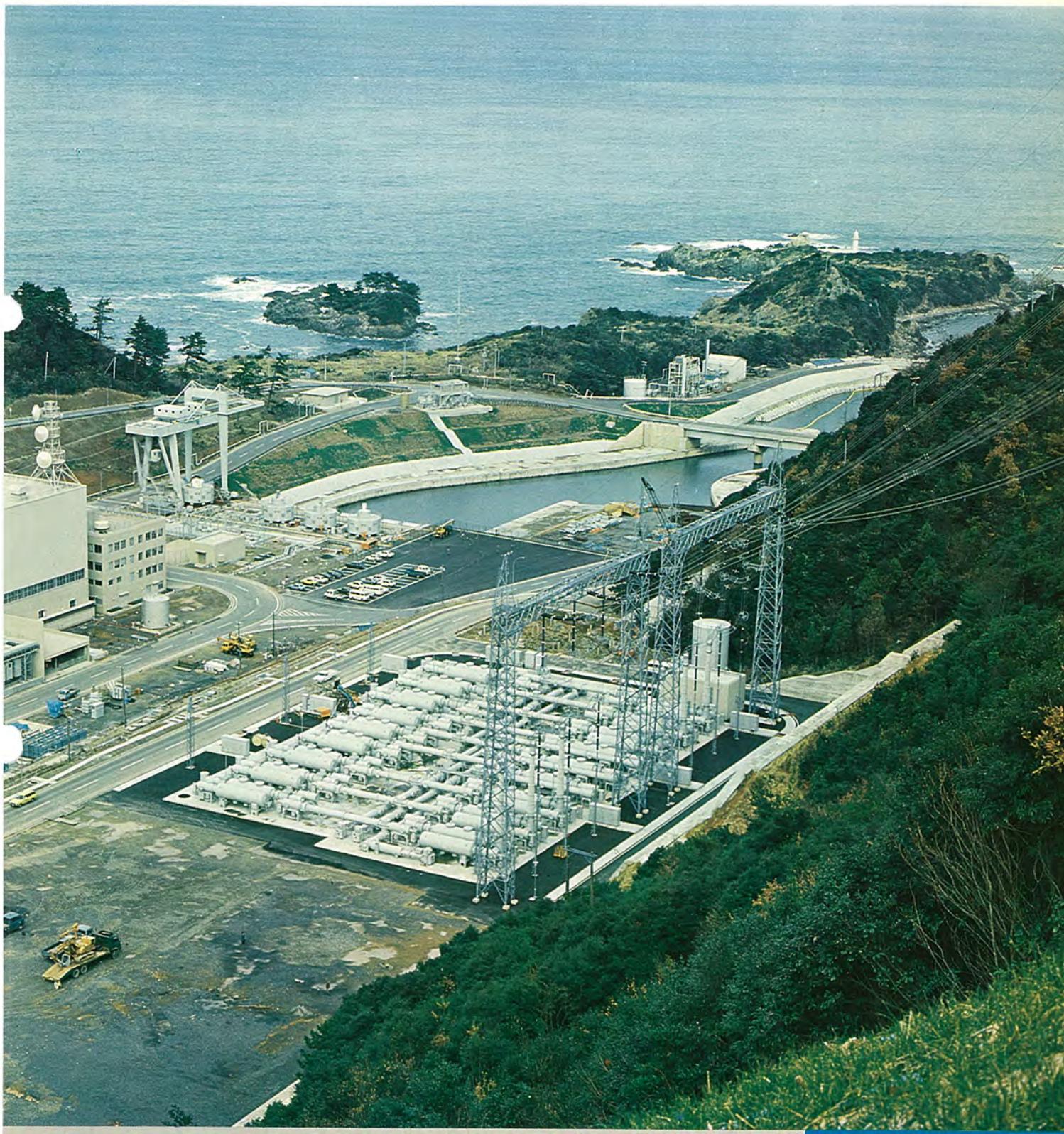


# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.51 No.6

電力系統保護・500kV  
ガス絶縁変電所特集

# 三菱電機技報

Vol. 51 No. 6 JUNE 1977

## 電力系統保護・500kV ガス絶縁変電所特集

### 目 次

#### 特 集 論 文

これから電力系統保護・制御装置	森 健・山田 郁夫・鈴木 健治	363
計算機による電力系統運用制御システム	山田 郁夫・中川 秀人・辻 俊彦	368
系統事故時のひずみ波と保護装置	鈴木 健治・畠田 稔・吉田 敏史	372
関西電力(株)大飯原子力発電所納め 550kV ガス絶縁開閉所	阿澄 一興・松田 節之・合志 宏道	377
550kV ガス絶縁母線の実系統における性能試験	松村 晋・富永 正太郎・今瀧 満政	384
500kV ガス絶縁変電所用避雷器	永井 信夫・宇治田 克	390

#### 普 通 論 文

関西電力(株)大飯原子力発電所納め 1,300MVA タービン発電機	大石 紀夫・天笠 信正・伊藤 裕之・八木 耕三	397
制御用コンピュータシステムにおけるデータウエー	池田 健夫・石坂 充弘・中尾 好宏・今道 周雄	402
有線放送用電子交換システム MDS-21	勝野 平蔵・中野 修身・前田 良雄・杉村 滋夫・北村 春夫	407
MH-A シリーズ電気ホイスト	武谷 勝次・脇山 嘉之・吉富 安	411
高速かご形回転子の強度	田村 旭・元村 芳則・押沢 健治・吉岡 純夫・井上 彰夫	417
電鉄回生変電所用サイリスタインバータ設備	鈴木 敏夫・米畑 譲・甲木 肇爾・多田 一彦	421
スポット		427
84/72kV 全3相一括形ガス絶縁開閉装置・植物生育制御用画像入力システム・オープンレンジ (表-3)		

## FEATURING POWER-SYSTEM PROTECTION & THE 500kV FULLY SF<sub>6</sub>-GAS-INSULATED SUBSTATION (FULL GIS)

### CONTENTS

#### FEATURED PAPERS

New Protection and Control Equipment for Power Systems	Takeshi Mori et al.	363
Power-System Operation and Control by Digital Computer	Ikuo Yamada et al.	368
Transient-Wave Distortion During Transmission-Line Fault and the Designing of Protective Equipment	Kenji Suzuki et al.	372
A 550kV Full GIS for the Oi Nuclear Power Station of Kansai Electric Power	Kazuoki Azumi et al.	377
Field-Performance Testing of 550kV GIS Buses	Susumu Matsumura et al.	384
SF <sub>6</sub> -Gas-Quenched Surge Arresters for a 500kV GIS	Nobuo Nagai & Katsu Ujita	390

#### GENERAL PAPERS

1300MVA Steam-Turbine Generators for Kansai Electric Power's Oi Nuclear Power Station	Norio Oishi et al.	397
Use of the Dataway in Process-Control Computer Systems	Takeo Ikeda et al.	402
The MDS-21 Electronic Switching System for Wired-Broadcasting Services	Heizo Katsuno et al.	407
The Series MH-A Electric Hoists	Katsushi Takeya et al.	411
Mechanical Strength of High-Speed Squirrel-Cage Rotors	Akira Tamura et al.	417
Thyristor Inverters for Absorbing Regenerative-Braking Energy at Railway Substations	Toshio Suzuki et al.	421

### 表 紙

関西電力(株)大飯原子力発電所納め 500kV ガス絶縁開閉所 (GIS)  
塩害・立地条件を考慮して、主母線を含む開閉所全体を SF<sub>6</sub> ガスで  
絶縁した世界最初の 550kV 全 GIS である。送電線引出し部以外  
は、全体が SF<sub>6</sub> ガス中に密閉されているため信頼性の飛躍的向上  
と、保守点検の省力化とが図られ、従来方式に比べて用地面積では  
1/8 に、容積比では 1/100 程度に縮小されている。

この全 GIS は、550kV ガスしゃ断器 6 台、断路器 19 台を含む  
もので、我が国最大の出力を誇る大容量原子力発電所 (出力 1,175  
MW × 2) の引出し開閉所として採用された。

### COVER

500kV Fully SF<sub>6</sub>-Gas-Insulated Switchgear for Kansai Electric Power's Oi Nuclear Power Station

This is the world's first 550kV 'full GIS,' in which, to combat salt contamination and take account of site conditions, all switchyard equipment, including main buses, are insulated with sulfur hexafluoride gas. Since all portions except the transmission line take-off connection are sealed in SF<sub>6</sub> gas, it has been possible to effect a quantum jump in reliability, and a reduction in the labor of inspection and maintenance, yet the installation occupies only 1/8 the area and 1/100 the volume of an equivalent conventional station.

# アブストラクト

## これからの電力系統保護・制御装置

森 健・山田郁夫・鈴木健治

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P363～367

電力系統の高度化から発生する電力系統保護・制御装置に対する要求を満たすため、制御モデルとユーザ経営システムに基づいて、メカとしての経営ビジョンを確立して、製造体制と製品システムを決定した。この結果開発されたマルチフレックスの基本概念を紹介するとともに、計算機の系統制御への応用、これからの変電所設計のあり方、デジタル化へのアプローチ等についても、上記経営ビジョンを基に述べた。

## 計算機による電力系統運用制御システム

山田郁夫・中川秀人・辻 俊彦

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P368～371

大規模化、複雑化しつつある電力流通設備を合理的、経済的に、かつ高信頼度で運用するため、系統運用制御の自動化、省力化が進められている。このような要求に対処するため、系統制御用シミュレーションセンタを完成させ、これを使って新しい基本技術を開発・検証し、これらを応用した装置を最近納入している。この論文ではシミュレーションセンタの紹介をし、そこで育成されたいくつかの技術を述べ、最近の系統制御用計算機を紹介する。

## 系統事故時のひずみ波と保護装置

鈴木健治・畠田 稔・吉田敬史

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P372～376

基幹系統における最近の長距離送電線化、市街地送電網のケーブル化は著しいものがあるが、これにより対地静電容量が増加して系統事故時このCT送電線のLの共振によって広範にわたる周波数の高調波が発生し、しかもかなり長期間継続するため、近い将来高速度を要求される基幹系統の保護リレー装置の不正動作を誘発する恐れが懸念される。本文ではこれら問題に対処するために行っているひずみ波シミュレーション方法や保護リレーの対策について紹介する。

## 関西電力(株)大飯原子力発電所納め550kVガス絶縁開閉所

阿澄一興・松田節之・合志宏道

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P377～383

関西電力大飯発電所に世界初の、全体をGIS化した550kV開閉所を完成して、1976年12月にその運転を開始した。

臨海地区の大容量発電所で高信頼性が期待される550kVfull GISの特長と、その完成に至る歴史と、製作・試験及び据付けに関して述べている。

## 550kVガス絶縁母線の実系統における性能試験

松村 聰・富永正太郎・今瀧満政

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P384～389

550kV SF<sub>6</sub>ガス絶縁変電所(GIS)用母線(56m)を実系統において性能確認試験を実施した。試験項目としては、実系統における課電性能の検証のほか、実系統で遭遇する自然条件・運転条件を考慮した試験を設定している。特に条件が整わない場合には、人工的に試験条件を作っている。

約1か年の試験の結果、所期の性能と種々の実用面での性能を確認することができた。

## 500kVガス絶縁変電所用避雷器

永井信夫・宇治田克

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P390～394

500kV用として国内で初めて接地容器入り避雷器を作成し、関西電力(株)大飯原子力発電所へ納入した。従来にない過酷な責務を課せられ、しかも高度な放電特性の制御技術を要求される500kV用避雷器を、SF<sub>6</sub>ガスを用いたタンク形(接地容器入り)で製作する場合の仕様とともに、タンク形特有の注意すべき諸問題について述べている。

## 関西電力(株)大飯原子力発電所納め1,300MVAタービン発電機

大石紀夫・天笠信正・伊藤裕之・八木耕三

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P397～401

関西電力(株)大飯原子力発電所1,2号機用として完成した1,300MVAタービン発電機及び5,500kWブラシレス励磁機について紹介する。本機は世界的にも最大級の発電機に属し、固定子コイル水冷却、回転子溝非対称配置など、最新の技術を取り入れて製作した。本稿では発電機の仕様、構造、ブラシレス励磁機、工場試験結果について述べた。

## 制御用コンピュータシステムにおけるデータウエー

池田健夫・石坂充弘・中尾好宏・今道周雄

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P402～406

コンピュータ制御システムの拡大化に伴い、さまざまな形の遠隔データ伝送システムが生まれ、その方式の発展が更にシステムの構成方法に大きな影響を与えており、この中でも特に注目されるのは、ラインシェアリング技術を用いるデータウエーブルシステムである。

この程、制御用コンピュータシステムにおけるデータウエーのシリーズ化を行ったので、データウエーを中心として、制御用コンピュータの遠隔データ伝送システムの現状を述べる。

## 有線放送用電子交換システムMDS-21

勝野平蔵・中野修身・前田良雄・杉村滋夫・北村春夫

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P407～410

農林漁業地域における消費生活の向上、経済活動の活発化に伴い通信サービスの高度化、多様化の要求が高まっている。そこで、従来の有線放送電話機能を充実、改善するとともに、新しい通信サービスを提供する電子交換システムを開発した。このシステムの特徴は、蓄積プログラム方式・時分割交換方式の採用、小形軽量化・耐環境性向上による設備費の低減、保守性の向上、主要部分の冗長度構成、障害検出・診断機能の充実などである。

## MH-Aシリーズ電気ホイスト

武谷勝次・脇山嘉之・吉富 安

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P411～416

近年の需要構造に適合するよう、全面的にモデルチェンジしたMH-Aホイストシリーズを発売した。HY-A形は、高い使用頻度に耐える本格派で、準標準仕様、特殊仕様も製作し、HE-A形は汎用形で通常の設備用、共に高い信頼性を持ち、自動調整式直流電磁ブレーキを装備するなどメンテナンスを少なくしている。軽量級ワイヤースペースはボックスタイプで多くのアタッチメントがあり、農業からレジャー産業まであらゆる用途に使用できる多用途タイプである。

## 高速かご形回転子の強度

田村 旭・元村芳則・押沢健治・吉岡純夫・井上彰夫

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P417～420

かご形誘導電動機は、巻線形に比べて種々の利点を持っているため大容量化してきている。当社では、かご形機の高速大容量化に備え、始動時の回転子のエンジニアリング部の強度研究を行っており、その一環として回転子導体の材料強度試験、応力解析手法の確立、実験用モデル回転子を製作しての研究を行った。更に実機においても種々の測定を行ったので報告する。

## 電鉄回生変電所用サイリスタインバータ設備

鈴木敏夫・米畑 譲・甲木莞爾・多田一彦

三菱電機技報 Vol.51・No.6・P421～426

回生ブレーキ付チョッパ制御電車の普及に伴い、車両の回生ブレーキエネルギーを変電所に吸収して、車両側に安定したブレーキ特性を保証することが重要な課題になってきた。今般、神戸市交通局納めの、サイリスタインバータによる回生変電所が完成したので、その概要と特長、回生変電所の問題点と解決策、現地試験結果を中心に、サイリスタインバータを用いた電鉄回生変電所の紹介を行う。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 397~401 (1977)

## 1300MVA Steam-Turbine Generators for Kansai Electric Power's Oi Nuclear Power Station

by Norio Oishi, Nobutada Amagasa, Hiroyuki Ito & Kozo Yagi

Mitsubishi Electric has completed two 1300MVA generators, equipped with 5500kW brushless excitors, that will be the No. 1 and No. 2 generators of the Oi plant. They are among the largest anywhere, and incorporate such technological innovations as water cooling of the stator coil and asymmetrical arrangement of the rotor slots. The article discusses generator specifications and construction, the brushless exciter, and the results of factory tests.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 402~06 (1977)

## Use of the Dataway in Process-Control Computer Systems

by Takeo Ikeda, Mitsuhiro Ishizaka, Yoshihiro Nakao & Chikao Imamichi

The expansion of computerized control systems has resulted in a proliferation of remote data-processing systems. Developments in terms of processing methods will have an important influence on the way in which such systems are put together. One noteworthy example is the dataway system, which applies line-sharing.

Mitsubishi Electric has recently introduced a line of dataway systems for process-control computers. The article discusses the present status of remote data-transmission systems, with emphasis on the dataway type.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 407~10 (1977)

## The MDS-21 Electronic Switching System for Wired-Broadcasting Services

by Heizo Katsuno, Osami Nakano, Yoshio Maeda, Shigeo Sugimura & Haruo Kitamura

The high standard of rural living and a fast economic tempo have given rise to a demand for sophistication and variety in communications services. A new electronic switching system developed by Mitsubishi Electric extends and improves the traditional, community wired-broadcasting telephone service while also providing new communications services. Among the features discussed in the article are stored-program control and time-division switching, cost reduction through compact, light-weight construction, increased environment resistance, easier maintenance, main-component redundancy, and a more comprehensive fault-detection and diagnostic function.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 411~16 (1977)

## The Series MH-A Electric Hoists

by Katsuji Takeya, Yoshiyuki Wakiyama & Yasushi Yoshitomi

To satisfy the demand structure of recent years, Mitsubishi Electric has introduced the MH-A series of totally redesigned electric hoists. Type HY-A is specifically intended for high-frequency operation, and is available with quasi-standard and custom specifications. In Type HE-A, for ordinary duty in general applications, reliability is improved, and features such as a self-adjusting DC brake make for minimal maintenance. The light-duty Type HL-A is of the box type, and with a wide range of attachments, is usable in such widely divergent applications as agriculture and the leisure industry.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 417~20 (1977)

## Mechanical Strength of High-Speed Squirrel-Cage Rotors

by Akira Tamura, Yoshinori Motomura, Kenji Oshizawa, Sumio Yoshioka & Akio Inoue

Because of its many advantages over the wound-rotor type, the squirrel-cage induction motor is being manufactured in larger and larger capacities. To accommodate increasing motor speed and size, Mitsubishi Electric is conducting a program of research on the mechanical strength of the rotor end rings during starting. This program involves testing the strength of rotor-conductor materials and developing methods of stress analysis, and manufacturing test model rotors. The article also reports on a variety of measurements made using an actual motor.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 421~26 (1977)

## Thyristor Inverters for Absorbing Regenerative-Braking Energy at Railway Substations

by Toshio Suzuki, Yuzuru Yonehata, Kanji Katsuki & Kazuhiko Tada

With the increasing use of chopper-controlled self-propelled cars equipped with regenerative braking, the problem of the absorption of braking energy at the substation in order to assure stable braking characteristics at the car has assumed major importance. Recently, Mitsubishi Electric delivered to the Kobe Municipal Transit Bureau a substation for a regenerative-braking system incorporating thyristor inverters. The article describes the substation, its features, the measures by which the problems inherent in this type of substation were overcome, and the results of on-site tests.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 363~67 (1977)

## New Protection and Control Equipment for Power Systems

by Takeshi Mori, Ikuo Yamada & Kenji Suzuki

To meet demands for power-system protection and control equipment arising from increasing system sophistication, Mitsubishi Electric has developed a range of new products and production procedures based on control models and users' systems. The article introduces Multiflex, the basic concept, and discusses the application of computers to system control, elements affecting the design of future substations, and approaches to digitalization.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 368~71 (1977)

## Power-System Operation and Control by Digital Computer

by Ikuo Yamada, Hideto Nakagawa & Toshihiko Tsuji

In order to operate larger and more complex power-distribution facilities rationally, economically, and yet with a high degree of reliability, the trend is toward automating system operation and control. Accordingly, Mitsubishi Electric has completed a Simulation Center for Power-System Control, and is using it to develop new basic technology, which has already been applied to some recently delivered equipment. The article describes the Simulation Center, discusses some of the techniques that have been developed there, and describes the latest computers for power-system control.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 372~76 (1977)

## Transient-Wave Distortion During Transmission-Line Fault and the Designing of Protective Equipment

by Kenji Suzuki, Minoru Hatata & Takashi Yoshida

The recent increase in the length of trunk transmission lines and the greater use of underground cables in city-area transmission networks has resulted in higher static capacitance to ground. Thus during a system fault, resonance of this capacitance with the inductance of the transmission line produces higher harmonics of the system frequency over a wide area. Further, these have long persistence, causing concern that before long protective relay equipment, which must be fast-tripping, will suffer spurious operation. The article describes a method of simulating wave distortion to help overcome this problem, and discusses measures applied to protective relays.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 377~83 (1977)

## A 550kV Full GIS for the Oi Nuclear Power Station of Kansai Electric Power

by Kazuoki Azumi, Setsuyuki Matsuda & Hiromichi Koshi

At the Oi Nuclear Power Station, Mitsubishi Electric has completed the world's first switchgear for a 550kV full GIS. The equipment went on line in December 1976.

The article discusses the features of the GIS, which promise a high level of reliability despite the seaboard location of this mammoth power plant, and describes the processes of manufacture, testing and erection of the switchgear.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 384~89 (1977)

## Field-Performance Testing of 550kV GIS Buses

by Susumu Matsumura, Shotaro Tominaga & Mitsumasa Imataki

Performance-confirmation tests were carried out on a 56m-long bus for a GIS while it was connected to an actually operating power system. Tests were designed to evaluate energized performance, taking into consideration both quiescent and load-carrying conditions. Conditions that did not occur in service were produced artificially.

As a result of these tests, which lasted about a year, it was possible to confirm the expected performance, as well as a variety of other in-field performance parameters.

\*Kansai Electric Power Co. Inc.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 6, pp. 390~94 (1977)

## SF<sub>6</sub>-Gas-Quenched Surge Arresters for a 500kV GIS

by Nobuo Nagai & Katsuji Ujita

Mitsubishi Electric has manufactured and delivered to a power plant of Kansai Electric Power Japan's first 500kV tank-type surge arrester. It was because of the unprecedented severity of the duty requirements plus the necessity for high-grade control of discharge (V-t) characteristics that the tank-type construction was adopted, a structure in which the arrester is surrounded by SF<sub>6</sub> gas in a grounded case. The article presents the specifications of the arrester, and discusses the points that require particular attention when tank-type construction is adopted.

# これからの電力系統保護・制御装置

森 健\*・山田 郁夫\*・鈴木 健治\*

## 1. まえがき

電気はそのエネルギー源の多様化をはかりつつ、無公害のクリーンエネルギーとして、将来ますます需要が増大するものと思われるが、エネルギー資源問題、電源立地問題などもあり、電気エネルギーの安定供給に関する技術的解決策が強く求められるものと予想される。

したがって、電力系統の「保護技術」、「制御技術」はますますその高度化が求められ、我々は新しい考え方に基づいて「これからの電力系統保護・制御装置」を発想すべきであると思う。2年前に同じ表題で我々の考え方<sup>(1)</sup>を発表したが、本文では特にその後の開発成果をふまえて再度、これからの電力系統保護・制御装置の姿を紹介したいと思う。

## 2. 制御モデルと経営ビジョン

電力系統の節点となる変電所に設置される保護・制御関係の設備は、昔は一口に「配電盤」と呼ばれていた。戦後の制御技術、保護技術、エレクトロニクスなどのめざましい技術革新によって、保護・制御装置はその形態を一新し、更に新しい発展をとげつつある。

我々はその新しい発展を図1. のような図式でとらえようとしている。すなわち電力系統において発生する各種の情報を検出する「センシング」部、検出された情報を迅速に、正確に、必要とするところに伝送する「トランスマッティング」部、収集された情報をその目的に応じて処理する「プロセッシング」部、処理した結果を計画・運転・保守する人に最適な形態で示すための「マンマシンインターフェーシング」部などから構成される制御モデルが、多数組合せられて「マシンオーガナイゼーション」となる。一方、経営効率の向上、人の創造性の発揮、人の能力開発など、経営システムはそのビジョンを示して活性化がはかられる。この経営ビジョンとマシンオーガナイゼーションは互いにインパクトを与えるながら、新しい発展をとげようとする。

これらのインパクトはメーカー側の経営ビジョンに影響を与えて、その技術力や生産・品質管理体制の高度化を要求する。このプロセスを図2. に示す。高度化にあたり今後の方向を規定する要因は、技術革新、市場要求、人間尊重の3項目に集約されると思う。

技術革新は、技術予測も含めて、いろいろ論議されているが、制御の分野ではシステム工学的見地からのものも含めて、まだまだこれからも続くものと思われる。

市場要求の高度化をどのようには(把)握するか、そのアプローチ方法の一例を図3. に示す。政治・経済・社会・技術の動向が電力系統の高度化の要請条件、制約条件となり、電力系統の高度化が、電力系統の計画面・運用面・保守面から電力系統の保護・制御に対して新しい要求を出す。

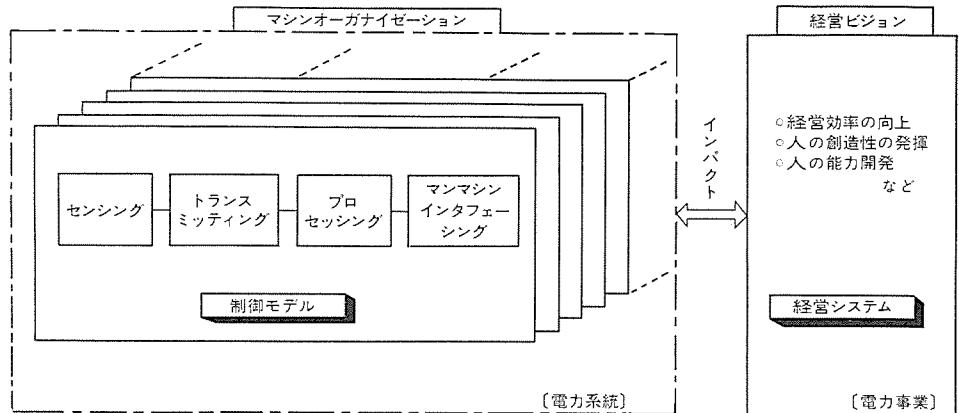


図1. 制御モデルと経営ビジョン

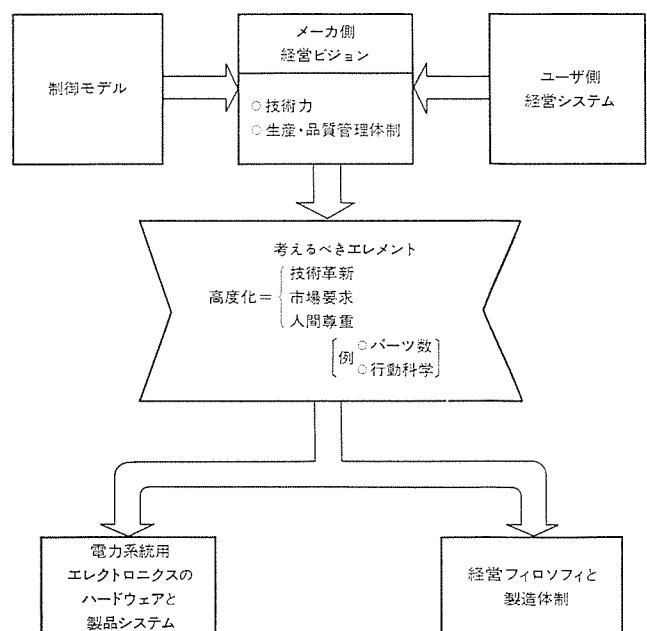


図2. 統合保護・制御装置の高度化

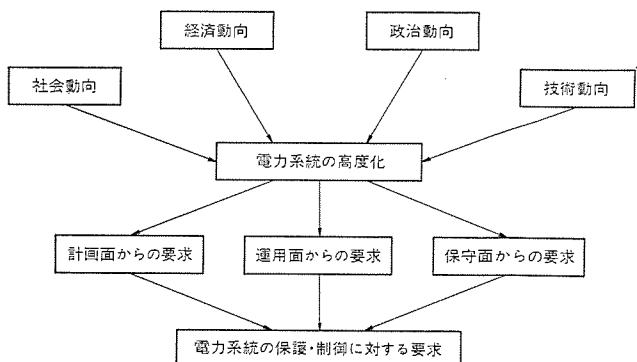


図3. 市場要求

人間尊重はいろいろな面から考えられる。例えば パーツ数の問題である。一人の人間が管理できる パーツ数には限界があり、人間尊重の面からも パーツ数は制限すべきである。管理の質を最高にする最適な パーツ数があり、熟練度によって差はあるが、管理の破局がくる パーツ数の最大限度もある。また、人間尊重のもう一つの例は行動科学である。問題の原点を分析し、「この人はよい人だ！」といふことから発想の展開が始まる行動科学的発想法である。

以上のような「高度化にあたり考えるべきエレメント」をレビューして、我々は図 2. に示すように二つの面から、系統保護・制御装置の高度化にアプローチし、多くの開発成果を得つつある。一つは、経営フィロソフィと製造体制の確立であり、他の一つは、電力系統用エレクトロニクスのハードウェアにおける新技術の開発である。次章以下にそれを述べよう。

### 3. 経営フィロソフィと製造体制

これから電力系統保護・制御装置の製作者としての経営フィロソフィと製造体制を図 4. に示す。二つの座標から、マネージメントシステムを設計した。一つは「階層の座標」であり、他の一つは、「系統保護・制御の座標」である。確固たるユニットの製造を担当するグループがベースとなり、その上に変電制御、系統制御、保護继電システムの製造を担当するグループが、それぞれ高度な応用技術の蓄積をもとにして、ユーザの要求にマッチした装置を提供している。また将来技術の開発、例えばデジタル保護・制御装置の開発にも大いに力を入れている。

図 4. の「階層の座標」は製品階層モデルを意味している。すなわち単体機器である「ユニット」、「カートリッジ」のレベルから、複合機器である「システム」のレベルへと複雑度は高くなる。製造管理において、

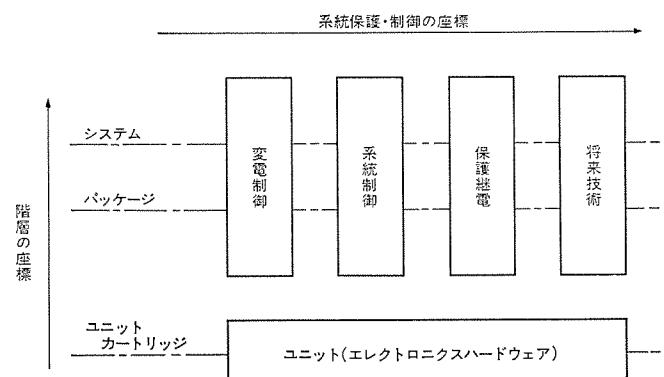


図 4. 経営フィロソフィと製造体制

ファミリツリーと製品部品数  
 $P = n^{(m-1)}$



図 5. ファミリツリーとパーツ数

ファミリツリーは常識であるが、一般に単体と称せられている機種は4段ないし5段のファミリツリーで表現される。ファミリツリーと製品部品数の関係は

$$P = n^{(m-1)}$$

ここで  $P$  : 製品の パーツ数

$n$  : 1段あたりの平均分割数

$m$  : ファミリツリーの段数

となり、図 5. に示すようになる。一般に個人の管理限界数を 400 とすると、図 5. の太線 A-A より上部が単体機器となる。

我々はこのようないくつかの認識のもとに、多機種少量生産である系統保護・制御装置の製造体制を築き、新しい時代に見合う改善を積みあげゆきたいと考えている。

### 4. 電力系統用エレクトロニクスのハードウェア

電力系統用エレクトロニクスの新ハードウェアとして次の3種を開発し、ハードウェアベースでの大幅なレベルアップを図っている。

#### 4.1 超高信頼度トランジスタ

従来の高信頼度トランジスタの不良内容は、ほとんどがボンディング不良であった。これを根本的に解決し、信頼度 0.5 FIT をねらったダブルボンディングトランジスタを開発し、表 1. の性能を得た。

#### 4.2 コンパクトタップ

従来の静止形保護リレーの整定タップを図 6. のように発想の転換を行い、カードの正面板に組み込んだ。これによって、タップ変更にドライバが必要となり、スペースを節約するとともに、クリーン回路がカード外部に配線されるのを防止し、サージ設計を容易にした。

#### 4.3 マイクロプロセッサボード

デジタル化に対応するため、低速用8ビット、高速用24ビットのマイクロプロセッサボードを図 7. のように開発標準化し、電力系統用として最適な設計を施した。

表 1. 超高信頼度形トランジスタ

形名	従来形 2SC-306	超高信頼度形 2SD-654
ワイヤ	金線シングル	金線ダブル
		ダブルボンディング
パターン	アルミ	金 モノメタルボンディング
サージ 耐量比	1	2
ベース 電流耐量	5Aで完全破壊	10Aで劣化
スイッチング タイム	5μs	12μs

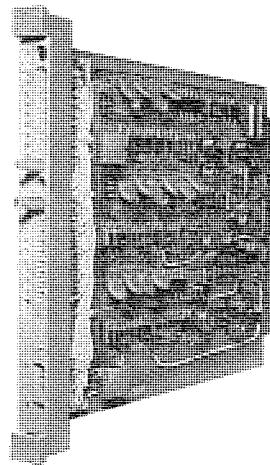


図 6. コンパクトタップ

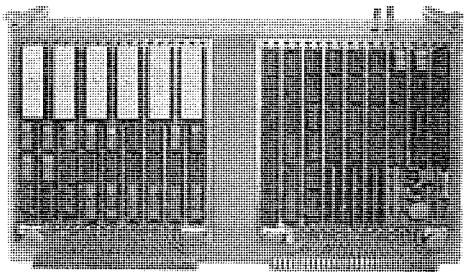


図 7. 24 ビットマイクロプロセッサーカード

## 5. MULTIFLEX

今後の電力系統保護・制御装置の高信頼度化を目的とし、製造管理面における新しい理念と技術を適用した電子制御装置を開発したので、これから保護・制御に適用していく。名称を、MULTIFLEXと呼ぶことにした。

## 5.1 製品階層モデル

多機種少量生産における数と管理の質を維持するため、図 8. のような製品の階層モデルを決定し、生産と技術の両面の向上を容易にした。

## 5.2 階層別品質管理

下位層のカートリッジユニットに重点を置き、次の3点に重点を置いた。

### (1) 部品のグレードアップ

トランジスタは表 1. の ダブルボンディング のものを使うとともに、特に可変抵抗・コネクタ・オペアンプについては最高級のレベルのものを使用した。

## (2) 部品・カードのスクリーニング強化

信頼性確認プログラムの強化を行い、図9.のように故障率をカードのレベルで、全故障率の10%程度に低減できる目論しを得た。

### (3) プロセス管理の強化

機能・性能に関しては、ユニットレベルで完全に管理できるようにユニットを構成します。

### 5.3 陞屬別共一之對策

変電所 サージ の発生源と保護・制御装置への侵入ルートを図 10. のように把握し、これに対して図 11. のように各階層別に サージ 抑制策を考慮した。特に システムレベル での サージ を発生させない、伝えないという策の効果は大きい。

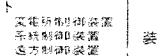
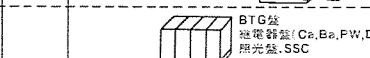
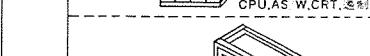
階層モデル	具 体 例	説 明
システム	 <p>システム プラント 変電所用制御装置 系統制御装置 远方制御装置</p>	装 置 群
	 <p>BTG盤 送電器盤(Cs, Ba, PW, DZ, BP) 照光盤, SSC CPUAS W, CRT, 遠制リレー盤 CDT</p>	装 置
パッケージ		基
ユニット ブロック	 <p>ユニット ブロック</p>	燃焼器センサユニット スイッチ部ブロック 電気取付部
カートリッジ	 <p>サブユニット ケース カバー ベース</p> <p>プリントカード組立 トランジ群</p>	カートリッジユニット ケースカバー ベース カートリッジ プリントカード組立 トランジ群
	 <p>プリントカード トランジ</p>	複 部 品
		部 品

図 8. 製品階層モデル

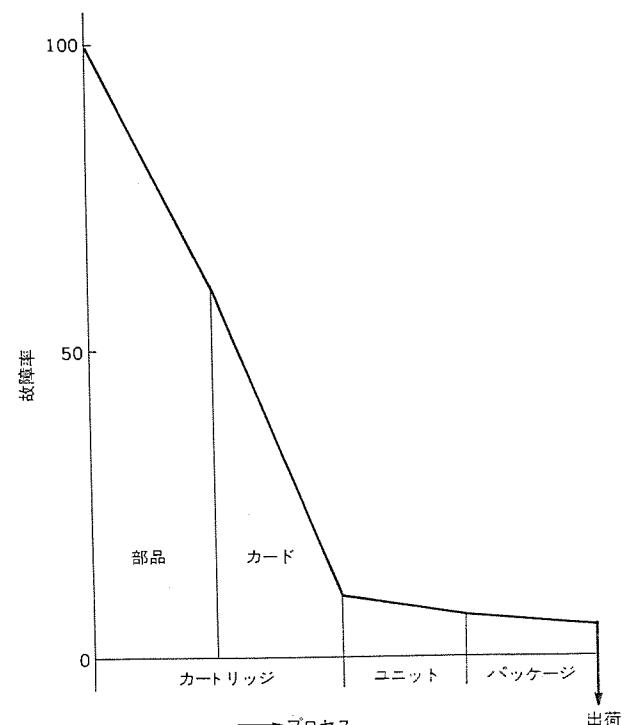


図 9 信頼性試験による不自発低減曲線

## 5.4 缩小化

静止回路以外の例をば補助川ー・タイラ・タップ板等の周辺器具の小形

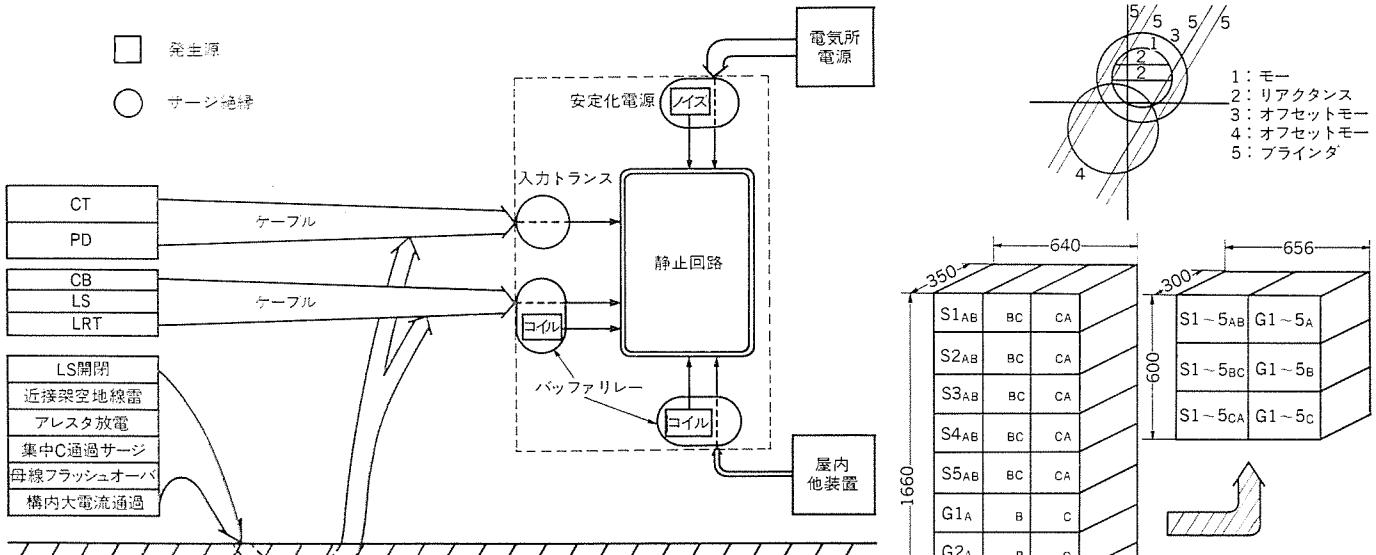


図 10. サージの発生源と侵入ルート

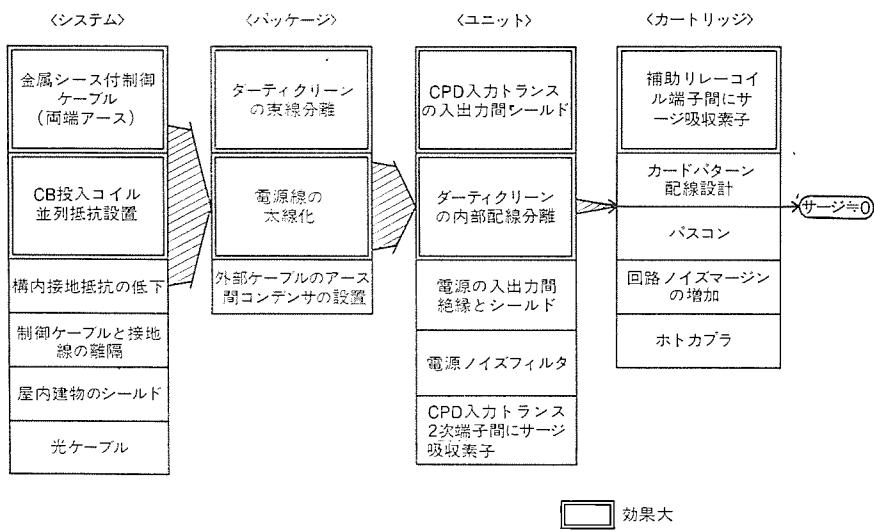


図 11. 階層別サージ抑制策

表 2. マルチフレックスの縮小化

絶電方式	位相比較保護	距離保護	母線保護
方式	純粹両波位相比較 多相再閉路付	短絡・地絡距離3段	一括電圧差動 分割電流差動 10端子+1母連
自動監視	あり	あり	あり
装置構成	700 NP POS CONT TT	700 NP POS CONT TT	1400 NP NP POS CONT TT TT
VA	PD CT	4 8	9 8
			5 5

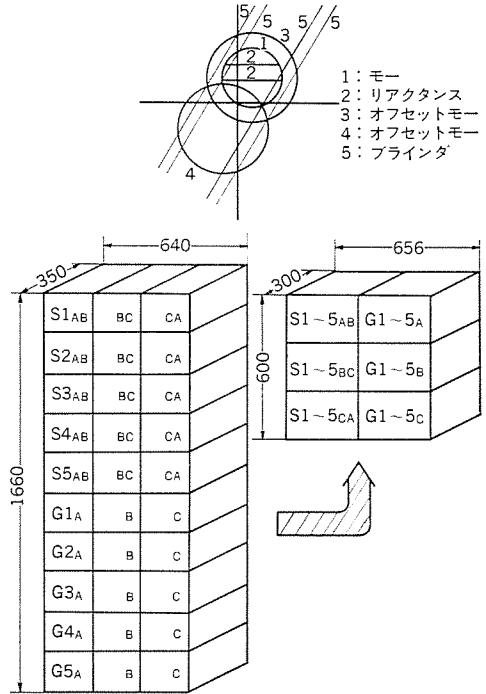


図 12. 距離絶電器の小形化

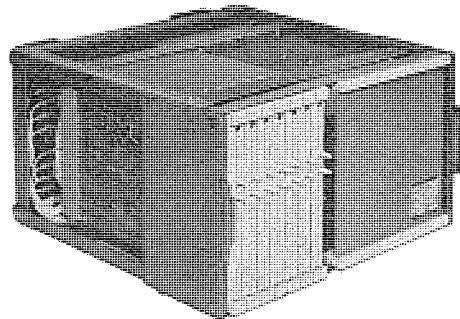


図 13. 距離絶電器サブユニット

化、CPD入力部の共用化によって、例えば図12.のように距離絶電器を小形化できた。図13.はそのサブユニットである。表2.は縮小化のアウトプットで従来の約1/2のスペースになったとともに、CPDのVAも急減した。

## 6. 統制御における計算機応用とその品質

統制御における計算機応用は各電力会社とも着実に進展しつつある。我々も多数の計算機系統制御装置を納入し、着実にその地歩を築きつつある。我々は基礎技術を大切にし、それを地道に育成してゆくことを基本方針として、昭和47年に構想をかたため、真に基礎技術の開発のための研究室として、系統制御用シミュレーションセンタの設置に着手し、昭和48年から3ヵ年計画でミニコンの2重系システムを整備して昭和50年にセンタを完成させた。図14.に系統制御用シミュレーションセンタの写真を示す。

2章の図2.で述べたように、系統制御装置の高度度にあたり考えるべきエレメントは3項目あるが、これらを具体的に実践する場がシミュレーションセンタであり、見てく

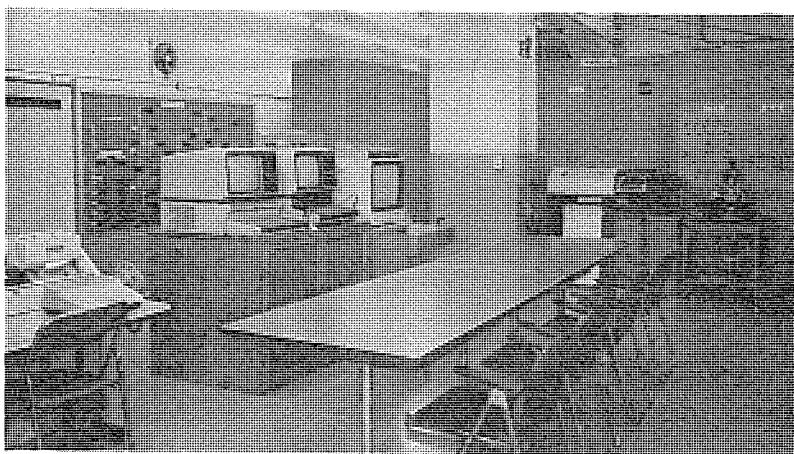


図 14. 系統制御用 シミュレーション センタ

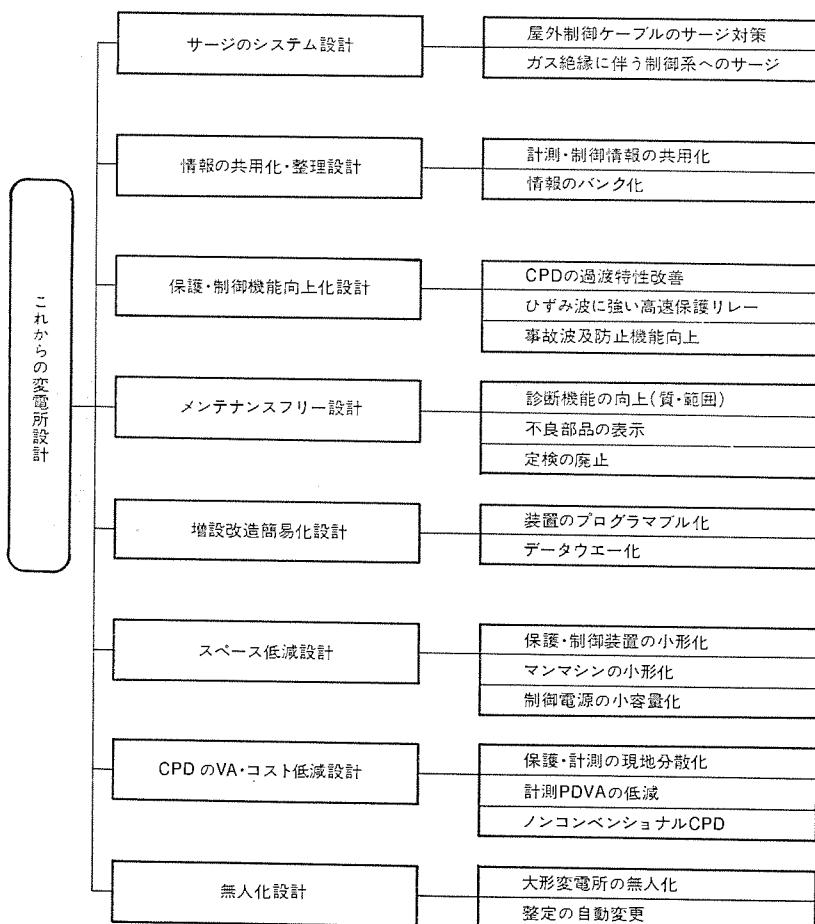


図 15. これからからの変電所設計

表 3. 保護・制御用 デジタルプロセッサの比較

目的	演算スピード	主要演算	演算状態	プログラムワード数
保護	高速	数値演算 主体	常時演算	小
制御	低速	論理演算 主体	割り込み演算	大

れは悪いが、十分信頼できる、泥にまみれた技術を育成してきたと自負している。

また、計算機系統制御装置は高い信頼性が要求され、ハードウェア、ソフトウェアの両面から品質を高める必要がある。多くの地道な品質保証活動を展開しているが、基本的には行動科学的発想法から出発している。

## 7. これからからの変電所設計

今後の変電所設計に当たり、図 3. の市場要求を具体的なレベルに展開してみると図 15. のような要求が発生しており、これを満足させる設計が必要と思われる。特に、サージ・情報・機能の階層別管理と、増設・改造を考慮したメンテナンス管理を徹底的に追求する必要がある。

## 8. デジタル技術と電力系統保護・制御

電力系統保護・制御のデジタル化のねらいは、常時運用制御・緊急制御機能の向上を目的とした多情報の総合処理、保護機能向上を目的とした新しい原理に基づく保護方式、増設・改造の簡単化を目的としたシステムの開発にある。

デジタル技術導入のアプローチとして、分割された変電所機能をローカルにデジタル化する方法と、変電所機能全体を総合的にデジタル化する方法とが考えられる<sup>(3)</sup>。前者の例としては、系統安定化装置、データロガーがマイクロプロセッサを使用して、実用化されている。

デジタルプロセッサは、その使用目的から表 3. のように要求性能が異なるので、ハードウェア、ソフトウェアともわけて検討していく必要がある。

デジタル化の大きな問題点は、信頼性の確保であり、診断・冗長システム、電源・放熱等のハードウェア、変電所サージ絶縁等が具体的な問題点となる。また、高信頼性プログラムの開発と人間能力の限界、最適情報フローフィルムの確立、最適マンマシンインターフェースの開発が必要になる。

## 9. むすび

電力系統の高度化から発生する電力系統保護・制御装置に対する要求を満たすため、制御モデルとユーザ経営システムに基づいて、メーカーとしての経営ビジョンを確立して、製造体制と製品システムを決定した。この結果開発されたマルチフレックスの基本概念を紹介するとともに、計算機の系統制御への応用、これからからの変電所設計のあり方、デジタル化へのアプローチ等についても、上記経営ビジョンをもとに述べた。

## 参考文献

- (1) 森・山田：三菱電機技報、49. No. 10, P. 649 (昭50)
- (2) 鈴木・前田：三菱電機技報、50. No. 8, P. 425 (昭51)

# 計算機による電力系統運用制御システム

山田 郁夫\*・中川 秀人\*・辻 俊彦\*\*

## 1. まえがき

電力需要の増大に伴って電力流通設備は大規模化し、系統構成も複雑化する道をたどっており、一方需要家からは高品質な電力の供給を強く求められている。このため電力流通設備を合理的な経済的に、かつ高信頼度で運用するために、また人間尊重に基づく創造的業務への志向から系統運用制御の自動化、省力化が進められている。

我々はこのような要求に対応するため、計算機系統制御装置を製作納入してきたが、更に高度な自動化、省力化の要求にこたえるために、系統制御用シミュレーションセンタを完成させ、これを使って新しい基本技術を開発・検証し、これらを応用した装置を最近納入している。

本文ではシミュレーションセンタの紹介をし、そこで育成された幾つかの技術を述べ、最近の計算機系統制御装置の動向を報告する。

## 2. 系統制御用シミュレーションセンタの概要

我々は、系統制御の基礎となる技術を大切にし、それを地道に育成してゆくという考え方のもとに、昭和47年に見えてくれは悪いが、真に基礎技術開発の試作研究室となり得るようなシミュレーションセンタの構想をかため、昭和50年にセンタを完成させた。シミュレーションセンタでは次のような研究開発が可能である。

### (1) システム構成・設計技術の研究開発

(給電所向けシステム、500 kV 変電所向けシステム、など)

### (2) システム機能の設計・研究・開発

(自動操作、自動復旧、など新しい機能の研究開発)

### (3) システム信頼性向上の設計・研究・開発

(自動診断、装置故障時対応策、などの研究開発)

更に

### (4) システム調整・運転・保守員の教育訓練

にも使うことができる。

図1.に系統制御用シミュレーションセンタの構成図を示す。また図2.にその写真を示す。制御用計算機として《MELCOM》350-7を2台設置し、1重系、2重系システムの各種研究ができる。更に1,280画素のCRTディスプレー2台と3,200画素の高精度大形CRTディスプレーを備えており、CRTによるプログラムの変更、データの変更などの方式研究ができる。

アロジック計算機も備えており、CRTディスプレーとともに对话形電力系統計算装置が構成でき、そのシミュレータとして基本技術の研究開発と評価ができる。

遠方監視制御装置、模擬情報伝送装置、模擬変電所群があり、集中制御システムのあらゆる動作のシミュレーションが実時間で実行できる。

我々はユーザの計算機系統制御システムの計画・製作・運用にあたって、シミュレーションセンタを次のように活用して、ユーザと一緒に信頼性・増設変更性・経済性の高いシステムを完成させたいと思っている。

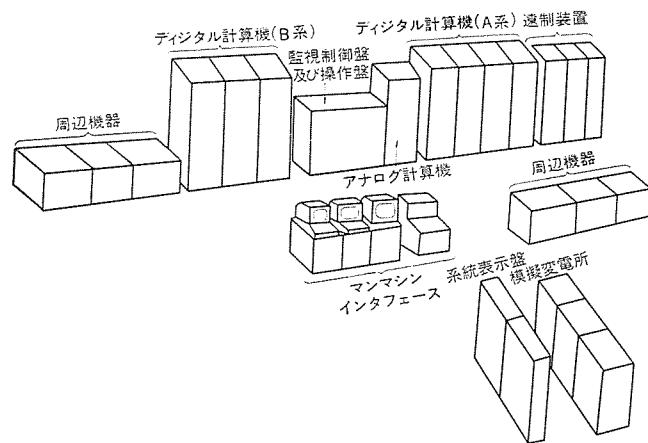


図1. 系統制御用シミュレーションセンタ構成図

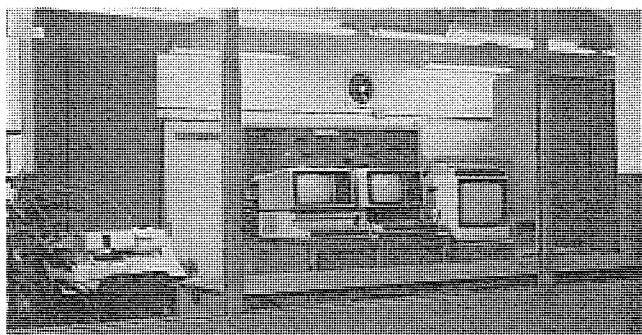


図2. 系統制御用シミュレーションセンタ

- (1) システムを模擬的に構成して動作させることにより、計画の立案と仕様の決定を行う。
- (2) システムをシミュレーションセンタで十分その動作を試験することにより高品質なものとする。
- (3) ユーザの運転員、保守員のトレーニングを行って、計画しているシステムに十分なじんでもらう。
- (4) システムのハードウェアの製作と並行して、シミュレーションセンタで関連ソフトウェアを製作することにより、ハードウェアとソフトウェアを並行生産して工期を短縮する。
- (5) 運用後のシステムをシミュレーションセンタで模擬的に構成し、動作させることにより、増設変更業務を信頼性高く、短時間に実施する。

## 3. 系統制御の新技術

### 3.1 CRTによるパターン集中制御

平常時操作のほとんどは母線、送電線、変圧器の始動、停止などの定形的な操作であり、この業務の自動化による省力効果は大きい。パターン集中制御方式は下記4種類の定形的な操作をCRTからの簡単な指示だけで遠方監視制御装置を介して自動的に行うことができるものである。図3.にCRT画面の実例を示す。

- (1) 送電線(変圧器)始動操作

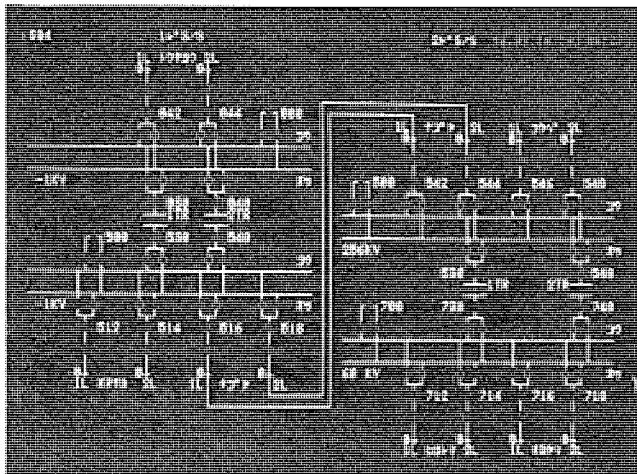


図 3. パターン集中制御の CRT 画面

始動する送電線（変圧器）をライトペンで指定し、マスタコントロールスイッチを「入」とすれば、(a)線路側断路器、(b)母線側断路器、(c)しゃ断器の順に投入操作を自動的に行う。

#### (2) 送電線（変圧器）停止操作

(1)と同様に指定（マスタコントロールスイッチを「切」）すれば、(a)しゃ断器、(b)母線側断路器、(c)線路側断路器の順にしゃ断操作を行う。

#### (3) 母線始動操作

始動する母線をライトペンで指定し、マスタコントロールスイッチを「入」とすればブスティを投入して始動母線を充電した後、送電線をあらかじめ定められた形に切換操作する。

#### (4) 母線停止操作

(3)と同様に指定（マスタコントロールスイッチを「切」）すればブスティがしゃ断状態であればこれを投入して、送電線を停止しない側の母線へ切換えた後、ブスティをしゃ断する。

### 3.2 リモート事故復旧操作

事故発生などにより送電が途絶え、変電所が全停した場合には特定のしゃ断器（例えば変圧器2次側、2号受電線）をしゃ断して送電の回復待ち、送電回復時は速やかに事故前の状態へ復帰させる必がある。従来、これらの操作は現場の自動化装置で行われることが多かったが、この方式は将来の事故時復旧操作の高度化に対応できるように遠方監視制御装置を介して行えるようにしたものである。

#### (1) 全停直後操作

受電線の電圧が無くなった後一定時間経過したことを条件にあらかじめ定められたしゃ断器（例えば、変圧器2次側、2号受電線のしゃ断器）をしゃ断する。

1号受電線のしゃ断器は投入したままとして、送電の回復を待つ。

#### (2) 全停回復操作

全停直後操作の後1次母線電圧が、回復すれば、一定時間経過したことを条件に変圧器2次側しゃ断器を投入し、2号受電線の電圧が回復した後一定時間経過したことを条件として2号受電線のしゃ断器を投入する。

### 3.3 CRTによるスケルトン画面の新・増設

電力系統を監視あるいは制御するシステムにおいては情報を迅速かつ分かりやすい形（図、表など）で提供することが必要であるためはん（汎用性、柔軟性に富むCRTディスプレーが多数用いられている。このようなシステムでは系統機器の新・増設に伴うCRT画面、データ

テーブルなどの変更が迅速に行えることが重要である。この方式は機器の新・増設に伴うポジション表及びスケルトン画面の変更をCRTにより簡単に行うことができるものである。

この方式は、(1)新・増設機器の登録、(2)スケルトン画面の新・増設から成っている。この二つの作業により新・増設機器のシンボルがスケルトンに付加され、そのテレコンポジション等が定義される。図4.に全体の手順を示す。

#### (1) 新・増設機器の登録

図5.の画面（ポジション表）を呼出し、新・増設機器に関する項目名、入力ポジション、制御種別、表示種別などをキーボードから書込む。書込み完了後、登録を指示すれば画面を読み込み、データベースを生成し、確認表示が行われる。

#### (2) スケルトン画面の新・増設

増設の場合と新設の場合とがある。増設時は増設前の画面をもとに必要部分を追加変更すればよく、新設時においても類似スケルトンを原画として使用し、一部追加変更だけで対処できる。類似スケルトンが無い場合には画面全体を作成することが必要であるが、一部変更の場合と基本的な違いはないので、ここでは増設の場合について述べる。図6.は増設時の画面である。

増設変更の手順を以下に説明する。

- (a) スケルトン画面番号（登録する番号）、類似原

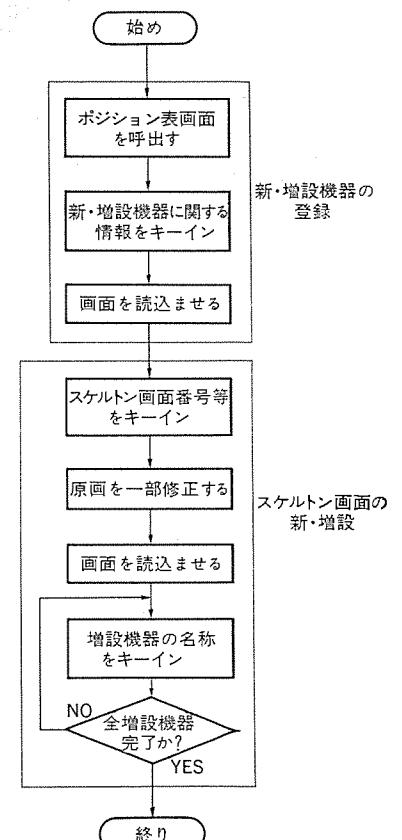


図 4. スケルトン画面の新增設の手順

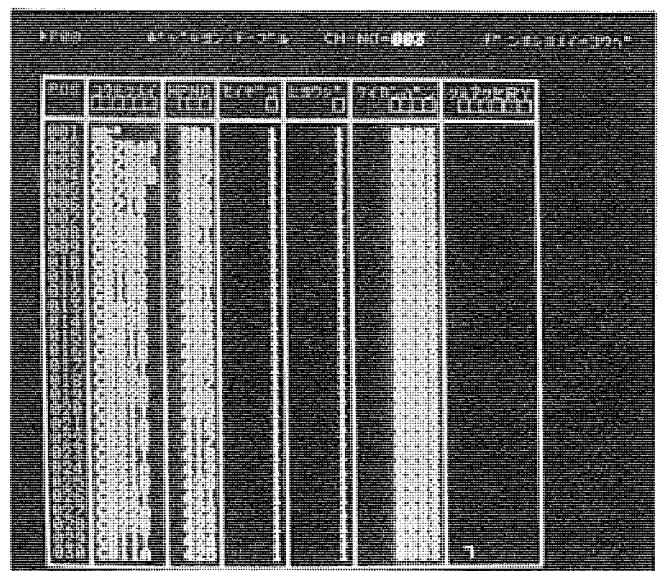


図 5. ポジション表の CRT 画面

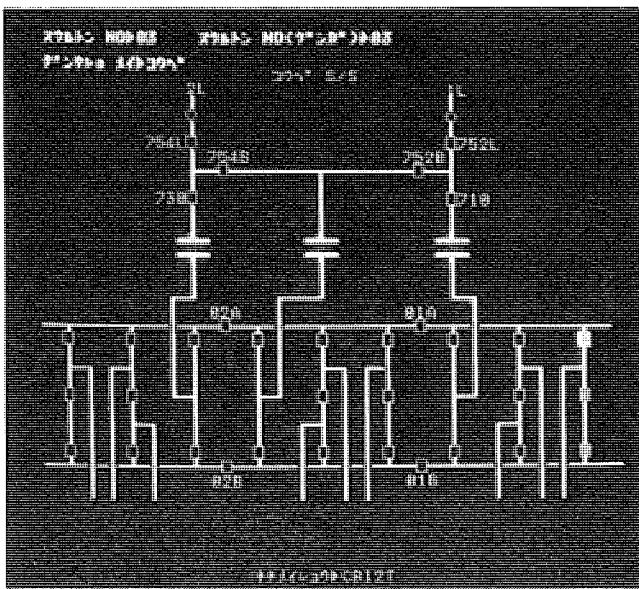


図 6. スケルトン 増設時の CRT 画面

画番号(増設の場合は登録する番号と同じ), 電気所名を指定する。

- (b) 類似原画面が表示される。
- (c) 原画を一部修正する。
- (d) 登録を指示し, 画面を読みませる。
- (e) 増設機器を自動的に抽出し, その機器名称を順次クリックして問い合わせてくるので, 名称をキーインする。

以上(1), (2)の操作によりスケルトン画面及びポジション表の変更が完了する。

### 3.4 対話式系統計算方式

電力系統の新規設備計画(系統計画), 大規模電力系統の運用操作(運用計画), 設備保守(作業停止計画)などの計画策定, 及び想定事故計算による平常時運用状態の安全性チェックと予防措置の決定, 復旧時の復旧条件の確認などは, 電力系統を安全に運用するための重要な課題である。従来, 上記問題に対処するため潮流計算, 安定度計算, 短絡計算, 周波数動揺計算, 故障計算等を, 大形計算機を用いてシミュレーション計算で行なうことが多かった。

対話式系統計算方式は, 制御用ミニコンピュータ《MELCOM》350-7とCRTディスプレー, ライトペンを使用し, 各種系統計算を対話式で簡単に行えるようにしたものである。

この方式の特長は次のとおりである。

- (1) 高速, 高精度の系統計算  
潮流計算, 安定度計算, 短絡容量計算, 周波数動揺計算, 故障計算等を高速, 高精度で実行する。

### (2) 増設・変更性

系統の構成状態, 運用状態の増設・変更はすべてソフトウェア・コントロールワードの書換えにより容易に行える。

### (3) 表示性, 操作性

計算条件, データの設定・変更は操作卓, CRT ライトペンを用いて容易に行なうことができる。

計算結果の表示は, 見やすい CRT ディスプレー画面に表示する。

以下にこの方式を適用したシステム例を説明する。

### (1) 計算対象系統とデータ設定

基本系統; 66 kV 連系線から 500 kV 系統まで当該給電所管内を全系一括, あるいは指定した部分系統を対象にスケルトン画面を使用

して計算する。

基本系統の一部変更; 基本系統のノードに補助的に任意ノード, ブランチ, 発電機などを一覧表画面からライトペン操作により接続して計算する。

任意系統; 最大計算規模の範囲内で, 全く任意の系統について一覧表画面からライトペン操作によりデータ設定を行い計算する。

これらの系統に対するデータ設定は下記の方式により行う。

- (a) オンライン 系統情報によるデータ設定。
- (b) ファイルデータによるデータ設定。
- (c) 既設定データの一部をライトペン操作により設定変更。

### (2) 系統計算の実行

潮流計算, 電圧計算, 短絡容量計算を任意選択により実行する。最大計算規模は, ノード数; 100, ブランチ数; 200, ループ数; 40 程度である。

### (3) 設備定格容量のチェック

計算実行において, 設備定格容量のチェック, 運用基準値許容幅の逸脱チェックを行う。制限値を超過した場合は一覧表結果数値及び結果スケルトンの該当設備を赤色変化して警報する。

以上説明した CRT 画面のライトペン操作による系統計算の対話方式を図 7. に示す。

### 3.5 ストラクチャード プログラミングとデータベース

“ストラクチャード プログラミング”とは簡単には「プログラムは, 複雑になると人間の管理能力を超えるようなものになるので, 設計・製作の段階から, (a)管理, (b)変更増設, (c)理解, (d)正しさの証明, (e)高信頼性, (f)プログラムの再利用, に便利なように作っていこうという“考え方”とその“手段”である」と定義することができる。我々は上記のような考え方により, ソフトウェアシステムはプログラム単体だけでなく, ソフトウェアシステム全体が構造化されているべきであると考え,

- (1) 構造化設計 (Structured Design)
- (2) 構造化プログラミング (Structured Programming)

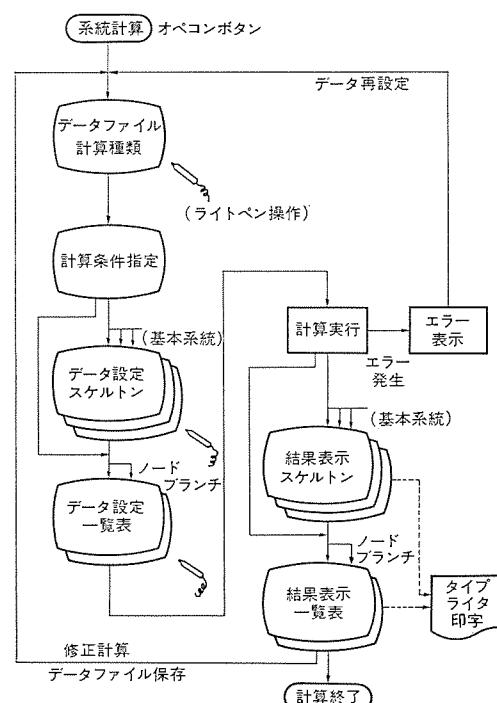


図 7. 系統計算の対話フロー

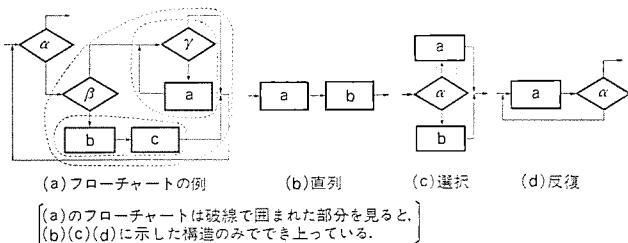


図 8. ストラクチャード プログラミング の基本制御論理

### (3) データベースシステム (Data Base)

の三つに分けてソフトウェア設計・製作を行っている。

#### (1) 構造化設計

全体システムの業務分析を行い、制御の複雑さに応じて業務を階層分割し、トップダウン手法により業務を更に単機能に階層分割する方法で单一ジョブ (モジュール) を決め、それをビルディングブロック的に積み上げてソフトウェアシステムを構成する。このシステムを信頼性、変更増設性、管理、階層性の面から評価し、評価が最適となるようソフトウェアシステムを再構成する方法である。

#### (2) 構造化 プログラミング

プログラムを構造化する技法として種々の技法が提案されているが、我々は電力系統制御に用いられるプログラムの特徴・使用言語 (ファンクション、アセンブリ) 等を考慮し、構造化設計後のモジュールについて

(a) プログラムを一つの入口から一つの出口に至るまで下降形に書く。

(b) モジュールの機能を階層的に逐次具体化してプログラム言語のレベルまで展開し、そのおののおのをつなぎ合わせて一つのプログラムを作る。

(c) モジュールを可能な限り図 8. (b)(c)(d) に示す三つの基本的、かつ標準的な制御論理構造により構成する。

上記三つの規則によってモジュールを作成している。

#### (3) データベース

電力系統制御システムの一つは大量データ処理で変更増設が多いことにある。このような特徴のシステムはデータを集中管理するデータベースシステムとして扱うと便利であり、我々はデータベースを電力系統制御システムに基本的に必要な電力系統設備の性質、構成及び現在状態、運用状態を表現したデータファイルの集合体より構成し、それにスペアポイントを設けて変更・拡張を可能なものとしている。このようなデータベースと、構造化設計、構造化 プログラミングとが相まってソフトウェア構成が分かりやすく、変更・増設方法が明確で、メンテナンスが容易なソフトウェアシステムを構成することができる。

### 3.6 最近の系統制御用計算機

大規模な電力系統運用制御用計算機は十分な信頼度を有することはもちろん、下記の基本性能を満たす必要がある。

(1) メモリ容量、接続可能入出力装置の種類と数量が十分大きく、拡張性があること。

(2) システムを停止することなく、ハードウェア、ソフトウェアの増設ができる、その作業が容易、短時間であること。

(3) 機能の追加とその確認が容易であること。

これらの系統制御システムにとって本質的な基本性能はシステムの中核である《MELCOM》350-50 (略称 M-50) 制御用計算機のハードウェア、ソフトウェア両面にわたる優れた特長をベースとして実現されるものである。系統制御システムにとって、特に有用な M-50 制御用計

算機の特長を以下に示す。

#### (1) 256 kW の主メモリ容量

16 kW 単位に最大 256 kW まで主メモリを拡張できる。このため、計算機を追加することなく、集中制御から総合自動化へと機能を増強してゆくことができる。

#### (2) 高拡張性と豊富な入出力チャンネル

従来のミニコンは、高速チャンネル (DMA) と低速チャンネルの 2 種類を装備しているのが普通であったが、M-50 は 6 種のチャンネルを有し、多数の周辺装置を効率よく動作させることができ、更に専用の 2 重系コミュニケーション機能 (DPA) や 4 台の CPU からアクセス可能なコモンメモリを有し、入出力装置の拡張からマルチシステムへの拡張までの高拡張性を有しており、対象電力系統の拡大、機能の増強に応じたシステムの拡張ができる。

#### (3) 充実した RAS 機能

メモリの 1 ビット誤りを自動訂正、2 ビット誤りの検出を行っており大容量メモリにふさわしい信頼度向上を図っている。CPU は重要回路の 2 重化と命令実行のリトライ機能により稼動率の向上が図られている。更にスタートスマート方式のマイクロ診断により保守が容易である。

#### (4) フリーメモリ方式

メモリ拡張時に従来ミニコンでは多大の作業と試験を必要としたプログラム実行領域の再割付けは、M-50 ではメモリアロケーションのダイナミック管理を行っているため不要となり、メモリ拡張がソフトウェア面からも極めて容易になっている。

#### (5) ファイル管理

M-50 では、プログラム及びデータは計算機内部でファイルとして統一的に管理、保存、維持されており、ファイルにつけた記号名称により、そのファイルが入る位置の決定、割当てをしてファイルの登録、更新を行ったり、記号名称によるファイルのアクセスを可能にする等、絶対番地によることなくファイルメンテナンスを行うので、機能の追加、更新が誤りなく容易に行える。

#### (6) 容易なプログラム作成・デバッグ

オンラインの空き時間を利用して、バックグラウンドジョブとしてコンパイル、アセンブル、登録等の作業ができるることはもちろん、オンライン実行シミュレータ (SIMU) により、オンラインの運用を妨げずにプログラムのデバッグを行うことができる。

### 4. むすび

計算機による電力系統運用制御は着実な発展をしつつあり、我々は系統制御用シミュレーションセンタを設置して、新しい基本技術を開発しソフトウェアの蓄積を図ってきた。そのなかから系統操作の自動化、CRTによるプログラム変更、系統計算など、最近開発された新技術を紹介した。

新技術の開発とその実際面への応用について、日頃種々ご指導いただいている電力会社の関係各位に感謝する。

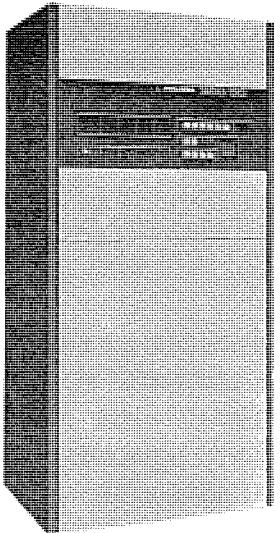


図 9. 《MELCOM》 350-50 の外観

# 系統事故時のひずみ波と保護装置

鈴木健治\*・畠田 稔\*・吉田敬史\*\*

## 1. まえがき

電力系統は近年ますます大形化・複雑化しており、供給信頼度に対する社会的要請も一段と高度化してきている。こうした中で電力流通設備に対する迅速、かつ適切な保護の必要性が一層要求される趨勢にある。一方電力流通設備を見ると

- 市街地超高压ケーブル送電網の拡大
- 電源の集中、遠隔化による遠距離送電線の出現

により対地静電容量が増加し、この対地静電容量と送電線のインダクタンスの共振によって、事故時に広範にわたる周波数の高調波電流が比較的長期間発生し、系統電圧・系統電流が著しくひずみ、これによって高速度動作の基幹系統の保護リレー装置が不正動作する恐れが近い将来生じることが懸念される。

これに対処するためには、まず系統現象を少しでも正確には(把握した上で対策を検討する必要があるため、当社ではデジタル計算機によるシミュレーションプログラムを開発して計算を行うと同時に過渡現象解析装置によるアナログシミュレーションや模擬送電線設備による試験によって系統事故のひずみ波現象の解明を進めている。一方、これらひずみ波現象に対する保護リレーの応動については現状を把握すると同時にその対策について検討を進めており、一部リレーについては既に対策を実施中である。

以下に事故時ひずみ波シミュレーション結果の内容と保護リレーの対策について簡単に紹介する。

## 2. 系統事故時のひずみ波現象

### 2.1 ひずみ波発生のメカニズム

系統に事故が発生した場合、事故発生前の定常潮流から定常事故電流に移行する間に状態変化に伴う過渡現象としてひずみ波(過渡高周波振動)が発生する。

この過渡高周波振動のある送電線に着目してながめた場合一般に(1) 当該送電線につながる外部系統及び機器などのキャパシタンス  $C$  と当該送電線のインダクタンス  $lL_t$  ( $l$ : 送電線長、 $L_t$ : 送電線単位長当たりインダクタンス) の共振による高周波振動

(2) 当該送電線の分布インダクタンス  $L_t$  と分布キャパシタンス  $C_t$  による固有振動

の二者が重複した形態になる。

前者の場合その周波数  $\omega$  は

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{lL_t C}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

で与えられ、一般に後者の送電線の固有振動に比べてその周波数は低く数百Hz程度の場合が多いが、地中送電線が多数接続されるような場合  $C$  が大きくなり共振周波数が低下し、近い将来は第2、第3調波程度の極めて低い過渡振動が発生すると予想される系統も存在している。

一方、後者は事故発生による進行波が当該送電線上を往復反射を

くり返すことによる高周波振動であって、送電線端の状態(反射係数)によってその振動の様相は後述のように違ってくる。また実系統において最も多い1線地絡事故など零相回路を含む事故においては事故発生による進行波に正相回路を伝搬するもの(いわゆる線間波)と零相回路を伝搬するもの(いわゆる対地波)の二つのモードがあるため、実際に観測される高周波振動はこうした二つの振動モードが重複した複雑な形態となる。

一般に零相回路(大地)の抵抗分は正相回路の抵抗分に比べてはるかに大きいため零相モードの固有振動の減衰は早く、送電線の固有振動による高周波分はほぼ正相モードの固有振動として取扱える場合が多い。

### 2.2 送電線の固有振動の様相と振動周波数

数十km程度の比較的短距離の架空送電線ではその固有振動周波数は数kHz以上であり、減衰も早いためこれまでの保護方式では問題とはならなかつたが、100km程度の超高压長距離架空送電線や都市部における超高压地中送電線などではその固有振動周波数が数百Hz程度になる場合もあり、過渡振動の継続時間も長くなる傾向にあり、保護方式の面からも注意が必要になってきている。

この送電線の固有振動の様相とその振動周波数について簡単のため3相送電線の正相回路を仮定した単相回路で考察する。図1.は単相送電線の事故モデルで、 $Z_S$  はトランクのインピーダンス、Fは事故点、 $Z_L$  は外部系統、負荷などを示している。

F点で事故が発生すると進行波がF点から送電線上をA端へ進行する。A端のトランクのサージインピーダンスはほぼ無限大とみなせるとするとA端は等価的に開放端と考えられるため、進行波の理論からよく知られているように電圧進行波は同符号で反射され、一方電流進行波は逆符号で反射される。このようにして反射された進行波に對し事故点Fは短絡端となるため、電圧進行波は逆符号で反射され、電流進行波は同符号で反射される。このような往復反射をくり返す

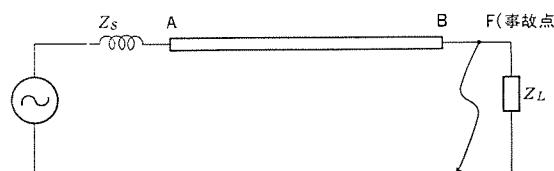


図1. 送電線の事故モデル

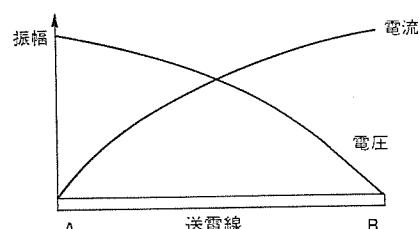


図2. 送電線上の固有振動の様相 (片端開放、片端短絡に近い場合)

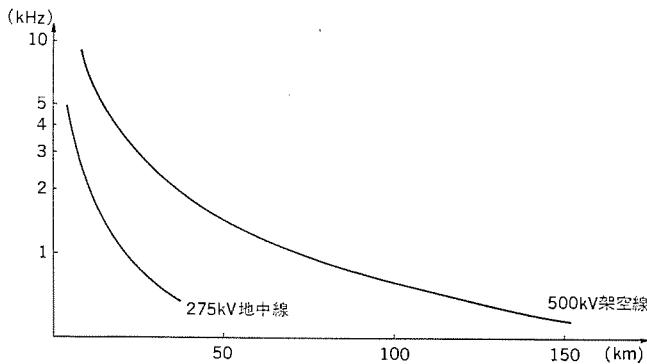


図 3. 送電線長と固有振動周波数

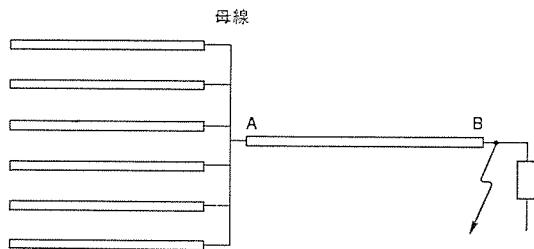


図 4. 地中送電線多回線が接続されている場合

ことにより、結局送電線上の高周波電流・電圧はそれぞれ図2の分布する。

この振動の様子は丁度弦の振動のように考えることができ、図1のA端が開放端、B端が短絡端と考えられる場合は図2のように電流の振動にとってはA端が節、B端がはら、逆に電圧の振動にとってはA端がはら、B端が節となる。

分布定数線路の理論によれば、分布定数線路の固有振動は図2に示すような基本モードに対し高次のハーモニクスが無限個存在し得ることが導かれ、共振周波数が無限に存在することになるが、実用上は図2のような最も低次の基本モードを考えればよい。

図1の場合は想定すれば、送電線の分布インダクタンス  $L_t$ 、分布キャパシタンス  $C_t$ 、送電線長  $l$  から図2のような固有振動の基本周波数を算出することができる。

すなわち送電線が丁度  $1/4$  波長に相当するような周波数  $\omega$  が図2のような固有振動の周波数であるから

$$\omega = \frac{\pi}{2l\sqrt{L_t C_t}}$$

これから固有振動の周波数  $f$  (Hz) は

$$f = \frac{1}{4l\sqrt{L_t C_t}} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

代表的な 500 kV 架空送電線の定数(正相)と 275 kV 地中送電線の定数(正相)から周波数を計算すると図3のようになる。このように送電線が長くなるほどその固有振動周波数は低下し、架空線では約 70 km 以上、地中線では約 20 km 以上になるとその固有振動は 1 kHz 以下になることが分かる。また図3から地中送電線は等

価的には極めて長い架空送電線に相当することができる。

以上は図1のようなモデルについて送電線の固有振動の様子を考察したが、図4のように送電線片端が、多数の地中送電線が接続されている母線につながっている場合、B端付近で事故が発生すると送電線ABは等価的に両端とも短絡端に近い状態になり、固有振動は図5のようになる。送電線長が図1の場合と等しいとする、図2、図5の比較から明らかのように、固有振動の周波数は図3に示す値の2倍になる。このように送電線の固有振動の発生状況は両端の反射係数により異なるが、図3のグラフは最も低周波の固有振動の発生する場合であるといえる。

### 2.3 系統事故時のひずみ波形のシミュレーション

前述したように長距離架空送電線や超高地中送電線などが現れるようになって、系統事故時の真の姿を明らかにする必要性が高まってきた。これに対し当社では

(1) TNA (Transient Network Analyzer : 過渡現象解析装置)

によるアナログシミュレーション

(2) デジタル計算機によるシミュレーション

を並行して多数実施し、両シミュレーション結果の一致を確認している。

TNAによるアナログシミュレーションでは送電線を細かく分割してそれぞれの単位を集中  $L$ 、 $C$  素子の  $\pi$  形回路等で表現することにより近似的に分布定数線路を模擬し、水銀リレーを用いた同期スイッチによって任意の位相で事故発生を模擬し、過渡現象を高性能シンクロスコープで観察、記録している。

デジタル計算機を用いたシミュレーションでは当社中央研究所で開発した汎用過渡現象解析プログラムを用いている。この汎用過渡現象解析プログラムは単相・3相いずれでも用いられ、分布定数送電線、集中  $L$ 、 $R$ 、 $C$  素子、トランジスタ、電圧源、電流源などの基本要素をもっており、これらの基本要素の組合せにより任意の系統を組立ててシミュレーションすることができる。

また分布定数送電線要素を用いる場合、正相、零相の定数を与えることで架空線、地中線などいかなる種類の送電線をも模擬できる。計算結果はタイプアウトされるとともに、プロットによって波形図の形でプロットすることができる。また保護方式のシミュレーションプログラム、フィルタのシミュレーションプログラム等と接続することにより、系統事故時の過渡現象データを用いて保護方式の性能、フィルタの性能等のタイ

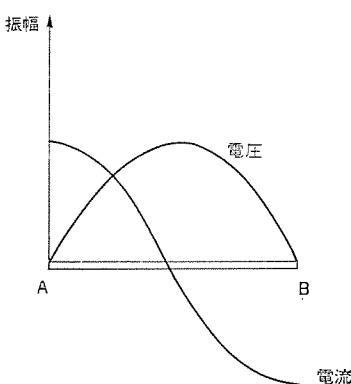


図 5. 両端短絡に近い場合の固有振動モード

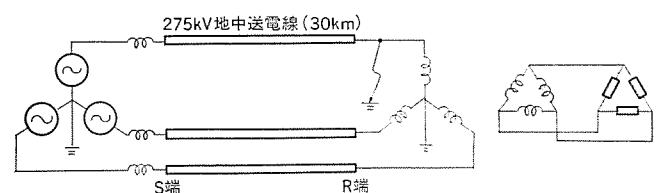


図 6. TNA によるシミュレーションモデル

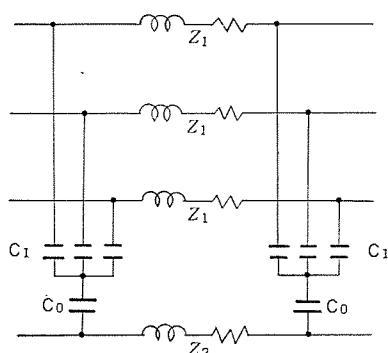


図 7. TNA 上の送電線単位

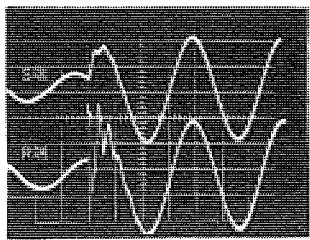


図 8. 事故相電流波形  
(1線地絡)

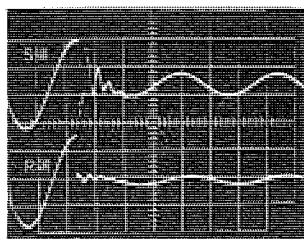


図 9. 事故相電圧波形  
(1線地絡)

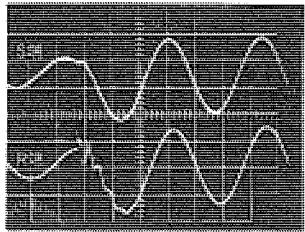


図 10. 健全相電流  
波形

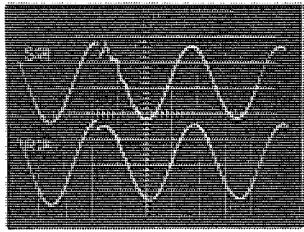


図 11. 健全相電圧  
波形

ミックな検討を行うことができる。

以下に TNA による 3 相地中送電線の事故シミュレーションの一例と、デジタル計算機によるシミュレーションの例を紹介する。

### 2. 3. 1 TNA によるシミュレーション例

図 6. は超高压 (275 kV) 地中送電線 1 回線 (30 km) のモデルで、TNA 上では図 7. のような送電線単位を継続接続して設定される。このシミュレーション例では分布定数送電線として十分の精度を確保するため 5 km ごと 6 分割して送電線を表現している。

このようなモデルにおいて、負荷端で 1 線地絡事故が発生した場合の電源端 (S 端)、負荷端 (R 端) の電流・電圧波形をそれぞれ図 8.、図 9. に示す。

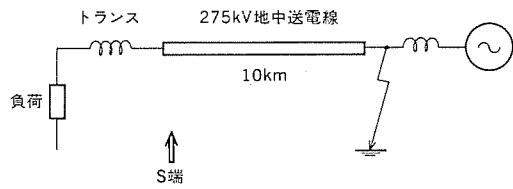


図 12. モデル系統

図 8. に見られるように電流波形は S 端は比較的スムーズで、R 端で過渡高周波振動が顕著であり、電圧波形は逆に S 端の過渡高周波振動が顕著で R 端は緩やかである。これは S 端はトランスに接続され等価的に開放端に近く、R 端は事故点に近いため等価的に短絡端に近い状態になることから、丁度図 2. に示したような固有振動が発生するためである。振動周波数は図 3. から約 700 Hz 程度で、観測された高周波振動と一致している。

このように過渡高周波振動波形は送電線両端でかなり異なり、例えば電流差動保護方式を適用する場合にもこうした過渡高周波差電流に対し誤動作することのないよう何らかの対策が必要となる。

系統事故時の過渡高周波振動は事故相だけでなく健全相にも現れる。これは 1 線地絡事故の場合は零相回路によるもので、図 10.、図 11. にみられるように事故相ほどではないものの、電流、電圧波形ともかなりのひずみ波形になる。

図 8. ～図 11. には 1 線地絡時の過渡高周波振動の様子を紹介したが、このような過渡現象は短絡事故の場合も大差なく、短絡事故時には抵抗分の大きい零相回路を含まないことから過渡振動の継続時間は長くなる傾向がある。

### 2. 3. 2 デジタルシミュレーション

前述した当社の汎用過渡現象解析プログラムによる図 12. のような地中送電線モデル系統の 1 線地絡時の S 端における過渡高周波振動波形の計算結果を図 13. ～図 16. に示す。

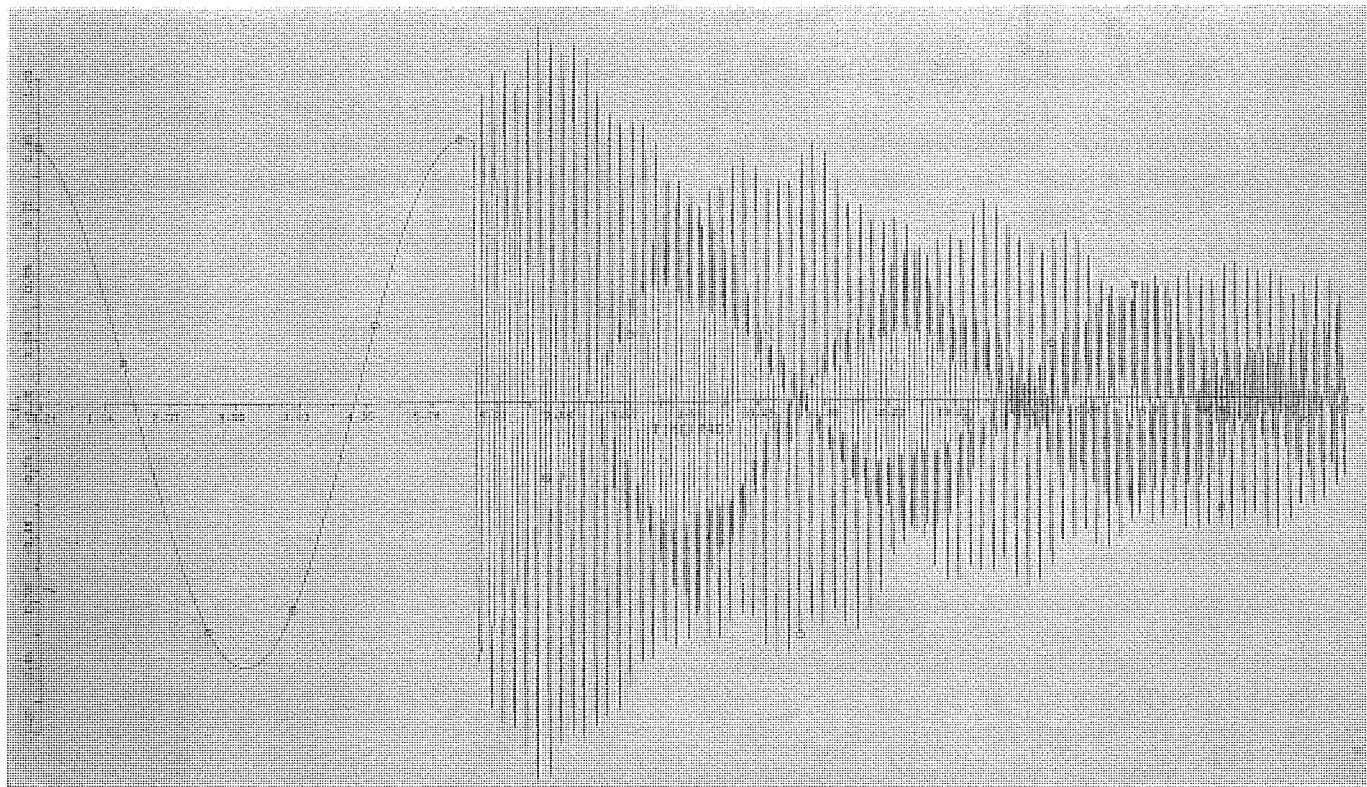


図 13. 事故相電圧波形

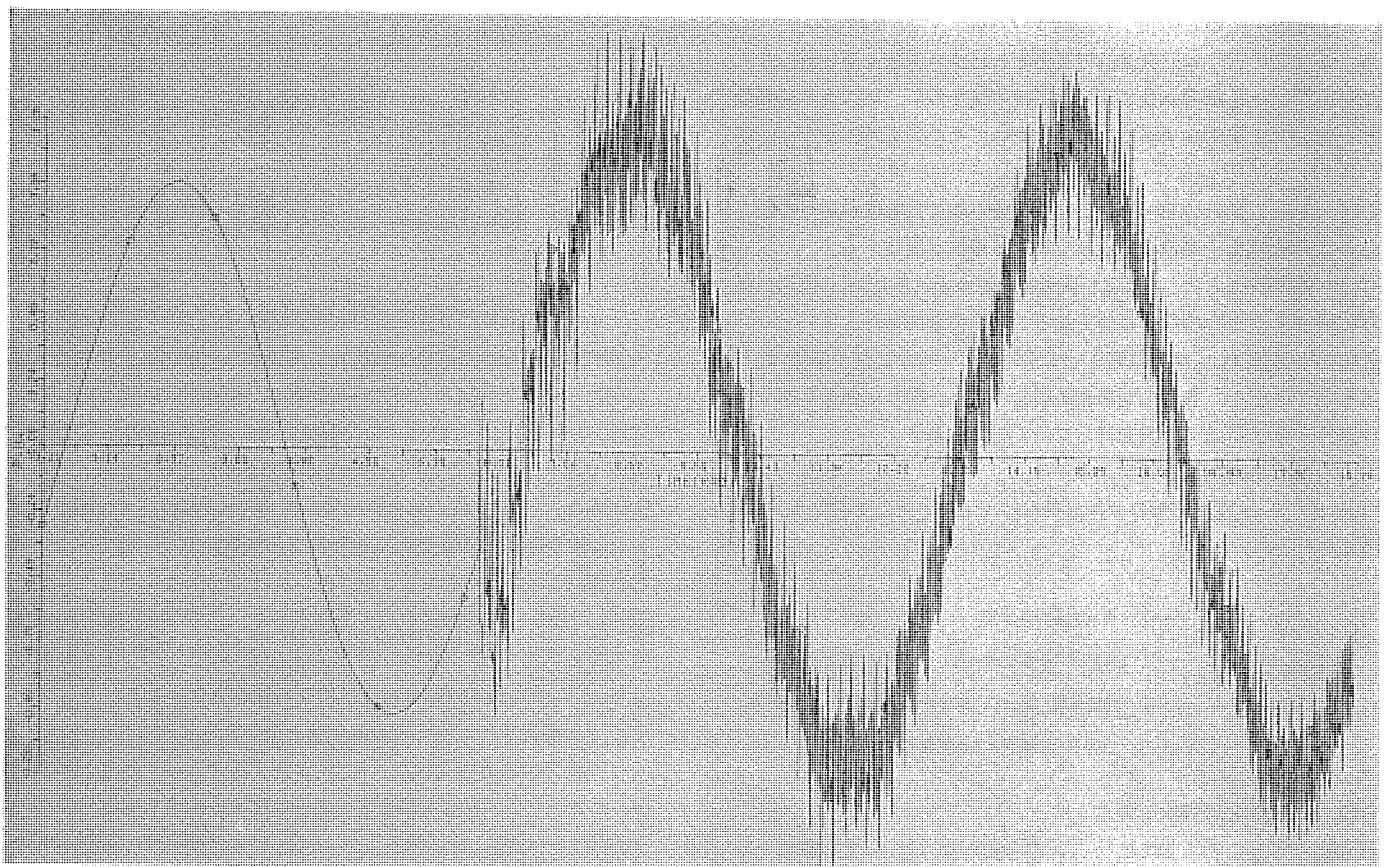


図 14. 健全相電圧波形

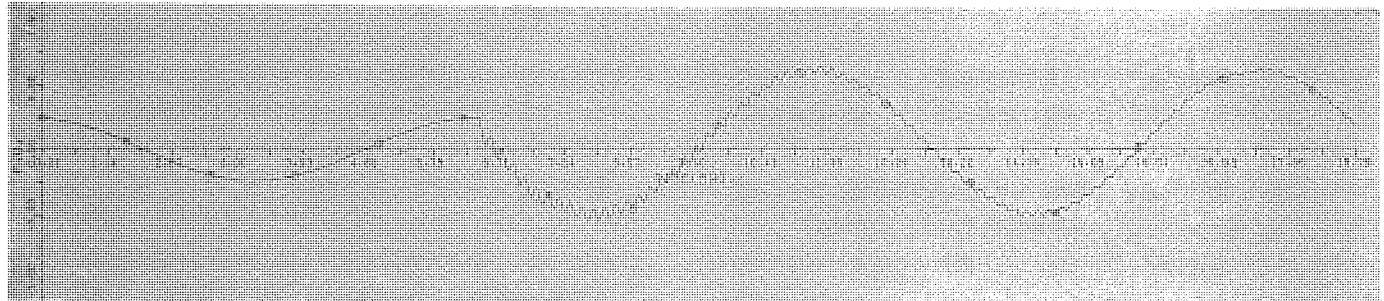


図 15. 事故相電流波形

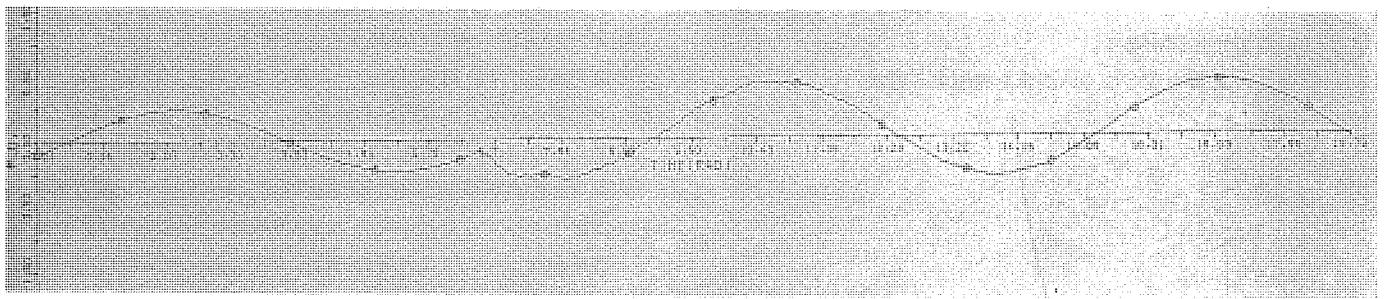


図 16. 健全相電流波形

S端はトランスに接続され開放端に近いことから、図13.に示すように電圧波形に顕著な固有振動が現れている。この固有振動周波数は約2.2kHz程度で、図3.から求められる周波数と一致する。S端では健全相の電圧波形にも図14.のように高周波振動が重畠する。図15.、図16.から電流波形は事故相、健全相とも比較的きれいな波形になることが分かる。

現在のシミュレーションプログラムでは各線路定数の周波数特性の効果を組み込むことが困難であるため、一般に高周波成分に対し抵抗値は

低めになり、過渡現象の継続時間は実際より長めになるが、TNAシミュレーションなどと比較・対照することにより系統事故時の真の姿を把握することは十分可能である。

### 3. 波形ひずみと保護リレー

これまでにも波形ひずみと保護リレーの関係においては、

- 変圧器のインラッシュ電流対策
- 配電系の地絡事故時の針状波電流対策

## ○発電機中性点に発生する高調波分対策

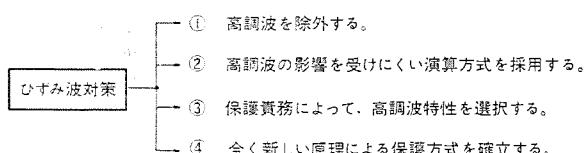
等、それぞれ個別に研究され対策をとられている例も多いが、ここで記述している基幹系統における系統事故時の  $L$ 、 $C$  による共振現象で発生する波形ひずみは次の点においてその対策が困難な面が多い。

- (1) 波形ひずみの原因となる高調波分の周波数帯域が非常に広く、しかも系統構成や事故点によって周波数帯域が変化する。
- (2) 基幹系統のリレーはより高速度を要求されるため、波形ひずみの減衰まで動作時間を遅延させることができない。

このため保護リレー側の対策としても単純に一つの方法で解決できるものではなく、複数の対策案の組合せとか、新しい原理に基づく保護方式など幅広く検討を行っていく必要がある。

### 3.1 ひずみ波対策へのアプローチ

保護リレーから見た波形ひずみ対策へのアプローチとして次のものが考えられる。



#### (1) 高調波を除外する方式

最も代表的なものとしてはフィルタが考えられ、リレー入力部にそう(挿)入して高調波を除外するもので、比較的簡単に実現できるため現実的な対策案の一つであるが適用に当たっては次の点に留意している。

- (a) フィルタの時定数だけ若干動作時間が遅くなる。
- (b) 高い次数の高調波には非常に効果があるが、低い次数の高調波になるほど効果は小さくなってくる。

図 17. に既に 500 kV 系統で実績を上げている位相比較リレーに適用されているアクティブフィルタの周波数特性を示す。この程度のフィルタであれば動作遅延時間も実用上ほとんど問題にならない程度でひずみ波対策を行うことができる。

このフィルタ方式の外にも高調波カットトランスを入力部に挿入していく方法もあるが、低い次数の高調波に対してはほとんど効果がないため使用箇所に制限がある。

#### (2) 高調波の影響を受けにくい演算を採用する方式

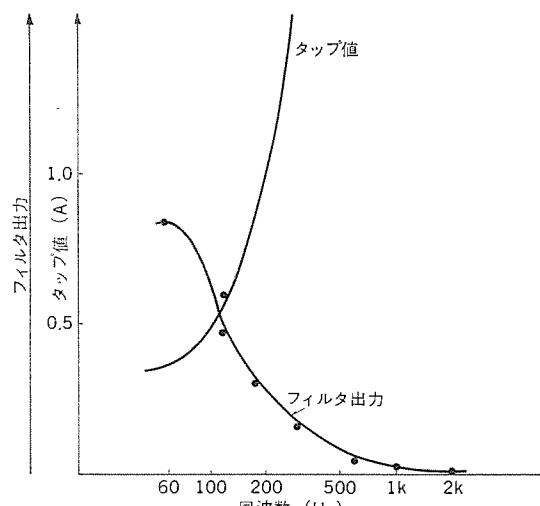


図 17. 位相比較リレーの周波数特性

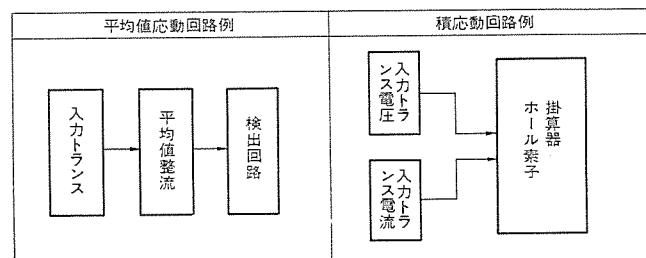


図 18. 高調波の影響を受けにくい演算回路例

交流波形の平均値(又は面積値)に応動する回路方式及び電圧電流の積に応動する回路方式がこれに相当し、原理的にひずみ波に対して強いといえる。これは一般に機械式リレーの動作原理に相当するものであり、機械式リレーが比較的ひずみ波に強いといわれるゆえんである。しかしながら基幹系統の保護リレーにおいては静止形リレーの持つ長所、すなわち高速性及び多機能性等を必要とするため静止形リレーが使用されることが多い。したがってどうしても静止形リレーのひずみ波対策を行う必要があり、この高調波の影響を受けにくい演算方式に期待するところも大きいと言える。図 18. に静止形リレーで高調波の影響を受けにくい回路例を示す<sup>(1)</sup>。

#### (3) 保護責務によって高調波特性を選択する

ひずみ波形の影響を受けないリレーが最も望ましいが、あらゆるリレーにすべてひずみ波対策を行うことは経済的にもスペース的にもロスが大きいため、その保護リレーの責務から判断して高調波特性を選択するのも現実的な一方法ではないかと考えられる。例えば

##### (a) ストップリレー

一般にその責務から考えてどちらかといえば動作特性が縮小するより拡大方向のほうが望ましいといえる。ただし方向比較のキャリアリレーや方向制御位相比較リレーに使用されて距離リレーにおいては拡大方向といっても方向性を失わない範囲での拡大でなければならない。

##### (b) メインリレー

メインリレーについてはそれ自身基本的にひずみ波の影響を受けないようにすべきであり、高調波特性の選択で対処するのは好ましくない。

#### (4) 全く新しい原理による保護方式

5年先、10年先の将来の系統を考えた場合、上記(1)～(3)のひずみ波対策だけでは対処できなくなることも考えられるため、全く新しい原理の保護方式の開発が必要になると思われる。特に現在最も有効なフィルタ方式によるひずみ波対策も、系統の対地静電容量の増大とともに事故時に発生する高調波の次数が低下し、第3調波や第2調波になってくるともはやフィルタ方式だけでは対処できなくなると考えられる。このことから当社でも全く新しい原理による保護方式の検討を進めている。

## 4. むすび

以上、基幹系統における事故時のひずみ波現象について、当社のシミュレーション方法と保護リレーの対策についての考え方を紹介してきたが、実際の問題解決はこれからであり、今後とも各電力会社関係各位のご批判、ご指導を仰ぎながら研究・開発を進めていく所存である。

## 参考文献

- (1) トランジスタ総電器の性能向上対策、電協研、29、No. 5

# 関西電力(株)大飯原子力発電所納め550kVガス絶縁開閉所

阿澄一興\*・松田節之\*・合志宏道\*

## 1. まえがき

当社では、既に72~550kVのガス絶縁変電所(Gas Insulated Substations; 以下GISと略す)を約500ユニット製作し、550kV GISも30ユニットの納入実績がある。これらの経験を生かしてこのたび、関西電力(株)大飯発電所へ世界初の550kV全ガス絶縁開閉所(以下、full GISと略す)を納入、昭和51年12月から運転を開始した(図1.)。この大容量原子力発電所納めのGISは、送電線ユニット2、変圧器ユニット3、母線連絡ユニット1からなり、母線・避雷器・計器用変成器などもすべてガス絶縁化され、変圧器とはケーブルで接続されている。唯一の空気絶縁部になる送電線との接続ブッシングには活線洗浄装置が設けられ、厳しい塩害に耐え得る屋外形装置であり、従来形機器を使用した開閉所用の建屋が不要になり、所要面積の縮小化とともに経済的利点を発揮している。

## 2. 当社におけるGISの開発

当社は、昭和38年GISの基礎研究を開始し、昭和43年4月に我が国で初めて、関西電力(株)姫路変電所において84kV GISが実系での運転を始めたが、GISの特長を大きく生かすべく、年々1段階ずつ基礎研究開発・実用化試験・製品化を繰り返し、着々と高電圧化を図ってきた。550kVにおいても、図2.のよう、昭和45

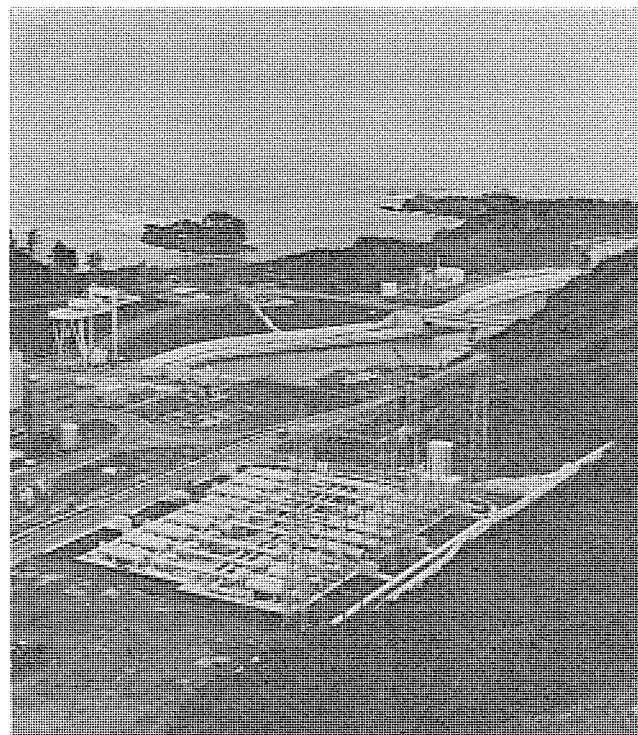


図1. 関西電力(株)大飯原子力発電所納め 550 kV GIS

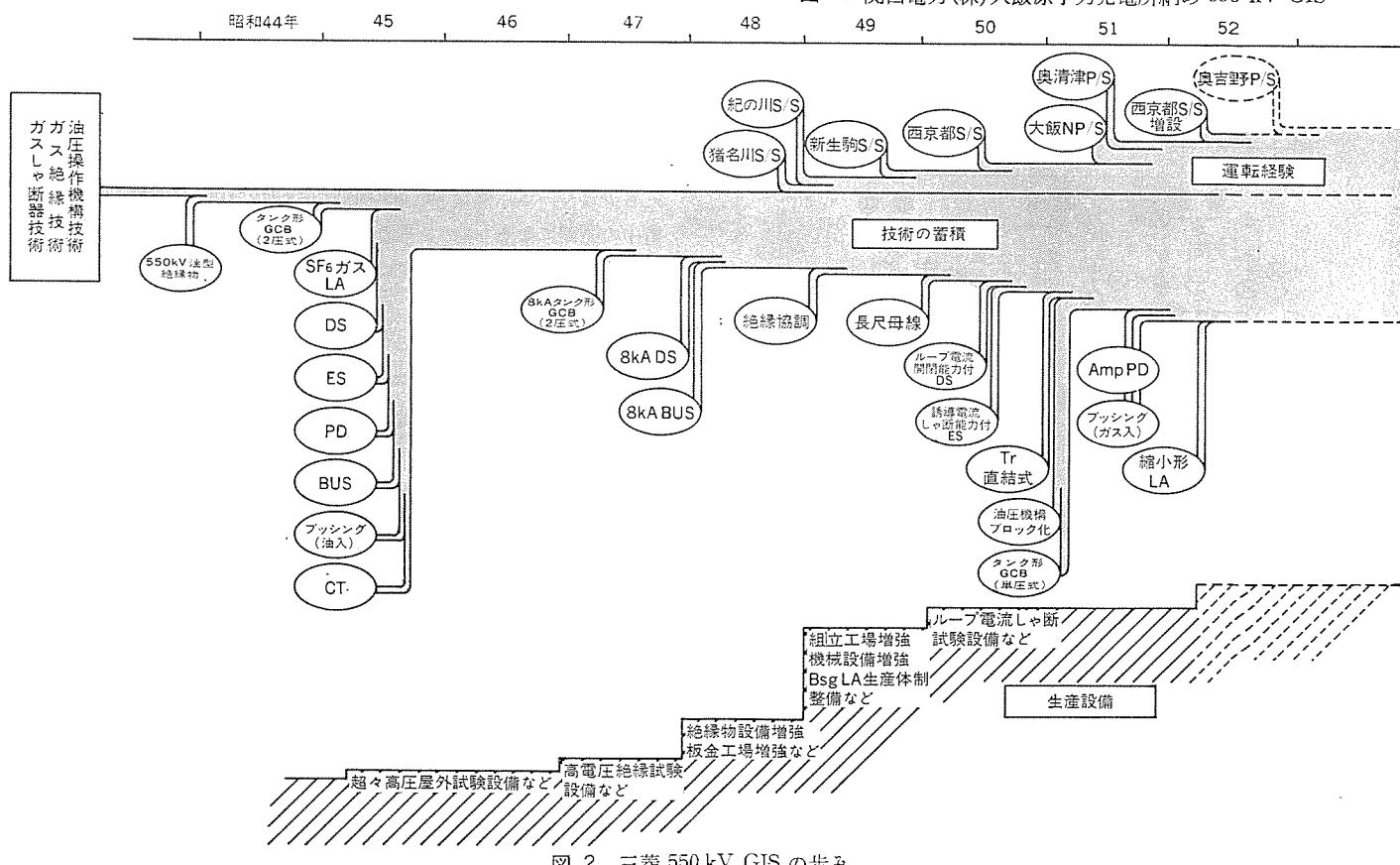


図2. 三菱 550 kV GIS の歩み

年3月から46年9月に至る長期課電・通電試験を含む、関西電力(株)と当社との共同研究の結果、世界初の550 kV GISユニットを昭和48年9月関西電力(株)猪名川変電所に納入し、引き続いで同形ユニットからなる大規模な変電所が、関西電力(株)紀の川・新生駒・西京都変電所と次々に建設され、順調な運転を続けている。これらは、母線に空気絶縁母線を用いた $1\frac{1}{2}$ CB方式変電所で、内陸部に在って回線数が多くて母線が長い大容量変電所には、この種のGISが経済的にも適しているとして採用された<sup>(1)</sup>。この方式でも所要面積は従来方式の60%に減少し、保守点検の省力化、良好な耐震性能、すえ(据)付けが容易であるなどの多くの特長を持っている。しかし、臨海地に多く建設される大容量発電所用開閉所では、送電線引込数は比較的少ないが、厳しい耐塩害性を要求され、このような場合、母線をもガス絶縁化したfull GISは屋外設置が可能のため非常に有利になる。ガス絶縁母線に相当するものは、前述の550 kV長期課電・通電試験実施装置に含まれていたが、更に長尺母線になった場合の熱膨脹収縮・基礎不等沈下対策などの実証試験も含めて長期課電・通電試験を実施し、良好な結果が得られた。この母線に、既に運転中のしゃ断器・断路器などを組合せることによってfull GISを完成し、ここにも実証試験及び実績を積重ねる方針が貫かれている。

### 3. 大飯原子力発電所納め GIS の構成

#### 3.1 配置の検討

大飯原子力発電所納めの550 kV GISの単線結線図を図3.に示す。

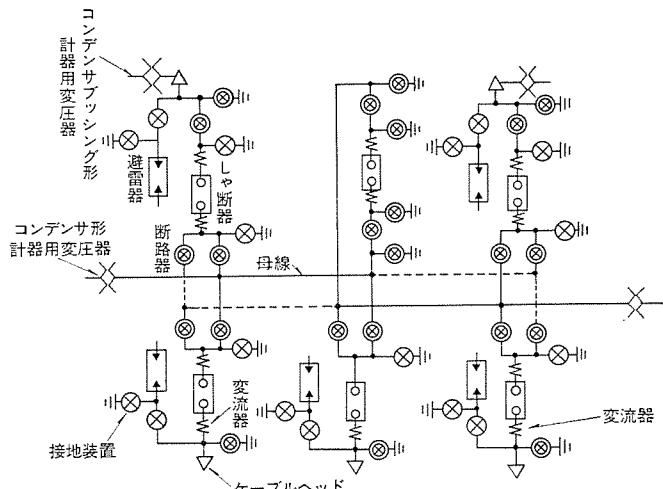


図3. 大飯特高開閉所単線結線図

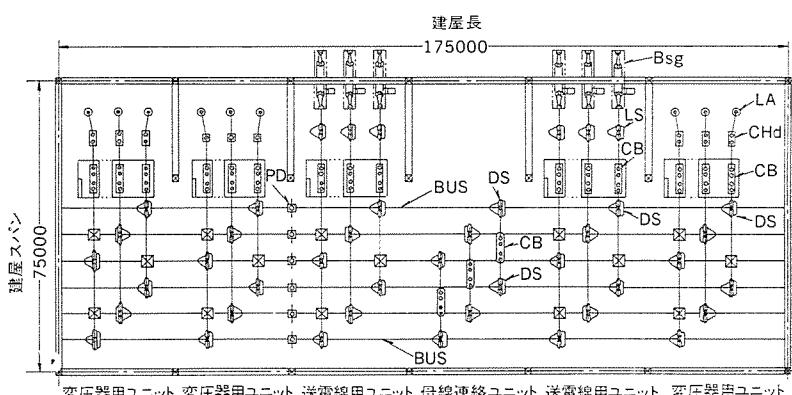


図4. 従来形機器による550 kV屋内形開閉所の例

点線部分は将来増設される部分で、これによって典型的な2重母線1CB方式の開閉所になるが、現在では単母線であり、将来の母線連絡用しゃ断器が母線区分用しゃ断器として使用されている。また、母線切換断路器は、将来の増設時の停電を避けるために当初より設置してある。このような方式を採用できるのも、GISの特長の一つである。

福井県西部の日本海に面したこの開閉所は、初期の検討段階では従来形の断路器・しゃ断器・気中母線を用いた屋内式として考えられていた。その一例を図4.に示す。開閉所はコンパクトにまとめられてはいるが、大きなスパンを要し、積雪地帯である当地では建物に多額の費用を要する。

昭和48年から49年にかけて550 kV変電所にGISが採用されて順調な運転実績が得られてきたため、屋内式の母線以外をGIS化する案が次に検討された。ガス絶縁断路器などによってかなり縮小されるが、気中母線であるためにやはり大きな建屋を必要とする。そこで、図5.に示すように、母線をも含めて全ガス絶縁にした屋外式full GISが採用されることになり、所要面積も従来形機器による屋外式開閉所の $\frac{1}{8}$ になり、 $\frac{1}{100}$ の容積に縮小された。

図5.の配置は、万一、機器や母線の一部が故障して取替えの必要がある場合にも引出し可能であり、更に増設作業の容易性も考慮されている。

#### 3.2 構成機器

##### (1) しゃ断器

しゃ断器は、既に二十数台の納入実績のある2重圧力式ガスしゃ断器であり、定格を表1.に、その構造を図6.に示す。しゃ断時に排気弁が開いて消弧室へガスの吹付けを行い、消弧後には排気弁を閉じる。投入時には、主接触子の投入前10 msより投入抵抗(1,000 Ω)をそう入してサージを抑制している<sup>(2)(3)</sup>。

##### (2) 断路器

送電線側用・母線連絡ユニット用・避雷器用断路器は、50台以上の使用実績があるガス絶縁断路器で、定格を表2.に、構造を図7.(a)に示す。母線切換用断路器は、ループ電流開閉能力を持ち、開路時に少量のガス吹付けを行って短いアーケ時間で消弧され、接触子の消耗も少なく、無点検で100回の開閉が可能である(図7.(b))。課電中の開路によるアーケで対地せん絡の生じないことも併せて連続開閉実証試験を行った。その試験状況を図8.に示す<sup>(4)</sup>。

ガス絶縁母線であるため、ループ電流を4,000 Aまで考えてもループ電圧は低く、現在の規模の2倍以上の母線になっても300 V以下であり、少量のガス吹付けによって十分に開閉可能である。ガス吹付けは、固定接触子側に取付けられたばね押し式ピストンによって開極直後に行われる。この断路器は、接触子がシールド内にある短い時間内にアーケをしゃ断し、良好な耐電圧特性を有している。

##### (3) 接地開閉器

送電線側の接地開閉器は、他回線からの電磁及び静電誘導電流も開閉可能でなければならない。定格を表3.に、構造を図9.(b)に示す。接触子及び周辺に耐弧メタルを用い、100回以上の誘導電流開閉が無点検で可能である。接触子の消耗は、主として電磁誘導電流のしゃ断時に起こり、4,000 Aの他回線の約10%，ここでは400 Aの電流を十分に開閉可能であることを、耐電圧性能を含めて検証試験を実施した。

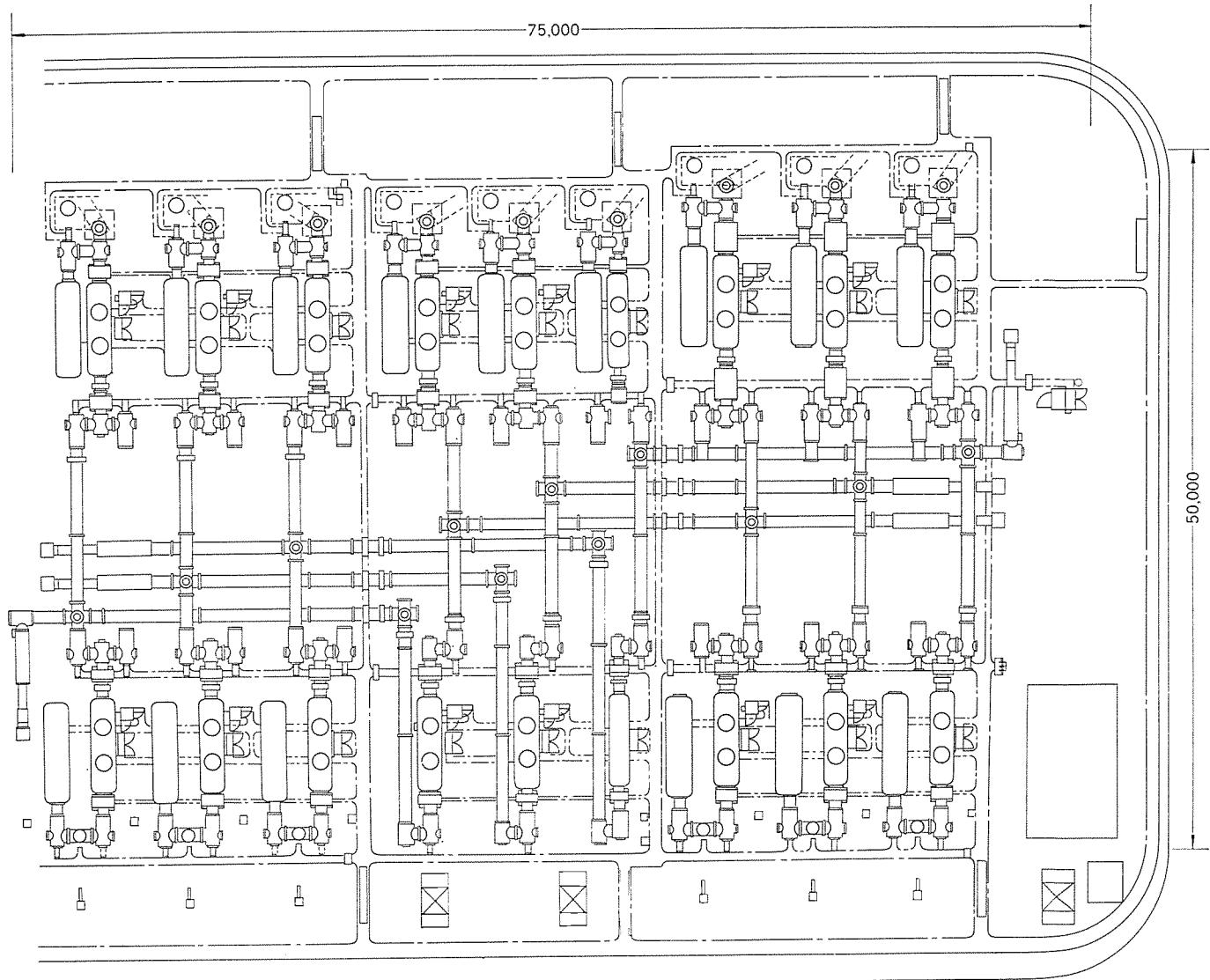


図 5. 大飯特高開閉所 full GIS 配置図

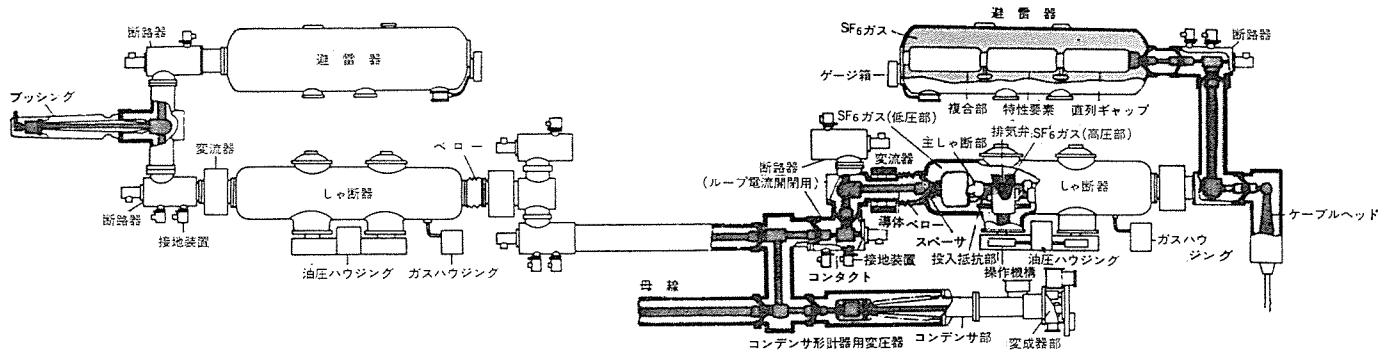


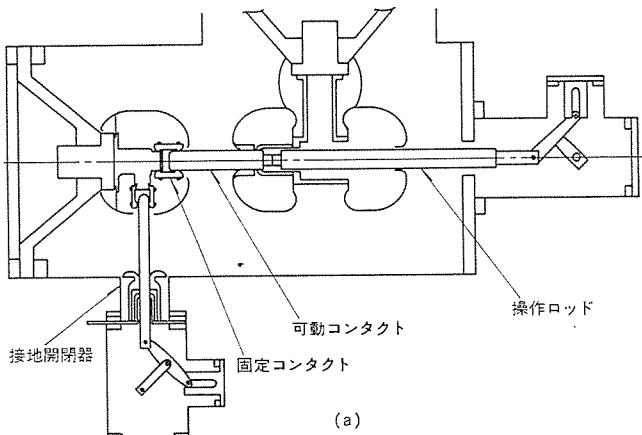
図 6. 550 kV GIS 内部構造図

表 2. 断路器定格

	標準形	ループ電流開閉能力付
定格電圧	550 kV	
定格電流	2,000 A/4,000 A (変圧器ユニット用/送電線ユニット用)	(変圧器ユニット用/送電線ユニット用)
定格しゃ断電流	50 kA	
定格しゃ断時間	2 サイクル	
絶縁階級	500 H	
定格ガス圧 (温度 20°C)	高圧側 15 kg/cm <sup>2</sup> ・g, 低圧側 3 kg/cm <sup>2</sup> ・g	
操作方式	空気 (15 kg/cm <sup>2</sup> ・g) 又は手動	空気 (15 kg/cm <sup>2</sup> ・g)
ループ電流開閉能力		電圧 300 V, 電流 4,000 A
構造	図 7. (a)	図 7. (b) 耐張メタル, バッファ付

表 1. しゃ断器定格

定格電圧	550 kV
定格電流	2,000 A/4,000 A (変圧器ユニット用/送電線ユニット用)
定格しゃ断電流	50 kA
定格しゃ断時間	2 サイクル
絶縁階級	500 H
定格ガス圧 (温度 20°C)	高圧側 15 kg/cm <sup>2</sup> ・g, 低圧側 3 kg/cm <sup>2</sup> ・g
操作方式	空気 (15 kg/cm <sup>2</sup> ・g)



(a)

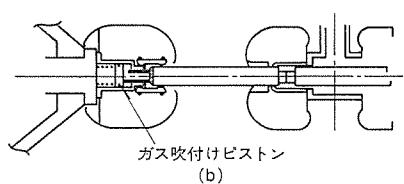


图 7. 断路器構造図

表 3. 接地開閉器定格

	標準形	誘導電流開閉能力付
電磁誘導電流開閉能力	—	電圧 25 kV しゃ断電流 400 A
静電誘導電流開閉能力	—	電圧 30 kV しゃ断電流 20 A
定格短時間電流	50 kA, 2 秒間	
定格ガス圧(温度 20°C)	3 kg/cm <sup>2</sup> ·g	
操作方式	空気(15 kg/cm <sup>2</sup> ·g) 又は手動	空気(15 kg/cm <sup>2</sup> ·g)
構 造	図 9.(a)	図 9.(b)

表 4. 母線定格

定格電圧	550 kV
定格電流	4,000 A (変圧器側分岐部 2,000 A)
定格短時間電流	50 kA, 2 秒間
定格ガス圧(温度 20°C)	3 kg/cm <sup>2</sup> ·g
絶縁階級	500 H

表 5. 避雷器定格

形 式	SF <sub>6</sub> ガス消弧式、接地金属容器形
定格電圧	420 kV
公称放電電流	10 kA
閉開路サージ動作電流(静電容量)	80 μF/14 kV ユニット

表 6. 変流器定格

形 式	貫通形、屋外式
C T 比	4,000/5, 2,000/5, 400/5
誤差階級	1.0 級
定格過電流	50 kA, 2 秒

## (4) 母線

主母線は 1 ユニット当たり 24 m で、ユニット数の増加とともに長尺になり、熱膨脹・収縮・基礎不等沈下対策などが必要になる。この GIS では 1 ユニット 24 m ごとにベローを用い、1 ユニット当たりの固定点は 1 点とし、他の支点では軸方向に移動を許す構造を採用して熱

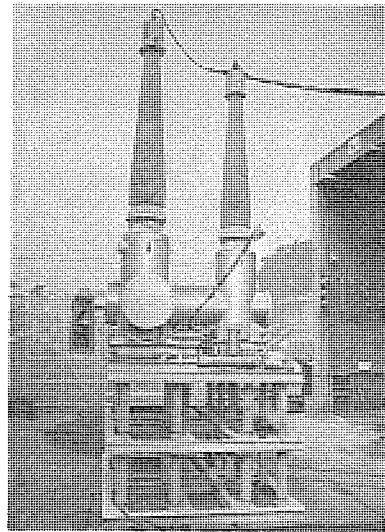


图 8. 断路器開閉試験

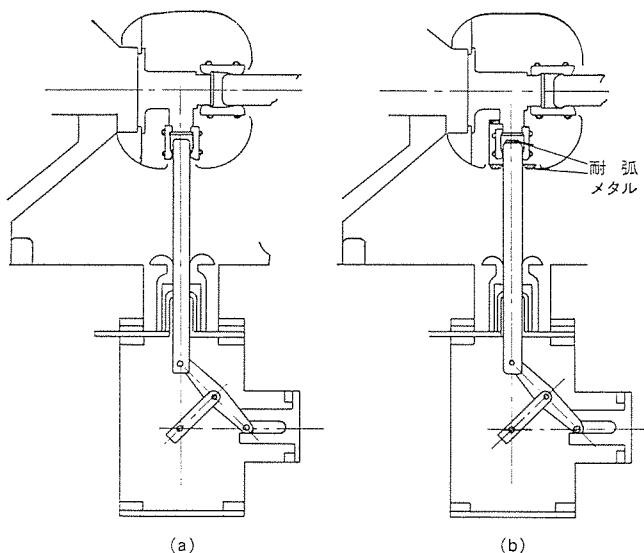


图 9. 接地装置構造図

膨脹・収縮に対処し、基礎の不等沈下に対してもベローで処している。これらのベローには、常時加わるガス圧に相当する力をばねによって両側フランジ間に加え、固定点の基礎に加わる常時荷重を少なくするように考慮してある。タンクは、2,000 A 用に普通鋼、4,000 A 用に一部ステンレス鋼を用いて温度上昇を抑えている。

主母線の配置には、間隔の広い部分を設け、万一の事故などの場合にはこの部分を利用してコロ引きなどにより、クレーン車を用いないでも取替修理が可能なようにしてある。この場合、母線はどのタンクも導体とともに、1 個ずつ取替え可能な構造にしてある。定格事項を表 4. に示す。

## (5) 避雷器

接地タンク形の SF<sub>6</sub> ガスギャップ避雷器を送電線入口と変圧器側ケーブル入口とに断路器を経て接続してある。サージ電位分布の計算の結果、最悪の場合にも GIS 内部を 1,800 kV 以下に制限するためにこのような配置になった。定格事項を表 5. に示す。

## (6) 変流器

従来形の 550 kV GIS で実績のある、タンク外取付方式の変流器である。この部分のタンクは、シース電流の影響を受けないように他機器との間で絶縁取付けされている。定格事項を表 6. に示す。

表 7. 計器用変成器定格

		主母線用	線路用
定格電圧	1次	$550/\sqrt{3}$ kV	$550/\sqrt{3}$ kV
	2次	$110/\sqrt{3}$ V	$110/\sqrt{3}$ V
誤差電流		1.0 級	
定格負担		500 VA/30 VA	50 VA

表 8. ブッシング定格

定 格 電 壓	550 kV
定 格 電 流	4,000 A
定 格 過 電 流	50 kA, 2 秒間

### (7) 計器用変成器

図 6. に示すように、コンデンサ部は油入コンデンサ形ブッシングのコンデンサ部と同様な構造で、信頼性の高いものである。定格事項を表 7 に示す。

(8) ブッシング

550 kV GIS でも既に 100 本以上の納入実績のある油入 コンデンサ 形 ブッシング であり、 8 m がい管を用い、 活線洗浄を行う。この コンデンサ 部には電圧 タップ が設けられており、 計器用変成器や検電装置、 フォルトロケータ などを接続できる利点があり、 この GIS にもこれら が使用されている。定格事項を表 8. に示す。

(9) ケーブルヘッド

ケーブル部の温度上昇を GIS 以上に低く抑える必要があり、この部分の タンクには ステンレス 鋼材を多用している。

## (10) 基 硍

全装置を一体基礎上に設置できれば、不等沈下の問題はないが、今回のような大規模な基礎になると、土木工事上の施工が困難なため全体を3分割した基礎になった。同じ基礎上のGISユニットは、地盤沈下に対して同じ動きをするが、別の基礎上のGISユニットとは主母線でのみ連結される構造にし、この部分の母線には±50mm

の不等沈下に対処可能なベローを用いている。

#### 4. 製作

#### 4.1 部品の製作と品質管理

GIS の製作に当たり、多くの単体機器や部品が時期を合わせて完成・集合されなければならないことは当然であるが、更に各要素とも全体に協調のとれた信頼性を確保することが必要である。そのため、当社では重要な機器や部品をすべて自社で製作している。特に、GIS に組み込まれる絶縁物は、その設計から材料の購入、製造・試験・検査まで一貫した管理のもとにおき<sup>(5)</sup>、全数に対して耐電圧試験と部分放電試験とを行っている<sup>(6)</sup>。

また、タンク類は、高度な溶接技術を有する経験豊富な板金工場で製作し、溶接部の放射線検査と染色探傷検査、及び圧力容器としての水圧検査などを実施する。機械工場には、均一な加工精度を確保するために多くの数値制御工作機械を導入している。

## 4.2 工場組立てと試験

(1) 工場組立て

本来、総合装置としての GIS は、おののに固有の特性があるため、その全体性能を工場試験で確認しておくことが最も好ましい。そのため、可能な限り装置全体を完全に近い形に工場組立てし試験を行っておくと、懸念される組立作業及び組合せの結果も全体としてチェックでき、条件の悪い現地据付作業を少なくすると同時に、大がかりな現地試験の必要がなくなる。無論、そのことによって確認された信頼性がほとんど保証された状態で装置の現地渡しが可能になる。

大飯発電所納めの GIS は、全体の規模が極めて大きなものであるため、6 分割して工場組立てを行うことにした。組立ては、据付けるときと同じ状態に組合せ、すべての課電部に試験電圧を印加することにした。そのため、在来の工場では処理できなくなり、新たに工場を増築し、合理的な組立てと試験が実施でき高度な品質保

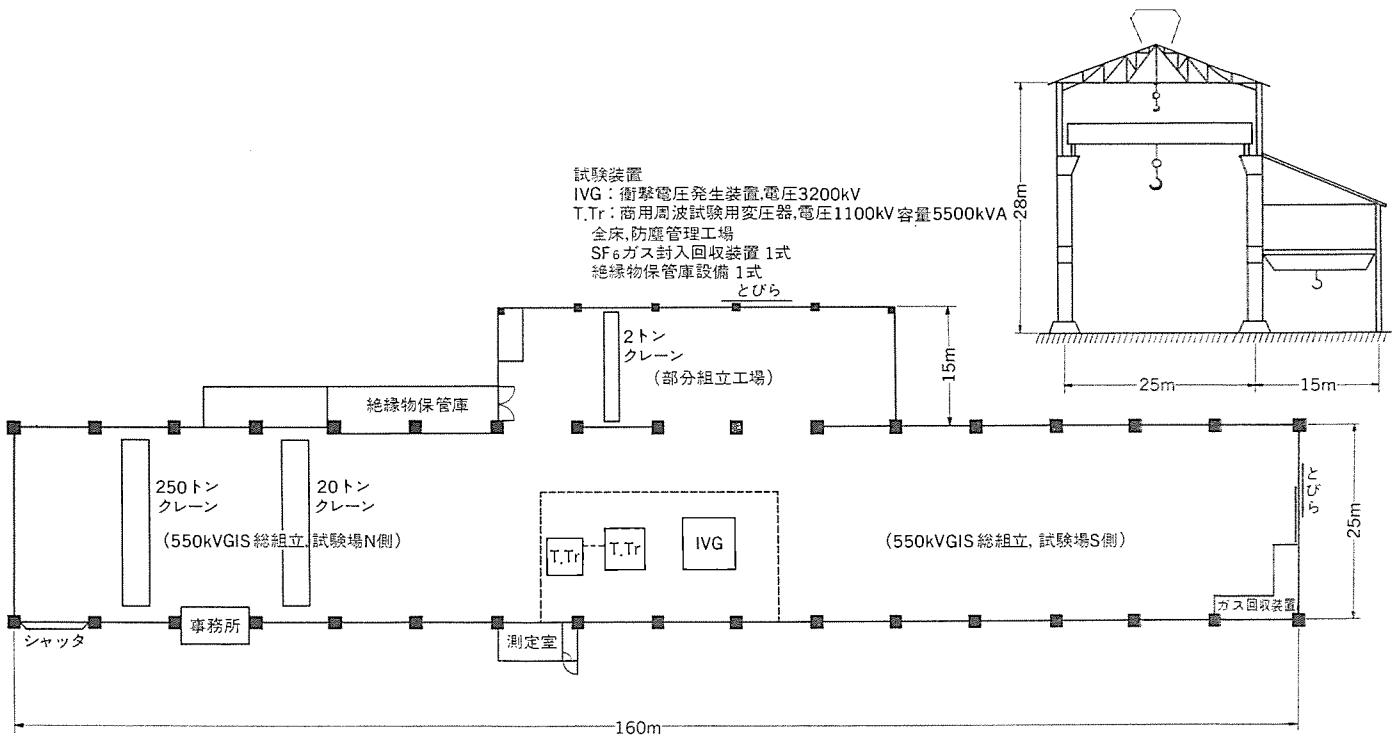


図 10. 組立て及び試験場

表 9. 高電圧試験項目

項目	試験電圧
雷インパルス耐電圧試験	1,800 kV crest, 1×40 s
開閉インパルス耐電圧試験	1,175 kV crest, 200×3.500 μs
商用周波耐電圧試験	750 kV rms, 60 Hz 1分間
長時間耐電圧試験	
内部部分放電試験	

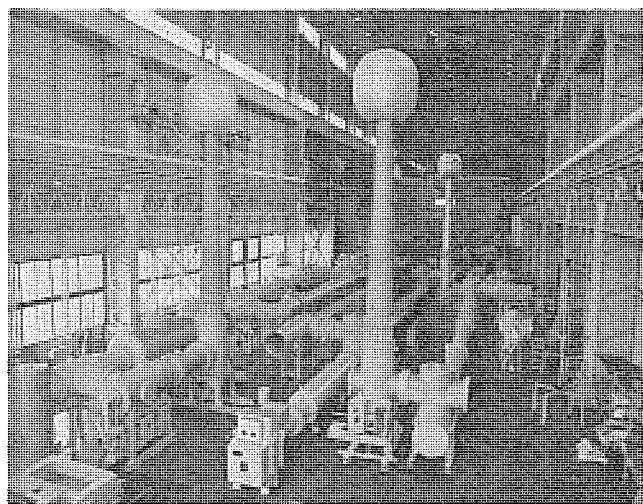


図 11. 550 kV GIS 工場組立試験

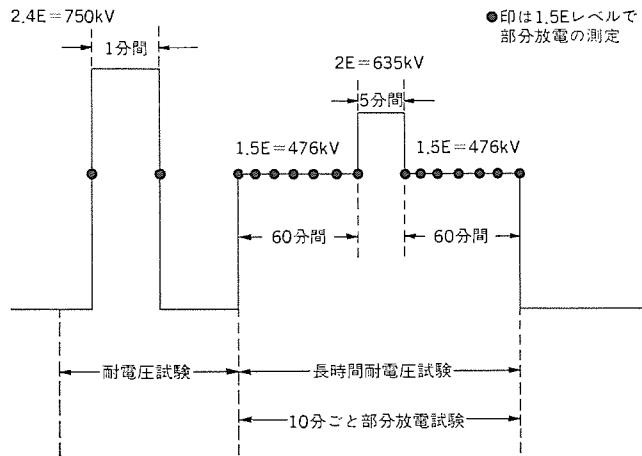


図 12. 商用周波耐電圧試験 シーケンス

証ができるように、設備の増設と改造を行った。

総組立工場は、図 10. に示すように各種の設備を備えた長さ 160 m、幅 25 m、軒高さ 28 m の大きな規模のものである。床面は防じん(塵)管理により、清潔な精度の高い組立作業を行い機器の信頼性を高めている。組立作業には訓練された熟練者が従事し、ダブルチェックシステムを導入して作業ミスを防止している。

## (2) 工場試験

表 9. に示す試験項目の高電圧試験を行って絶縁耐力を確認した。部分放電試験と商用周波耐電圧試験とを含めて長時間耐電圧試験を図 12. のシーケンスで実施した。試験状況を図 11. に示す。

電流通電試験として 2,000 A 定格と 4,000 A 定格との部分の代表的ユニットにそれぞれ定格電流の 100 % と 150 % とを通電して温度上昇値を測定している。

その他の試験として、各機器を組合せた状態における全体の構造検査、操作試験、接触抵抗の測定及び制御系との インタロッカ試験などを実施した。ガス漏れ試験は、各シール部をプラスチックシートで覆い、

漏れてくる SF<sub>6</sub> をリークディテクタで検出して行う。

大飯発電所納めの GIS には、付属品としてフォールトロケータが取付けられているため、その出力波形を測定する試験、及び検電装置の試験も工場で実施した。避雷器のように、GIS として組合せられた状態で機能試験ができない機器は、全体の構造検査を行うときだけ組合せておき、残りは機器単体で試験する方法を採用している。

## 5. 据付工事

### 5.1 輸送

各機器は、工場で組合せて総組立されるため、発送する場合に解体区分数が最小になるように考慮する。しゃ断器や断路器、避雷器などは、ガス圧力を約 0.5 kg/cm<sup>2</sup>・g に下げ、工場で確認した品質をそのまま維持して現地へ搬入する。輸送中の振動で機器内部に異常が発生することを防止するため、事前に路上走行試験、及び加振機による振動試験を行い、輸送中の管理値を設定した。

大飯発電所納めのものは、すべて陸上をトレーラとトラックとで輸送した。そのため重要機器については、上下・左右・前後振動を記録する加速度計を取り付け、タコメータと併せて輸送中の振動と走行速度とを記録し、すべてが管理値内にあることが確認され、全くトラブルなしで搬入することに成功した。

### 5.2 現地工事

#### (1) 据付作業

全体構成の中心部となる母線を最初に据付け、順次に外方向に向かって各機器を連結していく方法が最も合理的であるが、大飯発電所の場合には、工場における製作の都合上、母線部を最後に据付けなければならないという不利があった。したがって、基礎面上の寸法出しを正確にし、各機器の配置と連結とを順次実施し、組立寸法誤差を逃げるペローの許容範囲内で全機器を連結することができた。

図 13. に据付工事状況を示す。

なお、据付作業は屋外作業であるため、天候条件を十分に考慮した計画が必要であり、連結するため解放する部分に対しては、作業環境を工場と同じレベルにしなければならない。図 14. に据付作業状況を示す。導体を接続するためにタンク内に作業者が入る場合には、酸欠防止法令を適用して換気することはもちろん、作業者の発汗を防止するために湿度と温度とをコントロールしたクリーンエアを送風する方法をとった。

据付作業に使用した主な器材を表 10. に示し、作業に当たって一



図 13. 550 kV full GIS 据付工事



図 14.  
550 kV full GIS  
据付作業

表 10. 主な据付用器具

No.	名 称	数 量	備 考
1	ク レ ー ン 車	2 台	35 トン 1 台, 15 トン 1 台
2	真 空 ボ ン ブ	2 台	排気量 3,000 l/min, 1,600 l/min
3	真 空 計	1 台	
4	クリーンエア発生装置	1 台	温度 20°C (夏・冬) 湿度 40%
5	清掃用エア発生機	1 台	水分濃度 500 ppm
6	防塵対策用具	1 式	
7	真 空 掃 除 機	1 台	
8	酸素濃度測定器	1 台	
9	溶接機	2 台	
10	一般工具, その他		トルクレンチ, ほか

般に留意した事項をまとめて次に説明する。

- (a) 機器の接続作業を行うため, その日の天候条件を考慮して日々作業計画を立てる。
- (b) タンク内で行う作業には, 特に管理を強化して工具や部品類の置き忘れの絶無を期する。
- (c) 解放部を作つて連結作業を行う場合には, 防塵対策としてつり立て及びシートで作業部を覆い, クリーンエアを送り込んで作業ふんい気を外圧より相対的に高める。
- (d) 重要作業項目については, 指定された作業者が従事する。
- (e) 絶縁物に素手で触れない。
- (f) 締付部の適正トルク管理を行う。

#### (2) SF<sub>6</sub>ガスの封入

しゃ断器・断路器・避雷器は, 約 0.5 kg/cm<sup>2</sup>・g の SF<sub>6</sub>ガスを封入した状態で現地へ送るので, 現地では定格圧力までガスを補充すればよい。母線類のタンクは, 輸送用の保護カバーを取付けて内部に乾燥剤を封入しているので, 連結作業が終われば, その乾燥剤を取除き, 新たに合成ゼオライトを所定の位置に取付けてタンク内を排気する。真空度が 1 torr になった時点から 1 時間以上排気を続けた後, 12 時間以上放置して漏れ検査を行う。漏れがなければ, ガスをポンベからゆっくりタンク内に定格圧力まで流入させる。ガスシール部は, すべて 0 リングを使用したフランジ方式を採用し, シールする場合に 0 リングの中心から外気側にあるフランジ面に液体パッキンを施してフランジ面の防せい(錆)と, 0 リングの保護を行っている。現地作業でシールした部分は, 工場の場合と同じように, SF<sub>6</sub>ガスリーク検出器を使用して漏れ試験を行う。

以上に述べた順序に従い, 決められた作業要領どおりのガス封入

を行えば, 一般に据付時点で SF<sub>6</sub>ガス中の水分量を測定する必要はなく, 管理値の 150 ppm 以内に十分に納まる。

#### (3) 現地試験

作業途中ではチェックシートを運用して検査を行った。

導体が順次に接続されて全ユニットが連結された時点で直流 100 A を通電し, 電圧降下法によって接触抵抗を測定した。各機器の付属品である圧力スイッチ及び警報類の動作試験や, 主機の開閉試験などは, 既に工場で実施されているが, 再度据付試験として実施して変化のないことを確認している。

GIS と変圧器, 及びその間をつなぐ OF ケーブルの据付完了後, 変圧器を含めた GIS までの 550 kV 系の絶縁耐圧試験を行った。試験は, 補助変圧器を用いてこれを単相励磁し, 変圧器の中性点に電圧を加える方法で行い, 単相ごとに 10 分間の耐電圧試験を実施した。そのほか, 中央指令室からの操作試験及び警報表示確認と インタロック確認試験とを実施した。これらの試験は, 同じように再度官庁検査で実施され, 昭和 51 年 12 月に画期的な 550 kV full GIS が世界に先駆けて運転開始した。

## 6. む す び

以上に述べたように, 世界で初めて完全にガス絶縁化した 550 kV 開閉所が完成したが, これは次のような考え方に基づいて製品化された。

- (1) 低電圧階級の機器から厳しい実証試験を経て, 順次に実用化した実績を設計・製作にフィードバックする。
- (2) 新たに実用化する部品, 例えは長尺ガス母線などは, 事前にフィールドで実証試験を行い, その成果を製品に反映する。
- (3) GIS は, 工場で完全に近い形に組立てが行われ, 装置全体の固有性能を総合的に工場で試験して確認しておく。

(4) 重要機器や部品を自社製作して一貫して高品質と製品の信頼性を確保するため, 常に生産設備を充実しておく。

今回の成果を契機に, 今後 550 kV full GIS が次のような場所に適用されると, その特長を大きく發揮できると考えられる。

- (1) 臨海地域の大容量発電所及び変電所。
- (2) 山間部の揚水発電所。
- (3) 山岳地域で所要の平地を得にくい変電所及び開閉所。

また, 今後の課題として,

- (1) 開閉設備と架空送電線との接続部分の縮小化を図る。
- (2) 避雷装置を有効に配置して全体を更に縮小する。
- (3) 機器配置を立体化することで全体を縮小する。

などがあり, これらの縮小化を進めることができれば, 同時にその実用性能と信頼性向上とに大きく貢献できるものと思われる。

最後に, 大飯原子力発電所に画期的な 550 kV GIS を完成するに当たり, ご尽力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 潮・森岡・稻村: 三菱電機技報, 47, No. 12, 1,219 (昭 48)
- (2) 稲村・松田: 三菱電機技報, 44, No. 9, 1,156 (昭 45)
- (3) 富永ほか: 三菱電機技報, 45, No. 9, 1,084 (昭 46)
- (4) 笹本ほか: 昭 50 年電気関係学会関西支部大会 G 3-16
- (5) 高橋ほか: 三菱電機技報, 44, No. 9, 1,182 (昭 45)
- (6) 高橋ほか: 三菱電機技報, 49, No. 3, 287 (昭 50)

# 550kVガス絶縁母線の実系統における性能試験

松村 晋\*・富永正太郎\*\*・今瀧満政\*\*

## 1. まえがき

三菱 550 kV GIS (ガス絶縁開閉装置) は、昭和 46 年に研究開発を終わり、既に関西電力(株)猪名川変電所を初め、新生駒・紀ノ川・西京都などの変電所で使用されて良好な運転実績を挙げている<sup>(1)(2)</sup>。しかし、これらの変電所では、総合的な経済性から主母線を在来形気中絶縁方式にした複合形 (Hybrid type) GIS となっている。

550 kV GIS の経済性は、立地条件、環境条件、機器の価格に左右されるが、近年、海岸地域に大容量発電所、電力調整用に揚水発電所の形態が多くなる傾向にあり、塩害対策、土木工事量の削減といった見地から、在来形と比べて経済性・信頼性の面から母線とともに SF<sub>6</sub> ガス絶縁方式にした full GIS が有効になってきた。

550 kV GIS が、母線を含めた総合装置として十分な信頼性を持つことは既に検証済みであるが<sup>(3)</sup>、full GIS として使用する場合には母線の広がりが数十 m にも及ぶため、母線の搬入・据付け・組立てなどの方法、及び実運転上の問題点の有無を確認するとともに、種々の挙動をは(把)握して設計の安全性の再確認をする必要がある。

このため、関西電力(株)と三菱電機(株)とは、共同で関西電力奥多々良木 500 kV 開閉所で 550 kV ガス絶縁母線の実系統における長期課題電性能試験を 1 か年にわたり実施した<sup>(4)</sup>。

主な検証項目は、長尺母線になったために生ずる熱膨脹収縮、地盤の不等沈下時の挙動、その他の実系統における実用性能で、いずれも所期の信頼性と実用性能とを持っていることを確認した。

以下、これらの試験結果について述べる。

## 2. 供試装置の概要

試験に使用した母線は、相分離形 SF<sub>6</sub> ガス絶縁母線で、550 kV full GIS の 1 ユニットスパン 間 24 m を対象にしている。通電は母線外被より CT で逆励磁する方式のため、全長 56 m の閉回路にした。図 1. に構造図、図 2. に供試装置の外観を示す。

課電用電源は、ガス絶縁方式の断路器を介して、実系統の線路側母線から、通電用電源は発電所構内の 6 kV 引出回路から使用した。

母線 1 ユニットの長さは、組立て・保守・輸送・製造性などを考慮して 8 m の設計にしているが、供試装置としては最長 9.4 m のユニットを試作した。

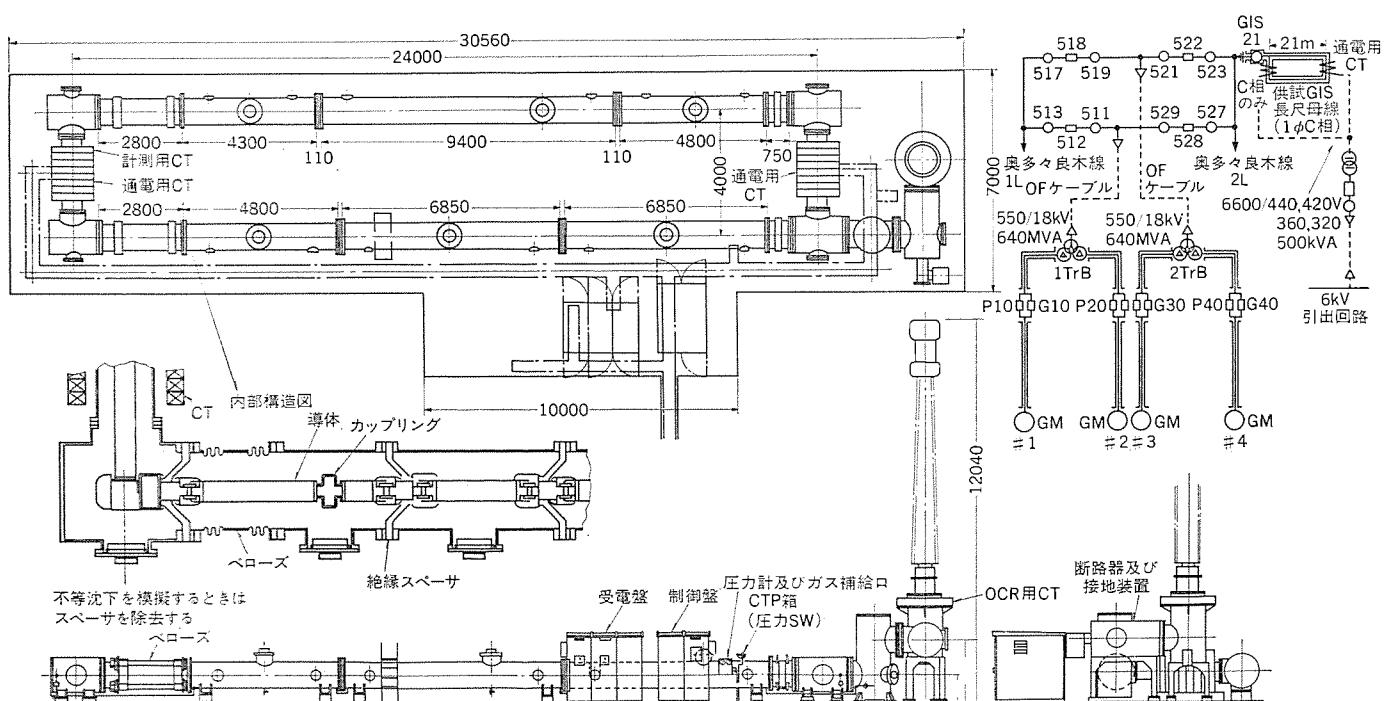
内部導体はアルミ製で、接触部はすべり接触によってつなぎ、容器はステンレス鋼製のベローズによって接続し、温度変化・据付誤差・不等沈下による寸法変化があっても熱的・構造的に支障を生じないで気密が保たれるようにしてある。

また、ガス区分は全母線区分とも同一であるが、点検時に各区分が独立してガス引きができるようにしてある。

設計上、特に考慮した点は次のとおりである。

(a) 母線標準ユニット長さを 8 m にする。

母線ユニット長さは、長ければ長いほどそれだけ構造が簡単になり経済的になるが、輸送限界、導体の機械的強度(たわみ、耐震性)、組立ての作業性などを検討して母線標準ユニット長さを 8 m にした。



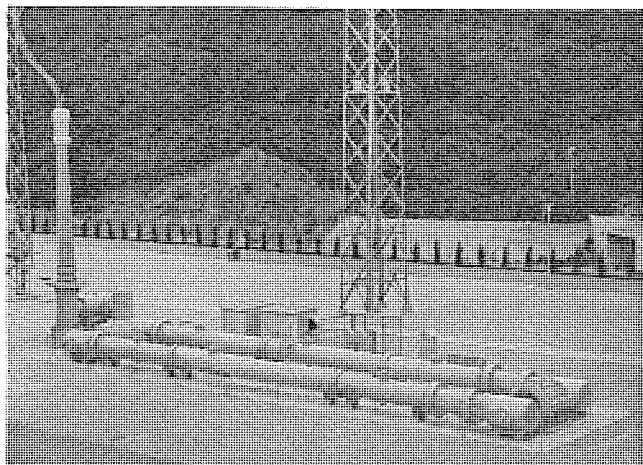


図 2. 550 kV GIS 用母線試験状況

(b) 母線故障の場合、どの母線であっても最小限の分解で取外し可能な構造にする。

母線ユニット間には絶縁スペーサが設けられるため、母線の一部にせん(閃)絡事故が発生した場合に母線を総分解する必要がある。最小限の分解範囲にするため、この装置では図 1. に示すようにスペーサのとつ(凸)側同士を同一母線内に構成し、その両側の母線にはカッピングを設けて導体の着脱が母線タンク内でできるようにしてある。

(c) 地盤の不等沈下量の設計値を  $\pm 50$  mm にし、不等沈下による母線の変形はペローズで吸収する。

地盤間の水平面の不ぞろいは、工事施工後数か月で安定するが、長期の不等沈下には特殊ペローズで対処する。また、ペローズには母線内の SF<sub>6</sub> ガス圧による反力を補償するためにばねを付属している。

(d) 母線の熱膨脹・収縮はペローズで吸収し、母線の中間固定部は母線軸方向にスライドできる構造にする。

母線の 1 スパンが 24 m になると、熱膨脹による母線の伸びは

10 mm 以上になるため、母線軸方向に対して基礎への取付けを自由にする必要がある。この装置では母線の軸方向に対する基礎取付けは、鉄道の軌道取付けと同じように自由にスライドできる構造にしている。

母線の定格は次のとおりである。

定格電圧	550 kV
定格電流	4,000 A
定格短時間電流	50 kA 2 秒
絶縁階級	500 H
定格ガス圧	3 kg/cm <sup>2</sup> ·g (20°C)

### 3. 試験内容

供試装置の各エレメントは既に基礎試験が終了し、実運転での実績があるため、この試験の目的は、母線が長くなる、すなわちスケールファクタが大きくなったことによる課題電性能の検証、実系統で遭遇する自然条件・運転条件下での実用性能についての検証が主なものになる。表 1. は試験内容一覧表である。

工場で昭和 49 年 10 月に耐電圧試験・温度上昇試験などを実施して現地搬入後、母線主回路の交流耐電圧試験 (396 kV 10 分間) を実施し、昭和 49 年 12 月から昭和 51 年 1 月まで長期課題電試験を行った。昭和 50 年 6 月以降からは、母線の片側を 50 mm の不等沈下状態にして試験を実施したが、全期間を通じて何らの問題もなかった。

### 4. 試験結果

#### 4.1 課題電試験

累積課題電時間・通電時間ともに約 8,000 時間で、この間に GIS 母線事故によるしゃ断はなかった。

線路の雷擊事故として昭和 50 年 7 月 25 日に奥多々良木線 #2 L, B 相 1 LG によるトリップ事故があったが、供試装置に異常は見られなかった (供試母線は C 相に接続)。また、現地運用上の系統の開閉回数は約 60 回であった。

表 1. 試験内容一覧

試験項目	試験の目的	試験内容	試験日程												S49/S50		S51/		12		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		1	
			12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1																
課電性能	常規電圧に対する長期性能実系統で遭遇する雷サージ等の異常電圧に対する絶縁性能の検証	実系統より 550 kV 連続課電、サージインピーダンス測定																																												
通電性能	日射条件下における運転時の最高温度・温度上昇値・温度変化などの温度特性の把握と裕度の確認、熱伸縮対策としての母線固定方式並びにペローズ設計の妥当性	試験用 CT より 4,000 A 連続通電																																												
地盤の不等沈下対策	地盤が一部不等沈下 (50mm) したときの電気的・機械的・熱的問題の有無の検証	人工的に地盤の不等沈下状態を設定する																																												
運転保守に関連する性能	母線故障模擬	母線事故を模擬した復旧時の作業性の検証	中央部の母線を分解点検後、再課題電試験																																											
	ヒートサイクル	送電負荷変化時の熱変動に対する性能検証	昼間通電、夜間通電停止																																											
	急冷 (ヒートショック)	がいし洗浄装置からの注水急冷に対する性能検証	消火栓より人工的に注水																																											
積雪荷重	積雪荷重に対する機械的・電気的問題の有無の検証	積雪荷重をおもりで模擬																																												

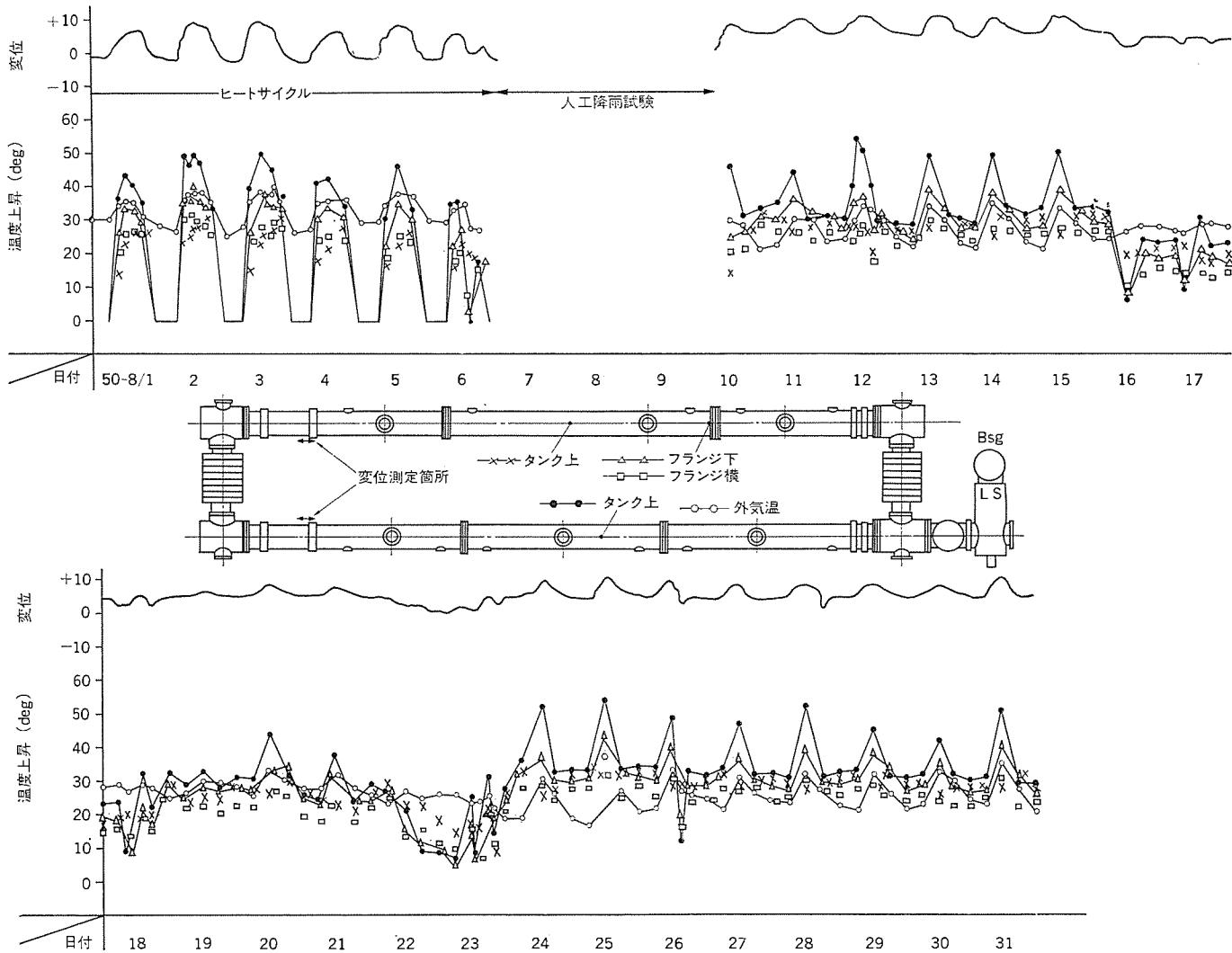


図 3. 550 kV GIS 母線長期課通電試験における温度・変位 (昭和 50-8-1 ~ 昭和 50-8-31)

試験期間を通じて日常点検、並びにタンク表面の温度、タンク軸方向の変位、及び通電電流の自動記録、また気象の変化についても日射量・風速・外気温・湿度などの自動記録を行った。

整理したデータの代表例を図3.に示す。通電による温度上昇は気象条件に左右されるが、タンク表面の最高温度上昇は30~35 deg程度であり、規格値70 degに対して十分に余裕がある。

1日中の最高温度時間帯は11時~13時ごろで、外気温・日射量ともに一番高い値を示す。また、この時間帯ではタンク表面は急激に温度上昇するが、フランジ表面はあまり日射を受けておらず、タンク表面より10~15 deg低い値を示している。したがって、フランジ近傍の注型絶縁物の最高温度は60°Cであり、その許容温度90°Cに対して十分な裕度がある。

図4.は昭和50年7月21日のヒートサイクル試験時の温度・変位・

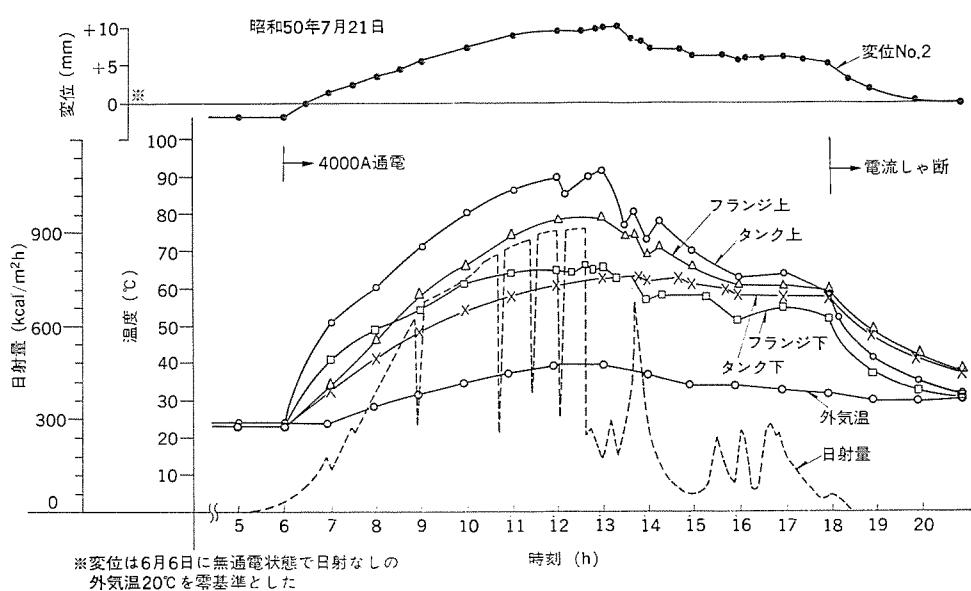


図 4. 温度・変位・日射量変化

日射量の変化を示したもので、この時の日射による温度上昇は18°Cである。

日射量は気象の関係で刻々と変化するが、変化の少ない昭和50年3月2日のデータを図5.に示す。同図からタンクの表面温度は日

表 2. 日射量と温度上昇値

時刻	日射量 (kcal/m <sup>2</sup> h)	風速 (m/s)	日射の影響による 温度上昇値 (deg)	通電+日射による 温度上昇値 (deg)	通電による 温度上昇値 (deg)
6	0	1	0	35	35
7	120	1	0	35	35
8	360	0	0	35	35
9	504	1	10	45	35
10	660	1.5	17	52	35
11	696	0	24	59	35
12	720	1.5	25	60	35
13	696	2	22	57	35
14	624	0.5	20	55	35
15	480	2	14	49	35
16	420	2	3	38	35
17	48	1	0	35	35
18	0	0	0	35	35

昭和 50 年 3 月 2 日

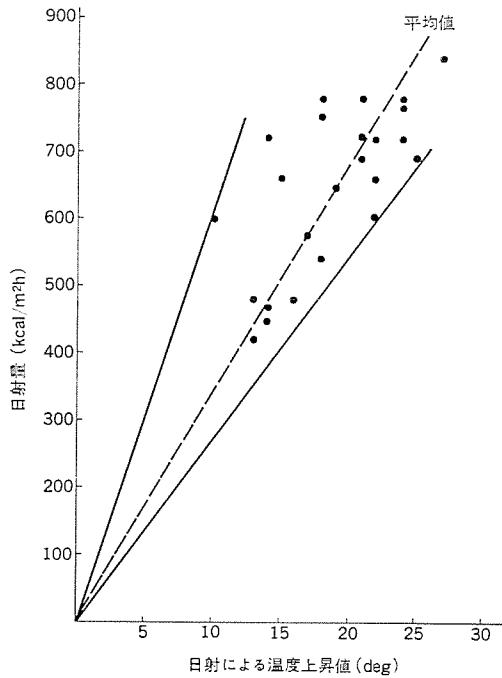
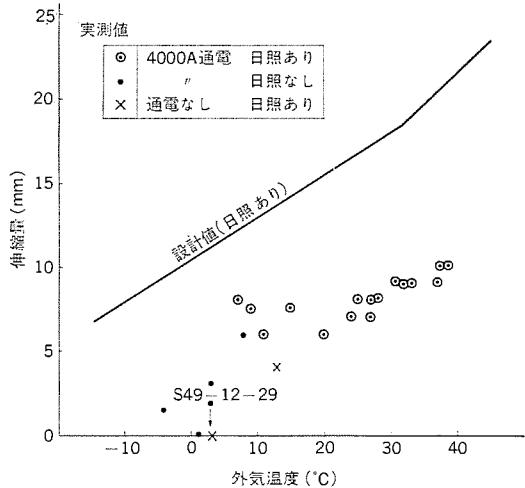


図 5. 各月(昭和50年1月~12月)の代表日の日射量と温度上昇値

図 6. タンク伸縮量と外気温度との関係  
(昭和49年12月29日の熱膨脹量を0とした場合)  
外気温度 3°C, 日照あり, タンク平均温度上昇 5 deg

射変化とほぼ同じ変化をすることが分る。

表 2. は 1 時間ごとのデータをまとめたもので、日射の影響による温度上昇値の最大は 25 deg である。

また、年間を通じて平均日射量と最大温度上昇値についてまとめるに図 5 のようになる。データにばらつきがあるが、これは風の影響、日射量の平均値としての取扱いによる誤差が原因と考えられる。

母線タンクの母線軸方向の変位は最大 10 mm を記録した。図 6. は、タンク伸縮量と外気温度との関係を示すもので、設計値と比べて十分に低い。

現地課通電試験を行う前に工場試験として最低保証ガス圧力 (2.3 kg/cm<sup>2</sup>·g, 20°C) での耐電圧試験、0 気圧商用周波耐電圧試験を実施したが、いずれも良好であった。

また、内部を含めた温度上昇試験を不等沈下量 0 mm, 50 mm の状態で定格電流 4,000 A を通電して行ったが、両者に結果の差は見られなかった。内部最大温度上昇値は、コンタクト部で 47 deg であった。

また、工場において GIS のサージ計算に必要な母線のサージ定数を伝ば(播)速度測定・電圧降下法などによって求めた。その結果、サージインピーダンス 80 Ω、伝播速度 250 m/μs、静電容量 47 pF/m であった。

## 4.2 不等沈下模擬試験

full GIS の基礎は、耐震対策上、極力一体構造にすることが望ましいが、大規模な開閉所になると施工上、若干の基礎分断は土木工事技術の関係で避けられない。そのため、一体基礎相互間の地盤沈下による段差、すなわち不等沈下が生ずることも考えられる。

これに対してベローズで対処する設計にしてあるが、この実用性能検証として、実際値と比べてはるかに大きいと考えられる不等沈下設定量 50 mm を与えて課電通電試験を実施した。

不等沈下設定方法として図 7. に示すように、ベローズを境にして片側の固定タンクのレベル調整用ライナを抜きとることによって水平基準位置より 50 mm 沈下させ、ベローズ両端に段差を与える方法を

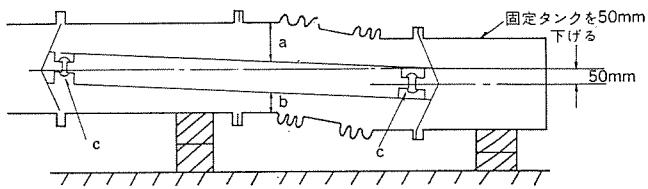


図 7. 不等沈下状態図

表 3. 不等沈下模擬試験結果

	正 常 状 態 と の 比 較	検 証 結 果
1.	図 7. に示すタンク内壁と母線との距離 b 部が正常状態と比較すると 30mm 短くなる。	工場試験で、Imp 1,700 kV, AC, 840 kV で問題なく、長期課電試験期間中においても問題なかった。
2.	図 7. に示すフィンガ接続部 c 部は、やや角度をもった接触となる。	工場試験で、正常状態、不等沈下状態共に、温度上昇値は全く変わらず、通電性能は問題ない。長期通電 4,000 A 試験でも問題なかった。
3.	不等沈下状態としたためにベローズに応力が加算されて、熱伸縮が繰り返される。	ベローズ単体試験において、不等沈下量 50 mm を加味した設定条件で ( $\pm 65 \pm 20$ mm 变位) 疲労試験をおのの 15,000 回を実施したが、全く異常発生はなかった。

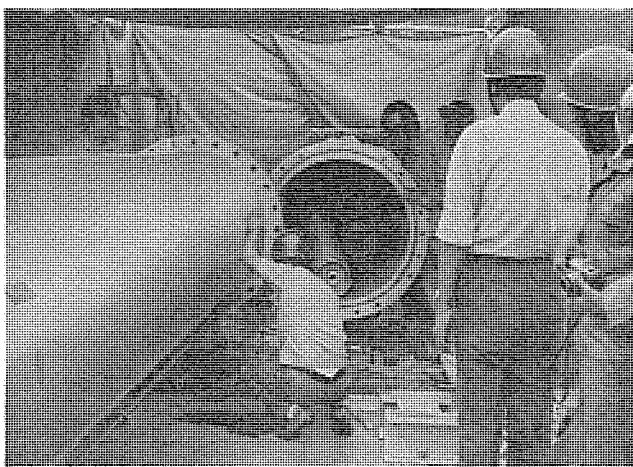


図 8. 母線内部点検状況

表 4. ヒートサイクル 試験条件

	4,000 A 電流通電		母線不等沈下 模擬設定量 (mm)	実施期間
	ON	OFF		
第1回ヒートサイクル試験	午前6時	午後6時	0	S 50-4-30～S 51-6-1
第2回ヒートサイクル試験	〃	〃	50	S 50-6-6～S 51-8-6
第3回ヒートサイクル試験	〃	〃	50	S 51-1-9～S 51-2-2

とった。

昭和50年6月5日に不等沈下50mmに設定して以来、昭和51年1月31日までの7か月間を課通電し(ヒートサイクル試験を含む)、その間に注水冷却試験を実施したが、その間に異常温度上昇・変形・ガス漏れ・せん絡事故は全くなく、良好な結果を得た。

表3.は、正常状態との比較とその検証結果を示している。

#### 4.3 母線故障復旧模擬試験

母線の一部が故障したと想定し、その復旧作業として母線タンクの取替作業並びに点検を行い、作業性などについて検討を行った。

タンクの取外し・取付けは550kV full GISの機器配置を考慮し、レッカなどの特殊機械を使用しないでコロ引き作業で実施したが、この方法でも十分に可能であることを確認した。

今回の試験では、作業員8名、作業時間は準備と復旧後の試験とを含めて約20時間であった。対象部分には図1.の9.4mタンクを選んだ。

この作業の途中、試験開始後6か月目に内部点検を行ったが異常は認められなかった。

課通電試験再開の確認試験として絶縁抵抗測定・接触抵抗測定・ガス中水分測定・ガス漏れ試験・耐電圧試験(実系統より550/ $\sqrt{3}$  kV 10分間印加)などを実施している。

昭和50年6月に再課通電後も全く異常が認められ

なかった。図8.は母線の一部を取り外した状態で内部点検を実施している状況を示している。

#### 4.4 ヒートサイクル試験

送電負荷電流変化時の熱変動に対する性能を検証するため、昼間のみ通電し、夜間の通電を停止して繰り返し温度変化を強制的に与えた。表4.に示すように、試験条件を変えて3回試験した。

代表的な測定点の温度変化、並びにタンクの伸縮変化を測定した。その結果、夏期ではタンク表面の平均温度差55°C、平均伸縮量8.5mm、冬期ではそれぞれ47°C、6.7mmの結果を得た。

供試装置は熱的・機械的・電気的に何ら問題がなかった。

#### 4.5 人工降雨による急冷試験

通電及び日射によるタンクの温度上昇条件にあって、降雨又は注水飛まつ(沫)による急冷現象を検討するため、定格電流通電、及び電流しゃ断後に母線上面より人工的に注水して降雨を模擬した。

試験は開閉所構内の消火栓(栓)より給水し、母線上にノズルを設置することによって降雨又はがいし洗浄装置からの注水を模擬した。図9.は試験状況を示す。

測定はタンクの表面温度の変化、及びタンク表面のひずみを連続的に記録した。図10.は通電しゃ断直後の人工降雨試験結果である。

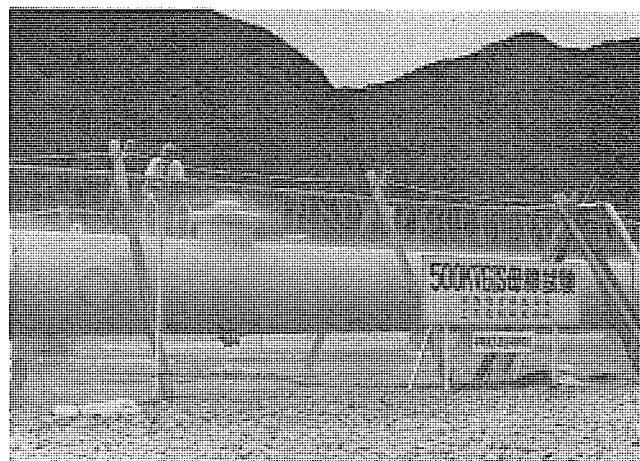


図 9. 人工降雨による急冷試験

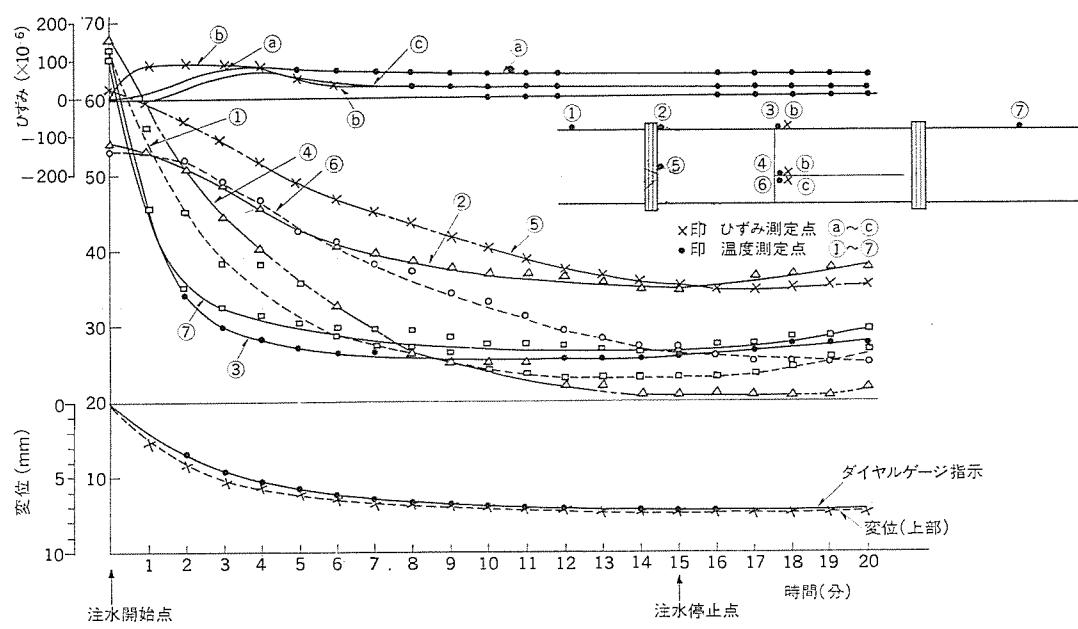


図 10. 通電しゃ断直後の人工降雨試験結果

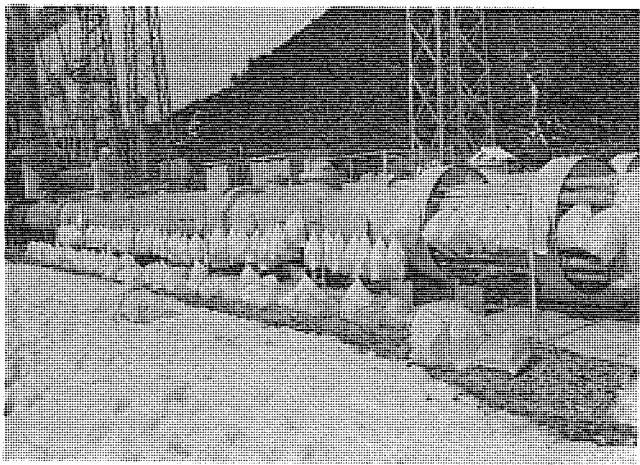


図 11. 積雪模擬試験状況

表 5. 水分測定結果 単位: ppm

	据付後	第1回ヒートサイクル試験前	第1回ヒートサイクル試験後	第3回ヒートサイクル試験前	試験完了後	管理値
母線	82	80	75	76	72	150 ppm 以下
ブッシング・断路器部分	76	72	65	65	64	“

注水量はがいし洗浄時の注水量に近い 20 mm/min (120 mm/h の集中豪雨の約 10 倍に相当) と厳しい条件で試験したが、変位・ひずみなどの発生に異常は見られず、ひずみも  $100 \times 10^{-6}$  以下で急冷状態下での発生応力に全く問題がないことが分かった。

20 mm/min の注水量、20°C の注水水温で注水すると、しゃ断直後の試験では約 15 分でタンク表面温度は安定し、注水水温と同等になった。

#### 4.6 積雪模擬試験

母線のタンク上部に積雪 1 m (比重 0.3 と仮定) を模擬して実用性能面での問題の有無を確認するため、冬期にタンク上に等分布になるようにおもりを設置して積雪模擬試験を実施した。おもりは水袋で、おもりの設置条件は 1 m 当たり 290 kg である。

9.4 m 母線の中央部での最大たわみは 0.78 mm で、ひずみも問題なく小さく、試験終了後の母線の外観検査及びガス漏れ点検結果も異常がなく問題にならなかった。図 11. は、積雪模擬試験状況である。

#### 4.7 その他

長期課通電中の SF<sub>6</sub> ガスについての検証として SF<sub>6</sub> ガスの分析、水分測定、またガス漏れ測定を定期的に実施した。

##### (a) 水分測定

表 5. に示すように、供試装置の各試験時に応じて 5 回の水分測定を実施したが、水分の増加など全く良好な結果であった。

##### (b) ガス分析

水分測定と同時にガスサンプリングし、工場に持ち帰って分析した。結果は表 6. に示すように、SF<sub>6</sub> の純度はほとんど変わらず問題にならなかった。

##### (c) ガス漏れ測定

表 6. ガス分析結果

ガスサンプリング時期と区分	ガスクロマトグラフ Wt %			加水分解性物質 Wt ppm as HF	残液 Wt ppm as HF	ガス中油 Wt ppm
	N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>	その他	SF <sub>6</sub>			
1. 据付後	ブッシング・断路器部分	0.02	残り	0.051	0.077	0.00
	母線	0.01	検出されず	“	0.10	0.10
2. 第1回ヒートサイクル前	ブッシング・断路器部分	0.02	検出されず	残り	0.050	0.052
	母線	0.008	“	“	0.092	0.091
3. 第1回ヒートサイクル後	ブッシング・断路器部分	0.015	検出されず	残り	0.062	0.045
	母線	0.006	CO <sub>2</sub> 0.00035 その他なし	“	0.016	0.037
4. 第3回ヒートサイクル前	ブッシング・断路器部分	0.015	検出されず	残り	0.060	0.042
	母線	0.007	CO <sub>2</sub> 0.00041 その他なし	“	0.042	0.077
5. 完了後	ブッシング・断路器部分	0.02	CO <sub>2</sub> 0.00002 その他なし	残り	0.066	0.034
	母線	0.007	CO <sub>2</sub> 0.00001 その他なし	“	0.11	0.070
新ガス管理値	0.06 以下	—	99.5 以上	1 以下	0.3 以下	5 以下

日常点検によるガス圧監視ではガス漏れの傾向はなく、また据付時、夏期及び試験完了時の SF<sub>6</sub> ガスリークデテクタによるガス漏れ精密測定でもリークデテクタの検出感度以下で、実用性能上全く問題はなかった。すなわち、定格電流 4,000 A 通電、ヒートサイクル試験、不等沈下などの非常に厳しい条件下においても異常のないことが実証されたわけである。

#### 5. むすび

この試験は、関西電力(株)大飯原子力発電所納め 550 kV full GIS 用のガス絶縁母線が直線で 72 m にも及ぶため、設計・製作に先だって 1 ユニットのプロトタイプを製作し、実系統で実用性能を確認するために実施したもので、種々の試験からその実用性能が十分であることが立証され、また気象条件を含めた有効なデータが得られた。

今後、これを契機に更に母線の改良が加えられ、full GIS の適用範囲が拡大されていくことであろう。

最後に、この共同試験に協力いただいた関係各位に誌上を借りて深く謝意を表して結びとしたい。

#### 参考文献

- 1) 山下、稻村ほか: 電気学会全国大会, No. 1,002 (昭 49)
- 2) 所、藤井ほか: 電気学会全国大会, No. 1,353 (昭 50)
- 3) 森井、潮ほか: 三菱電機技報, 47, No. 12, 1,219 (昭 48)
- 4) 松村、松田ほか: 電気学会関西連大, G 3-15 (昭 50)

# 500kVガス絶縁変電所用避雷器

永井信夫\*・宇治田克\*

## 1. まえがき

当社では、昭和40年にSF<sub>6</sub>ガスを消弧媒体として使用するSV-F形ガス絶縁変電所用98kVオートバルブ避雷器を開発して以来、高電圧定格化を進め、66~275kVの各電圧階級のガス絶縁変電所にSF<sub>6</sub>ガス消弧式避雷器を納入する実績を有している。500kV系では、がいし形構造のSF<sub>6</sub>ガス消弧式避雷器を昭和48年に実用化しているが、今回関西電力(株)大飯原子力発電所へ500kVガス絶縁変電所(GIS)用として接地容器入避雷器(SV-FBT形定格電圧420kV)を納入し、昭和51年12月より稼働を開始した。このSV-FBT形420kV避雷器の製品化に当たり接地容器入避雷器を中心に紹介する。

## 2. 500kV避雷器に要求される性能

避雷器の諸特性は、系統の絶縁設計の基礎を与えるものであり、特性の決定に当たって関連要因を十分に検討しておく必要がある。

500kV避雷器の諸特性は、500kV送電機能委員会絶縁協調部会において一応の成案をみたが、その後500kV試験電圧標準特別委員会で見直された結果、表1の特性が推奨された。現在、JEC-156は改訂審議中であり、500kV用避雷器も新JECに含められる予定である。275kV系統以下の避雷器の規格の延長として500kV系統を考えた場合の性能と比較すると、数段過酷な責務が避雷器に課せられることになった。

系統電圧の上昇に伴って避雷器が処理すべき責務は、外雷よりも内雷のほうが過酷になってくるが、500kV避雷器への要求仕様も主として内雷処理を主体に検討されてきた。500kV機器には最新の技術が要求され、例えはしゃ断器では無再点弧、並びに投入時に発生するサージの波高値を常規対地電圧波高値の2.0倍以下に抑制するということは極めて常識的になっているが、避雷器の責務を考える場合には最過酷条件、すなわち長距離無負荷送電線路の高速度再閉路時にしゃ断器の抵抗投入失敗(投入抵抗零での投入)と1線地絡事故が重畳するという最悪事態を想定している。

また、断路器での母線充電電流開閉時に発生する連続サージに対して非常に過酷な責務になることが知られているが、500kV避雷器では、万一、動作しても耐えることが必要とされている。

これらの内容を従来のJEC-156の延長したものと比較すると、次のようになる。

### (1) 系統の最高許容電圧と避雷器定格電圧との比

系統の最高許容電圧( $U_m$ )と避雷器定格電圧( $E_R$ )との比 $k$

$$k = (E_R/U_m) \times 100\%$$

の値は、非有効接地系で約115%、275kV系統以下の有効接地系で約85%程度であるのに対し、500kV系統では約75%になり、500kV用避雷器の定格電圧に対して連続使用電圧が高くなることについて構造上の配慮が必要である。

### (2) 放電開始電圧の下限値の設定

表1. 500kV系避雷器仕様推奨値(試験電圧標準特別委員会)  
(SV-FBT形定格420kV避雷器標準特性)

使用回路最高許容電圧		550/525kV
定格	電圧	420kV
放電開始電圧	衝撃電圧	上限: 0.5μs で 1,340kV 100% 1,220kV 下限: 850kV
	開閉サージ	波形: 緩波頭衝撃電圧を用いて 10~1,000μs の V-t 曲線を求める。この範囲において 上限: 1,090kV 下限: 850kV
	交流	50又は 60Hz で 630kV rms 以上
制限電圧	公称放電電流	10kA
	制限電圧	10kAにおいて 1,220kV 以下 なお、15kAにおいて 1,290kV 以下 20kAにおいて 1,350kV 以下を目指す
	雷サージ	始動放電電流: 20kA 電源短絡電流: 30kA相当及び 3kA相当
動作責務試験	開閉サージ	線路長: 200km(14kV 定格換算約 78μF) 電源短絡電流: 電源側において 3kA 及び 30kA 試験条件: 避雷器設置は送受端側の双方について別試料を用いて実施する 試験及び合否判定: (a) 定格電圧では再点弧を回許容する (b) 常時電圧(定格420kV)避雷器に対し $550/\sqrt{3} \times 1.1 = 350kV$ の割合で再点弧なし
	断路器サージ	1/2サイクルごとに交流電圧波高値付近で連続30回放電させ、続流しゃ断を確認する 交流試験電圧: 定格420kV避雷器に対し $550/\sqrt{3} \times 1.05 = 334kV$ の割合

避雷器の衝撃及び緩波頭衝撃放電開始電圧について、表1のように放電開始電圧の下限値を規定し、放電開始電圧-時間特性を一定の幅をもった領域に収めようとしている。これは、開閉サージ・断路器サージに対して避雷器の放電ひん(頻度)を最小限にとどめることを意図したものであるが、これを実現するためには精度の高い分圧技術による放電特性の制御が必要になる。

### (3) 制限電圧

制限電圧は、DLR(定格電圧に対する公称放電電流での制限電圧の比)が、JEC-156では3.35であるのに対して2.9と13%程度低くなっている。更に、目標値としてではあるが、15kA、20kAでの制限電圧も設定されている。これは保護レベルを下げるとともに、非常に大きな雷サージ電流(想定雷撃電流は275kV系統で100kA

であるが、500 kV 系統では 150 kA である) に対しても絶縁協調が成立するように配慮されたものである。このように制限電圧を低く設定することは、直列ギャップでの処理エネルギーが増大することになり、動作責務処理能力の向上が必要になる。

#### (4) 動作責務

動作責務特性は、始動雷サージ電流が 20 kA とこれまでの 2 倍になり、しかも雷サージに対する以外にも、無負荷線路の高速度再閉路サージを模擬した動作責務が規定されている。更に、断路器サージを模擬した動作責務試験では、30 回連続動作(15 サイクル)に対して避雷器の続流しゃ断能力を検証しておくという重責務が課せられている。

### 3. SV-FBT 形 420 kV 避雷器の構造

#### 3.1 全体構造

図 1. に放電特性試験中の外観写真、図 2. に内部構造を示す。内部構造は図に示すように、直列ギャップ部・特性要素部・複合部の 3 分割体からなっている。これらの各分割体はおののの長さを低減するため図 3. に示すように、物理的には 3 個並列に配設し、電気的には直列に接続し、これらの分割体の間を絶縁物によって支持している。タンク内には、直列ギャップのエネルギー処理能力の向上、及び絶縁物などの絶縁距離を縮めるために SF<sub>6</sub> ガスを 3 kg/cm<sup>2</sup>·g に封入してある。絶縁性能の優秀な SF<sub>6</sub> ガスを用いているので、避雷器素子と接地容器との間の絶縁距離が短くなる一方、浮遊静電容量が大

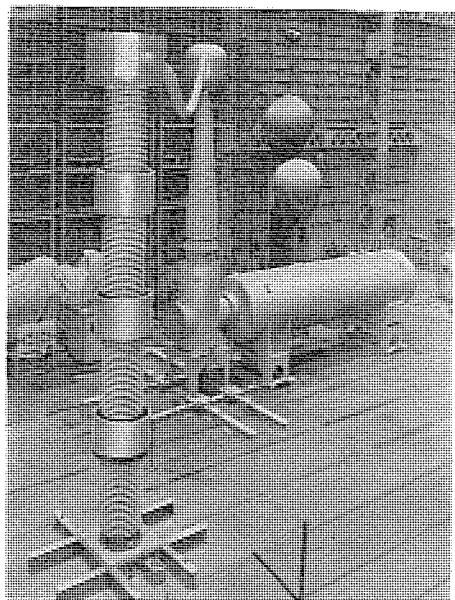


図 1. SV-FBT 形定格 420 kV 避雷器

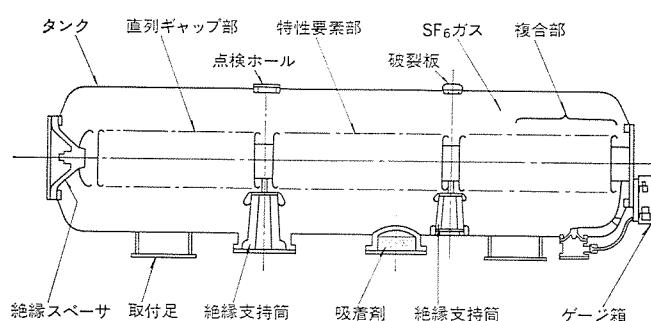


図 2. SV-FBT 形避雷器内部構造

きくなり、直列ギャップ部の電位分布が乱れて放電特性に悪影響を受けるため、直列ギャップ部に強制分圧用の素子を用いている。

#### 3.2 直列ギャップ

SF<sub>6</sub> ガスは強い電子親和力を有するために優秀な消弧性能を有する反面、放電特性を安定させることがむずかしい。図 4. は、14 kV 分割単位ギャップの結線図を示す。平たんな V-t 特性を得るために、トリガ電極 E<sub>3</sub> を配して放電の安定と制御とを行なっている。E<sub>1</sub>、E<sub>2</sub> は主電極で、g は主ギャップ、g<sub>1</sub> はトリガギャップである。電極には図示のように、分圧素子が接続されているので、避雷器にサージ電圧が侵入するとまずトリガギャップ g<sub>1</sub> が放電し、その後に全電圧が g<sub>2</sub> に印加され、g<sub>1</sub> のトリガ作用によって g<sub>2</sub> は時間遅れなく放電し、主ギャップ g の全放電に速やかに進展する。図 5. は、定路電圧 14 kV ギャップに対するトリガギャップの効果を示すもので、主ギャップ g の放電特性は、図示のようなトリガギャップ g<sub>1</sub> の放電によるトリガ作用によって平たんな V-t 特性になっている。

#### 3.3 複合形構造とその原理

500 kV 系統用避雷器に課せられた責務のうちでも断路器サージ動作責務は、1/2 サイクルごとに交流電圧波高値(定格 420 kV 避雷器で 550 kV/√3 × 1.05 = 334 kV)付近で連続 30 回放電し、続流しゃ断を確認するという内容で、電流波高値が数百 A 程度と比較的小さいにもかかわらず、連続多数回動作することから直列ギャップの処理す

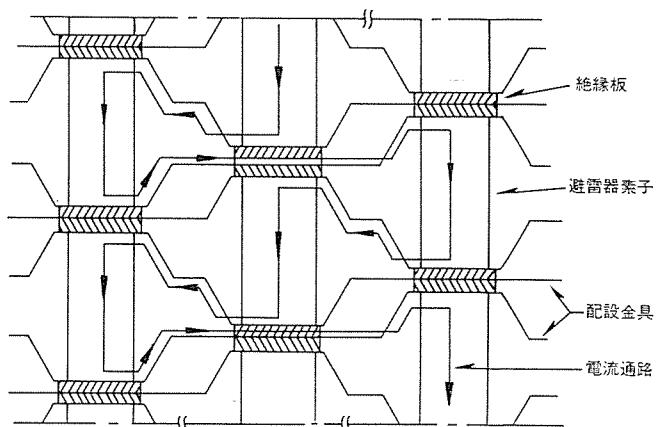


図 3. 内部配設構造モデル

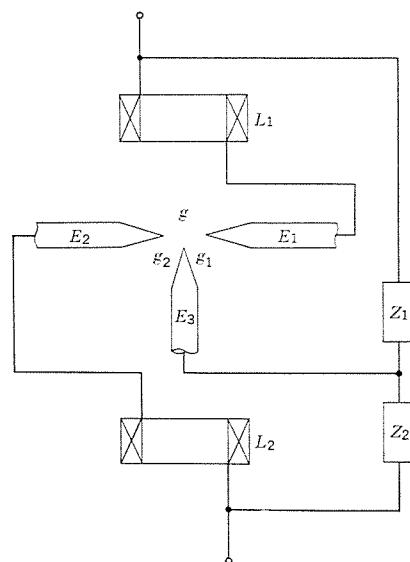


図 4. ユニットギャップの結線図

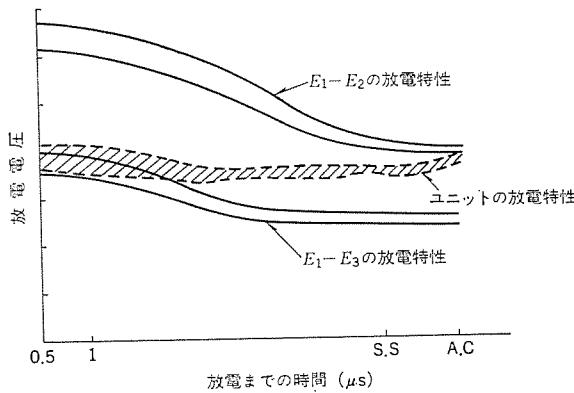
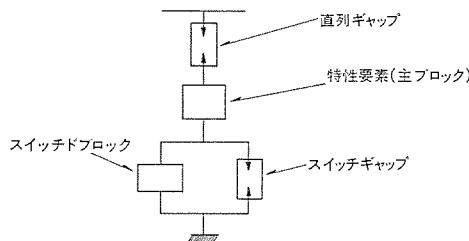


図 5. ユニットギャップの  $V-t$  特性



## 図 6. 複合形構造

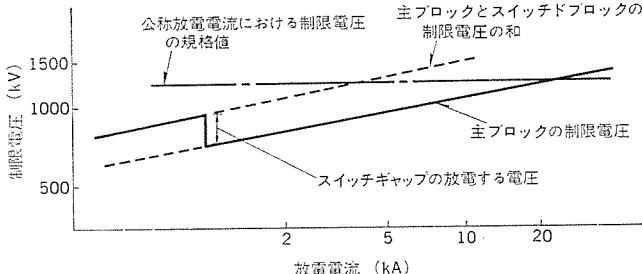


図 7. 複合形構造による制限電圧特性

る エネルギ は大きなものになる。

直列 ギャップ の責務を軽減し、断路器 サージ 動作責務処理能力に裕度をもたせるために複合形構造を採用した。複合形構造の原理は、図 6. に示すように、従来の直列 ギャップ と特性要素とが直列接続されたものに、更に特性要素（スイッチド ブロック）と放電 ギャップ（スイッチ ギャップ）とが並列接続されたものを直列接続して構成し、所定の電流以上になれば、スイッチド ブロック をスイッチ ギャップ で短絡するようにしたものである。図 7. に示すように、主特性要素とスイッチド ブロックとの制限電圧の和が所定の保護レベルを超える十分に前にスイッチド ブロック を短絡すれば、避雷器による保護効果を維持しながら、断路器 サージ 動作責務などの処理性能の向上を図ることができる。

#### 4. 放電特性制御

500 kV 用避雷器の放電電圧は、上限及び下限が規定され、また避雷器素子を接地容器内に入れることによってそれらの間の浮遊静電容量が大きくなり、直列ギャップ部の電位分布が乱れて放電電圧に多大の影響を与える。更に、避雷器のしゃ断性能の検証には 14 kV 分割体で実施することになっているので、これらを均等に分圧する必要がある。以下、放電特性を制御するため、図 8. に示す避雷器の等価回路において、各分割単位（ギャップ）に加わる電圧  $e_1 \sim e_n$  が等しくなるように分圧する技術について述べる。

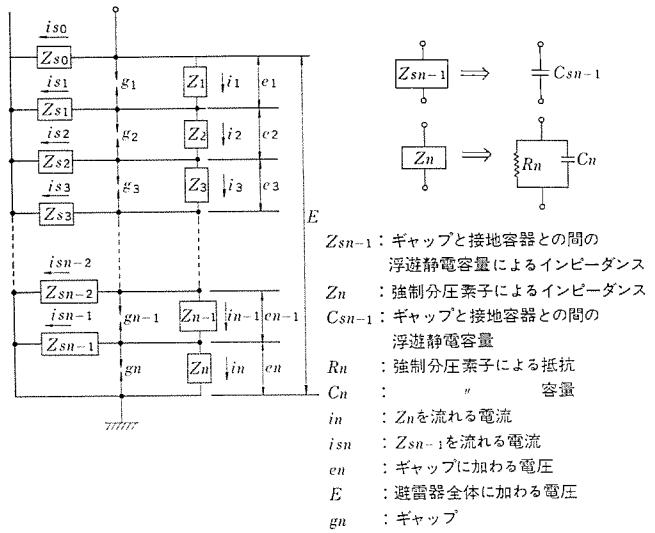


図 8. 避雷器等価回路

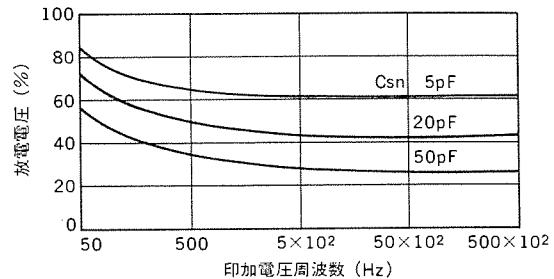


図 9. 静電容量  $C_{sn}$  と放電電圧特性

#### 4. 1 浮遊静電容量の影響

図 8.において各 ギャップ ( $g_1 \sim g_n$ ) に加わる 電圧 ( $e_1 \sim e_n$ ) を極力相等しくなるようにするのが望ましい。各 ギャップ に加わる 電圧  $e$  が等しくなるためには、

$$e = i_1 \times Z_1 = i_2 \times Z_2 = \dots = i_{n-1} \times Z_{n-1} = i_n \times Z_n \dots \dots \dots \quad (1)$$

であることが必要である。ここで、浮遊静電容量  $C_{sn}$  (インピーダンス  $Z_{sn}$ ) に流れる電流  $i_{sn}$  の影響を考えると、

$$i_2 = i_{s1} + i_1, \quad i_3 = i_{s2} + i_2, \quad \dots, \quad i_n = i_{sn-1} + i_{n-1}$$

となり、明らかに  $i_1 > i_2 > i_3 > \dots > i_n$  となる。

式(1)を実現するためには、 $Z_1 < Z_2 < Z_3 \dots < Z_n$ とする必要がある。浮遊静電容量  $C_{sn}$  が大きくなればなるほど、この傾向は大きくなり、しかもギャップ段数が増せば増すほど、 $Z_1/Z_n$  の比が大きくなることが分かる。500 kV 用避雷器のように高定格になると回路の直並列段数が多くなることや、後述するように分圧素子には電圧特性・周波数特性などがあって計算が非常に複雑になるため、電子計算機によって解析した。図 9. に分圧抵抗  $R_n$  とコンデンサ容量  $C_n$  を一定にして浮遊静電容量  $C_{sn}$  を変化させた場合の放電電圧  $E$  の変化割合を示す。

以上のことから接地容器入り避雷器では、分圧容量が過大になるのを防止するために充電部を極力減らすよう、直列ギャップ部と特性要素部を分離したり、ギャップの小形なものを使用するなどして、浮遊電容量  $C_{ss}$  を小さくする工夫が必要であることが分かる。

## 4. 2 分圧素子の特性

良好な放電特性を得るために直列ギャップ部の電位分布改善用分圧素子を使用しているが、これらの諸特性を考慮に入れた精度の高い分圧計算の必要がある。

分圧用 コンデンサ として、高電圧用であるとともに、小形、大容量、熱的・化学的に安定で信頼性が高いことが必要であることから、セラミック コンデンサ を使用している。セラミック コンデンサ の主な特性として次のようなものがあげられる。

- ・容量一電圧特性
- ・容量一温度特性
- ・容量一周波数特性

また、直列 ギャップ 部だけを考えると、浮遊静電容量の影響を補償するためには、コンデンサ 容量を十分に大きくすればよいわけであるが、波頭しゅん(峻)度の高い サージ が侵入してきた場合、直列 ギャップ 部のコンデンサ による インピーダンス は、特性要素の インピーダンス が無視できない程度まで低くなり、サージ 電圧が直列 ギャップ 部と特性要素部とに分圧されて見掛け上、直列 ギャップ の放電電圧が高くなる場合があるため、避雷器全体の静電容量は、コンデンサ と特性要素との分圧による放電電圧の上昇分が無視できる程度になるような値に選定している。

#### 4.3 SF<sub>6</sub> ガス密度

絶縁性の高い SF<sub>6</sub> ガスを高気圧で使用しているので、ガス漏れなどによってガス密度が変化すれば、当然、放電電圧が変化して絶縁協調上問題になる場合があり、放電特性を制御する上で、分圧による制御だけでなく、SF<sub>6</sub> ガス密度の管理も重要である。

したがって、ガス密度を管理するためには、温度変化による圧力変化分を補償する機能を有した温度補償付圧力スイッチを使用している。

#### 5. 地震及び輸送時の振動に対する強度

電力用機器は、地震(正弦波共振3波 0.3G あるいはエルセントロ地震波など)及び輸送時の振動による発生応力に十分耐えるものでなければならない。しかるに、接地容器入りの避雷器では、内部素子支持に注型絶縁物を用いている。特に、500kV用避雷器では支持する重量が大きい上、絶縁距離を長くする必要があることから、これらの絶縁物に負担がかかることになり、機械的強度の検証は重要である。機器がこれらの振動に対して十分な性能を有しているか否かを次の方法で検討した。

##### 5.1 計算機による解析

避雷器の分布荷重を多質点系に分け、ボルト接合部などをばね定数で模擬し、地震(正弦波共振3波 0.3G 及びエルセントロ 地震波)及び輸送模擬の振動を与えた。

##### 5.2 加振機による実加振試験

実加振試験は、種々の波形の振動に対する機器の特性を検証する上で有用である反面、500kV用避雷器のように大型になると、加振機の積載能力の面から機器全体の検証ができない場合が生ずる。したがって、分割した境界での条件が全体の場合と等しくなるように機器を分割して供試した。

##### 5.3 実輸送試験

輸送中の耐振性能を検証するため、避雷器1相分を トラック に乗せ、計算機による解析結果及び実加振試験結果に基づいて発生応力及び発生加速度の大きな位置に、ひずみゲージや加速度計を取り付け、長

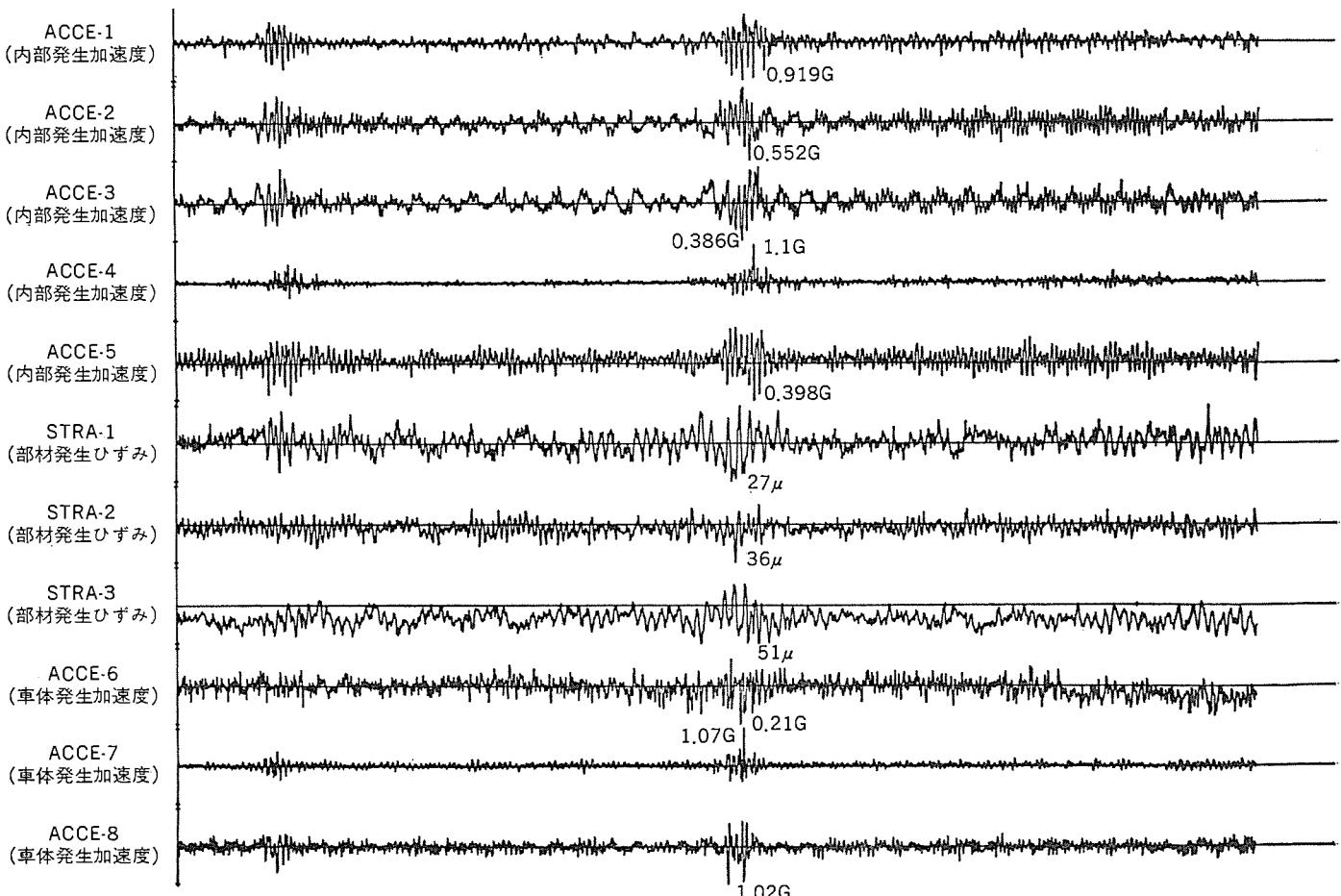


図 10. 輸送試験オシログラム

距離走行におけるデータを採取した。

以上の三つの方法による検証結果を次に述べる。

計算機及び加振試験結果の代表的なものとして、正弦波共振3波

表 2. 加振試験結果  
(正弦波共振3波0.3Gにおける)

	計算結果の最大発生応力	加振試験による最大発生応力(ひずみ)
注型絶縁物	0.25 kg/cm <sup>2</sup>	0.2 kg/cm <sup>2</sup> (178 μ)
機械入絶縁物	1.1 kg/cm <sup>2</sup>	1.26 kg/cm <sup>2</sup> (216 μ)
鉄鋼品	5.0 kg/cm <sup>2</sup>	6.4 kg/cm <sup>2</sup> (304 μ)

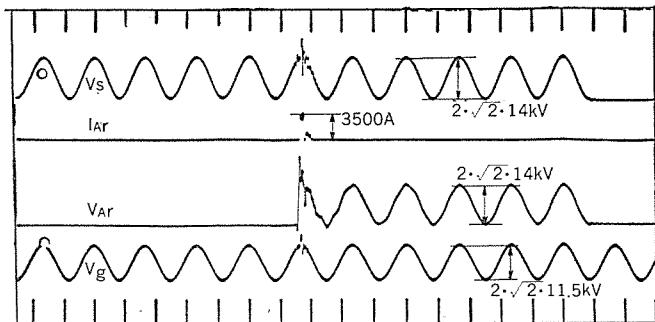


図 11. 線路側避雷器の再閉路 サージ動作責務試験  
オシログラム (電源容量 50 kA)

0.3G の振動条件における、各部材に発生する最大応力を表 2. に示す。表に示すように十分な耐震性能を有するとともに、計算機による結果と加振試験による結果とがよく一致している。

図 10. に実輸送試験で得られた結果を示す。各部に発生するひずみは、加振試験における加振加速度 (0.3G) と比べて車体に発生する加速度が 1G 程度とはるかに大きいにもかかわらず、避雷器各部に発生するひずみは 100 μ 以下と小さくて安全であり、車体に発生する振動が避雷器の共振周波数から外れていることを示している。

## 6. 特性及び試験結果

SV-FBT 形定格 420 kV 避雷器は、表 1. に示す特性を満足するように設計・製造されている。以下に試験結果を中心に主要特性について述べる。

### 6.1 動作責務特性

500 kV 避雷器だけに課せられている再閉路 サージ 動作責務試験 オシログラムの代表例を図 11.、断路器 サージ 動作責務試験 オシログラムを図 12. に示すが、いずれの動作責務においても良好に続流をしゃ断しており、この種の重責務を十分に処理できることが分かる。断路器 サージ 動作責務 オシログラムにおける続流は、1 回目が 168 A であるのに対して 30 回目には 201 A へと増大している。これは、連続多回動作することにより、特性要素の温度が上昇して抵抗値が変化していることを示す。

### 6.2 保護特性

図 13. に、定格電圧 420 kV 避雷器の 0.5 μs から適用周波領域までの放電特性試験結果を示す。放電電圧は、全領域にわたって規定値内に余裕をもって納まり、良好な特性である。

## 7. むすび

500 kV SF<sub>6</sub> ガス消弧式 ガス 絶縁変電所用避雷器の概要を述べたが、この避雷器が絶縁協調の基幹機器としてその使命を担うのに十分なものであると確信される。

最後に、この避雷器の製品化に当たってご尽力願った関係各位に深く感謝の意を表す次第である。

## 参考文献

- (1) 試験電圧標準特別委員会 ウーリンググループ 報告書(昭 47)
- (2) 電力中央研究所技術報告: 500 kV 送電に関する研究報告 その 5 (昭 43)
- (3) 鎌田ほか: 電気学会全国大会, 667 (昭 46)
- (4) 新田ほか: 電気学会誌 92B, No. 10 (昭 47)

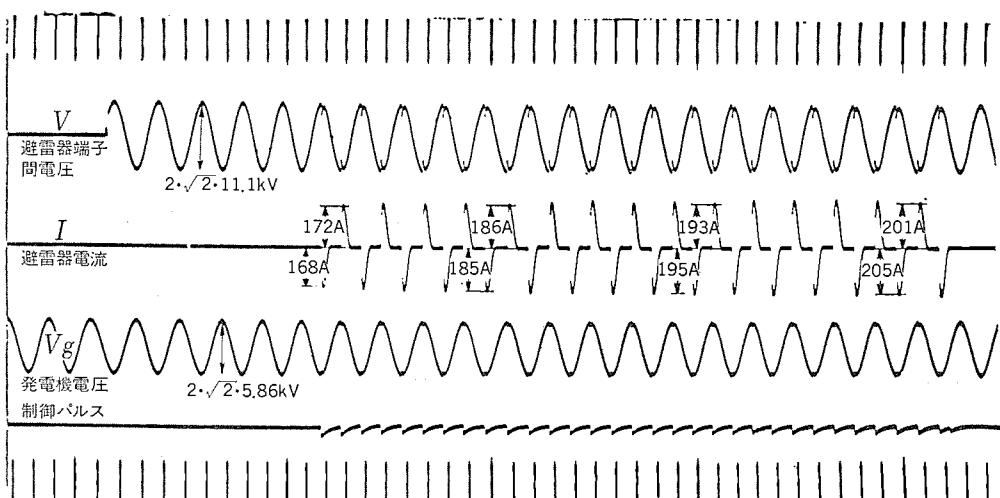


図 12. 断路器 サージ 動作責務試験 オシログラム

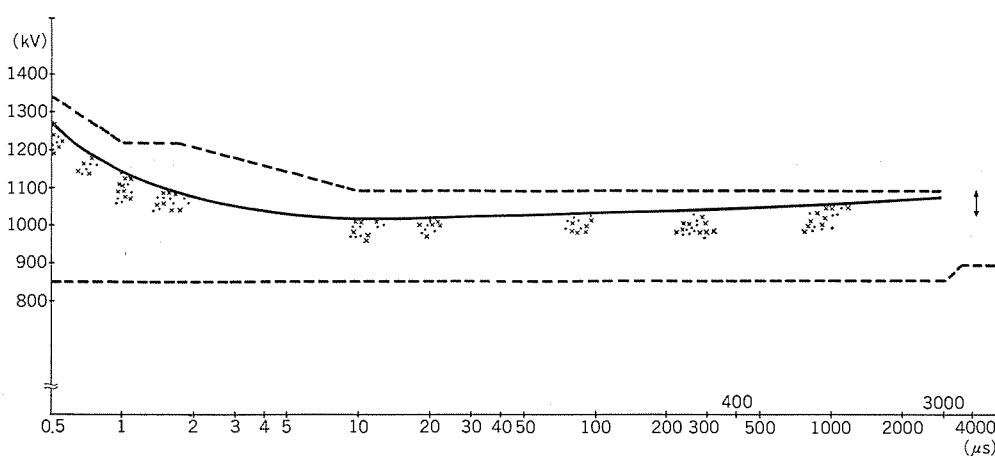
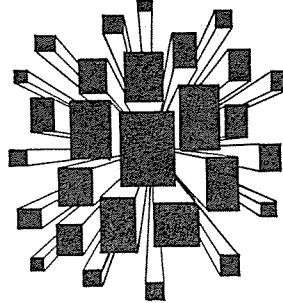


図 13. SV-FBT 形定格 420 kV 避雷器の V-t 特性

# 特許と新案



## 偏波ダイバーシティ方式 (特許 第759580号)

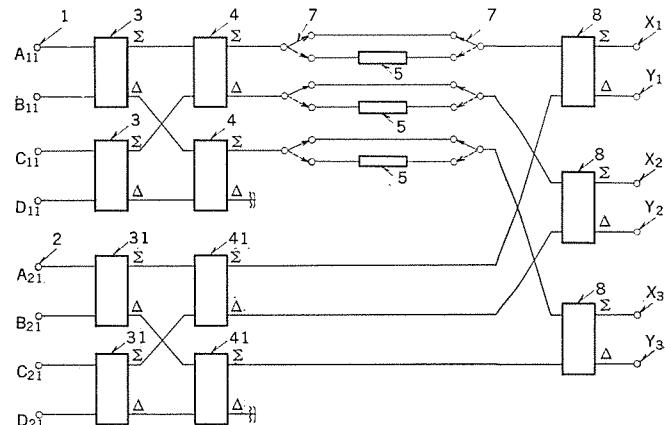
発明者 大前 隆雄

この発明は地上に設置された複数個のアンテナで受信した飛行体からの伝送電波の偏波が直線偏波か円偏波かによって、さらに水平偏波か垂直偏波か、または左旋円偏波か右旋円偏波かによって偏波の切換えを行う偏波ダイバーシティ方式に関するものである。

図において(1)は水平偏波アンテナで受信した直線偏波または円偏波の水平分力の受信信号  $A_{11} \sim D_{11}$  の入力端子(2)は垂直偏波アンテナで受信した直線偏波または円偏波の垂直分力の受信信号  $A_{21} \sim D_{21}$  の入力端子(3)(4)は受信信号  $A_{11} \sim D_{11}$  を和(Σ)と差(Δ)の信号に変換する第1のハイブリッド回路、(31)(41)は受信信号  $A_{21} \sim D_{21}$  を和と差の信号に変換する第2のハイブリッド回路、(5)は90°位相器、(7)は切換えスイッチ、(8)は変換信号が直線偏波のときにはその信号を水平偏波と垂直偏波とに分離し、変換信号が円偏波のときには切換えスイッチ(7)により90°移相器(5)を介してその信号を左旋円偏波と右旋円偏波とに分離する第3のハイブリッド回路、 $X_1, X_2, X_3$ は受信信号が直線偏波のときにはそれぞれ、水平偏波基準信号、水平偏波AZ(Azimuth)誤差信号、水平偏波EL(Elevation)誤差信号が、受信信号が円偏波のときにはそれぞれ、左旋円偏波基準信号、左旋円偏波AZ誤差信号、左旋円偏波EL誤差信号が現れる出力端子、 $Y_1, Y_2, Y_3$ は受信信号が直線偏波のときにはそれぞれ、垂直偏波基準信号、垂直偏波AZ誤差信号、垂直偏波EL誤差信号が、受信信号が円偏波のときにはそれぞれ、右旋円偏波基準信号、右旋円偏波

AZ誤差信号、右旋円偏波EL誤差信号が現れる出力端子である。

以上のようにこの発明は入力信号をハイブリッド回路で和と差の信号に変換した後(円偏波のときには、所定の変換信号をさらに90°その位相を推移させた後)ハイブリッド回路で水平、垂直、左旋、右旋の各偏波に分離するようにしたため、出力端子、切換えスイッチ、90°位相器などの回路部品が少なくなり、回路構成がコンパクト化され、信頼性が向上するなどの諸効果がある。



## 半導体装置 (特許 第763129号)

発明者 蒲生 浩・山上 健三

この発明はチョップ、インバータなどの高周波回路に使用するに適したターンオフ時間の短い逆耐電圧の高いサイリスタを得ようとするものである。

図1.はサイリスタの構造を示す図で、(1)は母材となるN形シリコン、(2)(3)はP形拡散層、(4)はP形拡散層(3)に形成したN形拡散層、(5)は金の蒸着層、(6)はP形拡散層(2)と電極材(7)とにオーミック接触した合金層、(8)はN形拡散層(4)にオーミック接触した電極、(9)はP形拡散層(3)にオーミック接触したゲート電極である。

この発明は、シリコンを母材として使用し外側N層(4)を燐原子の添加によって形成し、金の拡散の工程を経て製造するPNPN 4層

構造を含む半導体装置において、特に上記外側N層(4)の燐表面濃度を  $8 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  以下にしたものである。従来の燐表面濃度は  $10^{21} \text{ atoms/cm}^3$  程度であり、この発明のものとの特性曲線を図2.に示す。

図2.は、金の拡散時間を一定(20分)とし、金の拡散濃度を変化させたときのターンオフ時間  $t_{off}$ 、接合部温度  $T_j = 125^\circ\text{C}$  における逆耐電圧  $V_{BR}$ (もれ電流 10 mA のときの値)、順電圧降下  $V_f$  の変化を求めたもので、特性I及びI'は燐表面濃度が  $10^{21} \text{ atoms/cm}^3$ (従来)と  $6 \sim 7 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ (発明)のときのターンオフ時間の変化、特性II及びII'は同じく逆耐電圧  $V_{BR}$  の変化、特性III及

び III' は同じく順電圧降下  $V_f$  の変化を示している。なお特性曲線中、実線は従来のものを、破線はこの発明のものを示す。

図 2. から理解されるように、ターンオフ時間は金拡散温度の上昇によって短くなり、燐表面濃度が  $10^{21} \text{ atoms/cm}^3$  の場合に比較して、 $6 \sim 7 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$  と低い場合にはターンオフ時間が著しく短くなっている。また同じターンオフ時間を得るのであれば、燐表面濃度が低い方が金拡散温度が低くでき、したがって高い逆耐電圧  $V_{BR}$  を得ることができる。

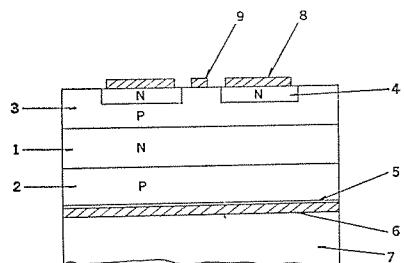


図 1

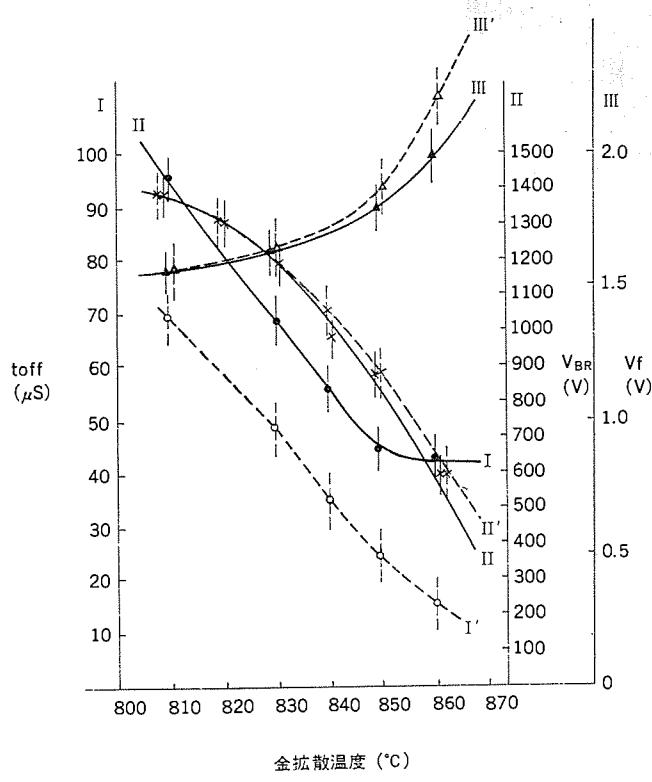


図 2

## 電子機器ユニットの実装機構 (実用新案 第 1080460 号)

考案者 山崎明彦

この考案は電子機器ユニットの実装機構に関し、レバー機構を設けることにより実装を容易にしたものである。

図 1., 図 2. はこの考案の実装機構を示し、図中 (1) はきょう (筐体)、(5) は筐体(1)に設けたガイドレールなどとしゅう (摺)動しつつ実装される電子機器ユニットの一部、(9) はレバーでありとつ(凸)部 (10) と切欠部 (11) を有し、この切欠部にはピン (12) を設ける。(13) は軸でありレバー(9)を電子機器ユニット(5)のおう(凹)部 (14) の所定位置へ回転可能に枢着されている。(15) はコイルバネであり一端はピン (12) へ掛止されると共に他端は凹部 (14) に掛止される。(16) はレバー(9)の凸部(10)ががん(嵌)合される。

ユニット(5)を筐体(1)内へそう(挿)入すると、凸部(10)が凹部(16)に嵌合し、レバー(9)はコイルバネ(15)の引張力に抗して左回転し、所定位置にてレバー(9)はコイルバネ(15)の引張力により左回転力が働いてユニットは自動的にロックされる(図 1.)。

次にユニットを筐体から引抜くとき、レバー(9)の先端 A をコイルバネ(15)の引張力に抗して上部へ押上げることにより、軸(13)を支点としてレバー(9)は右方向へ回転する(図 2.)。レバー(9)が所定位置

まで回転するとバネ(15)の引張力は逆にレバー(9)を右回転させる力となり引抜操作を容易にする。レバーは図 2. の状態で停止しユニットのロックは解除される。

この考案によれば、プラグインシャーシ、プリント基板などの筐体への着脱を容易にすることができます。

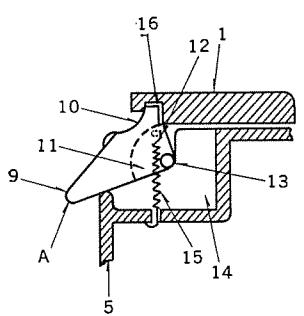


図 1

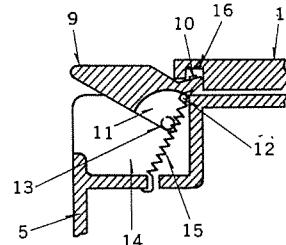


図 2

# 関西電力(株)大飯原子力発電所納め1,300MVAタービン発電機

大石 紀夫\*・天笠 信正\*・伊藤 裕之\*・八木 耕三\*

## 1. まえがき

近年、原子力発電の進歩はめざましく、ユニット出力も急激に増大してきた。当社では国産初の原子力用タービン発電機、関西電力(株)美浜発電所1号機400MVAを製作以来、表1.に示すように多数の原子力用発電機を製作してきたが<sup>(1)(2)</sup>、このたび国産最大容量の1,300MVAタービン発電機2台を完成した。本機は関西電力(株)大飯発電所1、2号機として納入したもので、世界的にも最大級に属し、固定子コイルの水冷却や回転子コイルのプレッシャライズドギャップ冷却、回転子みぞ(溝)の非対称配置など最新の技術を取り入れるとともに、その信頼性の確認に万全を期した。

以下本機の仕様、構造上の特徴及び試験結果について紹介する。

表1. 原子力用タービン発電機製作経歴

納入先	タービン定格(MW)	出力(MVA)	力率(%)	電圧(kV)	短絡比	ガス圧(kg/cm <sup>2</sup> ·g)	周波数(Hz)	回転数(rpm)	励磁機容量(kW)	電圧(V)	機形式	製造年
*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	1976
* " " #2	1,175	1,300	0.9	24	0.58	5	60	1,800	5,500	525	B	1976
" 高浜発電所 #1	826	920	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,500	440	B	1972
" " #2	826	920	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,500	440	B	1973
" 美浜発電所 #3	826	920	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,500	440	B	1974
メキシコ CFE LAGUNA VERDE #1	675	750	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,000	525	B	1975
" " " #2	675	750	0.9	22	0.58	4	60	1,800	3,000	525	B	1976
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	1975
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	1973
某社	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	1970
" " #1	340	400	0.85	17	0.64	4	60	1,800	1,550	500	B	1968

B: ブラシレス励磁機

\*: 固定子水冷却

## 2. 仕様と基本設計

本機の仕様を従来の最大容量機である920MVA機<sup>(3)</sup>と対比して表2.に示す。発電機の出力と体格(回転子径、鉄心長)の間には次の関係式が成立する。

$$MVA = K \cdot D_r^2 \cdot L \cdot B_g \cdot AC \cdot rpm$$

ここで MVA………発電機出力

K………比例定数

$D_r$ ………回転子外径

L………鉄心長

$B_g$ ………磁気装荷

AC………電気装荷

rpm………回転数

本機は920MVA機に比べて約41%出力が増大しているが、基本設計方針として電気装荷、磁気装荷の増大により出力を増大するとともに、鉄心長、寸法、重量の増大を抑えた。

## 2.1 電気装荷

一般に一定温度上昇限度内で電気装荷を増すためには、冷却効果を改善する必要がある。固定子コイルには冷却効果の優れた水冷却を採用したので、電気装荷は約24%増したにもかかわらず、固定子溝断面を水素内部冷却920MVA機の80%にすることができた。冷却媒体の特性を表3.に示す。

回転子コイルに適用したプレッシャライズドギャップ冷却は図1.のように空けき(隙)を回転子バリヤと固定子バリヤで幾つかのゾーンに仕切り、各ゾーン間の差圧によって回転子コイル内に冷却ガスを流す方式で、並列回路数が増し、個々の通風路が短くなる。このため全体としての冷却風量が増し、図2.に示すように標準内部冷却方式より回転子アンペアーンを大きくとることができた。本機の所要回転子ア

表2. 1,300MVA機と920MVA機の仕様と主要諸元の比較

仕様	出力(MVA)	1,300	920
	力率(%)	90	90
	端子電圧(kV)	24	22
	電機子電流(A)	31,273	26,826
	水素ガス圧(kg/cm <sup>2</sup> ·g)	5	4
	周波数(Hz)	60	60
	回転数(rpm)	1,800	1,800
	短絡比	0.58	0.58
	冷却方式	水冷却	内部冷却
	回転子	プレッシャライズドギャップ冷却	内部冷却
諸元	励磁機容量(kW)	5,500	3,500
	励磁機電圧(V)	525	440
	副励磁機容量(kVA)	70	40
	出力	141.3	100
	電気装荷	123.7	100
元(%)	磁気装荷	105.2	100
	回転子径	100.0	100
	鉄心長	108.6	100

\* 920MVA機を100%とする。

表 3. 冷却媒体の特性

	熱容量	熱伝達率
空気	0.22	0.2
水素	1.0	1.0
水	18.0	10.1

注) 1. 水素を 1.0 として表示した。  
2. 流体摩擦損失が一定のばあいを示す。

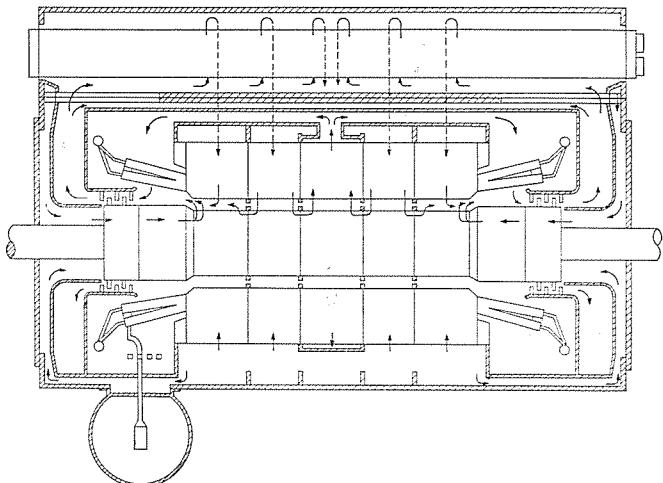


図 1. プレッシャライズド ギャップ 冷却 タービン 発電機通風系統図

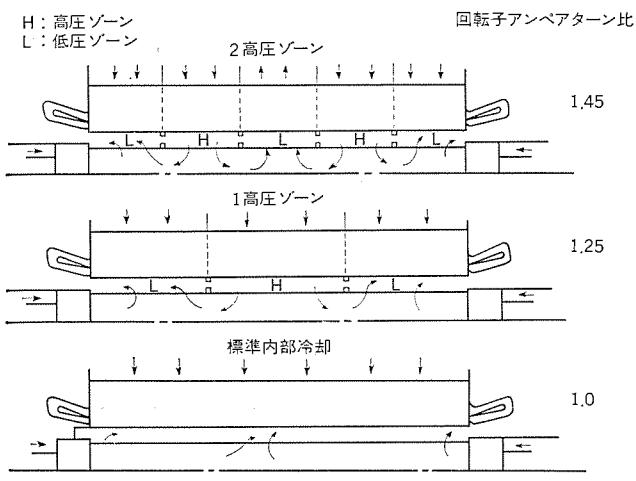


図 2. 高圧ゾーン数と回転子アンペアターンとの関係

アンペアターンは 920 MVA 機の約 30 % 増しであったが、プレッシャライズド ギャップ 冷却とガス圧  $5 \text{ kg/cm}^2$  の採用で回転子コイル温度は十分低い値に納まった。

## 2.2 磁気装荷

発電機の空隙部に存在する磁束は回転子起磁力と電機子反作用の合成であるが、両者の間に位相差があるため、通常の遅れ力率運転では回転方向後縁側磁極端に合成磁束のピーク値が現れ(図 4. (a)), 過大な磁気飽和を生ずることがある。

本機では回転子断面を図 3 のようにこの後縁側の溝を極中心に近付けて配置(極中心に対して溝

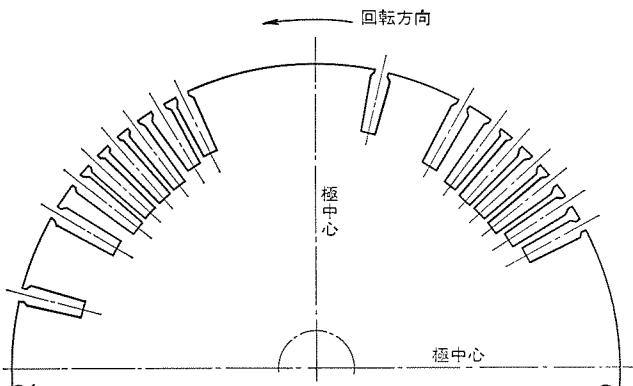


図 3. 回転子断面

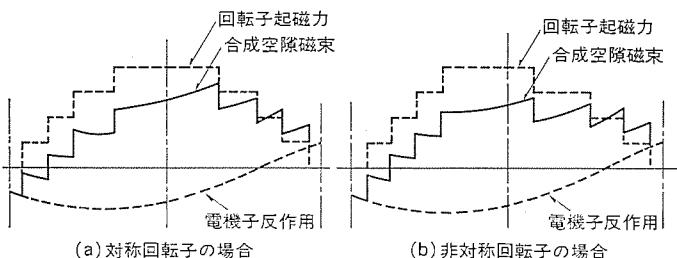


図 4. 空隙磁束分布

配置が非対称になる)する非対称回転子を採用し、空隙磁束波形を改善する(図 4. (b))ことにより磁気装荷(平均空隙磁束密度)を 920 MVA 機より約 5.2 % 大きくとることができた。

磁気装荷の増加と固定子溝、回転子溝深さを小さくすることにより、過渡リアクタンスを 34 % と小さい値に設計することができた。

## 2.3 尺法・重量

電気装荷、磁気装荷の増加により、鉄心長は 920 MVA 機に比べて 8 % の増加にとどまった。更にガス冷却器をフレーム上部に配置し、冷却器部分のケーシングを現地で取付け溶接するトップハット方式を採用したので、920 MVA 機に比べると最大重量は 11 %、軸受スパンは 4 % の増加にとどまった。

## 3. 構造

本機の構造上の特徴のうち主なものについて紹介する。図 5. に本機の組立断面図を示す。

### 3.1 固定子コイル

本機の固定子コイルは図 6. に示すように 6 列の中空中実素線組合せ式で、冷却水は励磁機側からタービン側に流れる 1 フロー式を採用した。

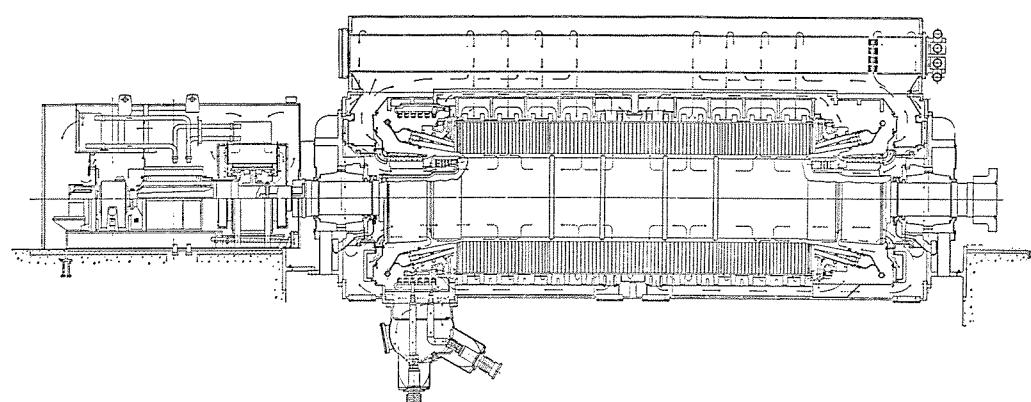


図 5. 組立断面図

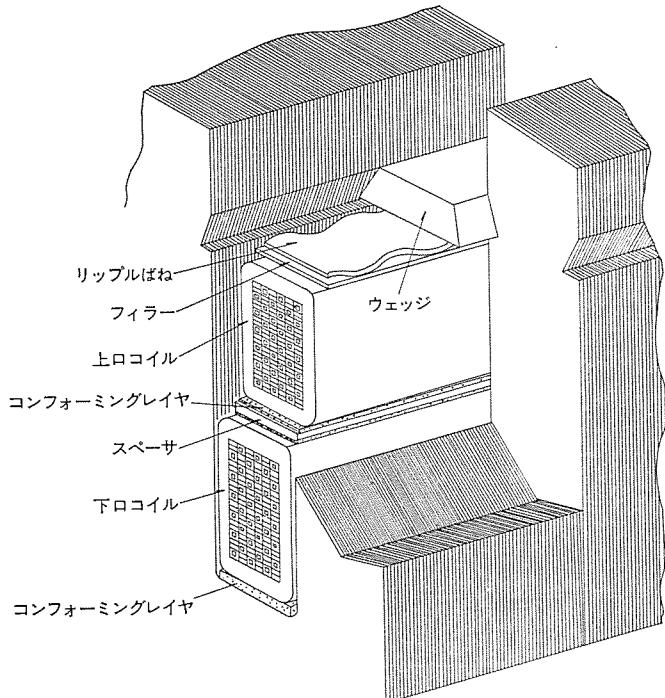


図 6. 固定子溝内構造

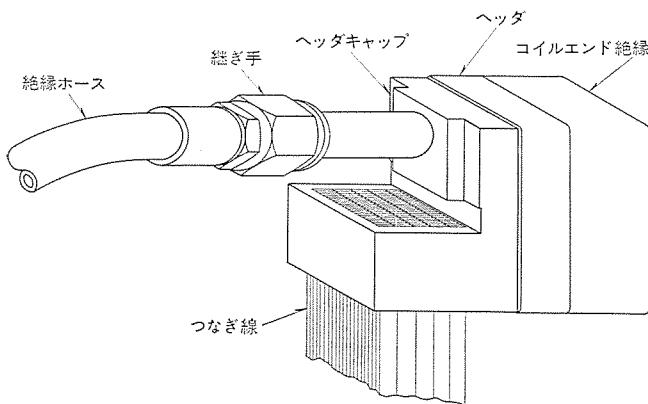


図 7. 水冷却固定子コイル端部

コイル端部で水室形成、電気接続を行うためのヘッダのろう付部を図 7. に示すがこの部分における漏れがないことが必要である。これを実現するため本機製作に先立ち多数の実物大ヘッダサンプルを種々のろう付方法、条件で製作し、洩れ試験、切断検査を行って最適ろう付方法を決定した。

また運転中の振動に対する信頼性を確認するため、実物大ヘッダを有する短縮コイルモデルを作りこれに絶縁ホースを接続し、通水しながら加振試験を長期間実施した<sup>(4)</sup>。水冷却の基礎研究については既に本誌上に発表<sup>(5)~(11)</sup>したのでここでは割愛する。

固定子コイルの絶縁には電気的・機械的特性の優れたエボキシ絶縁<sup>(12)</sup>を、コイルエンドには特殊なコロナ防止法<sup>(13)</sup>を採用した。この方式では30 kV 級絶縁も可能であり、本機は定格電圧を 24 kV と比較的高い電圧に過ぎず電機子電流の増加を抑えた。

### 3.2 固定子コイルの支持

大容量化とともに固定子コイルに働く電磁力は突発短絡時、定常運転時とも大きくなる。

固定子溝内ではコイルが溝上下方向の電磁力を受けるが、ウェッジが緩んだ状態で大きな電磁力を受けると絶縁やコアが損傷することがある。これを防止するため、上下コイル間及びコイルと溝底間にコ

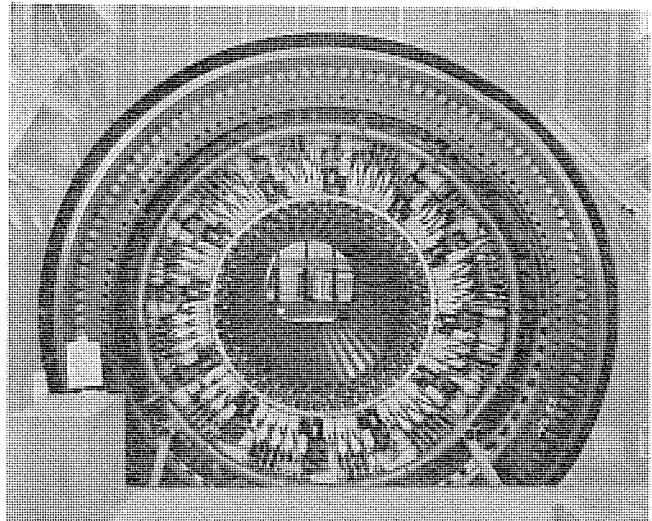


図 8. 固定子コイルエンド

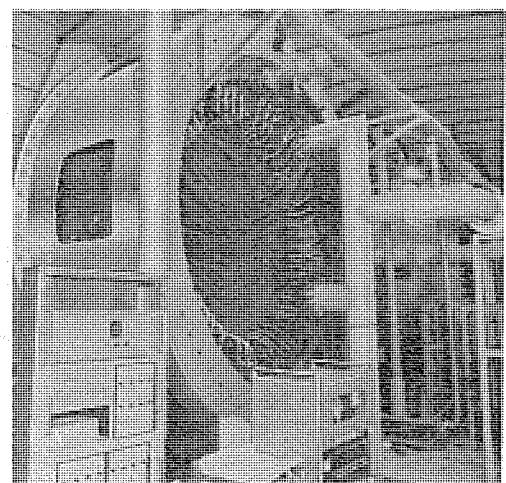


図 9. 試験中の 1,300 MVA モデル発電機

ンフォーミングレイヤ（コイル表面のおうとつ（凹凸）になじみやすい層状絶縁物）を設け面圧の均一化を図るとともに、ウェッジとコイル間に絶縁物のリップルばね（波状の板ばね）をそう（挿）入し、長期間運転後のウェッジの緩みを防止する構造を採用した。これらの構造を図 6. に示す。モデル試験により、この構造では長期にわたってウェッジの押し付け力が保持されることを確認<sup>(4)</sup>した。

コイルエンドの支持方式については電磁力の理論解析や部分モデル試験の外、実機と同一寸法コイルエンドを持つモデル発電機を製作し、長期の通電振動試験を行い各部振動、応力を計測し、この支持方式の信頼性を確認<sup>(4)(14)</sup>した（図 8.、図 9.）。その特徴は次のとおりである。

- (1) コイル内・外径及び上下コイル間に配置した絶縁支持環（レジンリング）により上下コイル間の支持を強固にした。
- (2) 相帶ごとの一括バインドと、相帶間のテーパウェッジによりコイルエンドに円周方向張力を与えた。
- (3) コイルと鉄心の熱膨張差を吸収する軸方向可動機構を設けた。

### 3.3 発電機口出部

定格電流が 30 kA を超えるので発電機口出部も水冷却とした。ブッシングとニュートラルバスは固定子冷却水をバイパスして冷却し、ブッシング CT のカバー、ケース及びニュートラルカバーは所内冷却水による水冷却とした。

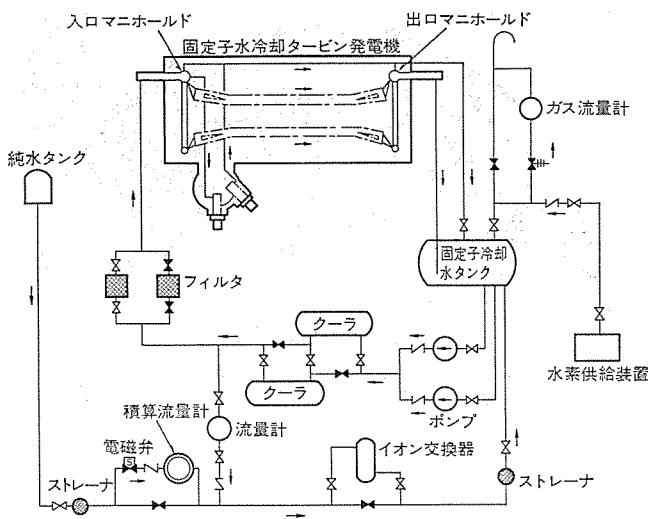


図 10. 固定子冷却水系統図

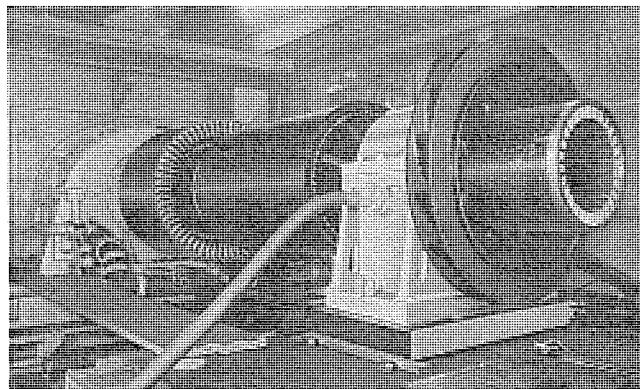


図 11. 高速回転体振動試験室で試験中の 5,500 kW 励磁機回転子

ブッシングにはリーコフを設け相分離母線との直接接続を可能にし、相分離母線は発電機との接続点まで強制風冷とした。

### 3.4 固定子冷却水系統

固定子冷却水系統はポンプ、クーラ、フィルタ、冷却水タンクから構成し、クーラ出口の水の一部をイオン交換器にバイパスして電導度を維持しており、その系統を図 10. に示す。

2 台の冷却水ポンプを駆動する交流電動機はそれぞれ異なる電源系統に接続し、1 台が停止した時には他の 1 台を自動始動する。冷却水タンクの気相部分には水素ガスを封入加圧し、冷却水タンク内での水と空気の接触を防止することにより、水中の溶存酸素による腐食が減少するとともに、絶縁ホースから透過してくる水素ガスがタンク内で空気との混合気を形成することをも防止している。

### 3.5 5,500 kW ブラシレス励磁機

励磁機の基本構成は 920 MVA 発電機用 3,500 kW 励磁機<sup>(3)(15)</sup>と同一であるが、極数の増加と適当な並列回路数の選定、波巻結線の採用による電機子位相リングの廃止により軸長、重量の増加を抑えるとともに 1 次危険速度を過速度域から十分離し振動特性の改善を図った。図 11. に励磁機回転子を示す。

## 4. 工場試験

発電機及び励磁機はそれぞれ単独で性能確認の試験を実施した後、直結し振動確認運転を行った。主な試験内容と結果を以下に紹介する。

### 4.1 発電機工場試験結果

発電機単体試験時に温度、磁束、振動などを計測するため熱電対、サーチコイル、加速度計ピックアップなどを機内外各部に 1,000 点以上取付け、電流、電圧、ガス圧を変え各種詳細試験を実施した。

#### 4.1.1 発電機特性

発電機の無負荷飽和特性、3 相短絡特性はほぼ設計値どおりで、短絡比は保証値 0.58 に対し実測値 0.64 であり、界磁電流は定格負荷条件 (1,300 MVA, 24 kV, 90 % 遅れ力率) で 8,700 A であった。

#### 4.1.2 損失及び効率

タービン定格出力の定格力率における効率は 98.84 % であり、100 % 力率では 99.07 % であった。損失の内訳は機械損と鉄損の和が 34 %、固定子抵抗損と漏れ負荷損の和が 39 %、残り 27 % が界磁抵抗損であった。

#### 4.1.3 温度上昇試験

直接冷却方式の許容温度限界は JEC が未制定であるので、ANSI -C 50-13 を参考に固定子冷却水は 100°C、固定子及び回転子コイルは 110°C と定め、基準温度として固定子入口冷却水を 50°C、低温ガスを 45°C とした。工場試験では正規の製品としてのサーチコイルや熱電対の外に多数の試験用熱電対を固定子コイル素線、固定子鉄心、発電機口出部周辺に取付けて各部温度を測定した。

##### (1) 固定子コイルの温度上昇

表 4. に各種条件における固定子コイル及び固定子コイル出口冷却水の温度上昇値、及びこの結果から求めた定格負荷時の等価温度上昇値を示す。定格負荷時の固定子コイル温度、固定子コイル出口冷却水の温度上昇はおのおの 14.9°C、20.6°C と推定された。なお水素ガス圧の変化による温度上昇の変化はほとんどなかった。

表 4. 固定子コイル温度上昇

(単位 °C)

	鉄損ヒートラン (定格電圧)	銅損ヒートラン (定格電流)	定格負荷時の温 度上昇推定
固定子コイル (上下コイル間サーチコイル)	2.3	12.6	14.9
固定子冷却水出口 (マニホールド) 最高	0.2	20.4	20.6
固定子冷却水出口 (出口側配管)	1.1	18.4	19.5

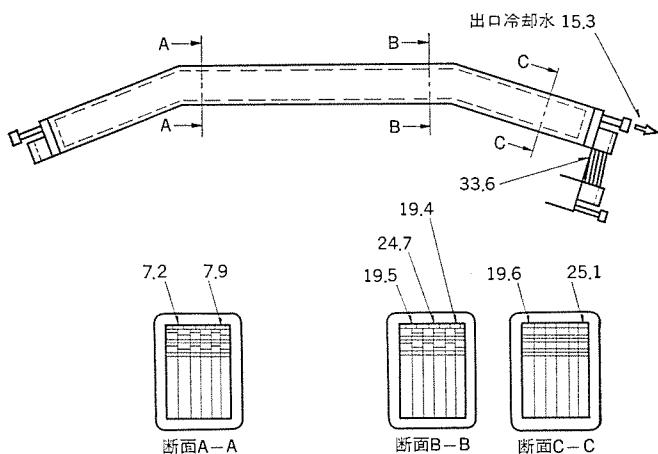


図 12. 固定子コイル素線温度上昇 (単位 °C)

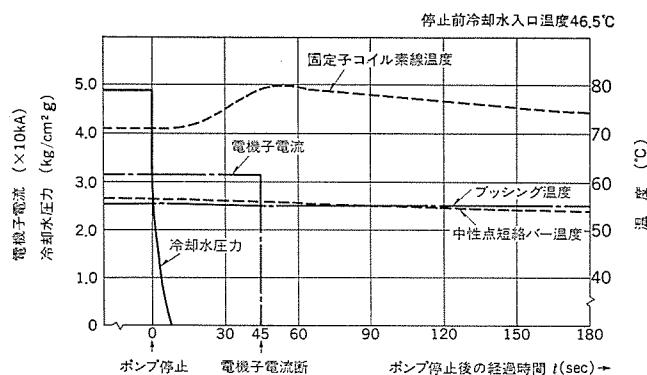


図 13. 固定子冷却水急断試験

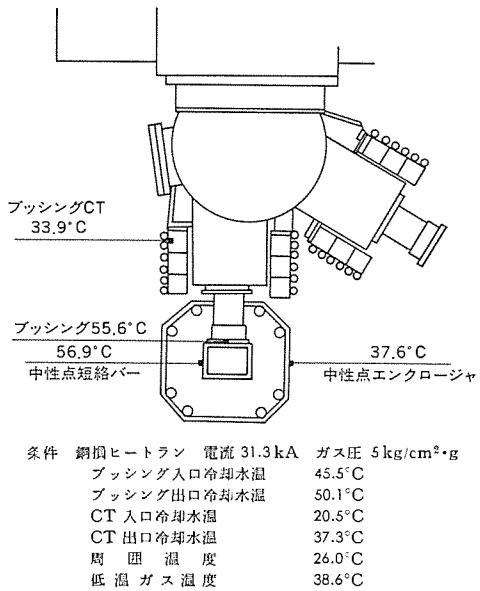


図 14. 発電機口出部温度分布

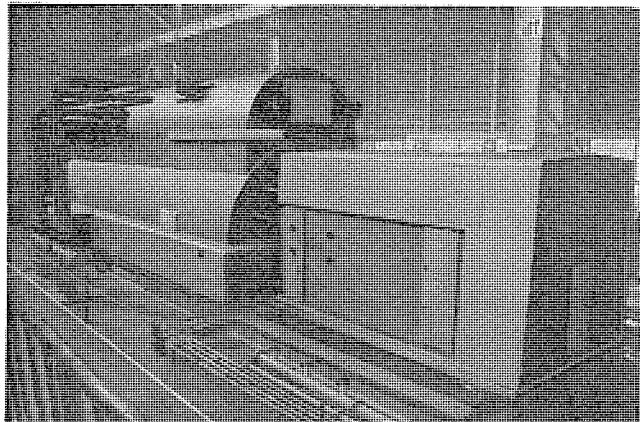


図 15. 工場試験中のタービン発電機及びブラシレス励磁機

固定子コイル素線に直接取付けた熱電対による温度計測結果を図 12. に示す。最高温点(タービン側シリーズつなぎ部)においても温度上昇は 33.6°C であった。

#### (2) 冷却水停止時の温度上昇

固定子冷却水は常用、非常用の 2 台のポンプを備えて水の供給が停止しないよう考慮されているが、万一冷却水が停止した場合を想定し、冷却水停止の 45 秒後に電機子電流をしゃ断する試験を行った。試験結果は図 13. に示すように過渡的なコイル素線の温度上昇は約 8°C であり、問題ない。また冷却水停止後毎分 40 % の割合で電機子電流を減少し、15 % 電流で連続ヒートランを行なう場合も過渡温度上昇は約 8°C であった。

2 台のポンプ切換時は、冷却水圧力の低下時間が短く、素線温度の変化は認められなかった。

#### (3) 回転子コイル温度上昇

全負荷時の回転子コイル温度上昇推定値は 30.8°C であった。

#### (4) 発電機口出部の温度

定格電流通電時の発電機口出部の温度を図 14. に示す。各部とも十分低い温度に納まった。

#### 4.1.4 コイルエンド振動

固定子コイルエンドに加速度計ピックアップを取り付け、電流通電時の振動計測を実施した。定格電流通電時の振動はモデル発電機<sup>(9)</sup>での計測値とほぼ一致し 32 μ(両振幅) 以下であった。部分電圧からの突発短絡試験時の振動値を外挿することにより、本機は定格電圧からの突発短絡に十分耐え得ることを確認した。

#### 4.2 励磁機工場試験結果

励磁機は特性、速応度試験や実負荷試験を含む温度上昇試験などの単体試験を実施した。励磁機電機子巻線、界磁巻線の温度上昇値は 30°C 以下であり、励磁機速応度は 1.84 であった。

#### 4.3 発電機・励磁機直結試験

単体試験を完了した発電機と励磁機を直結し、(1)無負荷無電圧、(2)無負荷定格電圧、(3)定格電流無電圧、(4)無負荷無電圧 111 % 過速度、の各条件の振動確認試験を行なった。振動値は定格速度で  $\frac{2}{100}$  mm(両振幅) 以下、過速度時でも  $\frac{5}{100}$  mm(両振幅) 以下であった。図 15. に試験中のタービン発電機及びブラシレス励磁機を示す。

## 5. むすび

国産最大容量の原子力 1,300 MVA タービン発電機の仕様、構造、工場試験結果について紹介した。

本機は、信頼性の確保向上に最重点をおいて設計製作し、工場試験でその確認を行い併せて各種技術試験を実施した。これらの経験を今後の大容量発電機の製作に十分生かし、我が国の火力、原子力発電の進歩発展に微力ながら全力をつくす所存である。

最後に本機製作の機会を与えていたいたい関西電力(株)のかたがた、及びご指導ご援助くださった関係者各位に深い感謝をささげる次第である。

(昭和 52-3-16 受付)

## 参考文献

- 志岐、甲斐：三菱電機技報、43, No. 4, p. 491 (昭 44)
- 甲斐、速水：三菱電機技報、45, No. 3, p. 356 (昭 46)
- 速水、天笠：三菱電機技報、48, No. 11, p. 1,279 (昭 49)
- 松田、大石：三菱電機技報、51, No. 2, p. 105 (昭 52)
- 志岐、甲斐：三菱電機技報、43, No. 4, p. 530 (昭 44)
- 村上、松田：三菱電機技報、43, No. 4, p. 541 (昭 44)
- 今井、鈴木：三菱電機技報、43, No. 4, p. 547 (昭 44)
- 秦、松岡：三菱電機技報、43, No. 4, p. 554 (昭 44)
- 原、野村：三菱電機技報、43, No. 4, p. 563 (昭 44)
- 秦、松岡：三菱電機技報、41, No. 12, p. 1,522 (昭 42)
- 山本、松岡：三菱電機技報、42, No. 12, p. 1,612 (昭 43)
- 柴山、平林：三菱電機技報、48, No. 3, p. 291 (昭 49)
- Hirabayashi, Kawakami : Proceedings of the 12 th Electrical Insulation Conf. p. 139 (1975)
- 速水、河相：三菱電機技報、50, No. 7, p. 401 (昭 51)
- 河村、松倉：三菱電機技報、49, No. 6, p. 457 (昭 50)

# 制御用コンピュータシステムにおけるデータウェー

池田健夫\*・石坂充弘\*\*・中尾好宏\*\*\*・今道周雄\*\*\*

## 1. まえがき

制御用コンピュータの発達は著しく、演算速度、メモリ容量などの向上は自覚ましいものがある。このような性能向上は、コンピュータによる制御対象の広域化を招来し、プロセス入出力や周辺機器、末端装置などをリモート化する必要が生じた。また、制御のハイアラキ化、信頼性を重視したコンピュータシステム2重化などの要求から、コンピュータ相互間の情報交換が必要になり、データリンク、通信伝送などの技術が進んだ。一方マイクロプロセッサが実用化され制御の分散化が進むと、データ伝送は1対1通信では不十分となり、ハイアラキ的な上下の情報交換から水平的なn対n通信までが要求されはじめた。

データウェーは当初集中形コンピュータシステムのリモート入出力システムとして、ケーブル費や工事費の低廉化をはかるのを第一目的としていたが、今では制御システムの構成手段の中心をなすものとなっている。しかしながら、データ伝送の方式は、あくまでも全システムの最適構成という観点から選択しなければならず、各種方式のもつ得失を十分に検討した上でシステムを構成させる必要がある。ここでは、制御用コンピュータシステムにおけるデータウェーを中心に、その概要を紹介する。

## 2. データ伝送方式の選択と評価

制御用コンピュータのデータ伝送システムに対する要求は、大別すると入出力のリモート化、コンピュータ間リンク、分散化システムから生じているが、実際のシステム設計に当たっては、次のような点から評価を行い、最適方式を選択する必要がある。

### (1) 情報の質と量

- 情報の質としては次の項目があげられる。
- (a) リアルタイム性
  - (b) 信頼性
  - (c) インタアクション（相互関連性）
  - (d) データ長
  - (e) データ発生ひん（頻度）

表1. データの性質

ソース	リアルタイム性(ms)	信頼性	インタアクション	データ長(バイト)	発生頻度(回/HR)
コンピュータ (情報処理)	100~500	大	大	0.5~2K	100~1,000
コンピュータ (DDC)	5~30	大	小	10~50	100~5,000
CRT (グラフィック)	500~1,000	中	大	1~3K	10~60
CRT (キャラクタ)	500~1,000	中	大	0.5~2K	10~60
ラインプリンタ	500~1,000	小	小	80~130	10~100
タイプライタ	500~3,000	小	小	80~130	10~100
プロセス割込	5~10	大	小	1~2	100~1,000
ディジタル入出力	10~100	大	小	2~256	100~3,000
アナログ入出力	10~100	大	小	2~256	20~1,000

これらは主としてデータの送信源とその受信側の機能によって決まる。表1.にその一例を示す。もちろん、この表は送受信源によってそれぞれ要求される情報の質、量に差があることを示すための一例であって、この中の数値は絶対的なものではない。

### (2) システムの構成しやすさ

最近の大形プラントでは制御用コンピュータや管理用コンピュータなどが複数台有機的に結合し、制御システムあるいは情報管理システムを形成している。各サブシステム間の結合には水平的結合と垂直的結合があり、垂直的結合の場合には上位サブシステムと下位サブシステム間の1対1の情報交換が一般的である。これに対し水平的結合の場合は、一つの情報源を複数個のサブシステムが利用するため、n対nの情報交換が行われる。このようなシステムの構成と情報の流れの概念を図1.に示す。

従来の通信回線や、データリンクを使用して大規模なシステムを構成した場合は伝送路が錯綜するが、これを単純化しシステム構成をよりフレキシブルなものにすることを可能にした伝送方式がデータウェーである。しかし、ハイアラキ構成の中では伝送網に要求される性能はその階層のレベルによって異なっており、それらを1種類のデータウェーで満たすことは難しい。そこで、当社は三菱データウェーとして、モデル10、モデル20、モデル30の3機種を統一思想の下に開発し、そのシリーズ化を行うとともに、簡易シリアル伝送システムのモデルμも開発して、データウェーの階層化を実現した。

### (3) システムへの適合性

伝送方式としては、必ずしも性能的、機能的に優れたものが良い訳ではなく、次のようなシステム構成上でのソフトウェア、ハードウェア双方のバランスを考慮する必要がある。

ソフトウェア面では

- (a) コードトランペアレンシィ。
- (b) バッファメモリサイズの縮小。
- (c) 伝送制御手順の統一と簡略化。
- (d) 伝送プログラムのCPU占有率の低下。

などであり、ハードウェア面では

- (a) 伝送システムとコンピュータ間のインターフェースの標準化。
- (b) チャンネルやCPUの処理速度と伝送速度の関係。

がある。

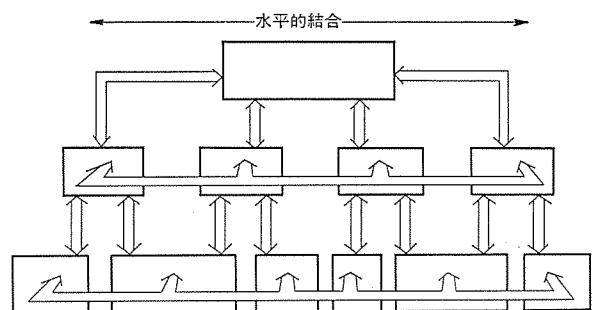


図1. システムの構成と情報の流れ

表2. 《MELCOM》350シリーズ 伝送装置の適用範囲

伝送装置	結合方式	装置の説明	適用対象
(1) 遠隔バスドライバ/レシーバ		フォトカプラを使用した汎用的な並列ラインドライバ/レシーバ	最大1km位までのペリフェラルの遠隔化
(2) データリンク	1:1	垂直結合 ペリフェラルバスに接続して、並列にデータ交換する簡単な通信制御装置	コンピュータ間リンク(通信回線よりも制御手順が簡単)
(3) 通信回線		MODEMを使って公社回線へ接続する場合などに使う、シリアル伝送システム	コンピュータ間や、リモート端末の比較的低速な結合に使う
(4) モデルμデータウェー	1:n	ワード単位でシリアル伝送を行う簡易伝送システム	プロセス入出力や運転盤、操作盤、照光盤の1km以下の遠隔化に使う
(5) モデル10データウェー			プロセス入出力とペリフェラルの遠隔化
(6) モデル20データウェー			コンピュータ間リンク、インテリジェント端末のリンク
(7) モデル30データウェー	n:n	表3.参照	コンピュータ間リンク、インテリジェント端末のリンク及び多数の通信端末接続

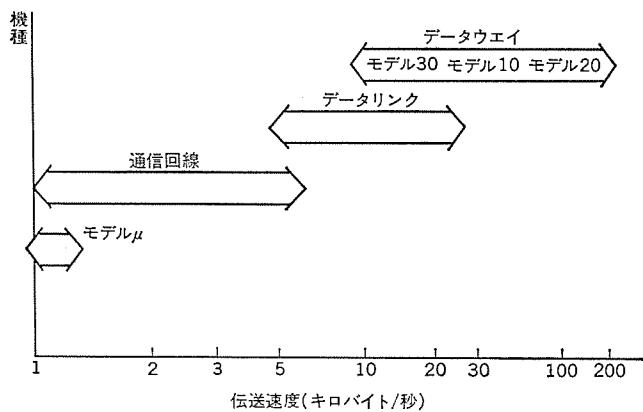


図2. 各方式の伝送速度範囲

以上のような項目に基づいて《MELCOM》350制御用コンピュータシリーズのレポートに含む各伝送方式の適用対象を表2.にまとめた。また、それぞれの伝送速度の範囲は図2.に示すような位置づけができる。このように伝送方式によって、性能はさまざまに異なるが、それぞれの用途に応じて最適のものを選ぶことが重要である。

### 3. 三菱データウェーシリーズ

当社は昭和47年にはじめて、鉄鋼プラントへ伝送速度100キロビット/秒のデータウェーを納入して以来、鉄鋼、水処理、ビル管理など多くの分野に実績をあげている。当社はユーザ各位の要望やフィールドにおける我々の経験に基づき、図3.に示すようなハイアラキ化されたプ

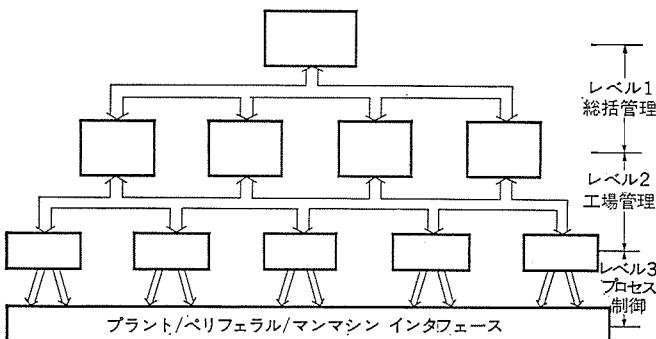


図3. コンピュータによるハイアラキシステムとデータウェー

ロセス制御システム、工場管理システム、総括管理システムを前提として、この各レベルに適したデータウェーを開発し、製品化した。三菱データウェーのモデル10、モデル20、及びモデル30の主要仕様を表3.にまとめて示す。

#### 3.1 三菱データウェー・モデル10

三菱データウェー・モデル10はプロセス入出力とペリフェラルが混在するようなプロセス制御(図3.のレベル3)に適するよう設計されている。この特長を要約すると次のとおりである。

##### (1) 短いデータ伝送の効率化

図4.に示すように最大6ワードまでの可変長フレーム方式をとり、1.5メガビット/秒のビット伝送速度のとき、最大96キロバイト/秒の実効データ伝送速度をもっている。プロセス割込み、プロセス入出力あるいはオペレータコンソールのようにデータ長が短いものをリアルタイムで入出力する用途に適している。

#### (2) 伝送路のフレキシビリティ

伝送路は2本の同軸ケーブルを使用し、放射状、ツリー状、パーティライ

表3. 三菱データウェー主要仕様

項目	モデル10	モデル20	モデル30
伝送路仕様	基本伝送速度 1.5/3 メガビット/秒 ステーション間距離 1キロメータ 使用ケーブル 同軸ケーブル 変調方式 ベースバンド伝送	2メガビット/秒 1キロメータ 同軸ケーブル ベースバンド伝送	6メガビット/秒 1キロメータ 同軸ケーブル ベースバンド伝送
シス	ステーション数 メインステーション 1台 サブステーション 15台	モニタステーション 1台 ステーション 80台	モニタステーション 1台 ステーション 255台
テ	伝送路形状 ループ、ツリー、スター、パーティライ	ループ	ループ
テ	データ交換形式 1:n 通信方式 ロールボーリング/セレクティング	n:n G.A.ボーリング/セレクティング	n:m 任意ボーリング
ム	誤りチェック方式 CRC	CRC	CRC
仕様	データ長 12バイト/フレーム(最大)	4096バイト/フレーム(最大)	可
仕様	プロセス割込 伝送速度(実効) 96キロバイト/秒	可 240キロバイト/秒	19.2キロバイト× 16チャンネル 9600ビット/秒× 48チャンネル
仕様	異常処理 ステーションバイバス メインステーションからのテスト機能	ステーションバイバス モニタステーションによるメッセージの強制消去	ステーションバイバス

コントロールフレーム F C A FCS F

F:フレーム同期をとるための  
フラグビットフィールド  
C:コントロールフィールド  
A:アドレスフィールド  
FCS:伝送エラーチェックのための  
CRCチェックビットフィールド

データフレーム F C DATA FCS F  
最大6ワード

(a) モデル10フレームフォーマット

F DA SA C DATA FCS F  
最大4096バイト

(b) モデル20フレームフォーマット

F T1 T2 T3 ... T24 T25 T26 ダミー

Tn:タイムスロットを示す  
20ビット/タイムスロット

(c) モデル30フレームフォーマット

図4. 伝送フレームフォーマット

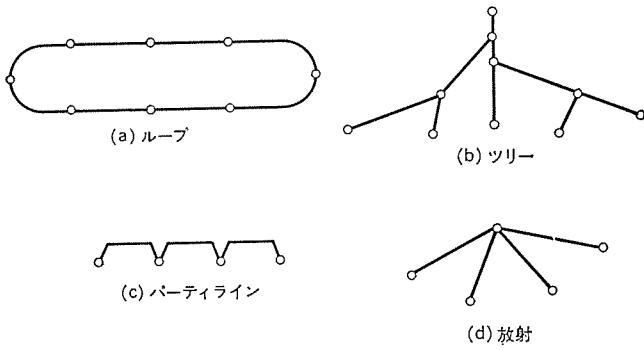


図 5. 伝送路の形態

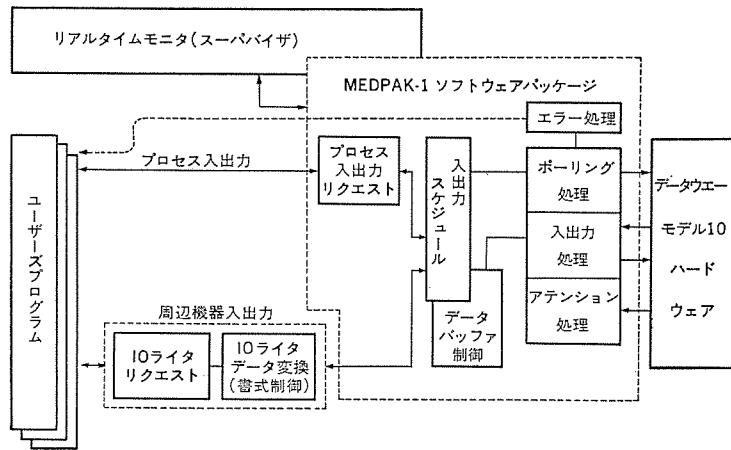


図 6. MEDPAK-1

ン状、ループ状など、ステーションの配置に応じて自由に伝送路の形態を選ぶことができる。(図 5. 参照)

### (3) 信頼性と保守性の向上

ステーションの2重化、伝送路の2重化が可能で、ループテスト機能、サブステーションに接続される各入出力制御装置ごとのテスト機能、システムリセット機能、ステーションバイパス機能(自動、手動、強制)など信頼性と保守性を向上している。

### (4) MEDPAK-1 ソフトウェアパッケージの完備

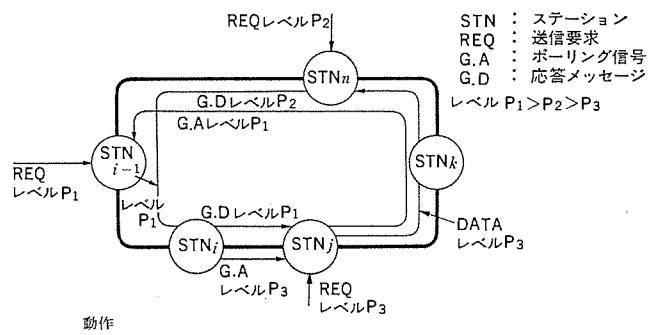
モデル 10 を《MELCOM》350 シリーズのコンピュータに接続する場合は MEDPAK-1 ソフトウェアパッケージにより、モデル 10 のハードウェア・インターフェース及び、伝送制御手順を意識せずにプログラミングできる。例えば、ペリフェラルへ入出力するときは FORTRAN の入出力文と同様の書式でフォーマット文とデータ文を用意し、I/O ライタに対して入出力要求を行えば、それ以後はペリフェラルの管理は一切 I/O ライタと MEDPAK-1 が行う。(図 6. 参照)

また、プロセス入出力の場合、出力は全く非同期方式で WRITE 文によって出力データを MEDPAK-1 に渡してしまう。入力の場合は、READ 文によってユーザープログラムに対する入力データの受渡しが行われる。

伝送関係のエラー処理は主として MEDPAK-1 の内で行われ、回復不能のエラーが生じた場合にのみユーザープログラムにコントロールが移る。図 6. に MEDPAK-1 の構造を示す。

### 3.2 三菱データウェーブ・モデル 20

このデータウェーブは n 対 n 交換方式で最大 4,096 バイトまでの可変長フレーム伝送方式をとっている。コンピュータ間やインテリジェント端末を結んで大量の情報を交換するのに適している。これは主として工場管理(図 3. のレベル 2)の領域をカバーする。



- 動作
1. STNi が送信権を手離し G.A. ポーリング (G.A. レベル P3) を出す。この時 STNj にレベル P3 の送信要求が発生 (REQ, レベル P3)
  2. STNj は STNn へデータを転送する (DATA レベル P3)
  3. STNn が送信要求レベル P2 を立て STNj へ応答メッセージ (GD レベル P2) を出す。
  4. STNi-1 は応答メッセージに送信要求レベル P1 を立てる。
  5. STNj は送信権を放棄し G.A. ポーリング (G.A. レベル P1) を送る。
  6. STNk, STNn は G.A. ポーリング (G.A. レベル P1) を中継する。
  7. STNi-1 は送信権を得る。

図 7. モデル 20 の基本動作

モデル 20 の特長は次のとおりである。

#### (1) ポーリングオーバヘッドの減少

モデル 20 は G.A. ポーリング (Go Ahead Polling) 方式を採用しており、リンクを確立するまでの時間を短くしている。これは送信権をもつステーションが、それを放棄するときにループ上にポーリング信号をのせ、送信要求があればループの一巡時間以内に送信局を決定する方式である。この基本動作を図 7. に示す。

#### (2) 大容量データの高速転送

伝送フレームの形式は図 4. の(b)に示すとおり、最大 4,096 バイトまで可変長のフレーム伝送が行えるため、伝送効率は最高で 98.6% まで高めることができ、実効伝送速度は 240 キロバイト/秒に達する。

#### (3) インテリジェントなステーションコントローラ

n 対 n 伝送をするためには、ステーション自体に高度の判断機能(インテリジェンス)を要し、コンピュータを接続するステーションではコンピュータ自身がこの機能を受持つが、端末装置だけが接続されるステーションでは、次のような機能を持ったマイクロプロセッサ内蔵のステーションコントローラを附加できる。

##### (a)宛先アドレスの生成

##### (b)デバイスのリザーブ/リリース/フォースドリリース

##### (c)送信/受信のタイムアウト監視

##### (d)伝送エラー処理

##### (e)データの前処理

#### (4) MEDPAK-2 ソフトウェアパッケージの完備

MEDPAK-2 の構造は、リザーブ/リリースマクロサブルーチンを持つこと、プライオリティの処理部を持つことに加えて、MEDPAK-1 と同様の特長を備えており、ユーザープログラムの作成にあたっては、データウェーブのためにプログラム上特別な考慮を必要としないのが大きな特長である。

### 3.3 三菱データウェーブ・モデル 30

モデル 30 データウェーブは 1 フレームの中にアドレス部、コントロール部、データ部を含む方式とは異なり、タイムスロット方式(チャンネル多重)を採用している。このタイムスロットを次のような機能ごとに分けて使用する。

### (1) 割込信号スロット

スロット中の各ビットを割込信号として扱うことでコンピュータの接続されるステーションに割当てられる。万一、コンピュータが故障した場合、直ちにバックアップ側のコンピュータへ割込先を切換えるよう考慮されている。

### (2) ビット信号スロット

スロット中の各ビットをデータとして扱うことで、ある特定ビットを時系列的にみれば一連の情報を構成する。すなわち通信回線と同じく、あらかじめ決められたステーション間を1対1で結ぶために使用され最大48回線までとることができる。

### (3) ワード信号スロット

スロット中のワード(16ビット)をデータとして扱うことでn対n情報交換、又は1対n情報交換に使用する。このスロットを使って任意にn対nの情報交換を行えるステーション(能動ステーション)は最大16、また、能動ステーションからの許可を得て動く受動ステーションは最大240までとることができる。

以上のようにモデル30は多数のステーションを接続でき、しかも現在異種コンピュータ間の唯一の標準インターフェースとも言える通信回線インターフェースをもつたため、総括管理から工場管理に至る領域(図3. 参照)をカバーすることができる。

モデル30の特徴は次のとおりである。

#### (1) 任意な通信制御手順

専用チャンネルは1対1方式であり、1対向間では他の回線とは無関係に制御手順を選ぶことができる。ハードウェアインターフェースは、通常のMODEMと同じRS、CS、CDの制御信号とデータ信号とからなる。したがって、どのようなコンピュータや端末とも容易に接続できる。

#### (2) 保証されたレスポンスタイム

割込信号は固定のタイムスロットを割当てられているため、伝達時間は必ずループ一巡時間内にあることが保証されている。また、n対n交換チャンネルも伝達時間は同様に保証されている。したがって1チャンネル当たりの伝送速度は遅いが、フレーム伝送方式のように待ち合わせの問題を考慮する必要はない。

#### (3) MEDPAK-3ソフトウェアパッケージの完備

MEDPAK-3はワード信号スロットに対してはMEDPAK-2と同じ構造をしており、ビット信号スロットに対してははん(汎用)用の通信回線制御標準プログラムパッケージ(LCP)をそのまま使用して、両者を組んだ形になっている。

またこのパッケージは、システムの規模に応じてパラメータを変えることにより、専用チャンネル用LCPの取外し等必要モジュールの組合せが可能でコンパクト性が考慮されている。

#### 3.4 三菱データウェーブ・モデルμ

モデルμは伝送手順をもったデータウェーブではなく、ワード単位で伝送をする簡易形のラインシェアリングシステムである。伝送ラインは10対の多心ケーブルを使用し、パーティライン状に最大8台までのプロセス入出力ステーションを接続できる。

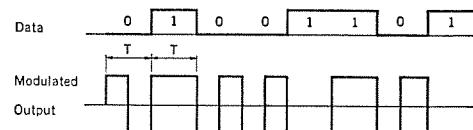
モデルμはコンピュータ本体に直結することも、データウェーブステーションの下に接続し、ブランチウェーブとして使用することもできる。主な用途は距離1km以下のプロセス入出力やオペレータコンソールの入出力などであって、その主要仕様を表4.にまとめて示す。

#### 3.5 変復調方式

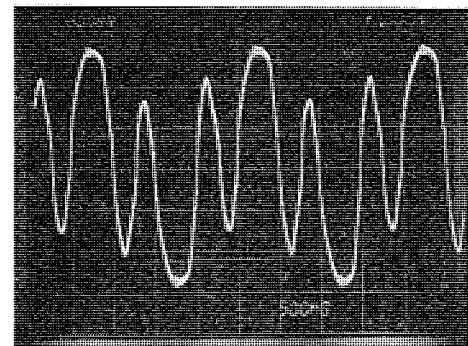
三菱データウェーブシリーズはいずれもベースバンド伝送を行っているが、制

表4. モデルμの主要仕様

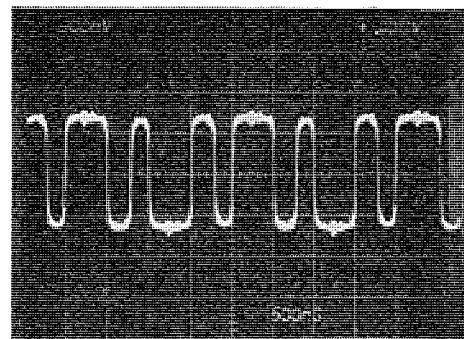
項目		仕様
伝送路仕様	基本伝送速度 最大ケーブル長 使用ケーブル 変調方式	20キロビット/秒 1キロメータ 10対多心ケーブル ベースバンド
システム仕様	ステーション数 伝送路形態 データ交換形式 誤りチェック データ長 伝送速度(実効)	8台 パーティライン 1:n パリティチェック 1ワード 500ワード/秒



(a) 変調信号波形



(b) 受信波形(“01”交番パターン、伝送距離1km)  
復調器入力トランス1次側



(c) 振幅等化器出力((b)に対応)

図8. DWM変調方式

御用システムで要求される高信頼度を確保するため、独自のDWM変調方式をとっている。図8.はDWM(Double Width Modulation)方式の原理図と実測波形を示すが、この方式の特長は同期はずれからの復帰が容易で、耐ノイズ性が特に優れている点にある。

#### 3.6 実装方式

ステーションは《MELCOM》350シリーズの標準キャビネット(高さ1,800mm)に入出力のコントローラ、プロセス入出力ユニットなどとともに

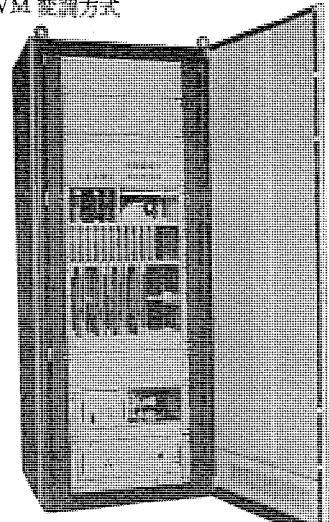


図9. ステーションの構成

に実装される(図9. 参照)。モデル30のビット信号スロットを使って通信回線接続をする場合、端末数が少なければモジュール形の小形箱体を用意することができる。

#### 4. データウェーの適用例

図10.は三菱データウェー・モデル10をビル総合管理システムに適用した例である。

メインステーションはコンピュータの高速チャンネルに接続され、サブステーションと高速でデータ交換を行う。CRTはコンピュータとの間でのみ情報交換をする。サブステーション1からサブステーション2へ情報を転送する場合はコンピュータを経由する。多くの入出力はゆっくりとした入出力周期で十分なため、モデルμによってとり込まれている。

図11.はモデル20による一貫プロセスの管理システムの例で各プロセスの状況はCRTに表示され、またその状況入力はCRTのキーボードによって行われる。この情報は例えばステーション5から、ステーション1、ステーション2、ステーション3へと送られるため、ステーションの下にインテリジェントコントローラをおいて、ファンクションごとに送り先アドレスを変えている。

またコンピュータ1が故障した場合にはコンピュータ2に一部の機能を代行させるために、例えばステーション5からコンピュータ1へ送っている情報をコンピュータ2へ切換えるなどの機能も行う。

図12.にはモデル30の生産管理システムにおける適用例を示す。これは互いにバックアップしあう3台のコンピュータとその下の生産管理端末がデータウェーによって接続されている。端末はいずれも通信回線インターフェースをもっており、それぞれが200~9,600ビット/秒で動作す

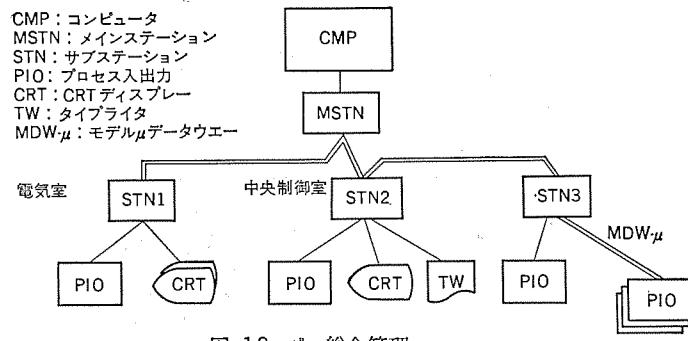


図10. ビル総合管理システム

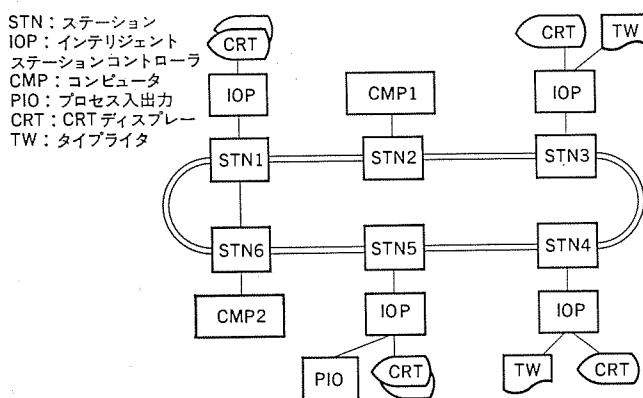


図11. プロセス管理システム

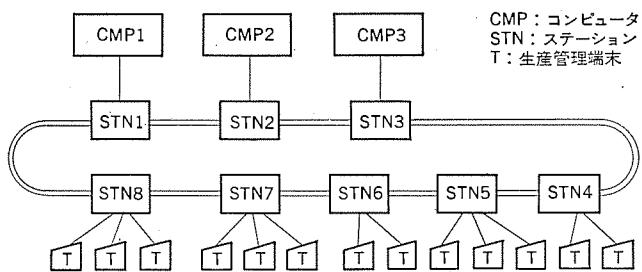


図12. 生産管理システム

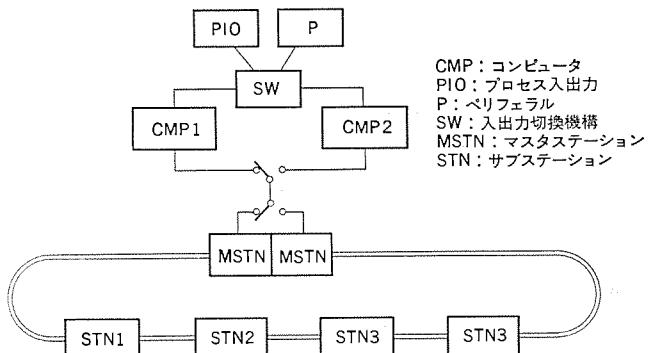


図13. 清水場制御システム

る。端末はあらかじめ決められたコンピュータに接続しているが、万一、そのコンピュータが故障した場合には、それに接続されている端末がすべてバックアップ側のコンピュータ側に切換えて動作を続行する。

図13.は2重系コンピュータをもつ浄水処理場システムの例である。2重化はCPUだけでなく、補助メモリ、ペリフェラル、コンピュータ直結のプロセス入出力コントローラ、データウェーのメインステーションに及んでおり、システム全体がダウントする可能性を極力小さくしている。また、データハイウェーからの入力はすべて両系のコンピュータに常時入力され、その処理は常に平行して行われているため、切換時の連続性が保たれるようになっている。

#### 5. むすび

制御用コンピュータの進歩とともにデータウェーのようなデータ伝送システムは今後も急速に発達していくであろう。いま、最も注目される伝送方式は光伝送方式であり、その開発も積極的に進められているが、光ファイバの持つ耐ノイズ性、広帯域性、低損失、などの特長を生かした新しいデータウェーの出現は目前に迫っている。

#### 参考文献

- (1) M. Terao, et al.: A Computer Compensated Process Control System With Ternary Coded Telemetering Selector, Proceedings of IFAC (Moscow)
- (2) R. L. Aronson : Line-Sharing System for Plant Monitoring And Control, Cont. Engng., Jan. (1971)
- (3) Goahed Pollingによるループ伝送システム  
石坂、覚塙、松永:昭和51年度電子通信学会総合全国大会  
予稿集, pp. 6-124

# 有線放送用電子交換システムMDS-21

勝野平蔵\*・中野修身\*・前田良雄\*\*・杉村滋夫\*\*・北村春夫\*\*

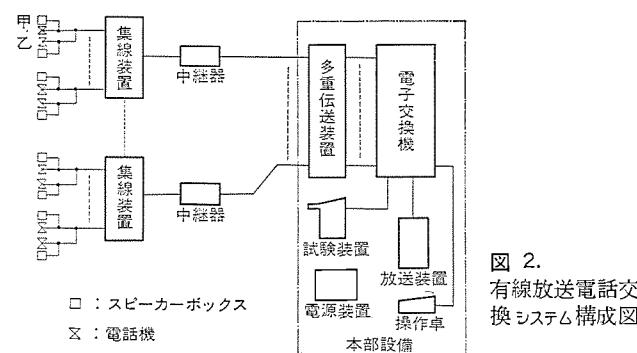
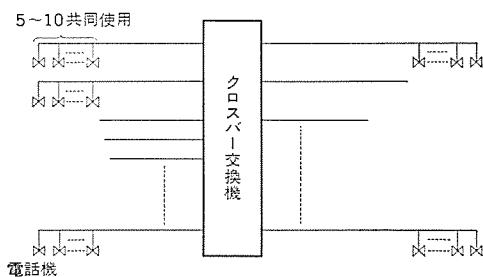
## 1. まえがき

有線放送電話事業は発足以来 20 余年、農業・漁業地域において、常に大きな役割を果してきた。しかし、例えば農漁協での生産・出荷・仕入情報などの迅速化や多様化の問題、あるいは個人的な電話利用の増加や遠距離回線利用での通話品質の問題など、今日有線放送がかかえている多くの課題を解決するためには、新しい理念に基づく、新しいシステムへの脱皮が求められてきた。

そこで、従来の有線放送電話の機能の充実・改善を図るとともに将来の情報通信ニーズの多様化・高度化に対応できる地域総合情報通信網を目指した有線放送用電子交換システム「MDS-21」を開発したのでその概要を紹介する。

## 2. システムの概要

従来のクロスバー交換機を用いた有線放送系では、図 1. に示すように交換機から伸びた 1 対の線路に多数の加入者 (5 ~ 10 人) が共同で接続されていたので、加入者の一人が通話中であれば他の使用はできない。また交換機から遠距離に位置する加入者は通話品質が悪くなる。これに対し新しい系では図 2. に示すように、まず村落ごとに集線装置を設け 1 対の線路に 2 加入者を共同で接続する。集線装置当たり最大 140 加入者を収容できる。次に集線装置と交換機を 2 対の線路で接続するため、デジタル式時分割多重<sup>(1)</sup>を採用し、本部に多重伝送装置を設ける。音声の変調は定差 (ΔM) 変調方式、交換機の制御方式は蓄積プログラム方式、交換方式は時分割交換方式で、主要装置、回路は信頼性向上のため冗長度構成とした。このシステム



の特長と効果を次に述べる。

### (1) 2 共同電話の効果

従来の 5 又は 10 共同電話機に比べ、著しく話中率が減少する。

### (2) ΔM 変調方式の特長

ΔM 変調方式は信号対雑音比 (S/N) に対する符号誤り特性が、PCM 方式より優れ、回路方式が簡単である。また ΔM 変調方式による音声デジタル化で時分割多重伝送、時分割交換が可能で、かつ伝送距離に関係なくほぼ均一な品質がえられる。

### (3) 集線化と時分割多重の効果

2 対のケーブルに多くの通話チャンネルを時分割多重して伝送することにより線路費用が減少する。またデータ、ファクシミリ、センサ信号などのチャンネルも時分割多重に含められ、多目的利用が簡単にできる。

### (4) 時分割交換方式の特長

大規模集積回路 (LSI) を採用し、小形で耐環境性に優れ、従来のクロスバー交換機に比べ、特別な空調設備を必要とせず、寸法・重量とも 1/3 以下で設置工事が簡単になった。

### (5) 蓄積プログラム方式

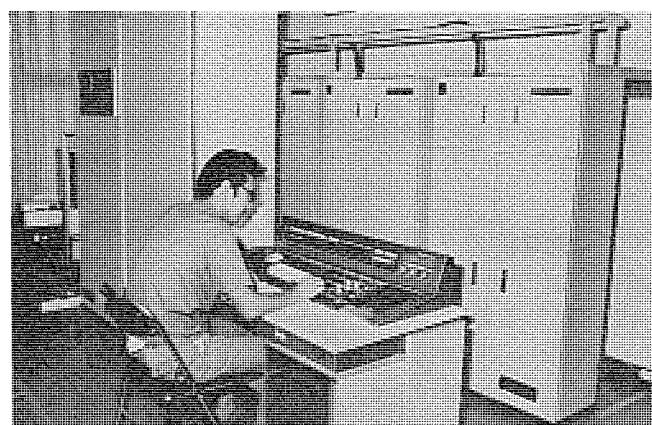
内蔵のコンピュータを利用して、複雑な交換機能や保守、診断機能がプログラムにより容易に実現できる。また機能の追加変更も比較的簡単に実現できる。例えば、放送内容に応じて必要な加入者だけ選択して放送する機能や、加入者からの放送機能など、放送サービスが向上する。トーキサービス、会議電話など通話サービスも向上する。また加入者の収容位置に関係なく、電話番号の付与が可能なので、引越しても電話番号の変更を要せず加入者サービスが向上する。更にデータ、ファクシミリ等の端末機器相互あるいは、コンピュータとのオンライン情報伝送のための交換制御も可能で、多目的に使用できる。本部交換機室内の設置状況を図 3. に示す。

### 2.1 主要方式及び諸元

(1) 交換方式： 4 線式時分割電子交換方式

(2) 変調方式： 2 重積分形 ΔM (定差変調) 方式

標本化周波数 36 kHz



- (3) 交換制御方式：蓄積プログラムによる共通制御方式
- (4) 回線容量：3,500回線  
(2共同7,000加入者)
- (5) 集線接続数：最大50
- (6) 交換機-集線装置間伝送路
- ・信号方式 共通線信号方式
  - ・多 重 度 24(共通線4ch, 通話路12ch, 放送2ch, センサ用4ch, データファックス2ch)
  - ・伝送速度 864 kbit/s
  - ・中継間隔 2~4 km
- (7) 加入者線路：
- ・信号方式 LD方式, 2共同ベルース方式
- (8) 加入端末：スピーカー及び610形電話機  
データ端末  
ファクシミリ端末

- (9) トラフィック条件：
- ・総発呼量 78アーラン
  - ・集線当たり呼量 標準3.14アーラン(呼損5%)

- (10) 通話損失：加入者-交換機間 5dB以内

## 2.2 機能

### 2.2.1 放送

- (1) 放送装置から下記の種類の放送が可能である。

- (a) 自動放送 一斉放送, 地区別放送
- (b) 手動放送 一斉放送, 地区別放送, 支所別放送, 集線別放送, 緊急放送, 業務放送, 加入者選択放送

### 2.2.2 ページング放送

あらかじめ登録された加入者から特番ダイヤルすることにより, その加入者の電話機から次の放送ができる。

支所別放送, 加入者選択放送, 集線別放送, ただし, 加入者選択放送の対象者は放送前に, 操作卓又は試験装置より登録する。

### 2.2.3 電話

- (1) 2者間通話：2共同間通話も可
- (2) 会議通話：最大20加入者まで参加メンバ登録は案内に依頼
- (3) 案内
- (4) 障害受付
- (5) 緊急通話：110番, 119番, 放送中の発信
- (6) トーキサービス：最大5種類, 同時接続加入者数任意
- (7) 代表電話：5群(1群3回線)
- (8) 自動ハウ送往出：(ハウ送往出後なお受話器はずしの加入者は試験装置プリントに印字)

### 2.2.4 データ及びファクシミリ

- (1) データ相互交換接続
- (2) ファクシミリ相互交換接続

## 3. 装置・方式の概要

### 3.1 集線装置

集線装置は70の加入者回線を12の通話チャンネル又は放送チャンネルに交換接続するほか, データファクシミリ用24チャンネル, センサ用4チャンネルを交換機へ中継接続する。これら各チャンネルは, デジタル多重化されて交換機に接続される。また集線装置の動作は共通線信号によって交換機から遠隔制御されるとともに, 集線装置から交換機へ, 全加入者のループ状態, 通話チャンネル対応の選択信号, 集線装置の

動作監視情報などを共通線信号で送る。系統図を図4に示す。

### 3.2 加入端末

加入端末はスピーカーボックスと電話機で構成され, スピーカーボックスにはスピーカー, スピーカー/電話切換制御, 甲/乙秘話制御回路, スピーカーアンプ, 緊急発信用スイッチなどが内蔵され, 電話機はダイヤルスピード20pps, 秘話方式は極性反転方式である。

### 3.3 中継器

中継方式は符号再生中継方式で, 中継間隔は0.65mmφケーブルの場合, 2~4kmとなっている。中継器は柱上に設置され, 電源は伝送路の重信回線を介して, 交換機又は集線装置より供給される。また中継器の入出力信号レベル, 電源電圧及び線路ヒューズの監視情報も重信回線より交換機へ伝送される。

### 3.4 本部電子交換設備

本部電子交換設備は大きく分けて, 多重伝送装置と交換本体より構成され, 放送装置, 操作卓, 試験装置及び電源装置が付帯設備として設置される。これら構成部の相互系統図を図5に示す。

#### 3.4.1 電子交換本体

電子交換本体は, 時分割スイッチを含む通話路部と制御部とから構成される。

##### (1) 通話路部

通話路部は, 多重伝送装置からの時分割多重パルス列から, フレーム同期検出, 共通線信号の分離と1ブロック分のバッファリング, 誤り検出などをを行うとともに, タイムスロット入替えにより各種トーン, トランク又は他加入者とを接続したのち, クレームパルス及び共通線信号の付加等が施され, 多重パルス列として多重伝送装置に返送する。

通話路スイッチは4線式時分割スイッチ方式を採用し, 入側タイムス

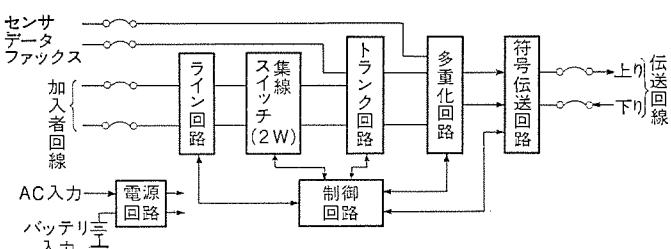


図4. 集線装置系統図

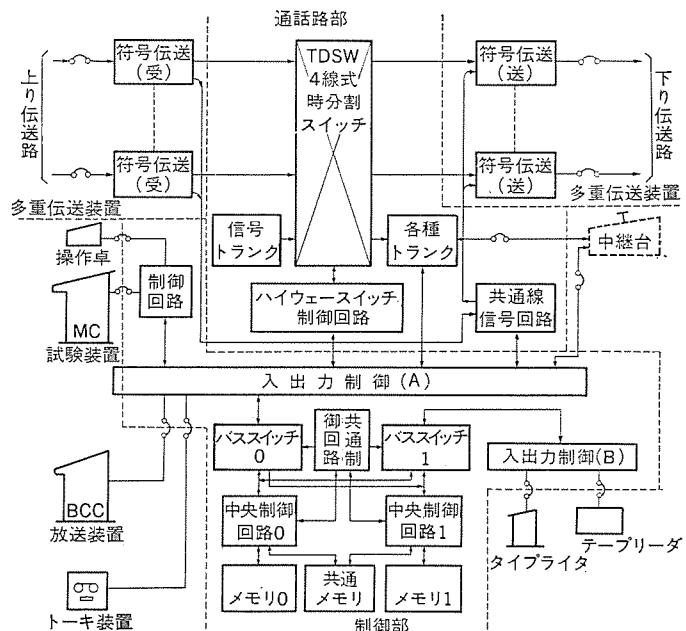


図5. 電子交換機系統図

ロットシフタ (T) - ハイウェー ゲート (S) - 出側 タイムスロットシフタ (T) の 3 段スイッチで構成され、内部ブロック率の低減が図られている。通話路スイッチ冗長度構成として、N+1 予備回路方式を採り、各ハイウェーは予備ハイウェーに切換えられるよう (迂) 回路が構成されている。また通話路部の主要な制御回路は 2 重化されている。通話路部の主要な方式・諸元を下記に示す。

- (a) 方式 4 線式  $\Delta$ M 時分割方式
- (b) スイッチ構成 T-S-T 3 段
- (c) ハイウェー多重重度 最大 20
- (d) ハイウェー多重重度 72
- (e) ダイヤル パルス 受信器数 最大 32
- (f) トーキー ランク数 最大 5
- (g) 会議 ランク数 1 (アナログミキシング)
- (h) 共通線 ランク数 最大 50
- (i) 試験 ランク数 1

#### (2) 制御部

制御部は通話路、試験装置、操作卓及び放送装置を制御するとともに共通線信号により集線装置を遠隔制御する。また、ソフトウェア デバッグのため、システムタイプライト、テープリーダ等を接続することができる。制御部のハードウェアははん(汎)用ミニコン《MELCOM》70 を交換機向きに再設計したもので、命令の一部追加、マイクロプログラムによる演算制御方式の採用により、論理回路の小形化、ハードウェアの故障診断機能向上が図られている。また高信頼性を確保するため、CPU は 2 重構成とし、運転形式は、片系運転、片系待機とし、運転中の CPU に障害が検出されれば、自動的に待機中の CPU に切換えられる。また待機中の CPU は常時、自己診断プログラムを走らせ、正常性を確認しつつ待機している。制御部の主要方式・諸元を下記に示す。

- (a) 演算部
  - サイクルタイム  $1.6 \mu\text{s}$
  - 演算制御方式 マイクロプログラム 方式
  - 命令数 基本 43
  - アドレッシング 直接 256 語、間接 1 レベル、相対 -127, +128
  - 演算レジスタ 4
  - ワード構成 16 ビット + 1 パリティ
  - 割込制御 優先 レベル数 内部 1, 外部 16
  - 要因数 内部 5, 外部 任意
- (b) メモリ部
  - プログラムメモリ IC-ROM (RAM も可)

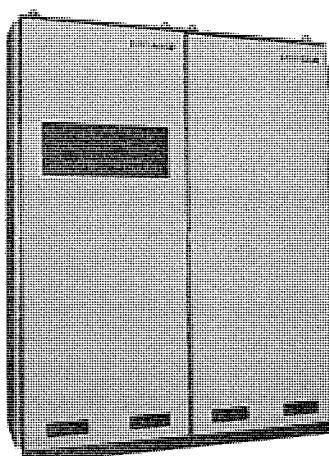


図 6. 電子交換本体及び多重伝送装置

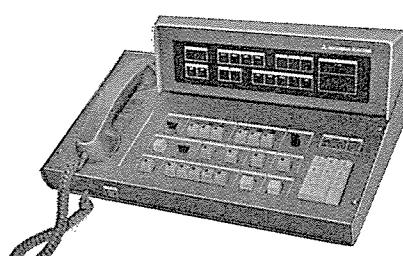


図 7. 操作卓

一時メモリ IC-MOS RAM  
局情報・加入者情報 IC-CMOS RAM (2 次電池内蔵により不揮発性)

#### 3. 4. 2 多重伝送装置

各集線装置と交換機通話路部との間で時分割多重 パルスをユニポーラ  $\leftrightarrow$  バイポーラの符号変換を行うとともに、集線 3 方路分を多重化して、1 ハイウェー信号 (72 多重) を作り出す。(ラインバッファメモリ内蔵)、また中継器、集線装置の符号伝送機能の正常性を点検する監視機能も含まれている。

交換本体及び多重伝送装置の外観を図 6. に示す。

#### 3. 4. 3 操作卓

操作卓は事務所に設置し、一般加入者への電話案内受付けのほか、操作卓キーボード操作により会議 メンバ、加入者選択放送対象者の登録、放送中加入者への依頼接続、110 番、119 番への発信者番号表示、加入者状況の確認などができる。外観を図 7. に示す。

#### 3. 4. 4 試験装置

試験装置はシステムの保守(障害表示、加入者情報、局情報の変更、試験、トラブル情報の収集、等)を行うに必要な表示、プリンタ及び操作部を備えている。また加入者からの障害申告の受付け、集線装置及び中継器との打合わせのための電話機が接続されている。試験装置の外観を図 8. に示す。

#### 3. 4. 5 放送装置

放送装置は、ラジオ、テープレコーダー、レコードプレーヤー、マイク、タイマ及び制御卓より構成されている。自動放送はタイマが指定する時刻にテープレコーダーが動作して、あらかじめ録音されていた放送を流す。緊急放送は放送室又は宿直室から、他の放送に優先して、放送ができる。地区別放送は最大 7 地区、支所別放送は最大 15 支所、集線別放送は最大 50 集線である。

#### 3. 4. 6 本部用電源装置

本部用電源装置の定格は、入力 AC  $200 \pm 20 \text{ V}$ , 4 kVA (充電時最大)、出力 DC  $48 \text{ V } 22 \text{ A}$  (平常動作時) で集線装置と同様 10 時間停電に耐えうるよう設計されている。

### 4. ソフトウェア

この交換機のプログラムは機能上、モニタ、呼処理、放送処理、保守、試験及び初期設定プログラムに分割される。更に、呼処理・放送処理については、入力処理、内部処理及び出力処理に細分され、各機能の概要は次のとおりである。

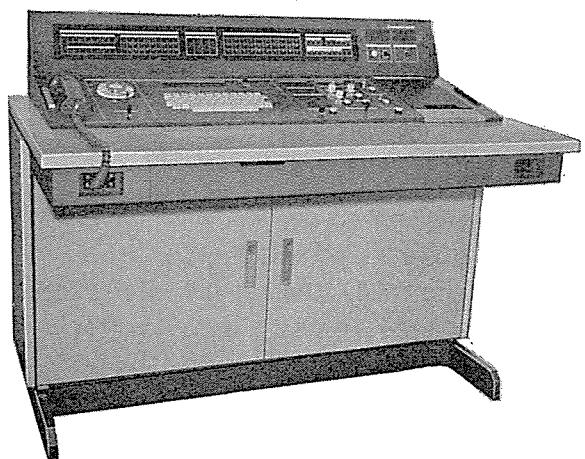


図 8. 試験装置

#### 4.1 モニタ

各プログラムの実行順序を決め、内部割込み、外部割込みの管理も行う。

#### 4.2 呼処理プログラム

##### (1) 入力処理

ライン監視、トランク監視及びダイヤルパルス受信器からの情報を収集し、時間監視などを行い、内部処理に引継ぐ。

##### (2) 内部処理

入力処理からの情報と、加入者の通話状態によって、発信音接続、ダイヤル受信数字の蓄積、呼出音接続、応答接続、終話などの実行すべき処理を決める。

##### (3) 出力処理

内部処理からの情報によって、ハイウェーへトーン送出、通話用バス接続等通話路の制御及び集線装置へトランク制御、通話路スイッチの制御等の情報を出力する。

#### 4.3 放送処理プログラム

##### (1) 入力処理

放送装置からの放送予告及びこの放送の開始又は終了、放送種別の指定等の情報を解析して内部処理に引継ぐ。また放送中通話している加入者の終話監視を行い、終話をしたならば放送対象者リストにセットし、放送接続するよう出力処理プログラムを始動する。

##### (2) 内部処理

入力処理からの情報又は呼処理ページング放送への特番ダイヤル受信により、放送予告及び本放送の開始・終了、放送対象者リスト作成、既に放送中なら放送種別による優先度の判定を行い出力処理に引継ぐ。

##### (3) 出力処理

放送対象者リストに基づき、放送接続又は切断、話中加入者への予告送出、放送アンプの電源ON/OFF等の制御信号を集線装置に送出する。また放送用バス接続制御命令をハイウェー スイッチ制御回路に出す。

#### 4.4 保守・試験プログラム

操作卓の制御・試験装置からのコマンド解読の実行、ハード又はソフトによる障害監視結果の印字、定期自動試験による各装置の動作チェック、トラフィックデータの収集・出力等の処理を行う。

これらのプログラムは機能追加・変更が容易になるようモジュール構造にした。プログラムには定期的に走るものと、呼の発生によって走るものとがある。定期的に走るものについては、8 msのクロック割込みを利用してモニタが実行管理するとともに、各プログラムの実行優先度を四つのレベルに分割し、時間精度の要求度に応じて、優先レベルを割当て実行制御している。

プログラムはアセンブル言語で開発し、約40 Kステップである。CPUの使用能率は20集線収容で約50%（実測値）であった。

### 5. 保守・試験機能

交換機は24時間運転のために高い信頼性が要求される。この交換システムは、装置そのものの高信頼性を図っているほか、主要装置の冗長化や障害検出回路・試験回路の設置、保守・試験プログラムなどによって迅速な保守ができるよう考慮されている。ハードウェア及び

ソフトウェアが分担して、保守・試験機能を実現しており、マンマシンコミュニケーションは試験装置のキーボード・ランプ表示・プリンタなどにより行われる。

#### 5.1 保守機能

保守に必要なコマンドが数多く用意されており、加入者情報の変更、トランク、通話路、ラインのMake Busy/Make Idle等の局情報の変更、トラフィック情報のタイプアウトなどが可能である。

#### 5.2 障害検出

ハードで検出できる障害は、各種装置の電源異常、ヒューズ断、クロック断、温度異常上昇などがある。また交換機・集線装置間伝送路については、線路ヒューズ、上り・下り回線の同期、中継器の信号レベル異常など、CPUについては、プログラム暴走、メモリパリティエラー、メモリガードエラー、不正命令、マイクロプログラムパリティエラーなどがある。

ソフト的には、呼処理実行中に検出されるもの、定期自動試験プログラムによる動作監視で検出されるものがある。

#### 5.3 試験機能

障害発生時の障害点の切分け、予防保全のために種々の試験機能がある。一例として下記のような試験機能がある。

通話路部は、通話路導通試験をバス接続ごとに行い、導通不良のときは、障害ハイウェーを調べたあと、予備ハイウェーに切換え保守者に知らせる。各種トランクは定期的に自動試験を行い動作の正常性をチェックしている。

集線装置は、内蔵のテストトランクを利用して、交換機と集線間の通話路導通試験、各種トランク、加入者回路、通話路スイッチの試験を定期的に行う。

更に、障害時には状況を詳しく調べるため、オンライン試験コマンドが数多く用意されている。

加入者端末については、特殊操作で端末側より試験が可能で、電話機、スピーカー、甲・乙識別、緊急スイッチなどの機能と自己の電話番号の確認ができる。

#### 5.4 障害復旧

CPU・通話路など、冗長度構成をとっているので、通話に妨害を与えることなく、パッケージの交換だけで復旧可能である。

### 6. む す び

以上、有線放送用電子交換システムについて、その概要を紹介した。このシステムは愛媛県伯方町農業協同組合において、昭和51年10月からサービスを開始、期待どおり順調に稼動、所期の性能が確認された。今後このシステムの放送、電話、ファクシミリ、データ伝送などのサービスを更に充実させるほか、防災、防犯、自動検針、等の新サービスの拡充、農場管理・用水管理等の適用分野の拡大を図る計画である。

このシステムの開発について、ご協力をいたいたいた伯方町農業協同組合の山岡組合長、赤瀬参事ほか有放部の皆様に深く感謝します。

### 参 考 文 献

- 松村・前田・齊藤・北村：可搬形時分割電子交換システム、三菱電機技報、49、No. 2、163（昭50）

## 1. まえがき

近年の世界的不況と、国内の設備投資の伸びやみはホイストの需要構造にも大きな変化をもたらしてきた。主な傾向として、

- (1) 設備拡張のためなく、合理化、省力化のための投資が増加した。この用途の潜在的な需要もかなり根深いものがあると思われる。このため、用途にマッチした特殊仕様品の割合が特に増加した。
- (2) 従来の設備投資の主流を占めていた2次産業向けが減少し、あまり考えられていなかった1次、3次産業関係への進出傾向がしてきた。大容量のものが減少し、中、小容量のものが増加したことからもこの傾向が分かる。

(3) 一般輸出用、プラント用設備機器として、外国規格による要求が多い。

(4) ホイストそのものに対しては、設備費用（価格）は安いにこしたことではないが、保守費用、信頼性及び性能の不足のためのライントップや作業時間の延引による機会損失費や、産業災害による損失などの合計、つまり、トータルコストを最小にするようなホイストへの要求が増加した。

以上の傾向を踏まえ、昭和45年発売以来好評を得てきたHL、HE、HY形ホイストを全面的にモデルチェンジしたMH-Aシリーズを昨年10月から発売開始したので、それらの概要と種々の問題点、選定方法、新しい技術等について述べる。

## 2. ホイストの定格と分類

### 2.1 ホイストの使用定格に関する要素

ホイストの定格も、一般電気機器と同様に温度上昇で規制される。特にかご形モータのON-OFFで荷重を制御するホイストにとって始動時のモータからの発熱及び、制動時のブレーキからの発熱を小さくする必要がある。これらの発熱は駆動及び制動される部分の持つ運動エネルギーに比例するので、回転数、速度を小さくすれば最も効果があるが、同一出力に対して回転力が大きくなったり、性能を下げたりするので得策でなく、巻上モータの場合は回転部分のGD<sup>2</sup>を小さくすることが実際的で、このため回転部の直徑を小さくするほど大きな始動ひん(頻)度に耐えられる。

また、ロータ抵抗値を大きくすると始動時の発熱が小さく、始動回転力が大きく、始動電流も小さくなるという荷重をつ(吊)って始動するホイストモータにとって理想的な特性になる。

次に温度上昇の値は、始動頻度、負荷時間率(%ED)、冷却面積、冷却効果等によって長時間断続使用時の最終値が規制され、短時間の場合はこの外に熱時定数の値で大きく左右される。

### 2.2 ホイストの定格表示方法

JIS C 9620(電気ホイスト-1974)によれば、ホイストの定格は、全負荷荷重を吊り、2m巻上げ-3秒休止-2m巻下げ-3秒休止のサイクルで30分と規定されているが、これを使用者側からみると具体的にどのように使えばよいのか不明であり、また、特性からみると

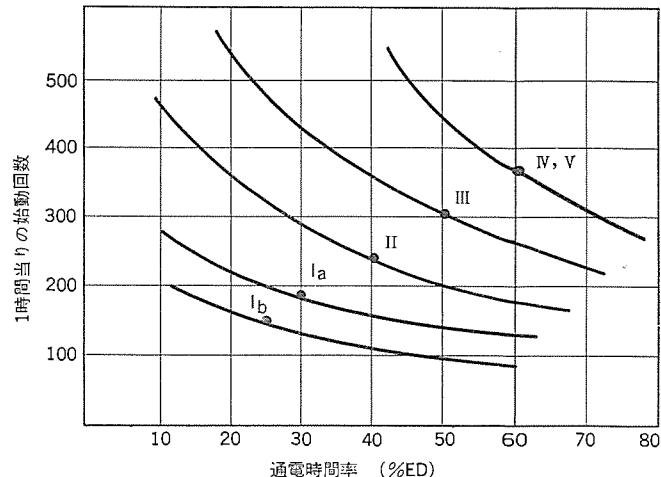


図 1. 適用群と%ED、始動回数との関係 (FEM)

ホイストのか(稼)動条件にマッチしたGD<sup>2</sup>が小さく冷却がよいモータは熱時定数が小さく、30分間の集中テストでは温度上昇が大きくなり、かえって不利になる矛盾がある。

クレーンの電気機器は通電時間率(%ED)表示で、一步改善されているが、使用電動機は巻線形で速度制御可能なため始動回数は少なく、始動の際の損失は外部抵抗機内で消費され、電動機の温度上昇に大きな影響を与えないもので、始動回数は考慮されていない。しかし、かご形モータを使用するホイストの場合は、2.1節に述べた理由により、ぜひ%EDとともに始動回数についても規定する必要があると思われる。ただし、クレーンモータの%EDは全出力に対する時間率であるのに対し、ホイストでは、定格荷重巻上時(モータ全出力)巻下時(回生制動状態)を併せた時間率であることが異なる。

この表示方法は、ヨーロッパ主要13カ国でまとめたホイスト規格であるFEM規格にも例示してあり、図1.に示す。

%ED+回数表示を根底にし、これに実績データを加味して、短時間等価試験方法を確立し、これで日常試験を実施すべきであると思われる。

### 2.3 ホイストの分類方法

機械部分、特に荷重が直接かかるワイヤーロープ、歯車、軸受等の寿命程度による分類方法が一般的で、FEM規格でも荷重状態と1日の実動時間率によって、Ib~Vの間の6群に分類している。(表1.)また、我が国のクレーン等構造規格の解説書によれば、ワイヤーロープの寿命値によって0m~IVmの5群に分類されている。

この分類方法でも、どれだけの使用頻度に耐えるかは不明なので、ホイストの場合、始動頻度及び通電時間率の両数値による分類方法もぜひ併用する必要がある。

我が国の場合、5~6群に分類しても、選定側からみると多きに過ぎるくらいがあり、米国の一一部メカが実施している軽、中、重の3段階に分類することが実情に合っているものと考えられる。(表1.)

表 1. MH-A シリーズホイストの分類

形 式	級	許容使用頻度		容 量	用 途 例	荷 重 状 態			1日 の 合 計 通 電 時 間 (h)
		通 電 時 間 率 (%ED)	始 動 回 数 (回/時)			通 常 小 ま れ に 定 格	小, 中, 大 ほ ぼ 平 均	ほとんど 定 格 近	
ワイヤ エース HL-A	軽	25	150	150kg 250kg 490kg	リフト、ウインチ ジブクレーン等 あらゆる整荷役				≤0.5
HE-A	中	25	250	1t 2t 2.8t	倉庫、機械工場 修理工場、等の 問ヶつ荷役				≤1
HY-A	重	40	400	250kg 30t	生産ライン用等 常用、高頻度の 荷役作業	特殊HY-A形 ○リフマグ用 ○鋸湯運搬用	本格的 クレーン		≤2 ≤4 ≤8 ≤16

JIS C 9620 (電気ホイスト) では中級を基準に制定してあるが、特に最近は設備のメンテナンス用など使用頻度が小さいホイストで、クレーン等構造規格さえ満足すれば軽頻度のもので十分で、特に海外向けプラント用にこの級が多いが、JIS規格に制定がされてなく、過剰品質にならざるを得ない。FEM規格にもある軽頻度級の追加制定が要望される。

### 3. MH-A シリーズホイストの概要

MH-Aとは、三菱ホイストAシリーズの頭文字をとったもので、新しいシリーズの総称で、下記の形式に分かれている。

#### (1) HY-A形

重頻度本格派ホイストで、容量は1/4tから30tまで、シリーズの中心を形成するオールマイティ機種である。準標準仕様、特殊仕様はすべてこの形式の変形となる。

#### (2) HE-A形

中頻度実用形で、容量は1, 2, 2.8tと、ホイストとして最も要求の多い範囲をカバーしている。巻上速度もはん(汎)用的な荷役作業に適する値としている。

#### (3) ワイヤエース

ホイストの範囲から超えた分野のもので、多用途、多目的に使用でき

る軽量級で、従来になかった斬新な機種である。

### 4. HY-A形、HE-A形ホイスト

HY-A形は重頻度、本格派ホイストで、1/4tから30tまで、全シリーズの基幹をなしており、HE-A形は汎用性を重視し、一般的に使用される中頻度使用1~3t級に的をしづった汎用形であるが、多くの共通点を持つ。以下、主な改良点、特長を中心に構造、動作等について述べる。

#### 4.1 性能の向上

##### 4.1.1 巷上速度をアップ (HY-A形)

作業能率向上のため、従来形より巷上速度を大きくした。(図4.)

#### 4.1.2 高い許容使用頻度

HY-A形の許容使用頻度(40%ED、始動回数400回/時間)は、ホイストとして最高級である。使用頻度を大きくするため2.1~2.4節に述べたような理由によってMH-Aシリーズでは、

(1) 巷上モータを完全に外に出し、ステータフレームの円周方向に冷却ヒレをたくさん設け、冷却面積の増大と突気の流れをよくすることにより冷却効果をも上げた。また、ブレーキ制動部分の冷却方式にも意を用いている。

(2) 巷上モータは、ホイスト専用にロータ径を小さく、長くし、慣性モーメントの値を小さくするとともにF種絶縁を採用することにより、より高い温度に耐えるようにしている。

(3) ロータは高抵抗アルミダイカストとし、ホイストとして必要な始動時の諸特性を良くしている。

(4) 運動エネルギーは回転数の2乗に比例するので、容量の大きいものは6極を標準にしている。

#### 4.1.3 低騒音化

HY-A形は、遊星歯車油浴潤滑方式で、騒音に最も影響のある1段目の減速歯車を、高周波焼入後研磨し、歯形精度をあげ、1段目の減速方式は、30tを除き単式遊星歯車方式とし、高速回転部のかみ

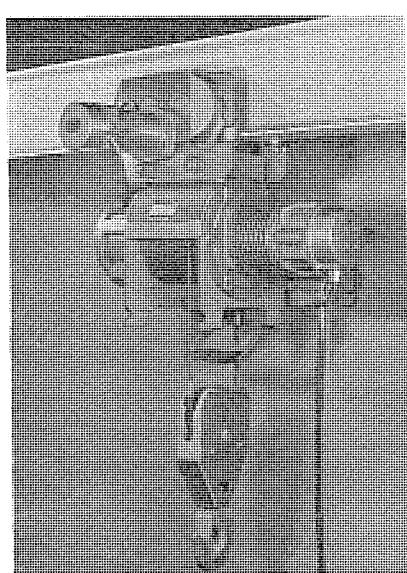


図 2. HY-A形電気ホイスト (HY-3 A-LM)

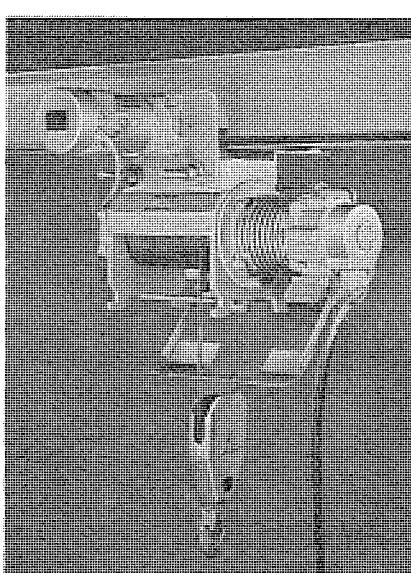


図 3. HE-A形電気ホイスト (HE-1 A-LM)

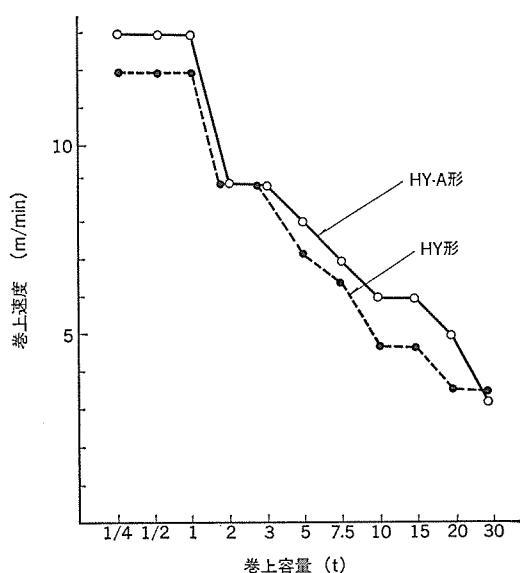


図 4. 新旧ホイスト巻上速度比較

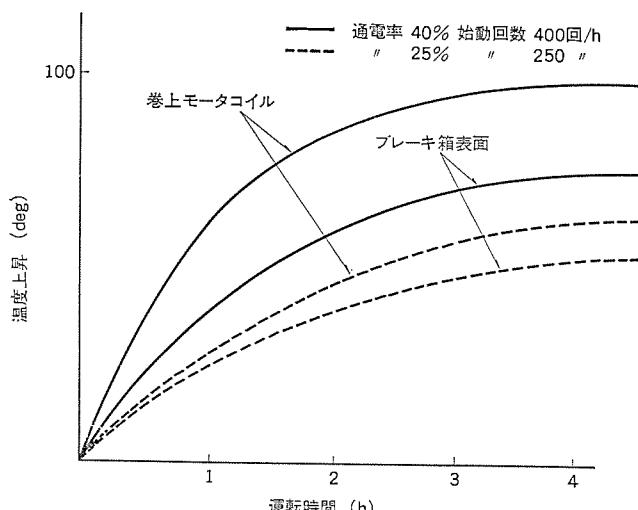


図 5. 使用頻度と温度上昇 (HY-A 形)

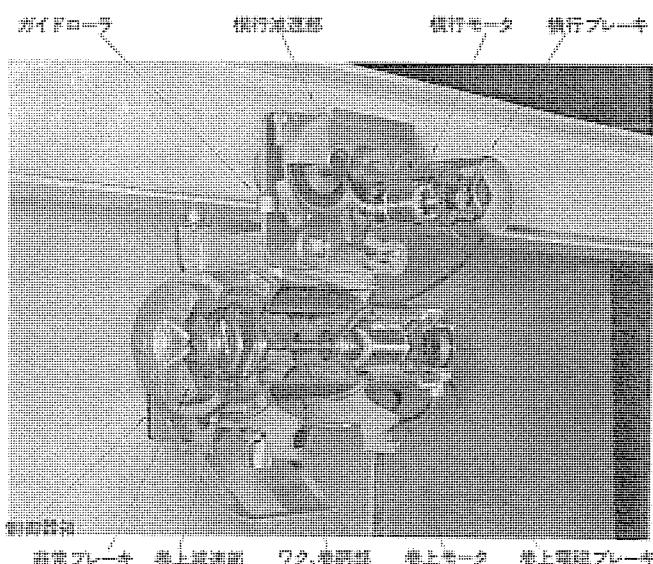


図 6. 内視断面 (HY-A 形)

合精度を向上させた。

HE-A 形は、単純減速 グリース潤滑でハスバ歯車を採用し、1段目の歯車は高周波焼入後研磨し、歯形精度を向上させ、かみ合率の増加と相まって大幅な騒音低減を実現した。

#### 4.2 高い安全性と信頼性

##### 4.2.1 ディスクタイプの直流電磁ブレーキの採用

HY-A 形 3t 以下と、HE-A 形全機種に直流電磁ブレーキを採用したが、まず、交流電磁石と比較した直流電磁石の利点、欠点とその対策について述べる。

##### (1) 直流電磁石の利点

- 吸引力が大きく、このため交流のようにレバー機構で増力する必要はなく、ストローク直接で圧力板を駆動できる。
- 機構が簡単で、鉄心は鋼材の削り出し等でよく、がんじょうで寿命が長い。また、小形にまとめられる。

##### (2) 直流電磁石の欠点

- 吸引時の作動ストロークをあまり大きくできない。
- 吸引、開放時に遅れが生じる。
- 直流を供給する電源装置が必要。

図 7. のように、ブレーキコイルにモータの主電流を整流してそのまま流

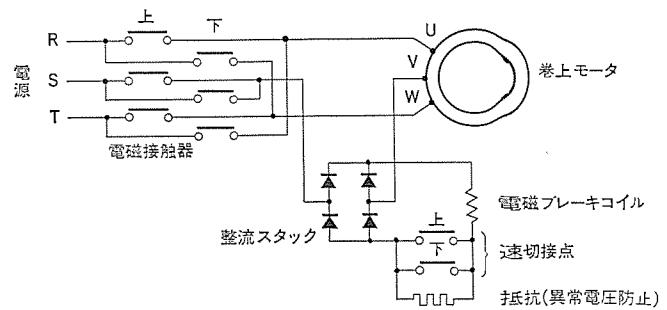


図 7. 卷上直流電磁ブレーキ回路

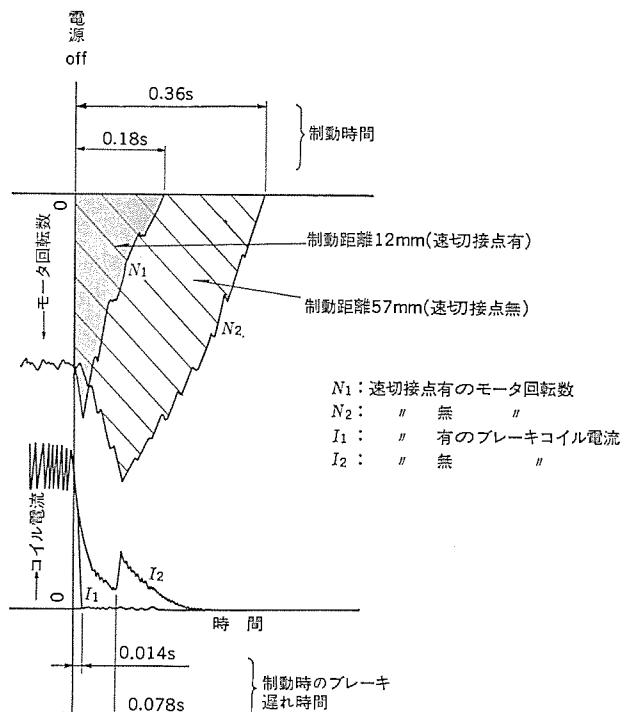


図 8. 卷上直流電磁ブレーキの作動オシログラム (HY-2 A 卷下時)

す方法を採用したため、吸引時は大きなモータの始動電流が流れるので速い速度で鉄心を吸引し、鉄心間のギャップが広くなつても容易に吸引でき、従来の直流電磁石の数倍のストロークまで作動可能になった。開放時は速切接点の採用で、交流電磁石のみの応答性を得ることができた。

直流電源は、全波整流の整流器スタックを使用し、十分な信頼性を持たせている。

5t 以上には直流電源装置の経済性などの理由で、従来のままの交流電磁ブレーキを使用した。

##### 4.2.2 卷上非常ブレーキ (HY-5 A 以上)

非常ブレーキは、常用ブレーキが効かなかつたり第1歯車軸が折損した時、荷重が過速落下するのを防止するためのもので現在も採用しているが、この種の事故により動作した実例は皆無であり不要とも思われるが、今回は、HY-A 形に付属している。(1~3t はオプション)

10t 以下は遠心力による過速の検出と作動を兼用したディスクブレーキで、15t 以上は遠心力スイッチにより過速を検出し、ディスクタイプの直流電磁ブレーキ部分で制動させる。この直流電磁石は、中央の空げき(隙)を 0 にして残留磁気を利用し、電源投入後は常時、微力電流

を流し続け、保持力の確実性を増すなど特殊な制御方式を用いている。

また、作動時に各部に作用する衝撃応力について徹底した検討を加え、信頼性については十分に配慮してある。

#### 4.2.3 ワイヤロープの端末部

ホイスト用ワイヤロープで、安全性及び寿命の点で最も重要なのは端末処理である。従来、最も広く使用されている合金止め方式に替え、MH-Aシリーズより軟鋼スリーブの圧接成形方式とし、信頼性の一層の向上を図っている。

この方式は、素線おののに均等に荷重がかかると同時に根元の応力集中を軽減するよう考慮されており、従来に比して更に一段と信頼性を増した。

#### 4.2.4 2段切り巻上リミットスイッチ

通常の巻上時は、1段目で巻上げの操作回路を切り、逆相運転、逆巻運転、あるいは電磁接触器の接点溶着の場合は、2段目で巻上モータ主回路を開路して、事故を未然に防止する。

#### 4.2.5 横行電磁ブレーキ力は外部から調整可能

横行停止時の惰行距離（制動距離）は、短すぎても荷振れが起こり、長い場合は目的の位置への荷下ろしができず、作業内容に応じて適宜、惰行距離を調整する必要がある。

横行モータのカバーをあけると、ブレーキトルクを容易に調整できるねじがあり、モータトルクの0~40%まで調整できるようになっている。

横行惰行距離は、

$$S = \frac{E}{F_1 + F_2 + F_3} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $S$  : 惰行距離 (m)

$E$  : 全運動エネルギー ( $1/2 Wv^2 + 1/2 J\omega^2$ ) (ジュール)

$W$  : ホイスト自重+荷重 (kg)

$v$  : 横行速度 (m/s)

$J$  : 回転部分の慣性モーメント ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ )

$\omega$  : 回転部分の角速度 (rad)

$F_1$  : ブレーキトルクを車輪の抵抗力に換算 (N)

$F_2$  : 全重量×走行抵抗 (N)

$F_3$  : 機械損失を車輪の抵抗力に換算 (N)

$F_1 \gg F_2, F_3$  のことで、惰行距離はほぼブレーキトルクに比例する。運動エネルギーは、走行モータなどの回転運動エネルギーよりも荷重による走行運動エネルギーが非常に大きく、荷重の大きさと横行速度に影響されることが分かる。

#### 4.3 最小のメンテナンス

##### 4.3.1 あらゆる電磁ブレーキは調整不要

##### (1) 調整リング落下式自動調整装置付直流電磁ブレーキ

ブレーキ板がある一定量摩耗すると調整リングが自重により落下し、ブレーキ板の摩耗分のギャップを埋め、初期調整時の鉄心ギャップにもどる機構になっているので、ブレーキ板取替限度までギャップ調整は一切不要である。この方式は容量3t以下に

適用している。

##### (2) 調整片落下式自動調整装置付交流電磁ブレーキ

5t以上の場合、ブレーキ板の摩耗に応じて調整片を1枚ずつ強制的に下方に落とし、ブレーキ板取替えまで自動的にギャップを調整する。

この自動調整機構は、下記条件を満たす必要がある。

$$F_1 \gg \mu P_1 > F_2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに  $F_1$  : ブレーキ板押圧力 (kg)

$P_1$  : ストップ圧縮力 (kg)

$\mu$  : 軸とストップの摩擦係数

$P$  : 押えね力 (kg)

$F_2$  : 押えねの右方への分力 (kg)

$F_3$  : 押えねの下方への分力 (kg)

ブレーキ板の摩耗に応じて圧力板も移動するので、圧力板腕によりストップを介して調整片を徐々に左方へ押し出す。軸の端面より調整片が押し出されると、押えねの分力  $F_3$  により強制的に下方へ落とされ、これが圧力板とレバーの間に入り込み、ギャップは最初の状態にもどる。これを調整片の枚数だけ繰り返すと、ブレーキ板は取替え時期になる。

なお、押えねは振動、衝撃等により調整片が誤動作するのも防

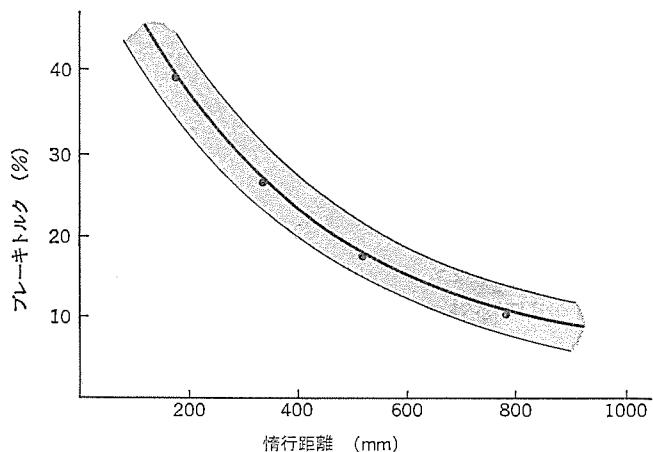


図 9. 制動力と惰行距離

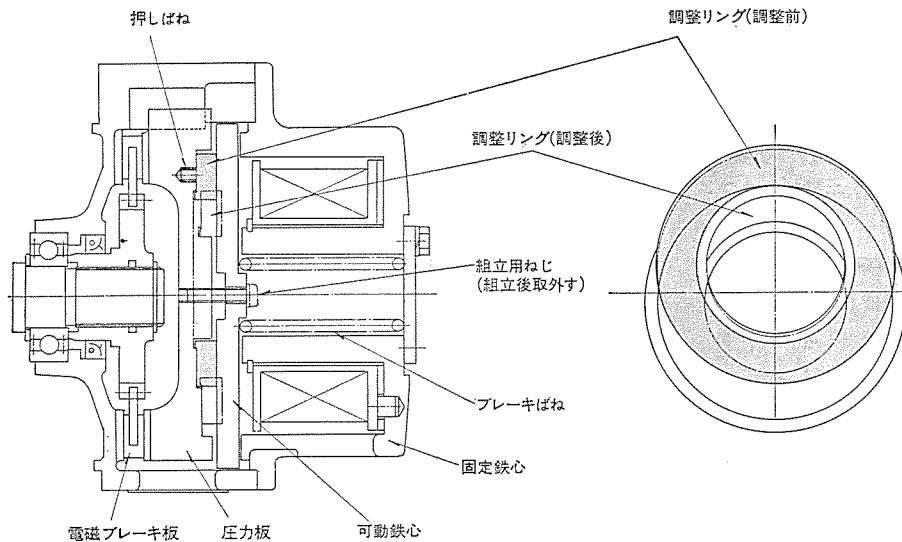


図 10. 自動調整装置付直流電磁ブレーキ

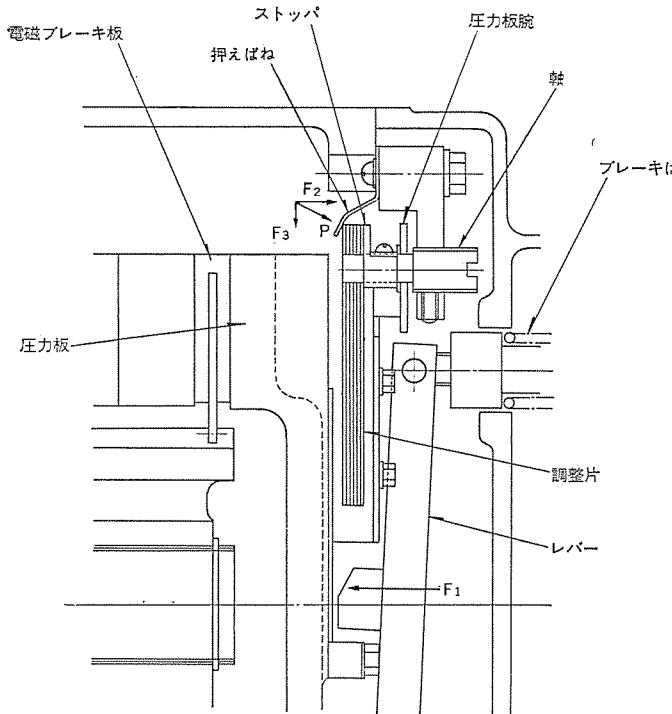
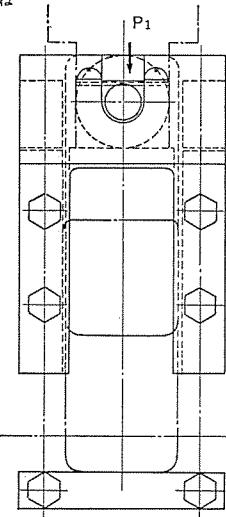


図 11. 自動調整装置付交流電磁 ブレーキ



止している。

#### (3) 横行用直流電磁 ブレーキ

前に述べたように、モータ電流を直流に変えてブレーキコイルに通すことにより、ブレーキ板が摩耗して鉄心のギャップが大きくなつても吸引可能で、ブレーキ板の摩耗限度いっぱいまで使用できる。

#### 4. 3. 2 給油不要

巻上げ、横行歯車箱には、グリース又は油を封入し油密機構を確実にしており給油は不要である。また、ダブルレール車輪、フックブロックのシーブ等、全面的にころがり軸受化し、グリースを封入しているのであらゆる部分が給油不要になった。

#### 4. 3. 3 長寿命形電磁ブレーキ

3t 以下は直流電磁石を採用し、大幅に寿命を延長すると同時に 5t 以上も従来からの交流電磁石の実績を踏まえ、インボリュートセレーションで圧入かん(嵌)合し、ブレーキ歯車歯部の高周波焼入れ及び形状変更等、自動調整機構の採用と相まって、より信頼性の高い常用電磁ブレーキを実現した。

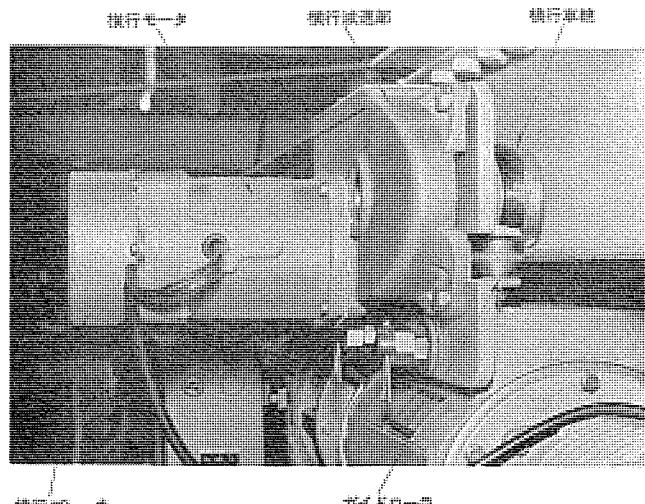


図 12. モノレール 電動横行部分 (HY-A 形)

#### 4. 3. 4 プラグイン方式押ボタンスイッチ (HY-1 A 以上)

押ボタンスイッチは、7極のプラグコンセントにより制御器箱に取付けているので、取付け、取外しは簡単にできる。しかもこの部分の端子の接続はねじ締方式で、だれにでもできると同時に信頼性も大である。

4. 3. 5 一つにまとまった広い制御器箱巻上げ、横行の電磁接触器、リミットスイッチ等、制御部分は1個の箱の中にまとめており、内部には操作変圧器又は補助継電器を追加して取付け得る余裕を持っている。カバーはキャッチクリップ方式で、ワンタッチで開閉可能、外部配線の端子台接続、ワイヤマーク付き等、メンテナンスが容易である。

電磁接触器は、三菱 MS-A シリーズを使用、寸動運転が多いことを考慮して1, 2段上を選定し、かつ、前述のように巻上部の運動エネルギーが小さいため、始動時間も小さく、このため始動電流をしゃ断する確率が少なくなるため、十分な電気的寿命を確保している。

#### 4. 3. 6 長寿命横行部分

HY-A 形 5t 以下は、フランジレス横行車輪、ガイドローラ付きで、車輪及び横行レールの摩耗は少なく、曲線横行もらくにできる。

### 5. 準標準仕様

年々、複雑化、高度化する用途には標準仕様では満足しえないものが多く、特に近年は増加の傾向にある。その仕様は無限であるが、業界の動向と過去の実績をもとに頻度の高いものを選び、準標準仕様としている。重複指定も可能で、コンピュータ化を行い、設計などの事務処理、生産管理及び受注業務の簡素化を図った。

このシステムの利点は

- (1) 納期が短縮できる。
- (2) 仕様の決定が容易になり、間違いもなくなる。
- (3) 価格、納期も標準化され、決定が即座に可能である。
- (4) 1品ごとの設計、生産に比べ、品質がより安定する。
- (5) サービス部品の標準化も可能である。
- (6) 技術資料、カタログ等が整備され、需要家での設計検討が容易にできる。

### 6. ワイヤエース

小形ホイストとして、従来“ワイヤブロック”の商品名で発売していたが、今回、従来のイメージを打ち破った多用途を目指す“ワイヤエース”的開発に成功したので、ここに紹介する。

今まで、ホイストは主として第2次産業に使用されてきたが、第2次産業に比して、省力化、機械化の遅れている農林牧畜などの第1次産業や、レジャー、流通等、第3次産業分野など軽い荷物の移動のニーズは高く、今後もこの方面的伸びが期待される。

この種のニーズの特質は、

- 荷重及び使用頻度は、小荷重、軽頻度形に属する。
- 多種の使われ方がある。——用途開発

表 2. 準標準仕様 (HY-A 形のみ)

HY-A 形 容量 (t)		1/4	1/2	1	2	2.8 3	5	7.5	10	15	20	30
仕様	揚程 12 m ローヘッド			○	○	○	○					
長	18m	懸垂		○	○	○	○					
	モノレール電動横行		○	○	○	○						
揚	20m	懸垂						○	○			
	モノレール電動横行							○	○			
程	24m	ダブルレール電動横行					○	○	○	○	○	○
	30m	懸垂		○	○	○	○	○	○			
	モノレール電動横行		○	○	○	○	○	○	○			
卷	曲線横行アタッチメント		○	○	○	○	○	○				
速	標準の 1/2 速	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	増速 (1 段上部)		○	○	○	○	○		○	○		
機	1/2 速	モノレール	○	○	○	○	○	○	○	○		
速	ダブルレール				○	○	○	○	○	○	○	○
保	標準=防滴 (押ボタン) (のみ防水)	HY-A 形 標準機種全部										
護	防爆											
構	防雨 = 防食											
造	I ピーム 幅	標準の 1 段上										
そ	電圧	電源 400 V 級 / 操作 200 V 級 又は 100 V 級										
の	押ボタン	入 - 切付 8 点, 表示特殊										
他	ケーブル 給電	長 35m までの直線。曲線はレール形状連絡										
	給電, 操作コレクタ本数	1+2, 4, 5, 6, 7 本 ダブルホイル 3, 6, 7 本										
単一仕様	卷上特殊高速	(1/2 荷重まで 4 P, それより大は 8 P)										○ ○ ○
(他仕様と複合すれば特殊仕様)	卷上 1/4 速	○	○	○	○	○	○					
	卷上 標準/半速	○	○	○	○	○	○					
	横行 倍速/標準	○	○	○								
	横行 1/4 速	○	○	○	○	○	○					
	卷速倍速(2 段上引当)		○	○	○	○	○	○				
	卷速 標準の 2/3 速	○	○	○	○	○						

- 製品自重は、軽いことが必要である。——取付け、取外しを容易にする。

この目的にそって開発されたのが、"ワイヤース" である。

特長としては、

- (1) 多くの用途に適用できる。

(a) ワイヤーロープ方式であるので、ワイヤーロープは軽くしなやかで、荷扱いもらくで、長くすれば揚程も長くなり、種々なウインチ方式としても応用できる。

(b) 本体は、鋼板製ボックス形で、懸垂形だけでなく床据付け、横取付けも容易にできる。横取付けの場合、ロープ取出し角度を 0~90° とした。また、鋼板製のため丈夫で軽量で、自重は従来品の約 2/3 である。

(c) 種々のアタッチメントを準備した。

本体を吊下げて使用する掛けフック、手押し横行部分、電動横行部分など、ボックスのままの基本形に取付可能である。また、ウインチ使用時の長ワイヤーロープ、1 本吊用フックブロック、2 本吊用固定滑車等

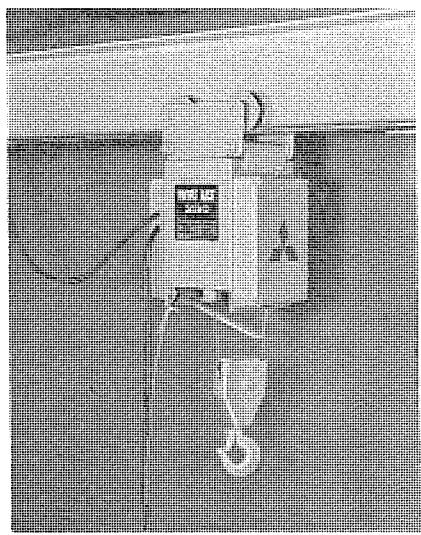


図 13. ワイヤース

もアタッチメントとして準備した。

(d) 電源も、3 相 200 V 用のほかに単相 100 V 用もそろえた。

(2) メンテナンスフリー しかも安全である。

(a) 常用ブレーキは、ディスクタイプの直流電磁ブレーキで無調整のままで、ブレーキ板の寿命いっぱい使用可能である。

(b) すべてころがり軸受で、潤滑はグリースで給油の必要はない。

(c) ワイヤーロープは軟鋼圧接の端末金具付きで、並行よりウォーリントンタイプであるので長寿命である。

(3) 音は静かである。

ハスバ歯車の使用、直流電磁ブレーキの採用で電磁石吸引音が低く、騒音レベルを低く抑えている。

## 7. む す び

最近のホイストは、従来の画一的な使用方法から一步踏み出し、省力化、効率化のため、より目的に合わせた使い方、従来使われていなかった分野での使用の傾向が目立ってきた。このため、我々製造者側は、顧客のニーズにより多く耳を傾け、体制を整えるべきで、今回の MH-A シリーズの開発での基礎固めが完成したのを機会に、ますますこれら新しいニーズにこたえていく所存である。

今後各方面からの、より多くのご指導、ごべんたつをお願いすると同時に、最後にこのシリーズの開発に先立ち、種々貴重なご意見及び開発のため努力いただいた関係者のかたがたに深じんなる謝意を表する。

## 参 考 文 献

- (1) Federation of European Hoist Manufacturers: Rules for design of serial lifting equipment-section IX
- (2) 労働省安全衛生課: クレーン等安全規則
- (3) 二川、村松、武谷、石田: 三菱電機技報, 50, No. 10, 549 (昭 51)
- (4) JIS 規格: JIS C 9620-1974, 電気ホイスト

# 高速かご形回転子の強度

田村 旭\*・元村芳則\*・押沢健治\*\*・吉岡純夫\*\*・井上彰夫\*\*

## 1. まえがき

プラントの大形化に伴って、使用される駆動電動機はますます大容量化・高速化が進められている。

かご形誘導電動機は、保守・価格・寸法・重量の面でかくかくの利点を持っている反面、始動 kVA が大きいという欠点を持っているが、これは使用場所の電源容量の増強によって取除かれ、従来期電動機及び巻線形誘導電動機が使用されていいた分野にまで、かご形誘導電動機が採用されてきている。

かご形誘導電動機では、始動時の発熱及び遠心力による回転子バー・エンドリングの強度が問題となり、特に負荷の  $GD^2$  が大きい場合には始動時の条件は苦しくなる。このような条件下のエンドリング部の応力解析を弾性計算式を導出して行った。これは、各部材の構造決定のために各寸法、形状をパラメータとして変化させ最適設計に利用しやすい利点がある。ここでは、この弾性計算式の導出とその検証を主体に述べる。

## 2. かご形回転子の問題点

### 2.1 かご形回転子の構造

高速かご形回転子は、図 1. に示すようにエンドリングの外周に非磁性鋼の シュリンクリング をかぶせた構造を採用している。

### 2.2 かご形回転子の温度上昇

かご形誘導電動機を始動する際には、下記の式(1)で表される熱損失が回転子に発生し回転子導体はこの熱損失により温度が上昇する。

$$Q_R = \left( \frac{2\pi n_s}{60} \right)^2 \frac{GD^2}{4} \int_0^1 \frac{T_M}{T_M - T_L} S \cdot d_s (W \cdot S) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに  $n_s$  : 同期速度 (rpm)

$GD^2$  : 電動機と負荷の  $GD^2$  ( $kg \cdot m^2$ )

$T_M$  : 電動機 トルク ( $kg \cdot m$ )

$T_L$  : 負荷 トルク ( $kg \cdot m$ )

$S$  : 電動機のすべり

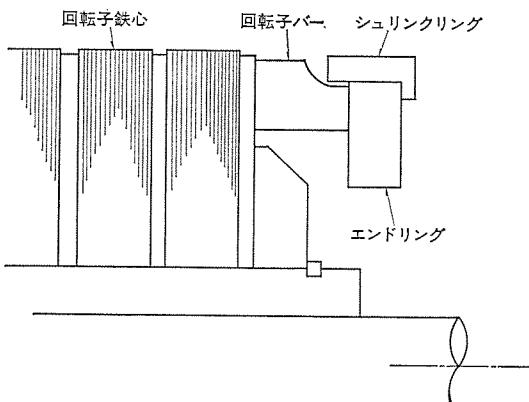


図 1. 高速かご形回転子構造図

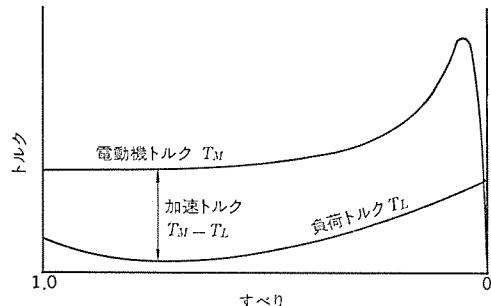


図 2.  
電動機と負荷  
のトルク

### 2.3 かご形回転子の応力

かご形回転子は 2.2 節で述べたように回転子導体が始動時に温度が上昇しコアとエンドリングの温度差による熱応力と遠心力による応力が発生する。この応力は始動停止で繰り返され、この繰り返し疲労問題を検討するために始動時の温度と遠心力による弾性応力計算を精度よく行うことが必要である。次章で弾性応力計算について述べる。

## 3. 弾性応力計算

かご形誘導電動機の始動時には前述のように、バー・エンドリングが熱損失により温度が上昇し更に遠心力が作用する。この場合の弾性計算式の導出方法として、回転子端部を、

- (a) コア内のバー (b) コア (c) コア外のバー  
(d) エンドリング (e) シュリンクリング

の五つの部材に分けて解析し、適合条件式を導入して各部材間に働く力及び変位を求めた。(図 3. 参照) この時、これらの部材に対して適用した仮定は次のとおりである。

- (1) コア外のバーは、せん断変形を考慮した単純はりと考える。  
(2) コア内のバーは、弾性床上のはりと仮定しコア及びバーは無限長と考える。  
(3) 弹性床としてのコアの基礎係数は、コアを厚肉円板とみなして求める。  
(4) エンドリング・シュリンクリングは厚肉円輪と考える。

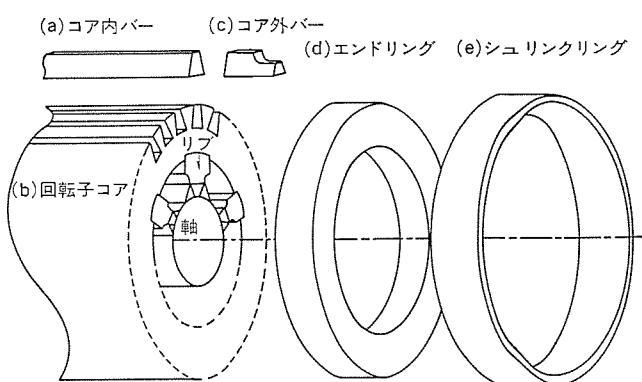


図 3. かご形回転子のモデル化

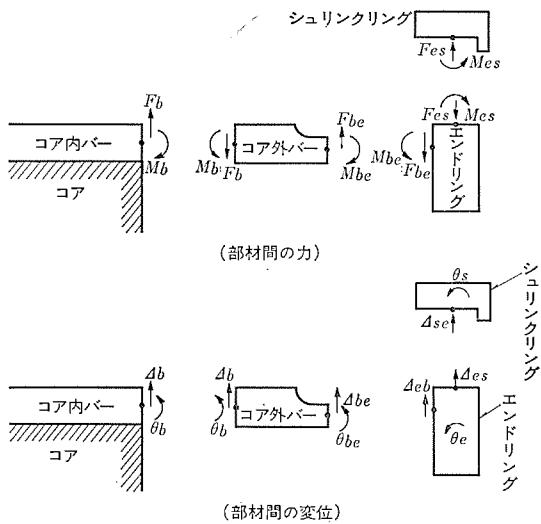


図 4. 部材間の力と変位

(5) 温度上昇は、エンドリング・シュリンクリング内ではそれぞれ一様と考える。

### 3.1 各部材間に働く力及び変位

各部材間に働く力と変位を図 4. に示す。

### 3.2 計算式

図 4. に示した力と変位の間には次の関係が成立する。

コア内のバーでは

$$\begin{aligned} \Delta b &= K_{BF} \cdot F_b + K_{BM} \cdot M_b + \Delta C \\ \theta_b &= N_{BF} \cdot F_b + N_{BM} \cdot M_b \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

コア外のバーでは

$$\begin{aligned} \Delta_{be} &= K_{BARM} \cdot M_{be} + K_{BARF} \cdot F_{be} + \Delta_{BARW} + \Delta b \\ \theta_{be} &= N_{BARM} \cdot M_{be} + N_{BARF} \cdot F_{be} + \theta_{BARW} + \theta_b \\ M_b &= M_{be} - L \cdot F_{be} + M_{BW} \\ F_b &= F_{be} + F_{BW} \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

エンドリングでは

$$\begin{aligned} \theta_e &= N_{EFB} \cdot F_{be} + N_{EMB} \cdot M_{be} + N_{ESF} \cdot F_{es} + N_{ESM} \cdot M_{es} + \theta_{ew} \\ \Delta_{eb} &= \Delta_{ew} + K_{EFB} \cdot F_{be} + K_{EFE} \cdot F_{es} + \Delta_{ET} - Z_e \cdot \theta_e \\ \Delta_{es} &= \Delta_{ew} + K'_{EFB} \cdot F_{be} + K'_{EFE} \cdot F_{es} + \Delta_{ET} - Z'_e \cdot \theta_e \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

シュリンクリングでは

$$\begin{aligned} \theta_s &= N_{SFS} \cdot F_{es} + N_{SMS} \cdot M_{es} + \theta_{sw} \\ \Delta_{se} &= K_{SFE} \cdot F_{es} + \Delta_{ST} + \Delta_{SW} + Z_s \cdot \theta_s \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

が成立する。更に変位の連続条件式

$$\begin{aligned} \Delta_{be} - \Delta_{eb} &= 0 \\ \Delta_{se} - \Delta_{es} &= \delta \\ \theta_{be} - \theta_e &= 0 \\ \theta_e - \theta_s &= 0 \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

が成立する。

ここで

$K_{BF} \cdot K_{BM}$  : コア内バーの  $F_b \cdot M_b$  に対するたわみ剛性

$K_{BARM} \cdot K_{BARF}$  : コア外バーの  $F_{be} \cdot M_{be}$  に対するたわみ剛性

$K_{EFB} \cdot K_{EFE}$  : エンドリングの  $F_{be} \cdot F_{es}$  に対する変位係数

$K_{SFE}$  : シュリンクリングの  $F_{es}$  に対する変位係数

$N_{BF} \cdot N_{BM}$  : コア内バーの  $F_b \cdot M_b$  に対するたわみ角係数

$N_{BARM} \cdot N_{BARF}$  : コア外バーの  $F_{be} \cdot M_{be}$  に対するたわみ角係数

$N_{EFB} \cdot N_{EMB} \cdot N_{ESF} \cdot N_{ESM}$  : エンドリングの  $F_{be} \cdot M_{be} \cdot F_{es} \cdot M_{es}$  に対するねじり剛性

$N_{SFS} \cdot N_{SMS}$  : シュリンクリングの  $F_{es} \cdot M_{es}$  に対するねじり剛性

$\Delta C$  : 遠心力によるコアの半径方向の変位

$\Delta_{BAR}$  : コア外のバーに働く遠心力による変位

$\Delta_{ew} \cdot \Delta_{esw}$  : 遠心力によるエンドリングの変位

$\Delta_{ET}$  : 热荷重によるエンドリングの変位

$\Delta_{sw}$  : 遠心力によるシュリンクリングの変位

$\Delta_{ST}$  : 热荷重によるシュリンクリングの変位

$\theta_{BARW}$  : コア外バーに働く遠心力によるたわみ角

$\theta_{ew}$  : 遠心力により発生するエンドリングのねじれ角

$\theta_{sw}$  : 遠心力により発生するシュリンクリングのねじれ角

$L$  : コア外バーの長さ

$M_{BW} \cdot F_{BW}$  : コア外バーに働く遠心力により発生する曲げモーメント・せん断力

$Z_e \cdot Z_s$  : エンドリング・シュリンクリングのねじれ中心より各接合点までの距離

$\delta$  : エンドリングとシュリンクリングのしめ代

式(2)～式(6)をまとめてマトリックス表示すると式(7)のようになります。この多元連立1次方程式を解くことにより各部の変位と力が求まり更に応力が計算できる。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & K_{BF} & K_{BM} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & N_{BF} & N_{BM} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ K_{BF} & K_{BM} & K_{BARM} & K_{BARF} & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ K_{BARM} & K_{BARF} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -L & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_{BF} & N_{BM} & N_{BARM} & N_{BARF} & N_{EFB} & N_{EMB} & N_{ESF} & N_{ESM} & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ N_{EFB} & N_{EMB} & N_{ESF} & N_{ESM} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_{EFB} & 0 & K_{EFE} & 0 & K_{SFE} & 0 & K_{SFE} & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -ze \\ 0 & K_{EFE} & 0 & K_{SFE} & 0 & K_{SFE} & 0 & K_{SFE} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_{SFS} & N_{SMS} & 0 & 0 & N_{SFS} & N_{SMS} & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{SFE} & 0 & 0 & 0 & 0 & K_{SFE} & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{be} \\ F_{be} \\ Mes \\ Fes \\ M_b \\ F_b \\ \Delta_{bc} \\ \theta_{bc} \\ \Delta_{cb} \\ \theta_{cb} \\ \Delta_{es} \\ \theta_{es} \\ \Delta_{se} \\ \theta_{se} \\ \Delta_b \\ \theta_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Delta C \\ 0 \\ -\Delta_{BARW} \\ -\theta_{BARW} \\ -M_{BW} \\ -F_{BW} \\ -\theta_{ew} \\ -\theta_{ew} \\ -\Delta_{ew} - \Delta_{ET} \\ -\Delta_{ew} - \Delta_{ET} \\ -\Delta_{sw} - \Delta_{ST} \\ -\theta_{sw} - \theta_{sw} \\ -\Delta_{ST} - \Delta_{sw} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

### 4. 理論計算式の検証

#### 4.1 コア内バーの弾性支持の妥当性

回転子バー(コア外バー)のコア部での支持条件はバーの応力解析に大きな影響を与えるが、従来はこれを固定端として解析してきた。しかし、モデル実験あるいは実機での測定値と計算値とに差異が見られることより、回転子バー(コア内バー)はコアによってばね支持されているとの仮定を導入した。この仮定の適用性については実機大のモデル回転子を作製しバー端に荷重を加えてバー各部の変位・応力を測定し検証した。図 5. に応力値の実測値と計算値の一例を示す。最大応力値を示す位置のそれはバーのコアのスロット内での固定条件の影響によるものと思われる。以上のことよりコア内部のバーを弾性床上のはりと考える仮定は正しいものと判断される。

#### 4.2 応力計算式の妥当性

3章で述べたように、かご形回転子のエンドリング部を単純なはりの組合せにモデル化して弾性応力計算式を導いているのでこの手法の妥当性を検証する必要がある。このために、この部分を3次元弾性体としてとらえ、更に精度のよい計算を行い比較した。3次元弾性体の解析法として有限要素法を用いた。図 6. に有限要素法による

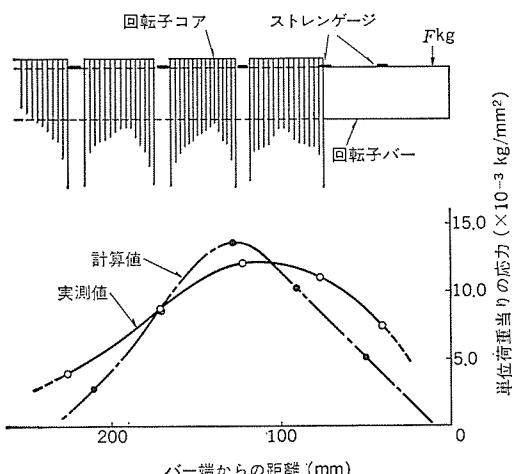


図 5. モデル回転子での試験データ

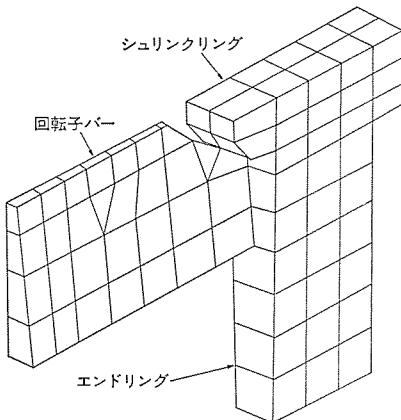


図 6. モデル要素分割図

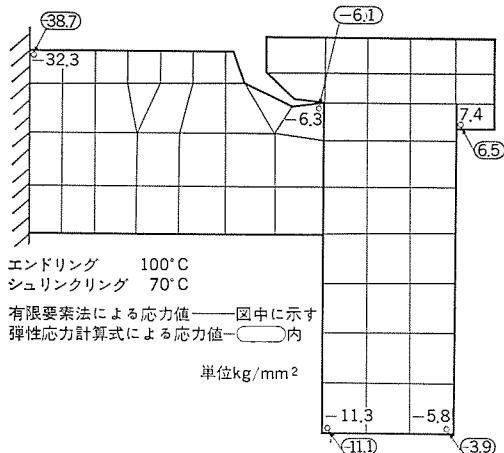


図 7. 有限要素法による応力計算値

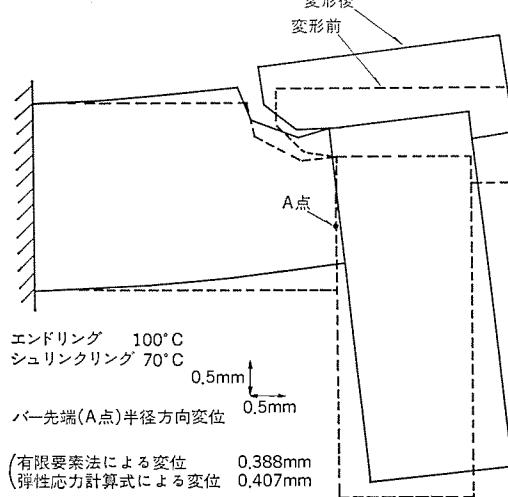


図 8. 有限要素法によるエンドリング部の変形

件で計算した。有限要素法の結果と弾性応力計算式の結果はよく一致しており、図 1. に示すようなかご型回転子のエンドリング部分は単純なはりの組合せにモデル化して解析を行っても精度よく計算できることが確かめられた。

## 5. 実機での測定

負荷の  $GD^2$  の大きいファン用のかご形誘導電動機において

- (1) 無負荷運転時の応力
- (2) 温度上昇試験時の温度・応力
- (3) 負荷直結下での始動時の温度・応力

を実測した。図 9. に示すようにゲージとサーモカップルの出力をスリップリングを介して取り出し測定した。図 10. に測定を行った回転子を示し図 11. に応力・温度測定状況を示す。図 12. に温度上昇の測定結果を示す。なお温度はバーの最大値を 100 % として示してある。また図 13. に応力測定結果を示し弾性応力計算式の計算値と比較した。図中の応力値は銅材の引張り強さを 100 % として示している。

モデル化及び分割図を示す。

一例として、エンドリングが 100°C、シルクリングが 70°C の温度上昇があった場合の応力と変形を図 7. 及び図 8. に示す。なお、この例では計算機の容量の制限よりバーはコア部で固定されている条件

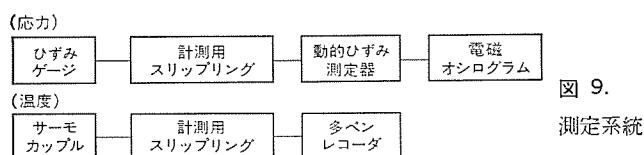


図 9.

測定系統

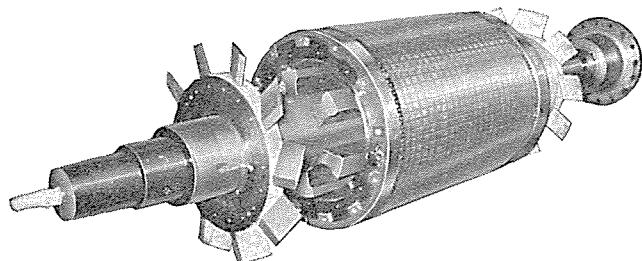


図 10. 試験したかご形回転子

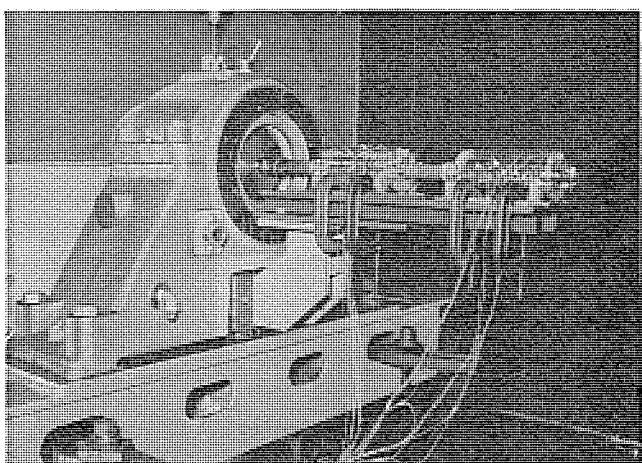


図 11. 応力・温度測定状況

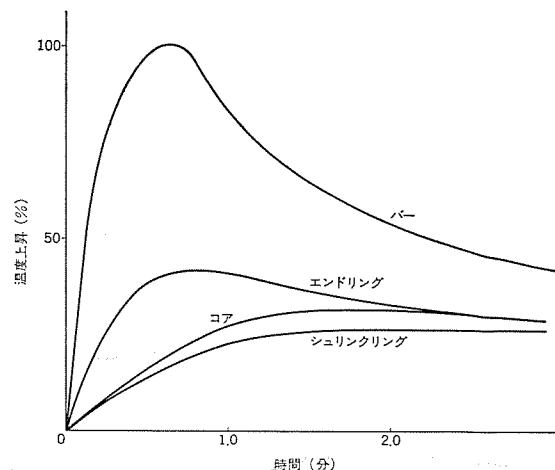


図 12. 始動時温度上昇値

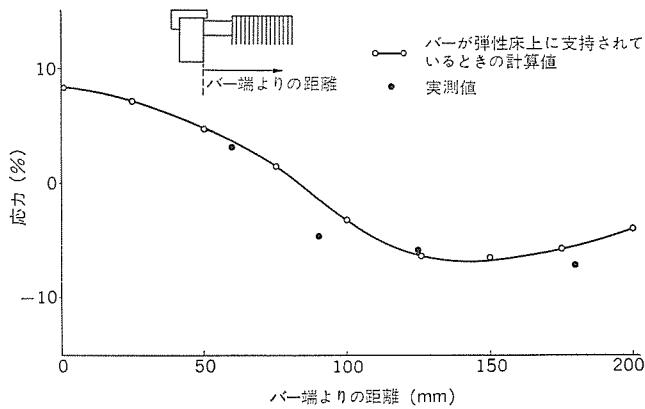


図 13. バーの応力分布 (1,800 rpm 時)

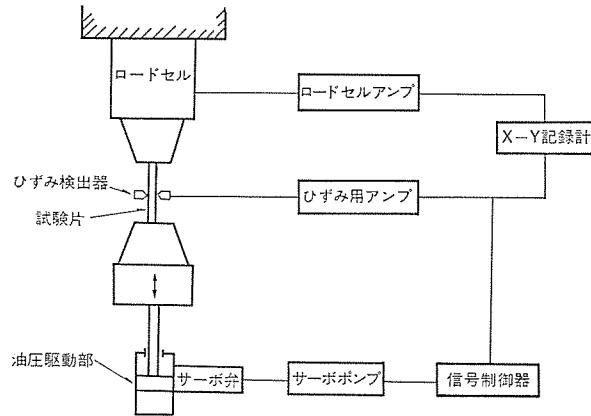


図 14. 試験装置 ブロック 線図

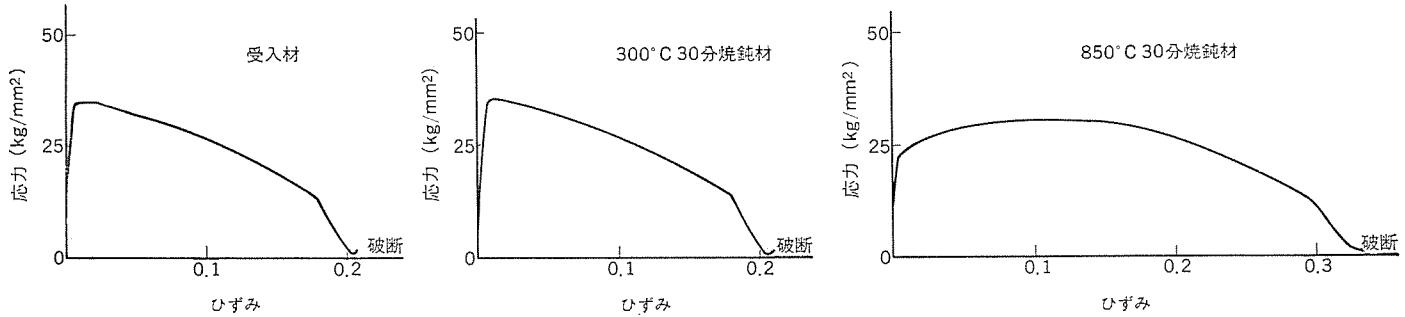


図 15. 引張り試験の応力 - ひずみ曲線 (タフピッチ 銅)

## 6. 材料の特性

かご形回転子の導体として使用される標準材としてタフピッチ銅、導電率は低いが低価格・高力ではん(汎)用性のある丹銅・黄銅、さらに高速大容量機のように使用条件の厳しいものに使用する析出硬化形銅合金について引張り試験を行った。かご形回転子のエンドリング部は1回の始動停止で1サイクルの繰り返し応力を受けるので $10^2$ ~ $10^4$ 回程度の低サイクル域について電気油圧式疲労試験機を用いて走ひずみ条件にて疲労試験を行った。試験装置のブロック線図を図14に示す。図15にタフピッチ銅の引張り試験の応力-ひずみ曲線の一例を示す。疲労試験は、直徑方向ひずみで制御しているので、これを軸方向ひずみに換算するため次の式を用いた<sup>(1)</sup>。

$$\Delta\varepsilon_T = 2\Delta\varepsilon_T^d + (1-2\nu) \frac{\Delta\sigma}{E} \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

ここに  $\Delta\varepsilon_T$  : 軸方向の全ひずみ範囲

$\Delta\varepsilon_T^d$  : 直徑方向の全ひずみ範囲

$\Delta\sigma$  : 応力範囲

$\nu$  : ポアソン比

図16に疲労試験結果を示す。なお、同図の縦軸  $\frac{1}{2}\Delta\sigma$  は定常時の負荷応力を表している。

## 7. むすび

高速大容量かご形誘導電動機を製作する場合には、1章にも述べたように回転子の強度が問題になる。それらを検討する上で必要な応力解析手法の確立及び材料特性のは(把)握を目的として実機大のモデル回転子や実機での確認試験と材料試験を行った。これらの材料試験の測定結果及び応力の計算値と実測値との比較より、回転子に発生する応力は弾性範囲内であると考えられ、ここで導いた弾性応力計算式が適用できると判断される。

当社は昭和44年に大容量化の先駆けとして7,300 kW 4極のか

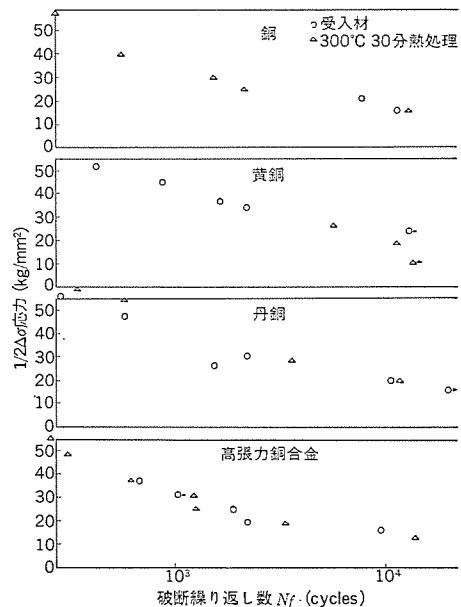


図 16. 銅材の S-N 線図

かご形誘導電動機を新日本製鉄(株)に製作納入して以来、多数の高速大容量かご形機を製作し、電動機容量及び負荷  $GD^2$  において国内記録品である押送風機用 8,200 kW 4極かご形誘導電動機の製作実績を持っている。これらの実績とここに述べた各種研究の成果より 10,000 kW を超える重慣性負荷用かご形誘導電動機の製作についても十分の自信を持っている。

終わりに各種の実験に協力して下さったかたがたに深く感謝する次第である。

## 参考文献

- (1) 村上ほか: 三菱電機技報, 42, No. 12, 1,558 (昭43)

# 電鉄回生変電所用サイリスタインバータ設備

鈴木敏夫\*・米畑 譲\*・甲木莞爾\*・多田一彦\*

## 1. まえがき

最近の直流チョッパ回生車の普及に伴って変電所における回生電力の処理が重要な課題になってきた。一般に回生制動車によって発生した電力は、直流架線に返還されて他の力行車によって吸収されるが、ダイヤ 閑散時には他力行車による吸収ができない、回生失効になるチャンスが増加する。またラッシュ時においても、タイミングによって回生電力が力行電力を上回るチャンスが発生する。このような回生失効のチャンスが多発することは、回生制動システムの有効な運用を妨げ、種々の問題を発生する。すなわち、地下鉄においてはトンネル内の温度上昇の問題、また最近は列車の自動運転方式が導入されるケースが多くなったが、回生失効は安定した定位置停止の妨げになる。長距離こう配区間での抑速制動の安定動作は安定性の向上のために欠くことができないし、また空気ブレーキの多用による。保修費の増大など多くの問題が生ずる。このため、変電所に何らかの回生電力吸収のための設備が必要になってくる。

このほど、神戸市交通局地下鉄変電設備として、回生電力吸収用のサイリスタインバータ装置を製作納入した。この設備は、シリコン整流器と組合わされて、電鉄回生直流変電所を構成するもので、今後の回生車両の普及とともに新時代を開くものとして注目される。ここにそのインバータ設備の内容について紹介する。

## 2. 回生設備概要

変電所における電力吸収方法としては、インバータによる方法と直流側抵抗によって熱放散する方法と考えられるが、両者を比較した場合、インバータ方式は次のような特長を有している。

- (1) 整流器とのクロス接続により、力行回生の切換えは、スイッチを使用せずに連続的にスムーズに行われ、制御も安定している。
- (2) 回生時の直流電圧制御が容易で、車両・路線条件に応じて自由に変電所電圧特性の整定ができる。
- (3) 制御の応答が速い。
- (4) 回生電力の有効利用が図れる。
- (5) 変電所での回生エネルギーの熱放散設備が不要で、公害の心配がない。
- (6) 整流器からの流入による不要な電力消費がない。

しかし、一方電鉄回生インバータ設備では、車両ブレーキを保証するための高い信頼性、変動負荷に対する安定動作、回生電力の有効利用策、サイリスタ位相制御に伴う高調波対策、整流器及び車両との協調など、従来のシリコン整流器だけの変電所にはなかった、新しい問題を考慮しなければならない。この設備では、これら諸

問題について変電所全体及び変電所相互の協調を考慮してシステム全体としての解決策がとられている。

今回完成した地下鉄路線は、図1に示すように、新長田-名谷間約5.6kmで、全線にわたってこう配区間である。直流回生変電所は、名谷と板宿との2か所に配置されている。インバータ容量は、停止制動、下りこう配での抑速制動を合わせた、ダイヤ上で考えられる短時間ピーク電流を考慮して決められている。

変電所内部の単線結線図を図2に示す。変電所直流母線には、サイリスタインバータとシリコン整流器とが常時共通に接続されている。このように、無制御のシリコン整流器との組合せで構成されているので、経済的な回生変電所になっている。このことはまた、将来既存のシリコン整流器変電所に回生インバータを増設できる可能性をも意味している。

サイリスタインバータは、位相制御を行うので、交流側高調波電流が増加するが、力行電力と比べて回生電力は少なく、その絶対値はシリコン整流器と比較して大きいものではない。しかし今回の設備では、インバータ側を12相運転にしたほか、交流側フィルタを設けて高調波対

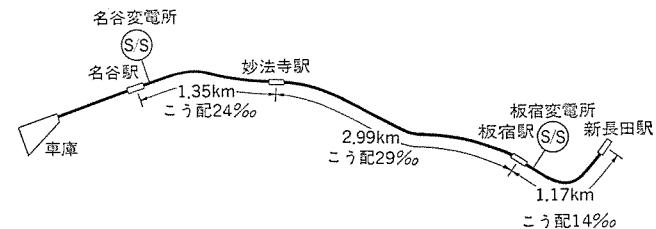


図1. 路線図

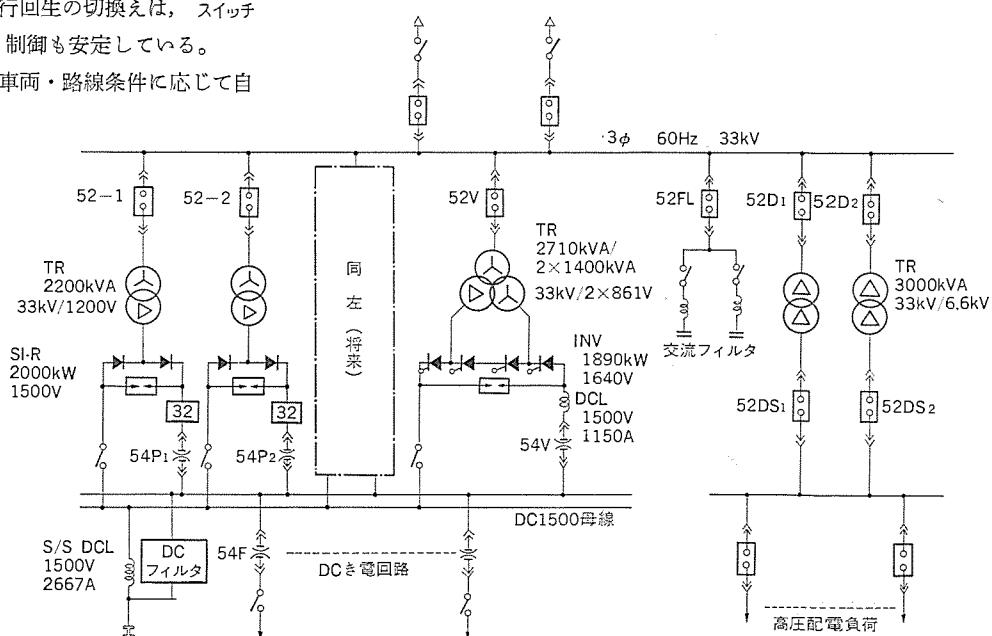


図2. 変電所単線結線図

策に万全を期している。また、このフィルタは、力率改善用コンデンサも兼用するよう考慮されている。

インバータのAC側は、33kV母線に接続されているが、この母線には、この鉄道設備の高圧配電負荷が接続されている。インバータの回生電力は、特殊な短時間ピークを除き、通常は33kV母線に接続される他の高圧配電負荷で消費されるようになっている。

また、力行電力給電用のシリコン整流器が、共通のDC母線に接続されているので、このシリコン整流器及び車両チョッパ装置との保護協調、並びにインバータ電流断続領域の低減のため、DCリアクトルがサイリスティンバータとDC母線間にそう入されている。

### 3. 主要機器仕様

回生インバータ装置主要機器の仕様は、次のとおりである。

#### (1) サイリスティンバータ(図3.)

形 式 CF-SA 2 S 2

定格容量 1,890 kW (100%連続、300%1分間)

定格電圧 1,640 V DC

定格電流 1,150 A DC

結 線 3相全波ブリッジ直列(12相運転)

冷却方式 風冷式

#### (2) インバータ用変圧器

定格容量 2,710 kVA/2×1,400 kVA

電 圧 F 34.5-R 33-F 31.5-F 30 kV/2×861 V

結 線 人／人-△

冷却方式 油入自冷式(名谷S/S)、乾式風冷式(板宿S/S)

#### (3) インバータ用DCリアクトル

インダクタンス 4.0 mH

直流電圧 1,640 V

直流電流 1,150 A

冷却方式 油入自冷式(名谷S/S)、乾式風冷式(板宿S/S)

#### (4) 交流フィルタ

機器構造 コンデンサ、リアクトル、抵抗、放電コイル

定格容量 600 kVA

電圧、相数 33 kV、3相

調波次数 5次、11次

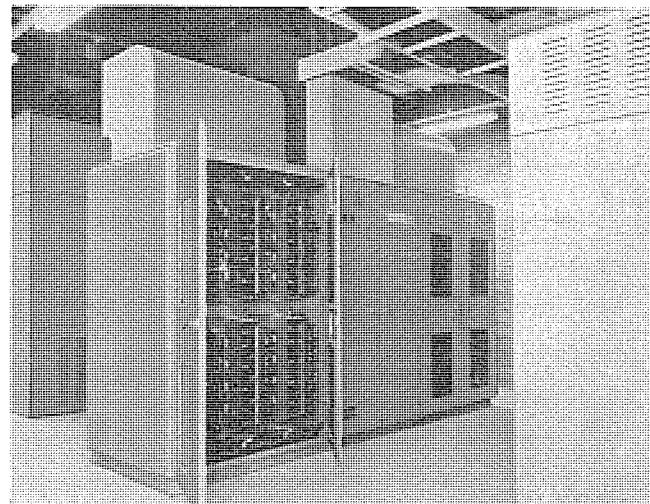


図3. インバータ装置全景

### 4. インバータの動作原理

多相整流回路で位相制御を行うと、直流電圧は  $\cos \alpha$  に比例して変化する。制御角  $\alpha$  が90度以上になると、直流電圧は負値になる。このとき、整流器負荷側から整流器動作時と同一方向に電流を流すようすれば、電力は直流側から交流側に交換され、整流器はインバータになる。

2組の3相ブリッジ回路を直列に接続し、変圧器巻線位相を互いに30度ずらして構成されたものが、図4.(a)に示す12相インバータである。図4.(b)にその各部の波形を示す。12相インバータでは、2組の6相インバータを通して安定に断続電流を流すため、12相インバータと6相ダイオードコンバータ間の相互作用を十分に考慮し、12相インバータの1相点弧時の現象については、各2組の6相インバータの各アームに並列に設けられるアームスナバー回路のコンデンサ  $C_a$ 、抵抗  $R_a$ 、及び直流リアクトルを含んだ等価回路を用いて解析を行った上、12相インバータの直流端子間に直流スナバー回路を設けてコンデンサ  $C_d$  と抵抗  $R_d$  の大きさを決めた。

図5.は、電力回生中に回生電力が高圧配電負荷で消費されてい

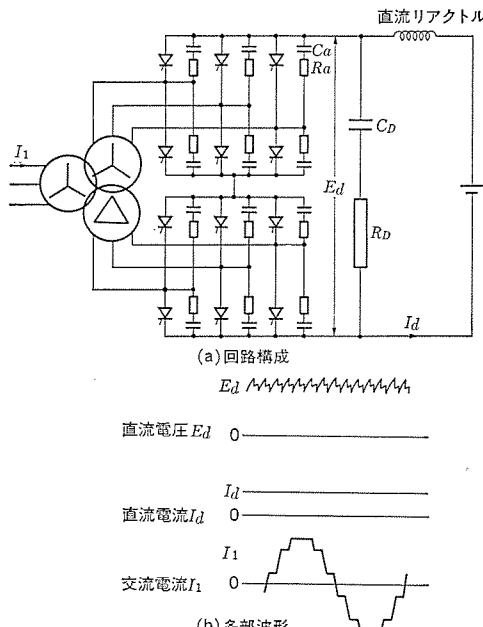


図4. 12相インバータ回路

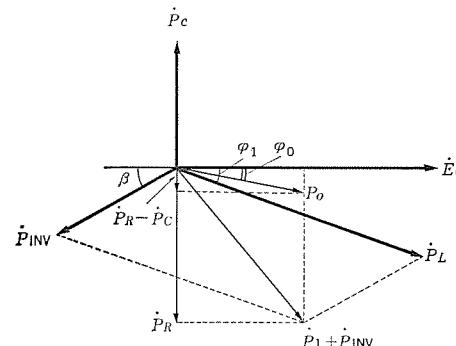


図5. インバータ変電所ベクトル図

る場合の変電所ベクトル図を示す。高圧配電負荷及びインバータは、

$$|\dot{P}_R| = |\dot{P}_{INV}| \sin \beta + |\dot{P}_L| \sin \phi_1$$

なる無効電力  $\dot{P}_R$  を発生するが、この電力は変電所のフィルタ分  $\dot{P}_C$  で吸収され、結局、電源より変電所に供給される電力  $P_0$  と力率角  $\phi_0$  とは、

$$\begin{aligned} P_0 &= (|\dot{P}_L| \cos \phi_1 - |\dot{P}_{INV}| \cos \beta) \\ &- j \{ (|\dot{P}_{INV}| \sin \beta + |\dot{P}_L| \sin \phi_1) - |\dot{P}_C| \} \\ \phi_0 &= \tan^{-1} \{ (|\dot{P}_C| - (|\dot{P}_{INV}| \sin \beta + |\dot{P}_L| \sin \phi_1)) \\ &/ (|\dot{P}_L| \cos \phi_1 - |\dot{P}_{INV}| \cos \beta) \} \end{aligned}$$

となる。

## 5. 変換装置の電源への影響

### 5.1 電源高調波

図6. は、変換装置動作時の電力及び高調波電流の流れを図解したもので、(a)はサイリスタインバータ動作時、(b)はシリコン整流器動作時の様子を示している。図6.において、両変換器とともに高調波電流源と考えることができるため、サイリスタインバータから発生する高調波電流と、シリコン整流器から発生する高調波電流とが同一の挙動を示し、電源系統、高圧配電負荷及び交流フィルタの各次数のインピーダンスに応じて分流されることが理解される。

ところで、シリコン整流器が位相制御なしで運転されるのに対し、サイリスタインバータは位相制御運転されるので、その分だけ高調波電流が増加することになるが、インバータは整流器と比較して電流が相対的に少なく、高調波電流絶対値そのものはそれ程大きくならない。また、インバータと整流器とが同時に大電流を流すことはないので、両者の高調波電流の重畠はない。したがって、変電所高調波はシリコン整流器だけの場合より増加することはないが、今回は万全を期してインバータを12相にした。また、電源系統をシミュレーションした結果、低次での系統共振が予想されたので、力率改善コンデンサ共用の5次及び11次の交流フィルタを設けた。

なお、車両チョッパ装置の発生する直流側高調波電流含有率は、チョッパ装置に備えられた低域フィルタで十分に小さな値に抑制されており、回生インバータ装置の変換動作によって電源系統に与える影響は、ほとんど無視することができる。

### 5.2 回生電力の活用

車両チョッパ装置で発生した回生制動電力は、車両補機電力及び力行車力行電力として消費されるが、直流側で処理できない回生電力は、回生インバータ装置によって交流電力に変換され、各変電所高圧配電負荷で再利用される。名古屋変電所及び板宿変電所の高圧配電負荷は、

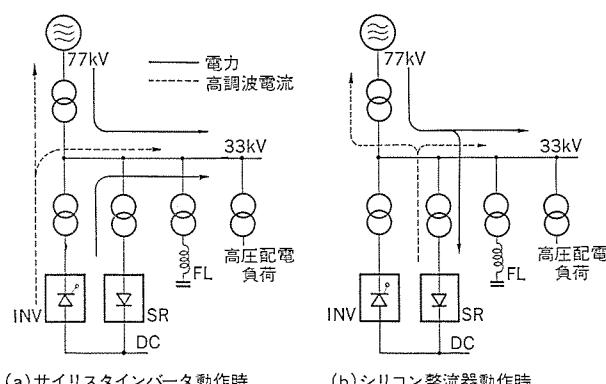


図6. 変換装置動作時の電力と高調波の流れ

おのおの平均で約600kVA、約1,500kVA程度と考えられるため、ほとんどの回生電力は、高圧配電負荷で消費される。

## 6. サイリスタインバータ制御方式

サイリスタインバータのゲート制御は、交流電圧・電流及び位相制御角  $\gamma$  の大きさによって変化する位相制御余裕角を常に正常運転を維持するのに必要な値にすると同時に、シリコン整流器無負荷電圧とサイリスタインバータ無負荷電圧とをほぼ同じ値で突き合わせてインバータ動作又は整流器動作への切換への速応性及び安定性を向上させるため、位相制御角リミッタ付きにした。更に、車両チョッパ装置の回生動作に合わせ、内部インピーダンスを自動調整して常に安定な回生負荷を供給するため、定電圧制御とするのが好ましいので、全体としてサイリスタインバータを位相制御リミッタ付定電圧制御方式とした。

図7. (a)は、位相制御角リミッタ付定電圧制御方式のブロック図であるが、このブロック図でも示されるように、制御基本ループは、電圧制御ループで構成されている。

図7. (b)は、シリコン整流器特性を含めたサイリスタインバータの制御パターンで、横軸の直流電流、縦軸の直流電圧上にサイリスタインバータ特性及びシリコン整流器特性を示している。各領域における動作は、次のようにまとめることができる。

- (1) 領域Iは、シリコン整流器の動作する順変換領域(力行領域)で、整流器の有するレギュレーション特性に沿って運転される。
- (2) 領域IIは、インバータ・整流器動作の遷移領域で、若干循環電流が流れるが、インバータ・整流器の切換えが自動的に連続的にかつ安定に行われる。

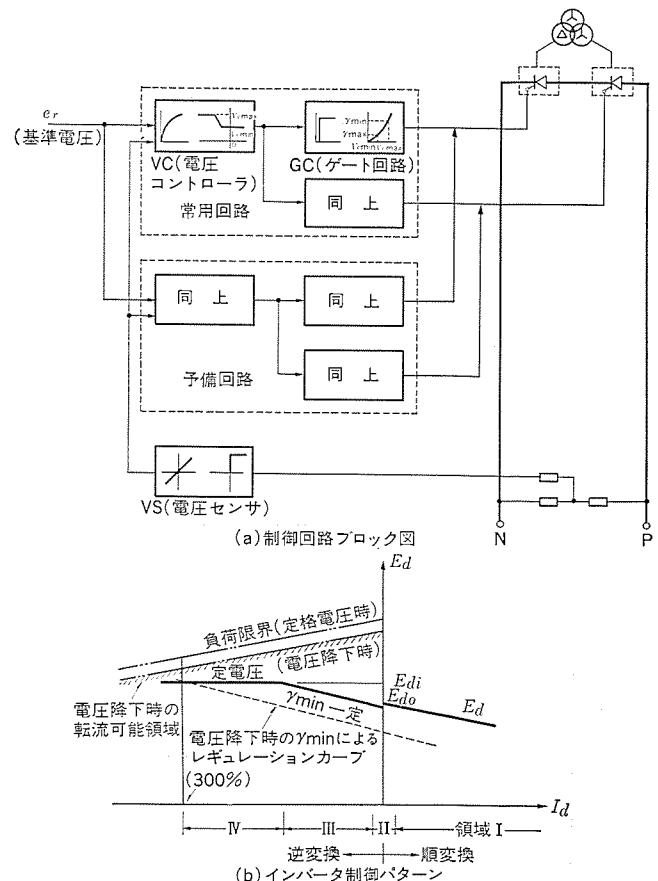


図7. インバータ制御方式

(3) 領域Ⅲは、インバータの動作する逆変換領域（回生領域）で、インバータは位相進み角最小値  $\gamma_{min}$  一定で運転される。

(4) 領域Ⅳは、インバータが定電圧動作する領域で、交流電圧一定の場合には、電流の増加に従って位相進み角  $\gamma$  が大きくなる。

ところで、定電圧設定値は、受電電圧変動が +5 % のときのシリコン整流器無負荷電圧より大きく、またインバータ 1 台脱落時に路線中の抑速制動車 2 両の抑速回生電流を処理できる程度に小さいという条件を満足させる範囲で選択可能であり、今回のケースでは、インバータ用 DC リアクトルが 200 % 負荷時の電圧降下分 30 V を考慮し、インバータ端子電圧を  $1,650 \text{ V} \pm 1\%$  とした。

なお、サイリスタインバータの電流断続時の動作は、適切な直流側スイッチ回路及び適当なゲート方式の適用により、12 相整流動作でも十分に安定であるように考慮されており、循環電流をほとんど流さず順変換・逆変換の動作切換が可能になった。

## 7. 回生インバータ装置の保護協調

電源電圧が大きく変動してインバータ交流電圧が異常に降下した場合、インバータは正常な転流動作を行うことができなくなつて転流失敗に至ることがある。そこで、インバータ交流電圧はこれらの条件を十分に勘案して決定した。

万一転流失敗した場合には、インバータ用 DC リアクトル、インバータ HSCB、及びシリコン整流器 HSCB 間で有効な保護協調がとられてゐるので、直ちに回復できる。

更に、転流余裕角が規定の値以下になる場合を考え、転流失敗による過電流の立上がる前に速やかに検出する転流余裕角検出器、及

表 1. 保護装置

記号	名称	備考
50V	インバータ短絡	瞬時要素
51V	インバータ過負荷	瞬時要素
54V	54V 自断	
26H	整流器温度上昇	
49B	冷却扇故障	冷却扇過電流
71	素子故障	グループ別、アーム別に表示
76CF	転流限界	
47	制御電源異常	
27V	停電	
51FL	フィルタ短絡	
63V	変圧器内部故障	
26V	” 温度上昇	
63G2	ガス圧低下 2 段	
79	再閉路失敗	

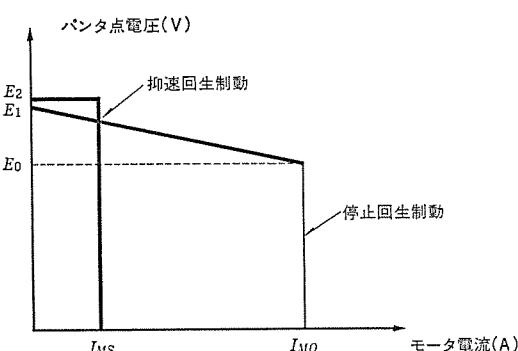


図 8. 回生制動電流 パターン

び素子故障検出のための素子故障検出器を備えており、これらの検出には高圧用 フォトカッパラが使用されている。

また、インバータ主回路・制御回路用部品には、高信頼性のものを使用するとともに、インバータ制御回路の万一の故障に備えて制御回路主要部を、図 7. (a) に示すように、常用・予備の 2 回路にし、切換スイッチの操作によって容易に切換えることができる。

このほか、回生インバータ装置には、表 1. に示す保護装置が備えられている。インバータ装置は、名古屋電所と板宿電所とに設置して回生率の向上を図っているが、一方の電所が停止した場合でも、他方の 1 電所で抑速回生制動による回生電力を十分に吸収できるように考慮されている。また (饋) 電タイポストを設けて架線電圧上昇を防止するとともに、車両側にも、図 8. に示すように、停止回生制動に対して抑速回生制動が優先されるような特性を持たせるなどし、回生システム全体としての考慮が払われており、連続走行区間の走行に極めて重要な抑速回生制動の失効防止に万全を期している。

## 8. サイリスタインバータの構成

図 3. サイリスタインバータ装置全景に示すように、サイリスタインバータは正面中央の制御回路 キューピクルと、それをはさむ左右 1 対の主回路 キューピクルとから構成され、共通ベース上に配置されている。

図 9. に主回路 キューピクル 内部を示す。主回路 キューピクルには、平行形サイリスタからなるサイリスタスタック 6 個が収納され、各スタックは、3 相ブリッジの各 1 アームに相当して強制風冷される。スタック両側には、素子並列スイッチ回路用コンデンサ、抵抗及びゲートユニットが配置され、底面には、高圧用 フォトカッパラを含む高圧基板が取付けられている。

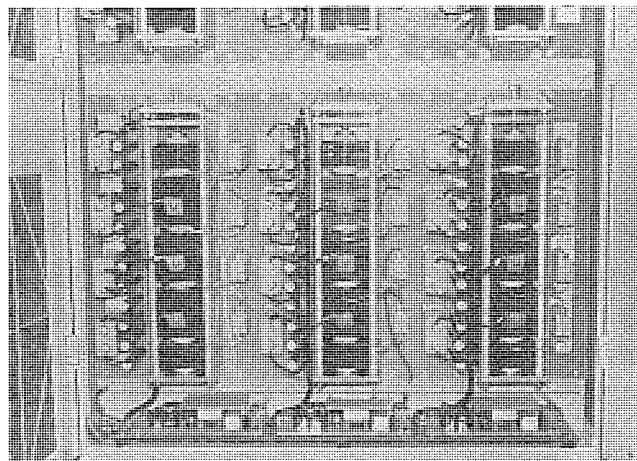


図 9. サイリスタインバータ 主回路 キューピクル 内部

## 9. モデル試験

電気鉄道用回生インバータ装置に必要な基本諸特性を確認するため、事前にモデル試験を実施した。回生車には 8 kW の直巻電動機とチョッパ制御装置とを用い、力行車には抵抗負荷を用いて模擬した。試験回路を図 10. に示す。また、試験内容を以下に示す。

### (1) 定常運転試験

架線電圧を一定に保つために採用した定電圧制御方式、循環電流通現象、フィルタ効果等の静特性の確認を実施した。

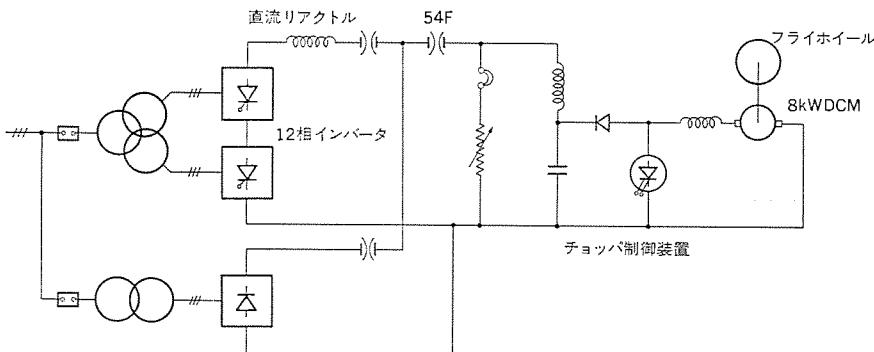


図 10. モデル 試験回路

## (2) 過渡運転試験

力行車と回生車とが運転中に何らかの原因によって力行車がノッティオフした場合、インバータによって確実に架線電圧上昇を防止し、回生車の制動を継続できるようにしなければならない。このため、直巻電動機を発電機として回生電力をすべて力行車模擬用抵抗負荷で消費させておき抵抗負荷をしゃ断して架線電圧上昇を防止する回生インバータ装置の動作を確認した。

## (3) 事故試験

インバータ装置で発生する転流失敗、架線地絡等の事故による責務と保護との確認を実施した。

実施したモデル試験により、回生インバータ装置が確実に回生制動を行い得ることが確認された。

## 10. 運転試験結果

### 10.1 直流側特性

名谷変電所インバータの電圧・電流特性の実測値を図11.に示す。この結果、設計どおりの動作が得られていることが確認された。

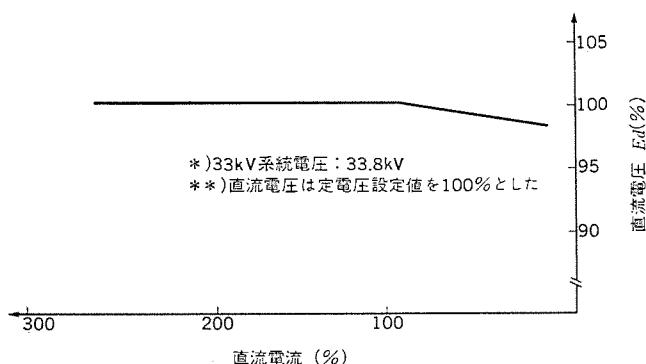


図 11. 名谷変電所 インバータ 電圧、電流特性

図12. (a)に示す運転条件は板宿変電所インバータのみが運転し、名谷駅付近に抑速回生制動車と力行車があり、この状態で力行車が力行後ノッティオフするという過渡特性上非常に厳しい条件の一例を示しているが、この場合の板宿変電所インバータの過渡応答特性を図13.のオシログラムに示す。力行車ノッティオフ時にインバータ・整流器間の切換がスムーズに行われ、車両側においても、パンタ点電圧の上昇も問題なく抑速回生車が失効しないことが確認された。

図12. (b)に示す運転条件は、名谷変電所インバータのみが運転し、名谷変電所インバータと板宿駅付近の抑速回生制動車との間に更に妙法寺駅付近に停止回生制動車があるという抑速回生制動車にとっては非常に厳しい条件の一例であるが、この場合にも停止回生制動車が回生制動を開始しても抑速回生制動車は影響を受けず、抑速車優先特性が満足されていることが確認された。

### 10.2 回生電力量

1編成運行時の変電所回生率を表2.に示す。上り方向は、下りこう配であるために回生電力量が大きく、回生率は142%で、上り・

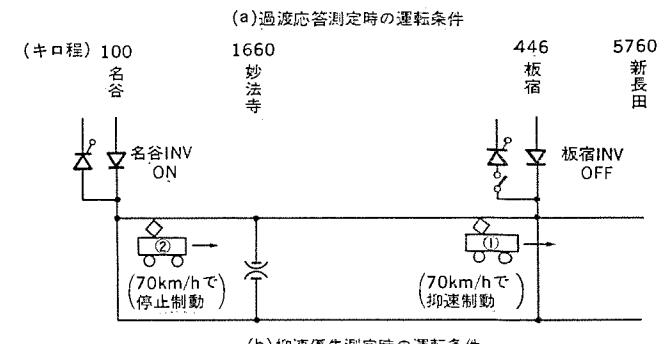
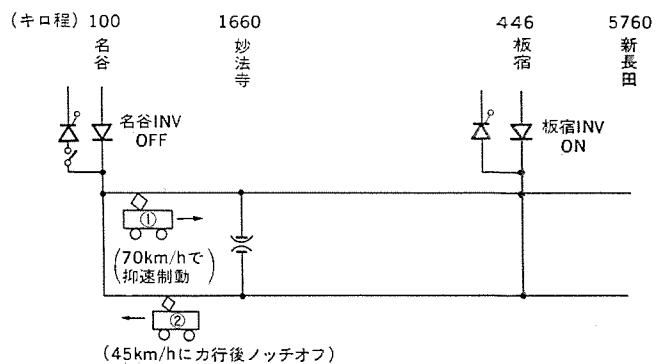


図 12. 直流特性測定時の運転条件

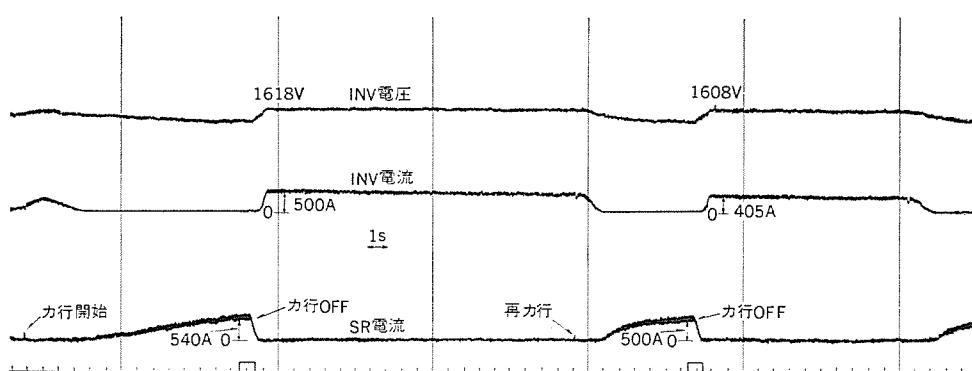


図 13. 板宿変電所 オシログラム (過渡応答特性)

下り 1 往復平均回生率でも 42 % に達している。

ダイヤが密になると、車両回生電力が他の力行車で消費されるチ

表 2. 変電所回生率の実測結果

運転条件		変電所回生率 (%)
1編成運転 注 2)	名谷 → 新長田(上り)	142
	新長田 → 名谷(下り)	12
	1 往復平均	42
ダイヤ運転 注 3)	5.0 分 ヘッド	10.5
	7.5 分 ヘッド	10.0

注 1) 変電所回生率 =  $\frac{\text{変電所平均回生電力}}{\text{変電所平均力行電力}}$

2) 回生率は名谷変電所、板宿変電所の総合値

3) 板宿変電所の回生率を示す

ヤンスが多くなり、変電所で回生される割合は減少する傾向にある。

表 2. にダイヤ運転時の板宿変電所における回生率の実測結果を示しているが、5 分 ヘッド 運転及び 7.5 分 ヘッド 運転共に約 10 % の変電所回生率が実測された。この値は、電力節約並びに車両回生失効防止に対して当初の目標どおりインバータが有効に働いていることを示す。

### 10.3 高調波

200 % 荷重の 4M 1 編成車両が、名谷駅 - 新長田駅間を ATO 運転で往復走行した場合の、名谷変電所回生電流最大及び力行電流最大のときにおける 77 kV 系統電圧・電流高調波の測定結果を図 14., 図 15. に示す。

77 kV 系統の電圧高調波含有率は、回生時・力行時のいずれにおいても、各次数共に 0.27 % 以下、総合ひずみについても回生時に 0.37 %、力行時に 0.34 % と良好な結果が得られた。

また、77 kV 系統の電流高調波によるひずみ波電流実効値は、回生時に 14.9%，力行時に 20.7% と回生時のほうが小さく、サイリスタインバータを 12 相運転にしたことによる効果が現れている。

以上の結果、サイリスタインバータ装置で構成される電鉄回生直流変電所の電源高調波は、在来方式の非回生方式直流変電所などであり、特に問題がないことが確認された。

### 11. むすび

以上のように、電鉄回生変電所としての動作特性、省エネルギーによる経済効果などについて、初期の目的どおりに優れた結果が得られた。サイリスタインバータによる回生変電所は、その鉄道システムの要求特性に容易に対応して安定した車両回生制動を保証できる一方、シリコン整流器との組合せが可能であることによって経済的な回生変電所の実現が可能になった。また、回生電力の利用によってその経済効果も期待できるものと確信される。電鉄回生設備として引続いて札幌市交通局より受注・納入したが、今後、チョッパ回生車両の普及、あるいは回生車両の自動運転方式の導入等により、省エネルギー効果とあいまって今後ますますその重要性が高まるものと確信される。

最後に、この設備の完成にあたってご指導、ご支援をいただいた神戸市交通局関係各位に深く謝意を表する次第である。

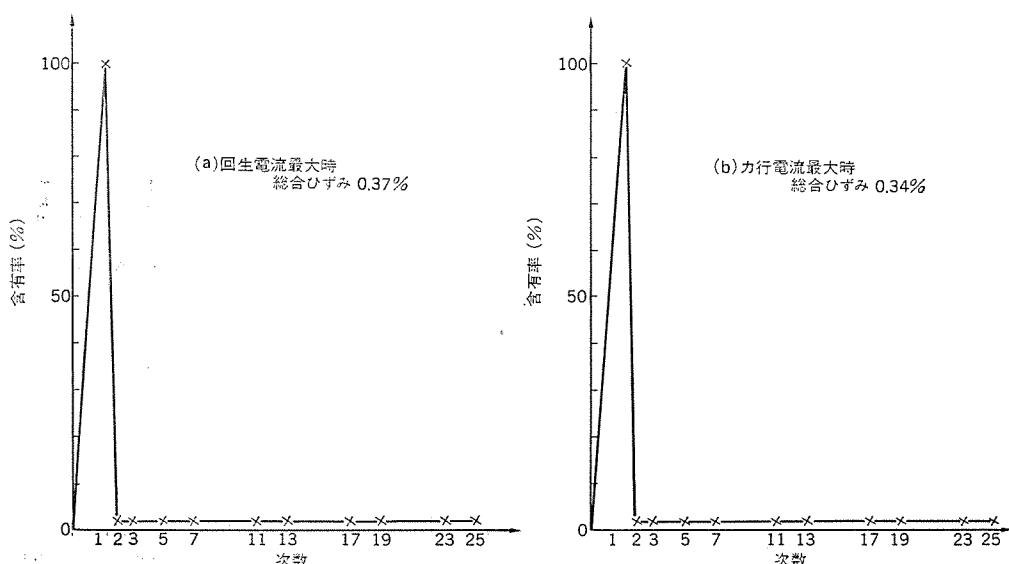


図 14. 77 kV 系統電圧高調波測定結果(名谷 S/S)

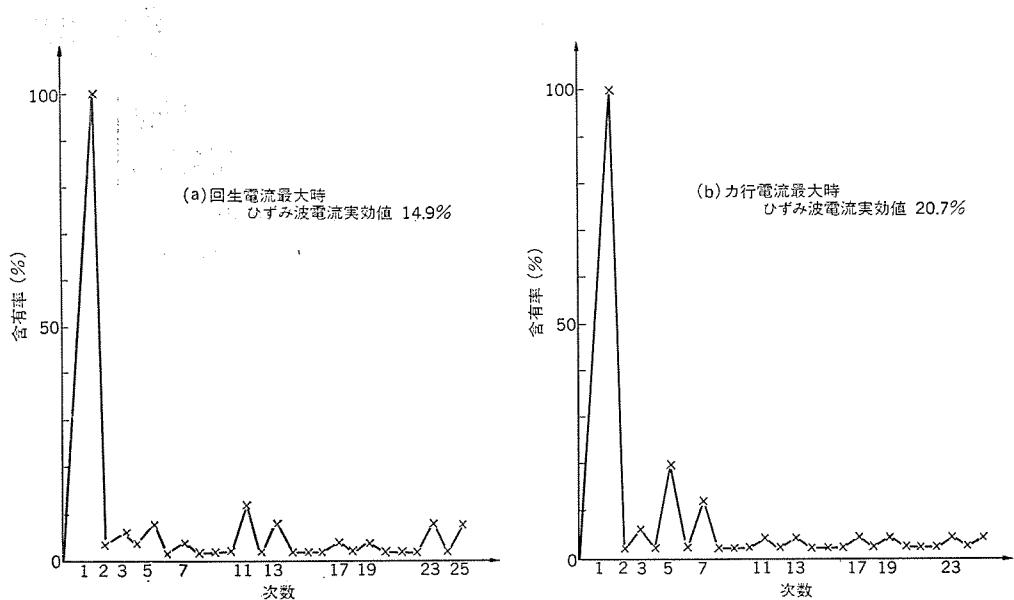
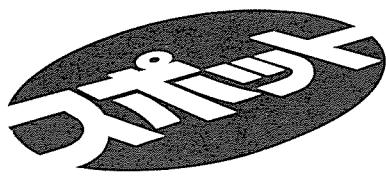


図 15. 77 kV 系統電流高調波測定結果(名谷 S/S)



# 三菱84/72kV全三相一括形 ガス絶縁変電所

500kV級 ガス絶縁変電所(GIS)の納入実績をもつ三菱電機は、GISの主要目的である変電所設置面積の縮小化と信頼性の向上をいつそう推進するために、この度84/72kV級のシステム全体を三相一括化しました。

## 〈特長〉

### ●全三相一括化

しゃ断器、断路器などの開閉器をはじめ、避雷器、計器用変成器などを含めた全三相一括形であり、変圧器(TR)や計器用変圧変流器(MOF)との直結などシステム全体を簡素化して設置面積を従来形(84/72kV級)の約3/4にしました。

### ●じん害、塩害の心配がありません。

充電部だけでなく機構部も完全密閉化しましたから、じんあいや臨海地帯における塩分などの影響を受けません。

### ●短納期にお応えできます。

あらゆる機器構成を考慮して、配置・構成に融通性をもつた機器を標準化しました。また、2ユニットを工場で組立ててから輸送しますから、据付作業期間が短縮できます。

### ●信頼性の高い機器を使用しています。

三相一括形しゃ断器はがいし形GCB及び相分離形GISに使用している構造の簡単な単一圧力式パッファ形であり、また避雷器には500kV級と同様にSF<sub>6</sub>ガスを絶縁並びに消弧に使用するSF<sub>6</sub>ガスギャップ方式を採用するなど、小形軽量化だけでなく信頼性の向上にもつとめています。

### ●点検が容易です。

定期点検はすべて本体の前面パネルで行えます。

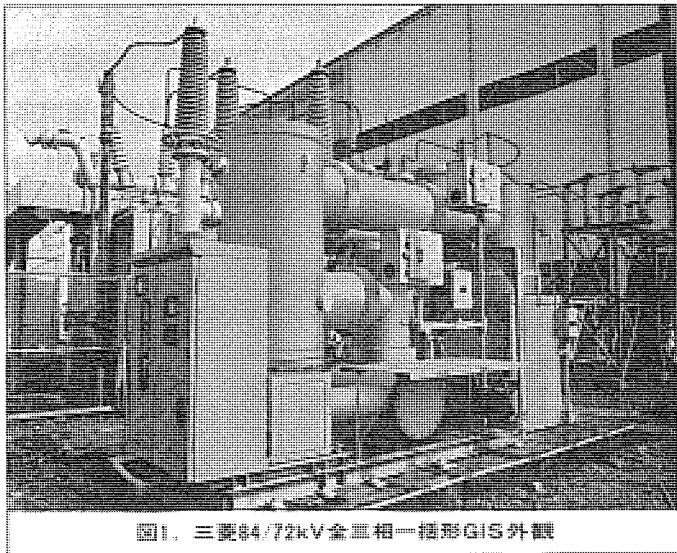


図1. 三菱84/72kV全三相一括形GIS外観

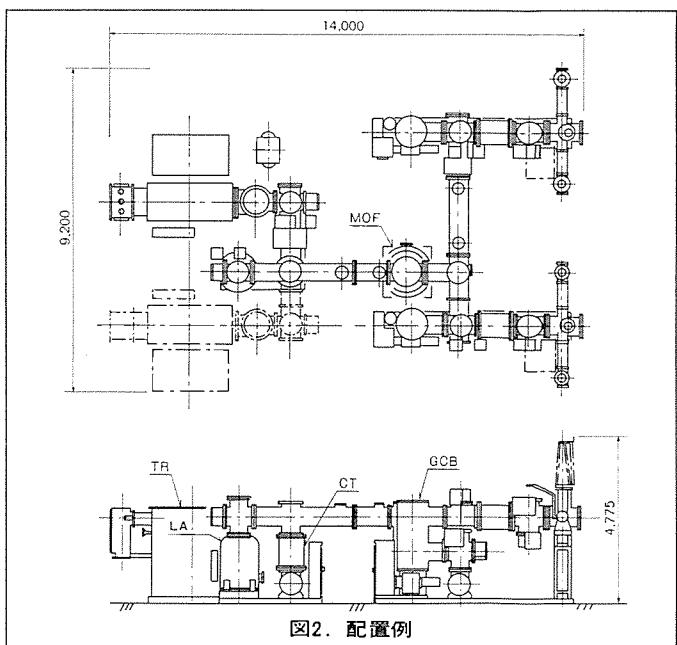


図2. 配置例

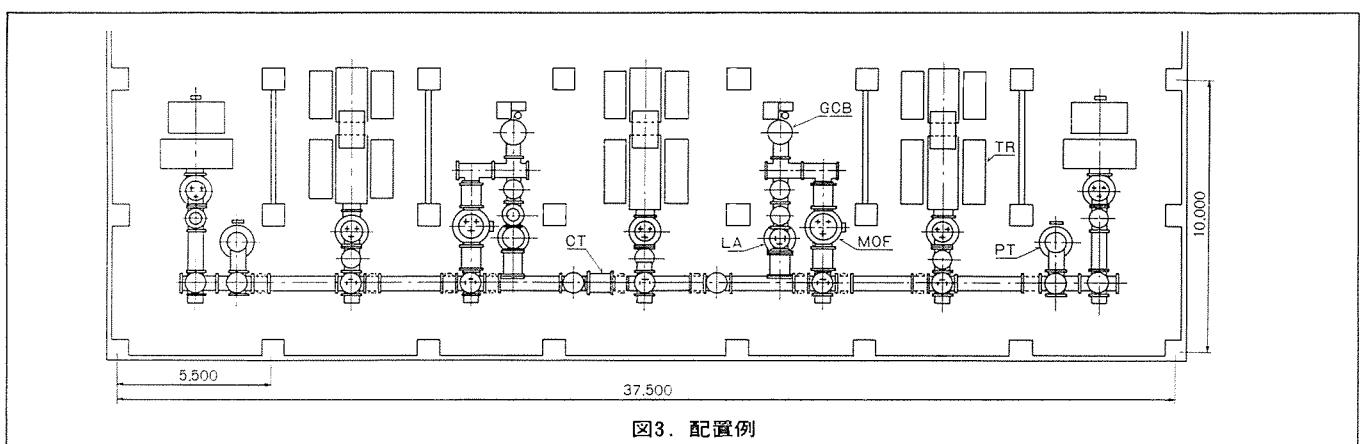
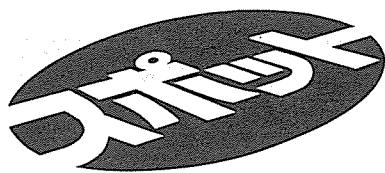


図3. 配置例



# 愛媛大学農学部納め 植物生育制御用画像入力システム

三菱電機は植物生育制御用の画像入力システムを愛媛大学農学部に納入しました。このシステムは計測用テレビカメラとビデオメモリ(リアルタイムTV画像記憶装置)で構成し(図1)、既設のMELCOM 70ミニコンピュータシステムと組み合わせて(図2)、植物の生育に最適の環境条件をつくり出すための解析に使用します。自動植物工場などの実現に貢献するものとして、今後の研究結果が注目されています。

## 〈特長〉

- TVカメラにシリコンビジコンを使用していますから、高感度で広い分光範囲(青～赤外線)のデータが得られます。
- TVカメラおよびVTRの信号を入力できます。
- 1画面(1/60秒) A/D変換がリアルタイムででき高速です。
- 画像データはビデオメモリのパネルスイッチを押すだけでTVカメラから1フレームメモリ(256×256×8ビット)に記憶でき、自動的に磁気ディスク装置に格納できます。
- 磁気ディスク装置に格納したデータはFORTRANで書いたプログラムで処理できます。

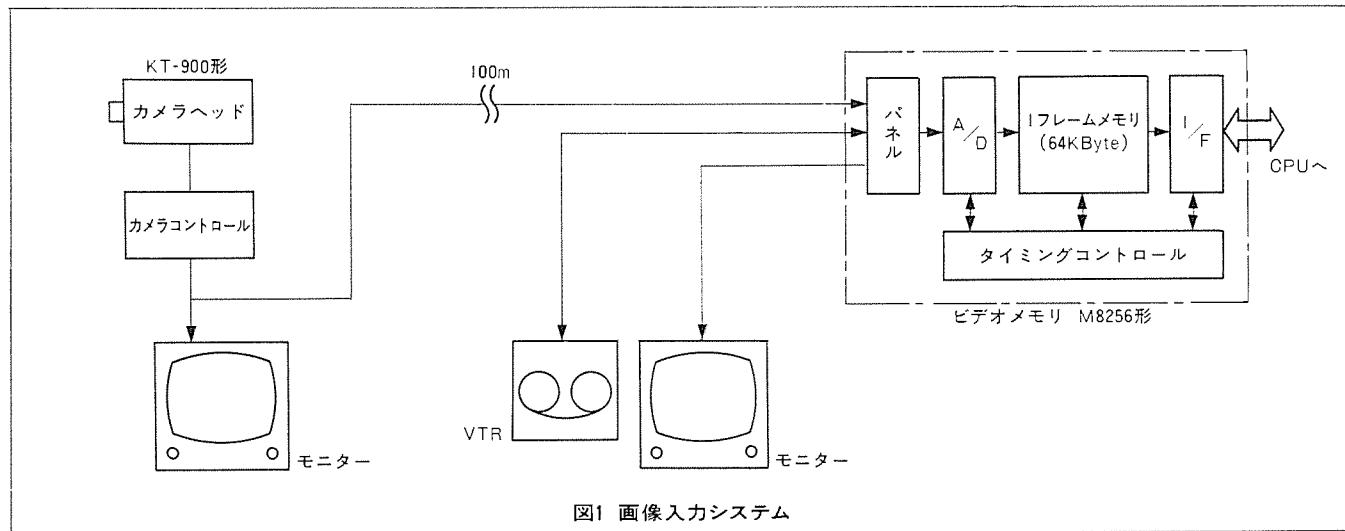


図1 画像入力システム

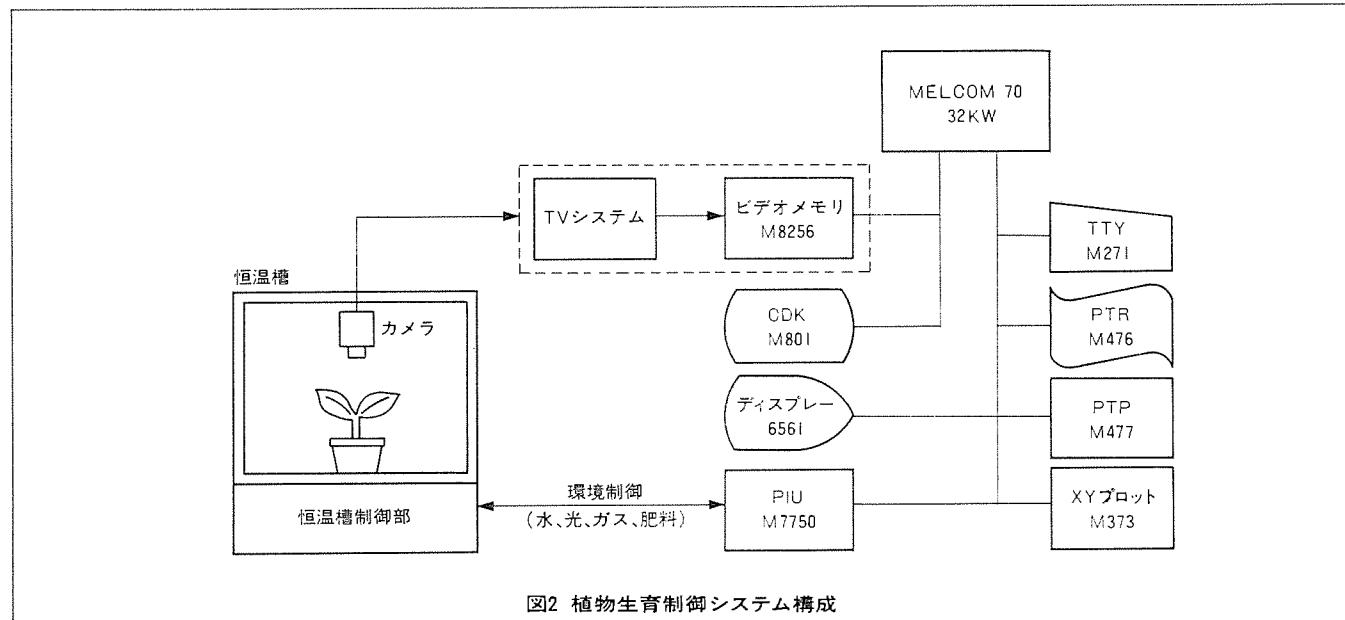


図2 植物生育制御システム構成

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1105862	回転変圧器	河村博敏	1108916	自動反転回路	岸博武
1105863	油入機器の呼吸装置	伊藤芳夫・武田克郎	1108917	密閉形圧縮機	大日方興信・田中満
1105864	温度制御装置	中村富家	1108918	密閉形電動圧縮機	星野義明
1105865	ガス器具用制御装置	{ 福家章・小原英一 清水誠・柘植恵	1108919	カセット式磁気テープ装置	花岡菖・長田好正
1105866	浴用気泡発生器	川合輝一・小池利男	1108920	ハンドル端面の保護装置	河村伊佐夫・田中毅
1105867	電気マッサージャー	川合輝一	1108921	放熱装置	柳下昌平・小原健一
1105868	浴用気泡発生装置	{ 武井久夫・増田三郎 川合輝一	1108922	密閉容器の管導出装置	堀江明
1105869	浴槽用気泡発生器の噴気盤	川合輝一	1108923	スイッチ回路装置	高石駿
1105870	気泡発生装置の気泡盤	川合輝一・小池利男	1108924	換気口の防火ダンパー装置	井口武夫
1105871	浴用気泡発生器	川合輝一・小池利男	1108925	水噴射電動ボリシャ	三浦満雄・山本作衛
1105872	浴用気泡発生器	増田三郎・川合輝一	1108926	放熱装置	{ 久我晃二・佐藤伸一 和佐信行
1105873	気泡発生装置	{ 増田三郎・川合輝一 小池利男	1108927	ブッシング	村上貞利・長谷川逸史
1105874	気泡発生装置	川合輝一・小池利男	1108928	電動圧縮機の熱動継電器保持装置	池田文雄
1105875	電磁振動装置	川合輝一・大竹操	1108929	電子レンジの電波漏洩防止装置	小林協三
1105876	電気マッサージャー	川合輝一	1108930	クレーンの暴走チェック装置	佐竹幸雄・葛西由夫
1105877	気泡発生装置	川合輝一・小池利男	1108931	キャンドモートルポンプの点検装置	吉田久信
1105878	自動故障検出装置付真空スイッチ	青木伸一	1108932	パンタグラフ制御装置	仙波登
1105910	単相誘導電動機の可逆運転制御装置	広岡博	1108933	冷蔵庫用露受ガイド	永野幸信
1106225	エレベータ到着予報装置	太田久雄	1108934	ドレン抜き管	茨城光政・望月勝美
1106917	蓄熱形ヘアカラーのカールボン	{ 熊沢勉・加藤武 鳥山健夫	1108935	換気口化粧グリル取付装置	宍戸幸男
1108598	点火信号発生装置	三木隆雄	1108936	換気扇	宍戸幸男
1108599	磁石発電機	市川和	1108937	換気扇	宍戸幸男
1108600	環状螢光ランプ用口金	服部睦・安藤茂	1109814	コード巻取器のコード緩衝装置	武井久夫・加藤悟
1108601	車輪用定速走行装置	片山紘二	1110146	空気調和装置	新倉宗寿
1108602	梱包装置	佐藤信行	1110147	車輪用アンテナの昇降装置	藤岡勝彦・和田一二三
1108603	乾燥室付温水器	{ 赤羽根正夫・宮崎昭信 窪田透治	1110148	電気毛布用発熱線の端末処理装置	中村富家・大竹操
1108604	ねじ脱落防止装置	元木義明	1110149	変成器	横山栄一
1108902	屋根の融雪装置	町原義太郎・近藤正司	1110150	電子調理器	池田宏司・望月雅之
1108903	屋根の融雪装置	{ 町原義太郎・近藤正司 市村伸男	1110151	テープレコーダのヘッドカバー	岩橋善敏
1108904	自動同調装置	木村英雄・清瀬信吾	1110152	記憶表示回路	渡辺幸康
1108905	回路遮断器	中本勝博	1110153	プリセット受信装置	東謙・堀江登
1108906	鋸歯状波発生回路	岡村宗和	1110154	ドップレーダー装置	白幡潔
1108907	弛張発振装置	喜多興一	1110155	変圧器	松原彰雄・白神十九一
1108908	冷凍圧縮機	高田宏・河村求	1110156	アンテナ切替回路切替表示装置	白土孝彦
1108909	ダイアゴナルホーンリフレクタアンテナ	片木孝至	1110157	閉鎖配電盤の母線分岐装置	柿沼清
1108910	放射線源調整装置	岩井優	1110158	強制通風式冷蔵庫	加藤俊郎
1108911	円錐ホーンリフレクタアンテナ	武市吉博・片木孝至	1110159	数値制御アーチ溶接装置	齊藤弘之
1108912	ダイアゴナルホーンリフレクタアンテナ	片木孝至	1110160	空気調和機	山崎輝久
1108913	電気あんま器	川合輝一	1110943	小形電動機の軸受装置	相田利光・桜井五十次
1108914	切換えスイッチ装置	川合輝一	1110944	回転電機の固定装置	真鍋治
1108915	密閉形圧縮機	元場邦彦	1110945	航空機搭載用レーダの撮影装置	竹下栄一
			1110946	自動車用回転電機の取付部構造	岩城良之
			1110947	磁気連結装置	小林良治
			1110948	渦電流継手	神田昭夫
			1110949	安全弁	宇川彰・畠山英一

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
790019	金属ハロゲン化物入り高圧水銀ランプ	竹田俊幸・土橋理博	792007	電気車制動装置	北岡 隆・白庄司 昭
790020	金属ハロゲン化物入り水銀ランプ	{竹田俊幸・土橋理博 若林正雄	792008	溶接機のワイヤ送給装置	{鶴飼 順・後藤洋治 杉山尚男
790535	同期発振装置	{田原清一・水野谷 徹 田中安敏	792009	アナログ信号の変形方式	太田 勇久
790536	多重通信装置	吉田 宏	792010	プロジェクション溶接装置	{山本利雄・奥田滝夫 稻田幹夫
790537	共用アンテナ	吉田 連・水沢 丕雄	792011	回転電機の液冷回転子	古門 昭二
790538	電解加工装置	齊藤長男・久慈陽一	792012	回転電機の液冷回転子	甲斐 高・古門昭二
790539	遠隔指示計測装置	武田克己・元木義明	792013	回転位置表示装置	道家昭彦・山際豊行
790540	半導体装置	米田良三	792014	直接発振検波素子を用いた位置検出方式	近藤明博
790541	半導体装置	{松嶋 勇・天野正勝 土屋芳巳	792015	被覆鋼板のアーチ溶接法	{島田 弥・大峯 恩 潮田 徹・岡田任史
790542	送風機の制御装置	{大旗康文・水溜和哉 坂本一郎	792016	アンテナ給電方式	{立川清兵衛・武市吉博 橋本 勉
790597	レーザ・レーダ装置	稻葉文男	792017	点灯保持回路	大津一男
790969	光互変性ガラス	林 次郎・平野昌彦	792018	しゃ断器の制御方式	北浦孝一
791678	脱調検出装置	高田信治	792019	複合超電導体	石原克己・田口 修
792002	遅延線を含む周期的フィルタ回路	田中安敏	792020	温水器付食器洗い機	{小川 昇・森本敏夫 新井勝紀
792003	照明器具	石井重行	792856	誘導加熱による熱処理装置	君塚 齊・島田 収
792004	電解加工装置	{齊藤長男・荒井伸治 葉石雄一郎	792943	半導体素子のリード線接続方法	{大久保利美・竹原克尚 海田直彦
792005	換気装置	吉野昌孝	792944	半導体装置	河津 哲
792006	半導体ウエハの製造法	中島当記			

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 51 No. 7 昇降機・ビル管理特集

特集論文

- OSシステム75群管理方式と会話形シミュレータ
- 中速ギヤレスエレベータの新制御方式
- 三菱新形乗用油圧エレベータ
- 横断歩道橋用エスカレータ
- ビルディング総合管理システム
- 画像情報装置と防犯・防災システム

普通論文

- 高性能電着絶縁電線
- 対話形自動プログラム付ワイヤカット放電加工機
- 東京大学教育用計算機センタ省力化システム
- MNOS構造不揮発性メモリと4KビットEAROM
- 家庭用冷蔵庫の熱系シミュレーション
- 大容量8,500kVA自励式インバータ

三菱電機技報編集委員

委員長	小原敬助	常任委員	茶谷三郎
副委員長	松岡治	"	平林庄司
"	後藤正之	委員	遠藤裕男
常任委員	武藤正	"	村上卓弥
"	佐々木二郎	"	熊本永
"	葛野信一	"	橋爪基
"	伊原總三郎	"	吉田太郎
"	北川和人	"	山崎肇
"	三矢周夫	"	松村長延
"	清田浩	"	小野勝啓
"	阿部修	幹事	本間吉夫
"	武田克己	"	三田村和夫
"	福家章	6号特集担当	山田郁夫
		"	稻村彰一

三菱電機技報51巻6号

昭和52年6月22日 印刷  
(無断転載を禁ず)  
昭和52年6月25日 発行

編集兼発行人	本間吉夫
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
発行所	東京都千代田区大手町2丁目6番2号(〒100) 菱電エンジニアリング株式会社 「三菱電機技報」Tel.(03)243局1785
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 Tel.(03)291局0811, 振替口座 東京20018 1部400円送料別(年間予約は送料共5,200円)
定価	



# 三菱オーブンレンジ RO-1500形



三菱電機は食品周囲からのヒーター加熱による焦げ目つけと、マイクロウェーブによる食品内部からの迅速加熱を一台で行う三菱オーブンレンジRO-1500形を開発しました。この製品は電気オーブンの課題であつた迅速性と電子レンジの課題であつた焦げ目つけを同時に解決したものです。もちろん、電子レンジあるいは電気オーブンとして単独で使用することもできます。また、イースト菌発酵装置つきで、パン作りも行えます。開発にあたっては、ターンテーブル(皿)・加熱ヒーターなどを含む加熱空間内の電気的負荷回路とマグネットロンとのインピーダンスマッチング(負荷整合)の問題を解決し、高効率で安定性のある動作を確保しています。

## 仕様

消費電力と高周波出力	電気ヒーター	消費電力100V 990W(上ヒーター600W、下ヒーター390W)
	マイクロ波	消費電力100V 990W 高周波出力500W
加熱装置	電気ヒーター	細径アルミカヒーター(着脱可)
	マイクロ波	マグネットロン
ターンテーブル式		有(オーブン時も可)
制御装置	オープン/レンジ切換スイッチ	シーソスイッチ
	ヒーター切換スイッチ	3段ロータリースイッチ(上下、上、下)
	タイマー	電動式60分計 (12分までは拡大目盛 オーブンとレンジ共用)
	温度調節器	37°C ~ 250°C
	調理スイッチ	有(オーブンとレンジ共用)
イースト菌発酵		可(37°C)
庫内灯		有(オーブン時も点灯)
寸法	外形	幅551×奥行434×高さ412(mm)
	庫内	幅330×奥行331×高さ248(mm)
	庫内有効寸法	幅289×奥行315×高さ184(mm)
製品重量		35kg(50Hz)、34kg(60Hz)
付属品		セラミック皿、円形皿(ホーロー仕上げ) 角形皿(ホーロー仕上げ)、クックネット、焼網、取手、料理ブック

## 特長

- 電気オーブン→電子レンジの切換えはスイッチひとつでできます。
- 各種ターンテーブル・角皿・焼網などの専用付属品を料理に応じて使い分けられます。
- ターンテーブルはオーブン使用時も回転しムラ焼けを防ぎます。
- オーブン温度はパン作りにかかるイースト菌発酵適温の37°Cから250°Cまで自由に調節できます。
- ヒーター切換スイッチにより“上方から(600W)”・“下方から(390W)”・“上方、下方同時”的3通りの焼き方ができます。
- ステンレス製の庫内壁面、着脱自在のヒーター、皿受棚など、手入れのしやすい構造です。
- 庫内灯つきですから、ドアスクリーンを通して料理の状態が確認できます。
- 操作は簡単で、オーブンとレンジの切換スイッチを押し、ヒーター切換スイッチやタイマーをセットし、調理ボタンを押すだけです。