

MITSUBISHI 三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.64 No.12

12
1990

鉄鋼プラントを支える最新技術特集



鉄鋼プラントを支える最新技術特集

目 次

特集論文

鉄鋼プラント技術の新しい展開に期待する	1
正田英介	
鉄鋼プラント用電機品の展望	2
川崎宗男	
熱間圧延プラント用電機品	6
大塚貞正・三浦敬一・渡辺文夫・吉田二三男	
サイクロコンバータ駆動同期電動機の 圧延主機への適用	13
岡部淳一郎・城地慎司・藤井俊行・江藤憲昭・吉村 誠	
交流可变速ドライブの鉄鋼プラントへの適用	19
山本国成・轟 幸男・岩永 忍・小川晴毅・小山正人	
大規模分散化計算機システム	27
瀬名一生・宮後 彰・平塚紀嘉・目出康男・佐藤省三	
プロセスラインにおける EIC 統合化システム	31
中山宣也・貞森郁一・小川 出	
AI を利用した加熱炉燃焼制御システム	39
若宮宣範・鶴田 誠・磯部昌毅・楠本 希	
冷間圧延機の形状制御システム	44
三吉貞行・小松富夫・斎藤輝弘・森 賢嗣・小寺嘉一	
鉄鋼用溶接機と誘導加熱装置の現状と動向	50
大豆本正文・北川 勉・塙田光政・内山憲一	
鉄鋼プラント用特殊センサ	55
植木勝也・田代秀夫・田中洋次	

普通論文

幕張テクノガーデン “IC カード利用の入退室管理システム・ 鍵管理システム”	63
草間幸男・若宮正洋・宮田 実・伊藤英明・加藤 清	
多地点テレビ会議システム	69
岡 進・松室昌宏・茂木一男・寺内弘典・平野美穂子	
衛星間通信用搭載アンテナ追尾制御システム	75
阿波祐二・山田克彦・山口哲郎・柏瀬俊夫	
800MHz 帯ディジタル自動車電話用 リニアアンプモジュール	83
小室勝哉・阪本 進・岸本 悟・宮沢富士夫	
超高速 256K ビット CMOS SRAM シリーズ	87
石崎 統・小杉龍一・津田信浩・岡本泰之・松尾龍一	
冷暖同時マルチエアコン	92
飯嶋 等・隅田嘉裕・田中直樹・中村 節	
多極参照電極付き単セルによる リン酸型燃料電池の分極挙動の解析	98
光田憲朗・村橋俊明・松本正昭・留井英明	

特許と新案

位置決め制御装置、通信制御プロセッサ	107
ステッピングモータ駆動方式	108

スポットライト

香港 CLP 深圳変電所向け、単相、1005 / 3MVA, $525/\sqrt{3} / 420/\sqrt{3}$ kV 単巻変圧器	103
マルチメディア電子キャビネットシステム	104
新型パイプ用ファン	105
三菱はん用インバータ《FREQROL ファミリー》	106
総合ディジタル制御システム《MELTAC-C》	114
三菱ノーヒューズ遮断器 30A フレーム経済品 “NF30-CS 形”	115
三菱超限流遮断器 “New ウルトラシリーズ”	116
超静音冷蔵庫スペシャリテ 500 “MR-B50J”	117
高速大出力交直流インバータ電気機関車	118
冷凍冷蔵庫へのファジイ制御導入	(表 3)

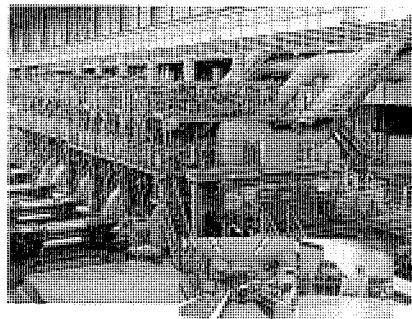
三菱電機技報 64 卷総目次

表紙

鉄鋼プラント

背景写真は、鉄鋼プラントにおける代表的ライ
ンである熱間圧延ラインの仕上ミル群である。
右下に示す熱間圧延ラインの粗圧延機用サイク
ロコンバータ駆動同期電動機は、トップフォワー
ド方式、 $2 \times 7000\text{kW}, 35/70\text{rpm}$ であり、強大トル
クながら直流電動機に比較し、非常にコンパクト
な外形となっている。

また、左下写真は、日本钢管(株)福山製鉄所納め
NK-PPCM ラインの集中運転室である。マンマ
シンインターフェースに優れた CRT タッチオペレ
ーションを大幅に採用し、運転・監視を高密度に
を行い、ワンマンオペレーションと運転室のコンパ
クト化を可能にしている。



アブストラクト

鉄鋼プラント用電機品の展望

川崎宗男

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 2~5

鉄鋼プラント用電機品は、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、特に交流可変速ドライブシステム、高速大容量計算機、高速ネットワーク、EIC 統合制御システム及びマンマシン インタフェース等の発展が目覚ましい。今後共、技術動向を踏まえ、制御の高度化、スケジュールフリー化、省力化及びメンテナンスフリー化を目指して新技術を開発していく必要がある。

熱間圧延プラント用電機品

大塚貞正・三浦敬一・渡辺文夫・吉田二三男

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 6~12

近年、国内外において熱間圧延プラントの新設や新鋭化改造工事が盛んであり、当社は数多くのプラントで実績を重ねている。ここでは、熱間圧延プラントにおける駆動システムの特徴(サイクロコンバータなど)、制御システムの特徴(システム構成、マンマシン インタフェースなど)、既設プラントの新鋭化工事の概要などを眺望した。

サイクロコンバータ駆動同期電動機の圧延主機への適用

岡部淳一郎・城地慎司・藤井俊行・江藤憲昭・吉村 誠

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 13~18

鉄鋼圧延主機用のサイクロコンバータは、従来、誘導電動機と組み合わせて使用されるのが通例であった。しかし、サイクロコンバータの設備総容量が受電容量に対して大きな割合を占めるプラントでは、同期電動機を採用することで電源効率を改善し、電源系統に対する影響度を大幅に軽減することができる。一方、同期電動機や制御回路には、誘導電動機の場合には要求されなかった新規技術の適用が必要となる。

交流可変速ドライブの鉄鋼プラントへの適用

山本国成・轟 幸男・岩永 忍・小川晴毅・小山正人

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 19~26

鉄鋼プラント設備は、電動機容量数 kW のプロセスラインから 10,000 kW の圧延機に及ぶ広範囲のドライブシステムが要求され、また、用途によって負荷特性・精度・応答性などその要求仕様が多岐にわたる。本稿では、鉄鋼プラントにおける交流可変速駆動技術の動向と圧延ラインからプロセスラインに至る適用分野別最適システムについて述べる。

大規模分散化計算機システム

瀬名一生・宮後 彰・平塚紀嘉・目出康男・佐藤省三

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 27~30

鉄鋼プラントにおける計算機システムは、大規模・広域化の傾向にあり、その環境下において信頼性・保守性が高く、かつ急変する市場に柔軟に対応できる大規模分散化システムが求められている。

これらのニーズに対応すべく、操業ニーズに合わせたシステムの増減及び増改造をシステム停止することなく行える平衡機能分散計算機システムを開発したので紹介する。

プロセスラインにおける EIC 統合化システム

中山宣也・貞森郁一・小川 出

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 31~38

近年の薄板素材の高級化指向とおう盛な需要に対応して、鉄鋼各社ではプロセスライン設備の増強に積極的に取り組んでいるが、製品の高品質化・高付加価値化を最小限の設備投資で実現するというニーズを背景にして、電気(E)・計装(I)・計算機(C)の各制御システムを有機的に結合した統合制御システムの導入が活発である。ここでは、プロセスラインにおける EIC 統合化システムの適用とその導入効果等について具体的な事例を紹介し、併せて今後の展望について述べる。

AI を利用した加熱炉燃焼制御システム

若宮宣範・鶴田 誠・磯部昌毅・楠本 希

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 39~43

鉄鋼プラントにおける計算機制御は、長年の数式モデルの実用に、その能力的限界が感じられており、数理処理の及ばない分野に対しての自動化拡大戦略として、AI 技術への期待は大きい。

ここでは、加熱炉燃焼制御において熟練操作員技術にその柔軟性が劣るとされる炉温決定処理に、AI を応用した事例を報告するとともに、拡大するリアルタイム制御用 AI システムニーズへの対応として、開発中のリアルタイム AI システム構築ツールを紹介する。

冷間圧延機の形状制御システム

三吉貞行・小松富夫・斎藤輝弘・森 賢嗣・小寺嘉一

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 44~49

冷間圧延の分野では、製品の薄板化や高強度化指向に加え、高品質化の要求はますます厳しくなる一方であり、板厚・形状に代表される寸法品質の制御精度向上の必要性が高まっている。このような技術動向に対して当社では、どのような冷間圧延機形式にも使用可能な簡素化した自動形状制御システムを開発した。

本稿では、冷間圧延機への自動形状制御システムの具体的適用例を紹介するとともに、その制御効果を述べる。

鉄鋼用溶接機と誘導加熱装置の現状と動向

大豆本正文・北川 勉・塙田光政・内山憲一

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 50~54

鉄鋼プロセスラインに、直流方式マッシュシーム溶接機、シヤー、トライマ内蔵式フラッシュ溶接機、さらに高炭素鋼、ステンレス鋼までも高品質に溶接できるレーザ溶接機を納入し、ラインの複合化・連続化・高付加価値化を実現している。また、鉄鋼用誘導加熱装置として、特に薄板の縦断磁束加熱方式及び横断磁束加熱方式のそれぞれの原理と応用例により、最適な誘導加熱方式及び各ラインへの導入メリットが理解できる。

鉄鋼プラント用特殊センサ

植木勝也・田代秀夫・田中洋次

三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 55~62

鉄鋼プラント用に開発した 7 種類のセンサについて、その計測原理と適用事例を紹介する。平たん度計として、超小型 TV カメラ応用平たん度計、冷延鋼板平たん度計、熱延鋼板平たん度計を、平面形状ではクロップ形状認識装置を、さらにドップラー効果を利用してレーザドップラー速度計、欠陥検査としてねじ表面欠陥検査装置と超音波探触子を紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 31~38 (1990)

The Application of an EIC-Integrated Automation-Control System to Processing-Line Plants

by Nobuya Yamanaka, Yuichi Sadamori & Izuru Dgawa

Steel manufacturers are upgrading their processing lines to meet the current strong demand for high-quality sheet metal. They aim to achieve the maximum improvement in product quality and market value with the minimum facility investment. Most strategies call for the integration of electrical, instrumentation, and computer EIC functions in a single architecture. The article describes the implementation of EIC-integrated automation-control systems in several processing lines and their effect on production. The article also comments on anticipated developments.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 39~43 (1990)

A Reheating-Furnace Combustion-Control System Using AI

by Yoshinori Wakamiya, Makoto Tsuruda, Masaki Isobe & Nozomu Kusumoto

The mathematical models long used in the computer-control systems of steel plants are inadequate to control phenomena outside the domain of conventional numerical analysis. AI technology appears to be a promising supplement in such areas. The article describes an expert system for combustion control of a reheating furnace that reflects the flexible decision-making process of an experienced human operator. The article also introduces real-time AI system-development tools that will facilitate the use of AI technology in real-time control applications.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 44~49 (1990)

An Automatic Shape-Control System for Cold-Rolling Mills

by Sadayuki Miyoshi, Tomio Komatsu, Teruhiro Saito, Kenji Mori & Yoshikazu Kotera

The cold-strip rolling industry is facing demand for thinner, stronger, and higher-quality products. There is also a need to raise the dimensional precision in terms of thickness and shape (flatness). Mitsubishi Electric has developed an automatic flatness-control system that can be easily adapted to existing cold-rolling mills. The article introduces an installation of the system and reports on its efficacy.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 50~54 (1990)

The Present Situation and Future Trends in Steel-Industry Welders and Induction Heaters

by Masafumi Daizumoto, Tsutomu Kitagawa, Mitsumasa Tsukada & Ken'ichi Uchiyama

Steel-processing lines have grown more complicated as DC mash-seam welders and flash welders have been adopted and continuous-production methods introduced. Laser welders are also being employed to process high-carbon and stainless steels. The article discusses these trends and also describes the principles and practical applications of induction heaters. Induction heaters employing longitudinal and transverse flux-heating are discussed in detail, and their advantages in thin sheet-metal production are reported.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 55~62 (1990)

A Special Sensing System for Steel Mills

by Katsuya Ueki, Hideo Tashiro & Yoji Tanaka

The article reports on seven sensors developed for steel mills including their basic principles and application examples. These include a flatness gauge with a micro TV camera, shape meters for hot-and cold-strip mills, and a crop-profile gauge, a velocimeter based on the laser-Doppler effect, a surface-inspection system for oil-pepe threads, and an ultrasonic transducer for flaw detection.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 2~5 (1990)

Trends In Electrical Equipment for Steel Mill Plants

by Muneo Kawasaki

Improvements in electrical equipment for steel mill plants have followed advances in power electronics and microelectronics, especially in variable-speed AC drive systems, high-speed high-capacity computers, high-speed networks, EIC-integrated automation-control systems, and man-machine interfaces. The article describes the state of the art in areas of sophisticated control, schedule-free steel manufacturing, maintenance-free systems, and other areas of technical development.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 6~12 (1990)

Electrical Equipment for Hot-Strip Mills

by Sadamasa Otsuka, Keiichi Miura, Fumio Watanabe & Fumio Yoshida

Hot-strip mills are undergoing intensive renewal both in Japan and abroad. The Corporation is a major supplier of electrical equipment for hot-strip mills and has an outstanding record. The article reports on recent equipment, including cycloconverters for motor-drive systems, new control-system configurations and their man-machine interfaces, and representative on-site renewal work.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 13~18 (1990)

A Cycloconverter-Fed Synchronous Motor Drive System for Steel Mills

by Jun'ichiro Okabe, Shinji Jochi, Toshiyuki Fujii, Noriaki Eto & Makoto Yoshimura

Cycloconverters are often used in steel mills to drive conventional induction motors; however, the power factor can be improved by the use of synchronous motor drive systems. In installations where the cycloconverters consume the majority of substation output, the result is much-reduced influence on power-supply system. Synchronous motors and their drive electronics require technologies that are the subject of this article.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 19~26 (1990)

AC-Motor Drive Systems for Steel Plants

by Kunishige Yamamoto, Yukio Todoroki, Shinobu Iwanaga, Haruki Ogawa & Masato Koyama

Steel plants require motor-drive systems of capacity range from several kilowatts for processing lines to about 10MW for rolling mills. There are also requirements on load characteristics, accuracy, and response. The article reports on trends in variable-speed AC motor-drive technology, and system optimization for applications such as rolling mills and process lines.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 12, pp. 27~30 (1990)

A Large-Scale Distributed Computer-Control System

by Kazuo Sena, Akira Miyajiri, Noriyoshi Hiratsuka, Yasuo Mede & Shozo Sato

Computer systems for steel plants are typically large and distributed. They require high reliability, easy maintenance procedures, and the flexibility to cope with sudden market fluctuations. These capabilities are achieved through distributed architectures. The article reports on a newly developed computer system with balanced functional distribution. The new computer system can be expanded without an interruption of services.

アブストラクト

幕張テクノガーデン“ICカード利用の入退室管理システム・鍵管理システム”

草間幸男・若宮正洋・宮田 実・伊藤英明・加藤 清
三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 63~68

千葉市幕張新都心に誕生した“幕張テクノガーデン”に、ICカード(Integrated Circuit Card)を利用する入退室管理システム及び鍵管理システムを納入した。

このシステムは、インテリジェントビルにおけるOAシステムの一環として、ICカードを核にして安全で快適なビジネス活動を支援するものであり、使い方に応じたセキュリティシステムを提供するものである。

多地点テレビ会議システム

岡 進・松室昌宏・茂木一男・寺内弘典・平野美穂子
三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 69~74

テレビ会議をより効果的なものにするために、多地点テレビ会議システムを開発した。このシステムは、多地点通信制御装置(MCU)と従来のテレビ会議端末及びISDNなどデジタル通信網などで構成される。これにより、8地点までの通常多地点会議、64地点までの同報会議を行える。音声、動画、グラフィックデータ(静止画)などを使用し、それらを自由に組み合わせることができる。さらに、予約システムとの連動機能やセキュリティ保護機能などを持っている。

衛星間通信用搭載アンテナ追尾制御システム

阿波祐二・山田克彦・山口哲郎・柏瀬俊夫
三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 75~82

衛星間通信は、衛星と地球局との通信時間を広げるための技術であり、静止軌道上のデータ中継衛星を経由して通信を行う。アンテナ追尾制御システムは、データ中継用搭載アンテナを目標方向に捕そく(捉)・追尾させるものである。この論文では、その主要機能・性能、設計上特に困難であった大型アンテナの柔軟構造特性が制御系設計に与える影響の明確化、及びその解決法、制御システムの構成等についてまとめる。

800MHz帯ディジタル自動車電話用リニアアンプモジュール

小室勝哉・阪本 進・岸本 悟・宮沢富士夫
三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 83~86

800MHz帯自動車電話のディジタル化に対応して、高周波高出力電力増幅器を開発した。ディジタル方式に使用される増幅器には、その通信方式・変調方式により、信号の立ち上がり／立ち下がり時間が十分に早いこと、相互変調ひずみ・位相ひずみの小さいことといった特性が要求される。開発した増幅器は、全段AB級動作のリニアアンプで、各特性について良好な結果を示した。今回の成果は、今後のディジタル化対応増幅器の開発に役立つものと期待される。

超高速256KビットCMOS SRAMシリーズ

石崎 統・小杉龍一・津田信浩・岡本泰之・松尾龍一
三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 87~91

近年、高速SRAMは、大型コンピュータのメインメモリやワープローション等のキャッシュメモリとして需要が急増しており、256Kビットクラスの15ns品や多ビット構成品の要求が一段と強い。これらの要求にこたえて0.8μm、2層アルミ配線CMOSプロセスを用いて、最大アクセス時間15nsを実現した高速256KビットSRAM、4機種を開発した。本稿では、これらの製品概要、設計、製造プロセス技術及び電気的特性について紹介する。

冷暖同時マルチエアコン

飯嶋 等・隅田嘉裕・田中直樹・中村 節
三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 92~97

ビル空調装置として広く利用されているマルチエアコンを対象として、1台の室外機に接続された複数の室内機で冷暖房を自由に行え、しかも室外機から室内機まで2本の配管で接続できる冷暖同時マルチエアコンを開発した。本稿では、このマルチエアコンの基本冷媒回路と冷媒の流れについて説明するとともに、その基本性能と容量制御に関する実験結果について述べる。なお、基本冷媒回路を更に発展させ、《シティマルチR2シリーズ》として製品化した。

多極参照電極付き単セルによるリン酸型燃料電池の分極挙動の解析

光田憲朗・村橋俊明・松本正昭・留井英明
三菱電機技報 Vol. 64・No. 12・P 98~102

リン酸型燃料電池の空気極で特異的に見られるカーボンの腐食のメカニズム解明のため、単セルの周囲に12個の参照電極を配置しセル面内の分極挙動を解析した。腐食しやすい燃料出口側の領域では、水素とプロトンが不足して電解液の酸性度が変化し、局部的に電位上昇が起こり空気極電位が高くなることを見い出した。本稿では、腐食の可能性と反応ガスの分圧、利用率との関連と腐食対策の実例について報告する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 12, pp. 87~91 (1990)

An Ultrahigh-Speed 256K-Bit CMOS SRAM Series

by Dsamu Ishizaki, Ryuichi Kosugi, Nobuhiko Tsuda, Yasuhiro Okamoto & Ryuichi Matsuo

Demand for high-speed SRAM is increasing sharply as SRAM enters broad use as main memory for mainframe computers and as cache memory for workstations. Demand for 15ns 256K-bit SRAM devices is especially strong and several bit configurations are required. The article introduces a new 256K-bit SRAM series with a maximum access time of 15ns developed to meet these needs. The series consists of four devices manufactured in a 0.8 μ m CMOS process with dual metalization layers. An overview is presented and details of the design, process technology, and electrical characteristics are reported.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 12, pp. 92~97 (1990)

The Development of a New Multi-System Air Conditioner with Concurrent Heating and Cooling

by Hitoshi Iijima, Yoshihiro Sumida, Naoki Tanaka & Takashi Nakamura

The Corporation has developed an air-conditioning system in which a single outdoor unit can supply multiple indoor units with either hot or cold refrigerant gas concurrently. Each indoor unit is linked to the outdoor unit by two pipes. The article reports on the refrigerant circuit, its operation, the results of basic performance and capacity-control testing. A more sophisticated version of this basic circuit is employed in a commercial product, the City Multi R2 Series. Multiuser air-conditioning units are widely used in buildings.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 12, pp. 98~102 (1990)

A Polarization Study of a Phosphoric-Acid Fuel Cell Using a Single Cell with Multiple Reference Electrodes

by Kenro Mitsuda, Toshiaki Murahashi, Masaaki Matsumoto & Hideaki Tomei

The authors have used multiple reference electrodes in a single phosphoric-acid cell to investigate the mechanism of the characteristic carbon corrosion that affects the cathode of these fuel cells. It was discovered that a deficiency of hydrogen and protons in the often-corroded fuel-outlet area causes fluctuations in the electrolyte acidity that trigger local potential shifts including a rise at the cathode. The article reports on the relationship between the partial-pressure of the reactant gas, its utilization efficiency, and the cell's vulnerability to corrosion. A corrosion-resistant test cell designed on the basis of these results is also introduced.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 12, pp. 63~68 (1990)

An Access-Control System Utilizing an IC Card for the Makuhari Techno-Garden Building

by Yukio Kusama, Masahiro Wakamiya, Minoru Miyata, Hideaki Ito & Kiyoshi Kato

This system has been delivered to the Makuhari Techno-Garden Building at the heart of a new commercial center in Chiba City. The system forms a part of the intelligent building's office-automation system. The IC card system supports a secure and congenial environment for commercial enterprises. The system features also make it possible to implement security systems for individual businesses located in the building.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 12, pp. 69~74 (1990)

A Multipoint Teleconferencing System

by Susumu Oka, Masahiro Matsumura, Ichio Motegi, Hironori Terauchi & Mihoko Hirano

This system transmits audio, video, and photographs or other still images. The system consists of a multipoint control unit (MCU), an ISDN or other digital-communications network, and conventional video-teleconferencing terminals. It supports simultaneous teleconferencing of up to eight stations, and multidestination delivery to up to 64 stations. The system can be linked to a reservation system to implement access control and can provide other security-related capabilities.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 12, pp. 75~82 (1990)

An On-Board Antenna-Tracking-Control System for Intersatellite Communications

by Yuji Awa, Katsuhiko Yamada, Tetsuo Yamaguchi & Toshio Kashiwase

Intersatellite communications technologies like that used in this system can increase communications availability between ground stations and user satellites. The main functions and performance parameters of the system are covered, as well as details of key design issues. Special attention was required to control the effects of the structural flexibilities of many resonance sources. The article proposes a solution to overcome these effects, and describes the control-system configuration.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 64, No. 12, pp. 83~86 (1990)

A Linear-Amplifier Module for 800MHz-Band Digital Mobile Phones

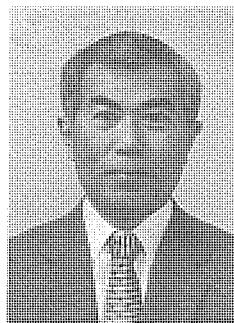
by Katsuya Komuro, Susumu Sakamoto, Satoru Kishimoto & Fujio Miyazawa

A high-frequency, high-output amplifier has been developed for 800MHz-band digital mobile phones. The modulation requirements of digital-signal communications systems demand that the associated amplifiers have short rise and fall times, low intermodulation distortion, and small phase error. This class AB operation linear amplifier satisfies these requirements, and is expected to pave the way for developing other amplifiers for digital use.

卷頭言

鉄鋼プラント技術の新しい展開に期待する

東京大学 工学部
電気工学科
教授 正田 英介



鉄鋼業が我が国の産業に占める位置は極めて重要ではあるが、電気工学の立場からすれば、それにもまして、鉄鋼プラントの技術革新が我が国の電機・制御・エレクトロニクス技術の発展に与えた寄与は大きいといえよう。歴史的に見れば、高度成長期の設備の大形化の時期における圧延機の直流ドライブシステムのサイリスタレオナード化は、サイリスタの初期の高圧化・大容量化を支えて我が国のパワーエレクトロニクス技術が世界を席巻する基礎を築いている。高炉や転炉の計算制御に始まり、圧延プロセスの直接デジタル制御(DDC)へと展開された計算機制御技術は1970年代の初頭には全プラントの統合された計算機制御システムを実現し、産業プラントの本格的な計算機制御のさきがけとなっている。70年代の後半には省エネルギー化の波の中で炉頂発電や各種の工程の直結化が進められた。

本特集においても、産業用交流駆動システムの大形化による圧延機への適用、ラインでのインバータ駆動に対するパラメータ同定や非干渉制御などの新しい制御方式の導入、計算機制御の将来の姿として注目される平衡機能分散制御、さらに実用化が着実に進んでいるAIの加熱炉燃焼制御への応用など、最新の技術の鉄鋼プラントへの応用例が紹介されている。鉄鋼業の成熟度がかなり進んだと思われる現時点においても、相変わらず電機・制御・エレクトロニクス分野の実用化の牽引力として役割の大きさを示している。

高度技術社会の進展と新興工業諸国との参入の中で、我が国の鉄鋼産業のあり方も変化しつつある。応用製品の比率の増大やエンジニアリングそのものの企業化と並んで、従来の鉄鋼製品についてもその高付加価値化・高級化が指向されるところであろう。後者に対しては省エネルギーと環

境性への要求の一層の高まりとともに、製鋼プロセスそのものの見直しが電磁冶金プロセスという形で研究・開発が進められている。

このプロセスは、本特集でも述べられている電磁誘導加熱、鉄道・輸送分野での実用化の進むリニアモータ技術を適用しての電磁直接駆動・制動技術・電磁気によって直接に流動状態の鋼を攪拌したり、ピンチ力などによって非接触で固化させる技術を統合して、新しい連続した過程で溶鋼から製品までを結ぶことを最終目標としている。よく知られるように、加工状態の鋼はキューリー点以上の温度にあり、その導電率もそれ程大きくなない。したがってその実用化には超電導磁石の適用が不可欠であろう。

超電導応用技術は輸送や電力の分野で活発に研究開発が進められているが、産業分野においてはまだまだである。鉄鋼プラントへの応用がその牽引車となるのは大いに期待される。もちろん、そのためには、マグネットがプラントでの使用に耐えるよういろいろの意味での工学的な開発が必要であるのはいうまでもないが、高温超電導材料の最近の実用化の進展の速度から判断すればこのようなプラント技術の実現もそう遠いようには思われない。それにはハードウェアのみでなく、流動状態にある鋼に働く力やその運動を解析し、制御するための新しいソフトウェアの開発も必要であろう。

鉄鋼プラント技術が21世紀の高度産業社会の要請にこたえるような新しい展開をみせるのを望むとともに、それに対応できる要素技術の開発が着実に進められ、我が国の電機・制御・エレクトロニクス制御の発展を更におし進めるこことを期待している。

鉄鋼プラント用電機品の展望

川崎宗男*

1. まえがき

鉄鋼プラント用電機品は、1970年代前半までの高度成長経済のもとで、プラントの大型化・高速化・自動化等、量産化志向に対応して発展してきた。1970年代後半からは、高効率化、省エネルギー、省力化及び製品の高品質化を目指す顧客のニーズを実現すべく軌道を一部修正しながら進展し、現在に至っている。特に、1980年代後半から90年代にかけての国内製鉄業の設備投資は目覚ましく、自動車用薄板表面処理鋼板を中心としたプロセッシングラインの新設ラッシュが顕著である。全設備に対して、最近5年間の当社の実績は、ホットストリップミル3プラント、棒線材ミル4プラント、冷間圧延ミル6プラント、プロセスライン45ラインを数えている。

最近の特筆すべき事項として、以下が挙げられる。

(1) 交流可変速ドライブシステム、特にサイクロコンバータ技術の進展は目覚ましく、圧延主機への適用も盛んであり、補機用のインバータ技術の進歩とともに全交流化駆動システムの時代を迎えた。

(2) 高速大容量データウェイを中心とした計算機の平衡機能分散システムの適用とともに、E(電気)、I(計装)、C(計算機)を統合したEIC統合制御システムは、保守・運転の集約化を容易にし、プラントの集中運転、監視が一層進むものと予想される。

今後の設備動向として、高精度板厚、良質の形状(高平たん度)、めっき厚の均一化等の製品の高品質化、設備の連続・集約化、多品種小ロット生産対応のスケジュールフリ化、新素材への対応、超薄物化及び省力化を一層おし進めた無人化操業等に進むものと考えられる。

また、生産を行なうながらの設備のリニューアルは、新設プラント以上の高度な技術力が要求されるとともに、新操業システムのスムーズな立上げや、異常時の操作習得用のオペレータ教育シミュレータの導入等、モダニゼーションテクノロジーという視点からの技術改良が必要となっている。

さらに、ファジー制御やAI技術を導入した高度な制御・診断システムと、大型ディスプレイ装置と画像処理技術を駆使したプラント操業コンサルテーションシステムの導入は、製品品質と保守診断システムを飛躍的に向上させるものとして期待できる。

ここでは、これらを実現していく個々の技術について、現

状の動向と将来の展望について述べる。

2. 交流可変速ドライブシステム

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展により、その性能が飛躍的に向上してきた交流可変速ドライブシステムは、鉄鋼プラントの中で重要な地位を占めるようになってきている。

(1) 圧延主機用交流可変速システムであるサイクロコンバータ ドライブシステムは、直流電動機の宿命であるコムューテータ及びブラシの保守、整流による応答性の制限及び単機製作限界等の弱点もなく、応答性・効率・保守性に優れ、プラントの高品質化制御、省エネルギー化及びメンテナンスフリー化に大きく貢献している。したがって、この数年間の圧延機駆動用としてのサイクロコンバータの適用は、目覚ましいものがある。当社では、1986年厚板ミル用に非循環電流方式サイクロコンバータ誘導電動機駆動システムを製品化して以来、連続冷間圧延機用として循環電流方式サイクロコンバータの適用、さらに熱間圧延機用として同期電動機方式サイクロコンバータを納入しており、31セット、総容量130,750 kW の実績を誇っている。図1に製作実績の推移を示す。

(2) 圧延補機及びプロセスライン駆動用に関しては、ペクトル制御付きインバータの適用が主流になっており、プロセスライン設備の駆動システムの全交流化も実現されている。また、インバータの素子も従来から使用されてきたサイリスタ、パワートランジスタに加え、GTOの採用の検討が鋭意なさされている。

さらに、AI応用技術としてエキスパートシステムを適用した故障診断システム、軸振動抑制、速度オーバーシュートレス等の制御機能及び各種パラメータの自動チューニングシステムの付加された交流可変速ドライブシステムも実用化されている。

3. 制御システム

鉄鋼プラントの大規模制御システムは、計算機制御(SCC)システム、電気制御(DDC)システム及び計装システム等に階層化され、また同一階層内では応答性の確保、危険分散、ケーブル節減等から分散化の考え方が広く浸透してきている。

このうち、SCCレベルでは従来の単なる機能分散の形態から、設備の増設・改造に対し柔軟に対応可能な水平的な分

散指向をもった計算機システム、すなわち、平衡機能分散システムという概念が導入され、システムの拡張性、保守性、S/Wの開発性等の向上が図られている。

また、電気(E)、計装(I)、計算機(C)の基本アーキテ

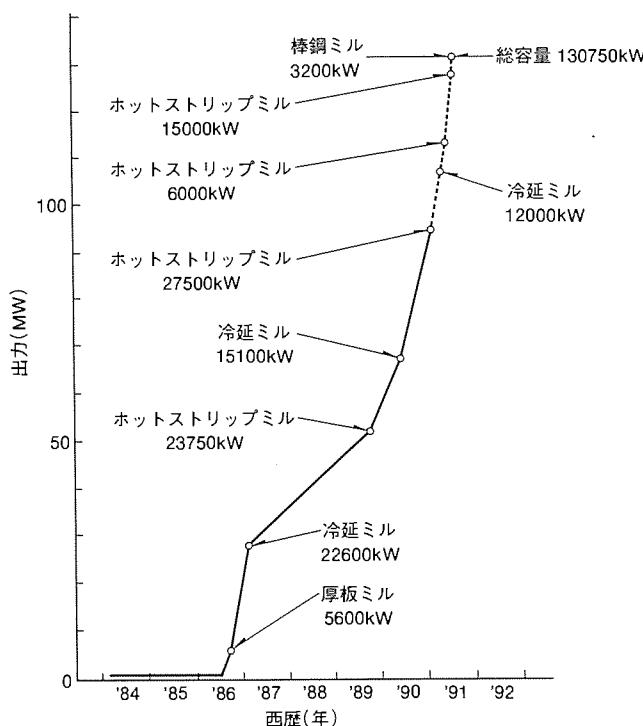


図1. サイクロコンバータの製作実績・見込み

クチャを統一し、ネットワークを中心に統合したEIC統合制御システムの実現により、システム構築に対する考え方が大きく変わってきてている。この構築思想の概略を図2に示す。

今後の動向として、将来の鉄鋼プラント制御システムへのニーズと、その先進化の方向は図3及び図4のようになろう。

また、EICシステムは、上位計算機ともUNIX^(注1)をベースにユーザーインターフェースを統一し、同一感覚でS/Wの開発、デバッグ及びリソースへのアクセスができるよう、一貫性のあるシステムを構築する必要がある。

さらに、C領域では、FORTRAN、Cの高級言語をサポートし、E、I領域では、POLをベースとした制御向き言語及びDDCマクロをサポートするとともに、これらを統一的に扱える各種の高度なメンテナンス機能をサポートできるようにしなければならない。

(注1) UNIXは米国AT&Tベル研究所が開発したオペレーティングシステムです。

4. アドバンスト制御

圧延理論及び制御理論を適用して圧延挙動を数式モデル化し、これと高速大容量化した計算機、精密・高速化したアクチュエータドライブ機器によって構成したアドバンスト制御システムは、鉄鋼製品の歩留り、品質の向上に大きな役割を果たしている。

システム階層	ニーズ	機能
操業管理	・高精度大容量モデルの適用 ・操業の最適化 ・高度操業支援	・操業支援機能 ・モデル制御 ・操業・品質解析 ・プロセス最適化制御 ・操業・品質管理 ・SET-UP
プロセス監視	・MMIの高度化・集中化 ・プロセスデータの一元化 ・DBSの構築	・操業・設備モニタ ・運転記録
リアルタイムプロセス制御	・高速応答制御 ・冗長化システムの構築	・アドバンスト制御 ・演算制御 ・計装制御 ・シーケンス制御

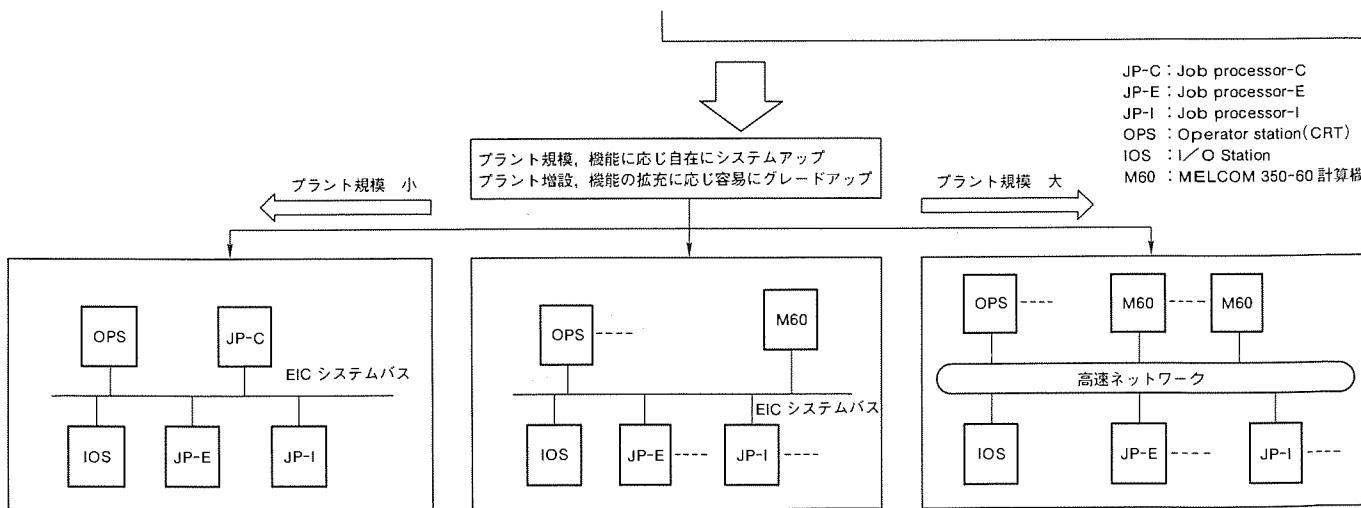
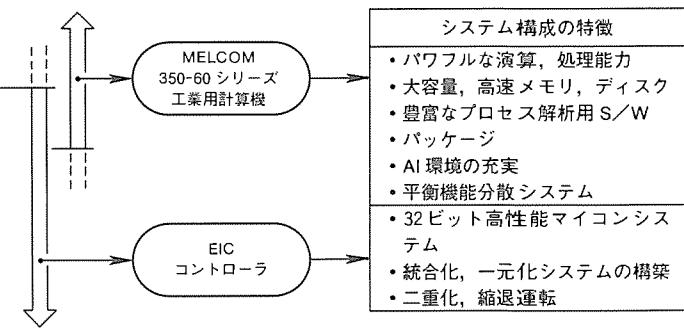


図2. 鉄鋼プラント制御システムの構築思想

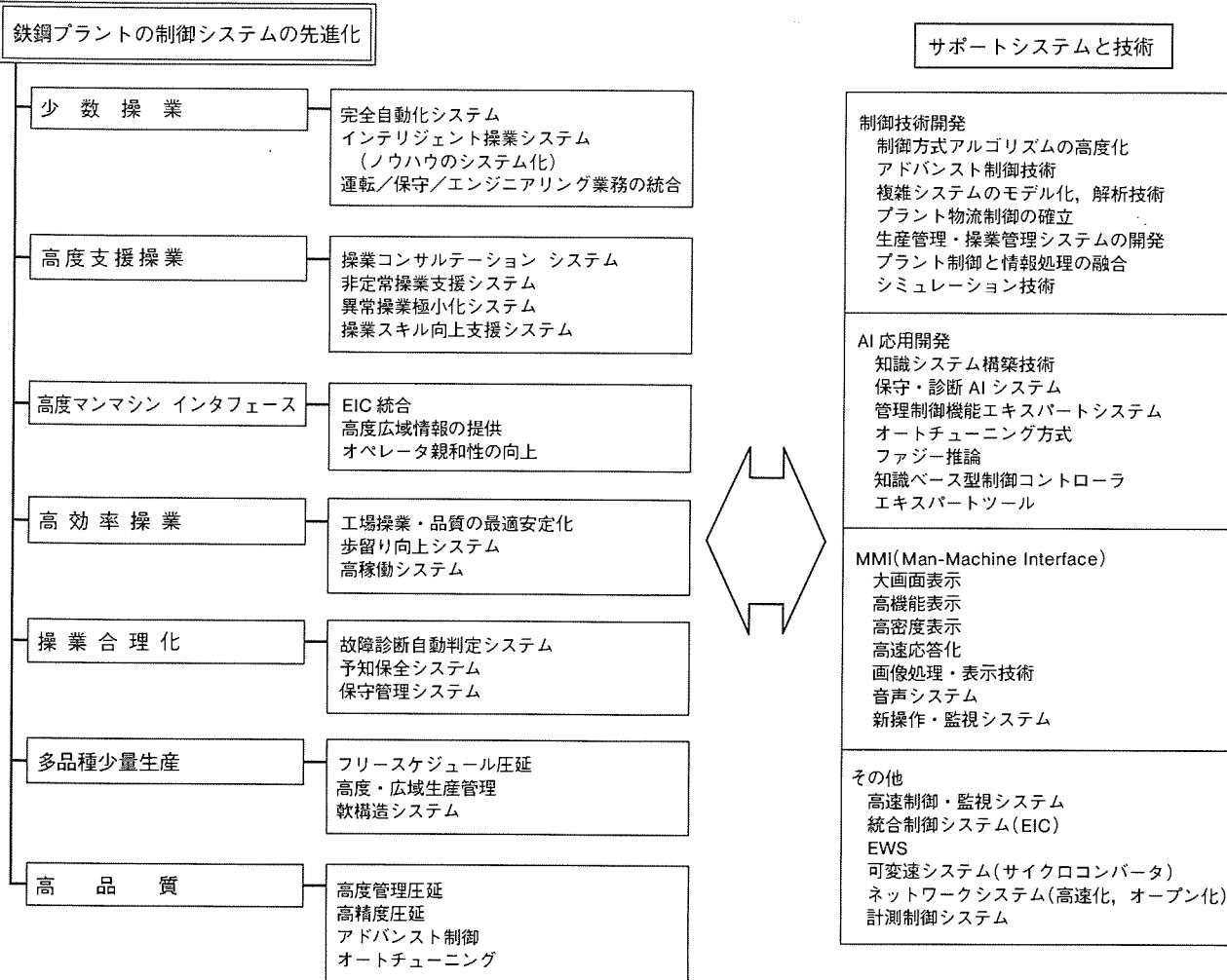


図3. 鉄鋼プラント制御システムの先進化

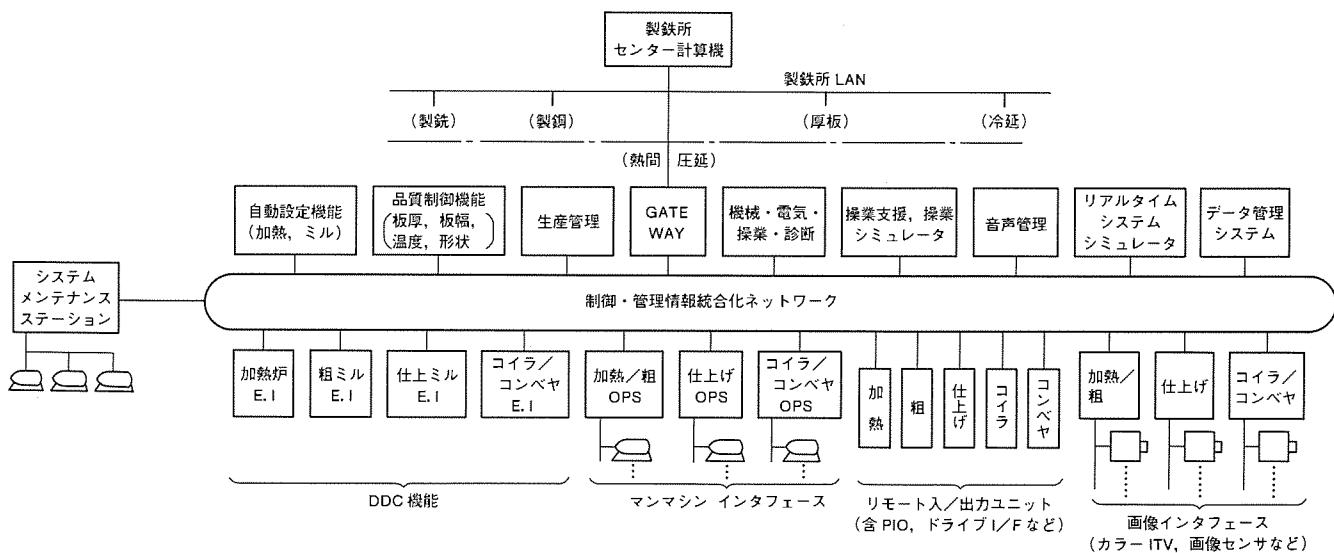


図4. 将来の制御システム例

個々の制御としては、ほぼ確立した感のあるアドバンスト制御の将来動向は、以下のようになろう。

(1) 個別制御から複合制御へ

各種制御(板厚・板幅・形状・張力・温度・速度制御等)方式の間には、相互に外乱として作用し合う部分がある(例

えば、板厚一張力一形状間)。したがって、これら個別方式を複合化・非干渉化し、外乱部分を除去する方式を確立することが、さらに歩留り、品質の向上を図るに当たって重要なってくる。

(2) AI ファジー制御と数式モデルによる制御との最適機能

分担

数式モデルによる制御システムは、幅広く実用化されているが、今なお数式モデル化の困難な悪構造領域も残っている。今後は、この領域にオペレータのノウハウをルール化したAI、ファジー制御の導入及び数式モデルとの協調制御が重要となるであろう。

また、ニューラルネットによる学習制御及びモデル同定も必ず(須)要素となってくる。

(3) 自動モデリングと自動チューニング

各種制御が複雑・高精度化するに伴って、制御モデルのパラメータ、ゲイン、ルールの作成、ファジーメンバーシップ関数等の最適調整を人手で行うことは困難になってきており、計算機による自動同定、自動調整の方向に向かうであろう。今後ともルール及びファジーを含めたトータル制御モデルとして、この自動同定及び自動調整の技術はますます重要になってくる。

5. プラント保守支援

大規模鉄鋼プラント設備を構成する機械装置、電機品及び制御システムの異常な兆候を診断し、故障を早期に発見し、故障の拡大を未然に防止することは、運転信頼性の確保、稼働率の向上にとって重要である。

従来、構成機器単体の自己診断機能やRAS (Reliability, Availability and Service) 情報などはほぼ確保されているが、全体システムのそれはなきに等しい。これを解決するために、プラント内の制御データや各種センサデータ及びラインのビデオデータなど膨大なデータを常時採取・蓄積し、トラブル発生時には、これらシステム情報をAI応用ツール等によって総合的に解析し、速やかな原因推定と対処を可能とする。また、定常時には、兆候診断や寿命予測等を行うという、システムメンテナンスステーション(SMS)の実現が急務である。

さらに、このSMSに制御システムのS/W開発、システムメンテナンス及びドキュメンテーション等のエンジニアリング機能をも付加し、トータルな保守支援環境の構築が重要

となろう。

また、各製鉄所にはデータ採取システム、電気メーカーラボラトリには解析システムを配置し、その間を通信回線で結合し、解析を設備の整ったラボラトリで行い、結果をユーザーに返すというサービスや、これを定期的に実施し、例えば、月ごとのレポートをユーザーに提供するというサービス業務が今後のテーマとなろう。

6. 鉄鋼ライン用特殊センサ

当社は、自動制御系の一部として重要な役割を果たす多くのセンサを製品化している。特に近年は、高品質化のための制御方式の進展と相まって、品質制御のためのセンサにそのニーズが高まっており、レーザ技術、画像処理技術などの要素技術の発展とともに、インテリジェントなセンサが開発されている。形状(平たん度)計、クロップ形状認識装置、非接触板速計、傷検査用超音波接触子などがその例であり、すべて品質制御、又は品質測定用である。

今後の方向としては、無人化を実現するための最重要課題として、高性能化、精度向上はもちろん、鉄鋼プラント特有の劣悪環境下でも使用可能な耐環境性、しかも自己診断機能を持った高信頼性のセンサが必要となる。

7. むすび

鉄鋼プラント用電機品及び制御システムは、鉄鋼プラントの合理化・効率化のための製造ラインの自動化、連続化及び運転の集中化に合わせ、また製品の高品質化のために、さらに高度な制御方式及び駆動方式の適用が進むであろう。

それに伴い、さらに高度化していく操業技術をサポートする操業コンサルテーション技術の開発は、これからの鉄鋼プラントシステムの先進化には不可欠なものとなる。

これらを実現するためにも、ユーザーとメーカーが協力し、鉄鋼プラントの将来像に向かって共に進むことが重要と思われる。これからも関係各位の御指導、御助言をお願いする次第である。

熱間圧延プラント用電機品

大塚貞正* 吉田二三男*
三浦敬一* 渡辺文夫*

1. まえがき

熱間圧延プラントは、製鉄所における生産ラインの中核であり、最重要設備の一つである。大規模かつ高度な圧延設備と制御システムで構成されており、鉄鋼プラント技術の集大成の一端であるといえる。

近年、当社は熱間圧延プラントの新設（最近の10年間で7プラント）及び既設の新鋭化（最近の10年間で10プラント）を数多く成し遂げ、順調な立ち上げに関係者の多大な評価を得ている。

以下、最近の熱間圧延プラント用電機品の特徴と、既設プラントの新鋭化工事の概要を紹介する。

2. 駆動システム

最近の熱間圧延プラントに適用した特徴的な駆動システムを、以下に紹介する。

(1) 単機最大トルクの直流電動機

DC3,000kW, 16.5／33rpm (1986年稼働)

韓国 POSCO 光陽 No. 1 HOT R1 ミル

(2) 単機最大容量（非可逆圧延用）の直流電動機

DC7,800kW, 120／240rpm (1988年稼働)

韓国 POSCO 光陽 No. 1 HOT F0 ミル

(3) 粗ミルへのサイクロコンバータ適用

同期電動機と非循環電流方式サイクロコンバータ

AC7,000kW, 35／70rpm (1990年稼働)

韓国 POSCO 光陽 No. 2 HOT R2 ミル、ほか

(4) 仕上ミルへのサイクロコンバータ適用

(a) 誘導電動機と循環電流方式サイクロコンバータ

AC6,000kW, 300／1,050rpm (1991年出荷予定)

日本国内某社 F7 ミル

(b) 同期電動機と循環電流方式サイクロコンバータ

AC4,500kW (将来 2 × 4,500kW), 351／878rpm

(1992年出荷予定)

日本国内某社 F7 ミル

3. 制御システム

3.1 制御システム構成

最新の熱間圧延プラントの制御システム構成例を図1に示す。このシステムは、7台のプロセスコンピュータ《MELCOM350-60／600》，31台のプラントコントローラ《MELPL

AC》，プロセスコンピュータ間を結合するSCCデータウェイ、プラントコントローラ間及びプロセスコンピュータを結合するDDCデータウェイなどで構成されている。

制御システムの特徴を以下に紹介する。

- (1) プロセスコンピュータ（以下“プロコン”という。）[SCC1]において、AI（人工知能）を利用した加熱炉燃焼制御を実施する。
- (2) プロコン[SCC3]において、熱間圧延ラインの下工程である熱間精整ラインのコンピュータ管理を行い、広域・高機能なコンピュータ操作を実現する。
- (3) プロコン[MDC]において、電機設備と機械設備の監視と診断を実施し、保守性の向上と予防保全に貢献する。
- (4) プロコン[AQC]において、板幅制御、形状制御、巻取り温度制御などの高級制御を実施し、製品品質の高度化を実現する。
- (5) DDCデータウェイは、高速・大容量(32Mbps, 8kワード)であり、従来は制御用と監視用とで分かれていたデータウェイを一つのループに統合している。将来的には、更に高速化・大容量化が進み、SCCデータウェイとDDCデータウェイとの統合が予想される。
- (6) シミュレーションシステムの一つとして、コールドランシミュレータを持ち、実圧延を行う前に制御システム全体の効果的なシミュレーションが実施できる。すなわち、コールドランシミュレータは架空スラブの動きを模擬し、HMD信号やメタルイン信号などのトラッキング信号を発生する。プロセスコンピュータ及びプラントコントローラなどの制御システムは、このトラッキング信号により、実圧延と同様な各々の制御を実施するものである。このようなコールドランシミュレーションシステムは、当社が15年以上前から実用化しており、当社が提供した数多くの新設及び改造プラントにおいてその効果を十分に發揮し、プラントの順調な立ち上げに大きく貢献してきた。
- (7) 制御用CRTとして、タッチオペレーション付きCRTを加熱炉運転室に2台、粗ミル運転室に2台、仕上ミル運転室に4台、巻取り運転室に2台配置し、操作盤のコンパクト化とオペレータの省力化を実現している。各運転室に配置された複数台のCRTは、表示・操作機能を同一とし、任意のCRTにおいて任意の表示・操作ができるシステムとしている。

3.2 計算機システム

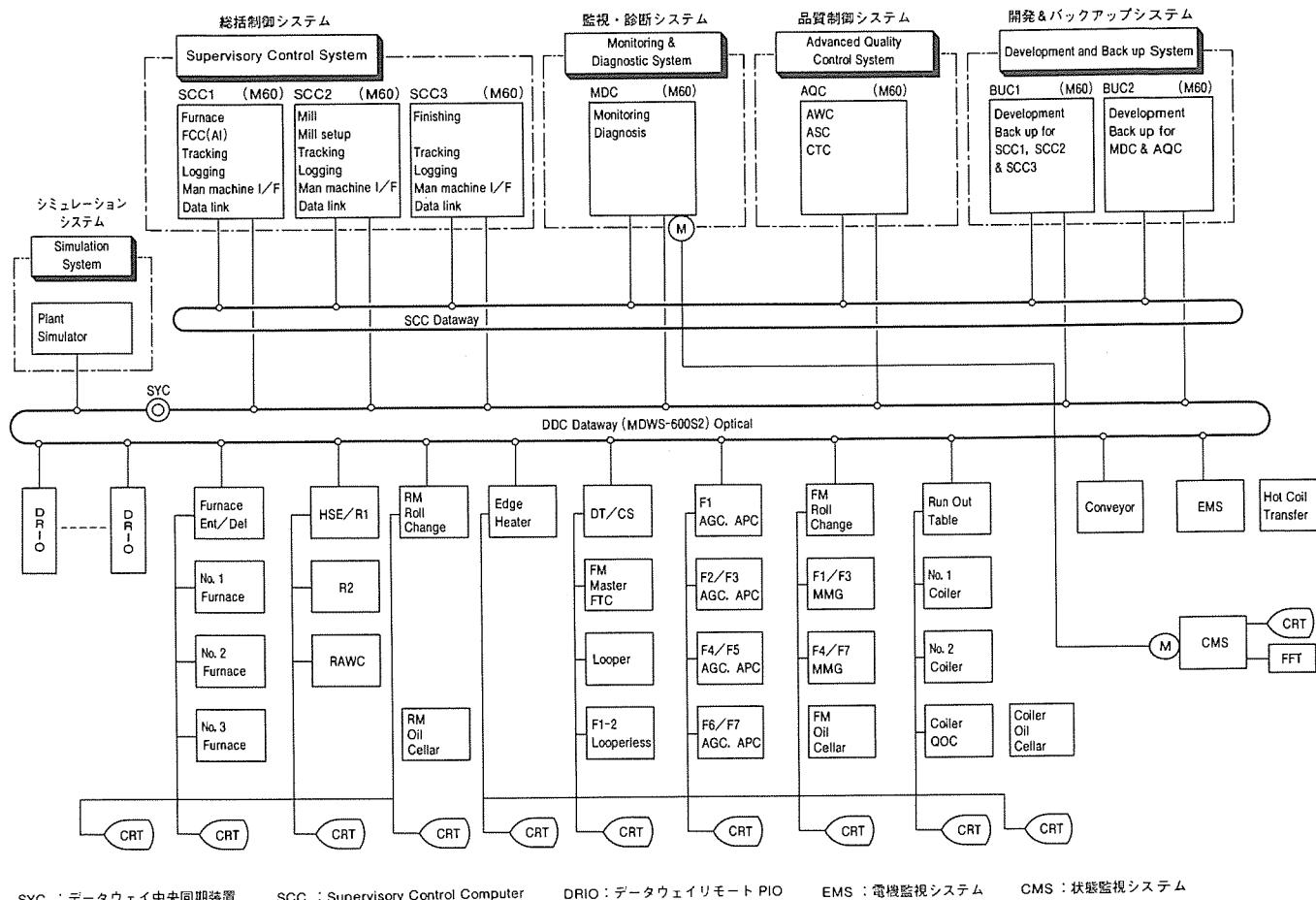


図1. 制御システム構成

最近の熱間圧延プラントでは、情報量の飛躍的な増大とともに処理の高度化が進んでいる。それに伴って、ソフトウェアの開発、生産性の向上の要求が高まっている。

工業用計算機システム《MELCOM350-60》：M60 モデル 600、モデル 800 (M60/600, M60/800) は、これらの要請にこたえる 32 ビットの工業用計算機システムである。鉄鋼プラントに対して、既に 60 システム以上を受注、納入している。

3.2.1 M60/600, 800 の特長

(1) 統一アーキテクチャによる最上位機種

M60 は、モデル 200, 300, 500, 600, 800 からなり、広い性能レンジをカバーできる。

(2) 高速処理性能

基本処理装置に最大 9 ステージのパイプライン処理方式を採用するとともに、256k バイトの大容量キャッシュメモリと 80M バイト/秒の高速バスによって高速処理を実現している。

ベクトルやマトリクス演算を高速に処理する科学技術計算プロセッサ (Scientific Processor : SP)，三角関数や超越関数を高速に処理する関数プロセッサ (Mathematical-function Processor : MP)，画像処理を高速に実行する画像処理プロセッサ (Image Processor : IP) など、各種専用プロセ

ッサによって高性能システムを実現できる。

(3) オペレーティング システム

実績のあるオペレーティング システム：OS60 に、本格的な仮想記憶制御を導入し、リアルタイム機能と大規模データ処理の両立を可能としている。

(4) 複合システムの構築

コモンメモリを介して接続するスループットの高い多重系システム構成が可能である。

共有メモリ型ネットワークシステム (三菱データウェイシステム《MDWS》) による分散型システム構成が可能である。

ローカルエリア ネットワーク (LAN) や通信回線によって接続する異機種間結合システム構成が可能である。

(5) エキスパートシステムの構築

エンジニアリング ワークステーション : EWS (ME シリーズ) 上のエキスパートシステム構築ツールによって作成された知識ベースは、FORTRAN 記述のモジュールに展開され、M60 の実行モジュールとなる。これにより、リアルタイム性の高いエキスパートシステムが実現できる。

第 5 世代計算機《MELCOM PSI》のエキスパート構築ツール EXT-KERNEL の互換ツールを用意し、PSI で開発した知識ベースや推論アルゴリズムを M60 に移行しやすくしている。

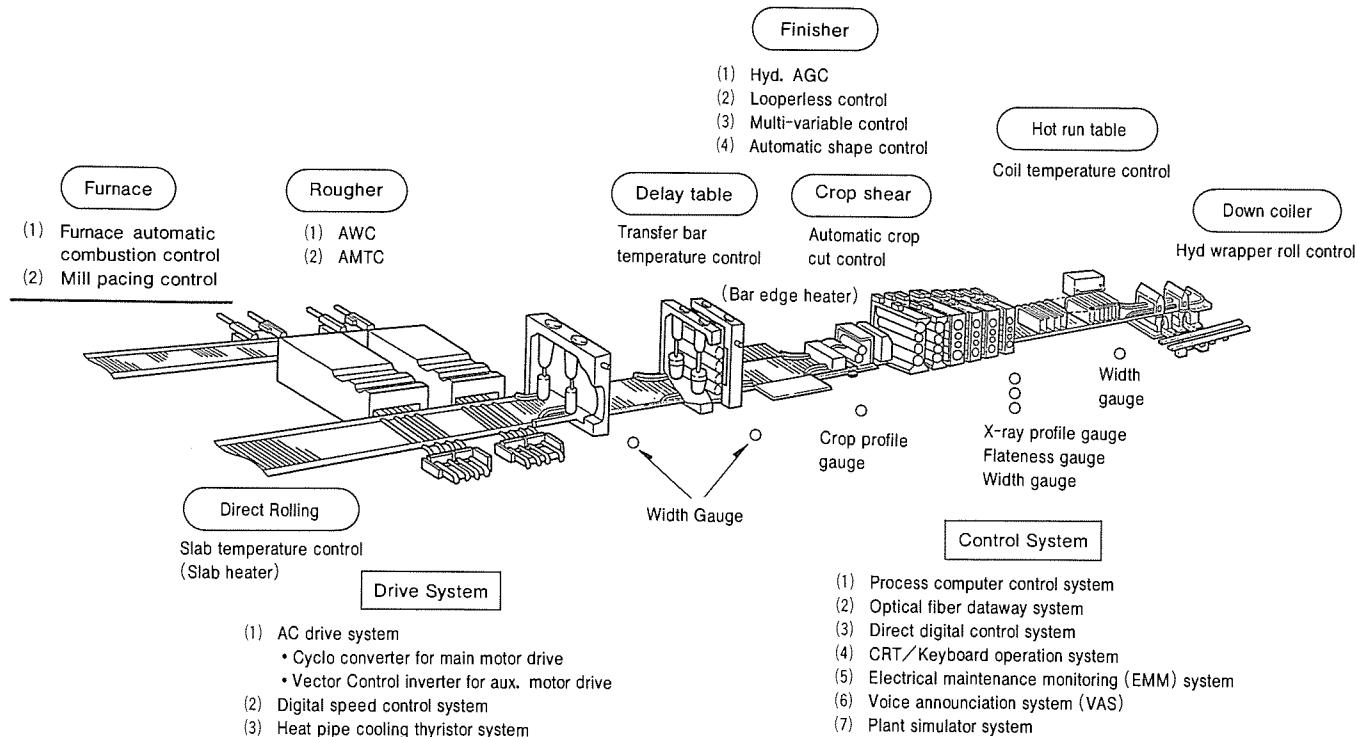


図2. ホットストリップミル アドバンスト制御

(6) UNIX^(注1)によるソフトウェア生産環境

会話型処理(TSS)に強いUNIXを、ソフトウェア生産環境として採用している。

3.2.2 制御モデル

最新の制御理論、圧延理論、AI技術の成果を取り入れて、時代の要請にマッチした各種アドバンス制御システムを実現している(図2)。

熱間圧延プラントの制御に必要な制御モデルの一例を以下に示す。

- ミルペーシング制御
- 加熱炉燃焼制御
- ミルセットアップ制御
- 形状セットアップ制御
- 板厚制御
- 板幅制御
- 形状制御
- 卷取り温度制御

(注1) UNIXオペレーティングシステムは、AT&Tのベル研究所が開発してAT&Tがライセンスしている。

3.3 データウェイシステム

三菱制御用データウェイシステム《MDWS-600S2》の主仕様を表1に示す。主な特長を以下に紹介する。

- (1) 高速・大容量なデータウェイであり、従来は制御用と監視用とで2ループとしていた

表1. 《MDWS-600S2》の主仕様

光伝送仕様	伝送路形状	ループ状
	ステーション間距離	MAX 2km ただしバイパス時4km
	総延長距離	MAX 128km
	光ファイバ仕様	グレーデッドインデックス(GI)形を使用 減衰量: 3dB/km以下 帯域: 400MHz以下 コア径: 50μm ファイバ径: 125μm
	伝送速度	32.064Mbps
	変調方式	パルス強度変調
	受信方式	タイミング再生受信
	発光素子	LED
	発光波長	0.85μm
	受光素子	APD
会話型通信仕様	光出力レベル	-18dBm以下
	最低受光レベル	-45dBm
	光インターフェース	FC形コネクタ(GI50/125使用)
	N:N通信ステーション数	MAX 128
	通信形態	N:N通信方式 ・ボーリング通信
	伝送容量	N:N通信チャネル 8チャネル N:N通信ブロック長 MAX 1,000ワード
	レスポンス	40ms≥128ワード/ステーション×8通話
	多重化方式	時分割チャネル多重化方式
	通信制御手順	会話形式
	誤り制御方式	誤り検出: CRC検定 誤り訂正: 自動再送
サイクリック通信仕様	サイクリック通信ステーション数	MAX 128
	通信形態	サイクリック通信方式 ・高速サイクリック ・中速サイクリック (ワード/ビット伝送可能)
	伝送容量	MAX 8kワード 16点/ワード
	レスポンス	Aモード通信 (0.4ms/64W)×i (i=1,2,4,8,16,32,64,128) Bモード通信 (0.4ms/32ワード)×j + (0.4ms/32ワード)×k (j=1,2,4,8,16 k=1,2,4,8,32,64,128,256)
	多重化方式	時分割多重化方式
	N:N通信との多重化	可能
	通信制御手順	中央のREAD/WRTモード制御による
	誤り制御方式	誤り検出: 2速送反転照合+パリティ検定 誤り訂正: サイクリック訂正

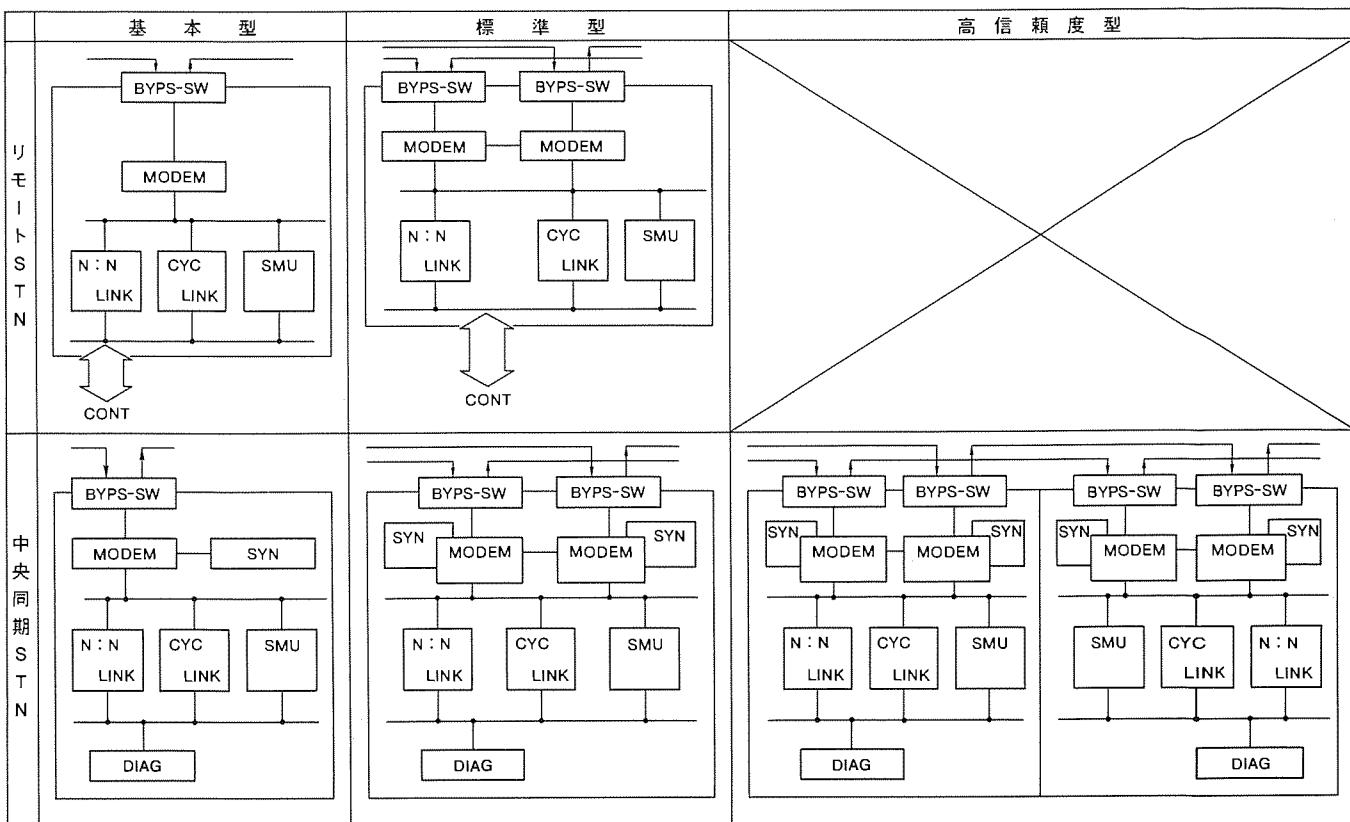


図3. 《MDWS-600S2》のステーション構成

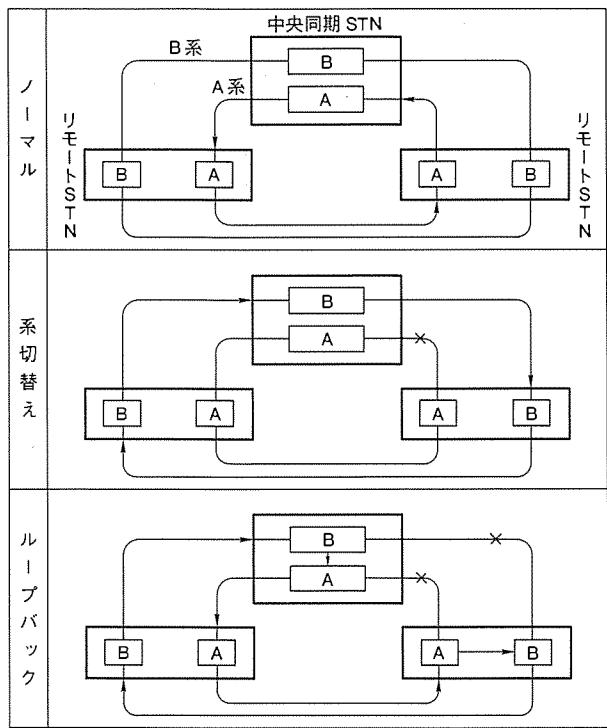


図4. 《MDWS-600S2》の回線接続状態

ものを1ループで実現できる。

(2) このデータウェイは、従来数多くの実績がある《MDWS-500シリーズ》を強化している。単体としての信頼性向上とともに、ステーションの二重化やループバック機能の充実などシステムバリエーションを拡大し、システムとしての

信頼性向上も実現している(図3、図4)。

3.4 マンマシン インタフェース (MMI)

最近の熱間圧延プラントでは、設備の高度化・複雑化、制御の高級化と自動化の拡大、生産の高速化・高効率化、オペレータの省力化などが顕著である。例えば、10年前の熱間圧延プラントと比較すると、電磁弁・センサ類の数量は2～3倍に増大しており(電磁弁約1,200台、電気制御用センサ約2,000台)、オペレータは2／3～1／2に省力化されている。

熱間圧延プラントにおけるMMIは、以下の考え方を特長として構築されている。

(1) デスクとCRTとの最適な機能分担。デスクには重要度が高いもの(非常停止押しボタンなど)、迅速性を要するもの(速度微調パーニヤなど)を集中的に配置する。CRTは、タッチオペレーションを主体とし、必要な操作を簡単に行えるものとしている。特に熱間圧延プラントの場合は、CRTとデスクを複合的に配置し、オペレータの視野を妨げないことが重要である(図5)。

(2) 少人数操業を目指す場合、一つの運転室におけるオペレータ人数を、立ち上げ当初は複数人とし、将来ワンマン化を目指す例が多い。この場合に、各オペレータの作業担当、操作項目が変わることは必然であり、また将来ワンマンとなった場合の作業担当が当初予定から変わり得ることも予想されることである。CRTオペレーションでは、デスクでの操作機能を一部CRTにも取り込むと同時に、一つの運転室に

配置される複数台のCRTは同一の表示・操作機能を持つものとし、任意のCRTにおいて任意の表示・操作を行えることが望ましい。この機能の提供により、オペレータの少人数化や作業担当変更に対し、柔軟性が高いMMIが実現できる。

(3) 主要運転室には37インチ大型ディスプレイを配置し、ITV画面やCRT画面を大画面で提供し、操作性の向上に寄与している。表示画面は、チャネル選択によって切り替えることが可能である。

(4) 大型表示装置をライン上に配置し、圧延中の材料のコイルNo.、鋼種・板厚・板幅などを表示し、ライン上の作業者への情報提供とともに、ライン見学者へのプレゼンテーションを行っている。

3.5 設備監視・診断システム

膨大な点数のアクチュエータとセンサで構成される圧延設備とその制御システムの高信頼性を維持し、保守の省力化を図る設備監視・診断システムの例を紹介する(図6)。

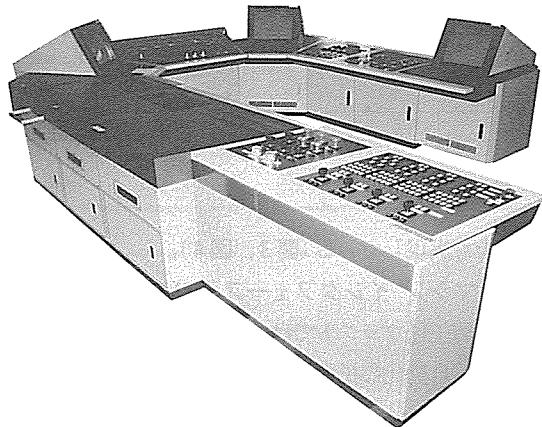


図5. マンマシン インタフェース

3.5.1 このシステムの主な機能

- (1) 電源設備(遮断器)の遠方集中投入・引き外し
- (2) 電源設備の遠方集中状態監視と電気量計測
- (3) 駆動設備(主機の遮断器)の遠方集中投入・引き外し
- (4) 駆動設備の遠方集中状態監視と電気量計測
- (5) 駆動設備(サイリスタ等)の内部制御信号のトレースバック
- (6) 駆動設備の運転条件ガイダンス
- (7) 制御システムのRAS情報の提供
- (8) 機械・電機設備の振動計測と診断
- (9) 機械・電機設備の温度計測と診断
- (10) 機械設備の圧力計測と診断

3.5.2 このシステムの主な特徴

- (1) このシステムは、プロコン[MDC]によって集中監視・診断を行う。
- (2) 設備診断は、AI(人工知能)を利用している。
- (3) 監視・診断システムの計測点は、振動482点、温度419点、圧力24点、電動機火花38点、サーボ弁電流34点など総計約1,200点であり、大規模なシステムを構築している。
- (4) 振動計測と温度計測に関しては、短時間(3分間以下)の信号処理はローカルの専用装置で処理を行い、処理後の信号のアラーム処理・長時間のトレンド管理・帳票処理などはプロコン[MDC]で実施している。

4. その他の特徴的電機品

熱間圧延プラント用電機品として、当社が提供している特徴ある電機品について、簡単に紹介する(詳細は、この特集論文“鉄鋼用溶接機と誘導加熱装置の現状と動向”及び“鉄

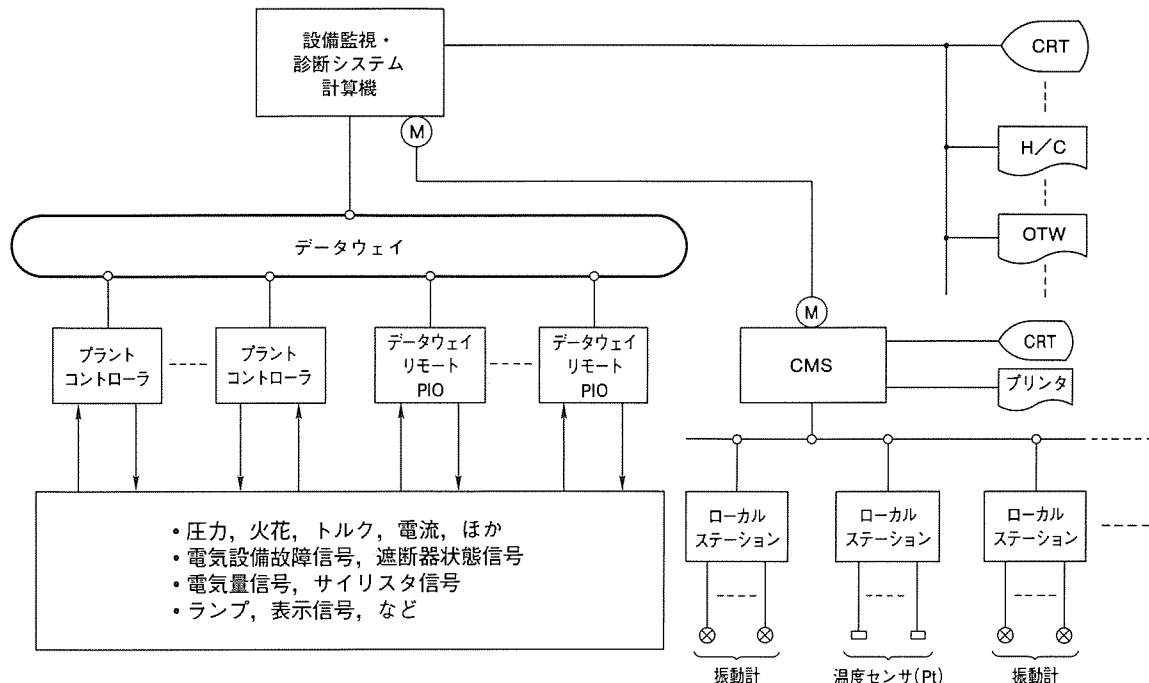


図6. 設備監視・診断システム構成

鋼プラント用特殊センサ”を参照)。

(1) エッジヒータ

仕上圧延機の上流に設置され、ストリップの幅端部を誘導加熱することにより、製品品質の向上に寄与する。能力例を以下に示す。

- 4,000kW
- 幅端部により、25mm ポイントにおいて 60°C 上昇
- 板厚 30mm, バー速度 90m/分

(2) クロップ形状計

クロップ切断機の上流に設置され、バー先端と尾端のクロップ形状をイメージセンサで測定し、最適切断点を検出する。下部光源が不要であり、保守が容易かつ信頼性が高い。

(3) シェーブメータ

仕上圧延機の下流に設置され、ストリップのシェーブ(平坦度)を測定する。レーザ光線方式によるもので精度と信頼性が高い(精度例: ±0.2% 急しゅん度)。

5. 既設熱間圧延プラントの新鋭化

国内外ともに、鉄鋼プラントの増強が盛んであるが、特に大規模な既設熱間圧延プラントの新鋭化工事における当社の実績は数多い。新鋭化工事には、1か月以上の長期間のライン停止を設け、機械設備、コンピュータシステム、制御システムなどの新鋭化を一斉に行う方法と、10日間程度の比較的短期間のライン停止を複数回行い、生産量を落すことなく、

順次改造を進めて行く例がある。したがって、前者の場合には、比較的短期間で効率的な新鋭化が実施される。一方、後者の場合には改造が長期間にわたり、また過渡的期間と状態を複数回経過し、そのための対応を必要とする。

以下に熱間圧延プラントの新鋭化例を紹介する。

5.1 韓国 POSCO 浦項 No. 2 HOT の新鋭化例

この HOT は1979年稼働し、10年後の1989年に新しい HOT として生まれ変わったものである。入念な事前準備のもと、1回の長期間ライン停止(61日間)で以下の新鋭化工事を完遂した。新鋭化後のシステム構成を図7に示す。

(1) プロセスコンピュータの更新

総括制御系を全面更新: 2台“M60”, AI(人工知能)系を新設: 1台“M60”, 既設加熱炉燃焼制御系と巻取り温度制御系を大幅改造: 2台“M50”。

(2) コンピュータデータウェイの新設

前記のコンピュータ群をデータウェイ《MDWS-60》(32Mbps, 光ファイバ)で有機的に結合。

(3) VAS(音声告知システム)の新設

自動制御システムからのメッセージや異常状態の告知の実施。

(4) プラントコントローラの更新

17CPUを改造・更新、1CPUを新設。制御機能の向上とともに、データウェイ及びCRTとの接続を行い、システムの新鋭化を実現。

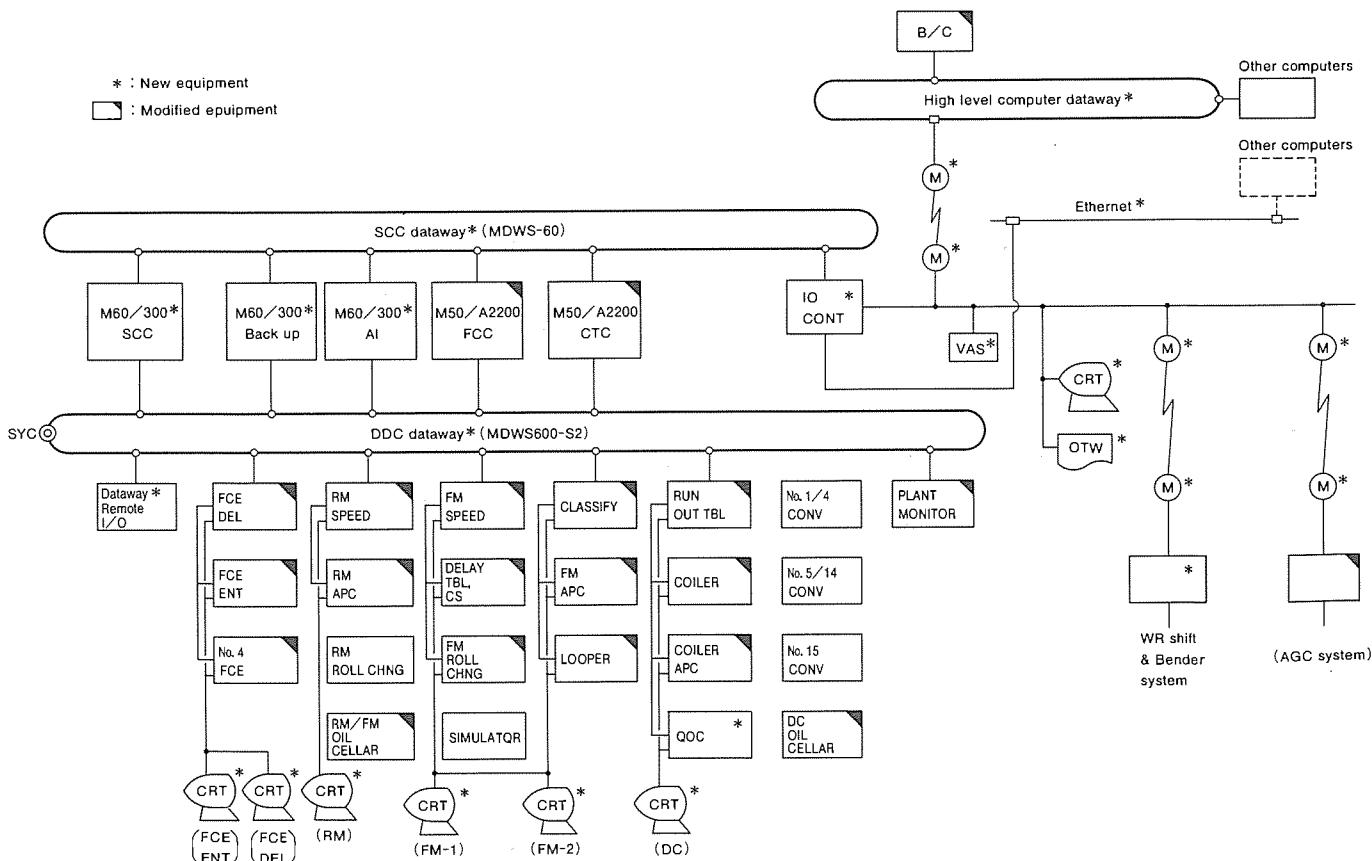


図7. 热間圧延プラントの新鋭化システム構成

(5) 制御用データウェイの新設

従来システムは PIO リンクであったが、今回データウェイ《MDWS-600S2》(32Mbps, 光ファイバ) を新設し、プラントコントローラ間及びプロセスコンピュータを有機的に結合。

(6) 制御用 CRT の新設

タッチオペレーション付きの制御用 CRT “OPS60” を計 6 台導入し、操業の新鋭化を実現。

(7) シェーブメータの新設

仕上圧延機 (F4～F7) のワーカロールシフト化、形状制御の導入に合わせ、当社のシェーブメータを新設し、形状制御に効果を發揮。

(8) ルーパの更新

ルーパを低慣性ルーパに全面更新し、制御性能を向上。

(9) コイラの油圧化

No.1, No.2 コイラを油圧化の上、QOC (クイック オープンコントロール) を実施し、巻取り形状の向上と先端マークの減少を実現。

(10) 巷取り温度制御の更新

巷取り冷却設備 (ラミナーフロー設備) の全面更新と巷取り温度制御を全面更新し、制御精度の向上を実現。

(11) ランアウトテーブルのピッチ短縮

ピッチ短縮を行い操業性の向上を実現。

5.2 国内の新鋭化例

これは、国内の新鋭化例であり、ほぼ半年ごとにライン停止を 5 回行い、3 年間で新鋭化を完成するものである。

5.2.1 新鋭化の概要

新鋭化の概要を以下に紹介する。

(1) 加熱炉の増設

(2) F7 ミルの増設

(3) プロセスコンピュータの全面更新：7 台 “M60”

(4) コンピュータ用データウェイの更新：《MDWS-60F》

(5) コンピュータ・リモート入出力用データウェイの新設：《MDWS-600S2》

(6) 制御用データウェイの更新：《MDWS-600S2》

(7) プラントコントローラの全面更新：《MELPLAC》

(8) 低慣性ルーパへの更新

(9) 巷取り冷却設備 (ラミナーフロー設備) の全面更新

(10) コイラの油圧化

(11) 仕上主機サイリスタのデジタル制御化

(12) 板厚制御機能 (AGC) の増強

5.2.2 新鋭化の特徴

この新鋭化工事の主な特徴を以下に紹介する。

(1) プラントコントローラとプロセスコンピュータとを同時に全面的に切り替えるためには、長期間のライン停止を必要とするため、前者を先に切り替え、半年後に後者を切り替えることとし、各期ごとのライン停止期間を最短とした。

(2) プラントコントローラの切替えに際し、短期間で円滑に切り替えることを目的として、プラントコントローラの並行調整を実施した。すなわち、既設コントローラは、既設のコンピュータ及び既設のデータウェイに接続された状態でプラントの制御を行っている。これらと並行して、新設コントローラを新設データウェイに接続した状態で調整を行った。既設コンピュータがコントローラに与える指令は、新設データウェイ経由新設コントローラにも与えられるよう、既設データウェイと新設データウェイをゲートウェイで接続した。また、既設コントローラに入力される信号は、新設コントローラにも入力されるよう、新・旧コントローラ間を伝送路で結合した。

(3) プロセスコンピュータの切替えに際しても、並行調整を実施している。すなわち、既設コンピュータの入出力は直結型であるが、新設コンピュータにも入出力されるよう (リモート入出力用データウェイ経由)、信号を増幅した。また、既設コントローラとインターフェースしている信号 (既設データウェイ経由) は、新設コントローラともインターフェースを行うよう (新設データウェイ経由)、システムを構築した。

6. む す び

最近の熱間圧延プラント用電機品について、その特徴を中心に紹介した。熱間圧延プラントでは、製品の高品質化及び省力化を実現するために、設備技術、操業技術及び制御技術の面で更に進歩を遂げて行くものと考えられる。

当社も、この分野における従来の実績と技術力を基盤として、今後とも世界の動向に注目しつつ、新技術、新システムの開発に努力し、最新鋭の熱間圧延プラントの実現に貢献する所存である。

サイクロコンバータ駆動同期電動機の 圧延主機への適用

岡部淳一郎* 江藤憲昭+
城地慎司** 吉村 誠+
藤井俊行***

1. まえがき

近年、鉄鋼圧延プラントの新設・増強・更新工事において、圧延主機駆動用電動機として、直流電動機に代わり、サイクロコンバータ駆動の交流電動機が広く適用され始めた。

サイクロコンバータによる交流電動機駆動システムは、直流電動機システムに対し、電動機保守性や駆動効率の点で優れている。また、整流の問題がないことから制御応答性を高くとることができ、極低速運転時もトルクリップルのない滑らかな特性が得られる。これらの優れた特性は、現時点で鉄鋼圧延主機駆動用として要求される性能を十分に満たすことはもちろん、今後、圧延性能を更に向かう可能性も秘めている。

当社では、圧延機駆動用として、既にサイクロコンバータ誘導電動機駆動システム《MELVEC 9000》を多数納入し、順調に稼働している⁽¹⁾が、このたび、電源力率を改善するために、同期電動機を力率1に制御して駆動する、サイクロコンバータ同期電動機駆動システム《MELVEC 9000S》を完成し納入した。

ここでは、鉄鋼圧延プラント主機駆動システムに、誘導電動機又は同期電動機を適用した場合の各性能比較、及びプラント対応の適用可能駆動システムの種類を示すとともに、サイクロコンバータ同期電動機駆動システムの特徴と適用例について述べる。

2. サイクロコンバータ駆動システムの種類と適用

サイクロコンバータ駆動システムには、電動機の種類とサイクロコンバータの回路方式の組合せにより、
(1) 誘導電動機+非循環電流方式サイクロコンバータ
(2) 誘導電動機+循環電流方式サイクロコンバータ
(3) 同期電動機+非循環電流方式サイクロコンバータ
(4) 同期電動機+循環電流方式サイクロコンバータ
の各方式がある。

上記各駆動方式について、表1に

性能比較を、表2にプラント対応のドライブシステム適用可能機種をまとめた。

3. サイクロコンバータ同期電動機駆動システム

この章では、前述の各種サイクロコンバータ駆動方式の中から、熱間圧延プラントの粗ミル主機駆動用に適用された非循環電流方式サイクロコンバータ同期電動機駆動システムについて紹介する。このシステムは、電源力率の改善を目的として適用されたものであり、電動機力率1制御や、弱め界磁範囲でのモータ電圧上昇抑制が可能な同期電動機を採用したことによる特徴がある。表3にこの駆動システムの仕様を示す。

3.1 システム構成

サイクロコンバータ同期電動機駆動システムの概略構成を図1に示す。システムは、同期電動機を中心に、これに電機子・界磁電流を供給するサイクロコンバタ回路及び界磁コンバタ回路、それぞれの電源トランス、制御装置、並びに各種センサから構成される。

サイクロコンバタの1相分は、逆並列接続された6パルスサイリスタ変換器を2台継続接続して構成した12パルス変換器である。サイリスタ素子は、負荷容量別に2種類を使い分けているが、大容量素子には冷却効率のよいヒートパイプ冷却方式を採用し、サイクロコンバタ変換器の小形化を図っている。サイクロコンバタ変換器盤の外観を図2に示す。

表1. 主機ドライブシステムの性能比較

駆動方式 比較項目	直流電動機	誘導電動機		同期電動機	
	サイリスタ レオナード	非循環電流方式 サイクロコンバタ	循環電流方式 サイクロコンバタ	非循環電流方式 サイクロコンバタ	循環電流方式 サイクロコンバタ
駆動システム仕様	単機最大容量	M定数の制約あり			制約なし
	最高速度(rpm)	M定数の制限から制約あり	600	1,500	600
	界磁範囲	1:3	1:7.5	1:7.5	1:3~5
制御仕様	速度制御応答(rad/s)	10~30	50	60	40
	速度制御精度(%)	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01
	速度制御範囲(%)	0.1~100	0~100	0~100	0.1~100
	トルク制御応答(rad/s)	200	600	900	500
	トルクリップル(%)	≈0	0~2	≈0	0~2
総合特性	電源力率	0.72	0.55	0.4~0.5	0.65
	総合効率(%)	基準(87~88)	+2	+2	+3
	設備容量	小	中	大	中
	保守性	整流子のメンテナンス要	メンテナンスフリー		スリップリングあり(メンテナンスは楽)

表2. プラント対応のドライブシステムの適用可能機種

プラント 対応の 駆動システム必要具備条件	熱間低速可逆圧延機 (JEM1157-1種)	熱間中高速非可逆圧延機 (JEM1157-2種)	冷間中高速可逆圧延機 (JEM1157-2種)	冷間中高速非可逆圧延機 (JEM1157-2種)
最高速度 (rpm)	120	1,100	1,200	1,500
界磁範囲	1 : 2.5	1 : 3.5	1 : 6	1 : 6
速度応答 (rad/s)	20	30	30	50
極低速特性	不要 (ただしストールトルク要)	不要	要 (0速度からの起動特性要)	要 (0速度からの起動特性要)
トルクリップル (%)	5 以下	2 以下	≈ 0	≈ 0
プラント対応の 適応可能機種		最高速度 600rpm 以下	最高速度 600rpm 超	
誘導電動機 +非循環電流方式 C/C	◎	○		
誘導電動機 +循環電流方式 C/C			○	◎
同期電動機 +非循環電流方式 C/C	○	◎		
同期電動機 +循環電流方式 C/C			○	

注 ◎：最適, ○：適

表3. 駆動システムの仕様

用 途	V S B	R 1	R 2
台 数	1	2	2
出 力 (kW)	3,750	3,000	7,000
回転数 (rpm)	180/360	16.5/33	35/70
周波数 (Hz)	9.0/18.0	2.2/4.4	4.67/9.33
過負荷耐量	225%	1 分間	
サイリスタ素子	4,000V, 1,000A	4,000V, 1,500A	

注 VSB: Vertical Scale Breaker

R1 : No. 1 Rougher

R2 : No. 2 Rougher

制御装置は、速度制御部、磁束制御部、トルク分・無効分・励磁分電流制御部、磁束演算部、座標変換部などから構成されている。これらの制御演算は、マイクロプロセッサ (μ P) とデジタルシグナル プロセッサ (DSP) によるマルチCPUシステムで高速に実行されている。

3.2 制御原理

鉄鋼圧延のように高性能な可变速運転が要求される用途では、交流電動機は一般にベクトル制御される。ベクトル制御では、交流量を回転するベクトルと考える。そして、そのベクトルと同期して回転する座標系を導入することで、回転ベクトルを静止ベクトルとして扱う⁽²⁾。この方式では、ベクトルの大きさ(直流量)を制御することで、交流量を位相遅れなく制御することができる。ベクトル制御された交流電動機は、直流電動機と同様に、電流の大きさとトルクが比例するように運転することが可能となる。

誘導電動機では、速度・トルク・磁束が制御量であるが、同期電動機ではこのほかに力率が加わる。一般に知られているように、同期電動機の力率は電機子電流、界磁電流を調節することにより、1.0にすることができる⁽³⁾。図3に、同期電動機が定的にトルクを発生しているときの電流・電圧・磁束の関係を表すベクトル図を示す。ここで、d軸(直軸)

は界磁起磁力方向であり、q軸(横軸)はd軸に電気的に直交している。この座標系は、回転子と同期して回転する座標系である。 V_a , I_a , Φ_a は、電機子電圧、電流、磁束、 I_f は界磁電流のベクトルの大きさである。角度 ψ は、トルク角又は負荷角に対応する。このときの電動機発生トルク T_e の大きさは、 Φ_a とそれに直交する電機子電流 $I_{\delta a}$ の積で表すことができる。

$$T_e = p \Phi_a I_{\delta a} \dots \quad (1)$$

ここで、 p は極対数である。図3で電機子電流の磁束方向の成分 $I_{\gamma a}$ が零であれば、電機子電圧と電流の位相が一致して力率が1.0となる。抵抗で発生する電圧を無視すれば、 V_a は回転子の角速度を ω_r として、

$$V_a = p \omega_r \Phi_a \dots \quad (2)$$

と表される。さらに、 Φ_a はリアクタンスと電流により、次式で表すことができる。

$$\Phi_a = (X_{da} I_{\gamma f} + X_{\gamma a} I_{\gamma a} - X_{\gamma \delta} I_{\delta a}) / \omega_0 \dots \quad (3)$$

ここで、 X_{da} は直軸電機子反作用リアクタンス、 $X_{\gamma a}$, $X_{\gamma \delta}$ は同期リアクタンス X_d , X_q と ψ の関数、 $I_{\gamma f}$ は界磁電流の磁束方向成分、 ω_0 は駆動電源の定格角周波数である。右辺の分子第3項 $X_{\gamma \delta} I_{\delta a}$ は、定的には $I_{\delta a}$ の符号によらず正である。また、 $X_{\gamma \delta}$ は $X_d - X_q$ に依存しているため、この項は突極形の方が円筒形より大きくなる。

以上の関係を考慮すると、同期電動機は次のように制御すればよいことが分かる。すなわち、 Φ_a を所望の値に保ち、 $I_{\delta a}$ をトルクに比例した電流として制御することでトルクを制御する。 $I_{\gamma a}$ を零になるように制御し、力率を1.0に制御することができる。また、磁束 Φ_a を制御することで、電圧を制御することができる。磁束は、トルク制御、力率制御に関係しない $I_{\gamma f}$ を調節することで制御できる。電動機速度は、トルクを調節することで制御する。

3.3 制御装置

制御ハードウェアの構成を図4に示す。 μ Pと複数の

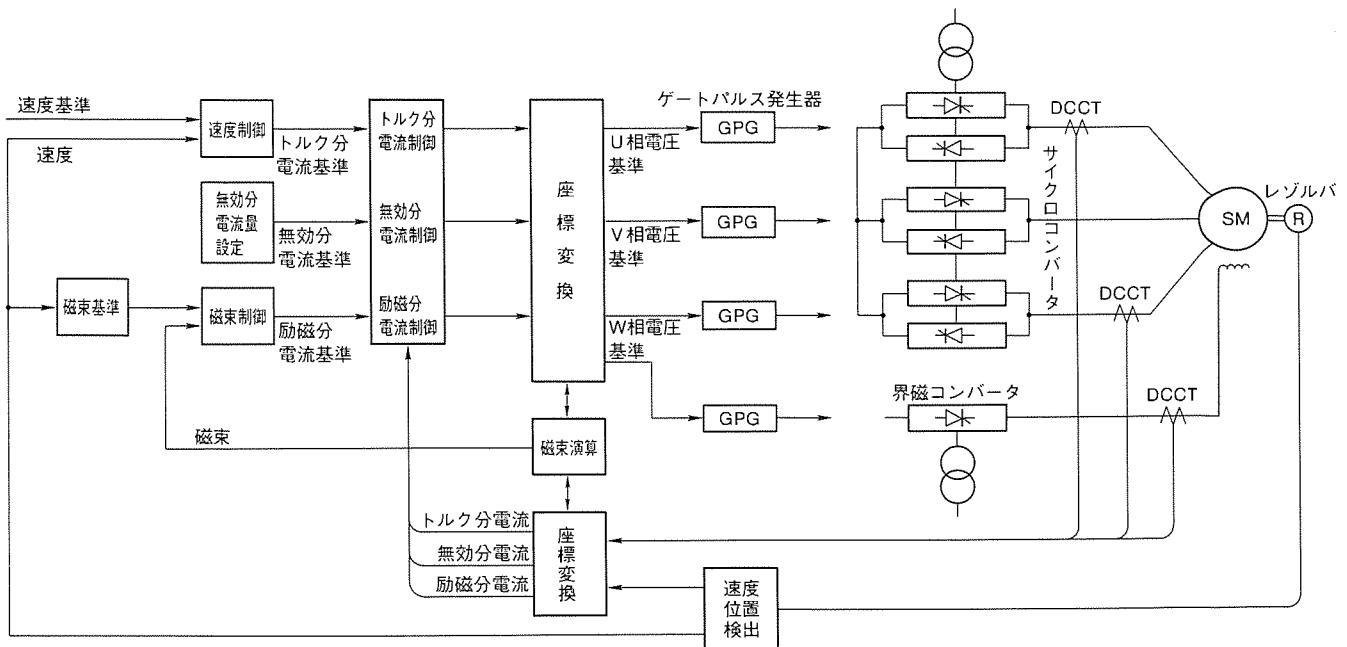


図1. システム構成

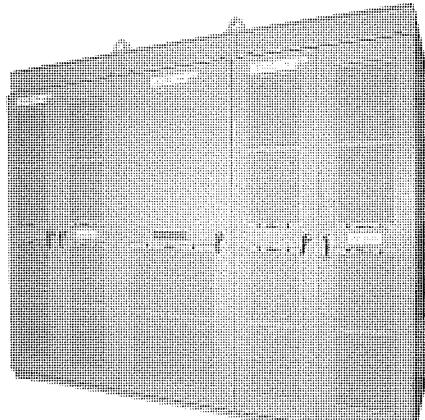


図2. サイクロコンバータ変換器盤

DSP を用いたマルチ CPU 構成として機能分散を図り、高信頼、高速かつ高精度な演算を可能とし、電流及び速度の高速応答を実現している。 μ P (A) には、外部ハードウェアとのインターフェース、速度制御、磁束基準演算、及び下位 DSP のコントロールを行う機能を持たせている。DSP (B) には、電流制御、磁束演算、座標変換演算、DSP (C) には非循環電流方式サイクロコンバータのゲートコントロールを行う専用的機能をもたせている。これらの制御系にデータを取り込むセンサとしては、速度検出と磁極位置検出が可能な高精度レゾルバや、高速・高精度・低リップルの DCCT を採用するなど、制御性能を最大限に引き出せるよう配慮している。さらに、故障診断、データトレース、上位コンピュータとの制御・監視伝送などの機能を備え、保守性・操作性の向上を図っている。

制御ソフトウェアは、3.2節で述べた制御原理に基づき、電機子反作用を考慮した磁束軸の方向と一致する γ 軸と、それに直交する δ 軸上の直流電流量を制御するようなアルゴリズムを実行する。なお、ベクトル制御における磁束演算

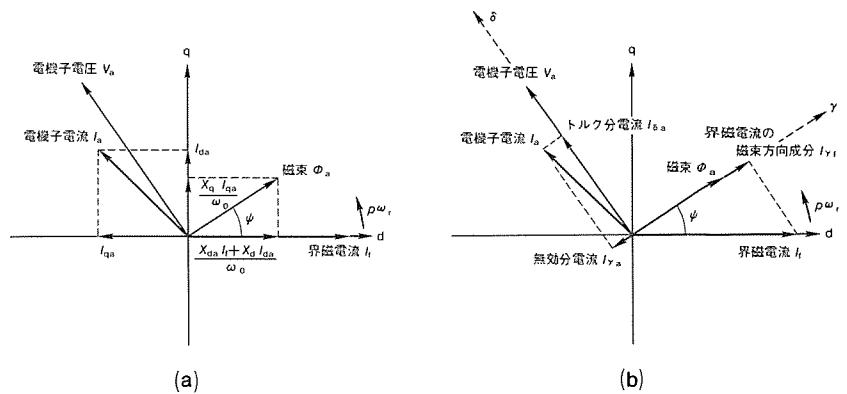


図3. 同期電動機のベクトル図

には、その瞬間における正確なモータ回路定数を用いる必要がある。しかし、3.4.2項で述べるように、回転機内部磁束の局部飽和により、同期リアクタンス X_d 、 X_q の値が変化するという問題がある。このシステムでは、 X_d 、 X_q の値を正確に補正する制御方式を開発し解決している。

3.4 同期電動機

同期電動機は力率 1 運転が可能であり、誘導電動機に比べ電源容量が小さい、小形軽量であるなどの利点を持っている。また、従来の直流電動機に比べ整流子がなく、堅（ろう）牢な構造であるという誘導電動機と同様の利点も持っている。

今回製作した同期電動機は、7,000kW、35/70rpm、過負荷耐量 225% など、トルク的には世界最大級のものである。可逆圧延ミル用電動機には、通常の電気的過負荷耐力に加え、圧延材のかみ込み時の大きな衝撃トルクに耐える機械的強度が要求されるが、圧延用直流電動機の豊富な経験によって確立してきた技術の適用と各種の検証試験を実施することにより、ミル用として十分な信頼性を持つ電動機となっている。図5に可逆圧延ミル用同期電動機の外観を示す。

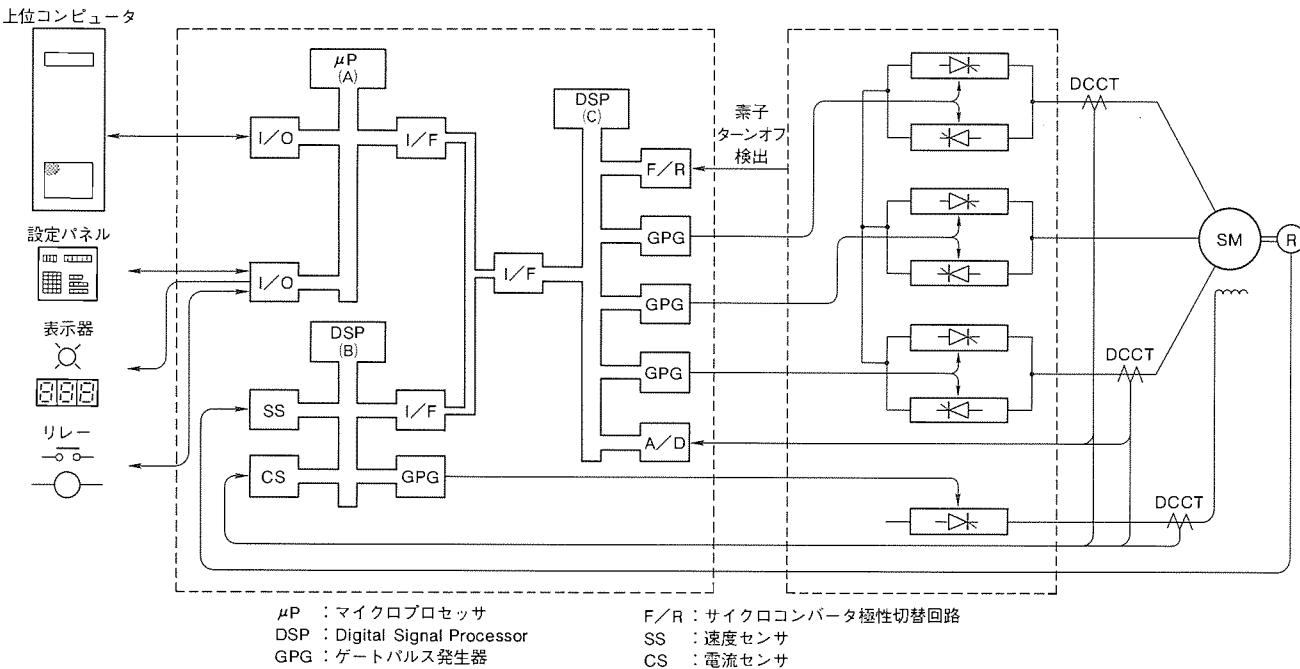


図4. 制御ハードウェア構成

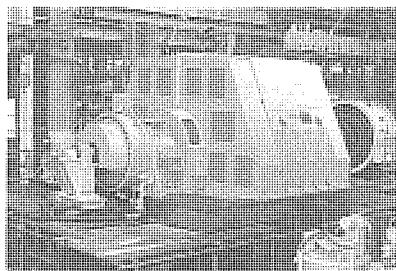


図5. 可逆圧延粗ミル用同期電動機

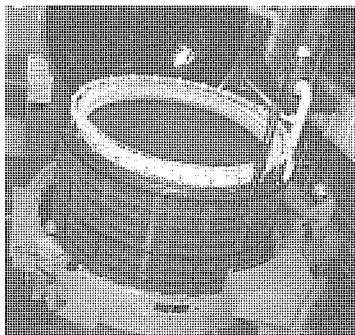


図6. 含浸作業中の固定子

3.4.1 構造

(1) 固定子

固定子巻線及びつなぎ線は、固定子鉄心と一体となった状態で真空加圧含浸処理され、強固なものとすることにより、圧延ごとの変動負荷の繰り返しに十分耐え得る構造としている。固定子巻線のコイルエンド支持構造は、圧延ごとのヒートサイクルの繰り返しによるコイルの伸びを吸収できる構造としている。図6に含浸作業中の固定子を示す。

また、本機はツインドライブであるがトップフォワード方式を採用し、据付け方法を工夫することにより、非分割固定

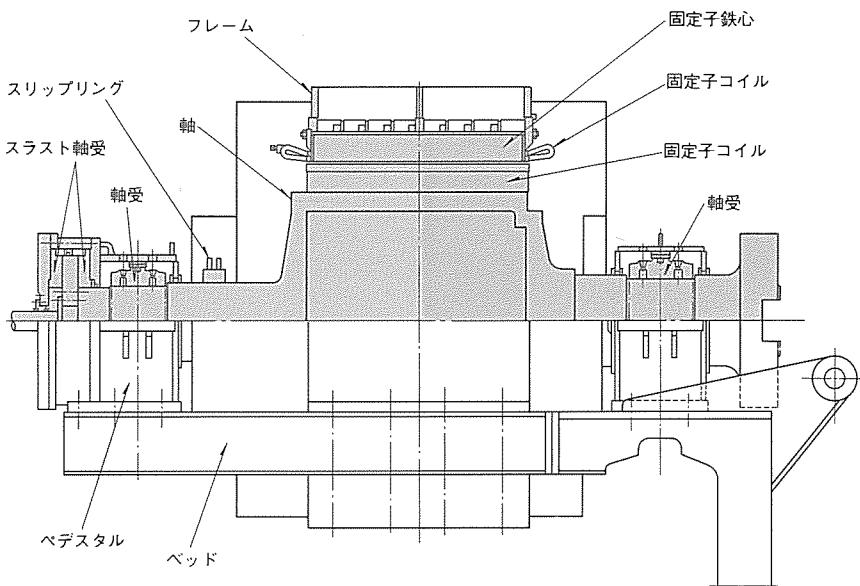


図7. 圧延ミル用同期電動機の断面構造

子の採用を可能としたものである。

(2) 回転子

可逆圧延ミル用電動機の回転子には、正転・逆転の繰り返し、圧延材のかみ込み時の衝撃、スピンドルからのスラスト力などに耐える機械的強度が要求される。かみ込み時の衝撃トルクの大きさをシミュレーションによって求め、また熱間可逆圧延ミル用直流電動機の実績から得られた機械耐力の基準⁽⁴⁾を勘案して回転子各部の設計を行っている。可逆圧延ミル用同期電動機の構造断面を図7に示す。

回転子重量軽減などのために、回転子構造としてskins stress軸を採用した。skins stress軸の採用に当たり、有限要素法による強度解析及びモデルによる検証試験を行い、

十分な強度を持っていることを確認した。図8、図9に有限要素法の解析例と検証試験モデルを示す。

同期電動機の回転子にはダンパ巻線が設けられているが、圧延ミル用電動機では、圧延の繰り返しによって常に過渡状態にあり、ダンパ回路には電流が常時流れている。したがって、ダンパ巻線は十分な熱容量と機械的強度を持つように配慮されている。

(3) スリップリングとブラシ

同期電動機には、界磁巻線に給電するためにスリップリングとブラシが必要である。可逆圧延ミル用としての信頼性を確保するために、各種ブラシ材質での検証テストを行い、適正なブラシの選定を行っている。長尺のブラシを採用し、ブラシの長寿命化を図るとともに、ブラシ保持器としては定圧式を採用し、保守の簡略化を図っている。図10にブラシ検証用の試験装置の外観を示す。

3.4.2 電動機定数

圧延ミル用同期電動機は、高い速度応答性や力率1運転が要求されるため、ベクトル制御されている。

従来のベクトル制御を行わない同期機では、負荷トルクの変動に応じた負荷角、力率の値に自動的に落ち着くのに対し、ベクトル制御される同期機では、制御装置で電動機内部の磁束量を演算し、電動機のトルク、力率等を制御している。したがって、電動機のトルク、力率等を高精度に演算するのに、高精度の磁束演算が不可欠である。磁束演算の精度を向上するためには、従来の同期機では必要とされなかったような定数を精度良く求めることが必要である。同期機をベクトル制御する場合、定常特性では同期リアクタンス(X_d , X_q)の値、過渡特性においてはダンパ時定数(T_{dd} , T_{qd})の値が重要である。同期リアクタンスは、電機子電流(I_d , I_q)、界磁電流(I_f)の相互作用により、複雑な飽和特性を示すため、有限要素法を用いた磁界解析を行い精度向上を図っている。図11に磁界解析の例を示す。また、ダンパ時定数は、工場テストで同期機の等価回路定数の不飽和値を精密に測定することによって求めている。

3.5 特 性

図12、図13にサイクロコンバータ同期電動機駆動システムのデジタルシミュレーション結果を示す。図12は、速度指令 N^* がステップ状に変化したときの波形である。図13は、0から最高速度までが4秒の加減速運転のシミュレーション波形である。 V_a は、線間電圧実効値、 I_a は線電流実効値相当の値を表示している。力率は、磁束 ϕ_a に直交する無効分電流 $I_{\gamma a}$ が零に制御されていることから1.0となっている。ベクトル制御方

式により、速度・トルク・磁束・力率が高性能に制御されているのが分かる。

図14、図15、図16に、熱間圧延プラントの粗ミル主機に適用されたサイクロコンバータ同期電動機駆動システムの運動特性を示す。図14は、VSBの機械直結状態における速度ステップ応答特性であり、最高速度(1/2弱め界磁)付近でも良好な応答特性が得られている。図15は、R2の機械直結状態における4象限運転特性(0-TOP 4秒)であり、実機でも磁束 ϕ_a が安定に精度良く制御され、図13に示すシミュレーション結果とよく一致しているのが分かる。図16は、R2が実際に50~80%のトルクで可逆圧延中の運動特性である。圧延材かみ込み等の過渡時、定トルク圧延の定常時とも安定した制御が行われている。

4. む す び

以上、非循環電流方式サイクロコンバータ同期電動機駆動システムを中心に、システムの概要と適用例を述べた。サイクロコンバータ交流電動機駆動システムはその優れた性能により、ほとんどすべての鉄鋼プラント圧延主機に適用可能であり、現在では圧延補機にまで適用範囲が拡大しつつある。鉄鋼圧延機以外でも、比較的低速の大容量可変速システムとしては、サイクロコンバータ交流電動機駆動システムに勝るものではなく、リニアモータカーや電気推進船の駆動、あるいは鉱工業関係の巻上機や粉碎機の駆動に用いられるなど用途が広い。当社では、これら広範囲の用途に的確に対応すべく、今後も適応性の向上や機能向上に努めていく所存である。

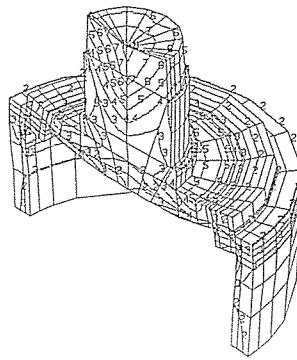


図8. 軸強度の解析例

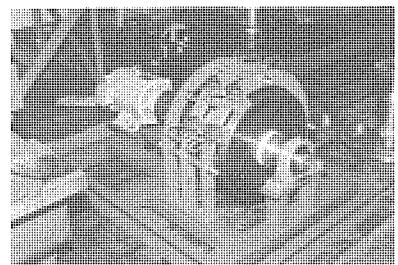


図10. ブラシ試験装置の外観

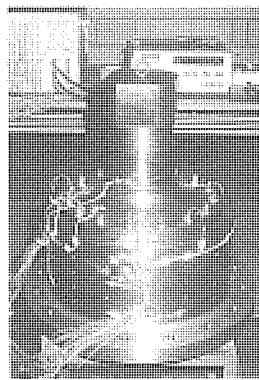


図9. 軸強度試験用縮尺モデル

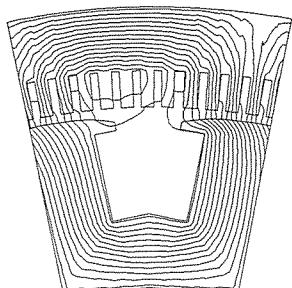


図11. 磁界解析結果の例

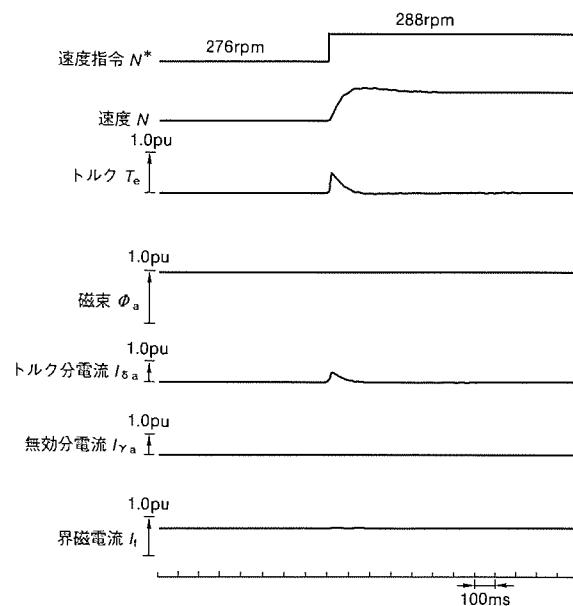


図12. 速度ステップ応答(シミュレーション)

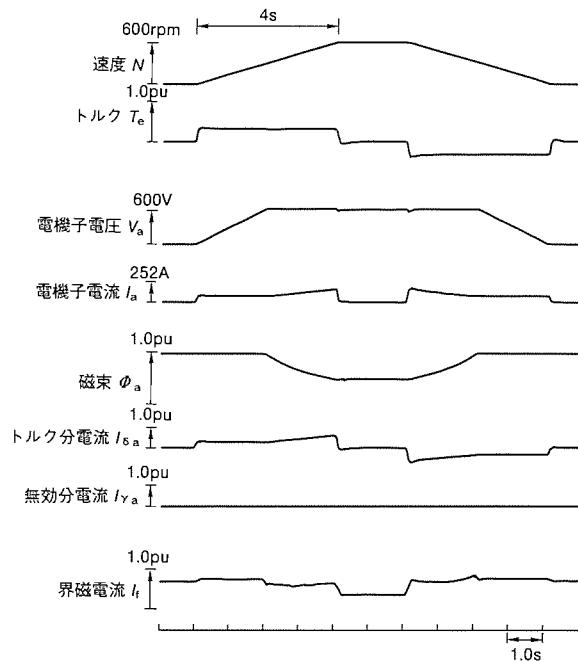


図13. 加減速特性(シミュレーション)

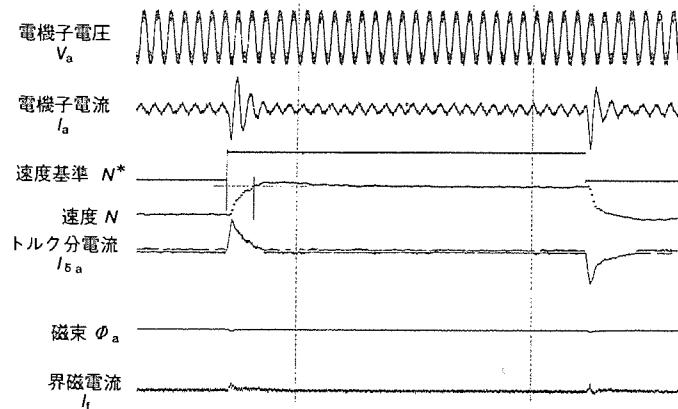


図14. 速度ステップ応答(実機)

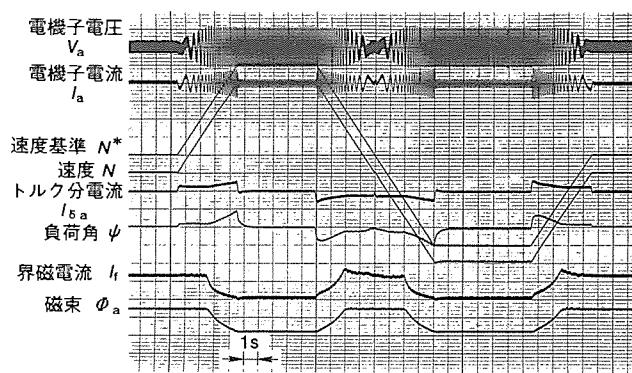


図15. 4象限運転(実機)

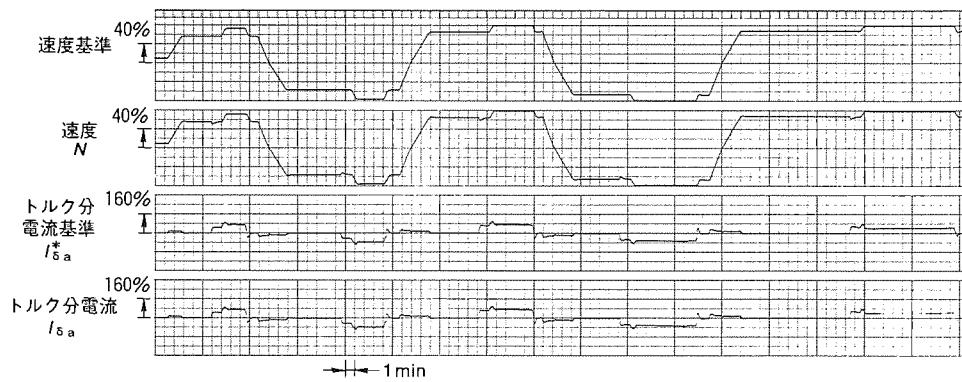


図16. 圧延時の波形

参考文献

(1) 新野修平, 阪部茂一, 川口守弥, 富永善治, 松尾隆義:

サイクロコンバータ誘導電動機駆動システム, 三菱電機技報, 62, No. 6, 501~506 (1988)

- (2) White, D. C., Woodson, H. H. : Electromechanical Energy Conversion, John Wiley & Sons, Inc., (1959)
- (3) 宮入庄太:最新電気機器学, 184~202, 丸善(株) (1975)

(4) 林 昌弘, 坂本正行, 小西和成:圧延機駆動用電動機の機械的諸問題, 三菱電機技報, 54, No. 2, 142~146 (1980)

山本国成* 小川晴毅**
轟 幸男** 小山正人***
岩永 忍**

交流可変速ドライブの鉄鋼プラントへの適用

1. まえがき

鉄鋼プラントへの交流可変速駆動の適用は、1970年代初期のオイルショックに端を発した省エネルギーの要請に応じての、ポンプファンの可変速運転に始まる。次いで、個別駆動テーブルローラの交流化が行われたが、これは直流機の宿命である整流子、ブラシをなくすことによる保守の省力化を目的としたものであり、これらはいずれもオープンループのV/f一定制御で、負荷の特性によってモータ速度が決まるものであった。

その後、交流可変速駆動が汎用設備分野でも拡大されるとともに、電力変換素子の改良、発達（高圧大電流サイリスタ、パワートランジスタ等）、振幅変調（PAM）方式インバータからパルス幅変調（PWM）方式インバータへの変換回路技術の発達がみられたが、ドライブの交流化においてマイクロプロセッサ（以下“μP”という。）応用のデジタル制御技術の果たした役割は特筆すべきである。μPの応用は、1970年代末になってからで、まずプロセスコントローラとして用いられ始めたが、このμP技術を応用したモータのデジタル制御が、1980年代になって可能となった。

当初、モータのデジタル制御は、交流可変速駆動に比べて長い歴史を持つ直流可変速駆動に採用され、特性の著しい改善をもたらしたのであるが、このことは同時に交流可変速駆動のデジタル化にインパクトを与える、かつ加速する引金ともなった。制御のデジタル化によって、理論としては既に1960年代後半に登場していたベクトル制御が実現され、その結果、直流駆動をりょうが（凌駕）する精密なトルク制

御、速度制御が可能となるに及んで、可変速駆動の交流化は拡大の一途にある。また、交流可変速駆動に対する顧客のニーズもかつての省エネ、省保守あるいは直流駆動並みの性能といったものから更に進んで、製品品質向上、交流駆動システム自体についての省エネ・保守・コスト・スペース低減等が問われる時代に入っている。

ここでは、鉄鋼プラントにおける最近の交流可変速駆動技術の動向と、圧延ラインからプロセスラインに至る交流可変速駆動の適用分野別最適システムについて述べる。

2. 交流可変速駆動の適用

鉄鋼プラント用可変速駆動はその駆動対象により、容量・使用条件・性能等に対する要求が多様であり、また、電力変換器も種々の方式があるので、モータとの組合せを考えると駆動方式の種類は多岐にわたる。したがって、駆動方式は交流可変速のメリットを生かし、プラントからの要求性能を満足し、かつ経済性を考慮して選定されなければならない。

表1に各種駆動システムの仕様を、図1にモータの容量と最高速度とをパラメータにして適用すべき変換器を示す。

図1でモータ容量400 kW程度以下の領域は、プロセスラインや圧延補機が対象で電圧形トランジスタインバータが適用される。精密なせん（揃）速性を必要としない個別駆動テーブルローラのような場合は、V/f一定制御となるが、一般には、速度あるいはトルクの正確な制御が必要な場合が多く、誘導電動機（IM）のベクトル制御が適用される。複数台のインバータに対して、共通のコンバータ（直流電圧源）が設けられ、コンバータは一定出力電圧で運転されるため、

表1. 各種駆動システムの仕様

項目	電圧形 Tr インバータ+IM	電流形 THY インバータ+IM	サイリスモータ (SM)	非循環電流方式 サイクロコンバータ		循環電流方式 サイクロコンバータ	
				IM 駆動	SM 駆動	IM 駆動	SM 駆動
出力電圧(V)	210V系 420V系	420~630	3,000	2,500	2,500	2,500	2,500
出力最高周波数(Hz)	66	60	80	20	20	50	50
最高速度(rpm) (4極機)	1,800	1,800	2,400	600	600	1,500	1,500
速度制御精度(%)	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01	±0.01
速度制御範囲(%) (極低速特性)	0.5~100 (良)	0.5~100	0.5~100	0~100 (良)	0.1~100 (良)	0~100 (非常に良)	0.1~100 (良)
速度制御応答(rad/s)	30~60	30	30	50	40	60	50
界磁弱め範囲	1:3~5	1:3~5	1:3~5	1:7.5	1:3~5	1:7.5	1:3~5
トルクリップル(%)	≈0~1	5	5	0~2	0~2	≈0	≈0
電源力率	0.74	0.74	0.74	0.55	0.65	0.4~0.5	0.6

直流レオナードに比べ電源力率は高くなる。

400~1,000 kW 程度の容量域は、プロセスラインのリール、圧延補機の中容量機等が対象で電流形サイリスタインバータが適用される。このインバータは、トルクリップル低減のために、低周波域は PWM 方式、高周波域は PAM 方式に切り替えられ、IM をベクトル制御運転する。また、この容量域に対応で電圧形の GTO インバータ (PWM 方式) 適用の検討が進んでいる。

1,000 kW 超の容量域は、圧延主機又は大型機が対象で、変換器としてサイクロコンバータ、電動機として同期電動機 (SM) 又は IM が適用される。ただし、最高速度が 1,500 rpm/m を超える高速機に対しては、SM を使用したサイリスタモータが適用される。いずれも、大容量機のためモータは高圧用となる。また、変換器の発生する高調波電流、遅れ無効電力が電源系統に及ぼす影響の検討も必要である。

以上をまとめて、表 2 に駆動対象ごとの適用可能システム

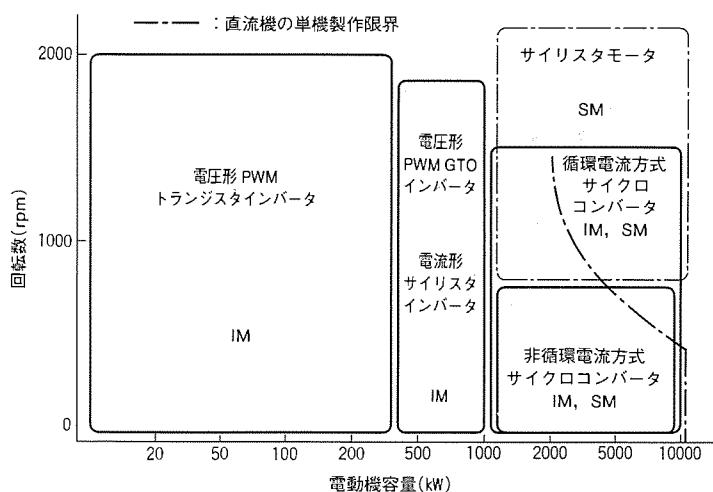


図 1. 鉄鋼プラント用交流可変速装置の適用マップ

表 2. 駆動対象ごとの適用可能システム

対象	プロセスライン	圧延補機	熱間低速 可逆圧延機	熱間中高速 可逆圧延機	熱間中高速 非可逆圧延機	熱間高速 非可逆圧延機	冷間圧延機	
			厚板, Hot 粗等	立ロール等	Hot 仕上等	棒鋼, 線材等		
一般的な設備条件								
(1)最高速度 (rpm)	1,800	1,800	120	900	1,100	1,600	1,500	
(2)速度制御応答 (rad/s)	30	30	20	20	30	30	50	
(3)極低速特性 (ストールトルク要否)	リール, ルーパ は必要	ルーパは必要	不要	不要	不要	不要	要	
(4)界磁範囲	1 : 5 (注 1)	1 : 1~2 (注 2)	1 : 2.5	1 : 3	1 : 3.5	1 : 3.5	1 : 6 (注 3)	
(5)トルクリップル (%)	2~5 以下	2~5 以下	5 以下	5 以下	2 以下	2~5 以下	≈ 0	
(6)容量範囲 (kW)	0.75~1,000	3.7~750	1,000~10,000	1,000~10,000	1,000~10,000	500~10,000	500~10,000	
注 1 : リールは 1:4~5, 他は 1:2程度			注 2 : 一般には 界磁一定の倍電 圧				注 3 : ミルは 1:3.5程度, リ ールは一般に界 磁範囲大	
適用可能システム	1. 電圧形 INV +IM 2. 電流形 THY INV. +IM 容量により 1, 2 を選ぶ	1. 電圧形 INV +IM 2. 電流形 THY INV. +IM 容量により 1, 2 を選ぶ	1. 非循環 C/C +SM 又は IM	1. 非循環 C/C +SM 又は IM 2. 循環 C/C + SM 又は IM 容量, 最高速度 により 1, 2を選ぶ	1. 非循環 C/C +SM 又は IM 2. 循環 C/C + SM 又は IM	1. サイリスタモ ータ 2. 循環 C/C + SM 又は IM	循環 C/C +IM	

電圧形インバータに使用される自己消弧形パワー素子の特性は、①駆動電力が小さい、②オン電圧が低い、③耐電圧が高い、④短絡耐量が大きい、⑤スイッチング時間が短いこと等が要求される。しかし、これらすべての特性を満足させる素子がないため、用途に合った素子選別が必要となる。

電圧形インバータの自己消弧形パワー素子は、当初バイポーラトランジスタのみであったが、その後素子技術(微細化技術ほか)の発達により、駆動回路が小型化できる高 h_{fe} バイポーラトランジスタ、また更にバイポーラトランジスタの前段にMOS-FETを接続した複合形素子Bi-MOS、IGBTへと発展してきた。電圧形インバータは、これらの素子の適用による装置の小型化と素子並列及び多重化による大容量化が図られてきた。

表3に、これらの自己消弧形パワー素子の特性比較を示す。この中でIGBTは、他の素子と比べて高周波スイッチングが可能であることと、高耐圧かつ電圧駆動形であるため、将来的鉄鋼プラント向け交流駆動用素子として期待されている。

電圧形インバータは、トルクリップルが小さく制御性が良いため、一層の大容量化(400~1,000 kWの領域)が期待されている。高圧、大電流の自己消弧形素子であるGTO素子の高周波スイッチング駆動が可能となりつつあり、GTOインバータによる大容量電圧形インバータの実用化検討が進められている。

制御は、電動機入力電流の励磁電流成分とトルク電流成分を独立に瞬時制御することにより、高速制御応答が可能となるベクトル制御(すべり周波数制御形)方式を使用している。

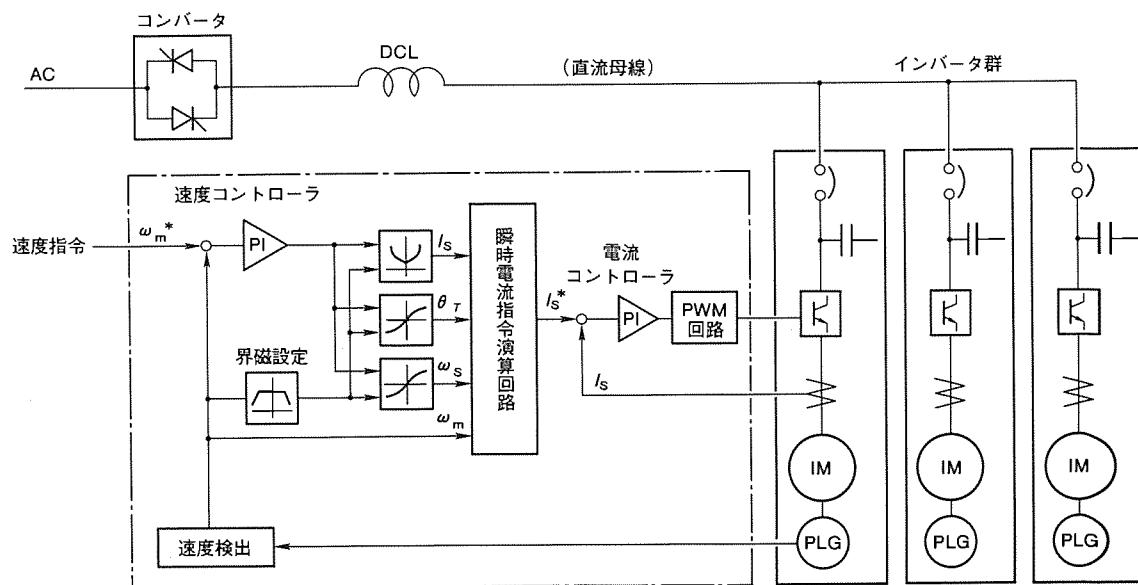


図2. 電圧形インバータのシステム構成

表3. 自己消弧形パワー素子の特性比較

素子名		バイポーラトランジスタ	高 h_{fe} バイポーラトランジスタ	Bi-MOS(カスケード形)	IGBT
接続図					
駆動方式	ON	電流	電流	電圧	電圧
	OFF	電流	電流	電流	電圧
直流電流増幅率 h_{fe}		≈100	≈1,000	—	—
オン電圧(飽和電圧)		小	大	大	中
並列化		◎	◎	◎	○
高耐圧化		○	○	△	○
短絡耐量		○	○	○	△
短絡SOA		○	○	○	◎
高周波化		△	△	○	◎

注 ◎: 優, ○: 良, △: 劣

このペクトル制御には、速度検出のため高精度 PLG (パルスジェネレータ) が使用されるが、この PLG は、据置形と電動機に直接マウント可能な法兰形が用途によって使い分けられる。

駆動システムの上位には、プラントコントローラ《MELPLAC》が使用され、駆動装置との各種信号の送・受信や故障時のイベント伝送などを光伝送によって行っている。小規模プラント向けには、汎用シーケンサ《MELSEC-A》を上位コントローラとして、最大 126 台の駆動装置を光伝送により、結合させることができる。

3.2 電流形インバータ

電流形インバータのシステム構成を図 3 に示す。電流形インバータは、高速スイッチング素子を必要とせず簡単な回路構成で電源側への電力回生ができるため、頻繁な加減速を要求されるライン駆動用システムとして適用されてきた。この方式は、電流波形が方形波となり、トルクリップルが電圧形インバータより大きくなる。鉄鋼プラント用途では、トルクリップル低減のため 12 相多重化及び低速時は PWM 運転、高速時は PAM 運転切替えを行っている。

3.3 サイクロコンバータ

サイクロコンバータは、圧延主機駆動用として回転速度が 1,500rpm 以下の IM 及び SM 駆動システムに適用される。

サイクロコンバータは、変換器の構成により、非循環電流方式・循環電流方式に分類される。

サイクロコンバータの主回路構成を図 4 に示す。非循環電流方式は、負荷電流の極性によって正群と負群コンバータを交互に動作させる。したがって、正群から負群に切り替える際には、交流短絡を防ぐために切替余裕時間が必要である。そのため、出力周波数の上限は、電源周波数の約 1/3 程度

に制限される反面、循環電流方式と比較して、回路構成が簡単である。一方、循環電流方式は、非循環電流方式と異なり、負荷電流の正負にかかわらず常に正群・負群の両コンバータを動作させている。そのために、正群・負群コンバータの間を還流する電流が流れる。この循環電流を抑制する目的で、直流リアクトルを挿入する。出力周波数は、電源周波数の約 80% 出力できるが、正群・負群コンバータにそれぞれトランジスタを必要とするので、トランジスタ設備が大きくなる。

実機として、厚板圧延用に非循環電流方式サイクロコンバータ駆動 IM システムを、連続冷間圧延用に循環電流方式サイクロコンバータ駆動 IM システムを、さらに熱間可逆圧延用に非循環電流方式サイクロコンバータ駆動 SM システムを納入している。

4. 制御技術の高機能化

4.1 速度制御系の高応答化技術

鉄鋼プラントでは、ラインを構成する各種のロールが電動機によって駆動させる。図 5 に、このようなロールを制御対象とする電動機速度制御系の基本構成を示す。図において、制御対象である機械系は、ロール・電動機・トルク伝達機構から構成される。また、トルク伝達機構は、ギヤと中間軸によって構成される。

このような機械系では、中間軸のねじれによる軸振動が生じる。圧延主機では、要求される速度制御の応答周波数が高いにもかかわらず、この軸振動の周波数(共振周波数)は 10 ~ 30Hz と低いため、交流駆動のメリットである高い制御応答が、現実には実現できないことがあり、軸振動に対する対策が必要な場合がある。一方、プロセスラインでは、トルク伝達機構のギヤのバックラッシュが概して大きいので、この

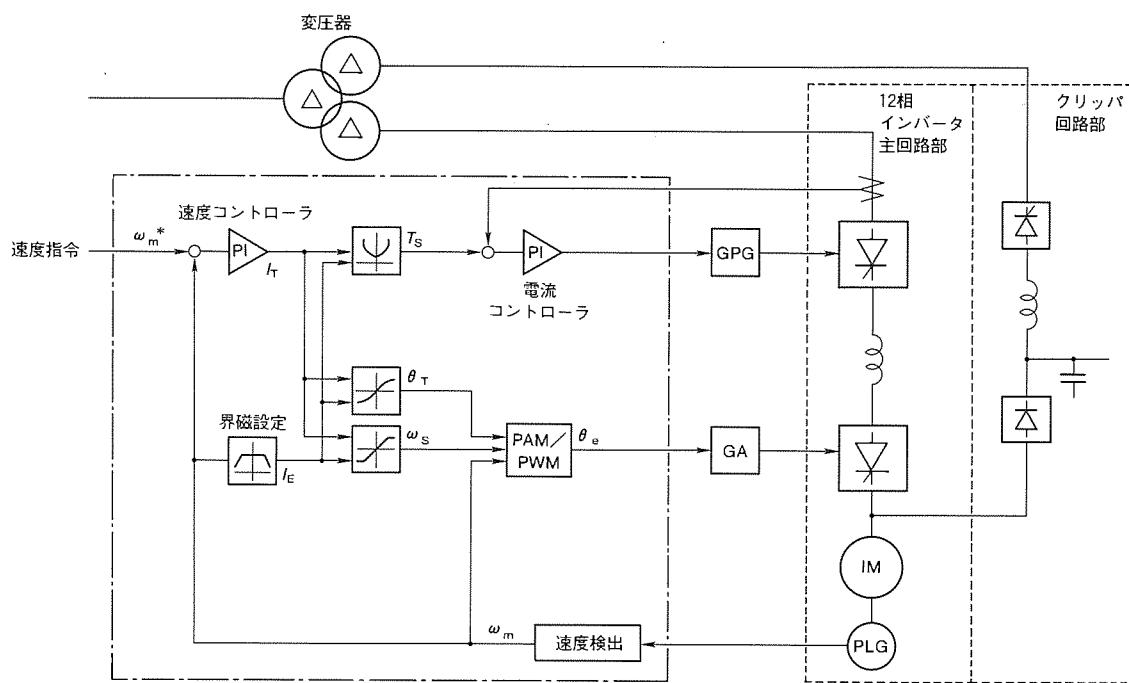


図 3. 電流形インバータのシステム構成

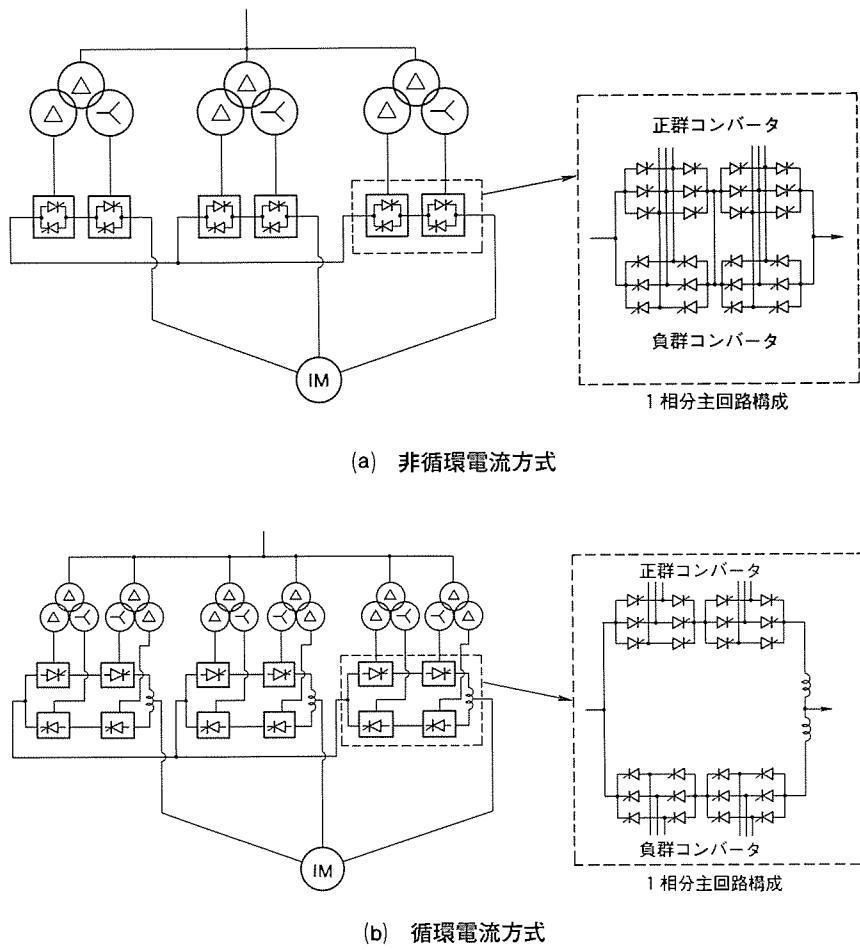


図4. サイクロコンバータの主回路構成

バックラッシュによる軸振動が問題となることが多い。

高速応答の速度制御系を実現するためには、これらの中間軸のねじれやギヤのバックラッシュに起因する振動を抑制する必要がある。以下では、これらの振動を抑制するための制御方式について紹介する。

4.1.1 軸振動抑制制御

制御対象である機械系を図6(a)に示すような2マス系としてモデル化すると、同図(b)に示すブロック線図が得られる。図において、 ω_M は電動機速度、 ω_L はロール速度、 τ_M は電動機の発生トルク、 τ_F は軸トルク、 τ_L は負荷トルク、 J_M は電動機のイナーシャ、 J_L はロールのイナーシャ、及び K_F 、 C_F はそれぞれトルク伝達機構のばね定数及び粘性摩擦係数である。

同図(b)から機械系の共振周波数 ω_s は次式となる。

$$\omega_s = \sqrt{K_F} (1/J_M + 1/J_L) \quad (\text{rad/s})$$

従来のPI速度制御系では、速度制御の応答性を上げようとして制御ゲインの値を大きくすると、制御系の応答周波数がこの共振周波数に近づくため、大きな軸振動を生じる場合がある。

このような軸振動を抑制するためには、図7に示すような状態フィードバック制御系を構成すればよい。この制御系は、従来のPI制御系に軸トルク τ_F 及び差速度 $\omega_D (= \omega_M - \omega_L)$

のフィードバックループを付加した構成となっており、機械系の三つの状態量 ω_M 、 ω_L 及び τ_F がすべてフィードバック制御されるので、全状態フィードバック制御系である。したがって、理論上、任意の極配置が可能であり、機械系の剛性によらず任意の応答性と減衰特性を備えた速度制御が実現できる。

このように、軸トルク τ_F 及び差速度 ω_D のフィードバックループを付加することにより、それぞれ、機械系の共振周波数及び減衰率を見掛け上変化させることができる。

この状態フィードバック制御系を実現するためには、電動機速度 ω_M のほかに軸トルク τ_F とロール速度 ω_L とを検出する必要があるが、検出器の価格や取付場所の問題からこれらの状態量を検出器を用いて直接検出することは困難である。そのため、これら二つの状態量を検出可能な電動機速度 ω_M と発生トルク τ_M (実際には、ベクトル制御誘導電動機のトルク分電流のように、 τ_M と比例関係にある電流を用いる。)から推定するオブザーバーが必要である。

このようなオブザーバーには幾つかの構成があるが、ここでは最も一般的な同一次元オブザーバーの構成を図8に示す。図において、「 \hat{x} 」印のついた変数は、オブザーバーによって推定される状態量を表す。ところで、このオブザーバーを実際に適用する場合には、以下の点に注意する必要がある。

(1) オブザーバーの応答は、三つのパラメータ g_1 、 g_2 及び g_3 を調節することによって決定されるが、オブザーバーは原理的に微分器として動作するので、応答を上げすぎるとオブザーバーの入力量である電動機速度 ω_M や発生トルク τ_M に含まれる高周波の検出ノイズ成分の影響が問題となる。特に、マイクロコンピュータを用いる場合は、サンプリング時間や出力信号の量子化幅の選定に注意が必要である。

(2) オブザーバーを構成するためには、機械系のパラメータ K_F と J_L の値が必要であるが、これらの値が実際値と異なった場合のパラメータ誤差の影響や、オブザーバーでは考慮されていない負荷トルク τ_L の影響等について検討する必要がある。

4.1.2 2自由度制御

プロセスラインのように、ロールの電動機に対するイナーシャ比が大きく、さらにギヤのバックラッシュが大きい速度制御系の応答性向上には、図9に示すような2自由度制御系が有効である。

この2自由度制御系は図から分かるように、①従来のPI速度制御部（以下“第一の速度制御部”という。）、②機械系の一つの積分要素で近似した機械系モデル、③この機械系モデルを制御対象とする速度制御部（以下“第二の速度制御部”という。）及び④機械系モデルから出力されるモデル速度 ω_A と電動機速度 ω_M との偏差を入力してモデルの入力を補正するための補正トルク τ_T を演算する補正トルク演算部とによって構成される。また、電動機の基準トルク τ_M^* は、第一の速度制御部から出力される第一の基準トルク τ_1^* と、第二の速度制御部から出力される第二の基準トルク τ_2^* の和として与えられる。

この2自由度制御系では、第二の速度制御系の働きによって、基準速度 ω_M^* の変化に対する速度制御の応答性が改善される。また、補正トルク演算部の働きによって、負荷トルク τ_L の変動に対する速度制御の応答性が改善される。

図10及び図11にそれぞれ、従来のPI速度制御系及び2自由度速度制御系の応答の実験結果を示す。これらの実験結果から、2自由度速度制御系による応答性改善効果が明らかである。

4.2 エキスパートシステム

エキスパートシステムを含めたAI（人工知能）応用技術に対する期待が高まる中、鉄鋼分野でも圧延プロセスへのファジー制御の導入やプラントの制御・診断・保全へのエキス

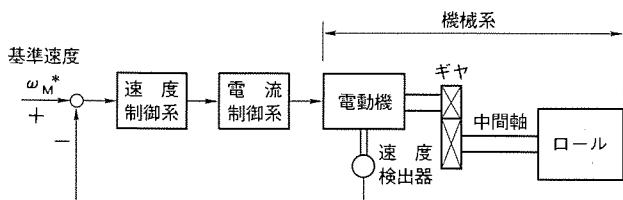
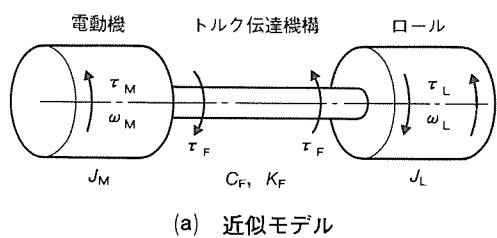
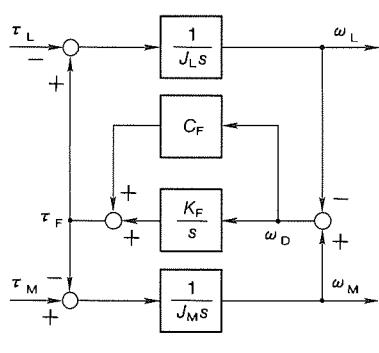


図5. ロール駆動用電動機速度制御系の構成



(a) 近似モデル



(b) ブロック線図

図6. 機械系のモデル

パートシステム構築の試み等、AI応用技術の導入が活発に行われている。今回、保全性を向上させるため、当社のライン駆動用インバータにエキスパートシステムを適用したので紹介する。

システムは図12に示すように、誘導電動機駆動用インバータに光ケーブル及びRS-232Cシリアル通信ケーブルを介してラップトップパソコンを接続した構成になっている。また、公衆の電話回線を利用して顧客からメーカーへ故障データの送信も可能となる。

エキスパートシステムの特長は、設計・試験・調整・保守に至るまでの各種支援機能を備えていることと、ビジュアルな表示や適切なガイダンスにより、初心者でも容易に操作できることである。以下、各種機能の一例について述べる。

(1) メンテナンスパネルモード

インバータの設定定数の変更や試験運転の実施、運転状態の表示、トレースデータの扒出し等、従来のメンテナンスパネルの機能に加えて図13に示すようなガイダンス機能の充実により、不慣れな人でも十分使えるようになっている。また、インバータ出力のパルスチェック、電圧発生、電流制御、速度制御等の試験運転を行いながら、パソコンの画面上に同時に4チャネルの波形表示をすることもできる。

(2) 故障管理モード

故障管理モードには、故障発生時のトレースデータ・発生環境・設定定数の保存と表示、及び故障発生原因の推定・対策のガイダンス表示等の機能がある。図14は、故障トレースデータ表示例であり、故障情報をビジュアルに表示することにより、故障発生要因の推定が容易に行えるようになっている。

図15は、故障要因の推定の一例である。診断ルールは、既に多数のルールがエキスパートシステムに蓄積されているが、専用のインタプリタを用いて記述することができるため、容易にルールの追加が可能である。

(3) 定数設定支援モード

鉄鋼ライン用インバータは、多機能な反面設定定数が多いため、インバータ台数が多くなると、個々のインバータ定数の管理及び設定が煩雑なものとなってくる。そこで、図16に示すように定数の一括読み込み、書き込みモードにより、管

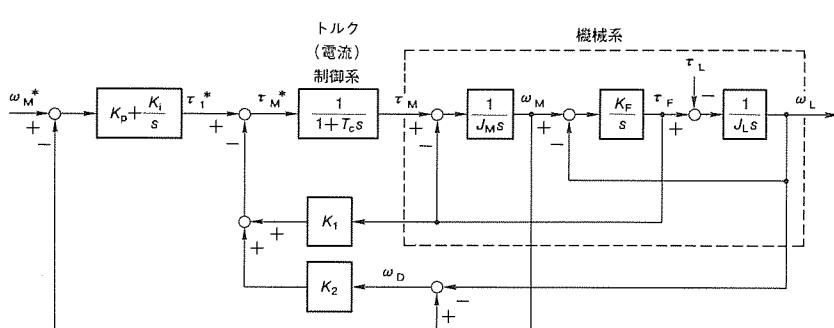


図7. 状態フィードバック速度制御系のブロック線図

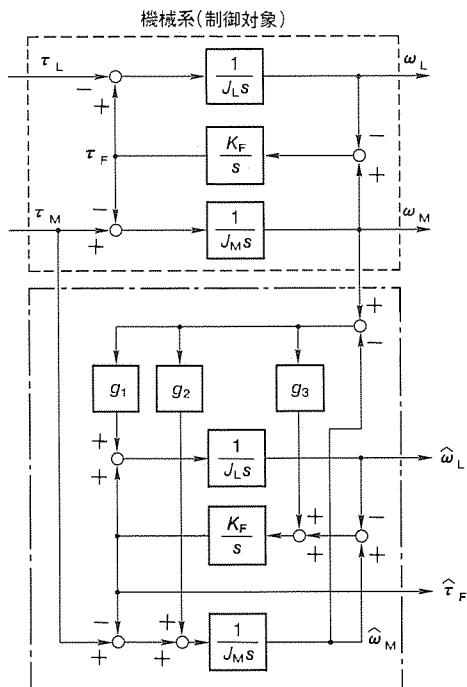


図8. 同一次元オブザーバーのブロック線図

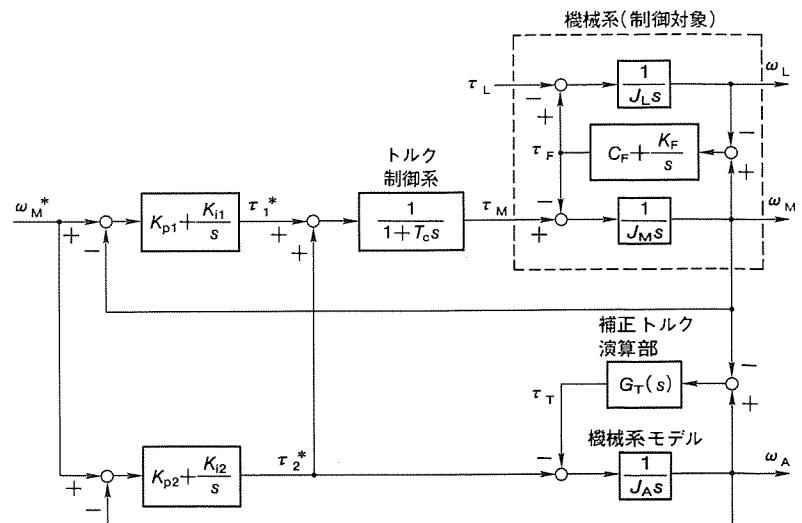
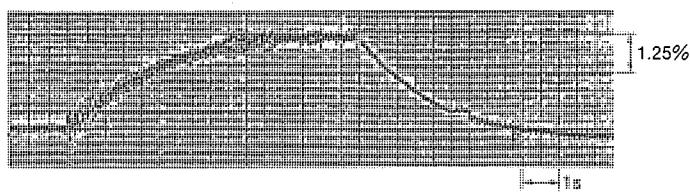
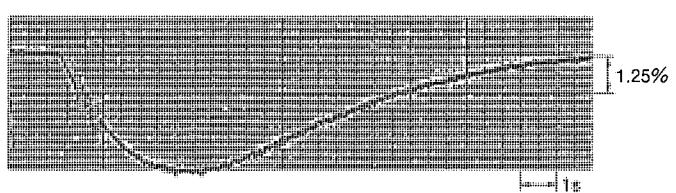


図9. 2自由度速度制御系のブロック線図

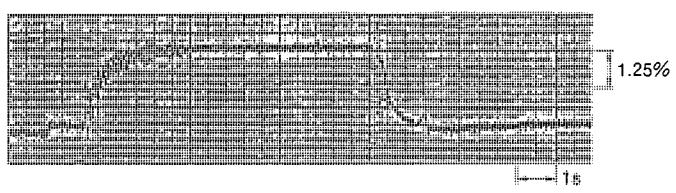


(a) 基準速度のステップ変化

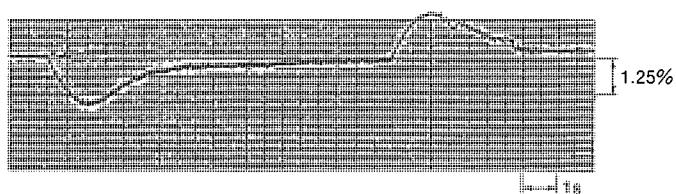


(b) 負荷トルクのステップ変化

図10. 従来のPI速度制御系の応答



(a) 基準速度のステップ変化



(b) 負荷トルクのステップ変化

図11. 2自由度速度制御系の応答

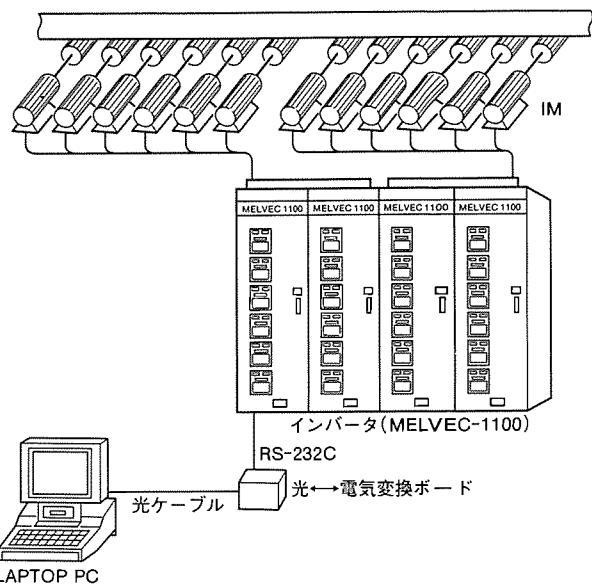


図12. システム構成

理を容易にするとともに、設定時の煩しさを少なくしている。また、定数ペリファイモードにより、変更のあった定数の選別を可能とし、合理性チェックモードにより、定数の妥当性を判断している。

(4) 調整支援モード

このモードにより、モータ定数に関する調整を自動的に行うことができる。ユーザーは、運転状態の確認のみ行えばよく、エキスパートシステムが自動的にパラメータの調整を行い、調整を完了させる。画面には、図17に示すように、現在のシーケンス状態、調整状況、各メモリ内容が表示される。

以上のように、数多くの機能を持っているため、プラントに並ぶインバータの故障診断及び保守に対して効率的なツールとしての活用が期待される。

5. むすび

鉄鋼プラントにおける交流可変速駆動技術の動向と圧延ラ

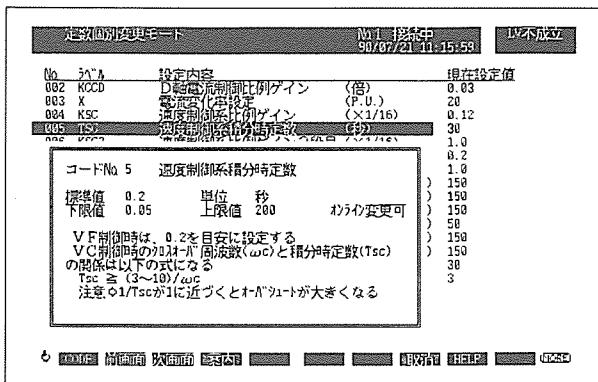


図13. メンテナンス パネルモード画面表示例

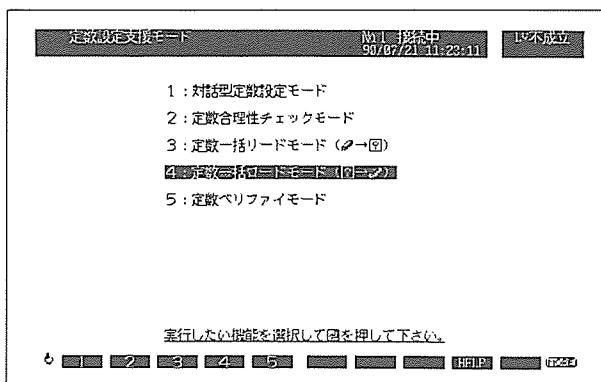


図16. 定数設定支援モード選択画面

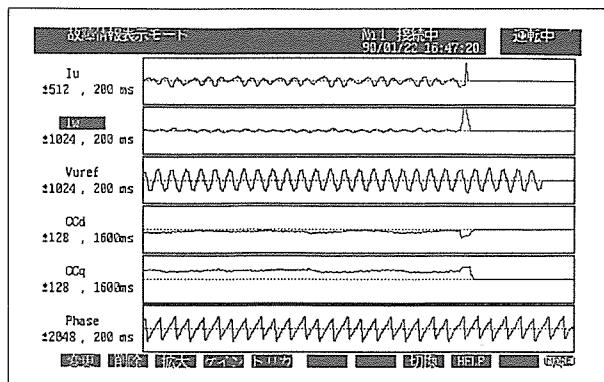


図14. 故障トレースデータ表示例

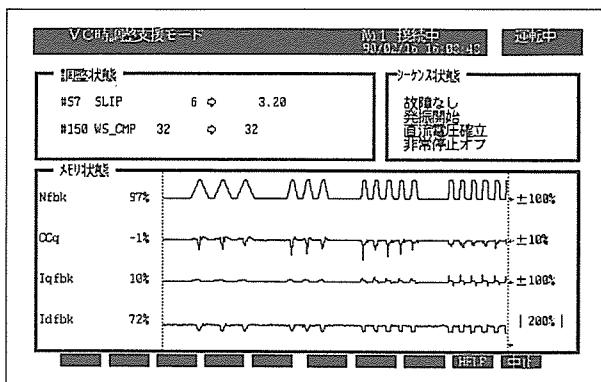


図17. 調整支援モード画面表示例

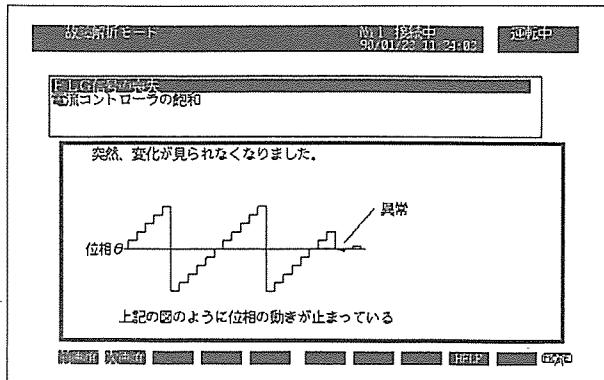


図15. 故障解析モード画面表示例

インからプロセスラインに至る適用分野別交流駆動システムについて紹介した。その現状と今後の展望をまとめると次のようにになる。

- (1) サイクロコンバータ駆動システムは、IM・SM方式が確立し、圧延主機として最適の駆動システムが実現できるようになってきた。最近では、大容量機のみならず中小容量機へ適用を拡大しつつある。
- (2) 電圧形インバータ駆動システムは、より高機能・コンパクトなシステムへと発展を続けており、駆動素子についてパワー・トランジスタからIGBTや内部に駆動回路を含むインテリジェント素子への検討が進められている。また、大容量

機でもGTOインバータの適用検討が進められている。

- (3) 速度制御応答については、機械からの制約(軸共振、ギヤのバックラッシュ等)や負荷外乱の影響などを各種制御を導入して改善しうるようになってきており、機械系パラメータの正確な把握と更に特性改善に向けての検討が進んでいる。
- (4) エキスパートシステムのような故障診断機能をもったメンテナントツールが、保守の容易性を求める機能を充実して、使いやすいツールへと発展していくことが期待される。

以上、交流可変速駆動システムは、製品品質の一層の向上、省スペース、省保守を目指し、より最適な駆動システムとして発展していくものと期待される。

参考文献

- (1) 小鍛治 稔、村中隆生、溝口昭次、下村弥寿仁：ライン制御用インバータと汎用シーケンサによる中小規模プラントの可变速制御、三菱電機技報、64、No.11、907～911（1990）
- (2) 岡部淳一郎、城地慎司、藤井俊行、江藤憲昭、吉村 誠：サイクロコンバータ駆動同期電動機の圧延主機への適用、三菱電機技報、64、No.12、985～990（1990）
- (3) 小山正人、神山 功、矢野昌雄：低剛性な電動機制御系への2自由度制御方式の適用、電気学会産業電力電気応用研究会資料、IEA-89-12、21～30（1989）

大規模分散化計算機システム

瀬名一生* 目出康男*
宮後彰* 佐藤省三*
平塚紀嘉*

1. まえがき

最近の鉄鋼プラント設備は、大規模・広域化の傾向にあり、さらに製品の高品質・高付加価値への要求により、小品種多量生産方式から多品種で高効率な生産方式に移りつつある。これに伴いプラント制御を行う計算機システムも、大規模化・広域化が進み、信頼性の高い分散処理システムが求められている。

一方では、省力化や高機能への対応から、保守・プログラム開発要員の集約による合理化が図られている。

ここでは、上記ニーズに対応すべく、操業形態の変化に合わせたシステムの増減や改造がシステム停止することなく行え、システム内の種々のトラブルを最小限に抑えることができる信頼性・保守性の高い大規模分散化計算機システム(平衡機能分散システム)を開発したので紹介する。

2. 鉄鋼プラント制御用計算機の動向

(1) 広域分散化

鉄鋼プラント設備は年々大規模化してきており、連続化の傾向にある。それに伴い、プラント制御用計算機も、広域化してきており分散化されつつある。

特に、物流を含むプロセスライン工場群でこの傾向が顕著であり、最近大規模な計算機統合システムが次々に建設されている。

(2) 大規模化

製品の高品質・高付加価値への要求により、小品種多量生産方式から多品種で高効率な生産方式に移行しつつある。これに伴い機能も複雑・高級化し、1設備当たりのプログラムステップ数は増大する傾向にある。また、製品の品質保証の観点から、多種・多量でかつきめ細かいピッチでの品質データの収集が要求され、計算機の取り扱うデータ量も増える一方である。

(3) 高信頼性

プラント制御用計算機システムのトラブルは、生産効率や品質の低下を招き、プラントによっては操業停止にまで至る場合がある。また、工場間の工程管理もきめ細かくなってきており、一設備の操

業停止が他の設備へ与える影響も大きくなりつつある。

このような状況下において、プラント制御用計算機システムにも信頼性の向上が強く求められている。

このようなニーズに対応するために、大規模な分散型システムが考えられているが、以下に当社の開発した平衡機能分散システムについて紹介する。

3. 平衡機能分散システム

システムの秩序を乱す要因としては、ハードウェアの故障、ソフトウェアの障害、あるいはシステムの改造・増設が考えられる。従来のシステムアーキテクチャは、正常に秩序が保たれている状態では機能も正常に発揮されるが、ひとたびシステム内の秩序が乱れると、システムダウンにつながってしまうことが多かった。平衡機能分散システムでは、各サブシステムごとに自律性をもたせ、それを対等の位置に置くことにより、一部のサブシステムの故障が他に波及しないようしている。

3.1 ハードウェアのシステム構成

平衡機能分散システムのハードウェアのシステム構成は、図1に示すように、分散システムを統括するホストノード計算機と、分散された機能を制御する各ノード計算機から構成される。

以下、システムアーキテクチャ上の特徴を列記する。

- (1) 32ビットスーパーミニコンをノード計算機とし、ハードウェアのアーキテクチャ及びOSを含めた基本ソフトウェアの体系が同一であるような、シリーズ化されたプロセッサを採用している。
- (2) ホストノード以外のノードは地理的に分散しており、各ノード計算機は、大容量主メモリのみをもつ信頼性の高いコ

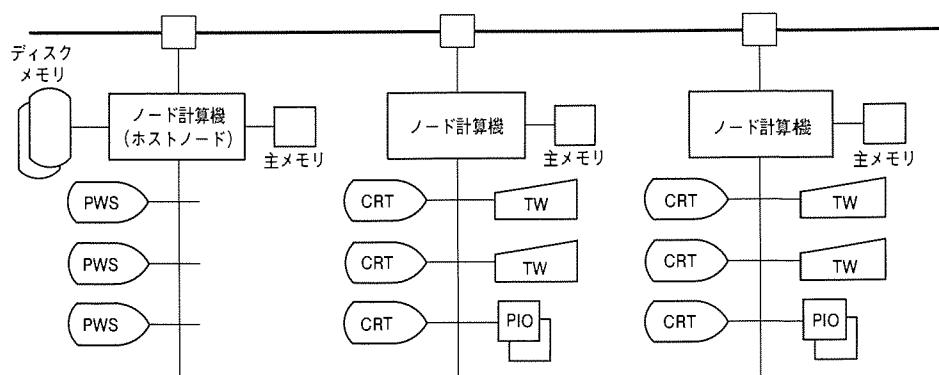


図1. 平衡機能分散システムのハードウェア構成

シバクトな計算機になっている。

- (3) ホストノード計算機は、ディスクメモリを持ち、各ノード計算機へのダイレクトローディング機能を持っている。
- (4) 水平分散型のシステムアーキテクチャを採用しており、システムの拡張に対しては、各ノードの平衡性・平等性を保ちつつ、ノードの数を増加させていく。
- (5) 水平分散型の構成により、各ノードは地理的に分散することになるが、ホストノードに接続されているPWS(Programmers Work Station)により、メンテナンスの集中化が図られている。

以上のような平衡機能分散システムのアーキテクチャを構成する上において、

- (1) 主メモリの大容量化
- (2) データウェイの高速・大容量化

といったハードウェアの技術進歩が大きく貢献している。

3.2 ソフトウェアのシステム構成

平衡機能分散システムの対象とする設備やシステムは、広域に広がっていることを前提としている。このため、これらは幾つかのエリアに区分することができ、このエリアごとに一つのノードが割り当てられている。このノードは、複数のタスクとデータベースによって構成されるが、それらは図2に示すように、2つのソフトウェアバスと二つの管理システムによって管理されている。

これらのソフトウェアバスは理論上、ノード計算機を越えて一体化されたバスで、一つはデータベース用のソフトウェアバスであり、他はイベント送受信用のソフトウェアバスである。また、二つの管理システムは、システムバスとともに、協調制御機能を全ノード計算機にわたって果たすものであり、具体的には以下の機能によって構成される。

- (1) 分散型タスク管理システム(DTMS: Distributed Task Management System)

タスク起動を一元管理するもので、これによってタスク起動は、ノード内の場合でもノード間にわたる場合でも、全く

アプリケーションプログラムからは意識することなく可能となる。

また、DTMSは一つのタスクより、N個のタスクに増幅してメッセージ伝送する機能も持っている。この場合も起動先の指示は、アプリケーションプログラムからの意識ではなく、DTMSの管理テーブル上のパラメータ変更によって実現できる。

- (2) 分散型データベース管理システム(DDMS: Distributed Database Management System)

各ノード計算機に分散されたデータベースを一元管理するもので、各ノード計算機上に分散しているデータを、アプリケーションタスクからは実在するノードを意識しないでアクセスすることができる。

3.3 協調制御機能

先に述べたように、平衡機能分散システムでは、自律的なソフトウェアバスと管理システムに対して協調制御機能が存在し、この働きによってシステム内の種々の変化に対応して平衡性を保ち、協調性を保つことができる。ここでは、これら協調制御機能について述べる。

- (1) バックアップ

システム内の一つの計算機が故障となった場合、バックアップ計算機の論理CPU No.を故障機の論理CPU No.に書き替えることにより、故障したノード計算機へのタスク起動はすべてバックアップのノード計算機へ伝送先が切り替えられる。つまり、ハードウェアの切替えを行うことなく、簡単にバックアップが可能となっている。

またこのとき、データベースについては、ホスト計算機上に保存されているデータをバックアップ系のデータベース上に復元することにより、バックアップ切替え時にもデータの連続性を保つことができる。また、故障復旧時正規の計算機にシステムをもどすときにも同様に、データを復元することができる。この様子を図3に示す。

- (2) システムの拡張性

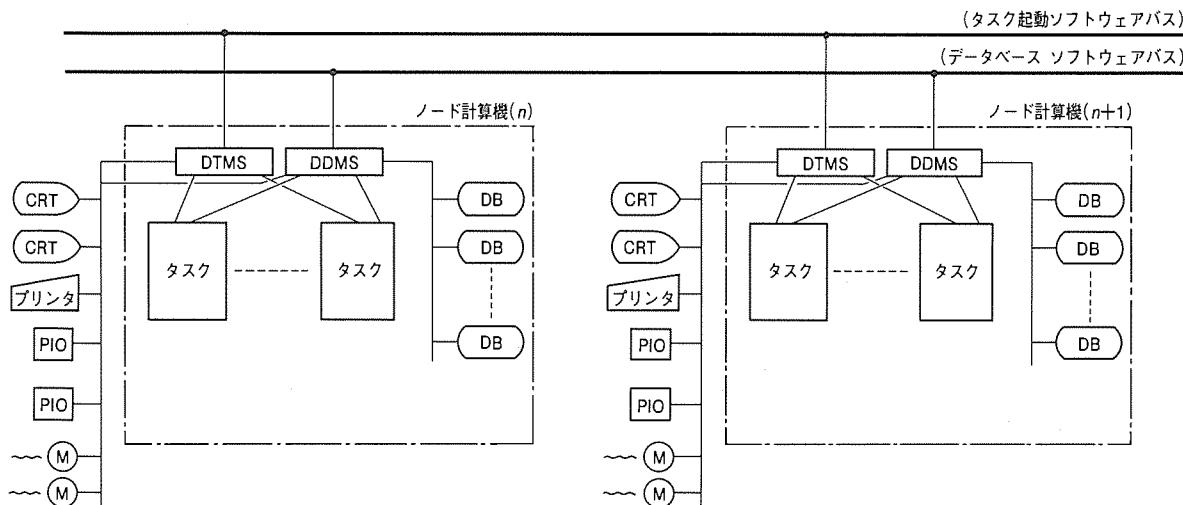


図2. 各ノード計算機におけるソフトウェア構成

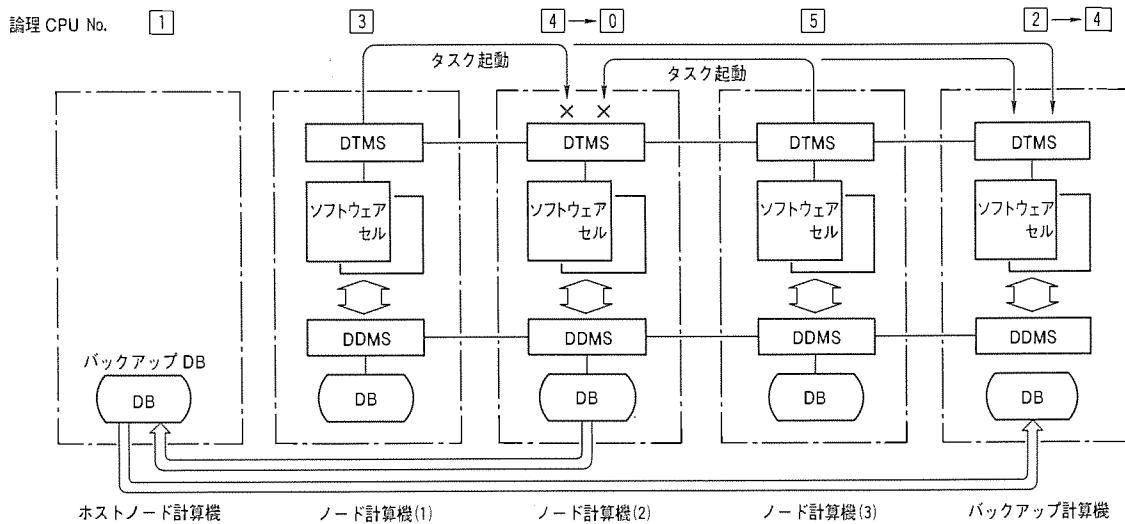


図3. ノード計算機ダウンに対するバックアップシステム

システムに対する変化として、システム内の故障・障害の次に重要なことは、システムの成長に伴い発生する増改造、すなわちシステムの拡張である。

新しいノードが設置され、そのノード計算機上にDTMSとDDMSがロードされると、このDTMSとDDMSは既存のDTMS/DDMSと有機的に結合される。

また、新設のノードに対して新しい機能が追加され、既存のノードより新たにタスク起動やデータベースの追加が必要となった場合には、DTMS/DDMS上に追加情報を加えることにより、DTMSがタスク起動のタイミングを新しいノードに与えることになり、新しいノードからは必要なときに追加されたデータベースをアクセスすることができる（図4参照）。

3.4 保守性の向上

3.4.1 保守機能の集中化

平衡機能分散システムでは、機能の分散を図りつつ、一方、保守の面ではホスト計算機にPWSを接続することにより、メンテナンス機能の集中化を行っている。

ホスト計算機の持っている具体的なメンテナンス機能には下記のものがあり、分散している各ノード計算機に対して可能である。

- (1) プログラムの開発
- (2) アラームの集中表示及び保存
- (3) 各ノード計算機のモニタ
- (4) データの保存及びそのデータのオフライン解析
- (5) 各ノード計算機のコンソール機能の代替
- (6) イベント・タスク起動等の事象トレース

以上のようなメンテナンスの集中化を図ることにより、保守員の省力化が可能になり、トラブルの解析も迅速に行える。

3.4.2 テスト機能

運転中のシステムの改良や増設を行うとき、プログラムの修正・追加が行われるが、このとき事前の確認が重要である。

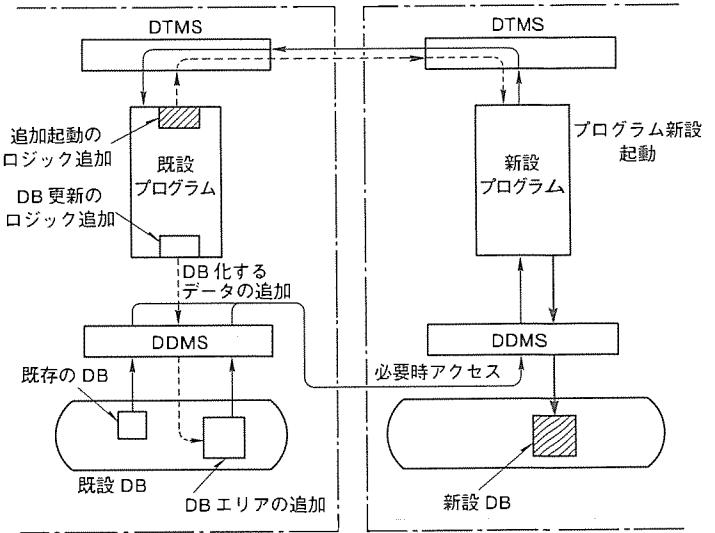


図4. システム拡張に対するトレラント性

平衡機能分散システムでは、このためにオンラインテストとオフラインテスト機能をサポートしている。

(1) オンラインテスト

オンラインテストは、実際の操業時にプラントからの実際の入力信号又は入力データをテスト用計算機にも入力し、テストシステムの動作を監視することにより、ソフトウェアの動作確認を行うものである。平衡機能分散システムでは、このため下記の機能をサポートしている。

- (a) オンライン系からの実信号のパラ送信
- (b) テスト系の出力カット及びLPへ出力
- (c) オンライン系データのテスト系へのコピー

(2) オフラインテスト

オフラインテストは、テスト用計算機にテストシステムをオンライン系とは独立して作成し、ソフトウェアの動作確認を行うものである。平衡機能分散システムでは、このため下記の機能をサポートしている。

表1. テスト時の信号の取扱い

	オンラインシステム	オンライン テストシステム	オンライン テストシステム
プロセスデータ入力	実入力	オンラインシステム用の実信号と同じ信号を取り込む。	テストサポートツールで信号作成
プロセスデータ出力	実出力	LPへ出力	同 左
CRT 入出力	オンラインシステム接続のCRTとの入出力	テストシステム接続のCRTとの入出力	同 左
帳票出力	オンラインシステム接続のOTWへ出力	テストシステム接続のOTWへ出力	同 左
上位データリンク計算機間通信データ	オンラインシステム接続の通信回線で実入出力	入力：オンラインシステムのデータを実入力 出力：LPへの出力	入力：テストサポートツールでデータ作成 出力：LPへ出力

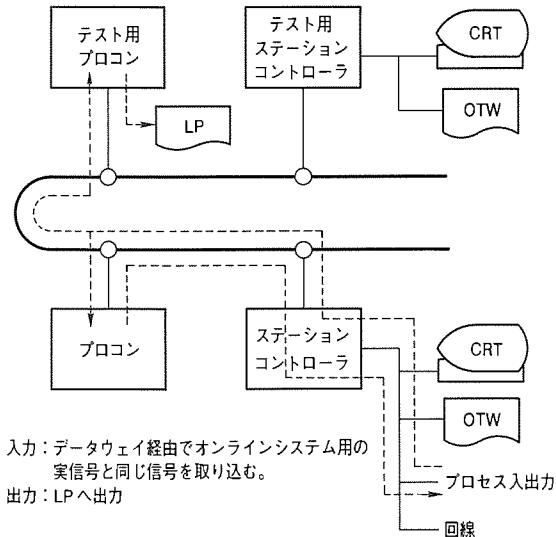
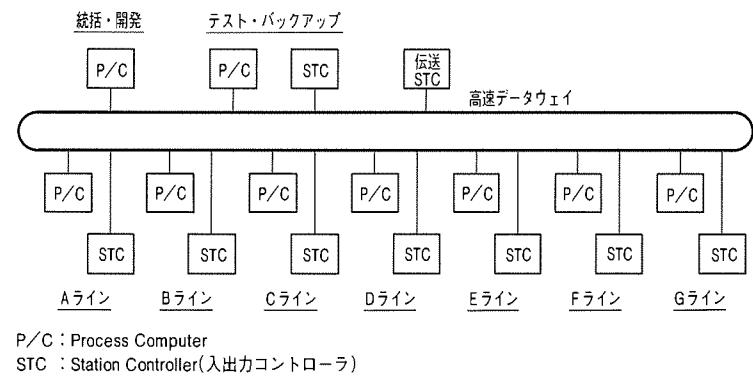
図5. オンラインテスト時の信号の流れ
(プロセス入出力の例)

図6. システム構成例

4. システム構成例

平衡機能分散システムは、主に冷延工場地区に納入されることが多い。

冷延工場地区は、酸洗ライン・冷間圧延ライン・電気めっきライン・焼純ラインなどのラインと、それらの間に存在する置場ヤードが有機的に関係をもちながら広域に分散しており、平衡機能分散システムの特徴を生かしやすい環境にある。

図6に冷延工場地区におけるシステム構成例を示す。

5. むすび

以上、平衡機能分散システムの特徴について、信頼性・拡張性・保守性の面から論じた。

鉄鋼用プロセス制御計算機システムは、ますます広域分散化が進み、さらに信頼性の向上、システムの拡張に対する柔軟性が求められている。

既に、平衡機能分散システムは順調に稼働中ではあるが、上記ニーズに対応する性能向上や機能拡張を今後もますます進めしていく計画である。

参考文献

- 今道周雄、稻本 悅、瀬名一生、松本和行：FAにおける分散型システム、三菱電機技報、61、No. 4、273～276 (1987)

プロセスラインにおける EIC 統合化システム

山中宣也*
貞森郁一*
小川 出*

1. まえがき

近年のおう盛な内需に支えられ、自動車・建材・家電・各種容器にと薄板鋼板の需要が大きく伸展する中で、鉄鋼各社はこれら薄板素材の生産拡大と高級化を目指し、焼純・表面処理を行うプロセスライン設備の増強に積極的に取り組んでいる。

一方、厳しい市場環境の中で、設備集約と人員合理化を大きな課題とする製鉄業界では、高品質・高付加価値化した製品の多品種適量生産に対応するため、設備の最適操業化、省力化、高信頼化等をコストミニマムで実現することが強く求められている。

このような背景のもと、プロセスライン設備に対して電気(E)・計装(I)・計算機(C)の各制御システムをシングルアーキテクチャのもとに統合し、

- (1) 各系間の機能重複を排した最適機能分担
- (2) 各系間で一元化されたプラントデータの共有
- (3) 各系間で一元化されたプラント運転操作環境

を実現するとともに、ビルディングブロック方式によるフレキシブルで拡張性に富んだシステム構築を可能とする、いわゆるEIC統合制御システム導入の動きが活発化している。

ここでは、鉄鋼向け統合制御システム《MELTAS-S》のプロセスラインへの適用について、具体的な事例を挙げてその適用効果を説明するとともに、今後の展望について述べる。

2. EIC 統合化制御システム 《MELTAS-S》

2.1 EIC 統合化の背景

鉄鋼プラント制御システムは、1960年代に始まった本格的なオートメーション化以降、大規模化、高速化、高機能化を指向し、飛躍的な発展を遂げてきたが、この中で電気(E)・計装(I)・計算機(C)の各制御システムは、機能分担、制御周期、使用されるハードウェア(H/W)装置等の面から分業化、専門化が進みそれぞれ独自に発展を遂げてきた。

ところが近年のエレクトロニクス技術の驚異的な進歩、とりわけ

- (a) 高速マイクロプロセッサと大容量メモリによる制御のソフトウェア(S/W)化
- (b) 高速の制御情報ネットワークを用いたシステムの分散化

(c) 高速、高分解能のCRTを用いたマンマシンインターフェース(MMI)装置の普及

の3点は、従来EICの各系を専門・分業化させていた意味、要因の一端を崩しつつある。すなわち、従来のEICの枠にとらわれず、制御システム全体を本来あるべき機能(Function)に分解し、これを上記(a)～(c)の特長を持つ共通コンポーネントを用いて、より高機能、効率的、経済的、エルゴノミックかつシンプルに再構築してゆこうとする統合制御システムへのアプローチがそれである。

2.2 統合制御システムのコンセプト

統合制御システム《MELTAS-S》は、製造プロセスの制御に必要なEICの機能をプロセスの特性規模に応じてシンプルに、フレキシブルに、高度・高性能な最適システムを構築できる当社の統合システム名である。

《MELTAS-S》の統合化アプローチとして大きくは、次の四つの視点からの統合化展開を進めている。

- (1) シングルアーキテクチャ(ハードウェアとソフトウェアの統合)
- (2) 共通リソースの一元化アクセス(階層化が図られた共通データベース)
- (3) 共通MMIでの情報一元化管理(シングルウインドウによる情報構造化と統合オペレーション)
- (4) 世の中のデファクトスタンダード(業界標準)に対する、オープン性の確保とオリジナリティの融合

これらの基本思想のもと、《MELTAS-S》の目指すシステムコンセプトの全体概要を整理すると図1となる。

2.3 システム構成と特長

三菱統合制御システム《MELTAS-S》では、各種の構成機器群が分散配置され、各々の役割を担う。これらの機器を、EICシステムバスによって有機的に結合することにより、機能分担・統合化を行いながら、全体として協調のとれた制御システムを構築することができる。図2にシステム構成を、表1にシステムの特長を、表2にシステムの主な仕様を示す。

2.3.1 システムリソースの一元化

《MELTAS-S》では、次の機能によってシステムリソースの一元化に対処している(図3)。

- (1) 平衡分散サポートシステム(図4)

アプリケーションソフトウェアは、EICシステムバスで接続された各ステーション内の分散データベース及び分散デバイスに対し、自ステーション内に存在する場合と同様の手

統でアクセスすることが可能である。これにより、システムリソースの一元化を行いつつ、更にデータ保護を図って危険分散を実現している。

(2) 高速サイクリック通信

各プロセッサのサイクリック データメモリに、一定周期の同報通信を高速で行うことにより、一斉にデータ更新を行う。これにより、EIC システムバスで接続された各ステーションが保持するサイクリック データメモリは、システム全

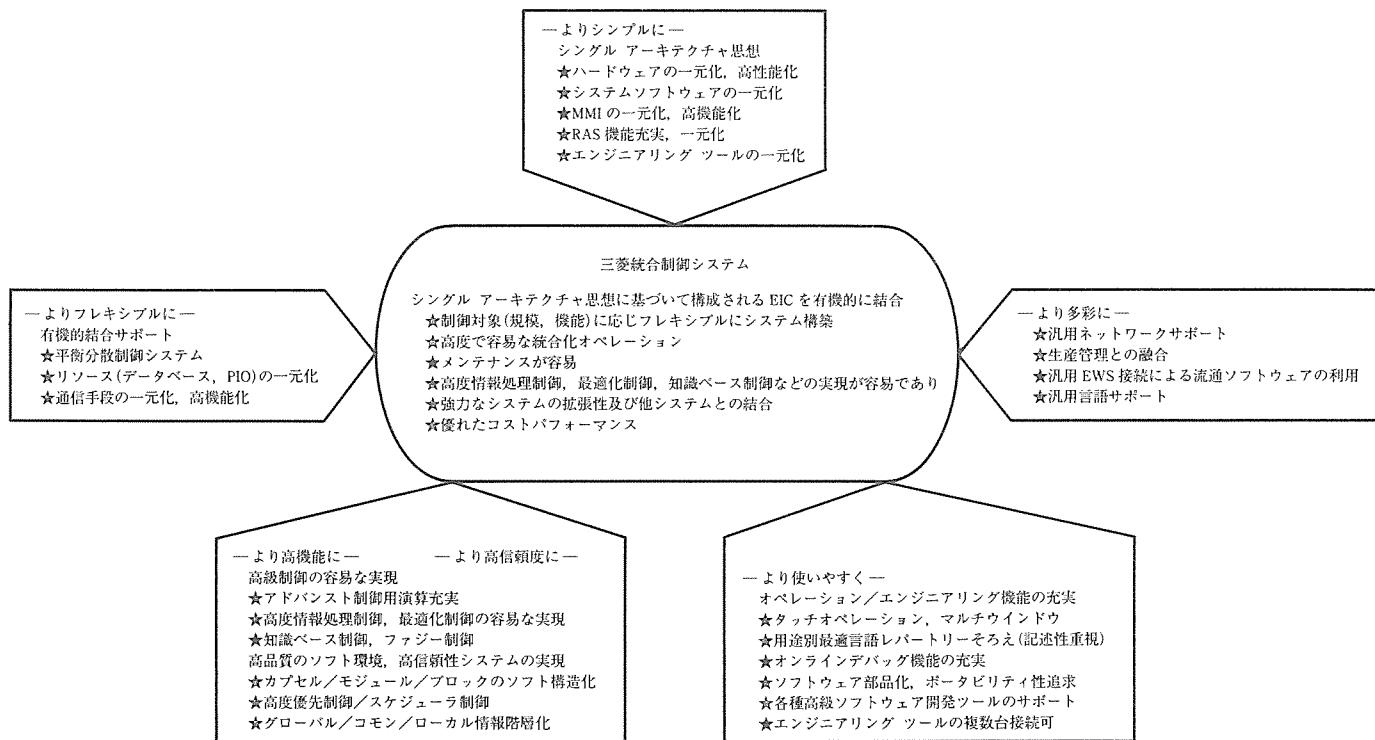


図1. 統合制御システムのコンセプト

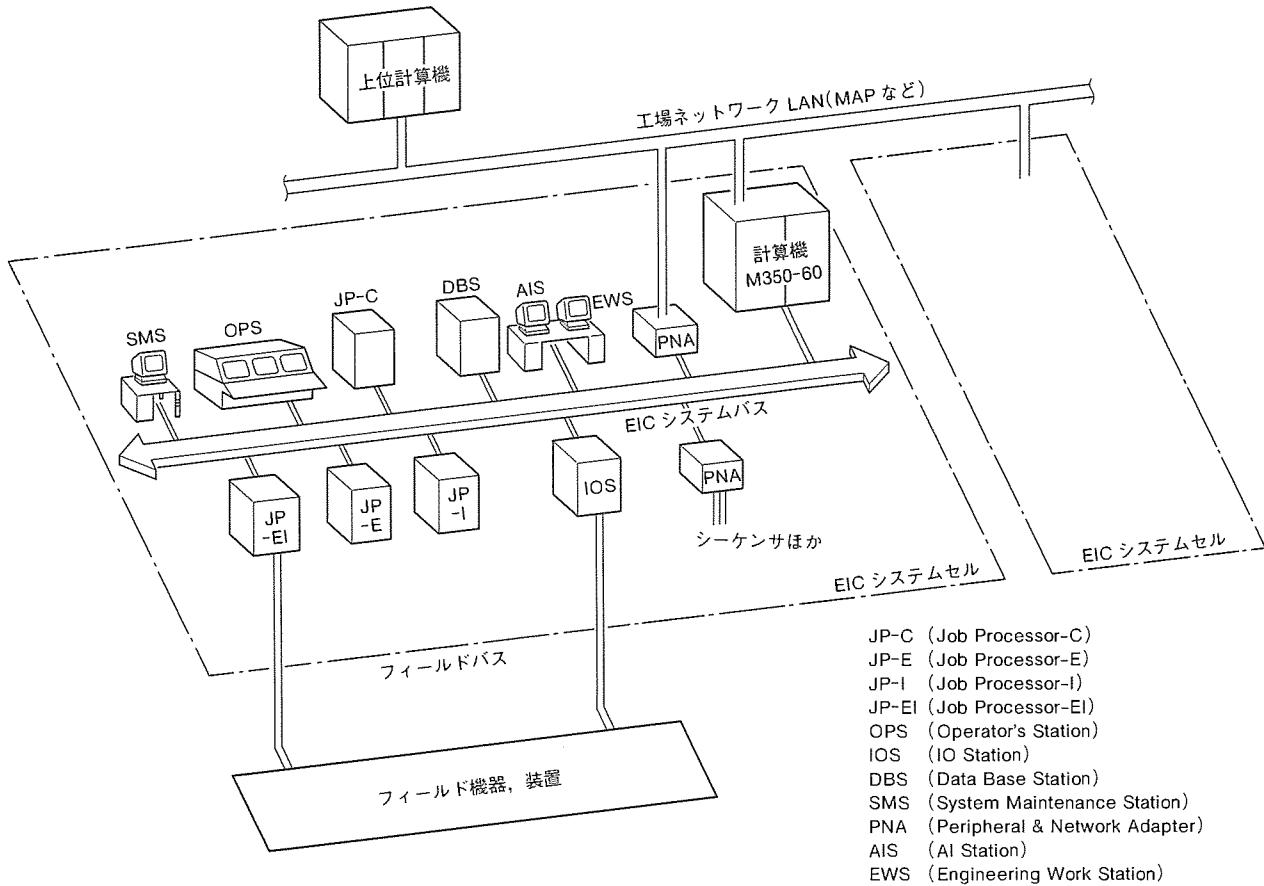


図2. 統合制御システムの構成

体に共有される共通メモリとして、各ステーションの内部メモリと同様の手続でアクセス可能となり、システム内のリアルタイムデータが扱える。高速サイクリック通信の概念を図5に示す。

(3) グローバル変数

システム内でユニークな変数として、グローバル変数の概念を導入した。従来、計装制御分野で使用していたタグ名称及び電気制御分野で使用していたラベル(共通プロセス出入

表1. 統合制御システムの特長

	E (電気制御)	I (計装制御)	C (計算機制御)
シケア ヨリブ ンリ	ディスクリート制御 高速シーケンス・演算制御	連続プロセス制御 バッチプロセス制御	プロセス最適化制御 プロセス情報処理/制御 操業支援、設備診断など
言 語	EI用マルチ言語 ◎シーケンス制御/演算制御用……POL (Problem Oriented Language) ◎工程遷移型制御用……SCOL (Sequential Control Oriented Logic) ◎計装制御用……DDC マクロ	EIC 言語間の有機的結合サポート ◎各言語アプリケーション モジュール間のリンク ◎システム内のデータを TAG, ラベルでアクセス ◎機能単位にマクロ言語化(ユーザー登録)しマクロ間接続でソフトウェア作成	汎用言語(FORTRAN, PL/M, C, BASIC) +セミベーシック ソフトウェア +ライブラリ +エキスパートツール
シ ス テ ム サ ポ ー ト	EIC 言語間の有機的結合サポート ◎各言語アプリケーション モジュール間のリンク ◎システム内のデータを TAG, ラベルでアクセス ◎機能単位にマクロ言語化(ユーザー登録)しマクロ間接続でソフトウェア作成	ハードウェアの進化に左右されない言語体系 ◎中間言語の導入	平衡分散システムサポート ◎ロケーションを意識せずアプリケーション モジュール間通信及びリソース、デバイスアクセス可能 ◎故障時の縮退運転と復旧時のオンライン自動復帰 ◎機能追加やシステム拡張時、稼働中のシステムに影響を与えることなくオンラインデータによるテスト、デバックが可能
ハ ード ウ ェ ア	MMI の一元化、高機能化 ◎EIC の操作、監視の一元化 ◎マルチウインドウ、大画面スクロール ◎タッチパネル オペレーション	EIC エンジニアリング一元化 ◎EIC のソフトウェア開発・保守ツールの一元化 ◎メンテナンスの一元化 ◎RAS の一元化	高性能32ビット マイクロプロセッサ 各コンポーネントのハードウェアを共通化(CPU, PIO) 全二重化、最小部分二重化可能 高機能高密度 CRT

表2. 統合制御システムの主な仕様

コンポーネント	仕様
EIC システムバス	総ステーション数 64ステーション
	伝送方式 光/電気 サイクリック/メッセージ/同報通信
	伝送速度 10 Mbps 最大40 Mbps(10 Mbps×4)
	システムTAG 数 20,000 TAG
OPS	ハードウェア 32ビットマイクロプロセッサ 20インチフルグラフィックCRT (タッチパネル付き)
	アプリケーション画面 512画面
CNS	JP-C ハードウェア 32ビットマイクロプロセッサ 主メモリ max 8 M バイト ディスク max 120 M バイト
	言語 FORTRAN,C,REALTIME BASICなど
	JP-EI ハードウェア 32ビットマイクロプロセッサ
	制御ステップ数 32k ステップ 制御ループ数 256ループ
IOS	I/O 点数 DI/O 4,096点/4,096点 AI/O 256点/256点
	ハードウェア 32ビットマイクロプロセッサ
DBS	I/O 点数 DI/O 4,096点/4,096点 AI/O 256点/256点
	ハードウェア 32ビットマイクロプロセッサ ディスク max 120M バイト
PNA	ハードウェア 32ビットマイクロプロセッサ 各種 LAN インタフェース

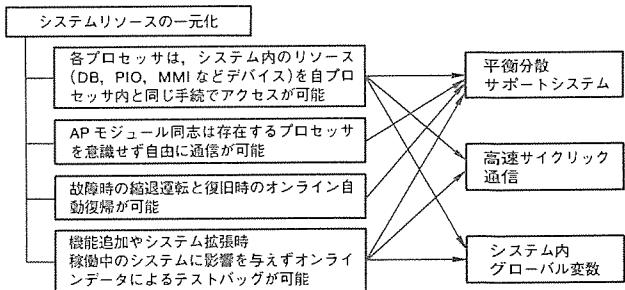


図3. システムリソースの一元化

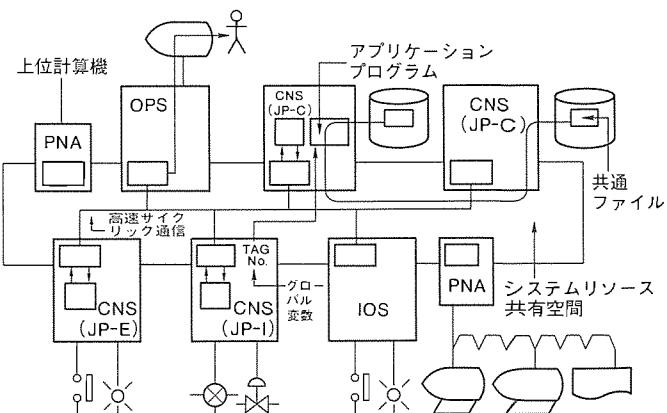


図4. 平衡分散サポートシステム

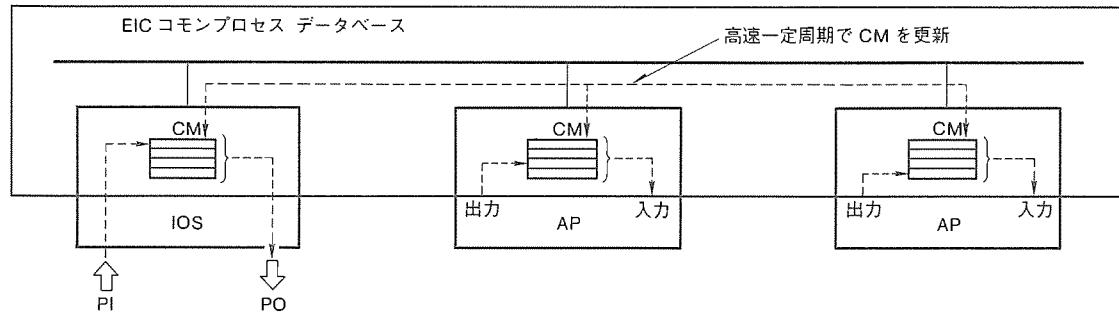


図5. 高速サイクリック通信

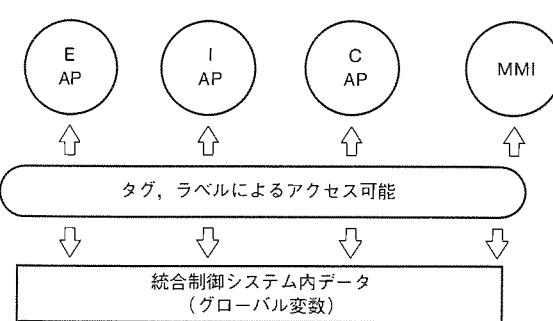


図6. システム内グローバル変数

力など)が示すデータ、又はデータ群をグローバル変数と呼び、アプリケーションプログラムから自由にアクセス可能である(図6)。

(4) 共通プロセス入出力

各ステーションに実装されたアプリケーションプログラムから共通にアクセスされるプロセス入出力に対しては、IOステーション(IOS)経由で高速サイクリック通信によって伝達される。

2.3.2 マンマシン インタフェースの統合

《MELTAS-S》のオペレータステーション(OPS)においては、MMIのハードウェア性能を向上させることにより、E機能の要求する高速性とI機能の要求する高機能性を満足させた。さらに、高速ウインドウ表示機能により、従来C機能がディスプレイ端末に表示していたのと同様の感覚で表示することも可能となっている。

また、EICシステムバスに接続された各コンポーネントの故障情報を、1台のOPSで一元的に表示することができる(RAS機能の一元化)ため、オペレータは、プラント全体の運用状態を的確に把握することができ、管理範囲の拡大及び柔軟な対応が可能となる。

統合化オペレーションを支える各種基本機能を図7に示す。

2.3.3 エンジニアリング支援機能の統合

プラント運営の高機能化及び多品種適量生産に対応した短期間での操業切替えなどから、支援機能の向上と統合化が望まれている。これら支援機能の実現に当たっては、従来のOPSに用意されていた機能を、システム規模に対応して専用のシステムメンテナンスステーション(SMS)で統合可能とした(図8)。一方、システム規模によっては経済性を考

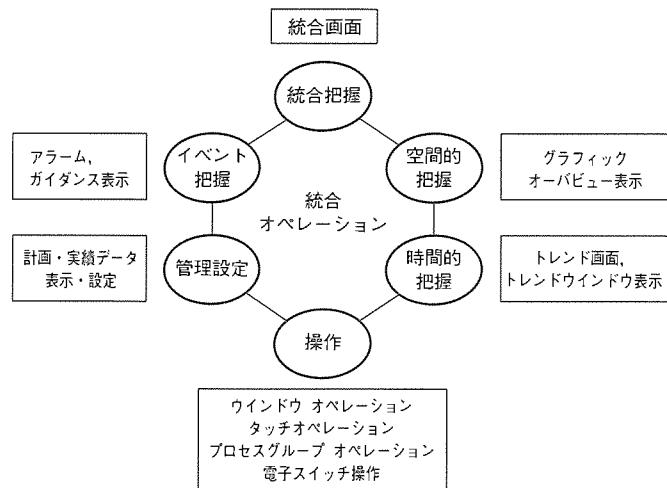


図7. マンマシン インタフェースの一元化

慮して、従来どおりのOPSでもこの機能を実現できるよう考慮している。主な機能としては、システム全体の構成定義機能、オペレータステーションの画面作成並びに各種定義機能、シーケンス制御プログラム、計装制御プログラム及び計算機制御プログラムを作成定義する機能などが用意される。このほかに、BASICサポート機能とこれらのエンジニアリングに対するセルフドキュメント機能も用意されている。

2.3.4 プロセス制御機能の統合

従来は、シーケンス制御、演算制御機能と計装制御機能とは機能分離されていたが、システムリソースの一元化、共用化が実現できるのにに対応して、より制御機能の融合化、効率化を図るために、同一プロセッサで両機能が実現できるよう統合化をした。これにより、高速シーケンス処理と計装制御処理を並列に処理でき、柔軟性のある高機能な制御が可能となる。もちろん、システム運用上、シーケンス制御機能と計装機能を分離独立させた方が有効な場合には、複数台のプロセッサに分散配置することも可能である。また、ジョブプロセッサEI(JP-EI)、ジョブプロセッサC(JP-C)共に共通のリアルタイムマルチタスクOSと平衡分散サポートシステムを実装することにより、各プロセッサ間の通信手順を統一化している。

3. プロセスラインへの適用

プロセスラインは、冷延コイルの酸洗・焼純・めっき・塗

装等を行う設備の総称である。ここでは、全体のコイル情報統括及び制御モデル演算を実行する計算機（C）制御のもと
(1) ストリップの安定通板（速度・張力・蛇行防止）を確保する電気（E）制御

- (2) ストリップの化学・や（治）金学的プロセス（加熱・冷却・めっき等）を制御する計装（I）制御
の両者のコンビネーションが製品品質向上にとって重要なポイントとなるため、鉄鋼プラントの中でも EIC 統合化へのアプローチが盛んである。

以下に代表例として、連続焼純設備（Continuous Annealing Line : CAL）への EIC 統合化システムの適用事例を紹介する。

3.1 システム構成と機能分担

CAL に EIC 統合化システムを適用した場合の代表的なシステム構成例を図 9 に、機能分担を図 10 に示す。

電気制御用として入側・中央・出側の各セクションに対応して、JP-E、焼純炉燃焼、冷却制御用及びその前後処理用

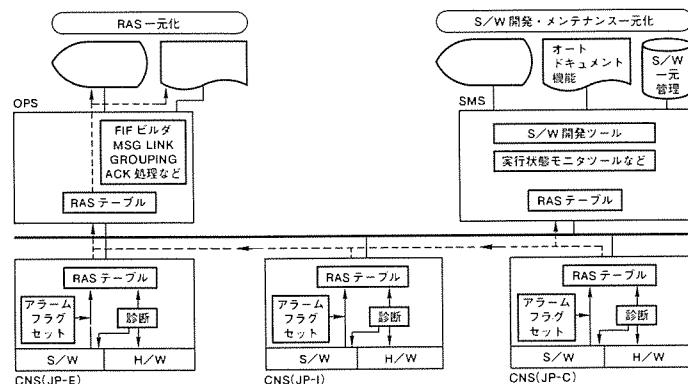


図 8 . エンジニアリングの一元化

として JP-I を適用した。特に、炉計装用 JP-I は、CPU 部及び I/O 部を二重化し、片系異常時、健全系へのパンプレス切替えが可能な待機冗長系を構成している。また、異常系の I/O 部もカード単位で健全系 I/O に自動切替えされ、かつ I/O カードは活線挿抜可能であるため、異常発生後のメンテナンスに際しても運転中のラインに影響を与えない。

センサ・操作信号等のプロセス入出力信号は、IOS を通じて EIC システムバスのサイクリックデータとし、全ジョブプロセッサ及び OPS からのアクセスを可能とした。また、共用化の必要のない入出力信号については、IOS 異常時の影響局所化を考慮し、各ジョブプロセッサのローカル I/O とした。

JP-C は、ライン統括・モデル計算・設備監視等の各機能を分担し、JP-E, I に対して自動設定・実績収集を行う。図 9 では、JP-C を複数台用いた分散型プロセス コンピュータシステムの例を挙げているが、これらを 1 台のミニコン（当社の《MELCOM350-60 シリーズ》で置換、又は規模・用途に応じミニコン／JP-C の混在型とすることも可能である。

各運転室には操作・監視用統合 MMI として必要台数の OPS を設置し、従来のパネルオペレーションを最低限必要なハードウェアスイッチに絞り、タッチパネルとファンクションキーボードによる CRT オペレーションを全面的に採用した。また、画面の統合化、階層化を図り OPS 台数・画面枚数を集約化した結果、シンプルでコンパクトな構成を実現した。各運転室毎に OPS は相互バックアップを考慮し、1 台の OPS のダウン時、他の OPS で同一の操作・監視が可能である。ソフトウェア開発・保守の一元管理を目的とし、保守室には SMS を配した。また、全ラインの統括トラッキ

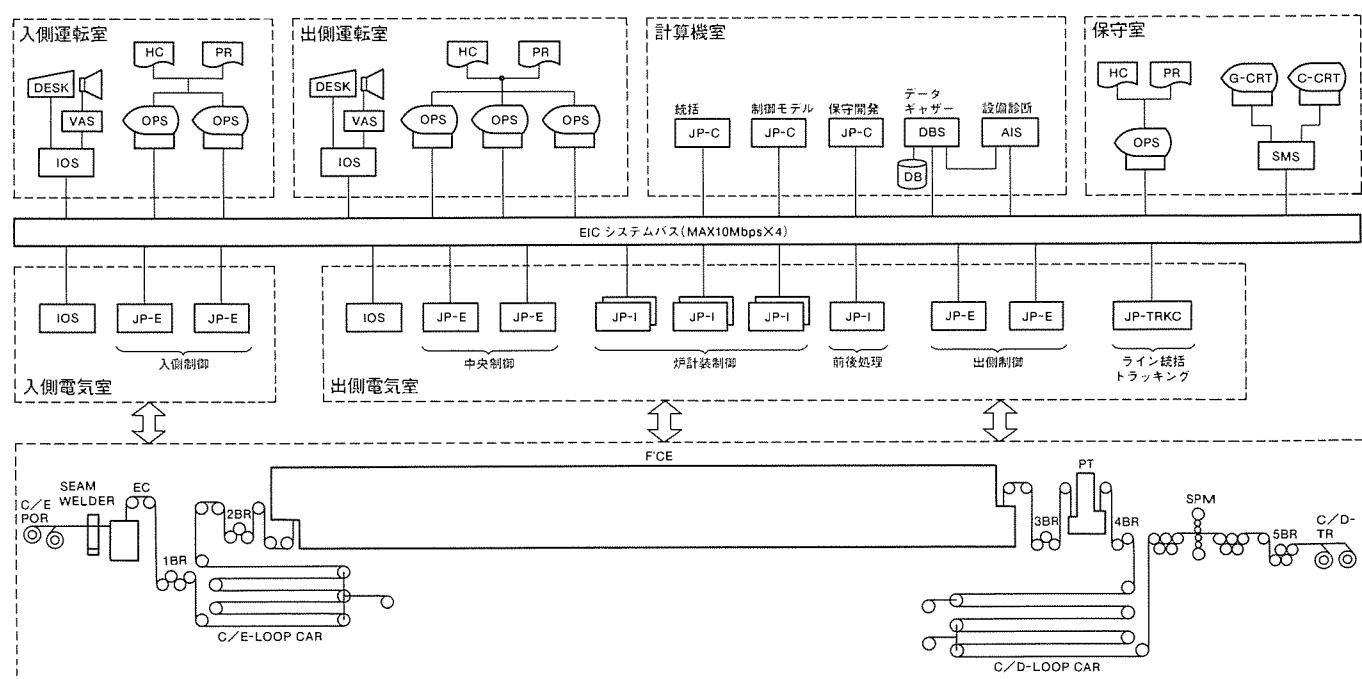


図 9 . CAL における EIC 統合化システムの構成例

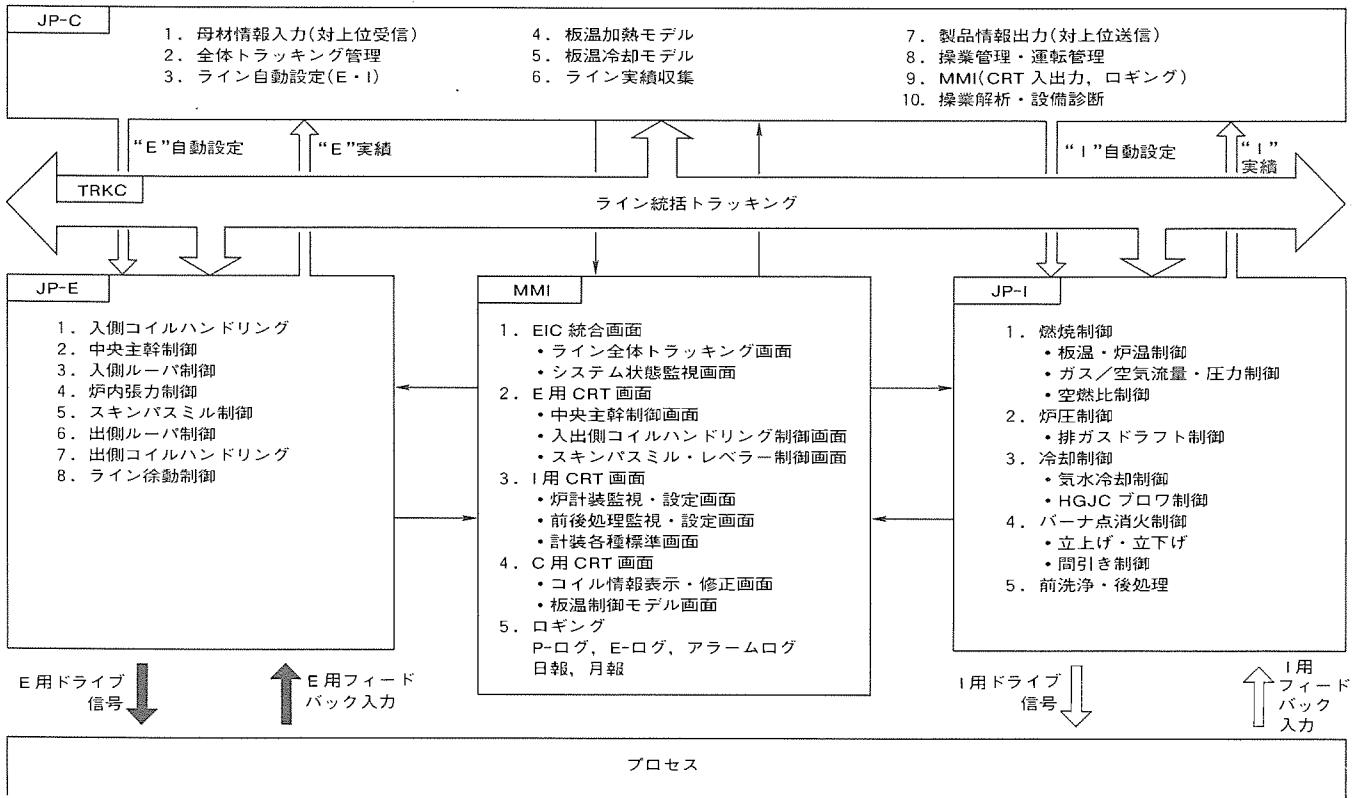


図10. CALにおけるEIC統合化システムの機能分担

ングを実施するトラッキングコントローラ(JP-TRKC)をEICバスに直結し、トラッキングの一元化を図った。これについて後述する。

以上の各ノードをEICシステムバスに直結して全体システムを構成した。EICシステムバスは、マスタスレーブ関係のないバランス型ネットワークであり、各プロセッサ群の自律性、独立性が高い。最大40Mbpsの高速伝送が可能であり、サイクリック型、会話型、同報通信型のいずれをもサポートしているため、各種データ伝送に対して最適な伝送方法が適用可能である。バスは二重化・冗長化が容易に構成でき、片系異常時、健全系による縮退運転も可能である。

3.2 従来システムとの比較と導入効果

図11に統合制御システム導入の効果を、従来システムと比較して一般的に示す。

操業サイドから見たシステムの最大の特徴は、何といってもプラントの操作端であるMMIの統合に尽きると考える。従来のCRT端末は、個別の制御装置に対応が必要であり、

- (1) 操作員の必要とする機能ごとのプラント情報が複数の異機種CRTで、ばらばらにしか表示されない。
- (2) 警報の表示やそれに対する操作員の対処も各MMI固有の思想と方式が複数存在する。
- (3) 結果的に操業上必要なCRT台数が多くなり、設置スペース、操作要員数共に大きくなる。

などの問題があるのは周知のとおりである。《MELTAS-S》の提供するシングルウインドウ環境下では、これらの問題は一挙に解決され、EIC全系にわたって統一された操作・監視

環境を実現できるため、操作員に対する負荷を大幅に軽減し、より少人数でより効率的な操業が可能となる。

同様に保守の観点からは、システムトラブルに対しハードウェア基本コンポーネントの共用化、プロセス入出力カードの共用化を図り、システムRAS(Reliability, Availability, & Serviceability)機能の一元化を実現しているため、トラブルシューティングが容易となるばかりでなく、予備品の共通化による保守品の削減也可能となる。

さらに、《MELTAS-S》のシングルウインドウ環境は、エンジニアリング、ソフトウェア開発の領域にまで徹底されている。従来からEIレベルのソフトウェアに対する一元管理の必要性が指摘されてきたが、実用的なシステムとして稼働している例は多くない。近年、制御の高級化により、これらのソフトウェアが飛躍的に増大するに伴って、一層その要求は強いものとなっている。

3.3 制御システム構成上の特徴

3.3.1 特異点トラッキング

従来のプロセスライン制御システムでは、自動運転のかなめとなる中央ゾーンの特異点トラッキング(ライン内に存在する複数の溶接点、製造指示変更点、注意点等の現在位置を管理し、特異点がライン上の特定位置に到達したことを検知して各種の自動処理の起動タイミングを生成する機能)については、EIC各系が独立に重複した機能を持っているのが通例であった。このため、ライン内に設置したパルス発振器や溶接点検出器等のセンサ信号を各コントローラがシラ取りし、かつ各コントローラ内部で類似のロジックを持つことになり、

	コンベンショナル システム	統合制御システム
システム構成		
システム計画	①各系間 I/F 制約大 ②データ二重待ち、PIO バラ取りなど考慮 ③マンマシンがそれぞれに必要 ④システム拡張設計の作業量大で複雑 ⑤高機能化設計が難しい	①各系間 I/F 制約無し ②リソース共用化し最適分散配置可 ③最少の機器でマンマシン統合化設計可 ④システム拡張設計容易 ⑤高機能化設計容易
操業	①各系ごとにマンマシンが独立しプラント全体の状況把握、操作に制約有り	①プラント全体の統合化オペレーションが容易
メンテナンス	①各系ごとに個別メンテナンス技術、ツール必要 ②各系ごとに予備品必要 ③システム全体の RAS 把握困難	①共通のメンテナンス技術、ツールで対応可 ②予備品最少化 ③システム全体の RAS 把握容易
ソフトウェア開発	①各系ごとに独立したツール必要 ②各系間通信ソフトウェアボリューム大	①一元化エンジニアリングツールで開発 ②各系間通信ソフトウェアボリューム小

図 11. 統合制御システム導入の効果

いたずらにソフトウェア量の増大を招く一因ともなっていた。これに対し統合化システムでは、全体トラッキングの一元化を図るために、トラッキングコントローラ (TRKC) というトラッキング専用の独立したプロセッサを設けて、これを EIC システムバスに直結している。トラッキングコントローラは、母材コイルに含まれる特異点を一元的に管理し、(1) 各特異点の現在位置を全 CPU (各 JP 及び OPS) に通知 (2) 特異点がライン内の特定位置に到達したタイミングを必要な CPU に通知する機能を持つ。したがって、各 CPU は個別にトラッキングロジックを持つ必要はなく、トラッキング対象となる特異点を所定の手続でトラッキングコントローラに通知 (登録) するのみで、上記(1)(2)のトラッキング情報を得ることが可能となる。このような構成により、各 CPU 間での機能重複を排し、全体システムで必要とされるトラッキング機能の大部分をこのコントローラに集約することが可能となり、全系に対するトラッキング情報の一元化を図ることが可能である (図 12)。なお、TRKC には、高速性の点から JP-E を採用した。

3.3.2 気水冷却ヘッダー ON/OFF 制御

CAL におけるストリップの気水冷却では、所定のストリップ冷却パターンを確保するため数ゾーンに分割された冷却ヘッダーをトラッキングに従って 100ms オーダーの高速で ON/OFF 切替えをする必要がある。従来システムではこの機能を実現するために、板温制御を実施する計装コントローラと、ヘッダーを ON/OFF する電気コントローラとの間にまたがった複雑なインターフェースが必要であったが、《MELTAS-S》ではこれを 1 台の EI コントローラで閉じてシンプルな構成とすることが可能である。

3.3.3 燃焼プロワ回転数制御

燃焼プロワ VVVF 装置に対する回転数制御についても、

従来システムでは前項と同じく電気/計装コントローラにまたがって制御ループを構成する場合が多いが、《MELTAS-S》ではこれを 1 台のコントローラに集約でき、CPU 間インターフェースの削減、スタートアップ・メンテナンス上の利便性等の効果が大きい (図 13)。

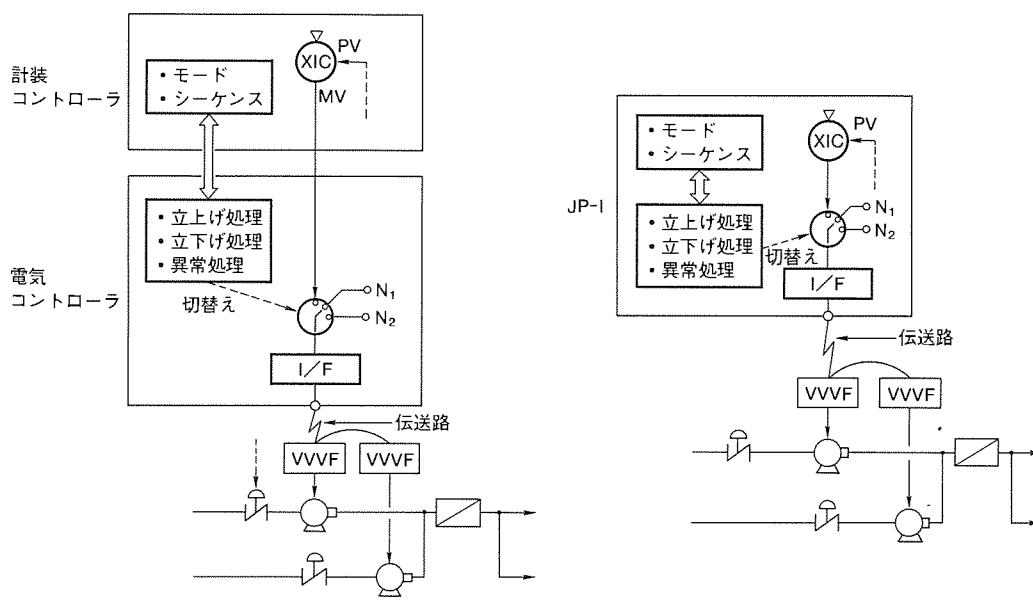
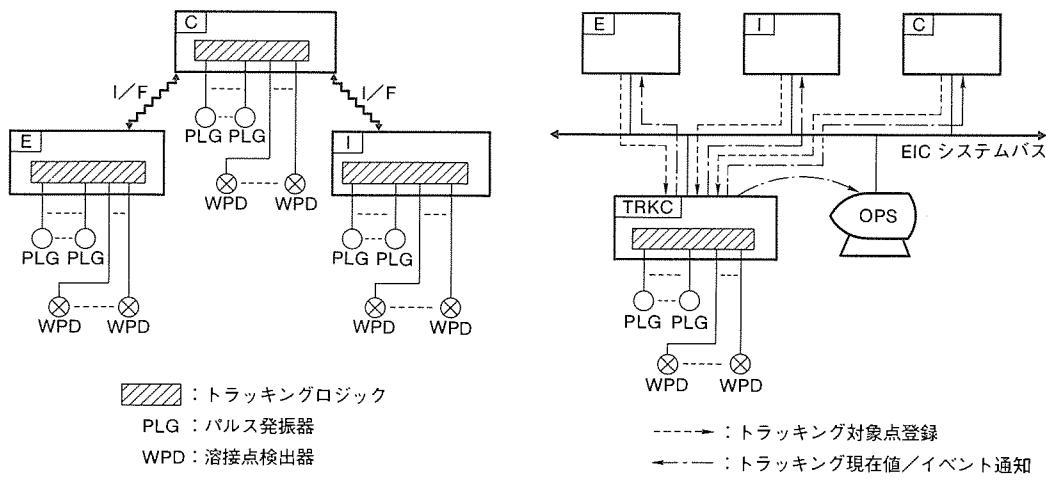
3.3.4 C-EI によるアドバンスト制御

ストリップのヒートパターン (炉内所定位置通過時の板温パターン) は、各母材コイルごとに上位システムから設定されるが、溶接点前後では炉温制御系の時定数、ストリップの熱伝ば (播) の時定数によって実板温と所定ヒートパターンとの偏差が生じる。

これに対し、溶接点前後のストリップヒートパターンの許容温度範囲と、ライン速度・燃焼負荷の増減等を考慮した最適燃焼制御モデルを適用しているが、《MELTAS-S》では、プロセス情報が EIC システムバス上で一元化されていること、ハードウェアを意識しないプロセス間通信が可能であること等を生かして C-EI にまたがったフレキシブルな制御モデル構築が可能となる。

3.3.5 設備監視データ ギャザーシステム

ライン制御の機能アップと並んで、異常発生時の操業支援等を目的としたプロセスデータの収集 (ヒストリカルトレンド、リアルタイムトレンド) は重要な機能である。統合化システムでは、プロセスデータ収集専用の JP-C を EIC バスに直結することにより、システム全系でのリソースから一元的にかつ容易にデータを収集し、管理することが可能である。これにより、例えば計装ループでの板温トレンドと電気制御でのライン速度パターンを同一時系列でデータ採取し、同時にチャート出力、同一 CRT 表示等を行うことが容易に実現でき、EIC の境界、制限なく目的に応じたプロセスデータ収集が可能である。また、収集されたプロセスデータを用いた各種の監視・診断機能が自由に構築できることは言うまでもな



い。

4. む す び

以上、プロセスラインにおけるEIC統合化システムの適用について述べた。近年のエレクトロニクス技術の急激な進歩は、汎用ハードウェアの驚異的な性能向上をもたらし、一昔前では考えられなかったシステムを現実のものとしつつある。統合制御システム《MELTAS-S》は、そのアーキテクチャの革新性、従来の鉄鋼専用ハードウェアでも実現し得ていなかった種々の高級機能とあいまって、正にそのせん(尖)兵と言ふべき存在である。

工場全体の生産最適化が産業界の潮流となりつつある中で、

その基盤たるプラント制御システムがEIC統合化へ向っていいくことは、鉄鋼プロセスにおいても、今後の必然的な技術トレンドであると思われる。もちろん、シングルアーキテクチャを提倡する《MELTAS-S》の適用領域を拡充していくためには、これからもなお一層の性能向上と、ハードウェア及びソフトウェアのメニューそろえが不可欠であることは言うまでもない。

今後、各フィールドでの適用実績をもとに、ユーザーニーズにこたえたシステム構築を目指して、より一層の努力を続けてゆきたい。

ユーザー各位の御理解と御指導を切にお願いする次第である。

AIを利用した加熱炉燃焼制御システム

若宮宣範* 楠本 希**
鶴田 誠* 磯部昌毅*

1. まえがき

鉄鋼プラントにおける加熱炉燃焼制御は、種々の数式モデルを適用して実用化されているが、制御方法の根本は多条件を統合する最適化の問題であり、近年の生産対象の高品質化、材質の多様化、多品種小量生産化に対して、数理的手法では熟練操作員よりもその操作に対する柔軟性が劣るとされている。

我々はこの加熱炉燃焼制御において、既存の数式モデル制御に知識ベースシステムによるヒューリスティックな判断能力を加えた柔軟、かつ高精度の制御方式の開発を行っており、これを既に数プラントに適用し、有効性を確認している。

ここでは、このAI応用加熱炉燃焼制御の実例及びリアルタイム用AIシステム構築ツールについて紹介する。

2. 加熱炉燃焼制御の概要

図1は、熱間圧延ラインにおける加熱炉制御システムの概念である。内部にバーナと搬送設備を持ち、挿入した鋼材を搬送しつつ、加熱、順次抽出する。制御ゾーンとして、炉内を予熱帯・加熱帯・均熱帯に分割し、各帯に備えられているバーナの燃料流量によって炉内温度をコントロールする。

加熱炉燃焼制御システムは、鋼材抽出時、鋼材の所望の平均温度、均熱度(鋼材内部の温度の均一度)を最適化することを目的とし、省エネルギーのために燃料原単位最小化の制約の下に各帯の設定温度を決定する。

図2に、既存の燃焼制御の機能構成例を示す。以下に、各機能の説明を加える。

(1) 目標値決定

ライン下流での圧延加工のために、必要十分な鋼材の目標抽出温度、均熱度を決定する。

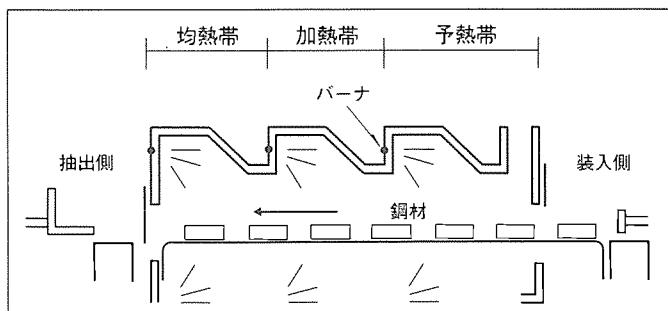


図1. 加熱炉の概念

(2) 鋼材温度分布計算

炉内鋼材の上下方向からの熱流束を基に、鋼材厚み方向の一次元非定常方程式を差分計算で解き、内部温度を推定する。

(3) 必要炉温計算

各鋼材について、鋼材の現在温度、在炉時間の残り時間等から、目標抽出温度を得るための各制御帯の必要炉温を計算する。

(4) 設定炉温決定

炉内各材についての必要炉温から、各制御帯設定炉温を決定する。決定方法は、各制御帯内の各鋼材必要炉温のうち、最大値選択、又は材質、厚さ等の要因によって決定される製造ロット先頭材の必要炉温を選択する等が一般的である。

3. 既存の加熱炉燃焼制御の問題点

(1) 数理手法の限界

炉内には常に数十本の鋼材が存在する。この各々の温度を制御せねばならないのに対し、アクチュエータは各制御帯炉温3点であり、炉内材のサイズ、材質がまちまちである場合、すべての対象を満足する必要炉温は事実上設定不可能である。

すなわち、最適化の問題となるが、材質別特性、材のサイズ、時間、燃料効率など全く独立した条件下であるため、これを手続き的に解く数理的手法は存在するものの実行時間、操作変化による柔軟性の点で問題があり、実用になっているとはいがたい。この炉温決定能力の不足は、制御精度の低

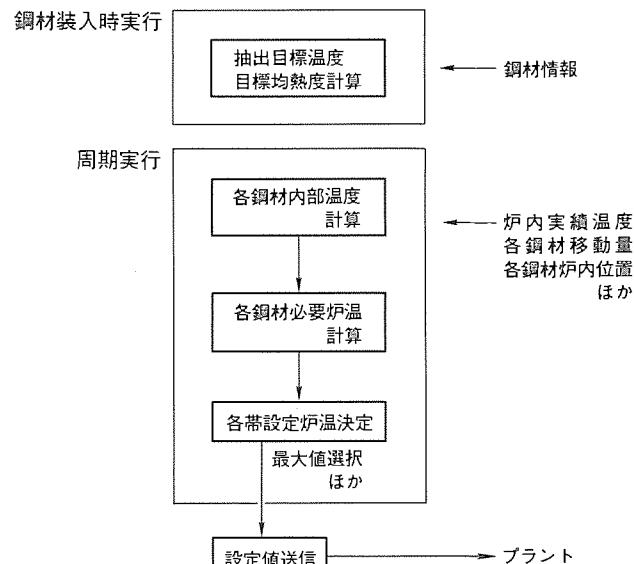


図2. 既存加熱炉燃焼制御の機能構成

き、消費燃料の非効率に直接つながっている。

また、現状の炉温決定方法は、一般的な材質条件下でのみ有効であり、特殊材等に十分な対応がとれていない。

これは、多品種少量生産へ移行する傾向を考慮すれば、解決すべき不可避な課題であるといえる。

(2) 計算機負荷

加熱炉は、1ライン当たり数基設けられるため、1回の設定当たり制御対象となる鋼材は数十本から数百本に至る。燃焼制御では、この大量のデータについて計算処理、ディスクアクセスを行う必要があり、計算機の高負荷原因となっている。

(3) 操業へのフレキシブルな対応

ラインは、定期的又は不定期に操業を中断する場合がある。この間の炉温設定は、極端に炉温を下げるか又は燃料を停止する等の特殊な設定となるため、通常の炉温状態を想定する現状の数式モデルでは対応不能である。

等、これら操業上の変化に動的に対応できない。

(4) 拡張性、保守性

制御対象の材質、操業条件は、多様化・特殊化するのに対し、計算機処理をこれに対応づけて変更、追加するのは容易でない。

4. AI導入の目的

前項既存システムの問題点を解決するため、以下のようにオペレータの操作知識を計算機処理に導入することとした。

(1) オペレータ操作と計算機処理の相違部分を吸収し、制御精度の向上を図る。

(2) オペレータ知識の応用により、判断材料データを限定し、計算機処理を合理化する。

(3) 操業の中止等、特殊な操業に対応する。

(4) 知識を理解しやすい形で表現し、修正・追加など保守を容易にする。

5. システム化

前項目的に基づき、以下のように導入を実施展開した。図3にAI応用加熱炉燃焼制御の機能構成例を、図4にルール構成例を示す。

(1) 計算値の補正

目標抽出温度、目標均熱度、設定温度などの計算値と、オペレータの判断値との差異をオペレータ知識の応用によって補正する。

(2) データの限定

特定の材に着目するオペレータの判断知識を応用し、計算処理対象とする材を限定する。

(3) 設定炉温判断

各材料の重要度を判断し、総合して設定炉温を決定するオペレータ知識を応用し、炉温決定を行う。

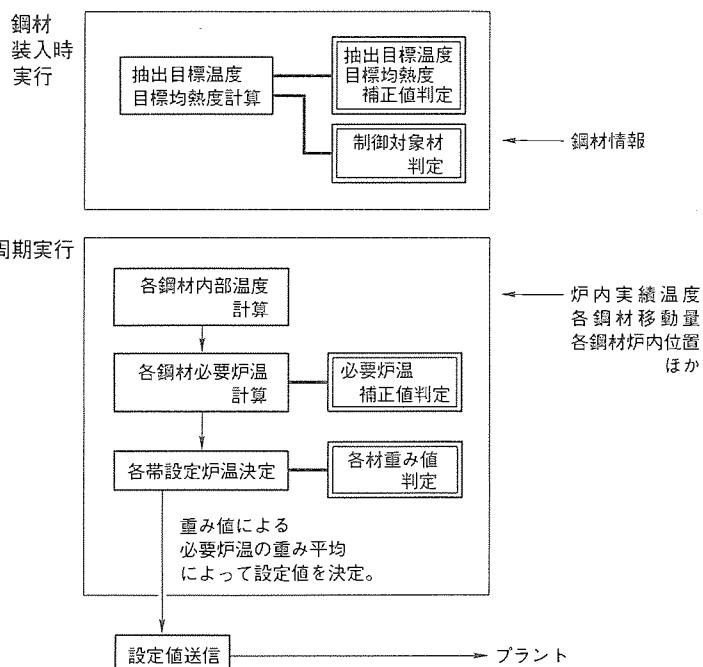


図3. AI応用加熱炉燃焼制御の機能構成

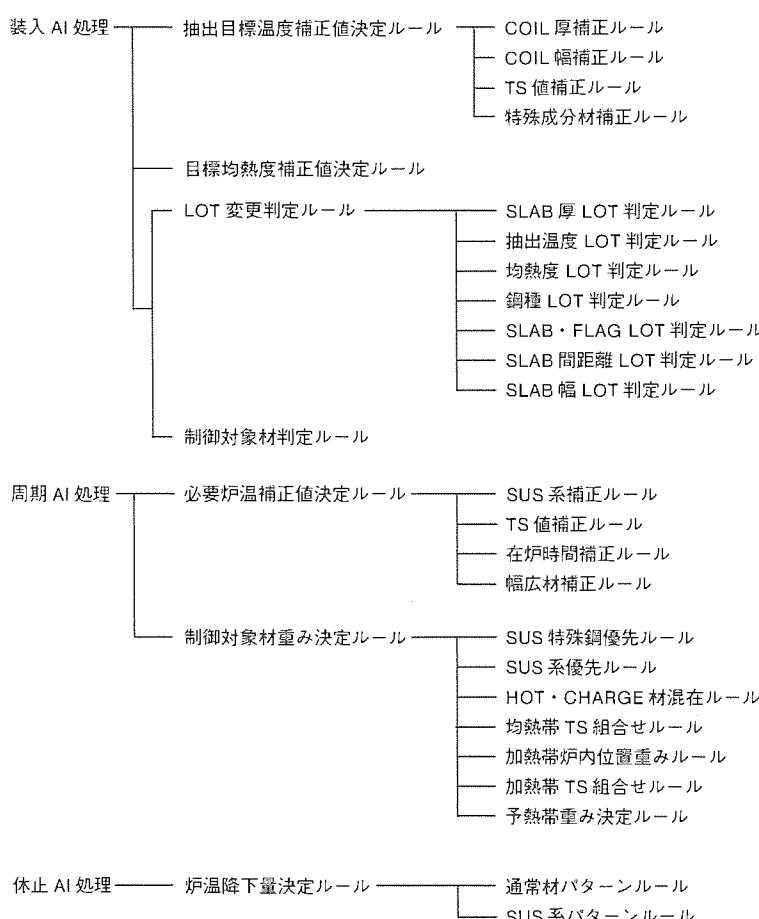


図4. ルール構成事例

- (4) 休止時設定炉温パターン決定
操業停止時の状況に基づく停止時間内の炉温設定パターンを判断するオペレータ知識を応用し、設定炉温を決定する。

6. 評 價

図5に、目標抽出温度に対する制御結果の一例を示す。標準偏差は、ほぼ 11.9°C に収まっており、高精度の実現を確認した。

7. 知識構築言語

今まで、我々はリアルタイムのルールベース構築用言語として、PROLOG-Rを使用してきた。この言語は、DEC-10PROLOG拡張仕様である。プラント制御に広く用いられている《MELCOM-350/60》計算機シリーズを対象としており、同計算機のリアルタイム制御用機能との親和性が高い。

また、PROLOGプログラムのコンパイル、タスク化機能を備えており、並列動作を実現できる。

ルール部分をタスク化することにより、既存の数式モデル処理からの起動を可能にし、協調動作を実現できる。記述性・可読性が高い。以上のようなメリットを持つPROLOG言語ではあるが、システムをオープンにするという意味では、操作員には難しそう。さらに、以下の問題がある。

(1) 実行時間、タスクサイズ

表1に実行時間、タスクサイズに関してシステム事例を示す。PROLOGを使用するため、総体的に実行時間、タスクサイズ共に大きくなっている。

事例のシステムでは、要求される範囲に収まっているが、知識処理以外の処理に対するメモリ、CPU負荷の影響も無視できない。また、これを改善しなければ、高速応答を要求される場合の多いその他のリアルタイム処理系に対して、これと同様のAIシステムを適用しようとした場合、その範囲が限られる。

(2) 保守性、マンマシンインターフェース操作性

現状のルールシステム構築ツールは、リアルタイム制御用計算機上で動作する。したがって、操作性、ルール保守を含めた機能は、一般のEWS環境等のAIツールに劣る。

以上のことから以下に示すリアルタ

イムAI構築ツールを新規に開発し、この加熱炉制御をはじめ各機能に適用を開始している。

8. リアルタイムAI構築ツール

8.1 必要性

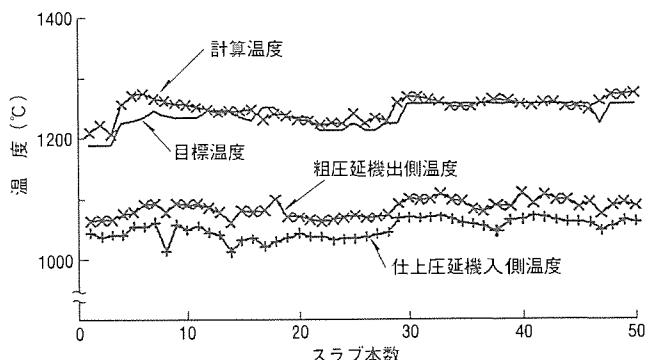


図5. 目標抽出温度制御の結果例

表1. 実行時間、タスクサイズ事例

事例1

タスク単位	ルールブロック名称	ルール数	タスクサイズ(Mバイト)	実行時間(peek sec)
周期、休止処理	メタルルール	1		
	予熱帯グループ重み決定	5		
	加熱帯グループ重み決定	5		
	均熱帯グループ重み決定	5		
	選抜グループ重み決定	34		
	均選抜グループ重み決定	1		
	予炉温設定バイアス値決定	13		
	加炉温設定バイアス値決定	13	1.5	13.61
	均炉温設定バイアス値決定	16		
	予空炉時バイアス値決定	1		
	加空炉時バイアス値決定	2		
	均空炉時バイアス値決定	3		
	加熱待ちビレット決定	1		
	加熱待ち時間決定	7		
	炉温降下量決定	1		
	炉温降下量バイアス値決定	24		1.15
	計	132		

事例2

タスク単位	ルールブロック名称	ルール数	タスクサイズ(Mバイト)	実行時間(peek sec)
装入材処理	装入材処理ルール	4		
	抽出目標温度補正值決定	2		
	温度補正	19		
	目標均熱度補正值決定	2	0.816	2.27
	均熱度補正	33		
	ロット変更判定	1		
	制御対象材判定	7		
2分周期処理	2分周期処理ルール	2		
	必要炉温補正	42	0.816	4.24
	制御対象材重み決定	19		
休止処理	休止処理ルール	2	0.816	0.95
	炉温降下予定量決定	48		
	計	181		

鉄鋼分野における計算機制御は、自動制御の創世期からの歴史を持ち、数理的制御技術としては既に成熟の域にある。したがって、既存の制御技術で自動化の困難な部分への対応戦略として、AIをはじめとする新技術へのニーズは大きいものがある。

しかしながら、診断型、ガイダンス型AIを別として、リアルタイム制御では、AIシステムそのものがインタプリティブな言語を多用し、かつ柔軟な拡張、保守性、不確定的な知識の処理を求められるため、高応答性・高信頼性を旨とするリアルタイム制御の性格に相反する。

さらに、汎用のツールを用いたAIシステム化が一般化しているが、高機能のマンマシンインターフェースやユーティリティ機能を満載した汎用ツールをベースとしたAIシステムは、リアルタイム制御用計算機にはCPU負荷が重すぎる。また、PC、EWSといったベースマシンは、リアルタイムデータの高速アクセスの面で絶対的に劣る。

ただし、前述のように、拡大するニーズに対してこれを無視することは不可能であり、その対応の一例としてここで述べた加熱炉燃焼制御に対する応用を示した。

我々の立場は、制御システム全体を受注するシステムベンダーであるが、AIシステムはその中核が、ユーザーの持つ知識にあり、システムそのものを提供することは困難である。また、ユーザー側での研究開発が活発であり、AIシステムを独自開発する動きが大きい。したがって、我々に今後求められるのは、ユーザーニーズに対して的確かつ必要十分なシステム化の方法、技術を提案、提供することであろう。

汎用AIツールのはん(汎)濫と多様なユーザーニーズの間で、応用分野に適合したシステム化手段、システム化技術部分の空洞化が指摘されており、その解決手段の一つとして、特定分野に適用を限定し、分野に適合したシステム構造、手法、周辺機能等を提供するツールの開発がある。

そこで、前項で挙げた課題の解決と、さらに鉄鋼分野におけるリアルタイム制御AIシステムに対するニーズへの回答として、以下に述べるツールシステムを開発し、各種プラントで適用を開始している。

8.2 概要

図6、図7にこのツールシステムのシステム構成及び機能構成を示し、以下にその特長を紹介する。

(1) リアルタイムシステムとシステム構築環境の分離

このツールは、MEシリーズEWS上で動作し、構築したAIシステムのリアルタイムシステム《MELCOM-350/60シリーズ》上での実行モジュールを生成する。これをリアルタイムシステムに搭載することにより、リアルタイムAIシステムが実現できる。

この方法により、システム構築にEWSの充実したマンマシン環境を利用でき、かつリアルタイムシステムにツール環境による影響を与えない。

(2) 開発モジュールと実行モジュールの分離

このツール上で開発したシステムは、まずインタプリティブに動作するルールベースシステムとなる。これによって、ルール単位でのシミュレーション、ルールトレーステストを実施できる。

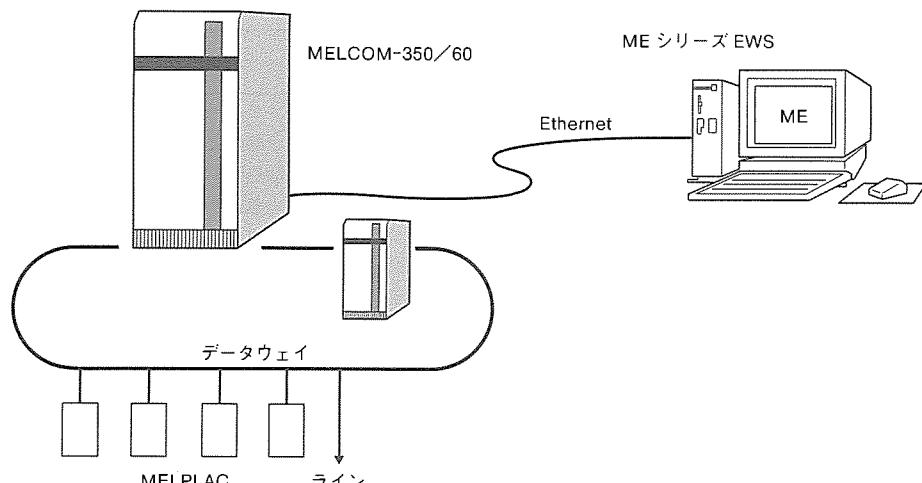


図6. リアルタイムAIシステム構築ツールシステムの構成

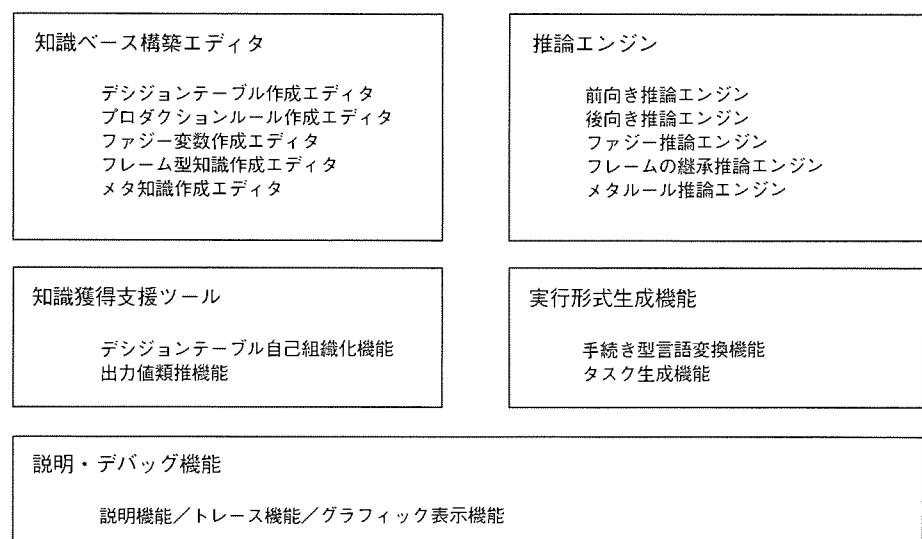


図7. リアルタイムAIシステム構築ツールの機能構成

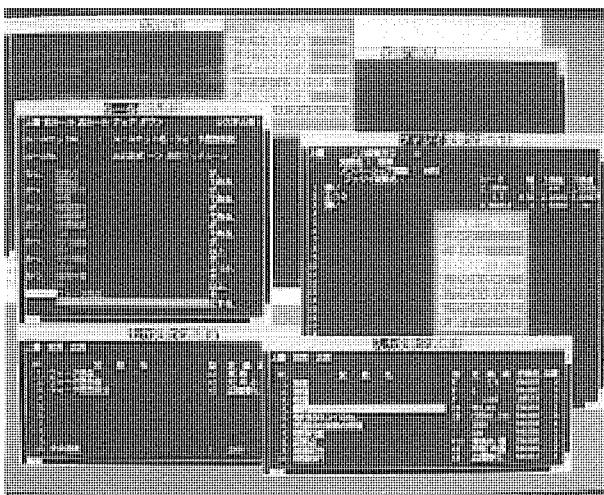


図8. リアルタイムAIシステム構築ツールの画面例1

さらに、実行モジュールとして、FORTRAN記述のモジュールに展開する。対象マシンである《MELCOM-350／60》計算機上での既存システムの記述言語であるFORTRANで記述することで、既存システムと柔軟に融和でき、その他のモジュール、システムデータと容易にインターフェース構築が可能である。

また、PROLOG記述のAIシステムに比べ、実行時間、モジュールサイズ共に縮小できる。

(3) 豊富な機能選択肢

プロダクションルール構築だけでなく、ディシジョンテーブル、ファジールール構築、メンバーシップ関数、評価関数の設定、中間変数定義、データのフレーム表現、データの加工処理設定、競合解消戦略の設定等、構築するシステムに必要な機能選択肢はすべて用意されており、各機能設定操作をサポートできる。

(4) リアルデータサポート機能

リアルタイムマシンから、LANを経由してEWSにデータ

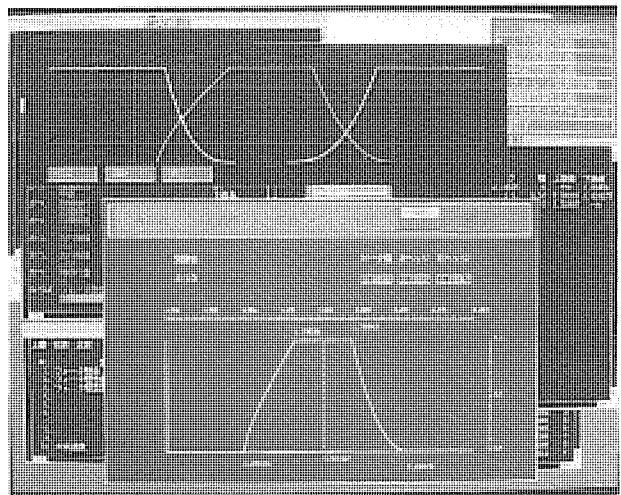


図9. リアルタイムAIシステム構築ツールの画面例2

転送が可能であり、蓄積したプラントデータを受け取って実データイメージの試験が実施可能である。無論、定期的にプラントデータを受けて、EWS側で動作するバッチ型AIシステムとしても実現可能である。

(5) 充実したマンマシンインターフェース

EWSのウインドウシステム、グラフィック機能をフルに活用し、容易な操作と豊かな表示表現を実現している。

図8、図9に操作画面例を示す。

9. む す び

以上述べたように、加熱炉燃焼制御のみならず、鉄鋼生産プロセスラインのあらゆるリアルタイム制御部分で、AIシステムに対するニーズが高まっている。

ユーザーに対してAIシステム導入に関する企業戦略から、知識情報獲得のノウハウまでトータルなシステム化の提案ができる技術的な基盤の構築を目指して、研究・経験の蓄積を図っていきたい。

冷間圧延機の形状制御システム

三吉貞行* 森 賢嗣**
小松富夫* 小寺嘉一**
斎藤輝弘*

1. まえがき

圧延プロセス、特に冷間圧延では、製品の薄板化、高強度化指向に加えて高品質化がますます厳しくなっており、板厚・形状に代表される寸法品質の制御精度向上が要求されるようになってきている。また、冷間圧延では、圧延鋼板の形状を良くすることは製品品質の向上ばかりでなく、この形状に起因する次工程での通板性、品質面でのトラブルを未然に防ぎ、生産性の向上に対しても重要である。

この対応として、大きな形状制御能力を持つ各種圧延機が開発されている。今回、同一の制御方式で、これら各種圧延機に対して適用可能な自動形状制御システム (Automatic Flatness Control:AFC) を開発し、実プラントに導入した。

ここでは、以下に形状制御システムの構成について述べるとともに、実プラントへの適用例及びその制御効果について紹介する。

2. 形状制御

形状制御は、圧延時、ロールの機械的、熱的な変形によって発生する圧延鋼板の板幅方向の伸びの不均一を除去し、目標形状に一致させる目的で行われる。この章では、形状制御システムのハードウェア構成・機能分担を述べるとともに、形状検出器信号からの形状表現方法及び形状制御方法の詳細について紹介する。

2.1 システムのハードウェア構成・機能分担

図1に、形状制御システムのハードウェア構成を示す。このシステムは、大別すると四つの要素で構成されている。

- (1) 形状検出器
- (2) 制御演算装置
- (3) プリセット計算機
- (4) 形状制御アクチュエータ

形状検出器は、圧延機出側に設置され圧延材の幅方向伸び率差を検出する。実環境化で安定的に測定可能であることはもちろん、検出周期の短い検出器を選択することが、本制御の高応答性を実現するポイントである。制御演算装置には、プラントコントローラ《MELPLAC》を使用し、圧延条件、圧延実績データ、形状検出信号を入力して制御演算処理を行い、形状制御アクチュエータへの操作指令を出力する。プリセット計算機には、適用プラントの規模に応じて各種工業用計算機を使用し、形状プリセット計算、コイル間学習制御を行い、

最適な形状制御アクチュエータのプリセット、目標形状、影響係数の制御演算装置への設定を行う。形状制御アクチュエータは、圧延機の種類によって様々であるが、圧下レベリング、ワーカロール(WR)ベンダ、中間ロール(IMR)ベンダ、ゾーンクラント制御装置、IMRシフト、バックアップロール(BUR)クラウン調整等の組合せによって構成する。表1には、各構成機器の機能分担について示す。

2.2 形状表現方法

冷延鋼板の形状は、板幅方向に数十点に分割された検出端によって板幅方向伸び率差として検出されるが、その分布は複雑なパターンを示す。一方、形状を制御するアクチュエータは、2.1節で述べたとおり各圧延機共、数点しか持っていない。したがって、形状制御のための操作量の生成とは、制御装置の面から見れば、数十点の測定信号から数点の操作信号を決めるという問題としてとらえることができる。

この決定のためには、直観的な分かりやすさ及び制御装置の簡素化に重点をおき、形状検出器からの板幅方向の伸び率分布 β を板幅方向 x の関数として、形状パターンをモード分離するため直交関数に展開する方法を採用している。ここでは、0次から n 次までの直交関数 $\phi_0(x)$ から $\phi_n(x)$ を用いて式(1)のように $\beta(x)$ を表現し、各関数の係数 A_0 から A_n によって形状を表すこととする。

$$\begin{aligned} \beta(x) = & A_0 \phi_0(x) + A_1 \phi_1(x) + A_2 \phi_2(x) \\ & + \dots + A_n \phi_n(x) + \epsilon(x) \end{aligned} \quad | \quad (1)$$

$$A_j = \int_{-1}^1 \beta(x) \cdot \phi_j(x) \cdot dx$$

ただし、関数 $\phi_0(x)$, $\phi_1(x)$, ..., $\phi_n(x)$ は、次式を満足するように選定する。

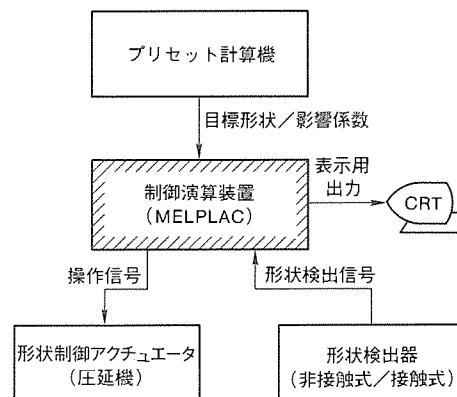


図1. システムのハードウェア構成

$$\left. \begin{aligned} \int_{-1}^1 \phi_l(x) \cdot \phi_m(x) dx &= 1 \quad (l = m) \\ &= 0 \quad (l \neq m) \end{aligned} \right\} \dots \quad (2)$$

ここで、 $\beta(x)$ ：板幅方向の伸び率

x : 正規化された板方向位置 (板端で $x = \pm 1$)

$\phi_n(x)$: 0から n 次までの正規化直交関数

A_n : 0 から n 次までの形状モード係数

$\epsilon(x)$: n 次までの直交関数表現に乗らない

実際の形状検出器は、板形状を各チャネルごとに離

散的に検出するため、実際に適用される正規化直交関数も離散的に取り扱われる。すなわち、演算される各形状検出器チャネルの伸び率信号を $\beta(i)$ ($-N \leq i \leq N$) として、関係式をまとめると次のようになる (N : 形状検出器の片側チャネル数)。

この形状表現方法を用いると、図2に示すように形状パターンの認識が容易にできる。また、この形状表現をより精度良くするために、図3の形状表現フローに従って演算を実施する。

2.3 形状制御方法

図4には、自動形状制御の全体機能構成を示す。目標形状及び各アクチュエータのプリセット値は、プリセット計算機が計算し、制御演算装置へ設定する。フィードバック制御は、2.2節で述べた形状表現方法を用いて展開された非対称成分、対称成分の形状偏差を、圧延機の種類によって各々違う非対

表1. 各構成機器の機能分担

機能	分担機能
形状検出器	鋼板張力、伸び率分布相対値の検出
制御演算装置	(1)形状測定量の絶対値化演算 (伸び率及び急しゅん度) (2)目標形状、影響係数の受信 (3)形状制御信号の生成 (4)コイル内影響係数学習 (5)表示用出力の生成
プリセット計算機	(1)形状プリセット計算 (2)コイル間学習制御
C R T	実績、目標形状の急しゅん度表示

図2. 形状の表現方法

称形状制御アクチュエータ、対称形状制御アクチュエータで制御する。

また、オンラインで測定した伸び率分布が、目標の伸び率分布から大きく外れたゾーンに対しては、部分的にクーラント流量を制御して対応するスポットクーリング制御を行っている。

(1) 非対称モード制御, 対称モード制御

非対称、対称成分に分離された形状実績と目標形状の偏差をゼロにするように、各アクチュエータ操作量を決めるが、その際、鋼種・板厚・板幅・圧下率等で決まるアクチュエータの形状影響係数を正確に与えることにより、制御効果がより向上する。片伸びを示す非対称成分を制御するアクチュエータとしては、圧下レベリング、非対称ベンダが、中伸び、耳伸びを示す対称成分を制御するアクチュエータとしては、WR 又は IMR ベンダが特に有効である。圧延機から形状検出器までの移送遅れに対しては、圧延速度に対応した無駄時間補償によって制御性の向上を図っている。

(2) A₄ 制御

クォータ伸び等の複合伸びを示す対称成分である A₄ モードに対して、クラスタ圧延機(CR ミル)の BUR クラウン調整に代表される特有のアクチュエータを持っている圧延機の場合、A₄ モードの目標値からの偏差が許容範囲を超えたときに BUR クラウン調整であれば、クラウンのパターンを修正することによって A₄ モードを制御できる。また、CVC ミルにおいては WR ベンダと IMR ベンダの組合せにより、本機能を実現している。この制御により、複合伸びをなくし、更に平たん度を増した形状が得られる。

(3) 荷重補正制御

形状検出器信号によるフィードバック制御では、圧延機から形状検出器までの移送遅れがあるため、変化の速い外乱に対しては追従できない。一方、形状に対する外乱として最も大きく、かつ変化が速いのは圧延荷重であり、これはミル直下で検出可能である。したがって、ロックオン時の圧延荷重とその後の荷重実績との差から形状 A₂ モードの変化を予測し、これを取り除くように対称成分アクチュエータであるベンダ等を操作するのが荷重補正制御である。

この制御は、特に加減速時
及び急しゆんな外乱となる溶

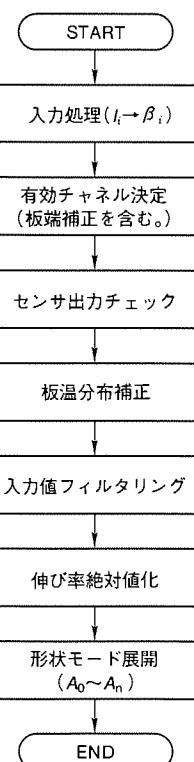


図3. 形状表現フロー

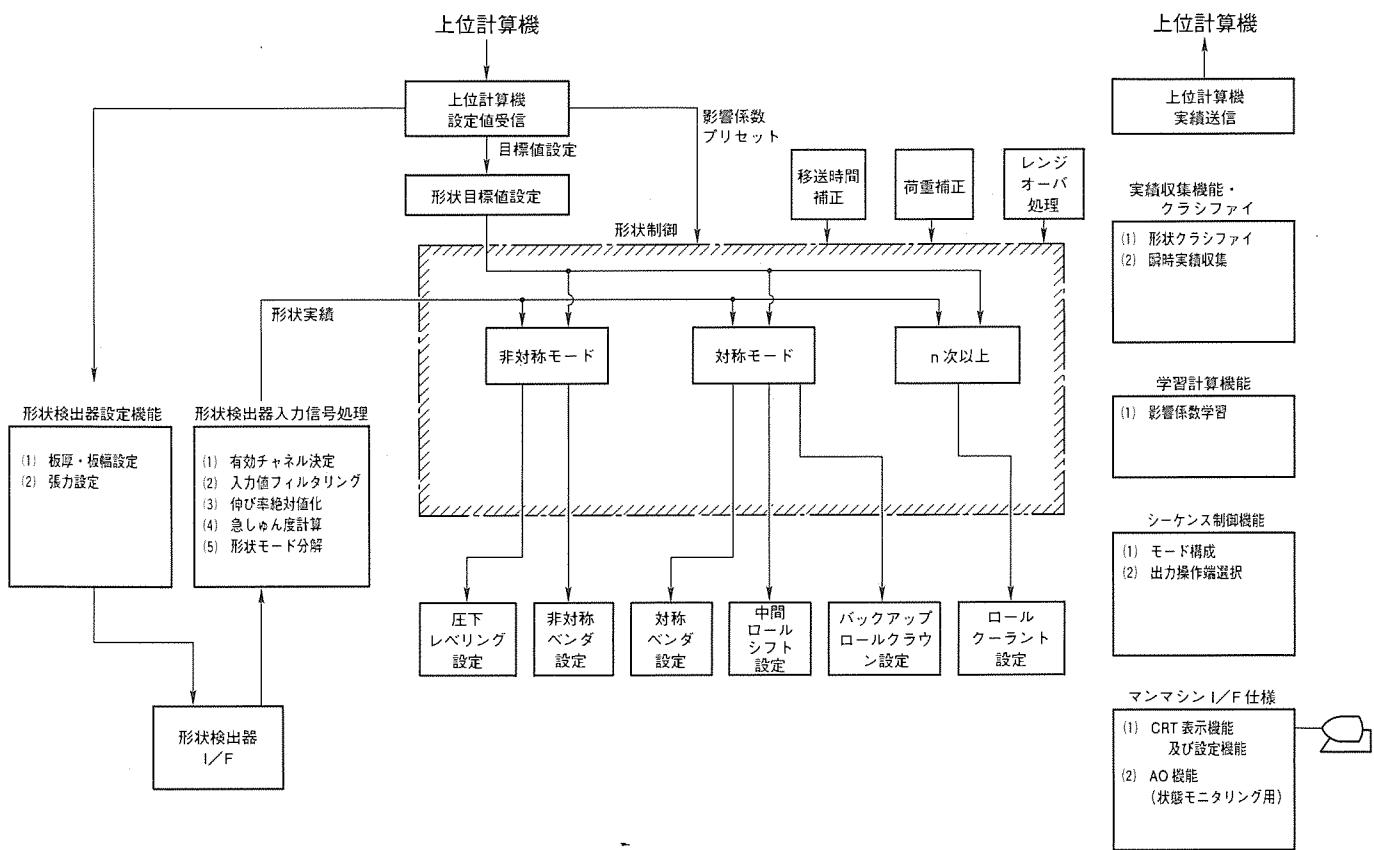


図4. 冷延形状制御システムの機能構成

表2. 各冷間圧延機への適用例

ミル形式	形状検出器	形状制御アクチュエータ			その他
		非対称成分	対称成分		
リバースコールドミル	4Hi ミル	接触式形状計	圧下レベリング	WR ベンダ	—
	CR ミル	同 上	同 上	IMR ベンダ BUR クラウン	—
タンデムコールドミル	4Hi ミル	接触式形状計	非対称 WR ベンダ	対称 WR ベンダ	ゾーンクーラント
	CVC ミル	同 上	圧下レベリング	IMR ベンダ WR ベンダ	スポットクーラント IMR シフト
スキンバスミル	4Hi TP ロールミル	同 上	同 上	WR ベンダ	ゾーンクーラント TP ロールクラウン

接点通過時に有効である。

(4) レンジオーバ制御

対称成分の形状修正に有効かつ応答の早いアクチュエータであるベンダは、操作範囲が限られるため、対称モード制御、荷重補正が有効に動作する範囲に保つ必要がある。したがって、ベンダがレンジオーバにかかった場合には、ベンダ値が有効範囲に戻るまでCRミルであればBURクラウン調整量、CVCミルではIMRシフトを増減させる。また、幅方向に多分割で流量可変のゾーンクーラントを持つ圧延機では、そのクーラントパターンを変化させる方法を用いてベンダのレンジオーバを防ぐ制御を行っている。

(5) クーラント制御

タンデムコールドミルでは幅方向に多分割され、流量も数

レベルまで変化できるゾーンクーラントを設置し、形状制御に取り入れることでより高精度な形状制御効果を得ている。

幅方向に多分割され、流量も変更できるので、先に述べたレンジオーバ制御、クーラントパターンを制御し、耳伸び、中伸び抑制効果をもたらすパターン制御、及び局部的な形状の乱れを取り除くスポットクーリング制御にと多様な使い方をして大きな効果を発揮している。

3. 形状制御システムの適用例

この形状制御システムは、圧延機の種類に左右されず、その圧延機の持つ形状制御効果を最大限に引き出せるものであり、この章では、実プラントへの適用例について紹介する。

表2に各冷間圧延機への適用例を示す。

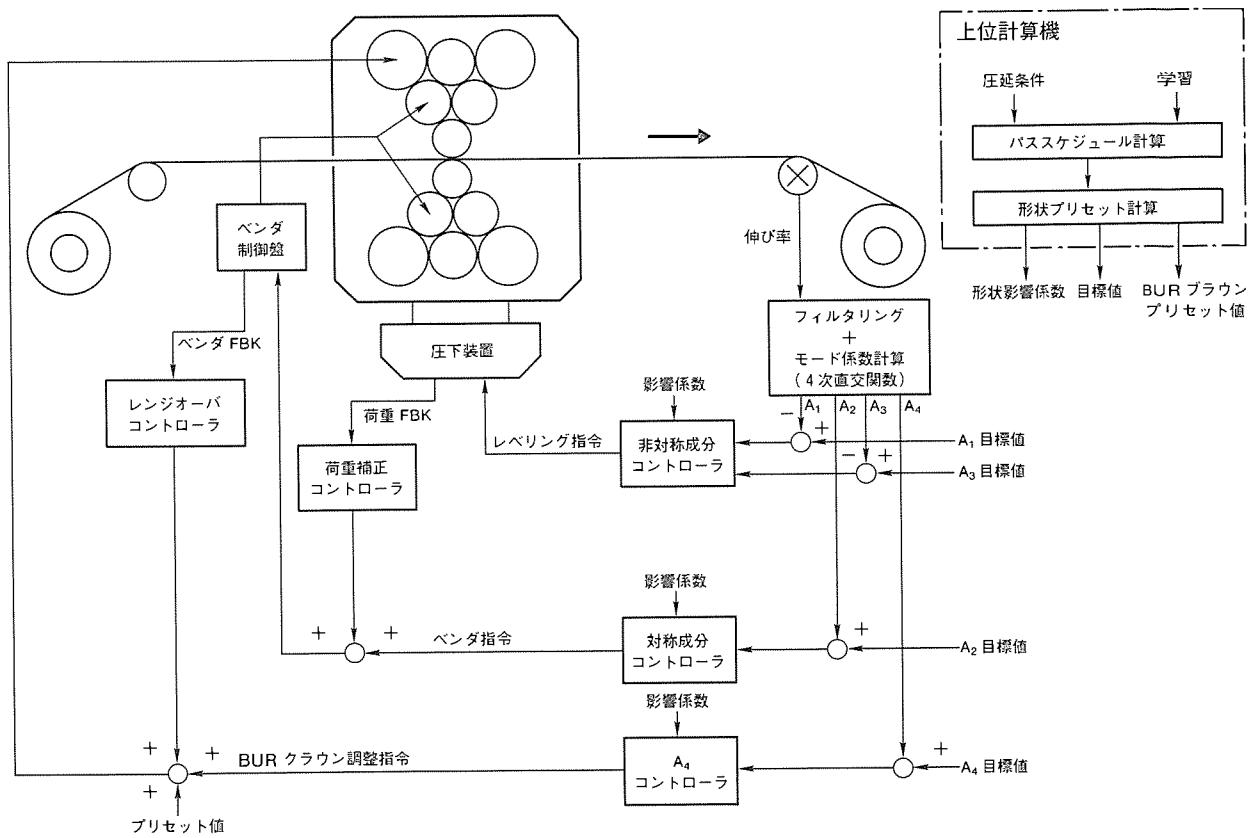


図5. リバースコールドミル(CRミル)の形状制御システムブロック図

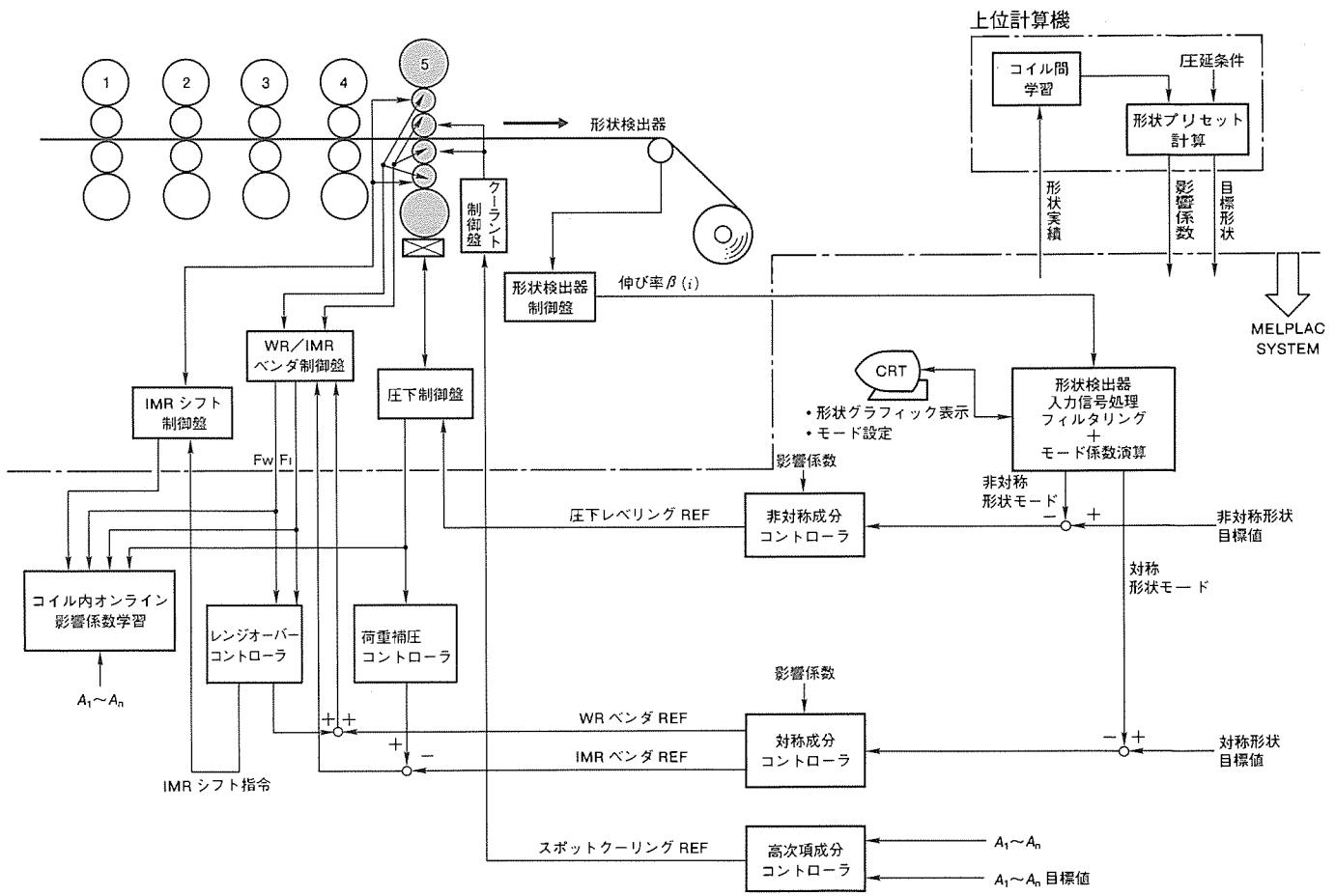


図6. タンデムコールドミルの形状制御システムブロック図

(1) リバースコールドミルへの適用

システムとしては、図5に示すとおり圧延機の両側又は片側に設置された形状検出器からの信号によって制御するものとなっている。両側に形状検出器がある場合は、各パスごとにロジックを左右入れ替えて両方向の圧延に対して制御可能である。また、各パスごとに最適な目標形状をプリセットして制御することにより、パス間でスムーズな圧延ができる、最終パス完了時には次工程に対しても最良の形状を得られるよう制御している。

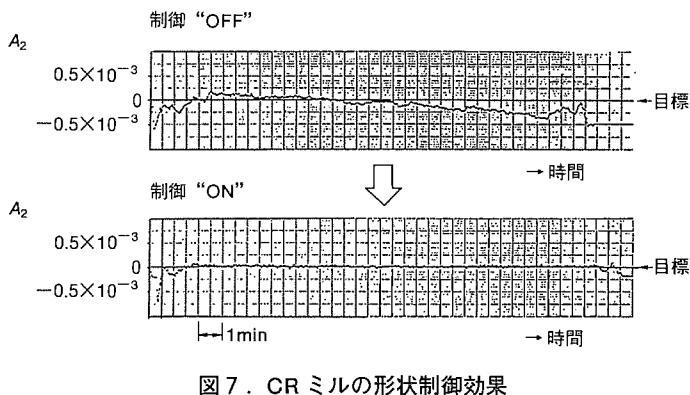


図7. CRミルの形状制御効果

(2) タンデムコールドミルへの適用

システムとしては、図6に示すとおり最終スタンド出側に設置された形状検出器からの信号により、最終スタンドの圧延機の形状制御アクチュエータを用いて制御する。完全連続タンデムコールドミルでは、圧延速度も速く、走間板厚変更点で圧延条件、目標形状が変化するので高応答な制御を必要とする。

(3) スキンパスミルへの適用

CAL (Continuous Anneal Line : 連続焼鈍ライン) 内スキンパスミル出側に設置された形状検出器からの信号によって制御する。このプラントは最終製品の形状を決定するため、要求される制御精度が高い。

4. 制御効果

図7にCRミルの形状制御効果を示す。1コイル内で制御入の場合には最も形状を表すのに重要な A_2 モードは、先端から尾端まではほぼ目標形状どおりの制御効果を得ており、急しゅん度で0.5%以内の極めて良好な形状精度を示している。

図8、図9には、タンデムコールドミル(4Hiミル)の形

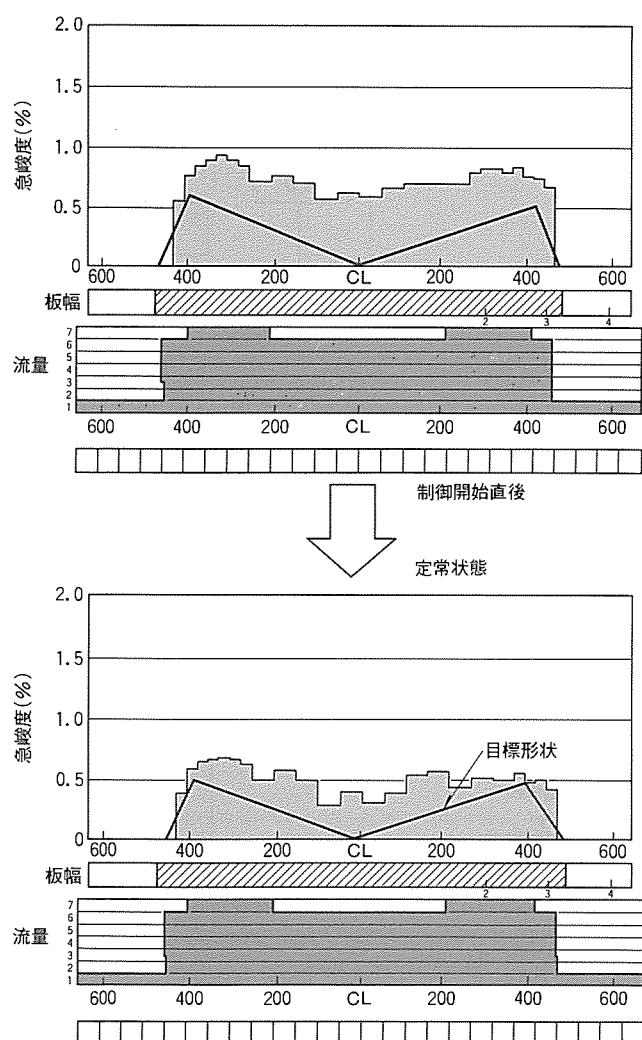


図8. 4Hiミルの形状制御効果(クーラント制御無し)

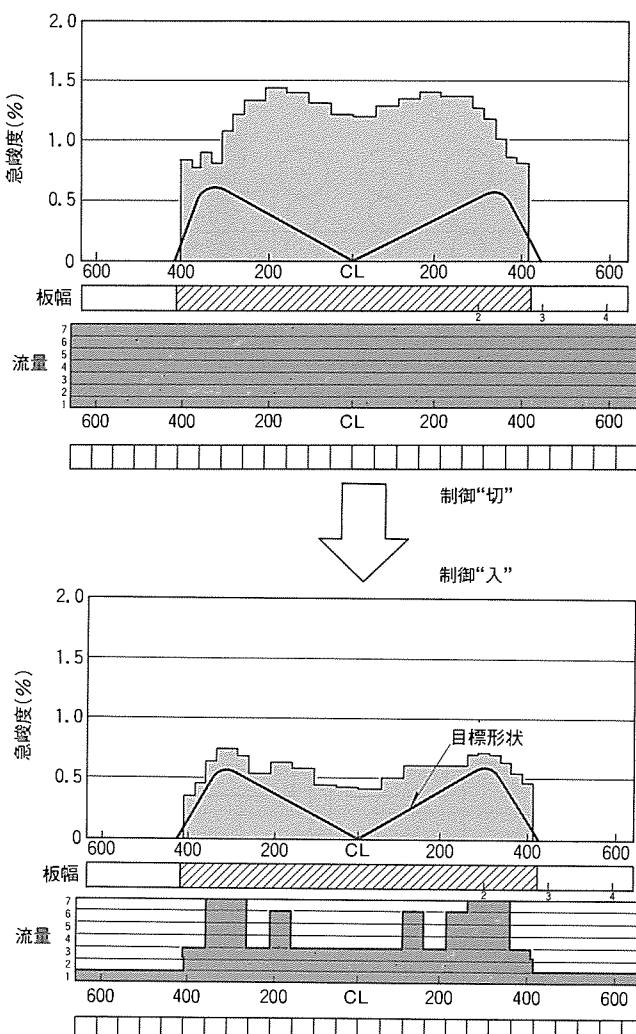


図9. 4Hiミルの形状制御効果(クーラント制御有り)

状制御効果を示す。急しゅん度でクーラント制御無しでは0.7%から0.8%，制御有りでは0.5%から0.7%程度の極めて平たんな形状となり，また目標形状との偏差としては±数%に制御できることが確認された。応答性についても圧延速度に応じた無駄時間補償の効果により，いずれの速度でも10秒以内で整定している。

総合効果としては，下記4点が挙げられる。

- (1) 圧下レベリング，ベンダ等のアクチュエータにより，A₁モード，A₂モードのばらつきをなくすことができ，絶対値も目標形状に一致させることができて中伸び・耳伸びが制御できる。
- (2) ベンダのみの制御であると，逆にばらつきの大きくなるA₄モードを，BURクラウン調整，ゾーンクーラントによって制御することで，A₄モードのばらつきを抑え，かつ絶対値も小さくできてクォータ伸び等の複合伸びを制御することも可能である。
- (3) 次工程に合った任意の目標形状に制御できるため，冷間圧延時の形状不良が原因となる次工程でのトラブルを，ほとんどゼロとすることができます。
- (4) 簡素化された制御方式を用いているため，AGC又は主幹制御と同等のDDCコントローラを用い，高応答性が得られる。

このシステムは，形状制御アクチュエータを備えた圧延機，安定で高応答な形状出力を得ることのできる形状検出器，高

速応答を実現するプラントコントローラ及びプリセット計算機の組合せによって実現されており，大きな効果を發揮している。

5. む す び

以上，冷間圧延機の形状制御システム構成とその適用例及び制御効果について紹介した。これらについては，独自の形状表現方法と簡素化した制御方式を用いて，高精度・高応答の制御効果を得ることができ，各適用プラント共順調に稼働中である。

また，各種圧延機に適用可能な制御方式の開発により，各プラントへの導入時の設計負荷の低減，ソフトウェア品質の向上，調整期間の短縮等幅広い効果を發揮している。

参 考 文 献

- (1) 福原明彦，加地孝行，葉山安信，寺戸 定，阿部光博，福山五郎：CRミル形状制御システムの実用化，三菱重工技報，25，No. 4，331～336（1988）
- (2) 斎藤輝弘，大西建男，小松富夫，三吉貞行，北村秀樹，北浜正法：極薄高速タンデムコールドミル用自動形状制御技術，川崎製鉄技報，22，No. 1，19～23（1990）
- (3) 上住好章，下田道雄，白石 嘉，浜崎芳治，渡辺文夫：冷延鋼板の形状測定と制御，三菱電機技報，55，No. 9，660～664（1981）

鉄鋼用溶接機と誘導加熱装置の現状と動向

大豆本正文* 内山憲一*
北川 勉*
塙田光政*

1. まえがき

鉄鋼プロセスラインの高効率化や高品質化のために、高性能板継溶接機や誘導加熱装置が必要不可欠となっている。

ここでは、鉄鋼プロセスライン用溶接機については、レーザ溶接機をはじめ板継溶接機の現状と動向を述べ、誘導加熱装置については、薄板を中心に誘導加熱装置の現状と動向について述べる。

2. 鉄鋼用溶接機の現状と動向

2.1 鉄鋼用溶接機の現状

冷延における鉄鋼プロセスラインでは、比較的板厚の厚い連続圧延ラインや連続酸洗ラインと、薄板中心の連続焼鉈ライン、亜鉛めっきライン、カラー コーティングライン等のラインがあるが、各々のラインにおいて溶接機は最重要設備の一つとして位置付けられ、欠かすことのできない設備である(図1)。

当社は、これまで薄板処理ラインでは、マッシュシーム溶接機、圧延ラインや酸洗ラインには、NMW形フラッシュ溶接機をユーザーに提供し、高い市場占有率を維持している。しかし、最近鋼板の高付加価値化・高品質化に伴い、普通鋼から高炭素鋼、ステンレス鋼、表面処理鋼板等の割合が増加しつつあり⁽¹⁾、従来の溶接法では高品質溶接の確保が困難な材質も増えつつある。

そのため、これらに対応して従来から使われていたマッシュシーム溶接機やフラッシュ溶接機とともに、主として特殊鋼溶接対応としてのレーザ溶接機が精力的に設置されつつある。

2.2 マッシュシーム溶接機

マッシュシーム溶接は、溶接時間が短く、継手形状が比較的なめらかなことから、鋼板の板厚が0.5~3mm程度の普通

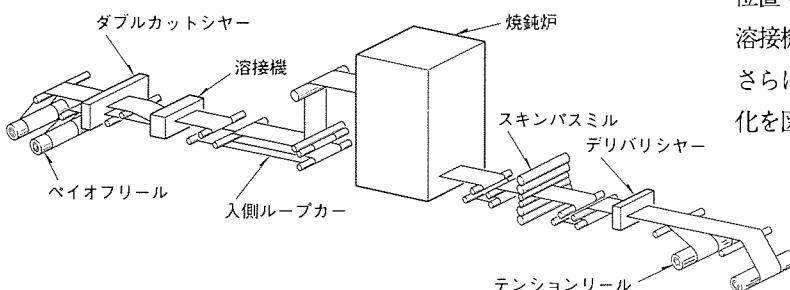


図1. 鉄鋼プロセスラインの設備例(連続焼鉈設備)

鋼の熱処理ラインや表面処理ラインなどに使用される。

従来の交流式マッシュシーム溶接では、溶接部に残るエッジがラインのロールに傷をつけることによる転写の弊害や、溶接部をコイルに巻き込んだとき、板厚差による腰折れが起きる等、溶接継手形状に起因する問題が発生しやすい。これは主として、溶接電流の給電システムの問題が大きく、交流式給電システムの場合溶接電流値が零点を通過するため、その前後で電流不足部が生じることによるためである。

この改善策として、新しいマッシュシーム溶接機が開発されているが、これは直流方式給電システム(図2)を採用し、溶接トランジスタの一次側をサイリスタにより、溶接電流の大きさと開閉を制御し、二次側は大電流シリコンダイオードを直結して整流した直流電流を取り出すことができるよう構成されているとともに、直流化によって二次回路のリアクタンスの影響を小さくして低電圧で大電流を取り出すことができるようになっている。この給電システムを採用した直流式マッシュシーム溶接機は、従来よりも高速で継手部分の平滑な溶接が可能であり、そのうえ低入力化を実現している。

これらの新しいシステムの集大成として、ステンレス鋼板の4.5mmまでの溶接を可能とし、かつ溶接部を含めた連続圧延に耐える高品質溶接を実現し、マッシュシーム溶接機の適用範囲の拡大が図られている⁽²⁾。

2.3 フラッシュ溶接機

フラッシュ溶接は、溶接サイクルタイムが非常に短く、信頼度の高い継手が得られるために、酸洗ラインやタンデムコールドミルの連続化に多用され、通常板厚1.6~6.0mmの低炭素鋼中心の溶接が行われている。

最新鋭のNMW形フラッシュ溶接機(図3)では、高精度のロータリーシヤー(Rotary shear)及びトリマ(Flash trimmer)が溶接機に内蔵されており、溶接機内で接合端の位置決めと端板処理が同時に実行されるうえ、溶接いばり除去を溶接位置で行えるように構成されているため、従来形フラッシュ溶接機に比べてダウンタイムが約1/2に短縮されている。さらに、溶接部の品質向上のために溶接条件諸元のより適正化を図るために、溶接機内に実板厚を測定する検出器を組み込み、実測板厚に基づいて溶接条件の設定精度の向上(図4)を図ることによって、溶接破断の低減を実現している。

2.4 レーザ溶接機

鉄鋼プロセスラインの複合化、連続化及び

製品の高付加価値化によるプロダクトミックスの変化に対応して、普通鋼専用ラインを除いて、レーザ溶接機の導入が精力的に進められている。昭和53年の初設置以来、現在まで約20ラインに実ライン設備として導入されている。

レーザ溶接法は、高エネルギー密度に収束された光を熱源として、幅の狭い深溶込みの溶接を行う。したがって、溶接部入熱が少ないので溶接部ひずみの発生や熱影響による組織変化が少ない等の利点を生かして、電磁鋼、高炭素鋼、ステンレス鋼等の難溶接材への実用化が進められ⁽³⁾、前述のマッシュシーム溶接機やフラッシュ溶接機では溶接品質に問題が発生しやすい領域をカバーしている(図5)。

レーザ溶接適用の最大のポイントは、レーザ溶接が約0.1~0.3mmの集光ビームを用いるため、被溶接物の突合せギャ

ップをいかに確保するかにある。この突合せギャップ許容値は、被溶接物の板厚が薄いほど小さくなるため、図6に示すように板厚0.15mmでは従来行われているせん(剪)断のみでは接合端面の突合せ精度が確保できず、補助手段が必要となる場合が多い。

また、鉄鋼用レーザ溶接機では、ライン配置の制約上、レーザ発振器と溶接機との距離が長くなる場合が多く、ビーム伝送距離は20m近くになることがある。現在、鉄鋼用レーザ溶接機で用いられている大出力CO₂レーザ発振器は、ビームモードがリングモード主体であるため、伝送に伴いモードが変化し、長距離伝送を行うには熱影響による光学部品のひずみを最小にするための光路設計が必要である。当社では、独自の伝送解析技術を開発して⁽⁴⁾、光学系最適化設計を行っている(図7)。

2.5 鉄鋼用溶接機の動向と課題

各鉄鋼メーカーは、合理化対策として処理速度の高速化、ラインの複合化、信頼性の向上等による生産性の向上を一段と進めている。一方、ユーザーの鋼板に対するニーズは多様化し、薄板化や高級鋼板に対する需要が増えつつある。

このようなユーザーニーズの中で、前述した各溶接機を更にブラッシュアップして鉄鋼メーカーに的確に対応していくことがますます要求される。

マッシュシーム溶接機は、薄板溶接のニーズにこたえるため極薄板溶接の実用化が課題となろう。フラッシュ溶接機では、より高速化を図るべく各機能の最適運転化を進め、さらに溶接部の自己診断機能の充実が必要となる。レーザ溶接機は、発振器特性の向上と溶接機ハードウェアのコンパクト化

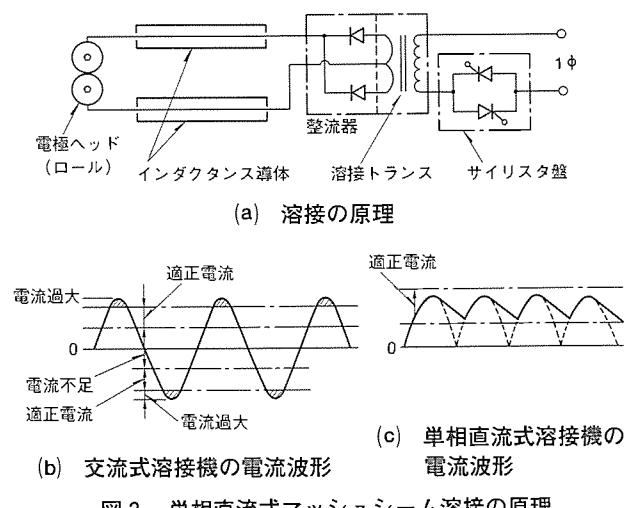


図2. 単相直流式マッシュシーム溶接の原理

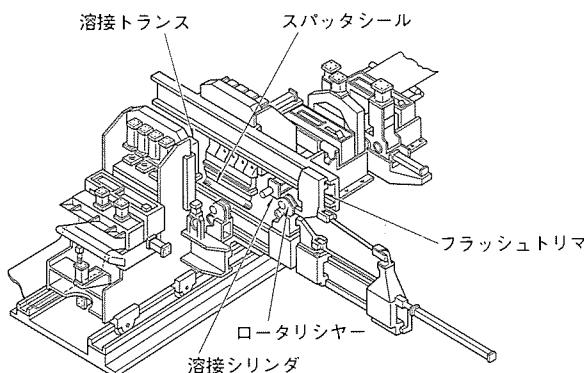


図3. NMW形フラッシュ溶接機の外形

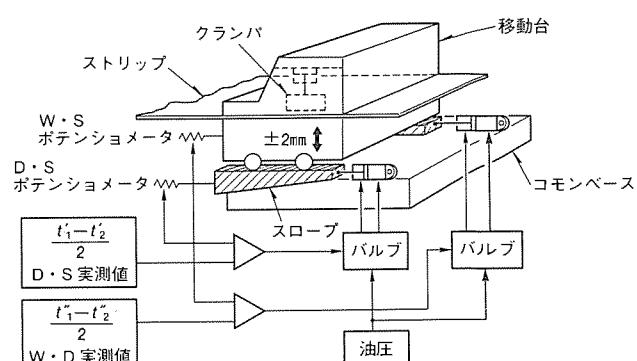
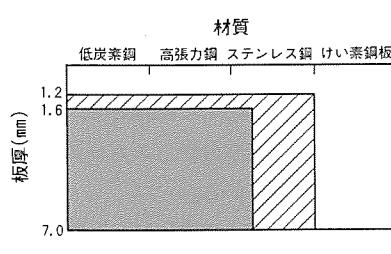
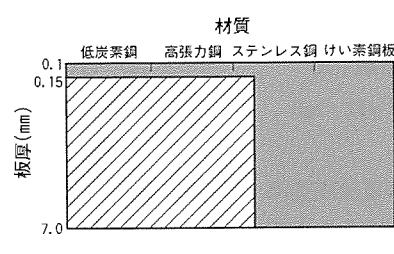


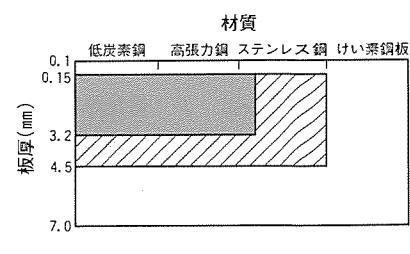
図4. NMW形フラッシュ溶接機の電極台高さ設定機構



(a) NMW形フラッシュ溶接機



(b) レーザ溶接機



(c) マッシュシーム溶接機

図5. 各溶接機の適用材質・板厚

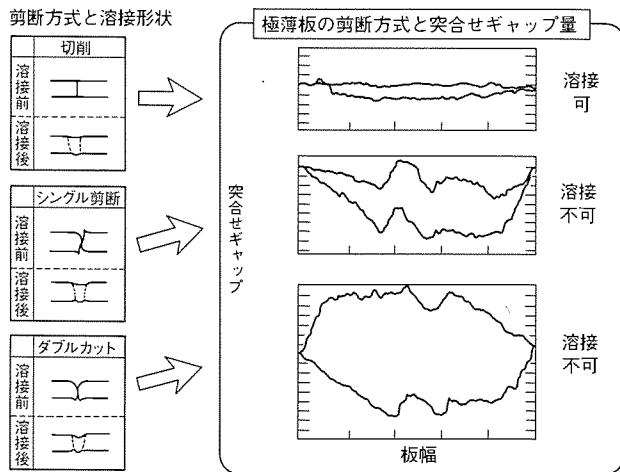


図6. 剪断方式と溶接形状

によるダウンタイムの短縮と、光学部品の長寿命化等が課題であろう。

3. 鉄鋼用誘導加熱装置

3.1 概 要

誘導加熱は、最近の製品の品質向上、生産設備の合理化・作業環境の改善、省エネルギー化などの要求により、鉄鋼で広く利用されている。誘導加熱は、燃焼炉と異なり、被加熱材に直接誘導電流を流しジュール熱によって発熱するため種々の特長を持っている。

ここでは、薄板誘導加熱の加熱方式である縦断磁束加熱方式 (Longitudinal Flux : LNF) と横断磁束加熱方式 (Transverse Flux : TRF) について、それぞれの方式の加熱原理と代表的応用例とその動向について述べる。

3.2 縦断磁束加熱方式の原理

縦断磁束加熱方式 (以下“LNF”という) は、ごく一般的に使用されている加熱方式で、表1中の区分Iに示すように、薄板の周囲に導体 (加熱コイル) を巻いて交流電流を流すと物体内部には電磁誘導作用によって誘導電流が流れる。この誘導電流によるジュール熱によって、薄板内部に直接熱が発生する。交流電流には表皮効果があるため、誘導電流は表面層に集中し、発熱量は表面で最大となる。誘導電流の密度は、表面から内部に入るに従って指数関数的に減衰する。これを式で表すと次式となる。

$$I_x = I_0 \cdot \exp(-x/\delta) \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$\delta = 5.03\sqrt{\rho/\mu f} \text{ (cm)} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

ここで、 I_x ：表面から x の深さの電流密度 (A/cm^2)

I_0 ：表面の電流密度 (A/cm^2) x ：表面からの距離 (cm)

δ ：電流浸透深さ (cm) ρ ：被加熱物の比抵抗 ($\mu\Omega \cdot cm$)

μ ：被加熱物の比透磁率 f ：加熱周波数 (Hz)

誘導電流によって発生する熱の90%は、この電流浸透深さ δ の層に集中するので、誘導加熱周波数を選定する重要な目安となる。板厚 t (cm) の金属板の場合、加熱コイルに同じ電力を供給しても、薄板の内部に発生する熱は t/δ の値

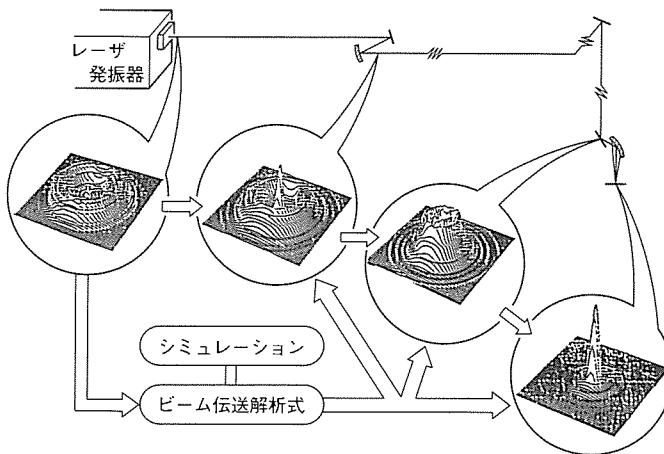


図7. 大出力リングモードビームのシミュレーション例
(レーザ加工光学系の研究開発⁽⁴⁾による。)

によって変化し、この値が2.25より小さくなると発生する熱は急激に減少し、加熱効率が低くなる。 $t/\delta = 2.25$ となるときの周波数を臨界周波数と呼び、これより高い周波数を用いるのが普通である。特に、 $\delta > t/\delta = 2.25$ から求めた周波数で加熱した場合、板厚方向の誘導電流が板厚中央部で互いに重なり合ってキャンセルするため、ほとんど加熱できない現象があるので注意が必要である。臨界周波数を求めるには、 $t/\delta = 2.25$ と式(2)の展開から式(3)が求められる。

$$f = 128 \times \rho / \mu t^2 \text{ (Hz)} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

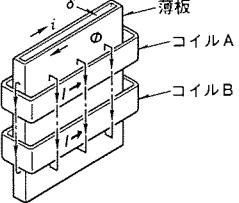
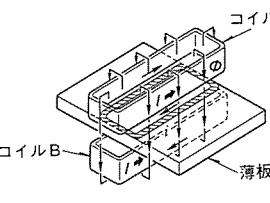
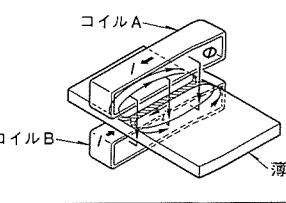
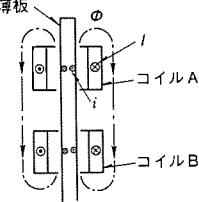
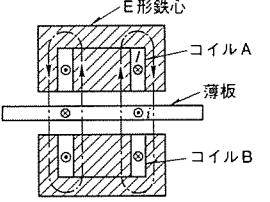
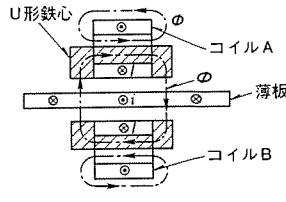
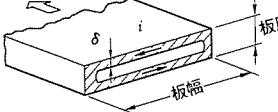
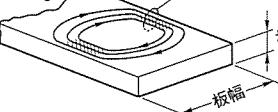
ここで、板が非磁性材のときは、 $\mu=1$ であるが、磁性材のときは $B-H_0$ カーブ (図8) から求める値 $\mu=B/H_0$ となる。磁化力 H_0 を小さくすれば、 μ は大きくなり、 f を下げることができるが、 H_0 を小さくすることは、板材への投入電力を小さくすることになるので、必然的に制限がでてくる。経験的に板厚と適合周波数の関係を図9に示す。

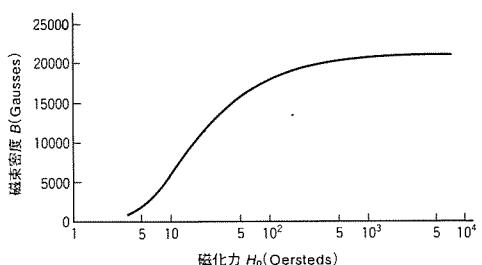
3.3 縦断磁束加熱方式の応用例とその動向

LNF 加熱方式を採用した誘導加熱装置で、鉄鋼薄板関係に納入した代表例を下記に述べる。

- (1) 連続焼鈍ラインでは、昇温部に誘導加熱を採用することにより、加熱炉長を短かくでき、加熱温度の精度を向上させた。加熱コイル内部には還元ガスを流し、鋼材の酸化を防止している。
- (2) 電解すずめっきラインでは、すずめっきした鋼板を溶融点まで誘導加熱して、すくと鋼板の付着力を向上させている。
- (3) 亜鉛めっきラインでは、溶融亜鉛浴槽 (セラミックポット) 直前で、鋼板を誘導加熱することにより、溶融亜鉛浴槽の温度低下を防いでいる。
- (4) けい素鋼帯製造ラインでは、酸化マグネシウムと水の混合スラリを塗布した鋼板を誘導加熱して乾燥させ、絶縁被膜を形成させている。加熱中に蒸発水分が、スムーズに抜けられるような加熱コイル構造をしている。
- (5) カラー塗装ラインでは、鋼板を誘導加熱した後に、塗料を塗布し、鋼板の熱で塗料を乾燥している。従来の乾燥炉に比べ、大幅に加熱長が短かくできた。

表1. 縦断磁束と横断磁束の板材加熱時の比較

区分	I 縦断磁束(LNF)	II 横断磁束(TRF) E形鉄心	III 横断磁束(TRF) U形鉄心
加熱方式	縦断磁束(LNF)	横断磁束(TRF) E形鉄心	横断磁束(TRF) U形鉄心
加熱コイルと薄板の関係			
I : コイル電流 i : 誘導電流 Φ : 磁束 δ : 電流浸透深さ			
コイル電流と磁束と誘導電流の関係図			
誘導電流の流れ方			
加熱温度の均一性	加熱温度の均一性は良い。	エッジ部のみ昇温する。均一加熱には向き。	板中央部は良く均一加熱される。エッジ部に若干の温度ばらつき。
最適周波数	$f = 128 \times \rho / \mu t^2$ (Hz) 例: SUS304材 $t=0.2\text{cm}$, $\rho = 110 \mu\Omega\text{cm}$, $\mu = 1$, $f = 352\text{kHz}$ 臨界周波数	300~6,000Hz 周波数が高いほど、エッジ部の昇温パターンは強い。	300~3,000Hz 板厚が薄くなても、周波数を上げる必要はない。
加熱効率	臨界周波数以上であれば、加熱効率は良い。臨界周波数以下では著しく効率が低下する。	ある程度の加熱効率が得られる。加熱コイルと板とのギャップが大きくなると、効率が低下する。	ある程度の加熱効率が得られる。加熱コイルと板とのギャップが大きくなると、効率が低下する。
非加熱材の材質	磁性材の加熱に最適。 (鋼材はキューリ点以下)	オーステナイト系 SUS, Al, Cu, 非磁性鋼に最適。磁性材はコイルに吸引される。	同 左
コイルの形状	シンプル	鉄心を使用し、複雑。	同 左

图8. B - H_0 特性(軟钢板)

今後の動向としては、急速加熱ができ、温度制御が容易で、雰囲気加熱が可能等の誘導加熱の特長を生かした熱処理ライン、コーティングラインへの導入が増すと思われる。

3.4 横断磁束加熱方式の原理

横断磁束加熱方式(以下“TRF”という。)は、表1中の区分IIに示すように、コイルAとコイルBを上下に配置し、その間に板材を通し、磁束と板とが直角に交わるように加熱する。誘導電流は、板の平面方向に流れる。したがって、LNFとTRFの違いは、コイルから発生する磁束に対して被加熱物がどのように交差するかにより、板材に流れる誘導電流が板の断面方向と板の平面方向に分かれることである。それぞれの特長を表1に示す。

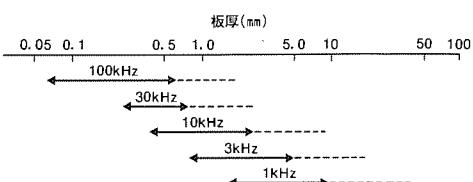


图9. 板厚と適合周波数

上述のように、LNF方式で加熱する場合、磁性のある板材であれば、 $\mu > 1$ となり、 δ が浅くなればfが低く選定できるが、非磁性材(オーステナイト系ステンレス鋼、アルミ、銅、キューリ点以上の鋼等)は、 $\mu = 1$ となって δ が深くなるため、fを高くせざるを得なくなる。fはできる限り低い方が、高周波変換効率、送電効率が良く、電源単機容量も大きくとれ、設備費が安価となる。非磁性の薄板を低い周波数で加熱するには、TRF方式しかない(磁性材をTRF方式で加熱すると、電磁石の原理でインダクタに板が吸引され、搬送が困難となるので注意が必要である。)。

3.5 横断磁束加熱方式の応用例とその動向

3.5.1 薄板のエッジ部の加熱

TRF加熱方式の代表例の一つとして、鍛接管エッジヒー

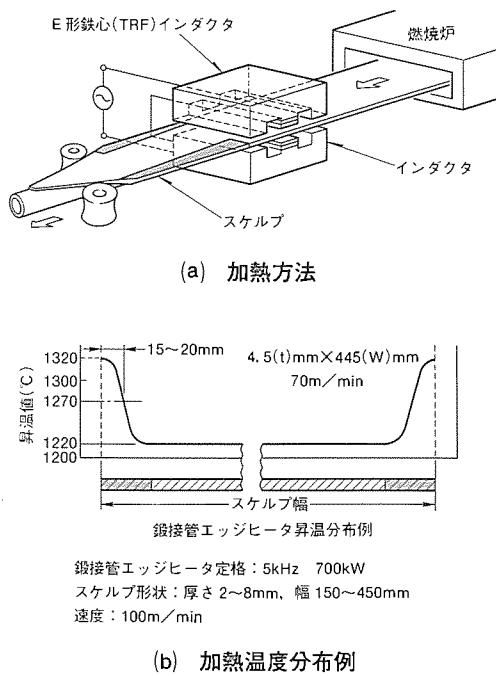


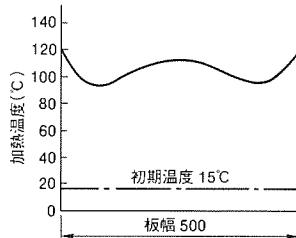
図10. 鍛接管エッジヒータの加熱方法と
加熱温度分布例

タがある。鍛接管は、帯鋼(スケルプ)を鍛接温度の約1,350°Cに加熱し、ロール成形、鍛接、レデューシングの工程で造管する。この造管方法は、エッジの高温加熱を必要とするため、エネルギー消費、スケールロスの発生、加熱炉耐火物寿命など、他の造管方法に比べて製管コストが割高であった。この改善策として、従来の加熱炉から低温抽出(約1,200°C)、エッジ部だけを鍛接管エッジヒータにより、1,350°Cに誘導加熱する方法が開発された。従来の造管方法に比べて、20~28%の省エネ効果を上げている。この加熱方法は、表1中の区分Ⅱに示すようにE形形状の鉄心を使って磁束を有効にスケルプに貫通させ、スケルプの平面にループ状に誘導電流を流し、図10に示すように、エッジ部のみ加熱するパターンを得ている。

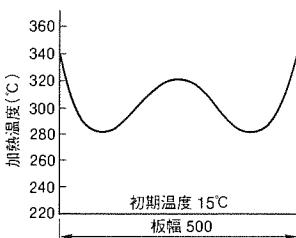
3.5.2 薄板の均一加熱

TRF方式の今後の動向としては、エッジ部の加熱以外に、薄板の均一加熱が上げられる。TRF方式で均一温度に加熱することは非常に困難なことが多いが、当社の均一加熱用TRF方式は、表1中の区分Ⅲに示すようにコイルA、コイルBを上下配置し、その間に板材を通し、磁束と板とが直角に交わるように加熱している(前述のエッジ部を加熱するTRF方式とは、コイルの板に対する向きに注意)。この加熱方式の特長は、板幅方向に均一な誘導電流が流れているため、板幅方向の均一加熱ができやすいことである。板のエッジ部で誘導電流が分岐するため、板材の材質、加熱周波数、加熱コイル幅等の要因で、エッジ部での温度が板中央部に比べて若干ばらつきができる。SUS304ステンレス鋼板及びアルミ板の誘導加熱試験結果を図11に示す。今後の課題としては、さらにエッジ部での温度ばらつきが小さくなるような諸条件

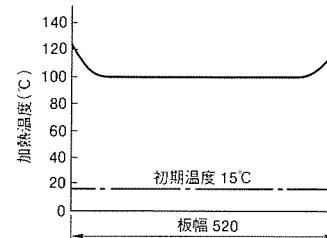
SUS304 鋼板 厚さ: 0.5mm, 板幅: 500mm
送り速度: 2m/min, 加熱周波数: 500Hz
加熱コイル出口部における板幅方向の温度分布



SUS304 鋼板 厚さ: 0.5mm, 板幅: 500mm
送り速度: 2m/min, 加熱周波数: 500Hz
加熱コイル出口部における板幅方向の温度分布



アルミ板 厚さ: 0.29mm, 板幅: 520mm
送り速度: 2m/min, 加熱周波数: 500Hz
加熱コイル出口部における板幅方向の温度分布



アルミ板 厚さ: 0.29mm, 板幅: 330mm
送り速度: 2m/min, 加熱周波数: 500Hz
加熱コイル出口部における板幅方向の温度分布

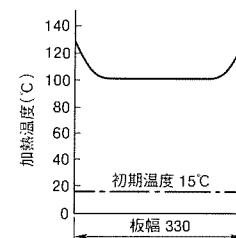


図11. U形鉄心(TRF)インダクタの加熱試験結果例

を見付け出すことである。

4. むすび

以上、鉄鋼の冷延プロセスに使用される溶接機と誘導加熱装置の二つの分野の応用事例及び今後の動向について紹介したが、今後も新技術の開発に積極的に挑戦するとともに、ユーザー各社の新しいニーズに対応した製品をタイムリーに提供し、鉄鋼業界の発展に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- 中川 一: 鉄鋼業におけるニューコンセプト, 溶接学会誌, 59, No. 1, 18~24 (1990)
- 松本 健, 白井 堯, 高橋捷之, 武部一男, 北島邦男: タンデムミル入側用の厚板対応マッシュシーム溶接機について, 日新製鋼技報, No.54別冊, 53~60 (1986)
- 小野弘路, 多鹿 洋, 長坂省治, 田中 茂, 藤井 守, 佐々木弘明: 電磁鋼板製品へのレーザ溶接の適用, 川崎製鉄技報, 14, No. 2, 40~48 (1982)
- 田中正明, 名井康人, 八木俊憲, 頭本信行, 内山淑恵: レーザ加工光学系の研究開発, レーザ熱加工研究会, WG-90-042 (1990)
- 山崎 忠, 前山公夫, 相沢 均, 嶋田俊一, 田中 司: 誘導加熱による鋼板塗膜の乾燥, 川崎製鉄技報, 13, No. 3, 123~131 (1981)
- 鵜飼俊行, 沖 俊幸, 西本廣二, 樋口賢次, 平岡宣昭: 鍛接管工場における低温製管について, 住友金属誌, 33, No. 2, 96~109 (1981)

鉄鋼プラント用特殊センサ

1. まえがき

鉄鋼プラントでは、ON/OFF センサから高度な画像処理システムまで、極めて多くのセンサが使用されている。近年、品質管理の自動化を目的とした特殊センサの開発が急速に進んでおり、製品の品質向上、歩留り改善に効果を発揮している。また、鉄鋼プラントでは、各製造工程に応じてセンサの計測原理や信号処理に工夫がなされ、高速性や耐環境性で最適アプリケーションを実現している。ここでは、7種類のセンサについてその原理と応用を紹介する。形状認識では、レーザ応用と電磁力応用の平たん度計3種類と一次元カメラと画像処理を組み合わせたクロップ形状計について、欠陥検査ではレーザの干渉性を利用したねじ表面欠陥検査装置と超音波による探傷法についてそれぞれ紹介する。また、圧延ラインの制御用として注目されているレーザドップラー速度計について、原理と適用例を紹介する。

2. 超小型 TV カメラ応用平たん度計

形状不良が目視できる状態にある鋼板の平たん度は、直接鋼板の変位量を測定することによって求めることができる。このための計測システムを構築するキーデバイスとして、外径12mmの超小型TVカメラを開発した。これは、CCD(電荷結合素子)に比べて感度の高いCSD(電荷掃き寄せ素子)を採用した正方形視野の計測用TVカメラである。このTVカメラと半導体レーザを、図1のように組み合わせて鋼板変位を計測することができる。半導体レーザから照射されたレーザ光は、被測定鋼板1aで反射し、超小型TVカメラのP点に結像される。M2AからM2Bに変位すれば、結像位

置はR点に移動し、ビデオ画像上で水平方向にスポット像が変化する。これに、ハーフミラーを介在させることでレーザ光を2箇所に照射し、かつM1A点とM2A点の2箇所のレーザスポット像を同一のTVカメラ上に結像させることができ。この構成を図2のように多数配置し、多点変位センサを構築する。

信号処理では図3の工夫をしている。すなわち、N台のTVカメラからのビデオ画像をビデオミクサを通して1枚の画像に合成し、次いでその画像を2N個の局所に分割した後、各局所ごとのレーザスポット像の水平方向位置をビデオレーティで演算し、多点変位を同時計測する。対象鋼板が走行しておれば、図2の多点変位センサを固定したままで図4のように鋼板平たん度を計測することができる。また、鋼板が静止状態なら多点変位センサを移動させればよい。

3. 冷延鋼板平たん度計

冷間圧延ラインでは高張力圧延されており、鋼板の形状不良は潜在化し、目視することができない。しかし、鋼板の形状不良度である伸率は、張力分布と一定の相関があるため、張力分布を求めれば鋼板の平たん度を知ることができる。

図5に示すように、ライン下に電磁石を配置して鋼板を電磁石で吸引すると、鋼板の変位は板幅方向に分布している張力に逆比例する。この変位を板幅方向に多数配置した静電容量式変位センサで計測し、板幅方向の張力分布を求めて平たん度を演算している。

また、板の振動雑音を除去するため電磁力に低周波変調をかけ、変調周期内の変位を積分処理する。すなわち、電磁力を発生させて鋼板がパスラインから下方に変位したときの正方向変位量を積分し、続いて電磁力をなくしたときに鋼板がパスラインへ戻る負方向変位量を積分し、それぞれの積分

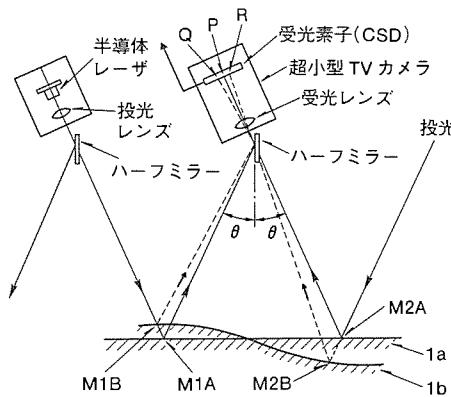


図1. 超小型TVカメラ式変位計測

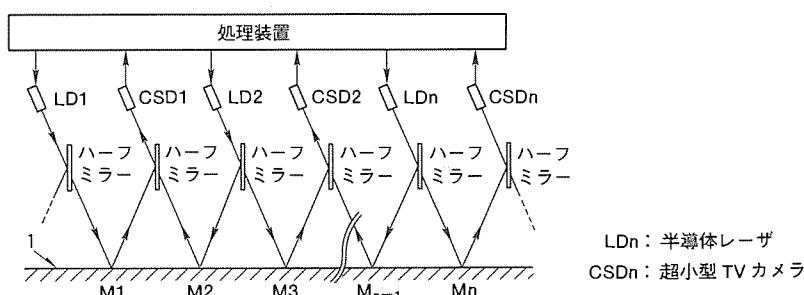


図2. 多点変位センサ光学配置

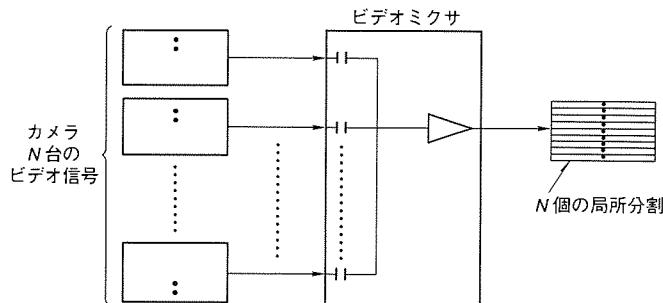


図3. ビデオ合成・局所分割処理

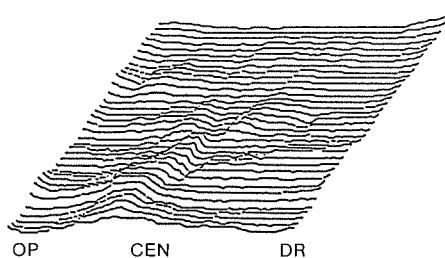


図4. 平たん度表示例

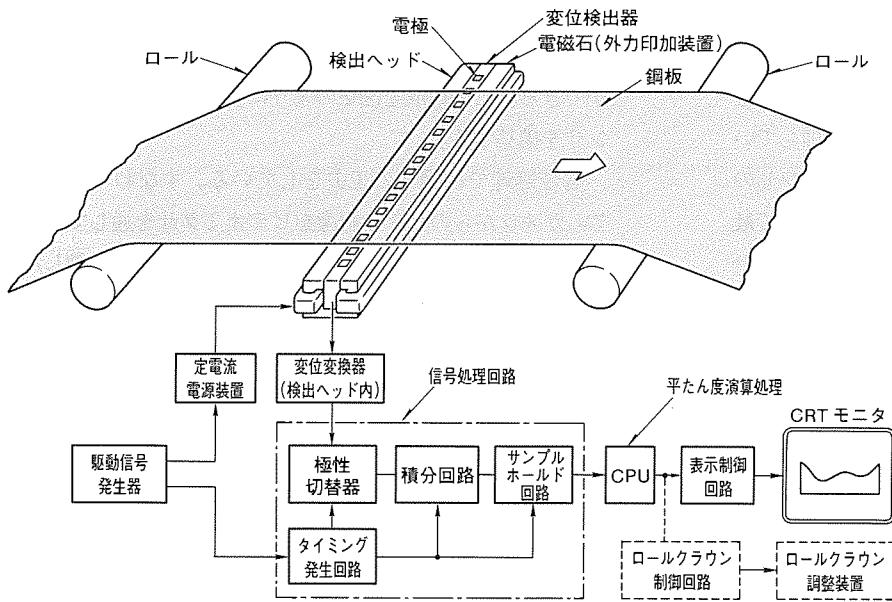


図5. 冷延鋼板平たん度計ブロック図

量の差分を求めて1変調周期内での板振動雑音を相殺している。図6に実測形状との対比を示す。

4. 熱延鋼板平たん度計

熱間圧延ラインにおける平たん度計測は、形状不良が顕在化した状態を対象とする。鋼板の平たん度は、半導体レーザとPSD(位置検出素子)による変位センサによって測定する。半導体レーザの光を鋼板に照射し、そのレーザスポットをPSD上に結像させ、PSD上のスポット像の移動から鋼板の変位を計測する。熱間圧延中の鋼板は、上下振動が激しいため、2本のレーザ光を照射して走行方向に約100mm離れた鋼板上の2点間の変位差を同時計測することで、板振動雑音を除去している。また、レーザ光を高周波変調し、赤熱鋼板からのふく射光雑音の影響を抑えている。この変位センサを、板幅方向に5台並べて各変位センサごとに板波の弧長Sを求める。図7で、ツインビーム間 dx の変位差 dy を計測し、三角近似によって ds を求め、鋼板一定走行長 L_m ごとの ds の積分値 S を計算する方法を示す。5台の変位センサで計測した五つの弧長 S から板の伸率を演算する。図8の構成例では、5台の変位センサからの信号を5台のCPU(A)の並列演算処理により ds に変換し、測長区間 L_m ごとの伸率

をCPU(B)で演算している。表示例を図9に示す。これは、板中央部の弧長が最短であり、それを基準として両端部が伸びている耳波形状を意味している。

5. クロップ形状認識装置

熱間圧延ラインでは、仕上圧延機に鋼板の先尾端が入る直前に端部異形状部(クロップ)をシヤーで切断している。切断による歩留り向上のため、鋼板先尾端の異形状を正確に認識する必要がある。この装置は、鋼板のふく射光を直接カメラで撮像し、異形部を二次元的に認識するものである。

ライン上方に一次元フォトダイオードアレーカメラを設置し、鋼板が10mm走行するごとに赤熱鋼板を撮像し、50ライン分のデータをA/D変換しながら画像メモリに格納する。図10(a)に、画像メモリに格納された鋼板像データを示す。鋼板像データは、スケール、水乗り、散乱光等で鋼板輪郭が不鮮明になっているため特殊な画像処理によって雑音を除去し、鋼板像を正しく切り出す必要がある。(b)では、画像メモリ上で45度の角度で板中央部へ向ってピーク値を残しながら、データを走査するピークホールド処理を示す。板中央部ほど温度が高いため、前後のデータを比較してデータの落ち込みがあればそれを補正していくことで、スケールや水乗りによる雑音を除去している。(c)では、板端部でのデータ変化が急しゅんであることに着目し、全画像の空間微分処理を行っている。図11に示すように、E点の空間微分値は、A~Iの3×3画素間の空間微分処理で求める。これを全画素実行し、鋼板の輪郭を強調して散乱光雑音を除去する。

空間微分後の2値化処理では鋼板の温度むらを考慮し、(d)のように9つの局所に画像を分割し、各局所ごとにヒストグラムを作成する。図12のヒストグラムで、微分値の小さい方の山は鋼板以外の空間部に相当し、微分値の高い方の山は鋼板自身に相当するため、二つの山の間の谷が鋼板像を切り

出すしきい値となる。各局所ごとに求めたしきい値で、順次2値化していくことで正確な鋼板像を抽出することができる。得られた鋼板2値化像から最適切断位置を認識する。

6. ねじ表面欠陥検査装置

この装置は、油井用シームレスパイプの管端部に加工されるねじの表面欠陥を検査するものである。ねじ部へレーザ光を照射したときに、発生する回折パターンの変化を検出し、きずの有無を検査する。

図13に検査ヘッドの概略を示す。ねじの軸方向に等速走査されるレーザスポットをねじ表面に照射し、反射光をオプチカルファイバ束で集光して光電子増倍管で光電変換する。

対象とするねじのプロフィールは、山～谷～山の規則性を持つており、欠陥のないねじ表面から得られる信号は、図14①②のようにねじピッチに対応した規則正しい変化をする。表面にきずがあれば、④⑤のように信号の変化パターンに不規則性が生じる。これを、図15に示す専用の検査プロセッサで検出し、ねじ表面欠陥を検査する。

レーザ光を軸方向に走査しながらパイプを回転し、ねじ部全周の検査を行う。

なお、パイプ曲がりがあれば、レーザ反射光はパイプ周方向に変動するため、この変動量を検知しながらオプチカルファイバ束の受光面を追従させる機能を持っている。検査ヘッドは、パイプが搬入されると下降し、パイプ径に応じた検査位置で自動停止し、パイプ1回転後再び上昇して検査完了となる。

7. レーザドップラー速度計

鉄鋼・非鉄金属の各種プロセスラインでは、製品の品質向上、歩止り改善の観点から、製品の速度や長さを高い精度で

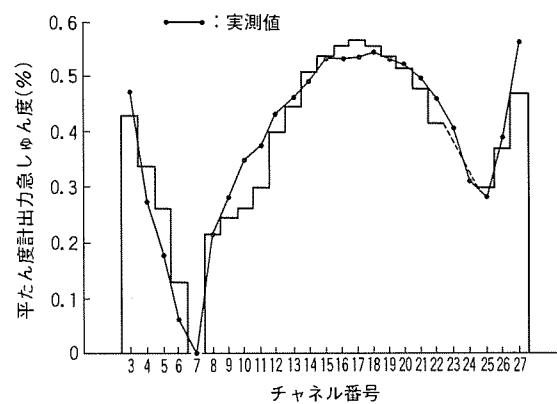


図6. 実測形状との対応例

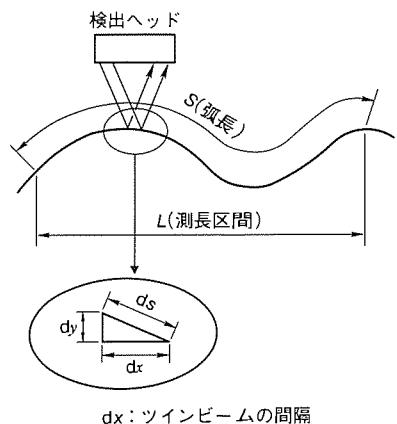


図7. 弧長計算

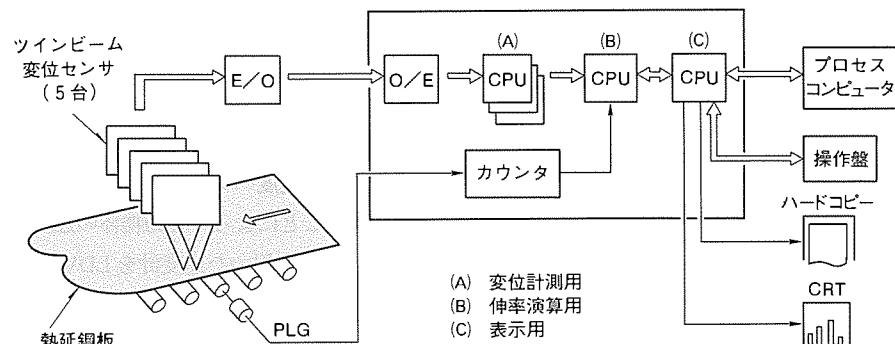


図8. 热延鋼板平たん度計ブロック図

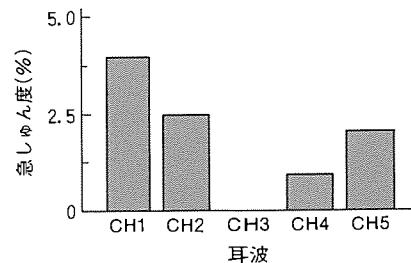


図9. 表示例

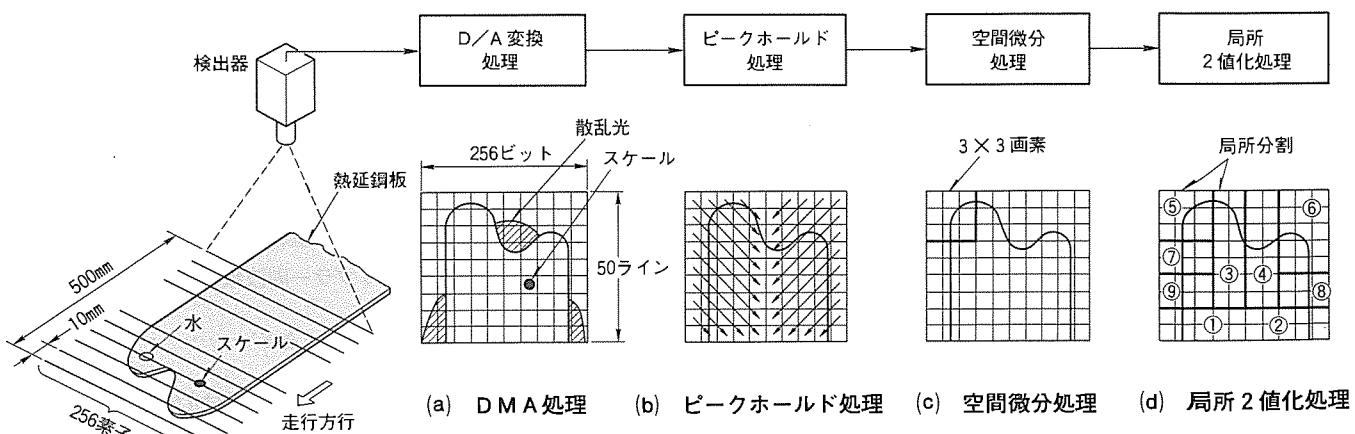


図10. 計測ブロック図

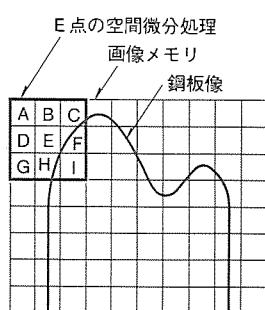


図11. 空間微分処理

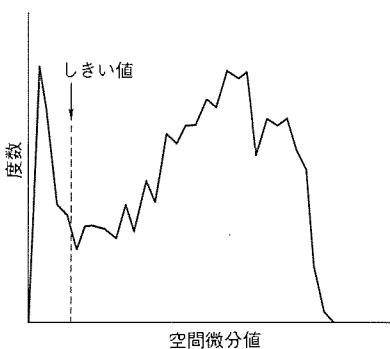


図12. ヒストグラム

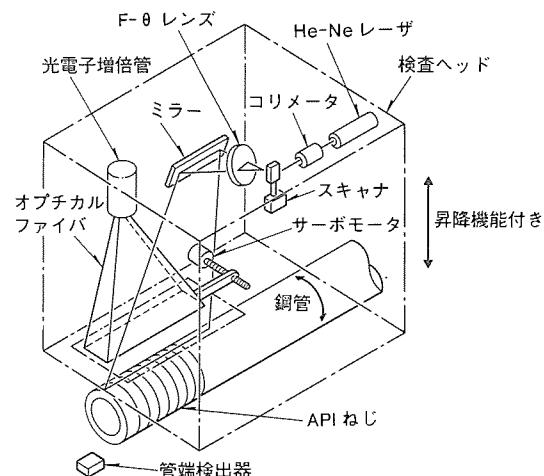


図13. ねじ表面検査装置光学系(検査ヘッド)

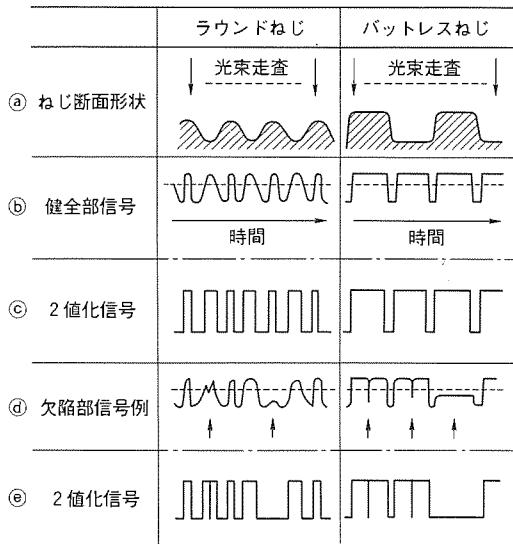


図14. ねじ部信号例

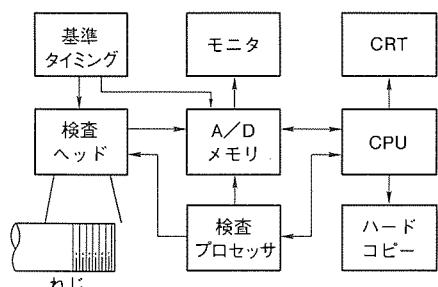


図15. 信号処理ブロック図

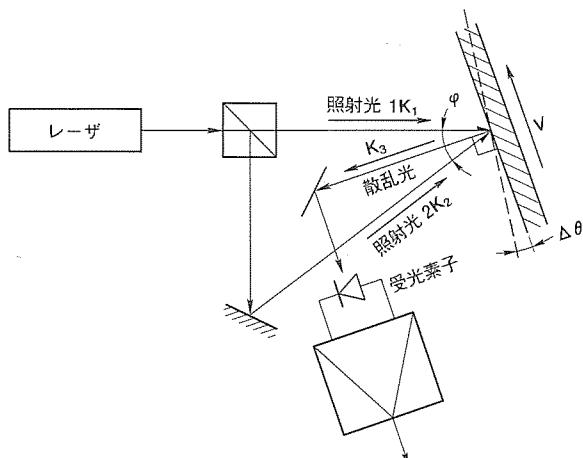


図16. 差動型 LDV の基本光学構成

測定する要求が高い。レーザドップラーレーザー (以下“LDV” (Laser Doppler Velocimeter) という。) は、非接触で高い精度での計測が可能であるという特長から、圧延ラインを中心に制御用センサとして利用されてきている。ここでは、LDV の原理と構成、鉄鋼プロセスラインの適用例を中心にその概要を紹介する。

7.1 LDV の原理と構成⁽⁶⁾

レーザ光を移動物体に照射すると、その散乱光の波長 (周波数) は、ドップラー効果によって照射光の元の波長 (周波数) から移動物体の速度に応じて偏移する。この周波数偏移量すなわちドップラー周波数 f_d は、次式で与えられる。

$$f_d = (K_s - K_o) \cdot V / 2\pi \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 K_o 、 K_s : 照射光、散乱光の波数ベクトル

$$|K_o| = 2\pi / \lambda \quad (\lambda: \text{照射光の波長})$$

V : 物体の移動速度ベクトル

したがって、 f_d を測定することによって移動物体の速度 V を知ることができる。この原理を用いた速度計を LDV といいう。

LDV は、光学構成によって参照光型 (シングルビーム方式) と差動型 (ダブルビーム方式) の 2 方式に分類されるが、一般的には、高い精度での計測や校正が容易な差動型方式が使用される。

差動型 LDV の基本光学構成を図16に示す。差動型 LDV では、分割された 2 本のレーザビームを移動物体の上に互いに反対方向から交差するように照射する。この 2 本の照射光に対応した散乱光には、正負同じ量の周波数偏移が生ずることになる。これらの散乱光を重ね合わせることにより、干渉によって次式に示すドップラー周波数 f_d が検出される。

$$f_d = \frac{2V}{\lambda} \cdot \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cdot \cos\Delta\theta \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 φ : 交差角 (2 本の照射光のなす角度)

$\Delta\theta$: 光軸 (2 本の照射光の中心線) の法線と
物体移動方向の角度偏差

差動型 LDV のドップラー周波数 f_d と速度 V の関係は、センサの光学配置で決定される交差角 φ だけに依存し、センサの設置条件の制約を受けることなく、高い精度での計測が維持できる。光軸法線と移動物体の角度偏差 $\Delta\theta$ を 2 度以下に調整すれば、実用上の計測誤差は無視できる範囲(0.1% 以下)である。

7.2 鉄鋼ラインへの適用例

一般に、鉄鋼ラインに適用する高い性能を持つ光学センサでは、次の点を十分配慮した製品でなければならない。

- (1) 圧延油の散布、圧延振動、高温などライン特有の悪環境下での連続測定の維持及び信頼性の確保。
- (2) 設置スペースの制約、容易な取扱いと保守。
- (3) 各種速度パターンに対応した広い測定範囲。
- (4) 被測定物パスラインの変動などの挙動に影響されにくい性能。

当社 LDV は、長年にわたるフィールドでの評価試験で培った技術とノウハウで、これらの課題を解決し、鉄鋼圧延制

御用センサとして数多くの実績を上げている。当社 LDV の主な特長を挙げれば次のとおりである。

- (a) 悪環境下での連続測定を可能とするエアバージ技術。
- (b) 光ファイバを用いた光伝送による小型プローブ。
- (c) 小型プローブによる省設置スペース、容易な取扱いと保守。
- (d) 被測定物パスラインの変動に強い光学構成。
- (e) 光変調技術の採用による零速度を含むリバース速度の連続測定と広い測定範囲。

鉄鋼ライン用 LDV の構成、外観、主要性能の一例をそれぞれ図17、図18、表1に示す。この LDV では、プローブ

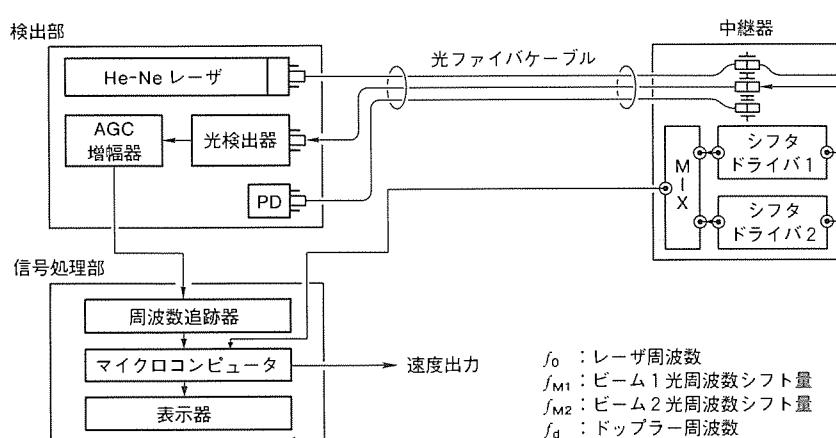
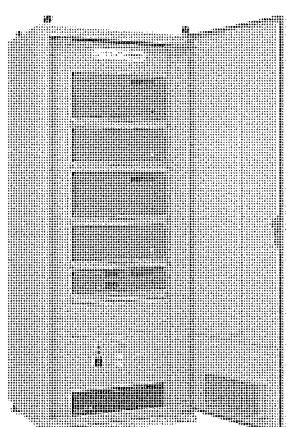


図17. LDV の構成

表1. LDV 主要性能

項目	主要性能	備考
(1)測定方式	差動型レーザドップラー方式	
(2)使用レーザ	He-Ne レーザ 5mW	熱間用は He-Ne レーザ 25mW
(3)光検出器	APD(アバランシェフォトダイオード)	
(4)プローブ被測定物間距離	300±10mm(交差角 $\varphi = 6^\circ$)	用途により下記対応も可能 • 100±2mm(交差角 $\varphi = 20^\circ$) • 200±5mm(交差角 $\varphi = 10^\circ$) • 600±20mm(交差角 $\varphi = 3^\circ$) • 750±40mm(交差角 $\varphi = 2.5^\circ$)
(5)速度測定範囲	0~2,000m/分	最大速度は、特殊仕様で変更可能
(6)測定精度	0.2% 又は 0.2m/分の大きい方以下	
(7)サンプリングレート	50ms	特殊仕様で 20ms も対応可能
(8)速度表示	デジタル4けた表示、浮動小数点	
(9)出力信号	アナログ電圧出力 DC0~10VFS デジタル16ビットパラレル出力 (BCD 又は BINARY)	

(a) エアバージノズル
(光ファイバプローブ内蔵)



(b) 制御盤

図18. LDV の外観

の構成をできるだけ簡素化し、信頼性の向上と無調整化を実現するために、光源と受信回路系はプローブから分離し、この間の光送受信を光ファイバを用いて伝送している。このことによって、保守は、ライン定期点検時のプローブの窓の清掃程度となっている。また、送信用光ファイバケーブルにシングルモードファイバを使用することによって、LDVの性能に影響を与えるドップラー信号の信号対雑音比の向上とゆらぎの低減を図っている。

鉄鋼ラインでのLDVの主な用途は次の分野である。

- (1) 圧延機のマスフロー AGC(板厚制御)の高性能化を実現するための圧延機入・出側の板速計測。
- (2) 調質圧延機における製品の品質を確保するための板の伸率制御と管理。
- (3) 連続铸造、精整ラインにおける切断制御のための製品長さ計測。

LDVを使用した圧延制御は、既に実用化の域に達している。特に、タンデムコールドミルを中心にマスフロー AGCへの需要が高まっている。当社 LDV の鉄鋼、非鉄のプロセスラインにおける適用事例を表2に示す。また、代表例として、タンデムコールドミルにおける適用例と測定データの一例を図19に示す。

また、最近の動向としては、鉄鋼ラインはもとより、アルミニウム、ステンレスなど非鉄分野の需要も高まりを見せている。

8. 超音波探触子

現在、国内で生産されている鉄鋼製品は、多くの検査・計測によって品質が保証されている。その中でも鉄鋼製品の内外部に存在するいろいろなきずの存在(位置、大きさ、分布状態等)を破壊することなく知るための最も有効な手段の一つとして、超音波探傷試験法がある。最近の試験では、ほとんどの鉄鋼製造ラインにおいて自動化された超音波探傷装置が使用されている。

表2. LDV 適用事例

適用設備	主な目的・用途
(1)タンデムコールドミル	マスフロー AGC のための先進率・伸率計測
(2)リバースミル	同上
(3)調質圧延機 (スキンパス、テンパミル)	伸率制御による品質管理
(4)連鋸スラブ	測長による切断制御 速度変動によるモールド湯面挙動解析
(5)ホットプレートミル	先進率計測によるノースリップ制御
(6)ホットストリップミル	マスフロー AGC のための先進率計測
(7)ホットランテーブル	板の温度制御のための先端トラッキング
(8)ダウンコイラ	巻取同期制御
(9)厚板精整ライン	測長による検尺、切断制御
(10)シームレスパイプせん(穿)孔機	移動量検出による偏肉改善 シェルの前進効率の測定
(11)棒鋼・条鋼圧延機	先進率・伸率計測
(12)アルミ圧延機	マスフロー AGC のための先進率計測 デフロールのヘルパ駆動による傷発生防止
(13)アルミ押し出しライン	測長による切断制御

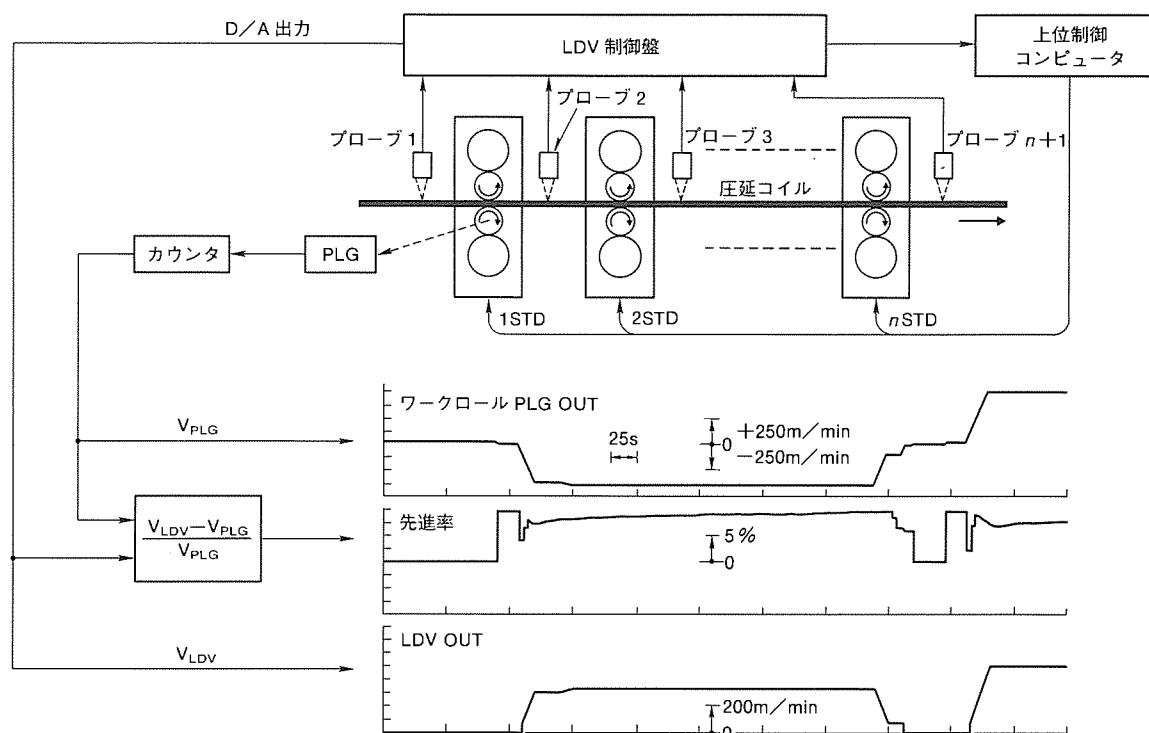


図19. LDV タンデムコールドミル適用例と測定データ

ここでは、鉄鋼製造ラインで使われている超音波自動探傷装置用のセンサ(以下“探触子”という。)の使用例や性能について、その概要を述べる。

8.1 探触子の動作原理⁽⁷⁾

探触子は、試験体に超音波を放射し、さらに試験体中の音響的な不連続部分からのエコーを受信するために使用されるもので、圧電素子を用いて電気信号と機械振動(超音波)とを相互に変換する振動子と、ダンパなどで構成されている。この振動子は、送信機からパルス状の電圧が加えられることによってひずみが生じ、そのひずみにより振動子の周波数特性に応じた振動(超音波)を発生させる。逆に、振動(超音波)が振動子に加わると、振動子に電圧を生じることにより、超音波の送受信が行われるものである。この振動子には、ジルコン・チタン酸鉛磁器などの圧電磁器材料が広く使用されている。

8.2 鉄鋼製造ラインにおける探触子の使用例及び性能

鉄鋼製造ラインの各工程で超音波探傷試験が行われている箇所を、図20に太矢印で示した。この中で探触子は、スラブ、厚板、レール、ブルーム、ビレット、パイプ、棒などの各種材料形状やきずの種類に応じて、様々な種類のものが使用されている。

探触子の種類を大別すると、垂直探触子と斜角探触子がある。垂直探触子は、試験体の表面に対して超音波を垂直に入射させるもので、試験体の表面に対してほぼ平行に広がっているきずを検出する能力が優れており、先に述べたほとんどの鉄鋼製造ラインの中で使用されている。また、斜角探触子は、試験体の表面に対して超音波を斜めに入射させるもので、試験体の表面に対してほぼ垂直に広がっているきずを検出する能力に優れており、主にパイプや棒の製品、及び溶接部の試験に使用されている。

これらの探触子と試験体との間には、音響結合を確保するために接触媒質が必要となり、この接触媒質には、経済性や入手性などの理由から自動探傷装置では水が使われている。したがって、探触子は常に水中で使用されており、さらに試験中の振動・衝撃が加わる環境条件のほかに、高速で、かつ連続的に流れる製鋼ラインでも長期間にわたって十分な信頼性を確保できるように、構成材料や接着材について十分に設計検討されている。また、探触子の表面状態は、超音波の送受信特性に大きく影響されるため、試験中に摩耗や損傷を受けないように、探触子と試験体表面との間に0.5mm程度のギ

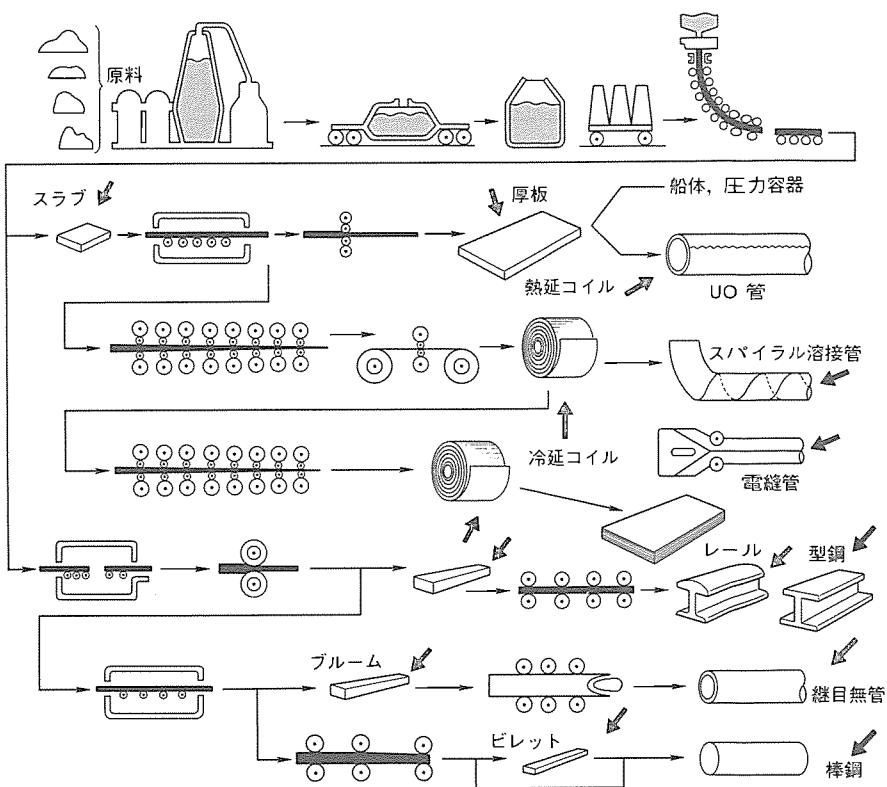


図20. 鉄鋼製造ラインにおける超音波探傷試験の適用例

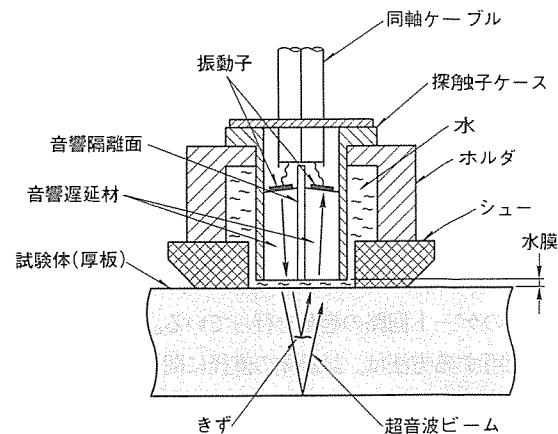


図21. 二振動子垂直探触子の構造

ヤップを設けたり、数十mmのギャップを設けてホルダに取り付けられ、このギャップ部分に接触媒質としての水を充満させて使用している。この様子を、探触子の構造とともに図21と図22に示した。

図21は、厚板製造ラインで主に使われる二振動子垂直探触子である。この探触子は、送信専用の振動子と、受信専用の振動子を備え、試験体の表面下約0.5mmから60mm程度までの範囲を試験できるように、振動子の寸法、及び音響遅延材の形状が決められている。

図22は、パイプの製造ラインで主に使われる斜角探触子である。この斜角探触子は、送受信を兼用した1枚の振動子を備え、外表面から内表面までを検査できるように、振動子の寸法、及び屈折用プリズムの形状が決められている。さらに、この斜角探触子には反射板が設けられ、この反射板から

表3. 主な超音波探触子の欠陥検出能

対象製品	ライン速度 (m/分)	探触子の種類	試験周波数 (MHz)	探触子の使用数(個)	欠陥検出能(dB)
厚板	MAX 約60	二振動子垂直探触子	5	256(板中央部) 16(板端部)	$\phi 2\text{ mm}$ 平底穴を $S/N \geq 6$ 〃
パイプ	MAX 約140	斜角探触子	5	8~88	0.3mm深さ×10mm長さノッチを $S/N \geq 10$
棒	MAX 約65	斜角探触子 垂直探触子	5 7	4~5(中央部) 8~10(表皮下部)	$\phi 1\text{ mm}$ 横穴を $S/N \geq 26$ 〃
ビレット	MAX 約40	垂直探触子	3	16~24	$\phi 2\text{ mm}$ 横穴を $S/N \geq 12$

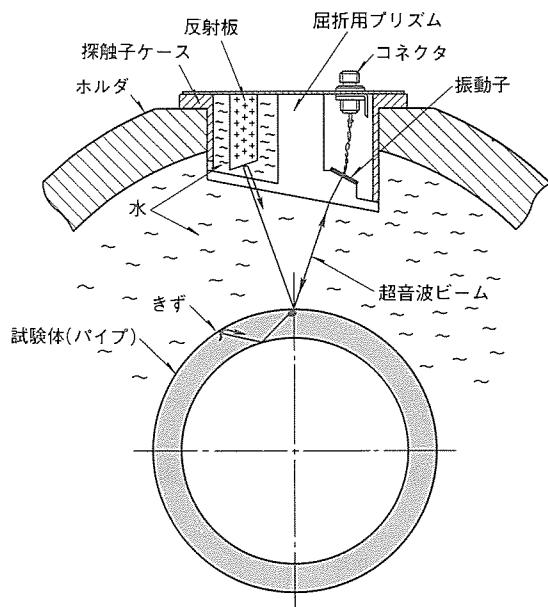


図22. 斜角探触子の構造

のエコーを常に監視することにより、探触子と試験体との間の音響結合の状態(水柱の正常な形成や、探触子と試験体との相対的な位置関係など)を確認したり、きずエコーを検出するためのゲート回路の起動を行っている。この反射板のエコーを利用する方法は、試験体の直径に関係なく安定な監視エコーが得られるため、当社のパイプ・丸棒用の超音波自動探傷装置には広く用いられている。

図23は、これらの探触子の一例を示す外観写真である。探触子は、いろいろな超音波探傷試験法に応じて100種類以上のものが使用されている。これらのうち、主な探触子のオンライン条件における一般的な欠陥検出能を表3に示した。これらの欠陥検出能は、超音波探傷装置がシステムとして必要となる各種条件(試験範囲・試験速度・欠陥検出能・経済性・保守性など)を考慮して設計された探触子の特性であり、オンライン条件(水浸、振動、温度、試験体の表面粗さ、試験体の形状差など)下でも安定に得られるものである。

9. むすび

以上、鉄鋼プラントで使用されている特殊センサについて紹介したが、いずれも計測対象鋼板の温度・速度等からくる目視検査の限界を超える計測精度を実現しており、鉄鋼プラント固有の耐環境性を含めてセンサの特化が進んでいる点に

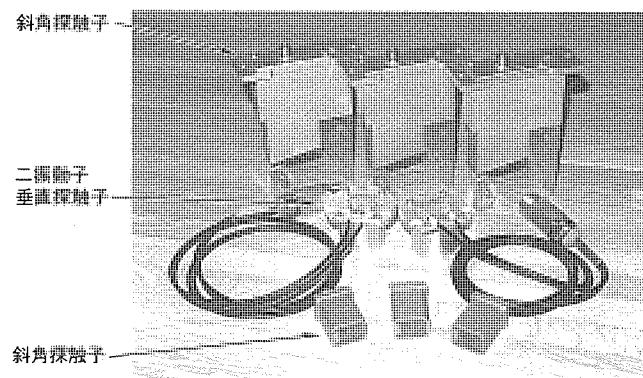


図23. 超音波探触子の外観

特長がある。

また、圧延制御への入力情報として、これらセンサの重要性は強まっており、今後更に進展する製鉄技術に対応して一層の高速高精度化、長寿命化等の開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 高嶋和夫:CSD採用の超小型TVカメラ, 映像情報, 20, No. 9 (1988)
- 高嶋和夫, 杉山昌之, 稲荷隆彦, 植木勝也, 西木和弘: レーザ距離センサ, 三菱電機技報, 60, No. 5, 48~52 (1986)
- 三宮静悦, 白石彌, 植木勝也, 高嶋和夫, 田中実: 赤熱鋼板クロップ形状認識装置, 三菱電機技報, 57, No. 2, 40~43 (1983)
- 亀井光二, 中島利郎, 川口清彦, 松井健一: レーザを利用したネジ表面欠陥検査装置第一報, 第25回計測自動制御学会学術講演会予稿集, 475~476 (1986)
- 松井健一, 井上公貴, 太田隆司, 鈴木洋一, 亀井光仁, 中島利郎, 橋幹夫, 植木勝也: レーザを利用したネジ表面欠陥検査装置第二報, 第25回計測自動制御学会学術講演会予稿集, 477~478 (1986)
- 田代秀夫, 小池敦美: レーザドップラ速度計の応用, 第3回光波センシング技術研究会講演論文集, 91~98 (1989)
- 日本学術振興会製鋼第19委員会: 超音波探傷法(改訂新版), 日刊工業新聞社 (1984)

幕張テクノガーデン“IC カード利用の 入退室管理システム・鍵管理システム”

草間幸男* 若宮正洋** 宮田 実*** 伊藤英明*** 加藤 清**

1. まえがき

千葉市幕張新都心、数年後には高層ビルが建ち並ぶこの街に、研究・開発や事務機能などを擁する複合インテリジェントビル “幕張テクノガーデン”(以下“MTG”という。)が1990年4月にオープンし、注目を集めている。24階建ての高層オフィスビル二棟、6階建ての研究開発棟等延べ床面積約21万m²、テナント数約100社、商店・飲食店約40店、入居者約1万人の日本有数のオフィスビルである。図1に建物の外観を示す。

MTGでは、NTTデータ通信(株)により、ビル内の情報通信システム、入退室管理・鍵(管理)システム、ビル内キャッシュレスが実現され、入居者に快適なビジネス環境を提供している。当社は、NTTデータ通信(株)取りまとめの下、入退室管理・鍵管理システム、POSシステム(キャッシュレス)及びICカードを担当し、また、光LANの幹線・支線の関連機器が採用された。

本稿では、ICカードを利用して高セキュリティ化を実現した入退室管理システム及び鍵管理システムについて、前者を主体として紹介する。

2. MTG の OA システム

2.1 全体システム概要

図2に、MTGにおけるOAシステムの全体システム概要を示す。OAシステムは、ホストコンピュータと各種端末(管理用端末・企業用OA端末・カードゲート装置・キーボックス装置・POS端末・自動販売機・ICカード入金機・館内案内装置等)から構成され、100Mbpsの高速光LAN(OA-LAN)によって接続される。ホストコンピュータは、各種情報の蓄積・管理を行い、空調予約情報や入退室情報をビル管理システムに送信する等、インテリジェントビルシステムのかなめとなっている。

2.2 システムの特徴

(1) 入退室管理システムと鍵管理システムの併用

MTG建屋のレイアウトを図3に示す。MTGは、研究・開発を行う企業又は部門が入居する研究開発棟(低層棟)と一般事務所が入居する高層棟の共存を特徴としており、各々の使用条件に適した防犯システムが導入されている。

研究開発棟は、24時間常時関係者以外の立入りを規制する必要があるため、扉ごとに通行者をチェックする入退室管

理システムを用いている。一方、高層棟は、業務時間中は、立入り者の規制を行う必要はなく、各事務所の鍵の貸出管理を自動化し、省力化する目的で、キーボックス装置を用いた鍵管理システムを用いている。なお、入退室管理システムは、貸会議室の運用管理にも用いられている。

(2) ICカードの多目的利用

MTGでは、ICカードは、その高セキュリティ性と大記憶容量の特長を生かして、入退室管理、鍵管理、キャッシュレス利用及びOA端末操作資格チェック等多目的に利用されている。

入退室管理・鍵管理では、ICカード内に企業コード・有効期限・利用資格・暗証番号を記録し、カードゲート装置又はキーボックス装置との間だけで、厳密な認証が可能となる。キャッシュレス利用においては、ICカード内に入金額を記録し、POS及び自動販売機による買物・飲食利用時に減額するプリペイド方式が用いられている。ICカードは入金機により、隨時、プリペイド金額を増額でき、テレホンカード等の使い捨てのプリペイドカード方式とは異なる。

ICカードは、NTTデータ通信(株)が国内標準化を進めているS型ICカードで、メモリ容量2KバイトのシングルチップICを用いている。

3. 入退室管理システム

3.1 システム概要

このシステムは、MTG研究開発棟入居者が各自所有するICカードの記録情報を元に、各々関係するフロア及び部屋への入退室の可否を管理する。また、MTG管理会社の運営管理する貸会議室の利用の可否を予約情報の有無によって管理する。



図1. MTG の外観

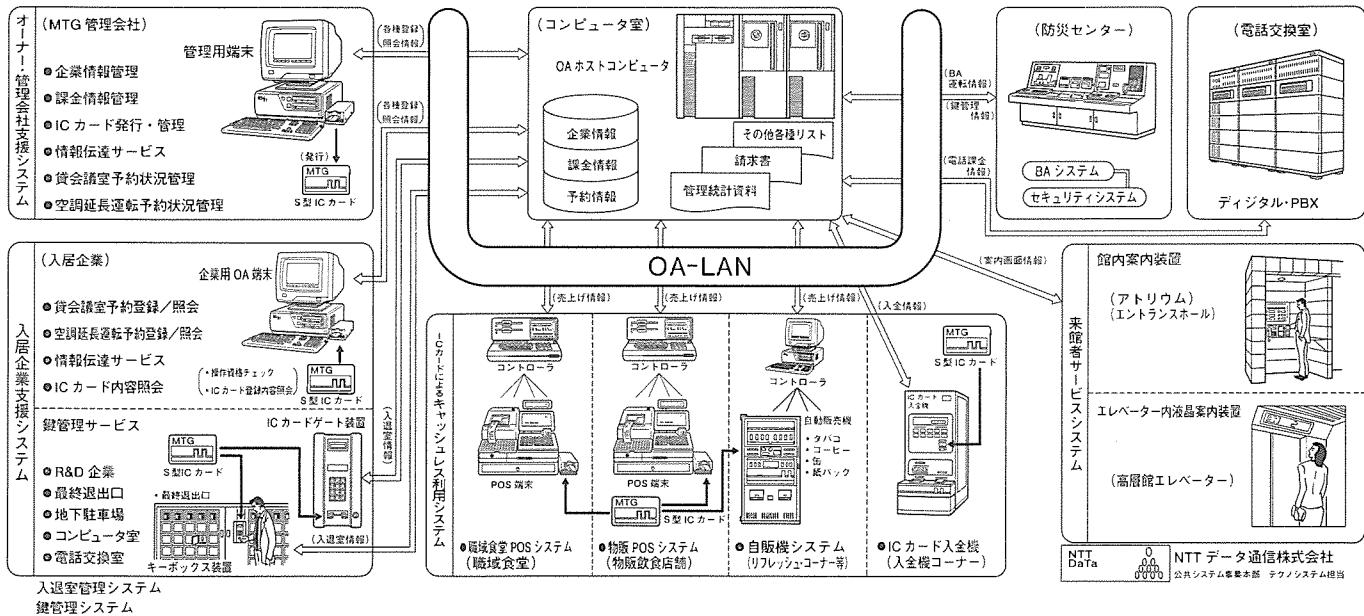


図 2. MTG における OA システムの全体システム概要

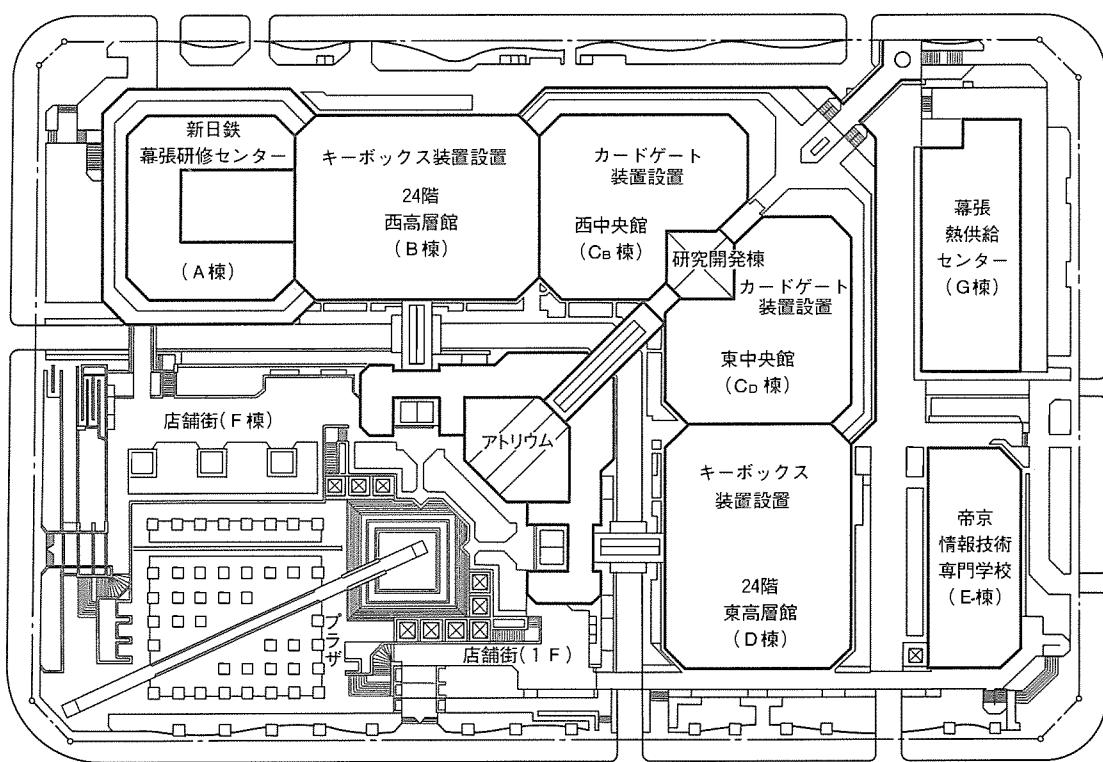


図 3. MTG 建屋のレイアウト

立入者は、共用フロア及び各部屋・貸会議室の入口付近に設置した IC カードリーダを備えたカードゲート装置に、各自の IC カードを挿入し、必要な場所では暗証番号を入力する。カードゲート装置は、その正当性をチェック後、電気錠の施／解錠制御信号又は自動ドアの開扉信号を出力する。また、そのときの入退室情報等カードゲート装置へのアクセス履歴情報をホストコンピュータに送信するとともに、警備用信号を警備システムへ接点出力する。このシステムの特長を次に示す。

(1) 運用変更へのフレキシビリティ

このシステムは、ホストコンピュータからダウンロードされる初期情報により、カードゲート装置の動作条件、カード照合条件、最終退室処理時の運動制御グループ、非常時の一斉解錠グループ等を設定できる。このため、セキュリティレベルあるいは部屋割り等が変更になった場合は、ホストコンピュータからのダウンロードでデータを変更することができ、フレキシビリティの高いものとしてある。

(2) 高信頼性

ホストコンピュータ、通信ネットワークの停止時でも、このシステムは単独運転が可能であり、また、個々のカード

ゲート装置もオフライン運転を行うことができる。オフライン運転時のアクセス履歴情報は、装置内のメモリに蓄積され、オンライン復帰後にホストコンピュータに送信される。

3.2 システム構成

図4に、入退室管理システムの構成を示す。メインコントローラは、ホストコンピュータとの間で各種情報の伝送を行うとともに、最大128台のカードゲート装置の集中監視制御を行う。カードゲート装置は、ICカードデータの読み取り、正当性チェック、電気錠の施／解錠制御、自動ドアへの開扉信号出力を行うとともに、警備システムに警備用信号を接点出力する。電源盤は、カードゲート装置及び電気錠にDC24V電源を供給する。

3.3 システム機能

3.3.1 カードゲート装置の種別と処理内容

カードゲート装置は、チェック項目・制御対象ドア種類・警備システムとの連動内容等から、表1に示すように、8種類に機能分類される。各カードゲート装置が、いずれの機能で動作するかは、そのエリアの利用方法及びセキュリティレベルによって決定される。図5に、カードゲート装置の外観、表2にカードゲート装置の機器仕様、図6にカードゲート装置の設置例を示す。

3.3.2 入退室処理方法

入退室処理方法は、カードゲート装置の種別により異なる。本稿では一例として、設置台数の多いテナント用について紹介する。図7に、テナント用カードゲート装置の処理フロー

を示す。

このシステムでは、カードゲート装置は部屋の外に設置され、部屋の用途に応じて、以下の入退室処理がなされる。

(1) 入室処理方法

各自が所有するICカードをカードゲート装置に挿入すると、カードゲート装置は、ICカードに記憶されている情報を読み取りチェックするとともに、カードゲート装置に記憶されている情報を照合する。照合の結果正しいカードと判断すると、液晶ディスプレイに操作指示が表示される。入室しようとする人は、表示される指示に従って暗証番号を入力し、操作ボタン“入室”又は“開放”を押す。“入室”ボタンを押した場合は、電気錠は解錠後、扉を開閉するか又は所定時間経過すると自動的に施錠される。“開放”ボタンを押した場合は、電気錠は退室処理が行われるまで連続して解錠状態となり、操作無しで入退室が可能な状態になる。このとき、カードゲート装置は、ホストコンピュータに対し入室情報を送信するとともに、警備システムに対する警戒接点信号を“OFF”として、部屋の警戒状態を解除する。

(2) 一時退室処理方法

入室時“開放”ボタンを押して連続解錠状態になっている場合に一時的に施錠する処理方法で、前記(1)と同様の操作後、“退室”ボタンを押すと電気錠が施錠される。部屋は使用状態であり、警戒状態にはならない。

(3) 最終退室処理方法

部屋を最終退出するときの処理で前記(1)と同様の操作後、

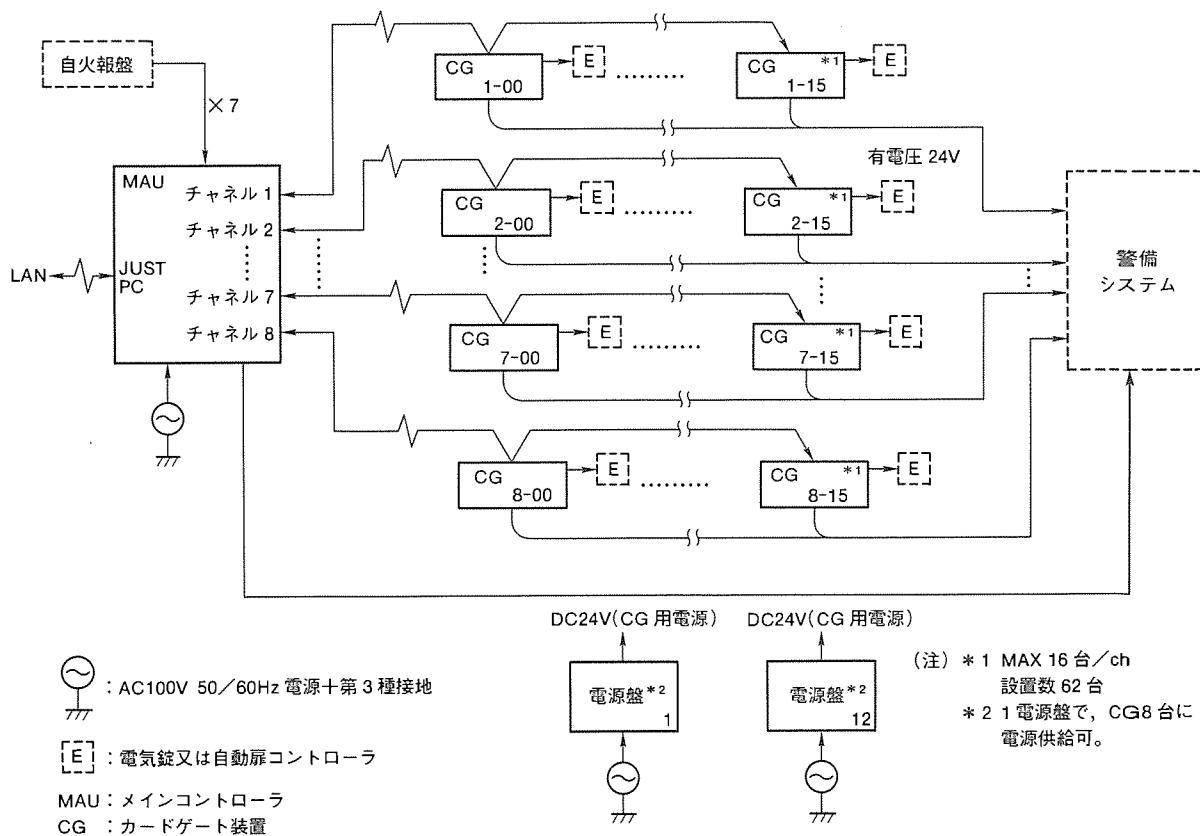


図4. 入退室管理システム構成

“警戒”ボタンを押すと、電気錠が施錠される。このとき、カードゲート装置はホストコンピュータに対し、退室情報を送信するとともに、警備システムに対する警戒接点信号を“ON”として、部屋を警戒状態とする。なお、一部屋に複数のカードゲート装置が設置されている場合、カードゲート装置をグループ化することにより、1箇所のカードゲート装置の操作で数箇所の電気錠を運動制御で一斉に施錠することができる機能を装備してある。このため、最終退室者は、各扉を個別に施錠して回る必要がなく、扉が開いている入口がある場合は液晶ディスプレイにエラーメッセージが表示されるため、締め忘れ、施錠忘れを防止できる。カードゲート装置のグループ化は、ホストコンピュータからのダウンロードで行い、最大16グループ、1グループのカードゲート数最大10台の条件で設定可能である。

3.3.3 エラー処理

カードゲート装置は次の状況において、ホストコンピュータにエラー情報を送信する。ホストコンピュータでは、この

情報によって入退室状況を監視する。

- (a) 紛失・盗難などの事故カードが使用された場合。
 - (b) 暗証番号の入力を 3 回誤った場合。
 - (c) 電気錠が正常に動作しない場合。
 - (d) 扉を 15 秒以上開放した場合 (“開放” 時は除く。)。
 - (e) 解錠制御が行われず扉が開いた場合。
 - (f) 警戒状態で IC カードが使われず扉が開いた場合。
 - (g) 故障した IC カードが使用された場合。

3.3.4 貸会議室利用管理

(1) 貸会議室は、利用予約によって運用される。利用者がテナント端末で利用予約を行うと、予約情報はホストコンピュータから該当する貸会議室のカードゲート装置にダウンロードされる。カードゲート装置は、予約情報と読み取ったICカードの情報を比較し、予約された企業かどうか、予約時間内の利用かどうかの正当性をチェックして入室を規制する。なお、カードゲート装置で、所属する企業の予約状況をテンキー操作で確認できる機能を装備してある。

表1. カードゲート装置の種別と処理内容

処理内容	正当性チェック					ドア制御	警備システムとの連動			その他		機能キー内容	テンキー	
	事故情報	有効期限	暗証番号	利用資格	企業コード		タンバーアイコン	カードゲート故障	警戒ON/OFF	扉開/閉	施解錠	入退室情報送出	課金情報送出	
カードゲート装置の種別	チェック	チェック	チェック	チェック	チェック	チェック								
1 テナント用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	—	電気錠	<input type="radio"/>	—	入室開放退室警戒				
2 コンピュータ室＆電話交換機室用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—	電気錠	<input type="radio"/>	—	入室—警戒				
3 貸会議室用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	電気錠	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	入室開放避室*
4 エレベーターホール用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	—	—	自動ドア	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—
5 荷物用エレベーター用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—	電気錠	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—
6 最終退出口用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—	—	自動ドア	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—
7 駐車場出入口用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—	電気錠	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	解錠開放施錠
8 C棟-D棟連絡通路用	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	—	—	電気錠	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	—	—

(注) *貸会議室用の退出キーは、警戒機能である。



表2. カードゲート装置の機器仕様

項 目	仕 様
カードリーダヘッド	IC カード ISO 7816 準拠 カード挿抜方式 手動 (オートホールド／オートイジェクト)
入出力インターフェース	電気錠用接点出力 1 点 機械警備システム用接点出力 4 点 ブザー用接点出力 1 点 電気錠用接点入力 2 点 メインコントローラ I/F 1 チャネル
表 示	液晶 バックライト付き、20文字×2行
操 作	テンキー(プッシュボン配列)×1 ファンクションキー×4(LED ランプ付き)
電 源	DC24V 2A
外 形(mm)	190(W)×300(H)×122(D)

図5. カードゲート装置(テナント用)の外観

(2) 予約時間枠を越えて貸会議室を利用した場合、カードゲート装置は退室処理を行った時点で、課金情報をホストコンピュータに送信する。ホストコンピュータでは、この情報を基に使用者に対し追加課金を行える機能を持っている。

3.3.5 非常時の一斉解錠処理

自動火災報知システムからの一斉解錠信号により、フロアごと又はエリアごとに電気錠を一斉に解錠する。一斉解錠信号は、メインコントローラに入力され、メインコントローラは、あらかじめ指定されているカードゲート装置に解錠要求を送信する。一斉解錠できる電気錠は、ホストコンピュータからのダウンロードによって指定される。

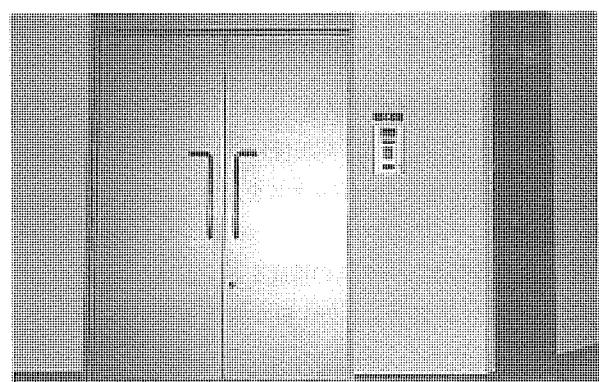
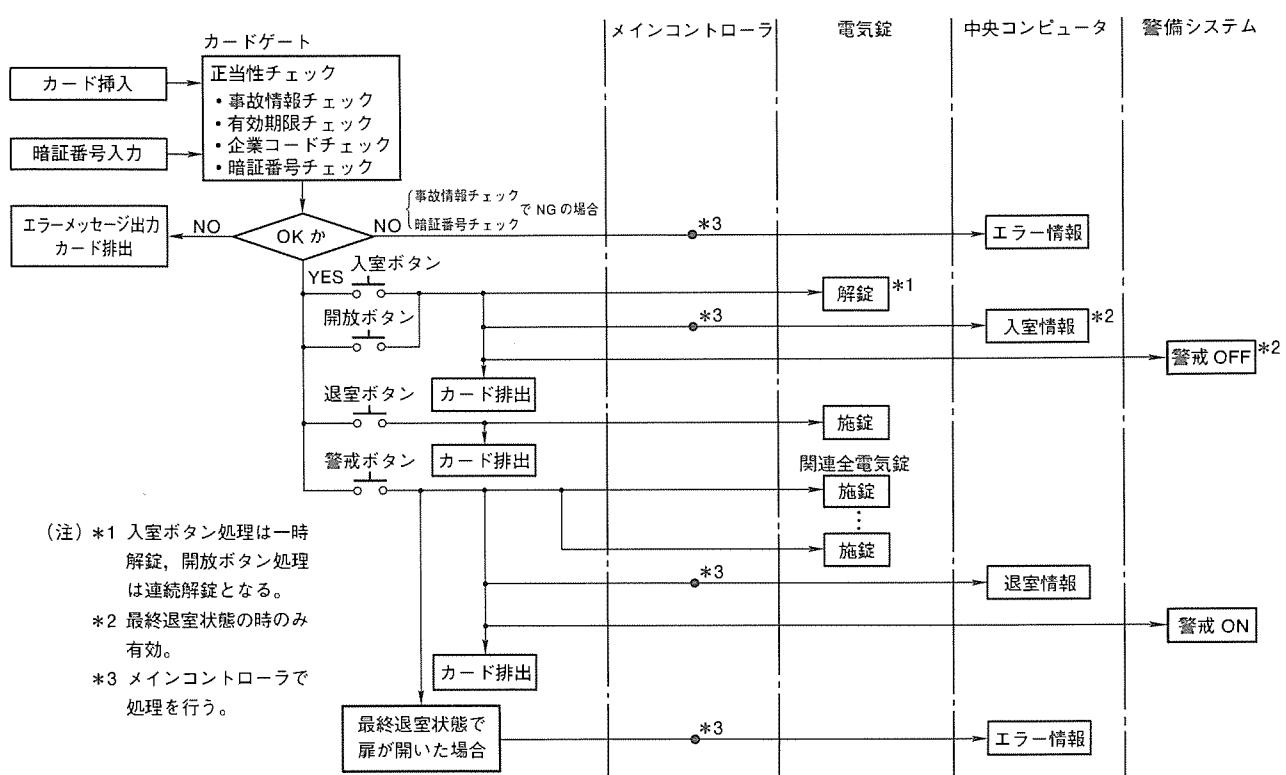


図 6. カードゲート装置の設置例



4. 鍵管理システム(キーボックス方式)

4.1 システム概要及び構成

このシステムは、MTG 高層棟において各事務所の鍵の取り出し、返却管理をキーボックスを用いて自動化するものである。

図8に、鍵管理システムの構成を示す。

キーボックス装置は、280個の鍵保管用ボックスとICカードリーダ6台から構成されている。メインコントローラは、ホストコンピュータとの間で各種情報の伝送を行うとともに、6台のICカードリーダ、12台のローカルコントローラの集中監視制御を行う。ICカードリーダは、ICカードの読み取り、正当性チェック後、メインコントローラに読み取った情報を送信する。ローカルコントローラは、メインコントローラとキーボックス本体との入出力装置で、鍵保管用ボックスの扉開閉指令の出力及び入退室信号(鍵の取り出し／返却状態信号)の入力をを行うものである。図9に、キーボックス装置の外観を示す。

なお、ICカードリーダは、メンテナンス性等から、ハードウェアは入退室管理システムのカードゲート装置と共通のものとしている。

4.2 システム機能

高層棟入居者は、ICカードリーダに各自が所有するICカードを挿入し、暗証番号を入力する。ICカードリーダは、その正当性をチェックし、ICカードに書き込まれた企業コードに対応する鍵保管用ボックスの扉を開け、鍵の取り出し・返却を可能とする。また、そのときの鍵の取り出し・返

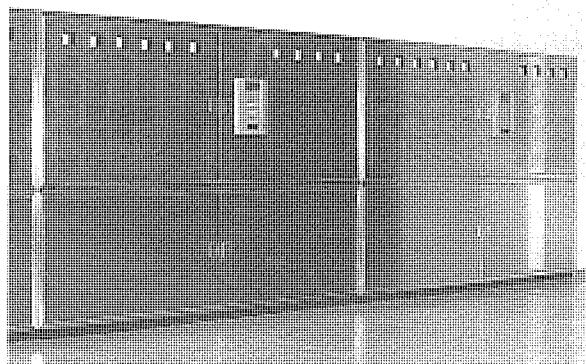


図9. キーボックス装置の外観

却操作の情報をホストコンピュータに送信する。このシステムは、入退室管理システム同様、ホストコンピュータからのダウンロードにより、企業コードと鍵保管用ボックスの対応等を設定できる。このため、入居テナントの変更が必要になった場合等は、ホストコンピュータでデータを変更することで対応できる。

5. む す び

MTG のカードシステムは、ICカードの高セキュリティ性と、その大記憶容量を利用した、多目的・多機能カードシステムの先駆けとして、各方面から注目されている。

本稿では、ICカードを利用した入退室管理システム及び鍵管理システムについて主に紹介した。大規模なインテリジェントビルや広域再開発地域等におけるセキュリティシステム及び多目的カードシステムの実現例として参考となれば幸いである。

多地点テレビ会議システム

岡 進* 松室昌宏** 茂木一男** 寺内弘典* 平野美穂子*

1. まえがき

最近、テレビ会議の市場において、ユーザーから多地点テレビ会議システムに対する要望が強くなってきてている。背景として、近年のディジタル通信網の発達、特に総合ディジタル通信網 (ISDN) のサービス開始に伴い、安価な通信コストで高速のディジタル通信を利用できるようになったことである。これによって各企業において、時間及び旅費の節約に効果のあるテレビ会議システムが普及しつつある。しかし、このテレビ会議システムをより効果的に活用するためには、更に機能向上など機器の改善が望まれる。例えば、従来の動画と音声中心であった使用メディアに高精細カラー静止画などを加えるマルチメディア化、あるいは同時に 3 地点以上の端末を用いて会議を行うマルチポイント化などに対するニーズが強い。

当社は従来から、高品質音声、カラー動画像及び高精細カラー静止画などを用いたテレビ会議システムの開発・実用化に注力してきた。さらに、今回上記ニーズにこたえるため新たに多地点通信制御装置 (Multipoint Control Unit : 以下 "MCU" という。) MP-1000 (図 1) を開発、これと従来のテレビ会議端末を用いて多地点テレビ会議システムを提供できるようになったので紹介する。

2. 概 要

2.1 開発のねらい

近年、急速に普及しつつあるテレビ会議を、更に効果的なものとするために、MCU (MP-1000) を用いた多地点テレビ会議システムを開発した。開発に当たり以下の点に留意した。

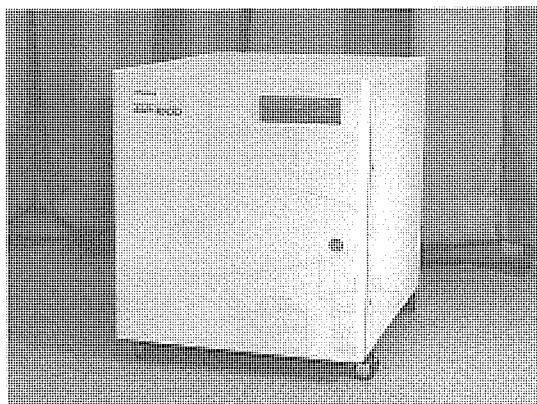


図 1. 多地点通信制御装置 (MP-1000) の外観

(1) 従来からのテレビ会議端末をそのまま使用できること。

(2) 回線の種類はユーザーが自由に選べること。

(3) 端末数の増加などに対応できる拡張性を持つこと。

(4) セキュリティチェック、予約など付加機能を持つこと。

2.2 このシステムの仕様

今回、開発した多地点テレビ会議システムの主要仕様の一覧を表 1 に示す。

2.3 通常多地点会議と同報会議

このシステムでは、通常多地点会議と同報会議をサポートする。

(1) 通常多地点会議

8 地点までの端末を複数台接続し、遠隔地間で会議を行う。基本的に全端末の音声がミキシングされ、動画像については音声検出などによって切替えを行う。静止画などグラフィック系メディアについては、データの衝突を防ぐために送信権制御を行っている。

(2) 同報会議

最大 64 地点までの端末を接続し、1 台の親端末からの音声・動画・静止画などの情報を他の子端末に一斉に分配する

表 1. 多地点テレビ会議システムの主要仕様

項目	内 容
会議方式	通常多地点会議、同報会議
収容端末数／会議	最大 8 台(通常多地点)、最大 64 地点(同報)
収容端末数／MCU	8 台
MCU 間接続	あり(同報会議のみ)、継続(カスケード)接続
同時複数会議開催	サポート
適用 線	ISDN、PBX 交換網、専用線網
MCU の ISDN I/F	基本 I/F (2B+D) 及び 1 次群速度 I/F × 2 (24B/4H ₀ , 4H ₀) 内蔵
チャネル速度	64kbps, 128kbps, 384kbps
伝送 フォーマット	CCITT 勧告 H.221 準拠
使用 メディア	音声 (16kbps APC-AB 又は 56kbps SB-ADPCM) ……………ディジタルミキシング 動画……………音声検出又はマニュアルによる切替え ……………グラフィック (カラー静止画、描画、ポインタ) ……………OSI プロトコル処理による分配 電子白板……………等
セキュリティ	相手発番号チェック (ISDN 接続時) パスワードチェック
付加機能	予約システムとの接続

(講演モード)。加えて1台の子端末から質問を行うことができ、このときは親端末と質問端末の音声がミキシングされ、質問端末の動画像を他端末に分配することもできる(議論モード)。

3. システム構成

3.1 接続形態

図2に示すように各参加端末は、ISDN(回線交換)、PBX交換網又は専用線網を経由してMCUに接続され、多地点会議のサービスを受ける。ISDN及びPBX交換網の場合、1:1通信のときは網の交換機能によって端末間が直接接続される。専用線の場合は、MCUと端末間が固定接続となるため、1:1通信のときもMCUが交換接続サービスを行う。

現在テレビ会議システムの主流となりつつあるISDN利用を低コストで実現するため、MCUのISDNインターフェースは内蔵型とした。1次群速度インターフェース回線を2本まで接続し、最大B(64kbps)又はH₀(384kbps)チャネルを8チャネルまで収容することができる。

1MCUは、一つの多地点会議において最大8端末を収容できるが、同報会議の場合は更に端末数を増やすケースが多く、これに対処するためMCU間を縦続接続する機能を設けた(図2(b))。これにより、1同報会議に最大64端末を収容することができる。

MCUには外部コンソールとして、パーソナルコンピュータが接続されシステムの保守・管理を行う。

3.2 テレビ会議端末

図3に端末の構成例を示す。ユーザーの使用目的に合わせ音声、動画あるいは静止画を中心とするグラフィック系メディアを適宜組み合わせることができる。

ISDNインターフェースについては、従来の端末をシステムへ収容することを考慮し、外付けの専用アダプタ(TA)を開発した。TAは、基本インターフェース用及び1次群速度インターフェース用の2種類あり、発着呼については自動モードとマニュアルモードがある。

端末コントローラは、ユーザーのワンタッチキーインによってTAに制御信号を送り、MCU又は他端末に発呼する。多地点会議の場合は、MCUに対して参加端末を指定したり、会議中に他端末の参加状況や発

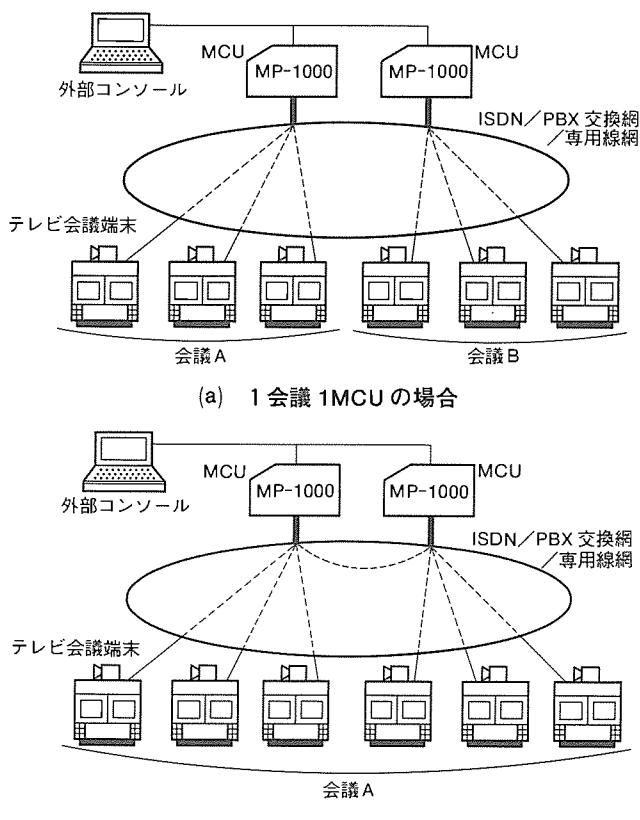


図2. 多地点テレビ会議システム構成例

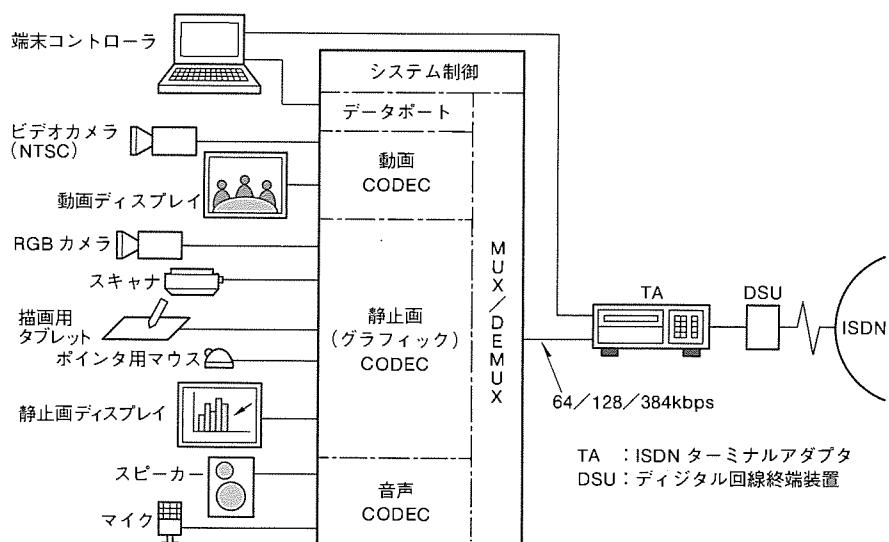


図3. テレビ会議端末の構成例(ISDN接続時)

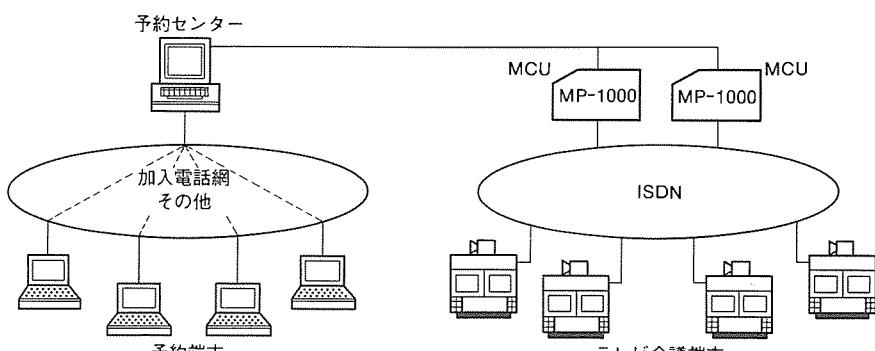


図4. 予約システムを接続した場合のシステム構成例

言状況などの情報をユーザーに提示するなど会議に関するユーザーインターフェースを担う。

3.3 予約システム

この多地点テレビ会議システムには円滑な会議開催を補助するため、オプションとして予約システムを接続することができる(図4)。予約システムは、予約センターと予約端末からなり、予約端末はテレビ会議室よりはむしろオフィスに多く置かれるであろうことから、予約端末と予約センターとの間は既存の加入電話網で接続する。

予約センター、予約端末ともパーソナルコンピュータにアプリケーションソフトウェアを搭載してつくられ、予約センターとMCU間が接続される。

4. メディア処理

4.1 メディア多重化構造

この多地点テレビ会議システムでは、音声、動画及び静止画を中心とするグラフィックデータなど複数のメディアを使用するが、各メディアの伝送路での多重フォーマットは国際電信電話諮詢委員会(CCITT)勧告H.221に準拠している(図5)。これは各オクテット(8ビット)のビットごとにメディアを割り当てるもので、その会議に用いる端末の能力により割当て方を変更する。

4.2 音 声

通常多地点会議では各端末に、その端末を除く全参加端末の音声を加算して送る。このとき、良好な音声特性を得るために、MCUにおいて各端末ごとに出力のゲインコントロールを行っている。

同報会議の場合、講演モードのときは親端末の音声のみを単純にすべての子端末に送るが、議論モードのときは質問端末と親端末の音声がミキシングされ全端末に送られる。

音声符号化方式として16kbpsのAPC-AB(Adaptive Predictive Coding with Adaptive Bit allocation)と56kbpsのSB-ADPCM(Sub-Band Adaptive Differential Pulse Code Modulation)を使用しているが、いずれの場合もMCUでデジタルリニア信号に復号化して加算する。また、SB-ADPCMの場合は、CCITT勧告G.722に従い低音域(50Hz~4kHz)と高音域(4kHz~7kHz)をそれぞれ独立にミキシングすることによって良好な音質を得ている。

4.3 動 画

通常多地点会議の場合、音声検出を用い発言端末の画像を全端末に自動的に送るオートモード(図6)と、議長(コンダクタ)端末がどの端末の画像を全端末に表示するかを端末コントローラを用いて選択するマニュアルモードがある。いずれのときも、他端末に画像を送出している端末(発言端末、被選択端末)には前の画像がそのまま、若しくは議長端末の画像が送られる(モード選択可能)。

同報会議の場合、講演モードでは親端末の画像がすべての

子端末に送られる。親端末は、自端末に映す画像を任意に選べる。議論モードでは、親端末の代わりに質問端末の画像を、親端末を含む他のすべての端末に送ることもできる(モード選択可能)。

4.4 グラフィックデータ

グラフィックデータには、カラー／白黒静止画、描画(テレライティング)及びポインタなどが含まれ、実務レベルで効果的な会議を行うことができる。プロトコルとしては今後の拡張性を考慮し、OSI(Open Systems Interconnection)構造を採用している。静止画は、断続的に大量のデータを送

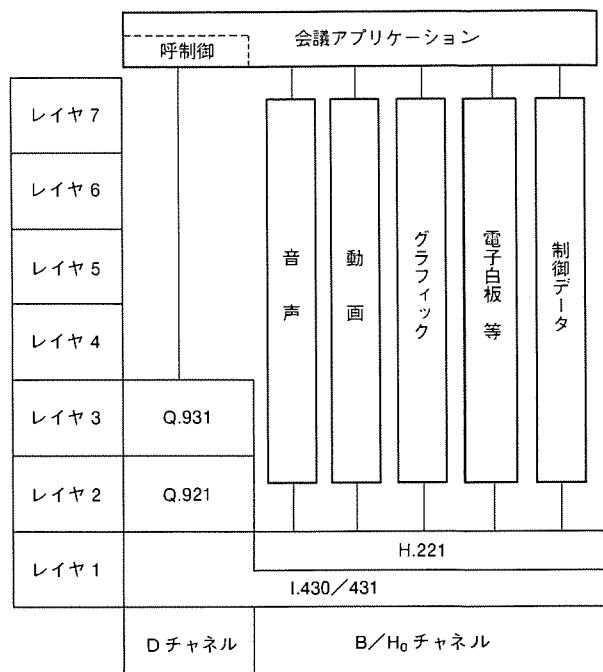


図5. 会議システムのプロトコル構造

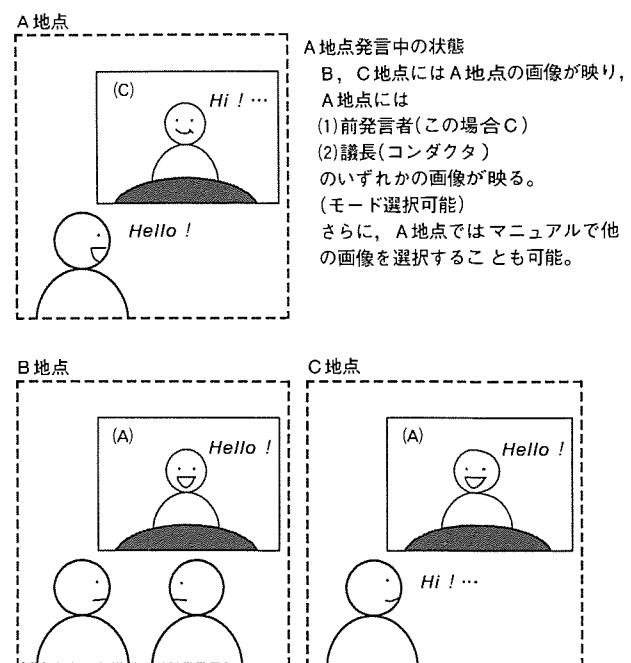


図6. 通常多地点会議オートモード時の動画像表示例

信するので、図7に示すように1本のOSI STACK(チャネル1)を割り当て、実際に静止画情報を送信するときのみに開かれる。これに対し、ポインタ、描画及び制御情報は少量のデータであるがリアルタイム性を要求するので、静止画とは別にまとめて1本のOSI STACK(チャネル2)を割り当てる、これは常時開かれている。

MCUでは、レイヤ2、3の誤り制御、順序制御などの転送制御を行うほかに、制御情報に含まれる送信権要求コマンドや静止画STACKのオープン要求の処理を行っている。

グラフィックデータは、各メディアごとに送信権があり、一つのメディアについて同時に1端末からしか送信を行えない。図8は、端末BがMCUをとおして端末Aに送信権の要求を行う際の、経緯(①→⑧)を示したものである。送信権の要求は、描画ペンのタブレットへのタッチ又はマウスのクリックなど簡単な操作で行える。

5. 会議開催機能

5.1 ISDN接続時の会議開催手順

この多地点テレビ会議システムの会議開催機能を、ISDN接続のケースを例にとり、実際の会議開催手順に沿って紹介する(図9)。

まず、システム内の任意の端末のユーザーが、端末コントローラにキーイン指示してTA経由でMCUに発呼する。MCUに接続後再びキーインにより、会議の開催を要求する。どの端末を呼出すかは、1台ずつ端末番号で指定するか又は複数台の端末をグループ名で指定する2方法があり、両者を混在して指定することもできる。

会議開催要求を受けたMCUは、自己の空きチャネルを確認後、呼出しを要求された端末に対し発呼する。端末が応答(着呼受付)すれば、その端末コントローラに会議招集の旨表示する。ユーザーは開催要求端末などを確認後、参加の諾否をキーインする。

以上の動作により、参加応答のあった端末は逐次会議に接

	静止画	描画、ポインタ、制御
アプリケーション (レイヤ7)	グラフィック会議制御	X.227
プレゼンテーション (レイヤ6)	実装しない	X.226
セッション (レイヤ5)	実装しない	X.225
トランスポート (レイヤ4)	実装しない	実装しない
ネットワーク (レイヤ3)	ISO 8208(改)	実装しない
データリンク (レイヤ2)	フラグ同期方式	X.75(LAPB)
電気・物理 (レイヤ1)	H.221 I.430/431, RS449/422 etc.	チャネル1(40kbps) チャネル2(1.2kbps)

図7. グラフィックデータのプロトコル構造

続され、音声が通じるとともに議長端末の画像が各参加端末に送信される。議長端末は、当初は開催要求端末であるが、会議開始後他の端末に変更もできる。各端末の端末コントローラには、他端末の会議への参加状況、その他の情報が逐次表示される。

各端末は、会議開始後もMCUに要求して途中参加、途中退席ができる。逆に議長端末からMCU経由で未参加端末に

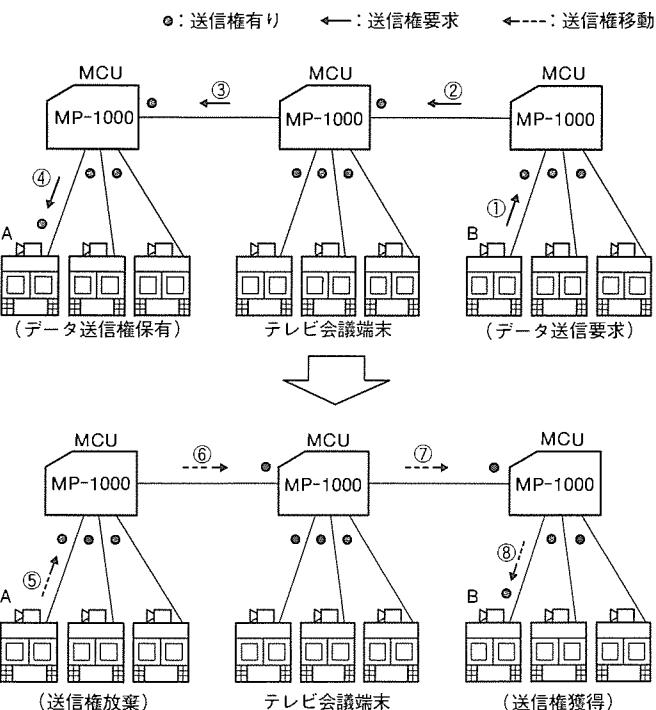


図8. グラフィックデータ送信権の制御

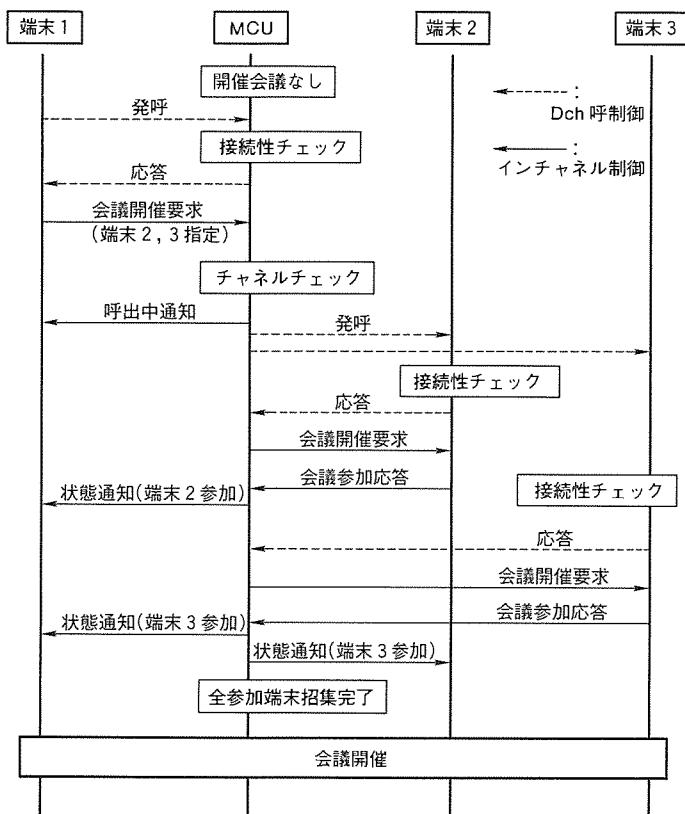


図9. 通常多地点会議開催手順

対し、途中呼出しを行うことも可能である。

同報会議の場合は、開催当初は講演モードでスタートし、親端末の音声・画像などが全参加端末に送信されるが、親端末の指示によって議論モードに移行できる。議論モードでは、任意の子端末が質問要求を出すことができ、親端末の端末コントローラに要求端末名が表示される。親端末のユーザーが指名することによって質問端末が決まり、その後親端末と質問端末の音声がミキシングされ全端末に送信される。

5.2 予約開催

この多地点テレビ会議システムには、オプションとして予約機能を追加することができる。図10に基づき開催手順を説明する。

①ユーザーは、まず予約端末を用いて、予約センターに接続し、希望の会議を行えるかどうか照会する。すなわち、希望の日時に各参加端末が空いているか、必要なチャネル数を確保できるMCUがあるかをチェックする。このとき、システム(端末、MCU)の予約状況は一目でわかるように、端末のディスプレイにグラフィカルに表示される。ユーザーは、会議を行える日時を最終的に決め、予約センターに予約登録する。

②予約センターは、予約情報を蓄積しておき、予定時刻になればMCUに対し会議の開催を要求する。

③MCUは、その会議に必要なチャネルを確保する。すなわち、それ以前の会議が延長していて、かつその会議のためにチャネルが不足する場合には、メッセージを送出後その会議を終了させる。

④会議参加予定端末のうち1端末がMCUに発呼し、参加者など開催会議の内容について確認をとった後、開催を要求する。MCUは、端末から着呼してきたときにその発ISDN番号をチェックし、それが予約会議に登録された端末のISDN番号であればその呼を受け付け、それ以外のときは接続を拒否する。

⑤MCUから他の参加端末に対し発呼し、会議を招集する。予約会議にもかかわらず端末側から発呼するのは、会議が開催予定時刻ちょうどに始まるとは限らず、MCU側から発呼するとどのテレビ会議室も無人のことがありえるからであ

る。ただし、もう一つの動作モードでは、MCUが開催予定期刻にすべての端末に発呼する。

6. 付加機能

6.1 セキュリティチェック

このシステムではネットワークとして、基本的に公衆網であるISDNを使用している。また、今後テレビ会議端末も国際標準化仕様のものが普及するであろう。したがって、誤接続防止を含むセキュリティチェックが必要となる。このシステムでは、以下の2段構えでチェックを行っている。

(1) D(呼制御)チャネル接続

MCU、各端末は、システムテーブルを持っており、着呼時には相手のISDN番号がこのシステムテーブルに登録されているものかどうかをチェックする。

(2) B/H₀(情報)チャネル接続

MCUは、情報チャネル接続後、端末コントローラと制御情報の送受を行なうが、このとき最初にパスワードによるチェックを行う。

以上のチェック動作を行うか否かは設定可能である。

6.2 保守機能

MCUには、外部コンソール(パソコン)が接続され、システムの保守・管理を行う。主な機能として、

- (1) MCUに対するシステムテーブル(MCU番号、端末番号、グループ構成、パスワード等)の設定・変更
- (2) 通信ログ、システム故障情報のアップロード、蓄積
- (3) システム稼働状況のリアルタイムモニタ

などがある。

7. MP-1000 ハードウェア構成

図11に、MCU(MP-1000)のハードウェアブロック図を示す。システム制御部は、会議開催に関する全体的な制御を行い、他のブロックを統括する。端末及び他のMCUとの接続制御は、ISDN1次群速度インターフェース(I/F)部が担当する。ここで接続された情報チャネルは、MUX/DEMUX部で各メディアに分離され、各メディア処理部(音声、動画、グラフィックデータ)で処理された後、再びMUX/DEMU

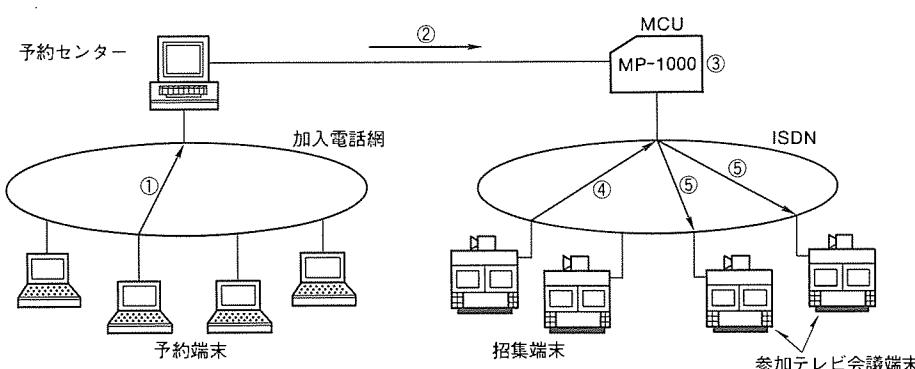


図10. 予約会議開催手順例

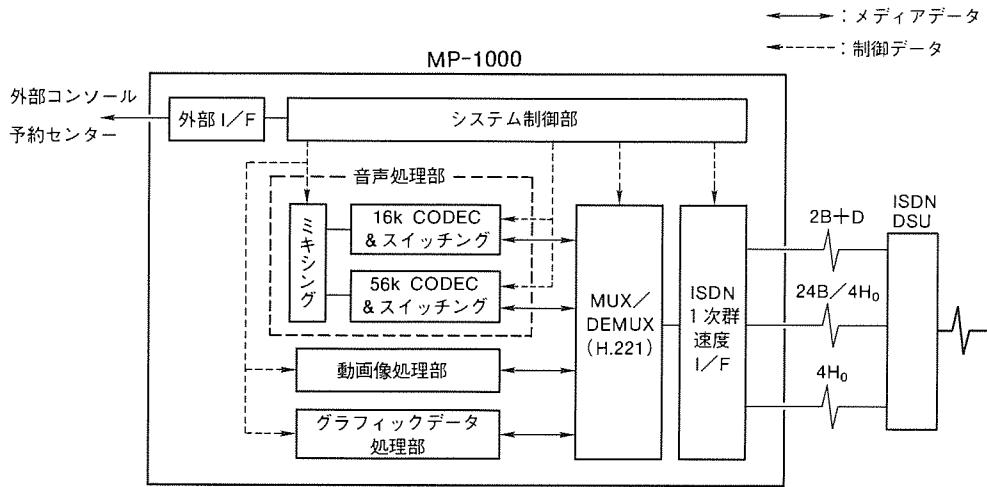


図11. MP-1000 のハードウェアブロック

X部で多重されて各端末に送られる。

音声処理部のCODEC及びスイッチング部は、16k系と56k系に分かれているが、ミキシング部はDSP(Digital Signal Processor)を用いることにより共通化している。

基板(カード)も各ブロックに対応して物理的に分かれているため、客先のシステム要求仕様に応じて各機能ブロックを自由に組み合わせることができる。例えば、音声とグラフィックデータだけを用いた多地点会議も可能である。

8. むすび

本稿では、テレビ会議をより効果的なものにするための、多地点テレビ会議システムについて述べた。すなわち、新た

にMCUを開発することにより、音声、動画、グラフィックデータなどを用い、通常多地点及び同報会議が行える多地点テレビ会議システムを実現した。

今後、テレビ会議も単体的な機能だけではユーザーの要求を満足することができず、機能アップを伴うシステム化が必ず(須)となっている。その際の一つのポイントが、NTTなど電気通信事業者の提供するネットワークの機能をフルに活用することであり、このシステムでも今後ISDNのDチャネルパケットを利用していくことなどが課題となる。また、予約機能などに関しPBXと連携していくなど、さらに実用的なシステムを開発・提供していく所存である。

衛星間通信用搭載アンテナ追尾制御システム

阿波祐二* 山田克彦** 山口哲郎* 柏瀬俊夫***

1. まえがき

1990年代から21世紀にかけて、地球観測プラットフォーム技術衛星(ADEOS)、宇宙ステーション取付型実験モジュール(JEM)、H-IIロケット打上げ型有翼回収機(HOPE)、その他多様化するミッションに対応した多くの人工衛星(地球周回、月／惑星探査)等の宇宙開発計画があり、宇宙空間の利用はますます拡大していくものと考えられる(図1)。

一方、日本の衛星運用地上局は、欧米のように世界中に配置されておらず、日本国内の局だけからの衛星の運用が必要である。このため、地上局と衛星の1回の交信可能時間が低高度衛星においては、5～10分と全時間に対する交信可能率約5%程度と極端に小さく、運用及びデータ取得上の大変な制約となっているのが現状である。宇宙利用の拡大に伴い、こうした制約を緩めるシステムである衛星間通信の必要性も増大していく。既に、衛星間通信は、米国の静止軌道上のデータ中継衛星(TDRS)において実際に運用されており、運用制約を大幅に緩め、高速かつリアルタイムのデータ伝送が可能となっている。我が国でも、近年データ中継追跡を目的とした衛星を打ち上げる計画がある。図2には、このデータ中継衛星による衛星間通信システムの概念を示す。また、

表1には衛星間通信リンクの使用形態例を示す。表から分かるように、将来の衛星間通信システムは、低軌道地球観測宇宙機や惑星探査宇宙機とのリンク、またデータ中継衛星相互間のリンクなど、多種多様の形態をとることから衛星間通信の需要も非常に大きなものとなることが予想される。

衛星間通信では、衛星に搭載された大型アンテナ(3～5mクラス)をターゲット宇宙機(以下“ユーザー宇宙機”という。)の方向に指向させる必要があり、その機能を実現するのがアンテナ追尾制御システムである。

このシステムは、ユーザー宇宙機から送信されるビーコン波の受信レベル変動から得られる追尾誤差信号を制御演算処理し、アンテナを2軸回り方向にジンバル駆動し、アンテナの指向角を制御するものである。この制御対象の特徴は、それ自体が宇宙空間に固定されていない衛星本体にアンテナ支持ブームが装着され、その先端にアンテナ駆動機構と大型アンテナが取り付けられた複雑な構造であるとともに、それらを軽量化のために剛性の低い柔軟構造特性を持つことである。すなわち、柔軟多体システムに対する制御系の設計が重要となる。このシステムにおける柔軟構造特性の振動は、RFセンサの誤差検出特性に直接影響を与えるため、制御・構造・アンテナの三つの技術分野が密接にかかわりあった技術であり、そのシステム設計では、入念なインターフェース管理と総合的な技術的判断が重要である。

この論文では、制御系の設計において特に重点をおき検討を加えた、

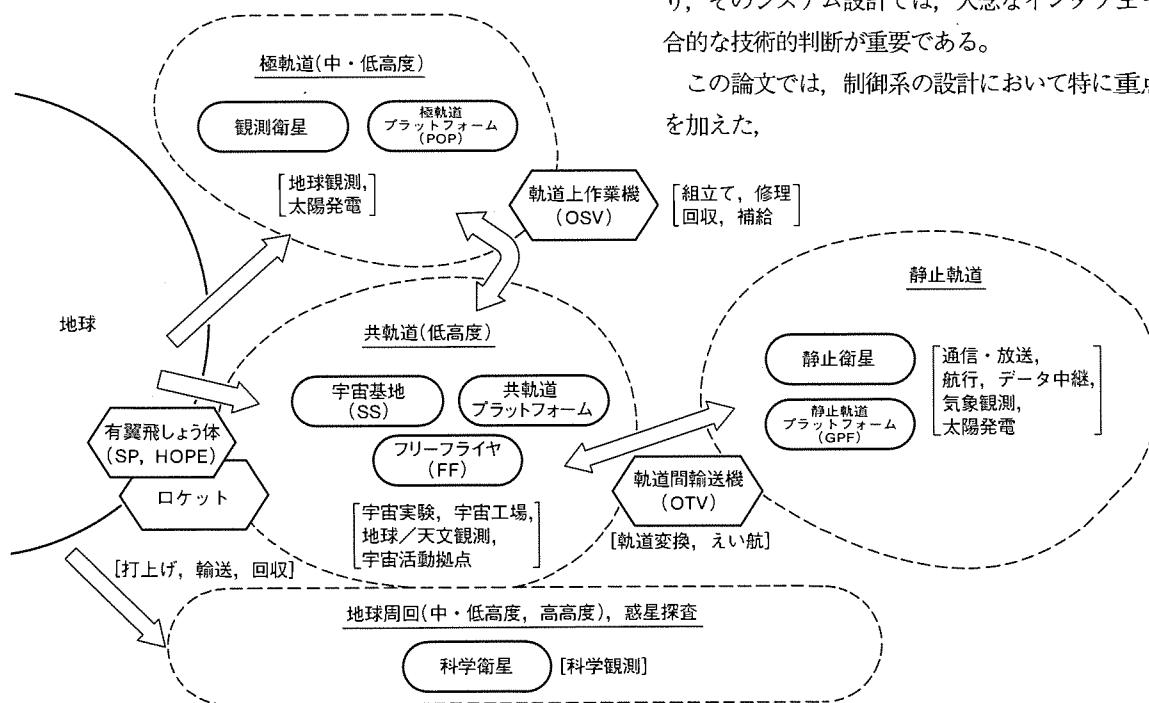
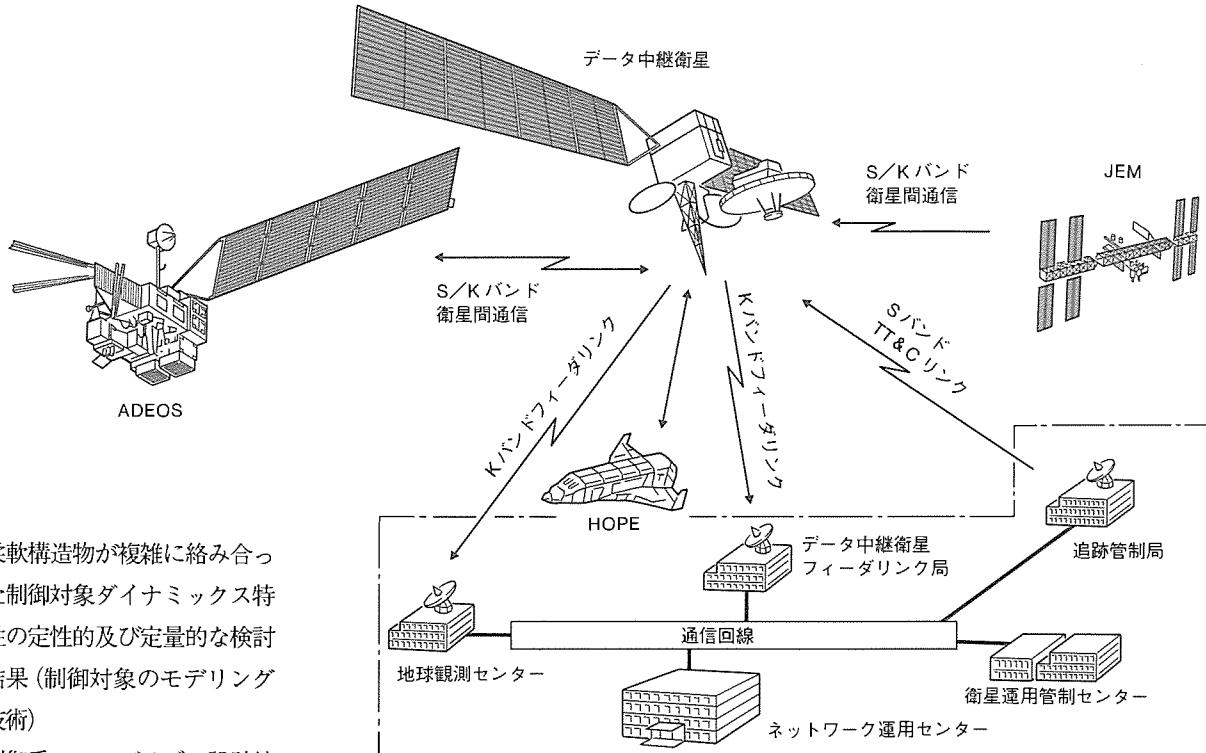


図1. 日本における今後の宇宙利用計画(構想)



- 柔軟構造物が複雑に絡み合った制御対象ダイナミックス特性の定性的及び定量的な検討結果（制御対象のモデリング技術）
- 制御系のアルゴリズム設計結果として、柔軟構造物の振動モードに対し、能動的にその振動を抑えシステム全体の減衰効果を高める制御系であるZero-PID (Zero-Proportional, Integral and Differential) 制御系の検討結果（制御系の設計技術）
- を中心に衛星間通信アンテナの追尾制御システムについて、その概要を紹介する。

2. 主要機能・性能

衛星間通信アンテナの追尾制御系は、目標方向（ターゲット）からのアンテナ指向誤差角を検出するRFセンサ（追尾受信機を含む。）の出力信号とアンテナ駆動機構（APM）の相対回転角を検出する角度センサの出力信号をセンサ信号として用い、目標方向へアンテナを向け追尾させるためのフィードバック信号処理を行い、APM駆動角信号を生成するアンテナ駆動制御電子回路（APE）及びアクチュエータとしてのAPMから構成されるシステムである。図3に、アンテナ制御系のブロック図を示す。

このシステムにおいて要求される主要機能・性能は、大別すると次の2項目である。

- (1) 初期捕そく（捉）を確実に実施する機能
 - (2) 初期捕捉完了後、自動的に定常追尾ループへ移行し、高精度にターゲットを追尾する機能
- (1)の初期捕捉とは、アンテナをユーザー宇宙機の方向へ向け捕捉する機能であり、迅速かつ確実な定常追尾状態への

図2. データ中継衛星を利用した衛星間通信

表1. 卫星間通信を用いる宇宙通信システム

衛星間リンクの形態	備考
データ中継衛星システム • GEO-LEO • GEO-GEO • GEO-月軌道及び深宇宙 • 月・惑星に対する静止衛星-月・惑星上の基地	• 地球観測衛星などのデータ中継 • データ中継衛星間のリンク • 静止軌道の中継衛星で深宇宙からのデータ中継 • 月・惑星上の基地及び周回衛星のデータ中継
広域衛星通信システム • GEO-GEO • GEO-LEO, HEO • LEO-LEO	• サービスエリアの異なる静止衛星通信システム間の接続 • 低軌道又はだ円・傾斜軌道上の通信衛星システム間の接続 • 多数の低軌道衛星間の接続による通信システム
宇宙観測システム • 観測衛星ネットワーク	• 衛星-衛星 VLBIなど、複数衛星を接続した観測及び軌道上でのデータ処理

注 GEO：静止軌道、LEO：低軌道、HEO：高離心率（だ円）軌道

移行機能が要求される。具体的には、

- ユーザー宇宙機とデータ中継衛星間の相対方位角を両衛星の軌道データから算出し、アンテナをターゲットに向ける機能
- メインロープとサイドロープとを識別し、サイドロープ捕捉回避する機能
- 不可視域から可視域に移行するときに、地球表面からの電波の反射による（マルチパス）影響をスムーズに回避する機能
- 衛星搭載機器の影により、電波伝搬を遮断する領域がある場合、この領域の影響をスムーズに回避する機能
- アンテナ駆動機構に駆動速度の制約により、追尾不能と

なる領域がある場合、この領域の追尾を回避する機能等の機能を具備しておく必要がある。図3のブロック図では、角度検出器をフィードバック信号とし、APE内の軌道データ処理(お互いの衛星の軌道位置からアンテナの指向角及び駆動速度の計算を行う)機能を利用した初期捕捉制御系によって実現される。(2)の定常追尾移行時には、図3に示すようにRFセンサの出力信号からユーザー宇宙機の捕捉状態を認識し、自律的にこの信号をフィードバックする定常追尾制御系へ移行する機能が要求される。

性能要求としては、上記2項の要求を満足するためにアンテナ指向精度として初期捕捉制御系、定常追尾制御系共に0.01degオーダーの高い指向精度を満足する必要がある。

これらの機能・性能要求を満足する制御系を構成する場合に、最もクリティカルな技術要素として柔軟構造振動の安定化問題がある。これは、1章で述べたような剛体と多数の柔軟構造体とが複雑につながりあったシステムの数学モデルを得る技術(モデリング技術)と、その得られたモデルに対し、柔軟構造物の振動を安定化し、さらに、その先端にあるアンテナを高い精度で指向させる制御系の設計技術とに分けられる。当社では、この大型柔軟構造物の制御問題について活発に研究を進めており、その成果を衛星間通信アンテナ追尾制御系の設計に適用した。

以下では、柔軟構造物の振動が直接センサ信号に影響を与える定常追尾制御系に対し、モデリング及び制御系の設計検討を実施した結果の概要を示す。

3. モデリング

3.1 衛星間通信アンテナ追尾制御系のダイナミックスの特徴

大型アンテナの追尾制御系において、制御対象の数学モデルを導くうえで考慮すべき柔軟構造特性を図4に示す。この図に示すように、大型アンテナの追尾制御系では数多くの柔軟構造特性を考慮する必要がある。こうした柔軟構造体の多く存在する系では、アンテナ追尾制御系が構造振動を励起しやすいので、アンテナ指向角を高精度に制御することは困難になる。ことにアンテナ指向角の制御を困難にしている要因は、指向制御用のアクチュエータと指向角を検出するセンサ

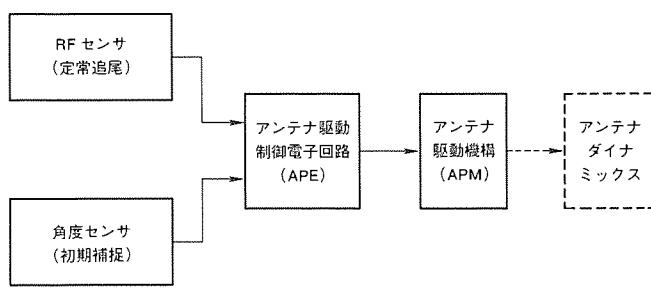


図3. アンテナ追尾制御系のブロック図

の間に柔軟構造の介在することである。定常追尾時には、RFセンサによってアンテナ指向角と目標値との誤差が検出される。ところがRFセンサの出力は、アンテナ鏡面での反射波から得られるのでアンテナ鏡面での振動の影響をうける。したがって、アンテナ追尾制御系では、アンテナ駆動機構(減速機)やアンテナ鏡面などの柔軟構造がアクチュエータとセンサの間に存在することになる。このような制御系はnon-colocated系と呼ばれ、アクチュエータからセンサまでの応答に位相遅れを伴いやすいので、閉ループ系が不安定化しやすく、制御系の設計に注意を払う必要がある。この制御系設計の詳細は4章で述べるが、ここでは制御系設計にとって必要となる構造ダイナミックスのモデルとアクチュエータ/センサ間の応答についてその概略を述べる。

3.2 構造ダイナミックスのモデル

ここでは、アンテナ追尾制御系を考察する対象として、アンテナサポートブームとアンテナ駆動機構の柔軟構造特性だけを考慮した図5のような簡略化モデルを考えよう。さらに、簡単のためにサポートブームの振動は、1次だけを考慮することにする。運動方程式の導出に当たって用いる信号を表2に示す。衛星本体の姿勢角 θ 、アンテナの回転角 ϕ 、サポートブームのモード座標 q に関する運動方程式は次式のようになる。

$$M \begin{bmatrix} \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_s \\ t_a \\ -k_b q - d_b \dot{q} \end{bmatrix} \dots \quad (1)$$

ここで、 M は全体の質量マトリクスであり、正定対称マトリクスとなる。その各成分は次の値をとる。

$$\left. \begin{aligned} M_{11} &= i_s \\ M_{12} &= i_a + m_a r^2 - m_a (a+l) r \sin \phi \\ M_{13} &= \int_0^l (a+x) \Phi_x \rho dx + m_a (a+l) \Phi_l \\ &\quad + |i_a + m_a r^2 - m_a (a+l) r \sin \phi| \Phi'_l \\ &\quad - m_a r \sin \phi \Phi_l \\ M_{22} &= i_a + m_a r^2 \\ M_{23} &= (i_a + m_a r^2) \Phi'_l - m_a r \sin \phi \Phi_l \\ M_{33} &= \int_0^l \Phi_x^2 \rho dx + m_a \Phi_l^2 + i_a \Phi_l'^2 \\ &\quad - 2m_a \Phi_l \Phi_l' r \sin \phi \end{aligned} \right\} \dots \quad (2)$$

上式で t_a は、モータと減速機を通してアンテナに伝わるトルクである。いま、この t_a は、次式のように与えられるものとしよう。

$$t_a = -k_s \left(\phi - \frac{1}{n} \psi \right) - d_s \left(\dot{\phi} - \frac{1}{n} \dot{\psi} \right) \dots \quad (3)$$

特に、ハーモニック ドライブギヤなどを減速機として用いると、アンテナ駆動軸の軸剛性が下がり、その振動特性が問題となる。この t_a の値を上の運動方程式に代入すると、最終的にこの系の運動方程式が得られる。この場合、アンテ

表2. 記号の説明

記号	意味
θ	衛星本体の回転角
ϕ	アンテナのサポートブームに対する回転角
q	サポートブームの1次振動モードのモード座標
a	衛星本体質量中心からアンテナ サポートブーム取付点までの距離
l	サポートブームの長さ
r	アンテナ回転中心からアンテナ質量中心までの距離
i_s	衛星の質量中心回りの慣性モーメント
m_a	アンテナの質量
i_a	アンテナの質量中心回りの慣性モーメント
ρ	サポートブームの線密度
t_s	衛星本体質量中心回りに働く制御トルク
t_a	アンテナ駆動トルク
Φ_x	サポートブームの取付点から距離 x の点の1次のモード形状関数
Φ_l	サポートブームのアンテナ回転中心における1次のモード形状関数
Φ'_l	サポートブームのアンテナ回転中心における1次のモード形状関数の傾き
k_b	サポートブームの1次の振動モードの剛性
d_b	サポートブームの1次の振動モードの減衰
ψ	モータの回転角
n	減速比
k_s	アンテナ駆動軸の軸剛性
d_s	アンテナ駆動軸の減衰

ナ追尾制御系の入力はモータ回転角 ψ となる。アンテナ追尾制御系にステップモータを用いると ψ を直接与えられることができると、DCモータを用いる場合にもモータ回転角をフィードバックすることで、近似的に ψ を与えるようにならすことができる。ダイレクトドライブモータのように直接 t_a を与えることのできる場合もあるが、ここでは ψ が入力となるような場合を対象とする。

3.3 系の応答特性

アンテナ追尾制御系の出力は、アンテナの慣性空間における指向角 α である。定常追尾時には、RFセンサによってアンテナ指向角と目標値との誤差を検出するが、目標値が慣性空間上で静止している場合を考えると、RFセンサによって慣性空間におけるアンテナの指向角 α を検出するとみなすことができる。すなわち、この場合の系の出力は次式で与えられる。

$$\alpha = \theta + \Phi'_{1q} + \phi \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

ここで、衛星本体の慣性モーメントが十分に大きい場合を考えて運動方程式から θ のダイナミックスを無視すると、減速比を考慮したモータ回転角 ψ/n からアンテナの指向角 α までの伝達関数は、次式で表される。

$$\frac{\alpha}{\psi} = \frac{(d_ss + k_s) \{ (M_{33} - \Phi'_l M_{23}) s^2 + d_bs + k_b \}}{(M_{22}s^2 + d_ss + k_s) (M_{33}s^2 + d_bs + k_b) - M_{23}^2 s^4} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

この伝達関数の形から $\omega_b = \sqrt{k_b/M_{33}}$ (サポートブーム

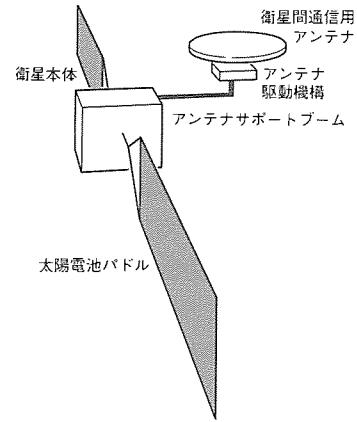


図4. アンテナ追尾制御を考察するためのモデル

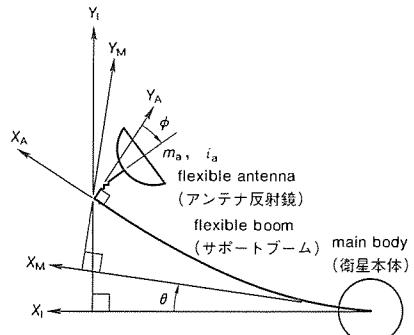


図5. アンテナ追尾制御を考察するための簡略化モデル

の固有振動数)の付近に共振と反共振をもち、

$\omega_a = \sqrt{k_s/M_{22}}$ (アンテナと駆動軸の固有振動数)の付近に共振をもつ振動系であることが分かる。一般に共振周波数において系の位相は遅れ、反共振周波数において系の位相は同じだけ進む。したがって、反共振周波数が共振周波数より低周波側にあると、系の位相の遅れることのない制御しやすい系であるといえる。この系では、 ω_a の付近には共振周波数しか存在しないので、位相の必ず遅れる制御しづらい系であると考えられる。一方、 ω_b の付近では共振周波数と反共振周波数のどちらかが低周波側にあるかが問題となる。上の伝達関数から、これらの共振、反共振周波数を摂動法により求めると次式となる。

サポートブームの共振周波数

$$\approx \omega_b \left| 1 + \frac{k_b M_{23}^2}{2M_{22} M_{33}^2 (\omega_b^2 - \omega_a^2)} \right| \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

サポートブームの反共振周波数

$$\approx \omega_b \left| 1 + \frac{\Phi'_l M_{23}}{2M_{33}} \right| \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

したがって、 ω_b と ω_a の関係によって共振周波数と反共振周波数の関係も変わり、特に $\omega_b < \omega_a$ であれば必ず共振周波数の方が低くなっている位相遅れの系となる。一般に、サポートブームの剛性はあまり高くはなく、 $\omega_b < \omega_a$ となる場合が多いので、その場合には ω_b の付近で一度位相が遅れ、 ω_a の付近で再び位相が遅れる、かなり制御の難しい系

となる。この一例を図6に示す。これは、運動方程式をもとに ψ/n から α への周波数応答をみたもので、 $\omega_b = 3.0\text{Hz}$, $\omega_a = 8.0\text{Hz}$ の場合である。予想されたように位相遅れの多い特性となっている。ただし、サポートブームの共振周波数と反共振周波数はかなり接近しているので、 ω_b の付近での位相遅れはさほど大きくはない。4章では、この系を対象にアンテナ追尾制御系の設計を行う。

4. 制御系の設計

4.1 基本的考え方

衛星間通信アンテナの追尾制御系の設計に際しては、多くの柔軟構造物から構成されていることより、システムダイナミックスの複雑さに慎重な配慮が必要である。特に、剛体と柔軟構造体が複雑につながり合ったシステムに対するこのアンテナ制御系は、従来の衛星姿勢制御系における柔軟構造物である太陽電池パドルの制御と比較し、

- 柔軟構造物であるサポートブームの先端にアクチュエータ(アンテナ駆動機構)が付属し、さらにその先端において高精度な指向精度が要求される。
- フィードバック信号であるRFセンサの出力信号に柔軟構造物の振動が直接影響する。

という点において異なっており、設計が困難なシステムとなっている。

柔軟構造物の安定化手法には、表3に示すように、柔軟構造物の振動周波数領域のゲインを下げて、その周波数領域の能動制御を行わない振幅安定化手法と、逆に、振動モードの

位相余裕を確保し、その振動を能動減衰させる位相安定化手法の二つの手法がある。表3から分かるように、各々の安定化手法により優劣があり、制御系への要求条件により、適切な選定が重要である。衛星間通信アンテナの追尾制御系のように、柔軟構造物が多数存在する制御対象では、APMとしてステップモータを使用したり、衛星本体のアクチュエータであるスラスターのようなインパルス的なトルクを発生する間欠型のアクチュエータを用いる場合、位相安定型の方式を採用すれば、システムのダンピングが高まり、振動モードの減衰を大きくでき効果的である。しかし、位相安定型の採用に関しては、制御対象の位相条件がそれほど悪くないことが条

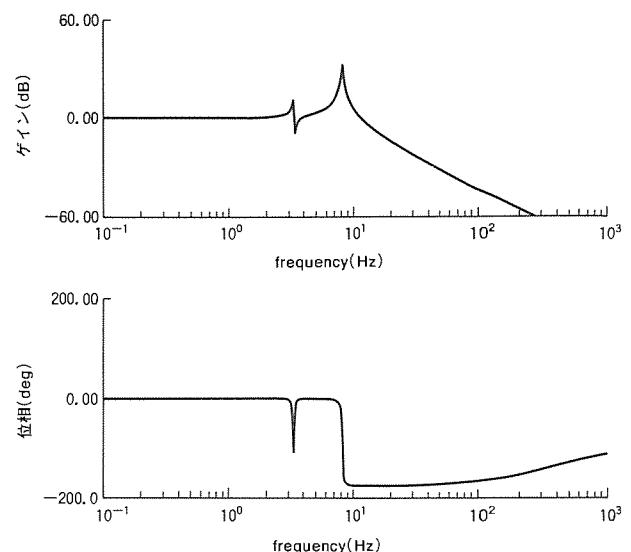


図6. モータ回転角からアンテナ指向角への周波数応答

表3. 制御システムの安定化手法

	振幅安定	位相安定
定義	<p>共振周波数におけるゲインを1以下とする。 (ゲイン余裕: $g_m > 0\text{dB}$)</p> <p>ω_c: クロスオーバ周波数 ω_n: 反共振周波数 ω_p: 共振周波数</p>	<p>共振周波数付近の位相余裕 ϕ_m を確保する。 ($0^\circ < \phi_m < 180^\circ$)</p>
長所	<p>(1) 位相は任意でよい。 (2) ζ の過大評価さえしなければ、パラメータの変動に 対して強い。 (3) センサ、アクチュエータ、コントローラの帯域は狭くてもよい。</p>	<p>(1) ゲインは任意でよい。 (2) 大きなダンピングを得ることができる。 (3) 制御系のゲインを大きく取れる。すなわち、速応性があり、外乱にも強い高精度な制御系が構成できる。</p>
短所	<p>(1) ダンピングの改善はできない(自然減衰のみ)。 (2) ω_c が ω_p で制限されるため、高ゲイン、高帯域の制御系が組めない。このため、制御精度、速応性に限界がある。</p>	<p>(1) 位相の厳密な管理・評価が必要である。 (2) センサ、アクチュエータ、コントローラの帯域として広いものが要求される場合がある。 (3) 高次モードには適用できないため、振幅安定をとる高次モードへのスムーズな移行に留意する必要がある。</p>

件となる。したがって、この観点からのシステム ダイナミクスを考察することが、安定化方式の選定において重要である。もし、この理由により、振幅安定型の制御系を採用する必要が生じたときは、アクチュエータの駆動周期と柔軟構造物との共振回避のためのロジックを付加した制御系とする必要がある。

以下では、3章で示した制御対象に APM として、ステップモータとハーモニックドライブを使用したときの定常追尾時 (RF センサ出力信号をフィードバック信号とする閉ループ制御時) の制御系として、位相安定型、振幅安定型の両者の設計結果について示す。

4.2 制御系の設計

位相安定型の制御系としては、MOS-1, ETS-V のロール／ヨー衛星姿勢制御系で採用した Zero-PID コントローラを使用する。これは、等価的な角加速度フィードバックを行い、共振周波数領域において進相効果を得ることによって安定化する方式である。具体的には、Zero-PID 制御器として以下の伝達関数で示すような、積分器と 2 次の進み遅れフィルタで構成する。

$$G_c(S) = \frac{K_i}{S} + K_p \frac{1 + 2\xi_l T_l S + (T_l S)^2}{1 + 2\xi_f T_f S + (T_f S)^2} \quad \dots \dots (8)$$

K_i : 積分ゲイン

K_p : 比例ゲイン

T_l : 2 次リードフィルタ時定数

T_f : 2 次ラグフィルタ時定数

ξ_l : 2 次リードフィルタ減衰定数

ξ_f : 2 次ラグフィルタ減衰定数

追尾受信機の出力信号である誤差信号を 2 次の進み遅れフィルタに通すことにより、擬似角加速度信号をダンピングを高めたい柔軟構造物の周波数領域に適用し、制御系によるアクティブダンピングを行うものである。積分器は、サーボ応答の定常特性を良くする目的で使用する。

振幅安定型制御系としては、PI (Proportional and Integr-

al) 制御系に共振周波数におけるゲイン余裕を確保するため、ローパスフィルタを付加したコントローラを使用する。以下に、伝達関数を示す。

$$G_c(S) = \left(\frac{K_i}{S} + K_p \right) \frac{1}{1 + 2\xi_f T_f S + (T_f S)^2} \quad \dots \dots (9)$$

K_i : 積分ゲイン

K_p : 比例ゲイン

T_f : 2 次ラグフィルタ時定数

ξ_f : 2 次ラグフィルタ減衰定数

積分器は、位相安定型と同様サーボ応答の定常特性を良くするためのものである。

さらに、ステップモータと振動モードとの共振回避のためデッドビート (deadbeat) 又はランダマイズ (randomize) ロジックを付加する必要がある。

デッドビート (deadbeat) ロジックとは、一度ステップモータへパルスを出力すると、必ず共振周波数の半分の周期で同一方向にパルスを出力することにより、振動の励起を抑えようとするものである。

ランダマイズ (randomize) ロジックとは、ステップモータの駆動信号に雑音信号を加えることにより、ステップモータのパルス間隔を適当に変動させ共振を防ぐものである。

制御系設計の前提条件として、ここでは定常追尾制御時の追尾精度要求 0.03deg として設計を行った。

図 7 及び図 8 に、各々の制御系を適用したときの周波数応答を示す。位相安定型 Zero-PID 制御系、振幅安定型 PI 制御系共に安定な系が構成されていることが分かる。

各々の制御系を適用したときのシミュレーション結果の一例を図 9 に示す。シミュレーション条件は、APM 内のハーモニックドライブの振動モードの共振周波数とステップモータの駆動周期が一致したときのケースであり、PI 制御系には、共振回避ロジックとしてデッドビート (deadbeat) 法を適用している。図から、制御目標である追尾精度 0.03deg は、いずれの制御系においても達成できているが、応答波形から

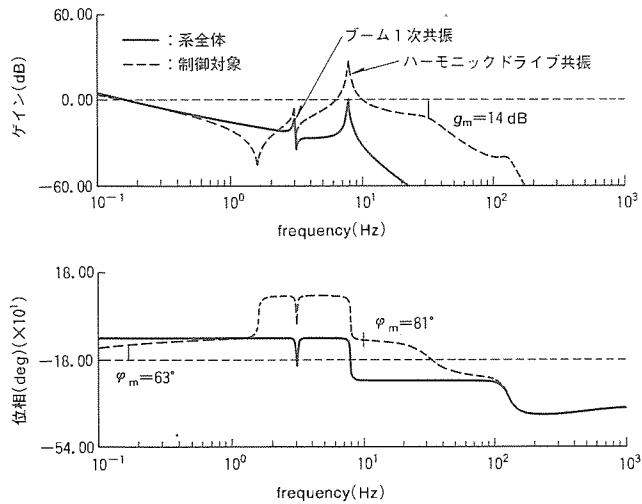


図 7 . Zero-PID 制御系の周波数応答

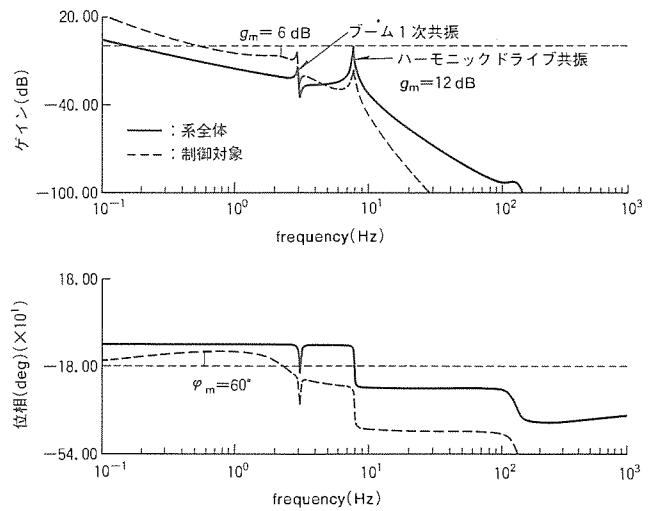


図 8 . PI 制御系の周波数応答

分かるとおり、Zero-PID 制御系の場合 PI 制御系と比較し共振回避ロジックを付加することなく、共振状態での追尾誤差を小さく抑えている。すなわち、Zero-PID 制御系の特徴であるアクティブダンピング効果により、優れた特性を持つことが分かる。

以上、衛星間通信アンテナの追尾制御系の設計例として、2章で示した制御対象に対して位相安定型と振幅安定型の各々の制御系の設計を行い、いずれの場合にも要求性能を満足する系が構成できることを示した。

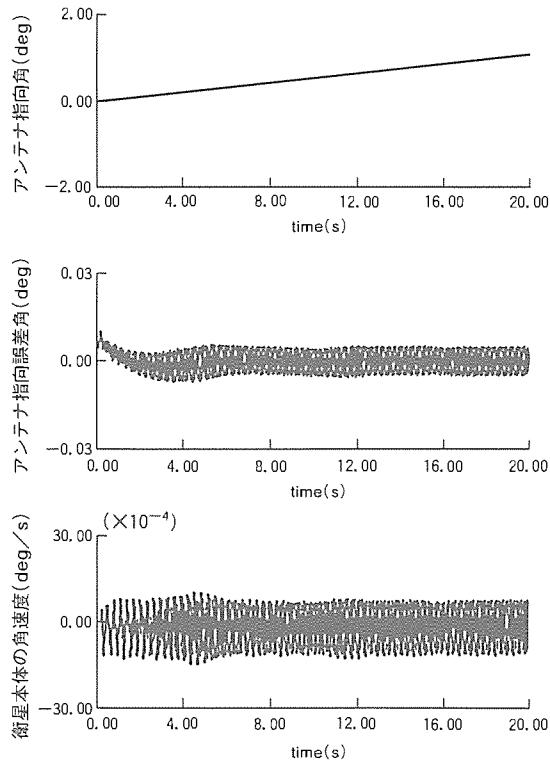
制御対象の位相条件がそれほど悪くなく、システムディレーラーが小さい系に対しては、位相安定型制御系を適用することにより、その優れたアクティブダンピング効果から柔軟構造物の振動を抑えることができ有効である。

5. ハードウェア構成

ここでは、2章で示した主要機能・性能を達成するためのハードウェア構成について述べる。

衛星間通信アンテナ駆動制御電子回路に要求される基本機能は、以下のとおりである。

- (1) 制御アルゴリズム処理
- (2) 軌道データ処理
- (3) 相対方位角計算処理
- (4) RF センサ及び角度センサ信号処理
- (5) フィードフォワード処理
- (6) 制御モード自動切替処理
- (7) テレメトリー・コマンド処理



(a) Zero-PID 制御系

図 9. シミュレーション結果(共振時の応答)

上記機能の中で、特に、制御アルゴリズム処理及びRF センサ及び角度センサ信号処理については、処理速度の遅れが制御系の安定性へ悪影響を与えるため、高速性が要求される。さらに、軌道データ処理及び相対方位角計算については、処理の複雑さからインテリジェンスな機能が要求される。

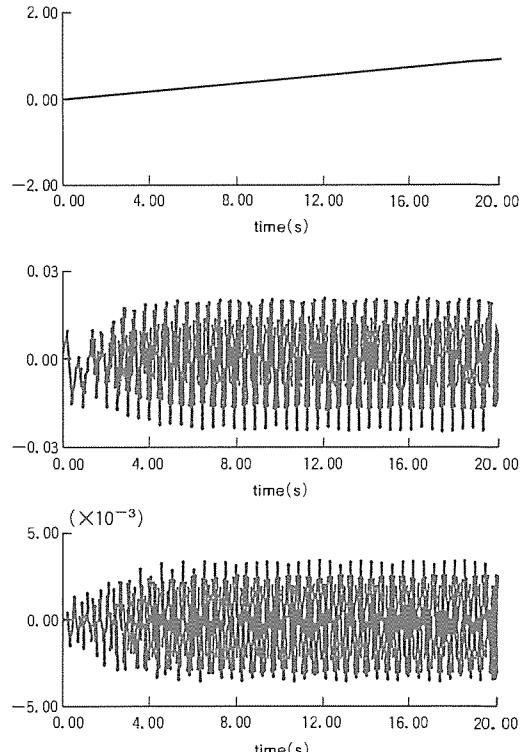
したがって、処理機能ごとに最適なハードウェア構成とすることが重要である。

衛星間通信アンテナの駆動制御電子回路の例として、ハードウェア機能ブロック図を図10に示す。図から分かるとおり、制御アルゴリズム処理は、そのディレーを小さくするハードウェア(例えば、DSP : Digital Signal Processor 又はアナログ回路)で実現することにより、制御系の安定性へ悪影響を及ぼさない構成とする。インテリジェンス処理部については、搭載計算機(OBC)によって実現する。

6. むすび

衛星間通信アンテナの追尾制御技術における制御対象のモデリング及び制御系の設計について報告した。今後は、ハードウェアを含めた実験システムにより、これらモデリング、設計の妥当性の検証を行っていく予定である。

アンテナ制御系を搭載する衛星システムでは、上記柔軟構造物の制御問題以外に、アンテナを駆動することによる衛星本体の姿勢変動への影響、同一システムに複数の制御系が存在することによる相互干渉の問題等多くの技術検討項目に対して検討を実施してきた。これらの検討結果については、別途機会を設け報告したい。



(b) PI 制御系(共振回避ロジック : deadbeat)

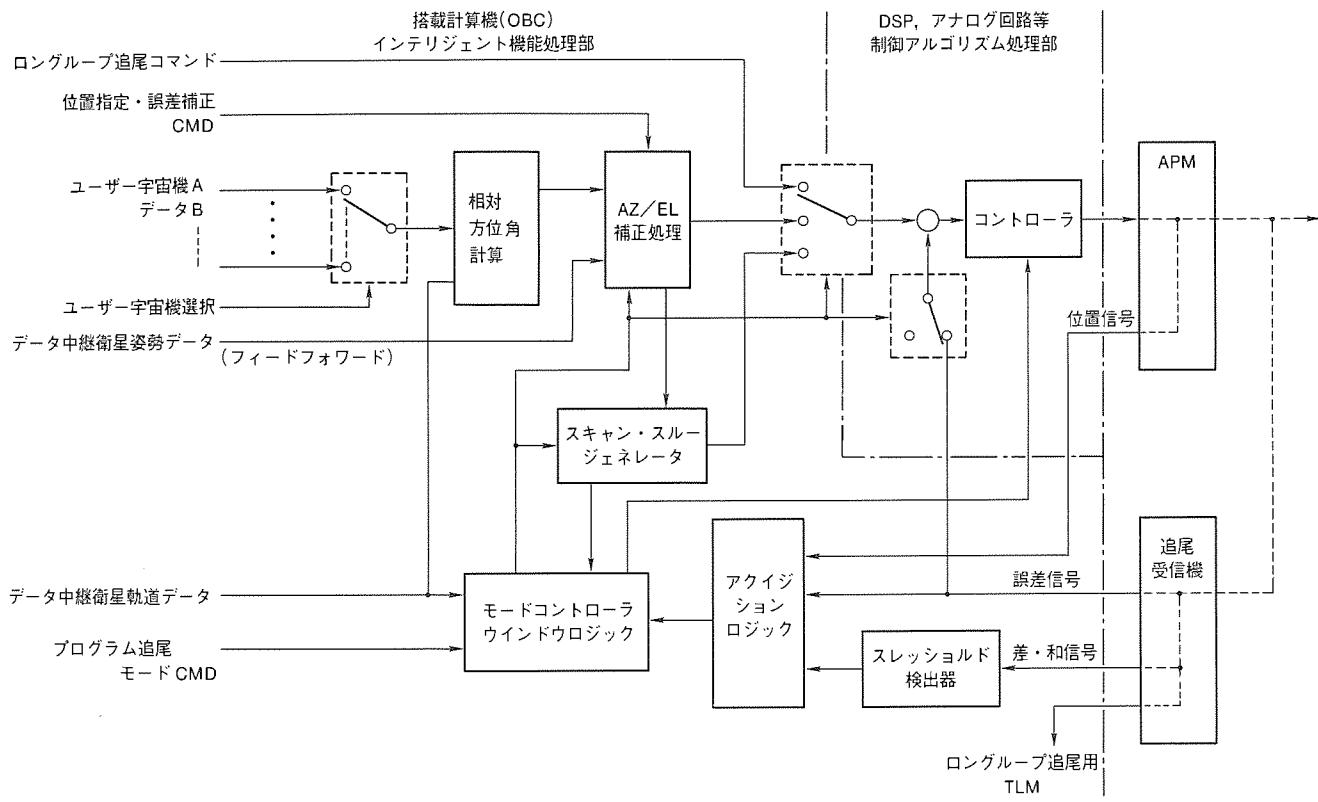


図10. 衛星間通信用アンテナの追尾制御電子回路機能のブロック図

参考文献

- (1) Mito, T., Awashima, A., Tsujino, Y., Doura, T.: Conceptual Study of Experimental Data Relay Satellite System, 16th ISTS, Sapporo, May, 495~496 (1988)
- (2) 川尻豊大, 三戸 宰, 道浦俊夫, 栗沢 晃, 長野 聰, 藤原勇一:実験用データ中継・追跡衛星システムの概要, 第33回宇宙科学技術連合講演会, 348~349 (1989)
- (3) 塩見 正, 安川交二:衛星間通信, 電子情報通信学会誌,

72, No.11, 1311~1316 (1989)

- (4) Schmeichel, H., McElroy, H.: TDRSS Single-Access Antenna Control System, AAS 80-007
- (5) Manabe, S., Tsuchiya, K., Inoue, M.: Zero PID Control for Bias Momentum Satellites, IFAC 8th Congress, Kyoto, Aug. (1981)
- (6) 名取直幸, 中川信雄, 山口哲郎, 吉田憲正:人工衛星の姿勢制御技術, 三菱電機技報, 61, No. 3, 36~40 (1987)

800MHz 帯デジタル自動車電話用 リニアアンプモジュール

小室勝哉* 阪本 進* 岸本 悟* 宮沢富士夫*

1. まえがき

自動車電話は、1980年代の中ごろからアナログ方式でサービスが開始され、それ以来現在に至るまで驚異的な加入者数の伸びを示している。近年では、特に加入者の多い都市部において、需要の増大により、通話チャネル数のひっ(逼)迫が生じており、その解決が急務となっている。

このような背景のもとに、アナログ方式から、周波数を有効に利用でき、秘話機能・データ通信などのサービスの高度化・多様化、通信機の小型化などの利点をもつデジタル方式への移行が鋭意進められており、1991年ごろから世界的な規模でサービスが開始される予定である。

デジタル通信方式では、周波数変調により、デジタル信号を送信するFSK方式と、位相変調によるPSK方式があるが、一般的には、位相変調によるPSK方式が多く検討されている。PSK方式によるデジタル通信では、 $\pi/4$ シフトQPSKという変調方式と、TDMAという通信方式が採用されるため、振幅位相についてひずみの少ないこと、立ち上がり／立ち下がり時間が十分に早いことといった特性が増幅器に要求される。当社では、このようなデジタル化に対応するため、直線性及びひずみ特性に優れた800MHz帯デジタル自動車電話用高周波高出力電力増幅器の開発を進めてきた。ここでは、PSKによるデジタル方式の特徴をまとめ、開発した高周波高出力増幅器の概要及び特性について報告する。

2. 位相変調系デジタル方式

2.1 アナログ方式との比較

アナログ方式とデジタル方式の主な違いは、それらの通信方式と変調方式にある。従来のアナログ方式は、通信方式が送信と受信が異なる周波数で同時に行われるデュープレックス方式、変調方式が周波数変調方式である。デジタル方式では、通信方式にTDMA、変調方式に $\pi/4$ シフトQPSKが採用される。表1にアナログ方式とデジタル方式の違いをまとめた。

2.2 TDMA⁽¹⁾

アナログ方式の通信方式は、送信周波数と受信周波数を45MHzずらし、常時送信と受信を行っているデュープレックス方式である。周波数の有効利用を図るために、

(1) 同一周波数を空間的に繰り返し利用する(セルラー方

式)。

(2) 必要時のみ空いているチャネルを探して送信し、時間的に有効利用する。

(3) 隣接チャネル間の帯域を狭くして、使用できるチャネル数を増やす。

といった方法が取られてきたが、近年の利用者の増大には対応できなくなってきた。

デジタル方式では、より一層周波数の有効利用を図るために、複数の移動局が一つの通話チャネルを時間領域で分割して使用する時分割多重接続、略してTDMA(Time Division Multiple Access)が採用される。デジタルTDMAでは、音声をデジタル信号に変換することにより、音声信号を1/3に時間圧縮し、一つの周波数を三つの移動局が利用できるようにしている。図1にデジタルTDMAの様子を示す。繰り返しの一つの周期をフレーム、送信時をバーストと呼ぶ。この方式では、一つのフレーム内を3分割して移動局の送信・受信・空き時間に当てる。空き時間の間に、移動局が今あるセルから隣接するセルへ移動する際の周波数変更などの処理を効率良く行えるという利点がある。

TDMAでは、短い周期で信号の送信が繰り返されるため、バースト時に増幅器の立ち上がり／立ち下がり時間を十分に早くする必要がある。

表1. 800MHz帯自動車電話デジタルとアナログの比較

システム	デジタル	アナログ
変調方式	$\pi/4$ シフトQPSK	周波数変調
通信方式	TDMA	デュープレックス 45MHzシフト
送信周波数	824~849MHz 832チャネル	

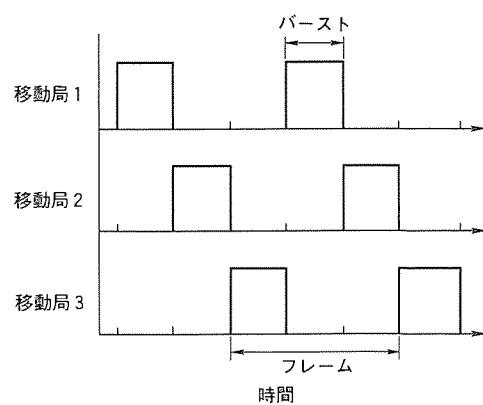


図1. TDMA

2.3 $\pi/4$ シフト QPSK⁽¹⁾

デジタル方式で採用される変調方式は、 $\pi/4$ シフト QPSK と呼ばれる位相変調方式である。QPSK (Quadri Phase Shift Keying) とは、図 2 に示すように、音声信号をデジタル化したデジタル信号列を 2 ビットずつに区切り、この 2 ビットのデジタル信号に対して、四つの位相を表す信号点を割り当て、これに対応して、搬送波の位相を変化させる変調方式である。

$\pi/4$ シフト QPSK は、一組の四つの信号点 ($0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$) と、これから $\pi/4$ ずれたもう一組の四つ信号点 ($\pi/4, 3\pi/4, 5\pi/4, 7\pi/4$) をもち、これら二組の信号点が、2 ビットごとに交互に使用される。このため、信号点が変化する場合に搬送波が不連続に変化し、振幅変調成分が発生する。 $\pi/4$ シフト QPSK を採用するデジタル方式に使用される増幅器は、位相により情報を伝達するため、この振幅変調成分による位相ひずみを小さくし、また、隣接チャネルへの影響を抑えるため、振幅変調成分による相互変調ひずみを小さくする必要がある。

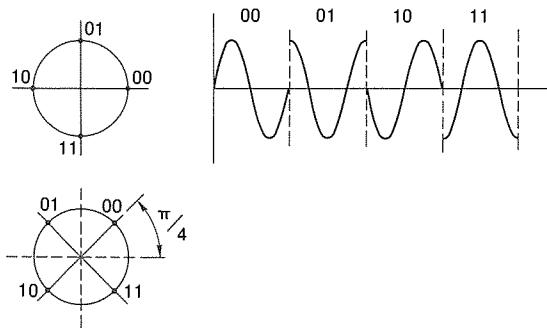


図 2. $\pi/4$ シフト QPSK

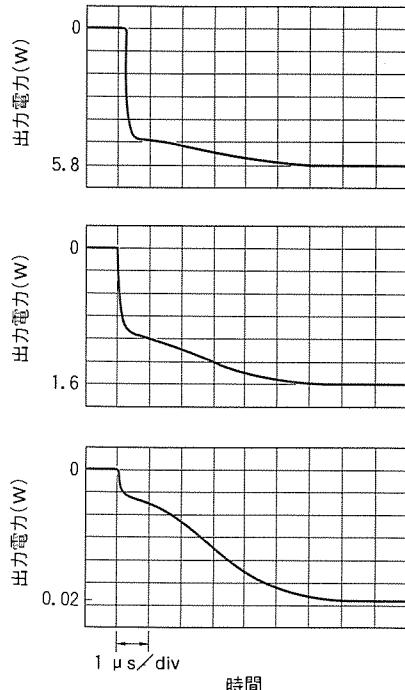


図 3. 終段 C 級動作増幅器の立ち上がり時間特性

3. 800MHz 帯デジタル自動車電話用高周波高出力増幅器

3.1 開発の目的

デジタル方式では、従来のアナログ方式に比べて、信号の立ち上がり／立ち下がり時間が十分に早いこと、相互変調ひずみ・位相ひずみの小さいことといった新たな特性が増幅器に要求される。相互変調ひずみ・位相ひずみを小さくするために、増幅器を構成するトランジスタの動作点を C 級から A B 級にすることは従来から行われてきた。また、立ち上がり／立ち下がりのスイッチング特性について、終段トランジスタが C 級動作の当社の 800MHz 帯増幅器を測定した結果、出力を小さくするほど立ち上がりのスイッチングタイムが遅くなる傾向があることが分かった。その様子を図 3 に示す。

このため、トランジスタを A B 級動作とした場合の相互変調ひずみ・位相ひずみ、立ち上がり／立ち下がりのスイッチングタイム等のデジタル化に対応した増幅器の主特性について検討する必要があった。

3.2 開発の方針

現在でも、デジタル通信方式のシステムスペックは未定の部分が多く、開発当初では、TDMA・ $\pi/4$ シフト QPSK に関する情報はあったが、出力電力などの情報が少なく、明確な仕様を設定することが困難であったため、開発する増幅器の主要特性について、表 2 にまとめた目標仕様を設定した。増幅器への入力電力が 100mW、電源電圧が 12.5V のときの出力電力を 10W 以上とした。相互変調ひずみを評価する指標としての 3 次相互変調ひずみは、当社 400MHz 帯 SSB 用増幅器の特性と同等とし、せん(尖)頭包絡線電力 6.0W において -27dBc 以下とした。位相ひずみは、入力電力の 10dB の変化に対して位相の変化を 10 度以下とした。信号の立ち上がり／立ち下がりのスイッチングタイムは、5 μs 以下とした。

3.3 増幅器の概要

以上の特性を実現するために、当社の高性能高周波高出力

表 2. 主要特性目標仕様

項目	条件	目標規格
出力電力	$f=824-849\text{MHz}$ $P_{in}=100\text{mW}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$	10W 以上
3 次相互変調ひずみ	$f=824-849\text{MHz}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$ $P_{o(PEP)}=6.0\text{W}$ (P_{in} 調整)	-27dBc 以下
位相ひずみ	$f=824-849\text{MHz}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$ $P_{in}=0.1-100\text{mW}$	$\pm 10\text{deg}/10\text{dB}$ 以内
立ち上がり／立ち下がりスイッチングタイム	$f=824-849\text{MHz}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$ $P_{in}=0.1-100\text{mW}$	5 μs 以下

Siバイポーラトランジスタを用い、3段の増幅器構成とし、全段A B級動作とした。図4に増幅器のブロックダイヤグラムを示す。800MHz帯で10Wの出力電力を得るために、各トランジスタの利得の配分を初段で8dB、第2段と終段でそれぞれ7dB、整合損失を2dBと見積った。尖頭包絡線出力電力6.0Wにおいて、3次相互変調ひずみを-27dBC以下にするために、出力電力バックオフを4dBと見積り⁽²⁾、終段トランジスタには、良好な直線性を得るために飽和出力電力が15Wクラスのチップを採用了。このチップのエミッタ周辺長は、約5.9mmでチップサイズは2.4mm×0.8mmである。

図5に、この増幅器の等価回路を示す。Siバイポーラトランジスタ3段構成で、三つのトランジスタのベースバイアス、初段・第2段トランジスタのコレクタバイアス、終段トランジスタのコレクタバイアスの3電源で、全段A B級動作のリニアアンプとした。ベースバイアス端子には8.0V、各コレクタバイアス端子には12.5Vを印加する。

以上の条件で、増幅器の入力・出力端の特性インピーダンスは50Ωとし、整合回路は、インダクタとしてAg/Ptの厚膜導体で印刷されたマイクロストリップ線路を行い、コンデンサはチップコンデンサを用いて、厚さ0.8mm、比誘電率9.4のアルミニナセラミック基板上に構成した。初段・第2段トランジスタは、放熱を助けるための銅プレートをアルミニナセラミック基板上に敷き、その上にチップをマウントした。終段トランジスタは、さらに放熱をよくするために、絶縁体で熱抵抗の低いペリリアでできたパッケージの中にチップをマウントし、このパッケージを直接銅の放熱板に取り付けた。増幅器全体の大きさは、キャップ・放熱板を含め、66mm×23.5mm×9.8mmである。図6に増幅器の内部写真を示す。

3.4 特 性

図7にベースバイアス電圧8.0V、コレクタバイアス電圧12.5V、周波数824MHz及び849MHzでの入力電力に対する出力電力の特性を示す。周波数824MHzでは飽和出力電力が13W、849MHzでは15Wであり、10W以上の出力電力を得ることができた。また、直線性についても、いずれも出力電力が8W当たりまで入力電力の増加に対して出力電力が直線的に増加しており、1dB利得圧縮時出力電力は10Wであった。このときに重要なことは、各トランジスタをA B級で動作させるために、トランジスタチップの直流電流増幅率などの特性分布を考慮してベース電位を設定することであるが、ベースバイアス抵抗を調整し、各トランジスタのアイドル電流を設定することにより、一定した特性を得

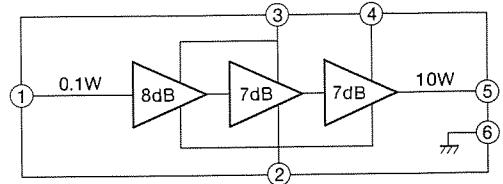


図4. ブロックダイヤグラム

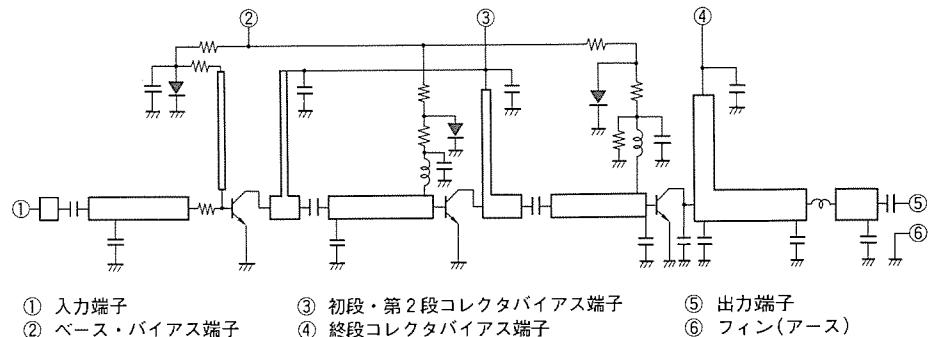


図5. 等価回路図

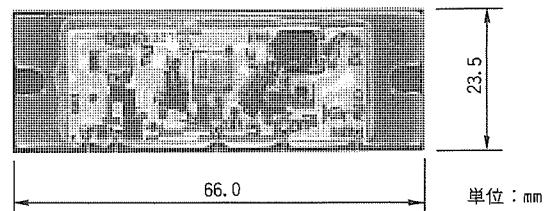


図6. 増幅器内部

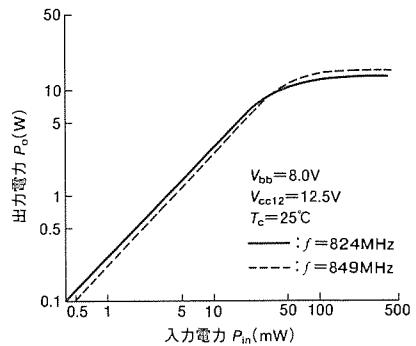


図7. 入出力特性

ることができた。

図8に、ベースバイアス電圧8.0V、コレクタバイアス電圧12.5V、周波数838MHzでの尖頭包絡線出力電力に対する3次、5次、7次の相互変調ひずみの特性を示す。尖頭包絡線出力電力6.0Wにおける3次相互変調ひずみは-34dBCである。3次相互変調ひずみは、終段トランジスタのアイドル電流を多く流すことにより、改善を図ることができるが、出力電力を制御した場合の効率や、トランジスタチップの破壊耐量を考慮し、バイアスはアイドル電流として140mA程度とした。また、3次相互変調ひずみが-30dBCのときの尖頭包络線出力電力は7.5Wで、この増幅器の飽和出力電力が約15Wであることより、定められた尖頭包絡線出力電力における3次相互変調ひずみを-30dBC以下に

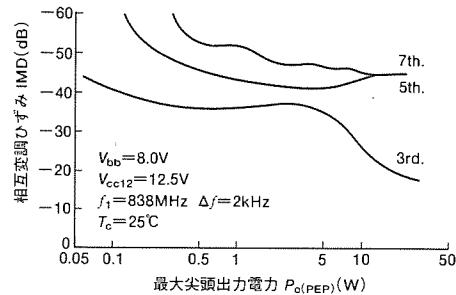
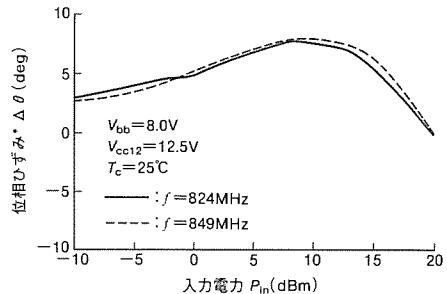


図8. 相互変調ひずみ特性



* 位相ひずみは、入力電力 20dBm, ベースバイアス電圧 8.0V, コレクタバイアス電圧 12.5V のときを基準とし、その基準からのずれとして評価した。

図9. 位相ひずみ特性

するためには、増幅器の飽和出力電力が、その尖頭包絡線出力電力の約 2 倍以上でなければならぬことが確認された。

図9に位相ひずみの特性として、ベースバイアス電圧 8.0V, コレクタバイアス電圧 12.5V, 周波数 824MHz 及び 849MHzにおいて、入力電力 20dBm のときの位相を基準として、入力電力に対する位相のずれを示した。いずれも位相のずれが全体で 8 度以内となり、良好な特性が得られた。

図10にベースバイアス電圧 8.0V, コレクタバイアス電圧 12.5V, 周波数 838MHzにおいて、出力電力が、15W, 5W, 0.1W のときの立ち上がり／立ち下がりの様子を示した。いずれも信号の立ち上がり／立ち下がりのスイッチングタイムは 1 μs 以下で、増幅器のトランジスタを全段 A-B 級で動作させることにより、先に示した終段が C 級動作の増幅器に比べ、良好な特性が得られた。

以上の結果を表3にまとめた。

4. むすび

800MHz 帯デジタル自動車電話用高周波高出力電力増幅器として、全段 A-B 級動作のリニアアンプを開発した。この増幅器は、デジタル自動車電話の送信段用として、他社に先駆けて開発したものである。相互変調ひずみ、位相ひずみ、信号の立ち上がり／立ち下がりのスイッチングタイムを

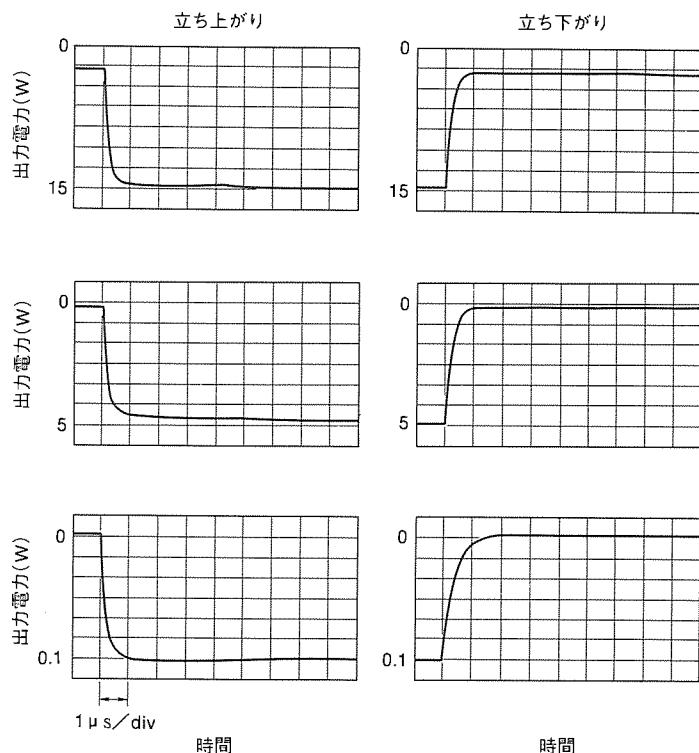


図10. スイッチングタイム特性

表3. 開発した 800MHz 帯リニアアンプの性能

項目	条件	目標規格	性能
出力電力	$f=824-849\text{MHz}$ $P_{in}=100\text{mW}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$	10W 以上	13W
3次相互変調ひずみ	$f=824-849\text{MHz}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$ $P_o(\text{PEP})=6.0\text{W} (P_{in} \text{調整})$	-27dBc 以下	-34dBc
位相ひずみ	$f=824-849\text{MHz}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$ $P_{in}=0.1-100\text{mW}$	$\pm 10\text{deg}/10\text{dB}$ 以内	$\pm 4\text{deg}/10\text{dB}$
立ち上がり／立ち下がり スイッチングタイム	$f=824-849\text{MHz}$ $V_{bb}=8.0\text{V}$ $V_{cc12}=12.5\text{V}$ $P_{in}=0.1-100\text{mW}$	5 μs 以下	1 μs 以下

評価した結果、各特性について全段 A-B 級動作のリニアアンプは良好な結果を示し、トランジスタの動作点の設定が各特性に大きく影響することが分かった。今回開発した増幅器は、通信機メーカー各社のデジタル自動車電話の開発に役立つものと期待される。

参考文献

- (1) 桑原守二：デジタルマイクロ波通信，企画センター（1984）
- (2) 大久保尚史，洞井義和，関根健治，磯 彰夫，市坪幾郎，木下康昭：移動体通信衛星用増幅器の高効率化について，電子情報通信学会論文誌，J73-B-II，No. 1，83~85（1990）

超高速 256K ビット CMOS SRAM シリーズ

石崎 統* 小杉龍一* 津田信浩* 岡本泰之** 松尾龍一*

1. まえがき

半導体デバイスは、最先端テクノロジーの結集といえる。なかでも CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) メモリは、高速化・高集積化・低消費電力化の進展スピードが著しく速い。特に高速化では、SRAM (Static Random Access Memory) が先端を歩み続けており、256K ビットクラスの CMOS SRAM は、1989年に 20~25ns へ突入した。

本来 SRAM は、DRAM (Dynamic Random Access Memory) に比べて外部クロックが不要で使いやすく、低消費電力化が容易である。これら SRAM のうち、低消費電力化よりも高速化を優先し、アクセス時間 55ns 以下となるものを高速 SRAM と呼ぶ。

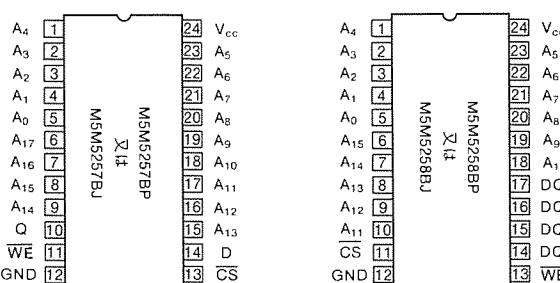
高速 SRAM は、スーパコンピュータのメインメモリ、コンピュータのキャッシュメモリ、及び高性能計測器等に使用され、大容量化が望まれる一方で限りなく高速化が求められている。さらに、近年、大型コンピュータのメインメモリ、コントロール用バッファメモリやワープステーション等のキャッシュメモリとして需要が急増しており、256K ビットクラスの 15ns 品や多ビット構成品の要求が一段と強い。

今回、このような市場動向に対応して、最大アクセス時間 15ns の超高速 256K ビット CMOS SRAM を 4 機種開発した。

本稿では、これら高速 SRAM の製品概要、設計・製造プロセス技術及び電気的特性について紹介する。

2. 製品概要

今回開発した超高速 256K ビット CMOS SRAM の主な特長は次のとおりである。



(1) 4 機種の豊富なバリエーション

256K ワード × 1 ビット、24 ピン…(M5M5257B)

64K ワード × 4 ビット、24 ピン…(M5M5258B)

32K ワード × 8 ビット、28 ピン…(M5M5278)

32K ワード × 9 ビット、32 ピン…(M5M5279)

M5M5257B と M5M5258B は、スルーホール (第 1 アルミ配線と第 2 アルミ配線の接続穴) 工程マスクの差し替えのみで作り分けられる (スルーホール マスタスライス)。また、M5M5278 と M5M5279 も同様にスルーホール マスタスライスによって作り分けられる (図 1, 表 1)。

(2) 高速アクセス時間

全機種とも最大アクセス時間は、15ns からラインアップしており、業界最高速を誇っている。

(3) TTL (Transistor Transistor Logic) 直結可能

全入出力端子は、TTL コンパチブルで使いやすくなっている。

(4) 小型パッケージ

全機種とも短辺方向の寸法が、300 mil の DIP (Dual In-line Package) と SOJ (Small Outline with J Leads) をラインアップした。パッケージ材には、低応力樹脂モールドを用いてデバイスの信頼性を向上している。

3. 設計技術

3.1 チップ構成

M5M5258B のブロック構成を図 2 に、チップ写真を図 3 に示す。任意のメモリセルを選択するためのアドレス入力は、X・Y・Z の 3 グループに分かれており、それぞれロウ選択・カラム選択・ブロック選択に用いる。メモリセルアレーは、全体で 256 ロウ × 1,024 カラムで構成され、カラム方向

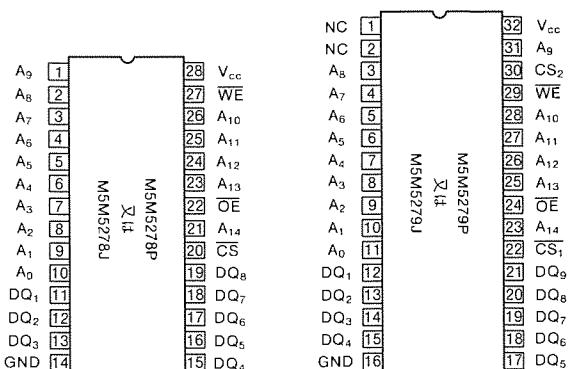


図 1. ピン配置

を32ブロックに分割している。1ブロックは、256ロウ×32カラムで構成され、16カラムが1センスアンプに接続される。M5M5257Bのチップ構成も同様である。異なるのは、スルーホールマスクのみの切替えによって、第1アルミ配線と第2アルミ配線の結線を変えて、データ出力を一つにまとめる

表1. M5M5257B/58B 及び M5M5278/79 の特長

項目	M5M5257B/58B	M5M5278/79
構成	256K語×1ビット(M5M5257B) 64K語×4ビット(M5M5258B)	32K語×8ビット(M5M5278) 32K語×9ビット(M5M5279)
プロセス	3層ポリシリコン ツインウェルCMOS	3層ポリシリコン ツインウェルCMOS
メモリセル	高抵抗負荷型NMOS	高抵抗負荷型NMOS
メモリセルサイズ(μm)	6.3×10.0	6.3×10.0
チップサイズ(mm)	4.54×10.69	4.60×11.89
使用電源	5V 単一	5V 単一
入出力レベル	TTL	TTL
アドレスアクセス時間(ns)	15/20(最大)	15/20/25(最大)
チップセレクトアクセス時間(ns)	15/20(最大)	15/20/25(最大)
電源電流(動作時)(mA)	130(15ns品)/120(20ns品)(最大)	140(15ns品)/130(20ns品)/120(25ns品)(最大)
△(待機時)(mA)	10(最大)	10(最大)

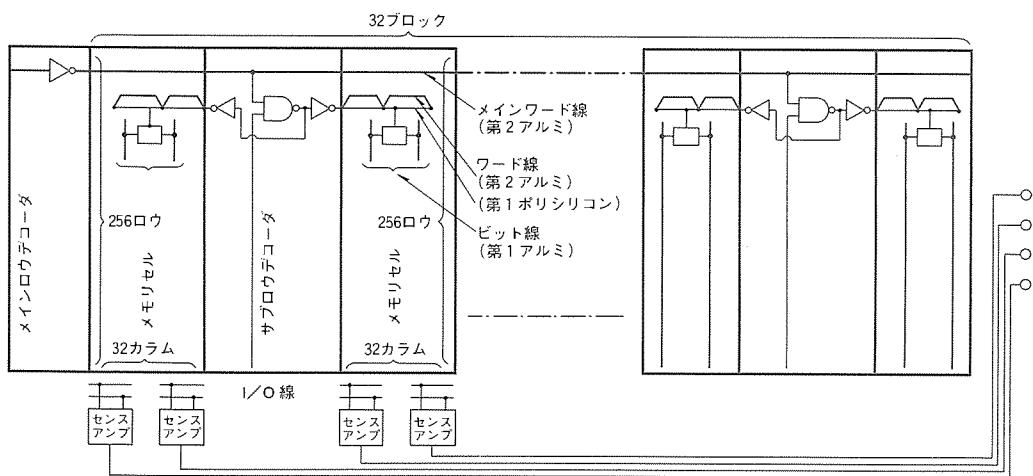


図2. M5M5258B のブロック構成

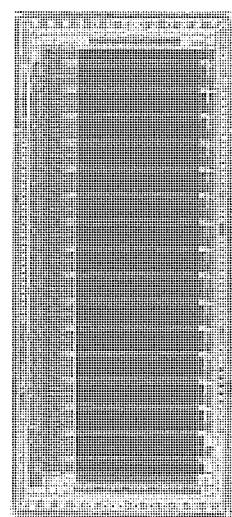


図3. M5M5258B のチップ写真

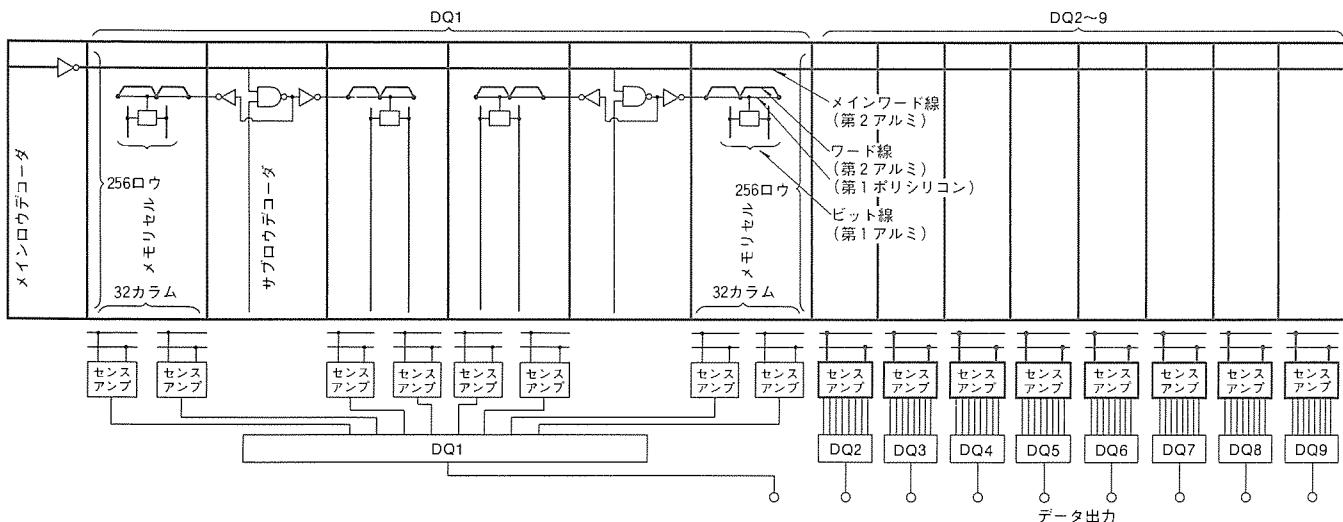


図4. M5M5279 のブロック構成

めたことである。リダンダントは、1ロウ・8カラム備えている。チップサイズは、4.54mm×10.69mmである。

次に、M5M5279のブロック構成を図4に、チップ写真を図5に示す。メモリセルアレーは、全体で256ロウ×1,088カラムで構成され、カラム方向を34ブロックに分割している。1ブロックは、256ロウ×32カラムで構成され、16カラムが1センスアンプに接続される。M5M5278のチップ構成も同様であるがスルーホールマスクの切替えによって、有効メモリブロックを32ブロックとしている。リダンダントは、M5M5279が1ロウ・9カラムで、M5M5278が1ロウ・8カラム備えている。チップサイズは4.60mm×11.89mmである。

3.2 高速化技術

(1) センスアンプ

高利得で高速に動作するカレントミラー型センスアンプを用いた。図6に示すように、カレントミラー型センスアンプを2段継続結線したものを用いて高利得と高速動作を図っている。

(2) 分割ワード線

当社独自の分割ワード線方式を用いた。図7に、ワード線選択回路を示す。これは、1ワード線を1デコーダで選択する従来方式を改良し、4ワード線をグループ選択する分割ワード線構成である。X0～X7及びZ0～Z3は、それぞれロウ選択及びブロック選択のアドレス入力信号である。また、X2～X7は、グローバルロウデコーダでプリデコードされ、ロウグループ選択線を活性化する。ロウグループ内の1本のワード線は、ブロックロウデコーダ内のX0・X1のプリデコード信号によって選択される。したがって、1ワード線に連なるメモリセルの数は32個であるため、ワード線負荷を大幅に低減できた。

(3) ワード線のアルミニウム(抗)打ち

グローバルロウデコーダの出力は、第2アルミニ配線とし、また、ブロックロウデコーダの出力とつながるワード線上に第2アルミニ配線を重ねて、ワード線の両端と中央を接続するようにした。こうすることで、ワード線の低抵抗化が図られ、高速化を達成した。

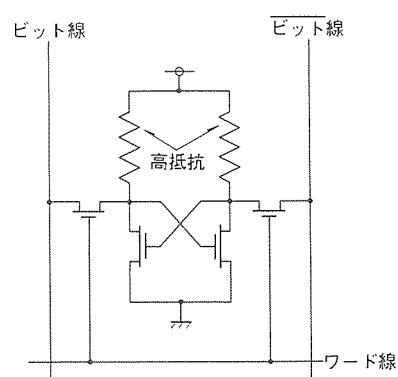


図6. センスアンプ回路

3.3 バンプ対策回路

電源電圧の変動後に読み出しをすると、ビット線・ $\overline{\text{ビット}}$ 線の電圧レベルが、センスアンプの最適感度領域にもどるまで時間がかかり、アクセス時間の低下を引き起こす。図8にメモリセルからビット線の回路を示す。通常のビット線ロードトランジスタと並列にゲートをビット線側に接続したバンプ対策トランジスタを付加した。ビット線の電位が電源電圧より上がると、バンプ対策トランジスタはONして、ビット線の電位をしばらく電源電圧にする効果があり、安定した読み出しが可能になった。

3.4 ノイズ低減技術

駆動能力の大きい出力バッファトランジスタがスイッチングするとき、電源電圧(V_{ce} , GND)に比較的大きなノイ

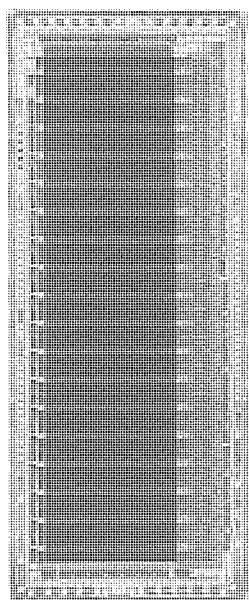


図5. M5M5279 のチップ写真

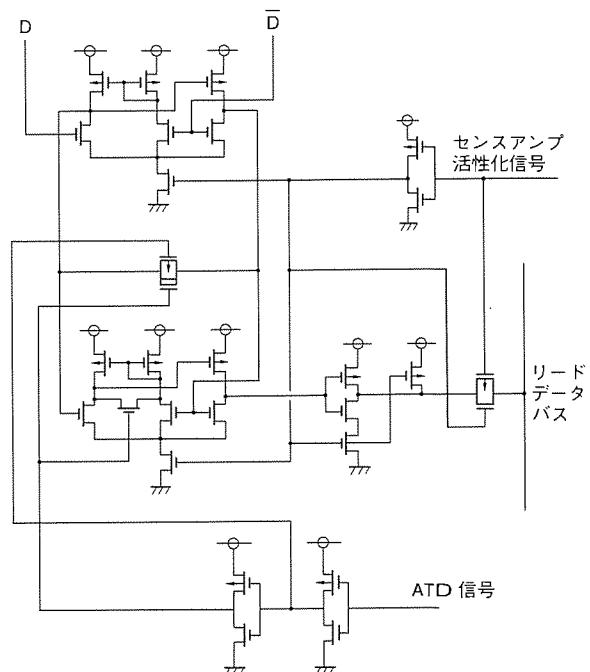


図7. ワード線選択回路

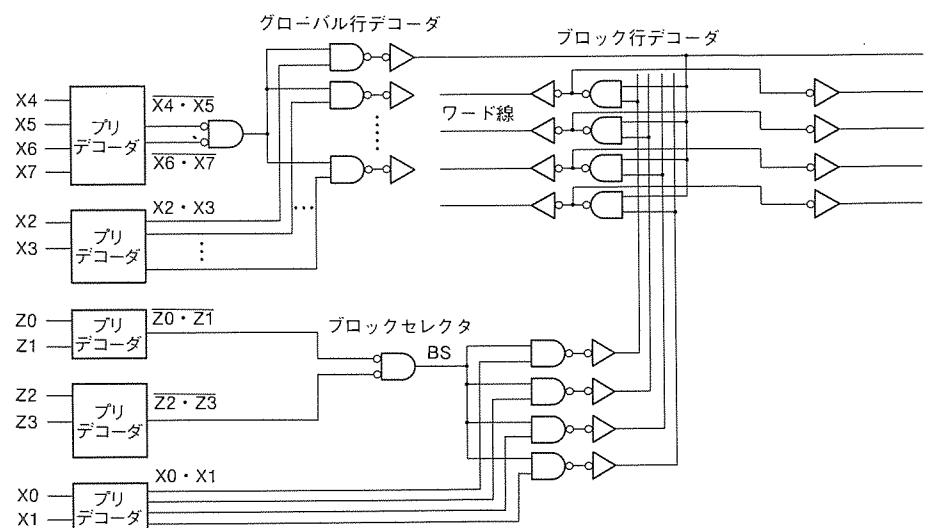


図8. メモリセルからビット線

ズが発生する。多ビット構成品では、さらにこのノイズが大きくなり、動作マージンの低下や誤動作の原因となる。

今回、これらのノイズ対策として出力バッファトランジスタのロード側をNチャネルで構成し、出力電圧の小振幅化を図っている。また、M5M5278/79については、出力バッファトランジスタのGND線及びボンディングパッドを4分割して、GND電位の安定化を図り、動作マージンの拡大が可能となった。

4. 製造プロセス

表2に従来の高速256K SRAMとのプロセスパラメータの比較を示す。製造プロセスは、N型基板ツインウェル・3層ポリシリコン・2層アルミ配線のCMOSである。

(1) 高性能トランジスタ

トランジスタの性能向上は、高速化に直接結びつく要素である。設計基準は0.8μmルールでゲート長は、Nチャネルトランジスタが0.8μm、Pチャネルトランジスタが1.0μmである。ホットキャリア効果によるトランジスタ特性の劣化防止のため、LDI構造を採用している。

(2) メモリセル形成(図9)

第1ポリシリコン(WSi_x ポリサイド)はゲート電極及びワード線に、第2ポリシリコンは V_{cc} 線とクロスカップ線に、第3ポリシリコンは高抵抗、第1アルミ配線はビット

線に、第2アルミ配線はグローバルロウデコーケー線(ビット線と垂直方向に4セルごとに1行配置される。)と第1ポリシリコンの抗打ち(第1ポリシリコンと並行に配置し接続する。)として用いている。ワード線の低抵抗化と低容量化を徹底的に追求し高速化を図っている。また、素子分離には改良LOCOS法を採用し、バースピークを片側0.15μm以下に抑制している。

(3) 2層アルミ配線

アルミ配線多層技術の信頼性保証は、重要なテーマである。エレクトロマイグレーション対策として、アルミ配線材料にはAlSiCu(アルミニウム・シリコン・カッパ)を使用し、またスルーホール内のアルミカバレッジを十分にとるため、スルーホールをテーパエッチ加工している。さらに、コンタクト内に形成されるアルミ配線へのシリコン析出防止及び接合部へのカッパの析出を防ぐために、TiN(チタン・ナイトライド)のバリアメタルを施している。

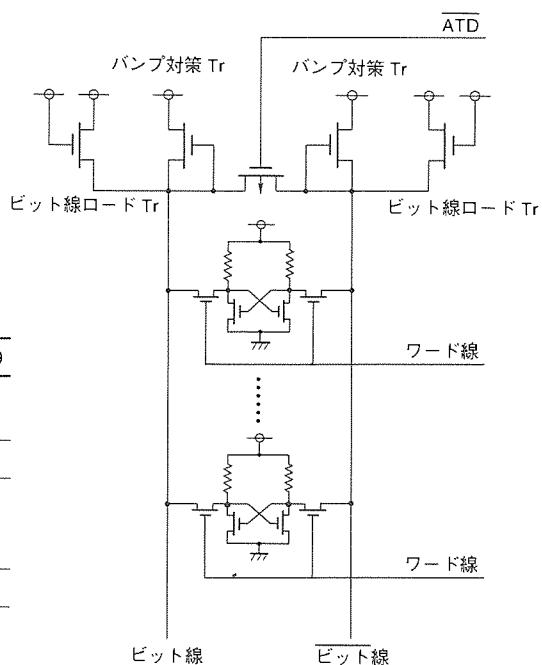


図9. SRAMのメモリセル回路

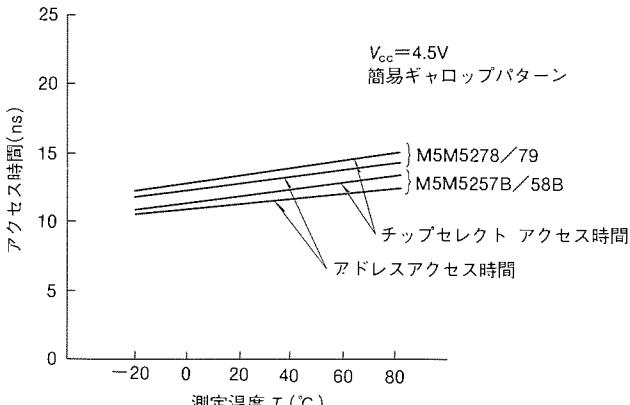


図10. アクセス時間—周囲温度(T_a)

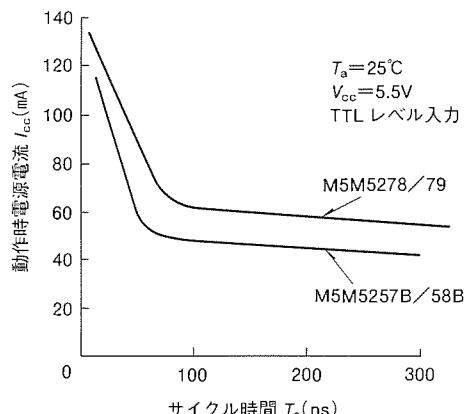


図11. 動作電流(I_{cc})—サイクル時間(T_c)

表3. 主要タイミング規格

単位: ns

項目	M5M5257B M5M5258B				M5M5278 M5M5279					
	15ns品		20ns品		15ns品		20ns品		25ns品	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大
読み出しサイクル時間 T_{CR}	15		20		15		20		25	
アドレスアクセス時間 $T_a(A)$		15		20		15		20		25
CSアクセス時間 $T_a(S)$		15		20		15		20		25
書き込みサイクル時間 T_{cw}	15		20		15		20		25	
書き込みパルス幅 $T_w(W)$	12		15		12		15		20	
アドレスセットアップ時間 $T_{su}(A)$	0		0		0		0		0	
CSセットアップ時間 $T_{su}(S)$	12		15		12		15		20	
データセットアップ時間 $T_{su}(D)$	10		12		10		12		15	
データホールド時間 $T_h(D)$	0		0		0		0		0	
ライトリカバリ時間 $T_{rec}(W)$	0		0		0		0		0	

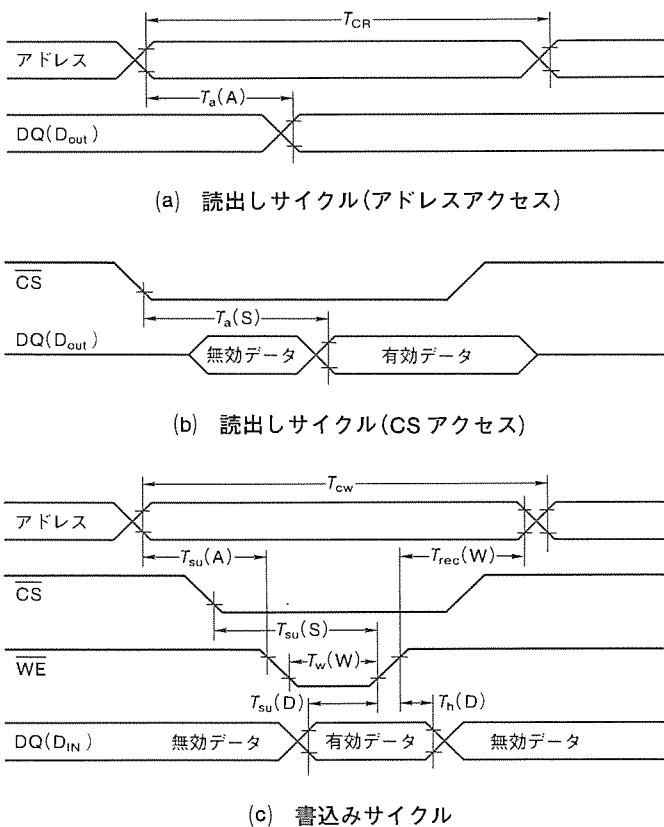


図12. タイミングチャート

5. 電気的特性

図10に、アクセス時間の周囲温度特性を示す。周囲温度が75°C、 $V_{cc}=4.5V$ の最悪条件で、M5M5278/79のチップセレクトアクセス時間は、14.5ns、M5M5275B/58Bのチップセレクトアクセス時間は13.5nsと高速性が維持されている。図11に、動作時電源電流(I_{cc})のサイクル時間(T_c)依存性を示す。サイクル時間15ns、 $V_{cc}=5.5V$ 、 T_a

=25°Cのとき、M5M5275B/58Bは116mAで、M5M5278/79は132mAとなっている。待機時には周辺回路でのDC電流を遮断しているので、MOSレベルの入力信号時で最大10mA、通常1mA以下に抑えることができた。

タイミング規格を表3に、タイミングチャートを図12に示す。アドレスセットアップ時間 $T_{su}(A)$ 、ライトリカバリー時間 $T_{rec}(W)$ の規格値を最小0nsとし、実使用上において使いやすい規格としている。

6. むすび

スーパコンピュータのメインメモリやコンピュータのキャッシュメモリとして発展してきた高速SRAMであるが、近年、ワークステーションやパーソナルコンピュータのキャッシュメモリや大型コンピュータのメインメモリ及びバッファメモリとしてアプリケーションが拡大し注目を浴びてきた。

今回、0.8 μm 設計ルールでツインウェルCMOS・3層ポリシリコン・2層アルミニ配線のプロセスを用いて、最大アクセス時 15ns という超高速 256K ビット SRAM・4 機種を開発した。これらを用いることにより、従来装置に比べて、はるかに高速度・高機能であるシステムの実現が可能となる。

今後、さらに 1M ビット・4M ビットなどの次世代高速SRAM の開発を行い、高速化・多ビット化・大容量化を推進していく。

参考文献

- 木原雄治、村上修二、南 ふゆみ、古賀 剛、中田幸子：超高速 256K SRAM、三菱電機技報、62, No. 8, 723~726 (1988)
- 菅野雅直、和田知久、杜 幸二郎、向井孝夫、河野芳雄：高速 1M ビット CMOS スタティック RAM、三菱電機技報、63, No. 11, 895~898 (1989)
- Flannagan, S., Pelly, P., Herr, N., Engles, B., Feng, T., Nogle, S., Eagan, J., Dunnigan, R., Day, L., Kung, R. : 8ns CMOS 64K×4 and 256K×1 SRAMs, IEEE International Solid-State Circuits Conference, Section8, TPM8.5, 134~135 (1990)
- 太田裕雄、中村健一、山梨光宏：256K/288K ビット高速スタティック RAM、東芝レビュー、44, No. 12, 958~960 (1989)

冷暖同時マルチエアコン

飯嶋 等* 隅田嘉裕* 田中直樹* 中村 節**

1. まえがき

1台の室外機に、複数台の室内機を接続した分散設置型のマルチ空調システムは、ビル用空調装置として飛躍的な発展をとげ、現在最もポピュラーな方式の一つとなっている。このシステムでは、室内機で各空調ゾーンごとの冷房・暖房が行われているが、冷房あるいは暖房を任意に選ぶことはできず、接続されている室内機がすべて冷房モードであるか、あるいはすべて暖房モードであるかの選択しかない。ところが、空調ゾーンによってはOA機器や照明による熱負荷が大きいため、通常暖房運転が選択される冬期にも、冷房が必要になる状況が頻繁に発生するようになってきた。現在のマルチ空調システムでは、このような状況に対応することはできないため、別系統の空調機を備えるなどの対策がとられてきた。しかし、このような対策でも、テナントやオフィスの大幅なレイアウト変更によって生じた冷暖房負荷の逆転などには対応することができない。

そこで、当社では新しいマルチ空調システムについて検討を進め、分流コントローラの新規な発想と冷媒回路、基本的制御法の発展によって、機器間の接続配管が2本のままで各室内機で冷房、暖房が任意に選択できる画期的な冷暖同時マルチエアコンを開発した。本稿では、この冷暖同時マルチエアコンの冷媒回路と動作を説明するとともに、その基本性能と容量制御に関する実験結果について述べる。さらに、製品化された冷暖同時マルチエアコン《シティマルチR 2シリーズ》の仕様や特長を紹介する。

2. 開発のねらい

冷暖同時マルチエアコンの製品開発では、

- (a) 同一の室外機に接続された複数の室内機の個々が、冷暖房を自由に行えること。
 - (b) 冷房室内機で吸熱した熱を暖房室内機に利用する熱回収運転により、高効率な運転ができること。
 - (c) 従来のマルチエアコンと同様に、各機器間を2本の配管で接続できること。
- などをねらいとした。

このようなねらいを実現する基本的な発想として、冷暖同時運転時に、室外機から室内側に気液二相状態の冷媒を供給し、ガス冷媒を暖房機で、液冷媒を冷房機で利用するとともに、暖房機で凝縮した冷媒を冷房機で再度利用する考えを導

入した。そして、この考えを実現する基本冷媒回路や制御法、気液二相配管、気液分離等の技術課題について検討を進めた。

3. 基本冷媒回路の構成と冷媒の流れ

3.1 基本冷媒回路の構成

上記の技術課題について種々の検討の結果、新しく考案した冷暖同時マルチエアコンの基本冷媒回路の構成を図1に示す。なお、図では室外機1台に室内機3台を接続した構成例を表している。図1に示したように、気液分離器や電磁弁の部分を分流コントローラとしてユニット化することにより、室外機と分流コントローラを2本の接続配管A、Bで接続でき、しかも分流コントローラと室内機をも2本の配管で接続することができる。

この冷媒回路の室外機と室内機は、従来のマルチエアコンと同一の要素で構成されている。すなわち、室外機は熱交換器・送風機・四方弁・アクチュエータ・圧縮機によって、また室内機は熱交換器、送風機、冷媒流量制御弁LEV₁、LEV₂、LEV₃によって構成されている。分流コントローラは、気液分離器・電磁弁・冷媒流量制御弁LEV₀で構成されている。

図1の回路では、冷媒の流れの項で述べるように、室外機から室内機側へは気液二相状態の冷媒が供給される。このため、気液二相状態の冷媒を気液に分離し、ガス冷媒のみを暖房室内機に、液冷媒のみを冷房室内機に供給するための機器として、分流コントローラ内に気液分離器を設けている。

3.2 各運転モードの冷媒の流れ

冷暖同時マルチエアコンの運転モードは、運転状態にある室内機のすべてが暖房又は冷房を行う暖房運転と冷房運転、及び室内機で暖房と冷房が共存する冷暖同時運転がある。さらに、冷暖同時運転では暖房容量が冷房容量より大きい暖房主体運転と、冷房容量が暖房容量より大きい冷房主体運転があり、合計四つの運転モードがある。以下、各運転モードの冷媒の流れを図2(a)~(d)を用いて簡単に説明する。

3.2.1 暖房運転

暖房運転では、図2(a)に示したように圧縮機によって吐出された高温高圧冷媒ガスは、接続配管Aから分流コントローラを経由して各室内機に導入され、熱交換(暖房)して凝縮液化される。この液冷媒は、冷媒流量制御弁LEV₁、LEV₂、LEV₃によって低圧まで減圧されたのち、室内機間接続配管から分流コントローラを通り、接続配管Bによって

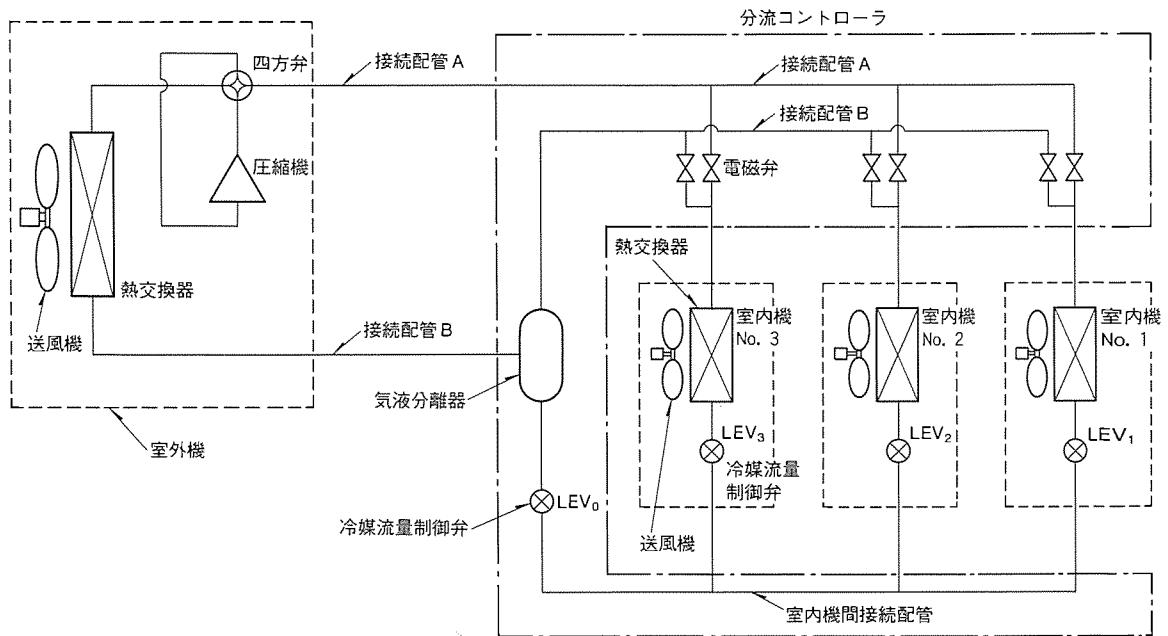


図1. 冷暖同時マルチエアコンの基本冷媒回路の構成

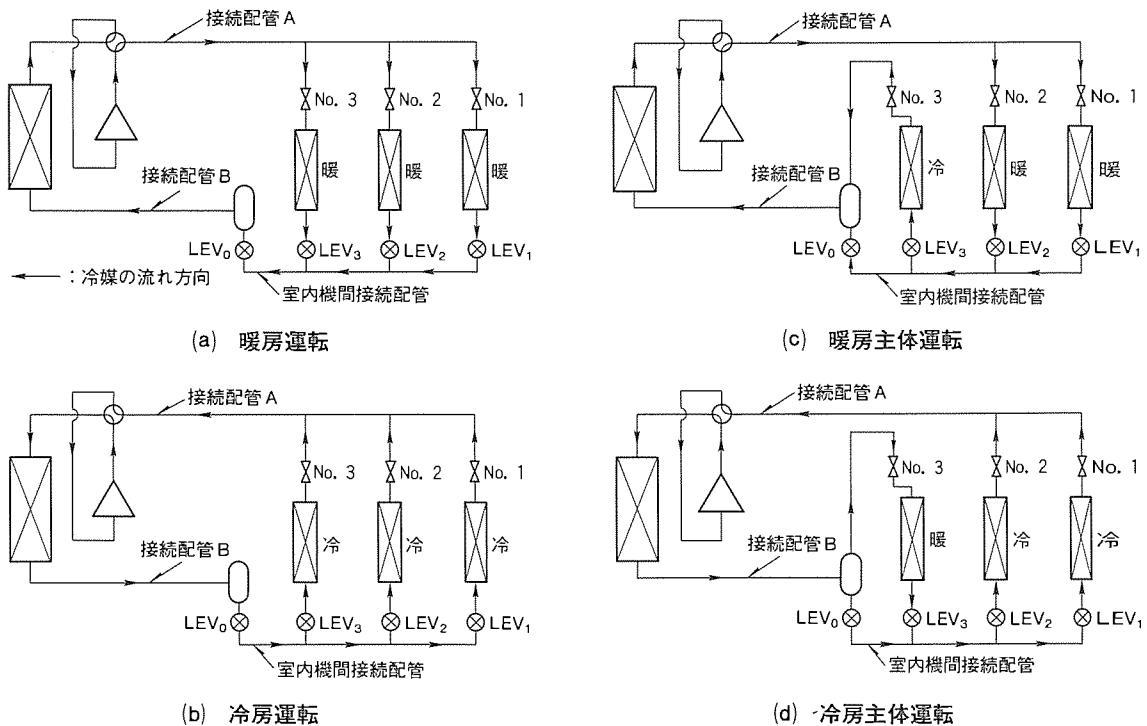


図2. 基本冷媒回路の冷媒の流れ

室外側に導かれて室外熱交換器で熱交換され圧縮機に吸入される。

3.2.2 冷房運転

冷房運転では図2(b)に示したように、圧縮機から吐出された冷媒が、四方弁によって室外熱交換器に導かれ熱交換して凝縮液化する。この液冷媒は、接続配管Bから分流コントローラの室内機間接続配管を経由して各室内機に流入する。各室内機に流入した冷媒は、冷媒流量制御弁LEV₁, LEV₂, LEV₃によって低圧とされ熱交換(冷房)して蒸発し、分流コントローラから接続配管Aに流入して室外側に戻り圧縮機

に吸入される。

3.2.3 暖房主体運転

暖房主体運転では図2(c)に示したように、圧縮機から吐出された冷媒ガスは、接続配管Aから分流コントローラを経由して暖房室内機No.1, No.2に流入し熱交換(暖房)して凝縮液化される。この液冷媒は室内機間接続配管に流入して、一部の冷媒は冷房室内機No.3に導かれ、冷媒流量制御弁LEV₃によって低圧とされたのちに熱交換(冷房)し、蒸発ガス化されて分流コントローラの気液分離器に流入する。一方、他の冷媒液は室内機間接続配管に設けた冷媒流量制御弁

LEV_0 により、減圧され気液二相状態となって気液分離器に流入し冷房室内機No. 3からのガス冷媒と合流する。合流した冷媒は、接続配管Bから室外機に戻り室外熱交換器で蒸発し圧縮機に吸入される。

3.2.4 冷房主体運転

冷房主体運転では図2(d)に示したように、圧縮機から吐出された高温高圧冷媒ガスは、室外熱交換器で送風機の回転数制御等によって一部の冷媒が液化した気液二相状態となって接続配管Bから分流コントローラ内の気液分離器に流入する。ここで、冷媒はガスと液とに分離され、分離されたガス冷媒は、暖房室内機No. 3に導入され熱交換(暖房)して凝縮液化し、冷媒流量制御弁 LEV_3 から室内機間接続配管に流入する。一方、分離された冷媒液は、室内機間接続配管に流入して暖房室内機からの冷媒と合流し、冷房室内機No. 1, No. 2に流入する。この液冷媒は、冷媒流量制御弁 LEV_1 , LEV_2 によって減圧された後に熱交換(冷房)し、蒸発ガス化して分流コントローラを経由し接続配管Aから室外機に戻る。

4. 実験装置と実験方法

図2に示した基本冷媒回路の動作を確認するため、図3に示すように3HPの室外機1台と1HPの室内機3台及び分流コントローラを接続した実験装置を製作した。室外機は、インバータ駆動のロータリ圧縮機・熱交換器・四方弁・アクチュエータで構成し、室内機は熱交換器、冷媒流量制御弁 LEV_1 , LEV_2 , LEV_3 によって構成した。なお、熱交換器は能力測定の精度向上などのため、二重管で構成された冷

媒・水熱交換器を利用し、管内に冷媒、環状部に循環水を流した。

分流コントローラは、気液分離器、冷媒流量制御弁 LEV_0 、冷暖房モードで冷媒流路を切り替える電磁弁6個及び LEV_0 制御の安定化のために設けたサブクール熱交換器によって構成した。

気液分離器は、高性能気液分離器の研究⁽²⁾⁽³⁾で得られた知見を基に遮へい板や渦消し板を設けて小型高性能化を図り、分流コントローラ内に組み込んだ。

サブクール熱交換器は二重管で構成し、冷房主体運転時に LEV_0 入口の冷媒液を冷却する。冷媒液の冷却は、気液分離器で分離した冷媒液の一部を毛細管で減圧し低温として行う。

冷媒回路の各部の圧力と温度は、図3中の記号P, Tで示す位置に圧力変換器とT型熱電対を設けて測定し、冷媒・水熱交換器の循環水の流量はタービンフローメータ、温度は水晶温度計で測定した。

実験では表1に示したように、各運転モードで圧縮機の運転周波数と室外熱交換器の循環水の流量を変化させ、能力や圧縮機入力等の特性を調べた。

5. 実験結果と考察

5.1 運転特性

5.1.1 暖房運転特性と冷房運転特性

表1に示した条件の運転で得られた室内機合計の冷暖房能力と圧縮機入力を表2に示す。

この運転では、圧縮機運転周波数を室内機の運転台数に応じて変化させ、室内熱交換器の循環水流量は $1.67 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

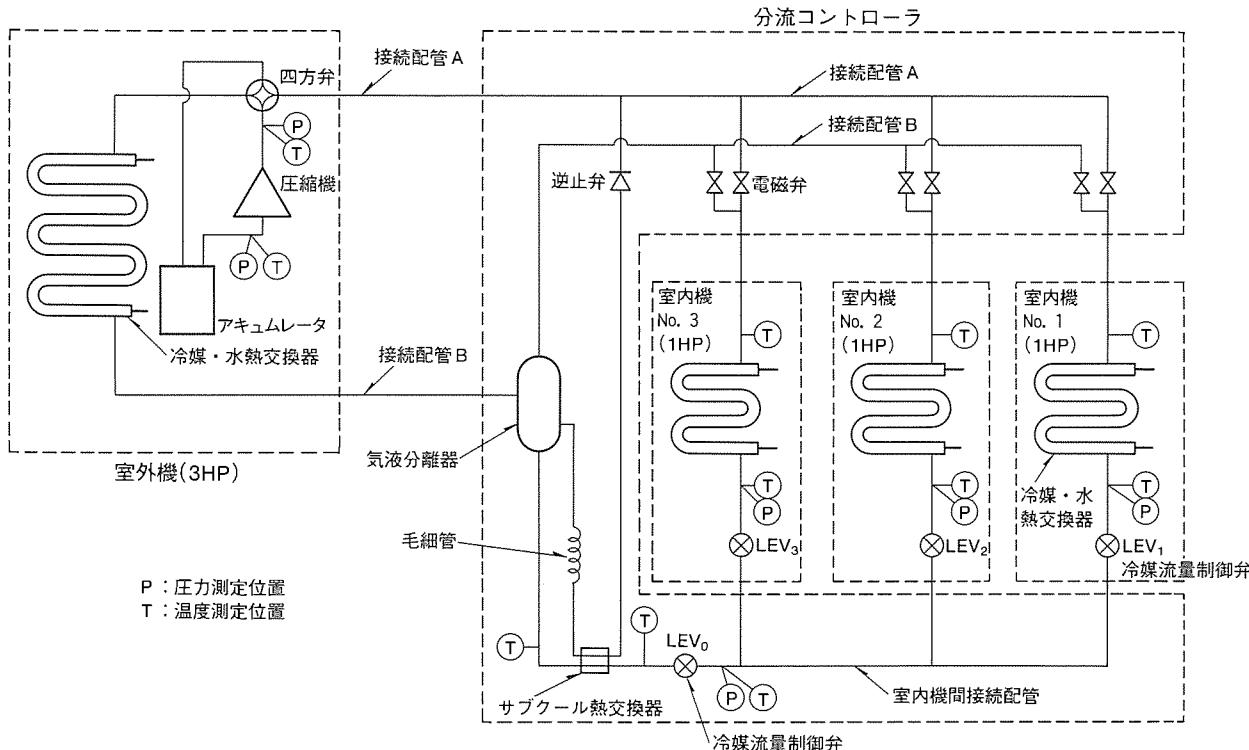


図3. 実験装置の冷媒回路

/s で一定とした。

各室内機の冷媒流量は、冷媒流量制御弁 LEV₁, LEV₂, LEV₃ で熱交換器出口状態が暖房時には 10°C 過冷却した液状態、冷房時には 5°C 過熱したガス状態にそれぞれ制御し、LEV₀ は全開とした。これらの制御の結果、ほぼ設計どおりの能力が得られた。

5.1.2 暖房主体運転特性

暖房主体運転では、表 1 に示したように 1HP の室内機 2 台で暖房運転、1 台で冷房運転を行い、圧縮機運転周波数と室外熱交換器の循環水の流量をそれぞれ 50Hz と 0 m³/s に固定して、冷暖房能力と圧縮機入力などの特性を調べた。表 3 に示すように、各室内機の冷媒流量は冷媒流量制御弁 LEV₁, LEV₂, LEV₃ によって、暖房室内機では 11°C 過冷却した液状態、冷房室内機は 5.0°C 過熱したガス状態に制御し、LEV₀ は室内機間接続配管の冷媒が 6.0°C 過冷却した液状態に制御した。これらの制御の結果、室外熱交換器の吸熱量をなくして暖房能力と冷房能力が同時に利用できるため、この能力の合計は表 2 に示す室内機 2 台の暖房運転に比べ、約 19% 大きい 9.1 kW が得られ COP (成績係数) としても約 25% 大きい高効率が達成できた。

5.1.3 冷房主体運転特性

冷房主体運転では、1HP の室内機 2 台で冷房運転、1 台で暖房運転を行い、暖房主体運転と同様に圧縮機運転周波数と室外熱交換器の循環水の流量をそれぞれ 50Hz と 0.38 × 10⁻⁴ m³/s に固定して、冷暖房能力と圧縮機入力などの特性を調べた。表 3 に示すように、各室内機の冷媒流量は冷媒流量制御弁 LEV₁, LEV₂, LEV₃ によって、暖房室内機では 11°C 過冷却した液状態、冷房室内機は 5.0°C 過熱したガス状態に制御した。また、気液分離器で分離された液冷媒は、サブクール熱交換器によって 59°C から約 12°C まで冷却されることにより、LEV₀ 通過後も 6°C 過冷却した液状態となっている。これらの制御の結果、冷房機で吸熱した熱を暖房機に利用する熱回収と高性能気液分離器の効果により、冷房と暖房の合計能力は表 2 に示す室内機 2 台の冷房運転に比べ約 46% 大きい 8.5 kW が得られ、これに伴って COP も約 40% 大きい高効率が達成できた。

これらの冷暖同時運転時の各室内機への冷媒の分配は、冷媒流量制御弁 LEV₁, LEV₂, LEV₃ によって、冷房機では過熱度、暖房機では過冷却度を制御し、LEV₀ は室内機間接続配管の冷媒の過冷却度を制御することによって最適に行えた。

5.2 容量制御特性

5.2.1 主体運転側容量制御特性

圧縮機周波数を 32~70Hz と変化させ、主体運転側の能力を大きく変化させる容量制御を行い、得られた冷暖房能力と COP の特性を図 4 (a), (b) に示した。

暖房主体運転では図 4 に示したように、圧縮機の周波数を

表 1. 実験条件

運転モード	室内ユニット 運転台数(台)	圧縮機運転 周波数(Hz)	循環水	
			温度(°C)	流量(×10 ⁻⁴ m ³ /s)
暖房	1	32	凝縮器側 40 蒸発器側 15	室内熱交換器 循環水 1.67
	2	50		
	3	70		
冷房	1	32	凝縮器側 42 蒸発器側 17	室外熱交換器 循環水 4.17
	2	50		
	3	70		
暖房主体	暖房 2	32, 50, 70	凝縮器側 40 蒸発器側 15	室外熱交換器 循環水 1.67
	冷房 1			
冷房主体	暖房 1		凝縮器側 40 蒸発器側 15	室外熱交換器 循環水 0~4.17
	冷房 2			

表 2. 暖房運転及び冷房運転時の運転特性

運転モード	室内ユニット 運転台数(台)	圧縮機運転 周波数(Hz)	能 力(kW)	圧縮機入力 (kW)	COP
暖房	1	32	4.82	1.67	2.88
	2	50	7.64	2.54	3.01
	3	70	10.03	3.54	2.83
冷房	1	32	3.29	1.40	2.35
	2	50	5.90	2.40	2.46
	3	70	7.88	3.67	2.15

表 3. 冷暖同時運転時の運転特性

運転モード		暖房主体	冷房主体
圧縮機周波数(Hz)		50	50
室外機循環水流量(m ³ /s)		0	3.8 × 10 ⁻⁵
室内能力(kW)	暖 房	6.42	5.22
	冷 房	2.68	3.36
	合 計	9.10	8.58
COP		3.74	3.41
圧縮機	吐出	圧力(MPa)	1.96
		温度(°C)	98.1
	吸入	圧力(MPa)	0.33
		温度(°C)	-4.0
室内熱交換器出口状態(°C)	No. 1	SC* = 11.3	SH** = 3.9
	No. 2	SC* = 10.8	SH** = 4.6
	No. 3	SH** = 4.7	SC* = 9.8
サブクール熱交換器出口状態(°C)		—	SC* = 37.0
室内機間接続配管	圧力(MPa)	1.96	1.56
	温度(°C)	SC* = 6.0	SC* = 110

注 * : サブクール、** : スーパーヒート

32~70Hz まで変化させることにより、主体運転の暖房能力を約 4.2~6.8 kW まで広範囲に容量制御することができる。この運転では、従運動側の冷房能力も約 2.8~4.0 kW と変化している。また、COP は 32Hz のときに最大で 5.0 と高効率な運転が達成されている。

一方、冷房主体運転では図 4 に示しているように、圧縮機の周波数を 32~70Hz まで変化させることにより、主体運動の冷房能力を約 3.4~6.4 kW まで広範囲に容量制御する

ことができる。この運転での従運動側の冷房能力は、約3.0~4.0kWと主体運動の変化に比べ比較的小さい。COPは、暖房主体運動と同じく32Hzのときに最大で4.2と高効率な運動が達成されている。

5.2.2 従運動側容量制御特性

暖房主体運動及び冷房主体運動において、圧縮機周波数を50Hzに固定し、室外熱交換器の循環水の流量を $0\sim4.17\times10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ まで変化して得られた冷暖房能力の特性を図5(a), (b)に示した。

図5から暖房主体運動では、循環水の流量(空気熱源の装置では送風機の回転数)を制御し、室外熱交換器の熱交換量を変化させることにより、従運動の冷房能力を3.5~0.4kWまで広範囲に容量制御できることが分かる。なお、この運動では、主体運動の暖房能力も5.8~8.8kWと循環水の流量の変化に伴い変わるが、循環水の流量と同時に圧縮機周波数を制御することによって主体運動の暖房能力を一定に保つことができる。

一方、図5に示した冷房主体運動では、循環水の流量を制御し室外熱交換器の熱交換量を変化させることにより、主体運動の冷房能力をほとんど変えることなく、従運動の暖房能力を3.4~1.0kWまで広範囲に制御できることが分かる。

COPは、暖房主体運動、冷房主体運動とともに、循環水の流量の減少に伴って室外機での熱交換量が低下し、室内機で利用できる熱量が増加するため若干上昇している。

5.2.3 気液二相配管の圧力損失による運動特性

この冷暖同時マルチエアコンでは、冷暖同時運動時に室外機と分流コントローラを接続する配管の冷媒状態が気液二相となり、圧力損失が比較的大きくなる傾向がある。そして、特にこの配管部分が低圧の気液二相となる暖房主体運動で能力に大きく影響することが考えられ、シミュレーション⁽⁴⁾によって圧力損失の影響について検討を行った。シミュレーション結果は、図6に示しているように接続配管の圧力損失が大きくなると、暖房能力は約5.8~3.4kW、冷房能力は約3.7~0.2kWに低下し、COPも3.7~2.2まで大幅に低下する。したがって、実機では室外機と分流コントローラを接続する配管の圧力損失を十分考慮して設計する必要がある。

6. 製品仕様と特長

2章で説明した基本冷媒回路と制御を更に発展させ、製品化を行った冷暖同時マルチエアコン《シティマルチR2シリーズ》のシステム構成とその製品仕様を図7と表4に示し、その主な特長を下記に示す。

(1) 各種のタイプ、能力の室内機のほか、外気処理用ユニッ

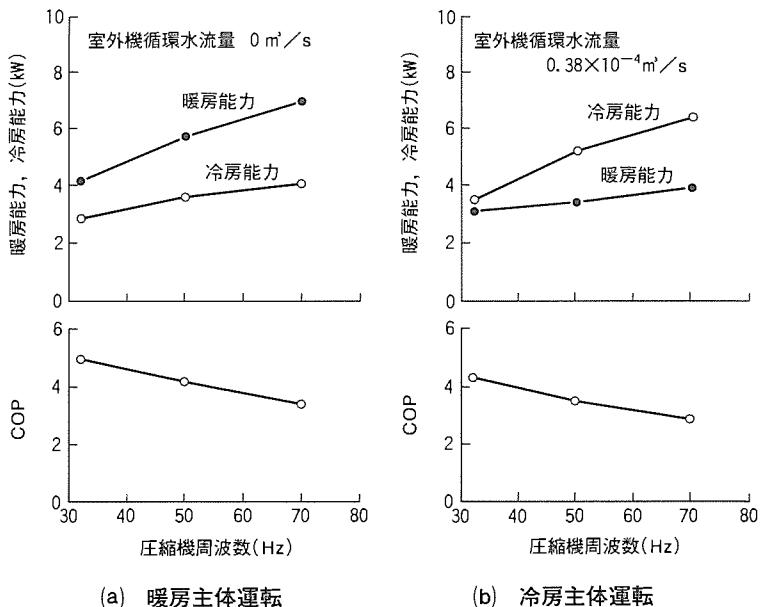


図4. 冷暖同時運動時の圧縮機周波数による容量制御特性

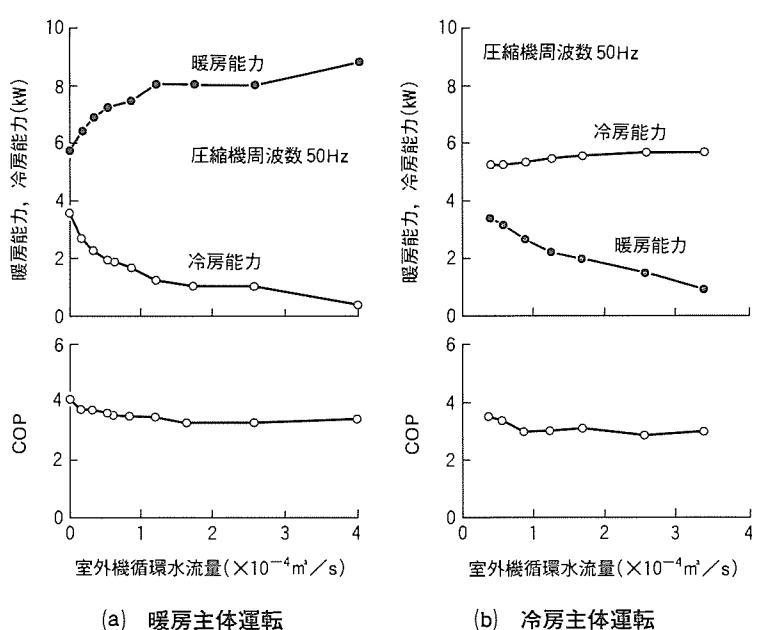


図5. 冷暖同時運動時の室外機循環水流量による容量制御特性

ト等を含め最大10台まで接続できる。

- (2) 室内機の容量制御は、冷媒流量制御弁によって100~25%まで連続的に行え、快適な一定室温を得ることができる。
- (3) 分流コントローラは、小型で室内や廊下等の天井裏に設置することができる。

7. むすび

室外機から分流コントローラを介して室内機までを、すべて2本の配管で接続可能な冷暖同時マルチエアコンの冷媒回路と制御法を考案し、実験によって運動特性や容量制御性について調べた。その結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 各運動モードで良好な性能が得られ、冷暖同時運動時には熱回収と高性能気液分離器の効果によってCOPが冷房又

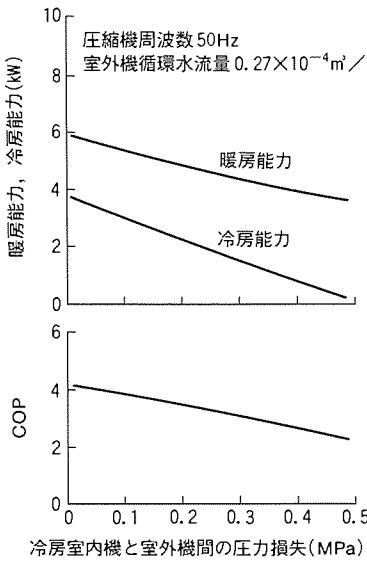


図6. 暖房主体運転時の接続配管Bの圧力損失による運転特性の変化(シミュレーション結果)

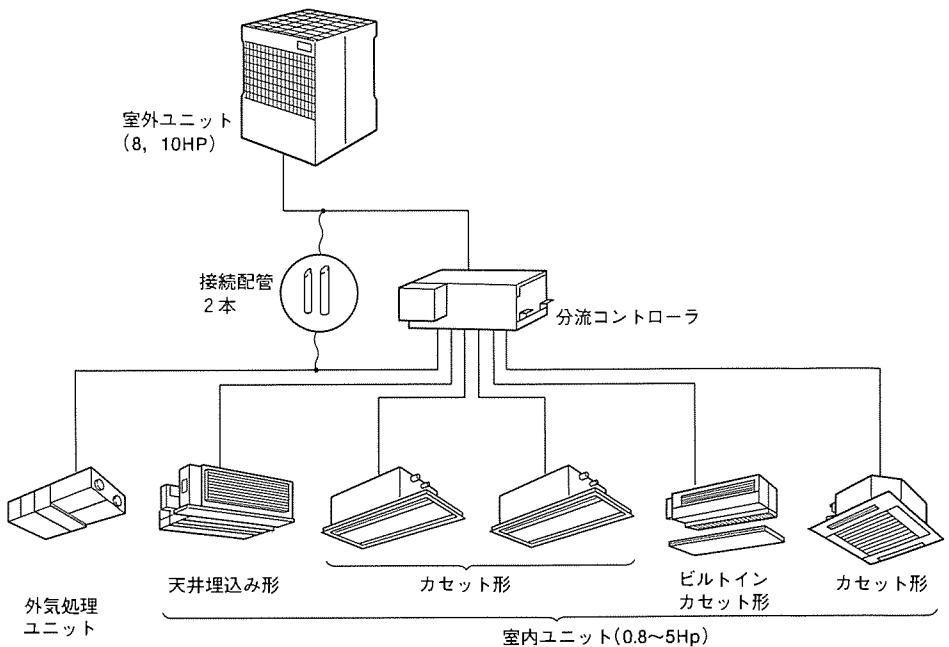


図7. 冷暖同時マルチエアコン《シティマルチR 2シリーズ》のシステム構成

表4. 冷暖同時マルチエアコン《シティマルチR 2シリーズ》の仕様

形名		PURY-200M-A	PURY-250M-A
能 力 *	kW	冷房 23.26 暖房 26.05	冷房 29.07 暖房 32.56
風 量	m³/min	150	200
送風機電動機出力	kW	0.05+0.065+0.08	0.055×2+0.065+0.08
圧縮機		全密閉	
冷媒配管径 (mm)	型 式	電動機出力 kW	5.5
	高 壓	φ 19.05	φ 19.05
	低 壓	φ 25.4	φ 28.6
冷媒配管長 (m)		相当長 125(実長100)	
室内外高差 (m)		50	
接続ユニット機種数/容量		44機種/0.8~5馬力(相当馬力)	
分流コントローラ	機種数	5	
	室内機分岐可能台数	2~10	
使用温度範囲	冷 房	室内: 15~24°C WB 室外: -5~43°C DB	
	暖 房	室内: 15~27°C DB 室外: -12~15°C WB	

注 *JIS 条件で運転した場合の最大能力

- は暖房のみに比べ、最大40%高い高効率運転が達成された。
- (2) 冷暖同時運転における主体運転側能力は、圧縮機の運転周波数を制御し、従運動側能力は室外熱交換器の熱交換量を変化させることによって広範囲に制御できる。
 - (3) 各室内機への冷媒の分配は、暖房機の過冷却度、冷房機の過熱度を制御し、LEV₀は室内機接続配管内の冷媒の過冷却度を制御することによって最適に行える。また、サブクーラ熱交換器により、LEV₀に流入する冷媒液を過冷却することによって、冷媒流量制御弁LEV₀通過後も冷媒を液状態

とすることができる、冷房機への冷媒の分配が高性能に維持できる。

(4) 実機では、気液二相状態の冷媒が流動する接続配管の圧力損失は能力に大きく影響するため、十分考慮して設計する必要がある。

また、冷暖房同時運転へのニーズにこたえるため、本稿に述べた基本冷媒回路とその制御をさらに発展させ、《シティマルチR 2シリーズ》として製品化した。

参考文献

- (1) 中村 節, 五十嵐好信:中小ビル用マルチエアコン, 冷凍, 64, No.708, 38~45 (1986)
- (2) 田中直樹, 飯島 等:高性能気液分離器の研究(第1報), 昭和60年度日本冷凍協会学術講演会論文集, 13~16 (1985)
- (3) 飯島 等, 田中直樹:高性能気液分離器の研究(第2報), 昭和61年度日本冷凍協会学術講演会論文集, 21~24 (1986)
- (4) 隅田嘉裕, 田中直樹, 飯島 等, 中村 節:冷暖同時マルチエアコンの開発(第1報シミュレーションによる性能予測), 平成2年度日本冷凍協会学術講演会講演(1990)

多極参照電極付き単セルによる リン酸型燃料電池の分極挙動の解析

光田憲朗* 村橋俊明** 松本正昭*** 留井英明***

1. まえがき

燃料電池発電システムは、発電効率が40%以上、熱利用も含めた総合熱効率は80%以上が期待でき、熱電併給のコジェネレーションシステムから電力事業用まで幅広い応用が期待されている。特に近年、CO₂による地球温暖化問題や酸性雨による被害が深刻な問題として新聞、学会等で大きく取り上げられ、その対策の一つとして、熱電併給で省エネルギーが図れ、NO_x、SO_xの排出量が少ない燃料電池システムの有効利用に大きな期待が集まっている。

当社では、10年余りにわたって第一世代と呼ばれるリン酸型燃料電池と、第二世代と呼ばれる溶融炭酸塩型燃料電池の開発に取り組んでいる。リン酸型燃料電池については、昭和56年度にムーンライト計画に参入し、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の御指導のもとで、1,000kW級燃料電池発電試験設備を関西電力(株)と共同で、堺港発電所内に設置して運転試験を実施した。また、ほぼ同時期に北海道電力(株)と共同で、メタノール改質100kWリン酸型燃料電池発電設備を北海道電力(株)伊達発電所構内に設置し、4,500時間余りの運転を行った。さらに、昭和62年度からは、新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託と御指導のもとで、都市ガスを燃料とする業務用200kW燃料電池をホテルプラザ(大阪)に設置して大阪ガス(株)、関西電力(株)と共同で運転研究を開始し、平成2年5月時点で3,000時間を超す運転が行われている。また、当社神戸製作所内では10kW級のスタックをりん酸補給を行うことなく、16,000時間運転することに成功しており、リン酸型燃料電池については実用化に近い段階に入っていると考えられる。

今後実用化に向けて必要なのは、電池寿命の信頼性向上、性能向上、コスト低減などであるが、特に電池寿命についてはカーボンの腐食、特に空気極側のカーボンの腐食に対する対策が重要である。また、リン酸型燃料電池の構成材料の大部分がカーボンで構成されているので、カーボンの腐食は深刻な事態を引き起こすことにもなる。したがって、カーボンの腐食の原因の究明と対策は、リン酸型燃料電池を実用化していく上で必要不可欠な課題であった。しかし、空気極側のカーボンの腐食の発生メカニズムについては、まだよく分かっていないかった。そこで当社では、多極参照電極付き単セルという新しい電気化学的評価手法を開発し⁽¹⁾⁽²⁾、空気極側のカーボンの腐食の発生メカニズムを解明し、有効な対策を

見い出すことに成功した。また、この評価手法を用いて、反応ガス欠乏時の電位挙動の解析⁽³⁾⁽⁴⁾、面内ガスフロー方式の比較⁽⁵⁾、CO 被毒メカニズムの解明⁽⁶⁾なども行うことができた。

この報告では、この評価手法について紹介するとともに、反応ガスの分圧 (P_{O_2} , P_{H_2})、反応ガス利用率 (U_{O_2} , U_{H_2}) が変化した場合に、セル面内でどのような位置でどの程度の腐食の可能性が生じるのかを調べた結果⁽⁷⁾及び腐食対策の実例⁽⁸⁾について報告する。

2. リン酸型燃料電池の動作原理と腐食反応

リン酸型燃料電池は200℃前後で運転され、燃料極(負極、アノード)には天然ガスやメタノールなどを改質して得られる水素を主成分とする燃料ガスが供給され、空気極(正極、カソード)には空気が供給されて発電する。図1に原理を示した。燃料極と空気極には、白金などの貴金属微粒子を担持したカーボンとPTFE(テフロン)からなる多孔質の触媒層が用いられる。

燃料極、空気極で起こる電極反応と全体としての反応は、



となる。電子(e^-)は外部回路を流れ、プロトン(H^+)はシリコンカーバイドの微粒子とりん酸で構成された電解質マトリクス層を移動する。この電池反応によって得られる起電

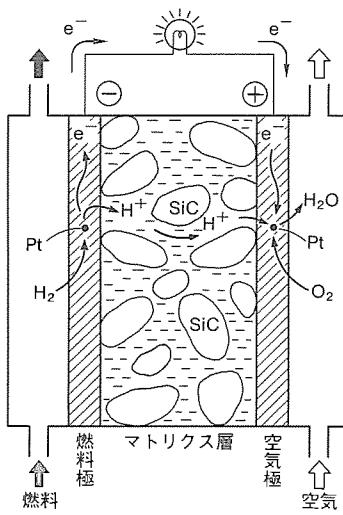
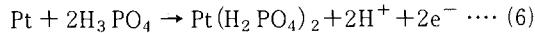
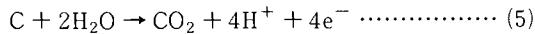
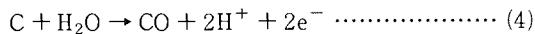


図1. リン酸型燃料電池の原理

力は1V程度であるが、外部に電流を取り出すときに分極抵抗を生じるため実際に運転するときの1セル当たりの電圧は、0.6~0.8V程度であり、通常、數十~数百のセルを直列に積層して(スタックと呼ばれる)運転される。リン酸型燃料電池に用いられている電子伝導性材料は、主としてカーボンと白金の二つであり、電極の電位が高くなると次のような腐食反応が起こる。



式(4)、式(5)はカーボンの腐食反応で、触媒の担持カーボン、電極基材、セパレータなどが腐食し、一酸化炭素や二酸化炭素となって消失する。また、式(6)は白金の溶出反応で、溶出した白金はマトリクス層や燃料極で水素によって還元されて析出する。いずれの反応も高電位ほど著しくなる。特に、セパレータのカーボンの腐食が進行すると、隣接するセルとの間で燃料と空気が直接混合することになり危険である。したがって、1セル当たりの出力電圧が1V近くにならないよう(望ましくは0.8V以下)運転する上で注意する必要がある。しかし、我々の経験ではセル電圧が0.8V以下でも空気極で局所的なカーボンの腐食が見られることがあり⁽⁹⁾、この現象のメカニズムについては、従来全く分かっていなかった。

3. 多極参照電極付き単セルの構成と信頼性

図2に、この実験で用いた多極参照電極付き単セルの平面を示す。燃料と空気は直交するように流しており、その周囲に参照電極としてRHE(Reversible Hydrogen Electrode: 可逆水素電極)を12個配置している。図において、例えば“I/O”は、燃料入口(Inlet)/空気出口(Outlet)の領域を意味する。単セルの有効電極面積は100cm²、RHEの有効電極面積は0.3cm²である。図3は、一つのRHE近傍の断面である。RHEへは背面から純水素を供給している。

12個のRHEの電位の信頼性については、次のような実験

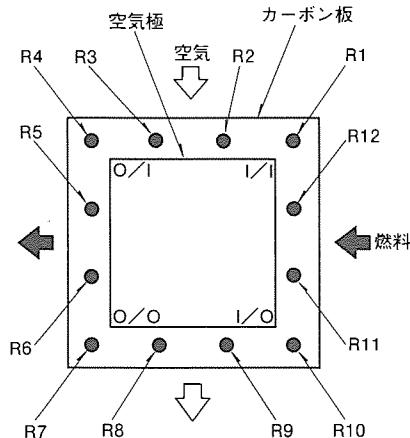


図2. 多極参照電極付き単セルの平面

を行って確認した。まず、空気極(C)又は燃料極(A)に純水素を流し、他方の電極には空気又は燃料ガス(80% H₂+20% CO₂)を流しておく。次に、希釈水素を12個のRHE(R_x)に流し、負荷をとらない状態で、RHE(R_x)と純水素電極(C又はA)の間の電圧を測定する。この結果を図4に示した。△は、AR_x(x=1~12)、○はCR_x(x=1~12)の電位であり、12個のRHEについてのデータは、それぞれ0.3mVの誤差範囲内で一致した。また、図4の直線の傾きは47mV/decadeであったが、この値は、205°Cでの水素の希釈による理論的な電圧(ネルンストの式)の低下と一致した。

4. 多極参照電極付き単セルによる腐食危険域の予測

4.1 実験方法

常圧、205°C、150mA/cm²で、反応ガスの分圧(P_{O₂}、P_{H₂})及び反応ガスの利用率(U_{O₂}、U_{H₂})を変化させて、セル面内の空気極電位(カソード電位)と燃料極電位(アノード電位)がどのように変化するかを調べた。燃料には、SRG(H₂80%+CO₂20%)、又は水素と窒素の混合ガスを、また酸化剤には、空気又は酸素と窒素の混合ガスを用いた。

カソード電位については、セルの*iR*(オーム損)を加えて補正した。また、腐食の可能性の程度について、0.8~0.9Vvs.RHEを“危険域”、0.9Vvs.RHE以上を“腐食域”として図に表記した。

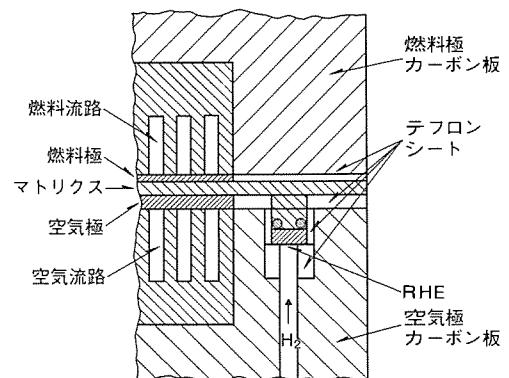


図3. 多極参照電極付き単セルの断面図

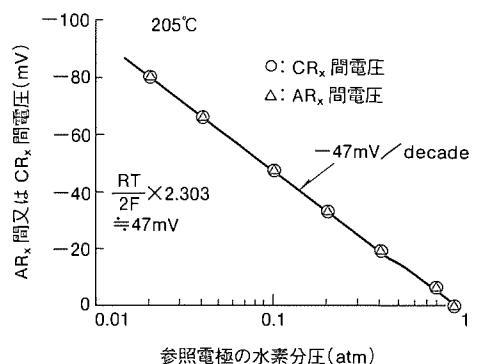


図4. 多極参照電極の機能確認試験

4.2 結果と考察

(1) 酸素分圧 (P_{O_2}) と酸素利用率 (U_{O_2}) の影響について

燃料(SRG)の水素利用率を75%に固定して、酸素分圧及び酸素利用率を変化させて、12個のRHEを基準にしたカソード電位とアノード電位の変化を調べた。酸素分圧が上昇し、酸素利用率が低下するほどカソード電位が上昇した。しかし、セル面内での電位分布は少なく、カソード電位の最大値($V_c \text{ max}$)と最小値($V_c \text{ min}$)の差は、すべての場合において30mV以内であった。

図5に、カソード電位の最大値($V_c \text{ max}$)の酸素分圧(P_{O_2})—酸素利用率(U_{O_2})依存性を P_{O_2} — U_{O_2} 電位マップで示した。図の右下隅で“危険域”が生じている。この“危険域”は、低負荷(低電流密度)になるほど図の中央にまで広く張り出していくと予想される。また、カソード電位の最大値($V_c \text{ max}$)と最小値($V_c \text{ min}$)の差が小さいので、セル面内の全域にわたって空気極に腐食の可能性が生じると予想される。実際の電池では、空気が酸化剤として用いられることが多いので酸素分圧は低く、通常の運転では腐食の可能性は少ない。しかし、低負荷や無負荷になったり、酸素利用率が極端に低下した場合に、空気極の全域にわたって白金が溶出ししたり担持カーボンなどが腐食してセル特性の低下を起こすおそれがあると考えられる。なお、アノード電位については高電位にはならないので、腐食の可能性はないと考えられる。

(2) 水素分圧(P_{H_2})と水素利用率(U_{H_2})の影響について

空気の酸素利用率を75%に固定して、水素分圧及び水素利用率を変化させて、12個のRHEを基準にしたカソード電位とアノード電位の変化を調べた。燃料の水素利用率が上昇すると、燃料出口側の領域で電位シフトが起こり、セル面内で大きな電位分布が生じた。

図6に、 $P_{H_2} = 0.8\text{atm}$ と $P_{H_2} = 0.043\text{atm}$ の二つの場合について、水素利用率が高くなった時のアノード電位とカソード電位のセル面内分布を示す。横軸は、図2に示したセル内のRHEの番号を示しており、縦軸に各

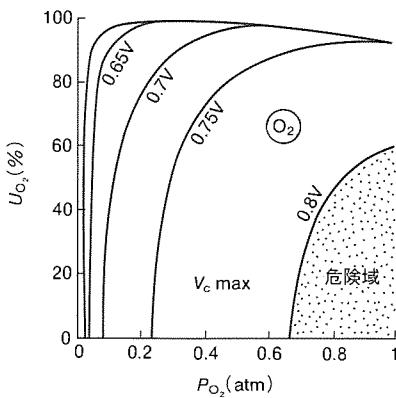


図5. P_{O_2} — U_{O_2} 電位マップ
(カソード電位最大値)

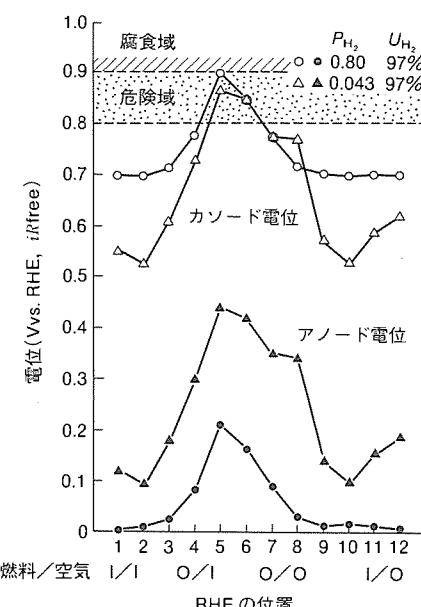


図6. セル面内の電位分布

RHEを基準に測定した電位をプロットしている。R4からR8にかけての燃料出口側で電位シフトが起こっており、この領域でカソード電位が“危険域”に入っている。

電位シフトは、电解液のpHが局部的に変化することによって起こることが、RHE間の電位の変化から予想される。すなわち、燃料出口側では、水素とプロトンの不足によって电解液のpHが局部的にアルカリ側へシフトすると考えられる。図7は、電位シフトの起こるメカニズムを示す電位図である。横軸は、燃料入口側から燃料出口側へかけての電位の様子を示している。また、図7 aの縦軸は、RHE電位を基準にしており、図7 bの縦軸は、電極の電圧を基準にしている。RHE電位を基準にすると、燃料出口側では、電位シフトによってカソード電位が高電位になっている。しかし、実際には図7 bに示したように、燃料出口側のpHが局部的にアルカリ側にシフトしていると考えられる。このために、電気化学的電位がマイナスにシフトして、電子レベルで見た電極の電位は一定となる。もし、溶液の容量が大きければ、すぐに周りからプロトンが供給されて電位シフトが解消されるが、燃料電池ではその面積の大きい割に極めて薄くできっていて、横方向のプロトンの移動は容易ではない。

すなわち、燃料電池のセル構成のためプロトンの移動に制約があるために、電位シフトが維持されると考えられる。これが、多極参照電極付き単セルを用いることで、明らかになつた電位シフトのメカニズムである。この電位シフトによって、セル電圧が0.8V以下に保たれていても局部的に1V近くなる状況が起こる。ちなみに、pHが1変化すると、205°CではRHE電位が95mV変化する。なお、リン酸型燃料電池は、動作条件ではpHは-5以下(超酸)であると考えられる⁽¹⁰⁾。

図8は、カソード電位の最大値($V_c \text{ max}$)の水素利用率依

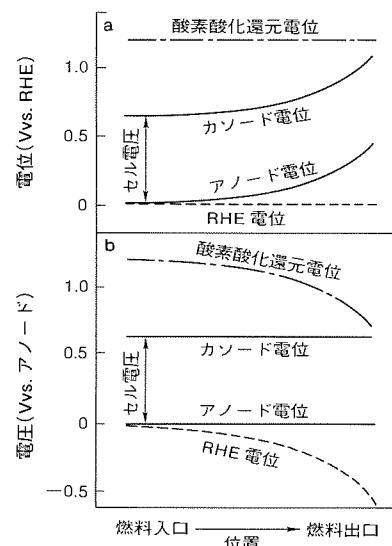


図7. 電位シフトの著しいときの燃料入口から燃料出口にかけての電位
(a: RHE基準, b: アノード電位基準)

存性を示したもので、図9はこの結果を $P_{H_2} - U_{H_2}$ 電位マップで示したものである。いずれの水素分圧でも、水素利用率が高まつた場合にカソード電位の最大値が“危険域”や“腐食域”に入つており、腐食の可能性が高くなることを示している。なお、腐食するのは燃料出口側の空気極であり、燃料入口側では電位は高くならない。

次に、アノード電位の最大値 ($V_a \max$) の水素利用率依存性と $P_{H_2} - U_{H_2}$ 電位マップをそれぞれ図10と図11に示す。やはり、水素利用率が高まつた場合に腐食の可能性が極めて高くなることを示している。このとき、セル電圧はマイナスの電圧になつてゐる。実際のスタックをマイナスのセル電圧まで運転することは、まずありえないので、燃料極の腐食を生じることはない。しかし、燃料出口側の空気極の腐食は生じ得る。通常燃料の水素利用率は、75~85%で運転されているが、負荷の変動、改質ガスの組成の変動、燃料流量の変動などで実質的に水素利用率が一時的に90%以上に上昇することは十分起り得ることであり、その際に燃料出口側の空気極の腐食が起ると考えられる。

5. 腐食対策

燃料電池の効率を上げるために水素利用率を高くして運転する必要がある。もちろん100%以上の水素利用率で運転することは不可能であるが、図9において、100%近くまで“危険域”や“腐食域”を生じないような工夫が必要になる。我々は、セル面内の反応ガスフロー方式による電位挙動の違いを多極参照電極付き単セルを用いて調べ、最も単純なクロスフローに比べて燃料のリターンフロー、コフロー、カウンターフローが、“危険域”や“腐食域”を狭める効果のあることを見い出した。しかし、これらはセルの構成が複雑化するためにあまり実用的ではない。そこで、更に検討を続けた結果、燃料ガスをスタック内で積層方向にリターンさせるシリアルフロー方式が、単純で、しかも腐食を防止する効果が高いことが分かった。

図12は、パラレルフロー方式とシリアルフロー方式のスタックでのガスの流れを比較して示したものである。シリアルフロー方式では、燃料はまず上流のセルに供給され、上流のセルで消費されずに残った燃料

が下流のセルに供給される。上流のセルには、下流のセルに供給されるべき燃料も一緒に流されるので、実質的な水素利用率は名目の水素利用率よりもかなり低くなる。また、下流のセルでは、下流セルに供給されるべき燃料に加えて上流のセルで消費されなかった燃料が余分に流れるので、やはり実質的な水素利用率は名目の水素利用率よりもかなり低くなる。すなわち、シリアルフロー方式では、上流も下流も水素利用率を実質的に低下させることができる。もちろん、下流のセルに供給される燃料の水素分圧は、上流のセルに比べて低くなるが、図9で明らかのように、水素分圧が低下しても腐食の可能性はそれほど増加しない。また、燃料の水素分圧は空気中の酸素分圧に比べてもともと高いので、水素分圧が低下してもセル電圧はそれほど低下しない。

図13は、10kW級の大型18セルスタックを用いてパラレルフロー方式とシリアルフロー方式の寿命の差異を調べたもので、シリアルフロー方式を適用すれば、寿命特性が大幅に改善されることが分かった。これは、パラレルフロー方式であると、運転中に経験する燃料利用率の高利用率側への変

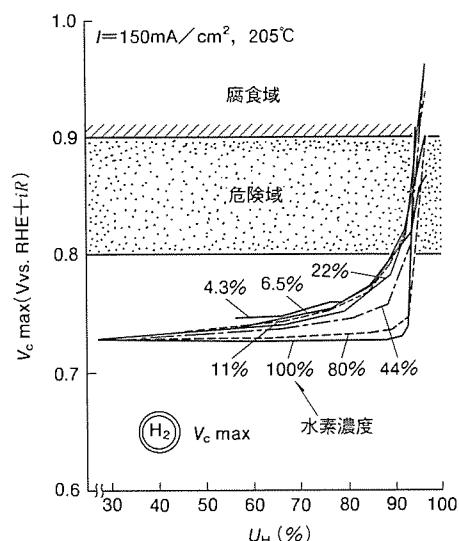


図8. カソード電位最大値の水素利用率依存性

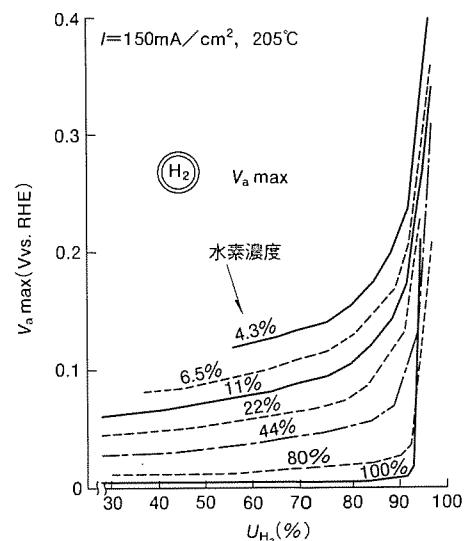


図10. アノード電位最大値の水素利用率依存性

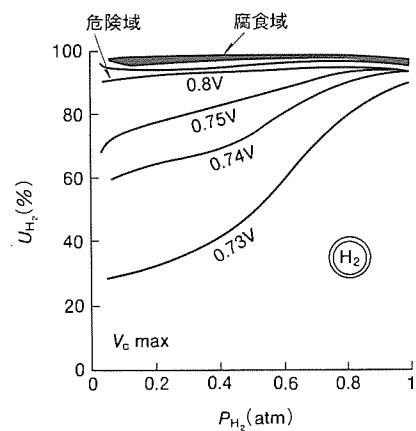


図9. $P_{H_2} - U_{H_2}$ 電位マップ
(カソード電位最大値)

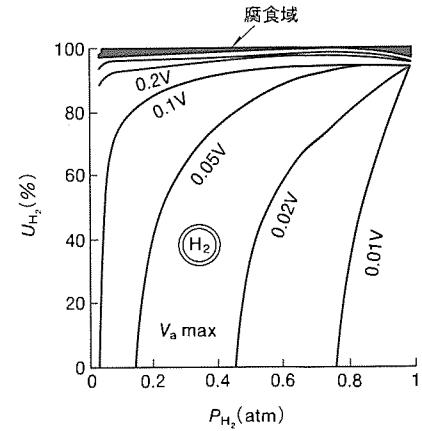


図11. $P_{H_2} - U_{H_2}$ 電位マップ
(アノード電位最大値)

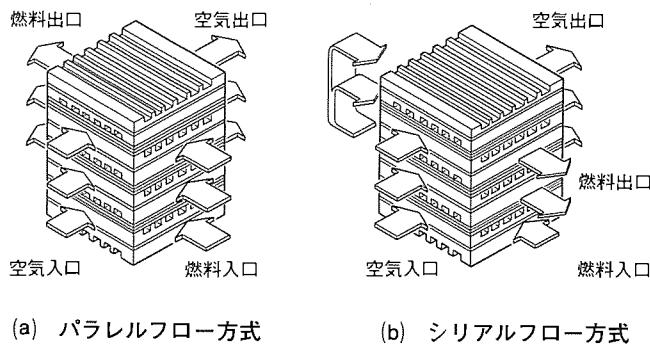


図12. ガスフロー方式の比較

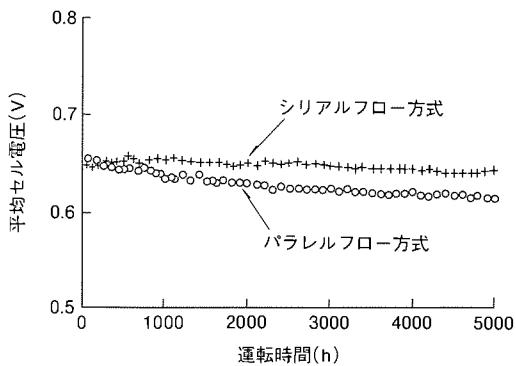


図13. 18セル大型スタックの経時特性

動的たびに、燃料出口側の空気極で担持カーボンの腐食や白金の溶出によって空気極の性能が低下する可能性があるのに對して、シリアルフロー方式ではそれが回避されているためと考えられる。

6. むすび

多極参照電極付き単セルの開発によって、リン酸型燃料電池における腐食のメカニズムを解明し、有効な対策を見い出し、電池寿命を延ばし信頼性を高めることができた。しかし、リン酸型燃料電池の実用化までには、性能向上、コスト低減など解決すべき課題が残っており、我々は今後も鋭意開発を進める所存である。

参考文献

- (1) 光田憲朗、村橋俊明：複数個の参照電極を備えた単セルによる燃料電池の分極についての検討、日本化学会、第57秋季年会、要旨集、No.2D516 (1988)
- (2) Mitsuda, K., Murahashi, T., : Polarisation Study of a Fuel Cell with Four Reference Electrodes, J. Electrochem. Soc., 137, No.10, 3079~3085 (1990)
- (3) Mitsuda, K., Murahashi, T., : Polarisation Study of Fuel Cell with Multi-Reference Electrodes, ISE 40th Meeting, (Kyoto), Ext. abs., No. b 1-18-01-13G (1989)
- (4) 光田憲朗、村橋俊明：リン酸型燃料電池多極 Reference 付単セルによる燃料欠乏時の電位挙動の解析、日本化学会、第59春季年会、要旨集、No.3 A 409 (1990)
- (5) 光田憲朗、村橋俊明：リン酸型燃料電池多極 Reference 付単セルによる面内ガスフロー方式の検討、第30回電池討論会、要旨集、No.2 A 03 (1989)
- (6) 光田憲朗、塩田久、村橋俊明、松本正昭、谷口哲也：リン酸型燃料電池多極 Reference 付単セルによるCO被毒の解析、電気化学協会、第57回大会、要旨集、No.1 Y27 (1990)
- (7) 光田憲朗、村橋俊明、堀内弘志、松本正昭：リン酸型燃料電池多極 Reference 付単セルによる腐食危険域の予測、平成2年電気学会、全国大会、要旨集、No.1465 (1990)
- (8) 堀内弘志、松本正昭、留井英明、光田憲朗、村橋俊明：リン酸型燃料電池におけるガスフロー方式の特性について、平成2年、電気学会、全国大会、要旨集、No.1461 (1990)
- (9) Mitsuda, K., Murahashi, T., : Corrosion Simulation Tests of Phosphoric Acid Fuel Cells, Corrosion, 46, No.10, 628~633 (1990)
- (10) Dowling, R.G., Pearson, D. E., J. Am. Chem. Soc., 83, 1718 (1961)

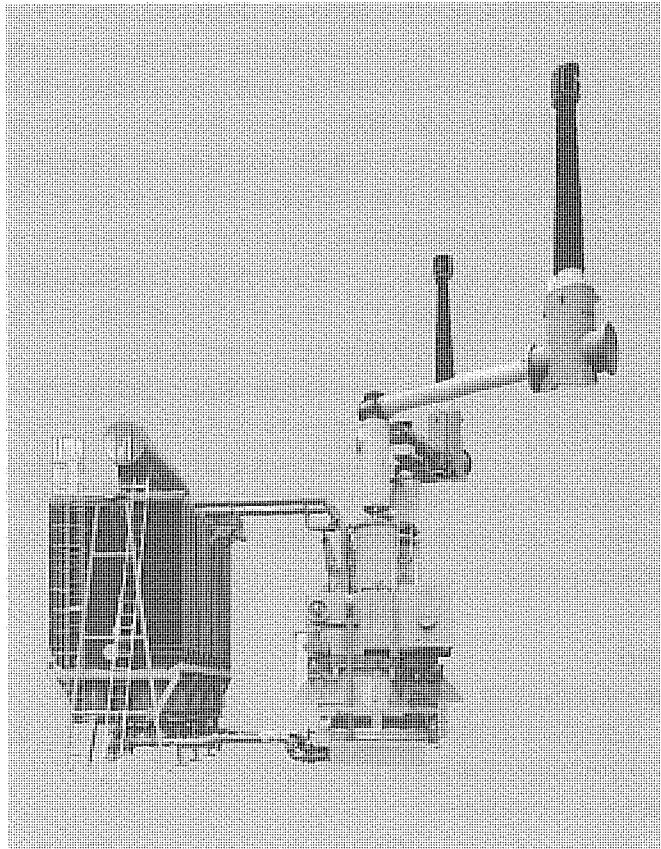
スポットライ

香港CLP深圳変電所向け、単相、1005/3MVA、 525/ $\sqrt{3}$ /420/ $\sqrt{3}$ kV单巻変圧器

三菱電機では、香港中華電力有限公司殿深圳変電所向けに、525kVと420kVの連系変圧器としては世界最大容量の単相1005/3MVA、525/420kV单巻変圧器を完成させ、良好な試験結果を得ることができました。本変圧器は、当社における大容量・高電圧変圧器の標準である外鉄形フォームフィット構造を採用し、最新の設計・工作技術により最高水準の低損失化とコンパクト化を実現しています。写真では、工場試験のために試験用気中ブッシングを取り付けていますが、現地では一次・二次線路側ともGISに直結されます。

特長

- 一次・二次線路側に電界緩和形絶縁構造を採用するとともに、衝撃電圧性能改善のため静電板を適正配置することにより、絶縁性能の向上・コンパクト化を実現しました。
- 巻数分比の小さな大容量单巻変圧器においては、漏洩磁束量の増大に伴い漂遊損失が増加する傾向にあります。最新の磁界解析技術により転位位置の最適化・導体の細分化などを図り、大幅な低損失化を達成しました。
- 漏洩磁束量の増大に伴い振動・騒音レベルも増大しますが、最新の振動解析技術によるタンク振動レベルの低減を図り、通電時の低振動・低騒音化を達成しました。
- 直列変圧器により間接式負荷時タップ切換え方式を採用し二次側電圧を調整しており、タンク補強の最適配置など合理的なタンク設計と、单巻変圧器と直列変圧器の共通タンク構造・コンパクト化を実現しました。



仕様

形 式	外鉄形(直列変圧器内蔵)	
相 数	单 相	
周 波 数	50 Hz	
定 格 容 量	579/3/1005/3MVA	
定 格 電 壓	一 次 側	525/ $\sqrt{3}$ kV
	二 次 側	420/ $\sqrt{3}$ kV
絶 縁 階 級	一 次 線 路 側	BIL1550kV
	二 次 線 路 側	BIL1425kV
	中 性 点 側	BIL 185kV
タ ッ プ 範 囲	420/ $\sqrt{3}$ kV +12%、-15%(28点)	
切 換 方 式	間接式負荷時タップ切換え方式	
イ ン ピ ー ダ ン ス	13.5%(900/3MVAベース)	
冷 却 方 式	油入自冷/送油風冷式(二重定格)	
製 造 年 月	平成2年10月	

スポットライ マルチメディア電子キャビネットシステム

技術設計・開発を担当する部門では、EOA(エンジニアリング・オフィス・オートメーション)化のニーズが高まりつつあります。こうしたニーズの中でも、作成したCAD図面や電子化した技術文書を大量に保管し、かつ、それらを一元的に管理して、再利用したいという要求に応えるサービスを提供するのが、マルチメディア電子キャビネットシステムです。このシステムは、当社のEWS(エンジニアリング・ワーク・ステーション)であるMEシリーズ上で作成した《MELCAD-MD⁺》によるCAD図面や「マルチメディア文書処理」による技術文書等を、当社の汎用コンピュータであるEXシリーズ上に保管し、MEシリーズからの登録・取出し・検索等のサービスを提供するリクエスター・サーバシステムです。図に示すように、このシステムはEXシリーズとMEシリーズを統合する製品群であり、MEからEXへの文書・図面の登録、EXからMEへの文書・図面の取出し、MEからの文書・図面の一覧検索等を可能にしています。

特長

●大規模格納容量

文書・図面等の格納容量は、磁気ディスクのみで10GB以上、最大100GB程度を確保可能としています。

●光ディスクのサポート

磁気ディスクに加え、格納媒体として光ディスクを選択可能とし、アクセス頻度の低い文書・図面等を光ディスクに保管することによる保管コストの低減を実現します。光ディスクに関しては、利用者は光ディスクであることを全く意識せずに、磁気ディスクに対すると全く同じ操作によってアクセスが可能です。

●柔軟な格納構造

文書・図面を保管するまでの保管庫の構造として、各保管単位毎に3から16階層までの格納管理構造を選択可能とし、顧客システムに応じた格納構造を構築できます。

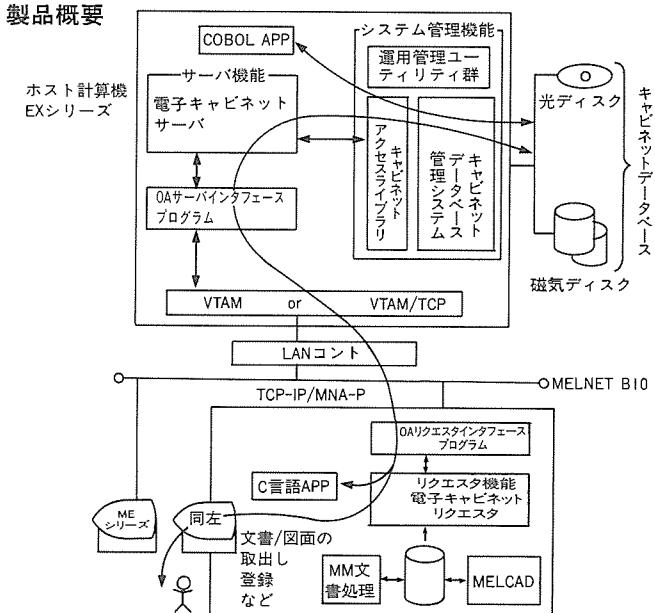
●高信頼性

サーバ異常終了時やシステム異常終了時にキャビネットデータベースの整合性を保証する回復機能とキャビネットデータベースのバックアップ機能により、高い信頼性を保証します。

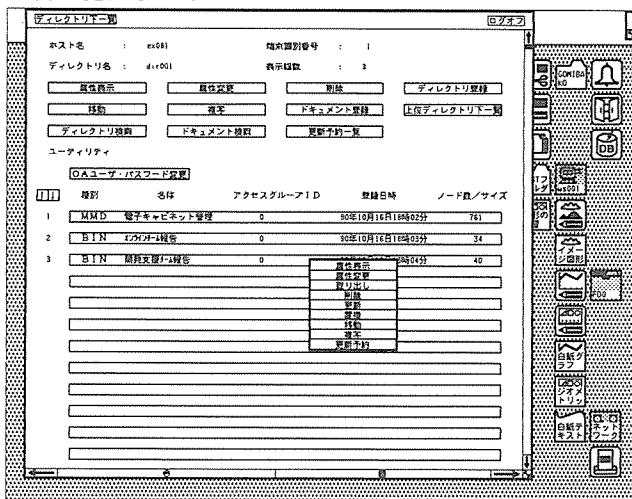
●サーバ/リクエスターのカスタマイズ機能

顧客システムでの要求仕様を実現するために、サーバ及びリクエスターに対するカスタマイズを可能にしています。文書・図面に付加する属性の追加、サーバ出口ルーチンの提供、サーバ及びリクエスターにおける応用プログラムインターフェースの提供等により、利用者固有の処理の組込みが可能となります。

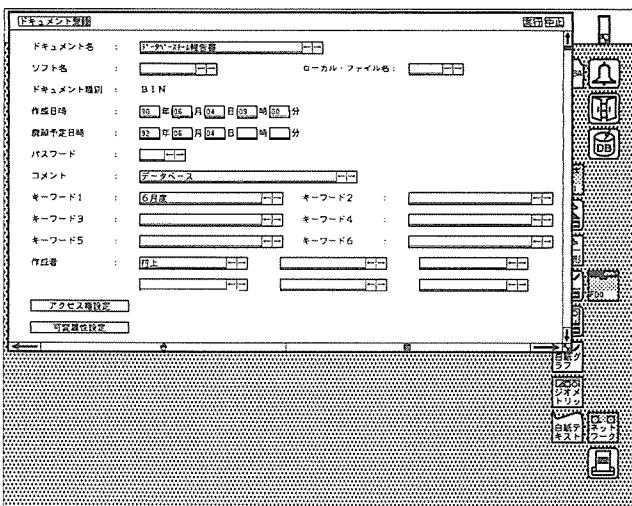
製品概要



文書一覧表示ウィンドウ

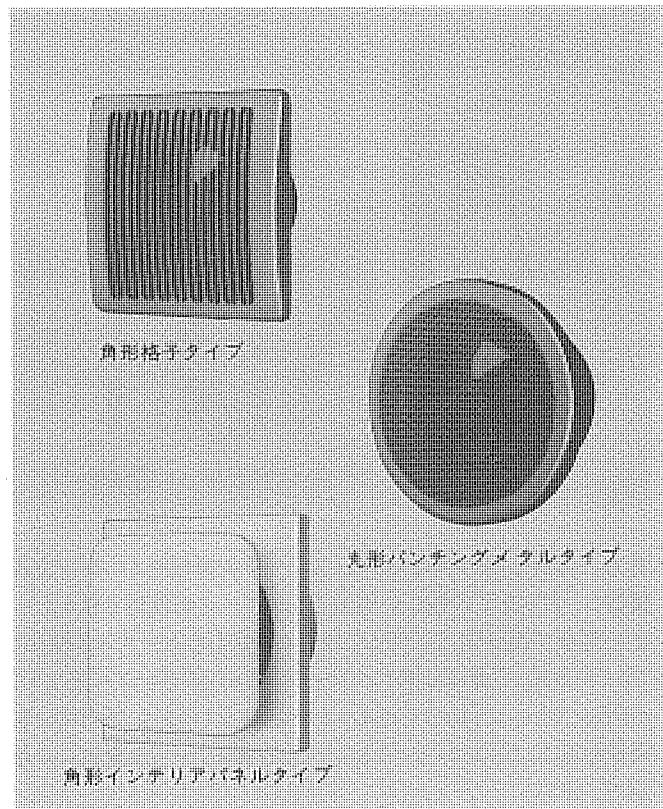


文書登録ウィンドウ



スポットライ 新形パイプ用ファン

住宅構造が変化し、高密閉化が進む最近の住まいにおいては、パイプにはめ込むだけで簡単に取付けられるパイプ用ファンが、その取付け易さを注目されて、戸建住宅のサニタリーを中心に居室部分にも採用され、需要が大きく伸びています。サニタリーへの換気扇の普及率を見ると洗面所10.4%・浴室40.5%・脱衣所8.6%・トイレ30.9%と上昇してきており、新築時のサニタリーへの換気扇の設置台数は2.5倍/戸と拡大しています。また最近はサニタリーの重要度が向上し、あれば良いといった場所から健康・くつろぎの場へと変化しており、それに伴なってインテリアも居屋ゾーンと同レベルにて考えられるようになってきており、パイプ用ファンについても、性能面は基よりデザイン性に優れていることが重要な要素となっています。こうした市場動向を受け、今回は各用途に幅広く対応できるよう機種揃えを充実させ、インテリア性・施工性の向上を図りました。新製品は羽根が直接目にふれにくくし、室内インテリアにマッチするようデザインを一新しました。またトイレ・洗面所用として運転停止時に外気・冷気の侵入を防ぐ電気式シャッターを直接目にふれず排気の妨げにならないように室内側グリルの内側に設けた機種を開発するなど、よりインテリア性を向上させたものとなっています。また性能面・構造面については、送風機は当社独自の低騒音羽根(エクストラファン)を用い、取付け状態にて最も低騒音となり、駆動モーターについてはコンデンサーをモーター内に内蔵させた新形モーターの採用により安全性を向上させ、さらに本体の室内側突出寸法を小さくしています。(V-08タイプ)これにより低消費電力(2.2W~4.5Wの範囲)の低騒音となっているため、サニタリーゾーンの常時換気に最適な商品です。



特長

- 角形格子タイプは、格子幅と格子間隔の変更により羽根が外から見えにくくすると共に、全面を大きく彎曲させた薄形でソフトなデザイン。室内側突出寸法も08タイプで従来品より20%薄くしています。
- 丸形グリルでは前面にパンチングメタルを取付けることにより羽根がほとんど見えない斬新なデザインを採用し、しかも性能面は角形格子タイプと同等以上となっています。
- 角形グリルにおいてはさらにインテリア性を向上させ、タイル壁面にマッチするパネルグリルタイプとしました。

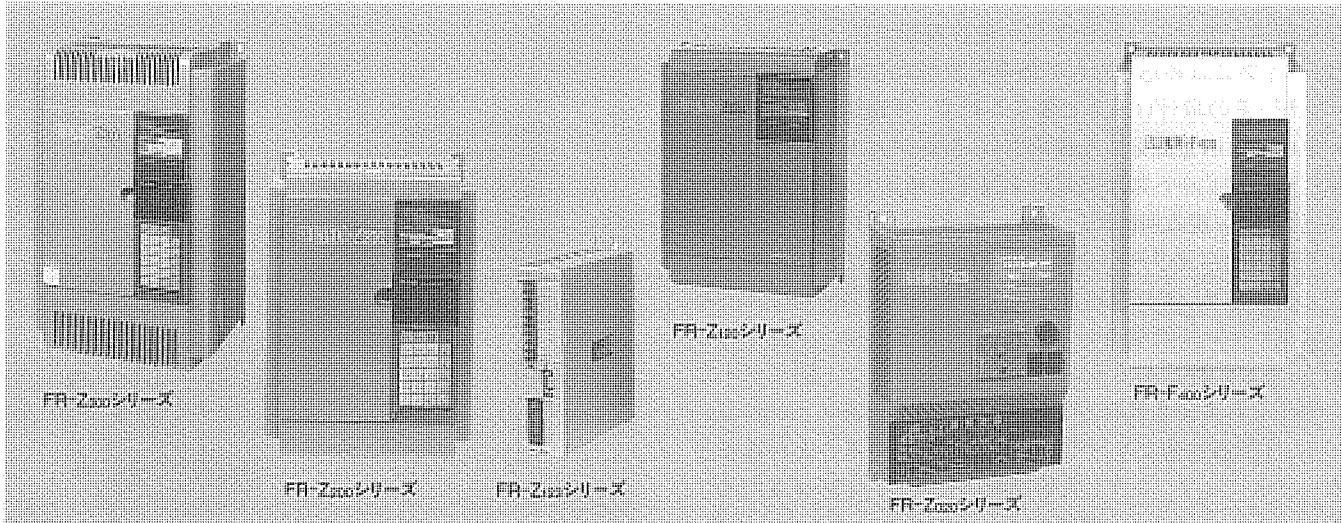
仕様

JIS C 9603に基づく測定値

機種		形名	標準価格 (円)	消費電力 (W) 50/60Hz	風量 (m³/h) 50/60Hz	騒音 (dB) 50/60Hz	重量 (kg)	適用 パイプ径
三菱換気扇パイプ用ファン	丸形グリル	パンチングメタルタイプ	V-08PSM	7,900	2.2/2.3	60/70	26.5/29.0	0.8
			V-08PPM	8,400	2.9/3.0	81/93	31.0/34.0	0.85
		標準タイプ	V-08PSC ₂	7,300	2.2/2.3	64/72	26.5/29.0	0.75
			V-08PPC ₂	7,800	3.3/3.6	87/102	33.0/36.0	0.8
	角形グリル	格子タイプ	V-08PSK ₂	7,300	2.2/2.3	60/70	27.0/29.5	0.75
		電気式シャッター組込	V-08PPK ₂	7,800	2.9/3.0	81/93	32.0/35.0	0.8
		インテリアパネルタイプ	V-08PSKS	11,700	4.7/4.8	58/67	28.0/30.5	0.9
		インテリアタイプ	V-08PSX	8,500	2.2/2.3	58/66	29.5/32.0	0.83
	角形グリル	パンチングメタルタイプ	V-08PSW ₂	7,300	2.2/2.3	58/68	29.5/32.0	0.75
			V-12PPM	10,500	3.9/4.5	150/170	34.0/36.5	1.1
		格子タイプ	V-12PSK ₂	9,300	2.9/3.3	135/145	33.0/35.0	1.1
			V-12PSKD ₂	9,700	2.9/3.3	135/145	33.0/35.0	1.0
		インテリアパネルタイプ	V-12PPKS ₂	9,700	3.9/4.5	145/165	36.0/38.5	1.1
			V-12PSX	11,000	2.9/3.3	130/143	35.0/36.5	1.2

*標準価格には消費税は含まれていません。

三菱はん用インバータ スポットライ《FREQROLファミリー》



省力、自動化、省エネを目的として、一般産業機械からビル空調機器にいたるまでの幅広い用途でインバータが使用されるようになり、普及が高まるにしたがって用途に対応したニーズも多様化してきています。三菱はん用インバータは、これらのニーズに応えるためFAシステムにも結合できるハイスペックなものから、操作性と経済性を追求したエコノミーなものまで、各種シリーズを豊富に品揃えしています。

特長

●高機能

- ①DFAシステム上のシーケンサや計算機と直接結合できる『データリンク機能』や『計算機リンク機能』を使用しているため、システム構築が容易です。〈Z₃₀₀、Z₂₀₀シリーズ〉
- ②電流を制限してトリップに至らないように制御するトリップレス機能で、インバクト負荷などでも安心して運転できます。
- ③16ビットマイコン採用によるオールディジタル化で各種機能をパラメータ処理、多機能化と高精度化を達成しています。

仕様

シリーズ型式	製品概要	電源クラス	適用モータ容量 (kW)	出力周波数範囲 (Hz)	その他・特長など
FR-Z300	高機能、低騒音形	200V 400V	0.75~22 2.2~22	0.5~360	低騒音仕様、電流制限機能を標準装備Zシリーズの最上位機種
FR-Z200	高機能、多目的形	200V 400V	0.4~55 2.2~55	0.5~360	Z300シリーズにせまる多機能設計 (低騒音、電流制限機能は装備せず)
FR-Z120	高機能、普及形 小容量	200V	0.4~3.7	0.5~360	単機ドライブに最適な機能を備えた普及タイプ
FR-Z123	ブックタイプ 省スペース形	200V	0.4~3.7	0.5~360	スリムサイズ、取付面積が0.4kWでZ120の約1/4
FR-Z020	小形、小容量 エコノミータイプ	200V	0.4~1.5	0.5~120	B5判 (W180×H255mm) の小形・軽量、簡易操作の経済タイプ
FR-F400	省エネ用途	200V 400V	2.2~55 2.2~55	0.5~120	ファン、ポンプの省エネ運転に最適な機能を装備したオールディジタルインバータ

●低騒音

耳障りな金属音を一掃し、商用電源時にせまるモータの低騒音運転を実現しました。〈Z₃₀₀シリーズ〉

●省スペース

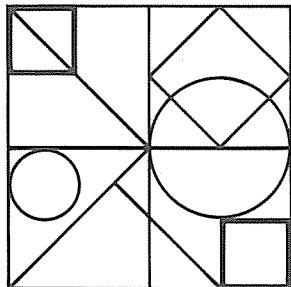
ブック形状化による取付面積の大幅な低減〈Z₁₂₃シリーズ〉や奥行き寸法の縮小〈Z₀₂₀シリーズ〉により格段の収納効率を図ることができます。

●高信頼性

厳選した高信頼性部品の採用、低ロス設計そしてオールディジタル化による部品点数の低減とあいまって、信頼性が著しく向上しています。

●操作性

業界トップレベルの操作性を有する、当社独自のデジタル設定器『パラメータユニット』はZ₀₂₀シリーズを除くすべてのシリーズ共通に使用できます。



特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 知的財産専門部 TEL (03) 218-2136

位置決め制御装置

(特許 第1419319号)

発明者 角田 正俊

この発明は、例えば磁気ディスク装置における磁気ヘッドの位置決めをデジタル制御系によって行うようにした制御装置に関するものである。

すなわち、図において、数ビットのデジタル信号で与えられるキャリッジ(5)の目標速度(130)に比例した電流をD/A変換器(17)を介して可変電流源(18)より発生させコンデンサ(C)に接続された電圧検出回路(20)の出力を、パルス成形回路(21)を介してパルスP4として、入力回路、3ビットのカウンタ、出力回路及び内部帰還回路とからなるステートカウンタ(22)に入力する。一方、シリンドラパルス(15)がパルス成形回路(23)を介してステートカウンタ(22)に入力されると共に、パルス成形回路(24)によりパルスP2に成形されステートカウンタ(22)に入力されると共に、パルス成形回路(25)によりパルスP3に成形されステートカウンタ(22)に入力される。また、パルスP1はリトリガブルワンショット(26)に印加されステートカウンタ(22)に入力される。このように、キャリッジ(5)の移動に応じて発生するパルス信号から得られる移動速度と上記目標速度(130)との大小関係に応

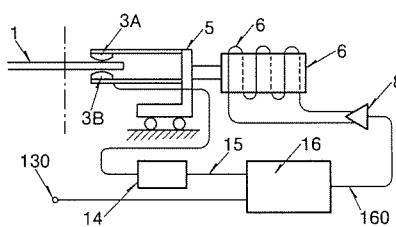


図1.

じてパルス幅の異なる低速信号(28)及び高速信号(29)をステートカウンタ(22)により選択的に出力し、これら低速信号(28)及び高速信号(29)のそれぞれの信号に応じて、リニアモータ(6)により上記キャリッジ(5)を加速駆動または減速駆動し、磁気ヘッド(3A), (3B)を所定の位置に移動させる。

以上のように、この発明によればシリンドラパルスを用いて速度制御を行うため、使用部品数の減少が図れると共に、主要制御系をデジタル回路により構成できるため、より信頼性の高い装置を得ることができる。

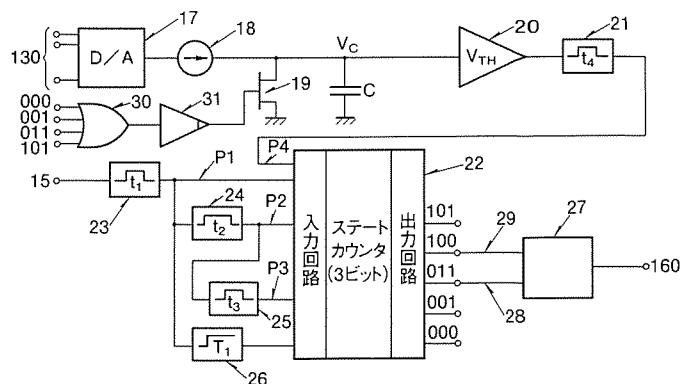


図2. (デジタル制御回路(16)のブロックダイヤグラム図)

通信制御プロセッサ

(特許 第1424321号)

発明者 石坂 充弘, 中塚 茂雄, 覚埜 高音, 市橋 立機

して相互の通信制御プロセッサにおいて認知できる手段と、

(4) 上記割り付けたリンク制御テーブル(LCT)の番号を上記通信プロセスにチャネル状態語により通知する手段により、上記通信プロセスは上記リンク番号を指定するだけで、通信制御プロセッサが該当する着信側の通信プロセスにデータを転送できる手段と、

(5) リンク制御メッセージを運ぶ制御フレーム中に着信側のリンク番号を挿入して転送することにより、このリンク番号をアドレスとしてローカルメモリ(LM)中の該当するリンク制御テーブル(LCT)の内容を演算レジスタ(ALU)にロードする手段と、

(6) 上記通信プロセスからのリンク終結要求により、上記リンク制御テーブルを解放する手段を設けた。

したがって、この発明によれば、複数の通信プロセッサ間の論理リ

ンクを独立かつ直接処理することができ、通信プロトコルオーバーヘッドの少ない大量データの高速転送に適合した高性能なデータ通信のできる計算機ネットワークを構成することができる。

この発明は、ランデブー形のプロセス間通信方式において多数の通信プロセスの論理的な結合制御が瞬時にできる通信制御プロセッサに関するものである。

すなわち、この発明はネットワークを構成する計算機(CPU)のソフトウェア上で定義した複数の通信プロセス(P)間の論理的な通信リンク(2a, 2b, 2c, 2d)を直接処理するために、

- (1) 各論理リンクごとに独立して論理リンクを確立及び終結する手段を有し、
- (2) 論理リンクの確立フェーズにおいて、リンク確立要求に応じて、ローカルメモリ(LM)中のリンクアクセステーブル(9)により未使用的リンク制御テーブル(LCT)を割り付ける手段と、
- (3) 上記割り付けたリンク制御テーブル(LCT)の番号をリンク番号と

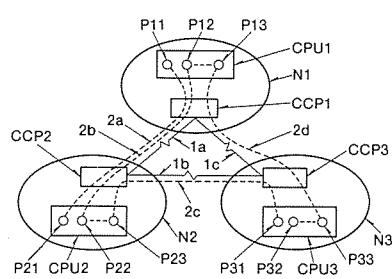


図1. (計算機ネットワーク)

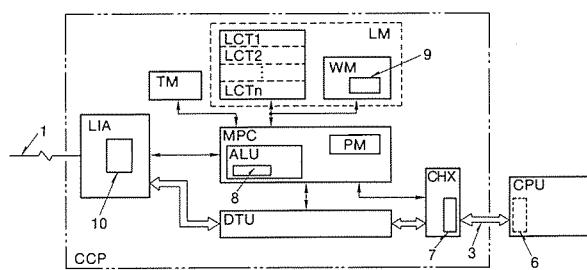


図2. (通信制御プロセッサの構成図)

ステッピングモータ駆動方式 (特許 第 1454757 号)

発明者 上田 秀敏, 梅原 誠二

この発明は、ステッピングモータの駆動方式に関するものである。すなわち、図において、駆動入力パルス(1)が基準周波数以上であれば、周波数判別回路(9)はゲート回路(10)に対して周波数判別回路(9)の出力波形9pの斜線部のような出力を出し、励磁制御回路(2b)の出力をステッピングモータの極(3)(4)(5)(6)に伝達せしめる。このとき、ステッピングモータの極(3)(4)(5)(6)は図2に示すステッピングモータの各極(3)(4)(5)(6)の励磁波形(3p) (4p) (5p) (6p)の破線部より左側に示す波形のような関係で励磁される。その後、駆動入力パルス(1)の周波数が下がり、周波数判別回路(9)が基準周波数以下であると判別すると、周波数判別回路(9)はゲート回路(10)に対して周波数判別回路(9)の出力波形(9p)の斜線部より右のような出力を出し、励磁制御回路(2a)の出力をステッピングモータの極(3)(4)(5)(6)に伝達せしめ

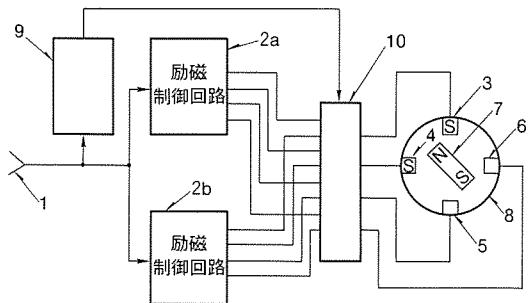


図1. (正面図)

る。このとき、ゲート回路(10)は周波数判別回路(9)の信号を受取った後、ステッピングモータの同期ずれを防ぐために、励磁制御回路(2b)と励磁制御回路(2a)の出力が一致する点、つまり図2の励磁波形(3p) (4p) (5p) (6p)の破線部の点で出力を切換える。それ以降は、励磁波形(3p) (4p) (5p) (6p)の波形の破線より右側に示す関係で励磁される。周波数が基準周波数より低から高へ変化するときも、同様にゲート回路(10)は励磁制御回路(2b)と励磁制御回路(2a)の出力が一致する点で周波数判別回路(9)の信号により出力を切り換える。

このように、この発明は、駆動入力パルス(1)の周波数を判別することにより低速と高速で駆動方式を切り換えるようにしたため、低速では振動が少なく、高速ではマージンのある動作とすることができる。

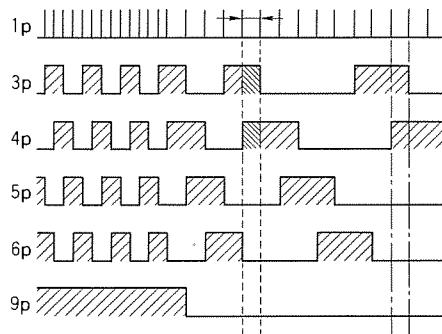


図2. (側面図) (ステッピングモータの極の
励磁変位タイミング図)

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 65 No. 1 技術の進歩特集

- 研究
- 電力・エネルギー
- 産業用システム・機器
- 宇宙開発と衛星通信
- 情報・通信

- 半導体と電子デバイス
- 建築関連設備
- 交通
- 家電関連機器

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
△	紅林秀都司
△	吉岡 猛
△	鳥取 浩
△	柳下 和夫
幹事	長崎 忠一
12月号特集担当	大塚 貞正

三菱電機技報 64巻12号

(無断転載を禁ず)	1990年12月22日 印刷
	1990年12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 650号室 (〒100) 三菱電機エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報」 Tel. (03) 218局2806
発売元	東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 233局0641(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)

三菱電機技報 (1990年) (第64巻) 総目次

1号 技術の進歩特集	5号 産業用ロボット特集	9号 マイクロ波デバイス特集
2号 通信のネットワーク化特集	6号 エンジニアリングオフィスシステム《EOS》特集	10号 昇降機特集
3号 原子力発電所計装制御システム特集	7号 汎用シーケンサ《MELSEC》特集	11号 ドライブエレクトロニクス/センシング技術特集
4号 空調と快適性特集	8号 映像音響機器と映像情報システム特集	12号 鉄鋼プラントを支える最新技術特集

〈技術の進歩特集〉

1. 研究.....	1 ··· 21	6. 半導体と電子デバイス.....	1 ··· 73
2. 電力・エネルギー.....	1 ··· 33	7. 建築関連設備.....	1 ··· 83
3. 産業用システム・機器.....	1 ··· 41	8. 交通.....	1 ··· 89
4. 宇宙開発と衛星通信.....	1 ··· 55	9. 家電関連機器.....	1 ··· 95
5. 情報・通信.....	1 ··· 61		

特集論文

〈通信のネットワーク化特集〉

1. 通信のネットワーク化に関する展望.....	室谷正芳・石井康一 2 ··· 110
2. 企業通信の国際ネットワーク化.....	鈴木孝一・竹澤淳元・天野勝美・小林 洋・文字正樹・小原博修・小川義輝 2 ··· 113
3. 東海道新幹線の新しい通信ネットワーク.....	松本和臣・横山保憲・松本真二・有村慎一・藤田 進 2 ··· 119
4. PBX を中核とした通信ネットワークの展開.....	大竹康友・岩橋 努・佐藤公保 2 ··· 126
5. 米国における自動車電話システム.....	一ノ瀬友次・三橋浩二・今村孝行 2 ··· 131
6. SNG (Satellite News Gathering) ネットワーク.....	清水芳之・堀江 丞・中西道雄・岡田東亜・日向正瑞 2 ··· 137
7. 三菱電機 VAN "MIND" の運用技術と今後の展開.....	長谷川修二・北川健一・宮内由美子・清水道夫・源馬良太 2 ··· 142
8. ファクシミリ メールシステムの国内外ネットワークへの展開.....	遠藤 淳・東方敦司・鶴沢 清・荻野義一 2 ··· 146
9. バックボーン LAN とその応用.....	山内才胤・厚井裕司・井出口哲夫・松本正弘・白井良武 2 ··· 150
10. 国際通信ネットワークにおける高能率音声・データ伝送技術.....	内藤悠史・小林信之・斎藤和夫 2 ··· 155
11. 公衆通信ネットワークにおける加入者線多重伝送方式.....	部谷文伸 2 ··· 159

〈原子力発電所計装制御システム特集〉

1. 原子力計装制御の展望.....	松宮正幸 3 ··· 200
2. 大飯 3・4 号機向け計装制御システム.....	岡崎 旦・松宮正幸・路次安憲 3 ··· 202
3. 大飯 3 号機向け計装制御システム総合組合せ試験.....	細見諦石・山本義博・服部憲治・松本雄二・湯上邦雄ほか 3 ··· 207
4. 将来プラント向け総合計装制御システム.....	犬房和夫・小橋秀一・山脇雅彦 3 ··· 211
5. 高速増殖炉もんじゅ発電所向け計装制御システム.....	赤野 健・土肥 明・和田守啓・河原憲一 3 ··· 216
6. 原子力向け汎用計装制御システム《MELTAC-C》.....	上田敏晴・深見晴男・松尾慶一・馬場彰憲・下里正夫 3 ··· 220
7. 原子力計測制御設備の自動化システム.....	早川利文・福光裕之・藤田和彦 3 ··· 226
8. 原子力発電所技術支援管理システム.....	大屋 正・阿部紀彦 3 ··· 232
9. 予防保全技術.....	木村佑二・犬島 浩・犬房和夫・安江 悟 3 ··· 237
10. 巡視点検ロボット.....	竹中俊夫・大屋 正 3 ··· 242

〈空調と快適性特集〉

1. 空調環境技術の展望.....	荒野皓也 4 ··· 290
2. 空調機における冷房時の涼感コントロール.....	菅原作雄・大西茂樹・永友秀明・石岡秀哲 4 ··· 292
3. 石油ファンヒーターの快適制御.....	原 正規・菅原作雄・藤田喜助・関口孝志 4 ··· 296
4. 室内空間における騒音計算プログラム.....	松本 徹・田中英晴 4 ··· 300
5. 室内環境と空気清浄.....	野田富士夫・児玉晴之 4 ··· 304
6. オフィス空間における快適空調システム.....	小川剛保・五十嵐好信 4 ··· 308
7. 《フリーコンポマルチ》システムの構築.....	宮崎信之・隅田嘉裕 4 ··· 314
8. 住宅用《ロスナイ換気暖房システム》.....	川渕 勇・中村四雄・佐々木 誠 4 ··· 319
9. 列車内空調システムとその制御.....	浜崎信義 4 ··· 324
10. 安眠マットの快適制御.....	菅原作雄・前田由佳・高梨靖士・須田 洋 4 ··· 328

〈産業用ロボット特集〉

1. 産業用ロボットの現状と動向	佐竹幸雄・臼井久仁次	5	368
2. パーソナルマイクロロボット《ムーブマスターM2シリーズ》	寺内常雄・今泉武男・西村隆朗・青木良明・関口久由	5	372
3. 力覚センサ搭載6軸垂直多関節ロボット	渡部裕二・守田裕親・小林智之・鈴木康之・馬場孝夫・藤田正弘	5	377
4. ロボット応用マテハンシステム—パレタイジング・機械加工—	三田村隆輝・石原 豊	5	381
5. クリーンロボット	関口久由・村田一正・西村隆朗	5	386
6. ロボットダイナミックスシミュレーション	増田隆広・寺内常雄・小林智之・臼井久仁次	5	392
7. ロボットのデザイン	木村允紀	5	396
8. AI応用パレタイズシステム	田島 仁・長田典子・小平紀生・茂泉 徹	5	399
9. 自動車最終組立てにおける高度自動化ライン	鈴木理氏・佐藤 朗	5	403
10. 中・大形マテハンロボット—RH, RVシリーズ—	松岡達雄・川村正美・伊藤雅信	5	408

〈エンジニアリングオフィスシステム《EOS》特集〉

1. 《EOS》の現状と動向	加藤礼二	6	452
2. 三菱が提案する将来の《EOS》	佐々木道雄・高橋正夫・荒川直人・渡部明洋・川上眞二	6	457
3. 機械設計における《EOS》	中林久良・中野隆雅・塙谷景一・山中尚光	6	461
4. 電子設計における《EOS》	阿部 忠・沢辺 学・有賀幾夫・国岡美千子	6	465
5. 《EOS》の基盤技術	松井保憲・片山隆男・曾谷徹郎・上浪謙一・氷見基治	6	469
6. 《EOS》のユーザーインターフェース	前田 瞳・渡部明洋・松井保憲・立花幹生・平田孝雄	6	475
7. 《EOS》のモデル環境	原 正樹・米沢みどり	6	479
8. ソフトウェア開発業務における《EOS》の構築	徳永 敏・加藤 忠・川崎雅夫・竹内康晃・鈴木昌則	6	484
9. 研究業務における《EOS》の構築	塙井啓吾・磯田辰夫・澤田博明・竹内康晃	6	491

〈汎用シーケンサ《MELSEC》特集〉

1. 汎用シーケンサ《MELSEC》10年の歩みと今後の展望	佐竹幸雄・伊藤善文	7	536
2. 高性能な次世代マイクロシーケンサ“FX ₂ ”	奥村良之・植田浩司	7	540
3. 小形フレキシブルシーケンサ“A2C”(COMPACT A)	高橋 昇・長南功男・安藤高彦・永橋太吉	7	545
4. 高機能・高性能シーケンサ“AnA”	伊藤龍男・山下善臣・尼崎新一	7	550
5. 省配線用小形高速ネットワーク《MELSECNET/MINI-S3》	滝沢義知・高橋俊哉・近藤治彦・松尾知香・工藤保晴	7	555
6. FA標準ネットワークMAP対応機器	厚井裕司・大島道隆・中野宣政・水野孝治	7	559
7. 三菱シーケンサ用SFC《MELSAPII》	杉山 彰・若宮明子・岩田恭伸	7	564
8. 多軸位置決め機能付きシーケンサCPU“A73CPU”	滝沢義知・鈴木康之・岡田美佐子・林 毅彦	7	569
9. FAコントローラ・汎用シーケンサ応用FAコントロールシステム	野村 哲	7	575

〈映像音響機器と映像情報システム特集〉

1. 映像音響機器と映像情報システムの展望	大西良一	8	614
2. カラーテレビジョン受像機“CZ3シリーズ”	利安雅之・菊池修二・北村義弘・石井良典・有田栄治	8	617
3. 高画質ビデオプロジェクションテレビ“45P-Z1”	伊藤正輝・河村博至	8	622
4. ハイビジョンディスプレイ	伊藤 俊・奥田博志・井之上 章・山辺俊樹・栗秋 誠	8	626
5. VTRのオートトラッキング技術	小島正典・塙原敏郎・増田隆広・岡田克巳・北澤健一・佐野 彰	8	631
6. VTRの高画質化技術	大橋知典・岡田克巳・渡部美代一・苗村康次・川野 努	8	635
7. カラービデオコピープロセッサ“SCT-CP200”	加納公生・尾崎安彦・加藤 悟・和田隆吉	8	639
8. AVスピーカーにおける最新技術	原 宏造・吉田俊治・倉持仁一・吉成健二	8	644
9. PD方式96kHzハイサンプリングPCM録音機	杉山和宏・近藤康雄・大西 健・石田禎宣・山口哲成	8	649
10. 最新映像技術による次世代大型映像表示装置《高精細型オーロラビジョン》	森田俊二・富松則行	8	653
11. テレビ会議システム	山口哲成・布野健二・高野広志・神原隆宏・松室昌宏	8	657
12. カラー静止画テレビ電話	海老原正二・瀬政孝義・石倉政美・上野 裕	8	662
13. 衛星通信利用社内教育・映像情報システムの構築	長谷川修二・徳永 良・吹野正弘・柏木淳夫・佐久間 宏・糸原明義	8	666
14. ホームシアターシステム	森田 茂	8	670
15. 大型ドームスクリーン向け音響システム	成木利正・森田 茂	8	674
16. AV機器のデザイン特性	谷内 健	8	680

17. JR 東海名古屋駅納め映像情報システム“MEDIA-ONE”	木村尚史・穂苅 亘	8	684
18. 車載用ディジタルオーディオ テーププレーヤー	中西康之・加藤博明・森本隆雄・岡 浩太郎・森 一夫・松田隆志	8	689

〈マイクロ波デバイス特集〉

1. マイクロ波デバイスの概要	橋本 勉	9	706
2. GaAsFET の製品概要	山内眞英・園田琢二	9	712
3. HEMT MMIC 増幅器	加藤隆幸・佐々木なぎさ・吉井 泰・小引通博・長浜弘毅	9	715
4. マイクロ波高出力 FET 増幅器	高木 直・清野清春・池田幸夫・石原 理・藤原正人・田村高之	9	719
5. 超小型地球局用マイクロ波周波数変換器	青木克比古・山中 治・堂前光洋・浦崎修治・飯田明夫・伊東健治	9	723
6. マイクロ波モリソニック移相器	伊山義忠・松永 誠・石原 理・青木 浩・増田義弘	9	728
7. SAW デバイス	三須幸一郎・永塚 勉・和高修三・井上 健・末田岳志	9	733
8. 静磁波デバイス	浅尾英喜・宮崎守泰・大橋英征・石田修己	9	737
9. マイクロ波伝送用 LD モジュール	山下純一郎・仲川栄一・笠原久美雄・柿本昇一	9	742
10. 超電導マイクロ波デバイス	野口 卓・高見哲也	9	747
11. X 帯集積化受信機モジュール	川上陽一・功刀 賢・西田幸治	9	751

〈昇降機特集〉

1. 昇降機技術の展望	渡辺英紀	10	792
2. 新シリーズエレベーター 『グランディ』	米本正志・杉田和彦・村松 洋・神谷代詞男・牧野克己	10	796
3. データネットワーク型エレベーター制御システム	岩田茂実・河合清司・安藤 宏	10	801
4. 油圧式エレベーター用新駆動制御システム	下秋元雄・正城孝信・三宅立郎・山本友一郎・富沢正雄	10	807
5. エレベーターにおけるヒューマンファクター	相沢稔男・吉田研治	10	811
6. インバータ制御を用いた超高速エレベーター	棚橋 徹・天野雅章・杉山美樹・高木 茂・伊藤博康	10	817
7. 最近のエレベーター意匠技術	榎原邦夫・戸田不二夫・太田寿信・国井清司・服部勝利	10	823
8. エレベーター遠隔監視制御システム	館野健三・氏原英世・山田邦雄・河原利昭	10	826
9. 新車いす乗用ステップ付きエスカレーター	柴田勝美・北村茂治・田中正明・中村春彦	10	831

〈ドライブ エレクトロニクス特集〉

1. ドライブ エレクトロニクスの展望	矢野昌雄・矢野禎成	11	880
2. 低騒音インバータ FR-Z300 シリーズ	伊藤友隆・杉本重幸・西澤勇治	11	885
3. 誘導型 AC サーボ《MELSERVO-V シリーズ》	石川嘉夫・大川義光・島 晶・井川 康	11	891
4. PG レスペクトル制御インバータ	玉井伸三・大上正勝・岩崎政彦・長野鉄明・栗山茂三・今中 晶	11	896
5. エレベーターにおけるドライブ エレクトロニクスの応用	鈴木茂彦・正城孝信・吉田雅之・荒木博司・多和田正典	11	901
6. ライン制御用インバータと汎用シーケンサによる中小規模プラントの可变速制御	小鍛治 稔・村中隆生・溝口昭次・下村弥寿仁・荒木孝浩	11	907
7. ターボコンプレッサ用大容量超高速可变速電動機システム	田島正明・増田博之・江頭英明・後藤久雄・山元 寛	11	912
8. リニヤ搬送装置の FA 分野への適用	前原利昭・中本道夫	11	918

〈センシング技術特集〉

1. イメージセンサの技術動向	坪内夏朗・浅井外寿・木股雅章	11	926
2. 熱式空気流量センサ	谷本考司・有吉雄二・別所三樹生・大谷七郎・山川智也	11	930
3. レーザによる複合型異常センシング技術	中島利郎・亀井光仁・八木康史・土井 博	11	934
4. パイプ内面形状センサ	高嶋和夫・山口圭一・望月延夫・谷口善昭 ほか	11	939
5. 半導体ウェーハ表面欠陥検査装置	田中 均・大重豊実・宮崎陽子・市村英男・友田利正	11	943
6. 非接触速度むら測定器とその応用	田代秀夫・小池敦美・矢部利郎	11	949
7. サーマル イメージャ	藤野正太郎・西村照弘・三好哲夫・日和佐 淳・柳本重治	11	955
8. インテリジェント電磁流量計とフィールド ネットワーク	長田俊二・春尾弘志・鈴木敏春	11	960

〈鉄鋼プラントを支える最新技術特集〉

1. 鉄鋼プラント用電機品の展望	川崎宗男	12	974
------------------	------	----	-----

2. 热間圧延プラント用電機品	大塚貞正・三浦敬一・渡辺文夫・吉田二三男	12.....978
3. サイクロコンバータ駆動同期電動機の圧延主機への適用	岡部淳一郎・城地慎司・藤井俊行・江藤憲昭・吉村 誠	12.....985
4. 交流可変速ドライブの鉄鋼プラントへの適用	山本国成・轟 幸男・岩永 忍・小川晴毅・小山正人	12.....991
5. 大規模分散化計算機システム	瀬名一生・宮後 彰・平塚紀嘉・目出康男・佐藤省三	12.....999
6. プロセスラインにおける EIC 統合化システム	山中宣也・貞森郁一・小川 出	12.....1003
7. AI を利用した加熱炉燃焼制御システム	若宮宣範・鶴田 誠・磯部昌毅・楠本 希	12.....1011
8. 冷間圧延機の形状制御システム	三吉貞行・小松富夫・斎藤輝弘・森 賢嗣・小寺嘉一	12.....1016
9. 鉄鋼用溶接機と誘導加熱装置の現状と動向	大豆本正文・北川 勉・塙田光政・内山憲一	12.....1022
10. 鉄鋼プラント用特殊センサ	植木勝也・田代秀夫・田中洋次	12.....1027

普通論文

1. 火力タービン発電機用励磁装置の近代化	鈴木一市・下村 勝・甲斐克彦・堀本昭裕	2163
2. 水車発電機用ブラシレス励磁方式と非接触式異常検出装置	松枝泰生・本川幸雄	2169
3. 《MELCOM80》リレーションナル データベース プロセッサ“GREO”	中込 宏・科野順藏・笠原康則・小宮富士夫・伏見信也	2173
4. スーパミニコンピュータ 《MELCOM70 MX/5000-SP シリーズ》	河内浩明・茂木 強・大野次彥・猪飼誉夫・仲摩 寿	2178
5. 燃料電池発電システムの動特性解析	佐々木 明・松本秀一・田中俊秀・池田辰也・田熊良行・留井英明	2183
6. 赤外線撮像素子冷却用高性能スターリングクーラー	数本芳男・柏村和生・古石喜郎・清田浩之・和田明文	2188
7. 多元 ICB 装置による高温超電導薄膜の形成	川越康行・塙崎 尚・山西健一郎・田中正明・今田勝大	2192
8. 三菱 FA コントローラ《MELSEC-LM7000》	葛西由夫・宇丹大二・大西作幸・高橋俊哉・岩田恭伸・新藤研二	3248
9. 三菱オゾンプール浄化装置	佐々木利彦・田中政之・納庄貞宏・四元初男	3254
10. 国土庁中央防災無線網衛星通信系用地球局設備	岡野弘志・高橋 司・渡辺修身・有田雅雄・加藤栄二郎	3258
11. 衛星通信用ビットレート可変型モード	井上誠也・富士 剛・三宅 真・村上圭司・伊藤久明	3264
12. 浴室用換気・暖房・乾燥システム	鶴飼 誠・牛越康徳・可知忠勝・松井 進	3269
13. IC リードフレーム用新銅合金 MF224	橋爪公男・中西輝雄・北風敬三・久保健治	3274
14. 新しい構造用ウレタン系接着剤の開発及びエレベーター意匠パネルへの適用	原賀康介・西川哲也・山本和美・服部勝利・勢力峰生	3279
15. 加工分野向け CAD/CAM 統合システム	田中 豊・長谷川貞彦・藤野大助・中山喜敬・渡辺尚紀・大山年郎	4332
16. EX オンライン端末分散処理機能《CIMS II/DS》	小出 真・吉田 学・渡辺 靖・木谷 徹・山崎史江	4337
17. 部品化による生産性向上を目的とした高生産性言語 A II	逢坂 仁・稻生紀和	4341
18. M6269 OA 日本語プリンタ装置	品田幹夫・坂井克由・廣野哲郎・岩井浩一	4345
19. 超高速16ビット ワンチップ マイクロコンピュータ	伊藤 栄・神崎照明・宮田和明・中村充善・脇本昭彦	4349
20. 2線式テレビドアホン	塙越定之・近藤泰弘・松本 渉	4354
21. “表面—界面切削法”による塗膜物性評価システム	西山逸雄・高橋健造	4357
22. 三菱統合制御システム《MACTUS 500 シリーズ》	古屋鍵司・嶋岡正浩・森 俊吾・成原弘修・畠辺 健	5413
23. SL-A/I 形光加入者線多重伝送装置	飛田康夫・小須田伸一・牧野真也・手島邦夫・藤田夏男・溝口隆宏	5419
24. 小径固定磁気ディスク装置における高密度記録媒体	秦 久敏・表野 匠・福市朋弘・梅崎光政	5423
25. 浮動小数点アクセラレータ搭載の三菱 EWS“ME シリーズ”	中山喜貴・氷見基治・原田 努・片山隆男	5427
26. 信号処理に基づくプラント診断エキスパートシステム構築ツール—信号解釈システム—	犬島 浩	5432
27. オフコンとパソコンの分散トランザクション処理システム《TPREPO》	高崎英治・遠藤 恵・李 必斗	5436
28. 空調用二重反転送風機《カウンターアローファン》	長谷川恵一・鶴飼 誠・熊崎伸夫・岩村義巳・田中英晴・大蔵勝久	5440
29. 関西電力(株)南港発電所向け 1 号 600 MW 水冷却タービン発電機	免太 享・棚山正樹・松崎盛夫・中野直広	6495
30. 口径1.3m 赤外線モニタ観測装置	奥田治之・小林行泰・遠田治正・佐々木浩之・上田隆美	6501
31. 分散利用が可能な日英機械翻訳システム	丸山冬樹	6506
32. MS OS/2 用端末エミュレータ	金 俊史・京盛真信・田村敏之・岩田政春・安田秀朗	6510
33. 高速 4 ビット CMOS EPROM	古庄辰記・野口健二・和氣節雄・岩沢直幾・森 昇	6514
34. トレンチ堆積法による CVD 成膜機構の解析	結城昭正・松井安次	6518
35. 工業用ミシンの押さえ機構の追従性	村松直樹	6523
36. 汎用電子計算機“EX シリーズ”における TCP/IP ネットワーク “TCP/IP-EX”		

.....	太田 潔・坂上 勉・関口 裕・森 啓・笹嶋俊次郎	7	581
37. 汎用電子計算機“EX シリーズ”における TCP/IP ファイル転送機能“FTP”	下田義孝・垣谷信夫・町田 敦・鹿子島正明・桜井伸一	7	586
38. ショッピング用プリペイドカード システム	外山 肇・上田雅章・小林 明	7	590
39. 高性能ワイヤ放電加工機“Z シリーズ”	田中 誠・仲 成章・真柄卓司	7	594
40. 中部電力(株)東信変電所納め 275kV250 MVA 分路リアクトル内蔵変圧器	塩入佳孝・江川 武・三浦良和・祖開克二・中塚昭治	7	598
41. 8 K × 8 / × 9 ビット超高速 SRAM	藤野良幸・木原雄治・古賀 剛・秋山義雄・佐合良教	7	603
42. 電力系統需給計画支援システム	伊与田 功・須藤剛志・土井 淳	9	755
43. 水中サンドポンプ用大容量油封式水中電動機	本多正人・池田雅博・川口和孝	9	759
44. 配線レス大電流用プリント基板	林 悟・足立敏治・風間 務・崎田喜久雄	9	764
45. 大電力 X バンドクライストロン	林 和孝・田中利二・逸見和久・家喜洋司・山下進一	9	769
46. FAX 用帶域圧縮伸長コントローラ M66330SP/FP	今中良史・広川祐之・吉田真澄・谷口正治・真野純司	9	773
47. X ウィンドウシステムの実装	田中 敦・福岡久雄・齊藤智明・福島克己	9	778
48. 車載ナビゲーション用位置検出技術	上田文夫・播口正雄・野田博司・横内一浩・清水 修	9	782
49. 超限流遮断器“ニューウルトラシリーズ”	山県伸示・今村 剛・小林義昭・村田士郎・久常文之	10	835
50. エキスパートシステムの自動列車運転装置への適用	池田博昭・落合 統	10	840
51. 三菱 EWS“ME シリーズ”ME250/250FX	小嶋滋弥・大川裕利・川口隆司	10	846
52. 光 CATV 用 DFB レーザ	榎原 靖・柿本昇一・武本 彰	10	851
53. 同期設計 ASIC 用静的タイミング検証システム TACSV	今井正紀・北川京子・石川広美・小原淳子・高瀬和彦	10	856
54. 自動車用16ビット ワンチップマイコン M37794E3TJ	杉田 充・三宅孝志・村松菊雄・田山俊明・宮田和明・安達忠吉	10	861
.....	草間幸男・若宮正洋・宮田 実・伊藤英明・加藤 清	12	1035
55. ME シリーズ用機械系 CAE システム MECA	横田優子・花島真人・小泉孝之	10	867
56. 幕張テクノガーデン“IC カード利用の入退室管理システム・鍵管理システム”		
57. 多地点テレビ会議システム	岡 進・松室昌宏・茂木一男・寺内弘典・平野美穂子	12	1041
58. 衛星間通信用搭載アンテナ追尾制御システム	阿波祐二・山田克彦・山口哲郎・柏瀬俊夫	12	1047
59. 800MHz 帯ディジタル自動車電話用リニアアンプモジュール	小室勝哉・阪本 進・岸本 悟・宮沢富士夫	12	1055
60. 超高速 256K ビット CMOS SRAM シリーズ	石崎 統・小杉龍一・津田信浩・岡本泰之・松尾龍一	12	1059
61. 冷暖同時マルチエアコン	飯嶋 等・隅田嘉裕・田中直樹・中村 節	12	1064
62. 多極参照電極付き単セルによるリン酸型燃料電池の分極挙動の解析	光田憲朗・村橋俊明・松本正昭・留井英明	12	1070

総合デジタル制御システム

スポットライ《MELTAC-C》

《MELTAC-C》シリーズは、原子力発電所向け制御システムの設計思想をベースに、高信頼性・高機能性・高保守性を実現するとともに、経済性を追求した汎用制御システムで、CRTを用いたプラントコントロールを実現しています。マンマシンインタフェースを司るオペレーターズステーション(OPS)・プラントの制御を実行するフィールドコントロールステーション(FCS)・システムのエンジニアリング機能をサポートするエンジニアリングステーション(ENS)・システムのデータベースとしての位置づけをもつコンピュータステーション(CPS)等で構成され、各コンポーネントはデータウェイ(OPSバス)で有機的に結合されてEIC-FA統合システムを構成します。



OPSの特長

- プラントの運転・監視情報の20インチ高分解能CRT(1280×1024ドット)表示や、CRT画面上でのA/Mステーション操作機能などによるワンマンオペレーションの実現。
- 32ビットのCPUとマルチタスク・リアルタイムOSによる高速処理。
- 最大12000点のタグ登録点と、2340点のトレンド登録点。
- リアルタイムに警報の発生が認知できる警報テロップ機能と、警報修復画面へワンタッチ展開できる警報ポップアップウィンドウによる優れた警報修復能力。

FCSの特長

- 計装制御と電気制御の統合(EI統合)。
- 割り込みのないシングルタスクによる定期処理。
- 自己診断機能によるカード単位までの故障検出。

ENSの特長

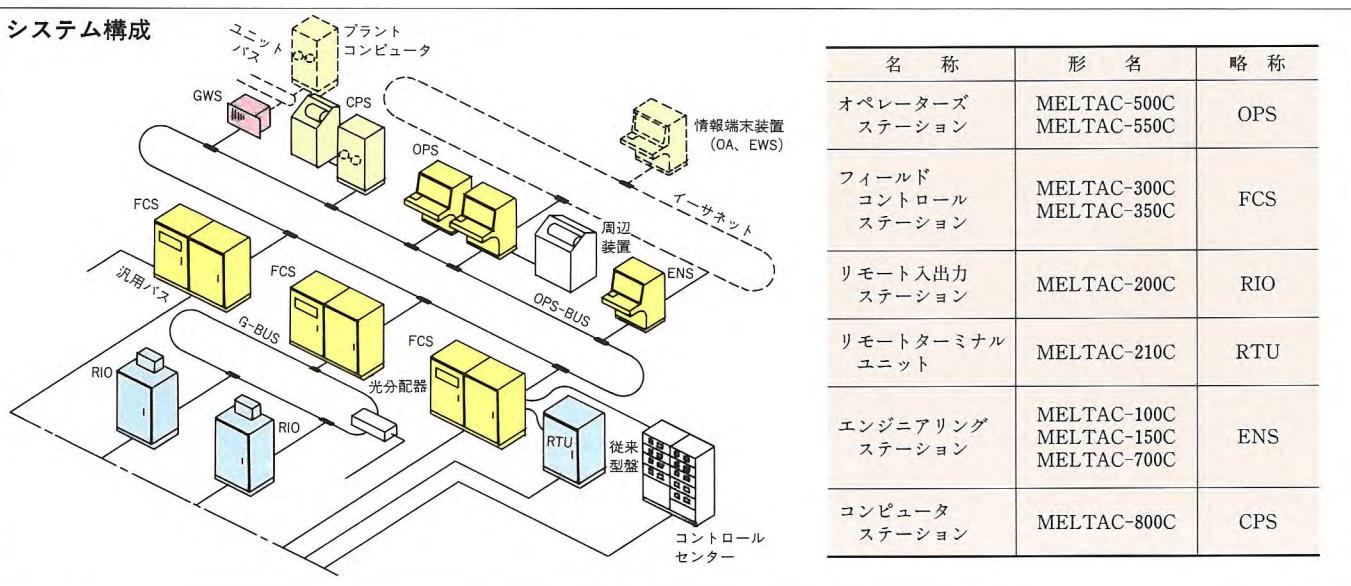
- FCSの入出力状態・制御アプリケーション実行状態のモニタリング。
- CRT上で計装ブロック図を読む感覚で制御アプリケーションの作成・変更が可能。
- OPSバス経由で各FCSに制御アプリケーションのダウンロードが可能。

CPSの特長

- 大容量メモリによるプラント情報の一元管理。

OPSバスの特長

- 《MELTAC-C》各コンポーネントの水平協調分散構成の実現
- 伝送速度10MBPSの高速伝送
- サイクリック、会話型等の多彩な伝送方式をサポート



三菱ノーヒューズ遮断器

スポットライ 30Aフレーム経済品“NF30-CS形”



ご好評をいただいている30Aフレームの経済品(Cシリーズ)をモデルチェンジし、性能をさらにアップした“NF30-CS・MB30-CS”を新発売しました。外形寸法・取付寸法等については、従来品とまったく同一であり、さらに付属装置等を充実させ、使い易さが向上しました。また、徹底した自動化ラインにより、安定した高品質の製品を短納期でお届け致します。

特長

- AC200Vはもちろん、AC400V回路にも対応可能、定格使用電圧AC460Vに格上げしました。
- 充実した内部付属装置
 - ①2極品にも警報スイッチ(AL)、補助スイッチ(AX)が取付可能。
 - ②リード線の負荷引出しも指定により製作可能。(標準は横引出し)
 - ③リード線端子台(LT)付も製作可能。
 - ④警報スイッチ(AL)付の場合、トリップボタンが付属。
- 裏面形も製作可能
 表面形に加え、裏面形も製作できます。
- IEC35mmレール(DINレール)取付も可能。
 表面取に加え、IEC35mmレール取付(オプション)も可能です。
- 見易い名板貼付位置
 3極品はもちろん、2極品の本体名板も遮断器正面に貼付けました。

仕様

フレーム A		30			
形名		NF30-CS		MB30-CS	
極数 P		2	3	2	3
定格電流 A 基準周囲温度40°C モータブレーカの場合 E種モートルの電流に合わせています (注1)電動機の定格容量kW	3 5 10 15 20 30	100V用 A kW 32 7.5 15 16 0.75 25 5.5 11 10 0.4 16 3.7 7.5 6.3 0.2 12 — 5.5 4 0.1 10 2.2 — 8 — 3.7 200V用 A kW 7.1 1.5 (8) 0.75 4 0.75 1.5 (5) 0.4 2.5 0.4 — (3.2) 0.2 2 — 0.75 (2) 0.1 1.4 0.2 — — 1.2 — 0.4	200/220V 400/460V kW kW	A kW 32 7.5 15 16 0.75 25 5.5 11 10 0.4 16 3.7 7.5 6.3 0.2 12 — 5.5 4 0.1 10 2.2 — 8 — 3.7 200V用 A kW 7.1 1.5 (8) 0.75 4 0.75 1.5 (5) 0.4 2.5 0.4 — (3.2) 0.2 2 — 0.75 (2) 0.1 1.4 0.2 — — 1.2 — 0.4	500 500
定格電圧 V AC 定格遮断容量kA JIS(sym) AC 460V 220V		1.5 2.5		1.5 2.5	
接続方式 表面形 (F) 裏面形 (B)		◎圧着端子用 △丸スタッド(組込み)		◎圧着端子用(TC-Sつき) △丸スタッド(組込み)	
付属装置つき 警報スイッチ (AL) 補助スイッチ (AX) リード線端子台 (LT) 箱入り 閉鎖形 (S)		○ ○ ○ ○		○ ○ ○ ○	
別売部品 端子カバー TC-L・S BTC TTC IEC35mmレール(DINレール)取付用アダプター(DIN03CS)		○ — ○ ○		○ — ○	
電気用品型式認可(▼取得済)		▼		▼	
標準引きはずし方式		完全電磁		完全電磁	
トリップボタン		△(注2)		△(注2)	

注(1)モータブレーカの名板には、適用電動機定格容量は記載してありません。
電動機の全負荷電流により選定してください。定格電圧は適用できる回路電圧の最大を示します。

注(2)警報スイッチ(AL)つきのみ取付けます。

世界最大クラスの遮断容量200kA

スポットライト 三菱超限流遮断器“Newウルトラシリーズ”

最近の大形ビル物件での大容量受配電方式における短絡容量の増大、給電の信頼性を高める選択遮断領域の拡大、システムとしての経済性を追及したカスケード遮断容量の向上等のニーズに対応するため配線用遮断器には遮断容量の拡大、限流性能の向上がより強く求められています。三菱電機では、こうした要求にお応えするために世界最大クラスの遮断容量200kAと高い限流性能を実現した超限流遮断器“Newウルトラシリーズ”を発売致しました。

特長

●世界最大クラスの遮断容量200kAの実現

三菱独自のSJ-VJC(※1)技術を採用した限流ユニットを遮断器本体の電源側へ接続するというまったく新しい発想により、世界最大クラスの遮断容量を実現させました。

※SJ-VJC=Split Jumping Vapour Jet Control(高速転流式アーク制御技術)

●優れた限流性能

①カスケード遮断容量の向上

超限流遮断器をカスケード遮断方式のバックアップ遮断器として使用することにより、分岐回路のカスケード遮断容量を大幅に向上させることができ、経済的なシステムを組むことができます。

②選択遮断領域の拡大

分岐回路に超限流遮断器を使用することで、選択遮断領域が拡大し、給電の信頼性がより増すようになります。

●新IEC規格(947-2)に適合し、Ics=100%Icuを実現

配線用遮断器の国際規格IECが新しくなり、IEC157-1からIEC947-2に変更されました。遮断性能に関する主な変更点はIcuとIcsの表示です。超限流遮断器は、Icsの値をIcuと一緒にし、Ics=100%Icuを実現しています。



●アーカスペース “ゼロ” の実現

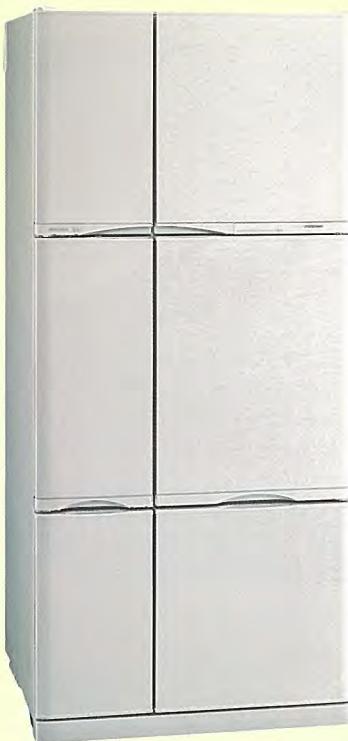
電源側の端子部に排気孔がなく、アークガスを排出しない構造になっており、AC460V以下ではアークガスに対しての絶縁距離(アーカスペース)をとる必要はありません。このため信頼性が向上し、盤スペースの縮小が図れるというメリットがあります。

仕様

フレーム			30		50			100			225											
形名			NF30-US		NF50-UC		NF50-US		NF50-UR		NF100-UC		NF100-US		NF100-UR		NF225-UC		NF225-US		N225-UR	
定格電流A			3 5 10	10 15 20	10 15 20	15 20 30	(50) 60	15 20 30	15 20 30	125 150	125 150	125 150	125 150	125 150	125 150	125 150	125 150	125 150	125 150	125 150		
高準周囲温度 40°C			15 20 30	30 40 50	30 40 50	(40) 50	75 100	40 50 60	40 50 60	175 200	175 200	225	175 200	225	225	225	225	225	225	225		
極数			2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3		
定格電圧	AC		600	600	600	690	600	690	690	600	600	690	690	600	600	690	690	690	690	690		
	DC		250	—	250	—	250	—	250	—	250	—	250	—	250	—	250	—	250	—		
定格遮断容量kA	JIS		550V	20	—	20	200	—	42	200	—	42	200	—	42	200	—	42	200	—		
	AC		460V	50	50	125	200	50	125	200	50	125	200	50	125	200	50	125	200	50		
	DC		220V	100	100	125	200	100	125	200	100	125	200	100	125	200	100	125	200	125		
	IEC(Icu/Ics)		250V	40	—	40	—	—	40	—	40	—	—	40	—	40	—	40	—	40		
遮断容量kA	AC		500V	—	—	20/15	200/200	—	42/42	200/200	—	—	42/42	200/200	—	42/42	200/200	—	42/42	200/200		
	AC		440V	50/50	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50		
	AC		400V	50/50	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50	125/125	200/200	50/50		
	AC		240V	100/100	100/100	125/125	200/200	100/100	125/125	200/200	100/100	125/125	200/200	100/100	125/125	200/200	100/100	125/125	200/200	100/100		
	DC		250V	35/18	—	35/18	—	40/20	—	—	35/35	—	40/40	—	—	35/35	—	40/40	—	—		
外形寸法mm	NK(sym)		500V	50	—	—	200	—	125	200	—	—	125	200	—	125	200	—	125	200		
	AC		250V	100	—	—	200	—	125	200	—	—	125	200	—	125	200	—	125	200		
	a		75	75	75	90	90	90	90	120	105	105	105	105	105	105	105	105	105	140		
	b		185	185	185	216	216	216	216	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240		
外形寸法mm	c		68	68	68	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	103		
	Ca		86	86	86	104	86	86	86	104	110	110	110	110	110	110	110	110	110	127		

超静音冷蔵庫スペシャリテ500

スポットライト “MR-B50J”



三菱電機ではこのたび、新世代圧縮機と言える新開発のツインサスペンションメカニズム採用のロータリーコンプレッサーを搭載し、業界で最も静かな運転音19ホンを実現した超静音冷蔵庫スペシャリテ500“MR-B50J”を開発、新発売しました。冷蔵庫は年々多ドア化、大容量化傾向にありますが、気になる冷蔵庫の運転音は大形高級タイプになるほど、より静かなレベルが要求されます。“MR-B50J”は最高級冷蔵庫として静かなりリビングを演出するため、可聴域の限界に挑戦しています。

特長

●業界一の低騒音19ホンを実現

- ①ツインサスペンションメカニズム採用の新形圧縮機を搭載。
- ②庫内ファンにシロッコファンを採用し耳障りな風切音を低減。
- ③ソフトスタート・ソフトストップ(コンプレッサーとファンの起動・停止のタイミングをずらす)方式により、起動音・停止音を低減。

●コンパクト大容量の500ℓ6ドア

容積効率58%を実現したサイズは、コンパクトでありながら大容量の500ℓです。また、ストッカーとしての専用フリーザー・アイスルーム、冷蔵室、チルド室、野菜室、そしてボトル室と使い易さを徹底的に追求した6ドアタイプです。

●アイスクリーマー、自動製氷機を搭載

独立したアイスルームには、三菱独自の、材料を入れるだけでアイスクリーム、ソフトクリーム、シャーベットが簡単につくれるオートアイスクリーマーと、浄水機能付きでおいしい氷が自動的につくれる自動製氷機を搭載し、冷調理、そして豊かな氷の生活を提案します。

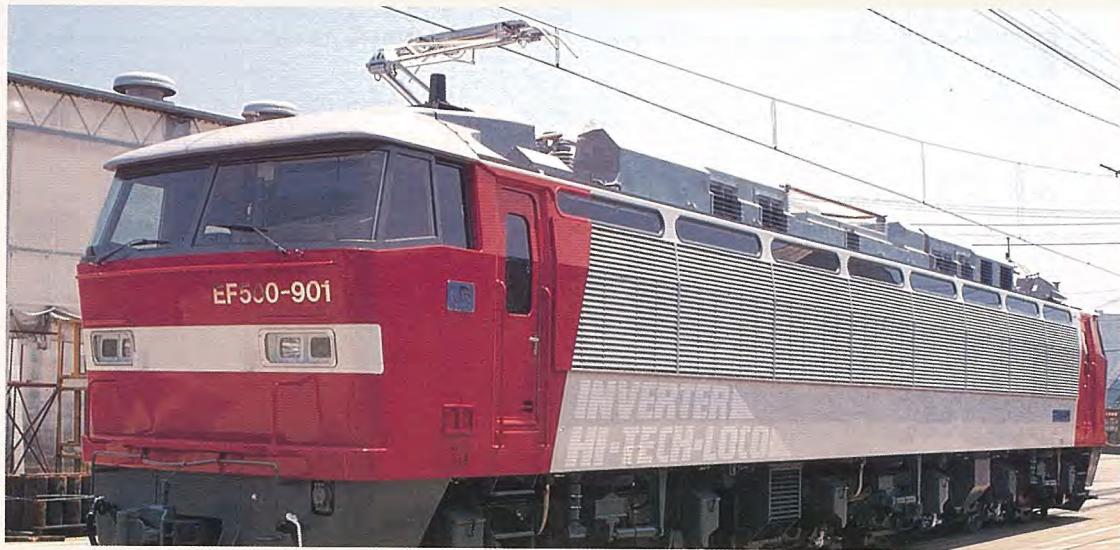
●その他

- ①冷蔵室・冷凍室・チルド室を各段毎に丁寧に冷やすマルチフローカ冷却。
- ②美しい透明でフラットな棚、クリスタルシェルフ。
- ③庫内のイヤなニオイを除去するオゾン利用のマルチフロー電子脱臭装置。
- ④一升びんが立てたまま収納でき、油専用ケース付きのボトル専用ストッカー。
- ⑤先進フラットフェイス扉デザイン。

仕様

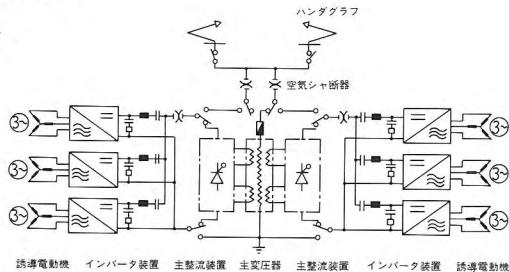
形 種	名	MR-B50J
	冷凍室	冷凍冷蔵庫
有効内容積	全 体	500ℓ
	冷 凍 室	82ℓ
	アイスルーム	56ℓ
	冷 藏 室	144ℓ
	チ ル ド 室	82ℓ
	ボトルストッカー室	52ℓ
外 形 寸 法	野 菜 室	84ℓ
	高 さ	1789mm
	幅	807mm
奥 行	600mm	
重 量	95kg	
定格電圧・周波数	100V	
電動機定格消費電力	50/60Hz	155/165W
電熱装置定格消費電力	50/60Hz	150/150W
年平均1ヵ月当りの消費電力量	50/60Hz	63/63kWh/月

高速大出力 交直流インバータ電気機関車



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に最新の技術を導入した、EF500形インバータ機関車を、日本貨物鉄道株式会社（JR貨物）殿へ納入しました。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、1両の機関車としては世界最大級の定格6,000kWの能力をもち欧州の鉄道の大出力機と肩を並べる機関車といえます。

主回路



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1500V/交流20kV50, 60Hz
軸 配 置	Bo-Bo-Bo
運転整備重量	100.8トン
軸 重	16.8トン
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	26,800kgf
定格速度	81.2km/h
制御方式	パルス幅変調電圧形インバータ制御
力行	(定速度運転、軸重移動補償、再粘着制御付)
電気ブレーキ	パルス幅変調電圧形インバータ制御および発電ブレーキ制御(抑速および停止ブレーキ用)
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

特長

●機関車性能

高速化と牽引重量の増大を果たすため、1,600トンの列車を索引しての‰(パーミル)の上り勾配で90km/h以上の運転と、1,100トンの列車の25‰の上り勾配での起動ができます。

●主回路システム

主回路は1インバータ・1誘導電動機の組合せの6台個別制御を2群に分けた構成を採用しており、各軸の空転発生を抑制して高い牽引性能を得ると共に、システムの冗長度を高めています。

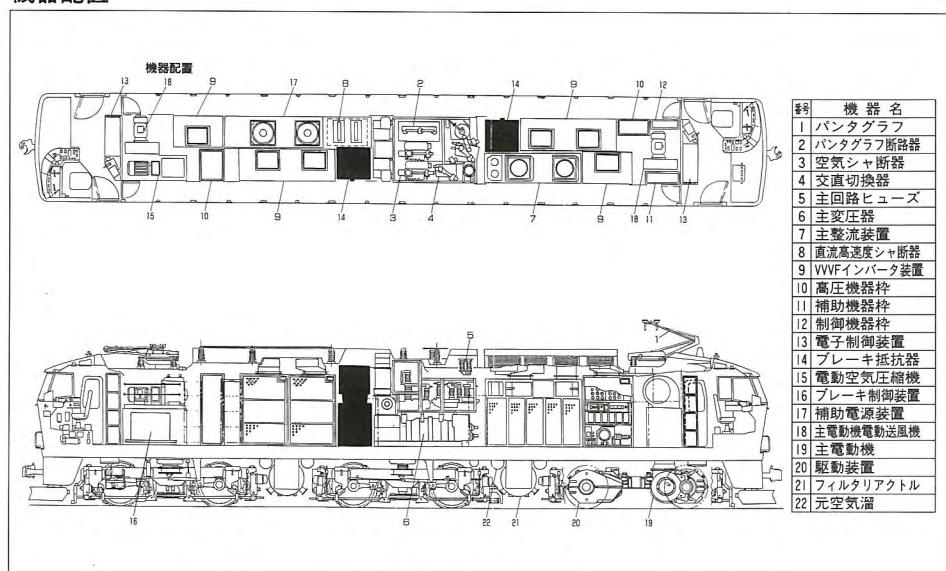
●高い操縦性

パノラマ運転台として視野を広くするとともに、応答制御性に優れた電気指令式のセルフラップ式ブレーキを採用しています。また、定速度運転機能や、運転支採用として故障モニタ機能を有しています。

●全国縦貫走行

交直流両用タイプです。また、雪害・結露対策等を考慮した寒冷地仕様となっています。

機器配置



スポットライ 冷凍冷蔵庫へのファジイ制御導入



冷蔵庫市場は、食品・容器の多品種・多様化や、食生活の変化(個食化他)等により、大容量・多機能化が進んでいます。このような流れの中で、冷蔵庫に対して、よりいっそう求められている機能として、

①庫内食品の安定保存

大容量化に伴い、庫内の温度分布の改善や、扉の頻繁な開閉等による食品の温度上昇防止を従来以上に行なう必要があります。

②操作性の改善

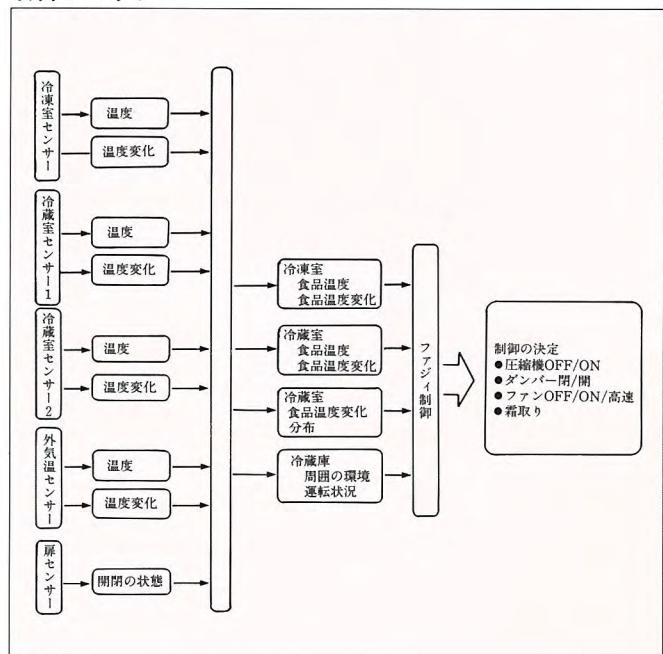
冷蔵庫の電子化や、多機能化により人が操作する内容(温調操作の複雑化やクイック冷凍等)が増加してきているため、簡単操作で多機能な冷蔵庫とする必要があります。以上のような、大容量・多機能冷蔵庫に求められている本質機能を実現すべく、今回、冷蔵庫に業界で初めてファジイ制御を適用し、複雑な操作を行なうことなく、食品を素早く冷やし保存することができるファジイシリーズ冷蔵庫を開発、発売いたしました。

特長

ファジイ制御を温度制御と霜取り制御に適用することにより

- 食品温度の上昇に素早く対応するとともに自動的に最適な運転状態となるため、食品が素早く冷え保存性を高めることができます。
- 冷蔵庫のツインセンサーにより、温度分布を最適な状態に保つような運転状態となるため、冷蔵室内の食品の冷えすぎ等を防止することができます。
- 外気温度センサーと扉の開閉センサーにより、状況にあった運転状態となりむだな冷却をカットし、省エネルギー効果を実現することができます。
- 霜の量や、冷蔵庫の使用状態により、食品に影響の少ないときに霜取りを行なうので、霜取り運転が食品保存に与える影響が減少しました。

制御ブロック



仕様

種類		MR-V33J	MR-V35J	MR-CA42J
		冷凍冷蔵庫		
有効内容積	全 体	325ℓ	350ℓ	415ℓ
	冷凍室	76ℓ	100ℓ	100ℓ
	冷蔵室	167ℓ	173ℓ	171ℓ
	チルド室			67ℓ
	野菜室	82ℓ	77ℓ	77ℓ
外 形 尺 法	高 さ	1557mm	1581mm	1799mm
	幅	635mm	635mm	635mm
	奥 行	650mm	650mm	650mm
定格電圧・周波数		100V・50/60Hz		
電源コード(有効長さ)		2.5m		
冷凍室の記号		★★★ フォースター		