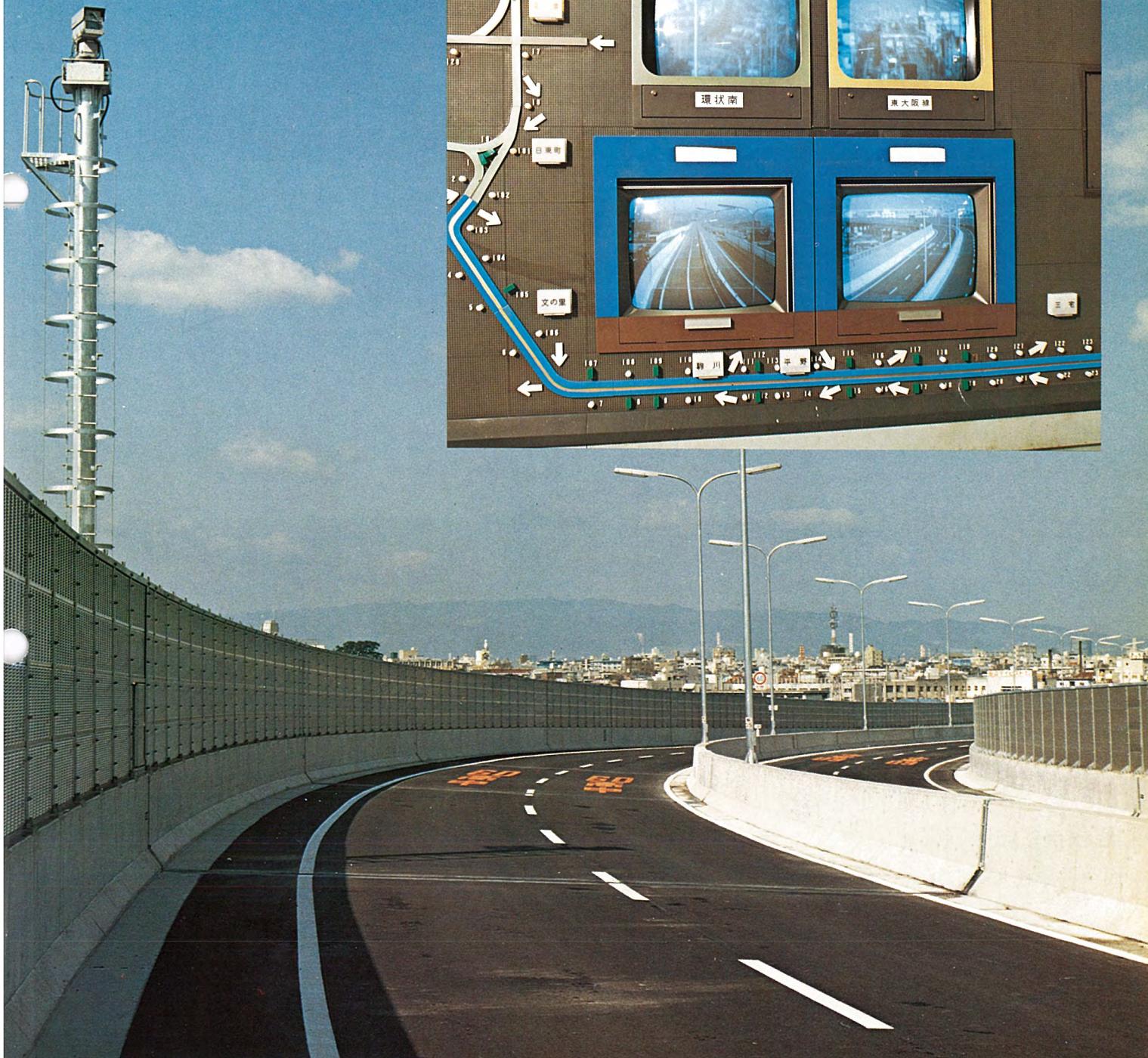
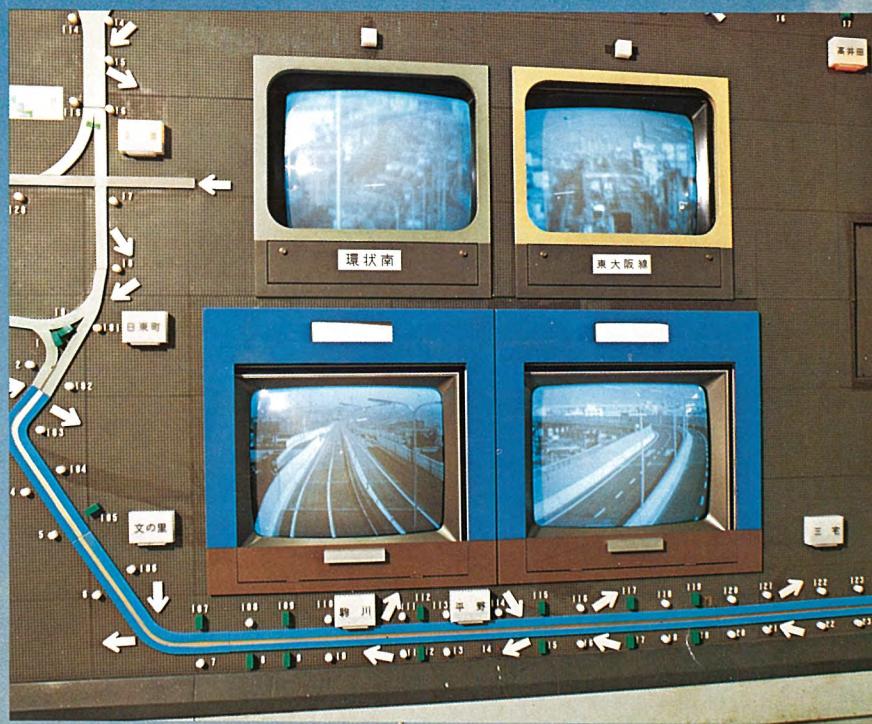


# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.55 No.3

光伝送特集

## 光伝送特集

### 目 次

#### 特集論文

光ファイバ伝送用部品の製品化	1
近藤澄夫・渡辺弘光・竹居敏夫・布下正宏	
ディジタル光送受信器MF-DSシリーズ	6
北山忠義・手島邦夫・岡本正弘・瀬上広一・伊東克能	
光ファイバ通信システム	11
手島邦夫・文字正樹・関川一彦・岡本正弘・伊東克能	
光ファイバ伝送の計算機システムへの応用	16
斎藤幸夫・江口真行	
1.3μm帯レーザダイオードを用いたアナログ光送受信器	21
藤田 晓・菅野典夫・伊東克能・大深輝孝・岡本正弘	
ビデオ信号とディジタル信号との光波長多重伝送系	26
竹居敏夫・三宅良雄・斎藤正光・菅沼ルミ子・足立明宏	
普通論文	
コンピュータリレーに適した電力系統保護方式の開発	31
山越幸成・坂口敏明・西田正吾	
立形電動機の振動解析	36
菅波拓也・富沢正雄・東覚里志・中村俊文・横田正勝	
《MELCOM 70シリーズ》用対話形データベース プロセッサ (IDP-70)	40
田口和男・森田 亮	
最近のしゃ断器の短絡試験技術	44
吉永 淳・佐久間秀一・伊吹恒二・細見 守・田中正治	
プラシレス交流発電機の界磁テレメータ	49
谷口良輔・福吉拓雄・一ノ瀬与三郎	
酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器	54
宇治田 克・夏井恵史・井田芳明・今村長義	
新しい常温短時間硬化接着剤とその金属構造・補強接着への適用	58
原賀康介・山田 祥・榎原邦夫・服部勝利・小林 功	
カラーブラウン管の新形ネック磁石	63
上坂達生・菅原 宏・藤村健男	
特許と新案	29
変圧器用気体検出装置	
テレビジョン受信機の同期分離回路	
密閉形電動圧縮機	
当社の登録特許一覧	68
スポットライト	
《MELCOM-COSMOシリーズ》モデル800III及び800S	66
《ダイヤトーン》カーオーディオマルチスピーカーシステム SX-100B形	67
《ダイヤトーン》ラジオカセットJR-911, JR711 (表3)	

### 表紙

#### 交通流監視用ITV光伝送システム

光ファイバ伝送の最大の特長は、低損失である。そのため、無中継で長距離の伝送が可能となった。また、同軸ケーブルと異なり、光ファイバは電磁誘導の影響をほとんど受けないため、電力線と複合ケーブル化が可能でケーブル布設が経済的に行える。これらの特長を生かした光ファイバを用いた高速道路交通流監視用ITV伝送システムを阪神高速道路公団大阪松原線に納入した。

このシステムは高速道路上の5か所に設置されたTVカメラの映像信号を最長14.5km (最大中継数5) にわたり光ファイバ2心と電力線、制御線を複合したケーブルを通して管制センターまで伝送するものである。管制センターでは制御線を通して中継端局のスイッチを操作することにより同時に2か所の映像が監視できる。



## アブストラクト

### 光ファイバ伝送用部品の製品化

近藤澄夫・渡辺弘光・竹居敏夫・布下正宏

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P1~5

新しい通信手段として、多くの特長をもつ光ファイバケーブルが次第に普及しつつある。この論文では光ファイバ通信に使用するために当社で開発した光コネクタ・発光モジュール・受光モジュール・光分配器・光分波器・光スイッチ・光減衰器・ディジタル送受信モジュールなどの光部品について、基本原理・設計方針及び製品の性能を報告する。

### 1.3μm帯レーザダイオードを用いたアナログ光送受信器

藤田 晃・菅野典夫・伊東克能・大深輝孝・岡本正弘

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P21~25

1.3μm帯レーザダイオードのアナログ変調による光ファイバ伝送装置は、簡単な装置で30kmに及ぶITV信号の無中継伝送を可能とし、長距離伝送が必要な鉄道、道路監視用に期待が集まっている。

この論文では、直接IM方式とPFM方式によるアナログ光送受信器の構成、性能及びその伝送特性について述べる。

### デジタル光送受信器MF-DSシリーズ

北山忠義・手島邦夫・岡本正弘・瀬上広一・伊東克能

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P6~10

光ファイバを伝送路として各種デジタル信号を伝送するための同期式光送受信器MF-DSシリーズを開発した。発光素子としてLED又はLDを用い受光素子としてAPDを用いる。伝送速度として1.5Mb/s, 6.3Mb/s, 32Mb/s, 100Mb/sの4種類が用意されている。

この論文においては、この光送受信器MF-DSシリーズの概要を述べるとともにその設計手法及び性能の測定結果について述べる。

### ビデオ信号とデジタル信号との光波長多重伝送系

竹居敏夫・三宅良雄・齊藤正光・菅沼ルミ子・足立明宏

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P26~28

光波長多重伝送系は、光ファイバ伝送系の容量を拡大するものと期待されているものの1つである。ここでは、ビデオ信号とデジタル信号との同方向波長多重伝送系及び双方向波長多重伝送系を開発した結果について述べる。これらの伝送系は、工場やビルなどにおける監視制御システムへの適用を図ると有効である。

### 光ファイバ通信システム

手島邦夫・文字正樹・関川一彦・岡本正弘・伊東克能

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P11~15

光ファイバ通信における伝送系設計の際に考慮すべき点をまとめ、光ファイバ応用例としては、PCM多重通信とITV画像伝送をとりあげ、具体的なシステム設計並びに使用される光伝送装置について述べる。

### コンピュータリレーに適した電力系統保護方式の開発

山越幸成・坂口敏明・西田正吾

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P31~35

近年、電力系統における保護システムは、経済性・信頼性・柔軟性などを考慮して、従来の静止形リレーからマイクロプロセッサを応用したコンピュータリレーに移行される動向にある。この論文では、コンピュータリレーの本格的導入を前にしてデジタル演算処理に最も適した保護アルゴリズムを送電線保護・変圧器保護用に開発し、計算機シミュレーション及び模擬送電線における実証試験を完了したのでその内容について述べる。

### 光ファイバ伝送の計算機システムへの応用

斎藤幸夫・江口真行

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P16~20

光ファイバ伝送の計算機システムへの一般的な応用形態を述べ、当社における応用製品例として代表的なミニコンピュータによるローカルネットワーク《MELCOM/LOOP-1》及び大形複合計算機による汎用コンピュータネットワーク《MELCOM/LOOP-3》を紹介している。

### 立形電動機の振動解析

菅波哲也・富沢正雄・東覚里志・中村俊文・横田正勝

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P36~39

ロータとステータの連成を考慮した立形回転機振動解析プログラムの概要と、立形電動機のロータとステータのモデル化やその剛性評価について述べる。そして、実機の固有振動数が理論解析によって高精度に予測できることを示す。更に、この解析プログラムを適用した例題研究により、ステータの支持剛性がすべり軸受による自励振動発生に対して大きな影響を与えることを指摘している。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 21~25 (1981)

## A 1.3μm-Band ITV Video-Signal Transceiver Using Laser Diodes

by Satoshi Fujita, Norio Kanno, Katsuyoshi Ito, Terutaka Ofuka & Masahiro Okamoto

Optical-fiber transmission devices using the analog modulation of 1.3μm-band laser diodes enable transmission of ITV signals for distances up to 30km without relay stations, and are attracting widespread attention for applications in rail- and road-transport supervision systems. The article describes the structure, performance, and transmission characteristics of analog optical transceivers using impulse modulation (IM) and pulse-frequency modulation (PFM) techniques.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 1~5 (1981)

## New Components for Optical-Fiber Transmission

by Sumio Kondo, Hiromitsu Watanabe, Toshio Takei & Masahiro Nunoshita

Optical-fiber cables are now coming into use as a new channel of communications, with important advantages over conventional communications systems. Mitsubishi Electric has developed optical-fiber connectors, light-transmitting modules, light-receiving modules, optical dividers, filters, switches and attenuators, digital transceiver modules, etc. for use in optical-fiber communications. The article describes the principles, design methods, and performance of these components.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 26~28 (1981)

## Video-and Digital-Signal Multiplex Transmission by Optical-Wavelength-Division Multiplexing

by Toshio Takei, Yoshi Miyake, Masamitsu Saito, Rumiko Saganuma & Akihiro Adachi

Optical-wavelength-division multiplexing-transmission techniques are expected to expand the capacity of optical-fiber transmission systems. The article describes video- and digital-multiplexing transmission systems that use unidirectional and bidirectional optical-wavelength-division multiplexing and have been developed by Mitsubishi Electric. These new transmission systems hold great promise for application to supervisory and control systems for industrial plants and building complexes.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 6~10 (1981)

## The MF-DS Series of Digital Optical Transmitters and Receivers

by Tadayoshi Kitayama, Kunio Teshima, Masahiro Okamoto, Koichi Segami & Katsuyoshi Ito

Mitsubishi Electric has developed the MF-DS series of regenerative digital optical transmitters and receivers to transmit various digital signals by exploiting the transmission-line capabilities of optical fibers. Light-emitting diodes (LEDs) or laser diodes (LDs) and avalanche photo diodes (APDs) are used as the light-emitting and receiving elements. The series offers four transmission speeds: 1.5, 6.3, 32, and 100Mb/s. The article provides a general description of the MF-DS series, and reports on the design method and operating performance based on quantitative measurements.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 31~35 (1981)

## The Development of Protection Algorithms for Power-System Computer Relaying

by Yukinari Yamakoshi, Toshiaki Sakaguchi & Shogo Nishida

No consideration of recent trends toward economical efficiency, reliability, and flexibility in protective systems for power-generation and distribution facilities would be complete without examining the changeover from static relays to "computer" relays using microprocessors. To meet the need for computer relays, Mitsubishi Electric has developed protection algorithms for use in protecting transmission lines and power transformers that are suitable for digital-data processing, and has performed computer simulations and laboratory tests on artificial transmission lines. The article discusses these developments.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 11~15, (1981)

## Optical-Fiber Communications Systems

by Kunio Teshima, Masaki Monji, Kazuhiko Sekigawa, Masahiro Okamoto & Katsuyoshi Ito

The article discusses the factors affecting the design of transmission systems for use with optical-fiber communications systems and gives practical examples of system design using pulse-coded modulation (PCM) multiplex operation and industrial television (ITV) video transmission. It also provides a summary description of optical transmission devices in current use.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 36~39 (1981)

## Studies of Lateral Vibrations in Vertical Motors

by Takuwa Saganami, Masao Tomisawa, Satoshi Tokaku, Toshifumi Nakamura & Masakatsu Yokota

The article provides a general description of a vibration-analysis program for vertical motors based on a model of the interconnection between the rotor and stator. The model enables evaluation of the mechanical stiffness of the rotor and stator. Theoretical studies show that the problems of natural resonant frequencies in practical motors can be resolved. Additionally, analyses performed with the program indicate that the support stiffness of the stator has a marked influence on the self-excited vibrations of journal bearings.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 16~20 (1981)

## Applications of Optical-Fiber Transmission to Computer-Network Systems

by Sachio Saito & Masayuki Eguchi

The article reports on general applications of optical-fiber transmission to computer systems and introduces the MELCOM/LOOP-1 local minicomputer-based network, and the MELCOM/LOOP-3 general-purpose computer network based on several large computers as specific applications developed by Mitsubishi Electric.

## アブストラクト

### 《MELCOM 70シリーズ》用対話形データベース プロセッサ (IDP-70)

田口和男・森田 亮

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P40～43

当社のミニコンピュータ《MELCOM 70シリーズ》用に開発された新製品である対話形データベース プロセッサ (IDP-70) について、機能と特長及び新技術について解説する。

IDP-70には、データベース内のデータに対する件数検索や内容検索に加え帳票作成、データ更新までを含む高度で広範な機能が含まれております、この点が他の同種製品に類をみない特長である。

これらの機能について、実例を交えて解説する。

### 酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器

宇治田 克・夏井恵史・井田芳明・今村長義

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P54～57

酸化亜鉛形避雷器の普及とともに、それが使われる系統で漏れ電流を測定することが要求されている。この測定は、常規使用状態で行われることが望ましい。このため、避雷器印加電圧のひずみの影響を受けないように、計器用変圧器の2次側から非接触で避雷器印加電圧信号を検出し、この電圧信号で避雷器電流の基本波成分を同期整流することにより、抵抗分電流を分離して測定できる同期整流方式避雷器用漏れ電流検出器を開発した。

### 最近のしゃ断器の短絡試験技術

吉永 淳・佐久間秀一・伊吹恒二・細見 守・田中正治

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P44～48

最近、高電圧タンク形しゃ断器をはじめ、3相一括形しゃ断器の試験検証技術が問題となっており、またIECでは再起電圧条件の見直しが検討されている。これらの動向に対し、当社では、至近距離線路故障に対するしゃ断性能、タンク形しゃ断器の分担電圧、3相一括形しゃ断器の検証方法等を検討し、万全の検証態勢をとっている。

これらの現状と、再起電圧発生に関する検討、波形評価技術について述べる。

### 新しい常温短時間硬化接着剤とその金属構造・補強接着への適用

原賀康介・山田 祥・榎原邦夫・服部勝利・小林 功

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P58～62

接着強度、耐久性等に関して、構造用接着剤として十分な性能をもち、しかも作業性が極めて優れた構造用変性アクリル系接着剤を開発した。この接着剤は、金属板による構造物組立てや、補強材接合などに適している。既に、エレベーターの壁面及び扉用パネルの補強材の接合、電気機器収納用筐体の組立てに適用されており、製品の性能向上、製造工程の合理化、省資材・省エネルギーなどに効果を上げている。

### ブラシレス交流発電機の界磁テレメータ

谷口良輔・福吉拓雄・一ノ瀬与三郎

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P49～53

近年、発電プラントの自動運転による省力化はもちろん、予防保全の見地から、ブラシレス交流発電機の界磁回路諸量の計測が要求されてきた。しかし高速回転体からの直接計測は、不可能との考えが支配的であり半ばあきらめられていた。筆者等はこの問題解決に取組み、他に例を見ない「ブラシレス交流発電機の界磁回路諸量の直接計測装置」を開発した。本稿は、今回製品化したこの装置の詳細を紹介するものである。

### カラーブラウン管の新形ネック磁石

上坂達生・菅原 宏・藤村健男

三菱電機技報 Vol.55・No.3・P63～65

カラーブラウン管のネック部にとりつけるピュリティ、コンバーゼンス調整用磁石装置の新しいものを報告する。従来は、6枚の独立に回転可能なリング状磁石の重ね合わせたものからなり、調整量に応じてそれぞれの回転角度を加減していたものを、1枚のシート状磁石をネック部に巻つけ、必要に応じた最適分布に自動機によって着磁させるようにしたものである。構造が簡単で材料が少なくて済み、調整を人手によらないなど今後の方向を示唆したものと考える。

## Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 54~57 (1981)

### A Leakage-Current Detector for Metal-Oxide Surge Arresters

by Katsu Ujita, Keishi Natsui, Yoshiaki Ida & Osayoshi Imamura

The increasingly widespread use of metal-oxide surge arresters has given rise to a corresponding need to measure leakage currents in the power systems using them. The measurements should, of course, duplicate nominal service conditions as closely as possible. A phase-sensitive leakage-current detector has been developed that distinguishes the fundamental harmonic of the voltage signal and identifies and measures the resistive component of current, avoiding the influence of the distortion associated with the voltage applied to the surge arrester by picking up the noncontact voltage from the secondary side of a potential transformer.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 40~43 (1981)

### The IDP-70 Interactive Database Processor for the MELCOM 70 Series

by Kazuo Taguchi & Ryo Morita

The article describes the sophisticated new technology, operating functions, and features of the IDP-70 interactive database processor for the MELCOM 70 computer series developed by Mitsubishi Electric. The IDP-70 can perform various functions, providing not only access to the content of records in the data base but also form generation and data updating, and has important advantages over other processors of the same kind. The various functional improvements are illustrated by practical examples.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 58~62 (1981)

### New Adhesives That Cure Rapidly at Room Temperatures and Their Application in Metal-to-Metal Structural Bonding

by Kosuke Haraga, Akira Yamada, Kunio Sakakibara, Katsutoshi Hattori & Isao Kobayashi

Mitsubishi Electric has developed modified-acrylic structural adhesives that offer improved performance, including bond strength, durability, and processability. They are suitable for structures in which sheet metal is to be bonded to reinforcing materials, and have already been used in bonding reinforcing materials to the walls and doors of elevators, and the assembly of housings for electrical appliances. The new adhesives are contributing to a marked improvement in the performance of products, in savings of material and energy costs, and they considerably enhance production efficiency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 44~48 (1981)

### A Short-Circuit Testing Technique for Gas Circuit Breakers

by Kiyoshi Yoshinaga, Shuichi Sakuma, Koji Ibuki, Mamoru Hosomi & Masaharu Tanaka

Techniques for the inspection and testing of high-voltage tank-type circuit breakers and three-phase-enclosure circuit breakers have recently come into prominence, particularly as the International Electrotechnical Commission (IEC) is reexamining the corresponding reststriking-voltage conditions. Mitsubishi Electric has responded by a careful examination of cutoff performance to cope with faults in extremely short lines, of partial voltages in tank-type circuit breakers, and of inspection methods for three-phase-enclosure circuit breakers. The article describes the development of testing techniques, the examination for restriking voltage, and waveform-evaluation techniques.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 63~65 (1981)

### A New Method for Adjusting the Color Purity and Convergence of Color Picture Tubes

by Tatsuo Uesaka, Hiroshi Sugahara & Takeo Fujimura

The article reports on a magnetic device for adjusting the purity and convergence of color picture tubes. Conventional magnetic devices for this purpose consist of up to six separate rings that can be rotated independently about the neck of the tube to perform the adjustments. This has been replaced by a sheet of magnetic material that can be wrapped around the neck of the tube automatically for the optimum distribution. The simplicity of the structure and the small amount of magnetic material required, plus the lack of the need for human adjustment, promise to build a rapidly growing demand for this device.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 3, pp. 49~53 (1981)

### A Field-Circuit Telemeter System for Brushless AC Generators

by Ryosuke Taniguchi, Takuo Fukuyoshi & Yosaburo Ichinose

Recent trends toward labor saving by the automatic operation of power plants and toward preventive maintenance have given rise to the need for the measurement of certain parameters of the field circuits of brushless AC generators. The fact that the armature turns at very high speed had previously been thought to make direct measurement virtually impossible, but Mitsubishi Electric has successfully developed a field-circuit telemeter system for brushless AC generators, the first to be capable of direct measurement. The article describes the device, which is now reaching markets.

# 光ファイバ伝送用部品の製品化

近藤 澄夫\*・渡辺 弘光\*・竹居 敏夫\*\*・布下 正宏\*\*\*

## 1. まえがき

光通信について、これまで多くの研究と実用化の努力が続けられてきたが、その1つの成果として、ここ数年来光ファイバを伝送媒体とした光ファイバ伝送システムの実用化が急速に進んでいる。発光ダイオード、レーザダイオードなどの直接輝度変調のできる半導体発光素子及びフォトダイオード、アバランシェフォトダイオードなどの半導体受光素子と光ファイバを組合させて、デジタル、アナログの各種信号を伝送する光ファイバ伝送システムは、高速かつ長距離無中継の信号伝送が可能であること、電気絶縁性が高く電磁誘導がないこと、更に光ファイバの軽量で可とう性に優れていることなどの従来の同軸ケーブルにはない特長を生かして、既に多くの実用化がなされている。

ここでは、当社でこれまでに開発、製品化を行い、コンピュータリンク、ビデオ伝送システムなどの実用システムに組込んで納入し、その有用性、信頼性が実証されている多モードファイバ用の各種光ファイバ伝送用部品(光コネクタ・発光モジュール・受光モジュール・光分配器・光分波器・光スイッチ・光減衰器・送受信モジュールなど)について、その機能、原理、性能について述べる。

## 2. 光ファイバコネクタ

光ファイバコネクタは、光ファイバ相互の接続及び他の光ファイバ伝送用部品と光ファイバの結合を行うための部品で、光ファイバ伝送システムにおいて基本的な部品の1つである。

図1.はコネクタの外観であって、図1.の両端はプラグ、中央はプラグをそら(挿)入し、つき合わせて固定するアダプタである。光ファイバは、プラグ先端の円筒形のかん(嵌)合部(フェルール)の中心軸に固定されており、プラグをつき合わせることにより光ファイバ端面がつき合わされて、光の結合がなされる。

低接続損失のコネクタを得るために、接続損失の原因となる光ファイバ相互の軸ずれ及び角度ずれ、光ファイバ間のすき間、光ファイバ端面の傾き及びおうとつ(凹凸)、端面でのフレネル反射損などを極力少なくするように部品の加工及び組立を高精度で行う必要がある。このコネクタでは、たとえば軸ずれに対しては、円筒形嵌合部の外径・真円度・円筒度・アダプタの内径・真円度・円筒度更に光ファイバの固定位置などを精度良く加工、組立を行い、5μm以下の軸ずれとなるようにしている。他の項目についても同様に考慮を払い、コア径60μm、開口数0.17の標準的光ファイバについて、接続損失として1dB以下のものを安定して得ている。

また、信頼性については、耐寒、耐熱、温度サイクル試験及び耐湿

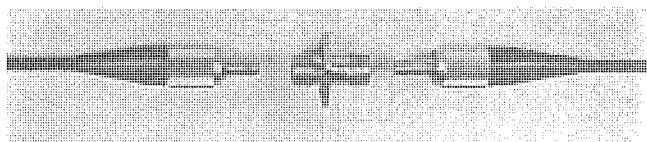


図1. 光ファイバコネクタの外観

試験により、-20~+60°Cの温度範囲、95%RH以下の湿度に対して特性の劣化のないことを確めた。更にプラグの500回の着脱試験で、接続損失の変動は±0.1dB以内であった。また、これまでフィールドで実際に使われたプラグについていえば、光ファイバのフェルール端面からのとび出し、断線など故障はなく、十分な信頼性が認められている。

## 3. 発光、受光モジュール

### 3.1 LEDモジュール<sup>(1)</sup>

LEDモジュールは、図2.、図3.に示すように、発光ダイオード(LED)をコネクタのレセプタクルのついたケースに装着し、LEDから出る光を効率良く光ファイバに結合させる部品である。LEDは、当社製のME-1303であり、直径35μmの発光面から数dBmの光出力を放射する高輝度のものであり、しゃ断周波数(-3dB)は50MHzと高く、かつ室温で10<sup>7</sup>時間以上の長寿命であるなどの特長をもつ。更に、光ファイバとの結合効率を高めるために、直径100μm程度の球レンズをチップの前面にとりつけている。またLEDパッケージの前面には、保護用サファイア板の窓を取りつけてあり、レセプタクルに挿入されたプラグがLEDチップに直接あたらないようにしている。

LEDモジュールの性能を表1.に示す。LEDの通電電流50mAに対して、光ファイバ内入力は-15dBm以上であり、プラグの着脱、変換などによる結合効率の変動は0.5dB以下である。

### 3.2 LDモジュール<sup>(2)</sup>

LDモジュールは、図4.に示すように半導体レーザ(LD)をレセプタクル

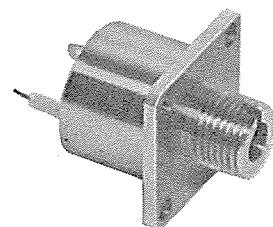


図2. LEDモジュールの外観

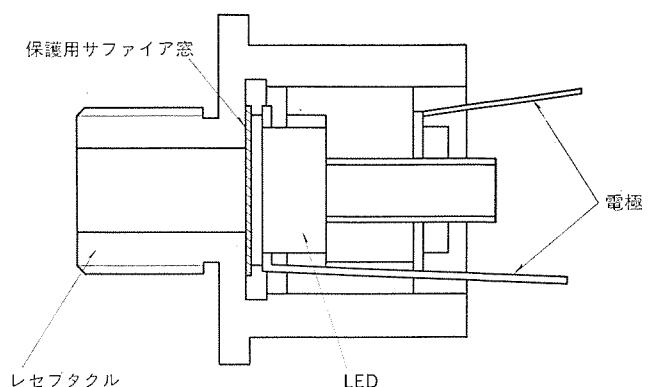


図3. LEDモジュールの構造

表 1. 発光モジュール、受光モジュール性能

LED モジュール	LD モジュール	PD モジュール	APD モジュール
ファイバ内光出力 -15 dBm ただし、 順方向電流 50 mA 使用ファイバ SI 形 コア径 60 $\mu$ m NA 0.17 の場合	0 dBm ただし、 順方向電流 $I_h + 10$ mA 使用ファイバ SI 形 コア径 60 $\mu$ m NA 0.17 の場合	ファイバとの結合損失 0.5 dB 使用ファイバ SI 形 (コア径 60 $\mu$ m NA 0.17)	0.5 dB 使用ファイバ SI 形 (コア径 60 $\mu$ m NA 0.17)
発光ピーク波長 800~880 nm	800~900 nm	中心波長 900 nm	800 nm
スペクトル半値幅 45 nm	0.5 nm	中心波長でのダイオードの 応答感度 0.4 A/W	0.45 A/W ( $M=1$ $V_a=50$ V)
しゃ断周波数 (-3 dB) 50 MHz	2 GHz	降伏電圧 —	150 V ( $I_D=100$ $\mu$ A)
周囲温度、湿度 -20~+60°C 95% RH 以下	-20~+40°C	しゃ断周波数 (-3 dB) 150 MHz ( $R_L=50$ $\Omega$ )	周囲温度、湿度 -20~+60°C, 95% RH 以下
外形寸法、重量 17×17×19 mm 14 g	23×23×37 mm 50 g	外形寸法、重量 17×17×19 mm 14 g	400 MHz ( $M=100$ , $R_L=50$ $\Omega$ )

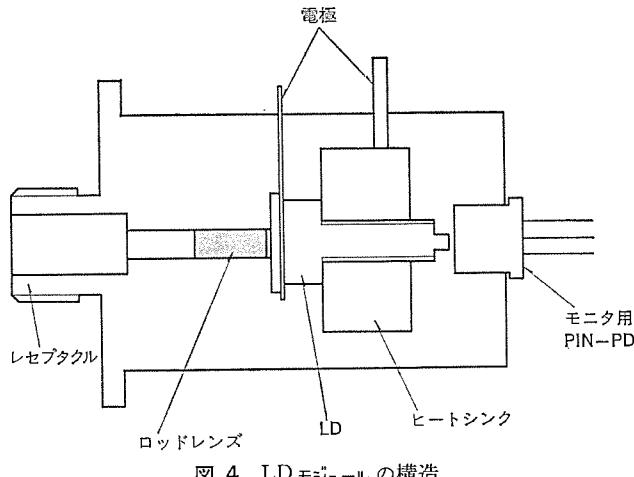


図 4. LD モジュールの構造

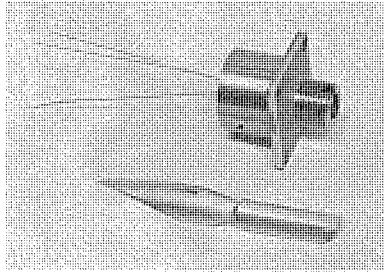


図 5. PD モジュール・APD モジュールの外観

に装着し、ロッドレンズを介して LD 光を効率良く光ファイバに結合させる部品である。使用している LD は、当社製の ML-2205 で、光ファイバとの結合損失は 4 dB 以下である。表 1. に LD モジュールの性能を示す。

### 3.3 PD モジュール、APD モジュール

光ファイバ伝送に使われる受光素子には、PIN-フォトダイオード (PIN-PD) とアバランシエフォトダイオード (APD) がある。前者は比較的短距離か、又は長距離でも低速の信号伝送に、また、後者は長距離で高速の信号伝送に適している。これらの素子を LED、LD と同様のケースに組込み、光ファイバとの結合ができるようにしたものが PD モジュール及び APD モジュールである。その外観を図 5. に、またその性能を

表 1. に示す。いずれのモジュールも光ファイバとの結合損失は、0.5 dB 以下である。

### 4. 光分配器<sup>(3)</sup>

1 本の光ファイバから 2 本の光ファイバへの信号光の分岐、及び 2 本から 1 本への合成を行うための光部品であり、光源や伝送路の状態の監視用モニタ、信号の双方向伝送などに使用される。

図 6. にこの光分配器の外観を、また図 7. に構成を示す。光ファイバ 1 より入射した光は、屈折率分布形ロッドレンズ (1) (ピッチ 1/4) により平行光線とされ、屋根形反射鏡によって 2 分割されてそれぞれ入射光に直角の方向に反射される。分岐された光は、再びロッドレン

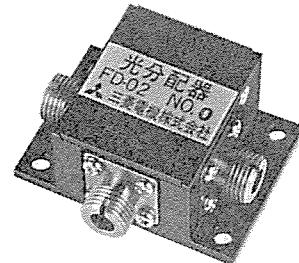


図 6. 光分配器の外観

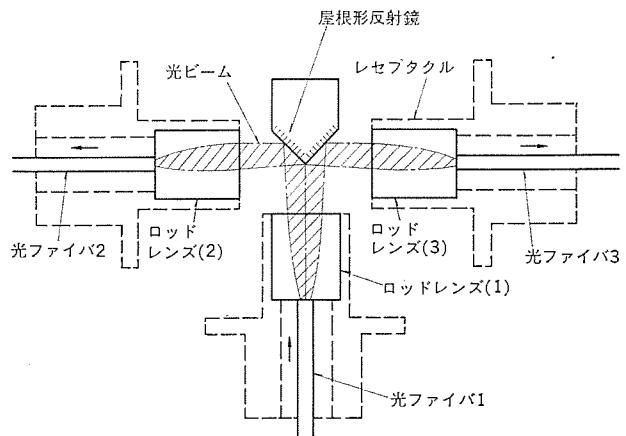


図 7. 光分配器の構成

表 2. 光分配器の性能

分 配 比	1:1
分配比のアンバランス	0.5 dB 以下
押 入 損 失	3 dB 以下
周 囲 温 度, 湿 度	-20~+60°C 95% RH 以下
外 形 尺 法, 重 量	38×27×17mm 35g

ズ(2), (3)によりそれぞれ光ファイバ2, 3に集光されて送出される。また同じ原理で、逆に光ファイバ2と3に光を入射することにより、ファイバ1へ光を合成して取り出すこともできる。

製品化した光分配器は、図6., 図7.に示すようにレセプタクル内にロッドレンズを内蔵する形であり、コネクタプラグを挿入することにより、表2.に示す性能が得られる。

### 5. 光 分 波 器<sup>(4)</sup>

光分波器は、1本の光ファイバで伝送されてきた複数の波長の光のうち、望みの波長の光を独立して取り出すときに用いる。また、複数の波長の光を1本の光ファイバに入射させるための光分波器としても

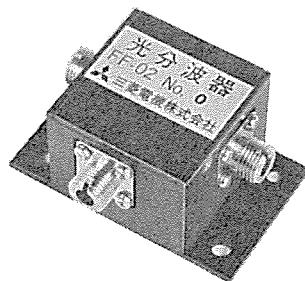


図 8. 光分波器の外観

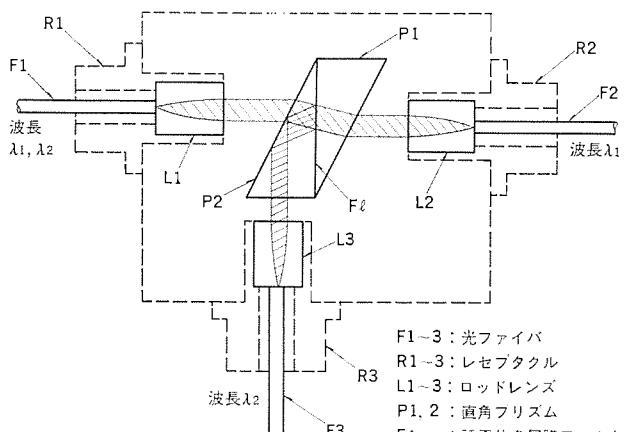


表 3. 光分波器の性能

押 入 損 失	3 dB 以下
漏 話 量	-30 dB 以下(注)
周 围 温 度, 湿 度	-20~+60°C 95% RH 以下
外 形 尺 法, 重 量	40×30×25mm 60g

注  $\lambda_1=820\text{ nm}$ ,  $\lambda_2=890\text{ nm}$  の場合

用いることができる。図8.にこの光分波器の外観を、また、図9.に構成を、表3.に性能を示す。

### 6. 光スイッチ<sup>(5)</sup>

光スイッチは、光ファイバ内を伝送する信号光の光路を切換えるための部品であって、光システムにおける伝送路の切換え、あるいは光伝送路の試験などに使用される。

製品化したスイッチは、図10.に示すように2入力、2出力端子を持ち、通常の単極双投の動作とともに、たとえば光データウェイシステムにおいて、各端末装置の接続、切り離しを行うことができる構造をもっている。

その構成は図11.に示すように、ロッドレンズL1~L4を組込んだレセプタクルR1~R4と可動鉄片B、可動鉄片に取りつけられた反射鏡M1, M2, スプリング、電磁石とから構成される。図11.は、可動鉄片が電磁石に吸引された状態であって、R1へ入った光はM1により反射されてR3へ、またR4から入った光はM2により反射されてR2へ出射する。また、電磁石のコイルに流す電流を停止したとき鉄片はスプリングに引かれて図11.の下方へ移動し、光はR1からR2へのみ伝送される。

そこで、この光スイッチのR1, R2を光データウェイの幹線に、また、R3を端末装置の入力端に、R4を端末装置の出力端に接続しておけば、電磁石のコイルに電流を流しているときデータはR1→R3→端末装置→R4→R2と伝送されるが、電磁石のコイルに流す電流を停止すれば、データをR1→R2とバイパスすることができる。

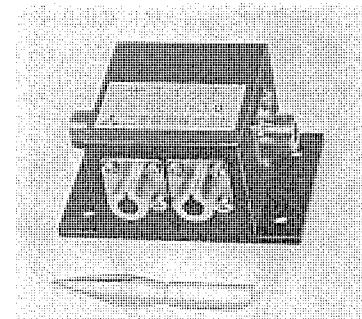


図 10. 光スイッチの外観

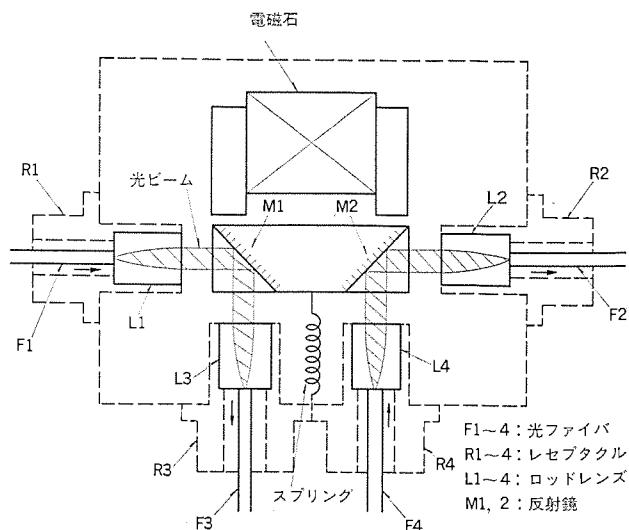


表 4. 光スイッチの性能

挿入損失	3 dB 以下
漏話量	-45 dB 以下
スイッチング時間	1.5 ms 以下
駆動電力	6 V, 160 mA
切換寿命	1.5 × 10 <sup>6</sup> 回以上
周囲温度, 湿度	-20~+60°C 95% RH 以下
外形寸法, 重量	50×34×25 mm 70 g

更にこの光スイッチは、R 1→R 3 と R 1→R 2 の単極双投形光スイッチとしても使用することができる。

この光スイッチの性能を表 4. に示す。挿入損失は 3 dB 以下である。

## 7. 光減衰器<sup>(6)(7)</sup>

### 7.1 光可変減衰器

光可変減衰器は、光ファイバ中を伝送する信号光を必要量減衰させるための光部品で、光ファイバ伝送システム及び光送受信装置の特性チェック、調整用として使用するものである。

構成は図 12. に示すとおりであって、ロッドレンズを装着した 2 つのレセプタクルの間の光路に粗調用フィルタ板と微調用フィルタ板が挿入されており、粗調用は 10 dB ステップで、また、微調用は 0.25 dB ステップで減衰量を変化できるようになっている。フィルタの構造としては、ガラス円板に金属 Ta 膜を蒸着し、陽極酸化法によりその透過量を精密に設定し、円周方向にステップ状に変化させたものである。図 12. 中、フィルタ板を傾斜させているのは、フィルタ板からロッドレンズへの反射光のもどりを防ぐためのものである。

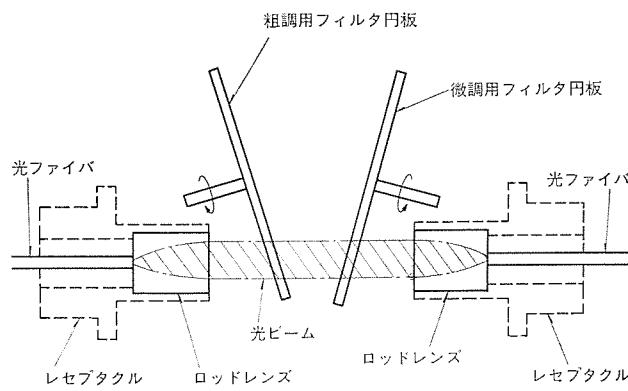


図 12. 光可変減衰器の構成

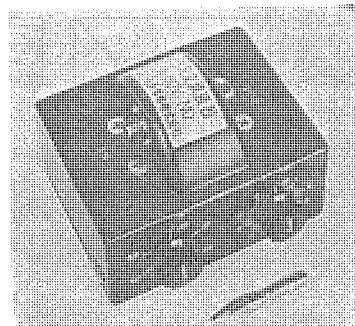


図 13. 光可変減衰器の外観

表 5. 光減衰器の性能

品名	光可変減衰器	光固定減衰器
挿入損失	3 dB 以下	減衰量 6, 10, 20 dB の 3 種類
減衰量可変範囲	60 dB	(精度はいずれも ±0.5 dB)
可変減衰量	0.25 dB ステップ	
周囲温度, 湿度	-20~+60°C, 95% RH 以下	
外形寸法, 重量	90×86×61 mm 300 g	28×28×17 mm 20 g

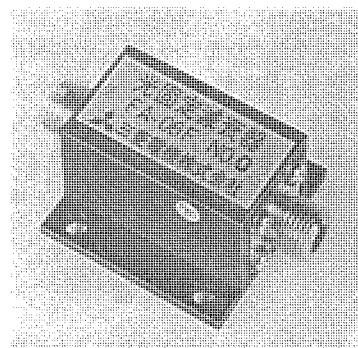


図 14. 光固定減衰器の外観

図 13. にその外観を表 5. に性能を示す。

### 7.2 光固定減衰器

近距離信号伝送において、受信機へ最大許容入力を超える高いレベルの光信号が入ることがある。このようなときには、一定光量を減衰させる必要がある。そのような目的のために、光システムに組みれる小形の光固定減衰器を製品化した。原理は、光可変減衰器と同じく光路にフィルタ板を挿入するもので、減衰量として 6, 10, 20 dB のものを製品としている。図 14. にその外観を、また表 5. にその性能を示す。

## 8. ディジタル送受信モジュール<sup>(8)</sup>

このモジュールは、TTL レベルのデジタル信号の電気一光変換用の部品であり、コネクタプラグを接続することにより、デジタル信号を光ファイバを介して授受することができる。

図 15. は、製品化した 2 種類のはん(汎)用モジュールのうち 10 Mb/s までのデジタル信号を伝送する MF-050 DF-TR の外観であり、図 16. はそのブロック図である。図 15., 図 16. に示すように、このモジュールは送信部と受信部を一体とした構造である。図 16. に示すように送信部に入った TTL の入力信号は、バッファのゲート回路を介して駆動回路に入力し、そこで LED を点滅させる(入力信

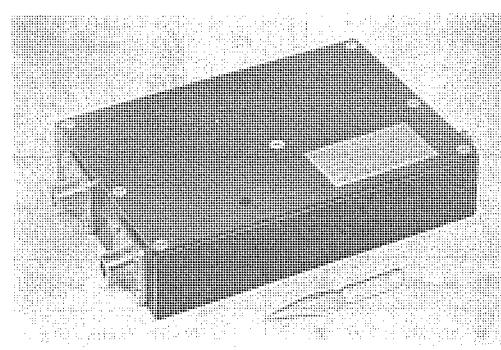


図 15. 送受信モジュールの外観

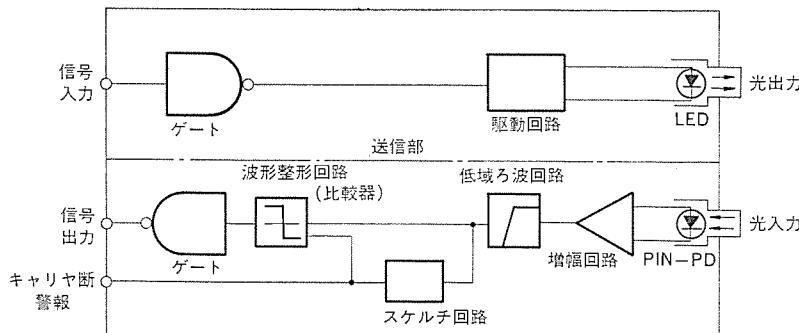


図 16. 送受信モジュール(MF-050 DF-TR)のブロック図

表 6. デジタル送受信モジュールの性能

項目	形名	MF-005 DF-TR	MF-050 DF-TR
送信部	発光素子	LED (発光ピーク波長 800~880 nm)	
	光送信レベル	-16 dBm	
受信部	受光素子	PIN-PD	
	受光レベル範囲	-15~-35 dBm	-15~-37 dBm
	符号誤り率	1×10 <sup>-9</sup> 以下	
信号伝送速度	DC~1 Mb/s NRZ: ピットレートフリー	100 b/s~10 Mb/s NRZ: ピットレートフリー	
	所要電源	±5 V	±12V, +5 V
消費電力	1 W 以下	2.5 W 以下	
周囲温度, 濡度	-20~+60°C	10~90% HR	
外形寸法, 重量	50×22×76 mm 130 g	68×22×97 mm 180 g	

号が高レベルのとき LED は発光、低レベルのとき消光)。受信部においては、PIN-PD により光信号は電気信号に変換され、増幅器で増幅された後、波形整形を受けて TTL レベルで出力する。図 16. 中、スケルチ回路は、その出力が波形整形回路(比較器)の基準電圧端子に接続されており、光信号が一定レベル以下となったときのみ数 V の電圧を発生して比較器の出力を低レベルにクランプし、かつ“キャリヤ断”の警報を発生する。このモジュールでは、警報を発生するレベ

ルを -37 dBm (ピーク値) に設定しており、これ以上のレベルにおいて  $10^{-9}$  以下の符号誤り率を保証している。また、このモジュールの送受信間の光の許容レベル差は 22 dB であり、3 dB/km のファイバを使う場合約 7 km までの信号伝送が可能である。表 6. に MF-050 DF-TR の主な特性及び 1 Mb/s (メガビット/秒) までの信号伝送を行うモジュール MF-005 DF-TR の主な性能を示した。

## 9. むすび

以上、当社で開発、製品化した多モード光ファイバ用の各種光部品について、その構成と性能について述べた。これらの光部品はすでに多くのシステムに組込まれて客先に納入し、現在か(稼)働中である。

今後、光部品は機能の多様化、高性能化、小形化とともに、長波長帯 (1.3~1.5 μm) 用の実用化が進むものと考えられる。また複数の部品を同一基板上に集積化した光集積回路の実現も今後の課題となると思われる。

## 参考文献

- (1) 松井ほか：発光ダイオードユニット、電子通信学会技報、OQE 79-67
- (2) 三宅ほか：屈折率分布形レンズを用いた半導体レーザと光ファイバの結合効率、電子通信学会、光電波全国大会、276(昭 55)
- (3) 松井ほか：光分配器、電子通信学会、光電波全国大会、288(昭 53)
- (4) 三宅ほか：干渉膜フィルタ形光分波器の開発、電子通信学会、総合全国大会、2214(昭 55)
- (5) 布下ほか：光データステーション用  $2 \times 2$  光スイッチ、電子通信学会技報、OQE 79-69
- (6) 黒田ほか：Ta 膜系による光減衰器 フィルタ、電子通信学会、光電波全国大会、283(昭 53)
- (7) 浜中ほか：光減衰器、電子通信学会技報、OQE 78-130
- (8) 久間ほか：光断検出回路付光モジュール、電子通信学会、総合全国大会、2207(昭 55)

# デジタル光送受信器MF-DSシリーズ

北山忠義\*・手島邦夫\*\*・岡本正弘\*\*・瀬上広一\*\*\*・伊東克能\*\*\*

## 1. まえがき

光ファイバ伝送には、低損失で広帯域という特性と共に絶縁性に優れ、サージや電磁誘導の影響を受けにくいという特長がある。この魅力ある特長に注目して電力系、鉄鋼等各種工業プラントの製造工程、交通管制などにおける中央集中管理あるいは分散制御システムや遠隔監視システムなど、電磁環境の劣悪な状況下で使用される伝送系において光ファイバ伝送が実用化されつつある。

当社においてもこのような技術動向に対して伝送路に光ファイバを用いたデータウェイ<sup>(1)</sup>やコンピュータリンク<sup>(2)</sup>の開発を進めている。このような用途においては、コンピュータとの整合性や対雑音特性の点でデジタル光伝送方式が適している。ここでは、各種デジタル信号を伝送する光送受信器のうち、送受信器間の損失が大きい伝送系や高速伝送系に適した同期式光送受信器MF-DSシリーズの概要について述べる。伝送速度は、1.5 Mb/s(メガビット/秒)、6.3 Mb/s、32 Mb/s及び100 Mb/sの4種類である。シリーズ中の光送受信器を要求に応じて選択することにより、上記各種の応用のほかPCM通信装置等広範囲の光伝送系の構成が可能である。

## 2. 光送受信器の構成

### 2.1 仕様

光送受信器の主要諸元及び仕様を表1.に示す。この仕様決定の前提は次のとおりである。電気-光変換素子としては、伝送速度が32 Mb/s以下では高信頼性が確認されている0.8 μm帯の発光ダイオード(LED)を用いる。100 Mb/sでは、LEDの応答特性が低下するので0.8 μm帯のレーザダイオード(LD)を用い、出力制御、故障検知機能

表1. 光送受信器の仕様

形 名	MF-015 DS	MF-063 DS	MF-32 DS	MF-100 DS
伝 送 速 度	1.5 Mb/s	6.3 Mb/s	32 Mb/s	100 Mb/s
波 長	0.8 μm 帯			
電気-光変換素子	LED		LD	
光-電気変換素子		APD		
変 調 方 式	IM			
伝 送 路 符 号	ユニポーラ RZ 符号			
送 信 光 電 力	-15 dBm peak*		-3 dBm peak**	
最 小 平 均 受 信 光 電 力	-65 dBm	-60 dBm	-51 dBm	-47 dBm
符 号 誤 り 率	10 <sup>-9</sup> 以下			
AGC ダイナミックレンジ	30 dB 以上			
電 源	DC ± 6 V			
温 度	0~40°C			

注 \* コア径 60 μmφ, NA=0.17, SI ファイバ使用時

\*\* コア径 50 μmφ, 比屈折率差 1%, GI ファイバ使用時

を光送信器に備えることにより信頼性、保全性を確保する。光-電気変換素子としては、0.8 μm帯において高感度受信に適したシリコンアバランシエフォトダイオード(APD)を用いる。

変調方式は、変調信号のマーク、スペースに対して光出力をON-OFFするIM(Intensity Modulation)方式を用いる。伝送路符号は、ユニポーラRZ符号を用いるが光受信器をAC結合回路により構成するので送信信号は、あらかじめスクランブルによりマークとスペースの平衡をとるか、バイフェーズ符号などのマーク率が一定の符号<sup>(3)</sup>に変換しておくこととする。光ファイバは、伝送速度が32 Mb/s以下ではステップインデックス(SI)ファイバ又はグレーデッドインデックス(GI)ファイバを用いることとする。100 Mb/sではGIファイバのみを用いることとする。

### 2.2 構成

図1.にデジタル光送受信器の外観を示す。デジタル光送信器は、2値デジタル電気信号を光信号に変換し、光ファイバ内に送出する機能を有する。デジタル光受信器は、光ファイバ出力光を受信し、2値デジタル電気信号及びタイミング信号を再生する機能を有する。図2.にその構成図を示す。LED光送信器は、伝送速度が32 Mb/s以下の場合に用い、LD光送信器は伝送速度が100 Mb/sの場合に用いる。

LED光送信器は、NRZ-RZ符号変換回路とドライバーからなる。LD光送信器は、このほかにLD光出力を温度変化に対して一定に保つ自動出力制御(APC)回路と光出力信号振幅が低下したときにこれを検知するキャリヤ検出回路で構成する。LEDは、温度変化に対して光出力が安定しているのでAPC回路は不要である。また、LEDはLDに比較すると信頼性が高いのでキャリヤ検出回路も不要である。

デジタル光受信器は、プリアンプ、可変利得アンプ、LPF、メインアンプからなる増幅器系とタイミング再生回路、識別再生回路及びキャリヤ検出回路からなる。増幅器系では、受信信号をリニア増幅する機能と受信光電力の変化に対し、出力信号振幅を一定にするAGC機能を有する。タイミング再生回路は、受信信号からタイミング信号を抽出再生する。識別再生回路は、受信信号と再生されたタイミング信号を用いて2値デジタル信号を再生する。キャリヤ検出回路は、光送信器及び光ファイバの異常を検知するための回路で受信光電力が規定値以下となった場合に警報信号を発生する。

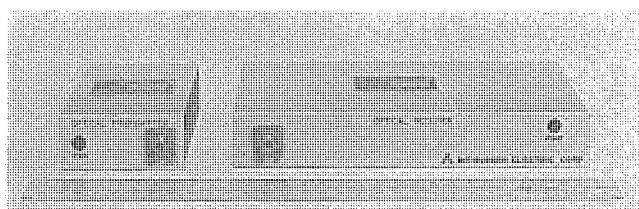


図1. デジタル光送受信器MF-DSシリーズ外観  
(左:送信器, 右:受信器)

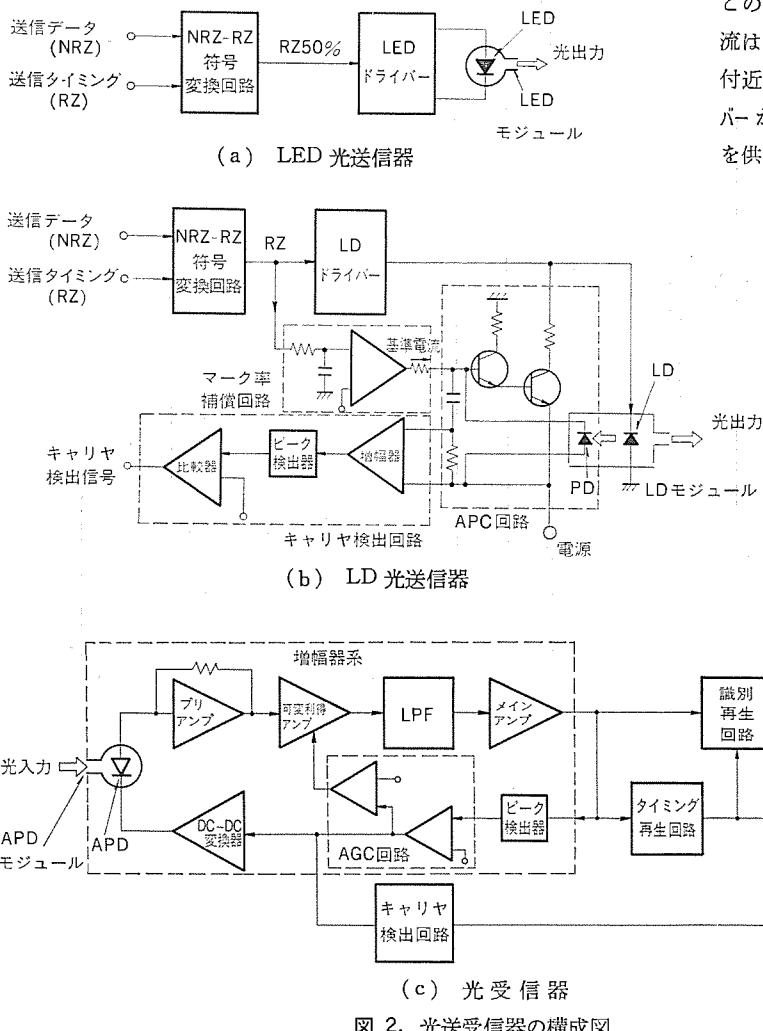


図 2. 光送受信器の構成図

LED, LD 及び APD は、光コネクタセパタブルと一体化された光ファイバと効率よく結合できるモジュール構造<sup>(4)</sup>を採用している。素子はいずれも当社製で、LED は ME-1303, LD は ML-2205, APD は PD-1005 を使用している。

### 2.3 特長

デジタル光送受信器 MF-DS シリーズの特長は、

- (1) 光ファイバと効率よく結合する光モジュールの採用と低雑音増幅器の開発により光送信器出力及び光受信感度が向上し、光送受信器間に 30 dB 以上の損失が許容できる。
- (2) ダイナミックレンジの広い AGC 回路の開発により、30 dB 以上の受信光電力の変化に対し光送受信器は無調整で動作する。
- (3) LD 光送信器は、APC 回路の開発により温度変化及び伝送信号のマーク率変化に対し安定に動作する。
- (4) 受信信号からタイミング信号を抽出、再生できる。
- (5) LD 光送信器、受信器はキャリヤ検出機能を有する。

の 5 点である。

### 3. 光送受信器の性能

32 Mb/s<sup>(5)</sup>、100 Mb/s 光送受信器<sup>(6)</sup>を代表例として主要部の動作及び性能について述べる。

#### 3.1 自動出力制御 (APC) 回路

LD 出力は、発振しきい値電流を越える電流値に比例する。

このときの比例係数が微分量子効率である。LD の発振しきい値電流は、温度に依存して変化するが微分量子効率の温度変化は、常温付近では比較的小さい。LD の駆動は、図 2. (b) のように、ドライバーから一定の変調パルス電流を供給し、APC 回路からバイアス電流を供給する。APC 回路は、回路構成が簡単なことから、光出力の

平均値を検波し、この値が一定となるようにバイアス電流に負帰還をかける方式を採用した。ただし、バイアス電流は発振しきい値以下に設定されている。変調信号のマーク率が変化した場合には、変調信号の平均値を検波し APC ループの基準電流を変えることにより、光出力の平均値の変化と相殺し LD のバイアス電流を一定に保持するように制御している。制御すべき LD 光出力は LD の背面光をフォトダイオード (PD) で受光することにより検出している。PD は LD モジュールに内蔵されている。

図 3. 100 Mb/s LD 光送信器の温度対光パルスピーク値変化及びバイアス電流特性を示す。-10°C ~ +50°C の

温度範囲において光パルスピーク値変化は、0.3 dB 以下に制御されている。変調信号のマーク率変化範囲 1/8 ~ 8/8 における LD バイアス電流は ±1 mA の精度で補償され、光パルスピーク値の変動は 0.8 dB 以下である。

キャリヤ検出回路は、APC 用 PD に流れれる光信号電流のピーク値を検波し、ピーク値が 3 dB 低下したときに警報信号を出力する。

#### 3.2 プリアンプ

光受信器の高感度化において重要なことは、高感度、低雑音特性を有する APD モジュールの開発と低雑音プリアンプの開発である。APD モジュールについては、高感度、低雑音

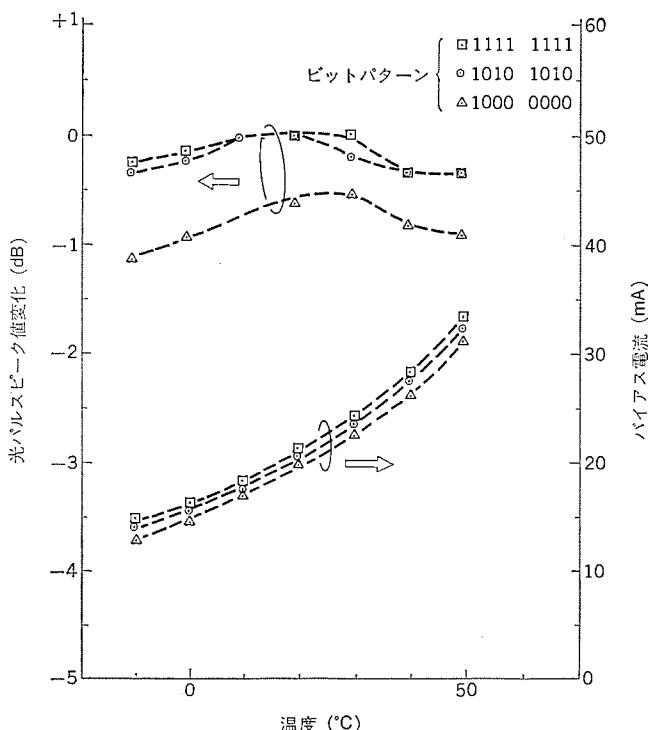


図 3. 温度対光パルスピーク値変化及びバイアス電流

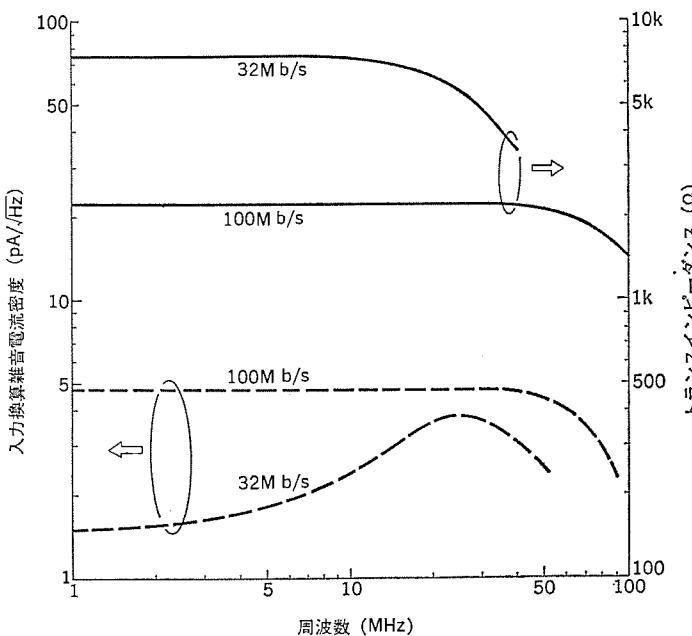


図 4. 周波数対入力換算雑音電流密度及び  
トランシペーダンス

特性を有する当社製 APD を用いたモジュール<sup>(4)</sup>を採用した。低雑音プリアンプとして、広帯域かつ低雑音特性を有するトランシペーダンス増幅器を開発した。トランシペーダンス値が大きい程、低雑音増幅器になる。32 Mb/s 用 プリアンプには、初段にシリコン電界効果トランジスタ、100 Mb/s 用 プリアンプには初段にシリコンバイポーラトランジスタを用い、それぞれ 7.5 kΩ 及び 2.2 kΩ のトランシペーダンス値を得た。図 4. に プリアンプの入力換算雑音電流密度とトランシペーダンスの周波数特性を示す。入力換算雑音電流密度は、10 MHzにおいて 32 Mb/s 用 プリアンプでは 2.4 pA/sqrt(Hz)、100 Mb/s 用 プリアンプでは 4.8 pA/sqrt(Hz) である。トランシペーダンスの 3 dB 低下しや断周波数は、32 Mb/s 用 プリアンプで 27 MHz、100 Mb/s 用 プリアンプで 92 MHz である。

### 3.3 AGC

APD には光-電気変換と電子増倍機能がある。APD のバイアス電圧を変えることにより増倍率は変化し AGC に利用できるが、その可変範囲は 20 dB 程度である。ここでは、更に広い AGC 範囲を得るために広帯域の可変利得アンプを開発し、APD と両方を制御する方式を用いた。

AGC はメインアンプ出力信号のピーク値を検出し、この値が一定となるように APD の増倍率と可変利得アンプの利得を受信光電力に応じて切換えて制御している。図 5. に平均受信光電力対 APD 増倍率及び可変利得アンプ利得の特性を示す。受信光電力の小さい領域では、最大の SNR を得るために APD 増倍率は厳密に設定する必要がある。APD 増倍率の温度特性を補償し、温度変化による光受信器の SNR の劣化を防ぐために、受信光電力の小さい領域では APD のバイアス電圧に負帰還をかけ APD 増倍率の制御を行っている。APD 増倍率から可変利得アンプによる利得制御に切換わる平均受信光電力は -40 dBm である。符号誤り率が  $10^{-9}$  となる領域で定義した AGC ダイナミックレンジは 32 Mb/s の場合 37 dB、100 Mb/s の場合 41 dB である。32 Mb/s の場合光送受信器を直結しても符号誤りは発生しない。

キャリヤ検出回路は、AGC 制御電圧をモニタすることにより受信光電力を検知する方式を用いている。AGC 制御電圧は、APD 増倍率

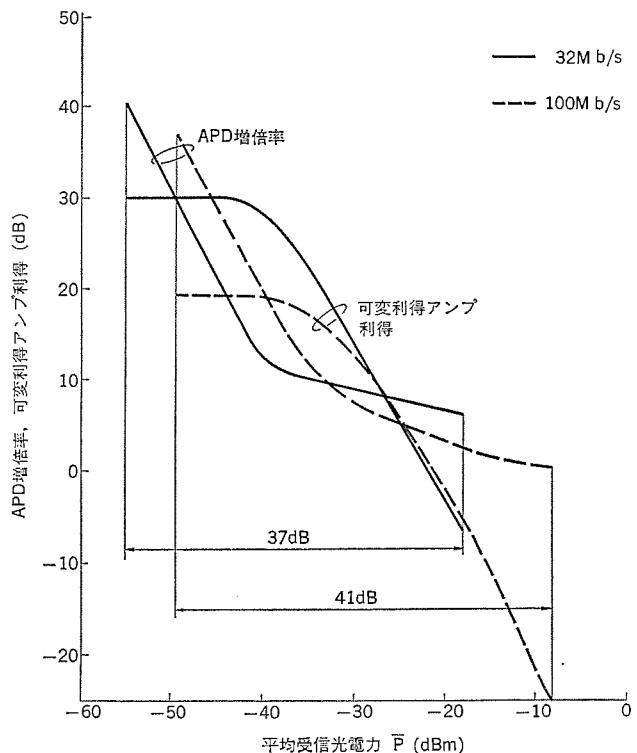


図 5. 平均受信光電力対 APD 増倍率及び可変利得  
アンプ利得

の温度特性のために温度により変化するのでキャリヤ検出回路内部で温度補償を行っている。

### 3.4 タイミング回路

タイミング回路は、メインアンプ出力信号を自乗検波した後、水晶フィルタによりタイミング信号成分を抽出し、リミッタにより波形整形を行う方式を用いている。タイミング回路の主要性能は、温度変化、周波数変化に対する位相誤差とジッタである。これらの特性は主に水晶フィルタの特性によって定まる。位相誤差に対しては、水晶フィルタの群遅延時間を小さくする程良く、ジッタに対しては Q 値を大きくする程良いが、両者を同時に満足するのは難しい。ここでは位相誤差及びジッタによる受光感度の劣化配分を行い、水晶フィルタの Q 値、温度係数、群遅延時間の仕様を定めた。

32 Mb/s、100 Mb/s 光送受信器において、周波数変動 50 ppm を与えた場合に規定の符号誤り率を得るために必要な受信光電力の増加はいずれの場合にも 0.1 dB 以下であった。ジッタは、符号誤り率が  $10^{-11}$  以下の領域ではいずれの場合にも 0.8° rms 以下であった。

### 3.5 総合評価試験結果

#### (1) 送信光電力

32 Mb/s LED 光送信器をマーク率 1/2 の信号で動作させたときのピーク送信光電力は、コア径 60  $\mu\text{m}$ 、N. A. = 0.17 の SI ファイバに対して -11.9 dBm、コア径 50  $\mu\text{m}$ 、比屈折率差 1% の GI ファイバに対して -15.6 dBm である。100 Mb/s LD 光送信器のピーク送信光電力は同じ GI ファイバに対して +2.0 dBm である。

#### (2) 平均受信光電力対符号誤り率

図 6. に 32 Mb/s 光送受信器、100 Mb/s 光送受信器の平均受信光電力対符号誤り率特性を示す。符号誤り率が  $10^{-9}$  となる最小平均受信光電力は、32 Mb/s の場合 -55 dBm、100 Mb/s の場合 -49.5 dBm であり計算値とよく一致している。また、32 Mb/s の場合光

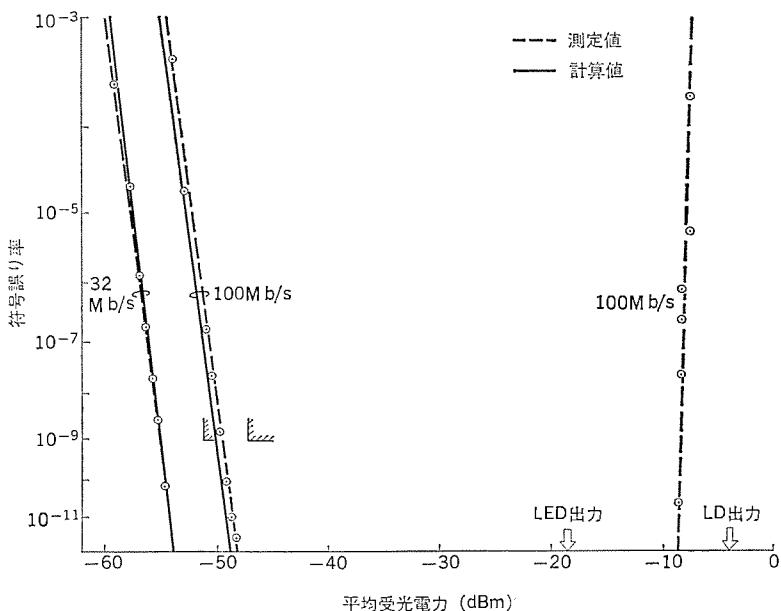


図 6. 平均受信光電力対符号誤り率

表 2. 電源電圧変動特性

項目	電源条件	+6.0 V	+6.0 V	+6.3 V	+5.7 V
		-6.3 V	-5.7 V	-6.0 V	-6.0 V
32 Mb/s	送信光電力	0.0 dB	+0.1 dB	+0.2 dB	-0.3 dB
	最小平均光受信電力	0.0 dB	0.0 dB	-0.1 dB	+0.1 dB
100 Mb/s	送信光電力	-0.3 dB	+0.2 dB	0.0 dB	0.0 dB
	最小平均光受信電力	+0.1 dB	0.0 dB	+0.1 dB	+0.1 dB

送受信器を 2 m の光 ファイバ により接続しても符号誤りは発生しない。100 Mb/s の場合は、符号誤り率が  $10^{-9}$  となる最大平均受信光電力は -8.3 dBm である。

#### (3) 電源変動、温度変動特性

電源電圧  $\pm 6$  V に対しそれぞれ  $\pm 5\%$  の変動を与えた場合の光送受信器の特性変化を表 2. に示す。32 Mb/s, 100 Mb/s いずれの場合についても送信光電力は 0.5 dB 以下の変動であり、最小平均受信光電力は 0.2 dB 以下の変動である。

温度変動に対するピーク送信光電力変化を図 7. 最小平均受信光電力の変化を図 8. に示す。32 Mb/s 光送受信器に対して  $-10^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ , 100 Mb/s 光送受信器に対して  $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$  の温度変化を与えた。 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$  の範囲における送信光電力変動は、32 Mb/s LED 光送受信器の場合 0.2 dB 以下であり、温度制御を行わなくとも極めて安定な特性を示している。100 Mb/s LD 光送受信器の出力変動は、0.3 dB 以下に制御されている。 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$  における最小平均受信光電力の変動は、32 Mb/s の場合 0.5 dB 以下であり、100 Mb/s の場合 0.6 dB 以下である。

#### (4) ファイバ 伝送特性

32 Mb/s 光送受信器、100 Mb/s 光送受信器により信号を光 ファイバ 伝送したときの伝送距離対最小平均受信光電力の増加量を図 9. に示す。32 Mb/s の場合は、SI ファイバ 及び GI ファイバ を使用し、100 Mb/s の場合は GI ファイバ を使用して伝送実験を行った。SI ファイバ の伝送帯域は、 $34 \text{ MHz} \cdot \sqrt{\text{km}}$ (LED による測定)、GI ファイバ の伝

送帯域は  $400 \text{ MHz} \cdot \sqrt{\text{km}}$ (LD による測定) である。最小平均受信電力が 3 dB 増加する伝送距離は 32 Mb/s の場合 SI ファイバ に対して 2.7 km, GI ファイバ に対して 4.4 km である。100 Mb/s の場合は、GI ファイバ に対して 7.5 km である。光受信器は短尺 ファイバ (0 km) と光減衰器により光送信器と接続した状態で最適となるように調整されている。ファイバ 伝送後の測定において光受信器は無調整で動作させている。ファイバ 伝送時に最小平均受信光電力が増加する主な原因是 2 つある。1つはファイバ の帯域制限により受信信号に符号間干渉が生じ、等価的に SNR が劣化することである。他の 1 つは符号間干渉により AGC 用のピーク検波電圧と実際の受信信号 パルスピーク値との間に誤差が生じ、

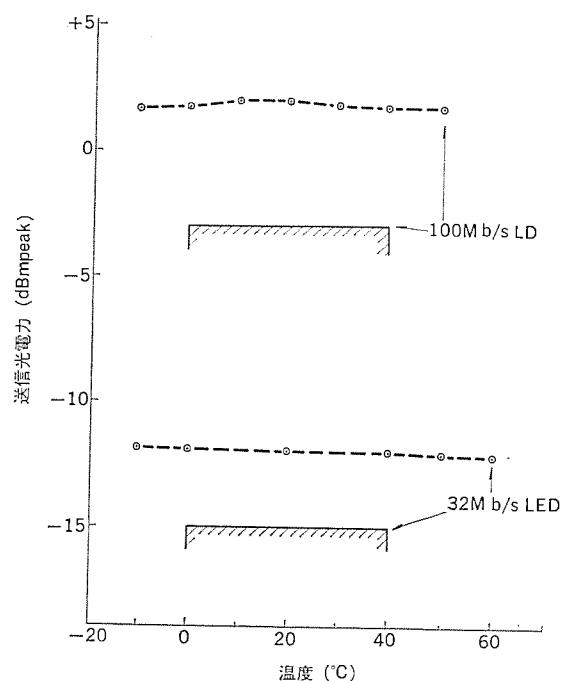


図 7. 温度対送信光電力

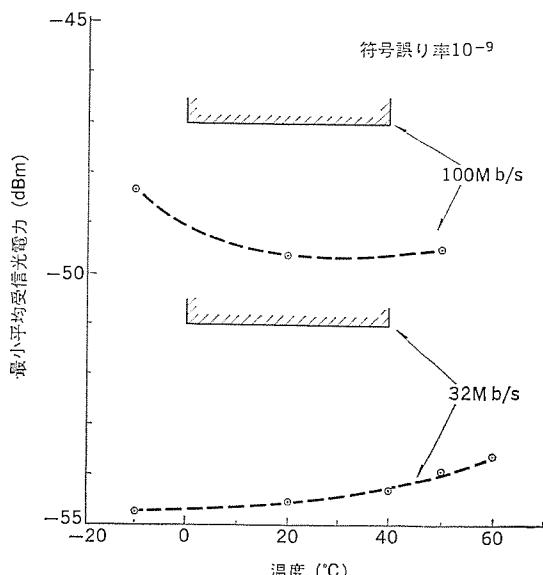


図 8. 温度対最小平均受信光電力

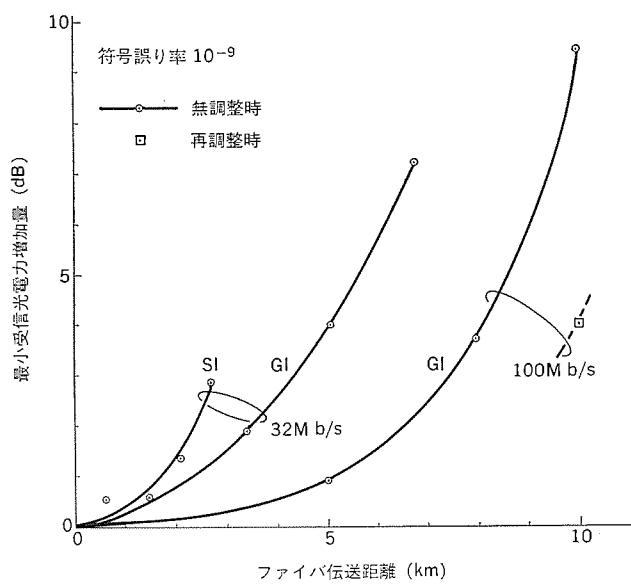


図 9. ファイバ 伝送距離対最小受信光電力増加量

APD 増倍率が最適値からずれることである。後者は光ファイバ 伝送後光受信器を再調整することにより除くことができる。100 Mb/s の場合 10 km 伝送後光受信器を再調整すると最小平均受信光電力の増加量は 4 dB になる。

同じ GI ファイバ に対して 32 Mb/s の場合 100 Mb/s の場合より最小平均受信光電力の増加量が大きいのは LED の発光スペクトル幅が LD に比較して非常に大きく、ファイバの材料分散により伝送帯域が伝送速度の差以上に狭くなっているためである。

#### 4. む す び

以上、当社で開発したデジタル光送受信器 MF-DS シリーズの概要、設計手法及び性能の測定結果について述べた。このシリーズの開発に

おいては、光送信器の高出力化、光受信器の高感度化及び AGC ダイナミックレンジの拡大、電源及び温度変動に対する特性の安定化に注意を払った。ここでは、32 Mb/s, 100 Mb/s 光送受信器を例として性能を説明したが、1.5 Mb/s, 6.3 Mb/s 光送受信器も同様な設計手法で構成され、表 1. の仕様を十分満足する性能を得ている。

現在、光送受信器 MF-DS シリーズは、工業用高速データウェイやコンピュタリンクに利用され順調に稼働している。また、電気-光-電気変換素子として光ファイバの損失が 0.8 μm 帯よりも低損失となる 1.3 μm 帯の素子を導入した長距離 PCM 通信装置用光送受信器<sup>(7)</sup>も同様な構成で開発中である。 (昭和 55-12-23 受付)

#### 参考文献

- (1) 橋本、菅野、中島、吉良、諸富：工業用高速データウェーブシステム、三菱電機技報、53, No. 10, p. 739 (昭 54)
- (2) 松永、石坂、中塚、江口、新沢：計算機間通信における高性能光ループシステム、三菱電機技報、54, No. 9, p. 638 (昭 55)
- (3) 北山、河原林、杉山、伊東：差動符号化バイフェーズ符号を用いた 16 Mb/s 信号光ファイバ 伝送実験、昭和 55 年電子通信学会通信部門全国大会、559
- (4) 松井、久間、布下、浜中、平野：光ファイバ 伝送用光部品、三菱電機技報、54, No. 5, p. 365 (昭 55)
- (5) 北山、菅野、三宅、手島、杉山、伊東、梅田：データウェイ用 32 Mb/s 光送受信装置、昭和 55 年電子通信学会総合全国大会、2226
- (6) 濱上、北山、三宅、松井、杉山、伊東、梅田：データウェイ用 100 Mb/s 光送受信装置、昭和 55 年電気関係学会関西支部連合大会、G 7-15
- (7) 手島、北山、松井、浪崎、岡本、伊東：1.3 μm 帯レーザダイオードを用いた 6.3 Mb/s デジタル光送受信器、昭和 56 年電子通信学会総合全国大会（発表予定）

# 光ファイバ通信システム

手島邦夫\*・文字正樹\*・関川一彦\*・岡本正弘\*・伊東克能\*\*

## 1. まえがき

光ファイバ通信は、数々の優れた特長を持った光ファイバケーブルが容易に入手できるようになったこと、発光受光素子の性能、信頼性が向上したこと、多様なシステム構成をするための光回路部品、端末装置の開発が進められたことなどから、近年、急速な進歩を遂げている。

当社においても電気所構内伝送<sup>(1)(2)</sup>・鉄道・道路などの監視<sup>(3)</sup>、プラント内データウェイ、コンピュータリング<sup>(4)</sup>等の各種の光伝送システムを納入している。

ここでは、これらの応用例としてPCM多重通信とITV画像伝送をとりあげ、それらのシステム設計の留意点と使用される光伝送装置について述べる。

## 2. 光ファイバ通信の特長と種類

### 2.1 光ファイバ通信の特長

#### (1) 広帯域、低損失

従来の金属ケーブルに比べて伝送帯域幅が広く、グレーデッドインデックスファイバの場合、1km当たり1GHz以上の帯域がとれる。また、0.85μm帯で伝送損失約3dB/kmと低損失であるため、長距離の無中継伝送が可能となる。

#### (2) 無誘導、絶縁性

光ファイバは、絶縁体であるために電磁・静電誘導を生じないので、漏話・雑音を発生しない。また雷などのサージ電圧が重畳されることがないため、保安器などの設置が不要なほかケーブル自体もしゃへい(遮蔽)、耐圧性を考慮する必要がなく、高圧電線との複合化も可能である。

#### (3) 細心、軽量、可とう性、耐食性

ナイロンコーティング外径でも0.9mmと細心であり、その他軽量であること、可とう性、耐食性に優れていることとあわせて、上記の高圧電線との複合化、同一管路布設が可能など、工事面でのメリットが大きい。

### 2.2 光ファイバ通信の方式と種類

光ファイバ送受信器としては下記のように分類され、それらの長所、短所を検討したうえで、それぞれの実用システムに供されている。

まず、伝送する信号の種類により、デジタル方式とアナログ方式に大別される。

また、変調方式により、入力電気信号で直接光量を変調する直接強度変調(直接IM)方式と、入力電気信号であらかじめキャリヤ信号を変調しておき、この被変調信号で発光源を駆動する予変調方式に分類される。アナログ方式における予変調方式としてはPFM方式があり、直接IM方式に比べて発光素子の直線性があまり問題とならず、変調度をあげることにより信号対雑音比(S/N)の改善効果も得られるが、広帯域ファイバを必要とする。一方、直接IM方式は、装置構成が簡単であること、伝送帯域が広がらぬこと、また、発光ダイオードの直線性が改善され、簡単なひずみ(歪)補償で十分なこと

などから一般的に使用されている。

また、波長帯により0.85μm帯と、それ以上の長波長帯に分類される。長波長帯においても1.3μm帯はすでに実用段階に入り、ファイバの低損失特性(1dB/km以下)を利用し、長距離伝送に適している。

光電変換素子により、送信器はレーザダイオード(LD)送信器と発光ダイオード(LED)送信器に、受信器は、アバランシェホトダイオード(APD)受信器とホトダイオード(PIN-PD)受信器に分類される。LD送信器は、光ファイバとの結合損失が少ないため長距離伝送に適し、LED送信器は経済性、信頼性に優れ、APD受信器はダイオード自体が増倍度をもつたため、受光レベルが低くとも受信可能といった特長がある。

## 3. 光ファイバ伝送系の設計

光ファイバ伝送系の設計に当たっては、伝送品質と伝送信頼度を検討する必要がある。伝送品質をとりあげた場合、距離に依存する伝送品質決定要因としては、光伝送路の損失と帯域特性がある。

### 3.1 光伝送路の損失

光伝送路の損失は、光ファイバ損(単位長当たりの減衰量×距離)、スライス損(約0.2dB×スライス点数)、光コネクタ損、その他、光切換器・光分配器・光分波器など、光回路損の総計である。一方、受光回路で光の直接検波を行う場合、通常の熱雑音とショット雑音が生じ、これらの雑音と受光レベルとの比で伝送系のS/Nが表される。最少限の所要伝送品質、すなわちアナログ伝送系であればS/N、デジタル伝送系であれば符号誤り率を得るために必要な最低受光レベルが一義的に決まる。

光伝送路の設計は、発光出力レベル(光電素子から光ファイバへの結合効率を含む)と、光伝送路の損失の差が最低受光レベル以上になり、保守マージンが得られるよう発光素子・光ファイバケーブル・受光素子・使用波長帯を選定することになる。

### 3.2 光伝送路の帯域

光伝送路の帯域制限は、多モードファイバの場合、モードごとの群遅延差に起因する多モード分散が大きな要因となっている。光ファイバの種類、距離により制約はうけるが、簡単に単位長光ファイバ帯域幅(Bo)から、ある距離(D)での帯域幅(B(D))を推定するためには、 $B(D) = Bo \times D^{\gamma}$ ( $\gamma = 0.5 \sim 1.0$ )で計算する。グレーデッドインデックスファイバを用いた場合、直接IMによる画像信号伝送や32Mb/s(メガビット/秒)程度のデジタル伝送であれば、距離による制限は損失特性に依存し、帯域特性は問題にならないと考えられる。

### 3.3 伝送信頼度

LDをはじめとする発光・受光素子の信頼度向上により、もはや信頼度の劣る部分を特定することは難しくなりつつあり、今後は光送受信器全体での機器信頼度、あるいはスライス技術など、現地工事の完成度を向上させるなどの努力が必要と考えられる。また、伝送系全体として、信頼度を向上させるための予備方式の検討が必要となってくる。

予備方式としては、ケーブル予備ルートをもつルート予備方式、光ス

イッチによるセット予備方式、光分波器を用いた波長多重、双方向伝送によるセット予備方式などがあり、個々のシステムの要求条件に応じて選択される。

#### 4. PCM 多重通信システム

##### 4.1 システム構成

光ファイバ通信によるPCM多重通信システムの構成例を図1.に示す。

このシステムは、従来の同軸、無線PCM通信システムとの互換性を考慮し、PCMハイアーチにしたがった光伝送速度として1.544 Mb/s, 6.312 Mb/s, 32.064 Mb/sなどが準備されている。伝送容量は、音声通話路換算でそれぞれ24ch, 96ch, 480ch相当である。0.85μ帯の装置では、符号誤り率 $1 \times 10^{-9}$ 以下を伝送品質目標として、中継距離10~15kmにて、システム構成可能である。

ファイバケーブルは、帯域制限のために線路等化を必要としない広帯域なクレーデッドインデックスを前提としている。ただし、6.312 Mb/s以下の場合はステップインデックスファイバを用いてもほぼ同等な性能が得られる。

また、伝送路符号は、伝送帯域、符号変換の簡単さと受信器の回路構成などを考慮して2値RZ符号としており、スクランブルにより直流変動分の除去、タイミング抽出の容易化を図っている。

PCM通信に用いられるデジタル光送受信器の定格性能を表1.に、回路構成と外観を図2.に示す。

表1. デジタル光送受信器定格性能

項目	形名	MF-015 DS	MF-063 DS	MF-32 DS	MF-100 DF
伝送速度		1.5 Mb/s	6.3 Mb/s	32 Mb/s	100 Mb/s
変調方式					パルス強度変調
受信方式					タイミング再生受信
発光素子					LED/LD
発光波長					0.86 μm 帯
受光素子					APD
ファイバ入力光電力					-15 dBm 以上(LED)/-5 dBm 以上(LD) ピーク値
最低受光電力		-65 dBm	-60 dBm	-51 dBm	-47 dBm
AGCレンジ					30 dB 以上
符号誤り率					$1 \times 10^{-9}$ 以下
光インターフェース					光コネクタ(FC-01P)接続
電気インターフェース		TTL レベル			ECL レベル
電源条件					DC ±6 V
寸法					149(H) × 38(W) × 175(D) mm

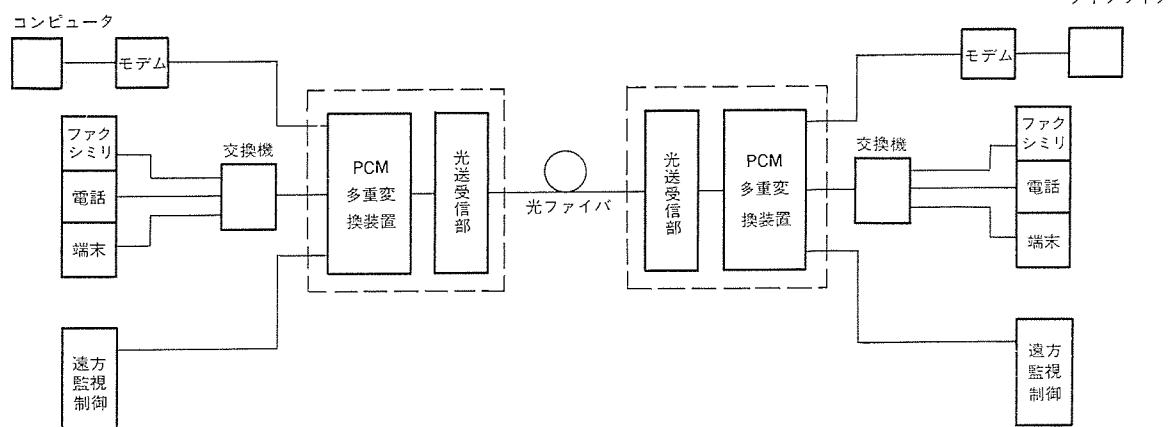


図1. PCM多重通信システム構成例

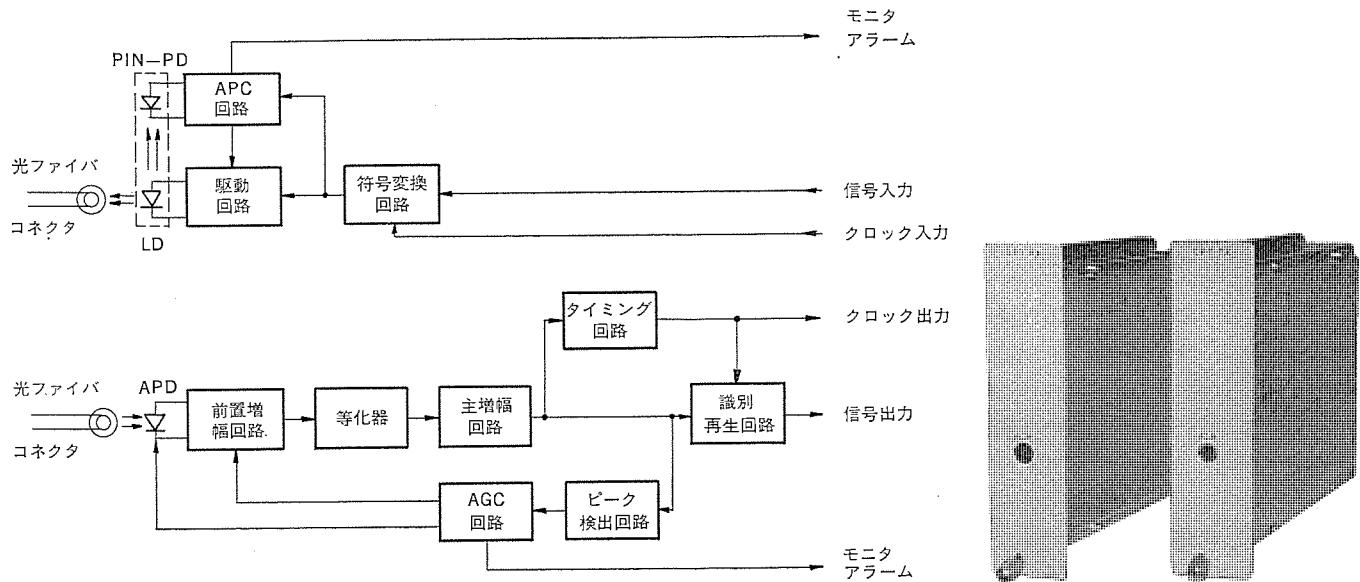


図2. デジタル光送受信器系統図と外観

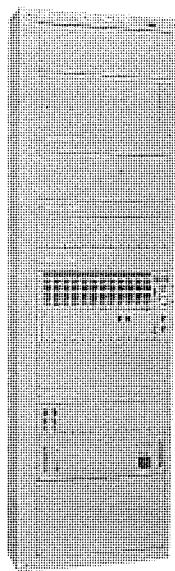


図 3. 6.3 Mb/s 光伝送装置

表 2. 6.3 Mb/s PCM 光伝送装置定格諸元

項目	諸元
伝送速度	6.312 Mb/s
伝送符号	スクランブル付ユニボーラ RZ バルス
変調方式	PCM-IM
発光素子	LED/LD
受光素子	APD
発光波長	0.85 $\mu$ m 帯
発光出力	-15 dBm / -5 dBm 以上
最低受光レベル	-60 dBm 以下
伝送品質	BER $1 \times 10^{-9}$ 以下
端局装置	1 次群 4 システム, 2 次群 1 システム
電源電圧	AC 100 V $\pm 10\%$ , DC -24 V $\pm 10\%$
伝送路	GI ファイバ

#### 4.2 PCM 光伝送装置

図 3. IC 装置された 6.3 Mb/s PCM 光伝送装置の外観を、表 2. に主要諸元を示す。

この装置は、符号化装置（1 次群端局）、多重化装置（2 次群端局）及び 6.3 Mb/s 光送受信部より構成され、サブラック構造をとっており、伝送容量に応じた ch 実装が可能である。

1 次群端局装置は、音声通話容量 24 ch, 1.544 Mb/s の符号化装置で、単一通話路 LSI CODEC の採用により、データ端局などとの接続が容易なシステム構成となっている。

また、多重化装置は、1 次群 4 システムを時分割多重化により、2 次群 PCM 信号 6.312 Mb/s に変換するものであり、音声通話路換算 96 ch の伝送容量である。

光送受信部は、発光出力レベル -12 dBm (LED, ピーク値), 最小受光レベル -63 dBm (平均値), 送受間許容損失 45 dB が得られている。

### 5. ITV 伝送システム

#### 5.1 システム構成

ITV 伝送システムは、一般に図 4. に示すような構成をとる。

システム伝送規格として ITV-4 M 規格（表 3.）を設計基準とする。

図 4. の伝送系で、 $S/N \geq 42$  dB (無評価) を満足する等距離区間

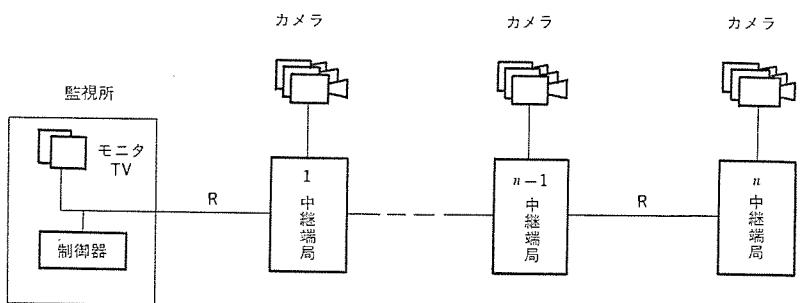


図 4. ITV 伝送システム構成例

表 3. ITV-4 M 規格

項目	規格
振幅周波数特性	$\pm 1.6$ dB (10~800 kHz, 3~4 MHz)
ランダム雑音	42 dB (無評価)
ハム雑音	51 dB
フレームローブ	15 % (最初の 1 ms を除く)
ラインローブ	15 %
ライズタイム	0.3 $\mu$ s
微分利得 DG	30 % (APL 50 %)
微分位相 DP	15° (APL 50 %)

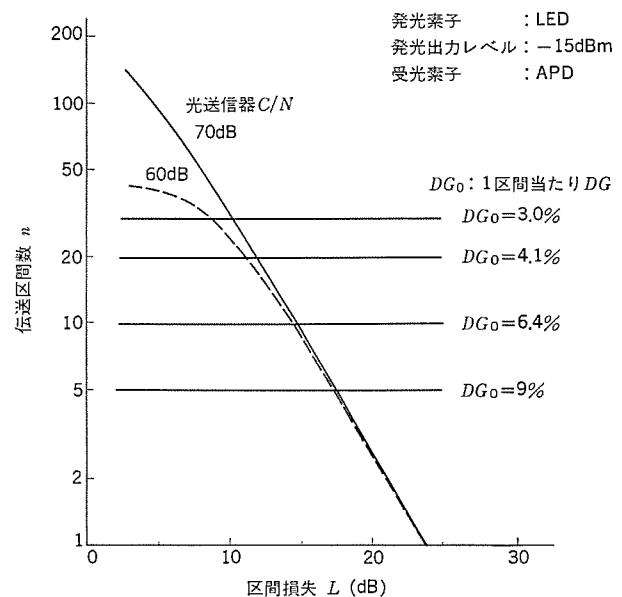


図 5. 区間損失対伝送区間数  
(目標  $S/N 42$  dB, DG 3 %とした場合)

数  $n$  と区間長  $L$  の関係を、光送信器の  $C/N$  をパラメータとして計算した結果を図 5. に示す。

また、区間当たりの微分利得を  $DG_0$  とすると、 $n$  区間伝送後の  $DG$  は  $n$  の  $3/2$  乗倍になることから、 $DG \leq 30\%$  を満足する伝送区間数  $n$  と  $DG_0$  の関係も図 5. に示す。

これより、コネクタ損と保守マージンとして 3 dB, スプライス損を含む光ファイバ損を 3 dB/km とすると、約 7 km の無中継伝送が可能となる。また、長波長帯 (光ファイバ損 1 dB/km) の光送受信器を使用すると、約 20 km の無中継伝送が実現できることがわかる。

また、等区間伝送数  $n=10$  の場合、各区間損失は 14 dB 以下各区間当たりの  $DG(DG_0)$ ,  $DP(DP_0)$  は、それぞれ 6.4 %以下, 3.3 %以下を満足する必要がある。

ITV 伝送に使用されるアナログ送受信器の定格性能及び構成外観

表 4. アナログ光送受信器定格性能

	MF-TVSOA	MF-TVSIA	MF-TVSIA-L
伝送容量	カラー TV 1ch + 音声 (又はデータ) 1ch		
変調方式	IM		
発光素子	LED	LED	LD
受光素子	PD	APD	PD
発光波長	0.85 μm 帯	1.3 μm 帯	
伝送区間損失	15 dB 以上	20 dB 以上	25 dB 以上
DG, DP	3% 2° 以下	5% 2° 以下	
光インターフェース	FC-01 P		
電気インターフェース	1 Vpp, 75 Ω		
電源電圧	DC +15 V	DC ±15 V	
寸法	149(H) × 38(W) × 175(D) mm		

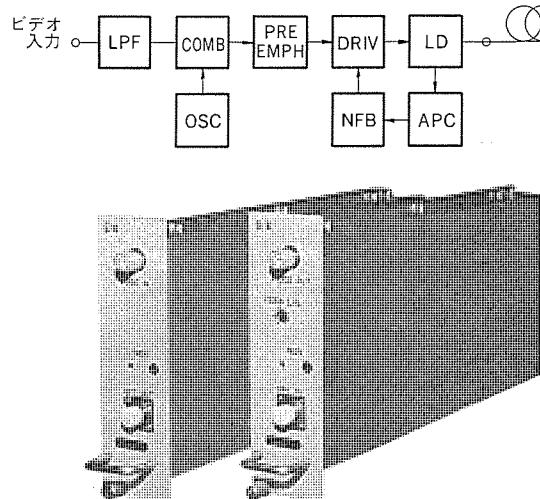


図 6. アナログ光送受信器系統図と外観

をそれぞれ表 4., 図 6. に示す。

## 5.2 ITV 伝送制御装置

図 7. に ITV 伝送制御装置 (中継端局) の 1 例を、表 5. に主要諸元を示す。

この装置は、前節のシステム構成で最大中継区間数  $n=10$ 、最大

無中継伝送区間損失 20 dB 以上を設計基準としている。

この装置は、画像信号及び制御信号伝送用光送受信部・ビデオ切換分配部・制御信号送受信部・ファイバ端末処理部から構成されている。必要 ch 数に応じて各ユニットを追加実装できるようになっており、ファイバ端末処理部に分波合成フィルタを組込み、発光波長を指定することで波長多重伝送・双方向伝送・長波長伝送などもできるようになっている。

## 5.3 応用例

### (1) 高速道路交通流監視

阪神高速道路公団松原線交通流監視システムとして光 ITV 伝送制御システムを納入し、昭和 55 年 3 月以来運用されている。このシステムは、図 8. に示すように延長約 14 km の高速道路の交通管制に必要な 5 か所に設置された ITV カメラの映像を管制センターで集中監視するシステムである。全台 2 系統選択方式となっており、各カメラは操作卓からの制御信号により制御 (切換・選択パン・チルト・ズーム・ホーカスなど) され、管制に必要な画像は、管制センターのモニタまで伝送される。

各端局間の伝送路はコア径 50 μm の GI 形ファイバケーブル 2 心、カメラ端局間は同径 SI 形ファイバケーブルが用いられている。なお、制御信号は既並設されているメタリックワイヤにより伝送している。

表 5. ITV 伝送制御装置 (中継端局) 定格諸元

項目	定格
伝送信号	ITV 映像信号 50~6 MHz 制御信号 150 kHz FS 信号 音声 (OPTION) 0.3 kHz~3.4 kHz
ITV 方式	NTSC カラーや白黒 ITV 方式
中継区間	7 km 最大 (0.85 μm 帯 3 dB/km)
S/N	42 dB (無評価) 以上
制御項目	ズームレンズ、回転、ワイパ入切等
伝送路	GI ファイバ
電源電圧	AC 100 V ±10 %

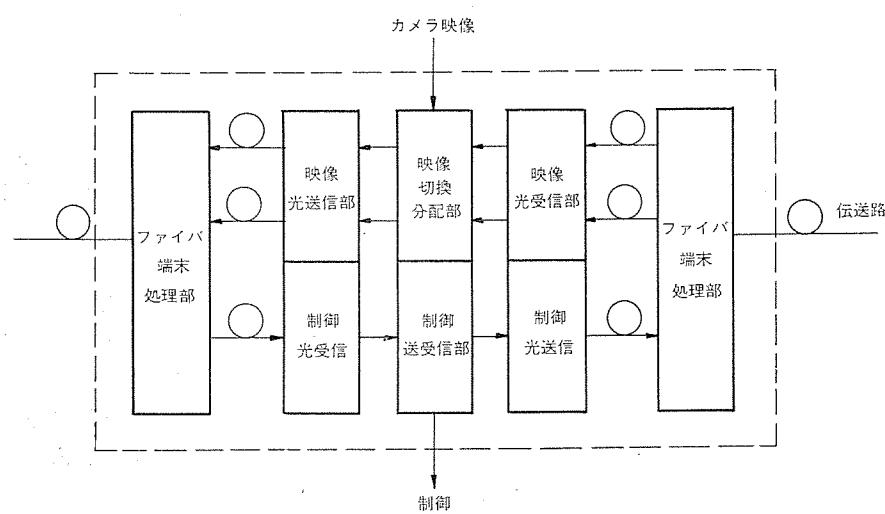
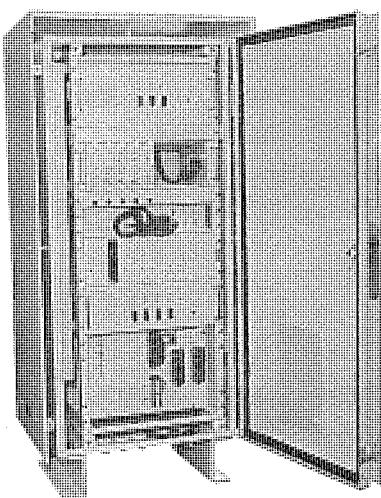


図 7. ITV 伝送制御装置構成例と外観



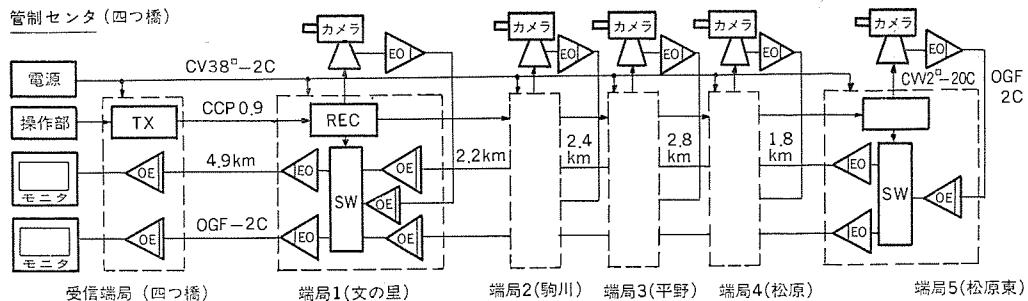


図 8. 交通流監視 システム 系統図

表 6. 交通流監視 システム 性能諸元

項目	設 計 値	結 果 (5 区間総合)
変調方式		
発光素子		
受光素子		
ランダム雑音	44.3 dB	46 dB
振幅周波数特性	±1.8 dB	+0.3 dB -1.1 dB
DG (APL 50 %)	30 %	8 %
DP (APL 50 %)	15°	1.5°

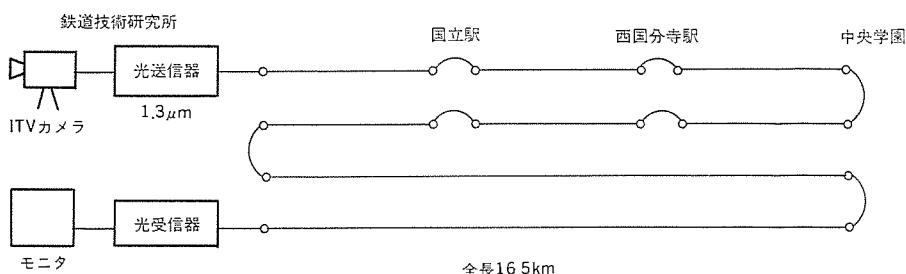


図 9. 長波長 ITV 伝送実験系統図

ITV の総合伝送性能については、ITV-4 M 規格の伝送品質を目標とし、本線系 5 区間、支線系 1 区間の合計 6 区間に配分されている<sup>(3)</sup>。

6 区間 14 km 伝送実施結果を表 6. に示す。光ファイバ 伝送の特長を生かした良好な結果が得られている。

## (2) 長波長画像伝送実験

鉄道沿線の集中監視として画像信号の長距離伝送は非常に有用であ

る。昭和 55 年 3 月から日本国有鉄道技術研究所と共同で、長波長帯長距離画像伝送実験を行った<sup>(5)</sup>。

実験は、鉄道技術研究所 - 中央学園間に布設された 4 心の GI ファイバ、全長 16.5 km を用いて行った。図 9. に実験系統を示す。使用した装置

は、1.3 μm 帯の LD と PD を使用した直接変調方式のアナログ送受信装置である。16.5 km 伝送時の伝送損失 27.3 dB(1.32 μm, コネクタ、スタブケーブル 損失含む)、受光レベル -34.3 dBm で、S/N 42.3 dB(無評価) が、また DG 約 2 %, DP ≤ 2° が得られた。

この実験を通じて LD のモード雑音や反射雑音等が解明され、直接 IM 方式による簡単な構成の送受信器により、約 30 km の無中継伝送が実用できることが確認された。

## 6. む す び

以上光ファイバ 伝送の応用例について述べた。応用分野は多岐にわたり、別稿で計算機システムへの応用例が述べられるが、本稿で述べた応用分野でも今後長波長化や多重化などが検討され、実用システムへの導入が進むものと考えられる。

本稿で述べた応用システムの実現に御指示、御協力いただいた阪神高速道路公団殿及び日本国有鉄道殿の関係各位に対し深く感謝する次第である。

## 参 考 文 献

- (1) 木佐貫ほか : 500 kV 変電所監視制御システム、三菱電機技報, 54, No. 6, p. 423 (昭 55)
- (2) 畑田ほか : ディジタル保護リレー、三菱電機技報, 54, No. 11, p. 814 (昭 55)
- (3) 矢内ほか : 高速道路交通流監視テレビシステムの光伝送、電気通信総合全国大会, 2239 (昭 55)
- (4) 松永ほか : 計算機間通信における高性能光ループシステム、三菱電機技報, 54, No. 9, p. 638 (昭 55)
- (5) 関田ほか : 1.3 μm 帯半導体レーザのアナログベースバンド変調による ITV 信号伝送、昭和 55 年度電波部全国大会, 442

# 光ファイバ伝送の計算機システムへの応用

斎藤 幸夫\*・江口 真行\*

## 1. まえがき

通信システムへの適用を目指して急速に発展してきた光ファイバ部品・利用技術は、短波長帯については既に実用化の域に達している。

一方、計算機システムにおいても計算機内、計算機間及び計算機-端末装置間などに張り巡らされるケーブルの量は増大の一方で、計算機システムの新設・移設の際のケーブル工事や端末装置増設工事を妨げている場合が多くなっている。

光ファイバの持つ大きな特長は、(1)広帯域である、(2)電気的絶縁体である、(3)導電体(銅線)に比較して軽量である、(4)長距離大容量の通信路に適用したときの経済性、などが挙げられる。なお、光ファイバ線路の材料費は、最近かなり低減しているものの、伝送路工事のコストに関しては、スプライシング(光ファイバの永久接続)があるため、構内などの短距離伝送路では従来のケーブルを使用した場合より割高についているのが現状である。

計算機システムで光ファイバを利用するねらいは、上記特長のうち、(1)の広帯域性と(2)の電気的絶縁性の利点の活用である。

ここでは、光ファイバの計算機システムへの一般的な適用形態とその典型的な応用例として構内における分散処理システム指向の《MELCOM/LOOP-1》及び《MELCOM/LOOP-3》を取り上げて概要を紹介する。

## 2. 光ファイバの計算機システムへの適用形態

計算機システムへの光ファイバの適用範囲は、従来導電体を使用して実現しているものが検討対象になり得る。新しい応用として例えば、センサ機能も含めた「光」化により電気的雑音を全く受けない計測システムなども研究されているが、現在の技術水準で実現可能性のあるものは、表1に示されるような適用形態であろう。これらは既に

表1. 光ファイバの計算機システムへの適用形態

適用形態	装置例	備考
直列符号伝送	(1) 変復調装置(光モデル)	M 2105
	(2) 光データバス (光マルチドロップ回線)	光ファイバワークステーション
	(3) 光ループ伝送装置	MELCOM/ LOOP-1, -3
	(4) センサ信号・計測信号 集配信装置	CAMAC PIO
	(5) データハイウェイ	MDW シリーズ
並列符号伝送	計算機チャネルバス* ※ 入出力バス (ディジタル形)	(6) コンピュータリンク

注 \*は直列伝送方式で実現する方式もある。

実用に供され始めているが、広く普及するには、光部品の性能・コスト・供給の安定性の点で今後早急な問題解決が望まれているものも少なくない。

次に、各適用形態における光ファイバの応用例と今後の課題について触れる。

### 2.1 データ通信システムへの適用

通信システムへの適用を目的として開発された光ファイバ及びその周辺部品をそのまま導入できる形態であり、計算機システムへの応用が最も早かった。室内、構内における計算機・端末装置間のデータ伝送路として用いていたツイストペアケーブル、同軸ケーブルを光ファイバで置換したもので、その利点は次の4点である。

(1) 装置間が電気的絶縁されているので装置間の接地電位差による障害(符号伝送品質、機器の焼損)がなくなる。

(2) 落雷、高圧試験などの際に生ずる対地誘導電流・電圧による障害がなくなる。

(3) 光ファイバの芯(芯)線は、細いため多芯ケーブルにしても余り外径が大きくならずかつ軽量であり、回線の増設工事が容易になる。

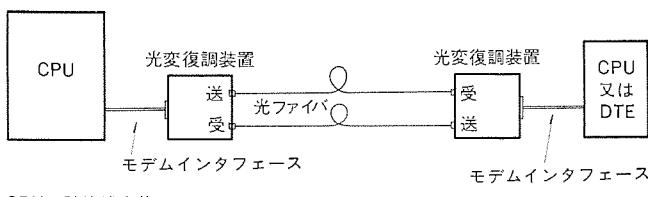
(4) 光ファイバの広帯域性により高速データ伝送が容易に行える。

計算機システムに適用する光ファイバ伝送技術は、通信システム用として開発されてきた技術が基礎となるが、研究開発の主眼は計算機システム用と通信システム用では相違する点もある。すなわち、通信システム用としては、長距離大容量伝送における経済性追求が大きなねらいであるので、光ファイバの低損失化と広帯域化、発光素子の高電力化、受光素子の高感度化低雑音化などが研究開発の主眼となるのに対し、計算機システム用としては比較的短距離(1~2km以内)の伝送における経済性追求が目的となる。それ故、計算機システム用としては、発光受光素子・光ファイバ・光部品などの低コスト化が研究開発の主眼となる。通信システム用としては、現在1.2~1.6μmの長波長帯の研究が上記の理由で主流となっており、短波長帯の技術はむしろ計算機システム用などの改良研究が今後は活発になると考えられる。

#### (1) 光変復調装置(光モデル)

光モデルは、機能的にはツイストペアケーブルなどを伝送路とするいわゆる構内モデルと全く同等であり、計算機-端末装置間、計算機相互間を接続するデータセットとして用いる(図1.)。

この場合、光分配器を用い1本の光ファイバのみによる半2重回線



CPU: 計算機本体  
DTE: データ端末装置

図1. 光変復調装置の接続

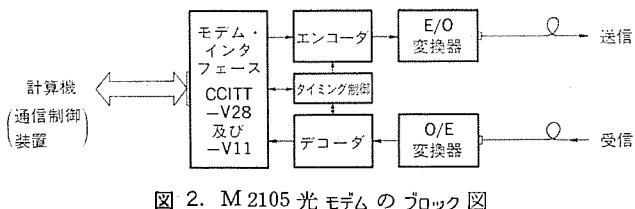


図 2. M 2105 光 モデム の ブロック 図

構成も可能であるが、短距離の場合光 ファイバ 芯線の コスト 増は僅かなので図 1. に示すように送・受信号を分離した全 2 重回線構成が一般的である。

光 モデム は、E/O 変換器（電気信号 $\leftrightarrow$ 光信号変換器）を利用した最も簡単な応用製品ではあるが、いわゆる「光 リンク」と称する単なるE/O 変換器との相違は、①計算機 インタフェースとして モデムインターフェース(CCITT-V 28, V 35, V 11 など)を内蔵していること、②折返し テスト 機能を内蔵していること、である。

光 モデム は、各社の製品例があり、当社にも図 2. に示すような光 モデム “M 2105” がある。この光 モデム は、光 ファイバ による広帯域伝送の利点を十分活用しており、同期方式では、最高 1.2 M ピット/秒、非同期方式では、例えば調歩歪率 1.2 % で 19.2 K ピット/秒の データ 伝送ができる。計算機 インタフェースには、CCITT-V 28 及び V 11 を有している。“M 2105” で採用している光-電気変換 モジュール は、NRZ 符号で DC 10 M ピット/秒までの伝送容量をもつピットフリー 形であるが、マークホールド 中でも タイミングパルス の抽出を容易にするため DMI(Differential Mark Inversion, NRZI の後 ダイパルス 変調) の符号化を行っている。

光 ファイバ の許容伝送路長は、E/O 変換器の出力、O/E 変換器の ダイナミックレンジ、光 ファイバ の単位長さ当たりの損失などで決定され、ほぼ下式で与えられる。

$$\text{最大伝送路長: } D(\text{km}) = \frac{L_{TP} - L_{Rm} - 2L_c - 2L_s}{l}$$

$L_{TP}$  は、光 モジュール の送信 パワー (dBm),  $L_{Rm}$  は最小受信感度 (通常、符号誤り率が  $1 \times 10^{-9}$  となる受信 パワー (dBm)),  $L_c$  は光 コネクタ 1 個当たりの接続損失、 $L_s$  は スライシング 1箇所当たりの損失、 $l$  は光 ファイバ の単位長さ当たりの損失 (dB/km) である。“M 2105” で用いている光 モジュール の ダイナミックレンジ ( $L_{TP} - L_{Rm}$ ) は、温度偏差 マージン を含めて約 20 dB,  $L_c$  は約 1.0 dB,  $L_s$  は 0.5 dB 程度である。また、適用光 ファイバ は 60  $\mu\text{m}$  径、ステップインデックス型 石英ガラス 系で 5 dB/km 以下である。このとき、最大伝送路長  $D$  は 3.4 km 以上となり、構内伝送路としては十分である。

## (2) 光 データバス

ここで言う光 データバス とは、図 3. に示すような光分配器を用いた光 ファイバ による双方向 マルチドロップ回線である。光 ファイバ を用いることにより、同軸 ケーブル を用いる場合に比べ分岐時の インピーダンスミスマッチ の悪影響を受けない利点がある。この方式では、光分配器の そう入損失及び分配比 によって接続し得る ワークステーション 数が制限される。

1 例として、リモートステーション の数を  $N$ 、したがって光分配器の数を  $N-1$ 、光 エネルギー の分配比を  $\alpha : (1-\alpha)$  としたときの分配損失  $L_B = 10 \log(1/\alpha)$ 、分配器の そう入損失 (分岐比に依存しない損失、光 コネクタ、スライシング などによる損失も含める) を  $L_I$ 、光 ファイバ の総長を  $D$  km、光 ファイバ の単位長さ当たりの損失を  $l$  (dB/km)、光送信 モジュール の送信 パワー を  $L_{TP}$ 、光受信 モジュール の最小受信感

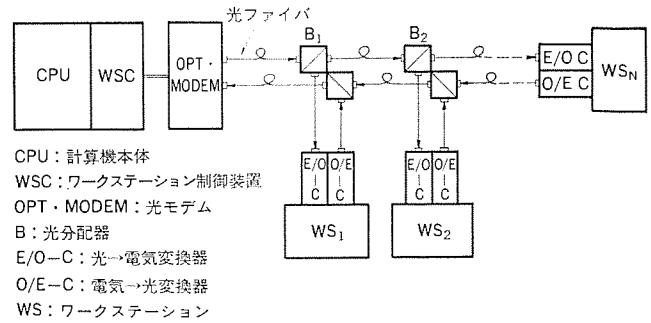


図 3. 単方向分配器による光 データリンク の構成例

度を  $L_{Rm}$  とすると、

$$N = \frac{L_{TP} - L_{Rm} - D \cdot l}{L_I + L_B} + 1$$

で与えられる。例えば  $L_{TP} - L_{Rm} = 23$  dB,  $D = 1$  km,  $l = 5$  dB/km,  $L_I = 3$  dB,  $L_B = 3$  dB (分配比 1:1) とすると  $N = 4$  となる。

上の計算例でもわかるように、接続し得るステーション 数を増すためには、ダイナミックレンジ の広い (又は最小受信感度のよい) 光 モジュール 及び そう入損失の少ない光分配器が必ずしも必要である。双方向光 データリンク の計算機 システム への導入は、現在検討段階であるが、光分配器 そう入損失が改善されれば広域ワークステーション の伝送系への採用が有望である。

なお、図 3. では、単方向分配器による光 データリンク の構成例を示しているが、双方向分配器を採用すれば光 ファイバ は 1 本で済ませることができる。

## (3) 光 ループ 伝送装置

光 ファイバ の計算機 システム への応用の代表的な例で、比較的広域に分散設置された複数計算機を環状の光 ファイバ 伝送路で結合した分散処理・分散制御の システム 構築の手段として用いられる。

当社においても最近開発した製品シリーズに、《MELCOM 70》ミニコンピュータ による分散制御 システム 《MELCOM/LOOP-1》及び大形複合計算機 による高性能分散処理 システム 《MELCOM/LOOP-3》があり、3 章で説明する。

なお、同様に環状の伝送路を直列 データバス として利用して線路共有化 (ワイヤシェアリング) を行うものに データハイウェイ (当社では MDW シリーズ) があるが、これは既に紹介されているのでここでは省略する。

## 2.2 光 ファイバ によるコンピュータリンク

計算機内のチャネルバス、マルチ 計算機を構成するコンピュータリンクには、多数の シールドケーブル が使用されている例が多いが、これを細径化、軽量化したい要望が強い。この対策に光 ファイバ の利用が考えられる。

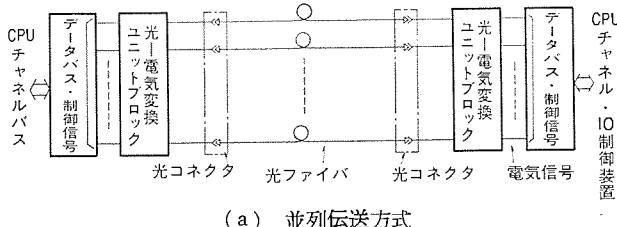
コンピュータリンク として光 ファイバ を適用する方法には、図 4. に示すように、

### (1) 並列伝送方式

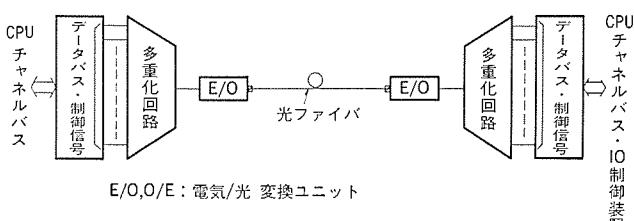
### (2) 直列伝送方式

がある。

並列伝送方式は、電気的な並列 バス 信号を光信号に変換し多対の光 ファイバ を介して伝送するもので、ツイストペアケーブル、同軸 ケーブル を単に光 ファイバ で置き換えただけである。この方法が実用化されるには、多極光 ファイバ コネクタ の開発、光-電気変換 ユニット の低価格化が不可欠で、今後の検討課題である。



(a) 並列伝送方式



(b) 直列伝送方式

図 4. 光ファイバのコンピュータリンクへの適用例

多重伝送方式は、並列バス信号を多重化し伝送するもので、時分割多重方式と波長多重方式がある。時分割多重方式では、チャネルインターフェースに適用するためには、30M~100Mビット/秒の高速化が必要と推定されるが、現在の光部品コストでは、この方式が経済的であろう。ただし、多重-多重分離に際し2~3ビット分の時間遅延は避けられないので、ハンドシェークで同期化できないチャネルインターフェースに適用するのは困難である。

波長多重方式は、現在では分波器のコストが高く経済的ではない。今後の研究に待つところが大である。いずれの方式のコンピュータリンクも計算機システムへの導入は検討段階にある。

### 2.3 計算機システムへのその他の適用形態

高電力を扱う工場内において微小アナログ信号を収集する場合には、誘導雑音・接地電位変動が測定データにエラーを誘発するのみならず、計測装置、アナログ入出力インターフェース機器の損傷を与えることがあり、信号伝送路にアナログ又はデジタル伝送形式の光ファイバが最適とされる。しかし、センサ本体が電気信号に変換するものでは、測定点で外来電気雑音の影響を受ける恐れがある。一方、物理量を光信号の強弱に直接変換する「オール光」化の研究が行われているので、これが実用化されればノイズフリーな理想的な計測制御システムが実現できる。

### 3. 光ループ伝送装置の製品例

光ファイバ利用の典型例としての《MELCOM》ループ伝送装置には、《MELCOM 70》ミニコンピュータによる分散制御指向の《MELCOM/LOOP-1》及び大形複合計算機による高性能分散処理システム指向の《MELCOM/LOOP-3》がある。これらの特長の比較を表2に示す。

ローカルネットワークとしてループ伝送方式を採用するねらいは、伝送路コスト(伝送線路材料・工事を含む)の経済性であるが、伝送路を光ファイバ化するねらいは耐電気的雑音性の向上、高速符号伝送路のより簡単なハードウェアによる実現であり、LOOP-1、LOOP-3を光ファイバ化した理由は全く同じである。

#### 3.1 《MELCOM/LOOP-1》伝送装置とシステム構成

##### (1) システム構成

LOOP-1の標準諸元を表3に、システム構成例を図5に示す。LO

表2. 《MELCOM》ループ伝送装置の比較

項目	MELCOM/LOOP-1	MELCOM/LOOP-3
伝送路の符号速度	5.0 Mbps/2.5 Mbps	32.4 Mbps/97.2 Mbps
通信方式	Go-Ahead PollingによるN:N通信	ランデブー方式によるN:N通信
接続計算機	MELCOM 70シリーズ(DMAチャネル)	・MELCOM 70シリーズ(ISCチャネル) ・MELCOM 700シリーズ及び ・IBM、ブロックマルチブレクサチャネル内蔵計算機
光ファイバ	石英ガラス系SI形 コア径60μm	石英ガラス系GI形 コア径60μm
発光素子	LED (λ=0.85μm)	LD (λ=0.85μm)
受光素子	PIN-PD	APD
システムの特長	高伝送効率	・高スループット ・短レスポンスタイム
主な用途	・ミニコンピュータネットワークの構築 ・ラボラトリオートメーション ・分散形計測制御システム	・汎用計算機による複合コンピュータネット

表3. 《MELCOM/LOOP-1》伝送装置諸元

項目	内容
伝送路	ステップ形光ファイバケーブル、ループ状
伝送路総延長	360km
標準接続計算機	MELCOM 70シリーズ
伝送路速度	5Mビット/秒
接続ステーション数	最大120ステーション/ループ
ステーション間距離	3km以下(光ファイバ損失が3dB/kmのとき)
多重化方式	メッセージ多重
最大データ転送速度	4.5Mビット/秒(伝送長2Kバイトのとき)
交換方式	N:N
フレーム長	可変(最大4.096バイト)
制御方式	優先度付きGo-Aheadポーリング方式
信頼度対策	ステーション障害時自動バイパス機能 光中継器分散給電 同期装置2重化
構成装置	A 8165 LOOP-1 リピータ B 6880 LOOP-1 制御装置 B 6881 LOOP-1 同期装置
環境条件	温度 0°C~40°C 湿度 10%~80%
使用電源	AC 100V ±10% 1φ
寸法(H×D×W)	150×350×480mm (LOOP-1 リピータ)

OP-1は、伝送系監視機能とデータ転送を併せて持つセンターステーションとデータ転送機能のみを持つ複数のリモートステーションで構成する。送信権の制御は、最高8レベルの優先度付加したGo-Aheadポーリング方式を採用し、送信ステーションはこのGo-Aheadの到着を受けて送信を開始し、あて先局からACK応答を受信すると、Go-Aheadをループ上の次局へ送出する。優先度の高い転送データを持つステーションは、Go-Aheadがループ上を一巡する間に、自局の優先度レベ

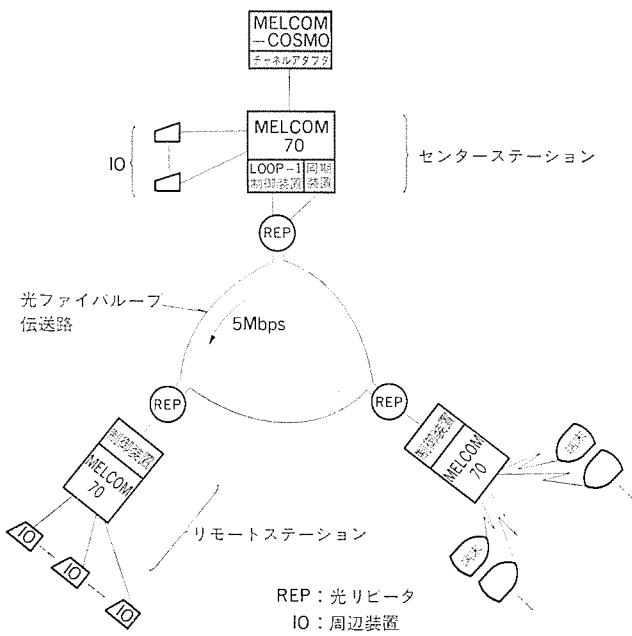


図 5. LOOP-1 伝送装置の構成例

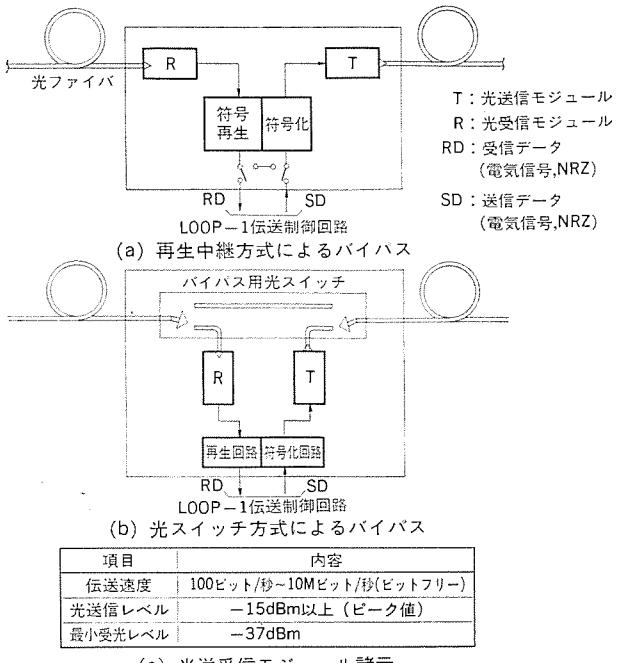


図 6. 《MELCOM/LOOP-1》光リピータ

ルを Go-Ahead 信号上に値えつけ、他局の送信要求を保留にして、Go-Ahead の中継を強制的に他局に実行させ、Go-Ahead を受取る。

センターステーション内の同期装置は、Go-Ahead のループ上での消滅防止及び 2 重発生防止を実行するとともに、ループ伝送路の断線を検出したステーションからのビーコン (Beacon) 情報を、計算機へ報告する機能も持つ。そのほか LOOP-1 は、放送機能や異常ステーションのセンターステーション指令による強制バイパス機能などを持つ。なお、《MELCOM/LOOP-1》の機能は、伝送路に同軸ケーブルを用いている従来装置と同等である。

## (2) LOOP-1 光リピータ (REP)

図 5. に示す LOOP-1 REP は、電気信号と光の変換、受信タイミング抽出及びバイパス機能をもっている。

光送受信モジュールは、発光受光素子に LED 及び PIN-PD を採用している三菱形名 MF-050 DF-TR (100~10 M ビット/秒の伝送速度、約 20 dB のダイナミックレンジ) である。

ループ伝送装置特有の機能として、ステーション装置障害時の「バイパス」動作が要求されるが、これを実現する方法には、電気的再生中継方式 (図 6. (a)) とバイパス用光スイッチを使用する方式 (図 6. (b)) の 2 通りがある。光レベルのバイパスは、光スイッチによる伝送損失の増加が短所であり、LOOP-1 では図 6. (a) の電気的再生中継方式を採用している。

## 3.2 《MELCOM/LOOP-3》伝送装置とシステム構成

### (1) LOOP-3 システム構成

LOOP-3 の標準諸元を表 4. に、システム構成例を図 7. に示す。LOOP-3 は、伝送速度 32.4 M ビット/秒の LOOP-3 モデル 32 M と 97.2 M ビット/秒の LOOP-3 モデル 100 M の 2 種類があり、2 重化された光ファイバ共通バス、バス管理ステーション (SV) 及びリングバスプロセッサ

表 4. 《MELCOM/LOOP-3》伝送装置諸元

項目	内 容
伝送路	光ファイバ 2 重化線路、ループ状
伝送路総延長	最大 30 km (10 km): ループバック時
標準接続計算機	MELCOM-COSMO 700, 900 シリーズ MELCOM 70 シリーズ
伝送路速度	32.4 M ビット/秒 (97.2 M ビット/秒)
接続ノード数	最大 32 RBPs
ノード間距離	最大 1 km
多重化方式	チャネル多重、8 チャネル (データ) + 1 チャネル (制御)
最大データ転送速度	320 K バイト/秒 (960 K バイト/秒): チャネル当たり 20.48 M ビット/秒 (61.44 M ビット/秒): ループ当たり
交換方式	任意交換
通信方式	同期形通信方式
データリンク数	最大 31 (ノード (RBP) と共通バスとの間の) (論理的なチャネルの総数)
信頼度対策	伝送路及び SV, RBP 主要部の 2 重化 光レピータ (RBP) 電源の給電系の 2 重化 システム障害時のバイパス、ループバック SV(BSP)+RBP(ASP) による常時予防診断 伝送品質の監視
オプション機能	トラヒックの計測

注 ( ) 内の数値は LOOP-3 モデル 100 M のとき

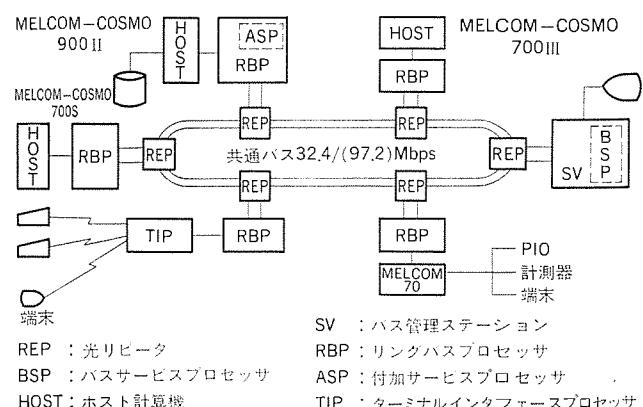


図 7. LOOP-3 によるシステム構成例

(RBP) で構成する。

LOOP-3 は、システムとして次の特長をもっている。

- (a) ランデブー形通信方法に基づくデータリンク制御プロトコルをファームウェアとして実行する。
- (b) 光ファイバ共通バス、主要な伝送論理部を2重化し、更に共通バス上にデータ転送チャネルと独立した伝送監視チャネルを形成し、信頼性と保守性を向上している。

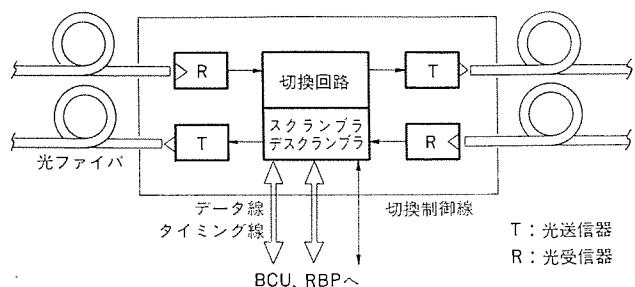
多重化、アクセス機能は、伝送フレームをch 0～ch 8のチャネルへ分割し、ch 0は伝送監視チャネルに、ch 1～ch 8はデータ転送用に用い、同時に8対のRBP間の転送が可能である。RBPがデータを送信する場合、空きのデータ転送チャネルを捕そく(ランダムアクセス)し、以後、捕そくしたチャネルを、転送完了まで使用する。RBPは、複数のデータリンクの設定(最大31)、データ転送及びリンク切断の各事象において通信プロセス間の同期状態を管理している。

SVは、RBPの遠隔制御と監視、故障点検出とシステム再構成をch 0を使用して実行するとともに、伝送路監視、伝送品質監視及びあて先不明パケットの消去など担当している。

#### (2) LOOP-3 光リピータ(REP)

図8.に示すLOOP-3 REPは、電気信号と光の変換、受信タイミング抽出及び障害時の切換え(電気レベル)の機能をもっている。また万一の線路障害ないし光素子故障によるシステムダウンを極力防止するため、光-電気変換系と給電系を2重化している。

光送受信器は、使用光素子にLED又はLD及びAPDを採用している三菱形名MF-32DSあるいはMF-100DSである。光ファイバは、伝送帯域の広いグレーデッドインデックス形である。ここで採用し



(a) 《MELCOM/LOOP-3》光リピータの構成

項目	内容
伝送速度	32.4Mビット/秒 (97.2Mビット/秒)
光送信レベル	-23dBm (-10dBm)
最少受光レベル	-50dBm (-43dBm)

注( )内の数値はMF-100DS(100M用)

(b) 光送受信装置諸元

図8. 《MELCOM/LOOP-3》光リピータ

ている光送受信モジュールの伝送符号は、パルス幅専有率50%のRZ(Return to Zero)方式であるが、直流信号を通していないため、伝送符号のマーク率に制約がある。このため、光リピータにはマーク率をほぼ50%とする自己同期形のスクランブルを内蔵している。スクランブルの多項式は( $G(X) = X^7 + X^6 + 1$ )線形の簡単なものであるが、伝送のフレーム周期(約2,000ビット/フレーム)との相関性は消失しており、所期の目的を達成している。

2重化された光モジュールと光ファイバの切換バイパスは、電気信号に再生した後に行っているので、光リピータの電源の無停電化が必須である。このため、伝送系には光ファイバと銅線の混在する複合ケーブルにより遠隔給電している。もちろん、各リピータのローカル給電もできる。

#### 4. むすび

光ファイバのもつ広帯域無誘導・軽量などの特長を、通信システムに生かすべく研究開発が広く行われた結果、短日時の間に光ファイバケーブルや発光・受光素子を含む周辺部品も性能、信頼性、経済性の著しい進展が見られ、計算機システムへの応用も最近進んでいる。光ファイバを計算機システムへ適用する場合、通信システムへ適用する場合との大きな相違は、伝送路は一般に極めて短かく、その代り多数の本数を使用する点にある。このため、光ファイバケーブルの性能及びコストより、発光・受光素子、光コネクタ、光スイッチ等周辺部品のレパートリー整備、より一層のコスト低減と信頼性向上が望まれている。短距離・小伝送容量の場合には、光ファイバ伝送工事費用がまだ割高につくのが価格競争の激しい計算機システムへの普及にブレーキをかけているのも事実である。

しかし、非常に広い通信分野市場への適用を目指して急速な進歩を続けているオプトエレクトロニクスの成果は、計算機システムへ取込まれつつあり、現在はまだ計算機本体外部の伝送路部分に試用されている段階であるが、本体内部で神経繊維のように縦横に張り巡らされている銅線が光ファイバで次第に置換されていくであろう。また「オール光」化のノイズフリーなセンサベースも実現されよう。光ファイバ及びその周辺技術の成果を計算機システムへ活用する努力を今後も続けて行く所存である。

#### 参考文献

- (1) 松永ほか：計算機間通信における高性能光ループシステム、三菱電機技報、54、No. 9(昭55)
- (2) 池田ほか：GAMMA-NETのリングバス通信サブシステム、情報処理学会第21回全国大会(昭55)、2K-2
- (3) 野田健一：光ファイバ伝送、電子通信学会(昭53)

# 1.3μm帯レーザダイオードを用いたアナログ光送受信器

藤田 晓\*・菅野典夫\*・伊東克能\*\*・大深輝孝\*\*\*・岡本正弘\*\*\*

## 1. まえがき

光ファイバは、従来の金属ケーブルに比較し広帯域で低損失であるため、広い伝送帯域を必要とする画像信号を伝送路の周波数特性補償用の複雑な等化器を用いず、比較的簡単な回路構成の装置で伝送することが可能である。方式として直接IM(Intensity Modulation)方式とPFM(Pulse Frequency Modulation)-IM方式がある。

直接IM方式では、光源の直線性が問題になり低出力ではあるが直線性の良い発光ダイオード(LED)が主に用いられてきた。しかし発光素子の開発が進み、直線性が良好で直接変調も可能でしかも高出力のため長い伝送距離の得られるレーザダイオード(LD)も実現されている。

光源の直線性の影響を受けないアナログ信号伝送方式として、アナログ信号を電気回路であらかじめパルス信号に変換し光領域ではパルス伝送を行う予変調方式があり、代表的な方式としてPFM-IM方式がある。

光ファイバについても、製造技術の向上に伴い長波長領域で低損失化が実現され、1.0から1.7μm帯で1dB/km以下の低損失なファイバも実現されている。このような低損失なファイバを使用することにより、アナログ伝送方式においても伝送距離が飛躍的に増大し、鉄道沿線、高速道路等の監視用ITV信号の伝送などにおける有効性がますます増大しつつある。

ここでは1.3μm帯のLDを使用した直接IM方式とPFM-IM方式の光送受信器の概要とその伝送特性について述べる。

## 2. 方式比較

1.3μm帯LDを用いた画像信号の伝送方式としては、デジタル方式、PFM-IMなどの疑似アナログ方式と直接IM方式がある。デジタル方式は再生中継により高品質の長距離伝送が可能であるが、監視を主要目的とする中距離あるいは短距離の伝送においては端局コストがかさみ、装置の簡単な疑似アナログ方式及び直接IM方式の方が経済的である。

代表的な疑似アナログ方式であるPFM-IM方式と直接IM方式の適用領域を明らかにするために、両者の長所短所の比較を表1に示す。表1をもとに両者の適用領域を考察すると、直接IM方式

表1. LDによるアナログ伝送方式の比較

	直接IM方式	PFM-IM方式
長所	○回路構成が簡単 ○長距離伝送でもファイバの帯域制限の影響を受けない	○広帯域利得によるS/N改善と3角雑音による評価S/N改善効果がある ○光源の非直線性の影響を受けない
短所	○光源に直線性が要求され、直線性が悪い場合はひずみ補償回路が必要である ○モーダルノイズと反射ノイズ対策が必要である	○回路構成が複雑 ○ファイバの帯域制限の影響をうけるので広帯域のファイバが必要である

は回路構成が簡単であるため送受信器を多数必要とし経済性が優先される伝送系に適している。一方、PFM-IM方式は広帯域利得によるS/N改善と反射ノイズが3角雑音であるため評価S/Nが良くなる効果により高品質画像伝送に適している。

## 3. 直接IM方式光送受信器

### 3.1 設計

直接IM変調によるITV伝送では、画像品質は信号対雑音比 $S_{0.7V_{P-P}}/N_{rms}$ (以下S/Nと略す)、微分利得(DG)、微分位相(DP)などによって評価される。これらの画像品質は、一般に伝送系の伝送距離や歪特性などの伝送特性に依存するが、LDを用いた直接IM伝送ではモーダルノイズ<sup>(1)</sup>と反射ノイズ<sup>(2)</sup>の影響により劣化するという問題がある。ここでは、これらのノイズの影響がないとした場合の性能規格を決めるための検討並びにモーダルノイズと反射ノイズの抑圧法について述べる。

#### 3.1.1 S/N

S/Nは式(1)に示すように受光光電力 $P_r$ に依存する。

$$\frac{S_{0.7V_{P-P}}}{N_{rms}} = \frac{(1.4 \text{ ms} P_r M)^2}{B[i_n^2 + 2e(S P_r + I_d) M^{2+x}] + \left(\frac{S P_r M}{C/N}\right)^2} \quad \dots \dots (1)$$

式(1)で、 $m$ は変調度、 $S$ 、 $M$ 、 $x$ 、 $I_d$ はそれぞれ光検出器感度、増倍度、過剰雑音指数、暗電流で、 $i_n$ は初段増幅器等価入力雑音電流、 $C/N$ はLDの無変調時のS/N、 $B$ は帯域幅、 $e$ は電子電荷である。ITV-4M規格ではS/Nが42dBと定められているので、この送受信器では目標性能をS/N 42dB以上とする。

図1.は、ファイバの損失と伝送帯域の点から伝送距離について検討した結果である。図ではS/N=42dBを満たす受信光電力より求

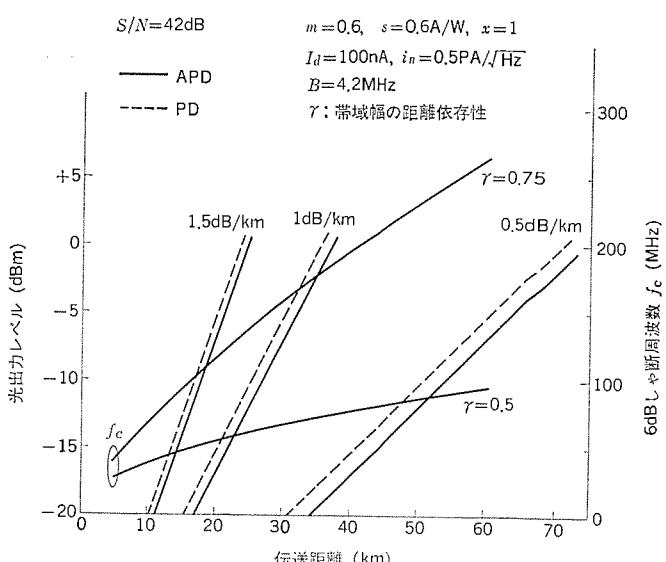


図1. 直接IM方式における伝送距離と光出力レベル及びファイバの6dBしゃ断周波数の関係

めた送信光電力と伝送距離の関係、及びファイバの周波数特性において 5 MHz で 1 dB 劣化する条件を満たす 1 km 当たりの 6 dB しゃ断周波数  $f_c$  と伝送距離の関係を示している。計算に用いた各定数は図中に示している。送信光電力を  $-8 \text{ dBm}$  とすれば、損失 1 dB/km のファイバで 29 km 程度の伝送が可能である。この場合、ファイバの所要伝送帯域は 150 MHz 程度である。この伝送帯域は、GI ファイバで十分達成されているため、ファイバの伝送帯域によって伝送距離が制限されることはない。

### 3. 1. 2 DG, DP

DG, DP は伝送系のひずみ特性に依存し主に 2 次、3 次高調波ひずみで決められる。ITV-4 M 規格では DG, DP はそれぞれ 30%, 15° と定められている。この送受信器では、多中継伝送を考慮して目標性能を 3%, 2° 以下とする。この目標性能を満たすには、伝送系の 2 次、3 次高調波ひずみをそれぞれ  $-45 \text{ dB}$ ,  $-50 \text{ dB}$  程度にする必要がある。このため、LD のアナログ伝送では LD のひずみ特性を考慮して、LD のひずみ補償が必要である。

### 3. 1. 3 モーダルノイズ及び反射ノイズ

以上の  $S/N$ , DG, DP, あるいは式(1)の  $C/N$  は、モーダルノイズや反射ノイズの影響により劣化するので、実用化する上でこれらのノイズの発生を抑圧しなければならない。これらのノイズは、マルチモード LD を用いれば低減できることが明らかになっている<sup>(1)(3)(4)</sup>。更に、反射ノイズはアイソレータにより除去できる。また、シングルモード LD でもベースバンド信号に高周波を重畠すればマルチモード化することができ、これらのノイズを低減できる<sup>(5)(6)</sup>。

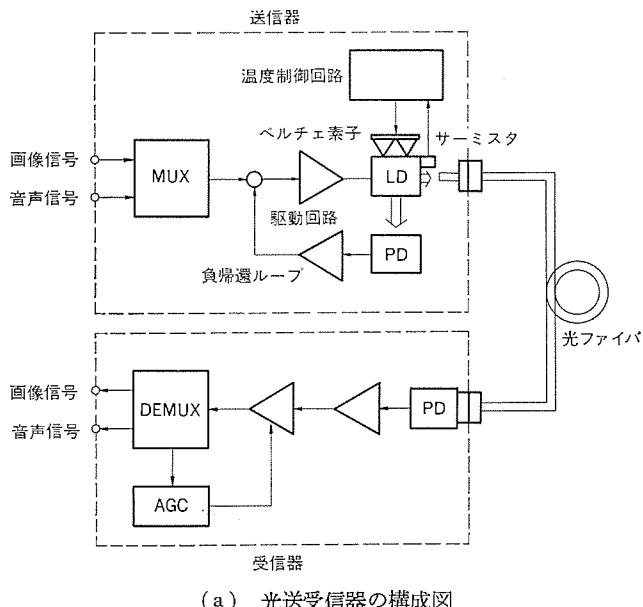
## 3. 2 装置の概要

表 2. に主要諸元を示す。図 2. に光送受信器の構成図と装置の外観を示す。送信器に要求される主な機能は、LD の光出力安定化とひずみ補償である。光出力安定化は、LD 背面光出力をモニタしこれをフィードバックして LD のバイアス電流を制御する方式の APC と、LD ヒートシング温度制御と併用して行っている。サーミスタとペルチェ素子による温度制御回路は LD の温度特性を考慮して実装しているが、現在 LD の低しきい值化、しきい値電流温度依存性の改善が進められており、将来は不要になると考えられる。また、LD のひずみ補償は LD 駆動回路前段に接続されたプリエンファシス回路と LD 背面光で検出された信号成分を增幅した後駆動回路入力部へ帰還する負帰還方式を併用して行っている。

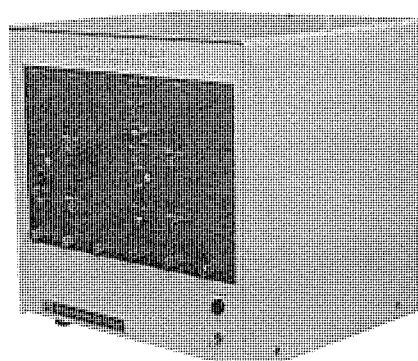
次に、受信器では検出器がホトダイオード(PD)の場合、受信感度は式(1)の等価入力雑音電流に依存するため、初段増幅器はトランジンピーダンス形式として受信系の低雑音化を図っている。AGC は増幅器の利得を制御する構成である。

表 2. 直接 IM 方式の主要諸元

画 像 信 号	カラー TV ビデオ信号
変 調 方 式	直接 IM
レ ー ザ ダ イ オ ー ド	InGaAsP-DH レーザ
波 長	1.32 $\mu\text{m}$
送 信 光 電 力	-7 dBm
光 フ ァ イ バ	GI ファイバ コア径 50 $\mu\text{m}$
検 出 器	InGaAs ホトダイオード Ge-APD



(a) 光送受信器の構成図



(b) 装置の外観

図 2. 直接 IM 方式光送受信器の構成図と装置の外観

## 3. 3 性能及び伝送特性

### 3. 3. 1 送信器

送信器の送信光電力を周囲温度 25°C で  $-7 \text{ dBm}$  に設定した場合、0°C~45°C の温度範囲における変動は、 $\pm 0.7 \text{ dB}$  に制御されている。現在、LD の低しきい值化、しきい値電流の温度依存性の改善が進められており、将来は APC のみで光出力変動を更に抑圧できると考えられる。次に、LD のひずみ補償による DG 改善効果の測定結果を図 3. に示す。エンファシスとして、送信器では 100 kHz で  $-7 \text{ dB}$  の特性のプリエンファシス回路を駆動回路の前段に接続し、受信器では逆特性のディエンファシス回路により周波数特性の補償をしている。また、負帰還のループ利得は 16 dB である。このひずみ補償によれば DG が数 10% の LD を用いても 3% 以下に改善することが可能であり実用上非常に有用である。

### 3. 3. 2 受信器

トランジンピーダンス形式初段増幅器の等価入力雑音電流と 3 dB 受信帯域幅は帰還抵抗に依存する。帰還抵抗を大きくすれば等価入力雑音電流は小さくなるが、3 dB 受信帯域幅が狭くなる。このため、両者のトレードオフを行なう帰還抵抗は 100 kΩ としている。このとき、等価入力雑音電流は  $0.54 \text{ PA}/\sqrt{\text{Hz}}$ 、3 dB 受信帯域幅は 13 MHz である。

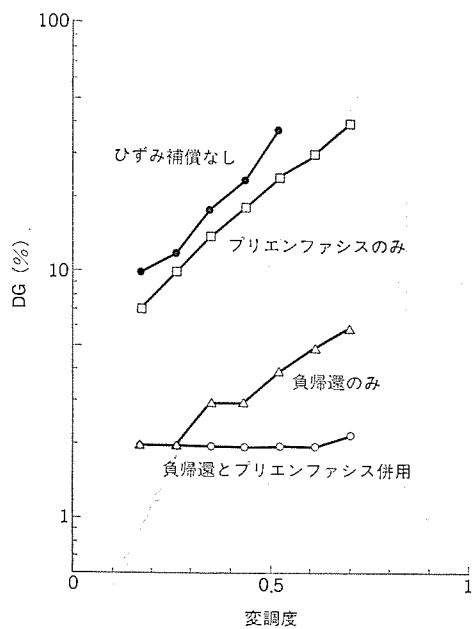


図 3. 直接 IM 方式における負帰還とプリエンファシスによる DG の改善

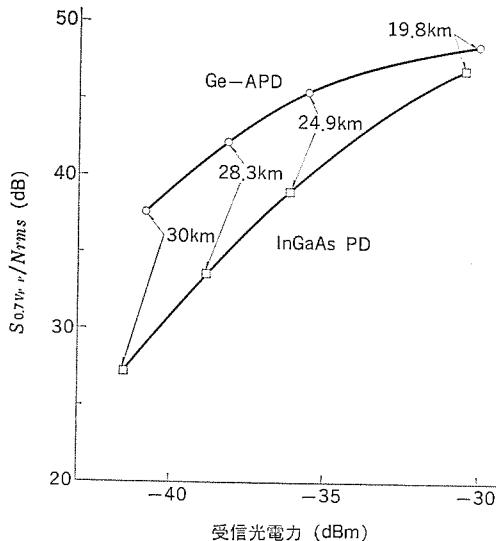


図 4. 直接 IM 方式における受信光電力対 S/N 特性

### 3. 3. 3 伝送特性

検出器として InGaAs-PD と Ge-APD を用いた場合について、折り返し試験による受信光電力対 S/N 特性を測定した結果を図 4. の実線で示す。S/N = 42 dB が得られる受信光電力は、PD では -34.5 dBm, APD では -38.2 dBm である。送信光電力が -7 dBm であるため、損失 1 dB/km のファイバを用いれば 25 km 以上の無中継伝送が可能である。これを確認するために、総延長 30 km の GI ファイバをスプライスとコネクタ接続により適当な長さに接続して伝送距離を変えて S/N 特性を測定した。図 4. に示すように折返し試験と同様な結果を得た。S/N = 42 dB が得られる最大伝送距離は、APD で 28 km, PD で 24 km である。GI ファイバの損失は、接

表 3. 直接 IM 方式の TV 試験信号伝送特性の測定結果

項目	測定値
微分利得	2.5%
微分位相	1° 以下
フレームスロープ	3%
ラインスロープ	2%
立ち上がり時間	0.3 μs
周波数特性	50 Hz~4.2 MHz で偏差 ±0.2 dB

続損失を含めて平均約 1 dB/km, 6 dB しゃ断周波数  $f_c$  は 800 MHz 以上である。このため、図 1. で述べたようにファイバの伝送帯域制限の影響はないので、ファイバが更に低損失化されれば最大伝送距離は更に延びると期待される。

次に、表 3. に各種 TV 試験信号による画像品質の測定結果を示す。DG, DP などの得られた性能は目標性能を満たし、また ITV-4 M 規格を十分満たしている。

以上の試験では、3. 1. 3 節で述べたようにモーダルノイズや反射ノイズを低減するためにスペクトラム半値全幅 20 A 以上のマルチモード LD を使用している。マルチモード LD を用いた効果は、図 4., 表 3. で得られた伝送試験結果から明らかである。屈折率導波形 LD では繊シングルモードになりやすくマルチモード LD は選択する必要がある。しかし、利得導波形の LD ではマルチモード LD が実現されており 0.8 μm 帯で試作されている<sup>(7)</sup>。マルチモード状態を実現する他の有力な手段として高周波重畠法がある<sup>(5)(6)</sup>。あるシングルモード LD による測定例では、高周波を重畠しないとファイバの振動に対して DG が 30% 以上に達し C/N が 7 dB 程度変動するのに対して、直流バイアス電流をしきい値電流以下に設定して 200 MHz 以上の高周波を重畠すれば DG は 4%~6% に改善され、C/N 変動も 2 dB に抑圧された<sup>(8)</sup>。このように高周波重畠法により、従来困難であったシングルモード LD による LD 直接 IM 伝送も実用化できる見通しがついたといえる。

## 4. PFM-IM 光送受信器

### 4. 1 設計

PFM-IM 方式は、直接 IM 方式に比較し広い周波数範囲を使用するため、広帯域利得による S/N 改善効果を有しており、ファイバの低

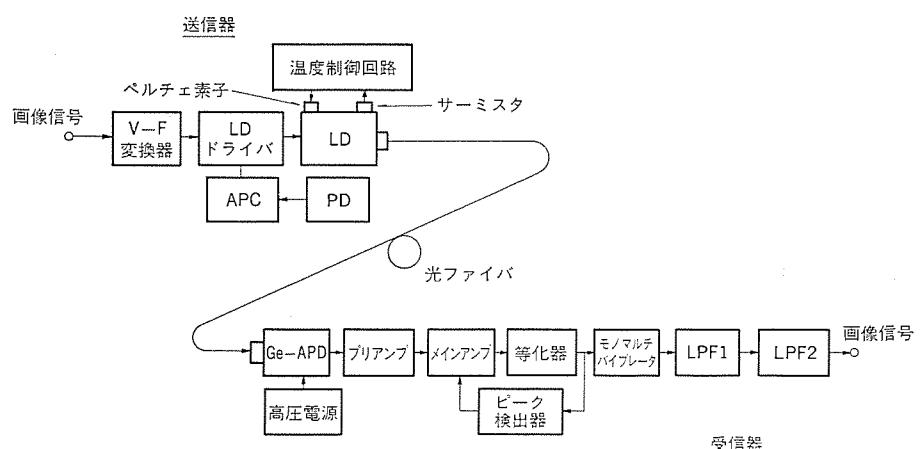


図 5. PFM-IM 方式光送受信器の構成図

表 4. PFM-IM 方式の伝送距離算出条件

項目		諸元	
送信器	パルス周波数偏移	28 MHz ± 14 MHz	
	ファイバ内送出光出力	-8 dBm(平均値)	
受信器	受光素子	Ge-APD	InGaAs-PD
	量子効率	75%	60%
	過剩雑音指数	1	—
伝送路	暗電流	0.67 μA (M=1)	70 nA
	前置増幅器雑音電流密度	1.20 × 10 <sup>-23</sup> A <sup>2</sup> /Hz	
	ファイバ損失(接続損失を含む)	1.0 dB/km	
帯域の距離依存係数(γ)(注)	1 km の 6 dB 帯域(f <sub>1</sub> )	1 GHz · km	
	帯域の距離依存係数(γ)(注)	0.75	

注 ファイバの帯域は  $f_{cl} = f_1/L^\gamma$  で近似する。L: 伝送距離 (km)

損失が実現されている長波長帯を使用した場合、長距離で高品質な画像信号伝送が実現できる。

図 5. IC PFM-IM 方式光送受信器の構成図を示す。

PFM 方式の場合、復調された画像信号の S/N 特性は変調器の周波数偏移の条件と PFM パルスのランダムジッタにより決定され、次式で与えられる<sup>(9)</sup>。

$$S_{p-p}/N_{rms} = \frac{1}{2f_b^2\theta_j^2} \frac{\gamma^2(\beta-\alpha)^2}{\beta^2(\beta+\alpha)} \left\{ 1 - S_{inc} \left( \frac{2\pi\gamma}{\beta} \right) \right\}^{-1} \quad (2)$$

$\alpha$ :  $f_{c\min}/f_b$ ,  $\beta$ :  $f_{c\max}/f_b$ ,  $\gamma$ :  $f_{c\max} \cdot T_p$ ,

$T_p$ : PFM パルスのパルス幅,  $f_b$ : ビデオ信号の帯域幅,

$f_{c\min}$ : 信号レベルが最小のときのパルス繰返し周波数,

$f_{c\max}$ : 信号レベルが最大のときのパルス繰返し周波数,

$\theta_j$ : PFM パルスのランダムジッタ

PFM パルスのジッタは、受信等化波形に含まれる雑音がパルス波形再生回路において、パルスの時間軸方向の変動となって現われたものであり、受信等化波形の形状(厳密には等化波形の振幅が  $1/2$  になる点の微係数)と雑音量により決定される。

波形等化関数を広帯域にすれば、雑音からジッタへの変換の度合は小さくなるが、逆に回路の広帯域化から等化回路出力での雑音は大きくなる。したがって実際の系では、ファイバの帯域  $f_{cl}$  が与えられるとジッタを最小にする最適な送信光パルス幅と等化帯域幅が存在する。

画像の伝送品質として ITV-4 M 方式の伝送規格を目標値としてランダム雑音  $S_{0.7V_F-P}/N_{rms} = 42$  dB (4 MHz 帯域無評価値) を確保できる伝送距離を表 4 の条件で求め。受光素子には Ge-APD と InGaAs-PD の両者を考える。

表 4 の信号周波数偏移より  $S/N = 42$  dB の場合の許容ランダムジッタは、719 PS となり送信器の LD 自身に 60 PS を配分すると 659 PS が受信器のランダムジッタの配分値となる。

受信器のランダムジッタは、送信光パルス幅、受信光入力、受光素子及び前置増幅器の雑音特性、等化帯域幅により決定されるため、送信光パルス幅と等化帯域幅を最適条件に設定すると、使用するファイバの単位長さ当たりの損失と帯域の両者が伝送距離を決定するパラメータとなる。等化帯域幅を最適にし、APD の場合最適増倍率で使用するものとすると、Ge-APD の場合で 33 km, InGaAs-PD の場合で 28 km の伝送距離となる。

#### 4.2 装置の概要

##### (1) 変調器

PFM 変調器には、信号の周波数偏移が大きくとれ、しかも電圧

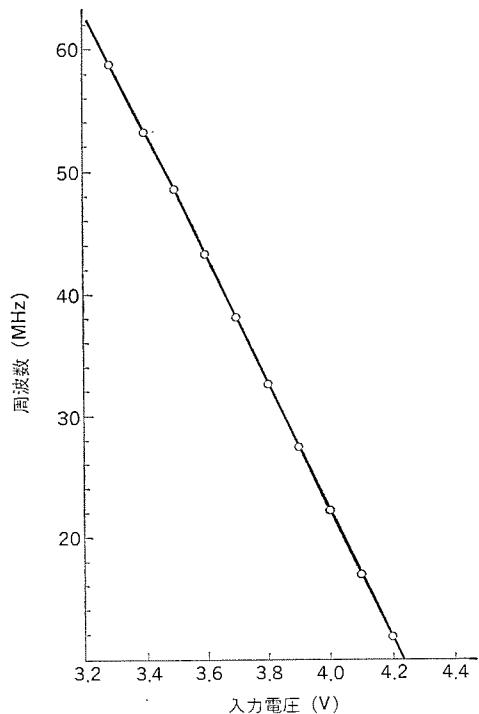


図 6. V-F 変換器の入力電圧 - 周波数特性

対周波数特性の直線性の良いものが要求され、(a) 電圧制御発振器 (VCO), (b) 電圧制御マルチバイブレータ (VCM), (c) コンデンサの充放電を使用した V-F 変換器などが使用可能であり<sup>(9)</sup>、試作結果から (c) の方式により 10~60 MHz で良好な直線性をもつ変調器が実現されている。図 6. は変調器の電圧対周波数特性である。

##### (2) 送信器

送信器には発振波長が 1.3 μm 帯の InGaAsP/InP-DH レーザを使用している。PFM 変調信号は、定電流駆動された電流切換回路からなる LD 駆動回路で光信号に変換される。LD の背面光出力は Ge-PD でモニタされ、LD の直流駆動電流を制御し LD の平均光出力を一定に保つ APC 回路を構成している。また、LD を収納している LD ユニットはサーミスタを感熱素子とし、ペルチェ素子によりユニット自身の温度を一定に保つ温度制御回路を構成し、外部の温度変化に対して光出力の安定化を図っている。

##### (3) 受信器

受信器初段の前置増幅器は、100 Mb/s (メガビット/秒) デジタル光受信器と同じ増幅器を使用している。Ge-APD の増倍率は、あらかじめ設定した値 ( $M=5\sim7$ ) で使用している。主増幅器は利得可変 (可変範囲 25dB) の増幅器を使用している。等化回路 (EQL) は 3 次のトムソン形フィルタを使用している。受信器の光入力レベルの変動に対しては等化波形のピーク値を検出し、主増幅器の利得を制御する方式の AGC を使用している。

##### (4) 復調器

PFM-IM 信号は、そのスペクトラム中にベースバンド周波数成分を含んでいるため、復調はローパスフィルタを使用すればよく、等化信号はモノマルチバイブレータでパルス幅 6 ns のパルスに波形再生され復調用のローパスフィルタ 1 (LPF 1) で元の信号に復調される。復調用のローパスフィルタ 1 は、音声信号伝送用の副搬送波やパイロット信号のそう入も考慮し、カットオフ周波数を 10 MHz で設計している。更に復調された画像信号は、カットオフ周波数 4.2 MHz のローパスフィルタ 2 (LPF 2) で他の信号と分離されとり出される。

表 5. PFM-IM 方式光送受信器主要諸元

項 目		諸 元
送 信 機	パルス周波数偏移	$28 \text{ MHz} \pm 14 \text{ MHz}$
	光パルス幅	13 ns
	光源	InGaAsP/InP DH レーザ
	光源波長	1.32 $\mu\text{m}$
	ファイバ内光出力	-8 dBm(平均値)
受 信 機	受光素子	Ge-APD
	前置増幅器形式	バイポーラ TR 入力によるトランジンピングアンプ形 (帰還抵抗 $R_f = 2.2 \text{ k}\Omega$ )
	入力等価雑音電流密度	$1.20 \times 10^{-23} \text{ A}^2/\text{Hz}$
	復調形式	モノマルチバイブルーティング + ローパスフィルタ
	AGC 形式	等化波形のピーク値検出

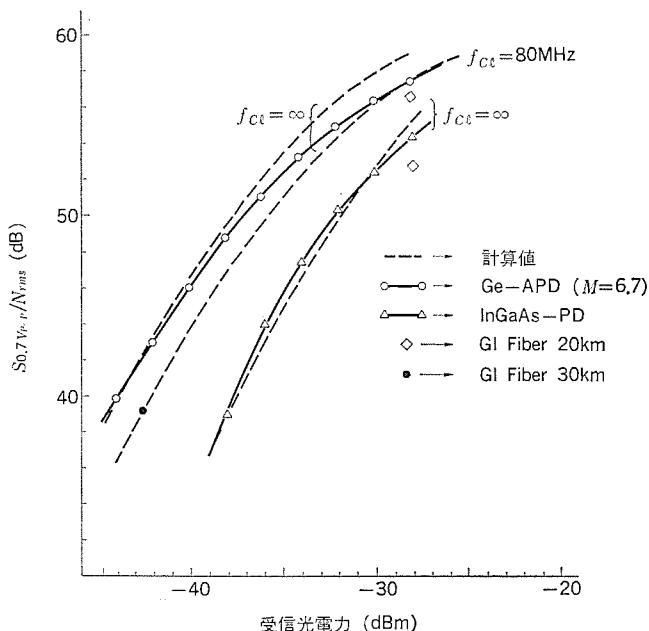
図 7. PFM-IM 方式の受信光電力対  $S/N$  特性

表 6. PFM-IM 方式の TV 試験信号伝送特性の測定結果

項 目	測 定 値
微 分 利 得	5 %
微 分 位 相	3°
フレームスロープ	1 %
ライセンスロープ	2 %
立 上 が り 時 間	0.3 $\mu\text{s}$
周 波 数 特 性	+0.1 dB (30 Hz ~ 6 MHz) -0.2 dB

#### 4.3 性能及び伝送特性<sup>(10)</sup>

以上述べた PFM-IM 方式送受信器の主要諸元を表 5. に示す。

この装置の外観は図 2. の直接 IM 方式と同じである。

図 7. は受信光電力に対する復調信号の  $S/N$  を示している。受光素子は Ge-APD のほかに InGaAs-PD でも測定を行っている。実線は光減衰器を使用し、ファイバの帯域制限の影響を受けない状態で

受信光電力を変化させ測定したものである。破線は  $S/N$  の理論計算値を示している。

次にコア径 50  $\mu\text{m}$ 、外径 125  $\mu\text{m}$  のマルチモード GI ファイバを 20 km 及び 30 km 伝送し測定を行った。伝送試験に使用したファイバの損失は、接続損失を含め 20 km が 19.4 dB (光源波長 1.315  $\mu\text{m}$ )、30 km は 34.1 dB であった。30 km 伝送の場合、20 km と 10 km のファイバを光コネクタで接続しているため、コネクタで約 1 dB の損失があり約 1.5 dB  $S/N$  が低下している。

表 6. は各種 TV 試験信号による伝送特性の測定結果である。

以上の伝送試験結果から、1 km 当たりの帯域が 1 GHz 以上で損失が接続損失を含め 1 dB 以下のマルチモード GI ファイバを使用した場合、30 km 以上の伝送距離が得られることが確認された。

#### 5. む す び

以上、1.3  $\mu\text{m}$  帯レーザダイオードを用いたアナログ光送受信器の構成、性能及びその伝送特性について述べた。

光送受信器としては、直接 IM 方式と PFM-IM 方式によるものがあり、いずれも 30 km 程度の無中継伝送が可能である。このため、これらの光送受信器を用いれば鉄道沿線、道路などの広域監視システムが実現できる。この場合、高品質な画像と多中継が必要な場合は PFM-IM 方式が、経済性が優先される場合は直接 IM 方式が優れている。また、LD は発光ダイオードよりスペクトル幅が狭いため、波長多重伝送を行うとき多くのチャネル数が設定できるため伝送容量の増大によるシステム構成の拡張性、多様化が期待される。

(昭和 55-12-23 受付)

#### 参 考 文 献

- (1) R. E. Epworth : The phenomenon of modal noise in analog and digital optical system, 4 th ECOC. P. 492 (1978)
- (2) 浅谷、ほか : 半導体レーザを用いたマルチモードファイバ アナログ伝送系の検討、電子通信学会技報、CS-80-2
- (3) 関田ほか : 1.3  $\mu\text{m}$  帯半導体レーザのアナログベースバンド変調による ITV 信号伝送、昭和 55 年度電子通信学会通信、光・電波部門全国大会、S 3-11
- (4) M. Sekita et al : TV video transmission by analog baseband modulation of a 1.3  $\mu\text{m}$ -band laserdiode, 6 th ECOC. P. 394 (1980)
- (5) J. Vanderwall et al : Suppression of some artifacts of modal noise in fiber-optic systems, Optics Lett. 4, P. 295 (1979)
- (6) K. Sato et al : Superimposed pulse modulation for fiber optic analogue video transmission using semiconductor laser diode, Electron Lett. 16, P. 538 (1980)
- (7) 大滝ほか : V 溝ストライプ形 DH レーザの試作、昭和 55 年度電子通信学会通信、光・電波部門全国大会、No. 206
- (8) 藤田ほか : 高周波重畠法を用いた 1.3  $\mu\text{m}$  帯シングルモードレーザダイオードによるアナログ伝送、昭和 56 年度電子通信学会総合全国大会 (発表予定)
- (9) 米田ほか : PFM 変調による光ファイバ TV 信号伝送の検討、電子通信学会技報、CS-77-153
- (10) 菅野ほか : 1.3  $\mu\text{m}$  帯 PFM 画像伝送装置、昭和 55 年電気関係学会関西支部連合大会、G 7-14

# ビデオ信号とデジタル信号との光波長多重伝送系

竹居 敏夫\*・三宅 良雄\*\*・斎藤 正光\*\*・菅沼ルミ子\*\*・足立 明宏\*\*

## 1. まえがき

光ファイバ伝送技術の開発は、伝送距離の増大と伝送容量の拡大をめぐって行われてきた。このうち伝送距離の増大については、主として光ファイバの低損失化によって追求され、長波長帯における光ファイバの極低損失化の実現によって、従来の有線伝送では得られなかつた極めて長距離の無中継伝送が可能となりつつある。

一方、容量の拡大については、光ファイバの広帯域化と光波長多重伝送の2面から検討されている。このうち前者は、輝度変調された光に対する光ファイバの広帯域化であり、すなわち光ファイバによって伝送され得る光の輝度変調周波数帯域の拡大を図るものである。これについては、材料分散と構造分散がほぼ打ち消し合う  $1.3\text{ }\mu\text{m}$  波長でのシングルモード光ファイバによって、極めて広帯域の光ファイバが実現している。

他方、光波長多重伝送は、複数の信号を異なる波長の光によって、1本の光ファイバに多重して送ることによって伝送容量を拡大しようとするものである。すなわち、従来の有線・無線伝送における周波数多重伝送に相当するもので、光の周波数が持つ大容量性を生かす手段である。

光ファイバ伝送系を用いて信号を多重する方法としては、光波長多重と時分割多重の2つの方法がある。この中で、光波長多重は、多重化された各伝送チャネルを何の制約もなく用いることができる点で、時分割多重にない特長をもっている。このことから、光波長多重伝送は、例えばデジタル信号とアナログ信号などの異種の信号の多重伝送に有効である。

我々は今回、ビデオ信号とデジタル信号の光波長多重伝送系を開発した。この伝送系は、ビデオ信号とデジタル信号とを、同方向あるいは双方向に互いに干渉することなく伝送できる。

## 2. 光波長多重伝送系の構成及び分波器

### 2.1 伝送系の構成

光波長多重伝送系の構成例としては、極めて多種多様なものが考えられている<sup>(1)</sup>。図1にその例を示す。図中、分波器及び合波器は波長多重伝送を可能ならしめるためのキーコンポーネントである。分波器は波長の異なる光を分波するものであり、フィルタやグレーティング等の波長選択性をもった素子を含んでいる。またこの分波器は逆に用いれば通常分波器としても機能する。一方合波器には必ずしも波長選択性は必要でなく、例えば図1.(a)や(f)の伝送系では、単に各波長の光を合流させるものでも良い。

光波長多重伝送で使用される波長範囲は、光ファイバの損失の波長特性と半導体発光、受光素子の波長特性の関係から  $800\text{~}900\text{ nm}$  及び  $1,250\text{~}1,350\text{ nm}$  が多い。しかしながら、光ファイバの低損失性及び広帯域性からみれば、今後、半導体素子の開発に伴い  $800\text{~}1,500\text{ nm}$  にわたる広い波長範囲が波長多重の対象範囲となると思われる。今回の波長多重伝送系には、信頼性が確認されており、また異なる

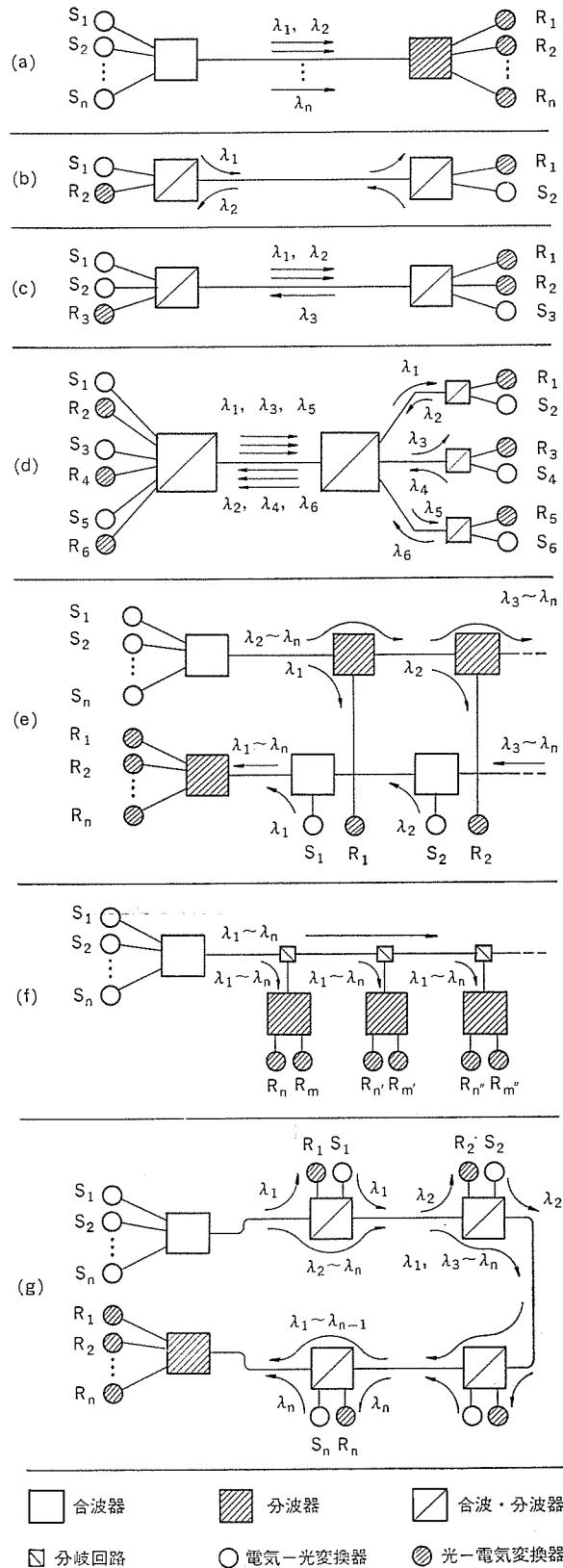


図 1. 光波長多重伝送系の構成例<sup>(1)</sup>

波長の素子が容易に得られる 800~900 nm 帯を用いた。

## 2.2 分波器

分波器には群分波器とチャネル分波器があり、これらを組合わせて階層的な多重化が実現できる。群分波器とは、多重伝送されてきた光を2つ以上の伝送チャネルを含む波長群に分波する分波器であり、チャネル分波器とは1つの伝送チャネルの波長を分波する分波器である。

一方、光分波器を実現する具体的な方式としては、種々のものが提案されているが、その中でも干渉フィルタを用いる方式とグレーティングを用いる方式が有力である。

干渉フィルタ方式による光分波器は、干渉フィルタにより、フィルタを透過する波長の光とフィルタにより反射される波長の光の2つに分波するもので、フィルタの種類を選ぶことにより、群分波器、チャネル分波器の両方に適している。一方、グレーティング方式による光分波器は、グレーティングに入射した光がその波長に応じて分光されることを利用した分波器で、同時に多くの波長の光を分波することが可能でありチャネル分波器に適している。今回は、すでに開発した群分波器、チャネル分波器の両方に適している干渉フィルタ方式による光分波器である直交形光分波器<sup>(2)</sup>を用いた。

## 3. ビデオ信号とディジタル信号の波長多重伝送系

ビデオ信号と10 Mb/s(メガビット/秒)までのディジタル信号の同方向及び双方向波長多重伝送系を開発した。

### 3.1 伝送系の構成

図2、図3に同方向及び双方向伝送系の構成を示す。また表1に各伝送チャネルの諸元を示す。波長多重伝送の特長を生かして、変調方式はビデオ信号、ディジタル信号とも複雑な変調回路の不要なベースバンドIM変調方式を採用した。また、発光素子は、ビデオ信号伝送チャネルには発光ダイオード(LED)を、ディジタル信号伝送チャネルには半導体レーザー(LD)を用いた。一般に波長多重伝送に用いる光源として

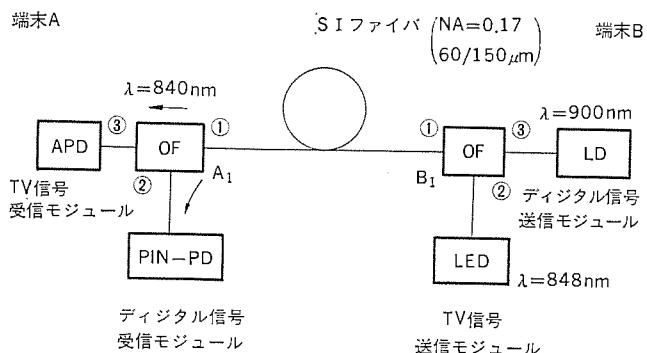


図2. 同方向波長多重伝送系の構成 OF:光分波器

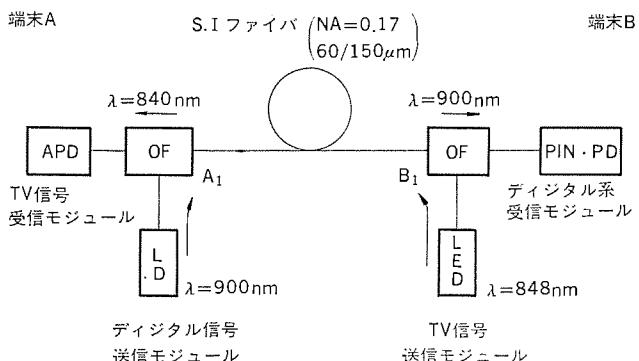


図3. 双方向波長多重伝送系の構成 OF:光分波器

表1. 伝送系諸元

	ディジタル信号伝送チャネル	ビデオ信号伝送チャネル
伝送信号	NRZ ディジタル信号 DC~10 Mb/s	ビデオ信号
変調方式	ベースバンドIM変調	ベースバンドIM変調
伝送チャネル波長	900 nm	840 nm
発光素子	半導体レーザ (当社製 ML 2205)	発光ダイオード (当社製 ME 1303)
波長	900 nm	848 nm
受光素子	PIN-PD	APD
分波器	直交形光分波器 A1: 中心波透過波長 840 nm のフィルタ使用 B1: " 900 nm "	
ファイバ	SI ファイバ (NA=0.17 コア径 60 μm)	

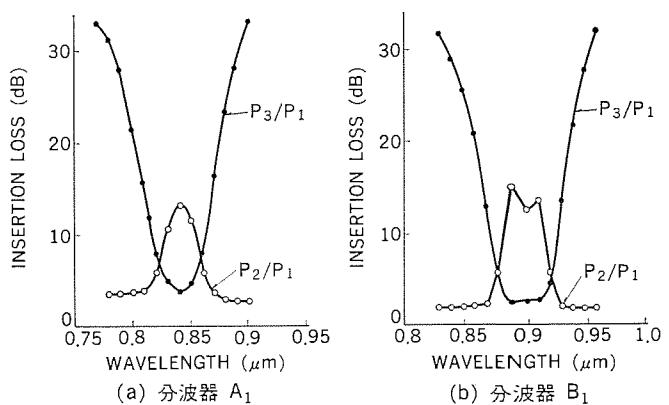


図4. 波長多重伝送系に用いた直交形光分波器 A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub> の分波特性

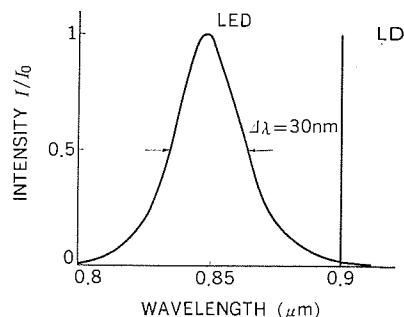


図5. LD と LED の波長スペクトル

は波長スペクトルが十分狭いことが必要であり、この点からはLDが適している。しかし、LDをベースバンドIM変調でビデオ信号伝送に用いた場合、いわゆるスペックル雑音やLD出射光のもつ雑音によるS/Nの劣化が問題となる。このことから、ここではビデオ信号伝送チャネルには、これらの雑音が皆無なLEDを用いた。なお、LEDを用いたことによる分波損失の増加や、伝送チャネル間の漏話の増加については、伝送チャネルの波長間隔及び光分波器の性能の最適化によって十分抑えることとした。

光分波器には、すでに開発した干渉フィルタ方式の直交形光分波器<sup>(2)</sup>を用いた。この光分波器は、(1)任意の光ファイバに適合する、(2)小形で使いやすい、(3)低損失で信頼性が高い、の特長をもっている。この光分波器に用いた干渉フィルタは、後述するように、伝送系の損失と漏話の2点を考慮して23層の誘電体多層膜フィルタを用いた。図4に光分波器の分波特性を、図5に発光素子の波長

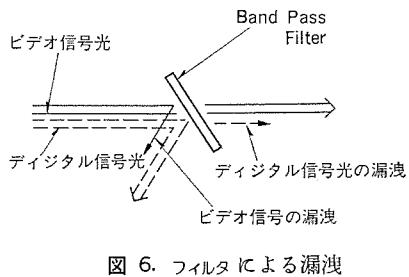


図 6. フィルタによる漏洩

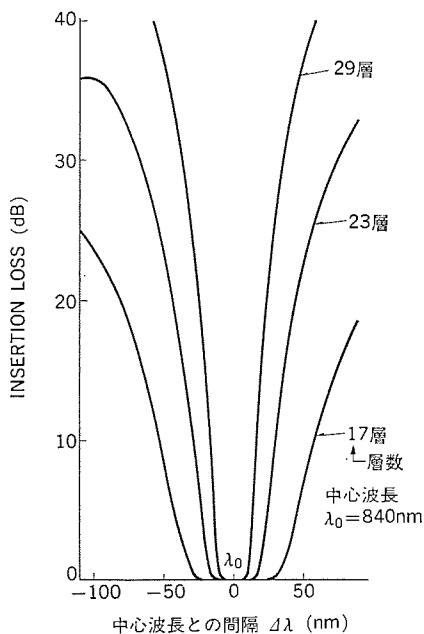


図 7. Band Pass 干渉 フィルタの特性  
(誘電体多層膜 フィルタ)

スペクトルを示す。

### 3.2 各伝送チャネルの波長の設定

各伝送チャネルの波長の設定には、分波損失とチャネル間漏洩を所定以下に抑えることと、実際に入手が可能な発光素子の波長及び干渉フィルタの性能を勘案して決定した。

ビデオ信号とデジタル信号の波長多重伝送では、ビデオ信号がデジタル信号の倍近くの高 S/N が要求されることから、ビデオ伝送チャネルへのデジタル信号の漏えい(洩)を十分抑えることが必要である。そこで、図 6. に示すようにビデオ信号光が Band Pass 干渉フィルタを透過するように光分波器を用い、この干渉フィルタによってビデオ信号伝送チャネル波長外の信号(デジタル信号)を除去することとした。図 7. に代表的な Band Pass 干渉フィルタの特性を示す。デジタル信号は、LD 光によって伝送されるので、ほとんど波長スペクトルの広がりのない光として考えられる。したがって Band Pass 干渉フィルタの透過中心波長をビデオ信号伝送チャネル波長に一致させた場合、この波長より  $\Delta\lambda$  離れた波長のデジタル信号のこの干渉フィルタによる減衰量は、図 7. に示されているフィルタの減衰量にはほぼ等しい。同図より明らかにビデオ信号伝送チャネルへのデジタル信号の漏洩を光強度で -30 dB 以下(電気信号では 60 dB)に抑えようとすると、23 層フィルタでは、2 つの伝送チャネル間の波長間隔を約 60 nm また 29 層フィルタでは約 40 nm とする必要がある。

一方ビデオ信号伝送チャネルには、波長スペクトル広がりの大きさ(半値全幅で約 30 nm) LED を用いるので、分波損失あるいは、ビデ

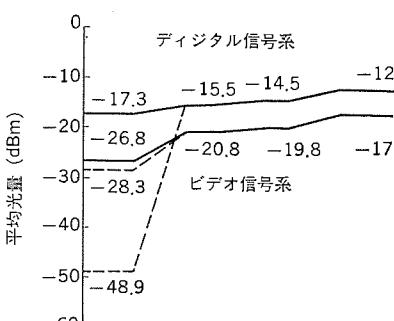


図 8. 同方向波長多重伝送系のレベルチャート

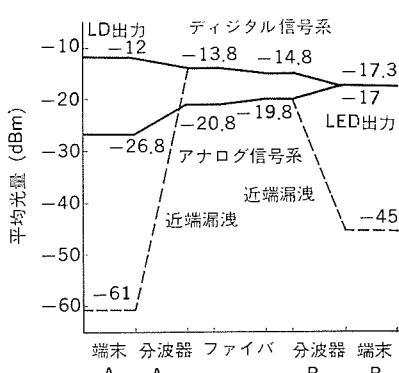


図 9. 双方向波長多重伝送系のレベルチャート

オ信号のデジタル信号への漏洩の点からはなるべく帯域の広いフィルタを用いる方が有利である。これらを考慮して、帯域幅がそれほど狭くなくかつ所要の減衰特性を得ることのできる 23 層の干渉フィルタを用い、伝送チャネル間の波長間隔は 60 nm とした。実際には、ビデオ伝送チャネルには、当社製 LED (ME 1303) の波長範囲を考慮して 840 nm を割り当て、デジタル信号伝送チャネルには、これより 60 nm 離れた 900 nm を割り当てる。

### 3.3 同方向波長多重伝送系の性能

図 2. に同方向波長多重伝送系を示す。同方向波長多重伝送の場合は、合波側では LED の波長スペクトル広がりによる損失を抑えるため LD 光に透過中心波長のある干渉フィルタを用いた分波器 B を、また分波側ではビデオ信号伝送チャネルへのデジタル信号の漏洩を抑えるためビデオ信号波長に透過中心波長をもつ干渉フィルタを用いた分波器 A を用いた。図 8. にこの同方向波長多重伝送系のレベルチャートの測定結果を示す。この伝送系では、LD と LED の光ファイバとの結合効率の違いによるファイバ内の伝送光量の不均衡を是正するため、LD 出力を約 5 dB 最大出力より低く抑えている。実際に用いた LED の中心波長がビデオ信号伝送チャネルの設定波長より若干くい違ったため、ビデオ伝送系の損失及びビデオ信号のデジタル信号伝送チャネルへの漏洩が若干大きくなつたが、デジタル

ビデオ両信号伝送チャネルとも各々漏洩量に対して十分な受信光量を得ており、良好な信号伝送が確認できた。

### 3.4 双方向多重伝送系の性能

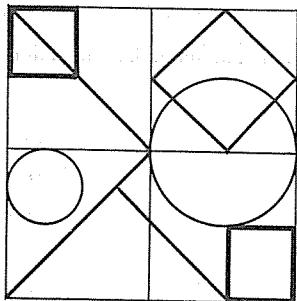
双方向波長多重伝送系の構成を図 3. に示す。この伝送系では、干渉フィルタを透過した光が受光素子に入るようになることが、伝送チャネル間漏洩量の抑制の点から望ましく、したがって各伝送チャネルの受信端にその伝送チャネルの波長に透過中心波長をもつ干渉フィルタを用いた光分波器を配する構成とした。図 9. にこの双方向波長多重伝送系のレベルチャートの測定結果を示す。この伝送系の場合も、LD と LED のファイバとの結合効率の違いによるファイバ内伝送光量の不均衡を是正するため LD 出力は最大出力より約 5 dB 低く抑えている。両チャネルとも漏洩量は十分低く、良好な信号伝送が確認できた。

## 4. むすび

ビデオ信号とデジタル信号とを光波長多重によって同方向及び双方向へ伝送する伝送系を開発した。これらの伝送系は、工場やビル等における監視制御システムなどに適している。

## 参考文献

- (1) 三木: 波長分割による光ファイバ多重伝送、日経エレクトロニクス、5月28日号、p. 113 (昭54)
- (2) 三宅、足立、竹居: 干渉膜フィルタ形光分波器の開発、昭和55年度電子通信学会総合全国大会、No. 2214 (昭55-3)



# 特許と新案

## 変圧器用気体検出装置 (特許 第 917025 号)

発明者 森 章 文・近 藤 博 之

この発明は、変圧器に発生した異常ガス、あるいは内部に空気袋を収納し油が空気と触れないように構成したタイプのコンサベータにあって上記空気袋の破損による侵入気体を検出する変圧器用気体検出装置に関する。

従来、この種の装置は図1及び図2に示すように、空気袋(2)を内蔵し接続管(3)によりこの袋内部を吸湿呼吸器(4)を介して大気と連通させたコンサベータ(5)の上面に気体検出装置(1)を取付けている。したがって通常、浮子(6)は油中最上部に位置するが、変圧器内に異常ガスが発生したり、空気袋(2)が破損すると、気体が油中に発生、侵入し、この気体はコンサベータ(5)の上面にある気体検出装置(1)に流入する。その結果、浮子(6)は下降し水銀スイッチ(7)の接点を閉じて警報を発する。ところが、この従来の気体検出装置は、輸送中の衝撃による水銀スイッチの破損や地震などの振動による水銀の移動によって誤動作を起こす恐れがある。

この発明はこれを解消しようとするもので、図3及び図4に示すように、容器(13)をゴムなどの可燃性、耐久性に優れた材料からなる隔膜(12)により油室と空気室に2分し、油室側はコンサベータ(5)内に、空気室側は接続管(3)内にそれぞれ連結する。そして隔膜(12)の油室側に浮子(14)を、隔膜(12)を介してこれに対向する空気室側に導電性材料で構成された接触子(15)を設け、更に空気室側にこの接触子(15)と適当な間隔を介して電極棒(16)を配設する。

さて、この気体検出装置において、容器(13)内の油室側は油で充満されるが、上方に位置するためその油圧は常に空気袋(2)の大気圧よりも小さい。このため浮子(14)を有する隔膜(12)は膨張し、接触子(15)と電極棒(16)とは離れた状態にある。次に油

中に異常ガスが発生したり、空気袋(2)が破損すると、油中に生じた気体は容器(13)の油室側に流入する。その結果、容器(13)内部の油面は下降し、これに伴い浮子(14)も下がり、同時に隔膜(12)は収縮して接触子(15)と電極棒(16)とが接触し警報を発する。以上のようにこの発明によれば、輸送中や使用中の地震などによる衝撃で破損や誤動作を起こすことがなく、また、隔膜を使用して大気圧と油圧との差を利用してるので浮子の浮力が小さくて済み、電磁石など特別な浮上手段を必要としない簡単な構成で信頼性の高い気体検出装置を得ることができる。

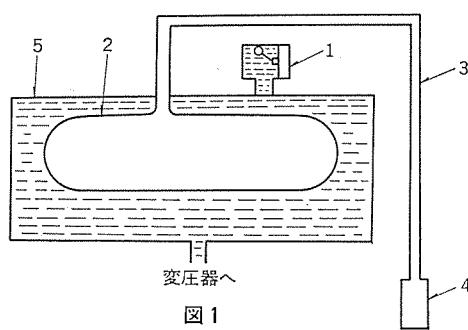


図1

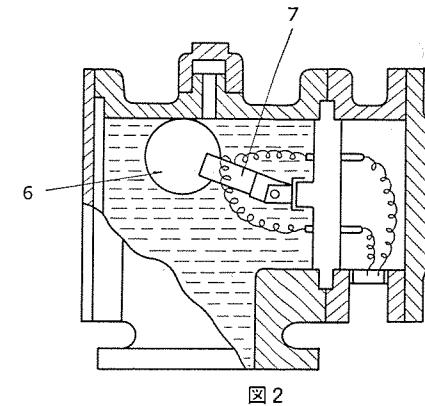


図2

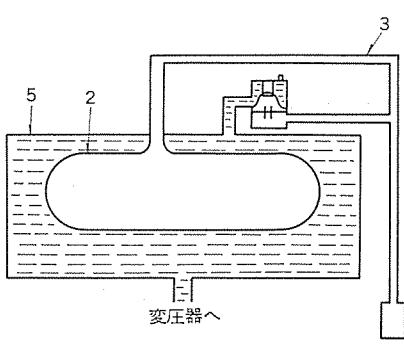


図3

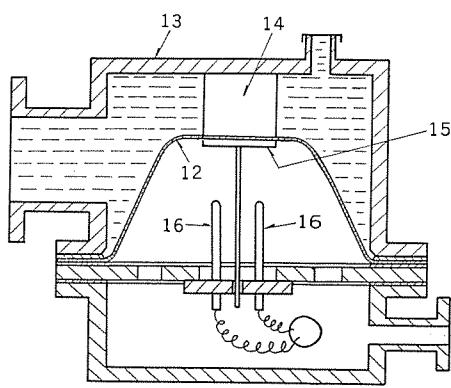


図4

## テレビジョン受信機の同期分離回路 (実用新案 第 1259017 号)

考案者 河村博至・木村健治

この考案はテレビジョン受信機の同期分離回路の改良に関するもので

ある。

# 特許と新案

従来の同期分離回路は図1に示すように構成されており、前段の映像検波回路で検波された正極性の合成映像信号Pがトランジスタ(1)で増幅された後、スイッチング素子(3)によって、そのコレクタには、水平同期信号SH及び垂直同期信号SVが得られた。

しかし、この構成では、ゴーストの多い特殊電界において入力の合成映像信号Pの垂直同期信号SVが負極性の反射波の影響を受け図2に示すように持ち上った状態になる場合などでは、正常な同期分離が行われないといいう欠点があった。

この考案は、同期信号を出力するスイッチング素子の出力電圧をピーク検波し、その検波出力を上記スイッチング素子の入力部に帰還することにより、合成映像信号の同期信号のピークレベルが変動した場合でも、一定のピークレベルの同期信号出力を得るようにしたものであり、図3にこの実施例を示す。

図3において、従来例と異なるところは、スイッチング素子(3)のコレクタとアース間にダイオード(8)とピーク検波用コンデンサ(9)とを直列接続し、この接続点aからスイッチング素子(3)のベースへ帰還抵抗(11)を接続し、コンデンサ(9)には放電用抵抗(10)を接続した点である。

この構成によれば、例えばスイッチング素子(3)のコレクタに現れた同期信号のピーク電圧が低下しようとするとき、スイッチング素子(3)のベースバイアスは、帰還抵抗

(11)があるため、同様に低下する。したがって、スイッチング素子(3)のベース電流が増え、コレクタ電流も増す。このためスイッチング素子(3)のコレクタ電位も上がり、図4に示すような一定レベルの同期信号が得られる。

以上のようにこの考案によれば、スイッチング素子の出力電圧をピーク検波し、この検波出力を入力部に帰還し出力電圧のピークレベル変動を抑制したので、放送局間の同期信号幅の違いなどによる信号の平均値の変動に対しても何ら影響されることなく、一定のピークレベルの同期信号出力を得ることができる。

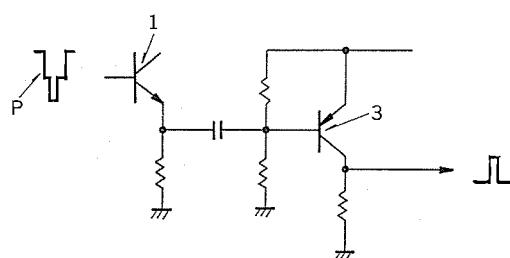


図1

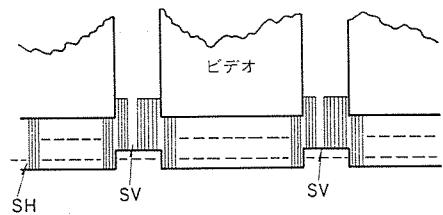


図2

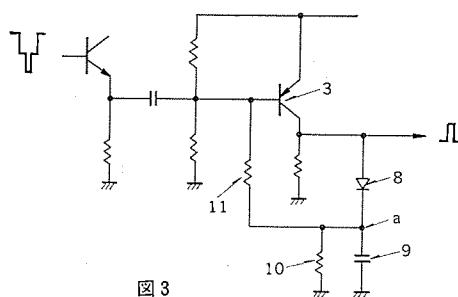


図3

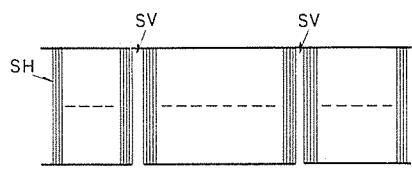


図4

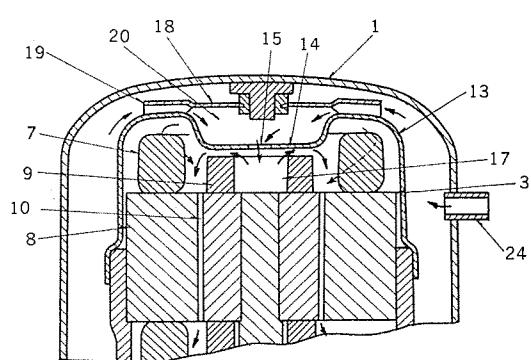
## 密閉形電動圧縮機 (実用新案 第1212891号)

考案者 河村 求・星野 義明

この考案は電動要素と圧縮要素を一体的に連結して密閉外被内に収容した密閉形電動圧縮機の低騒音対策に関するものである。

図においてこの考案を説明すると、(1)は密閉外被、(3)は電動要素、(7)は固定子(8)のコイルエンド、(9)は回転子(10)のエンドリングである。(13)はこの考案に係わるモータカバーで、中央を回転子(10)のエンドリング(9)との間に極く狭い間隙を保つようにくぼ(凹)させてある。(18)は上記モータカバー(13)の凹所を覆い、外周に吸入通路(19)を形成する補助カバーで、この補助カバー(18)と上記凹所とで第1の消音室(20)を形成する。吸入ガスは吸入管(24)から密閉外被(1)内に入り、上記第1の消音室(20)を経てモータカバー(13)中央の貫通孔(15)からエンドリング(9)内の第2の消音室(17)に入り膨脹し、更にエンドリング(9)の上端部とモータカバー中央部(14)の間隙(16)で絞られモータカバー室で膨脹し消音される。このように、モータカバー内に残

余の空間を利用して簡単な構成により別個の消音室を形成できるもので実用効果が高い。



# コンピュータリレーに適した電力系統保護方式の開発

山越 幸成\*・坂口 敏明\*\*・西田 正吾\*\*

## 1. まえがき

コンピュータリレーは、元来デジタル計算機による電力系統の保護システム、という形で登場してきた。その後、マイクロプロセッサに代表されるエレクトロニクス技術の目ざましい発展と保護システム技術者の努力により実用化の時代に入ろうとしている<sup>(1)</sup>。筆者等はコンピュータリレーの本格的導入を前にして、コンピュータ処理に適した電力系統保護アルゴリズムの開発、デジタル計算機によるリレーシミュレーション、及び模擬送電線における試験を進めてきた。この論文はその研究結果を述べるものである。

## 2. コンピュータリレーの研究課題

コンピュータリレーは、系統電圧・電流というアナログ量から{fault, unfault}という論理値への関数を定義するもの、と考えることができる。この関数は、更に図1.に示す連続した3つのブロックに分割できる。図1.は

sensing: 電圧・電流を計測しアナログ量からデジタル量に変換する過程。

evaluating: 電圧・電流のサンプル値から故障判別に必要なスカラー量を求める過程。

discriminating: 前述のスカラー量に基づき故障判別を行う過程。それをそれぞれ表している。sensing過程ではいわゆる signal conditioning が主な課題であり、evaluating過程では故障の計測量の選定とその演算アルゴリズムが主な課題である。例えばインピーダンスは、計測量として最もよく用いられるもので、数多くのインピーダンス演算アルゴリズムが発表されている。最後の discriminating 過程は、最終的に{fault, unfault}を判定するもので、従来は3回連続照合といったヒューリスティックな方法が用いられてきた。この論文は、evaluating過程における故障計測量をコンピュータ処理という観点に立って選定し、その高速な演算アルゴリズムを与える。次に従来は深く解析されなかった discriminating 過程での統計的なアプローチを述べる。

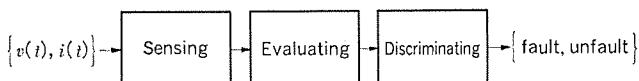


図1. コンピュータリレーの機能ブロック

## 3. コンピュータリレーによる送電線保護

### 3.1 進行波差動法(ダランベールリレー)

送電線を単位長当たりのインダクタンス  $l$ 、キャパシタンス  $c$  の単相分布定数回路で表すと、図2.の両端子S, Rの電圧電流には次の関係式が成立つ(Schnyder-Bergeronの式)<sup>(2)</sup>。

$$-i_S(t) + v_S(t)/z = i_R(t-\tau) + v_R(t-\tau)/z \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで  $\tau = \sqrt{lc} d$  (サーボ伝搬時間),

$$z = \sqrt{l/c} \quad (\text{サーボインピーダンス})$$

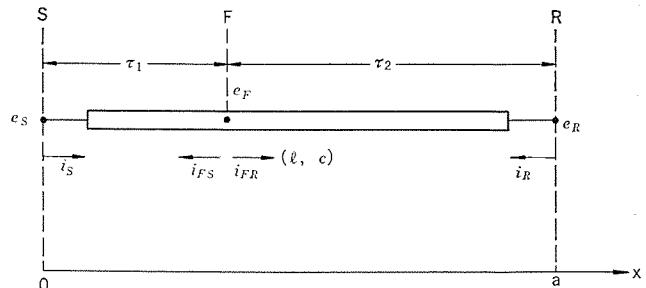


図2. 単相送電線

式(1)の両辺は、各端子における進行波の瞬時値を表している。そこで両辺の差動量(スカラー量)  $\xi(t)$  を求め

$$\xi(t) = i_S(t) + i_R(t-\tau) - \{v_S(t) - v_R(t-\tau)\}/z \quad \dots \dots \dots (2)$$

この  $\xi(t)$  を故障計測量とする。送電線区間SRが健全(区間外故障も含む)ならば  $\xi(t) = 0$  であり、区間内で故障が発生すれば  $\xi(t) \neq 0$  である。したがって  $\xi(t)$  に基づく区間SRの保護が可能である<sup>(3)</sup>。

この方式の特長をあげると、まず各端子の進行波の瞬時値がそのまま故障計測量に使えるためコンピュータのようなデジタル演算装置にとって大変都合が良い。更に式(1)は、たとえ系統電圧・電流の波形が乱れても成立するため故障発生直後の過渡現象の影響を本質的に受けすことなく高速判定が可能である。

3相送電線へ拡張するには

$$v(t) = S v^{(mode)}(t) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$i(t) = Q i^{(mode)}(t) \quad \dots \dots \dots (4)$$

で定義されるモード変換行列  $S$ ,  $Q$  を用いて3相送電線を互いに結合のない3つの単相送電線に分解した後、各送電線に式(2)を適用すればよい。送電線が十分ねん架されていれば  $S$ ,  $Q$  として対称座標変換、クラク変換、カレンバウア変換などが適用できる。

式(2)の故障計測量に基づく保護方式には次のような誤差が考えられる。①各相間の結合を無視したこと、②サーボ伝搬時間  $\tau$  の誤差、③サーボインピーダンス  $z$  の誤差、④送電線の損失を無視したこと、⑤線路定数の周波数依存効果を無視したこと。計算機シミュレーション及び厳密な理論解析の結果、①、②は本質的には同一でかつ無視できない影響があるが、低域通過フィルタを前置すれば実用上問題がないこと、③、④、⑤は、いずれも現実の送電線においてはその効果を無視しても差支えないことが判明した<sup>(4)</sup>。図3.に模擬送電線での試験結果の1例を示す。このときデータのサンプル間隔は、電気角30°、A/D変換は符号を含めて12ビットで行い。内部線間短絡故障を約3.5 msで検出している。

進行波に基づく送電線保護方式として、海外においてはASEA<sup>(5)</sup>, BBC<sup>(6)</sup>, Boeing<sup>(7)</sup>の各社による進行波リレーがあり、必ずしもコンピュータリレーではないが、いずれも超高速リレー(1/4サイクル以下)の開発をめざしている。

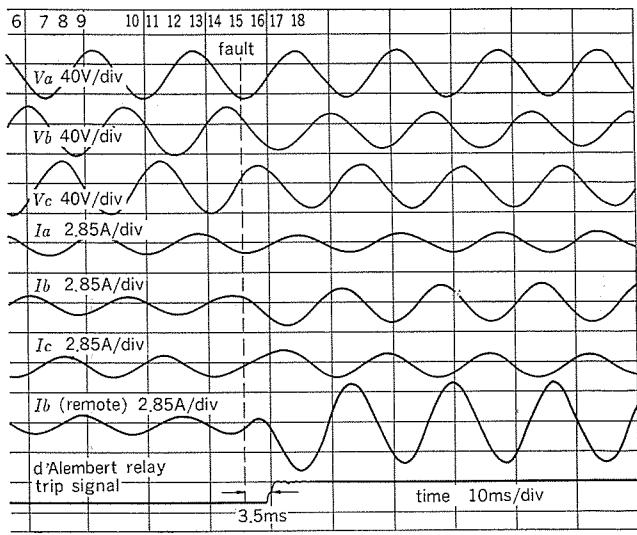
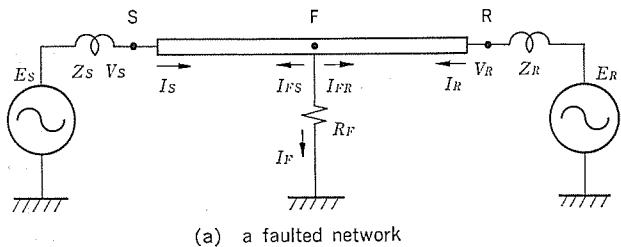
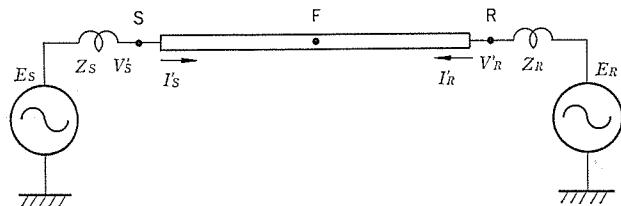


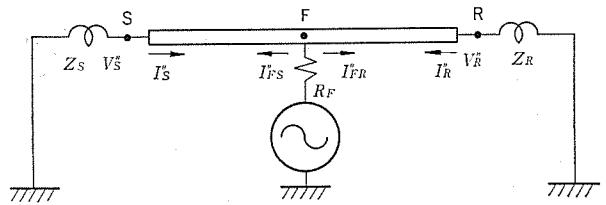
図 3. ダランペールリレーによる判定結果



(a) a faulted network



(b) a pre-fault network



(c) a pure-fault network

図 4. 重ねの理による故障回路の分解

### 3.2 故障点標定法

故障回路に「重ねの理」を適用すると、図 4. に示すように故障回路は故障前の健全回路と故障時の変化分を与える純故障回路とに分解できる。電圧ベクトル、電流ベクトルを図 4. のようにとり純故障回路における  $I_{FR}''$  と  $I_{FS}''$  の比を  $K(x)$  で定義する。

$$K(x) = I_{FR}''/I_{FS}'' \dots \dots \dots (5)$$

ここに  $x$  は端子 S から故障点 F までの距離とする。このとき故障点の電位  $V_F$  を消去すると、

$$R_F \{1 + K(x)\} = -\{A(x)V_S - B(x)I_S\}/\{C(x)V_S'' - D(x)I_S''\} \dots \dots \dots (6)$$

を得る。 $A(x), \dots, D(x)$  は送電線の四端子定数である。ここで両端の電源インピーダンスがほぼインダクタンスに近い場合には、式(5)の

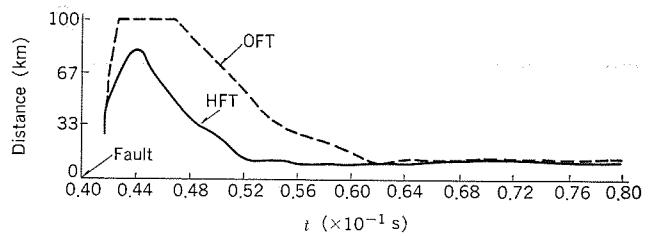


図 5. HFT と OFT の比較

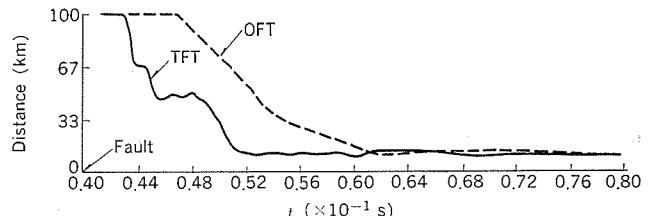


図 6. TFT と OFT の比較

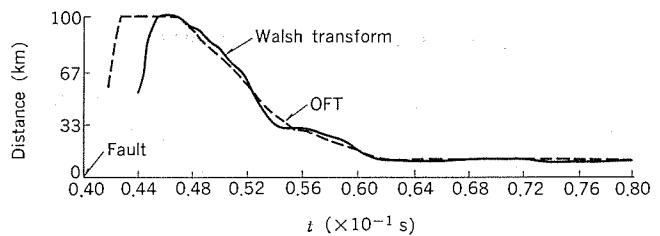


図 7. WT と OFT の比較

$K(x)$  が実数値となり  $R_F$  も実数値であることと合わせて、式(6)の左辺が実数値となることが導かれる。したがって式(6)の虚数部を  $x$  について解けば故障点が標定できる<sup>(8)</sup>。

この標定法の特長は、1 端子の計測のみで故障点が標定できること、故障抵抗の影響を全く受けずに正確な標定が可能であることである。3.1 節で述べたように、モード変換によりこの標定法を3相送電線に拡張するのは容易である。

式(6)に基づく標定では、電圧・電流ベクトルの検出と非線形代数方程式の解法が主な数値計算である。このうち前者の高速化について検討する。電圧・電流の基本波ベクトルは、1サイクルフーリエ変換(=OFT)で検出するのが通常である。そこで OFT の高速化として、半サイクルフーリエ変換(=HFT)<sup>(9)</sup>、有限フーリエ変換(=TFT)<sup>(10)</sup>、及びウォルシュ変換(=WT)を適用する。図 5.、図 6.、図 7. に、各高速化アルゴリズムによる標定結果と OFT による標定結果の比較を示す。いずれも精度を落とすことなく高速化されている。

### 3.3 故障方向検出法

故障計測量として故障点までの距離を計測する距離リレー方式が最もよく用いられるが、同方式の原理式は、

$$v(t) = R_i(t) + L di(t)/dt \dots \dots \dots (7)$$

である。コンピュータリレーでは、同式をフーリエ変換して得られるインピーダンス  $z(j\omega) = R + j\omega L$  を求める方法<sup>(11)</sup>、同式から  $R$  と  $L$  を直接計算する方法<sup>(12)</sup>がすでに知られているが、ここではラプラス変換をベースにしたコンピュータリレーに好適な方法を述べる<sup>(13)</sup>。

式(7)をラプラス変換すると、

$$I(s) = V(s)/(R + sL) \dots \dots \dots (8)$$

を得る。式(8)は、入力に電圧  $V(s)$  を印加したとき、伝達関数、

$Y(s) = 1/(R+sL)$  で定まる電流  $I(s)$  が流れることを表している。

同式の逆ラプラス変換を求めるとき、

$$i(t) = \int_0^t v(t-u) y(u) du \quad \dots \dots \dots (9)$$

が得られる。 $y(t) = (1/L) \exp(-Rt/L)$  より故障点の方向は次の方法で決定できる。

(1)  $y(t) > 0$  ならば、前方故障である。

(2)  $y(t) < 0$  ならば、後方故障である。

電圧・電流のサンプル値が与えられるとき式(9)の積分方程式の解  $y(t)$  を求める手法は次のとおりである。今、 $T_s$  をサンプル間隔とし時間関数  $x(t)$  のサンプル値  $\{x(T_s), \dots, x(kT_s)\}$  を  $\{x_1, \dots, x_k\}$  で表すことにすると式(9)は、

$$\begin{aligned} t = T_s \text{において} \quad i_1 &\simeq v_1 y_1 T_s \\ t = 2T_s \text{において} \quad i^2 &\simeq v_2 y_2 T_s + v_1 y_1 T_s \\ t = 3T_s \text{において} \quad i_3 &\simeq v_3 y_3 T_s + v_2 y_2 T_s + v_1 y_1 T_s \dots \dots (10) \\ &\vdots \end{aligned}$$

で近似できる。1番目の式よりまず  $y_1$  で求まり、次に2番目の式より  $y_2$  が求まり、次に3番目の式より  $y_3$  が求まり、…。このような手順で  $y(t) \simeq \{y_1, \dots, y_k\}$  が求められる。図8. に a 相 1 線地絡及び bc 相 2 線短絡故障時の各リレーの演算結果を示す。この方式は、送電線の伝達関数の時間応答に基づいているため、故障直後に観測される電圧・電流の過渡現象がそのままリレー入力として利用できる。したがって方向検出が高速に行える。更に、 $y(t)$  を求める式(10)の解法は、数値演算を得意とするコンピュータリレーに適している。なお式(9)の  $v(t)$ ,  $i(t)$  として故障発生直後の電圧・電流の変化分を用いることもできる<sup>(14)</sup>。

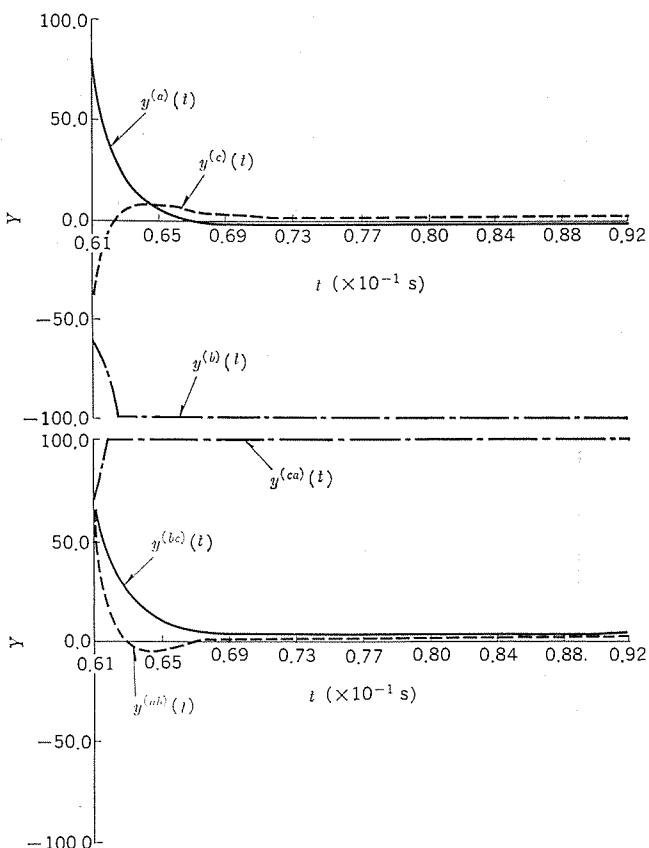


図 8. 1 線地絡、2 線短絡時の  $y(t)$

#### 4. コンピュータリレーによる変圧器保護

変圧器の保護においては、無負荷投入時に流れるインラッシュ電流と故障電流の区別が従来から大きな問題となっている。これに対してアノログリレーの分野では、第2高調波成分と基本波成分の比に基づく第2高調波抑制電流差動方式が用いられてきた<sup>(15)</sup>。しかし無負荷投入時の第2高調波含有率は、残留磁気と投入位相によって変化し、その値によっては含有率の少ない状態も考えられ、また各調波検出用のフィルタによる遅れと抑制項による遅れがあり、普通数サイクルの遅れが存在する。そこで従来の第2高調波抑制という立場を離れ、コンピュータリレーに適した保護方式について述べる<sup>(16)</sup>。

まず2巻線単相変圧器について考えると図9. のように表現できる。このモデルでは1次側の諸量に次の関係が成立する。

$$N_1(d\phi_M/dt) + L_1(di_1/dt) + R_1 i_1 = v_1 \quad \dots \dots \dots (11)$$

ここに、 $v_1$ ,  $i_1$  は1次側電圧・電流、 $N_1$  は1次側巻数、 $L_1$ ,  $R_1$  は1次側もれインダクタンス・抵抗、 $\phi_M$  は共通磁束を表す。同式の関係は、無負荷投入時にも定常時にも成立するが、内部故障がおこるともはや成立しなくなる。ここで式(11)を積分し、左辺から右辺を引いた  $\xi(t)$  を導入する。

$$\xi(t) = N_1 \int_{t-T}^t d\phi_M + L_1 \int_{t-T}^t di_1 + R_1 \int_{t-T}^t i_1 dt - \int_{t-T}^t v_1 dt \quad \dots \dots \dots (12)$$

$T$  は積分時間を示す。この  $\xi(t)$  は1次側の  $v_1$ ,  $i_1$ , 2次側の  $i_2$  が測定され、 $N_1$ ,  $L_1$ ,  $R_1$  及び変圧器の  $\phi-i$  特性がわかれれば評価することができる。そこで  $\xi(t)$  を故障計測量に選ぶと、

$$|\xi(t)| < \varepsilon \text{ ならば 健全}$$

$$|\xi(t)| > \varepsilon \text{ ならば 故障}$$

に従って変圧器内部の故障検出ができる。なお式(11)と同様の関係が2次側諸量についても成立するが、両者は等価でありどちらか一方のみを用いればよいことが明らかになっている<sup>(10)</sup>。

この方式の特徴として次のようない点があげられる。

- (1) 定常時にも無負荷投入時にも成立するモデルに基づいているため、従来のような波形分析を用いる必要がない。
- (2) 瞬時値の間に成立する関係を用いているので、故障検出速度が速くコンピュータリレーに好適である。
- (3) 変圧器の  $\phi-i$  特性を極力忠実に表現しているため、過渡時の影響が少なく、高感度化が期待できる。

なお、ここでは2巻単相変圧器について述べたが、3巻線や3相変圧器も同じ原理による保護が可能である。ただし、△結線が存在するときには△電流を計測する必要がある。

図10., 図11. に 1 kVA 変圧器を用いた試験結果の例を示す。

図10. は、定常後内部故障のケース、図11. は無負荷投入後内部故障のケースであり、それぞれ1次側2次側の差電流とリレー演算結果を示している。このときのサンプル間隔は、1 ms、積分時間  $T$  は 5

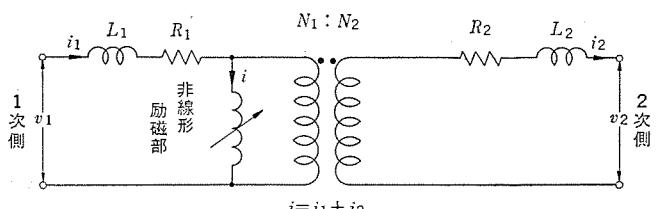


図 9. 2巻線単相変圧器モデル

ms にとった。両図より明らかなように、無負荷投入時及び定常時は演算結果が負であるのに対し、内部故障が発生すると演算結果が正となる。故障検出時間は 5 ms であり、ほぼ積分時間程度で故障

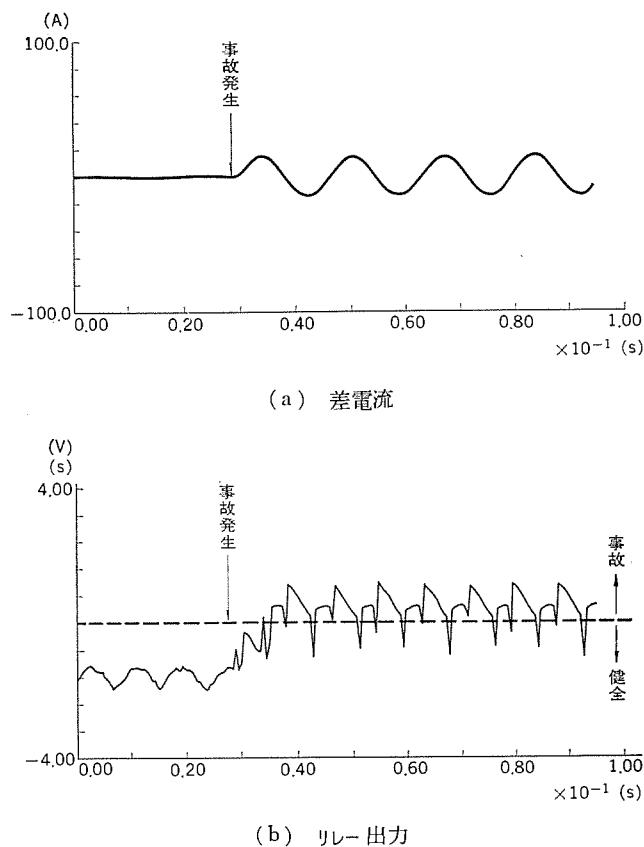


図 10. 定常後内部事故時の差電流、リレー出力波形

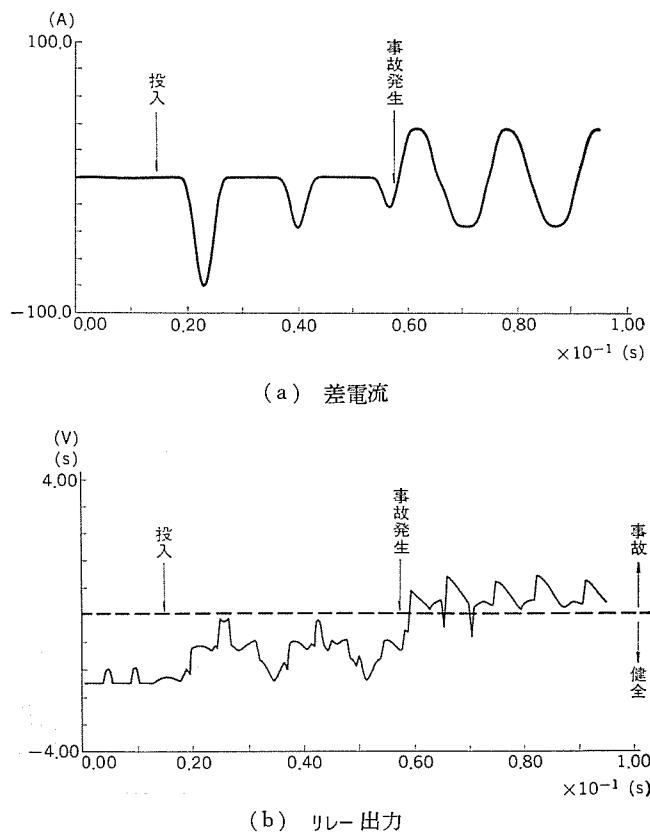


図 11. インラッシュ後内部事故時の差電流、リレー出力波形

が検出できることがわかる。

## 5. コンピュータリレーの判定過程

### 5.1 判定における不確定性

2 章で述べたようにコンピュータリレーでは、evaluating 過程で計算した故障計測量  $d$  を discriminating 過程において、あらかじめ整定したしきい値  $\delta$  と比較して故障判別を行なう。今、健全時 (unfault) の  $d$  の分布と故障時 (fault) の  $d$  の分布が、お互いに全く重なりがないならば  $\delta$  は容易に整定できるが、両者の分布に重なりがあると、故障判定に不確定性があらわれる。変圧器保護を例にこの不確定性を説明する。4 章で述べたように変圧器保護には、第 2 高調波抑制電流差動方式が用いられる。同方式の故障計測量は、

$$d = 1 - K \cdot |I_2| / |I_1| \\ = 1 - K \cdot r \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

で与えられる。ここに  $I_1$  は差電流の基本波成分、 $I_2$  は同第 2 高調波成分、 $r$  は両者の絶対値の比である。さて、故障電流中に観測される  $r$  は系統時定数  $T_c$  によって変化し、一方 インラッシュ電流中の  $r$  は残留磁束  $\phi_r$  の大きさで大きく変化する。したがって故障時の  $r$  の分布  $p(r/fault)$  と無負荷投入時の  $r$  の分布  $p(r/inrush)$  は、 $T_c$  及び  $\phi_r$  の分布によって決定され、一般には図 12. に示すように両者の分布に重なりが生じ、しきい値  $\delta$  を決める際に不確定性があらわれることになる。

米国 AEP では、電圧・電流波形に高調波成分が含まれる場合の距離リレーの測距を詳しく解析し、整定可能なリーチの限界を明らかにした<sup>(17)</sup>がこれも測距における不確定性を論じているものである。

### 5.2 統計的手法による判定法

故障計測量  $d$  を確率変数とみなし、故障時と健全時の  $d$  の確率密度関数がわかっているものとする。このとき、各サンプル時刻ごとに得られる故障計測量  $D_k = d_1 \dots d_k$  からゆう(尤)度比

$$\theta_k = p(D_k/fault) / p(D_k/unfault) \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

を求め、 $\theta_k \leq B$  なら内部健全、 $B < \theta_k < A$  なら判定過程を続行、 $A \geq \theta_k$  なら内部故障 ( $A, B$  は整定値) と判定する統計的手法が適用できる。

ダランベールリレーの故障計測量  $d$  の確率密度関数を平均値  $O$ 、分散  $\sigma_i$  の正規分布  $N(O, \sigma_i)$  ( $i=0, 1$ ) とする。 $\sigma_0 = 0.15$  p. u.,  $\sigma_1 = 1.5$  p. u. として a 相 1 線地絡故障に適用した結果を図 13. に示す。尤度比の初期値  $\theta_0 = 1.0$  とし各サンプルは 1 ms ごとに与えた。同図より故障相では 1 サンプル後に「内部故障」の判定を与えていたのに対

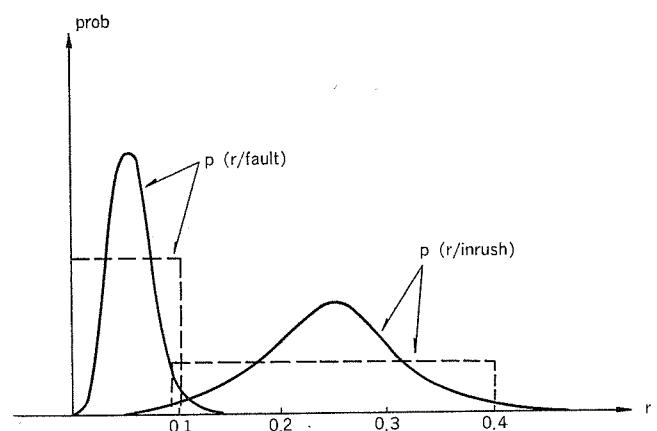


図 12. 故障時とインラッシュ時の  $r$  の分布

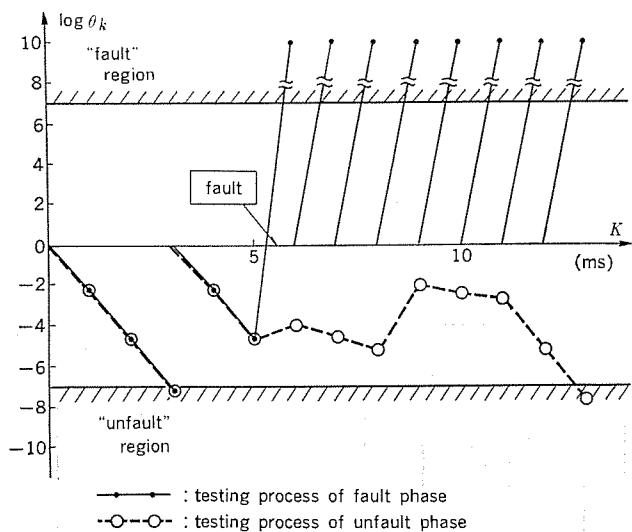


図 13. 統計的手法による故障判定結果

し、健全相では最終判定まで 10 サンプルを要している。これは一般的な特徴で、健全相を「内部健全」と判定する方が難しいことを意味している<sup>(18)</sup>。

## 6. む す び

筆者等は、これまでコンピュータリレーに適した保護アルゴリズムの開発を念頭に研究を進めてきたが、この論文では、送電線保護・変圧器保護方式を中心にその結果を紹介した。現在、国内及び海外で多数のコンピュータリレーが実系統試験に供されており、本格的に導入される日も近いと思われる。

最後にこの研究開発に当たり日頃御指導いただいている東京電力(株)顧問高木利夫殿、並びに同技術開発研究所長三井恒夫殿に感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- (1) 山口、山越：電気学会誌、P. 601, (昭 55-7)
- (2) W. Frey, P. Althammer : Brown Boveri Rev., 48, 5/6, P. 344 (1961)
- (3) 稲本、坂口、西田ほか：電気学会論文誌B分冊、P. 79, (昭 53-1)
- (4) 稲本、坂口、西田ほか：同上、P. 711, (昭 53-8)
- (5) M. Chamia, et al. : IEEE PES Winter Meeting, F 78, 215-6 (1978)
- (6) M. Vitins : ibid, F 80 232-9 (1980)
- (7) H. Dommel, et al. : ibid, A 78 214-9 (1978)
- (8) T. Takagi, Y. Yamakoshi, T. Sakaguchi, et al. : IEEE PES Summer Meeting, 80 SM 648-6 (1980)
- (9) A. Phadke, et al. : IEEE Trans. on PA&S, PAS-95, No. 1, P. 291 (1976)
- (10) A. John, et al. : Proc. IEE, 125, No. 5, P. 377 (1978)
- (11) M. Ramamoorthy : J. of IEE, 52, No. 10, P. 235 (1972)
- (12) A. Ranjbar, B. Cory : IEEE Trans. on PA&S, PAS-94, No. 2, P. 544 (1975)
- (13) T. Sakaguchi, K. Uemura : IEE International Conference, P. 146 (1980)
- (14) Y. Yamakoshi, T. Sakaguchi, K. Uemura : IFAC Symposium, Pretoria (1980)
- (15) R. Sharp, et al. : Trans. AIEE, 77, Dec. (1958)
- (16) 稲本、西田、坂口：電気学会論文誌B分冊、P. 703, (昭 53-8)
- (17) J. Thorp, et al. : IEEE PES Winter Meeting, F 78, 219-8 (1978)
- (18) T. Sakaguchi : ibid, F 80 196-6 (1980)

# 立形電動機の振動解析

菅波 拓也\*・富沢 正雄\*・東覚里志\*\*・中村 俊文\*\*・横田 正勝\*\*

## 1. まえがき

立形電動機は構造上重心位置が高くなるため、横形機に比較して振動しやすくなる。また、電動機の常用運転回転数やすえ(据)付状態によっては、固有振動数を越えて運転されることもある。このため、立形電動機の信頼性を向上させるうえで振動の低減は重要な課題となっている。

立形電動機の振動特性を設計段階で正確に予測するには、ステータの振動を考慮した立形回転機振動解析法や各部の剛性評価についての検討が重要である。

ここでは、立形電動機の振動に関するこれらの研究結果について述べ、立形機の振動特性とその設計上の留意点について概説する。

## 2. 立形回転機振動解析プログラム

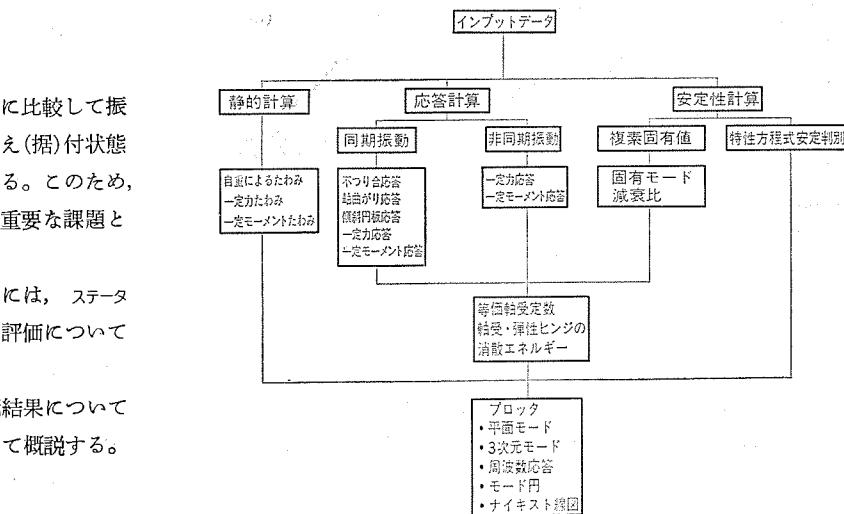
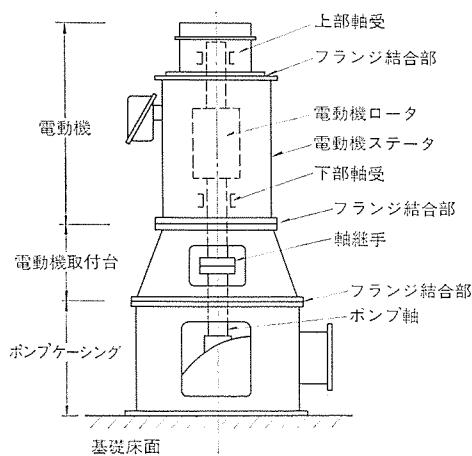
立形電動機は、図1.に示すように高い位置に設置されることが多い。このような振動系の特性を正確には(把)握するため、図2.に示すようにロータとステータの各々を多質点系に置換し、両者の連成系として振動挙動の解析を実施する。

一般に回転機械を設計する際に、振動面で検討すべき事項として次のものがある。

- (1) ロータやステータの固有振動数が、常用運転回転数あるいは外乱の振動数と一致しないこと。
- (2) 残留不つり合いや軸曲がり、あるいは他の要因で発生する外乱に対する振動応答が許容できること。
- (3) オイルウェイプなどの自励振動が発生しないこと。

従来、当社では長大軸系振動解析プログラム“MARS”<sup>(1)</sup>を用いて各種回転機械の振動特性を検討していた。このプログラムは、ロータのみを計算対象とするため、立形電動機のようにロータとステータが連成する振動現象を解析するには不十分である。

今回新たに開発した立形回転機振動解析プログラムの概要を図3.

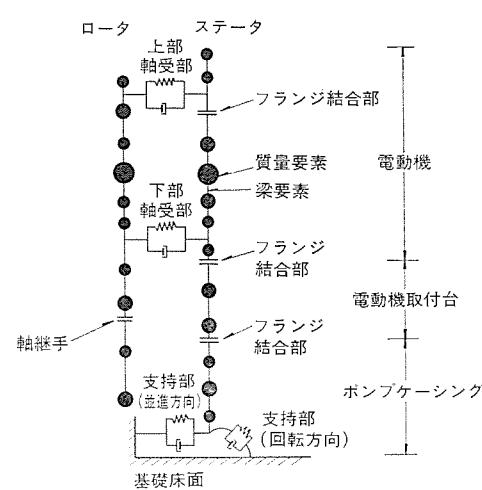


に示す。解析法としては、伝達マトリクス法<sup>(2)</sup>を用いている。このプログラムはロータとステータを連成系として、回転機械設計上必要な上記検討のすべてが行えることを特長としている。更に、次の諸点に集約される計算機能を有している。

- (a) 実機を正確に模擬できるように、フランジ結合部の特性、軸受特性の異方性や連成効果及びロータのジャイロ効果などを考慮した。
- (b) 不つり合いや軸曲がりによる振動応答だけでなく、ロータの回転とは非同期な一定加振力に対する振動応答も計算可能とした。
- (c) 振動系の減衰を考慮した固有振動数が計算できる。この複素固有値解析は、設計上有用な情報を与えるものの演算時間の面で難点があるといわれていたが、その計算手法を改良した。
- (d) 計算結果の表示法として、振動のだ(梢)円表示やロータとステータ間の相対表示を行い、振動現象を物理的に理解しやすくした。

(e) インプット方法を極力簡単にして、計算結果をプロット表示することで、実際の設計に活用しやすくした。

すなわち、立形回転機に特有な振動現象を明らかにするために高度な解析機能を付加させるとともに、設計プログラムとしても活用できるように配慮した。



## 3. モデル化とその検証

### 3.1 モデル化

実機の振動特性を計算するには、まず複雑な構造のロータやステータを図2.に示したように質量要素とし

(梁)要素に置換する。質量要素は、各部の重量、回転慣性モーメント及び極慣性モーメントによって構成されるが、これらは形状と寸法より定まる。しかし、梁要素の計算入力定数である曲げ剛性やせん断剛性の算出にあたっては、複雑な断面形状や焼ぼめ部などに注意しなければならない。更に立形電動機では、ステータにフランジ結合の構造がよく採用される。この剛性は、後述のようにステータの固有振動数に大きな影響を与えるため、正しく評価することが重要である。フランジ結合部の剛性については、既に報告<sup>(3)</sup>がある。

また立形電動機のラジアル荷重を支える軸受には、小形機では玉軸受、中・大型機では真円すべり軸受やティルティングパッドすべり軸受が用いられる。これらの軸受部は、ばね要素と減衰要素によってモデル化する。なお、すべり軸受で支えられた回転軸系では、油膜の動特性が振動特性に大きな影響を与えることが知られている。このため、解析と実験の両面からすべり軸受の動特性を明らかにしている<sup>(4)</sup>。

### 3.2 検証

3.1 節で述べたモデル化や各部の剛性評価の妥当性を検証するため、種々の立形電動機について加振テストや打撃テストを行い、固有振動数と固有モードを実測した。

ロータの剛性評価を行うには、ロータを長いロープでつり下げてロータ支持の影響が現れないようにして加振する、いわゆるフリー・フリーテストを採用することが多い。ステータについては、非常に高い支持剛性を持つ定盤に据付けて測定する方法が考えられる。しかし現実に

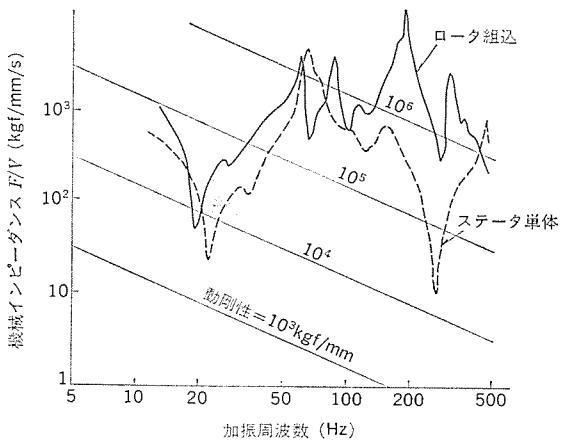


図 4. 機械インピーダンス測定結果 (A機)

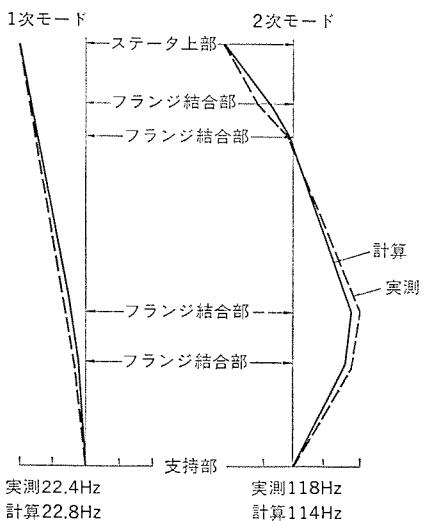


図 5. ステータ単体の固有モードの計算と実測の比較 (A機)

は、大形機をこのように据付けること自体かなり困難であり、実測値には支持剛性の影響が含まれてくることが多い。このため、実測値と計算値を高次の固有振動数まで比較することによって、ステータ各部の剛性評価法の妥当性を検討した。以下に実測値と計算値を対比した結果について述べる。

図 4. は、ステータ単体とロータをステータに組込んだ状態での機械インピーダンス測定結果の例を示す。ロータを組むことによって、ステータの固有振動数の1次と2次は低下し、3次は若干高くなる。また、測定結果より供試ロータの固有振動数は約 66 Hz であることがわかる。更に、このステータ単体での計算と実測による固有モードの比較を図 5. に示し、ロータをステータに組込んだ状態における固有モードの計算値を図 6. に示す。図 5. において実線は計算結果、破線は実測結果であり、両者はよく一致している。1次モードは、主に支持部から折れ曲がるモードであるが、2次モードは各部のフランジ結合部において折れ曲がるモードであり、この部分の剛性評価が固有振動数の正確な予測に重要であることを示している。また、図 6. の計算結果より、ロータの固有振動数である2次モードでステータも振動することや、ステータの高次モードでもロータに曲がりが生じていることがわかる。したがって、ロータとステータを組合せた場合の正確な振動特性を解析するには、これらを連成系として計算することが必要である。

代表的な立形電動機の種々の構造例について、その固有振動数の実測値と計算値を比較して表 1. に示す。同表より、いづれの機種でも高次の固有振動数まで実測値と計算値はよく一致し、この解析法によって固有振動数を十分精度良く計算できることが分かる。なお、立形電動機のより一層の高信頼化を図るため、後述の検証試験設備によって種々の加振テストを実施している。

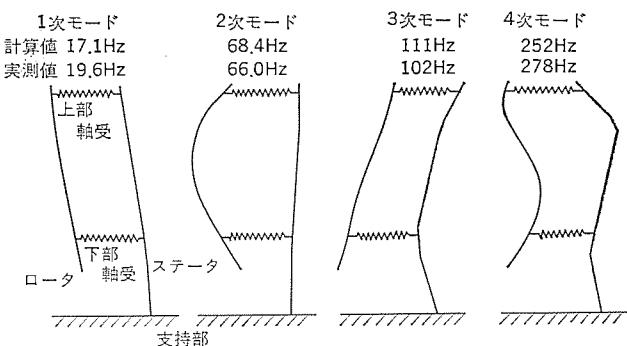


図 6. 連成系の固有モードの計算結果 (A機)

表 1. 固有振動数の計算値と実測値の比較

機種	条 件	高 さ (m)	重 量 (tf)	計 算 値 (Hz)	実 测 値 (Hz)	計 算 値 / 実 测 値
A	ステータ単体	2.0	2.5	22.8	22.4	1.02
				114.0	118.0	0.97
	ステータ+ロータ	2.0	2.9	17.1	19.6	0.87
				68.4	66.0	1.04
B	ステータ単体	3.8	19.5	111.0	102.0	1.09
				252.0	278.0	0.91
C	ステータ単体	5.2	39.0	4.8	4.8	1.00
				50.7	54.5	0.93

#### 4. 振動特性と設計上の留意点

立形電動機は、主としてポンプと直結して運転されるが、その取付方法には多くの種類がある。このため、全体系として良好な振動特性を確保するには、ポンプメーカーと十分な技術情報の交換を行う必要がある。更に、電動機単体としてもその振動特性を検討し、トラブルの防止に万全を期さなければならない。ここでは、2個の真円すべり軸受で支えられた立形電動機を単体で運転したときの振動特性について述べ、その設計上の留意点について解説する。常用運転回転数が、1,500 rpm の立形電動機を例題としてとりあげ、その振動特性に及ぼすステータの支持剛性の影響を解析プログラムを適用して検討する。なお、真円すべり軸受の動特性は、軸受の負荷状況として一定の静荷重を仮定して算出した。

ステータを支える支持剛性が低い場合の解析結果として、ロータの回転数  $\Omega$  に対する複素固有値の変化及び  $\Omega = 1,500$  rpm における固有モードをそれぞれ図 7. 及び図 8. に示す。なお、複素固有値は  $s = (\zeta + i\omega)$  と定義する。図 7. (a) はふれまわり振動数  $\omega$ 、図 7. (b) は減衰比  $\zeta$  を示している。振動系は  $\zeta < 0$  ならば安定、 $\zeta > 0$  ならば不安定となる。

解析では、すべり軸受の動特性値がロータ回転数に依存することやロータのジャイロ効果を考慮しているため、系の複素固有値は  $\Omega$  によって変化する。しかし、固有モードはほぼ一定であり、計算した

4 個の固有値はそれぞれのモードに対応して 1 本の曲線で示した。4 個の固有値のうち 2 個はステータに起因し、2 個はロータに起因することがモードよりわかる。なおステータの固有値が  $x$  と  $y$  方向で異っているのは、ステータ剛性の異方性をも考慮しているためである。これらのステータに起因したモードのふれまわり振動数は、ロータの回転にあまり依存しない。 $\omega/\Omega = 1$  の直線とふれまわり振動数の交点、 $\Omega = 648$  と 666 rpm は危険速度である。また、ステータの  $y$  方向モードの減衰比は  $\Omega = 1,325$  rpm で正となり、これが安定限界回転数を与えることになる。このステータの固有振動数に起因したモードの安定限界回転数は危険速度のほぼ 2 倍であり、また不安定域でのふれまわり振動数は危険速度とほぼ等しい。このようにロータとステータが連成することによって“ステータの固有振動数に起因した不安定現象”が現れるることは、立形電動機の設計留意点の 1 つであろう。

ロータに起因した 2 個の固有値の一方はパラレルモード、他方はコニカルモードである。このパラレルとコニカルモードのふれまわり振動数はほぼ  $\Omega$  の  $1/2$  であり、ロータの回転数とこれらのふれまわり振動数が一致することはないので、危険速度にはならない。パラレルモードの安定限界回転数は 3,310 rpm であり、不安定域でのふれまわり振動数はロータの回転につれて上昇する。

図 7. に示す複素固有値解析結果は、危険速度と安定限界回転数を与えるとともに、不安定な場合のその程度をも与える。すなわち、

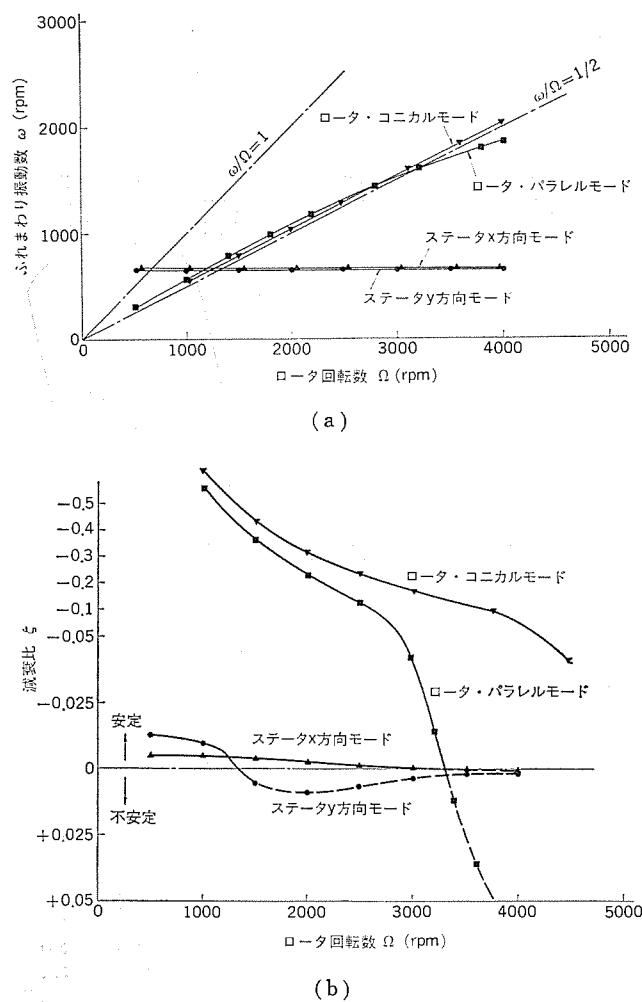


図 7. 複素固有値計算結果（支持剛性が低い場合）

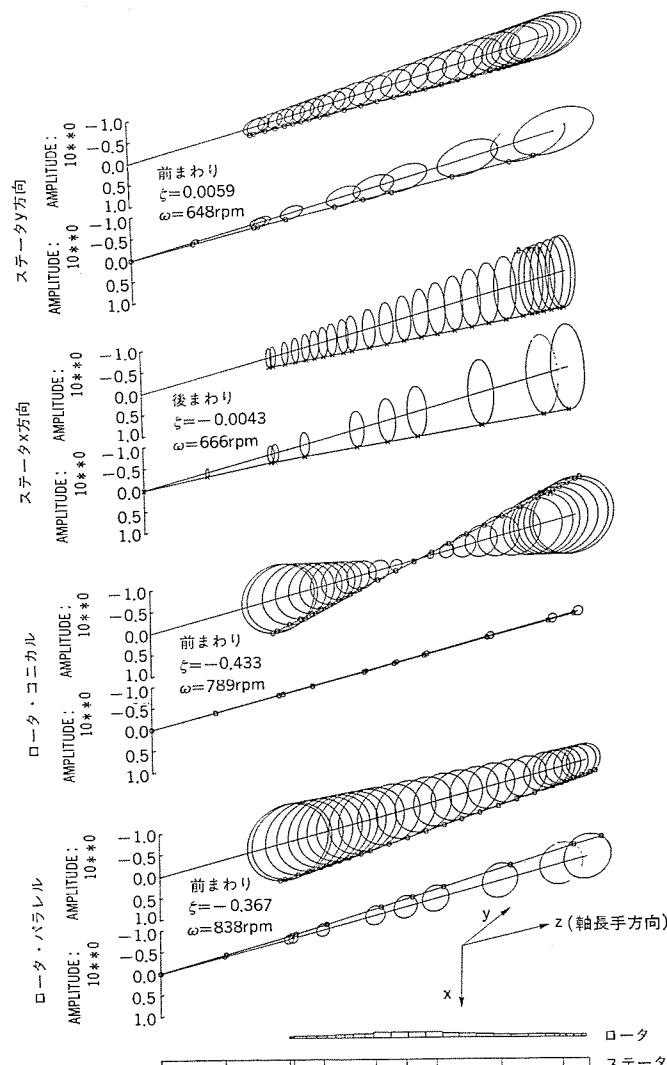


図 8. 1,500 rpm 回転時の固有モード（支持剛性が低い場合）

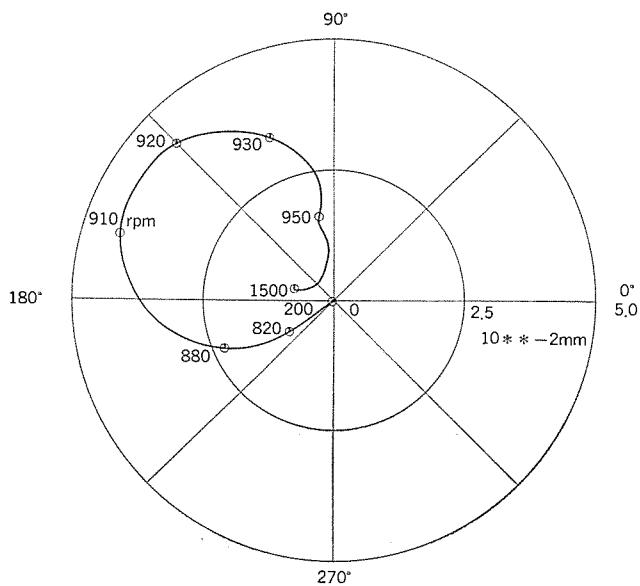


図 9(a). 不つり合振動応答計算結果（支持剛性が高い場合）  
(下部軸受での y 方向軸振動)

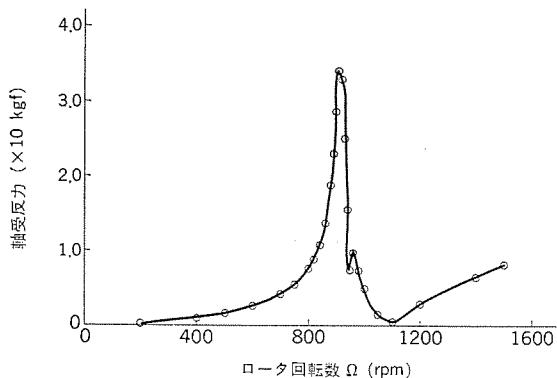


図 9(b). 不つり合振動応答計算結果（支持剛性が高い場合）  
(上部軸受 y 方向軸受反力)

図 7. (b) より、ステータの y 方向モードの不安定度は非常に浅いが、ロータのパラレルモードの不安定度は深いことがわかる。

次に、さきの例における支持剛性の値を 4 倍にして安定性を検討した結果、ステータの安定限界回転数として 1,800 rpm、このモードの危険速度として 890 rpm の値を得た。これにより、ステータの安定限界回転数は、支持剛性の大きさにかかわらずそのモードの危険速度のほぼ 2 倍であると言える。更に、本機は常用運転回転数が 1,500 rpm であり、この場合には安定に作動する。これより、立形電動機のステータを支える支持剛性は安定な運転を行う上で重要な役割を果すことがわかる。

支持剛性が高い場合の不つり合振動応答の例を図 9. に示す。不つり合いは、回転子中央につり合い良さ  $G = 2.5$  相当<sup>(5)</sup>のものを仮定した。図 9. (a) は、ロータの回転数をパラメータとして下部軸受での y 方向軸振動を極座標表示したもので、図 9. (b) は上部軸受反力の計算結果である。ステータの危険速度で振動のピークが現れるものの、常用運転回転数での振幅及び軸受反力は小さく、不つり合振動に関しても問題のないことがわかる。

## 5. 検証試験設備

立形電動機の振動特性については、開発されたプログラムを用いて理論的な種々の検討が可能となった。今後、これら理論に含まれる各部剛性評価とモデル化に関する高精度化やその検証を行うため、図 10. に示す試験設備を設置した。この試験設備には各種の振動データを収集するため油圧加振器が取付けられており、現在、静止時あるいは回転中の加振テストを実施している。

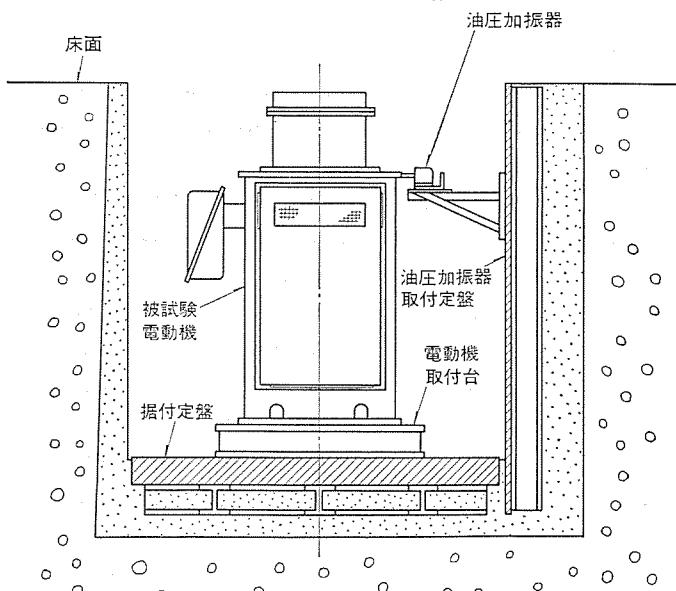


図 10. 立形電動機の振動特性検証試験設備

## 6. むすび

立形電動機の振動特性を正確に予測するため、ステータの曲げ振動を考慮した立形回転機振動解析プログラムを開発した。このプログラムは複素固有値や非同期加振力に対する振動応答などの種々の解析機能を有している。

更に、ロータやステータのモデル化とその剛性評価を検討することで、各種立形機の固有振動数を解析によって精度よく予測しうることを明らかにした。

また、真円すべり軸受で支持された立形電動機の安定性能について検討し、ステータの固有振動数に起因した自励振動の特性を明らかにした。そして、ステータの固有振動数は安定性能の面からも十分注意して設計すべきことを指摘した。

回転電気機械の振動は、各種プラントの信頼性を向上させるうえで重要な問題であり、今後更にこれら理論の高精度化とその検証を行う予定である。

## 参考文献

- (1) 川面ほか：三菱電機技報, 50, No. 7, P. 401 (昭 51)
- (2) 例えは、E. C. Pestel, F. A. Leckie : Matrix Method in Elasto Mechanics, (1963, McGraw-Hill)
- (3) 中村ほか：日本機械学会講演論文集, No. 807-3 (昭 55-9)
- (4) 菅波ほか：三菱電機技報, 54, No. 3, P. 44 (昭 55)
- (5) ISO 1940 (1976)

# 《MELCOM 70シリーズ》用対話形データベース プロセッサ(IDP-70)

田口和男\*・森田亮\*

## 1. まえがき

データベース管理システム(DBMS)は、多くのシステム資源を必要とする大中形計算機システム用のはん(汎)用ソフトウェアとして世の中に登場し、通信制御用のソフトウェアと結合する形でめざましい発展をとげた。

しかし、近年では、大中形計算機システムばかりでなく、ミニコンピュータや小形ビジネス計算機の世界でも、システムの規模に応じて、各種のDBMSが提供されるようになった。

最近の傾向として、「ユーザーがデータベース(DB)を操作するプログラムを作成しないでもDB操作を容易に行えるようにするエンドユーザー言語(EUL)を処理する対話形データベースプロセッサ(IDP)の多用化、高級化を挙げることができる。この傾向は、今後もますます強まるものと予想され、オフィスオートメーションの分野でもDBやEULを道具として、ビジネス機器(電話、ファクシミリなど)を直接操作することによる実現方法が主流となってきている。

この論文では、当社のミニコンピュータ《MELCOM 70シリーズ》用に開発された新製品である対話形データベースプロセッサ(IDP-70)について、機能と特長及び新技術について解説する。

## 2. IDP-70 の基本概念

IDP-70の設計目標は、データファイルの集合体であるデータベースの中にあるデータの取り出しやデータの加工を計算機プログラミングに関する知識をもたない一般のデータ利用者(エンドユーザー)でも自由に行えるようにする点にある。

IDP-70の基本的な使用方法は、操作員用の制御卓や端末装置からエンドユーザー言語(EUL)形式のIDP-70コマンドをキーインすることにより行われる。

図1.は、データベースの中からデータの取り出しが要求された場合のIDP-70の動作概念を示している。

操作員がキーインしたIDP-70用コマンドは、IDP-70によって受信、解析され、要求されたデータ処理を実行するためにデータベースに関する情報ファイルであるサブスキーマが参照される。このとき、データ処

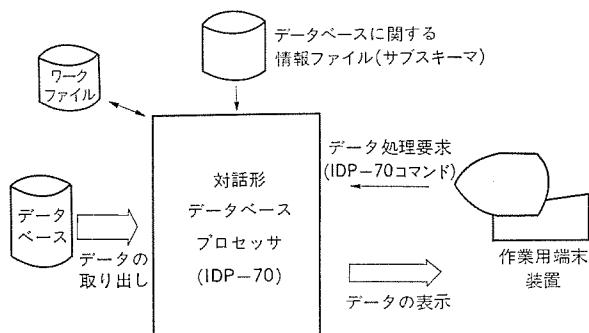


図1. IDP-70の動作概念図 (データベースからのデータ取り出し)

理の中間結果を保持しておくためにワークファイルが活用される。要求されたデータ処理が終了すると(選択条件を満足するデータの取り出しに成功した後)処理の結果を端末装置上に表示する。データの表示は、操作員の指示に従ってラインプリンタ装置上に帳票形式に合わせて出力させることもできるし、選択条件を満足するデータだけを単独のファイルとして抽出することもできる。

データベースの構造や、データベースの中に含まれているデータの形式や種類に関する情報は、すべてデータベースに関する情報ファイルを参照することによって得られるので、操作員がこれらの情報を与えることは、一切不要である。また、複数のデータベース利用者が同時に1つのデータベースに対してデータ処理要求を出してもIDP-70や、IDP-70が内部で使用しているデータベース処理専用のデータベース管理(DBM)ライブラリに含まれるデータベースの共用/排他制御機能により、データベースの中のデータの一貫性が保証される。更に、データベースの中に特別な機密情報が含まれているような場合でも、その部分に対する利用資格のない操作員による不当なデータ処理要求からデータベース内のデータを守る機密保護機能も含まれている。

## 3. IDP-70の特長

### (1) データ処理が容易に行える。

IDP-70は、データ処理の専門家でない一般のデータ利用者(エンドユーザー)でも容易にデータ処理が行えることを設計目標としており、計算機用のプログラムを作成しないで、誰でも気軽にデータ処理を実行することができる機能を備えている。データ処理の種類としては、条件検索や内容検索を始め、帳票作成や、データベース更新機能までを含むきわめて広範なものである。

### (2) CODASYL形データベース用対話形プロセッサ

事務データ処理用のプログラミング言語COBOLの仕様を定めたことで、よく知られているデータシステムズ言語協議会(CODASYL)のデータベース作業班(DBTG)が、1971年に提案した内容に準拠しているデータベース管理システム(DBMS)は、現在内外の汎用計算機システムにおいて最も広く普及しており、当社においてもオフィスコンピュータ《MELCOM 80シリーズ》から汎用計算機《MELCOM-COSMO 700/900シリーズ》までのすべての計算機システムにおいてCODASYL形DBMSが顧客に提供されている。

IDP-70を構成要素に含むデータベース管理システムDMS-70は、当社のミニコンピュータ《MELCOM 70シリーズ》用に開発されたもので、ミニコンピュータ計算機システム環境で使用できるCODASYL形データベース管理システムとしては、国産初の実用製品であり、CODASYL形データベースの対話形処理をミニコンピュータシステム環境で実現した点で、極めて先駆的な製品である。図2.は、DMS-70全体の構成要素とIDP-70の位置づけを示したものである。

### (3) 実用に耐える性能の実現

既に述べたように、データベース管理システムは多くのシステム資源(主記憶、外部記憶、計算機時間など)を必要とするため、汎用大中形

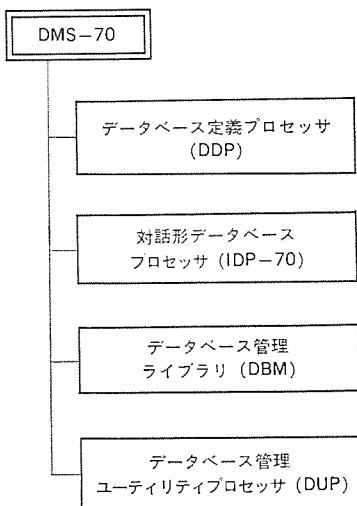
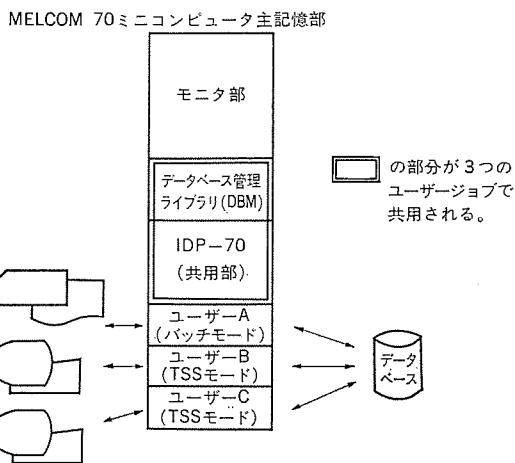


図 2. DMS-70 の構成要素



計算機システム環境の下で実用に供されるソフトウェアと見なされていた。DMS-70 は、ミニコンピュータシステムの計算機システム環境でも十分実用に耐える性能(メモリ性能、時間性能)を引き出すために、次に述べる処理方式を採用した。

#### (a) 共用プロセッサと共用ライブラリ

図 3 は、IDP-70 を実行するときの主記憶利用形態を示している。すなわち、IDP-70 やデータベース管理 ライブライ のプログラムロジックの大部分を複数の使用者が同時に使用してもプログラムロジック自体は 1 つで、ワークエリアなど使用者ごとに変化する部分のみを使用者ごとに準備することにより、主記憶の有効利用を図っている。

#### (b) データバッファ領域

外部記憶(磁気ディスク装置)との間で行われるデータ入出力は、ページと呼ばれる単位で行われるが、DMS-70 ではこのページサイズを最小 1K バイトから最大 2.5K バイトまでにすることができ、更にデータバッファ用の作業領域としては実記憶域の許す限り何ページでもとることができるように設計されている。

また、データベースの中で特に使用ひん(頻)度の高いデータグループに對しては、専用のデータバッファを割付けることができるので、外部記憶との間で、実際にデータ入出力動作が発生する回数を極力少なくすることができる。

#### (c) メインセット

CODASYL 形のデータベースでは、データグループ相互の間にセットと呼

ばれる論理的な結合関係を定義することができるが、1 つのグループが複数のグループとセット関係にあるとき、その中で最も結合関係の強いセットをメインセットとして定義することができる。メインセットが定義されると親子関係にあるデータグループにおいて、子グループの中のデータ群のうち、同じ親データレコードと結合する複数の子データレコードが外部記憶装置上で、物理的近傍に配置されるため処理効率が向上する。

#### (d) 多面処理用の 2 次インデックス

データベースの中に含まれるレコードの中には、各レコードをデータベースの中に投入する際に使用される 1 次インデックス(キー)項目のほかに、任意のデータ項目を 2 次インデックス(キー)項目として定義することができる。IDP-70 は、2 次インデックスによる直接アクセスを多用することにより、データベース処理を極めて迅速に実行する。

### 4. IDP-70 の機能

4 章では、IDP-70 に含まれる機能について解説する。主な機能の実行例については 5 章にまとめて示す。IDP-70 で使用できるコマンドの一覧を表 1. に示す。

#### (1) 件数検索と内容検索

IDP-70 の検索機能には、検索条件を満足するレコードがデータベースの中に何件含まれているかを検索する件数検索機能と、検索条件を満足するレコードの内容を実際に出力表示させる内容検索機能が含まれている。件数検索と内容検索を組合せて使用することにより、検索条件を満足するレコード件数をある程度絞り込んだ後、内容検索を実行することも可能になる。

#### (2) 帳票作成

IDP-70 による内容検索の結果は、操作員の端末装置上に出力するのが一般的な使用方法であるが、操作員の指示により、ラインプリンタ装置上に内容検索結果を出力表示することもできる。この場合、出力表示の形式を一般的な帳票(報告書)形式に整える指示を出すことができる。この機能により、従来のファイル処理用帳票(報告書)作成プログラムは不要になる。

#### (3) 内容更新

データベースの内容をデータレコード単位、又はデータ項目単位で更新する

表 1. IDP-70 コマンド一覧

区分	コマンド名	機能
制御	QUERY	データベース操作の開始。
	END	データベース操作の終了。
	RUN	カタログされているコマンド群の実行。
	LIMIT	内容検索結果の出力行数を指定する。
検索準備	FORMAT	内容検索結果の出力表示形式を定義する。
	SORT	内容検索結果の出力表示順序を定義する。
	OUTPUT	内容検索結果の出力先を指定する。
	FIND	検索条件を満足するデータが何件存在するかを検索する。(件数検索)
検索実行	DISPLAY	検索条件を満足するレコードの内容を出力表示する。(内容検索)
	UPDATE	データベース内のデータに對する内容更新(レコードの追加、削除及び一部変更)。
更新	DEFINE	IDP-70 のコマンド指定形式の変更、再定義。
	DELETE	再定義された IDP-70 のコマンド指定形式を無効にする。
	HELP	IDP-70 のコマンド指定形式や、コマンドの説明情報などを表示する。

ことができる。内容更新の種類としては、レコードの追加、削除、変更が行える。削除、変更処理においては、検索処理と同様に処理対象となるレコードの選択条件をつけることができる。

#### (4) ガイド機能

IDP-70に対する処理要求は、一定の指定形式をもったエンドユーザー言語によるのが標準であるが、初心者の場合、ガイド機能を利用することもできる。ガイド機能を使用するとキーインすべき情報をシステム側から絶えず問い合わせてくるモードでの実行となるため、操作員はキーインすべきコマンドの指定形式を覚えておく必要がなくなり、説明書なしでIDP-70を使用することも可能になる。

#### (5) コマンドカタログ

IDP-70に対するデータ処理要求が、日常的に行われるようになると、一連の定型化されたコマンドシーケンスを毎日キーインする作業にわずらわしさを感じてくる状況も考えられる。この場合、定型化されたコマンドシーケンスを登録（カタログ）しておいて、カタログされているコマンド群を呼出すコマンド（RUNコマンド）のみをキーインする方法をとることができる。

#### (6) コマンド指定形式の再定義

IDP-70に対するデータ処理要求を行うコマンドの指定形式については、標準の指定形式が定まっているが、これを利用者側の事情に合わせて、更に使いやすい形式に変更（再定義）することができる。例えば、DISPLAYコマンドの文字並びをDISP又は、単にDと再定義して使用することができる。

#### (7) IDPファンクションルーチン呼出し

IDP-70は、対話形プロセッサとしてTSSモードや、バッチモードで操作員が呼出すことにより使用できるが、このほかにIDP-70に含まれている機能単位で利用者プログラムの中からサブルーチン呼出しの形式で使用することもできる。この場合、IDPファンクションサブルーチンを呼出す側のメインプログラムは、COBOL、FORTRAN又は、アセンブラーで記述し、サブルーチンコール形式でIDP-70の機能を使用する。

### 5. IDP-70の実行例

IDP-70の機能を具体的に明示するために、以下に実行例を示す。

#### 5.1 データ検索

##### (1) 件数検索と内容検索

図4.は、背番号が61番以上で69番以下の選手の人数を求め（件数検索）、選択されたレコードについて、選手名と背番号を表示する例である。

##### (2) 追加条件検索

図5.は、まず背番号が60番より大きい選手の人数を求め、次に、その中でチームが広島の選手を選んで、選手の名前、球団名、背番号を表示した例である。

##### (3) 帳票作成

図6.は、FORMATコマンドで、選手名と背番号の表示形式を指定した後、背番号が20番、30番、40番の選手について、選手名と背番号を指定した表示形式に従って表示した例である。

#### 5.2 データの更新

##### (1) データレコードの追加

図7.は、TEAMGグループに、ミツビシ球団に関するデータレコードを追加した例である。追加の前後で、TEAMGグループに含まれるすべてのデータレコードの内容を表示している。

##### (2) データレコードの削除

```
:FIND PLAYRN, BACKNO, WHEN BACKNO GE '61' AND BACKNO LE '69'.
DATA =18
:LIMIT 18,
:DISPLAY.
***** IDP-70 DATA BASE OUTPUT *****
001 PAGE
```

PLAYRN	BACKNO
ナガハラ ヒロシ	00000064
ドイ シヨウイク	00000066
ツチヤ ヒロシ	00000068
イナオ カズヒサ	00000063
イノウエ イサエル	00000067
ホリゴメ モアキ	00000062
サトウ タカオ	00000062
イシオカ ココゾウ	00000063
ニシモト ユウオ	00000068
ノグチ ジロウ	00000067
サカモト フジヨウ	00000062
ヤスイ トモリ	00000065
コグマ ヒロシ	00000066
ヤマウチ カズヒコ	00000068
キド ノリフミ	00000065
フジイ エイジ	00000068
シバタ タケシ	00000061
オオイシ キヨシ	00000063

図4. データの検索（件数検索と内容検索）

```
:FIND PLAYRN, TEAMN OF TEAMG, BACKNO, WHEN BACKNO GT '60'.
DATA =73
:FIND *AND TEAMN OF TEAMG IS 'ヒロシ'.
DATA =11
:LIMIT 11,
:DISPLAY.
***** IDP-70 DATA BASE OUTPUT *****
001 PAGE
```

PLAYRN	TEAMN	BACKNO
コバ クケシ	ヒロシ	00000072
フジイ ヒロシ	ヒロシ	00000077
タナカ ヒロシ	ヒロシ	00000071
リュウ ケンイチ	ヒロシ	00000074
アナン	ヒロシ	00000075
シルク クケン	ヒロシ	00000061
ノザキ ヤスヒチ	ヒロシ	00000073
ヤマモト カズヒコ	ヒロシ	00000063
オオイシ キヨシ	ヒロシ	00000076
テラオカ タケシ	ヒロシ	00000076
オオイシ キヨシ	ヒロシ	00000078

図5. データの検索（追加条件付検索）

```
:FORMAT ITEM=C5, ナマエ:'XXXXXXXXXXXXXX', PLAYRN, C15, センゴウ:'29番', BACKNO,
:FIND PLAYRN, BACKNO, WHEN BACKNO IS 20', '30', '40',
DATA =13
:LIMIT 13,
:DISPLAY, FORMAT,
ナマエ : サダオカ シヨウジ
ナマエ : ヤマノ センゴウ
ナマエ : ニシモト キタキ
ナマエ : リュウ カズヒ
ナマエ : ナカホ マツヒコ
ナマエ : シヤイシ シヤイチ
ナマエ : ホリノ センゴウ
ナマエ : キヘイフ マツヒ
ナマエ : フジニ ユウオ
ナマエ : M. ラインバウ
ナマエ : エダガ スクリ
ナマエ : ナガオ ヤスノリ
ナマエ : ナカ ドン
セバンゴウ : 20ハン
セバンゴウ : 40ハン
セバンゴウ : 40ハン
セバンゴウ : 30ハン
セバンゴウ : 30ハン
セバンゴウ : 30ハン
セバンゴウ : 30ハン

```

図6. データの検索（帳票作成）

```
:FIND TEAMN OF TEAMG, NICKN, OWNER, DAIHYO,
DATA =11
:DISPLAY.
***** IDP-70 DATA BASE OUTPUT *****
001 PAGE
```

TEAMN	NICKN	OWNER	DAIHYO
キヨシ	ジヤイアンツ	ショクリキ トオル	ハセカワ サネオ
ヒロシ	カーフ	マツダ コウイ	シマツヨシノリ
タヨウ	ホエールズ	ナカベ シンジロウ	ヨコク モヘイ
チカラニチ	ドラゴンズ	コヤマ タケオ	ナカカワ キヨシ
ハシシ	タイガース	ノグチ ユウジロウ	オズ シヨウジロウ
ハシキユウ	フレイズ	モリ カオル	オカグ カカニ
キヤチツ	ハッフローズ	エウキ イサム	ヤマザキ ヒロミ
ニッポン ハム	ファイターズ	オオサキ ヨシノリ	ミハラ オサム
ロッテ	オリックス	シケミツ クタオ	マツイ シヅ子
セイブ	ライオンズ	ツツミ シンヤ	ミヤカワ イワオ
ナンカイ	ホークス	カワカツ デン	モリモト マサク

```
:UPDATE ADD, TEAMN,
TEAMN
ミツビシ
NICKN
メルコム
OWNER
イワサキ
DAIHYO
シンドウ
:
:FIND TEAMN OF TEAMG, NICKN, OWNER, DAIHYO,
DATA =12
:DISPLAY.
***** IDP-70 DATA BASE OUTPUT *****
001 PAGE
```

TEAMN	NICKN	OWNER	DAIHYO
ミツビシ	メルコム	イワサキ	シンドウ
キヨシ	ジヤイアンツ	ショクリキ トオル	ハセカワ サネオ
ヒロシ	カーフ	マツダ コウイ	シマツヨシノリ
タヨウ	ホエールズ	ナカベ シンジロウ	ヨコク モヘイ
チカラニチ	ドラゴンズ	コヤマ タケオ	ナカカワ キヨシ
ハシシ	タイガース	ノグチ ユウジロウ	オズ シヨウジロウ
ハシキユウ	フレイズ	モリ カオル	オカグ カカニ
キヤチツ	ハッフローズ	エウキ イサム	ヤマザキ ヒロミ
ニッポン ハム	ファイターズ	オオサキ ヨシノリ	ミハラ オサム
ロッテ	オリックス	シケミツ クタオ	マツイ シヅ子
セイブ	ライオンズ	ツツミ シンヤ	ミヤカワ イワオ
ナンカイ	ホークス	カワカツ デン	モリモト マサク

図7. データレコードの追加

: FIND TEAMN OF TEAMG, NICKN, OWNER, DAIHYO,  
DATA =12  
: DISPLAY.

\*\*\* IDP-70 DATA BASE OUTPUT \*\*\*

TEAMN	NICKN	OWNER	DAIHYO
ミツビシ	MELCOM	イワサキ	シンドウ
キヨシマ	ジャイアント	ショウリキ トオル	ハセガワ サネオ
ヒロシマ	カーブ	マツダ コウヘイ	シゲマツ シシノリ
タイヨウ	ホエールズ	ナカベ シンジロウ	ヨコタ キヘイ
デコウニチ	ドラゴンズ	ロヤマ タケオ	ナカガワ キヨシ
ハニシム	タイガース	ノダ チュウジロウ	オゾ シヨウジロウ
バンキユウ	ブレイブス	モリ カズル	オカダ サカエ
キンテツ	ハッスマローズ	サエキ イサム	ヤマザキ ヒロミ
ニッポン ハム	ファイターズ	オオサカ ヨシノリ	ミハラ オサム
ロッテ	オリオーズ	シゲミツ タクオ	マツイ シヅ子
セibu	ライオンズ	ソフミ ヨシフキ	ミヤウチ イワカ
サンカイ	ホークス	カワカツ テン	モリモト マサト

001 PAGE

: UPDATE ERASE, TEAMN, WHEN TEAMN OF TEAMG IS 'ミツビシ'.  
\*\*\* IDP-70 DATA BASE OUTPUT \*\*\*

TEAMN  
OK? OR NO? OK

: FIND TEAMN OF TEAMG, NICKN, OWNER, DAIHYO,  
DATA =11  
: DISPLAY.

\*\*\* IDP-70 DATA BASE OUTPUT \*\*\*

TEAMN	NICKN	OWNER	DAIHYO
キヨシマ	ジャイアント	ショウリキ トオル	ハセガワ サネオ
ヒロシマ	カーブ	マツダ コウヘイ	シゲマツ シシノリ
タイヨウ	ホエールズ	ナカベ シンジロウ	ヨコタ キヘイ
デコウニチ	ドラゴンズ	ロヤマ タケオ	ナカガワ キヨシ
ハニシム	タイガース	ノダ チュウジロウ	オゾ シヨウジロウ
バンキユウ	ブレイブス	モリ カズル	オカダ サカエ
キンテツ	ハッスマローズ	サエキ イサム	ヤマザキ ヒロミ
ニッポン ハム	ファイターズ	オオサカ ヨシノリ	ミハラ オサム
ロッテ	オリオーズ	シゲミツ タクオ	マツイ シヅ子
セibu	ライオンズ	ソフミ ヨシフキ	ミヤウチ イワカ
サンカイ	ホークス	カワカツ テン	モリモト マサト

001 PAGE

図 8. データレコードの削除

: DISPLAY TEAMN OF TEAMG, NICKN, OWNER, DAIHYO, WHEN TEAMN OF TEAMG IS 'ミツビシ'.  
\*\*\* IDP-70 DATA BASE OUTPUT \*\*\*

TEAMN  
ミツビシ  
NICKN  
メルコム  
OWNER  
イワサキ  
DAIHYO  
シンドウ

001 PAGE

: UPDATE MODIFY, NICKN='MELCOM', WHEN TEAMN OF TEAMG IS 'ミツビシ'.  
\*\*\* IDP-70 DATA BASE OUTPUT \*\*\*

NICKN  
OK? OR NO? OK

: DISPLAY TEAMN OF TEAMG, NICKN, OWNER, DAIHYO, WHEN TEAMN OF TEAMG IS 'ミツビシ'.  
\*\*\* IDP-70 DATA BASE OUTPUT \*\*\*

TEAMN  
ミツビシ  
NICKN  
MELCOM  
OWNER  
イワサキ  
DAIHYO  
シンドウ

001 PAGE

図 9. データ項目の変更

図 8. は、TEAMG グループから、ミツビシ 球団に関するデータレコードを削除した例である。削除の前後で、TEAMG グループに含まれるすべてのデータレコードの内容を表示している。

### (3) データ項目の変更

図 9. は、ミツビシ 球団のニックネーム(NICKN)を「メルコム」から「MELCOM」に変更した例である。変更の前後で、ミツビシ 球団に関するデータレコードの内容を表示している。

## 6. 今後の課題

6 章では、IDP-70 における今後の課題として、

- (1) データベースのライフサイクル全般にわたるサポート
- (2) 2 次元インターフェースの確立

の 2 点について簡単に述べる。

第 1 の課題に関しては、次のように考えている。現在の IDP-70

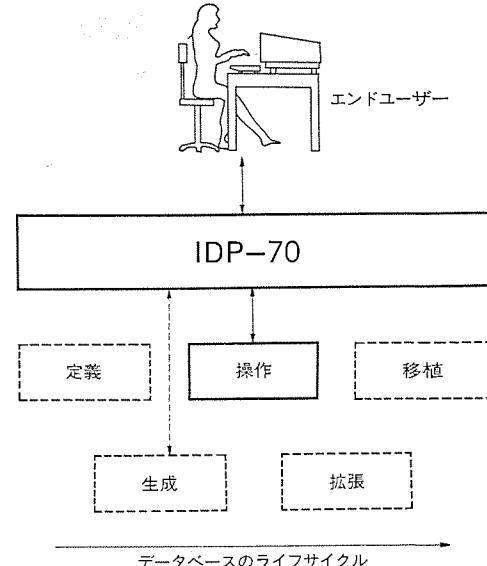


図 10. IDP-70 におけるデータベースの  
ライフサイクルサポート

問. (TEAMNアイテムの値が) ヒロシマの選手の名前(PLAYRN),  
背番号(BACKNO), 年令(AGE)を表示せよ。

(a) IDP-70におけるコマンド入力(～～部)

: DISPLAY PLAYRN, BACKNO, AGE, WHEN TEAMN OF PLAYRG IS 'ヒロシマ'.

(b) QBEにおけるコマンド入力(～～部)

PLAYRG	PLAYRN	BACKNO	AGE	TEAMN
P.	P.	P.	P.	ヒロシマ

図 11. IDP-70 と QBE におけるコマンド入力

が用意している機能は、図 10. に示すように、既に作成されているデータベース中のデータ操作が主なものである。すなわち、IDP-70 の利用者は、データベース中のデータの利用者に限られている。今後は、データベースの定義・生成・拡張などの機能を追加し、データベースのライフサイクル全般をサポートして、データベース設計者や管理者に対する便宜も図ることが必要であると考えている。

第 2 の課題については、次のように考えている。IDP-70 に対する利用者の要求は、図 11. (a) に示すように、行単位のコマンド形式で行われる。それに対して、IBM 社の QBE システムにおいては、図 11. (b) に示すように、利用者の要求は、表記入形式で行われる。したがって、ユーザーインターフェースがより視覚的なものとなり、操作員の負担が軽減される。また、前者の形式は、タイプライタに慣れた利用者でないと、スムーズにキーインできない欠点もある。より使いやすいユーザーインターフェースを実現するためには、2 次元インターフェースを早急に確立することが必要である。

## 7. む す び

限られた紙面のため、IDP-70 に関する詳細を紹介しきれなかった点もあるが、製品の機能と特長についてはかなり具体的に記述した。今後とも製品の信頼性向上や新しい機能の開発を推進していきたい。

最後に、この論文の作成に際し適切な助言と御指導をいただいた関係各位に謝意を表明する次第である。

# 最近のしゃ断器の短絡試験技術

吉永 淳\*・佐久間秀一\*・伊吹恒二\*\*・細見 守\*・田中正治\*

## 1. まえがき

合成等価試験法は、しゃ断器の試験法として古くから JEC, IEC 等の諸規格において認められているが、近年系統の過渡回復電圧 (TRV) の研究やタンク形ガスしゃ断器の発達に伴い、試験法並びに TRV 条件の一部見直しが進められている。IEC では、短絡電流しゃ断後の TRV 初期上昇率の規格改訂や、近距離線路故障 (SLF) しゃ断の TRV 遅れ時間の規格化、しゃ断器近傍の母線や浮遊要素の共振による小振幅 (数 kV) 高周波 (1 MHz 前後) の TRV のしゃ断責務の規格化を進めつつある。これらの動きは、故障しゃ断後の TRV 初期波形がしゃ断性能を左右する重要な一要因であるとの基本的考え方と、初期 TRV を規格化することは各試験場で実施される試験が相互に等価性を有するため必要であるという考え方による。

このような動きに伴い、試験法の改善並びに測定の精度向上がますます要求されるようになってきている。

本稿では、これらの背景のもとで行われている試験評価、測定技術について、主として当社における最近の関連技術の開発状況を中心について述べる。

## 2. 合成試験の等価性

電流注入による合成試験法に関する比較試験は、数多く報告されているが、ガスしゃ断器、特にそれの SLF しゃ断に関する比較試験の報告は少ない。この章では実機パッファ形ガスしゃ断器を用いて行った実スケール条件における SLF しゃ断の比較試験について述べる。故障条件としては、パッファ形 GCB の TRV 初期部分に対する評価

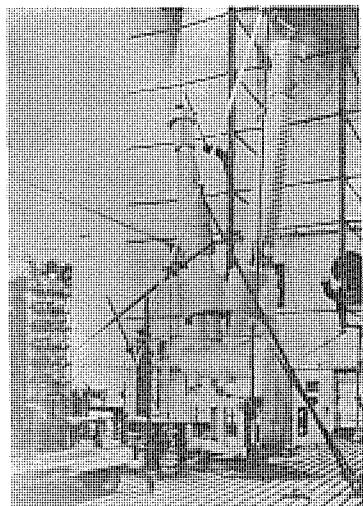


図 1. 245 kV 1 点切り GCB (KEMA 試験中)

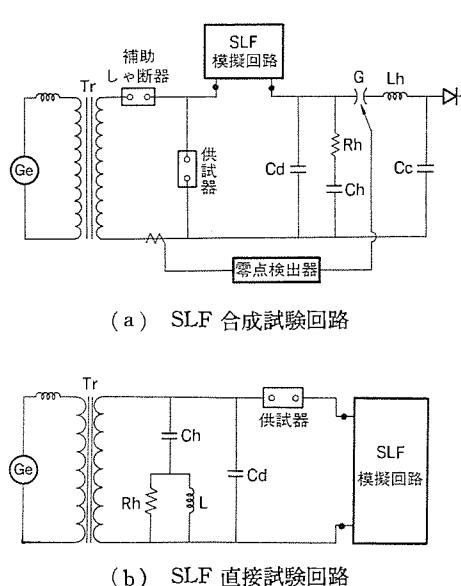


図 2. 比較試験回路

も考慮して、SLF 条件の中でも特に線路長の短い至近距離線路故障条件で行っている。

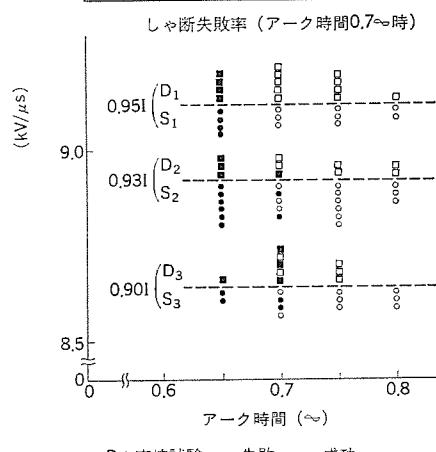
供試しゃ断器とその定格とを図 1. に示す。直接試験は、オランダの KEMA 試験場にて、合成試験は当社の短絡試験場にて実施した。直接試験回路と合成試験回路を図 2. に示す。両試験においては固有 TRV、電流こう(勾)配を測定し、特に TRV 初期部分を合わせるように回路パラメータを選定した。試験条件は、供試しゃ断器の定格 245 kV/40 kA の SLF 容量 90 %, 93 % 及び 95 % である。

各試験ケースごとに最小アーカ時間近辺のしゃ断確率、アーカ電圧消弧ピーク値及び再点弧電圧等を測定し、それらの結果を相互に比較した。これらの比較によって、零点近傍の相互作用が特に重要である至近距離故障しゃ断においても、並列電流重畠合成試験法が極めて等価性の高い合成試験法であることが確認された。以下にそのゆえんについて述べる。

比較試験の結果をまとめて、図 3. 及び図 4. に示す。図 3. は、しゃ断の成否の比較である。同図より、しゃ断性能に関して、それぞれの SLF 条件における合成試験結果は、対応する直接試験の結果と良く一致しているのがわかる。また 95 % SLF のしゃ断は 90 %, 93 % SLF に比べて楽なしゃ断であり、IEC 等が規定している SLF 試験 90 % の実施が適切であることを示している。図 4. には、アーカ電圧消弧ピーク分布とその近似式とを示したが、比較試験から得られたこれらの分布も 95 % の信頼水準で互いに全く同一である。再点弧電圧値も互いに良く一致し、数 kV から 10 kV の間の値が得られた。以上の結果は、パッファ GCB に対する電流注入の合成試験法が、TRV 印加の期間ばかりでなく、電流零点前の電流期間も含めて高い等価性をもつことを意味するものと考えられる。

IEC が進めている TRV 初期部の規格化の中に、しゃ断器近傍の

試験法	SLF 0.95I	0.93I	0.90I
直接試験	0/5	1/3	3/5
合成試験	0/3	2/5	2/4



D: 直接試験…■失敗, □成功  
S: 合成試験…●失敗, ○成功

図 3. しゃ断結果の比較

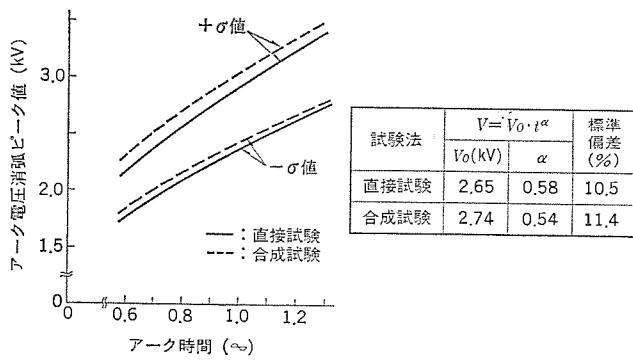


図 4. アーク電圧消弧ピークの比較

母線共振等に起因する高周波低振幅振動(ITRV)を含む再起電圧のしゃ断責務がある。この現象は、1種の至近距離線路故障(およそ98%から99% SLF)とみなすことができる。SLF 95% しゃ断が発生するといふ図3の結果から、SLF しゃ断責務を有する高電圧ガスしゃ断器にとってITRV しゃ断責務はかく(苛酷)なしゃ断条件ではないといえよう。

SLF しゃ断の苛酷さに関する以上の実験結果は、アーカ理論式からも説明できる。式(1)は、良く知られている Mayr アーカ動特性式である。この式は、TRV 波形を与えると解くことができる。

$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} = \frac{1}{\theta} \left( 1 - \frac{e \cdot i}{N} \right) \quad (1)$$

ここで  $e$ : 極間電圧(TRV),  $i$ : アーカ電流

$R$ : アーカ抵抗  $\theta$ ,  $N$ : アーカ時定数と損失

SLF しゃ断においては、しゃ断の成否は線路側 TRV の第1波高時間以前に決定されるので、TRV は第1波高時間までの近似式で十分である。式(2)は、それを示したものである。

$$e = e[t - t_d \{1 - \exp(-t/t_d)\}] \quad 0 \leq t \leq t_p \quad (2)$$

ここで  $e$  は電圧上昇率,  $t_d$ ,  $t_p$  はそれぞれ遅れ時間と第1波高時間である。式(2)を式(1)に代入して解くと、アーカ抵抗  $R$  に対して次式が得られる。

$$R(t) = \left\{ R_0 - \frac{(e\theta)^2}{N} \frac{6 T_d + 1}{(T_d + 1)^2 (T_d + 2)} \right\} \exp(T) + \frac{(e\theta)^2}{N} \left\{ T^2 + 2(1 - T_d)T + T_d^2 - 2 T_d + 2 + \frac{2 T_d^2}{T_d + 1} T \exp(-T/T_d) - \frac{2 T_d^4}{(T_d + 1)^2} \exp(-T/T_d) + \frac{T_d^3}{T_d + 2} \exp(-2 T/T_d) \right\} \quad (3)$$

ここで、 $R_0$  は電流零点時のアーカ抵抗,  $T = t/\theta$  で、 $T_d = t_d/\theta$  である。しゃ断条件を第1波高点において  $R$  の変化率が正、すなわち、

$$\left( \frac{dR}{dt} \right)_{T=T_p} \geq 0 \quad (4)$$

とする。式(3)を微分して式(4)を導くと、しゃ断限界上昇率  $e_{MAX}$  に対して次式が得られる。

$$e_{MAX} = \frac{\sqrt{N \cdot R_0} \exp(T_p/2)}{\sqrt{2} \theta} \left[ \frac{3 T_d + 2}{(T_d + 1)^2 (T_d + 2)} \exp(T_p) - T_p + T_d - 1 + \frac{T_d}{T_d + 1} T_p \exp(-T_p/T_d) - \frac{2 T_d^3 + T_d^2}{(T_d + 1)^2} \exp(-T_p/T_d) + \frac{T_d^2}{(T_d + 2)} \exp(-2 T_p/T_d) \right]^{0.5} \quad (5)$$

一方、式(5)に表された  $\sqrt{N \cdot R_0}/\theta$  はしゃ断電流の関数であり、

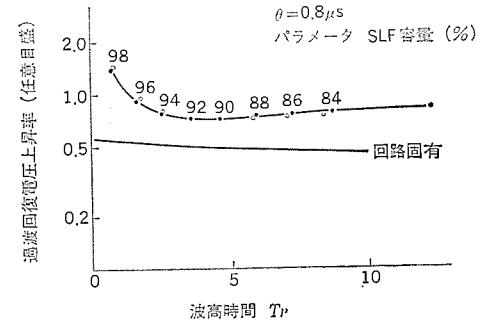


図 5. 限界上昇率対波高時間

#### パッファ形ガスしゃ断器の場合

$$\frac{\sqrt{N \cdot R_0}}{\theta} = K I^{-0.7 \sim -1.3} \quad (6)$$

という関係(2)を用いて、式(5)を表すと図5のようになる。図5では、TRVのしゃ断限界上昇率が波高時間  $T_p$  の関数として示している。図には、回路固有のTRV上昇率と、SLF % 値も示した。しゃ断限界上昇率は、SLF 90% 付近で極小値となり、より大きい SLF % では増加する。これは SLF % が増加すると TRV の第1波高値が低下するためである。図中、しゃ断限界上昇率カーブが固有TRVカーブに最も接近する点で、しゃ断は最もきびしいと考えられるが、その値は SLF 90% から 93% 程度であり、比較試験の結果と良く一致する。また以上に述べた初期 TRV に対する一連のかく(苛酷)さの検討から、初期 TRV に関しては電流零点から 5θ までの期間の平均上昇率が等しいことが、試験の等価性を維持する上で重要であるという結論を得ている。

### 3. 高電圧しゃ断器の試験技術

2章で述べたユニット 245 kV GCB などに象徴されるように、しゃ断器のユニット当たりの電圧、しゃ断容量とも年々増加してきている。また3相一括タンク形しゃ断器や多点切タンク形しゃ断器の試験など新しい試験技術及び測定技術が必要になってきた。この章では、それらの試験及び測定技術について述べる。

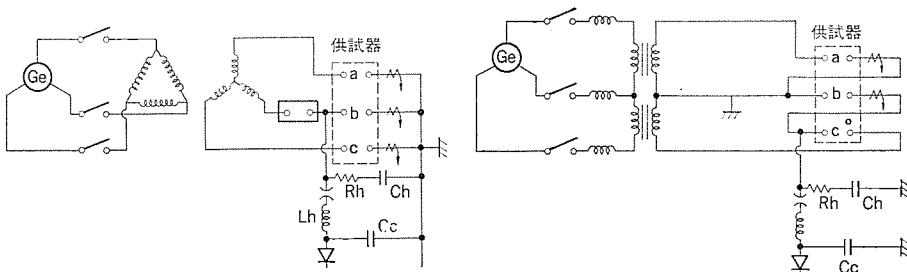
#### 3.1 3相一括形しゃ断器の合成試験法

3相一括形しゃ断器では、3相のしゃ断部が同一タンク内に収納されているので、極間回復電圧以外に相間の回復電圧と電磁力の影響を含めた性能検証が必要になる。しかし、直接試験は3相電力供給の面から試験場出力に限界があるので、3相合成試験の適用が必要である。

##### 3.1.1 しゃ断能力検証

現存の3相一括形しゃ断器は通常、3相のアーカが直接作用し合わないような構造配慮がなされているので、基本的には相分離形しゃ断器のしゃ断能力検証と同一である。相分離形しゃ断器と異なる点は、しゃ断性能検証の中に、しゃ断後の相間耐圧の検証が含まれることである。

図6.(a), (b) は共に3相一括形しゃ断器の合成等価試験回路である。図(a)では3相に通電し、b相に電圧を印加している。図(b)では2相を直列にして3相通電し、b, c相の互いに反対極に電圧を印加している。したがって図(b)では、相間電圧を図の左極にも右極にも印加できる点で、相間耐圧検証上、図(a)の回路より優れている。表1に試験相から見た相間、対地間電圧を直接試験のそれらとともに示す。図6.に示した2つの合成試験は、前述の



(a) 3相電流合成試験回路 (b) 2相直列3相電流合成試験回路

図 6. 3相一括形しゃ断器の合成試験回路

表 1. 回復電圧比較

時 間 試験法	第1相しゃ断後 (B相)		第2, 3相しゃ断後 (A, C相)		回復電圧定常状態	
	対地間	相間	対地間	相間	対地間	相間
直接試験	1.5E	1.5E	$\sqrt{\frac{3}{2}}E$	$\sqrt{3}E$	1.0E	$\sqrt{3}E$
合成試験 (図 6. (a))	1.5E	1.5E	1.5E	1.5E	1.5E	1.5E
合成試験 (図 6. (b))	1.5E	1.5E	1.5E	1.5E	1.5E	1.5E

電圧印加を除いて、互いに同じ相間、対地間電圧である。直接試験と比較すると、b相第1相しゃ断後の電圧は同等であるが、全相しゃ断した後では、対地間電圧は合成試験の方が高く、相間電圧は、約15%程合成試験の方が低くなる。したがって、合成試験の場合、追加試験として3.1.2節に示すような全相しゃ断後の相間耐圧検証試験を実施している。

また一般に、ガス絶縁機器の耐圧性能は電界強度に強く影響されるので、電圧印加の試験相は電界計算に基づき電界最大の相に選んでいる。図7.は、b相第1相しゃ断後の等電位線を示す横断面図である。図のように3相非対称配置の場合には、電界は、b相を試験相としたとき最も厳しくなる。

なお図6. (b)の2相直列回路では、通電法が他と異なるため、タンク内に放出されるアーケネルギーが問題となるが、電流がb-c相で逆になるので、むしろ高目であり、操作力検証上の条件は十分に満されている。

### 3.1.2 相間耐圧検証

図8. (a)にインパルス印加によるしゃ断後の相間耐圧試験回路を示す。この回路構成により、発電機回路を通じて、a, c相に最大短絡電流を供給し、極間短絡された残りの1相(b相)にインパルス電圧を印加する。通電相のアーカ時間は、しゃ断試験で確認された最大アーカ時間を選ぶ。同図(b)はa, c相しゃ断後約10msにインパルスを印加したオシログラム例である。この方法によれば、印加時間を任意に制御できるので、通電中、通電後の任意の時間において相間耐圧検証ができる。

以上述べた試験方法が、検証上十分満足できる方法であることは図9.に示した3相一括形ガスしゃ断器の直接試験(KEMA試験場)との比較によっても確認されている。

### 3.2 4パラメータ試験回路

JEC, IEC等の規格では、120kV以上の高圧しゃ断器に対して、4パラメータTRVと2パラメータTRVのいずれかを適用することを認めている。4パラメータTRVは、調整が複雑になるため、多くの試験場では2パラメータ法が良く用いられている。この節では、比較的御が簡単であり、実用的な4パラメータ回路について述べる。

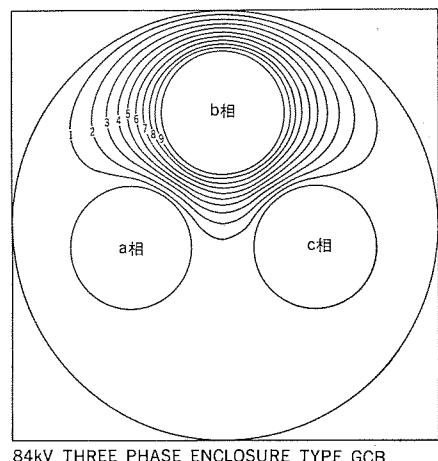
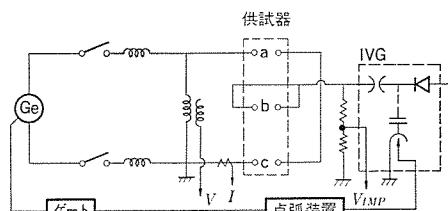
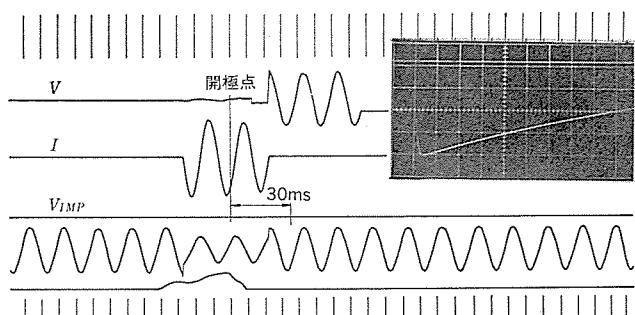


図 7. 3相一括 GCB の電位分布(電界計算)例  
(b相第1相しゃ断後)



(a) 耐圧検証試験回路



(b) オシログラム例

図 8. インパルス印加による耐圧検証試験法

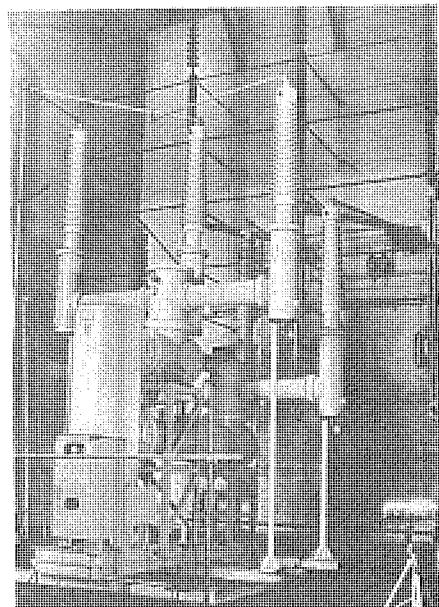
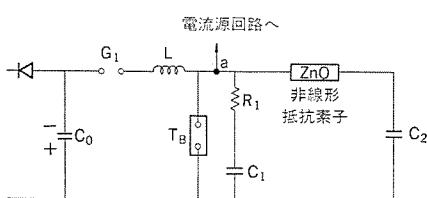
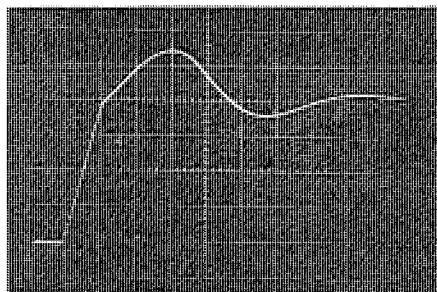


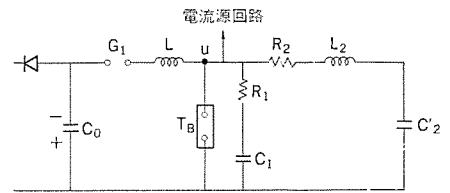
図 9. 比較試験に用いた3相一括タンク形GCB  
(定格145kV/31.5kA, KEMA試験中)



(a) 非線形抵抗を用いた4パラメータ合成試験回路



(b) A回路による実測のTRV



(c) 並列L-R-C回路を用いた4パラメータ回路

図10. 4パラメータ回路

図10. は、非線形抵抗素子ZnOを用いた4パラメータ回路である。

図中ZnOとキャパシタC<sub>2</sub>を除けば、2パラメータ回路と同一である。ZnOは、ある限界電圧以下では高抵抗、それ以上では低抵抗となる。したがって図10. (a)の点aの電圧がその限界電圧に達したとき、ZnOはON状態となり、ZnOを通してC<sub>2</sub>が充電されるので、同図(b)に示すような4パラメータ波形が得られる。図(b)においてTRVカーブが折れ曲がる時間をt<sub>1</sub>とすると、その後のTRVは次式で近似できる。

$$V(t) = V_0 + \frac{V_0 - V_1}{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + \omega^2} \left\{ 2\alpha_1\alpha_2 \cdot e^{-\alpha_1(t-t_1)} - (\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \omega^2) e^{-\alpha_2(t-t_1)} \cos \omega(t-t_1) + \frac{\alpha_2(\alpha_1^2 - \alpha_2^2 - \omega^2)}{\omega} e^{-\alpha_2(t-t_1)} \right. \\ \left. \sin \omega(t-t_1) \right\} + \frac{\alpha_1(\alpha_2^2 + \omega^2) L i_{0+}}{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + \omega^2} \left\{ e^{-\alpha_1(t-t_1)} - e^{-\alpha_2(t-t_1)} \right. \\ \left. \cos \omega(t-t_1) + \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\omega} e^{-\alpha_2(t-t_1)} \sin \omega(t-t_1) \right\} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{ここで } \alpha_1 + 2\alpha_2 = \frac{1}{R_1} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right),$$

$$2\alpha_1\alpha_2 + \alpha_2^2 + \omega^2 = 1/(LC_2)$$

$$\alpha_1(\alpha_2^2 + \omega^2) = 1/(LR_1C_1C_2)$$

V<sub>0</sub>はC<sub>0</sub>の初期充電電圧、V<sub>1</sub>はZnOの制限電圧及びi<sub>0+</sub>はt<sub>1</sub>においてLに流れている電流である。このような回路構成によって、屈曲点と極大点の時間比1:3と電圧比1:1.4の理想的な4パラメータ波形を容易に発生させることができる。また、図10. (c)に示すように、ZnO-C<sub>2</sub>をR-L-Cで置換えた直列ダンピング回路を利用した4パラメータTRVも可能であり、現在4パラメータ回路を2パラメータ回路と同一の制御で構成させる方向で検討されている。

### 3.3 多点切りタンク形しゃ断器の分担電圧の測定

電流しゃ断器の分担電圧測定は、多点切りしゃ断器のユニット試験電圧を決定する上で重要なことである。過去に我々の試験場では、1pF以下の静電容量をもつ円板電極構造の容量分圧器によって、がい(碍)子形しゃ断器の分担電圧を実測し、静的分担率とほとんど等しいことを示した<sup>(4)</sup>。

タンク形しゃ断器の分担電圧測定は更に困難であり、電圧センサを十分耐圧をもたせてタンクに内蔵し、その出力をタンク外部へ取り出す必要がある。我々は、タンク内に発光ダイオードを出力素子とする高抵抗分圧器を内蔵し、その出力をライトガイドを介して、外部に取り出すという方法でタンク形しゃ断器の分担電圧を測定した。図11.にその測定ダイヤグラムを示す。図中Dが発光ダイオードを出力素子としてもつ電圧センサである。電圧センサは、高抵抗Rを介して測定端子に接続されるが、内蔵されたこれらの回路において、

(1) 電圧分担率を乱さないために、端子間浮遊容量が小さいこと。

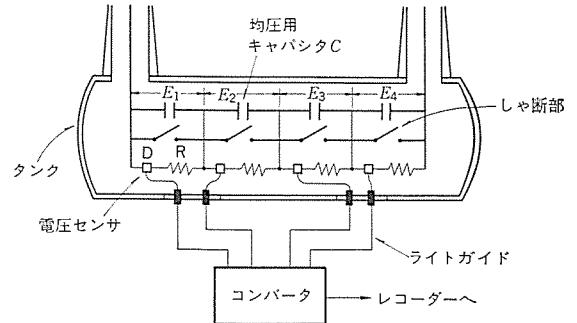
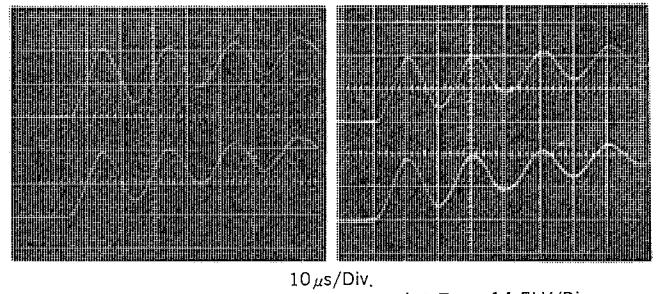


図11. タンク形GCBの分担電圧測定ダイヤグラム



上:E<sub>1</sub> 14.0kV/Div. 上:E<sub>3</sub> 14.5kV/Div.  
下:E<sub>2</sub> 15.0kV/Div. 下:E<sub>4</sub> 14.5kV/Div.

図12. 4点切りGCBの分担電圧測定オシログラム

(2) 速い応答時定数を得るために、電圧センサは高抵抗Rの等価回路を入れた分圧器構成にすること。

が重要である。地上側回路は、ライトガイドを介して発光ダイオードの光を受け、それを電圧に変換しレコーダーに記録する。この測定法により全測定系の周波数応答1MHzを得た。図12.は、この方法によって測定した4点切りタンク形GCBの分担電圧例である。この例に見られるとおりタンク形GCBにおいても、均圧用コンデンサがある場合には、分担電圧はほぼ均等である。

## 4. 試験制御とデータ解析

### 4.1 高電圧放電ギャップの開発

高電圧しゃ断器の合成試験には、高電圧放電ギャップが不可欠である。例えば、550kVのしゃ断器の端子短絡故障試験では、電圧波高値は800kVに達するので、十分な耐圧性能であることはもちろん、放電の遅れ、ばらつき共に小さい高性能のものでなければならない。

当社では、図13.に示すようなタンク内蔵タイプの加圧ガス封入形3点ギャップを開発し、使用している。この開発にあたっては、ガスの種類、ガス圧力、ギャップ長等に対する火花遅れ時間とそのばらつき、制御のしやすさ、保守等のあらゆる面から基礎的検討が加え

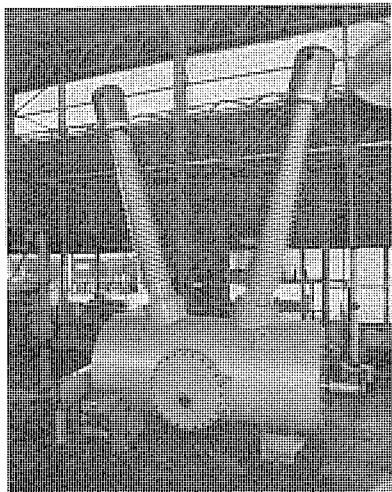


図 13. 750 kV 放電ギャップ

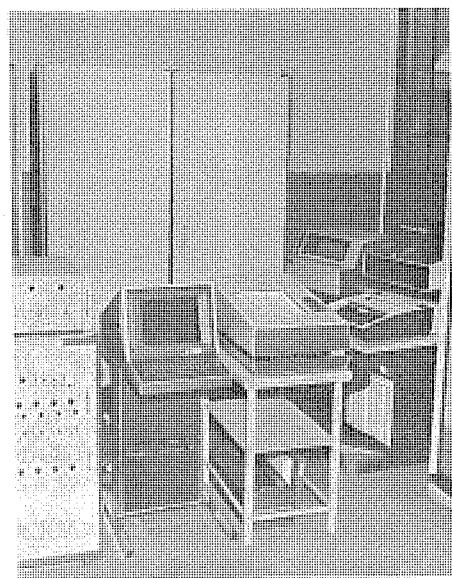


図 14. データ処理システム全景

られた。ギャップ制御は、タンクの外部においてレーザ光をQスイッチによりコントロールし、タンクに設けられた窓を通して、内部の3点ギャップの高電圧発生装置をON-OFFする方法によっている。

この方式により、系の応答時間50μs、そのばらつき±5μsの信頼性の高い高電圧ギャップが得られた。現在、これを合成短絡試験の放電ギャップとして使用している。

#### 4.2 データ処理システム

現在、計算機の導入はあらゆる方面で進行しているが、大電力試験場においても、膨大な試験データ処理のために使用されるようになってきている。当試験場においても昭和55年春に導入し、試験データのオンラインリアルタイム処理を始めている。

データのオンラインリアルタイム処理を始めている。

図14. ICシステムの写真を示す。計算機システムは、中央演算装置、外部記憶装置及び周辺機器で構成され、周辺機器として、ラインプリンタ、グラフィックディスプレイ、ハードコピー、プロセス入出力装置を備えている。このシステムは、プロセス入出力装置を介して、データ収録装置と直結されており、分圧器、分流器等の測定器からのデータは、収録装置を通して計算機に取り込まれ、演算処理ができるようになっている。

このデータ処理システムを使って、現在、しゃ断器の各種しゃ断試験のデータ解析、しゃ断パラメータの検出等を行っている。

#### 5. むすび

以上、当社が実施している最近の合成試験及び測定技術の例について述べた。ユニット電圧・ユニットしゃ断容量の増加により、合成試験法及び試験制御、計測技術はますます重要になってきている。これに対し、我々は多点切タンク形しゃ断器の合成試験法、投入合成試験、充電電流合成試験法の開発と評価、また測定に関しては、光伝送を利用した測定と計算機システムとの連結の検討を進めつつある。これらの研究成果については別の機会に報告したい。

終わりに、各種の実験、検討にあたって、御指導、御意見をいただいた関係者のかたがたに深く謝意を表する次第である。

#### 参考文献

- (1) S. Tominaga, H. Kuwahara, K. Yoshinaga and S. Sakuma: Estimation and Performance Investigation on SLF Interrupting Ability of Puffer-Type Gas Circuit Breaker, IEEE Trans. PAS-98, p. 261~269
- (2) S. Tominaga, H. Kuwahara, S. Sato, K. Yoshinaga and S. Sakuma: Severity of Initial Portion of Transient Recovery Voltage (TRV) for SF<sub>6</sub> Gas Circuit Breaker, Symposium on High Voltage Switching Equipment, p. 49~53, Sydney, 29~30 (1979-5)
- (3) S. Tominaga, H. Kuwahara, T. Tanabe, K. Yoshinaga and S. Sakuma: Extremely Short Line Fault Tests of a Puffer-Type Gas Circuit Breaker by Direct and Synthetic Test Methods, IEEE Summer Meeting (1980) No. 80 SM 702-1
- (4) 大谷ほか:多重接点形しゃ断器の電位分布測定, 昭和40年電気関係学会関西支部連合大会, No. 13-15
- (5) K. Azumi, H. Kuwahara, I. Sakon, T. Marutani and S. Niwa: Design Consideration on Three Phase Enclosure Type Gas Insulated Substation, IEEE Trans. PAS-99, No. 3, p. 947~955
- (6) 吉永ほか:光によるしゃ断器の再起電圧測定, 昭和54年電気学会全国大会, No. 1090
- (7) 吉永ほか:4パラメータ試験回路に関する検討, 昭和55年電気学会全国大会
- (8) 桑原ほか:しゃ断器短絡試験時における再起電圧初期遅れ時間について(II), 昭和46年電気学会全国大会, No. 761

# ブラシレス交流発電機の界磁テレメータ

谷口 良輔\*・福吉 拓雄\*・一ノ瀬与三郎\*

## 1. まえがき

ブラシレス交流発電機は、回転子軸上にブラシがないため運転の安全性、保守性が飛躍的に向上し、発電プラントのユニットとしての信頼性は一層高められたと言っても過言ではない。

近年、発電プラントの自動運転による省力化はもちろん、予防保全の見地から、また、熟練したオペレータの確保の困難も相まって機器に対する監視の強化、異常診断への要求は日増しに高まってきている。

ブラシレス交流発電機の界磁回路の諸量すなわち、電圧、電流及び巻線温度等の直接計測は、計測のためのスリップリングとブラシを回転子に設ければ可能であるが、これではブラシレス交流発電機の有する利点を阻害するものである。このため、ブラシレス交流発電機の有利性を強調する反面“界磁回路の諸量の直接計測は不可能”との考え方方が支配的であり、半ば常識化されていた<sup>(1)</sup>。

このような背景下にあって、当社は従来の周波数変調(FM)方式又は回転変圧器方式などによる界磁回路諸量の直接計測装置の問題点であった精度の維持向上、高速回転体への適用の困難性並びにコスト高等などの解決に取り組み、世界に例を見ない新しい非接触形の計測システム「マルチPCM方式テレメータ」を開発した<sup>(2)</sup>。

今般、2極タービン発電機の界磁電圧、電流、巻線温度の直接計測と回転整流器のダイオード異常検出のできるテレメータ(以下、界磁テレ

メータと称す)を完成するとともに標準化を終え、需要家に広く供給できる体制を整えた。

これは、界磁テレメータとしての用途のほかに、回転電気機械はもちろん、一般の産業用回転体諸量(温度、応力等)の直接計測にも用いることができる。

## 2. 界磁テレメータの概要

ブラシレス交流発電機の界磁テレメータシステムを図1.に示す。テレメータ回転部(トランスマッタホイル)は、センス増幅器、アナログデータをデジタルデータに変換する量子化回路、静止側にデータを伝送する変調送信回路と送信アンテナ、そしてこれらの回路に電力を供給する専用の小型発電機と安定化電源で構成する。

センサについては、界磁電圧は分圧器、界磁電流は分流器を用い、ヒューズ溶断は新しく開発した“電流パルス検出器”を用いた。電流パルス検出器は、ダイオードに流れている電流が1/6サイクルで急しゅんに変化していることを利用したもので、整流回路のすべてのダイオードに取付ける。したがって、過電流によりヒューズが溶断したり、過電圧でダイオードがオープンになった状態を各ダイオードごとに確認することができる。

静止側では、送信アンテナと同心上に配置した受信アンテナと機側に設置した受信ユニットにより変調波を復調し、例えは中央操作室に設置した監視ユニットへ少数信号線でデジタル伝送を行う。監視ユニ

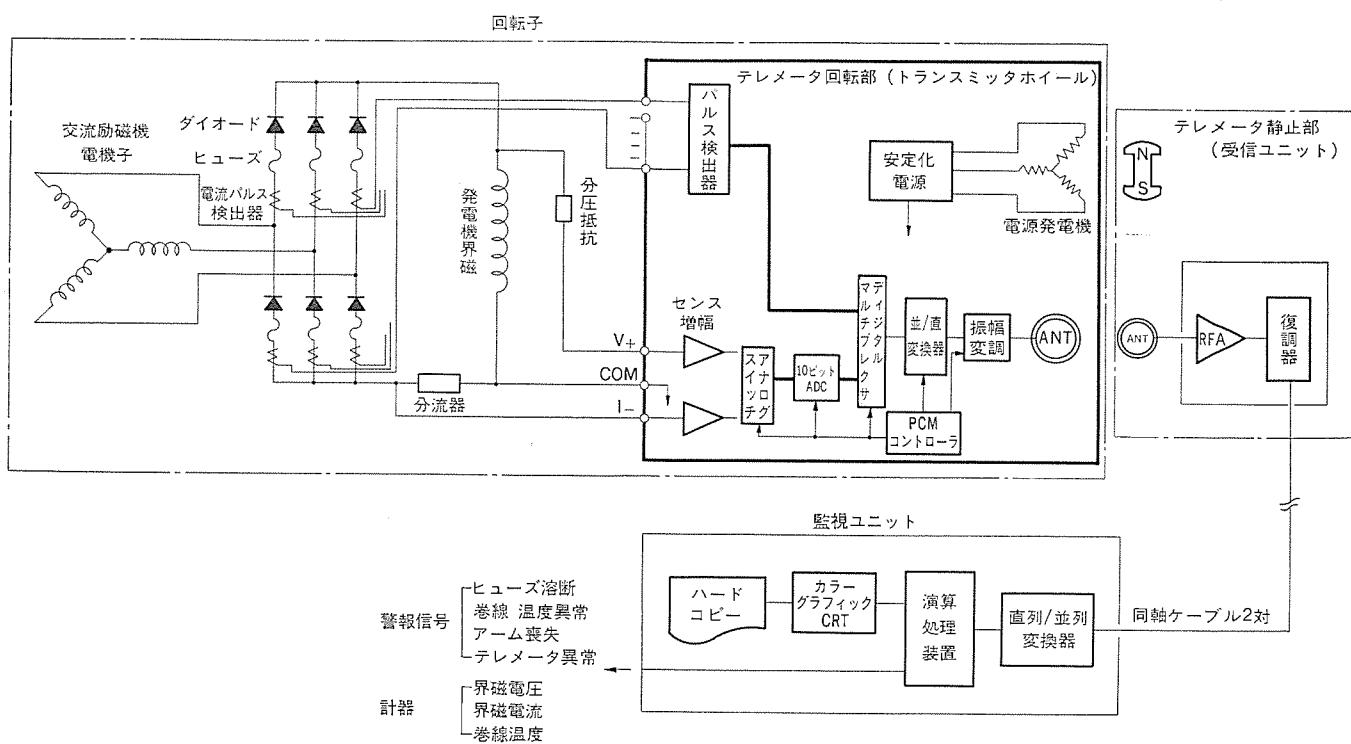


図1. 界磁テレメータシステム

ットでは、この信号を計測内容ごとに復元した後、いつたんマイクロコンピュータに入力して、巻線温度演算、データ表示処理、故障判定等のデータ処理を施して、CRT表示、計器出力、警報を行っている。

### 3. 構成と機能

現在、実用化されている回転体テレメータシステムはアナログ式であり、多チャネルの計測を行うには適していない。これに対して、今回開発した界磁テレメータでは、伝送信号をデジタル化し、更に信号の中にデータの内容を示すチャネル情報を含ませているため多数のデータを1系統の伝送路で伝送することができる。したがって回転体における伝送経路の設計が簡単になり、信頼度の高いシステムをつくりあげることができた。

#### 3.1 トランスマッタホイール

トランスマッタホイールは、交流励磁機の軸内にマウントし、3,600 rpmで回転する。ホイール内には、センサを除くデータ送信用の電子回路を実装し高速回転に耐えるように注型している。

電子回路は、センス増幅器類を除いてすべてCMOS ICで構成し消費電力を小さくして小形化を図っている。

##### 3.1.1 量子化回路

量子化回路は、センス増幅器、半導体スキャナ、A/Dコンバータ及びデジタルデータの並列/直列変換回路で構成する。

界磁テレメータでは、界磁電圧、電流のアナログ量とヒューズ溶断のデジタル量が混在するがこれらの諸量を仕分けして順序よく送り出し、しかも静止側での受信を確実にするため伝送信号を図2のように構成した。図の中で同期信号は、直列信号を元の並列信号に復元するためのもので同期クロックのみでなく、データの分割を容易にするためのフレーム同期信号も含んでいる。

##### 3.1.2 送受信回路

図2. で示すようにこのシステムの伝送信号は、データと同期の2系列を必要とする。これを1系統の伝送路でできるようにするために、図3.に示す変調過程で両方の変調信号を演算増幅器で加算するという方法を採用した。この方法は非常に単純ではあるが、2つの変調波が同一搬送波を同一クロックで変調しているので、同じ値の入力抵抗で加算すると位相が一致し極めて正確なデジタル化振幅変調が可能となる。

変調された搬送波は、簡単なボビンに巻いたコイル(送信アンテナ)に加え、これと同心に配置したコイル(受信アンテナ)で受信することができる。受信アンテナには、並列にコンデンサを接続して同調回路を形成しており誘起される電圧は数Vあり、外来ノイズに妨害されることもなく受信のSN比は非常に高い。一方、送受信は回転子の軸内で行い、しかも伝送に必要な送信エネルギーが数mWであるため外界への電波障害は全くない。

図4.は、AM変調された送信波とこの送信波を元のデジタル直列信号に復調する回路のブロック図を示す。この図からわかるように同期信号と計測信号からなる変調波は、振幅合成が正確に行われているため2個の比較器で容易に元の2つの信号に分離することができる。この状態での信号は、まだ搬送波成分を含んでいるので、搬送波より多少長めのパルス幅検出器で検波する。これらの設定や調整は、すべて定量的に行うことができ、通常の無線機のような複雑

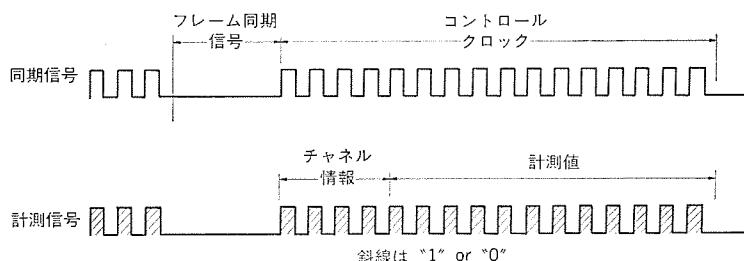


図2. 信号の構成(デジタル化直列信号)

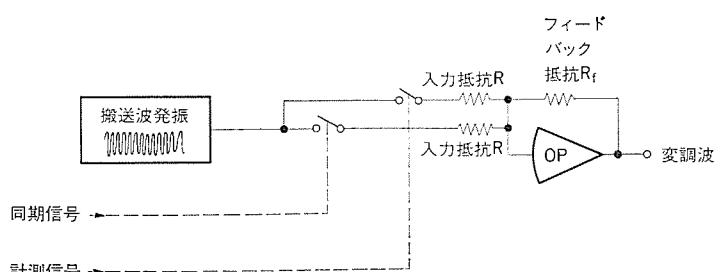


図3. 変調回路

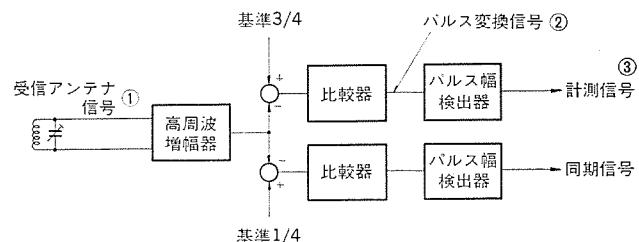
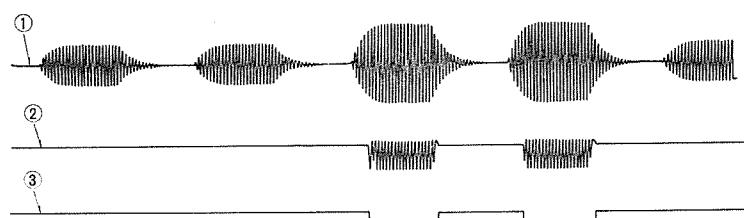


図4. 復調回路

な回路や調整は不要である。

##### 3.1.3 電源回路

テレメータの電源は、交流励磁機からとることも可能であるが、界磁回路の異常検出が1つの目的となっていることと、テレメータ自身の異常が界磁回路へ影響を及ぼさないようにとの配慮から独立した専用の小型発電機を設けた。図5.に電源発電機の外観を示す。

この発電機は、3相巻線を2回路もっており、センス増幅器やA/Dコンバータに必要な正負電源を供給している。また、定電圧回路のフィルタを小形化するため多極機になっており、界磁は永久磁石方式である。

##### 3.1.4 電子回路の信頼性

トランスマッタに使用する電子部品は、高速回転における遠心加速度や振動に耐えなければならない。一方、運転時における主機の電力損失や機械損失からくる高温ふん(霧)団気、注型時における発熱等かく(苛酷)な条件を満足させる必要がある。

特に遠心加速度については、すべての電子部品は30,000 G以上に耐えるものを用いた。また、トランスマッタとしては4,000 G(3,600 rpmにて外径400 mm)の加速度で起動停止120回の繰り返しを含む1



図 5. 電源発電機の外観

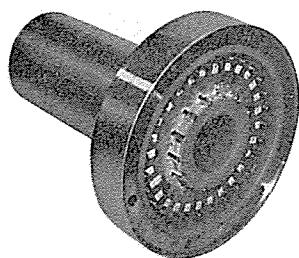


図 6. トランスマッタホイールの外観

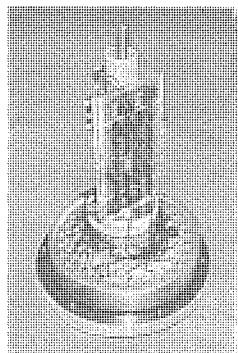


図 7. 注型前のテレメータ回転部

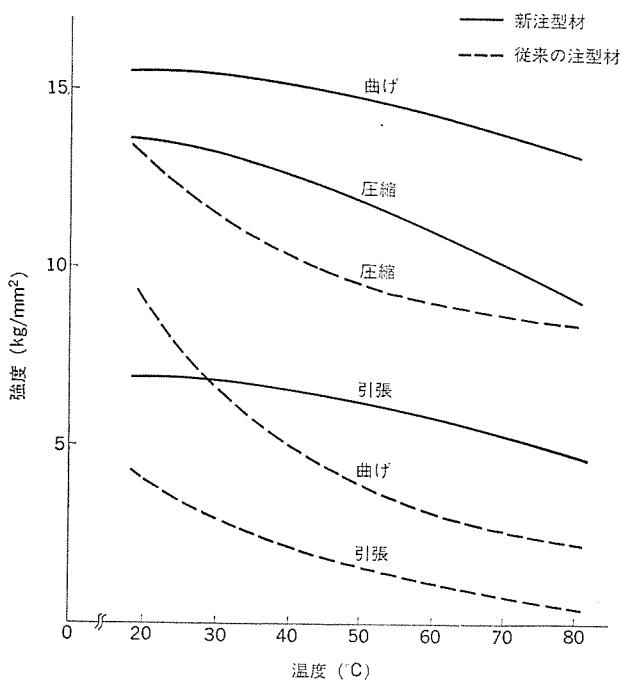


図 8. 注型材の温度特性

か月間の運転を行い機能、特性共異常の無いことを確めた。更に製作時には、経年変化を生じさせないため、注型前に約340時間のヒートサイクルテストを行っている。

### 3. 1. 5 トランスマッタの仕様

マルチPCM方式テレメータは、被計測機の種類、形式によって幅広い仕様の展開が可能であるが、界磁テレメータとしてのトランスマッタの仕様は次のとおりである。

消費電力	:	2 W
搬送周波数	:	100 kHz
サンプリングタイム	:	40 ms
計測精度	:	±0.2%
計容回転速度	:	9,000 rpm
周囲温度	:	60°C 以下

### 3. 1. 6 トランスマッタの構造

既に述べたように、トランスマッタはプリント基板にマウントした電子回路、送信アンテナ、電源発電機を含めた一切を鋼板製ホイールに収納し注型材で固めた構造になっている。図6.は、トランスマッタホイールの外観である。構造の計画にあたっては、小形化はもちろん、信頼性の確保に万全の対策を施した。

(1) プリント基板は、図7.に示すように機能ごとにブロック化した3枚を三角形状に配置した。この構造は注型作業が容易であること、電子部品に加わる遠心力を低減できること、小形化が可能など多くのメリットをもっている。

(2) 送信アンテナはコイルボビンで、送信波が回転子の軸方向のずれ(エンドプレーの変化)、偏心などの影響を受けないようコイルの巻幅を十分広くとり、前述の三角形状のプリント基板の中心に配置している。

(3) 鋼板製ホイールは収納容積を十分確保し、重量を軽減するため薄肉円筒を採用している。このような小形化を図った結果、トランスマッタは回転子軸内に収納することが可能になった。

(4) 注型材は、注型される電子部品を重合時における熱破壊と収縮応力から守るため、低温重合で熱収縮性の少ない材料を特別に開発した。図8.は開発した注型材料の温度特性である。

この図に示すように低温重合にもかかわらず、極めて優れた特性をもっており、注型状態も変形、割れ、ボイド等の発生が全くなく、回転体としての信頼性は非常に高くなっている。

### 3. 2 監視システム

監視システムは、トランスマッタからのAM変調波を検波、復調する受信ユニットと復調された直列化データ信号を処理し、温度演算、異常判定を行う監視ユニットから構成する。

受信ユニットは、高周波受信を行うため計測対象の発電機に隣接して設置するが、監視ユニットは中央操作室に設置する。受信ユニットからは少数信号線によるデジタル伝送が可能で1kmまで距離を延ばすことができる。

#### 3. 2. 1 監視ユニット

監視ユニットは、少数信号線で送られてくるデジタル化直列信号を並列データに変換すると同時に、チャネルずなわち計測内容ごとに分配する。分配されたデータは、D/A変換してアナログ指示計器で直接表示するようしているが、各種演算や異常判定はマイクロコンピュータで行っている。これらの処理は、巻線温度演算、異常温度判定、ヒューズ溶断の組合せによる軽及び重故障判定、データロギング、CRT表示などである。

なお、トランスマッタの故障や伝送ラインの故障などテレメータの異常

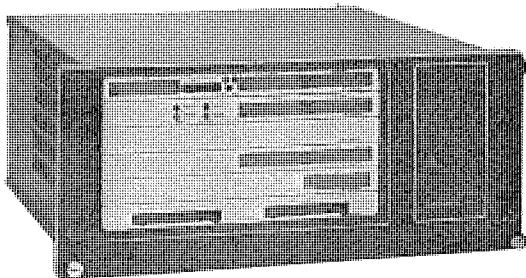


図 9. 監視ユニット

判定は、ハードウェアで行っている。

図 9. に監視ユニットの外観を示す。

#### (1) 界磁巻線温度の演算

界磁巻線温度の演算は、JEC-114に定められている抵抗法による平均温度算式を使用し、抵抗値は界磁電圧と界磁電流から求める。特に、界磁電圧及び電流をコンピュータに入力する場合は、時間的に同時性を持つようにインターフェースを設計した。また、この抵抗値の計算にあたっては、界磁回路における過渡的な変動による誤差を避けるため電圧及び電流が一定値以下の整定状態で演算させるようにした。温度演算は次式によった。

$$T_f = \left( \frac{R_2}{R_1} - 1 \right) (K_p + T_1) + T_1$$

ここで、 $R_2$ ：界磁電圧／界磁電流 ( $\Omega$ )

$R_1$ ：基準温度  $75^{\circ}\text{C}$  における巻線抵抗 ( $\Omega$ )

$K_p$ ：235 (銅)

$T_1$ ：基準温度  $75^{\circ}\text{C}$

$T_f$ ：界磁巻線温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

以上の結果は、D/A 変換器でアナログ量にして指示計器に表示させるようにした。

#### (2) ブラシレス励磁回路の異常判定

ブラシレス励磁装置の3相全波整流回路は、各相に複数のダイオードを並列に接続しているため、万一、ダイオードが1個溶断しても他のダイオードが健全であれば運転を続行できる。しかし、ある相のすべてのダイオードが溶断すれば励磁機としての能力が低下し他の相のダイオードが過負荷になり、この状態での運転は好ましくない。このテレメータでは、ダイオードごとにヒューズ溶断センサを取付けているため、その判定は可能であり1つの相に対するヒューズ溶断数により軽故障、重故障の基準を設け必要に応じ警報を行うことができる。

#### (3) データロギングとCRT表示

従来、発電機では、情報の記録にペンレコーダーを用いている。今回テレメータとマイクロコンピュータの接続の利点を生かしてすべての情報をデジタル的に、またアナログ的に表示することを試みた。図10.は、デジタル表示の1例でアナログ情報は、デジタル数値でしかも単位をつけて同時に表示し、ヒューズ溶断はわかりやすいように図形表示を行った。この中には、テレメータ異常やアーム喪失などもキャラクタを用いて表示している。

図11.は、アナログ表示の1例である。これはアナログ量をグラフ状に表示したものでデータごとに色分けし、ペンレコーダーのように刻々の表示を行うことができる。サンプル表示間隔は最高25秒で10倍ごとに設定でき、過渡的な現象を見るのに非常に有効であり、かつ長時間の記録も可能である。

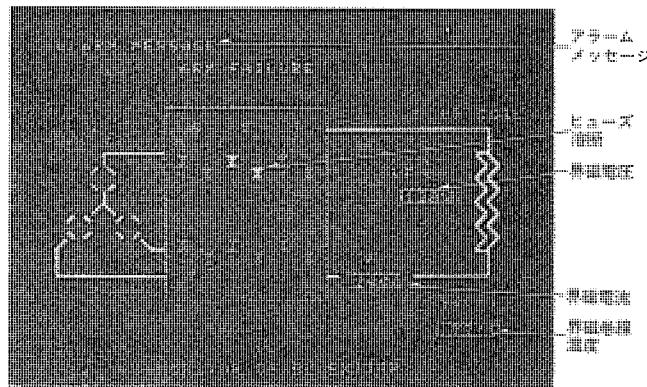


図 10. 界磁諸量の一括表示例

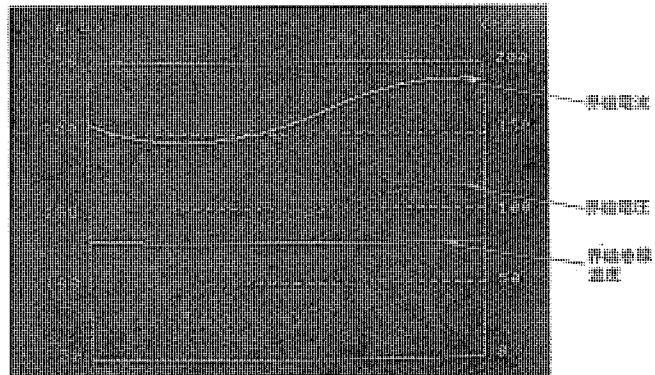


図 11. 界磁諸量のトレンド表示例

## 4. 実機への適用

このテレメータを空冷式16MWの実機に適用して、発電機の各種特性試験における界磁回路のデータを収集した。

このデータから、これまでブラックボックス的存在であった巻線温度の変化、界磁電圧及び電流の応答特性などが精度よくは(把)握でき、界磁テレメータとしての信頼性を実証した。また、センサ回路については、突発短絡や負荷しゃ断時におけるサーボ電圧対策を十分施している。

#### (1) 界磁テレメータの仕様

界磁電圧 : DC 0~400 V (定格点 250 V)

界磁電流 : DC 0~400 A (定格点 300 A)

ヒューズ溶断検出 : 12点

界磁テレメータの取扱い要領を図12.、センサの外観を図13.に示す。

#### (2) 温度テレメータ

これはセンサにC-C熱電対を使用したもので、当社工場試験において従来、スリップリングとブラシによって検出していった計測装置に代り実用に供されたものである。温度テレメータとして最大16点の同時連続計測が可能であり、計測精度と信頼性の向上に多大の効果をあげている。

## 5. むすび

デジタル回転体テレメータの開発により、ブラシレス交流発電機の界磁回路の諸特性の直接計測が可能となったが、単なるデータロギングや警報装置として終わらせるところなく、これらのデータをもとに新たにシステムの展開が考えられる。

最近の発電プラントの計画をみると、DSS (Daily start stop) に代

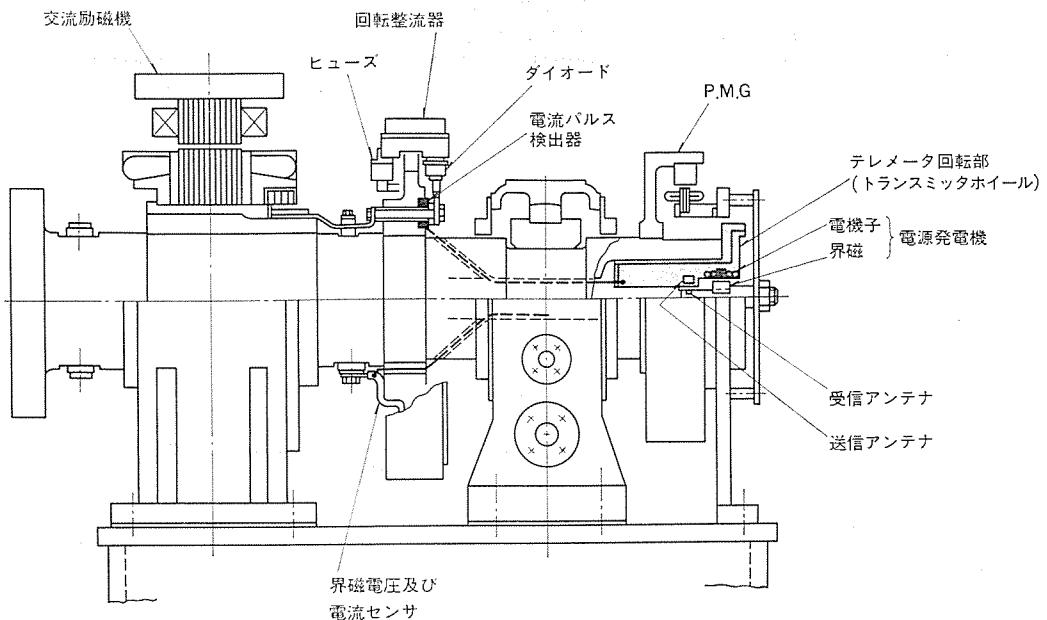


図 12. 界磁 テレメータ取付図

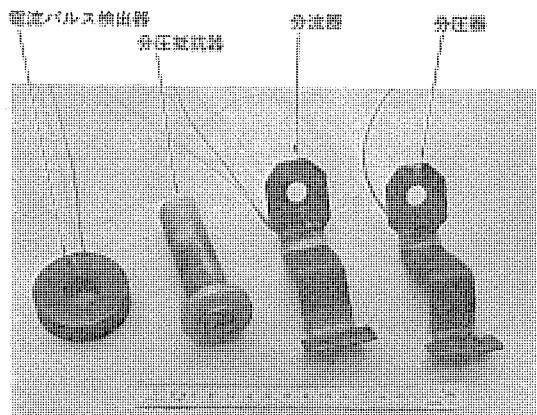


図 13. 界磁 テレメータ用センサ

表される苛酷な運用、運転保守の自動化、予防保全の推進等新しい試みが行われようとしている。界磁回路の特性データも用い方によ

り、これら運転管理の自動化の武器とすることができます。例えば、発電機主回路の情報との組合せにより発電機の出力許容限界の管理、励磁装置の故障モード監視、制御情報の管理等を行うことができる。更に、発電機の固定子の諸量、回転子軸系の要素を多角的に計測処理すれば、従来オンライン化が遅れていた監視項目を一括システム化することが可能である。

筆者等は既に、これらのシステムの基本的検討を終えており、近い将来製品化し需要家に提供すべく作業を進めている。

#### 参考文献

- (1) Alternator Rectifier Exciter for CARDINAL PLANT PAS 87, No. 4, (1968-4)
- (2) 山下ほか：電気四学会九州支部連合大会（第32回連合大会）講演論文集（昭和54-10）

# 酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器

宇治田 克\*・夏井 恵史\*・井田 芳明\*・今村 長義\*

## 1. まえがき

電力系統における絶縁協調の基本となる電力用避雷器は、直列ギャップを用いた構造をもとに、時代の要請とともに構造面、性能面に改善がなされて発展してきたが、酸化亜鉛（ZnO）を主体とした非直線抵抗体の出現によって、直列ギャップのない理想的な避雷器の実現を可能にした。

酸化亜鉛形避雷器は、常規対地電圧では絶縁物と同等の抵抗特性を有していることから、常時流れる電流のうち容量性のものが大半をしめ、抵抗分電流は数  $\mu\text{A}$ ～数十  $\mu\text{A}$  程度であるため発熱がほとんどない。したがって極めて長寿命であることが期待されている。しかし避雷器の実用性能を含めた寿命特性は、避雷器設置位置からの至近距離における雷撃による最もかく（苛酷）な動作とも関連し、比較的新しい製品による長年月の使用実績がないため、非直線特性の経時変化の有無を ZnO を流れる漏れ（洩）電流を測定して判定する手段があれば、酸化亜鉛形避雷器の実用信頼性を通常の保守点検で検認できる。

実際に非直線特性の変化があれば、前述の抵抗分電流が変化するので、保守のためには合成電流から抵抗分電流を分離し、その評価を行なうのが最も適切であると考えられる。

当社では、このような理由及び顧客の要求に応じて、酸化亜鉛形避雷器用の高精度漏れ電流検出器を開発・製品化したので報告する。

## 2. 特長

実フィールドにおける酸化亜鉛形避雷器の保守を行うことを目的として、酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器を開発した。開発にあたっては、現地作業性、及び検出に必要な系統電圧信号を変電設備の計器用変圧器（以下 PT と称す）、又はコンデンサ形計器用変圧器（以下 PD と称す）から非接触で取り出せるよう工夫し、PD（PT）の機能に万一にも損傷を与えないように配慮している。主な特長を次に示す。

- 1) 避雷器運転状態で測定できる。
- 2) 系統電圧のひずみの影響を受けない。
- 3) 系統電圧信号は非接触で検出する。
- 4) 校正機能を内蔵している。
- 5) 取扱操作が簡単である。
- 6) 小形軽量である。

## 3. 原理

### 3.1 酸化亜鉛素子の特性

ZnO 素子は、ZnO を主成分に微量の  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CoO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$  などの添加物からなる高温焼成体である。微細構造は  $1\sim10\ \Omega\cdot\text{cm}$  の比抵抗をもつ ZnO 粒子と、 $10^{10}\ \Omega\cdot\text{cm}$  以上の比抵抗をもつ高抵抗層からなり、後者が電圧一電流特性の非直線性を示す。更に ZnO 素子の比誘電率は、1,000 程度ありセラミックコンデンサ なみの静電容量を

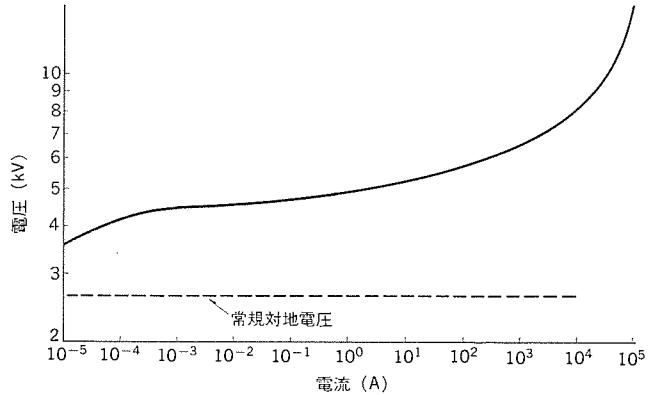


図 1. 酸化亜鉛素子の電圧-電流特性 (50  $\mu\text{F}$  用素子)

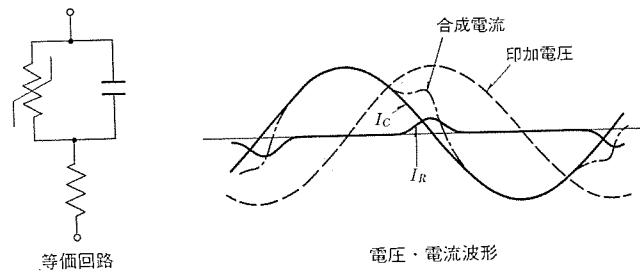


図 2. ZnO 素子の等価回路と電圧電流波形

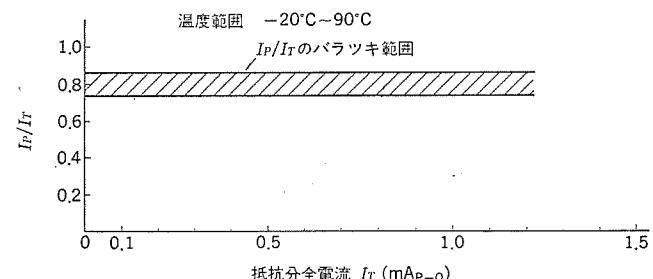


図 3. 抵抗分電流における全電流と商用周波数成分の比率

有している。

図 1. に ZnO 素子の電圧-電流特性を示す。

図 2. には ZnO 素子の等価回路と電圧-電流波形を示す。

ZnO 素子の初期の抵抗分電流は、前述のように常規使用状態では数  $\mu\text{A}$ ～数十  $\mu\text{A}$  程度である。しかし、長期間の課電や苛酷な動作などから ZnO 素子の非直線性が徐々に変化することが考えられ、この場合抵抗分電流は増加する。電流が増加すれば発熱を伴い、この温度上昇によって更に電流が増加するという悪循環を繰り返し、最悪の場合熱暴走にいたることがありうる。しかしながら通常の状態では、非直線特性の変化による抵抗分電流の増分は微少で、商用周波電圧に重畠する高調波電圧による容量性電流の増分の方が一般に大きい。

商用周波数成分の電流波高値 ( $I_P$ ) は、図 3. に示すように、抵抗分全電流波高値 ( $I_T$ ) との比率が次の各項、すなわち、

- (1) 常規使用の温度範囲 ( $-20\sim90^\circ\text{C}$ ) におけるあらゆる温度。
- (2) 使用可能な範囲におけるあらゆる特性変化。

において常に一定となる特性を有している。

なお、図 3. における横軸は一定電圧印加において、ZnO 素子特性の変化によって増加する全抵抗分電流波高値を示している。

### 3.2 方式

抵抗分電流を検出するには、避雷器合成電流から容量分電流をキャンセルすればよい。その方式には、

- (1) 充電電流除去方式

合成電流と容量分電流との差をとり、瞬時値で容量分電流をキャンセルする。

- (2) 同期整流方式

合成電流を印加電圧位相で整流し、平均値として容量分電流をキャンセルする。

等があり、印加電圧波形にひずみがあると容量分電流は、その高調波に応じて次数倍されるので、微小な抵抗分電流は容量分電流にうずもれてしまう。そのため、わずかな容量分電流の測定誤差が抵抗分電流測定の大きな誤差要因となる。したがって、いずれの方式においても容量分電流を求めるために、正確な印加電圧情報が必要となる。すなわち充電電流除去方式では、抵抗分電流の周波数成分をカバーできるように 1 kHz 程度まで忠実な印加電圧波形が必要であり、変電設備の PT 出力を利用すべきであり、同期整流方式では印加電圧の商用周波数位相情報を必要となるので、変電設備の PD、又は PT から信号波形を得る必要がある。

両方式について開発したが、測定精度上差異がない結果が得られた。ここでは、電圧信号として、PD 及び PT のいずれをも適用できはん(汎)用性のある同期整流方式について述べる。

### 3.3 電圧検出

電圧情報として変電設備の PD(PT) を使うため、その重要性を考え、非接触による検出方式を開発した。原理的には、PD(PT) の 2 次側で絶縁性能の優れた絶縁物を介して電極を設け、この電極と 2 次側電線間との静電容量で結合し、電圧を検出するものである。PD(PT) と避雷器との設置位置は離れているため、電圧検出部(電

圧プローブ) で低インピーダンスの電圧信号に変換し、ケーブルで本体検出器に送る。

### 3.4 動作

避雷器を流れる電流は、図 2. に示す等価回路からわかるように、容量分電流 ( $I_C$ ) と抵抗分電流 ( $I_R$ ) の合成であるが、抵抗分電流は図 1. に示すようにその非直線性のため、商用周波数である基本波成分と高次の高調波成分との合成から成っている。避雷器の非直線性が変化すると、抵抗分電流が増加するが、図 3. に示すように抵抗分電流に占める基本波成分の比率は、ほぼ一定であるため抵抗分電流の基本波成分を検出すれば、抵抗分電流を測定することができる。したがって、避雷器電流をバンドパスフィルタを通して基本波成分にした後、避雷器印加電圧の位相で同期整流して平均値をとることで、容量分電流がキャンセルされ抵抗分電流の測定が可能となる。このようにすることで、避雷器印加電圧のひずみの影響を除去することができる。また、避雷器印加電圧信号としては、その基本波成分の位相情報だけが必要で、PT はもちろんのこと共振特性を持った PD も利用できる。

図 4. に本器のブロック図を示す。避雷器の接地端子と接地線との間にそう(挿)入された検出抵抗により、避雷器を流れる電流を電圧に変換し、商用周波数を通すバンドパスフィルタで基本波成分を取り出す。一方、避雷器印加電圧信号は、PD(PT) の 2 次側に絶縁性能の優れた絶縁電線を設け、この電線を電圧プローブではさむことにより、微分波形として検出する。検出された微分波形を積分回路で積分して、もとの電圧波形にした後、バンドパスフィルタで基本波成分にし、波形整形回路で矩形波にする。この矩形波で前述の基本波成分の合成電流を同期整流、ろ波し、直流電圧に交換後、増幅して指示計に指示する。

図 5. に各部の波形を示す。抵抗分電流の増加とともに避雷器電流の位相が遅れてくるため、同期整流出力の平均値が大きくなる。

本器には、内部の位相誤差を補償する校正機能があり、使用前に校正を行うことで安定した性能が得られる。また、普通 3 相系統で

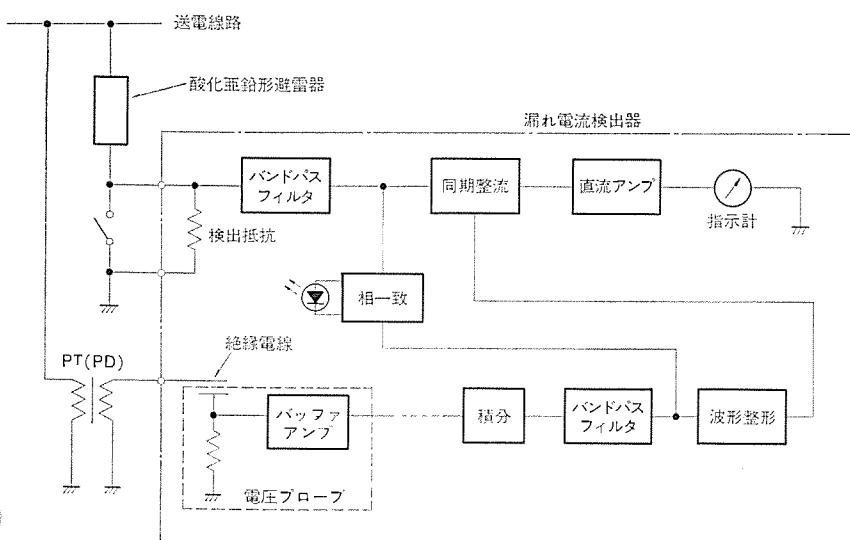


図 4. ブロック図

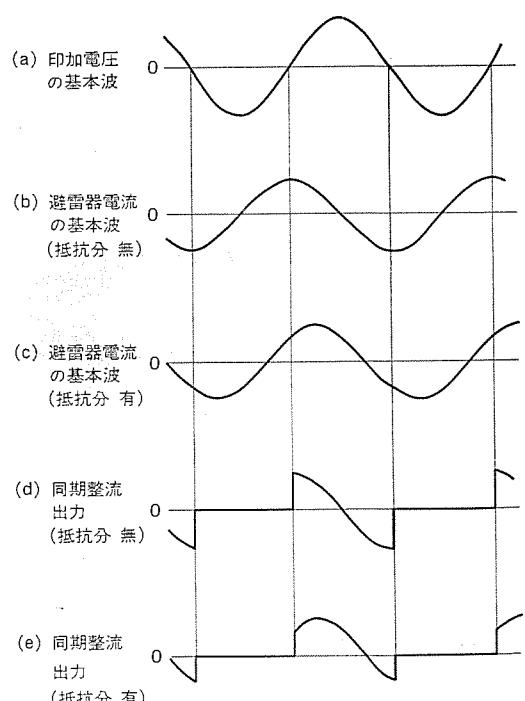


図 5. 各部の波形

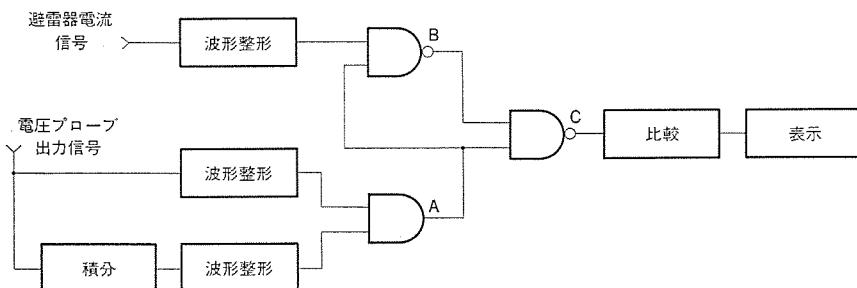


図 6. 相一致回路

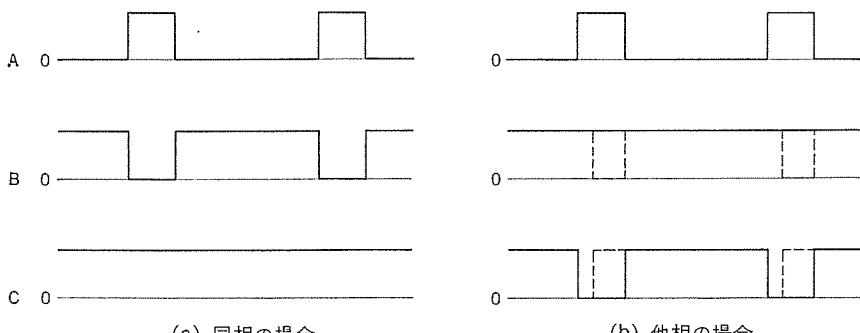
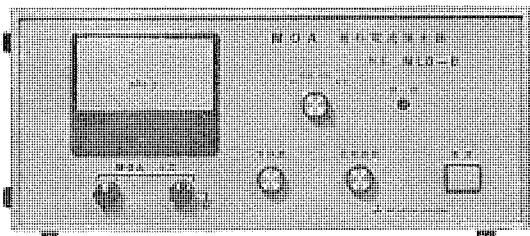
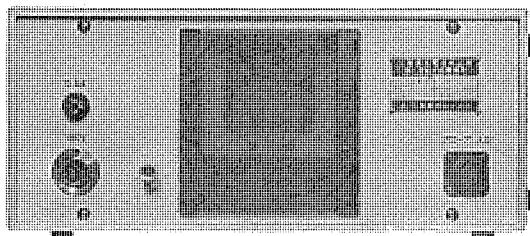


図 7. タイムチャート



(a) 正面



(b) 背面

図 8. 酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器

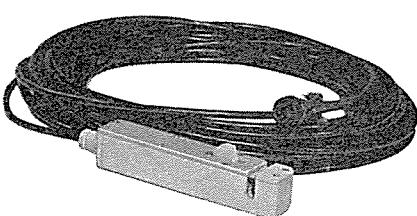


図 9. 電圧プローブ

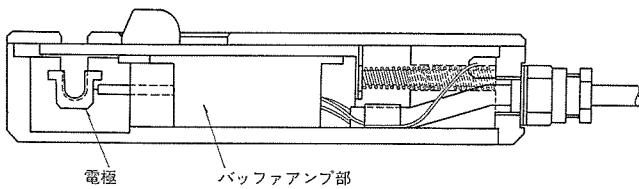


図 10. 電圧プローブの構造

使用されるため、電圧プローブ出力と避雷器印加電圧との相が一致しているかを相一致回路で検出し、一致している場合、ランプ表示する機能を持っており、誤って他相のPD(PT)出力を検出することを防止している。この相一致回路は、図6.に示すように電圧プローブ出力、及びその積分出力をそれぞれ矩形波に整形し、これらのAND出力(A)と避雷器電流信号を波形整形した矩形波とのNAND出力(B)、更にNAND出力(C)により、比較回路で判別し表示するものである。図7.に示すタイムチャートのように相が一致している場合は、抵抗分電流の大小に関係なく、一定の電圧が出る。また、相が誤っている場合は、抵抗分電流の大小により30°～90°分のパルスが出る。このように抵抗分電流の大小にかかわらず、確実な動作を行う。

#### 4. 構 造

図8.は同期整流方式酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器の本体外観を、図9.は電圧プローブの外観を示す。図10.は、電圧プローブの構造で絶縁電線を簡単にはさむことができる。

#### 5. 特 性

##### 5.1 フィルタ特性

印加電圧のひずみを除去するため、避雷器電流、印加電圧信号をそれぞれフィルタにより基本波成分にする。50 Hz, 60 Hz共用化するため、図11.に示すように低域カット周波数が40 Hz、高域カット周波数が70 Hzのバンドパスフィルタを採用した。

##### 5.2 相一致表示特性

避雷器電流の抵抗分電流と容量分電流の種々の比率関係における動作状態を検証した。その結果を表1.に示す。

##### 5.3 温度、湿度特性

###### (1) 電圧プローブの位相特性

印加電圧信号は、微分波形として検出するため、その位相は90°進む。検出電極の周りにはカード電極を設け、表面リーキの影響を除去

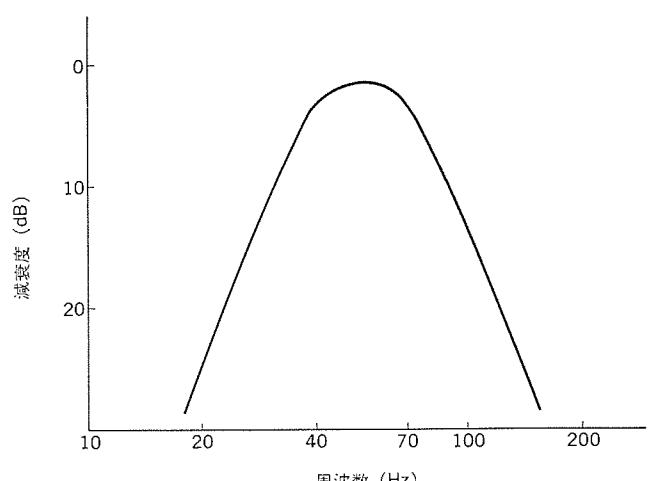


図 11. フィルタ特性

表 1. 相一致表示特性

避雷器電流と印加電圧との相関係	抵抗分、容量分電流の割合(%)		相一致表示
	抵抗分電流	容量分電流	
同相	0	100	点灯
	100	0	点灯
他相 (+120°)	0	100	消灯
	100	0	消灯
他相 (-120°)	0	100	消灯
	100	0	消灯

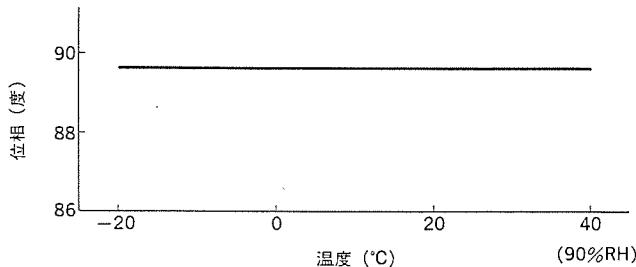


図 12. 電圧プローブの位相特性

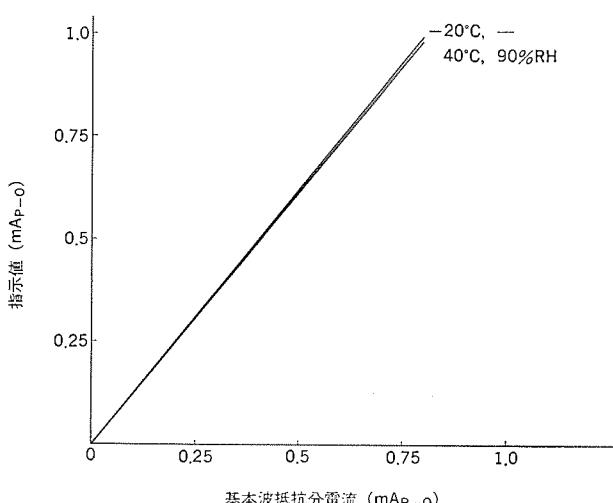


図 13. 総合特性

している。図 12. に示すように位相特性は良好である。

## (2) 総合特性

電圧プローブを含めた総合特性である抵抗分電流の基本波成分と指示値の関係を図 13. に示す。温度、湿度変化による変動分は 2 % 以下と良好な結果である。

## 6. 仕様

(1) 方式	同期整流方式
(2) 測定対象	酸化亜鉛形避雷器の抵抗分電流
(3) 測定レンジ	1 mA <sub>P-0</sub> フルスケール
(4) 検出感度	10 μA <sub>P-0</sub>
(5) 精度	10%
(6) 出力	指示計
(7) 電源	AC100 V (200 V) ±10% 50/60 Hz 20VA
(8) 使用条件	温度: -20°C ~ 40°C 湿度: 90% RH 以下
(9) 外形寸法	350(幅) × 280(奥行) × 150(高さ) (mm)
(10) 重量	約 15 kg (付属品を含む。)

## 7. むすび

酸化亜鉛形避雷器は、直列ギャップが無いシリッドステートタイプの理想的な避雷器で保護特性、耐汚損性能や多重雷処理能力に優れ、しかも小型・軽量化が図れるなどの特長を有していることから、今後ますます使用量が増加し、避雷器の主流は酸化亜鉛形避雷器に変りつつある。このような酸化亜鉛形避雷器の優れた特性を維持していくための保守点検手段として、避雷器の抵抗分漏れ電流変化を簡便にしかも精度よく測定できる避雷器用漏れ電流検出器が開発・製品化され、既に実フィールドで有効に使用されており、保守点検技術の向上に寄与している。

今後の課題としては、電気所の保守点検システムの合理化に関する一環として、避雷器漏れ電流の常時監視化についても検討する必要があろう。

終わりに、本器の開発にあたって、御尽力願った関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

# 新しい常温短時間硬化接着剤と その金属構造・補強接着への適用

原賀 康介\*・山田 桂\*・榎原邦夫\*\*・服部勝利\*\*・小林 功\*\*\*

## 1. まえがき

接着剤による接合は、溶接、リベット、ねじ止めなどにはない数々の利点がある。近年の接着剤の急速な進歩と相まって、構造強度が要求される電気機器の組立てにも、接着接合が適用されるようになっている。接着接合の利点として、次の点が挙げられる。

- (1) 面接合のため、応力集中が少なく、振動、疲労に強い。
- (2) 薄板の接合が可能になり、軽量化が図れる。
- (3) 異種材料の接合ができる。
- (4) 接合ひずみ(歪)の発生が少なく、歪修正作業が軽減される。
- (5) 接合と同時に、水密性、気密性が与えられる。

現在、構造強度が要求される電気機器の接着に、一般に用いられているのは、構造用変性エポキシ系接着剤である。この接着剤は、接着強度、接着耐久性に優れた性能を有している。しかし、接着作業は、厳密に管理する必要があり、これを怠ると接着不良や接着部の信頼性の低下を生じことがある。例えば、被着材の接着前処理、2液形接着剤における計量、混合、ポットライフなどの点である。また、加熱硬化形接着剤の場合、硬化にかなりの高温を必要とすること、熱の影響を受けやすい材料の接着には不適当であること、大形の組立て物では特別の加熱設備が必要であること、常温硬化形接着剤の場合は硬化時間が長いこと、低温では十分に反応が進まないこと、などの機器製造上の問題点をもっている。

ところが、近年このようなエポキシ系接着剤のもつ接着作業上や、機器製造上の問題点を解決できる接着剤が登場している。この接着剤は、変性アクリル系接着剤、SGA (Second Generation Acrylic Adhesives)、反応形アクリル系接着剤などと呼ばれているものである。この接着剤については、既に詳しい紹介がなされている<sup>(1)~(17)</sup>。これまでの接着剤に比べて、特長的な点として次の点が挙げられる。

- (1) ラジカル反応で硬化するため、2液の混合を必要としない。このためポットライフの制限がなく接着剤のむだもない。
- (2) 被着材の表面に、油脂類が付着していても接着できる。このため、被着材の接着前処理が非常に簡単である。
- (3) 常温で5~10分で実用接着強度に達し、低温でも十分に硬化する。このため、加熱設備が不要で一貫ライン生産化ができる。
- (4) 硬化物は、可とう性に優れている。

この接着剤は、はん(汎)用接着剤としては、十分満足できる接着特性をもっている。しかし、構造用接着剤という観点からすると、構造用接着剤の必要条件である耐環境性、特に耐湿性、はく離接着強度、衝撃接着強度などが不十分である。

このため当社では、変性アクリル系接着剤を金属構造物の接着に適用できるものとするため、耐環境性、はく離接着強度、衝撃接着強度を向上させるべく検討を進めた。その結果、構造用接着剤として十分な性能を有する変性アクリル系接着剤を開発することができた。この接着剤は、既にエレベーターの壁面及び扉用パネルの補強材の接合、

電気機器収納用きょう(筐)体の組立てなどに適用され、製品性能の向上とともに、大幅な製造工程の合理化、省資源・省エネルギーなどに効果を上げている。

ここでは、新規に開発した構造用変性アクリル系接着剤の諸特性、及びエレベーター、筐体類への適用例について述べる。

## 2. 構造用変性アクリル系接着剤の開発

### 2.1 開発目標

著者らは、既存の変性アクリル系接着剤の長所を生かしながら、構造用接着剤として不足している耐環境性、はく離接着強度、衝撃接着強度などを改善すべく、新規構造用変性アクリル系接着剤の開発を行った。

変性アクリル系接着剤は、2液形接着剤である。既存のものには、2液主剤タイプとプライマー・主剤タイプの2種類がある。これらの接着作業性及び特性を十分に検討した結果、2液主剤タイプについて改良を進めることにした。2液主剤タイプの特長を次に示す。

- ・溶剤を全く含まない。
- ・接着強度のばらつきが小さい。
- ・2液の配合比の変動に対して、接着強度の変化が小さい。
- ・接着剤層が厚くても、十分に硬化する。
- ・接着部からはみ出した接着剤も十分硬化し、未反応物が残らない。
- ・塗布装置が簡単で自動化しやすい。

金属構造・補強用という見地から、電気機器における一般構造用接着剤の評価基準<sup>(18)</sup>を参考にし、開発目標を次のように定めた。

- (1) 20 kg/25 mm以上のはく離接着強度を有すること。
- (2) 30 kg·cm/cm<sup>2</sup>以上の衝撃接着強度を有すること。
- (3) 60°C 90% RH ふん(霧)囲気に60日間暴露した後に、接着強度の保持率が70%以上であること。

(4) 150°C 霧囲気に60日間暴露した後に、接着強度の保持率が70%以上であること。

(5) 亜鉛めっき鋼板、化粧鋼板へも適用できること。

以下に、新規に開発した構造用変性アクリル系接着剤の特性を示す。

### 2.2 開発接着剤の特性

この接着剤は、アクリルモノマー、ジエン系合成ゴム、有機過酸化物、還元剤、安定剤から成り、有機過酸化物と還元剤との酸化還元反応によりラジカルを発生し、ビニル重合によりアクリルモノマーが反応するものである。2液ともに、粘度は8,000 cpsで、溶剤を全く含んでいない。両液を区別できるように、一方の液(A剤)は淡青色、他方の液(B剤)は淡赤色に着色してある。

#### 2.2.1 作業性

この接着剤は、次に示すように優れた接着作業性をもっている。

- (1) 被着材表面に油が付着したまま接着しても、脱脂した場合と同等の接着強度が得られる。
- (2) A剤、B剤の配合比は、1:1を中心として、2:1から1:2

まで変化しても接着強度の変化が少ない。

(3) 2液を別々に両被着材に塗布してはり合わせた場合、接着剤層の厚さが0.5mm以下なら完全硬化し、両液を混合して接着した場合と同じ接着強度が得られる。

(4) 硬化時間は、図1に示したように25°Cでは、実用強度に達するまで約10分、完全硬化まで約20分である。低温硬化性も優れ、5°Cでも約15分後には実用強度に達する。

## 2.2.2 接着強度

図2に、開発接着剤のはく離接着強度と衝撃接着強度を既存の2液主剤タイプ、プライマー・主剤タイプの変性アクリル系接着剤、及び構造用変性エポキシ系接着剤と比較して示した。構造用変性エポキシ系接着剤は、航空機構造用接着剤の規格であるアメリカ連邦規格 MMM-A-132のType Iに適合する1液加熱硬化形のものを使用した。

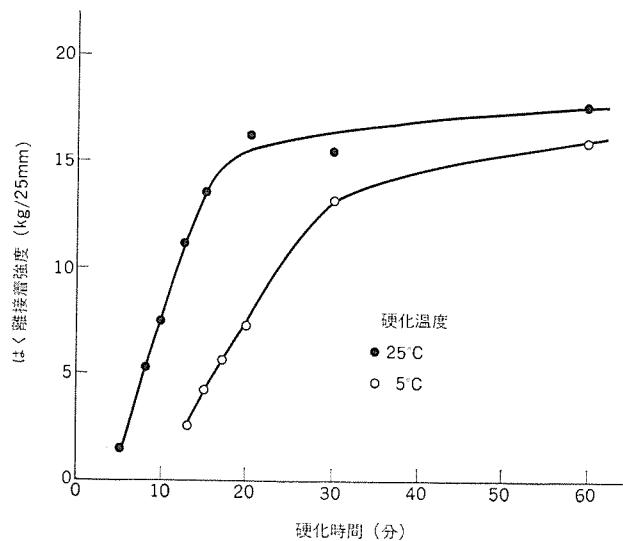


図1. 開発接着剤の硬化時間と接着強度の関係

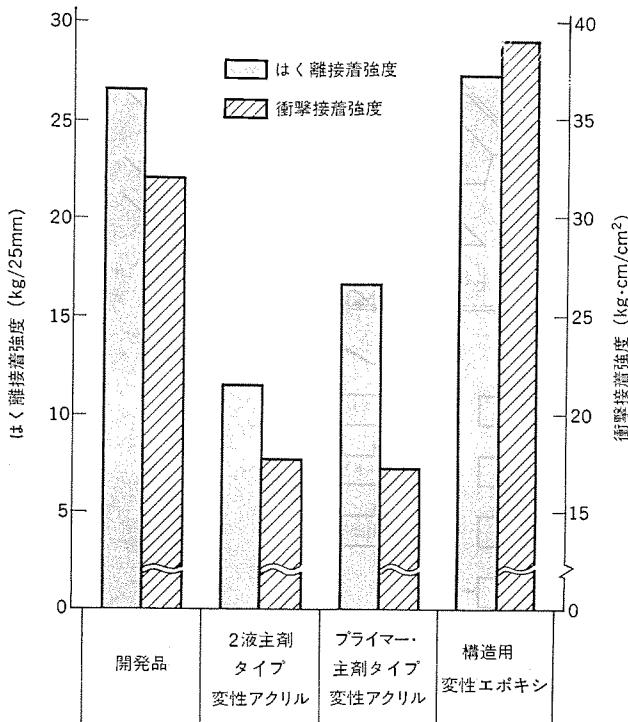


図2. 開発接着剤と既存品との接着強度の比較

被着材は軟鋼板である。はく離接着強度はISO-4578(浮動ローラ法)、衝撃接着強度はJIS K 6855に従い測定した。図2より、開発品のはく離接着強度、衝撃接着強度は、既存の変性アクリル系接着剤に比べ非常に向上し、開発目標値を上まわり構造用変性エポキシ系接着剤に近い性能をもっていることがわかる。

表1. 開発接着剤の各種被着材に対する接着性能

被着材	はく離接着強度 (kg/25mm)	引張せん断接着強度 (kg/cm²)
軟鋼板	26.5	133
亜鉛めっき鋼板	21.8	134
塩ビ化粧鋼板(裏面)	20.4	—
カラーレーザー鋼板	15.8(注)	—

注 塗料と下地金属間ではがれ

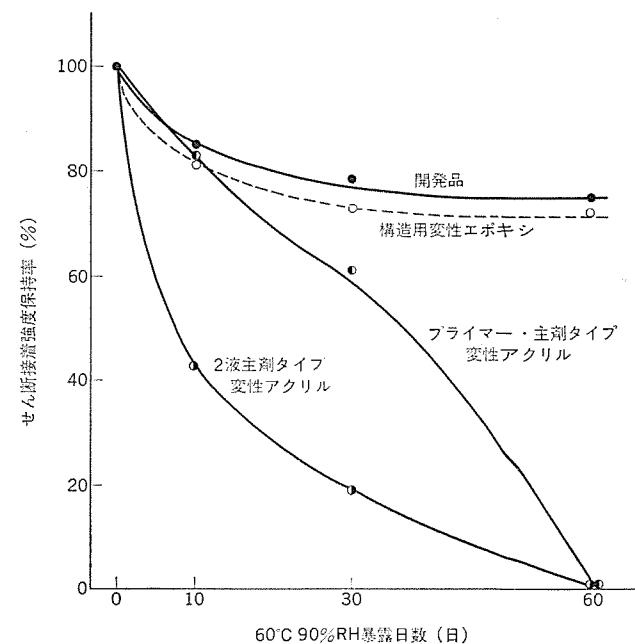


図3. 開発接着剤と既存品との耐湿性の比較

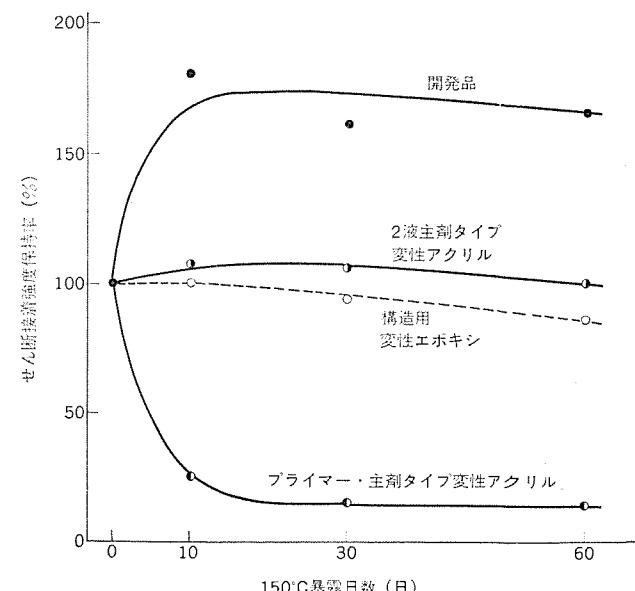


図4. 開発接着剤と既存品との耐熱性の比較

表 1. には、各種被着材に対する開発接着剤の接着性能を示した。亜鉛めっき鋼板や、化粧鋼板に対しても優れた接着性を有することがわかる。引張せん断強度は、ASTM D 1002 に従い測定した。

### 2.2.3 耐環境性

図 3., 図 4. IC, 開発接着剤の耐湿性、耐熱性を、既存の変性アクリル系接着剤及び構造用変性エポキシ系接着剤と比較して示した。接着強度は、環境暴露後 25°C で測定した。被着材は、軟鋼板である。図 3. より開発品の耐湿性は、既存の変性アクリル系接着剤に比べ非常に向上し、開発目標値を満足し構造用変性エポキシ系接着剤と同等以上の性能を有することがわかる。また、図 4. より、耐熱性も全く問題ないことがわかる。

### 3. エレベーターへの適用

#### 3.1 新しいエレベーターパネル開発の経緯

エレベーターの壁面及び扉の意匠面は、メラミン化粧板仕上げ、塗装仕上げ、フィルムはり仕上げ、ステンレス仕上げなどが行われている。中でもメラミン化粧板仕上げのものが最も多い。ところが、近年ビルディングのインテリアデザインの多様化に伴いエレベーターの意匠も高級化し、高品質指向が強まってきた。

そこで、丈夫であるが平面的で硬い感触のメラミン化粧板から、なめらかでソフトな感触のレザー調や、深みのある落ちついたエンボス仕上げの木目調などの特色を持つ塩ビ化粧鋼板に変更することにより、要求の多様化にこなえることになった。更に、塩ビ化粧鋼板に変更することにより、次のような効果も得られる。意匠材(塩ビシート)と素材金属間の密着が強固なため品質が向上し、従来のメラミ

ン化粧板仕上げや、フィルムはり仕上げのもので生じた意匠材のはく離やふくれ現象をほとんどなくすことができる。メラミン化粧板の接着作業が廃止され、有機溶剤による安全衛生上の危険や公害発生要因をなくすこともできる。

一方、エレベーターの壁面及び扉用パネルは、意匠性が重視されるところからパネルの表面に歪があってはならない。また、構造体としての十分な剛性と、耐振性が必要である。そこで、図 5. に示したような補強構造と製造工程がとられてきた。図 5. は、メラミン化粧板仕上げの場合である。補強材は、マスチックシーラーとスタッドねじにより接合してある。この製造工程では、マスチックシーラーの加熱硬化や、溶接など熱のかかる工程があるため、塩ビ化粧鋼板には適用できない。また、塩ビ化粧鋼板は、意匠面に歪が生じた場合、歪修正は不可能である。そこで、補強材を常温でしかも意匠面に歪を生じさせずに接合する方法として、接着接合法を採用することになった。

#### 3.2 新しいエレベーターパネル

このような経緯により開発された新しいエレベーターパネルの構造と製造工程を図 6. に示した。補強材と塩ビ化粧鋼板の表板とは、接着剤のみで接合されている。接着剤は、新規に開発した構造用変性アクリル系接着剤を使用している。補強材は接着しやすく、しかも接着特性を最も有効に発揮できるように、金属薄板をコルゲート状に折り曲げたものを使用している。材質は亜鉛めっき鋼板である。接着工程を次に示す。まず、接着部をきれいな布でふき、A 剤と B 剤を、それぞれコルゲート状補強材と塩ビ化粧鋼板の接着部に別々に塗布する。次に両者をはり合わせ、室温で約 15 分硬化させる。硬化が完了するとパネルが完成となる。このように構造用変性アクリル系接着剤と、コルゲート状補強材とを採用したことにより、溶接歪の修正作業やマスチックシーラーの加熱硬化などが廃止され、製造工程の合理化、省エネルギー、軽量化など多くの効果が得られている。

新しいエレベーターパネルの開発においては、多くの試験を行い、その優れた性能を確認したので以下にその一部を紹介する。図 7. に、

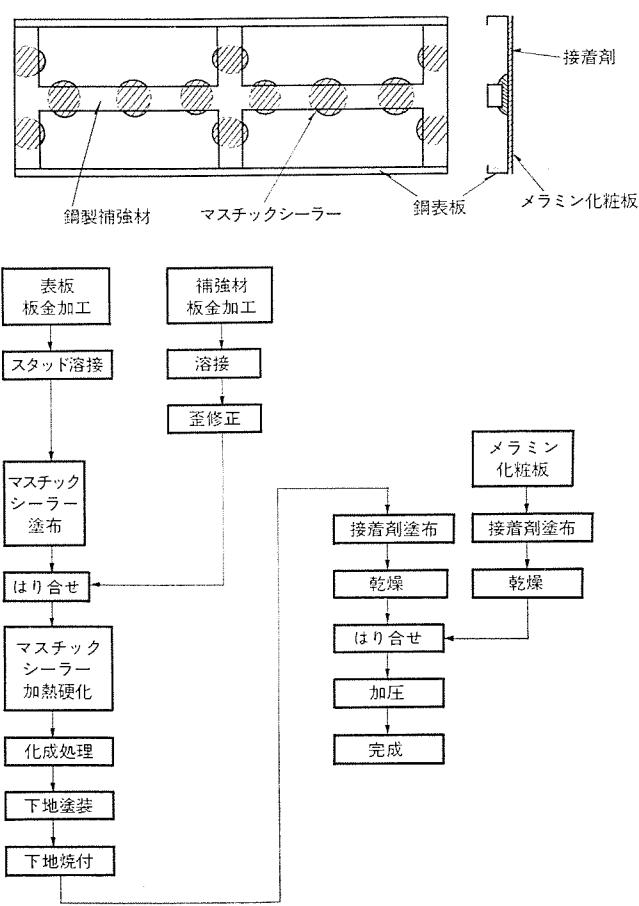


図 5. 従来のエレベーターパネルの構造と製造工程

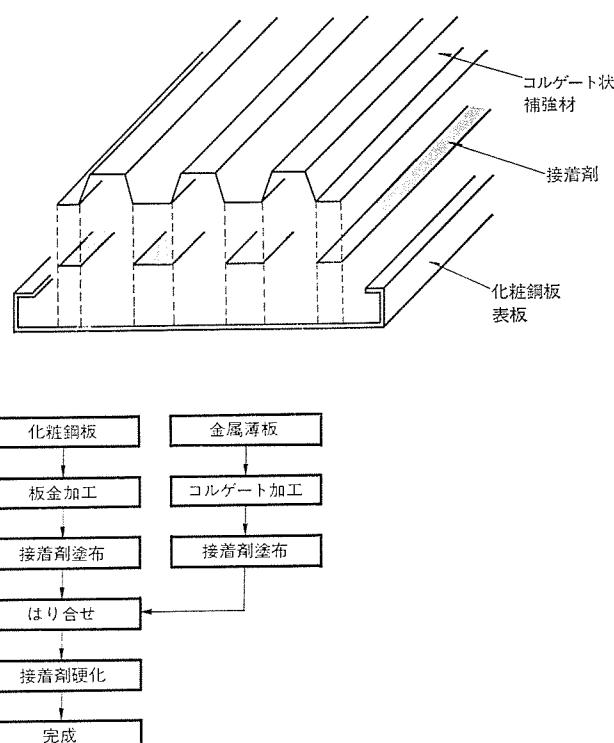


図 6. 新しいエレベーターパネルの構造と製造工程

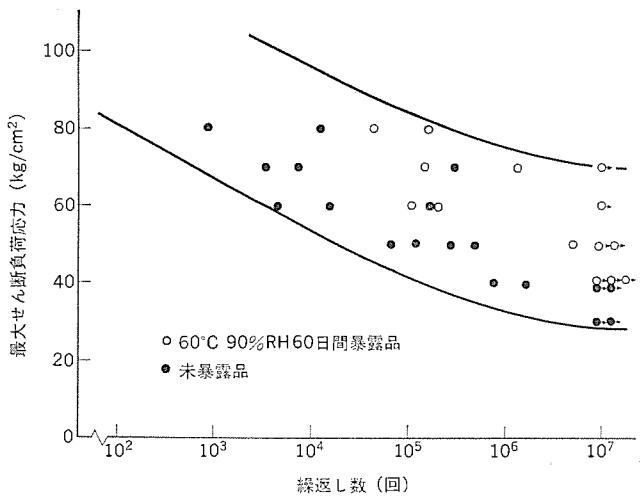


図 7. 疲労特性

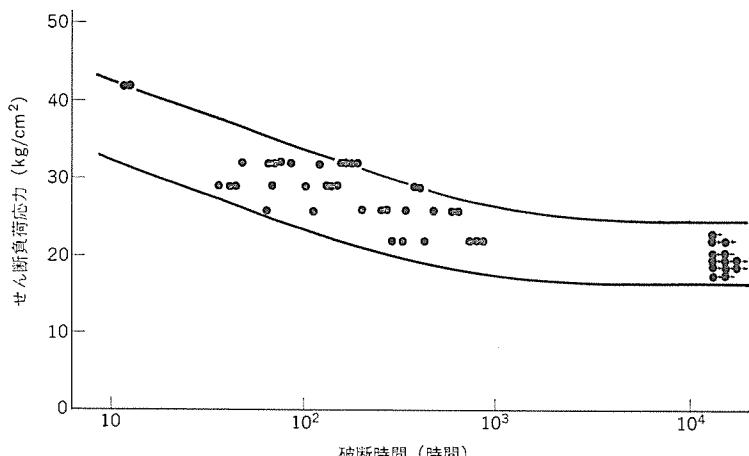


図 8. クリープ特性

表 2. 乾湿サイクル, 冷熱サイクル特性

	条件	接着強度保持率 (%)
乾湿サイクル試験	60°C 90% RH 6日間 ↓↑ 80°C 1日乾燥	はく離 103 せん断 134
	20サイクル	
冷熱サイクル試験	60°C 2時間 ↓↑ -20°C 2時間	はく離 98 せん断 108
	21サイクル	

塩ビ化粧鋼板の裏面と亜鉛めっき鋼板とを、開発接着剤で接着した試験片における疲労特性を示した。試験は、60°C 90% RH ふん(霧)囲気中に60日間暴露した後の試験片と、環境暴露を行っていない試験片とについて行った。その結果、未暴露品の場合、最大せん断荷重応力30~40 kg/cm<sup>2</sup>の繰返しでは、10<sup>7</sup>サイクルでも破壊せず、優れた疲労特性を示している。環境暴露後の試験片では、未暴露品に比べ疲労特性の低下は全くなく逆に向上し、最大せん断荷重応力40~50 kg/cm<sup>2</sup>で10<sup>7</sup>サイクルをクリアしている。図8.には、室温におけるクリープ破断試験の結果を示した。せん断荷重応力約20 kg/cm<sup>2</sup>では、1年半以上経過しても破壊せずクリープ特性も問題ないことがわかる。

表2.には、乾湿サイクル、冷熱サイクル特性を示した。この結果より、乾湿サイクル、冷熱サイクルとも全く問題ないことがわかる。エレベ

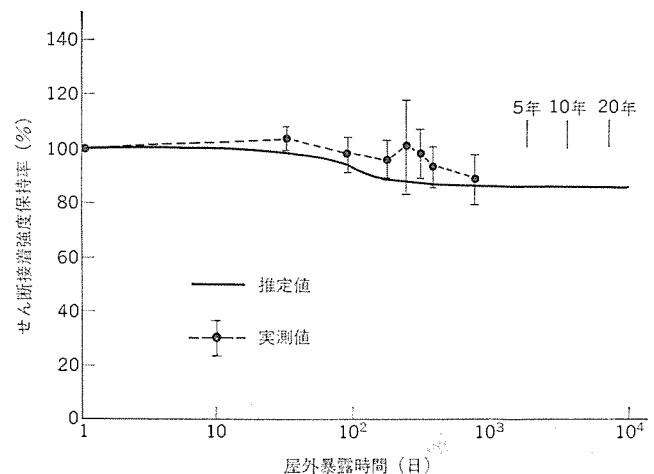


図 9. 屋外暴露における寿命推定結果

ーターの使用環境に比べ、非常にきびしい環境と考えられる屋外に暴露した場合のせん断接着強度の経時変化の推定も行った。推定の結果を図9.に示した。推定は、アレニウスの反応速度式と、湿潤一乾燥による接着強度の回復率とから実験的に行った<sup>(19)</sup>。実際に屋外暴露試験を行い、実測した値も図中に示した。推定経時変化曲線と、実測値は良く一致しており、推定の精度は高いといえる。この結果より、屋外環境に20年放置しても初期接着強度に対し14%しか強度低下せず、優れた耐環境性をもつことがわかる。この推定は、12.5 mm×25 mmの接着面積の試験片により行ったものである。

接着部の耐湿性は、接着面積と接着部外周の長さにより変化する<sup>(20)</sup>。この点を考慮し、製品では耐湿性が非常に優れたものとなるように、接着部の寸法を試験片に比べ十分大きく設計してある。このため製品の耐環境性は、図9.の値より更に良好なものと考えられる。また、製品パネルについては、荷重と歪量の関係を測定する剛性試験、破壊試験、振動、共振試験などを行った。更に、実際のエレベーターに組立て、動作状態における寿命試験、振動、共振試験なども行った。その結果、いずれの機能評価試験においても、従来構造以上の性能であることが確認されている。

#### 4. 筐体組立てへの適用

電気機器収納用筐体は、従来、スポット溶接、溶融溶接、ボルト、リベット等により組立てられていた。防水性、気密性を必要とする場合は、組立て後、溶融溶接又はシール剤により、シールされていた。溶接により組立てやシールを行うと熱歪が生じる。このため、歪修正作業が必要である。スポット溶接、ボルトなどで薄板の接合を行うと、激しい振動がかかる場合、応力集中により、疲労破壊をおこすことがある。このため、薄板化が困難であった。接着接合により、筐体の組立てを行うことにより、これらの問題点を解決できる可能性がある。ところが筐体は、大きな荷重や、激しい振動、衝撃などが加わる状態で使用されることが多いため、筐体組立て用接着剤は非常に優れた性能が必要である。加熱硬化形の変性エポキシ系接着剤は、筐体組立て用として十分な性能を有するが、筐体の大きさはさまざまであり、大形筐体では、特別な加熱設備が必要である。このため筐体組立てに、接着接合を広く採用することは困難であった。

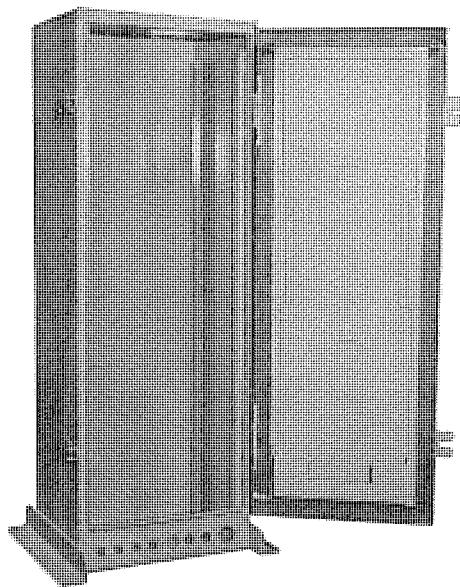


図 10. 接着防水筐体の 1 例

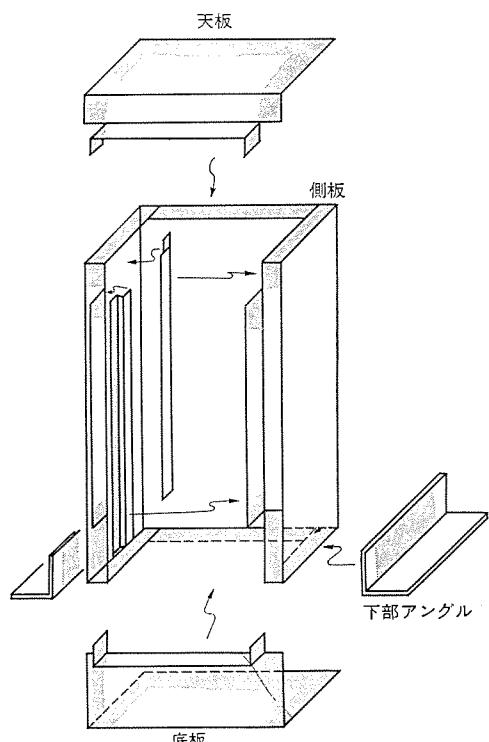


図 11. 接着防水筐体組立て図

新規に開発した構造用変性アクリル系接着剤を適用することにより、筐体の組立てを、容易に行うことが可能となった。図 10. に、開発接着剤により組立てた接着防水筐体の 1 例を示した。この筐体は、屋外で激しい振動のかかる状態で使用されるものである。機器装着後の重量は、約 75 kg である。図 11. には、この筐体の組立て図を示した。図中、黒く示した部分が接着部である。このほか、扉裏面の補強材も接着接合されている。この接着防水筐体について、

振動試験、共振試験、防水試験、各種強度試験、屋外暴露試験などをを行い、機能評価をした。その結果、従来工法で組立てた筐体と同等の性能を有していることがわかった。構造用変性アクリル系接着剤により、筐体組立てを行うことにより次のような効果が得られた。

- (1) 接合時に歪が生じないため、歪修正作業が不要となった。
- (2) 接合と同時にシールが可能となり、シール作業が廃止された。
- (3) 接合部の応力集中が少ないため薄板化ができ、軽量化された。
- (4) 接合のために大がかりな設備が不要となった。

## 5. む す び

以上、新しく開発した構造用変性アクリル系接着剤の特性と、その適用例について紹介した。開発接着剤は、接着強度、耐久性等に関して、構造用接着剤として十分な性能をもっており、しかも作業性が極めて優れたものである。この接着剤は金属板による構造物組立てや、補強材接合などに適している。既に、エレベーターの壁面及び扉用パネルの補強材の接合、電気機器収納用筐体の組立てに適用されており、製品の性能向上、製造工程の合理化、省資源・省エネルギーなどに効果を上げている。

終わりに、接着剤の共同開発に積極的に協力していただいた電気化学工業(株)殿に対し、深く謝意を表する次第である。

(昭和 55-12-16 受付)

## 参 考 文 献

- (1) 岸郁二：第 8 回構造接着研究委員会資料（日本接着協会），（昭 51）
- (2) 原田正夫、桜井卯三郎：接着，21(1)5, (2)59 (昭 52)
- (3) 岸郁二、堀省三：日本接着協会誌，13(5), 167 (昭 52)
- (4) 岸郁二、堀省三：アルミニウム，[567] 7 (昭 52)
- (5) Adhes. Age, 19(9), 21 (1976)
- (6) K. H. Miska : Mater. Eng., 84(5), 40 (1976)
- (7) Prod. Eng., 48(7), 23 (1977)
- (8) B. Gould : Assem. Eng., 21(12), 24 (1978)
- (9) D. J. Zalucha : Tech. Pap. Soc. Manuf. Eng., [AD 78-975] 13 (1978)
- (10) D. J. Zalucha : Adhes. Age, 22(2), 21 (1979)
- (11) Polym. Paint Colour J., 169 [4000], 426 (1979)
- (12) 若林一民：接着，23(11), 525 (昭 54)
- (13) 若林一民：第 37 回接着セミナー要旨集（日本接着協会），p. 17 (昭 55)
- (14) J. W. Prane : Adhes. Age, 23(8), 35 (1980)
- (15) C. L. Mahoney : SAE Tech. Pap. Ser., [790151] 14 (1979)
- (16) R. W. Harries : Adhes. Age, 21(2), 19 (1978)
- (17) J. A. Graham : Mach. Des., 49(28), 183 (1977)
- (18) 原賀康介、山田祥、服部勝利：接着，24(12) (昭 55)
- (19) 原賀康介：日本接着協会誌，15(12), 568 (昭 54)
- (20) 原賀康介、児玉峯一：日本接着協会誌，16(6), 224 (昭 55)

# カラーブラウン管の新形ネック磁石

上坂達生\*・菅原 宏\*・藤村健男\*\*

## 1. まえがき

現在大部分のテレビジョン受信セットは、インライン形カラーブラウン管を用いているが、この形のカラーブラウン管ではブラウン管本体のほかに外装部品として偏向ヨークと、ピュリティ調整に用いる2極磁石とスタイルックコンバーザンス調整を行う4極及び6極磁石を一体化したC-P ASSYと呼ばれる磁石組立部品が装着されている。

この部品は、ブラウン管の組立精度をカバーして電子銃がけい(螢)光面に対して相対的に所定の位置からずれないように、また、3本の電子ビームが螢光面上の所定位置で完全に一致するようIC補正する役割を持っている。このC-P ASSYは、一般に2極、4極、6極磁石ともそれぞれ同じ磁石を2枚ずつ反対方向に重ね合せ、完全に重なった状態では磁化が打ち消し合うようにし、その2枚の開き角度を調整することにより発生する磁界の強さを、またその2枚を同時に回転させることにより磁界の向きを変えることができるようになっている。そして2極磁石によってRED、GREEN、BLUE(以下R、G、Bと略す)3色に対応した電子ビームを同じ方向に同量動かし、それぞれの電子ビームが対応する螢光体ドットに正確にあたり正しい色のみ発光させるように調整することができる(色純度あるいはピュリティ調整という)。

また、4極磁石は、ネック管の中心に位置するGの電子ビームには影響を与えることなく、RとBの電子ビームに偏向磁界を与えることができる。これでRとBを螢光面上で重ね合わせることができる。更に6極磁石はGの電子ビームには影響を与えることなく、RとBを同時に同方向に同量偏向させることができる。これによってGとR、Bを重ね合わせることが可能になる。4極磁石、6極磁石を用いて3本の電子ビームを画面中央で1点に集中させることをスタイルックコンバーザンス調整と呼ぶ。

この補正磁界を作る方法としてC-P ASSYの発生磁界と同じ磁界を発生するようにすれば効果は同じはずである。例えば、シート状の磁石をブラウン管のネック部分に巻きつけ、それを個々のブラウン管の特性に応じて着磁すれば電子軌道の補正を行うことができる<sup>(1)</sup>。このようにするとこの部品自身が簡単になり、かつ着磁調整の自動化がしやすくなり生産効率が高まる。またシート状磁石装着後のブラウン管の形は、よりスマートで扱いやすくなるなどのメリットがある。

ここでは、かかる着眼によるネック磁石を必要分布に着磁する手段、及び実際の製作例について述べる。

## 2. 補正磁界の構成

C-P ASSYの2極、4極、6極磁石のその内面における発生磁束密度の分布は、次式によって近似的に表示することができる。

$$B_2 = A_2 \sin(\theta + \alpha_2)$$

$$B_4 = A_4 \sin(2\theta + \alpha_4)$$

$$B_6 = A_6 \sin(3\theta + \alpha_6)$$

ここで、 $\theta$ はネック部の円周に沿って測った角度である。 $B$ と $\theta$ との関係を図1に示す。 $A_2$ 、 $A_4$ 、 $A_6$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_4$ 、 $\alpha_6$ は、各成分磁石の発生する磁束密度の振幅とずれ角(すなわち、C-P ASSYの2極、4極、6極の永久磁石対における開き角度と回転角度)を表す。これら3つの永久磁石対による磁束を合成した磁束密度分布 $B(\theta)$ は次式で示される。

$$B(\theta) = B_2 + B_4 + B_6 = A_2 \sin(\theta + \alpha_2) + A_4 \sin(2\theta + \alpha_4) + A_6 \sin(3\theta + \alpha_6)$$

この合成磁束密度分布の1例を図2に示す。 $B(\theta)$ は永久磁石の内面上における値であるが、これによって、R、B、G電子ビームに加わる磁界が定まる。したがって、2、4、6極の各成分磁石の代りに合成された磁束分布 $B$ を発生するよう着磁した磁石を置いても同じ効果が得られる。すなわち、最適補正磁界を構成する合成磁束密度分布 $B$ を何らかの方法で算出できれば未着磁状態のテーブ磁

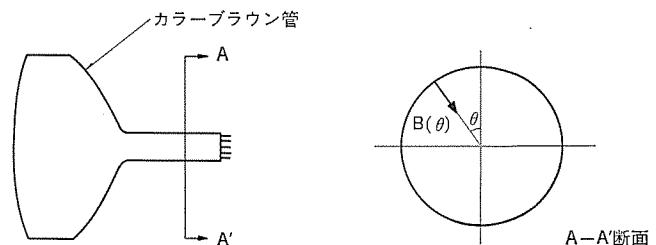


図1.  $B(\theta)$  -  $\theta$  関係図

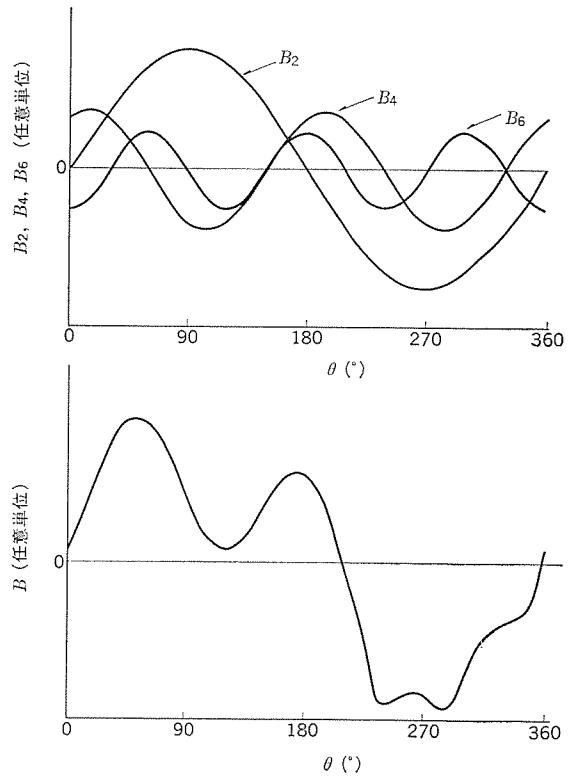


図2. 合成磁束密度分布の1例

石をあらかじめこの位置に置いておき  $B$  に合うようにこれを着磁することでこれを置き換えることが可能になる。前式には  $A_2$ ,  $A_4$ ,  $A_6$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_4$ ,  $\alpha_6$  の 6 個の未知数が含まれており、一方この着磁により偏向を受ける電子ビームの螢光面の位置座標上での着陸点  $R(x_R, y_R)$ ,  $G(x_G, y_G)$ ,  $B(x_B, y_B)$  と画面の中心点  $(x_0, y_0)$  との差から 6 個の測定値が得られるので原理的には  $R$ ,  $G$ ,  $B$  の着陸点の位置を測定すれば 6 元の連立方程式の解としてすべての未知数が決定できるはずである。実際にはこの  $R$ ,  $G$ ,  $B$  の着陸点を画面の中心にもってくるのはなく、画面の中心部で(ビューティがとれるように)各電子ビームが対応する螢光体に正しく射突しなければならないことと、また  $R$ ,  $G$ ,  $B$  の重なり具合も  $R$ ,  $G$ ,  $B$  各螢光体ドットの配置との関係において、重なっていなければならぬので補正磁界による軌道変更の精度はかなりのものを要求されているのであるが、前式を始めとして着磁パターンなどもすべて近似であるので原理通りにやっても 1 度で必要とされる精度を達成するのは一般には無理である。したがって、数度の試行で近似の程度を高めてゆき必要精度まで達するのがよい方法と考えられる。

### 3. 着磁方法及びシート磁石

着磁装置のシステム図を図3.に、また着磁ヘッド周りの説明図を図4.に示す。ブラウン管ネック部のC-P ASSYがついていた部分に、厚さ約0.75mmのシート磁石を幅約1cmで1周するように巻きつけ、このシート磁石上を誘導形リングヘッドを滑らせて周回し、ヘッド位置をコントロールするステップモータとヘッドに流す電流を《MELCOM 70》ミニコンピュータで制御して任意のパターンが着磁できるようにした。信

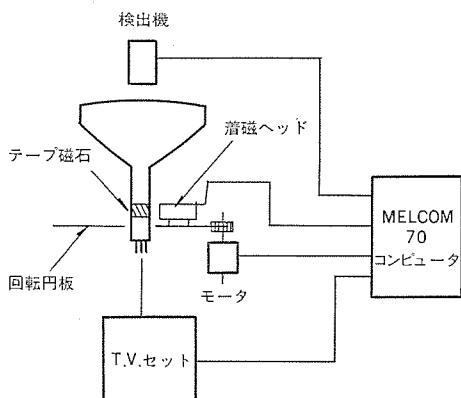


図 3. 着磁機システム図

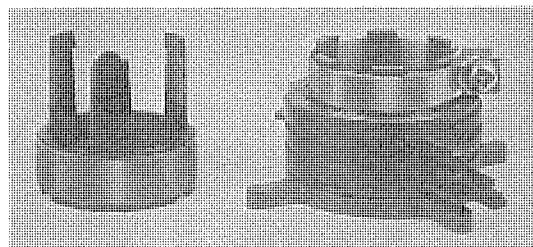


図 5. 新形 ネック 磁石 (左) と従来形 ネック 磁石 (右)

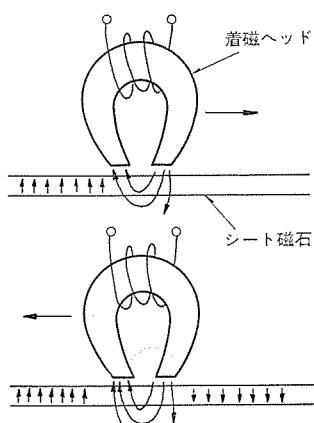


図 4. 着磁説明図

頗性面への配慮から飽和着磁でデジタル形式をとることを考えたため基本的には図4.に示すようにヘッドが正方向に回転するときにヘッドに電流を流しっぱなしにしてシート磁石全体を一方向に着磁し、次にヘッドが負方向に回転するときにヘッドに先程と同極性の電流を着磁パターンに従って断続すると電流を流してヘッドが走行した部分のみが反転する。したがって、ヘッドがネック部分の周りを1周正回転し、次に負回転してもとの位置にもどる間に計算機が指示する任意のパターンにシート磁石を着磁できる。

次に使用したシート磁石について説明する。これはバリウムフェライトとニトリルゴムから構成されており、シート面と垂直に磁気異方性が与えられている。これの残留磁束密度は、約2,200ガウス、保磁力は約2,000エルステッド程度である。形状としては、このシート磁石は従来のC-P ASSYよりもはるかに小さくなるが発生磁界強度は十分あり、信頼性については考え得るあらゆる条件下でC-P ASSYより優れていることを確認した。

ただし、実施例では、実際にはネック管の太さがかなりばらつくための調整精度と、取付けの問題を吸収するために、図5.、図6.に示すように磁石材料は樹脂で成形した一定直径の簡単なハウジングに取付け、ハウジングをネック部にテープでとめる方法を用いた。

#### 4. ディジタル化の方法とずれ量の測定

図 3. に示したような着磁システムで、例えば図 2. に示した  $B$  のようなパターンにシート磁石を着磁したい場合、前節に述べた着磁方式では図 2. のリニアなパターンを何らかの方法でデジタル化しなければならない。デジタル形式で着磁すること、すなわちシート全面にわたって中間的な着磁状態がなく、各点がいずれも正か負かに飽和着磁されていることは永久磁石の本来の性質からも望ましいことである。ここでは、最も基本的なデジタル化の手法を試みた。まず、シートの厚さや着磁ヘッドの形状によって決まる着磁分解能からネック管の周りのシート 1 周分を 200 個の磁石セルに分割し、更に 10 個の磁石セルをまとめて 1 個のリニア値を着

デジタル表示	リニア値
↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑	1.0
↑↑↑↑↓↑↑↑↑↑↑↑↑	0.8
↑↑↓↑↑↑↓↑↑↓↑↑↑	0.6
↑↓↑↑↑↓↑↑↑↓↑↑↑	0.4
↓↑↑↑↓↑↑↑↓↑↑↑↓	0.2
↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓	0
↑↓↓↑↓↓↓↑↓↓↓↑	-0.2
↓↑↓↓↑↓↑↓↓↑↓↓	-0.4
↓↓↑↓↓↓↑↓↓↑↓↓	-0.6
↓↓↓↓↑↓↓↓↑↓↓↓	-0.8
↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓↓	-1.0

図 7. 10 ビットデジタル化着磁パターン

磁するようにした。したがって、1周では20個のリニア値が着磁できるわけで、図2のθ軸を20等分区画に分割して、それぞれその区画の中のBの値をサンプルして、そのサンプル値を10個の磁石セル（すなわち10ビット）で図7のように表現した（近似が入る）。すなわち、まずもとのR, G, Bの位置ずれ量を測り、これから適当な方法により最適着磁パターンと考えられる図2のBに相当するパターンをコンピュータの中で作りあげる。これを20分割してそのBの値から図7に相当するデジタル化を行い200個の磁石セルにそれぞれ相当した（すなわち200ビットの）デジタル着磁パターンを作り上げる。これを次にシート磁石に着磁するには、まず着磁ヘッドをネック管の周りに1回転正方向に回し、このとき、シート全面にわたって負方向の着磁を行ってクリアし、次に負方向に1回転させて元の位置にヘッドをもどすまでに先程コンピュータの中に作った200ビットのデジタル着磁パターンを、着磁ヘッドを通じて磁石シートにつきつぎと書込むと図2のBに相当する波形に着磁できたことになる。

一般にピュリティよりもコンバーゼンスの方が問題が多いので後者について述べることとして、それの測定方法について簡単に説明する。詳細は引用文献(2), (3)に述べているが、原理的には、ブラウン管画面中央に4分割した光電検出器を設置し、光点の像を4分割面に結像させ、光点を外部からの位置信号によって動かし、4分割面の中心に光点の像が結像するように制御することにより光点の位置を検出するものである。位置ずれ量の測定は、3色同時に測定することは不可能でR, G, Bそれぞれについて単色で順番に測定を行う。

## 5. 着磁実験

前節までに述べたような考え方をもとにブラウン管の調整を実行した結果を図8に示す。コンバーゼンスはほとんどのブラウン管において最初のずれ量が数mm～10mmのものが1回目の試行で1mm以内になり、3回目の試行ぐらいで0.3mm以内になり実用に十分な精度に達することが確かめられた。更に試行回数が増せば着磁分解能及び色ずれ量測定器の限界まで数回で達してしまう。1回の試行に要する時間は今回の場合は数秒にした。この方法でより精度の高い（すなわちより高品質の）ブラウン管をより効率よく作り上げるために今後解決すべき問題は次の2つに集約できると考えられる。

### (1) 着磁端の問題

デジタル方式とリングヘッドによる着磁は、ヘッドが一様な速度で走行している途中部分については、コンピュータからの着磁パターンに対してかなり忠実に着磁しているが、最後にヘッドが止まったところ、すなわち着磁最終端では着磁がやや乱れる。もちろんこの乱れに相当する量はあらかじめ知ることができるので、この乱れを打消すパターンをシート磁石全体に重ねて着磁すればよいわけであるが、着磁方法でこの乱れをなくすことができれば更によい。

### (2) 試行回数の問題

これは、一言でいえばコンピュータのプログラムの問題である。よくできたプログラムでは、ほとんどのブラウン管について2回程度の試行で0.3mm以下まで収斂させることができると考えられる。今

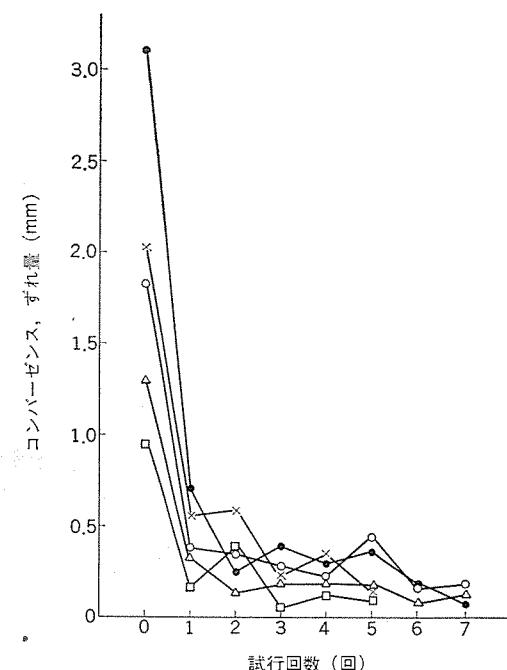


図8. 試行回数とコンバーゼンスずれ量

回の報告では、いったんリニアな着磁パターンを作り、しかるのちこれをデジタルなパターンに変えたが、このような解析的な方法も有効な手段である。一方、最初からデジタルパターンを得る問題としてとらえ、要は200ビットの論理変数とR, G, B3本の電子線の着陸点の位置の問題であるから $2^{200}$ 通りある着磁パターンの中から最も確率の高そうなパターンを選べばよい、と考えて多くのブラウン管の統計的なデータやロットごとの偏りなどを基本に考えてもよいわけで、恐らく上の解析的な方法と統計的な方法をませたようなプログラムが、試行回数を減らすには最も有効であろうと思われる。

## 6. むすび

垂直磁気異方性形シート状ゴム磁石を誘導形リングヘッドを用いて着磁する方法で、ピュリティとスタティックコンバーゼンスを調整する新形のネック磁石について述べた。このネック磁石は、構造が簡単で材料費を低減でき、信頼性が高く、自動調整に適しており更にブラウン管システムが従来よりかなりスマートにできるなど、今後の方向を示唆しているものと考えている。

## 参考文献

- (1) 上坂, 菅原, 藤村: カラーブラウン管のネック磁石, テレビジョン学会技術報告会予稿, ED-478 (昭55)
- (2) 火原, 白石: カラーブラウン管の静コンバージェンス自動調整装置, テレビジョン学会全国大会予稿, 8-2 (昭53)
- (3) 火原: カラーレンズの色純度自動調整装置, テレビジョン学会全国大会予稿, 5-7 (昭54)



### 特長

- 高速処理を実現するファンクションナル・エンジン
 

《MELCOM-COSMOシリーズ》としての互換性を保ちながら、本体装置内に高速処理化のための各種ファンクションナル・エンジン(機能別高速化機構)が搭載可能。
- 最新のエレクトロニクス技術を導入
 

高集積度を誇る1チップ当たり1000ゲートのECL-LSIをはじめ、64キロピット/チップメモリなど最新のエレクトロニクス技術を採用し、本体装置の高密度化・高性能化とともに、省エネルギー・省スペース化を実現しています。また、自動運転機能をハードウェア・ソフトウェア両面から強化充実させ、省力化を図っています。
- 三菱日本語情報処理システム(三菱JS)の充実
 

日本語データ処理からイメージ処理、日本語文章処理に至る本格的日本語情報処理システムをさらに強化しています。
- 分散処理ネットワークの拡充
 

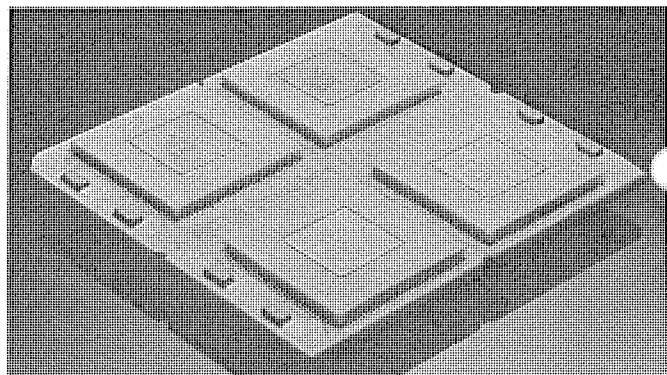
MNA(Multi-shared Network Architecture)によって、この2機種をホストコンピュータとした分散処理ネットワークを構成し、分散ホストコンピュータ、分散処理コンピュータ、端末装置群によるネットワークを柔軟に構築できます。
- エンドユーザー指向の徹底
 

情報のエントリ、問い合わせ、更新、帳票・図面作成などがエンドユーザーに簡単に見えるよう、ワークステーションシステムや、グラフィックディスプレイシステムの大幅な強化を図っています。

このたび三菱電機では、はん用コンピュータ《MELCOM-COSMOシリーズ》の新機種として、「モデル800III」と「モデル800S」の2機種を開発しました。

「モデル800III」「モデル800S」は、昭和54年2月に発売した「モデル700III」と、同年12月に発売した「モデル900II」の中間に位置するコンピュータで、機種系列の強化拡充のため、かねてより開発を進めていたものです。

この「モデル800III」「モデル800S」は、近年注目を集めている分散処理・日本語情報処理・イメージ処理への対応を一層推進するとともに、処理性能の向上を図るためにファンクションナル・エンジンや1000ゲートの論理素子(ECL-LSI)、64キロピット/チップメモリなどの最新技術を駆使した高性能コンピュータです。なおメモリ容量は、両機種ともユニプロセッサ構成で2メガバイトから8メガバイト、マルチプロセッサ構成で、4メガバイトから16メガバイトです。



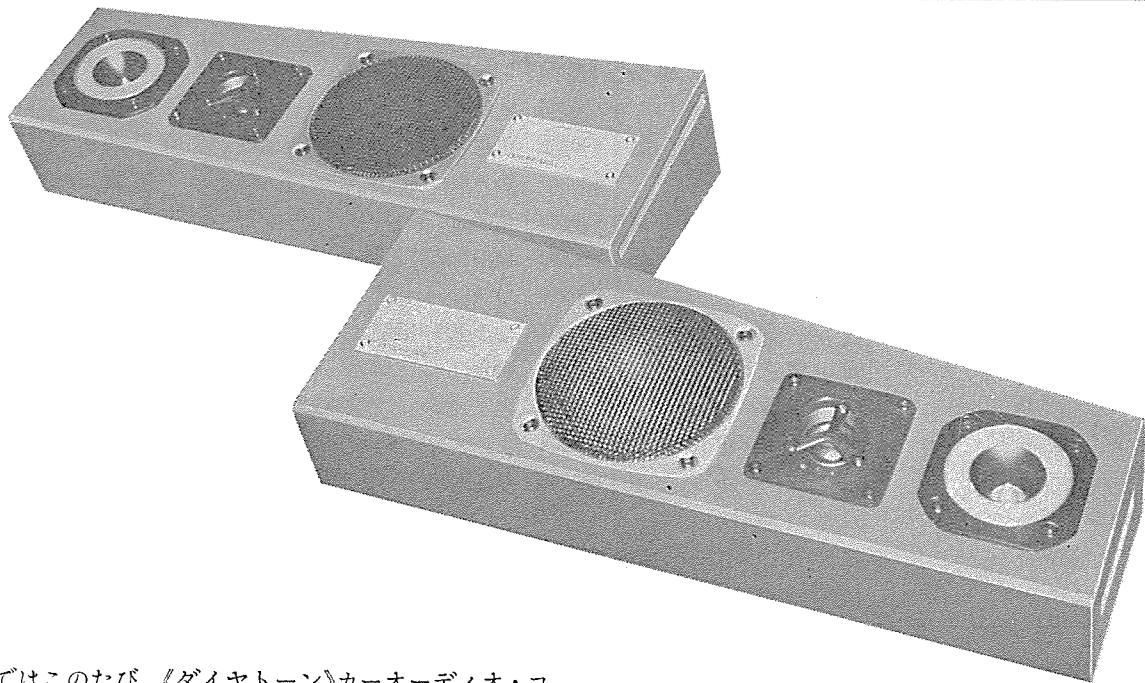
セラミックモジュール実装(ECL1000ゲートLSIを4個搭載)

### 仕様

	モデル800III	モデル800S
論理素子	ECL1000ゲートLSI	
主記憶素子	64KビットMOSメモリ	
主記憶容量	2メガバイト～8メガバイト(UP構成時) 4メガバイト～16メガバイト(MP構成時)	
高速バッファメモリ容量	8キロバイト(UP構成時) 16キロバイト(MP構成時)	
命令数	213種	
データ形式	2進、10進、浮動・論理、文字データ	
中央処理装置台数	1(UP構成)または2(MP構成)	
出入力制御	最大8入出力処理装置、10メガバイト/秒	
日本語ワークステーション	最大255台	最大128台

# スポットライト

## 《ダイヤトーン》カーオーディオ・コンポーネント マルチスピーカーシステムSX-100B形



三菱電機ではこのたび、《ダイヤトーン》カーオーディオ・コンポーネントの新製品として、3ウェイ・マルチスピーカーシステムSX-100Bを新発売しました。

昨今のカーオーディオ熱の高揚はとどまるところを知らず、従来では考えられなかったハイグレードな製品が次々に開発されています。この傾向はスピーカーシステムにおいても例外ではなく、車載という制約からくる音響性能低下への妥協がなくなりつつあります。

今回発売のマルチスピーカーシステムSX-100B形は、そのような性能向上、高級化志向の中にあって十分期待に応え、これから車載用スピーカーシステムの主流になると期待されています。

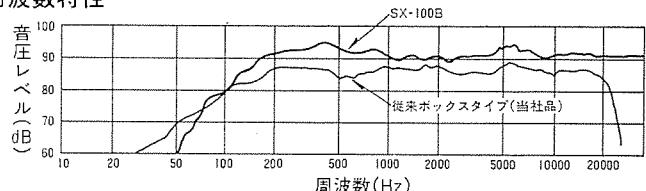
### 特長

◎形状は車のリヤトレイボードに沿った左右完全独立のシステムです。このため、従来の主流である埋込形に比べて、スピーカー同志の相互干渉がなく、特有の再生音劣化（低域のハギレの悪さ）がありません。一方、従来のボックス形システムに例外なく生じる能率低下、低域周波数特性劣化も、このシステムではエンクロージャー容積を3.4ℓ（当社従来品1.7ℓ）と十分に確保したことにより、高能率・広帯域を実現しています。取付上も、リヤトレイボードに沿わせたことにより、コンパクトとなっており、リヤ視界の妨げになることはありません。

◎ユニット構成は、13cmコーン形ウーファー、2cmドーム形スコーカー、4cmホーン形トゥイーターを使用した3ウェイ構成で、各ユニットは最大入力50Wを保証しています。さらに、それらユニットはバスレフ方式で駆動されているため、ここでも広帯域、高能率、高入力が期待でき、例えばハードロックなども余裕をもって再生できます。



### 周波数特性



### 仕様

スピーカー方式	3ウェイ3スピーカー方式、リヤトレイ据置タイプ、左右対称
使用ユニット	ウーファー：13cmコーン形、ダウンロールフリーエッジ、アルミボイスコイル使用 スコーカー：2cmハードドーム形 トゥイーター：4cmホーン形
公称インピーダンス	4Ω
再生周波数帯域	110～40,000Hz
出力音圧レベル	92dB/m
最大許容入力	50W
定格入力	25W
クロスオーバー周波数	2,500Hz及び12,000Hz (ウーファー高域、スコーカー低域 12dB/oct) (スコーカー高域、トゥイーター低域 6dB/oct)
パッフルボード、エンクロージャー	高級パーチクルボード 厚さ12mm、耐熱塗装
外形寸法	475×193×99mm
重量	3.6kg/1個
標準価格	59,800円(1ペア)

当社の登録特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
888980	誘導発熱ロール	酒井良雄・中村謙三	890241	半導体素子の冷却装置	大島征一
888981	符号伝送無線装置	太田堯久	890242	色純度調整装置	石井宏和
888982	尾端定位置停止装置	大野宣男	890243	フリップフロップ回路	鈴木修
888983	ヒートポンプ式冷暖房	岩崎善彦・上田和弘	890244	回転磁界形移相器	紅林秀都司・溝潤哲史
888984	ヒートポンプ式冷暖房装置	岩崎善彦・上田和弘	890245	断路器	河野通敏
888985	半導体式霜取り回路	藤井学・太田誠	890246	広帯域受信周波数変換装置	橋口進一
888986	冷凍装置	大門啓治	890247	動力車の制御方式	平尾新三
888987	霜取り装置	藤井学・太田誠	890248	電解加工液	志賀一郎
888988	冷却器の制御装置	富山勝巳・藤井学	890249	発振変調装置	阿部東彦
888989	冷暖房装置	上田和弘	890250	電気メキ装置	石橋幹史・利藤尚武
888990	溶接制御回路	{橘川彪・柄折攻一 瀬川博久	890251	波形歪検出回路	中西武三・林紹佳
888991	電圧制御発振器	{滑川敏彦・村田正 山下正光・中出良治	890252	放電灯	土橋理博・菅野文夫
888992	ネマチック液晶組成物	柴山恭一・小野博	890253	巻上装置の自動減速制御装置	葛西由夫
889635	走行誘導装置	六島昭治	890254	リニアモータ式車両の運転方式	赤尾公之・平尾新三
890239	糸巻歪補正装置	石井宏和・牧田秀之助	890255	半導体装置	西海宏
890240	加入者監視方式	斎藤幸夫	890256	誘導加熱装置	{日比野昌弘・伊藤利朗 岩本雅彦・野村幾子 岸本福太郎

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 55 No. 4 交通特集

特集論文

- 東北・上越新幹線向け 200 系電車用電機器
- 東北・上越新幹線向け 電変所運動システム
- 車両用大容量 3 相インバータ
- インバータによる車両用無整流子電動機駆動システム
- 路面電車用高性能な主電動機と制御装置
- 福岡市高速鉄道建設局納め事故電流波形伝送装置
- 地下鉄車両用冷房装置

普通論文

- 乗車券印刷発行機 《MELPAS-I》
- 日本郵船(株)向け 《MELCOM 70》コンテナターミナル コントロールシステム
- 住友金属工業(株)製鋼所向けエネルギー管理用 《MELCOM 350-50/A 2300》計算機制御システム
- Lバンドレトロディレクティブ アレーランテナの試作
- 大形電力機器のエアベアリングによる新しい現地搬送
- 電子ビーム露光技術
- 高速リングバスを利用した計算機ネットワークシステム

定価改正：編集諸費用の高騰により Vol. 55 No. 4 から定価改正いたしますので、御了承をお願い申し上げます。定価 1 部 500 円。

継続して購読御希望の方は、年間 (Vol. 55 No. 4 から 1 か年) 予約価 6,700 円 (送料共) を、(株)オーム社販売課へ現金書留又は郵便振替でお申し込みください。

発行所・住所・電話番号変更のお知らせ：来る 4 月 1 日より東京都千代田区丸の内 2 丁目 1 番 2 号 (〒100) Tel. (03) 218 局 2045

<p>三菱電機技報編集委員会</p> <table> <tbody> <tr><td>委員長</td><td>高木敬三</td><td>委員</td><td>柴田謙三</td></tr> <tr><td>副委員長</td><td>大谷秀雄</td><td>"</td><td>樋口昭</td></tr> <tr><td>"</td><td>横浜博</td><td>"</td><td>神谷友清</td></tr> <tr><td>常任委員</td><td>三輪進</td><td>"</td><td>立川清兵衛</td></tr> <tr><td>"</td><td>唐仁原孝之</td><td>"</td><td>中里裕臣</td></tr> <tr><td>"</td><td>増淵悦男</td><td>"</td><td>柴山恭一</td></tr> <tr><td>"</td><td>葛野信一</td><td>"</td><td>福井三郎</td></tr> <tr><td>"</td><td>三浦宏</td><td>"</td><td>杉山睦</td></tr> <tr><td>"</td><td>中原昭次郎</td><td>"</td><td>瀬辺国昭</td></tr> <tr><td>"</td><td>桐生悠一</td><td>"</td><td>竹内守久</td></tr> <tr><td>"</td><td>野畑昭夫</td><td>幹事</td><td>諸住康平</td></tr> <tr><td>"</td><td>的場徹</td><td>"</td><td>足立健郎</td></tr> <tr><td>"</td><td>尾形善弘</td><td>3 号特集担当</td><td>太田堯久</td></tr> </tbody> </table>	委員長	高木敬三	委員	柴田謙三	副委員長	大谷秀雄	"	樋口昭	"	横浜博	"	神谷友清	常任委員	三輪進	"	立川清兵衛	"	唐仁原孝之	"	中里裕臣	"	増淵悦男	"	柴山恭一	"	葛野信一	"	福井三郎	"	三浦宏	"	杉山睦	"	中原昭次郎	"	瀬辺国昭	"	桐生悠一	"	竹内守久	"	野畑昭夫	幹事	諸住康平	"	的場徹	"	足立健郎	"	尾形善弘	3 号特集担当	太田堯久	<p>三菱電機技報 55 卷 3 号</p> <table> <tbody> <tr><td>編集兼発行人</td><td>諸住康平</td></tr> <tr><td>印刷所</td><td>東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地 大日本印刷株式会社</td></tr> <tr><td>発行所</td><td>東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel. (03) 243 局 1785</td></tr> <tr><td>発売元</td><td>東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒101) 株式会社 オーム社書店 Tel. (03) 233 局 0641, 振替口座 東京 20018</td></tr> <tr><td>定価</td><td>1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)</td></tr> </tbody> </table>	編集兼発行人	諸住康平	印刷所	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地 大日本印刷株式会社	発行所	東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel. (03) 243 局 1785	発売元	東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒101) 株式会社 オーム社書店 Tel. (03) 233 局 0641, 振替口座 東京 20018	定価	1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)
委員長	高木敬三	委員	柴田謙三																																																												
副委員長	大谷秀雄	"	樋口昭																																																												
"	横浜博	"	神谷友清																																																												
常任委員	三輪進	"	立川清兵衛																																																												
"	唐仁原孝之	"	中里裕臣																																																												
"	増淵悦男	"	柴山恭一																																																												
"	葛野信一	"	福井三郎																																																												
"	三浦宏	"	杉山睦																																																												
"	中原昭次郎	"	瀬辺国昭																																																												
"	桐生悠一	"	竹内守久																																																												
"	野畑昭夫	幹事	諸住康平																																																												
"	的場徹	"	足立健郎																																																												
"	尾形善弘	3 号特集担当	太田堯久																																																												
編集兼発行人	諸住康平																																																														
印刷所	東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地 大日本印刷株式会社																																																														
発行所	東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号 (〒100) 菱電エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」 Tel. (03) 243 局 1785																																																														
発売元	東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒101) 株式会社 オーム社書店 Tel. (03) 233 局 0641, 振替口座 東京 20018																																																														
定価	1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)																																																														

三菱電機ではこのたび、高級オーディオコンポーネントの世界で築き上げてきた技術とノウハウを駆使した、《ダイヤトーン》ラジオカセットJR-911およびJR-711を新発売しました。

両機とともに、メタルテープ対応、ワウ・フラッター0.05%(W RMS)のフェザータッチメカニズムを搭載。加えて、JR-911は、ソースや聴く場所に合せて、音質を自在にコントロールできる5ポジションのグラフィックイコライザー、出力20W(10W+10W、EIAJ/DC)、3ウェイ6スピーカーを採用し、高

級オーディオの風格を備えるとともに、従来のラジカセのイメージを破った、うす形で横長のシルエットを持ち、ホームユースにも向くファッショナブル感覚のデザインとなっています。またJR-711では、出力15W(7.5W+7.5W、EIAJ/DC)、大口径20cmウーファーと5cmトゥイーターの2ウェイ4スピーカーを採用しました。両機とも、いい音を徹底追求した、《ダイヤトーン》の自信作です。



### 特長

#### JR-911、JR-711共通

##### ● フェザータッチメカニズム

デッキ部の操作ボタンは、軽く触れるだけで操作できるフェザータッチを採用しています。

##### ● ソフトトイエクト機構採用

テープをホルダーから取り出すときスーと静かに開き、ショックを与えない。

##### ● メタルテープ対応

3ポジション(ノーマル/スペシャル/メタル)のテープセレクターを装備。

##### ● ステレオワイド回路

素晴らしい臨場感が得られるステレオ/ワイド切替スイッチ付。

##### ● 高性能チューナー

高感度2ロッドアンテナ採用、TV音声(1~3ch)が受信可能なFMワイドバンド設計。

##### ● タイマースタンバイ機能

別売りのオーディオタイマーと組み合せて、留守録音、目覚し再生が可能。

##### ● 豊富な端子で多彩なシステムアップが可能

ライン入力端子、フォノ入力端子、マイクロホン入力端子、ミキシングマイク入力端子、ライン出力端子、外部スピーカー端子、ヘッドホン端子を装備。

#### JR-911の特長

##### ● 大出力(20W、EIAJ/DC)

大口径16cmウーファー+2.5cmトゥイーター+2.5cmトゥイーターの3ウェイ6スピーカー採用。

##### ● 自動選局(MPSS)機能

前後10曲まで選局可能、オリジナルテープの作成に便利な無録音スイッチ付。

##### ● ミキシング機能

ワイヤードマイクによる録音・再生ミキシング機構装備(6.3φジャック)、マイクミキシングレベルコントロール付。

##### ● レベル/バッテリーのLED切替スイッチ付。

#### JR-711の特長

##### ● 大出力(15W、EIAJ/DC)

大口径20cmウーファー+5cmトゥイーターの2ウェイ4スピーカー採用。

##### ● 自動選局(MPSS)機能

前後7曲まで選曲可能、オリジナルテープの作成に便利な無録音スイッチ付。

##### ● ダブルミキシング機能

ワイヤレスマイク、ワイヤードマイクによる録音・再生ミキシング機構装備(6.3φジャック)、マイクミキシングレベルコントロール付。

##### ● レベル/バッテリー・チューニングメーター切替スイッチ付。

