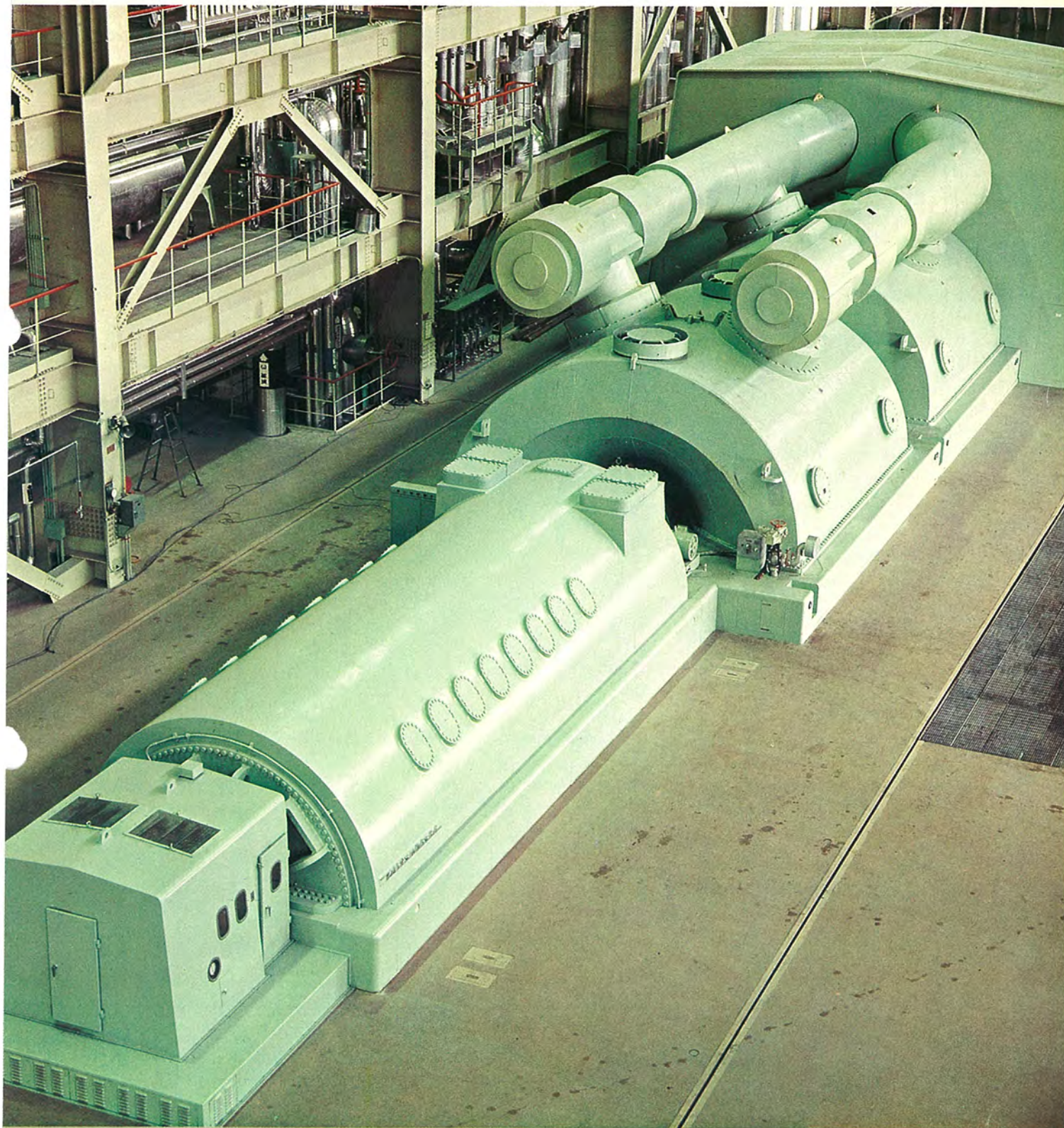


MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.51 No.2

火力発電特集

三菱電機技報

Vol. 51 No. 2 FEBRUARY 1977

火力発電特集

目次

特集論文

最近の火力発電所向けタービン発電機の動向	速水 和夫・上田明紀・植松 豊	99
大容量タービン発電機の信頼性	松田 禎夫・大石紀夫・伊藤裕之・八木耕三・土方明躬	105
ガスタービン発電プラントの進展	森 義孝・森 要・風呂 功・上田健二・松宮保夫	111
最近の地熱発電プラントにおける電機設備の動向	久保博和・広崎吉彦・森崎 博・佐藤欽也	117
蒸気タービンの電気—油圧式ガバナ	佐々木俊之・横須賀良夫・遠藤康治・森岡康二・伊与田寛忠	123
火力発電所の計算機による自動化	小野勝弘・羽倉義征	129

普通論文

札幌市交通局納め車両用高圧インバータ装置	小山 滋・三金敏雄・加我 敦	135
工業プラントにおける同定	立花康夫・稲本 惇・高橋正夫	139
トヨタ自動車工業(株)納めリニアモータ方式自動車衝突試験装置	古川俊幸・猪谷耕太郎・川内豊行	145
運輸省新東京航空交通管理制部の電源設備	守川哲郎・向 義則・北田文宏	149
水道用集中管理システム	富田 実・柳沢 忍・田中 智・関川一彦・長束晴弘	155
真空スイッチ式負荷時タップ切替器	樋口 昭・吉田和夫・伊藤克明・源川一志・山中隆司	161
スポット		166
ベースボードヒータ用集中制御装置・小田急町田駅ビル納めビル総合管理システム・ラジオカセット《JEAGAM》・実用化をめざすリニアモーターカー・ビル避難用スパイラルシュータ (表紙—3)		

FEATURING THERMAL POWER GENERATING EQUIPMENT

CONTENTS

FEATURED PAPERS

Recent Trends in Steam-Turbine Generators for Fossil-Fuel Power Stations	Kazuo Hayami et al.	99
The Reliability of Large Steam-Turbine Generators	Sadao Matsuda et al.	105
Developments in Gas-Turbine Generator Plants	Yoshitaka Mori et al.	111
Recent Trends in Electrical Equipment for Geothermal Power Plants	Hirokazu Kubo et al.	117
An Electrohydraulic Governor for Steam-Turbine Generators	Toshiyuki Sasaki et al.	123
Automatic Computer-Control Systems for Fossil-Fuel Power Plants	Katsuhiro Ono & Yoshiyuki Hagura	129

GENERAL PAPERS

A High-Voltage Static Inverter for Subway Cars	Shigeru Koyama et al.	135
System-Criteria Definition in Industrial Plants	Yasuo Tachibana et al.	139
A Vehicle-Impact Testing Facility Using a Linear Motor	Toshiyuki Furukawa et al.	145
Power-Supply Equipment for the New Tokyo Air-Traffic Control Center	Tetsuo Morikawa et al.	149
A Centralized Control System for a Water-Supply Network	Minoru Tomita et al.	155
An On-Load Tap Changer Using Vacuum Switches	Akira Higuchi et al.	161

表紙

関西電力(株)姫路第2発電所納め5号タービン発電機
(670 MVA)

火力発電用 60 Hz タンデム形タービン発電機として我が国で最大容量級であり、固定子コイルに2列ベントチューブ、回転子コイルにプレシャライズドギャップ冷却を採用して冷却効果の改善が図られている。2,800 kW 505 rpm 電動直流励磁機はこの形式として最大級で、常用機は屋内形、予備機は2重ハウジングの屋外形である。

励磁機駆動用 3,050 kW 誘導電動機は2分割のタンデム配置とし、始動電流抑制のため順序始動方式を採用している。

COVER

670 MVA # 5 Steam-Turbine Generator for the # 2 Himeji Power Station of Kansai Electric Power

This is the largest fossil-fuel 60Hz tandem steam-turbine generator in Japan and features improved ventilation through adoption of 2-line vent tubes in the stator coil and pressurized gap ventilation of the rotor coil. Excitation is provided by two 2800kW 505rpm motor-driven DC exciters the largest of their kind—one of indoor construction for normal duty and the other a standby unit having a double outdoor housing.

The 3050kW induction motors and the exciters are in a separate tandem arrangement and adopt a sequential starting method in order to limit starting current.

<p>最近の火力発電所向けタービン発電機の動向 速水和夫・上田明紀・植松 豊 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P99～104</p> <p>火力発電所向けタービン発電機は、数年前までのハイビッチな大容量化がやや鈍化した¹が、着実に大容量化されており、単基1,000MWクラスの時代に入った。大容量火力機と原子力機がベース負荷を担い、また季節、時間帯による負荷の不均衡などから、450MVA以下の火力機がピーク負荷対策用に利用される傾向も見られる。本文では国内外の火力用発電機定格の変遷、大容量発電機の諸問題、並びにピーク負荷用火力発電機に対する考慮点につき紹介する。</p>	<p>札幌市交通局納め車両用高圧インバータ装置 小山 滋・三金敏雄・加我 敦 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P135～138</p> <p>このたび、札幌市交通局東西線の回生制動付チョッパ制御電車用電源として、DC1,500V・23kVAのインバータを11編成分製作納入した。この装置は、車両の制御用電源であるとともに我が国で初めて回生付チョッパ制御装置と協調運転を行うものである。また制御回路2重系自動切換システムをはじめ、高信頼度化と、大幅な軽量化とを実現し、地下鉄電車に最適な設計となっている。この論文では装置の仕様・構成を述べるとともに現車試験の結果を報告する。</p>
<p>大容量タービン発電機の信頼性 松田禎夫・大石紀夫・伊藤裕之・八木耕三・土方明躬 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P105～110</p> <p>大容量発電機の信頼性を確保するためには、大容量化に伴う問題点ののれのない抽出、理論と実験の両面からの十分な検討が必要であり、コンピュータシミュレーション解析、実物大モデル検証試験など諸機能の徹底した信頼性検証が行われている。本文では、ロータ軸振動、固定子コイル支持、ロータ軸材、水冷コイル端部、軸受、シールリングなどをとりあげ、信頼性向上のための新しい技術と、信頼性の検証について述べる。</p>	<p>工業プラントにおける同定 立花康夫・稲本 惇・高橋正夫 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P139～144</p> <p>高性能な制御系構成には対象系の適確な把握を要し、工業プラントなどの複雑なシステムに対しても、より簡単な特性表現が必要となる。この論文では、プラントの計算機制御を実施する際に用いた系の入出力の観測値より近似モデルの作成について述べる。特性推定（同定）手法について述べた後に、製紙工業での抄紙機の坪量及び水分系の同定例、そして製鉄工業でのレバースィング コールドミルの同定例についての紹介を行った。</p>
<p>ガスタービン発電プラントの進展 森 義孝・森 要・風呂 功・上田健二・松宮保夫 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P111～116</p> <p>ガスタービン発電設備は近年特に大容量化される一方、敷地面積の縮小、騒音や大気汚染防止、全自動運転制御、などの要求がなされているが、今回下記につき良好な成績を収めたので、報告する。(1)強制空冷翼の採用により燃焼ガス温度を上昇させ出力を増加、(2)ガスタービン、発電機、補機設備、制御装置のおのおのを屋外式パッケージ化させ、敷地面積の縮小、騒音防止などを実現、(3)電子式制御装置の採用により制御の自動化、高度化をはかる。</p>	<p>トヨタ自動車工業㈱納めリニアモータ方式自動車衝突試験装置 古川俊幸・猪谷耕太郎・川内豊行 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P145～148</p> <p>当社では、トヨタ自動車工業㈱東富士研究所にリニアモータ方式自動車衝突試験装置を納入、現在順調に稼働中である。この試験装置はリニアモータの高加減速駆動特性を利用し、走行路の大幅短縮、装置の屋内化により試験の再現性装置の制御性などに多大な効果をあげている。衝突試験は最大100km/hまで行われ、電圧制御、高度な速度検出機構により高精度の試験装置を実現した。リニアモータの本格的応用品として注目されているこの装置の概要を紹介する。</p>
<p>最近の地熱発電プラントにおける電機設備の動向 久保博和・広崎吉彦・森崎 博・佐藤欽也 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P117～122</p> <p>近年、石油エネルギーへの依存の再見直しをせまられている我が国では、国内に賦存するエネルギー資源の開発と、エネルギー供給の多様化の一つとして、地熱の利用が再認識されつつある。本文では当社が最近受注した地熱プラントの概要と、主として電気品の防食対策、並びに将来の地熱発電所の運転方式について、その考え方の一端を紹介する。</p>	<p>運輸省新東京航空交通管制部の電源設備 守川哲郎・向 義則・北田文宏 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P149～154</p> <p>運輸省航空局では、航空路管制システムを近代化するため、飛行計画情報処理システムの拡大と、レーダ情報処理システムの確立をめざして所沢市に新東京航空交通管制部を建設され、ここに近代化設備を整備された。本稿は上記システムを円滑に運用するための高信頼度電源設備として同時に設置された66kV受変電設備、11台の無停電電源装置、6台のディーゼル発電設備、及び監視制御装置等について、その概略を紹介するものである。</p>
<p>蒸気タービンの電気・油圧式ガバナ 佐々木俊之・横須賀良夫・遠藤康治・森岡康二・伊与田寛忠 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P123～128</p> <p>蒸気タービンの電気・油圧式ガバナは、現在では既に実用段階にあり、三菱重工業㈱と当社は共同で大容量蒸気タービン用のEHタービンガバナ、中容量蒸気タービン用のターボマスタ、産業用タービン用のターボマトリクスなどを製作し、既に数十台の装置が運転中で各プラントにおいて優れた性能を発揮している。本文では、これらの電気・油圧式ガバナの特徴と適用区分、信頼性の向上に関する技術などについて報告する。</p>	<p>水道用集中管理システム 富田 実・柳沢 忍・田中 智・関川一彦・長束晴弘 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P155～160</p> <p>水道事業は、人々の活動、生活を支えるものであるが、近年の急速な水需要の増大、変革に対処するため施設の増設、拡張を行い、これら諸施設を有効に利用して、良質な水を安定に供給しなければならない。ここでは、広域に散在するこれら水道施設を管理するための考え方、最近の代表的水道用集中管理システムとして、神奈川県企業庁におけるシステムの内容を述べるものである。</p>
<p>火力発電所の計算機による自動化 小野勝弘・羽倉義征 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P129～131</p> <p>火力発電所への制御計算機の適用は、当初データ処理が中心であったがその後運転操作のシーケンスモニタ、オペレーションガイドへと進み、始動停止操作の自動化システムへと発展し今日に至っている。ここでは火力発電所への計算機導入の現状と将来動向について述べる。更に、新機種(MELCOM)350-50がグラフィックディスプレイを中心とした中央計装システム、その他のマルチコンピュータシステムに適合することをシステム構成例により示した。</p>	<p>真空スイッチ式負荷時タップ切換器 樋口 昭・吉田和夫・伊藤克明・源川一志・山中隆司 三菱電機技報 Vol.51・No.2・P161～165</p> <p>当社では、このほどアルミ精錬プラント用として、30台の真空スイッチ式負荷時タップ切換器を製作した。優れたしゃ断能力と長接点寿命を有する真空スイッチを使用した本器は、長年月の研究成果を基礎として製品化に成功した我が国最初の真空スイッチ式負荷時タップ切換器であり、従来器になかった新しい利点を提供するものとして、その活躍が期待される。本文では、“製品化における問題点とその解決”に的を絞りながら、その概要を紹介する。</p>

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 135~38 (1977)

A High-Voltage Static Inverter for Subway Cars

by Shigeru Koyama, Toshio Mikane & Atsushi Kaga

A set of 1500VDC 23kV inverters have been developed as power supplies for an 11-car train of the east-west subway line of the Sapporo Municipal Transit Bureau. These inverters not only provide control power, but also are the first in Japan to effect coordinated running with regenerative-breaking-type chopper-control equipment. Further, the implementation of parallel automatically switched control circuits has increased reliability and greatly reduced weight, in a design eminently suited to subway cars. The article discusses the specifications and construction of the inverters, and presents the results of in-car tests.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 99~104 (1977)

Recent Trends in Steam-Turbine Generators for Fossil-Fuel Power Stations

by Kazuo Hayami, Akinori Ueda & Yutaka Uematsu

The rate of increase in the unit capacities of fossil-fuel steam-turbine generators has peaked in the last few years but the age of the 1000MW generator is established. The present trend is to handle the base load with these large fossil-fuel or nuclear generators and to use fossil-fuel generators of 450MVA or less for seasonal or daily load imbalances. The article discusses changes in fossil-fuel generator capacities in Japan and other countries, problems affecting large-capacity generators, and points to be considered in regard to peak-load fossil-fuel generators.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 139~44 (1977)

System-Criteria Definition in Industrial Plants

by Yasuo Tachibana, Atsushi Inamoto & Masao Takahashi

The development of high-performance control systems necessitates obtaining a clear delineation of the industrial system to be controlled, and concise designation of characteristics is required even for the most complex industrial-plant systems. The article describes the development of an approximated model, based on observed values of system inputs and outputs, which was used in implementing computer control. After discussing the criteria-definition method, the article presents examples of weighing and moisture-supervision systems for papermaking machines, and a criteria-definition system for the iron and steel industry involving a reversing cold mill.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 105~10 (1977)

The Reliability of Large Steam-Turbine Generators

by Sadao Matsuda, Norio Oishi, Hiroyuki Ito, Kozo Yagi & Akemi Hijikata

Assuring the reliability of steam-turbine generators despite recent increases in unit capacity requires thorough consideration from both the theoretical and experimental viewpoints. A full program of reliability assurance must be carried out, including computer-aided simulation analysis and assurance tests using full-scale models that take into account all functions. The article discusses new technology for reliability improvement and methods of reliability assurance in terms of rotor vibration, stator-winding support, rotor forging, rotor wedges, the structure of water-cooled coils, bearings, seal rings, etc.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 145~48 (1977)

A Vehicle-Impact Testing Facility Using a Linear Motor

by Toshiyuki Furukawa, Kotaro Itani & Toyoyuki Kawachi

A vehicle-impact testing facility using a linear-induction motor (LIM) has been delivered to the Higashi-Fuji research center of the Toyota Motor Co., Ltd. The high acceleration and deceleration of the LIM has made it possible to shorten the test track considerably, and the fact that the device can be installed indoors greatly improves test reproducibility and apparatus control. Impact tests can be carried out at speeds up to 100km/h, and high precision is achieved through the use of impressed voltage control and a sophisticated speed-detecting mechanism. This testing facility has drawn considerable interest as a practical application of the LIM.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 111~16 (1977)

Developments in Gas-Turbine Generator Plants

by Yosbitaka Mori, Kaname Mori, Isao Furo, Kenji Ueda & Yasuo Matsumiya

In recent years there has been a precipitous increase in the unit capacities of gas-turbine generators, combined with demands for an improved space factor, the prevention of noise and air pollution, and fully automatic control systems. The article discusses some of the significant achievements that have been made recently in terms of: 1) adopting forced-air cooling blades that raise the temperature of the fuel, thereby boosting output; 2) developing an outdoor-package construction for the turbine, generator, auxiliaries and control equipment in order to reduce installation space and suppress noise; and 3) adopting electronic devices for more sophisticated, automated control.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 149~54 (1977)

Power-Supply Equipment for the New Tokyo Air-Traffic Control Center

by Tetsuo Morikawa, Yoshinori Mukai & Fumihiro Kitada

In order to modernize Japan's air-traffic control systems, the Civil Aviation Bureau of the Ministry of Transportation has constructed at Tokorozawa the New Tokyo Air-Traffic Control Center, to facilitate expansion of the flight-data processing system and development of a radar-data processing system. To assure the smooth operation of the Center's ultra-modern equipment, high-reliability power-supply apparatus has been installed. The article describes the equipment, which comprises 66kV power-receiving devices, 11 constant-voltage constant-frequency power-supply units, 6 diesel generators, and supervisory and control equipment.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 117~22 (1977)

Recent Trends in Electrical Equipment for Geothermal Power Plants

by Hirokazu Kubo, Yoshihiko Hirosaki, Hiroshi Morisaki & Kinya Sato

Japan is under great pressure to rethink its dependence on petroleum, and to achieve diversification of the energy supply, there is a reawakening interest in the exploitation of geothermal energy, of which the country has a bountiful supply. The article discusses an order for a geothermal plant recently awarded to Mitsubishi Electric, and specifically the methods used in combating corrosion of electrical equipment. Some concepts concerning future operating systems for such plants are also presented.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 155~60 (1977)

A Centralized Control System for a Water-Supply Network

by Minoru Tomita, Shinobu Yanagisawa, Satoru Tanaka, Kazuhiko Sekigawa & Haruhiro Nagatsuka

With the recent rapid increases and fluctuations in water requirements, it has been necessary to install new equipment and assure optimum utilization in order to maintain the stable supplies of pure water on which society depends. The article discusses concepts of effecting centralized control over widely dispersed waterworks facilities, and describes a representative modern system operated by the Kanagawa Prefectural Enterprise Bureau.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 123~28 (1977)

An Electrohydraulic Governor for Steam-Turbine Generators

by Toshiyuki Sasaki, Yoshio Yokosuka, Yasuji Endo, Koji Morioka & Hirotada Iyota

Electrohydraulic generators are in practical application on steam-turbine generators, and in cooperation with Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Mitsubishi Electric has manufactured more than 10—including units for large generators, Turbomasters for medium-scale generators, and Turbomatrix for industrial generators. The article discusses the features and fields of applicability of these governors, and the technology of reliability improvement.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 161~65 (1977)

An On-Load Tap Changer Using Vacuum Switches

by Akira Higuchi, Kazuo Yoshida, Katsuaki Ito, Kazushi Genkawa & Takashi Yamanaka

Mitsubishi Electric has recently manufactured 30 on-load tap changers using vacuum switches for use in an aluminum reduction plant. The tap changers, the product of many years of research, are the first in Japan to take advantage of the outstanding switching ability and long contact life offered by vacuum switches. The article describes the new tap changers, noting some of the problems encountered in product development, and how they were solved.

Mitsubishi Denki Giho : Vol. 51, No. 2, pp. 129~31 (1977)

Automatic Computer-Control Systems for Fossil-Fuel Power Plants

by Katsuhiro Ono & Yoshiyuki Hagura

The application of process-control computers in fossil-fuel power plants, which initially was centered on data processing, has more recently it has been extended to sequence monitoring of plant operation and to operation guidance, until at present there are control systems for unit start-and-stop operation. The article describes the extent to which computers are applied in such plants, and discusses future trends. Also presented are some typical system configurations, showing how the new MELCOM 350-50 computer can be used in centralized instrumentation based on CRT graphic display, and in a multicomputer system.

最近の火力発電所向けタービン発電機の動向

速水 和夫*・上田 明紀*・植松 豊*

1. ま え が き

ここ 20 年間年平均 10% を越える急激な電力需要の伸びにともない、発電設備総容量及び単機容量も増大の一途をたどってきた。このうち火力用タービン発電機の単機容量の増加は図 1. に示すように目ざましく、現在 800 MVA 機が製作されている。またクロスコンパウンド機としてはプライマリ機 634.8 MVA 2 極・セコンダリ機 519.9 MVA 4 極からなるタービン定格出力 1,000 MW のものが運転されている。

タービン発電機は経済性と需要急増より大容量化が要求されると同時に、電力事業の公共性より高度の信頼性が望まれている。一方、高速機であるため回転子の機械的強度・振動面から寸法的制約を受

けており、この条件下で、信頼性を保ち大容量化を達成できたのは冷却方式の進歩によるところが大きい。このほか電子計算機による高度な計算技術の発達、材料の開発、技術的問題点の抽出とその部分の基礎研究、計測技術の進歩、系統との協調・制御保護技術の発達など総合的な技術力の向上が不可欠の条件である。

以下本文では国内・国外における火力用タービン発電機のすう勢、大容量化に伴う諸問題、大容量機の構造及びピーク負荷用発電機製作上、考慮すべき点につき紹介する。

2. 最近のタービン発電機定格仕様の動向

2.1 発電機の単機容量

表 1. に国外を対象とし、表 2. に国内を対象とした代表的な火力用タービン発電機の一覧を示す。

発電機単機最大容量は、運転中及び製作中のものを含め、我が国では 700 MW・800 MVA、海外では 880 MW・1,120 MVA であり、これ以上になると現在はクロスコンパウンド機が採用されている。

原子力発電所の建設が進んでも、火力発電所は建設期間が短く、始動停止のひん(頻)度の高い負荷に利用しやすい利点があり将来とも電力供給の上で重要な地位を占めることは疑いなく、それにつれて発電機最大容量も増大するものと思われる。2 極タービン発電機の単機最大容量の上昇について多くの予測⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾があり、いずれも過去の出力増加・克服すべき技術的問題・需要より類推し、多少上昇ペースが落ちることはあっても近い将来 1,500 MVA 以上の発電機が出現するとしている。

ベース負荷用として大容量化が漸進的に進められる一方、一部では 150~450 MVA 級の発電機をピーク負荷対策用に新設又は転用する

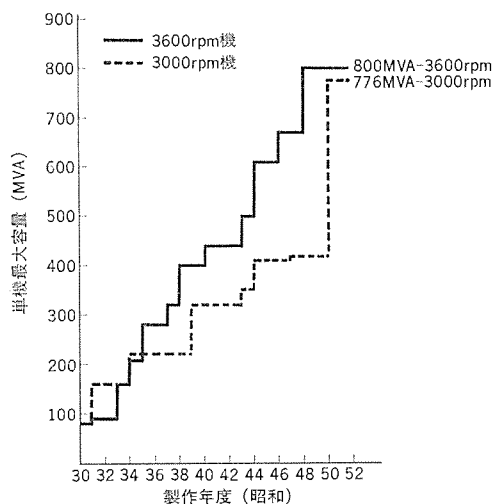


図 1. 我が国におけるタービン発電機の単機容量の変遷

表 1. 国外の代表的な大容量タービン発電機

国名	電力会社	発電所	タービン 定格MW	発 電 機 定 格						冷 却 法**		運転開始 年 度
				MVA	rpm	PF	kV	SCR	kg/cm ² g	固 定 子 コイル	回 転 子 コイル	
米 国	TVA	Cumberland #1 外	1,300*	2×722	3,600	0.9	22	0.56	4.2	W	H	1972
	Duke Power	Bellows Creek #1 外	1,140*	744 589	3,600 1,800	0.9	18	0.5	5.25 4.2	H	H	1974
	Georgia Power Co.	Bowen #3 外	880	1,120	3,600	0.85	18		5.25	W	H	
	Kansas G&E	La Cygne #1	872	970	3,600	0.9	22	0.5	5.25	H	H	1973
英 国	CEGB	Drax #1 外	660	776	3,000	0.85	23	0.5	4.2	W	H	1973
	CEGB	Diddcot 外	500	588	3,000	0.85	22	0.4	3.15	W	H	
西 独	RWE/VKR	Scholven G 外	680	850	3,000	0.788	21		5	H	H	1974
	RWE	Niederaussem G 外	600	780	3,000	0.77	21	0.5	4	H	H	1973
ソ 連		スラビヤンスク #7	800	889	3,000	0.9	24	0.475	5	W	H	1975
			500	588	3,000	0.85	20	0.45	3	W	H	
フ ラ ン ス	EDF	Porcherille 外	600	667	3,000	0.9	20	0.4	3	W	H	1968
イ タ リ ア	ENEL	La Spezia #3 外	600*	2×370	3,000	0.9	20	0.54	3.15	H	H	1966
ス ペ イ ン	C. S. D. S. A	Algeciras T. P. P. 外	536	670	3,000	0.8	22	0.53	5.25	W	H	1973
オーストラリア	ECNSW	Vales Point #5 外	660	776	3,000	0.85	23	0.5	4.2	W	H	1977
	ECNSW	Liddell #1 外	500	588	3,000	0.85	22	0.4	3.15	W	H	1971
台 湾	TPC	Talin #5	500	590	3,600	0.85	18	0.64	4	H	H	1975

注) *: クロスコンパウンドタービン発電機 ** : W=水冷却 H=水素内部冷却

表 2. 国内の代表的な火力用タービン発電機

電力会社	発電所	タービン 定格 MW	発電機定格						冷却法**		運転開始 年 度
			MVA	rpm	PF	kV	SCR	kg/cm ² g	固定子 コイル	回転子 コイル	
東京電力	鹿島 #5 外	1,000*	634.8 519.9	3,000 1,500	0.9	20	0.6	4.2 3.15	W	H	1974
東京電力	油ヶ浦 #4	1,000*	631 533	3,000 1,500	0.9	20	0.6	4	H	H	1979
中部電力	知多 #4 外	700	800	3,600	0.9	25	0.58	4.2	W	H	1968
関西電力	海南 #4 外	600	670	3,600	0.9	22	0.58	4.2	W	H	1972
関西電力	姫路第2 #5 外	600	670	3,600	0.9	19	0.58	4	H	H	1973
東京電力	姉ヶ崎 #1 外	600*	2×350	3,000	0.9	18	0.6	3.15	W	H	1967
東北電力	新仙台 #2 外	600*	2×350	3,000	0.9	18	0.58	3	W	H	1973
東京電力	鹿島 #2 外	600*	2×350	3,000	0.9	19	0.6	4	H	H	1971
中部電力	知多 #3 外	500	625	3,600	0.85	22	0.58	4.2	W	H	1967
九州電力	唐津 #3 外	500	556	3,600	0.9	21	0.58	4	W	H	1973
北陸電力	富山新港 #1	500	556	3,600	0.9	19	0.58	4	W	H	1974
九州電力	川内 #1	500	556	3,600	0.9	18	0.64	4	H	H	1974
関西電力	姫路第2 #4	450	563.2	3,600	0.85	19	0.58	4.2	H	H	1968
関西電力	海南 #1 外	450	500	3,600	0.9	22	0.58	3	W	H	1970
関西電力	高砂 #1 外	450	500	3,600	0.9	16	0.58	4	H	H	1971
四国電力	坂出 #3 外	450	500	3,600	0.9	22	0.58	3	W	H	1974
中国電力	下関 #2	400	450	3,600	0.9	17	0.58	4	H	H	1977

注) *: クロスコンパウンドタービン発電機

**: W=水冷却 H=水素内部冷却

ケースもある。

2.2 端子電圧

間接水素冷却固定子コイルでは主絶縁による温度こう(勾)配を軽減するため、2, 3 又は 4 並列回路の結線が採用され、15 kV 以下の比較的低い端子電圧で出力増加が図られている。

直接冷却固定子コイルではこのような制限がないため、冷却効果やコイル寸法から決まる最適電圧として比較的高電圧が採用され、400~450 MVA クラスまではほぼ容量の増加とともに端子電圧が上昇する傾向を示してきたが、現状の絶縁方式で達成される端子電圧は 30 kV 程度であり、これ以上のクラスでは並列回路数、固定子コイル寸法などを総合判断して最適電圧が決められている。

現実に採用されている最高端子電圧は国内では 25 kV であり、海外では 27 kV と発表されている。

2.3 力率

力率は発電機体格と密接な相関性があり、大容量化推進とともに高力率が採用されてきたが、系統への無効電力供給の点から、95% 以上の力率は通常採用されていない。

近年、国内事業用のタービン発電機の力率は容量に関係なく、ほぼ 90% に統一されているが、国内産業用では 85% 力率が一般的で、最近では 90% 力率も採用される傾向にある。

海外の事業用では大容量機でも系統条件との関連で 85% と 90% の両力率が一般的に併用されている。600~700 MVA クラスで 80% 以下の力率が採用されている例もある。

2.4 短絡比

短絡比は発電機の体格を決定する主要因子であり、大容量化とともに低減されてきた。短絡比は定態安定限界の範囲を左右する定数で、系統安定度も考慮して指定されるが、近年の高速度リレー、高速度しゃ断器、高速度 AVR、PSS や超速応励磁⁽⁴⁾などの導入によりかなり低い短絡比が採用されるケースもある。

国内事業用タービン発電機の短絡比は 0.58 又は 0.6 に統一されており、この傾向は国内産業用でも一般的である。

海外の事業用では大容量機の短絡比として 0.5 以下が一般的に採

用され、中・小容量機では幾分大きく 0.5~0.6 が採用されていると言われている。

米国で短絡比につき種々検討した結果⁽¹⁾では 0.35 以下は好ましくなく、0.4 が限度であろうと指摘されているが、特に欧州の大容量発電機ではこの限界に近い値が採用されている例がある。

2.5 過渡及び次過渡リアクタンス

タービン発電機の系統に与える影響は大容量化されるほど大きくなり、使用者側での過渡安定度検討結果により発電機過渡リアクタンスが一定値以下に制限されるケースがあり、標準体格が適用されない可能性もある。

他方、発電機の次過渡リアクタンスはしゃ断器容量を決める一因子であり、一定値以上の要求が出されることもある。

過渡及び次過渡リアクタンスは標準構造が採用される場合、一般的には同傾向に変化し、一方を低く設計すれば他方も低くなるので、上記条件は相反する要求となる。

国内で製作されたタービン発電機の諸定数調査結果⁽⁵⁾では過渡リアクタンスが 15~42%、次過渡リアクタンスが 10~32% 程度である。

前述の米国での検討結果⁽¹⁾では将来の超大容量機の過渡リアクタンスは 50%、次過渡リアクタンスは 40% と予測されている。

3. 大容量機設計製作上の留意点

大容量機製作にあたっては、回転子の限られた断面寸法内で電気装荷を増し、冷却効果を向上させ、かつ機械的応力を一定値以内に保ち、振動の見地から長さを極力短くするため、多角度から検討し設計の協調をとらねばならない。3 章では大容量機の冷却方式、電気的・機械的問題点及び構造の具体例につき概要を述べる。

3.1 冷却方式

タービン発電機の大容量化は冷却方式の進歩により達成されたと言っても過言ではない。容量増加に伴い、空気冷却方式から冷却媒体として空気より優れた特性を持つ水素を用いた間接水素冷却機へと発展し、次いで導体内に冷却媒体を流す直接冷却方式を開発し、今日に至っている。この間、単位出力当たりの重量がいかに減少したかを図 2.

に示す。水素ガス圧力も大容量化につれて上昇し、最高5 kg/cm²gが採用されている。図3.に当社の冷却方式適用基準を示す。

3.1.1 固定子の冷却

大容量機の固定子コイルは直接冷却方式であり、水素又は水で冷却される。図4.に水素内部冷却固定子コイルの断面を示す。導体内で発生した熱は、ベントチューブ内を軸方向に流れる水素ガスにより奪い

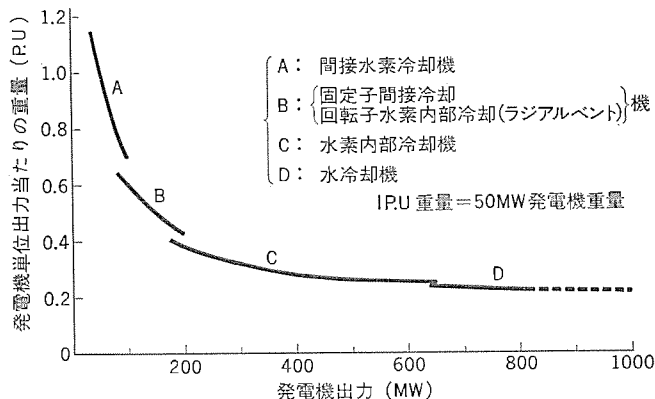


図2. 2極タービン発電機の各種冷却法と単位出力当たりの重量の関係

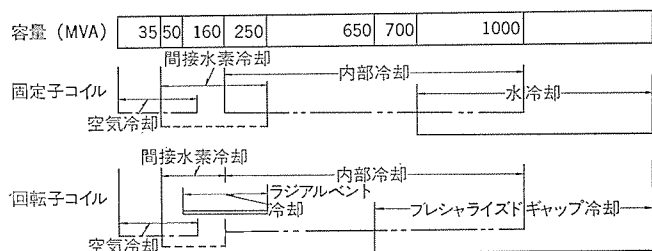


図3. 火力用(2極)タービン発電機の各種冷却法と適用基準

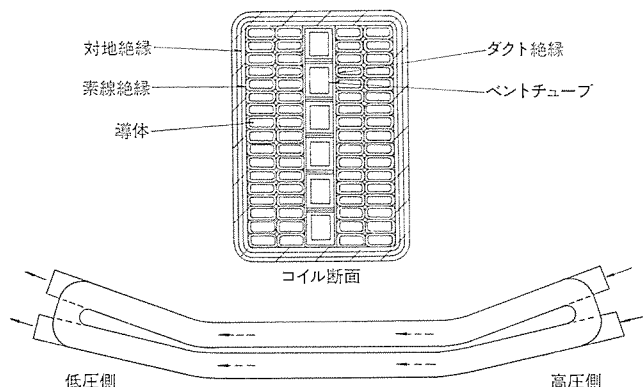


図4. 内部冷却固定子コイル

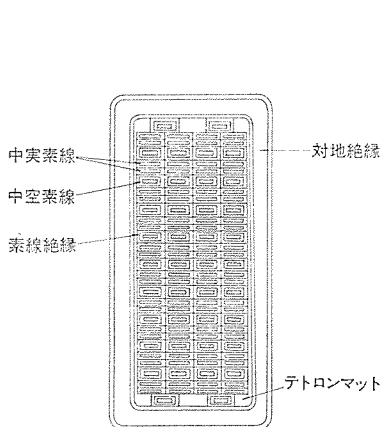


図5. 水冷却固定子コイル断面

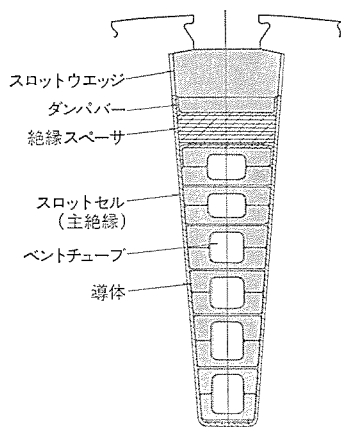


図6. 内部冷却回転子コイル断面

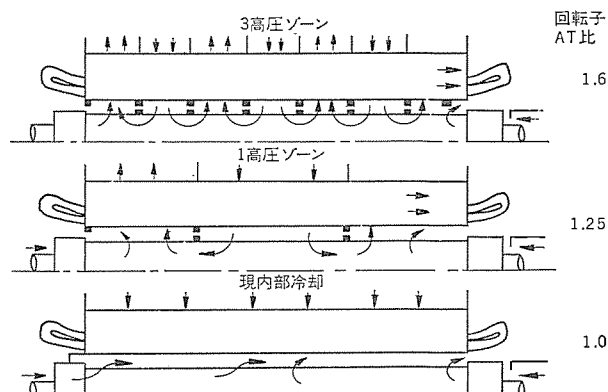


図7. 高圧ゾーン数と回転子ATとの関係

去られる。ベントチューブ内の水素ガスと導体間には対地絶縁のように熱抵抗の大きな物が介在しないため冷却効果は良く、また特別な外部装置を必要としない利点がある。

更に大容量になると、水素に代わって冷却媒体として一層優れた水が固定子コイルの冷却に用いられる。固定子コイルの構造としては中空導体式、ベントチューブ式、中空-中実素線組合せ式が考えられるが、機械的強度、気密性、うず(渦)流損を考慮し、当社は図5.に示す中空-中実素線組合せ式を標準としている⁽⁶⁾。水冷却機は小形軽量化が可能であり、過渡リアクタンスが小さくできて系統安定度の点で有利である。

固定子鉄心の冷却は、鉄心内に設けたダクト内に半径方向に水素ガスを流し冷却するものと、半径方向ダクトの代わりに鉄心に軸方向通風穴を設け、軸方向に水素ガスを流し冷却する方式とがある。

3.1.2 回転子の冷却

図6.に水素内部冷却回転子コイルの断面の一例を示す。冷却用水素ガスは回転子両端部でコイル内に入り、回転子中央からエアギャップに排出され、コイル両端部は別個に冷却されている。

しかし、鉄心長の長い機械になると、導体に発生する銅損を吸収するに十分な水素ガスを、回転子コイル内の狭くて長い通風路に流すには、高圧の軸流ブロウを必要とし困難を伴う。この対策として、ギャップ部分を軸方向にいくつかのゾーンに仕切り、水素ガスを循環させて、冷却回路並列数を増加する方式のものがある。この方式をプレシャライズドギャップ冷却と称する。ゾーンの数には任意に選べ、この数が多い程冷却効果が良くなる。図7.はゾーンの数に対するAT増加の比率を示す。

タービン発電機は本質的に回転子寸法によって最大容量が制限される機械であり、回転子を水冷却として小形化できれば大容量化の上で大きなメリットが得られる。しかし水冷却回転子は高速回転体に水を流すため、給排水構造、冷却水の不均一な流れによる振動、高い静水圧に耐える構造など高度の技術的問題がありこれに対する開発・研究を行っている。なお、欧州では回転子水冷却機で実運転に入っているものがある。

3.2 設計上の留意点

3.2.1 電気的設計

大容量機の機能設計にあたっては、高効率であること、各部の温度が許容値に対し余裕を持った値になっていること、振動・材料面の制約からできる限りコンパクトにすることなど設計上多くの制約がある。これらの諸条件を満たすためにコンピュータを用い、鉄心長・スロット寸法・磁束密度等のパラメータを変化させ諸特性を計算し、これらを

総合的に判断することにより最適設計を行っている。また、大容量化により単位体積当たりの損失密度が高くなると局部的な過熱を生ずる可能性がある。これを検討するため磁束分布、特定部分の温度分布などを精度高く計算することが要求されておりコンピュータの活用が合理的設計を可能にしている。

このほか、不平衡負荷時の逆相電流によって回転子表面に発生する損失と、これによる温度上昇を計算し、実測により確かめることもまた重要な問題の一つである。

3. 2. 2 機械的強度

タービン発電機の中で最も高い応力を受ける部分は、回転子軸及びリテニングリングであり、回転子径が大きくなるに従い、これらの材料は一層高い機械的強度が要求され、その要求値が回転子直径の上限を決定している。

回転子スロット底部・開口部及び中心穴部は遠心力により特に高い応力を受けるとともに、わずかではあるが熱応力も受けている。他方、リテニングリングの回転子軸とのはめあい部は焼ばめによる接線方向応力のほかに曲げ応力を受け、更にダンパ回路の一部として使われるため熱応力も問題となる。これら高応力部に対して、特に精度の高い計算をすることが信頼性向上の点から不可欠であり、有限要素法を用いて解析を行い、更に実験により検証している。

3. 2. 3 電磁現象解析

大容量化につれて、固定子スロット内コイル及びコイルエンドに働く電磁力も飛躍的に大きくなり、定常運転時あるいは突発短絡時にコイルに加わる応力を許容値以下に保つため強固なコイル支持が必要である⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

固定子端部磁界分布をは(把)握することは上記コイル支持の面だけでなく、コア端部、グランドシール部などの漂遊負荷損の把握及びこの部分の、構造・材料を決める上で重要である。これは固定子端部磁界分布を磁気スカラーポテンシャルを用いた差分法⁽⁹⁾により計算し、端部領域における鉄体境界のすべてを単純化することなく考慮して求め、各部の構造・寸法の決定に反映している。

3. 2. 4 振 動

(1) 横振動

タービン発電機の容量の増加は、遠心力に対する強度上の制約から回転子軸径を一定に保ち軸長を長くすることにより達成されてきた。このため、大容量化とともに回転子はフレキシブルになり、図8.に示すように危険速度が低下し、一般に2次と3次の間で運転されるようになった。また、発電機に接続されるタービンの車室数増加により、

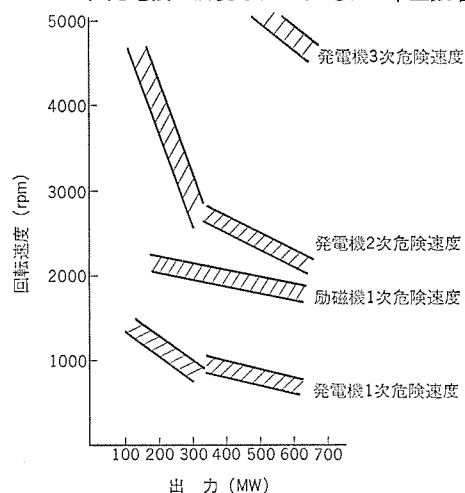


図 8. 2 極タービン発電機の出力と危険速度

タービンも含んだ回転系全体として定格速度までに有する危険速度の数が増えたことと相まって、発電機-タービン軸系の振動特性はますます複雑化した。

以上の状況のもとで、改良伝達マトリクス法による長大軸系横振動解析プログラム“MARS”⁽¹⁰⁾を開発し、危険速度や不つり(釣)合応答などの振動現象を精密に解析し、軸系の設計に反映している。製造工程における振動調整法については別稿「大容量タービン発電機の信頼性」を参照されたい。

(2) ねじり振動

大容量機になると、発電機に連なる慣性モーメントの数とこれを結ぶばね(一般に軸)の数が増え、系の自由度が増加し、また軸の構造も単純でなくばね定数の評価も問題になり、振動系として複雑化する。タービン発電機軸系にねじり振動を発生させる励振力に送電系統における短絡や再閉路⁽¹¹⁾、あるいは異同期投入等がある。これらの励振力による軸系の応答を解析し、軸各部に過大な応力がかからないよう過渡時も含め十分検討する必要がある。

このほか、軸系のねじり振動に Subsynchronous Resonance がある。この現象は長距離送電系安定化のために直列コンデンサを用いることにより生ずる電気振動系(L-C回路)と、回転体の機械振動系の間の自励振動であり、この安定度について多くの研究⁽¹²⁾⁽¹³⁾が行われている。

3. 3 670 MVA タービン発電機

大容量機の構造・特性の具体例として、当社ですでに3台製作した2極670 MVA機について説明する。表3.にその仕様を示す。

3. 3. 1 冷却方式

図9.に組立断面図を示す。冷却方式は固定子、回転子とも水素内部冷却方式であり、回転子は3.1.2項で述べた2高圧ゾーンのプレシャライズドギャップ方式を採用している。各ゾーンを仕切るため、リングを回転子に焼ばめして回転部バリヤとし、固定部バリヤは回転子そう(挿)入後鉄心端より固定子スロットを利用して取付ける。回転部バリヤと固定部バリヤ間には振動やたわみに対して接触しない程度のスキを設けている。

表 3. 670 MVA 機の仕様及び現地試運転結果

仕 様	形 式	円筒回転界磁形内部冷却
	出 力	670 MVA 603 MW
現 地 試 運 転 結 果	力 率	90%
	水素ガス圧	4 kg/cm ² g
	端子電圧	19 kV
	電 流	20,359 A
	相 数	3
	周波数	60 Hz
	回転数	3,600 rpm
	短絡比 (670 MVA において)	0.58
	ガス容積	110 m ³
	励磁電圧	500 V
	(a) 運転条件	有効電力 600 MW 無効電力 200 MVar (95%PF) 電 圧 19.6 kV 回転数 3,600 rpm 水素ガス圧 4 kg/cm ² g 界磁電流 4,600 A
	(b) 計測値	低温ガス温度 40°C 高温ガス温度上昇 20°C 固定子コイル出口ガス温度上昇 38°C 固定子コイル温度上昇 36°C 発電機軸受軸振動 2.7/100 mm (両振幅, 3 軸受中最大値)

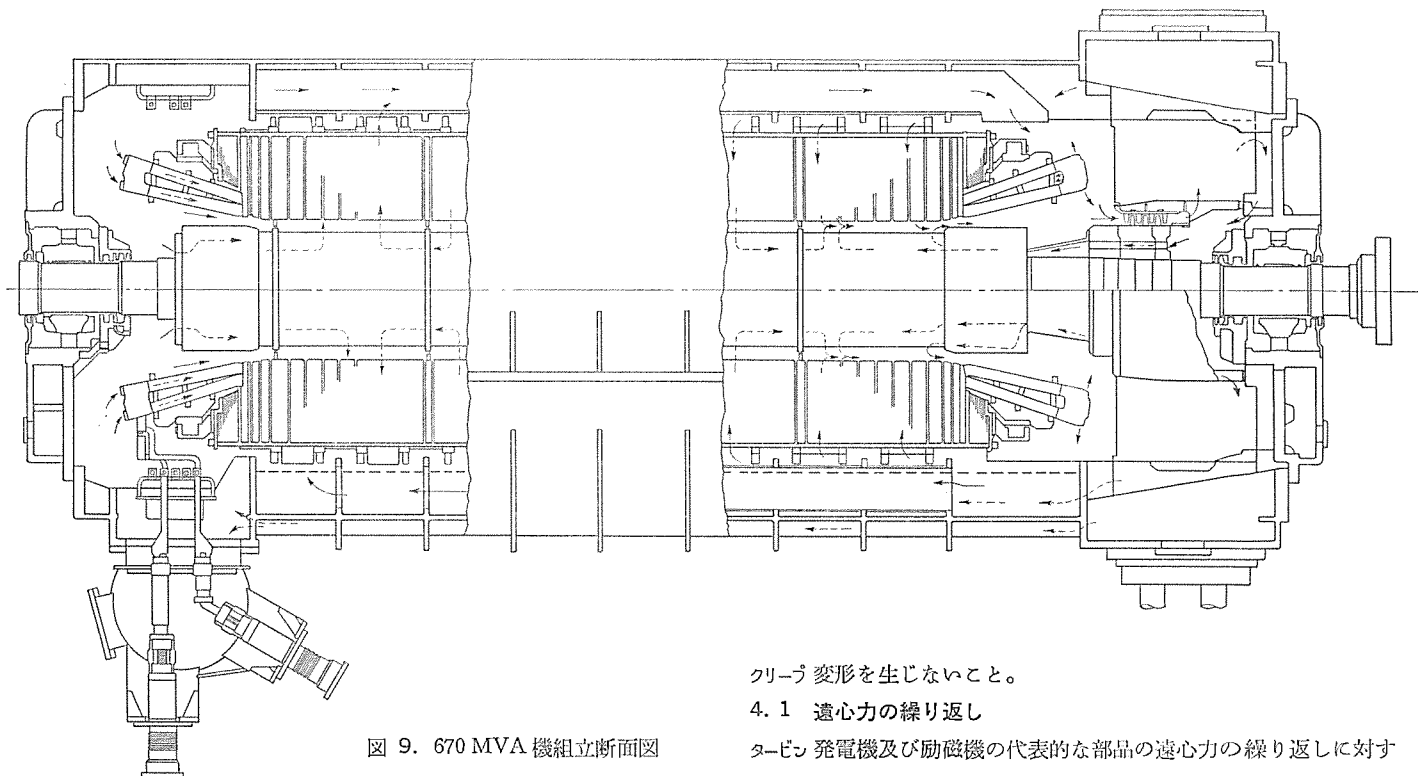


図 9. 670 MVA 機組立断面図

3. 3. 2 回転子軸

回転子軸材は耐力 67 kg/mm^2 の単一合金鋼鍛鋼を使用し、リテイニングリング材は耐力 102 kg/mm^2 の非磁性合金鋼鍛鋼を使用している。回転子断面に非対称があると固有振動数の2倍の回転数でいわゆる2N振動が発生する。この防止のため、クロススロット以外に回転子リード引出し部にはダミースロットも設け、剛性を対称にしている。

3. 3. 3 固定子コイルエンド

固定子スロット内は本誌⁽⁶⁾に示すようにリップルばねとコンフォーミングレヤを用い電磁力によるコイルの振動を防止している。

固定子コイルエンドは外リング、中間リング、内リングを用い強固に支持しており、別に実機と同じコイルエンド寸法を有するモデル発電機を作り電流を流し、コイルエンドの振幅・応力を測定してこの支持法の確認を行っている。

3. 3. 4 現地試験結果

上記670 MVA機のうち2台はそれぞれ昭和48年11月、昭和49年3月以来営業運転に入り、現在順調に運転されている。表3.に現地試験運転結果を示す。

4. ピーク負荷用タービン発電機に対する考慮点

我が国を含め先進国では大容量火力機や原子力機がベース負荷を担う傾向が強まり、また季節や時間帯による需要のアンバランスが顕著になってきたことから、既設の火力機がピーク負荷対策用に利用される傾向が増えつつあり、更にピーク負荷対策を目的として150～450 MVA級の火力機が新設される傾向もある。

当社のタービン発電機及び励磁機は、従来から 10^4 回以上（毎日始動停止するとして30年）の疲労寿命を目標として設計製作しており、ピーク負荷用火力機として特別の構造上の変更は必要ない。一般にピーク負荷用火力機として頻繁な始動停止に耐えるには、次の機械的、熱的条件が満足されねばならない。

- (1) 遠心力の繰り返しに対し疲労寿命が十分であること。
- (2) コイルの熱膨張の繰り返しに対し疲労寿命が十分であること、

クリープ変形を生じないこと。

4. 1 遠心力の繰り返し

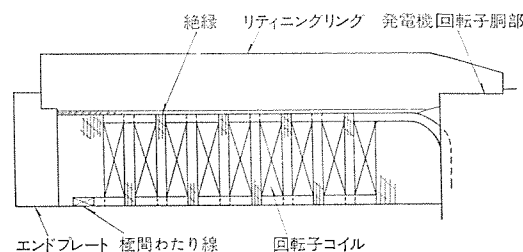
タービン発電機及び励磁機の代表的な部品の遠心力の繰り返しに対する疲労強度について以下に述べる。

4. 1. 1 リテイニングリング

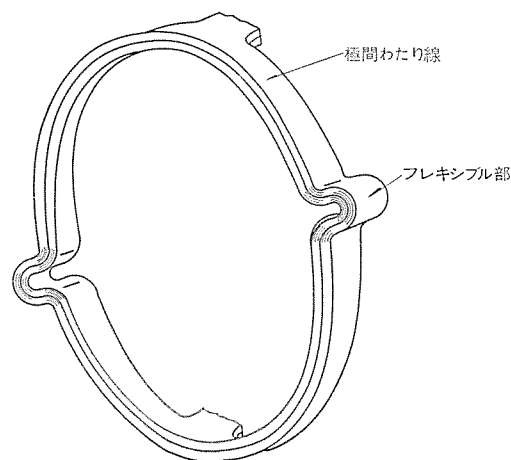
リテイニングリングは回転中回転子コイル端部の遠心力を支えたとともに、リング自身の遠心力作用も受けることから、回転子中最も高い応力を受ける。リテイニングリング材の寿命については、先に 3×10^4 回までの低サイクル疲労試験及び許容値の評価を行い⁽¹⁴⁾、その結果を実機に反映し、 10^4 回以上の始動停止に耐える構造としている。

4. 1. 2 回転子コイル極間わたり線

運転中リテイニングリングの直径は遠心力により拡大する。これに追随



(a)コイルエンド部構造図



(b)極間わたり線詳細図

図 10. 回転子コイル極間わたり線

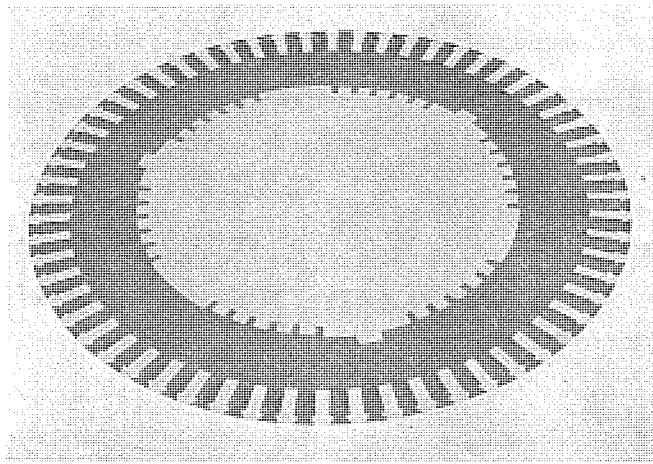


図 11. ブラシレス励磁機電機子コア

して回転子 コイル 極間わたり線も半径方向に変形するが、この際、過大な応力を生じないように、極間わたり線はフレキシブル構造にしている。当社の極間わたり線は図 10. (a) に示すようにコイルエンドのエンドプレート側でしかも最内層に配置しているため、遠心力の影響を軽減され、フレキシブル部の動きが容易であり、更に簡単な構造にしやすいなどの利点を有している。図 10. (b) に極間わたり線の詳細を示す。先に実機と同一寸法形状の試験片を作り疲労試験を行い、極間わたり線の疲労寿命が 10^4 回以上であることを確認した。

4. 1. 3 ブラシレス励磁機電機子コア

電機子コアは図 11. の形状のけい素鋼板を積層しており、回転中電機子コアには電機子コイル及びコア自身の遠心力による応力をうける。電機子コアの疲労に関して「けい素鋼板回転円板の疲労破壊試験」⁽¹⁵⁾を実施し、 10^5 回の疲労試験により中心の切り欠きの影響・破壊機構を研究し、その結果を反映して設計している。

4. 2 コイルの熱膨張

4. 2. 1 ステータコイル絶縁

発電機負荷の繰り返しにより、ステータコイル絶縁には導体と絶縁物の温度差及び熱膨張差に起因する熱応力が繰り返し印加される。コイル絶縁物は機械的特性試験のほか実機と同一絶縁のサンプルコイルにヒートサイクルを加え、コイルの総合機能評価試験を実施し実機運転中に想定される $50 \sim 70^\circ\text{C}$ rise のヒートサイクルの繰り返しに 10^4 回以上耐えることを確認した。

4. 2. 2 回転子コイル

回転子コイルの温度は始動後遠心力の加わった状態で上昇するので、コイルが自由に伸びられない場合には圧縮の熱応力をうけ、コイルエン

ド部に変形を生ずる。回転子 ウェッジ 下の絶縁物表面及びリテイニングリング内面には低摩擦係数の材料を用いコイルの伸びが自由に行えるようにし、コイル材質には銀入銅を用い、クリープを防止している。

5. む す び

世界的に火力用タービン発電機大容量化のピッチはやや鈍化しているが、日本、米国では単基 1,000 MW 機 (クロスコンパウンド) が運転中であり、漸進的に大容量化されている。

当社では広はんな技術開発を重ねて、設計・製作上に反映させ、タービン発電機大容量化を達成してきた結果、現状の技術、設備で顧客の要求を十分に満たすことができると確信している。

他方、150~450 MVA クラスの火力用タービン発電機をピーク負荷用に使用する例が増加しているが、当社機は特別の処置を講ずることなく、繰り返し運転に耐えることを示した。

今後の火力発電所向けタービン発電機に対してはこの両課題の技術を更に発展させ、使用者の要求を満足する信頼性の高い発電機を製作すべく、鋭意努力を重ねている次第である。

参 考 文 献

- (1) L. A. Kilgore ほか : IEEE, Power Generation Committee Paper, No. 68 CP 707-PWR
- (2) V. J. Vickers : PROC. IEE, 121, No. 11 R, November, 1974, IEE Reviews
- (3) V. G. Putz : BBC-Nachrichten 1975 Heft 5/6
- (4) 斎藤ほか : 三菱電機技報, 49, No. 10, 685 (昭 50)
- (5) 同期機専門委員会, 電気学会技術報告, 第 105 号 (昭 48-5)
- (6) 志岐ほか : 三菱電機技報, 43, No. 4, 530 (昭 44)
- (7) 速水ほか : 三菱電機技報, 50, No. 7, 379 (昭 51)
- (8) 松田ほか : 三菱電機技報, 大容量タービン発電機の信頼性, 51, No. 2, (昭 52)
- (9) 野村 : 三菱電機技報, 44, No. 8, 1,067 (昭 45)
- (10) 川面ほか : 三菱電機技報, 50, No. 7, 401 (昭 51)
- (11) A. Hizume : Transaction of the ASME, Paper No. 75-DET-71
- (12) K. Uemura ほか : IEEE, Summer Meeting, A 76, 485-3
- (13) Ō. Saito ほか : IEEE, Trans. (PAS), PAS-94, 1,777 (1975)
- (14) 松木ほか : 三菱電機技報, 42, No. 12, 1,558 (昭 43)
- (15) 菟原 : 三菱電機技報, 39, No. 2, 386 (昭 40)
- (16) 柴山ほか : 三菱電機技報, 48, No. 3, 291 (昭 49)

大容量タービン発電機の信頼性

松田 禎夫*・大石 紀夫*・伊藤 裕之*・八木 耕三*・土方 明躬**

1. ま え が き

発電プラントの大形化にともない、タービン発電機の単機容量は増大の一途をたどっている。単機大容量化により、万一事故が発生した場合、その経済的損失及び電力系統への影響は大きくなり、更に場合によっては社会的な問題に発展することも考えられ、大容量機に対しては特に高い信頼性が求められるようになってきた。

一方、タービン発電機の大容量化は、ロータ軸径による制約を冷却方式の改良をてことした技術開発によって克服しつつ進められてきているが、機器の長大化、エネルギー密度の増大により、各部材及び複合構造は単に使用条件が過酷になるだけではなく、通常運転あるいは異常運転時における挙動が、容量増大とともに急速に複雑化するため、従来技術の安易な外そう(挿)延長では信頼性を確保することはできない。このため、問題点を抽出し、理論と実験の両面からの詳細な検討、すなわち、コンピュータシミュレーション技術の駆使などによる従来のレベルを越えた精密な理論解析と実物大モデルなどによる徹底した検証試験により信頼性を確認する必要がある。

当社では以上のような基本的な認識のもとに、信頼性を確認しつつ着実に大容量化を進めており、既に最大容量機として、4極1,300 MVA機、2極670 MVA機を完成出荷したが、更に近い将来予想される、4極1,600 MVA級、2極1,200 MVA級大容量機に備え、信頼性検証試験を進めている。

以下、大容量タービン発電機の信頼性確認向上のために、これまで実施した主要な研究開発及び検証試験の概要を紹介する。

2. ロータ軸振動

最近のタービン発電機の単機大容量化は、遠心力に対するロータ強度の制限から、単機容量の増加は軸径の増大よりも、軸長を長くすることにより行われてきた。このため、大容量化とともにロータはフレキシブルになり、危険速度は低下し、最近の大容量機では定格速度が2次危険速度を上まわり、3次モードの振動形態をとるものも出現している。このようなフレキシブルロータでは従来の比較的剛性の高いロータに比べ、振動特性が複雑化している。これらの状況のもとで、当社では振動現象解析長大軸系プログラム“MARS”による詳細な振動解析を行うとともに、最新の振動調整設備を用いてモード円バランス法により、微細なバランス調整を行っている。

ロータ軸振動には、不つり(釣)合に基づくものと、それ以外の振動現象(例えばオイルキップなど)があるが、ここでは前者についての問題を中心に述べる。

2.1 タービン・発電機の振動管理基準値

昭和48年10月17日付官報により「発電用火力設備に関する技術基準を定める省令及び電気事業法施行規則の一部改正」、「電気設備に関する技術基準を定める省令の一部改正」が行われ、タービン及び発電機の振動管理基準が定められた。振動管理基準値には、表1.に示すように、停止値、注意値、調整値が定められている。停止値

表 1. 通産省令振動管理基準値(軸受部・軸振動・両振幅)

		停 止 値	注 意 値	調 整 値
1,500~1,800 rpm 機	定格速度以上	$\frac{35}{100}$ mm 以下	$\frac{17.5}{100}$ mm 以下	$\frac{10.5}{100}$ mm 以下
	定格速度未満	$\frac{35}{100}$ mm 以下	$\frac{21}{100}$ mm 以下	$\frac{17.5}{100}$ mm 以下
3,000~3,600 rpm 機	定格速度以上	$\frac{25}{100}$ mm 以下	$\frac{12.5}{100}$ mm 以下	$\frac{7.5}{100}$ mm 以下
	定格速度未満	$\frac{25}{100}$ mm 以下	$\frac{15}{100}$ mm 以下	$\frac{12.5}{100}$ mm 以下

とはタービン及び発電機の保護のため運転を停止すべき値であり、

- (1) 軸受まわりのボルトのゆるみ、破損
- (2) 油切れによる軸受の損傷
- (3) 回転部と静止部の接触

などの要素により事故をおこす慮れのある振動振幅値に対して十分な余裕をとって定められている。注意値とは、振動振幅がその値に達したとき、運転状態に応じて適切な処置をとり得るよう、停止値の50%あるいは60%に定められている。また調整値とは、タービン及び発電機の運転中負荷変化など運転状態の変化により振動振幅値が注意値に達しないよう、工場及び現地で振動振幅を調整すべき値であり、注意値より更に小さい値に定められている。

当社では、省令の管理基準値よりも一段と厳しい社内目標値を工場及び現地振動調整に適用し、省令を十分満足するようにしている。

2.2 危険速度と不釣合応答

2.2.1 長大軸系の横振動解析プログラム“MARS”

タービン・発電機を結合した長大な軸系の危険速度や不釣合応答を正確には(把)握し、バランス修正に利用するため、このような軸系を高い精度で模擬し計算するプログラム“MARS”を開発し利用している。“MARS”については、本誌上に既に発表している⁽¹⁾ので、詳細は省略する。主な仕様を表2.に示す。

2.2.2 支持剛性と軸受動特性

大容量発電機ロータの危険速度や不釣合応答に対しては、ブラケット、フレーム等の支持剛性及び軸受油膜動特性の影響を無視することはできない。支持剛性はブラケット、フレームだけでなく基礎などの影響も受けるため、計算でモデル化することは難しく、機械インピーダンス測定法により実機に加振試験を行って求めた値を計算に用いている。測定状況を図1.に示す。

軸受油膜動特性についても、理論及び実験により実機の状態を正確にシミュレートする値を求めて使用している⁽²⁾。

2.3 弾性ロータのバランス法

タービン発電機は定格速度までに数個の危険速度を持つ弾性ロータである。弾性ロータの釣合わせ理論には、釣合修正を行うN+2面法と、釣合修正を不要とするN面法とがある。当社では後者に準拠したモード円バランス法により、タービン発電機のバランスを行っている⁽³⁾。

2.3.1 モード円バランス法⁽⁴⁾

モード円とは、各計測点の軸振動をロータに固定した極座標を用いて、

* 神戸製作所 ** 中央研究所

円グラフ上にベクトル表示をしたものであり、次の性質を有する。図2. にモード円を示す。

- (1) モード円上に回転数を記入すると、同一回転数ピッチに対する円弧の長さは共振点において最大となる。
- (2) 1次危険速度の点を通る直径に対し、回転軸に90°進んだ方

表 2. “MARS” の主な仕様

項 目	内 容
計 算 法	改良伝達マトリクス法
計 算 項 目	<ul style="list-style-type: none"> ○軸系の自重及び任意集中荷重による静たわみ ○軸受据付調整高さ（カップリング部の曲げモーメント、せん断力を零にする） ○危険速度と固有モード（軸受部で単純支持及びフレキシブル支持の場合） ○軸上の任意不釣合、任意一定加振力、軸の初期曲がりによる振動振幅応答（周波数特性、振動モード）
模擬可能な物理現象	<ul style="list-style-type: none"> ○ジャイロ効果 ○軸のせん断曲げ効果 ○軸中オーバハンガ ○複雑な軸受特性（油膜軸受の異方性、水平垂直方向相互干渉特性、モーメント軸受特性、軸受支持構造物の振動特性、（1自由度振動系で模擬）
計 算 結 果	軸の変位、傾き角、断面の曲げモーメント、せん断力、曲げ応力
計算結果の表示	リスト、プロッタ（ボード線図、モード図、3次元表示モード図）
制 限 条 件	<ul style="list-style-type: none"> ○軸要素数 最大 300 ○軸受数 最大 30 ○カップリング数 最大 30

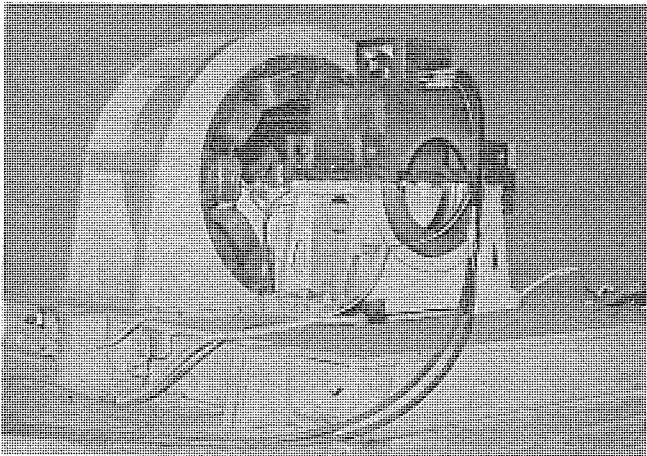


図 1. 支持剛性の測定状況

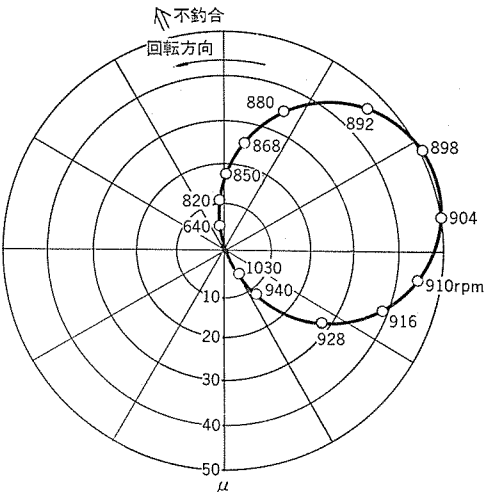


図 2. タービン 発電機 1 次危険速度におけるモード円

向が不釣合の存在する方向であり、直径は不釣合量に比例する。
 (3) 一つのスパンにおいて不釣合のある側の軸受付近での応答は、1 次危険速度と 2 次危険速度のモード円は同位相にあり、反対側の軸受付近では 1 次と 2 次のモード円が逆位相になる。このことからスパンのどちら側に不釣合があるかを推定できる。
 モード円バランス法とはモード円を利用したバランス法であり、次の原理に基づいている。

- (1) 各危険速度におけるロータの固有モードは近似的に互いに直交しており、任意の回転数における任意の点の振動は、各モードの重ね合わせとして表される。したがって各危険速度における振動を小さくするよう、次々にバランスをとれば、すべての回転数における振動を小さくできる。
- (2) 危険速度においては、当該モードを励起するような不釣合の影響だけが強調されて振動に現れるので、残留不釣合の大きいスパンの発見が容易であり、不釣合の存在場所でそれを解消できるといいうバランスの基本理念を実行できる。
- (3) ロータ振動特性を各危険速度に対応するモード円で表すことにより、バランスウエイトで解決できる振動の見分けが容易であり、かつ不釣合の場所、方向、及び大きさを正確に把握できる。

実機のモード円は上述のように簡単なものではなく、種々のモードと振動原因が重なった複雑なものであるが、本法により危険速度を含むロータの全回転数域において、十分に小さい振動値に軸系を釣合させることができ、しかも釣合させにあたって試行錯誤の回数が減り、工場及び現地における釣合させ工程を短縮することができる。

2. 3. 2 バランス修正手順

バランス修正は図 3. の手順により行われる。タービン発電機ロータはベークィングを兼ねて、単独で過速度域までのバランス修正を行う。ブラシレス励磁機ロータは、電機子コア、ファン、PMG のそれぞれを単体でバランス修正を行い、整流器やヒューズ等の部品は重量管理を行った後組立てる。完成したブラシレス励磁機ロータは定格速度までバランス修正を行う。その後、タービン発電機とブラシレス励磁機は直結され、過速度域までのバランス修正を行う。試験のためロータをステータに組込んだ後、必要に応じ再度微調整バランスを行う。最後に現地発電所に

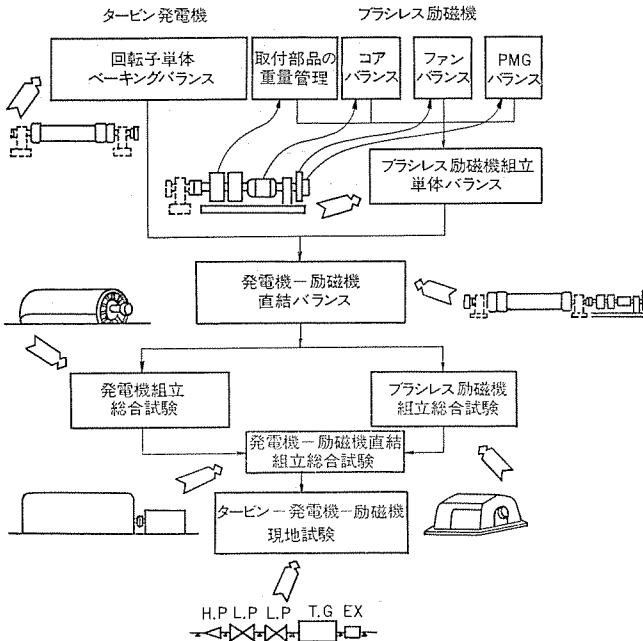


図 3. タービン 発電機、ブラシレス 励磁機の バランス 手順

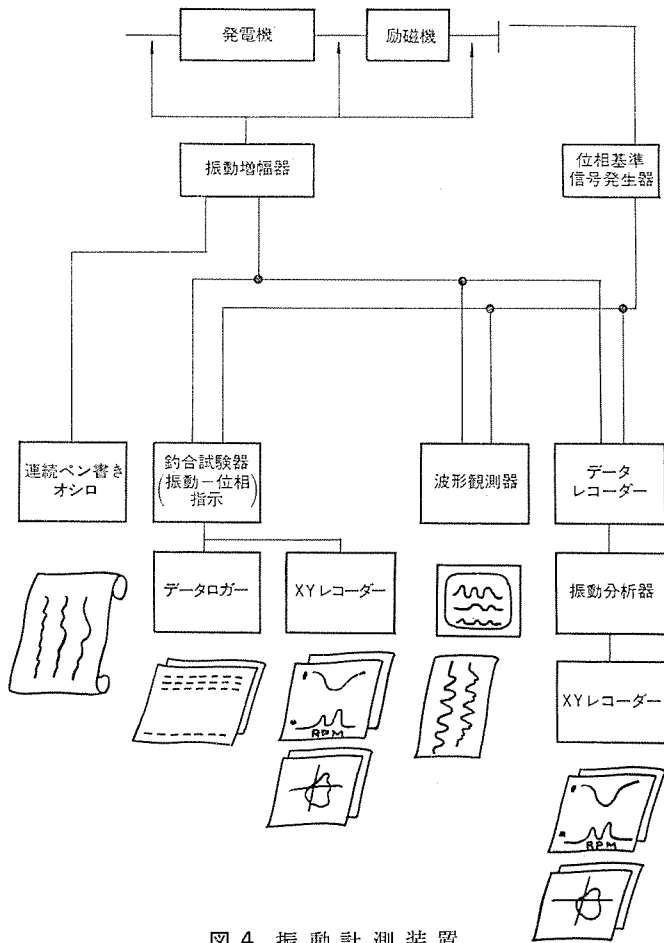


図 4. 振動計測装置

においてタービンと直結して、若干のフィールドバランスを行い、バランス修正作業は終了する。

弾性ロータのバランスでは膨大な量のデータを比較的短時間に繰り返し処理する必要がある。このため、採集した振動データを自動的に記録するとともに、直視化をはかって、実際に発生している現象を短時間で理解できるように、図 4. に示すような計測設備を有している。この設備は工場で使用するだけでなく、大形専用バス（振動解析車）により現地発電所でも使用することができる。

また、より正確に、かつより短時間でバランス修正作業を行うため、計算機によるバランス手法の研究を進めている。

3. 固定子コイル支持

発電機容量の増大に伴い、固定子電流は増加し、固定子コイルに働く定常運転時の 2 倍周波数電磁力、突発短絡時などにおける過渡的な電磁力は強大となる。電磁力の軽減をはかるために電気設計上、種類の配慮が加えられているが、これには限界があり、コイルエンド部及びスロット内部のコイル支持構造を強化して電磁力増大による各部の振動、応力を抑制する必要がある。

3.1 固定子コイルエンド部

固定子コイルエンドの構造は、非常に複雑であるため電磁力による各部の挙動を正確に計算することは困難である。このため当社では各種部分モデル試験、実機における計測により長年にわたりデータを集積し挙動の解明につとめてきたが、最終的には、コイルエンド振動挙動の全ぼう（貌）を正確に把握するため、670 MVA 級、1,300 MVA 級モデル発電機各 1 台を製作した。図 5. に 1,300 MVA モデル発電機を示す。モデル発電機は、コア長を縮小した以外は、実物大の寸法で

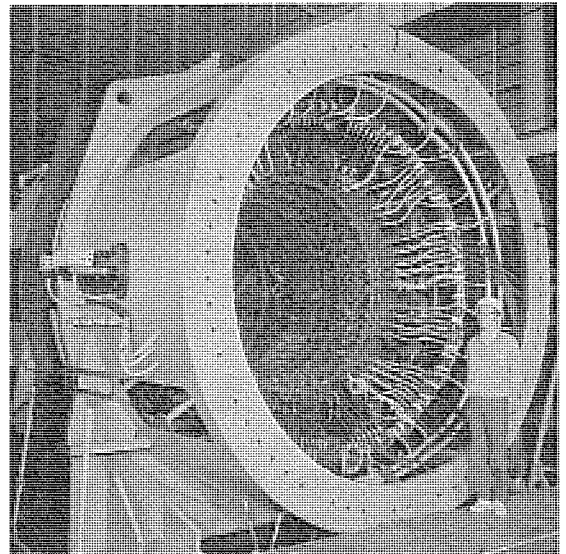


図 5. 1,300 MVA 級モデル発電機

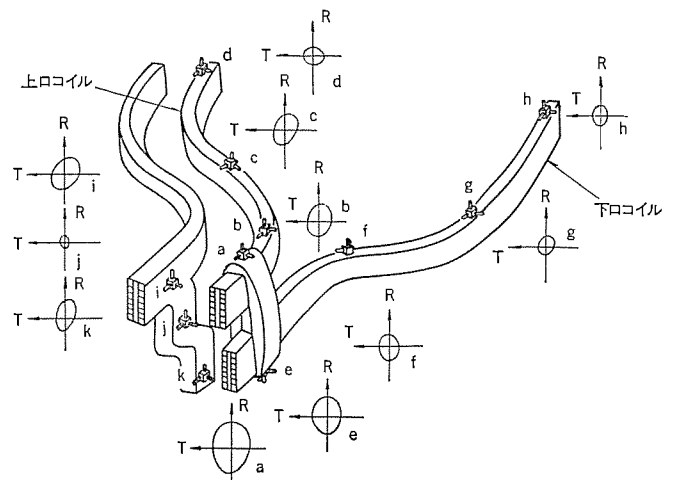


図 6. 各部振動挙動 (670 MVA モデル発電機)

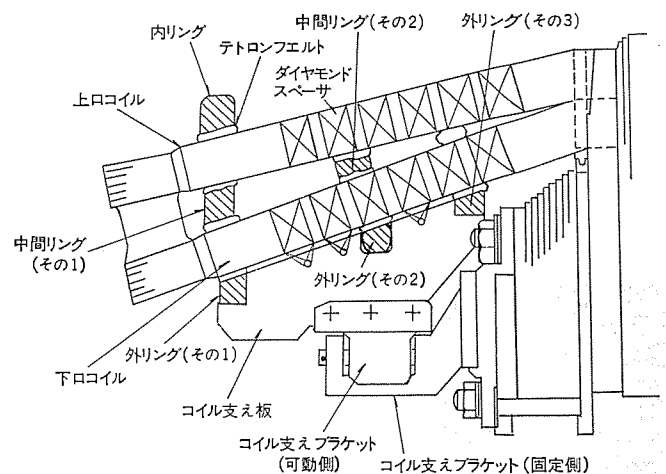


図 7. 大容量機コイルエンド支持方式

設計製作し、コイルエンドには振動計測用加速度計、ひずみゲージ、温度計測用測温素子、磁束計測用サーチコイルを取付け、データ処理用コンピュータに直結してオンラインシステムで、各種試験を実施した。図 6. に 670 MVA モデル発電機のコイルエンド振動挙動を示す。図 7. に示す当社大容量機用標準コイルエンド支持方式において、定常運転時における最大振動振幅は、2 極 670 MVA モデル発電機では 50μ (両振幅) 以下、4 極 1,300 MVA モデル発電機では 30μ (両振幅) 以下であり、

各部材の最大応力は、 10^{11} 回 (120 Hz-30 年相当) 疲労強度に対して十分小さく、また突発短絡時応力に対しても十分余裕があることなど、長期運転に対する信頼性が確認された⁽⁵⁾。

3.2 固定子スロット内部

固定子コイルのスロット内部分の支持は、コイルエンド部よりも比較的容易であり、電磁力による各部応力そのものが問題になることはない。しかし、コイルがスロット内に十分堅固に支持されていないと、定常運転時に働く電磁力によって、コイルが微小振動し、主絶縁やコアに局部摩耗 (フレッティング) を生じることがある。この現象の防止は、大容量化により電磁力が急激に増大するとともに、重要な課題となる。

3.2.1 固定子スロット内電磁力

2層巻コイルの場合、固定子スロット内に働く電磁力は、上口及び下口コイルが同相のスロットにおける、スロット底部で最大となり、

$$F_{MAX} = 25.6 \left(\frac{I_p^2}{S} \right) \times 10^{-8}$$

ここで F_{MAX} : 最大電磁力 (kg/cm)

I_p : スロット当たりの固定子電流波高値 (A)

S : 固定子スロット幅 (cm)

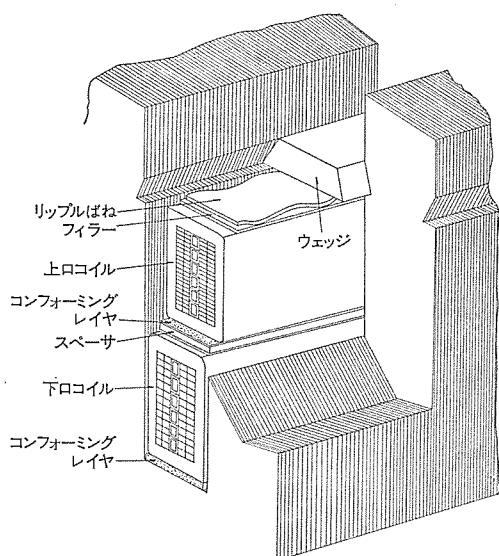


図 8. 固定子スロット内構造

で計算できる。これより、スロット内電磁力は発電機が大容量化するにつれて固定子電流が増大するのに対し、冷却方式の進歩によりコイル寸法の増加が抑えられるため、急増することが分かる。

3.2.2 スロット内コイルの支持方法

固定子スロット内のコイルは、通常、ウェッジ下フィラーを調整してウェッジを固く打込むことによって固定される。しかし、この方法では発電機運転中のヒートサイクル等によって、スロット内構成部材にある微小なおうとつ (凹凸) やうねりなどのなじみ等により運転初期にウェッジの押し付け力が低下する傾向がある。最近の大容量タービン発電機では次の方法によりこれらの点を改善している。

(1) 上口コイルとウェッジの間に絶縁物の板ばね (リップルばね) を挿入し、ウェッジ押し付け力の緩和を抑制する。

(2) 下口コイルとスロット底及び上下コイル間にコンフォーミングレイヤを挿入するとともに、加圧加熱サイクルによりコイルをスロット内でなじませる。

図 8. に上記改善法を取り入れたスロット内の構造を示す。この構造は発電機容量に応じてリップルばねのみ、あるいはリップルばねとコンフォーミングレイヤを組合せて適用される。

3.2.3 緩和試験

スロット内でのコイルの振動抑制のためにはウェッジの押し付け力を保持させることが必要である。実機運転中の状況を調べるため図 9. に示すスロットモデルにより、運転温度付近 (90°C) での押し付け力の変化を測定した。この結果、図 10. に示すように従来構造では比較的短時間に押し付け力が減少するが、リップルばねを使用した構造では減少量は小さく、しかも飽和する傾向にあり、長時間の後でもなお十分な押し付け力が残存することが分かった。

3.2.4 フレッシング試験

コイルが電磁力を受けてスロット内で振動した時の絶縁やコアに与える影響を調べるため図 11. に示す試験モデルを製作し、実機電磁力の 3~6 倍に相当する力で上口コイルを長時間加振して損傷状況を調査したところ次のようなことが判明した。

(1) リップルばねを挿入した構造、又は従来構造でもウェッジ押し付け力が残存している場合には、絶縁やコアに摩耗などの損傷は発生しない。

(2) 従来構造でウェッジが極端に緩んだ場合には、電磁力が大きいと、主絶縁にピッキング状の局所的なフレッシング摩耗が生じ、相手側のコアも摩耗する可能性がある。

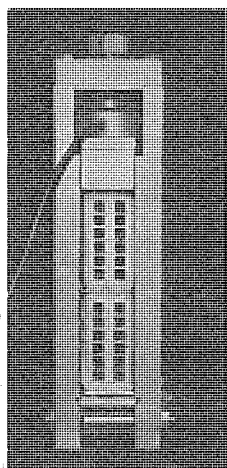


図 9. 緩和試験装置

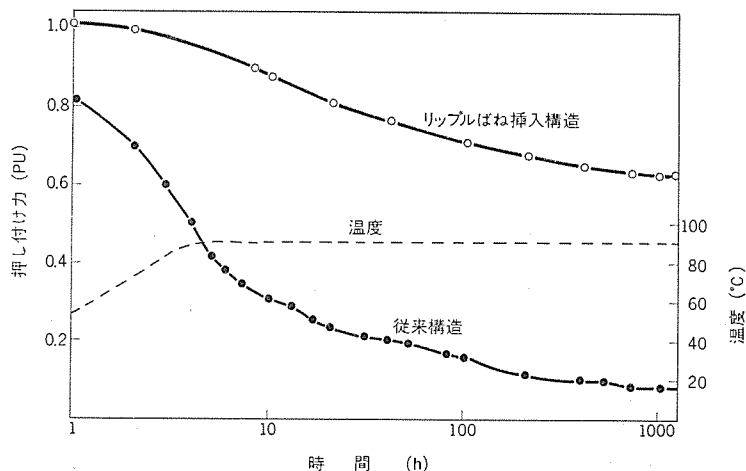


図 10. 緩和試験結果

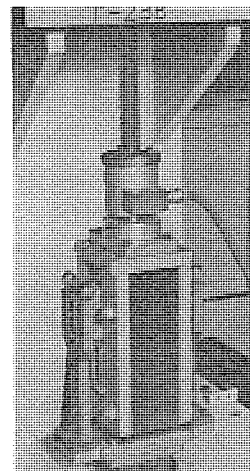


図 11. フレッシング試験

4. 構造部品

4.1 ロータ軸材

発電機の単機容量増大に伴い、使用される ロータ軸材の寸法や重量も大きくなってきた。現在では、製鋼技術の進歩により、単一軸材で、2極 1,200 MVA 級、4極 1,600 MVA 級の発電機も製作可能である。発電機において ロータは最重要部品であるため、超大形鍛鋼品でありながら信頼性を保証するために厳しい品質が要求される。軸材清浄性については、近年では、ほとんど無欠陥というが、特に脱酸材 (Si) による不純物介在物の減少を目的として、最近では、真空カーボン脱酸鋳造法 (VCD) が採用されることがある。また破面遷移温度 (FATT) を下げて、じん(靱)性の向上をはかるため、特に大容量2極機においては、従来の Ni-Mo-U 鋼よりも、遷移温度が低く、靱性の高い Ni-Cr-Mo-U 鋼を採用している。軸材製造過程においては、材料強度試験、外周超音波探傷試験、中心穴磁粉探傷試験によって品質確認を実施している。また、より直径の大きい ロータを用いて大容量化をはかるには、軸材の回転強度の評価を適切に行う必要がある。このためには、ロータに作用する回転応力、熱応力の評価の高精度化はもとより、軸材に内在する欠陥、軸材内部の機械的性質の分布、残留応力等、ロータ強度に影響する因子を厳密に把握する必要がある。当社では、回転応力の計算精度を早くから実物大断面の回転破壊試験⁽⁶⁾によって確認している。現在では、単純円板を用いた回転破壊試験⁽⁷⁾により K_{IC} 値データ集積に努め、線形破壊力学理論によって内部欠陥の評価を行い、軸材の品質の信頼性を確認している。図 12. に回転破壊試験によって破壊した円板を示す。

4.2 水冷固定子コイル端部

水冷固定子コイルは、端部において多数の素線を一括ろう付けし、水室形成と電気的接続を行うが、この部分における漏れのないろう付けを実現することが重要である。ろう付技術の信頼性を確立するため、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、漏れ試験、切断検査を行って、最適ろう付方法を決定した。ヘッダと主絶縁の間の部分には、補強絶縁を施し、素線群を一体化して強度を高めた。完成したコイルについては、通常の電気的試験のほか、ヘリウム検知法による漏れ試験、通気試験、耐圧力試験を行って、水冷却コイルとしての信頼性を確認している。

絶縁ホース、及び取付金具についても、機械的、電気的特性試験、実機運転状態を模擬する試験装置による寿命試験を実施し、長期運

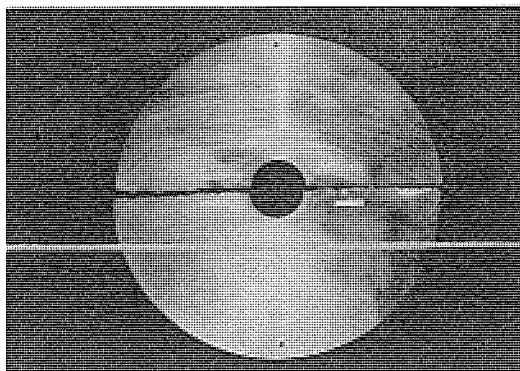


図 12. 回転破壊試験によって破壊した円板

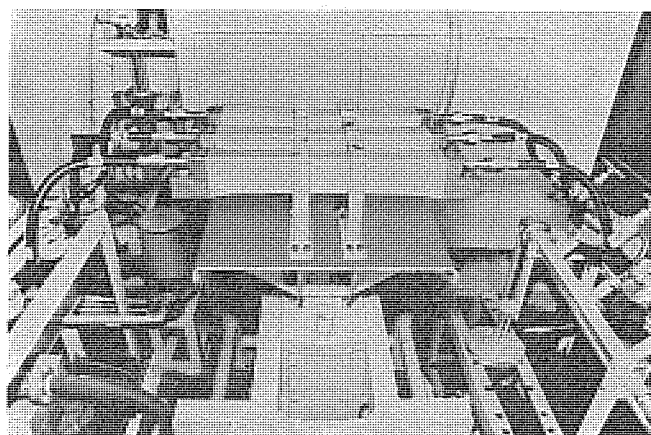


図 13. 通水加振試験装置

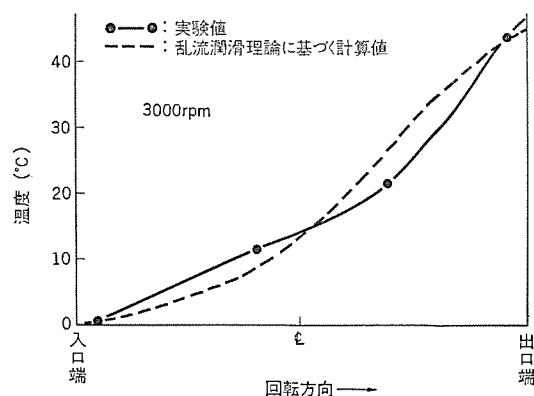


図 14. スリーブ軸受の温度上昇
(軸受入口端からの温度上昇)

転に対して十分信頼性があることを確認した⁽⁸⁾。更に、コイルヘッダ部と絶縁ホースの複合系について図 13. に示すような短縮コイルモデルにより、4～10 g・120 Hz の長期加振テストを行い、運転中の振動に対する信頼性を確認した。

4.3 軸受

発電機大容量化に伴う軸受性能上の主な問題は次の二つである。

- (1) 軸受径増大による油膜の乱流移行及び温度上昇の増加。
- (2) ロータ危険速度低下による動的安定性の問題 (オイルホイップの防止)。

これらに対し優れた性能をもつ軸受を設計するには、まず軸受諸特性を正確に知ることが重要である。このため、油膜の乱流状態、油膜粘度の温度依存性等を考慮した軸受特性解析プログラムを開発し、モデル軸受及び実機サイズの軸受による確認試験を行った。図 14. は試験結果の一例として直径 450 mm のスリーブ軸受のメタル温度上昇の実測値と計算値の比較を示したものであり、両者はよく一致している。更に大軸径になると動的安定性の優れたテイルティングパッド軸受を使用する。これは下半部に 2 個のパッドを配置した 2 パッドタイプであり、組立加工が容易で、軸受損失が小さい特長がある。実機サイズの軸受による検証試験により、テイルティングパッド軸受は、安定性に優れており、メタル温度上昇、軸受損失などの静特性も良好で、理論値とよく一致することを確認した。図 15. に試験用テイルティングパッド軸受を示す。

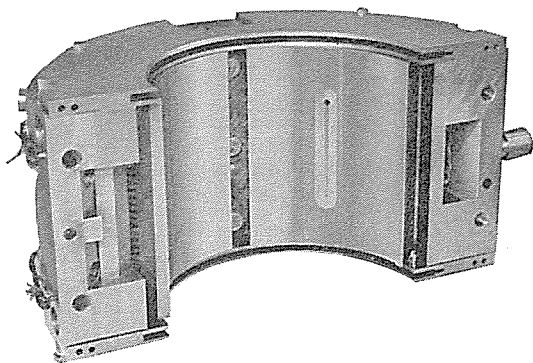


図 15. テイルフィンパッド モデル 軸受

4.4 シールリング

大容量機では、機内水素圧力が $4 \sim 5 \text{ kg/cm}^2\text{g}$ と高く、かつシールリングの直径も大きくなることから、シールリングと軸との間に形成される油膜の性質を調べ、シールリングの静特性及び動特性を理論的に解析した⁽⁹⁾。更に、図 16. に示す試験装置により、2 極及び 4 極発電機のシールリングモデルを使用し試験条件を種々に変化させて、上記解析による理論値と実験値がよく一致する事を確かめ、大容量機用シールリングの設計に反映させている。

5. む す び

タービン発電機の信頼性は、各種製造技術、管理技術を総合した技術と、それに基づいた体制の確立によって支えられるものであることは、言をまたないが、本稿では、その根幹となる設計技術面からのアプローチを主体にして紹介した。

大容量化を進めるうえでの、当社の信頼性確保の基本方針が従来技術からの安易な外挿を排し、開発、設計段階における徹底した検証にあることを理解いただければ幸いである。

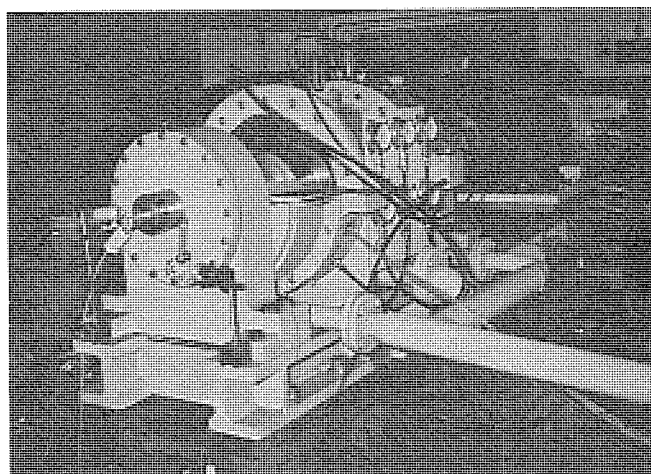


図 16. シールリング 挙動試験装置

これら大容量機技術の検証結果は、中小容量機の設計製作にも敷えん展開され、当社タービン発電機の信頼性向上につながっている。今後とも、ますます大容量化するタービン発電機の信頼性向上への努力を続ける所存であり、各位の叱正をお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 川面, 松倉ほか: 三菱電機技報, 50, No. 7, 401 (昭 51-7)
- (2) 菅波ほか: 潤滑, 21, No. 8 (昭 51)
- (3) W. Kellenberger: Trans. ASME No. 71-Vibr-55
- (4) 白木ほか: 三菱重工技報, 11, No. 4 (昭 49)
- (5) 速水ほか: 三菱電機技報, 50, No. 7, 379 (昭 51-7)
- (6) H. Inoue: ETJ of JAPAN (1956-3)
- (7) 穂原ほか: 機械学会論文集, 31, No. 222, 173 (昭 40-2)
- (8) 村上ほか: 三菱電機技報, 43, No. 4, 541 (昭 44-4)
- (9) 菅波ほか: 機械学会講演論文集, No. 750-19 (昭 50-10)

ガスタービン発電プラントの進展

森 義孝*・森 要**・風呂 功***・上田健二***・松宮保夫***

1. ま え が き

1963年に12.5 MVA (旭硝子(株)向け) ガス T/G を納入して以来、ガスタービン発電設備はこれまで、台数にして73台、総容量にして2,987 MVA を越える、多数の製作実績を重ねてきた。最近ではまた、産油国を中心にガス T/G プラントに対する需要が、急激に増加してきているので、ここにその概要を紹介するとともに、ガスタービン本体、発電機、パッケージハウス、更にはガス T/G プラントの制御に関する技術の進展について、その一端を報告する。

2. ガスタービンプラントの概要

2.1 機器配置

まず2×67 MW ガスタービン 発電設備 (MW-501 AA 形) を例にその配置図と立面図を紹介する。図1、図2はそれぞれ1ユニット分のみであるが、主変圧器を除けば、幅26 m、長さ73 mの範囲にコン

パクトに収められている。(ちなみに、18 MW 級の MW-191 形では、幅16 m、長さ38 m にすべての機器が配置されている。)

図1の発電設備は、対騒音、対 NOx など、各種公害防止対策が施されているため、それだけ大がかりになっているが、すべての部分が屋外式パッケージで構成され、建屋省略による設備費の軽減、建設工期の短縮などを実現している。このパッケージタイプ発電設備は、サウジアラビアの各地(20台)においても、砂じん(塵)、高温などの悪環境に対して優れた実績を示している。

図1の上部に示す制御パッケージとは、空調設備を施した集中監視制御室のことで、吸気室-コンプレッサ-ガスタービン(燃料注入)-排気ダクト-煙突-という気体の流れ、発電機-バスダクト-13.8 kV キュービクル-主変圧器-という電力の流れ、潤滑油タンク-油冷却器-T/G 各軸受-という潤滑油の流れ等あらゆる機器の運転状態を監視するとともに、始動装置の制御(後述)、負荷制御など必要な制御を統括する所である。また電気パッケージは補機モータ開閉装置、バッテリーなど

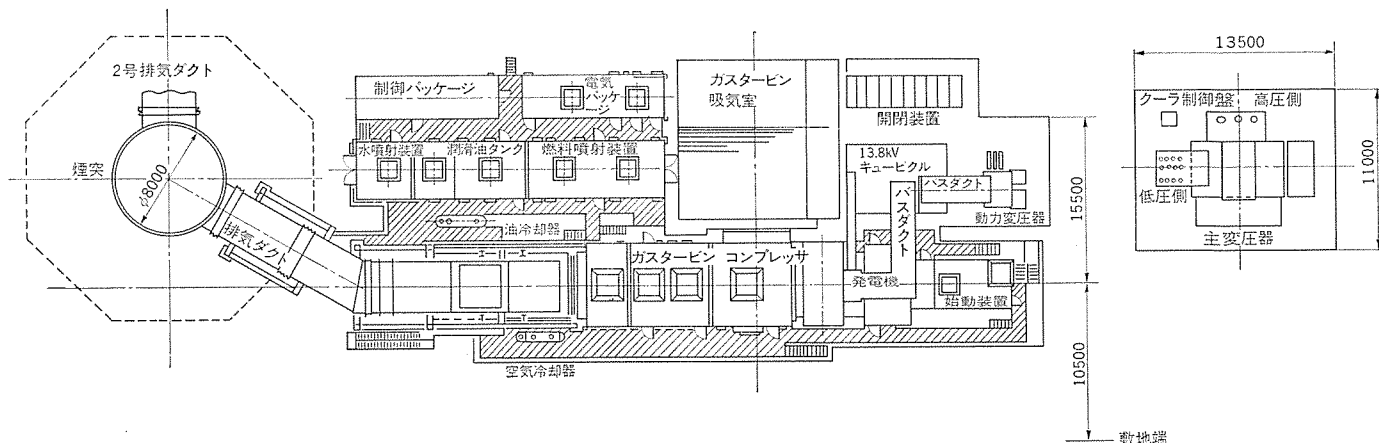


図1. 67,000 kW 発電設備機器配置図 (例)

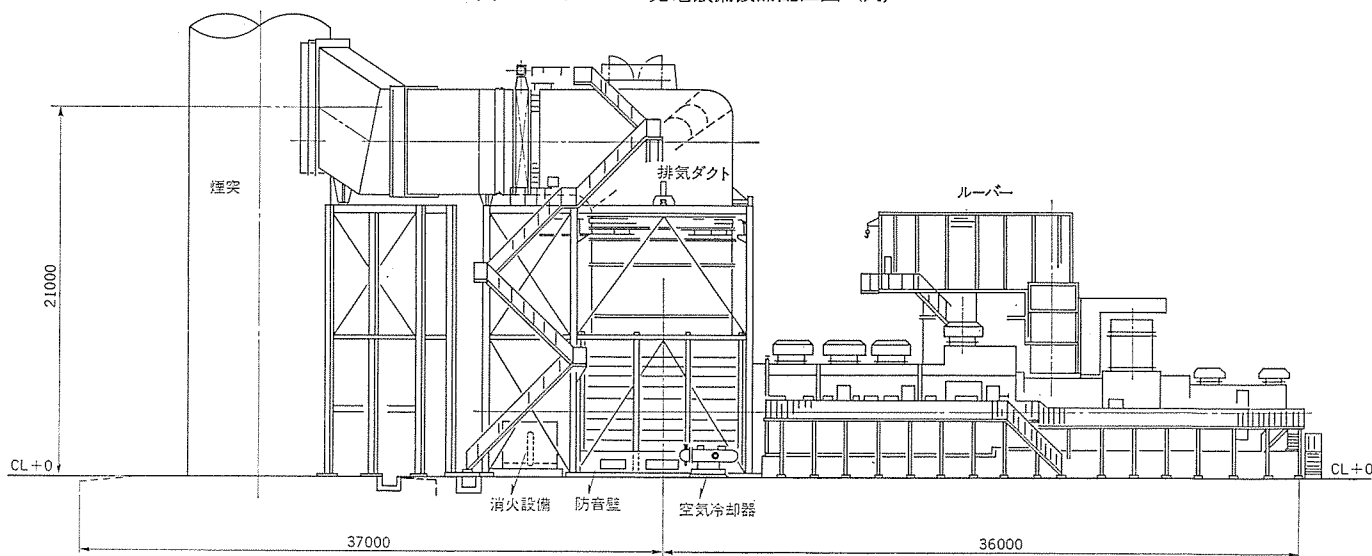


図2. 67,000 kW 発電設備立面図 (例)

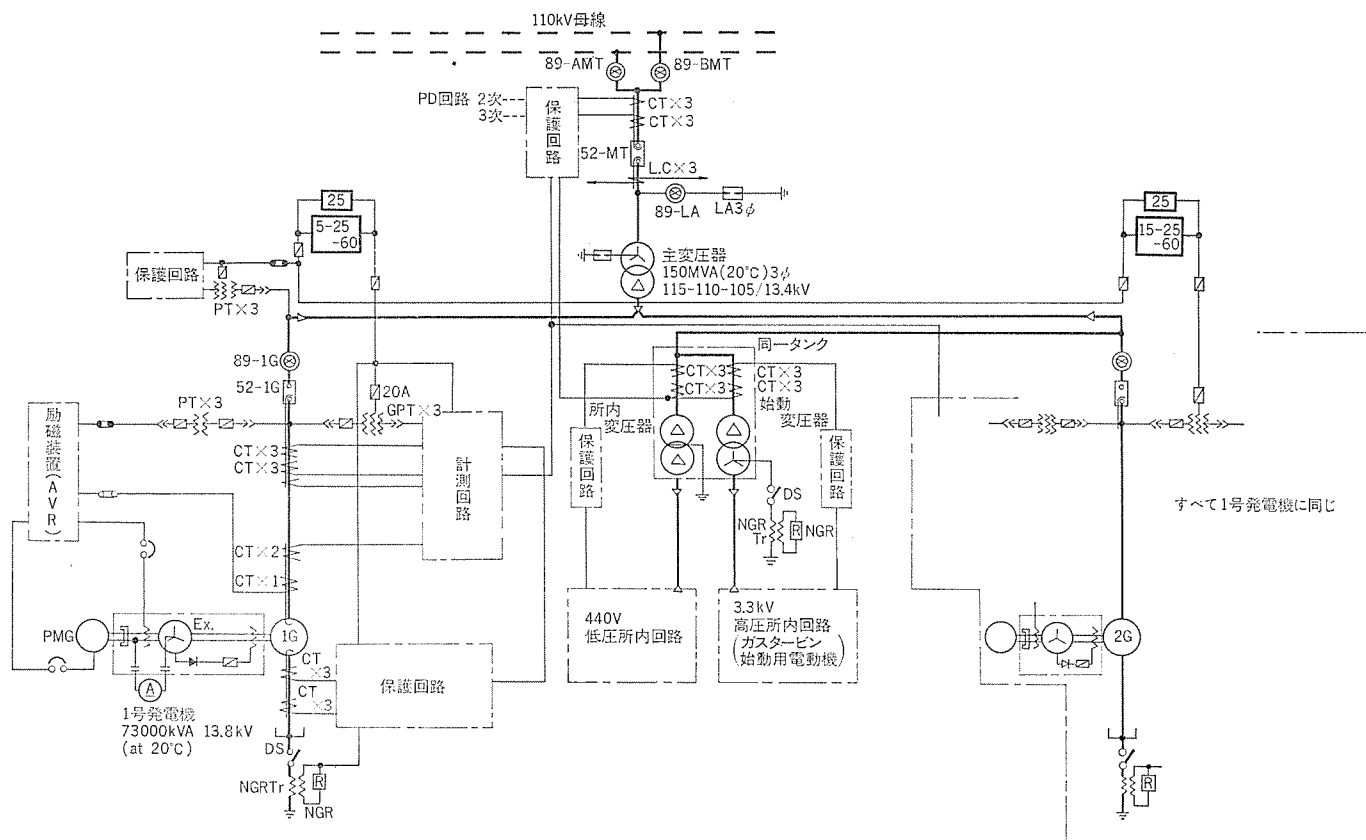


図 3. 67,000 kW 発電設備単線接続図 (例)

を収納している。

2.2 系統構成

図 3. は、前述 プラントの単線接続図である。2 発電機 - 1 変圧器からなり、ピークロード用として典型的な系統構成であり、2 ユニット分の補機電力を共通の動力変圧器を介して賄っている。

ユニット容量が大形化し、例えば 100 MW 級 (MW-701 形以上) になると、大形蒸気タービンプラント同様 ユニットシステムが採用される。

3.3 kV 回路は ガスタービン 始動 モータの電源であり、このモータによって ガスタービンは始動され、回転が上昇する。

その途中燃料の投入、増加に伴って燃焼ガスイネルギのみによりガスタービンの自力運転が可能となる。自力運転に入るとエアクラッチによって始動装置が切離されるため、この回路の使命はその時点で完了する。ブラックアウトスタートを行うプラントでは、モータの代わりにディーゼルエンジンによってこの始動が行われるのが普通であり、小容量ガスタービン (MW-191 形) などはむしろディーゼル始動を標準としている。

ピークロード用ガスタービンは、その役割からして、通常のスチームプラントに存在する共通 (起変) 系統がないのが特徴であり、図 3. でもいわゆるコモン系統はない。もちろん産油国などのベースロード用大形プラントでは、共通系統、更には非常用電源設備を設けるなど、スチームプラントと全く同様な系統構成になっている。

3. ガスタービン技術の動向

3.1 開発の推移

ガスタービンの技術開発は、ガス温度の高温化のための冷却技術の進歩とともに、急速な進展を遂げており、今日、100 MW 級のガスタービンが実現している。(表 1.)

他方、これまで我が国に設置された発電用ガスタービンの推移を見ると、前述の 12 MW (旭硝子(株)向け) では、ガス温度は 800°C 級であったが、その 3 年後には相似則に準拠して回転数を下げての体格の大形化をはかった 30 MW (中部電力(株)向け) が事業用火力として設置されている。強制空冷翼の採用により、従来タービン翼材料の耐熱強度から制限されていたガス温度 (例えば 850°C) の壁を打破した高温化が実用化されるに至り、昭和 47 年にガス温度 950°C 級の 60 MW (関西電力(株)向け) が、ピークロード用発電設備として営業運転に入っている。このようにガスタービンの技術開発は年々その成果を表現しており、ガスタービンの高性能化 (熱効率の向上及びユニット出力の大形化) は、新たなガスタービン用途の需要を開拓するとともに、多くの運転実績の累積から、その信頼性が広く認識され、国内外を問わず、ベースロード用、ピークロード用、非常電源用あるいは複合サイクル用などの各種用途に、ガスタービンの特長を生かして使用されるに至っている。

表 1. 最新鋭 100 MW ガスタービン (W-501 D 形) の要目

性能	出力 (ISO ピーク)	95,530 kW
	回転数	3,600 rpm
	熱効率 (低圧基準)	30.5 %
	ガス温度	1,188 °C
諸元	タービン	軸流 4 段 強制空冷翼
	圧縮機	軸流 19 段 可動式案内翼
	燃焼器	キャニュラ形 16 個
	ロータ	1 軸 2 軸受組合せロータ
元	重量	33,900 kg
	軸受中心間距離	7,240 mm

3.2 サイクル構成と高性能化

ガスタービンのサイクル構成の一例を図4.に示す。この図は大気から空気を吸い入れ、ガスタービン排気を再び大気へ放出するもので、かつ吸気と排気との間での熱交換による熱再生は行わないので、非再生式開放サイクル又は通常単純開放サイクルと称される。この単純開放サイクルのねらいは、機器の構成をできるだけ簡素化し、ガス温度を上昇させて高性能化に対処しているものである。したがってこのサイクルでは、①空気を圧縮する圧縮機、②燃料を燃焼させて高温ガスを作る燃焼器、③高温ガスを膨張させて動力を得るタービン、の簡潔な三つの要素から構成されるのでユニットの構造が簡単になり、軽量小形化ができ、取扱いも容易、かつ信頼性が高くなり、建設費も安い利点が生まれてくる。今日ガスタービンと言えばこの開放サイクルが主流をなしている。

ガスタービンの高性能化は、ガスタービンサイクルの特質上、ガス温度の上昇がすこぶる効果的であり、ガス温度の高温化は、適切なサイクル圧力比の選定のもとに熱効率の向上をもたらすだけでなく、単位ガス流量当たりの出力(比出力)を増大させ、ユニット出力を大形化する。図5.にMW-501シリーズガスタービンの開発推移を、そのガス温度と出力で表すが、同一シリーズのガスタービンにおいて、ガス温度の上昇がいかにユニット出力の大形化に寄与しているかを示している。

3.3 三菱ガスタービンの実績とその特色

三菱重工(株)は、昭和36年に米国ウエスティングハウス社(以下WH社と略称する)と産業用ガスタービンに関する技術提携を結び、以来WH社の最新技術(ノウハウ)の導入・消化はもちろんのこと、必要に応じてWH社と共同研究を実施する一方、新鋭機の開発を積極的に行い、最近では50Hz用の大形ガスタービン(MW-701形95MW)や、産業用及び船用主機用としての大形2軸ガスタービン(MW-252形)を、

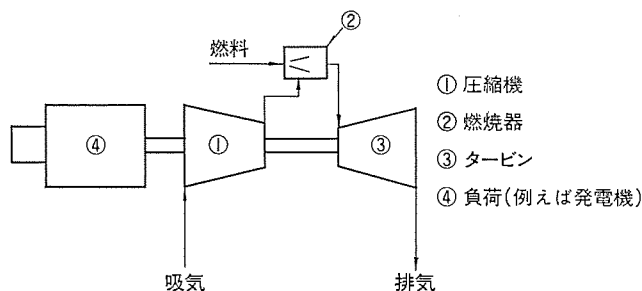


図4. 単純開放サイクルガスタービンの構成(例)

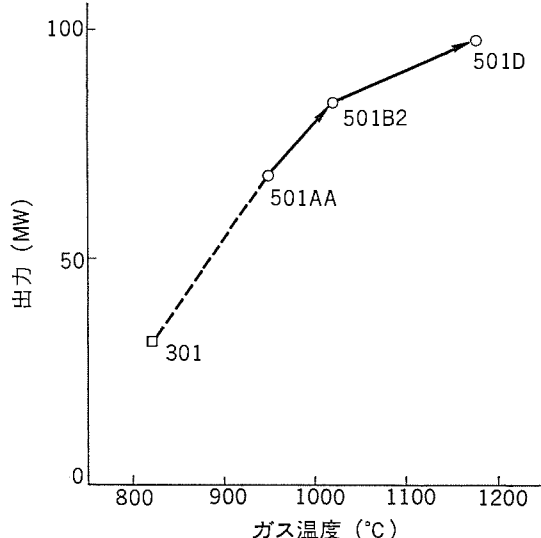


図5. 大形ガスタービンの開発経過

三菱の手でそれぞれの初号機を完成させている。

ここで、これまで我が国に設置された発電用ガスタービンの年度別累積容量を図6.に示す。次に、実績使用面から見た三菱ガスタービンユニットの特長を列記する。

(1) 実績が多く、信頼性が高い。

国内発電用ガスタービンの約70%を占め、実績が一番多い豊富な製作運転実績を基に標準化がなされており信頼性が高い。

(2) 高度な技術開発力により大容量化の先べんをつけている。

常に他社に先がけて、各時代の新鋭大形機を製作しており、現在は次期100MWユニットの生産体制の整備を終えている。

(3) 公害対策が配慮されている。

無煙化及び低NOx燃焼器の開発と水噴射方式の併用によって排出ガスの公害防止総合システムが実現し、更に騒音予測及び防止技術システムの開発により、経済的な低騒音ユニットも実用化している。

(4) 複合サイクルの実績がある。

排気再燃式の事業用225MWユニットや自家発電用の32.9MWユニットの実績があり、更に熱回収としての排ガスボイラの実績も多い。

(5) 無人運転が可能である。

運転制御システムが完全自動化され、我が国初の無人火力発電ユニットを納入した。また電算機制御システムも実用化している。

(6) 総合力による最適プラントを実現する。

総括的技術提携方式により、WH社の最新技術を導入するとともに、三菱の優れた総合エンジニアリングを駆使して、使用者のニーズに合致したガスタービン、及びプラントシステムを供給できる。

(7) メンテナンス体制の整備

メンテナンスに必要とする部分は、すべて自社製又は国内調達により確保され、安定供給が約束されている。

また、世界主要地に保守要員を配置しており、適確かつ迅速なメンテナンス活動が実施できる。

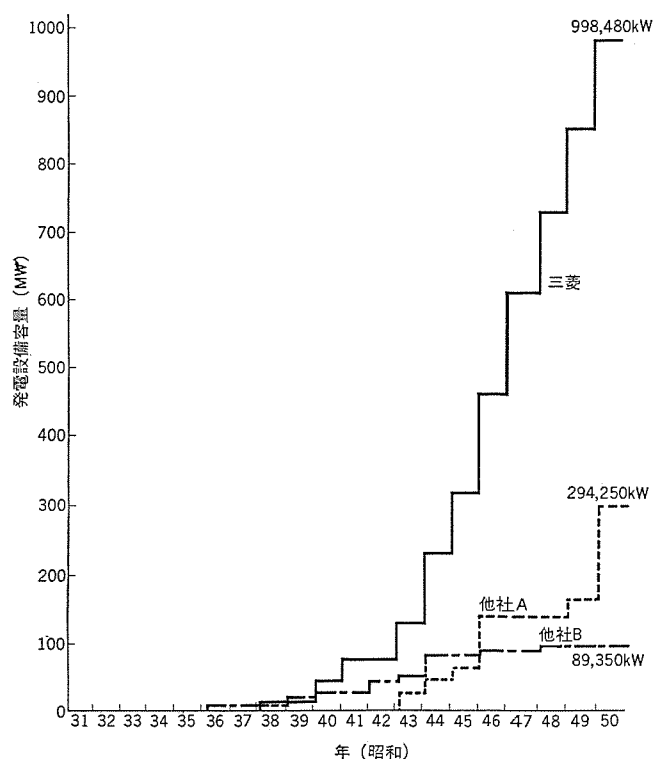


図6. 国内発電用ガスタービン設備設置容量の実績

4. ガスタービン用発電機の最近の動向

前述のように、ガスタービンが高効率、大形化を実現するに伴い、発電機の単機容量も著しく増大している。中でもカタール国水・電力庁向け MW 701 形 ガスタービン用 98.99 MVA 発電機は、空冷式タービン発電機としても本邦最大クラスの容量を誇っている。これは多年にわたる当社の数多くの大容量空冷発電機開発製作の一連の成果であり、特に我が国の最大クラスである新日本製鉄(株)大分製鉄所納め 88 MVA, 60 MW, 2 極同期電動機の技術が全面的に取り入れられている。

現在ガスタービン発電機の多くは開放形で製作されているが(当社はユニットパッケージ形と呼称)、最近新しい動きとして注目すべきは従来の発電機の規格に加えて、ガスタービン発電機専用の規格が立案されていることである。これは Peak Reserve など、ガスタービン発電機特有の運転条件と協調のとれた、実用的な設計思想が加味されたもので、米国では ANSI-C 50-14 として具体案ができ、近々制定される見込みである。

なお、米国内ガスタービンメーカーは既にこの新規格案を適用しているので、以下この規格の主要点を記す。

- (1) 10 MVA 以上の開放空冷式発電機に適用される。
 - (2) 実負荷を取る始動回数は年間 500 回以下であること。
 - (3) 吸気温度は -18°C から 49°C と規定され、その間の温度範囲でガスタービンの Base, Peak 及び Peak Reserve 出力をカバーするようおのおのに対応する発電機出力を決定する。発電機の名板定格は上記で決定された BASE 定格の吸気温度 15°C での出力で示す。
 - (4) Peak Reserve 出力の場合、発電機出力は Peak kVA 値を越えぬ範囲で力率を良くして使用するものとする。
 - (5) 発電機定格出力時 (15°C 入口空気温度) の各部温度上昇値は表 2. の値である。また、Base 出力でのホットスポット温度は B 種: 130°C , F 種: 155°C , Peak 及び Peak Reserve 出力では B 種: 155°C , F 種: 180°C と規定している。
 - (6) Peak 運転は温度上昇を高く許容しているため、絶縁物に与える影響は Base 運転の数倍程度に相当している。これはガスタービンと発電機との経済性の協調を図るためで、従来の発電機に比較して合理的な設計内容が期待できる。
- 当社は、既にこの規格に適合し、かつ各ガスタービン形式に対応した発電機のシリーズ化を完了しており、経済的で合理的なガスタービン発電機の供給体制を整えている。

表 2. ANSI-C 50-14 “Combustion Gas Turbine Driven Generators” における温度上昇限度

部 分	測 温 法	定格出力での温度上昇 deg C (入口空気温度 15°C , 標高 0 にて)			
		突極形同期機		円筒形同期機	
		絶 縁 種 別	絶 縁 種 別	絶 縁 種 別	絶 縁 種 別
		B	F	B	F
電 機 子 巻 線	埋込測温素子	105	130	95	115
界 磁 巻 線	抵 抗 法	105	130	110	130
絶縁物に近接する鉄心など	温度計又は測温素子	95	115	95	115
スリッパリング	温 度 計	110	110	110	110
ブラシ、ブラシホルダなど		発電機に害を与えぬような温度とすること			

このような規格はヨーロッパにおいても IEC として試案が出されており、いずれ我が国でも同様の規格が導入されると思われる。

次に最近の国内向けプラントの特徴は、公害防止の観点からより厳しい騒音対策が必要となっていることである。例えば 75 MVA 発電機では機側 1 m で 75 ホン (JIS-A スケール) 以下、また 33.475 MVA 機では吸排気口部で 70 ホン (JIS-A スケール) 以下という規制値が、与えられた。当社では中央研究所などの協力を得て、工場内騒音計測時に被測定体よりも暗騒音が高い場合でも現地測定値に対しほとんど誤差を生じないような特殊な計測筒 (図 7.) により数多くの実測データを得てこれを実現した。

輸出向けでは特に砂漠地帯設置機が増加しており、サウジアラビア (ARAMCO) 納め発電機 20 台の経験も加味して従来のフィルタに加え、オプションとしてダストセパレータを設置する。これは比較的大きな砂塵などの異物を機械的に取り除き、2 段目以降のフィルタで残りを除去するもので、特に砂漠地帯に多い無人運転の場合、吸気口フィルタ部の保守軽減の面で威力を発揮するであろう。

当社のタービン発電機では運転保守が簡潔となるブラシレス励磁方式を標準とし、広く顧客の好評を博しているが、特にガスタービン発電機のように始動停止が多い場合は、始動時着磁が不要な永久磁石発電機 (PMG) 付きのブラシレス励磁機を適用している。その他界磁接地検出装置もこの部分に設け、他の監視計器とともに運転中の遠隔監視を容易にしているが、最近では、過励磁制限装置 (OEL) に発電機吸気温度の要素を入れ、吸気温度で変化する発電機可能出力曲線にキメ細かに追従させている。

また新技術として、近年のサイリスタ電力変換器の進歩により、ガスタービン発電機を電動機として運転してガスタービンを始動する、サイリスタ始動方式が可能となっている。この方式は、ガスタービン発電機の外に揚水発電機や高炉ブロー用同期電動機の新しい始動方式として着目されているもので、当社でもかねてから検討を進めており、既に実用化の段階に入っている。図 8. にその系統図を示す。

このサイリスタ始動装置は昭和 50 年 6 月以来良好にか(稼)動中の国内初 (新日本製鉄(株)納め)の高炉ブロー用 52 MW 同期電動機

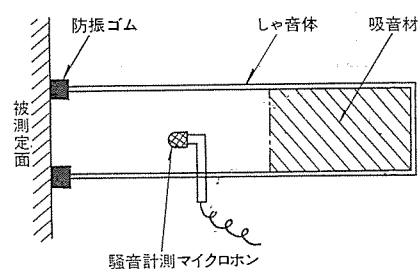


図 7. 騒音計測筒

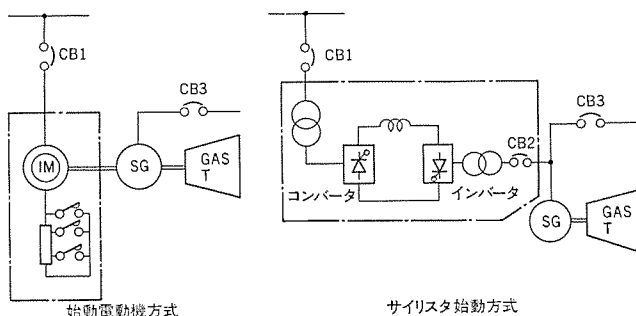


図 8. 始動電動機方式とサイリスタ始動方式

においてもその性能が実証されており、ガスタービン発電装置に適用した場合、

- (a) 軸方向長さが短くなる。
 - (b) 機械装置構成が簡単になるため、保守が容易である。
 - (c) 始動時の加速パターン制御が精度よく自由に行える。
 - (d) 複数台のガスタービン発電装置に対し、1台の始動装置で済むので経済的である。
- などの利点が生じ、今後の新始動方式として注目されている。

5. ガスタービン用コントロールパッケージの設計

コントロールパッケージは、1台のガスタービン発電プラントの運転に必要な制御機器を一つの鋼板製のハウジングに収納したものである。このパッケージは、アナログ制御装置又はコンピュータの設置条件を、満足させかつ、運転員が運転操作を行う制御室としての機能性にも十分な配慮がなされている。図9.にその室内配置図を示す。

ここで構造面からみた特長を列記すると

- (1) 外形が小さくコンパクトな設計。
必要な制御機器をすべて収納しているにもかかわらず、外形が小さくコンパクトにまとめられているため、どこへでもトレーラ輸送ができる。
- (2) 集合端子の採用による据付工期の短縮。
収納機器間の配線は工場で行われ、外部機器との取り合いを要する配線はすべて集合端子まで引き出されているので据付配線工事が簡単になり、工期が短縮される。
- (3) 効果的な断熱設計と空調システムの採用。
コントロールパッケージは、収納機器が電子装置であることから室内の空調が重要な課題となる。図9.は、熱帯地域向け空調装置としてパッケージ形エアコン3台を使用した場合を示している。温暖地域向けの場合には2台、寒冷地域向けの場合には1台というように据付場所により適切な空調装置が選定される。

また、空調装置の性能を十分に発揮させるように、壁や天井は断熱効果を高める対策を施している。

- (4) 塵あい(埃)対策を実施
制御室としての機能を十分に発揮するには防塵対策が十分でなければならない。このために、通常の出入口を2重扉とし、配線工事の塵埃侵入防止も考慮し、集合端子室を制御室の外に設ける。更に制御室内に内圧をかけるなどの対策を施している。砂塵が問題にな

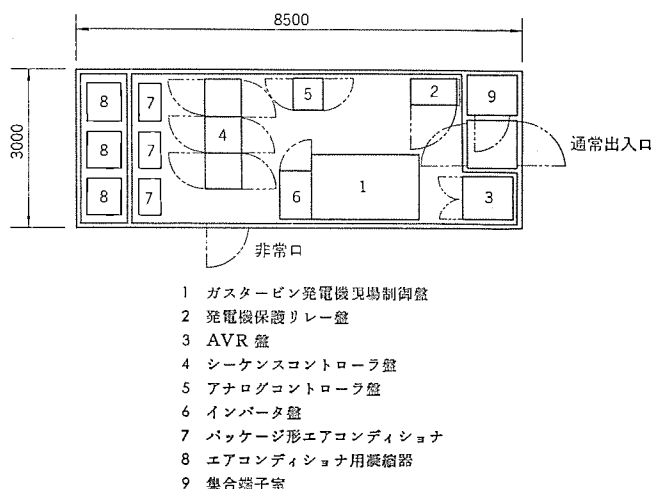


図9. 室内配置図 (アナログ制御の場合の一例)

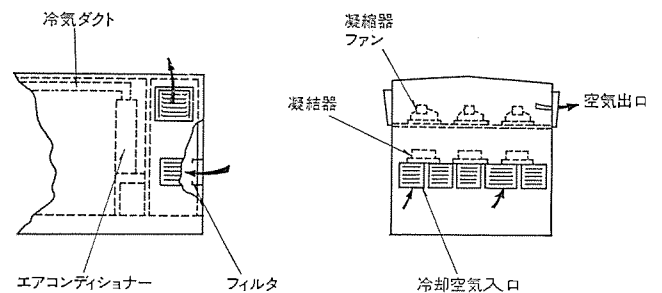


図10. 凝縮器室の構造

る砂漠地帯向けの場合には、空調装置用の凝縮器は、図10.に示すようなフィルタに囲まれた室内に収納する。

(5) 機能的な室内配線

室内配線は、制御用、計装用、動力用に分離し、制御用には多心コネクタを採用している。

上記のような特長をもつコントロールパッケージは、サウジアラビアの砂漠地帯で昭和47年から良好にその機能を発揮している。

6. ガスタービン発電設備の制御、保護方式

6.1 制御、保護の概要

ガスタービンの大形化、性能向上に伴い、保護、制御方式についても制御要素の増大、信頼性の向上、自動運転など、近年高度化、多様化への進展はめざましいものがある。

これを満足するために、制御装置の心臓部として電子式プログラマブルシーケンス制御装置《MELSEC》を、ガバナ機能を主体にした各種圧力、温度制御装置として電子式アナログ制御装置《MEGAC》を使用している。また保護装置としてガスタービン関係は各部温度、圧力等の保安装置、電気関係は保護継電器を適切にアレンジし保護の万全を期している。

更にマンマシンインタフェースとしてガスタービン発電機制御盤が設けられている。

(以上の関係を図示すると図11.のとおりとなる。)

6.2 制御方式

制御盤とつりつけの押ボタンスイッチを操作することによりガスタービン制御の動作開始指令が《MELSEC》に与えられるが、《MELSEC》内部においては、あらかじめプログラムされた始動、停止スケジュールにもとづいてシーケンスを進めていくためにタービン、発電機、補機など

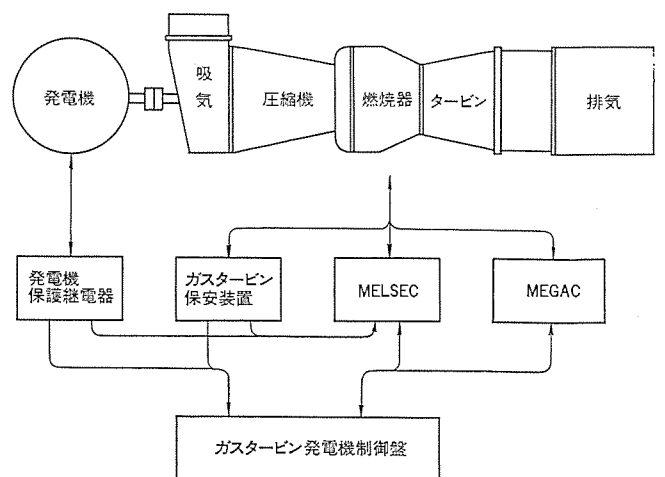


図11. 保護制御方式概念図

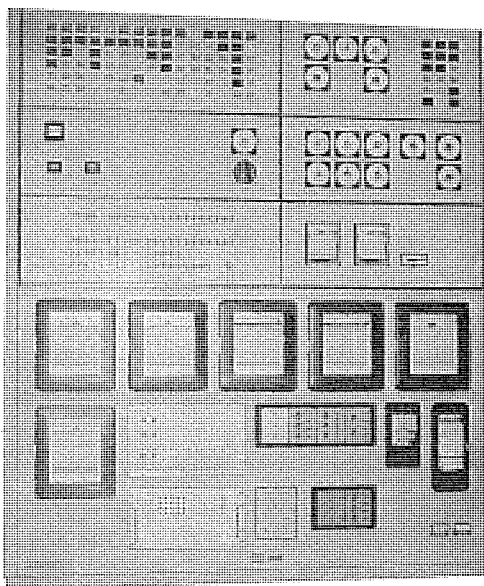


図 12. 制 御 盤

からの接点入力状態を判別し、その結果としてプラント補機の発停、電磁弁の開閉などの信号を出力するという、いわゆる Direct Digital Control 方式にて完全自動化をはかっている。また《MEGAC》へは、ガスタービンのアナログ信号（例えば回転数、温度、圧力、電力など）がインプットされ、上記《MELSEC》から適当な時期に信号を与え、各種演算後、燃料調節弁などの各種制御弁の制御信号を出力する。

一方、制御盤には種々の制御用押ボタンSW及び状態表示灯を設け、前述のマンマシンインタフェースの役割を十分に発揮させているが、その機能分類は下記である。

- (1) 始動、停止スケジュールに添った状態表示灯を設け、ガスタービンの運転状態がは(把)握できる。
- (2) ガスタービンの始動、停止、非常停止ができる。
- (3) ガバ操作、AVR 操作など各種調整操作ができる。
- (4) 発電機しゃ断器など重要機器の手动操作ができる。

さて、このような制御方式が最新のガスタービンに適用されているのは、高度化するガスタービン制御方式への要求に対応するため、及び受注から出荷までの短納期需要に応ずるためである。すなわち制御方式の変更が容易にでき、かつハードウェアの製作工程とソフトウェアの設計工程とを独立に処置でき《MELSEC》かつガスタービンの調整装置として従来の機械式ガバでは実現しにくかった高度かつ複雑な機能をもたせうる《MEGAC》からである。

次に、制御盤の構造的な面には図 12. のように、制御盤の表面を機能ブロックごとに分割し、コンパクトに配置しているため

- (1) 操作、監視、記録、警報などが、ブロック単位に行われ運転しやすい。
- (2) ブロックごとの標準化が容易であり、組立、結線などの作業が机上ででき、並行生産による、工期短縮に寄与する。

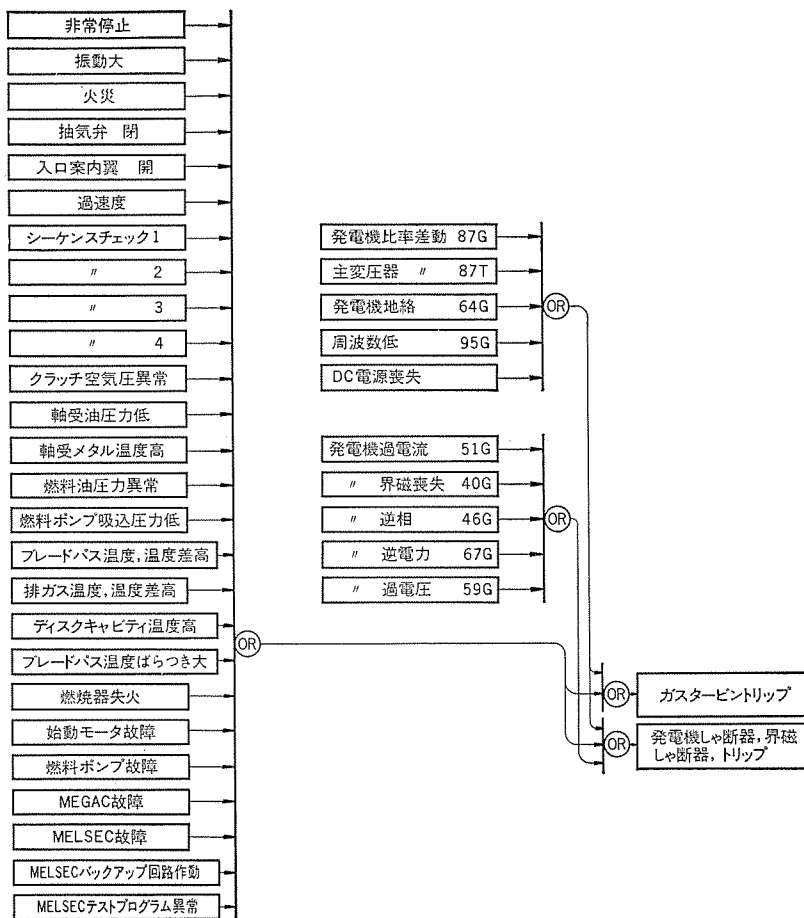


図 13. プラントインタロック 線図

など、大きな特長を有するものである。

6. 3 保護方式

ガスタービン発電所は無人運転を行うことが多いこと、単機容量の増大に伴うタービン制御方式が、複雑化、高度化してきたこと、タービンロータの寸法増大に伴い振動監視装置に期待する機能が多様化していること、などにより保護方式についてもより高度な装置が採用されるようになった。また、警報装置に FIRST-UP ALARM 方式を採用したり、指示、記録方式も事故解析を容易にできるような最適設計を施している。

参考までに図 13. に プラントインタロック の具体例を示した。

7. む す び

以上、ガスタービンプラントについて、その機器配置から保護方式まで、非常に大づかみに述べた。ガスタービン発電設備は現在も数ユニットを製作中であり、今後とも質量両面で着実な進展が期待される。特にガスタービンは、ガス温度の高温化に加え、耐高温翼の開発が進められつつあり、発電機の単機容量もこれに伴って増加し続けるであろう。一方、ガスタービンの排熱回収ボイラ等と組合せる、高効率複合サイクルプラントとか、サイリスタ始動装置の採用なども、より普及発展して行くことが予想される。

最近の地熱発電プラントにおける電機設備の動向

久保 博和*・広崎 吉彦*・森崎 博**・佐藤 欽也**

1. ま え が き

近年石油エネルギーへの依存度の見直しをせまられている我が国では、国内に賦存するエネルギー資源の開発とエネルギー供給の多様化の一つとして地熱の利用が再認識されつつある。通産省のサンシャイン計画の一端として検討されている地熱は豊富な純国産エネルギーであるので、この熱エネルギーを利用した地熱発電は60年度には、210万kWに至るものと見込まれている。

当社は九州電力(株)より本邦最大容量機である八丁原発電所50MWプラント用電機品に引継ぎフィリピン、アイスランド向け等輸出プラント数件を受注、目下製作中である。本文ではそれらのプラントの概要と電気品の防食対策、並びに将来の地熱発電所の運転方式についてその考え方の一端を紹介する。

2. 地熱発電の現状と最近の動向

2.1 現 状

エネルギーの長期安定確保は、人間生活の活動源として必要不可欠の問題である。その重要性の認識は、中東戦争を契機として最近のエネルギー需要の情勢下にあって、ますます高まりつつある。新しいエネルギーの利用は各国で検討されており、火山地帯を有する国々では地熱発電を検討している。火山国である我が国でも、サンシャイン計画など

国家的施策による開発促進とあいまって、現在計画されつつあり、また、今後も地熱利用の開発が進められていくものと考えられる。

地熱エネルギーの発電利用は、既に、1904年、イタリア・ラルデロで3/4馬力出力の発電機を運転しており、以後各国に多数の地熱発電所が建設されている。これらの現状について以下に述べる。

2.2 実績と最近の動向

我が国の地熱発電所の実績並びに建設計画中の発電所を表1.⁽¹⁾⁽²⁾に、また当社発電機の納入実績(タービンは三菱重工業(株)製)を表2.に記載する。

表 1. 国内地熱発電所の実績(含建設計画)
(運転又は建設中の地熱発電所)

発電所名	日本重化学工業 松川	九州電力 大 岳	三菱金属 大 沼	電源開発 鬼 首	九州電力 八丁原	東北電力 葛根田
定格出力(kW)	20,000	11,000	10,000	25,000	50,000	50,000
運転開始(昭和)	41年	42年	49年	50年	52年	—

(建設計画中の地熱発電所)

発電所名	日本重化学工業 東北電力 滝の上	日本重化学工業 北海道電力 濁 川	日本重化学工業 雄 勝	同 和 鉱 業 皆 瀬
定格出力(kW)	50,000	50,000	20,000	30,000

表 2. 三菱納入地熱発電所用主機実績(含製作中)

発 電 所 名	運 転 開 始 予 定 期 日	タ ビ ン			発					
---------	--------------------	---	--	--	---	--	--	--	--	--

* 制御製作所 ** 長崎製作所

我が国の地熱発電の開発は諸外国に比べ時期的に遅れていたことは事実である。それは我が国の地熱地域に熱水形が多いためであった。しかし表 3. に示すように、最近の我が国から輸出する地熱プ

表 3. 我が国からの輸出地熱発電 プラント (含製作中)

輸 出 国	プラント名	台 数	定格出力 (kW)	備 考
ア メ リ カ	Geysers	6	55,000	
"	"	2	110,000	
"	"	1	114,000	
メ キ シ コ	Cerro Prieto	2	37,500	
エルサルバドル	Ahuachapan	2	30,000	
"	"	1	1,100	ポータブル T/G (所内用)
フィリピン	Los Banos	4	55,000	
"	Tiwi	1	3,000	ポータブル T/G (坑口用)
"	Los Banos	1	1,200	ポータブル T/G (所内用)

(51 年 7 月現在)

ラントは多く、世界の地熱発電総出力の 40 数 % を製作担当するに至った。これらは地熱発電の先駆者である イタリア、ニュージーランド、アメリカ等から驚異の眼をもってながめられている現状である。また、世界の地熱地域も熱水形が多数を占めており今後、熱水形での地熱発電所も増加するものと思われる。したがって我が国における熱水を利用した地熱発電の研究開発と技術の蓄積などの実績が、今後の発展にあたえる影響は大きいものと思われる。

とりわけ、三菱重工業(株)は世界最初に従来の シングルフラッシュサイクル から ダブルフラッシュサイクル へと進展させ、フィリピン・Los Baños 向け 55 MW×4 台、アイスランド・Krafla 向け 30 MW×2 台、九州電力(株)・八丁原向け 50 MW×1 台に熱水形ダブルフラッシュサイクルを採用し製作している。

図 1. に シングルフラッシュサイクル の系統図、図 2. に ダブルフラッシュサイクル の系統図の一例を記載する。

2. 3 蒸気井掘削用電源としてのポータブル発電設備

地熱発電所の容量は蒸気井の蒸気量から決まるのでおおよその目標発電容量までは蒸気井を掘削し続け、ほぼ蒸気井の掘削完了時点で主発電設備の最終的容量が固まる。

通常、数本の蒸気井の蒸気を集め発電にあてているのが普通である。この事から分かるように蒸気井の掘削開始から、発電までは相当な期間を必要とすることになる。また、この間は、蒸気井掘削用の電力が必要となる反面、掘削した蒸気井蒸気は主発電設備のか(稼)動までは空吹きしの状態であり不経済であると言える。

したがって、最初の蒸気井掘削後は、その蒸気井近傍に小容量の発電設備を設置し、次の蒸気井掘削用の電力に充当しようとする地熱坑口用発電設備を当社は三菱重工業(株)と協力し製作納入している。また、この小容量の坑口発電設備は点在する蒸気井への移動を考慮し、発電設備 1 式を共通台床にとう(搭)載した可搬式のものとしている。この装置の利用は地熱発電所の特有な問題として泉源の衰退、枯渇にそなえて新しい蒸気井を常に求めていく必要もあるため、主発電設備稼働後においても、この可搬式坑口発電設備は非常に便利なものとして、実用に供されている。なお、このポータブル坑口発電設備は、主発電設備設置の数年前から実際に使用されるので、地熱発電特有の腐食性ガス等に対する設備の実機テストという事にもなり、その結果としての状況が主発電設備へのフィードバックができて、信頼性の高い主発電設備を納入することにつながっている。

当社のこの発電設備の納入実績も表 2. に含めて記載しているが、その評判もよく多数の商談が続いている。参考までにこの発電設備の一例を図 3. に示す。

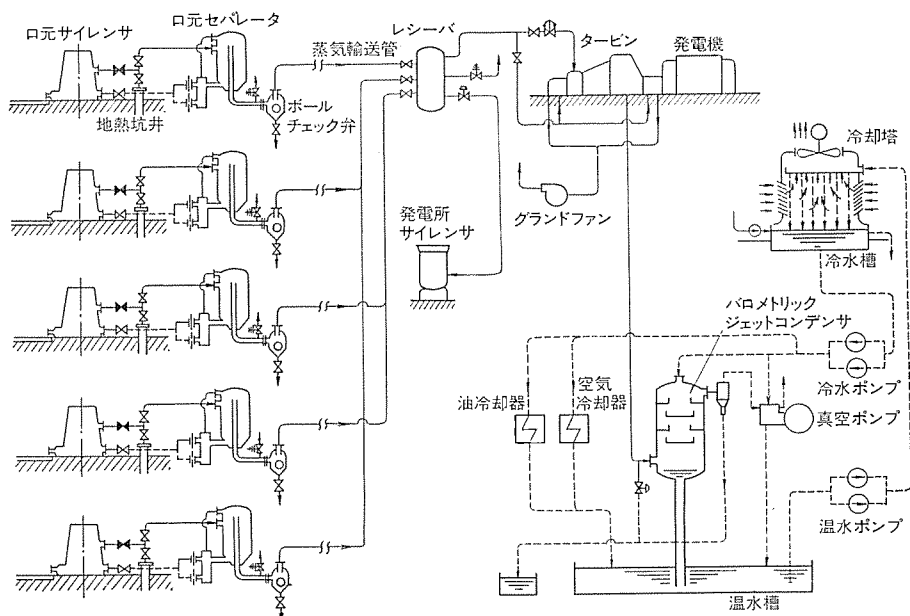


図 1. 九州電力(株)大岳 11 MW 地熱発電 プラント 系統図 (シングル フラッシュサイクル)

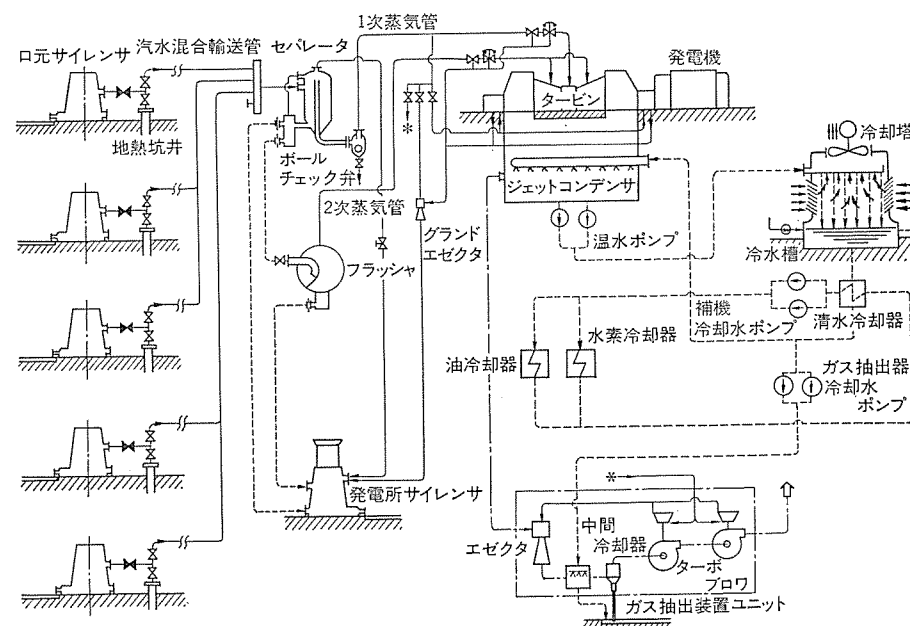


図 2. 九州電力(株)八丁原 50 MW 地熱発電 プラント 系統図 (ダブル フラッシュサイクル)

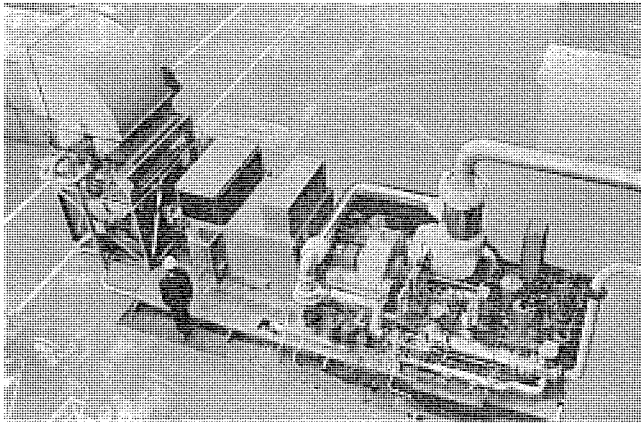


図 3. ポータブル発電設備

3. 地熱発電用空気冷却タービン発電機

地熱発電プラント用として当社では水素冷却機及びポータブル抗口発電機を含め前章表 2. に示す納入実績を有している。地熱発電プラントにおける空冷発電機の製作にあたってはその建設環境の特殊性を考慮しなければならないが設計上の最重要留意点は何と言っても蒸気に含まれる硫化水素ガス (H_2S) に対する防食対策であると言える。これらについて当社では、5 章に述べるように各種の腐食テストを実施し、材料、構造両面から見た設計方針を確立している。

以下に一般用発電機と異なる点を中心に地熱発電用空冷発電機の設計方針の概要について項目別に述べてみたい。

3.1 有害ガスの機内侵入防止

(1) 空気冷却器内蔵形発電機（全閉内冷形）の採用

空気冷却器を発電機フレーム横のカバー内に設置することにより、構造的に接合面の気密度を増している。また、この事は発電機騒音の低減、基礎の簡略化にも大きく役立っている。発電機の断面を図 4. に示す。

(2) カバー接合面のシール構造

カバー類などの接合面は屋外形発電機なみに機械加工を施し耐食性のあるパッキン材を用いて締付けている。なお、締付ボルトピッチも一般の発電機に比べ、小さくしてシール効果を高めている。

(3) 内圧印加装置の設置

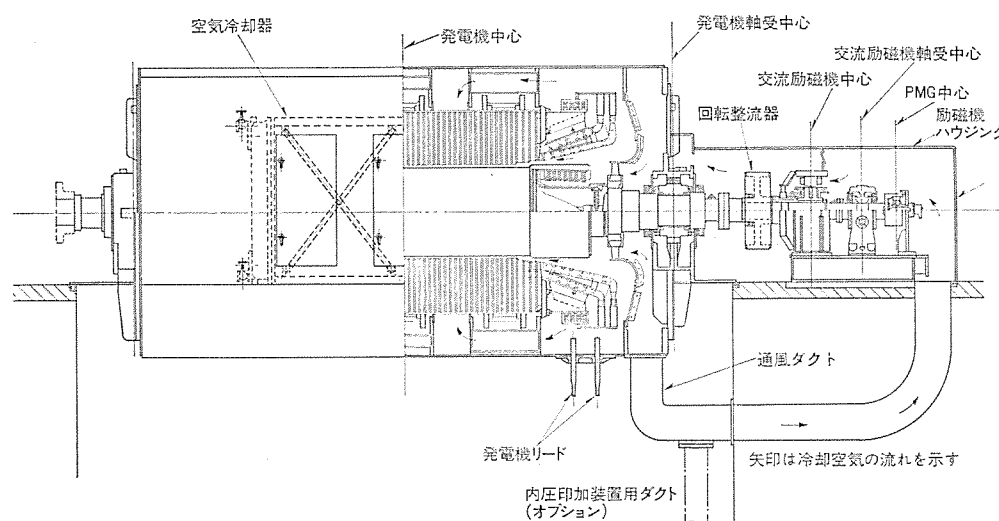


図 4. タービン発電機組立断面図 (冷却器内蔵)

要求により発電機内圧を高め、有害ガスの機内侵入を防止する内圧印加装置を設けることができる。この装置には活性炭フィルタが使用されるため有害ガスが取除かれ、清浄な空気が機内へ送りこまれるようになっている。

3.2 しゅう(摺)動面を設けない構造（ブラシレス励磁方式）

腐食以外の問題でもブラシ等の摺動面はトラブルが多く、保守を容易にするためにも当社では数多くの実績を有するブラシレス励磁方式を特に標準として採用している。

この場合、冷却風は発電機よりバイパスするため完全な環境シャ断が行われている。この方式は保守がほとんど不要であり、発電機の無人運転をも可能にしている。

その構造については図 4. を参照願いたい。

3.3 輸送に対する考慮（小形軽量化）

地熱発電プラントの建設は主に山岳地帯が対象となるので輸送条件（寸法・重量制限など）の厳しさが考えられる。このような場合発電機にF種絶縁を適用、又は固定子分割構造を採用することにより小形軽量化をはかり輸送条件に対処している。また、悪路輸送による衝撃などを考慮して輸送工具、コンパなどには万全を期している。

3.4 コイルの主絶縁

固定子コイルには一般用発電機と同じエポキシ系（ダイラステック）絶縁を使用しているため腐食に対しての問題はない。しかしながら、回転子コイルには全閉内冷形とはいえ特に屋外開放形発電機と同等の耐候性処理を施してコイルの腐食に対処している。

3.5 部品の防食めっきと不銹鋼の採用、塗装での考慮

リード線接続部、端子、及びボルト類はすべて H_2S ガス等に強いめっきを施し、素材が裸の状態に露出しないように配慮している。もしそれが不可能な場合は結線後耐食塗装を行っている。また、特に水に接触する部分には銅系材料の使用は絶対不可としている。例えば、空気冷却器管板、冷却細管及び水管フランジ等の配管部品には、すべてステンレス鋼を使用している。塗料は H_2S ガス等に強いエポキシ系の使用を標準とし、その下塗り回数及び塗装厚さ等は特にきびしく管理している。

4. 地熱発電所の運転制御

4.1 一般の運転方式と無人運転

地熱発電所は一般に小容量で補機数も少なく、また、蒸気圧も低いなどから始動停止操作は比較的簡単で、並入後通常運転中は無人化を考えるとより効果的と思われる。そのため次の条件が満足できる場合、無人化を検討するのが望ましい。

- (1) 系統に与える影響の少ない発電所である。
- (2) 近くに運転員が常駐する発電所、変電所等があり、そこから短時間で直行できる。
- (3) 定常運転時は負荷は一定でよく、運転員が操作するものがない。
- (4) タービンは低温、低圧であり、ボイラのような高温部や燃料がないため危険性が少ない。

ただ現時点では地熱発電所を含む広義の火力発電所での無人運転の実績がないが関連法規ではその実現に対し前向きに検討されている。

4. 2 地熱発電設備規定 (JEAC 3716-1975)

社会法人日本地熱調査会地上設備委員会において昭和 47 年ごろから「常時監視をしない地熱発電所の安全対策について」検討が加えられ、それを受けたかたちで地熱発電設備規定が制定された。

この規定は、電気技術規定火力編の地熱発電項目として規定されたもので、無人運転については「常時監視をしない地熱発電所について」の参考として無人化に関する地熱特有の諸条件についてまとめられている。その要旨は次のとおりである。

(1) 一般事項

- (a) 当該発電所又はその構外にある技術員駐在所のいずれかに技術員が常駐していること。
- (b) 発電所の始動操作はその発電所で行うこと。

(2) 適用条件

- (a) 最大出力が連系する全系統の発電所の出力の合計の 1 % 以下のこと。ただし、系統への影響が少ない発電所についてはこの限りではない。
 - (b) 技術員駐在所はその発電所に原則として 1 時間以内に到着できること。
- (3) 保安装置 (自動しゃ断装置) の内、地熱特有のもの
- (a) 気水分離装置又は蒸気だめ (溜) の水位が著しく上昇した場合
 - (b) 循環水系統で循環水の供給が全量停止した場合
 - (c) 蒸気タービンの主油タンクの油面が著しく低下した場合

上記以外は通常の火力発電所の保安装置と同様である。

4. 3 無人運転の実際

(1) 始動・停止

地熱調査会の答申及び JEAC において検討されていることは、無人

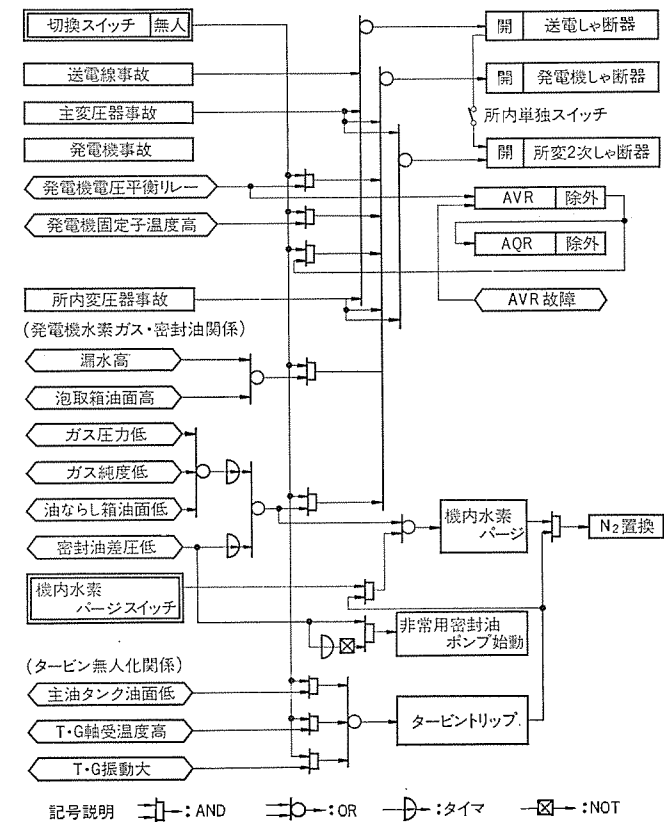


図 5. ユニタインタロック 系統図

運転においていかに安全停止を行い、遠方監視を行うかに留意したものである。

したがって、一般に採用される運転方式は、始動は有人時発電所において手動操作により立ち上げ ベースロード 運転をとり、通常停止も現地での手動操作とする。よって無人運転ではベースロード 運転での安全監視及び安全停止を重視すればよい。

(2) 遠方監視

遠方監視装置は近接する他の発電機より直接式遠方監視方式で行うことが一般的であり、また、地熱発電所としては経済的である。この方式の一案として、発電所の運転内容を監視するため、発電所内の数カ所に据付けられたテレビにより詳細内容を見つけ処置対策を行う方式が考えられる。

遠方表示する故障内容は、発電所の重故障、及び軽故障をまとめ表示を行うとともに運転保安、保守上必要な最小限の操作、個別故障表示を行い、操作表示点数について最小にとどめるよう考慮することが必要である。

(3) プラントインタロック 系統

無人運転のための第一要素は安全保安停止であり、従来の火力発電所において警報だけであったものでも停止項目として追加する必要がある。図 5. にその一例を示す。

また、水素冷却タービン発電機を採用する場合、水素ガス系統の異常に対してはその内容により、発電機トリップ及び水素ガスの機外への自動パージシステムを備える必要がある。

5. 電気品の防食対策

5. 1 防食対策共同研究

九州電力(株)八丁原地熱発電 プラント(1 期 50 MW) の計画に当たり、九州電力(株)総合研究所と三菱重工業(株)長崎造船所間の、発電所に使用する機器の諸材料についての共同研究の一環として、電気部品の防食対策を得るため、各種試験並びに考察を行った。

この試験は主として、電気接点の接触面での硫化水素ガスによる腐食度をテストするために、電気材料を暴露してその表面処理状況の差異による変化の結果をまとめたものであるが、上記以外に標準電気部品を使用して、環境しゃ断状態における変化の進行状況についての考察も加えた。

5. 2 試験の方法

テストピースは当初、八丁原現地に気象庁 1 形百葉箱を設置し暴露を行ったが、現地テストの状態が予想以上に過酷であったため、テストピースを大岳に移し、また、密閉ケース内における状況のテストを追加した。

表 4. 防食 テストピース (めっき品)

項目	素材	下層めっき		上層めっき厚 (μ)	試験片枚数	合計
		めっき種	めっき厚 (μ)			
金めっき	Bs P3 1.0 t ×20×30	—	—	2, 4, 6, 10, 20	各 6 枚	30枚
		ニッケル	10	2, 4, 6, 10, 20	各 6 枚	30枚
		銀	10	2, 4, 6, 10, 20	各 6 枚	30枚
銀めっき	Bs P3	—	—	10	各 6 枚	6枚
亜鉛クロメート	SPCC	—	—	10, 20, 30	各 6 枚	18枚
すずめっき	Bs P3	—	—	10, 20, 30	各 6 枚	18枚
ニッケルめっき	Bs P3	—	—	10, 20, 30	各 6 枚	18枚
SRD-8 リレー 可動接点		ニッケル	—	5, 10, 20, 30	各 6 個	24個
		すず	—	—	—	—
		金	—	2, 4, 6, 10, 20	—	30個
		金(Ni 10μ 後)	—	—	—	—
		無処理	—	—	—	6個

表 5. 防食 テストピース (部品, 完成品)

品 名	完 成 品	部 品 (接 点)		
		標 準 品	金 め っ き	す ず め っ き
コントロール スイッチ	2 個	10 個	10 個	10 個
制 御 用 リレー (SRD-8)	6 個	10 個 (固定接点)	10 個 (固定接点)	10 個 (固定接点)
制 御 用 タイマ (SRTD-N)	3 個	10 個 (可動接点)	10 個 (可動接点)	10 個 (可動接点)
端 子 台	2 個	—	—	—
OCR リレー (COV-6-D)	1 個	—	—	—
エル コ コ ネ ク タ	4 組	—	—	—

表 6. 防食 テストピース (素材)

材 料	記 号	大 き さ	
銅 板	CuP	1.0 t×20×30	6 枚
黄 銅 板	Bs P3	1.0 t×20×30	6 枚
鉄 板	SPCC	1.0 t×20×30	6 枚
ア ル ミ 板	AIP	1.0 t×20×30	6 枚
ス テ ン レ ス 板	SUS 430	1.0 t×20×30	6 枚
ス テ ン レ ス 板	SUS 304	1.0 t×20×30	6 枚
600V ビニール電線	裸圧着端子付き	2 mm ²	10本
600V ビニール電線	絶縁管付 圧着端子付き	2 mm ²	10本

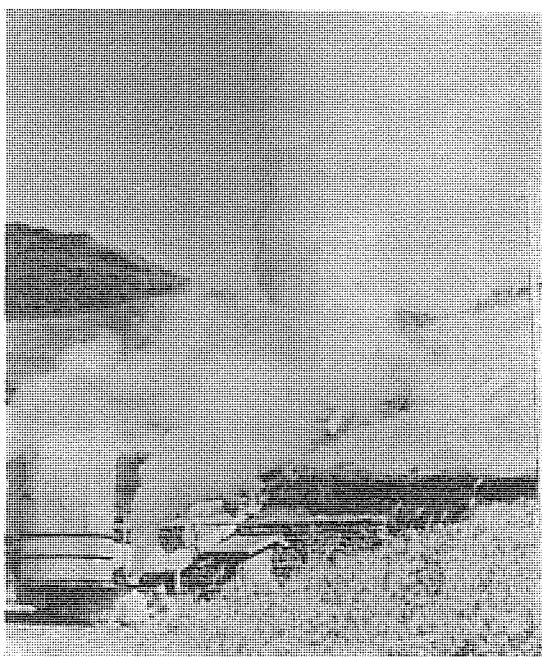


図 6. 防食 テスト 現地の状況

テストピースは表 4.～表 6. に示すもので、設置状況は図 6.を参照されたい。

試験期間はまとめの期間を含め昭和 47 年 10 月 1 日～昭和 49 年 4 月末日の約 1 年半とし試験開始後 1 か月目、2 か月目、4 か月目、6 か月目、1 年後の 5 回、部品を各 2 個取り出し、完成品については 1 年後の状態で考察を行った。5 回に分けて抽出した試験片は

接触抵抗測定 (試験開始前のものと比較)

重量変化測定 (” ”)

表面状態目視 (写真撮影)

を行い、完成部品は、約 1 年間暴露した後、接点部分を除いた他の部分について下記の試験を行った。

動行試験

絶縁抵抗測定 (標準データと比較)

外観目視 (構成部品、絶縁物等)

また、百葉箱内のテスト結果を比較する意味から同様のテストピースを大岳発電所屋内に追設することとし、表 4.、表 6.、並びに部品の一部を発電所タービン室、中央制御盤内、密閉ケース内の 3 か所に設置した。

5.3 八丁原現地における試験結果

八丁原におけるテストの状態は非常に過酷であり、ここでのテストピースは、硫化水素ガスによる腐食の外、湿食をも示し、室内環境とはかなり腐食速度、形態を異にするものであった。以下要点のみをピックアップし記述する。

(1) 各種めっき仕様による電気部品の腐食挙動

(a) 接触抵抗の変化

図 7. に示すように、すずめっき品のものが最も長期間接触抵抗の測定が可能であった。

金めっき品は、表面状態及び腐食時の重量変化などでは耐食性の結果を示しているが、電気的特性が著しく悪い。

(b) 重量変化

図 8. に示すように、すずめっき品のものが最も重量変化 (増加) が大きい。後述の図 10. に示すすずめっき板の腐食量と比べると、前者の腐食量が著しく大きい。これは湿食を含めたガルバニックイロージョン等によるためと考える。

(2) 各種素材及びめっき品の腐食挙動

各種電気用材料、構造物用材料について試験したが、SUS 304 (旧 SUS 27) が最も耐食性があり、SUS 430 (旧 SUS 24)、アルミニウムと続く。図 9. にその状況を示す。

ステンレス、アルミニウム等は一般にその表面に密な不水溶性の硫化物層を形成するため、耐硫化水素ガス性が良いと言われている。また、黄銅に比較して銅の腐食量が著しく小さいことが判明したが、これは腐食生成物の脱落等によるためと思われる。この傾向は鉄の場合に顕著に表れている。

めっき試験片による試験結果は図 10. に示すごとくであり、亜鉛クロメート、すずめっき品が最も腐食量が少ない。これを見る限りでは、かなりの腐食を受けているように思えるが図 9. と図 10. の比較において、これらめっき皮膜がよく素地を保護していることが分かる。ニッケルめっきは今回の試験環境において耐食性がない。一般にもニッケルめっき皮膜は硫化水素ガスに対して、耐食性が小さい旨明記さ

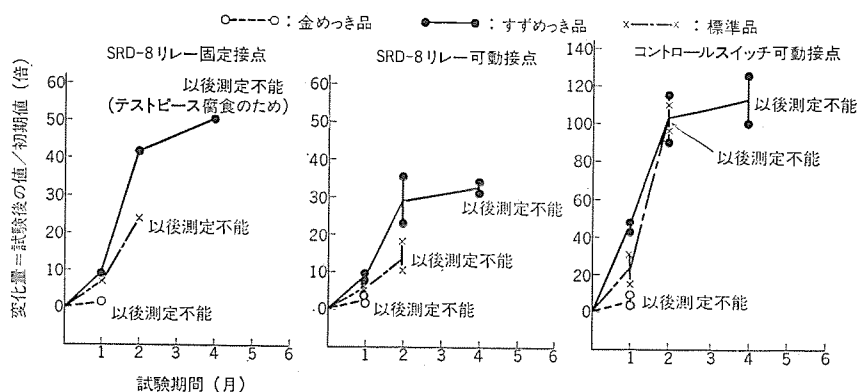


図 7. 防食 テスト 結果 (接触抵抗変化量)

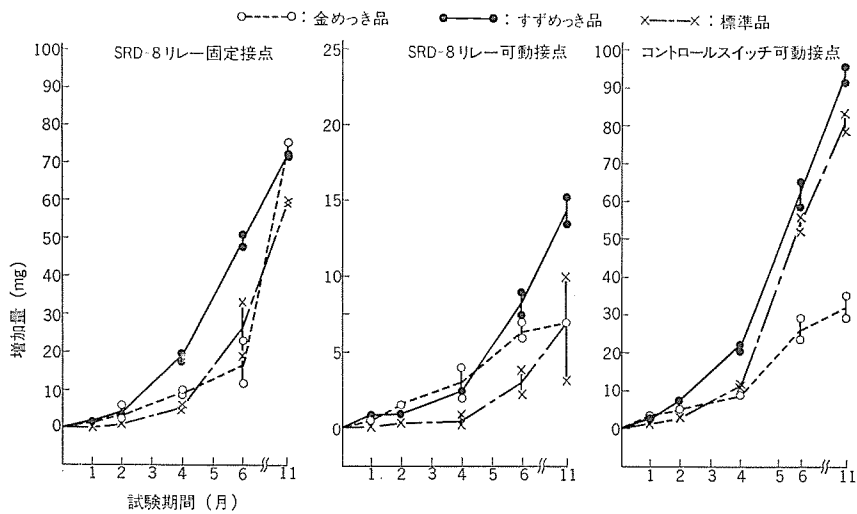


図 8. 防食テスト結果 (重量変化 - 部品)

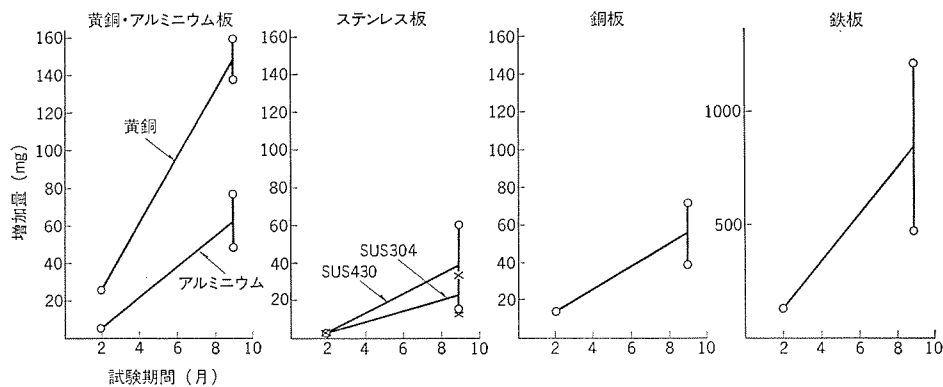


図 9. 防食テスト結果 (重量変化 - 素材 1)

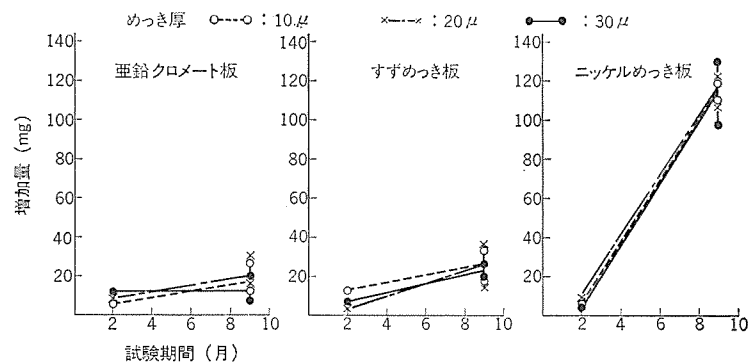


図 10. 防食テスト結果 (重量変化 - 素材 2)

れている。亜鉛クロメート、すずめっき品等、めっき厚による耐食性の差はみられなかった。

5.4 大岳発電所屋内における試験結果

前記 5.3 節、八丁原現地における試験は非常に過酷な条件で実施したため、屋内での腐食傾向は(把握及び屋外との比較のため大岳発電所内にて腐食試験を実施した。

(1) 発電機室における腐食挙動

接触抵抗の変化は金めっき品の内、下層めっきのない場合は試験開始時点より腐食が進行しつつあり、金の上層薄めっき品では標準品のものと比較して接触抵抗がかなり上昇しており、金めっき皮膜は腐食こそすれ防食性のないことを示している。したがって金めっきは有害無益といえよう。下地にニッケルめっきを施した場合は変化は認められていない。

ニッケルめっき品及びすずめっき品は目立った変化を示していない。しかしながらニッケルめっき品は接触抵抗の初期値が数十 mΩ を示し、グラフに示す変化率だけの比較で性能考察を行ってはならない。

また、重量的に変化を受けるほどの腐食は発生していない。(重量変化なし。)

(2) 中央制御室における腐食挙動

密閉による防食効果は相当あり、環境しゃ断を効果的に行えば非常に有効な防食手段である。半密閉ケース(リレーケース)に入れてあった物のほうが接触抵抗の変化が少なく、表面状態についても変化が少ない。特に活性な銀、銅等においてその差が顕著に出ている。

物品によっては、そのもののもつ本来の形状によりガス腐食を受けにくい場合があり、アンプ接せん(栓)は密閉の有無にかかわらずこの時点では接触抵抗の差は認められない。しかし、外気とつねに接触している部分について、非密閉試験のものは腐食が進行しつつある。

絶縁抵抗の変化について、密閉の有無にかかわらず性能の劣化は認められない。

5.5 考察と対策

5.3, 5.4 節に試験結果を要約したが以上の結果でも明らかのように、八丁原、

大岳いずれの場合でも傾向としては同様で、めっきではすずめっき、素材ではステンレス鋼、アルミニウムが腐食性ガスに最もおかされ難いことが判明した。したがって個別生産品については、この仕様のめっきを施すか、又は素材を選定することが望ましい。また、量産の標準品は試験の結果、効果の著しい環境をしゃ断する方法をとるのが良い。

なお、上記の対策はあくまでも腐食の進行度を遅らせるものであり、決して完全な防食対策ではないので、部品の定期的な保守、手入れ更には取替え等は欠くべからざるものであることを付記しておく。

6. む す び

地熱発電の一般概要とともに、電気品硫化水素ガス対策、無人化運転を中心に述べてきたが、何分未知の現象が多いので、今後とも、各地熱発電プラントの実績をふまえて考察、検討を加える努力を行う所存である。

本文をまとめるに際し、ご協力並びに助言をいただいた、九州電力(株)火力部、三菱重工業(株)長崎造船所火力プラント部の各位に謝意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) 相川, 川口: 地熱発電の熱サイクルと基本計画, 火力原子力発電 228 号, 26
- (2) 敷浪: 熱岩から抽熱する新発電方式, 火力原子力発電 211 号, 25, p. 69 付表

蒸気タービンの電気-油圧式ガバナ

佐々木俊之*・横須賀良夫**・遠藤康治***・森岡康二***・伊与田寛忠**

1. ま え が き

蒸気タービンの制御装置として従来の機械式、油圧式制御装置に代わり電気-油圧式ガバナが採用され初めたのは十数年前であるが、その後、蒸気タービンの制御方式が高度化、複雑化するに従い、電気-油圧式ガバナはその優れた性能と自動化の容易さなどにより急速に発展し、国内においても既に相当数の蒸気タービンが電気-油圧式ガバナによって運転されている。

これらの装置は現在までの運転結果によって期待通りの性能を示し、かつ、信頼性についても十分満足できることが確認されており、今後は蒸気タービンの標準的な制御装置としてますます発展するものと考えられる。

三菱重工業(株)、及び当社においても、既に報告しているとおり^{(2)~(7)}共同で開発した3種類の電気-油圧式ガバナを製作しており、これらは蒸気タービンの容量、運用方法、プラントの目的などに応じて適用され、既に十数台の装置が運転中でいずれもその優れた性能を発揮している。

ここでは、これらの装置について現在までの開発、製作状況、各装置の特徴と、運転の信頼性を向上させる技術について報告する。

2. 電気-油圧式ガバナの開発、製作状況

2.1 電気-油圧式ガバナの必要性

蒸気タービンの制御装置として電気-油圧式ガバナが開発され、採用されるようになったのは、次のような理由により蒸気タービンの要求する性能と、運用面から要求される機能が高度化、複雑化し、従来の機械式、油圧式ガバナではこれらの要求に答え得る装置が実現できなくなってきたためであると考えられる。

(1) タービンの大容量化

近年特に事業用蒸気タービンの単機容量が増大し、負荷しゃ断時には急速に弁を閉じることが必要となってきた。同時に蒸気弁の容量が大きくなっているため、これを操作するには小形で強力な駆動装置により高速度で弁を制御することが必要となった。

(2) プラント制御方式の複雑化、多様化

事業用プラントにおいては、容量の増加と同時に運転操作も複雑となり、タービンの制御も広範囲な自動化と、プラントの他の制御装置との組合せ、系統運用上から中給指令によるタービン出力制御などが行われるようになった。産業用蒸気タービンにおいても同様で、複雑な多目的制御と同時に運用面ではデマンドコントロール、計算機による制御が行われるようになってきている。このため、従来のような部分的な自動化ではなく、一連の機能を1台の制御装置によって効率よく自動化するとともに、プラントの他の制御装置との連結が容易に行える装置が必要となってきた。

(3) プラント運用の変化

中容量火力プラントにおいては、かつてはベース負荷用として建設されたものも、系統運用上出力の上昇、下降あるいは系統周波数制御

のための出力変化が必要となってきた。このため負荷運転時には、これらの操作が容易でかつ、負荷設定に対する出力の特性を改善するため、調速段出口の蒸気圧力をフィードバックした運転が可能な電気-油圧式ガバナが要求されるようになった。

(4) 制御精度の向上

産業用蒸気タービンにおいては、連結されるプロセスラインの複雑化に従い、制御すべき要素の増加と精度の向上が求められている。これに対して従来の機械式、油圧式ガバナでは、限界があり、要求に答えうる電気-油圧式制御装置が必要となった。

2.2 電気-油圧式ガバナの開発、製作状況

このような蒸気タービン制御装置のすう勢に対し、三菱重工と三菱電機と共同でこれらの要求に十分答えうる電気-油圧式ガバナの開発を進めた。

昭和42年には、かつて油圧式ガバナを備えた蒸気タービンの始動装置として開発されたDACAガバナ⁽¹⁾をベースに、大容量蒸気タービン用の“EHタービンガバナ”、中容量火力の蒸気タービン用の“三菱ターボスタ”がほぼ同時に開発に着手し、昭和45年には試作機によるテストを終了し、蒸気タービン制御装置として性能、信頼性とも十分満足できるものであることを確認した後、それぞれ製品の製作を開始した。そして、昭和47年にはいずれも実機においてその優れた成果が確認された。同時にこれらの成果をふまえて産業用蒸気タービンの制御装置として“ターボマトリクス”の開発に着手し、翌48年には、試作1号機による混圧式抽気復水蒸気タービンが営業運転を開始した。

現在までに各装置合わせて40数台の装置の製作が進められており、運転中のものはいずれも順調にか(稼)動している。

最近では系統安定化のための高速バルブ制御などの研究が進められており、製作中のものに既に採用が決定している。

3. 電気-油圧式ガバナの概要

電気-油圧式ガバナは、タービン回転数、蒸気圧力、弁開度などの検出及び信号伝達、制御演算を行うガバナ部には、アナログ演算回路をベースとした電子制御装置が使用され、蒸気弁の操作部には油圧装置が使用されている。これらは、従来の機械式あるいは油圧式ガバナの構成要素を単に電気回路に置きかえただけではなく、蒸気タービンの制御上から最も望ましい姿となるように設計されているため、電気回路と油圧装置の特徴を生かして、従来の装置では得られない優れた機能を持つ新しい制御装置となっている。

現在油圧装置は、従来の油圧式ガバナの制御油系統を使用する低圧(150~300 psig)のものと、高圧油供給装置を備えた高圧(1,800~2,100 psig)のものがあり、また電気ガバナには、高圧油圧装置用1種と低圧油圧装置用2種があり、これらを組合せた、3種類の電気-油圧式ガバナを製作している。これらは、蒸気タービンの容量、運用方法、目的などに応じて適用される。

おのおのの制御装置の構成、機能、性能、試験結果などについて

* 三菱重工業(株) ** 三菱電機(株)制御製作所 *** 同長崎製作所

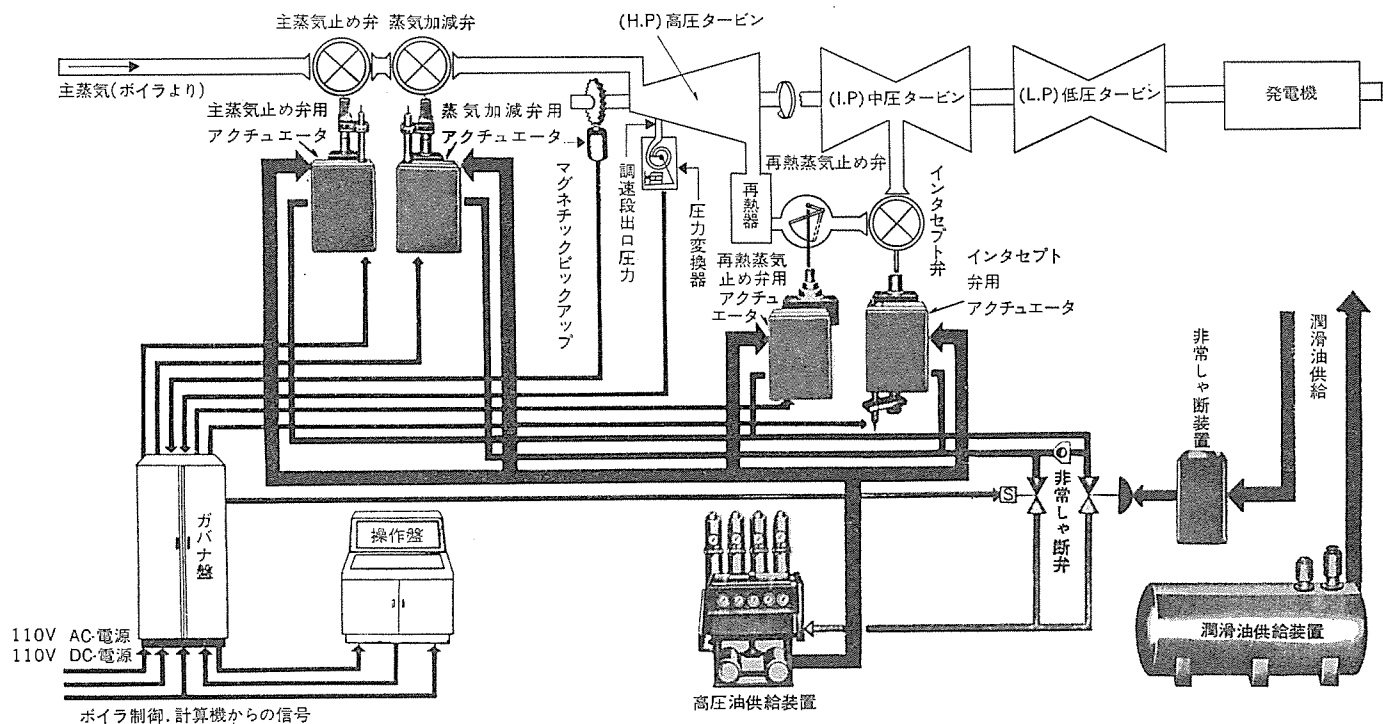


図 1. EH タービンガバナ 系統図

は、既に詳細な報告^{(2)~(7)}がなされているため、ここでは比較のための特徴及び適用区分について述べる。

3.1 EH タービンガバナ

EH タービンガバナの制御系統を 図 1. に示す。油圧装置は 2,100 psig の高圧油が使用されており、次のような特徴を持っている。

- (1) 蒸気弁の閉鎖速度が速い。
- (2) 小形のアクチュエータで大口径の蒸気弁を操作できる。
- (3) 設定部はデジタル回路を使用し計算機、ボイラ制御装置などとの結合が容易に行える。

これらの特徴を生かして、大容量蒸気タービンのガバナとして、600 MW 級以上の火力タービン並びに 800 MW 級以上の原子力タービンに適用されている。

回転数の検出は電磁ピックアップによって行われ、高帯域でかつ精度のよい回転検出部によって回転数に比例した電圧信号が得られる。

弁の開度は、図 2. に示すように電気ガバナの出力が、高圧サーボ弁に与えられてパワーシリンダを駆動し、開度は差動トランスによって電気的に検出され電気ガバナにフィードバックされるサーボコントロール系によって制御される。

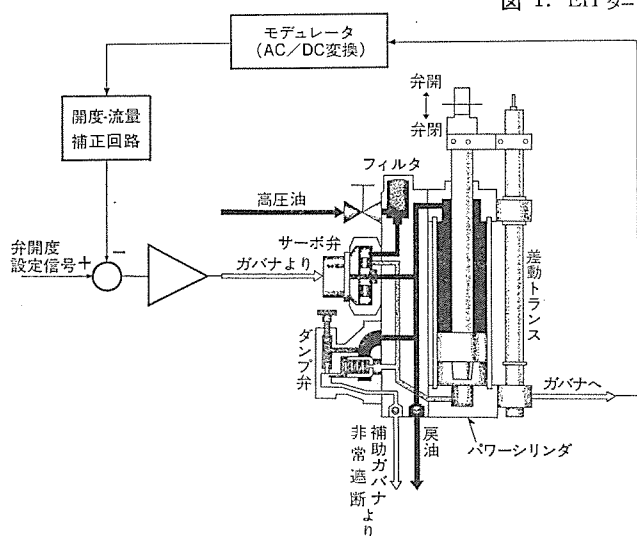


図 2. サーボコントロール回路

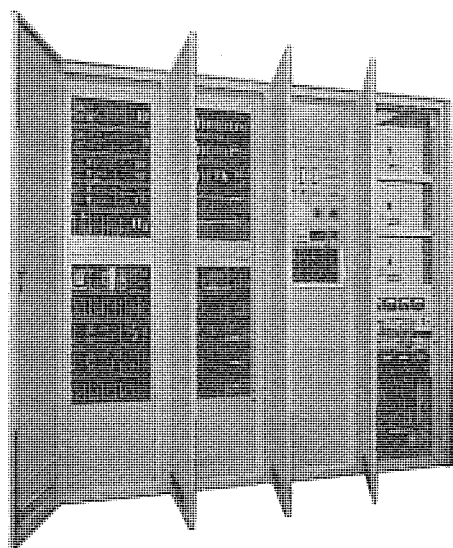


図 3. EH タービンガバナ 制御盤

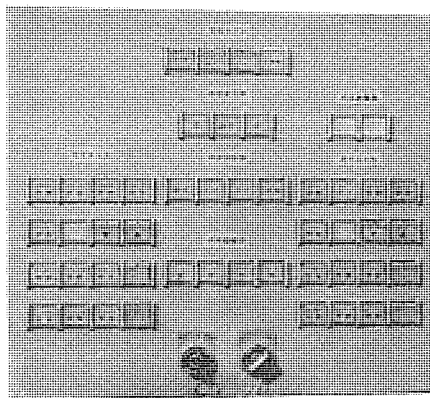


図 4. EH タービンガバナ 操作盤, 表示灯

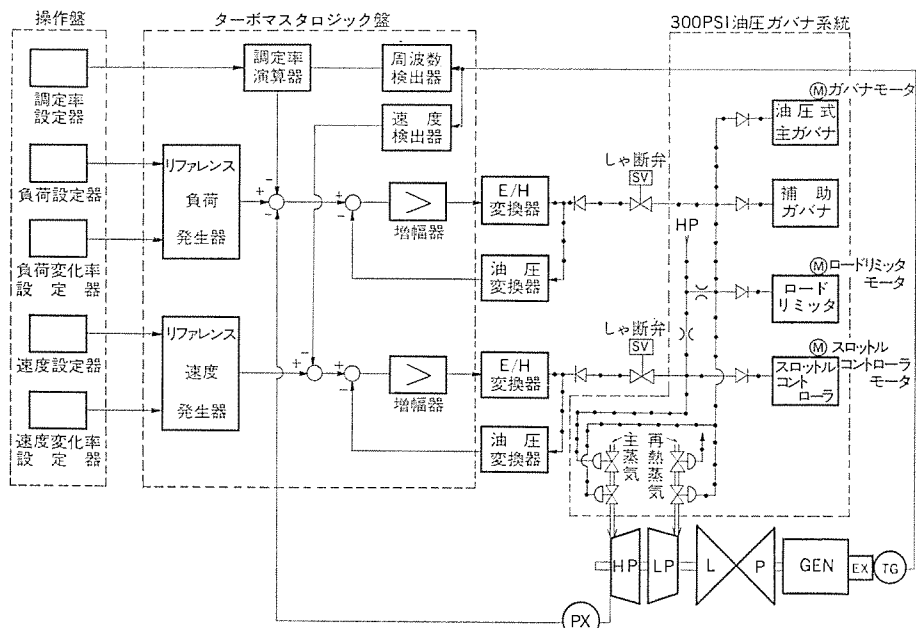


図 5. ターボマスター 制御系統図

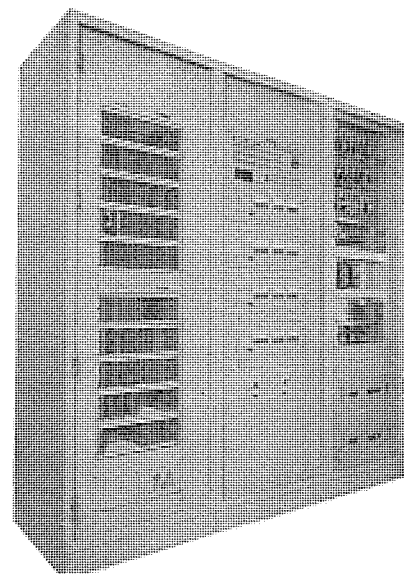


図 6. 三菱 ターボマスター 制御盤

3.2 三菱ターボマスター

三菱ターボマスターは常時ひん繁に始動停止をくり返す100~500 MW級の蒸気タービン用の電気-油圧式制御装置で図5.の制御系統図に示すように、ターボマスターの制御油圧は、しゃ断弁を経て従来の油圧ガバナシステムの制御油圧系統に接続されている。このため、既設の油圧ガバナシステムを備えた蒸気タービンに追設することも可能である。機能上は、運転の自動化と系統AFCの制御に適するようになっており、

- (a) 自動始動 システム
- (b) 負荷周波数制御 システム
- (c) ストレスコントローラ

などによって、ユニットの持つ負荷調整能力を最大限に引き出すことが考えられている。特に輸出プラントにおいては電気ガバナの使用が

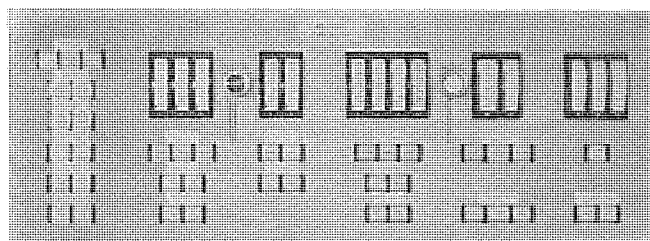


図 7. 三菱ターボマスター 操作盤

一般的であり、多数採用されている。

速度の検出は、昇速時には広域周波数-電圧変換回路が使用され、蒸気加減弁制御中は、高感度のLC共振回路によって定格回転数との差に比例した電圧信号を作っている。電圧変換装置はトルクモータとカップ弁を組合せた油圧制御装置を使用し、油圧信号のフィードバック回路によって直線性と応答性が改善されている。

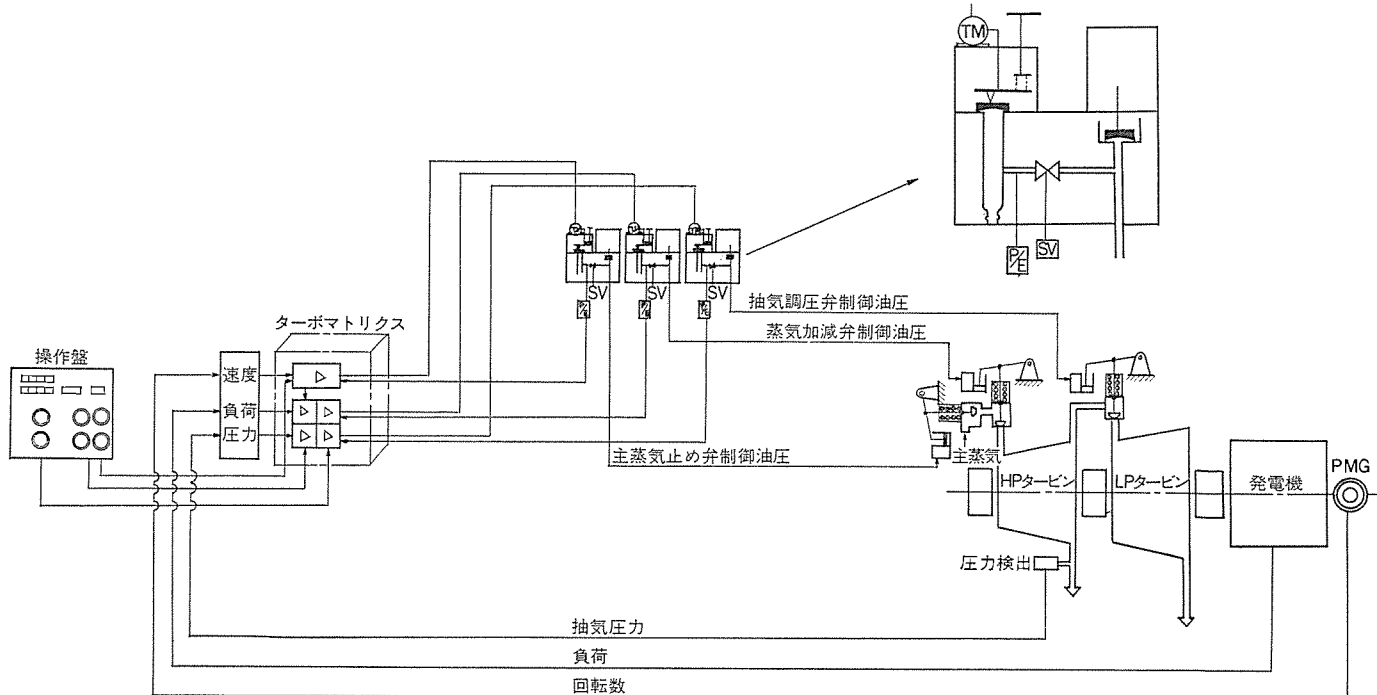


図 8. ターボマトリクス 制御系統

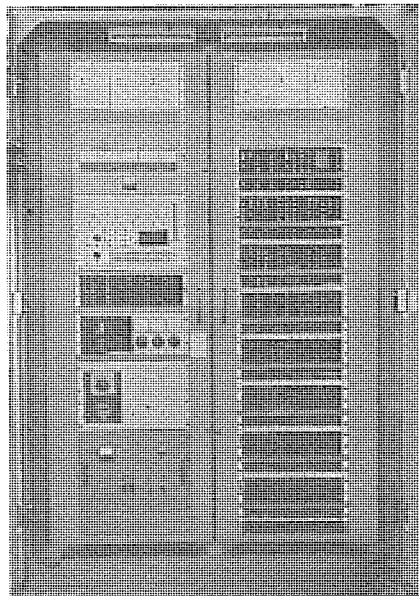


図 9. ターボマトリクス 制御盤

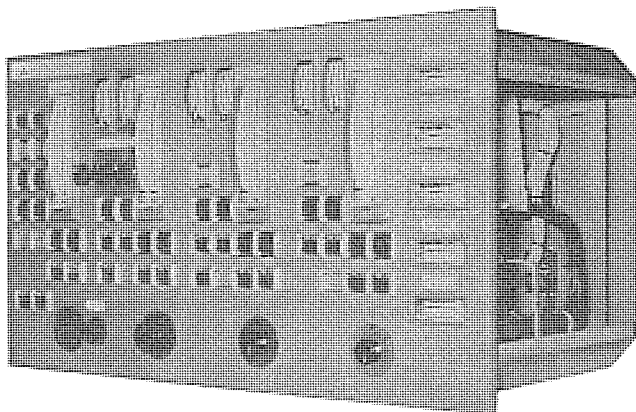


図 10. ターボマトリクス 操作盤

3.3 三菱ターボマトリクス

ターボマトリクスは、速度、負荷、抽気圧、背圧など多数の制御ループが必要な産業用蒸気タービンの制御装置で、ターボスタと同様に油圧系統は油圧式ガバナの油系統がそのまま使用される。

電気ガバナには、多変数の制御が動的にも静的にも互いに干渉なく行われるよう不干渉制御マトリクス回路が採用されており、機械式のガバナでは実現不可能な4変数以上の制御ループを持つタービンの制御も実現可能である。

図8はターボマトリクスの制御系統で抽気-復水タービンに適用された場合を示す。

対象とする蒸気タービンの種類、制御形態などは最も幅が広いと考えられるが、単純な速度又は負荷だけの制御から複雑な多変数の制御まで種々の場合に備え、既に標準化されている回路要素を組み合わせることによって簡単にシステムを組むことができる。

4. 電気-油圧式ガバナの信頼性向上技術

4.1 信頼性の基本的な考え方

電気-油圧式ガバナが蒸気タービンの制御装置として優れた機能及び性能を有するものであることは、これまでの多数の運転結果より明らかであるが、同時に運転が安定に行われるためには、信頼性についても十分なものであることが必要である。

蒸気タービンの制御装置として必要な信頼性、安全性とは次のよう

な事項であると考えられる。

(1) 信頼性とは、蒸気タービンが運転を継続しプラント運用に支障を与えないこと。

(2) 安全性とは、制御装置の持つ機能が十分発揮され運転が安全に行われること。

4.2 信頼性の確保

このような信頼性及び安全性の基本的な考え方に対して、これを確保するため次のような方法が考えられる。

(1) 故障発生防止

故障発生の原因と考えられる部品、材料の不良、設計不良、工作時の不良等については、徹底した品質管理による設計製作を行い、いわゆる故障しないものを作ることが必要である。

(2) 故障発生時の運転の継続

万が一故障が発生した場合でも、蒸気タービンの運転が可能なシステムとし、プラントに影響を与えない装置とする。また故障部分はオンラインメンテナンスを行うことにより速やかに復旧できる点検修理の容易な装置とする。

各電気-油圧式ガバナについても以上のような考え方に従って信頼性を確保する設計製作が行われている。

4.3 信頼性向上技術

4.3.1 製作時の品質保証

(1) 電気ガバナ製作時の信頼性保証

設計時点では、ノイズ、接触不良、断線、部品不良、接地、短絡事故、破損、温度変化、経年変化、特性変化などに対して、回路設計、ハードウェアの配置構成、部品の選定規準、2重化、絶縁などの十分な検討を加えている。

製作時には、作業方法、環境基準などに、電子制御装置に必要な管理を徹底している。

試験調整は、信頼度保証試験プログラムに従って、部品、プリントカー

表 1. 電気ガバナ製作体制

	基 準	検 査	設 備	備 考
設計手配	Derating 基準 プリントカード パターン設計 基準等 部品標準 ●チェックリスト	3段階設計審査 X:見積仕様 提出時 Y:基本設計 完了時 Z:出図前	—	設計・工作 品管及び スタッフ委員
受入検出	購買仕様書 検査要領書 等	現品検査 テストデータ チェック	ICドリフト 試験機 カーブトレーサ	●購入先の 品質監査 ●現品表の添付
プリントカード組立	プリントカード 作業指導票 等	—	●環境管理 作業場 A ●噴流方式自動 はんだ付装置 ●超音波洗浄 装置	指定作業者に よる作業
カード検査	目視検査要領書	●ヒート エー ジング テスト ●目視検査	●恒温槽 ●拡大鏡	無通電 ヒートサイクル
カード単体試験	試験仕様書 試験要領書	●電気特性試験 ●電気特性 再試験	●恒温槽 ●カード自動 試験機	電源印加
EHガバナ盤 器具取付配線	●はんだ付作業 指導票 ●はんだ付 マニュアル	—	環境管理 作業場 A	はんだ付作業 技能検定合格者
検 査	構造寸法検査 配線検査 ネジ締付検査	—	—	—
電気特性試験	試験仕様書 (設計発行)	結線チェック 耐圧テスト 各回路特性試験	—	—
ガバナ機能試験	試験要領書 (品管作成)	シミュレータテスト 常温連続通電 テスト	シミュレータ	通電エージング
特殊試験	—	温度サイクル テスト 連続通電テスト	恒 温 槽	ヒートサイクル 高温連続通電
出 荷	—	—	—	—

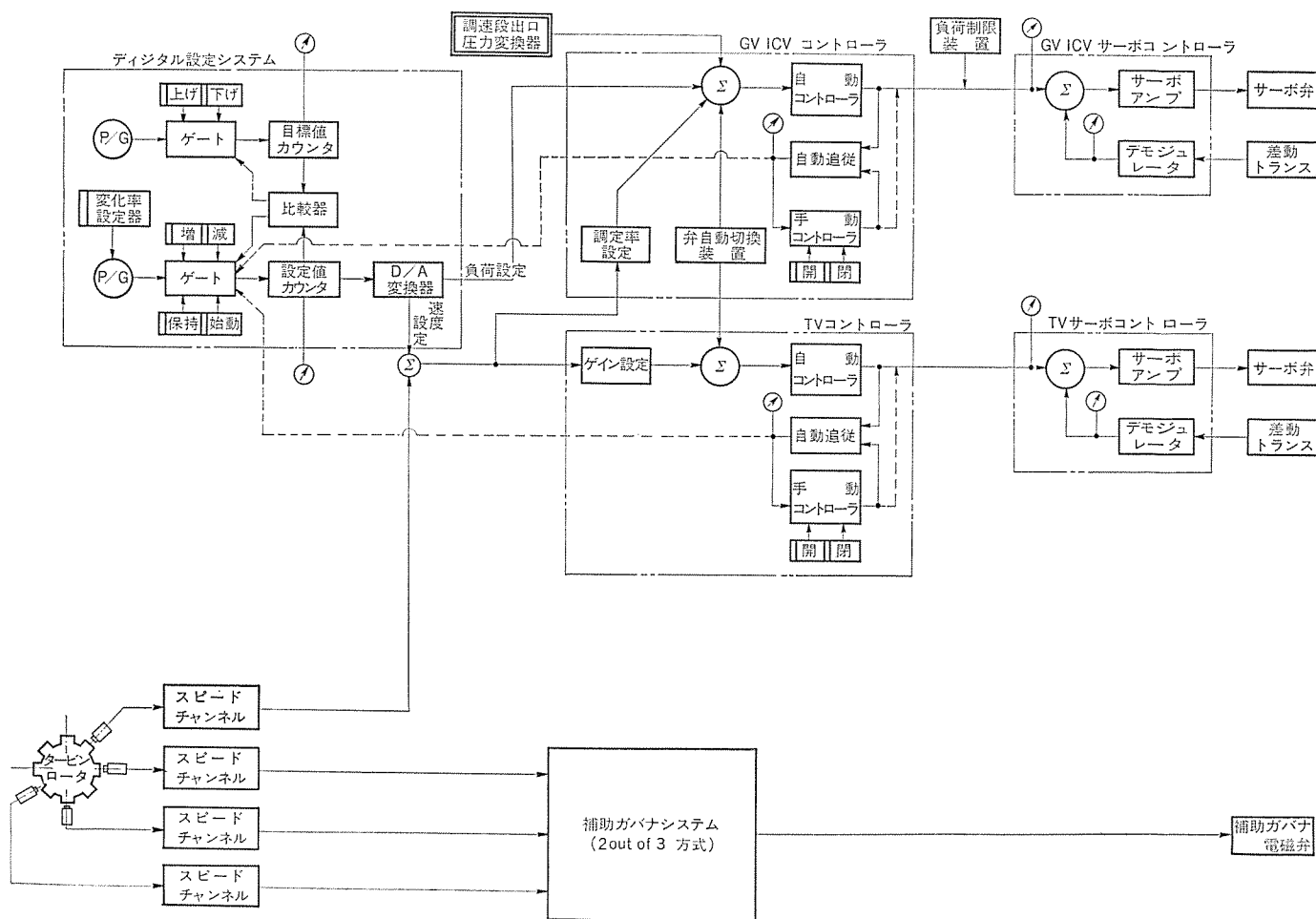


図 11. EH ガバナ 電気系統図

ド、装置の試験が進められる。これらの製作体制は、表 1. に示すとおりである。

(2) 現地調整

現地搬入後は、単体調整、電気-油圧組合せ調整、タービンシミュレータによるシミュレーションテストなどにより、試験調整が進められ安全性が確認される。

4. 3. 2 故障発生時の運転継続

運転中に故障が発生した場合には、故障検出回路によって故障を検出し、故障部分を制御ループから切り離し、タービンの運転はバックアップシステムによって継続するシステムになっている。

故障検出不可能な部分、検出しても修理できない部分、あるいはバックアップができない部分については、あらかじめ2重化、故障の波及防止のための分離、多重化、などによって、故障による影響が最小となるように設計している。

(1) EH タービンガバナのバックアップシステム

EH タービンガバナは、図 11. に示すように、弁開度指令信号は、自動弁コントローラと手動弁コントローラのいずれでも与えることができる。通常運転中は、自動側の開度指令信号によって運転され、手動側は自動側に追従している。自動側の回路が故障の場合には、故障検出回路によって自動的に手動側に切り換わり、故障発生直前の弁開度が保たれる。外部からの操作で、手動側の弁開度指令を操作し弁開度を制御することはもちろん可能である。更に手動、自動両回路のバ

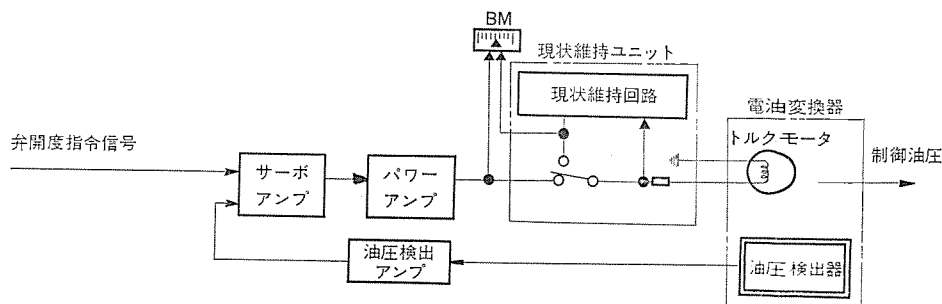


図 12. ターボマトリクス の現状維持方式

ックアップとして、ロードリミッタがありロードリミッタによって運転することも可能である。

(2) ターボスタのバックアップシステム

ターボスタは、油圧式ガバナと併設して使用されるようになっており、ターボスタの制御油圧系統はしゃ断弁を閉じることにより除外することができる。したがって、ターボスタによる運転中は油圧ガバナを自動追従させ、故障発生時は油圧式ガバナに切換えて運転を継続する。油圧式ガバナからターボスタへの切換えも簡単にできる。

(3) ターボマトリクスのバックアップシステム

多数の制御ループを持つターボマトリクスでは、電油変換部に現状維持回路が設けられている。これは電源系統、制御回路、出力増幅部とも完全に別系統となっており常時は電気ガバナの出力信号に追従し、保持指令が出ると追従電圧を読み取ってホールドし電油変換器に出力を供給する。出力は手動設定器により制御することができる。また、

ターボスタと同様に油圧式 ガバナ と併用することもできるため、油圧式 ガバナ に切換えて運転することも可能である。

(4) 多重化 システム

バックアップシステムによって、故障発生時に切換えによる運転ができない部分、あるいは、次に述べる取替えによる オンライン メンテナンス ができない部分は機能上の重要性によって次のように考えられている。

(a) 検出器の2重化

運転中に取替えることのできない検出器類は、あらかじめ予備回路を設けて、2重化している。

(b) 2 out of 3 システム による誤動作防止

加速度 ガバナ など、保安装置としての要素が強いものについては、2 out of 3 システム として動作の確実さを増している。

(c) 電源の2重化

電源は、2系列の装置の常時つき合わせによって供給され、1系列の故障に対しては運転は何ら影響を受けないようになっている。供給電源としては信頼性の高い PMG、計器用電源、DC バッテリなどが使用される。

4.3.3 オンライン メンテナンス

故障発生時にバックアップシステムによって運転を続けながら、できるだけ早く故障部分を修理し、復旧するため次のようなことが考えられ、安全かつ確実な オンライン メンテナンス ができる。

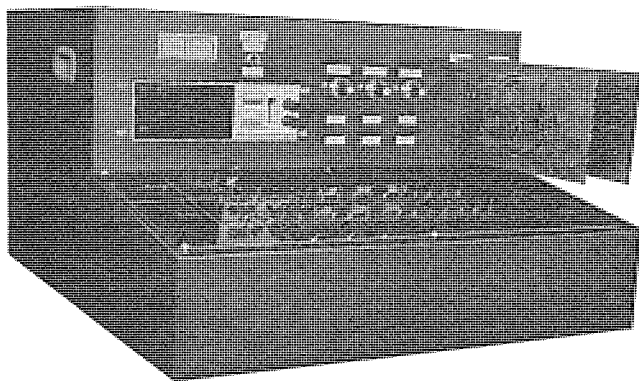
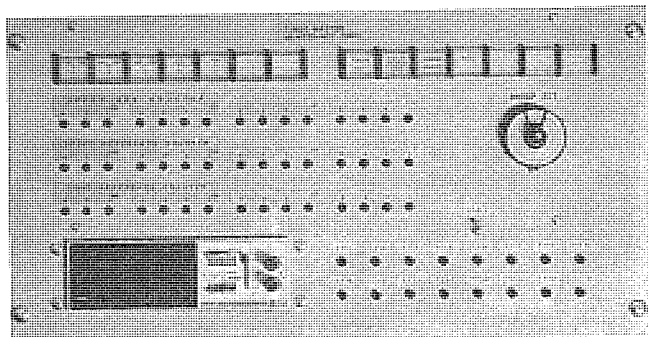


図 13. メンテナンス パネル と カードチェッカ

(1) 安全性の確保

メンテナンス マニュアル によって、あらかじめ メンテナンス 可能な部分、不可能な部分が明確になっている。実施の場合の運転モード、取替え手順などを定め安全な オンライン メンテナンス が可能である。

(2) メンテナンス の容易さ

メンテナンス の容易な機器構成としているので、簡単に取替えができる。また、予備品、カードテスト、メンテナンス パネル などが充実しており、確実な メンテナンス が可能である。

以上述べたような信頼性向上の諸技術を実施することにより、先に紹介した電気-油圧式 ガバナ は信頼性についても十分満足できるものとなっている。オンライン メンテナンス についても運転中の装置による試行結果より、容易にまた安全に行えることが確認されている。

5. む す び

蒸気タービンの電気-油圧式 ガバナ は既に実用化の段階となり、三菱重工と三菱電機が共同で製作した装置も、十数台が運転中で、いずれも満足な性能を発揮している。これらの装置は従来の機械式、油圧式 ガバナ の機能を単に電気回路に置き替えたものではなく、蒸気タービンの持つ機能を拡張させることができるため、プラントの運転及び系統の運用上に占める重要度は将来ますます大きくなるものと予想される。これに伴い、信頼性に対する要求も更に厳しくなるものと考えられるが、本文で紹介した電気-油圧式 ガバナ はこの点でも十分な信頼性を有するものであると考えている。

最後にこれらの装置の開発、製作に当たり多大のご指導、ご協力を賜った関係者各位に対し、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 岡本、谷口、森本、長沢：蒸気タービンの広域回転数制御装置 (DACA)、三菱重工技報、4、No. 3 (昭42)
- (2) 島、崎野、大久保、山田、長沢、伊与田：EH タービンガバナの試作および試験、三菱重工技報、7、No. 2 (昭45)
- (3) 福田、磁村：ミドル 火力用電気 ガバナ、三菱重工技報、10、No. 3 (昭48)
- (4) 大久保、山田、長沢、伊与田：大容量タービン用 EH ガバナの概要とその運転実績、三菱重工技報、11、No. 4 (昭48)
- (5) 磁村、福田、岩本、篠崎：産業タービン用電気 ガバナ “ターボマトリックス”、三菱重工技報、11、No. 4 (昭48)
- (6) 風呂、遠藤、九里、森岡：産業用蒸気タービンの電気 ガバナ (三菱ターボマトリックス)、三菱電機技報、49、No. 5 (昭50)
- (7) 大久保、山田：EH タービンガバナ、火力発電、21、No. 7 (昭45)
- (8) 九里：デマンドコントロール 付背圧調整装置、火力原子力発電、26、No. 5 (昭50)

1. ま え が き

発電 プラント は省資源・省 エネルギー 時代を迎えて従来以上に プラント 運転の効率化、高信頼化運用が要請されることと、運転操作の省力化、自動化のすう勢が高まりつつある。

最近の火力発電 プラント の傾向としては大容量化、高性能化、あるいは複合 システム 化があげられプラント 内の諸系統は複雑化してきている。これを少数の運転員で複雑な プラント 操作を可能とする計算機を中心とした自動化は実績を基に漸次検討が加えられ、広範囲な自動化 システム へと着実に成果を上げている。ところが自動化 システム の複雑な機器構成の影響もあって操作の種類、内容が膨大なものとなり、中央制御盤は大形化しその実装密度も上がっており、このため運転、保守に高度の技術と熟練性が要求されるようになった。

以下に、火力発電 プラント への計算機制御の現状、及び将来動向について述べる。

2. 火力計算機システムの現状

2.1 自動化方式

計算機制御方式として監視制御方式 (SCC) と直接制御方式 (DDC) の二つがある。前者はボイラ 自動制御装置 (ABC)、自動負荷制御装置 (ALR) などのアナログ 制御装置への設定値・目標値設定、シーケンシャル 制御装置への動作指令を出すもので、後者はモータ 増/減指令など計算機が制御 アルゴリズム を持ち、操作端を直接制御するものである。

監視制御方式は、計算機とサブルーとの機能分割を適当に行うことにより従来の制御技術の延長としてシステム を構成でき、万一、計算機故障時でもサブルーシステムの遠方操作により支障なく運転継続できる点で優れ、直接制御方式は先行制御、非線形演算などを含む制御を経済的に、かつより優れた制御特性が実現できる点で優れており、現状では両者の組合せでシステム が構成されている。

2.2 制御の範囲

計算機制御の適用範囲としてプラント の始動、停止、通常運転、異常を含めた広範囲な運転操作が考えられる。

制御対象としては、始動時 タービン 関係は軸受冷却水 ポンプ 始動・海水系統確立から、ボイラ 関係はボイラ 水張りから目標負荷、中央給電運用運転移行まで、停止時は任意の負荷から最終補機循環水 ポンプ 停止までのユニット 始動停止をほぼ全領域、計算機に直接制御、シーケンシャル 制御・アナログ 制御装置との関連を持たせながら主機・補機を含めた自動化を行っている。

通常運転時の計算機制御として最近のシステム では次のような機能を有している。

- (1) 低負荷/定常負荷領域での主蒸気/再熱蒸気温度制御
- (2) 環境監視による S 分制御
- (3) プラント 負荷に対応して、タービン 駆動給水 ポンプ の自動始動停止と電動機駆動給水 ポンプ との自動切換え

(4) ボイラ・タービン 寿命消費による負荷変化率制御

異常時の制御としてはプラント 状態、あるいは各種制御装置の状態監視の下に始動操作制限、負荷変化制限、定値制御への切換え、負荷急減、あるいは緊急停止を出してプラント 異常状態の回復、拡大防止を図る機能を備えている。

2.3 計算機ソフトウェア

制御用 プログラム として具備すべき基本的な事項は次のとおりである。

- (1) ユーザ、プラント 制御技術者及び計算機技術者との間の意志疎通が円滑に的確に図れること。
- (2) ソフトウェア 製作に要する時間及び労力が少ないこと。
- (3) 制御機能の単体、総合試験及び評価を迅速に客観的に処理できること。
- (4) 制御方法の変更などに伴う制御 プログラム の修正変更を現地で容易に行えること。

以上の要求を満たすものとして当社では昭和 44 年に ロジック チャート 方式を開発して以来、多くの実績を有し、好結果を得ている。

これはシーケンス 制御を従来のワイロジック と同様に AND、OR などの論理記号、アナログ 制御を従来の制御機器の場合と同様に PID 制御器、加算器などのユニット 単位のブロック 線図で表現し、それらの各部と対応する アルゴリズム パッケージ で制御 プログラム を作成でき、計算機であることを意識することなく制御設計が可能である。

使用言語としては前者は POSMA (Power Statement Macro Assembler)、後者は MDSS (MELCOM DDC & Supervisory control System) なる問題向き言語である。

当社ではシステムの拡張性、ソフトウェア の生産性向上を更に追求し、システム 設計とソフトウェア 設計が一体化された PRODAS (PROcess DATA base Software) システム を開発した。これは制御 アルゴリズム や制御 ロジック、入出力の処理に関する仕様をデータベース 化したもので、これにより制御 プログラム の調整、変更、入出力点の増設、変更がオンライン で CRT との対話形式で行える。また ユーザ ごとに異なる仕様の大部分をデータベース で吸収でき プログラム の生産性、信頼性が一層向上する。

3. 将来の動向

3.1 オートエマゼンシ システム

火力発電 ユニットのセキュリティ コントロール が今後の計算機適用の重要な一分野である。セキュリティ コントロール、すなわち プラント の異常あるいは緊急状態が発生した時に計算機を適用するもので、プラント の監視を中心に事故の波及を防ぐ予防制御、事故時の保護制御及び事故原因の分析と復旧制御からなる システム である。

まず当面のオートエマゼンシ システム として、プラント の中枢機能をつかさどる最新のインテグレートッド アナログ 制御装置である。ボイラ・タービン 協調制御装置 (APC) を対象とした。これらの装置の故障はその発見と手動制御によるバックアップ が遅れるとユニット トリップ、あるいは大幅な負荷制限を伴う可能性があり、また、システム が複雑であるため

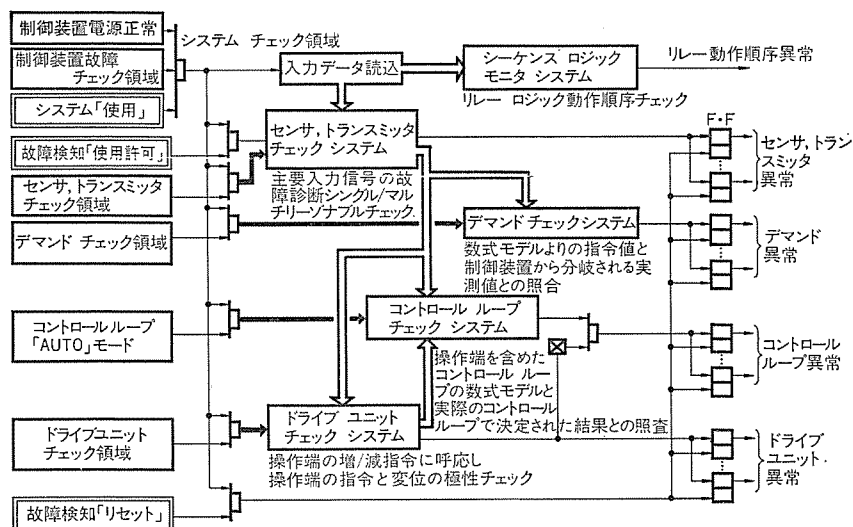


図 1. 故障検出システム構成図

その故障原因の追究と復旧に時間を要して、プラントの運用に影響をきたすことがある。このため、計算機で常時これらの装置の挙動を、信号のエネルギー積分による異常検出と相互干渉系の中の故障標定ロジック等によりモニタし、故障を検出すると警報あるいは該当ループを手動に切換えると同時に制御ループ中のどの箇所にどんな故障が発生したかを解析し、復旧を迅速化してプラントへの影響を最小限に止めようとするものである。

このシステムはプロトタイプテストを完了した時点であるが実用化の見通しを得ることができた。図 1. に概略システム構成図を示す。

今後の改善点として異常判定の基準、数式モデルなど解決すべき点があり、また入出力点数が著しく増大しないようその対象とする故障の選択が重要である。

3.2 計算機直接制御

DDC 方式は SCC 方式に比較して制御設計の標準化、フレキシビリティの増大、2重計装の減少、最適制御のため複雑な制御アルゴリズム採用による制御性の向上など多くの優れた面があるが、1台の計算機が時分割で多数のループを制御するため計算機の故障がプラントに与える影響が大きく、計算機の信頼性に対する要求は厳しい。このため計算機自体の信頼性の向上、2重系の採用、計算機が故障した時でも短時間の運転が可能となるよう最低限度の2重計装の採用などの考慮が必要である。

米国ではディジタル化されたボイラ自動制御装置を採用した発電所もあり、国内でもガスタービン発電所ではあるが、大部分の制御機能を計算機で行っている例もある。

3.3 マンマシンインタフェース

火力発電プラントの大容量化、制御システムの高度化、複雑化のため運用・運転に当たってはより多くの情報が必要になってきている。したがって、従来の計装制御技術だけでは中央制御盤は多数の制御装置と表示装置が実装されて盤が大形化している。運転員はこれらのばく大な情報を取捨選択してプラントの各種の評価を行い、それらの総合判断の下に運転を行わねばならなくなっている。そのため

- (1) 適確で迅速な総合判断、それに伴う操作が要求される。
- (2) 効率的運転には豊富な経験と高度な判断力が必要である。
- (3) 異常事態の対処が遅れ、事故に波及する恐れがある。
- (4) 中央制御室に占める容積が増大する。

(5) ケーブル代、工事代を含めた中央制御盤回りの建設費が増大する。
等の問題点がある。

中央制御盤は運転員にとってプラントをのぞく窓であり、そのためには運転員にプラントで何が起って来たか、何が起っているか、何が起りつつあるかの情報を提供しプラントの状態を明確には(把)握させ、更に何をすべきかの情報を提供することが必要で、現状の中央制御盤は必ずしもこれらの点で十分ではない。

制御用計算機及びディスプレイ装置は、図形表示機能を備えたグラフィック CRT の進歩により、中央制御盤への導入が積極的に計画されている。これによって次のことが期待できる。

- (1) プラントの運転状態に従ってその時点で最適な情報の組合せで表示できる。
- (2) プラントの状態をより分かりやすい表示方法(偏差、相関、パターン、系統図)で表示できる。
- (3) プラントの測定情報だけでなく計算機でデータ処理した結果(変化率、差、最大値、最小値、関数値)はもちろん、将来の情報を予測して提供できる。
- (4) 中央制御盤全体のサイズを縮小化できる。

グラフィック CRT を中心にした中央制御室は電力系統の中央給電所、原子力発電所などで実用化の段階を迎えつつある。現在、我々が開発している監視制御システムの中で将来の中央制御室像を図 2. に、グラフィック CRT (3,200 画素の M-2397) へのプロセスデータ表示例を図 3. に示す。

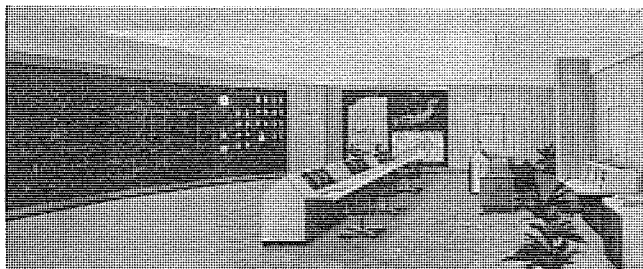


図 2. 将来の中央制御室

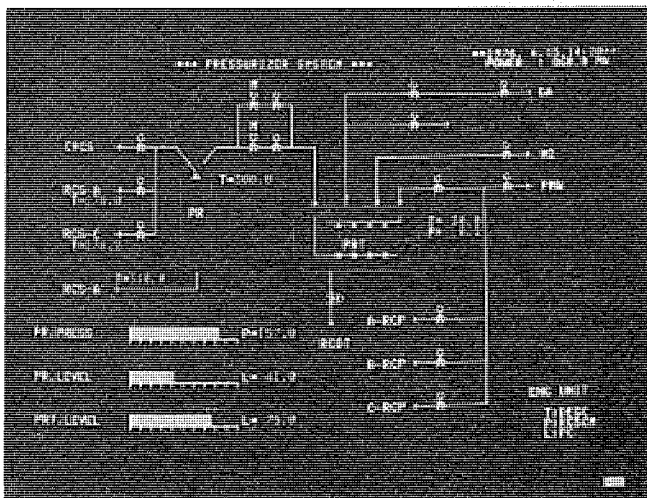


図 3. プロセスデータ表示 (原子力1次系)

4. 火力発電プラントの監視制御システム

火力発電 プラントにおける新しい監視制御システムの構成に当たって適用する技術の主なものとして次のようなものがある。

(1) システムの稼働性とスループットをあげるために機能を分担する

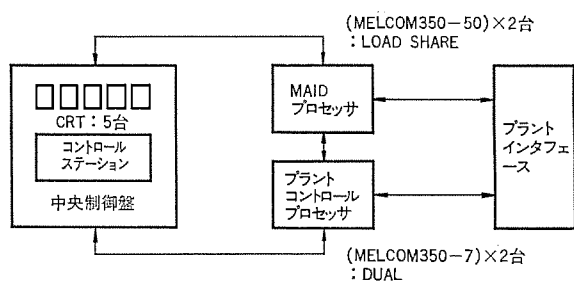


図 4. 監視制御システムの機能ブロック図

表 1. 《MELCOM》50 の開発のねらいと採用された新技術

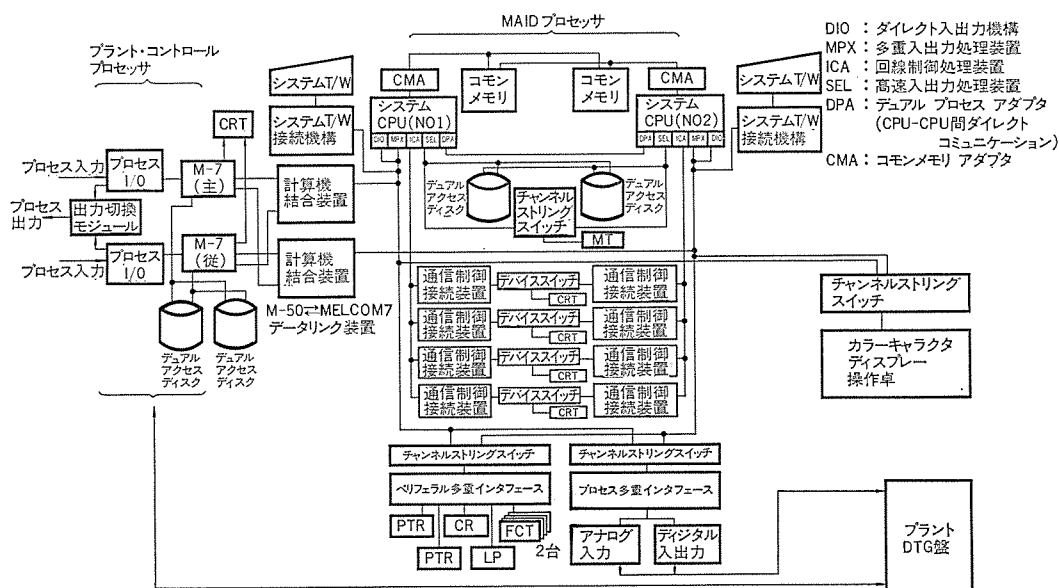
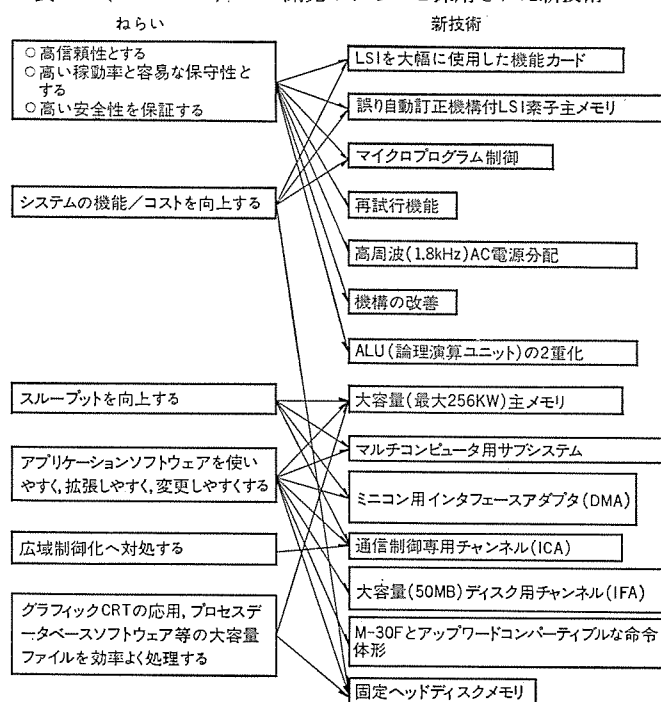


図 5. 監視制御システム構成図

ロードシェア 技術及び 2 重系構成技術。

(2) 制御機能のレベルと経済性をあげるための DDC 技術。

(3) オペレータのプラント状態の把握を容易にするためのグラフィック CRT ディスプレー技術。

これらの技術によりシステムを構成するが、その基本思想は“情報の統合と処理の分散”と言うことができる。監視制御システムの機能的なブロック図を図4.に示す。

このシステムに適合した計算機として新たに《MELCOM》350-50を開発した。《MELCOM》350-50は共用してデータをアクセスでき処理分散形システムを組立てるコモンメモリを新しく導入し、かつマイクロ診断を含むRAS機能を充実させ、本格的なマルチプロセッサ指向形の計算機システムを提供できる。表1.に特徴を示す。図5.にそれによって構成される監視制御システム構成図を示す。

4.1 監視制御システム インタフェース

MAID(Mitsubishi Analysis Information & Display) プロセッサは主としてプラントの総合データ処理を受けもつプロセッサで、機能を分担するロードシェア技術を適用したコンピュータシステムである。

(1) MAID 20台 (MELCOM 350-50×2 台の load share)

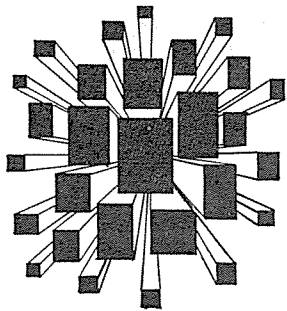
- ・プロセッサは2システムとしロードシェアを行う。機能を主機能、従機能に分割して各プロセッサに割付ける。
 - ・各プロセッサ間の情報リンクはコモンメモリを介して行う。
 - ・MAIDにのみ必要なプラントとのインタフェースはシングルとし、主機能を果たしているプロセッサにバス切換えて接続する。
 - ・主機能を果たすプロセッサがダウンした場合は従機能を果たすプロセッサが換わって主機能を果たす。その場合、従機能は中断する。
 - ・監視制御盤へのCRTディスプレイは4台設置し、主機能を果たしているプロセッサに切換スイッチを介して接続する。
- (2) プラントコントロールプロセッサ(《MELCOM》350-7×2台のdual)
- ・プロセッサは2システムとしプラントインタフェースまで含めて完全デュアルシステムとしている。
 - ・各プロセッサ間の情報リンクはデュアルアクセスディスクで処理できる。
 - ・プロセッサが両システムダウンした場合はシステムはフリーズ状態とし、手動運転に移行する。

5. む す び

最近の火力発電プラントの制御技術について全般的な動向について紹介した。火力発電機の安全性、信頼性、経済性向上のため計算機の役割は今後とも増大するものと思われる、その実現のため努力しない。

終わりに、火力発電プラント
計算機システムの開発及び実用
化に当たっては各電力会社に
いろいろ指導いただいてお
り、ここに謝意を表したい。

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1094981	換気扇取付装置	鈴木 欽三	1096582	磁気記録再生装置の自動停止装置	南野 弘 勉
1094982	換気装置	鈴木太八郎・高橋 克己	1096583	エレベータの位置表示灯点検装置	西 信次郎・山崎 光雄
1094983	換気扇	鈴木 欽三	1096584	テープの自動停止装置	{大橋 徳美・川辺 貞信 大垣 克一
1094984	表面取付 ナット	藺田 幸男	1096585	モールド形電磁機器	長野 光 佑
1094985	レンジフード	林 悦 二	1096586	機器配線	松井 俊 明
1094986	レンジフード	林 悦 二	1096587	気体膨脹式救命いかだの投下装置	宇 川 彰
1094987	防火 ダンパ 付換気装置	今井 純 英	1096588	制御用直流電動機装置	手塚 雅之・池上 和 生
1094988	換気装置	小 栗 敦	1096589	環状けい光 ランプ の包装体	{三 森 貢・野上 正男 金沢 保雄・高田 弘
1094989	給電装置	八代 勝雄	1096590	1人用救命具	稲 葉 稔
1094990	窓用換気扇	鈴木 欽三	1096591	1人用救命具	稲 葉 稔
1094991	遮煙装置	浅野 忠	1096592	半導体の冷却装置	武内 邦臣・稲村 実
1094992	給電装置	八代 勝雄	1096593	限流しゃ断器	渡辺 睦夫
1094993	レンジフード	酒井 勝正	1096594	電子機器の冷却装置	白 幡 潔
1094994	オイルフェンス	大久保 貫一・木名瀬 武男	1096595	避雷器	永井 信夫・但田 昭司
1094995	しゃ断器	田辺 俊雄	1096596	変圧器用 パネル 放熱装置	小林 忠雄
1096556	肉ひき器	鶴田 剛 司	1096597	テレビカメラケースの結露防止装置	本谷 昇一
1096557	移動手摺の安全装置	石田 松 彦	1096598	電子レンジ 電波もれ防止装置	望月 雅之
1096558	電池式電気器具用自動スイッチ装置	大槻 昭義	1096599	しゃ断器制御装置	久松 章三・仁科 秀夫
1096559	電池式電気器具用自動スイッチ装置	大槻 昭義	1096600	設定保持装置	森岡 邦雄
1096560	選択装置	中田 昌和・岸 博 武	1096601	箱入りしゃ断器	高橋 健一
1096561	逆回転阻止装置	余村 信雄	1096602	膨脹式救命いかだ	山口 彰弘・田中 寛三
1096562	閉鎖配電盤	田中 稔己	1096603	端子切換装置	宇佐美 勝洋
1096563	ビード型感熱抵抗体	{三原 英二・大野 克弘 柳 瀬 正人	1096604	電磁接触器のラッチ装置	西迫 静隆
1096564	エレベータ 安全装置	稲垣 光正・伊藤 智明	1096605	電磁接触器のラッチ装置	西迫 静隆・大島 昇
1096565	機関点火信号発生装置付直結形交流発電機	永岡 克彦・藤本 光宏	1096606	電子レンジ	小林 協三
1096566	けい光 ランプ の包装体	{久保 幸正・三 森 貢 高田 弘	1096607	積層 コップ 状部品の分離装置	{福井 三郎・田中 克房 磯田 訓幸
1096567	電気 マッサージャー	川合 輝一・橋本 一	1096608	部品搬送装置	鎌田 勉
1096568	電気 マッサージャー	川合 輝一	1097175	高所照明器具の着脱表示装置	橋本 武雄・鈴木 実
1096569	電気 マッサージャー	川合 輝一	1098103	サイリスタの制御装置	多田 靖夫
1096570	交流負荷制御装置	喜多 興一	1099003	固定子 コイル の固定装置	川越 孝 洋
1096571	カセット式 テープレコーダ	神野 秀城	1099004	内燃機関始動装置	高 見 昭
1096572	開閉装置	大西 正義	1099005	フラッシュプレート	瀬 良 務・松浦 清
1096573	開閉装置	大西 正義	1099006	電気あんま器	川合 輝一
1096574	開閉装置	大西 正義	1099007	電気あんま器	川合 輝一
1096575	ショーケース	{酒井 誠記・中西 幸弘 八柳 昌夫	1099008	エレベータの上下戸装置	三矢 周夫・長谷川 典利
1096576	電気開閉器	田中 捷三	1099009	高周波増幅器の自動利得制御装置	近藤 和 郎
1096577	コード 自動収納装置	村本 光 照	1099010	突極形回転子	松 野 博
1096578	電気あんま器	川合 輝一	1099011	UHF チューナ	秋元 克 幸
1096579	高圧負荷開閉しゃ断装置の保護構造	太 田 忍・真鍋 勝之	1099012	光電比色計	松井 文 夫
1096580	電気あんま器	川合 輝一	1099013	リール 台装置	{川辺 貞信・大橋 徳美 大垣 克一
1096581	水中胴衣	山田 栄一・田嶋 尚志	1099014	調整つまみ	岩村 清志郎



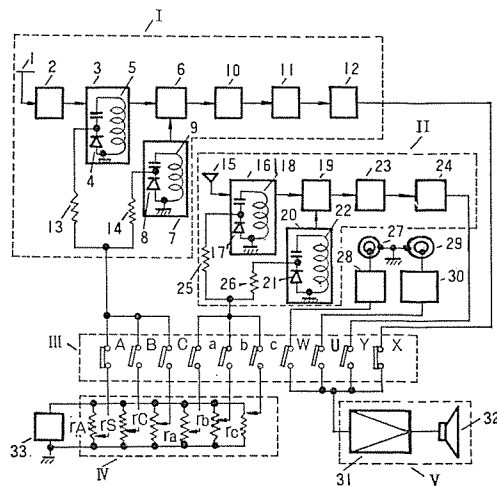
特許と新案

プリセット受信装置 (実用新案第 1110153 号)

考案者 東 譲・堀 江 登

この考案は可変容量 ダイオード を同調素子として用いた FM・AM 2 バンド 切換の プリセット 式受信装置に関するものである。

一回の押し ボタン 操作により バンド 切換操作と選局操作とを同時に行うことができるようにしたものである。図において、I は FM 受信部、II は AM 受信部、III は バンド 切換ならびに選局のためのスイッチ群、IV は同調回路および局部発信回路の可変容量 ダイオード にバイアス 電圧を加える バイアス 電源、V は増幅器および出力部である。スイッチ 群 III は AM 用選局スイッチ a b c のいずれか 1 つが オンのとき AM バンドスイッチ Y が、FM 用選局スイッチ ABC のいずれか 1 つが オンのとき FM バンドスイッチ X が連動して オン となるよう構成されている。したがって一回の操作で バンド 切換と選局操作を行うことができる。



車両用冷暖房装置の運転位置切換装置 (実用新案第 108075 号)

考案者 高 倉 誠 治

この考案は車両用冷暖房装置の運転位置切換装置に関するもので切換に際して冷暖房装置を停止する必要がなく、先頭車又は後尾車のどちらかからでも短時間で切換可能な装置を提供するものである。

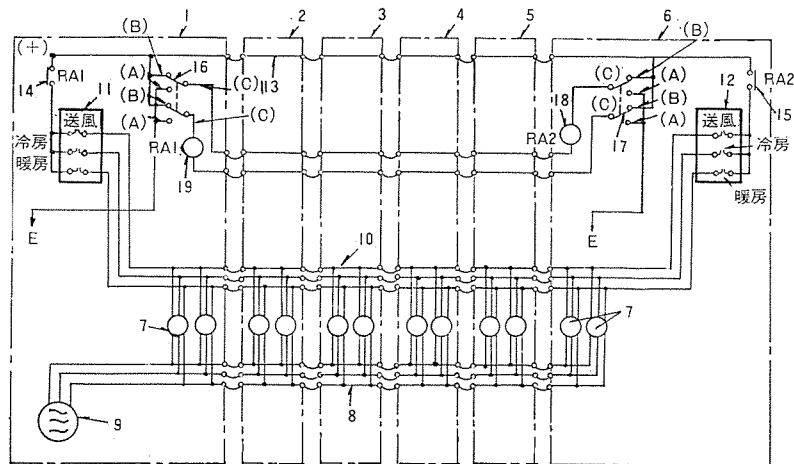
図において、(1)～(6)は電車、(7)は冷暖房装置、(9)は電源、(11)、(12)は冷暖房装置の制御装置で、(11)は先頭車に設けられ(12)は後尾車(6)に設けられる。(16)、(17)は先頭車と後尾車にそれぞれ設けられた 2 回路切換スイッチで、各回路ごとに固定接点 A、B と可動接点 C を備えておりこの両スイッチの一方の可動接点はリレー(18)を介して相互に接続され、他方の可動接点はリレー(19)を介して相互に接続されている。リレー(18)の動作時に常閉接点(15)を閉成し、リレー(19)の動作時に常閉接点(14)を開放するようにされている。

今、各接点が図示の状態にある場合は、リレー(18)、(19)共不動作であるため先頭車(1)の常閉接点(14)により制御装置(11)が冷暖房装置(7)の回路に接続されている。したがって先頭車(1)で制御装置(11)を操作し冷暖房装置(7)を制御している。

次に折返し運転などで車両(6)が先頭車になった場合は、車両(6)の切換スイッチ(17)を操作して可動接点 C を A 側に切換える。この結果制御電源線(13) 切換スイッチ(16) リレー(18)、リレー(19) 切換スイッチ(17) アース回路により、リレー(18)、(19)がいずれも動作し、常用接点(14)は開放し常閉接点(15)は閉成する。したがって車両(6)

の制御装置(12)が制御電源線(13)に結合され車両(6)において冷暖房装置の制御が可能になる。再び制御装置を車両(1)に切換える場合は、車両(1)の切換スイッチ(16)を A 側に切換えると車両(1)の制御装置で制御が可能になる。

この考案によれば先頭車および後尾車にそれぞれ設けられた切換スイッチを切換えるだけで制御装置の切換ができるため、切換えに際して冷暖房装置が停止するのは瞬間的であり、車両の利用者に迷惑をかけることはない。また非常に簡単な操作で切換えができるので運転者の負担にもならない。

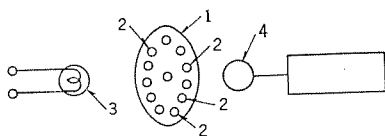


テープレコーダの終端検知装置 (実用新案第 1101227 号)

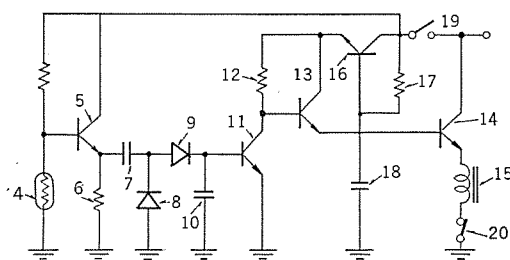
考案者 杉原正一

この考案はカセットテープなどのようにテープの始端終端がリール軸に固定されたタイプのテープ装置の終端を非接触に検知するものである。

光を用いてテープ終端を検知するものは従来からあるが、普通はテープ自体を光のしゃ(遮)断物として用いるものが多く、動作の確実性が低いという欠点を持っている。この考案は図1に示すような等間隔のあな(孔)(2)を有する回転円板(1)をリール軸に取付け、リール軸とともに回転させる。テープが走行している間は円板(1)が回転しているので光源(3)からの光は受光素子(4)に断続的に入力され、その出力は交流となっている。この交流出力は図2のダイオード(8)(9)で検波され、トランジスタ(11)を導通させ、トランジスタ(14)を遮断とし、リレーコイル(15)は付勢されない。一方、テープ終端では円板(1)の回転が停止するため、受光素子(4)の出力は直流的となり、コンデンサ(7)により遮断されて検波



出力は生じない。このため、トランジスタ(11)は遮断、トランジスタ(14)は導通となり、リレーコイル(15)は付勢されてテープ走行を反転させるなどの制御が可能となる。この場合問題となるのは操作開始時にテープが止まっているため、テープ終端と誤って検知されてしまうことになるため、この考案ではトランジスタ(16)、抵抗(17)、コンデンサ(18)からなる遅延回路を設けて、このような誤動作を防いでいる。



インバータ装置 (特許第 674796 号)

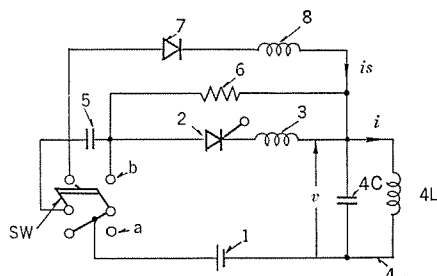
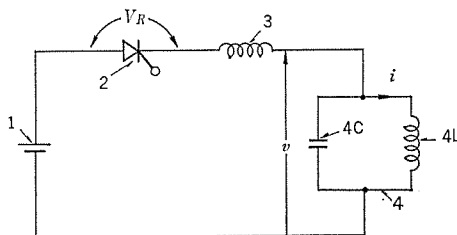
発明者 近藤博通・中田秋穂

この発明は高周波焼入などの力率の悪い負荷に用いられる交流電源としてのインバータ装置に関し、その目的は起動時におけるサイリスタの転流失敗を防止することにある。

図1は従来のこの種インバータ装置である。サイリスタ(2)を導通させればコンデンサ(4c)は充電され、充電電圧が直流電源(1)の電圧以上になるとサイリスタ(2)は不導通となりタンク回路(4)は振動を開始して負荷コイル(4L)に交流が流れる。コンデンサ(4c)の両端の電圧の検出値に応じてタンク回路(4)の共振周波数でサイリスタ(2)を点弧制御すれば交流電源としてのインバータが得られる。しかしながら、図1のインバータ装置の起動時には、コンデンサ(4c)は直流電源(1)によってのみエネルギーが供給されるため、コンデンサ電圧の上昇は定常時に比して低くなり、コンデンサのエネルギーは急速にコイル(4L)中に放出され、短時間のうちにコンデンサ(4c)の電圧は電源電圧より低くなる。したがって、起動時におけるサイリスタ(2)の逆電圧印加時間は短くなり転流失敗の原因となっていた。

図2はこの発明によるインバータ装置である。起動時には、まずスイッチSWをa側に投入して補助コンデンサ(5)を十分充電した後にスイッチSWをb側に切り替える。これによってインバータ主回路は閉路されるとともに、補助コンデンサ(5)についてダイオード(7)、充電用インダクタンス(8)、タンク回路(4)、電源(1)を通る放電回路が形成され、タンク回路(4)のコンデンサ(4c)が充電される。充電によってタンク回路の電圧Vが十分高くなるとタンク回路(4)は振動を始める。

したがってその後 dv/dt が正、すなわち定常状態に近い状態においてサイリスタ(2)をはじめて点弧させれば、起動時においてもサイリスタ(2)には定常動作時と変わるところのない十分長い逆電圧印加時を得ることができる。これによって起動時におけるサイリスタの転流失敗を完全に防止することができる。



札幌市交通局納め車両用高圧インバータ装置

小山 滋*・三金敏雄*・加我 敦*

1. ま え が き

車両用高圧インバータ装置の先駆として当社は、その開発と製作にあたり、多年にわたる経験と、国内外への多数の納入実績とを有している。

このたび、札幌市交通局東西線に23kVA容量の高圧インバータ装置11セット分を製作納入した。これは、車両制御用高圧単相インバータとして国内最大のものであり、我が国では初めての回生制動付チョップ制御装置と組合せた協調運転を行うなど、幾つかの新しい技術を導入した。その他、自動切換機能を備えた2重系の制御回路を設けたのを初め、 -30°C のきびしい環境に耐える電子回路を採用して高信頼度化を図るとともに、ゴムタイヤ式地下鉄電車に適するよう大幅な小形軽量化を図った。

ここに、工場試験・現車試験で所期の性能が得られたので、装置の内容、及び試験結果の概要について報告する。

2. 札幌市交通局東西線地下鉄電車の概要

インバータ装置の積載されている札幌市交通局東西線電車の概要は、次のとおりである。

札幌市には、既設地下鉄線として、札幌オリンピック(1968年)当時にしゅん工した南北線があるが、このたび新たに札幌市東西の白石 \leftrightarrow 琴似間を結ぶ地下鉄東西線が建設されることになった。この東西新線は、南北線と基本的に同じ車両方式を採用しており、ゴムタイヤ式4輪ボギー車である。ただし、南北線と比べて大形化するとともに、架線電圧もDC750VからDC1,500Vに昇圧され、制御装置もカム式制御器から回生制動付チョップ制御器になった。表1.に東西線電車の概要を示す。

表 1. 東西線電車的主要諸元

項 目	摘 要	内 容
1	車 体	全鋁合金製 出入口数：6 ロングシート 中央貫通方式
2	車 長	18m(長)、3.05m(幅)
3	台 車	4輪ボギー(2台車/両) 水平案内輪付き(中央案内式) 各輪駆動(ゴムタイヤ車輪付き)
4	給 電 方 式	オーバヘッドトロリ及び案内軌道による DC 1,500V
5	主 制 御 装 置	サイリスタによるチョップ制御(回生制動付き)
6	制 動 装 置	電気制動(回生制動)及び電磁直通 空気 \leftrightarrow 液圧変換(緊急ブレーキ付き)
7	補機及び制御電源	高圧サイリスタインバータ装置
8	運 転 制 御	自動総括連続制御(ATO, ATC)
9	編 成	当初、2M2T 4両固定編成 (将来、9両編成)

3. インバータ装置

3.1 要 目

表2.にインバータ装置の要目を示す。

3.2 インバータ装置の特長

東西線電車は、チョップ制御の地下鉄線である。チョップ装置とインバータ装置とを組合せて協調運転を行うことは、我が国初の試みである。また、地下鉄線という特殊状況に即し、装置信頼度の向上と少形軽量化のため、次の諸問題について検討して設計を行った。

- (1) チョップ回生負荷しゃ断時の架線サージ対策
- (2) チョップ冷却用電動プロアを駆動する上での各種問題点
- (3) 1両編成当たり1台のインバータ装置をもつ地下鉄電車として、高い信頼度をもつシステム
- (4) -30°C における動作保証
- (5) ゴムタイヤ式地下鉄に適した小形軽量化

以下に各項目について詳細を説明する。

3.2.1 チョップ回生負荷しゃ断時の架線サージ

チョップ回生負荷しゃ断時に架線電圧は、過渡的に大きく上昇する。この電圧変動がインバータ装置に侵入した場合、出力電圧に対してわずかな変動程度の影響であればよいが、サイリスタやコンデンサ等の電気的特性に悪影響を与え、劣化若しくは破損させてしまう恐れがある。

このため、回生負荷しゃ断時の架線電圧を図1.に示す波形として、インバータ入力DCフィルタ回路の解析とシミュレーションを行った。その結果、回生負荷しゃ断が行われても、図2.に示すように、DCフィルタの出力端で最大1,800V以下に抑制する効果を有するフィルタ定数を選定し、これを採用した。

3.2.2 チョップ冷却用プロア駆動

チョップ装置冷却用プロアは3台あり、すべて単相交流の誘導電動機である。誘導電動機は、電気系から機械系への変換器で、その電流

表 2. インバータ装置の要目

項 目	内 容	定 格	変 動 範 囲, 備 考
1	入 力 電 圧	DC 1,500V	DC 1,000~DC 1,800V
2	出 力 I	AC 200V 7.3kVA	AC 180~AC 210V($-10\sim+5\%$)
3	出 力 II	AC 100V 9kVA	AC 90~AC 105V($-10\sim+5\%$)
4	出 力 III	DC 100V 6kW	DC 90~DC 105V($-10\sim+5\%$) 入力電圧 1,200~1,800V で DC 85~DC 105V($-15\sim+5\%$) 入力電圧 1,000~1,200V で
5	周 波 数	60 Hz	57~63 Hz($-5\sim+5\%$)
6	直流出力 リップル率(p-p)	10%以下	
7	交流出力波 波形ひずみ率	10%以下	正弦波
8	周 囲 温 度		性能保証 $-20\sim+40^{\circ}\text{C}$ 動作保証 $-30\sim+40^{\circ}\text{C}$
9	制 御 回 路		2重系自動切換方式

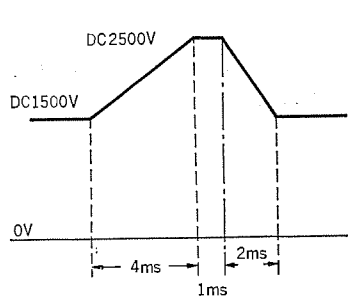


図 1. チョップ 再生負荷しゃ断時架線電圧

は、走行中の風圧の変化によっても、またインバータ出力電圧の変動によっても変化する。

一方、インバータの AC フィルタは、リアクトルとコンデンサとの組合せで構成されており、伝達関数としては複雑な動きをするため、電動機とのマッチングがとれない場合には、系の制御の安定性を損なう場合がある。

以上の観点から AC フィルタについては、解析と、コンピュータによるシミュレーション・実験とによって検討し、最適設計を行った。

3. 2. 3 信頼度の向上

東西線の編成は、当初、2M2T ($MC_1 + Tch + T + MC_2$) の 4 両固定編成である。将来は、順次増備して 9 両編成になるが、現在の 4 両編成では、1 台のインバータ装置を積載する。在来のかみ式制御器の場合、制御電源は DC 100V が一般的であり、電車は MG 装置又はインバータ装置によって DC 100V のバッテリーをフローティングしておくため、万一、MG 装置又はインバータ装置が故障停止しても、バッテリーのもつ電力で制御器を駆動し、電車を制御することができる。

一方、チョップ制御器では、サイリスタを使用しており、発生した熱を放散させるために電動ブローによって送風して強制冷却している。万一、ブローが停止した場合には、サイリスタの温度は許容限界を超えて上昇し、遂には破壊する。インバータ装置は、このブローの電源になっているため、インバータ装置が故障すれば、チョップは自衛上動作を停止するため車両は走行不能になる。しかも、室内灯なども消えるので、地下鉄という特殊な条件上、乗客に不安感を与える。このためにもインバータの信頼度を大幅に向上させ、万一にもインバータ装置が停止しないようにする必要がある。

信頼度向上の理想的手段として、次の 3 項目を基本方針とした。すなわち、

- (1) 主回路は 1 重系であるが、実績のある信頼性の高い部品で構成する。
- (2) ゲートトランスを含めた制御回路は 2 重系待機予備とする。
- (3) 万一の故障時の制御回路の切換えは、完全自動

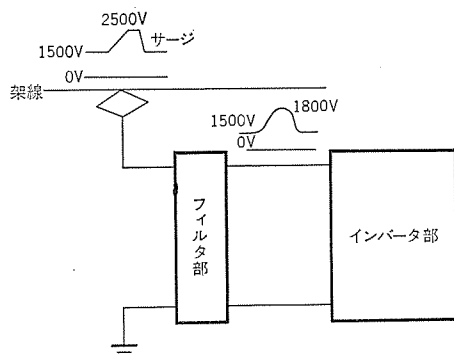


図 2. 架線電圧急変による入力フィルタ前後のサージ波形

とする。

特に、コンデンサを初めとした各部品については、 -30°C での特性試験を初めとする各種の検査を行い、品質の保証に万全を期した。

3. 2. 4 小形軽量化

インバータ装置は、ゴムタイヤ車に積載されることから、徹底的な軽量化努力を払った。すなわち、装置としての機能を損なわないようにシステムの簡略化を行い、リアクトル・トランスなどの部品を小形・軽量化した。特に、部品に関しては個々について重量を管理した。また、わく(枠)構造は、立体構造として各方面からの検討・解析を行い、強度メンバや部材の最適値を求めた。この結果、従来の設計手

法と比べて 20% も軽量化することができた。

3. 3 回路構成

インバータ主回路、制御回路の構成を図 3. に示す。

3. 3. 1 主回路

主回路は、サイリスタ 4 アームよりなる変流器帰還式ブリッジインバータである。すなわち、出力電圧の安定化をパルス幅変調方式 (PWM) でを行い、転流エネルギーは、変流器を用いて電源に帰還している。これによって安定で高効率な動作特性が得られる。

3. 3. 2 インバータの始動・停止シーケンス

インバータの始動には、インバータに入力される実際の電圧値を DCPT によって検知し、入力電圧が十分に立上がった後にサイリスタゲート信号を与える。更に、始動初期には、出力のパルス幅を絞っておき、徐々にその幅を広げて出力電圧を漸増させるソフトスタート方式を採用している。これによってトランスの飽和などによる突入電流を防止するとともに、負荷にもステップ状の急激な立上がりの電圧が印加されないようにしてある。停止時には、接触器開の時点から DC フィルタ回路のコンデンサの電荷の放電が開始されるが、放電時には、負荷の大・小によって異なる (図 4.)。

すなわち、負荷が重い場合には、コンデンサ電圧減衰時間は短く、負荷が小さい場合には、コンデンサ電圧減衰時間は長くなる。このため、停止時にも、バラストコンデンサの電圧が、ある値 (V_p) 以下になる

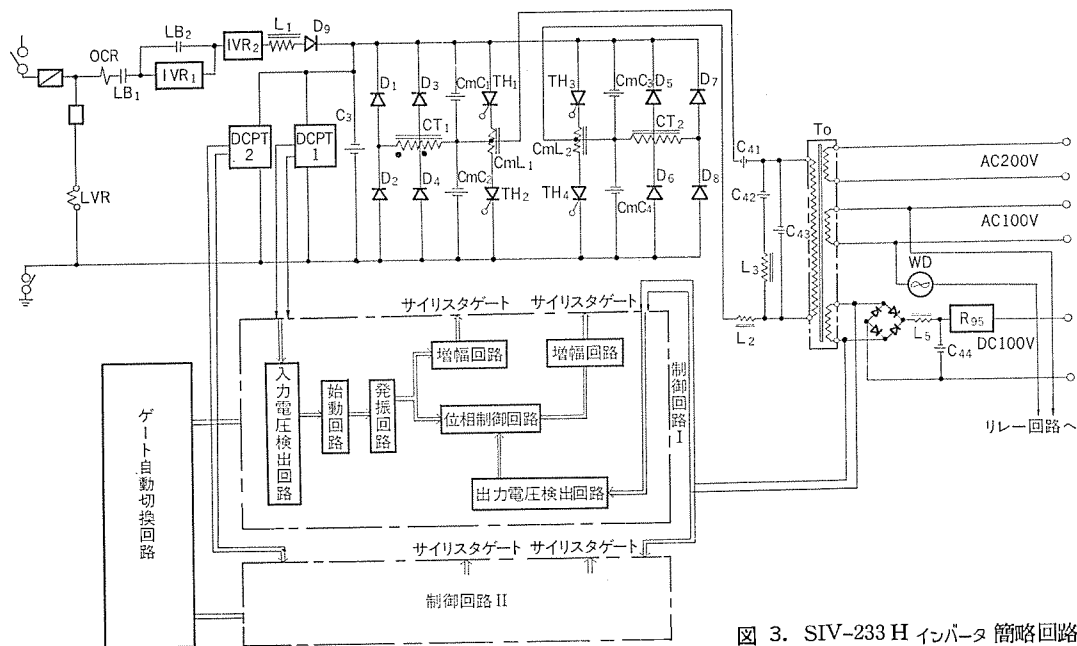


図 3. SIV-233 H インバータ 簡略回路

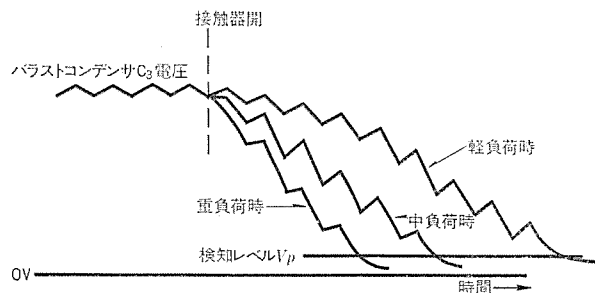


図 4. 負荷の軽重によるパラスタコンデンサの放電状態

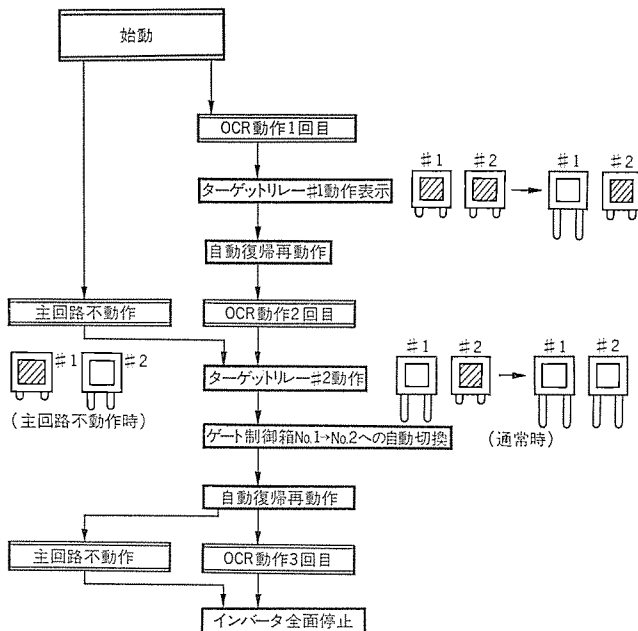


図 5. 制御回路自動切換え シーケンス

まで主回路を動作させ続けることによって減衰時間を速めている。これにより、パラスタコンデンサの電圧は確実に低レベルになるので、保守上にもより安全である。

また、シーケンスの面でも、減流始動・減流しゃ断を行い、接触器の責務を軽くしている。

3.3.3 制御回路自動切換えシーケンス

インバータの信頼度を向上させるためにゲート回路は、2重系にしてあるが、その切換えは自動的に行われる。切換えが実行されるのは、次の二つの場合である。

- (1) インバータ過電流リレー (I_n OCR) が動作した場合。
- (2) 始動指令が与えられたのににもかかわらず、インバータ出力が出ない場合。

図 5. に切換えシーケンスを示す。万一、ゲート回路切換えが行われて新たなゲート回路にしても正常に動作しないときには、故障箇所は、制御回路でなくて主回路であると判定してその後再始動は行わない。

3.4 インバータ装置の構造

3.4.1 構成

インバータ装置の外観を図 6. に示す。インバータの構成は、サイリスタスタック及びダイオードスタックによる半導体部と、転流 L・C、フィルタ L・C、出力トランス部よりなる主回路部と、2組のゲート制御ユニット、自動切換りレー板、その他の付属回路部品及び風冷用ファンとによって構成されている。

3.4.2 機器配置

このインバータでは、サイリスタスタック及びダイオードスタック部には、強制

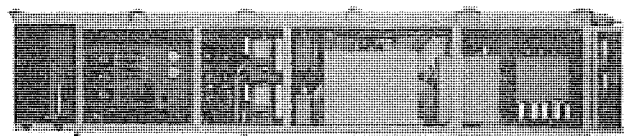


図 6. インバータ装置正面 (SIV-233 HB)

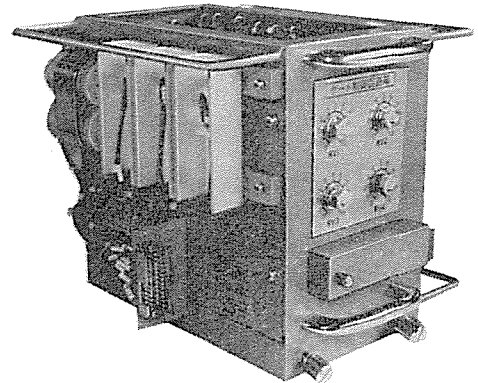


図 7. インバータゲート制御回路箱

風冷方式を採用し、この排風でリアクトルブロックの換気を兼ねた構造にしてある。コンデンサブロックは、万一の油漏れを考え、その他のブロックと仕切って完全密閉とし、底の部分に油だめを設けてある。

3.4.3 箱 枠

箱枠構造については、ゴムタイヤ車に適した小形軽量化を図ったが、この外に、各ブロックの構造について次のような改良を実施して実用性の向上を図った。

- (1) サイリスタ・ダイオードスタックの同一アームの素子は、同一温度になるような配列にし、使用環境による特性のばらつきが少なくなるようにして信頼度の向上に努めた。
- (2) 騒音防止の対策として、インバータ箱内の要所に防振ゴムを用いたが、振動計・周波数分析器を用いて分析を行い、最も効果のある部分に処置して騒音の低下を図った。
- (3) リアクトル類は、エポキシモールドによる防湿と、端子部の絶縁強化を図った。
- (4) 出力トランスには、出力電圧調整用タップを設け、バッテリーに最適の出力電圧を供給できるようにした。
- (5) 制御回路ユニットは、コネクタ付きの小形の箱にまとめ、2枚のプリントカードを使用し、内部点検のために開くことのできる構造にし、周波数・電圧などの調整ボリューム、並びに専用試験器用のコネクタを前面に設けた (図 7.)。
- (6) 制御回路自動切換りレー板の前面には、リレー・ターゲットリレー・リセット SW・手動切換スイッチ・試験用キャノン を設けた。また、リレー板は、本体とキャノン接続にして単体での取外しが可能ようにした。
- (7) 冷却用防じん(塵)フィルタは、フィルタエレメントの交換をしやすくする構造にした。
- (8) ターゲットリレーの動作状態を外部から点検できるように透明点検窓をカバーに設けたほか、箱内に主回路チェック端子を設けて耐圧試験を一括して行えるようにするなど、機能的な設計を行った。

3.5 インバータ接触器箱

減流始動・停止を行うため、箱内には2個の接触器と、過電流継電器 (OCR)、低電圧継電器 (LVR) とを収納してある。また、外気温の変化による箱内の結露現象を避けるため、換気用の穴を設けた。

4. 試験結果

4.1 出力レギュレーション特性

図 8. に、入力電圧変動による出力電圧レギュレーション特性を示す。1,200 V 以下でも仕様値内に十分に入る特性を示しており、チョップ装置・ATO 装置などに常に安定した電力を供給することが可能である。

また、定格点での効率は 82 % であり、在来の装置よりも 5~10 % ほど効率を向上させることができた。

4.2 ゲート制御回路切換試験

図 9. にゲート制御回路切換時の動作特性を示す。図では、No. 1 の制御回路で既に 1 度 OCR が動作し、再復帰して正常に動作している状態からが示されている。

今、時間 t_1 で OCR を動作させると、接触器が開極し、バラストコンデンサ C_3 の電圧は 140 ms で 0 V になる。次いで (図では、時間軸を短縮している)、4.5 秒後に接触器が再投入され、No. 2 のゲート制御回路で再始動を行う (t_2)。接触器投入後、1,400 ms で、単一負荷としては最大のチョップ用プロフが投入される。始動突入電流の影響で出力電圧は多少低下するが、数サイクルの後には正常に復し、制御系の安定性の高いことを示している。

4.3 回生負荷しゃ断試験

図 10. に、現車が 60 km/h 回生走行中に回生負荷しゃ断が行われた場合のオシロを示す。回生中であるため、架線電圧は定常的に 1,608 V まで上昇しており、しゃ断が行われると、2,500 V まで上昇する。この値は、図 1. に示した当初の想定サージと合致しているが、サージの継続時間は、15 ms にも及んでいない。しかしながら、サージ電圧は、

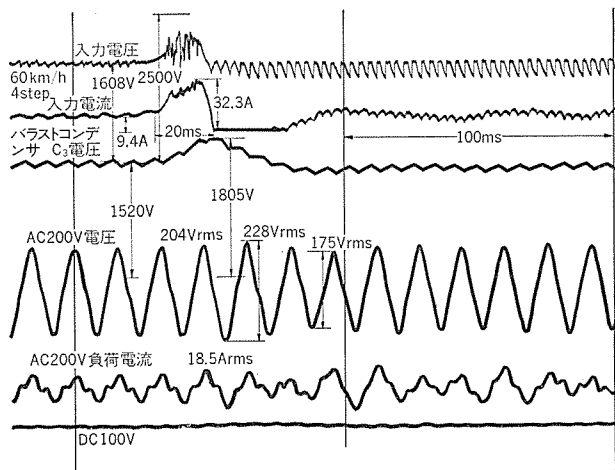


図 10. 回生負荷しゃ断 オシロ 波形

振動しているためにエネルギーとして予想に近い値と考えられ、インバータのバラストコンデンサ C_3 の電圧は、最大 1,805 V で、シミュレーションの結果と一致して所定の値に抑制されている。

また、出力電圧には 4~5 サイクルの間に多少の乱れを生ずるが、それ以後は、制御系のダンピング効果によって出力電圧の変動は、速やかに静定されて良好な特性を示している。

4.4 その他

その外に、次の試験を行ったがいずれも良好な結果が得られた。

- (1) 負荷急変試験
- (2) 入力電圧急変試験
- (3) 温度上昇試験
- (4) 低温・高温における環境温度試験

5. む す び

以上に述べたように、このインバータ装置については、工場で種々の試験を行って 50 年未だに客先に納入した。現車試験では、同時に製作納入した回生付チョップ装置と組合せ運転を行ったが、所期の性能を満足し、6 月からの営業運転にも順調な成績を示すことが期待されている。

このインバータ装置の五つの大きな特長をまとめると、次のようになる。

- (1) 回生ブレーキ付チョップ装置との組合せによる並列協調運転が可能である。
- (2) チョップ冷却用プロフの駆動電源である。
- (3) ゲート 2 重系自動切換システムを採用している。
- (4) 車両制御用高圧単相インバータとして、国内で最大容量である。
- (5) ゴムタイヤ式地下鉄電車に適した構造と軽量化設計を行っている。

以上の成果により、車両用インバータ技術の一つの集成をなしたと同時に、チョップ装置とインバータ装置との協調運転の実現という面で先鞭(鞭)をつけたといえる。

最後に、この装置の設計、製作並びに試験にあたり、ご指導ご協力いただいた札幌市交通局並びに関係者のかたがたに深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 白庄司, 太田ほか: 三菱電機技報, 44, No. 2, 253 (昭 45)
- (2) 太田, 加我: 三菱電機技報, 46, No. 7, 809 (昭 47)

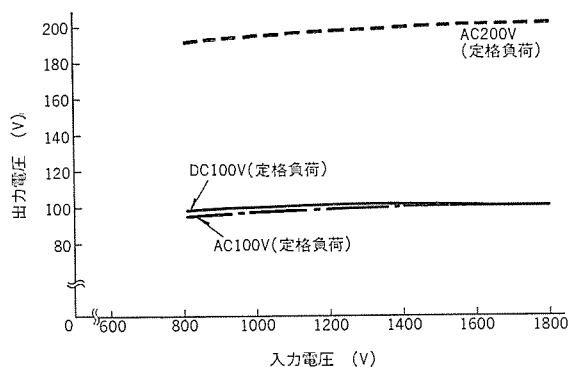


図 8. 出力レギュレーション特性

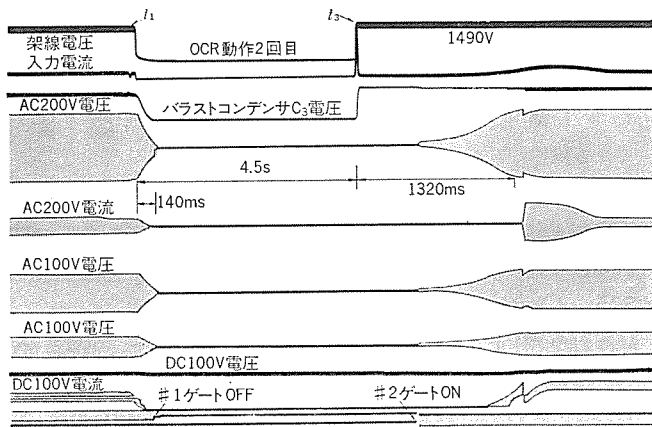


図 9. ゲート制御回路切換時のオシロ 波形

1. ま え が き

近年、各種の工業プラントは高度化複雑化し、高品位の製品を生み出すことが可能になったが、その背景には制御系の高性能化が大きく寄与している。特に計算機の目覚ましい発展によりその制御系への適用（計算機制御）で、精密な近代の制御理論の実用化が可能になってきたことが注目すべき点であろう。一般に制御系を構成するには前もって対象システムの特性を適確に（は）把握（同定）しなければならないが、その対象がいかに複雑でもできるだけ簡単な形式でそれを記述することが要求される。実用的見地からは、システムへの入力と出力を測定して、その間にある関係を簡単な式で表現することが望ましい。ほとんどの場合測定値には多くの雑音が混入しているので統計的な手法を用いることになる。著者らはこの雑音の除去と微分信号の抽出法をデジタルフィルタを用いて達成し⁽³⁾、これを用いてシステムの表現法の一つである伝達関数を推定する手法を提案した⁽⁴⁾。この手法を用いて製紙工業における抄紙機の坪量及び水分率（この両者が紙質が定まる）系の同定、及び製鉄工業におけるレバニング・コールドミルの同定を実施し⁽⁵⁾、その結果を記した。

2. 同 定 の 手 法

著者らの用いた同定の⁽³⁾⁽⁴⁾手法を説明するために、システムがむだ時間を含む1次遅れで近似できる場合を考える。入力を $u(t)$ 、出力を $y(t)$ として、 $L\{\cdot\}$ をLaplace変換演算子とすると

$$L\{y(t)\} = R(s) \cdot L\{u(t)\} \quad (1)$$

$$R(s) = \frac{g \cdot e^{-T_D \cdot s}}{1 + T_L \cdot s} \quad (2)$$

のように表される。ここで $R(s)$ は伝達関数である。 $u(t)$ 、 $y(t)$ を観測して $R(s)$ すなわち g 、 T_L 、 T_D の値を求めることが我々の目的である。信号 $u(t)$ が単振動の和で表される場合（スペクトル分解）を考えてみる。すなわち

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \zeta_k \cdot e^{i\omega_k \cdot t} \quad (3)$$

$$\dots < \omega_{-2} < \omega_{-1} < \omega_0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots \quad (4)$$

としてみる（これは概周期関数と呼ばれ、 $\omega_k = k \cdot \omega_1$ なら周期関数となる）。この時の出力は

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} R(i\omega_k) \cdot \zeta_k \cdot e^{i\omega_k \cdot t} \quad (5)$$

である。ここでフィルタ $D^{(0)}(i\omega) = D^{*(0)}(\omega) \cdot e^{-i\omega\tau}$ を考える。

$D^{*(0)}(\omega)$ は ω の実関数で $|\omega| \leq \omega_c$ の範囲ではほぼ $D^{*(0)}(\omega) \equiv 1$ 、 $|\omega| > \omega_c$ では $D^{*(0)}(\omega) \equiv 0$ となるものとする。 ω_c をシャ断周波数と呼んでおく。すなわち $D^{(0)}(i\omega)$ は低域フィルタである。次に微分フィルタ

$$D^{(k)}(i\omega) = (i\omega)^k \cdot D^{(0)}(i\omega) \quad (6)$$

を用意する。 $u(t)$ 、 $y(t)$ を $D^{(k)}(i\omega)$ に通した信号を $U^{(k)}(t)$ 、 $y^{(k)}(t)$ とすると式(3)と式(4)より

$$U^{(k)}(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} (i\omega)^k \cdot D^{(0)}(i\omega) \cdot \zeta_k e^{i\omega_k t} \quad (7)$$

$$y^{(k)}(t) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} (i\omega)^k \cdot D^{(0)}(i\omega) \cdot R(i\omega_k) \cdot \zeta_k e^{i\omega_k t} \quad (8)$$

となる。 $u(t)$ と $y(t)$ が式(1)を満足していれば

$$\begin{aligned} T_L \cdot y^{(1)}(t) + y^{(0)}(t) - g \cdot U^{(0)}(t - T_D) \\ = \sum_{l=-\infty}^{\infty} \{R(i\omega)(T_L \cdot i\omega + 1) - g e^{-i\omega T_D}\} D^{(0)}(i\omega) \zeta_k e^{i\omega_k t} \\ = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

となる。すなわちフィルタ $D^{(k)}(i\omega)$ を通した信号は $u(t)$ と $y(t)$ が満たすのと同じ微分方程式を満足することが分かる。 ω_c を適当に小さくすれば、式(9)は信号の低域成分を満たす方程式であり、これを同定の基礎とした。一般に $u(t)$ 、 $y(t)$ は測定に際し必ず各種の雑音を伴うものであるから、実際に得られるのは雑音 $e(t)$ 、 $\varepsilon(t)$ を含んだ

$$\hat{u}(t) = u(t) + e(t), \quad \hat{y}(t) = y(t) + \varepsilon(t) \quad (10)$$

である。また計算処理には計算機を用いることになるが、その場合にはサンプル値 $\hat{u}_j = \hat{u}(j \cdot Ts)$ 、 $\hat{y}_j = \hat{y}(j \cdot Ts)$ のみしか得られないのでデジタル処理をしなければならない。

デジタルフィルタ $P(z) = \sum_{k=1}^{2m+1} p_k \cdot z^{1-k}$ 、 $Q(z) = \sum_{k=1}^{2m+1} q_k \cdot z^{1-k}$ で、 $p_k +$

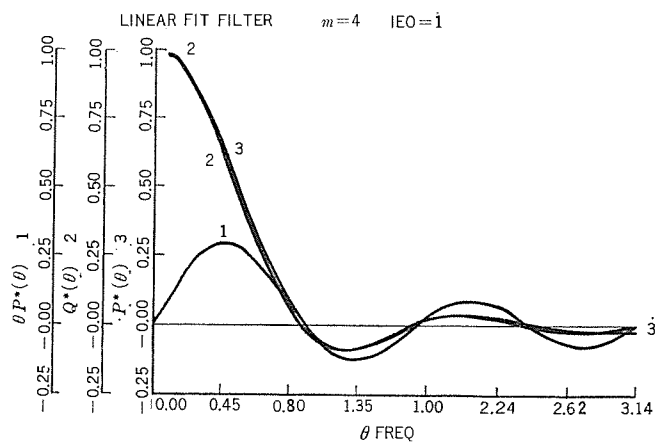


図 1. $P(z)$ 、 $Q(z)$ の周波数特性

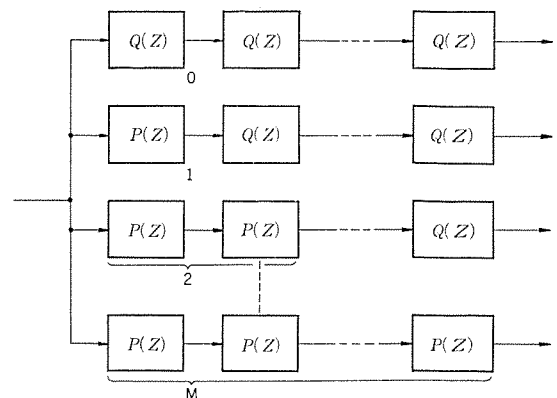


図 2. カスケード微分フィルタの構成

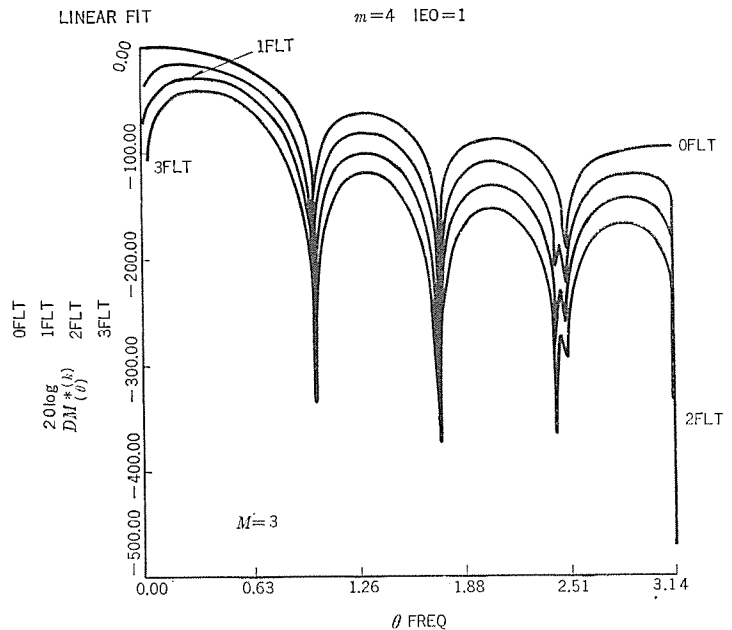
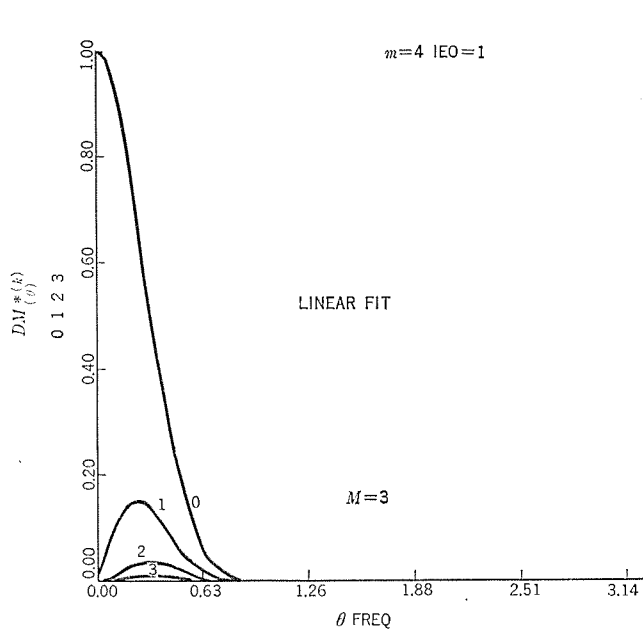


図 3. カスケード微分フィルタの周波数特性

$p_{2m+2-k}=0$, $q_k=q_{2m+2-k}$ ($k=1, 2, \dots, m+1$) となるものを考えると、これらの周波数特性は $P(e^{i\omega T_s})=i\omega \cdot P^*(\omega T_s)e^{-i\omega m T_s}$, $Q(e^{i\omega T_s})=Q^*(\omega T_s)e^{-i\omega m T_s}$ と書ける。ここで $P^*(\theta)$, $Q^*(\theta)$ は θ の実関数である。特に

$$p_k=3(m+1-k)/m(m+1)(2m+1)T_s \quad (k=1, 2, \dots, m+1) \quad (11)$$

の場合には $P^*(\theta)$ が図 1. のようになり低域特性を持つ。 q_k は $P^*(\theta) \equiv Q^*(\theta)$ ($|\theta| \leq \pi$) となるように最小自乗法で定める。次に

$$D_M^{(k)}(z) = \{P(z)\}^k \{Q(z)\}^{M-k} \quad (k=0, 1, \dots, M) \quad (12)$$

のようなカスケードフィルタ (図 2.) を作ると、周波数特性は

$$D_M^{(k)}(e^{i\omega T_s}) = (i\omega)^k \cdot D_M^{(0)}(e^{i\omega T_s}) \quad (13)$$

となり式 (6) と同じ式を満たす。 $D_M^{(k)}(e^{i\omega T_s}) = i^k \cdot D_M^{*(k)}(\omega T_s)e^{-i\omega m M T_s}$ とすると $D_M^{*(k)}(\theta)$ は θ の実関数である。図 3. には $m=4$, $M=3$ に対し $D_M^{*(k)}(\theta)$, $20 \log |D_M^{*(k)}(\theta)|$ を図示した。そして \hat{n}_j , \hat{y}_j を $D_M^{(k)}(z)$ に通した信号を $\hat{U}_j^{(k)}$, $\hat{y}_j^{(k)}$ とすれば $D_M^{(k)}(z)$ の持つ低域特性により雑音による影響はほとんど除去されて、式 (9) を導いたのと同じ理由で

$$T_L \cdot \hat{y}_j^{(1)} + \hat{y}_j^{(0)} = g \cdot \hat{U}_{j-j_D}^{(0)} \quad (14)$$

となる。ただし $j_D = \lceil T_D/T_s \rceil$ である。そこで T_D の値を仮定して

$$c = \sum_{j=1}^{J_s} (T_L \cdot \hat{y}_j^{(1)} + \hat{y}_j^{(0)} - g \cdot \hat{U}_{j-j_D}^{(0)})^2 \quad (15)$$

\hat{T}_D として c を最小にする T_L , g として \hat{T}_L , \hat{g} を定める。

3. 抄紙機の構造

製紙工業における最終段階として抄紙プロセスがあり、抄紙機によりパルプが紙に形成される。紙の質は単位面積当たりのパルプなどの固形成分の重さ (これを坪量: Basis Weight という) と、単位面積当たりの水の重さの割合 (水分率) とにより定められる。したがって抄紙機はこれらの値が一定の範囲に入るように制御され運転される⁽¹⁾。図 4. は抄紙機の概観を描いたものである。この図に沿って各部の機能構造を簡単に説明しておく。

白液タンクには白液と呼ばれるパルプと水の混合物が貯えられている。白液はポンプにより種口弁を通してストックインレットに供給される。ストックインレット内の白液はスライスキャップの間をくぐりぬけて回転す

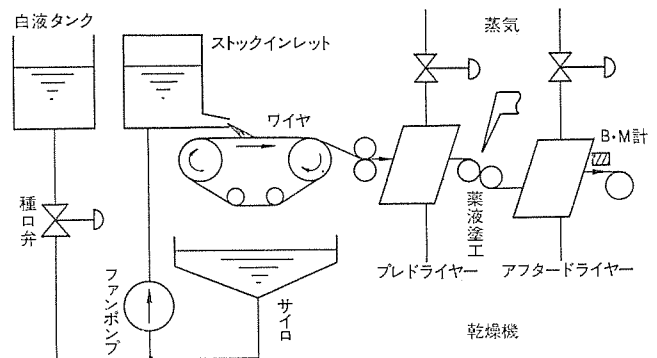


図 4. 抄紙機の概観図

るワイヤの上へ平らに乗せられる。ワイヤの上に残った固形分が紙の原形となり、これは蒸気乾燥機のローラの間を通りその水分が蒸発させられる。ワイヤを通り抜けた液体は白水と呼ばれる稀釈水として白液に混合されて再びストックインレットへもどされる。

乾燥機は基本的に 2 ブロックあり、その中間で種々の薬液が塗工され、更に乾燥されて巻き取られていく。乾燥機の中間及び最終出口には坪量計と水分率計が設置されている。そして坪量は種口弁の開度により、水分率は蒸気圧により制御される。したがって坪量では種口弁の変化が最終出口での坪量の計測値に影響するまでに走行する紙の移動する時間 (走行時間) だけのむだ時間が生ずる。これは紙の速度 (抄紙速度) などにも影響される。水分率のほうもドライヤーが長い距離に分布しているので等価的にはやはり大きなむだ時間を含む。

4. 坪量系の同定

同定を実施する必要のあった時期は、制御用計算機を設置する以前であったので計算機を用いたデータ収集はできなかった。ここで使用したのは、アナログ式のペンレコーダに描かれた波形を写真により拡大し、サンプリングしたものである。図 5. は三菱製紙 (株) 八戸工場における抄紙機から得られたデータをサンプリングした後にカーブプロッタで描いたものである。この例では種口弁をステップ状に変化させた場

合（ステップ応答）の坪量の変化を示したものである。図 5. をみると種口弁と坪量の関数がむだ時間を含む 1 次遅れ系であることが分かる。そこで種口弁開度の基準値よりの偏差を $u(t)\%$ 、坪量の基準値よりの偏差を $y(t)$ g/cm² とすれば、式 (1), (2) のように近似できる。

我々のデータでは $T_s=0.0923$ 分であった。図 6. は 2 章で述べたフィルタで $m=8$, $M=3$ としたものをを用いてフィルタリングされた $\hat{y}_j^{(0)}$,

$\hat{U}_{j-j_D}^{(0)}, -\hat{y}_j^{(1)}$ を $\hat{T}_D=1$ 分として描いたものである。 T_D の値をいろいろ変化させて、 g と T_L の推定値 \hat{g} , \hat{T}_L を表示してみると図 7. のようになる。 \hat{T}_D の値をいろいろ変えて \hat{g} , \hat{T}_L を描くと図 7. のようになり \hat{g} は \hat{T}_D に影響されないこと、 \hat{T}_L と \hat{T}_D は直線上にのることを示している。これは ΔT_D が小さいとき

$$\frac{g}{1+T_L \cdot s} e^{-(T_D+\Delta T_D)s} \approx \frac{g}{1+(T_L+\Delta T_D) \cdot s} e^{-T_D \cdot s} \quad \dots (16)$$

という関係式が成立することから理解できる。

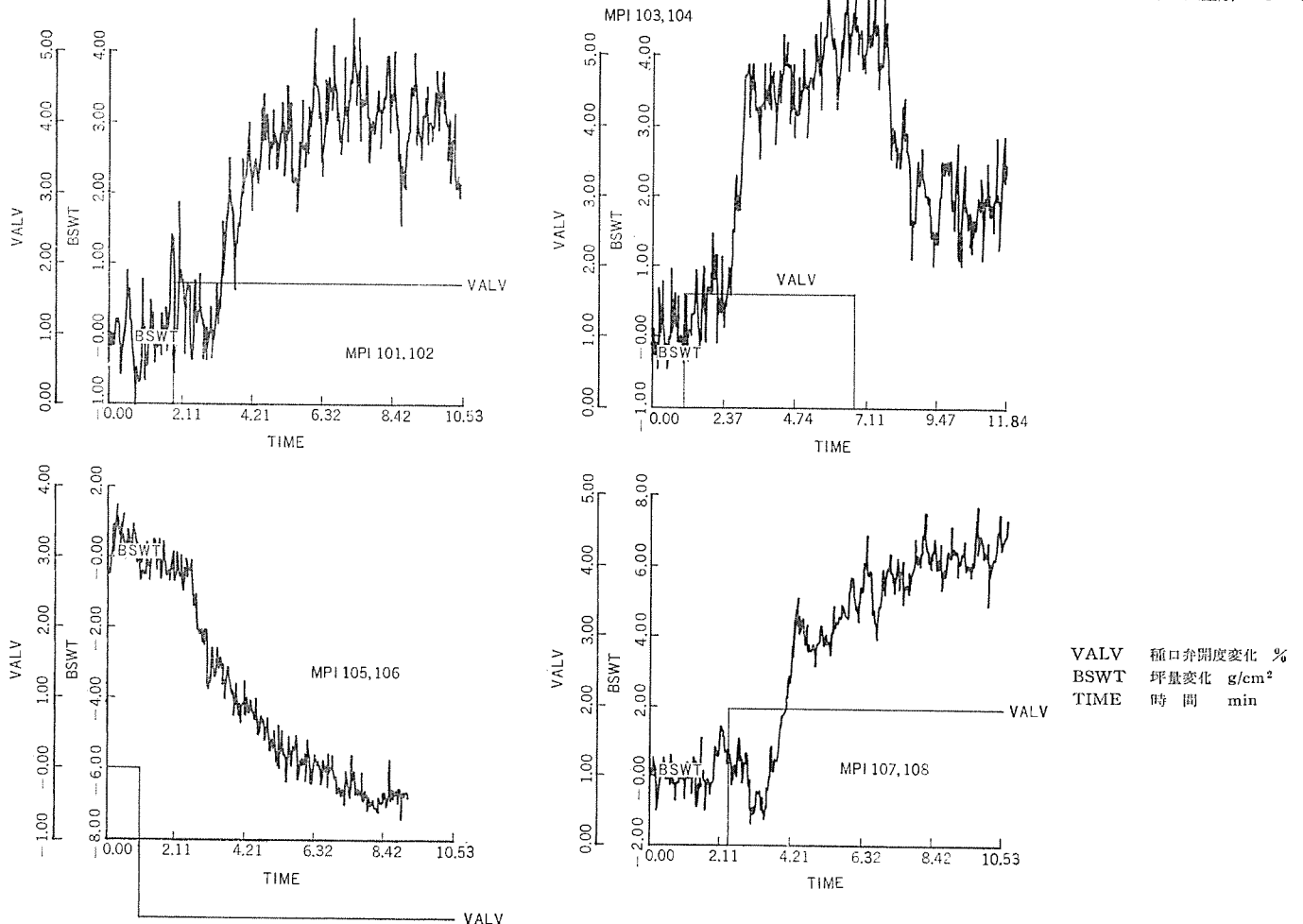


図 5. 種口弁の変化に対する坪量の変化

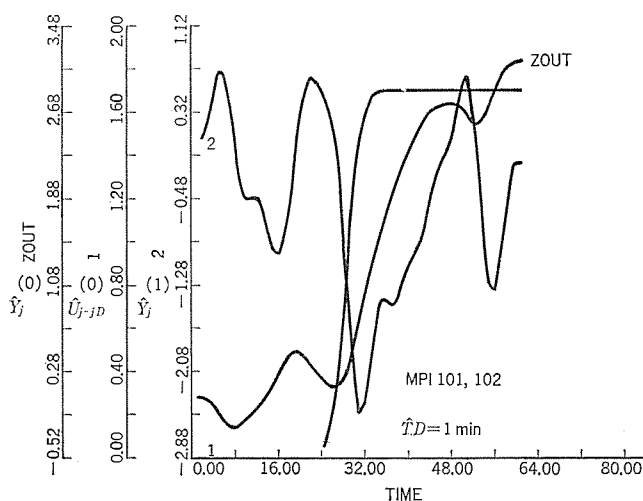


図 6. デジタルフィルタにより処理した波形 (坪量系)

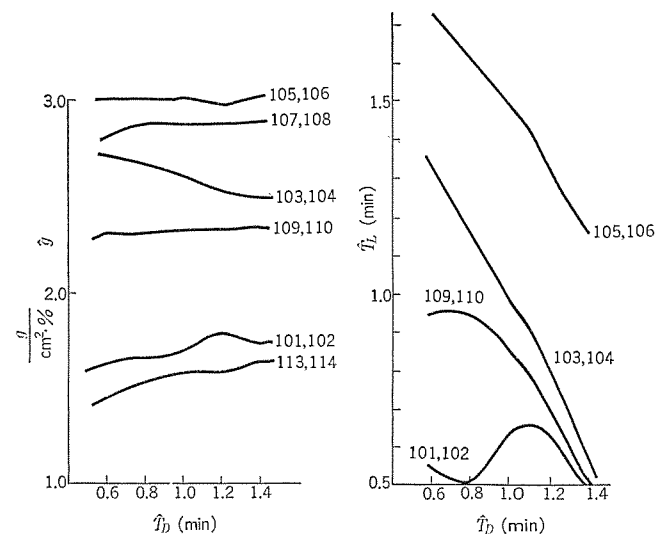


図 7. 推定値 \hat{g} と \hat{T}_L の \hat{T}_D に対する影響 (坪量系)

5. 水分系の同定

乾燥機は前段が3群、後段が3群の計六つの群からなり、それぞれ独立に蒸気圧を制御することができる。通常最終段である6群の蒸気圧を操作して水分率を制御する。明らかなように乾燥機は一種の熱交換器である。約 3 kg/cm^2 程度で $150 \sim 220^\circ\text{C}$ に過熱された蒸気は \square — \square の内部を通して飽和蒸気となり潜熱を失って水分を増し、湿り蒸気あるいは飽和水ないしは冷却水となって排出する。この際に紙の乾燥に用いられる熱量はほぼ潜熱が大部分を占めている。飽和状態は蒸気の圧力で決定されるので、水分率の制御は蒸気圧力を調整することによって達成される。蒸気圧は弁の開度で制御されるが、この目的のために圧力制御系が設けられている。

図8. は三菱製紙(株)八戸工場における抄紙機での観測例で、1~5群の蒸気圧を一定に保ち、坪量は 113 g/cm^2 に設定し、抄速は 500 m/min として6群蒸気圧を 1.5 kg/cm^2 から 1.0 kg/cm^2 に圧力の設定値を変化させた場合の蒸気圧及び水分率の変化をペンレコーダにより記録したものの一部である。同定のためには坪量計の場合と同じように、写真拡大と目視によるデジタル化を実施した。蒸気圧の基準値よりの変化を $u(t)\%$ 、水分率の基準値よりの変化を $y(t)\%$ とするとやはり式(1)と式(2)で与えられるような1次系であることが分かる。

この例では $m=20$ 、 $M=1$ の場合のカスケード微分フィルタ $D_M^{(k)}(z)$ を用いた。サンプル周期は $T_s=0.053$ 分である。図9. は $\hat{T}_D=0.5$ 分とした場合の推定値 \hat{g} 、 \hat{T}_L の変化を描いたものである。種々の \hat{T}_D

— \hat{T}_L の場合に対しての推定結果を図10. に示した。この例では \hat{T}_D と \hat{T}_L を明確に分離することはできず、 $\hat{T}_D + \hat{T}_L = 1.28$ 分と定まるにすぎぬことが分かる。

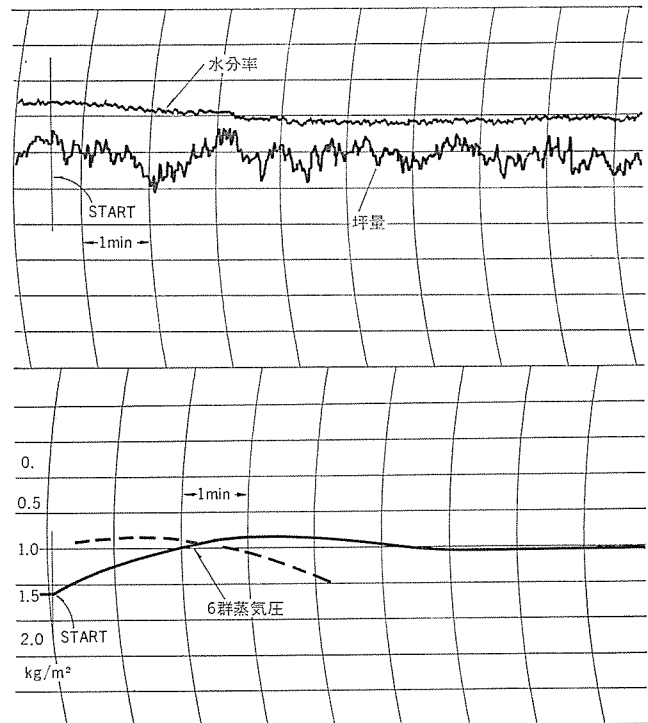


図8. 蒸気圧の変化に対する水分率の変化

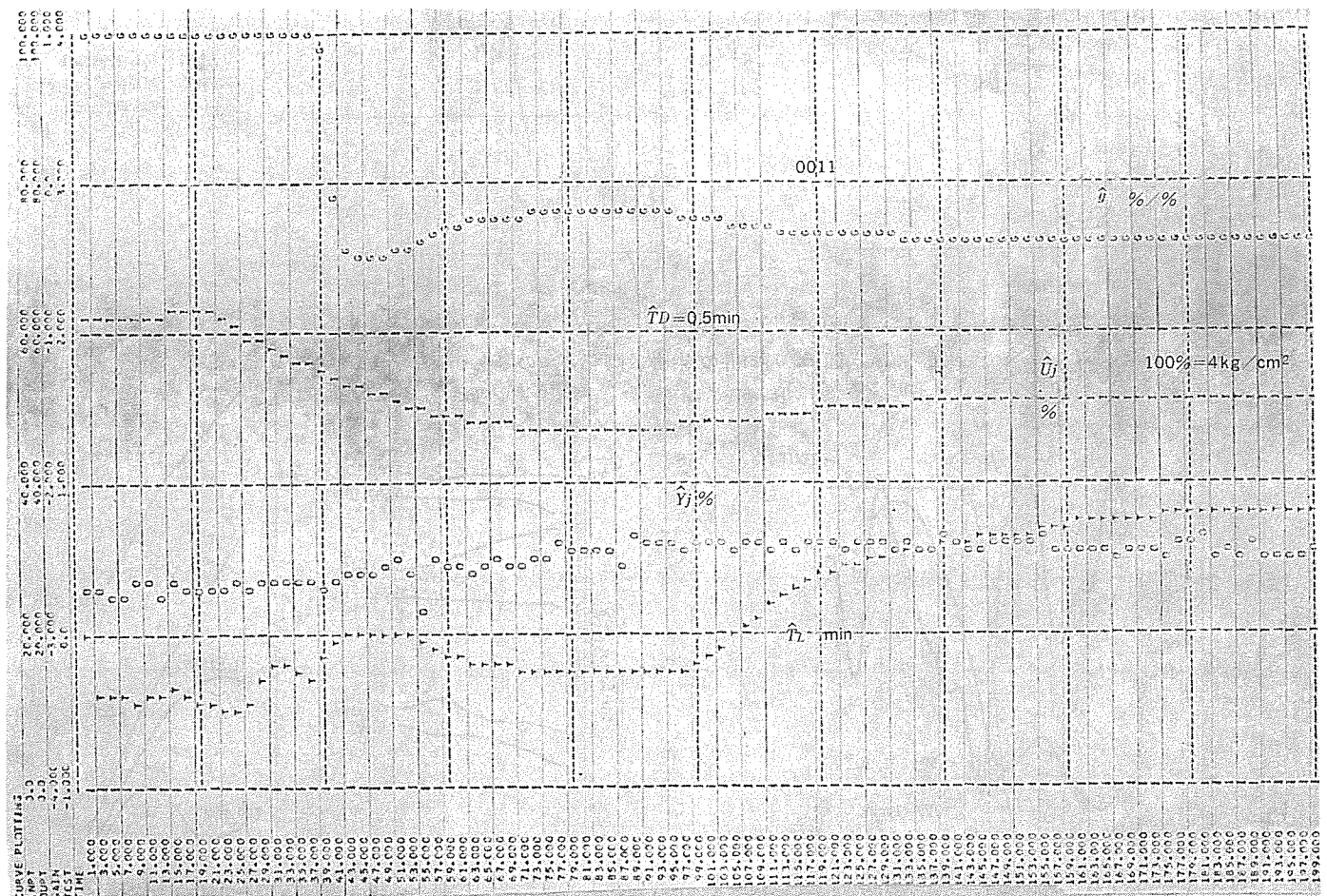


図9. 水分系の \hat{g} 、 \hat{T}_L の推定過程

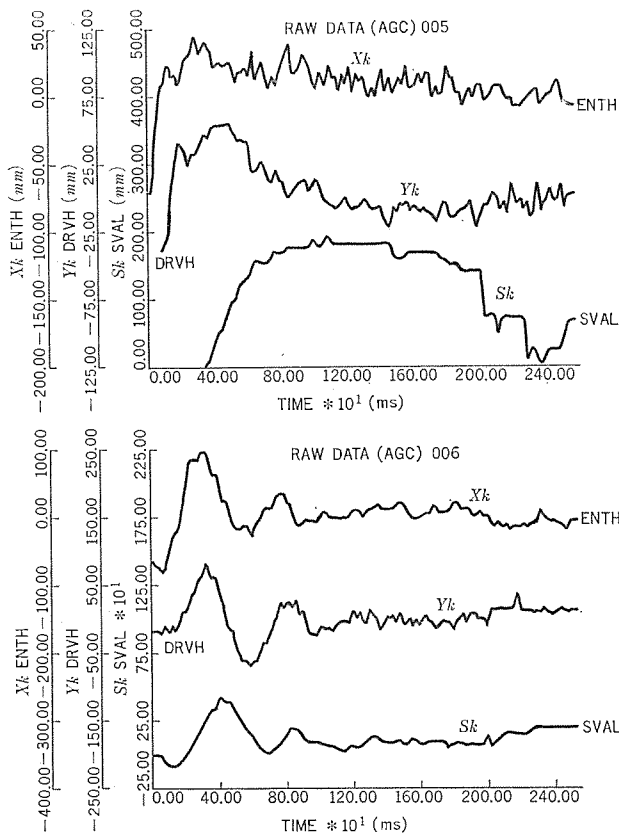


図 13. レバーシグ コールドミル からの観測値

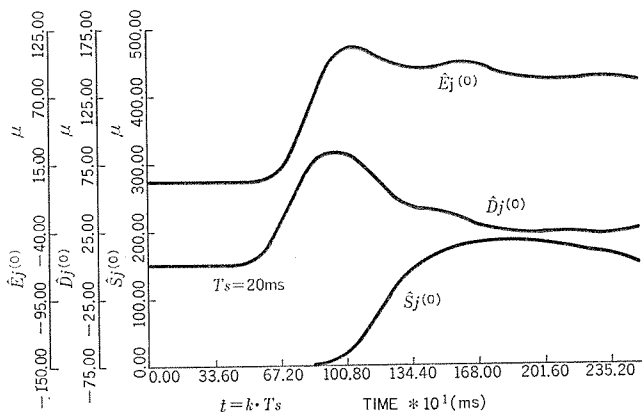


図 14. 005 の例に対してフィルタにより補償した波形

となった。AGC 005 の例では $\hat{A}_{80} - \hat{B}_{80} \approx 1$ が成立している。

式 (17) で与えたようなモデルは自動板厚制御系を構成する場合には特に重要である。パラメータ A_0 , B_0 は板の塑性係数とミルのばねの弾性係数で基本的には定まる。このうち板の塑性係数は圧延のパス

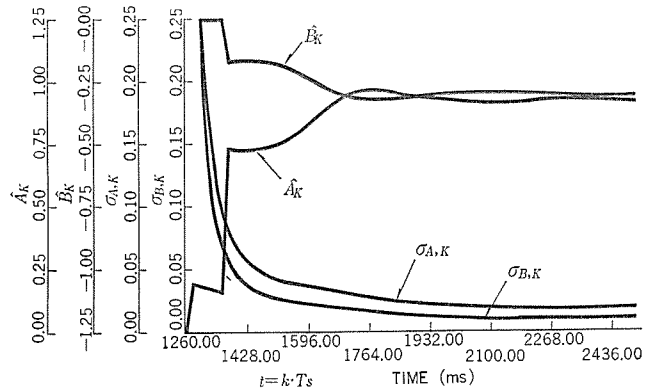


図 15. 005 に対する \hat{A} , \hat{B} の推定の過程

などでも変化するので A_0 , B_0 も圧延パスごとに变化する。そこでより精度の高い圧延を実施しようとするこの A_0 , B_0 が適応的に推定できることが望ましく、この種の方法が一つの手法を提供しているものと考えられる。

8. む す び

より精度の高い制御系を構成するために制御対象の動特性を推定する問題に対して、デジタル的信号処理を有効に用いる手法を提案し、抄紙プラントと圧延プラントの特性の推定に適用し、その有効性を確かめることができた。現在更にオンライン推定等の点について検討を加えている。

抄紙機の同定に関しては三菱製紙(株)八戸工場の星野仁美氏はじめコンピュータプロジェクトチームの各氏になみなみならぬご教示とご協力をいただいた。またレバーシグミルの同定に関しては新日本製鉄(株)八幡製鉄所の植山高次氏に多大のご援助をいただいた。併せてここに深謝の意を表するものである。(昭和51-9-1 受付)

参 考 文 献

- (1) J.J. Miller : Time Optimal Control of Basis Weight, Instrumentation Technology, pp. 41~47 (1972)
- (2) G. F. Bryant and M. H. Butterfield : Simulator Assessment of Tandem Cold-Rolling-Mill Automatic Gauge Control Systems, Proc. IEEE, 111, No. 2, pp. 393~405 (1964)
- (3) 立花 : デジタルフィルタを用いた同定, 計測自動制御学会論文集, 9, No. 4, pp. 438~445 (昭48)
- (4) 立花, 首藤 : カスケードデジタル微分フィルタによる伝達関数の推定, 電子通信学会論文誌, 58-D, No. 9, pp. 546~538 (昭50-9)
- (5) 立花, 稲本, 首藤 : レバーシグコールドミルにおける圧下影響係数の推定, 第14回計測自動制御学会講演集 (昭50-8)

トヨタ自動車工業(株)納めリニアモータ方式自動車衝突試験装置

古川 俊幸*・猪谷耕太郎*・川内 豊行*

1. ま え が き

最近、高速鉄道など新交通システムの駆動手段として注目を集めているリニアモータは、非接触・非粘着直接電磁駆動という大きな特徴をもった新しい駆動方式である。当社では、このリニアモータ应用に関し十数年来研究開発を進めており、

- (1) 新交通システム応用
- (2) 一般工業用応用(中・低速搬送機器)
- (3) 特殊応用機器

などの分野でかずかずの成果をあげており、なかでも一般工業用に対しては最も幅広い応用と多大な効果が期待されるため、各種リニアモータの応用研究を重点的に行っている。

このたび完成したトヨタ自動車工業(株)東富士研究所向けリニアモータ方式自動車衝突試験装置は、リニアモータの特徴を最大限に発揮したもので、最大加速度1G、最大減速度3Gの高加減速駆動を実現することにより装置の小形化、屋内化に成功した。この装置は現在順調にか(稼)動中であり、また所期の性能を十分満足するものであることを確認したもので、この試験装置の概要について報告する。

従来、この種の試験装置におけるテスト車の駆動手段としては、そのほとんどが重力式けん引式である。このため特にテスト車の速度制御に難点があり、また屋外設置のため試験条件の設定、試験の再現性など多々問題点がある。今回のリニアモータ方式の場合には、リニアモータの電圧制御により高精度の速度制御が可能であり、装置の取扱いやすさ、再現性の良好さなどと合わせ数多くの利点をもつ試験装置である。このリニアモータ方式による自動車衝突試験装置は、イギリスのMIRA、西ドイツのベンツ、フランスのルノーなどにおいて実用化されているが、最高試験速度など装置の性能はこの装置が上回っており、また我が国では初めての応用である。

2. リニアモータ

この装置に対するリニアモータ応用は、この装置の技術的問題点である。

- ・高加速、高減速の実現
- ・信頼性の高い制動力の確保
- ・軽量堅固な台車設計

の解決にリニアモータの非粘着駆動特性の利用が最適であることからなされた。リニアモータについては磁気浮上鉄道など新交通システムの応用で話題になっているが、一般的にはあまり熟知されておらず、まずその概要を簡単に説明する。

リニアモータは回転電気機器の一展開として考えられるため、原理・構造より誘導形、同期形、直流形がある。しかし、一般的な駆動用・搬送用への応用は制御の容易さ、構造の簡単さなどにより、ほとんどリニアインダクションモータ(LIM)が適用される。

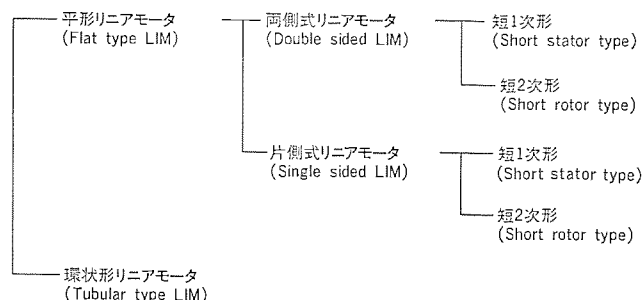


図 1. リニアモータの種類

2.1 リニアモータの形式

リニアモータは回転機と異なり、励磁巻線を備えたリニアモータ固定子(Primary, Stator)、2次導体(Secondary, Rotor)の形状により図1.に示すような多種の形式がある。一般的形式としては短1次形の両側式・片側式リニアモータが幅広く応用される。両側式・片側式の選択については両側式の場合、固定子だけで閉磁路を形成するため磁束効率(推力効率)の高いリニアモータとして利用できるが、空けき(隙)保持・取付スペースに難点がある。このため、2次導体工作上の問題、垂直力変動の問題はあるが、片側式のほうがより応用に適した形式である。

2.2 リニアモータの給電方式

リニアモータは固定子、2次導体の一方が軌道上を走行するため、その形式決定にあたっては

- 地上1次方式(2次走行形)
- 車上1次方式(1次走行形)

両方式による給電システムを選択する必要がある。それぞれ使用上の利点はあるが、本質的な相違点は、車上1次方式では集電装置を、地上1次方式では電源切換装置を必要とする点である。電気鉄道におけるしゅう(摺)動集電方式はその限界速度が300km/hといわれており、特別な応用例を除いては車上1次方式が制御性も良く安価である。

2.3 リニアモータの制御方式

リニアモータは特性的にはかご形誘導機と同じである。よって基本的な制御方式は誘導機と同様、極数変換、周波数変換などにより速度制御が行われるが、大半の場合高抵抗特性をもつため、電圧制御が安価な速度制御方式として利用される。しかし、リニアモータは直線運動という特異性をもつため、給電方式と合わせ、速度制御・制動・停止位置制御など総合的な制御システムを検討する必要がある。

以上のことから、この装置に対してはリニアモータ形式は安定走行、軌道・車両構造より片側式を、給電方式は制御性から考え車上1次方式を採用した。また制動方式については、非常に大きな制動力が要求されるため直流発電制動方式を採用し、リニアモータの過励磁により所要制動力を確保した。この場合、低速走行・停止時に台車・軌道間に作用する過大な電磁吸引力は電源構成により軽減対策を施している。

* 長崎製作所

3. 装置の仕様

この試験装置に要求される仕様は次のとおりである。

試験車重量： 800～2,000 kg

試験速度： 15～100 km/h

ただし、2,000 kg を超える車重に対しても許容される最大速度まで試験可能とする。

速度精度： $\pm 3\%$ 以内

ただし、50 km/h の場合は ± 1 km/h 以内

加速度： 平均 1 G 以下

ただし、突放し点では 1 G 以下とする

設置場所： 屋内設置

4. 装置の構成

この装置における各機器の構成及び性能は次のとおりである。

4.1 リニアモータ駆動台車

テスト車けん引用のリニアモータ駆動台車は、50 km/h 走行時の速度精度を確保するため 100 km/h 用、50 km/h 用の 2 台が製作された。

図 2. に駆動台車の外観写真を、図 3. に外形寸法図を示す。駆動台車設計にあたっては、特に軽量化、高剛性化に対する配慮がなされており

(1) 台車は高張力鋼板の箱形構造でスキャンストレス構造を採用

(2) 車輪は軸固定形とし、特に上下方向に剛性の強い I 形断面構造の軸を採用

などにより、高剛性をもつ軽量台車の製作を可能にした。また、け

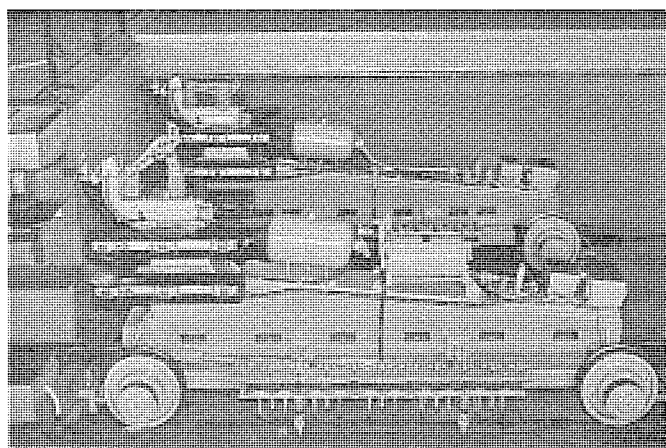


図 2. リニアモータ駆動台車(手前 100 km/h 台車, 後方 50 km/h 台車)

表 1. リニアモータ定格

	100 km/h 用	50 km/h 用
形 式	車上 1 次片側方式	車上 1 次片側方式
極 数	6	12
同 期 速 度	116 km/h	55 km/h
定 格 速 度	105 km/h	54 km/h
電 源 定 格	3,300 V/50 Hz	3,300 V/50 Hz
最 大 容 量	3,100 kVA	1,500 kVA
定 格 推 力	3,000 kg	250 kg
最 大 推 力	4,800 kg	3,700 kg
鉄 心 寸 法	240 W×110 H×2,210 L	240 W×110 H×1,960 L
2 次 導 体	アルミ合金及び銅合金と銅板による複合 2 次導体 4, 5 mm 厚, 550 幅	
空 隙 長	5～30 mm (区間により設定, 制動区間を含む)	

ん引時台車に作用する モーメント に対しては、主軸に案内車輪を設け、案内レールにより台車の浮き上がりを防止している。

この駆動台車は リニアモータ 固定子、集電装置、非常用の機械式ブレーキを装備しており、総重量は概略 1,800 kg である。

4.1.1 リニアモータ

リニアモータ は車上 1 次片側方式を採用、100 km/h 用、50 km/h 用それぞれの定格を表 1. に示す。リニアモータ に対しては、軽量化とともに加速区間を 6 セクションに分割し、各 セクション において最適な 2 次導体の選択、空隙長配置を行うことにより、加速性能の向上をはかり電源容量軽減への配慮をした。

また、コイルエンドは高加減速の衝撃に耐えるよう特殊構造としている。

4.1.2 集電装置

集電装置及び剛体 トリは電気設備基準第 219 条(高圧接触電線)に適合した構造となっており、集電能力は最大 DC 1,000 A である。集電に対しては、高加減速時でも集電効率が高いこと(離線が少ないこと)に重点的な配慮をしており、特に制動区間においては剛体トリを 4 本装備し、2 相 4 線集電を行うことにより離線防止を図り制動力を確保している。また、銅鉄系統結合金製 シュー と コイルスプリングから構成される集電子

も多数に分割され、離線の影響を最小限にとどめるよう配慮した。

4.1.3 機械式ブレーキ

リニアモータ 駆動台車の主ブレーキはリニアモータの直流発電制動による電気ブレーキであるが、ブレーキを 2 重系にすることにより安全性を確立するため機械式ブレーキを装備している。これは台車上のブレーキシュー 腕と地上の案内

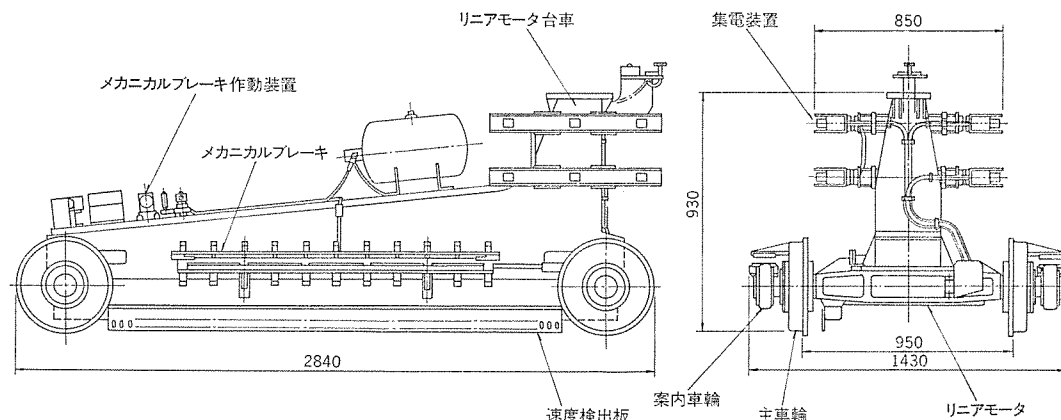


図 3. リニアモータ 駆動台車外形図

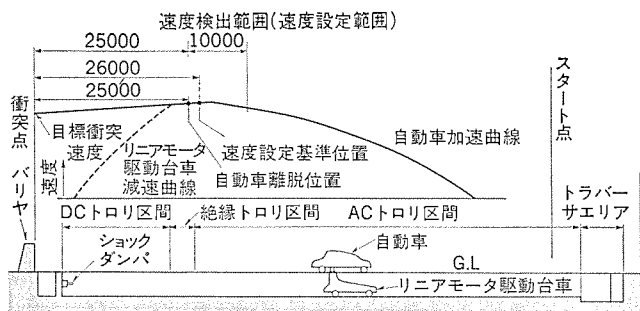


図 4. 走行路全体配置図

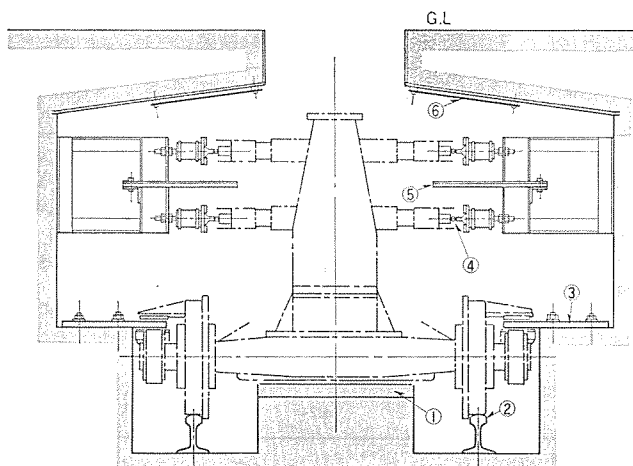


図 5. 走行路断面図

品番	名 称
1	リアクションプレート
2	走行用レール
3	案内レール
4	集電用トロリ
5	下絶縁隔壁板
6	上絶縁板

レールによりブレーキを構成するもので、その駆動源は窒素ガスである。機械式ブレーキは電気ブレーキのフェイルを検出し動作させるもので、バルブの開閉は地上と台車間の近接スイッチによる信号授受により行われる。ブレーキ能力は電気ブレーキ能力とほぼ等しく、ガス圧 9 kg/cm^2 において $5,600 \text{ kg}$ の制動力を発生する。

4.2 走行路

走行路は全体配置図(図 4.)に示すように、トラバーサエリア、リニアモータ台車走行路、衝突エリアから構成されている。

4.2.1 トラバーサエリア

リニアモータ駆動台車の保守点検、及び台車の入替えを行うエリアで、台車の入替えはすべて自動運転で行われる。

4.2.2 リニアモータ台車走行路

リニアモータ駆動台車の走行路は加速区間、制動区間、絶縁区間より構成されている。走行路断面図(図 5.)に示すように、走行路はく(矩)形断面へビット構造となっており、地上を走行するテスト車は、ビット開口部においてリニアモータ駆動台車と連結される。走行路全長にわたりリニアモータ 2 次導体、鋼体トロリ(4 線)、軌道レール、案内レールが設置されており、加速区間のトロリには AC $3,300 \text{ V}$ が、また制動区間のトロリには DC 800 V 及び AC $3,300 \text{ V}$ が架電される。制動区間の最終端には駆動台車を保護するため最大 15 km/h の制動能力を持つショックダンパを備えている。また加速区間の最終 10 m は

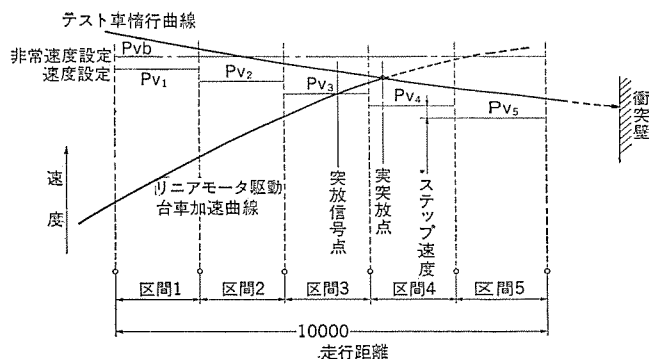


図 6. 速度検出装置

速度検出区間として利用される。

4.2.3 衝突エリア

テスト車の衝突試験が行われるエリアで、地上設備としては衝突バリア・撮影用の照明装置が、地下設備としてはカメラピットが設置されている。

4.3 速度検出装置

速度検出装置は加速区間の最終 10 m の区間に設けられ、この区間の走行速度を連続的に計測するもので、地上に設置した 5 組の光電式検出器と駆動台車に取付けたスリット板、及び演算部、表示部により構成される。 12.5 mm 幅のスリットの通過時を測定し、演算により速度を検出、走行速度が設定速度を超えた場合加速電源を断とする。このあと駆動台車とテスト車は突放し点まで惰行し、突放し点にて連結を解かれ、テスト車は惰行・衝突する。この検出装置の特徴は図 6. に示すように、テスト車の惰行による速度減衰を補正するため、5 段階のステップ速度設定機能をもつことで、これにより突放し点速度の精度向上を図っている。速度検出精度はスリット板の機上精度などすべてを含めて 0.5% 以下である。テスト車の速度調整はタッ付変圧器によるリニアモータの電圧制御と、速度検出器による加速距離の微調整(電源オフ点の制御)により行われ、仕様を上回る高精度の衝突試験が可能である。

また、通常速度設定とは別にバックアップとして非常速度設定機能をもつこと、位置検出器を併用していること(定点加速電源断)など、検出器を 3 重とし信頼性を向上している。

5. 制御及び制動システム

この試験装置の回路構成を図 7. に示す。この回路の特徴は制御用の直流回路にあり

- ・制御電源に対する停電対策
- ・リニアモータの直流発電制動によるリニアモータ駆動台車と軌道間に働く過大な吸引力防止対策

として、直流発電機をフライホイール付きとした。駆動台車が突放し区間の定点通過時、フライホイールの駆動モータは自動的に停止し、直流発電機はフライホイールを含む慣性エネルギーを駆動台車制動のために放出する。これにより直流電流は速度に応じて減衰し、制動力の一定保持、低速・停止時の過大な吸引力防止に効果がある。また、瞬停に対しても制動用電源が確保されるため、装置の信頼性が向上し、更に直流発電機の駆動モータ容量を大幅に軽減できる効果もある。

試験の安全、失敗防止のため種々のインタロック回路が設けられているが、その主なものは

- ・速度検出器、位置検出器の受光確認

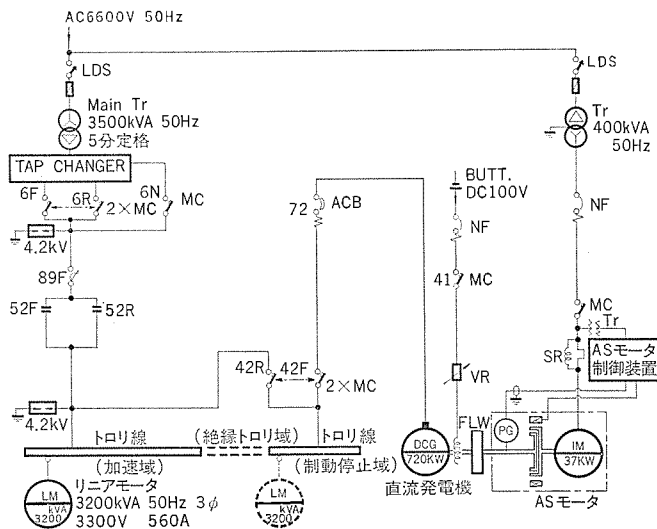


図 7. 電源系統図

・試験条件、走行路安全などに対する照光式押ボタンスイッチによる確認表示

であり、制動用直流電源の確立が走行用主電源の最終印加条件となっている。

走行テストは上述の試験条件設定後プログラムタイムにより自動的に行われるが、試験失敗などに備え、テスト車・駆動台車保護を目的として次のような緊急制動システムを設定している。

- (1) 直流発電ブレーキが作動しない場合、機械式ブレーキにより駆動台車を制動
- (2) テスト車の加速失敗に対しては、設定突放し速度の70%以下の場合、テスト車と駆動台車を制動
- (3) 試験開始後の緊急停止（定点通過前のみ）

6. 試験

この試験装置では、約6ヵ月間にわたり社内における各機器の性能確認を中心としたリニアモータ駆動台車の性能確認試験、及び現地における実車衝突試験を中心とした総合機能試験を実施した。

6.1 所内試験

社内では約50m長の走行路を設置、最高110km/hに及ぶ駆動台車走行による加速性能、制動性能などの性能確認とともに、各機器単体に対して次のような性能試験を実施した。

- (1) リニアモータ単体試験
- (2) 駆動台車剛性試験
- (3) 集電性能試験
- (4) 機械式ブレーキ作動試験
- (5) 直流電源性能試験

この結果、各機器は基本的仕様条件を満足するとともに、リニアモータ加速電圧の調整と速度検出器の併用により高精度な速度微調整が可能であること、機械式ブレーキは性能が非常に安定しており、非常用ブレーキとして使用し得ることなどが確認された。またリニアモータ拘束試験により100km/h用リニアモータ4,900kg、50km/h用リニアモータ3,800kgの始動推力値を得た。これはほぼ設計値どおりである。

6.2 総合機能試験

現地における試験項目は次のとおりである。

- (1) シーケンス確認試験

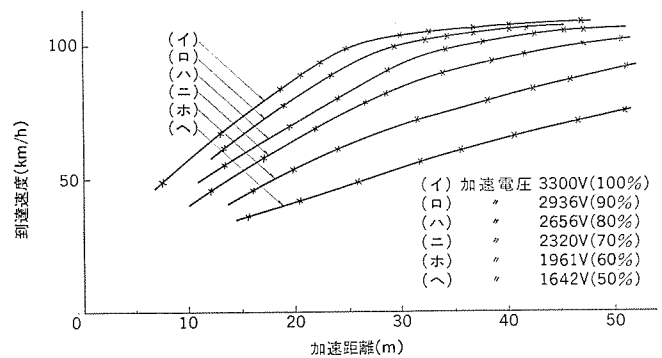


図 8. 100 km/h 台車加速性能試験

表 2. 実車衝突試験結果

衝突目標速度 (km/h)	テスト車重量 (kg)	目標突放速度 (km/h)	速度設定 (km/h)	表示突放速度 (km/h)
100	1,200	102.93	102.3	102.6
80	1,200	83.22	81.8	82.4
60	1,300	63.58	63.3	63.4
50	1,000	53.7	53.7	53.8
50	1,000	53.7	53.7	53.7
32.2	1,000	36.24	35.9	36.1

- (2) リニアモータ駆動台車単体走行試験

- (3) 実車衝突試験

リニアモータ駆動台車の単体走行試験により得られた加速性能曲線を図8.に示す。これは実車による衝突試験に対する加速電圧、速度設定、制動条件などの設定値をすべて電子計算機により演算処理するために行われたもので、二百数十回に及ぶ駆動台車の走行試験結果をもとに駆動台車の走行特性に対するプログラムを作成した。これにより加速電圧、速度設定などの各設定値は非常に高精度なものとなり、試験の信頼性は大幅に向上した。

実車による衝突試験結果の一部を表2.に示す。表中、衝突目標速度・テスト車重量値は計算機のインプットデータ、目標突放し速度・速度設定値はアウトプットデータ、表示突放し速度は実車走行試験による突放し点における速度表示値である。この結果から明らかなように、全速度範囲で非常に高精度な衝突試験が行われ、特に50km/hの走行試験においては誤差はほとんど認められず、十分仕様を満足することが確認された。また、試験の再現性も極めて良好であり、屋内化の効果を存分に発揮している。

7. む す び

以上、けん引駆動装置としてリニアモータを応用することにより、装置の取扱いやすさ、試験精度の良好さなど、非常に優れた自動車衝突試験装置を実現できた。これらはすべてトヨタ自動車工業(株)関係者の理解と協力によるものであり、ここに深く感謝の意を表する次第である。

リニアモータの一般工業用としての応用については今後更に研究開発を進めていく所存であり、その成果を期待いただきたい。

運輸省新東京航空交通管制部の電源設備

守川 哲郎*・向 義則**・北田 文宏***

1. ま え が き

航空機が空を安全に飛行するため航空管制業務が果たす役割の重要なことは周知のとおりである。我が国の航空交通量は年を追って増大し、最近になってその伸びはいく分かは低下しているものの、なお漸次増大することは確実であり、それに伴って航空機の運航について効率的に一層安全性を高め、かつ管制能力を向上させる必要に迫られている。昭和51年度を初年度とする第3次空港整備5ヵ年計画においても第2次計画に引き続き管制方式の近代化が進められているが、そのため当面次のシステムの確立が急がれている。

(1) 従来より整備進行中の飛行計画情報処理システムの拡大

(2) 全国の主要航空路を覆うレーダ網を確立し、電算機で各地レーダの映像情報を処理するレーダ情報処理システムの導入

このため運輸省東京航空交通管制部が所沢市(旧米軍基地跡)に移転して、ここに上記システム確立のための近代化設備を整備、正式に運用が開始された。この設備は全国の航空交通管制をつかさどる中枢であり、業務は24時間、瞬時たりとも中断することなく継続されねばならない。そのために設備に対し常に安定した電力を供給し続けねばならないことは言うまでもない。必要な電源が確保されていなければ管制業務は遂行できず航空機の運行に重大な支障を来すので、電源設備も最高のものが要求される。

ここには66kV受変電設備をはじめ、無停電安定化電源装置(11台×150kVA)、非常用ディーゼル発電装置(6台×937.5kVA)等を有機的に結合させた電源設備が設置され、システム機器に対し円滑に電源を供給している。

本稿はこの電源設備につきその概要を紹介するものである。

2. 回 路 構 成

2.1 負荷と電源構成との関係

図1.にこの電源設備の単線接続図を示す。航空路管制システムという重要な設備が十分その機能を発揮するための電源設備として、安全で便利、かつ信頼性の高い方式が求められるのは当然であるが、長年にわたって築かれた航空局の標準仕様を満足する電源システムとすることも必要な要素である。従来より航空局の航空保安施設等の電源は負荷設備の重要度により次の三つに大別して計画される。

(1) 完全無停電で安定した電圧を要する負荷の電源(A電源と称する)

商用電源を無停電安定電源装置(以下CVCFと略す)を介して使用し、商用電源のバックアップに非常用ディーゼル発電装置(以下D/G装置と略す)を持つものでCVCFは並列冗長システムを原則とし、10分以上運転可能なバッテリー電源を持つ。D/G装置は商用電源停電後10秒で負荷することが可能なものとする。

(2) 短時間の停電が許容できる負荷の電源(B電源と称する)

商用電源をそのまま使用し停電時にはD/G装置より供給するもので、D/Gの責務はA電源と同じ。

(3) 商用電源停電時には供給不能となる電源(C電源と称す)

商用電源のみを使用バックアップを持たないもの

新管制部でA電源の必要な負荷は、①飛行計画情報処理システム、②航空路レーダ情報処理システム、③管制、無線、通信設備、の3システムである。おのおの将来の負荷増を見込んで約300kW程度の負荷容量があり、ここでCVCFは3~4台の並列冗長運転を考慮して単機容量を150kVAとした。上記①、②の負荷は60Hzを使用するシステムであるのに対し、商用電源は50Hz地区であるため直送回路(CVCFの点検時などにCVCFを介さず直接商用電源又はD/G装置より送電する回路)を設け得ないので①、②おのおの300kW負荷に対して150kVAのCVCFを4台並列冗長運転することにしこの点をカバーした。③の負荷は50Hz使用のシステムであるので直送回路を用意し(図1. 中開閉器B88F21-B88S-変圧器-切換開閉器88AB、と連なる回路)CVCFは150kVA3台の並列運転とした。後述するがCVCFは個別制御方式としているので3~4台並列冗長運転で万一、内1台にトラブルが発生しても給電を継続しながら修理点検が可能であり、高い供給信頼性を持っている。言うまでもなくこの①~③の負荷が管制方式で最も重要な負荷であり、したがって電源装置としてもこの①、②の負荷におのおの4台、③の負荷に3台、合計11台の150kVA CVCFが最も重要な位置を占める。

その他の負荷すなわち冷凍機及びその補機、空気調和装置、各とう(棟)の動力照明等に対してはすべてB電源を供給できるよう計画した。これらは商用電源が停止すればごく短時間では問題ないが、継続すればやはり管制業務に重大な支障を来すのですべてD/G装置のバックアップが必要なためである。

各負荷の容量、種別、及びその特殊条件が電源又は他の負荷に与える影響などを十分検討の上、負荷群を次の六つに分割することにした。

(1) 飛行計画情報処理システム、レーダ情報処理システム

(2) 管制通信設備、機械棟照明及び動力

(3) 1, 2号冷凍機及び同補機

(4) 3, 4号冷凍機及び同補機

(5) 機械、業務、管理の各棟空気調和装置

(6) 業務棟、管理棟照明及び動力

これらの群のおのおのを総括する6.6kV配電主幹しゃ断器(図1.のB52F1.2等)を置き、その電源側を商用電源-D/G装置のいずれかと切換えできるようにしてある。すなわちこれらの負荷群を単位として商用電源からD/G装置へ(又はその逆も)の切換えが可能のように容量937.5kVAのD/G装置を6台配置している。この分割群は容量的に航空局で標準的に使用されるD/G装置の最大容量に見合っただけでなく、この分割の仕方自体が単に商用電源の停電に限らず、特高受電設備の部分的なトラブルや保守点検時にも対処できる利点がある。

なお配電主幹しゃ断器より負荷側に対して図1.に示すように、負荷ごと、負荷変圧器ごと、CVCFごとに分岐開閉器を設けて分岐し、

保護の完璧を期すとともに運転管理に便なるよう考慮している。

2.2 受電関係

昭和60年度には負荷合計が約5,000kW程度と予測されているので、東京電力標準特別高圧66kV（3相3線）で受電することとなり2回線（常用－予備）引込みとなった。主変圧器は保守点検の便を考慮して2,000kVA、3バンクとし2次母線間に連絡しゃ断器を設け（図1.中52T1、52T2）並列、単独運転が自由になっているが常時3台並列運転が建前である。2次側電圧は最もポピュラーで実績の多い機器の選定が可能な6.6kVを採用し、この母線から前述の6群の負荷に対してD/G装置との切換回路を介して給電するようにしている。また六つの給電線とは別に将来用の予備給電線と進相コンデンサ回路をC電源負荷用として3号変圧器2次に用意し合計8給電線とした。また6.6kV母線や給電ケーブルを2重化することにより各機器の信頼性、容量、インタロック等の運用上の複雑さなどを考慮し、単純で使いやすいものにするとともに各機器は十分信頼度の高いものとしている。

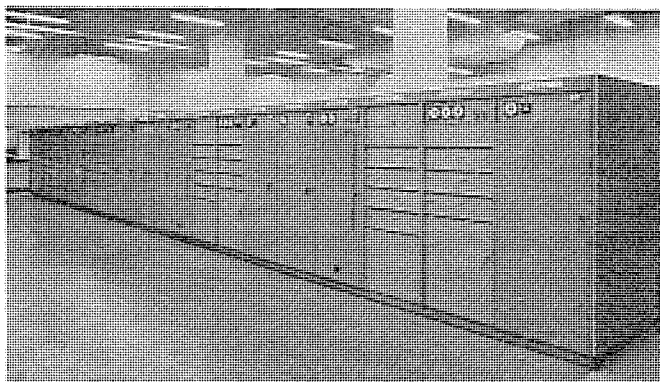


図2. CVCF装置 (150kVA×4)

表1. CVCF, D/G装置・構成・仕様

機器名称	数 量	構 成 及 び 仕 様
CVCF装置	3セット (11台)	飛行計画情報システム用（1セット4台28面構成） 負荷 3φ 4W 208V 60Hz レーダ情報処理システム用（1セット4台28面構成） 負荷 3φ 4W 208V 60Hz 管制無線通信用（1セット3台23面構成） 負荷 3φ 3W 200V 50Hz 交流入力 3φ 6,600V +10%, -14% 周波数 50Hz+2%, -4% 定格出力 150kVA 過負荷定格 110% 30分（力率 100%） 出力電圧精度 整定 ±1.5%, 瞬時変動 ±12%（平衡 ベース負荷 50% から +50%, 100% から -50% 瞬時急変時） 停電、復電時瞬時変動 ±14% 出力電圧不平衡 ±3%（負荷電流不平衡 25% 時） 出力周波数精度 ±0.001% 出力波形ひずみ率 5%以下 並列運転効率 80%以上（3台並列時負荷 300kVA） 79%以上（4台並列時負荷 300kVA） バッテリー 1,470AH（各システム共）12分間
D/G装置	6セット	発電機 横軸回転界磁閉鎖自己通風形 相数 3φ 容量 937.5kVA 電圧 6,600V 電流 82A 回転数 1,500rpm 極数 4 周波数 50Hz 励磁方式（静止形）SCR 使用定位置連続 制御方式、自動電圧調整器付 ディーゼルエンジン（池貝鉄工製）1,200HP 操作盤等 4面共で1セット

3. 主要機器の概要

3.1 150kVA、並列冗長 CVCF

3.1.1 CVCF 構成概要

構成及び主な仕様は表1.に示した。

交流入力電源は商用6.6kVを、CVCF電源専用の各電源変圧器を通して供給され、長時間停電にはD/G装置で対処する。主幹制御盤は、各システムの並列運転に必要な共通制御装置とリレー・ケネクス部が収納されている。

4台並列システムは、出力周波数60Hzであることから、CVCF装置の電源容量は、2台故障しても残り2台で100%負荷運転ができる容量となっており、万一3台故障しても負荷の運用状況で残りの電源が過負荷にならない限り停止しない方式を採用している。

3台並列システムは、出力周波数が50Hzであるので、6.6kVラインより、バイパス変圧器を通してのバイパス直送回路を備えており、出力盤でこの直送回路と、CVCF出力回路の切換えを行えるようになっている。直送回路への切換動作は、4台並列システムと同様に、2台故障時に残り1台の電源が過負荷になった場合と、CVCFの、出力喪失の場合である。

主な特長をまとめると、次のようである。

(1) 個別制御方式による並列運転を実現しているため、共通制御方式に比べて、並列運転を構成する各CVCF間の分離度・独立度が高く、それぞれに独立しているため、故障が発生しても健全他機を止めずに、修理することが可能である。またどうしても共通とならざるをえない発振器等には、2 out of 3方式を採用しその部分は、1台故障しても残り2台で支障なく運転できるような構成をとっている。

(2) CVCFのインバータ部は、当社特許のCT帰還方式を採用した。サイリスタ素子4本で、単相ブリッジ・インバータを構成する回路であり、インパルス転流等の、転流用の補助サイリスタを使用する回路に比べて、サイリスタ素子数にして半分、ゲート回路の部品数においては、3分の1以下でよく、信頼性の高いシンプル構成となっている。

(3) インバータ出力側は、7段多重インバータを採用しているため波形ひずみが良好な上、交流フィルタも必要最小限に低減されており出力電圧特性の向上にも寄与している。

(4) 負荷側に完全短絡事故が発生しても、容易に転流失敗することなく、確実に短絡電流を限流する自動限流回路を備えているので一定時間以内に、短絡点が選択しゃ断されればCVCF出力は、自動的に復帰し運転を継続する。

3.1.2 試験結果

4台常時並列運転時の主な試験結果を次に示す。

(1) 負荷急変特性

負荷を0%（0kVA）から100%（300kVA）に、また逆に100%から0%に急変させた時のオシログラムを図3.に示す。出力電圧の瞬時変動は、それぞれ+6.0%、-6.0%で仕様値の50%負荷急変の規定をも十分満足することを示している。

(2) 停電・復電時特性

4台並列運転中に商用入力を停電・復電させた時のオシログラムを図4.に示す。これは直流側電圧が商用入力有のとき237V、停電時のバッテリー電圧185Vのときに停電、復電させれば出力電圧変動が-4.8%、+3.7%となることを示し十分余裕がある。

(3) 負荷短絡時の特性

負荷側を短絡すると当社特許の自動限流動作を行うことによりオシログラム 図 5. に示すように、短絡電流は、ある一定値に限流され、負荷側の選択しゃ断が行われた後は、自動的に定常の運転状態に復帰し、CVCF は停止することなく運転を継続していることがよく分かる。

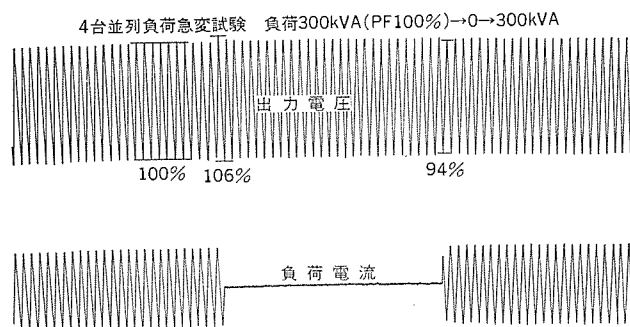


図 3. 負荷急変試験 (60 サイクルベース)

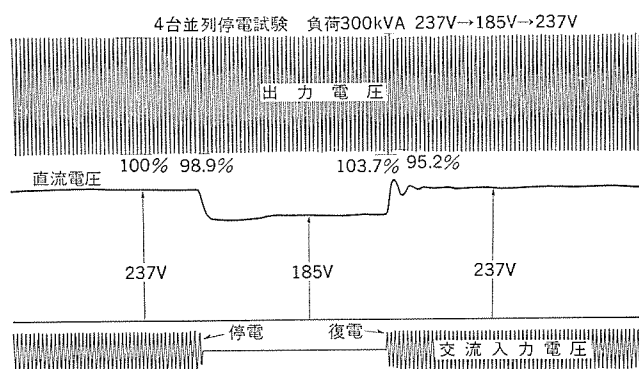


図 4. 停電・復電試験 (60 サイクルベース)

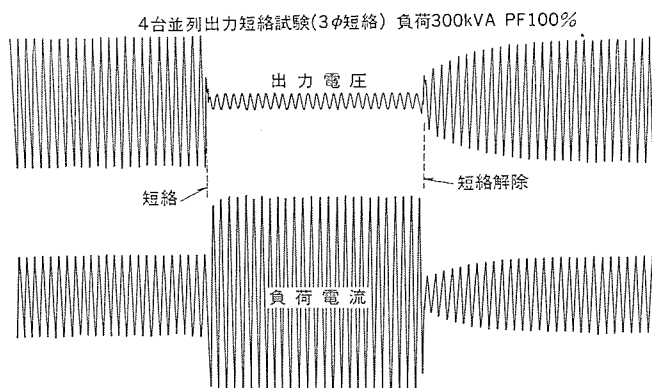


図 5. 負荷短絡試験 (60 サイクルベース)

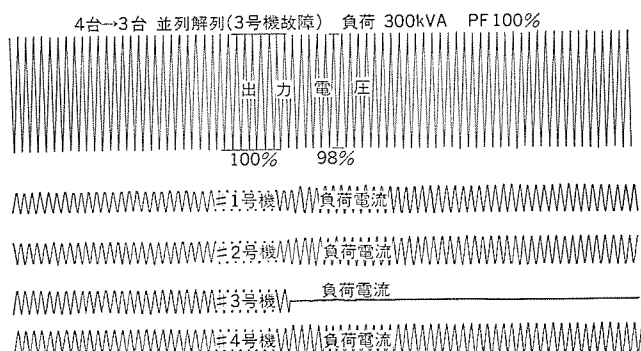


図 6. 並列解列時の特性 (60 サイクルベース)

(4) CVCF 1 台故障時の特性

CVCF 4 台並列運転中に、No. 3 号機を人工的に故障させた時の特性を図 6. に示す。この時の、故障機解列時の出力電圧変動は $+0\%$ 、 -2.0% を示している。

以上の代表的なオシログラムで示されているように、出力電圧の瞬時変動は仕様値を十分満足していることが分かる。

(5) 効率

4 台並列運転時の CVCF 総容量 600 kVA に対して 300 kVA の負荷を、かけた場合のシステムの総合効率は、85.8% を示した。また、3 台並列運転時の、CVCF 総容量 450 kVA に対して 300 kVA の負荷を、かけた場合のシステムの総合効率は、87.9% を示して、仕様値を十分満たすことを示している。なお、1 台の CVCF に 100% 負荷をかけたときは 90% 近くの効率を示した。

(6) 出力電圧不平衡

1 台の CVCF に 75% の 3 相平衡基礎負荷をかけて、ある相間に 25% の単相負荷をかけたときの、出力電圧不平衡率は、 $+1.9\%$ 、 -1.6% を示し、仕様値に対して非常に良好な値を示している。以上のように定常特性も十分に規定値を満足していることが、示されている。

3.2 D/G 装置

前述のように商用電源停電又は特高受電設備の保守点検時において電源供給不能となった時、10 秒以内に電源を送り出すための装置である。表 1. に主な仕様を示している。

この装置は商用電源が停電又は規定電圧以下 (1, 2 号機では 5,700 V, 3~6 号機は 5,400 V, 誘導形 リレー で検出する) に低下した場合、ただちに自動始動し、規定回転数、規定電圧に達すれば電圧確認時限を置いて切換開閉器 88 BC 1~6 を商用電源側から発電機側に切換え、6.6 kV を負荷に供給する。また商用電源が 6 kV に回復すれば確認時限後再び切換開閉器を発電側から商用電源側に切換え、エンジンは一定の無負荷運転時間経過後停止する。これらの動作をすべて自動的に行うよう常に待機させてある。

3.3 66 kV 受変電設備

すべて屋内用機器で 66 kV キュービクル、主変圧器、及び 6.6 kV メタルクラッド 及び キュービクル より構成するもので、面数と大略仕様を表 2. に示す。

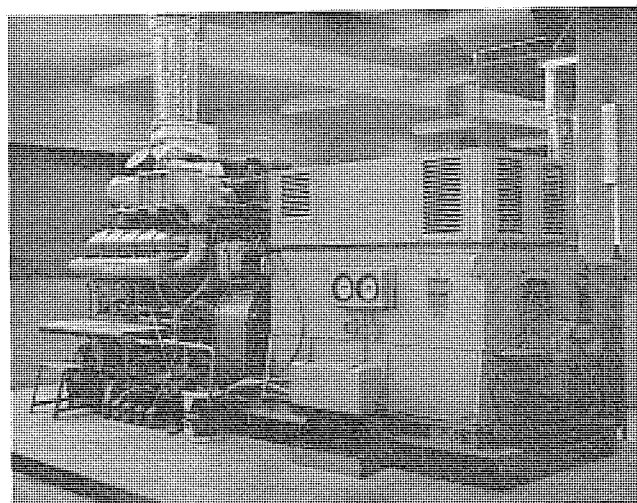


図 7. 937.5 kVA D/G 装置本体

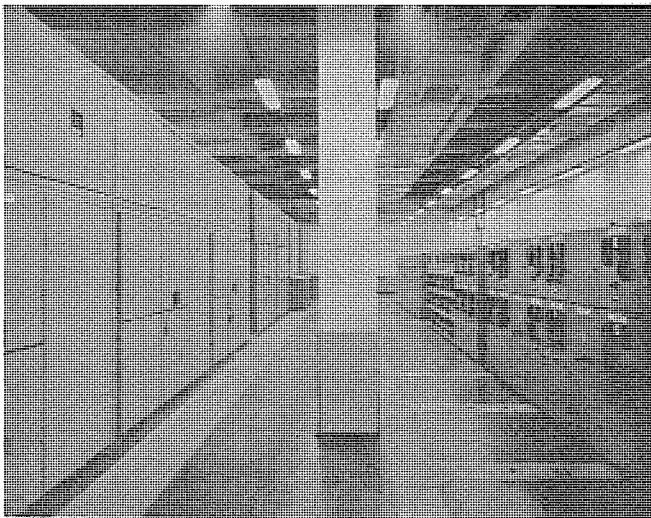


図 8. 66 kV キュービクル (左側) と 6 kV メタルクラッド (右側)

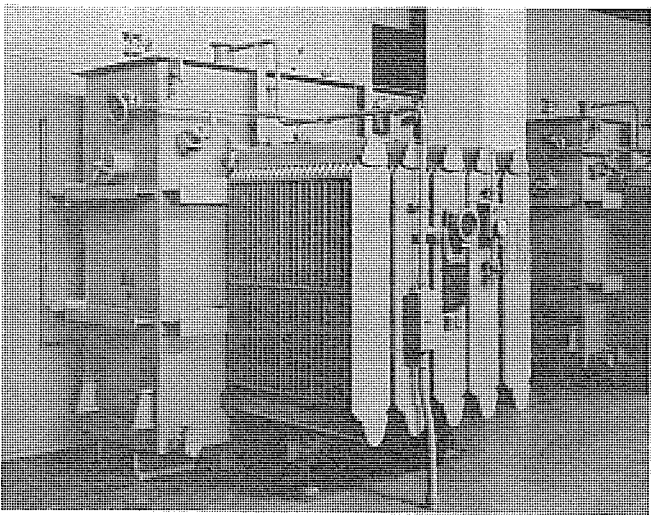


図 9. 2,000 kVA 油入変圧器 (キュービクル 直結式)

表 2. 66 kV 受変電設備構成

機器名称	数 量	構 成 及 び 仕 様
60kV キュービクル	7 面	受電キュービクル 2面, MOF キュービクル 1面 変圧器キュービクル 3面, 避雷器キュービクル 1面 責任分界点断路器 72kV 600A air op. ガスしゃ断器 72kV 600A 25kA (2,500MVA) 変圧器 1次負荷断路器 72kV 400A air op. オートパルブ避雷器 84kV 10kA デンソメータ付
主 変 圧 器	3 台	相数 三相 周波数 50Hz 容量 2,000kVA 電圧 1次 F 69-R 66-F 63-F 60 kV 2次 6.6kV 接続 星形-三角 インピーダンス電圧 2,000 kVA ベースにて 7.5%
6 kV メタルクラッド キュービクル	22 面	(主変 2次) 10面 2次 CB 盤 3面, 給電盤 (2給電) 4面, 母連盤 2面 コンデンサ開閉盤 (3給電) 1面 (配電用) 9面 負荷用主幹 CB 盤 3面, 負荷用開閉器盤 (3給電) 6面 (業務採用) 3面 主幹及び開閉器盤 (1給電) 1面, 負荷用開閉器盤 (3給電) 1面, 負荷用開閉器盤 (1給電) 1面 真空しゃ断器 7.2kV, 600A, 12.5kA (150MVA) 引出し形 母 線 容 量 600A, 絶縁階級 6号 A 真空スイッチ 7.2kV, 200A (50MVA) 電力ヒューズ 7.2kV, 500MVA 閉 鎖 階 級 JEM-1153-F:

3. 3. 1 60 kV キュービクル (60-TSBA-M 形)

屋内に設置する 66 kV 機器としてかずかずの特長を持つブロック形屋内キュービクルを採用した。それは

- (1) 同種のものとしては非常にコンパクトであり
 - (2) ガスしゃ断器を使用し, かつしゃ断器は モータドライブの引出し形としているので点検に便利, また点検用の断路器が不要
 - (3) 絶縁母線を採用しており安全, 信頼性が高い
 - (4) 1面ごと 4~6分割が可能で搬入据付けが容易
- 等の優れた面を有する。

3. 3. 2 主変圧器 (CR 形)

三相油入自冷式窒素封入密封形で主な定格事項は 表 2. に記す。60 kV キュービクル 直結式であり 6 kV 側 ケーブル も キュービクル 内で端末処理されている。

3. 3. 3 6 kV メタルクラッド, キュービクル

主変圧器 2次側の 6.6 kV 各 フィーダ 及び 各負荷主幹しゃ断器までを真空しゃ断器を使用した屋内用メタルクラッド開閉装置 (FX 形 2 段積構造) を使用し, 各負荷又は負荷変圧器ごとに設けた真空スイッチは電力ヒューズと組合せ, いわゆる コンビネーションスイッチ としこれを 4 段積構造とした屋内キュービクル (FV 形) を使用することにした。その構成と主な仕様も表 2. に記載した。

この外に低圧負荷用変圧器及び低圧しゃ断器を収納したキュービクルが各負荷種別ごとに設置されているがここでは省略する。

4. 監視, 制御システム

4. 1 構 成

監視, 制御, 保護システムは監視盤, 操作卓, 保護継電器群及び日報作成装置で構成されている。このシステムは極力少人数で合理的に監視, 制御業務ができるようにこれらの装置を結合し 1 室に集合させて設置した。図 10. にその構成を示す。マンマシン関係を重視し監視対象は大きく表示, 操作ボタンは小形のものを採用したので, 操作卓は縮小形配電盤となりまた監視盤は系統表示盤 (グラフィックパネル) となった。更に盤相互間の制御ケーブルを減少させるとともに, 信頼性が高く保守も簡便な簡易直接式遠方制御方式を採用した。

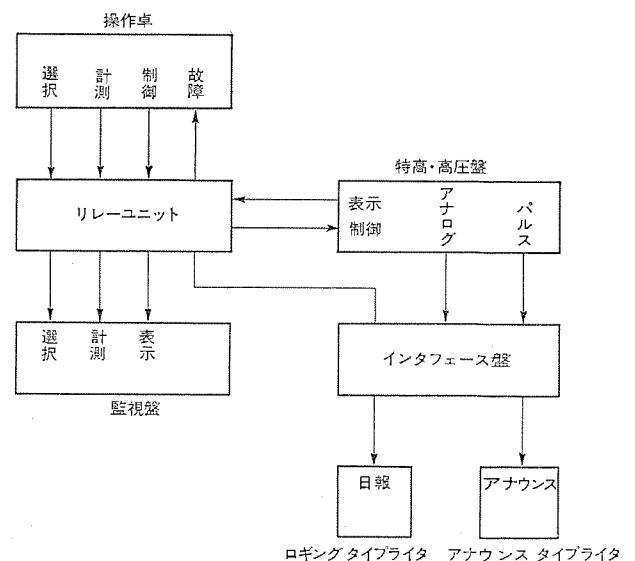


図 10. 監視, 制御 システム 構成

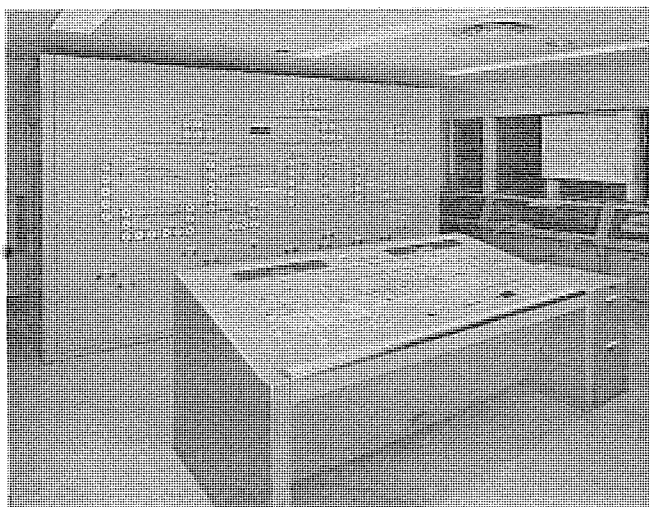


図 11. 監視盤及び操作デスク

4.2 監視盤, 操作卓

監視盤前面部は、グラブネ面を有し 60 kV 2 回線受電部, 6 kV 給電線部, 発電機部, CVCF 部, 動力変圧器部, 業務棟部まで模擬母線構成とし管制部内の電源系統の集約化を図った。なお、裏面部は特高受電部の保護継電器及び遠制御用継電器ユニットを装備した。また操作卓は傾斜部に制御ボタン類を配備した。これらの配電盤の連絡ケーブルは多心 (55 C) を使用し 56 P コネクタを使用して、ケーブルの相手側ピンとも工場内で製作納入したため、工場内試験及び現地での配線工程が短縮できた。

遠制親側制御時には前述した操作卓において、選択ボタンにより特高又は高圧機器の制御が可能である。更に機器本体側の特高盤、高圧盤においても切換スイッチを直接側にすることにより現地制御が可能である。これは定修時又は非常時のやむを得ない場合にも有効であくまでバックアップとして配慮したものである。更に高圧盤、発電機盤、CVCF の入出力盤には制御スイッチはもちろん計測用メータ及び保護継電器も具備している。

4.2.1 表示

監視盤上に装備した機器シンボルは 8 灯入りの表示器により下記のとおり表示を行う。(図 12. 参照)

- (1) シャ断器又は断路器 ON……赤色点灯
- (2) シャ断器又は断路器 OFF……緑色点灯
- (3) 現地側制御中……だいたい (橙) 色点灯
- (4) 中央遠制選択時……白色点灯
- (5) 現地側制御時 ON……赤色点滅
- (6) 現地側制御及び自動シャ断 } OFF……緑色点滅
- (7) 自動シャ断時操作卓の故障表示灯点滅

橙	白
赤又は緑	

図 12. 機器シンボル表示灯

ただし同一種類の故障は一括表示とし、故障発生時には機器シンボルと故障表示灯を組合せれば回路と故障項目が分かるようにしている。

4.2.2 制御

上述した機器シンボルの橙色点灯時は現地にて操作中であり、かつ赤又は緑色ランプの点滅があれば制御完了したことを中央の監視者が確認できる。また橙色点灯時は中央からの制御はできない。橙色ランプ消灯時には中央から選択押ボタンによって制御は可能であるが、同一ボタンにより選択計測も実施できる回路を有するため、誤制御防止スイッチ (操作・計測切換) を置くことにより制御又は計測の一

方を確実にに行い得る。故障発生時は操作卓上の集合故障表示灯が点灯しベル又はブザー警報を発する。この場合押ボタンにより次の処置を行う。①警報停止, ②フリッカ停止, ③表示復帰

4.2.3 計測

モザイク面上には 60 kV 受電部, 6 kV 変圧器 2 次部, 発電機部及び CVCF 部はメータにより常時計測であるが, 6 kV き電部は選択計測方式を採用した。操作卓のボタンで選択し電流表示ボタンを押せば呼出し表示により電流はデジタル表示する。この方法によりモザイク面のメータの個数が少なく盤面は簡素になっている。

4.2.4 保護

66 kV 側の保護は短絡地絡とも誘導形過電流継電器を使用, また 6 kV 側は短絡, 過負荷に対し過電流継電器, 地絡に対しては非接地系としてあるため選択地絡方向継電器を使用している。

電気系統保護の種類は下記のとおり, ただし No. は JEM による。

受電部………	51, 51 G, 63 A, 63 G
変圧器部………	96, 26 T, 33 Q
6kV き電部………	51 S, 51 F, 67 F, 27 B, 59 B
発電機部………	重故障, 軽故障
CVCF 部………	重故障, 軽故障, システム異常
バッテリー部………	重故障, 軽故障
その他………	28, デマンド 1, 2 段

4.3 日報作成装置 (《MELDAC》2100)

4.3.1 日報作成装置の概要と構成機器

日報作成装置は ①ロギングタイプ 2 台, ②アナウンスタイプライタ 1 台, ③演算処理盤 1 面, ④I/O 盤 2 面, ⑤変換器盤 2 面, よりなり各種アナログ信号, パルス信号, 制御信号, 故障信号を 0.1 秒ごとに読込むものであり, 次いで毎時間ごとに日報作成を行う。また同時にアナウンスタイプライタで制御及び故障記録を行う。主要機能は次のとおりである。

- (1) 日報作成 (定時記録, 任意記録)
- (2) 制御及び故障記録
- (3) 任意呼出しデジタル表示

4.3.2 入力点数

(1) アナログ入力 電流, 電圧, 温度	100 点	内予備 2 点
(2) パルス入力 電力量	24 点	内予備 3 点
(3) 制御入力 接点	101 点	予備なし
(4) 故障入力 接点	83 点	内予備 3 点
(5) 呼出し表示	48 点	別予備 12 点

5. む す び

新東京航空交通管制部の電源について諸設備の概要を以上に説明した。航空管制システムの諸設備がこの電源設備から安定した電力の供給を受けることにより管制システムが円滑に運営され, 更には航空機の一層安全快適な飛行に貢献するように願ってやまない。なお末筆ながらこの設備の計画, 設計製作, 据付工事等全般にわたって協力や適切な助言をいただいた航空局ほか関係各位に対し感謝の意を表する。

参 考 文 献

川畑ほか: 無停電電源システムの信頼性設計, 三菱電機技報, 49, No. 2 (昭 50)

水道用集中管理システム

富田 実*・柳沢 忍**・田中 智**・関川 一彦**・長束 晴弘***

1. ま え が き

水道事業は、市民の文化的生活を支えるばかりでなく、産業活動や都市機能の基盤をなすもので、我が国の経済成長並びにこれに伴う都市構造の変革により給水量の増大及び需要形態に変化を来しており、このような人口増加、生活水準の向上、産業の発展などによる需要水量の著しい増加に対応して、給水能力の増大並びに水運用の広域化を余儀なくさせられている。それに伴い発生する種々の問題は、単に水道設備の拡張、増設だけでは解決できない。また水道設備が広域化し複雑になればなるほど、その運用に必要な情報源は多くなり、情報量はますます膨大となり、水道設備の運用と維持は非常に困難となる。したがって給水区域からの全情報を1ヵ所に集め、迅速に情報を処理し、合理的かつ有効的に水道設備を運用することが要求される。すなわち給水区域内に拡散している、全配水池及び全ポンプ所等の設備を一つのシステムとして統轄する“集中管理システム”が必要となってきた。

このように各都道府県、及び各都市において水道設備の集中管理化が実施あるいは計画されているが、本稿では、水道事業に適した“集中管理システム”の考え方を述べるとともに、神奈川県配水管理システムについて紹介する。

2. 上水道集中管理システム

本稿では、広域に散在した各水道設備の集中管理を取り上げるもので、ポンプ所あるいは浄水場など単一のプラントだけを管理対象としているものは、これを除く。

2.1 上水道集中管理システム概観

2.1.1 送配水設備の特徴

集中管理を考えるにあたり、その管理する対象設備について概観しておく必要がある。一般的な送配水プロセスのブロック図を図1.に示すが、水道事業と性質の似通った電力、ガス事業と比べると、水道事業の特徴がよくは(把握)できる。そのうち集中管理技術に関係する事項には次のようなものがある。

- (1) 水は電力、ガスに比べて、人間生活にとってそのものが不可欠である。したがってその供給中断は本能的に大きな社会不安を巻き起こすので、安定した供給が何よりも必要である。
- (2) 水道事業は自分で水源を持っていない。資源は天然水に頼り、電気事業の発電所、ガス事業のガス工場に相当する取水点は極めて

少ないし、また需要密度の高いところに取水点を作るわけにはいかない。むしろ水不足から取水点は需要地である都会から遠くなる傾向である。

(3) 以上の“安定した供給”と“水源が少なく、需要地から離れている”条件を妥協させる設備として、送配水網の中に配水池、調整池といった水の貯蔵設備を持っている。電力事業ではこれに相当するものは皆無であり、ガス事業でもガスの貯蔵設備は配水池、調整池の数ほど多くはない。

(4) 我が国においては比較的水が豊富であったこと、及び至上要求である安定供給を実現するために、送配水設備、貯水設備として、電力事業ほど高度な制御によらない設備が計画、施設されている。

2.2 集中管理システムの必要性

前節に述べた水道事業の特徴から

(1) 各設備が多数かつ広域に散在すること

このことより水道事業が拡大すればするほど(水需要増大により余儀なくされている)、複数の水源と、需要側としての多数の配水池、ポンプ所等の配水設備と、これを結ぶ管路網等、その施設の維持管理作業が膨大となり、この対策として集中管理化が必要となる。

(2) 水の有効利用を図ること

水需要の増大に対し、有限の水量(水利権により無差別にまた無限に取水することはできない)を最も合理的に取水し、それを経済的にかつ効果的に配水利用するため、給水区域全体の状況を1ヵ所で把握し、相互の関係を加味して均衡のとれた運営管理を行うことが必要となる。

(3) 安定した供給を行うこと

至上要求である安定供給を行うためには、全施設の運転状況を常時監視しておくこと、並びに非常事態での処理、復元の迅速化が要求され、(1)項と関連して各設備の集中管理化が要求される。

2.3 送配水設備集中管理の現状

国内、外における送配水設備の集中管理をしている例を表1.に示す。国外としては、米国と英国だけであるから、その他の国でも実施例はあるが、そうとばかりは抜けて変わったことを行っているとは思えず、次表で世界の大勢を推定しても大きな誤りを冒すことはないと考えられる。また国内において、計算機で送水制御まで行っているのは、大阪府の一例だけである。

このように、事務計算、技術計算などのオフライン計算及び電力、鉄鋼、化学などのプラントのオンライン制御、電力システムの制御などには、

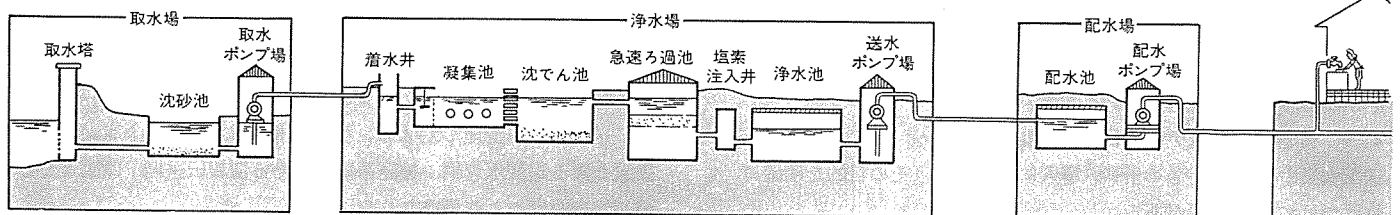


図1. 送配水プロセスブロック図

表 1. 送配水設備の集中管理例 (国内)

	東京都水道局	名古屋水道局	大阪府水道部	神戸市水道局	川崎水道局
被 制 御 所	配水池 2 (6) ポンプ場 1 (2) () は計画中的のもの	浄水場 1 配水池 3 ポンプ場 1	浄水場 1 (1) ポンプ場 6 (6)	配水池 16	浄水場 4 配水池 5
通 信 回 線	400 MHz 多方向 多重無線	400 MHz 多方向多重 12 GHz 多重無線	12 GHz 多重無線	70 MHz 単一无線	専 用 線
変 調 方 式	FS 変 調	同 左	同 左	同 左	同 左
伝 送 方 式 (TM・SV)	デジタル方式 常 時 伝 送	同 左	同 左	デジタル方式 呼 出 伝 送	
伝 送 速 度	200 ボー	同 左	同 左	同 左	50 ボー, 200 ボー
符 号 方 式	擬巡回符号	同 左	NRZ, 位相反転符号	NRZ-水平 MOD4 群チェ ック (TM), π C3 定マ 位相反転符号 (TC)	垂直・水平パリティ方式
デ ー タ 処 理 方 式	(TM) デジタル表示 S V 表 示 成 報 日 警	(TM) デジタル表示 S V 表 示 成 報 日 警 C.R.T チャート ディスプレー	(TM) デジタル表示 S V 表 示 成 報 日 警 報 監 視	(TM) デジタル表示 S V 表 示 成 報 日 警	情報書類作成 配水量予測
計 算 機 制 御			取水制御 調整池水位制御 送水圧力制御 送水流量制御		
処 理 装 置	MELMIC-100	MELCOM 350-5 F×2	MELDAP-8000 MELDAP-6000 H	FACOM 230-25	TOSBAC-3400
需 要 水 量	計画 145,000 m ³ /日	1,000,000 m ³ /日	1,247,000 m ³ /日		585,000 m ³ /日
備 考	47 年 10 月現在	48 年 4 月	44 年 10 月	47 年 4 月	46 年 4 月

表 1. 送配水設備の集中管理例 (国外)

	オンタリオ湖岸 モンロー郡水道局	メドフォード	イギリス, East Worcester shire 水道会社	トロント市	フィラデルフィア市
被 制 御 所	ポンプ場 18 (5) 高架水槽 22 (6) 配水池 1 貯水池 (1) () は計画中的のもの	配水池 4 ポンプ所 4 ピーク用浄水場	さく井ポンプ場 6 湧水所 5 地圧ポンプ場 15 配水池 21 給水池 6	ポンプ所 18	浄水場 3 給水区 10
需 要 水 量	平均 132,000 m ³ /日 最大 273,000 m ³ /日	平均 47,000 m ³ /日 最大 104,000 m ³ /日 時間最大 159,000 m ³ /日	平均 46,600 m ³ /日 週間最大 56,000 m ³ /日	平均 1,000,000 m ³ /日 最大 1,800,000 m ³ /日	平均 1,360,000 m ³ /日
通 信 回 線	電 話 線	公衆電話線 自営線, 架空線	UHF 無線回線 自営多心ケーブル		UHF 無線回線 有 線
デ ー タ 処 理 方 式	記録 (水位・流量・圧力) SV ランプ表示 ロギングタイプ印字	記録計 (水位) 警 報 作 成 日 報 作 成	デジタル選択表示 CRT ディスプレー SV 表示, グラパネ 日 報 作 成	デジタル表示 SV 表示, グラパネ 記録計, 警 報 日 報 作 成	デジタル表示 S V 表 示 報 警 日 報 作 成
計 算 機 制 御	警 報 監 視 on-off 制 御	—	警 報 監 視		
処 理 装 置	IBM 1800	—	PDP-8I	設置されている	設置されている
備 考	1971 年 5 月実施	1971 年 8 月	1971 年 10 月	1973 年 4 月実施	計算機による配水 コントロールを計画調査中

相当広く計算機が使用されている世界情勢にもかかわらず、広域を対象として計算機制御まで含めた水道集中管理システムの事例は案外に少ない。

また上記実施例でも、まずねらっているのは、データの収集、記録、データ値の正常、異常の判別といった省力であり、次にポンプ所の連けい運転による供給の安定化、経済化である。

このように実施例が比較的少ないのは、

- (a) 水道事業が広い地域に設備を展開するようになったのは、比較的最近であること。
- (b) 水道設備は高度な制御をしなくても安定供給ができるよう、送配水設備、貯水設備が計画されてきたこと。
- (c) 水が豊富であったため、集中管理目的の設定と評価が難しかったこと。

が原因と考えられる。

2.4 集中管理システムの目的と機能

送配水集中管理システムの計画、導入に際しては、その目的を明確に位置づけておく必要がある。

この目的は右記のとおりと考えられる。

- (a) 運転の安定
- (b) 水の有効利用 (むだに送水しない、水の融通)
- (c) 非常事態での処理、復元の迅速化
- (d) 経済運転

これらの目的を達成するために、集中管理システムに要求される機能は、

- (a) 水、施設の運用状態を数量化する計測機能
- (b) 水、施設の有効運用を図る制御機能
- (c) 管理所と被管理所を結ぶ情報伝送機能
- (d) 情報の処理を行う情報処理機能

である。これらは集中管理システムを構成するサブシステムであり、個々のサブシステムはそれ自体システムであるが、トータルシステムとしての最適設計を行うには、サブシステム間の結合が安全かつ円滑で、しかもサブシステム本来の機能を十分に発揮させなければならない。このため、送配水集中管理システムは、手足に相当する配水池、ポンプ設備、動脈となる送配水管網、神経系統にあたる情報伝送網、頭脳となる情報処理設備により構成される。

この送配水集中管理システムを構成するにあたり、その管理対象が

第一義的には送配水システムの“建設”ではなく“運転”であることに留意しなければならない。すなわち運転順序を時系列的に予定し、実施を統制するものであり、短い時間に是非とも方針づけをしなければならないという動的な性格を持っている。このことにより最善の方針の探求（多くの場合、それは困難な作業を伴うばかりではなく、時には有限の時間内にはできないことさえある）にこだわらず、少しでもより良い方針が見つければそれを採用する態度で臨むのがよい。

集中管理システムはオンラインで仕事することより、機械の機能喪失時をも含めたシステム信頼度を第一に考慮すべきであり、そのためには、むやみに経済条件を追求するよりは、“安定な供給”を第一義とし、システム内部の貯留能力を活用した送配水制御及び管理システムをねらうべきである。

3. 神奈川県配水管理システム

3.1 神奈川県営水道の概要

神奈川県は港で代表される横浜、京浜工業地帯の川崎など18市18町1村で構成されており、横浜市、川崎市、横須賀市等は各市で水道事業を行っている。神奈川県営水道は、鎌倉、平塚、相模原市等の11市10町を給水区域とし、広域化するとともに大規模な水道に発展、昭和27年地方公営企業法の施行に伴い、企業庁水道局として今日に至っている。これら多くの水道施設を管理するため神奈川県企業庁水道局においては昭和38年70MHz帯による無線局開局の免許を得て、局容量30局の日本では初めての水道用無線テレメータを開始した。水道設備の拡充と比例して、局容量、機能の増大に伴い、順次増波の許可を得、昭和49年3月時点にはテレコントロール局が6局、テレメータ局が42局の遠方監視制御システムに発展してきた。このように旧システムでも機能拡大、増設等を重ねてきたが、近年の急激な需要増加並びに広域水道企業団からの受水も含めた給水系の変化により、システムの拡張だけでは管理能力を超え、満足の

運用が不可能となってきたため、新たに“配水管理システム”を計画、施工することになった。

この新システムは、昭和50年3月に完成し3ヵ月の試運転期間を経た後、現在実用運転を行っている。神奈川県営水道の系統図を図2に示す。

3.2 システム設計

水の管理は、給水量がその水利権により容量が決まってくることから、水源別の給水区域をこの配水管理システム構想の基本としている。

神奈川県営水道の給水区域は

- (a) 谷ヶ原浄水場を水源とする谷ヶ原給水区域
- (b) 寒川浄水場を水源とする寒川給水区域
- (c) 企業団伊勢原浄水場を水源とする伊勢原給水区域
- (d) 企業団相模原浄水場を水源とする相模原給水区域

に区分けされ、各給水区域はその区域内における最も効率的な水運用を図ると同時に、給水区域間の水量調整を行う。

配水管理システムは、寒川浄水場に遠方制御室を設け県営水道の全施設について集中管理を行うもので、各浄水場、配水池、ポンプ所などの全データをセンタに集中して管理し、これを基に複雑、広範囲にわたる各送配水系統の全水量を調整し、水の有効利用を図るものである。このシステムブロック図を図3に示す。

配水管理システムを設置するに当たりそのシステム設計で特に留意したのは、各局（センタ、中継、端末）の機能、及びこれに適した情報伝送網、処理内容、方式の決定である。

3.2.1 各局機能

全送配水系統を総合解析して、一元的に制御、管理する方法を見出すことは困難であるが、配水池、ポンプ所に固有のマイナーループ制御系を集中管理し、制御パラメータを現場データより決定する手段を採用するのが実用的でかつ効率が良い。このような観点からマイナーループ制御系を効果的に利用し、端末局の機能を水量管理により次の2種に分類した。

(1) 被監視制御局

(2) 被監視局

すなわち上記各給水区域において

- (a) 給水区域内の主たる配水池、ポンプ所
- (b) 給水区域間で受け渡しを行う配水池、ポンプ所

など水量運用上の重要地点は、遠方制御室からの遠隔制御を可能とする被監視制御局、左記以外の局は配水池、ポンプ所に固有のマイナーループ制御系による運転を行い、その運転状態を遠方制御室で監視するだけとする被監視局とした。

なおシステムバックアップの面より、各中継局において当該ブロック内端末局の割込制御、監視ができるよう配慮している。

これら各局の機能を表2に示す。

3.2.2 情報伝送網

情報伝送網策定にあたって検討すべき事項は、下記のとおりである。

- (a) 伝送路
- (b) 伝送方式
- (c) 符号化・復号化方式
- (d) 符号伝送変復調方式

これらはいずれも各局の立地条件と取得可能な伝送路の種類、伝送すべき情報量と必要伝送時間、必要とする精度、誤り率、更には信頼性及び経済性などとのトレードオフとなる。

これらの方式選定にあたっては、究極動作特性から理想的な方式

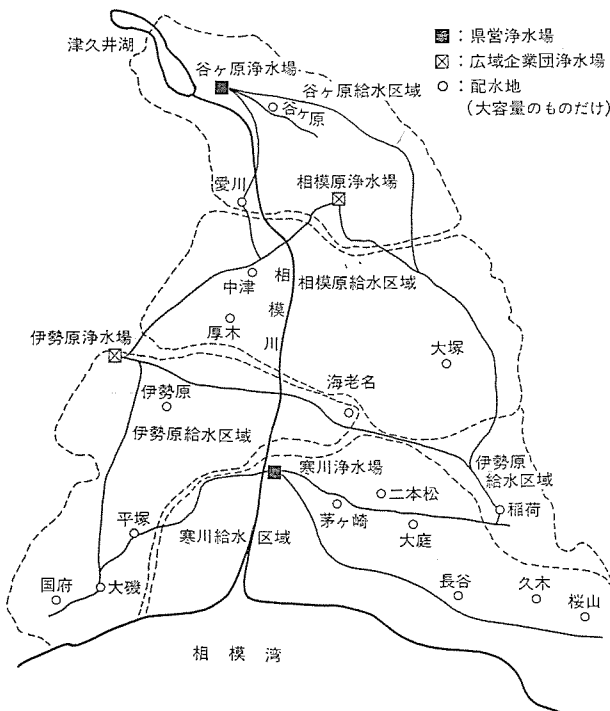


図2. 神奈川県営水道系統図



表 2. 配水池管理 システム 機能一覧

名 称	設置場所	機 能	構成機器	無線回線
遠方制御室	寒川浄水場	水運用の取水、送水、配水量の計画送水量の指令ポンプ、配水池の監視、制御及び調整 配水量の把握と情報連絡 企業関係受水とその連絡 水量の記録と分析	12GHz 帯無線機 同上搬送端局 電話交換機 情報伝送装置 情報処理装置 電源装置	12GHz 70MHz
中継局	上今泉配水池 鎌倉山配水池	各管内の配水池、ポンプ所からのテレメータデータを給水センタへ中継 同様に遠方制御室からの制御データの中継 非常時の簡便制御機能	12GHz 帯無線機 同上搬送端局 400MHz 帯無線機 同上搬送端局 中継装置 電源装置	12GHz 400MHz
被制御局	各配水池 ポンプ所	テレメータ・テレコントロールによる遠方制御室からの直接監視、制御	400MHz 帯無線機 (搬送含む) 情報伝送装置	400MHz
被監視局	各配水池 ポンプ所	テレメータにより監視だけを行い、運転はマイナーループでの自動運転を行う	情報伝送装置 (70MHz 無線機含む)	現在 70MHz のみ 将来は 400MHz と併用

を選定するよりも、水道設備の特徴（例えば水の動きは電気には比べて格段に遅いなど）を考慮して、単純化と信頼性、経済性に重点をおいた選定をすべきである。

(1) 伝送路

各種伝送路の一般的比較を表 3. に示す。この配水管理システムにおいては、置局条件、災害時、既設関連などを考慮して無線方式を採用した。採用した無線通信回線の種類とその根拠は下記のとおりである。

- (a) 70 MHz 帯単一通信回線；被監視局に対する電波の効率的利用及び経済性
- (b) 400 MHz 帯多方向多重通信回線；各被監視制御局に対する情報の同時性
- (c) 12 GHz 帯多重通信回線；中継回線としての大情報量

この回線構成を図 4. に示す。なお多方向多重回線についてはチャンネルの使用効率を上げるためにチャンネル分割方式すなわち（1チャンネル／1方向）を採用した。これは我が国においても初の実用機である。

(2) 伝送方式

伝送方式と伝送システム構成法とは、一般的に

- (a) 常時伝送方式； $(1:1) \times N$
- (b) 選択呼出伝送方式； $1:N$

のように対応し、その比較を表 4. に示す。

配水管理システムでは、おのおのの特徴を生かして下記のように、上記(a), (b)を併用している。

- (ア) 被監視制御局………(a)；同時複数箇所制御の必要性及び制御に対する情報の速応性。
- (イ) 被監視局………(b)；情報の速応性がさほど要求されないこと及び回線の効率的利用、経済性。

なお被監視制御局においては、制御に対するフィードバックデータのレスポンス短縮のためにテレメータチャンネルとは独立にテレコントロールバックデータチャンネルを設け、2チャンネルの符号送信器を有している。

(3) 符号化・復号化方式

誤り訂正符号理論の本格的な研究は、Shannon により開始されたとあってよく、特にその「第二定理」は通信路で誤りを受けても、受信側で誤りを検出し、正しい符号に復号できる可能性を示したものととしてよく知られている。現在各種の符号化方式が用いられているが、水道用集中管理システムの場合、情報量がさほど多くないことかつ(2)項に述べたように $1:N$ 構成で呼出伝送が用いられているこ

表 3. 各種伝送路の比較

伝送路	伝送方式	伝送装置	長 短・そ の 他
有 線	電話回線利用	電電公社専用線、私設専用回線等のケーブルによる電話回線で信号を伝送する。	電電公社専用線の場合は、専用料金だけで済むが、私設の場合は用地買収、電柱架設、保守など不経済な面が多く、かつ台風、災害などの場合に信頼性に乏しい。
	搬送回線利用 (この方式の機器資料は含まれていない)	私設専用ケーブル回線において搬送波帯域(5~100 kHz)を利用して信号を伝送する。多重することができる。 送電線を利用し、搬送波帯域(70~400kHz)で信号を伝送する。多重することができる。	既に私設ケーブルがある場合には、これを流用する方法として効果的であるが、台風、災害時の信頼性は乏しい。私設ケーブルがない場合には経済的にペイしない。 送電線がある場合これを流用する経済的な方法であるが、コロナ雑音、送電線閉路によるパルス雑音、落雷誘導などに影響されるひん度が高い。
無 線	単一通話路利用	70MHz においてテレメータ、テレコントロール用に割当てられた無線周波数を利用する。	山間に設置されたテレメータ検出器などから信号を伝送するには最適である。ただし、混信、伝搬条件の検討は十分に実施する必要がある。受信入力 +15 dBμ 以上。
	多重通話路利用 (多重中継用)	400MHz 帯、12GHz 帯において SS-PM 方式を利用した 5~60ch 容量多重電話回線で中継伝送する。 400MHz 帯において SS-SS 方式を利用した 1~36 ch 容量多重電話回線で中継伝送する。	大きい束の中継回線、少数 ch であるが伝搬条件が悪いとか、距離が遠いような場合に適する。 中央局あるいは中継所から多方向の多数局に 1~3 回線ずつ接続する場合に適する。

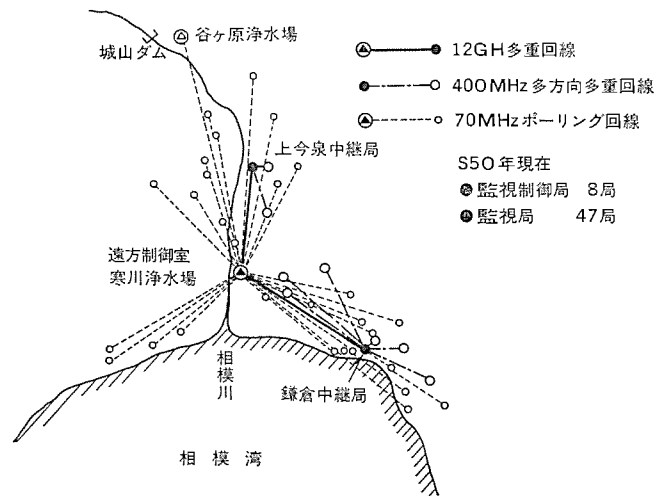


図 4. 神奈川県水道集中管理システム回線構成図

表 4. 対向方式の比較

	1:N 方式	(1:1)×N 方式
信 頼 性	親局の監視装置の共通部分に故障が発生すると、全系統の計測制御が不能となる。したがって、この部分の2重化など、バックアップ対策が必要。	1系統の故障は他系統の運転に影響を及ぼさない。
経 済 性	子局が多いとき有利	子局が少ないとき有利
据 付 面 積	1:1 集合形より小	監視系統数に比例して増加
伝 送 速 度 (サイクル時間)	各系統の計測制御が共通部分をとって行われるため、計測制御のスピードは 1:1 集合形より遅くなる。	計測制御が系統ごとに行われるので、計測制御のスピードが速く、早いレスポンスの計測対称に追従できる。

とより、誤り検出能力と同時に同期特性の優れた符号方式を採用するのが適当である。

このシステムにおいては、上記理由で、同期特性の優れた隣接位相反転符号を採用している。

3. 2. 3 情報処理方式

集中管理システムを計画、導入するにあたり、管理センタで有すべき機能を整理し、この中で機械化する対象とその目的を明確にすることが最初のかつ重要な点である。管理センタでは、一般に

- (a) 現場の運転状態を正確に把握する

表 5. 処理内容一覧

項 目	処 理 内 容	処 理 結 果
データ読込	被制御局 スキニング方式によるデータ読込 (200msec ごと) 情報伝送装置故障監視 データ欠測監視	CRT 表示 アナウンスメント記録 可聴警報
	被監視局 15分ごとの周期読込 同 上	同 上
監視・計算処理	監視処理 リミット監視 (固定リミット, 可変リミット) 故障監視, 変化幅監視	同 上
	計算処理 積算処理 流量計算処理	CRT 表示 トレンド表示 ロギングタイプ記録
	運転監視 プラントの運転状態の監視	CRT, アナウンスメント
オペレーションガイド	トレンドグラフ表示 オペレータが指定した任意項目のトレンドグラフ表示を行う	CRT 表示
	水位傾向表示 水位の傾向表示を行う	
制御卓監視	操作監視 制御卓の操作内容監視, 記録	CRT 表示
	プラント図形表示 制御卓操作より, 任意局のプラント図を CRT に表示	アナウンスメント記録
日報作成	管理日報 時報, 日報, 月報の作成	ロギングタイプライタ
オペレータリクエスト	デマンド印字, 上下限値修正, カレンダ修正, タイプライタ切換え, トレンド表示, データ修正	制御卓 CRT 表示

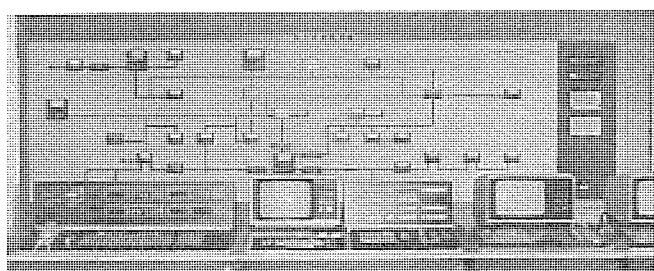


図 5. 配水管理システム 遠方制御室

表 6. 配水管理システム 主要性能一覧

項 目	性 能
伝 送 路	12 GHz 帯 120 ch 容量 1 対 400 MHz 帯 36 ch 容量 1 対 70 MHz 帯 2 波
情報伝送方式	デジタル, アナログ方式の併用 (1:1)×N, 1:N 方式の併用 常時伝送, 選択呼出伝送方式の併用 (a) 変調方式 FS 変調方式 (b) 符号化方式 位相反転符号 (c) 伝送速度 200 BPS
情報処理方式	オンラインリアルタイム方式 (a) バックアップ 完全 2 重化方式 (b) 処理装置本体 MELCOM 350-7 (c) メモリ容量 主メモリ 32 kW×2 補助メモリ 131 kW×2 外部メモリ 2.5 MW×2
システム容量	(a) 被 制 御 局 容 量 最大 30 局 (b) 被 監 視 局 容 量 最大 120 局 (c) テ レ メ タ 容 量 最大 56 量/局 (d) テ レ コ ン ト ロ ー ル 量 最大 30 点/局
遠 方 監 視 制 御 項 目	(a) 制御項目 受電入/切, ポンプ始動/停止, 水位設定等 (b) 表示項目 受電故障, ポンプ故障, 運転/停止, バルブ開/閉等 (c) 計測項目 受電電圧, 電流, 水位, 流量, 開度等

(b) 正確な運転記録を残す

(c) 適切な運転指示並びに運転

の機能の具備が要求される。

これらは、従来は一般に操作員が行ってきたが、送配水システムの広域化、複雑化に伴い管理業務の“高速性”、“正確性”、“質的な向上”を目的として処理業務を自動化、操作員の負担を軽減する傾向にある。

集中管理システムの導入により、上記各機能のいずれを機械化するかは、そのシステムの規模、計画年度、その他各種条件により異なるが、送配水集中管理システムの場合、3.2.1 項に述べたように広域、

複雑にわたる全送配水システムを総合解析して、一元的に制御する手法を見い出すことが困難なことから、下記段階導入を図るのが適当であろう。

第 1 ステップ：状態把握、運転記録、手動遠隔制御

第 2 ステップ：制御演算、運転指示、自動遠隔制御

当然第 1 ステップで収集、記録したデータは、第 2 ステップ導入時の解析用として利用されるべきであり、このことをも考慮した収集、記録が行われなければならない。

神奈川県配水管理システムでは、上記に述べた理由で段階設置を指向し、第 2 ステップの一部（運転指示）を含んだ第 1 ステップの状態把握、運転記録をより確実に行うことを第一に設計を行った。すなわち遠方制御室で行う情報処理内容は、

(a) データ監視, (b) 制御信号送出, (c) 各種演算, (d) 操作卓監視, (e) データ転送, (f) 日報作成, (g) アナウンスメント記録, (h) オペレーションガイドである。

この処理内容一覧を表 5. に示す。

3.2.4 マンマシン インタフェース

大量の情報を取扱うシステムにおいて、そのシステムの中に人間が介在せざるを得ない以上、人間と機械との対話装置いわゆるマンマシンインタフェースが非常に重要な要素となる。この配水管理システムでは、

(a) グラフィックパネル, (b) CRT 表示装置, (c) ロギング・アナウンスメントタイプライタ, (d) トレンドレコーダ, (e) 操作卓, を機能的に使い分け、それらの配置、色調にも人間工学的な検討を加え、操作員が使いやすく、疲労を覚えないう考慮をはらっている。図 5. に上記マンマシンインタフェースが設置された遠方制御室を示す。

3.3 システムの性能

このシステムの主要性能を表 6. に示す。

4. む す び

以上に水道用集中管理システムの基本的な考え方と、その代表実施例として神奈川県配水管理システムについてその大要を述べたが、今後さらに、このシステムを特徴づける大きな要素である送配水制御についてよりよい制御理論を見い出す努力がなされなければならない。そのため神奈川県配水管理システムでは、管理データの収集、整理、異常検出、記録などを機械化して省力化及び操作員の負荷軽減を図ることを第一にねらってきた。このシステムにおいても次第に高度の制御管理を要求されてくるものと思われるため、今回のシステムにより収集したデータの解析を行い、制御理論を確立させ計算機制御へと進展して行くものと考えている。

なおこのシステムの計画、設計、施工に当たりご指導、ご協力いただいた神奈川県企業庁水道関係者、その他関係各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 坂板ほか：水道協会雑誌，昭和 43 年 9 月，11 月，12 月号
- (2) 岩尾：水道協会雑誌，昭和 45 年 9 月号
- (3) V. A. Pagnotto ほか：JOURNAL AWWA (1973-2 月)
- (4) P. Walker, R. Robinson：WATER AND WATER ENGINEERING (1971-10 月)
- (5) R. L. Lee ほか：JOURNAL AWWA (1971-1 月)
- (6) 藤原ほか：三菱電機技報，Vol. 33, No. 8 (昭 44)
- (7) 石川ほか：三菱電機技報，Vol. 33, No. 11 (昭 44)
- (8) 北原ほか：三菱電機技報，Vol. 48, No. 10 (昭 49)

真空スイッチ式負荷時タップ切換器

樋口 昭*・吉田和夫*・伊藤克明*・源川一志*・山中隆司**

1. ま え が き

負荷時タップ切換器の電流開閉素子として、従来使用されていた油中開閉器や気中開閉器の代わりに、優れたしゃ断能力と長接点寿命を有する真空スイッチを使用することは、負荷時タップ切換器の性能向上、及び保守の軽減の面で極めて効果があることはよく知られている。すなわち、真空スイッチを使用すると、

(1) しゃ断能力が大きいので、過負荷耐量の大きい負荷時タップ切換器を製作することが容易になる。また、小形で大容量の負荷時タップ切換器を製作することも容易になる。

(2) 接点寿命が著しく長いので、接点の交換必要ひん度を激減させ得る。

(3) アークが露出せず、周囲媒体を汚損しないので、油入の場合には絶縁油がいつまでも清浄で、絶縁信頼度が向上するとともに、油のろ過・交換や、内部の清掃などが不要になる。また、接点の溶融粉なども出なくなるので、これによる機構可動部の摩耗もなくなる。

などの性能及び保守面で大きい効果が得られる。

これらの効果は、電力用・工業用を問わず、あらゆる用途に有効であることはもちろんであるが、特に電気炉あるいは電解炉などの電力用の20～30倍の切換ひん度や、ひん繁な過負荷切換えを要求される用途においては、その効果が絶大であるとして高く評価されるようになってきた。そればかりか、このような用途においては、真空スイッチ式負荷時タップ切換器でなければだめであるときえ言われるほどになってきている。

このような情勢に沿い、当社では早くから真空スイッチ式負荷時タップ切換器の研究を続けてきたが⁽¹⁾、このたび、これらの研究成果を基礎にして、我が国で初めてその製品化を果たし、30台を某アルミ精錬用整流プラントに納入することになったので、ここに概要を報告し、おおかたのご参考に供する次第である。

2. 仕 様

2.1 適用される変圧器

(1) 用途 整流器用調整変圧器

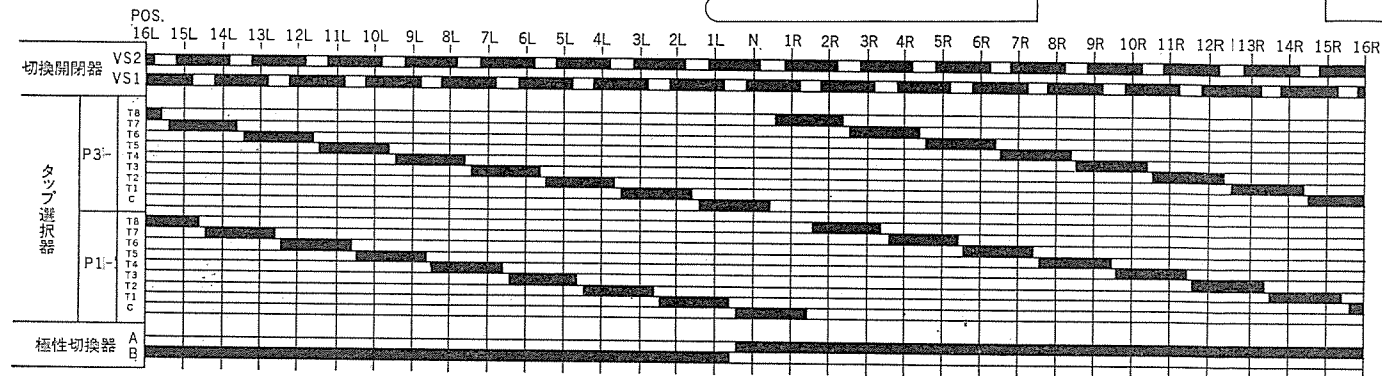


図 2. 負荷時タップ切換器回路図と動作シーケンス

(2) 形式 三相 -60 Hz 外鉄形

(3) 容量 27.88/34.85 MVA

(4) 電圧 1次 115 kV

2次 48.73—4.873 n*±4.873** kV

* 無負荷タップ切換えによる (n=0.1…9)

** 負荷時タップ切換えによる

(5) 回路 図 1. を参照のこと

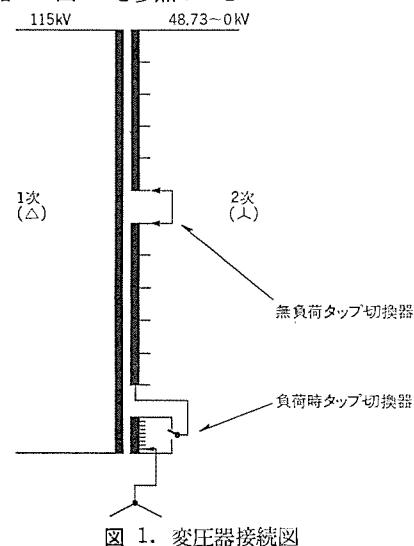


図 1. 変圧器接続図

2.2 負荷時タップ切換器

- (1) 相 数 三 相
- (2) 方 式 中性点切換並列区分リアクトル式
- (3) 定格 ステップ 電圧 400 V
- (4) 定格通過電流 420 A
- (5) 絶 縁 階 級 6 A 号
- (6) タップ点数 33 点
- (7) 切 換 時 間 1.5 秒 / 1 タップ 切 換 え
- (8) 電 氣 的 寿 命 100 万 回
- (9) 機 械 的 寿 命 500 万 回
- (10) 回 路 図 2. を 参 照 の こ と

3. 真空スイッチ

真空スイッチは、優れた信頼性で定評のある三菱真空スイッチ RELIA VAC シリーズのなかの 3C 2C を採用した。(図 3. 参照) この真空スイッチは、コンタクタ用として製作されているもので、次のような特長と主要性能を有している。

3.1 特 長

- (1) 10 年にわたる豊富な経験と高度な技術を駆使した、最新鋭の工場から生み出された高信頼管である。電氣的寿命・機械的寿命・真空寿命などのあらゆる性能が徹底的に吟味されている。
- (2) 優秀な接点、材料の使用によって、定格に対する裕度・安定性が大きく、長寿命である。また、さい断電流が極めて小さい。

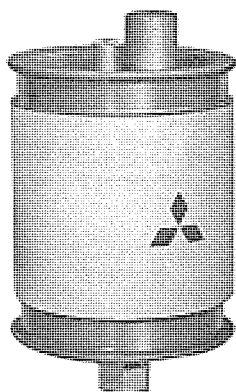


図 3. 真空スイッチ 3C 2C

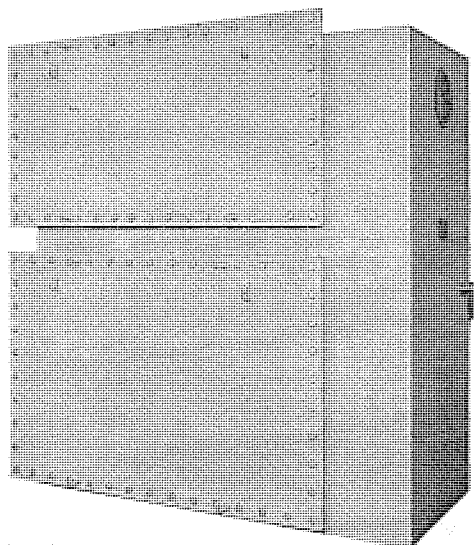


図 4. VRE 形真空スイッチ式負荷時タップ切換器

(3) 機械的・熱的に優れたセラミック管を使用しているため、小形・軽量である。

3.2 主要性能

- (1) 定 格 電 圧 3.3 kV
- (2) 定 格 電 流 200 A (自然空冷)
- (3) 定格しゃ断電流 4.4 kA
- (4) 定格しゃ断容量 25 MVA
- (5) 定格短時間電流 2 秒 4.4 kA
- (6) " 0.5 サイクル 33 kA

4. 構 造

優れた信頼性で既に定評がある三菱 URA-5 形負荷時タップ切換器をベースにし、これに前記の三菱真空スイッチ RELIA VAC 3C 2C を合理的に融合させることを基調にした。これにより、URA-5 形負荷時タップ切換器の優れた機械的耐久性と、真空スイッチの優れた接点耐消耗性と両特長があいまった、極めて長寿命・高信頼の新しい負荷時タップ切換器を実現させることを図った。

概略構造は、URA-5 形負荷時タップ切換器と同様、変圧器タンク側壁に取付ける横付形とし、タップ選択器は変圧器と共通の油室に、切換開閉器は変圧器室に対して隔離された独立室に、そしてこれらを駆動する駆動・制御機構は空気室にそれぞれ配置された。図 4. にその外観を示す。

タップ選択器及び駆動・制御機構は、URA-5 形負荷時タップ切換器のものとほぼ同一の構造を採用した。切換開閉器は、1 相分の真空スイッチ (2 本) と駆動機構とをまず一つのユニットにまとめ (図 5. 参照)、これを 3 ユニット左右に配列し、駆動機構室より導入した駆動軸で一括駆動するように構成した。これにより、切換開閉器室の前面カバーを取外すだけで、全相の切換開閉器に一樣に接近することができるなど、点検時の細密な観察が容易になっている。また、真空スイッチユニットは、完全な互換性をもたせたカートリッジ式構造 (図 6. 参照) にするとともに、これをただ 2 本のボルトで機構へ着脱できるようにした。これにより、交換の際の面倒な調整を一切不要にしたので、極めて簡単に真空スイッチの取替えを行うことができる。

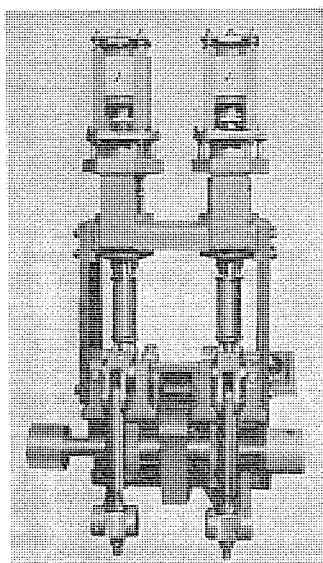


図 5. 切換開閉器ユニット

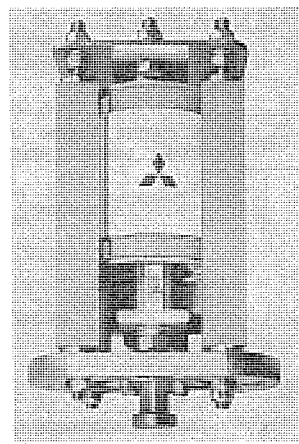


図 6. 真空スイッチユニット

5. 製品化上の問題点とその解決

5.1 真空スイッチの駆動方法

真空スイッチの駆動をどのような方法で行うかは、真空スイッチの寿命…とりもなおさず負荷時タップ切換器の寿命を決定する重要なかぎである。製品化に当たって解決しなければならない重要課題のまず第1がこの問題であった。真空スイッチの持ち前の長寿命性を十分に発揮させるには、真空スイッチを単に所定の速度で所定のストロークを開閉させるだけでなく、それをできるだけ低衝撃で行わせなければならない。今回の製品化では、このために新たに開発した独特の駆動方法を採用した。

図7.にその原理を示す。この駆動方式は、入力機構・ストローク吸収機構・真空スイッチユニットの3主要部から構成されている。動きの大筋としては、まず入力機構で駆動軸の回転運動を、実線で示すような、加速領域・一定速度領域・減速領域をもつ、ごく一般的な往復運動に変換し、次にストローク吸収機構でこの往復運動を鎖線で示すような、真空スイッチに適した一定速度の、かつ極めて小ストロークの往復運動に変換した後、これで真空スイッチを駆動しようとするものである。

まず、①は、負荷時タップ切換器が定常位置にあって真空スイッチが閉じている状態である。駆動軸が回転すると、入力機構の出力リンク、したがってこれに直結されたストローク吸収機構の入力シリンダは、実線の変位特性に従って下降を始める。しかし、入力シリンダ内の機構によって出力ロッドは直ちに動作することなく、しばらくの間はそのまゝの状態を維持する。入力シリンダが、加速領域を過ぎて一定速度に達した後、その変位がP点にまで達すると、出力ロッドは入力シリンダに係合し、入力シリンダと同速度で下降を始める(②)。これによって真空スイッチが開極を始める。入力シリンダが、変位特性のQ点にまで下降すると、出力ロッドは、それ以上に下降できなくなる。この状態は、真空スイッチが完全に開極した状態である(③)。入力シリンダは、更に下降を続け、減速領域を経てやがて停止するが、この動きは、入力シリンダ内の機構で吸収され、出力ロッドの動きとしては出てこない(④)。

以上のように、ストローク吸収機構は、入力シリンダに加えられた動きのうち、一定速度のかつごく小ストロークの範囲のみを抽出し、これを真空スイッチに伝える。しかも、機構内部に設けられた緩衝機能によって衝撃を吸収しながらこれを行う。

このようにして、真空スイッチは適切な速度で適切なストロークを極めて低衝撃で駆動されることが可能になるため、持ち前の長寿命性をいかに発揮できることになる。

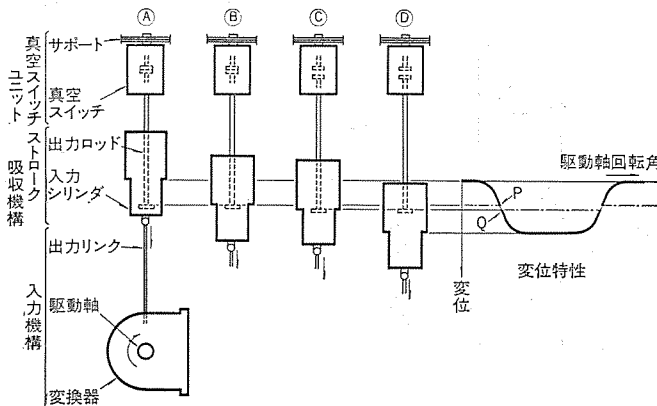


図7. 真空スイッチの駆動機構

5.2 保護システム

製品化に当たって解決しなければならなかった第2の課題は、真空スイッチの万一のシャ断失敗に対する保護システムをどのように実現するかであった。

最近の真空スイッチの製品信頼度は著しく向上しており、実用的にはもう事故を心配する必要がないと言い得るほどにまで高信頼化されているが、負荷時タップ切換器での実績が零に近い現状、あるいは万一、事故が起これば変圧器、ひいてはプラントに影響を及ぼすという負荷時タップ切換器の特殊性を考慮し、やはり何らかの保護システムを設けるべきであるとする声が、依然として強いのが現実である。

今回の製品化では、このためにまず切換方式として、シャ断失敗をしてもタップ間短絡に進展せず、かつ比較的低速切換形で保護を行いやすい並列区分リアクトル式を採用し、これに真空スイッチの電流シャ断状況をモニタする真空スイッチモニタリングシステムを設置し、真空スイッチの万一のシャ断失敗に対する保護を可能にした。このモニタリングシステムは、リアクトル式負荷時タップ切換器がタップ切換えを行う場合には、図2.に示すように、必ず切換開閉器を開いた後にタップ選択器を移行させるという動きのパターンになっていることに着眼し、切換開閉器すなわち真空スイッチを開いた後に直ちにその電流シャ断状況をモニタし、もしシャ断失敗していることを発見した場合には、次のタップ選択動作、及びそれ以後の動作に入ることを中止させるように構成したものである。

これにより、真空スイッチが、万一真空漏れなどでシャ断失敗をしても、タップ選択器での電流シャ断やタップ間短絡などの発生はなく、負荷時タップ切換器及び変圧器は完全に保護され得る。

5.3 サージ

製品化に当たって解決しなければならなかった第3の課題は、真空スイッチの開閉サージに対する懸念の解消であった。

この問題については、あらゆる角度からの理論解析に併せ、等価回路によるシャ断試験、更に実変圧器との組合せによるシャ断試験などを行って安全性を調査した。紙面の都合上、その詳細については省略するが、等価回路によるシャ断試験では2.0 kV、実変圧器との組合せによるシャ断試験では0.2 kVの最大発生サージ電圧が確認されたにすぎず、また、最も過酷な条件を想定した理論解析でも6.9 kVを超えないことが確認されるなど、今回の適用については、

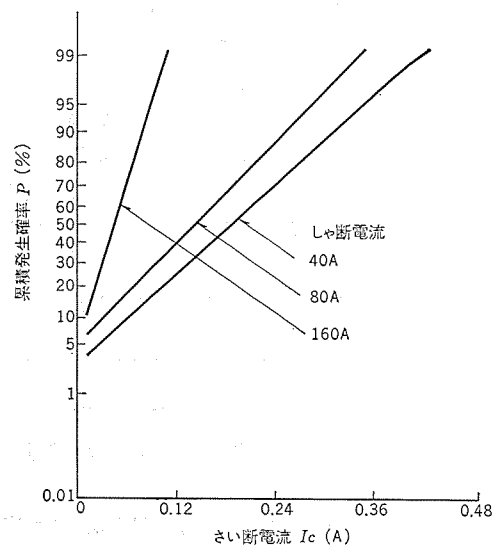


図8. 電流さい断特性

動接点が、一定速度の安定した変位特性でチャタリングもなく、極めて低衝撃で開閉している様子がよく分かる。

6.2 シャ断能力試験

図12.の回路によってシャ断試験を行った。この回路によれば、負荷電流と循環電流とを同時に与えることができるとともに、負荷電流の位相を調整して負荷の力率を自由に設定することができるから、実回路との等価性の高い試験ができることになる。なお、今回の試験では、JEC-186 に準じて負荷力率を0.85に設定した。

まず、定格負荷(ステップ電圧:400V、通過電流:420A)で2,000タツプ切換え(真空スイッチ1本当たり1,000回の開閉に相当)、次に定格の2倍の負荷で500タツプ切換えのシャ断試験を行った。いずれのケースにおいても、平均アーク時間は0.24~0.3サイクルと短く、また、最大アーク時間も0.6サイクルを超えるものはないという優秀なシャ断性能を有することが確認された。

更に、今後の適用の拡大を考慮してステップ電圧を900~1,800Vまで変化させて同様に試験を行ったが、この試験においても、平均アーク時間及び最大アーク時間に実質的な増加は認められず、この切換開閉器が定格ステップ電圧1,800V、定格通過電流420Aの領域まで十分に適用され得る性能を有していることが確認された。このことは、タツプ選択器を1,800Vのステップ電圧に耐え得るように改造すれば、この負荷時タツプ切換器の適用範囲を定格ステップ電圧1,800

V、定格通過電流420Aの領域まで拡大し得ることを意味している。

参考までに、ステップ電圧1,800V、通過電流420Aにおける切換オシログラムを図13.に示す。

6.3 温度上昇試験

通電回路に420Aを通電し、各部の温度上昇を測定したが、温度上昇値は、いずれも14°C以下という十分に安全な値であった。また、JEC-186に定めるように、限界値を20°Cとすれば、500A強まで連続通電できることを確認した。

6.4 電氣的寿命試験

電氣的寿命試験は、シャ断電流を400Aに設定した、誘導負荷による単相回路で1本の真空スイッチについて60万開閉を実施した。実回路において、定格負荷でN回のタツプ切換えを行った場合、重責務(タツプ間橋絡回路を開くとき、負荷電流と循環電流との重畳分をシャ断する)側の真空スイッチでさえ、364AをN/4回と210AをN/4回との電流シャ断をするだけでよいことを考えれば、この条件は、120万タツプ切換えを大きく上回る(概算180万タツプ切換え)寿命試験に相当するものである。

寿命試験中、10万回ごとに真空度・耐電圧・接触抵抗を測定したが、実質的な劣化は全く認められず、極めて良好な結果を得た。また、接点消耗量は、120万タツプ切換え以上に相当する60万開閉でようやく予定限界の1mmに達するという、文字どおりの長寿命性を有することが確認された。図14.参照。

6.5 機械的寿命試験

機械的な実用性能を検証するため、500万タツプ切換えを目標に機械的寿命試験を実施した。この間、一定の回数ごとに基本動作特性、真空スイッチの真空度、摩耗、ゆるみなどについて詳細に測定及びチェックを行ったが、500万を超えて600万タツプ切換えに至るも、いまだに特性の変化や、ゆるみ、摩耗、破損などが全く認められないという、要求仕様を上回る、優れた機械的特性を有していることが確認された。

7. む す び

我が国で初めて製品化された真空スイッチ式負荷時タツプ切換器は、真空スイッチの特長を十分に発揮し、期待を上回る優秀な性能を有していることが確認された。これらの負荷時タツプ切換器は、従来機になかった新しい利点を提供することにより、ますますその有用性を示していくであろう。今回の製品化は、それによって真空スイッチ式負荷時タツプ切換器が、いよいよ実用段階に入ったことを宣言したという点でも、大きな意味をもつものであると自負している。

近い将来、電気炉あるいは電解炉用に限らず、更に広い用途への適用が求められるようになると思われるが、これに答え得るよう、今回の成功をベースにして更に研究を重ねるつもりである。

最後に、今回の製品化に当たり種々ご協力いただいた関係者各位に深謝する。

参 考 文 献

- (1) 嶋ほか：三菱電機技報，42，No. 3 (昭43)

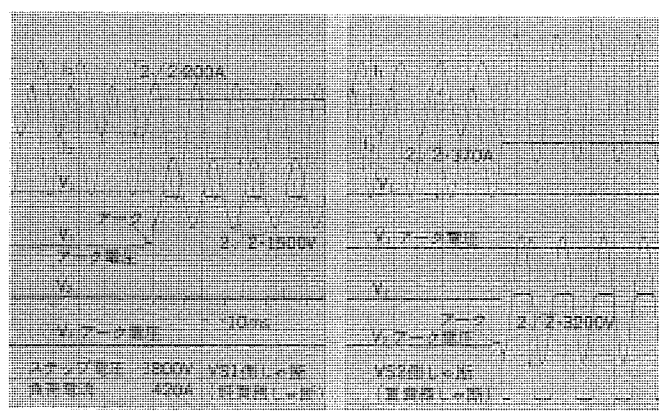


図13. 負荷切換時のオシログラム

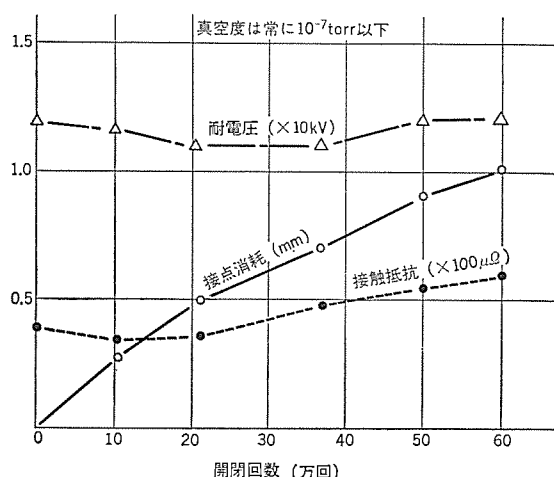
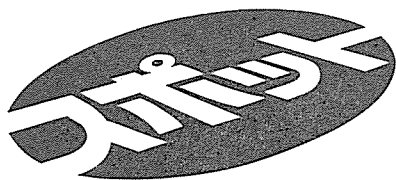


図14. 電氣的寿命試験結果



ベースボードヒータ用 集中制御装置

MELBIT-H

最近、北海道を中心に、学校・ホテル・病院などの部屋暖房に安全で快適な、しかも効率の良い電気暖房として、ベースボードヒータが普及してきました。ベースボードヒータは高さとお行を押えた横長形で、表面温度の低い暖房機です。幅広いゆるやかな自然対流により、室内温度の上下差を小さく(3~4℃)押し、室内空間全体をほぼ均一に暖めます。

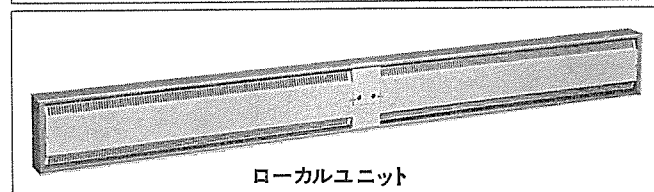
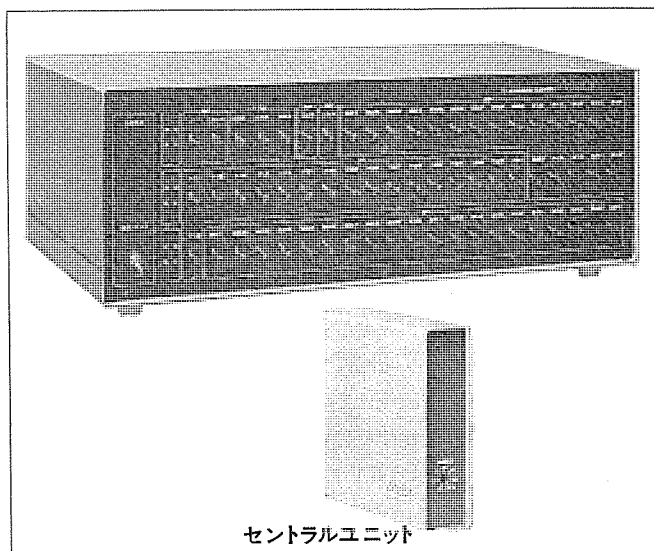
ベースボードヒータは通常、各部屋ごとにルームサーモで制御しますが、学校・病院・社会福祉施設、とりわけホテルではルームサーモによる個別温度制御だけに依存しては、省エネルギー、省力化、安全対策の強化の観点からは決して万全とはいえません。この問題点を解決するために当社が開発し、先般新発売した集中制御装置(メルビット)をホテルの例でご紹介します。

この制御装置は各部屋に設置するルームサーモ機能内蔵の信号受信処理部(ローカルユニット)と各部屋別に「暖房」「保温」「切」の指令を送る信号発信処理部(セントラルユニット)との構成です。

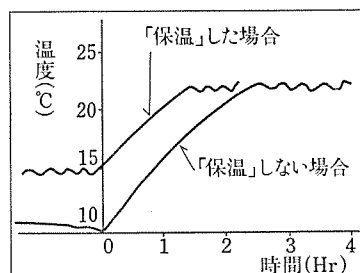
信号の伝送は専用配線を必要としない電力線搬送時分割多重方式ですから、設置工事が容易です。(電力線が3相の場合は24Vの専用配線が必要です)

現在は63室制御用を標準としていますが、他に15室、31室、127室制御用を基準として、施設の規模に応じて製作することができます。また、ホテル用の3段制御(暖房、保温、切)の他に、学校用として2段制御(暖房、切)もあります。

ホテル用の3段制御を使う場合、セントラルユニットで「暖房」にスイッチをセットすると、ローカルユニットはルームサーモとして機能しますから、ツマミの操作ひとつで15~27℃の範囲で自由にセット温度を変えられます。また、「保温」にセットすると、ローカルユニットの表示にかかわらず、室温は暖房温度から一定温度に下げた状態が維持でき、電気を節約できます。その上、短時間で各部屋を所要の暖房温度まで暖める「予備暖房」運転も行えます。「切」にすると暖房を停止できますから、暖房する必要のない部屋まで暖めてしまう無駄が省け、経済的な運転が行えます。また、通電時間帯がパターン化している場合は、タイマーとの組合せで、より自動化のすすんだ効率的なプログラムコントロールが可能です。



暖房特性表(ホテルの客室)

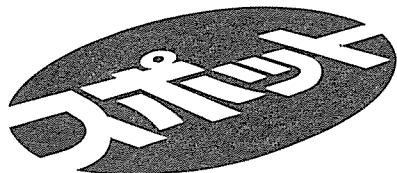


〈設定条件〉

面積:17m²
窓:南側
外気温:-8℃
暖房温度:22℃
保温温度:15℃

63室用集中制御装置仕様

		ホテル用	学校用
セントラルユニット	形名	BI-632	BI-631
	制御室数	63室	63室
	電源	単相 100Vまたは200V	
	表示ランプ	個別表示(発光ダイオード)	
	内蔵機能	3段制御(暖房-保温-切) タイマー制御入力端子付	2段制御(暖房-切) タイマー制御入力端子付
ローカルユニット	形名	BI-062	BI-061
	定格	単相 100V、10A	
	温度制御範囲	15~27℃	
	保温制御範囲	(セット温度)-(3~12deg)	———
	表面温度	190℃	
	その他	自動、手動切換スイッチ付	
備考		15室、31室、127室制御用も製作可	



三菱ラジオカセット JEAGAM JR-5600

JEAGAM JR-5600は、三菱電機ラジオカセットの新製品で、独自の8ウェイマイクを装備するなど、プレイ機能を重視したものです。

＜特長＞

●8ウェイマイク

内蔵マイク、ワイヤードマイク、ワイヤレスマイク、さらにワイヤレス送信機としての機能がありますから、本体の入力端子あるいはマイクの入力端子を活用して、各種サウンド機器と音声とのミキシング録音・再生が可能です。

●12cmダブルコーンスピーカ

サブコーンの付いた12cmスピーカにより、高音が鮮明に再現できます。また、付属のトーンコントロールとラウドネスツマミにより、好みの音質に調整できます。

●フェードイン・フェードアウト機能

音楽を除々に小さくしながら自分の声を音楽にのせて、それを次第に大きくする(フェードイン機能)、また逆に、自分の声を除々に小さくしながら音楽を大きくする(フェードアウト機能)など、ミキシングが容易に楽しめます。

●メカニカルポーズおよびキューレビュー機構

メカニカルポーズは、録音状態で即スタート、即ストップのできる一時停止機構で、立上がり音のないすっきりした録音が行えます。また、キューレビュー機構が付いていますから、テープの録音・再生中でも早送り・巻戻しがワンタッチで行えます。さらに指を離せば、直ちに再生が開始できますから、曲の頭出しが容易で、同じ箇所をくり返し再生するのに便利です。

●バリヤブルモニタ方式

録音中、録音状態に影響を与えることなく、録音内容のモニタ音量を自由にコントロールできます。

●高感度3バンドラジオ付

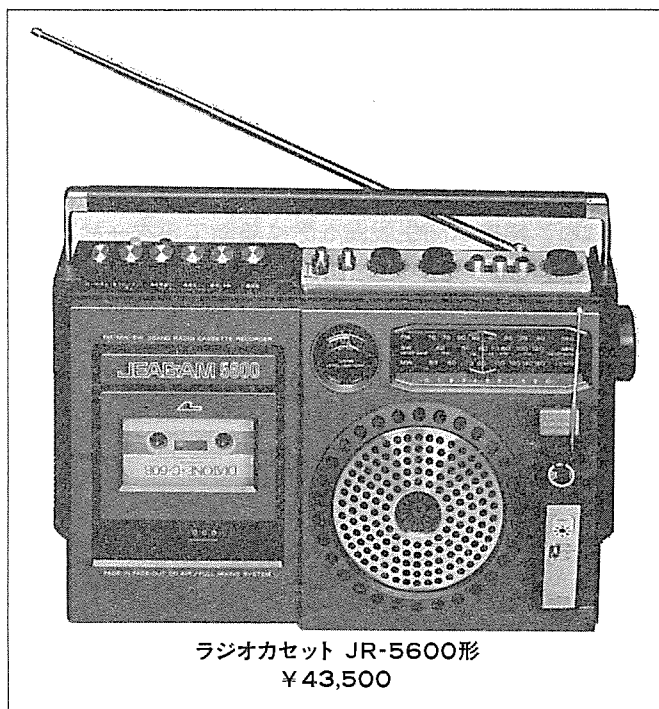
内蔵ラジオはFM・MW・SWの3バンドの高感度設計で、海外短波放送も受信できます。

●4電源方式

家庭用コンセント(AC 100V)・単一乾電池(4本、6V)・充電式電池(別売BU-200)・自動車電源(別売カーアダプターCD-200使用)の4電源が使えます。

●斬新なデザイン

プレイ機能を重視した機種にふさわしく、アルミの白とメタリック塗装との調和が美しいメカニカルなデザインです。



ラジオカセット JR-5600形
¥43,500

＜定格一覧＞

●ラジオ部

回路方式……………スーパーヘテロダイナ方式

受信周波数……………FM: 76~90MHz

MW: 525~1,605KHz

SW: 3.8~12MHz

アンテナ……………FM・SW: ロッドアンテナ

MW: フェラライトバーアンテナ

●テープレコーダー部

トラック方式……………2トラックモノラル方式

録音方式……………ACバイアス方式

消去方式……………AC消去方式

使用テープ……………C-45、C-60、C-90

早送・巻戻時間……………C-60テープで約100秒

使用モーター……………DC機械ガバナモーター

●共通部

電源……………AC100V、50/60Hz

DC6V(単1乾電池4本)

外部電源(カーバッテリー)

充電式電池

消費電力……………9W

電池寿命……………8時間連続再生可能(三菱バイタル使用)

使用半導体……………トランジスタ18個、ダイオード13個、IC1個

スピーカ……………12cm円形

実用最大出力……………2.4W(EIAJ)

入力端子……………マイク(リモコン付)、AUX

出力端子……………モニター(イヤホン)

大きさ……………366(幅)×240(高さ)×105(奥行)mm

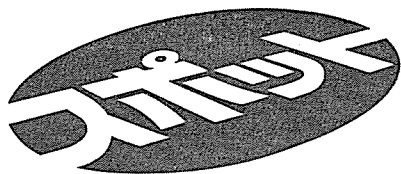
重量……………約4kg(乾電池を含む)

付属品……………試聴用テープ1巻、単1乾電池4本

単3乾電池1本、ACコード1本

接続コード1本、ショーツイングプラグ1本

周波数調整用ドライバー1本



実用化に向けて着々と研究開発が進む 「リニアモータ・カー」

鉄道が引起こす騒音・振動の対応策の一環として、運輸省は昭和49年度以来通勤列車用「リニアモータ・カー」の開発を進めています。三菱電機は(株)日立製作所及び東京芝浦電気(株)と共にこのプロジェクトに当初より参画しています。

走行実験は順調に進んでおり、現在は車両の重心を高くし、軌道不精の状態で行走させるなど実用化の際に起る過酷な条件下での実験が進められています。三菱電機はこの実験において設備面ではリニアモータ、浮上用電磁石、制御装置などの主要電機品の製作及び軌道の布設を担当しています。

浮上走行実験

昭和50年度は全長165.5mの正規の精度の直線軌道で走行実験を行いました。昭和51年度は軌道に上下狂い、通り(左右)狂い、角折れ、段差をつけて実験を行いました。そして現在はこの軌道において、重心を高くした車両を使用して実験を進めています。この実験はリニアモータ・カーが実用化された際に起る諸悪条件を考慮して行っているもので、浮上案内系にとっては過酷な実験と言えます。

なお、現在実験に使用している車両は軽い浮上用電磁石、国産のセンサを採用するなど一部改良を加えています。

リニアモータ

車両が軌道に接触しない浮上鉄道の推進方式はリニアモータを使用したものが一般的です。

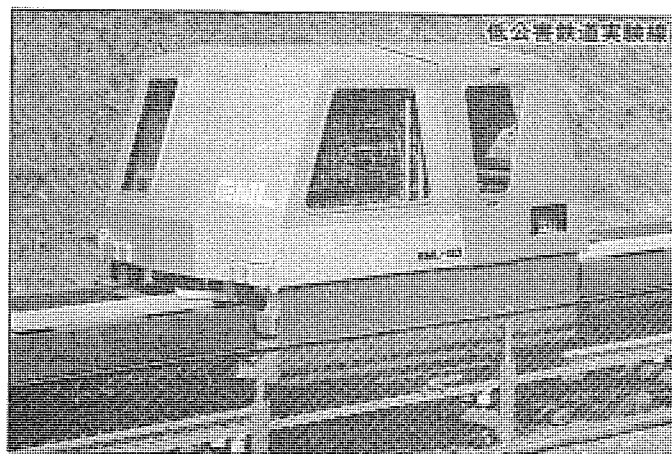
リニアモータは回転形モータを軸方向に切断して広げたような構造で、固定子、電機子を車上と地上に分けて設備し推力を出します。同期モータタイプと誘導モータタイプがあり、この実験に採用したモータの方式は簡単な設備ですむ車上1次の片側式誘導モータ形で、2次導体を軌道側に布設するものです。

吸引式常電導磁気浮上方式

リニアモータ・カーの浮上方式には次の三つがあります。

1. 空気圧で浮上する方式
2. 車載の超電導コイルと軌道側のコイル又はシートとの磁気反発力により浮上する方式
3. 車両に常電導の電磁石を装備し、軌道側の鉄軌条との吸引力により浮上する方式

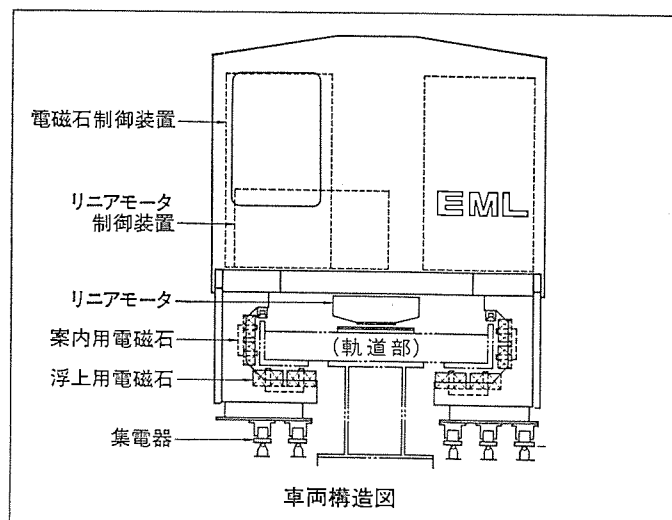
今後の低公害の通勤列車用として社会的、経済的、技術的にみてどの方式が望ましいかが机上検討され、上記3の方式が採用



●EML-50モデル車両諸元

方式 浮上・案内：ギャップ制御による
常電導磁気吸引式
推進：車上一次
片側リニアモータ式
ブレーキ：リニアモータ逆相
ブレーキ
速度 30km/h(最大40km/h)

自重 約1.8ton
外形寸法 長さ2.8m、幅1.7m
浮上・案内装置 浮上用電磁石4個
案内用電磁石4個
同上用制御装置1式
推進装置 リニアモータ1台
同上用制御装置1組
集電装置 5組



され、実験が進められております。

この方式は電磁石の吸引力を利用して軌条と車両の間隔を一定に保つもので、浮上・案内をいかに安定させるかが大きな技術課題になるわけです。

吸引式常電導磁気浮上方式は現在西ドイツをはじめ各国で研究されています。わが国では数年前より東京大学山村研究室がこの浮上方式の研究を進めており、このプロジェクトの推進に大きく貢献しています。

なお、運輸省内に設けられている総合委員会及び各委員会の委員、諸先生には技術的な指導を受けています。また、実験線の敷地は東京急行電鉄(株)から借用し、(財)日本船舶振興会からは補助金を受けています。

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1099015	圧縮気体供給装置	門原加納	1099906	電気 マッサージャー	増田 三郎・川合 輝一
1099016	粒子加速装置	上田和宏・広 三 奏			橋 本 一
1099017	半導体装置	杉本和彦・上 川 孝	1099907	温度制御回路	高梨靖士・浅見知市
1099018	エレベータ乗場の敷居	福島光男	1099908	電気 マッサージャー	増田 三郎・川合 輝一
1099019	電気 マッサージャー	川合 輝一・橋 本 一	1099909	電気 マッサージャー	増田 三郎・川合 輝一
1099020	電気あんま器	川合 輝一	1099910	電気あんま器	川合 輝一
1099021	電気 マッサージャー	川合 輝一	1099911	電気あんま器	川合 輝一
1099022	ガスバーナ	吉野昌孝・五十田 稯	1099912	空気調和機	上妻親司
1099023	回転数応動開閉装置	堀 幸 輝	1099913	冷房装置	佐藤喜一・木ノ内達夫
1099024	パン 焼き装置	岡田和夫			渡 辺 進
1099025	ジュースミキサーの有底コップの着脱装置	服部信道・森田清司 池上正修	1099914	カードエッジ形コネクタ用プラグ	荒尾和男
1099026	車両用発電機出力制御装置	荒金堅次郎	1099915	冷房装置	木ノ内達夫・知久道明
1099896	ユニット式配電盤	古本洋司・亀山和男	1099916	電気 マッサージャー	川合 輝一・蟻川正吾
1099897	エスカレータまたは移動通路の欄干	瀬戸紀臣	1099917	車両用定速走行装置	片山紘二
1099898	マップ 切換器駆動装置	堤 長 之	1099918	ガス封入開閉器	杉尾憲一
1099899	冷凍装置用毛細管の接続装置	織田隆嗣・杉山悦朗	1099919	放射線照射装置	津田栄一・三富至道
1099900	冷凍装置	福 原 敏・黒田猪三男 杉山敏和	1099920	放射線照射装置	津田栄一・三富至道
1099901	半導体装置	鉄野治雄	1099921	自動可変反復制御装置	高宮 洋・北野 満
1099902	高域補償回路	丹羽喜一	1099922	開閉器	小平建夫
1099903	電気あんま器	増田 三郎・川合 輝一 橋 本 一	1099923	車両用交流発電機の整流装置	大原啓治
1099904	電気 マッサージャー	武井久夫・川合 輝一	1099924	機関点火時期調整装置	大西正義
1099905	度数計	林 正之・渡 辺 学	1099925	点火時期調整装置	今田 裕・橋 本 実
			1099926	放電灯用安定器	岡田恒宏・藤原三男
			1099927	空気調和機の吹出しルーバ	鈴木太八郎
			1099928	熱ポンプ式冷凍装置	岩崎善彦・河原隆夫

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 51 No. 3 マイクロプロセッサ応用特集

特集論文

- プラントコントローラ《MELPLAC》50ハードウェアシステム
- プラントコントローラ《MELPLAC》50の方式とソフトウェア
- マイクロプロセッサの計算機及び周辺端末機器への応用
- マイクロプロセッサ応用製品—MUS-10 三菱万能計算表示装置の監視・制御への応用—
- マイクロプロセッサシリーズの最近の実績

普通論文

- 永久ヒューズの理論考察とその応用製品
- 東京電力(株)鹿島変電所納め超高圧系統自動操作装置
- G形コントロールセンタ
- 扉形開口オフセットカセグレンアンテナ
- 最近の大形変圧器技術開発〔Ⅱ〕
- 《MELCOM》70モデル20・25のハードウェア
- 紫外線電離形SF₆漏洩検知器

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	村上卓弥
常任委員	武藤正	“	神谷友清
“	佐々木二郎	“	熊本永
“	葛野信一	“	橋爪基
“	伊原総三郎	“	吉田太郎
“	北川和人	“	竹田俊幸
“	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	2号特集担当	堀 謙二郎

三菱電機技報 51 巻 2 号

昭和52年2月22日 印刷
昭和52年2月25日 発行

定価1部300円(送料別)無断転載を禁ず

編集兼発行人 本間吉夫
印刷者 高橋武夫
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)
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」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



三菱電機の ビル避難用スパイラルシュータ



- 三菱スパイラルシュータは消防法施行規則等に定める救助袋として自治省消防庁の認定を受けています。
- 救助袋等の避難器具は消防法により3階建以上で高さが35メートル(10階)以下の建物に、状況に応じた数を設置するように義務づけられています。

操作順序

1. 投下指示押ボタンを押す
(押ボタンは三菱スパイラルシュータを設置した階はもちろんのこと、途中の階やビル集中管理室にも取付けできます)
2. 途中の階に乗込口を固定する
(案内ロープをたぐり外筒布についている途中乗込口を引きよせる。次にあらかじめ各階に取付けられている乗込口固定金具に固定する)
3. 乗込み開始
(投下指示ボタンを押してから1分半ほどで各階から乗込めます)

標準仕様

項 目	階 層							
	4	5	6	7	8	9	10	屋上
形 名	MB-200							
救助袋垂直高さ(標準) m	10.8	14.4	18.0	21.6	25.6	28.8	32.4	35
救助袋外筒直径 m	1.4							
滑 走 入 口 寸 法 m	0.6以上							
脱 出 出 口 寸 法 m	0.6×1.2							
救 助 袋 重 量 kg	40	50	60	70	85	95	105	115
滑 走 面 幅 (滑 り 布 幅) m	0.44							
長 さ m	14.6	19.7	24.8	30.0	34.9	40.0	45.1	50.2
滑 走 斜 度 度	最大 48、最 小 45							
脱 出 能 力	5 秒/人×乗込口数							
投 下 方 式	電動式(蓄電池式非常用電源)、手動式も可							
作 動 方 式	電動操作は各階押ボタン式、手動は設置階ハンドル式							
使 用 電 源	蓄電池式非常電源 24 V、7 A							
格 納 投 下 装 置	屋内床置き式、屋上式 及び 窓掛式							
準 備 時 間 秒	90							
材 質	外筒布、内筒布および滑り面ともテトロン帆布、 (外筒布、内筒布はノリ抜き、滑り面はノリ抜き、ガス焼き)							

三菱電機が新しい形式のビル避難用スパイラル シュータ (MB-200形)を完成しました。

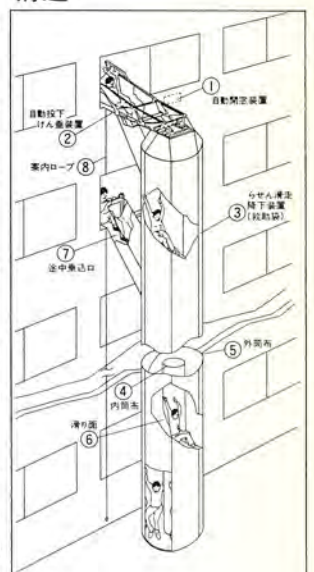
この救助袋は外筒と内筒からなり、この二つの筒の間をらせん状に滑り降りる方式ですから、避難能力が高く避難者に恐怖感を与えません。

また、設置した階はもちろんのこと、途中の各階からも乗り込むことができます。

特長

- 最上階や屋上に一つ設置すれば、各階からも乗込むことができます。
- 一つの装置を設ければ各階ごとに救助袋を備えることは省略できますから、設備費、維持費が少なくて済みます。
(昭和51年2月16日付自治省消防庁安全救急課承認)
- らせん状の滑り台を滑り降りる方式ですから恐怖感がなく、避難者は次々に降下できます。
- 設置階及び各階に備えた押ボタンを押すことにより、どの階からでも又、誰にでも救助袋の投下指示ができ、わずか1分30秒で使用可能の状態になります。
- 救助袋の下端を固定する必要がありませんから、すぐ避難を開始できます。

構造



乗込口に避難者が殺到しても側方から割込みできないように格納箱、投下懸垂装置に工夫をしています。