時6.0m、最伸時8.5m、高さは5.0mとなり、構造の面あるいは安全性について相当の考慮をした。

3.2 直流電源装置

溶接機の主回路結線は図3.に示すとおりで、溶接変圧器の1次側をサイリスタにより電力制御し、2次側をダイオードにより整流して直流電源としている。サイリスタによる電力制御方式は、従来の三相の各相に制御素子を逆並列結線にして組込んだものと異なり、変圧器のスター結線の中心に3個のサイリスタを図3.のように組込む方式としている。

溶接変圧器は外鉄形三相鉄心の各相に1次側を1巻線、2次側を2巻線巻いたもので、これを1次側をスター結線、2次側をダイアトリカル結線としている。こうして六相とした後、ダイオード整流器を直結することにより六相半波整流回路を構成している。この方式ではダイオードの通電期間は無制御時120°となり、1次側デルタ結線の六相半波整流方式に比べて通電時間が2倍となるので、ダイオードの利用率が良くなる。

溶接変圧器と整流器とが直結した状態を図4.に示す。整流器は定格容量を得るためダイオードの並列接続を行うが、各相の構成単位はダイオードを接続端子を兼ねた冷却フィン及び絶縁がよいと組合せたダイオードスタックである。ダイオードを多数並列接続するとダイオードの順電流にアンバランスが生じるが、接続導体の抵抗、ダイオードの順電圧降下特性などを考慮することによりアンバランスを少なくしている。

3.3 制御装置

(1) 溶接電流制御装置

この装置は溶接変圧器の1次側をサイリスタにより制御して溶接電流を制御するものであり、溶接電流の制御範囲は130,000A～22,000Aである。この制御装置には溶接変圧器の電圧を安定化するための定電圧制御回路があるので、ライン電圧の変動や溶接時の電源変圧器の電圧降下に対しても安定な入力電圧を供給することができる。

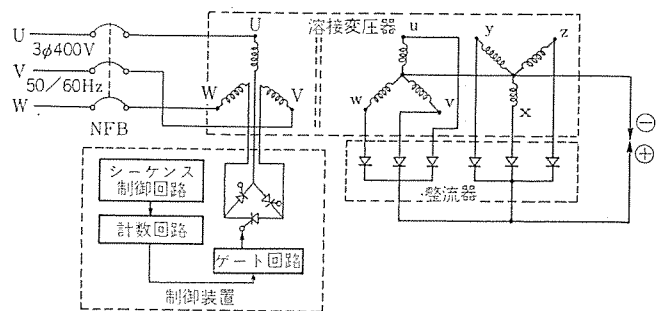


図 3. 三相整流式点溶接機の主回路図

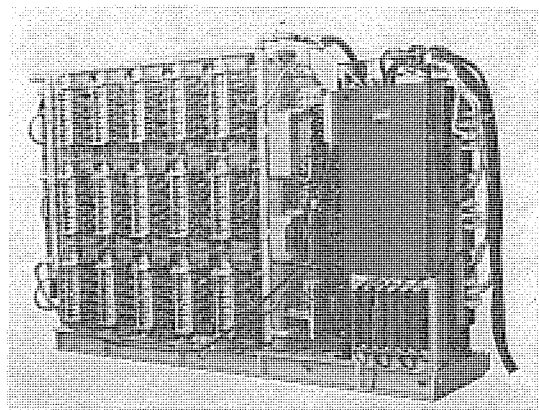


図 4. 溶接変圧器と整流装置

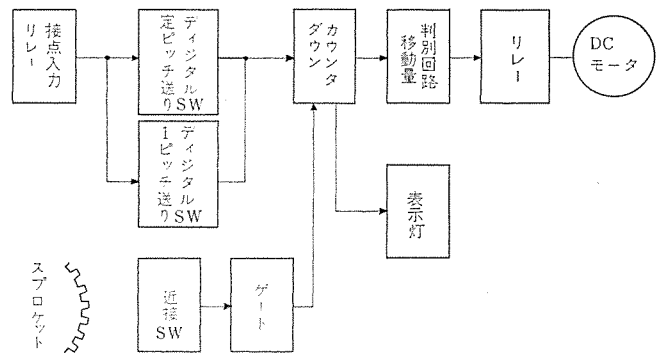


図 5. 駆動制御装置のブロック図

(2) デジタル 計数装置

点溶接を行う場合、良好な溶接結果を得るためには通電時間、加圧力及び溶接電流を正確に設定することが重要である。通電時間のうち、冷却時間、加熱時間、ディケイ電流通電時間、鍛造おくれ時間の4要素が特に重要であるので、これらについて商用周波数をベースにしたデジタル計数を行っている。このほか溶接パルス、予熱パルス、後熱パルスもデジタル計数が可能であるが、整流式の場合は通常シングルパルスで使用される。

(3) 駆動用制御装置

この装置は溶接機を水平2軸(X, Y軸)方向に移動する際の移動距離及び送り速度を指令する装置である。X, Y軸の移動距離制御はX, Y軸と同軸に取付けられた近接スイッチを用いたパルス発振器の信号を、設定値と引算してその値が0となるまで行う。この際の送り速度は設定値との差の大きさにより、高速・中速・低速を自動的に選択する。図5.に駆動制御装置のブロック図を示す。

(4) 溶接姿勢制御装置

この装置は溶接位置において電極と被溶接物とが直角になるように、溶接機の傾動軸(W軸)及び垂直軸(Z軸)を制御するもので、電

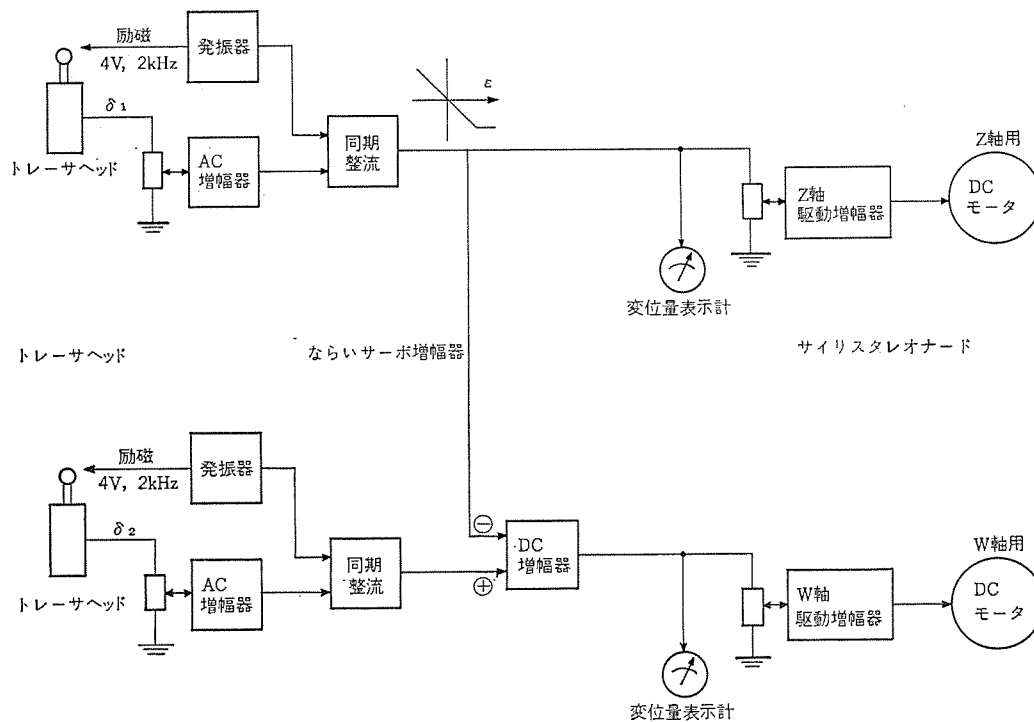


図 6. 溶接姿勢制御装置のブロック図

極の近くにトレサヘッドを取付け設定値に対する位置誤差信号を検出して、サーボ機構により自動的に位置修正を行う。図 6. に溶接姿勢制御装置のブロック図を示す。

直流電源装置及び制御装置の主な仕様は次のとおりである。

形名	TB形
主電流制御素子	三菱 フラパックサイリスタ
主電流整流素子	三菱 フラパックダイオード
溶接電流制御範囲	最大 130,000 A～最小 22,000 A

時間制御

(冷却, 加熱, ディケイ 電流, 鍛造おくれ, 溶接 パルス, 予熱 パルス, 後熱 パルス)	デジタル 制御
--	---------

その他の時間 アナログ 制御

可能な溶接の種類 線返し スポット 溶接
パルセーション 溶接

可変圧力溶接

予熱・後熱溶接

その他の特殊な仕様

3 倍周波数制御

鍛造おくれ時間超精密制御

電源電圧補償回路

保護警報装置

4. む す び

機動式点溶接機の溶接電源として三相整流式のものを採用したことにより、機動性を向上し、電源容量を低減することができた。

ここで紹介した溶接機は初号機であるためになんまり余裕を持った設計となっているので、今後、この溶接機により、更に厚板のアルミニウム合金へ点溶接の適用分野を拡大すること、及びこのたび得られた知見を生かして、更に機動性の向上と電源容量の低減に努力してゆきたいと考えている。(昭和 49-4-5 受付)

エポキシ樹脂の硬化反応に及ぼす促進剤の影響

宮本 晃 男*・柴山 恭一**

1. ま え が き

エポキシ樹脂が生産され始めた当時は、とりわけ接着性に注目された用途が考えられた。その後、エポキシ樹脂の化学の進歩とともに、応用面での開発が進み、今日では電気機器の絶縁材料として欠くことのできないものの一つになってきた。これはエポキシ樹脂のもつ優れた電気的性質のほか、バランスのとれた機械的性質及び熱的性質を有するためである。

機器から要請されるエポキシ硬化物を合成するには、主剤のエポキシ樹脂、硬化剤、硬化促進剤、その他の添加物など多くの種類が市販されているので、選択や組合せに十分留意する必要がある。実用に供されるエポキシ樹脂硬化物は、3次元高分子として用いるので、少なくともオキサン環を1分子中に2個以上もっていなければならない。各種の反応性試薬の中で、硬化剤になりうる主なものは、2塩基酸、アミン、3つ化ホウ素などであるが、エポキシ樹脂との反応機構は複雑である。中でも酸無水物を硬化剤にしたエポキシ樹脂は、反応が遅いので少量の硬化促進剤が用いられており一層複雑にさせている。更に硬化促進剤の種類によっては、硬化物の物理的性質が大きく変化することすらある。例えば、エポキシ樹脂と酸無水物の組成を一定にしても、硬化物はその色、接着性、硬さ、耐熱性、絶縁性など、力学的性質、熱的性質、あるいは電気的性質に大きな差異が観察される。このことは、

- (1) 反応機構が異なる。
- (2) 分子構造が異なる。
- (3) 硬化物の高次構造が異なる。

などが原因として考えられる。実用化に際して、エポキシ樹脂を最適条件で使用するには、硬化促進剤が及ぼす反応機構と硬化物の構造の関係を知っておく必要がある。上述した(1)、(2)及び(3)についての個々の独立した研究は既になされている^{(1)~(3)}が、それらを関係づけた報告は見あたらない。

ここでは酸無水物硬化系エポキシ樹脂の硬化促進剤として代表的な3級アミンと有機酸金属塩を用い、反応機構と硬化物の構造を、両者の比較において熱的性質、力学的性質、電子顕微鏡観察によって検討した。

2. 実 験

2.1 試 料

ビスフェノールA形エポキシ樹脂(2,2-ビス[P-(2,3-エポキシプロピル)フェニル]プロパン;シエル化学社製、エポキシ当量190)に無水メチルテトラヒドロフタル酸(MTHPA)を硬化剤にし、3級アミンのベンジルジメチルアミン(BDMA)及び有機酸金属塩のカプリル酸亜鉛を硬化促進剤にした。組成は表1.のようである。

2.2 熱測定

熱測定には示差走査熱量計(パーキンエルマー社製、DSC-1形)を用い、

表 1. 組 成

Sample No.	Epoxy resin ⁽¹⁾ (g)	Acid anhydride ⁽²⁾ (g)	Accelerator (g)	
			BDMA ⁽³⁾	ZnCa ⁽⁴⁾
1	100	79	1	0
2	100	79	0	1

(1) Bisphenol-A epoxy resin

(2) Methyl tetrahydro Phthalic acid anhydride

(3) Benzyl dimethyl amine

(4) Zinc caprylate

反応によって発熱する熱量を等温的に測定した。示差走査熱量計(DSC)は標準試料(ここではアルミニウム)と測定試料を並べて加熱し、その温度差が一定になるような流入速度でそれぞれにエネルギーを与え、その差を測定する。したがって記録計に描かれた曲線は、測定時間に対する熱量の時間変化曲線になって、ベースラインと曲線に囲まれたピーク面積は熱量を表す。この熱量はインジウム⁽⁴⁾の融解潜熱(6.75 cal/g)を用いて検量した。

2.3 比体積測定

比体積の測定には、比体積測定用に改造した直示天びん(秤)を用い、シリコン油を媒体にして、この中での温度による重量変化から求めた。シリコン油の密度は石英の標準試料によって検量した。

2.4 力学的性質

力学的性質の測定には直統式粘弾性測定器(東洋測器社製、Vibron DDV-II形)を用いて、動的弾性率の温度変化から求めた。試片の大きさは約0.5×1.5×0.03 cmのものをを用いた。

2.5 電子顕微鏡観察

電子顕微鏡観察は硬化樹脂表面をレプリカ法によって行った。

3. 結 果

硬化反応は等温的に120~180°Cの温度範囲で行った。測定方法は、示差走査熱量計に設置したら、できるだけすみやかに測定温度まで手動で昇温させる。エポキシ樹脂と酸無水物の反応は、図1.のような発熱曲線を示す。数分後に急激な反応速度の変化が観察される。この変化は液体から固体への相変化に伴って現れたものと考えられるので、この点をゲル化点とし、その時間をゲル化時間とする。

試料No.1及び試料No.2とも、等温硬化法では長時間反応させても完全硬化していなかった。そこで硬化後、すなわちDSC曲線のテールがベースラインに落ちついてから、いったん常温にもどしてから20°C/minの速度で昇温させると、等温硬化温度より約100°C高温側に未反応の発熱曲線が観察される。表2.に硬化発熱量を示すと、未反応の割合は試料No.1で約0.5%、試料No.2で約10%になった。更に全発熱量にも顕著な差が観察され、試料No.1は試料No.2の1.7倍の発熱量がある。

ゲル化までの反応率は試料No.1、試料No.2とも約20%であった。しかし、図2.からも明らかなように、試料No.1の場合は

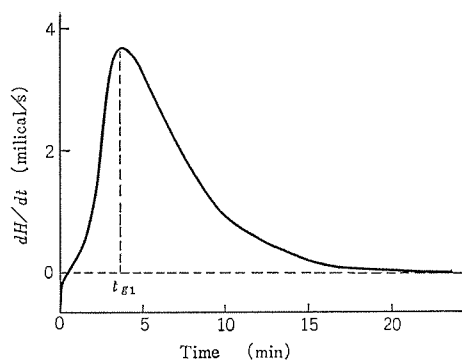


図 1. 140°C における試料 No. 1 の DSC 曲線

表 2. 等温的に測定したときの見かけの反応熱量

	No. 1	No. 2
Total heat of reaction (cal/g)	53.9	31.0
Heat of reaction until gel point (cal/g)	11.5	5.9
Final conversion (%)	99.5	90.3

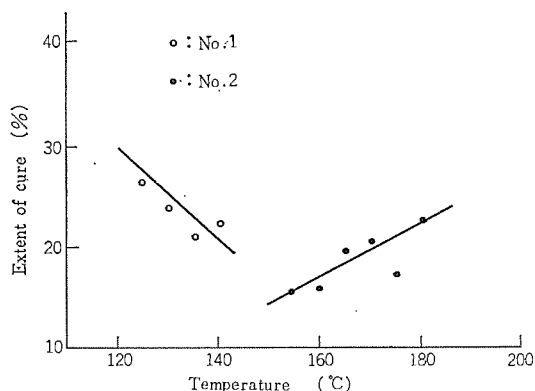


図 2. ゲル化点での反応率の温度変化

等温硬化温度の上昇とともに減少し、試料 No. 2 では増加する傾向にあり、この場合でも異なる反応挙動を示す。

試料 No. 1 は試料 No. 2 より低い温度で反応が開始する。硬化促進剤として用いる触媒作用は、ベンジルメチルアミンでは3級アミンの窒素原子、カプリル酸亜鉛では亜鉛原子の電子密度が大きな影響をもつものと考えられる。この違いは反応速度と密接な関係にあることが予想される。ゲル化点における反応速度の温度変化は式(1)で表せる。

$$\left[\frac{d(H/H_0)}{dt} \right]_a = A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで

 H : 時間 t における発熱量 H_0 : 全発熱量

A : 温度によらない定数

E : ゲル化の見かけの活性化エネルギー

R : 氣體定數

T : 絶対温度

任意時間 t における硬化の割合 (H/H_0) は式 (2) によって求められる。

$$\frac{H}{H_0} = \frac{\int_0^t (dH/dt) dt}{\int_0^\infty (dH/dt) dt} \quad (2)$$

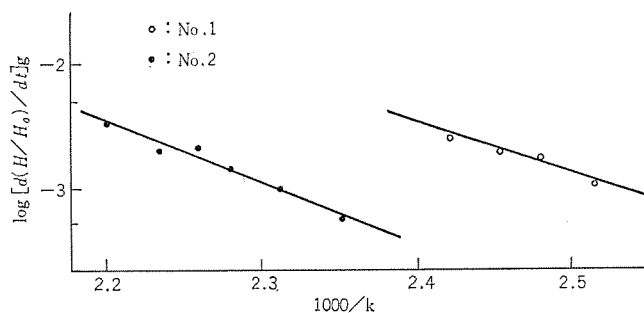


図 3. ゲル化点における反応速度の Arrhenius プロット

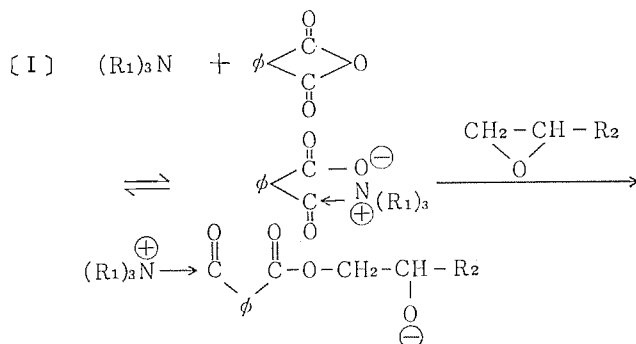
$\log [d(H/H_0)/dt]_0 \sim 1/T$ プロットを図 3. に示す。傾きより得られた見かけの活性化エネルギーは試料 No. 1 で 19.1 kcal/mole, 試料 No. 2 で 24.0 kcal/mole になった。同じく 3 級アミン (トリス-2, 4, 6-ジメチルアミノメチルフェノール) を硬化促進剤にした酸無水物硬化ビスフェノール A エポキシ樹脂の反応の活性化エネルギーの報告値, 17.8 kcal/mole⁽⁴⁾ と試料 No. 1 の活性化エネルギーはよく一致する。

4. 考 察

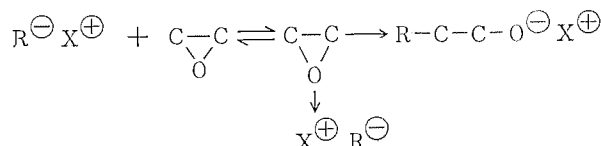
4.1 エポキシ樹脂と酸無水物の反応機構

等温硬化曲線はエポキシ樹脂と酸無水物との反応によって観察されたものであるが、硬化促進剤によってかなり異なる挙動が観測された。表 2. から明らかなように、とりわけ発熱量に顕著な差が現れている。このような挙動は硬化促進剤によって異なる反応機構を予想させる。

3級アミンは窒素原子に孤立電子対をもっているため、電子供与体として作用し、次のようなアニオン重合によって反応が進むとされている。⁽²⁾



一方、金属を硬化促進剤とした場合の反応機構についての報告は少ない。しかし、環状エーテルの開環重合にはアルキル金属を用いた反応機構は比較的良好に調べられている。



ここで $X^{\oplus}$ は金属イオンを表す。この機構はエポキシドへの触媒の吸着と開環の2段階を考えることによって説明された。⁽⁵⁾ 一方、同様な考え方にたち、Tsuruta らはプロピレノキシドと無水フタル酸との反応において、ジエチル亜鉛を触媒にした詳細な反応機構を提出している。⁽⁶⁾ この場合、生長末端における対イオンの触媒エポキシドのほうと選択的に反応するとしている。したがって、カプリル酸亜鉛を触媒にした場合にもこの考え方が適用できよう。



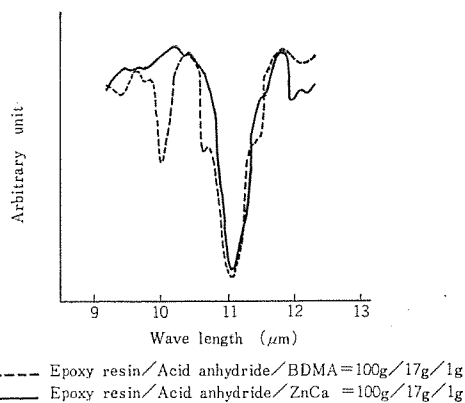


図 5. オキシラン環の赤外吸収スペクトル (10 μm)

$$\frac{1}{M_c} = \frac{E_2'}{3gdRT} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここで

- M_c : 橋かけ点間分子量
- E_2' : ゴム状態の動的弾性率
- g : フロントファクタ
- d : 密度

なおフロントファクタ g とは、樹脂中の網目鎖末端間距離の 2 乗平均と、その鎖が 1 本、自由空間に置かれたときの末端間距離の 2 乗平均の比として表せる。一般に高度に橋かけした高分子では 1 に近い値を示す。ビスフェノール A ジグリシジルエーテルの橋かけ点間分子量は 320 g/mole になる。赤外吸収スペクトルを測定した同じ組成の試料について、 $g=1$ として橋かけ点間分子量を求めると、400 g/mole になった。この結果は、(B) の分子構造より、(A) の分子構造のほうがより多く生成していることを示している。

4.3 固相状態の反応速度論

3 次元方向に分子が成長を無限に続ければ、不溶性分子 (ゲル) が生成する。このゲルが生成しはじめる点がゲル化点である。このような、理想的な無限の網目構造の生成の考え方に加えて、完全硬化の樹脂の強度の理論値と実測値との差などから、網目が無限の 1 次結合網目だけによって生成するのではなく、コロイド状巨大ミセルが立体的に交錯して複雑な凝集構造をとっているという考え方も提案されている。⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾ また、アルキッド樹脂のように、ゲル化以前にミクロゲルの生成が認められている例もある。このような考えに立てば、高分子の結晶化の機構との類似性が生じる。結晶化の過程は核の生成とその成長から成る。成長の停止は、結晶部分が相互に接触したときに起こるとして、結晶化度の時間変化の Avrami の理論式は式 (7) で表せる。⁽¹²⁾

$$\ln\left(\frac{1}{\theta}\right) = k_c t^n \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここで

- θ : 未結晶化分率
- k_c : 結晶化速度
- t : 結晶化の時間
- n : 結晶化の次数

機構上の精密な対比は別として、硬化発熱の曲線の形は式 (7) の適用が可能であることを予想させる。そこで式 (7) と同様な関係を経験的なものとして、高分子の橋かけ反応に応用する。そこで、 θ は未硬化分率、 k_c は硬化速度、 t は硬化時間、 n は硬化の次数とする。この n は反応の次数というよりは、むしろ構造要因を反映し

たパラメータと考えられる。Evans によれば、高分子の結晶化による n と k_c は発生のしかたと成長の様子によって異なるが、不純物混在により、あらかじめ定められた位置から繊維状に成長する場合、 $n=1$ 、球晶状に成長する場合には、 $n=3$ になるとしている。⁽¹³⁾ 3 次元高分子の硬化の場合、不純物による核は触媒に相当するであろう。実験結果を検討するには、式 (7) の両辺の対数を取り、

$$\log\left[\log\left(\frac{1}{\theta}\right)\right] = \log\frac{k_c}{2.303} + n \log t \quad \dots\dots\dots (8)$$

と書換えて、 $\log[\log(1/\theta)]$ を $\log t$ に対してプロットすれば、傾きから n 、切片から k_c が求められる。図 6. に試料 No. 1 の反応率 (100 H/H₀) の時間変化を示す。この図から求めた Avrami プロットを図 7. に示す。その結果、試料 No. 1 の n は 1.5、試料 No. 2 の n は 3.0 の値を得た。すなわち結晶化の理論にしたがえば、試料 No. 1 は繊維状に、試料 No. 2 は球晶状に発達した構造になっていることが期待される。そこで、レプリカ法による硬化樹脂表面の電子顕微鏡写真を図 8. に示す。線状高分子の結晶化の電子顕微鏡写真とは多少異なるが、予想に近い構造が観察される。エポキシ樹脂のような 3 次元高分子は、完全に無定形であるため、樹脂表面ばかりでなく、樹脂内部においても電子顕微鏡写真のような構造をとっていることが推測される。このことから、図 8. の高分子の高次構造の差は [I]、[II] の反応機構のような生成過程の差によるものであろう。図 6. 及び図 7. から判断されるように、Avrami プロットはゲル化時間以後の範囲において直線になる。したがって、直線を外そう (挿) して得られる k_c はゲル化した固相状態での挙動を示すことになる。 k_c の温度依存性を図 9. に示す。 k_c の温度依存性は式 (9) のような Arrhenius 形の温度依存性で表せる。

$$k_c = k_{c0} \exp\left(-\frac{U}{RT}\right) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで

- k_{c0} : 温度によらない定数
- U : 見かけの活性化エネルギー

図 9. の傾きから求めた見かけの活性化エネルギーは、試料 No. 1 及び試料 No. 2 とほぼ等しく 45 kcal/mole になった。固相反応が進展するには、かなり大きな分子集団の運動を伴うであろう。したがって、この活性化エネルギーの大きさは、硬化剤の異なる酸無水物硬化エポキシ樹脂のミクロブラウン運動における見かけの活性化エネルギー 51~59 kcal/mole と比較しうる。⁽¹⁴⁾

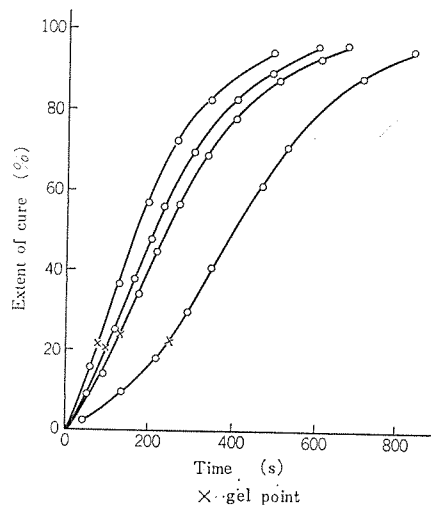


図 6. 試料 No. 1 の硬化度の時間変化

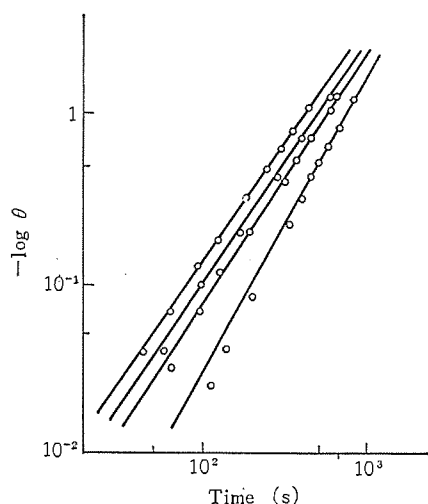
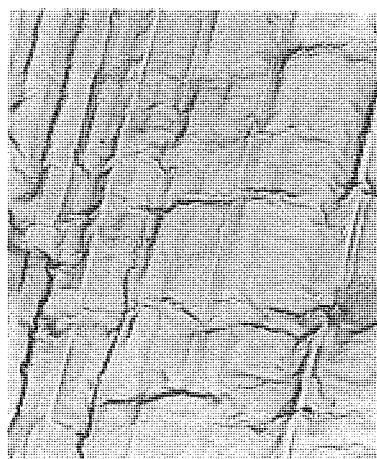
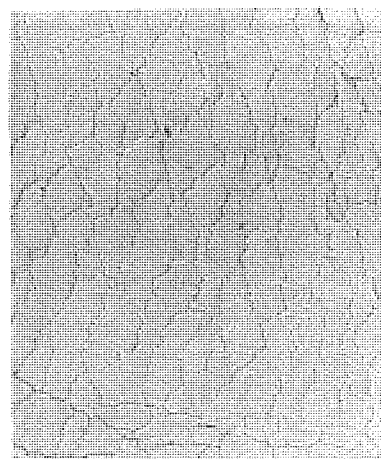


図 7. 試料 No. 1 の Avrami プロット



No. 1



No. 2

図 8. 電子顕微鏡写真 ($\times 43,000 \times 1/2$)

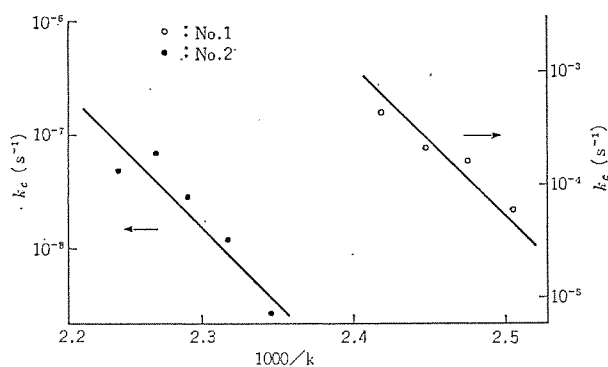


図 9. k_c の温度変化

5. む す び

以上のように、使用する硬化促進剤によって熱的性質にかなり異なる挙動が観察された。反応の複雑なエポキシ樹脂の動力学的な解析は困難なので、類似の挙動を示す高分子の結晶化の理論を3次元反応に応用した。その結果、硬化物の高次構造は、硬化促進剤に3級アミンのベルジルジメチルアミンを用いると繊維状に、有機酸金属塩のカプリル酸亜鉛を用いると球晶状に発達した硬化物が推定され、電子顕微鏡写真によって観察された硬化物表面の構造と比較的よく一致した。この理由は生長過程の差に求められた。(昭和49-4-5受付)

参 考 文 献

- (1) K. Horie, H. Hiura, M. Sawada, I. Mita, H. Kanbe : J. Polymer Sci. A, 8, 1,357 (1970)
- (2) 垣内弘 : 「エポキシ樹脂の製造と応用」 高分子化学刊行会 (昭和39)
- (3) E. D. Erath, R. A. Spurr : J. Polymer Sci., 35, 391 (1959)
- (4) R. A. Fava : Polymer, 2, 137 (1968)
- (5) F. E. Bailey, H. G. France : J. Polymer Sci., 41, 243 (1960)
- (6) T. Tsuruta, K. Matsuura, S. Inoue : Makromol. Chem., 75, 211 (1964)
- (7) S. Glasstone, H. Eyring : "The Theory of Rate Processes" Mc Grow-Hill, New York (1947)
- (8) R. O. Colclough, K. Wilkinson : J. Macromol. Sci., C 4, 311 (1963)
- (9) A. V. Tobolsky : "Properties and Structure of Polymers" Wiley, New York (1960)
- (10) E. H. Earth, M. Robinson : J. Polymer Sci. C, 3, 65 (1962)
- (11) R. Houwink : Trans, Faraday Soc., 32, 122 (1932)
- (12) M. Avrami : J. Chem. Phys., 9, 177 (1941)
- (13) U. R. Evans : Trans. Faraday Soc., 41, 365 (1945)
- (14) N. Shito : J. Polymer Sci., C, 23, 569 (1968)

防災システムの考察

池見 慎一*・小沢純一郎*

1. ま え が き

近年、人口の増加、特に大都市の人口の集中化、経済の効率化に伴い、ビルの高層化が世の中の通説になってきた。これに伴い、防災設備そのものが次第に複雑化、高度化していく傾向にあり、このような状況の中で管理人の操作内容も複雑、高度化しつつあるので、万一、火災が発生した場合に、処理方法を誤るおそれが大きくなってくると考えられる。ところが、一つのビル内(特に、事務所など)で火災が発生する場合は非常にまれであり、数年または数十年に1度ぐらいであると考えられる。このことを管理の立場になって考えるならば、数十年の間、火災発生時の処理方法を常に管理センタにおいて(把)握または記憶しておくことになるが、これは管理者にとって大きな負担と考えられる。そこで、火災発生時の情報処理の方法、判断機能の一部をソフトウェア化又は規格化することが考えられる。

そこで、ソフトウェア化する手段として、ミニコンの防災システムへの導入のあり方について述べる。しかし、ここでは一般事務所ビルを対象にして防災システムを考えるが、他の方面例えばホテル、地下街などの防災システムにも応用できるものと考えられる。

2. ソフトウェアの概要

2.1 ソフトウェア化の問題点

防災システムにソフトウェアを導入する場合にまず現在の防災システムの問題点を抽出することが重要である。そこで、過去のビル火災例から火災拡大と避難不成功の原因の問題点を分析した結果の概要を表1に示す。

問題点の分析結果を要約すると、(1)検知方式、(2)消火方式、(3)シャ(遮)煙及び排煙方式、(4)避難誘導方式などの方式が確立されるならば、火災の拡大を防ぎ、人命がそこなわれないうで、避難が容易に行われると考えられる。

2.2 ミニコン導入に対する考え方

現在あらゆる分野で自動化、省力化のために、中形、小形計算機(特に小形計算機)の導入が著しい。しかしながら、防災システムの分野においては、最近ミニコンの導入化への道が開かれたばかりである。

ここで、考えなければならないのは、工業プラント、生産ラインなどの分野での計算機のソフトウェアに対する基本的な考え方と、防災システムのそれに対する基本的な考え方との大きな相違点であろう。

表 1. 火災拡大と避難不成功の原因と問題点

	原因	問題点とその分析		原因	問題点とその分析
火災拡大の原因と問題点	消防法関連	初期消火の不成功 (1) 発見の遅れ ○ (2) 消火器の不備 (3) 自動火災報知設備の不備 ○ (4) 自動消火設備の不備 ○ (5) スプリンクラーのシャへい物による効果低下	避難不成功の原因と問題点	消防法関連	避難誘導設備と誘導者の不備 (1) 誘導灯の不備、避難器具の不備 ○ (2) 方向指示制御方式(風向、煙方向、出火場所などの条件による自動方向指示制御)の開発の必要性 ○ (3) 建物管理者の責任
		通報の遅れ (1) 通報者心理混乱による遅れ (2) 発見遅れによる通報不能 (3) 自動通報設備の不備 ○ (4) 自動火災通報設備の不備 ○			火災報知設備とそのアラームの不備 (1) 設備故障 (2) アラーム方式の改良
		多量の煙による消火活動の不能 (1) 現場排煙の困難性 (2) リモコン排煙の必要性 ○ (3) 消煙技術開発の必要性			非常放送設備とその運用の不備 (1) 設備故障 (2) 運用管理の不徹底 (3) 自動放送の必要性 (4) 正確な情報は煙とその伝達の必要性
		防火設備の不備 (1) シャッタ、防火ダンパなどの不備 (2) シャッタ、防火ダンパなどの不適正配置			避難口、方法などの不備 (1) 避難口、とびら開閉の不備 ○ (2) 避難通路、階段の不備
建築基準法関連	建築基準法関連	排煙設備の不備 (1) シャッタ、ダンパなどの耐熱、熱伝導性の弱点 (2) シャッタ構造(くぐり戸、郵便受)の弱点 (3) 建築上の不備(シャッタ取付工事とその近傍の防火性) (4) エスカレータ回り、天井、シャッタの不備 (5) 消防法、建築基準法の不統一による煙感知器の不適正配置、連動システム信頼性向上の必要性 (6) 排煙設備自動操作方式(シーケンス)の開発必要性 ○	人間心理	建築基準法関連	煙、ガスなどによる避難不能 (1) 排煙ダクト、空調ダクト共用の問題 ○ (2) 排煙口ダンパの不完全性による問題 (3) 排煙ファンの不備 ○ (4) 空調ダンパ区画、自動切換排煙方式の開発必要性 ○ (5) 消煙方式開発の必要性 (6) シャ煙方式開発の必要性
		空調系ダクト、ファンなどによる煙、熱気の拡散 (1) 大規模ダクト式空調による煙と熱気流の拡散(ユニット式空調ならその被害は少ない) ○ (2) 火災時空調操作方式の開発必要性 ○			パニック状態 (1) パニックにおける人間心理は、必ずすみへすみへと逃げる人間行動を起こす (2) パニックにおける人間心理は、人の多勢いる方へ向く (3) 火災のものより、パニックによる災害が大きい (4) オフィスビルの80%は、内部の様子を知っているが、ホテルあるいは百貨店での客のパニックは大きい(オフィスビルとホテルビルにおける避難誘導方式の相違点と重要性)

(注) ○印は中央防災監で監視、制御すべき項目

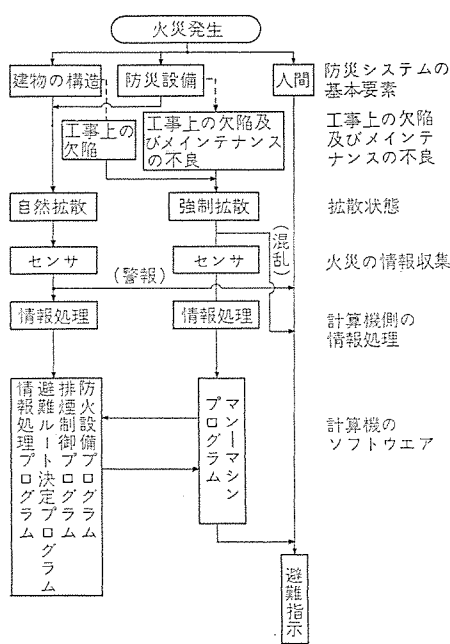


図 1. 火災と防災システムの関係

前者においてはその対象は物体であり、目的は経済コストの低減、製品の向上などであるが、後者においてはその主たる対象は人間であり、目的は避難誘導、焼失物件の低減、損害コストの低減などである。

このように、防災システムにおいて、対象が人命であるという立場にたつて、防災システムにミニコンを導入することを考えるならば、ソフトウェアに対する絶対的な信頼度が必要となってくる。それゆえに、計算機で処理された結果を人間が更に確認し、それで初めて計算機からの結果を各端末機器に出力するようなマンマシンシステムの確立が重要になってくると考えられる。

2.3 ビル防災システムにおける計算機の役割

計算機のもっている長所は計算処理の速さ、記憶の確実さにある。そこで、計算機の役割を考えると、計算時間の速さ、記憶の確実さに注目して、ソフトウェアの機能を考える必要がある。その反面、計算機はあらかじめ決められたプログラムの機能以外のことはできない点をも考えにいれておく必要がある。

高層化していくビルにおいて、防災センタでの集中管理業務はますます高度化されていく。しかも、緊急時に防災センタの要員が多量の情報を正確に判断し、必要にして十分な制御、操作を手動で行うことに限界が生じてくる。

このために、防災センタにおける監視、操作の機能を二つの機能に分ける必要性がでてくる。その機能とは、(1) 計算処理、論理判断処理及び操作手順その他の記憶機能、(2) 確認、修正及び非常放送などの人間でなければ判断できない機能である。これらの機能を考察してみると、前者は少なくとも計算機で代行しても、システム機能に何ら支障をきたさないものと考えられる。後者においては、後者は人間の判断が絶対に必要とされているものと考えられる。ここに、防災システムに計算機(ミニコン)を導入する基本的な考えがでてくると考えられる。

2.4 防災システムのソフトウェアの基本構成

防災システムのソフトウェアの基本構成に当たって重要なことは前述したように、計算処理、操作手順の記憶などをソフトウェア化することであって、すべてをソフトウェア化して監視、制御することではない。

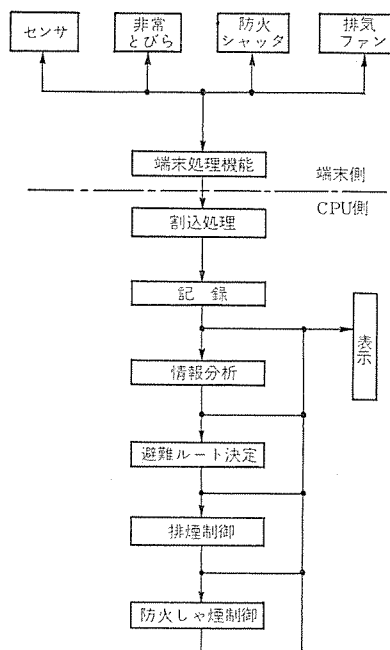


図 2. 防災システムのソフトウェア構成

それゆえ、ソフトウェア化する前に、何をソフトウェア化すべきかを考える必要がある。この考え方を図 2. に示す。また図 1. に示すように、火災の拡散、避難誘導を考えると、三つの構成要素から成立つ、すなわち、建物の構造、防災設備(排煙設備、防火・防煙シャッター、その他すべての防災設備)と人間の三つの要素である。拡散現象については、自然現象と強制拡散とに分けられる。前者は自然に火災が拡散していく状態、例えば、火災室→廊下→階段のような拡散であり、後者は壁、ダンパなどの障壁をのり越えていく拡散である。

このように考えて、防災システムのソフトウェアを考えると、基本的にできるものは、情報処理、操作手順、避難ルートの選択、排煙制御などである。

3. ソフトウェアの構成

3.1 ソフトウェア処理の項目

ソフトウェア全体はリアルタイムモニタで管理し、割込処理は割込処理プログラムで処理を行う。防災システム用のプログラムの構成例を示すと以下のとおりである。

- (1) 情報処理プログラム
 - (a) 火災階又は火災室確認プログラム
 - (b) 避難ルート決定のための初期値設定プログラム
- (2) 避難ルート決定プログラム
- (3) 排煙制御プログラム
- (4) 防火防煙設備制御プログラム
- (5) マンマシン処理プログラム

以上で構成されるが、ここでは、(5)以外のプログラムの概要を述べる。

(1)では火災感知器(以下、センサと略す)の信号の分析を行い、火災の判定をする。そして、CPUにセットしているセンサの組合せのデータにより火災室、階の判定をし、判定された室、階の値をもとにして初期値をセットする。(2)では(1)でセットされたデータをもとにして、避難ルートを決定する。(3)、(4)においては(2)で決定されたルートを確保するために排煙ファン、防火シャッターなどの制御を行う。

3.2 情報処理プログラム

防災機器の感知器の出力信号を端末処理装置で管理を行い、その結果を中央処理装置(以後、CPUと略す)に移す。そこで、端末処理装置とCPUの役割(特に、火災感知の判断とその処理)の一方方法を述べる。

端末処理装置において、熱感知器、煙感知器、防火シャッターなどの異状信号を常時監視する。その中で、異状信号の検出に次の方法が考えられる。

- (1) 各センサ間のデジタル量(又はアナログ量)の相互比較
 - (2) 各センサの時刻ごとの係数の比較による異状信号の検出(傾向監視)
 - (3) 各センサの値の積分値による異状信号の検出
- (1)の方法ではデジタル量(従来の火災感知器は2値情報すなわ

ち ON, OFF 情報のみを発生するが、将来は多値情報が必要となるであろう)の比較であるから、比較的簡単であるが、得られた情報の火災信号としての信頼性が問題となる。(2), (3)の方法を実現するためのセンサは現在まだ開発されていないので、ここでは省略するが、将来、誤報対策として(2), (3)の方法が有力になると考えられる。

2.3 避難ルート決定プログラム

人命尊重の立場から避難ルートを確保することが防災システムにおける究極の目的である。しかし、この避難ルート決定プログラムの確立とそれによる避難ルートの決定はなかなか困難である。火災の状況、建築構造、煙挙動と排煙制御、防火設備配置とその制御、避難設備などの関係が深い。更に、避難ルートをとにかく決定し、それを確保するために排煙制御や防火設備制御を決定すべきか、又は設備をベースにして、ルートを決めるかは今後研究すべき点が多い。そこで、ここでは避難ルートをとにかく決定してからそれを確保するための排煙制御、防火設備制御などのプログラムを考えることにした。

避難ルートの決定法は次の手順に従うものとする。

- (1) 割込処理
- (2) 情報分析
 - (a) 異状信号の分析
 - (b) 火災の有無
 - (c) 火災階又は火災室の決定
- (3) 火災(煙、熱)の拡散方向の決定
- (4) 廊下、避難階段へのルート選択のための初期値設定
- (5) 避難ルートの決定
- (6) ディスプレー装置などへの表示
- (7) 人間による避難ルートの最終決定
- (8) CPUから各階への表示(誘導表示灯、アナウンスなど)

ここで、重要なポイントは(4)であるが、次にあげる要素は不確定な要素を含んでいるので、今後の研究課題と考えられる。

- (1) 人間の心理状態の分析
- (2) 群集心理が及ぼす避難時間への影響
- (3) 建物の構造による火災挙動、避難行動への制約条件
- (4) 建物内にいる人数
- (5) 年齢など居住者構造と避難時間の制約
- (6) 建物の種類などその他による制約

以上の条件を考慮に入れて、避難ルートを決めなければならないが、現実問題としてはすべての条件を数式で表すことは不可能である。特に、人間の心理状態を数式又は関数で評価し、表現することはむずかしい。そこで、現時点において、避難ルートを決めるために、火災室、否火災室の二つに区別して、避難ルートを決める方法が考

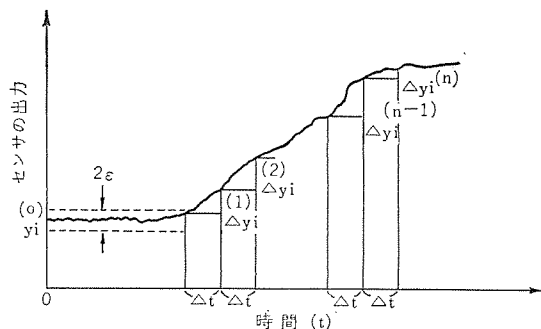


図 3. 情報分析の一方法

られる。

今後の問題としては、前述の条件が付加できるようなプログラムに構成しておく必要がある。

この避難ルート決定フローチャートを図 4. に示す。

3.4 排煙制御プログラム

排煙制御する条件としては、CPU では下記の条件が分かっているなければならない。

- (1) 確立された避難ルート
- (2) 煙、熱の拡散方向又は予測方向
- (3) 窓、出入口、階段と付室の位置
- (4) 空調ダクト、ダンパの位置
- (5) 排煙ダクト、ダンパ、ファンの位置
- (6) エレベータのシャフト、ロビーの位置
- (7) 消火せん、電源などの位置

排煙制御の主たる目的は前述したように避難ルートの確保であるが、他の目的としては、火災室、火災発生点への消防隊の進入路の確保、消防隊の消火活動範囲の拡大である。

ここで、排煙制御における注意すべき点は制御したためにかえって煙の拡散を大きくすることである。また、煙の拡散方向と排煙方向とが一致し、かつ、煙の拡散方向と避難誘導方向とが一致しないことである。正確に言えば、煙の拡散方向と避難誘導方向とが正反対であればよい。

制御方法の決定アルゴリズムは自然現象を含めた形でプログラムを作成しなければならない。そこで、ここでは、自然現象の部分センサからの信号を情報処理プログラムで処理した結果、すなわち拡散方向の予測を条件式の中に入れて排煙制御のプログラムを作成する。その一例を図 5. に示す。

3.5 防火シャ煙制御プログラム

これは次の二つの面が考えられる。

- (1) 避難誘導、消火活動の立場から防火シャ煙制御(前述の防火設備制御)を考えた場合、これはあくまでも補助手段として考える。

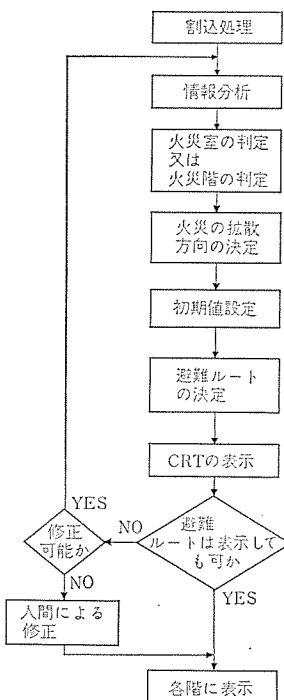


図 4. 避難ルート決定のフローチャート

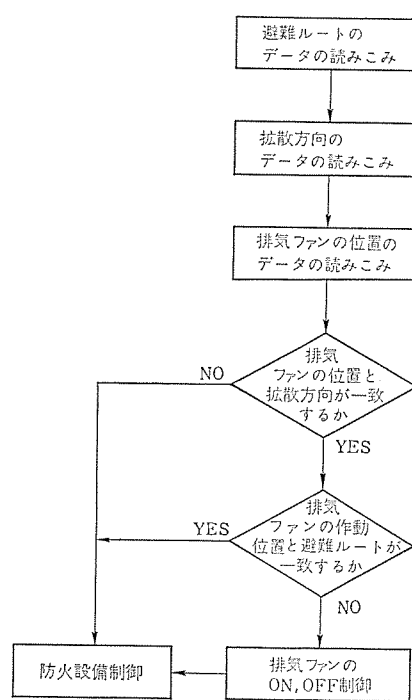
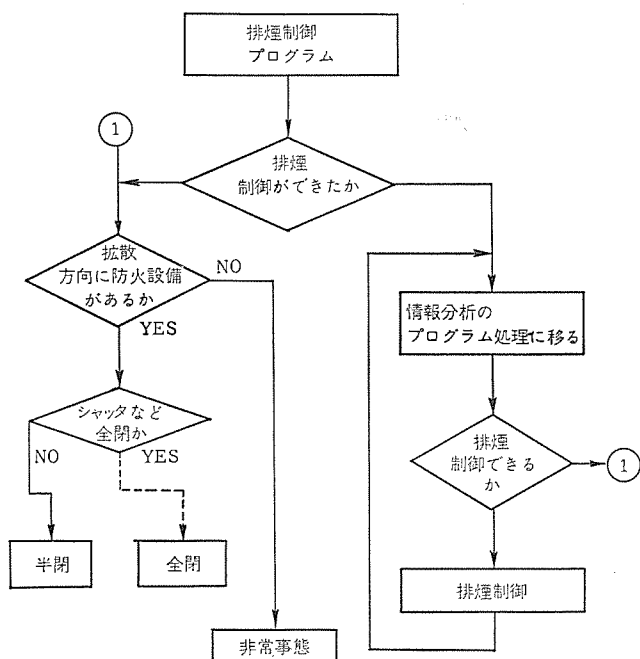


図 5. 排煙制御フローチャート



(注) 点線部分はこの論文の考え方は好ましくないと考える

図 6. 防火しゃ煙フローチャート

(2) 火災拡大を防ぐ立場から考えた場合には、完全なしゃ煙制御又は設備をする。

そこで、防災システムとしては、防火しゃ煙制御は前者の立場をとり、避難誘導にシステムを中心をおき、拡大阻止は消防隊にまかせるという考え方もできる。なぜならば、しゃ煙制御を行ったときに、避難すべき人がいるかどうかを判定する手段が現在のところないためである。

火災が発生したときに、排煙ファンを作動させることはもちろんであるが、モータ容量などのために排煙制御では限界点がある。その限界点に到達するまでに、避難すべき人が避難することができれば問題はないが、実際には避難時間は非常に長時間にわたると予想される。

そこで考えられるのが防火しゃ煙制御である。熱による空気膨脹、上昇速度、煙量と排煙ファンの容量を比較したときに、排煙ファンのほうが大であるときは何ら支障はないが、その逆の場合になるときが問題となる。

火災が初期の場合には避難の立場からみれば、シャッターなどでしゃ煙することはマイナスの面になり、しゃ煙するか否かの判定の一つの目安として減光係数が考えられる。ここで、減光係数とは透視率のことで、センサからの出力信号を換算した値をとることとする。

防火しゃ煙制御方法の一例を図 6. に示す。

3.6 マン-マシンシステム

以上考察してきたように、CPU の処理機能が与えられたプログラムと入力の範囲で完全であるといっても、状況判断機能が完全であることにはならない。なぜならば、自然現象のモデル化には現時点で

は限界が存在する。この欠点を防災システムでは補う必要があり、ここに、マン-マシンシステムのプログラムの存在理由がある。

生産プロセスと防災システムの根本的な相違点は、前者においては、制御することが不可能になっても、生産量の増減、製品の質の低下などの面を考えればよく、また、他の制御方法にかえることができるが、後者においては、制御（避難誘導及び予測）に失敗すれば、大多数の人命がなくなることである。

以上の観点にたつと、防災システムにおいてはマン-マシンシステムを考える必要がある。ゆえに、CPU と CRT のディスプレイ装置との対話が必要になってくる。この対話により、CPU で処理された結果が正しく判断されたかを確認できる。

CRT などに表示するメリットは火災が発生した場合の煙の拡散状態を常には握ることができる点である。CPU で判断された結果がもし誤っていれば、煙の拡散状態を握った人間が修正した結果を CPU に入力して、避難誘導、消火活動などの指示を行うなど人間系の介入が最後までできることである。

4. む す び

防災システムのソフトウェアの考え方を述べてきたが、本来、これはビル管理業務の一部としてとらえていくことが必要である。防災システムの機能をソフトウェア化、すなわち、計算機を導入することは、(1) 感知方式、(2) 消火方式、(3) しゃ煙及び排煙方式、(4) 避難誘導方式の確立を目的とすることである。

しかし、これらを実現するに当たっては数多くの問題点が存在する。例えば感知方式の例をとると、センサの問題である。これは誤報対策の上でも非常に重要なことである。この問題は今後開発される場所が大きいのと考えられる。(2)～(4)の問題は(1)の方式の確立が前提条件となるけれども、ある範囲では(1)の問題とは独立にソフトウェア化できるものと考えられる。

(1)の対象は煙又は熱であるが、(2)～(4)の対象は煙又は熱と人間であるが、その主対象は人間の行動である。ゆえに、(2)～(4)のソフトウェア化を計る上で人間の行動を解析することが重要ではあるが、これは非常にむずかしい問題を含んでいる。

現在、ここで考えている防災システムについては、人間の行動の要素を含まないでプログラム化できる部分についてのみソフトウェア化し、将来、人間の行動心理をも含めたものを作り上げたい。

参 考 文 献

- (1) 今出, 和泉: 電学誌, 93, No. 6, 499 (昭 48)
- (2) 川越: 空調学会誌, 47, No. 10, 4 (昭 48)
- (3) 星野: 空調学会誌, 47, No. 10, 8 (昭 48)
- (4) 安富: 空調学会誌, 47, No. 10, 28 (昭 48)
- (5) 高桐, 菅野: 空調学会誌, 47, No. 10, 40 (昭 48)
- (6) 安富: オーム, No. 3 (昭 48)
- (7) 佐藤: オーム, No. 3 (昭 48)
- (8) 今出ほか: 電気学会 ミニコン 講習会 (昭 49)

昭和産業(鹿島)納め サイロ設備用電機品

加来 政博*・水溜 和哉*・松本 公雄**

1. ま え が き

我が国は毎年相当量の食糧を海外からの輸入に頼っている。これに伴い大形ふ(埠)頭サイロ設備が各地に建設されている。この設備は茨城県鹿島地区に建設された大形サイロで、当社は、この主要部分の制御装置を製作、納入した。

この設備は大きく分けて、船舶より原料を陸揚げし、アンローダより各サイロ群また各サイロ群より各出荷場所への輸送を行う搬送設備と、各サイロ内の在庫管理、出荷管理を行う管理設備に大別できる。このような設備の制御装置として前者には三菱無接点制御装置 MELMAC-100、後者には三菱マイクロコントローラ MELMIC-100 を採用し、これを組合せることによって要求される複雑な制御性能を満足することができた。ここでは、昭和48年12月より突か(稼)動に入ったこの設備の中でこれらの装置がどのような構成となり、機能を発揮しているかを述べる。

2. 設 備 概 要

2.1 概 要

数万トンという大形船舶により陸揚げされた原料は、以下に述べるベルトコンベヤ、バケットエレベータなどによりサイロに投入される。この際、途中に計量機を設け投入量を計量、チェックし、管理することが出でる。いったんサイロに投入された原料は必要に応じて出荷されるわけであるが、この間にサイロ内の入替えを行う、「リサイクル運転」を行うことができる。また出荷経路途中にも計量機が設けられ、出荷量の管理を行うことができる。

2.2 輸送系統

全系統は次のような系統に分別される。

(1) 受入投入系統-アンローダよりサイロ投入までをいう。

- (2) リサイクル系統-サイロ取出コンベヤよりサイロ投入までをいう。
 (3) 工場出荷系統-サイロ取出コンベヤより工場送りコンベヤまでをいう。
 (4) トラック出荷系統-サイロ取出コンベヤよりトラック出荷場までをいう。
 (5) 切込投入系統-切込コンベヤよりサイロ投入までをいう。

図1. は原料の流れを示すフローシートである。上述した系統分類及びその組合せにより極めて複雑多岐にわたる運転が行われている。

3. 電 気 設 備

3.1 電源及び制御盤

この設備の動力電源としては、AC 400 V 50 Hz 3相3線式で受け低圧電磁制御盤により各負荷に供給している。最も大きな容量の電動機は185 kWでありじか(直)入起動を避け55 kW以上をリアクトル起動方式としている。また制御電源はAC 100 V 50 Hz とし、直流電源が必要な所にはこれより整流して供給している。

今回当社が製作したサイロ用制御装置は次のとおりである。

- (a) 低圧電磁制御盤 33面 AC 400 V
 (b) 中央制御盤 (MELMAC-100組込) 1面
 (c) 中央操作盤 1面 机形
 (d) 中央管理装置 (MELMIC-100) 3面
 (e) 現場手元スイッチ箱 壁取付形 1式
 (f) 現場操作盤 5面 壁掛形
 (g) ITV 3式
 (h) 電流監視制御盤 1面

図2. は上記装置によるサイロ制御システム図を示す。

3.1.1 低圧電磁制御盤

各現場に分散して配置され、各電動機のノーヒューズブレーカ、マグネットス

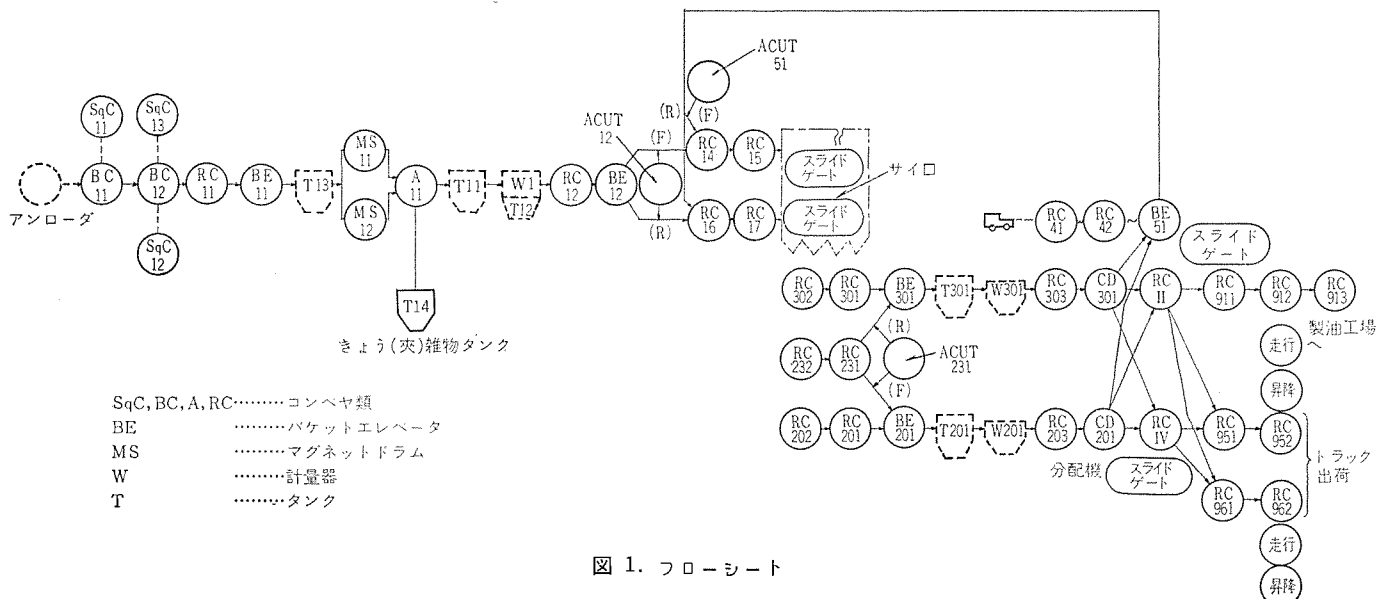


図 1. フローシート

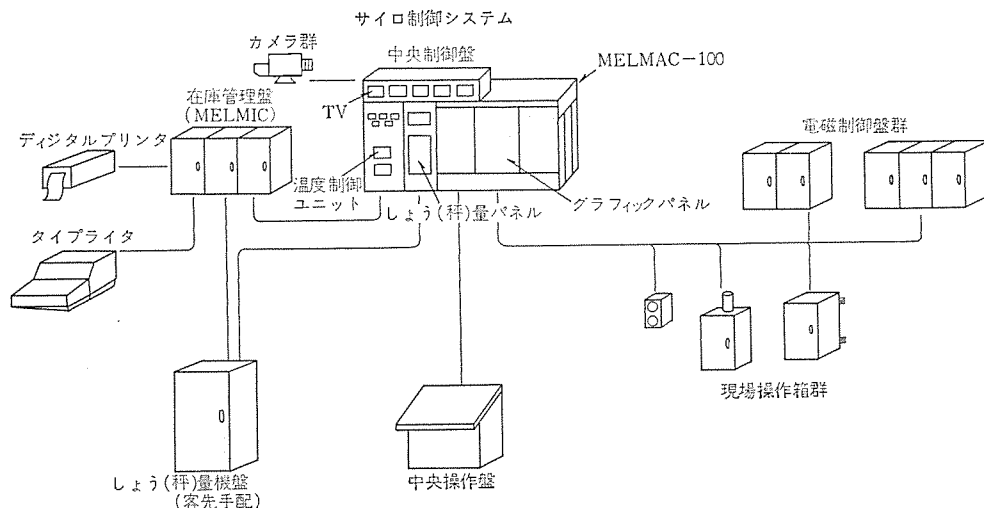


図 2. サイロ制御システム

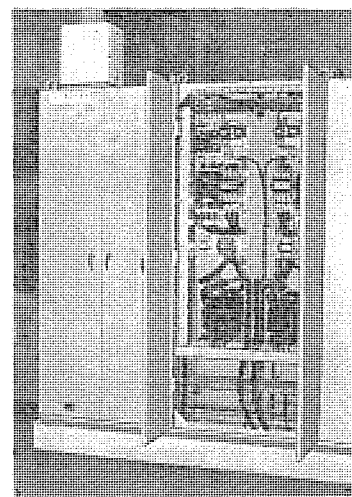


図 3. 低圧電磁制御盤

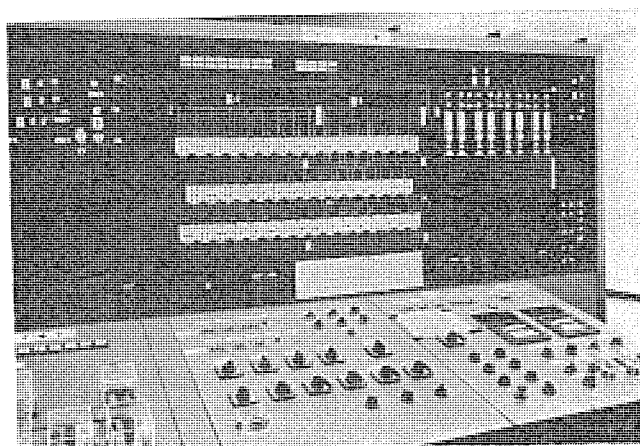


図 4. サイロ用中央制御盤外観

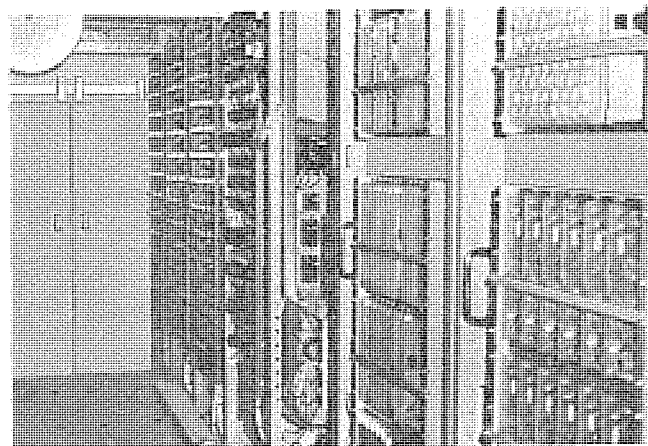


図 5. 中央制御盤内部

イチ、制御リレーなどを収納し各負荷ごとにユニット化されている。図 3. に示すように前面サービス形とし、通常の保守も容易になっている。

3. 1. 2 中央制御盤

中央制御室に設置され総括的な制御を行う。従来、一般の総括制御装置として照光盤と制御盤を別個に製作することが行われていたが、盤の配置の問題、据付後の現地外部ケーブルの接続時間の短縮などの理由でこれを一体とした。すなわち、表面を照光パネルとし内部に制御回路を組む中通路式の制御盤とした。照光パネルは将来の増設予定分も考え、また改造が容易なように取外しできるように考慮されている。原料の輸送フローに従い運転状態がよく分かるように小形ランプが配置され、故障表示、状態表示も行っている。またこの外に、ITV の操作器、しょう(秤)量機関係の操作パネル、温度制御関係も取付けられている。図 4. にその外観、図 5. に内部の状態を示す。

3. 1. 3 中央操作盤

同じく中央制御室に設置されるもので全体の運転、制御を行う。ここには各種の設定を行うデジタルスイッチ、運転前・運転中の操作を行う押しボタンスイッチ、系統の運転を行うスイッチ類、負荷の電流を監視するデジタル電流計などが配置されている。図 6. にこれらのスイッチの配列状態を示す。

3. 1. 4 中央管理装置 (MELMIC-100)

中央制御室に設置された在庫管理を行うものである。中央制御盤前面取付のしょう量機操作パネル及び中央操作盤に設けられたデジタル

ルスイッチにより設定された各種の設定信号を受け、設定に誤りがないかをチェックした後運転可能であれば所定のサイロ指定を行い、搬送ラインの運転を開始させる機能をもつ一方、しょう量機よりの計量値をカウントし在庫量の管理を行うことができる。また在庫量のデジタルプリント、出荷伝票の作成などこの設備の頭脳に相当する仕事をする極めて高精度の制御装置である。盤はキュービクル 3 面より成る。この装置の詳細については 4 章にて詳述する。

3. 1. 5 現場手元スイッチ

試運転調整その他単独に現場より運転するために設けられたスイッチ箱で「連動一断一単独」の切換スイッチと運転・停止の押しボタンスイッチより成っている。

3. 1. 6 現場操作盤

現場で操作するために設けられた操作盤である。このうちトラック出荷場に設けられるものは天井よりつって取付けてあり、トラックが入着後現場にてコンベヤの運転・停止、走行台車の前後進、昇降装置の上下制御を行えるようにしている。

3. 1. 7 ITV

中央制御室にて現場の状況が分かるように ITV を設けている。トラック出荷場にはトラックのナンバを監視するもの、出荷状況を監視するもの、トラック運転者の持参してきた伝票を監視するものの 3 台が設けられ、この外にはアンローダ部分の状態監視用に 2 台、計 5 台設置されている。

3. 1. 8 電流監視制御盤

各負荷の負荷電流を中央制御室の中央操作盤にてデジタル監視する

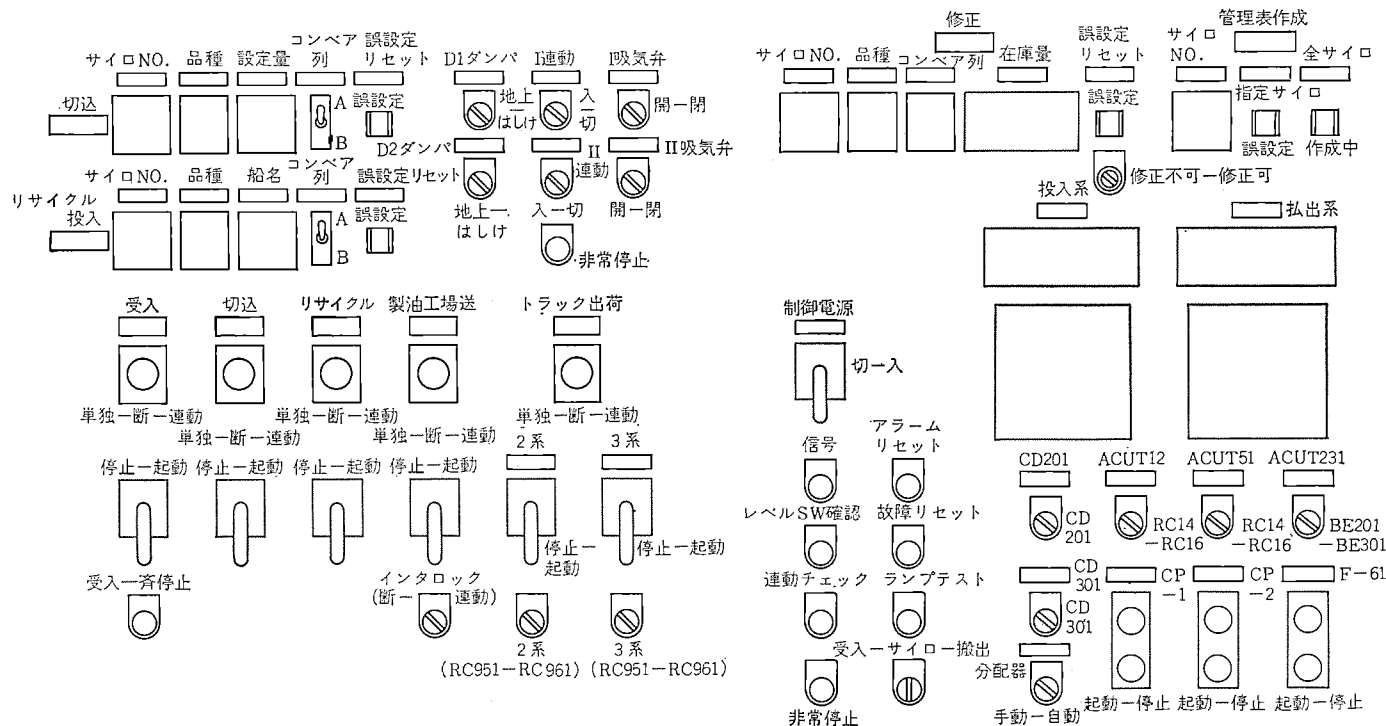


図 6. 中央操作盤器具配置図

ために必要なトランスジューサ・リレー・BOXなどを集合配置した制御盤で中央制御室に設けている。

3.2 制御方式

3.2.1 運転種別

中央連動運転と現場単独運転が可能である。中央連動運転とは系統別に中央操作盤の操作スイッチにより一括運転するものをいい、運転する系統の現場切換スイッチをすべて「連動」としておかなければならない。単独運転とは現場切換スイッチを「単独」にすることにより現場よりの運転操作ができる。この場合は、他機とのインタロックはとらない。

3.2.2 中央連動操作

制御電源を投入しランプテスト押しボタンスイッチにてランプのテスト、現場切換スイッチが「連動」となっているかの連動チェック、各種設定値のチェックを行った後、中央操作盤よりの「起動」操作スイッチを投入すれば各系統の下流コンベアより順次起動を行なう。通常停止は中央操作盤よりの停止スイッチ、計量終了信号により一定時間後行われる。またコンベア故障では上流側のインタロック停止・非常停止では一せいで停止が行われる。

3.2.3 警報

故障の種別として下記に大別している。

連動機器故障……連動運転機器のサーマルリレー、ノーヒューズブレーカ動作

単独機器故障……上記以外のサーマルリレー動作

瞬時過負荷……瞬時動作電流リレーの動作

設定電流超過……瞬時動作電流リレーの動作

速度異常……スピードスイッチの動作

誤設定……デジタルスイッチ設定に対しての中央制御盤、MELMIC-100の回路判定

その他……ベルト片寄、断水リレー、異常温度、油圧低下、

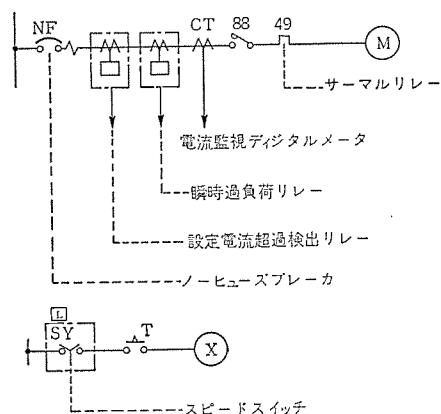


図 7. 機器保護方式

MELMIC 異常, MELMIC 周辺機器異常, サイロダンパ異常, 起動渋滞

上記は故障発生により故障機器のランプフリッカ、ベル鳴動の警報が出る。「警報リセット」押しボタンスイッチによりベルを止め、「故障リセット」により故障状態リセットが可能である。タンクのレベルスイッチが動作すると、レベルスイッチランプはフリッカする。「レベルスイッチ確認」押しボタンスイッチを押すとランプは静止光に変わる。

3.2.4 MOTOR 保護回路

上述で分かるように MOTOR 及び機器を保護するために、図 7. のような多重保護を行っている。

3.2.5 負荷電流計測

中央操作盤にデジタル電流計で監視できるように、切換用の押しボタンスイッチを設けた。図 8. はその説明図である。

3.3 中央制御盤 (MELMAC-100)

3.3.1 性能

設備の中樞神経ともいえる総括制御装置はその性能の良否が設備の

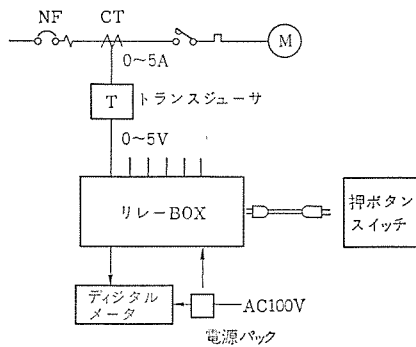


図 8. 負荷電流計測方法

か(稼)動率、生産性に大きな影響を及ぼす。したがって次の条件を備えている必要がある。

- (1) 高い信頼性
- (2) 耐久性
- (3) 改造・増設の容易さ
- (4) 保守の容易さ

今回の設備においては、上記を満足する必要性から MELMAC-100 を採用した。回路素子の IC 化及び全カード化により、ハードウェアの面では高い信頼性を得るとともにソフトウェアの面では可変部分を簡単なプログラミング手法により設定可能なようにしたものである。

3.3.2 特長

MELMAC-100 は従来の無接点式総括制御装置のワイードロジック方式を一新し、最新のデジタル技術を取り入れ、ソフトウェアに対して柔軟性を有するもので次の特長をもっている。

- (1) スレッシュホールドレベルの高い IC を用いているためコンパクトであるとともに信頼性が非常に高い。
- (2) 入力信号は DC 100 V を用い、入力接点の接触不良を防ぐとともに誘導による障害を防止する。
- (3) ソフトウェア技術とハードウェア技術との融合により簡単に制御方式の変更ができる可変プログラム方式を採用しているため、設備の増設・改造時の停止時間を短縮できる。
- (4) 特殊なプログラム教育を必要とせず容易にプログラムすることができる。
- (5) 標準化されたユニットのビルディング方式としている。
- (6) 機能ごとにユニット化され、チェック端子が十分準備されているので点検が容易である。

3.3.3 応用

図 9. に今回の設備における MELMAC-100 の制御システム図を示す。図で分かるように各システムごとに主幹回路を設計、これらが論理回路、故障回路を経てモータカード信号を送っている。主幹回路は、標準化された主幹カードとシステムの条件によりプログラムされたマトリクスインタロックカードより成り、故障回路は、故障カードを中心に有機的に構成され複雑な回路に対応している。

図 10. に主幹カードの主要部分を示す。主幹カードはシステムの機器に対して起動信号・運転信号を与えるものである。すなわち、図において故障回路へ対する故障リセット信号、各機器に起動中のみ指令を与える起動信号、起動指令後一定時限 (TD のセット時限) して運転指令を出す運転信号及び運転前の運動チェック信号などより成っている。図中、PA は電力増幅素子、PT はパワートランジスタ、FF はフリップフロップ素子、TD はタイマ素子である。

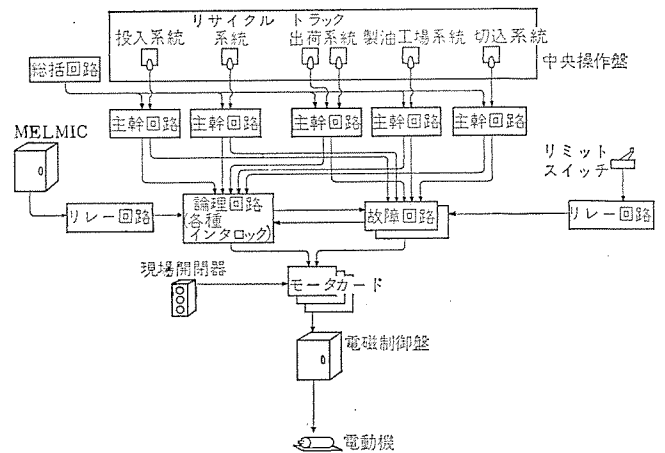


図 9. MELMAC-100 制御システム

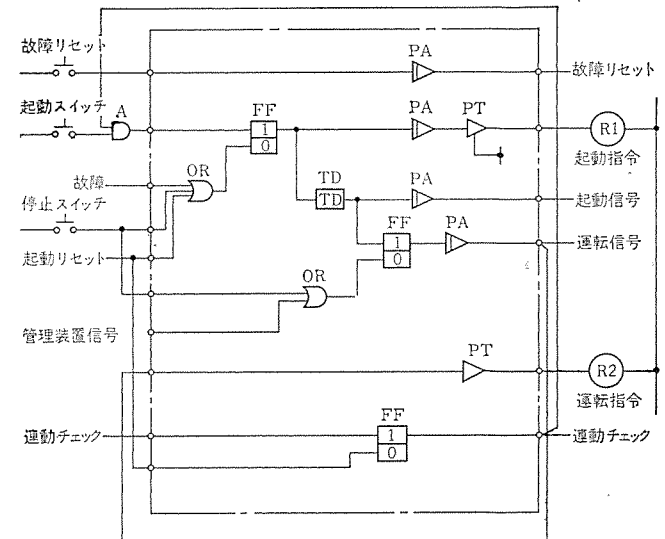


図 10. MELMAC-100 主幹カード抜粋

4. 中央管理装置 (MELMIC-100)

4.1 MELMIC-100

サイロ設備制御の中で大きな特長の一つは在庫管理を行うことによる省力化、自動化への貢献である。したがって次のような条件を備えている必要がある。

- (1) 演算機能を有している
- (2) 機器構成が簡素化され、信頼性が高い
- (3) システムの変更、拡張が容易である
- (4) 経済的である

MELMIC-100 は上記の条件を十分満足している。メモリとして読み専用メモリ IC-ROM、又はリードライトメモリ IC-RAM を使用しており、試運転調整及び実負荷運転初期においては RAM カードを使用する。これは RAM 書込装置によって現場での変更が容易である。制御方式が固定した後これを ROM カードに変更する。ROM カードは非破壊メモリなので誤操作や停電などによって容易に内容が破壊されない。

MELMIC-100 を構成する各ユニットの仕様と構成を表 1. 及び図 11. に示す。

4.2 中央管理装置の機能

中央管理装置は以下に示すような制御機能を持っている。

表 1. MELMIC の構成と仕様

演 算 制 御 ユ ニ ャ ッ ト	語長：1語 16 ビット 制御メモリ：256 語（最大 1 K 語まで拡張可能） スクラッチパッドメモリ：224 語内蔵可能 インタフェース用バッファレジスタ 29 語接続可能（外部） アキュムレータ：2 語 ステータスレジスタ：1 語 命令：基本 27 種、間接命令機能付加可能 命令実行時間：4 μ s/1 命令 タイマ内蔵可能 割込み：1 レベル 6 原因内蔵（外部に増設可能）
入 出 カ ユ ニ ャ ッ ト	入力：32 点、リレー接点 出力：16 点、リレー接点
デ ジ タ ル ス キ ャ ナ	32 点単位で最大 8192 点 接点または、論理レベルインタフェース
デ ー タ メ モ リ	256 語単位で最大 8192 語 読出し専用メモリ又はリードライトメモリ
イ ン タ フ ェ ー ス レ ジ ス タ	1 語単位で最大 29 語 論理レベルインタフェース
紙 テ ー プ リ ー ダ	読取り速度 1,000 字/分
紙 テ ー プ バ ン チ ャ	さん孔速度 1,000 字/分
デ ジ タ ル プ リ ン タ	1 行当り 8 けた、12 けた、又は 20 けた 印字速度 最大 3 行/秒
出 カ タイ プ ラ イ タ	印字種類 16、32、46、92 印字速度 最大 10 字/秒
R O M 書 込 み 装 置	読出し専用メモリへのプログラム書込み
R A M 書 込 み 装 置	リードライトメモリへのプログラム書込み、又はシステムメンテナンス用

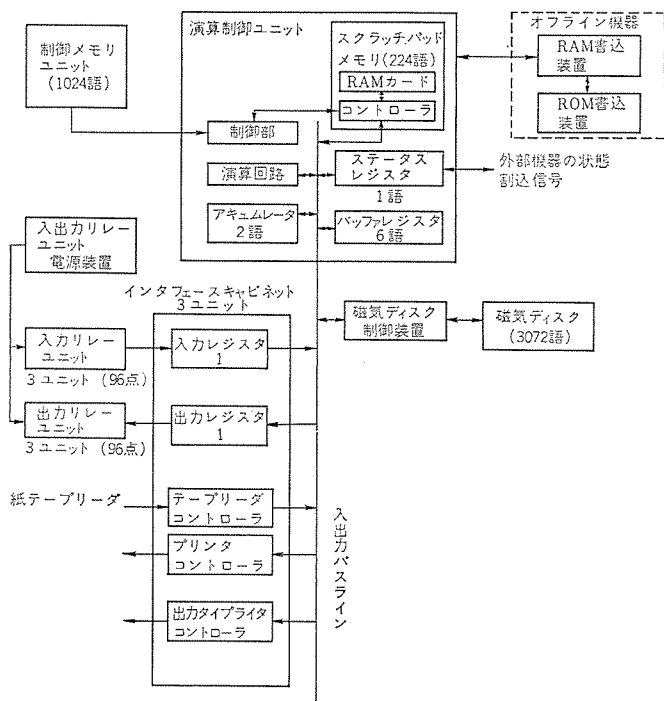


図 11. 中央管理装置 (MELMIC-100) の構成

4. 2. 1 設定チェック

しょう量機操作パネル及び中央操作盤に設けられた図 12. に示すデジタルスイッチ設定信号を受け、下記項目の設定に誤りがないかをチェックし、誤っている場合には誤設定警報を出す。

- (1) サイロ No. - 設定サイロ No. と登録サイロ No. との照合
- (2) 船名 - 設定サイロ No. に在庫されている原料の船名と設定船名との照合
- (3) 品種 - 設定サイロ No. に在庫されている原料の品種と設定品種との照合
- (4) 設定値 - 投入の場合、設定サイロ No. の在庫量と設定値とを加え合せた量が在庫可能最大量以下かどうかのチェックをする。取出しの場合、設定値以上の在庫量があるかどうかのチェックをする。

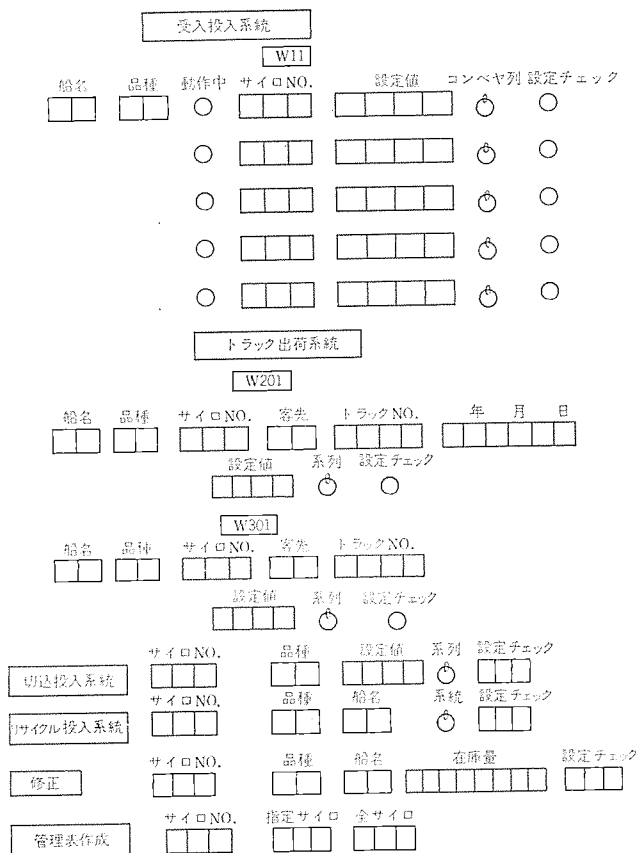


図 12. サイロ在庫管理設定スイッチ

4. 2. 2 運転指令

4. 2. 1 項で示す設定チェックをした後、運転可能であれば設定サイロ No. の指定を行い搬送ラインの運転開始指令を出し、在庫管理により設定量まで投入又は取出しが完了すると停止指令を出す。

受入系統については、図 12. に示すように 5 組のデジタルスイッチにより 5 工程の予約ができ、運転は第 1 工程より順々に行われ、サイロ No. が 000 と設定されている工程で停止する。また工程の進行に伴い、例えば第 4 工程を投入中であるとすれば、第 1 工程から第 3 工程までは次の工程を予約することができる。したがって、サイロ No. が 000 と設定されるまではエンドレスに予約が可能である。

4. 2. 3 在庫管理

データメモリとして使用している磁気ディスクには、各サイロの船名・品種及び在庫量を記憶しており、運転中にはしょう量機からの計量バッチ信号及び端量値信号を割込信号として受け付け、サイロ在庫量の加減計算を行い、常に新しい在庫量を記憶することができる。

4. 2. 4 在庫量修正

デジタルスイッチによって記憶しているサイロの船名・品種・在庫量の修正ができる。この場合、誤操作を防ぐために修正ロック用切替スイッチを設けている。

4. 2. 5 在庫管理表の作成

各サイロの原料在庫を把握するため、各サイロあるいは全サイロの在庫を任意にデジタルプリントで印字させることができる。

〇〇〇 〇〇 〇〇 〇. 〇〇〇, 〇〇〇 kg
サイロ番号 品種コード 船名コード 在庫量

4. 2. 6 トラック出荷伝票の作成

トラック出荷完了時、トラック出荷伝票に下記項目を出力タイプライタによってタイプライタする。

客 先 ローマ字
品 種 ローマ字
数 量 〇〇, 〇〇〇 kg
日 付 〇〇年〇〇月〇〇日
トラック No. 〇〇〇〇
船 名 ローマ字

各サイロの客先、品種、船名はタイプアウトするときには、磁気ディスクに記憶されているコード、ローマ字対称表から必要とするコードを照合の上、必要とするローマ字を選択してタイプアウトする。

4. 2. 7 コード、ローマ字対称表の記憶

客先、品種、船名コードに対応した実際の名前をローマ字で磁気ディスクに記憶するために、紙テープにさん孔された客先、品種、船名をテープリーダーによってオフラインで読込む。

5. 前後処理設備

5. 1 概 要

サイロ側よりコンベアで原料が送られ、製油工場と関連して前段処理、後段処理を行う設備である。この設備における操業モードとしては「大豆一般」、「大豆脱皮」、「菜種」の三つがある。また、次に示すそれぞれの工程別に、連動運転、単独運転が行えるようになっている。

5. 2 工程区分と概要

この設備は次のような工程より構成されている。

- (1) 前処理 コンプレッサ
 - 原料工程
 - 精選工程
 - 圧べん(扁)工程
 - 圧搾工程
- (2) 後処理 後処理工程
 - 出荷タンク送り リサイクル工程
 - 船積 ホキ車積工程
 - 豆皮出荷工程
 - ばら(撒), 袋物出荷工程

コンプレッサはダンパ、カット(輸送方向を切換えるもの)の操作作用に用いられ、各工程共有である。

サイロ側よりコンベアで輸送された原料は原料工程によりデイルンビンに一時貯蔵され、精選工程にて金属片の除去、ふるいかけ加熱などの処理が行われ、圧べん工程にて圧べん、脱皮などの処理を行い、中間処理である抽出工程へ送られ油が抽出される。菜種の場合のみ圧搾工程で油がしぼり出される。

抽出工程で脱脂された大豆などは、後処理工程で2次製品化され、ミールタンクへいったん投入された後、適宜リサイクルを行い、最終段の出荷タンクへ投入され、計量装置を経て出荷工程(船積、ホキ車積、トラック積)へ送られるシステムとなっている。

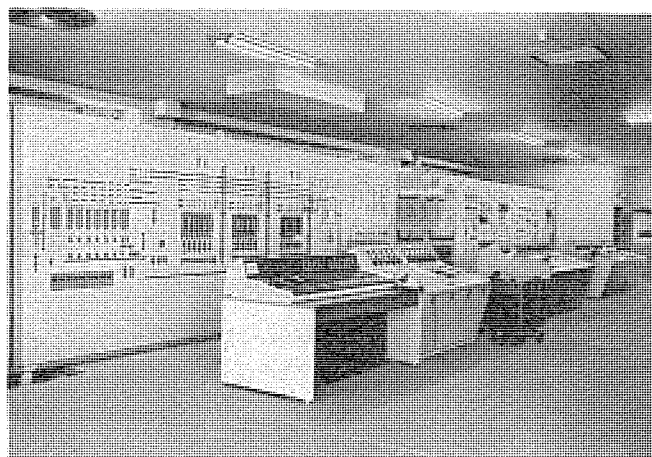


図 13. 前後処理用中央制御盤

5. 3 制御装置

これら設備を駆動するモータが約400台、ダンパ、カット類が約250台くらいあり、系路も複雑多岐にわたっているが、すべて中央操作室からワンタッチ運転が行える。なお出荷及びリサイクル工程については、通常コンピュータにより運転指令が出るようになっているが、バックアップとして監視盤からの運転もできるようになっている。図13.にこの設備の中央操作盤、監視盤の外観を示す。

この設備で納入した主な機器は次のとおりである。

- | | |
|---------------------------|-----|
| (a) 低圧電磁制御盤 | 68面 |
| (b) 中央監視制御盤(MELMAC-100組込) | 1連 |
| (c) 中央操作盤 | 1連 |
| (d) 機側操作盤 | 1式 |
| (e) 出荷場監視盤 | 1面 |

6. む す び

以上、鹿島工場におけるサイロ及び前後処理設備について電気設備、管理設備の概要について説明した。

この種の設備も他のそれと同様ますます合理化・高効率化が進み、それに伴って電気設備も高性能化されたものが要求される。今回の設備では輸送制御装置としてMELMAC-100を、管理装置としてMELMIC-100を使用することにより良好な成果をあげたが、これの経験をもとにより良い電気設備をめざして業界各位の期待に添いたいと思っている。

最後に、この設備工事にあたり種々の御指導、御協力を頂いた昭和産業(株)ほか関係者各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 松村ほか：三菱電機技報，47，No. 11 (昭48)
- (2) 山下ほか：三菱電機技報，47，No. 8 (昭48)
- (3) 木内ほか：三菱電機技報，32，No. 8 (昭33)

技術講座

超音波探傷試験法 (2)

—超音波探傷例—

河野 勝美*・田中 洋次*

1. ま え が き

前回の講座では、公的超音波探傷基準のいくつかを紹介したが、これだけでは各種被検査物に対する超音波探傷検査の要求に十分応じきれない。そこで、今回の講座はこれら各種被検査物の要求に対して少しでも参考になるように、実際に探傷したいいくつかの例を紹介してみたい。

もちろん、これらの探傷例は現在の検査仕様について得られたものであり、今後の技術的進歩によっては更によい方法も開発されると思われる。

2. 超音波探傷例

2.1 炊事用手なべ(鍋)の取っ手溶接部の探傷例

(1) 目的

炊事用取っ手の取付法は、最近、工法が簡単なスタッド溶接法により溶接されるものがでてきた。ところが、この溶接部について抜取りによる破壊検査が行われていたが、全数検査の必要性がでてきたため図 1. に示す サンプル について超音波探傷法による非破壊検査の検討を行った。

(2) 探傷法

この探傷法は、次の (a)~(c) の条件により、なべ母材の内側に

分割形垂直探触子を接触させて探傷する方法が、適当と考えられる。

(a) 溶接欠陥は、なべ母材と取っ手間にすき間状を呈する。したがって超音波は、なべ母材の板厚方向に投射すべきである。

(b) 取っ手の頭には、握りを取付けるためのねじが切られている。したがって超音波はこの頭部から投射できない。

(c) なべ母材の板厚は約 2.8 mm と薄い。したがってこの母材側から超音波を投射する場合の探傷法は、不感帯の狭い、すなわち表面直下の検出能力のよい探傷法であること。

(3) 探傷器具

(a) 探傷器……FD-210 など、(ATT : 42 dB, REJ : 0)

(b) 探触子……5 Z 10 ND

(c) 接触媒質……グリセリン

(4) 探傷結果

探傷結果は図 2. ~5. に示す。

(a) 図 2. は なべ母材に取っ手が、全然 溶接されていない場合、すなわち溶接部の全面積がはく離の場合を探傷した ブラウン 管波形である。

(b) 図 3. は実際の溶接不良を探傷した ブラウン 管波形の例で、図 2. の場合にくらべて、欠陥面積が狭いため、欠陥エコー (F_1) の高さは図 2. にくらべて低下している。

(c) 図 4. はほぼ溶接良好部を探傷した ブラウン 管波形の例で、図 3. の場合にくらべて、欠陥エコー (F_1) 高さは更に低下している。すなわち、欠陥エコーの高さは欠陥面積にほぼ比例しているので、このエコー 高さから欠陥の程度が(把)握できる。

(d) 次に欠陥エコー 高さと引張りせん断強度との関係を図 5. に示す。欠陥エコー 高さは分割形垂直探触子の向きによって異なることがあるため、音響分割面がなべの深さ方向と一致する場合と、音響分割面がなべの円周方向に一致する場合の両方について測定し、最大値を記録した。基準感度はなべ母材中の超音波減衰

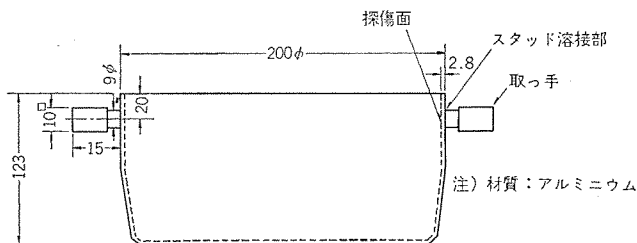
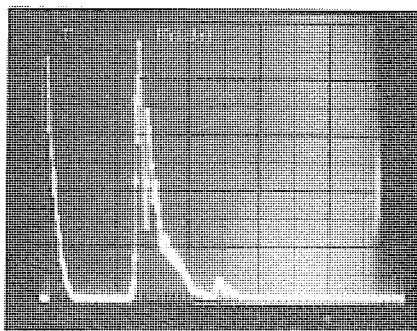
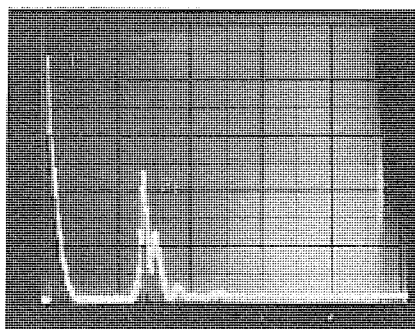


図 1. 炊事用手なべ



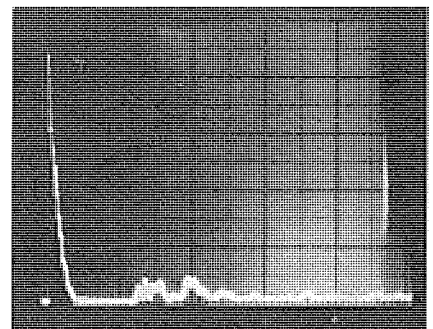
条件 1) PE: SEP 2) ATT: 42dB
3) REJ: OFF 4) RESOL: OFF

図 2. 溶接完全はく離部の探傷図形



条件 図 2. と同じ

図 3. 溶接不良部の探傷図形



条件 図 2. と同じ

図 4. 溶接良好部の探傷図形

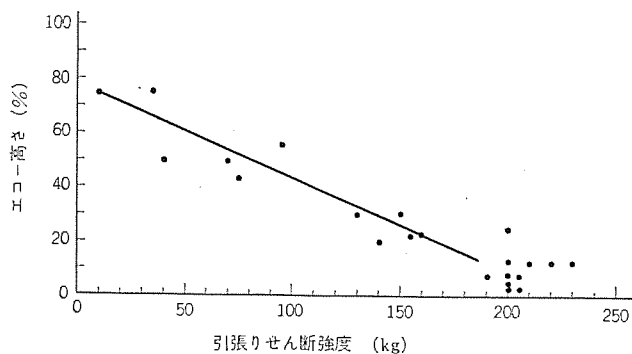


図 5. 欠陥 エコー 高さと引張り強度との関係

量が溶接により異なるため、基準用に 1 個だけ溶接された取っ手を取外し、その部分のエコー高さを、各探触子の向きでそれぞれ 100 % に設定した。

破断状況を観察した結果、欠陥エコー高き 15 % 以下のサンプルは、すべて完全溶接面積が全溶接面積の約 3/4 以上あり、非常によく溶接されていることが認められた。

2.2 鋳鋼製ロールの探傷例

(1) 目的

鋳鋼品の内部欠陥、たとえば「巣」は、材質上結晶粒子が大きいため、超音波の透過性が悪く容易に探傷できない。そこで、外径が約 121 mm、肉厚が約 22 mm、長さが数メートルのサンプルについて探傷可否の検討を行った。

(2) 探傷法

この探傷法は、次の (a)～(d) の条件により、ロールの外面に分割形垂直探触子を接触させて探傷する方法が、一般的と考えられる。

(a) 鋳鋼品中の超音波減衰度は、鋼材にくらべて大きいので、低い周波数でなければ透過しない。

(b) 肉厚が薄いため、不感帯の狭い探傷法であること。試験周波数を高くして不感帯を狭くすると、林状エコーが多くなり好ましくないため、低い周波数で探傷できること。

(c) 低い周波数を使用すると、微小欠陥の探傷は困難となるが、微小欠陥の密集部分が探傷できること。

(d) 長尺物であるため、探触子はロールの外面に接触させる方法が適当である。なお、ロールの内面に探触子を接触させるには、おう(凹)面のため特殊探触子が必要となる。

(3) 探傷器具

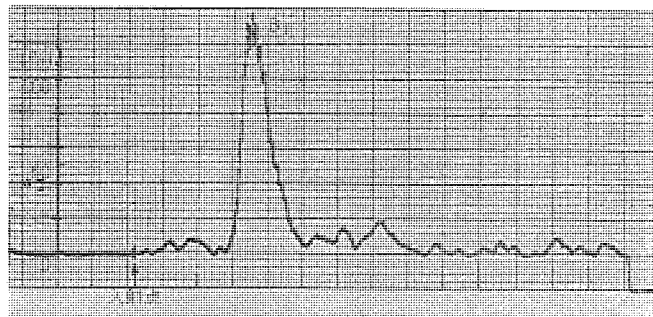
- (a) 探傷器……FD-180 など
- (b) 探触子……2Z 20 ND
- (c) 接触媒質……グリセリン

(4) 探傷結果

探傷結果は図 6. ～9. に示す。

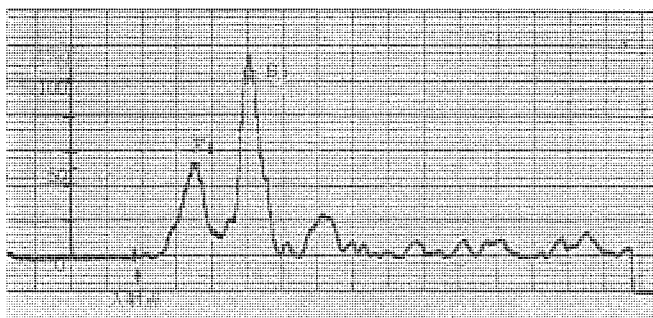
(a) 図 6. は内部欠陥のない正常部分を探傷したブラウン管波形である。したがって底面エコー (B₁) が正常に現れており、若干、林状エコーも現れている。

(b) 図 7. は 2.5 mmφ の横穴傷を探傷したときのブラウン管波形



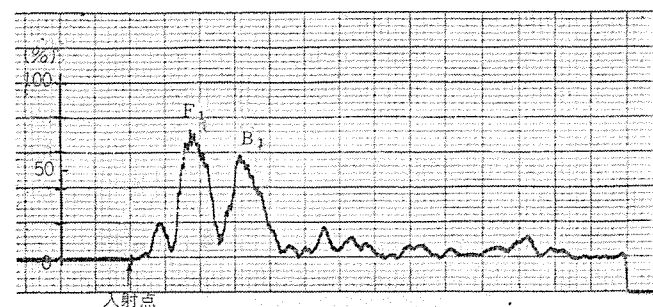
条件 1) 測定範囲: 100 mm
2) PE: 目盛 3 3) ATT: 28 dB
4) REJ: OFF 5) RESOL: OFF

図 6. ロールにおける正常部の探傷図形



条件 図 6. と同じ

図 7. 2.5 mmφ 横穴傷の探傷図形



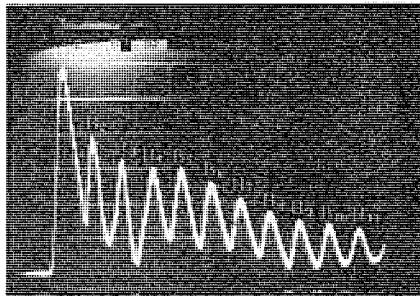
条件 図 6. と同じ

図 8. 5 mmφ 横穴傷の探傷図形



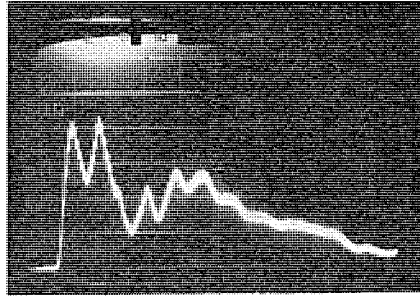
条件 図 6. と同じ

図 9. ロールにおける異常部の探傷図形



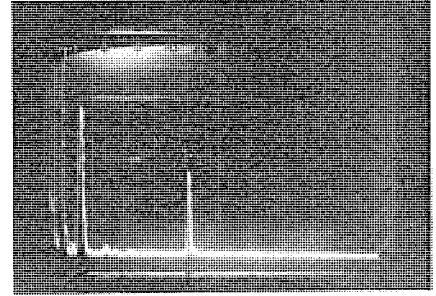
条件 1) 測定範囲: 100 mm
2) PE: 目盛1 3) ATT: 52.5 dB
4) REJ: OFF 5) RESOL: OFF

図 10. シリンダライナにおける正常部の探傷図形



条件 図 10. と同じ

図 11. シリンダライナにおける異常部の探傷図形



条件 1) 測定範囲: 250 mm
2) PE: 目盛2 3) ATT: 52.5 dB
4) REJ: OFF 5) RESOL: OFF

図 12. スラブにおける深さ 1 mm スリット傷の深傷図形

である。この場合は、横穴エコー (F_1) と底面エコー (B_1) が現れているが、底面エコー (B_1) の高さは横穴傷のため、図 6. の場合より若干、低下している。

(c) 図 8. は 5 mm ϕ の横穴傷を探傷したときのブラウン管波形である。この場合図 7. にくらべて横穴傷が大きいため、欠陥エコー (F) の高さは高くなっているが、底面エコー (B_1) の高さは低下している。すなわち、欠陥の状況は欠陥エコー だけでなく、底面エコー の高さでも判断できることを示している。

(d) 図 9. は異常部分を探傷したブラウン管波形である。この場合は欠陥エコー も底面エコー も現れず、若干、林状エコー が現れているだけである。これは、この部分に大きい結晶粒子が密集して超音波の透過を悪くしたため、底面エコー が現れず、一方、これらの結晶粒子は巣にくらべて小さいため、判別できる程度のエコー も現れないものと考えられる。

巣の入っているサンプルを探傷した場合、図 7., 8. のようなブラウン管波形が現れるので、欠陥の位置すなわち深さを読取ることができる。

2.3 自動車用鋳鉄製シリンダライナの探傷例

(1) 目的

鋳鉄品は、一般に 2.2 節の鋳鋼品よりも超音波の透過性が悪く、容易に探傷できない。そこで、外径が 100.5 mm、肉厚が 8 mm、長さが 195 mm のサンプルについて探傷可否の検討を行った。

(2) 探傷法

2.2 節と同じ理由により、探傷法は、シリンダライナの外面に分割形垂直探触子を接触させて探傷する方法が、一般的と考えられる。

(3) 探傷器具

- (a) 探傷器……FD-180 など
- (b) 探触子……2 Z 10 ND
- (c) 接触媒質……グリセリン

(4) 探傷結果

探傷結果は図 10., 11. に示す。

(a) 図 10. は、内部欠陥のない正常部分を探傷したブラウン管波形である。底面エコー B が、 B_1 から B_{11} まで明りように現れている。

(b) 図 11. は、異常部分を探傷したブラウン管波形である。こ

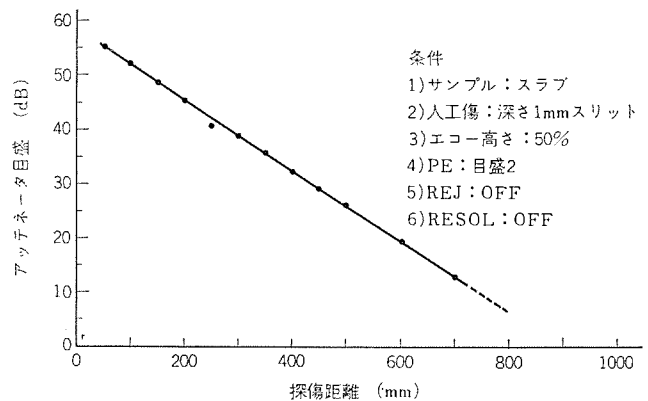


図 13. 表面波探傷法の距離感度特性

の部分には、底面エコー B_1 の高さが正常部分にくらべて約 28 % も低下しているため、「異常あり」ということが判断できる。

一般に鋳鉄品の探傷の場合は減衰が大きいため、一定レベルの欠陥エコーの有無でなく、底面エコーの高さ、又は回数で判断する場合が多い。なお、一般にこのような方法で判断した異常部が重要箇所に見れた場合、又は一定面積以上見れた場合に不良と判定されている。

2.4 連続鋳造製スラブの探傷例

(1) 目的

スラブの表面傷は、現在主として肉眼検査に依存しているが、作業性がよく、しかも検出感度の高い探傷法が要求されるようになってきた。そこで厚みが約 75 mm、幅が約 100 mm、長さが 1,100 mm のサンプルについて探傷可否の検討を行った。

(2) 探傷法

スラブの実際の寸法は、幅が約 2,000 mm 程度、厚みが約 200 mm 程度にも達するため、その表面傷の探傷は、表面波探傷法が適していると考えられる。

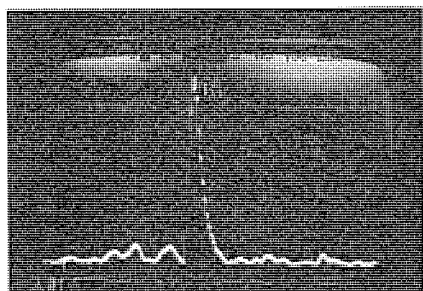
(3) 測定器具

- (a) 探傷器……FD-180 など
- (b) 探触子……2 Z 10 $\times$ 10 S
- (c) 接触媒質……機械油

(4) 探傷結果

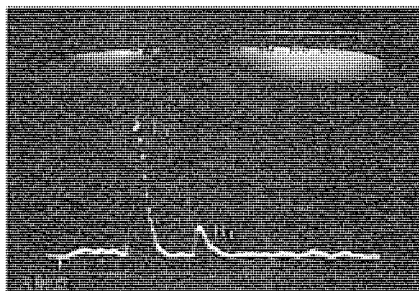
探傷結果は図 12., 13. に示す。

(a) 図 12. は深さ 1 mm の人工傷 (スリット 状) を探傷したラ



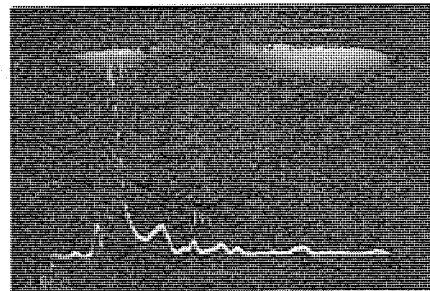
条件 1) 測定範囲: 100 mm
2) PE: 目盛 2 3) ATT: 21.5 dB
4) REJ: OFF 5) RESOL: OFF

図 14. ベリリウム銅における正常部の探傷図形



条件 図 14. と同じ

図 15. 5 mmφ 平底穴傷の探傷図形



条件 図 14. と同じ

図 16. 自然欠陥部の探傷図形

ウン管波形である。この感度条件において送信パルスの広がりによる不感帯は、約 23 mm となる。

(b) 図 13. は深さ 6 mm の人工傷 (スリット状) について探傷距離と相対感度との関係を示すグラフである。深さ約 6 mm のスリット傷が、パルスエネルギー目盛 2 の調度で、約 700 mm の距離まで探傷できることがわかる。

2.5 ベリリウム銅の探傷例

(1) 目的

ベリリウム銅は、2.2 節の鋳鋼品のように超音波の透過性が悪く、容易に探傷できない。そこで厚さが約 40 mm、幅が約 190 mm、長さが約 600 mm のサンプルについて探傷可否の検討を行った。

(2) 探傷法

探傷法は、2.2 節 (2) (a)～(c) の条件を応用することにより、分割形垂直探触子法が適していると考えられる。

(3) 探傷器具

(a) 探傷器……FD-180 など

(b) 探触子……2 Z 20 ND

(c) 接触媒質……機械油

(4) 探傷結果

探傷結果は、図 14.～17. に示す。

(a) 図 14. は正常部分を探傷したブラウン管波形である。底面エコー (B₁) が正常に現れており、若干、林状エコーも現れている。

(b) 図 15. は人工傷 (5 mmφ 平底穴) を探傷したブラウン管波形である。この場合、欠陥エコー (F₁) と底面エコー (B₁) が一緒に現れているが、底面エコー (B₁) の高さは、人工傷と材料減衰量のばらつきのため、約 83 % 低下している。

(c) 図 16. は自然欠陥部を探傷したブラウン管波形である。この場合も、欠陥エコー (F₁) と底面エコー (B₁) の両方が現れている。

この場合の欠陥は、材料減衰量が図 15. の場合とほぼ同じとすれば、5 mmφ 平底穴エコー高きの約 2.2 倍となっているから、約 7.4 mmφ 平底穴相当と計算される。

(d) 図 17. は、異常部分を探傷したブラウン管波形である。この場合は底面エコーもほとんど現れず、若干、林状エコーが現れているだけである。これは、結晶粒子の大きい部分が密集しているためと考えられる。

2.6 ナイロンの探傷例

(1) 目的

ナイロンは、最近、精密機械部品にも使用されるようになってきたため、内部欠陥、たとえば「気泡」などの探傷が重要になってきた。そこで、

超音波投入方向の寸法が 6～350 mm の板材、管材及び棒材のサンプルについて探傷可否の検討を行った。

(2) 探傷法

探傷法は、次の (a)～(d) の条件から、薄物には分割形垂直探触子、厚物用には垂直探触子を被検査物へ直接接合させて探傷する方法が、適していると考えられる。

(a) ナイロン中の超音波減衰度は、鋼材にくらべて非常に大きいので、低い周波数でなければ透過しない。

(b) 薄物中の内部欠陥が、低い周波数で探傷できること。

(c) 低い周波数を使用すると、微小欠陥の探傷は困難となるが、微小欠陥の密集部分が探傷できること。

(d) 周波数の適用範囲が広いこと。

(3) 探傷器具

(a) 探傷器……FD-180 など

(b) 探触子……2 Z 10 ND (超音波投入方向の寸法が、6～60 mm の場合)、1 Z 30 N (超音波投入方向の寸法が、60～350 mm の場合)

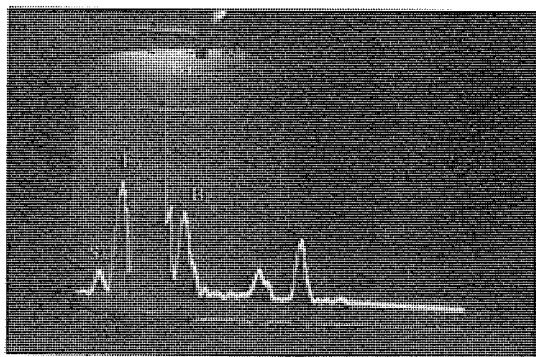
(c) 接触媒質……水

(4) 探傷結果

探傷結果は図 18.～23 に示す。

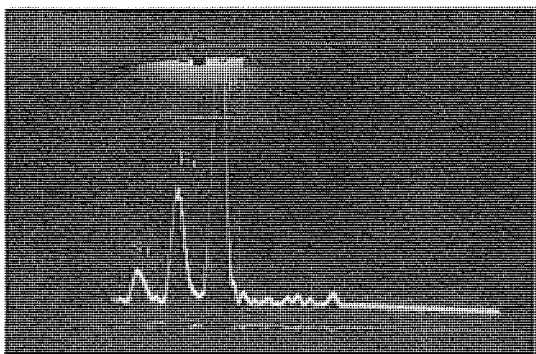
(a) 図 18. は、板材 (厚み 6 mm) 中の中央部 1 mmφ 平底穴を探傷したブラウン管波形である。欠陥エコー (F₁) と底面エコー (B₁) が一緒に現れている。

(b) 図 19. は板材 (厚み 11 mm) 中の中央部 1 mmφ 平底穴を探傷したブラウン管波形である。



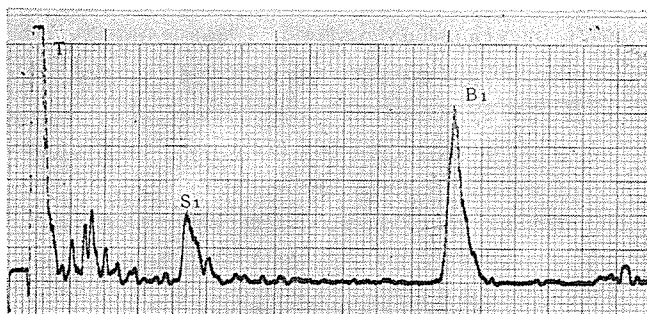
条件 1) 測定範囲: 50 mm 2) PE: 目盛 3
3) ATT: 33 dB 4) REJ: OFF
5) RESOL: OFF 6) 探触子: 2Z 10 ND

図 18. 板材 (6 mm) 中の 1 mm ϕ 平底穴傷の探傷図形



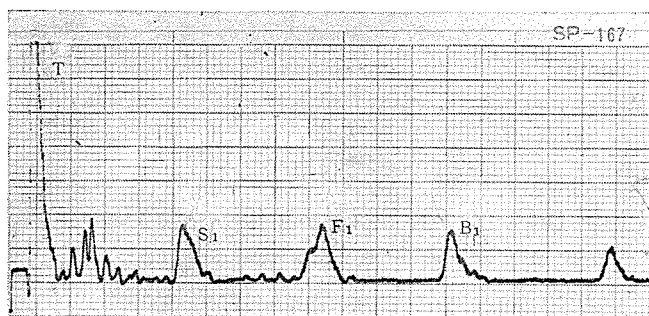
条件 図 18. と同じ

図 19. 板材 (11 mm) 中の 1 mm ϕ 平底穴傷の探傷図形



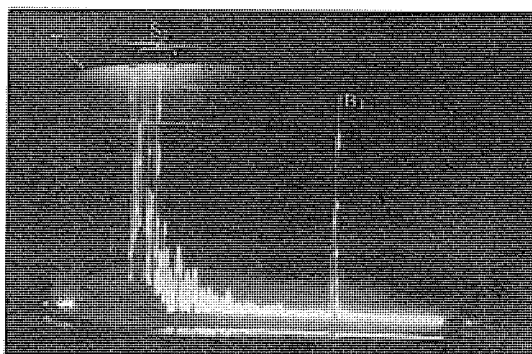
条件 1) 測定範囲: 50 mm 2) PE: 目盛 3
3) ATT: 21 dB 4) REJ: OFF
5) RESOL: OFF 6) 探触子: 2Z 10 ND

図 20. 管材 (肉厚 28 mm) における正常部の探傷図形



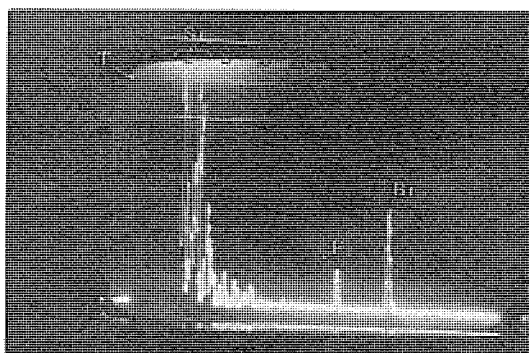
条件 図 20. と同じ

図 21. 管材 (肉厚 28 mm) 中の 1 mm ϕ 平底穴傷の探傷図形



条件 1) 測定範囲: 500 mm 2) PE: 目盛 3
3) ATT: 8 dB 4) REJ: OFF
5) RESOL: OFF 6) 探触子: 1Z 30 N

図 22. 棒材 (350 mm ϕ) における正常部の探傷図形



条件 図 22. と同じ

図 23. 棒材 (350 mm ϕ) 中の 10 mm ϕ 平底穴傷の探傷図形

(c) 図 20. は管材中の肉厚 28 mm の正常部分を探傷したブラウン管波形である。表面エコー (S_1) と底面エコー (B_1) とが一緒に現れている。

(d) 図 21. は上記、管材中の肉厚中央部 1 mm ϕ 平底穴を探索したブラウン管波形である。この場合、欠陥エコー (F_1) が現れており、また底面エコー (B_1) の高さが図 20. の正常部に比べて低下していることから、「欠陥あり」と判断できる。

(e) 図 22. は棒材 (350 mm ϕ) の正常部分を垂直法で探傷したブラウン管波形である。送信パルス (T)、表面の遅れエコー (S_1) と底面エコー (B_1) が一緒に現れている。

(f) 図 23. は、上記、棒材中の 10 mm 平底穴を垂直法で探傷したブラウン管波形である。この場合、欠陥エコー (F_1) が現れており、また底面エコー (B_1) の高さが図 22. の正常部に比べて低下していることから、「欠陥あり」と判断できる。

3. む す び

以上、2 回にわたり代表的な検査基準と、まだ検査基準の制定されていないものについては、できるだけ広範囲の探傷例を紹介するよう心がけたつもりであるが、十分言いつくせないままに過ぎてしまった。

次回、機会を与えられれば、これらについて別な方法で紹介したいと考えている次第である。(昭和 49-9-11 受付)

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
701059	マイクロ波偏波面測定装置	立川清兵衛・小畑哲男	701744	連続圧延機速度制御装置	細野 勇
701060	回転電機の導体	松尾 昇	701745	つかみ装置	篠原芳男
701061	遠隔集中計測装置	岩田 誠	701746	マンコンベヤの自動運転装置	稲垣光正・神谷正樹
701062	直流電力制御装置	大野栄一・赤松昌彦	703754	スイッチ	中沢俊郎・山村雅彦
701063	電気誘導装置の巻線	{ 白井 満・藤岡泰治 谷口秀明	703755	回路しゃ断器	松浦 清
701064	タップ切換器の駆動装置	堤 長之	703756	輸送網模擬電気回路	大野栄一・中堀一郎
701065	導波管	高瀬英雄・大前隆雄	703757	熱動継電器	藤沢 稔
701066	電気巻上機の運転装置	高野静夫	703758	距離測定装置	青木正夫
701119	クレーンの制御装置	滝沢義知	703759	不感帯リミッタ装置	岡田康則・神成勝利
701124	原料切出制御装置	{ 石 雅彦・永嶋治久 松原光照	703760	リミッタ装置	岡田康則・神成勝利
701737	エポキシ樹脂組成物	{ 伊藤公男・岡崎和郎 進藤紘二・藤沢 修	703761	対数増幅器	川島克彦
701738	カムスイッチ動作角度測定装置	白石 彊・坂手勝広	703762	印刷回路基板作成方法	星野昌弘・沢江哲則
701739	形状計測装置	吉山裕二・稲荷隆彦	703763	周波数変換装置	赤松昌彦
701740	角度検出装置	谷口一郎・稲荷隆彦	703764	温水器	熊沢 裕
701741	ならい計測装置	菅野 勉	703765	酸化物陰極の活性化方法	中西寿夫
701742	形状計測装置	吉山裕二・稲荷隆彦	706189	変位測定装置	{ 白岩俊男・小林紀夫 吉山裕二・立川清兵衛 小畑哲男
701743	デジタル形状検出装置	稲荷隆彦	706139	測長装置	金田 明
			706129	半導体装置	土佐雅宣・竹中 功

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 48 No. 12 昇降機特集

特集論文

- 新宿住友ビル納め世界最高速エレベータの速度制御装置と安全装置
- 新宿住友ビル納め超高速エレベータの振動、騒音対策
- 新全自動群管理方式エレベータ —OS システム-700—
- エレベータの耐震設計の考え方
- 超大形荷物用エレベータ
- HVB 方式油圧エレベータの開発
- 都市交通機関用エスカレータ
- “エレベット”設計製図の機械化
- エレベータによる火災時避難
- 自動窓ふきシステム

普通論文

- DR 形 負荷時タップ切換器
- 軽合金用整流式機動形点溶接機と溶接現象(Ⅱ)
- 励磁パラメータによる磁化条件の規定
- レーザマイクロプローブによる微小部分の分析
- 農林産物のガンマ線照射による害虫駆除
- 数値制御用プログラミング言語 M-APT

技術講座

- 据付工事者のための超高層ビルにおけるエレベータの据付工法ガイド
- キャラクタディスプレイ (1)

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 48 巻 11 号		昭和 49 年 11 月 22 日印刷 昭和 49 年 11 月 25 日発行	
委員長	松岡 治	常任委員	久松章三	定価 1 部 300 円 (送料別) 無断転載を禁ず			
副委員長	神崎 遼	"	本間吉夫	編集兼発行人	松岡 治		
"	武藤 正	"	吉山裕二	印刷者	高橋 武夫		
常任委員	伊藤一夫	委 員	粕谷一雄	印刷所	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地 大日本印刷株式会社		
"	上田重夫	"	能本 永	発行所	東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号 (〒 100) 三菱電機株式会社内		
"	宇佐見重夫	"	坂田邦寿		「三菱電機技報社」Tel. (03) 218 局 2327		
"	大田重吉	"	橋爪 基	発売元	東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒 100) 株式会社 オーム社書店		
"	北川和人	"	吉武正彦		Tel. (03) 291 局 0912, 振替口座 東京 20018		
"	外野範吾	"	若宮佐三				
"	祖父江晴秋		(以上50音順)				
"	塚本信雄						
11号特集担当 加賀貞広							

NEWSFLASH

SRM-8B形磁気ラッチ付

電磁継電器

SRM形磁気ラッチ付電磁継電器の特性、操作性を改良したSRM-8B形磁気ラッチ付電磁継電器の開発を完了、発売しました。これは、永久磁石を内蔵したラッチングソレノイドを使用し、信頼性が高く、従来できなかった手動投入、手動引はずしを可能にした使用範囲の広い継電器です。

特長

①安定した動作と長寿命

永久磁石内蔵のラッチングソレノイド使用のために安定した保持力が得られ、寿命も250万回です。

②手動チェックが可能

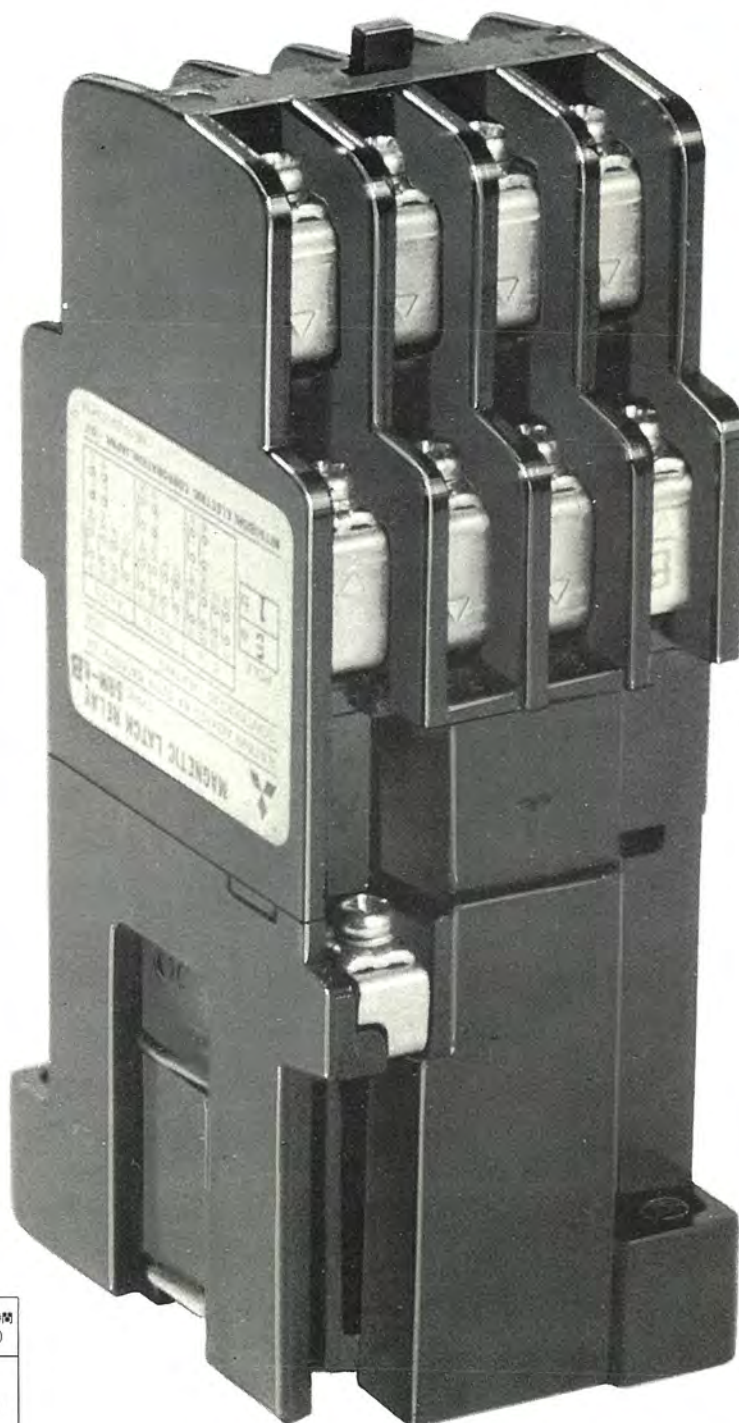
手動で投入、引はずし可能でシーケンスチェックが簡単にできます。

③電力節約

電力消費は投入、引はずし時のみで常時は不要であり、消費電力の節約ができます。

④取付寸法の統一

取付寸法はSR形と同一でありSR形との交換が容易です。



SRM-8B形磁気ラッチ付電磁継電器の定格と仕様

接点構成 (有効)	定格電流 A I 級 (コイル負荷)	性能	操作回路電圧 実効範囲 (%)	操作電磁 コイル 瞬時入力 (VA)	操作電磁 コイルの種類	平均動作時間 (ms)	指令時間 (ms)
6a	110V 6A	A ₁ ・O・2-I	定格電圧の 80~110	50	100V 50Hz 100~110V 60Hz	投入 引外し 10 20	100
5a1b	220V 5A				200V 50Hz 200~220V 60Hz		
4a2b	440V 3A 550V				DC 100V DC 110V		