

MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.65 No.6



鉄道におけるエレクトロニクス応用特集



鉄道におけるエレクトロニクス応用特集

目次

特集論文

鉄道分野のインテリジェント化 — 発展性と目的意識を —	1
曾根 悟	
鉄道におけるエレクトロニクス応用	2
久山 研一	
変電所制御のエレクトロニクス化	6
玉田 猛・木村淳一	
大阪市交通局70系リニアモーター車両用電気機器の概要	12
平尾新三・大濱茂也・落合 統・中本紀明・西川武志・飛岡正己	
VVVF インバータ装置の技術動向	20
四方 進	
EF500 形式交直流インバータ電気機関車	28
大久保大樹・藤井秀一・桑村勝美・小尾秀夫・東村充章・寺沢英男	
車両用情報管理装置(TIS)のインテリジェント化	34
本間英寿・白樫智也	
車両用補助電源装置の動向	40
米加 謙・松浦敏明・姫野和幸	
車両空調制御システムのエレクトロニクス化	48
吉田俊一・新名 正美知・堤 好一郎・松浦敏明	
ATC/ATS-Pへのマイクロ エレクトロニクス技術の応用	55
池田博昭・間瀬浩之	

普通論文

アーク炉フリッカ補償用大容量アクティブフィルタ	60
竹田正俊・朝枝健明・有塚智彦・大森繁樹・大仁田健司	
新形漏電遮断器 New Super NV	66
前田信吾・佐藤栄一・藤井 洋・松本良明・細貝節夫・杉原和義・畠山善博	
三菱 AI ワークステーション《MELCOM PSI/UX シリーズ》の概要と特長	74
湯浅維央・上田尚純・松本 明	
三菱 AI ワークステーション《MELCOM PSI/UX シリーズ》のハードウェアシステム	82
益田嘉直・田辺隆司・池田守宏・深沢 雄・岩山洋明・中島 浩	
高機能・小型・経済化 I-SMD-B 形加入者線多重伝送装置	88
羽根稔尚・鹿野朝生・上田広之・水川繁光・本島史門之・浅芝慶弘	
新アルゴリズムによる二次元適応型 YC 分離フィルタ(エキスパート DCF)	93
大橋知典・賀井俊博	
CRT 用電子銃開発のためのコンピュータ シミュレーション	98
奥田莊一郎・池上和律・吉田直久・山根久和・柳井啓二	

特許と新案

半導体集積回路, 樹脂封止型半導体装置	105
樹脂封止型半導体装置	106

スポットライト

ニューコンセプト AV スピーカーシステム DS-S1, DS-S3	103
MELPS7700 3V 系16ビット MCU	104
消音形ダクト用換気扇	107
大型加速器用超電導二極電磁石	108
三菱エンジニアリング ワークステーション ME550/550E/550F	(表 3)

表紙

交直流インバータ電気機関車

貨物輸送の環境変化に対応し、高速・重牽引が可能な交直流用次世代形高性能 VVVF インバータ電気機関車として日本貨物鉄道(株)が試作した EF500 形電気機関車である。

この機関車は狭軌用鉄道として初めて 1 軸 1,000kW の大出力誘導電動機を使用し、軽量化技術の結集により従来機の EF81 形と同一重量で、出力約 2.3 倍の 6 軸機関車としては世界最大級の 6,000 kW の交直流機を実現した。PWM 電圧型インバータ+誘導電動機を個別制御として、高粘着性能と制御の多様化を図っている。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位「SI」(SI 第 2 段階(換算値方式)を基本)を使用しています。
ただし、本号特集論文では、保安上又は安全性の理由で、従来単位を使用している場合があります。

アブストラクト

鉄道におけるエレクトロニクス応用

久山研一

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 2～5

鉄道車両用電機品は、パワー エレクトロニクス及びマイクロ エレクトロニクスの進歩とともに発展し、特に交流可変速駆動システム、情報関連機器の発展が目覚ましい。各機器にエレクトロニクス技術が導入され、インテリジェント化されていくなかで各機器間と車上一地上システム間の有機的つながりが極めて重要になってくる。

鉄道車両用電機品を中心に、その技術動向と将来への展望について述べる。

車両用情報管理装置(TIS)のインテリジェント化

本間英寿・白樫智也

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 34～39

車両制御・機器の保守・運転支援・乗客サービスの向上を図るために、車両内の情報を統括管理する車両用情報管理装置(TIS)を開発した。この装置は、フォールトトレラント技術の採用により、信頼性の高い車両制御を可能とした。また、ICカードを利用し、駅通過防止を目的とした運転支援(ナビゲーション)システムや、任意の路線でも制御可能な車内案内表示制御システムを開発した。

変電所制御のエレクトロニクス化

玉田 猛・木村淳一

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 6～11

著しいマイクロ エレクトロニクス技術の発展は、従来の電鉄用配電盤のイメージを一新した。制御には小型汎用PC(Programmable Controller)、保護にはユニット形デジタルリレーを採用し、フォールトトレランスインテリジェント機能を考慮した新形配電盤は、画期的なものである。

小型化、多機能、高信頼性、高融通性など、数多くの特長を持ち、今後の主流になる配電盤である。

車両用補助電源装置の動向

米畑 讓・松浦敏明・姫野和幸

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 40～47

近年、鉄道車両の近代化に伴い、車両用補助電源装置も負荷の大容量化・多様化に対応して、小型軽量化・低騒音化・無保守化・信頼性の向上が図られている。本稿では、代表的な補助電源装置である静止形インバータ(SIV)とDC/DCコンバータについて、その主回路構成、外形、特長について述べたものである。この装置は二重チョッパ回路の採用及び16ビット マイクロプロセッサの適用により、小型・軽量・低騒音・高機能化を実現している。

大阪市交通局70系リニアモータ車両用電気機器の概要

平尾新三・大濱茂也・落合 統・中本紀明・西川武志・飛岡正己

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 12～19

大阪市交通局第7号線は、中量規模の地下鉄であるが、日本で最初のリニアモータ地下鉄として、1990年3月20日に開業し、その後、順調に営業運転を継続している。当社は70系リニアモータ車両の開発に当たって、リニア インダクションモータ、VVVF インバータ制御装置、空気ブレーキ装置、自動列車制御装置、車上遠隔制御装置、冷房装置等の車載電気機器のほか、リアクションプレート等を納入した。

車両空調制御システムのエレクトロニクス化

吉田俊一・新名 正美知・堤 好一郎・松浦敏明

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 48～54

車両空調制御システムは、電源・空調装置本体・制御で構成されている。パワーエレクトロニクスと、マイクロエレクトロニクスの発達により、電源と制御部分のエレクトロニクス化が進んでいる。電源については、最近の動向と最新技術の紹介を行っている。制御については、その歴史の概要とファジー制御を含むマイクロコンピュータによる制御を紹介した。

VVVF インバータ装置の技術動向

四方 進

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 20～27

パワーエレクトロニクス技術とマイクロ エレクトロニクス技術の進歩により、実用化された鉄道車両用 VVVF インバータ装置は、実用化から約10年を経過して成長期に入ろうとしている。GTOサイリスタやマイコン制御などの要素技術の動向を整理するとともに、最新のエレクトロニクス技術を応用した最近の VVVF インバータシステムについてその概要を紹介する。

ATC/ATS-P へのマイクロ エレクトロニクス技術の応用

池田博昭・間瀬浩之

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 55～59

コンピュータ回路のフェイルセーフ性を保証する、Dual コンピュータ方式を実用化し、これを採用した列車の保安装置を開発した。この装置は、列車保安の機能が大幅に向上できる特長を持つ。この実用例として、ATS-P 装置やパターン付き ATC 装置があり、これらは大都市圏での輸送効率向上のための保安システムの一役を担うもので、本稿では Dual コンピュータとともに、その概要について紹介する。

EF500 形式交直流インバータ電気機関車

大久保大樹・藤井秀一・桑村勝美・小尾秀夫・東村充章・寺沢英男

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 28～33

安全性・速達性・大量輸送に優れ、良質な輸送サービスを展開していくため、最新の技術を導入した EF500 形インバータ機関車を JR 貨物へ試作納入した。この機関車は、狭軌鉄道として初めて 1 軸 1,000kW の大出力を実現し、6 軸の機関車としては世界最大級の定格 6,000kW の能力をもつ次世代形電気機関車である。さらに、交直両用の機関車としたことに特長がある。

アーク炉フリッカ補償用大容量アクティブフィルタ

竹田正俊・朝枝健明・有塚智彦・大森繁樹・大仁田健司

三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 60～65

アーク炉フリッカ補償用として、GTO サイリスタによる大容量インバータを適用したアクティブフィルタ方式無効電力補償装置を開発し、20MVA 容量の同装置を中部鋼鉄(株)に納入して良好なフリッカ補償効果を得た。アクティブフィルタ方式は、従来の TCR 方式と比較して約 10 倍の制御応答の向上だけでなく、掘付け面積の縮小化、低運転損失による高効率化等の利点があり、今後のフリッカ抑制装置としての適用が期待できる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 34~39 (1991)

Intelligent Technology for a Train Information-Management System

by Hidetoshi Homma & Tomoya Shirakashi

This system provides integrated management of on-board data to support better train control, equipment maintenance, operator assistance, and customer service. The system incorporates fault-tolerant design principles to realize high-reliability train control. In addition, the Corporation has developed two IC-card-based systems: a navigation system that helps prevent missed stops, and a control system for the car-interior data displays that allows customized display screens to be matched to train routes.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 2~5 (1991)

Electronics Applications for Railway Transportation

by Ken'ichi Kuyama

Electrical products for rolling stock have evolved along with advances in power electronic and microelectronic technologies, especially developments in variable-speed AC traction systems and information equipment. As electronic technology and intelligent control functions are applied in more varied and diverse areas, organic linking among on-board systems and between on-board and ground equipment grows in importance. The article examines electrical equipment for rolling stock, focusing on technical trends and future prospects.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 40~47 (1991)

Recent Auxiliary Power-Supply Equipment for Rolling Stock

by Yuzuru Yonehata, Toshiaki Matsuura & Kazuyuki Himeno

Compact, low-noise, low-maintenance and high-reliability auxiliary power-supply equipment is being developed to meet the increasingly complex power requirements of modern rolling stock. The article describes the main circuit configuration, appearance, and features of typical auxiliary power supplies employing static inverters and DC-to-DC converters. The introduction of dual chopper circuits and 16-bit microprocessors has helped reduce the size, weight, and operating noise of this equipment, while offering a richer selection of control functions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 6~11 (1991)

Electronic Technologies for the Protection and Control Systems of Electric Railway Substations

by Takeshi Tamada & Jun'ichi Kimura

Microelectronic technology has radically altered the function and appearance of power-distribution boards for electric railway substations. Control functions are now implemented by compact programmable controllers, and protection functions by digital relays. Fault-tolerant design principles have been introduced. With features such as compact dimensions, additional functions, high reliability, and flexibility in system construction, the new boards are expected to dominate the market.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 48~54 (1991)

Electronics for Railcar Air-Conditioning-Control Systems

by Shun'ichi Yoshida, Masamichi Niina, Koichiro Tsutsumi & Toshiaki Matsuura

Railcar air-conditioning-control systems consist of a power-supply unit, air-conditioning unit, and control electronics. Advances in power electronics and microprocessor control have been applied to the power-supply unit, and control equipment. The article introduces recent trends and new technologies for supplying power, summarizes the development history of control systems, and introduces new microprocessor control systems using fuzzy-control philosophies.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 12~19 (1991)

Electrical Equipment for the Osaka Transportation Bureau's Series 70 Linear-Motor Cars

by Shinzo Hirao, Shigeya Ohama, Hajime Ochiai, Noriaki Nakamoto, Takeshi Nishikawa & Masami Tobioka

Japan's first commercial linear-motor train, a medium-transportation-capacity type for the Osaka Transportation Bureau's Line No. 7, has been running smoothly since beginning revenue service on March 20, 1990. Mitsubishi Electric participated in the development of the Series 70 linear-motor cars used for the line, supplying linear induction motors, reaction plates, VVVF inverter-control equipment, air-brake equipment, automatic train-control equipment, and a train remote-operation network system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 55~59 (1991)

Applications of Microelectronics to ATC and ATS-P Systems

by Hiroaki Ikeda & Hiroyuki Mase

The Corporation has developed ATS-P and ATC systems for train safety based on a practical dual-computer configuration that ensures fail-safe operation. These systems, which have the potential to greatly enhance train safety, are expected to also raise the efficiency of urban rail transport. The article describes the dual-computer design and these application systems.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 20~27 (1991)

Trends in VVVF Inverter Equipment

by Susumu Shikata

First implemented 10 years ago following advances in power electronic and microelectronic technologies, VVVF inverter equipment for rolling stock is now entering an era of widespread use. The article discusses trends in gate-turn-off (GTO) thyristors, microprocessor-control technology, and other principal elements, and introduces new VVVF inverter systems incorporating the latest advances.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 60~65 (1991)

A Large Active Filter for Arc-Furnace Flicker Suppression

by Masatoshi Takeda, Takeaki Asaeda, Tomohiko Aritsuka, Shigeki Dmori & Kenji Onita

The Corporation has developed a static VAR compensator employing an active filter based on large-capacity GTO thyristors for flicker suppression in arc furnaces. A 20MVA system delivered to Chubu Steel Plate has demonstrated excellent flicker-compensation performance. The control response of the active-filter design is approximately ten times better than that of thyristor-controlled reactors moreover, the installed area of the equipment is small, and operating losses for the high-efficiency design are low. Wider use of this flicker-suppression technology is anticipated.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 28~33 (1991)

An EF500 AC-Inverter-Equipped Electric Locomotive

by Daiki Kubo, Hideichi Fujii, Katsumi Kuwamura, Hideo Obi, Mitsuaki Higashimura & Hideo Terasawa

We have designed and trial-manufactured a prototype EF500 inverter-controlled electric locomotive and delivered it to the JR Freight Corporation. The locomotive features excellent safety, swift acceleration, and high load capacity and is expected to substantially improve the quality of rail cargo-transport services. The EF500 represents the first narrow-gauge electric locomotive to deliver 1,000kW per axle, thus the six axles make it the world's largest-capacity 6,000kW locomotive. It is also distinguished by the ability to operate on either AC or DC power-supply systems.

アブストラクト

<p>新形漏電遮断器 New Super NV 前田信吾ほか 三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 66～73</p> <p>ビル・工場用機器のエレクトロニクス化の進展により、電路の波形歪の増大、サージ電流の増大が著しい。漏電遮断器に対しても、これらの電気の質の変化に対応した保護性能の向上、信頼性の向上が求められており、これに対応して新形漏電遮断器 New Super NV を製品化した。New Super NV は、インバータ負荷への適応、サージによる不要動作の防止、外形寸法と性能の標準化等の特長を持ち、本稿ではその技術について解説する。</p>	<p>高機能・小型・経済化 I-SMD-B 形加入者線多重伝送装置 羽根稔尚・鹿野朝生・上田広之・水川繁光・本島史門之・浅芝慶弘 三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 88～92</p> <p>日本電信電話(NTT)は、昭和63年4月から ISDN 基本インタフェースサービス“INS ネット64”を提供している。I-SMD-B 形加入者線多重伝送装置は、“INS ネット64”を経済的かつ早期に提供するため、多重伝送技術を加入者系に適用した装置で、NTTの御指導のもとに開発し、既に実用に供されている。本稿は、従来装置に比べ小型・経済化と高機能化を実現したバージョンアップ装置の方式概要、装置構成及び部品について紹介する。</p>
<p>三菱 AI ワークステーション 《MELCOM PSI/UX シリーズ》の概要と特長 湯浅維央・上田尚純・松本 明 三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 74～81</p> <p>高度先端コンピュータ技術の一つとして AI(人工知能技術)は、研究段階から普及の段階に入っており産業界では AI を応用したエキスパートシステムが威力を発揮しつつある。今後、既存システムと知識情報処理を融合した高度情報化社会に向かうものと考えられる。このようなニーズにこたえるために、先端 AI 研究の成果と世界標準 UNIX を統合した世界最高水準の推論性能を持つ AI ワークステーションを製品化した。</p>	<p>新アルゴリズムによる二次元適応型 YC 分離フィルタ 大橋知典・賀井俊博 (エキスパート DCF) 三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 93～97</p> <p>従来から画像の相関を検出して、最適なフィルタを選択する二次元適応型 YC 分離フィルタが知られている。このフィルタは、色の非相関部分で発生するクロスルミナンス(ドット妨害)を抑制できる。しかし、相関検出を誤るとクロスカラーが発生し、画質が大きく劣化する。今回、非相関エネルギーの相対的比較を行うことによって視覚特性にマッチした正確な判定方法を実現し、LSI 化を行った。本稿では、相関判定アルゴリズムを中心に内容を紹介する。</p>
<p>三菱 AI ワークステーション《MELCOM PSI/UX シリーズ》 のハードウェアシステム 益田嘉直・田辺隆司・池田守宏・深沢 雄・岩山洋明・中島 浩 三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 82～87</p> <p>近年、知識情報処理システムの実用化開発が進展しつつあるが、当社は通産省の推進する第5世代コンピュータプロジェクトの最新の研究成果を利用し、AI WS《MELCOM PSI/UX シリーズ》を開発・製品化した。このシステムは、従来の“PSI シリーズ”の機能を継承し、世界最高水準の推論性能を実現するとともに、業界標準 OS である UNIX との統合化により、高度な知識情報処理システムの構築を可能にした。</p>	<p>CRT 用電子銃開発のためのコンピュータ シミュレーション 奥田莊一郎・池上和律・吉田直久・山根久和・柳井啓二 三菱電機技報 Vol. 65・No. 6・P 98～102</p> <p>CRT 用電子銃の開発にコンピュータ シミュレーションが不可欠である。三極部と電子レンズ部を別にモデル化することで、シミュレーションが実用化した。三極部には空間電荷効果を考慮した回転対称モデルを用い、電流—電圧特性と位相空間特性を予測できた。電子レンズ用には、表面電荷法を用いた三次元シミュレーション法を開発し、“XF”形電子レンズ及び《DBF》形四極レンズの開発に適用した。これら新電子銃は、現行の高級 CRT に搭載されている。</p>

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 88~92 (1991)

New I-SMD-B Subscriber-Line Multiplexing and Transmission Equipment

by Toshihisa Hane, Asao Kano, Hiroyuki Ueda, Shigemitsu Mizukawa, Shitoyuki Motojima & Yoshihiro Asashiba

This equipment was developed under the direction of Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT). The Corporation has been supplying it since 1988 to support rapid, cost-effective expansion of the service area of INS-Net 64. The network employs the ISDN basic interface. The article describes the appearance, configuration, and components of the equipment, which features compact dimensions, economy, and enhanced functions.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 66~73 (1991)

New Super NV Series Earth-Leakage Circuit Breakers

by Shingo Maeda, Eiichi Sato, Hiroshi Fujii, Yoshiaki Matsumoto, Setsuo Hosogai, Kazuyoshi Sugihara & Yoshihiro Hatakeyama

The extensive use of electronic equipment in buildings and factories has caused power-line waveform distortion and surge currents to become more large value. These phenomena place greater performance demands on earth-leakage circuit breakers. The new Super NV series ELCBs feature the enhanced protection and reliability to meet these requirements. The series handles inverter loads, resists spurious tripping by surge currents, and features standard dimensions and performance parameters. The article introduces the series and its technology.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 93~97 (1991)

A New Algorithm for Two-Dimensional Adaptive YC Separation Filters

by Tomonori Ohashi & Toshihiro Gai

Two-dimensional adaptive YC separation filters that detect picture correlation and choose optimum filtering are well known. These filters improve cross-luminance characteristics at noncorrelated parts of the chrominance, but can cause cross-coloring and picture-quality deterioration when the detector misidentifies correlation. The authors have developed a new algorithm that accurately judges correlation through relative comparison of noncorrelated energy and is suited to human visual characteristics. The article describes this new algorithm, for which an LSI has also been developed.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 74~81 (1991)

The MELCOM Series PSI/UX AI Workstations

by Tsunao Yuasa, Takasumi Ueda & Akira Matsumoto

Artificial-intelligence technology—among the most advanced of modern computer technologies—has moved from the laboratory to the factory where it is showing the power in the form of expert systems. New systems integrating existing systems with knowledge-information systems are expected to fulfill major roles in the Advanced Information Society. The Corporation has developed commercial AI workstations to support these sophisticated applications. The workstations incorporate the results of recent AI research to offer the world's highest inference performance under the world-standard UNIX operating system.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 98~102 (1991)

Computer Simulation for Developing CRT Electron Guns

by Soichiro Okuda, Kazunori Ikegami, Tadahisa Yoshida, Hisakazu Yamane & Keiji Yanai

Computer simulation is an essential tool for developing electron guns for use in CRTs. The authors have employed a simulation using separate models for the beam-forming region and electron lens. The simulation for the beam-forming region uses a rotationally symmetrical model that considers space-charge effects to predict current-voltage and phase-space characteristics. A three-dimensional model incorporating the surface-charge method was developed for lens simulation, and was used to develop an XF-type electron lens and DBF-type quadruple lens. New guns employing these lenses are currently being used in the Corporation's high-quality CRTs.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 65, No. 6, pp. 82~87 (1991)

The Hardware System of the MELCOM Series PSI/UX AI Workstations

by Kanae Masuda, Takashi Tanabe, Morihiro Ikeda, Takeshi Fukasawa Hiroaki Iwayama, & Hiroshi Nakashima

Knowledge-information systems are gradually being implemented and developed. The Corporation has developed and commercialized MELCOM PSI/UX Series AI workstations which take advantage of research results from Japan's Fifth Generation Computer Project. Continuing the tradition of previous MELCOM PSI Series workstations, the new series offers the world's highest inference performance while incorporating the world-standard UNIX operating system. The new series will support the development of advanced knowledge-information systems.

鉄道分野のインテリジェント化 —— 発展性と目的意識を ——



東京大学 工学部
電気工学科
教授 曾根 悟

鉄道事業は今急速に変わりつつある。国鉄が消滅して、お上の鉄道からサービス産業への脱皮が進み、民鉄も再び積極経営に転ずる動きを見せてきた。

一方では、3K職場などと呼ばれる、きつい、汚い、危険な職場が若者から嫌われ、保守の現場では人手不足や高齢化が深刻化している。

こういった動きに対する技術面からの強力な援軍が、鉄道システムのインテリジェント化である。サービス面では、利用者のニーズに合った、気の利いたサービスが提供でき、保守面では劣悪環境下での作業を減らし、診断や補修を機械がやってくれるようになるからである。

鉄道分野のインテリジェント化の特徴の一つに、一般のFA化やOA化と違って、標準的な情報化やシステム化だけでは済まない鉄道特有の分野——粘着、集電、移動体との通信、環境の大幅変化など——が多いことが挙げられよう。

鉄道インテリジェント化の例として、車両のモニタリングシステムが挙げられることが多い。小田急の特急車のように運転室を離れずに応急処置をするためという明確な目的を持ったものもあるが、中には現実の役には立たず、オモチャと評されるものもある。

この違いがどこから来るかといえば、目的意識の有無であろう。簡単にとれる情報だけを集めて表示してみても、気の利いた仕組はできるものではない。

真のインテリジェント化には、いくつかの重要なポイントがある。まず第一に、組み込まれるコンポーネントが本特集号に紹介されている多くの例のように、情報システム

との相性のよい——つまり制御や状態監視に適した——形になっていることが必要である。この点でコンポーネントのエレクトロニクス化、特にデジタル化は今後のインテリジェント化の基礎といえる。

いずれ別の形で特集されるであろうシステム化技術も大切である。まだ初期段階にあるインテリジェント化では、発展性のある階層システムを組んでおくとよい。発展性とは、これまで無関係になっている部分を結合すること、制御対象になっていないものをその対象にすること、入力できないものを入力にすること、人間が必要に応じていろいろな部分に介入できること、などを可能とすること、と考えたい。

鉄道特有分野で例を挙げれば、粘着問題がある。車輪の回転からでなく列車速度が高精度で迅速に測れれば、空転や滑走が大幅に減らせ、乗心地や保守、騒音などの大改善ができる。適当なセンサが見当たらないから実現していないのがこの例であるが、逆に人間が異常を発見する際の非常に有力な情報源である音のように、センサは既にあるがその先の脳の部分が未開発、というものもある。

初期段階で高い評価を得るには、目的意識を持つことである。この点で特に意を払うべき分野は、(1)旅客サービスの向上——お客が大切にされていると感じるような気くばりのできる装置や案内——、(2)保守の根本的改革——たとえば故障するまで無保守で使う——につながる手法、(3)いづれソフトウェア開発がネックになるので、分散配置された鉄道社員がこれの開発に積極的に関与できる仕組の導入、の三つであると考えている。

鉄道におけるエレクトロニクス応用

久山研一*

1. ま え が き

今回、「鉄道におけるエレクトロニクス応用」特集号を発売するに当たり、鉄道車両用電機品を中心に、その技術動向と将来への展望について述べる。

鉄道車両は、その大量大衆輸送という性格から、使用される技術についても信頼性が最優先とされており、これは車両用電機品についても同様である。このため、従来は他の分野である程度確立された技術を、いかにうまく車両に適用するかという応用技術に重点がおかれてきたが、最近のパワーエレクトロニクスの進歩はむしろ鉄道車両用機器がそのけん引車の役割を担うようになってきており、これがきっかけとなってその他の技術分野においても、鉄道車両にかかわる技術者が自ら新しい技術を開き、製品化する中で、信頼性をも確保するという困難な課題への挑戦が要求されている。

2. 最近の車両システム技術

2.1 車両システムのニーズ

鉄道車両に求められるニーズは多様であるが、最近の傾向として主要なものを挙げると、

- (1) 輸送力増強のため、加速・減速を速くし、最高速度を上げ、また運転間隔を短縮させる。
- (2) 乗客の快適さを向上させるため、車内情報サービスを充実させ、空調機能の向上を図り、また乗り心地を改善させる。
- (3) 運転信頼性を向上させるため、保安装置の改善を図るとともに、運転支援機能を充実させる。
- (4) 輸送コスト低減のため、省エネルギー、省保守化を図る。

これらのニーズにこたえるためには、エレクトロニクス技術の応用が有力な手段となる(表1)。

2.2 エレクトロニクス応用

2.2.1 パワー エレクトロニクス応用

VVVF インバータによる誘導電動機可変速駆動を中心にした車両用パワー エレクトロニクス応用機器の最近の目覚ましい進歩・発展は、電力用半導体デバイス(パワーデバイス)の高性能化・高機能化とその適用技術の進歩が原動力となっている。

車両用推進制御装置の分野でいえば、1960年代の交流電気車へのシリコンダイオードやサイリスタの適用に始まり、1970年代の逆導通サイリスタのチョップ制御への適用、さらに1980年代のVVVF インバータシステム実用化でのゲー

トターンオフ(GTO)サイリスタの高耐圧化、大容量化へと続いてきた。最近では、車両用電気機器に使用できるパワーデバイスも多様化しており、各デバイスがそれぞれ高耐圧大電流化し、車両用としてその特性を十分発揮できる性能を備えてきている。

図1に各デバイスの進歩を示す。VVVF インバータ用として、一般的に使用されているGTOサイリスタで4.5kV、4kA、パワートランジスタでは、1.2kV、1kAが最新の技術で実用化されている。

パワーデバイスの技術動向としては、このような高耐圧化、大電流化と同時に、高周波化(低損失化ともいえる)パワーデバイスドライブの低損失化(電流駆動から電圧駆動)又はデバイスの複合化が進められ、その結果装置の小型・軽量化に寄与している。

一方、その適用技術も、パワーデバイスの冷却技術及び変換装置の主回路方式並びにその制御技術を中心に進歩してきた。詳細は、この特集号の別稿に述べるが、いずれも装置の小型・軽量化、保守性の向上、変換効率の向上、低騒音化などを目的として、パワーデバイスと同様に用途に応じた多様化が進められている。

したがって最近では、電気車の種別、性能、編成数に応じて、経済性が高く、運行の信頼性も高い最適のシステムが選択できるようになってきた。次にVVVF インバータ駆動方式を例にして最近の主なパワー エレクトロニクス技術分野の動きを紹介する。

- (1) 交流電気車では、次世代高速新幹線300系スーパーひかり用に大容量GTOサイリスタを用いたPWMコンバータ+VVVF インバータシステムによる誘導電動機駆動システムの開発が行われ、実用化に向けての試運転が順調に行われている。このシステムでは、徹底した装置の軽量化と力率1の制御による交流回生ブレーキの実現が主な特長である。
- (2) 高速・重牽引が可能な次世代型高性能VVVF インバータ電気機関車が完成し、貨物輸送サービスの世界に変革を成し遂げようとしている。大出力誘導電動機を使用し、軽量化技術の結集により、従来機のEF81形と同一質量で、出力約2.3倍の世界最大級の6,000kWの交直流機を実現し、PWM電圧型インバータ+誘導電動機を個別制御として、高粘着性能と制御の多様化を図っている。
- (3) 我が国で初めてパワートランジスタを使用した中容量のVVVF インバータ装置を次世代型通勤車両用に完成した。

このインバータ装置の特長は、“3ステップインバータ方式”と呼ばれる多重インバータ方式を適用し、パワートランジスタに加わる電圧責務を半減させるとともに、誘導電動機に印加される電圧も半減するため、耐圧の低いデバイスが有効に使用でき、しかも主電動機から発生する騒音も大幅に低減で

きる点にある。

パワートランジスタの冷却には、モジュール形のデバイスには最適なヒートパイプ冷却とし、経済性の高いシステムを実現している。

(4) これからの地下鉄車両のニーズを考え、短い駅間距離

表 1. 車両システムへの技術ニーズと開発の方向

ニーズ	実現のための方策	開発テーマ	開発すべき要素技術	世の中の先端技術
経済性の向上 車両コストの低減 無保守・無点検化の追求及び保守の仕やすさの追求 運営費の低減	MT比を下げる 簡潔な制御方式 ぎ装の容易化 3-Less 思想の追求 ①配線レス ②リレー(接点)レス ③箱レス 機器H/Wの改良 長寿命化 電子化 メンテナンス性の向上 場所をとらぬ保守の方法 車両・機器をばらさない ON LINE 検修 セルフチェック及びモニタ機能の充実 電力消費 — 省エネルギー技術 乗務員 — 1人乗務/無人化 駅務員 — 車上でホーム監視 車輪・軌道の保守 — タイヤフラットの撲滅	○ 高粘着制御 (ANTI-SLIP/SLIDE) ○ VVVF/インバータ制御 ○ ぎ装線の直列伝送化 ○ シーケンスのS/W化 ○ 機器箱の統合一体化 ○ 保守回帰の延長 ○ 内蔵品のユニット化 ○ ACモータ式 エアコンプレッサ ○ ユニットブレーキ ○ 電気駆動式ドア ○ 省メンテナンス主電動機 ○ 車上試験装置 ○ トレインレコーダー ○ セルフモニタ ○ 省エネルギー運転装置 ○ AI式ATO ○ カード式ナビゲータ ○ 自動回送運転装置 ○ 自動案内放送装置 ○ ホーム画像伝送及び表示 ○ 新遅れ込めブレーキ ○ ANTI・SKID ○ T車の電気ブレーキ化	4,500V, 大容量 GTO 高耐圧 大容量 パワートランジスタ 16ビットマイコン DDC 方式 光/電気式直列伝送 16/32ビットマイコン新シリーズ 小型・軽量化 電圧・消費電力の低レベル化 機構部品の電子化 エアコンプレッサの VVVF インバータ制御 新軸受構造 地上⇄車上間のデータ伝送 センサ技術の開発 RAS 技術 故障診断技術 省エネルギー運転制御方式 AI(人工知能)ATO ICカード応用技術 音声合成及び再生技術 光空間伝送/LCX 高速応答、遅れ込めブレーキ ECB	4,500V, 4,000A, GTO 1,200V, 1,000A, PTr IGBT 16/32ビットマイコン 光ファイバ伝送 光自動連結器 カスタム LSI パワートランジスタ LCX, トランスポンダ 各種センサ技術 (電圧, 電流, 温度 (圧力, 音, 回転数, 振動等)) AI AI 応用技術 ファジー制御技術 ICカード 絶対速度センサ
乗り心地の追求 ショックレス運転	起動→加速→減速→停止時のジャックコントロール 全域電気ブレーキ	○ 全域乗り心地コントロール制御 ○ 低速域での電気ブレーキ制御化	VVVF インバータによる速度制御技術 回生/発電ブレーキのブレンディング 逆相ブレーキ	
運転扱いの仕やすさ	モニタ機能の充実 人間工学に基づく運転台の設計	○ 新型運転台ユニット ○ モニタディスプレイ ○ 集中表示モニタ	メータ、表示灯等の LCD/LED 化 スイッチ等の電子化/光化 入出力信号の低レベル化	液晶表示 LED 表示
乗客へのサービス向上 退屈しない通勤 快適な車内 痴漢撃退 輸送密度の向上	画像及び音声情報の提供 空調、照明の最適化制御 混雑緩和 非常通報装置の設置 到達時分の短縮 運転ヘッドの短縮 列車の運行信頼性の向上	○ 車内広告・案内表示装置 ○ 液晶テレビ ○ ビデオシステム ○ ラジオ・音楽サービス ○ 可変速連続運転エアコン ○ 非常発報・通報装置 ○ パターン付き ATC ○ 過走防護装置 ○ 列車モニタリング装置	大容量データ伝送技術 (車両内 LAN) 補機システムの総合化 光 PCM 技術 マイコン ATC フェイルセーフ フォールト・トレラント	LCX による地上からの情報伝送 ファジー空調制御 フォールト・トレラント
環境への適応	振動及び騒音の軽減	○ 主電動機電磁音の抑制技術 ○ COMP. M. の低騒音制御 ○ 車輪のフラット抑制技術	低騒音変調制御技術 低回転制御及び停車時の停止制御 パターン付き ATC/ANTI SKID 等	非同期変調 ベクトル制御 多重インバータ

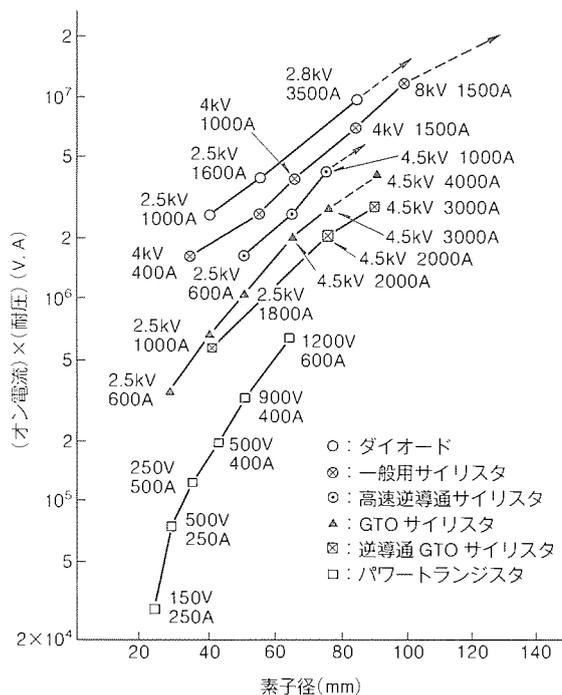


図1. 大電力半導体素子の進歩

(1.2km)にもかかわらず表定速度38km/hの優れた運行性能を誇る車両システムを交流電動機駆動方式で完成した。主電動機は大容量190kWの誘導電動機であるが、狭軌用車両に搭載するためギヤ比を約8とし、小型・軽量化を図っている。VVVFインバータは8個モータ制御ながら、2M2Tの車両編成のため、2群独立のインバータ方式とし、内蔵ユニットの小型・軽量化を図って一体箱に収納し、冗長性を確保しながら経済性を高めたシステムとしている。

このようにパワーエレクトロニクス技術の進展によって、車両の用途に応じて、最適な駆動システムを構築できるようになってきた。また、電源装置・空調装置の分野でも、パワートランジスタを中心とした中小容量のパワーデバイスが広く使用され、保守性の改善、高機能化が進められている。

2.2.2 マイクロエレクトロニクス応用

マイクロエレクトロニクス技術も車両用機器に広範囲に使用されるようになってきている。前述したVVVFインバータによる交流可変速駆動システムの実用化にも、パワーデバイス技術の展開はもとより、マイクロプロセッサの応用が必要不可欠のものであった。マイコン制御は、制御の高精度化、無調整化、無保守化を目指して導入されてきたが、制御の高機能化を図るとともに、モニタ機能や診断機能を付加することにより、車両システムのインテリジェント化を図るための有力な武器ともなっている。このように、多機能化、付加機能の追加により、マイクロプロセッサも8ビットから16ビットCPUへ変化し、大量データ処理を必要とする車両情報管理装置(TIS)などでは、32ビットCPUの適用も図られている。

車両用各機器の特性に応じて、マイコンの使い方もいろいろ

な工夫がされている。主な技術分野での動きを次に紹介する。

- (1) 車両駆動制御システムのような制御演算処理に高速性が要求される場合には、複数のマイクロプロセッサを並列演算させるマルチマイコンシステムの実用化又は高速演算専用機能を持つDSP(Digital Signal Processor)も適用され、瞬時値制御などの実現によって制御性能の改善も図られている。また、従来の制御では実現できなかった車両の走行状態に応じた高精度の高粘着制御なども可能となり、高性能で経済性の高い車両駆動システムの実現にも役立っている。
- (2) ATC、ATSのような保安装置については、1系を二つのCPUで構成し、両者の演算結果を符合させてフェイルセーフなシステムを実現するdual CPU方式を採用している。マイコンの適用によって、運行の安全性を確保する機能に加えて、運行時分の短縮、乗り心地の改善、保守性の改善も含めた高機能化が実現されるようになってきた。
- (3) ATO装置、ブレーキ装置のような機能の比較的簡単なものは、ワンチップマイコン方式を採用し、高機能化を図りながら装置の集積度を上げて小型化を実現している。ATO装置にはファジーエキスパート制御技術が取り入れられ、制御精度の向上と乗り心地の改善がなされている。また、空調装置には、車両用としては初めてファジー制御技術が導入され、快適な室内環境を実現している。
- (4) TISは、伝送インタフェースで車両各機器と結ばれ、大量のデータ伝送処理技術と表示技術をベースに運転支援、車上検査、乗客サービス、制御指令伝送、異常情報処理などの多様な機能を持ち、車両システムのインテリジェント化の有力な道具立てとなっている。このような多機能を実現し、ユーザーのニーズに応じて簡単に味付けできるように32ビットCPUを採用してソフトウェアの変更の自由度も高くしている。

各機器へのマイコンの適用によって、機器間の情報のつながりが容易に行えるようになってきた。今後は車両並びに各機器の状態情報を共有化することによって、ユーザーのニーズに適合した車両情報システムの構築を図っていく必要がある。

鉄道車両におけるエレクトロニクス応用の経緯を図2に示す。

3. 今後の動向

鉄道事業を活性化するためには、車両自身を魅力ある商品にしなければならないし、一方鉄道経営の合理化のためには、車両を手のかからない製品にしなければならない。

そのために、我々が果たすべき技術的役割は多様であるが、その中でもエレクトロニクス技術の比重はますます大きくなるだろう。各機器のエレクトロニクス化を進めるだけでなく、車上の各機器の情報を有機的に結びつけ統合化を図り、また地

	昭和	40年	45年	50年	55年	60年	平成元年
主回路用 半導体素子		サイリスタ		逆導通サイリスタ		GTOサイリスタ	
						パワートランジスタ	
制御技術		トランジスタ	アナログIC制御		ハイブリッド制御(アナログIC+デジタルIC)		マイコン制御
冷却技術			強制風冷			沸騰冷却	
直流電圧 制御方式		抵抗制御		チョッパ	AVFチョッパ		4象限チョッパ
				界磁チョッパ			添加励磁
						VVVFインバータ	
補助電源方式		DC-MG(直流電動発電機)		BL-MG(ブラシレスMG)			
		単相SIV		三相SIV(サイリスタ式)		三相SIV(GTO式)	(GTO+Ptr式)
						DC/DCコンバータ	

図2. エレクトロニクス技術の発展

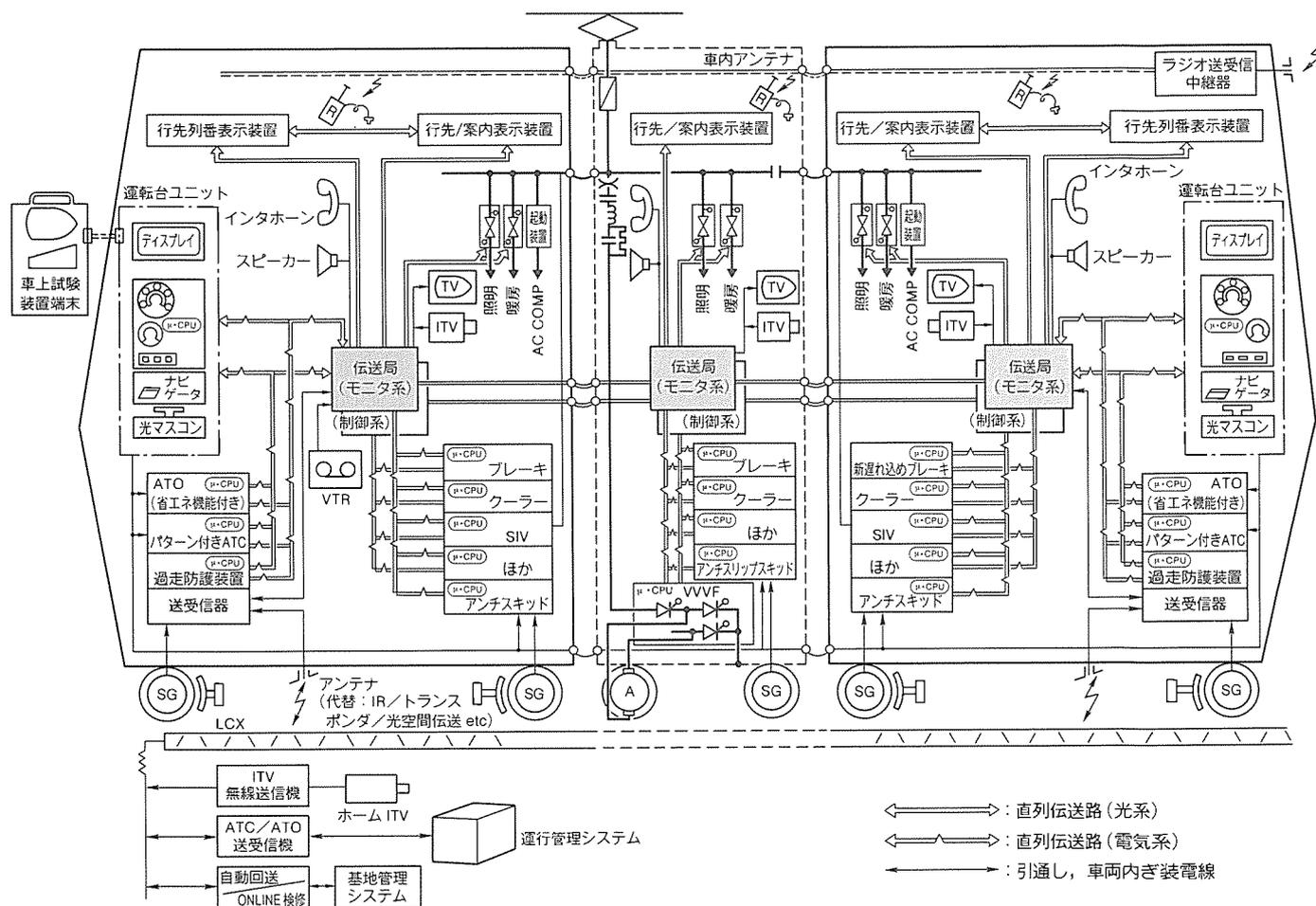


図3. 将来の車両イメージ

上側の管理システム、保守システムとのつながりを考えた車両システムを構築する必要がある。

将来の車両イメージの一例を図3に示す。各機器は、ニーズに適合した役割を明確化し、インターフェースを標準化し、情報を統合化することによって合理的で最適な車両システム

を完成させることができる。また、車両の用途、運用形態に応じてシステムを自由に変更できる利用技術を充実させることが必要となるであろう。

当社も更に技術の高度化を図るとともに、将来の車両システム・鉄道システムを目指して努力を続ける所存である。

変電所制御のエレクトロニクス化

玉田 猛*
木村淳一*

1. ま え が き

変電所における頭脳、神経系統をつかさどるのが配電盤である。受送電線及び配電線などの電力系統や、機器に対しての保護、監視及び操作を行う機能を持っている。

これらの機能を実行するため、従来は専ら多くの伝統的な機械式保護リレーや補助リレーを使用してきた。しかし、最近ではマイクロプロセッサやLSIに代表されるマイクロエレクトロニクス(ME: Micro-Electronics)技術が急速な発展を遂げている。

このマイクロエレクトロニクス技術を応用し、保護リレーにデジタル形を、制御にはプログラマブルコントローラ(PC: Programmable Controller)を使用した配電盤の採用が増えてきた。これによって、制御機能の多機能化・信頼性・保守性の向上を図っている。

以下、マイクロエレクトロニクス技術を応用した新形配電盤について、その概要を紹介する。

2. 構 成

2.1 エレクトロニクス化のねらい

新形配電盤は、次のような効果をねらったものである。

(1) 小型化

従来形配電盤に比べ、器具スペースを縮小できる。このため、変電所や配電盤を更新する場合、省スペース化が図れることにより、用地を有効使用する。

(2) 高信頼化

自己診断機能を持たせ、装置の故障で実害を及ぼす前に発見・修復を可能とし、信頼度を高める。

(3) 低コスト化

変電所全体として、設置スペースの縮小、高信頼化、保守の省力化などにより、トータルコストを低減する。

(4) 高融通性・高拡張性

機能の大部分をソフトウェアで構成して、設備の増設や変更、機能の拡張を容易にする。

2.2 システム構成

PCの分割方法により、種々のシステム構成が考えられるが、次の2方式が多く採用されている。

遠征結合、受電、整流器、高配、き電などそれぞれに、PCを分割設置する方式(分割形)と、変電所全体を1台のPCで一括制御する方式(一括形)である。保護は、いずれの

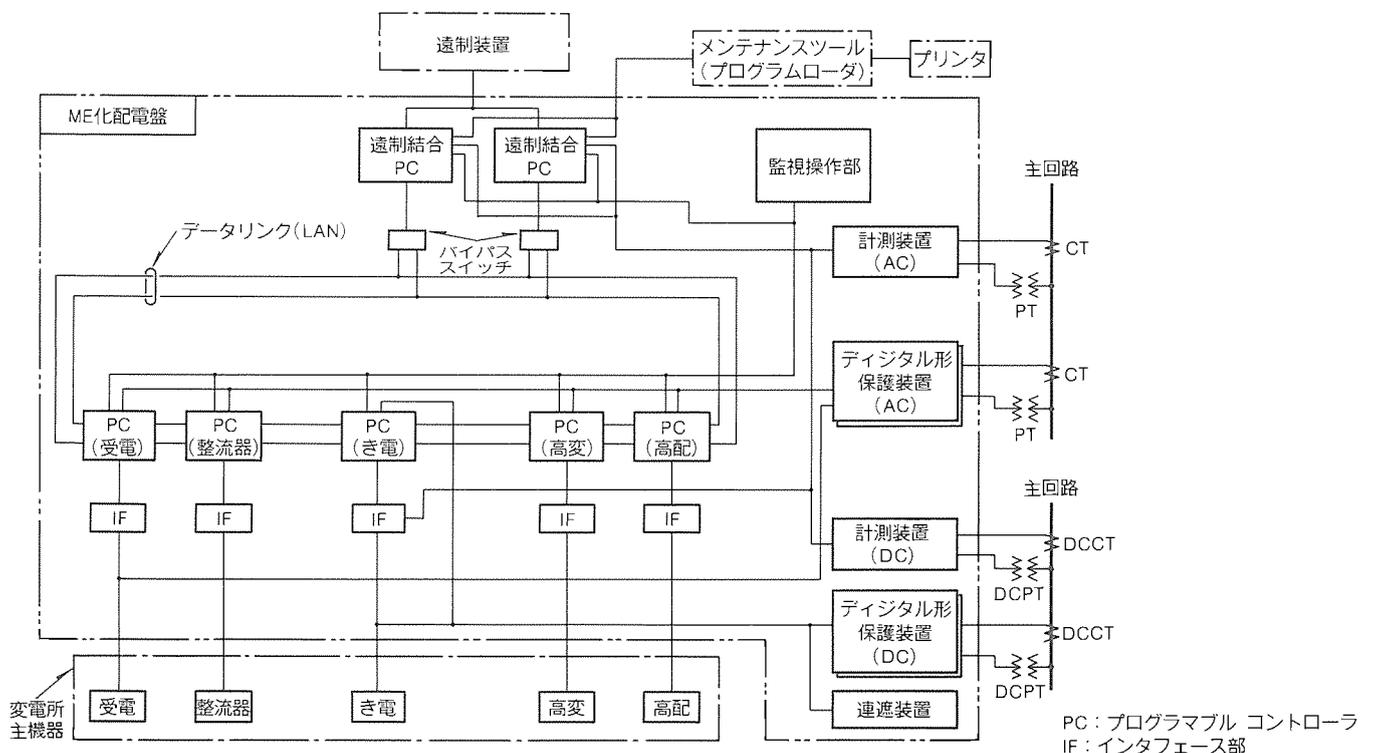


図1. 分割形システム構成例

場合も、主回路単位ごとにユニット形デジタル保護リレーを設置している。

2.2.1 分割形システム

図1に構成例を示す。遠制御用のPCは、二重系構成としている。使用系が故障した場合は、他方の系に自動切替える。これはPC故障の場合、制御所からの監視、制御が不可能となることを防ぐためである。

その他のPCは、一重系で各主回路単位ごとに、分散して配置している。これは変電所主回路機器の冗長性に対応し、危険分散のためである。例えば、整流器1号用PCが故障しても、整流器2号で列車運行を確保できるといったものである。

各PC間は、光ファイバを用いたデータリンク(LAN:Local Area Network)を構成して、情報の伝達を行っている。

デジタル形保護装置は、ユニット形を主回路回線ごとに分割し、二重系としている。単なる保護リレーとしての機能のほかに、主回路機器の故障要素も取り込み、保護連動処理機能を担わせる場合もある。

2.2.2 一括形システム

全制御対象を、1台のPCで制御するので経済的である。反面、PCの処理能力的にみて、大規模変電所への適用は、

難しく、また冗長性を欠く。検測用やCRT導入の場合には、専用PCを設置することも多い。

図2に構成例を示す。この場合、検測とCRT用に専用PCを設置している。また、制御用PCは一重系とし、ワイヤード回路でバックアップを行っている。

2.3 装置構成

2.3.1 分割形システム

(1) 分散配置形

整流器盤・き電盤など、主回路単位ごとに分割していた各配電盤に、そのまま、PCや保護リレーなどを分散実装する。設備増設の際、容易に対応できるメリットを持っている。図3及び図4に、代表的な配電盤構成を示す。

(2) 集中配置形

監視盤、制御連動盤、保護連動盤など、機能ごとに分割し、配置するものである。操作性の向上をねらったもので、配電盤の一括更新の場合に適している。図5に代表的な配電盤例を示す。

2.3.2 一括形システム

2.3.1項(2)で述べた“集中配置形”と同様な盤構成となっている。図6に代表的な配電盤例を示す。

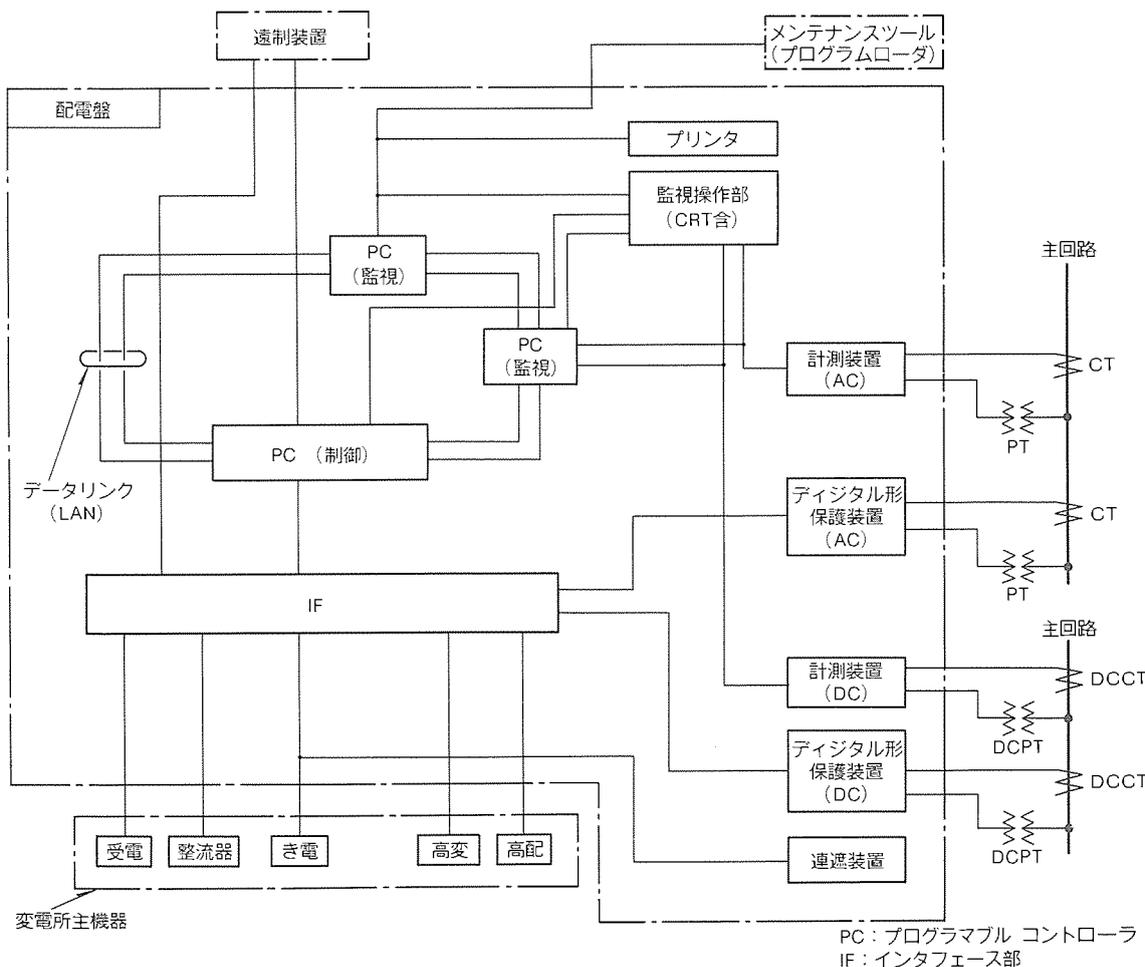


図2. 一括形システム構成例

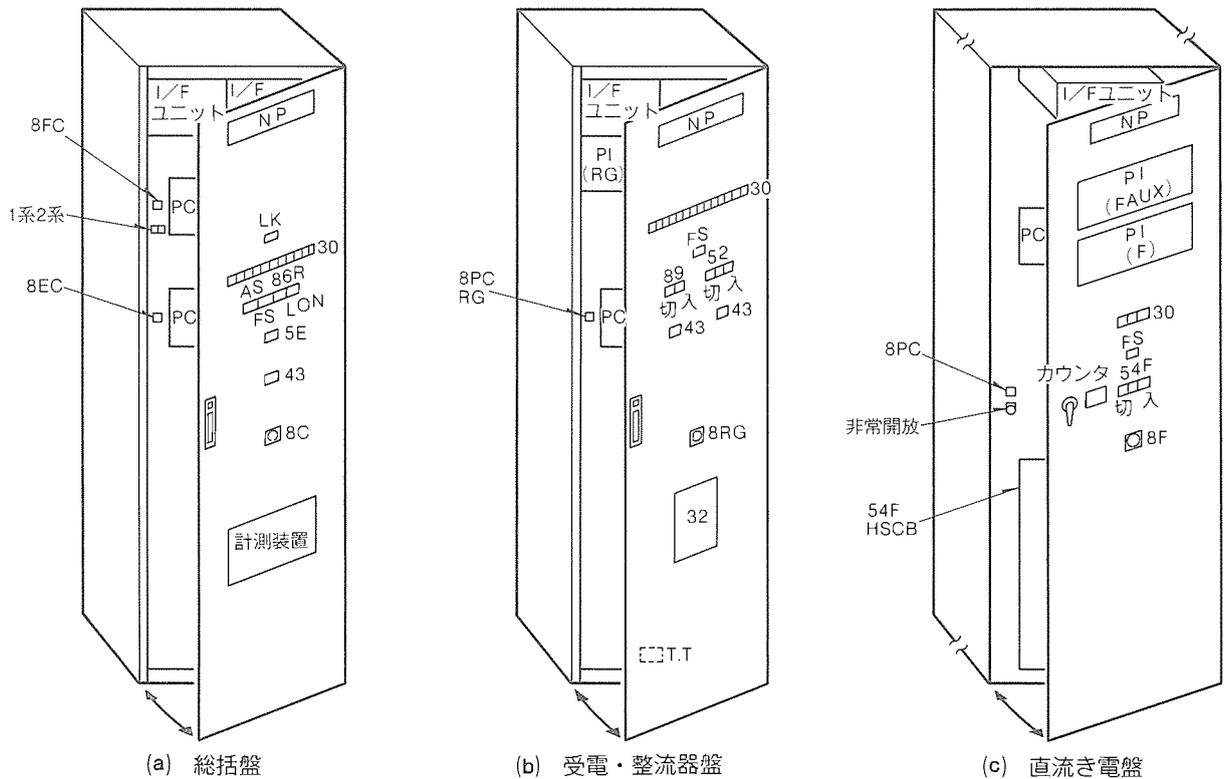


図3. 配電盤器具実装図(分散配置形)例

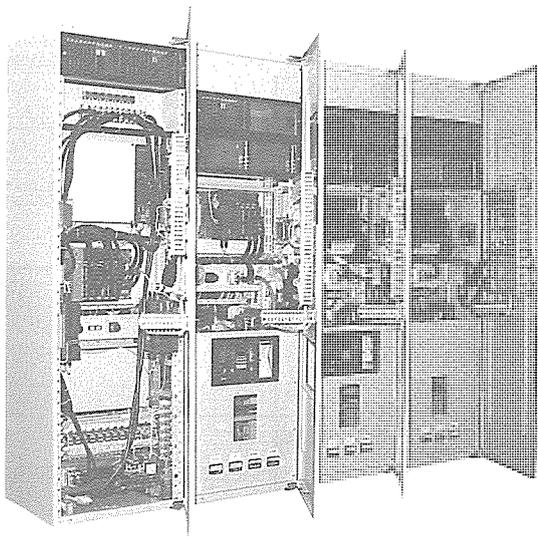


図4. 配電盤(分割配置形)の一例

3. 制御

3.1 監視操作

従来のマンマシン インタフェースは、ねん(捻)回式操作開閉器・機械式故障表示器・アナログ式計器によって構成されていた。新形配電盤では、操作開閉器はLED 照光式押しボタン開閉器を採用し、小型化を図るとともに操作開閉器の状態をPCに入力し、PCで連動処理を行っている。電源開閉器・き電共用切替開閉器は、従来の捻回式を使用している。

故障表示は、集合形LED表示灯を採用し、故障発生状況を容易に認識できるようにしている。計測は、従来、種々配

電盤に分割していた計器・記録計器を集合させた計測装置によって行っている。装置本体で、日報・月報などの作表が可能であり、保守作業軽減の一役を担っている。事故電流波形測定などの保全データ収集機能も兼ね備えている。

CRTを使用したシステムでは、PCで処理した故障・操作記録・計測データの表示を行っている。これらのデータは、盤に取り付けたプリンタに印字させることも可能である。また、配電盤の異常発生部位を表示することも可能であり、異常の早期復旧、保全性の向上を図ることができる。

3.2 制御連動

3.2.1 構成

従来の電磁リレーの結合によるシーケンス制御に代わり、シーケンス機能及び数量演算機能を持ち、ソフトウェアによるプログラム処理を行う汎用小型のPC《MELSEC-A》、及びレベル変換・絶縁・信号切替えを行うインタフェース部によって構成している。

インタフェース部は、ホトカプラ・小型リレーをプリント基板に実装、ユニット化し標準化を行っている。PCを採用することにより、設備の増設・変更に対し容易に対応、かつ高信頼度化を図っている。

表1にPCの仕様例を示す。

3.2.2 機能

PC及びインタフェース部において実現している機能例を以下に示す。

(1) 制御機能

(a) マスタ局で受信し、光データリンクを経由し該当ロー

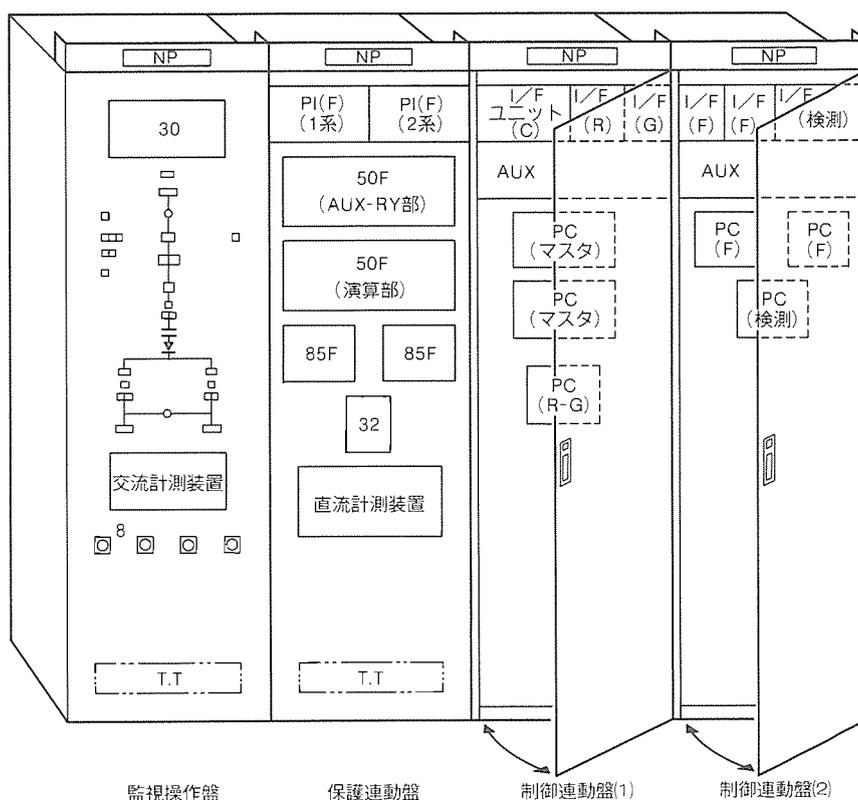


図5. 配電盤器具実装図(集中配置形)例

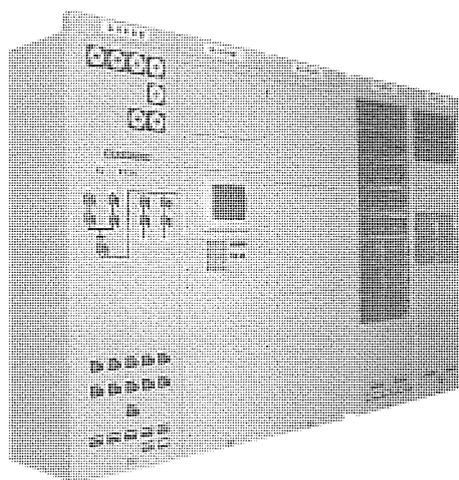


図6. 一括形システム配電盤の一例

カル局へ送信して制御実行する処理には、次のようなものがある。

- (i) 遠制装置からの制御指令
- (ii) 監視操作部からの非常停止指令
- (b) 該当ローカル局単独で行う処理
 - (i) 直接操作扱いによる機器制御
 - (ii) 停電・復電連動
 - (iii) 高配予備待機制御
- (2) 表示機能
 - (a) ローカル局で取り込んだ情報を光データリンク経由でマスタ局へ送信し、マスタ局で表示合成する処理には、次

表1. PC仕様例

品名	仕様
マスタ局 (PC)	制御方式 ストアードプログラム繰り返し演算 プログラム言語 シーケンス制御専用言語 処理速度(シーケンス命令) 2.5μs 以下/ステップ シーケンスプログラム容量 16K ステップ以上 入出力点数 512点以上 CPU 16ビット マイクロプロセッサ
ローカル局 (PC)	制御方式 ストアードプログラム繰り返し演算 プログラム言語 シーケンス制御専用言語 処理速度(シーケンス命令) 5.6μs 以下/ステップ シーケンスプログラム容量 最大 4K ステップ 入出力点数 最大 480点 CPU 16ビット マイクロプロセッサ
光バイパススイッチ	二重化されたマスタ局をLANに接続することを切り替えるスイッチ 通信速度 1.25 Mbps 伝送路形式 二重ループ方式
光データリンク (LAN)	通信速度 1.25 Mbps 伝送容量 ビット情報 1,024点 ワード情報 512点 伝送路形式 二重ループ方式又はバス方式 最大伝送ケーブル長 局間 1 km (総延長10km) 接続ステーション数 最大 65局 使用ケーブル 光ケーブル

のようなものがある。

- (i) 遠制装置への機器状態・故障表示
- (ii) 警報処理
- (iii) CRT画面への表示
- (b) 該当ローカル局で行う表示合成処理

- (i) 監視操作部への機器状態表示
- (ii) 故障表示
- (3) 保護連動機能
 - 保護は、基本的には保護リレーによって行うこととしているが、一部 PC で保護連動機能を担っている。
 - (a) 故障発生時の断路器開放等の二次連動開放（遮断器は保護リレーから直接開放）
 - (b) 機器鎖錠故障発生時の該当遮断器・断路器への投入鎖錠
 - (c) 隣接変電所に対しての連絡遮断発信条件の合成
 - (d) き電用高速度遮断器再閉路時に、故障選装装置（50F）の不要動作を防ぐための検出感度変更指令の送出
 - (e) き電回路及び高配回路の再開路処理

(4) 常時監視機能
 汎用の自己診断機能のほか、装置の異常発生、機器の誤制御防止などのため常時監視機能を付加している。その一例を下記に示す。

- (a) 遠制装置からの制御指令入力は、そのパルス幅を測定し、一定時限以上の入力であれば D/I 不良として系切替えを行う。一定時限以下の入力に対しては、ノイズとみなして入力を無効としている。
- (b) 遠制装置への表示出力、機器への制御出力は、出力のフィードバック チェックを行い、ソフトイメージとフィードバック入力が一一致したことで、各出力を有効とする処理を行っている。不良時には系切替え、制御ロックを行う

- ている。
- (c) データリンクを介し、PC 間でチェック用データの更新の有無を監視し、データリンクの監視を行っている。
- (5) データ収集機能

機器（遮断器・断路器別）の投入、開放応動時間測定、遮断器の操作又は事故遮断判別（動作回数測定）を行っている。データの表示は、メンテナンスツール“AGPP”を接続して行う。
 電圧・電流・事故電流波形などの計測は、別設置の計測装置によって行っている。これらのデータを遠制装置に伝送するために、計測装置と PC の間をパラレル符号で結合し、データを収集している。

4. 保 護

4.1 デジタル形の採用

電鉄変電所の保護リレーは、専らの機械式保護リレーを使用していた。しかし、電力系統の巨大化・複雑化に伴って、その重要性が再認識され、高信頼度化・高性能化などの検討が進められてきた。そして、性能面で優れた半導体の特長を生かし、加えて常時監視などで信頼性をもたせたトランジスタ形保護リレーが採用され、保護システムに大きな信頼を与えた。それでもなお、系統の拡大とともに、総合化・システム化という新ニーズに対応することが困難になり、デジタル形の採用が進められてきた。

デジタル形保護リレーは、性能・信頼性・保守面のみな

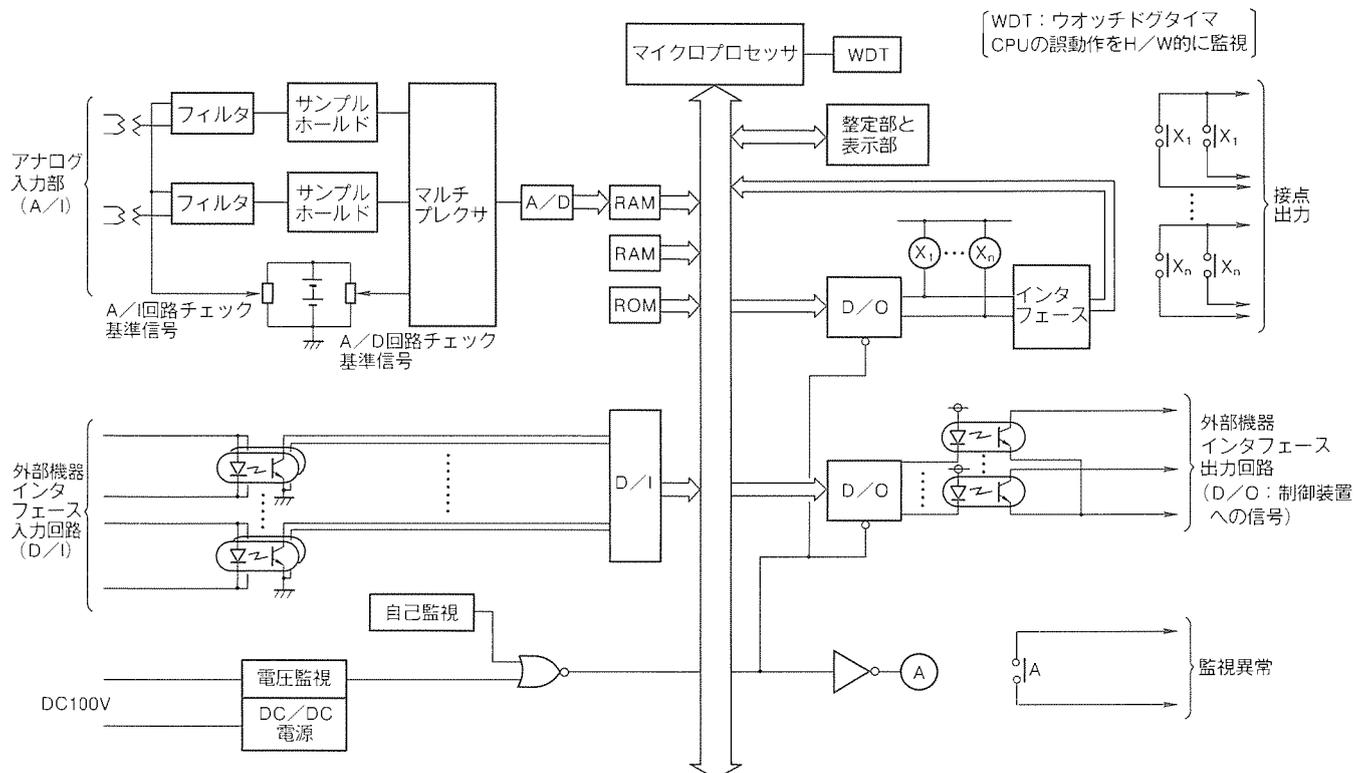


図7. デジタル形保護装置の基本構成

表 2. ユニット形デジタル保護装置の種類

種類(用途)	保護継電器要素	
受電用	51R/50R	(二相)
	51GR	(零相)
整流器用	51/50 _{L,H}	(二相)
	51C/50C	(二相)
	27	(单相)
受電・整流器用	51/50 _{L,H}	(二相)
	51C/50C	(二相)
	51G	(零相)
	27	(单相)
高配変圧器用	51DP/50DP	(二相)
	51DS/50DS	(二相)
	27H	(单相)
	64L	(零相)
高压配電線用 (三相回線用)	51 _{L,H}	(二相)
	27L	(二相)
	67G	(零相)
高压配電線用 (单相信号回線用)	51 _{S,L,H}	(单相)
	27L	(单相)
	64DS/64LS	(零相)

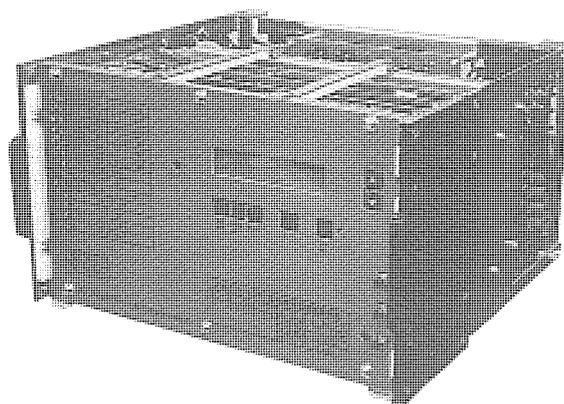


図 8. ユニット形デジタル保護装置

らずトータルのみにみた経済面でもその優位性は、トランジスタ形をしのぎ、電鉄変電所でも主流となりつつある。従来、電鉄変電所のデジタル形保護リレーのハードウェア構成は、保護要素を集中化した装置形が採用されてきた。

近年、電鉄分野では、

- (1) 変電所スケルトンがある程度標準化されている。
- (2) 冗長性の拡大
- (3) 危険分散

などの理由から、主回路単位(受電回線、整流器バンク、高配変圧器バンクなど)の保護要素を収納したユニット形が採用されるようになってきた。いわゆる“集中保護方式”から“分散保護方式”への移行である。

4.2 ユニット形デジタル保護装置《MULTICAP-R》

電鉄変電所用に開発したユニット形デジタル保護装置 MULTICAP-R (Multiple Control and Protection Systems-Railway) は、1台のハードウェアで一重化システムであり、2台使用することによって二重化システムを構成することができる。図7にハードウェアの基本構成を示す。

この装置は次の特長を持っている。

- (1) 各主回路保護に適したリレー要素を1ユニットに収納しており、設備のコンパクト化が図れる。ユニットの種類を表2に、外観を図8に示す。
- (2) 過電流限時要素は、反限時・強反限時・定限時の3種類

の特性が選択でき、負荷に見合った系統の保護協調が容易にできる。

- (3) ひずみ(歪)波対策付きで、電鉄変電所特有の歪波に対しても安定した動作特性が得られる。
- (4) LCDによる整定値表示、異常検出監視項目、動作要素名、保護リレー動作時の各種電気情報を表示するサービス表示機能を持っている。

5. 今後の展望

マイクロエレクトロニクス技術の配電盤への適用領域の拡大により、制御機能の充実・信頼性・保守性の向上が図られた。今後、変電所内の機能のみにかぎらず電力管理など上位システムとの機能分担を考慮し、最適なシステム構築をしていくことも必要になってくると考えられる。

これらを基盤システムとして、変電所のインテリジェント化や人工知能応用による指令業務・保守業務の一層の合理化・近代化などを指向したシステムになっていくと考えられる。

6. むすび

以上、新形配電盤についてその概要を紹介した。エレクトロニクス技術の進歩により、変電所制御は従来にない新しい価値(機能・性能)を付加し、イメージを一新しつつあるといえる。今後も技術の向上を図り、ユーザー各位のニーズにこたえつつ、より高品位の制御システムを市場に提供していく所存である。

最後に、新形配電盤の構築に当たり、いろいろ御指導いただいたユーザー各社に感謝申し上げます。また、これからの変電所制御保護システム構築の際、御参考になれば幸甚である。

大阪市交通局70系リニアモータ車両用電気機器の概要

平尾新三* 中本紀明*
 大濱茂也* 西川武志*
 落合 統* 飛岡正己*

1. ま え が き

大阪市交通局第7号線(京橋—鶴見緑地間5.2km)は、中量規模の地下鉄であるが、日本で最初のリニアモータ地下鉄として、1990年3月に開業し、その後、約1年間を経過したが順調に営業運転を継続している。

当社は70系リニアモータ車両の開発に当たって、自然冷却式リニアモータ、VVVFインバータ制御装置、冷房装置等の共同設計及び製作・試験、そして車上遠隔制御装置、自動列車制御装置、全電気指令式空気ブレーキ装置等の開発設計及び製作・試験に参画したほか、リニアモータ車両の現車試験にも参画した。さらに、軌道に敷設するエンドバー式リアクションプレートの開発設計及び製作・試験を実施して貴重な経験を得たので、これらの電気機器の概要を報告する。

リニアモータ車両の適用によって、車両の低床化が可能となり、トンネル断面や駅を小さくできるので、地下鉄の建設費を低減できるほか、非粘着推進による急こう配走行が可能で、曲線通過が容易となるなどの特長があり、中量輸送の地下鉄に適している。

2. リニアモータ車両の概要

2.1 リニアモータ車両の特長

最近、大都市における地下鉄輸送は重要性を増しているが、その建設費は極めて高額となっており、大阪市ではその建設費を低減するため、比較的輸送量が少ない路線によっては、中量輸送需要にみあった小断面地下鉄の研究開発に取り組んできた。図1に示すリニアモータ車両は、中量規模地下鉄を実現するにふさわしい、次のような特長を持っている。

- (1) 扁平な形状の自然冷却式リニアモータを適用することによって、車両の低床化が可能となり、客室の天井高さなど居住性を損なうことなく、車両高さを低減でき、小断面地下鉄に対応できる。
- (2) 車両の推進装置であるリニアモータは、車上一次コイルと地上リアクションプレートとの間で直接発生する推力により、推進する非粘着駆動方式であるため、空転発生はなく、しかも、かなりの急こう配での走行が可能であって、路線の選定の自由度が大きく、地下鉄建設費の低減に寄与する場合がある。
- (3) 台車にステアリング機構が適用でき、急曲線での円滑な走行ができる。

(4) 歯車減速駆動装置がないので、歯車音がなく、またリニアモータには回転部分がなく保守上有利である。

(5) 電力回生ブレーキは非粘着ブレーキであるため、車輪の摩耗は小さい。

2.2 リニアモータ車両の主要諸元

70系車両は、中量規模の小断面地下鉄に対応するために開発されたリニアモータ駆動車両であって、車両の各寸法は従来の地下鉄車両より一回り小さくなっている。4両1編成のリニアモータ車両が13編成製作された。70系車両の主要諸元は表1のとおりである。

リニアモータは、全車両の電動台車の上に台車枠装架されるが、リニアモータの速度、推力を制御するVVVFインバータ制御装置は、中間車2両の床下にぎ(簾)装されている。ブレーキ装置のうち、電動空気圧縮機は両先頭車の床下に、ブレーキ作用装置は全車両の床下に、ブレーキ受信装置はVVVFインバータ制御装置の一体箱内に配置されている。自動列車制御装置本体及び車上遠隔制御装置の先頭車伝送端末装置は運転台の背面に配置され、中間車伝送端末装置は床下に簾装されている。

冷房装置は各車両の車体妻天井部に取り付けられている。リニアモータ車両は、床面高さ850mmの低床車両であるので、床下に簾装される機器の高さは500mm以下で設計・製作されている。また、リニアモータが搭載される台車の車輪径は、660mmである。

3. 車両性能

3.1 力行車両性能

力行時の車両性能は図2に示すとおりである。リアクシ

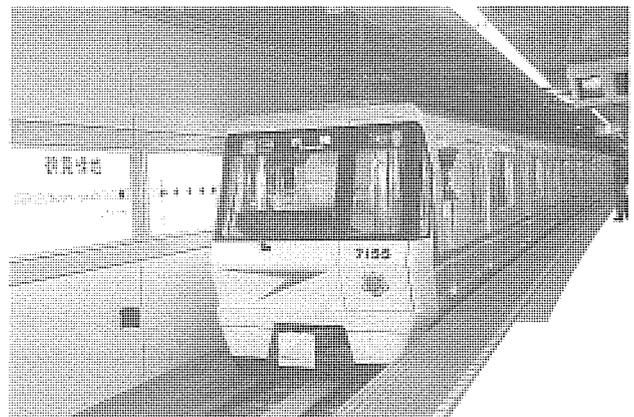


図1. 70系リニアモータ車両

表 1. 70系車両の主要諸元

編 成	M _{2c}	M _{1c}	M _{1c}	M _{2c}
車 両 形 式	7100形	7200形	7000形	7100形
軌 間	1,435mm			
電 気 方 式	DC 1,500V 架空電車線方式			
定 員	90人(うち座席32人)	100人(うち座席40人)	100人(うち座席40人)	90人(うち座席32人)
自 重	26.5 t	24.5 t	24.5 t	26.5 t
主 要 寸 法	連 結 面 間 距 離	15,800mm	15,600mm	15,600mm
	車 体 長 さ	15,200mm	15,000mm	15,000mm
	車 体 最 大 幅	2,490mm		
	最 大 高 さ	3,120mm	3,115mm	3,115mm
	ボギ- 中 心 間 距 離	10,500mm		
主 要 運 転 性 能	最高速度70km/h, 加速度2.5km/h/s, 減速度(常用最大)3.5km/h/s, (非常)4.5km/h/s			
台 車	リニアモータ駆動式空気ばね台車 固定軸距1,900mm 車輪径660mm			
主 電 動 機	車上一次片側式リニア誘導電動機(自然冷却式)100kW			
制 御 装 置	—	回生ブレーキ付きVVVF インバータ制御装置	回生ブレーキ付きVVVF インバータ制御装置	—
空 気 制 動 装 置	回生ブレーキ併用電気指令式電磁直通ブレーキ方式(応荷重装置付き)			
電 動 空 気 圧 縮 機	低床形2段圧縮単動往復 ピストン形(三相交流式)	—	—	低床形2段圧縮単動往復 ピストン形(三相交流式)
車 上 遠 隔 制 御 装 置	光ファイバ直列伝送方式(光伝送電気指令制御, モニタ機能, ELディスプレイ付き)			
自 動 列 車 制 御 装 置	高周波軌道回路式(連続誘導式)			
冷 房 装 置	セミ集中式ユニットクーラー52.325kJ/h [12,500kcal/h] × 2台/両			

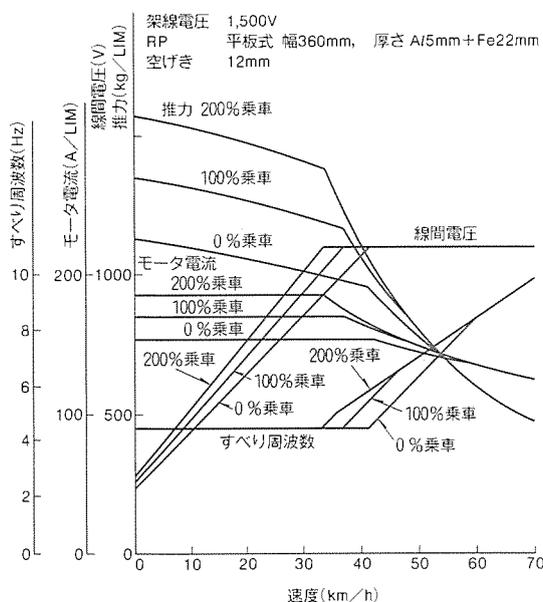


図 2. 力行車両性能(P4 ノッチ)

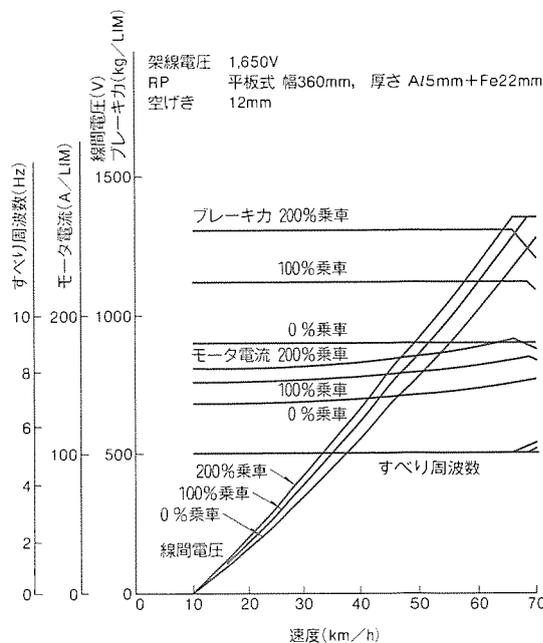


図 3. 回生ブレーキ車両性能(B5 ステップ)

ンプレートはアルミ 5 mm 厚—鉄 22 mm 厚, 幅 360 mm, 平板式の場合を示すが, リアクションプレートの種類によっては, 速度—推力特性は若干変わる。空げきは標準 12 mm であるが, 空げきが小さくなれば推力は大きくなり, 加速電流は若干減少する。

図 2 に示す力行車両性能は計画値であるが, 現車試験結果のデータは推力特性, 電流特性とも比較的計画値とよく一致している。また, 約 1 年間走行後の加減速度は, 約 1 年前の現車試験時とほぼ同一で, 車両性能の変化はほとんどないこ

とが確認されている。

力行 4 ノッチの V/f 終端速度での効率及び力率は, 空車/満車の条件でそれぞれ 71/68% 及び 50/52% 程度である。

リアクションプレート欠落部通過特性は加速度で若干の落ち込みがあるが, ジャークの点で特に問題はなく, 電流の制御は円滑である。

3.2 回生ブレーキ性能

回生ブレーキの車両性能 (B5 ステップ) を図 3 に示す。B5 ステップの定員条件で, ほほ最高速度から全車両のブレー

試験項目：力行特性(P4, 50km/h)
 試験場所：鶴見緑地線(横堤一今福)
 試験日：平成元年11月25日(上り方向)

試験条件：空車・空けき13mm
 走行パターン：力行 4N

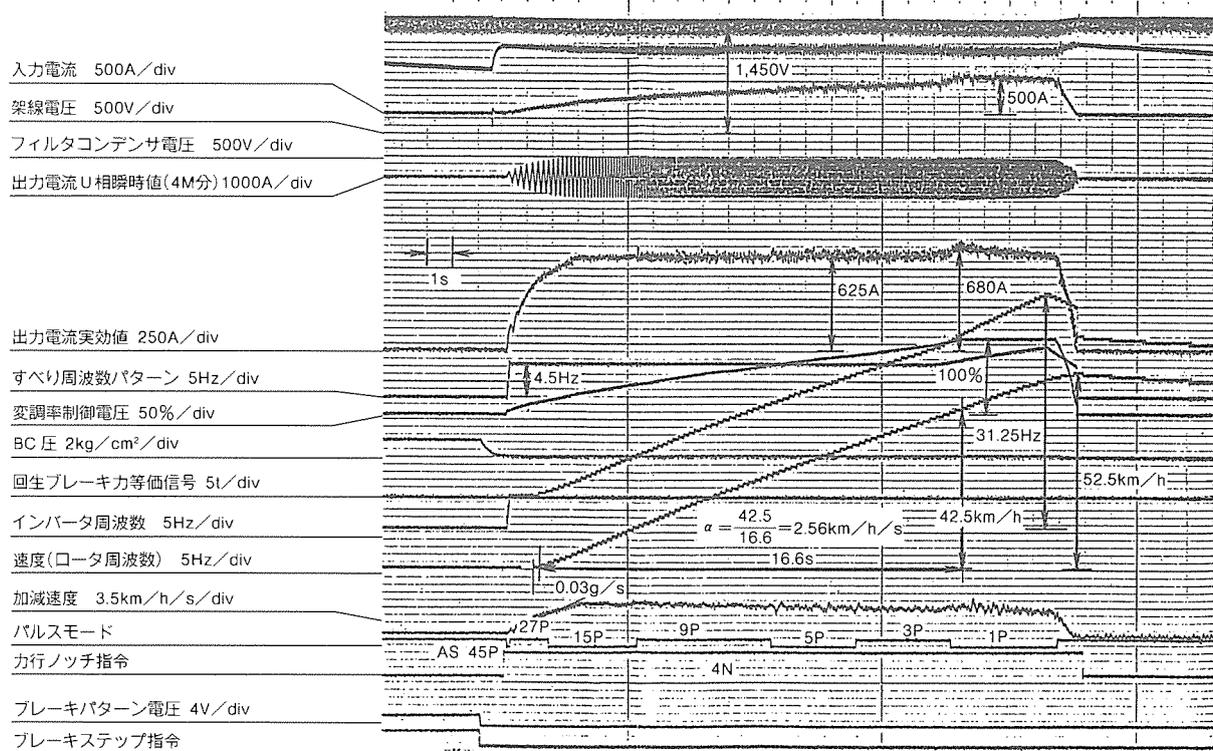


図4. 力行特性

キ力を回生ブレーキだけで補うことができる。低速域では回生ブレーキと空気ブレーキのブレンディングが円滑に行われる。

非常ブレーキの減速度は4.5km/h/sであるが、保安上の理由から回生ブレーキを使用せず、空気ブレーキのみが作用する。現車試験の結果、常用最大ブレーキB7ステップでの減速度は、計画減速度3.5km/h/sより少し高いが、空気ブレーキとの協調は円滑で良好である。

3.3 現車試験結果

第7号線で実施された現車試験の力行特性の一例を図4に示す。力行4ノッチ、空車の条件で加速度は2.56km/h/sで計画値を満足している。電流電圧波形から、円滑な制御が行われている。

現車試験で測定された回生

試験項目：回生特性(50km/hからB5)
 試験場所：鶴見緑地線(鶴見緑地一横堤)
 試験日：平成元年10月20日(上り方向)

試験条件：空車・空けき13mm
 走行パターン：力行 4N → ブレーキ 5S
 起動位置(ML5.5) → 制動位置(ML5.0)

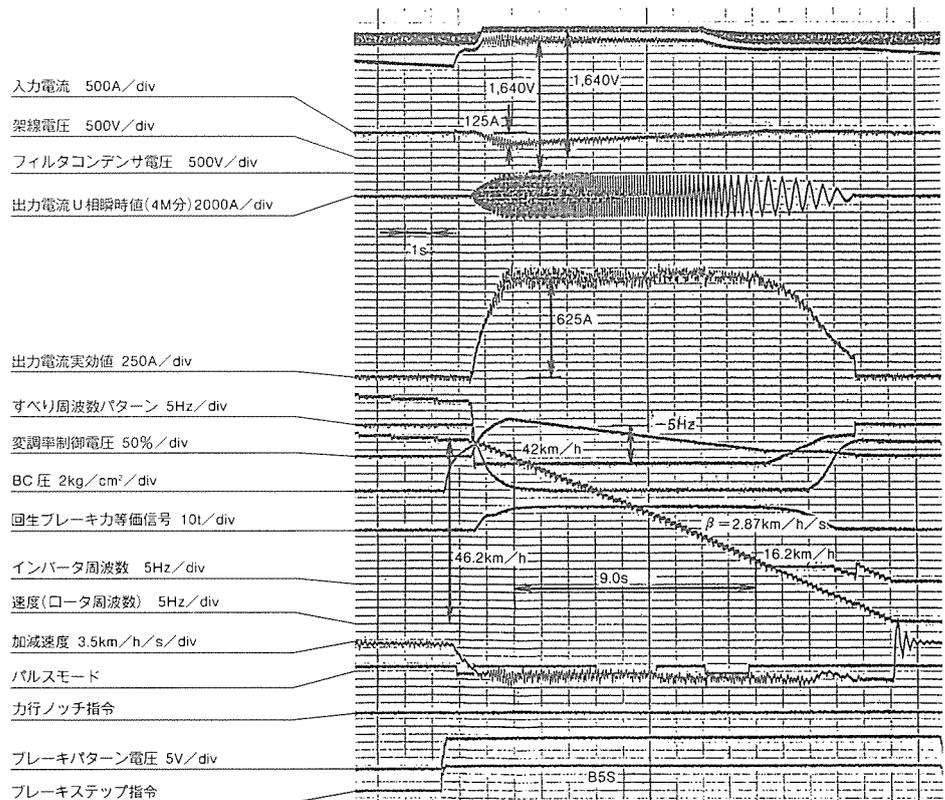


図5. 回生特性

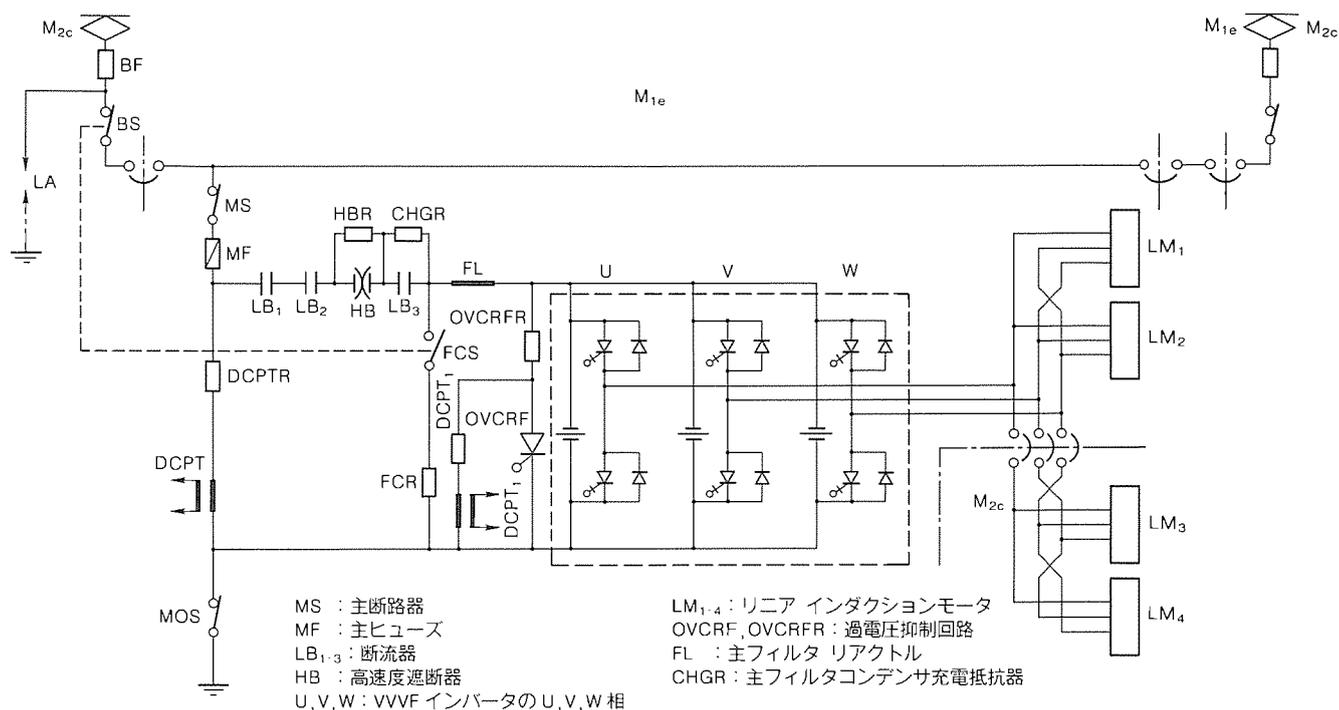


図 6. 主回路接続図

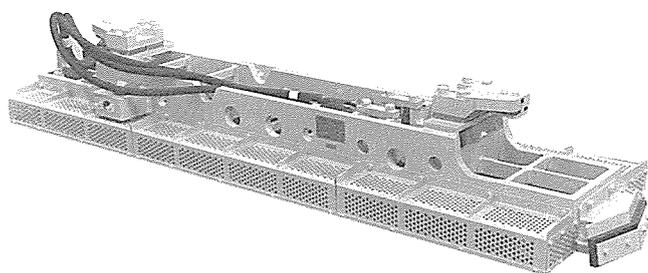


図 7. リニア インダクションモータ

ブレーキ特性 (B5 ステップ) の一例を図 5 に示す。B5 ステップにおける計画減速度 2.5 km/h/s より少し高いが、空気ブレーキとの協調は良好である。

4. 主要電気機器の概要

4.1 主回路の構成

70 系リニアモータ車両の主回路を図 6 に示す。1 編成は 4 両の全電動車で構成され、リニアモータは台車ごとに 1 台搭載されるので、1 両の 2 台車に 2 台のリニアモータが搭載されて推力を発生する。2 両分のリニアモータ 4 台が 1 台の VVVF インバータに並列接続され、一括制御される。

主回路の構成は図 6 に示すとおりで、GTO サイリスタによる電圧形 PWM VVVF インバータにより、4 台のリニアモータ群を電圧、周波数の可変制御を行うもので、回転形誘導電動機の主回路構成と類似しているが、リニアモータの効率・力率が誘導電動機より低いので、VVVF インバータの制御容量は 1.6 倍程度に大きくなっている。また、リニアモータの定格周波数が 21 Hz と低いので、主フィルタコンデンサの容量が大きくなるため、電解コンデンサを適用して装

表 2. リニア インダクションモータの定格及び主要諸元

		諸 元
定 格	方 式	車上一次片側リニア誘導電動機
	種 類	1 時間
	極 数	8 極
	出 力	100 kW
	相 数	三 相
	電 圧	1,100 V
	電 流	151 A
	周 波 数	21 Hz
同 期 速 度	42.5km/h	
冷 却 方 式	自然冷却方式	
絶 縁 種 別	H 種	
装 架 方 式	台車枠装架式	
質 量	1,230kg	
コ イ ル	長 さ	2,465.4mm
	高 さ	124 mm
	積 厚	270 mm
	スロット寸法	15×79 mm
	スロット数	96(105)
	極ピッチ	280.8mm
コ イ ル	導体数/スロット	16
	スロット数/相・極	4
	直列導体数/相	512
	導体寸法	2-4×6mm
	コイルあたり 結線方式	#1~#10 Y
標準空けき (満車時)	12mm	

置の小型・軽量化を図っている。

リニアモータの電圧制御は、制御パターン電圧によって制御されるが、リニアモータ電流は空けきの大きさによって変動するので、定電流制御系は設けていないが、最大電流リミッタを設けている。

4.2 リニア インダクションモータ

リニア インダクションモータの外観を図7に、主要諸元を表2に示す。このリニア インダクションモータの1時間定格出力は100kWであり、リニア インダクションモータの省保守性をより高めるため、自然冷却方式とした。

このリニア インダクションモータは台車枠装架方式と呼ばれ、台車の横はり(梁)から出された3本のつ(吊)りリンクによって吊り下げられる構造であり、リニア インダクションモータはばね上荷重となる。一方、大阪南港試験場で試作車両を用いて約1年半にわたって行われた走行試験では、電気設計は全く同じであるが、車軸装架方式と呼ばれるリニア インダクションモータも同時に試験が実施された。この方式は、リニア インダクションモータが車軸を介して直接車軸に装架される構造であるため、リニア インダクションモータはばね下荷重となる。この2種類のリニア インダクションモータの走行試験の結果、量産車用には台車枠装架方式リニア インダクションモータが採用された。

当社はその設計、製作の担当メーカーとして、試作車用のリニア インダクションモータをはじめ、量産車用では約半数に当たる48台のリニア インダクションモータを製作、納入した。営業運転投入後の初回定期検査結果によれば、じんあい(塵埃)の付着量及び塵埃の量は少なく、湿気・油汚れもほとんど見られなかった。リニア インダクションモータのコア下面の平面度測定の結果、1mm以内にあり、工場出荷時のデータと比較して、ほとんど変化がなかった。

4.3 リアクションプレート

リアクションプレートの外観を図8に示し、その主要諸元を表3に示す。リアクションプレートの設計に当たっては、幅360mmのアルミ平板式(クラッド鋼方式)を基本とし、このリアクションプレートについて車両性能を設定した。リアクションプレートの種類は、ポイント部のものを除けば3種類あるが、車両性能は前記平板式と同等となるような形状となっている。

当社が担当したリアクションプレートは、鶴見検車場用のエンドバー方式と呼ばれるリアクションプレートであり、約2km分を製作、納入した。このエンドバー方式のリアクションプレートは、リアクションプレートの長手の両サイドにアルミのブロックを取り付けた構造となっており、リニア インダクションモータの特性を損なうことなく、リアクションプレート幅を狭くできる特長がある。

4.4 VVVF インバータ制御装置

制御装置は、回生ブレーキ付きVVVFインバータ制御方式で、DC1,500Vの架線電圧を可変電圧、可変周波数の交流に変換する電圧形PWMインバータ制御である。主回路素子はGTOサイリスタで、100kWのリニア インダクションモータ4台を1S-4P接続で制御する。制御容量は1,640kVAで、2両に1台のVVVFインバータ制御装置を搭載

している。

VVVFインバータ制御装置の外観を図9に示し、その主要諸元を表4に示す。VVVFインバータ制御装置は、主回路素子、個別フィン冷却ユニット、論理部、フィルタコンデンサ、ブレーキ受信装置及び車上遠隔制御装置の指令変換器等を収納した一体箱になっている。車両の低床化のため、一体箱の高さを500mmに抑えている。

インバータの制御方式は電圧形PWM制御で、力行制御及び回生ブレーキ制御は次のとおりである。

(1) 力行制御

起動時：非同同期式、すべり周波数一定、V/fパターン制御
 低速域：VVVF平均加速制御、すべり周波数一定、V/fパターン制御

高速域：CVVF定電圧制御、すべり周波数パターン制御、定電圧

(2) 回生ブレーキ制御

高速域：CVVF定電圧制御、すべり周波数パターン制御、定電圧

中速域：VVVF定ブレーキ制御、すべり周波数一定、V/fパターン制御

主フィルタリアクトルは自冷横置形として、リニアモータ車両の床面上の漏えい磁束密度を低く抑えている。これは漏えい磁束によるペースメーカー等への影響を配慮したもので

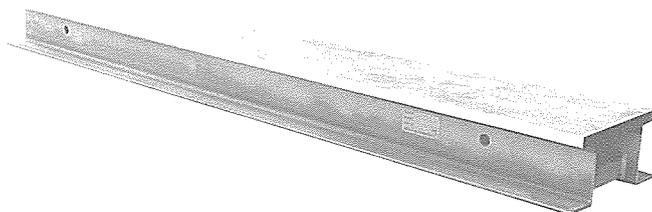


図8. リアクションプレート

表3. リアクションプレートの主要諸元

		平板式	エンドバー式 (接合方式)
アルミ	幅 (mm)	360	320
	厚さ (mm)	5	5
	材質	A1050	A6101
鉄	幅 (mm)	360	290
	厚さ (mm)	22	22
	材質	SS41	SS41

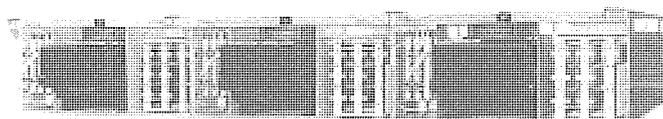


図9. VVVFインバータ制御装置

表4. VVVFインバータ制御装置の諸元

諸元	
電気方式	DC 1,500V, 架空電車線方式
運転性能	加速度 2.5km/h/s 減速度 3.5km/h/s(常用最大) 最高速度 70km/h
制御方式	VVVFインバータによる自動加減速制御方式回生ブレーキ付き, 電圧形PWM
制御容量	1,640kVA
主回路	力行, 回生とも1S4P(リニアインダクションモータ)
起動方式	ソフトスタート制御方式
インバータ制御周波数	0~50Hz
回路遮断方式	正常時: インバータによる減流遮断 異常時: 高速度遮断器による一段減流遮断
各ノッチ特性	1ノッチ: インバータ周波数5Hz時の変調率で固定 2ノッチ: インバータ周波数12Hz時の変調率で固定 3ノッチ: 100%電圧で固定 4ノッチ: 100%電圧で固定し, すべり周波数制御
主電動機開放	運転台から床下の制御回路開放器を遠隔操作して, 制御ユニットを開放する。
保護機能	入力過電流, 架線低電圧, 架線接地, 過電圧, 主電動機過電流, 転流失敗, 相電流不平衡, 制御異常, パルスセンサ異常, 冷媒液温度上昇, 制御電源低下

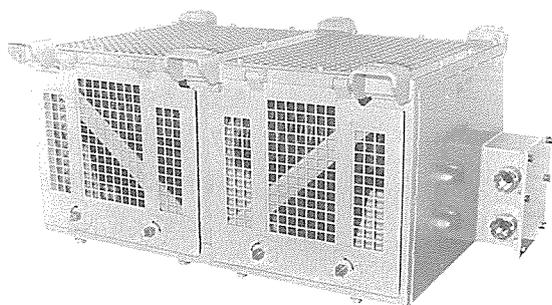


図10. 主フィルタリアクトル

表5. 自動列車制御装置の諸元

(1) 信号種別と信号周波数, 制限速度の関係

信号種別	70	60	50	40	25	15	0	N
信号周波数(Hz)	22	29	36	47	78	100	135	無信号
制限速度(km/h)	70	60	50	40	25	15	0	0
							※(15)	※(15)

注 ※印 0信号区間でいったん停止して確認後, 15km/hの走行可能(非常運転)

(2) 受信部

入力信号波	く形波振幅変調波
搬送波(kHz)	10.0, 12.5, 15.5
信号波(Hz)	22, 29, 36, 47, 78, 100, 135
最小動作入力レベル(mV)	60
時間特性(s)	動作時間: 0.1~0.3 復旧時間: 0.65~1.0
冗長度	一重系 ただし, 車内信号系は待機予備二重系

(3) 速度照査部

速度入力	正弦波 2入力(位相差90°)
速度照査精度	±2km/h(車輪径補正誤差含む。)
車輪径補正	580~660mm 9段階
停止検知	5km/h
後退検知機能	有り
断線検知機能	有り

ある。主フィルタリアクトルの外観を図10に示す。

4.5 自動列車制御装置

自動列車制御装置は列車を安全に走行させるために, 常に制限速度以下になるように, 制御装置又はブレーキ装置に指令を出す列車保安装置である。主な特長は次のとおりである。

- (1) ATC信号の伝送は高周波連続誘導式である。
- (2) 信号方式は車内信号方式である。信号種別と信号周波数, 制限速度の関係は表5に示すとおりである。定格諸元も同表にまとめて示す。
- (3) 自己モニタ機能, 自動試験機能を持っている。
- (4) 車上-地上間の多情報伝送機能(トランスポンダ装置経由)を持っている。
- (5) 受信部, 速度照査部一体型である。

自動列車制御装置は図11に示すとおり受信部, 速度照査部, 監視部及び送受信局に分けられる。

受信部については, この装置は車内信号方式を採用しているため, 装置故障時に車内信号表示が消えるのを防止するため, 待機予備二重系として, 車内信号系のシステム信頼性の向上を図っている。

速度照査部にはマイクロコンピュータを採用し, 速度照査, 非常運転論理及び設-非設切換え論理をS/W処理とした。マイクロコンピュータの適用に際しては, フェイルセーフ性が重要な課題となるが, この装置では二つのマイクロコンピュータを二重構造としたDualコンピュータ方式を採用した。

監視部は通常時(本線上)にはATCの動作状態を監視し, 試験時(検車場)には月検レベルの試験を実行して, その結果を車上遠隔制御装置に伝送する機能がある。このほか状態情報出力機能, モニタ機能, 自動試験機能がある。

送受信局は通常時(本線上)には地上からの地点情報を受信し, 監視部へ渡すとともに, 監視部からの車上情報を地上へ送信する。また,

試験時(検車場)には、監視部からの ATC 試験指令を地上へ送信する。

自動列車制御装置の外観を図12に示す。

4.6 車上遠隔制御装置

車上遠隔制御装置は、光ファイバ直列伝送による情報網を中核として、列車内の主要機器の制御・監視を系統的に行うことにより、列車のシステム化を目指す車両用コンピュータシステムである。

制御機能としては、列車機能の自動立ち上げ、力行・ブレーキ指令を始め、各種補機、車内案内表示装置等への出力等多岐にわたっている。また、列車内の各機器の動作状態を常に監視しており、異常が発生すると、これを記録すると

もに乗務員に通知し、異常状態に応じた処置の案内を行う等、多くの情報提供手段を持ち、マンマシン インタフェースを充実させている。さらに、制御・監視機能を有効に生かした車上自動試験機能もっており、主要機器の月検レベルの試験を車上で行うことができる。

車上遠隔制御装置のシステム構成を図13に示す。車上遠隔制御装置は先頭車に中央機能を持った二重系で構成される伝送端末装置があり、中間車には当該車両の制御・監視を行う伝送端末装置、さらに、VVVF 制御装置とブレーキ受信装置とのインタフェースをつかさどる指令変換器があり、各々光ファイバの二重化ループ伝送路によって接続されている。また、乗務員との主要なマンマシン インタフェースとなる、タッチセンサ付き高解像度 EL ディスプレイによる運転台表示装置が各運転台に設置されている。各対象機器とは極力伝送系によって接続し、機能の高度化を図っている。車上遠隔制御装置のシステム機能は図14に示すとおりである。

車上遠隔制御装置のシステム機能は図14に示すとおりである。

車上遠隔制御装置の外観を図15に示し、運転台表示装置、運転用計器及び主幹制御器等を配置した運転台を図16に示す。

4.7 冷房装置

冷房装置は車体表天井部に、52.325 kJ/h {12,500kcal/h} 各1台、1両当たり2台取り付けられている。客室天井部両側の天井ダクトを通り客室内の温度が均一となるように、スリットから冷風を吹き出させている。

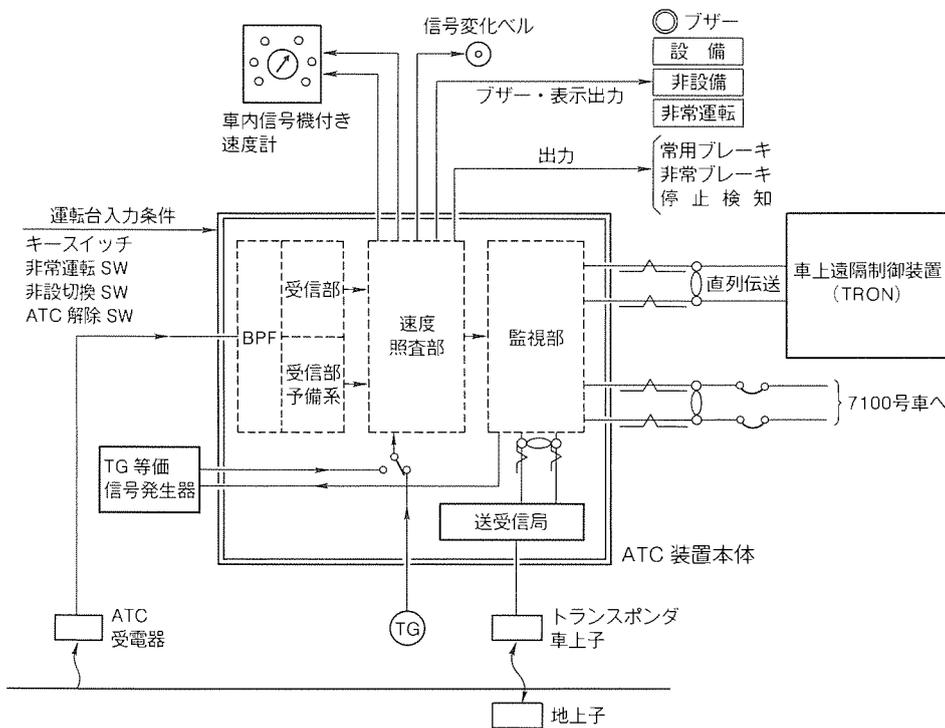


図11. ATC装置の構成

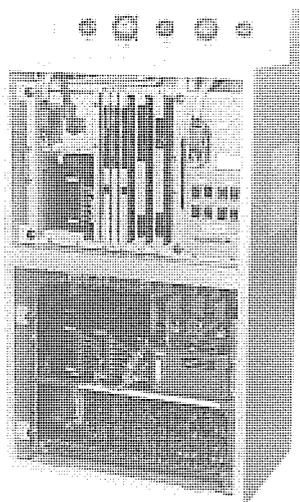


図12. 自動列車制御装置

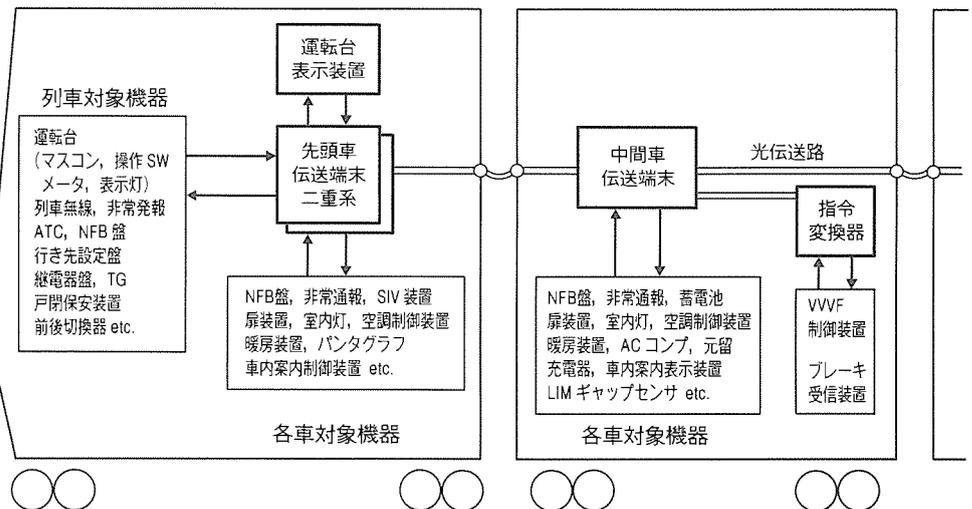


図13. 車上遠隔制御装置のシステム構成



図14. 車上遠隔制御装置のシステム機能

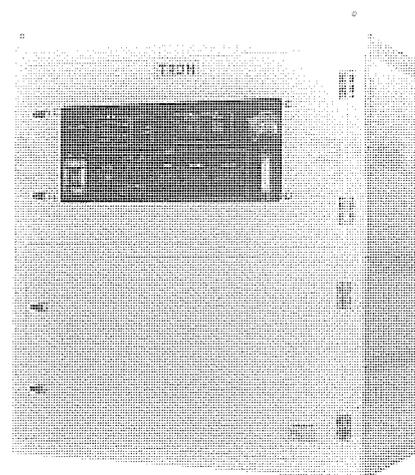


図15. 車上遠隔制御装置



図16. 運転台モニタディスプレイ

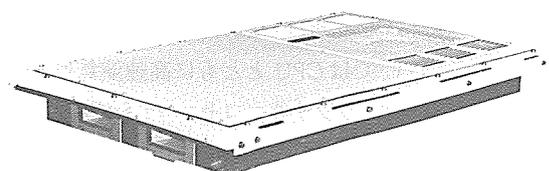


図17. 冷房装置本体

ロールフィルタは1シーズンの連続使用ができる。

客室高さは低天井部で2,000 mm 以上を確保して、車内の居住性を保つように、冷房装置本体は高さ約240 mm と薄形、軽量に設計、製作した。

空調機器の制御はマイクロコンピュータ方式を採用して、きめ細かな制御を行っている。運転モードは強冷・弱冷・除湿・送風で客室内の各種センサ(温度・湿度・乗車率)で状況を検出し、運転モードを自動的に切り換える機能を持っている。冷房装置本体の外観を図17に示す。

5. む す び

大阪市交通局第7号線の70系車両の開発に当たって、当社は試作車両用電気機器の設計、製作及び現車試験に参画し、

我が国最初のリニアモータ車両の実用化開発にたずさわる機会を得た。

今後の課題としては、消費電力量の低減、磁わい(歪)音の低減、空げきの管理を含めた最適化等の更に検討すべき項目もあり、事業者当局の御指導を得て、解決していきたいと考える。

70系車両の電気機器の開発・設計・製作に当たって、大阪市交通局、車両メーカー、台車メーカー及び同業者等の御指導を賜わった。ここに厚く御礼申し上げる。

70系車両が都市交通の発展に大いに寄与することを願うものである。

VVVF インバータ装置の技術動向

四方 進*

1. ま え が き

GTOサイリスタに代表されるパワー エレクトロニクス技術やマイコン制御に代表されるマイクロ エレクトロニクス技術の進歩とその応用によって実用化された鉄道車両における交流可変速駆動方式 (VVVF インバータシステム) は、実用化されてから約10年を経過して成長期に入ろうとしている。最近では、新幹線などの交流き(饋) 電車へとその適用範囲を広げつつある。

この間、主回路のキーデバイスであるGTO サイリスタは、高耐圧化・大容量化が進み、現在では4,500V, 4,000A 定格のものが実用可能となっている。また最近では、GTO サイリスタに代わって主回路半導体にパワートランジスタを適用したシステムも開発、実用化されている。これら主回路半導体の冷却方式としては、使用する半導体素子の種類や発生損失の大小、質量・寸法上の制約などの種々の条件に応じて浸せき(漬)式、個別フィン式、ヒートパイプ式を適宜使い分けている。

一方、マイクロ エレクトロニクスの分野では、使用されるマイクロプロセッサは8ビットCPU から16ビットCPUへ変化し、最近ではCPU とともに高速演算処理が可能なDSP (デジタル シグナルプロセッサ) も使用されて、制御の高速化・高機能化が図られている。また、マイコン制御の特長を生かし、VVVF インバータ装置単体のモニタリング機能や自己診断機能を充実させるとともに、補助電源・空調装置・ブレーキ装置などのマイコン制御化とあいまって車両のインテリジェント化を図るため、TIS (車両制御情報管理装置) との情報の受渡しも行われている。

今後、鉄道車両への要求はますます多様化してくるものと考えられ、またそれに対応できるエレクトロニクス技術の進歩も目覚ましいものがあり、その実現に向けて各種技術をいかに組み立てるかの複合化、集積化技術が重要となってくる。

ここでは、鉄道車両用 VVVF インバータ装置及びそれらを構成するエレクトロニクス関連の要素技術の動向を述べるとともに、最近の適用例について紹介する。

2. VVVF インバータ装置における エレクトロニクス応用

2.1 パワーエレクトロニクス応用

鉄道車両への大電力半導体を中心としたパワーエレクトロ

ニクス応用は、1960年代の交流電気車へのシリコンダイオード整流器やサイリスタ位相制御への適用に始まり、1970年代の直流電気車チョップ制御の実用化における大容量逆導通サイリスタの開発、さらに1980年代に入って高周波4象限チョップやVVVF インバータの実用化におけるGTO サイリスタの高耐圧化、大容量化へと続く。この間の推進制御装置の発展は、大電力半導体の発展の歴史と言っても過言ではない。特に、転流回路を必要としない自己消弧形半導体素子の代表格であるGTO サイリスタの高耐圧・大容量化は、小型軽量の電力変換器の実現を可能とし、高周波4象限チョップ⁽¹⁾やVVVF インバータの実用化と発展を促進してきた。最近では、産業用として幅広く用いられているパワートランジスタを適用したVVVF インバータが開発・実用化されて⁽²⁾、大電力半導体の種類とともに、それらを応用したVVVF インバータシステムも中小容量の制御から大容量の制御に至るまで、それぞれの用途や条件に応じた最適のシステムが選択できるようになってきた⁽³⁾ (図1)。

2.1.1 GTO サイリスタ

VVVF インバータにGTO サイリスタが最初に適用されたのは、1980年の大阪市交通局の小断面地下鉄計画の実用化試験であった。この時使用されたGTO サイリスタは、2,500V, 800~1,000A 定格のもので、電車線電圧がDC750Vのため、これを1S2P接続としてインバータの各アームを構成し、1インバータで160kW 誘導電動機2台を制御した。

その後、大容量化が図られ、電車線電圧がDC600V 又はDC750V 用の2,500V 電圧定格のものでは、1989年に名古屋市交通局2・4号線電車向けとして3,300A 定格のものが実用化されている。

一方、電車線電圧がDC1,500V 用のVVVF インバータとしては、当初2,500V 定格のGTO サイリスタを2S接続として1アームを構成することも行われたが、1984年に近畿日本鉄道(株)1251形電車向けに当社が4,500V, 2,000A 定格のGTO サイリスタを世界で初めて開発・実用化して以来、1S1P接続が可能となった。その後、インバータシステムの大容量化の要望を背景にGTO サイリスタも大容量化され、最近では4,000A 定格のものが実用化されている。図2に4,500V, 4,000A 定格GTO サイリスタの外観を示す。

インバータシステム及びGTO サイリスタの大容量化に伴い、インバータ内部で発生する損失の低減が、半導体冷却ユニットを始めとする装置の小型・軽量化やシステムの効率向

電源		種別	年	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
インバータシステム	直流	路面電車 新交通システム			○ 120kW×1 (RCT)					○ 60kW×4					
							○ 95kW×2								
		地下鉄 600/750V					○ 140kW×2					○ 75kW×8		○ 140kW×4	
	交流	近郊電車					○ 165kW×4								
			地下鉄 1,500V							○ 110kW×8		○ 170kW×4		○ 190kW×4×2	○ 155kW×2×2 (PTR)
		機関車 AC20kV(DC1,500V)												○ 1,000kW	
	新幹線 AC25kV												○ 300kW×4		
	在来線 AC20kV												○ 190kW×4		
GTO サイリスタ 電流定格		2,500V	1,000A	→		2,000A	→		3,300A	→		3,000A	→		4,000A
		4,500V		→		2,000A	→		3,000A	→		4,000A			

注 営業運転又は試運転開始の年を表す。 RCTは逆導通サイリスタ, PTRはパワートランジスタ, その他はGTOサイリスタ

図1. GTOサイリスタの大容量化とインバータシステムの発展

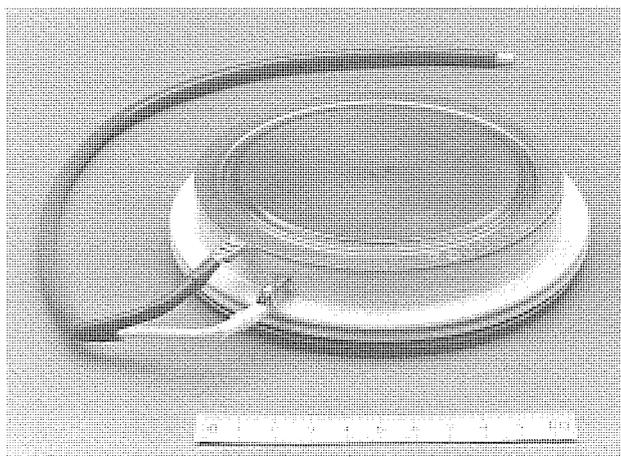


図2. 4,500V, 4,000A GTOサイリスタ

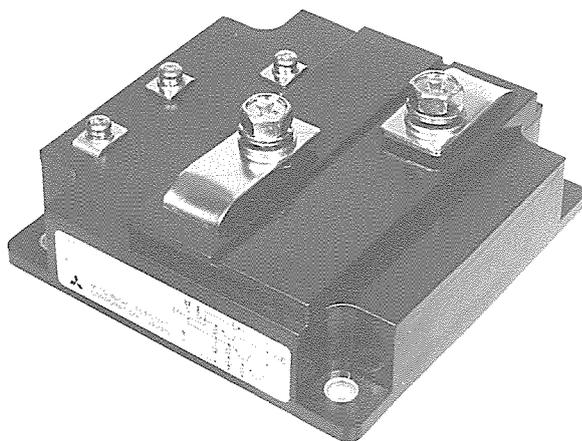


図3. 1,200V, 600A パワートランジスタ モジュール

上に不可欠の課題であり、高周波GTOサイリスタを用いて低損失化を図ったり、逆導通GTOサイリスタを用いて冷却ユニットの小型・軽量化を図る試みがなされている。

2.1.2 パワートランジスタ

GTOサイリスタの大容量化によるVVVFインバータ装置の制御容量の増大を図る動きとは逆に、各軸単位制御方式のように制御単位のダウンサイズ化を試みる動きがある。パワートランジスタは、このような中小容量のインバータ装置を経済的に従来と同等、又はそれ以下の寸法・質量で構成するのに適している。

大容量GTOサイリスタが大きな1枚のシリコンウェーハを使用して製作されているのに比べ、一般産業用に使用されているパワートランジスタは50~100A程度の各エレメントを内部で多数並列接続としたモジュール型とし、量産効果とシリコンウェーハの有効利用を図っている。パワートランジスタモジュールの実用化されている最大容量は1,200V, 600Aであるが(図3)、800~1,000A程度のものの実用化も近い。

ただし、GTOサイリスタのpnpn4層構造に対して、バイポーラトランジスタは3層構造であるので耐圧の向上に

は限界があり、GTO サイリスタを単にパワートランジスタに置き換えただけでは電圧耐量が不足するので、鉄道車両用のDC750V 又はDC1,500V 回路には使用できない。したがって、インバータの前段にチョッパを設けて電車線電圧を降圧したり、インバータの入力側で直列接続することで見かけ上の入力電圧を下げるなどの工夫が必要である。後に詳述するが、西日本旅客鉄道(株)207系電車において中性点クランプ式の3ステップインバータシステムを適用して、我が国で初めてパワートランジスタを用いたVVVFインバータ装置を実用化した⁽⁴⁾。

IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) は、MOSFETと同じ電圧型制御素子であり、駆動回路の小型化・低電力化が可能であり、スイッチング速度はバイポーラトランジスタより速いためインバータ装置の高周波化、低損失化が可能である。最大容量も1,200V, 400A程度となり、GTOサイリスタ、バイポーラトランジスタにつぐ第三の自己消弧形半導体素子として実用化に向けて大電流化と飽和電圧特性の改善が行われている。

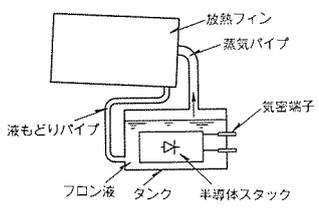
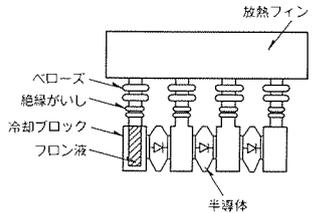
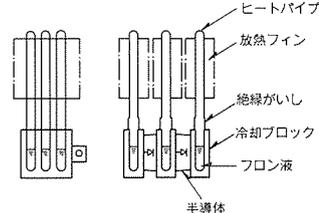
2.1.3 冷却方式

インバータ制御装置の小型・軽量化を達成するためには、大容量半導体を効率良く冷却し、その能力・特長を最大限に発揮することのできる冷却方式の選定が必要である。限られたスペースと質量制限のもとに、インバータ装置に所定の出

力性能を持たせるために放熱フィン部分を強制風冷とする例もあるが、大部分のインバータ装置では、省保守・低騒音の観点から自冷の冷却方式が採用されている。現在、実用されているインバータ装置用の半導体冷却ユニットの方式と特徴を表1にまとめている⁽⁴⁾。浸漬式冷却ユニットは、1970年代後半にチョッパ制御装置の冷却方式として開発・実用化されて以来、車載用冷却方式の主流として多くの実績がある。冷媒としては、フロンR113が用いられてきたが、数年前からフロンの使用量の制限・全廃への方向が打ち出されたため、使用量の低減や代替の冷媒の検討が行われてきた。代替の冷媒として現在用いられているのは、フロンR113とほぼ同一の特性をもつパーフロロカーボン(通称フロリナート)である。

図4に個別フィン式冷却ユニットを示す。この方式は、新幹線用主整流装置の冷却方式として実績があるが、インバータ装置用としては、使用冷媒量の低減と軽量化を主目的として製品化されたものである。図5に示すヒートパイプ式冷却ユニットも同じく使用冷媒量の低減が主目的であるが、大容量パワートランジスタなどの樹脂モールド形素子の冷却には必要不可欠な方式である。個別フィン式、ヒートパイプ式ともに半導体素子が外部に露出しているため、スナバ回路部品並びにゲートアンプ部との配線インダクタンスの低減が可能であり、GTOサイリスタの大容量化には有利となる。反面、

表1. 半導体冷却方式の比較

冷却方式 比較項目	浸漬式冷却ユニット	個別フィン式冷却ユニット	ヒートパイプ式冷却ユニット
構 成			
冷 媒 使 用 量 (冷却ユニット 1台当たり)	約10ℓ	約1.5ℓ	約0.3ℓ
冷 却 性 能	冷却能力が大きく、大容量冷却ユニットに適している。	素子から冷媒までの伝熱容量が浸漬式に比較すると若干劣る。冷媒液が少ないため過負荷損失を加えるとバーンアウトしやすいので、注意を要する。	同 左
防 じ ん, 防 水	構造が単純で防じん, 防水シールが確実である。	同 左	放熱フィンが独立しているため、ヒートパイプ相互の防じん, 防水構造が複雑である。
保 護	温度リレー1箇所	同 左	温度リレーをヒートパイプごとか冷却単位ごとに必要
保 守 性	気密端子以外の部品はすべて容器に内蔵しているため、掃除手入れが容易	箱に収納されている状態では、端子以外は密閉部に収納されているため同左	掃除, 手入れの場合、一部シール構造部に注意する必要がある。
質 量	タンク部があるため質量増となる。	軽量化が可能	同 左

露出した素子の信頼性を確保するため、素子を収納する密閉部の構造に工夫を要する。

冷却方式にはそれぞれに長所・短所があるので、使用する半導体の種類、発生する損失量、インバータ装置又は冷却ユニットとして許容される寸法・質量などを総合的に判断して最適な方式を選定する必要がある。

2.2 マイクロ エレクトロニクス応用

大容量GTOサイリスタの開発・実用化と並行して、マイコン制御に代表されるマイクロ エレクトロニクス技術の進歩が鉄道車両におけるVVVFインバータ装置の実用化を促進してきた。マイコン制御によるVVVFインバータ装置が営業運転用車両に供されてから10年近くが経過しようとしているが、その間に、使用されるマイクロプロセッサは8ビットから16ビットとなった。当初は制御の一部にアナログ制御を併用したハイブリッド制御方式であったものが、完全デジタル制御化されるとともに、主回路スイッチの投入・開放を行うシーケンス回路のソフトウェア化によって大幅にリレーレス化が実現された。

最近では、制御の高速化・高機能化を実現するために、DSP (Digital Signal Processor) も適用され始めている。図6は、新幹線電車などの交流饋電車両用に当社が開発・試作した主変換装置用のシステム制御装置である。高力率PWMコンバータとVVVFインバータとを直流中間回路で結合したこのシステムにおける主変圧器の直流偏磁現象や主電動機電流のビート現象などの課題⁽⁵⁾を、従来のマイコン制御に専用DSPボードを追加して高速制御演算を実行させて、瞬時値制御とすることによって解決している。図7に16ビットマルチマイコンシステムに、DSP制御を併用したこのシステムの完全デジタル制御系のブロック図を示す。

マイコン制御によって複雑でかつ高精度の演算、制御の実現に加えて、完全デジタル制御による無調整化と検査機能の充実によって制御装置の大幅な無保守化を実現している。

さらに、モニタ機能や故障診断機能の付加により、制御装置単体でのインテリジェント化を図るとともに、TIS (車両制御情報管理装置) との伝送インタフェースを設けて、補助電源装置、空調装置、ブレーキ制御装置などの他のサブシステムとともに、インテリジェント化された車両システムを構成している。TISの主要機能は、運転支援、乗客サービス、制御指令伝送、車上検査機能などであるが、VVVFインバータ装置からは直列伝送インタフェースを経由して制御指令、機

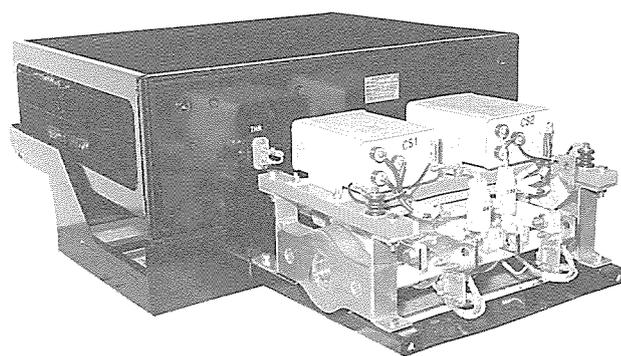


図4. 個別フィン式冷却ユニット

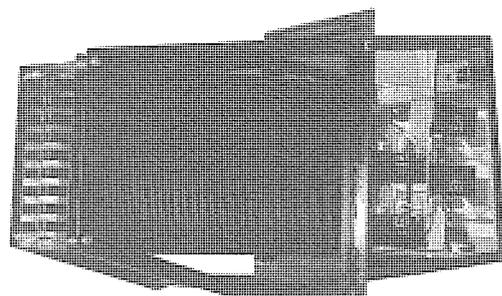


図5. ヒートパイプ式冷却ユニット

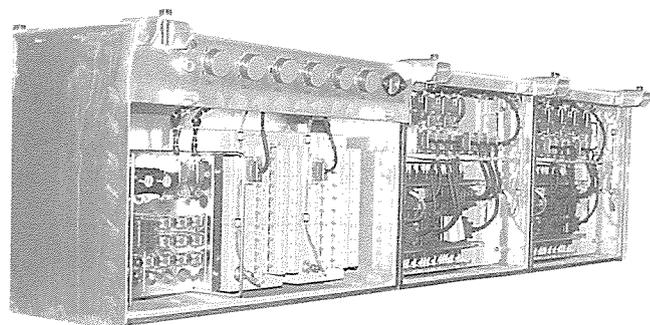


図6. 主変換装置用システム制御装置

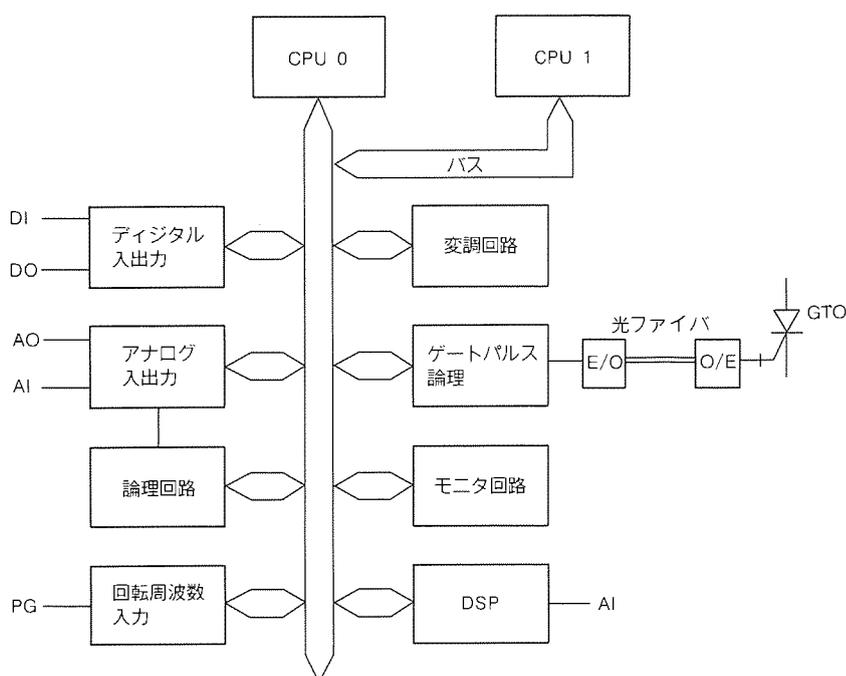


図7. DSPを適用した完全デジタル制御系ブロック図

器故障情報、主回路・制御回路状態などの必要な情報を受け渡している。

VVVF インバータ装置は、パワーエレクトロニクスとマイクロエレクトロニクスの技術が高度に複合化したものであり、特に高速度でスイッチングするGTOサイリスタと近接して動作するマイコン制御部の安定動作には細心の注意を払ってきた。制御部単体での耐ノイズ性の向上に加えて、GTOサイリスタのゲート信号伝送に光ファイバを用いて高低圧絶縁を行い、ゲート駆動回路の小型化を図るとともに、GTOサイリスタの高速スイッチングによる電位変動に対する耐ノイズ性を向上させている。

3. 最近のVVVFインバータシステム

最新のエレクトロニクス技術を応用して開発・実用化された最近のVVVFインバータシステムについて、以下に概要を紹介する(表2)。

3.1 交流饋電車両用大容量VVVFインバータ

3.1.1 新幹線電車用主変換装置

東海旅客鉄道(株)が東海道新幹線の速度向上のために試作した高性能・軽量車両である300系車両用の推進制御装置である。主回路方式は図8に示すとおりで、等4分割二次巻線を持つ主変圧器を搭載した T_p 車を挟んで対称形の M_1 車、 M_2

表2. 最近の主なVVVFインバータ車両

鉄道名	車両形式	車両要目				制御方式	制動方式
		定格電圧	編成	主電動機	最高速度		
東海旅客鉄道(株)	300系	AC25kV 60Hz	10M6T	300kW×4	270km/h	PWMコンバータ + VVVFインバータ	回生制動
日本貨物鉄道(株)	EF500	AC20kV 50/60Hz DC1,500V	—	1,000kW×6	120km/h	主整流装置 + VVVFインバータ	発電制動
帝都高速度交通営団	9,000系	DC1,500V	2M2T	190kW×4×2	110km/h	2群一体形 VVVFインバータ	回生制動
西日本旅客鉄道(株)	207系	DC1,500V	3M4T	155kW×4	120km/h	3ステップ トランジスタ インバータ	回生制動

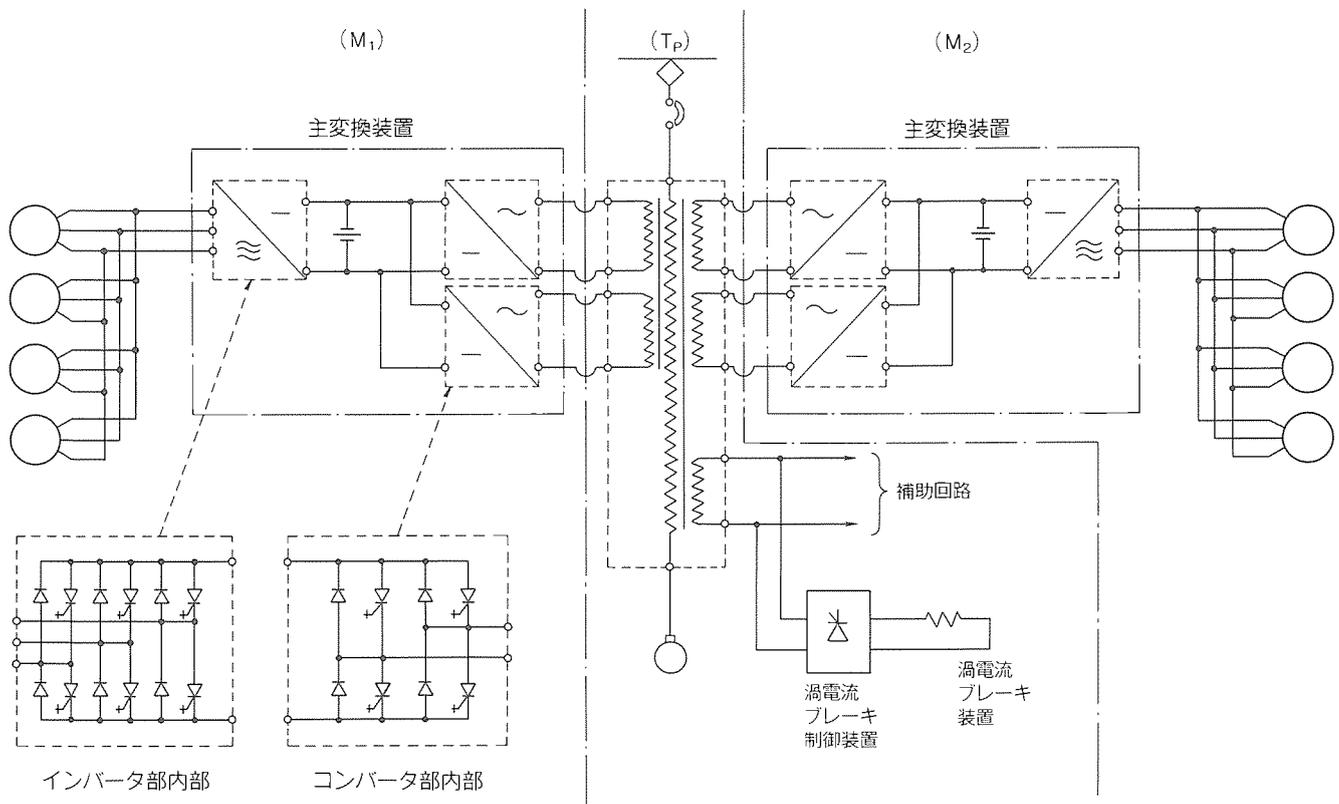


図8. 東海旅客鉄道(株)300系車両の主回路構成

車から成る3両1ユニット構成である。このシステムは、GTOサイリスタを用いたPWMコンバータとVVVFインバータとを直流中間回路で結合したものであり、パンタグラフ点での力率1制御、PWMコンバータの位相差運転による高調波電流の抑制、高速域でのブレーキパワーを確保した交流回生ブレーキの実現が主な特長である。

主変換装置(図9)には、PWMコンバータとVVVFインバータとを一体化して収納し、浸漬式冷却ユニットの凝縮器を強制風冷として装置の小型・軽量化を図っている。各アームには、4,500V、2,500A定格のGTOサイリスタを使用して300kW主電動機4台(合計1,200kW)の制御容量を持つ。

3.1.2 電気機関車用大容量VVVFインバータ

貨物輸送の環境変化に対応し、高速・重けん(牽)引が可能な交直流用次世代高性能電気機関車として、日本貨物鉄道(株)が試作したEF500形電気機関車のVVVFインバータである¹⁶⁾。

詳細は本誌別稿に述べられているが、主回路方式は図10に示すとおりで、4,500V、3,000A定格GTOサイリスタを用いたVVVFインバータで1,000kW主電動機1台を制御する方式として高粘着制御を実現するとともに、直流回路HB容量及び交流区間用主整流装置半導体の容量から、3インバータを1グループとした2群方式として冗長性の向上を

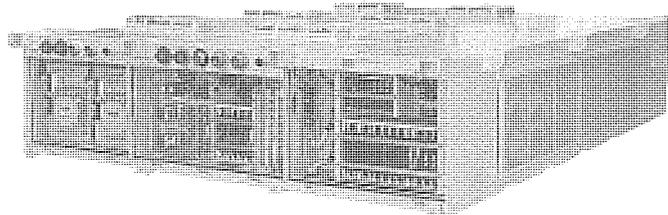


図9. 東海旅客鉄道(株)300系車両用主変換装置

図っている。

インバータ装置の冷却方式としては、機関車に6インバータを設置するに当たり、個別フィン式沸騰風冷方式として小型・軽量化を実現している。

3.2 大容量2群一体形8M制御VVVFインバータ

今秋開業予定の帝都高速度交通営団7号線車両用として開業当初の2M2T編成における冗長性と経済性を念頭において開発された大容量8M制御方式のVVVFインバータである。

図11に主回路の概略を示す。主電動機は狭軌用大容量190kW誘導電動機で、高ギヤ比の採用で駆動装置とともに小型・軽量化を図っている。インバータシステムとしては、1C8M制御であるが、開業当初2M2Tの車両編成における冗長性を確保するために、制御系を含めた完全独立2群インバータ方式としている。

要素技術開発の成果を反映して内蔵ユニットの小型・軽量化を図り、従来の4M制御用インバータ装置とほぼ同じ大きさで4M×2群のインバータ装置を実現している(図12)。

制御方式としては、非同期変調領域を拡大して低速におけるモード切換えをなくし、従来のインバータ制御の特徴であったパルスモード切換えごとの音色の変化による聴覚上の違和感をなくしている。また、非同期領域の拡大により、パルスモード切換え時に発生していた過渡的なトルク変動を抑制し乗り心地の改善も図られている。制御はM₁車、M₂車完全独立制御であるため、従来の8M一括制御と異なり、応荷重制御、電空ブレーキ演算制御や空転・滑走再粘着制御を各M車単位できめ細かく行っている。

3.3 3ステップトランジスタインバータ

西日本旅客鉄道(株)の次期主力通勤車両として量産計画のある207系電車向けVVVFインバータに、我が国で初めてパワートランジスタを適用した。

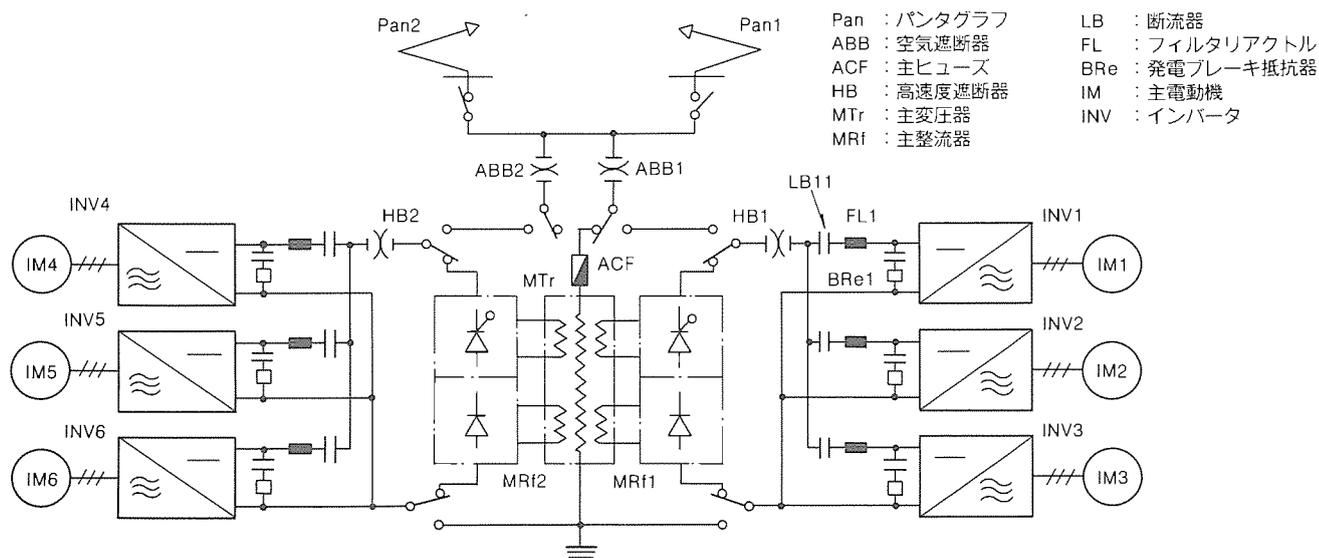


図10. 日本貨物鉄道(株)EF500形電気機関車の主回路構成

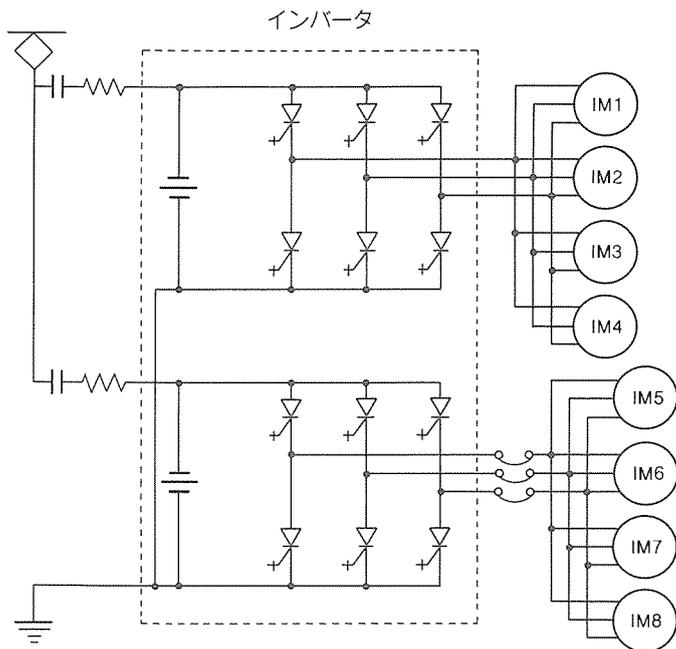


図11. 帝都高速度交通営団9000系車両用 VVVF インバータ主回路の概略

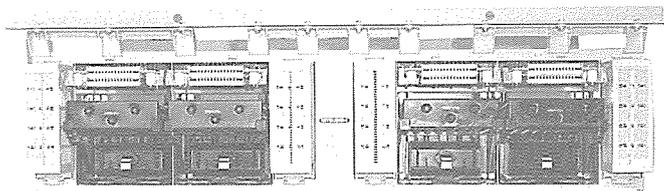


図12. 帝都高速度交通営団9000系車両用 VVVF インバータ装置

主回路の概略を図13に示す。DC1,500V回路で使用するために、パワートランジスタの能力を最大限に発揮できるように主回路システムの最適化を図った。すなわち、過電圧耐量の不足を補うために前段にチョップを設けて直流中間回路電圧をDC1,200Vに安定化するとともに、3ステップインバータ方式を適用して各トランジスタに印加される電圧が半分のDC600Vとなるようにして、ターンオフ時のはね上がり電圧と電圧耐量との協調をとっている。各アームのトラ

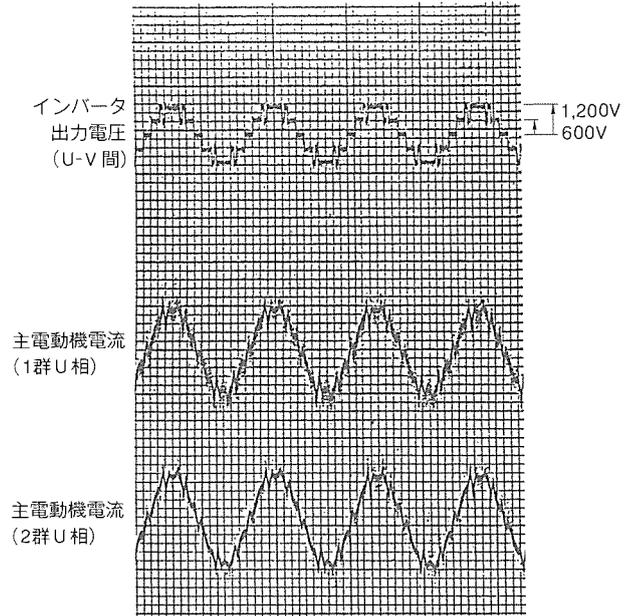
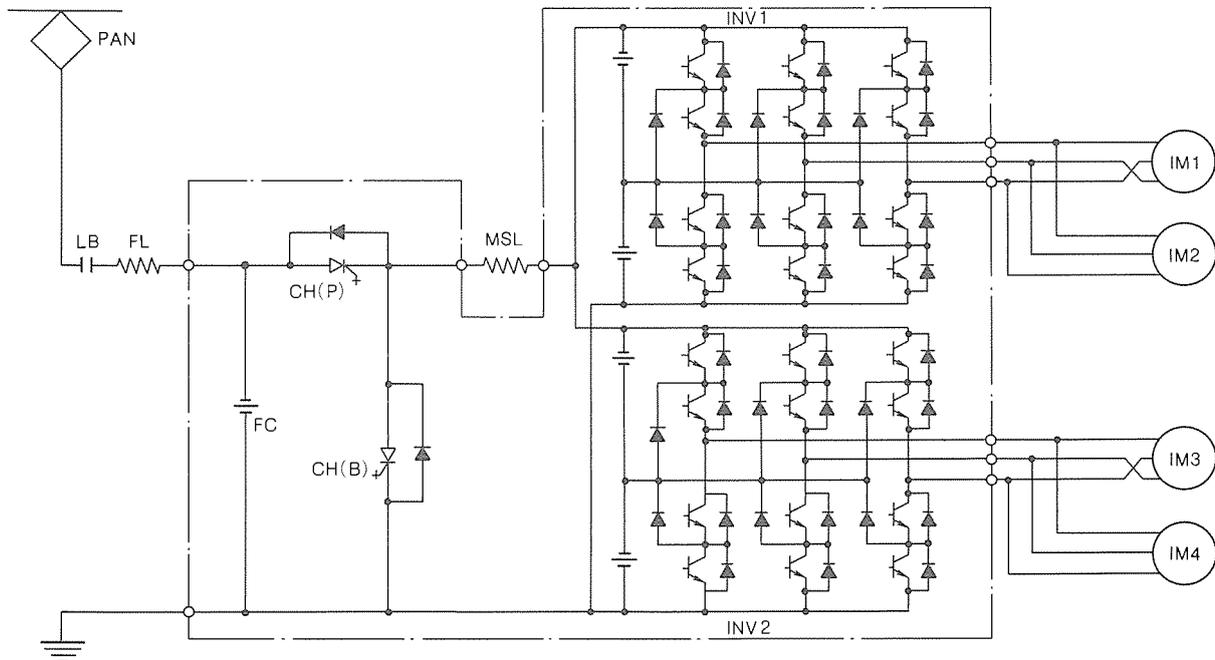


図14. インバータ出力電圧・電流波形 (3ステップインバータ, 3パルスモード)



- | | | | |
|-------|-------------|-------|------------|
| PAN | : パンタグラフ | CH(B) | : 回生用チョップ |
| LB | : 断流器 | MSL | : 主平滑リアクトル |
| FL | : フィルタリアクトル | INV | : インバータ |
| CH(P) | : 力行用チョップ | IM | : 主電動機 |

図13. 西日本旅客鉄道(株)207系車両用 VVVF インバータ主回路の概略

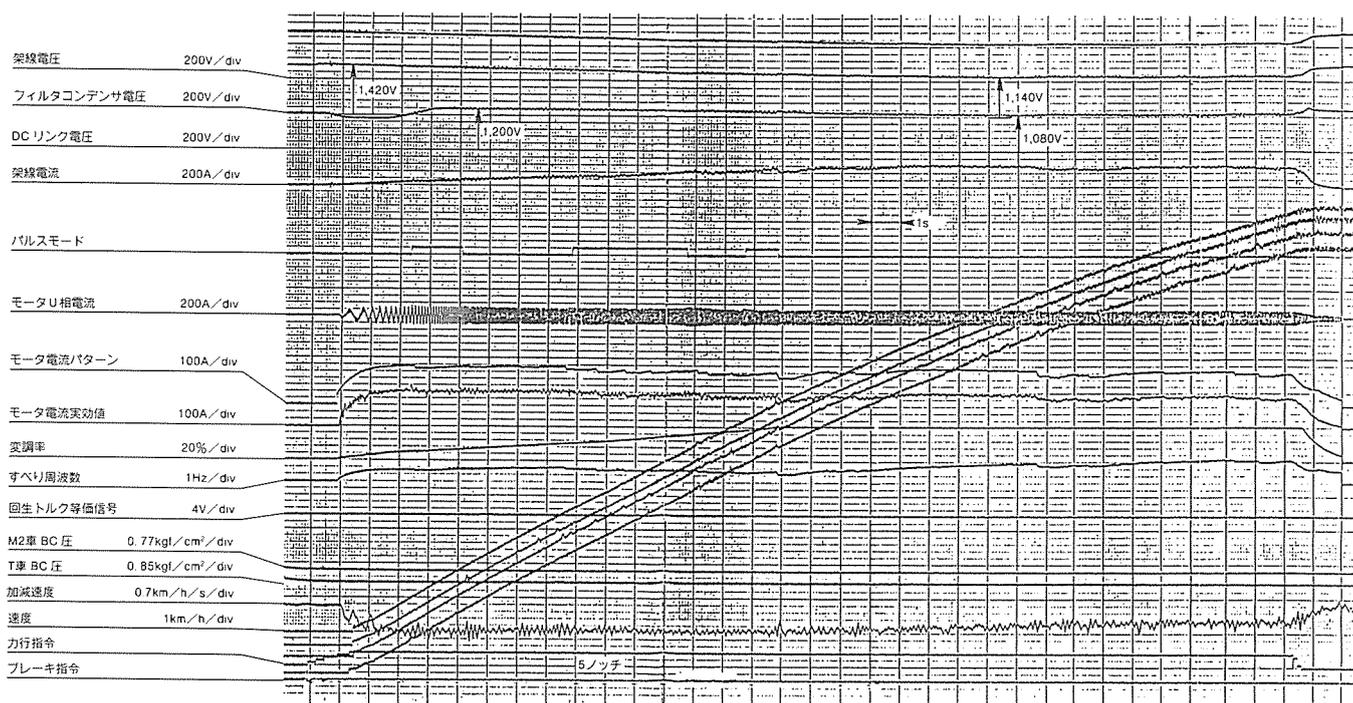


図15. 散水試験時オシログラフ(西日本旅客鉄道(株)207系車両)

ンジスタは1P使用としてハードウェア構成の簡略化を図り、2台の主電動機を負荷とするインバータ2群を1箱に収納して4M制御を実現している。

インバータを3ステップ方式としたので、インバータ出力電圧波形が階段波となり(図14)、主電動機電流の低次高調波が減少し、それにより主電動機のトルク脈動が減少するとともに主電動機から発生する電磁騒音のレベルが低下するという利点が生ずる。

チョップ部は、3,000AクラスのGTOサイリスタを用いた可逆チョップとして、力行時は降圧チョップ、回生ブレーキ時には昇圧チョップとして動作させることにより、主回路を切り換えることなく、力行、回生ブレーキの動作モード切換えが可能である。

トランジスタモジュールの冷却は、複数のモジュールの平面配置構成が容易で冷却効率の高いヒートパイプ方式としている。

図15に散水試験時のオシログラフを示すが、不要な絞り込みによる加速度の低下やトルクの急激な変動もなく安定で円滑な制御が実現されている。

4. む す び

以上、VVVFインバータ装置の技術動向についてパワーエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクスの要素技術の動向や、それらを応用した最新のインバータシステムについて紹介した。

車両システムは、エレクトロニクス技術の進歩によって今後ますますインテリジェント化されてゆくとわれ、それに伴ってVVVFインバータ装置への要求も多様化し、それを実現するためには個々の要素技術の確立と各要素技術を効率的、経済的に複合化する技術が重要となる。

今後とも、我々はユーザー各位の御指導を得て最適なシステム構築にたゆまぬ努力を続ける所存である。

参 考 文 献

- (1) 刈田威彦, 東 捷敏, 成戸昌司, 金田順一郎: 新方式高周波4象限チョップシステム, 三菱電機技報, 56, No. 8, 595~600 (1982)
- (2) 小尾秀夫: 車両駆動用インバータへのトランジスタの適用, 電気車の科学, 44, No. 1, 17~21 (1991)
- (3) 曾根 悟: インバータ制御電車全リスト, 電気車の科学, 43, No. 2, 39~44 (1990)
- (4) 金田順一郎: インバータ制御装置の技術課題, 電気車の科学, 43, No. 2, 20~24 (1990)
- (5) 石川 栄, 稲玉 哲: 新幹線“スーパーひかり”のACドライブシステム, 電学誌, 110, No. 2, 105~112 (1990)
- (6) 西 重樹, 岡本信夫, 桑村勝美, 小尾秀夫, 東村充章: インバータ機関車の主回路・制御システム, 第27回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム, 189~193 (1990)

EF500形式交直流インバータ電気機関車

大久保 大樹* 小尾秀夫***
 藤井秀一** 東村充章***
 桑村勝美*** 寺沢英男***

1. ま え が き

日本貨物鉄道(株) (以下“JR 貨物”という。)が、1987年4月に誕生して満4年となる。この間、毎年、コンテナ貨物は二けた台の伸びを堅持しており、さらに長距離トラック運転手の人手不足と相まって、鉄道貨物への期待はますます大きな高まりをみせている。

このような環境の変化に対応し、安全性・速達性・大量輸送に優れ、良質な輸送サービスを展開していくため、最新の技術を導入したEF500形インバータ機関車(図1)をJR貨物へ納入した。この機関車は、狭軌鉄道としては初めて1軸1,000kWの大出力を実現し、6軸の機関車としては世界最大級の定格6,000kWの能力を持ち欧州の鉄道の大出力機と肩を並べる機関車といえる。

全体システム並びに電気機器の設計・製作は三菱電機(株)が、台車並びに車体・ぎ装は川崎重工業株が担当した。

以下に、この機関車の概要について報告する。

2. 機関車の特長と性能

機関車の主要諸元を表1に、けん(牽)引性能を図2に示す。この機関車の最大の特長は、主電動機の構造が簡単で大出力化が図れ、保守の容易な三相誘導電動機(1,000kW)を採用していること、主電動機の電圧と周波数を最適に制御するPWM電圧形インバータ装置を主電動機ごとに個別に配置し、高粘着と制御の多様化を図っている点である。さらに、軽量化技術の結集により、従来機EF81形と同一質量(総質量100.8t)で、出力約2.3倍の6,000kWの交直流機を完成

していることである。また、寒冷地仕様として特高機器を主変圧器上方の屋内配置とするほか、冷却風の冬期室内循環、結露対策などの考慮がなされている。

牽引性能は、

表1. EF500形インバータ機関車の主要諸元

用途	高速貨車牽引用
機関車方式	インバータ制御方式交直流電気機関車
電気方式	直流1,500V/交流20kV 50, 60Hz
軸配置	Bo-Bo-Bo
運転整備質量	100.8t
軸重	16.8t
最高運転速度	120km/h
機関車(1時間)出力	
定格出力	6,000kW
定格引張力	260.7kN {26,600kgf}
定格速度	81.2km/h
制御方式	
力行	パルス幅変調電圧形インバータ制御 (定速度運転, 軸重移動補償, 再粘着制御付き)
電気ブレーキ	パルス幅変調電圧形インバータ制御 及び発電ブレーキ制御 (抑速及び停止ブレーキ用)
ブレーキ方式	発電ブレーキ併用電気指令セルフラップ式 空気ブレーキ, 増圧装置付き
踏面ブレーキ	両抱式ユニットブレーキ
留置ブレーキ	ばね式(ユニットブレーキ内蔵)



図1. EF500形インバータ機関車の外観

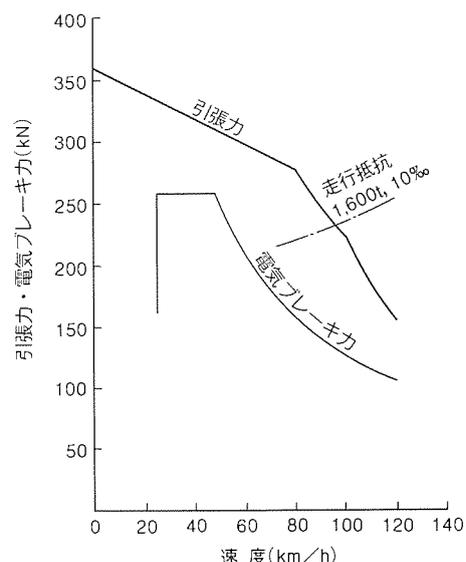


図2. EF500形インバータ機関車の牽引性能

- (1) 1,600t (コンテナ貨車 32 両) の列車を牽引して 10% の上りこう配を 90 km/h 以上の速度で走行可能
 - (2) 1,600t の列車を 15% の上りこう配で起動可能
 - (3) 最高運転速度 120 km/h
- など従来にない十分な余裕能力を持っており、ED75 形重連性能を上回る能力を発揮できることになる。

3. 主回路と制御システム

3.1 主回路構成

主回路の概略を図 3 に示す。主回路は基本的に 2 群構成とし、主電動機を駆動するインバータは、主電動機ごとの個別制御方式とすることにより、各軸ごとの空転現象を抑制して高い牽引性能を得るとともに、システム冗長度を高めている。

パンタグラフ、断路器、交直切換器及び空気遮断器から構成される交直流共用回路と、主変圧器・主整流装置の交流専用回路、並びに高速度遮断器、ブレーキ抵抗器、インバータ装置及び主電動機から構成される主電動機駆動回路から成っている。

主整流装置は、ダイオードブリッジと混合ブリッジの縦続接続とし、軽負荷時の直流リンク電圧の抑制制御を行っている。

3.2 制御システム

制御システムの構成を図 4 に示す。パンタグラフの選択制御、空気遮断器の投入開放及び交直切換制御は、従来機との操作性を重視し、EF81 を基本としたリレー論理で構築している。一方、主整流装置のゲート制御及び各インバータごとに構成する断流器以降の制御は、電子制御装置がつかさどることとした。

主な制御機能は次のとおりである。

(1) 主整流装置制御 (交流区間)

混合ブリッジのサイリスタ位相制御により、起動時や単機運転時などの軽負荷時におけるフィルタコンデンサのピーク

充電抑制制御を行っている。コンデンサの容量・寿命に対する余裕を持たせることが可能となった。

また、架線電圧の周波数成分を検知し、同期電源を切り換えることにより、サイリスタ位相制御としては、国内初の 50/60Hz 両用の整流器が実現した。

(2) 牽引力設定制御

機関車の牽引荷重に応じて牽引力を任意に設定できるように、運転台にダイヤル式の限流値調整器を設けている。これは軽荷重牽引時の異常加速や、積荷等の損傷防止を図ったもので、牽引力の速度特性パターンを制御している。

(3) 軸重移動補償制御

力行時の軸重移動量に見合って、進行方向の前位側電動機の加速電流を小さく、後位側を大きく調整するもので、補償率は牽引力に応じて自動補正としている。

(4) 空転再粘着制御

機関車では、空転することなく、いかに多くの荷重を牽引することができ得るかが、最も肝要な機能であるため、再粘着の制御が重要な課題となる。そのポイントは、極く初期段階での空転現象を素早く検知することにある。図 5 に再粘着制御のブロック図を示す。

空転検知の方法は、①他軸と自軸の回転数差、②自軸回転数の微分値 (加速度)、③自軸回転数の加速度変化率が各々ある設定値を超えた場合、空転と判断して再粘着制御へ移行する。

再粘着制御は、空転検知レベルによって小、中、大空転の三段階に分けられる。小空転では、インバータのすべり周波数を絞り込むこととし、中空転はすべり周波数の絞り込みとともに、自動さん (撒) 砂を行う。また、大空転では制御不能と考え、主回路の開放を行っている。

4. ブレーキシステム

従来の EL14 系ブレーキのブレーキ弁は、回弁を用いた機構であるため、セルフラップ機能を持っていない。このため、所要の空気圧を得るためには、運転士がブレーキ弁を“ブレーキ”と“重なり”位置との間を往復操作することが必要であり、指令系・制御系とも空気系であるため応答性の限界もあって、相当の熟練を要していた。これらの問題を解決するため、電気指令式セルフラップ ブレーキシステムを採用し、操作の容易性と応答性の向上を図って

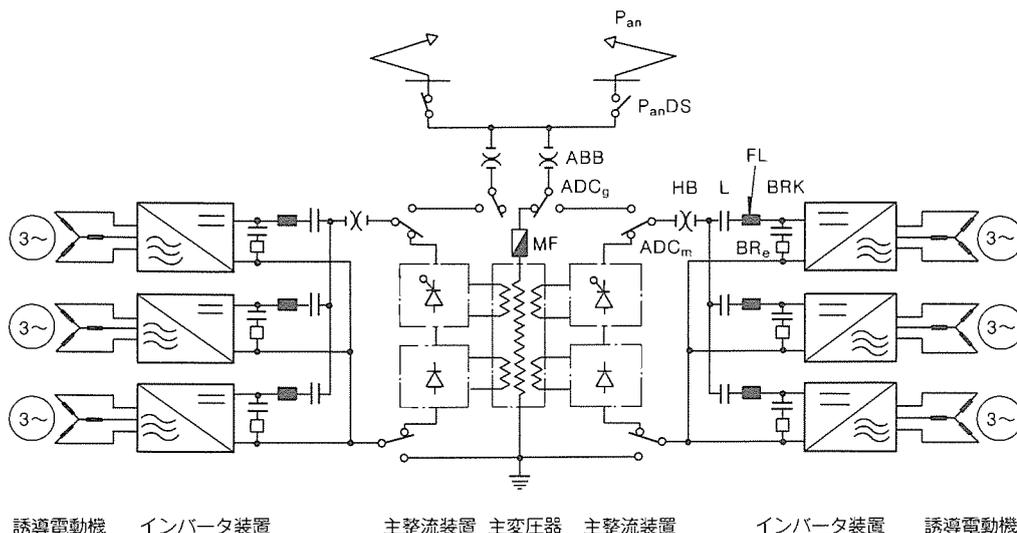


図 3. 主回路の概略

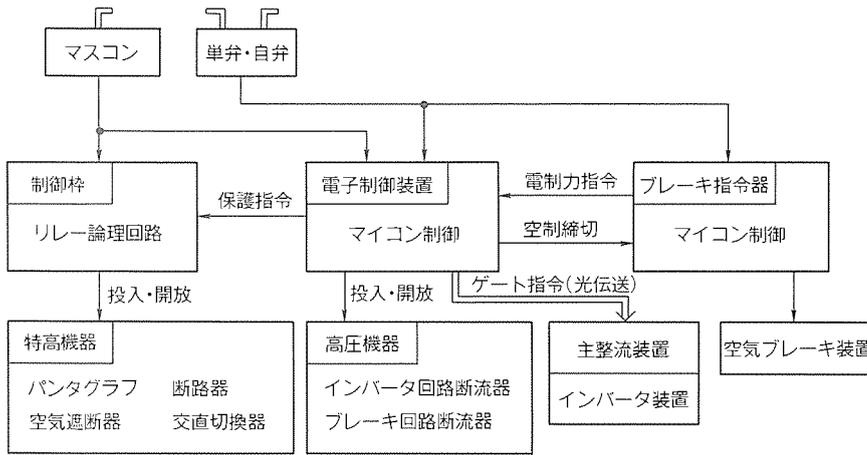


図4. 制御システムの構成

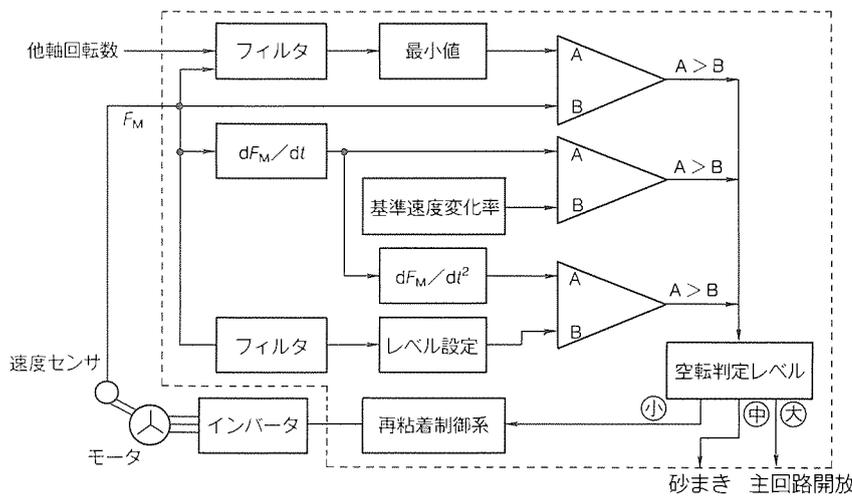


図5. 再粘着制御ブロック図

いる。ブレーキシステムを図6に示す。

マスコンの自弁, 単弁からのブレーキ指令をマイコン式のブレーキ指令器が受けて演算し, 必要なBC圧, BP圧を発生させる指令電流をブレーキ制御装置の電空変換弁 (EP弁) へ出力する。EP弁では, 指令電流が空気圧に変換され, 中継弁で増幅を行って応答性を向上させている。なお, BP圧, BC圧を独立で制御可能なように, EP弁, 中継弁を個別に備えている。

また, この機関車は発電ブレーキ併用方式であり, 電制有効中は締切電磁弁により, 台車単位で空気ブレーキ力を締め切る方式としている。

5. 補助回路システム

補助回路の概略を図7に示す。補助電源は, 装置の小型化と保守性に優れた静止形インバータ装置を採用した。構成は, 架線電圧の変動に対して安定した能力を持つチョップパ/インバータ制御方式とし, 2群個別出力によって負荷に対する電源の多重化を図り, 信頼度を向上している。

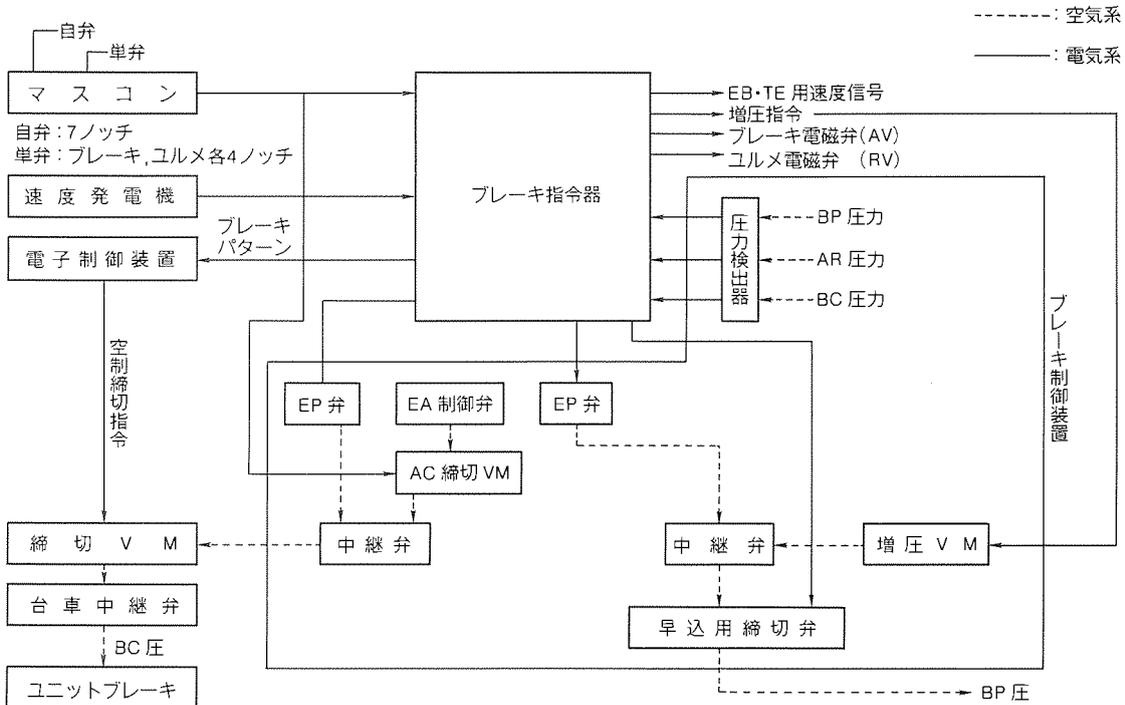


図6. ブレーキシステム

6. 機械部分

6.1 運転室

長距離運転に適するように、作業環境改善を大幅に図っており、セパレートタイプ冷房機による低騒音化、カーペット敷き床や密閉窓等の防音構造としている。

図8に運転台周りを示す。高床式運転台の周りには、運転士が運転中に扱う機器を優先的に配置し、マスコンは横軸式、ブレーキハンドルはコンパクトな縦軸式を採用し、従来車と同じような感覚で扱えるように配慮している。速度計の横に、ナビゲーション用のディスプレイを設け、運転情報や時刻表の表示が可能となっている。

6.2 機械室

機械室の機器配置を図9に示す。主変圧器を中心に主要機器は、ほぼ点对称の配置となっている。寒冷地仕様として特高機器は、主変圧器の上部空間に納めた屋内配置として、雪害防止に備えている。また、特高機器部への立入りは、マスコン及びパンタグラフの降下と連動した鎖錠装置によって安全を確保している。保守点検を容易とするため、通路は両側に設けている。

機械室の機器はすべて天井クレーンで取外し、再取付けができるように屋根開口を設け、4分割の取外し屋根でふさいでいる。

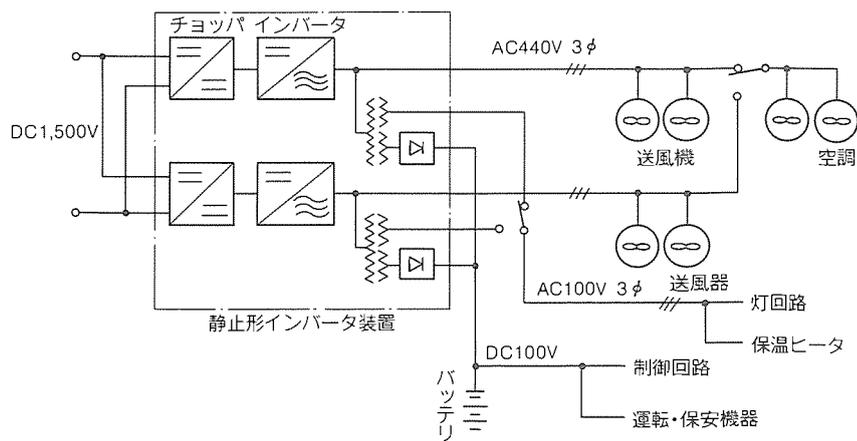


図7. 補助回路の概略



図8. 運転台周り

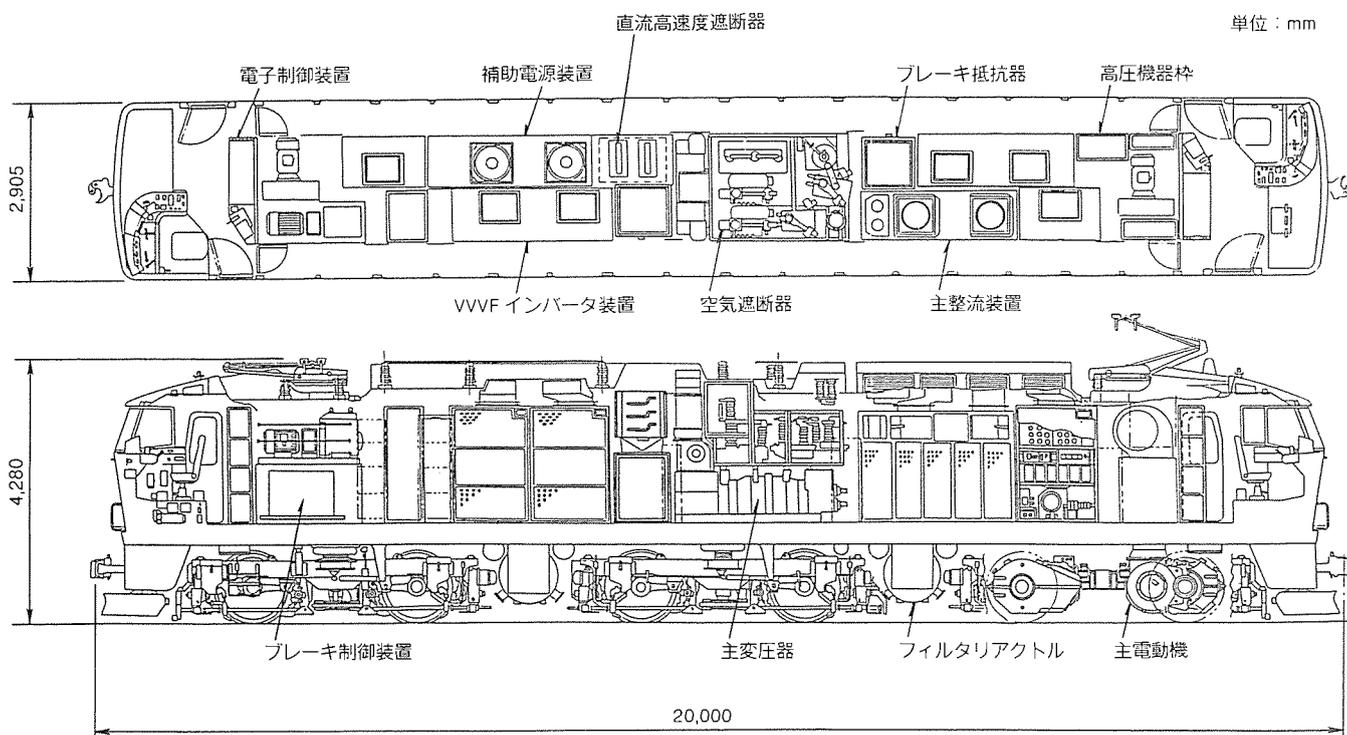


図9. 機械室の機器配置

6.3 車 体

車体は従来車と同じ鋼製の箱形構造で、EF66 に比べて10%の軽量化が図られている。側外板は2.3mmの耐食性鋼板を使用し、耐食性に寄与している。

外観デザインは、精悍でパワフルな感じを与えるように全体をまとめている。運転室側引窓下端から前面窓下隅にかけ、こう配をつけて頭を低く下げたスタイルとし、また車側の大型ルーバは、できるだけすき間をなくし、一体感と流れるような感じをねらっている。

車体のカラーリングは、前頭部を鮮やかなカーディナルレッド、車体側面にはINVERTER HI-TECH-LOCOのロゴを配したベアホワイト、また屋根部はバッファローグレーとしている。

7. 台 車

高速走行と高粘着性能に優れ、かつ軌道への影響を極力小さくすることと、部品点数減による保守の簡素化を図った軸はり式軸箱支持装置を持つ空気ばねボルスタレス方式の2軸

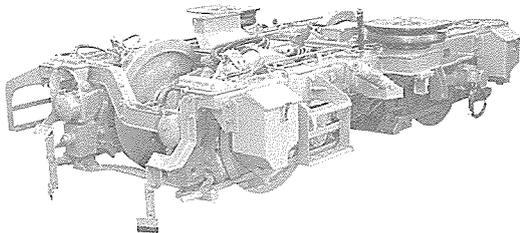


図10. 両端台車の外観

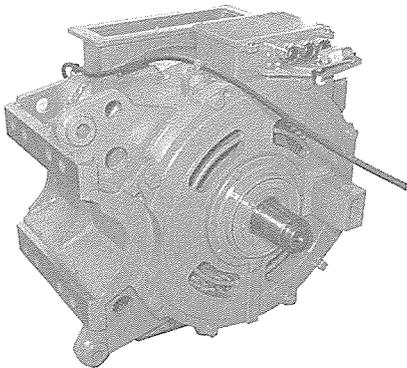


図11. 主電動機の外観

表2. 主電動機の定格仕様

形 式	三相かご形誘導電動機
出力	1,000kW
電 圧	1,100V
電 流	645A
周波数	90Hz
回転数	1,770rpm
冷却方式	強制風冷

ボギー台車としている。引張力伝達方式は、Zリンク形牽引ばり式とし、Zリンク中心を可能な限りレール面に近づけ軸重移動防止を図っている。

基礎ブレーキは、自動制輪子すき間調整機構を持つユニットブレーキとブレーキてこを利用した踏面両抱き式とし、特殊铸铁制輪子を使用している。図10に両端台車の外観を示す。

8. 主要電機品と軽量化

8.1 主 電 動 機

主電動機の定格を表2に、外観を図11に示す。C種絶縁による高耐熱仕様及び高冷却構造設計により、質量は

表3. 主変圧器の定格仕様

形 式	外鉄形 鋳油入	
	送油風冷式	
冷却方式	一 次	二 次
容量(kVA)	7,660	3,860×2群
電圧(V)	20,000	(1,215+709)×2群
電流(A)	383	2,005×2群
周波数(Hz)	50/60	

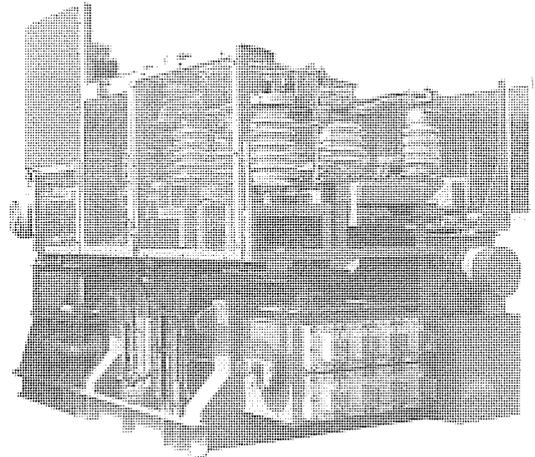


図12. 主変圧器と特高機器

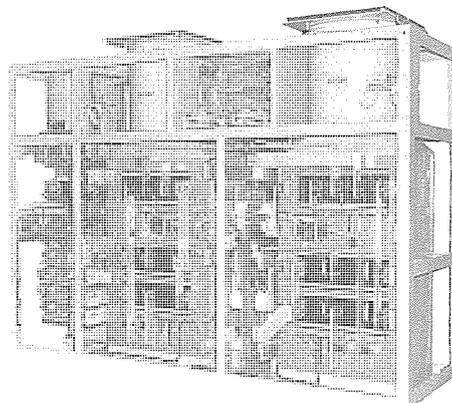


図13. 主整流装置

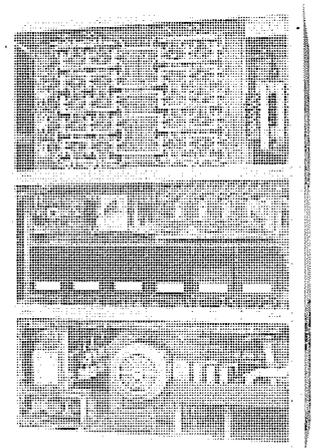


図14. インバータ装置

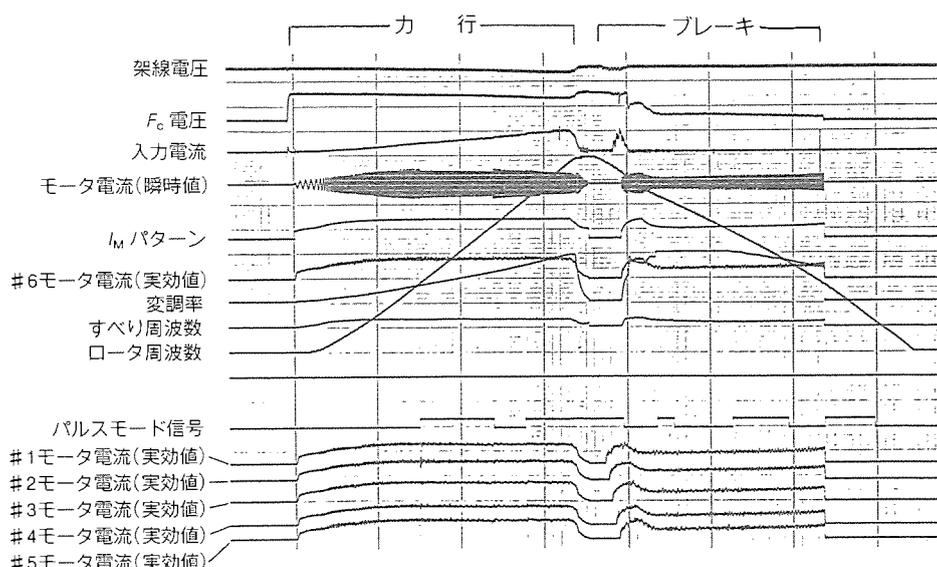


図15. 走行オシログラム

1,975kgとなる。従来機のMT56形主電動機(定格650kW)と比較して約20%軽くなっており、容量換算すると半分程度の軽量化が図られたこととなる。

8.2 主変圧器

主変圧器の仕様を表3、外観を図12に示す。国内最大容量の主変圧器で従来機のEF81形用に比べ、容量が3.15倍に増加しているのに対し、質量は1.37倍にとどまっている。これは、巻線と冷却油の流れを考慮した冷却設計による高電流密度化によるものである。

8.3 主整流装置

主整流装置の外観を図13に示す。主変圧器の二次側出力電圧を、整流器半導体の素子電圧を考慮して設定することで、各整流ブリッジを単素子(1S1P)構成とした。また、素子冷却は並列吹き風冷方式を採用し、保守の簡素化と主回路バー冷却による高電流密度化によって軽量化を行っている。

8.4 インバータ装置

インバータ装置の外観を図14に示す。小型軽量化として工夫した内容は次のとおりである。

- (1) 4,500V, 3,000AのGTO素子を1S1Pで構成し、低スナバコンデンサ条件で使用することで抵抗損失の低減を図る。
- (2) 素子の冷却は非浸せき(漬)形沸騰風冷式とした。
- (3) フィルタコンデンサとして大容量高リップル電解コンデンサを6S6Pで使用した。
- (4) 直流回路保護用遮断器として、超高速形のものを採用することで事故電流の抑制を図り、フィルタリアクトルの低減を図る。

9. 試 験

この機関車は完成後、平成2年8月からJR貨物新鶴見機関区内に設けられた試験センターを中心にして、総合的な各種試験が実施されている。この間、平成3年2月には、1,600t列車の牽引走行にも成功し、所期の性能を満足することが確認されている。図15に力行及びブレーキ時の各部電圧電流オシログラムを示す。

10. む す び

今回の試作車は、JRの機関車としては24年ぶりの新設計車であり、最新のパワーエレクトロニクス技術を始め、多数の新技術を取り入れた次世代を担う機関車である。今後は、東北本線及び日本海縦貫線等の主要幹線での活躍が期待されている。

最後に、この機関車の開発と実用化に向けて多大の御尽力をいただいた関係の方々に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 日本貨物鉄道(株)、(株)日立製作所：インバータ電気機関車の概要、電気車の科学、44、No. 1～3 (1991)
- (2) 西 重樹、宮下友治、神保佳司、桑村勝美、藤井秀一：大出力インバータ制御・誘導電動機駆動機関車の開発、電気学会、'90発表論文
- (3) 泉 裕治：EF500形式交直流電気機関車の試作、車両と電気、No. 11、20～27 (1990)

車両用情報管理装置(TIS)のインテリジェント化

本間英寿*
白樫智也**

1. ま え が き

マイクロコンピュータ(以下“マイコン”という。)応用技術の発展により、車両搭載機器にもマイコンが多く利用されるようになってきた。例えば、車両保守の簡素化、乗客サービスの向上を図るために、マイコンを利用し、車両の情報を統括管理するシステム、すなわちインテリジェント システムの開発が進められている。

例えば、車両保守の簡素化という点において、VVVF 制御装置では、その制御回路のマイコンを利用し、主回路制御のほかに自己検査、故障記録などを行っている。

一方、乗客サービスの向上という点において、インバータ空調システムを特急電車をはじめ、通勤電車に導入している。このシステムでは、空調制御マイコンを利用し、各種センサから入力される温度・湿度・乗車率信号を演算し、四季にわたり、冷房・暖房・除湿の最適な自動制御運転を行う。また、LED 式車内案内表示装置の導入により、沿線案内・広告案内・新聞社から受信したホットニュースの表示を行い、車両の情報化を進めている。

これらインテリジェント化された各種マイコン応用機器を情報伝送路によって結び、乗務員・乗客・検修員とのマンマシン インタフェースを通じて、乗客サービス情報の提供・車両保守データの収集・乗務員に対する支援情報の提供といった機能を持つシステムを車両用情報管理装置(以下“TIS”という。)とする。この装置は、従来のモニタ装置のような故障記録機能だけではなく、機器の状態を示すデータを情報伝送路によって収集し、集中管理する。これにより、列車の引通し電線や装用電線本数が減少し、同時に車両搭載機器の制御並びに車上検査機能を組み合わせ実現することができる。

この TIS の持つ各機能の特長を以下に示す。また、当社が現在まで納入した各種 TIS の構成と機能概要を表 1 に示す。

(1) モニタリング機能

情報伝送路を用いることにより、従来より多くの機器情報を入力できる。このため、故障発生時には、きめ細かなデータをプリンタに印字出力させることにより、故障発生原因の追求が容易に行える。

表 1. システム分類

分 類	従来のモニタ装置	光伝送方式の TIS	制御/モニタ二重化伝送方式の TIS	モニター重化伝送方式の TIS
機 能 概 要	車上の各装置を監視し、故障発生時は、運転台に表示し、故障現象を記録	光ファイバ伝送線を用いることにより、伝送速度を大幅に向上させ、制御指令/モニタ情報を一括管理した光ファイバ二重化ループによるフォールトトレラント伝送システム	車両の運転制御にかかわる情報を集中管理することにより、制御機器の保守を効果的に行う制御/モニタ二重化伝送方式によるフォールトトレラント伝送システム	従来のモニタ伝送・モニタ表示機能を大幅に向上させ、乗務員支援・乗客サービス等の方向へ機能を拡張したシステム
シ ス テ ム 構 成 (代表例)				
機 能	故障記録	○	○	○
	故障表示	○	○	○
	試 運 転	○	○	○
	運 転 情 報	○	○	○
	乗客サービス			○
	車 上 試 験		○	○
制 御 指 令 伝 送		○	○	

(2) 車両搭載機器の制御

車両推進装置やブレーキ装置に対しての力行・ブレーキ制御だけではなく、情報伝送路を用いて車両空調装置に対し、空調運転モード、空気ばね圧から算出した乗車率などの情報を送信する。また、車内案内表示装置に対して、表示案内文章、表示タイミングの情報を送信する。これらの情報は、TIS がデータベースで管理しているため、変更に対して柔軟に対応できる。

(3) 車上検査機能

モニタ表示器に表示される操作指示に従い、タッチキー若しくは、運転台機器を操作することにより、情報伝送路を用いて検査指令コードを検査対象機器に送信し、車上検査を実行する。また、検査終了後、検査結果データをリアルタイムに収集し、画面表示できるようにしている。

本稿では、表1に示す各種伝送方式を持つTISの具体例として、そのシステム構成・機能・特長について述べている。

2. 光伝送方式のTIS

2.1 システム構成

図1に光ファイバケーブルを用いた光伝送方式の構成例を示す。先頭車に2台(CS₁, CS₂) 中間車に1台(TSU) 伝送装置を設け、車上での情報伝送路を構成している。光ファイバケーブルを利用した光伝送方式では、耐ノイズ性・耐環境

性・情報信頼性が他の伝送方式に比べて高い。

運転台からの運転指令(力行・ブレーキ指令)は、先頭車端末に入力され、光伝送路を通じて各中間車端末・指令変換器を経由し、各VVVF制御装置やブレーキ制御装置に出力される。

一方、各車両ごとの情報、例えばVVVF制御装置やブレーキ制御装置の情報は、逆に指令変換器に入力され、各中間車端末を経由して先頭車端末に集められる。先頭車端末は、これらの情報を処理し、モニタ表示器(DDU)に表示したり、故障発生時には故障データを記録する。

2.2 障害対策

このシステムの特長は、先頭車端末のみ二重系とし、高信頼度で経済的な構成とした点である。先頭車端末の二重系は、通常時は1系・2系とも、それぞれ独立した機能を持っている。しかし、1系・2系のどちらか一方が故障した場合、残った系のバックアップ機能が働いて重要な情報は支障なく伝送されるようになっている。

一方、光伝送路を二重化ループ構成としているので、伝送路の障害に強くなっている。一例として、図2に示すような障害が発生した場合には、障害発生箇所に隣接する局のループバックにより、伝送路が再構成される。また、端末装置が故障した場合には、バイパススイッチが入って自動的にバイパスされ、部分故障がシステム全体のダウンになることを防

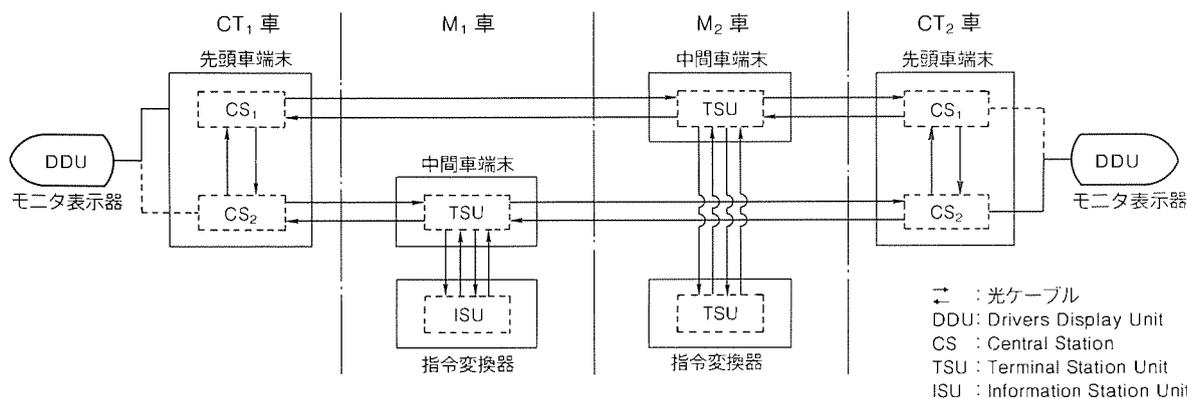


図1. 光伝送方式の構成例

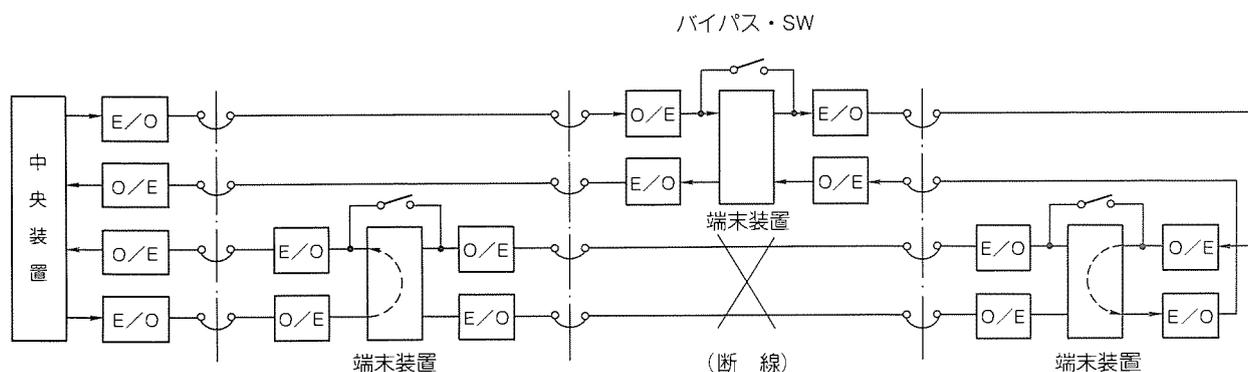


図2. 二重化ループの障害対策

止している。

3. 制御/モニタ二重化伝送方式のTIS

3.1 システム構成

図3に制御/モニタ二重化伝送方式の構成例を示す。この構成は、運転台の中央装置には運転指令を直列伝送信号に変換し、制御伝送線へ送信する制御送信器を置く。また、各車の端末局には、直列伝送信号を受信して機器へ運転指令を出力する制御受信器を置く。TIS中央局・TIS端末局は、モニタ情報の伝送のほかに制御伝送系の監視と、バックアップを行う。すなわち、制御伝送線を経由する伝送が停止した場合には、TIS中央局→モニタ伝送線→TIS端末局→制御受信器の経路で制御情報の伝送を行う。

この制御/モニタ二重化伝送方式の特長は、以下のとおりである。

(1) 機能分担が単純

機能分担が単純となり、動作が理解しやすく、保守しやすいシステムとなる。

(2) 制御伝送のフェイルセーフ化が容易

制御送信器及び制御受信器にDual-CPU方式を採用することにより、制御伝送のフェイルセーフ化が容易に行える。

(3) システムの高信頼化が容易

制御伝送系をモニタ伝送系が常時監視し、必要に応じてバックアップするので、異常検出能力が高くかつ障害発生に強いシステムとすることができる。

(4) 制御伝送の応答性が早い

制御伝送に専用の伝送系を使用しているため、経済性に有

利な電気式伝送 (FSK 変調方式, 9.6 kbps) を使用しても高速の応答性 (伝送周期, 15ms) が得られる。

3.2 Dual-CPU方式

Dual-CPU方式による直列伝送化制御指令の送受信回路構成を図4に示す。Dual-CPU方式は、送信回路(図4の(a)に示す)、受信回路(図4の(b)に示す)にそれぞれ二つのCPUを持つ。二つのCPUは、互いに独立して運転指令の直列伝送信号への変換(送信回路)、又は直列伝送信号の運転指令への変換(受信回路)を行い、その出力を相互にわたし、互いにチェックを行う。各CPUは、自己の出力と他の出力を比較し一致していれば出力を有効とする励振出力を出し、不一致であれば励振出力を停止する。この二つのCPUの励振出力の論理積によってACアンプ回路を駆動し、出力を有効とするリレーを励磁している。

このような回路により、いずれのCPU回路の故障に対しても少なくとも一方の励振出力が停止して、出力を有効とするリレーが消磁することにより、フェイルセーフ性を保つ。

なお、この回路のフェイルセーフ性の前提は以下の3点である。

(1) 2系のうち、同一部分の同時故障はないとする。

(2) 励振回路の故障モードは励振の停止となる。

(3) 有接点リレーの故障モードはオフ側である。

3.3 制御系、モニタ系及び機器内蔵の

モニタリング機能を活用した車上検査

制御/モニタ二重化伝送方式のTISの車上検査機能は、制御及びモニタ機能で使用しているハードウェアとソフトウェアの性能を十分に活用した次の特長を持たせている。

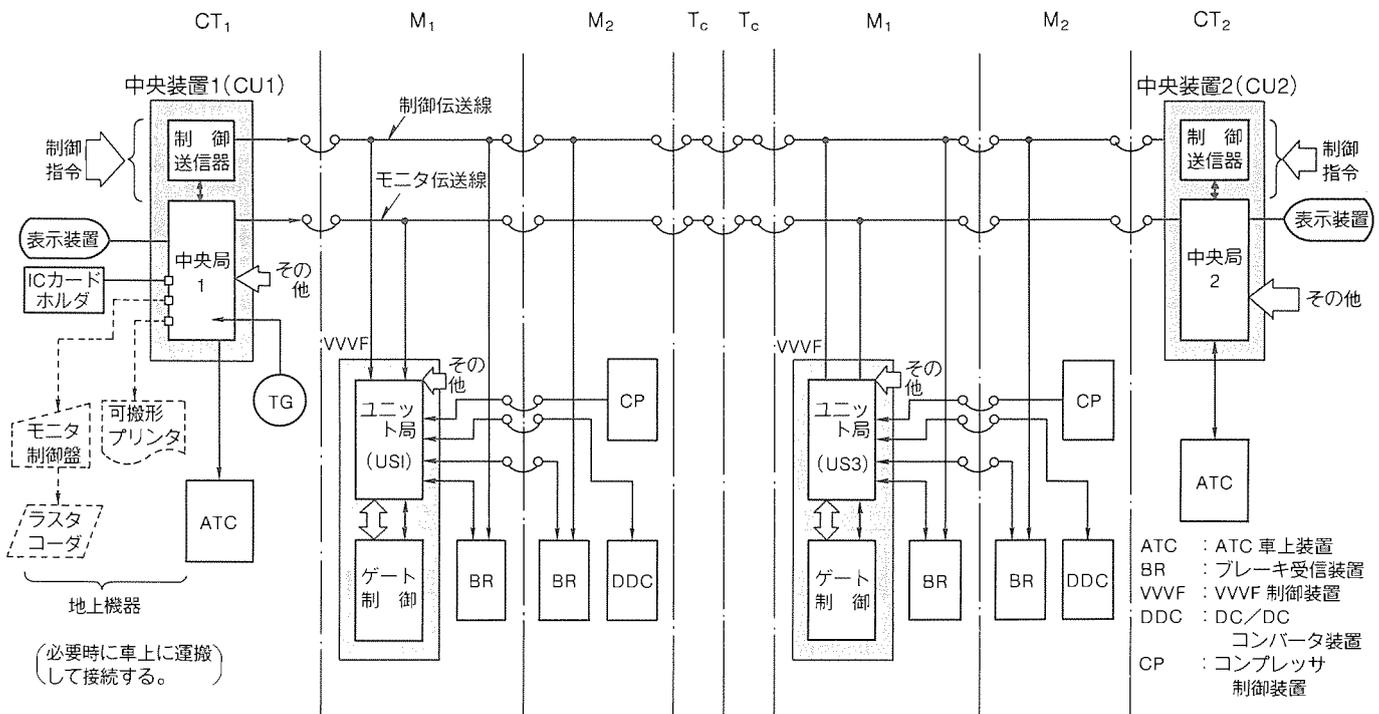


図3. 制御/モニタ二重化伝送方式の構成例

(1) 制御伝送系による試験条件の設定

試験時には、通常使用される制御送信器とは別の送信回路から試験用のノッチ信号などが送信され試験条件が設定される。また、必要に応じ、矛盾した指令を送信し、模擬の故障を発生させることも行う。

(2) モニタ伝送系による試験結果のリアルタイム収集

各車で収集した試験結果データをモニタ伝送系を経由して、試験項目の進段ステップに合わせてリアルタイムに収集する。これにより、全車一斉に能率良く試験を進めることができる。

(3) 機器内蔵のモニタリング機能からのデータ収集

各マイコン化機器内蔵のモニタリング機能が収集する動作情報をデータ伝送によって収集する。これにより、機器の内部情報が容易に収集できる。

4. モニター重化伝送方式の TIS

4.1 システム構成

図5にモニター重化伝送方式の構成例を示す。各車ごとの端末装置、運転室にあるIC(メモリ)カードホルダ、運転室と車掌室にあるCRT(若しくはEL)ディスプレイと車掌設定器から構成されている。このモニター重化伝送方式のTISでは、力行、ブレーキ指令機能を持たず、従来どおりの引通し線で指令している。しかし、車両モニタ装置の基本性能(伝送、表示)を大幅に高めることにより、システムの機能を乗務員支援・乗客サービス・車上検査の方向へ拡張した。

さらに、IC(メモリ)カードにより、入力される乗務員用の行路・時刻表情報と、列車内の各種モニタ情報を運転台及び車掌室に設置されるタッチパネル式モニタ表示器に統合表示した。また、画面上のキーをタッチすることにより、画面の切替えや制御指令の発信

などを容易に行うことができる。

4.2 IC(メモリ)カードの導入

記憶媒体として、車両搭載環境であること。乗務員用の行路・時刻表情報は、ダイヤ改正ごとに書き換えられることなどを考慮した結果、以下の条件を満足しているIC(メモリ)カードを導入した。

- (1) 接触不良によるデータ破壊を防ぐため、非接触型であること。
- (2) 大容量の情報(最低128Kビット)の記憶が可能であること。
- (3) データの書き換えが自由であり、耐用回数が無制限であること。
- (4) 持ち運びに便利であり、安価であること。

IC(メモリ)カードの特長を表2に示す。

4.3 タッチパネル式モニタ表示器の導入

最近登場している特急電車などで、非貫通構造の車両では、

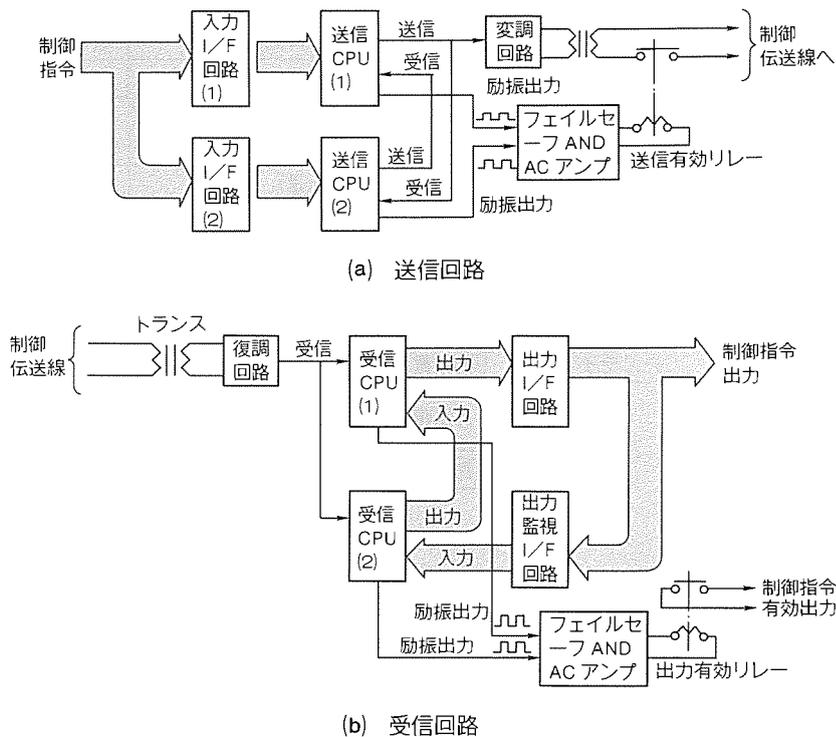


図4. デュアルCPU方式フェイルセーフ送受信回路構成

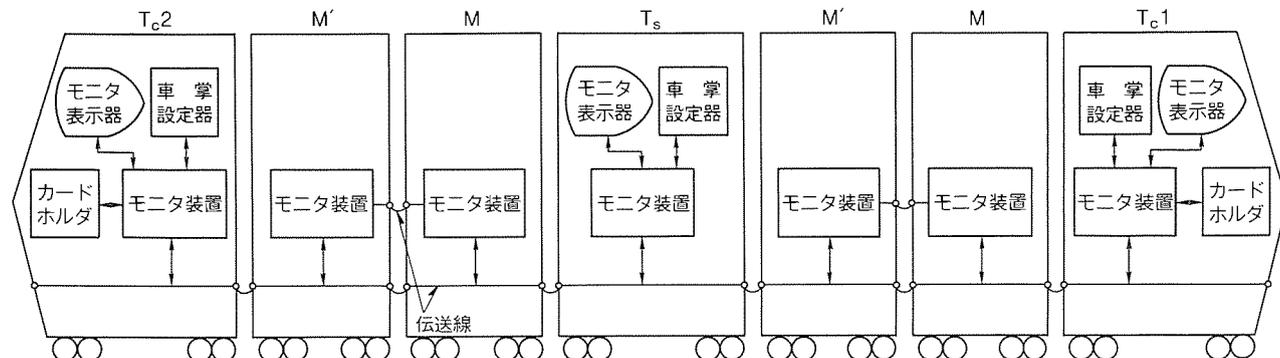


図5. モニター重化伝送方式の構成例

運転台スペースが広くとれるため、カラー CRT 式モニタ表示器が採用されている。一方、貫通構造の車両では、運転室の奥行き方向が制限されるため、EL 式モニタ表示器が採用される傾向にある。しかし、車両に搭載される表示媒体としては、共通に以下の条件を満足させる必要がある。

- (1) 多くの情報を一度に表示できること。
- (2) きめ細かな情報を表示するために、高解像度であること。
- (3) 重要度の高い情報については、色分け表示や反転・点滅など表示方法の使い分けが自由に行えること。
- (4) ソフトウェアで自由にフォーマットなどを変更できること。

次に操作入力方式であるが、従来はキーボードなどを使用していた。しかし、マンマシン インタフェースは、画面に

表示された指示に従って操作すれば、操作の習熟は不要でミスが少なくなることを考慮し、タッチ入力式パネルとした。

このタッチ入力式パネルとしては、現在 4 種類 (光電式・静電容量式・音響式・抵抗膜式) あり、以下の内容について勘案した結果、光電式とした。

- (1) 車両搭載機器であるため、メンテナンスが容易であること。
- (2) 画面の鮮明度が変化しないこと。
- (3) 長寿命 (約 4 万時間程度) であること。
- (4) 高い分解能があること。

タッチ入力システムの各方式の比較を表 3 に示す。

4.4 乗務員支援・乗客サービス機能の例

4.4.1 運転情報画面

表 2. LSI カード(無接点方式のメモリカード)の特長

項目	説明	特長
構造	IC チップ、シートコイル基板をプラスチック樹脂中に完全封入	折り曲げ、落下など外部からのショックによって、内蔵物が破損、破壊される心配がない。
形状・材質	86×54×3.5(mm) (標準)樹脂	カードサイズ
信号の入出力	内蔵したシートコイルにより、無接点メモリアクセス	15kV の静電気にも心配がない。接触不良、摩耗の心配がない。
アクセス速度	500kbps (半二重伝送)	有接点方式 IC カードの約 50 倍以上のスピード
メモリ容量	1 M ビット, CMOS RAM	不揮発メモリ
耐用回数	半永久的	データの消去・再使用が無制限にできる。
性能寿命	5 年	バックアップのリチウム電池の寿命
リード/ライト装置	コンパクトな装置で簡便であり、駆動装置は不要	機械のメンテナンスの必要がない。安価な上に信頼性が高い。
使用環境	外部環境に強い。	油・水・切粉・磁気・汚れなどに強く、工場内での使用可能
その他	携帯に便利	物理的強度が強い。

表 3. タッチ入力システムの各方式の比較

方式	検出方法	長所	短所
光電式	発光ダイオードとフォトトランジスタをペアとし、発光ダイオードの光を指で遮ることで、位置を検出する。	1. メンテナンスが容易 (交換) 2. 寿命が長い。 3. 画面の鮮明度は変わらない。 4. 高い分解能	1. 視差がある。 2. 太陽光に弱い。 3. やや高価
静電容量式	透明電極に指を触れると、人体の容量が加わり、透明電極の容量が変化して位置を検出する。	1. 視差が少ない。	1. 画面が見にくくなる。 2. タッチは指等の導電性のものに限られる。 3. 温度・湿度の影響による容量変化に対応できない。
音響式	音波発信器によって発信した表面弾性波が指で反射して、受信器に返ってくるまでの時間を計測して、位置を算出する。	1. 高い分解能 2. 視差が少ない。 3. 画面の鮮明度は変わらない。	1. 高価 2. 敏感すぎる。 3. クリーンな環境に限られる。
抵抗膜式	ポリエステルシートに透明な抵抗膜でできた導線を格子状に取り付け、指で押すと交差する多数の 2 本線の組のどれかが、導通することにより、位置を検出する。	1. 視差が少ない。	1. 耐久性がない。 ・傷・温度・湿度に弱い。 ・押圧部分に干渉しま (縞) が生じやすい。 2. 画面が見にくくなる。

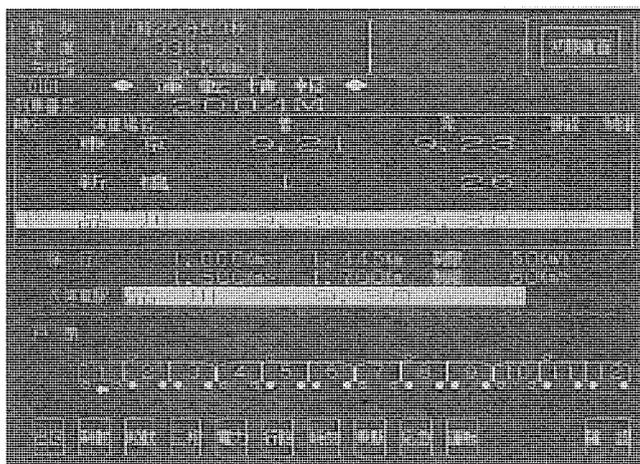


図 6. 運転情報画面

運転情報画面は、運転士に必要な情報をすべて網ら（羅）した画面であり、次に示す特長がある。

(1) 時刻表・次停車駅・徐行区間の表示

地上システムにより、運転（仕業）に必要な情報（行路・運転時刻・駅名など）が入力されている IC（メモリ）カードを運転士が携行する。その後、車上のカードホルダに挿入すると、IC（メモリ）カードに入力された情報が TIS に読み込まれる。運転士により、乗務行路の選択、乗出し駅の設定（確認操作）、路線の設定（確認操作）の一連の操作が行われると運転情報画面が表示される（図 6 参照）。画面には、後方 1 駅と前方 2 駅の着発時刻・番線・出入制限速度が表示されている。この表示は、TG（速度発電機）の出力パルス積算値によって列車の現在位置（キロ程）を判断し、あらかじめ各駅ごとに登録してあるキロ程値との比較により、表示範囲（進行中の駅範囲）を自動的にスクロールする。また、停車駅の 1 km 手前になると、次停車駅に表示している駅名を点滅表示及びブザーを鳴動させ、運転士に停車駅の接近を知らせる。

(2) 画面表示文字

走行中、運転士が即時に時刻表の内容を認知できるようにするため、列車番号・駅名・発着時刻は、標準文字に対し、横 2 倍角の表示文字を使用した。

4.4.2 サービス機器制御画面

サービス機器制御画面は、各車に搭載されるサービス機器（放送・室内灯・空調・車内案内表示器など）の制御を一括して行うことができる画面である（図 7 参照）。

画面のタッチキー操作により、放送の一括及び各車個別制御・空調・換気・室内灯・車内案内表示器の一括制御が行える。また、PR 文や受信ニュース文をこの画面から呼び出して文章を確認したり、車内案内表示器へ文章の表示を指令することができる（図 8 参照）。なお、各制御は設定キーをタ

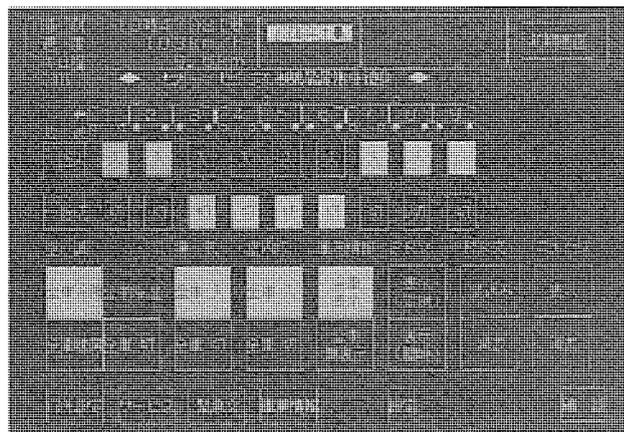


図 7. サービス機器制御画面



図 8. 車内案内表示器表示例

ッチするまで受付が行われないようにして、ヒューマンエラーを防止している。

5. む す び

以上述べたように、車両のインテリジェント化、すなわち高度なマイコン応用技術を利用した車両の情報化は、今後共進められていくであろう。

今後の方向としては、地上システムとのデータ伝送を介した情報交換の強化、車載機器の自己診断機能の充実などの機能の拡充が考えられる。一方、こうした車上の情報システム化を進める上で、TIS のソフトウェアの機能ブロック化による標準化と、各車載機器とのインタフェースの標準化が一層求められるであろう。

参 考 文 献

- (1) 長谷川博一：車両とその周辺のインテリジェント化技術、電気・情報関連学会連合大会（1989）
- (2) 前川義雄，新井静男，本間英寿，上田哲司：基本性能を高め多機能化を可能にした特急電管用モニタ装置，26 回鉄道サイバネ，274～278（1989）
- (3) 前川義雄，桑原 馨，本間英寿，白樫智也：IC カードとカラー CRT を使用した特急電管用モニタ装置，26 回鉄道サイバネ，269～273（1989）

車両用補助電源装置の動向

1. はじめに

近年、鉄道車両の近代化を目指して、乗客サービスの向上、省エネルギー、省力化、自動化などのニーズが増加し、多様化している。これらに対応するため、エレクトロニクス技術の進歩を背景に、空調機器のきめ細かい可変容量制御、補機モータも含めた AC ドライブ化、車両情報集中制御等、各種の展開がなされている。

このような中で車両用補助電源装置も、負荷の大容量化・多様化に対応して、小型軽量化・低騒音化・無保守化・信頼性の向上が図られている。ここでは、代表的な車両用補助電源装置 (SIV : Static Inverter, DC/DC コンバータ) について最近の技術動向を紹介する。

2. 動 向

静止形インバータの発展を支えてきたパワーデバイス制御技術の変遷を中心に、補助電源装置の動向を表1に示した。パワーデバイスの変遷で特に注目されるのは、GTO、パワートランジスタなどの自己消弧要素子の導入による装置の小型化・高効率化・高性能化である。

また、制御面でも従来のアナログ制御からデジタル制御へと移行し、マイクロコンピュータを用いた DDC 制御 (Direct Digital Control) の補助電源も実用化され、同時に自己診断機能を内蔵することによって保守性の向上も図られている。

3. システムの構成と特長

代表的な補助電源システム構成を表2に示す。補助電源負荷としては、クーラー、けい光灯、制御回路などがあるが、表2では簡単のためクーラー負荷のみ記載している。A方式は、DC1,500V から静止形インバータ (SIV) により、交流200V (又は440V) を引き通し、冷房装置をオン・オフ制御するものである。B方式は、SIV によって交流200V を引き通す点はA方式と同じであるが、冷房装置内でいったん直流に変換した後、クーラーをインバータ制御する。C方式は、DC1,500V から静止形 DC/DC コンバータにより、直流600V を引き通し、冷房装置内でクーラーのインバータ制御を行う。C方式の場合、直流600V のほかにけい光灯・制御回路などの負荷用に交流200V を引き通す必要がある。

表2で示した各補助電源システムに対する装置の基本構成

表1. 補助電源装置の動向

年 代	昭 和 40 年	昭 和 50 年	昭 和 60 年
パワーデバイス	1,300V 逆阻止サイリスタ	1,300V → 2,500V 逆導通サイリスタ	2,500V → 4,500V GTO サイリスタ 1,200 → 1,400V パワートランジスタ
制 御 技 術	磁気増幅器式 (Mag Amp.)	IC・トランジスタ式	マイクロコンピュータ (DDC 制御) 式 自己検修機能付き
補助電源負荷	照明装置負荷 DC100V バッテリ充電 数 kVA ~ 20kVA 単相	冷房装置負荷, 一般サービス機器負荷 (ON-OFF 制御) 100kVA 前後 三相	空調制御装置, AC Comp. 装置負荷 (連続可変容量制御) 150kVA 前後 三相
補助電源方式	DC-MG (直流電動発電機) 単相 SIV	BL-MG (ブラシレス MG) 三相 SIV (サイリスタ式)	三相 SIV (GTO 式) (GTO+Tr 式) DC/DC コンバータ

を表3に示す。各方式ともGTO二重チョッパ+1パルスインバータ方式(PWM制御しない方式)で構成され、チョッパ部で入力電圧変動(DC 900V~DC 1,800V)を吸収し定電圧制御を行い、インバータ部で負荷にマッチングした出力電圧波形を作るものである。この方式の特長を以下に示す。

3.1 GTO二重チョッパ

- (1) 二重チョッパ構成のため、チョッパ出力リアクトル(SL)の電流リップルが低減でき、SLの小型化が可能であり、このため装置の小型化及び低騒音化が図れる。
- (2) 二重チョッパは高速応答化が可能であり、架線電圧の急変を瞬時にチョッパ部で吸収するため、出力電圧変動は極めて小さい。

3.2 1パルストランジスタインバータ

- (1) インバータは1パルス方式(PWM制御は行わない。)のため、出力変圧器に印加する高調波が少なく、出力変圧器の低騒音化が図れる。また、出力変圧器の温度上昇も小さく、変圧器上部の排風温度上昇も全く問題はない。
- (2) GTOを使用したインバータに比べ、スナバロスがないため、排風温度上昇も小さく、また高効率化が可能である。

表2. 補助電源システム構成

方式	構成
A	
B	
C	

表3. 各種補助電源装置例

方式 項目	方式1 AC200V 又は AC440V 引通し (表2のA又はB方式)	方式2 DC600V 引通し (表2のC方式)
主回路構成		
内容	3, 4 両一括でクーラー電源用のSIVを設け、三相 AC200Vを出力するもの(波形のひずみ率は5%以下)。SIVは“二重チョッパ+12相1パルスインバータ方式”	3, 4 両一括でクーラー電源用の絶縁形 DC/DC コンバータを設け、DC600Vを引通しするもの。DC/DC コンバータは“二重チョッパ+360Hz 1パルスインバータ方式” 360Hzの高調波トランスで絶縁する。
出力電圧波形		
騒音	1パルスインバータ(PWMでない)のため低騒音化可能	同 左
信頼性	主回路構成シンプル。使用 GTO, トランジスタの電圧・電流裕度大	同 左
記事	各方式とも、“GTO二重チョッパ+トランジスタ1パルスインバータ”構成であり、低騒音化・信頼性向上が可能である。	

(3) コンパクトなトランジスタ モジュールの採用により、装置の小型・軽量化が可能である。

(4) 1パルスインバータによる高調波の少ないシステムであり、上記低騒音、高効率のほか、誘導障害等全く問題のないシステムである。

3.3 16ビット マイクロプロセッサによる DDC 制御

(1) 精度の良いトレース機能により、万一の不具合時、各部波形を正確に再現できトラブルシューティングが容易である。

(2) 車上監視システムとのデータ伝送が容易であり、充実した監視システムが構築できる。また、自己診断機能も持つことができる。

以下に各補助電源装置例を示す。

4. SIV 装置

表4にGTO二重チョップトランジスタインバータ方式SIVの標準定格、図1に回路構成、図2にインバータ箱の外観を示す。

主回路はGTO二重チョップとトランジスタの12相インバータで構成される。このチョップ部は、入力電圧変動を吸収し、チョップ出力電圧を一定電圧に制御する。コンデンサFC3+FC4の電圧は、一定電圧に制御されるため、インバータ部は電圧制御をする必要がなく、このため1パルスインバータ方式としている。制御回路は、チョップの出力電圧を一定に制御するチョップ電圧制御回路(VC1、マイナーループ)と、出力変圧器のレギュレーションを補正して出力電圧を一定電圧に制御する出力電圧制御回路(VC2、メジャーループ)から構成される。このSIV装置は、図3に示す各種の優れた特性を持っている。以下に各種特性について述べる。

図4に70kVA SIVの出力電圧波形を示す。1パルスインバータによって出力波形ひずみ率は2.0%と小さく、高調波が少ないため、装置の低騒音化、排風温度上昇の抑制、誘導障害等の高調波ノイズの抑制が図れる。

4.1 出力波形

図5に70~150kVA装置の騒音実測値を示す。1パルスインバータ、二重チョップ方式の採用で、出力変圧器、直流リアクトルの高調波電流を低減し、同図のように超低騒音特性を持っている。また、このSIV装置は出力変圧器の磁わ

4.2 騒音特性

以下に各補助電源装置例を示す。

表4. SIV 定格

項目	標準仕様	
方式	主回路方式	GTO二重チョップトランジスタ 12相インバータ
	制御方式	チョップ定電圧制御
	冷却方式	自然冷却方式
入力	定格電圧	DC1,500V (1,000~1,800V)
	定格出力容量	40~170kVA
出力	定格の種類	100%連続
	相数	三相
	定格電圧	200V, 440V
	電圧精度	+5~-10%
	定格周波数	60Hz, ほか
	周波数精度	±1%
	負荷力率	85%
	電圧ひずみ率	5%以下

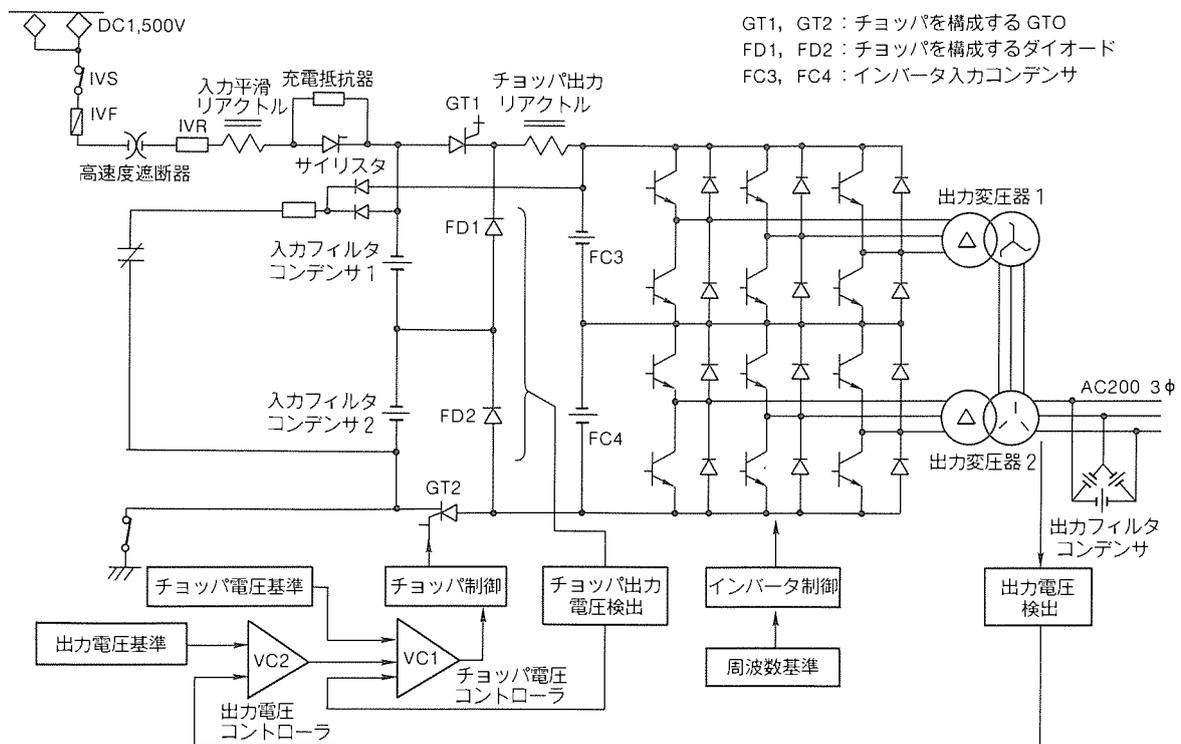


図1. SIVの回路構成

い音が非常に小さいため、負荷が低減すると騒音が極端に小さくなるのも大きな特長の一つである(70kVA SIVの場合、定格負荷で62.5dB, 50%負荷で58.5dBである。)

4.3 電源電圧変動特性

図6に電源電圧変動特性を示す。電源電圧の変動をチョップ部で吸収するため、電源電圧変動の影響が出力波形に表れず非常に良好な特性を示している。また、負荷変動に対しても出力波形はほとんど変化せず、良好な特性を示す。

4.4 負荷の多様化

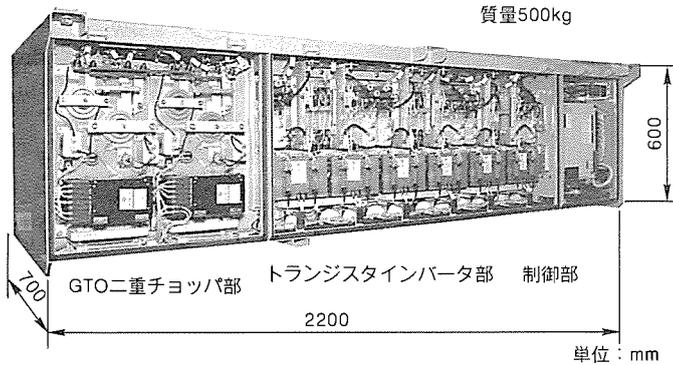
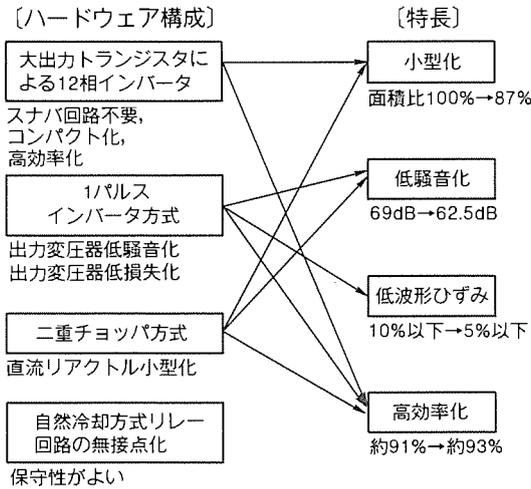
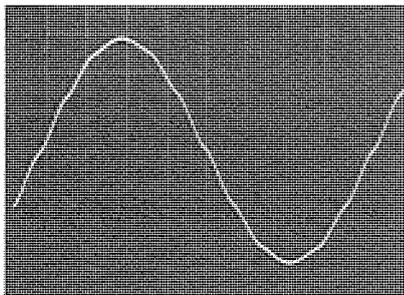


図2. インバータ箱の外観



注. 特長に示す数字は、70kVA SIVについて従来の直接12相インバータ(当社製)と本SIVを比較したものである。

図3. SIVの特長



入力: 1,500V 負荷: 70kVA ひずみ率: 2.0%

図4. 出力電圧波形(AC200V, 60Hz)

近年の補助電源負荷の特長として、負荷容量の増加と負荷の多様化が上げられる。ここでは一例として、このSIVとACコンプレッサとを組み合わせた場合の特性について述べる。

トルクリップルの大きなACコンプレッサをSIVで起動する場合、SIV出力電流にはACコンプレッサが必要とするリップル電流が流れるが、SIV出力電圧がこの電流によりふられるとけい光灯にフリッカを生じる。SIVとしては、ACコンプレッサの負荷電流リップルに関係なく、一定電圧を出力することが必要である。人間の目には10Hzのリップルが最もちらつきとして感じる。フリッカの評価基準として、けい光灯に印加される電圧に含まれる全周波数に視感度係数をかけた ΔV_{10} という評価値が用いられる(けい光灯に印加さ

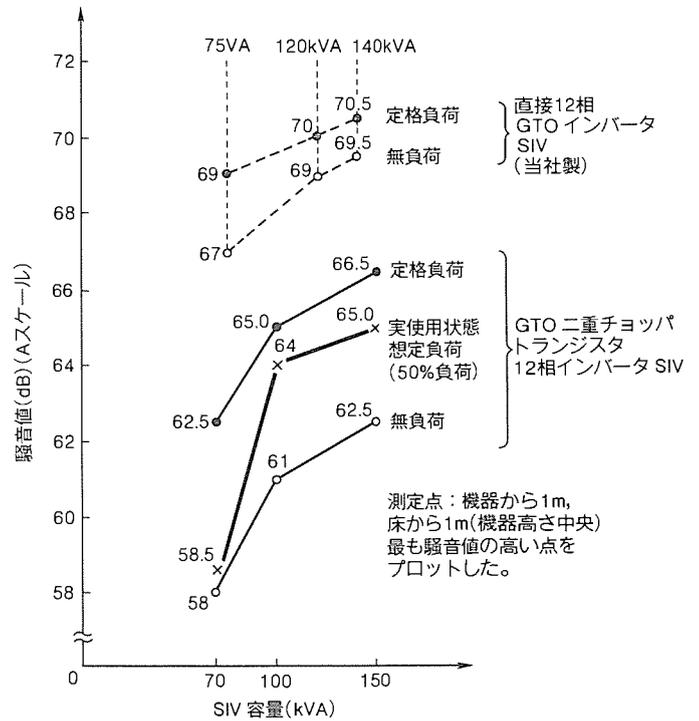


図5. 騒音実測結果

入力電圧1,500V ⇄ 1,800V 負荷100kVA 力率85%

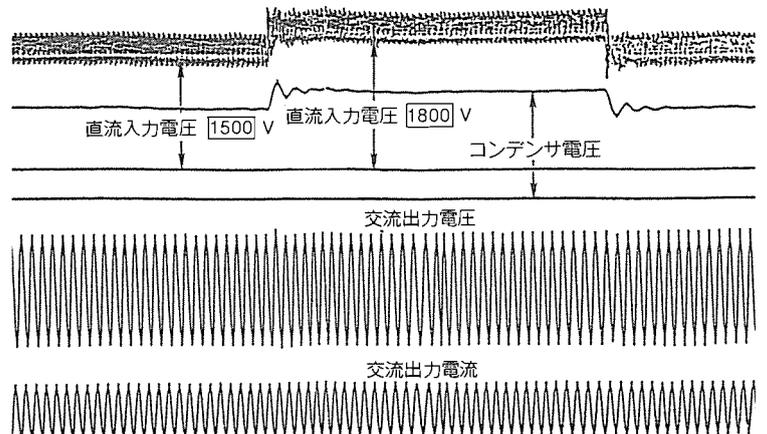


図6. 入力電圧変動試験(100kVA SIV)

れる電圧の全周波数を、ちらつきが等価になるような10Hz周波数の電圧に換算したもの。)。通常SIV出力電圧の ΔV_{10} は1V以下(AC100Vの場合。つまり1%以下)になるよう調整している。

図7に70kVA SIVとACコンプレッサとの組合せ試験回路を、図8に出力電圧・電流特性を示す。出力電流には、ACコンプレッサが要求する20Hzのリプル電流が流れているが、出力電圧は高速のチョッパ回路で制御しているため、電圧リップルは全くなくフリッカも発生していない。

5. DC/DCコンバータ装置

DC/DCコンバータは、入出力間を絶縁するかしないかで装置の構成が異なる。また、DC/DCコンバータの場合、DC600VのほかAC200V、DC100Vなどの制御電源を出力する必要がある。

5.1 直接形DC/DCコンバータ装置

直接形DC/DCコンバータの一例として、130kW装置の概要を示す。この装置は次の特長を持っている。

- (1) 一体箱構成であり、ぎ(騒)装上有利である。
- (2) AC200V、DC100V、DC24Vを出力するCVCF部を内蔵している。
- (3) 16ビットマイクロプロセッサを用いたDDC制御であり、列車制御情報管理装置にデジタル伝送することができ、高機能な車両管理システムを構築することができる。

表5にDC/DCコンバータの定格表、図9に主回路概略、図10に外観を示す。

5.2 間接形DC/DCコンバータ装置

間接形DC/DCコンバータの一例として、80kW装置の

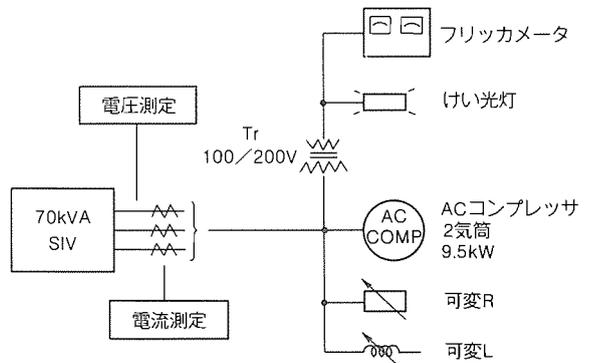


図7. ACコンプレッサ組合せ試験回路

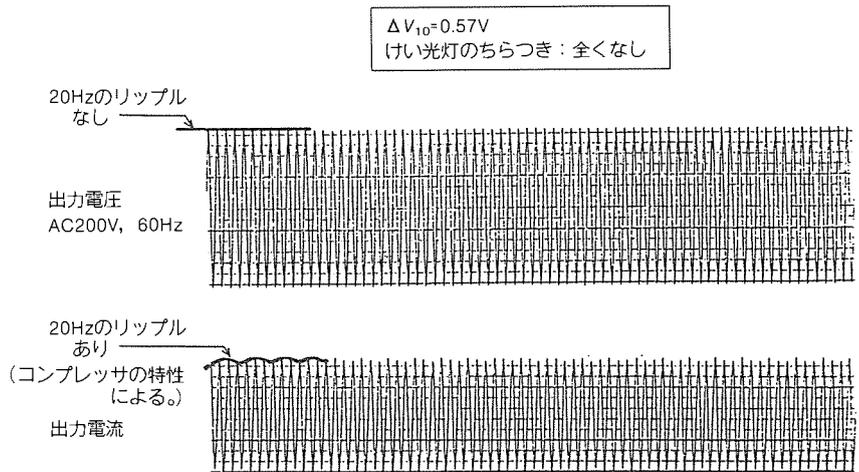


図8. ACコンプレッサ組合せ試験結果

表5. 130kW DC/DCコンバータ定格

項目	仕様	記事	
方式	(1)主回路方式	ダイレクトパラ二相二重チョッパ方式	
	(2)制御方式	出力定電圧制御方式	
	(3)冷却方式	自然冷却方式	
入力	(1)定格電圧	DC1,500V	
	(2)電圧変動範囲	DC1,000~1,800V (ただし、定格負荷は1,150~1,800Vの時のみ給電する。)	
出力	(1)定格容量	130kW	
	(2)定格電流	DC217A	
	(3)負荷責務	100%連続	
	(4)出力の種別	直流 交流単相 直流	直流
	(5)定格電圧	DC600V AC200V DC100V	DC24V
	(6)定格出力	102kW 15kVA 12kW	1kW
	(7)電圧精度	+5~-10% 同左 同左	同左

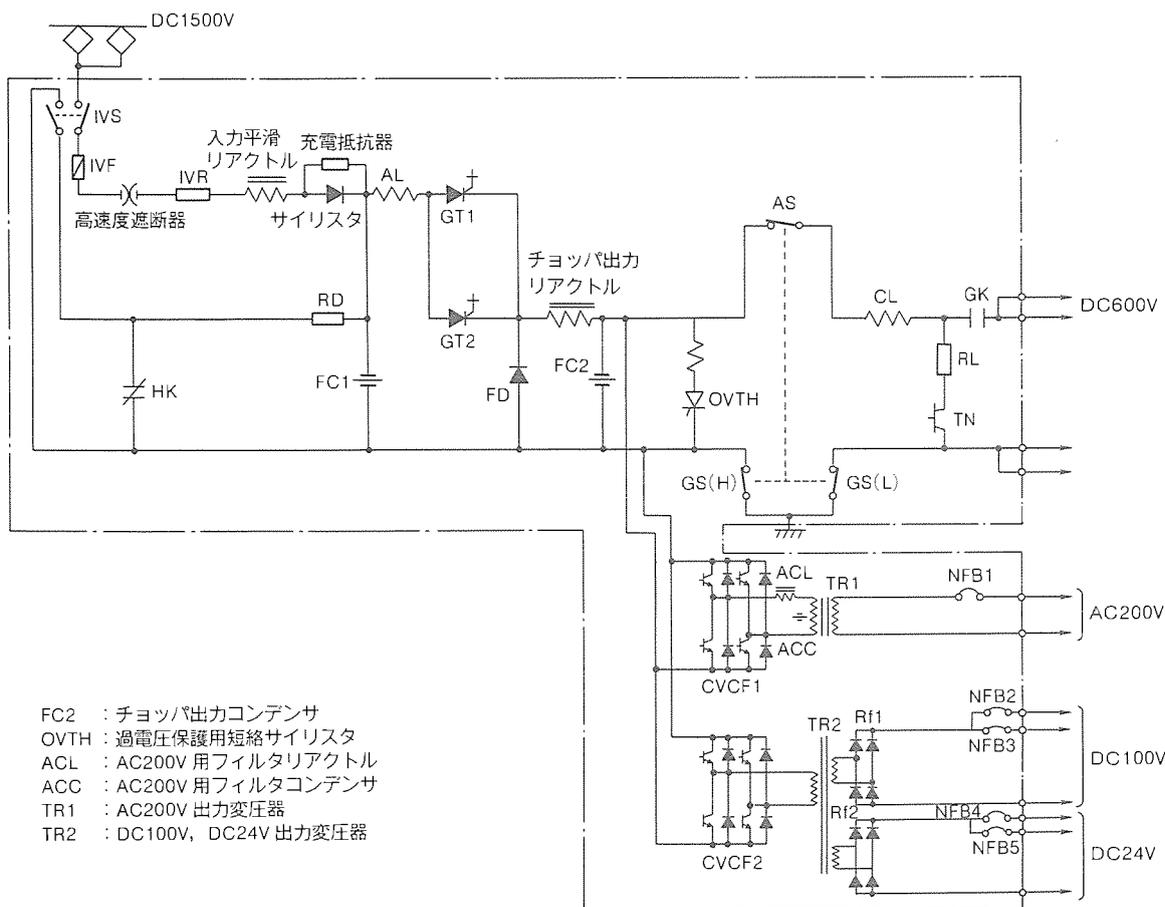


図9. 130kW DC/DCコンバータ主回路の概略

概要を示す。この装置は次の特長を持っている。

- (1) 入出力間を絶縁するトランスは、小型軽量化のため360Hzに高周波化している。
- (2) AC200V, AC100V, DC100V, DC24V を出力するCVCF部を内蔵している。
- (3) 16ビット マイクロプロセッサを用いたDDC制御であり、トレース払い出し装置(ラップトップパソコン)及び自動試験装置とインタフェースをとった高機能なシステムを構築している。

表6に定格, 図11に主回路概略, 図12に外観を示す。

6. DDC 制御

列車制御情報管理装置等が搭載される場合、補助電源装置側にもマイクロプロセッサを搭載したDDC制御を採用することにより、車両システムとしての高機能化が図れる。DDC制御を採用した場合の特長を以下に示す。

- (1) 高機能な制御が可能である。
- (2) 列車制御情報管理装置とのデジタルインタフェースが可能である。
- (3) 万一の異常時の各部波形を正確にモニタできる。
- (4) マイクロプロセッサによる自己診断システムの構築が可能である。

一例として、図9の130kW DC/DCコンバータのDDC

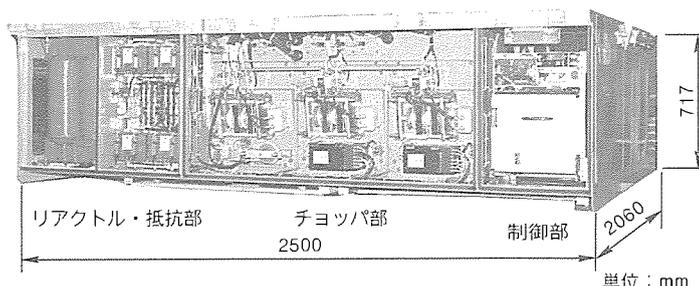


図10. 130kW DC/DCコンバータの外観

制御回路構成を図13に示す。瞬時検出保護が必要な過電圧、過電流検出回路以外は、すべてマイクロプロセッサのソフトウェアで処理している。

6.1 故障モニタシステム

補助電源装置又は、電源側、負荷側に起因する軽故障発生時に、軽故障発生時点の波形をモニタし、トラブルシューティングを容易にするもので、通常各部電圧・電流波形及び制御信号など約10項目を約300~400μsの間隔でサンプリングしている。図14にトレース波形をラップトップパソコンで払い出した例を示す。サンプリング時間が短いため、出力正弦波を正確に再現していることが分かる。

6.2 自己診断システム

マイクロプロセッサを使用することにより、高機能な自己

診断システムを構築することができる。自己診断内容の例を以下に示す。

(1) 無加圧試験

各タイム値の確認、各故障検出器レベルの確認、起動停止シーケンスの確認等を実施する。

(2) 加圧試験

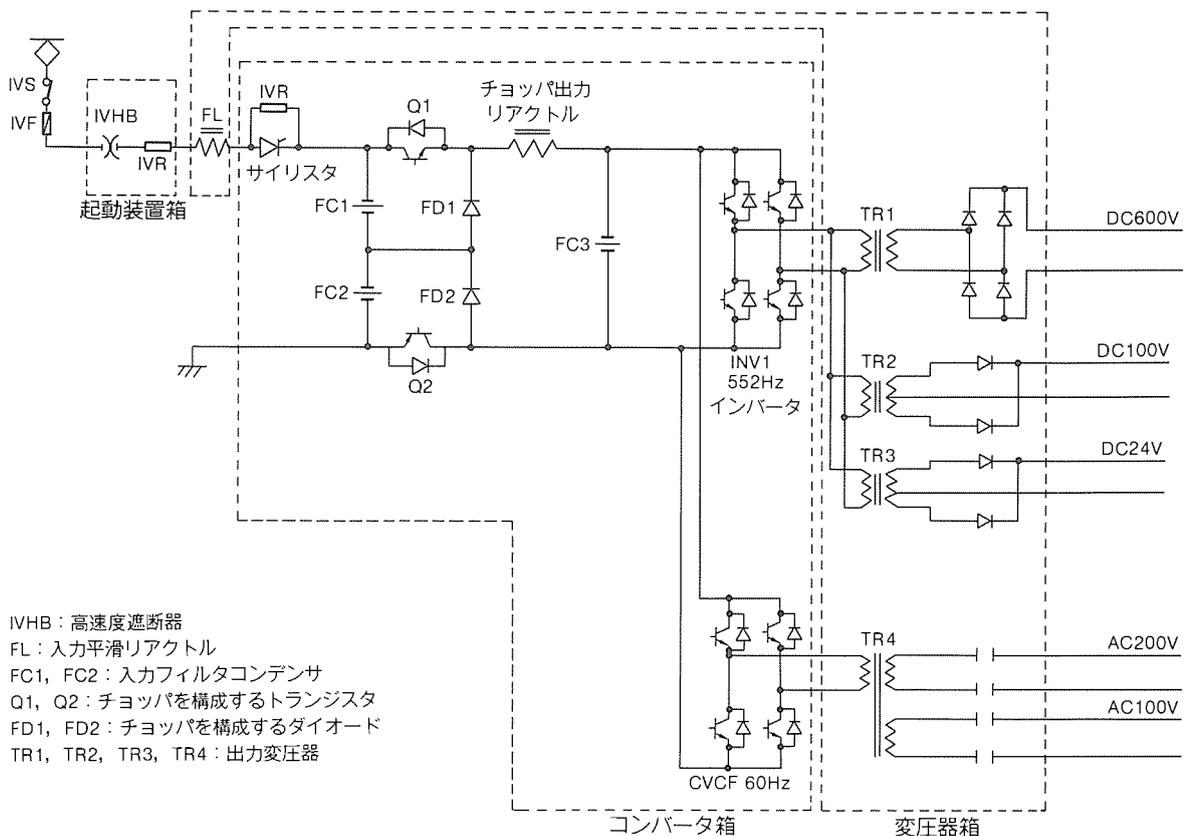
各部出力電圧値の確認、出力周波数の確認等を実施する。自己診断結果例を図15に示す。

7. む す び

以上、最近の車両用補助電源の概要について述べた。車両の快適性が強く求められる現在、補助電源の役割はますます重要になっている。パワーエレクトロニクス、マイクロエレクトロニクス技術の進歩に伴い、補助電源の更なる性能向上を目指し、今後、表7に示す課題に積極的に取り組んでいく所存である。

表6. 80kW DC/DCコンバータ定格

項 目	仕 様			記 事	
方 式	(1)主回路方式	二重チョップ方式 絶縁形 DC/DC コンバータ			チョップ周波数： 360Hz×二相
	(2)制 御 方式	出力定電圧制御方式			
	(3)冷 却 方式	自然冷却方式 (DDC制御方式、自動試験器とのインタフェース回路を含む。)			
入 力	(1)定 格 電 圧	DC750V			瞬時変動：ΔV=±200V
	(2)電圧変動範囲	DC500～900V(性能保証) DC450～900V(動作保証)			
出 力		空調用電源	制御電源		
	(1)定 格 容 量	50kW	21kVA	6kW	1kW 2kVA
	(2)定 格 電 流	DC83A	AC105A	DC60A	DC42A AC20A
	(3)負 荷 責 務	100%連続 200%/10秒	同 左	同 左	同 左 同 左
	(4)定 格 電 圧	DC600V	AC200V	DC100V	DC24V AC100V
	(5)電 圧 精 度	+10~-10%	同 左	同 左	同 左 同 左



IVHB：高速度遮断器
 FL：入力平滑リアクトル
 FC1, FC2：入力フィルタコンデンサ
 Q1, Q2：チョップを構成するトランジスタ
 FD1, FD2：チョップを構成するダイオード
 TR1, TR2, TR3, TR4：出力変圧器

図11. 80kW DC/DCコンバータ主回路の概略

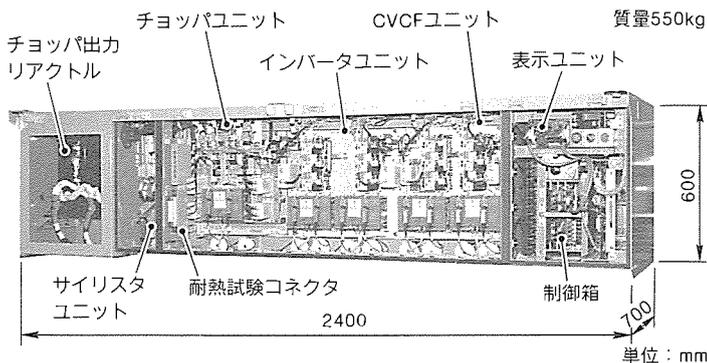


図12. 80kW DC/DCコンバータの外観(コンバータ箱)

表7. 技術開発の課題

項目	開発課題
機器の改良	①小型・軽量化 ②冷却方式の改良 ③機器構成の集約・分散 ④誘導障害対策の強化
制御性能の向上	①過渡応答特性の向上 ②インテリジェント化・高品質化
装置性能の向上	①低騒音化 ②信頼性の向上

参考文献

- 金田順一郎, 松浦敏明: 車両用補助電源装置の技術動向(上・下), 電気車の科学, 42, No. 10, 28~33, No. 11, 29~35 (1989)
- 米畑 譲, 松浦敏明, 松本新吾, 笠原 清, 中谷俊雄: 車両補助電源用新シリーズインバータ装置, 三菱電機技報, 61, No. 2, 150~155 (1987)
- 松永健一郎, 東濱忠良, 米畑 譲, 堤好一郎, 加我 敦: 車両補助電源システムと空調システムの動向, 三菱電機技報, 61, No. 2, 113~118 (1987)
- 黒川悦伸, 東濱忠良, 米畑 譲, 松浦敏明, 松本新吾, 中谷俊雄: 車両新空調・補助電源システム用 DC/DC コンバータ装置, 電気学会全国大会, No. 884 (1987)
- 竹田正俊, 米畑 譲, 松浦敏明, 松本新吾, 中谷俊雄: 車両補助電源用 GTO 2重チョップパ, トランジスタインバータ装置, 電気学会全国大会, No. 912 (1986)
- 米畑 譲, 松浦敏明, 姫野和幸, 松本新吾, 太田泰正: 車両補助電源用 GTO 2重チョップパ, トランジスタインバータ装置(その2), 電気学会全国大会, No. 889 (1987)
- 米畑 譲, 松浦敏明, 糺 芳信, 松本新吾: 静止形車両用補助電源による AC コンプレッサ駆動特性について, 第25回サイバネティクスシンポジウム, No. 348 (1988)
- 秋元幸雄, 根岸弘至, 米畑 譲, 松浦敏明, 大山裕二: 車両補助電源用 2重チョップパ方式トランジスタ DC/DC コンバータ装置, 第26回サイバネティクスシンポジウム, No. 442 (1990)

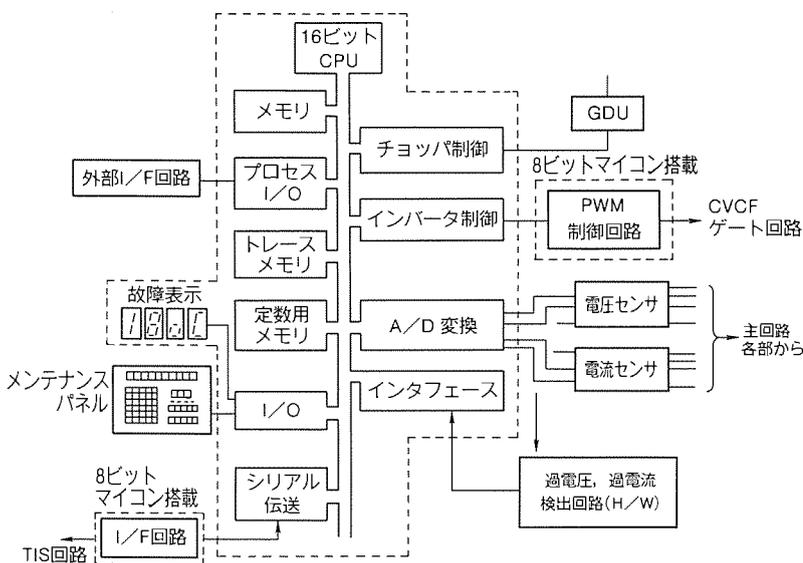


図13. DDC制御回路の構成

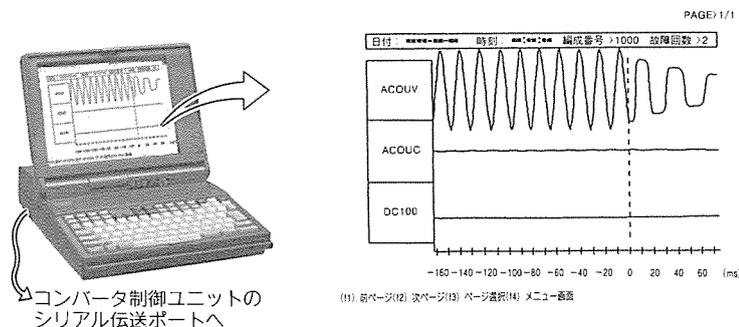


図14. ラップトップパソコンと故障トレース波形の例

*** 2107編成試験成績表 *** 1991年 2月10日19時54分

2107 SIV

無加圧試験	01-01	SIV CHECK	OK
無加圧試験	02-01	ROM CHECK	OK
無加圧試験	02-02	RAM CHECK	OK
無加圧試験	03-01	BATTERY VOLT 70-110V 82V	OK
無加圧試験	04-01	POWER SOURCE CHECK	OK
無加圧試験	05-01	CPU CHECK	OK
無加圧試験	05-02	TIMER CHECK	OK
無加圧試験	05-03	INTERRUPT CONTROLLER CHECK	OK
無加圧試験	05-04	A/D CONVERTER CHECK	OK
無加圧試験	05-05	INITIAL CONSTANT CHECK	OK
無加圧試験	06-01	CHOPPER PULSE CHECK	OK
無加圧試験	06-02	INVERTER PULSE CHECK	OK
無加圧試験	07-01	ACOSC 536-556A 555A	OK
無加圧試験	07-02	INVVD 535-565V 552V	OK
無加圧試験	07-03	INVOD 308-362A 352A	OK
無加圧試験	07-04	CHOVD 535-565V 553V	OK
無加圧試験	07-05	CHOCD 585-615A 603A	OK
無加圧試験	08-01	OSCILLATOR 2.920-2.978MHz 2.949MHz	OK
無加圧試験	09-01	IVHB 0.85-1.15 SEC 1.00 SEC ON	OK
無加圧試験	10-01	HI 0.85-1.50 SEC 1.00 SEC ON	OK
無加圧試験	11-01	HZ 1.70-2.30 SEC 2.18 SEC ON	OK
加圧試験	01-01	AC 200V 180-210V 201V	OK
加圧試験	02-01	AC 100V 90-105V 100V	OK
加圧試験	03-01	DC 100V 90-110V 99V	OK
加圧試験	04-01	FREQUENCY 59.4-60.6Hz 60.0Hz	OK

図15. SIV自己診断結果例

車両空調制御システムのエレクトロニクス化

吉田俊一* 松浦敏明**
 新名 正美知*
 堤 好一郎*

1. ま え が き

最近の車両では、特急車・各種イベント車など車体外観上、従来の車両イメージとは違った崭新で、スマートな流線形のデザインが要求されると同時に、ますます高速輸送化の傾向にあり、車両の低重心設計を目標に、車両搭載機器に対する小型化・軽量化・薄形化が要求されている。空調装置においても小型・軽量化のほか、より快適な居住性を追求した高機能空調システムが要求される。この空調システムは、空調装置本体のほか架線電源からその空調装置に供給する電源と車内状態を快適に制御する制御装置から成り立っている。

このような背景の中で、近年インバータ技術の確立、その応用技術の開発とマイコン応用による空調制御アルゴリズムの開発が急速に進み、それらを適用した車両空調システムは、インバータによる増速（圧縮機の小容量化）、連続可変容量制御（きめ細かな冷房能力制御）、省エネルギー（高効率運転）及びマイコンによる室内温度・湿度・ふく射熱・外気温度・乗車率等の検知による空調環境の管理と快適性向上演算制御機能・自己診断機能など、エレクトロニクス技術の応用により、性能面において著しい進歩をとげ、車両空調制御の主流となりつつある。

ここでは、車両空調におけるインバータ技術・マイコン制御技術の最近の動向とその適用事例について紹介する。

2. 鉄道車両空調制御インバータ

2.1 動 向

直流架線から給電される鉄道車両には、交流電源を得るために補助電源装置として電動発電機(MG)又は近年主流となっている静止形電源変換装置(SIV)が搭載されている。交流電動機を使用する空調装置も、従来から補助電源から交流電源が供給され運転されるが、空調装置の可変速制御のために空調装置専用のインバータを各車両に搭載する傾向にある。空調専用のインバータは、直接架線から給電される場合もあり、補助電源から給電される場合もある。本稿ではこの空調制御専用のインバータについて述べる。

路面電車は、床下のスペースの制約上、空調装置へ給電できる容量をもつMGを搭載することが困難であり、これに代わるコンパクトな電源変換装置が必要であった。

1980年、当社は他社に先駆けて静止形電源変換装置を採用した路面電車用空調制御装置“DA空調システム”を実用

化し、以来国内のほとんどの路面電車に採用されている。

“DA空調システム”の電源部はサイリスタチョッパと2台のトランジスタインバータ回路から構成され、圧縮機の起動時のラッシュ電流を抑制する目的で可変周波数制御のインバータ方式を採用した。その後、一般家庭用クーラーのインバータ化の影響と相まって、車両空調においても、その快適性の向上の要求が強くなり、圧縮機の容量制御運転を目的とした可変周波数制御インバータの採用が主流となってきた。

大容量の補助電源が搭載可能な編成車では、集中形補助電源によって、各車に引き通される三相交流電源により、空調装置をオン、オフ制御する方式が一般的であったが、当社が1986年編成車に集中形のDC/DCコンバータとインバータ空調装置で構成される空調システムを実用化して以来、ここ数年の間に、編成車においても各車に空調専用のインバータを持ち容量制御を行うインバータ空調制御方式が急速に進んできた。図1に当社の空調インバータの開発・実用化の経緯を示す。

車両用インバータ空調システムは実用化されて数年ではあるが、年々着実な伸びが見られており、インバータを採用することによる快適性の向上、高速運転による空調装置の小型化、省エネ等を目指して定着するものと考えられる。また、空調インバータは後で述べるように、車両の電源システムの方式及び車両への搭載方式等によって現状では種々のタイプがあるが、今後、装置の小型・軽量化が進むにつれて車両用として最適なタイプに集約されていくと考えられる。

2.2 車両空調インバータの種類

車両空調インバータの回路方式は、車両全体の電源システ

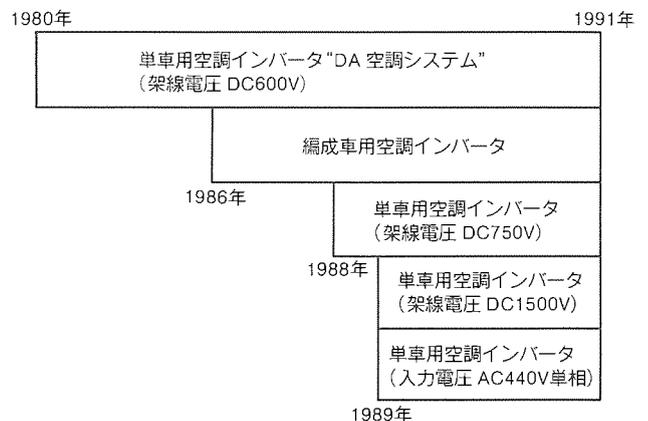


図1. 三菱電機車両空調制御インバータの製品化の経緯

ムにより、種々の回路を形成することになる。図2に車両用空調電源システムの比較を示す。また、図3に各電源システムに対応した空調インバータの回路構成を示す。

図2においてA方式は、インバータを使用しない従来形の空調電源システムを示す。集中形の補助電源から交流440V、三相電源を各車の空調装置へ給電し、空調装置をオン、オフ制御によって運転する方式である。これに対しB～Eの方式は、インバータ空調をもつ空調電源システムを示す。

B方式はSIV (MG) からの交流、三相電源を各車両の空調インバータへ給電し、いったん直流電源に変換した後、PWM制御によって可変交流電源を得、空調装置を制御する方式であり、既存の車両電源を利用してインバータ制御する場合有効な方式である。

C方式は集中形DC/DCコンバータによって安定化直流電源を得、各車のインバータへ給電し、PWM制御によって交流電源を得る方式である。この方式は各車両に直流電源を供給するため、B方式のSIVにおける直流→交流変換及びインバータにおける交流→直流変換が不要となるため、インバータ空調を採用する場合、車両全体の電源システムとして小型・軽量で経済的なシステムを構成することができる。

D方式は、架線電源が直接空調インバータへ給電される方式で、単車走行をする車両を前提としており、現在、主に路面電車に多く採用されている。この方式は、直接架線電圧がインバータへ供給されるため、定電圧化制御をするチョップ回路を持っており、架線電圧に対応してチョップの主回路が異なる。

D方式の空調インバータを編成車の各車両に搭載した方式がE方式である。この方式は、編成車の増結、切り離し又は特定の車両の冷房運転を行う場合、有効な方式である。

各車両にD方式の空調インバータを搭載することは、今後パワーエレクトロニクスの進歩とともにインバータの一層の小型・軽量化が進むことを考えると、電源一体形の空調装置として種々のメリットをもった方式となると考えられる。

2.3 DC1,500V 単車用空調インバータ

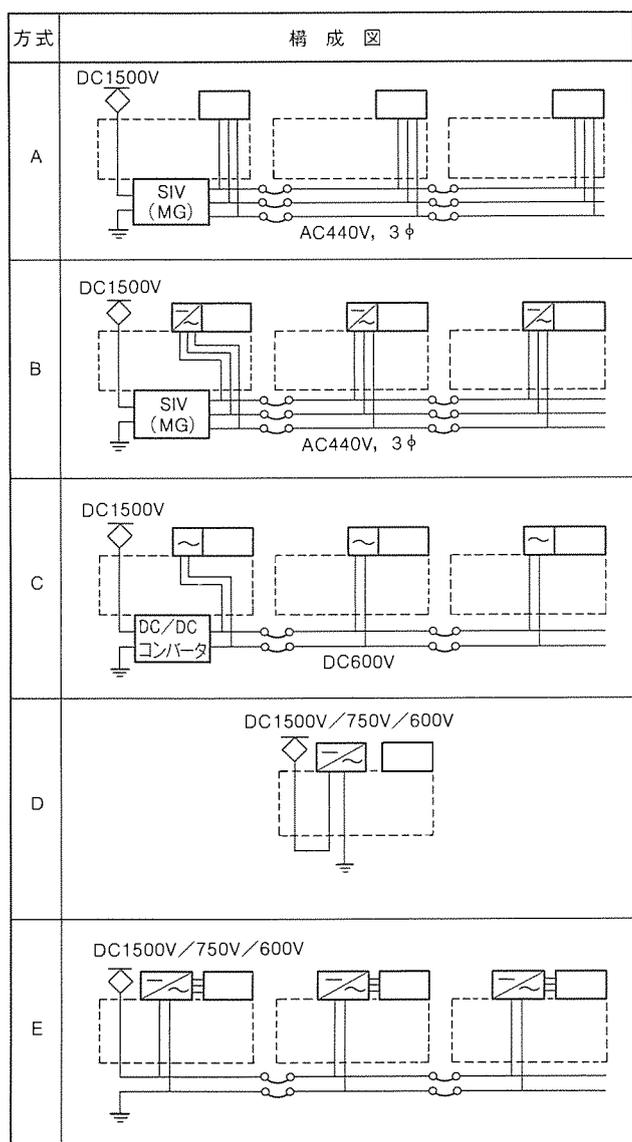
図2のD方式の空調インバータとして、当社が開発・製品化した架線電圧DC600V、DC750V、DC1,500V及びAC25kV(インバータ入力)はAC440V、(単相)対応のものがあり、路面電車をはじめ単車走行車両用として数多く採用されているが、E方式として編成車にも採用されている。ここでは、編成車に採用されている単車用DC1,500V空調インバータについて紹介する。

図4にこの空調インバータの回路の概略図を、表1に仕様を示す。このインバータの主回路構成は、GTO二重チョップ+6相1パルスインバータ方式としている。屋根上搭載形として、軽量・低騒音化が最大の課題であり、このため下記を考慮した。

- (1) 二重チョップ方式により、チョップ出力リアクトルの小型、軽量、低騒音化を図った。
- (2) インバータを6相1パルス方式として、出力変圧器の小型、軽量、低騒音化を図った。

この結果、騒音値は無負荷で60dB、定格では68dB(機器から1m)、と良好な結果を得、屋根上インバータ箱の質量を350kgに軽量化できた。このインバータはその他以下の特長をもっている。

- (1) 制御方式は、16ビットマイクロプロセッサを用いたDC制御(Direct Digital Control)とした。
- (2) 二重チョップ部のGTO、インバータ部のトランジスタとも、ゲート信号は光ファイバによって伝送する方式とし、耐ノイズ性を向上した。
- (3) インバータ箱の枠・カバーは空調装置と同一形状とし、



注 クーラー
 インバータ : 直流変換した後、交流変換することを示す。
 : 交流変換することを示す。

図2. 車両空調電源システムの比較

屋根上のデザインをスマートにした。

図5にこのインバータの外観を、図6に起動時の入出力波形を示す。

3. マイコン空調制御装置

3.1 鉄道車両空調制御方式の変遷

図7に示すように1982年以前では、冷暖房機器の自動運転制御の手段として温度調節器を使用した車内温度一定制御方式が主流であり、この時代は冷えておれば良いといった程度の制御方式が多かった。しかし、一般家庭や事務所での空調の普及と快適制御方式の技術進歩により、鉄道車両空調でもこれらの技術を導入し、より快適な居住空間を実現することによって乗客サービスの向上を目指した新しい空調システムの構築と、様々な車両のニーズに応じた空調機器の開発が行われてきた。

最近では、気流やふく射熱を検知する温感センサを導入して、より人体の感覚に近い判断を行う制御技術を確立するとともに、ファジー推論を導入した新しい空調制御プログラムが開発されている。これらの制御技術とマイコン、インバータなどエレクトロニクス技術を応用した小型で性能の良い制御装置の開発によって車内の空調環境は著しい改善が図られている。

3.2 最近の車両空調制御システム

図8に最近の車両空調制御機能を示す。鉄道車両では、新幹線車両や長距離特急電車など長時間乗車の乗客に対してきめ細かな空調制御を必要とするものから、通勤電車のようにドア開閉や乗客の増減によって熱負荷が著しく変動するため、応答の早い空調制御を必要とするものまで多種多様なニーズがある。従来の制御方式では、空調装置本体の制御を主体としていたため、補助扇風機としてのラインフローファン(ラインデリア)や換気装置(《ロスナイ》換気扇など)を含めた総合的な車内環境の制御が十分ではなかった。最近の制御方式では、通勤ラッシュ時の冷房能力不足を気流による涼感で補うための効果的なラインフローファンの制御や、冷房中の連続換気によって生じていた無駄な冷気損失を改善するための乗車率に追従した必要換気量制御など車内環境を総合的に管理制御する方式が主流となっている。

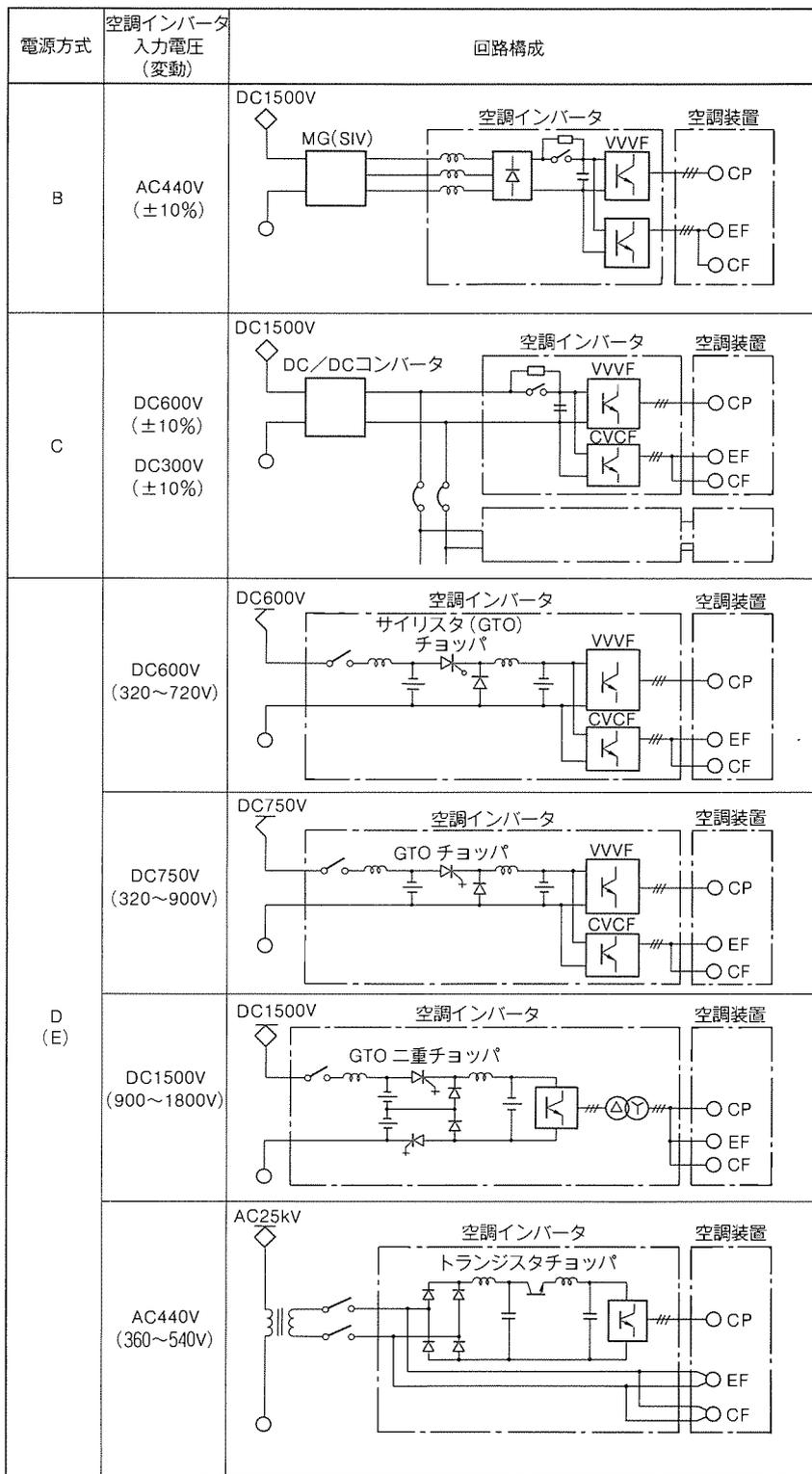


図3. 空調インバータの回路構成

また、最近の車両では通勤ラッシュ時の乗降時間短縮や輸送力増強の一環として、5扉車、6扉車、幅広扉車などが登場し、窓が開かない固定窓方式の車両が増えている。これらの車両では、非冷房期間中に窓を開けて外気を導入することができないため、梅雨期や端境期等を含め、年間を通じて車内空調状況を監視して制御する必要が生じてきた。このため、各車両の空調状態の集中管理を行うために車上モニタ装

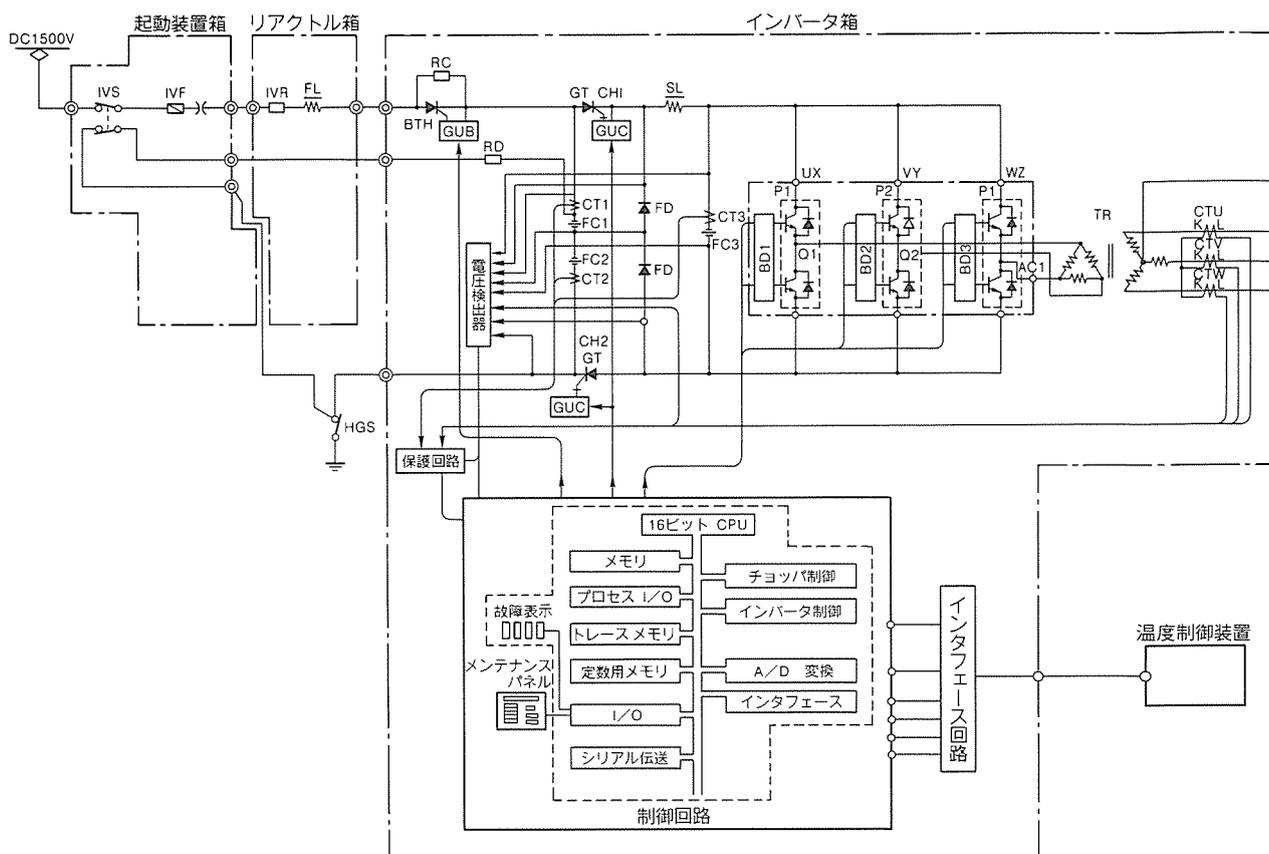


図4. DC1,500V 単車用空調インバータの回路構成

表1. DC1,500V 単車用空調インバータ仕様

項目	仕様	
主回路構成	GTO 二重チョップパ + 6相1パルスインバータ	
制御方式	チョップパ電圧制御 インバータ周波数制御	
入力	定格電圧	DC1,500V
	電圧変動範囲	DC900~1,800V
出力	定格容量	28kVA (at 60Hz)
	定格電流	37A
	負荷責務	100%連続
	負荷力率	85%
	出力の種別	交流三相
	定格電圧	AC440V (at 60Hz)
	電圧精度	+5~-10%
出力	周波数制御範囲	38~60Hz
	電圧/周波数比	一定
制御電源	DC100V 電圧変動 70~110V	
周囲温度	-10~+45°C	

置とのデータ伝送機能が必要であり、このほか空調インバータ装置などエレクトロニクス装置の導入に伴い、トラブルシューティングやメンテナンスフリー化のために、運転モニタ機能、故障診断機能、自動試験機能等が不可欠な要素となっている。これらの機能を制御ソフトウェアとして一括収納

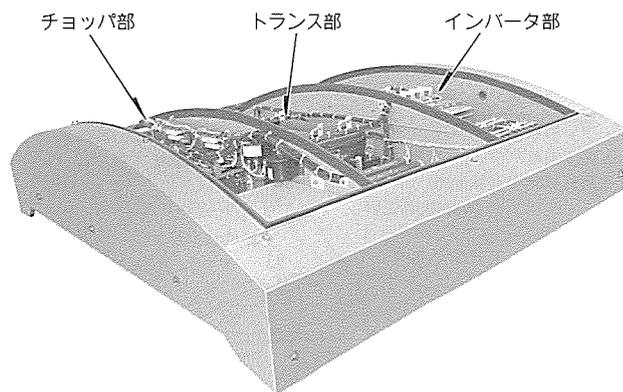


図5. DC1,500V 単車用空調インバータの外観

し、コンパクト化したハードウェアとともに集約した総合空調制御装置をマイコン式空調制御装置として搭載している。

図9に最近のマイコン制御インバータ空調システムの例を示す。同図に示すように、このシステムでは、冷房電源として安定化されたDC 600V 電源が供給されるため、これをVVVF インバータで三相交流電源に変換するとともに周波数を変化して電動機の回転数制御を行っている。冷房装置本体(ユニットクーラー)には、室内送風機と室外送風機を駆動するインバータと、冷媒圧縮機を駆動するインバータが搭載され、それぞれ独立した周波数制御を行うように構成されている。また、暖房装置(電気ヒータ)においてもVVVF インバータの出力電圧制御によって暖房容量可変制御を行うよ

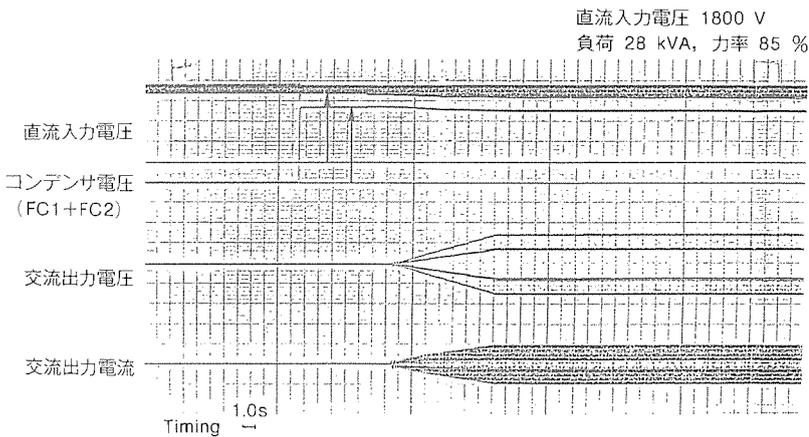


図 6. DC1.500V 単車用インバータ起動時の入出力波形

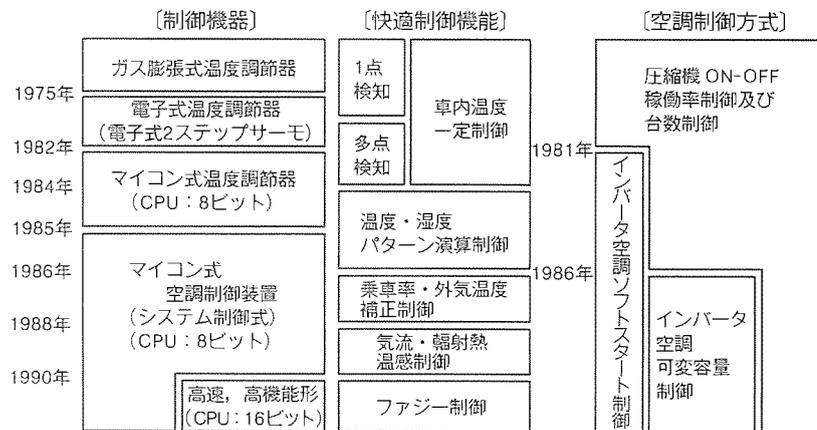


図 7. 鉄道車両空調制御方式の変遷 (概要)

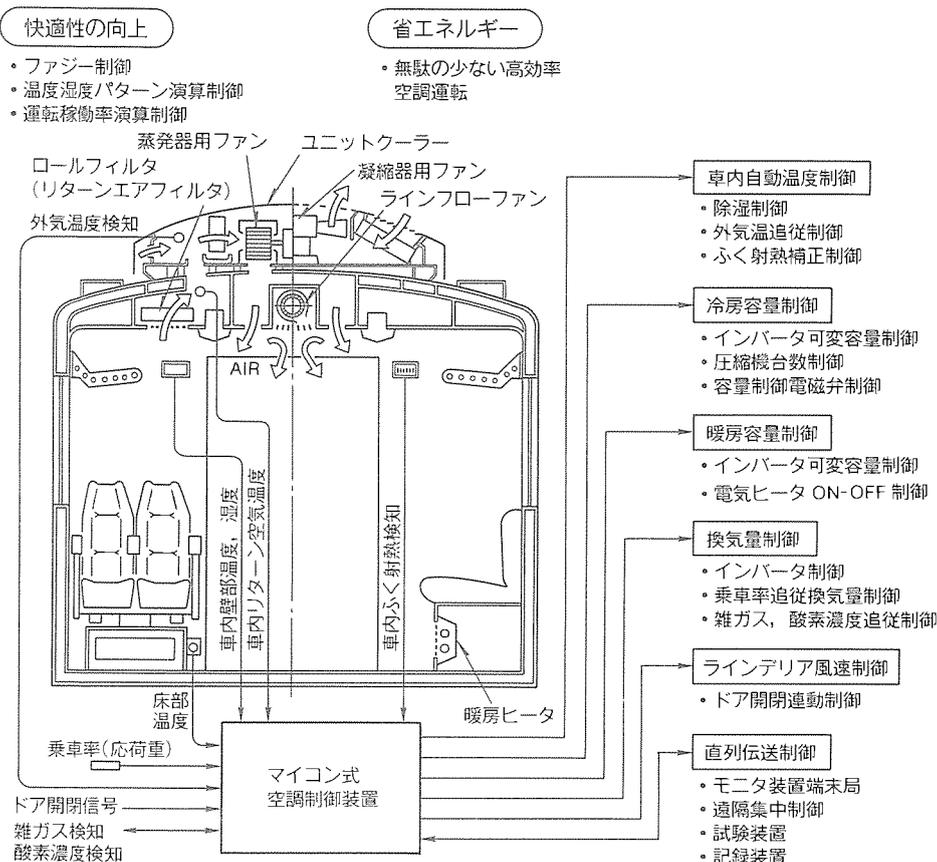


図 8. 車両空調の制御機能

うに構成されている。

また、送風装置 (ラインデリア) の乗車率とドア開閉信号による風速切換制御や、冷房電源失効時にバッテリー電源からの給電によって車内非常換気を行う DC/AC インバータ式換気制御機能を備えている。また、各車の空調制御状態はシリアル伝送により、車上情報管理装置 (TIS) とのデータ授受を行い、運転台の表示装置で集中監視されるように構成されている。

3.3 ファジー制御を導入した空調制御方式

図 9 に示した空調システムの特長として、VVVF インバータの周波数制御、すなわち冷暖房能力制御にファジー推論を導入した新しい制御方式を採用している。この方式では、あらかじめ現車試験によって得られた車体の熱特性と、空調運転時のプルダウン特性から基本データをあらかじめプログラムに格納しておき、目標とする温度に最も早く到達するために必要なカロリー計算を行い、そのカロリーを出力するためにクーラーをどう制御すれば良いかをマイコンが判断する。

図 10 にファジールールとメンバーシップ関数の一例を示す。同図は、補正後の基準温度と車内温度の偏差を縦軸にとり、前回と今回の検知温度の変化量を横軸にとり、出力として冷房能力の変化量を求める場合のファジールールの例であり、ルールの実行に MIN-MAX 法、脱ファジー化に重心法を用いて計算する方法を用いている。この装置では、

- (1) 冷房運転ファジー制御
 - (2) 除湿運転ファジー制御
 - (3) 暖房運転ファジー制御
- から成っており、一例として冷房運転ファジー制御の方法を示すと、まず車内の基準設定温度をふく射熱と車内上下 (頭上部と足元部) の温度差をメンバーシップ関数としたルールからファジー推論し、

温度補正量を求める。さらに相対湿度によって補正を加えて新たな基準温度を算出する。

次に前述の図10に示したルールから必要とする冷房能力の変化量を求める。この冷房能力の変化量を、乗車率と外気温度のメンバーシップ関数からファジー推論で求めた補正值で補正し、さらに乗降扉の開閉状態を検知し、時間変化によって補正量の大きさを変化して最終的な冷房能力の変化量を算出し、VVVFインバータへ制御指令を出力するように構成している。また、この装置では、年間を通じて自動運転を行うために、カレンダー機能と標準パターンをプログラムに格納しておき、検知した環境条件(外気温度、車内温度等)

から運転モードの自動判定を行っているが、季節の判定をファジー推論から求めることも可能である。以上に示したこの装置の制御方式によれば、制御応答性が改善され、外乱に対する温度安定性が改善される。

今後は、この方式の導入を始めとする開発の推進によって車両空調における快適性向上制御技術の更なる発展が期待される。

表2に上記ファジー制御ソフトウェアを格納した空調制御装置のマイコンボード部の基本仕様を示す。鉄道車両に搭載するマイコン装置は、取付位置やスペースの制約から小型化、軽量化が必要であり、機器構成上、高圧電力回路との混在に

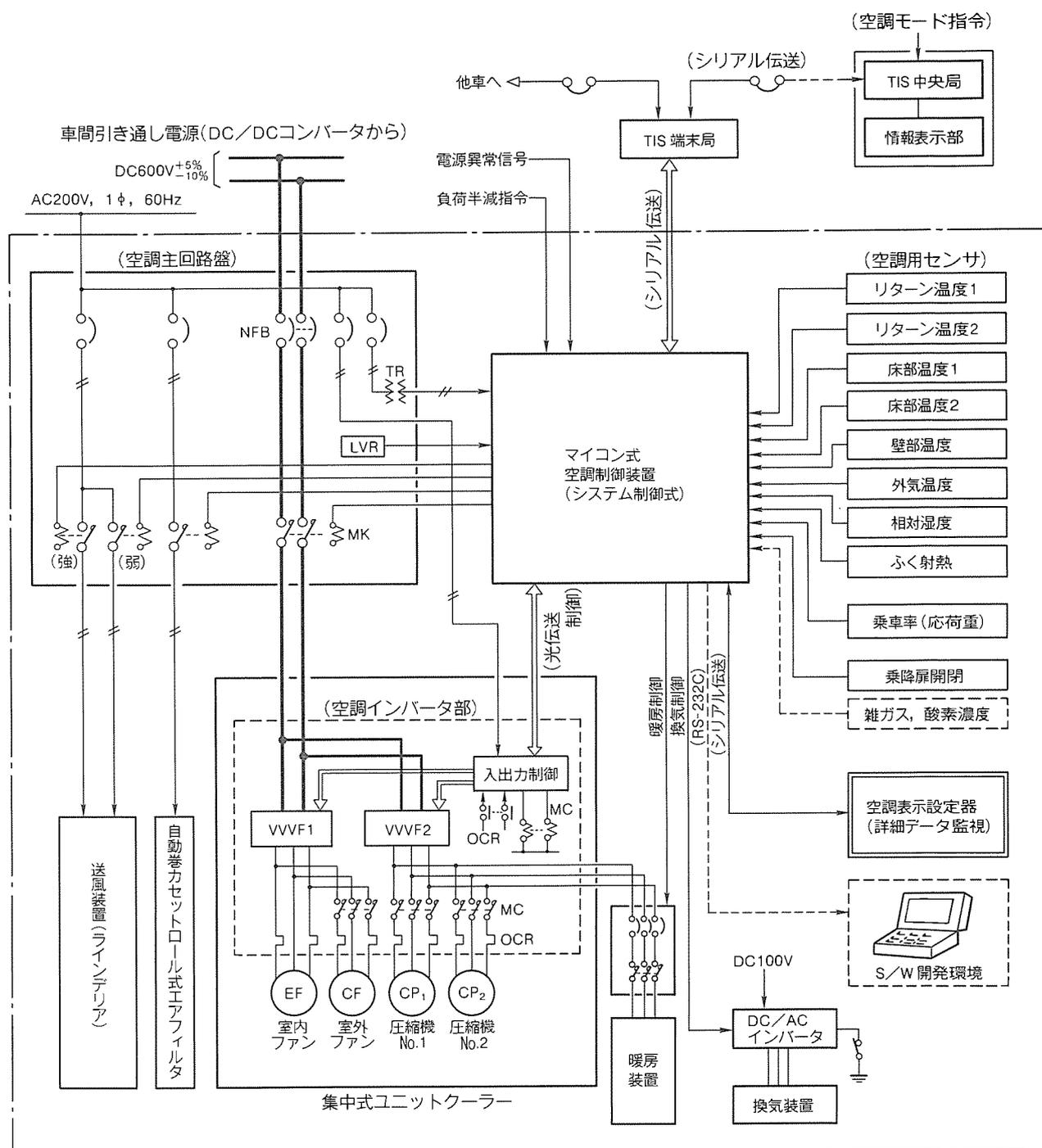


図9. マイコン制御インバータ空調システム(1車両分を示す。)

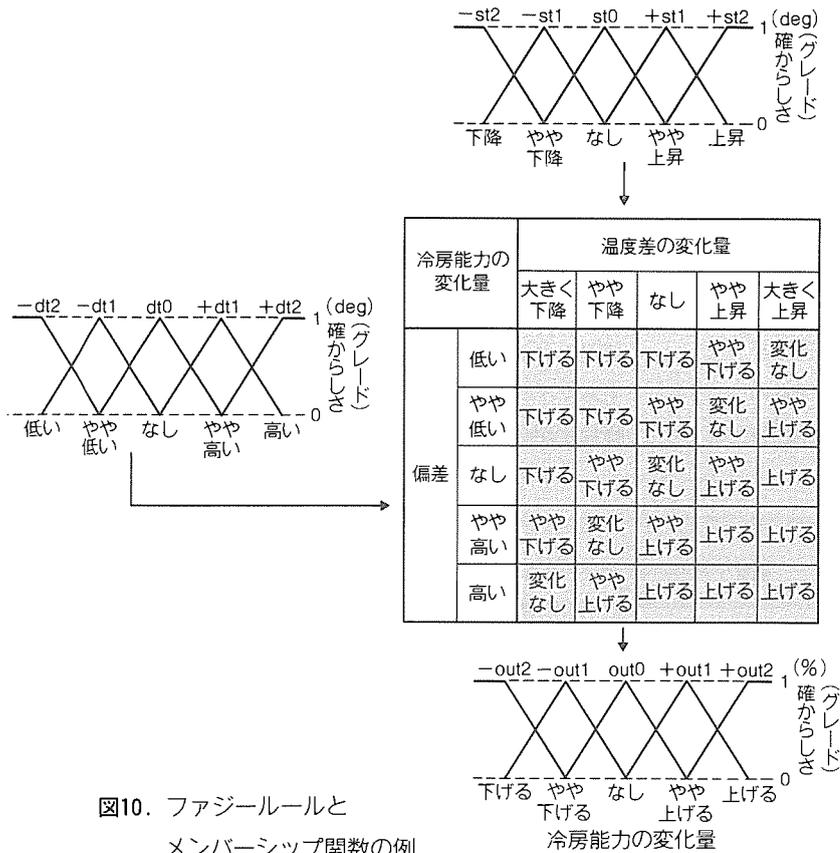


図10. ファジールールとメンバーシップ関数の例

表2. 空調制御装置マイコンボード部の基本仕様

項目	仕様
CPU	80 C 186 (16ビット) 7.9872 MHz
メモリ容量	UVEPROM 256 K バイト
	SRAM 64 K バイト (バッテリー バックアップ付き)
シリアル伝送インタフェース	モニタ or TIS DC24V カレントループ(20mA) 9,600 bps
	空調インバータ RS-232C/光伝送(変換モデム式) 300bps
	空調表示設定器 DC24V カレントループ(20mA) 9,600bps
	ソフトウェア開発環境 RS-232C 調歩同期 4,800, 9,600bps (パーソナル コンピュータ I/F)
制御入出力	D I 64点
	D O 56点
アナログ入力	A I 16点
リアルタイム, クロック機能	時計, カレンダー機能, (年, 月, 日, 時, 分, 秒)
使用条件	温度 -10 ~ +55°C
	湿度 10 ~ 95%RH
	振動 JIS E 4031 2種A種

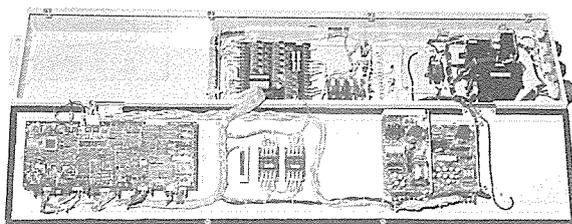


図11. マイコン空調制御装置(制御箱ふた開状態)
寸法 H103×W270×L1,210 (mm), 質量30kg

に対する配慮や、近接する主回路ぎ(機) 装配線から受ける誘導ノイズに耐える性能が要求される。また、車両走行による振動、猛暑時の炎天下留置時の高温環境、厳寒時の屋外留置時の低温環境などに対して十分耐え得る高信頼性のものでなければならないため、装置の保護構造、冷却方式、保守性を配慮した特殊な設計となっている。装置の耐環境性能の実力値は、数多くのフィールドでの実績と経験から確立されており、今後は、これらの開発の成果を生かした装置の標準化推進が重要である。図11に上記ファジー制御機能を持つマイコン空調制御装置(車内天井ダクト内取付形)の外観を示す。

4. むすび

最近の車両空調システムの高機能化は、旅客輸送サービス向上の一環として不可欠なものであり、今後の大量輸送機関のますますの導入とその高速輸送化に対してそれらに要求される仕様は、さらに多種多様化が進むものと思われる。

これに対応するには、インバータ制御方式及びマイコン制御方式が一層標準化、モジュール化されるとともに新しい制御理論の導入と更なるエレクトロニクス化の進展が必要である。

今後とも車両空調の快適性向上、省エネルギー化の追求と装置としての小型化、軽量化、薄形化の要求とその制御の容易性、故障の自己診断モニタ、フリーメンテナンス等の要求への対応は“今後のエレクトロニクス化技術の進歩と応用”を更に進めることによって解決していく所存である。

ATC/ATS-P へのマイクロエレクトロニクス技術の応用

池田博昭*
間瀬浩之*

1. ま え が き

このたび、永年の課題であった列車の保安装置のマイクロコンピュータ化を完成させ、大都市高密度線区向け ATC・ATS 装置に適用した。

保安装置にマイクロコンピュータを適用するためには、フェイルセーフ性をどのように確保するかが重要であり、この問題を解決するため 2 系列のマイクロコンピュータで構成する方式 (Dual コンピュータ方式) を開発した。

本稿では、このコンピュータ方式について述べるとともに、その実用装置として、ATS システムのパターン付き ATS (ATS-P) と、キャブシグナル方式 ATC システムのパターン付き ATC のそれぞれのシステムについて紹介する。

2. フェイルセーフ マイクロコンピュータ装置

ATS-P システムは、ブレーキ性能の異なる電車や機関車が混在する路線での列車の保安度と輸送効率の向上を目指したもので、トランスポンダを用い、地上—車上間の多情報伝送で信号情報を車上に与え、車上の装置はその信号と車両性能に応じた速度制御を行うことで、効率の良い最適なシステムを実現している。

また、パターン付き ATC は、キャブシグナル式 ATC の路線で発生する ATC ブレーキによる急ブレーキを緩和することで、車輪のフラットの防止や、乗り心地の改善を目指したもので、既設の ATC 信号設備を用い車上のマイクロコンピュータが列車の走行速度に応じた ATC ブレーキを動作させる。

このように、現在保安システムが抱えている問題を改善するためには、車上の制御装置に高度な演算処理能力を持たせることが必要で、その実現のためには、マイクロコンピュータが不可欠となった。

2.1 フェイルセーフ性の実現

保安装置は、その故障時に必ずブレーキ指令を出し、列車を停止させるフェイルセーフ動作が要求されている。このため、従来の装置では、個々の部品単位の故障に対してブレーキ指令が出力されるように回路を構成していた。

しかしながら、マイクロコンピュータを用いた場合、高集積回路の故障のパターンを限定することはできず、また内蔵プログラムについても同様であるため、従来の考え方でフェイルセーフの実現はできない。このため、コンピュータの演

算回路を 2 系列持ち、各々の回路の演算結果を照合して、その不一致が起きると、ブレーキ指令を出力する方法でフェイルセーフの実現を図った。

この方式を Dual コンピュータ方式と呼んでおり、以下その説明を行う。

2.2 Dual コンピュータ方式

2.2.1 特 長

この方式は、完全に独立したマイクロコンピュータで回路を構成しているため次のような特長を持つ。

- (1) 各系のマイクロコンピュータには、フェイルセーフとしての制約がないため、その演算処理能力が十分発揮できる。
- (2) 各系は独立しているため、回路の設計が容易になり、またバス比較方式のようにコンピュータのアキレスけん (腱) ともいえるバスに影響を与えないため高い信頼性が得られる。

2.2.2 構 成

Dual コンピュータ方式は、完全に独立した 2 系列のコンピュータと、それぞれが演算したブレーキ出力の論理積をとる fail safe AND の回路で構成され、そのブロック図を図 1 に示す。ブレーキ指令は励振出力となっており、この励振の止まる状態が、ブレーキ動作となる。

以下この構成でのフェイルセーフ動作について説明する。

2.2.3 フェイルセーフ動作

各コンピュータは、地上信号と速度パルスを入力し、車両のブレーキ特性に応じた速度照査パターンを距離対応で発生させ、そのパターンを超過したときに、ブレーキを動作させる。

この演算処理は、2 系列のコンピュータが同時に行っており、そのいずれかが、演算を誤って正しい結果が得られない場合、二つのコンピュータ回路が同一の誤りを犯す確率は非常に低いため出力の不一致が発生し、最終出力の励振が停止してブレーキが指令される。このような動作例を図 2 に示す。ここでは、 μ -CPU B に速度照査パターンの演算誤りが生じ

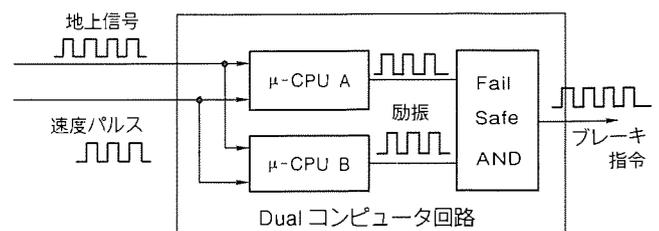


図 1. Dual コンピュータ方式の回路の概略

た場合を想定している。

また、さらに安全性を高めるために、各コンピュータで発生した速度照査パターン及び速度についても相互にチェックしており、図3にコンピュータ相互チェックの概略を示す。二つのコンピュータが正常に動作している場合は、相互のデータは一致するが、一方に演算誤りが発生するとデータの不一致が双方で検出される。この不一致を検知すると故障と判断し、故障検知が出力されるとともにブレーキ指令が出力される。

このような演算誤りのほかに回路故障の場合についても同様で、図3に示すコンピュータ相互チェックによって故障が検出できる。

以上、演算回路のフェイルセーフ動作について述べてきたが、その入力回路や出力回路の故障についても同様な配慮が必要であるが、ここでは、従来の保安装置で実績のある方法が適用できるので以下簡単に説明する。

速度入力回路は、現行の保安装置と同様の発振波形整形回路を使用しており、速度発電機の巻線の断線や、その他の回路故障に対して速度パルスが入力が停止し、それを検知してブレーキ動作指令を出力する。

車上受信装置とのインタフェースは、周波数インタフェース等の直列信号としているため、受信装置の故障や伝送路断線の故障が発生すると、発振が途絶え正規の信号が受けられない状態となり、ブレーキ指令を出力する。

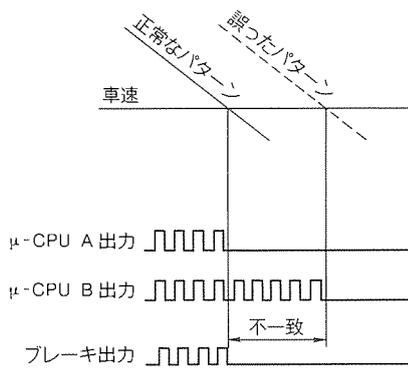


図2. マイクロコンピュータBの速度照査パターン演算誤り発生時のブレーキ出力

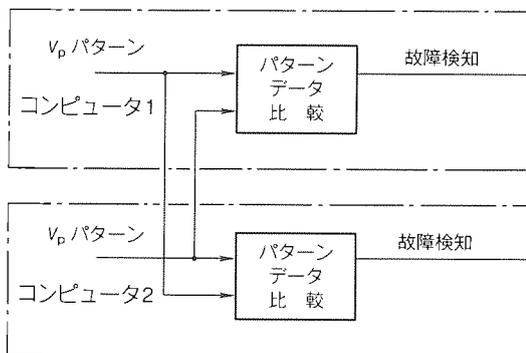


図3. コンピュータ相互チェック回路の概略

出力回路は、図1に示すように励振論理回路としているため、現行の保安装置と同等なフェイルセーフが保証されている。このコンピュータからの励振出力が停止する状態は、通常の処理でブレーキを出力する場合、前に述べた異常を検知した場合、及び回路故障が発生した場合であり、いずれの場合でも励振停止によって装置の出力をブレーキ指令とすることが可能である。

2.3 装置の外観

以上述べた Dual コンピュータを用いた装置の外観を図4に示す。装置はシングルサイズの基板を用い、Dual コンピュータ回路は1枚の基板上で構成した。

3. フェイルセーフ マイクロコンピュータ装置の実用化

Dual コンピュータ方式の実用化例を述べる。実用化は、いずれも輸送効率の向上を必要とする大都市圏の高密度線区に対してであり、点制御信号方式の一例としてパターン付きATS (ATS-P)、連続制御信号方式の一例としてパターン付きATCがある。いずれも車上の制限速度パターンをブレーキ減速度パターンで設定し、効率良く、保安ブレーキを作動させるとともに、地上一車上間の信号を増大させることで、運転密度を向上させるシステムとなっている。

以下、このATS-Pとパターン付きATCについて説明を行う。

3.1 ATS-P

ATS-Pは、軌道内に地上子を設置し、列車が地上子上を通過した時に信号の授受を行い、この信号と内蔵した車両性能データをもとに距離に応じた制限パターンを発生させて列車のブレーキ制御を行う点制御の保安システムである。このシステムは、地上一車上間の信号授受に、多情報伝送の可能なトランスポンダを採用した点が特徴である。図5にATS-Pのシステム構成を示す。

3.1.1 トランスポンダ

一般にトランスポンダと呼ばれるものは、レーダの電波を受信したとき、同一又は異なった周波数の電波を自動的に再発射する機能を持つ送受信装置とされている。今までに利用されているのは、航空関係で航空機の識別、航空機帰投管制、盲目航法などで、滑走路の入口など航空機の運行通路に装置を設置している。また、通信衛星で受信した信号を周波数変

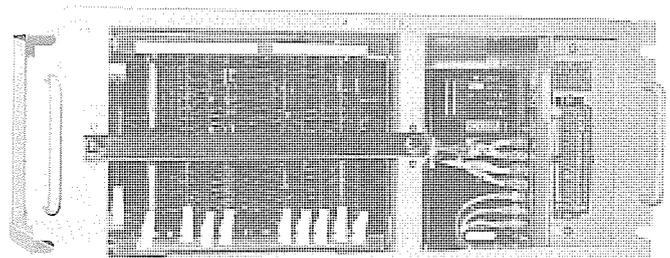


図4. ATS-P 制御装置速度照査部の外観

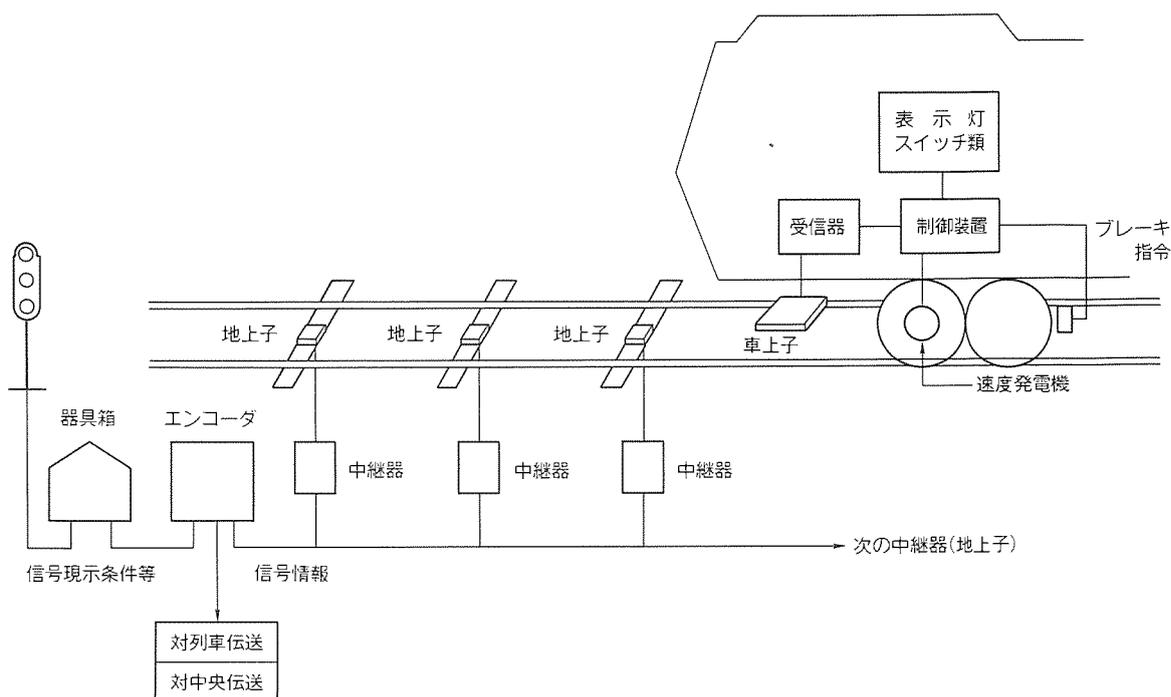


図5. ATS-P システム構成

換し、増幅して送信する中継装置のことなどと呼んでいる。

ATS-P システムで使用するトランスポンダは、無線を利用したデジタル伝送により、地上側に設置した地上子からの情報を車上に取り付けた車上子で受信する構成となっており、多情報伝送装置の別名がある。図6にトランスポンダの構成を示す。同図から地上子—車上子間では情報波と電力波の受け渡しを実施している。情報波は、伝送速度64kbpsの情報伝送を行うための信号波であり、地上子から車上子への情報伝送に1.7MHz、車上子から地上子への情報伝送には3.0MHzの変調信号を使用している。地上子には中継器に接続して使用される有電源地上子と、電源部を持たない無電源地上子がある。無電源地上子は、車上子から出されている電力波を受け、これを変調部や復調部への電力供給源として作動する。

トランスポンダは、表1の伝送諸元からもうかがえるように、

- 高速の情報伝送が可能
- 高品質の情報伝送が可能
- 多量の情報伝送が可能

等の特長がある。

ここでATS-P システムで使用する電文例を図7に示す。ATS-P システムでは、電文内容に48ビットのデータを使用し、多情報が伝達できるシステムとなっている。図7では電文内容に48ビットを割り付けており、地上—車上間の伝送情報の種類としては最大 2^{48} 種類(約281兆種類)の情報を準備することが可能であり、従来の変周式システム(最大12種類程度)に対し、大幅なシステム向上が可能となっている。

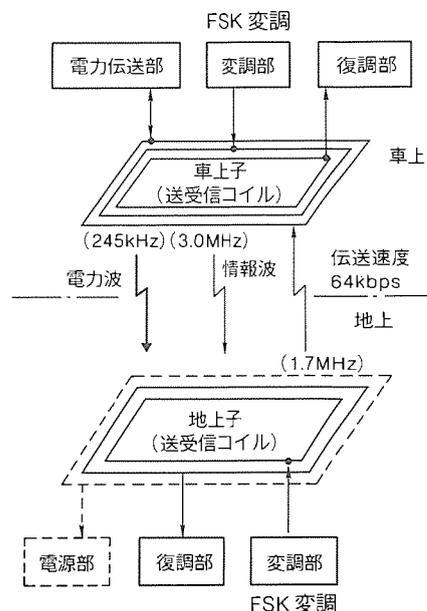


図6. トランスポンダの構成

表1. トランスポンダの伝送諸元

情報伝送	地上→車上	1.7 MHz (FSK変調) 最大 64 kbps
	車上→地上	3.0 MHz (FSK変調) 最大 64 kbps
電力伝送	車上→地上	245 kHz

3.1.2 制御装置

ATS-P 制御装置は、トランスポンダからの制御電文に応じて速度制限パターンを発生させ、そのパターンを列車速度が超過するとブレーキを動作させる装置である。

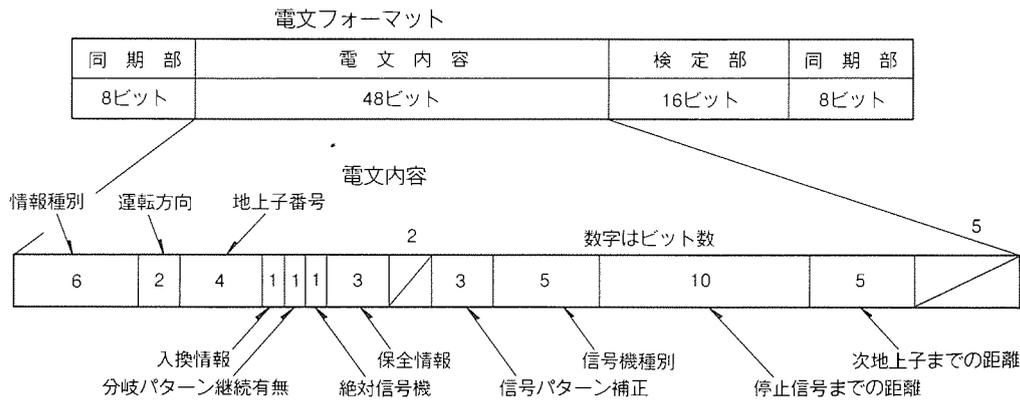


図7. ATS-Pシステムの電文(停止信号現示)

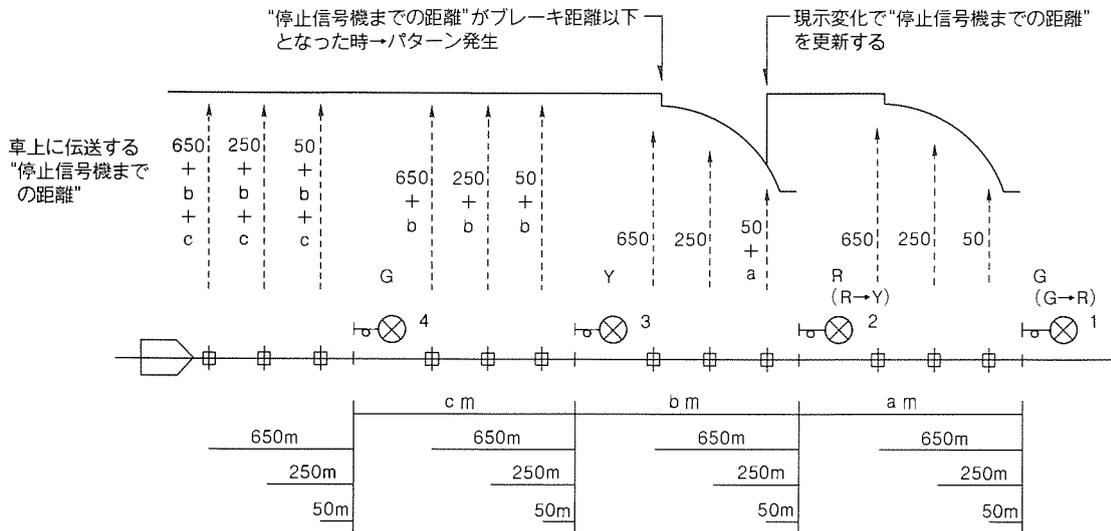


図8. 信号機パターンの発生消去

ここで、ATS-Pの列車制御の一例として、停止信号機に対する列車制御の様子を図8を用いて説明する。

制御装置は、信号機に連動する地上子から停止信号情報(図7参照)を受け取る。停止信号情報の中には“停止信号機までの距離”という情報が含まれており、制御装置はこの情報と速度発電機から得られる距離情報とを演算処理し、停止信号機の手前に列車が停止可能な制限速度(停止パターン)を発生する。停止パターンの発生は、列車が地上子上を通過するたびに得られる“停止信号機までの距離”をもとに次々と更新する。したがって、信号機が上位変化(停止信号機が注意信号機等に変化)した場合は、地上子から得られる“停止信号機までの距離”が延長されることにより、停止パターンが上位変化する。

制御装置では、図8で示した停止信号機に対する制御以外にも、様々な列車制御を実施する。これらの機能を以下にまとめる。

(1) 信号冒進事故の防止

列車を停止信号機の手前に停止させるために、

- (a) 場内、出発、閉そく信号機
- (b) 本線に関する入換信号機

- (c) 誘導信号機(ただし、制限速度25km/hの照査のみ行う。)

に対して行う。

(2) 制限速度超過による事故防止

- (a) 分岐器
- (b) 曲線
- (c) 下りこう(勾)配

の速度制限箇所に対して適用する。

(3) 列車の最高速度超過による事故防止

(4) 勾配区間における自然退行による事故防止

(5) 携帯式の地上子による臨時速度制限

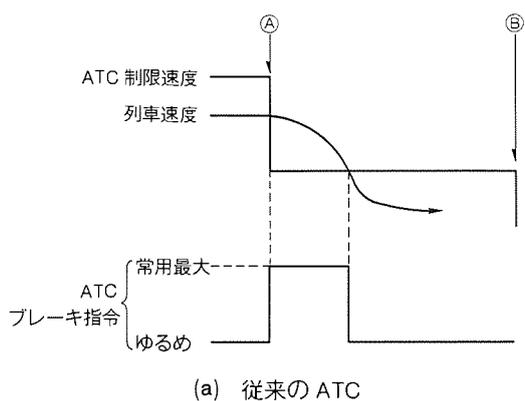
(6) ATS-S形(ATS-B形)とATS-P形の切替え

3.2 パターン付きATC

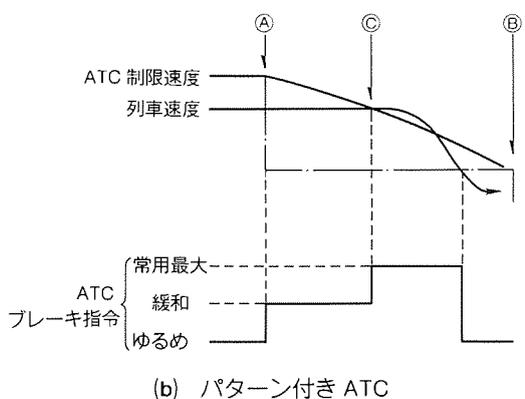
この装置は、既存のキャブシグナルATC信号設備において、列車のブレーキ性能に応じた速度制限パターンを列車の走行距離に応じて発生させ、列車速度に応じたブレーキを作用させるパターン付きATC機能と、過走防護機能とを持つもので、以下これらの機能について説明する。

3.2.1 パターン付きATC制御

図9(a)に、従来のATCによるATC信号下位変化時のP



(a) 従来の ATC



(b) パターン付き ATC

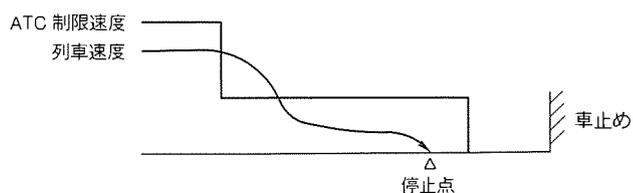
図9. ATC 信号下位変化時のブレーキ制御

ブレーキ制御の様子を示す。従来方式では、ATC 信号が下位に変化した地点 (A 点) で、列車速度が制限速度を超過することによって常用最大ブレーキ指令を出力し、制限速度より下がるまで継続する。ATC の速度制御は、列車が B 地点に達するまでに列車速度を制限速度以下に減速させることであるが、従来の ATC では A 地点で一律に常用最大ブレーキ指令を出力するため、乗り心地が悪くなるとともに、B 地点に対しかなり手前の地点で列車の減速がなされることになる。

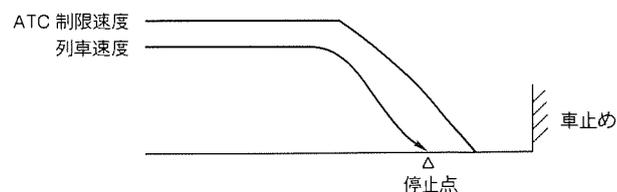
パターン付き ATC 制御では、ATC 制限速度を図 9(b) に示すように放物線状にすることによって常用最大ブレーキ指令の出力地点を C 地点に移動することにより、従来の ATC で実施していた列車の無駄な減速を防止した。

また、従来の ATC では、A 地点でブレーキ指令が緩め状態から突然常用最大ブレーキに変化するため、乗り心地が悪いという問題があった。そこで、パターン付き ATC 制御では、A 地点で常用最大ブレーキの約半分のブレーキ力を持つ緩和ブレーキ指令を出力することにより、2 段階の列車の減速を行うことで乗り心地の改善を図っている。

3.2.2 過走防護制御



(a) 従来の ATC



(b) 過走防護制御

図10. 車止めへの接近

過走防護制御は、車止め等への余裕距離がない場所で、乗務員が停止操作をするさいに、バックアップするためのものである。

従来の ATC では、図 10(a) に示すように ATC 制限速度を設定することにより、車止めへの衝突防止を実施していたが、列車が停止点に至るまで長時間低速で走行する必要があり、運転時間短縮に対するネックとなっていた。

これに対しこの装置は、図 10(b) に示すように放物線状の速度制限パターンを発生させ、停止点に至るまで、より高速な運転を可能としている。これにより、運転時間の短縮に大幅な効果が出ることになる。

4. むすび

以上、保安装置のマイクロコンピュータの導入、及び保安装置の最新技術として、ATS-P、パターン付き ATC を紹介した。Dual コンピュータ方式の開発により、保安装置でも大幅な機能の向上が可能となり、今後も多様なニーズの対応が可能と思われる。

参考文献

- (1) 前川義雄, 松岡成康, 池田博昭, 間瀬浩之: 新しいパターン付 ATS 用車上制御装置, 第 23 回サイバネ, No. 436, 340~344 (1986)
- (2) 松岡成康: トランスポンダとその応用, 鉄道工場, '86-8, 12~15 (1986)
- (3) 前川義雄, 神孫子 博, 池田博明, 間瀬浩之: 京葉線向パターン付 ATS (ATS-P 形) TS16 形制御装置の実用化, 第 25 回サイバネ, No. 338, 313~317 (1988)

アーク炉フリッカ補償用大容量アクティブフィルタ

竹田正俊* 朝枝健明* 有塚智彦* 大森繁樹** 大仁田健司**

1. ま え が き

パワーエレクトロニクス技術の著しい進歩により、任意の電力・電流を作り出せる高周波PWM (Pulse Width Modulation) 方式の大容量自励式インバータを無効電力補償装置に実用化できるようになった。無効電力補償装置は、無効電力を制御して受電点の電圧変動を抑制する機能を持っており、アーク炉が発生するフリッカを抑制する目的に適用できる⁽¹⁾。

従来のフリッカ抑制装置は、リアクトルに流れる電流をサイリスタで位相制御して無効電力を連続的に調整するTCR (Thyristor Controlled Reactor) 方式が一般的であったが、最大半サイクルの制御遅れ時間を避けられないために十分なフリッカ補償効果が得られなかった。さらに、最近のアーク炉操業方法の高電圧化・高効率化に伴い発生するフリッカが増加する傾向にあり、より高性能なフリッカ抑制装置の出現が望まれていた。

三菱電機(株)では、上記のような要求に対応するため、自励式インバータを用いたアクティブフィルタ方式無効電力補償装置(以下“アクティブフィルタ”という。)を開発し、フリッカ抑制装置として実用化した。この装置は、GTO (Gate Turn Off) サイリスタを用いた電圧形自励式インバータをPWM制御して無効電力の出力応答を向上させたものであり、次のような特長を持つ。

- (1) 応答が速く、極めて高いフリッカ改善特性を持っている。
- (2) 進相と遅相の両極性の無効電力を制御できるためTCRに比べて補償容量が1/2で済み、据付け面積を大幅に低減できる。

このたび、20MVA容量のアクティブフィルタをアーク炉のフリッカ抑制用として中部鋼鉄(株)に納入し、フリッカ補償性能の検証試験を実施したところ良好な結果を得ることができた。

本稿では、アクティブフィルタの動作原理、システム構成及び検証試験について述べる。

2. アクティブフィルタの動作原理

2.1 フリッカの補償方法

図1にアーク炉負荷が電源系統に接続された状態の回路を示す。アーク炉負荷の発生する有効電力(P_L)と無効電力(Q_L)が電源系統のインピーダンス($Z_S=R+jX$)と作用して

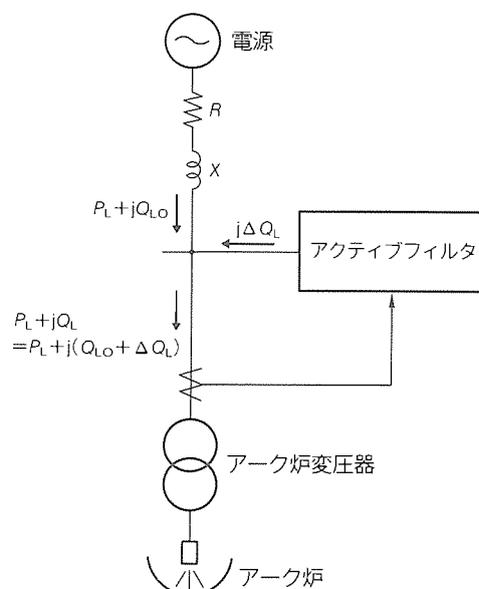
受電点の電圧を変動させるが、一般には $X \gg R$ であるため無効電力の変動分(ΔQ_L)と電源系統のリアクタンス成分(X)とが作用して受電点の電圧変動($\Delta V=X \cdot \Delta Q_L$)となる。したがって、アーク炉のフリッカ抑制対策にはアーク炉と並列にフリッカ抑制装置を設置して、アーク炉が発生した無効電力の変動分を打ち消すように無効電力を制御する方法が最も有効である。

ところが、アーク炉の無効電力変動には半サイクルごとに不規則に変動し、かつ三相不平衡な挙動を呈する特徴があるため、フリッカ抑制装置としては高速に負荷に追従して無効電力を補償できる性能と三相不平衡電流を制御できる特性を合わせ持つことが不可欠となる。

アクティブフィルタは、高周波PWM制御を行った自励式インバータを用いており、変化の激しい負荷変動に応動して無効電力を瞬時に出力できるだけでなく、各相ごとに独立して出力電流を制御できる能力を持っているため、三相不平衡なフリッカの抑制を効果的に行うことができる。

2.2 アクティブフィルタの基本動作

図2にアクティブフィルタの基本構成を示す。アクティブフィルタは、GTOサイリスタを用いた自励式電圧形インバータと多重変圧器で構成され、補償電流を出力するように



$j\Delta Q_L$: 無効電力の変動分
 Q_{Lo} : 無効電力の定常分

図1. アーク炉負荷が電源系統に接続された状態の回路

制御されている。多重変圧器は複数台の単位変圧器から成り、各単位変圧器の二次側巻線にPWM キャリア位相を互いにシフトした単位インバータを接続し、一次側巻線を直列多重に組み合わせて電力系統に接続している。アクティブフィルタ出力電流 I_{AF} は、多重変圧器のインピーダンス X_{TR} の両端にインバータ出力電圧 V_A と電源電圧 V_S との差電圧を発生させて得ており、図3に示す等価回路で表すことができる。図において、アクティブフィルタ出力電流 I_{AF} は次式で表される。

$$I_{AF} = \frac{V_S - V_A}{jX_{TR}} \dots\dots\dots (1)$$

したがって、インバータの出力電圧 V_A を調整することにより、図4に示すような進相から遅相までの無効電力を連続的に制御できる。

(1) 無負荷モード(図4(a))

$|V_A| = |V_S|$ とすることによって I_{AF} を得る。

(2) 進相電流制御モード(図4(b))

V_A を V_S と同位相にし、かつ $|V_A| > |V_S|$ とすることにより、 I_{AF} は進相電流となる。進相電流の大きさは、 V_A を調整することによって連続的に制御できるので、アクティ

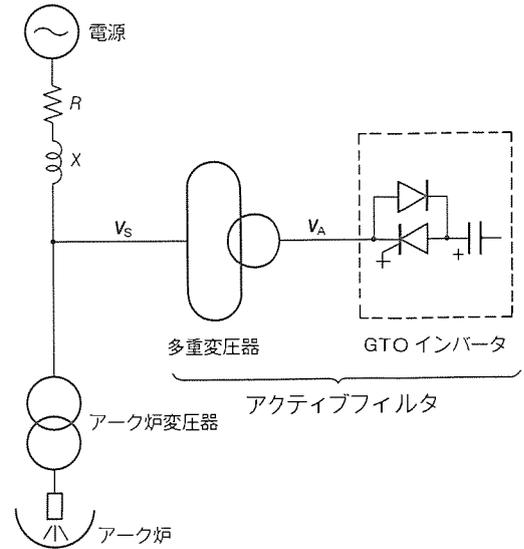


図2. アクティブフィルタの基本構成

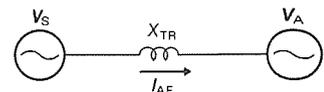


図3. アクティブフィルタの等価回路

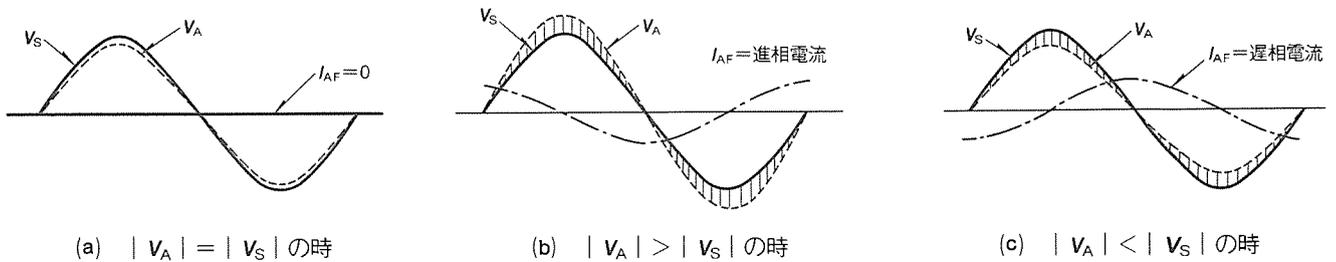


図4. アクティブフィルタの動作波形

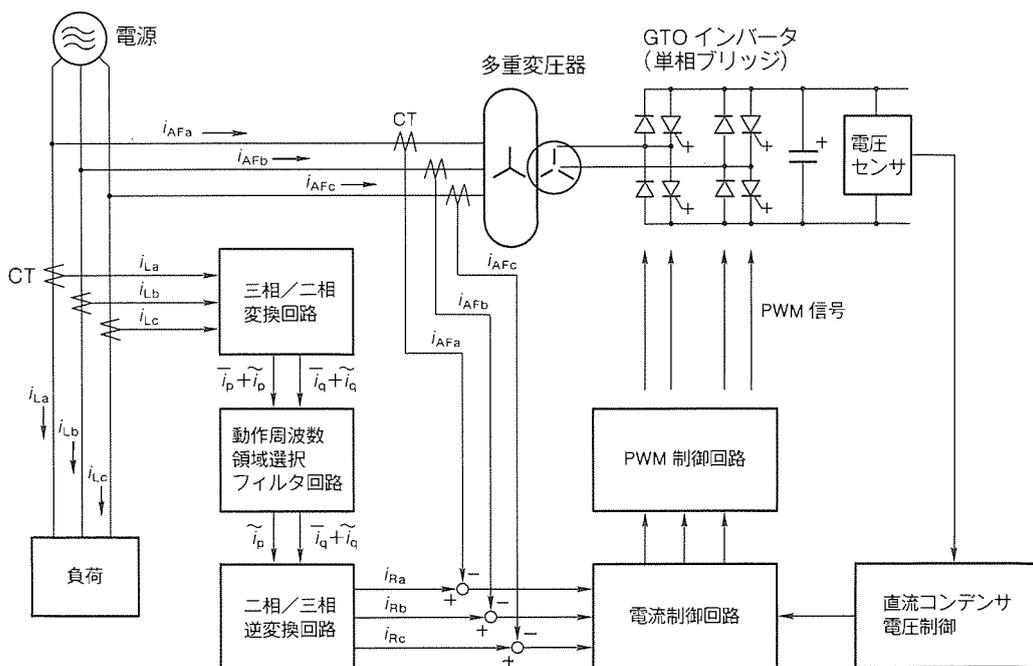


図5. アクティブフィルタの制御回路

プフィルタは進相無効電力制御装置として機能する。

(3) 遅相電流制御モード (図 4(c))

V_A を V_S と同位相にし、かつ $|V_A| < |V_S|$ とすることによって I_{AF} は遅相電流となる。遅相電流の大きさは、 V_A を調整することによって連続的に制御できるので、アクティブフィルタは遅相無効電力制御装置として機能する。

2.3 アクティブフィルタの制御方式

図 5 にアクティブフィルタの制御回路を示す。補償の対象となる負荷電流の三相成分を i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc} で表した場合、この三相成分は次式を用いて p-q 直交座標系の二相量に変換される⁽²⁾⁽³⁾。

$$\begin{bmatrix} i_p \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \sin \omega t & \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) & \sin(\omega t - \frac{4}{3}\pi) \\ \cos \omega t & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\omega t - \frac{4}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \dots (2)$$

ここで、 ω は電源周波数である。

式(2)の i_p , i_q は次式に分解される。

$$i_p = \bar{i}_p + \tilde{i}_p, \quad i_q = \bar{i}_q + \tilde{i}_q \dots (3)$$

ここで、 \bar{i}_p と \bar{i}_q は i_p と i_q の直流成分を示し、また \tilde{i}_p と \tilde{i}_q は交流成分を示す。 i_p と i_q は、三相交流回路において、表 1 に示すような物理的意味を持っている。

アーク炉フリッカを補償する場合には、基本波無効電流、逆相電流及びひずみ電流を補償対象とすればよいため、動作周波数領域選択用フィルタ回路を用いて \tilde{i}_p , \bar{i}_q , \tilde{i}_q を制御量

として選択し、これらの制御量を次式を用いて三相成分に逆変換して補償電流指令値 (i_{Ra} , i_{Rb} , i_{Rc}) を生成する。

$$\begin{bmatrix} i_{Ra} \\ i_{Rb} \\ i_{Rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin \omega t & \cos \omega t \\ \sin(\omega t - \frac{2}{3}\pi) & \cos(\omega t - \frac{2}{3}\pi) \\ \sin(\omega t - \frac{4}{3}\pi) & \cos(\omega t - \frac{4}{3}\pi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{i}_p \\ \tilde{i}_q + \bar{i}_p \end{bmatrix} \dots (4)$$

電流制御回路では、補償電流指令値に対して忠実に追従した出力電流を得るためのフィードバック制御を行い、次段の PWM 制御回路において三角波キャリア信号比較方式によって PWM 信号に変換され、GTO サイリスタの ON/OFF を制御する。

さらに、直流電圧制御回路が付属しており、インバータ主回路損失を交流電源側から補充するように、有効電力を取り込んで直流コンデンサ電圧を一定に保っている。

3. システム構成

図 6 に中部鋼鉄(株)に納入した 20 MVA 容量のフリッカ抑制装置のシステム構成を示す。この装置は進相 20 MVA から遅相 20 MVA までを連続的に制御するアクティブフィル

表 1. p-q 軸上のパラメータとその物理的意味

p-q 軸上のパラメータ	三相交流回路における物理的意味
\bar{i}_p, \bar{i}_q ($\omega = 0$)	電流の正相成分
\tilde{i}_p, \tilde{i}_q ($\omega = 2\omega_0$)	電流の逆相成分
\tilde{i}_p, \tilde{i}_q ($\omega = \omega_n \pm \omega_0$)	電流の高調波成分

注 ω_0 : 電源周波数
 ω_n : 高調波周波数

注 GCB はガス遮断器

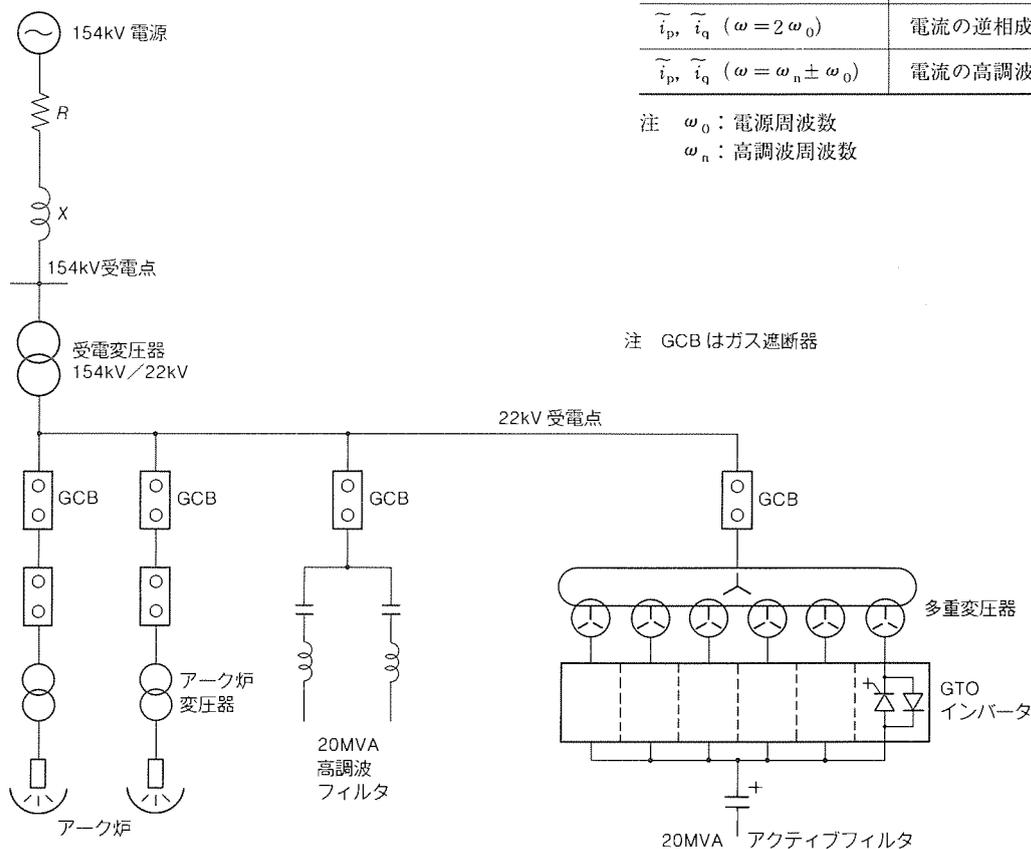


図 6. 20MVA フリッカ抑制装置

タと 20 MVA の固定進相容量を持つ高調波フィルタから構成されており、全体として 0 から 40 MVA までの連続可変進相容量を持っている。アクティブフィルタの装置外観を図 7 に示す。

3.1 GTO インバータ

図 8 に GTO インバータの外観を示す。インバータ主回路部は引出し可能なモジュール構成としており、屋外型キュービクルに収納している。

GTO インバータの主要定格は次のとおりである。

定 格 容 量 : 20MVA

出 力 電 圧 : 1 kV

基 本 波 周 波 数 : 60Hz

直 流 電 圧 : 2,000V

GTO サイリスタ定格 : 4,500V, 3,000A

図 9 に示すように、インバータ主回路は GTO サイリスタを 1S1P 接続した単相ブリッジ回路から成り、空気絶縁純水冷却方式を採用している。スナバ回路は、GTO サイリスタのターンオフ時の dv/dt を抑制するスナバコンデンサとターンオン時の di/dt を抑制するアノードリアクトルから構成されており、GTO サイリスタの転流時にスナバ回路の蓄積エネルギーを直流主回路へ回生するスナバエネルギー回生回路を採用してインバータ主回路の運転損失を低減し、装置の高効率化を実現した。

3.2 多重変圧器

多重変圧器の主要定格は次のとおりである。

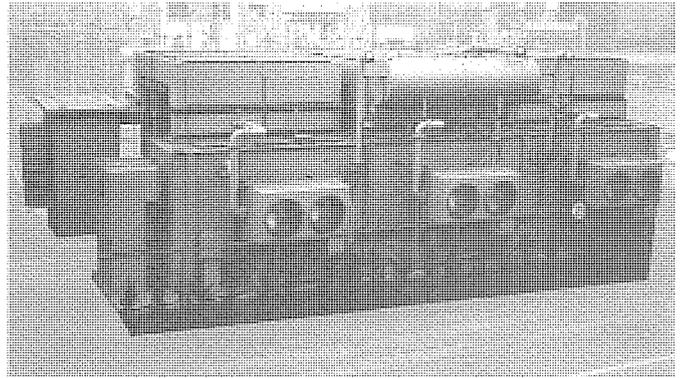


図 7 . アクティブフィルタ装置の外観

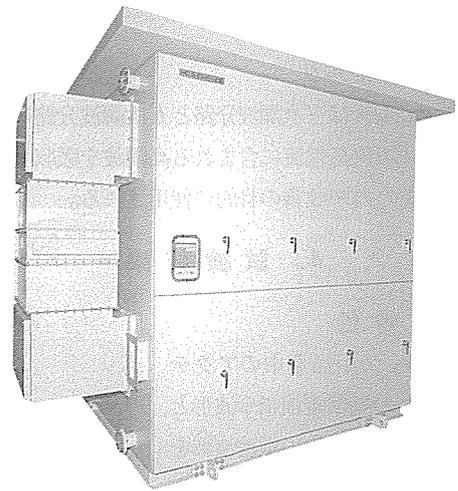


図 8 . GTO インバータの外観

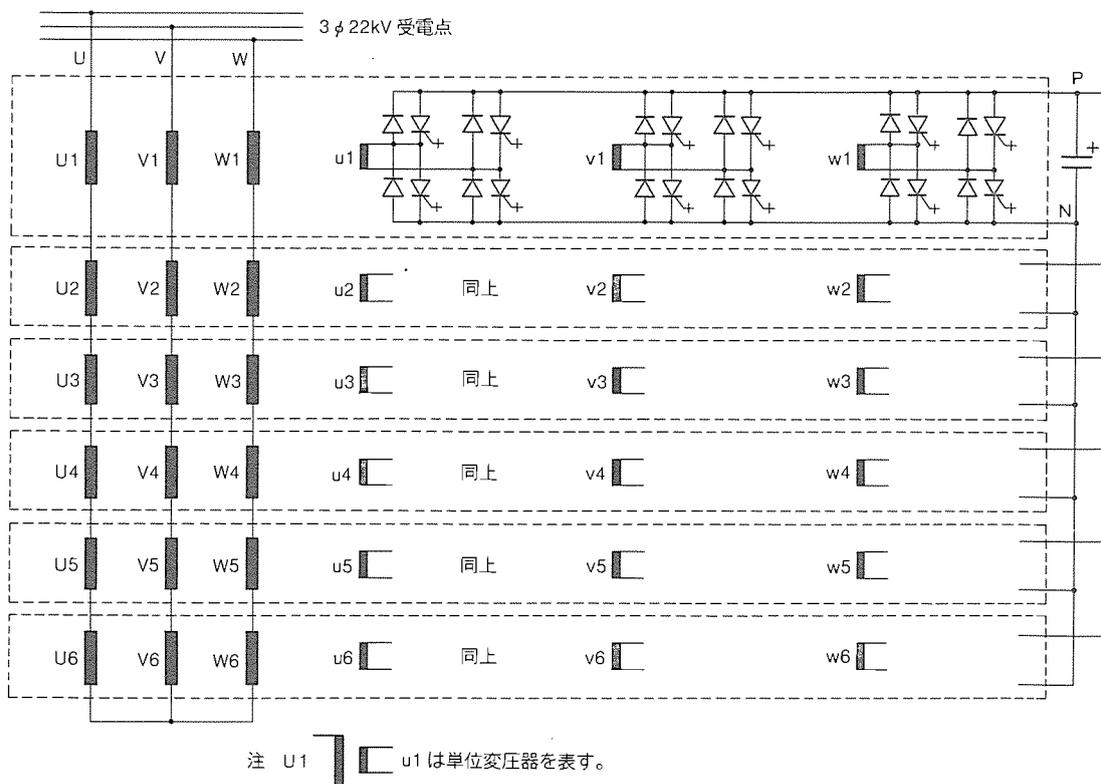


図 9 . インバータ主回路構成

- 定格容量：20MVA
- 一次電圧：22kV
- 二次電圧：1kV
- インピーダンス：13%
- 多重方式：三相6段直列多重
- 冷却方式：送油風冷

多重変圧器は各相ごとに6台の単位変圧器の一次側巻線を6段直列多重に組み合わせ、各単位変圧器の二次側巻線にPWMキャリア位相を互いにシフトした単位インバータを接続して、アクティブフィルタの合成PWMキャリア周波数を上げることにより、補償電流出力の瞬時制御を可能にするとともに、電源系統に流出するPWMキャリアリップル電流の低減を図っている。

3.3 高調波フィルタ

高調波フィルタは三次調波分路と五次調波分路に分かれており、アーク炉負荷電流に含まれる高調波を吸収することと、受電電源系統の力率改善の目的に使用される。

4. 試験結果

4.1 出力特性

図10にアーク炉操作中のアクティブフィルタの補償電流指令波形と、アクティブフィルタ出力電流波形を対比した一例を示す。補償電流指令は、補償すべき基本波無効電流、逆相電流及びひずみ電流を含んだ波形となっているが、アクティブフィルタ出力電流波形は指令波形に忠実に追従して制御されていることが分かる。

4.2 フリッカ改善効果

フリッカの評価は、フリッカメータで ΔV_{10} を測定して行う。 ΔV_{10} とは、電圧実効値の基準電圧からの偏差を1サイクルごとに演算し、この変動電圧 ΔV に対して視感度曲線に基づいた重み付けをして1分間積分することによって得られるフリッカ値である。

図11にアーク炉操作中にアクティブフィルタを交互に運転、停止して154kV受電点におけるフリッカの測定結果を示す。アクティブフィルタが運転中には、フリッカは許容値の $\Delta V_{10}=0.45V$ 以下に抑制されていることが分かる。

また、図12と表2に2チャージ

分のアーク炉操作についてアクティブフィルタのフリッカ改善度を測定した結果を示す。フリッカ改善度は2台のフリッカメータによって改善前フリッカと改善後フリッカを同時に測定して求めている。

今回の装置容量20MVAは、40%のフリッカ改善度を得られるように、アーク炉の電極短絡時に発生する最大無効電力変動量に対して15%に相当する容量として選定しており、表2に示す実測結果からフリッカ改善度は40~43.8%と設計値40%を十分満足する値を得ることができた。

5. むすび

GTOサイリスタを適用した大容量のアクティブフィルタ方式無効電力補償装置について説明した。PWM制御自励式インバータを応用したアクティブフィルタは、急しゅんに変動する無効電力や高調波電流を瞬時に出力できるため、アーク炉フリッカに対して極めて効果的な補償装置となる。今回、中部鋼鉄(株)に納入した20MVAアクティブフィルタはその先駆的なものとして位置付けされ、検証試験からも期待どおりの高い補償性能を持っていることが実証された。

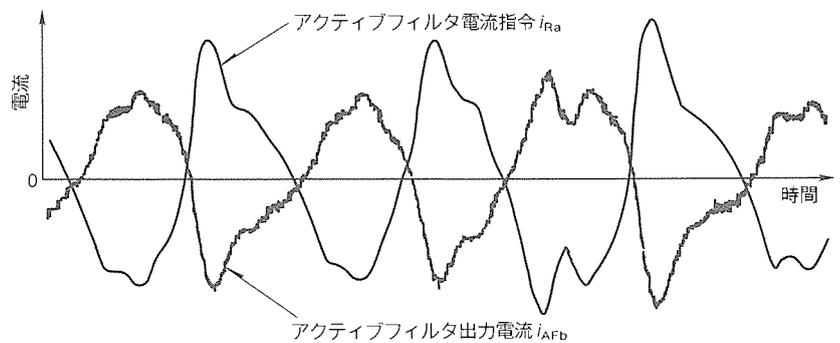


図10. アクティブフィルタの電流出力応答

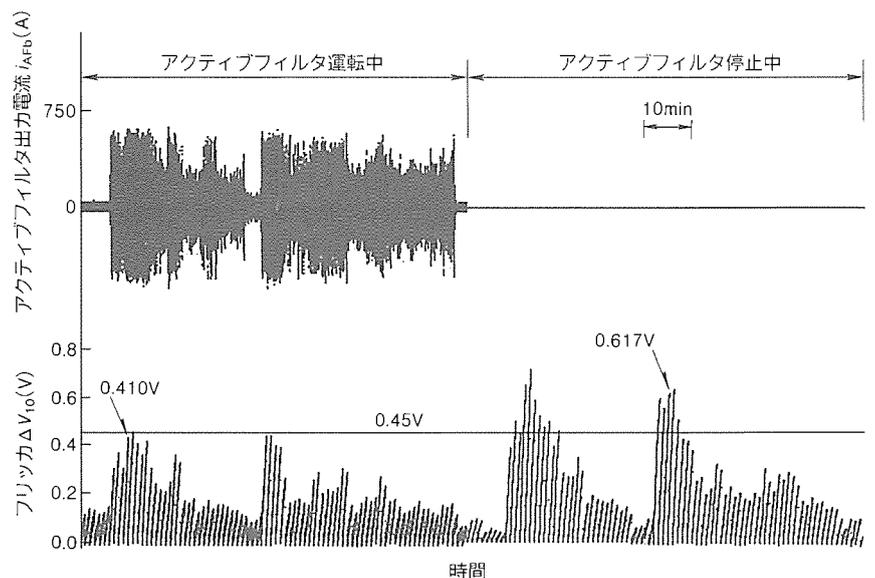


図11. フリッカ測定波形

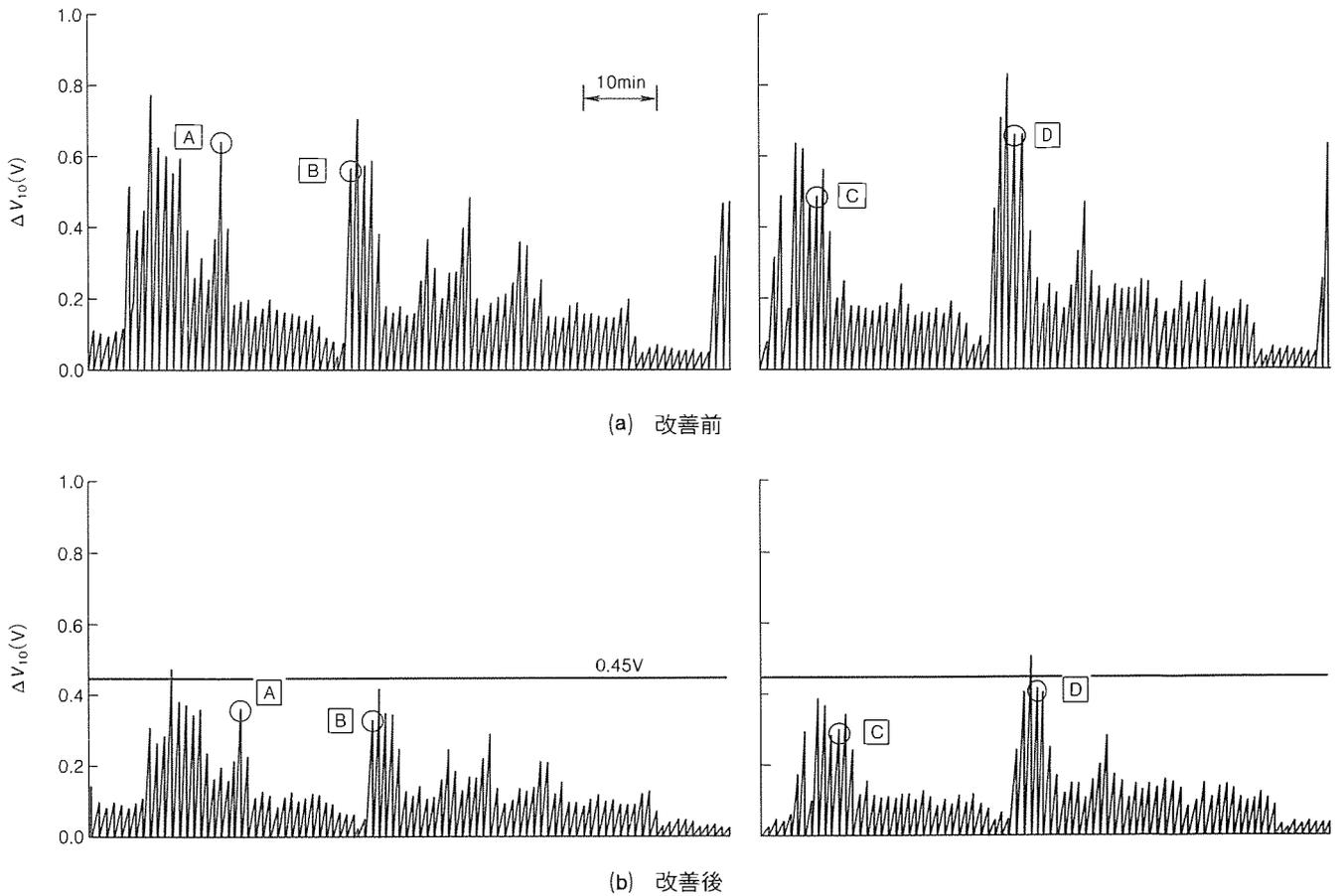


図12. フリッカ改善度測定波形

表2. フリッカ改善度の測定結果

図12中の測定点	改善前フリッカ ΔV_{10} (V)	改善後フリッカ ΔV_{10} (V)	改善度 α (%)
A	0.64	0.36	43.8
B	0.57	0.33	42.1
C	0.50	0.30	40.0
D	0.67	0.40	40.3

注

$$\text{改善度 } \alpha = \frac{\text{改善前フリッカ } \Delta V_{10} - \text{改善後フリッカ } \Delta V_{10}}{\text{改善前フリッカ } \Delta V_{10}} \times 100 (\%)$$

アクティブフィルタはアーク炉負荷に限らず、急激に変化する大容量負荷が引き起こす電圧変動の抑制用としても大き

な効果があり、今後種々の変動負荷への適用が期待される。

参考文献

- (1) 竹田正俊, 池田和郎, 深田雅一, 有塚智彦: アクティブフィルタとその応用, 三菱電機技報, **62**, No. 6, 475~480 (1988)
- (2) 池田和郎, 林 洋一, 白濱秀文: アクティブフィルタの制御, 平成2年電気学会産業応用部門全国大会, S. 4.6, S. 103~S. 106 (1990)
- (3) 赤木泰文, 阿藤 聡, 難波江章: 直列多重電圧形PWM変換器を用いた電力用能動フィルタの補償特性, 電気学会論文, **106**, No. 7, 563~570 (1986)

新形漏電遮断器 New Super NV

前田信吾* 佐藤栄一* 藤井 洋* 松本良明* 細貝節夫* 杉原和義* 畠山善博*

1. ま え が き

ビル・工場用機器のエレクトロニクス化、システムのインテリジェント化の進展は著しく、これに伴って高調波の発生、サージ電流の増大等電気の質が変化している。また、OA、FA、装置産業を始めとして、あらゆるところで電気への依存度が高まり、電力の連続供給の信頼性がますます重要となっている。

漏電遮断器に対しても、こうした市場ニーズの変化に適応した保護性能の向上、信頼性の向上、保護協調の高度化が求められている。特に、インバータ回路の高周波漏えいによる不要動作防止と地絡検出の両立及びサージ等による不要動作防止が望まれている。また、盤設計・製作の効率化のための外形寸法や遮断性能の標準化、省スペースのための遮断器の小型化に対する要望も強いものがある。

このような市場ニーズに対応するため、高調波・サージ対応機能搭載の漏電遮断器用新ICを開発し、新形漏電遮断器“New Super NV シリーズ”(図1)に採用して製品化した。以下にその特長について述べる。

2. New Super NV の特長

- (1) インバータ負荷の回路への適応性が向上
 - (a) インバータ回路の一次側、二次側とも地絡検出が可能。
 - (b) 高感度30 mA 品の適用範囲が広がるので安全性が向上する。
 - (c) 一般負荷の場合と同じ定格感度電流の選定が可能。
 - (d) インバータ負荷時の不要動作がない。

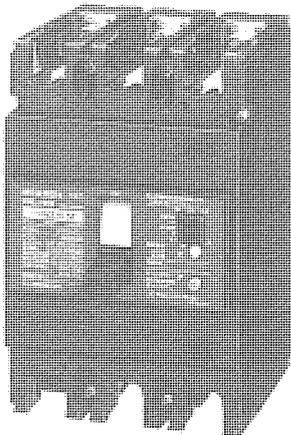


図1. New Super NV の外観

(2) サージによる不要動作の防止性能を向上。特に対地間に接続されたサージアブソーバを通して漏えいするサージ電流による不要動作の防止を実現。

(3) 漏電遮断器(Cシリーズ、Sシリーズ)の外形寸法を縮小化し、ノーヒューズ遮断器(Cシリーズ、Sシリーズ)との標準化(4種類)を図るとともに、ノーヒューズ遮断器と漏電遮断器の遮断性能も同一化して、互換性、標準化、省スペースを実現。

(4) 定格電圧共用(100-200-415 V)、定格感度電流3段切換え(100, 200, 500 mA)、時延形動作時間3段切換え(0.3, 0.8, 1.6秒)等適用範囲の拡大と、付属装置の充実(リード線負荷側引き出し、縦形リード線端子台)、IEC 35 mm レールによる取付けの容易化、ハンドルON・OFF状態のカラー表示による識別の容易化等、使いやすさの向上を図った。

3. インバータ適用回路の地絡検出

3.1 インバータ適用回路からの漏えい電流

図2にインバータ適用回路の代表例を示す。この回路から漏えいする電流は、図のように次の4要素に大別される。

I_{C1} : 漏電遮断器とインバータ間(インバータ 一次側)の電路の対地静電容量によって常時流れる対地漏えい電流

I_{C2} : インバータと電動機間(インバータ 二次側)の電路及び負荷の対地静電容量によって常時流れる対地漏えい電流

I_{g1} : インバータ 一次側の絶縁劣化による地絡電流

I_{g2} : インバータ 二次側の絶縁劣化による地絡電流

これらの波形の例を図3(a)~(d)に示す。インバータは、高いスイッチング周波数による波形制御をするため、特に二次側の漏えい電流には高周波成分が多く含まれている。

インバータの一次側で地絡が発生した場合には、地絡電流 I_{g1} に加えて対地静電容量を通して I_{C1} 、 I_{C2} が流れ、これらを合成した図3(e)に示す漏えい電流が漏電遮断器内を流れる。二次側で地絡が発生した場合には、地絡電流 I_{g2} に加えて

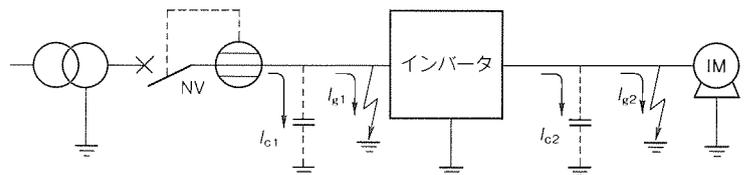


図2. インバータ適用回路例

I_{c1} , I_{c2} が流れ、これらを合成した同図(f)に示す漏えい電流が漏電遮断器内を流れる。

3.2 従来品の漏電検出特性と課題

従来の漏電遮断器は、検出用電子回路の方式から、積分方式と信号幅検出方式(高周波対策品)の二つに大別される。積分方式は、ZCT(零相変流器)で検出した漏電遮断器の信号をローパスフィルタを通して高周波のノイズ成分をある程度除去した後、それを積分して地絡信号のレベル判別をするもので、50/60 Hzの地絡電流成分と高周波の漏えい電流成分を合算して検出する方式である。信号幅検出方式は、漏えい電流の信号をその大きさや信号幅によってデジタル的に判別し、信号幅の狭い高周波成分のほとんどを除去して50/60 Hzの地絡電流成分のみを検出する方式である。

インバータを使用した回路に従来の漏電遮断器を適用した場合の動作の状況と課題を表1に示す。積分方式は、インバータ一次側、二次側共に地絡検出は可能である。しかし、対地静電容量を通して流れる高周波成分も地絡信号と一緒に

積分して検出するので、インバータ二次側の電線長が大きい場合(対地静電容量が大きい場合)感度が鋭敏化して不要動作するという課題がある。一方、信号幅検出方式(高周波対策品)はZCTからの信号の大きさと幅を検出するので、表1のAに示すひげ状の高周波成分は感知せず、不要動作は発生しにくい。また、インバータ一次側の地絡に対しては、対地静電容量が小さい場合は正常に地絡検出が可能である。しかし、インバータの二次側の地絡に対しては、表1のCの波形に示すように、キャリア周波数でスイッチングされた I_{g2} と対地静電容量による高周波成分 I_{c2} が大となり、信号幅判別回路での判別が困難となる。そのため、インバータの種類、運転周波数によっては感度電流が鈍化し、インバータ二次側に対しては確実な地絡検出ができない場合があるという課題があった。

3.3 インバータ二次側の地絡検出

インバータ一次側及び二次側の地絡電流を検出する方法について、波形のひげみが最も大きい二次側の地絡検出を例として以下に説明する。

3.3.1 インバータ二次側の漏えい電流のスペクトル

図4に、当社インバータFR-Z 220形を例として、インバータ二次側の抵抗による地絡電流のスペクトル(200V Δ結線一線接地の場合。以下同様)を示す。商用周波、インバータ運転周波、キャリア周波成分及びそれらの高調波成分によって構成される。商用周波、インバータ運転周波成分は、キャリア周波成分と同等の含有率を持っている。

同様に、図5にFR-Z 220形を例として対地静電容量による漏えい電流を含んだ場合のインバータ二次側の地絡電流のスペクトルを示す。ここではインバータ二次側の電路が長く、その対地静電容量が大きい場合を模擬している。静電容量による対地インピーダンスが周波数に反比例することから、図4に比較してキャリアの高調波成分の含有率が高くなっている。この成分は、対地静電容量の大きさ、キャリア周波数の高さに比例して大きくなる。また、商用周波、インバータ運転周波成分は図4と同様である。

3.3.2 インバータ二次側の地絡検出の考え方

インバータ二次側の地絡検出を実現するには、二次側の対地静電容量による漏えい電流の影響を低減する必要がある。そのために、対地静電容量の値によって大きさが変化し、不要動作や感度電流の不安定の原因となるキャリア周波とキャリアの高調波成分を、ローパスフィルタを用いて除去する方式を用いた。フィルタの特性を図5に示す。

IEC 479-2では、人体通過電流により、心室細動が発生する電流値の周波数特性について図6に示すものを提示している。この図は、インバータのキャリア周波数として用いられる1kHz付近以上の周波数では、心室細動が発生して人体が危険となる電流値が50/60 Hzと比較して14倍以上となり、感電に対する危険度は少ないことを示している。したがって、

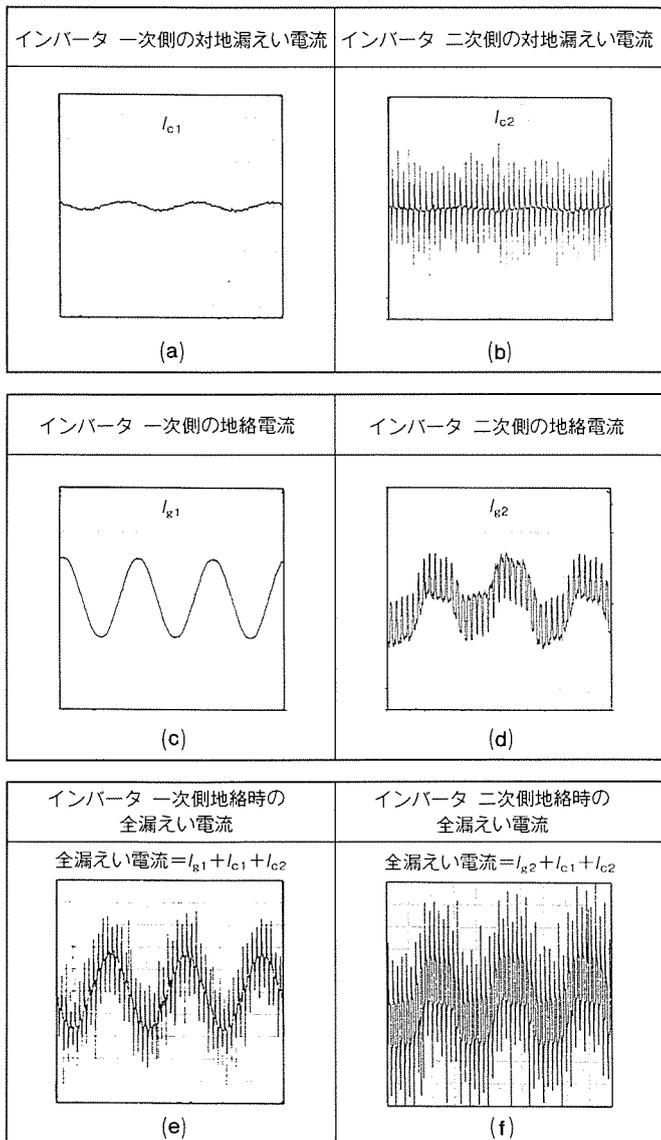
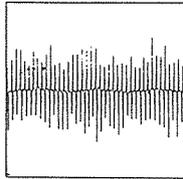
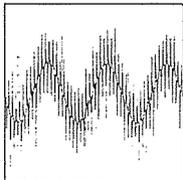
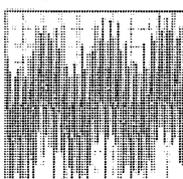


図3. インバータ回路での漏えい電流

表1. 従来品漏電遮断器のインバータ回路での課題

地絡の条件	漏電遮断器を通過する漏えい電流	漏電遮断器の検出方式区分	漏電遮断器の動作状況と課題	
			対地静電容量小の場合	対地静電容量大の場合
A 地絡事故が発生していない場合	対地静電容量を通して高周波成分が流れる。 	積分方式	不要動作なく良好	高周波の漏えいによる不要動作
			信号幅検出方式 (高周波対策品)	不要動作なく良好
B インバータ一次側が地絡事故の場合	50/60Hzの地絡電流と高周波成分の両方が流れる。 	積分方式	正常に地絡検出可能	地絡電流の有無にかかわらず高周波の漏えいによる不要動作
			信号幅検出方式 (高周波対策品)	正常に地絡検出可能
C インバータ二次側が地絡事故の場合	インバータでスイッチ制御された電流と対地静電容量を通して流れる高周波成分の両方が流れる。 	積分方式	感度電流鋭敏化	地絡電流の有無にかかわらず高周波の洩れによる不要動作
			信号幅検出方式 (高周波対策品)	インバータの種類によっては運転周波数の一部の領域で感度電流が鈍化する。

キャリア周波及びキャリアの高調波成分を検出時に除去し、基本波成分のみに着目して地絡検出することによって、人体の感電に対する安全を確保しながら安定した地絡検出を行うことが可能と考えられる。インバータでは、基本波成分が地絡電流中の70%程度存在する。この大きさは、対地静電容量の影響を受けにくく地絡電流の大きさに比例するので、基本波成分のみで判別して地絡検出することで安定した地絡検出が可能となる。

3.3.3 地絡検出回路の構成と動作

キャリア周波及びキャリアの高調波成分を除去するローパスフィルタとして、New Super NV では、ZCT から信号を受ける初段にアクティブフィルタを用いた。アクティブフィルタを採用した理由としては、基本周波成分とキャリア周波数(インバータの種類によって異なるが、周波数の低い製品で800Hz程度)との間で必要な減衰量をシャープに得られること、微少なZCTの信号を減衰させることなくフィルタ特性が得られること、低いカットオフ周波数を得るためのフィルタのC・R定数がZCTや電子回路の特性の安定性に影響を与えず設定可能であることによる。

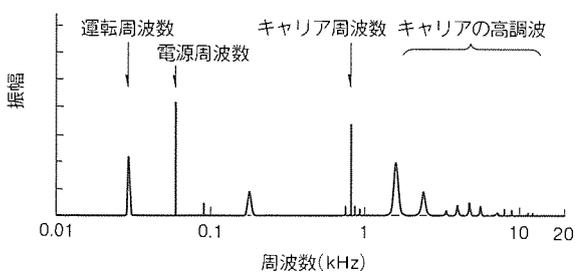


図4. 地絡電流のスペクトル(地絡事故による電流)

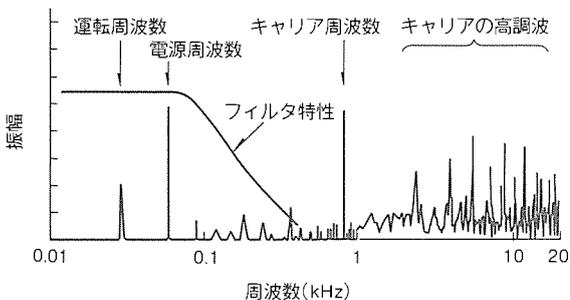


図5. 漏えい電流のスペクトル (対地静電容量による電流と地絡電流による。)

図7にNew Super NVの構成、図8にアクティブフィルタの回路の基本構成を示す。これらの回路は、漏電遮断器専用の新ICとしてワンチップにまとめた。新ICの外観を図9に示す。

図10に地絡電流検出におけるアクティブフィルタの効果を示す。アクティブフィルタの前後の波形を比較すると、高

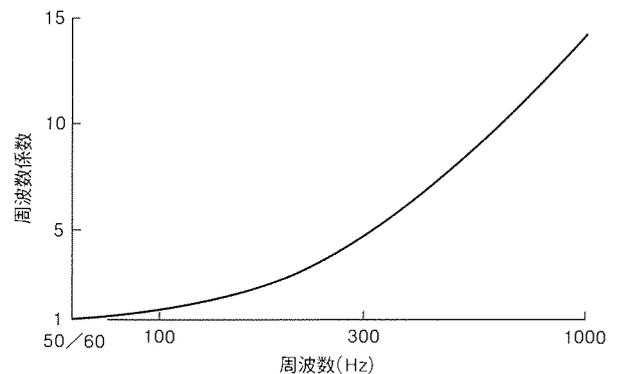


図6. 人体通過電流による心室細動発生の電流値(IEC479-2)

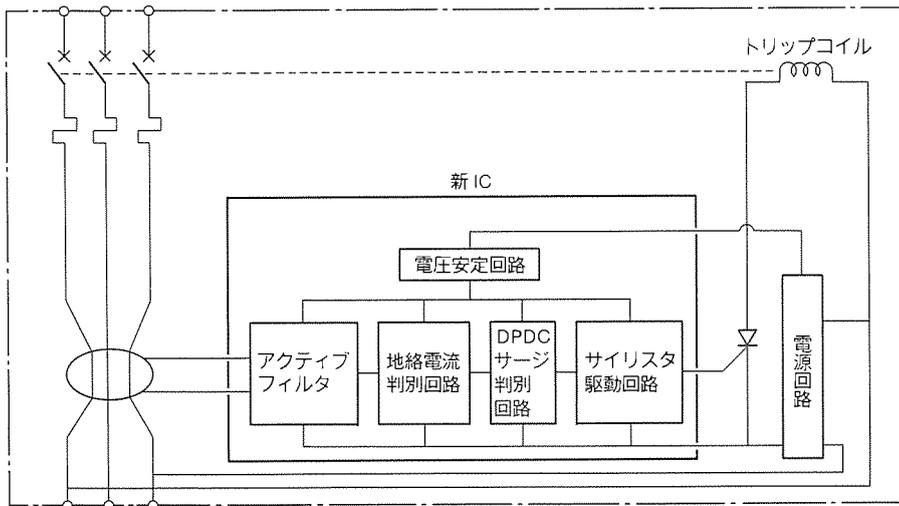


図7. New Super NV の構成

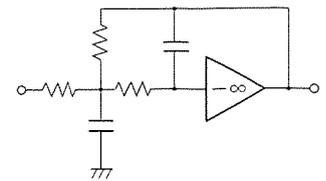


図8. アクティブフィルタの基本構成

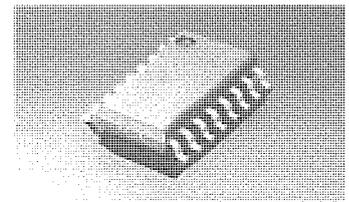


図9. 新形 IC

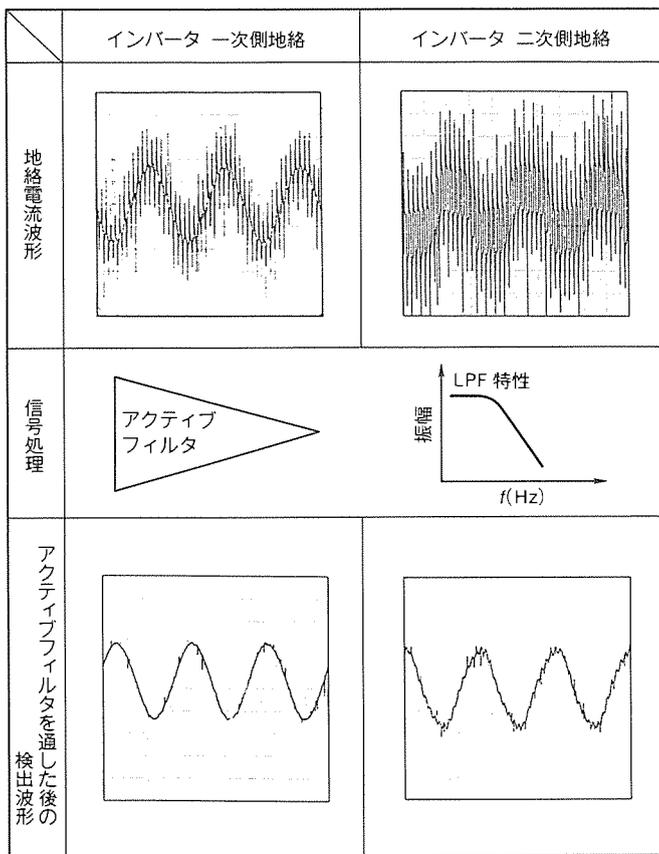


図10. アクティブフィルタの効果

周波成分にマスクされた二次側の漏えい電流の中から基本波成分を有効に抽出できていることが分かる。つまり、一次側地絡はもちろんのこと、二次側地絡においても、アクティブフィルタを通すことにより、安定した地絡検出ができることが分かる。

3.4 インバータ適用時の定格感度電流の選定

New Super NV では、アクティブフィルタの効果により、定格感度電流 ($I_{\Delta n}$) の選定を行うとき、負荷としてインバータが有る場合でも無い場合でも同一の定格感度電流の選定が

可能となった。すなわち、従来品では、

$$I_{\Delta n} \geq 10 \times (I_{C1} + 3 \times (I_{C2} + I_{Cm}))$$

New Super NV では、

$I_{\Delta n} \geq 10 \times (I_{C1} + I_{C2} + I_{Cm})$ とし、インバータ回路での倍率=3をなくし、インバータが有る場合でも一般回路と同一の選定式にした。

これにより、

- (1) 盤設計時、負荷にインバータの有無を考慮する必要がないため、定格感度電流の選定が煩わしくない。
- (2) 負荷の変更でインバータが追加になった場合でも、NVの定格感度電流を変更する必要がない。
- (3) 高感度 30 mA の適用範囲が広がるので感電保護の安全性が向上する。

という利点が得られた。図11に New Super NV の定格感度電流の選定例を示す。

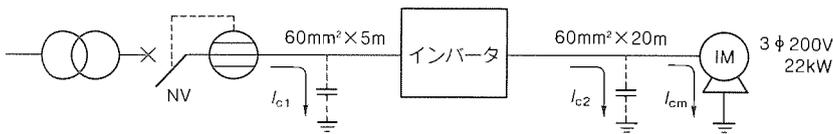
4. サージによる不要動作の防止

4.1 不要動作発生の実態

誘導負荷の開閉や誘導雷によって電路にサージ電圧が発生し、この大きさは波高値で数 kV、時間幅は数 $\mu s \sim ms$ 程度の種々のものがある。電路や負荷機器には、大地に対する浮遊静電容量 (対地静電容量) が存在し、サージ発生時にはこれを充電する対地漏えい電流が流れて漏電遮断器を不要動作させる場合がある。対地静電容量による不要動作を防止するため、JIS C 8371 “漏電遮断器” では雷インパルス不動作試験を定め、漏電遮断器の不要動作の防止に効果をあげてきた。しかし、フィールドでは不要動作が皆無になったとはいえ、予期せぬ漏電遮断器のトリップによる停電が発生し、電気設備の運転に支障をきたす場合があった。

4.2 サージアブソーバによる不要動作の発生

負荷機器の電子機器化が進み、機器自体をサージから保護するため、機器内又は電路にサージアブソーバを設



従来 NV $I_{\Delta n} \geq 10 \times \{I_{c1} + 3 \times (I_{c2} + I_{cm})\}$
 新形 NV $I_{\Delta n} \geq 10 \times \{I_{c1} + I_{c2} + I_{cm}\}$

	選 定 例	
	新形 NV	従来 NV
一次側対地漏えい電流 I_{c1}	$64\text{mA} \times \frac{5\text{m}}{1000\text{m}} = 0.32\text{mA}$	$64\text{mA} \times \frac{5\text{m}}{1000\text{m}} = 0.32\text{mA}$
二次側対地漏えい電流 I_{c2}	$64\text{mA} \times \frac{20\text{m}}{1000\text{m}} = 1.28\text{mA}$	$64\text{mA} \times \frac{20\text{m}}{1000\text{m}} = 1.28\text{mA}$
モータの静電容量による漏えい電流 I_{cm}	0.72mA	0.72mA
定格感度電流 $I_{\Delta n}$ の選定	$I_{\Delta n} \geq 10 \times (I_{c1} + I_{c2} + I_{cm})$ $= 10 \times (0.32 + 1.28 + 0.72)$ $= 23.2\text{mA}$ ↓ 30mA を選定	$I_{\Delta n} \geq 10 \times \{I_{c1} + 3 \times (I_{c2} + I_{cm})\}$ $= 10 \times \{0.32 + 3 \times (1.28 + 0.72)\}$ $= 63.2\text{mA}$ ↓ 100mA を選定

注 CV ケーブル 60mm² 使用時の対地漏えい電流は金属管配線のとき、64mA/km

↓
 一般負荷の選定と同じ

図11. 定格感度電流選定例

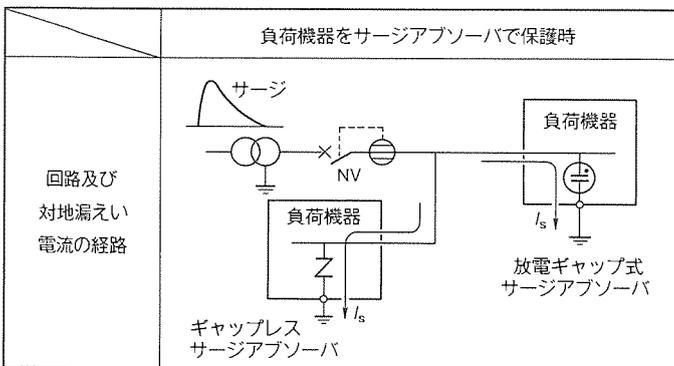


図12. サージアブソーバによる対地漏えい電流

置する割合が増えている。この大地に対して接続されたサージアブソーバは、サージを大地に放電するため、短時間ではあるが大きな対地漏えい電流を発生し、漏電遮断器を不要動作させる場合がある(図12)。

サージアブソーバには、酸化亜鉛バリスタに代表されるギャップレスサージアブソーバと、放電管を用いた放電ギャップ式サージアブソーバがある。それらによる対地漏えい電流の例を、対地静電容量による対地漏えい電流と比較して図13に示す。同図(a)対地静電容量による漏えい電流の場合は

波高値は、150 A 程度、時間幅は 1 ~ 3 μs 程度であり、漏電を検知する ZCT の出力は(a)に示すように地絡検出レベルに至らない場合が多い。

一方、同図(b)ギャップレスサージアブソーバの場合は、サージに対して数オームの低インピーダンスとなるので、サージ電圧に対応した対地漏えい電流が流れ、その波高値は 500 A 程度、時間幅は数十 μs という大きな値となる。したがって、ZCT の出力も(b)に示すように大きくなり、地絡検出レベルに到達する場合がある。また、同図(c)放電ギャップ式サージアブソーバの場合は、サージによる放電後商用電源(50/60 Hz)による続流が流れるため、(c)に示すように、サージの放電電流と最大 10 ms の正弦半波の対地漏えい電流が流れる。このとき、ZCT の出力は地絡事故と同等の信号を発生し、漏電遮断器を不要動作させる可能性が非常に高い。以上のように、サージアブソーバを対地間に接続した状況では不要動作が発生しやすいことが分かる。

4.3 サージによる不要動作の防止の技術

New Super NV では、サージアブソーバが対地間に設置された場合でも、不要動作が発生しないよう対策を行った。

絶縁不良等の事故による地絡電流は、商用周波数の正弦波に近い電流であり、正側・負側が規則的に繰り返す、周期性・連続性のある信号である。一方、サージによる対地漏えい電流は、正側・負側の極性が不規則であり、発生周期も不規則な信号である。この差に着目し、New Super NV では図7に示すように DPDC (Dual Polarity Digital Counter) サージ判別回路を設け、不要動作防止性能の向上を実現した。すなわち、ZCT からの検出信号を、従来方式と同様にレベル判別回路によって信号の大きさや時間幅で判別し、対地静電容量で漏えいする比較的小さいサージ成分を除去する。その後 DPDC サージ判別回路により、地絡信号とサージを判別する。

図14(a)に示すように、地絡信号の場合は正側と負側の信号が交互に到来する。DPDC サージ判別回路は、正・負交互に到来する信号のみ通過させ、さらにその周期性・連続性を判別するため、通過信号をカウンタによって計数し、複数回の信号が到来した場合に地絡信号として判別する。同図

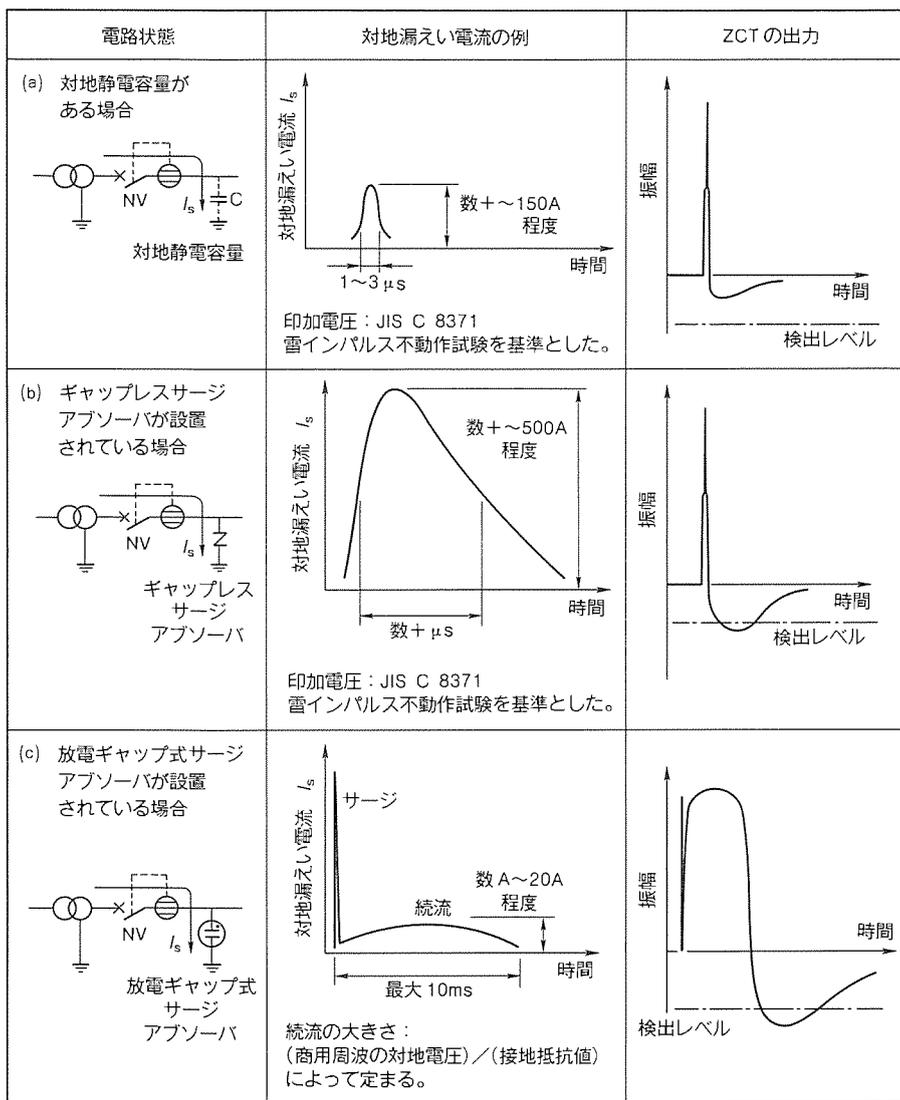


図13. サージによって大地へ流れる電流例とZCT出力

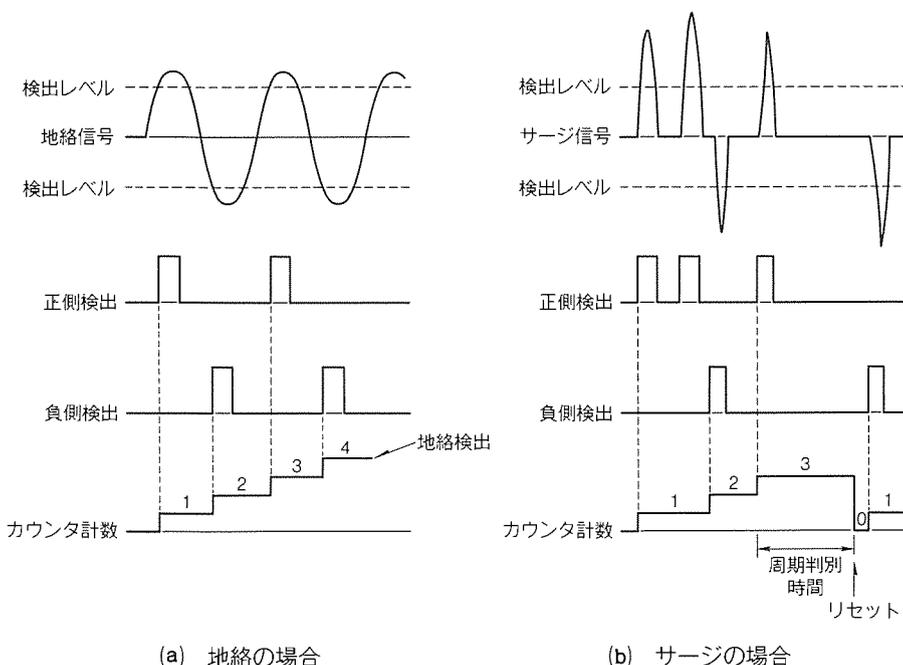


図14. DPDC サージ判別回路の動作

(b)に示すサージ信号の場合は、正側・負側が交互でない不規則な信号は除去し、また所定時間内に信号が到来しない場合は非周期的・非連続的と判断して計数をリセットしてサージ信号を除去する。

以上のような多項目の判別により、サージによる対地漏えい電流と地絡事故の電流をより確実に判別し、不要動作の防止を実現した。

4.4 不要動作防止性能の向上

New Super NV の不要動作防止性能の向上を、従来形と比較して図15に示す。ギャップレスサージアブソーバ、放電ギャップ式サージアブソーバのいずれの場合でも不要動作が発生しないことが確認された。

図15の試験検証した波形から、不要動作防止性能の向上は、

- (1) サージによる漏えい電流の波高値で耐量3倍以上
 - (2) サージによる漏えい電流のエネルギー (I^2t) で100倍以上
- が得られた。これにより、サージによる不要動作が大幅に減少し、電力の連続給電の信頼性向上に大きな効果が得られる。

5. 外形寸法・遮断性能の標準化

1985年発売のSuper SCRUMシリーズにより、ノーヒューズ遮断器(NF)と漏電遮断器(NV)について、汎用品Sシリーズと経済品Cシリーズの外形寸法を同一化し、設計・仕様変更に対応できるようにしている。また、1989年発売の分電盤制御盤用KBシリーズで、NFとNVの外形寸法を同一として、標準化思想を進めてきている。

New Super NVでは、これらの思想を更に一歩進めて、NFとNVかつSシリーズとCシリーズ四つの外形を同一化した。外形のモジュール化の状況を図16に示す。

遮断容量の面でも、NFとNVを同一性能として、機種変更(NF ↔

サージの漏えい電流波形	対象電路	不要動作の有無	
		New Super NV	従来形
<p>対地漏えい電流 I_s</p> <p>時間</p> <p>150A</p> <p>3 μs</p>	<p>対地静電容量</p>	○ 不要動作無し	○ 不要動作無し
<p>対地漏えい電流 I_s</p> <p>時間</p> <p>500A</p> <p>20 μs</p>	<p>ギャップレスサージアブソーバ</p>	○ 不要動作無し	× 不要動作の場合有り
<p>対地漏えい電流 I_s</p> <p>時間</p> <p>28A</p> <p>10ms</p>	<p>放電ギャップ式サージアブソーバ</p>	○ 不要動作無し	× 不要動作の場合有り

図15. サージによる不要動作の防止性能

NV) に容易に対応できる等、さらに使いやすいものとしている。これらの関係を図17に示す。

- これにより、効果は次のものがある。
- (1) アンペアフレームによって外形が決まるので、設計及び盤製作が容易である。
 - (2) 電源容量の変更による遮断容量の変化にも外形が同一のため、汎用品 ↔ 経済品の変更で容易に対応できる。
 - (3) ノーヒューズ遮断器 ↔ 漏電遮断器の機種の変更にも容易に対応できる。
 - (4) 外形寸法、特に長さ方向が大幅(従来比70~80%)に小型化されているので、盤取り付けスペースが縮小でき、盤の小型化が可能である。
 - (5) ノーヒューズ遮断器と漏電遮断器の外形が同一のため、盤パーツの共用が可能である。

6. 適用範囲の拡大と使いやすさの追求

6.1 適用範囲の拡大

AF	30		50, 60		100		225	
	C	S	C	S	C	S	C	S
NF	NF30-CS 	NF30-SS 	NF50-CS NF60-CS 	NF50-SS NF60-SS 	NF100-CS 	NF100-SS 	NF225-CS 	NF225-SS
	67.5×96×52	75×130×68	75×130×68		90×155×68		105×165×86	
新形 NV	—	NV30-SF 	NV50-CF NV60-CF 	NV50-SF NV60-SF 	NV100-CF 	NV100-SF 	NV225-CF 	NV225-SF
		75×130×68	75×130×68		90×155×68		105×165×86	
従来形 NV	NV30-CA 	NV30-SS 	NV50-CA NV60-CA 	NV50-SS NV60-SS 	NV100-CS 	NV100-SS 	NV225-CS 	NV225-SS
	70×140×52*	75×165×68	70×140×52	75×165×68	90×200×68		105×240×86	

注 * 幅×長さ×奥行(mm)

図16. NFとNVの外形モジュール化状況

(経済品シリーズ)

(汎用品シリーズ)

外形：幅×長さ×奥行 (mm)
遮断容量 NF：460V/220V
NV：415V/200V

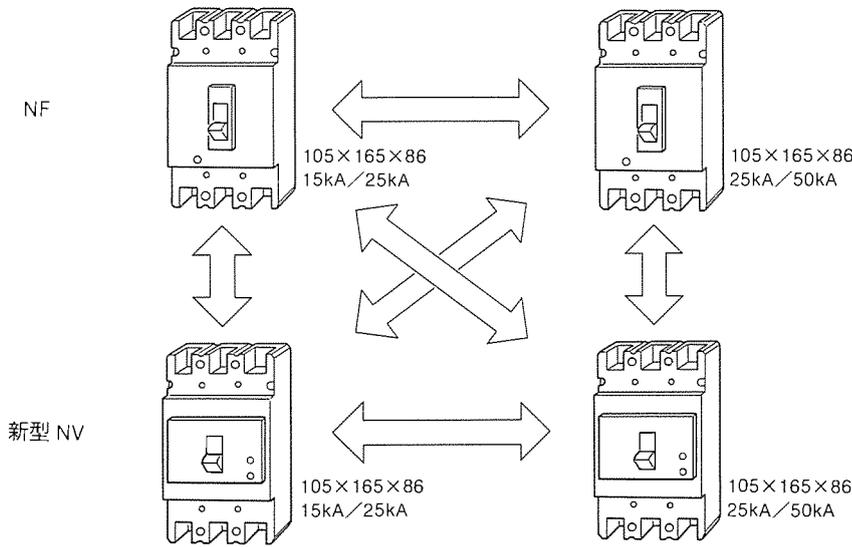


図17. NF と NV の外形寸法・遮断性能の標準化状況(225AF)

動作特性曲線

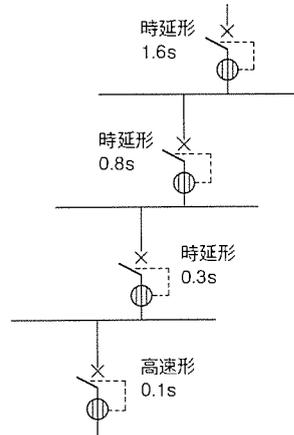
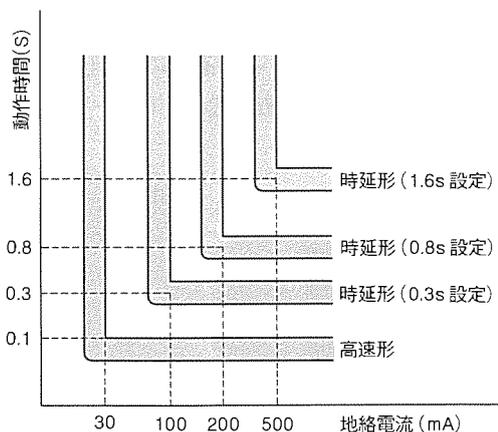


図18. 地絡選択協調例

6.1.1 定格の拡大

- (1) 定格電圧 AC100-200-415V 3電圧共用
- (2) 定格感度電流 100, 200, 500mA 3段切換え
- (3) 時延形動作時間 0.3, 0.8, 1.6s 3段切換え

上記3項目が同一の製品で可能となったことが特長である。

6.1.2 地絡保護協調

給電の連続性を確保するため、地絡保護の分野でも保護協調の重要性が増している。New Super NVでは、時延形に感度電流3段切換え(100, 200, 500mA)、動作時間3段切換え(0.3, 0.8, 1.6s)を標準装備し、その組み合わせにより、図18に示すような動作特性曲線が得られる。

高速形を含めて4段の地絡選択協調が可能となり、地絡事故の場合も、事故点の直近上位のNVのみが動作し、上位NVはそのまま給電を連続でき、停電範囲を最小限とすることができる。

6.2 使いやすさの追求

New Super NVでは、盤設計・製造に際して一歩進んだ使いやすさを追求している。

(1) 付属装置の充実

- (a) 遮断器の密着取付けによる最大の省スペース化を実現するリード線負荷側引き出し
- (b) 中継端子台の設置等、配線作業の省力化を図りながら省スペースを実現

また、増し締め可能な縦形リード線端子台。

(2) 取付けの容易化

- (a) 最近普及しているIEC 35mm レール (DIN レール) 取付けにオプション部品で対応可 (100AF以下可能)
- (b) 設計, 加工, 取付けが容易なパネルカットセンター振り分け

(3) 識別の容易化

遮断器のON, OFF状態をハンドル部分でカラー表示し, ON, OFFの識別が容易

7. むすび

感度事故防止の観点から、漏電遮断器の設置はますます増加する傾向にある。しかしながら一方では、インバータの設置や雷サージの影響で漏電遮断器が不要動作して電気機器の運転に支障をきたす場合があり、これを懸念して漏電遮断器を設置しない場合も発生していた。また、インバータの二次側での地絡に対しては、従来は確実な地絡検出が保証できないという課題があった。New Super NVはこれらの課題を解決し、感電事故の防止に大きく貢献することができる。

電力制御はますます多様化し、漏えい電流波形も種々様々に変化すると予想される。今後は、電気事故防止のため、これらの変化に対応した保護性能の向上を図るとともに、電力制御と保護のあり方の整合を図ることに努める所存である。

三菱 AI ワークステーション 《MELCOM PSI/UX シリーズ》の概要と特長

湯浅維央* 上田高純** 松本 明**

1. ま え が き

高度先端コンピュータ技術の一つとして、AI (Artificial Intelligence: 人工知能) 技術は、研究開発段階から普及の段階に入っており、産業界ではAI を応用したエキスパートシステムが威力を発揮しつつあり、知識技術の時代が到来しつつある。現在の高度情報化社会における課題は、人間の知的活動を機械に何らかの形で代替させて、知識労働の負荷を軽減し、知的創造活動を支援することにある。このために、既存の情報処理と知識情報処理を融合した高度情報処理に進行するものと予測される。

このような高度情報化社会を実現するために、既存システムに知識処理を融合させる機能、及び知識処理の高機能、高性能化が一層求められつつある。このような社会のニーズにこたえるために、《MELCOM PSI II》の後継機として《MELCOM PSI/UX シリーズ》(図1)を開発したので、製品の概要と特長について以下に紹介する。

2. 開発の背景と設計思想

1982年度から10年計画で通商産業省が世界に先駆けて開始した“第五世代コンピュータ開発プロジェクト”は、(財)新世代コンピュータ技術開発機構(通称 ICOT)で推進され、知識情報処理への適用を目指した新しいコンセプトに基づくコンピュータの研究開発に成果を挙げている。当社は、この研究成果を利用して図2に示すAIワークステーションを製品化してきた。

従来のコンピュータは、機械語の設定にマシンアーキテクチャの特徴が集約され、この機械語の上に組み立てられたソフトウェアは基本的に“手続き型”である。人間の基本的な思考方法、すなわち“知識”を用いて、推論する方法とは大きな隔りがある。このために、新たな機械語として述語論理型言語を設定し、この言語をベースとして推論する知識処理に適したAIマシン《MELCOM PSI》(Personal Sequential Inference Machine)を1986年に製品化した。このマシンは、世界初のProlog専用AIワークステーションである。以後、《MELCOM PSI》の改良開発を続けて、1987年に《MELCOM PSI II》を開発し、1988年、更に機能・性能を向上させたモデルを製品化した。この《MELCOM PSI II》は、《MELCOM PSI》に比べて、性能を10倍にし、半導体技術によって大きさを1/6にした本格的なAIワークステーションである。知

識処理研究分野、製造分野、電力分野、サービス分野等に数多く利用され、知識情報処理システムの研究開発に寄与してきた。

近年、知識処理技術の発展に伴い、エキスパートシステムも診断型から計画型に移行し、企業の基幹業務に浸透する傾向にあり、企業にとって、より重要なシステムとなる場合が多い。今後、これらエキスパートシステムと既存システムを統合したシステムの実用化が進み、更に“知的戦略情報システム”を目指した、より戦略的に重要なシステムが実用化されていくであろう。企業戦略に必ず(須)の情報システム構築が今後の課題となる。このような社会のニーズにこたえるために、今回、《MELCOM PSI/UX シリーズ》(以下“PSI/UX シリーズ”という。)を開発した。

PSI/UX シリーズは、第五世代コンピュータ プロジェクトの研究成果と世界標準UNIX^(注1)を融合し、世界最高速レベルにある推論性能を持っている。過去に蓄積した両方のソフトウェア資産の継承及び第五世代コンピュータ プロジェ

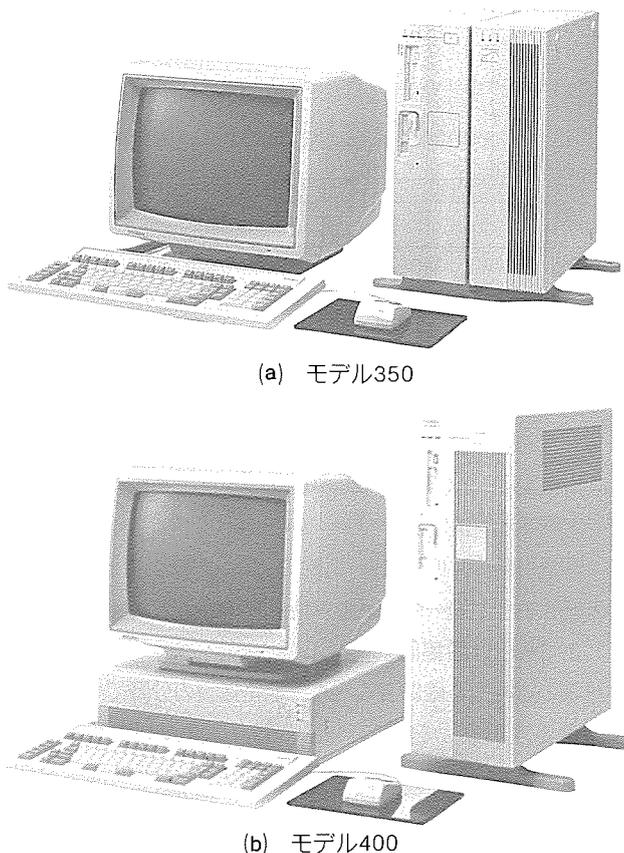


図1. 《MELCOM PSI/UXシリーズ》の概観

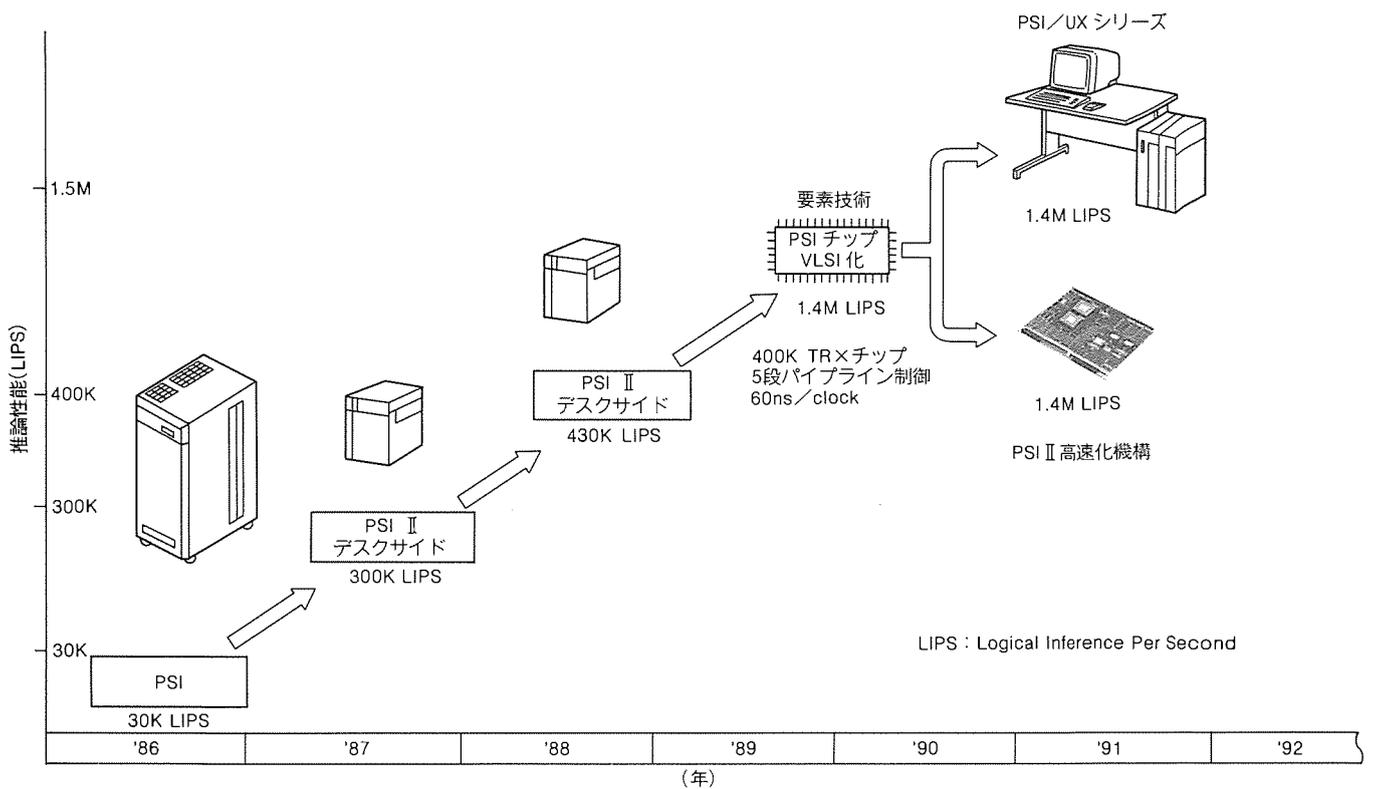


図 2 . PSI 機種遷移

クトの研究成果を有効活用することができる。また、UNIX の採用により、既存システムとの統合を容易にした。ハードウェアは 2 個の CPU から構成されており、一つは汎用プロセッサであり、もう一つは(財)新世代コンピュータ技術開発機構で並列推論マシン PIM (Parallel Inference Machine) 用に研究開発された研究成果を取り入れて、今回新たに開発した推論 VLSI である。ソフトウェアは、汎用プロセッサ上では UNIX を搭載し、世界に流布しているソフトウェアの利用ができる。PSI 上は、ICOT で研究開発されたオペレーティング システムの成果を利用した SIMPOS (Sequential Inference Machine Programming and Operating System) を搭載している。PSI/UX シリーズは、この両機能を 1 台のワークステーションで利用できるため、従来、UNIX 及び SIMPOS がカバーしている両適用分野はもとより、各々単独では難かかった実用的な AI システム構築を可能とする製品である。

今回、《MELCOM PSI II》の性能を PSI/UX シリーズと同じ世界最高速レベルにできる“PSI II 高速化機構”も合わせて開発した。PSI II 高速化機構は、今回新たに開発した推論 VLSI を搭載した CPU ボード(図 3)であり、現行の《MELCOM PSI II》の性能を約 3 倍に高速化する製品である。既存システムとの互換性を維持しながらシステム性能の向上を図ることができる。

(注 1) UNIX システム ラボラトリーズ社が開発し、ライセンスしている。

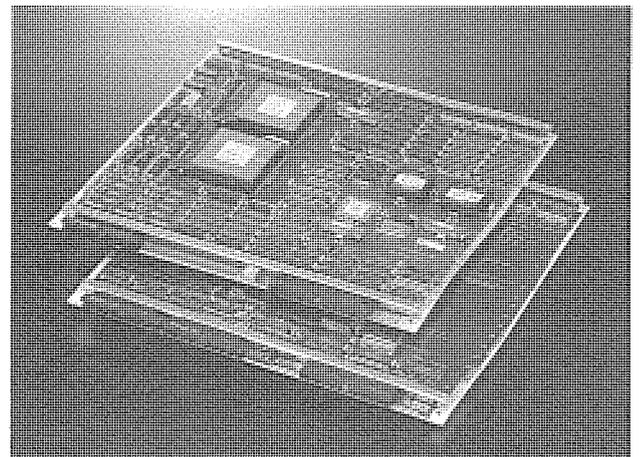


図 3 . PSI II 高速化機構

3. PSI/UX シリーズの特長

PSI/UX シリーズは、第五世代コンピュータ プロジェクトの研究成果と世界標準ソフトウェア UNIX を融合し、世界最高速レベルにある推論性能を持っている。

ここでは、この製品の特長について以下に述べる。

3.1 世界最高速の推論性能

推論部は、第五世代コンピュータ プロジェクトの中で、並列推論マシン PIM の要素プロセッサとして開発された推論 VLSI を搭載し、世界最高水準の推論性能を実現した。Prolog のベンチマーク プログラム APPEND を 1.4M LIPS の高速で実行する。PSI II の 430K LIPS^(注 2) に比べて約 3

倍の性能向上を達成した。

(注2) LIPS (Logical Inference Per Second) は、1秒間当たりの推論回数を示す。

3.2 世界先端研究プロジェクトの成果を利用

次のAI先端研究成果を採り入れて、知識処理に最適のAIワークステーションとした。

(1) 推論VLSIの開発により、高速化・小型化・高信頼化を達成

推論部には最先端半導体技術(0.8 μ mプロセス)を採用した推論VLSIを開発して、これを搭載した。世界最高水準の推論性能を達成するとともに、周辺回路を含めた推論部を1枚のプリント基板に納め、小型化・高信頼化・低価格を達成している。

(2) 知識情報処理向きオペレーティングシステムSIMPOS

SIMPOSは、高速の実行環境と効率の良い開発環境を提供する。《MELCOM PSI II》との互換性を維持しているため、この上で作成したソフトウェアはPSI/UXシリーズ上でそのまま動作させることができる。このため、第五世代コンピュータプロジェクトで研究開発されたソフトウェア資産の有効活用及び《MELCOM PSI II》のソフトウェア財産の継承ができる。

(3) 実用化されている言語のなかでも、最もレベルの高いESP

ESP(Extended Self-contained Prolog)は、ICOTで研究開発された論理型言語であり、推論機能をベースとする知識情報処理システムに適している。この言語の最大の特長は、Prologにオブジェクト指向のモジュール化機能が導入されていることで、プログラムのモジュール化、継承機能による差分プログラム等のオブジェクト指向の利点を生かして、ソフトウェアの生産性を高めることができる。

3.3 既存システムと知識情報処理の容易な融合

(1) 世界標準UNIXの採用

オペレーティングシステムには、世界標準のUNIXを採用している。UNIX上のソフトウェアを動作させることができるため、世界に流布している豊富なソフトウェア資産の有効活用を図ることができる。また、UNIXの標準ネットワーク機能(TCP/IP)、NFS等を用いて、既存システムと容易に融合させることができる。このことにより、既存システムとPSI/UXシリーズをLAN接続することで知識情報処理を組み込んだシステム構築が可能となる。

(2) SIMPOSとUNIXの高速アプリケーション間通信

X windowの中にSIMPOSウインドウを開いて、UNIXソフトウェアとSIMPOSソフトウェアが同時に実行できる。また、UNIXとSIMPOSとの間のアプリケーションプログラムは、RPC(Remote Procedure Call)インタフェースで簡単にアプリケーション間通信ができる。このため、UNIX

の優れたマンマシンインタフェースと世界最高高速レベルの推論処理を組み合わせ、高度で本格的なAIシステム構築を可能とした。

3.4 知識処理システムの開発効率を高めるツール

PSI/UXシリーズには、エキスパートシステム構築を支援する二つの強力なツールが用意されている。

(1) EXTKERNEL IIは、専門家からの知識獲得を容易にし、高度な推論を行うことができるツールである。

(2) 知的スプレッドシートAcekitは、表形式で簡単に知識表現ができるエキスパートシステム構築ツールである。専門家の知識を表とその中のセルという形に整理し、あるセルの値が他のセルにどのような波及効果を及ぼすかを、即座に実行・確認できる。

3.5 実用的なAIシステム構築ができる

PSI/UXはモデル350とモデル400の二つのモデルを用意した。メモリは、標準装備で推論部が40Mバイトあり、オプションによって最大240Mバイトまで拡張できる。ディスク容量は、標準装備で、モデル350の場合200Mバイト、モデル400の場合320Mバイトある。

オプションによって各モデル共、1台当たり320Mバイトの外部ディスク装置を3台まで拡張できる。

高速推論性能、大容量メモリにより、ルール数が多い実用的なAIシステム構築を可能とした。

4. ハードウェアの概要

PSI/UXは、推論部と汎用部から構成されている。図1(a)本体装置の右側が推論部であり、左側が汎用部である。図1(b)では、ディスプレイ装置の下部が推論部であり、右側部が汎用部である。ハードウェアの詳細は、本誌“三菱AIワークステーション《MELCOM PSI/UXシリーズ》ハードウェアシステム”に記載されている。ここでは、ハードウェアシステムの概略を以下に述べる。

4.1 ハードウェアのシステム構成

推論部は推論VLSIを搭載したCPUボードと主メモリボードからなる。4MビットDRAM素子を採用、20Mバイト、40Mバイト、80Mバイトの3種類の中から最大3枚まで選択できる。したがって、最大240Mバイトまで実装できる。汎用部はCPUにM68030を搭載し、主メモリ及び入出力装置群から構成されている。図4にシステム構成を示す。表1にハードウェア構成とその主な仕様を示す。

4.2 推論部と汎用部の接続と通信方式

汎用部では入出力バスとして、標準バスの一つであるVMEバスを使用しており、推論部インタフェースボードを介してこのVMEバスに接続している。インタフェースボード上には、制御回路と交信用メモリが搭載されている。交信用メモリは、推論部のいずれからも読み書きが行えるようになっている。

通信を開始する側は、制御情報とデータを通信メモリ上に書き込むと同時に割込み信号を送る。受取り側は、通信メモリから制御情報とデータを読み取り、制御情報に基づいた処

理を行う。このハードウェアの基本機構の上に、通信論理チャンネルというソフトウェアの上位プロトコルで推論部と汎用部の通信を行う。

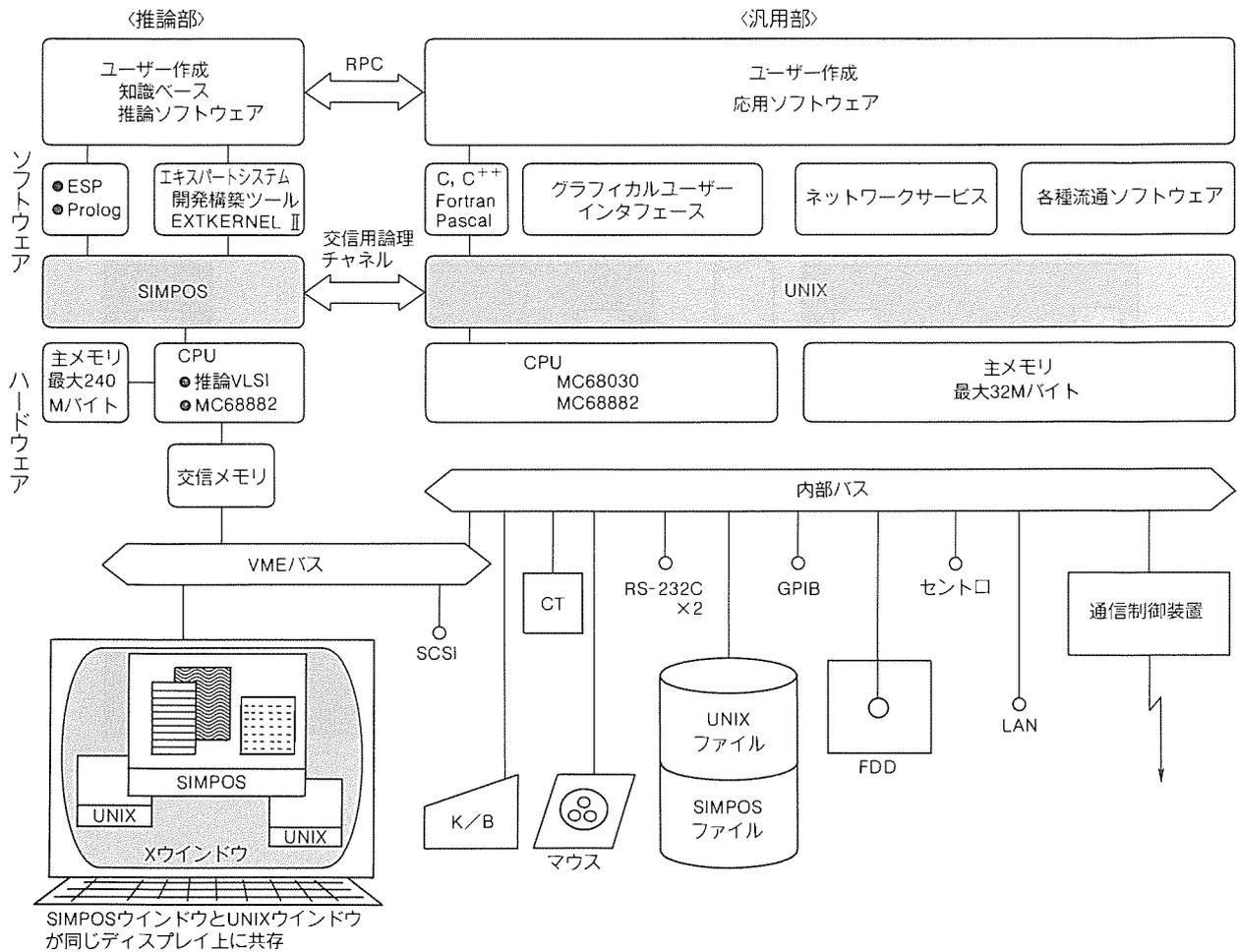


図4. システム構成

表1. PSI/UXシリーズ ハードウェア仕様

名称		PSI/UX モデル350基本部	PSI/UX モデル400基本部	
型番		B2150	B2151	
推論部	CPU	推論 VLSI (PU : Processing UNIT, CU : Cache UNIT)		
	浮動小数点プロセッサ	MC68882		
	主メモリ容量	B2851C/B2852/B2853 から選択 最大3枚(最大240Mバイト)まで実装可		
	キャッシュメモリ	命令5Kバイト, データ20Kバイト		
	付属	汎用部接続用ケーブル3m		
主な汎用部	CPU	MC68030		
	浮動小数点プロセッサ	MC68882		
	主メモリ容量	16Mバイト(増設によって最大32Mバイト)		
	キャッシュメモリ	64Kバイト		
	ディスプレイ制御	解像度	1,280ドット×1,024ドット	
		カラー色数	256色	
		内蔵I/O	固定ディスク	200Mバイト
	内蔵I/O	フロッピーディスク	3.5" 1Mバイト/1.4Mバイト	
		カセットMT	155Mバイト	
	標準I/Oインターフェース	LAN, SCSI, RS-232C×2, セントロニクス, 増設FDD		
VMEオプションスロット	シングルロング×1		シングルロング×1, ダブルロング×2	

5. ソフトウェアの概要

PSI/UX シリーズは、知識情報処理に最適のオペレーティングシステム SIMPOS と汎用のオペレーティングシステム UNIX を統合した開発環境と実行環境を提供する。近年、エキスパートシステム開発は、汎用大型機を利用する例は徐々に減少方向にあり、マンマシン インタフェースに優れた開発環境を持つ UNIX 環境に移行しつつある。また、既存システムと組み合わせた戦略的なエキスパートシステム

の重要性は高まりつつある。このようなシステムを実現するために PSI/UX シリーズは、UNIX の開発環境、既存システムと容易に接続ができるネットワーク機能及び高速推論機能を提供する。UNIX の機能については既によく知られているので、ここでは知識情報処理の開発・実行環境及び SIMPOS と UNIX の結合方式について述べる。

5.1 システム構成

システム構成を図4に示す。ディスプレイ画面中の X ウィンドウの中に SIMPOS のウィンドウが共存する。従来の

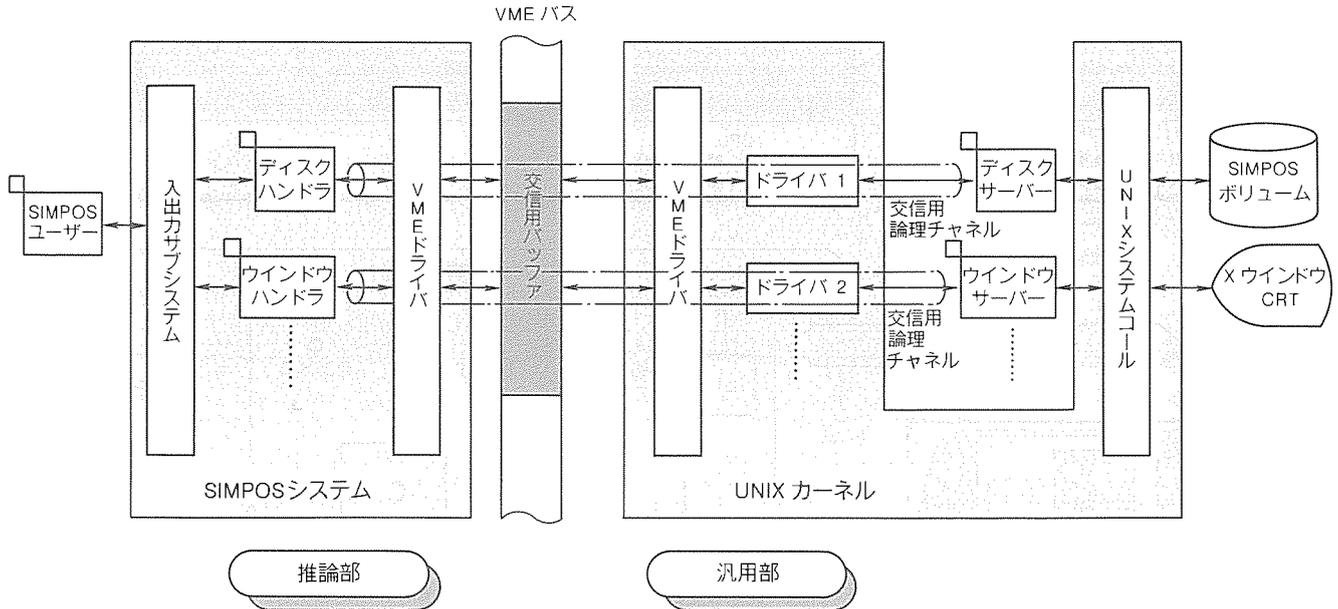


図5. 交信用論理チャネル

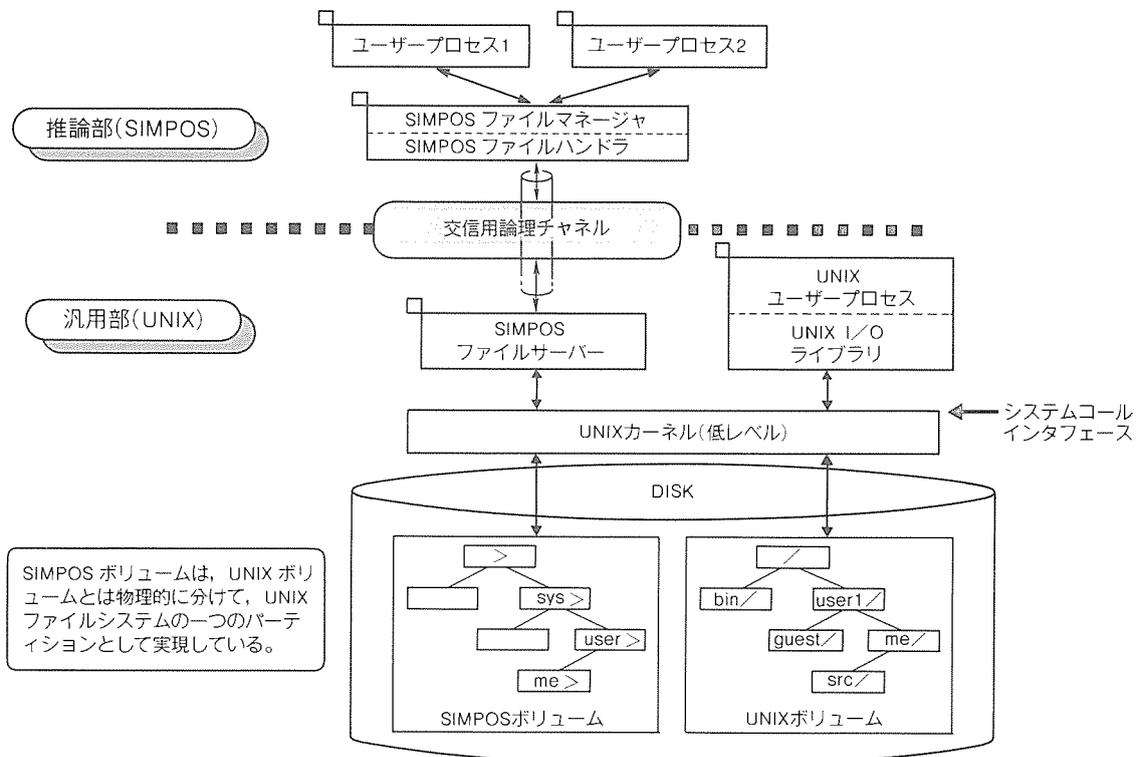


図6. SIMPOSファイルの実現方式

PSI IIソフトウェアは、オブジェクトレベルで互換性を維持しており、操作互換である。マンマシン インタフェース部は、UNIX のソフトウェアを利用し、知識ベース及び推論はSIMPOS ソフトウェアを利用するソフトウェア生産性に優れたエキスパートシステム構築ができる。さらに、UNIX

ソフトウェア単独の利用も可能である。

5.2 SIMPOS と UNIX の結合方式

PSI/UX では、SIMPOS の固定ディスク、ウインドウ、ネットワーク用ソケット等、すべての入出力は、UNIX の管理下にある入出力装置で実行される。SIMPOS の入出力サ

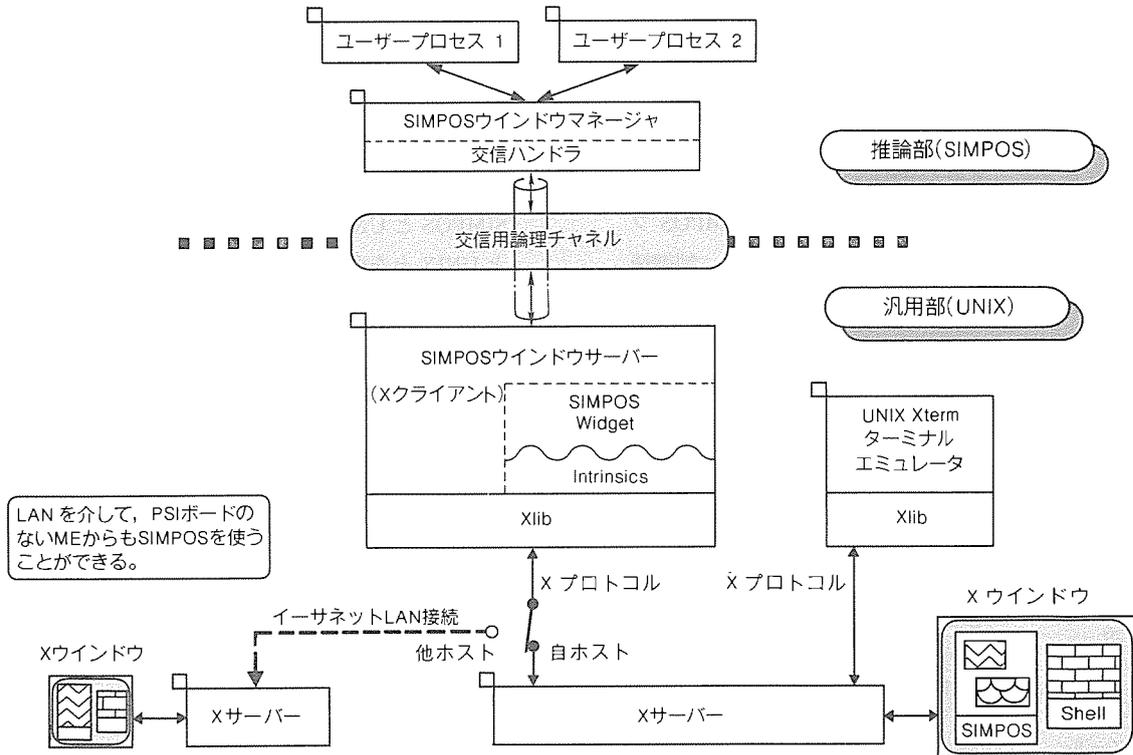


図 7. SIMPOSウインドウの実現方式

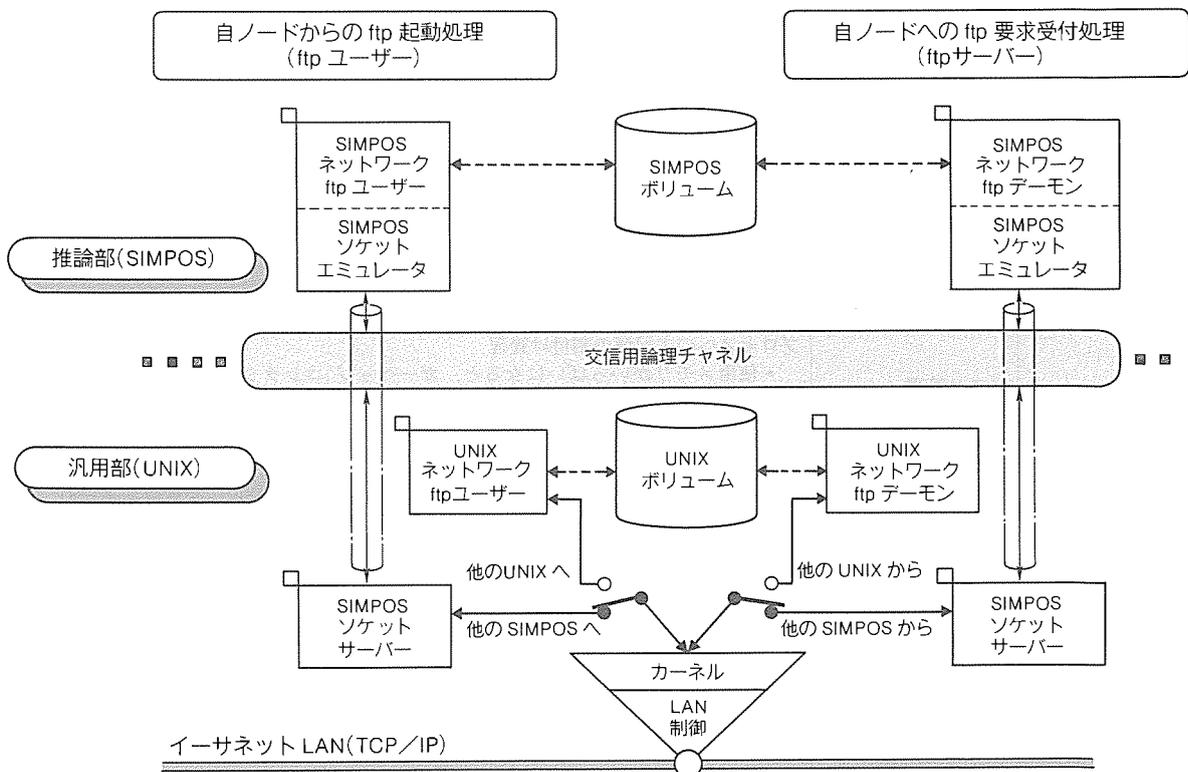


図 8. SIMPOSネットワークの実現方式

ブシステムをインタセプトして UNIX 側に入出力要求を行っている。

SIMPOS と UNIX の結合のななめである交信用論理チャネルとそれぞれの入出力サブシステムの結合方式について以下に述べる。

(1) 交信用論理チャネル (図5)

交信用論理チャネルは、SIMPOS と UNIX 間を結ぶ論理的な通信路であり、この中を制御情報やデータが流れる。交信用論理チャネルを実現するために、交信メモリをアクセスするドライバを UNIX カーネルに追加した。

(2) SIMPOS ファイルシステム (図6)

ディスク上に UNIX ファイル領域とは別に、SIMPOS ファイル領域を設けている。例えば、書込みデータは、制御情報とともに SIMPOS 上のディスクハンドラから交信用論理チャネル経由で UNIX 上のディスクサーバー プロセスに送られた後に、UNIX のシステムコールを用いて実際に SIMPOS 用ディスク領域に書き込む。PSI/UX では、ディスクキャッシュを SIMPOS 上のメモリ空間に設けた。このため、

キャッシュ上にデータがある場合は、UNIX 側へのアクセスが発生しないので、より高速にディスクアクセスできる。

(3) SIMPOS のウインドウシステム (図7)

SIMPOS ウインドウを、UNIX の標準ウインドウである X ウインドウシステム上に実現した。PSI II のディスプレイ画面に相当するウインドウが X ウインドウでの一つのウインドウとして表示されて、これが SIMPOS 画面となる。その中に、SIMPOS の複数のウインドウが表示される。SIMPOS 画面の中のウインドウ制御や、マウス、キーボードの処理は、SIMPOS 処理される。これにより、PSI II と完全な操作互換を実現した。また、一つのディスプレイ上に SIMPOS と UNIX の 2 種類のウインドウが共存する SIMPOS と UNIX とを融合した環境を実現している。

(4) SIMPOS ネットワークシステム (図8)

SIMPOS のソケット (ネットワーク通信の仮想的な端点) 機能は、ソケット一つごとに、UNIX 上のソケットサーバープロセスを一つずつ割り当てて実現している。これによって、UNIX でサポートしているソケット機能を SIMPOS から

表2. SIMPOS の開発・実行環境

開発環境	AI 言語	ESP	オブジェクト指向を PROLOG に取り入れた AI に最適な新世代の言語
		Prolog	DEC-10 Prolog 準拠の Prolog 言語 (コンパイラ, インタプリタ, エディタ, デバッガ等)
	エキスパートシステム構築ツール	EXTKERNEL II (オプション)	プロダクションルールを知識表現として持つ使いやすいエキスパートシステム構築ツール
		Acekit (オプション)	表形式の構造, 表現形態でプログラミングできるエキスパートシステム構築ツール
	デバッガ	デバッガインタプリタ	プログラムの実行を対話的に行い, きめ細かなトレースや強力なデバッグ機能がある。
		ライブラリアン	プログラムやオブジェクトを集中管理し, 登録や管理情報の検査や表示などを容易にする。
		インスペクタ	プログラムの実行中に変化するオブジェクトの取出し, 変更などを行う。
	プログラミングシステム	PMACS	EMACS を越えたスクリーンエディタで, 操作対象を文字, 語, 行などに設定してサーチ, 置換えなどの操作が可能
		フォントエディタ	ユーザー独自のフォントが容易に作成できる。
		日本語処理機能	ローマ字・カナ漢字変換機能により, 漢字をプログラムやデータに使用できる。
プログラム開発支援	マルチターミナルサポート	PSI/UX に接続されたマルチワークステーション (M3300 シリーズ) を利用してファイル転送, ファイルライブラリ系コマンド実行, エディタの実行, ESP デバッガのサブセット機能の利用ができる。	
	変換ツール TRANSPRO-E/P	DEC-10, Prolog 準拠の Prolog ソースプログラムと ESP ソースプログラムの変換を行う。	
実行環境	カーネル	メモリ管理	プロセスへの主記憶の割付け管理 <ul style="list-style-type: none"> 使用メモリがいっぱいになると, ガーベッジコレクション (ごみ集め) が自動的に行われ, メモリスペースを確保 ガーベッジコレクションはシステムメニューからの強制起動も可能
		入出力管理	入出力装置の制御
		トレーサ	ESP で書かれプログラムの機械命令 KLO 実行レベルでのデバッグを行うツール
スーパーバイザ	プロセス管理	マルチプロセススケジューリング及びプロセス間通信機能	
	ユーザー管理	ユーザーの登録やログイン時の環境設定を行う。	
	プール	データ構造 (アレー, リスト, スタック, バッグ, セット等) をサポートするメソッド群データを格納したり, 追加・削除等の実行や管理を行う。	
入出力管理	ウインドウ	<ul style="list-style-type: none"> オーバラップマルチウインドウシステム ウインドウマニピュレータ ウインドウの状態, 表示位置, 大きさなどの変更をマウスで操作できる。 	
	ネットワーク	TCP/IP プロトコル, FTP, SMTP, NFS 等の機能がある。	
	ファイル	<ul style="list-style-type: none"> UNIX と同様の階層構造をもつ。 ファイルマニピュレータ (ファイルの検索, 出力, 管理などをマウスで操作できる。) 	

そのまま利用できる。また、このソケットを利用して、UNIX 上の標準的プログラム間通信機能である RPC を SIMPOS 上にも実現した。これによって、SIMPOS 上においても、UNIX と同じように RPC 機能を用いたサーバーやクライアントのプログラムを実現することができる。

5.3 SIMPOS と UNIX のアプリケーション間通信方式

クライアント/サーバーモデルにおけるサーバープロセスとクライアントプロセス間の手続きである RPC で、SIMPOS と UNIX 間のアプリケーション間通信を行う。RPC は、SUN Micro systems 社が開放型ネットワークアーキテクチャ (Open Network Computing : ONC) 環境を提供しているが、このプロトコルの基盤となるものである。このため、PSI/UX 内のみならず、ネットワーク内の他のワークステーションとの間でもアプリケーション間通信が可能となる。RPC におけるメッセージタイプは、要求メッセージと応答メッセージの2種類であり、データ表現プロトコルとして、External Data Representation (XDR) を定義している。

5.4 知識情報処理の開発・実行環境

知識情報処理システム構築の難しさは、知識の獲得にある。通常、最初に獲得した知識を基にプロトタイプを作成し、評価することで問題を分析し、さらに新たな知識を獲得して目的のシステムを作り上げるプロトタイピング手法が有効である。また、三段論法のような論理的な推論機能を備えた知識処理言語やシステム構築ツールに特徴がある。知識情報処理開発支援、言語、エキスパートシステム構築ツールについては既に紹介されているので、ここでは表2にSIMPOSの開発・実行環境を示す。

6. む す び

以上、PSI/UX シリーズの概要とその特長及び UNIX と SIMPOS の結合方式について紹介した。今後、PSI/UX を

基盤として、既存システムと知識情報処理とを融合させた実用的な AI システム構築を目指して、当社の研究所群と協調しつつ、諸課題に取り組んでいく考えである。なお、PSI/UX シリーズとその関連製品の一部は、(財)新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT) の研究成果を、当社が製品化したものである。

最後に、この製品開発に際して御指導いただいた関係各位、特に ICOT 研究部内田俊一部長をはじめとする関係各位に深く謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- (1) 黒住恭司：CTTC 第1回講演 (第五世代コンピュータプロジェクトとは)、ICOT ジャーナル, No. 22, 15~27 (1990)
- (2) 京 敬人, 田辺隆司, 立野裕和, 中島 浩, 近藤誠一：LSI 化高性能 AI ワークステーション 《MELCOM PSI II》, 三菱電機技報, 62, No. 2, 163~168 (1988)
- (3) 池田守宏, 梁田和彦, 吉永俊郎：AI ワークステーション 《MELCOM PSI II》, 三菱電機技報, 63, No. 7, 549~553 (1989)
- (4) 平塚 尚, 秋田興一郎：知識処理のソフトウェア開発支援環境, 三菱電機技報, 62, No. 10, 879~884 (1988)
- (5) 田中千代治, 今道周雄, 小林健三：エキスパートシステム実用化の現状とその展望, 三菱電機技報, 63, No. 7, 560~563 (1989)
- (6) ICOT-JIPDEC AI センター：人工知能の技術と利用—AI白書一, 日本情報処理開発協会 (1990)
- (7) 日経 AI 別冊：1991 冬号
- (8) Ueda, T., Nakashima, H., : The MELCOM PSI II AI Workstation, Mitsubishi Electric ADVANCE, 22~24 (1987)

三菱 AI ワークステーション

《MELCOM PSI/UX シリーズ》のハードウェアシステム

益田嘉直* 田辺隆司* 池田守宏* 深沢 雄* 岩山洋明* 中島 浩**

1. ま え が き

近年、知識情報処理は人間の知的活動を支援する技術として注目され、実用化開発が進展しつつある。知識情報処理は、既に各分野で応用され、多くの実用システムが稼働する状況になってきている。

当社は、通商産業省が推進する第五世代コンピュータプロジェクトの研究成果を利用し、1986年にAIワークステーション《MELCOM PSI》を製品化し、さらに推論性能の高速化を図った《MELCOM PSI II》へと開発を続け、知識情報処理の実用化に努めてきた。一方、知識情報処理の実用化の進展に伴って、より高速な推論性能やエキスパートシステム構築ツールの高機能化に加えて、ネットワーク機能の充実、ユーザーインターフェースの標準化など既存情報処理システムの標準化動向にそった機能・高性能化が一層求められている。

《MELCOM PSI/UX シリーズ》(以下“PSI/UX シリーズ”という。)は、このような社会のニーズを満たすために開発され、従来の《MELCOM PSI シリーズ》で定評のある SIM POS の開発・実行環境と、業界標準 OS である UNIX^(注1)の環境を統合した新しい概念の AI ワークステーションである。

PSI/UX シリーズは、現行の《MELCOM PSI II》に比べて、約3倍の推論性能を持ち、《MELCOM PSI I シリーズ》の応用プログラムは、ソフトウェア互換となっているためそのまま実行できる。また、UNIX 環境との統合化により、より使いやすいユーザーインターフェースの構築、及びネットワークを活用したシステムの展開を行うことができ、知識情報処理システムの構築、実行に最適な環境を提供可能にした。

本稿では、最先端の半導体技術を用いて開発した推論 VLSI を搭載し、世界最高水準の推論性能を実現した《MELCOM PSI/UX》の概要、特長及び性能などについてハードウェア、ファームウェアの面から紹介する。

なお、PSI/UX シリーズの標準

モデルとしては、コストパフォーマンスに優れた《MELCOM PSI/UX モデル350》と、高性能・拡張性に優れた《MELCOM PSI/UX モデル400》の2モデルがある。図1に《MELCOM PSI/UX モデル350》の外観を示す。

(注1) UNIX システム ラボラトリーズ社が開発し、ライセンスしている。

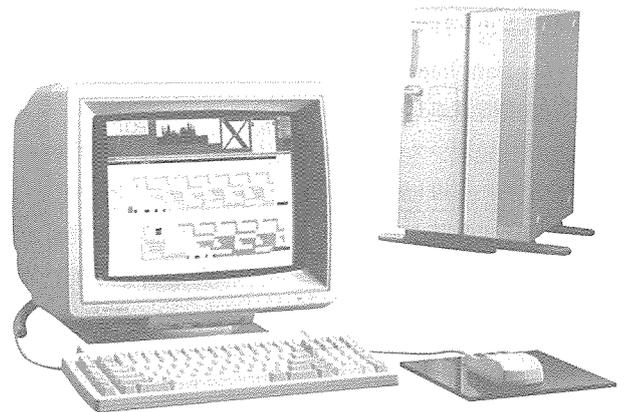


図1. 《MELCOM PSI/UX モデル350》の外観

表1. PSI/UX シリーズの基本部仕様

名 称		PSI/UX モデル350基本部	PSI/UX モデル400基本部	
型 番		B2150	B2151	
推 論 部	CPU	推論 VLSI		
	浮動小数点プロセッサ	MC 68882		
	主メモリ容量	B2851C(20M バイト)/B2852(40M バイト)/B2853(80M バイト)から選択, 最大3枚まで(最大240M バイト)実装可		
	キャッシュメモリ	命令 5K バイト, データ20K バイト		
汎	CPU	MC68030		
	浮動小数点プロセッサ	MC68882		
	主メモリ容量	16Mバイト(増設によって最大32M バイト)		
	キャッシュメモリ	64K バイト		
用 部	ディスプレイ制御	解像度	1,280×1,024	
		カラー・色数	256色	
	内蔵 I/O	固定ディスク	200M バイト	320M バイト
		フロッピーディスク	3.5" 1M バイト/1.4M バイト	3.5" 1M バイト
		カセット MT	155M バイト	
	標準 I/O インタフェース	LAN, SCSI, RS-232C×2, セントロニクス, 増設 FDD		
VME オプションスロット	シングルロング×1	シングルロング×1, ダブルロング×2		
付 属		フロアスタンド, 推論部汎用部接続用ケーブル 3 m		

2. システムの概要

2.1 特 長

PSI/UX シリーズは、当社 AI ワークステーション《MELCOM PSI II》の上位機として開発した AI ワークステーションであり、以下のような特長を持っている。

(1) 世界最高水準の推論性能

従来のレベルを大きく越えた世界最高水準の 1.4MLIPS (注2) (140 万回/秒) の推論性能を達成した。

(2) 最先端研究プロジェクトの成果を利用

第五世代コンピュータ プロジェクトの研究成果を利用した実用的な AI ワークステーションである。知識情報処理向きオペレーティング システム SIMPOS (注3) と、知識情報処理言語 ESP は知識情報処理システムに最適であり、ハードウェアには最先端の半導体技術を採用して実現した推論 VLSI を用いている。

(3) 業界標準 UNIX の採用

業界標準 OS である UNIX のネットワークは、機種を越えた接続を容易にするとともに、UNIX 上で標準化された X ウィンドウは、統一されたユーザーインタフェースを実現する。

(注2) LIPS (Logical Inference Per Second) は、1 秒当たりの推論回数を表す。

(注3) SIMPOS は、ESP で記述された知識情報処理向きオペレーティング システムで、第五世代コンピュータ プロジェクトの成果である。

表1に PSI/UX シリーズの基本部仕様、図2にシステム構成を示す。

2.2 実現方式

PSI/UX シリーズは、図2に示すように推論部と汎用部から構成される。推論部は、独自に開発した推論 VLSI をプロセッサとして、4M ビット DRAM をメモリ素子として使用し、小型化・高性能化を図り、最大 1.4MLIPS の推論性能を実現した。汎用部は、基本処理装置に汎用のマイクロプロセッサを使用し、推論部とはインタフェースメモリを介して VME バスで接続し、推論部のプログラムの入出力も実行する (推論部からみれば、汎用部は入出力制御装置として機能する)。

ソフトウェアとしては、推論部に知識情報処理に最適なオペレーティング システム SIMPOS、汎用部に世界標準である UNIX を使用しており、OS レベルでは交信用論理チャンネルで接続される。PSI/UX シリーズのディスプレイ上には、UNIX ウィンドウと SIMPOS ウィンドウの両方が表示され、ユーザーはこれらウィンドウを介して両システムを操作できる。

次に、推論部と汎用部との交信の手順について述べる。推論部と汎用部は、VME バスに接続されているインタフェースボード上に搭載の交信用の 128K バイトのインタフェースメモリを介してデータの交信が行われる。インタフェースメモリは、推論部と汎用部のいずれからも読み書きが行えるようになっている (汎用部からは、このメモリは VME アド

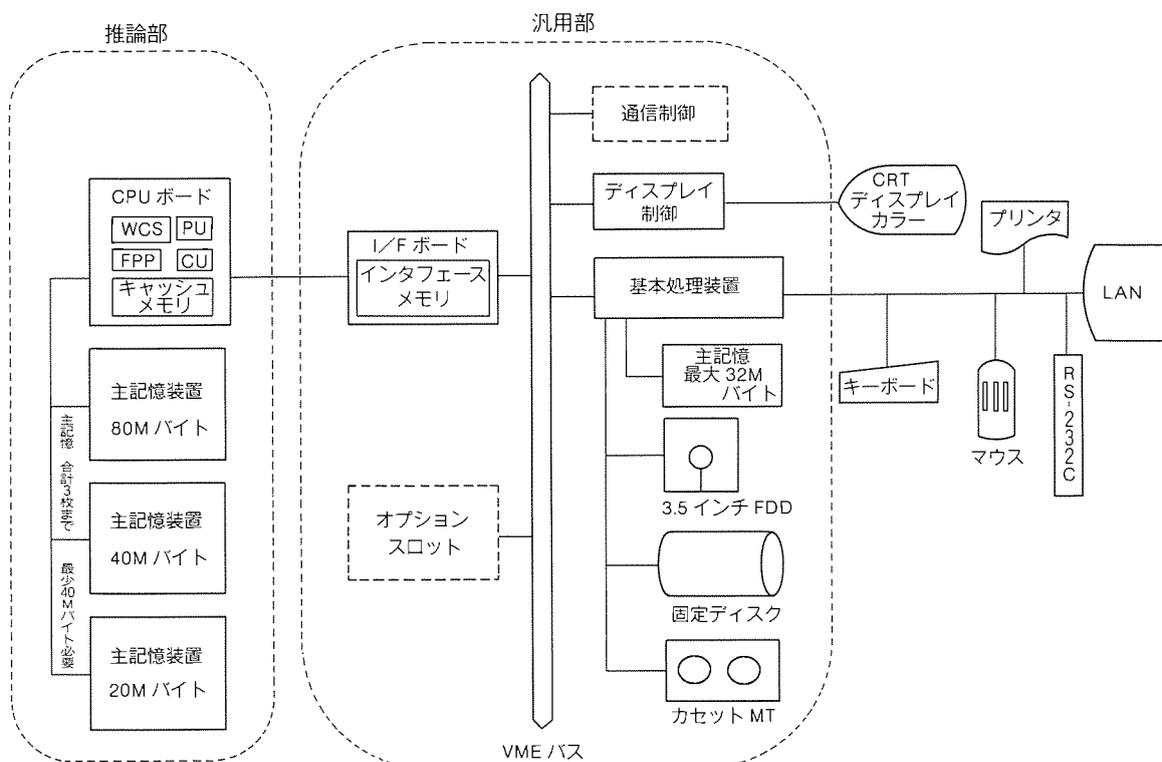


図2. <MELCOM PSI/UX シリーズ>のシステム構成

レス空間の中にマッピングされている。)。推論部と汎用部とは、このインタフェースメモリを使用して通信する。

通信の手順は次のとおりである。

- (1) 通信を開始したい側（推論部又は汎用部）は、制御情報とデータをインタフェースメモリ上の所定の領域に書き込む。
- (2) 次に、相手側に割込みをかける。
- (3) 割込みを受け取った側は、インタフェースメモリから渡された制御情報とデータを読み取り、要求された処理を行う。

この基本機構の上に、交信用論理チャンネルと呼ぶ上位プロトコルをソフトウェアで実現し、交信用論理チャンネルを使用してシステム内部のプログラムを作成している。

3. ハードウェア

3.1 アーキテクチャ

PSI/UX シリーズは、知識情報処理言語 ESP 及び Prolog を高速に実行するのに最適なハードウェア方式を採用している。ESP は、Prolog にオブジェクト指向の機能を組み込んだもので、記述性が高くシステムの開発効率を高めることができる反面、Prolog 特有のユニフィケーション（一種のパターンマッチング処理）、バックトラック処理（後戻り処理）、またオブジェクト指向のためのオブジェクト間メッセージ通信といった大きな処理を実行時に行う必要がある。このため ESP の高速化を目標に各種のハードウェア方式を採用し、コンパクトなハードウェアにもかかわらず、世界最高水準の推論性能を実現している。以下にその主なものについて述べる。

(1) タグアーキテクチャ

ESP や Prolog のデータ操作の基本はユニフィケーションであり、従来の言語との大きな違いの一つである。ESP で取り扱う変数は、値が定まっていない状態（未定義状態）を持ち、このような変数には任意のデータを格納することができる。例えば、プログラムの流れによって、ある場合は整数を、またある場合は配列のような構造体を同じ変数に格納することができる。値が定まった変数どうしのユニフィケーションでは、二つのデータが同じ形であること（例えば整数と整数、構造体と構造体など）と、同じ値であることが要求される。PSI/UX シリーズでは、変数が未定義か否かや、データの形が何であるかを高速に判別するためにタグアーキテクチャを採用している。すなわち、すべてのデータはその値（数値やアドレス）を示す32ビットのフィールドのほかに、データの形が何であるかを示す8ビットのタグを持っている。したがって、各レジスタ、各メモリワードは40ビットの構成となっている。また、タグ判定のために、強力な専用ハードウェア機構を備えており、ユニフィケーションをはじめ、ESP や Prolog の各種データ操作の高速化を実現している。

(2) パイプライン制御

PSI/UX シリーズは、Warren の提案した仮想マシン（WAM）の命令セットを拡張した機械語命令セットを持ち、ESP プログラムはこの機械語命令列にコンパイルされて実行される。機械語命令は、推論実行時に最適化した五つのパイプライン ステージに分割され、複数の機械語命令が並列に実行される。5段のパイプラインの各ステージは順に、D

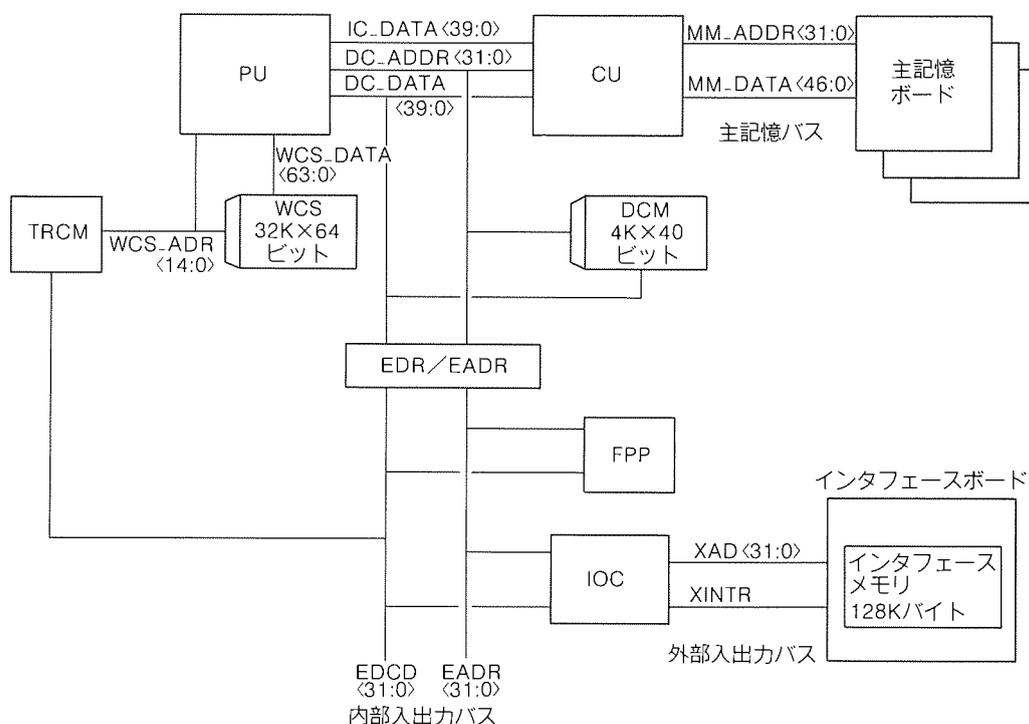


図3. 推論部のハードウェア構成

(デコード), A (アドレス計算), R (データ読出し), S (データセットアップ), E (実行)に分かれており, E ステージはマイクロプログラムによって制御されている。パイプライン上流ステージにおいても, Prolog 特有のデリフェレンス処理を自動的に実行する機構を持っており, 性能向上及びマイクロプログラム開発の効率化を図っている。さらに, パイプライン制御の採用に合わせて, キャッシュの方式についても命令キャッシュとデータキャッシュを分離するハーバードアーキテクチャを採用することにより, ステージ間のメモリアクセス競合による性能低下を抑えている。これらの機能により, プログラム全体の実行時間を大幅に短縮した。

(3) マイクロプログラム制御

ESP, Prolog 特有のバックトラック処理や組み込み述語の実行は, 実行制御用のメモリ (WCS) に専用マイクロ命令でプログラム(マイクロプログラム)しており, 高速に行われる。バックトラック処理とは, ある解を仮定して推論を進めて行き矛盾を生じるとその解を無効化し, 新たに仮定しなおして推論を進めて行く機能のことであるが, このバックトラック処理についてはハードウェア的に高速にサポートするために, トレイルバッファと呼ぶ専用レジスタを導入・内蔵化し高速化を図っている。

3.2 ハードウェア構成

PSI/UX シリーズのハードウェアは, 推論部と汎用部から構成されている。推論部のハードウェアは, 最先端の半導体技術を採用して開発した2種類の推論 VLSI をプロセッサとして使用し, また汎用部は基本処理装置に汎用のマイクロプロセッサを使用し, 両者の間はインタフェースボードを介して VME バスで接続されている。

図3に推論部のハードウェア構成を示す。推論部のハードウェアは, 最先端の VLSI や LSI を積極的に使用し, CPU ボードを1枚で実現し, 推論性能の向上とともに小型化・高信頼性化を図った。また, 推論部の主記憶には4Mビット DRAM 素子を採用し, 最大実装メモリ240Mバイトと大容量メモリを実現した。さらに, ECC (Error Checking and Correction: 1ビットエラーの検出と訂正及び2ビットエラーの検出を行う機能)を標準装備して高信頼性を図り, またCPU ボードと主記憶ボードは推論部専用のシャーシに実装することにより, 拡張性を実現している。

図4に推論部のCPUボード, 図5に80Mバイトメモリボードの外観を示す。CPUの中心となるのがPUとCUの2種類の推論 VLSI であり, 最先端のセルベース方式で開発した VLSI である (PUは0.8 μ mプロセス採用)。表2にPU, CUの諸元, 図6にPU, 図7にCUの構成を示す。

(1) PU (Processing Unit)

PUは5段のパイプラインで制御され, ESP, Prolog を高速に実行することができる。

(2) CU (Cache Unit)

CUは命令キャッシュ(5Kバイト), データキャッシュ(20Kバイト)及び主記憶インタフェースで構成され, PUと主記憶間のデータ転送を高速に行うことができる。

(3) FPP (Floating Point Processor)

単精度/倍精度の浮動小数点演算及び関数演算を高速に行うためのもので, 浮動小数点演算専用LSIを中心に構成されている。

(4) IOC (Input Output Control)

内部入出力バスを外部入出力バスに変換するための回路であり, 外部入出力バスにはインタフェースボードが接続される。IOCは, 上記の機能のほかにシステムタイマ, 割込み

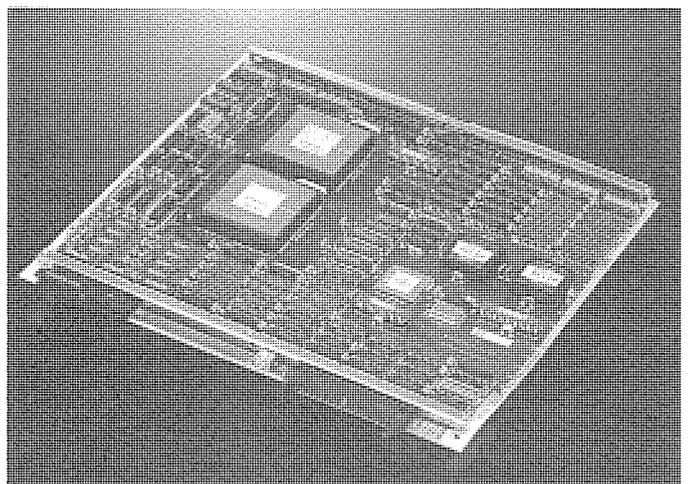


図4. CPUボード(推論部)

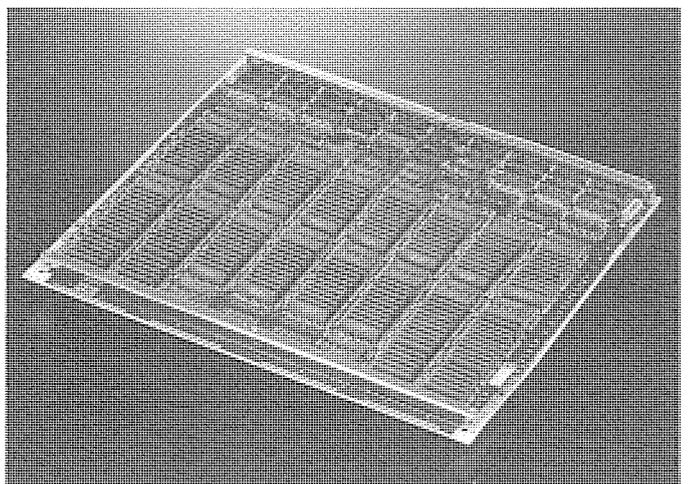


図5. 80Mバイトメモリボード(推論部)

表2. PU, CUチップの諸元

	PU	CU
デバイス	CMOS 0.8 μ m	CMOS 1.0 μ m
トランジスタ数	384K	610K
チップサイズ(mm)	16.3 \times 13.6	14.5 \times 14.8
パッケージ	361 pin PGA	
クロック	65ns (15.4MHz)	

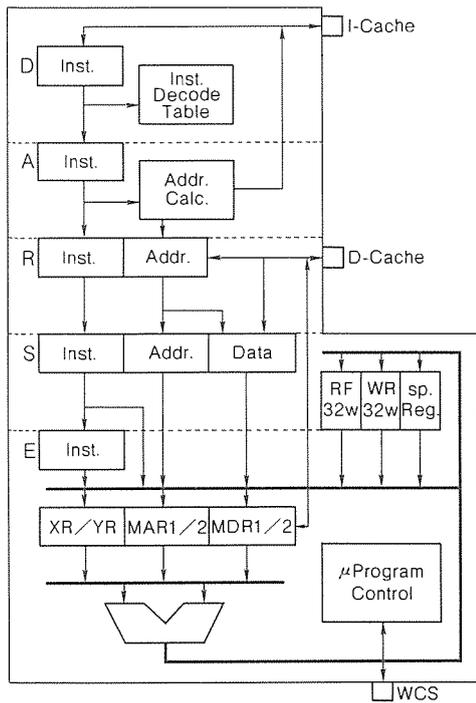


図 6 . PU (Processing Unit) の構成

制御，デバッグ機能等も提供している。

(5) インタフェースボード

交信用のインタフェースメモリ (128Kバイト) を搭載し、汎用部の VME バスに接続される。インタフェースメモリは、推論部と汎用部のいずれからも高速にアクセスされる。

4. 高速化技術と性能評価

4.1 高速化技術

PSI/UX シリーズは、《MELCOM PSI II》に比較して大幅な性能向上を図るために、最先端の VLSI 技術を用いるだけでなく、以下のような種々のアーキテクチャ上の変更及び改良を行った。

(1) 論理型言語向きパイプライン制御の導入

5 ステージのパイプラインを導入し、通常の計算機で用いられているデコード、アドレス計算、データフェッチに加えて、ESP や Prolog 等の論理型言語の実行に必ず (須) なデータのタイプチェックもパイプライン化し、実行ステージの負荷を大きく軽減し性能向上を図った。

(2) ハーバード アーキテクチャの採用

キャッシュメモリを命令用とデータ用に分離する、いわゆるハーバード アーキテクチャの採用によって、パイプラインステージ間のメモリアクセス競合による性能低下を抑制し、性能向上を図った。パイプライン制御では、各ステージは同時に実行されるので、命令キャッシュとデータキャッシュが同時にアクセスされることもあり、ハーバード アーキテクチャを採用することは性能向上に有効である。

(3) トレイルバッファの導入

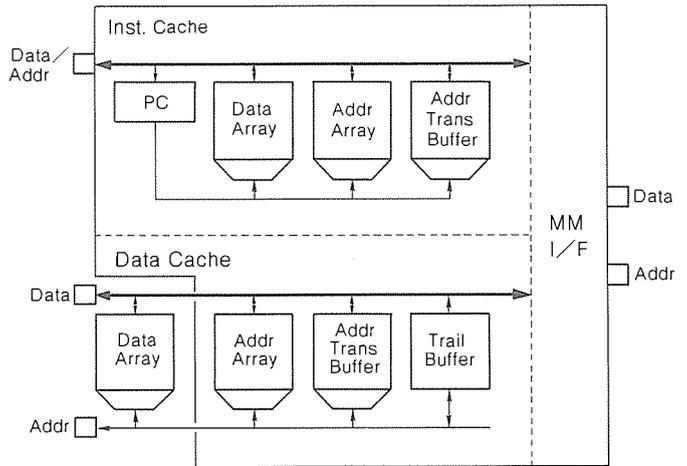


図 7 . CU (Cache Unit) の構成

表 3 . PSI/UX シリーズのベンチマーク性能

ベンチマーク	性能 (KLIPS)	処理時間 (ms)	対 PSI II 性能比
APPEND	1,393.3	0.00072	3.24
LISP-TARAI	0.183	306.40	2.61
LISP-FIB	191.3	38.79	2.66
LISP-NREV	232.2	15.06	2.88
QSORT50	422.7	1.44	2.24
NREV30	1,074.7	0.47	2.96
8QUEEN (ONE)	769.7	7.48	2.80
8QUEEN (ALL)	822.7	121.55	2.80
RVSBL	230.5	5.64	2.46
SREV4	434.0	0.49	3.19
SREV5	332.8	2.57	2.42
SREV6	281.3	12.13	2.23
TRAV1000	332.3	6.38	2.50

ESP, Prolog では、バックトラック処理が発生すると、それまでに行った変数への代入をリセットしなければならない。このため、変数への代入の際にはそのアドレスをトレイルスタックと呼ぶスタックメモリに記憶しておく必要がある。トレイルバッファはトレイルスタックの最上部のキャッシュであり、変数の代入のためのメモリ書込み操作の際に、そのアドレスが自動的にトレイルバッファに書き込まれる。データが無効と判定されるとトレイルバッファからアドレスが取り出されて、このアドレスをもとにデータがアクセスされ無効化される。このように、トレイルバッファの導入によってバックトラック処理の高速化を図った。

以上のようなアーキテクチャ上の改良・工夫と、半導体技術の進歩による遅延時間短縮などの相乗効果を図り、大幅な推論性能の向上を実現した。

4.2 性能評価

PSI/UX シリーズの代表的な Prolog のベンチマークプログラムの実行性能を表 3 に示す。参考までに《MELCOM

表4. プログラム実行特性

項目	プログラム	ベンチマーク プログラム		応用プログラム	
		8QUEEN (ONE-SOL)	NAIVE- REVERSE	コンパイラ	最短経路問題
1	対 PSI II 性能比 (PSI/UX/PSI II)	2.80	2.94	2.10	2.22
2	データ キャッシュヒット率	0.980	0.974	0.983	0.976
	命令キャッシュヒット率	0.999	1.000	0.935	1.000
3	実行ステージ稼働率	0.868	0.927	0.707	0.779

PSI II》との性能比も付記したが、全般的に《MELCOM PSI II》の2～3倍以上の実行性能向上が得られている。

さらに、2種類ずつのベンチマーク プログラム、応用プログラムについて、PSI/UX シリーズのプログラム実行特性及び PSI II 性能比を表4に示す。同表からベンチマークプログラムと応用プログラムの間に PSI II との性能比に差があることが分かるが、この差は命令キャッシュのヒット率、実行(E)ステージの稼働率(実行ステージが動作していたクロック数/全実行クロック数)などに依存する。通常、コンパイラのような大規模プログラムでは、命令キャッシュのヒット率が下がる傾向があるので、このことが性能向上を抑制する一つの要因となっている。また、実行ステージの稼働率は性能値と相関があり、性能向上の高いプログラム程実行ステージの稼働率も大きい傾向がある。

以上のように、全体的に《MELCOM PSI II》の2～3倍以上の高性能が得られていることを確認したが、これはVLSI化によるサイクルタイムの短縮だけでなく、ESP, Prolog 特有の処理を十分に考慮したパイプラインの導入やキャッシュメモリの構成など、アーキテクチャ上の大幅な改良に負うところが大きい。

5. む す び

以上、PSI/UX シリーズの概要及び特長などについて、主にハードウェアの面から紹介した。

PSI/UX シリーズは、社会のあらゆる分野で求められている知識情報処理の実現に最適な環境を提供する高性能 AI ワークステーションとして期待されている。今後も機能、性能の強化及びレパートリーの拡充を計画し

ており、ユーザーの方々の要望にこたえて製品の改良、開発に注力していく予定である。

最後に、PSI/UX シリーズの開発に際して御指導をいただいた関係各位、特に ICOT 研究部内田俊一部長をはじめとする関係各位に深く謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- (1) 鷹取東朋, 益田嘉直, 川上孝仁, 池田守宏, 中島 浩: 三菱 AI ワークステーション 《MELCOM PSI》, 三菱電機技報, 60, No. 9, 6~10 (1986)
- (2) Nakashima, H., Nakajima, K.: Hardware Architecture of the Sequential Inference Machine: PSI-II, Proc. of the 4th Symposium on Logic Programming, 104~113 (1987)
- (3) 京 敬人, 田辺隆司, 立野裕和, 中島 浩, 近藤誠一: LSI 化高性能 AI ワークステーション 《MELCOM PSI II》, 三菱電機技報, 62, No. 2, 61~66 (1988)
- (4) 池田守宏, 梁田和彦, 吉永俊郎: AI ワークステーション 《MELCOM PSI II》, 三菱電機技報, 63, No. 7, 27~31 (1989)
- (5) 中島 浩: VLSI 記号処理プロセッサ, 情報処理, 31, No. 4, 485~491 (1990)

高機能・小型・経済化 I-SMD-B 形加入者線多重伝送装置

羽根稔尚* 鹿野朝生* 上田広之* 水川繁光* 本島 史門之** 浅芝慶弘**

1. ま え が き

日本電信電話(株)(NTT)は、昭和63年4月からサービス統合デジタル網(ISDN)基本インタフェースサービスである“INS ネット64”のサービスを提供している。

“INS ネット64”を提供するユーザー収容形態としては、I-インタフェース加入者系モジュール(ISM)設置局近傍のユーザーに対応する直接収容と非設置局近傍のユーザーに対応する遠隔収容の二つの形態を考える必要がある。

遠隔収容では、直接ユーザー宅内に遠隔装置を設置する宅内設置形態と、ユーザー近傍のNTT局等に遠隔装置を設置する局設置形態がある。I-SMD-B形加入者線多重伝送装置(1形)は、後者の局設置形態であり、昭和63年4月からサービスに供されている⁽¹⁾⁽²⁾。

本稿では、従来装置に比べ大幅な小型・経済化と高機能化をバージョンアップにより実現したI-SMD-B形加入者線多重伝送装置(1形)について述べる。

2. 方式概要⁽³⁾⁽⁴⁾

I-SMD-B形加入者線多重伝送方式は、ISMの設置されていないNTT局等に遠隔装置を設置し、ISDN基本インタフェース“INS ネット64”ユーザーを収容したのち多重化信号としてデジタル多重伝送路を介してISM設置局にある加入者線交換機に接続する方式である。

この方式には、1形(局設置形態)及び2形(宅内設置形態)があり、ISM非設置局等に設置する遠隔装置(I-RT: I-Remote Terminal)、ISM内に設置する局装置(I-CT: I-Central Terminal)及びI-RT~I-CT間を結ぶデジタル多重伝送路から構成される。この方式の基本構成を図1によって説明する。また、主要諸元を表1に示す。

(1) I-RT1 MUXによる遠隔収容

ISM非設置NTT局に、I-RT1 MUXを設置し、A/I-SLT、IDSUを介して“INS ネット64”ユーザーを収容する。

(2) I-RT1 MUXによるI-CT2の縦続接続

ISM非設置NTT局管内に、“INS ネット64”ユーザーがある程度集中して現れた場合、該当NTT局にI-RT1 MUX、I-CT2を設置し、I-RT2を介してユーザーを収容する。

(3) RT0方式

ISM非設置のD70交換機設置NTT局において、極小数の

“INS ネット64”ユーザーを収容する場合、A/I-SLTを設置し、IDSUを介してユーザーを収容する。

(4) I-RT2による直接収容

ISM設置NTT局管内に、“INS ネット64”ユーザーがある程度集中して現れた場合、ISMにI-CT2を設置し、I-RT2を介してユーザーを収容する。

(5) その他装置の接続

I-CT1、I-RT1の警報収集処理を行う装置として、I-CT COM、I-D ALM、I-RT ALMがある。I-CT COM、I-D ALMは、I-CT1、I-CT2の警報処理と、加入者無線方式用装置、衛星通信方式用装置及び一次群速度インタフェース“INS ネット1500”用局装置(1.5M CT)接続時の警報処理を行うことができる。また、I-RT ALMは、I-RT1 MUXの警報処理を行うほかに一次群速度インタフェース用遠隔装置(1.5M RT)接続時の警報処理を行う方式となっている。

3. 装置概要

I-SMD-B形加入者線多重伝送装置(1形)は、ISM内に設置するI-CT1、I-CT COM、I-D ALMとISM非設置NTT局に設置するI-RT1 MUX、I-RT COM及びI-RT ALMから構成される。

この装置は、I-CT~I-RT間を結ぶ中継伝送路とのインタフェースとしてデジタル二次群伝送路インタフェース(6.312Mbps, B8ZS符号)、デジタル一次群伝送路インタフェース(1.544Mbps, B8ZS符号)に加えて局内8Mインタフェース(8.192Mbps, MD符号)、局内2Mインタフェース(2.048Mbps MD符号)を持っている。I-CT、I-RTの外観を図2、図3に示す。

3.1 局装置(I-CT)

3.1.1 1形局装置(I-CT1)

このユニットは、6.3M伝送路インタフェースパッケージ(6.3M IF)、1.5M伝送路インタフェースパッケージ(1.5M IF)、8M局内インタフェースパッケージ(8M IF)、2M局内インタフェースパッケージ(2M IF)をプラグイン実装することにより、最大60加入のデジタル加入者回線を収容可能であり、以下の機能を持つ。

(1) 伝送路インタフェース及び局内インタフェースパッケージを以下の形態で実装可能である。

(a) 6.3M IF又は8M IFを最大2組

(b) 6.3M IF又は8M IFを1組及び1.5M IF又は2M

IF を最大4組の混在

(c) 1.5M IF 又は 2M IF を最大8組

(2) 基本インタフェース用信号装置 (ISEB) とのインタフェースを形成し、制御・状態信号の圧縮・伸長等のフレーム変換を行い、伝送路又は局内インタフェース パッケージを介して加入者線信号の送受信を行う。

(3) 6.3M IF 又は 1.5M IF を用いて端局中継装置又は多重化装置と接続することにより、デジタル二次群又はデジタル一次群伝送路信号の終端 (フレーム同期終端、波形整形、CRC-5 又はCRC-6 による誤り率監視) を行う。

(4) 8M IF 又は、2M IF を用いて同期端局装置と接続することにより、局内 8M 又は局内 2M 信号の終端 (フレーム

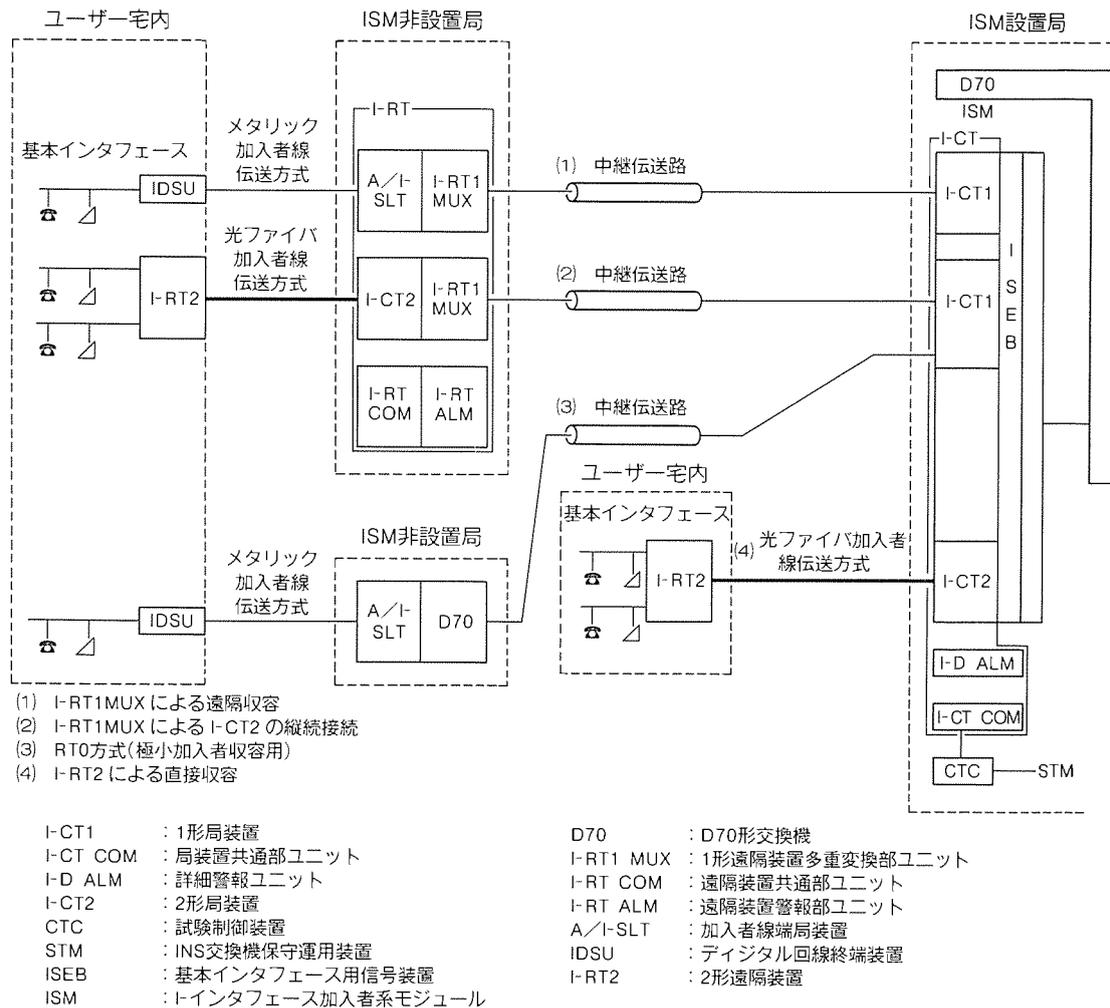


図1. I-SMD-B形加入者線多重伝送方式の基本構成

表1. 方式主要諸元

項目	内容	
	1形 (I-CT1/I-RT1 MUX)	2形 (I-CT2/I-RT2)
収容回線	INS ネット64 最大60回線/システム (信号伝送速度144kbps)	
RT 収容加入者数	最大60加入/RT	最大36加入/RT
接続交換機	D70形自動交換機	
交換機インタフェース	4Mハイウェイ	
使用伝送路又は局内インタフェース	デジタル二次群又はデジタル一次群伝送路 局内8M又は局内2M	光加入者線伝送路 (6.312Mbps)
保守試験方法	直接収容の場合とほぼ同一	直接収容に比べ大幅に簡略化
故障OCU対策	遠隔で故障OCU切替え可能	(遠隔で故障回線終端回路を暫定切替え可)
警報転送方式	CT: 局内情報転送網 (CAP-NET) RT: 局内情報転送網 (CAP-NET) 又は従来方式	CT: 局内情報転送網 (CAP-NET) RT: 伝送路フレーム中のシステムデータリンクによりCTへ転送

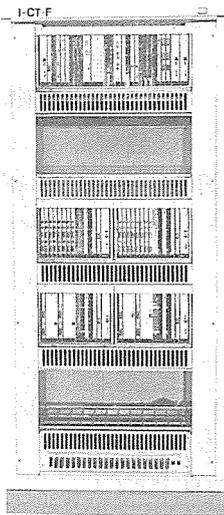


図 2 . 局装置(I-CT)の外観

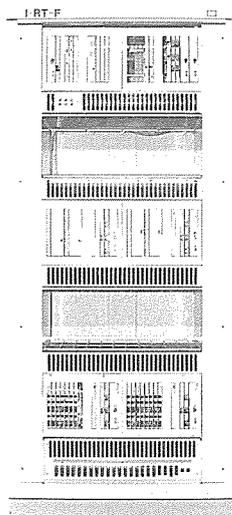


図 3 . 遠隔装置(I-RT)の外観

同期終端、波形整形)を行う。

(5) 伝送路又は局内インタフェースフレーム中のシステムデータリンクを用いて、警報情報信号、試験制御情報信号、加入者線試験情報信号の送受信を行う。

(6) その他装置との接続

加入者無線方式用装置、衛星通信方式用装置と接続することにより、“INS ネット 64”ユーザーの収容エリア拡大を行う。

3.1.2 局装置共通部ユニット (I-CT COM)

このユニットは、クロック部、警報監視部及び試験部から構成され、最大16システムの局装置多重変換ユニット類 (I-CT1, I-CT2, 1.5M CT) へのクロック供給分配、警報監視及び試験制御情報処理を行う。以下にこのユニットの機能概要を示す。

- (1) クロック部は、デジタルクロック供給装置 (DCS) から 64kHz + 8kHz 複合バイポーラ信号、1.544MHz 及び 6.312MHz 正弦波信号を受信して、このユニットに接続される局装置多重変換ユニット類で必要なクロック信号を作成し供給分配する。クロック受信部と PLO 部は冗長構成をとっており、クロック入力信号及び PLO 動作を常時監視し、異常時には正常系への自動切替えを行う。
- (2) 警報監視部は、このユニット内及び局装置多重変換ユニット類の警報監視、各種警報ランプ表示、地気情報発出を行う。また、CAP-NET インタフェースにより、INS 交換機保守運用装置 (STM) 等へ詳細警報情報を局内情報転送網 (CAP-NET) を介してパケットデータとして送出する。
- (3) アラーム表示パッケージ群を実装することにより、多重変換ユニットで発生した警報の詳細表示を行う。
- (4) 試験部は、STM から試験制御装置 (CTC) を介して送られてくる試験制御情報を受信し、対向する I-RT に収容されるデジタル加入者線の試験を行う。
- (5) その他装置接続時の警報処理を行う。

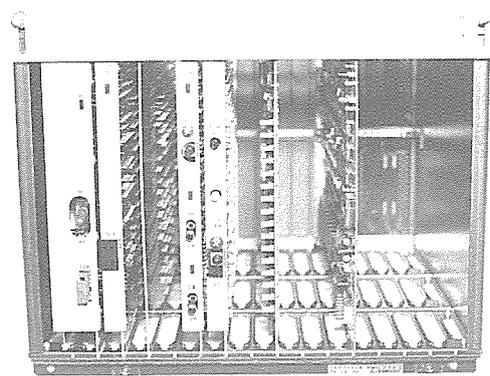


図 4 . 詳細警報ユニット(I-D ALM-U)の外観

(a) 加入者無線方式用装置及び衛星通信方式用装置

(b) 一次群速度インタフェース“INS ネット 1500”用局装置 (1.5M CT)

(c) RT0 方式使用時の遠隔側設置装置

3.1.3 詳細警報ユニット (I-D ALM)

このユニットは、I-CT COM の警報監視部と同等の機能を持つほかに、対向する I-RT からの警報転送情報を収集し、その詳細情報をパケットデータとして CAP-NET インタフェースによって STM へ送出する。

このユニットは、警報監視情報を地域伝送路網運用保守システム (CAROLINE) と STM の両方に通知する必要がある場合に使用され、I-CT COM と局装置多重変換ユニット類との間に割り込む形で接続付加されることにより、CT~RT 間の網的な警報監視が可能となる。I-D ALM の外観を図 4 に示す。

局装置における小型、経済化項目及び高機能化項目を表 2 に示す。

3.2 遠隔装置 (I-RT)

3.2.1 1形遠隔装置多重変換部ユニット (I-RT1 MUX)

このユニットは、6.3M IF、1.5M IF、8M IF 及び 2M IF をプラグイン実装することにより、最大 60 加入のデジタル加入者回線を収容可能であり、以下の機能を持つ。

(1) 伝送路インタフェース及び局内インタフェース パッケージを以下の形態にて実装可能である。

- (a) 6.3M IF 又は 8M IF を最大 2 組
- (b) 6.3M IF 又は 8M IF を 1 組及び 1.5M IF 又は 2M IF を最大 4 組の混在
- (c) 1.5M IF 又は 2M IF 最大 8 組

(2) 加入者線端局装置 (A/I-SLT) とのインタフェースを形成し、制御・状態信号の圧縮・伸長等のフレーム変換を行い、伝送路又は局内インタフェース パッケージを介して加入者線信号の送受信を行う。

(3) 6.3M IF 又は 1.5M IF を用いて端局中継装置又は多重化装置と接続することにより、デジタル二次群又は、デジタル一次群伝送信号の終端を行う。

表 2. I-CT 小型・経済化, 高機能化項目一覧

ユニット名	小型・経済化項目(当社比)	高機能化項目
I-CT 1	①インタフェース パッケージの小型化 6.3M IF 3枚→2枚 1.5M IF 2枚→1枚 ②LSI 化によるユニットサイズの小型化 1/2 ③低消費電力化 1/2以下	①8M, 2M 局内インタフェースの追加 ②加入者無線方式用装置, 衛星通信方式用装置の接続 ③RT0 方式の収容 (極小 I 加入者収容用)
I-CT COM	—	①クロック部 PLO 0/1系冗長構成によるシステム信頼性の向上 ②アラーム表示パッケージの追加実装による警報の詳細表示。 ③その他装置接続時の警報処理 (1.5M CT, 加入者無線方式, 衛星通信方式, RT0 方式)
I-D ALM	—	①I-CT COM 内クロック部詳細警報の収集 ②その他装置接続時の警報処理 (1.5M CT, 加入者無線方式, 衛星通信方式, RT0 方式)

装置多重変換ユニット類の警報監視を行う。以下に機能概要を示す。

- (1) I-RT COM 及び遠隔装置多重変換ユニット類の警報監視, 各種警報ランプ表示, 地気情報の発出を行う。
- (2) 地域伝送路網運用保守システム (CAROLINE) への警報情報送出インタフェースとして詳細地気インタフェースを持ち, 地気インタフェースを用いて詳細警報情報の送出を行う。また, 別タイプとして CAP-NET インタフェースを持ち, 詳細警報情報を局内情報転送網 (CAP-NET) を介してパケットデータ

(4) 8M IF 又は 2M IF を用いて同期端局装置と接続することにより, 局内 8M 又は局内 2M 信号の終端を行う。

(5) 伝送路又は局内インタフェースにあるシステムデータリンクを用いて, 警報情報信号, 試験制御情報信号, 加入者線試験情報信号の送受信を行う。

3.2.2 遠隔装置共通部ユニット (I-RT COM)

このユニットは, クロック部と試験部から構成され, 最大 8 システムの遠隔装置多重変換ユニット類 (I-RT1 MUX, 1.5M RT) へのクロック供給分配及び試験制御情報処理を行う。以下に機能概要を示す。

(1) クロック部には, 遠隔装置多重変換ユニット類からの伝送路抽出クロック (6.312MHz 又は 1.544MHz) を受信し, それを基準クロックとして必要なクロックを生成, 分配供給するタイプ, 及び DCS から 64kHz+8kHz (+0.4kHz) 複合バイポーラ信号, 1.544MHz 及び 6.312MHz 正弦波信号を受信して, 必要なクロックを生成して分配供給するタイプがある。それぞれ, クロック受信部及び PLO 部は冗長構成をとっており, クロック入力信号及び PLO 動作を常時監視し, 異常がある場合は正常系への自動切替えを行う。

(2) クロック送出パッケージを実装することにより, 伝送路抽出クロック (6.312MHz 又は 1.544MHz) を基準クロックとして DCS へ供給する。また, 64kHz+8kHz+0.4kHz 複合バイポーラ信号を他装置へ供給する。

(3) 試験部は各種試験制御情報, 被試験媒体引込み線を, このユニット内に実装される加入者線試験パッケージに接続することにより, メタリック加入者線の特性等 (ループ抵抗, 絶縁抵抗, 容量) の試験を行う。

(4) 縦続接続された I-CT2 へのクロック供給分配を行う。

3.2.3 遠隔装置警報部ユニット (I-RT ALM)

このユニットは, I-RT COM 及び最大 8 システムの遠隔

として送出するものもある。

(3) アラーム表示パッケージ群を実装することにより, 多重変換ユニット類で発生した警報の詳細表示を行う。

(4) その他装置接続時の警報処理を行う。

一次群速度インタフェース “INS ネット 1500” 用遠隔装置 (1.5M RT)

遠隔装置における小型・経済化項目, 高機能化項目を表 3 に示す。

4. 部 品

加入者系伝送装置は, ユーザー対応に設置され使用効率にかかわらず固定的にコストがかかるため, 装置の小型・経済化, 低消費電力化が必要であり, 従来装置においても LSI 化, モジュール化を図っている⁽²⁾。この装置では, より一層の小型・経済化, 低消費電力化を実現するため徹底的な LSI 化とモジュール化による高密度実装を行った。

4.1 L S I

表 4 は当社で新たに開発した主要 LSI を示しており, 以下にその概要を示す。

(1) デジタル二次群インタフェース用 LSI

デジタル二次群伝送路インタフェース用 LSI で, 6.3M IF の小型・高密度化を図っている。

(2) デジタル一次群インタフェース用 LSI

デジタル一次群伝送路インタフェース用 LSI で, 1.5M IF の小型・高密度化を図っている。

(3) 4M ハイウェイ インタフェース用 LSI

I-CT1 に実装され, 基本インタフェース用信号装置 (ISE B) との接続点である 4M ハイウェイの終端を行う。

(4) 遠隔装置データリンク終端用 LSI

I-RT1 MUX に実装され, 警報系信号及び試験系信号のフ

表3. I-RT 小型・経済化, 高機能化項目一覧

ユニット名	小型・経済化項目(当社比)	高機能化項目
I-RT1 MUX	①インタフェース パッケージの小型化 6.3M IF 3枚→2枚 1.5M IF 2枚→1枚 ②LSI化によるユニットサイズの小型化 1/2 ③低消費電力化 1/2以下	①8M, 2M 局内インタフェースの追加 ②伝送路対応で2種類あったユニットの統合 RT1A(6.3M×2)/RT1B(1.5M×2) ↓ I-RT1(6.3M/1.5M/8M/2M) ③試験機能の向上
I-RT COM	—	①クロック部 PLO 0/1系冗長構成によるシステム信頼性の向上
I-RT ALM	—	①アラーム表示パッケージの追加実装による警報の詳細表示。 ②その他装置接続時の警報処理 (1.5M RT)

表4. 新しく開発した主要 LSI

品名	形名	機能/プロセス
デジタル二次群インタフェース LSI	M60032-0114S	6.312Mbps デジタル伝送路インタフェース CMOS マスタスライス
デジタル一次群インタフェース LSI	M60032-0119S	1.544Mbps デジタル伝送路インタフェース CMOS マスタスライス
4M ハイウェイ インタフェース LSI	M60035-0121S	4Mハイウェイ インタフェース CMOS マスタスライス
遠隔装置データリンク終端 LSI	M60037-0151S M60037-0152S M60037-0153S	信号フォーマット変換/多重処理 CMOS マスタスライス
遠隔装置 TST インタフェース LSI	M60032-0118S	保守系試験信号終端 CMOS マスタスライス

フォーマット変換, 多重化処理を行う。

(5) 遠隔装置 TST インタフェース用 LSI

I-RT1 MUX に実装され, 保守試験データリンク信号の終端を行う。

4.2 モジュール

この装置が持つインタフェースには, デジタル二次群, デジタル一次群, 局内 8M, 局内 2M, 4M ハイウェイ及び CAP-NET インタフェースがある。このうち, 新たに機能追加された, 局内 8M, 局内 2M インタフェース部及び CAP-NET インタフェース部のモジュール化を行った。表5に今回開発したモジュールをまとめる。モジュール化に当たっては, パッケージの実装間隔を考慮し, 表面実装部品の使用及び実装技術によってモジュール高 8.9mm 以下を実現している。

5. むすび

以上, バージョンアップされた I-SMD-B 形加入者線多重伝送装置 (1 形) について, その機能, 部品を中心に述べた。この装置は“INS ネット 64” (ISDN 基本インタフェース) サービス提供地域の経済的かつ早期の拡大に寄与し, NTT の ISDN サービス全国展開によって実用に供されている。

最後に, 日ごろから多大の御指導を賜っている NTT ネットワークシステム開発センタを始めとする NTT の関係各位

表5. 標準インタフェース モジュール

モジュール名	機能/外形寸法
2M-INF (CMI) モジュール	2M 伝送路インタフェース モジュール 伝送符号: CMI 外形寸法: 40×60×8.9 (mm)
8M-INF (CMI) モジュール	8M 伝送路インタフェース モジュール 伝送符号: CMI 外形寸法: 40×60×8.9 (mm)
1M-INF (CMI) モジュール	CAP NET 用トランシーバモジュール 伝送符号: CMI 外形寸法: 40×40×8.9 (mm)

に深く感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 小宮菱一, 綿谷秀生, 岡坂定篤: INS 加入者系伝送システム, NTT R&D, **38**, No. 7, 729~738 (1989)
- (2) 部谷文伸, 関川一彦, 谷本敏明, 水川繁光: I-SMD-B 形加入者線多重伝送装置, 三菱電機技報, **63**, No. 4, 330~332 (1989)
- (3) 滝川好比郎, 黒滝光明, 綿谷秀生: ISDN ネットサービスを普及拡大する新しい加入者線伝送システム, NTT 技術ジャーナル, **2**, No. 5, 35~37 (1990)
- (4) 綿谷秀生, 滝川好比郎: ISDN 加入者線多重伝送装置の機能高度化, NTT R&D, **39**, No. 8, 1179~1186 (1990)

新アルゴリズムによる二次元適応型 YC分離フィルタ(エキスパート DCF)

大橋知典* 賀井俊博*

1. ま え が き

民生用映像機器では、カラーテレビ受像機の大画面化及びVTRやレーザーディスク等の信号源の高品位化によって画像の高画質化が一段と要求されている。

このような中、テレビジョン信号から輝度・色信号を分離するフィルタ技術の進歩が著しい。YC分離と呼ばれるこの技術では、初期の帯域分割による一次元YC分離からライン遅延線を使った二次元くし形フィルタ、さらにはフレームメモリを使った三次元のフィルタも登場している。しかし、大容量メモリを使う三次元フィルタは、コスト増が大きく民生用の要求に合にくい。したがって、二次元の手法で従来の画質劣化を改善するYC分離フィルタが望まれていた。

以前に当社から発表した二次元適応型YC分離フィルタ⁽¹⁾⁽²⁾は、画像のフィールド内の相関を基に最適なフィルタを切り替えてYC分離を行うという極めて合理的な方式であり、ドット妨害を大幅に抑圧できるという利点を持っていた。しかし、画像の相関検出が完全なものではなく、クロスカラー発生や斜め解像度の劣化といった問題があった。

今回、この二次元適応型フィルタの画像相関検出アルゴリズムを再検討し、周波数領域で解析を行うことでクロスカラーや斜め解像度劣化の少ない二次元適応型YC分離フィルタを開発し、LSI化したので紹介する。

2. 二次元データ配列と周波数スペクトル

今回開発した適応型YC分離フィルタの動作原理を説明する前に、デジタル化されたNTSC映像信号の二次元データ配列と周波数スペクトルについて簡単に説明する。

図1は $4f_{sc}$ (f_{sc} は色副搬送波周波数)で標本化された映像信号が、フィールド内でどのように配置されるかを示すもの

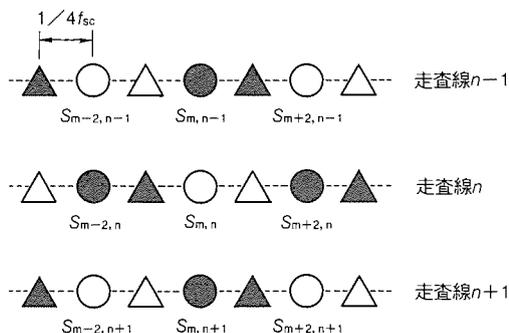


図1. 二次元データ配列⁽²⁾

である。図において、走査線 n 上の標本点 $S_{m,n}$ とその右隣の標本点 Δ のように、同一走査線上で互いに隣合う標本点間では、色副搬送波の位相が90度異なる。したがって、色副搬送波の位相に着目した場合、 $S_{m-2,n}$ に対して $S_{m,n}$ は逆相、 $S_{m+2,n}$ は同相となる。また、隣接走査線間では色副搬送波の位相が反転するので $S_{m-2,n-1}$ と $S_{m-2,n}$ や $S_{m,n-1}$ と $S_{m,n}$ なども逆相の関係にある。図1では、同相の点は同じ記号で表し、白黒で逆相を表した。

NTSC方式の映像信号は、輝度信号(Y)と色信号(C)が周波数多重され帯域を共有して伝送される。図2はこの様子を二次元周波数領域で示したものである。

図において、原点を含む中央の大きな菱形で表した領域が輝度信号のスペクトルで、その周辺の四つの正方形の領域が色信号のスペクトルを表している。色信号スペクトルの中心の座標は $(\pm f_{sc}, \pm f_1/2)$ [$f_{sc}=3.58\text{ MHz}$, $f_1=262.5\text{ cph}$]である。YC分離フィルタはこの複合映像信号から、輝度信号と色信号を分離するものであるが、分離が完全でないとそれぞれの信号間にクロストークが発生し、クロスカラーやクロスルミナンス(ドット妨害)などの画質劣化が生じる。

3. 二次元適応型YC分離フィルタの原理

ここで述べる二次元適応型YC分離フィルタは、小領域において画像は水平又は垂直方向の一方又は両方に相関が強いという統計的性質に基づくものであり、相関の強い方向の標本値を用いてYC分離を行うものである。

二次元適応型YC分離フィルタの構成について説明する。図3は、二次元適応型YC分離フィルタの構成を示すブロック図である。このフィルタは、映像信号から色信号を抽出す

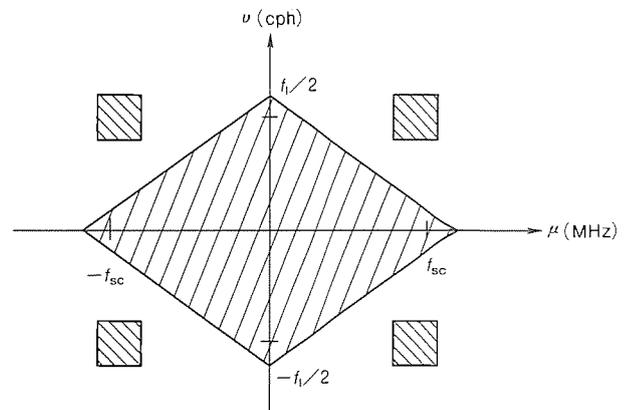


図2. NTSC信号のスペクトル⁽²⁾

るフィルタとして、水平方向のバンドパスフィルタと垂直方向のバンドパスフィルタとこれらを縦続接続した水平・垂直バンドパスフィルタ（以下“BPF”という。）を備え、色信号について画素ごとに水平と垂直それぞれの方向の画像の変化量（相関の度合：ここでは非相関で定義している。）を検出し、上記三つのBPF出力を切り替えて色信号を分離する。また、輝度信号は色信号を複合映像信号から引くことで得られる。

具体的な例で示す。図4は画像の相関に応じた最適なBPFによる色信号の分離を表したものである。例えば、水平方向に相関が強く、垂直方向に相関が弱い画像では、色信号のスペクトルは図4(a)のように垂直方向に広がっており縦長の形となる。この色信号を完全に分離するには、破線で示す水平BPFで斜線部の色信号を抜きとればよいことが分かる。

同様に、垂直方向に相関が強く、水平方向に相関が弱い画像では、図4(b)に示すように垂直BPFで色信号を分離すればよい。また、水平方向、垂直方向共に相関が強い画像では、図4(c)に示すような水平・垂直BPFで色信号を分離する。水平と垂直方向の相関検出は画素ごとに行っており、画素単位のフィルタ出力を適応的に切り替えることで色信号を分離している。

このように、適応型YC分離フィルタは非常に合理的なYC分離手法であるが、その半面画像の相関検出を誤ると不適切なフィルタによってYC分離を行うことになり、クロスカラー発生などの大きな画質劣化になりかねない。したがっ

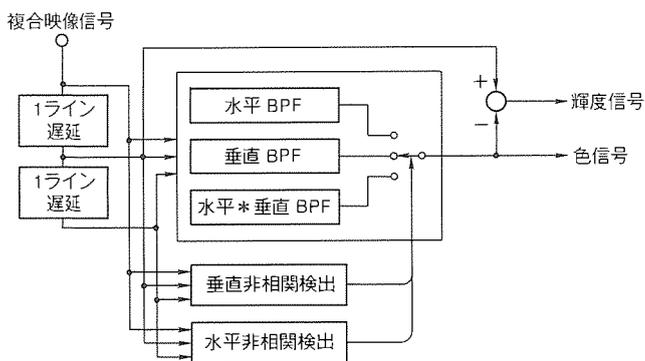


図3. 適応型YC分離フィルタの構成

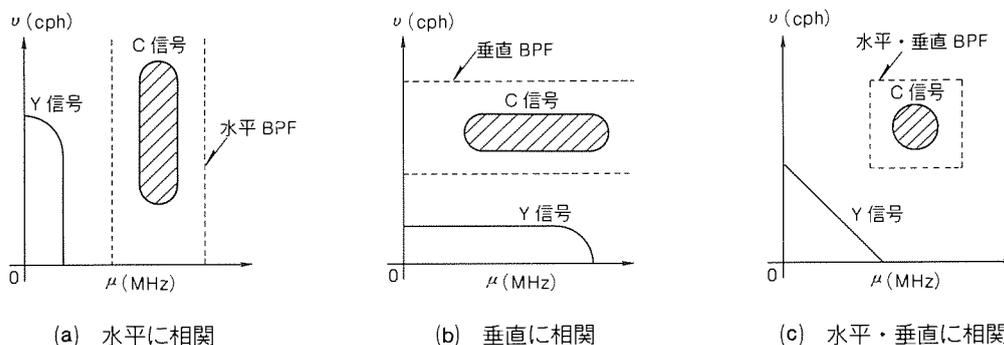


図4. 画像の相関と最適なフィルタの関係

て、次に述べる相関検出アルゴリズムが重要となる。

4. 相関検出アルゴリズム

4.1 基本的考え方

このYC分離フィルタの目的は、クロスカラー等の弊害を発生させることなくドット妨害を大幅に改善する点にある。

例えば、水平BPFを選択する場合を考えると、水平BPFは輝度信号の水平高域成分も色信号として抽出するので、図4(a)のような色信号の垂直高域成分が多い（色信号の垂直相関が弱い。）という条件とともに、輝度信号の水平高域成分が少ない（輝度信号の水平相関が強い。）という条件を満たす必要がある。また、垂直BPFは、色信号の水平高域成分が多いという条件とともに、輝度信号の垂直高域成分が少ないという条件が必要となる。

ここで、信号の高域成分を非相関エネルギーと定義して、フィルタの選択条件をまとめると表1のようになる。

以下に具体的なフィルタ選択条件について述べる。

4.2 水平BPF選択条件

水平BPF選択条件を判定するため、色信号垂直非相関エネルギー(DCV)と輝度信号水平非相関エネルギー(DYH)を求める。

4.2.1 色信号垂直非相関エネルギー(DCV)

色信号垂直非相関エネルギー(DCV)を求めるため、最初に色信号の垂直非相関成分(DCV1)を求める。

$$DCV1(m,n) = |Y_{HH}(m,n-1) - Y_{HH}(m,n+1)| \dots\dots\dots (1)$$

$$ここで、Y_{HH}(m,n) = (-S_{m-2,n} + 2 \times S_{m,n} - S_{m+2,n}) / 4$$

さらに、DCV1の補助信号として輝度信号の垂直非相関成分(DYV1)を求める。

表1. フィルタの選択条件

水平BPF	色信号垂直非相関 $E >$ 輝度信号水平非相関 E
垂直BPF	色信号水平非相関 $E >$ 輝度信号垂直非相関 E
水平・垂直BPF	上記以外の場合

注 ここでEはエネルギーのこと

$$DYV1(m,n) = \text{MAX}(|Y_{HL}(m,n) - Y_{HL}(m,n-1)|, |Y_{HL}(m,n) - Y_{HL}(m,n+1)|) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $Y_{HL}(m,n) = (S_{m-2,n} + 2 \times S_{m,n} + S_{m+2,n}) / 4$
 なお、MAX は最大値の演算を意味する。

DCV は DCV1 と DYV1 の最大値をとって、

$$DCV(m,n) = \text{MAX}(DCV1(m,n), a \times DYV1(m,n)) \dots\dots\dots (3)$$

となる。なお、 a は重み付け係数である。

図5にDCVを検出している帯域を二次元周波数領域で示した。斜線部がDCVの検出帯域を示している。

4.2.2 輝度信号水平非相関エネルギー (DYH)

次に、輝度信号水平非相関エネルギー (DYH) を求めるために、まず輝度信号の水平非相関成分 (DYH1) を求める。

$$DYH1(m,n) = \text{MAX}(|Y_{VL}(m,n) - Y_{VL}(m-2,n)|, |Y_{VL}(m,n) - Y_{VL}(m+2,n)|) \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $Y_{VL}(m,n) = (S_{m,n-1} + 2 \times S_{m,n} + S_{m,n+1}) / 4$
 さらに、DYH1で抽出できない輝度信号水平非相関成分 DYH2 を求める。

$$DYH2(m,n) = |S_{m-2,n} - S_{m+2,n}| \dots\dots\dots (5)$$

DYH は DYH1 と DYH2 の最大値をとって、

$$DYH(m,n) = \text{MAX}(DYH1(m,n), b \times DYH2(m,n)) \dots\dots\dots (6)$$

となる。なお、 b は重み付け係数である。

図6にDYHを検出している帯域を二次元周波数領域で示した。斜線部がDYHの検出帯域を示している。

4.2.3 垂直非相関判定

表1の水平BPF選択条件から垂直非相関判定式は式(7)となる。 α は重み付け係数である。

$$DCV > \alpha \times DYH \dots\dots\dots (7)$$

図7は式(7)が成立する帯域、つまり垂直に非相関であると見なせる帯域が、重み付け係数を変えると広がったり狭くなったりする様子を示している。ただし、 b は一定値である。

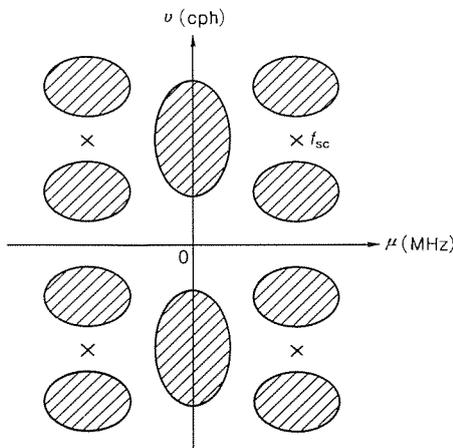


図5. DCV 検出帯域

図では二次元周波数領域のうち第1象限のみを表している。

α については、小さくすると右側の帯域が水平と垂直方向に広がる。垂直方向へ広がり過ぎると μ 軸上の輝度信号水平高域成分までも色信号の垂直非相関成分と見なすので、ここで水平BPFを選択すれば縦縞のパターンにクロスカラーが発生する。水平方向へ広げると斜め方向のドット妨害も除去できる。

また、左側の帯域は色信号だけでは検出できない垂直非相関をみるための補助的なものなので、あまり大きくすると解像度が劣化する。

4.3 垂直 BPF 選択条件

垂直BPF選択条件を判定するため、色信号水平非相関エネルギー (DCH) と輝度信号垂直非相関エネルギー (DYV) を求める。

4.3.1 色信号水平非相関エネルギー (DCH)

色信号水平非相関エネルギー (DCH) を求めるために、最

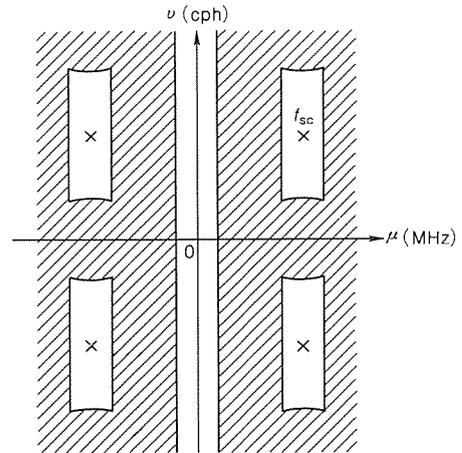


図6. DYH 検出帯域

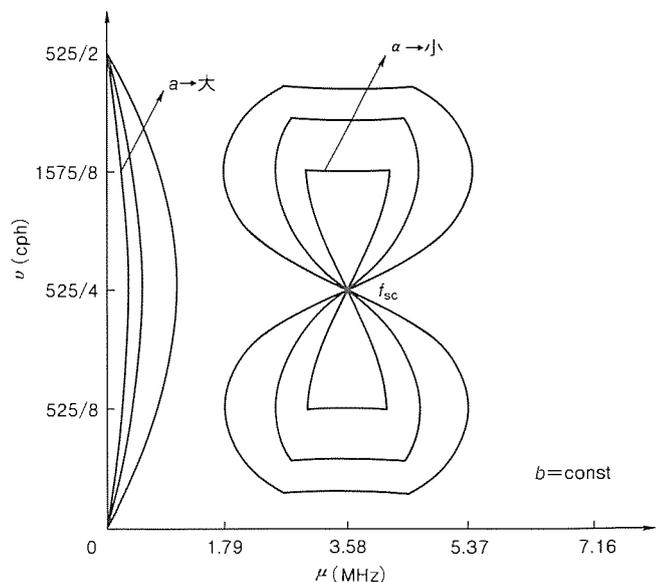


図7. 垂直非相関検出帯域

初に、色信号の水平非相関成分 ($DCH1$) を求める。

$$DCH1(m, n) = |Y_{VH}(m-4, n) - Y_{VH}(m+4, n)| \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 $Y_{VH}(m, n) = (-S_{m, n-1} + 2 \times S_{m, n} - S_{m, n+1}) / 4$
 さらに、 $DCH1$ の補助信号として式(4)の $DYH1$ を用いる。
 DCH は $DCH1$ と $DYH1$ の最大値をとって、

$$DCH(m, n) = \text{MAX}(DCH1(m, n), c \times DYH1(m, n)) \dots\dots\dots (9)$$

となる。 c は重み付け係数である。

図8に DCH を検出している帯域を二次元周波数領域で示した。斜線部が DCH の検出帯域を示している。

4.3.2 輝度信号垂直非相関エネルギー (DYV)

次に、輝度信号垂直非相関エネルギー (DYV) を求める。
 まず、式(2)で求めた輝度信号の垂直非相関成分 $DYV1$ だけで抽出できない輝度信号垂直非相関成分 $DYV2$ を式(10)で求める。

$$DYV2(m, n) = |S_{m, n-1} - S_{m, n+1}| \dots\dots\dots (10)$$

DYV は $DYV1$ と $DYV2$ との最大値をとって、

$$DYV(m, n) = \text{MAX}(DYV1(m, n), d \times DYV2(m, n)) \dots\dots\dots (11)$$

となる。 d は重み付け係数である。

図9に DYV を検出している帯域を二次元周波数領域で示した。斜線部が DYV の検出帯域を示している。

4.3.3 水平非相関判定

表1から、水平非相関判定式は次式となる。 β は重み付け係数である。

$$DCH > \beta \times DYV \dots\dots\dots (12)$$

図10に式(12)が成立する帯域、つまり水平に非相関であると見なせる帯域が、重み付け係数によってどのように変化するかを示した。ただし、 β は一定値である。

d が大きくなると上部の帯域が垂直方向に狭くなり、斜め方向のドット妨害が残る。また、 c を大きくすれば輝度信号の水平非相関成分を多く用いることになり、細かい文字画像

でもドット妨害を除去できる。

以上、相関検出アルゴリズムとその周波数領域でのふるまいを解析した。実際の重み付け係数は画像シミュレータで様々な画像で検討を行い決定した。その例を図11に示す。写真はITEテストチャート処理したものである。(a)は、従来の2ラインくし形フィルタ、(b)はこの方式の適応型YC分離フィルタで処理した画像である。(a)に比べて(b)は、色が垂直に非相関な部分(例えば、写真左上部のシアンからマゼンタへの変わり目：白矢印①で示す)も、水平に非相関な部分(例えば、中央の緑色からマゼンタへの変わり目：白矢印②で示す)もドット状の妨害が全く除去されている。また、文字の部分(例えば、中央右の35や30の数字など)も明瞭である。

ドット妨害除去が主眼ではあるが、そのためにクロスカラーの増大や斜め解像度劣化などの弊害が増えないよう考慮した。

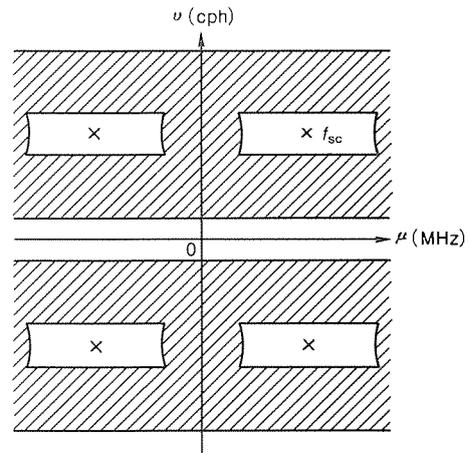


図9. DYV 検出帯域

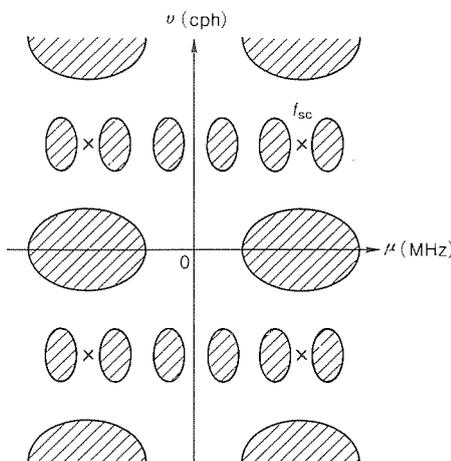


図8. DCH 検出帯域

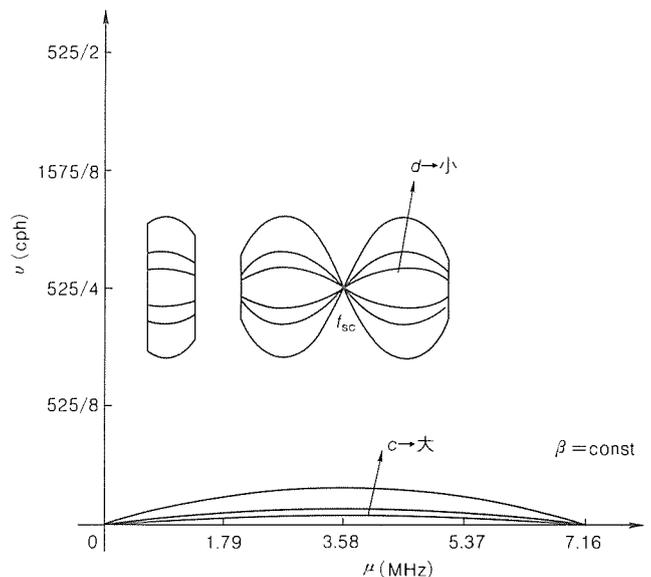
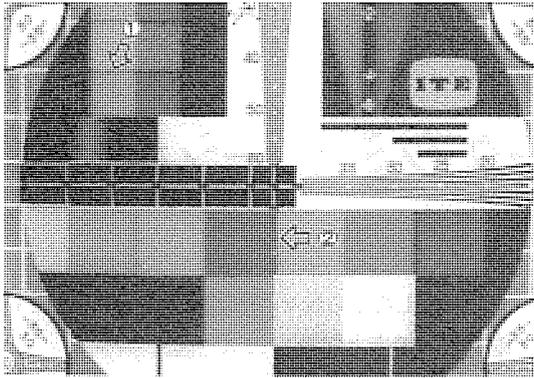
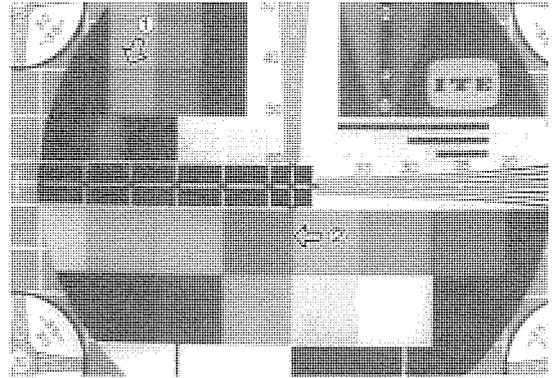


図10. 水平非相関検出帯域



(a) くし形フィルタ



(b) 適応型フィルタ

図11. 画像シミュレータによる処理画像

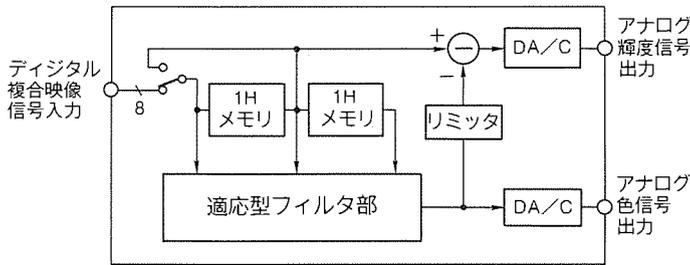


図12. LSIの内部回路ブロック図

5. LSIの構成

今回開発したLSI (M 65606 SP)の構成を図12に示す。クロック周波数は 14.3MHz ($4 \times f_{sc}$)で8ビット量子化された複合映像信号を入力する。2ライン分のメモリと8ビットDAコンバータ2回路を内蔵していて、アナログ輝度信号と色信号で出力される。また、デジタル出力も備えている。

ロジック部の規模は、約9,000ゲートでパッケージは52ピン シュリンクである。

機能は、基本の適応型YC分離フィルタのほかに、VTR用にドロップアウト補償やラインノイズキャンセルもあり、EPモードで再生輝度信号のエッジノイズを大幅に軽減できる。

なお、このLSIは当社製S-VHS VTR (HV-S11, HV-V7000)、カラーテレビ(CZ-505シリーズ)、BSチューナー(U T-7700)にエキスパートDCFの名称で搭載している。

6. むすび

二次元適応型YC分離フィルタの新たなアルゴリズムを検討し、周波数領域で解析を行った。この結果、このアルゴリズムの動作を詳細に把握することができ、高い性能を備えていることが分かった。このアルゴリズムにより、クロスカラーや斜め解像度の劣化などの弊害を抑えてドット妨害を除去できる二次元適応型YC分離フィルタを開発しLSI化して、当社製AV機器に搭載した。今後は、このアルゴリズムの三次元への応用やLSI化における改良(A/Dコンバータ内蔵等)を進めてゆきたい。

最後に、開発に当たり御指導いただいた関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- (1) 加瀬沢 正, 伊藤 浩, 水谷芳樹, 村上篤道: 適応型YC分離デジタルフィルタ方式, 昭59テ全大, 14-10
- (2) 伊藤 浩, 加瀬沢 正, 玉木茂弘, 水谷芳樹, 中島義充: デジタル信号処理によるTV画質の改善, TV学会技術報告, TEBS 106-1, (昭60-10)
- (3) 吹抜敬彦: TV画像の多次元信号処理, 日刊工業新聞社
- (4) 大橋知典, 賀井俊博, 角 克晶, 大井眞澄: 二次元適応型YC分離フィルタの開発, TV学会技術報告, 14, No. 66, CE 90-78

CRT用電子銃開発のためのコンピュータシミュレーション

奥田莊一郎* 池上和律* 吉田直久** 山根久和** 柳井啓二**

1. ま え が き

近年、コンピュータ端末用及び大型テレビ用のカラーブラウン管(CRT)の需要が増大しているため、フォーカス性能の優れた電子銃の開発が必要になっている。電子銃を開発する際にあらかじめコンピュータシミュレーションを行うことができれば、試作実験のための多大な時間と費用を削減することができる。本稿では、CRT用電子銃のシミュレーションに関するこれまでの研究・開発の成果について紹介する。

本稿は、以下のような命題に対して答えるよう構成されている。

- (1) 現在のシミュレーションでどの程度複雑なモデルが扱えるか。
- (2) 電子銃各部に対してシミュレーション手法をどう使い分けるか。
- (3) 実際の現象を模擬するために、どのような考慮が必要であるか。
- (4) その結果は実際の現象とどの程度合致するか。
- (5) 実際の設計にシミュレーションをどのように用いているか。
- (6) 開発された電子銃は、どのように製品化されているか。

2. シミュレーションの手法の選択

この章では、電子銃の構造を紹介し、従来のシミュレーション

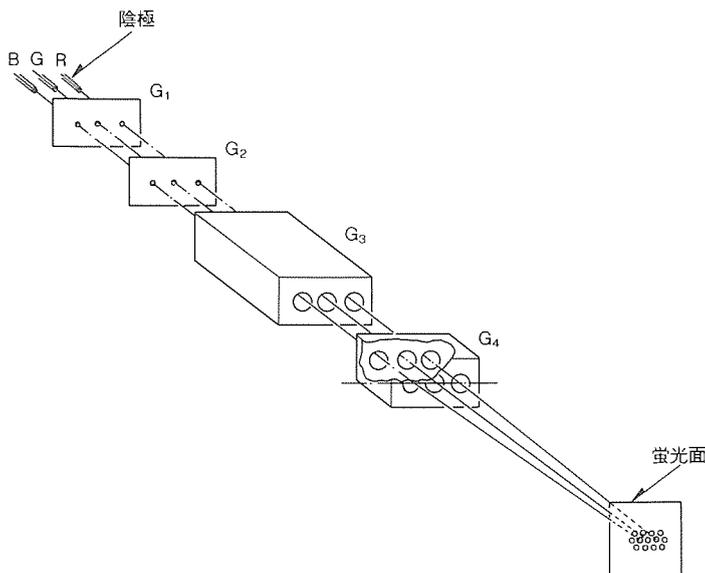


図1. カラーCRT用電子銃の構成

手法と比較しながら我々の手法の特徴を明らかにする。

2.1 電子銃の構造とフォーカス性能

電子銃の構成を図1に模式的に示す。図の左上端の陰極から放射された電子は G_1 , G_2 , G_3 , と図示された電極で構成される三極部で加速かつ整形され、 G_3 と G_4 電極の間に形成される電子レンズで集束されて右下端の画面上にスポットを結ぶ。3本のビームの内の1本を取り上げ、その縦断面を図2に示す。三極部から発散状に出て来る電子ビームは、 G_3 電極と G_4 電極の間に形成された電子レンズで集束され、自由空間を直進して画面上に像を結ぶ。

電子銃のフォーカス性能を改善する、すなわち電子ビームのスポット径を小さくするための必要条件是、電子レンズのひずみ(収差)を小さくすること、及び三極部から細くそろったビームを出すこと⁽¹⁾である。

電子レンズの収差を小さくするためには、電極穴の口径を大きくする必要がある。図3(a)に示すような、丸穴を用いた従来の電極穴を用いている限り、口径を大きくするとCRTの外径が大きくなる。このため、同図(b)に示すように電極穴を縦方向に長くしたり、三ビームの電極穴を一体化する⁽²⁾ことによって実効的な口径を大きくする方式が実現している。この方式を総称して三次元電子レンズと呼ぶ⁽³⁾。

2.2 シミュレーションの使い分け

電子銃のシミュレーションによって、与えられた電極配置に対して電子軌道を計算し、フォーカス特性を予測することができる。

電子軌道の計算を複雑にしているものは、電子自身の電荷による相互作用(空間電荷効果)である。従来のような回転対称な電子レンズは二次元モデルであるため、空間電荷効果を考慮してもシミュレーションが可能であった。これに対して三次元電子レンズは三次元問題となるため、従来のように電子銃全体を通してシミュレーションを行うのは困難であった。

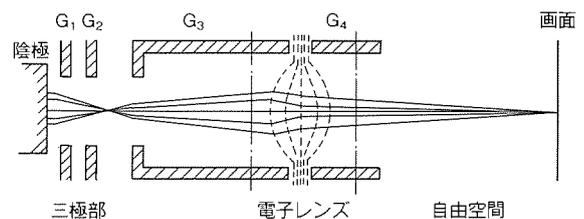


図2. 電子銃の縦断面と構成要素名

以上の点を考慮して、筆者らはシミュレーションの対象を三極部と電子レンズ部とに分離した。三極部では電子がまだ加速されず、ビーム径も小さいので空間電荷効果が大きい、三極部は丸穴電極を用いることが多いので、回転対称三次元でモデル化できる。一方、電子レンズ部では電子が既に加速されているだけでなく、ビーム径も広がっているため空間電荷効果は無視できる。空間電荷が無視できれば、三次元形状であっても高精度な計算が可能である。

三極部のシミュレーションの結果は、電子レンズ入り口におけるビームの位置と方向の情報(これを位相空間特性⁽⁴⁾)という。)として、電子レンズ部のシミュレーションに引き渡される。

3. 三極部のシミュレーション

三極部のシミュレーションは、空間電荷効果を考慮した回転対称モデルで行う。以下では方程式と解法、及び結果の検証を紹介する。

3.1 方程式と解法

基本方程式は電子の運動方程式である。

$$m \frac{dv}{dt} = e \nabla \phi \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 m 、 e 、 v はそれぞれ電子の質量、電荷及び速度、 ϕ は電位で、以下のポアソン方程式を満たさねばならない。

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon} \dots\dots\dots (2)$$

$$\nabla \cdot (\rho v) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 ρ は空間電荷密度、 ϵ は誘電率である。

連立方程式(1)~(3)を一度に解く方法がないので、繰り返し法によって収束解を求める。このため、解が発散したり、計算時間が多大になるなどの問題が生じる。筆者らはビームの初期位置及び陰極~G₁電極間の距離など実測不能な変数を最適化して解を安定化する手法を開発した⁽⁵⁾。

3.2 結果の検証

前節で論じたシミュレーションを現行のカラーテレビ用電子銃の三極部に適用した。この節ではその結果を測定値と比較し、シミュレーションの検証を行う。

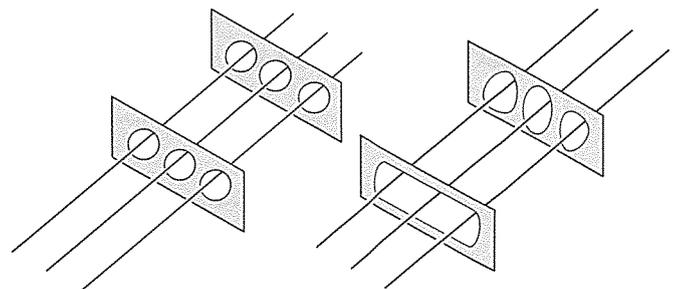
三極部の電気的特性として基本的なものは、制御電圧に対する陰極電流特性である。この電流-電圧特性の計算値を測定値と比較して図4に示す。この図から、計算が測定値と極めてよく一致していることが分かる。

ビーム軌道計算として最も重要な結果は位相空間特性である。このため、筆者らは三極部の位相空間特性を精密に測定する装置を開発した⁽¹⁾。この装置を用いて測定した結果を計算値と比較して図5に示す。定性的に両者はよく一致しており、開発の方向を見いだす計算に十分使用できる。

しかしながら、計算と測定的一致はまだ、そのまま電子銃の設計に用いられる水準には達していない。回転対称モデ

ルでさえ、この程度の精度であることから推定できるように、三次元モデルを必要とする回転対称でない三極部を模擬するのは実用的でない。現状では、実際の三極部の設計は位相空間特性の測定が主体である。

三極部のシミュレーションに関しては、解法の開発とモデルの深化を推進中である。コンピュータの性能が日進月歩で



(a) 従来方式(回転対称レンズ) (b) 新方式(三次元電子レンズ)

図3. 電子レンズの種類

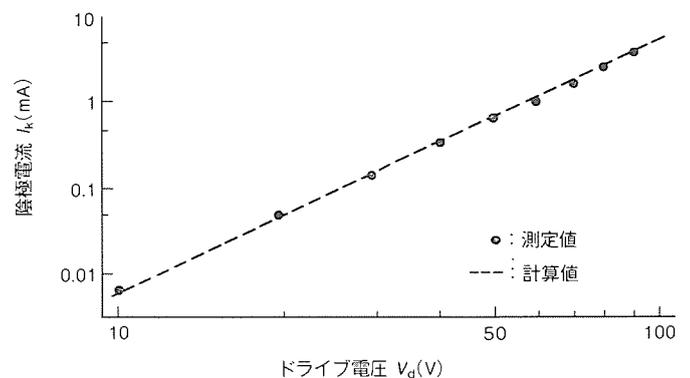


図4. 三極部の電流-電圧特性

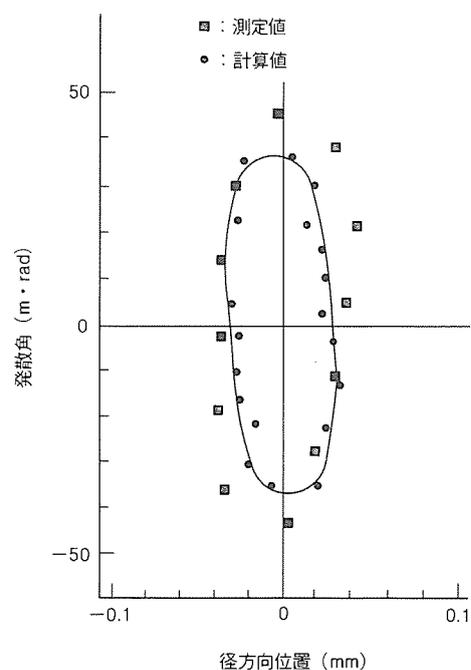


図5. 三極部の位相空間特性

向上していることを考えると、直接に設計に役立つシミュレーションが可能になるのは間近であろう。

4. 電子レンズのシミュレーション

この節では、三次元電子レンズのシミュレーションの方程式と解法、電極寸法の改良法、及び二つの適用例について論じる。

4.1 方程式と解法

基本方程式は以下の運動方程式である。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -eE_x \dots\dots\dots (4)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = -eE_y \dots\dots\dots (5)$$

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = -eE_z \dots\dots\dots (6)$$

ここに E_x 、 E_y 及び E_z は、電子のある場所におけるそれぞれ三方向の電界である。式(4)~式(6)を解くためには、電界 E の正確な計算と、連立常微分方程式の有効な積分法が必要である。

高精度の電界計算として表面電荷法を採用した。従来のアルゴリズムでは、デジタル計算機特有のけた(桁)落ちのために電界が不正確になる。このため、桁落ちを防止するアルゴリズム⁽³⁾を開発した。また、刻み幅を自動調整するアルゴリズムを考案し、高精度を保ちながら高速な積分法アルゴリズムを考案した。

これらのアルゴリズムを搭載したコンピュータプログラム EG3D を開発した。

4.2 適用例

この節ではシミュレーションを実際の三次元電子レンズの開発に適用した例について述べる。対象にしたのは“XF”形電子レンズと《DBF》形四極レンズである。両者ともシミュレーションを駆使して開発され、現在の高級カラーブラウン管に搭載されている。

各々の電子レンズについて、開発する目的、シミュレーシ

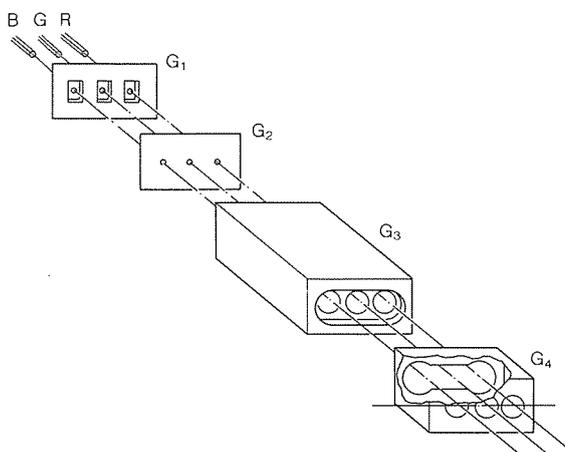


図6. “XF”形電子銃の構成

ョンの適用及び試作した結果を述べる。

4.2.1 “XF”形電子レンズ

“XF”形電子レンズ⁽⁶⁾は、当社が最初に開発した三次元電子レンズである。この電子銃の構成を図6に示す。主レンズ G_3 には従来の円孔レンズの外側に3ビームを包むレーストラック形の開口部があり、対向する G_4 電極の開口部も同様に3ビームを包んでいる。この開口部が非回転対称であり、三ビーム一体形の三次元電子レンズである。

図7(a)は、“XF”形電子銃の当初の G_3 電極の構造を示している。この電子銃のフォーカス特性を測定してみると、中央ビームの垂直方向の最適フォーカス電圧が両脇ビームの最適フォーカス電圧よりも低いという問題があった。構造上、フォーカス電圧は3ビームとも共通なので、この最適値の差は画質の劣化になる。

この差を解消するために、シミュレーションが初めて適用された。方法としては、中央ビームと両脇ビーム各々水平及び垂直フォーカス電圧 V_j に対する10個の設計変数 X_i の感度 $\partial V_j / \partial X_i$ を計算した。この感度から、フォーカスの水平方向は保ちながら垂直方向の差を解消するような電極寸法の改善値を計算した⁽⁵⁾。その結果、フォーカス電極の外枠の高さ H 及びフォーカス電極の中央の穴径 D を0.20mm小さくすればよいということが分かった。

この寸法で試作を行い、フォーカス電圧を測定した結果を図7(c)の実線で示す。当初の目的どおり中央ビームのフォーカス電圧差は解消されていることが実証された。これから、“XF”形電子銃の最終形状を図7(d)のように決定した。

これ以来、シミュレーションで新しい電子レンズの開発が可能になった。図8にシミュレーションの出力を三次元グラ

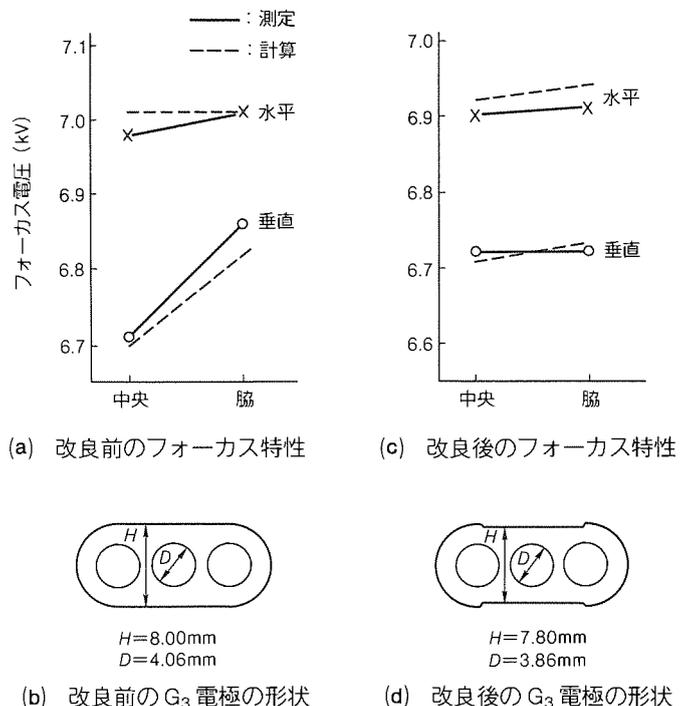


図7. ビーム間フォーカス電位差の解消

フィック端末に表示した例を示す。

4.2.2 《DBF》形四極電子レンズ

《DBF》形電子レンズは、解像度を全画面で保つ働きを持つ電子レンズで、当社のオリジナル製品である⁽⁷⁾。

インライン方式のカラーブラウン管ではビームが周辺に偏向されると偏向磁界によって集束力を受け、スポットの形がひずみ、径が大きくなる(偏向ひずみ)。高解像度ディスプレイ管や大型テレビ管ではこの偏向ひずみによるスポットの肥大量が電子銃単体のスポット径をはるかにしのぐ。

偏向磁界による集束力は垂直方向に集束し、水平方向に発散する四極成分である。これを補償するために、電子銃の中で四極電界を発生させることが考えられる。この課題に対して当社では主レンズの直前に四極電子レンズを設け、強さを偏向位置に応じて変える方式を考案した。これは世界で初めての方式であり、《DBF》(Dynamic Beam Forming)方式^(注1)と名付けた。

《DBF》方式の原理を図9に示す。ビームを挟んで水平方位と垂直方位に向かい合った二対の電極に異なる電圧を印加して四極電界を発生し、ビームの断面形状を制御する。電圧差を偏向磁界に同期することによって偏向ひずみを補償する。

前人未到の方式であるので試作するまでに徹底的にシミュレーションを行った。方式の可能性の検討から最適設計寸法の計算を、シミュレーションプログラムEG3Dを用いて行った。

その一例を紹介する。中央と両脇の電極の形を同一にすると、3ビームが画面で一致しない(ミスコンバージェンス)という現象が計算で明らかになった。これは、中央と両脇の電界の干渉によって起こる現象である。このため、両脇の電極の長さをちょうどコンバージェンス補正をするように最適化した。このための計算を図10に示す。両脇ビームの中央部に近い垂直電極を短くし、それに応じて水平電極も短くする必要がある。このような副作用は、従来、設計段階では分からず、試作評価で初めて観測されていた。その後の原因究

(注1) DBFは商品名であり、方式の正式名称はDBS(Dynamic Beam Shaping)であるが、ここではDBFに統一する。

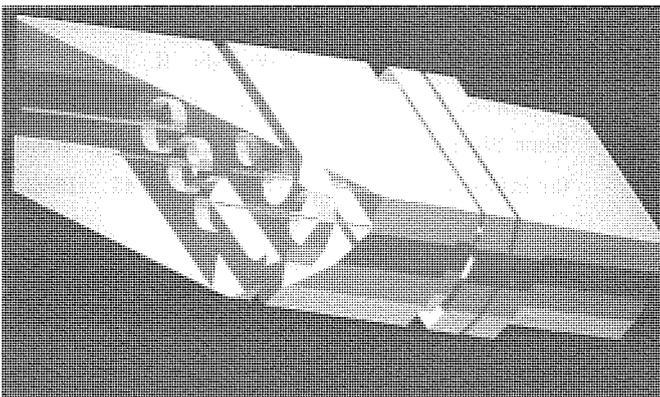


図8. “XF”形電子銃のシミュレーションの出力例

明・対策・再試作の時間と労力を節約することができた。

以上のような最適計算をシミュレーションで行い、試作品を設計した。フォーカス特性を測定したところ、シミュレーションの予測どおりであった。量産試作以後でも試作変更をする必要がなく、最終製品の設計ができた。開発期間は1年以下であった。

最終的な電極構成を図11に示す。フォーカス電極(G_3)を二分割して間に垂直板電極を持つ新たな電極を入れる。この電極の電圧は元来のフォーカス電圧に固定し、その前後の電極には偏向位置に応じた変動電圧を印加する。偏向位置によって集束力も変化を受け(ダイナミックフォーカス作用)、偏向ひずみを一層効果的に補正できることが実証された。

《DBF》形の導入により、解像度は大幅に向上した。ディスプレイ管としての性能比較を図12に示す。画面の隅に表

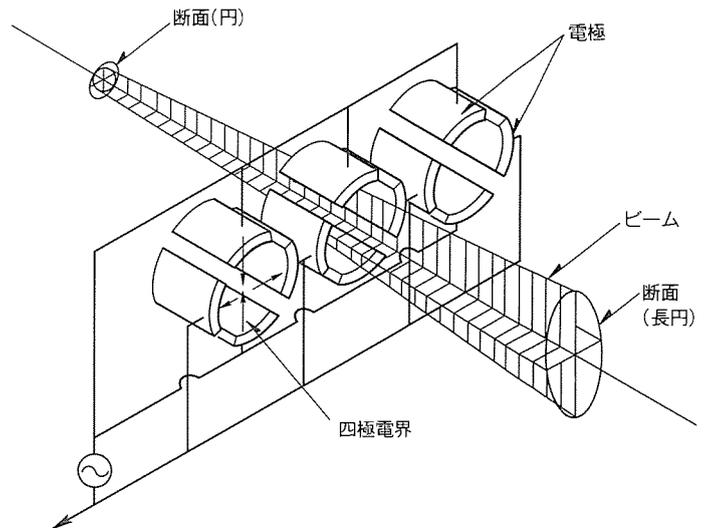


図9. 《DBF》方式の原理

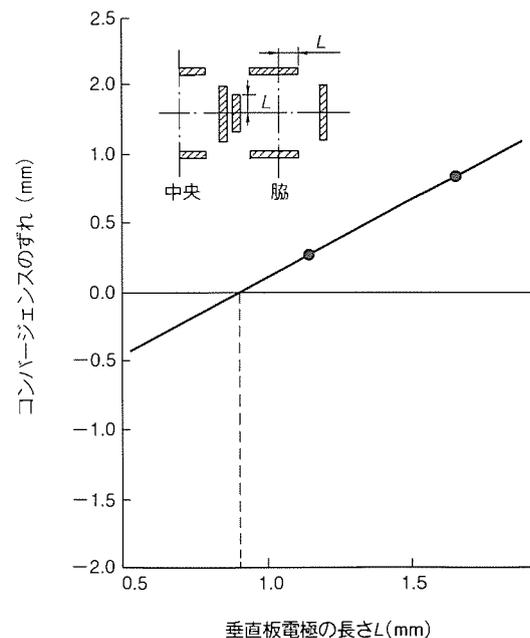


図10. 《DBF》方式の副作用の解消法

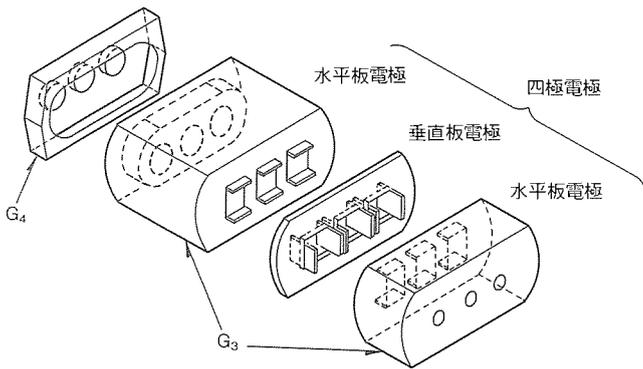


図11. 《DBF》形電子銃の電極構成

示された漢字を比較すると、《DBF》によって明りょう（瞭）になっている。漢字の横線部の解像度が上がっていることが原因である。この《DBF》形は現在ほぼすべての高級ディスプレイ管及び大型テレビ管用電子銃に採用され、画面全域での解像度を画期的に向上した。

当社が開発した後から他社も同様の方式で参入しつつあり、この分野では不可欠の方式になっている。

5. む す び

カラーCRT用電子銃のためのコンピュータシミュレーションについて論じた。電子レンズ部を三極部と分離することによって、電子レンズの三次元シミュレーションを高精度かつ高速に行うことが可能になった。シミュレーションを駆使して開発した“XF”形及び《DBF》形電子銃は、ディスプレイ管及び大型テレビ管に広く搭載されている。

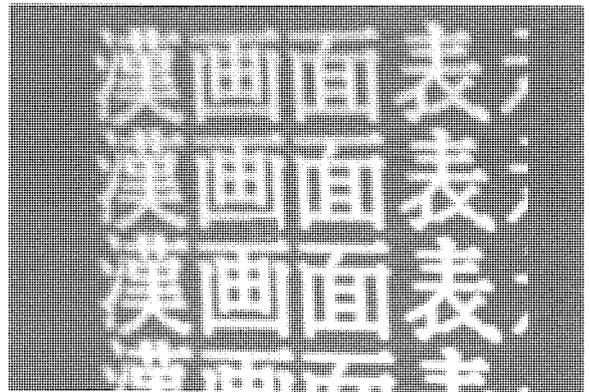
今後、三極部を中心としたシミュレーション技術の向上、及び偏向ヨークなど他の部品と組み合わせた総合的なCRTシミュレーション技術の確立が課題である。

参 考 文 献

(1) Ikegami, K., Okuda, S., Sano, K., Nosaka, E. : Measurement of Emittance Diagram of Asymmetrical Beam Forming Region, IEEE Trans. on Electron Devices, **ED-33**, No. 8, 1145~1148 (1986)

(2) Morrell, A.M. : An Overview of the COTY-29 Tube System, IEEE Trans. on Consumer Electronics, **CE-28**, 290~296 (1982)

(3) 奥田 莊一郎, 中西 寿夫 : 三次元電子レンズのシミュレーション, シミュレーション, **9**, No. 2, 140~147



(a) 《DBF》なし



(b) 《DBF》あり

図12. ディスプレイ管の《DBF》効果

(1990)

(4) Washino, S., Ueyama, Y., Takenobu, S. : Development of a New Electron Gun for Color Picture Tubes, IEEE Trans. Consumer Electronics, **CE-25**, 481~490 (1979)

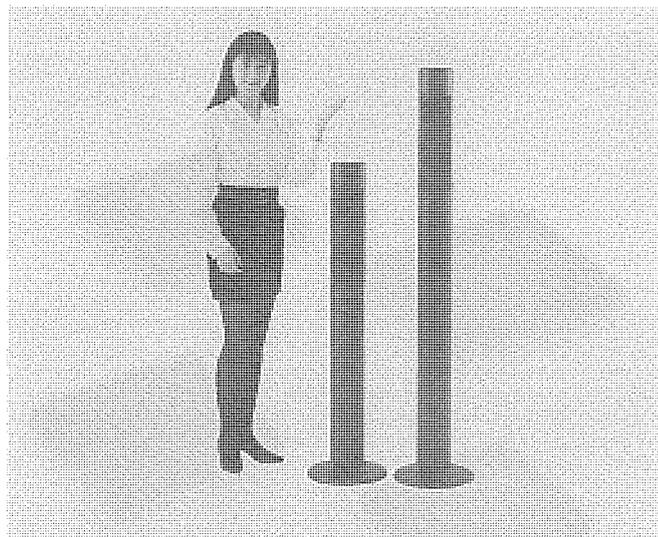
(5) Okuda, S., Ikegami, K., Oono, K., Yanai, K., Yamane, K., Yoshida, T., Nosaka, E., Nakanishi, H. : Practical Design of a CRT Electron Gun, Proc. of the 9th International Display Research Conf., 462~465 (1989)

(6) Nakanishi, H., Okuda, S., Yoshida, T., Sugahara, T. : A High Resolution Color CRT for CAD/CAM Use, IEEE Trans. on Electron Devices, **ED-33**, No. 8, 1141~1144 (1986)

(7) Yamane, H., Ishida, R., Nakanishi, H., Ikegami, K., Okuda, S. : An In-line Color CRT with Dynamic Beam Shaping for Data Display, Proc. of the Society for Information Display, **29**, No. 1, 41~45 (1988)

スポットライト ニューコンセプトAVスピーカーシステム DS-S1、DS-S3

DS-S1、DS-S3は大画面、高画質、高音質のAVシステムに対応して開発した新しいコンセプトのスピーカーシステムです。大画面の横に置いたとき視覚的に違和感なく、インテリアにマッチし、居住空間を妨げないスリムなデザイン。小容積ながら重低音、音場を豊かに再生し、映画やコンサートの迫力、臨場感を存分に体験できる画期的なスピーカーシステムです。



特長

●スリムなポール状新形態スピーカーシステム

幅124mmのスリムなエンクロージャーは断面形状が楕円形の柔らかなフォルム、DS-S1は音源位置を80～120インチのスクリーンに合わせ全高が1.5m。DS-S3は33インチ以上の大型テレビ、リアプロジェクションテレビに合わせ全高が1.15mのフロアタイプです。

●重低音再生を可能にしたダブルドライブ・スーパーバス方式エンクロージャーに小型強力ウーファーを2つ内蔵し、上下のチャンバーとポートによるヘルムホルツ共鳴を応用した独自の低音再生方式“ダブルドライブ・スーパーバス方式”を開発、ダンピングのきいた重低音を再生します。映画のアクションシーンに重低音を加えることで迫力あるスリリングな臨場感を体験できます。

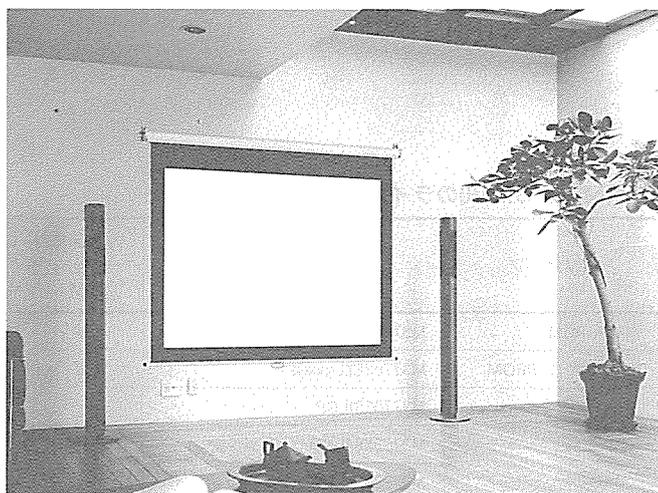
●豊かな音場を再現する球面波音場

小口径スピーカーユニットと回折効果を抑えた楕円形状エンクロージャーの構成により、広帯域にわたり球面波の音場を再生します。球面波音場は奥行きのある音像定位が可能で画面との組合せにより、シーンの遠近感を表現します。また、広大な音場を創るため、音に包み込まれるような雰囲気味わえます。

●高音質設計

2つのウーファーにはS-LCP(スーパー液晶ポリマー)振動板を新開発、低域での大きな音圧に耐え、歪みの少ない低音を再生します。中～高域再生にはLCPファイバーブレンド振動板を採用したフルレンジスピーカーユニットを搭載、高品位な再生音を得ています。また、エンクロージャーは耐衝撃性プラスチックを筒状に成形したモノコックチューブをベースに剛性を高めた構造とし、ダブルドライブ・スーパーバス方式のハイコンプレッション駆動を強固に支持しています。

DS-S1の設置例



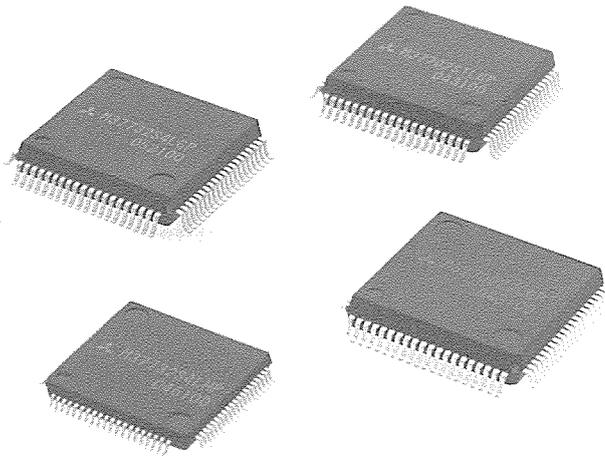
定格・仕様

形名	DS-S1	DS-S3
方式	2ウェイ3スピーカー ダブルドライブ・スーパーバス方式 フロアタイプ 防磁型(EIAJ)	
ユニット構成	ウーファー：10cmS-LCPコーン×2 フルレンジ：8cmLCPファイバーブレンドコーン	
公称インピーダンス	6Ω	
出力音圧レベル	88dB/W/m	
再生周波数帯域	40～20,000Hz	45～20,000Hz
最大入力	150W	
クロスオーバー周波数	200Hz	
外形寸法	(幅)124× (高さ)1500× (奥行)162mm ベース部：直径300mm	(幅)124× (高さ)1150× (奥行)162mm ベース部：直径300mm
質量	15kg	9kg

スポットライト MELPS7700

3V系16ビットMCU

三菱オリジナル16ビットワンチップマイクロコンピュータ MELPS7700に、低電圧動作を実現した新しいラインアップが加わりました。この製品は、電源電圧2.7V~5.5Vという幅広い動作電圧を実現しただけでなく、広温度範囲動作、超小型パッケージ等の特長も兼ね備え、携帯電話など小型・低消費電力を必要とする分野に最適なマイコンです。



特長

- 幅広い動作電源電圧 $V_{CC}=2.7V\sim 5.5V$
- 高速動作
 - 最新の $1.0\mu m$ CMOSプロセスの採用と回路的な工夫により、 $V_{CC}=2.7V$ の低電圧で最短命令実行時間500ns（発振周波数8MHz時）を実現。
- 低消費電力 12mW ($V_{CC}=3.0V$ 時)
- 広動作温度範囲 $T_a=-40\sim 85^\circ C$
- 超小型パッケージ
 - $1.0\mu m$ プロセスによる高集積化と高密度なパターンレイアウト設計により 80P_S (0.65mmピッチ、 $14\times 14\times 2.8mm$)、80P_D (0.5mmピッチ、 $12\times 12\times 1.4mm$) の超小形パッケージに収納。

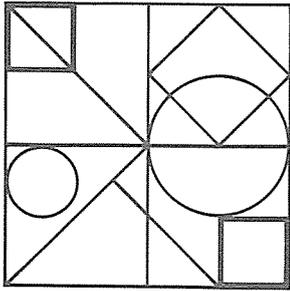
3V系MELPS7700のラインアップ

ROMタイプ	形名	内蔵メモリ (バイト)		外部クロック 入力周波数 (MHz)	電源電圧 V_{CC} (V)	パッケージ
		ROM	RAM			
MASK ROM	M37702M2LxxxGP	16K	512	8	2.7~5.5	80P _S
ワンタイム PROM	M37702E2LxxxGP	16K	512	8	2.7~5.5	80P _S
ROM less	M37702SILGP	—	512	8	2.7~5.5	80P _S
	M37732S4LGP	—	2K	8	2.7~5.5	80P _S
	M37732S4LHP	—	2K	8	2.7~5.5	80P _S

※ M37702E2LxxxGPはM37702M2LxxxGPのOTP版、M37702SILGPはROM外付け版です。
M37732S4LGP/LHPはM37702SILGPに対しRAMを2Kバイトに拡張し、RTP（リアルタイムポート）を追加した製品です。

M37707M2LxxxGPの性能概要

項目	性能
基本命令数	103
最短命令実行時間	500ns（外部クロック入力周波数8MHz時）
メモリ容量	ROM 16Kバイト
	RAM 512バイト
入出力ポート	68本
多機能タイマ	16ビット×8
シリアル I/O	(UART又はクロック同期形)×2
A-D変換器	8ビット×1 (8チャンネル)
監視タイマ	12ビット×1
割り込み	外部3要因、内部16要因
クロック発生回路	内蔵（セラミック共振子又は水晶共振子外付け）
電源電圧	2.7~5.5V
消費電力	12mW（外部クロック入力周波数8MHz、電源電圧3.0V時）
動作周囲温度	-40~85°C



特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 知的財産渉外部 TEL (03) 3218-2136

半導体集積回路 (特許 第1130166号)

発明者 吉富 正夫

この発明は、すぐれた増幅特性を得ることのできる半導体集積回路に関するものである。

すなわち、図1に示すコンプリメンタリ接続プッシュプル増幅器において、入力端子(1)に加えられた入力信号の正の半サイクルはNPNトランジスタQ1、PNPトランジスタQ3、NPNトランジスタQ31によって増幅され、正の半サイクル信号を負荷RLに与える。ここでトランジスタQ3-Q31の複合接続は等価的にPNPトランジスタの機能を果たす。同様に、入力信号の負の半サイクルは、PNPトランジスタQ2、NPNトランジスタQ4によって増幅され、負の半サイクル信号を負荷RLに与える。なお、トランジスタQ4及びQ31はピンチ抵抗R1、R2を経て前段に接続されているので、これらトランジスタのベース電流はある値以上にはならないように制限され、従来のように過度の駆動状態になることがなく、この回路をラジオ受信機の一部として用いた場合、いわゆるソフトなクリップ波形となり聞きやすい音になる。また、この抵抗は集積回路でのNPNトランジスタと同時に作られ、かつ、このトランジスタのベース幅に相当する部分で形成されるので、もしトランジスタの電流増幅率

h_{fe} が大きいときは抵抗値も大きくなり、自動的に過飽和になることが妨げられる。

さらに、図2に示すように、抵抗体部分(3)は、N層(トランジスタのコレクタ層)と濃度の濃いN層(トランジスタのエミッタ層)に挟まれたP型層を使用しているため、集積回路の前段(例えばトランジスタQ1、Q2、Q3)で発生し、増幅された高周波雑音は、パワートランジスタのベース電流として抵抗R1、R2を流れる間に、この分布容量によって減衰され、出力から輻射される量は非常に減少され、ラジオ段への影響は大幅に軽減される。

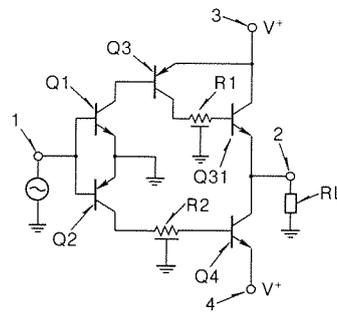


図1

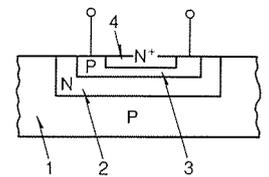


図2

樹脂封止型半導体装置 (特許 第1262995号)

発明者 竹内 好文, 岩崎 勝喜

この発明は、特に合成樹脂部と放熱板とのひっかかり強度を向上させた樹脂封止型半導体装置に関するものである。

すなわち、従来の樹脂封止型半導体装置は、図1に示すように、リードフレームの外部リード(2)の一端に段差をもって作られた放熱板(4)に半導体素子(5)を接着し、半導体素子(5)上の電極とリードフレームの外部リード(1)、(3)との間を金属細線(8)等で電氣的に接続する。次に、半導体素子(5)と外部リードの接続部とを樹脂封止金型を使って樹脂により封止した後、樹脂封止されたリードフレームを切断して単体の樹脂封止型半導体装置を製作する。ところで、放熱板(4)の耳部(6)を、放熱板(4)に対して直角ないし幾分外側に曲げ、この耳部(6)により合成樹脂部と放熱板とのひっかかり強度を持たせているが、その強度が弱く、半導体装置の実使用時に放熱板(4)に外力が加わり合成樹脂(7)にクラックが入り、合成樹脂(7)から放熱板(4)が外れ、または合成樹脂内部の半導体素子を劣化させるという問題がある。

に設けられた耳部(6)を放熱板(4)の半導体素子(5)の載置面に対し角度(11)で示す如く鋭角(例えば45°程度)に曲げることにより、耳部(6)の外側面の合成樹脂(7)の厚みが増し、合成樹脂(7)のこの部分の破断強度が強くなり、合成樹脂(7)と放熱板(4)とのひっかかり強度が増す。

したがって、この発明に係る樹脂封止型半導体装置によれば、合成樹脂から放熱板が外れ、あるいは合成樹脂に割れが生じて半導体素子が劣化することを防止できる。

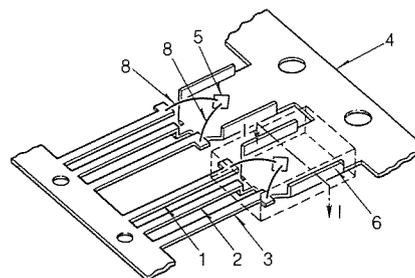


図1

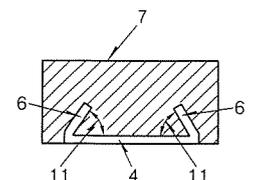


図2

この発明においては、図2に示す如く、放熱板(4)の両端

樹脂封止型半導体装置 (実用新案登録 第1386202号)

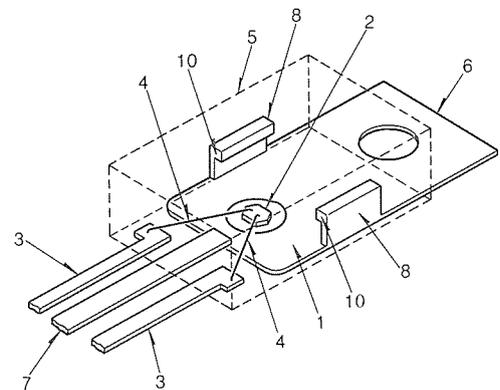
考案者 山口 哲司, 入江 英之

この考案は、樹脂と放熱板との接着強度を改良した樹脂封止型半導体装置に関するものである。

すなわち、一般に樹脂封止型半導体装置は、図に示す如く、基板(1)に半導体素子(2)を装着し、半導体素子(2)の電極と外部導出リード(3)とを金属細線(4)等で相互に接続し、その後、樹脂(5)により半導体素子(2)と外部導出リード(3)、(7)の一部を埋め込んで形成される。また、樹脂(5)と基板(1)との接着強度をもたせるために、半導体素子(2)が装着される基板(1)の上面の両側部に一对の折曲側壁(8)が設けられているが、この考案に係る樹脂封止型半導体装置は、特に、この折曲側壁(8)の内側に矩形状の段差(10)を設けた。

したがって、この考案による半導体装置用基板(1)を用いて樹脂封止を行った場合、折曲側壁(8)の段差(10)内に樹脂(5)が充填され、これによって折曲側壁(8)と樹脂(5)との強固な係合部分が形成され、基板(1)と樹脂(5)との結合強度は大となり、半導体装置の実使用の際に放熱板(6)にストレスが加

わっても、放熱板(6)と樹脂(5)との間に間隙ができたり、クラックが入ることがなく、このため金属細線(4)が切断することもなく、またクラックから水分が侵入して半導体素子(2)の特性劣化を引き起こすようなことも防止できる。



〈次号予定〉三菱電機技報 Vol. 65 No. 7 通信端末特集

特集論文

- 通信端末特集号に寄せて
- 通信端末の動向
- 公衆通信用携帯電話
- コードレス留守番電話機(TL-SR100/200)
- 準マイクロ波帯 MCA 移動局
- コンピュータ用 ISDN インタフェースボード
- ISDN 対応 G4/G3 ファクシミリ FA-7200
- 国際標準化対応 TV 会議用ビデオコーデック MVC-8100
- ISDN 利用遠隔監視システム用画像伝送装置

●静止画伝送装置 TE-100

普通論文

- プラント制御用基幹データウェイシステム
- 非接触 IC カードを用いた乗車券システム
- 遠隔データベース リクエスト MELQUERY/R
- 移動通信端末の概要と16ビット ワンチップマイコン MELPS7700の応用
- 第二世代 4 M ビット DRAM
- 8 M ビット、16M ビットマスク ROM
- ソリッドモデルをベースとした三次元曲面加工技術

三菱電機技報編集委員

委員長	山田 郁夫
委員	名畑健之助
〃	福岡 正安
〃	宇佐美照夫
〃	風呂 功
〃	大原 啓治
〃	松村 恒男
〃	名取 直幸
〃	吉岡 猛
〃	鳥取 浩
〃	岡田 久雄
幹事	長崎 忠一
6月号特集担当	金田順一郎

三菱電機技報 65 巻 6 号

(無断転載を禁ず)

1991年6月22日 印刷
1991年6月25日 発行

編集兼発行人	長崎 忠一
印刷所	千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01) 菱電印刷株式会社
発行所	東京都千代田区大手町二丁目6番地2号 日本ビル 6階 (〒100) 三菱電機エンジニアリング株式会社内
発売元	「三菱電機技報社」 Tel. (03) 3218局2806 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 3233局0641(代), 振替口座東京 6-20018
定価	1部 721円 (本体 700円) 送料別 年間予約は送料共 9,373円 (本体 9,100円)

スポットライト 消音形ダクト用換気扇



三菱消音形ダクト用換気扇

特長

●天井埋込形

- (1)天井埋込面に吸音プラスチックを成形した吸音ベルマウスと吸音ガイドを組んでおり、風の流が整えられると共にファン内部で発生した騒音は吸音風路で吸収され背面空気層で低減されます。
- (2)ダクト用換気扇は天井裏をダクト配管して使用されますので、ダクト圧力損失(静圧)がかかり、その静圧がかかった状態で当社従来機種に比べ5ホン低くなります。
- (3)本体の大きさは従来機種と同一です。

●カウンターアローファン

本体を吸音プラスチック製にすることにより騒音は低くなり、ダクト圧力損失(静圧)がかかった状態で従来機種に比べ5ホン低くなります。本体の高さは従来機種と同一です。

概要

機種名	形名	標準価格(税別)	消費電力(W)	風量(m ³ /h)	騒音(ホン)	重量(kg)	
消音形ダクト用換気扇	天井埋込形						
	VD-20ZNP-W	45,800円	54/62	486/456	40.0/39.0	8.3	
	VD-23ZN-W	53,800円	99/105	636/600	41.5/40.0	12.4	
	VD-23ZNP-W	55,800円	92/105	725/700	44.0/43.0	12.3	
カウンターアローファン	V-150CN	47,000円	16/19.5	300/320	正面	40/41	6.7
					側面	36/36	
	V-150CN-D	50,000円	16/19.5	300/320	正面	40/41	6.9
					側面	36/36	

*強ノッチの値

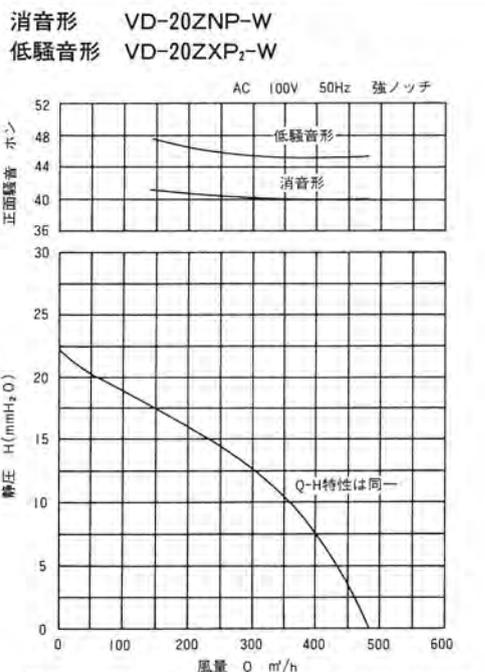
*騒音値 ①天井埋込形……………JIS C 9603及びJEMA規格による値です。

②カウンターアローファン…正面：本体ケース両横にダクト(30cm)を取付け、室内側通気口より1m離れた地点でのAレンジによる値です。
側面：室外側のダクト内音が測定室にもれないようにし、側面より1m離れた地点でのAレンジによる値です。

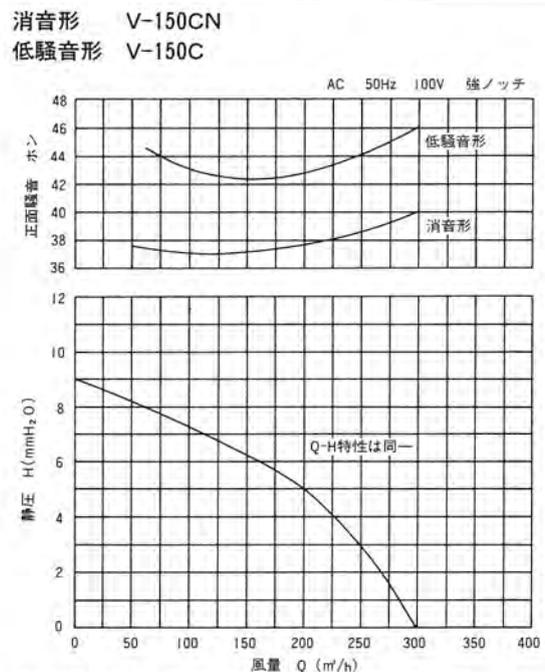


三菱消音ダクト用換気扇の消音構造
<カウンターアローファン>と<天井埋込形>

騒音特性比較

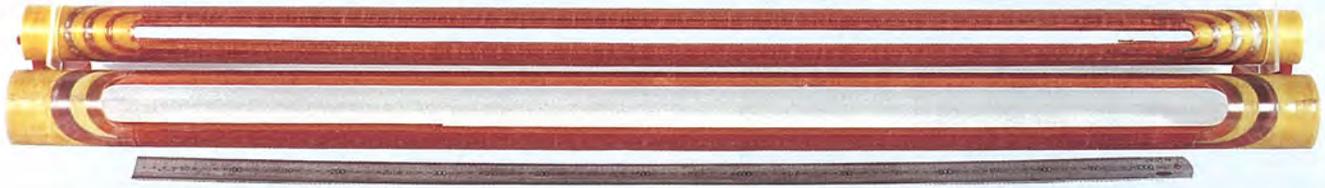


騒音特性はダクト配管状態にて、インテリアパネル正面(下方)より1m離れた地点でのAレンジによる値です。



騒音特性はダクト配管状態にて、吸込口正面より1m離れた地点でのAレンジによる値です。

スポットライト 大型加速器用 超電導二極電磁石

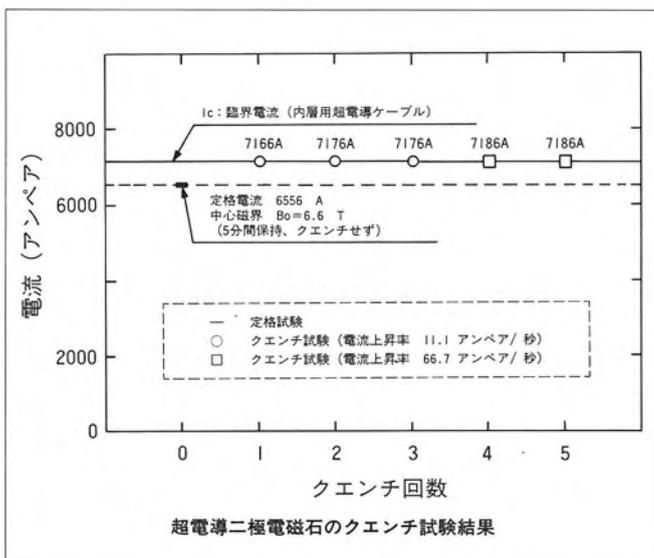


1m INNER AND OUTER COILS

物質の究極の姿に迫ろうと世界各国で大型の粒子加速器の建設や計画が進められています。これらの大型粒子加速器では大量の超電導電磁石が必要となります。超電導二極電磁石は、光に近い速度で直進する陽子などの重い荷電粒子に偏向磁界を印加して円形軌道上へ蓄積する役割を担います。その製作には①均一磁界と②高電流密度を実現するため、巻線寸法の高精度管理とケーブルの徹底した拘束が必要です。製作手法の確立と拘束構造の改善を図る目的で内径φ40mm、直線長1mの超電導二極電磁石を試作試験した結果、良好な性能を得たので御紹介します。

主要諸元

内層コイル 内径	φ40mm
コイルドマス長さ	1.5m(コイル直線部1m)
// 質量	400 kg
定格電流	6556A
定格中心磁界	6.6T



スポットライト

三菱エンジニアリングワークステーション 〈ME550/550E/550F〉



国際標準、業界標準を全面的に取り入れた三菱エンジニアリングワークステーションMEシリーズのラインアップに新しく〈ME550/550E/550F〉が加わりました。最新鋭のマイクロプロセッサMC68040 (25MHz) を搭載し性能向上を図るとともに、CPUボードは高密度実装技術により信頼性の向上を実現しました。さらにMEシリーズで培われた豊富な資産やユーザアプリケーションをそのまま継承できる上位互換性を確保した高性能EWSです。

〈商標・用語説明〉

- UNIXオペレーティング・システムは、UNIXシステム ラボラトリーズ社が開発し、ライセンスしています。
- Xウィンドウは、マサチューセッツ工科大学の登録商標です。
- OSF/Motifは、オープン・ソフトウェア・ファウンデーションの登録商標です。
- ECC：error-correcting code (誤り訂正符号)
- GUI：グラフィカル・ユーザ・インタフェース

特長

高性能、高密度実装設計、高信頼性

- MC68040に内蔵している浮動小数点演算プロセッサと8Kバイトのキャッシュメモリに加えて、ノーウェイトで動作する256Kバイトの大容量キャッシュメモリを標準装備することで高速性を実現しました。
- CPUボードは約80Kゲートにも及ぶASIC LSIの開発と徹底的な面実装技術により、CPU (MC68040)、最大128MBの大容量主メモリ、256KBの外部キャッシュメモリ、入出力装置用の周辺LSI、VMEバスインタフェースの全てをB4サイズ相当のプリント基板1枚に集積しました。
- 主メモリには標準でECCを装備し、大容量化に対応し高信頼化を図っています。

豊富な資産をそのまま生かせるソフトウェア開発・実行環境

- ME/UX-IIはUNIX SystemV リリース3.0をベースに4.3BSDのネットワーク機能とコマンドを統合しています。
- Xウィンドウシステムは最新のX11R4をサポートしています。X11R3に比べ、高速化、最適化が図られています。
- 最適化コンパイラC, Fortran, Pascalには、先端の最適化技術が共通に盛り込まれています。
- GUIに日本語OSF/Motif^{*1)}を採用しています。これにより、Xウィンドウ上で快適なアプリケーション開発環境・実行環境を提供します。

*1) OSF/Motifは'91/9にリリース予定です。

MELCOM MEシリーズ	ME550	ME550E	ME550F
CPU	MC68040 (25MHz)		
浮動小数点演算	CPUに内蔵		
メモリ	16~32MB/32~128MB ^(*)2)	16~32MB/32~128MB ^(*)2)	32~128MB
内蔵固定ディスク	320または670MB 1台	320または670MB 1台	670MB 1台
フレキシブルディスク	3.5インチ 1/1.4MB		
カセットMT	155MB (内蔵オプション)		
表示色	256色	256色	1670万色 (フルカラー)
グラフィックエンジン	標準装備		
ビットマップディスプレイ	16インチまたは20インチカラー 1280×1024ドット		
標準I/Oポート	SCSI、RS-232C×2、セントロニクス、LAN (Ethernet)、増設FDD		
入出力スロット	VMEダブルロング 3スロット VMEシングルロング 1スロット		
外部記憶装置	140MB、320MB、670MB固定ディスク max3台 カセットMT (155MB) 光磁気ディスク (両面652MB) 8mmカセットMT (2.3GB) 光ディスク (両面600MB) 5インチ、8インチフレキシブルディスク オープンリールMT (6250BPI, 2400フィート)		
オプションI/Oポート	RS-232C, RS-422, GP-IB, SCSI, V.24, X.21 (下記制御装置にてサポート)		
制御装置	インテリジェント通信制御装置、A複合通信制御装置、B複合通信制御装置、X.25通信制御装置 イメージリーダ/プリンタ制御装置、圧縮伸張制御装置		

(*)2) 受注生産です。