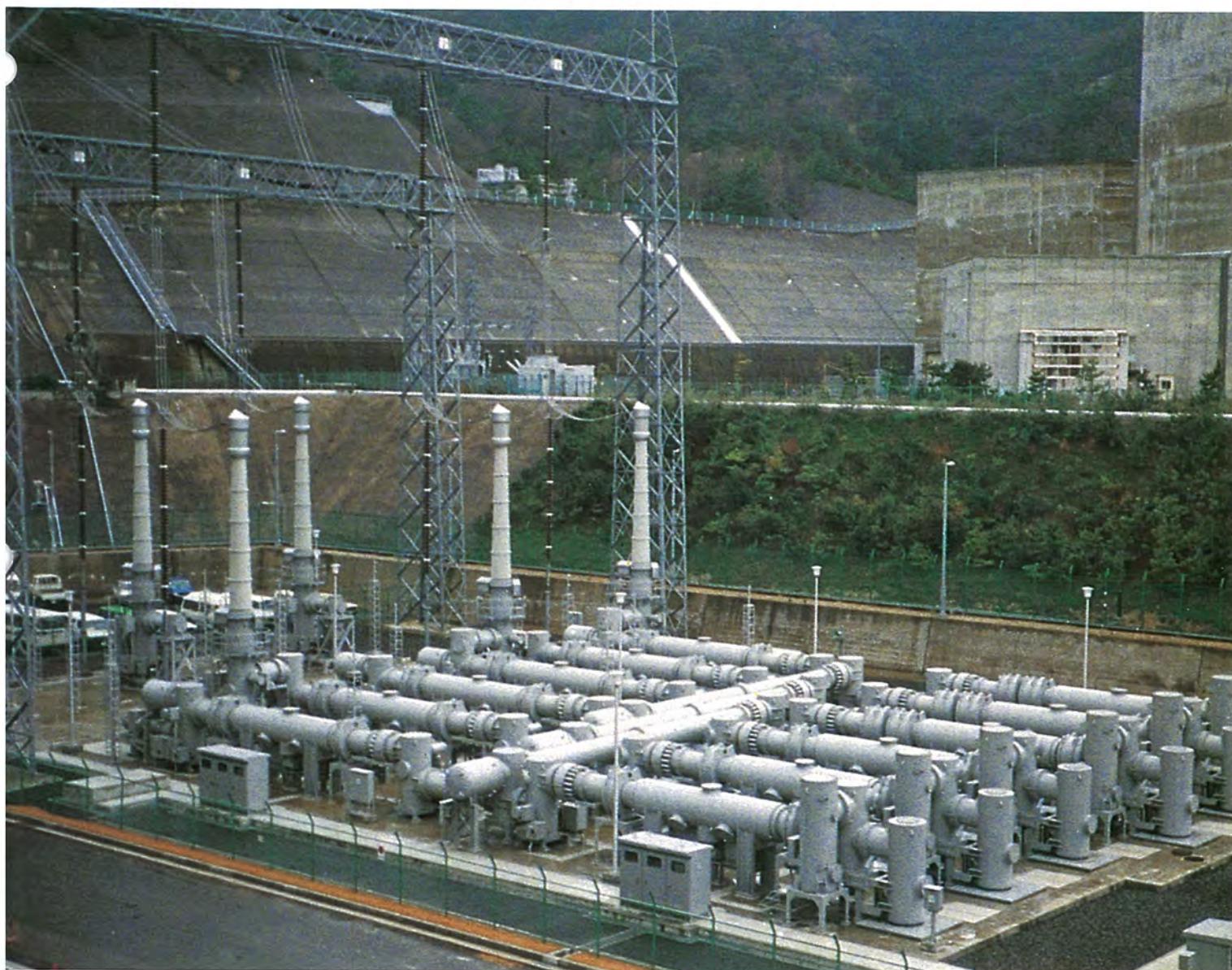


MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.63 No.10

10
1989

変電技術の現状と将来展望特集



三菱電機技報

Vol. 63 No. 10 1989

変電技術の現状と将来展望特集

目 次

特集論文

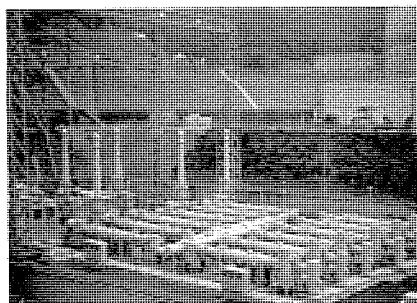
変電技術の現状と将来展望特集に寄せて	1
河村達雄	
変電技術の現状と将来	2
山内 敦	
ガス遮断器の技術動向	5
伊吹恒二・岸田良二・奥野満晴・齊藤伸朗	
ガス絶縁開閉装置の技術動向	10
松田節之・高塚桂三・沼 芳伸・山本 宏・平河宏之	
変圧器の技術動向	16
三浦良和・塩野克巳・祖開克二	
避雷装置の技術動向	21
宇治田 克・藤原幸雄・望月幹夫・下村哲朗	
計器用変成器の技術動向	27
丸谷朋弘・森下彦三・内村和彦・越智直輝・西倉好美	
変電機器の監視・診断装置	31
但田昭司・細川育雄・佐久間秀一・福原好博・篠原秀雄	
ガス絶縁開閉装置の製造技術	37
北村正義・大沼昭栄・村上正昇・高崎茂数・大磯秀樹	

表紙

日本原子力発電株式会社敦賀発電所納め 550kVガス絶縁開閉装置

このガス絶縁開閉装置(GIS)は、ブッシング引出部が三角形状に設けられ、地形に適合した配置となっている。変圧器は、発電機建屋近くに据え付けられ、GISとケーブルで接続されている。

このように配置に柔軟性があり、縮小化・耐環境性・信頼性・保守の省力化に優れているため、当社の550kV GISは、臨海地の大容量発電所にも広く用いられ、1976年関西電力株式会社大飯原子力発電所に納入以来既に186ユニットになり、GISの総納入台数は4500ユニットに達している。



普通論文

新シリーズ アクティブフィルタ《MELACT-1000》	41
竹田正俊・朝枝健明・山本 博・溝畠文雄・宮下武司	
《RElia VAC》新シリーズ	
—四半世紀における真空スイッチ管の小形化技術—	45
青木伸一・内山 修・寄田光政・稻垣宏一・上村敏之	
中容量コンパクト低騒音CVCF《MELUPS-8700》	49
守川哲郎・本城健二・佐志田伸夫・森 治義・福井 勝	
搜索救助用レーダー トランスポンダと全世界的な海上遭難安全システム	53
古東啓吾	
天神MMビル納め映像情報システム	60
峯友清博・吉富徳典・岩端勝義	
高性能スピーカーシステム	65
大村俊次・岡部正志・奥村正富・矢島幹夫	
高速2MビットCMOS EPROM	70
香田憲次・興梠泰宏・山下正之・古庄辰記・和氣節雄	

特許と新案

発電機の自動電圧調整器、同期装置	75
通信制御プロセッサ	76

スポットライト

72~550kVガス絶縁開閉装置(GIS) エアレス化シリーズの完成	74
中容量光ライブラリユニット	77
書換形光ディスク装置	78
高速追記形光ディスク装置	79
全閉水冷モータ	80
オートトラッキング20"カラーディスプレイモニタ	(表3)

アブストラクト

変電技術の現状と将来

山内 敦

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P2~4

大容量化・低損失化・複合機能化・ガス絶縁化などが行われる変圧器、遮断性能や操作機構の信頼性向上の進む遮断器、三相一括化などによる縮小化と高信頼度化が行われるガス絶縁開閉装置、保護特性向上により機器試験電圧の低減や送電線への適用も進む酸化亜鉛形避雷器、電子技術・光技術を応用し、発展の期待される計器用変成器や変電機器監視・診断装置について、現状と将来展望を述べる。

ガス遮断器の技術動向

伊吹恒二・岸田良二・奥野満晴・斎藤伸朗

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P5~9

最近のGCBの技術動向例として、ばね操作タンク形GCBに適用した技術について紹介する。このGCBは、解析技術を駆使して、アークエネルギーの有効活用を図った高性能消弧室を適用している。その操作装置は、駆動源にトーションバーを使用して高出力化を達成した新型ばね操作装置である。また、高信頼度を達成するための技術や、保守・点検の一層の省力化のための技術も活用している。

ガス絶縁開閉装置の技術動向

松田節之・高塚桂三・沼 芳伸・山本 宏・平河宏之

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P10~15

ガス絶縁開閉装置が適用されて20年が経過した。その発展過程を形態面でとらえると、三相一括化による縮小化、高信頼度化であり、低電圧階級から上位電圧階級へと適用が拡大されてきた。現状の各電圧階級ごとの進展状況及び技術動向を概説するとともに、超超高压クラスについては最新の構成機器、解析技術、評価技術等を駆使し、下位電圧階級とは別の観点から縮小化、高信頼度化を図った次期550kV GISについて概要を紹介する。

変圧器の技術動向

三浦良和・塙野克巳・祖開克二

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P16~20

最近の大型変圧器の技術動向は、従来から進められてきた高電圧化・大容量化に対応するための絶縁・磁界問題の技術開発及び低損失化のための開発に加え、電力システムの総合的な信頼性・効率の向上のため、不燃化のためのガス絶縁変圧器、変圧器の多機能化及び輸送技術など多岐にわたる開発が要求されるようになっている。

本稿では、当社の外鉄形変圧器の特徴を生かした、これらのニーズにこたえる開発状況について紹介する。

避雷装置の技術動向

宇治田 克・藤原幸雄・望月幹夫・下村哲朗

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P21~26

非直線抵抗特性の優れた酸化亜鉛素子で構成された酸化亜鉛形避雷器が、昭和50年代の初めに交流発電所用として導入された。その優れた保護特性、エネルギー処理能力及び小形・軽量など多くの利点が認められ、酸化亜鉛素子を使用する避雷装置の適用は増大している。

ここでは、LIWL低減を可能にする高性能避雷器、送電線の雷害事故防止のために設置される送電線避雷装置など、酸化亜鉛素子の避雷器への適用技術の動向について述べる。

計器用変成器の技術動向

丸谷朋弘・森下彦三・内村和彦・越智直輝・西倉好美

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P27~30

計器用変成器は、地中変電所からガス絶縁変電所への推移あるいは変電所の高電圧・大容量化等のニーズにこたえ、それぞれに適合した変成器を開発・製品化することにより発展してきた。

ここでは、主に変電設備用としての変成器の変遷と光変成器も含めた最近の変成器の動向について述べるとともに、今後の変成器に関する展望した。

変電機器の監視・診断装置

但田昭司・細川育雄・佐久間秀一・福原好博・篠原秀雄

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P31~36

変電機器の監視・診断装置の用途別システム構成と、各監視項目対応のセンサの最近の検出、診断及び判定技術について報告し、併せて監視情報が多くなること、あるいは異常検出の結果に対してどのようにすべきか、運転・保守要員負担軽減のための保全支援システムについて言及している。

ガス絶縁開閉装置の製造技術

北村正義・大沼昭栄・村上正昇・高崎茂数・大磯秀樹

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P37~40

ガス絶縁開閉装置の製造技術の中で、

- (1) 一貫ライン化と自動化機器の導入されたタンク製造工場
 - (2) 専用ライン・GTライン共NC化・FMS化された機械工場
 - (3) GIS開発部門と一体で材料・金型開発をした絶縁物工場
 - (4) 組立作業の機械化と清浄化の進んだ組立工場
- などについて紹介する。

新シリーズ アクティブフィルタ《MELACT-1000》

竹田正俊・朝枝健明・山本 博・溝畠文雄・宮下武司

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P41~44

《MELACT-1000》は、ビル電源系統の高調波補償用として開発した三相出力10~200kVAのアクティブフィルタである。当社独自のカスコードBiMOSモジュールを使用した高調波PWM方式の採用により、25次までの高次高調波電流の補償を可能とし、また同時に無効電力の補償機能を持つ画期的な高調波対策装置である。

この論文では、装置の特長と構成について述べるとともに、実負荷への適用例とその補償特性について紹介する。

《RELLA VAC》新シリーズ

—四半世紀における真空スイッチ管の小型化技術—

青木伸一・内山 修・寄田光政・稻垣宏一・上村敏之

三菱電機技報 Vol.63・No.10・P45~48

真空スイッチ管(VST)の高信頼化と小型化の傾向には目覚しいものがある。その容積は、四半世紀前の15%に縮小された。本文は最近の三菱VST《RELLA VAC》の概要と100万本に及ぶ高信頼実績を紹介し、材料や表面物性などを基礎技術とするVSTの高信頼化技術が電極やアーキシールド・セラミック容器・ペローズなどに適用されて、《RELLA VAC》新シリーズの小型化が一段と進展したことについて述べている。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 27 ~ 30 (1989)

Trends in Instrument Transformer Technologies

by Tomohiro Marutani, Hikozo Morishita, Kazuhiko Uchimura, Naoki Ochi & Yoshimi Nishikura

The article describes recent trends in instrument transformers developed to satisfy the demand for higher voltages and larger capacities in electrical systems, and for application to gas-insulated substations.

The recent development of an instrument transformer using an optical sensor is also introduced.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 2 ~ 4 (1989)

Trends in and Prospects for Substation Technologies

by Atsushi Yamauchi

The article covers the present situation and future outlook—for transformers, with ever larger capacities, lower losses, more complex functions, and the changeover to SF₆ gas insulation; for circuit breakers, with improved interrupting performance and more reliable operating mechanisms; for gas-insulated switchgear with increasing reliability and size reductions owing to the integration of three phase units in one tank; for zinc-oxide surge arresters with improved protection at lower levels, resulting in lower test voltages and more compact substation equipment; for zinc-oxide surge arresters applied to power-transformers, supervisory equipment, and diagnostic equipment for substations, which promises advances thanks to the application of electronic and optical technologies.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 31 ~ 36 (1989)

A Monitoring and Diagnostic System for Substation Equipment

by Shoji Tada, Ikuo Hosokawa, Shuichi Sakuma, Yoshihiro Fukuhara & Hideo Shinohara

The article describes application-specific system configurations for substation monitoring and diagnostics, and the sensors used for each monitored variable, in terms of the technology used for detection, diagnosis, and evaluation. At the same time, it describes a maintenance-support system that helps to reduce the workload imposed on operators and maintenance personnel by the very large amount of information to be monitored and by the problem of what to do when a malfunction has been detected.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 5 ~ 9 (1989)

Trends in Gas Circuit Breaker Technologies

by Koji Ibuki, Ryoji Kishida, Michiharu Okuno & Shinro Saito

The article takes a dead-tank-type gas circuit breaker (GCB) with a spring-operating mechanism as an example of recent trends in GCB technology, introducing the technology that has been applied in this case. The GCB features a high-performance interrupter chamber designed to make effective use of the arc energy by applying analytical techniques. The operating mechanism uses a torsion bar to achieve high output with a novel form of spring. The GCB's high operational reliability is achieved by drawing on specific technologies, which contribute to major labor savings in inspection and maintenance.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 37 ~ 40 (1989)

Gas-Insulated Switchgear Manufacturing Technologies

by Masayoshi Kitamura, Akiyoshi Onuma, Masanori Murakami, Shigokazu Takasaki & Hideki Oiso

The article introduces the technological issues raised in the manufacture of gas-insulated switchgear, including the introduction of integrated assembly lines and automated equipment in plants responsible for tank fabrication; machining shops with specialized lines and lines using group technology, both types using numerical control and flexible manufacturing systems; insulator shops that cooperate with departments developing gas-insulated switchgear for materials and molds, etc.; assembly shops with advanced assembly machines and air-conditioned clean rooms.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 10 ~ 15 (1989)

Trends in Gas-Insulated Switchgear Technologies

by Setsuyuki Matsuda, Keizo Takatsuka, Yoshinobu Numa, Hiroshi Yamamoto & Hirayuki Hirakawa

Significant changes during the 20 years since gas-insulated switchgear was introduced include reductions in size and increases in reliability achieved by the integration in one tank of three-phase units, and the increasing application of gas-insulated switchgear to higher voltage class substations. The article examines the present situation in each voltage class and discusses technical trends, with particular consideration of the latest EHV units, their structures, the analytical and evaluative techniques used, and the means of reducing size and increasing reliability by employing a rather different approach from that used for units operating in lower voltage classes, as shown in the next generation of gas-insulated switchgear that is to operate above 550kV.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 41 ~ 44 (1989)

Series 1000 Bi-MOS Ultrasonic-Switching Active Filters

by Masatoshi Takeda, Takeaki Asaeda, Hiroshi Yamamoto, Fumio Mizohata & Takeshi Miyashita

The MELACT-1000 is a series of active filters with a three-phase output capacity of 10~200kVA developed to compensate for harmonics in the electrical power-supply systems for buildings. Using Mitsubishi Electric's proprietary cascode Bi-MOS power modules and high-frequency pulse-width modulation makes it possible for these filters to compensate for current up to the 25th harmonic. At the same time, they also possess the remarkable advantage of compensating for the reactive components of electric power. The article explains the new filters' features and structure and gives examples of their application to actual loads, and the compensation characteristics.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 16 ~ 20 (1989)

Recent Developments in Large Power Transformers

by Yoshikazu Miura, Katsumi Shiono & Katsuji Sokai

Until recently, the focus of R&D in the field of large power transformers has been on developing technologies for insulation, electromagnetism analysis, and lowering losses to achieve higher voltages and larger capacities.

Recently however, in addition to these, to increase the reliability and efficiency of the entire electric-power system, there have been demands for more diversified R&D for nonflammable gas-insulated transformers, multi-functional transformation equipment, etc.

The article introduces Mitsubishi Electric's R&D of shell-form transformers that meet these needs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 45 ~ 48 (1989)

Miniaturization Techniques Used in RELIA VAC, a New Series of Vacuum Switch Tubes

by Shin'ichi Aoki, Osamu Uchiyama, Mitsumasa Yorita, Koichi Inagaki & Toshiyuki Uemura

The trend toward vacuum switch tubes (VSTs) with higher reliability and smaller size is remarkable. Their volume has now been reduced to only 15% that of similar devices of about 25 years ago. The article introduces recent Mitsubishi RELIA VAC VSTs and the impressive reliability of the million units already installed, describing how VST reliability is achieved through the basic technologies for the materials used, including surface materials applied to the electrodes and the arc shield, ceramic envelope and bellows, etc. It also stresses the significant progress made in miniaturization with the new RELIA VAC series.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 21 ~ 26 (1989)

Trends in Surge-Arrester Technologies

by Katsu Ujita, Yukio Fujiwara, Mikio Mochizuki & Tetsuro Shimomura

Zinc-oxide elements, with their outstanding nonlinear resistance characteristics, have been used in surge arresters since their introduction to AC substations in the mid '70s. Their many advantages, including an excellent protection level, high energy-handling abilities, small size, and light weight, were soon recognized, leading to their widespread adoption for surge arresters.

The article examines technical trends in the application of zinc-oxide elements to high-performance surge arresters that make it possible to reduce lightning-impulse with stand voltage, and to fault-prevention surge arresters for power-transmission lines.

アブストラクト

中容量コンパクト低騒音CVCF《MELUPS-8700》

守川哲郎・本城健二・佐志田伸夫・森 治義・福井 勝
三菱電機技報 Vol.63・No.10・P49～52

CVCF(静止形無停電電源装置)は、各種コンピュータ、重要負荷に安定した電力を供給する電源装置として普及が進んでいる。今回、オフィスや生産現場にも設置可能な中容量コンパクト低騒音CVCF《MELUPS-8700》(出力三相7.5～50kVA)を開発・製品化した。この装置の主な特長は、①出力電圧の低ひずみ・高精度制御、②不平衡負荷耐量100%、③ディジタル マンマシン インタフェースによる使いやすさ等である。

捜索救助用レーダー トランスポンダと全世界的な海上遭難安全システム

古東啓吾
三菱電機技報 Vol.63・No.10・P53～59

IMO(国際海事機関)で採択された次世代の“全世界的海上遭難安全システム”に、当社が開発した“捜索救助用レーダー トランスポンダ”(SART)が国際標準装置として組み入れられた。遭難者により起動されたSARTは、視界不良時でも効的な船舶、航空機レーダーの映像上に直接遭難者の位置を表示する。

ここでは、SARTの機能の概要と、IMOやITU(国際電気通信連合)による、SARTの国際的な標準化達成までの経緯を紹介する。

天神MMビル納め映像情報システム

峯友清博・吉富徳典・岩端勝義
三菱電機技報 Vol.63・No.10・P60～64

1989年4月、福岡市にオープンした天神MMビル(愛称“イムズ”)に、大型映像表示装置、館内CATV、音響システムから構成される映像情報システムを納入した。このシステムは、音と映像で情報サービスを行うとともに、商業ビルでは日本最大の吹き抜け部に大型映像表示装置を40m昇降させ空間演出を行っている。商業ビルにおける顧客サービスのための映像情報システムの一例として、ここに紹介する。

高性能スピーカーシステム

大村俊次・岡部正志・奥村正富・矢島幹夫
三菱電機技報 Vol.63・No.10・P65～69

スピーカーシステムの広帯域化と低ひずみ化に対応し、ダイヤモンドに次いで比弹性率が高いB₄Cをプラズマ溶射法で成形した振動板、及びAC磁界による駆動力ひずみを大幅に低減した新形磁気回路を開発した。さらに、エンクロージャーやネットワーク等の高性能化、ディジタル計測技術を駆使した評価・検討を行い、最高の音質を追及した。これらの新しい技術を結集し、最高級スピーカーシステムDS-V9000を完成させた。

高速2MビットCMOS EEPROM

香田憲次・興梠泰宏・山下正之・古庄辰記・和氣節雄
三菱電機技報 Vol.63・No.10・P70～73

電気的に書き込みができ、紫外線照射により消去可能なEPROMは、マイクロプロセッサ応用システムに幅広く使用されている。今回筆者らは、最先端の微細加工技術と回路技術により、最大アクセスタイム100nsの読出し特性を持つ2MビットCMOS EEPROM M5M27C201K, M5M27C202Kを開発した。

本稿では、製品概要、技術的特長、電気的特性等について紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 65 ~ 69 (1989)

A High-Quality Speaker System

by Toshitsugu Omura, Masashi Okabe, Masatomi Okumura & Mikio Yajima

The article describes a newly developed speaker system designed for wide frequency response by using a diaphragm of plasma-flame-sprayed boron carbide (B_4C), a substance whose specific tensile modulus is only exceeded by diamond, and driven by a new magnetic circuit that greatly reduces the distortion caused by AC magnetic fields. The performance of the enclosure and dividing network has also been improved. Investigations and evaluations were carried out using digital monitoring technology in the pursuit of high sound quality. These new technical developments were combined in the DS-V900, the Corporation's highest-performance speaker system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 49 ~ 52 (1989)

Series 8700 Digital-Controlled Bi-MOS Ultrasonic-Switching Uninterruptible Power Supplies

by Tetsuro Morikawa, Kenji Honjo, Nobuo Sashida, Haruyoshi Mori & Masaru Fukui

Uninterruptible power supplies (UPSs) are finding widespread use as stable power sources for a wide range of computers with a variety of loads, from mainframes to the mini- and microcomputers used in office and factory automation. Mitsubishi Series 8700 UPSs, with an output capacity of 7.5 ~ 50kVA, three-phase, are small and quiet enough for factory or office installation. The article introduces the low-distortion high-precision output voltage control, the 100% unbalanced load capacity, and the ease of operation with a digital man-machine interface.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 70 ~ 73 (1989)

High-Speed 2M-Bit CMOS EPROMS

by Kenji Koda, Yasuhiro Koro, Masayuki Yamashita, Tatsuki Furusho & Setsuo Wake

EPROMs, electrically programmable and erasable by ultraviolet light, find widespread applications in systems using microprocessors. The authors used the most advanced fine-processing and circuit technologies to develop 2M-bit CMOS EPROMs with a maximum read access time of 100ns, the M5M27C201K and M5M27C202K. The article introduces the products, their technical features, and electrical characteristics.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 53 ~ 59 (1989)

9GHz Radar Transponders for Use in the Global Maritime Distress and Safety System

by Keigo Kotoh

The International Maritime Organization (IMO) has adopted a next-generation Global Maritime Distress and Safety System that includes a search and rescue transponder (SART) developed by Mitsubishi Electric as standard international equipment.

The SART, activated by distressed mariners, provides a clear and effective indication of its location directly on the radar screens of ships or airplanes; operation is completely independent of poor visibility.

The article introduces the SART functions and describes the process by which the international standards for SARTs were established.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 63, No. 10, pp. 60 ~ 64 (1989)

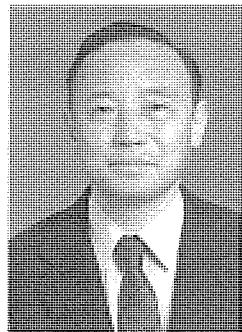
An Image and Information System for the Tenjin MM Building

by Kiyohiro Minetomo, Tokunori Yoshitomi & Katsuyoshi Iwabata

The article introduces an audio-visual image and information system installed in the Tenjin MM Building, which opened in Fukuoka City in April 1989. The system includes a large color display screen, CATV, and an audio system. It not only provides an information service that integrates audio and visual elements but also exploits the largest atrium of any commercial building in Japan by the suspension of the large screen at a height of 40m for mid-air viewing. The article also treats the system as typical of advanced image and information systems intended to serve the needs of customers in commercial buildings.

変電技術の現状と将来展望特集に寄せて

東京大学
生産技術研究所
教授 河村 達雄



社会システムを維持するためのエネルギー供給源としての、電気エネルギーは、そのすぐれた特徴のために、全エネルギーに占める割合が大きく、将来ともこの役割は変わらないことは言うまでもない。変電技術は、電気エネルギー供給システムのかなめとして、きわめて重要な技術であるが、将来の展望に当たっては、社会が電力系統に要求する必要性を十分に考える必要がある。

電力需要の高度成長の時代にあっては、高電圧・大容量化は時代の強い要請であり、これに対応するための技術開発がされてきた。UHV送電の計画に伴って、変電技術において多くの革新的な技術開発がされ、その実現にはすでに明るい見通しが得られている。

最近では、高電圧・大容量化とともに、厳しい社会事情を反映した要求がもとめられている。変電設備は電力輸送の重要な構成要素であるから、信頼性の向上は従前に増して要求されるのは当然である。これとともに、電力需要の多様化への要請により、電力の量のみならず、質への要求の比率が高まっており、また、変電所の周囲の環境への調和、都市化の進行に伴って、安全性の向上や防災、不燃化への配慮も重要な課題となる。さらに、変電所の経済性の向上と関連して、変電所の建設費の低減や保守、運転の合理化、省力化を考える必要がある。

これらの社会的要請に応えるために、従来から活発な技術開発がなされ、多くの成果が収められてきた。開閉装置については、遮断性能の向上、ユニットの高電圧・大電流化、三相一括化や操作機構の高度化などが実現している。また、複合機器としてのガス絶縁開閉装置については、厳しい社会、環境条件への対応のための技術開発の結果、こ

の分野における技術は、わが国は世界の最先端にあるといえる。変圧器にあっては、高電圧・大容量化とともに、不燃化、低騒音化、長寿命化のための積極的な技術開発がされている。避雷装置については、高性能酸化亜鉛形避雷器の性能向上によって、変電所のみならず、送電線や配電用機器への適用拡大が図られている。変成器についても、ガス絶縁方式の採用、オプトエレクトロニクス技術の積極的適用による性能向上に関する研究開発により、高性能化が実現している。さらに、これらの機器の高性能化を支える製造技術の高度化の努力もされている。

変電所における信頼性の向上を図るためにには、ハードウェアに関する技術開発とともに、予防保全と関連して、監視・診断に関する技術開発が必要となる。このためには、機器の正常、異常を検出するためのセンサや検出された情報の伝送や処理のための技術開発が要求される。

将来の変電技術の開発に当たっては、新素材の変電機器への適用を積極的に図る必要がある。これとともに、知識工学の適用など、取得された情報に基づいて、コンピュータの支援により、変電所のインテリジェント化を積極的に進める必要がある。高性能酸化亜鉛形避雷器の適用や解析技術の進歩などに基づいた絶縁設計の合理化、試験電圧の低減については、すでにその作業が精力的に進められているが、その実現とこれを適用することによって、なお一層の信頼性、経済性の向上が期待できるものと考えられる。

本特集号においては、これらの点が随所に見られており、その意味で関係の方々の御努力に敬意を表するものである。今後なお一層の技術開発がされることをこの分野に関係するものの一人として期待したい。

変電技術の現状と将来

山内 敦*

1. まえがき

1971年、我が国で初めての500kV変圧器が完成し、さらに、70年代後半に入つてのUHV絶縁技術の研究などにより、変圧器の高電圧・大容量化技術は大きく進歩した。引き続き、低損失化・輸送問題の解決・複合機能化による変電所の縮小化など、研究開発が進められている。一方、古くからガス絶縁変圧器の開発も進められ、既に275kV用まで開発されている。

開閉装置においては、ガス絶縁機器の出現とその発展が、技術の現状に大きくかかわっている。我が国にガス遮断器（以下、GCBという。）が出現して以来、既に1/4世紀になろうとしているが、これに優れる遮断器は現れていない。このGCBを主要部としたガス絶縁開閉装置（以下、GISといふ。）は変電所を一新し、さらに小形化・高信頼度化を目指し改良が続けられている。

一方、1970年代後半に実用化された酸化亜鉛形避雷器は、優れた保護性能により変電機器の絶縁レベルの低減を可能とし、各機器の小形化・経済性の向上に大きく貢献している。

変電技術の現状と将来は、各機器の過去からの実績の流れのうちに見出すことができる。次に、これらの機器の発展の跡をたどり現状を把握するとともに、将来を展望したい。

2. 変電機器及び変電技術の歩みと現状

2.1 変圧器

変圧器における技術開発は、500kV送電の開始に代表される変圧器の高電圧化のための絶縁技術開発、及び大容量化に伴う空間磁束密度の増大による機械力・漂遊損失增加問題の解決がその中心となり、さらに、1978年の第二次石油危機を契機として、変圧器の低損失化に対する要請が高まり、低損失鉄心材料の開発、漂遊損失低減開発による本体損失の低減とともに、冷却器の低損失化技術も急速な進歩を遂げた。外鉄形変圧器は、高電圧絶縁、大容量化への対応に基本的に好適な構造を持っており、損失低減の面でも500kV 1,500／3 MVA単巻変圧器で、最高効率99.9%という高い効率を実現している。

一方、電力用変圧器は、絶縁・冷却の両面から、長らく油浸絶縁が唯一の方式として採用されてきたが、変電設備不燃化のため、油を使用しないガス絶縁変圧器の実用化が急速に進んでいる。当社では、早くからガス絶縁変圧器の開発・製品化を進めてきたが、1982年我が国初の電力用として77kV 20MVA変圧器を納入するなど最大の納入実績を持っている。また、高電圧大容量ガス絶縁変圧器についても、既に1981年に275kV 300MVA級の開発を完了しており⁽¹⁾、現在更に高電圧化、大容量化に向け開発を進めている。SF₆ガスは、絶縁油に比べ、主として熱輸送能力が劣ることから、機器単体コストとしては油入式に一步をゆずることは避けられないが、完全不燃という大きな利点を持っており、都心部の変電所等を中心に、ますます広く採用されていくものと考えられる。

また、大形変圧器の輸送問題の解決、及び変電所スペースの縮小も変圧器技術開発上の大きな課題である。

輸送問題の解決に対しては、当社は古くから“特別三相構造”により、多くの輸送困難な地点への大容量変圧器輸送を実現してきたが、最近では、これを一步進めたCGPA変圧器を開発実用化し、飛躍的な改善を達成している⁽²⁾。この方式により、275kV 300MVA変圧器の30形通常低床トレーラでの輸送を実現しており、今後500kV変圧器に適用することによって、GISの採用と相まって三相器化が可能となり、輸送問題の解決と併せ変電所縮小化にも大きな寄与が期待される。

変電所の縮小化に対しては、従来の変圧器の概念を破り、複数の変圧器を1台に集約してスペースの縮小と高率化を図るには変圧器の複合機能化が効果的で、既に独立電圧調整スプリット巻線変圧器や一体鉄心形負荷時電圧位相調整変圧器⁽³⁾などを完成納入したほか、現在リクトル機能付き変圧器の製作を進めている。また、外鉄形フォームフィット構造の利点を生かし、変圧器を横倒し据付けてすることにより、建屋式変電所の階高を大幅に低くし、建設費を低減するなど、多くの改善事項が実用化可能となっている。

変圧器は、一般に標準的な製品としてとらえられ勝ちであるが、成熟した技術をもった静止機器であり、種々の要求にこたえ得る技術を持っているので、さらに計画段階から各変電所の特質に応じた技術の適用を検討することによって、一層の信頼性・経済性の向上が期待される。

2.2 ガス遮断器

1965年、我が国で初めて実用化された当社のGCBは、当時主流であった空気遮断器と同様のがいし形二重圧力式であり、84kV 5,000 MVA、一点切りの遮断器であった。このGCBは、空気遮断器の半分の遮断点数で遮断抵抗を用いることなく、より大きな電流を多数回遮断可能であり、その特性は画期的なものであった。

以後、GCBはより高い電圧とより大きな電流を遮断可能な消弧室を求めて、改良が重ねられていった。1969年には、消弧室当たりの遮断電圧が倍増し、四点切りで550kV 50kA遮断可能なGCBが完成し、500kV系統の完成とともに納入された。

一方、遮断電流31.5kAの中容量GCBでは、構造単純な单一圧力式パッファ形が研究され、我が国で初めての84kV用が1967年納入された。引き続く改良により、1977年には、四点切りで50kAの遮断が可能な550kV GCBが納入され、以後、当社のGCBはすべて单一圧力式となった。さらに、63kA遮断可能な240kV GCBが1979年に納入され、1986年には550kV GCBが出荷されている。

1970年代後半には、UHV用遮断器の研究が始まり、消弧室の高電圧化の研究は更に進み、1983年には550kV 50kA、二点切りGCBが納入され、1986年には、420kV、一点切りが完成されている。

また、発電機主回路用遮断器は、以前、空気遮断器が国外で製造されていたが、当社は世界で初めて、二重圧力式ガス遮断器として完成し、1977年納入した⁽⁴⁾。その後、单一圧力式遮断器で80kA、さ

らに110kA遮断可能なGCBを開発し、発電所の合理化に貢献している。

このように、GCBにおいて最も重要で、成果の顕著な技術が、遮断性能向上に対するものである。これらは、遮断現象のシミュレーション⁽⁵⁾・電界計算・運動解析などの基礎技術の進歩と、多くの実験やその測定技術によるデータの蓄積の上に成し遂げられている。

さて、GISの実用化が進むにつれ、GCBもタンク形が好まれるようになった。1970年代後半にはタンク形が大部分を占めることとなり、今後も、我が国ではタンク形が広く用いられると考える。

遮断器の操作装置には、前記我が国初のGCBから油圧装置が採用され、以後、高速で大きな駆動力を要する場合には油圧が用いられた。比較的小さな力の場合には空気操作が適用されたが、1984年ばね操作装置が120kV以下のGCB用に開発され、さらに、トーションバーの適用により、204kV GCBまで適用可能となった。保守に労力を要する圧縮空気発生装置を持たないこれらの操作装置は、将来、主流になると見える。

GCBやGISの開発の初期には、密封技術・アークによるSF₆分解ガス対策・ガス中水分除去など、実用性能に関する技術は特に重要であった。本邦初のGCBは、1980年、15年で10,000回の動作を良好に遂行し、詳細な分解調査も行われ、十分な実用性能を持つことが確認された⁽⁶⁾。

GCBは、高度成長期にふさわしい大容量器というのみでなく、安定期の高信頼度遮断器としても認められ、現在、72kV以上の遮断器としてこれに代わり得るもののは現れていない。真空遮断器の多用される36kV以下においても、大容量器として適用範囲が拡大している。

2.3 ガス絶縁開閉装置

日本が高度成長期に向いつつあった1960年代、電力需要の増大と都市への集中が進むと予想される中、土地狭小の我が国では、臨海大容量発電所から都市近郊への超高压大容量送電システムが必要になると考えられた。当社では、このシステムの両端に、耐環境性に優れ、大容量ながら超小形のGISを採用することが最適であり、しかも、超高压において最も真価が發揮できると考えた。

我が国で初めての84kV GISは、1968年、実系統で運転に入ったが、GISの開発は年々高電圧に移り、1970年には、早くも550kV GISの長期課電試験に入り、500kV送電実現とともに、1973年、550kVハイブリッド形GISが納入された。1976年には550kV全ガス絶縁GISが原子力発電所で稼働を始め⁽⁶⁾、これらは世界の記録品となった。

上記第一号84kV GISは相分離形であったが、翌1969年納入の84kV GISでは、既に母線は三相一括形となり、以後GISの形態上の変遷は、相分離形→母線のみ三相一括形→全三相一括形→複合化による縮小形へ、と進められて行った。現在、550kVでは母線のみ三相一括化され、300kVでは全三相一括化、72kVでは複数機器の一括化による縮小まで行われている。

このような小形化・集積化に当たっては、複雑な形状の電界計算・耐震計算・耐圧容器や大形絶縁物の製造技術などが、大きな役割を果たしている。

2.4 避雷器

酸化亜鉛素子の電力機器への適用の研究を、当社では、1970年代から素子の製造技術を含めて開始し、1978年に182kV、その翌年に420kVの酸化亜鉛形避雷器（以下、MOAという。）を納入した。

MOAは優れた保護特性により、機器の絶縁レベルの低減を可能とし、1982年納入された550kV GISの主母線は、従来の1,800kVに

対し、1,550kVのLIWLで設計された。さらに、UHV用避雷器の研究では、一層優れた特性のMOA素子が作られた。電気協同研究会においても、“絶縁設計合理化”のテーマのもとに、MOAを適用した場合の検討が行われ、500kV・275kV変電所用機器の試験電圧が低減され、機器の小型化が可能であると報告された⁽⁷⁾。これらの研究には、EMTPなどによるサージ解析技術の進歩が役立っている。

送電線保護にMOAを適用する研究も、当社では、1978年から行っており、主として66/77kV系統において、既に2,000相以上が実線路に適用されている。この送電線避雷装置は、落雷による線路トリップによる瞬停を防止し、OA・OF機器への影響を防ぐことが可能であり、今後の大きな発展が期待されている。

2.5 監視・診断装置

変圧器やGISは、接地容器内に主要部が収納され、本質的に環境の影響を受けることが少なく、長寿命で信頼度の高い機器といえるが、内部の状況を知ることが困難であり、外部からの診断技術が要求される。当社では、従来から変圧器の油中ガス分析による異常検出技術などが開発されているが、1980年、GISの内部異常を電気的・化学的・音響的に部分放電を検出することにより知る、可搬式の診断装置を開発した⁽⁸⁾。一方、事故発生時、速やかに事故点を標定する装置も研究され、1979年、内部アークによるガス圧変化で検出する装置が初めて納入された。

1984年には、変圧器及びGISの常時監視装置を納入し、現在、20以上の変電所で稼働している。これらには、変圧器の油中ガス・部分放電・ガス密度・遮断器の動作などの監視装置が設けられている⁽¹⁰⁾。

2.6 製造技術

大容量、高信頼度機器を製造するための技術の向上や、設備の充実も絶えず行われている。1970年代の大形変圧器やGISの組立工場の増設、GISのタンク製造ラインの増強整備、NC機を備えた機械工場、防じん空調組立工場の整備、部分放電試験装置の整備など行われてきた。また、現地据付け組立て時の移動用クリーンハウスも開発され、現地組立て時の信頼性を向上させている。

3. 将来の展望

変電機器の発展の跡をたどってみても、変電技術は社会の要請にこたえて進歩していることが分かる。情報化が一段と進み、安定化した将来の社会では、良質の電力が要求され、機器には高い信頼性が求められる。また、高齢化も進み、保守の省力化の要求も増大する。環境問題は、変電所の外観のみならず地球規模の課題となり、エネルギー消費の増大は抑制されよう。しかし、制御しやすく安全な電力は、利用エネルギー中最も伸びると予想され、変電機器の小型化・大容量化・経済性の向上が強く求められるであろう。

これらの要求にこたえる変電技術と、それが具体化された変電所の例を図1に示す。

材料に対する研究はいろいろなされているが、その一つとして、SF₆に代わる新ガスの研究がある。1980年代に盛んであり、当社でも研究されたが、遮断性能や毒性・沸点の高さなどに問題のあるものが多く、総合的にSF₆を越えるガスは見出されていない。ペイバーミスト絶縁も期待されたほどの効果は得られないようである。固体絶縁物に関しても、米国で可とう（撓）性ガス絶縁母線に熱可塑性樹脂スペーサを適用した研究報告はあるが、適切な充てん材入りエポキシ樹脂以上の特性を持つ材料は現れていない。これらを主材料とす

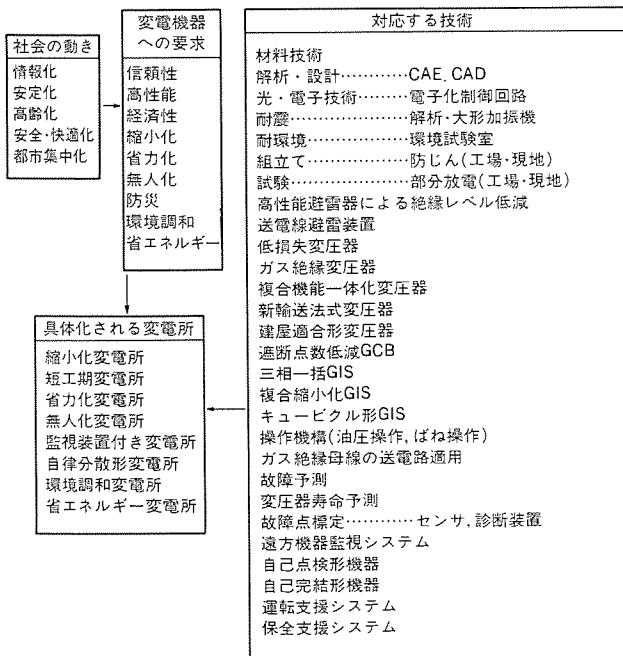


図1. 社会の要請に対応する変電技術

るGISやGCBに代わる開閉機器の出現は当分見られず、解析・設計技術や蓄積データを駆使して、GIS・GCBの一層の性能・信頼性・経済性の向上が進められると考える。これらは、縮小化・短工期化・環境調和・省力化した変電所として実現される。

変圧器においても、新しい技術であるSF₆を用いたガス絶縁変圧器が、不燃性という大きな特長を生かし、今後広範囲に適用されていくと考えるが、一方、高電圧・大容量器に対しては、油入変圧器の性能向上研究が更に続けられるであろう。

開閉装置においては、操作装置の保守性と長期信頼性が非常に重要である。当社では、これらの点で優れる油圧操作装置が高速大容量器向けに、ばね操作装置が小容量用にとシリーズ化されている。これらは、UHV用遮断器・断路器・高速度接地開閉器にまで適用可能である。

酸化亜鉛形避雷器の特性の向上は、電気協同研究会での“絶縁設計合理化”の研究を推し進め⁽⁸⁾、電気学会試験電圧標準特別委員会を発足させ(1989年4月)、2年後には規格改定案が作成される予定である。試験電圧は一、二段階低減され、機器の縮小化が進むものと見られている。

GISの形態は、三相一括化、複合縮小化へと小形化や経済性を求めて変遷してきているが、今後は構成機器が増加しても信頼性・安全性の向上に重きをおく形態が、一層研究されると考える。従来の気中絶縁変電所では困難な配置も、接地タンクで囲まれたGISでは比較的容易であり、立体化や機器の追加設置などで効果をあげることも期待できる。

このような機器自体の高信頼度化と併せて、監視装置を付設して

適切な保全により、変電設備全体の機能の信頼度を向上させる方策が更に検討されるであろう。ガス密度や接触部の温度、油中ガス量などの状態監視や開閉機器の動作監視装置、あるいは事故点標点装置に対しては、主に設備費用とその装置の寿命・保守の問題が主であり、部分放電検出装置に対してはこれらの問題のほか、ノイズとの判別法の研究が更に求められている。

監視装置は、センサや光技術・電子技術・情報伝達処理技術といった進歩の著しい技術を取り入れることが可能であり、今後の発展の期待される分野である。監視システムの拡大に伴い、情報量は増大し、運転支援システムや保守支援システムにより、省力化を図ることも行われる。さらに進めて、検出データを装置自身で判断する自己診断形や、自己完結形の装置を持つ自律形機器も出現し、変電所の省力化・無人化が信頼性を向上させながら達成されよう。一方、据付け形とは別に、検査時に持ち込み使用する可搬式の異常診断装置も改良され、変電機器の据付けや点検時に広く用いられるであろう。

また、保護・制御回路に用いられる計器用変成器は、従来の電磁結合や静電結合を利用する型が、現在も広く用いられているが、新しく光・電子技術を応用した方式が開発されている。GISに適用した場合の小形化という長所や、情報伝送の光化という傾向の中にあって、更に発展すると考える。

4. む す び

変電技術に関し、主として変圧器と開閉機器を取りあげ、これまでの流れの中に現状をとらえた。これらの機器は、需要家のニーズにこたえるべく、すなわち、高い信頼性・優れた性能・縮小性・経済性を目指して開発が続けられてきている。今後も、この方向に向かい、光・電子・情報処理など、新しい技術を取り入れながら、変電技術の向上に努力を続けたい。

これらの新技術を適用した機器開発は、電力会社はじめ多くの需要家との共同研究によるものが多い。関係各位にお礼申し上げるとともに、今後の御指導をお願い申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 植山ほか：三菱電機技報, 59, No. 3 (1985)
- (2) 三浦ほか：三菱電機技報, 60, No. 4 (1986)
- (3) 祖開ほか：三菱電機技報, 62, No. 12 (1988)
- (4) 松村ほか：三菱電機技報, 51, No. 10 (1977)
- (5) 山田ほか：三菱電機技報, 57, No. 9 (1983)
- (6) 阿澄ほか：三菱電機技報, 51, No. 6 (1977)
- (7) 富永ほか：三菱電機技報, 53, No. 2 (1979)
- (8) 電気協同研究：第44巻, 第3号 (1988)
- (9) 伊藤ほか：三菱電機技報, 54, No. 7 (1980)
- (10) 藤本ほか：三菱電機技報, 59, No. 11 (1985)

ガス遮断器の技術動向

伊吹恒二* 齊藤伸朗**
岸田良二** 奥野満晴**

1. まえがき

当社では、1965年に我が国で最初のガス遮断器（以下、GCBと称す。）を納入して以来、消弧室ユニットの高電圧大容量化、ばね操作装置の採用など、数々の画期的なGCBを製品化し、既に18,000台の納入実績を持っている。

表1に、当社のGCBとその操作装置の歩みを示すが、その足跡は、二重圧力式（二重式）がいし形GCBに始まり、單一圧力式（單式）タンク形GCBへと進歩してきた。また、消弧室ユニットの高電圧大容量化の点でも進歩が著しく、單式においては、当初84kV、30kAクラスのものであったが、現在では420kV、50kA、一点切りGCBまで製品化⁽¹⁾している。

近年、電力の質の向上、総合経済性の向上が重要な課題となっており、GCBに対しても、高性能化、信頼性の向上、保守・点検の省力化などの要求がますます強くなってきている。このような背景をもとに、高信頼度を確保するための技術⁽²⁾や、保守・点検の省力化のための技術開発が進み、今回、ばね操作装置の駆動源としてトーションバー（ねじりを利用して棒状のばね）を採用したばね操作タンク形GCBを製品化した⁽³⁾。

本報では、最近のGCBの技術動向例として、ばね操作タンク形GCBに適用した各種技術を紹介する。

2. ばね操作GCB開発の基本的な考え方

2.1 消弧室の設計・検証

消弧室の設計・検証は、次の考えを基に行っている。
(1) アークエネルギーを有効利用して、遮断性能を上げることにより、消弧室の信頼性を向上することを基本とする。

(2) 基本性能と実用性能を考慮して、徹底した検証試験（例えば、多重雷を想定した試験など）を行う。

2.2 操作装置の設計・検証

操作装置の設計・検証は、次の考えに従って行っている。

(1) CAD/CAEの活用による動作解析、応力解析を行うことにより、十分な裕度をとり、信頼性の向上を図る。
(2) コンポーネントごとの十分な耐久性を、徹底した寿命試験などにより検証し、GCBと組み合わせて最終確認を行う。

3. ばね操作GCBに適用した技術

前章で述べた基本的な考え方に基づいて、72~204kV、40kAクラスのばね操作タンク形GCBを製品化した。このGCBの外観を図1に、定格を表2に示す。ばね操作装置は、流体を使用していないので、操作エネルギーの保存性が優れており、取扱いやすく、保守・点検の省力化

が図れるなどの特長を持っており、168/204kVクラスへの適用拡大が望まれていた。今回製品化したGCBは、この要求にこたえたもので、表2に示す定格領域において、国内最初のばね操作タンク形GCBである。

このGCBの消弧室は、遮断現象解析技術⁽⁴⁾や熱ガス流解析技術⁽⁵⁾などの新しい技術を駆使して、小形化・高性能化を図り、新しく制定された高い遮断性能を要求する交流遮断器規格JEC-2300に対応可能とした。

ばね操作装置は、駆動源にトーションバーを採用し、投入ばね蓄勢機構を平歯車方式とすることにより、ばね操作装置の高出力化を行う際の問題点を本質的に改善して、信頼性の向上を達成した。さらに、潤滑、防せい（錆）面などの改善により、保守・点検の一層の省力化を実現した。

このGCBの構造図を図2に示すが、ばね操作装置のトーションバーを、消弧室タンクの下部に設けるなど、配置、構成上にも配慮し、全体としてコンパクト化を図り、据付け面積を縮減した。

以下、このGCBに適用した技術について述べる。

3.1 新形消弧室の技術

表1. ガス遮断器とその操作装置の歩み

ガス遮断器 (GCB)	年代	操作装置
240kV, 15,000MVAタンク形GCB開発完了	1963	油圧操作装置の採用
84kV, 5,000MVA SF形(かいし形)GCB納入(二重式, OH形油圧操作)	1965	空気操作装置の採用
300kV, 25,000MVA SF形GCB納入	1966	ばね操作装置の基礎研究
84kV, 3,500MVA SFL形(かいし形)GCB納入(單式, AL形空気操作)	1967	
72~300kV, 40/50kA SFH形(かいし形)GCBシリーズ完成	1969	
72~300kV, 31.5kA SFL形GCBシリーズ完成	1970	
550kV, 50kA SFHT形(GIS用)GCB納入	1971	
72~300kV, 40kA SFM形(かいし形)GCBシリーズ完成	1972	
550kV, 50kA SFH形GCB納入	1973	
120~204kV, 31.5kA SFLT形(タンク形)GCBシリーズ完成	1974	
120~204kV, 40kA SFMT形(タンク形)GCBシリーズ完成	1975	
240~550kV, 40/50kA SFMT形GCBシリーズ完成(OHC形油圧操作)	1976	
発電主回路用110kA SFW形GCB納入	1977	
72~204kV, 31.5/40kA SFLT-A/SFMT-A形(タンク形)GCBシリーズ完成(AM形空気操作)	1978	
240kV, 63kA SFMT形GCB納入	1979	
発電主回路用80kA SFWA形GCBシリーズ完成	1980	
240/300kV, 40/50kA SFMT-B形(タンク形)	1981	
一点切りGCB完成(OHC形油圧操作)		
550kV, 40/50kA SFMT-B形(タンク形)二点切りGCB完成	1982	
72kV, 25kA SFMT-B形(GIS用)GCB完成(BM-1形ばね操作)	1983	
GCB総納入台数10,000台達成	1984	
72~120kV, 31.5kA SFMT-B形(タンク形)GCBシリーズ完成	1985	
550kV, 63kA SFM-B形(かいし形)GCB納入	1986	
GCB総納入台数15,000台達成	1987	
362/420kV, 40/50kA SFMT-B形(タンク形)一点切りGCB完成	1988	
242/300kV, 63kA SFMT-B形(タンク形)一点切りGCB完成		
72kV, 31.5kA三相一括形(GIS用)GCB納入(OM-1形油圧操作)		
300kV, 50kA三相一括形(GIS用)GCB納入(OM-2形油圧操作)		
72~204kV, 40kA SFMT-B形(タンク形)GCBシリーズ完成(BM-2形ばね操作)		

表2. ばね操作タンク形GCBの定格

項目	形式	60-SFMT-40B	70-SFMT-40B	100-SFMT-40B	140-SFMT-40B	170-SFMT-40B	170-SFMT-40B
定格電圧 (kV)	72	84	120	168/204	168/204		
絶縁階級 (号)	60	70	100	140	140		
定格電流 (A)		800/1,200/2,000, 3,000, 4,000					
定格周波数 (Hz)		50/60					
定格遮断電流 (kA)		40		31.5/40			
定格過渡回復電圧 (kV μ s)		0.75		2.0			
定格投入電流 (kA)		100		80/100			
定格短時間電流 (kA)		40		31.5/40			
定格開極時間 (s)		0.020			0.016		
定格遮断時間(サイクル)		3		2			
閉極時間 (s)		0.1					
定格制御電圧 (V)		DC 100					
定格ガス圧力 (kgf/cm ²)		5(20°C)					
標準動作責務		A/R					
操作方法		閉路-ばね, 開路-ばね					
準拠規格		JEC-2300-1985					
操作	作	三相操作		単相操作			

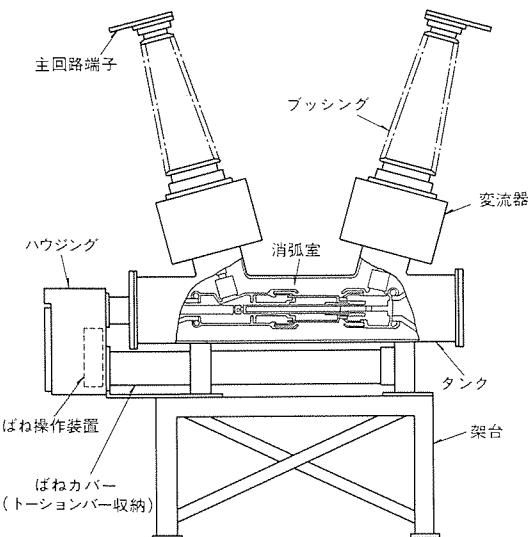


図2. ばね操作タンク形GCBの構造

1985年に交流遮断器規格が改訂され、JEC-181に代わってJEC-2300が新たに制定された。この規格は、従来の規格に比べて高い遮断性能を要求するもので、例えば、遮断後の過渡回復電圧(TRV)の初期上昇率が、従来の $1\text{ kV}/\mu\text{s}$ から、 $2\text{ kV}/\mu\text{s}$ に高くなっているほか、TRVの初期に急しゅんな過渡振動が重畠する初期過渡回復電圧(ITRV)が規定された。

ばね操作タンク形GCBでは、この新規格に要求された遮断性能を十分に余裕をもって実現するために、アークエネルギーを有効に活用して、168/204kV、40kAクラスの新形消弧室を開発した。

3.1.1 新形消弧室の設計思想

新形消弧室は、アーク自身のエネルギーを有効活用してパッファ室内の圧力を高める自力消弧方式の概念を適用した300kV、50kA、一点切りGCBと同一シリーズの消弧室であり、図3にその設計思想を示す。

この消弧室は、解析技術を駆使して、パッファ室の適正な小形化とパッファ室から絶縁ノズル内の流路の適正化を図り、アークエネ

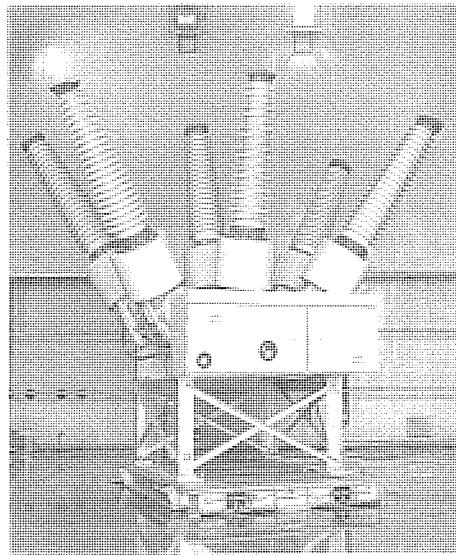


図1. 168/204kVばね操作タンク形GCBの外観

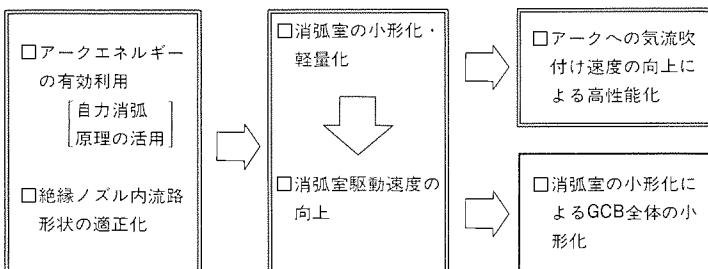


図3. 新形消弧室の設計思想

ルギーをパッファ室内の温度と圧力を高めるために活用し、電流零点近傍において、アークに吹き付けるガス流の速度を高め、高性能化を図ったものである。

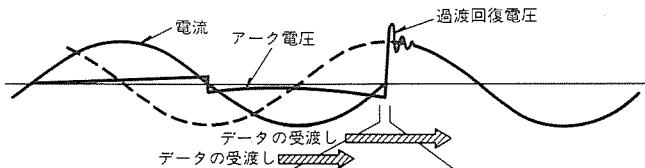
また、遮断後の絶縁回復特性を向上させるために、熱ガス流の密度分布の時間変化と、通電接触子やシールド表面の電界強度分布を解析で求め、消弧室形状の適正化を図った。

3.1.2 解析技術

図4に、GCBの遮断過程と解析技術を示す。GCBによる大電流の遮断は、操作装置の出力特性と極間に発生したアークエネルギーが相互に作用した複雑な過渡現象である。このため、遮断現象解析では、遮断過程を大電流期間、小電流期間、絶縁回復期間に分類し、操作装置の動作特性と系統により決定される過酷度を総合的に組み合わせて、GCBの性能を解析評価した。

大電流期間では、注入されるアークエネルギーに対し、消弧室形状、ガスの状態、操作装置の出力特性が入力され、時々刻々変化するガスの流速・温度・圧力の変化を求める。図5は、この解析手法を用いて絶縁ノズル内のガスの状態を求めた解析例である。次に、小電流期間では、前記の計算で求めた値を電流零点近傍におけるアークの動特性計算の初期値として用い、遮断の成否を推定する。

絶縁回復期間においては、前記の解析結果を境界条件として、熱ガス流を三次元的な広がりのある空間内で取り扱い、消弧室周辺に流出する熱ガスの温度・密度・流速を求める。図6は、熱ガス流解析結果の温度分布の一例である。



	大電流期間の解析	小電流期間の解析	絶縁回復期間の熱ガス流の解析
計算により求めたい項目	・温度、圧力の分布 ・バッファ室圧力 ・開路速度	・遮断の成否 ・並列キャバシタの値 ・遮断限界 $(\frac{dV}{dt}, \frac{dI}{dt})$	・絶縁回復特性
関連する要因	・アーカ電圧 ・消弧室の流路形状 ・操作装置出力	・アーカ柱の冷却の速さ ・回路条件	・遮断後の残留高溫ガスの温度(密度)と分布、回路条件 ・消弧室周辺形状

図4. GCBの遮断過程と解析技術

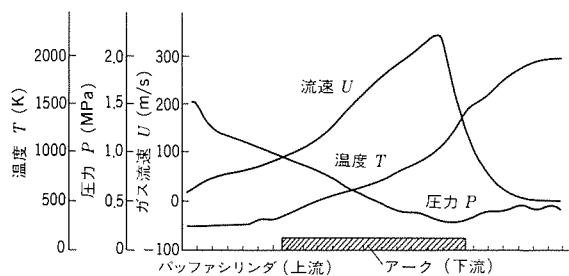
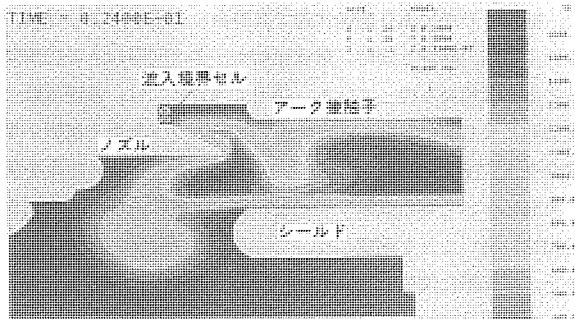
図5. 絶縁ノズル内の流速・温度・圧力分布
解析例（アーカ時間 1サイクル）

図6. 温度分布図（遮断完了後約 5 ms）

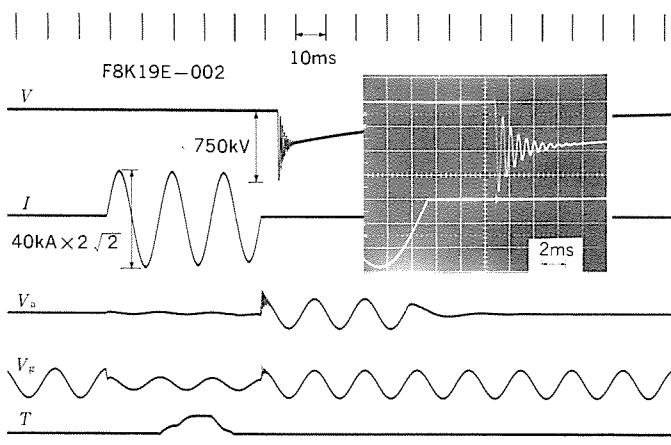


図7. 多重雷を想定した評価試験オシログラム

この解析技術により、消弧室の小型化・高性能化を達成し、高い信頼性を確保した。

3.1.3 検証試験

新JEC-2300に規定された遮断責務の検証・評価のほかに、実用性能を考慮して、多重雷を想定した絶縁性能評価の検証試験を実施した。

通常の短絡遮断では、極間や対地間に遮断直後に最大の電圧が加

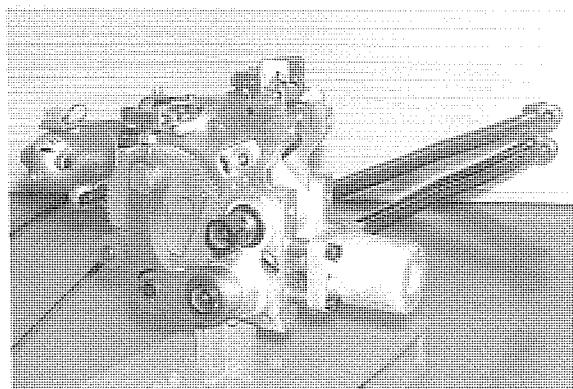


図8. 新形ばね操作装置の外観

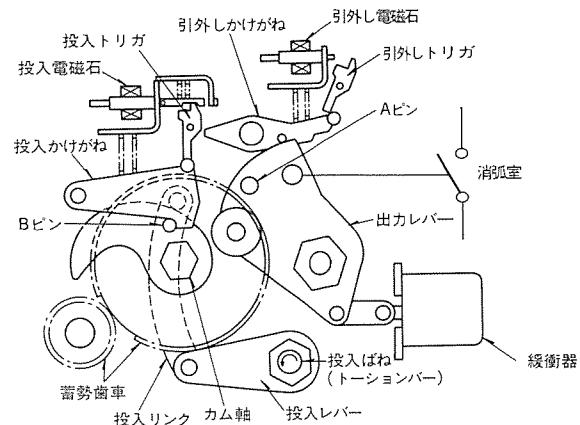


図9. 新形ばね操作装置の構造

わる。しかし、多重雷を想定した場合、電圧責務が最も厳しくなる時期を特定することはできない。このため、前記の熱ガス流の解析により、遮断後の絶縁耐力の時間的変化を把握して、電圧の印加時期を選定し、実機を用いて1~100msの間で試験を実施した。図7に5ms後に電圧を印加したオシログラムを示す。その結果、多重雷に対して十分な絶縁性能をもっていることを確認した。

3.2 新形ばね操作装置の技術

ばね操作装置は、従来72~120kVクラスのGCBに広く適用⁽⁶⁾されていたが、取扱いやすく、保守が容易であるなどの特長を持っており、適用拡大が望まれていた。新形ばね操作装置では、以下の技術により、高出力化と高い信頼性、保守・点検の一層の省力化を達成した。図8に、新形ばね操作装置の外観、図9にその構造を示す。

3.2.1 高出力化技術

ばね操作装置の高出力化を達成するために解決するべき課題は、次のとおりである。

(1) ばね自身の動作に必要なエネルギーが大となり、操作装置の出力が大きくなる。その結果として、次の問題が生じる。

(a) 衝撃、振動が大きくなり、信頼性を低下させる。

(b) ばね操作装置が大型化する。

(2) ばねの蓄勢に大きなエネルギーを必要とし、電動モータの出力が大となる。

従来のばね操作装置の駆動源には、コイルばねが一般的に使用されている。しかし、操作エネルギーが比較的低出力でよい場合は問題とならないが、高出力化を考える場合には、コイルばね自身の重量が大きくなり、ばね自身を動作させるためのエネルギーが無視できなくなる。このために、消弧室の動作に必要な操作力を得るには、ばね荷重を一層大きくする必要があり、衝撃荷重や振動が大きくな

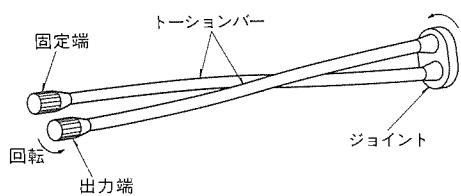


図10. トーションバーの適用

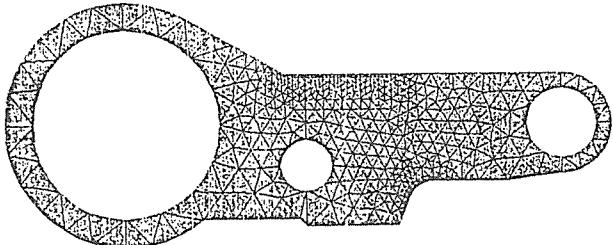


図11. かけがねの応力分布

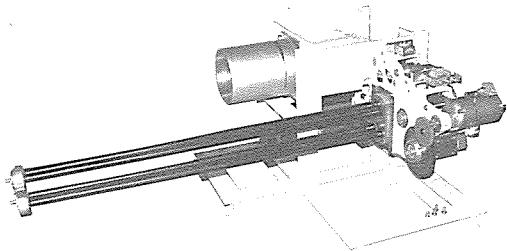


図12. 操作装置のモデル機

り、信頼性を低下させる原因となる。また、コイルばねの大形化が、操作装置、操作ハウジングの大形化を招き、GCBのコンパクト化の障害となる。

新形ばね操作装置では、コイルばねではなく自動車の懸架装置などに広く使用されているトーションバーを採用した。トーションバーは、コイルばねと比較して、

(1) ばね自身の可動部重量が極めて小さい。コイルばねの場合、ばね重量の1/3が可動部重量に相当するが、トーションバーはほとんど無視してよい。

(2) 単位重量当たりに蓄えられる弾性エネルギーが大きい。

などの特長があり、ばね操作装置に適用した場合、

(3) ばねの出力がコイルばねと比較して75%に低減できるので、小形で高出力化が可能で、振動が小さく、機械的信頼性が高くなる。

(4) ばね自身の重量がコイルばねと比較して55%に軽減できるので、小形で軽量化が図れる。

などの利点がある。この利点を生かすことで、小形化・高出力化と信頼性の向上を図った。

一方、トーションバーは棒状のばねであり、全長が長く、出力端と固定端が遠く離れてしまうので、操作装置への取付けが困難である。そこで、図10に示すように、トーションバーを2分割して片端をジョイントで連結し、全長を短くし、機構部に出力端と固定端を設けて機構との一体化を達成し、ばね操作装置へのトーションバーの適用を可能とした。

ばね蓄勢機構は、従来つめ車方式であったが、高出力のばねを蓄勢する場合には、巻き上げ途中の摩擦などによる損失が無視できないので、平歯車方式を採用することにより改善した。平歯車方式は、歯面のすべりがほとんどなく伝達効率が良いので、電動機の所要電力を小さくすることができる。また、蓄勢時の負荷変動がなく蓄勢

動作が安定し、信頼性の向上に寄与する。

新形ばね操作装置は、従来から実績のある引外し及び投入ラッチ機構と、カム投入方式を採用している。カム投入方式は、カム自身の特長として、高速安定性、良好な運動特性、高い信頼性などの利点を持っている。

高出力化の設計に当たっては、計算機による動作解析と実機の動作とを比較して、ばね荷重のばらつきや各部の摩擦力の変化を考慮し、各部に異常が発生したときの限界値を把握するなど、動作信頼性の向上を図った。また、出力が大きくなっているが、図11に示すように構造解析により応力集中などを求めて、十分な機械的強度を持つよう設計的配慮を行っている。

3.2.2 保守・点検の省力化

ばね操作装置の採用により、空気操作装置と比較すると、保守・点検の作業が大幅に省力化できるが、新形ばね操作装置では、更に以下の新しい技術を導入し一層の省力化を達成した。

従来、ばね蓄勢機構部には、潤滑と防錆のためにグリースを塗布しており、このため定期的（通常3年）なグリースの交換が必要であった。新形ばね操作装置では、歯車の歯面に二硫化モリブデン乾性被膜潤滑剤を焼き付けることにより、グリースの塗布を不要とした。

この二硫化モリブデン乾性被膜潤滑剤は、蒸発や気化するがなく、被膜の形成により乾燥状態で長寿命の潤滑ができるほか、耐荷重性に優れ、潤滑と同時に電気亜鉛めっきと同等以上の防錆効果があるなどの特長を持っている。適用に当たっては、基礎試験として線接触による耐荷重性を測定するファレックス試験や被膜の摩耗や寿命を測定するLFW-1試験を行い、耐荷重性や摩耗寿命を確認し、実機において寿命試験や高低温試験を実施し、特性に変化がなく信頼性の高いことを確認した。

また、回転部に使用している軸受には、通常グリースを塗布しており、主要部分については前記と同様に定期的なグリースの交換が必要であった。新形ばね操作装置では、この部分にシール付き軸受を使用し、グリースの定期的な交換を不要とした。

前記2点の改良により、新形ばね操作装置では、グリースの交換作業や、このために必要な分解・再組立の作業が不要となり、空気系の排除を含め大幅な保守・点検の省力化を実現した。

3.2.3 検証試験

新形ばね操作装置では、要素単体及び機能ユニット単位での基本性能検証を行い、操作装置モデル機による徹底した寿命検証と実用性能検証を経て、遮断器との組合せにより最終確認を実施した。

要素単体及び機能ユニット単位では、トーションバーの疲労試験や機械的保持装置（ラッチ、トリガ類）の破壊試験を実施し、実使用条件に対して十分に裕度のあることを確認した。歯車部に適用した二硫化モリブデン乾性被膜潤滑剤は、前項で述べた基礎試験のほかに、塩水噴霧試験により耐食性の確認を実施した。また、電動モータの耐電圧検証や蓄勢機構部の5万回連続運転検証などにより、各要素が十分な基本性能と耐久性を持っていることを確認した。

図12に操作装置のモデル機、表3にこのモデル機を使用して実施した代表的な実用性能検証試験を示す。これらの試験は、遮断器との組合せの前に、操作装置単体で徹底した信頼性と寿命の検証を行うことを目的としている。ここでは、従来から実績のある機械的保持装置についても、高速ビデオによる動作の観察のほかに、ギャップセンサにより、ラッチ系の時間的変化を把握するなど、特殊技術

表3. 代表的な実用性能検証試験

項目	内 容
過負荷連続開閉試験	ばね荷重を基準の120%に設定し、多数回動作を行い、十分な耐久性を持っていることを確認した。
無潤滑試験	機構部を無潤滑状態にし多数回動作を行い、特性に変化のないことを確認した。
多数回寿命試験	4台のモデル機で各3~5万回の連続開閉試験を実施し、実用上問題のないことを確認した。
高速動作の観察	操作時の各部の動きを高速ビデオにより観察するとともに、ギャップセンサで時間的变化を測定し、不安定な動作のないことを確認した。
寸法公差試験	ダッシュポットクリアランスや機械的保持装置の寸法公差を考慮した特性試験を実施し、加工公差に対しても特性が安定していることを確認した。

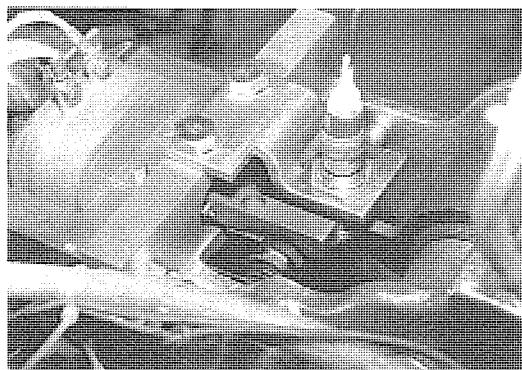


図13. ギャップセンサの取付状態

を使って検証・評価の精度を上げて不安定な動作のないことを確認した。図13に、ギャップセンサの取付状態の一例を示す。実遮断器との組合せにおいては、開閉特性試験、遮断試験、操作音測定、寿命試験のほかに、ばね操作装置の安定した動作特性を確認するために、大形環境試験室を使用して環境試験を実施した。図14は、単相操作形の環境試験状況であり、開閉時間の温度特性を図15に示す。これらの試験により、新形ばね操作装置の総合的な耐久性と信頼性の評価・検証を行った。

4. む す び

GCBの最近の技術動向のなかで、高性能化、高信頼度化、保守・点検の省力化に関して、新形ばね操作タンク形GCBに適用した技術について述べた。このGCBは、最近のニーズにこたえた新しいGCBとして、電力機器の一層の信頼性の向上に寄与するものと確信している。今回のばね操作タンク形GCBの製品化により、当社の72~550 kVクラスの全GCBが、新JEC-2300対応となり、かつエアレス化(ば

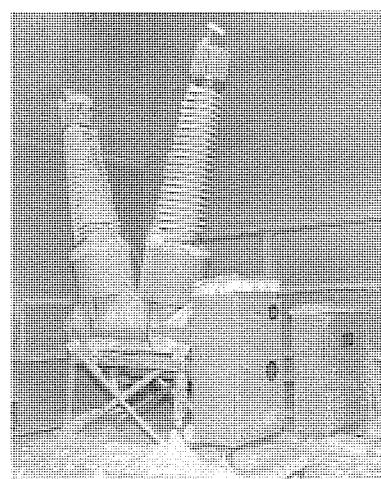


図14. 環境試験状況

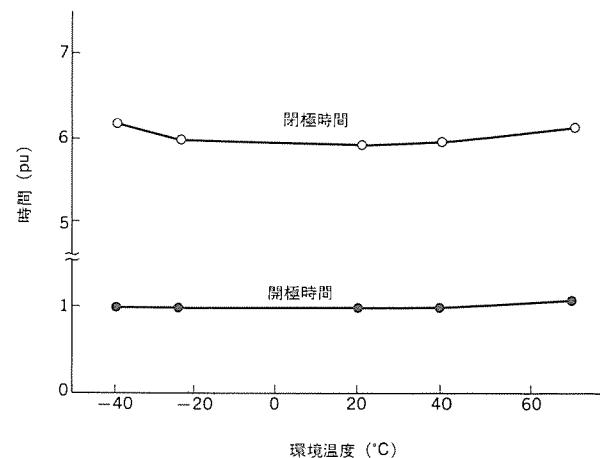


図15. 開極時間・閉極時間の温度特性

ね又は油圧操作) できたことになる。

今後の技術動向として、消弧室はアークエネルギーを有効活用する方式が解析技術の進歩により、ますます適用拡大され、GCBの高性能化、高信頼度化が実現されていくものと考えられる。操作装置は、ばね操作、油圧操作が、それぞれの利点を生かして発展していく、検証技術の進歩とともに一層の信頼性の向上を達成すると考えられる。

参 考 文 献

- (1) 伊吹ほか：昭和63年電気学会全国大会, No.1182
- (2) 吉積ほか：三菱電機技報, 62, No. 8 (1988)
- (3) 伊吹ほか：平成元年電気学会全国大会, No.1359
- (4) 山田ほか：三菱電機技報, 57, No. 9 (1983)
- (5) 吉積ほか：昭和63年電気学会全国大会, S.12-3
- (6) 大沼ほか：三菱電機技報, 59, No. 3 (1985)

ガス絶縁開閉装置の技術動向

松田節之* 山本 宏*
高塚桂三* 平河宏之*
沼 芳伸*

1. まえがき

ガス絶縁開閉装置（以下、GISと称す。）は、昭和43年、我が国において初めて設置されて以来、既に20年以上を経過し、現在では特高クラスから超超高圧はもちろんのこと、将来のUHV変電所にも適用が企画され、送変電機器の主流となっている。

高度成長時代から安定成長時代を迎え、高度情報化社会を目指している今日、従来の高電圧化、大容量化などの電力の量だけでなく、質への比重が高まっており、供給支障事故時の社会的影響度の増大からGISの一層の高信頼度化が要請されている。

GIS構成要素である遮断器、避雷器、変成器等の高信頼度化や変電機器の監視、診断装置による高信頼度化については、別稿で詳細に記されているので、ここではGISの形態面の変遷から、現在の技術動向と将来展望について概要を紹介する。

2. GISの変遷

GISの発展段階を特徴づけるものとして、図1に示す形態の変遷があげられる⁽¹⁾。GISは、各構成機器の高電圧充電部を各相ごとにそれぞれ独立の接地金属タンクに収納した相分離形から出発し、主母線導体のみ三相分を同一タンクに収納した主母線三相一括形を経て、各構成機器ごとに三相分を同一タンクに収納した全三相一括形へと進展してきた。さらに、低電圧階級のものについては、複数の構成要素を一つの容器内に収納した縮小形GISも使用されはじめている。定格電圧240／300kVについても、都市機能の高度化、社会機能の集中化に伴う電力需要密度の増加、高信頼度化の要求から、超高压系統の都心部導入に対し、より小形でしかも信頼性の高いGISのニーズがあり、全三相一括形GISが既に実用に供されている。定格電圧550kVについては、現在、主母線のみ三相一括化されているが、全三相一括化に当たっては、特に機器が大型化することから、製造・輸送・据付けの面からの制約があり、下位電圧階級とは異なる観点か

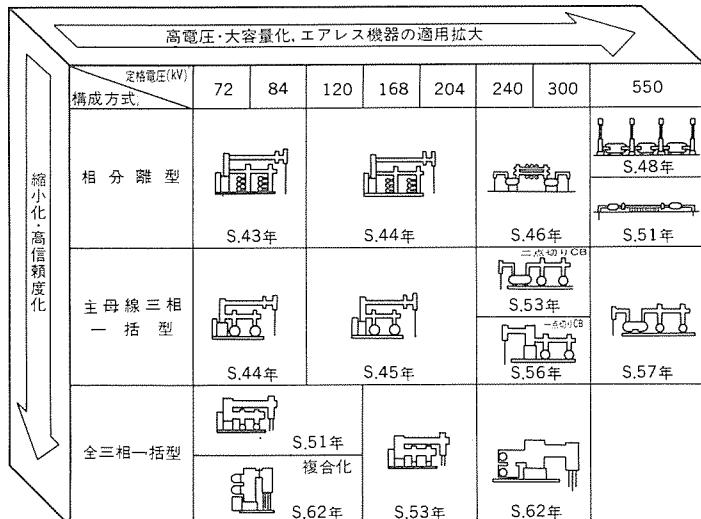


図1. GIS形態の変遷

ら縮小化、高信頼度化を図る必要がある。

3. 複合化・全三相一括化

3.1 複合化

従来のGISは、構成機器要素ごとに独立した容器に収納することを基本としてきた。すなわち、遮断器(CB)、断路器(DS)、変流器(CT)、主母線(BUS)、ケーブルヘッド(CHD)などが一つの独立した機器として形成され、それぞれに組み合わされてGISを構成していた。一方、GISの縮小化を効果的に達成するには容器などの構成部品の数を削減することがポイントであり、機能上許容される範囲内で一つの容器内に構成要素を複数個収納する、いわゆる複合化は有力な手段となる。

複合化に当たっては、保守運用性、事故時対応、輸送、据付けなどを総合的に考慮して複合化の程度を決める必要がある。

図2に複合化された縮小形GISの内部構造例を示す。遮断器ブロック(CB, ES), 母線ブロック(BUS, DS), 線路ブロック(DS, ES, CHD)として、複数機器が各々一つの容器に収納されている。さらに、線路側ユニットには、PTなどの切離し装置も収納され、多様なスケルトン、機器構成に対応できる構成となっている。

現在、72／84kV, 120kV GISで採用され始め、使用実績を踏まえて、今後更に上位電圧階級への適用拡大が指向されている。

3.2 全三相一括化⁽²⁾

都市機能の高度化、社会機能の集中化に伴い、都市部の電力需要密度は更に増加が予想されるとともに、供給される電力の信頼度向上がこれまで以上に要求されている。

用地確保の困難な都心部では、おのずから高電圧化、大容量化を

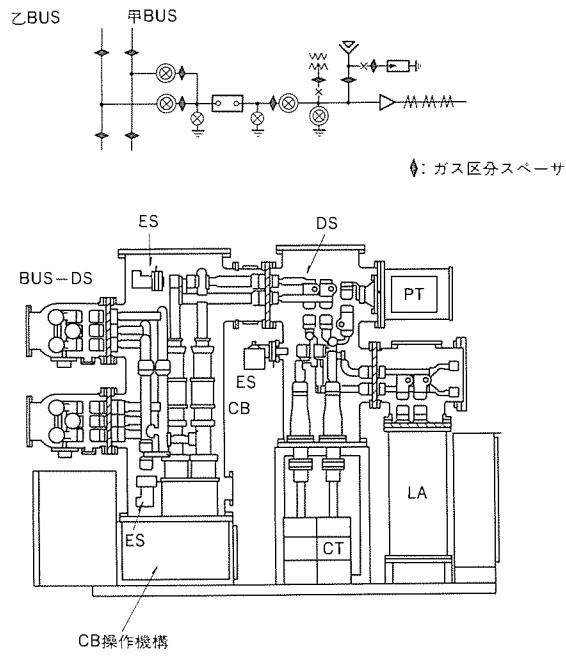


図2. 縮小形GISの内部構造及び単線結線図

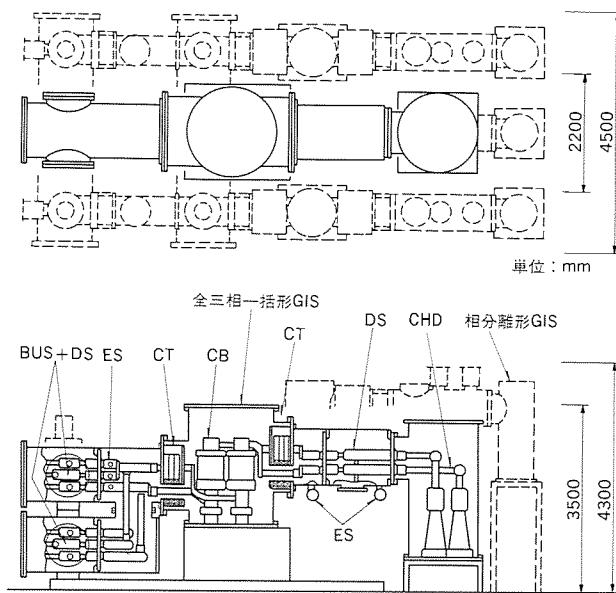


図3. 240/300kV相分離形GISと三相一括形GISの比較

必要とし、超高压系統の都心部導入に際しては、より小形で、しかも信頼性の高いGISが今後とも要求される。

図3に240/300kV相分離形GISと全三相一括形GISの比較を示す。据付け面積で50%，容積で40%，重量で70%の縮小（当社比）となり、土地・建物に制約の大きい都心変電所に大いに貢献できるものとなっている。さらに、1回線全装輸送が可能な形態とし、現地接続箇所の低減による工期の短縮と信頼性の向上を図っている。

各種の機器で構成されているGISは、システム全体が電気的、機械的、実用性能的に調和がとれたものでなければならない。そのため必要な解析技術、評価技術、製造技術等を駆使して小形で信頼性の高いGISを製作することが重要である。

三相一括形GIS設計上最も重要な課題の一つは、CB遮断後の熱ガス流存在下における絶縁性能であり、その解析例を図4に示す。同図(a), (b), (c)は、遮断電流50kA、アーク時間1サイクルとしたときの遮断器容器内のガス温度分布を示したものである。熱ガス流存在時の絶縁性能は、三次元電界解析から求めた電界強度とガス温度に応じた雷インパルス許容電界を対応させて評価できる。このような手法を駆使して、消弧室の最適形状及び相間距離を決定し製作されるが、解析及び検証結果から、大地間、相間にに対する電界強度は、いずれも許容電界に比べ十分に低いことを確認している。

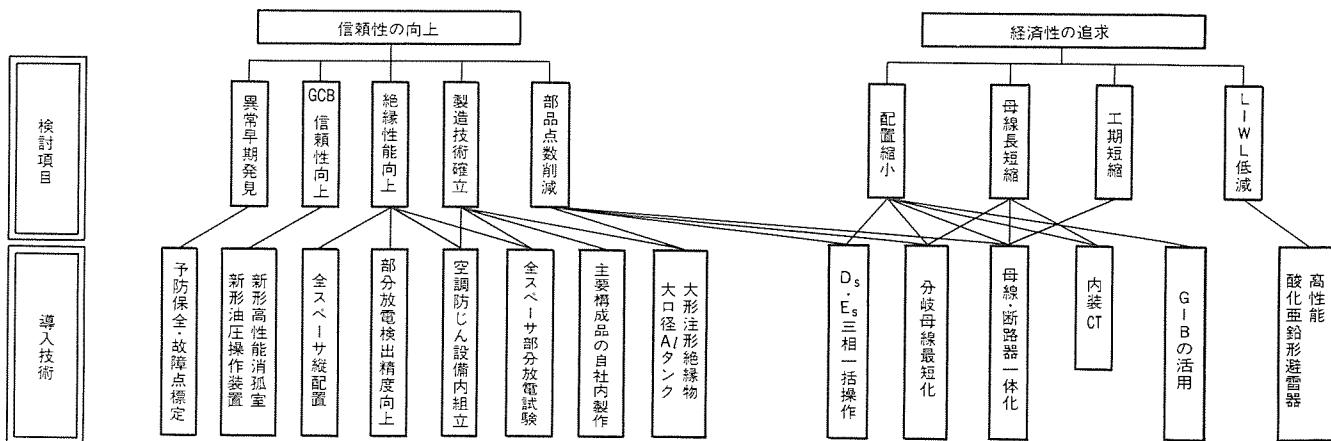


図4. 短絡遮断時のガス温度分布

以上のことから、各種の解析及び検証結果を踏まえて内部構造を最適化することにより、三相一括化しても相分離形と同等以上の十分な絶縁信頼性のある機器が実現される。

4. 次期550kV GIS

図1に示したように、GISは、形態の変遷において、三相一括化が図られ、低電圧階級から高電圧階級まで経時的に発展してきたが、550kVクラスでは前述のように、このような流れとは別の観点から縮小化、高信頼度化を図る必要がある。

図5に、信頼度向上、経済性の追求の観点から、現在考えられる検討項目及び導入技術の一覧を示す。図6には、これらの項目を具体化した次期550kV GISの内部構造を示す。

導入技術の展開に当たっては、図1に示す形態の流れに含まれる技術、すなわち、解析技術の向上、各機器の高信頼度化、複合化、製造技術から試験技術までの総合的な技術を駆使している。

ここでは、これらの導入技術のうち、高性能避雷器を適用し、最新の雷サージ解析手法による絶縁レベルの評価、及び大型化に伴う三相一括形母線、注型絶縁物の設計技術について概要を紹介する。

4.1 絶縁レベルの評価

酸化亜鉛形避雷器は、エネルギー処理能力、保護性能が優れ、かつ小形、軽量など多くの特長を持っており、急速に適用が拡大されてきた。電力設備の絶縁設計は、過電圧の抑制として避雷器、それ

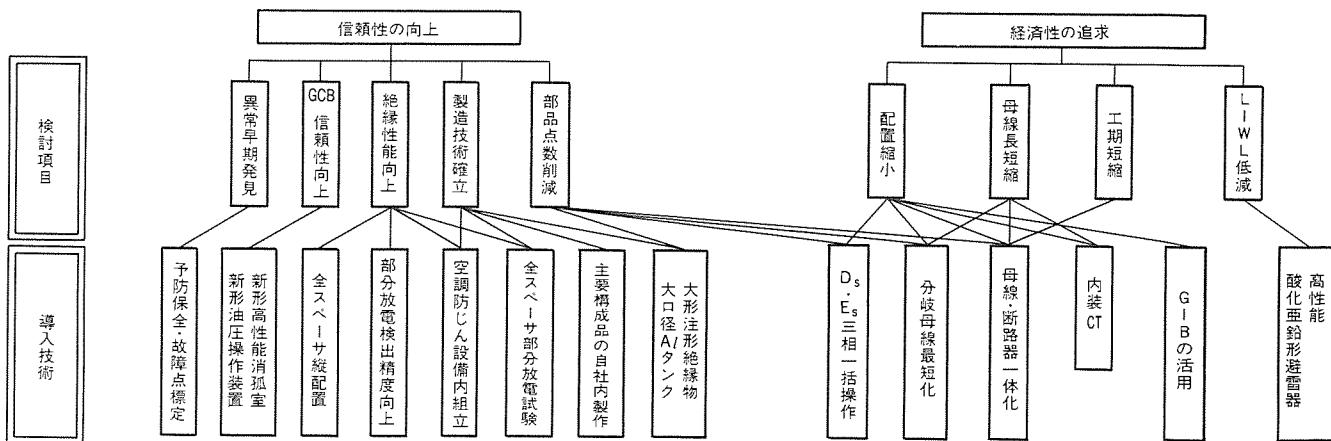


図5. 次期550kV GISの検討

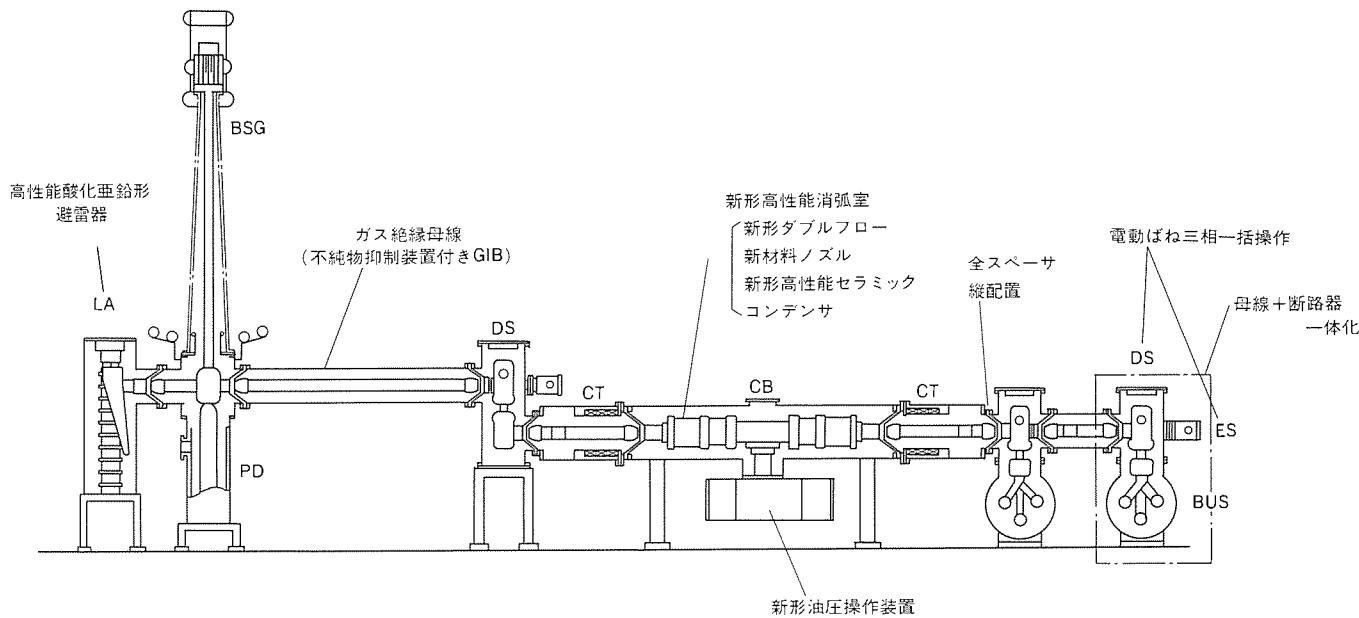


図 6. 次期550kV GISの内部構造

表 1. 雷サージ解析結果

回路条件	交流重畠	LAV-特性 (at 10kA)	GIS端最大電圧
1回線+1回線によるルート選択	有り	870kV	1,270kV
		920kV	1,304kV
		1,110kV	1,427kV
Line CB開放	無し	870kV	1,328kV
		920kV	1,401kV
		1,110kV	1,697kV

もできるだけ高性能の避雷器を用いて、その保護性能を十分活用し、所要の絶縁レベルを合理的に設定することを基本としている⁽³⁾。したがって、UHV送電技術の検討の過程で開発された高性能な素子の下位電圧階級への適用が積極的に図られている。

一方、近年、EMTP (Electromagnetic Transient Program) の導入、解析手法の進歩からGIS各所のサージ分布が正確に推定できるようになり、これらの技術を組み合わせることによって、合理的な絶縁設計が可能となる⁽⁴⁾。

表1に、引込み、引出し母線長が各々20mのときの550kV GISの計算例を示す。同表には比較のため、従来形避雷器(制限電圧、 $V_{10kA} = 1,100\text{kV}$)の計算結果も示す。対象としたGISにおいて、高性能避雷器($V_{10kA} = 920\text{kV}$)では1,401kVとなっている。さらに、交流短時間過電圧(TOV)が1.5pu、0.2秒以内という条件では($V_{10kA} = 870\text{kV}$)1,328kVとなり、従来に比べ各々17%, 22%抑制されている。

一方、TOVは避雷器の現状規格では1.5pu、2秒であるので、絶縁レベルを評価する場合、適用される系統のTOV解析も併せて必要となる。

図7に代表的な雷サージ波形を示す。

4.2 三相一括形主母線

絶縁設計の合理化に伴うGISの縮小効果については、GISの各構成機器によって異なる。すなわち、電流開閉責務を持つ遮断器、断路器等は、絶縁性能、通電性能以外の消弧性能、機械強度性能などがサイズ決定要素の一因となる。したがって、絶縁レベルの合理化のみでは、大きな縮小効果は期待できない。それに対し、電流開閉責

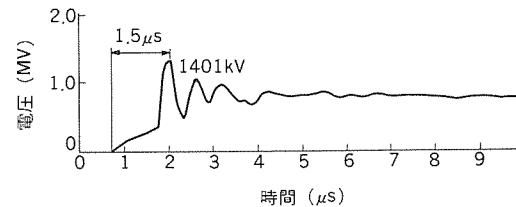


図 7. 雷サージ波形例

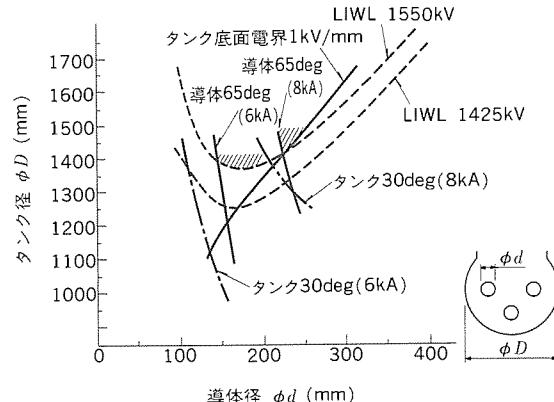


図 8. 550kV三相一括形主母線サイズの決定要因

務を持たず、内部に機械的可動部のない主母線の場合、そのサイズは主として、絶縁性能及び通電性能により決定される。

三相一括形主母線を検討する場合に必要な課題は、電気的、熱的に合理的なサイズの決定、短絡電磁力等の機械的強度、大口径注型絶縁物等であり、以下に概要を紹介する。

4.2.1 通電性能

図8に、導体及びタンク底面の許容電界から決まる耐電圧性能及び通電性能上必要なタンク径と導体径の関係を示す。これらの検討から、通電电流6,000Aまではサイズは絶縁レベルで決まるのに対し、8,000Aでは通電性能から決定されることが分かる。また、8,000Aでは、許容温度上昇限度を格上げすることによって、タンクサイズは更に縮小可能と考えられる。

4.2.2 短絡電磁力

三相一括形主母線の短絡電磁力は、タンク材質(透磁率、抵抗率

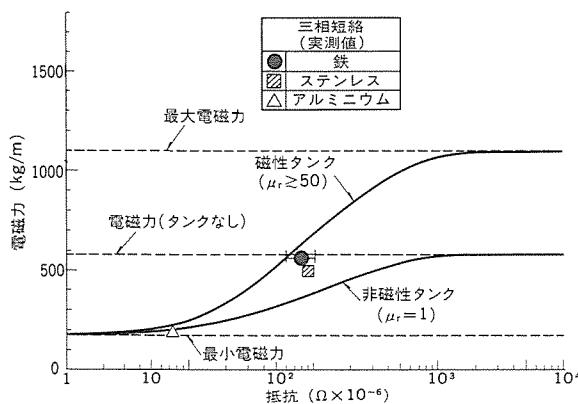


図9. 電磁力のタンク材質依存性

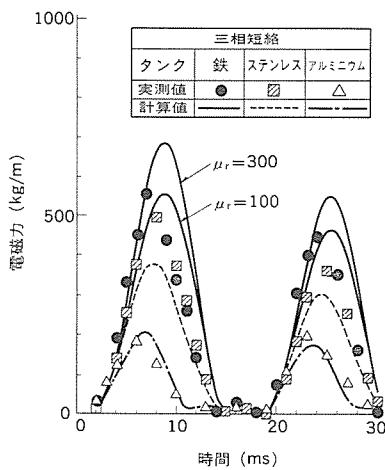


図10. 電磁力の時間依存性

等) によって大きく異なる⁽⁵⁾。

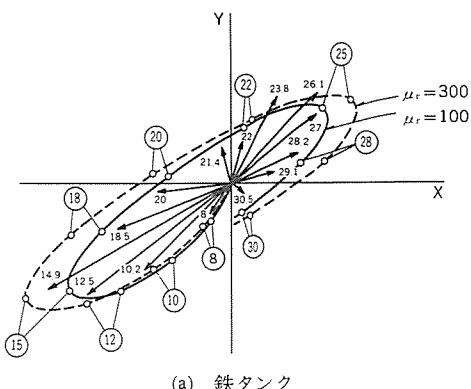
短絡電磁力は、以下の各成分のベクトル和で表される。

ここで、 \vec{F}_c は他相の短絡電流による電磁力、 \vec{F}_e はタンクに誘導される渦電流による電磁力であり、 \vec{F}_m を打ち消す方向に作用し、タンクの抵抗率が小さいほど大きい。 \vec{F}_m はタンクの磁化による電磁力であり、 \vec{F}_c と重複する方向に作用し、非磁性タンクでは零である。図9に、タンク抵抗値及び透磁率と短絡電磁力との関係を示す。各曲線はイメージ法による解析値である。同図から、タンクの抵抗値が同一の場合、磁性タンクの方が非磁性タンクよりも電磁力は大きいが、抵抗値が小さい場合は両者の差は小さくなる。また、アルミニウムタンクの場合、電磁力は理論的最小値まで低減できる。

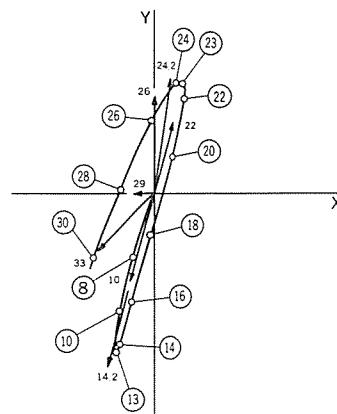
図10に各種タンクの電磁力の時間依存性を示す。鉄、ステンレスの場合、最大電磁力の絶対値はほぼ同じであるが、アルミニウムタンクを使用すれば約1/3程度に低減される。

両端支持構造の通電導体に図10に示す電磁力が等分布荷重として作用するため、導体は振動し、支持スパン中央部で最大変位を生じる。最大変位のベクトルは、時間とともに絶対値及びその方向が変化する。タンク材質による通電導体変位と方向の様相を図11に示す。図中記載数値は時間(ms)を示す。鉄、ステンレスタンクではほぼ同様な特性を示すが、アルミニウムタンクの場合、最大変位の絶対値及びその方向が大きく異なる。

したがって、大容量三相一括形主母線タンクの材質としては、上記短絡電磁力の極小化による支持絶縁物の発生応力低減、発生損失の極小化、輸送、現地据付け作業時の取扱性、基礎荷重の軽減等によりアルミニウムが最適である。



(a) 鉄タンク



(b) アルミニウムタンク

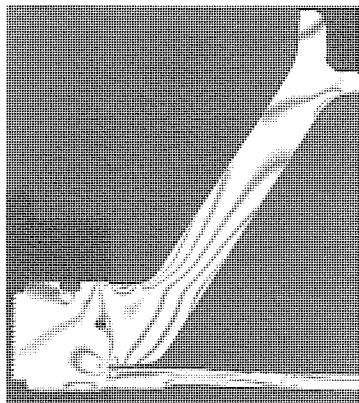
1.3.3.1 逻辑型的组织

4.2.3 大口径圧室絶縁物
ガス区分用スペーサには、ガス圧力差がある場合、スペーサフランジ側（タンク接続部近傍）に比較的大きな曲げモーメントが発生する。したがって、機械強度上、口径が大きくなるほどスペーサの厚さが増加するため、フランジ側の絶縁物界面部の電界強度が大きくなる。電界緩和の手段としては、外部シールドを設置する方法と、スペーサ内部に埋込みシールドを埋設する方法がある。スペーサ内部に埋込みシールドを埋設する方法は、接地側絶縁物界面部の電界緩和には有効であるが、注型時の残留応力、外力印加時等の発生応力を配慮する必要がある。

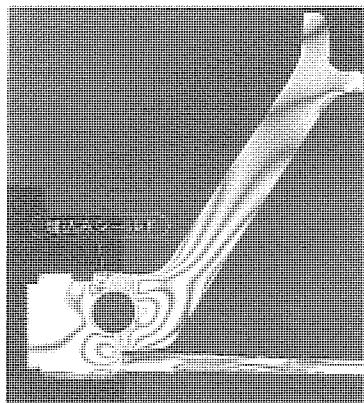
図12に、埋込みシールド有無による外力（引張荷重）印加時のスペーサの光弾性解析例を示す。一般に、この解析は等色線しま（縞）が多く集まっている部分は応力値が高いことを示す。同図から、埋込みシールド有りの場合、無しの場合に比べ、埋込みシールド部に応力集中を起こしていることが分かる。

一方、スペーサの内部応力を高くせずに、フランジ側絶縁物界面部の電界強度を緩和する手段として、外部シールドを設置することが考えられる。

図13に、スペーサフランジ部の両側に外部シールドを設置し、絶縁物界面の電界緩和及び耐電圧性能の向上を図った設計例を示す。外部シールドがない場合、前述のように口径が大きくなるほどスペーサフランジ部の電界 E_1 , E_2 が大きくなる。スペーサ界面部は、清浄時にはガス空間と同等の絶縁性能を持つが、微小金属異物等の影



(a) 埋込みシールド無し



(b) 埋込みシールド有り

図12. スペーサの光弾性解析

試料の形状	クラック寸法 l (mm)
クラックモデルA	0.5, 1.0, 2.0
クラックモデルB	0.5

図: エポキシ樹脂
□: アルミ電極

図: エポキシ樹脂
□: アルミ電極

図14. クラックモデル試料の形状

響を受けやすく、せん絡のトリガとなる可能性がある。したがって、耐電圧性能の安定化の面から、スペーサ沿面、界面部に弱点がある設計は好ましくなく、界面部の電界は極力小さくする必要がある。外部シールド設計例を図13(b)に示す。すなわち、スペーサ界面部の電界強度を低減するため、外部シールドは導体側及びスペーサ沿面電界を乱さない程度にタンク底面部から突出させた形状としている。さらに、外部シールド部電界を $E_2 < E_3$ となるように形状を選定することによって、せん絡経路をスペーサ沿面からガス空間で発生させ、耐電圧性能の向上と安定化を図ることができる。

注型絶縁物には製造から運転中に至るまで、各種の応力が発生する。一般的に、注型絶縁物の外力一ひずみ曲線は種々の変曲点が存在し、破壊前に、内部に局所的クラック、埋込電極接触部のはく離が発生する場合がある。しかも、このようなクラック、はく離は、外観から異常を認めることができない場合が多い。

スペーサにクラック、はく離が発生すると、系統の過電圧発生時、部分放電等による炭化が進展する可能性がある。したがって、スペーサの信頼度の面から、このようなクラック、はく離に対する管理方法は非常に重要である。

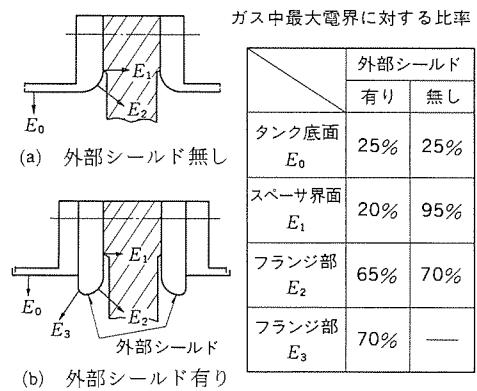


図13. スペーサフランジ側の電界緩和

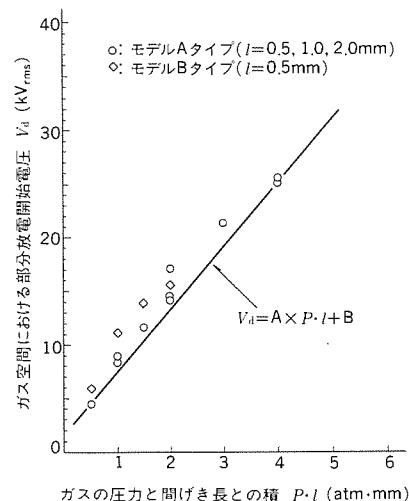


図15. クラックモデルの部分放電開始電圧

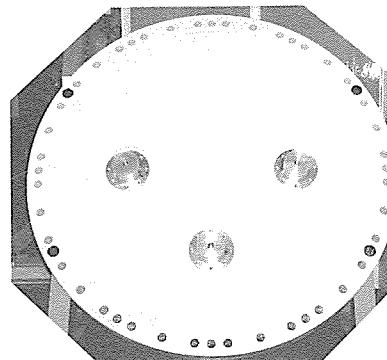


図16. 550kV三相一括形スペーサ

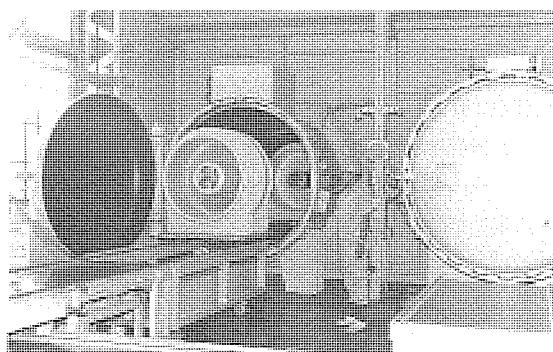


図17. 部分放電試験状況

図14に示すクラック発生時を模擬したモデルによる部分放電試験結果の一例を図15に示す⁽⁶⁾。この場合の部分放電開始電圧は、ガス圧力と間隔長の積にほぼ直線的に比例し、次式で表される。

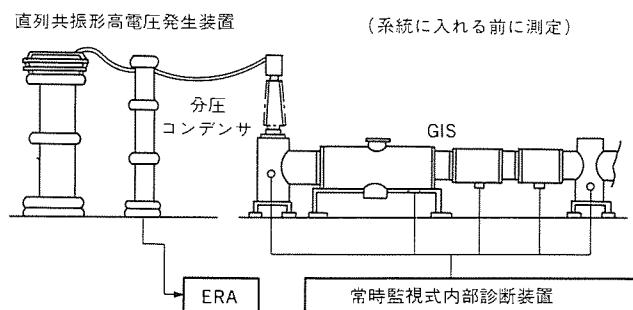


図18. 現地課電試験の概念

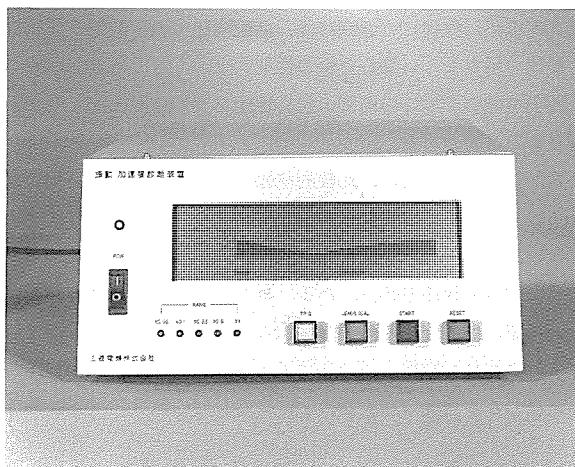


図19. 振動・加速度診断装置の外観

ここで、 V_d ：部分放電開始電圧

P : ガス圧力

l : 間げき長

A, B : 実験定数

一方、はく離モデルによる試験結果も同様の式で表現される。

前記変曲点まで外力を印加した実機スペーサの試験では、部分放電開始電圧は式(2)とほぼ一致し、常規対地電圧 ($1E$) では発生せず、 $1.5E$ 程度で発生し、かつ放電電荷量も数pCと小さいため、工場及び現地での総組立状態で検出することは困難と考えられる。

当社では、既に製造実績を持つ大口径三相一括形スペーサを含め注型絶縁物は全数JEC定格耐電圧相当の電圧を印加し、判定基準を1pC以下とした部分放電試験を実施しており、製造段階で異常がないことを確認している。

また、製造から運転中に至るまで注型絶縁物に加わる各種の機械的ストレス、環境等を想定した検証試験を実施し、十分な安全率を保っていることを確認している。さらに、輸送、現地据付けに当たっては、最大加速度、速度等の作業管理を実施することによって絶縁物の信頼性向上を図っている。

図16に550kV三相一括形スペーサの外観を、図17に部分放電試験状況を示す。

5. 現地課電試驗

GISは短期間に急速に発展し、適用が拡大してきたため、規格化標準化の面では遅れていると言える。絶縁試験法に関しても、いまだ統一的な見解はなく、ユーザーとメーカーの協議により実施しているのが現状である。しかし、国内においても各種委員会で、関連

の技術内容を審議しており、最終的には規格化の動きにある。

ここでは、現地課竈試験について、試験の位置付け、配慮事項、具体的な試験方法について述べる。

GISは、質の高い工場試験(例えば、絶縁物単体全数部分放電試験や組立後の各種試験)に合格した機器が対象となるので、現地課題試験は機器の設計構造、基本性能を検証する試験ではなく、工場試験後の輸送及び現地据付け作業後の機器の健全性を確認することが主目的である。したがって、運転開始前に試験電圧を印加し、有害な部分放電が無いことを検証することが試験の位置付けと考えられる。

試験実施に当たっては、以下の事項を配慮する必要がある。

- (1) 輸送、据付け作業時に想定される故障メカニズムに即した試験内容であること。
 - (2) 機器の寿命に影響を及ぼさないこと。
 - (3) 外部から簡易な方法で試験、測定ができる、あまりコスト、労力、スペース、時間等を要さないこと。
 - (4) 万一混入した微小異物の低電界部への移動時間（コンディショニング効果）や診断装置による測定時間も考慮すること。したがって、欧米のような高電圧・短時間試験よりも、低電圧・長時間試験の方が望ましいと考えられる。

以上のことから、具体的な試験は以下に集約される。

- (1) 現状規格（変電所機器は $1.1E$ 相当、開閉所機器は $1.25E$ 相当、10分間印加）を遵守し、必要に応じて課電時間を長くする。
 - (2) 診断装置の検出感度を上げるため、若干の過電圧印加を考慮する。

図18に電圧発生設備として、直列共振形高電圧発生装置を使用し、ERA法、診断装置を用いた現地課電試験の概念を示す。

図19に診断装置の一例として、振動・加速度形診断装置の外観を示す⁽⁷⁾。診断装置は、今後ノイズ除去技術を中心に検出技術の一層の向上が望まれるが、新素材を適用した新しいセンサの開発で飛躍的に向上する可能性が大いにあり、今後のセンサ開発に期待がかかっている。

6. むすび

以上、GIS形態の過去の変遷から現状について概説し、現在の各種技術動向を踏まえ、次期550kV GISの形態を描いた。今後GISは、構成機器の一層の縮小化、高信頼度化が図られるとともに、光PT/CTのように構成機器はもちろん、機器の制御から監視、伝送までエレクトロニクス化、オプト エレクトロニクス化され、高度情報化社会に対応したインテリジェント化、また社会ニーズの多様化に伴う多機能化に向かって更なる発展が期待される。

参 考 文 献

- (1) 桑原ほか：三菱電機技報, 57, No.9, p.601 (1983)
 - (2) 城後ほか：三菱電機技報, 61, No.10, p.814 (1987)
 - (3) 堀内ほか：電気情報関連学会連合大会 4 - 3 (昭62)
 - (4) 電気協同研究, 44, No.3 (昭63)
 - (5) H.Hama, et al. : IEEE PWRD- 2 , p.367 (1987)
 - (6) 野中ほか：平成元年度電気関係学会東海支部連合大会
 - (7) 川越ほか：開閉保護装置研究会資料 SPD-87-32 (昭62)

変圧器の技術動向

三浦良和*
塩野克巳*
祖開克二*

1. まえがき

大型変圧器の技術開発は、昭和40年代から50年代前半にかけては高電圧化・大容量化の実現のための開発が中心となり、50年代半ば以降はエネルギーコストの高騰に対応するため、低損失化・コンパクト化技術に主眼がおかれるようになった。

これらの開発改良は、変圧器の一層の性能向上を目指して現在もたゆむことなく続けられているが、最近の特徴として、従来の変圧器単体の性能向上のための開発改良に加え、不燃化・輸送容易化・変圧器の多機能化など、電力システム全体としての信頼性向上・効率向上を目指した多岐にわたる開発が行われ、実用化されていることが挙げられる。

本稿では、大型変電所用変圧器を中心に、当社の最近の技術開発状況の概要を紹介し、各位の御参考に供したい。

2. 絶縁技術開発

高電圧変圧器の性能向上、コンパクト化には絶縁寸法の縮小が最も重要な技術要素となる。特に鉄道輸送を必要とする変電所用・水力発電所用変圧器の場合には、輸送可能な断面寸法に大きな制約を受けることから、絶縁寸法の縮小により、設計上巻線・鉄心の形状寸法比を理想形態に近づけることが可能となるため、コンパクト化とともに、効率向上に及ぼす効果も一層大きなものとなる。

外鉄形変圧器は、高電圧になるほど電界集中を生じやすいコイル端部に効果的に絶縁チャネルを配置できるなど、高電圧器に好適な絶縁構造となっている。昭和40年代前半から採用しているE形絶縁構造は、154kVから800kV級の標準絶縁構造として多くの実績を持っているが、最近では更に、このUHV対応絶縁としてE形絶縁構造を基本に、絶縁物折曲部に曲率を設け一層電界に沿わせるようになるとともに、静電板、リード口出し部、接地側電界シールドなどに改良を加えた新E形絶縁構造を標準化し、高電圧変圧器の一層の性能向上を可能としている。

この成果は、絶縁以外の各種開発改善の成果とあわせ、昭和60年に九州電力(株)に納入した500kV 1,000/3MVA変圧器⁽¹⁾を始め、高電圧大容量変圧器の大幅な低損失化・コンパクト化を実現している。図1に昭和63年東京電力(株)に納入した500kV 1,500/3MVA変圧器を示す。本器では、通常運転負荷である25~50%負荷時の効率が99.9%以上というかって例のない高効率変圧器を実現している。

今後更に絶縁寸法の縮小を図っていくには、絶縁構造の改良とともに絶縁材料、特に絶縁油の絶縁耐力の向上が重要な開発項目である。これに関しては、油中に存在する数ミクロン程度の微小粒子を除去することにより、油の絶縁性能を大幅に向かうことができる事が明らかとなっている⁽²⁾(図2)。現在このための工作技術の確立、実器による長期信頼性の検証を進めており、近い将来更に一段の絶縁寸法縮小により、UHV変圧器の高効率化・コンパクト化が期待される。

3. 損失低減

3.1 無負荷損失

無負荷損失(鉄損)の低減には、高配向化・磁区制御や薄厚化など、最近の目覚ましい鉄心材料の性能向上が大きく寄与しているが、変圧器製造者側でもこの高度の鉄心性能を実際の変圧器で最大限に発揮させる必要がある。

外鉄形変圧器の鉄心は、比較的狭幅の同一寸法の鉄心素材で構成されており、内部応力や磁束の積層間推移など損失増大要素がほとんどない。また、三相器の場合、損失増大の大きな要因は相間のT接合部で生ずる回転磁界部分にある。外鉄形鉄心は、鉄心幅が狭いためその比率が小さく比較的影響が少ないが、最近の大容量器では更に図3のような五脚鉄心構造を採用することにより、回転磁界の影響を無視できる程度に減ずることによる一層の無負荷損失低減を図っている。

3.2 負荷損失の低減

負荷損失の低減には、コイル導体の断面積を増大し、電流密度を低下させることにより抵抗損失を少なくする方法も考えられるが、この場合、変圧器重量が増し製作コストの増加が大きい上、無負荷損失を増大させることになり好ましい方法とは言い難く、漂遊損失をできる限り低下させることが望まれる。



図1. 東京電力(株)新佐原変電所納入
500/275kV 1,500/3MVA単相単巻変圧器

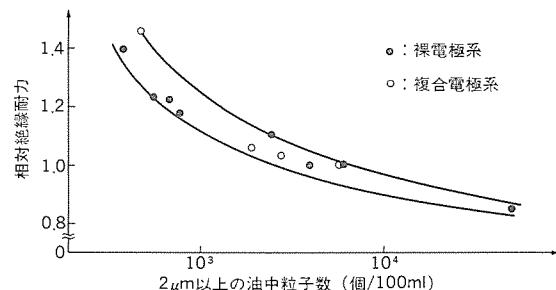


図2. 油中微粒子数と絶縁耐力の関係

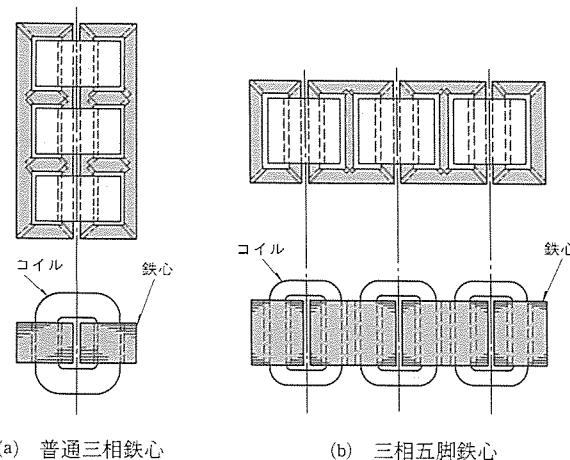


図3. 外鉄形三相鉄心構造

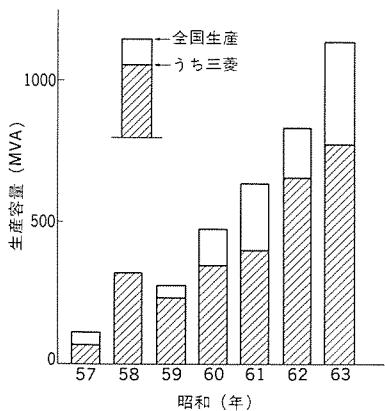


図4. ガス絶縁変圧器生産高推移 (1 MVA以上)

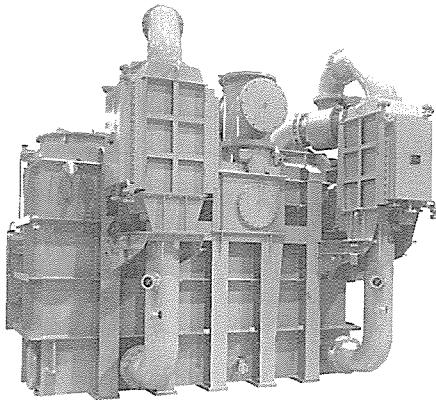


図5. 中部電力㈱地下変電所納入

3φ 20MVA送ガス水冷式負荷時タップ切換ガス絶縁変圧器
(当社ガス絶縁変圧器1,000号器、昭和62年納入)

漂遊損失は、巻線に負荷電流が流れることにより発生する漏れ磁束により発生するもので、一般に大容量器、高インピーダンス器ほど負荷損中に占める割合が大きくなり、巻線自身に発生するものとタンクなど構造物に発生するものとに大別できる。

巻線内漂遊損については、外鉄形巻線は複合絶縁導体を使用するため、巻線の占積率をほとんど低下させることなく導体の分割数を増して損失の低減を図ることが可能で、最近では更に磁束の流れの計算結果を基にコイルごとに最適の導体寸法の選択を行うことにより、一層の損失低減を図っている。

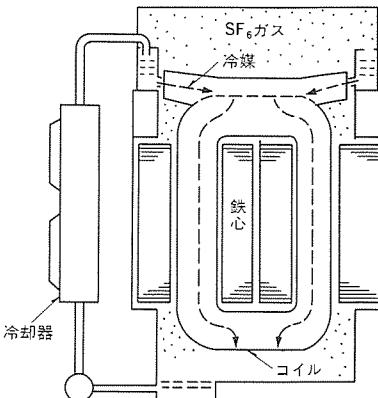


図6. 大容量ガス絶縁変圧器の構造

タンクなど構造物に発生する損失の低減には、従来しばしば採用されていた銅板やアルミ板によるしゃへいに変わり、電磁鋼板を用いた電磁しゃへいが採用されるようになっている。当社では、フォームフィット構造採用当初から電磁しゃへいを全面的に使用して効果を挙げてきたが、最近ではしゃへい面積を一層増大して損失低減効果を挙げている。

3.3 補機損失の低減

大容量変圧器では一般に強制冷却方式が採用されるので、補機損失の低減も運転損失の低減のために重要な課題である。当社では、送油風冷式冷却器の冷却管の内面に溝を付けて油との伝熱効率を高め、所要送油量を減少させるとともに、翼形断面羽根をもった低騒音高効率冷却扇を開発採用するなど補機損の低減を図っている。

また、変圧器の負荷が軽い場合、従来は一部の冷却器の運転を休止して補機損の低減を図るのが一般的であったが、最近ではより大きな損失低減効果の得られる可変周波数運転が広く採用されるようになり、新製変圧器のみならず既設変圧器の損失低減に大きな効果をあげている。外鉄形変圧器の場合、既納変圧器を含めすべての変圧器に対し、油ポンプ・冷却扇とともにVVVF運転が行えるので、常に効果的な損失低減効果が可能である。

4. ガス絶縁変圧器

近年の大都市への電力需要の集中化に伴い、都心部における高電圧大容量変電所の必要性がますます高くなっている。このような変電所においては、住宅地に近接するため不燃化・低騒音化などの環境調和性、及び用地の取得難から変電所スペースの有効活用が強く求められる。

この要請にこたえるガス絶縁変圧器について、当社では昭和38年から開発に着手し、昭和56年には関西電力㈱との共同研究として、初の本格的ガス絶縁電力用変圧器である77kV 40MVA真空スイッチ式負荷時タップ切換器付きガス絶縁変圧器を完成、実系試験を完了し、さらに昭和59年には世界最初の超高压ガス絶縁変圧器として275kV 200MVAプロトタイプ変圧器を完成⁽³⁾するなど常に先端をきった開発を進めてきた。

その結果、現在までの当社納入実績は、図4に示すように3,000 MVAに達しており、ガス絶縁変圧器は油入変圧器とともに電力用変圧器の重要な一分野を占めるまでに成長してきている（図5）。

ガス絶縁変圧器の大容量化を図る場合、SF₆ガスの熱輸送能力が絶縁油のそれに比べ大幅に低いことの解決が最大の問題となる。SF₆ガスの比熱は絶縁油の約1/3で、また気体であるため比重が圧力

2kgf/cm²Gの場合でも約1/50しかないため、体積当たりの熱輸送能力はほぼ1/150となり、大容量器で冷却媒体としてSF₆を使用しようとすれば、変圧器と冷却器の間に膨大な量のSF₆を循環することが必要となって実用的ではない。このため、現在開発されている大容量器では、SF₆ガスは主として絶縁機能のために用い、冷却媒体として不燃性の液体であるフロロカーボン(C₈F₁₆O)を使用する方法がとられている。

当社で開発した超高压大容量ガス絶縁変圧器は、外鉄形変圧器の特徴をいかし、基本的構造はほとんど油入変圧器と同様な構造で、コイル表面のみにフロロカーボンを流下させることにより、比較的小ない冷媒量で効果的な冷却効果を得る方法を採用している。

この構造は、図6に示すように基本構造が通常の油入の場合とは

ほとんど同じであるため製作が容易で信頼性が高く、またタップリードの引出しなどに制約がないなど数多くの利点を持っており、最も実用性の高い構造であると考えている。

また、負荷時タップ切換器についても、切換開閉器に真空スイッチを使用し、タップ選択器にローラコンタクトを使用した小型で保守性の高いガス絶縁変圧器用タップ切換器を開発し、実用化している(図7)。

上記の開発成果を基に、平成3年4月から初の実用器として275kV 300MVA負荷時タップ切換えガス絶縁変圧器が枚方変電所で実運用される予定となっており、現在実証試験器による長期課電試験を実施中である(図8)。

5. 変圧器機能の複合化・高度化

最近、変電所用地の取得難や地価建設費の高騰に伴って、変圧器

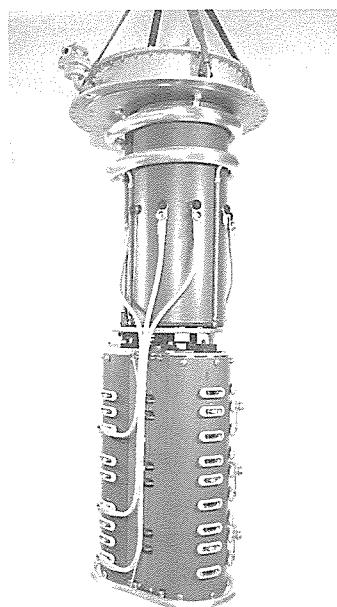


図7. ガス絶縁変圧器用負荷時タップ切換器
VSG形, 2000V 550A 回路電圧275kV

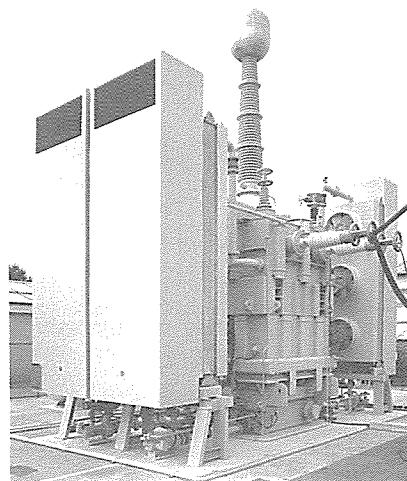


図8. 長期課電試験中の275kV 300MVA
ガス絶縁変圧器 (単相検証器)

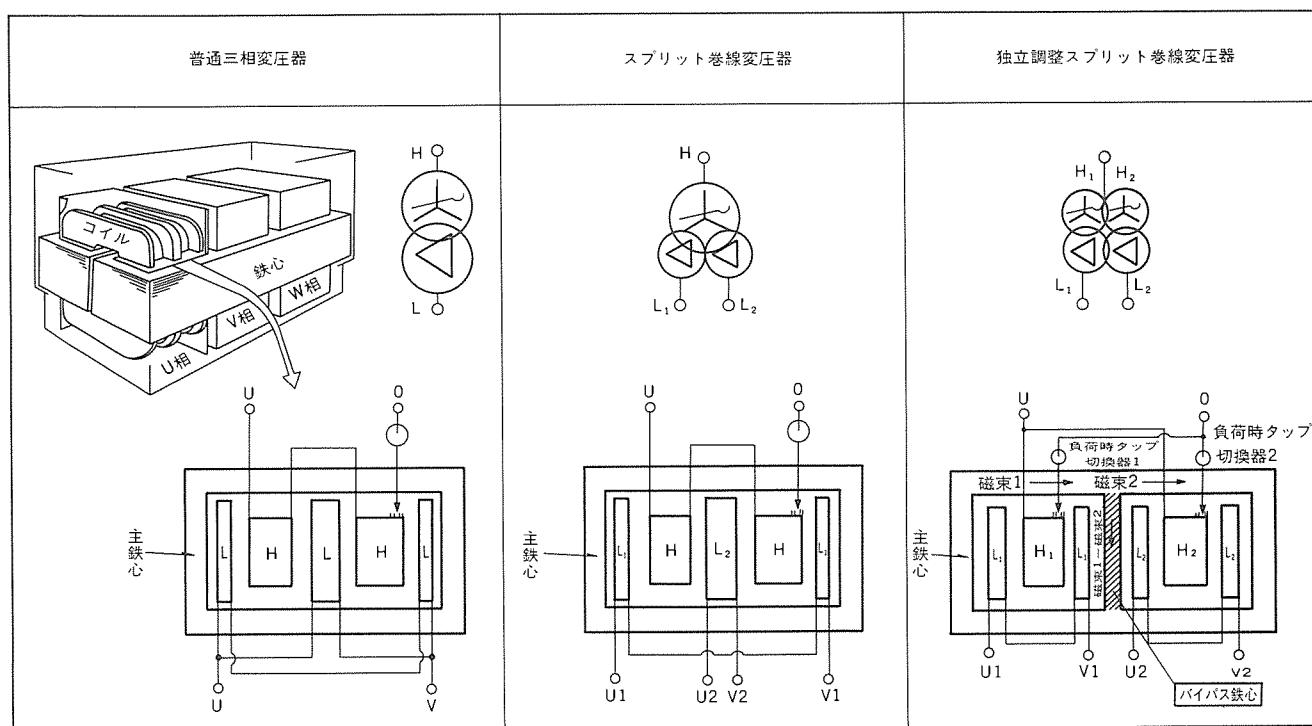


図9. 二巻線普通三相変圧器とスプリット巻線変圧器

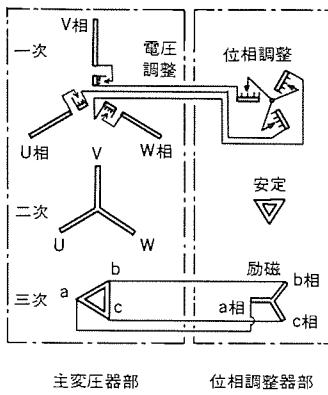
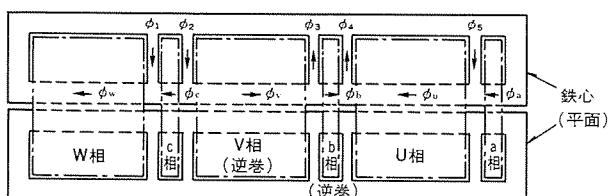


図10. 負荷時電圧位相調整変圧器の結線



主変圧器部巻線 (U相, V相, W相)

位相調整器部巻線 (a相, b相, c相)

(a) 構成 (平面図)

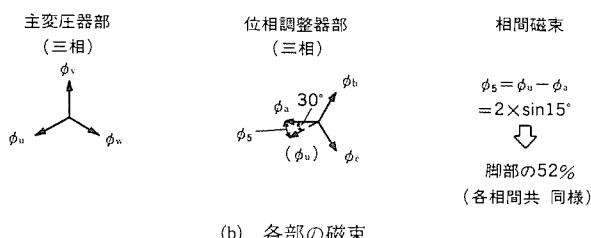


図11. 完全一体形負荷時電圧位相調整変圧器の鉄心構造

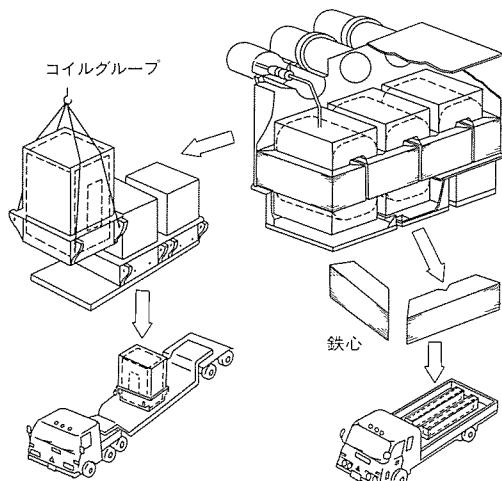


図12. CGPA変圧器の輸送方式

のコンパクト化に対する要請が高まっている。このためには、各単独変圧器のコンパクト化を図ることはもちろんであるが、さらに効果的な方法として、従来複数台の変圧器で構成していた機能を1台の変圧器で可能とする機能の複合化がある。また、良質の電力を安定に供給するため、系統運用上の要求に基づく変圧器に対するニ

ズも多様化している。これらの要求を簡潔に、かつ信頼性や他の特性を犠牲にすることなく実現することが現在の変圧器製作者に課せられた使命であると考えている。

当社が大容量変圧器に採用している外鉄形変圧器構造は、これからの多様な要求を無理なく実現するために好適な構造であり、今後もこの特徴をいかして電力設備の高度化・効率化に寄与していきたいと考えている。以下に、変圧器機能の複合化や高度化を実現した数例を紹介する⁽⁴⁾。

5.1 独立電圧調整スプリット変圧器

低圧側の遮断容量を低減するため、低圧巻線を二分割したスプリット巻線変圧器が用いられるが、タップ切換変圧器では通常高圧巻線にタップ切換器が接続されるため、低圧側電圧を独立して調整することは不可能である。したがって、このような必要のある場合は2台の変圧器を使用するのが通例であった。独立電圧調整スプリット変圧器は、この問題を解決したもので、外鉄形構造の特徴をいかし高圧巻線を2並列結線とともにバイパス鉄心を設けることにより、低圧巻線電圧を独立して調整可能としたものである(図9)。

納入実績として、関西電力㈱納め154kV 200/100-100MVA変圧器があり、この場合据付け面積は従来方式に対し約2/3に縮小され、損失も約15%低減された。

5.2 完全一体形負荷時電圧位相調整変圧器

連系用変圧器において、高低圧側の系統がループを形成している場合、両系統の潮流を最適配分とするため高低圧間の位相を調整する必要があり、電圧・位相を共に調整できる変圧器が必要となる。このような場合、位相調整のためには主変圧器部分と直角位相で励磁される巻線が必要となるため、従来は負荷時電圧調整変圧器と別置の負荷時位相調整器の2台の変圧器を組み合わせて使用する方法が採用されてきた(図10)。

先に東北電力㈱に納入した275kV 300MVA完全一体形負荷時電圧位相調整変圧器は、鉄心構造に工夫を加えることにより、主変圧器鉄心と位相調整器部分の鉄心を一体化したもので、据付けスペース・無負荷損失をいずれも従来方式の87%に縮減することに成功している(図11)。

5.3 フリッカ負荷対応変圧器

九州電力㈱に納入した220/110/66kV 300/200/200MVA変圧器の場合は、110kV側の負荷にアーク炉が多く接続されるため、このフリッカ負荷の影響が66kV側の需要家に及ばないよう3巻線間のインピーダンス配分に特に工夫を凝らした設計としている。

すなわち、外鉄形変圧器のコイル配置の自由度の高さを最大限に活用し、各巻線に分離したインピーダンスのうち高圧側の値を-6%(300MVAbase)と大きな負の値とし、220kV側の電源リアクタンスを補償することにより、110kV側の変動負荷の影響が66kV側に及ばないように考慮している。

5.4 リアクトル機能付き変圧器

変電所用変圧器では、三次巻線に調相用分路リアクトルが接続される場合がしばしばあるが、このリアクトルについても主変圧器と鉄心の一部を共用して一体化することにより、据付けスペースと損失の低減を図ることが可能である。

この方式は、特に地下及び屋内式変電所の縮小化に効果を発揮するものと考えられ、現在実用器の製作を進めている。もちろんリアクトル機能は、付属遮断機によりON-OFFが可能である。

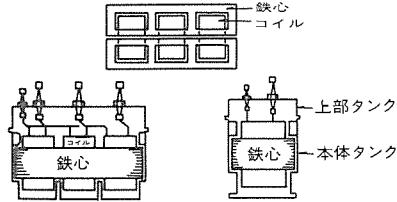
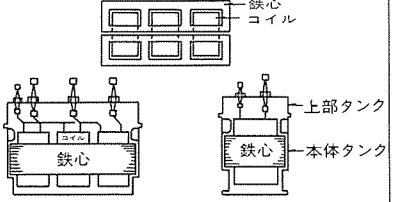
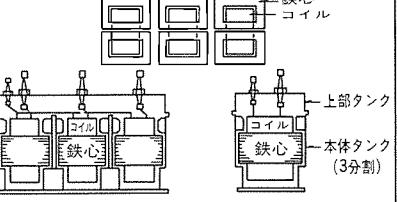
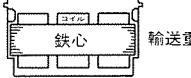
	CGPA方式	従来の輸送方式	
		普通三相	特別三相
1相分のコイルグループをパックした状態で各相独立の下部タンクに入れ、輸送カバーで密封して1相ごと輸送する。鉄心はコイルと別に輸送する。	卷線・鉄心を三相一体構造として、一つのタンクに収納し、輸送カバーで密封して輸送する。	卷線・鉄心を3分割して、各相ごとタンクに収納し、輸送カバーで密封して輸送する。	
本体の構造			
本体の輸送	 輸送重量14(%)	 輸送重量100(%)	 輸送重量35(%)

図13. CGPA方式と従来の輸送方式の比較

6. 輸送問題の解決

水力発電所や山間部・都市部の変電所に設置される変圧器においては、どのように厳しい輸送条件を克服して、信頼性が高く、かつ高効率の変圧器を納入するかが極めて重要な技術課題となる。

当社では、従来から特別三相構造の考案により輸送条件の過酷な多くの発・変電所に多くの変圧器を納入し好評を得てきた。しかし、特別三相方式を採用しても輸送重量は一体輸送時の35%程度あり、輸送条件の厳しい場合には橋りょう(梁)補強費等に多額の費用を必要とする。

CGPA (Coil Group Packed Assembly) 変圧器⁽⁵⁾は、これを根本的に解決するために開発したもので、最大重量物である鉄心とコイルを分離し、吸湿防止用のフィルムで密閉して輸送する新しい方式であり、鉄心の分割輸送化により変圧器の大きさや効率を全く損ねることなく大幅な輸送重量の低減を可能とした(図12)。外鉄形変圧器の場合、鉄心が水平に積層されており、現地での鉄心積作業は容易に行えるので、この方式の採用により、わずかの組立期間の延長により、信頼性や効率を維持しつつ大容量変圧器の輸送問題を根本的に解決できる。昭和59年に納入した275kV 300MVA変圧器の場合、CGPA方式の採用により最大輸送重量がわずか22トンと普通三相輸送の場合の1/7となり、特別三相構造で納入した既納器の場合10箇所以上必要であった道路橋梁の補強対策も全く不要となった。このCGPA輸送方式は、開発時に既に500kV変圧器実器による現地組立て・長期課電試験を完了しており、今後500kV変電所などにおいて一層その効果を発揮するものと考えられる(図13)。

7. 寿命診断技術

我が国で超高压送電が実施されて以来既に35年以上を経過し、大容量変圧器の中でも運転年数を経た機器の割合が年々増加しつつある。電力供給の高度の信頼性を確保するためには、これらの機器の劣化の程度を正しく判定することが極めて重要である。

変圧器本体については、巻線絶縁に使用されている絶縁紙の熱劣

化が主要な劣化要因となる。当社ではこの現象の正確な把握のため、十数年以前から実際の使用状態に近い低い温度での長期寿命試験を継続しております⁽⁶⁾、実用温度領域での運転温度・年数と劣化の関係や、(CO + CO₂) 発生量と劣化の関係を正しく評価することが可能となっている。これらの基礎研究結果と集積した実器データにより、現在では運転実績や過去のガス分析データから、かなりの精度で劣化程度を推定できるようになっており、さらに内部点検により絶縁物の一部をサンプリングして重合度測定などを実施することにより、より正確に余寿命を診断することが可能となっている。

また、ブッシング・冷却器などの付属品やパッキン等の劣化診断についてもそれぞれ開発を進め、実用化が進んでおり、効果的な予防保全の実施が可能となっている。

8. むすび

最近の当社高電圧大容量変圧器に関する開発状況、及び実器への適用についてそのあらましを紹介した。

電力輸送の一層の高品質化・高効率化に向けて、変圧器に求められるニーズもますます多様化するものと考えられるが、開発研究と豊富な納入実績で培ってきた技術力により要求にこたえていきたいと考えている。

終わりに、新しい技術開発にあたり終始御援助・御指導をいただき、また製品化の機会を与えていただいた各電力会社の関係者各位に心から感謝申し上げる。

参考文献

- (1) 末並ほか：電気雑誌OHM, 71, No. 7 (1984)
- (2) 岸 ほか：電気学会静止器研究会資料, SA-85-3 (1985)
- (3) 梶山ほか：三菱電機技報, 54, No. 3, p.234 (1985)
- (4) 祖開ほか：三菱電機技報, 62, No.12, p.1078 (1988)
- (5) 三浦ほか：三菱電機技報, 60, No. 4, p.221 (1986)
- (6) 宮本ほか：電気学会全国大会, No.371 (昭63)

避雷装置の技術動向

宇治田 克* 下村哲朗*
藤原幸雄*
望月幹夫*

1. まえがき

送配電機器及び系統の過電圧保護のために使用される避雷装置は、当初、炭化けい素(SiC)抵抗体と続流遮断能力の高い直列ギャップの組合せで構成されていたが、非直線抵抗特性の優れた酸化亜鉛素子で構成された酸化亜鉛形避雷器が昭和50年代の初めに交流発電所用として導入された。その優れた保護特性、エネルギー処理能力、耐汚損性及び小形・軽量など多くの利点が認められ、酸化亜鉛形避雷器は今や全電圧階級に適用されるようになった。さらに、適用範囲も拡大し、送電線の雷害事故防止のため、鉄塔に送電線避雷装置として設置され、本格的に適用される時代を迎えた。

ここでは、酸化亜鉛素子を使用した避雷装置の技術動向として、LIWL低減用高性能避雷器、送電線避雷装置及びその他の新しい酸化亜鉛素子応用技術について述べる。

2. 避雷装置開発の経緯

酸化亜鉛素子を使用した当社の避雷装置について、研究開発段階から製品化に移行してきた経緯を避雷装置に期待される四つの効果に分類し、図1に示す。

(1) 保護持性の向上

酸化亜鉛素子の材料面や製造面での技術進歩により高性能化した素子は、発電用避雷器に使用されているが、この高性能素子で構成したUHV系統用避雷器は、従来の500kV系統用から延長される避雷器より格段に保護持性を向上できる見通しが得られている。この技術を適用した高性能避雷器は、500kV系統以下においても、GISや変圧器等の機器のLIWLを低減できることが可能になってきた。

(2) 送電線雷害事故の防止

OA機器の導入等により、瞬時停電の防止など電力の高品質化の要求が高まっており、雷撃による送電障害の軽減策として、送電線鉄塔上に酸化亜鉛素子を用いた避雷装置の適用効果が検討され、66/77kV系を中心に本格採用されつつある。

(3) 複合化・内蔵化

被保護機器への近接設置による保護効果の向上と省スペース化を図るために内蔵化・複合化であり、配電用柱上変圧器に内蔵した“耐雷素子”やガス絶縁機器との複合化したタンク形避雷器が代表的である。

(4) 酸化亜鉛素子応用技術

酸化亜鉛素子を直並列接続することにより、大容量のサージアブソーバが構成でき、直列コンデンサの過電圧保護装置として実用化されている。また、交直変換用避雷器としても今後の適用拡大が期待される。

3. 高性能避雷器による保護持性の向上

酸化亜鉛素子の基本性能である平たん率、寿命持性、エネルギー耐量の持性向上のため、材料面や製造面での研究が継続的になされている。その技術進歩により、従来の当社製素子と比べ、

- 平たん率で約10%改善
 - 0.85程度の高課電率で使用可能
 - エネルギー耐量で40~50%向上
- の持性を持つ素子が開発されている⁽¹⁾。

このような素子性能向上をベースに、電位分布向上、放熱特性向上、素子並列使用などの避雷器構成技術が確立され、素子4並列構

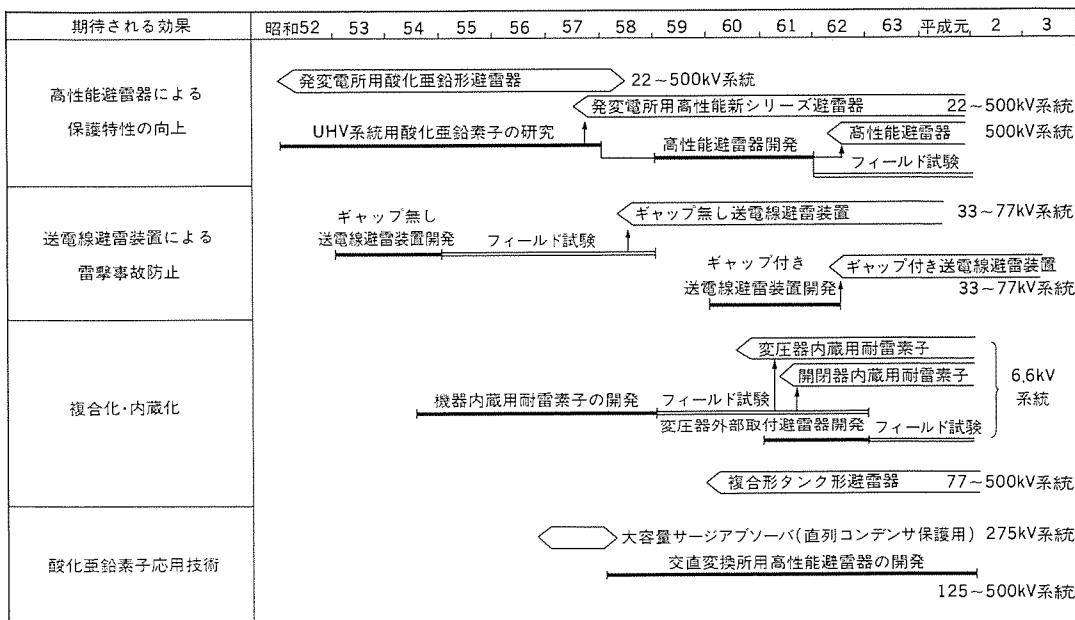


図1. 酸化亜鉛素子を使用した避雷装置の研究開発から製品化の経緯

表1. 500kV系統用避雷器の定格、仕様の比較

項目	高性能避雷器	現行避雷器
形式	ガス絶縁単相酸化亜鉛形（タンク形）	
名	MAU-TA	MAH-TA
定格電圧 (kV)	420	
連続使用電圧 (kV)	$550\sqrt{3}$	
公称放電電流 (kA)	10	
雷インパルス耐電圧 (kV)	1,175 (1,550) 実力値	1,550
性能度	V_{10kA} (kV)	870 (参考 JEC 1,220kV)
エネルギー処理能力	開閉サージ JEC-217の開閉サージ動作責務静電容量 $78\mu F$ の 負荷（線路長 200km相当）を処理可能	
交流過電圧	1.5pu, 0.2秒以上	1.5pu 2秒以上
その他	使用素子 UHV用素子	$78\mu F$ 用素子
外形寸法 (mm)	$\phi 1,018 \times 2,580 H$	$\phi 1,100 \times 3,300 H$
重量 (t)	3.5	4.0
容積比	0.67	1.0

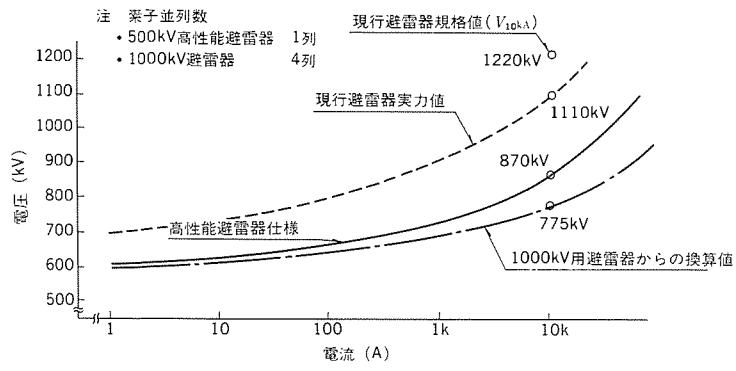


図2. 500kV系統用高性能避雷器のV-I特性

成でUHV系統用避雷器が実現可能となった。

この高性能酸化亜鉛素子を下位の500kV系統に適用することにより、 V_{10kA} 制限電圧（公称放電電流10kAにおける制限電圧）が870kVの低保護レベルの高性能避雷器の実用化を達成できた。表1に、既に実用化されている500kV系統用高性能避雷器の仕様を示す。また、特長は以下のとおりである。

3.1 500kV系統用高性能避雷器の特性

保護レベルは、 V_{10kA} 制限電圧で現行当社500kV系統用避雷器より約20%低減した。これは、現行避雷器規格（JEC-217-1984）比の約30%減に相当するものである。図2にこの高性能避雷器のV-I特性を示す。また、保護特性の向上により現行の機器絶縁レベルの低減が可能となり、図3に避雷器制限電圧とGIS、変圧器のLIWLとの関係の推移を示すように、それぞれのLIWLを1,425kV、1,300kVに低減できる可能性のあることがサージ解析の結果から得られている。

雷サージ動作責務試験及び開閉サージ動作責務試験については、現行避雷器規格に準拠した試験を実施し、保護レベルを低減しても実用上十分なサージ処理性能を持つことを検証した。

保護レベルを低減するに従い、一定の大きさの交流過電圧に対する吸収エネルギーは、特に急増する傾向にあるため、安定性評価試験の第4の区分で規定される短時間交流過電圧責務については、系統条件を考慮した解析結果から1.5pu×0.2秒の仕様に見直しされた。図4は、短絡発電機を用いた酸化亜鉛素子の短時間交流過電圧に対する破壊試験結果であり、上記の仕様を十分に満足していることを検証した。

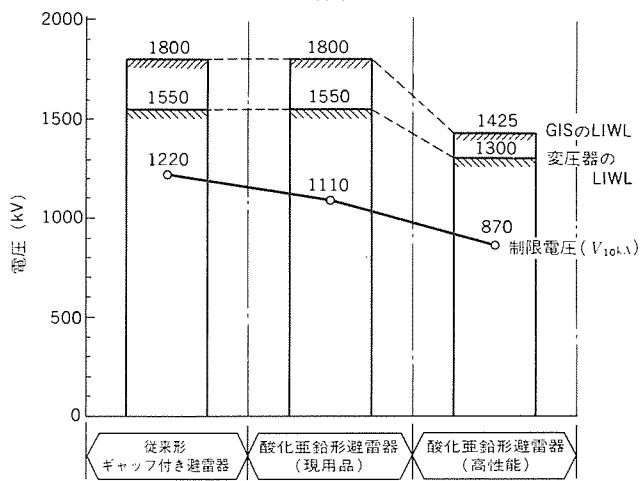


図3. 500kV系統用避雷器制限電圧とLIWLの推移

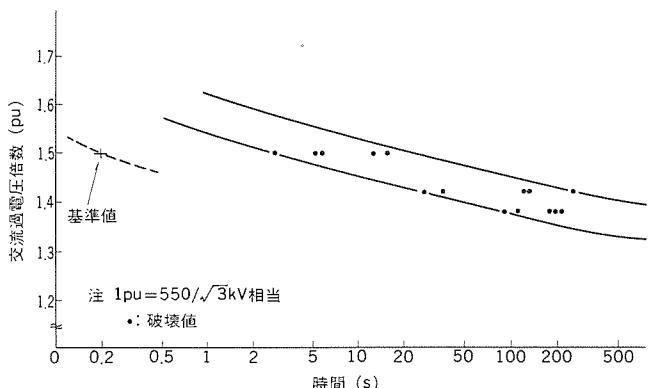


図4. 高性能酸化亜鉛素子の交流過電圧耐量

課電安定性については、酸化亜鉛素子単体を高温度で加速課電寿命試験を行うとともに、完成品で常規使用電圧の1.2倍の電圧を印加する工場内長期課電試験を実施し、実用上十分に長期の課電安定性のあることを確認した。

3.2 500kV高性能避雷器の構造

高性能避雷器の構造を図5に示す。3柱の酸化亜鉛素子をタンク内に配置し、これを直列接続する構成であり、基本的に現行避雷器と同一構造をとっている。

電位分布の補正是、このクラスで実績のある非軸対称の分圧シールドを使用している。この分圧方式は、分圧素子を使用していないため、長期信頼性に優れ、部品点数を減らせ、内部構造が簡素になる特長を持っている。

酸化亜鉛素子固定のための絶縁筒は使用せず、素子間に熱容量の大きな保持金具を挿入しているので、エネルギー責務処理時に酸化亜鉛素子の温度を速やかに下げられ、定常運転時のガスの中への放熱持続性を優れたものにする。確認のため、完成品避雷器について放熱特性試験を行い、熱的に安定であることを検証している。

避雷器内部インダクタンス配慮として、酸化亜鉛素子ユニット間の接続は導体の長さが極力短くなるようにし、かつ電流の流れる方向は、酸化亜鉛素子ユニット間で互いに磁界を打ち消す方向となる方式としている。完成品避雷器のインダクタンスを測定するとともに急しゅん波電流を通電し、急しゅん波サージに対し良好な保護特性を持っていることを確認した。

高性能避雷器は、小形化・軽量化が図られ、現行500kV系統用避雷器に対し容積比は0.67、重量比は0.88になっている。

3.3 高性能避雷器の適用

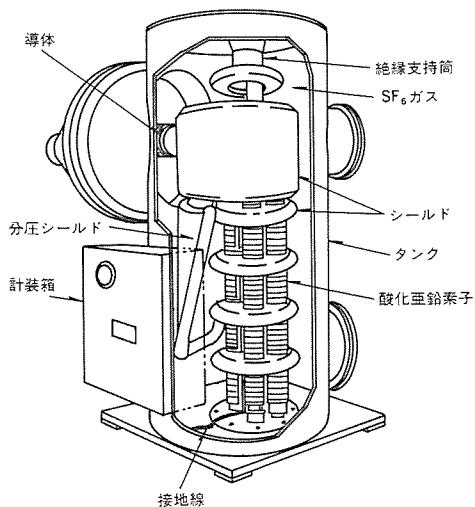


図5. 500kV系統用高性能避雷器の内部構造

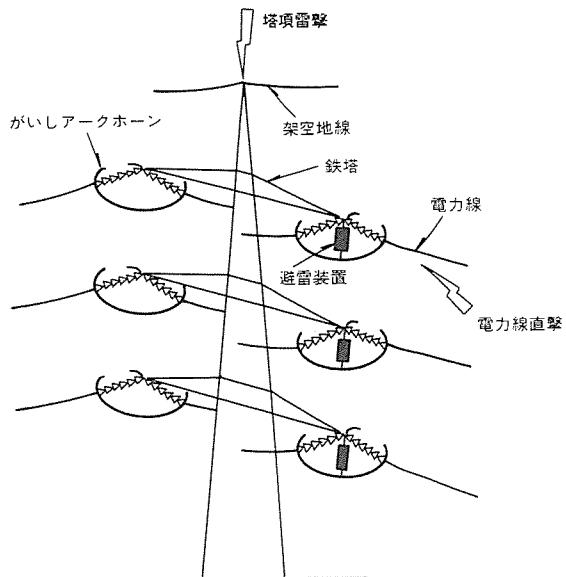


図7. 送電線避雷装置設置状況（片回線設置の場合）

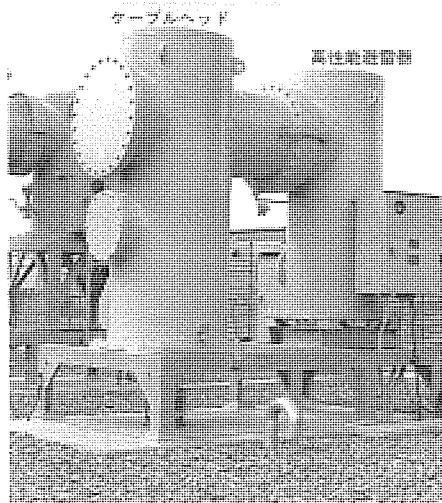


図6. フィールド試験中の500kV系統用高性能避雷器

表2. 275kV系統用避雷器の定格、仕様の比較

項目	高性能避雷器目標性能	現行避雷器性能
定格電圧 (kV)	266	266
公称放電電流 (kA)	10	10
制限電圧 (at 10kA) (kV)	600 (参考 JEC 851kV)	694
開閉サージ動作責務静電容量 (μ F)	50	50
短時間交流過電圧責務	1.69pu, 2秒	1.69pu, 2秒
雷インパルス耐電圧 (kV)	950	1,050
使用素子	50 μ F用素子	50 μ F用素子

昭和62年7月から東京電力㈱新信濃変電所内実証試験場において、開発した500kV系統用避雷器のフィールド試験を行っており、その試験状況を図6に示す。フィールド試験では、常時の避雷器漏れ電流、サージ電流、短時間交流過電圧に対する電流を測定する監視装置を合わせて設置し、現在も良好に運転している。

500kV高性能避雷器の製品についても、東京電力㈱の500kVの発電所に既に納入し、現在順調に運転がなされている。

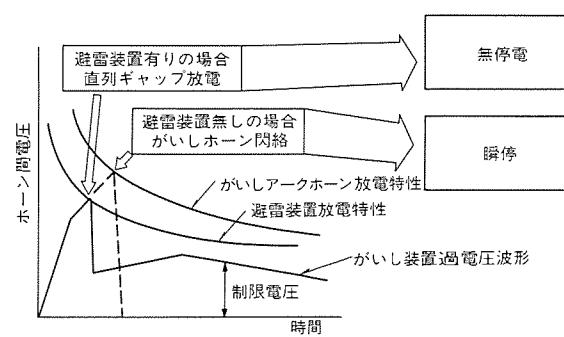


図8. 送電線避雷装置の適用効果説明図

3.4 他の系統への適用

高性能避雷器は、UHV系統用に開発され、500kV系統用として実用化されたが、さらに下位系統においても、LIWL低減や被保護機器との保護マージンの増加というメリットが期待される。

表2は、現在開発中の275kV系統用三相一括形の高性能避雷器の仕様であり、現行避雷器規格に対し約30%の保護レベル低減となる。この避雷器は500kV系統用とも合わせ、機器のLIWL低減を図るときの有力な手段になると考えられる。

4. 送電線避雷装置による雷害事故防止

架空送電線事故の原因の大部分は雷害であり、この防止のために送電線に酸化亜鉛形避雷器を適用する研究を昭和53年から実施しており、現在まで66/77kV系統を中心に2,000相以上が実線路に設置され、雷事故低減に効果を発揮している。送電線避雷装置は、OA、FA機器の普及に伴い、電力の安定供給が要求されている社会的なニーズを背景に、今後大幅な適用拡大が期待されている。

以下、その概要について述べる。

4.1 送電線避雷装置の機能と適用効果

送電線避雷装置は、図7に示すように架空送電線の電力線と鉄塔間に接続され、がいし装置と並列設置される。

図8に示すように、鉄塔又は架空地線に雷撃を受けると鉄塔電位が上昇し、所定の値以上になると送電線避雷装置が動作するため、過電圧が抑制される。このため、がいし装置アーカー horn間でせん(閃)絡することがなくなり線路トリップ事故に起因する短時間停電、

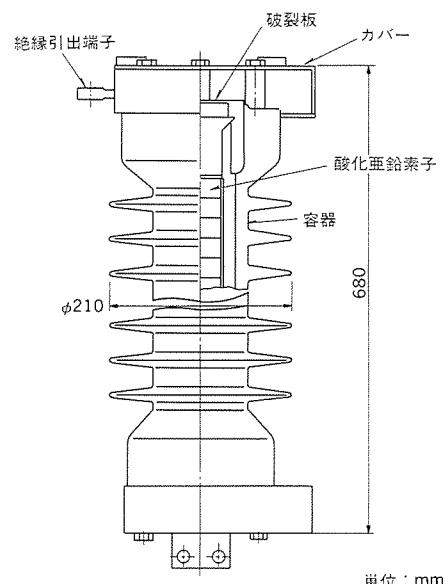
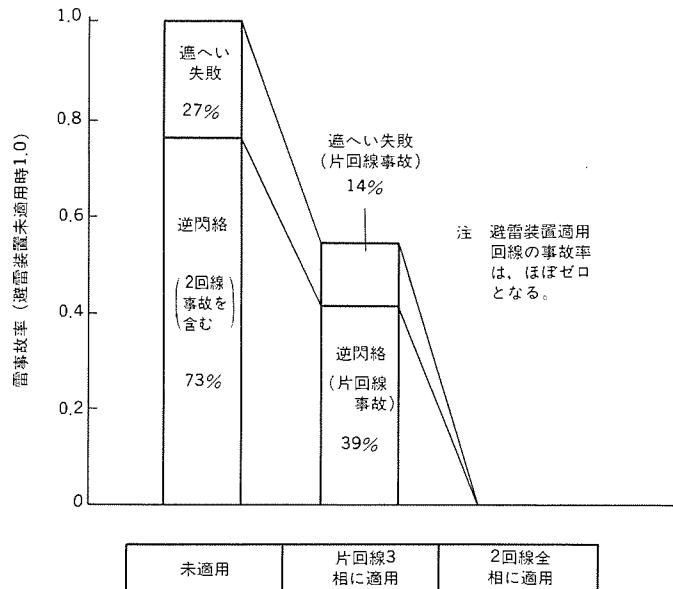
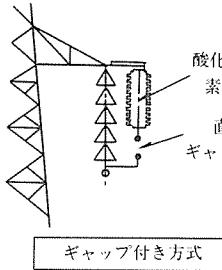
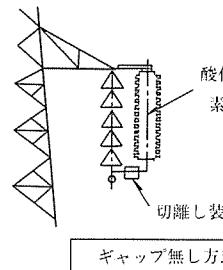


図9. 77kV送電線避雷装置の適用効果予測

図10. 66/77kV系統用送電線避雷装置本体の構造

表3. ギャップ付きとギャップ無し送電線避雷装置の比較

基本構成		 ギャップ付き方式	 ギャップ無し方式
強行再送電		素子が過大サージを吸収して永久短絡故障になってしまっても、直列ギャップによって絶縁されているため、強行再送電が可能。	切離し装置等を使用し、回路から切り離さぬ限り、再送電不可。
動作特性		雷サージに対して直列ギャップを閉鎖させる必要があり、ギャップで続流を遮断するまでに1/2サイクル程度必要。	ギャップがないので確実に動作し、保護性能が安定。
劣化		素子部に當時交流電圧が印加されないため劣化が少。	素子部に當時交流電圧が印加されるため、劣化対策が必要。
構 造	容器	容器には當時系統電圧が印加されないため、磁器がい管以外の材料を使用可能。	容器に當時系統の電圧が印加されるため、磁器がい管の使用が必要。
	重量	磁器がい管以外の材料を使用できること、酸化亜鉛素子枚数がギャップ無しより少なく軽量。	容器に磁器がい管を用いるため、避雷がいし全体の重量の大半が容器。
鉄塔への取付け		風などの振動に対してギャップ長があまり変化することがないような工夫が必要。	比較的簡単な取付金具で設置可能。

いわゆる瞬停を防止できる。また、遮へい失敗による電力線直撃雷に対しても、同様な効果を発揮する。図9に77kV送電線避雷装置の適用効果の試算例を示す⁽²⁾。

4.2 送電線避雷装置の構造

送電線避雷装置としてギャップ無しタイプとギャップ付きタイプの2方式があり、各々表3に示す特徴を持っているが、過責務を処理したときなどの避雷装置故障時にも再送電可能なギャップ付き避雷装置が現在の主流となっている。

図10に、66／77kV系統用ギャップ付き送電線避雷装置の構造を示す。容器には耐候性に優れた屋外用エポキシ樹脂が用いられているため、高強度化・軽量化が図られており、送電線避雷装置の重量低減に貢献している。屋外用エポキシ樹脂の長期信頼性を検証するため、当社伊丹製作所において10年以上の課電暴露試験や加速劣化試験を実施してきており、実用上問題ないことが確認されている。

酸化亜鉛素子は容器長の短縮を図るため、発変電所用避雷器に使用される素子より約1.4倍程度高ストレス化した素子を適用している。ギャップ付き送電線避雷装置の鉄塔装柱構造例を図11に示す。

なお、ギャップ無し避雷装置については、容器は磁器がい管であり発変電所用避雷器とほぼ同一の構造である。

4.3 送電線避雷装置の定格・性能

送電線避雷装置についての公的な機関により制定された規格がないため、避雷装置の仕様決定に当たっては、酸化亜鉛形避雷器規格や架空送電線絶縁設計指針を勘案した。ユーザーの避雷装置に対する考え方により多少の仕様の違いはあるが、66kV系統用ギャップ付き送電線避雷装置の定格・性能の代表例を表4に示す。このうち、避雷装置の放圧性能については、万一の避雷装置の放圧時に容器や内部構造物の落下による二次災害を防止するため、発変電所用避雷器より厳しい仕様を課している。

制限電圧特性は、がいしアーカホーンとの絶縁協調上、低い方が有利であるが直列ギャップの遮断性能に影響してくるため、短絡発電機等を用いて十分な検証を行い、保護レベルの低減を達成している。

今後は、110kV以上の上位系統への適用に向けて実用化検討を実施していく予定である。

5. 内蔵化・複合化

避雷装置を用いて機器の過電圧保護を行う場合、避雷装置の保護特性に加えて、避雷装置と被保護機器との距離効果を考慮して合理的な絶縁設計が行われるようになってきた。被保護機器から避雷装置が離れるに従い過電圧制御効果が落ち、逆に被保護機器に避雷装置を内蔵化・複合化することにより、過電圧保護効果を最大限有効利用できる。

また、内蔵化・複合化することにより、全体として小形なものになり省スペース化が図れる。以下、製品への適用例を示す。

配電用柱上変圧器に“耐雷素子”と呼ばれる定格電圧8.4kVの避雷器を内蔵する耐雷形変圧器が数多く実用化されており、図12に変圧器への取付状況を示す⁽³⁾。内蔵する場合の特有の技術課題は、被保護機器内の雰囲気に適用可能であることであり、変圧器の過負荷運転による温度上昇を考慮して、最高120°Cの絶縁油中で使用できるように設計されている。また、これと類似の適用法として、柱上開閉器に内蔵する耐雷素子の実用化されている⁽⁴⁾。

配電用柱上変圧器への複合化の例として、変圧器一次ブッシング

部分に避雷器を外部から直接取り付ける方式のものが実用化されており、図13にその取付状況を示す。この方式では、電気的、機械的に共用される高電圧端子部に接続、保持のための配慮がなされている。

ガス絶縁開閉装置における複合化の例として、三相一括形避雷器と計器用変圧器を同一のタンクに収納した構成のものや、避雷器とガス遮断器を直結したものが実用化されている。このような構成は、ガス絶縁機器の小型化のために今後増加していくものと考えられる。

6. 酸化亜鉛素子応用技術

非直線特性の優れた酸化亜鉛素子は、交流送配電系統の避雷器としての用途以外に数多くの用途が考えられる。

一つの例として、大容量のサージアブソーバである。長距離大容量送電対策のために使用する直列コンデンサ設備の系統事故時の過電圧保護に実用化されている。サージアブソーバを大容量化するときの技術的課題は、直並列接続時の酸化亜鉛素子柱間の分流均一化であり、分流のばらつきが最小となる素子組合せプログラムを用いて素子の組合せが可能である。この組合せにより、500kV系統クラスの素子を5直列100並列構成において、商用周波電圧に対する通電試験を行い、分流のばらつきを約10%程度と小さくできることを検証している⁽⁵⁾。

他の例として、直流送電系統への適用がある。世界的には、昭和61年4月末の時点での交直変換所用酸化亜鉛形避雷器の適用累計は、約700台に達している。

交直変換所に適用する場合の技術的課題としては、避雷器の設置位置や運転条件によって複雑な電圧波形が加わり、課せられる責務

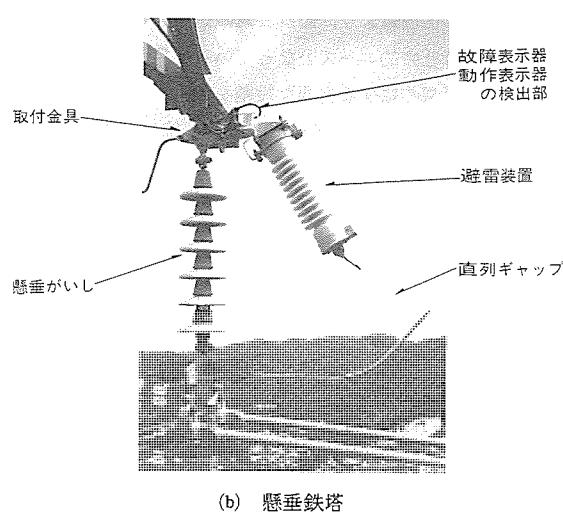
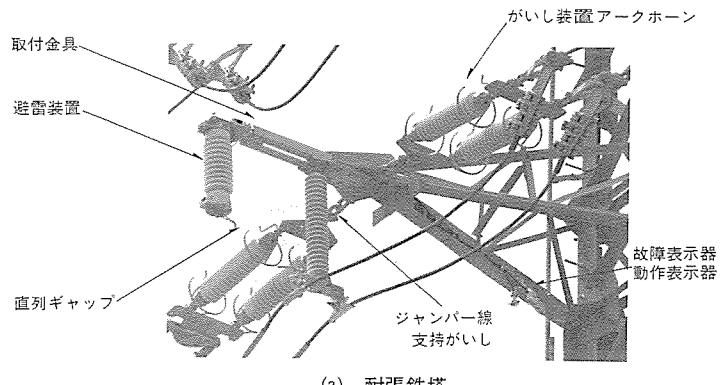


図11. ギャップ付き送電線避雷装置の装柱状況 (66kV系統送電線)

表4. 66kV系統用ギャップ付き送電線避雷装置の定格・性能

項目	系統電圧	定格電圧	最大放電電流	定格放電電流	制限電圧	続流遮断	放電協調	機械強度	耐汚損性能
定格性能	66kV	72kV	40kA (2/20)μs	25kA rms 0.2秒 飛散・落下のないこと	$V_{40kA} \leq 230kV$ $V_{IA} \geq 102kV$	定格電圧印加の状態で 雷サージ放電後、1/2サイ クル以内に続流を遮 断する。(容器汚損度 0.12mg/cm ²)	直列ギャップ長: 390mm かいしアーカーホーン長: 696mm 上記条件において協調 が図られている。	曲げ強度 400kg以上 引張強度 400kg以上	汚損度 0.12mg/cm ²
定義	——	●雷擊時、避雷装置が正常動作し得る系統交流電圧の最大値を定格電圧とする。	●避雷装置の雷放電電流の許容最大値を最大放電電流とする。	●避雷装置が過大雷擊などで故障し系統の地絡電流が流れた場合、飛散や落下等なく放電することを確認。	●避雷装置に電流が通電したときの端子間電圧。	●避雷装置直列ギャップの遮断性能を確認。	●避雷装置がかいしアーカーホーンの閾値を防止することを確認。	●避雷装置の外力に対する強度を確認。	●容器汚損時に正常動作(特に、遮断責務)する。

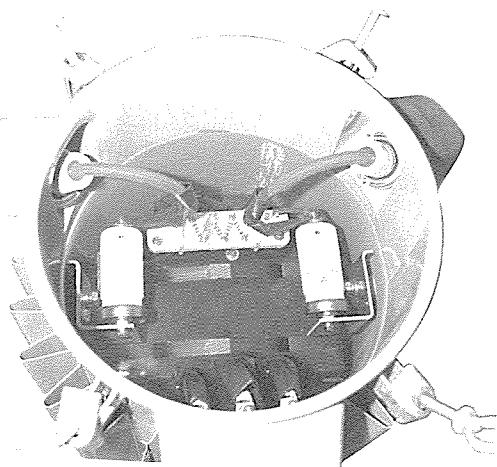


図12. 変圧内蔵用耐雷素子の取付状況

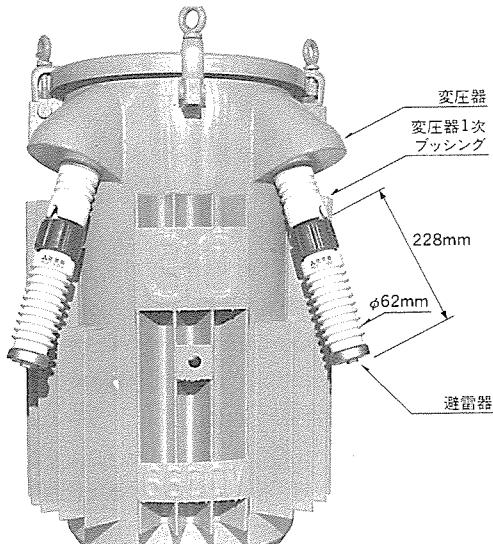


図13. 変圧器外付け避雷器の取付状況

が異なること、また直流送電の心臓部ともいえるサイリスタバルブのコストは、その絶縁レベルに敏感であるため、低保護レベルの避雷器への期待は特に大きいことである。これまでに、直流用素子の高性能化や並列構成技術が確立され、実波形模擬の検討状況等を合わせて考慮すること、UHV送電特別委員会提案のL'特性(直流線路用避雷器 V_{20kA} ; L'特性1,020kV, L特性1,130kV, H特性1,255kV)実現の可能性もできている。

7. む す び

酸化亜鉛素子の出現により、避雷装置の適用の考え方が大きく変化し、避雷装置は社会的ニーズとなっている高品質の電力供給のための耐雷施策を効果的にする重要な役割を果たしている。

今後の課題として、高性能避雷器の下位系統への展開と機器の

LIWL低減への貢献、高電圧系統に適用する送電線避雷装置の開発、被保護機器への複合化・内蔵化などの適用拡大など今後ますます多岐にわたっている。

終わりに、これら避雷器の開発・製品化に当たり、御指導、御尽力賜った電力会社各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 藤原ほか：電気学会全国大会, S.11-2 (1988)
- (2) 岡部：電気計算, P.74 (1987-10)
- (3) 加来ほか：三菱電機技報, 62, No. 3, P.38 (1988)
- (4) 久武ほか：電気学会関西支部大会 G 3-11 (1988)
- (5) 所ほか：電気学会全国大会, 1012 (1982)

計器用変成器の技術動向

丸谷朋弘* 越智直輝*
森下彦三* 西倉好美*
内村和彦*

1. まえがき

計器用変成器が持っている機能としては、①高電圧・大電流の一次側の現象を低圧側へ伝達すること、②高電圧回路と低圧側回路を絶縁すること、の2点が挙げられる。電流電圧を変成するための方式として、電磁結合あるいはコンデンサ分圧を利用する方式は今でも積極的に使われているが、最近では光機能材料による変成方式も開発され、その卓越した高絶縁性・無誘導特性・軽量・安全性など様々な特長により幅広い活用が期待されている。一方、絶縁材料の進歩もめざましく油絶縁から固体絶縁、ガス絶縁へと電力設備の不燃化という社会的ニーズに応じて変遷、進歩してきている。

本稿では、主に変電設備用としての変成器の変遷及び光変成器も含めた最近の変成器について、幾つかの例を紹介しながら今後の展望についても考察してみる。

2. 変成器の変遷

図1は、昭和30年代から現在までの当社における変成器の変遷を示したものである。従来の66kV以上の気中変電所で使用されていた計器用変圧器においては、絶縁方式については油絶縁が主流であり、また変成方式については鉄心に巻線を巻き回しする電磁結合方式とコンデンサ分圧方式が使い分けされていた。コンデンサ分圧を利用して電圧変成するコンデンサ形計器用変圧器(CVT)は、高電圧領域において経済性が優れているため、110kV以上の電圧階級に多く適用されていた。

一方、変流器(CT)は、碍子形CTと一次導体のまわりに環状に二次コイルを巻き回した貫通形CTとがあり、電流の大きさや用途に応じて使い分けがされている。当社では、昭和42年に550kV碍子形CT⁽¹⁾⁽²⁾を製品化した。また、昭和43年にはガス絶縁変電所(GIS)が製品化され、それに適用される変成器も変遷を重ねてきた。

計器用変圧器に関しては、当初は特別高圧以下では巻線形、超高压以上ではコンデンサ形と使い分けられ、巻線形ではコンパクト化の観点からエポキシモールドによるVTが、コンデンサ形では実績重視の観点から気中形をベースとした油入コンデンサ形をGISに適合させて使用してきた⁽³⁾。絶縁材料の進歩によりプラスチックフィルム(PETフィルム)を使ったガス絶縁形の巻線形VT⁽⁴⁾が出現すると、その特長から低電圧から超高压へと適用がまたたく間に進み、昭和57年には550kV定格まで製品化が行われた。一方、コンデンサ形でオイルレスの観点からガス中で分圧する構造での変成器についても研究が進み、GISの母線部と対地間の少ない静電容量を利用して電子回路で出力を増幅するAmp形CVTも適用されたが経済的な観点から550kV定格での適用にとどまっている。

変流器に関しては、GISの構造から貫通形CT(BCT)が一般的に使用されており、一部低電流域用についてのみ一次コイルをガス絶縁に適合させた巻線形CTが使われている。GIS用貫通形CTには、GIS管路外部に設置するいわゆる外装形と管路内部に設置する内装

形があり、それぞれGISとしての目的に応じて使い分けが行われている。

高い精度が要求される電力需給用についても、GIS用としてガス絶縁形の変成器が求められるようになり、当社では昭和48年にGIS直結形VCTを製品化するとともに、現在では300kV定格までのガス絶縁形VCTを納入している。

また、最近ではGISのより一層の縮小化あるいは変電所における伝送系の光化等に対応すべく光変成器の開発も活発に行われており、当社においても昭和50年代後半に、GIS用光CT、VTの試作器を完成させ⁽⁵⁾⁽⁶⁾、その実用化に向けての研究を進めている。

その詳細については次章にて述べる。

3. 最近の変成器

3.1 GIS用ガス絶縁形VT

ガス絶縁形VTは、高信頼度で小形化が可能であるGIS用変成器として開発に着手し、昭和53年に製品化を行った。鉄心に巻線を巻いた変成部を金属容器に収納し、SF₆ガスで絶縁する構造で、巻線層間絶縁にプラスチックフィルムを用いることにより小形化を達成している。

当社では、550kVまでの単相器及び300kVまでの三相器のシリーズ化が完了している。また、図2に550kV用ガス絶縁形VTの外観を示す。

ガス絶縁形VTの主な特徴としては、以下のとおりである。

- (1) コンデンサ形計器用変圧器(CVT)に比べ周波数特性が良好である。
- (2) 遮断器、断路器開放時における一次側の残留電荷を放電することができる。
- (3) GISのレイアウトに合わせ、水平・正立・倒立の取付けが可能である。
- (4) GISから切り離すことなく、現地での耐電圧試験(官検)を行うことができる。
- (5) 副二次巻線付きの構造とすることで、二次短絡・断線による継

項目	年代	1955 (1943)	1960 35	1965 40	1970 45	1975 50	1980 55	1985 60	1989 平成1
変電所の形態		気中変電所				ガス絶縁変電所			
計器用変圧器		碍子形VT・タンク形VT(油絶縁)			ガス絶縁エポキシモールド形VT		ガス絶縁形VT ◆550kV VT納入		
コンデンサ形 計器用変圧器		碍子形CVT・ブッシング形CVT(油絶縁)			GIS直結形CVT(油絶縁) ◆550kV CVT納入		Amp形CVT		
変流器		碍子形CT(油絶縁)-貫通形CT ◆550kV CT納入		GIS用貫通形CT ◆550kV CT納入					
電力需給用 変成器		碍子形VCT(油絶縁)			GIS直結形VCT(油絶縁) ◆275kV VCT納入				
光変成器							光変成器の開発		

図1. 変成器の変遷

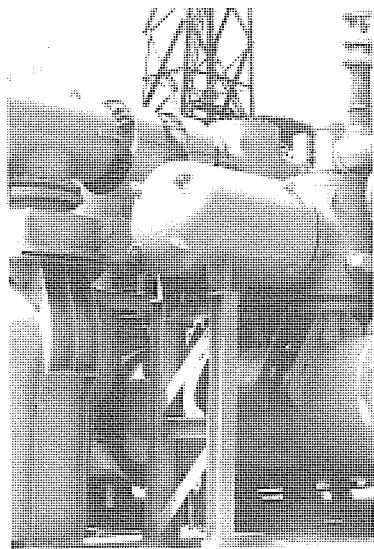


図2. 550kV GIS用ガス絶縁形VT

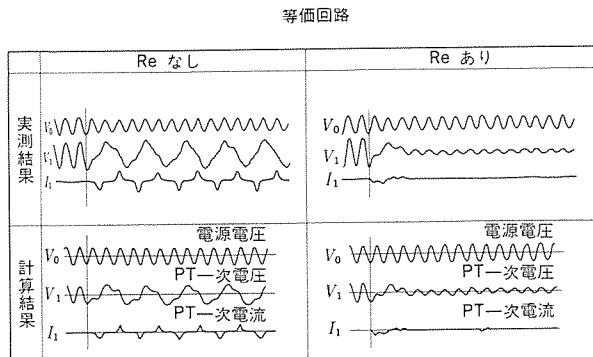
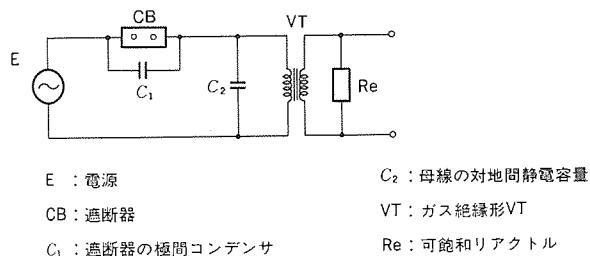


図3. 鉄共振現象実測と計算結果との比較

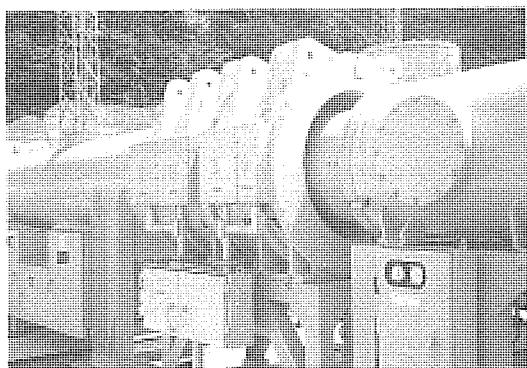


図4. 550kV GIS用貫通形CT

電器誤動作の防止が可能である。

以上の優れた点からガス絶縁形VTは、多くのGISに適用されるようになった。

一方、このガス絶縁形VTは、鉄心を用いた巻線形の計器用変圧器

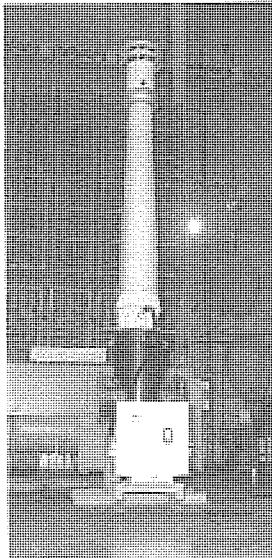


図5. 550kV副変成器付きブッシング形CVT試験状況

定格	
一次電圧	: 550 / $\sqrt{3}$ kV
二次電圧	: 110 / $\sqrt{3}$ V
副二次電圧	: 110 / $\sqrt{3}$ V
二次誤差階級	: 1.0 級
副二次誤差階級	: 10 級
二次負担	: 50VA
副二次負担	: 5VA

であることから遮断器の極間コンデンサと鉄共振を誘発する可能性があるので注意を要する。そこで、当社では鉄心の非線形性を考慮した計算機シミュレーションにより回路現象を精度良く模擬し、鉄共振を生じる恐れがある場合には、可飽和リアクトルをVTの二次側に接続することにより鉄共振を防止することとしている。

鉄共振現象の解析例を図3に示す。

3.2 GIS用貫通形CT

GIS用CTとしては、GIS容器に外装する外装形CTと容器内に収納する内装形CTがあるが、当社ではどちらも550kV用まで製品化を完了している。550kV外装形CTの外観を図4に示す。内装形CTは遮断器内への設置も考慮し、耐分解ガス性能に優れた材料を選定して設計している。

外装形CT、内装形CT共にCTの寸法・重量上大きな比率を占めているのは鉄心であるが、特に過渡特性の指定されたCTについては、直流分重疊時の誤差を規定時間内保証する必要があるため、鉄心断面積が非常に大きなものとなる。そこで当社では、計算機シミュレーションにて鉄心の非線形性を考慮した過渡特性の解析により、鉄心寸法の最適化を行っている。

3.3 GIS用CVT

現在、ガス絶縁変電所に用いられているCVTとしては、気中変電所にも適用されている碍子形CVTやブッシング形CVTのほかに、特にGIS用として開発されたGIS直結形CVTやAmp形CVTがあるが、これらについては既に報告済⁽³⁾⁽⁷⁾であるので、ここでは最近の開発例として550kV用副変成器付きブッシング形CVTについて述べる。

従来、線路側のCVTとしては、主に碍子形CVTあるいはブッシング形CVTがその目的に応じて使い分けられてきたが、ブッシング形CVTは碍子形CVTに比べ小さいブッシングの静電容量を利用することから単一の変成機能を持ったものしか製作されていなかったため、継電器の誤動作防止用として副変成器機能が要求される場合には、専ら碍子形CVTが用いられてきた。しかし、副変成器機能が必要な場合においても、碍子形CVTを用いることなくGIS内のブッシング形CVTにてその機能を実現することは、変電所スペースの縮小化等からも利点があるため、このたび550kV用副変成器付きブッシング形CVTを開発した。定格及び外観を図5に示す。

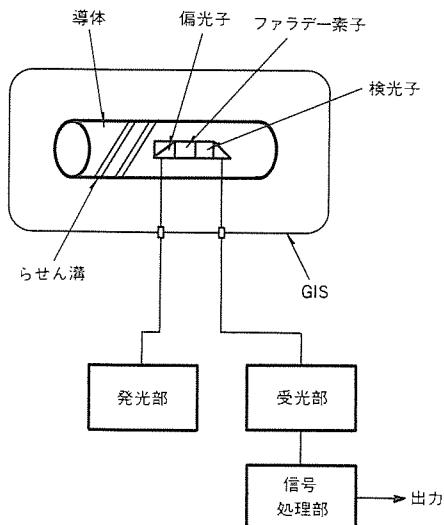


図 6. GIS用光CT構成図

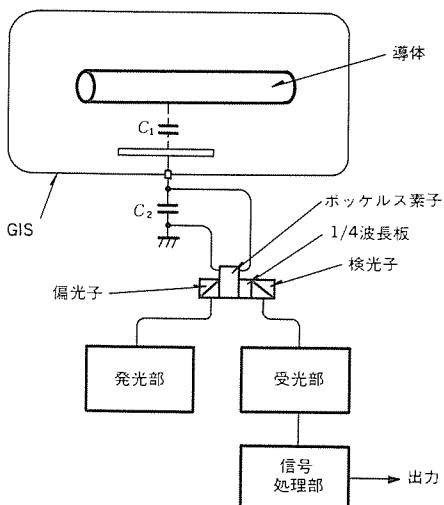


図 7. GIS用光VT構成図

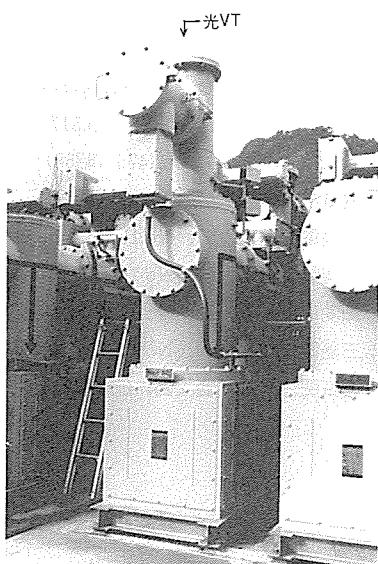


図 8. 66kV GIS用光VTフィールド試験状況

設計に当たっては、誤差特性・過渡特性（記憶作用）・鉄共振現象等について計算機シミュレーションを行うことにより各回路定数の最適な選定を行い、

- ① ブッシングの静電容量を、従来の1.2倍とする。

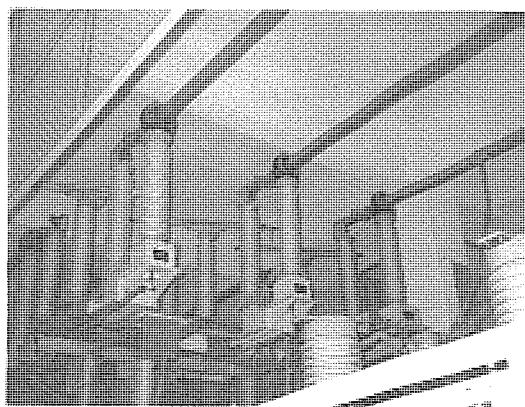


図 9. 77kV気中変電所事故点標定装置用光CT

② タップ電圧を、約1.5倍とする。

③ 変成装置の内部直列インピーダンス分を、約10%削減することとし、副変成器機能の追加を実現している。

このCVTは、基本的な性能検証試験のほかに電圧差動リレーとの組合せ試験も実施し、良好な結果を得ている。

3.4 光変成器⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

変成器の高信頼度化・小形化・高精度化等を達成すべく、従来形とは異なった原理を利用した変成器が種々考案されているが、その一つとして光技術を利用した光変成器の開発が近年活発に行われている。

光変成器の特長としては、下記を挙げることができる。

- (1) 変電所内における情報伝送の全光化指向に整合する。
- (2) 機器の小形化に寄与できる。
- (3) 信号伝送に光を用いるためサージ、ノイズ等の影響を受けない。

当社においても、これらの特長を生かした光CT、VTの開発を昭和50年代から行ってきており、その概要について以下に述べる。

3.4.1 GIS用光CT

光CTをGISへ適用する際、センサ（磁気光学素子）の設置箇所により構成が大きく異なってくるが、センサをGIS容器側に設置した場合には主回路電流による磁界が小さくなること、容器に流れる漏電流の影響を受けること、三相一括の場合には他相の影響による誤差が大きくなること、またこれらを緩和するため鉄心を設ける寸法的に大きくなってしまうこと等から、センサを高圧側に配置した方式の方が精度及び小形化の面で有利である。以上のことから、高圧側センサ方式とした77kV GIS用光CTを開発したので、その構成を図6に示す。

磁気光学素子（ファラデー素子）としては、鉛ガラス、YIG、BSO、BGO等があるが、温度特性が良好なこと、測定磁場を乱さないこと、飽和特性がなく直線性に優れていること等の条件から鉛ガラスを選定している。そして、この素子は他相磁界による誤差精度への影響を最小限とするため、導体軸方向磁界のみを検出できるようにスパイラル状とした導体内に配置されている。このように構成することにより、センサ部は非常にコンパクトなものとなっている。さらに信号検出方式には構成が簡単で多重化に対応しやすい光強度変調方式を用い、信号処理部にて交流出力電圧を平均化された直流出力電圧で除算し、光行路の伝送損失による誤差を除去することにより高精度化を図っている。

3.4.2 GIS用光VT

GIS用光VTとしては、GIS導体と容器間に中間電極を設けコンデ

ンサ分圧とし、電気光学素子（ポッケルス素子）を用い電圧計測を実施する方式が主流である。その場合、コンデンサ分圧の高圧側の電圧を検出する高圧側センサ方式と、大地側の電圧を検出する大地側センサ方式の2種が考えられるが、いずれの方式においても精度良く一次側電圧を分圧することにより、1.0級相当の誤差性能を達成することができる。小形化という面からは高圧側センサ方式が優れています。保守性からは大地側センサ方式が有利である。

図7に大地側センサ方式として開発した66kV GIS用光VTの構成を示す。

ポッケルス素子にはBGO, BSO, LiTaO₃, LiNbO₃等があるが、温度特性・直線性・自然複屈折の有無・絶縁性などを考慮しBGOを選定している。

この光VTでは、自己点検機能として光量低下を監視するだけでなく信号処理回路系の二重化など実用化設計を行った。高信頼度化の観点から実適用に際しては、センサ部を含めた二重化や保護リレーシステムとの協調をとり、かつ個々のシステムに適した冗長設計も行っていく必要があろう。

なお、このVTは、昭和61年からGISに設置しフィールド試験を行っている。その外観を図8に示す。また、高圧側センサ方式としては、77kV用を作製し、前述の77kV用光CTと組み合わせ、一年間の長期課電試験を行い良好な結果を得ている。

3.4.3 気中変電所用光CT

以上GIS用光変成器について述べたが、光センサを用いることにより小形・軽量なものを実現できるという理由から、光CTは気中変電所用としても適用が始まっている。図9に、気中変電所用の光CT⁽¹⁾の外観を示す。これは、77kV配電用変電所における母線事故時の早期復旧を目的とした事故点標定装置用として開発したものである。

この気中変電所用光CTは、要求される精度から自相電流磁界方向の磁気抵抗を小さくするため、主回路導体周囲に環状鉄心を配置し、そのギャップ部にファラデー素子を挿入した構成の高圧側センサ方式としている。さらに、この環状鉄心は二分割構造としているため、既設変電所への取付けも容易に行うことができる。光CTから大地側への信号伝送は、光CT下部の支持碍子内に収納された光ファイバにより行われている。

4. 変成器の今後の展望

変電所の形態あるいはその時代の社会的ニーズに的確に応じるとともに、最先端の技術を導入しながら発展してきた変成器の変遷と最近の変成器について述べた。変成器の発展の背景には、変成器に対する様々な要求あるいはこれを取り巻く環境がある。

変電所の電圧・電流及びその形態からのニーズに関しては、高電

圧・大容量化に伴い、それぞれの定格に応じた変成器を、また気中変電所からGISへと推移するのに従い、それに適合した変成器を開発・製品化してきた。

保護・制御システムからのニーズに関しては、高インピーダンス差動继電器用CTや過渡特性付きCT、继電器の誤動作防止用としての副二次付きのVT・CVTなど要求される特性及び構成の変成器を製品化してきた。そして、これら個々のニーズにこたえながら小形化・高信頼度化という課題に取り組み、技術の向上を図り、発展してきた。

今後は、系統運用の高度化・保護システムの高性能化の要請がますます高まることと思われ、変成器に関しては従来以上の高精度化の技術開発も必要となろう。また、アナログリレーからデジタルリレーへの推移に伴う低負担化も進みつつあり、これによる機器の小型化も期待される。

さらに、UHV送電も間近に迫っており、変成器に対してもより一層の高度化が要求される。これに関しては、次世代の変電所としての光LAN伝送や保護・制御のデジタル化にも対応できる変成器が適用されるものと考えられ、この観点から光変成器の適用が期待される。そのためにも、光変成器の実用化に対しての一層の技術の研究が望まれる。

5. む す び

以上述べたように、変成器は、これを取り巻く種々のニーズにより、新しい技術開発を行い発展してきた。今後とも保護・制御システムと協調のとれた機器として、また変電機器の縮小化・高信頼度化等の要求を満足する機器として、技術の蓄積・向上を図り、時代の要請に応じた変成器を提供するため努力する所存であり、使用者各位の御指導・御鞭撻を重ねてお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 神谷ほか：三菱電機技報，45，No.9，p.1089（昭46）
- (2) 鶴田ほか：三菱電機技報，48，No.10，p.1226（昭49）
- (3) 長野ほか：三菱電機技報，44，No.9，p.1171（昭45）
- (4) 白井ほか：三菱電機技報，53，No.7，p.517（昭54）
- (5) 春本ほか：電気学会全国大会，p.1476（昭58）
- (6) 黒田ほか：電気学会全国大会，p.1245（昭59）
- (7) 山口ほか：三菱電機技報，53，No.10，p.768（昭54）
- (8) 久間ほか：三菱電機技報，57，No.10，p.730（昭58）
- (9) 久間ほか：三菱電機技報，58，No.7，p.495（昭59）
- (10) 伊吹ほか：三菱電機技報，60，No.6，p.402（昭61）
- (11) 山中ほか：電気関係学会関西支部，G171（昭63）

変電機器の監視・診断装置

但田昭司* 福原好博**
細川育雄* 篠原秀雄**
佐久間秀一*

1. まえがき

電力供給の信頼度向上に対する要求は、社会の情報化が進むにつれますます高まってきており、変電機器においては高度でシステム化された予防保全が求められている。一方、変電所の設備量が増加し、更に質的にも高度な対応が要求されており、従来方式での設備保全が困難になりつつあると考えられる。このため変電機器自体の高信頼度化も必要であるが、巡視点検の精度向上及び機器運転中の情報に基づく異常の早期発見などを目的とした予防保全・省力化のための監視・診断装置の導入が活発化している。

当社では、このような情勢に早くから備え、昭和50年代初頭に変圧器の油中ガス分析装置⁽¹⁾やGIS内部異常の診断装置を開発した⁽²⁾。本格的な監視システムは、昭和60年、四国電力(株)北松山変電所に納入し⁽³⁾、その後、各電力会社のご指導のもとに多数の納入実績を得ることができ、監視・診断技術に関するノウハウを蓄積してきた。

他方、事故異常時に運転保守要員の負担軽減や熟練者・高度技術者に近い高度判断を行うことを目的として、設備診断や保全分野の計算機システムへ知識処理の導入が試みられており、変電機器に関しても保全支援システムの開発が行われている⁽⁴⁾。

ここでは、これら監視・診断装置と保全支援システムに関する現状と将来展望について述べる。

2. 監視・診断装置の適用の考え方

2.1 システム構成例

システムは分散処理と階層化の観点からその基本構成が決められる。また、機器が集中するガス絶縁変電所(GIS)と機器が広い構内に分散する気中変電所では、変電所の形態に応じて、前者はセンサ種別(監視項目)ごとに処理部を設け、後者では機器ごとに個別処理形装置(モニタ)を設けている。システムは、モニタ、監視盤(ヤードステーション)とマンマシンI/Fを図1に示すように構成する。図1ではシステムの構成を、

- (a) 機器ごとに処理部を設ける個別処理形(遮断器モニタなど)
- (b) 構内で処理部を統合する現場統合形(監視盤)
- (c) 本館で統合する本館統合形(マンマシンI/F)

に分類しており、このほかに定期点検、精密点検などに用いる。

(d) 可搬形装置(油中総可燃性ガス測定装置など)を準備して目的・用途に応じて使い分ける。いずれの構成でも正常・異常の判断処理が可能である。

2.2 監視項目の選別

監視すべき項目の抽出を解析的に行うため、FTA手法を用いることができる⁽⁵⁾。図2はその一部分であるが、FT図上には各事象のほかに不具合進展の条件となる制約ゲートが存在している。この制約ゲートに注目し、制約ゲートの内容を補そくし、その進展状況により処置すれば、障害事象(不具合)の進展を止めることができる。したがって、監視項目の候補としてFT図の制約ゲートの内容に注目

する。なお、下段の制約ゲートほど、より前段階の処置が行えるので予兆現象補そくとしては高価値であり、また上段の制約ゲートに関しては、広範な不具合事象の帰結として発生するもので、広範事象の予兆現象としての価値を持っている。

この観点から、制約ゲートの内容を監視項目として網羅することが理論的に抜けがなく正しいと言えるが、監視情報としての適格性を評価する必要があり、

- (1) 事故率、障害度、復旧費用などに対する評価による優先度
- (2) 劣化による不具合現象と管理に起因する不具合事象の分離
- (3) より広範な事象を監視し、検出が可能な情報の優先の諸点を考慮する。

このような考え方から変電機器に関する監視項目を抽出し、更に監視・診断装置の採用の目的を、

- (1) 巡視点検の省力化
 - (2) 機器異常の早期発見(機器が故障に至る前に、異常の軽微な段階で検出)
 - (3) 異常事故時の即応処置(突発的に事故が発生した場合は、波及を最小限に留めるため事故箇所の検出と早期復旧)
- などに分類して、それぞれに対応する主な監視項目を機器別に整理して図3に示す。

これらの監視のベースとなるセンサは、光技術、半導体技術やセ

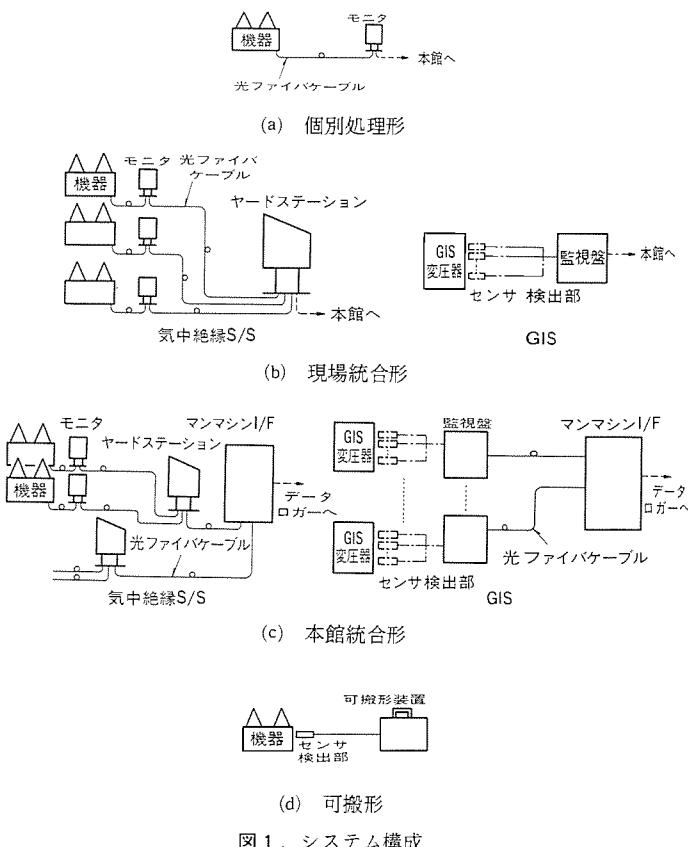


図1. システム構成

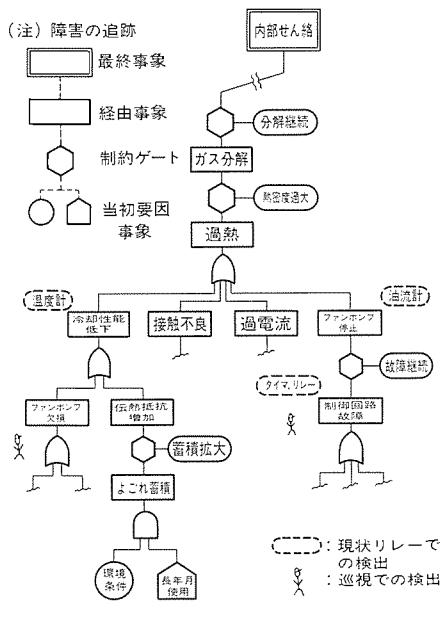


図2. 変圧器FTA(部分図)

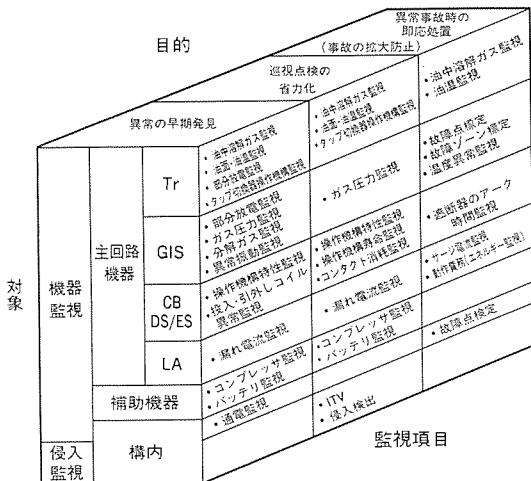


図3. 監視項目

ラミック技術などで信号を検出してマイクロプロセッサによる処理を用いるもので、多くの種類があり、対象とする検出量の変動範囲、必要な感度・精度・応答速度などの機能と使用目的に応じて選別して使われる。

2.3 センサ適用の留意点

このような監視を、センサを用いるシステムによって、実現するための基本的な考え方を次に示す⁽³⁾。

(1) 外部診斷方式

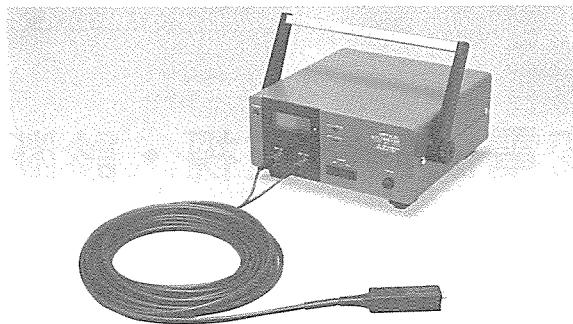
状態検出をするセンサには、物理センサや画像センサを用いるが、物理センサを用いる場合は機器本体の信頼性を損なわないようする。例えば、取付けに際し機器の主回路部に貫通孔を新たに設けないことを原則とする。

(2) 分散处理方式

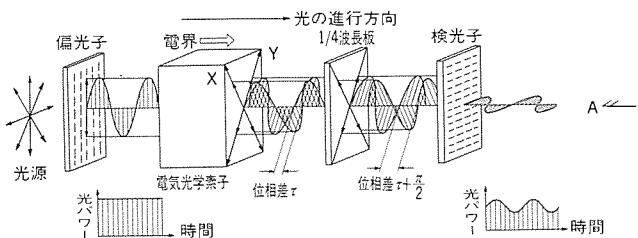
各種センサごとに演算処理を必要とするため、演算処理をするマイクロプロセッサを機器近傍に配置する分散処理方式をとり、センサの独立性を高める。これによって一部分が故障した場合に他への波及を限定でき、またセンサ増設時にシステムを停止せずにに対応することが可能である。

(3) メンテナンスとの協調

経年劣化した部品については、交換・補修などで信頼性の向上を



(a) 光ファイバ電圧測定器



(b) 測定器の原理図

四 それより それと協調をとる

(4) 發展性・擴張性

将来のセンサ発展に対して、新しいセンサの導入が可能なようになる。例えば、センサ数の増加にも対応できるようにメモリ容量、インターフェース基板や電源容量を設定する。

3. 監視・診斷技術

センサの機能は、①微弱なあるいは人間の五感では検知できない信号の検出、②検出した信号のノイズを除去して使いやすい形に定量化するための処理、③機器ごとの目的に応じた正常・異常の判断、の三つの要素から成り立っている。

3.1 檢出技術⁽⁶⁾

予防保全のための診断に利用される情報として、機械的（振動・音・変位・圧力）、電気的（電流・電圧）、光、温度情報などが挙げられ、これらを検出するための手段もセラミックセンサ、半導体センサ、光センサなど各種のものが開発・実用化されつつある。図4に電圧センサの例を示すが、いずれのセンサもマイクロプロセッサによるソフトウェア処理を伴うものがほとんどであるので、ノイズ除去に優れ、感度は非常に高いものになってきている。

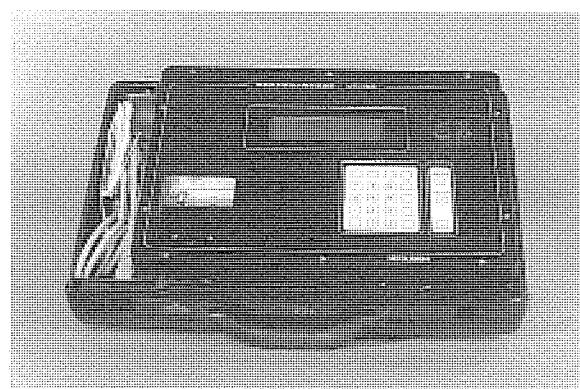
信号処理については、機器が違っても現象に応じた手法が用いられている。その代表的手法は、次のとおりである。

(1) 周期性信号を強調する処理

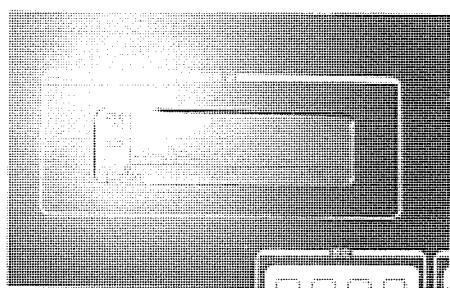
異常現象が、何らかの外的要因に同期して起こる場合、この要因に同期して信号処理を行う。例えば、GIS内部で生ずる部分放電の場合には、類似の振動が繰り返し発生し、しかもこの振動が主回路電圧と一定の位相関係を持つ傾向があるので、主回路と同じ電源に同期してマイクロプロセッサにより加速度波形をサンプリングして、その絶対値波形を求め、それを複数回重ね合わせて平均波形を求めている。これを平均化処理といい、主回路電圧の周期性と関連のない振動を除去し、部分放電の検出を容易にしている⁽⁷⁾。

(2) 一過性信号の扱い

通常起り得ない突発的な一過性の過大なノイズが侵入することがあり、これによって誤った判断をすることのないようにするために、

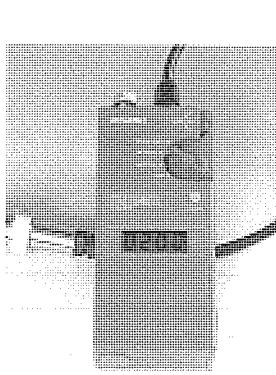


(a) 加速度形部分放電検出装置

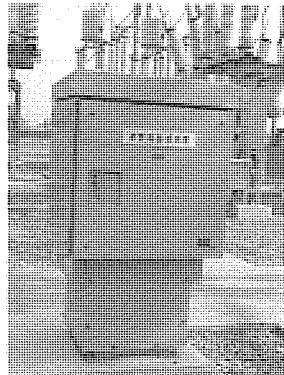


(b) 表示画面の拡大

図 5. 波形処理、数値処理の応用装置

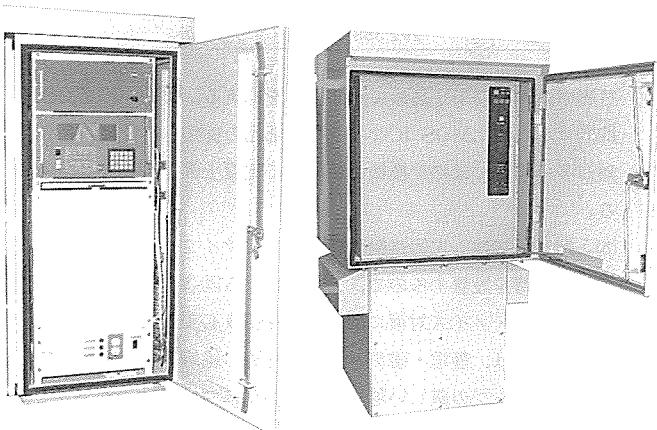


(a) TCG テスター

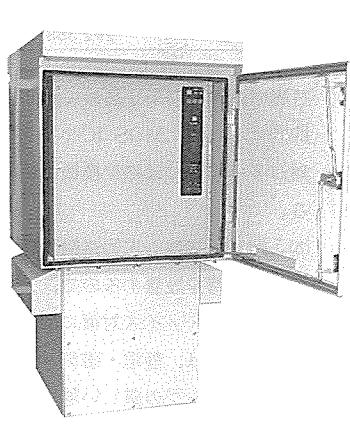


(b) 避雷器監視装置

図 6. 数値処理の応用装置



(a) 変圧器モニタ



(b) 遮断器モニタ

図 7. グラフ処理の応用装置

統計的にみて母集団と明らかにかけ離れた過大入力がサンプリングされた場合には、その過大信号を無効にすることができます。

(3) 時間間隔の算出

信号の種類によっては、原始情報の波形の変化をとらえるよりも、①ある一定の信号レベルを超えている継続時間、②ある一定の信号レベルよりも低い状態の継続時間、③ある一定の信号レベルを超えてから再びそのレベルを超えるまでの時間など、継続時間や時間間隔を求めることが機器の状態判断を容易にする場合も多い。

(4) 差動演算

機器が正常な状態ではほぼ等しく、機器が異常な状態になるとお互いに異なるような性質をもつ二つの信号を、加算・減算することも有効な方法であり、よく用いられている。

(5) 複数回処理

測定データが、過去の傾向に比べて急激に変化した場合、再測定しデータの信頼性を確認する。例えば、変圧器の油中可燃性ガス自動測定装置では、測定データが前回（1回ないし1週間前）の測定データと比べて急激に変化したと判断した場合、再測定する機能を備えている。

3.2 診断技術

検出信号をもとに判定基準を設けて、この値を基に良否を診断する方法は、一般的に明らかに異常であるか、又は異常の様相がかなり進展している場合に適用することが多く、より軽微な段階での異常の診断技術としては、次の手法が用いられている。

(1) 波形処理：波形表示による属性の抽出

(2) 数値処理：状況の量化

(3) グラフ処理：変化量のグラフ化による変化傾向抽出などを対象に応じて行い、また上記処理の後、必要に応じて次の方法が採られる。

(4) 多数決処理：信号の信頼度を上げるため複数回の取り込みによる判断

(5) 時間的処理：現象の経時的な変化傾向の算出。例えば、油中ガスを数日から数箇月間のトレンドにより異常の判断をする。

(6) 空間的処理：同種信号を相間、回線間、また異種信号も相関性のある場合に比較処理などをを行い、ノイズ除去と変化傾向の把握の確度向上を達成する。

なお、上記(1)、(2)の具体的な適用例として可搬式絶縁診断装置⁽⁸⁾を図 5 に、(2)の例として油中可燃性ガス測定装置⁽⁹⁾と避雷器モニタ⁽¹⁰⁾を図 6 に、(3)の例として変圧器モニタ⁽¹¹⁾と遮断器操作機構監視装置⁽¹²⁾を図 7 に示す。

3.3 判定技術⁽⁵⁾

次に機器故障の進展形態に対し、現在の保護や保守形態との比較を行ってみた。絶縁上のあるいは熱的な故障要因が、時間経過とともに呈する物理現象を“原因・結果”で推論し、機器停止に至るまでその進展形態を展開したのが図 8 である。診断の結果、どの物理現象をどの段階で補そくしているかがポイントで、“カン・コツ”的個人判断に依存する問題を除去して人間系に提示することが重要である。

したがって、事故の未然防止の観点と異常検出後の応動支援のため、診断結果は、例えば、

(1) レベル 1：正常ではあるが変化傾向にある（要注意）。

(2) レベル 2：異常にすすむ傾向にあるが、当面の運転には支障がない段階（要点検）。

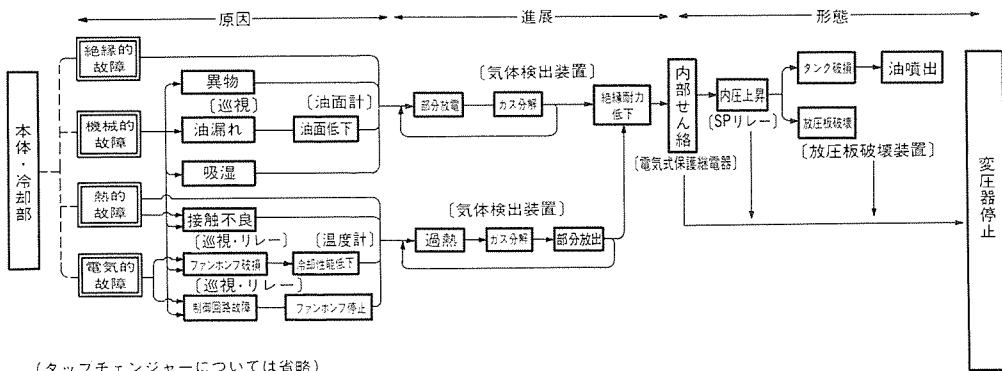


図 8. 変圧器故障の進展形態

表 1. 変電所対応の監視装置の運転実績

運開年月	変電所・機器の概要 (電圧階級、新設・既設、有人・無人、台数等)	監視装置・センサの概要	ユニット数	センサ検出部	検出ユニット	現場盤[モニタ]	本館盤
昭和59年12月	超々高圧系新設有人変電所 変圧器 6台、避雷器 3相分	変圧器TCG装置、変圧器等油漏れ(油温・油面) 監視、避雷器漏れ電流監視	21	12	1	—	—
昭和60年5月	超高压系新設無人変電所(全GIS) 変圧器 1台、超高压系一次 2回線、二次 7回線	変圧器TCG装置・超音波監視、GIS振動加速度 地絡点標定・遮断器動作時間監視、ITV等	49	8	2	2	2
昭和61年6月	超高压系既設変電所(GIS) GIS 1相分(遮断器)、断路器、母線	母線断路器振動加速度、母線地絡点標定、 遮断器動作時間監視(光方式)	4	2	1	—	—
昭和61年7月	超高压系既設変電所(GIS) 遮断器 1台、断路器 1台	母線断路器振動加速度、母線・断路器地絡点標定、 遮断器動作時間監視	9	3	1	—	—
昭和61年12月	超高压系新設変電所(GIS) GIS 1ユニット	GIS地絡点標定、遮断器動作時間監視	3	2	1	—	—
昭和62年1月	超々高圧系新設有人変電所 GIS 1.5ユニット	GIS振動加速度、外被電極センサ(改良形)	12	2	1	—	—
昭和62年3月	超高压系既設有人変電所(気中絶縁) 変圧器 3台、超高压系一次 4回線、二次 4回線	変圧器TCG装置、タップチェンジャー(LTG)監視、 遮断器振動加速度、動作時間・操作機構監視(モニタ)	62	4	2[6]	1	—
昭和62年7月	超々高圧系有人変電所 避雷器 1相分	避雷器漏れ電流等監視	3	3	1	—	—
計 8変電所				163	36	10[6]	3

表 2. 装置・センサ別の運転実績

昭和62年12月末現在 (備考: 1年 = 24h × 365日 = 8760時間)

装置・センサ名	運開時期・納入台数	延運転日数(日)	部分停止	MTBF参考値(h以上)	備考
本館盤	昭和60年 5月以降 3台	2,196	なし	52,704	
現場盤	昭和59年12月以降 9台	5,235	なし	125,640	1年以内の検証用1台を除く
TCG装置	昭和59年12月以降 17台	12,413	2件	148,956	光部品の不具合及びセンサ不良
加速度センサ	昭和60年 5月以降 4台	3,030	1件	72,720	センサケーブル不良
遮断器動作時間センサ	昭和60年 5月以降 4台	5,322	1件	127,728	ソフトウェアバグ
地絡点標定センサ	昭和60年 5月以降 4台	2,856	1件	68,544	ソフトウェアバグ
石英ガラスファイバーケーブル	昭和60年 5月以降 44本	29,034	2件	348,408	センサ用ケーブル折損
プラスチックファイバーケーブル	昭和61年 6月以降 33本	9,754	なし	234,096	
光シリアル伝送 9.6Kbps	昭和60年 5月以降 6局	2,494	なし	59,856	
シリアルデータ伝送 1.2Kbps	昭和60年 5月以降 23台	12,182	なし	292,368	メタリック及び光伝送

(3) レベル3: 異常は起きているが、機器停止に至らない前駆段階(要処置)。

(4) レベル4: 比較的短時間で機器停止に至る段階(ロック)。などのレベルにクラス分けする。

4. 装置製作の留意点と運転実績

4.1 装置製作の留意点

装置を製作する場合、設置場所・環境に対応して耐環境性・耐久性などの信頼性と保守点検性などに配慮する必要がある。

(1) 耐環境性⁽¹³⁾⁽⁶⁾

(a) 耐熱性: 機器に取り付けるセンサは機器の温度上昇に耐えるようにする。電子装置は、ほとんどの場合屋外適用であるので、気象・日射の影響を受ける。そのため、盤を二重構造として直射

日光の遮へい効果を高めて温度上昇を抑える。また、内部発熱を抑制するためにMOS ICなど低損失部品の採用も行うが、盤内発熱が多い場合には熱交換機を使用して温度上昇を抑えることもある。

(b) 耐ノイズ性: 主回路機器に近接してマイクロプロセッサなどの電子回路を設置するので、大電流による誘導、雷や遮断器開閉時のサージ・ノイズ対策に特に注意を払う必要がある。まずセンサについては、静電・磁気シールドを施し絶縁板を取り付ける。ノイズ・サージの厳しい環境下のセンサについては光センサを適用する。

盤内のサージ対策としては下記のようなものがある。

- ① 電源投入部へのノイズカットトランジスタ、ノイズフィルタの適用。
- ② 入力側信号線と出力側信号線の分離、電源線と信号線の分離。

表3. 保全支援システムの機能

機能項目	内容概要
平常時支援	データ取り込み オンライン及びオフライン情報を取り込む 日常巡視項目の選定
	総合判定 各種データと診断結果により状況を判断
	巡回点検 ペテラン巡視員の判断を実現
	上位診断 監視システムの診断結果の時間的、空間的処理や統計処理・パターン処理による高度診断
点検	調査のための手順、点検方法を提示
帳票	各種報告書を出票
設備管理	機器の残存寿命、点検時期、履歴管理
異常・事故時支援	事故異常診断1 事故時に事故箇所、様相から影響度・緊急度を判断し必要な処置を提示
	連絡処理 必要な関係先と連絡内容を提示
	事故異常診断2 原因究明と必要な調査・点検など提示
	応急復旧 最短で可能な復旧方法を提示
恒久復旧	恒久復旧方法と復旧の計画を支援

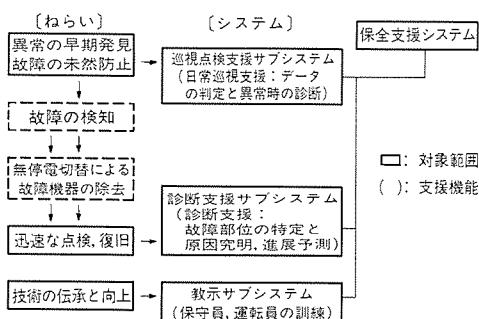


図9. システムのねらいと構成

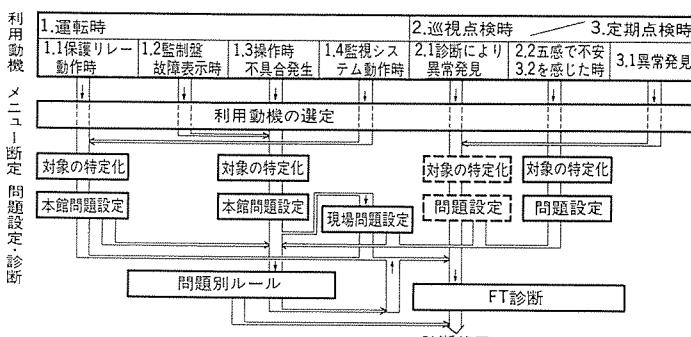


図10. 動機別階層化診断手順

- ツエナダイオード、酸化亜鉛形避雷器などのサージ吸収器の適用。
- 信号線としてのツイストペア線、シールド線の適用。
- 信号の入出力部は、補助繼電器やフォトカプラにより絶縁を行う。
- サージ吸収用コンデンサの適用。
- 一点接地方式の採用。

(2) 耐久性

機器に取り付けるセンサは、変圧器では励磁振動(1G程度)や遮断器では操作時の衝撃(数十G)などに耐えるように取付けに配慮する。また、電子部品については厳しい環境下で使用するので、裕度を十分にとる。

(3) 保守点検性

主回路機器と異なり構造が複雑でブラックボックス化が避けられず、また高い信頼度が要求されるため、極力自己の常時監視により異常を提示するようにする。また、異常時には予備品との交換が容

易にでき、停止時間を短くする。

4.2 運転実績⁽¹⁴⁾

監視・診断装置は、既に多数の納入実績があり順調に稼働しているが、このうち昭和59年12月以降、8箇所の変電所に適用した監視装置(表1に示す。)の運転実績から信頼度を評価してみた。

(1) 監視システムの運用実績

装置電源の瞬停に対し監視データの退避・保存手段を講じており、分散処理を基本構成としているため、不具合(停止)が下位系に局限され、システム全体の停止には至らなかった。運用当初、降雨や外界騒音による加速度センサの過敏な不要動作がみられたが、フィルタの最適化や組合せ判断により、的確な判定が得られることが確認した。

(2) 装置の運転実績

装置を主要な構成要素に分類し、その延べ運転日数(累計)及び信頼度の指標となるMTBF(参考値)を求め表2に示す。ここで、部分停止件数とは、光ファイバコード断線やソフトウェア不具合により、装置が自己復帰しなかった場合の機能停止による故障件数を示す。

当初は、光ファイバ簡易ケーブル引込み作業に起因するなどの初期故障期における不具合が見られたが、その後ノウハウの蓄積による施工方法の改善、ハードウェア・ソフトウェアの標準化及び自己監視機能の強化等により一層の信頼度向上が図られている。なお、算出したMTBF(参考値)は、母集団が少ないので今後も統計データの蓄積が必要である。

5. 保全支援システム

運転監視については無人化に伴ってシステム化が進んでいるが、保守業務は依然として人間対応が大部分を占め、保守員の技能・技術・取組み姿勢の違いによるデータの不ぞろい・判定の差、及び熟練者の減少と技能・技術の継承などの問題を内包し、高信頼度化・システム化が急務な現状にある⁽¹⁵⁾。また、予防保全の導入は、異常の早期発見による事故の未然防止や保守・点検の精度向上に役立つが、運転・保守要員への情報量が多くなり情報の選択・優先順位決定などによる負担軽減が課題となっている。

このような背景から、知識処理手法により熟練者・高度技術者の経験・知識に近い業務を達成し、しかも運転・保守要員の負担軽減を図る保全支援システムの導入の検討もある。表3はこのシステムの機能の一例である⁽¹⁵⁾。

図9はこの一部で、中国電力㈱広島変電所に納入したものである。このシステムは平常時は巡回点検のデータ処理を行い、異常時には図10に示すように動機別階層化診断手順に基づいて診断を行うようにしたものであり、昭和62年12月からの検証により操作・診断の有効性を確認している⁽¹⁵⁾。

今後、経験を生かしたルールベースの作成及び開発効率の良いツールの開発と知識処理技術の発展等により、支援機能向上や支援対象の拡大を図ることができ、運転・保守要員に役立つものと考える。

6. 将来の監視・診断装置の展望

将来を目指した高度な診断技術が、現在各方面で研究されており、監視・診断に関する技術と対象機器への応用に分けて検討してみる。

6.1 監視・診断技術の展望

(1) 検出技術

検出技術のなかめとしてのセンサは、変電所特有のノイズ・サー

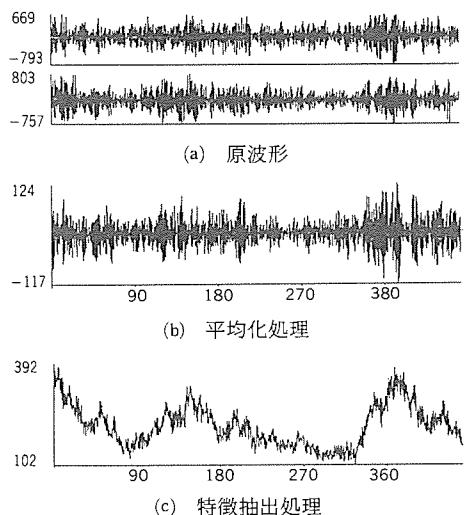


図11. 加速度波形の特徴抽出例

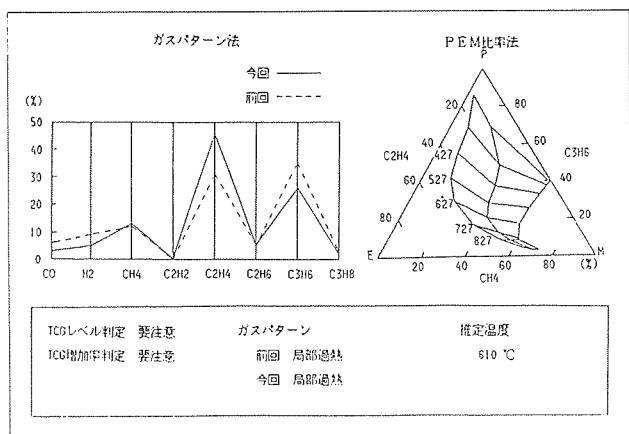


図12. 油中ガスのパターン分析例

ジ対策から光化が進むものと思われる。すなわち、光センサは、
 (a) 電磁ノイズ・高電圧など厳しい環境下での計測が可能である。
 (b) センサ部への電源供給が不要である。
 (c) センサ部が小形・軽量であり、被計測環境を乱さない。
 などの特長があり、現在でも電圧・電流・温度・加速度・変位などの計測に用いられており、更に応用が進むものと考える。

(2) 診断技術

3.2節で述べた診断方法でも複雑なデータでは、特徴の最終判断を人に頼ることがある。例えば、図1に示したGIS内部の部分放電によって発生する振動の平均値化処理後の波形では、周期性の判断は人によって必ずしも一致しないが、判断の自動化をねらって特徴抽出のために計算機処理を試みた例を図11に示す。さらに、ニューラルネットワークを用いる計算機により、波形を認識・識別させることも可能になるものと考えられる。

(3) 判定技術

レベル判定は計算機によって行っているが、波形やパターンについては熟練者によることが多く、精度向上から計算機によって行うことが試みられている。

例えば、油中ガス分析が変圧器の劣化診断に威力のあることは周知で、運用も電協研第36巻第1号にまとめられ、各ユーザー・メーカー

とも活用している。この方法では、対象変圧器の油中ガス成分量の分布パターンを異常の様相の明確な数種の標準パターンと対比させ、近いパターンを求めるこことにより、異常を接触不良、漏れ電流などによる過熱、部分放電やアーク放電、絶縁物の劣化等に分類する方法が推奨されているが、パターンの選定は人によるため熟練を要し、必ずしも一様な判定基準を得られてはいない。図12はパターン処理方法をこのガス分析に応用した結果で、類似性に数値評価を導入することにより、一様な判定結果を得ている。

6.2 変電機器への応用

今後、センサの光化がますます進むことにより取付けの自由度が向上し、センサを現象の検出に最も効果的な位置に設置できるようになり、一層精度の高い監視・診断が可能になるものと予想する。このことにより、異常がより軽微な段階で検出でき、また異常の部位の標定ができるようになれば、センサの適用も拡大し、その結果、最初から変電機器にセンサを組み込んで一体化による副次効果をねらうことにも可能になる。

一方、センサ適用の拡大に伴って、検出部と演算部を複合化したハイブリッド形のセンサも導入ができるようになるものと思われる。この結果、変電機器自体が監視・診断の機能を備え、そのデータを蓄積し、機器の異常や寿命を総合的に判断できるインテリジェント変電機器に発展していくものと予想する。

7. むすび

ここに述べた変電機器における予防保全のための監視・診断装置は、全国的規模で普及しつつあるが、超高压系以上の重要変電所に適用しているものがほとんどである。しかし、社会情勢からみて、将来、多数の変電所に導入され、保全業務の省力化と異常の早期発見にますます役立てられると考える。そしてブラックボックス化した装置の保守体制及び情報量の増大に対応した運転・保守要員の負担軽減のため、保全支援システムがますます重要になると考える。

今後とも、これらの適用技術の開発・運用上の改善を進めていく所存であり、使用者各位のご指導、ご協力をお願いたい。

参考文献

- (1) 今村ほか：三菱電機技報, 54, No. 7, p.492 (1980)
- (2) 松田ほか：三菱電機技報, 54, No. 7, p.497 (1980)
- (3) 但田ほか：三菱電機技報, 59, No.11, p.796 (1985)
- (4) 浜中ほか：電気学会全国大会, 1328 (1987)
- (5) 但田ほか：三菱電機技報, 60, No. 6, p.394 (1986)
- (6) 伊吹ほか：三菱電機技報, 60, No. 6, p.402 (1986)
- (7) 高橋ほか：電気学会全国大会, 1031 (1979)
- (8) 武居ほか：電気学会全国大会, 1386 (1989)
- (9) 篠原ほか：電気学会全国大会, 790 (1989)
- (10) 森本ほか：電気学会全国大会, 1379 (1989)
- (11) 三菱電機技報, 63, No. 1, p.42 (1989)
- (12) 小島ほか：電気学会全国大会, 1378 (1989)
- (13) 吉永ほか：電気・情報学会連合大会, 5-3 (1985)
- (14) 松田ほか：電気学会全国大会, 1151 (1988)
- (15) 浜中ほか：電気学会全国大会, 1384 (1989)

ガス絶縁開閉装置の製造技術

北村正義* 高崎茂数*
大沼昭栄* 大磯秀樹*
村上正昇*

1. まえがき

高度に縮小化、複合化され、しかも信頼性が高く経済性に優れたガス絶縁開閉装置(GIS)の実現には、製造技術のバックアップが不可欠である。

絶縁、遮断といった現象は、ガス密度や電界強度が大きく関与しているため、微細な製造上の欠陥がGISの性能に重大な影響を与える要因を含有している。近年の電子計算機を駆使した解析技術の発達とともに、絶縁技術や遮断技術の進歩により機器の一層の縮小化、高信頼度が要求されるに従い、ますます製造技術の重要度は増大している。

当社では、GISの製造技術の高度化に向けて、部品製造から組立て・試験・検査にわたるすべての範囲について、技術開発と新システムの導入を積極的に行ってきましたので、その一端をここに紹介する。

2. GISのシステム技術

GISは、SF₆ガスの放電特性や注型絶縁物の諸特性に代表される基礎技術や、遮断器、断路器等各構成機器の固有技術、設計技術をベースに、適用技術・評価技術・製造技術・解析技術の進歩によりシステムとしての完成度を高めてきた。

中でも製造技術は、下記に示す多様化・環境変化に適合する必要があり、独自の加工技術・組立技術の開発と製造設備の整備に努めてきた。

- (1) 製品信頼性の向上：加工技術・組立技術の開発と各製造プロセスでの品質作り込み体制の確立
- (2) 高齢化・熟練工の代替への対応：加工技術の確立と製造の機械化・自動化を通じた品質レベルの維持向上
- (3) 総労働時間の短縮：製造設備の整備による加工効率の向上

このように確立してきた製造技術は、イギリス、インドなどに技術提携により技術移転されている。

3. GISの製造体制と技術動向

GISの製造には、注型絶縁物をはじめ、密封容器、鋳鍛造部品などの部品製作工程と、その後の組立試験工程までのあらゆる分野の製造技術を必要としている。図1は、当社伊丹製作所におけるGISの製造体制を示したものであるが、GISの製造工程は、機器の高信頼性と小型化を背景に、製造品質の向上と品質の安定化への要求が高まるとともに、より効率の良い製造体制の実現が必要である。このため部品製造工場では、主要加工のNC化・自動化・作業環境の整備を積極的に実施し、また組立試験工場では工場のクリーン化、作業の機械化、管理技術の向上を行ってきた。以下に各工場における最近の進歩について紹介する。

3.1 タンク製造工場

GISの主要部品の一つであるタンク(GIS用密封容器)の製造技術として、今までにタンク胴へのバーリング加工(穴広げ加工)法の導入やフランジのシール面加工技術の確立を行ってきた⁽¹⁾。しかしながら、タンクの加工品質と製造効率の向上への要求は強く、これにこたえるため、素材の投入から塗装までのタンク製造の全工程を一貫ライン化した。

3.1.1 タンク製造工程の一貫ライン化

タンク製造工程のうち、板金加工を胴管加工、胴フランジ組立加工、枝管加工、中型タンク組立加工、大型タンク組立加工の5ブロックに再編するとともに、フランジ面機械加工、水圧試験、塗装を同一棟内に一貫加工ライン化し組立工場へ直結した(図2)。これにより、工場間MHに伴うシール面の傷の発生と異物混入を未然に防止でき、より一層の信頼性向上を図ることができた。

3.1.2 自動化機器の導入

タンク製造ラインの構築に際しては、主要加工の自動化を積極的に行い、品質の向上・安定化と製作コストの低減を両立させた。自動化機器の導入に当たっての考え方は、以下のとおりである。

- (1) タンクの主要溶接部を確立された技術のもとに、溶接ロボットにより自動化し、品質の安定化を図る。

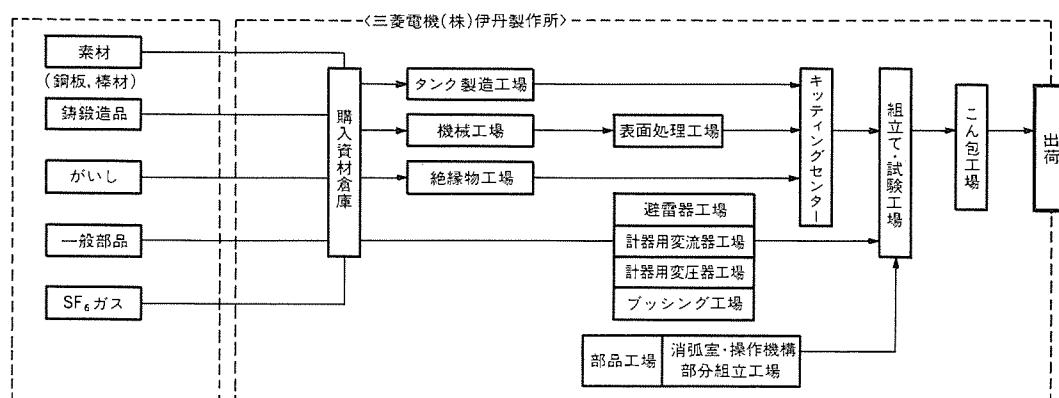


図1. GISの製造体制

- (2) 板金組立作業を機械化・装置化し、寸法のばらつきを抑制する。
- (3) 溶接部品質の確認のため、中間でプラスクリーニングを行う。
- (4) 大型横中ぐり盤による機械加工はNC化を拡大し、FMS化も行う。
- (5) 水圧試験時に、漏れ検出の容易な蛍光塗料による漏れテストを全数実施する。

導入設備の一例を図3に示すが、このラインでは各種材質のタンクを年間10,000本製作する能力を持ち、最大胴径φ2,000mm、長さ12mまでの製作実績がある。また、品質管理面でもASMEスタンプを1980年から取得・維持しており、出荷済みのタンクのトラブルも皆無である。

3.2 機械工場

機械工場は、前述のタンク製造ラインのように特定の加工物を扱

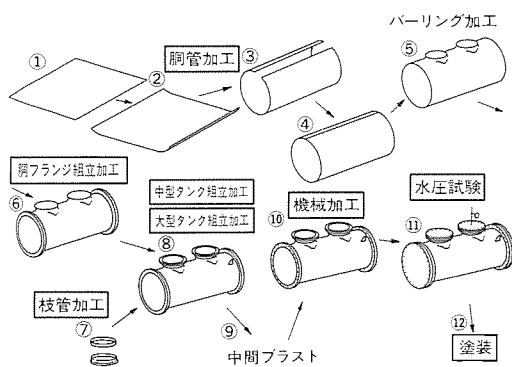


図2. タンク製造プロセス

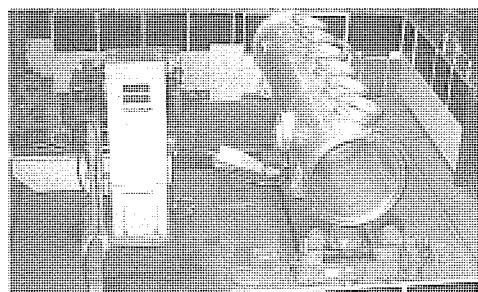


図3. タンク自動溶接装置

う専用ラインとグループテクノロジーにより、各種の加工物が形状・加工特性ごとに分類され集中的に加工されるGTラインの2系統があり、いずれもNC機の導入拡大と加工物の取付け・取外しの自動化を進めている。GISの部品加工に関する設備を以下に紹介する。

(1) リンク・レバー加工セル

GISの駆動部品であるリンク・レバーを加工する専用ゾーンであり、NC横フライス、横形マシニングセンター、ブローチ盤等で構成されている。溝加工と多面加工に特長のある部品であるが、NC機の導入により手順が統合され、効率の良い生産を行っている。

(2) 小物部品FMSライン

横形マシニングセンター（パレットサイズ□500mm）4台と切くず（屑）洗浄装置を無人搬送車でつなぎラインで、アルミ鋳物製内部導体や小径フランジの加工を行っている。このラインでは、当社製工場管理用コンピュータ《ファクトリーランド》により、作業スケジューリング、搬送台車制御、加工用NCプログラムの管理が行われ、多種多様なワークの加工を効率良くこなしている。図4に概要を示す。

(3) 棒材加工ブロック

バーフィーダー付きNC旋盤とロボット付きNC複合旋盤で構成されたブロックで、操作機構用ピン、注型絶縁物用埋金、中心導体を主に加工している。

機械工場では、NCプログラムの初品と加工ロットの初品を検査することで加工品質を確保してきている。しかしながら、今後の機械工場の無人化の進展を想起したとき、無人化に対応するための加工技術・製造技術の追求に増して、無人化体制下での品質保証体制の拡充が重要である。

3.3 表面処理工場

表面処理工場で行っている各種めっきのうち、GISにとり最も重要な処理は、通電部品への銀めっきである。当社では、この銀めっき技術を一貫して社内開発し、かつ全数所内処理を行ってきた。その中でもアルミ鋳物、銅合金の銀めっき法については、長年にわたる技術ノウハウの蓄積により、優れた品質を安定的に生産できるようになっている。

めっき品質の安定化のためには、めっき液の組成、めっき液の温

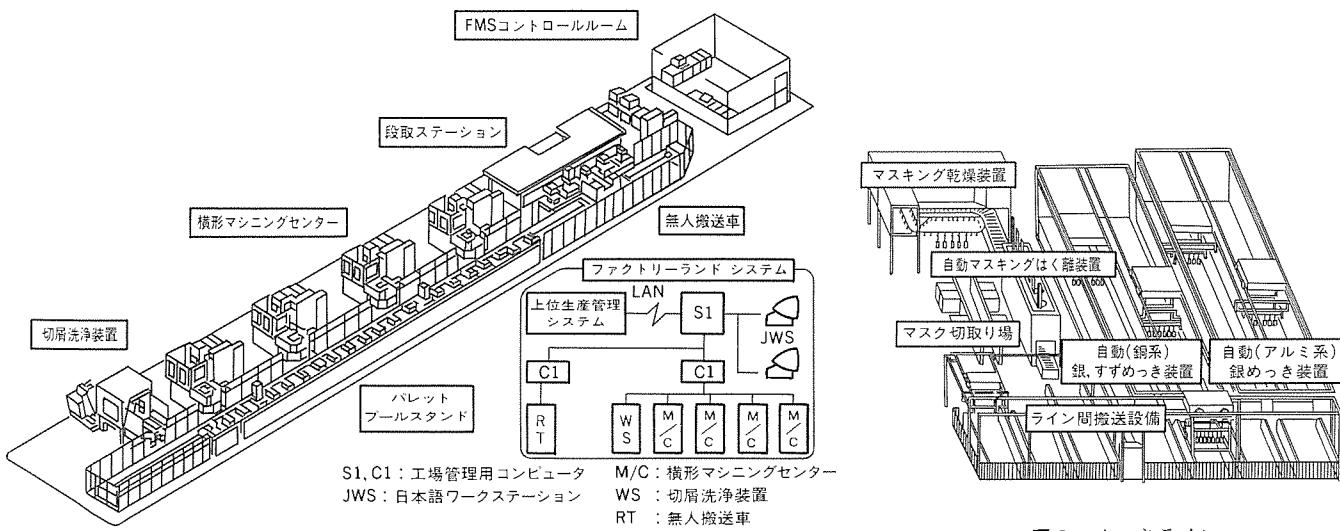


図4. 小物部品FMSライン

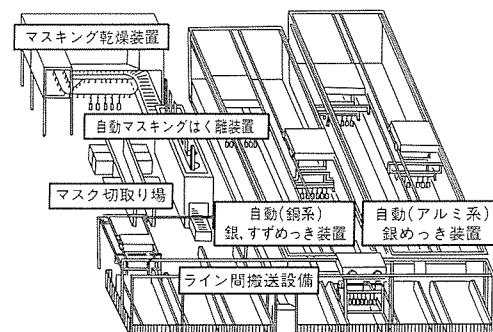


図5. めっきライン

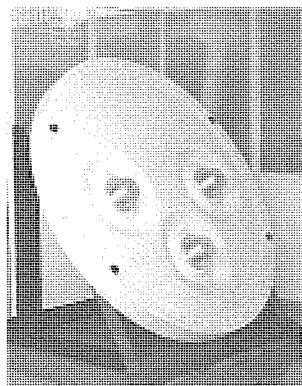


図6. 550kV三相一括スペーサ

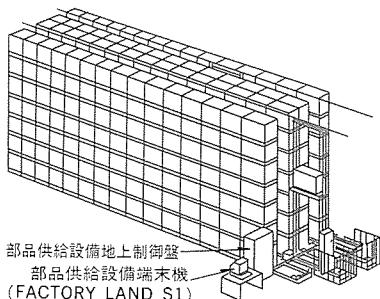


図7. 自動部品供給設備

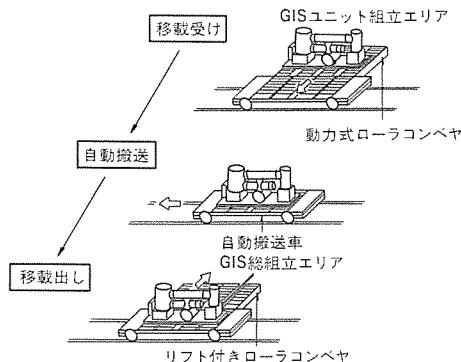


図8. 自動搬送設備

度、めっき時間、めっき電流密度の4項目の管理がポイントである。

めっき工場ではこのために、

- (1) めっきの種類ごとの専用ライン化(図5)
- (2) 各めっき槽へ自社開発の自動定電流密度装置の設置
- (3) めっき作業の標準化とQC工程図による管理の徹底
- (4) めっき液の定期的分析
- (5) マスキングからめっきに至る全工程の自動化による処理条件の均一化・安定化

を行うとともに、外観・膜厚・密着性の各検査を実施し、めっき品質の確保に努めている。

3.4 絶縁物工場

注型絶縁物は、GISの絶縁性能を確保するための最重要部品であり、当社では材料から製造設備・金型製作まで一貫して社内開発し、製造してきた。現在絶縁物工場は、世界最大級の550kV三相一括スペーサ(図6)をも生産する技術を保有し、実績も20年を超える納入実績と累積個数も12万個を数えている。

絶縁物工場では、品質の維持・向上のため、プロセスごとに下記の管理を行っている。

- (1) 材料管理：全材料の分析と履歴管理

(2) 計量混合：計量混合の自動化と注入までの全工程の密封閉ループ化による異物管理

(3) 型組み：作業場の防じん化による異物管理

(4) 硬化：金型温度こう配のコントロールと硬化物特性試験の実施

また、絶縁物の最終チェックとして、全数部品単体での電気試験を実施し性能を確認している。

3.5 組立工場

GISは典型的な多品種少量生産品であるが、部分的な組立ユニットとしてはライン化も可能であり、生産効率向上も期待できる。当社では、これまで組立工場の清浄化、部品の清浄化管理、組立ての装置化・作業の管理改善を行ってきたが、今回組立工場の統合を行う機会にこれらを有機的に結合し、部品のキッティングから組立て・試験までの一貫生産ラインを完成させた。以下に概要を紹介する。

3.5.1 組立工場のクリーン化

GISの内部に金属性の異物が混入することで、その電気的特性に多大の影響を及ぼすことは、各種の実験により周知のことである。当社では一貫して、異物を「発生させない。」「持ち込まない。」との原則のもとに設計・組立てを行ってきたが、さらに踏み込んで、部分組立てから総組立てまで工場全体のクリーン化を実施した。組立工場の防じん化、空調のグレードアップは、製品に品質を作り込む上からも、また、作業車の品質意識上にも有形、無形の好影響を与えていている。

3.5.2 自動部品供給設備とキッティング作業

組立部品の受入れから、組立日程計画に対応した組立単位ごとの部品の払い出し(品ぞろえ、員数チェック)と部品の清浄化を効率的に行い、さらに限られた組立工場周辺の空間の有効活用を図るために、自動部品供給設備を設置し、部品の受入れ、保管、払い出しのコンピュータ管理を行っている(図7)。また、払い出した部品は、専用の洗浄設備で洗浄、乾燥後、組立作業単位ごとに前室を経由して組立工場に搬入される。

3.5.3 MHの改善

組立工場の統合による集中化は、物流ロスを大幅に改善させた。一方、組立工場内ではコンピュータ制御による各種の自動搬送設備を設置し、組立部品や半製品の次工程への自動搬送を行っている(図8)。この搬送系は、今後更に延長拡大を計画しており、これは組立作業の機械化・装置化と併せて、組立工場のクレーンレス化を目指すものであり、防じん管理と効率的な生産を推進する上で不可欠な要素であると考える。

3.5.4 組立作業の機械化と装置化

以前から計画的に実施してきた各種組立作業用マニピュレータ(図9)の導入は、クレーンレス化とともに、既に当所で顕在化しつつある作業者の高齢化にも対応するものであり、作業姿勢の改善及び作業効率の向上を目指す上で有効な手段であるといえよう。代表的な装置としては、部分組立時のスペーサ組立用マニピュレータやブロック組立用マニピュレータが挙げられる。また、総組立作業においては、GISの外装部品取付作業等の高所作業の改善を目的としたブリッジリフター(高所作業設備、図10)が挙げられる。

3.5.5 自動試験装置の導入

組み立てられたGISの工場試験を自動的に行い、データ処理・出力

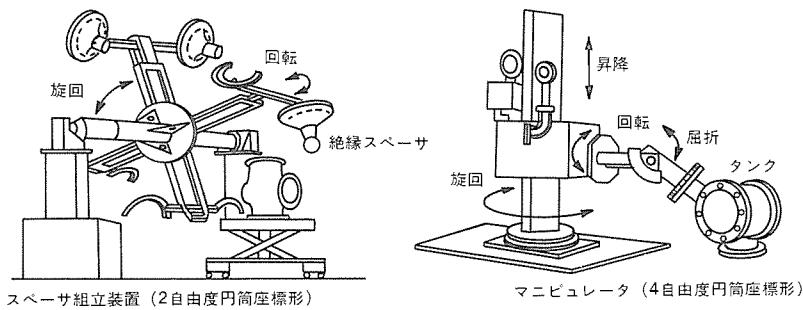
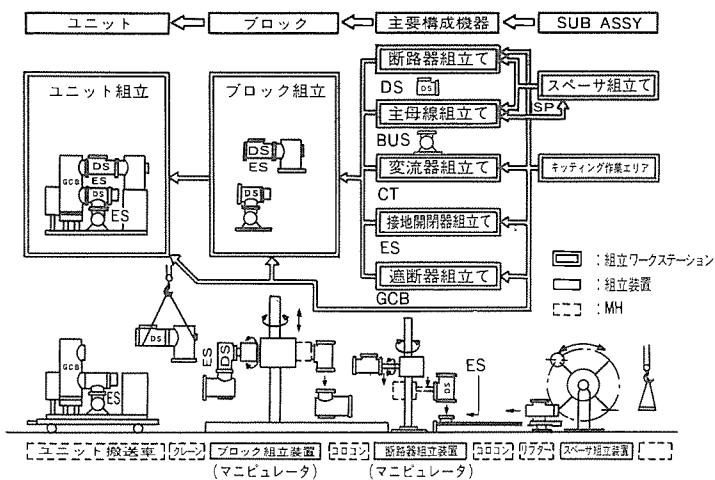


図9. 各種組立作業用マニピュレータ

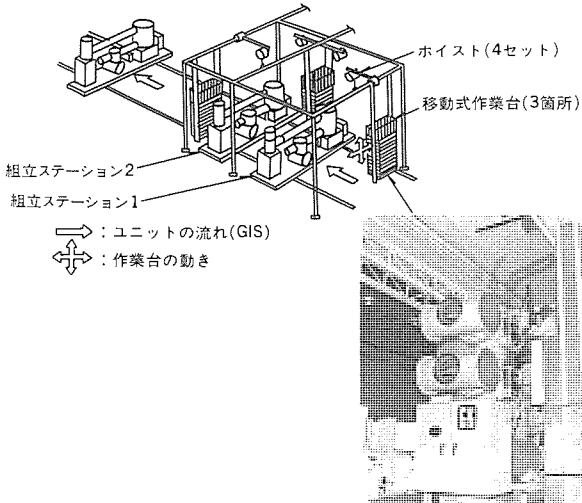


図10. プリッジリフター (高所作業設備)

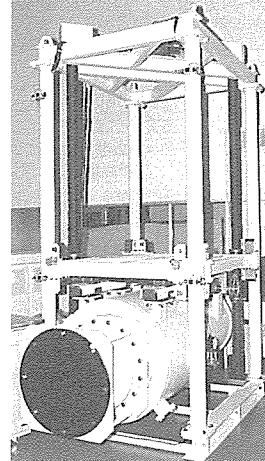


図11. 耐電圧試験装置

のできる試験装置を導入した。また、より安全性が高く、供試品に對し位置調整可能で容易に接続できるガス絶縁方式の耐電圧試験装置(図11)を開発した。製品に直接接続することにより、ブッシングを介すことなく高電圧を供試品に印加し、電気的諸特性を確認している。

4. むすび

GISの信頼性向上を目的として、作業改善や環境整備を進めてきた中から、

- タンク製造のライン化・自動化
- 部品加工におけるNC機械の導入拡大
- 部品の表面処理の専用ライン化（銀めっき等）

- 絶縁スペーサ等注型絶縁物製造技術
- 組立て・試験工場全域の空調防じん化と装置化・ライン化など、部品製造から組立て・試験に至る製造技術の開発状況と製造・組立設備について紹介した。

GISは、成熟期に入ったと言われているが、今後ともより一層の信頼性の追求やコンパクト化が進むものと考えられる。これらの要求に対応していくために、これまで培ってきた技術を基に、これからも新しい製造技術の開発推進に努力することが必要と考える。

参考文献

- (1) 笹本ほか：三菱電機技報, 57, No. 9, p.618 (1983)

新シリーズ アクティブフィルタ《MELACT-1000》

竹田正俊* 朝枝健明* 山本 博* 溝畠文雄* 宮下武司*

1. まえがき

従来から高調波フィルタとしては、一般にL-Cの共振特性を利用したパッシブフィルタが用いられていたが、パッシブフィルタはその原理上、電源インピーダンスや負荷の条件に大きく左右されるため、これらの条件が変化する場合には、高調波吸収効果を十分發揮できないことや、電源側リアクタンスとの間の反共振による高調波拡大現象が生じることがあるなどの制約条件があった。

このような問題点を解消した新しい高調波対策機器として、当社ではアクティブフィルタをいち早く開発・製品化し、各種の分野に適用している⁽¹⁾。アクティブフィルタは、従来のLC型高調波フィルタと異なり回路の共振現象を利用していないので、電源条件や負荷条件に影響されず、常に最適な高調波吸収特性を保つことができ、また同時に無効電力の補償も可能であるといった特長を持つ多機能な補償装置として注目を集めている。

一方、最近の高度情報化への動きに対応して、ビル電源系統には波形ひずみや電圧変動のない高品質な電源が求められているが、昨今のビル電源系統ではVVVFエレベーターや空調用インバータなどの半導体応用機器の普及により、これらの機器から発生する高調波電流が流出し、これに起因する電源の電圧波形ひずみが問題となっている。これに伴い、アクティブフィルタも制御応答の向上、装置の小型化、低騒音化などが要求されるようになってきた。

このようなニーズにこたえて、当社では、新しく大容量BiMOSモジュールを適用した新シリーズ アクティブフィルタ《MELACT-1000》(10~200kVA)を製品化した。当社独自のカスコードBiMOSモジュールを使用した高周波PWM方式の採用により、従来、十分な補償が困難とされていた高次高調波までの補償を可能とし、さらにコンパクト化、低騒音化を実現したアクティブフィルタである。

以下に、新シリーズ アクティブフィルタ《MELACT-1000》の特長と構成及び補償特性について実負荷への適用例も含めて紹介する。

2. 特長と仕様

《MELACT-1000》の特長を下記に示す。

(1) 高次までの電圧ひずみの補償が可能

BiMOSモジュールを用いた高周波PWM方式の採用により、2次から25次までの電圧ひずみに対する広帯域の補償が可能である。

(2) 電源側の力率を改善

高調波とともに無効電力も瞬時に補償するので、電源側の力率を改善し、電気料金の低減が可能である。

(3) 電源電圧の安定化

モータの起動時のような負荷変動により生じる電圧変動を補償し、電源電圧を安定化する。

(4) 低騒音・コンパクト化

BiMOSモジュールによる高周波PWMの採用により、低騒音・コンパクト化を実現した。

表1に《MELACT-1000》の標準仕様を示す。

3. 構成

3.1 主回路構成

《MELACT-1000》の主回路構成を図1に示す。変換器は、パルス幅制御(PWM)を行い交流電圧を発生する電圧形インバータであり、交流リアクトルを通して電源系統に接続されている。したがって、インバータ出力電圧を調整することによりアクティブフィルタの出力電流を変化させて、小容量のハイパスフィルタによってキャリア周波数成分の高調波を除去した後、負荷に補償電流を供給している。

3.2 主回路素子

インバータの主スイッチング素子には、高耐圧でしかもオン電圧が低くて高速スイッチングの可能なカスコードタイプのBiMOS⁽²⁾を採用した。これによりキャリア周波数を可聴周波数以上として装置の低騒音化を達成するとともに、制御応答の向上を図っている。図2に、カスコードBiMOSモジュールのドライブ回路とスナバ回路の概略構成を示す。ドライブ方式は、高速ターンオンと駆動電力の低減のために、変流器によるコレクタ電流帰還方式を採用した⁽³⁾。また、ターンオフ時は、MOSFETによりトランジスタのエミッタを開くため、図3に示すように極めて速いターンオフが可能である。

表1.《MELACT-1000》の標準仕様

補償容量(kVA)	10	50	100	150	200
電圧(V)	AC220				
相数	三相・				
補償高調波次数及び高調波低減率	2次~13次:1/5以下 14次~25次:1/4以下				
電圧安定度(%)	±5以内				
冷却	強制風冷				
設置場所	屋内				
寸法(mm)	W: 600 D: 600 H: 1,450	W: 800 D: 700 H: 1,650	W: 800 D: 700 H: 1,950	W: 800 D: 700 H: 2,350	W: 1,000 D: 700 H: 2,350
インバータトレイ容量及び台数	10kVA ×1	50kVA ×1	50kVA ×2	50kVA ×3	50kVA ×4
使用素子電流定格(A)	100	300	300	300	300
重量(kg)	250	350	500	700	900

注 *AC220V以上の電源に接続する場合は、別途変圧器盤が必要となる。

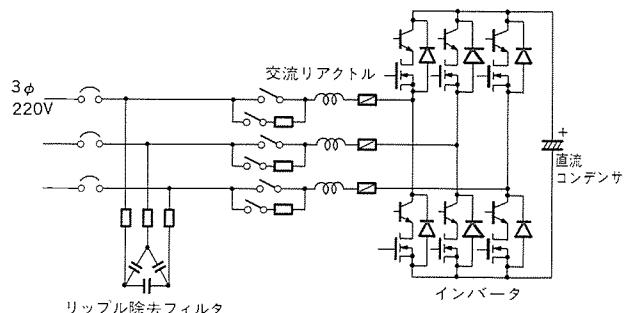


図1.《MELACT-1000》の主回路

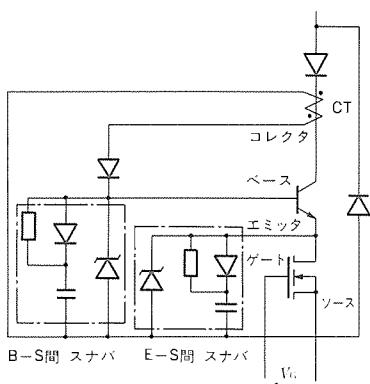


図2. カスコードBiMOSモジュールの構成

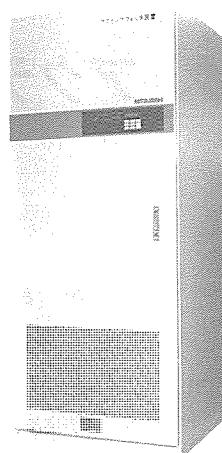


図5. 《MELACT-1000》100kVA装置の外観

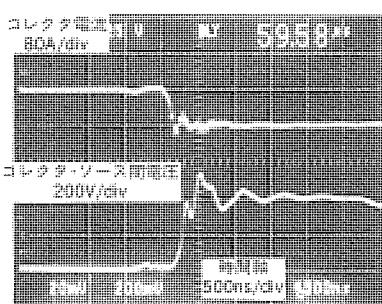


図3. スイッチング波形 (100A素子, ターンオフ時)

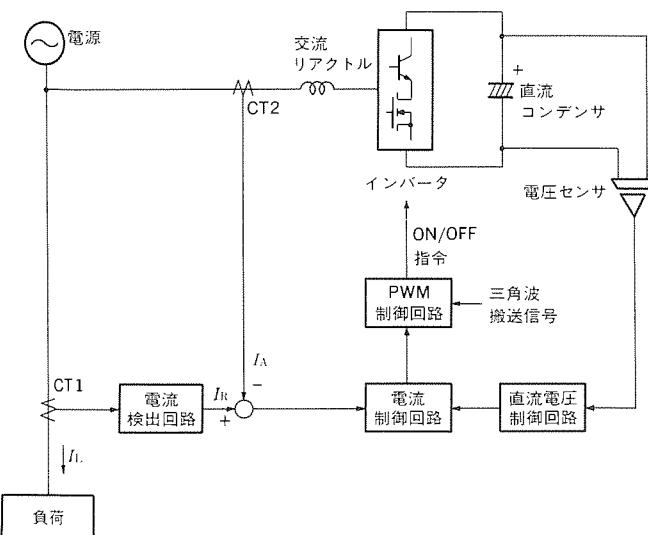


図4. 《MELACT-1000》の制御ブロック図

ある。

3.3 制御回路

図4に《MELACT-1000》の制御ブロック図を示す。制御回路は、電流検出回路、電流制御回路、PWM制御回路、直流電圧制御回路から構成される。電流検出回路は、補償の対象となる負荷電流 I_L を検出して、アクティブフィルタの適用目的に応じて補償電流指令 I_R の演算を行っている。補償電流指令 I_R は、アクティブフィルタの電流基準信号として作用し、アクティブフィルタの出力電流 I_A がこの電流基準信号と等しくなるように、電流制御回路においてフィードバック制御を行っている。また、直流電圧制御回路は、インバータの直流電圧を安定化するために、系統側からわずかな有効電力を取り込むように作用する。電流制御回路の出力は、次段のPWM制

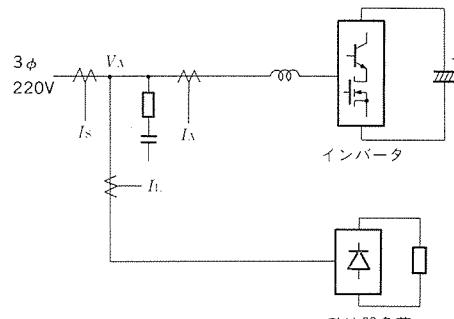


図6. 高調波補償特性の試験回路構成

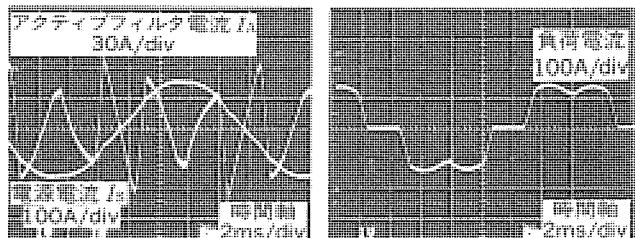


図7. 高調波電流補償時の電流波形 (三相整流器負荷)

御回路において、三角波キャリア信号比較方式によりパルス幅変調信号に変換された後に、インバータのカスコードBiMOSモジュールにON/OFF信号として伝達される。

3.4 外観と構造

図5に《MELACT-1000》100kVA装置の外観を示す。計測表示部に用いているデジタルディスプレイには、計測表示スイッチの操作によって各部電圧、電流の表示を行う。アクティブフィルタ装置の操作は、操作・表示パネル上のアクティブフィルタ運転・停止スイッチだけで行えるようにしている。

《MELACT-1000》のインバータ部は、トレイ構造になっており、保守が容易な構造としている。装置容量の増加については、このインバータトレイ(50kVA)の数を増やすことによって対応している。

4. 高調波補償特性

《MELACT-1000》の代表的な高調波補償特性について、その試験結果を示す。図6は試験回路構成である。整流器負荷電流 I_L の高

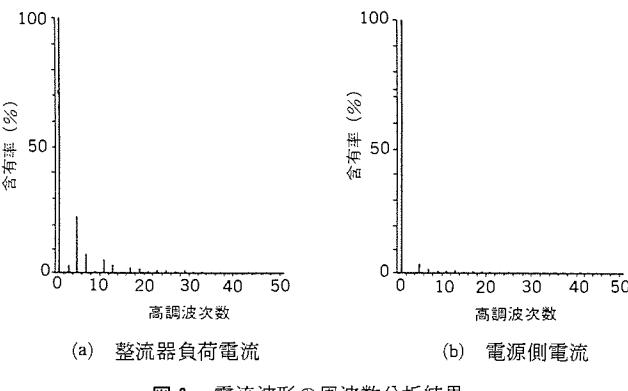


図8. 電流波形の周波数分析結果

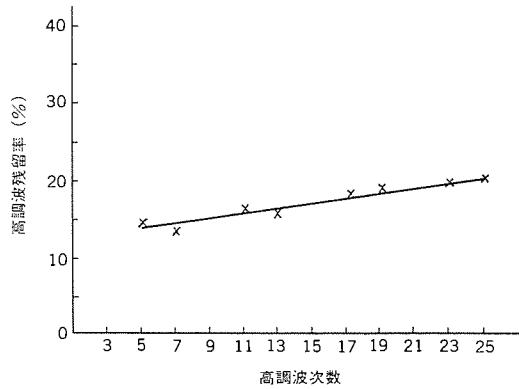


図9. アクティブフィルタの高調波電流低減特性

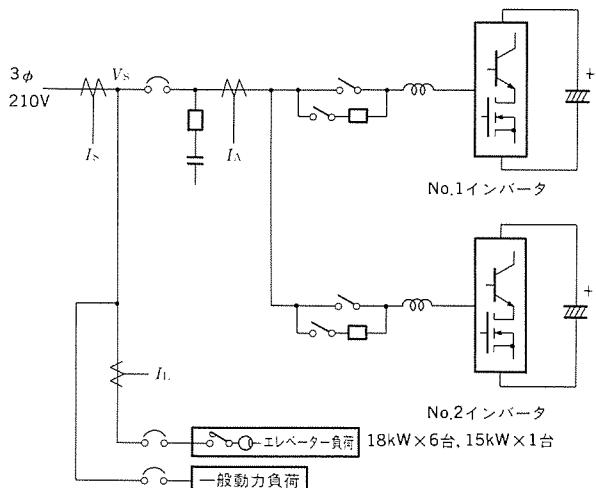


図10. 100kVA装置のシステム構成

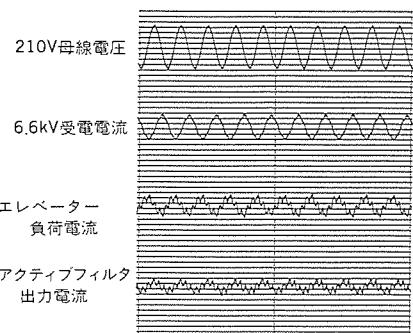


図11. アクティブフィルタ運転時の波形

調波電流分を検出して、アクティブフィルタが補償電流 I_A を流すことにより電源電流 I_S の波形改善を行った。図7に各電流波形を示す。アクティブフィルタの補償により、電源側の電流波形はほぼ正弦波に改善できている。アクティブフィルタによる高調波電流補償効果を定量的に求めるため、図7の波形を周波数分析した結果を図8に示す。また、同図から《MELACT-1000》の高調波低減特性を求めた結果を図9に示す。同図から分かるように、《MELACT-1000》は低次から高次に至るまで良好な高調波低減特性を持っており、高次の高調波に対しても十分な補償が可能である。

5. 実負荷への適用例

《MELACT-1000》の実負荷への適用例及びその補償特性について以下に述べる。

5.1 システム構成

図10に、エレベーター駆動用のVVVFインバータ負荷の高調波補償用に納入した100kVA装置のシステム構成を示す。高調波補償の対象となる負荷は、エレベーター7台(18kW×6台, 15kW×1台)であり、発生する高調波としては5次から19次までがほとんどであるが、エレベーターの起動時には過渡的に5次以下の低次調波成分の電流が発生する。アクティブフィルタの主回路は、図10に示すように各々50kVAの補償容量を持つ2台のインバータで構成しており、常時は2台が並列に運転し、万一どちらかの1台が故障した場合には残りの1台で運転が続行できるような並列冗長系を採用している。

5.2 高調波補償効果

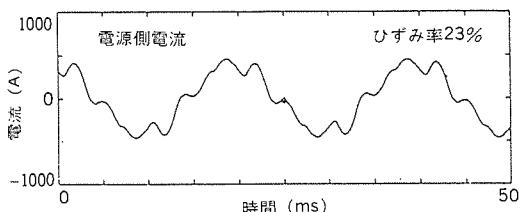
アクティブフィルタ運転時の電流実測波形を図11に示す。アクティブフィルタにより、負荷電流のひずみ分が打ち消され電源側には正弦波の電流が流れていることが分かる。図11の電流波形を周波数分析するためにサンプリングした波形を図12に、また周波数分析結果を図13に示している。図12の結果から、アクティブフィルタの補償により、波形ひずみが大幅に低減されていることが分かる。さらに、図13をもとにアクティブフィルタによる高調波低減特性を求めるとき、高調波が各次とも1/5以下に低減できており、良好な高調波補償特性が得られている。

また、図14に一定時間間隔でサンプリングした210V母線電圧のひずみを示す。アクティブフィルタの補償により3.2%を記録していた電圧ひずみ率が1.8%以下に抑制されている。

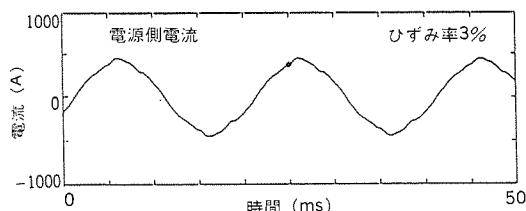
この装置では、補償容量の一部を無効電力補償用に当てており、エレベーターの無効電力変動を補償して電圧変動を抑制している。その抑制効果を図15に示す。アクティブフィルタ停止時には、エレベーター起動時の入力トランジスタのインラッシュにより変動値が2.5%に達しているのに対して、アクティブフィルタ運転時には1.3%以下に抑えられている。

6. むすび

高周波PWM制御の適用が可能な大容量カスコードBiMOSの採用により、これまで補償が困難とされていた25次付近の高調波まで効果的に補償できるアクティブフィルタ装置《MELACT-1000》(10～200kVA)を紹介した。この装置は、高調波だけではなく無効電力や逆相電流等の障害電流も一挙に補償できるので、多機能な電源補償装置として、今後一層の活用が期待される。

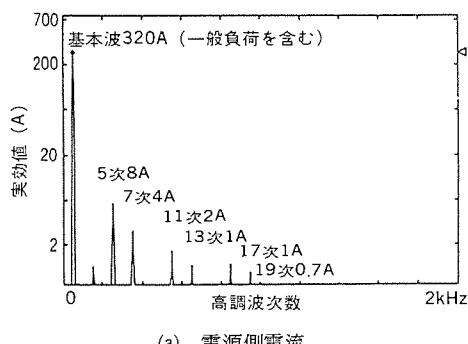


(a) アクティブフィルタなし

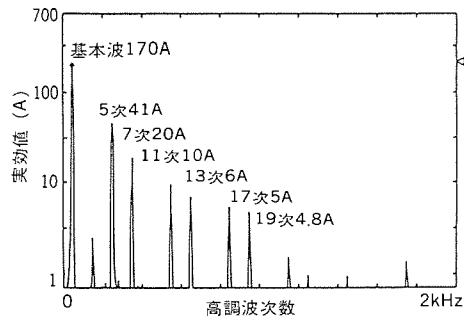


(b) アクティブフィルタあり

図12. 電流波形測定結果

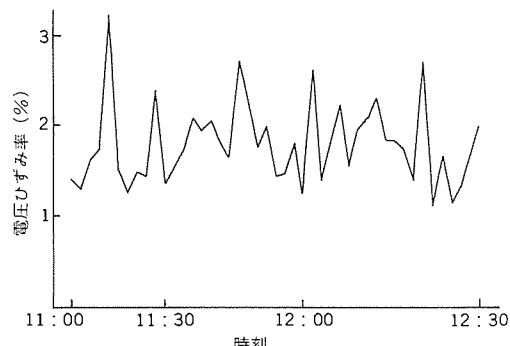


(a) 電源側電流

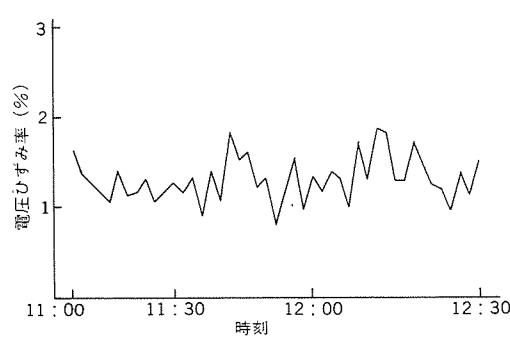


(b) エレベーター負荷電流

図13. 電流波形の周波数分析

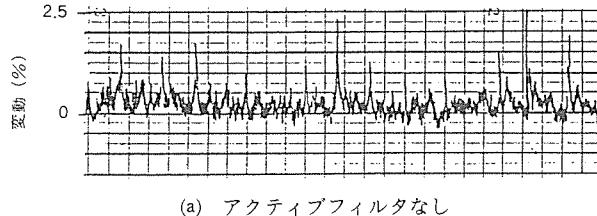


(a) アクティブフィルタなし

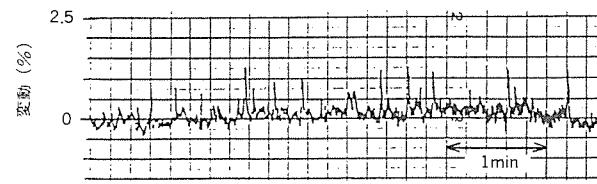


(b) アクティブフィルタあり

図14. 210V母線電圧の電圧ひずみ率



(a) アクティブフィルタなし



(b) アクティブフィルタあり

図15. 210V母線電圧の変動

参考文献

- (1) 竹田ほか：アクティブフィルタとその応用，三菱電機技報，62，No. 6 (1988)
- (2) G. Majumdarほか：高周波インバータ用高耐压カスコード形

BIMOSモジュール，電気学会電子デバイス研究会，EDD-87-59
(1987)

- (3) 朝枝ほか：カスコードBIMOSモジュールを適用したアクティブフィルタ，電気学会産業応用部門全国大会，No.213 (1988)

《RELIA VAC》新シリーズ —四半世紀における真空スイッチ管の小形化技術—

青木伸一* 内山 修* 寄田光政* 稲垣宏一* 上村敏之*

1. まえがき

我が国で、真空遮断器（VCB）生産台数の高圧遮断器に占める割合は、66%を超える勢で伸びている。VCBは、その心臓部である真空スイッチ管（Vacuum Switch Tubes: VST）を購入すれば、比較的容易に短期間で開発できる特長があり、海外では新規参入が相次いでいる。VCBの生産は、ガス遮断器が定着していた仏国でも開始され、世界中に広まった観がある。VSTは、真空開閉器（VLS）・真空コンタクタ（VCS）やその他の特殊応用でも適用拡大を続け、図1にみるような大樹として成長した。高度情報化社会とりわけインテリジェントビルでは、開閉機器の小形・高信頼化の要請が更に強まり、VSTの小形化が望まれている。

製品誕生から四半世紀を経た当社のVST⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾は、世界各国の需要家にはぐくまれて成長し、この間《RELIA VAC》⁽⁴⁾⁽⁵⁾を中心に累積生産数は100万本に達した。VSTの小形化は図2の変遷を経て急速に進み、第5世代（右端）の容積は初代（左端）の約15%に縮小された。本稿では、まず《RELIA VAC》シリーズの製品の特長を紹介し、3章以下で、放電管技術や材料・表面物性などに基礎を置くVSTの高信頼化技術が電極やアーキシールド・セラミック容器・ペローズなどに適用され《RELIA VAC》新シリーズの小形化が一段と進展したことについて述べる。

2. 《RELIA VAC》シリーズの特長

2.1 豊富な製品メニュー

VSTの用途は、図1に示したように多種多彩である。主用途は3相高圧用のVCB・VLS・VCSで、ほかに3相低圧用VCS・単相低圧～高圧の多頻度開閉用として変圧器に内蔵される負荷時タップ切替装置（LTC）・新幹線の切替開閉器あるいは電気炉のコンデンサ開閉器などがある。商用周波だけでなく、 $16\frac{2}{3}\text{Hz}$ や高周波にも使用されている。

《RELIA VAC》シリーズは各用途別に定格の異なる約60の管種で構成されている。メニューが豊富なので、世界の各国・地域・各団体の開閉機器規格—JEC・JEM・JIS・IEC・ANSI・NEMA・ULなどに適応した最適なVSTを選定できる特長がある。全管種の全定格事項はページ数の都合で割愛し、その概要を図3に示す。図3に注記したように、電流軸と定格電圧軸の定義は3相・単相の別及び用途別で異なるが、定格電流3kA・定格遮断電流50kA・定格電圧48kVまでの広い領域をカバーすることができる。

代表的製品の外観を図4に示す。一般的VSTは屋内機器用であるが、重汚損に耐えうるように沿面絶縁を強化したVST、C-GIS（Cubicle type GIS：キュービクル形ガス絶縁開閉装置）用に適したVST、あるいは取付寸法が同一でセラミック容器に波形ひだを設けて定格電圧を格上げしたVSTも生産している。

2.2 実績で裏付けされた高信頼性

開閉サージや各種の特殊応用に対して培われた豊富な適用技術と

多年にわたる使用実績が、VSTの製造に生かされている。材料の製造プロセスまでさかのぼって管理する総合的製品保証システムによって⁽⁴⁾⁽⁵⁾、その後更に実績を積上げており、《RELIA VAC》の信頼性は向上の一途をたどっている。VSTの故障率は、稼働本数100万本のうち年間故障本数が1本未満(0.1fit未満)であり、極めて高い信頼性が実績で裏付けされている。

2.3 超小形化技術

今回、小形化されたVSTはVCB用40kA、低サイジングVCB用25kA、そしてVCS用12.5kAまでの主要管種で、一部の管種にはチップレス新製法（4.1節参照）を適用して小形化率を向上した。新シリーズVSTの容積は、従来品に対して約70%以下に縮小された。

VSTは“動く”電子管（Electron Tubes）であって、セラミック容器の封着技術はセラミック送信管と類似で、アーク遮断現象は水

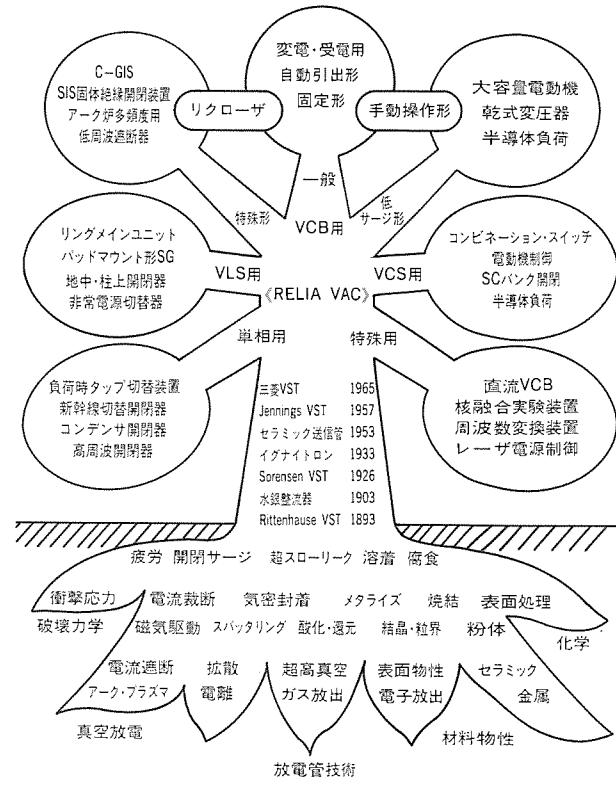


図1. VSTの樹木図

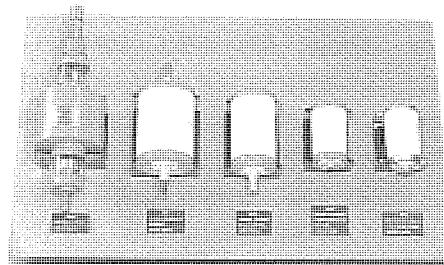


図2. 三菱VST小形化の変遷
(7.2kV, 12.5kA, VCB用の初代から第5世代の製品写真を示す。)

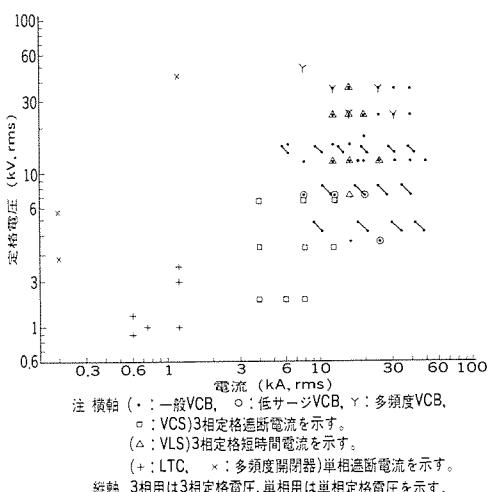


図3. 《RELIA VAC》シリーズの管種別定格図

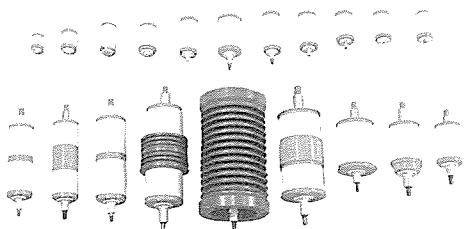


図4.《RELI A VAC》シリーズ製品

電極	動作条件	放電電流 (A)				
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Ag-WC- α	初期 400A×25万回		■			
Cu-Cr-Bi - α	初期 1,250A×1万回 25kA×20回		■			

(2) 抵抗負荷回路での測定値を示す。

図 5. 低裁断電極の裁断電流

銀整流器やイグナイトロンと似ている⁽⁶⁾。しかし、電極開閉時に高い衝撃応力が発生する点は異なっている。したがって、VSTを小形化するためには、放電管技術を中心に材料の製法や物性・破壊力学などの基礎技術が、組織的に集積されかつ有機的に接ぎ合わされねばならない(図1参照)。新VSTの電極やアーカーシールド・セラミック容器・ペローズなどの小形化開発では、当社の材料研究所をはじめ関係分野の技術力が結集され、またCAE(Computer Aided Engineering)システムや最新のVST検証技術が駆使された結果、従来品以上の高信頼管が完成したものである。

3. 電極及びシールドの小径化

3.1 多元系電極材料

遮断・溶着・接触抵抗・損耗・耐電圧・裁断電流・高周波消弧などの諸性能は、主に電極材料に依存するが、背反や相関性が複雑に絡み合っている。VSTの各用途に適応した高性能の電極を得るには、3元又はそれ以上の多元合金を用いる必要がある。当社では、いち早くCu-Cr- α 系やAg-WC- α 系電極の優秀性に着目し、VCBやVCSの主力材料として採用してきた。

(1) C₁₁-C₁₁- α 系

補助剤 α を添加することにより、内蔵ガスの減少、アーク電圧の低下、溶融表面層中のCr粒子の微細分散化などが起こる。したがつ

て、遮断性能が高く、溶着力が低く、損耗が少なく、耐電圧が高く、かつ裁断電流の低い理想的な電極を作ることができる。 α の例として、TiやTaなどは優れた効果を発揮する。ここでCr粒子の粒度分布などを適切に配慮すると、Cr25%附近において、最大の遮断性能と最小の溶着力をもつ電極が得られる。

この電極は操作エネルギーが小さいので、VCBを小型化できるメリットがある。また、開閉寿命試験において、アーク時間は0.5サイクル以下で極めて安定しており、開閉回数とともに耐電圧が上昇する傾向もあって、この電極の優れた特長となっている。

(2) Ag-WC- α 系

コンビネーションスイッチとして多用されるVCSでは、ヒューズ溶断電流33~60kA-CrestによってVST電極は開離アークを生じても、溶着しないことが要求される。このため、少なくとも一方の電極をAg-WC-Coからなる3元合金を用いている。アーク熱によって生じるWC粒子の結晶粗大化がCoの添加によって抑制されるので、溶着を防止することができる。この電極の裁断電流を図5に示す。AC3級の開閉寿命試験400A×25万回後の裁断電流は、平均値0.8A、累積発生確率99.9%の値が2.0Aである。Ag-WC-Co電極は、電動機やコンデンサバンク開閉に多用され、20年に及ぶ使用実績がある。この間、ほとんどの場合はサージ抑制装置なしで使用され、高周波消弧・多重再発弧に基づく等価裁断現象や3相同時裁断の問題は皆無である。

(3) Cu-Cr-Bi- α 系

800A級VCSや25kA級低サージVCBの電極には、AC 3級の開閉寿命試験や多数回の短絡遮断に耐えて、低い裁断電流を安定に維持するために、多元合金材料を採用している。図5に示すように、短絡遮断25kA×20回後の裁断電流は抵抗負荷の場合、平均値が0.6A、99.9%値が1.3Aであり、寿命試験1250A×1万回後の特性は平均値が0.9A、99.9%値が1.8Aであって、Ag-WC- α 系よりも低裁断性能を持つている。

(4) Cu-W系

VLS用電極には短絡遮断責務は要求されないので、この用途には耐溶着と耐電圧性能の優れたCu-W系電極が適している。両性能は一般に背反的であるが、W粒子の粒度分布などを最適化することによって、25kA級の短絡投入・短時間通電容量を持つ低溶着電極を得ている。

(5) 新電極材料の開発

材料物性や真空アークの分光学的研究がたゆまず続けられており、近年、Cu-Cr- α 系の遮断性能を凌駕する新しい電極材料が次々と開発された。例えば、Cu-Ta- α やCu-Mo- α 系ではCu-Cr- α 系に対して、電極の有効面積を1/2にする可能性があり、電極の小型化開発に一層の拍車がかかるものとして期待される。VSTの中間支持式シールドに流入するイオン電流特性の研究により、新電極材料の遮断限界電流の評価が行われ、放電モードの遷移メカニズムの解明が進められている⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

3.2 超小形スパイラル電極

軸方向磁界(AMF)電極はアーケ電圧が低く電極損耗が均一であることを報告し⁽⁹⁾、当社が世界に先駆けて24kVVCBに実用化し、7.2kV級でも多数の実績がある。しかし、限界遮断電流の領域では、AMF電極の特長である拡散アーケモードは集中アーケモードに遷移し、陽極の異常溶融を生じて遮断失敗に至る。この現象は、平板電極やスパイラル電極と同じである。また、軸方向磁界発生用コイ

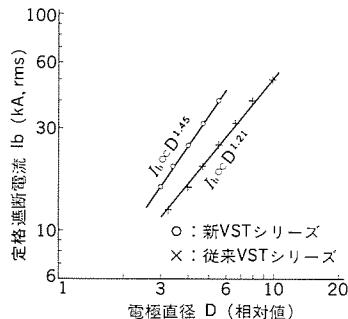


図 6. スパイラル電極の直径対遮断電流の関係

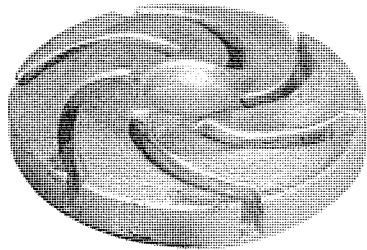


図 7. 短絡遮断後のスパイラル電極

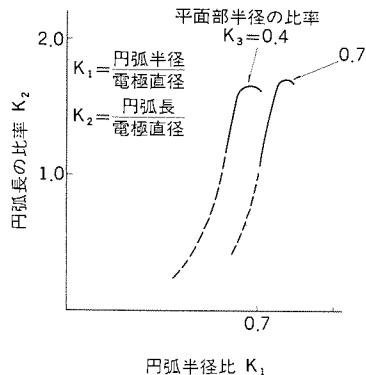


図 8. スパイラル電極の円弧半径対円弧長の関係

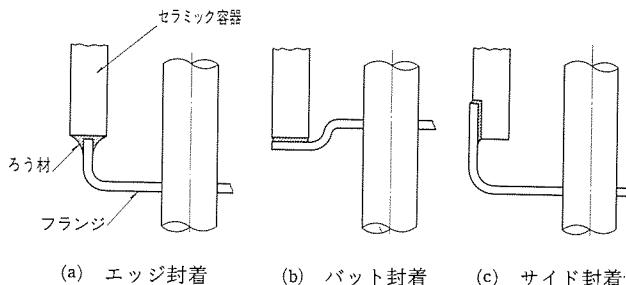


図 9. VSTセラミック容器の封着方式

ルのジュール損失や遮断電流零点での残留磁界を減らすために、コイル直徑を増したり電極に多数の溝を設ける必要があるので、経済性が損なわれる。

VCB用新VSTは、スパイラル電極とアークシールドに新設計を適用して小形化に成功したものである。新電極の直徑は、図 6 に示すように40kA級での改善が著しく、従来品の70%に縮小できた。図 7 は短絡遮断40kA×25回後の電極を示し、アークの磁気駆動が電極全表面をくまなく均一に行われたことが分かる。この最適の磁気駆動電極は、スパイラル溝の円弧半径や溝幅を電極中央の平面部や外周のテープ部など各部の形状寸法の関数として求めることで設計した。図 8 は計算の一部をノーマライズして示したもので、電極の形状パ

ラメータ K_3 の値に対応して、ある一定の円弧半径比 K_1 においてスパイラル円弧長の比率 K_2 が極大になることを表している。図 8 のグラフを基に電極直徑 D と遮断電流 I_b の関係式が導かれ、 $I_b \propto D^{1.45}$ を得る。新VSTの遮断試験結果は、図 6 に示したように、 $I_b \propto D^{1.45}$ なる関係を示しており、計算値とほぼ一致している。上述の電流域では電極小径化の観点からも、スパイラルの方がAMF電極よりも優位と考えられる。

3.3 ステンレス製アークシールド

電極からの飛散金属が絶縁容器の内面に付着するのを遮へいするため、電極を包囲するアークシールドが設けられている。従来、その材料には、短絡アークの冷却効果を主眼として、銅やニッケルが使用されていた。当社が先鞭をつけたステンレス製アークシールドは⁽⁴⁾⁽⁵⁾、特殊な表面処理によってアーク冷却効果が高く、また耐電圧が優れている。短絡アークの光学的観測やシールド表面での飛散金属の凝結状態の調査結果を基に、アーク冷却効果が最適で直徑が最小になるシールド構造を開発して、新VSTに適用したものである。

ステンレスシールドの高い耐電圧性能は、電極中にBiなどの低融点高蒸気圧の金属を含むVSTにおいて顕著に発揮される。VSTの製造段階で、排気加熱によって電極から蒸発したBiがアークシールドなどに蒸着し、特にその先端の電界集中部分に蒸着した場合は耐電圧が著しく低下する。排気加熱の条件や電極材料が同一でも、Biの蒸着量は非磁性ステンレス鋼には僅少で、銅やニッケルには多量に蒸着する。ステンレスシールドは、このような真空中における金属の表面現象の研究が端緒となって開発されたものである。低融点金属を含む電極のVSTは、ステンレスシールドとの組合せにより小形・高電圧化され、コンデンサ開閉器にも多用されている。

なお、新VSTでは、VCS用も含めすべてアークシールドを中間支持する方式に統一したので、電界分布が改善され、セラミック容器の外沿面耐電圧も向上した。

4. セラミック容器及びベローズの小形化

4.1 エッジ封着式セラミック容器

セラミックと金属との接合構造には図 9 に示す 3 種類の方式があるが、このうちエッジ封着式が最も信頼性が高い。それは、熱膨張係数の差に基づく接合部の残留応力が他の方式より小さいため、溶融銀ろうによるフランジ金属の腐食がなく、大口径の封着にも極めて安定であることによる。また、溶融ろう材からのガス抜きが容易なため、ボイドがなく、信頼性の高い気密封着ができる、しかも十分な接合強度を持っているからである。当社では、従来から一貫してエッジ封着式VSTを生産しており、その高信頼性は20年に及ぶ多量の使用実績で証明されている。

このような高信頼性実績を持つエッジ封着方式を踏襲して、セラミックとフランジとの間隙を排気通路に用い、真空炉中で排気と封着を同時にを行う新しい製造方法を確立した。エッジ封着式であるから、排気コンダクタンスが大きく高効率の量産が可能になった。このVSTは、従来のVST本体から突出した排気チップ部分がない、いわゆるチップレス形であるから、より小形になるとともに取扱い・信頼性が一段と向上している。

4.2 セラミック容器の沿面耐電圧

VSTの限界耐電圧は、一般にセラミック容器の外沿面耐電圧で抑えられる。したがって、VSTの内部耐電圧に余裕がある場合には、VSTをSF₆ガスや絶縁油のタンク内に収納して、例えば7.2kV、

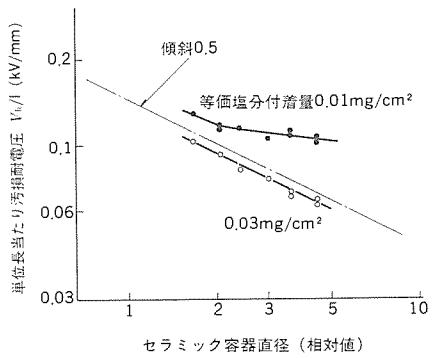


図10. VSTセラミック沿面の汚損耐電圧特性

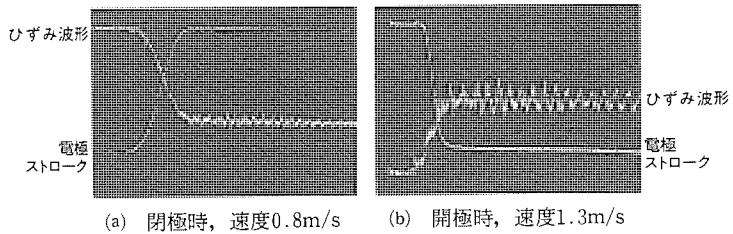


図11. 開閉時のペローズ応力特性

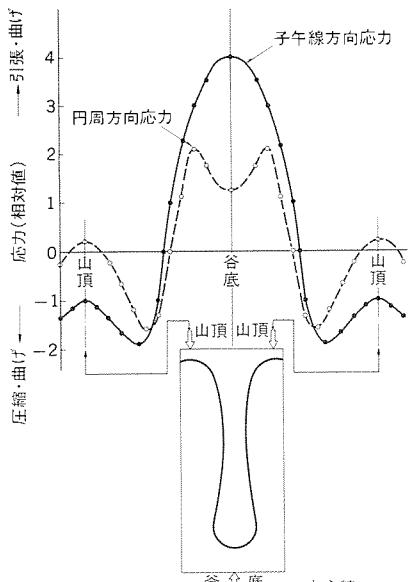


図12. ベローズ各部位の応力分布図

VSTで24~36kVの縮小形開閉装置を開発する例が増えている。我が国でも、24kV配電の採用に際して、この方式の普及が期待される。この場合、VST内外の電界分布が変化するので、表面電荷法や有限要素法などの計算法による電界解析に基づいて、電極・シールド・セラミック容器などの最適構造を設計している。

一般屋内用VSTの沿面距離 l は、汚損時のAC耐電圧を考慮して決定している。汚損試験法としては、我が国では“等価霧中法”が一般に用いられている。図10は、寸法の異なる各種のVSTについて、セラミック容器の直径 D と単位沿面距離当たりの“等価霧中法”で求めたAC 5%せん絡電圧 V_b との関係を示している。実験の範囲で、汚損耐電圧は沿面距離に比例し、等価塩分付着量が増すとセラミック直径への依存性が強くなる。軽汚損 $0.03\text{mg}/\text{cm}^2$ において、 $V_b/l \propto D^{-0.5}$ であり、このことはセラミック直径を80%に小形化すると、同一沿面距離では汚損耐電圧が111%向上することを示している。新シリーズVSTは小形化に対応して、常に信頼性の向上が図られている。

4.3 高耐食・長寿命ペローズ

電極をVSTの心臓部に例えると、ペローズは肺臓部と言えよう。すなわち、電極自閉力・開極距離・開極保持力・開閉速度・開閉回数寿命など、VSTに与えられるすべての操作定数が、ペローズ特性と密接に関係している。薄い蛇腹状の金属ペローズは真空容器の一構成部品であり、例えば、板厚 0.1mm のペローズに $0.1\mu\text{m}$ の微小な孔が1個でも生じると、24時間以内に致命的な真空劣化をきたすことになる。VSTは、柱上あるいは地中配電用の多湿環境や海岸地帯、化学工場などで多用され、20年以上の真空寿命を要求されるので、ペローズの耐食信頼性は特に重要である。

当社は、Moを含むオーステナイト系ステンレスペローズがVSTとして優れた耐食真空寿命を持っていることを見出し、これを吟味して採用している。長年にわたる膨大な使用実績は、まさに《RELI A VAC》の名に相応しい高信頼性を実証してきた。Moはオーステナイト固溶体中のCと結合してMoC化合物を作り、その分散効果により結晶を微細化する。したがって、耐熱性・韌性が向上するとともに、孔食・応力腐食・粒界腐食などの耐食性を強化している。

VCSやLTC用途には 10^6 回の開閉寿命が必要で、特にLTCでは極めて高い信頼性が求められている。VSTの開閉に伴うペローズ応力は、周囲媒体(大気・SF₆ガス又は絶縁油)の圧力や粘性、前述の開閉操作定数に大きく依存し、圧力項・変位項及び過渡項の3成分からなっている。モデルVSTを大気中で開閉した場合のペローズ応力の時間的変化を図11に示した。この応力は、さらに子午線方向と円周方向の直交する2成分からなり、ペローズ各部位に生じる応力分布は図12に示すように複雑である。これらの計測やCAD計算による応力解析と、多数のVSTの加速寿命試験結果の統計処理データを総合評価することにより、小形長寿命のVSTが開発されてきた。セラミック容器や電極の小形化が進むにつれて、従来よりも一段と小形で高性能なペローズの開発がますます重要になっている。

5. む す び

最近の《RELI A VAC》シリーズの概要を紹介し、電極材料、スパイラル電極を始めアーカシールド・セラミック容器・ペローズなどの主要部品に、小形化・高信頼化の技術がどのように適用されているかを述べた。放電管技術や材料・表面物性などがVST高信頼化の源泉であり、その中で当社の知的財産権として確立された内容を中心に記述した。これら基礎技術の集積・接合は、今後もたゆみなく続けられ、真空開閉機器の高機能化・大容量化を促進するにとどまらず、21世紀のクリーンエネルギー開発のための電子デバイスとして貢献することが期待される。

参 考 文 献

- (1) 岡田ほか：三菱電機技報, 41, No. 6, p.841 (1967)
- (2) T. Okada, et al.: Mitsubishi Denki Engineer, No.6, (1968)
- (3) 岡田ほか：三菱電機技報, 43, No.10, p.1399 (1969)
- (4) 青木ほか：三菱電機技報, 53, No. 3, p.224 (1979)
- (5) S. Aoki : Mitsubishi Electric ADVANCE, 8, p.12 (1979)
- (6) 日本電子機械工業会：電子管の歴史、オーム社, p.255(1988)
- (7) 鳥家ほか：真空スイッチのアーカ現象と遮断現象、電気学会開閉保護装置研究会資料, SPD-89-9 (1989)
- (8) H. Toya, et al.: J. App. Phys., 65, No. 1, p.64 (1989)
- (9) 伊藤ほか：三菱電機技報, 41, No.11, p.1409 (1967)

中容量コンパクト低騒音CVCF《MELUPS-8700》

守川哲郎* 本城健二** 佐志田伸夫** 森 治義** 福井 勝**

1. まえがき

静止形無停電電源装置（以下、CVCFと称す。）は、各種コンピュータ・重要負荷に安定した電力を供給する電源装置として普及が進んでいる。特に、近年コンピュータの小形化・高性能化により、一般のオフィスや生産現場にもコンピュータを設置するようになり、CVCFも電気室ではなく、負荷装置の近くに設置することが要求されてきている。当社では、このような用途に適した単相出力のCVCFとして《MELUPS-8400S》（1～5 kVA）、《MELUPS-8400M／8400T》（7.5～30kVA）を製品化してきた⁽¹⁾。

今回開発した《MELUPS-8700M／8700T》は、BiMOSインバータ技術、マイクロプロセッサ制御技術をもとに、三相出力の中容量域（7.5～50kVA）をカバーするこのクラスでは、画期的な優れた特性と使いやすさとを実現したコンパクト・低騒音CVCFであり、中小形汎用コンピュータを始め、通信・放送機器や生産設備など、最近の幅広い無停電化ニーズにこたえるものである。

2. 特長と仕様

《MELUPS-8700M／8700T》の特長を下記に示す。

(1) コンピュータに適した出力特性

スイッチングレギュレータなど、高調波成分が多くピーク電流の大きなコンピュータ負荷に対しても出力電圧を正弦波に保つ新し

い制御方式を採用した（100%整流器負荷時出力電圧ひずみ率5%以下）。

(2) 不平衡負荷に強い

極端な三相不平衡負荷（線間に単相負荷だけをとった場合）にも、電圧不平衡率±1%以下としたので、単相負荷・三相負荷が混在した場合でも負荷不balanceを気にせずに使うことができる。

(3) 圧倒的な使いやすさ

ディジタル計測や操作ガイドなど、大形液晶ディスプレイを使った日本語による各種のモニタリング・ガイダンス機能を標準装備して、だれにでも簡単に操作できるようにした。

シール形鉛蓄電池を標準採用し、蓄電池の日常メンテナンスを不要にした。

(4) コンパクト

オフィスやコンピュータルームなどの限られたスペースにも設置できるよう、大幅なコンパクト化を図った。特に、20kVAまでをバイパス回路・蓄電池内蔵のワンパッケージ形にした（据付け面積、20kVAで当社従来比47%）。

(5) 低騒音

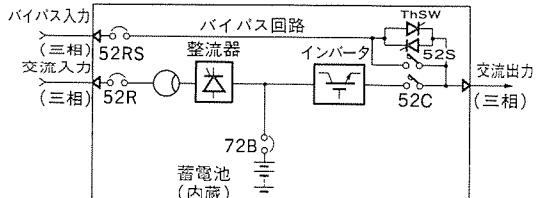
オフィスなど居住空間への設置を考慮し、画期的な低騒音運転特性とした（20kVAで55ホン以下：前方1m A特性）。

表1に、《MELUPS-8700M／8700T》の標準仕様を示す。

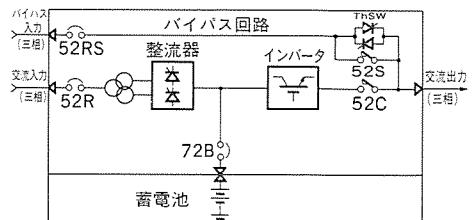
3. 構成

3.1 主回路構成

《MELUPS-8700M／8700T》の主回路单線結線図



(a) 《MELUPS-8700M》



(b) 《MELUPS-8700T》

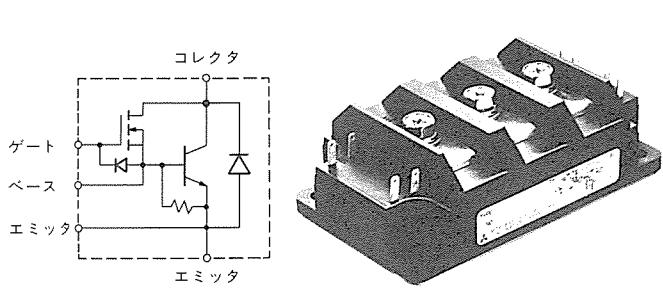
表1. 《MELUPS-8700M／8700T》の標準仕様

項目	仕様							備考
シリーズ名	8700M							
定格出力容量	7.5 kVA kW	10 6	15 8	20 12	30 16	40 24	50 32	
運転方式	商用同期常時インバータ給電							
交相数	三相3線							
定格電圧(V)	200, 210, 220							
電圧変動範囲(%)	±10							
定格周波数(Hz)	50又は60							切替え可
周波数変動範囲(%)	±5							
バス相数	三相3線							
定格電圧	出力電圧と同じ							
定格周波数	出力周波数と同じ							
蓄電形式	シール形鉛蓄電池							
公称電圧(V)	240							
保持時間(分)	10(内蔵)	5又は10(別盤)	25°C、定格負荷時					
相数	三相3線							
定格電圧(V)	200, 208, 210, 220							
電圧精度(%)	±1							
定格周波数(Hz)	50又は60							切替え可
周波数精度(%)	±0.01(バイパス非同期運転時) ±0.01(バイパス同期運転時)							±1(バイパス同期運転時)
定格負荷率	0.8(遅れ)							
負荷率変動範囲	0.7～1.0(遅れ)							0.8～1.0(遅れ)では定格kW以内
電圧波形ひずみ率(%)	3以下(定格線形負荷時)							5以下(100%整流器負荷時)
過渡電圧変動率(%)	±5以下(負荷急変±100%にて) ±2以下(停電・復電時) ±5以下(出力切替え・入出力定格時)							
過渡変動回復時間(ms)	50以下							
電圧不平衡率(%)	±1以下(線間に1相のみの単相負荷時)							ただし、定格線電流以内
インバータ過負荷耐量	125%10分、150%10秒							
バイパス過電流耐量	1,000%1サイクル、125%10分							

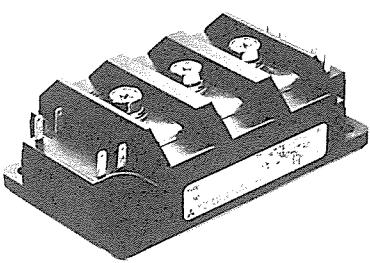
*本社**神戸製作所

図1. 《MELUPS-8700M／8700T》の主回路結線図

52R : 交流入力ブレーカ
52C : インバータ出力コンタクタ
52RS : バイパス入力ブレーカ
52S : バイパスコンタクタ
72B : バッテリブレーカ
ThSW : バイパス サイリスタスイッチ



(a) BiMOS内部回路構成



(b) BiMOSモジュールの外観

図2. カスコードBiMOSモジュール

を図1に示す。《MELUPS-8700M》は10分間用の蓄電池を内蔵しており、容量の大きな《MELUPS-8700T》はシール形鉛蓄電池のキューピックル（5分間用又は10分間用）を別盤にして接続する。

コンバータ部は、サイリスタ整流器で構成しており、インバータ部へパワーを供給しながら蓄電池を充電する（浮動充電方式）。出力容量30～50kVAの《MELUPS-8700T》は、入力容量が大きくなるため発生高調波を低減させるよう12相整流とした。

インバータ部は、高周波スイッチング・パルス幅変調（PWM）を行って交流電圧を発生し、小容量のフィルタ回路によってキャリア周波数成分の高調波を除去した後、出力トランスを介して負荷装置に正弦波電圧を供給する。出力周波数50Hzと60Hzとはハードウェアを共用にしたので、盤面からの設定切替えだけでどちらの周波数でも使用することができ、設置場所の移動にも対応できる。

バイパス回路が規定の周波数範囲内であれば、交流出力電圧はバイパスと周波数及び位相を一致させて運転しており、過負荷若しくは故障時には無瞬断切替えを、切替え原因の解除後には自動的にインバータ給電に戻るオートリトランスファを行う。バイパス切替えスイッチは、サイリスタスイッチThSWとコンタクタ52Sなどで構成されている。

3.2 インバータ主回路素子及びインバータ方式

インバータの主回路スイッチング素子としては、低駆動電力で大電流・高速スイッチングに適した、カスケードBiMOS⁽²⁾を採用した（図2）。これにより、スイッチング周波数を高周波にして制御性の向上・低騒音化を図るとともに、出力フィルタの小形化によるコンパクト化を達成した。

インバータは、高周波スイッチングにより波形制御を行うので、多重方式は行わず三相インバータとして回路の簡素化を図った。

3.3 制御回路

インバータの制御回路は、電流リミッタ付きの瞬時波形制御を三

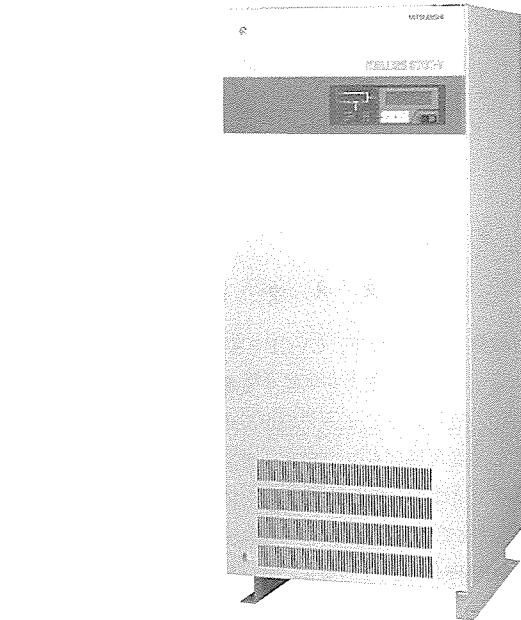


図3. 《MELUPS-8700T》 50kVA
装置の外観

相それぞれに設け（三相個別瞬時波形制御）、出力電圧の高精度制御・低ひずみ・不平衡負荷特性と、出力過電流に対する保護とを実現した。これにより、従来整流器負荷の場合に低ひずみを実現するために必要で、大きな据付けスペースを取っていた並列フィルタが不要になった。また、負荷機器の特性やインラッシュなどに対しても特別の配慮をしないでCVCFを適用することができるようになった。

コンバータの制御には、起動時に入力電圧をソフトスタートさせるウォームイン機能、蓄電池の回復充電時に入力電力を設定値以内に制限するパワーデマンド機能などを持っている。これにより、CVCFが発電機に接続された場合にも、容易にマッチングをとることができる。

制御回路は、ワンチップマイクロプロセッサにより構成しており、高機能化・高信頼度化・コンパクト化を実現した。

3.4 外観と構造

図3に《MELUPS-8700T》の外観を、表2に《MELUPS-8700M/8700T》の寸法と重量とを示す。蓄電池内蔵の《MELUPS-8700M》は、特にオフィスやコンピュータルームへの設置を前提として、コンパクト化・ワンパッケージ化を図った。《MELUPS-8700T》は、高性能シール形鉛蓄電池を標準的に採用することにより、システムとしての大幅な小形化を図った。

表2. 《MELUPS-8700M/8700T》の寸法・重量

出力容量 (kVA)	CVCF		5分用蓄電池		10分用蓄電池		
	幅-奥行-高さ (mm)	重量 (kg)	幅-奥行-高さ (mm)	重量 (kg)	幅-奥行-高さ (mm)	重量 (kg)	
MELUPS-8700M	7.5	600-740-1,500	480	10分用蓄電池をCVCF内に内蔵			
	10	600-740-1,500	550				
	15	650-740-1,500	680				
	20	650-740-1,500	800				
MELUPS-8700T	30	700-740-1,700	730	350-740-1,700	340	600-740-1,700	580
	40	700-740-1,700	900	350-740-1,700	400	600-740-1,700	580
	50	700-740-1,700	1,050	600-740-1,700	580	600-740-1,700	720

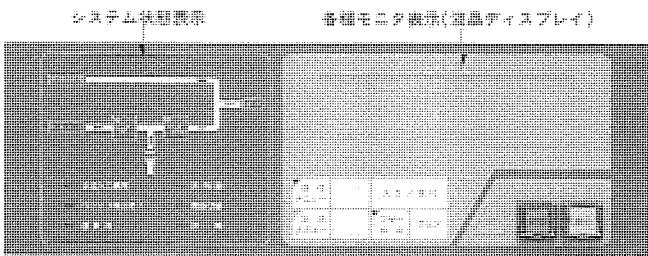


図4. ディジタル マンマシン インタフェース

出力電流	実効値	ピーク値
U	28.9A	40.8A
V	28.9A	40.8A
W	28.9A	40.8A

(a) 計測表示画面

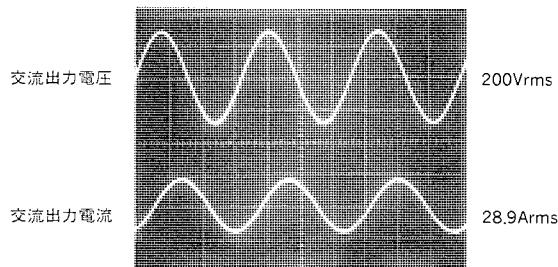
* START-UP GUIDANCE * (#1-1)
52RS ON BYPASS:200.0V
→ 52R 3 ON シテクタ" サイ

(b) 操作ガイダンス画面

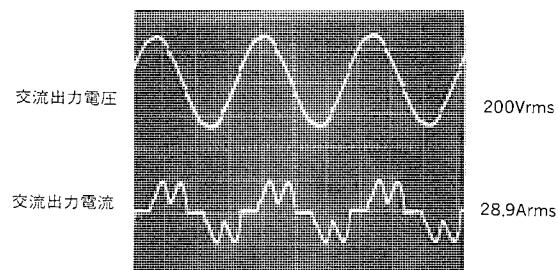
* UPS FAILURE *
OLI
カカ > 100% - 10 MIN.
→ フカ 3 シテクタ" サイ

(c) 故障表示画面

図5. ディジタル表示例



(a) 定格線形負荷



(b) 100%整流器負荷

図6. 交流出力電圧・電流波形

盤奥行き寸法は、740mmとしてエレベーターでの搬入を可能にした。10kVA以下は、高さを1,500mmにして設置後の視界を妨げないようにした。一方、15kVA以上は、高さを1,700mmにするとともに冷却風を上部に排気するようにして背面のスペースを不要にした。また、CVCF、標準蓄電池盤共に、前面からだけでも保守できるようにした。これらにより、設置環境の制約を大幅に低減した。

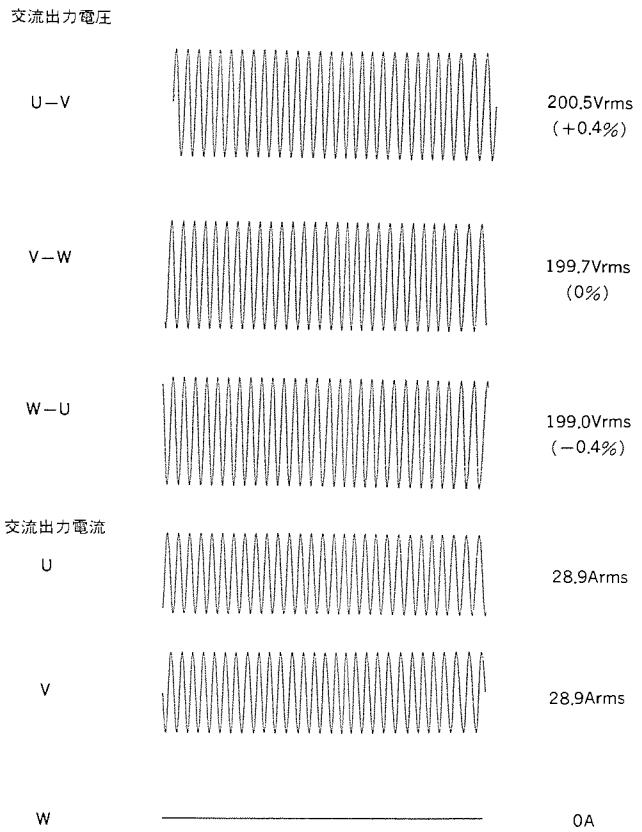


図7. 不平衡負荷特性

4. ディジタル マンマシン インタフェース

オフィスやコンピュータルームに設置されることを考慮し、だれにでも簡単に使えるよう、和文15文字（英数字30文字）×4行の大形グラフィック液晶ディスプレイを採用したディジタル マンマシン インタフェースを標準装備した（図4）。

4.1 運転状態・計測値表示

CVCFの運転状態は、システム・状態表示部にLEDで表示する。液晶ディスプレイには、出力回路・バイパス回路・蓄電池回路の電圧、電流、周波数及び蓄電池運転回数（停電回数）を表示するほか、停電時には蓄電池残量と蓄電池運転時間とを表示する。これにより、蓄電池運転時にCVCFの動作可能時間を把握することができるようになり、停電が長引いた場合のコンピュータの停止操作を的確に行えるようにした。これらの計測値は、フラットキー ボードから計測メニューで選択して表示させることができる。

4.2 操作ガイダンス

フラットキー ボードから操作メニューで選択することにより、起動、停止、遠方／直接の切替えなどの操作方法のガイダンスを、操作手順に対応して自動的に日本語で表示する。CVCFの日常操作は、マンマシン インタフェースのインバータ起動／停止スイッチだけで行え、充実したガイダンス機能により専門のオペレーターでなくとも、だれでも簡単に操作することができるようになっている。

また、遠方からの起動／停止入力、及び遠方送出接点出力を標準装備し、離れた場所から集中管理したりコンピュータと接続したりすることを可能にした。

4.3 故障ガイダンス

異常発生時には、異常内容とそれに対応する操作とを自動的に表示させることにより、操作性・保守性を一層向上させた。重故障発

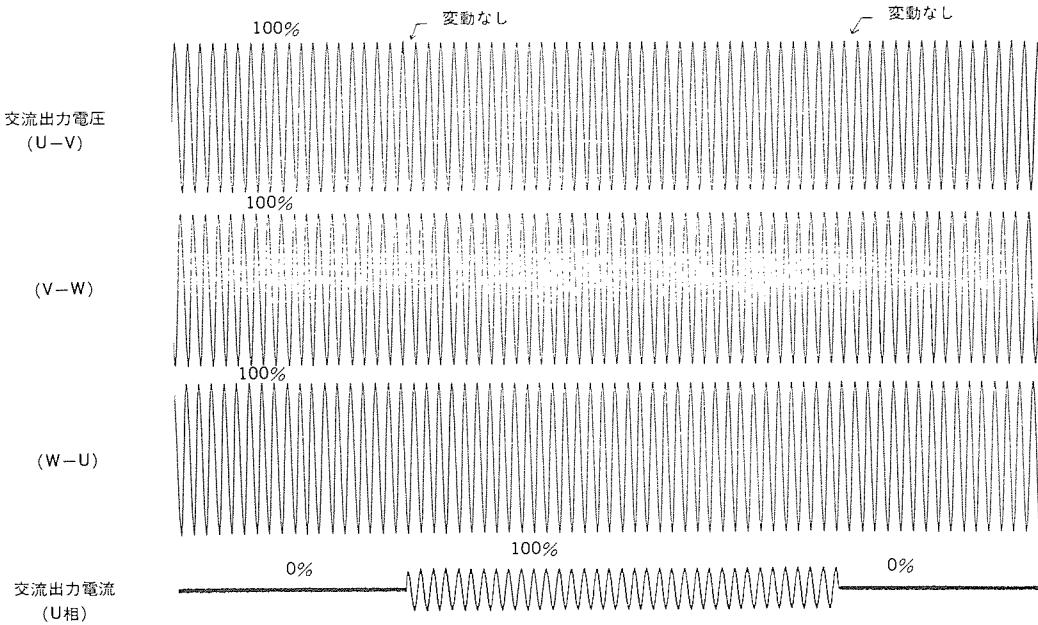


図 8. 負荷急変時出力波形

生時には、先行して発生した軽故障とともに故障履歴を不揮発性メモリ (EEPROM) に記憶する機能を設け、故障原因の調査と修理とを容易にできるようにした。なお、液晶ディスプレイには、EL照明によるバックライトを装備し、暗い場所でも表示を見ることができるようにしている。図 5 にデジタル表示内容の例を示す。

4.4 盤面設定

出力電圧の調整、50Hz・60Hzの切替え、パワーデマンドの設定、遠方操作・直接操作の切替えなどを、すべて盤面から簡単に実行できるようにして、操作性の向上と調整時間の短縮を図った。

5. 運転特性

この装置の代表的な諸特性について、試験結果を示す。

5.1 交流出力特性

図 6 に、《MELUPS-8700M》10kVA 装置の定格線形負荷時、及び 100% 整流器負荷時の交流電圧・電流波形を示す。瞬時波形制御により、線形負荷に対しては電圧ひずみ率が 1.2%、ピーク値の大きな高調波含有率の高い負荷に対しても、電圧ひずみ率が 3.0% と良好な結果になっており、コンピュータや計装機器などに使われているスイッチング電源などのひずみ電流負荷に対しても、ひずみの少ない安定した電圧を供給することができる。

5.2 不平衡負荷時交流出力特性

図 7 に、《MELUPS-8700M》10kVA 装置に単相負荷を接続したときの出力電圧を示す。極端な不平衡負荷（単相負荷のみを線間に接続）に対しても、三相個別瞬時波形制御により出力電圧の不平衡率は $\pm 0.4\%$ 以下となった。したがって、単相負荷と三相負荷とが混在した場合でも負荷のバランスを気にせずに使用することができる。

5.3 負荷急変時交流出力特性

図 8 に、負荷急変時の交流出力電圧・電流波形を示す。100% の負荷急変に対しても、出力電圧はほとんど変動していない。これにより、CVCF 装置に複数の負荷が接続されている場合でも、ほかの負荷

に影響を与える心配なくそれぞれの負荷を ON/OFF することができる、システム構成上の配慮や運用上の制限をなくすことができる。

5.4 騒音レベル

《MELUPS-8700M》20kVA 装置の騒音は、高周波スイッチング及び低騒音ファンを採用したことにより、52 ホン（前方 1m A 特性）となった。これは、オフィスなどの居住空間に設置しても問題のないレベルである。

5.5 効率

BiMOS の採用による制御電源容量の低減、高周波スイッチングによるフィルタの小型化などにより、10kVA 装置で総合効率 87% となった。これにより、CVCF 用電力料金の節減、及び室内空調機の容量低減を図ることができる。

6. むすび

高速スイッチングの可能な BiMOS と、ワンチップマイクロプロセッサを適用した CVCF 装置《MELUPS-8700M/8700T》を紹介した。この製品は、ますます進展するコンピュータ社会を支える CVCF として、広くユーザーのニーズにこたえるものであると確信する。また、より大容量の CVCF 装置の高機能化・低騒音化につながるものと考えている。

今後とも、新しい技術を積極的に取り入れた高性能、高信頼性の CVCF 装置の開発を続けていく所存である。

参考文献

- (1) 鹿野ほか：新シリーズコンパクト低騒音 CVCF 《MELUPS-8400》，三菱電機技報，62，No. 6 (1988)
- (2) G. Majumdar ほか：500V-200A CASCADE 形 BiMOS モジュール，電気学会全国大会，No.473 (1987)

捜索救助用レーダートランスポンダと全世界的な海上遭難安全システム

古東啓吾*

1. まえがき

1988年11月ロンドンの国際海事機関（IMO：International Maritime Organization）において、「1974年の海上における人命の安全の為の国際条約」（SOLAS条約：International Convention for the Safety of Life at Sea）の締約国会議が開かれ、当社が世界に先駆けて開発した“捜索救助用レーダートランスポンダ”（SART：Search and Rescue Transponder）を相手方とする、船舶や航空機に搭載されている9GHz帯レーダーによる捜索を“ロケーティング”（遭難者の発見）の唯一の手段とした“全世界的な海上遭難安全システム”（GMDSS：Global Maritime Distress and Safety System）導入に関する条約改正が採択された。

国連の専門機関により、世界的な標準装置として国際条約上で基準化されたSARTは、改正SOLAS条約の第III章（救命設備）により、国際航海に従事する旅客船及び300トン以上の貨物船に搭載されている生存艇（救命いかだ、救命ボート）に対して1995年2月1日までに装備を終える予定になっている。また、同改正条約第IV章（無線通信）により、座礁や機関故障時に使用するこの船用SARTとしての備付けや、衛星経由で遭難を通報する非常用位置指示無線標識（EPIRB：Emergency Position Indicating Radio Beacon：SOSブイ）への組み込みなどが計画されている。

図1に救命いかだ組込用SARTの一例として、当社のMELSART-Rの外観を示すが、電池を除くトランスポンダの本体は、アンテナを含み長さ約200mmのハーモニカ状に一体化され、重量200g程度の簡単な装置である。開発段階における装置の概要については既に当誌（1976/2、表紙）で紹介しており、現在（財）日本造船振興財團の御好意により仕立て直し中であるので、最終的な装置の詳細については改めて報告することにする。

したがって、以下に、SARTの機能概要、国際的標準化の達成までの経緯及び受皿となったGMDSSとの関連を中心に報告し、科学技術の分野で世界に寄与すべき責務を持つ日本の技術者の、国際的な協調と世界的な標準化活動展開の在り方に対する参考としたい。

2. SARTの機能概要

SARTは、基本的には9GHz帯の全自動マイクロ波送、受信装置であり、レーダーの高感度受信器、高出力送信器を相手方とする設備としてのSARTそのものは、低出力、低感度で済み、極めて簡単で設備費、維持費共に利用者負担の少ない経済的な装置とすることができます。

（1）基本機能

不幸にして海難が発生した場合、自動又は遭難者の手動により起動されたSARTは受信待ち受けモードになり、船舶用航海レーダーや航空機用捜索レーダーが送信する質問パルス信号（レーダーパルス波）を受信して“遭難者に救助側の接近を通報”するとともに、自動的にレーダーに対する応答電波を送信して、レーダー指示器の

映像上に捜索側から見た“遭難者の方位と距離を示すSARTコードを表示”させる双方向性の機能を持っている。

（2）遭難者に対する通報

装置に組み込まれているSARTの“接近モニター”は、受信したレーダーごとに異なるパルス波の繰り返し周波数（PRF：Pulse repetition frequency）を、可視可聴の通報に変換して遭難者に通報する機能を持っている。この通報は、人間の判別能力の利用により、遭難者に多くの情報を与えることができる。

聴覚モニターの一例では、音色により船舶、航空機など捜索側の種別を、音の継続時間により遠近を伝える。間欠音から連続音への変化は捜索側の接近を示し、遭難者は、生存艇に備えている信号紅炎などの既存救命発光信号の使用に対する効果的なタイミングを知ることもできる。

（3）レーダーに対する応答

起動されて“受信待ち受けモード”にあるSARTは、捜索側のレーダーパルス波を受信した場合だけ自動的に“送信モード”に切り替わり、受信したパルス波に同期して、9GHzのレーダー周波数帯の全幅を高速で複数回直線掃引する応答電波（SART応答波）を水平面無指向性のアンテナから送出する。

この応答波には、現用されている9GHz帯のレーダーのすべての周波数が含まれている。したがって、「SART応答波の受信のためのレーダーの改造は不要」である。

この応答波を受信したレーダーの指示器の映像上には、日本提案がベースになり、IMOの第13回総会の決議書Res. A. 530 (13) “Use of radar transponders for search and rescue purposes”で定められた等間隔多点列の“SARTコード”が表示される。

図2に、船舶用航海レーダーの指示器の映像上に表示されたSARTコードの一例を示すが、画面の中心に位置する捜索船から見て、遭難者（SART）は、点列の第1点目として示される。

（4）SARTの国際規格

SARTの電気特性は、日本の提案をベースとした、国際電気通信連合（ITU：International Telecommunication Union）による国

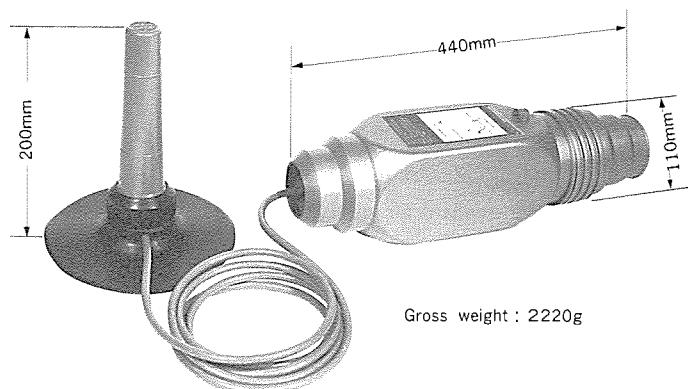


図1. 救命いかだ用SARTの例（MELSART-R）

*通信機製作所

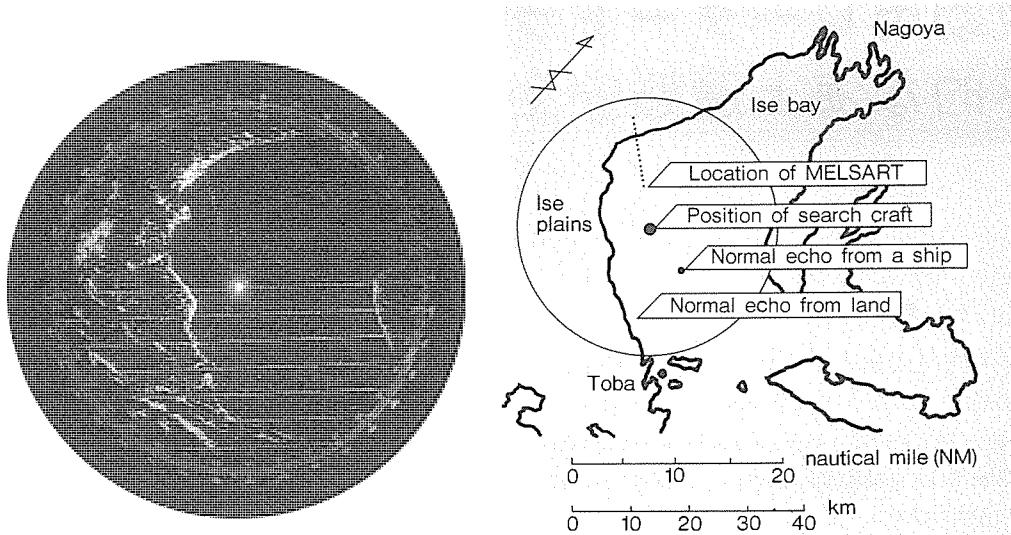


図2. 船舶用レーダー指示器上のSARTコードの例

T_s : sweep rate
 T_e : equivalent pulse width
 B_r : radar-reception bandwidth

Wd : wide dot
Nd : narrow dot
Er : ranging error

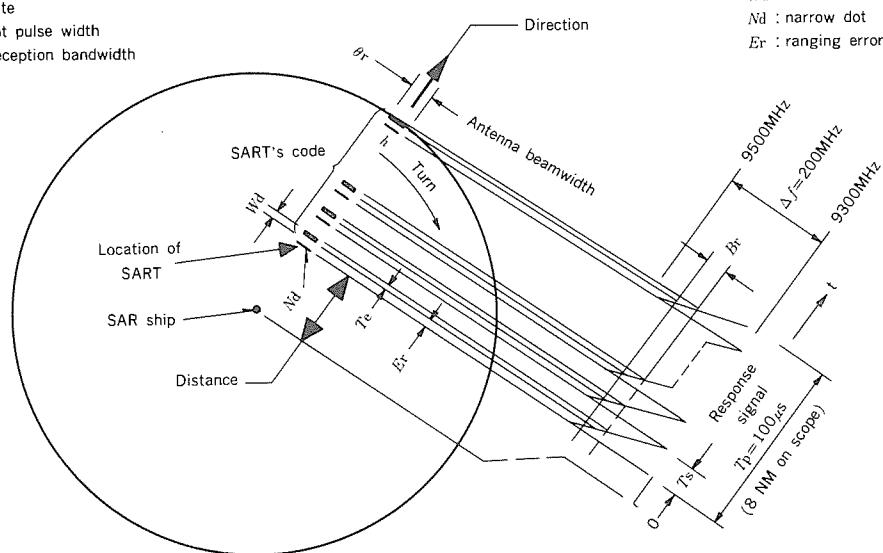


図3. SART応答波とSARTコード

際電気通信条約付属無線通信規則 (Radio Regulations) のRR 823 Aや国際無線通信諮問委員会 (CCIR) の勧告 Rec.628 "Technical characteristics for search and rescue radar transponders" で規定されている。

このRec. 628では、SART受信器の実効受信感度を-50dBm以下、SARTの応答波の実効送信電力を400mW (+26dBm) 以上としており、後述の海外主管庁による当社製サンプルに対する評価試験結果の一例では、航空機用搜索レーダーで最大60海里 (約110km: 1海里=1,852m) の探知距離が得られている。

一方、装置の操作性、使用温度範囲、電池の持続性などの性能要件は、同じく日本が起案したIMOの第15回総会の決議書Res. A. 604 (15) "Performance standard for survival craft radar transponder for use in search and rescue operations" で定めている。

このRes. A. 604では、-20~+50°Cの動作温度範囲で、受信待ち受け時間96hrの後に、8 hr以上の連続応答送信 (10%率) が可能な電池の装備が求められている。なお、当社のMELSARTには、使用者に対して安全で、用済み後の廃棄においても第3者に対する公害問題を起こさない化学成分を持つ、防爆型の電池を使用している。

3. SART応答波とSARTコード

SARTの応答波は、搜索側レーダー映像上のSARTコードの形成に、電気的な原理だけではなく、レーダー指示器ブラウン管の蛍光膜の物理的な残像が利用できる“受信同期式高速周波数直線掃引方式”を採用しているところに特長がある。この方式によると、SART応答波の送信電力が少くとも、レーダー映像としては明るいコードが得られ、電池の面でも経済的な装置として実現できる。

図3に“SART応答波”とレーダー映像上の“SARTコード”的関係を示す。レーダー側では、図に示すSART応答波のこぎり(鋸)歯状に複数回掃引されている周波数のうち、レーダー受信器の受信周波数の帯域幅 B_r (MHz)の部分だけが受信されて、パスル状のビデオ信号になり、指示器ブラウン管の映像上に掃引回数に等しい点数のSARTコードが表示される。視認性の良いSARTコードを得るために、各点が明るく大きいことが必要である。

(1) 各点の円周方向の広がり

SARTの応答波は、回転しているレーダーアンテナがSARTの方向に向いた時だけ、図3のアンテナの水平面指向性の幅 θ_r に飛び込

み、複数回受信される。SARTコードの各点は、この複数回のSART応答波の受信により、ブラウン管の電子ビームが蛍光膜のほぼ同じ箇所を複数回ヒットする（たたく）ことによる残像の物理的な積分効果で各点の明るさが増し、明りょうなコードとして表示される。

したがって、SARTコードの各点の円周方向の広がりは、このヒット数を決める、レーダーアンテナの指向性の幅 θ (°)の間に受信されるSART応答波の回数で決まり、式(1)で求められるのが多いほど、各点が明るい視認性の良い等間隔多点の映像が得られる。

式(1)の分子の、レーダーアンテナ θ が 2° 、レーダーパルス波の繰り返し周波数(PRF)が1kHz(1秒間に1,000パルス)、分母のレーダーアンテナの回転数(T :Turn)が10rpm(1分間に10回)であるとすると、 h (ヒット数)は33回になる。 θ の 1° 当たりの h が多いほど物理的な積分効果が大きく、図3に示すように、レーダーアンテナの回転とともに、ブラウン管の電子ビームもまたわずかずつ円周方向に移動しながら33ヒットとほぼ同じ部分の蛍光膜をたたくことになる。したがって、受信したSART応答波が弱くても、ブラウン管の輝度信号としてのパルス状のビデオ信号になるレベルである限り、明るいSARTコードの映像が得られる。

レーダーパルス波の繰り返しの間隔が $1,000\mu\text{s}$ ($1/\text{PRF}$)の場合は、SART応答波の継続時間Tpが図3に示すように $100\mu\text{s}$ であるので、単純計算で1台のSARTが、タイムシャーリングで最多10台の“多レーダー応答能力”を持つことになる。後述の当社製SARTサンプルに対して各国の主管庁が実施した評価試験の結果では、この多重応答により33回のうちの幾つかのヒットが抜けてもブラウン管の蛍光膜の残像の効果により、レーダー指示器上のSARTコードの視認性に変化がないことが確かめられている。

なお、 $1\mu\text{s}$ は、レーダー指示器の映像上の表示距離で150mの長さに相当する。したがって、SART応答波の継続時間 T_p が $100\mu\text{s}$ であるので、指示器ブラウン管に表示されるSARTコードの点列の長さは15km（約8海里）相当になる。 T_p を $100\mu\text{s}$ としたのは、常時使用されている船舶、航空機レーダーの観測範囲（レンジ設定）でも、できる限りSARTコードの全点が表示される等の視認性を考慮したもので、遭難通報が無い場合でも、遭難者発見のチャンスが増えることが期待できる。

一方、自己のレーダーパルスに同期していない他レーダーに対するSART応答波を受信した場合は、そのレーダーに対しては非同期のビデオ信号になるために、映像がブラウン管の半径方向にランダムに流れで蛍光膜の積分効果が得られず、「他レーダーに対する応答は表示されない。」ことも確かめられている。

(2) 各点の半径方向の長さ Wd

Wdは、レーダーの受信帯域幅Brを通過して受信されたSART応答波によってレーダー内で作られるパルス状のビデオ信号の等価パルス幅Te (Equivalent pulse width) で決まり、正確にはブラウン管の最小スポット径を加えた長さになる。

T_e は式(2)で求められる。

$$T_e = \frac{B_r \times T_s}{A_f} \quad (\mu\text{s}) \quad \dots \quad (2)$$

ここに、分子の T_{S} は図 3 に示すように、SART 応答波の直線周波数掃引の周期で $5 \mu\text{s}$ 、分母の Δf は、周波数掃引の幅 200MHz であり、 B_r を 20MHz とすると、 T_{el} は $0.5\mu\text{s}$ になる。

既述のとおり $1\mu\text{s}$ は 150m であるので、ブラウン管上のSARTコードの各点の半径方向の長さ W_d は、かなり大きい船からのエコー(反射映像)に相当する約 75m の長さに表示される。

なお、SARTの開発以前から灯台やブイ等に据え付けられて、船舶レーダーの映像上に識別用のモールス符号を表示して、航行を支援するレーダービーコン(RACON)では、 T_s が60s(秒)から150sの低速周波数掃引方式が採用されており、レーダーアンテナの10回転に1~2回程度の間欠表示をさせている。

このRACON方式と比較して、救命用途としてのSARTは、レーダー・アンテナの回転ごとにSARTコードを表示させる目的などで、既述の高速周波数掃引方式を採用しており、相手方となる現用レーダーの仕様や各国で分担した膨大な実験結果に基づき、正確には $T_s = 5 \mu s / 200 MHz$ とすることにより、救命用途としての数々の優れた特性を与えることができる。

この T_s を一定とすると、式(2)で明らかなように、レーダー受信器の帯域幅 Br が広いほど、表示される各点の半径方向の長さが大きくなり、視認性の良いSARTコードが得られることになる。比較的短距離の細かい目標を精密に観測するために、 Br が広い船舶用レーダーや航空機搭載の捜索用レーダーは、SARTによく適合する。

一方、積乱雲などを監視して乱気流を回避する目的で民間航空機に搭載されている気象用レーダーは、遠距離の目標をマクロに探知できる高感度の受信器とするために、式(2)の Br が 1 MHz以下等と狭く細い Te しか得られず、式(1)のPRFもまた100Hz等と捜索用レーダーに比べて1けた以下であり θ の 1° 当たりのヒット数が減り蛍光膜の積分効果も得られないで、SARTコードを表示することができない。

結論としてSARTは，“船舶用航海レーダーと航空機搭載の捜索用レーダーに有効”であるとともに，“民間航空機搭載の気象用レーダーを妨害しない”ことになり、いずれ多くの主管庁による当社製サンプルによる評価試験で確かめられている。

(3) 受信同期式応答の利点

レーダーパルス波を受信しない限り応答しないSARTの特長は、電流消費の多い送信を最小限にする電池を含む装置としての経済性の面に加えて、本質的には、限りある資源としての電波の有効利用につながる重要な側面を持っている。

また、送信機能だけのEPIRBに比べて受信機能を持つSARTは、既述の“受信同期”の応答によるレーダー指示器映像上のSARTコードに対する積分効果の利用に加えて、運用面でも様々な優れた特性を与えることができる。

一例として、SARTの応答期間だけ受信機能を抑止することにより、複数のレーダーが全く同一方位にあっても、1台のSARTがそれぞれのレーダーに対して明りょうに分離したSARTコードを表示できる「多重分離応答能力」を持たせることができる。また、この受信抑止は、旅客船の遭難などで至近距離にある多台数のSARTが同時に動作するケースでの「複数SART相互間のピンポン応答動作の抑止」にも利用することができる。

(4) SART応答波とレーダーの操作

SARTの国際的標準化の過程では、英国などから、レーダーパルス波の周波数をSART側で計測して同一周波数で応答する“周波数アジャイル方式”が提案されたこともあるが、装置が複雑高価になることやレーダー妨害や干渉に弱く、開発を断念した経緯がある。

一方、当社が開発した“受信同期式高速周波数直線掃引方式”に

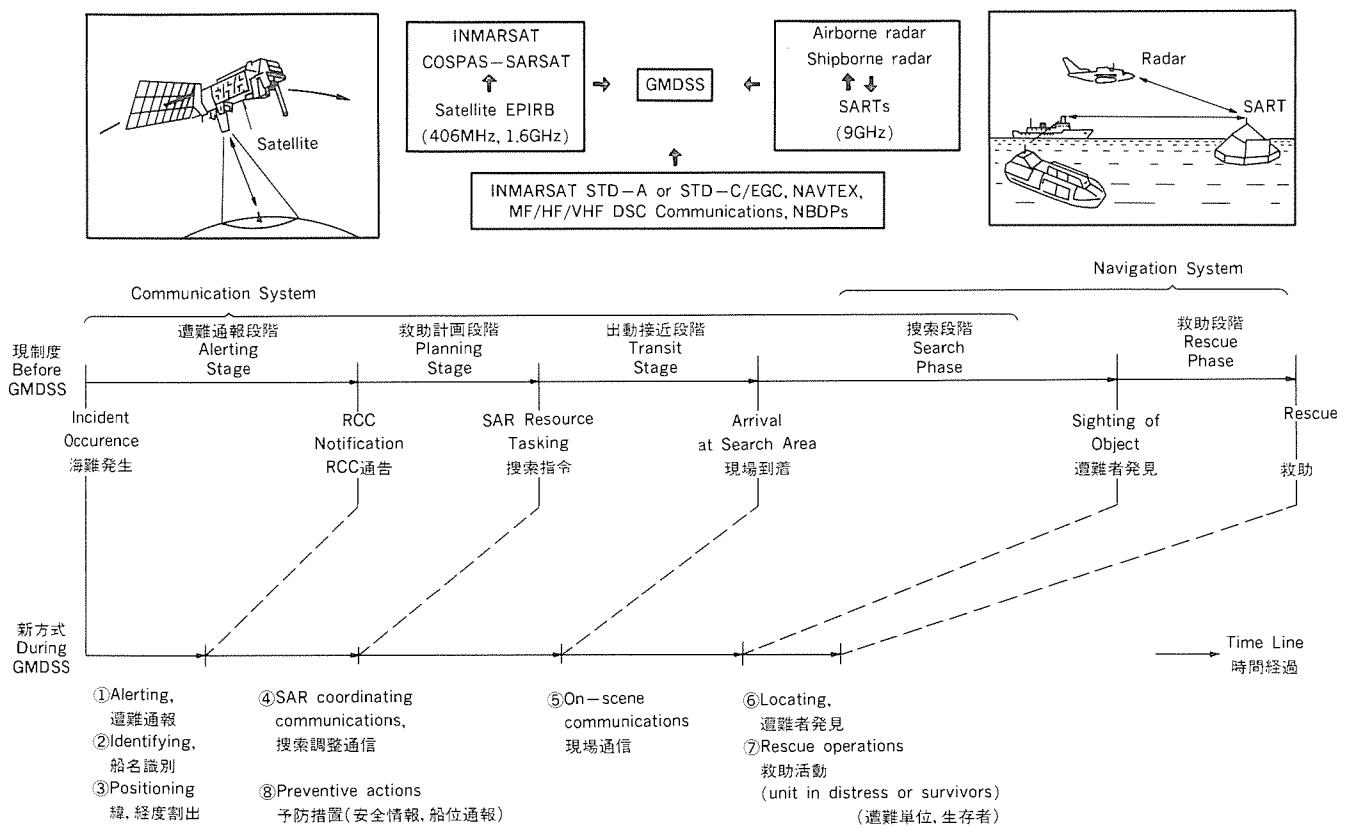


図4. 全世界的な海上遭難安全システムの概念

よるSARTは、前項までに報告した救命用無線装置としての優れた特性を持つほか、電子回路的にも簡単で、信頼性の高い経済的な装置として実現することができる。

また、当社方式のSARTは、応答波に9GHz帯レーダーのすべての周波数が含まれていることを利用して、簡単なレーダー側の操作により“映像上にSARTだけを表示”させることも可能である。一例として、船舶用航海レーダーによる検索において、荒天下での煩わしい海面反射の映像とSARTコードが重なって判別できない場合でも、指示器前面にあるツマミを回してレーダーの受信周波数をずらすことにより、レーダーパルス波と同一の周波数である海面反射は消えて、明確なSARTコードだけを表示させることができる。

このレーダーの操作は、送、受信の周波数を変えるヘリコプター搭載レーダーのビーコンモードと同じ原理に基づくものであり、当社方式によるSARTは、“レーダー干渉や妨害に強い”ことも確かめられている。

ITUの電気通信規則上の制約はあるが、陸地のエコーがレーダー映像全面に表示される山岳遭難の検索への適用を含めて、SARTは、陸、海、空いずれの検索活動にも適用できる可能性を持っており、既に英国では500台のSARTが、北海油田開発関連のヘリコプター等に搭載されて稼働中である。

4. SARTによるロケーティング

“ロケーティング”は、今回の改正SOLAS条約の第II章の用語の解説で“遭難者の発見”と定義されているが、従来は帰還の意味のホーミングと呼ばれていたものである。

現行のホーミングシステムは、遭難側での中波(MF)、短波(HF)、超短波(VHF)帶での遭難通信や生存艇用EPIRBなどの遭難通報のための送信電波に対して、検索側で無線方向探知器を使用し

て“方位”だけを標定し、最終的には双眼鏡による肉眼検索によりロケーティングする方式を探っており、小さな物標に対する夜間や濃霧などの視界不良時における遭難者の発見は不可能に近い状態にある。

SARTを使用する新しいロケーティング方式は、物標の大きさに関係ないレーダー映像上の明確なSARTコードにより、精度の高い“方位”に加えて“距離”的情報も得られ、視界不良時でも有効なレーダーの優れた機能をフルに活用する検索側にとっても効率的で安全性の高いシステムを構成することができる。

波長の短い9GHzの電波は、位置標定の精度が高い反面、光に似て直進する性質を持つため、レーダーによるSARTの探知は、両者のアンテナ間の見通し内に限られる。

後述するITU-CCIRの要望書draft Opinion BG/8に基づき、当社製のSARTサンプルを使用して日本、米、英、西独、北欧、ソ連などの多数の主管庁が実施し、CCIRやIMOに報告した評価試験結果による有効探知距離の要約は、以下のとおりであり理論ともよく一致する。

船舶用レーダーによる有効探知距離は、アンテナの海面高と地球の曲率との関連による見通し上の制約を受けて最大10海里程度である。また、船舶用レーダーによる検索救助活動の場合は、船橋で指示器映像上のSARTコードの変化を見て操船するだけで、至近距離の強電界で表示される図3のNdとして遭難者から150m以内まで近くことができる。この最小探知距離は、濃霧の北海やバルチック海で、救命いかだのマーカーランプを目視で発見するのに十分な距離である。

見通しが広くとれる航空機搭載の検索用レーダーを使用する場合の有効探知距離は、飛行高度、レーダーアンテナのチルト角、受信器の帯域幅などで大幅に変化し、1987年にデンマークが主催し、西

独、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、フィンランドなどの主管庁が参加して行われた評価試験で最大60海里、英国の例でも57海里の有効探知距離が得られている。

5. GMDSSとSART

SARTをロケーティングの唯一の手段とするGMDSSは、船舶が地球上のどんな海域を航行していても、“海難予防措置”としての安全情報の受信や船位通報ができる、不幸にして海難が発生した場合は、自動化された衛星EPIRBなどを使用する遭難者からの遭難通報により陸上に位置する「救助調整本部が統括、指揮する搜索救助活動」が展開できる、効率的な地球的規模のシステムの獲得を目的としている。

救助調整本部（Rescue Coordination Center : RCC）が統括し、一般船も参加する国境の垣根を外した組織的な搜索救助活動を支える手段として、GMDSSでは、最新のエレクトロニクス技術が投入されている。

図4に概念を示すGMDSSは、平常時に遭難を未然に防止するための“安全情報システム”，海難発生時に遭難者が行う“遭難通報システム”，RCCと搜索指令を受けた搜索救助単位相互間で交信する“搜索調整通信システム”及び救助者が遭難現場の洋上で遭難者とランデブーするための“救助航行システム”で構成されている。

5.1 安全情報システム

安全情報システムは図4下段⑧の予防措置に関するもので、現行の無線通信士のスキルに頼るモールス符号の解読や聴取義務による運用方式を改めて、ディジタル選択呼出装置(DSC)，狭帯域直接印刷電信装置(NBDP)等による自動通信を主体としている。

このシステムには、全世界共通の周波数を使用する英語や母国語での航行警報、気象通報、海象情報を提供する航行警報テレックス(NAVTEX)や、RCCに対する定期的な船位報告を行う安全通信などが含まれている。

したがって、一般船舶は、海難を未然に防止するために必要な情報を隨時入手できるとともに、RCCは、担当海域における船舶の航行状況を常時把握して、いったん事ある時は遭難現場に近い船舶に指令して素早く効率的な搜索救助活動を展開することができる。

5.2 遭難通報システム

図4の①、②及び③に使用する通信システムであり、現在の主な情報ルートが船乗り同志の助け合いをベースにした船舶相互間の“船間通信”であるのに対して、GMDSSでは、衛星の利用を主体とした通信を利用することにより、遭難船から陸上のRCCへ、RCCから搜索指令を受けた救助船へなどの“船舶対陸上”的情報ルートを中心としたシステムになる。

遭難者による①の遭難通報は、②の船名識別符号をあらかじめ書き込み済みの衛星EPIRBなどを使用して行われ、この通報を受けたRCC側で搜索救助計画の立案と搜索指令に必要な、③の遭難海域のポジショニング（緯度、経度の割り出し）が、以下の二つの方法のいずれかで行われる。

(1) 406MHz衛星EPIRBの場合

全地球表面に有効な地上900km程度の極軌道周回衛星(COSPAS-SARSAT衛星)対応のブイ型406MHz衛星EPIRBを遭難通報に使用する場合は、高速で周回する衛星側で受信するEPIRBの送信電波のドップラー効果を利用して、③の緯度、経度の割り出しが行われる。この原理によるポジショニングの精度は半径5km以内程度であ

り、近傍に漂流する遭難者のロケーティングやEPIRB自身の回収の目的で、一部の国でこの衛星EPIRBへのSARTの組み込みが計画されている。

この方式は、衛星が遭難海域を通過するごとに更新されたポジショニングができる利点を持つが、衛星の高度が低いために、衛星が周回して陸上局(LUT)の上空で遭難情報を転送するまでの間、RCCに対する①、②の遭難通報が遅れる欠点がある。この遅延時間は、衛星やLUTの数、地理的配置で変化して、最大3時間程度である。

(2) 1.6GHz衛星EPIRBの場合

赤道上36,000kmの高高度に静止しているINMARSAT衛星対応のブイ型1.6GHz衛星EPIRBを遭難通報に使用する場合では、極点に近い静止衛星が見えない高緯度海域を除き、①、②の遭難通報は直ちにRCCで受信され、素早い通報ができる利点を持つ。

しかし、この方式での③のポジショニングは、遭難した船舶に搭載されている航海用の測位装置による遭難時点での緯度、経度情報をEPIRBに書き込んだ後で海面に投下して、①、②、③を同時に送信する方法になり、救助されるまでの期間中の漂流による緯度、経度の変化に対する更新ができない欠点を持っている。

1.6GHz衛星EPIRBに対するIMOの性能要件では、③のポジショニングの更新の手段を持たない場合には、⑥のロケーティングのためにEPIRBへのSARTの組み込みが要求されている。

5.3 搜索調整通信システム

遭難通報で海難発生を知ったRCCは、①、②、③の情報と、⑧の予防措置に含まれる船位通報制度により常時把握している担当海域内の船舶や航空機による搜索救助ユニットを編成して、④の搜索調整通信システムにより搜索救助を指令し、⑤の近くまで誘導する。

この搜索指令や調整のためには、INMARSAT衛星系や中波(MF)、短波(HF)帯による通信が使用されるが、MF/HF帯の通信は、昼夜の電離層の変動等の影響を受けて、通信の信頼度の面で衛星通信に比べて劣る部分がある。信頼性の高いINMARSAT系による衛星通信には、今回新しく簡便で経済的な標準C型船舶地球局(STD-C)や高機能グループ呼出装置(EGC)が導入されて効率化が図られるとともに、安全情報システムにも使用される予定である。

なお、遭難現場付近まで到着した搜索救助ユニット間及び遭難者との相互間の⑤の現場通信は、近距離で確実な通信ができる超短波(VHF)の双方方向無線電話器を使用して行われる。

5.4 救助航行システム

救助船は、現場通信により連絡をとりながら、遭難者のSARTを相手方とするレーダー搜索を開始し、レーダー指示器上のSARTコードの変化により操船して⑥のロケーティング(遭難者の発見)を行い、最終的には⑦の救助活動が行われることになる。

科学技術の進展とともに、1.6GHz衛星EPIRBに③を入力するための船位測定、あるいは救助側の自船位置の把握のための手段として、高精度のGPS(Global Positioning System)などが実用化されつつある。しかし仮に、EPIRB側、救助側共に正確なポジショニングが可能であっても、海難の多い荒天下や視界不良時の搜索において、海図による照合だけで救助船を操船して洋上で遭難者とランデブーすることは至難の業である。

新しく開発された無線方向探知機による衛星EPIRB電波の直接標定などの代替案を含む各種のホーミング/ロケーティング方式に対して、各国主管庁が分担して比較実験が行われた結果、搜索側に新規設備を要しない経済性も合わせて、GMDSSにはSARTとレー

ダーによるランデブーの方法が採用された。

GMDSSの特長は、平常時における海難予防のためのNAVTEXなどによる安全情報システムの充実と、海難発生時前半の衛星EPIRBを使用する遭難通報システム及び捜索救助段階後半のSARTとレーダーによるロケーティングシステムにあると言える。

6. SARTの開発と国際的標準化の経緯

SARTの開発に当たっては、“電波の効率的利用”的観点から、新規の周波数は対象とせず、相手方捜索側設備として既に普及しており、使用波長が短く位置標定精度に優れた9GHz帯のレーダーを対象とした“レーダートランスポンダ”の実用化を目標とした。

また、いかに“ロケーティング性能”が優れたシステムであっても、生産財でない救命用無線設備としての性格から、途上国の支持を得て全世界的な普及を図るために、コストもまた装置の仕様の一つであるとの観点に立って、被捜索側、捜索側双方の経済的負担を抑え得る“コスト有効性”的高い方式の開発を目標とした。

既に紹介したSARTとレーダーによる優れたロケーティング機能は、レーダーの持つ卓越した位置標定能力によるものであり、SART自身は、レーダーパルス波の反射による通常エコーよりわずかに強い応答波を送信するだけで十分であり、設備費、維持費共に経済的な装置とすることができる。

SARTの開発から国際的標準化に至る経緯の概要は以下のとおりであり、IMOによるSART装置としての“用途の承認”，レーダー映像上の“SARTコード”的設定に始まり、評価試験の結果に基づく、ITUでの“電気的技術要件の決定”，“国際電気通信規則上での位置付け”並行するIMOによる“運用上の技術要件の決定”，“搭載要件の設定”，“捜索マニュアルの改訂”に至るまでの広範囲にわたるテーマを漏れなく処理した展開になっている。

(1) 昭和49年：(社)日本舶用機器開発協会の継続開発事業に参加。ロケーティング用途としての機能、寸法、重量面及びコストの面で問題のあった送信機能だけを持つガンディオード発振器のあい(隘)路打開のために、新しく受信器を附加したレーダートランスポンダ方式として開発を開始した。

(2) 昭和52年：(社)日本造船研究協会委員として、レーダー映像の混乱を避けるためにレーダービーコン／トランスポンダの用途を見直し中であったIMOの第19回航行安全小委員会(19th NAV: Sub-Committee on Safety Navigation)に寄与文書を提出。救命用途としてのSARTが技術面、経済面共に実現可能である旨を報告し、日本における開発状況を紹介した。

(3) 昭和52年：IMOの要請により、郵政省の支援を得て運輸省が中心となり(社)日本舶用機器開発協会の開発事業として、海上保安庁の巡視船艇による救命いかだ用SART原型の海上評価実験を行うとともに、電算機シミュレーションにより実験不能な荒天下における性能の推定を行い、昭和53年にIMOへ報告。

(4) 昭和55年：IMOの第11回総会(11th Assembly)で決議書Res.A.423(II)“Radar beacons and transponders”が採択され、主管庁が許可した場合の条件付きでSARTが“用途承認”された。

(5) 昭和56／57年：コストダウンのために、技術革新によるマイクロ波トランジスタを使用した小型船用自己浮遊型(フロートフリー)SARTを自主開発し、国際会議への寄与文書を起案。

(6) 昭和58年2月：ジュネーブITUの移動業務に関する世界無線通信主管会議(WARC-MOB-83)にSARTの開発状況に関する寄与

文書を提出。結果としてCCIRに対して「SARTの技術的研究を指示する勧告」Rec.713(MOB-83)“Relating to use of radar transponder for facilitating search and rescue operation at sea”が採択され、ITUによるSARTの検討が開始された。

(7) 昭和58年11月：IMOの第13回総会で、決議書Res.A.530(II)“Use of radar transponder for search and rescue purposes”が採択され、レーダー指示器上の“SARTシンボル”が、日本の提案をベースにした等間隔多点列方式として決定した。

(8) 昭和59年5月：ITUのCCIR中間会議に、開発したSART原型と評価試験結果の概要に関する寄与文書を提出し、CCIR報告Report 775“Frequency requirements for shipborne transponders”に編入された。また、同時に日本提案に基づき、SARTの「電気的技術特性勧告素案」draft Rec.AE/8“Technical characteristics for search and rescue radar transponders”及びこの素案によるSARTの各国主管庁による評価試験の実施とIMOに対するGMDSSのロケーティング手段としてのSARTの検討を要請する“要望書案”draft Opinion BG/8“Radar transponder for search and rescue purposes”が採択された。

(9) 昭和59年9月：GMDSSを審議中であったIMOの第28回無線通信小委員会(28th COM: Sub-Committee on Radiocommunications)に、唯一のSART開発、サンプル提供国としての日本から寄与文書を提出。SARTの装置概要、SARTを相手方とするレーダーロケーティング方式の概念、日本における評価試験の中間結果などを報告。この会期からIMOによるGMDSSへのSART組み入れの審議がスタートした。

(10) 昭和60年：CCIR中間会議のdraft Opinion BG/8に基づき、draft Rec.AE/8の電気特性の当社製SARTサンプルにより、米、英、西独、北欧、ソ連など多くの主管庁による船舶、航空機レーダーを使用した評価試験が行われ、結果は各国からIMOと後述のCCIR最終会議へ報告された。この報告とともに、SART方式の代替案としてカナダ等から提案されていた406MHz衛星EPIRBの電波を、新しく開発された無線方向探知器によりホーミングした実験結果などを併せて報告されている。

(11) 昭和60年10月：IMOの30th COMに対して、各国の評価試験結果に基づき、SARTの航空機用レーダーに対する有効距離を伸ばす目的で、draft Rec.AE/8の受信感度等の改良に関するCCIR関連寄与文書を提出。この会期で、現在の無線方向探知器によるホーミング方式に変えて、“GMDSSではSARTによるレーダー捜索方式を唯一のロケーティング手段とする”IMOの基本方針が決定した。

(12) 昭和60年11月：ITUのCCIR最終会議にIMOで調整済みのdraft Rec.AE/8の改訂に関する寄与文書を提出。各國主管庁による当社製SARTサンプルの評価試験結果のReport 775への編入(後日Rep.1036“Frequencies for homing in the FGMDSS”を新設)と、日本提案どおりのSARTの「電気的技術特性勧告」最終案が採択された。この勧告案は、昭和61年のCCIR総会において、Rec.628“Technical characteristics for search and rescue transponders”として正式に決定した。

(13) 昭和61年4月：IMOの31st COMに、406MHz衛星EPIRBに対するSART組み込みの技術的可能性を実証する実験結果の寄与文書を提出した。

(14) 昭和61年11月：新しいCCIR勧告とIMOの性能要件に基づく生存艇用SARTの性能の確認及び国際民間航空機関(ICAO: Inter-

- national Civil Aviation Organization) の民間航空機に搭載されている気象用レーダーへの干渉懸念の解決の目的で、郵政省の支援の下に運輸省による(社)日本造船研究協会の昭和61年度事業としての大規模な海上評価、実証試験が行われた。運輸省航空局の飛行検査機、海上保安庁の捜索用航空機、巡視船艇及び多数の定期路線の民間航空機が参加したこの実証試験の結果により、理論どおり、SARTは航空機の気象用レーダーに妨害を与えないことが確認された。
- (15) 昭和61年12月：IMOの32nd COMに上記の気象用レーダーに対する実証試験結果を報告するとともに、SARTの救命いかだ、救命艇、本船などに対する搭載に関する技術寄与文書を提出。文書に対応した装置サンプルや船舶、航空機のレーダー映像上のSARTコードのビデオによる紹介などを行った。
- (16) 昭和62年4月：IMOの第54回海上安全委員会(54th MSC : Maritime Safety Committee)へ、日本が実施した前記のICAO関連の実証実験結果を正式に報告し、SARTは民間航空機の気象用レーダーに無害とする日本提出の公式レポートは、IMO事務局からICAO事務局に送付された。
- (17) 昭和62年6月：IMOの第19回救命捜索小委員会(19th LSR : Sub-Committee on Life-saving, Search and Rescue)に、生存艇用SARTの適用例に関する技術寄与文書提出。装置サンプル実物の紹介や船舶、航空機レーダーによる捜索方法の概念を写真やビデオにより報告した。
- (18) 昭和62年7月：IMOの33rd COMに、多台数の生存艇用SARTが至近距離で同時に動作した場合のSART相互間のピンポン応答の除去に関する技術文書を提出。生存艇SARTが、現SOLAS第III章の生存艇用レーダー反射器の同等品扱いとする決定が行われた。
- (19) 昭和62年8月：上記同等品扱いに関連し、デンマークが主催して、西独、オランダ、スウェーデン、ノルウェー及びフィンランドなどの主管庁が参加する12台のMELSART-Rによる多台数、至近距離同時動作実験が、グレートベルト海域で行われた。多数の船舶、航空機レーダーによる実験結果は、IMOと運輸省によるGMDSSに関する東京セミナーで、西独から発表されたが、同時動作には問題なく、航空機レーダーによる捜索で有効到達距離60海里の理論どおりのデータを得ることができた。
- (20) 昭和62年10月：ITUの1987年のWARC-MOB-87に参画し、SARTに対する国際電気通信条約付属の無線通信規則における周波数割当の新設(第8条 RR 823 A)、遭難安全通信の規則上での位置付け(第38条 N 3002 M, 第39条 N 3195 N他)などのすべての手続きを完了した。
- (21) 昭和62年11月：第15回IMO総会で、日本が起案し昭和60年の30th COMから継続審議中であった「生存艇用SARTの性能要件」が総会決議書Res.A.604(15) "Performance standards for survival craft radar transponder for use in search and rescue operations"として採択された。このIMOの性能要件は、装置の操作性、対環境性能、電池の持続時間など、運用側として必要な技術要件を定めたもので、電気的特性に関してはITUのCCIR Rec.628を引用した内容になっている。
- (22) 昭和63年1月：IMOの34th COMでSOLAS条約改正草案が審議され、NAV, LSR小委員会関係との整合、本船用SARTの明確

化、捜索側レーダーの装備要件の見直し等を行った。

(23) 昭和63年6月：20th LSRに対して、IMO捜索マニュアル等への編入の原案として、SARTを相手方とする「船舶、航空機レーダーによる捜索方法」に関する寄与文書を提出した。

(24) 昭和63年11月：IMOの1974年SOLAS条約締約国会議において、SARTを遭難者発見の唯一の手段とする“GMDSS”が採択され、今後長年にわたって全世界の捜索救助活動に適用される「SARTの国際的標準化を達成」することができた。

以上の歴史的経緯が示すとおり、全く新しい装置やシステムを開発し、国際的な合意を得て世界的な標準とするためには、長い年月をかけて、関連する国連の専門機関を通じての提案、検証、技術協力などに対する地道で漏れのない寄与活動が必要である。

この平成元年2月には、欧州郵便電気通信主管庁会議(CEPT)から分離したヨーロッパ電気通信標準機関(European Telecommunication Standards Institute : ETSI)の要請によりRES-1作業部会に参画し、加盟国主管庁のSARTに対する統一規格、型式承認試験方法、電池の廃棄に至るまでの保全方式の設定に協力した。

この例が示すように、新しいシステムに対する取り組みには、文字どおり「ゆり籠から墓場まで」を対象とするすべての課題に対する寄与活動が必要であり、処理の効率化と国際的な協調のためにも、CCIRのOpinionなどの制度を活用して、広範にわたる課題を各国が分担して処理する国際的な参画意識こう揚の場の設定もまた重要である。

7. む す び

原型から十年以上を費やして当社が開発したSARTは、GMDSSが受皿となり、IMOのSOLAS条約やITUの国際電気通信規則に組み込まれて、国際的な標準化を達成することができた。

夜間や濃霧時でも有効なレーダーの性能をフルに引き出すことができるSARTは、捜索救助活動を効率化して“救助率の向上”に寄与するとともに、機能の持つ双方向性を生かして遭難者を励ますことにより生きて助かる“生存率の向上”にも役立つものと期待される。

長年にわたる当社製SARTサンプルに対する国際的な評価試験は、船舶用レーダーによる評価、航空機用レーダーに対する適合性と妨害の解析、厳冬期における荒天下での評価、多種レーダーや多台数SARTの同時動作の影響解析など、それぞれ目的別に各国主管庁が分担して効率良く行われた。

試験結果は、それぞれIMO、ITUの場に持ち寄り、技術規格の改善や搭載要件、保守の方式、レーダー捜索方法の設定などに効果的に反映された。“人命尊重”の旗印の下に国連の専門機関に集まり、国境の垣根を越えて共に考え、共に試験した「参画意識と国際的協調」が、途上国も支持したコスト有効性の高い優れたSARTシステムを生み出したものと考えている。

終わりに、SARTの国際標準化に御尽力いただいたIMO、ITU事務局、関連国際会議の議長、日本及び各国の運輸、郵政関係主管庁、審議会、団体、学会、研究所の関係者各位に敬意を表するものである。

天神MMビル納め映像情報システム

峯友清博* 吉富徳典** 岩端勝義**

1. まえがき

近年、大都市を中心に国内各所で、都市再開発、ビル建設が盛んに進められている。情報処理技術、通信技術の進歩により高度情報化時代を迎え、これら建設分野でも情報システムのインテリジェント化が求められ、快適な環境サービス、業務を支援する各種サービスなどを目的とした情報システムの要求が増えてきている。例えば、オフィスビルにおいては、OA機器をLAN(Local Area Network)で結んだ統合化システムやTV会議システムなどの導入により業務の効率化を図っている。また、物販等の商業ビルにおいては、CATV(Cable Television)やビデオテックスなどの映像システムに音響システムを組み合わせ、広告・館内情報の提供、BGM(Background Music)的なオーディオビジュアル情報による雰囲気づくりなどにより、顧客獲得を行っている。

このような状況の中で、Inter Media Station(情報発信基地)を目指し、最新商業ビル 天神MMビル(愛称“イムズ”)が、1989年4月、福岡市にオープンした。このたび、このビルの情報発信の中核となる映像情報システムを納入したので、その概要と特長について報告する。

2. 天神MMビルと館内映像情報システムの役割

天神MMビルは、八角形の外壁にゴールドタイルを張ったモダンな外観を備え、図1に示すような地下4階、地上14階の建物である。内部には、商業ビルとして日本最大の40mアトリウム(吹き抜け空間)を持ち、三菱電機㈱を始め大手メーカーのショールーム、カルチャーセンター、TVスタジオ、四つのイベントスペースなど物を売るだけでなく、情報やサービスを提供するテナントや設備を持つ。このビルにおける映像情報システムの主な役割は、以下のとおりである。

(1) 最新情報を効果的に発信

ショールームやイベントスペースからの情報発信をダイナミックに展開し、来館者へリアルタイムに提供する。

(2) 各フロアへの誘引

ショールームやイベントスペースなど、フロアごとに豊かな情報との接触空間があり、それらへの誘引を促進する。

(3) 40mアトリウムの演出

アトリウムを音と映像で演出し、人々が集うコミュニケーションスペースを創出する。

3. 映像情報システムの概要

3.1 システム構成

館内の豊富な情報を音と映像により、イベント性・回遊性を持たせて来館者へ提供できるように、図2に示すシステムを構築した。このシステムは、館内情報を収集するカメラ・マイク、それらの情報の処理や独自の情報を生成するビデオシステム、音響システム

と各フロアに情報を提供するCATV、大型映像表示装置、スピーカーで構成される。

3.2 特長

このシステムの特長は次のとおりである。

(1) 各フロアの情報収集

各フロアに設置したAV接続盤(映像・音声入力端子)やカメラによりライブな情報を収集する。

(2) 各フロアへの情報提供

各種サイズのTV、大型映像情報装置、スピーカーを組み合わせ、各フロアへ効果的に情報を提供する。

(3) アトリウムへの情報提供

大型映像表示装置を、40mアトリウムの地下2階から8階まで昇降させ、迫力ある映像にイベント性を持たせて情報を提供する。

(4) アトリウムの空間演出

大型映像表示装置の昇降に連動させ、アトリウムに取り付けたスピーカー出力を制御する。また、館内設備である調光システムも連動し、音と光と映像の空間を演出する。

4. システムからの発信情報

このシステムから発信される情報は、図2に示されるように8階主操作室すべて集約され、各表示メディアを集中制御することにより提供される。本章では、8階主操作室を中心に情報の入力・処理・表示に関する各パートの機能について説明する。

4.1 主操作室への入力情報

館内・外の情報を、以下の機器により主操作室へ送信できる。

(1) 3台の常設カメラ

(a) 屋上カメラ

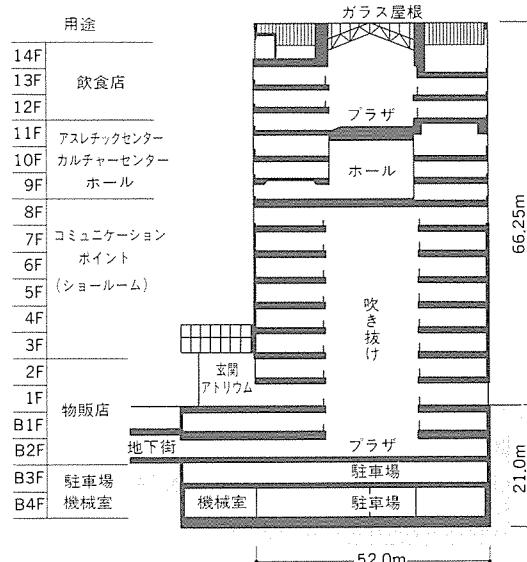


図1. 天神MMビルの構造

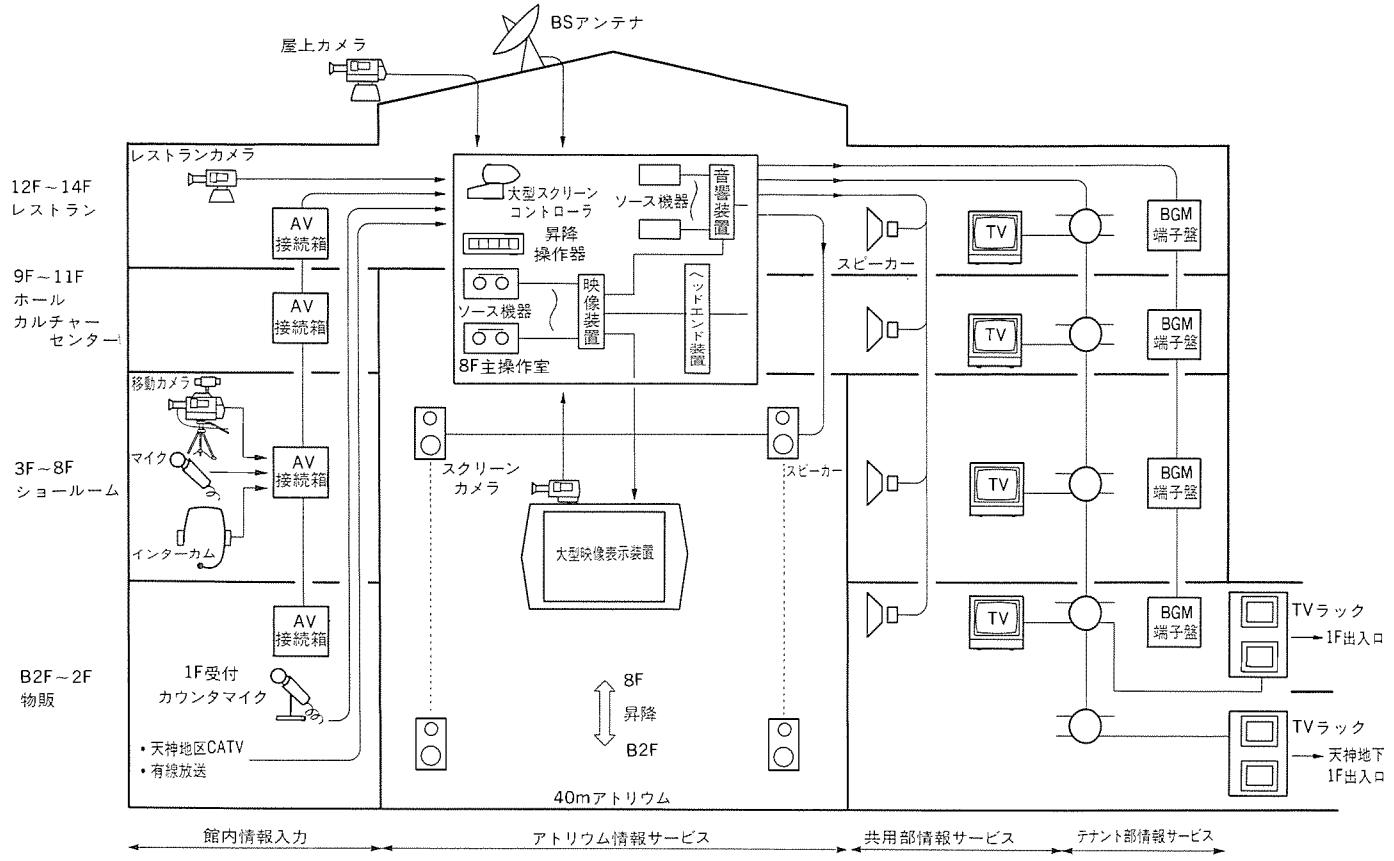


図2. 総合システム系統

420mmレンズを取り付けたカメラで、屋外の風景を実写する。

ヒータやワイパを取り付けた全天候型なので、お天気情報用として使用する。

(b) レストランカメラ

12階アトリウムに取り付け、レストランゾーンの風景を実写する。

(c) スクリーンカメラ

大型映像情報装置の上部に取り付け、スクリーンの昇降により、地下2階から8階までの各階風景を実写する。

以上のカメラは、すべて主操作室からリモート制御ができる。

(2) AV接続盤

各階フロア、ホールなど全館39箇所に、映像・音声・インターラムの端子を持つAV接続盤を取り付け、イベント情報をリアルタイムで送信できる。

(3) BSアンテナ

衛星放送をサービスするため、屋上にBSアンテナを設置している。

(4) 天神地区CATVと有線放送

商用放送、地域情報をサービスするため、天神地下街でサービスされている地域CATVと有線放送を地下街から引き込んでいる。

4.2 主操作室

8階の主操作室には、館内の各フロアからの情報と操作室内での情報を大型映像表示装置や館内CATV、スピーカーへ送信するビデオ機器、音声機器、ヘッドエンド装置から構成される操作卓、収納架を設置している(図3参照)。

操作室のシステムは、図4に示すように各階情報やVTR(Video Tape Recorder)の情報を各系統に送出するビデオ系、ビデ

オ系からの信号をCATVへ送出するヘッドエンド系、大型映像装置制御系、音声系の4系統を効果的に接続し、音と映像の演出制御や操作性の向上を図った構成としており、それを以下に説明する。

4.2.1 ビデオ系統

各階フロアやイベントホールなどから受信した39系統の映像・音声信号をパッチ盤により6系統選択し、カメラ信号、操作室内映像機器出力信号とともにビデオスイッチャーに入力している。スイッチャーは、これらの信号から、CATVの自主放送チャンネル用に6出力、大型スクリーン出力、音声系出力を各々選択して送出する。ビデオ系の特長は次のとおりである。

(1) 豊富な映像機器

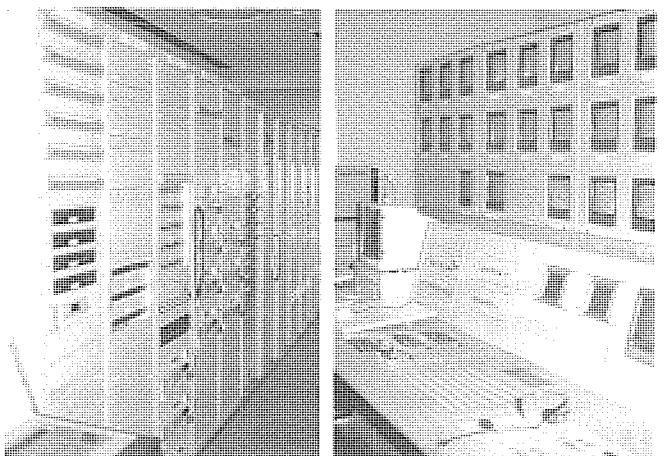


図3. 8階主操作室

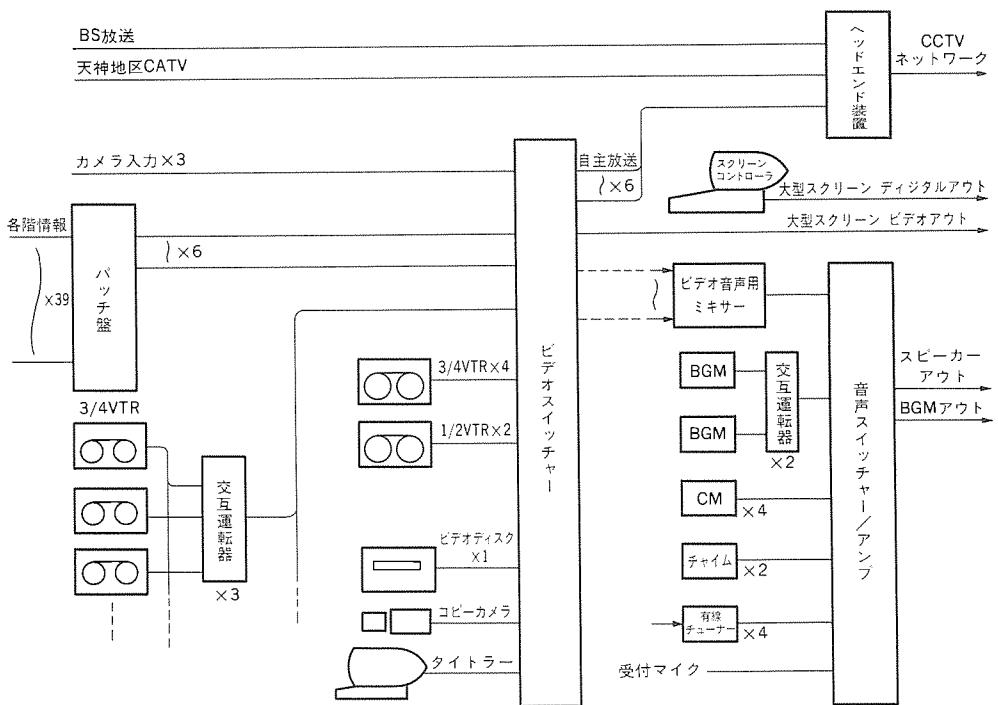


図4. 8階主操作室のシステム系統。

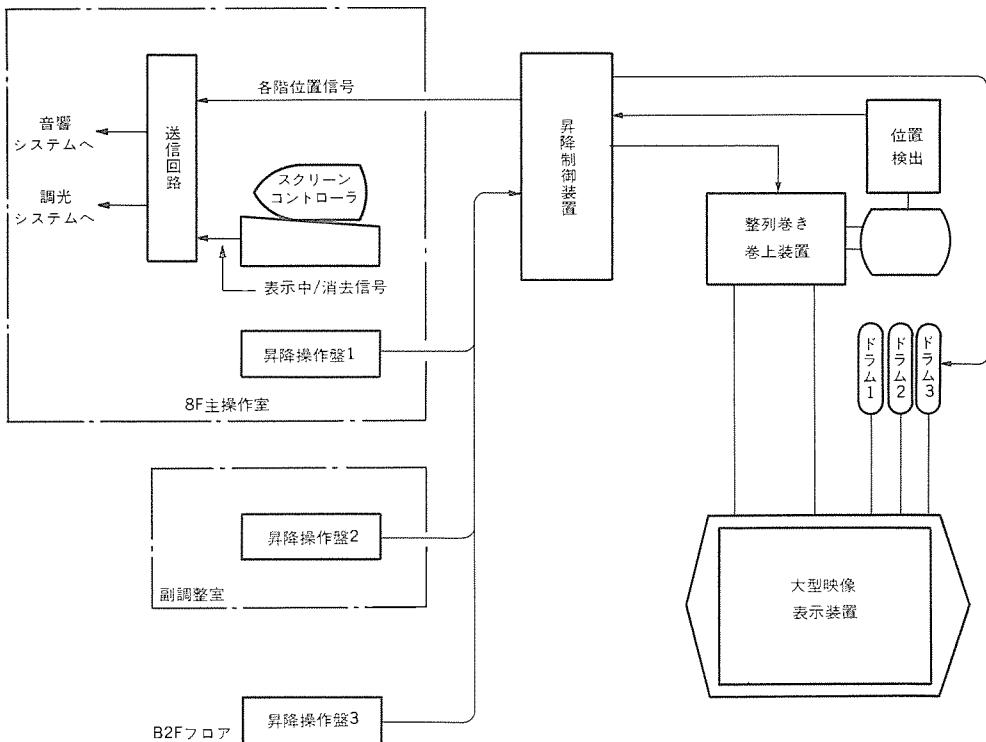


図5. 大型映像表示装置の昇降制御回路

1/2インチVTR, 3/4インチVTR, ビデオディスクなど、国内標準規格の豊富な映像機器を備え、テナントからの広告ソフト、レンタルソフトなど各種ソフトに幅広く対応できる。

(2) VTRの自動運転

切れ目のない映像を連続して送出できるVTRの自動交互制御を3系統、さらにこの出力に同時に割り込み、一斉同報を行うVTRをプログラムタイマーで制御しているので、オペレーターの負荷が軽減されている。

(3) イベント対応パッチ盤

各フロアに取り付けたAV接続盤のほかに、TVスタジオ、ホール調整室、イベント用副調整等と専用回線を引きパッチ盤へ接続しているので、イベントに対応した接続が可能である。

4.2.2 ヘッドエンド系統

天神地区CATV (VHF帯10波) と衛星放送にビデオ系からの信号をMID帯6波に変調・混合し、CATVネットワークへ送出している。ビルの閉館後のTV利用を考慮し、以上の再送信系機器と自主放送系機器の機器電源を分け、再送信の映像は常時利用できるようになっている。

4.2.3 大型映像表示装置制御系

大型映像表示装置には、ビデオ系からの映像信号とスクリーン コントローラからグラフィック・文字などのディジタル信号が送信される。スクリーン コントローラは、文字・グラフィックの登録・表示のほかに自動送出機能を持ち、タイムテーブルに添った自動運転が行える。また、図5に示す昇降制御回路により、40mアトリウム内で、大型映像表示装置を昇降することができる。以下に、その特長を述べる。

(1) 吹き抜けを囲む回廊への情報提供

昇降操作盤からの操作により、エレベーター同様、指定階までの自動昇降が可能で、また表示しながらの昇降もできるので、高さ40mの吹き抜け空間のどの位置にも迫力ある映像情報の提供が可能となっている。

(2) 世界初の空間演出

大型映像表示装置の昇降位置と表示中の信号に合わせ、アトリウムスピーカーの出力制御と照明の調光制御を連動させ、吹き抜け空間を音と光と映像で演出している。

(3) 3箇所からの昇降制御

日常の操作は主操作室、イベント時は地下1階の副調整室、メンテナンス時は地下2階からと3箇所から操作することができる。

4.2.4 音声系

ビデオ系から送られた音声信号と各種音声機器からの信号を、各階フロア系、トイレ系、吹き抜け系など合計38系統のスピーカーへ送出する。また、テナント内のBGMサービス用として、これら音声ソースの中から選択して6チャンネル出力することができる。その特長は次のとおりである。

(1) 自動運転

BGM演奏器は、交互運転を自動化し切れ目のない音声を送出、CM演奏器とミュージックチャイムはプログラムタイマーによる制御を行っているので、日常の運転を自動で行える。

(2) 有線放送の再送信

天神地下街の有線放送を受信し、テナント内BGM用として再送信できる。

(3) 映像と連動した音声出力

大型映像表示装置の昇降に連動し、各階の回廊スピーカーとアトリウムスピーカーの出力制御を行うことで、映像システムからの音声を送出することができる。

4.3 館内への情報発信

館内へ情報を発信するメディアは、横4.2m、縦3.1mの大型映像表示装置、各種サイズのTV34台、スピーカーが261台である。また、テナントサービス用としてCATV出力端子とBGM出力端子盤が準備されている。以下に各メディアの特長と効果を説明する。

(1) 大型映像表示装置

大型映像表示装置には、フラットマトリクスCRTを発光素子とする高輝度・高解像スクリーンを使用し、2本のワイヤロープで8階天井からつ(吊)り下げ、毎分10mの速度で40mの昇降ができる。また、大型映像表示装置は、奥行き25cmと薄く、ユニークな設置方法と合わせ、アトリウムの美観を一層高めている(図6参照)。

この表示装置により、地下2階のフロアから8階までの各階回廊に集う来館者へ、各種情報を臨場感あふれる映像で提供できる。

(2) CATV

VHF帯、1GHz帯の伝送が可能な幅広い伝送帯域を持つネットワ

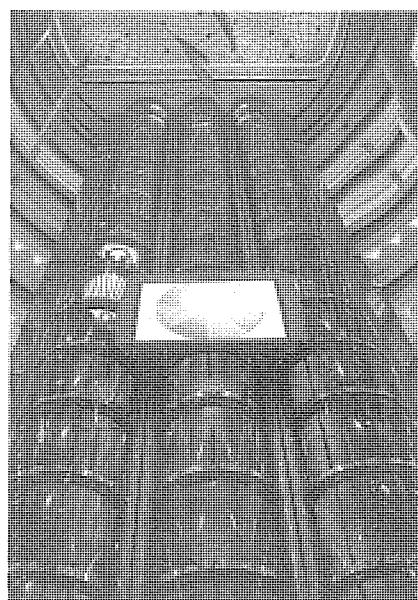


図6. 大型映像表示装置

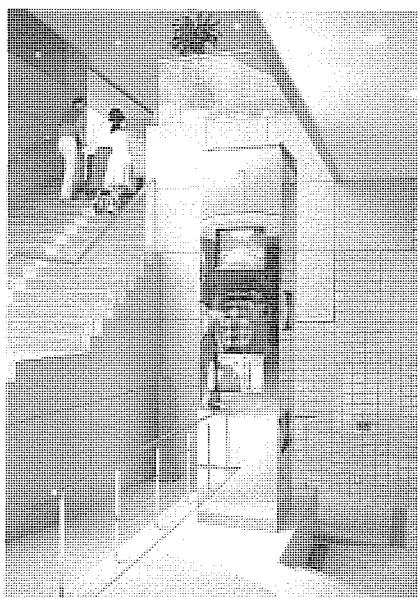


図7. 天神地下入口のTVラック



図8. 壁埋込みTVラック

ークを館内に張り巡らし、テナントが利用できる出力端子を準備している。共用部には、放映内容を考慮して8インチから33インチま

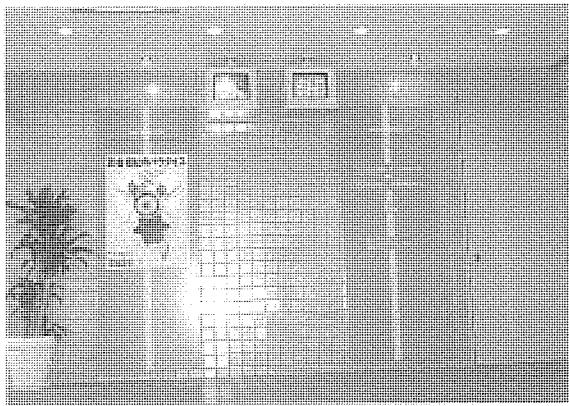


図9. 天井吊り下げTVラック

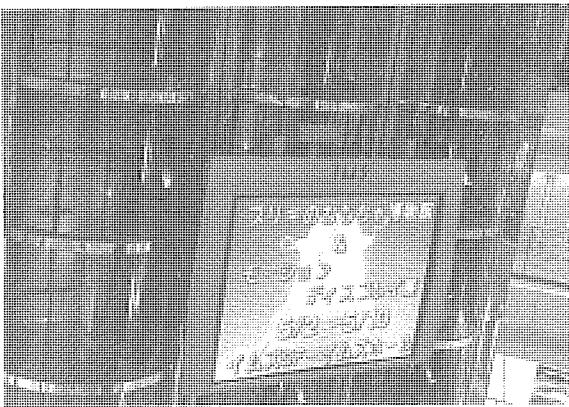


図10. 大型映像表示装置の表示例

でのTVを、ファッショナブルなTVラックに設置し、情報提供と併せて各階フロアの雰囲気づくりに貢献している。例えば、天神地下入口には図7に示すような高さ3m以上のTVラックを置き館内への人の誘引を促進し、各階フロアには図8、図9に示すような天井吊り下げ、壁埋込みラックに取り付け、環境映像や館内案内などの情報により来館者を引き付ける。

(3) スピーカーとBGM端子

屋上に7Wホーンスピーカー4台、各階フロアに3W天井埋込みスピーカー237台、アトリウム部大型映像装置の両サイドに地下2階から8階まで各階2個のコラムスピーカーを壁に埋め込み取り付けている。各スピーカーは、主にBGMの送出として使用されているが、アトリウムスピーカーや回廊部スピーカーでは、吹き抜け構造の音響効果を生かした音声や映像と連動した音声を流す演出用としても使用される。このほか、各階フロアの天井裏には、6系統のBGMを送出する端子盤が準備され、テナントが利用できるようになっている。

5. 現状の運用

以下に、現在のこのシステムの運用について、簡単に紹介する。

(1) オペレーション

朝10時から夜8時までの運営時間を、5人の女性オペレーターが2人ずつの2交代制で運用している。

(2) 大型映像表示装置の表示内容

図10のような館内の催物案内、ニュースなどを表示している。

(3) CATVの表示内容

自主放送として次のようなソフトを流している。

自主1：音楽情報

自主2：ファッション情報

自主3：環境ビデオ

自主4：イベント情報

自主5：市の公報、テナントからの持ち込みビデオ

自主6：NHK衛星第1放送

(4) アトリウムの空間演出

1日5回、それぞれのテーマを決め、大型映像表示装置にコンピュータアニメーションを表示しながら昇降させ、各階フロアのダウンライト、吹き抜け天井部のR.G.Bライトなどの調光とテーマに合ったイメージ音楽を連動させて空間演出を行っている。

(5) 時報

時報として、アトリウムスピーカーから吹き抜けの音響効果を生かした音楽を毎時流している。

(6) お天気カメラ

お天気カメラの映像は、館内での表示だけでなくマイクロ波によりテレビ西日本へ送信され、商用放送にも利用されている。

以上、幾つか代表的な運用例について述べたが、このほかにも四つのイベントスペースをこのシステムで連携させ、全館一体化したダイナミックなイベントの実施なども計画されている。

6. むすび

以上、商業ビルにおける顧客サービスのための映像情報システムの一例について紹介したが、この分野に限らず、双方向CATVや通信衛星などの実用化に伴い、さらに高度なネットワーク及びこれらを活用した多様な情報システムの要求が増えつつある。これら社会のニーズにこたえるべく、今後も映像、特に大画面を中心とした情報システムの企画・開発に努力するつもりである。

最後に、このプロジェクトの完成に御協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する。

高性能スピーカーシステム

大村俊次* 岡部正志* 奥村正富* 矢島幹夫**

1. まえがき

本格的なディジタルオーディオ時代を迎え、高品位な音質を手軽に楽しめるようになった。周波数特性が平たんでひずみの少ないデジタルオーディオは、再生品位を画期的に高めた。このように優れた性能を最大限に発揮させることのできるスピーカーシステムは、基本特性を高めることが必要であり、周波数特性の平たん化と広帯域化、高調波ひずみの低減、ダイナミックレンジの拡大に伴う強弱連続信号を再生するためのパワーリニアリティと過渡応答特性が要求される。

本稿では、《ダイヤトーン》の最高級スピーカーシステムDS-V9000形の大きな特長となっているB₄C(炭化硼素)振動板及び先進的磁気回路を紹介する。さらに、最近の評価技術とシステムに搭載されている数々の新技術について述べる。

2. 高性能B₄C(炭化硼素)振動板

スピーカー用振動板は再生周波数帯域が広く、平たんな再生特性を持つことが望まれる。これを実現するためには、振動板材料の比弾性率 E/ρ (E :ヤング率、 ρ :密度)が大きく、内部損失($\tan\delta$)が適度に大きいことが要求される⁽¹⁾。前者は再生周波数帯域を拡大し、後者は共振ピークを抑えてスピーカーの再生特性を平たん化する。

この二つの特性は、一般に相反する関係にあるので、スピーカユニットの再生帯域に応じた材料を選択する必要があり、中・高音用振動板材料としてはアルミニウム、チタン、ベリリウムなどの金属系材料やアルミナ等のセラミックス系材料が使われている。当社では昭和55年にボロン化振動板を開発し、それまでのチタン振動板と比較して1.5倍の広帯域化を図った⁽²⁾。ボロン化振動板は、金属のチタン材に非金属のボロン(硼素)を拡散処理したもので、刺激的な固有音を抑えることによって優れた音質が得られている。

今回、これに統いて、当社は最高の物性値をねらってB₄C(炭化硼素)振動板を開発し、より一層の高性能化を達成した。

2.1 B₄C振動板の製法

B₄Cはダイヤモンドに次ぐ比弾性率を持つことから、振動板材料の有力な候補であることが知られていた。しかし、非常に高融点(2,450°C)であるため、これをドーム状に成形することが困難であった。当社は早くからこのB₄Cに着目して、図1に示すプラズマ溶射法によりピュアなB₄C厚膜をドーム状に成形し、これを不活性ガス中で高温焼成する製法を確立した⁽³⁾。

2.2 B₄C振動板の特長

(1) 高い比弾性率

各種の振動板材料の物性値を図2に比較して示す。開発したB₄C振動板は、比弾性率 E/ρ においてチタン振動板の5倍、ボロン化振動板の2.2倍の値を持ち、音の伝搬速度を示す音速値、 $\sqrt{E/\rho}$ は、実測で11,000m/sを超える最高級グレードの物性値をもつ。

図3は、プラズマ溶射によって成形したB₄C振動板の破面の電子顕微鏡写真である。溶射後の状態(図3(a))ではB₄Cの粒子と粒子が融着して層を成しており、空間が多いために比弾性率はあまり高くない。新しく開発した振動板は、溶射後に不活性ガス雰囲気中で高温焼成(約2,000°C)することによって隣接する粒子間の焼結が進み(図3(b))、比弾性率を素材の理想値に近くすることが可能となった。

(2) 適度な内部損失

プラズマ溶射法によるB₄C振動板は、セラミックスとしての優れた性質と製造方法の特長により、従来の金属単一素材及び他の製法のセラミックス系振動板に比べ内部損失が大きくなつた。

2.3 スピーカーユニットの特性

図4は、今回開発したB₄C振動板及び従来のチタン振動板を使用したミッドハイユニットの音圧周波数特性例である。B₄C振動板を使用したユニットは、再生周波数帯域を決める高域限界周波数 f_H が42kHzとなっており、チタン振動板の約2.3倍に向上している。さらに、φ23のトゥイーターにおいては、B₄C振動板の f_H はチタン振動板の2.3倍の100kHzにも及ぶ。これは、B₄Cの非弾性率が図2に示したように、従来と比較して大幅に増大したためである。また、

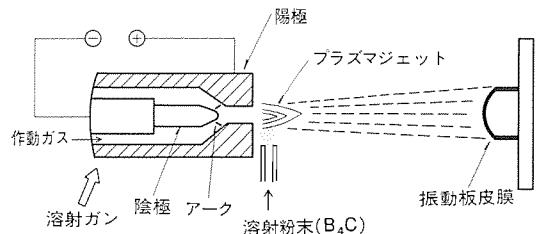


図1. B₄C振動板の製法

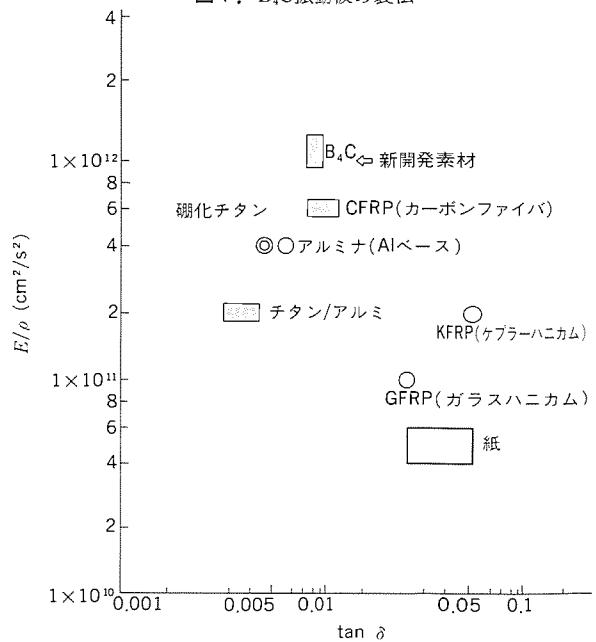
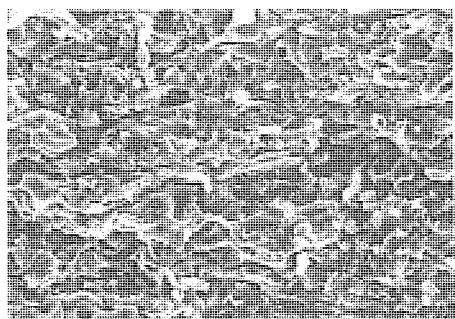
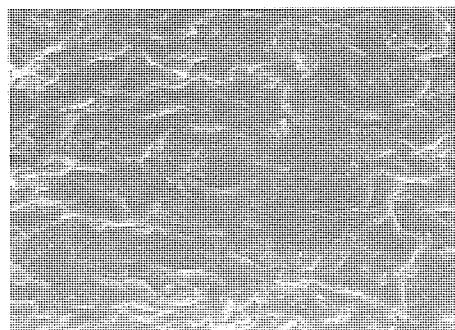


図2. 振動板材料の特性



(a) 溶射した状態



(b) 高温焼成後の状態

図3. B₄C振動板の破面 (140μm×100μm)

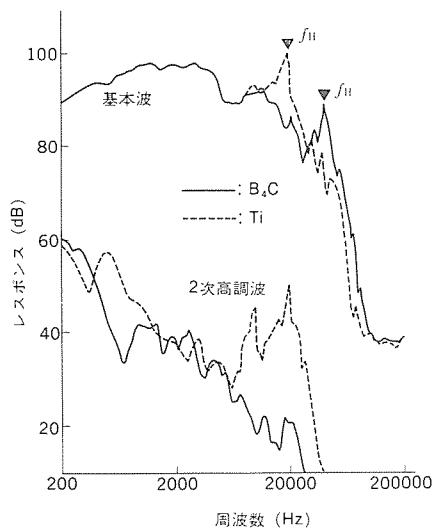


図4. 周波数特性 ($\phi 65$ ミッドハイ)

内部損失が向上したことによって高調波ひずみが非常に低くなり、音質についても改善することができている。

3. 新磁气回路ADMC

3.1 駆動系のひずみとその低減

スピーカーの磁気回路は、図5に示すボイスコイルの音声信号電流と永久磁石が作る直流磁束による電磁力で振動板を駆動させる。優れた音質を得るために、音声信号と駆動力が比例関係にあることが望まれるが、実際には次のような駆動系のひずみが生じる。

- (1) ギャップ内の直流磁束密度の不均一分布による駆動力ひずみ
 - (2) 磁性体の非直線磁化特性に基づくボイスコイル電流の波形ひずみ
 - (3) ボイスコイルから発生する交流磁束による駆動力ひずみ

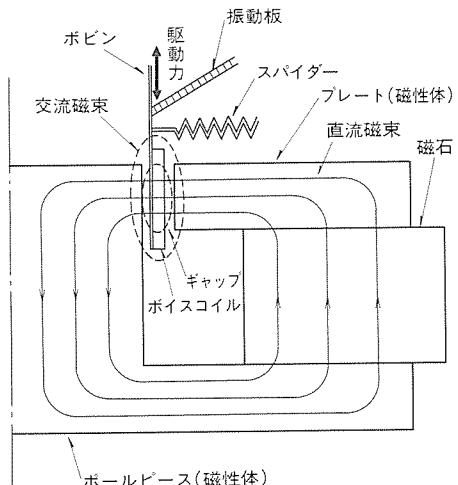


図 5 磁気回路の直流磁束と交流磁束

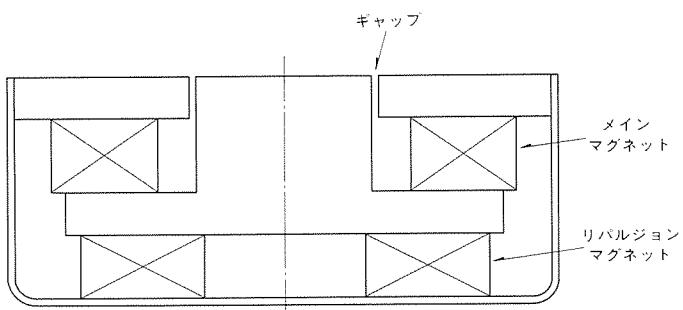


図 6. 防磁形磁気回路の断面

上記の(1)と(2)に関しては、これまでに磁気回路の構造や材料の検討・改良が重ねられ、相当なレベルまで低ひずみ化が可能となつた⁽⁴⁾⁽⁵⁾。今回の新磁気回路ADMC (Advanced Magnet Circuit) の開発のねらいは、(3)の駆動力ひずみに対しても低減を図り、駆動系全体の大変な低ひずみ化を達成することにある。

3.2 交流磁束による駆動力ひずみ

図5において、ボイスコイルに音声信号電流が流れると交流磁束が発生する。ギャップの平均磁束密度の直流成分を $B_g(T)$ 、ボイスコイル電流による交流成分の最大値を $\Delta B_g(T)$ とすると、コイルに波高値 $i_m(A)$ 、角周波数 $\omega(\text{rad/s})$ の正弦波電流が流れたときの駆動力 $F(N)$ は次式で与えられる。

ここに, ℓ はボイスコイルの有効長(m), α は電流と交流磁束密度の位相角(rad)である。式(1)の第1項は、本来の目的とする駆動力であるが、第2項と第3項は各々直流成分及び2倍周波数成分(2次ひずみ)を表し、いずれも音質の低下を招く要因である。

3.3 有限要素法による磁界解析

式(1)から明らかなように、 ΔB_g が小さくなれば駆動力のひずみが低減する。このような磁気回路を開発・設計するには、磁気回路の交流磁界を正確に計算して構造や材料と ΔB_g の関係を明確にすることが必要であるが、具体的な手段としては有限要素法による磁界解析が非常に有力である。その適用例として、図6の防磁形磁気回路

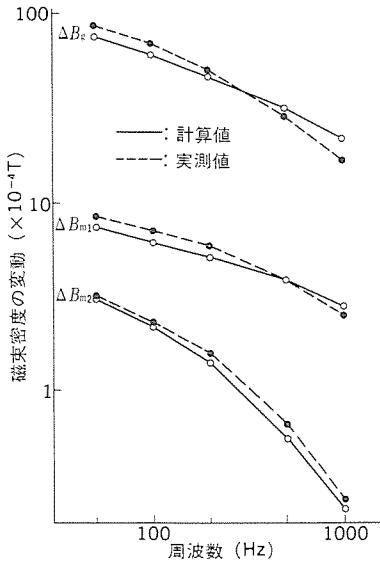


図 7. 磁気回路各部の磁束密度の変動

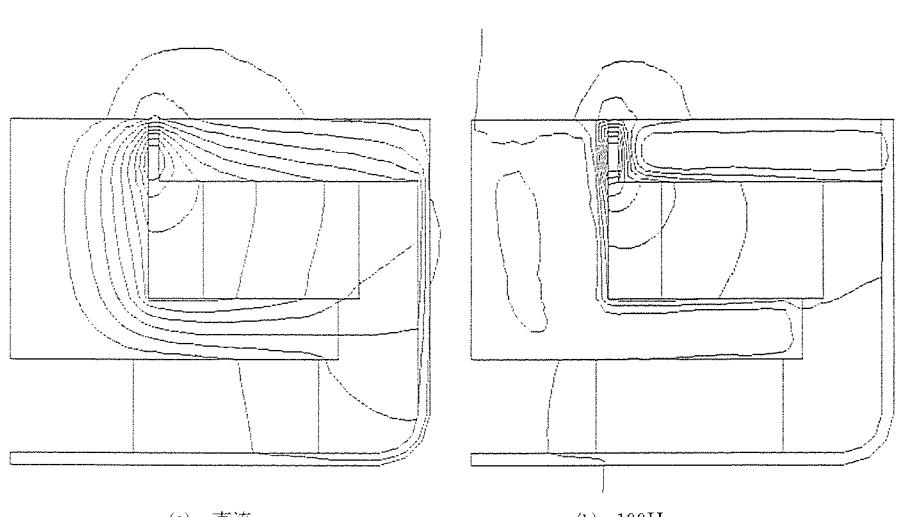


図 8. ボイスコイル電流による交流磁束

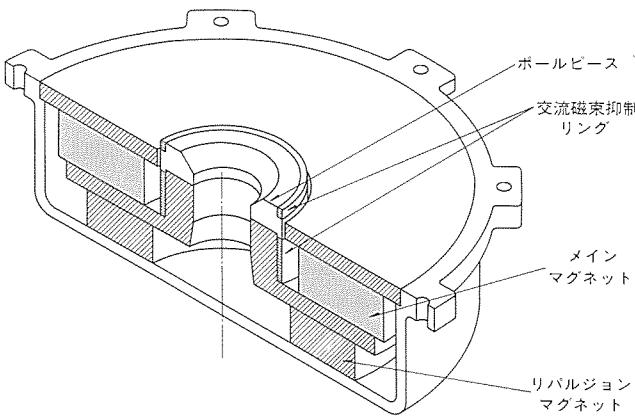


図 9. ADMCの構造

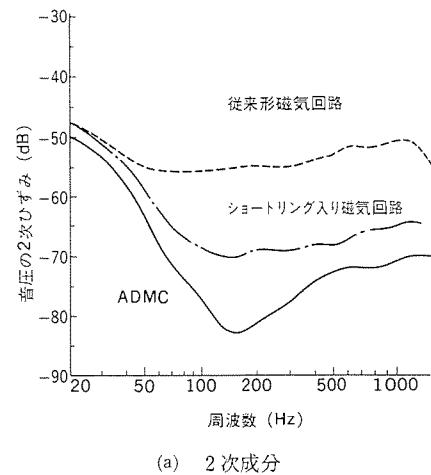
の ΔB_g とメインマグネット及びリバランジョンマグネットの磁束密度の変動 ΔB_{m1} , ΔB_{m2} の計算結果を図7に示す。 ΔB_g , ΔB_{m1} , ΔB_{m2} は周波数が高くなるにつれて小さくなるが、これは渦電流反作用が強くなるためである。同図には実測値もプロットしているが、計算結果と実測結果はほぼ一致している。

図8はボイスコイルから発生する磁束線の解析結果の一例である。ギャップ内では、互いに反対の向きの磁束が存在しているが、両者の磁束量の差が ΔB_g の大きさを決定する。したがって、 ΔB_g を小さくする方策として、①交流磁束の発生量を減らす、②ギャップ内で交流磁束を相殺する、の2点が挙げられる。この観点に立って各種構造の磁気回路について交流磁界を解析し、再生周波数帯域で ΔB_g が最も低くなる条件について検討を進め、新磁気回路ADMCの開発に至った。

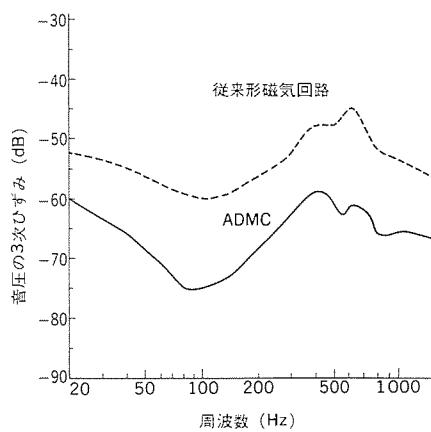
3.4 ADMCの性能

ADMCは図9に示すように、ギャップの上下に交流磁束抑制リングが装着され、ポールピースが高くなっている。これは、交流磁束をリングの渦電流で減少させるとともに、ボイスコイル周辺部を上下対称形に近づけて磁束が相殺しやすくなるための構造である。一般にポールピースを高くすると直流磁束密度 B_g が低下するが、ADMCは二つの非磁性のリングによってポールピースが突極構造になっているので、 B_g はほとんど低下しない。

これらの対策によって ΔB_g は、従来の磁気回路の約1/10に減少し



(a) 2次成分



(b) 3次成分

図10. ADMCを搭載したスピーカーユニットの音圧ひずみ

た。図10はADMCを搭載したスピーカーユニットの音圧ひずみを従来磁気回路のものと比較した結果であるが、2次と3次の両方について大幅な低ひずみ化を図ることができた。 ΔB_g が小さくなると式(1)に従って2次ひずみが減少するが、ギャップ周辺の磁性体に侵入する交流磁束も上記のリングによって少なくなるため、ポールピースに低ひずみ材料を用いたこととの相乗効果で3次ひずみも減少した。

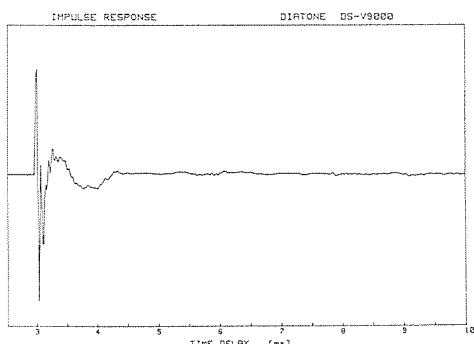


図11. インパルスレスポンス

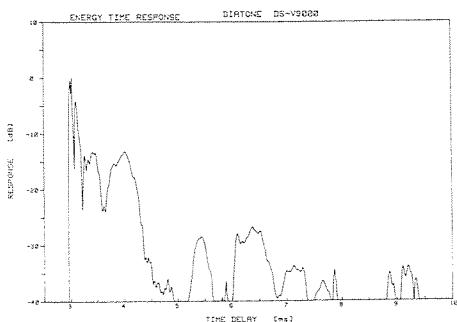


図12. エネルギータイム レスポンス

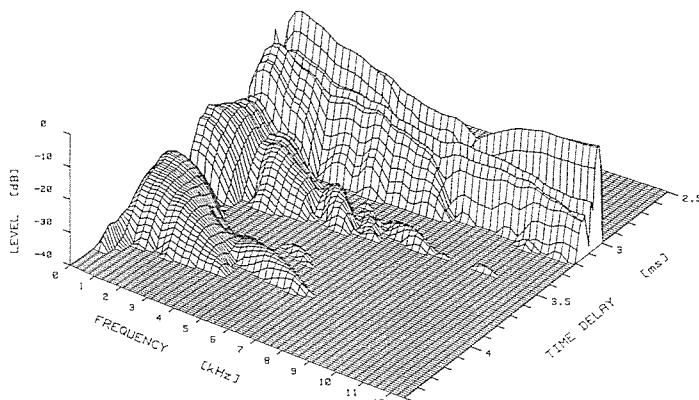


図13. ウィグナ分布

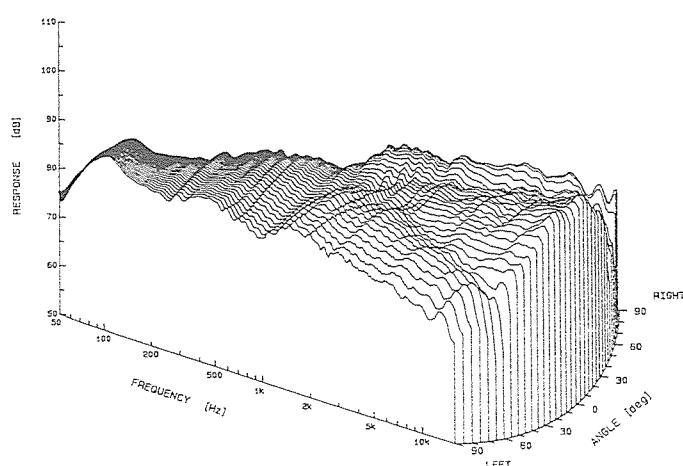


図14. 累積指向周波数特性

4. 評価技術

ここ十数年来、音響振動計測・解析の分野におけるディジタル化には目覚ましいものがある。時間領域応答のディジタル計測はもとより、従来の周波数掃引等アナログ計測の分野においてもディジタル化とデータ処理が行われている。

デジタル計測の最も基本的なデータは、図11に示すようなインパルスレスポンスである。そのフーリエ変換から振幅、位相、群遅延などの周波数応答、ヒルベルト変換から図12のエネルギーレスポンスが得られる。また、インパルスレスポンスを逐次シフトし、フーリエ変換して描き重ねると振動減衰累積スペクトラムが作成できる。近年はコンピュータの高速化と大容量化によって、図13に示すウイグナ分布も短時間で得られるようになった。ウイグナ分布は、周波数と時間の二次元平面におけるエネルギー分布を表すもので、その基本となるデータはインパルスレスポンスである。

アナログ計測データもディジタル化して記録し、データベースとして活用されている。図14は大量のデータ処理の特長を生かし、スピーカーを回転しながら計測して扇形に表現した累積指向周波数特性であり、音場表現に極めて有効である。

一方、開発・設計においては前章の磁界解析や構造解析、音場解析が行われている。図15は、DUD (Diatone Unified Diaphragm: ボイスコイルボビンと振動板の一体化) の振動解析例であり、ボビン部分に分割振動モードが現れた場合を示している。

5. 高性能スピーカーシステム

DS-V9000形スピーカーシステムは、最新の技術を結集して完成させた高性能システムである。

ミッドハイとトゥイーターにB₄C振動板を採用して広帯域、低ひずみ再生を実現し、さらに振動板をDUD構造とすることで高速応答性を達成している。広帯域再生が可能となったことによって、ハイカットピークに対応する高調波ひずみが可聴域内で激減し、透明感のある高品位再生が得られている。また、振動板に適度な内部損失を持つことで従来の金属振動板にありがちな素材の固有音が極小となっている。一方、ウーファーとミッドバスには曲げ剛性の高いハニカム構造振動板を採用している。スキン材にはアラミッド繊維と炭素繊維のハイブリッド織りとしたインテラブライハイブリッドを使用し、振動板形状をカーブドコーンにして分割共振周波数付近の特性を改善している(図16)。

磁気回路に関しては、ウーファーとミッドバスにADMCを搭載し、大小入力に対する駆動力の安定性と優れた低ひずみ性を実現した。ミッドハイとトゥイーターは、磁極を飽和磁束密度領域にして、低ひずみ化を図っている。磁気回路はすべて防磁構造であり、球状黒鉛鉄製のシールドカバーとリパルジョンマグネットとの組合せにより漏えい磁界を地磁気レベルに低減した。防磁構造とすることで磁気回路とネットワークの電磁干渉が防止でき、クロストークひずみが小さくなつて分解能の良い音質が得られている。また、外部への漏えい磁界を抑えたことにより、プラウン管などのディスプレイへの影響がなくなり、スピーカーシステムの広範な使用を可能とした。

エンクロージャは振動減衰特性を重視し、高剛性構造と板振動の徹底した検討を行っている。ミッドバスユニットは、ウーファーユニットとの音響的干渉を避けるため、内容量13ℓの専用バックチャンバを設けているが、チャンバ内部及びエンクロージャ内部の定在波を抑えるため、曲げ合板を採用したラウンデッドバックチャンバ構造とした。エンクロージャ表面材は、優れた減衰特性と意匠的な美しさからスワンプッシュ材を採用し、ポリウレタン仕上げを施した。

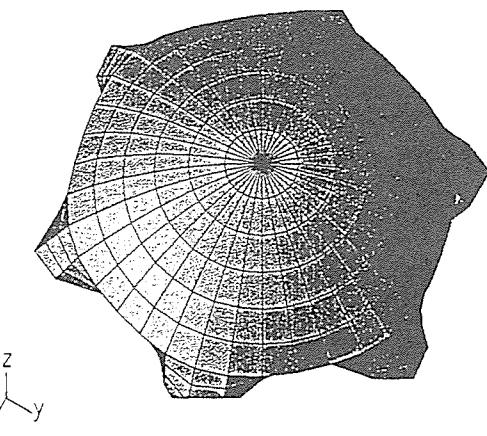


図15. DUDの振動解析例

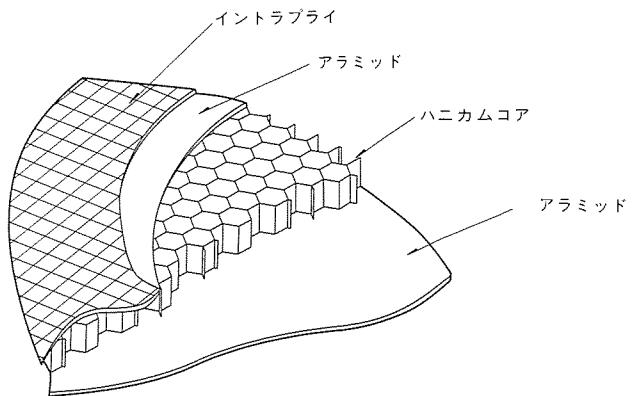


図16. ダブルスキンハニカム振動板の構造

表1. DS-V9000形の定格

方式	: 4ウェイ・4スピーカー (左右対称 一対形) バ尔斯方式フロア形
使用ユニット	: 低音用 40cm イントラブライダブルハイブリッド カーブド ハニカムコーン 防磁構造 AD-DMM方式 (PW-4016BM) : 中低音用 25cm イントラブライダブルハイブリッド カーブド ハニカムコーン 防磁構造 AD-DMM方式 (PW-2587BM) : 中高音用 6.5cm B4C D.U.D.ドーム防磁構造DM方式 (DM-6504BM) : 高音用 2.3cm B4C D.U.D.ドーム防磁構造DM方式 (DH-2330BM)
公称インピーダンス	: 6Ω
出力音圧レベル	: 92dB/W/m
再生周波数帯域	: 18~80,000Hz
クロスオーバー周波数	: 320Hz, 1,250Hz, 4,500Hz(12dB/Oct.)
定格入力	: 60W(EIAJ)
最大許容入力	: 180W(EIAJ)
外形寸法	: 横幅 652mm : 高さ 1,080mm(ベース高さ72mmは含まず。) : 奥行 454mm(グリル厚さ 44mmは含まず。)
本体重量	: 約125kg

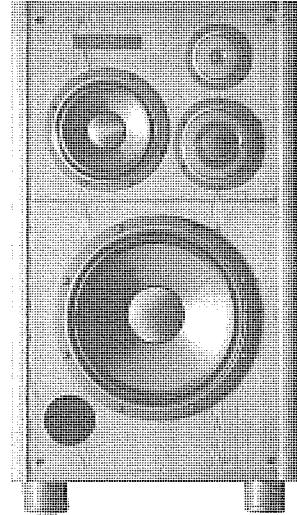


図17. DS-V9000形の外観

ネットワークは長期にわたる高信頼性とひずみの低減が実現できる無酸素銅金めっきスリーブによる圧着ワイヤリングを用い、合金はんだによる音質劣化を防止している。

以上のように、B₄C振動板とADMCをはじめとする多くの最高技術を搭載した最新スピーカーシステムにより、ディジタルオーディオの優れた性能を最大限に引き出すことが可能となった（表1、図17）。

6. むすび

以上、最新のスピーカー技術について述べたが、基本特性を新しい素材や解析技術によって研究された先進技術で高め、さらにディジタル計測技術による時間軸応答を評価検討することにより、最高性能のスピーカーシステムとすることができた。

今後は更にプログラムソフトの高品質化が進み、高性能スピーカ

への需要が高まるものと期待される。

参考文献

- (1) 奥村ほか：プラズマ溶射によるスピーカー用B₄C振動板；昭和60年度電子情報通信学会総合全国大会，165
- (2) 菅原ほか：最新のスピーカー技術，三菱電機技報，56，No.9(昭57)
- (3) 奥村ほか：プラズマ溶射によるスピーカー用B₄C振動板，電子情報通信学会技術研究報告，86，No.159，p.49 (昭61)
- (4) 池田ほか：スピーカーの駆動系による非直線ひずみの低減，三菱電機技報，50，No.12 (昭51)
- (5) 池田ほか：低ひずみスピーカーの開発，三菱電機技報，51，No.12 (昭52)

高速 2 Mビット CMOS EEPROM

香田憲次* 興梠泰宏* 山下正之* 古庄辰記* 和氣節雄*

1. まえがき

EPROM (Erasable and Programmable Read Only Memory) は、電気的に書き込みができる、紫外線を照射することで消去可能な不揮発性メモリで、マイクロプロセッサ応用システムのプログラムメモリやデータメモリとして幅広く使用されている。当社では、高性能16ビット、32ビットマイクロプロセッサに対応した16ビット構成のEPROMや、電子機器の小型化に対応した表面実装型の各種パッケージなどにより、これまでの高速・大容量というだけない多種多様なユーザーニーズにこたえた1Mビット⁽¹⁾⁽²⁾までの製品を市場に供給してきている。

今回筆者らは、最先端の微細加工技術と高速化回路技術により、最大アクセスタイム100nsを実現した2MビットEPROM "M5M27C201K" 及び "M5M27C202K" を開発した。M5M27C201Kは8ビット構成、M5M27C202Kは16ビット構成のEPROMで、それぞれ当社の1MビットEPROMと上位互換性があり、応用システムの機能向上が容易である。

本稿では、高速2MビットCMOS EEPROMの2品種の製品概要、技術的特長、電気的諸特性などについて紹介する。

2. 製品概要

今回開発した2MビットCMOS EEPROMの2品種の主な特長は次のとおりである。

(1) 大容量 2Mビット

- M5M27C201K : 262,144ワード×8ビット
- M5M27C202K : 131,072ワード×16ビット

(2) 高速アクセスタイム : 100ns (最大)

(3) 低消費電力 : 動作時165mW (最大)

待機時550μW (CMOSレベル、最大)

(4) 書込み電圧 : 12.5V

(5) ページ書込み方式採用

(6) パッケージ及びピン配置

• M5M27C201K : 標準32ピンDIP、JEDEC標準

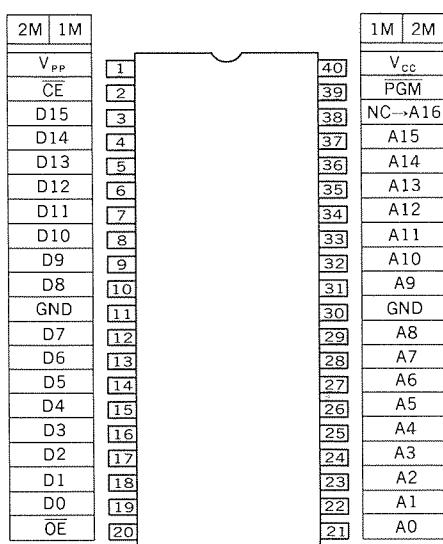
• M5M27C202K : 標準40ピンDIP、JEDEC標準

M5M27C201K及びM5M27C202Kのピン接続図を図1に示す。1MビットEPROMと比較すると、M5M27C201Kは30番ピンがNCから最上位アドレス入力A17に、M5M27C202Kは38番ピンがNCから最上位アドレス入力A16になったのみで、CE, OE, PGMの制御入力信号はそのままであり、各動作モードも同じため、1MビットEPROMから2MビットEPROMへの置換は容易である。

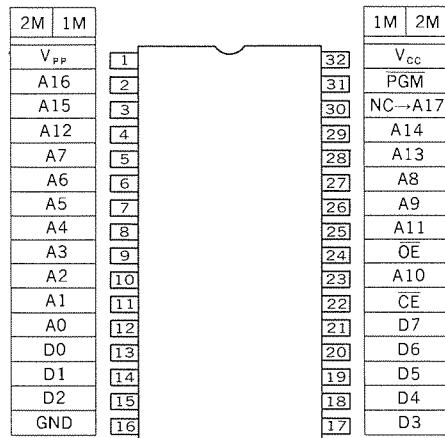
3. 技術的特長

3.1 高集積化・高速化技術

2MビットCMOS EEPROMは、P型基板Twin-well CMOS技術、2層ポリシリコン1層Al配線技術を用い、0.9μmルールで設計されている。周辺回路のゲート長は、Nチャネルトランジスタが1.0μm、Pチャネルトランジスタが1.2μmで、NチャネルトランジスタはLDD構造である。メモリは従来同様NチャネルFAMOSで、セルサイズは3.0μm×3.0μmと1MビットEPROMに比べ、面積比で半分以下に縮小している。図2にメモリセルサイズの比較図を示す。ゲート電極として、従来使用してきたモリブデンシリサイド(MoSi)からタンゲステンシリサイド(WSi)へ変更することで更に低抵抗化し、メモリセルサイズの縮小や平たん化技術と合わせてワード線の抵抗値を1MビットEPROMに比べ、約30%減少することができた。



(a) M5M27C202K



(b) M5M27C201K

図1. 2MビットEPROMピン接続

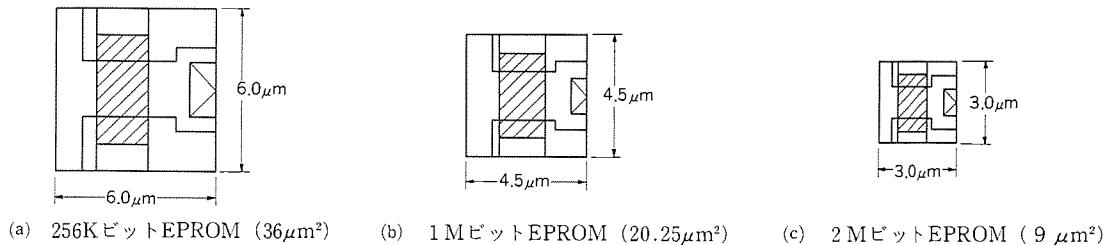


図2. メモリセルサイズの比較

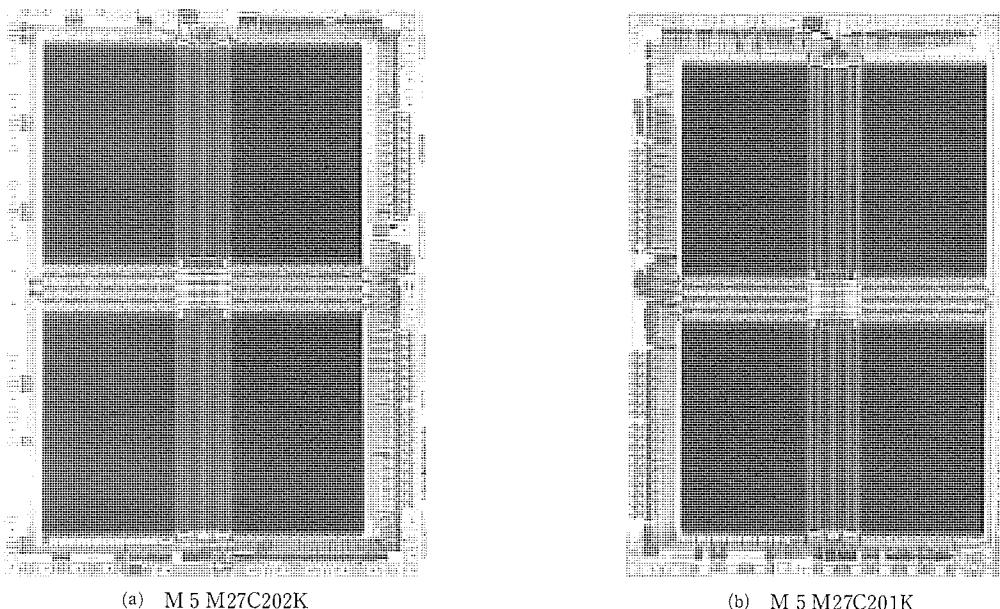


図3. チップ写真

表1. 技術的ポイント

(1) プロセス技術

- プロセス : P基板Twin-well CMOS
2層ポリシリコン 1層Al
- ゲート材料 : タングステンシリサイド (WSi)
- ゲート長 Nch : 1.0 μm (LDD)
Pch : 1.2 μm
- ゲート酸化膜厚 : 220 Å

(2) 高速化技術

- メモリブロックの4分割化 ⇒ ビット線浮遊容量の低減
- 電流センス型センスアンプ ⇒ 高速かつ広い動作範囲

(3) 回路技術

- リダンダント回路 ⇒ 歩留向上
- 出力回路のノイズ対策 ⇒ 安定動作
- 各種テストモード ⇒ テスト効率向上

図3(a)にM5M27C202K、(b)にM5M27C201Kのチップ写真を示す。チップサイズは、それぞれ $6.15 \times 8.70 (\text{mm}^2)$ 、 $5.75 \times 8.85 (\text{mm}^2)$ である。写真から分かるように、メモリブロックを従来の2分割から4分割化している。これにより、ビット線に接続されるメモリトランジスタの数を1MビットEPROMと同数にでき、セルサイズの縮小の効果によりビット線の浮遊容量を約30%減少することができた。

このようにワード線の抵抗値低減、ビット線の浮遊容量の低減と

センスアンプ回路の最適化により、2Mビットと大容量ながら高速アクセスを実現している。

3.2 回路技術

2MビットEPROMのセンスアンプ回路は、高速かつ広い動作範囲を得るため、電流センス型センスアンプ回路を使用している。微細化が進むにつれメモリトランジスタは、低い電圧でも書き込みが可能になってきているため、読み出し中にメモリの内容が変化しないようメモリトランジスタと結合したビット線の動作点を1V程度の低い電圧に設定している。メモリセルサイズの縮小に伴うセル電流の減少を補いながら、メモリの消去状態("1")と書き込み状態("0")のビット線の微小な電圧変化を検出し、高速で動作するように最適化されたセンスアンプ回路となっている。

M5M27C202Kは16ビット構成のため、16個の出力回路で発生する出力ノイズも大きい。特にプログラムベリファイ時のように、 $V_{cc} = 6 \text{ V}$ と通常の読み出し動作時よりも高い電圧で動作させると更に発生する出力ノイズが増大し、安定した書き込み動作ができないくなる可能性がある。そのため2MビットEPROMでは、プログラムベリファイ時のノイズ低減回路を備えた出力回路を採用している。これにより、市販のEPROMプログラマでの書き込みが安定して行える。

さらに、2MビットEPROMは、リダンダント回路を内蔵している。予備メモリとして4行2列のメモリラインを備え、欠陥メモリセルを予備メモリと置換することにより高い歩留を得ている。

また、OTPROM (One Time Programmable ROM) 対応の回路として、書き込み及びアクセスタイムチェックを可能にする回路や、

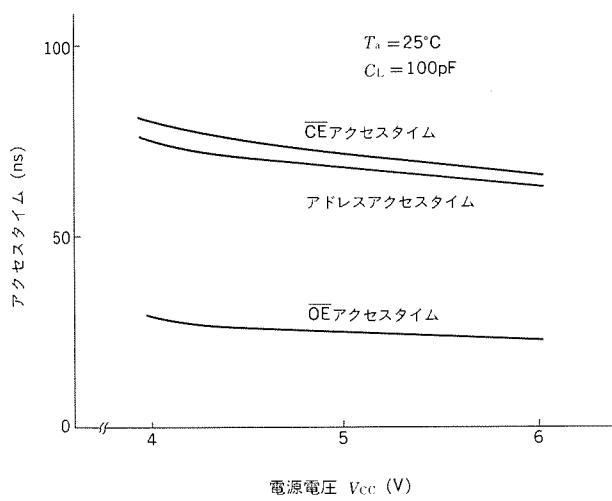


図4. アクセスタイムの電源電圧依存性

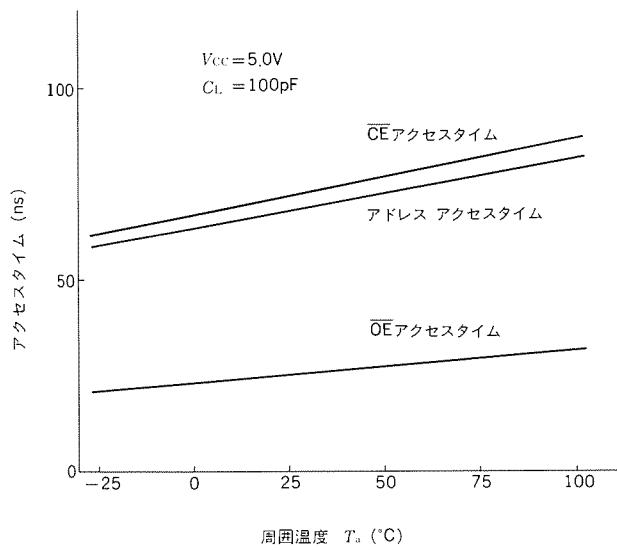


図5. アクセスタイムの周囲温度依存性

テスト効率向上のための各種テストモードを備えている。

以上の技術的ポイントを表1にまとめる。

4. 電気的諸特性

4.1 読出し特性

読出しへは、 \overline{CE} と \overline{OE} を“L”レベルにし、アドレス信号の入力によりデータ出力端子に記憶内容が現れる。図4にアクセスタイムの電源電圧依存性を示す。標準条件($V_{cc} = 5\text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$)におけるアドレスアクセスタイムは68ns、 \overline{CE} アクセスタイムは72ns、 \overline{OE} アクセスタイムは25nsと非常に高速である。図5にアクセスタイムの周囲温度依存性を示す。 $T_a = 0 \sim 70^\circ\text{C}$ において85ns以下で動作しており、電源電圧範囲 $V_{cc} = 5\text{ V} \pm 10\%$ を考慮しても100nsとして十分マージンをもっている。

4.2 書込み特性

メモリ容量の増大に伴う書き込み時間の増加という問題に対して、1MビットEPROMと同様に32ビットを同時に書き込むページ書き込み方式を採用することで書き込み時間を短縮している。M5M27C201K, M5M27C202Kともに理論的に約28秒で書き込み可能である。図6は、2MビットEPROMの書き込み特性を示す。 V_{ccmax} は、読み出し可能な電源電圧の上限であり、メモリトランジスタへの書き込みの程度

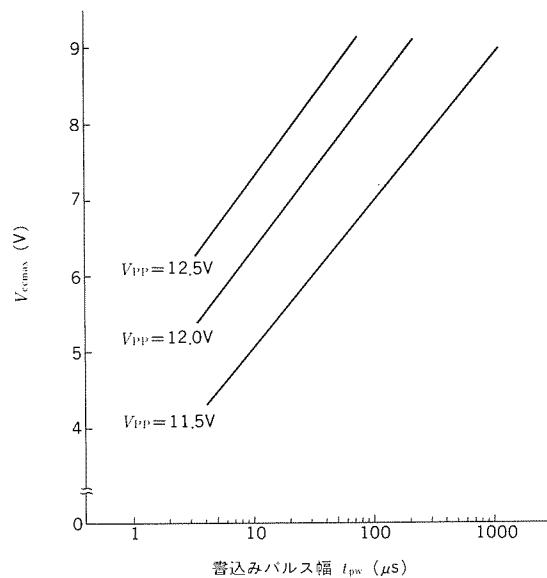


図6. 書込み特性

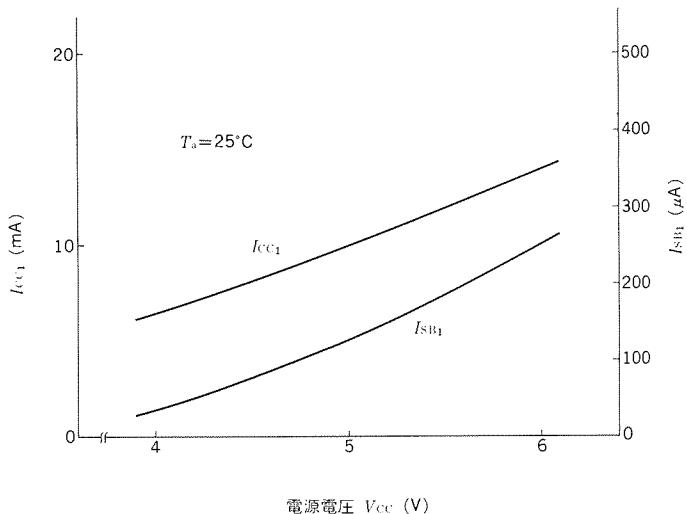


図7. 電源電流の電源電圧依存性

を表している。 $V_{pp} = 12\text{ V}$ でも $200\mu\text{s}$ の書き込みで9V以上の十分な書き込みが可能である。

M5M27C201Kはバイト書き込み、M5M27C202Kはワード書き込みも可能で、ページ書き込みとほぼ同じ書き込み特性が得られる。

4.3 D C 特 性

図7に電源電流の電源電圧依存性を示す。 I_{cc1} は動作時の電源電流、 I_{sb1} は入力がTTLレベルでの待機時の電源電流であり、標準条件($V_{cc} = 5\text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$)においては、 $I_{cc1} = 10\text{ mA}$, $I_{sb1} = 130\mu\text{A}$ と非常に少ない。さらに、入力がCMOSレベルでの待機時の電源電流 I_{sb2} はほとんど流れない。

図8に電源電流の周波数依存性を示す。 $V_{cc} = 5\text{ V}$, $T_a = 25^\circ\text{C}$ 周波数10MHz(サイクルタイム100ns)において $I_{cc2} = 21\text{ mA}$ である。M5M27C201K, M5M27C202Kともほぼ同じ特性であり、低消費電力が実現されている。

4.4 消 去 特 性

EPROMの消去は、波長2,537Åの紫外線を照射することで、書き込みにより蓄えられたフローティングゲート中の電荷を放出させることによって行われる。消去されたメモリセルの読み出しデータはすべ

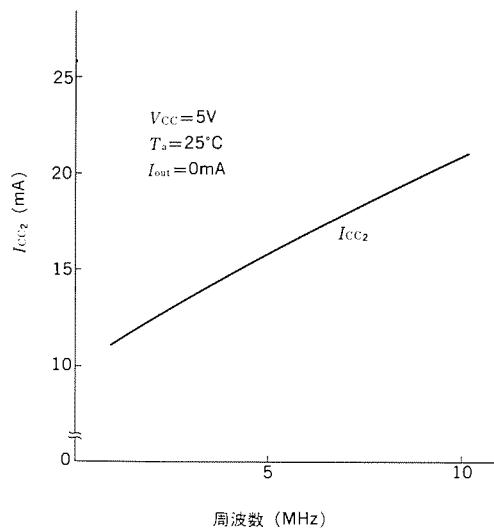


図 8. 電源電流の周波数依存性

て“1”になる。図9に2MビットEPROMの消去特性を示す。紫外線ランプ直下2.5cmにおける消去特性で、 $V_{cc}=4.5V$ で消去判定を行っている。図から約2分で全ビットが消去されるが、消去後の再書き込み及び読み出し動作の安定を図るために、さらに十分な消去が必要である。推奨消去条件は、 $15W \cdot s/cm^2$ の照射エネルギー量、つまり $6\sim12mW/cm^2$ の光強度下で15~30分程度の時間が必要である。

5. 信頼性

2MビットEPROMの書き込み電圧は、 $V_{pp}=12.5V$ である。これは、256Kビット以来メモリトランジスタの構造がほとんど変わっていないため、信頼性についても1MビットEPROMと同等の結果を得ている。

また、書き込み後のEPROMを太陽光や蛍光灯下に放置すると、それらの光の中に含まれている紫外線によって不意に消去される可能性がある。蛍光灯下では1,000時間程度、太陽光下では数時間程度で消去されることがあるので注意が必要である。通常使用時には紫外線をカットするシールでガラス窓を覆う必要がある。シールをはがして消去・再書き込みする際には、ガラス窓の汚れをアルコールなど

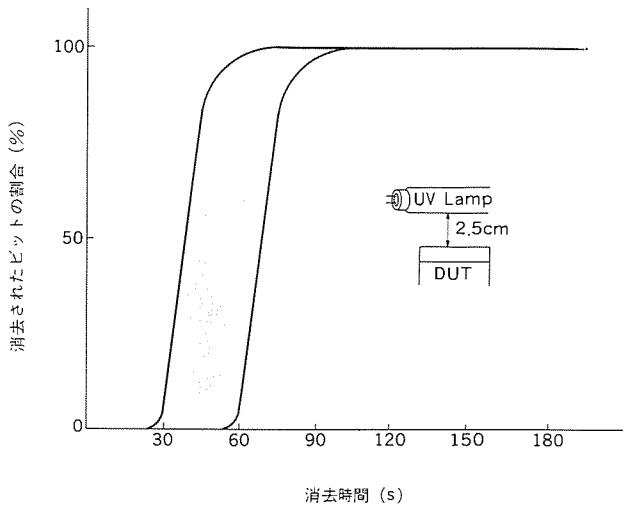


図9. 消去特性

で十分に取り除いてから行う必要がある。

6. むすび

今回開発した2MビットCMOS EPROM M5M27C201K, M5M27C202Kは、1MビットEPROMの上位互換性をもち、さらに低消費電力、高速アクセスを実現したもので、16ビット、32ビットマイクロプロセッサシステムに最適なEPROMである。また、低消費電力、高速アクセスといった高性能化だけでなく、近年のユーザーニーズにこたえ、SOP、PLCC、VSOP、CLCCといったパッケージの小型化、OTPROM化を計画している。

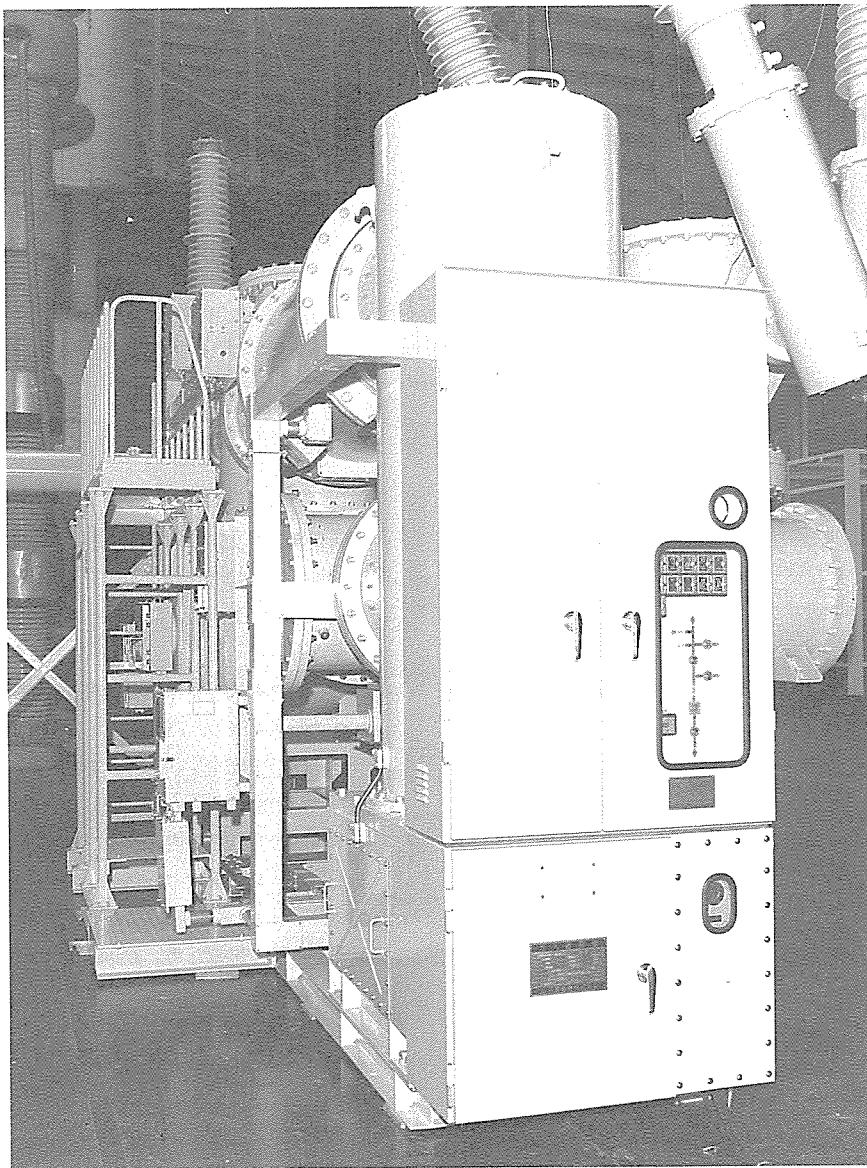
さらに、現在4MビットEPROMも開発中で、8ビット構成及び16ビット構成の製品を年内にサンプル出荷する予定である。

また、今後の不揮発性メモリとして注目されているフラッシュEEPROMは、電気的に書き込み・消去可能で、EPROMと同程度の高集積化が可能であるため、数年後には大きな市場を形成すると思われ、当社においても製品化を検討している。

参考文献

- (1) 山本ほか：三菱電機技報, 61, No. 9, p.754 (1987)
- (2) 上田ほか：三菱電機技報, 63, No. 2, p.173 (1989)

72~550kVガス絶縁開閉装置“GIS” スポットライ エアレス化シリーズ完成

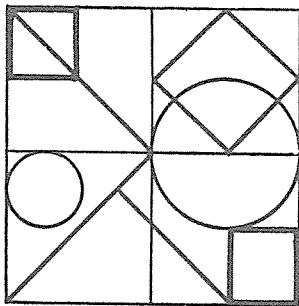


電力機器の高信頼度化やメンテナンスフリー化という市場ニーズに対応するため、このたび新たに168/204kV、40kAクラスのGISについてもエアレス化を達成、72~550kVの全電圧クラスのGISについてエアレス化シリーズを完成しました。今回製品化を行ったものは、遮断器に油圧操作機構、断路器・接地開閉器に電動および電動ばね操作機構を採用することにより、駆動源としての圧縮空気を完全に排除し、高信頼化・保守点検の簡素化を実現しました。とくに遮断器は新規格(JEC-2300)に適合しているのはもちろんのこと、遮断現象解析や熱ガス流解析などの新技術を駆使して改良を行い、消弧室の高性能化および小型・軽量化を図ることにより、エアレス化シリーズに適合したものとしています。このGIS

は本年度すでに30ユニット以上の出荷を予定しており、本エアレス化シリーズが次期GISの主力機種となることが期待されます。

仕様

構成機器	定格電圧(kV)	72/84/120	168/204	240/300	550
遮断器	操作方	ばね操作	油圧操作		
断路器		電動・電動ばね操作	電動ばね操作		
接地開閉器	式	電動・電動ばね操作	電動ばね操作		



特許と新案

有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 知的財産専門部 TEL (03) 218-2139

発電機の自動電圧調整器

(特許 第1415931号)

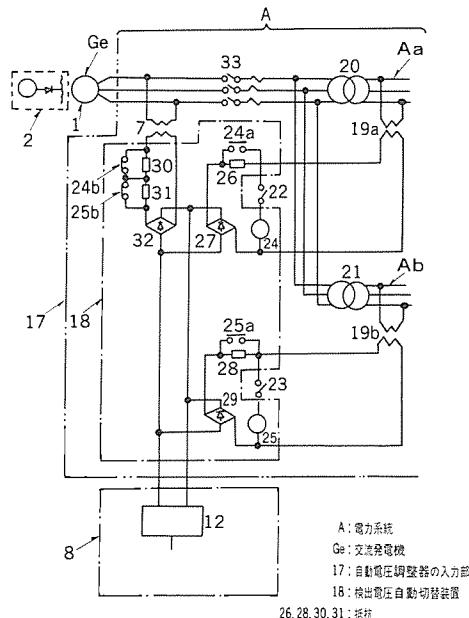
発明者 田崎 昭憲

この発明は、発電機の自動電圧調整器に関するものである。

図に示すものにおいて、遮断器(33)が投入されると、計器用変圧器(19a)及び(19b)の二次側にそれぞれ給電線(Aa)(Ab)の電圧検出点の検出電圧が現れるが、電圧検出点選択スイッチ(22)及び(23)が投入されていない場合には、整流器(27)(29)の整流電圧は整流器(27)の整流電圧に比して低電圧となり、計器用変圧器(7)の二次側検出電圧のみが電圧検出回路(12)に入力される。この状態において、給電線(Aa)を使用するため、電圧検出点選択スイッチ(22)が投入されると、電磁接触器(24)が附勢されるため、計器用変圧器(19)の二次側出力を整流する整流器(27)の整流電圧が他の整流器(29)(32)の整流電圧よりも高くなり、整流器(32)の整流電圧に代わって、自動電圧調整器(8)に入力される。したがって、以後は、給電線(Aa)の電圧に対して自動電圧調整が行われ、その電圧が定格電圧に維持される。次に給電線(Aa)に代えて、給電線(Ab)を使用する場合には、電圧検出点選択スイッチ(23)を開路して(22)を投入すると、計器用変圧器(19b)の二次側に接続された整流器(29)の整流電圧が他の整流器(27)(32)のそれより大きくなるため、自動電圧調整器(8)に入力され、給電線(Ab)が定電圧源となる。

以上のように、この発明によれば、一つの電力系統内に複数の電圧検出点を設け、所望の一つの電圧検出点を選択してその電圧を検

出電圧として取り出すため、1台の自動電圧調整器により同一電力系統内の複数給電線を高精度定電圧源として選択的に切替え確立することができる。



同期装置

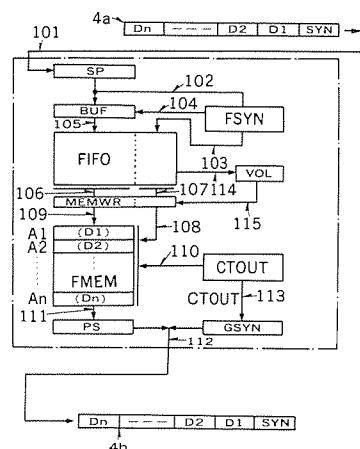
(特許 第1380229号)

発明者 中塚 茂雄, 覚塙 高音, 市橋 立機, 石坂 充弘

この発明は、複数の伝送装置と一つの同期装置を、信号が一方向に伝えられる伝送路を介して直列環状に接続し、伝送装置間で相互に信号を伝送するループ伝送システムにおいて、情報の転送単位であるフレームを前記の同期装置内で遅延させることにより、フレームの重なりにより生じる後尾の信号の消失を防止し、良好な情報転送を行わせる同期装置に関するものである。

即ち、図において、伝送路から同期装置(1)へ、同期語SYNを先頭とするフレーム(4a)が到着し、信号線(101)を経由して直並列変換レジスタSPへ入る。同期引回路FSYNは、信号線(102)を経由してくる同期語SYNを検出して、同期語SYNに後続する部分フレームD1, D2, ..., Dnに対応する部分フレーム番号を生成し信号線(103)へ出力すると共に、信号線(104)を経由してバッファ回路BUFへフレーム分割動作指令信号を与える。この信号によりフレーム(4a)は、バッファ回路BUFにより分割され部分フレームDを作り、バッファ回路BUFに一時保持される。部分フレームDは信号線(105)を経由して、前記部分フレーム番号は信号線(103)を経由して、両者は一組のデータとして先入れ先出しメモリFIFOへ書き込まれる。先入れ先出しメモリFIFOに一時蓄積された部分フレームと部分フレーム番号は、信号線(106), (107)を経由してメモリ書き込み回路MEMWRにより読み出され、信号線(108)に出力された前記部分フレーム番号をフレームメモリFMEMの番地として、信号線(109)よ

り部分フレームDはフレームメモリFMEMへ書き込まれる。前記先入れ先出しメモリFIFOから1組の部分フレームDと部分フレーム番号のデータが読み出されると、前記データは先入れ先出しメモリFIFOから消去される。アドレスカウンタCTOUTは信号線(110)よりフレームメモリFMEMの番地を指定し、部分フレームDがフレームメモリFMEMから読み出され、信号線(111)を経由して、並直列変換レジスタPSへ入り、部分フレームDは直列信号に変換されて、信号線(112)から伝送路へ出力される。



特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 知的財産部外部 TEL (03) 218-2139

通信制御プロセッサ (特許 第1424321号)

発明者 石坂 充弘, 中塚 茂雄, 覚塙 高音, 市橋 立機

この発明は、コンピュータネットワークにおいて、ノードを構成する計算機の通信プロセス間の論理的な結合を直列制御することにより、高速かつ高性能なデータ転送を実現する通信制御プロセッサに関するものである。

即ち、この発明に係る通信制御プロセッサは、

- (1) 各論理リンクごとに独立して、これら各論理リンクを確立及び終結する手段を有し、
- (2) 論理リンクの確立フェーズにおいて、リンク確立要求に応じて、ローカルメモリLM中のリンクアクセステーブルにより未使用のリンク制御テーブルLCTを割付ける手段と、
- (3) 上記割付けたリンク制御テーブルLCTの番号をリンク番号として相互の通信制御プロセッサにおいて認知できる手段と、
- (4) 上記割付けたリンク制御テーブルLCTの番号を通信プロセス

にチャネル状態語により通知する手段により、上記通信プロセスは上記リンク番号を指定するだけで、通信制御プロセッサが該当する着信側の通信プロセスにデータを転送できる手段と、

- (5) リンク制御メッセージを運ぶ制御フレーム中に着信側のリンク番号を挿入して転送することにより、このリンク番号をアドレスとしてローカルメモリLM中の該当するリンク制御テーブルLCTの内容を演算レジスタにロードする手段と、
- (6) 上記通信プロセスからのリンク終結要求により、上記リンク制御テーブルを解放する手段とを有しているため、複数の通信プロセス間の論理リンクを独立的かつ直接処理することができ、通信プロトコルオーバーヘッドの少ない大量データの高速転送に適合した高性能なデータ通信のできる計算機ネットワークを構成することができる。

〔次号予定〕 三菱電機技報 Vol. 63 No.11 三菱半導体事業30周年記念特集号

特集論文

- 最先端DRAMプロセス技術
- 4MビットダイナミックRAM
- 高速1MビットCMOSスタティックRAM
- 5V単一電源で動作する高速1M EEPROM
- 1MビットデュアルポートRAM
- ディジタルPPC用5KバイトFIFO/LIFOメモリIC
- 4MビットP²SRAMモジュールの開発と応用
- 三菱大容量メモリカード
- TRON仕様32ビットマイクロプロセッサM32／100
- M32用μITRON仕様OS：MR3200と開発環境
- 24ビット、50ns画像/映像処理用シグナルプロセッサ(DISPL)
- 自動車用16ビットワンチップマイコン

- DMAコントローラ内蔵高性能16ビットワンチップマイコン
- MUSE/NTSCコンバータ用LSI
- 静止画テレビ電話用モダムLSI
- 高速、低消費電力の1.0μmCMOSゲートアレー M60050シリーズ
- 超低雑音HEMT
- 光通信用1.5μm帯MQW-DFBレーザ
- 超低雑音GaAsSAMFETの開発とMMICへの応用
- インバータ用パワーICモジュール
- 三次元形状シミュレータ
- 超微細加工プロセス技術
- 斜め回転イオン注入技術
- アイスクラバー洗浄
- 半導体のFA技術

三菱電機技報編集委員会

委員長 山田 郁夫
委員 峯松 雅登
リ 福岡 正安
リ 尾崎 博規
リ 風呂 功
リ 大原 啓治
リ 松村 恒男
リ 紅林 秀都司
リ 高橋 誠一
リ 鳥取 浩
リ 柳下 和夫
幹事 長崎 忠一
10月号特集担当 松田 節之

三菱電機技報63巻10号

(無断転載を禁ず)
1989年10月22日 印刷
1989年10月25日 発行
編集兼発行人 長崎 忠一
印刷所 東京都新宿区榎町7
大日本印刷株式会社
発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号(〒105)
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) 437局2338
発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地(〒101)
株式会社 オーム社
Tel.(03) 233局0641㈹, 振替口座東京6-20018
定価 1部721円(本体700円) 送料別
年間予約は送料共9,373円(本体9,100円)

スポットライト 中容量光ディスクライブラリユニット



昭和62年に大容量光ディスク記憶装置のAタイプ(容量34ギガバイト)とBタイプ(容量90ギガバイト)の2機種を発表しましたが、今回、中容量光ディスク記憶装置としてZタイプ(容量14ギガバイト)を開発しました。この装置は、シリーズの中で最小の装置ですが、130mm光ディスクを最大24枚収納することが可能であり、ライトワンス形光ディスク駆動装置を2台収納しています。1台当たりの容量は、最大14ギガバイトであり、SCSIインターフェースにより接続台数を拡張することができます。装置は小形・軽量で、据付面積が少なく、ホスト機器操作卓の横に並べて使用できます。

特長

● 豊富なシリーズ群

中容量装置のシリーズ化により、最大記憶容量90ギガバイトの装置から14ギガバイトの装置まで用途に合わせて選択できます。

● 小形・軽量

中容量光ディスク記憶装置は、幅300mm、奥行710mm、高さ700mmのコンパクトなサイドデスクタイプです。

● 高性能

光ディスク駆動装置は、三菱ライトワンスMW形を使用しており、高いデータ転送レートとデータの高信頼性を確保しています。ま

た高速高精度制御機構の採用により、ディスクの交換が平均11秒でできます。

● システム拡張性

インターフェースはANSI規格(ANSI×3.131-1986)のSCSIを採用しており、各種ホスト機器に接続できます。また、装置はSCSIにより容易に拡張することができます。

● 操作性

光ディスク駆動装置を2台収納しており、一方の光ディスク駆動装置でデータの記録・再生中に、他方の光ディスク駆動装置にカートリッジを出し入れすることができ、データアクセスの高速化を図っています。

仕様

形 名	MW-5G2-Z22
ディスク枚数	24
ディスク使用面	両面
記憶総容量(GB)	14
光ディスク駆動装置台数	2
光ディスク駆動装置形名	MW-5D2
光ディスク平均交換時間(秒)	11
入力電源	AC100-120/220-240V
インターフェース	SCSI(ANSI×3.131)
装置寸法 W×H×D(mm)	300×700×710

スポットライト 書換形光ディスク装置



このたび三菱電機では、光磁気方式の130mm書換形光ディスク装置、および光ディスクカートリッジを開発しました。この装置は、小形軽量ヘッドの採用、専用ICによるトラックカウント式アクセス方式の採用、リアルタイムでエラー訂正可能なエラー検出・訂正ICの採用、大容量バッファメモリの搭載、SCSIインターフェース回路の内蔵などにより、高速アクセス、高速データ転送、ホスト機器への高い接続性を実現しております。小形ながら高速・大容量の外部記憶装置として容易に使用できます。

特長

● ISO規格準拠

130mm ISO規格準拠の512B/セクタおよび1024B/セクタの2種類の光磁気ディスクカートリッジが使用でき、アプリケーションによってどちらでも仕様可能です。

● 光ディスク制御装置(ODC)内蔵

82.6×146×203mmの外装の中に、光ディスク駆動装置(ODD)、および光ディスク制御装置(ODC)を内蔵しており、ホスト機器に組み込んで使用するときも設置が容易です。

● 水平設置、垂直設置可能

設置スペースに合わせて、水平設置(横置き)、垂直設置(縦置き)のどちらも可能です。

● 高性能、高機能

光ディスク駆動装置(ODD)部分での平均シーク時間は35.5msを実現。光ディスク制御装置(ODC)を介しても平均47.5ms以下で目的トラックへシークでき、固定磁気ディスク装置に匹敵するシーク性能が得られます。また512KBの大容量バッファメモリと、最高2.5MB/秒のSCSI転送速度、SCSIディスコネクト機能のサポートなどにより、ホスト機器およびSCSIバスの負担を軽減してシステムの処理性能を向上させます。

● 高信頼性

データを記録する光ディスクは2層記録膜方式であり、高い記録感度と高いC/N比、100万回以上の消去・記録・再生サイクル、15年以上のデータ保存寿命(加速試験による推定)を達成しており、信頼性の高い記憶媒体として使用できます。

仕様

形名	ME-5E1	
対応規格	ISO規格(ドラフト)準拠	
平均シーク時間	SCSI上部 ODD部	47.5ms 35.5ms
平均回転待時間		12.5ms
ディスク回転速度		2,400rpm
外部インターフェース		SCSI×3.131-1986
セクタサイズ		512バイト/1024バイト
サーボ方式		連続
記録方式		磁気バイアス光変調方式
訂正後ビットエラーレート		10^{-12} 以下
データ転送速度	SCSI ディスク再生信号	2.5MB/秒(最大) 7.4Mbit/秒
ローディング・起動時間		4.5秒以下
停止・イジェクト時間		3秒以下
設置方向		水平/垂直
寸法(H×W×D)		82.6×146×203mm
重量		2.6kg
電源		+5V、+12V

光ディスクユニット(サブシステム)仕様

形名	ME-5U1 ME-5E1
内蔵光ディスク装置	ME-5E1
設置方向	水平/垂直
寸法(H×W×D)	125×230×290mm
重量	7kg
電源	AC100-120V、平均40W

光ディスクカートリッジ仕様

形名	ME-5M32 297MB×2	ME-5M42 326MB×2
容量	512B	1024B
セクタ数	31セクタ/トラック	17セクタ/トラック
記録方式	光磁気	
エラーレート	5×10^{-5} 以下	
C/N	48dB以上	
寿命	15年	
寸法(H×W×D)	135×153×11mm	
重量	165g	

スポットライト 高速追記形光ディスク装置



三菱電機の高速追記形光ディスク装置は、従来の当社製追記形光ディスク装置の特長であった高速アクセス機能の向上を図るとともに、ディスク回転数の向上によるデータ転送速度の大幅なアップを実現したものです。また従来よりのフルリアルタイム訂正機能は本装置でもサポートされており、ホストとの実効データ転送レートの向上が図られています。また製品の小形化を図るために、使用ICの高集積化を行い、従来は別置となっていたコントローラ基板を130mmフルハイトサイズのドライブに内蔵しました。

特長

●高速アクセス機能

ドライブインターフェース上での平均シーク時間は35.5msと業界最高水準であり、平均回転待時間およびコントローラ内オーバヘッドを加えたホストインターフェース上での平均アクセス時間も55msを達成しました。

●高速データ転送性能

ディスク回転数を2400rpmに向上させたことにより、ドライブインターフェース上のデータ転送速度は7.4Mbpsに向上。またフルリアルタイム訂正機能のサポートにより、リードデータが訂正可能な場合は訂正動作はすべて同一セクタ内で処理され、エラー量により連続リード動作が中断されることはありません。

●エンベディッドSCSI

従来のドライブ、コントローラで使用していたICの高集積化を行い、130mmフルハイトサイズの中にコントローラを内蔵。またインターフェースとしてはSCSI(ANSI×3.131)を採用するとともに、すべてのコマンドでディスクネット機能をサポートすることによってマルチニシエータ環境にも対応可能となっています。

●小形ユニット

電源組込みの追記形光ディスク装置ユニット(サブシステム)についても、従来品より小形化が図られています。また設置方法につ

いても横置に加えて縦置も可能となっており、設置場所の省スペース化が図れます。

光ディスク駆動装置仕様

形名	MW-5E2
媒体フォーマット	三菱フォーマット
平均シーク時間	SCSI上 42.5ms ドライブI/F上 35.5ms
平均回転待時間	12.5ms
ディスク回転速度	2,400rpm
外部インターフェース	SCSI(ANSI×3.131)
セクタサイズ	512バイト/セクタ
サーボ方式	連続
記録方式	穴アケ
訂正後ビットエラーレート	10 ⁻¹² 以下
データ	SCSI上 1.5M bps ドライブI/F上 7.4M bps
転送速度	7.4M bps
ローディング・起動時間	4sec以下
停止・イジェクト時間	4sec以下
設置方向	水平/垂直
寸法(H×W×D)	82.6×146×203mm
重量	2.3kg
電源	5V, 12V

光ディスクユニット(サブシステム)仕様

形名	MW-5U2
内蔵ユニット	MW-5E2
設置方向	水平/垂直
寸法(H×W×D)	125×230×290mm
重量	6.5kg
電源	AC100-120V、平均40W

光ディスクカートリッジ仕様

形名	MW-5M12
容量	297MB/面
セクタ長	512バイト
セクタ数	32セクタ/トラック
記録方式	穴アケ
エラーレート	5×10 ⁻⁵ 以下
C/N	50dB以上
寿命	15年以上
寸法(H×W×D)	135×153×11mm
重量	180g

スポットライ 全閉水冷モータ

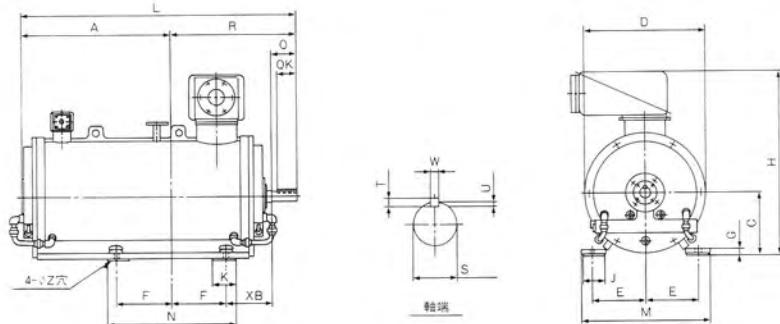


このたび三菱電機では、より低騒音でコンパクトな全閉形モータとして、フレーム二層式の全閉水冷形(ウォータージャケットタイプ)モータをシリーズ化しました。

仕様

項目	標準仕様
形式	全閉形(JP44)モータ形式記号SE-WG
規格	JEC 37
絶縁	F種
定格	連続
回転子形状	かご形
相数、電圧、周波数	三相、400V級、3kV級、6kV級 50/60Hz
周開温度	-5~+40°C (0°C以下の環境では冷却水の凍結防止が必要です)
冷却水温度	+5~+32°C
始動方式	400V級: Y-△方式、3kV及び6kV級: 直入
負荷との結合方式	直結
付属品	固定子巻線用測温素子: サーモスタット 軸端キー付
塗装色(標準)	マンセル N5.5(グレー)

外形図



特長

- コンパクト…全閉外扇形に比べ体積比で50~70%。
- 低騒音…標準騒音は70dB(A)。
- 高効率…全閉外扇形に比べ1%程度アップ。
- 耐環境性…高温の場所、塵埃の多い場所でも使用可。
- 可変速運転に最適…低速領域でも高い冷却性能。
- 換気不要…モータ設置場所の換気は不要。

定格

400V級	2極	4極	冷却水量
SE-WG280M	~160kW	~160kW	15 ℥ /min
SE-WG315L	~315kW	~300kW	30 ℥ /min
3kV級	2極	4極	冷却水量
SE-WG280M	75~100kW	75~100kW	15 ℥ /min
SE-WG315L	~300kW	~280kW	30 ℥ /min
SE-WG355L	~600kW	~560kW	60 ℥ /min
6kV級	2極	4極	冷却水量
SE-WG315L	75~220kW	75~200kW	30 ℥ /min
SE-WG355L	~450kW	~400kW	60 ℥ /min

枠番号	極数	電動機寸法												軸端寸法								
		A	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	XB	Z	Q	QK	R	S	T	U	W
280M	2P~ 4P~	540.5	280 ⁰ _{-1.0}	530	228.5	209.5	30	695	90	100	1,080	570	499	190	24	110	90	509.5	55m6	10	6	16
											1,140					170	140	569.5	85m6	14	9	22
315L	2P~ 4P~	840	315 ⁰ _{-1.0}	615	254	254	33	965	105	110	1,450	646	610	216	28	140	110	610	60m6	11	7	18
											1,480					170	140	640	95m6	14	9	25
355L	2P~ 4P~	851	355 ⁰ _{-1.0}	695	305	315	33	1,045	130	130	1,560	730	730	254	28	140	110	709	60m6	11	7	18
											1,630					210	170	779	100m6	16	10	28

オートトラッキング20"カラーディスプレイモニタ スポットライト HCシリーズ



新形20インチカラーディスプレイモニタ《HC39WEX/HC39PEX》は、マイコン制御によるオートトラッキングタイプの汎用ディスプレイモニタです。

機種シリーズ

●HC39WEX

長残光タイプのCRTを使用。プラスチック・キャビネット、チルト・スイーベル台をオプションにて装着できます。

●HC39PEX

短残光タイプのCRTを使用。プラスチック・キャビネット、チルト・スイーベル台をオプションにて装着できます。

●上記以外にメタルキャビネットタイプもあります。

HC3905ATRJ(短残光タイプ)

HC3905L9ATRJ(長残光タイプ)

特長

- マイコンコントロールによって、各種プリセット信号以外に、最大6信号まで記憶可能。
- 画面調整機構にプッシュボタン方式を採用。
- DM処理の採用でCRTの反射を防止。
- 三菱独自のノングレア処理により、蛍光体などの反射が少なく、ティント管の採用によりコントラストが良く、見やすい画像が得られます。
- 入力信号コネクタは2系統を準備。
 シリリンクD-SUB15P……TTL、アナログ信号入力用。
 BNCコネクタ……アナログ信号入力用。
- 水平周波数および垂直周波数を幅広く追従。
 水平周波数：15.75kHz～38kHz
 垂直周波数：45Hz～90Hz
- ほとんどの16ビット・32ビットパソコンに対応でき、CADに最適の設計となっています。

同期信号種別：アナログ(1.5V～5.0V)/TTL

コンポジット/セパレート/内部同期信号
に対し自動追従可能