

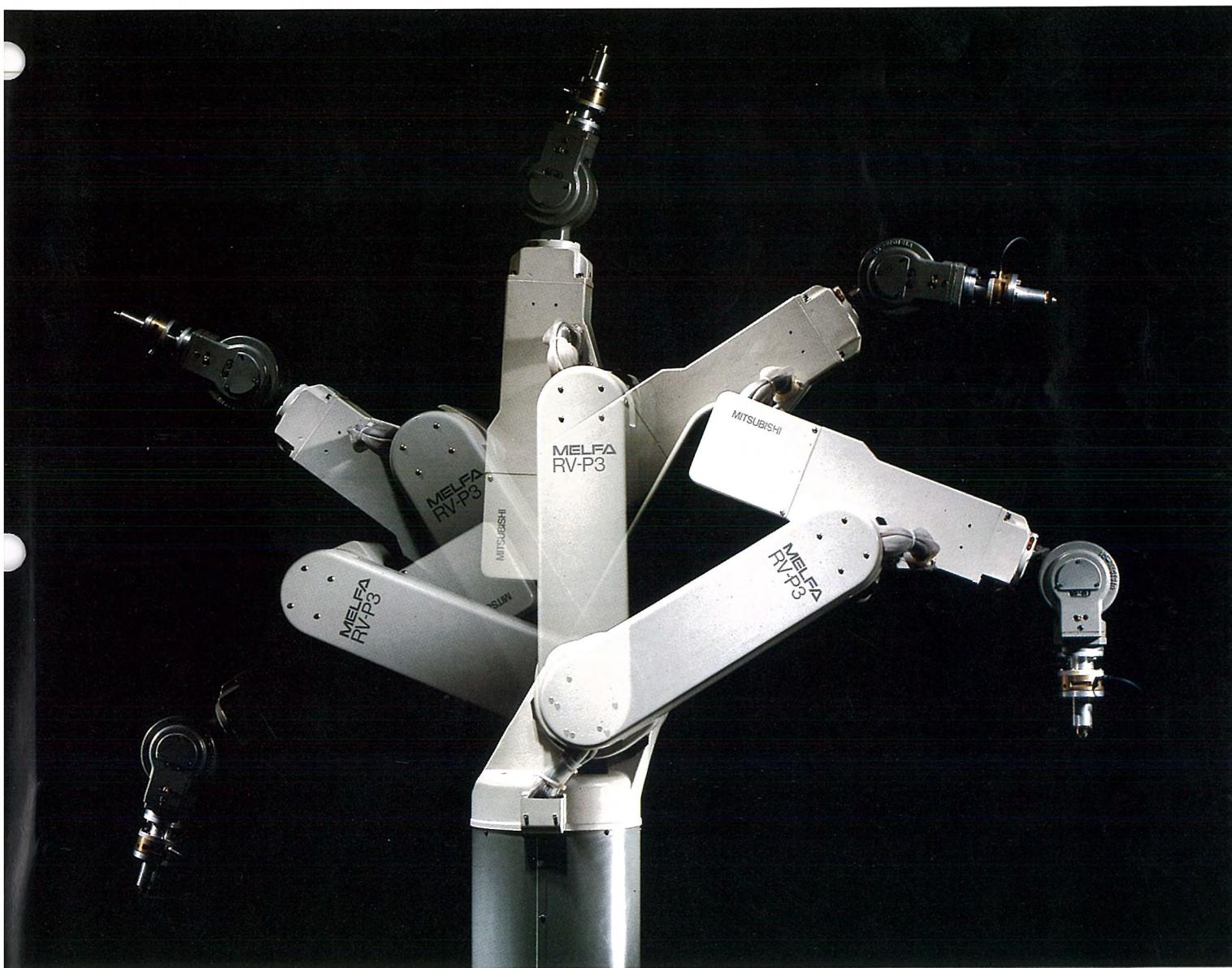
MITSUBISHI

三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.64 No.5

5
1990

産業用ロボット特集



産業用ロボット特集

目 次

特集論文

| | |
|-------------------------------|----|
| 産業用ロボット特集に寄せて | 1 |
| 花房秀郎 | |
| 産業用ロボットの現状と動向 | 2 |
| 佐竹幸雄・白井久仁次 | |
| 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》 | 6 |
| 寺内常雄・今泉武男・西村隆朗・青木良明・関口久由 | |
| 力覚センサ搭載6軸垂直多関節ロボット | 11 |
| 渡部裕二・守田裕親・小林智之・鈴木康之・馬場孝夫・藤田正弘 | |
| 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— | 15 |
| 三田村隆輝・石原 豊 | |
| クリーンロボット | 20 |
| 関口久由・村田一正・西村隆朗 | |
| ロボットダイナミクス シミュレーション | 26 |
| 増田隆広・寺内常雄・小林智之・白井久仁次 | |
| ロボットのデザイン | 30 |
| 木村允紀 | |
| AI応用パレタイズシステム | 33 |
| 田島 仁・長田典子・小平紀生・茂泉 徹 | |
| 自動車最終組立てにおける高度自動化ライン | 37 |
| 鈴木理氏・佐藤 朗 | |
| 中・大形マテハンロボット—RH, RVシリーズ— | 42 |
| 松岡達雄・川村正美・伊藤雅信 | |

普通論文

| | |
|---|----|
| 三菱統合制御システム《MACTUS 500シリーズ》 | 47 |
| 古屋健司・鳴岡正浩・森 俊吾・成原弘修・畠辺 健 | |
| SL-A/I形光加入者線多重伝送装置 | 53 |
| 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 | |
| 小径固定磁気ディスク装置における高密度記録媒体 | 57 |
| 秦 久敏・表野 匠・福市朋弘・梅崎光政 | |
| 浮動小数点アクセラレータ搭載の三菱EWS “MEシリーズ” | 61 |
| 中山喜貴・氷見基治・原田 努・片山隆男 | |
| 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— | 66 |
| 犬島 浩 | |
| 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》 | 70 |
| 高崎英治・遠藤 恵・李 必斗 | |
| 空調用二重反転送風機《カウンターアローファン》 | 74 |
| 長谷川恵一・鵜飼 誠・熊崎伸夫・岩村義巳・田中英晴・大蔵勝久 | |

特許と新案

| | |
|------------------|----|
| 半導体素子の製造方法、半導体装置 | 79 |
| 半導体装置 | 80 |

スポットライト

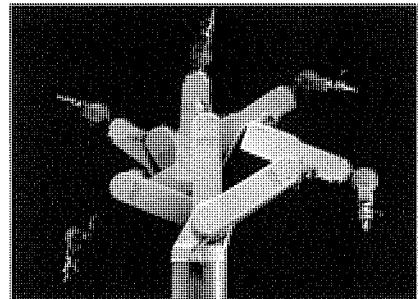
| | |
|------------------------------------|------|
| 空調用送風機大風量床置形ストレートシロッコファン | 78 |
| ディジタルオーディオインターフェース受信用IC M65810FP | 81 |
| 新形超高压一点切タンク形ガス遮断器 | 82 |
| 設備巡視点検システム | 83 |
| 三菱エンジニアリング ワークステーション | |
| MELCOM-ME250/ME250FX/ME350/ME350FX | 84 |
| インテリジェント電磁電流計“SF780F” | (表3) |

表紙

垂直多関節ロボット “RV-P3”

産業用ロボットの知能化は、ロボット自身の内部状態監視のほか、人手作業における感覚的要素に対応した技術が必要である。力覚センサは、ロボットが作業を行う際に外部から受ける力を検出し、所要の目的とする状態に常時コントロールするものであり、倣い作業などの一定押圧を保持する作業あるいは相手部品の誤差を自動補正するなどの適用用途がある。つまり、位置決め・軌跡などの精度を追求する従来の考え方とは大きく異なるものである。

表紙は、力覚センサ付ロボットとしても適用可能なように開発された垂直多関節ロボット “RV-P3” で、高応答に耐える機械剛性と広く柔軟な動作領域・姿勢を持つ6軸構成のロボットである。



アブストラクト

産業用ロボットの現状と動向

佐竹幸雄・白井久仁次

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P2~5

産業用ロボットは、1980年以後本格的な普及時代を迎えるに至り、工場の生産設備の一員として、また、FA化の波の中で重要な役割を果たしている。本稿では、産業用ロボットの市場動向、技術動向を解説とともに、当社の現状と今後の取組を紹介する。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P6~10

《ムーブマスターM2シリーズ》は、教育用、研究用及び産業用として多目的に使用できる小形ロボットである。ロボット本体は、垂直多関節形、水平多関節形及び直角座標形の三つのタイプを開発した。ドライバユニットは、16ビットCPUを用い、ソフトウェアサーボ方式の採用、パソコンとの通信機能の充実等により、使いやすいロボットシステムを達成できる。本稿では、《ムーブマスター》の歴史、開発思想及び製品の概要とシステム構成例を紹介する。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P11~14

ロボットにとって感覚器官であるセンサは、外部環境に柔軟に適応しつつ作業を行うために重要な役割を果たすものである。このセンサの一つである力覚センサを手首部に搭載することによって、作業中に手先に受ける外力を検出し、これに対応して動作する6軸垂直多関節ロボットを開発したので紹介する。用途としては、研磨、バリ取り、部品のはめ合い作業など力感覺を必要とする幅広い応用が考えられる。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P15~19

ロボットの普及は目覚ましいものがあるが、近年は多品種少量生産に柔軟に対応できるシステムが求められるようになってきた。

本稿では、パソコンとリンクしたロボットにより、パレットへの積付け作業を行うパソコンパレタイズシステムと、複数のNC工作機械に対し、走行ロボットにより加工ワークの着脱作業を行う機械加工マテハンシステムの二つのロボット応用事例を紹介する。

クリーンロボット

関口久由・村田一正・西村隆朗

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P20~25

半導体製造分野など、様々な分野でクリーンロボットの需要が増加しており、当社では数年前からクリーンロボットの開発を進めてきた。本稿では、クリーン度クラス100(0.5μm)仕様の小形ロボットRV-CM1、マニピュレータ付き無人搬送車FMH-M及びクリーン度クラス1(0.3μm)仕様のスーパクリーンロボットについて、構成、仕様、クリーン化の特長及びクリーン度評価結果を紹介する。

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・白井久仁次

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P26~29

ロボットシステムのCAEツールとして、当社で開発しているダイナミックスシミュレーションシステムを紹介する。そして、このシステムの設計への適用例として、ACサーボモータ駆動で、力覚センサの搭載可能なロボットであるRV-P3の機構設計を取り上げている。単一チェーンの直列機構とループを含む並列機構の機械的性能差のシミュレーション技術を確立したことにより、試作試験を省略して機構選定が可能となり、直列機構の採用を決定することができた。

ロボットのデザイン

木村允紀

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P30~32

近年、生活意識の向上と労働意識の変化により、工場・オフィスなどの労働空間の快適性が重視されている。主として工場で利用されるロボットのデザインは、労働空間における人間との共存という点で重要視されねばならない。そこで、そのデザインの背景・意義・特性を考察し、デザイン展開の一例として、特に人間との共存が顕著であるマイクロロボットのデザインを紹介する。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P33~36

消費者ニーズの多様化により、物流分野において多品種少量化の要求が高まっている。今回、外形寸法の異なる多種のカートン等の製品を、一つのパレット上に混載するためのAI応用パレタイズシステムを開発し、キリンビール㈱に納入し、物流の合理化を推進した。

本稿では、このシステムの概要と特徴を述べる。

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 駿

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P37~41

自動車の生産工程のうち、特に最終組立作業は、溶接、塗装作業に比べて人の感覚に頼る部分が多く、また種類も多いため、従来から単発的な自動化にとどまっていた。本稿では、三菱自動車工業㈱が、北米に新工場を建設するに当たって、最終組立作業を有人ゾーンと自動化ゾーンとでラインを構成し、ロボットをシステムマティックに配置し、高度に自動化した最終組立ラインを実現したので紹介する。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P42~46

近年、産業用ロボットの需要は、単に“専用機の置き換え”から、“インテリジェントなサーボ制御を必要とする高度な作業”へと推移してきている。また、それと同時に、マンマシンインタフェースも“人間と親和性の良い高機能なもの”が、求められるようになってきている。これらを背景として製品化した“中・大形マテハンロボット”的概要を紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 26 ~ 29 (1990)

Simulation of Robot-System Dynamics

by Takahiro Masuda, Tsuneo Terauchi, Tomoyuki Kobayashi & Kuniji Usui

The article introduces a dynamics-simulation system under development as a CAE tool for robot-system dynamics. It discusses the application of this system to the structural design of the RV-P3 robot, which uses AC servo-motor drive and can be fitted with force sensors. Using this system, simulation analysis for evaluating the differences in mechanical performance between a single-chain linear configuration and a parallel configuration including loops enabled the adoption of the linear configuration without the need for prototype production.

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

The Present Situation and Future Trends in Industrial Robots

by Yukio Satake & Kuniji Usui

As part of factory production equipment, industrial robots perform a very important role in factory automation. The article examines market trends and explains technical developments in industrial robots, introducing Mitsubishi Electric's current models and future plans.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 30 ~ 32 (1990)

Industrial Design in Robot Development

by Mitsuki Kimura

In recent years, increasing expectations for the quality of life and changing attitudes to work have made it more important that working areas in factories and offices should be pleasant. The design of robots, which are primarily used in factories and share the working area with human workers, is therefore important. The article discusses the background, significance, and characteristics of robot design, and introduces the design considerations for factory-use microrobots.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 6 ~ 10 (1990)

The Movemaster M2 Series of Personal Microrobots

by Tsuneo Terauchi, Takeo Imaizumi, Takaaki Nishimura, Yoshiaki Aoki & Hisayoshi Sekiguchi

The compact robots of the Movemaster M2 Series have an unusually wide range of applications: education, research, and industry. The series offers three types of robots: vertical multi-articulated units, horizontal multi-articulated units, and rectangular units. A 16-bit CPU has been adopted for the drive unit with software servocontrol, and the provision of full communications capabilities with personal computers facilitates the configuration of robot systems. The article gives the history of the Movemaster product group, the development concepts, and an introduction to the products with examples of systems that can be configured.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 33 ~ 36 (1990)

Artificial Intelligence for Use in Palletizing Systems

by Shinobu Tajima, Noriko Nagata, Norio Kodaira & Toru Shigeizumi

The diversification of consumer needs is stimulating the need for short production runs of many product variants. The article describes the outline and special features of a palletizing system using artificial intelligence and capable of loading cartons of different dimensions onto a single pallet. This AI palletizing system is contributing to rationalized distribution at the Kirin Brewery Corp.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 11 ~ 14 (1990)

A Vertical-Articulated Robot with Six Degrees of Freedom and a Wrist-Force Sensor

by Yuji Watanabe, Hirochika Mochida, Tomoyuki Kobayashi, Yasuyuki Suzuki, Takao Bamba & Masahiro Fujita

The sensors that constitute robot sense organs perform a vital function in allowing robots to respond flexibly to their external environment during operations. The article introduces a vertical-articulated robot which, by incorporating a force sensor in the wrist, enables external forces on the hand to be detected and to operate accordingly. Applications include grinding, removing burrs, fitting parts together, and a wide range of others that require a "sense" of force.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 37 ~ 41 (1990)

A Highly Automated Automobile Final Assembly Line

by Masashi Suzuki & Akira Sato

The fact that the final stages of assembly in the production of automobiles are much more dependent upon human sensibilities, and much more diverse, than the welding and painting stages, has limited automation to certain parts of the line.

The article introduces the final assembly line established by Mitsubishi Motors Corporation at its new plant in the United States. This line achieves a high degree of automation by dividing the working area into manned zones and automated zones and locating the robots systematically.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 15 ~ 19 (1990)

Robots for Palletizing and Machining in Material-Handling Systems

by Takateru Mitamura & Yutaka Ishihara

Remarkable strides have been made in robots, and in recent years the demand has arisen for systems that respond flexibly to the needs of small-volume production of multiple variants. The article introduces practical application examples for two material-handling robots: one, linked to a personal computer, performs palletizing; the other, a traversing robot used in placing and removing workpieces for machining.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 42 ~ 46 (1990)

The RH and RV Series Large- and Medium-Size Material-Handling Robots

by Tatsuo Matsuoka, Masami Kawamura & Masanobu Ito

Recently, demand for industrial robots is moving away from just replacing dedicated machines to high-grade applications requiring intelligent servo-control. At the same time, there is a growing insistence upon user-friendly man-machine interfaces. The article introduces recently marketed large- and medium-size material-handling robots developed to meet these needs.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 20 ~ 25 (1990)

Clean-Room Robots

by Hisayoshi Sekiguchi, Kazumasa Murata & Takaaki Nishimura

There is a growing demand for clean-room robots for use in semiconductor manufacturing and many other sectors of industry. Mitsubishi Electric has been developing such clean-room robots for many years. The article gives the configuration, specifications, design principles, and the results of particle-emission measurements for two robots: the RV-CM1 microrobot, an automated guided vehicle with a manipulator, with airborne particulate cleanliness of Class 100 (particle size: 0.5μm), and a super-clean-room robot of Class 1 (0.3μm).

アブストラクト

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P47～52

最近の公共プラントシステムは、監視制御の自動化から更に設備管理等の上位システムとも有機的に結びつき、広域でかつ上位レベルとも密接な関連を持って統合化へと進展している。三菱統合制御システム《MACTUS 500シリーズ》は、プロセス制御に必要な機能、電気（E）、計装（I）、計算機（C）を有機的に結びつけ、シンプルでかつフレキシブルに高度・高性能な最適システムを構成できる。ここでは、システム概要、適用施策、メリットを述べる。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P53～56

光ファイバ伝送を加入者系に適用することにより、都心部の既存メタリックケーブルの過密を解消し、地方では、アナログ交換機を代替することにより、加入者ネットワークの経済化を図るとともに、アナログ電話（A）及びINSネット64（I）サービスを統合して伝送する光加入者線多重伝送装置をNTTの御指導のもとに開発した。装置は、小容量タイプ（約100加入取容）と中容量タイプ（約300加入取容）があり、平成元年から稼働を開始している。

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 匡・福市朋弘・梅崎光政

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P57～60

現在の固定磁気ディスク装置の記録密度は、製品では64Mbits/in²が、また開発レベルでは100Mbits/in²が発表されている。これらの高密度記録の実現には、高性能の磁気ヘッドとともに高S/Nの媒体が必要であり、従来の金属薄膜型媒体では性能向上に限界があった。当社材料研究所では、積層化した媒体構造を特徴とするコバルト合金の薄膜型媒体を開発し、3.5"径において薄膜ヘッドとの組合せで業界最高の120Mbits/in²を実現した。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P61～65

国際標準、業界標準を全面的に取り入れた三菱エンジニアリング ワークステーション“MEシリーズ”に、性能を強化した新モデル“ME200FX/400FX”を追加した。新モデルは、数値演算、CAD業務等における高速演算処理に対するニーズの高まりに対応するために、米国Weitek社の浮動小数点アクセラレータ（Floating Point Accelerator）WTL3168ボードを搭載した。また、この性能を最大限に引き出すために、最適化機能を強化した米国Green Hills Software社のFORTRAN、C、PASCALコンパイラを搭載した。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P66～69

信号解釈システムは、対象システムの診断方式や制御方式を開発するためのツールであり、対象システムで観察される信号を解析処理するとともに、知識処理技術を用いてその特徴を明らかにすることが可能である。このシステムは大きく2ブロックで構成され、一つは信号処理部で、FORTRAN言語による種々の処理プログラムを記述できる構造にしてある。もう一つは推論部で、知識をIF～THENで取り扱えるC言語を用いたカーネルが用意されており、信号処理に関する知識や対象に関する知識を自由に記述できる。

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

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P70～73

TPREPOシステムは、オフィスコンピュータ《MELCOM80 GEOCシリーズGRファミリ》をホスト計算機とし、端末にAXパソコン“MAXY”を電話回線で接続した分散画面管理機能を持つオンライントランザクション（OLTP）システムである。このシステムは、固定的な画面・帳票データを“MAXY”側に分散することにより、OLTPシステムの開発生産性の向上、回線効率の向上を目的としたものである。

空調用二重反転送風機《カウンタークローファン》

長谷川恵一・鵜飼 誠・熊崎伸夫・岩村義巳・田中英晴・大葛勝久

三菱電機技報 Vol.64・No.5・P74～77

空調機器として換気扇は必需品であり、中でもダクト用換気扇は主力製品となっている。その換気扇に求められているものは、建物の高密閉化、天井裏スペースの縮小化による薄形・高静圧・施工性の向上である。これらの要求に対し、航空機や船舶にしか実用化されていない二重反転プロペラの低騒音化を主眼にした技術開発を行うことにより、市場ニーズにマッチした空調用送風機が製品化でき、新たな換気システムを創造することができたので紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 66 ~ 69 (1990)

A Signal-Interpretation System for Constructing Plant-Diagnostic Expert Systems with a Signal-Processing Capability

by Hiroshi Inujima

A signal-interpretation system (SIPS) is a tool for the development of diagnostic and control methodologies. By analyses of the observed system's signals combined with knowledge engineering, it is possible to establish system characteristics. The SIPS described in the article consists of two main programs. One, for signal processing, employs many FORTRAN programs for specific processing tasks. The other, for making inferences, uses a kernel written in C with knowledge-based IF-THEN loops, enabling full use to be made of knowledge databases in signal processing and the system being examined.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 70 ~ 73 (1990)

TPREPO, a Distributed Transaction-Processing System for Small Business and Personal Computers

by Eiji Takasaki, Kei Endo & Pitta Ri

This on-line system allows communications between a small business computer of the MELCOM 80 GEOC Series GR family and AX-type Mitsubishi MAXY personal computers over telephone lines. No terminal program is needed, and the new system greatly reduces the time needed to develop productivity in such OLTP systems. By moving fixed-form (screen/printer) data to the MAXY computers, it optimizes both response time and line costs.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 74 ~ 77 (1990)

Counter Arrow: Counter-Rotating Ventilation Fans

by Keiichi Hasegawa, Makoto Ukai, Nobuo Kumazaki, Yoshimi Iwamura, Hideharu Tanaka & Katsuhisa Ōtsuta

Ventilation fans are an essential element of air-conditioning equipment, and ducted types form the mainstream. Such fans are required to be slim, efficient, and easy to install, so as to enable well-sealed buildings with the minimum of in-ceiling space. The development of a low-noise version of the twin-bladed counter-rotating propellers previously confined to use on aircraft and ships has enabled the marketing of ventilation fans for air-conditioning equipment that meet these market needs. The article introduces the new ventilating system created around this technical development.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 47 ~ 52 (1990)

The MACTUS-500 Series Integrated Automation-Control Systems

by Kenji Furuya, Masahiro Shimaoka, Shungo Mori, Hironobu Narihara & Ken Hatake

Monitoring and control systems for public utility plants are moving away from basic automation and toward flexible interconnections with supervisory systems for the management of facilities that link them closely into systems unified at a high level over widespread geographic areas. The Mitsubishi MACTUS-500 Series integrated supervisory and control systems provide all the control functions—electrical, instruments, and computers—to configure a simple, flexible, organically linked system with advanced functions and high performance. The article introduces the system and its merits in suitable applications.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 53 ~ 56 (1990)

The SL-A/I Fiber-Optic Subscriber-Loop Carrier Equipment

by Yasuo Tobita, Shin'ichi Kosuda, Shinya Makino, Kunio Teshima, Natsuo Fujita & Takahiro Mizoguchi

The adoption of fiber-optic transmission systems in subscriber systems solves the problem of capacity limitations in existing urban metallic cables; and, in rural areas, by replacing analog exchanges, enables economies in the subscriber network. The equipment described in the article was developed in accordance with NTT requirements and combines analog (A) telephone services with INS Network-64 (I) capabilities, while providing signal-multiplexing capabilities for optically linked subscribers. The equipment, in service since 1989, is of two models: the smaller-capacity type can handle approximately 100 subscribers and the medium-capacity type approximately 300.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 57 ~ 60 (1990)

High-Performance Media for Small HDDs

by Hisatoshi Hata, Tadashi Hyono, Tomohiro Fukuichi & Mitsumasa Umesaki

Current recording densities in magnetic hard-disk drives are typically 64Mbits/in² with densities of up to 100Mbits/in² at the research stage. To achieve these high recording densities calls for high-performance magnetic heads and media with high signal-to-noise ratios. Conventional metallic thin-film media are subject to performance limitations. At the Materials & Electronic Devices Laboratory, the authors developed a new cobalt-alloy film medium characterized by a laminated CoNiCr structure that achieves a world's first recording density of 120Mbits/in² when used in a 3.5" disk with thin-film heads.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 64, No. 5, pp. 61 ~ 65 (1990)

ME Series Embedded Engineering Workstations: High-Performance Machines for Use in Engineering Application Systems

by Yoshitaka Nakayama, Motoharu Himi, Tsutomu Harada & Takao Katayama

The ME Series workstations, which meet international and industry standards, have now been joined by two new models with enhanced capabilities: the ME200FX and the ME400FX. The new models can perform arithmetic operations that respond to the need for high-performance floating-point arithmetic operations in computer-aided design by adopting Weitek's WTL3168 floating-point accelerator board. To fully exploit performance potential, C1 FORTRAN and PASCAL optimized compilers from Green Hills Corp. are provided.

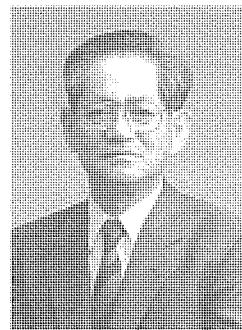
卷頭言

産業用ロボット特集に寄せて

立命館大学理工学部 教授

京都大学 名誉教授

花房 秀郎



長い間の人類の夢であったロボットが、産業用ロボットという形で世に出現したのは1960年代の始めである。このとき発表されたロボットは、それまで小説や漫画の世界で育てられてきた空想世界のものとは程遠い単純なものではあったが、それでも今までの機械とは異なったロマンが感じられて、メカニカル オートメーションの技術に関わる者の夢をかき立てたのである。

産業用ロボットは米国で生まれたが、それを育てたのはわが国である。1960年代は米国がアポロ計画に総力を結集していた時代で、社会的にも技術的にも、ロボット技術の展開のためには、その出現が少し早すぎたようである。この時代にロボットの未来に夢を託して、嘗々として技術開発に努めてきたのがわが国の技術者である。1970年代のエレクトロニクスの驚異的な発展と、わが国の高度経済成長に支えられて、産業用ロボットは日本の生産技術を担う主役と言われるまでに成長した。1980年代に入って産業用ロボットの普及と共に技術がある程度成熟し、一時期企業でのロボットの技術開発への意欲の減退が取り沙汰されることもあったが、最近に到り絶対的な人手不足への対策、製造業以外へのロボットの応用分野の拡大、知能化などの新しい技術の導入などにより、ロボット技術への関心が再度急速に高まっている。

産業用ロボットは自動車工業における溶接作業、塗装作業などの専用機的応用から始まり、主として組立作業を対象とした多機能汎用ロボットの出現を契機として、家電工業を中心とした各方面に一挙に普及した。さらに最近は知能技術の導入によって、自律的、かつ環境適応性のある動

作のできる知能ロボットの実用化が話題となっている。ロボットの知能化には、マンマシン インタフェース、環境認識、知能化センサー、作業仕様にもとづく作業計画などの人工知能に関する問題と、ロボットメカニズムを駆動する制御に関する問題がある。人工知能分野ではニューラルネットやファジィ制御などの新しい話題も多く、学会やシンポジウムにおける研究発表の動向を見ても、この方面的研究が急速に高まりつつあることが判る。一方、センサーフィードバックを用いたメカニズムの自律制御は、人工知能技術と制御技術を総合した知能ロボットの基本的な機能であり、溶接ロボットの軌道修正、ロボットによる3次元物体の形状計測、縫製ロボットの軌道と力のハイブリッド制御などの研究がなされている。さらに、新分野での応用が期待されている移動ロボットにおいては、環境条件に応じた自律的な軌道計画などの知能化が主要課題となっている。

産業用ロボットが発表されて以来30年、この間様々な評価を受けてきた。当初では精度も剛性も頼りないロボットは信頼できないとする意見もあった。また、あるときは所詮ロボットは完全自動化への過渡期の存在であり、ゆくゆくは自動機の中に埋没する運命にあるといわれる時期もあった。しかし、いまや産業用ロボットは十分に成熟し、さらに、知能化という新しい技術が付け加わって、ロボットの可能性はますます高まっている。成熟した技術の常として、多様化と専門化の要求に応じて行かなければならぬ。ロボットにおいては、応用分野の要求に即したハードウェアの開発、機能向上と、知能技術のような先端的な技術の導入との両面にわたる地道な努力が必要である。

産業用ロボットの現状と動向

佐竹幸雄*
臼井久仁次*

1. まえがき

我が国における産業用ロボットの発展は、1960年代のれい(黎)明期、1970年代の実用化期を経て、1980年を“普及元年”と称し、本格的な普及時代を迎えるに至り、工場の生産設備の一員として定着した感がある。この背景には、

(1) 1960年代の年率10%を超える高度成長期における労働力不足への対応

(2) 1970年代の第一次石油ショックによる低成長時代における生産性向上への対応

(3) 高学歴化と第三次産業への労働移動による製造業における技能労働力不足への対応

(4) 労働災害防止や労働環境整備等の労働福祉向上への対応

など、社会、経済の両面で種々の要因があるとともに、多様化する製品群を最も効率的に生産するための生産構造の変革がある。

加工組立産業を中心としたFA(ファクトリ オートメーション)化の波は、自動車や電気機械器具などの製造業から、食料品・印刷・化学・窯業などの分野に拡大しつつあり、さらに今後は製造業以外の分野にも利用分野が拡大されると思われる。

一方で、マイクロ エレクトロニクス、パワー エレクトロニクス及びメカニクスとこれらを有機的に機能させるソフトウェアなどの技術の進歩が、産業用ロボットの機能、性能の向上と経済性の向上をもたらしている。世界一のロボット保有台数が、今日の日本経済を支えているといつても過言ではあるまい。

当社は、このようなFAを取り巻く環境の中で、コンピュータ分野、NC・PCを中心とするマシンコントロール分野、放電加工機、レーザ加工機、産業用ロボットなどのメカトロ製品分野、及びこれらの統合システム分野も指向しており、市場ニーズに十分答えてきた

と自負している。

この特集号は、FAの構築に重要な役割を果たしている産業用ロボットの当社における取組の現状を紹介するものである。なお、以下に述べる小文は、この特集号の前文として、産業用ロボットの動向及びこれに対する当社の取組の概要を述べたものである。

2. 産業用ロボットの市場動向

図1は、日本産業用ロボット工業会が発表している年次別の生産実績及び将来予測を示したものである。1980年の784億円から1985年の3,001億円までの市場の成長振りは、真にロボットフィーバーと呼ぶにふさわしい状況であったといえる。その後、初めてマイナス成長を記録したものの1988年から再び高度成長路線に戻り、同年は3,667億円、1989年は4,500億円と推定されており、1990年代の後半

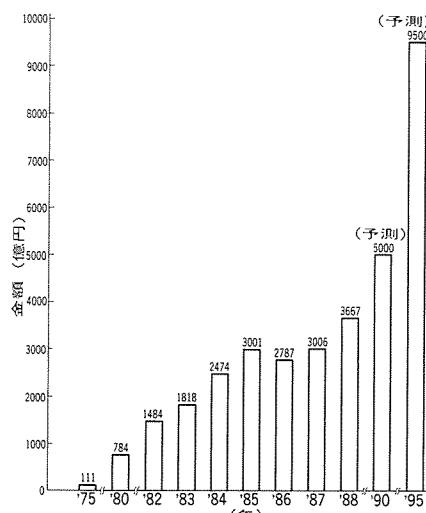


図1. 日本における産業用ロボットの年間生産高推移 (日本産業用ロボット工業会調査)

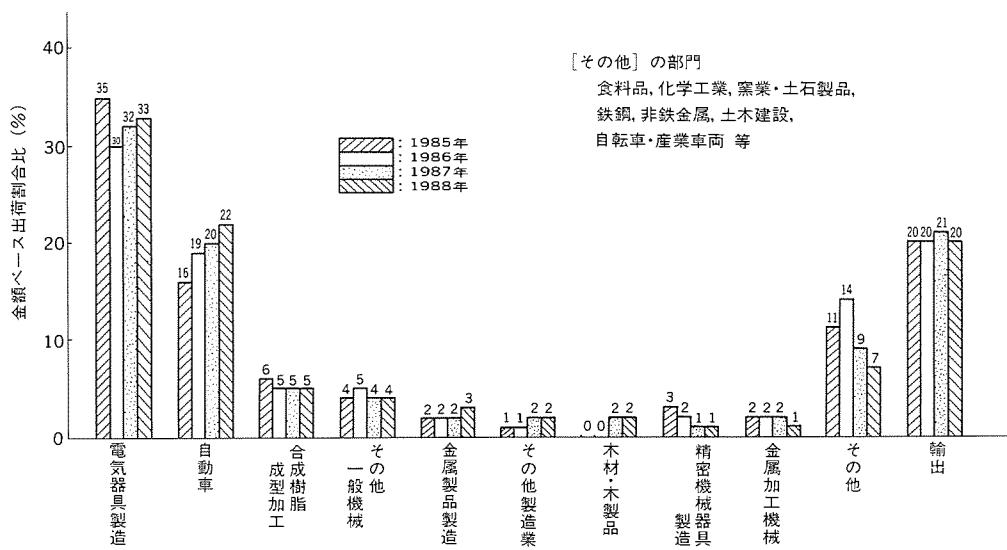


図2. 需要部門別産業用ロボットの出荷割合 (日本産業用ロボット工業会調査)

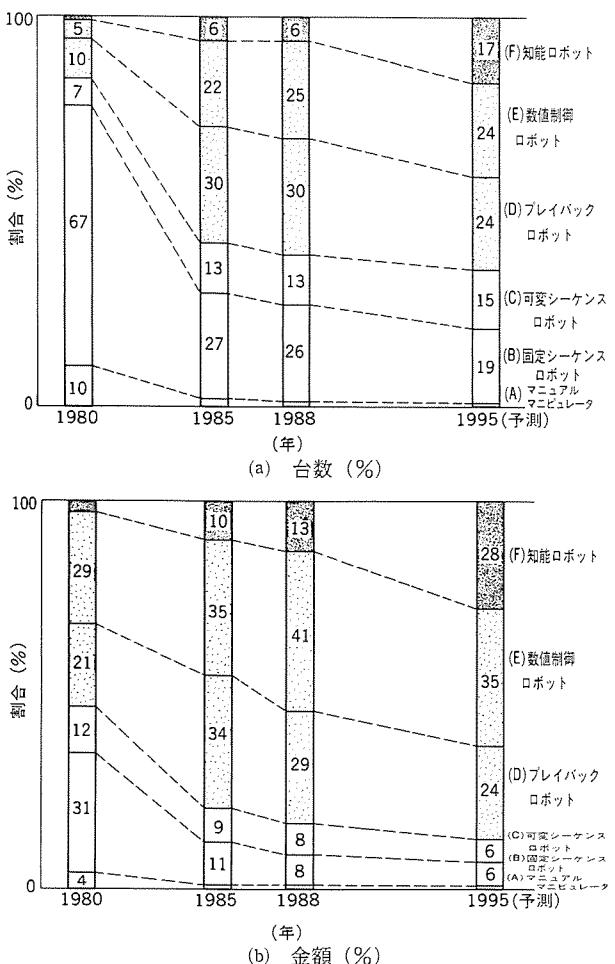


図3. 産業用ロボットの分類別生産高比
(日本産業用ロボット工業会調査)

表1. 産業別就業者数

単位:万人()内%

| 部門 | 実績 | | | 予測 | | |
|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | 1975年 | 1980年 | 1985年 | 1995年 | 2000年 | |
| 第一次産業 | 661 | 577 | 509 | 413 | 345 | |
| 第二次産業 | 1,841 | 1,926 | 1,992 | 1,995 | 1,954 | |
| 内訳 | 製造業 | 1,346 (25.8) | 1,367 (24.7) | 1,453 (25.0) | 1,328 (20.6) | 1,335 (21.2) |
| | 建設業 | 479 | 548 | 530 | 651 | 614 |
| | 鉱業 | 16 | 11 | 9 | 16 | 5 |
| 第三次産業 | 2,721 (52.0) | 3,033 (54.6) | 3,306 (56.9) | 4,027 (62.6) | 4,012 (63.3) | |
| 合計 | 5,223 (100.0) | 5,536 (100.0) | 5,807 (100.0) | 6,435 (100.0) | 6,311 (100.0) | |

注 実績…総務省統計局「労働力調査年報」

予測…1995年：国土庁「21世紀初頭における経済のサービス化・ソフト化の展望」1984.3

2000年：経済企画庁総合計画局編「21世紀への基本戦略」

には1兆円規模になると予測されている。需要部門別とロボットの分類別の導入状況は、次のとおりである。

2.1 需要部門別導入状況

図2は、需要部門別に産業用ロボットの出荷割合比(金額ベース)を示したものである。同図には示していないが、1979年までは自動車産業が第1位であったが、1980年以降電気機械器具製造業、自動車製造業、合成樹脂成形加工業の順になっており、その他ほとんどの製造分野に広がっている。また、台数的には、1978年から1988年

の11年間で約35万台の産業用ロボットが導入されており、作業用途別には、合成樹脂成形加工業向けが98,000台、組立作業向けが85,000台、アーク溶接作業向けが29,000台、切削・研削などの加工作業向けが26,000台、スポット溶接作業向けが22,000台となっている。

一方、今後の需要分野としては、原子力、海洋開発、建設・土木などの非製造業、農業などの第一次産業、流通などの第三次産業でも過酷作業の機械化、無人化ニーズは製造業以上に高まり、産業用ロボットの市場拡大の重要な分野となるであろう。

2.2 分類別導入状況

産業用ロボットは、JISの一般的分類で“知能ロボット”、“数値制御ロボット”、“プレイバックロボット”、“シーケンスロボット”などに区分されており、この分類に従って台数、金額の年度別推移を示したのが図3である。1980年から1988年にかけて数値制御ロボット、プレイバックロボットが急増している。この背景には、自動車産業向けの塗装ロボット、スポット溶接ロボット、アーク溶接ロボットなどのプレイバックロボットが大量導入されたこと、及び電気器具製造業を中心にプリント基板組立用にインサータ、マウンタなどの数値制御ロボットが大きな割合を占めている。

知能ロボットは、現状では、視覚センサ付きロボットとして半導体製造設備のワイヤボンダ、ダイボンダが大部分である。1995年の予測では、知能ロボットの伸びが期待されており、視覚、力覚などの感覚機能を備えた自律性の高いロボットが必要となる。現状の産業用ロボットは、ロボットアームの位置精度が、機械系の製作誤差あるいはアームの姿勢、負荷重量の変化による誤差などのため絶対精度は得にくい。そのため、数値制御ロボットでもMDI(数値データ入力)とティーチング(直接教示)の併用がほとんどである。

以上、産業用ロボットの市場動向を概説したが、総じて、市場は、個別の用途開発によって新たに創出されながら形成されるものであり、ロボット自身の技術レベルの向上だけでなく、製造技術・生産技術・工作技術などから現場サイドに近い技術レベルの進展が市場を拡大すると考える。一方、産業用ロボットの成長を支える要因に、表1に示すような産業別就業者数の変化がある。製造業への就業者比率は、1985年の25.0%から2000年には21.2%に減少し、絶対数でも1985年の1,453万人から2000年には1,335万人に減少すると予測されている。すなわち製造業の成長を維持するためには、これまで以上の生産性の向上が必要となり、産業用ロボットの果たす役割は大きい。

3. 産業用ロボットの技術動向

初期の産業用ロボットは、速度、精度、作業教示に要する時間、環境の変化に対する柔軟性、センサフィードバック制御機能など多くの点で問題を持っていた。これらの問題を解決し、コストパフォーマンスの良いロボットにするために、ここ数年来多くの改良と技術開発がなされてきた。すなわち、パフォーマンスを上げるために、高機能化、知能化が指向されるとともに、コストを下げるために、基本的な性能は維持向上させながらも可搬重量や自由度構成、動作範囲などを目的とする作業に特化し限定することによって低価格化するなどの努力が続けられてきた。その結果、性能や機能が数年前のものと比べて飛躍的に向上し、コストパフォーマンスが良くなるとともに、多くの新しいロボットも開発されてきた。

機構と制御の面では、動作の高速化と位置決めの高精度化が格段

表2：〈MELFA〉産業用ロボットのシリーズ

に進歩し、高速動作については、減速機付きのロボットでありながらダイレクト ドライブロボットに近い性能を持つものも出てきた。これは、減速機などの部品レベルの性能向上や、マイクロ エレクトロニクス技術の進歩によるロボットコントローラの性能向上によるものである。さらに、低価格のエンジニアリング ワークステーションと有効な設計・解析ソフトウェアの出現によって、手軽に振動解析や機構・構造解析、制御系解析などができるようになり、計算機援用システムによるシミュレーション手法、設計手法が普及した。この結果、機構・構造の軽量高剛性化、動作や制御系応答の高速化などを設計段階で考慮し、無駄のないバランスのとれた設計が効率的に行えるようになったことも重要な背景といえる。

ロボットの関節を駆動するアクチュエータについては、大形機を中心にDCサーボモータからパワー エレクトロニクス技術を駆使したACサーボモータへと移行し、モータのブラシレス化が進められてきた。一方、モータの回転角検出エンコーダとして、安価で高分解能ではあるがロボットの始動時に原点出し動作を必要とするインクリメンタル型から、これを必要としないアブソリュート型へ移行している。

また、知能化、高機能化の一環として、ランダムに供給される部品の種別や位置・姿勢を認識する視覚センサ付きロボットの開発や、ロボットの手首に加わる力とモーメントを計測する6軸力覚センサ付きロボットが開発されている。このような高機能・知能制御の実現や、ロボットの周辺機器までの制御を含むセル、システム制御用として、シーケンサ機能の内蔵、通信機器の充実、多軸制御化などロボットコントローラの高機能化が指向されている。

一方、数μmオーダーのじんあい(塵埃)微粒子を嫌うクリーン環境を必要とする半導体製造用や各種ハイテク産業用のクリーンロボットに対して、ますます高いクリーン度が要求されており、そのためのクリーン化技術が開発されている。

さらに、工場の自動化、無人化を目指すFA化の波は、機器単体の自動化から機器群の自動化へと進み、さらに、オフィス オートメーション(OA)も取り入れた工場全体の自動化へと発展しつつあり、より総合的な自動化、無人化へ目が向けられている。このような背景から、ロボットを核としたセル化、システム化が指向されており、異種ロボット間の制御プログラムの互換性やロボットと周辺機器間との情報通信機能が重要となっている。このような観点から、ロボット言語や通信プロトコル(規約)の標準化作業が国際標準化機構(ISO)において、国際ワークショップとして進められている。

4. 当社における産業用ロボットの現状と取組

当社では、1981年にアーク溶接ロボットを開発製品化することにより、本格的にロボット事業へ進出を開始した。以来、商品名《MELFA(メルファ)》として、多様化するユーザーニーズに適合できるように小形軽作業用から中・大形機まで豊富な機種をそろえ、1985年12月には、累計出荷台数1万台を突破した。現在、表2に示

すとおり《ムーブマスター》、《ピックアーム》、《インテリジェンス》の三つのシリーズで、直角座標、円筒座標(水平関節)、垂直関節の各種構造形式のロボットを製品化し、世界的にも他に類を見ない豊富な機種群を持っている。

製品面では、ベストセラーとなった《ムーブマスター》の高性能化とシリーズ化拡大を図り、デザイン的にも統一した思想で人間との共存を考慮し、パートタイマー代替も可能な低価格ロボットを追求している。また、知能化、巧ち(緻)作業を目指した外界センサ(視覚センサ、力覚センサなど)付きロボットシステムを製品化していく計画である。既に、最適な積付け順や位置を自動的に計算しながら高速で積付け作業を行うことのできるAI(人工知能)パレタイジング ロボットシステムを実用化している。一方、システム化の容易性、保守性などを大幅に改善した新概念のロボットコントローラを投入する予定である。

これらロボットの適用、検証、教育などユーザーサポートとして、東京・大阪・名古屋に設置されている当社加工技術センターで製品の実演展示、サンプルテスト、トレーニングスクールなどを更に充実するとともに、システム化ニーズへの対応が最大の課題と言われている昨今、システム インテグレータの育成強化と、これまでの豊富なロボット応用ノウハウを踏まえ、システム設計力も高めていく所存である。

5. 産業用ロボットの今後の課題

産業用ロボットは、これまでの加工組立てを中心とした製造業向けから他の産業分野に広がりを見せている昨今、“人間に近い能力を持つロボット”と“限られた汎用性を持つロボット”的二つの方向がある。言い換えれば、自律化とシステム化であり、“センサ機能”、“自己診断機能”、“安全機能”、“ヒューマン インタフェース”、“機器間インターフェース”などを含めたAI化が課題であろう。また、通商産業省がFAの将来展望について“FAビジョン懇談会”を設置し、ここで提言されたIMS(Intelligent Manufacturing System: 知的生産システム)構想も重要な課題であろう。

6. むすび

産業用ロボットの現状と今後の課題について、当社の状況を含めて紹介してきたが、社会・経済環境の変化と生産構造の変革において産業用ロボットの重要性が今後ますます高まることが予想される。当社としても、新技術の開発に積極的に挑戦するとともに、ユーザー各位の新しいニーズに対応した製品をタイミングに提供し、非製造業も含めて広く産業界の発展に貢献していきたいと考えている。

参考文献

- (1) (社)日本産業用ロボット工業会: 産業用ロボット・ハンドブック (1990)
- (2) 通商産業省: 21世紀に向けてのFAビジョン, ケイブン出版

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* 青木良明*
今泉武男* 関口久由**
西村隆朗*

1. まえがき

近年、我が国の社会及び経済構造の変化は、労働力不足という深刻な問題を提供した。社会面では、高齢者人口の増加と高学歴化により、特に若年層の第1次、第2次産業における技能工不足が顕著になっている。経済面では、80年代後半の内需の拡大に支えられ、各分野での繁忙は、一時労働力の急激な需要となって表れた。さらに、国際的には、長時間労働すなわち働き過ぎが厳しく指摘され、労働時間短縮への取組が一層必要となっている。

このような背景にあって、ロボットは、ここ数年、人手不足の解消手段として、多方面、多分野で積極的な導入が行われてきた。従来、ロボットの導入に当たっては、機能・性能はもちろんあるが、経済性が導入を阻害する要因となっていた。しかし、近年では低価格のロボットが多く出現するとともに、ロボット単体だけでなく、周辺設備、波及的効果を含め、総合的な経済性評価がされるようになり、導入を加速した。もちろん、ロボットの普及に当たり、着実なメーカー及びユーザーの努力があったことは否めない。

本稿では、低価格ながら高機能を持つ当社マイクロロボット《ムーブマスターM2シリーズ》を開発したので、その特長、仕様及び適用例を述べる。また、パーソナルロボットとして先駆的役割を果たしたと自負する《ムーブマスター》の歴史と、開発思想も紹介する。

2. 歴史・開発思想・機器構成

2.1 《ムーブマスター》の歴史

《ムーブマスター》は、発売以来、約1万台に達する小形垂直多関節形のロボットである。図1に《ムーブマスター》の歴史（機種の推移）をまとめた。第1号機は、昭和56年、教育・研修用に特化したパルスモータ駆動タイプのRM-101として出荷した。RM-101は、ロボットを使ったことのない人たちや若い人たちに、ロボットを触れてもらう機会を与えた功績があったと考える。昭和58年には、《ムーブマスターII RM-501》を発売した。RM-501は、DCサーボモータ駆動方式を採用、高速化と精度及び可搬重量の向上を図り、産業用として軽作業用途に使えるロボットであった。RM-501は、マイクロロボットの需要を喚起し、大きく普及させたが、産業用としては、機能・性能及び寿命・信頼性に今一步の感があった。

昭和62年には、RM-501のモデルチェンジ機として、機能・性能・デザインを一新した《ムーブマスターEX RV-M1》を発売した。RV-M1は、パーソナルロボットとして、産業用としての適用を配慮するとともに、新しいニーズを発掘した。RV-M1は現在も、学校・研究室・事務所あるいは商業用として様々な分野、場所で使用されている。そして、《ムーブマスター》によるライン化・システム化を図りたい、また《ムーブマスター》による複数台の連携を図りたい、という声にこたえ、今回、新たに三つの機種から構成した《ムーブマスターM2シリーズ》を開発した。

2.2 開発思想

《ムーブマスター》は、「パーソナルニーズにこたえる。」をテーマに開発したマイクロロボットシリーズである。《ムーブマスター》は、単なる自動化、省力化機器というのではなく、人間との対話・共存をイメージしている。すなわち、人間とロボットの役割を分担し、新しい作業環境をつくりだすことを考えている。したがって、ロボットのデザイン、マンマシン系、通信系には特に配慮をし、生命感のある柔らかな味を表現した外観と、落ち着きのある色調、パーソナルコンピュータとの親和性を高めたハードウェア、ソフトウェア設計をしている。《ムーブマスター》は、21世紀の人間-ロボット社会の実現の開拓者（ロボット大使）としての使命感の下に開発していると言ってもおおげさではない。

2.3 構成機器

《ムーブマスターM2シリーズ》の構成機器を図2に示す。標準機器のロボット本体、ドライブユニット、オプション機器のティーチングボックス、電動ハンド又はエアハンド、接続ケーブル及びユーザー手配機器のパソコンで構成される。その他、RV-M2を搭載し、直線走行することのできる走行軸ユニット等のオプションがある。

| 項目 | 年 | 昭和55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 平成1 | 2 | 3 |
|----------|-----------------------|------|----|----|----|----|----|-------|-------|----|------------------|----------------------------|---------------|
| 主要機種の発売月 | | | | | | | | | | | 昭和56年12月RM-101発売 | 昭和62年1月RV-M1発売 | |
| | | | | | | | | | | | 昭和58年1月RM-501発売 | | 平成1年5月RV-M2発売 |
| ロボット本体 | 《ムーブマスター》 RM-101 | | | | | | | RM101 | | | | | |
| | 《ムーブマスターII》 RM-501 | | | | | | | | RM501 | | | | |
| | 《ムーブマスターEX》 RV-M1 | | | | | | | | | | RV-M1 | RV-CM1(クリーン仕様) RV-M1走行軸 | |
| | 《ムーブマスターM2シリーズ》 | | | | | | | | | | RV-M2 | RV-M2走行軸 RS-M2 RH-M2 | |
| ドライブユニット | RM101用 | | | | | | | | | | RM-101用ドライブユニット | | |
| | RM501用 | | | | | | | | | | RM501用ドライブユニット | | |
| | M1シリーズ用 | | | | | | | | | | M1DU | | |
| | M2シリーズ用 | | | | | | | | | | M2DU | | |

図1. 《ムーブマスター》の歴史

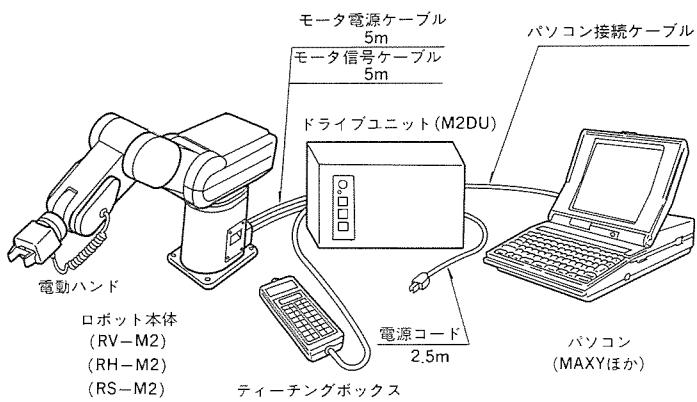


図2. 機器構成

表1. RV-M2, RH-M2, RS-M2の仕様

| 項目 | 仕様 | | |
|----------------|--|---|--|
| 形式 | RV-M2 | RH-M2 | RS-M2 |
| 構造 | 垂直多関節形 | 水平多関節形 (全軸関節方式) | 直角座標形 |
| 動体自由度 | 5 | 4 | 2 |
| 駆動方式 | DCサーボモータによる電気サーボ駆動 | | |
| 腕の長さ (mm) | アッパーム 250 フオアーム 200 | 225 225 | — |
| 動作範囲 (最大速度) | J ₁ (X)軸 300(140°/s) J ₂ (Y)軸 130(79°/s) J ₃ (Z)軸 120°(140°/s) J ₄ 軸 ±110°(163°/s) J ₅ 軸 ±180°(223°/s) | ±120(180°/s) ±130°(225°/s) ±25°(114°/s) ±160°(204°/s) — | 200,300,400mm(500mm/s) 200,300mm(500mm/s) — — |
| 可搬重量(kg) | 2.0 | 3.0 | 5.0 |
| 位置繰り返し精度(mm) | ±0.1 | ±0.05 | ±0.05 |
| 合成最大速度(mm/s) | 1,500 | 2,180 | 700 |
| 本体重量(kg) | 約28 | 約26 | 約20 |



図3. RV-M2の外観

《ムーブマスター》におけるロボット本体は、特に人との協調、混合作業をねらいとした製品コンセプトの表現手段として、安全性及びデザインを重要なテーマとして設計し、親しみのある外観を与えている。また、低コストを追及するため、大形のロボットでは見られない製造方式を採用している。“M2シリーズ”では、5軸垂直多関節形のRV-M2のほかに、水平多関節形のRH-M2、直角座標形のRS-M2を加え、三つのタイプの機種をそろえたので、組立て等のライン構成に際し、選択の幅を与えた。なお、ドライブユニットは共用しているため、マンマシンは共通であり、操作性や保守管理に有利である。

3.1 RV-M2

図3にRV-M2のロボット本体部の外観、表1に仕様を示す。RV-M2はRV-M1を、より産業用途で使いたいという要求にこたえて開発した5軸の垂直多関節形ロボットである。RV-M2のロボット本体部の特長は次のとおりである。

(1) 小形・軽量・動作領域が広い



図4. RH-M2の外観

手軽に導入ができるように、本体重量を26kgに抑え、またベースには取っ手をつけて持運び可能としている。ショルダ(J₂)軸の中心とウエスト(J₁)軸の中心が120mmオフセットしているため、小形にもかかわらず、A3サイズ(297mm×420mm)のパレットにも対応ができる広い作業エリアを持っている。

(2) 高速・高精度・高可搬重量

RV-M1に比べ、合成最大速度は1.5倍(1,000→1,500mm/s)、位置繰り返し精度は3倍(±0.3→±0.1mm)、可搬重量は約1.7倍(1.2→2.0kg)としたので、より広い産業用途での適用が可能である。

(3) 低価格

部品点数の削減、CAEを使用した軽量化設計、またダイカストアーム、モールドカバー等型成形部品の使用、部品の標準化などにより、5軸の垂直多関節形ロボットにもかかわらず、定価190万円という低価格を達成した。

(4) 配線・配管の内装と柔らか味のあるデザイン

ロボットの機内に配線・配管を内装しているため、スッキリとした外観となっている。また、《ムーブマスターシリーズ》として統一の設計思想に基づく曲線を多用した柔らか味のあるデザインとなっているため、製造分野はもちろん、学習・研修・研究用としても適用できる。

3.2 RH-M2

RH-M2は、全軸関節構造タイプの4軸水平多関節形ロボットである。図4にRH-M2の外観を、表1に仕様を示す。水平多関節形ロボットは、水平面域での移載等の作業に有利で、特に小物部品のパレタイズや組立作業に有効である。RV-M2に比べ、1軸少ないため、作業内容によっては経済的であり、また可搬重量の不足を補うことができる。RH-M2の特長は次のとおりである。

(1) 全軸回転関節構造

図5にRH-M2の構造を示す。RH-M2では、第2アームにリンクを使用し、上下軸(Z軸)が回転関節軸の水平多関節構造を実現しているため、手首部が小形・軽量であり、高速性に優れている。また、上下軸(Z軸)動作が最大190mmと、ボルネジを使った直動タイプに比べ、手首が小形ながら大きな動作ストロークを持ち、ま

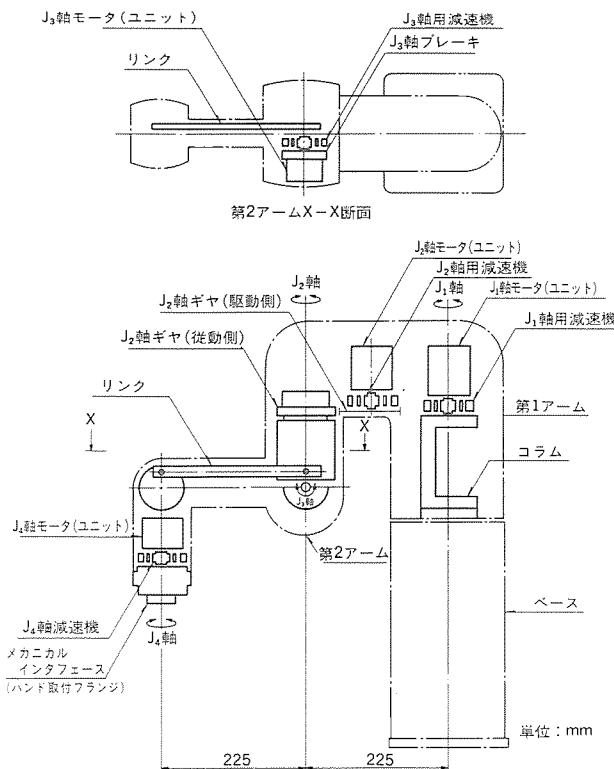


図 5. RH-M2の構造

た3kgの高可搬重量の機能を持っている。

(2) 親しみやすさと清潔感のあるデザイン

ケーブルは完全内装されると同時に、第1アーム部の球面を使った外観は、クリーンルームへの適用を意識した。また、“M2シリーズ”として統一した色調及びデザインコンセプトにより、他の機種と並べても違和感のない組立ラインの構成ができるように配慮した。

(3) ユニット構造と部品点数の大幅削減

各軸の駆動部はユニット化し、モータ・減速機・軸受・センサ等を標準化した。また、RV-M2に比べて部品点数を40%以下に削減し、ユニットの品質、信頼性確保を行い、低コスト化・保守性・信頼性の向上を図った。

(4) 装置組込みへの適用

ベース内には駆動機構がないため、ベースを取り外すことにより、小形旋盤や検査装置への組込みが可能である。また、手首(J₅)軸ユニットを取り外し、容易に3軸仕様のロボットにも変更できる。3軸仕様のロボットでは、最大5kgまでの作業ツール（ドライバ、ディスペンサー等）の取付けができるため、作業用途が広がる。

3.3 RS-M2

RS-M2は、直角座標形の小形ロボットである。直角座標形のロボットは、ねじ締め、シーリング、圧入等高負荷作業に有効であり、RV-M2、RH-M2の機能（自由度）を必要としない作業に最適である。したがって、RS-M2の基本コンセプトは、《ムーブマスター》による組立ラインの構成に当たって不可欠の機種ぞろえである。図6にRS-M2の外観を、表1に仕様を示す。RS-M2のロボット本体部の特長は次のとおりである。

(1) 基本ユニットの組合せ構造

100, 200, 300, 400mmの4種類の直動ユニットを組み合わせて、2軸の直角座標形のロボットを構成する。RH-M2と同じく、ユニッ

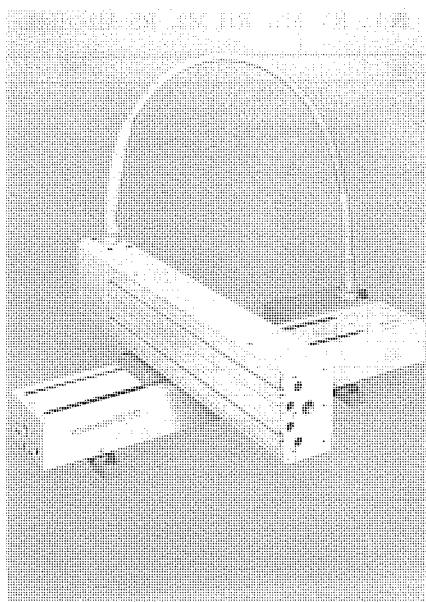


図 6. RS-M2の外観

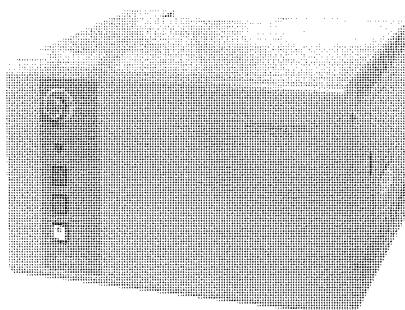


図 7. ドライブユニットの外観

トでの品質・信頼性を高め、ロボットとしての品質・信頼性を確保障した。

(2) 《ムーブマスター》としての統一コンセプト

小形・軽量であるとともに、デザインの統一性を重点に設計し、《ムーブマスター》による組立ライン構築の単位ロボットとなる。ドライブユニットの共通性を最大限に生かし、ロボットとして基本的な性能を確保している。

4. ドライブユニット

図7にドライブユニット（制御部）の外観を示す。“M2シリーズ”用ドライブユニット（M2DU）は、RV-M1用ドライブユニット（M1DU）の長所を生かし、パソコンによるプログラム作成方式、71種類のロボット言語を使用しているため、手軽に作業プログラムの作成ができる。また、ソフトウェアサーボ方式、高分解能エンコーダーの採用により、高速・高精度のロボット制御を行っている。

表2にドライブユニットの仕様を示す。ティーチングボックス（図8）はオプションとなっており、またパソコンは市販品を使用する。

4.1 特長

M2DUドライブユニットは、RV-M1用ドライブユニット（M1DU）の改良、機能アップを図っており、特長は次のとおりである。



図8. ティーチングボックスの外観

表2. ドライブユニット(M2DU)の仕様

| 項目 | 仕様 |
|------------|--|
| 表示方式 | ティーチング方式、MIDI方式併用(パソコン使用) |
| 制御方式 | DCサーボモータによるPTP及びCP位置速度制御方式 |
| 制御軸数 | 5軸(+オプション1軸) |
| 位置検出 | パルスエンコーダ方式(インクリメンタルタイプ) |
| 原点出し | 光電磁気スイッチ及びパルスエンコーダによる(Z相検知方式) |
| 捕間機能 | 関節捕間、直線捕間 |
| 速度設定 | PTP時、21段階(max1,500mm/s)、CP時0.1mm/s単位(max500mm/s) |
| ポジション点数 | 999点(24.4kBイト) |
| プログラムステップ数 | 3,584ステップ(28kBイト) |
| 記憶手段 | 内蔵EPROMライタによるEPROM化、又はバッテリによるスタティックRAM記憶保持方式(約2年間保持)(バッテリは標準装備) |
| 位置教示手段 | ティーチングボックス(オプション)又はパソコン |
| プログラム削除手段 | パソコン |
| 外部入出力 | 汎用入出力各16点(別途、ハンド開閉確認入力2点あり。) 汎用入出力同期信号(STB,BUSY/ACK,RDY) 専用入出力各3点(START,STOP,RESET/RNU,WAIT,ERROR) |
| インターフェース | パラレル(セントロニクス準擬)1ポート シリアル(RS232C準擬)1ポート |
| 非常停止 | コントローラ前面スイッチ、ティーチングボックススイッチ及び后面端子台(B接点端子)による。 |
| ハンド制御 | 電動ハンド、又はエアハンド(AC100Vソレノイド)各1点 |
| ブレーキ制御 | J ₂ 軸(ショルダ), J ₃ 軸(エルボ)にあり。 |
| 電源 | AC100V±10%, 0.5kVA |
| 周囲温度 | 5~40°C |
| 湿度 | 45~85%(ただし結露なきこと。) |
| 重量 | 25kgf |
| 外形寸法(mm) | 380(W)×331(D)×246(H) |

(1) ソフトウェアサーボ方式の採用

ソフトウェアサーボ方式の採用とロボット本体部の剛性アップ、モータ容量アップにより、加減速性が向上、タクトタイムの短縮を可能にした。

(2) メモリ容量の増大

ポジション点数(999点)及びプログラム容量の増大(3,584ステップ)により、複雑な作業への適用を可能にした。

(3) 汎用入出力、専用入出力の充実

汎用入出力各16点、専用入出力各3点を標準装備し、現場での使いやすさを改善した。

(4) 走行軸インターフェースの標準装備

走行軸インターフェースを標準装備し、別売り(オプション)の走

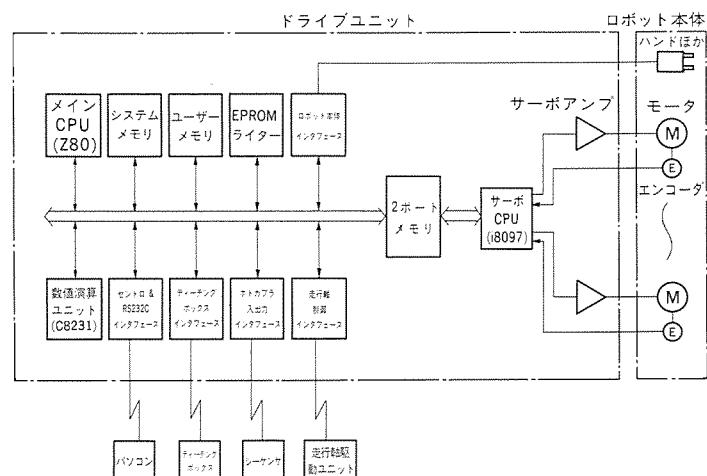


図9. M2DUのハードウェア構成(全体ブロック図)

行軸ユニットを取り付けることにより、ロボット本体5軸+走行1軸の同時補間制御が可能になる。走行軸の使用により、動作領域を拡大できる。

(5) 異常診断機能の充実

エラー表示機能を充実させ、ロボット及び作業システムの異常時の処置を容易にした。

4.2 ハードウェア構成

図9はM2DUのハードウェア構成(全体ブロック図)であり、8ビットのメインCPU(Z80)と16ビットのサーボCPU(i8097)を1個含んでいる。メインCPUは、パソコンとの通信や各種言語の解釈実行処理、座標系の正逆変換演算や周辺入出力の制御を行い、さらに2ポートメモリを介してサーボCPUに各軸ごとのゲインパラメータや移動命令を転送する。サーボCPUはこの移動命令を受けて、5軸分の位置及び速度の制御ループをソフトウェアサーボ方式によって構成し、同時に各種サーボ系のエラー検出と保護を行う。なお、メインCPUにおける直線補間時の割り込み周期は64ms、関節補間時は8msであり、サーボCPUにおける各軸ごとの位置及び速度ループのサンプリング周期は2ms(1軸当たり400μsで5軸分)となっている。

4.3 ロボット言語

プログラムは、コマンドレベルのロボット言語で記述する。言語は、操作性及びデバッグの容易さを考慮してインタプリタ形式としている。ロボット言語は、パレタイズ命令などを含め71語が使用できる。RS232Cによるパソコンとの通信機能も充実しており、機能別に、概略を以下に述べる。

(1) 位置・動作制御命令(26命令)

主にロボットの位置と動作に関連した命令である。位置データの登録・交換・代入・演算などの命令、関節・直線補間動作、連続バス動作などの命令、速度設定、原点出し、パレタイズの命令を含んでいる。

(2) プログラム制御命令(23命令)

主にプログラムの流れを制御するための命令である。サブルーチン、繰り返しループ、プログラムの条件分岐などを含んでいる。

(3) ハンド命令(4命令)

ハンドを制御するための命令である。開閉命令のほかに、電動ハンドに対する把持力、開閉時間を設定する命令もある。

(4) 入出力制御命令(6命令)

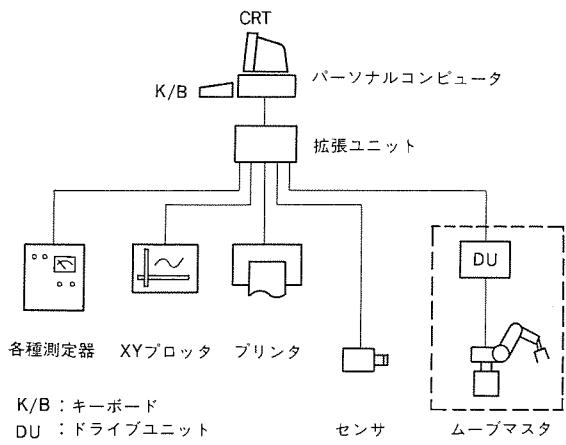


図10. パソコンを中心としたシステムの構成例

汎用の入出力ポートからのデータの入出力に関連した命令である。入出力いずれも、同期又は非同期にデータのやり取りができる、ビット単位又はパラレルデータでの処理ができる。

(5) RS232C読み出し命令（8命令）

RS232Cインターフェースにより、ロボット側のデータをパソコン側に読み出す命令である。

(6) その他の命令（4命令）

エラーの解除命令、ユーザープログラム及び位置データのEP-ROMからの読み出し又はEP-ROMへの書き込みなどの命令である。

5. システムの構成と適用例

《ムーブマスター》を使用する場合、その構成により区別すると次の二つの方法がある。

(1) パソコンを中心とするシステム

《ムーブマスター》をパソコンと常時接続し、その動作をパソコンからの指令によって行う方法である。この指令は、《ムーブマスター》側で用意したロボット言語をパソコン側から逐一実行させることで行う。したがって、この場合は、パソコンがシステムの中心になり、ロボットはパソコンに接続される周辺装置の一つになる。ロボットの動作は、すべてパソコン側で作成したプログラムで対応するため、非常に柔軟なシステムになる。実際の適用分野としては、教育・研究用やロボットシステム導入前の事前評価用、又は実験室の自動化用などがある。図10にパソコンを中心としたシステム構成例を示す。

(2) ドライブユニットを中心としたシステム

パソコンは、最初のプログラム作成、転送時ののみ使用し、実際の動作はドライブユニット内に転送されたプログラム（EP-ROMへ書き込んだプログラム）により行う方法である。このとき、パソコン

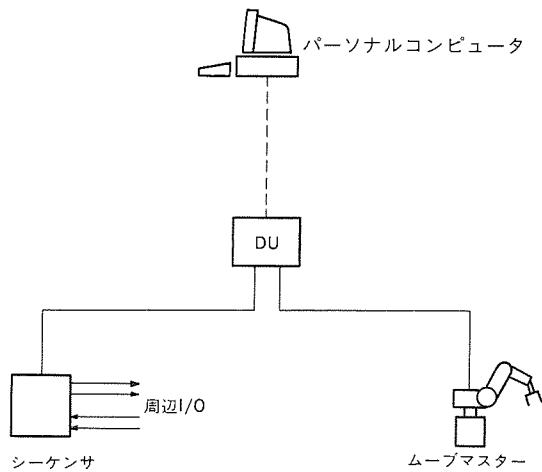


図11. ドライブユニットを中心としたシステムの構成例

は単にロボットのプログラミングを行うためのプログラム編集装置としての役割を果たし、実際の運転時には、ドライブユニットがシステムの中心になる。また、ロボットの周辺装置との信号のやり取りは、すべてドライブユニットの外部入出力ポートを通して行う。実際の適用分野としては、工場の組立ラインや検査ラインなどがある。図11にドライブユニットを中心としたシステムの構成例を示す。

6. むすび

高齢化社会、高学歴化社会への移行、また定着化した好景気と国際環境に順応した国内企業体质の改善など、我が国の社会及び経済構造の変化は、慢性的な人手不足を引き起こし、今後、ロボットの導入は、様々な分野で加速されるであろう。事務所や家庭にロボットが入り込み、まさに人とロボットが共存しあう社会ができるのも、そう遠い話ではないと考える。

当社では、《ムーブマスター》を始めとして、こうした将来的視点にたって、新しい時代に適応したロボットを今後とも、開発・供給していく所存である。《ムーブマスター》は、幸いにも多方面で好評を博し、新機種も順次発売を予定している。別の機会にまた、紹介させていただき、ユーザーの方々の協力を仰ぎながら、ロボットの普及と実用化に向けて、貢献していきたいと考える。

参考文献

- (1) 志賀ほか：パーソナルロボット《ムーブマスターEX RV-M1》，省力と自動化，オーム社，No.19 (1988)
- (2) 寺内ほか：新型《ムーブマスターEX RV-M1》のダイナミックスシミュレーション，三菱電機技報，62，No.5 (1988)

力覚センサ搭載 6 軸垂直多関節ロボット

渡部裕二* 鈴木康之*
守田裕親* 馬場孝夫**
小林智之* 藤田正弘**

1. まえがき

人間による作業は、常に視覚、力覚、触覚等の感覚情報を利用して行われるため、外部環境に対する適応力に優れている。一方、現在の産業用ロボットは、教示された位置を忠実に再生するティーチング プレイバック方式による制御が中心である。そのため、外部環境への適応力に欠け、例えば位置決めの不確定なワークや柔軟物のハンドリングなどの作業には向きである。しかし、産業用ロボットの用途拡大を考えると、このような従来不得意であった作業を、ロボットの感覚器官であるセンサを用いることで適応的に処理していくことが重要な課題である。

これに対し、センサの産業用途での実用化について考えると、現時点では視覚に相当するビジョンセンサがようやく有効性を認められてきている程度である。これは、もちろんセンサそのものの機能や性能、あるいはサイズや重量などの面で十分に用途を満たすものがなかったことが理由である。しかし、逆にロボットメカニズムや頭脳にあたる制御装置が、これらセンサをコントロール（特にリアルタイムで）しうる能力を持てなかつたことも大きな要因である。そこで次期インテリジェント ロボットシステムとして、力覚を搭載しこれを用いた制御を可能とした 6 軸垂直多関節ロボットを開発したので紹介する。

本稿では、まず力覚機能の概要とそのための制御アルゴリズムについて説明し、続いてセンサユニットとロボットシステムの各構成要素を述べる。

なお、このシステムは1989年10月に晴海で開催された国際産業用ロボット展に出展され、力覚倣い作業のデモストレーションを行ったものである。

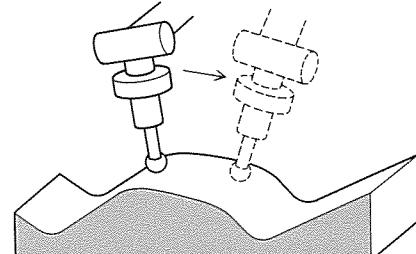
2. 力覚機能

2.1 力覚機能の概要

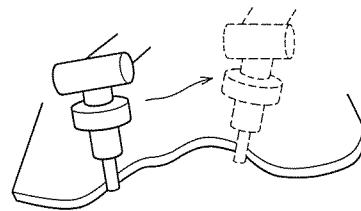
力覚機能は、ロボットと作業対象物との干渉によって生じる反力を検知して作業対象物への押付け力を制御したり、対象の形状に沿って工具を倣わせたりする機能である。以下、対象物への押付け力を制御する機能を力制御機能と呼び、対象形状の倣い制御などに使用されロボットをあたかもばねのように動作させる機能を、ロボットの見かけ上の堅さ（スティフネス）を制御するという意味でスティフネス制御機能と呼ぶことにする。

力制御機能の用途には、例えば図 1 のような自由曲面を持った金型製品の研磨や鋳物、機械加工部品のバリ取り作業などがあり、またスティフネス制御機能の用途には、図 2 のように組立作業におけるクリアランスの小さいはめ合い部品の挿入や位置精度の悪い部品の組み付けなどがある。

このような機能を実現するためには、一般に対象物からの反力をロボットアームの手首部や関節駆動部に取り付けた力覚センサ又はトルクセンサを用いて検出し、ロボットコントローラによって力／



(a) 金型研磨



(b) 鋳物のバリ取り

図 1. 力覚制御の応用（力制御）

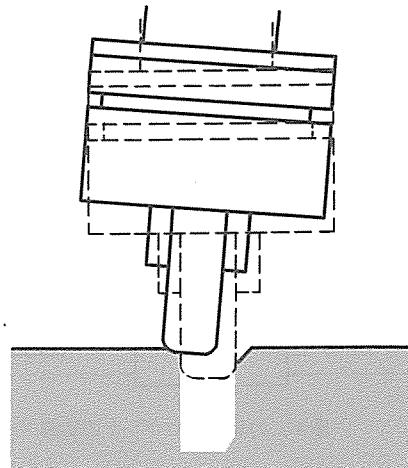


図 2. 力覚制御の応用（スティフネス制御）

スティフネス制御ループを構成するのが通例であり、産業用ロボット上にこれを実現するためには、本稿で述べるような高機能なコントローラが必要となる。

2.2 制御アルゴリズム

ロボットを用いて力制御を直交座標系で行う方法は、以前から各種の方法が提案されているが、その多くは力制御ループから直接関節トルクを算出するものである。制御系をこのように構成すれば、ロボット機構の摩擦力、ギヤ及びモータのコギングなどの外乱の影響が問題となる。これらの外乱を抑制するためには、力制御系の力フィードバック ループゲインを大きくする必要があるが、力制御ループ内に駆動系及びアームの共振系を含むので、ゲインを上げることは容易ではないという欠点がある。

ここで用いた力制御系は以上の問題を避けるため、かつ既存の産

業用ロボットの制御系との整合性を良くするため、位置制御機能を基本とする力制御系を採用した。

図3に従来の教示再生形ロボットの位置制御系のブロック図を示す。教示再生形ロボットでは、軌跡補間部で求められた直交座標系における位置姿勢指令値が座標逆変換によって関節座標系の指令値に変換され、それを更に細かく精補間した後サーボサイクルごとの位置指令値を求め、関節位置サーボ系に送られる。

図4に、ここで実現した力覚制御ロボットの制御ブロック図を示す。力覚制御ロボットでは、従来の制御系に加えて、アーム先端に付けられた力覚センサから検出された力情報を用いて、指定された力、スティフネスを実現するためのフィードバック制御ループを持つ。そして、これは力／スティフネス制御ループ内に従来の位置制御系を含む形となっている。

アーム先端に取り付けられた力覚センサは、6次元の力／トルク(直交するX, Y, Z 3軸と各軸回りのトルク)をその取付座標系(センサ座標系)での検出値として出力することができる。そして、この出力値は、一定の座標変換によってアームに取り付けられたエンドエフェクタで定義される力／スティフネス制御座標系での力検出値に変換することができる(図5)。この検出値をあらかじめ指定された力目標値と比較し、その誤差をなくすようにロボットの目標位置指令値を修正するというのが、ここでの力／スティフネス制御方式の特長である。このような演算は、力／スティフネス制御系が1次元である場合は非常に簡単に実現できるが、垂直多関節ロボッ

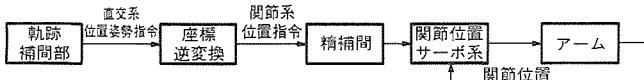


図3. ロボットの位置制御ブロック図

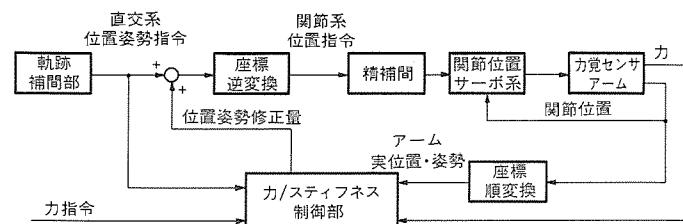


図4. 力覚制御ロボットの制御ブロック図

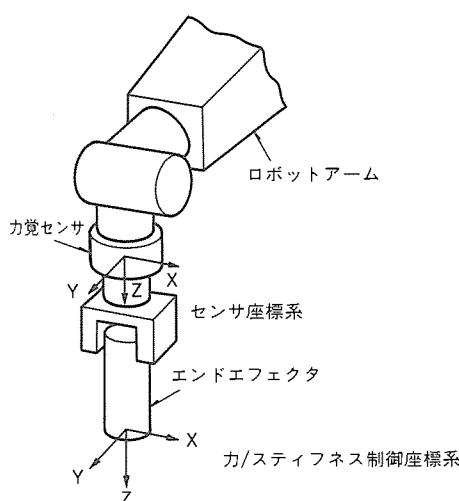


図5. 力／スティフネス制御座標系とセンサ座標系

トのような多自由度移動機構では、座標変換を多用するため実現するのが容易ではない。

図6に、ここで採用している力／スティフネス制御系の詳細なブロック図を示す。

ここでは、力制御系の制御則として簡単な積分制御を用いている。これは、力制御系内部にある関節位置制御系が定位系であるため、積分器がないと定常偏差を生じることと、機械共振の存在により広域のゲインを上げられず進み補償ができないことによる。力制御系は、力／スティフネス制御座標系で表現された力指令値 f_0 と、力センサの出力値 f_a を比較し、その誤差に力制御系のゲイン定数行列 K_f をかけ、軌跡補間の座標系における表現形に変換した後積分し、軌跡補間指令値に対する修正指令値を求める。これを軌跡補間指令値に加算することで実現する。このようにすれば、軌跡補間出力の修正値以降の制御系は通常の位置制御ロボットの制御系と同様に取り扱える。

一方、スティフネス制御系は、あらかじめ設定されたロボットの基準位置姿勢 X_t と、ロボットの実際の位置姿勢 X_a とを比較し、その位置姿勢誤差を力／スティフネス制御座標系に変換した後、ロボット動作の柔らかさを指定するスティフネス定数行列 K_s を乗じて目標値としての力／トルク指令値を発生することで実現する。この指令値は、先に述べた力制御系に加えられ、所定の力を発生するようにロボットが制御される。

力／スティフネス制御を用いた作業を行う際には、発生する力の方向やスティフネス制御軸をプログラマブルに変更する場合がある。そのため、この力／スティフネス制御系では、力覚機能を実現する座標系としてロボット基準のワールド座標系、及びエンドエフェクタ基準のツール座標系を選択できるようにし、かつそれぞれの座標系において各座標軸ごとに位置制御、力制御、スティフネス制御を独立して設定できるようにしている。このことによって、作業に応じた多様な制御モードを実現できるため、各種の作業に適用できる。

2.3 リアルタイムセンサへの拡張性

ここで述べた力／スティフネス制御系の特長は、力／トルクセンサ以外のリアルタイムセンサに対しても、力センサと同様の取扱いができる、センサフィードバック制御系が有効に動作することである。したがって、レーザ変位センサや超音波センサなどによる対象物の追従制御も、ハードウェア インタフェースさえ装備すれば原理上統一的に扱うことができる。

この機能はまた、コンベヤ上の移動するワークに対し、コンベヤの動きをセンサで検出し、かつその対象に力制御を行うといった複合センサ制御も可能である。

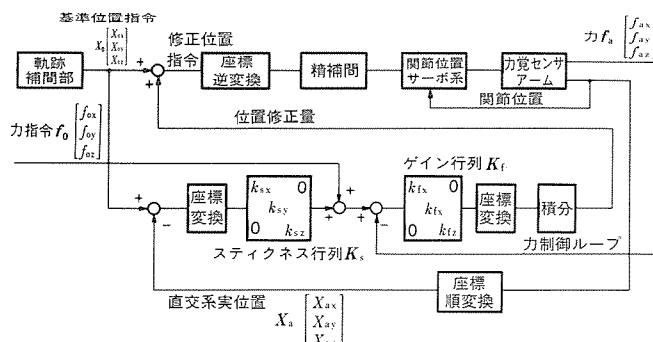


図6. 力／スティフネス制御系ブロック図（位置修正のみ）

3. ロボットシステム

次に、力覚制御を実現するためのロボットのシステム構成を説明する。ロボットシステムもまた、力覚だけでなく他のリアルタイム

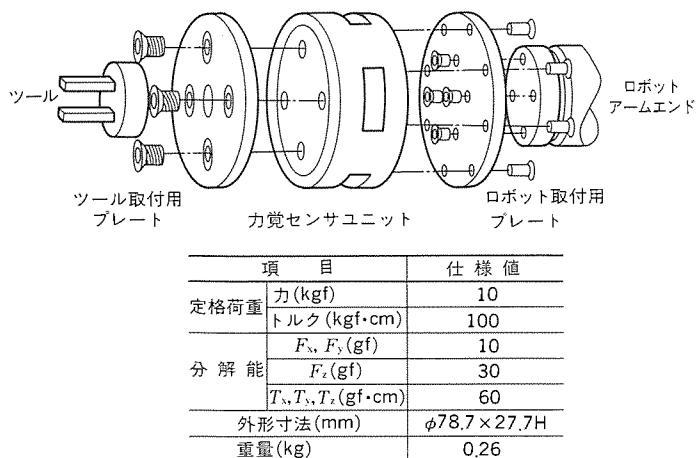


図7. 力覚センサユニットの仕様

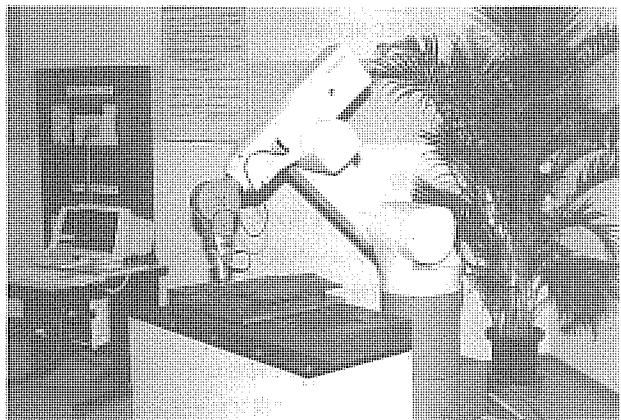


図8. ロボットの外観

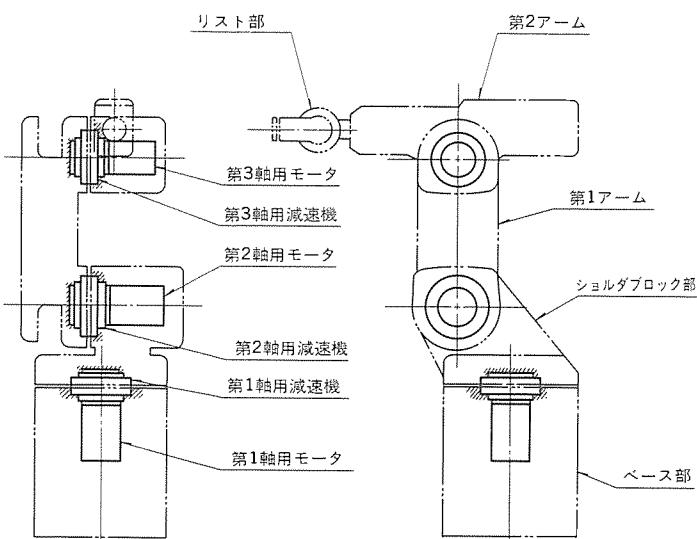


図9. ロボット基本3軸の構造

センサの搭載までを考慮して構成されており、今後のインテリジェントロボットの基本型となるものである。従来、これらのセンサを使う場合に課題とされてきたのは、

(1) センサの機能・性能・重量・形状

(2) 高速応答に耐えうる高剛性のロボットメカニズム

(3) 制御装置の演算能力、データ処理能力

(4) センサを含むロボットシステム全体としての使いやすさ

であり、システムを構成する上でこれらを向上させることにポイントをおいている。

3.1 力覚センサユニット

力覚センサの外観と仕様を図7に示す。ユニットは円板状の形をしており、ロボット先端のフランジ面に取り付け、さらにセンサの先にはツールを取り付けることができる。センサの分解能は10gf、許容荷重が10kgfまで、センサそのものの重量も260gと軽量である。したがって、各種作業に対応したツールを取り付けてもなお可搬重量には余裕があり、多くの用途を考えることができる。センサ信号は、ロボットの足元にあるデータ変換ユニットまでアナログで伝えられた後、デジタル化されRS422/HDLCプロトコルによってロボットコントローラまでシリアル伝送される。

3.2 ロボット本体

ロボット本体の外観を図8に示す。力覚センサが6次元の力／トルクという空間における全方向の力を検出できるので、これを十分に活用するためにはロボットにも6自由度が必要である。さらに、ある程度の力作業をこなすためにも、センサ許容荷重である10kgまでの可搬重量を持つ6軸垂直多関節タイプの中形ロボットを開発した。また、特にこの力覚のように、ロボットの手先にセンサを搭載する方式では、センサフィードバックループに含まれるロボットメカニズムの高剛性化が要求される。そこで、ロボットの全体を支えるベース側から3軸までのいわゆる基本3軸にコンパクトで剛性が高いRV減速機を採用した。同時に、それ以外の減速機構を持たない直結方式とすることによって無駄な伝達機構を省くことも高剛性化に寄与している(図9)。

3.3 ロボットコントローラ ハードウェア

ハードウェア(H/W)構成を図10に示す。システム全体では、ロボットの言語処理・軌跡制御・リアルタイムセンシング処理を含むモーション制御、サーボ制御、そして周辺機器との入出力を処理するシーケンス制御とそれにCPUを持ち、マルチプロセッサシステムとしての総合的な連携により高性能・高機能な制御を実現している。特に、力覚制御アルゴリズムを実現するモーション制御部には、32ビットRISCチップを採用した。このチップは、20MHzで動作し8MIPSの処理能力を持っている。また、内蔵した浮動小数点演算機能によって、前述の力／スティフネス制御ループにおける座標変換などセンサのための多くの演算処理をこなすことが可能となっている。

3.4 ロボットコントローラ ソフトウェア

ソフトウェア面での特徴としては、前述の力覚制御アルゴリズムの実現はもちろんのことであるが、力覚について必要となる要素機能をロボット言語としてユーザーに開放した点にある。従来から当社の産業用ロボットは、MELFA-BASICと呼ぶBASICライクな言語によって作業をプログラミングすることができるが、今回力覚を搭載するに当たっても力制御に関する機能を言語としてまとめた。

例えば、力／トルクデータの6次元ベクトルとしての取扱いをはじ

表1. 力覚命令とプログラム例

| 内 容 | | 記 述 |
|------|----------------|-------------------------|
| 命 令 | 力覚制御モード定義 | FMODE |
| | 力覚制御による補間 | FMVS |
| | 力覚制御の連続動作 | FCNT |
| | 力のオフセットキャンセル | FOFFSET |
| | 力のゲイン設定 | FGAIN |
| | 力制御用ツールデータ設定 | FTOOL |
| 変 数 | 重力補償キャリブレーション | FCALIB |
| | 一般変数 | F**** K**** W**** |
| | 制御モード状態変数 | M_FMODE |
| | 力トルク状態変数 | F_CURR |
| | スティフネス状態変数 | K_CURR |
| | ばね中心位置状態変数 | P_STIFF |
| 特殊変数 | ゲイン状態変数 | F_GAIN |
| | キャリブレーション用変数 | W_CAL |
| | 負荷設定用変数 | W_TOOL |
| | 負荷設定用変数初期値 | W_NTOOL |
| | 力制御による変位量 | P_FORCE |
| | スティフネス制御による変位量 | P_STIFF |

10 FMODE(1,,, 2, 2, 2) : 制御モードの設定、X方向=力、X/Y/Z軸回り=スティフネス
 20 F1=(100,, 10, 10, 10) : データの設定(単位kgf.kgf・cm)
 30 K1=(,, 30, 30, 30) : スティフネスデータの設定(単位kgf/cm, kgf・cm/deg)
 40 DLY 0.5
 50 FMVS P1,F1,K1,T WTHIF(P-FORCE,1>100)HLT : ツール座標系での力覚制御をしながらP1点へ移動、X方向変位が100mmを超えたら中断
 60 MVS P2

めとして、各座標軸ごとの独立した位置／力／スティフネスの制御モードの設定や、力覚制御により一定以上の変位量を生じたら中断し次の動作へ移行する、などの手順をマクロ的にBASIC言語化している(表1)。このように基本機能をコンパクトにまとめ、BASIC言語として簡単に入力編集できるようにしたことで、ユーザー自身が力覚センサの利用方法を自由に考え、簡単にプログラミングすることが可能となっている。

また、自動運転時のみでなく、ティーチングボックスによる教示作業中のロボット手動操作でも隨時力覚制御機能を使うことができる。この機能を用いれば、例えば一定の力で押し付けながらの倣いティーチングなどが簡単に実現し、教示作業の支援機能としても有効である。

3.5 そのほかの特徴

ここまでに、力覚センサを中心とした特徴を述べてきたが、ロボットシステム全体としては、センサ搭載と同時に今後のファクトリオートメーションシステムの核となるべく考慮も払われている。以下に主な特長を列記しておく。

- (1) 周辺装置制御のための当社《MELSEC Aシリーズ》シーケンサ相当品の内蔵
- (2) シーケンサ用オプション機器の共用化
- (3) 拡張性・保守性を高めるためのビルディングブロック構造化
- (4) パラレル伝送、シリアル通信、ネットワークなど外部インターフェースの充実

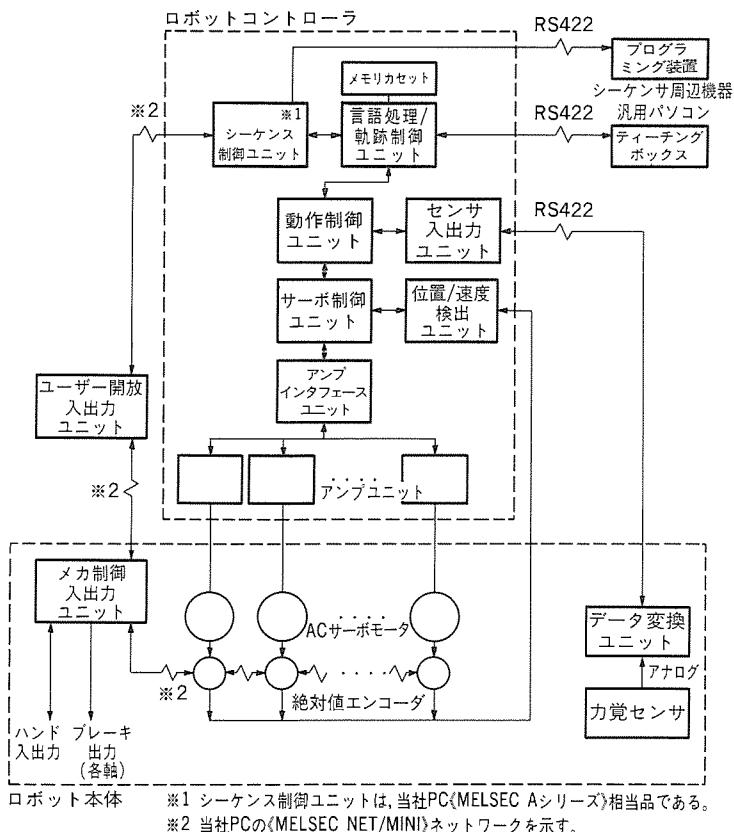


図10. ロボットコントローラH/Wシステム構成

- (5) 外部インターフェースによってロボットのあらゆる動作を制御できるよう命令体系を整備
- (6) 汎用パソコンソフトウェアを含めた、ロボットのプログラミング支援のための外部インターフェース接続周辺機器を充実
- (7) サーボ系での絶対位置検出器とACモータの採用
- (8) デザイン面の重視

力覚センサを含めたこれらの特長を総合して、まさに人間的感覚を持ちFAシステムにおいて柔軟な連携プレーをこなすことのできる、一步人間に近づいたロボットであるといえる。

4. む す び

本稿では、ロボットに柔軟な機能を与える力覚と、これを用いた制御を可能とするロボットシステムを紹介した。このように、インテリジェントロボットにはセンサが必要であり、センサにはそれを搭載できるロボットが必要である。しかし、更にはこれらのシステムを使いこなし育て上げてゆくノウハウの積み重ねが不可欠であることはいうまでもない。力覚についても同様に、次段階では多くの実際的なアプリケーションを実現することによって製品力の強化を図っていきたいと考えている。

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*

1. まえがき

近年、内需拡大策と個人消費の伸びによる好況を反映して、設備投資が活発に行われ、ロボットも積極的に導入されている。労働者の高齢化や労働時間の短縮に伴って、労働力の不足が予想されるため、今後ロボットの導入はますます増加するものと考えられる。このような背景の中で、消費者ニーズの個性化と多様化に合わせ、多品種少量、短期サイクルのモデルチェンジに、柔軟に対応できるロボットシステムが望まれるようになってきた。

本稿では、このような要求にこたえて開発を行ったロボットシステムのうち、パソコンとロボットをリンクし、多品種のワークが扱えるようにしたパソコンパレタイズシステムの例と、複数台のNC工作機械と走行ロボットを組み合わせた経済性の高い機械加工マテハンシステムの二つの事例を紹介する。

2. パソコンパレタイズシステム

製品をパレットに積み付けるとき、従来はパレタイザと呼ばれる専用機が使われてきた。少品種多量の製品を扱う場合は、専用機の高速処理機能が生かされるが、多品種少量の場合には、品種変更ごとに非常に多くの段取り時間がかかり、対象となる品種が数品種に限定されるため、専用機に代わるフレキシブルなパレタイズシステムの要求が強くなってきた。今回こうしたニーズに対応して、ロボットとパソコンをリンクして、パソコンのデータ処理機能を活用したパソコンパレタイズシステムを開発した。このシステムは、あらかじめパソコンに製品の品種や寸法、積付けパターン、パレット寸法を登録しておく、運転時に品種の指定をするだけで、所定のパターンどおりに製品の積付けを行うパレタイズシステムである。ロボットによるパソコンリンクのパレタイズシステムには、一つのパレット上に複数の品種を組み合わせて積み付けるAI応用パレタイズシステム⁽¹⁾があるが、このシステムは単一品種の製品の積付けを行うものである。このシステムの特長を次に示す。

(1) フレキシブルなパレタイズシステム

システムは、製品の品種が999種類、パレット数が99種類、積付けパターンが50種類まで対応可能である。これらのデータは、任意に組み合わせて使用でき、追加、修正もパソコン画面上で簡単に行える。

(2) 個々の積付け位置のティーチング作業が不要

製品の種類やパレットサイズなどの可変要素は、パソコンが管理し、段取り変更時に補正演算してロボットに送信する。したがって、システム設置時に製品の把持位置、及びパレットの座標基準となる3点をティーチングするだけで、積み付ける製品の個々のティーチング作業は不要である。

(3) オンラインでモニタや段取り変更が可能

ロボットコントローラは、オンライン通信機能を持っているので、現在実行中のパレタイズ状況をパソコンに送信したり、次のパレタ

生産ライン最終工程

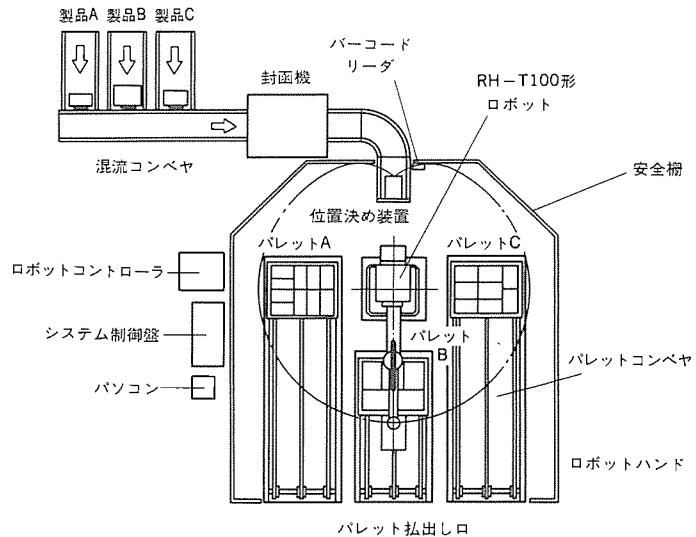


図1. パレタイジングシステムレイアウト

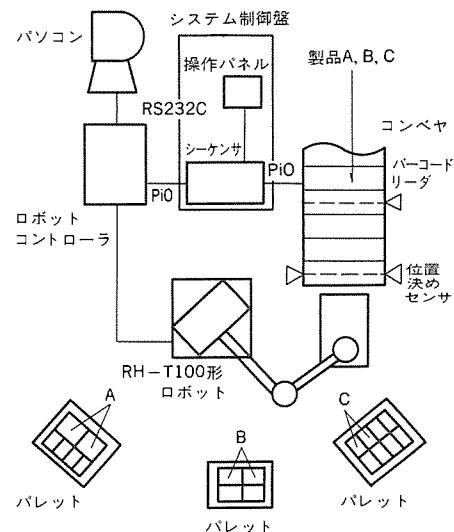


図2. システム構成

イズ情報を受信し、パレタイズ実行中に次の準備を行って、段取り時間を大幅に短縮することができる。

2.1 システム概要

このシステムは、段ボール箱に入った製品を、各種類ごとに区分けして所定のパレットに積み付けるパレタイズシステムの事例で、図1に機器レイアウトを、図2にシステム構成を示す。段ボール箱はコンベヤA、B、Cから1本のコンベヤにまとめられ、封かん(函)機でテーピング処理された後、コンベヤ終端の位置決め装置まで搬送される。コンベヤ上では、A、B、Cの各製品が混在して搬送されるが、位置決め装置の前に設置されたバーコードリーダーにより、品

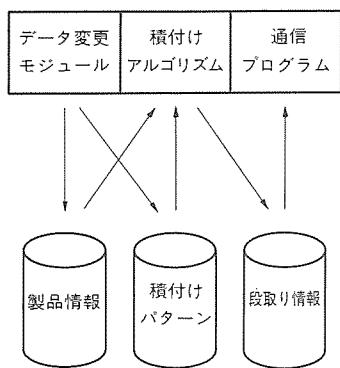


図3. パソコンのモジュール構成

***** ケース登録画面 *****

| ケースコード | 名 称 | サイズ | | | 標準パレットパターン段数 | | |
|--------|----------|-------|------|-------|--------------|----|----|
| | | 長さ(L) | 幅(W) | 高さ(H) | | | |
| 1 | ケース 1 | 360 | 275 | 255 | 17 | 7 | 5 |
| 5 | 部品 A | 511 | 303 | 180 | 65 | 47 | 8 |
| 16 | WORK 89 | 532 | 245 | 135 | 98 | 9 | 10 |
| 37 | 部品 H-37 | 480 | 290 | 175 | 3 | 39 | 7 |
| 100 | ワーク 1 | 360 | 505 | 305 | 10 | 30 | 5 |
| 300 | ワーク 3 | 275 | 390 | 245 | 10 | 30 | 5 |
| 370 | 部品 C-370 | 275 | 390 | 245 | 37 | 17 | 6 |
| 963 | WORK B | 415 | 295 | 100 | 63 | 7 | 12 |

1:次画面 2:前面面 3:ケースコード指定 4:変更 5:終了

***** 積付けパターン登録画面 *****

<奇数段> 940 * 940 <偶数段> 940 * 940

<<表示>> NO.17
箱サイズ: 長さ(L) = 275 幅(W) = 390
表示処理を続けますか? (Y/N):

図4. パソコン画面の実施例

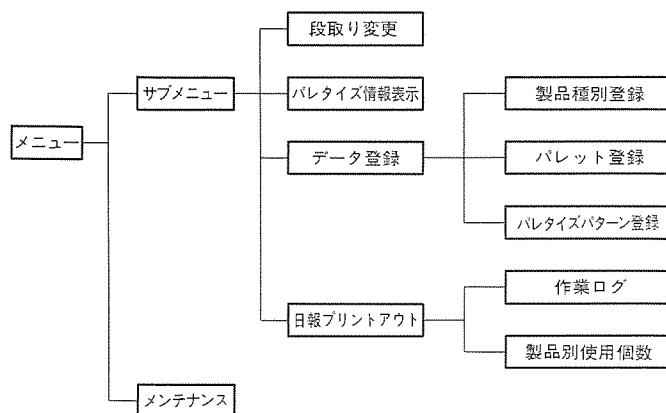


図5. パソコン操作の実施例

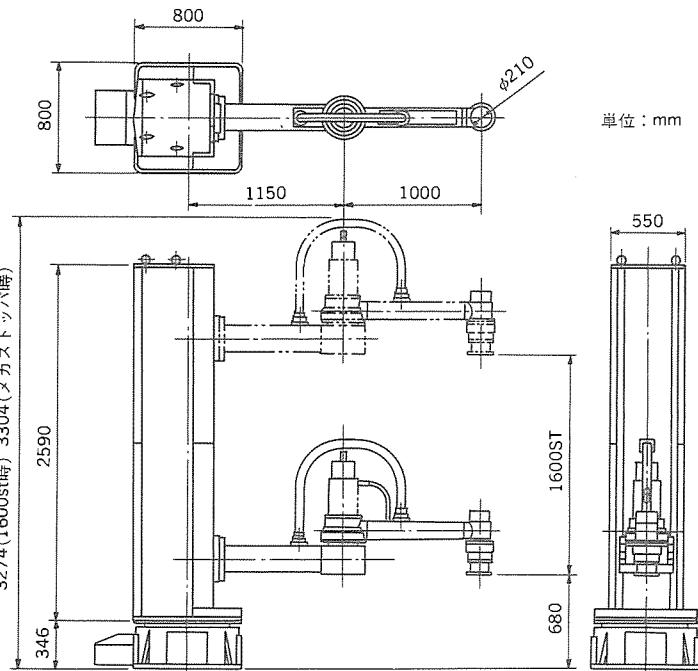


図6.《MELFA》“RH-T100”形ロボット

種別の信号がシーケンサに送られる。シーケンサは、位置決め装置の停止位置制御を行うとともに、ロボットに対しワーク情報を伝送する。ロボットは、パソコンからあらかじめ受信しているパレタイズデータと、このワーク情報に基づき、位置決め装置上にある段ボール箱を、製品種別ごとに所定のパレットに積付けを行う。

2.2 パソコン

パソコンは、積付け計画とワーク位置の演算を行う。図3に示すようにS/Wのモジュールは、データ変更モジュール、積付けアルゴリズム、通信プログラムで構成している。データ変更モジュールは、パソコンで管理している製品情報や積付けパターン、パレットサイズなどの追加・変更・削除を行うためのモジュールである。ユーザーが簡単に操作できるよう、図4に示すような画面を用意している。積付けアルゴリズムは、各データを基にして次にパレタイズする製品の段取り情報（段ボール箱の把持位置、積付け位置など）を作成する。通信プログラムは、段取り情報を所定のプロトコルに従い、ロボットコントローラに送信する。このように、段取り情報の作成をパソコン側で行っているので、パレタイズ作業中に並行して、次のパレタイズの段取り準備を進めることができる。パソコンで行う操作例を図5に示す。

2.3 ロボット

パレタイズ用ロボットには、高可搬重量、高速動作、広範囲な動作領域といった機能が要求される。人手では20kg程度までのワークしか扱えなかったが、タクト短縮のためにワークを2個把持したり、扱う製品の大形化により、50kg程度のワークをハンドリングしなければならない。一般的にロボットハンドの重量は、ワークの重量にほぼ匹敵するため、ロボットの可搬重量は100kg程度必要となる。また、従来の専用パレタイザ並みのタクトタイムにするため、ハンドリング速度は650回/hという高速化が必要となる。ロボットの周辺に、1,100mmのパレットを2～3枚配置して積み付けるために、半径2m以上の動作領域をカバーすることも必要となる。このような条件を基に、パレタイズ用ロボットとして、従来の円筒座標形RCシリーズに引き続き、図6に示す水平多関節形の《MELFA》ロボット

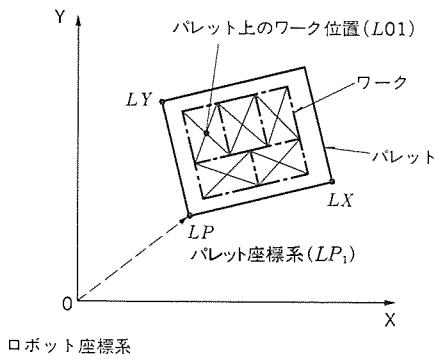


図7. ロボット座標とパレット、ワークの位置関係

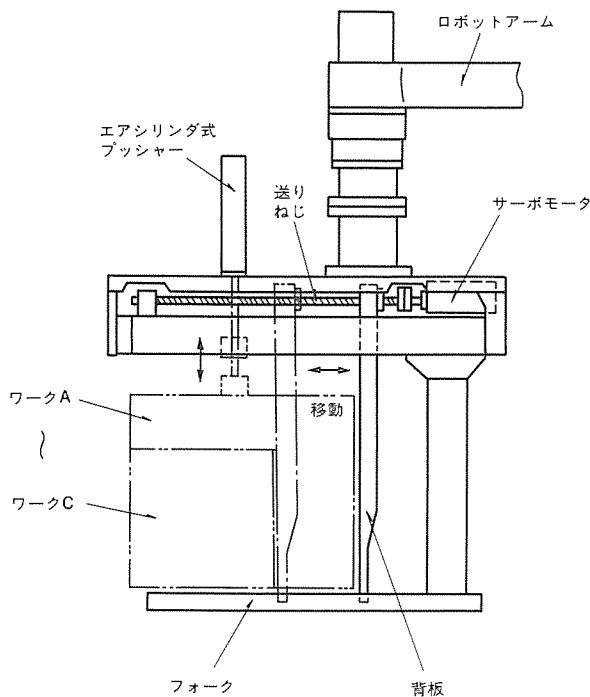


図8. パレタイズ用ハンド

表1. パソコンパレタイズの他の実施例

| 使用分野 | 製瓶業界 | 事務用機器 | 窯業 |
|---------------|---|---|----------------------------------|
| ワークの種類 | 段ボールケースその他 200種類 | 段ボールケース 150種類 | 焼成品 30種類 |
| ワーク寸法 (mm) | (L) (W) (H) 360×275×140 565×453×255 | (L) (W) (H) 670×542×580 760×550×660 | (L) (W) (H) 230×65×115 100 |
| パレタイズ パターン | 40種類 | 5種類 | 3種類 |

“RH-T100”形を開発した。

ロボットコントローラ“R-230R”は、パレタイズ作業を効率的に行うため、次の高機能《MELFA-II》ロボット言語⁽²⁾を備えている。

(1) フレーム機能

図7はロボットの座標系(0, X, Y)とパレット及びパレット上のワークの位置関係を示す概念図である。フレーム機能は、パレット自身を独立した座標系 LP_1 として扱うために定義するもので、パレットの基準となる端部3点の位置変数を LP , LX , LY とすると、 $LP_1 = \text{FRAM}(LP, LX, LY)$ のように表す。フレーム機能を使用すれば、ロボットに対する位置関係を意識する必要なく、ワークの

位置データを単純にパレット上だけで取り扱うことができる。したがって、配置変更などでパレットを移動した場合、ロボットの座標系にいちいち換算する必要がないため、修正作業が非常に簡単となる。

(2) 相対演算

パレット上のワークの位置変数を図7に示すように $L01$ とすると相対演算は、

MOVE ($LP_1 : L01$) のように表し、変数 LP_1 と $L01$ との相対的な位置の演算を行う。すなわち、フレーム機能で定義された LP_1 の座標系における、パレット上のワーク位置 $L01$ を、実際のロボット座標系の位置に変換する機能である。この機能を使用すれば、複数個のパレットがある場合でも、同じ積付けパターンであれば、 LP_1 を他のパレットの位置変数 LP_2 , LP_3 …に変えていくだけで、各々のパレット上にワーク位置 $L01$, $L02$ …を設定でき、パレットごとのティーチング作業が不要となる。

(3) 配列変数

MOVE ($LP_1 : L01 [I_1, I_2]$) のように、[,]で表した積付け段数 I_1 と積付け個数 I_2 を変数とし、これを2次元配列変数として扱うことができる。配列変数を使用しないロボットプログラムの場合は、パレット上のワーク個数に相当する移動命令を記述する必要があり、膨大なステップ数となる。この2次元配列変数を使用すれば、わずか数行のプログラムで表せるので、大幅なプログラムの短縮が行える。

以上のようなロボット言語を使用することにより、ロボットのティーチング作業が簡略化でき、システムの立ち上げ時間が短く、段取り変更の容易なパレタイズシステムを構築することができた。

2.4 パレタイズ用ロボットハンド

ロボットハンドは図8に示すように、段ボール箱を下からさくい上げるフォーク式で、背板の移動機構にサーボモータを採用している。このサーボモータはロボットコントローラにより、ロボットの各軸のサーボモータと同様に制御し、品種に対応したつかみ方ができる。フォーク上部には、エアシリング駆動のブッシャーを設け、ワークを押さえて高速移動の際のずれと落下を防止している。このハンドの自重は約50kg、ワークの可搬重量は45kgである。

2.5 その他の実施例

以上述べたパソコンパレタイズシステムのその他の実施例を表1に示す。これらの実施例でも、ワークの種類は30~200種、パレタイズパターンが3~40種類と、このシステムの能力を有効に生かして、非常に多種類のワークのパレタイズ作業を処理している。

3. 機械加工マテハンシステム

機械加工ラインにおいて、工作機械のCNC化は年々増加の一途をたどり、高価な工作機械の稼働率を上げるために、長時間の無人運転が重要な課題となっている。無人運転をするためには、加工ワークの自動着脱が必要となり、簡易ロードやロボットを使用するなど、様々な方法が試みられてきた。工作機械1台に対しローダ1台を組み合わせる方法では、経済効果、設置スペース、マシントラブル発生時の障害になるなどの理由により、必ずしも十分普及しているとはいえない。さらに、最近の傾向としては、多品種少量生産にフレキシブルに対応できる高機能なワーク着脱装置の要求が高まりつつある。

これら機械加工マテハンの要求にこたえるため、次のような特長

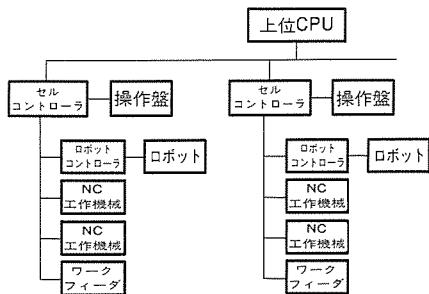


図9. 制御システム構成

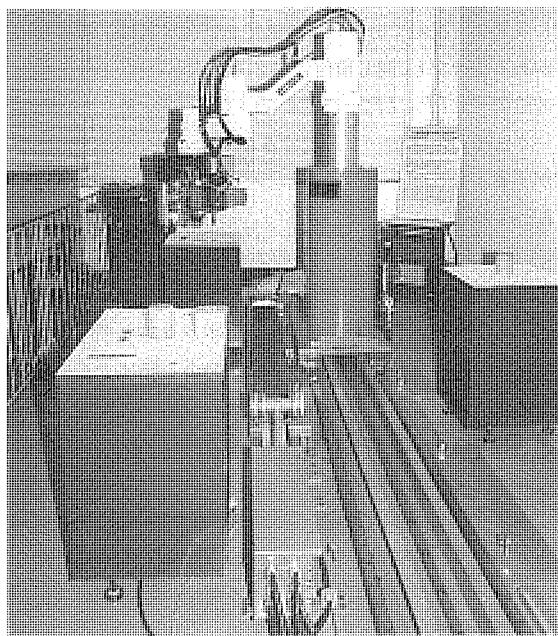


図10.《MELFA》“RH-L 3”形走行ロボット

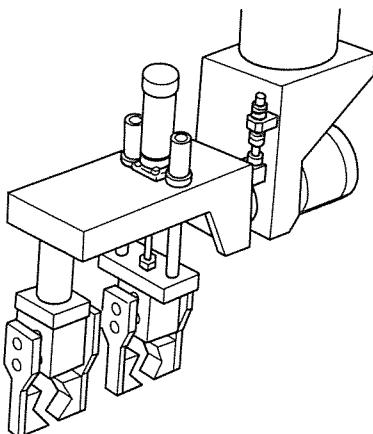


図11. 機械加工用ハンド(1)

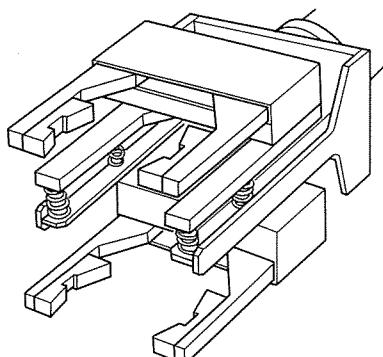


図12. 機械加工用ハンド(2)

を備えたロボットを開発し、システムの構築を図った。

- (1) ロボットは長距離、高速走行形としたので、広範囲のサービスが可能となり、複数の工作機械に対応できる。
- (2) マシントラブル時には、ロボットを退避位置に移動できるので、十分なメンテナンスヤードが確保できる。
- (3) ロボットのユーザー開放メモリ容量を256Kバイトとし、20種類以上のワークに十分対応できる。
- (4) 豊富なI/O点数を用意し、周辺機器に対し十分なサポートが可能である。

以下に、高速走行ロボットを用いた機械加工用マテハンシステムについて述べる。

3.1 制御システム

制御システムを図9に示す。セルフコントローラは、ロボット、工作機械、ワークフィーダを統括制御し、ロボットの動作プログラムを、ワーク種別に応じて自動的に選択する。その他、機器の運転状態監視や、エラー管理、ロボットに対する搬送指示なども、すべてセルフコントローラで行う。

3.2 ロボット

ロボットは、加工ワーク重量1~10kg、ハンド重量10~20kg、工作機械及びワークフィーダとロボットの間隔1~1.3mなどの条件から、図10に示す水平多関節形の《MELFA》ロボット“RH-L 3”形、又は“RH-L 4”形の走行タイプを使用した。走行長は、レイアウト及びラインタクトにより異なるが、最大30mまで対応できる。関節部の動作速度は、225°/秒、走行部の速度は2m/秒とし、高速化を図って工作機械へのワーク着脱時間を10~15秒で行うようにした。

ロボットコントローラ“R-230R”は、パレタイズシステムで述べたように、機械加工ラインについても豊富なロボット言語が使用できる。種類の異なるワークの把持位置、チャックへの着脱位置を配列変数“ARRAY”命令で処理したり、工作機械のチャックへワークを着脱するときに、ティーチング作業なしで平行移動させる“APRO”命令などにより、動作プログラムの短縮と、作業効率の向上を図っている。I/Oはハンド関係で8点、周辺装置に対する外部I/Oは標準12点と、さらに44点の追加オプションを用意した。メモリ容量は、256Kバイトを標準装備し、ティーチング位置4,000点、ユーザープログラム数を63まで分割でき、多品種のワークに十分対応できるようにした。

以上のように、機械加工マテハンを対象として、S/W, H/W両面を充実させ、システムへの対応力を向上させた。

3.3 機械加工用ロボットハンド

ワークの着脱に使用するロボットハンドは、図11、図12に示すようなダブルハンド構造を採用して、ワークの着脱を1回のアーム動作で行い、大幅なタクトタイム短縮を図った。図10のハンドは把持力が50kgで、重量5kg、直徑60mmまでのワークを把持する。二つのチャックは、各々独立して上下移動ができるようにし、工作機械との干渉防止及びワーク着脱時間の短縮を図った。図11のハンドは、把持力100kgで、重量10kg、直徑300mmまでのワークを把持する。このハンドには、つめ(爪)駆動用フレームと本体を各々分割して、各結合部にばね支持のコンプライアンス機構を設け、ワークの把持状態でも外力が加わると爪駆動用フレームが移動し、コレットチャックのような50μm程度の微小すき間のはめあい作業にも対応できるようにした。

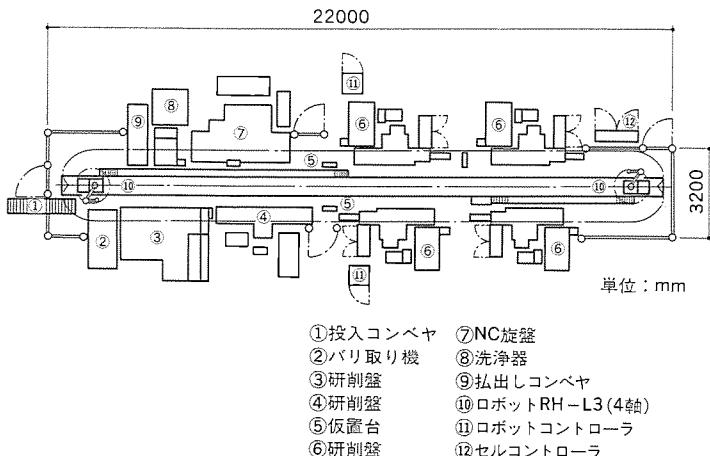


図13. 順送り機械加工ラインのレイアウト

3.4 機械加工マテハンシステムの事例

3.4.1 順送り機械加工ラインのマテハンシステム

図13は加工工程が9工程からなるシャフト加工ラインのレイアウトで、対象ワークが6種類、ワークの重量は最大5kg、直径50~58mm、長さは390~480mmである。ワークは、バリ取り機から順次、研磨工程で加工され、旋盤加工、洗浄工程を経て払い出される。各工作機械には、V字形の仮受台が設置されている。このラインでは長さ16.5mの走行台上に、水平多関節形のロボット“RH-L3”形（4軸）2台を走行させる、いわゆるタンデム走行形とした。ロボットの走行範囲は、互いの領域までラップさせて、相互乗り入れができるようにし、ロボット間のワークの受渡しはレイアウトの中央部に設けた仮置き台を介して行うようにした。

そのため、ワーク送り用の移送装置を設ける必要がなく、経済性とタクト短縮両面の効果が得られた。ハンドは、ダブルハンドで、ロータリアクチュエータで90度回転する構造とした。各工作機械へのワーク着脱時間は10秒、ワーク1個当たりのラインタクトは78秒を実現している。各工作機械とロボット間は、ワークの種類別信号を相互に送受信し、6種類を連続してランダムに流せるようにしている。また、工作機械あるいはロボットに、何からの異常が発生した場合には、ロボットを走行端の退避位置に退避させ、修理や手動運転の障害とならないように配慮してある。

このロボットシステムの導入により、次のような効果が得られた。

- (1) 2直から24時間連続操業への切替えで30%の生産量UP
- (2) 2人×2直の人員の削減
- (3) ワークのランダム流し作業の実現

3.4.2 並列送り機械加工マテハンシステムの事例

図14は、同一ワークの加工をするNC旋盤4台を配置したディスク端面加工ラインのレイアウトで、対象ワークは8種類、ワーク重量は最大10kg、直径が240~280mm、長さが50mmである。

ワークは、投入コンベヤの終端部で位置決めされた後、ロボットによりNC旋盤に供給され、両端面の加工が完了すると払出しコンベヤによって払い出される。このラインは、水平多関節形ロボットの“RH-L3”形（5軸）を6mの走行台に取り付け、並行に2台配置した。投入・払出しコンベヤは、レイアウトの中央に配置して2

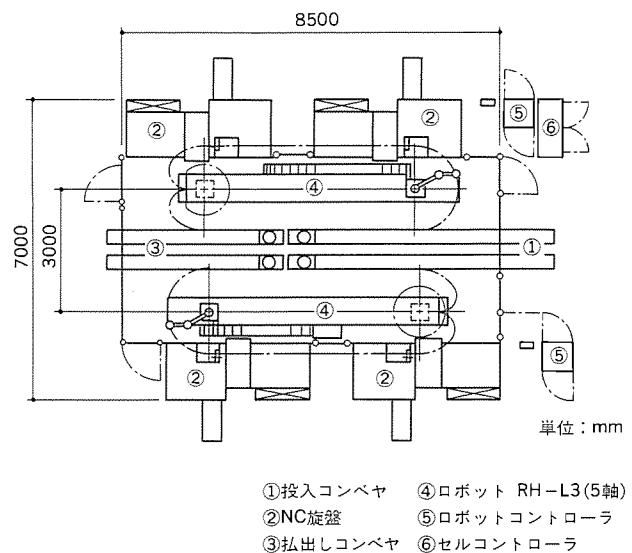


図14. 並列送り機械加工ラインのレイアウト

台の工作機械へのアクセス時間の均一化を図っている。ハンドは、コンプライアンス機構付きのダブルハンドとし、旋盤のコレットチヤックに直接ワークを着脱できるようにした。

各工作機械での着脱時間を15秒、ワーク1個当たりのラインタクトは31秒（片側ライン）を実現している。このラインでは、現在加工中のワークに引き続いて、新機種ワークを投入すると、コンベヤ上の検出器により、自動的に機種切替えを行なうようにした。

このロボットシステムの導入により、次のような効果が得られた。

- (1) 設置スペースの削減
- (2) 4人×2直の人員の削減
- (3) 高精度はめあい作業の実現

4. むすび

以上、物流と機械加工、二つの分野のロボットシステム応用事例を紹介したが、様々な分野で頻繁なモデルチェンジ、多様化するユーザーニーズ、熟練工不足といった点に対応できる、フレキシブルなロボットシステムの要求が増えてくると思われる。今後は、各分野ごとに特化したロボット及びS/Wの開発、ハンドやセンサを始めとする周辺技術の開発、これらを組み合わせた標準システムの整備を行って、ユーザーの要求に最適なロボットシステムの構築を図っていきたい。

参考文献

- (1) 田島ほか：AI応用パレタイズシステム、三菱電機技報, 64, No. 5 (1990)
- (2) 松岡ほか：中・大形マテハンロボット-RH, RVシリーズ、三菱電機技報, 64, No. 5 (1990)
- (3) 高部、森田：インテリジェントパレタイズロボットシステム、第11回 ロボット及び応用システムシンポジウムテキスト、日本産業用ロボット工業会 (1988-9)
- (4) 大富：高速搬送ロボット、ロボット, No.50 (1986-1)

クリーンロボット

関口久由*
村田一正**
西村隆朗***

1. まえがき

近年、半導体・電子機器・バイオテクノロジー・医薬品・化学工業などの分野でクリーンロボットの需要が増加している。

特に、半導体製造クリーンルームでは、

(1) 人間の関与によるじんあい(塵埃)汚染の防止

(2) 品質のばらつきの低減

(3) 多品種少量生産への対応

の要求が強くなってきており、急速に自動化が進められている。数百に達する過程を経て完成される製品を歩留り良く生産するためには、クリーンルームでの最大の発塵源である人間による作業をクリーンロボットに置き換える要求が生じるのは当然である。

これらの背景から、当社では数年前からクリーンロボットの開発

を進めてきた。本稿では、一般クリーンルーム内作業用小形ロボット《ムーブマスターEX RV-CM1》(以下、RV-CM1と称す。), 半導体製造ライン用マニピュレータ付き無人搬送車(以下、FMH-Mと称す。)及びスーパクリーンルーム内作業用ロボットについて、構成、仕様、特長及びクリーン度評価結果を述べる。

2. クリーン度の定義

一般にクリーンルームのクリーン度は、空気中の単位体積当たりに存在する粒子の大きさとその数で定義される。例えば、クリーン度クラス100とは、粒径0.5μm及びそれ以上の塵埃が1 ft³(28.3 l)内に、100個以下であることを意味する。

塵埃の粒径別のクリーン度の表示の仕方は、図1に示す米国連邦

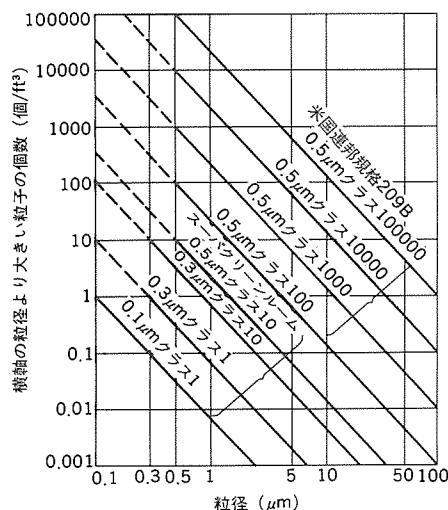


図1. クリーン度クラスの規定



図3. RV-CM1の外観

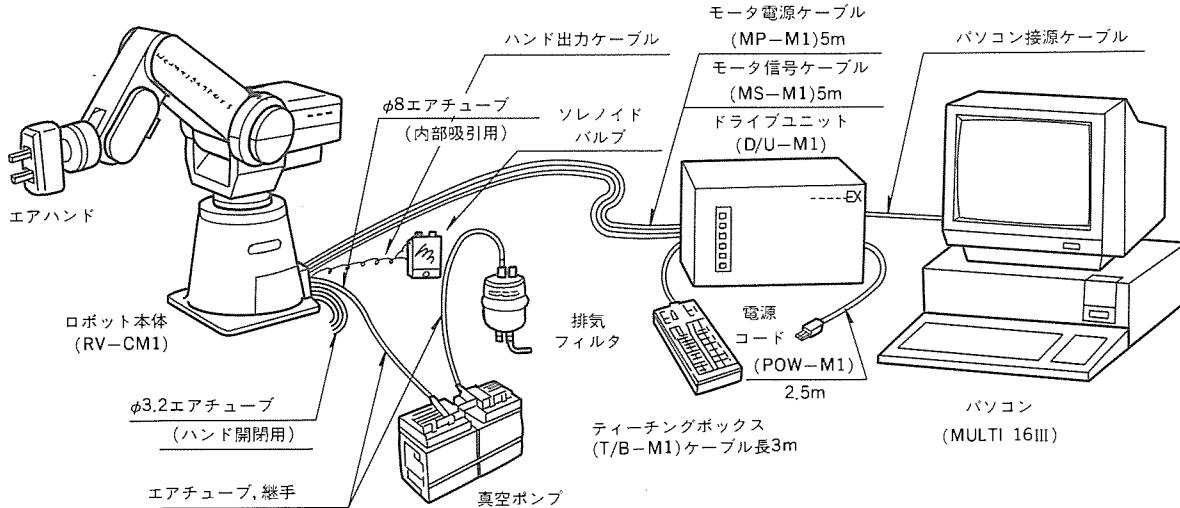


図2. RV-CM1の全体構成

表1. RV-CM 1のマニピュレータ仕様

| 項目 | 仕様 | 備考 |
|-----------|-----------------|-----------|
| 構造 | 5自由度 垂直多関節形 | 全軸同時制御可 |
| 可搬重量 | 1.2kg | ハンド重量含む |
| 腕の長さ (mm) | 250×160 | |
| 動作範囲 | ウェスト回転(J_1) | 300° |
| | ショルダ回転(J_2) | 130° |
| | エルボ回転(J_3) | 110° |
| | リストピッチ(J_4) | ±90° |
| 速度 | リストロール(J_5) | ±180° |
| | ウェスト回転(J_1) | 120°/s |
| | ショルダ回転(J_2) | 72°/s |
| | エルボ回転(J_3) | 109°/s |
| 最大合成速度 | リストピッチ(J_4) | 100°/s |
| | リストロール(J_5) | 163°/s |
| 位置繰り返し精度 | 1,000mm/s | リストツール面 |
| 自重 | ±0.3mm | |
| クリーン度 | 約25kg | |
| | クラス100 | 粒径0.5μm以上 |

表2. RV-CM 1のドライブユニット仕様

| | |
|-----------|--|
| 表示方式 | 位置: テーリング方式、MDI方式併用 作業条件: ムーブマスター言語(69語)を使用した パソコンによるプログラミング方式 |
| 経路制御方式 | PTP制御、CP制御 |
| 制御軸数 | 同時5軸 |
| 機能 | 関節補間機能、直線補間機能、パレタイジング機能、割込コントロール、条件分岐、原点復帰、サブルーチン機能、速度指定21段階 |
| 記憶容量 | 表示ポイント数: 999点 プログラムステップ数: 3,584ステップ |
| プログラム作成 | パソコン |
| 適用言語 | BASIC |
| 入出力信号 | 汎用入出力各16点、ハンド開閉確認入力2点 専用入出力各3点 (スタート、ストップ、リセット、ラン、エート、エラー) |
| インターフェース | パラレル(セントロニクス準拠)1ポート シリアル(RS-232C準拠)1ポート |
| 周囲温度 | 5~40°C |
| 電源 | 単相AC100V 50/60Hz 500W |
| 外形寸法 (mm) | 380(W)×331(D)×246(H) |
| 重量 | 24kg |

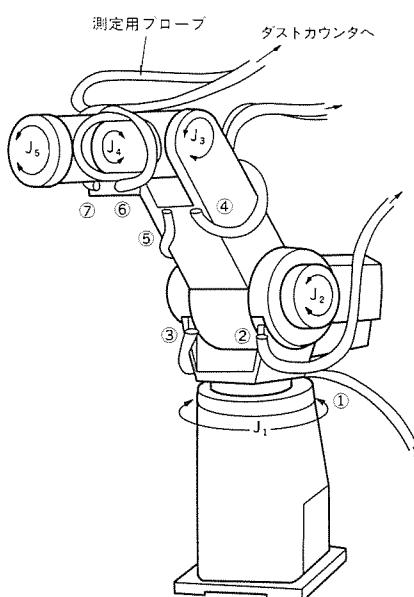


図4. RV-CM 1の発塵量測定点

表3. RV-CM 1の発塵量測定結果

| 測定点 | | 粒径0.5μm以上の発塵個数(個/ft³) |
|-----|--------|-----------------------|
| ① | ウェスト | 0 |
| ② | ショルダ右 | 17 |
| ③ | ショルダ左 | 6 |
| ④ | エルボ右 | 49 |
| ⑤ | エルボ左 | 16 |
| ⑥ | リストピッチ | 19 |
| ⑦ | リストロール | 4 |

規格209Bのとおりである。最近では、スーパクリーンルームに対応して、より小さい粒径でクリーン度を管理していく方向にあるため、図1にはスーパクリーンルーム対応のクリーン度クラスの規定も示している。

3. クリーン化対策

クリーンロボットのクリーン化対策は、大別すると下記のように分類でき、当社で開発したクリーンロボットは、これらの対策のうちの幾つかを採用している。

(1) ロボット本体内の発塵を少なくする。

ロボット本体内の発塵は、主に駆動部や関節部のしゃう(摺)動による。したがって、潤滑がポイントであり、ガイド、ペアリング、ボールねじなどに揮発性の低い特殊グリースを用いる。

(2) ロボット内部の発塵を外部へ出さない。

関節部やカバー取付部から塵埃をなるべく外部へ出さないように、シール、カバー、パッキンなどを用いる。また、完全密封化ができない場合は、真空ポンプによりロボット内部を吸引・負圧化し、塵埃の外部流出を防ぐ。

(3) ロボット表面からの発せい(錆)等による発塵をなくす。

鉄系の材料には、さび(錆)による発塵防止のために、ステンレス品への変更又はめっき処理を行う。アルミ材には、表面酸化による発塵防止のために、陽極被膜処理を施す。また、ロボット表面の塗装にはウレタンなどの耐摩耗性塗装を施す。また、塵埃のロボット表面への付着を防止するために、静電防止塗料などを用いる。

(4) ロボットの存在がクリーンルームの気流に影響を与えない。

ロボットが気流を妨げ、空気の滞留や渦流により、塵埃が飛散することやロボット表面に付着することを防止するために、ロボット表面形状の円滑化及びケーブル類のロボット本体内収納化を行う。

4. 小形クリーンロボット 《ムーブマスターEX RV-CM 1》

4.1 構成及び仕様

RV-CM 1⁽¹⁾は、小形のクリーンルーム用垂直多関節形ロボットで、マニピュレータの基本構成及び主要構成部品を、《ムーブマスターEX RV-M 1》(以下、RV-M 1と称す。)と共にしている。また、ドライブユニットもRV-M 1と共にしているため、その特長をそのまま受け継いでいる。このRV-M 1は昭和62年7月に製品化し、現在までに2,000台弱の販売実績を持つ、産業用ロボットとしてはベストセラー機種である。

RV-CM 1の全体構成を図2に、外観を図3に示す。また、RV-CM 1のマニピュレータ仕様を表1に、RV-CM 1のドライブユニ

ット仕様を表 2 に示す。

4.2 クリーン化設計の考え方及び特長

RV-CM 1 は、RV-M 1 の改造を少なくし、構造部品の共用化率を高め、コストを極力抑えるという設計指針により、クリーン化設計を行った。3 章のクリーン化対策の内で採用したものを以下に示す。

- (1) マニピュレータ関節部の吸引による除塵
- (2) 手首部にラビリンスシールを採用
- (3) カバー取付面のパッキンによる密閉

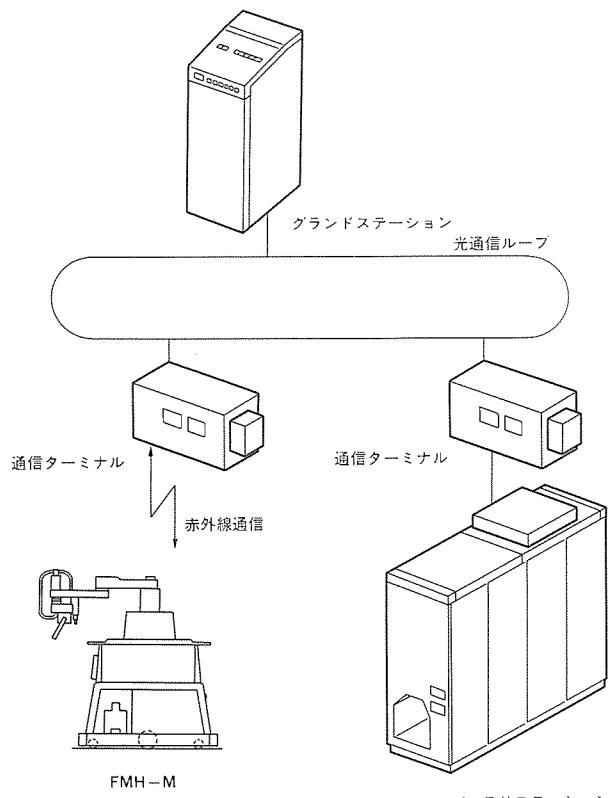


図 5. FMH-M のシステム図

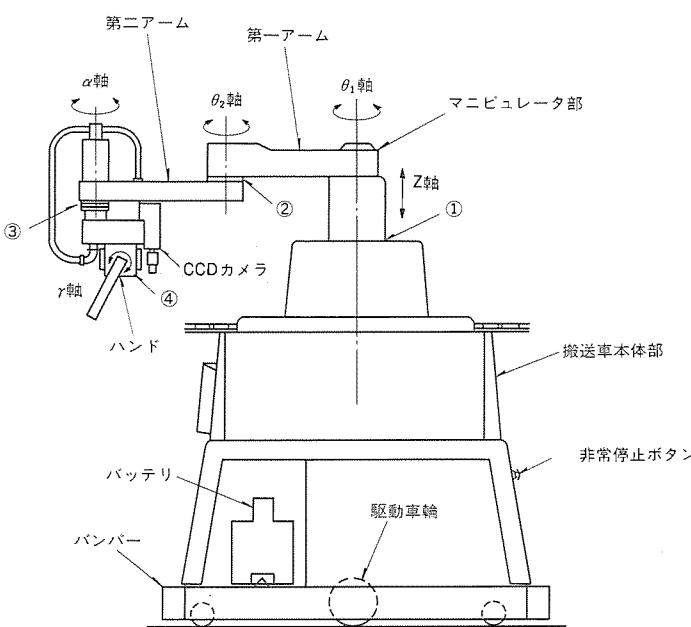


図 6. FMH-M の外観図

- (4) 防錆処理・ウレタン塗装の実施
- (5) ケーブル類のロボット本体内収納化

4.3 クリーン度評価

図 4 に RV-CM 1 のクリーン度測定点を示す。RV-CM 1 のような垂直多関節形ロボットの発塵は、各関節の回転部のすき間から内部の塵埃が外部へ漏れることにより発生する。このため、各関節の回転部の発塵量を測定した。

測定は、ダウントローを持つクリーン度クラス 100 仕様(実測による実力クリーン度クラス 1)のクリーンベンチ内で行った。ロボットの各軸を単独で動かし、その直下の発塵量をダストカウンタで測定した。この測定結果を表 3 に示す。表から、図 1 のクリーン度クラス規定によって、すべての関節はクラス 100 を満足しており、クラス 100 のクリーンルーム内でこのロボットを使用してもクリーン度に悪影響を及ぼさない。

5. マニピュレータ付き無人搬送車 FMH-M

5.1 構成及び仕様

FMH-M システムは、半導体を始め電子機器などの生産分野における、クリーンでかつフレキシブルな自動搬送システム化のニーズに対応して開発したものである。そのシステムは図 5 に示すように大別して、

- (1) グランドステーション(地上側コントローラ)
- (2) FMH-M 本体
- (3) 通信ターミナル
- (4) バッテリ自動交換・充電装置

で構成されている。

FMH-M の構成は、図 6 に示すように、走行部である搬送車本体と、その上部に設置された水平多関節形 5 軸マニピュレータとかなる。その外観を図 7 に、仕様を表 4 に示す。FMH-M はバッテリ駆動によって床面に張られたガイドテープを CCD カメラで認識して走行する。搬送指示をグランドステーションから通信ターミナル

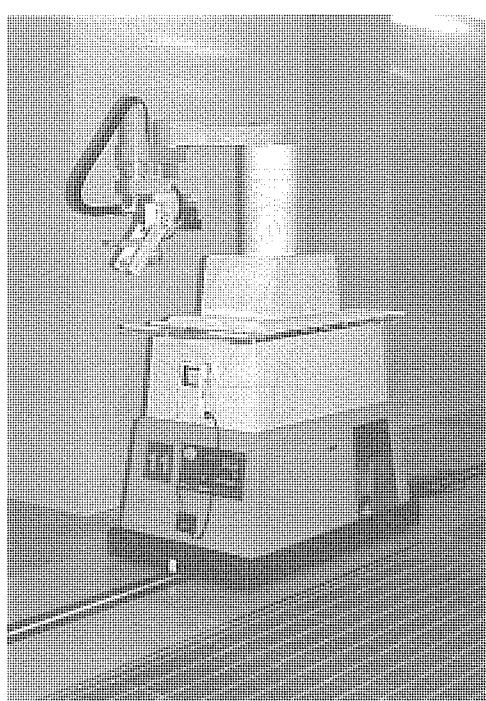


図 7. FMH-M の外観

表4. FMH-Mの仕様

| 項目 | 仕 様 | 備 考 |
|-------------|------------------------------|----------------|
| 可搬重量 | 100kg | |
| 駆動方式 | 4輪独立DCサーボモータ | |
| 操蛇方式 | 4輪独立速度差方式 | |
| 誘導方式 | 光学マーク読み取り方式 | 連続ライン方式 |
| 走行速度 | 直進 700mm/s スピニ 15/s | |
| 停止 | 走行方向 $\pm 3\text{mm}$ | |
| 精度 | 回転方向 $\pm 0.5^\circ$ | |
| バッテリ連続使用時間 | 3h (8h) | () 内は搬送車のみの場合 |
| 本体安全装置 | | |
| | パンパスイッチ 非常停止ボタン | 全方位検出 |
| | 赤外線反射スイッチ | 前後方向 |
| | 警報チャイム | |
| メッセージ通信 | 赤外線通信 | |
| 外形寸法 (mm) | 750(W)×1200(D)×570(H) | |
| 構造 | 5自由度 水平多関節形 | 全軸同時制御可 |
| 可搬重量 | 7kg | ハンド重量含む |
| 腕の長さ (mm) | 400×400 | |
| マニピューラー動作範囲 | 上下 (Z) | 325mm |
| | 上腕 (θ_1) | 270° |
| | 前腕 (θ_2) | 220° |
| | ひねり (α) | 340° |
| | 曲げ (γ) | 97° |
| レバータ速度 | 上下 (Z) | 80mm/s |
| | 上腕 (θ_1) | 36°/s |
| | 前腕 (θ_2) | 72°/s |
| | ひねり (α) | 240°/s |
| | 曲げ (γ) | 288°/s |
| ハンドつかみ位置精度 | $\pm 0.45\text{mm}$ | CCDカメラ動作時 |
| 外界位置センサ | CCDカメラ | |
| 自重 | 約185kg | |
| クリーン度 | クラス100 | 粒径0.5μm以上 |

表5. FMH-Mの発塵量測定結果

| 測定点 | 粒径0.5μm以上の発塵個数(個/ft³) |
|-------------------|-----------------------|
| ① Z軸上下移動部 | 8 |
| ② θ_2 軸回転部 | 15 |
| ③ α 軸回転部 | 18 |
| ④ ハンド曲げ回転・開閉部 | 100 |

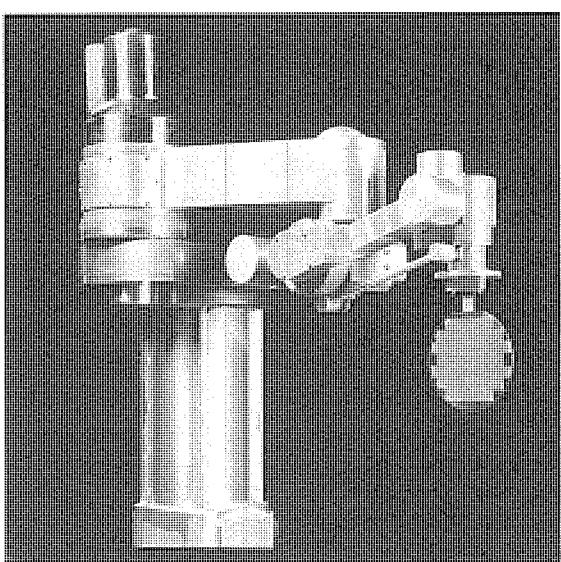


図8. スーパクリーンロボットの外観

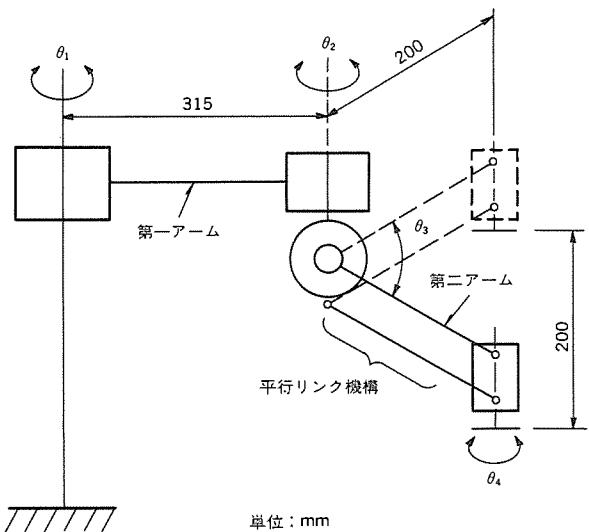


図9. スーパクリーンロボットの自由度構成及び代表寸法

表6. スーパクリーンロボットの概略仕様

| 項目 | 仕 様 | 備 考 |
|------------------------|---------------------|-----------|
| 構造 | 4自由度 水平多関節形 | 全軸同時制御可 |
| 可搬重量 | 2kg | ハンド重量含む |
| 腕の長さ (mm) | 315×200 | |
| 第一アーム (θ_1) | $\pm 135^\circ$ | |
| 動作第二アーム (θ_2) | $\pm 135^\circ$ | |
| 第二アーム (θ_3) | 60° | |
| 範囲ひねり (θ_4) | $\pm 160^\circ$ | |
| 上下ストローク | 200mm | |
| 最大合成速度 | 6,000mm | リストツール面 |
| 位置繰り返し精度 | $\pm 0.05\text{mm}$ | |
| 自重 | 約50kg | |
| クリーン度 | クラス1 | 粒径0.3μm以上 |

を通して受け、FMH-Mはクリーンルームの各工程内のワーク搬送を行う。また、マニピュレータの先端部に設けたCCDカメラにより、サービスステーション側の基準マークを認識してマニピュレータの位置補正をし、高い位置精度でワークのロード・アンロードを行う。FMH-Mに搭載されているバッテリは、一定電圧以下になると、その交換指示が通信ターミナル及びグランドステーションを通してバッテリ自動交換・充電装置に伝送され、自動交換される。

5.2 クリーン化設計の考え方及び特長

FMH-Mが適用されるクリーン環境はクラス100であり、クリーン度はそれほど高くない。しかしながら、クリーンルーム内を走行するので、塵埃を発散・拡散しない工夫が必要である。そのため、特殊なクリーン化設計を施し、クリーン度を維持している。3章のクリーン化対策の中から採用したものを含め、特長を以下に示す。

- (1) ハンド摺動部に特殊グリースを採用
- (2) 各関節にラビリンスシールを採用
- (3) 防錆処理・ウレタン塗装の実施
- (4) ケーブル類のマニピュレータ内収納化
- (5) マニピュレータ及び搬送車本体表面形状の円滑化
- (6) θ_1 ・ θ_2 軸駆動部の第一アーム下部設置及びカバーによる密閉化

5.3 クリーン度評価

FMH-Mの各発塵源でのクリーン度評価を実施した。測定は、ダウソフローを持つクリーン度クラス10のクリーンベンチ内で行った。

測定点は図6内に示す①～④点で、その各点の測定結果を表5に示す。図1のクリーン度クラス規定によって、測定結果からマニピュレータ部はクラス20以下、ハンド部はクラス100となり、クリーン度目標値100を満足している。なお、クラス10のクリーン度要求があれば、各部のクリーン度を更に改善することにより、実現可能である。

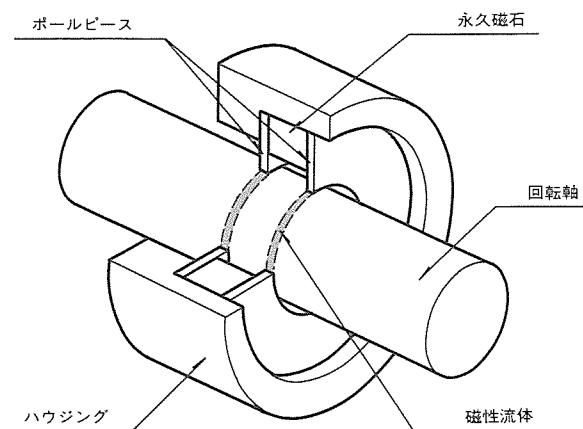


図10. 磁性流体シールの構造

6. スーパクリーンロボット

6.1 構成及び仕様

近年、クリーンルーム内に設置する機器への発塵量低減の要求が強くなってきており、スーパクリーンルーム内作業に適応できるロボットの開発が望まれている。

表1. スーパクリーンロボットの各関節発塵量測定結果

| 測定点 | 発塵個数 (個/ft ³) | |
|-----|---------------------------|-----------|
| | 粒径0.3μm以上 | 粒径0.5μm以上 |
| ① | 0.39 | 0.34 |
| ② | 0.63 | 0.34 |
| ③ | 0.58 | 0.53 |
| ④ | 0.49 | 0.44 |
| ⑤ | 0.58 | 0.53 |
| ⑥ | 0.49 | 0.49 |
| ⑦ | 0.28 | 0.28 |

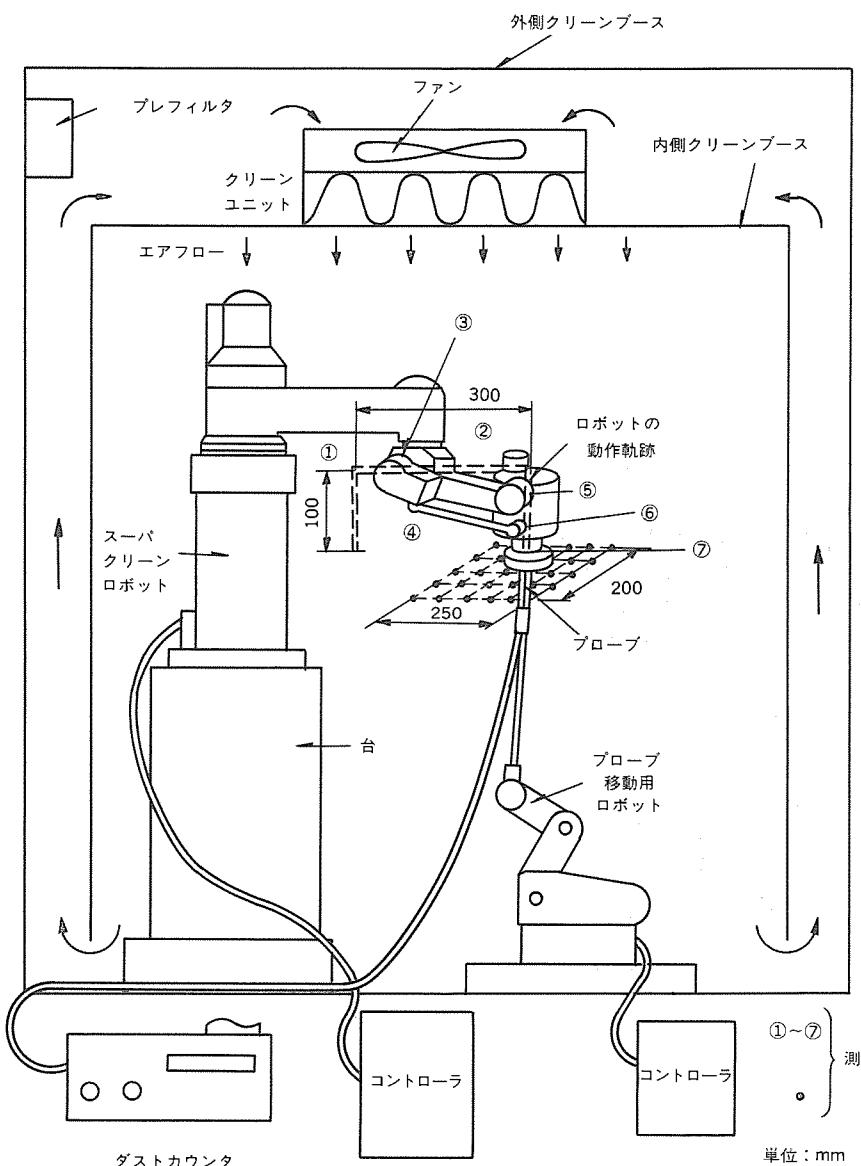


図11. スーパクリーンロボットのクリーン度評価実験装置全体構成

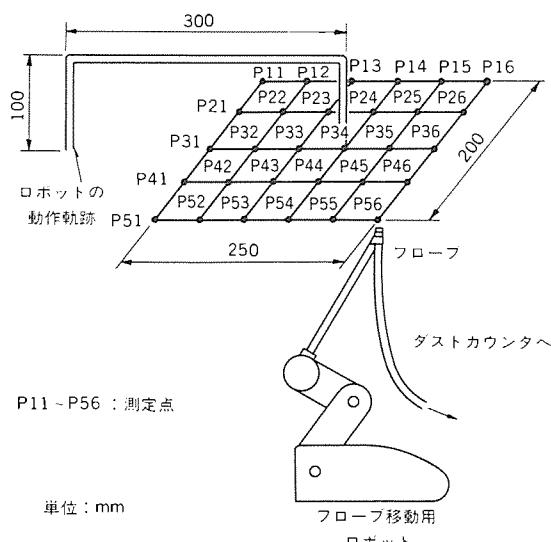


図12. スーパクリーンロボットの作業域内発塵量測定

開発したスーパクリーンロボット⁽²⁾は、スカラ形ロボットと同様の動作を、シールによる密封が困難な直動関節を用いずに、回転関節のみで実現したものである。

図8に開発したスーパクリーンロボットの外観を図9に自由度構成及び代表寸法を示す。鉛直方向動作は、 θ_3 軸を動作させることにより行う。第二アームとリンクは、平行リンク機構を構成しているため、 θ_3 軸が動作しても第二アーム先端のフランジ面を常に鉛直下方に向ける構造となっている。また、 θ_3 軸とともに、 θ_1 ・ θ_2 軸を協調して動かすことにより、鉛直方向の直動が可能である。水平面内の位置決めは、 θ_1 ・ θ_2 軸を動作させることにより行い、ロボットアーム先端のフランジ面の姿勢補正是、 θ_4 軸を動作させることにより行う。

開発したスーパクリーンロボットの仕様を表6に示す。

6.2 クリーン化設計の考え方及び特長

開発したスーパクリーンロボットのクリーン化設計の最大の特長は、6.1節で述べたように回転関節のみの構成であるため、各関節を磁性流体シール⁽³⁾で密封することにより、吸引除塵のための装置を一切使用せずにスーパクリーン化を実現したことである。採用した磁性流体シールの構造を図10に示す。円筒状に配置した永久磁石、両側のポールピース及び回転軸によって磁気回路が形成される。したがって、磁性流体を回転軸の周囲に注入すると、左右のポールピース先端の磁束密度が高くなり、この部分に磁性流体が集中してリング状の膜を形成する。この膜により、固体面同士が接触することなく、回転軸をシールすることが可能となる。

3章のクリーン化対策の内で採用したものを以下に示す。

- (1) 各関節部に磁性流体シールを採用

表8. スーパクリーンロボット作業域内発塵量測定結果

| 測定点 | 発塵個数 (個/ ft^3) | |
|--------------|--------------------------|------------------------|
| | 粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上 | 粒径 $0.5\mu\text{m}$ 以上 |
| 最も発塵個数が多い測定点 | 0.44 | 0.39 |
| 測定点30点の平均 | 0.28 | 0.22 |

(2) ケーブル類のロボット本体内収納化

(3) ロボット表面形状の円滑化

6.3 クリーン度評価

実験装置の全体構成及び測定点を図11に示す。実験は、クリーン度クラス1に対応できる二重式クリーンブースの中にロボットを設置し、発塵量の測定を行った。各関節単独動作時における、関節近傍①～⑦の発塵量測定結果を表7に示す。

また、ロボットに図12に示すピックアンドプレース動作(水平300mm、鉛直100mmの円形経路往復連続動作)を行わせ、その作業域内の発塵量測定を行った結果を表8に示す。

表7及び表8の測定結果において、粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上の粒子の発塵個数は、1個/ ft^3 よりも少ないことが分かる。したがって、開発したクリーンロボットは、 $0.3\mu\text{m}$ 以上の粒径でクリーン度クラス1以下であり、スーパクリーンルーム内の作業に適応可能である。

7. む す び

クリーンルーム用として開発したクラス100 ($0.5\mu\text{m}$) 仕様の小形ロボットRV-CM1及びマニピュレータ付き無人搬送車FMH-Mとクラス1 ($0.3\mu\text{m}$) 仕様のスーパクリーンロボットを紹介した。また、当社では、これらのほかにも多種のクリーンロボットの開発を行っており、既にその幾つかを製品化又は社内で実用化している。

今後は、ますます強まってきているクリーンロボットに対する機能・性能の向上及び低価格化の要求に答えるべく、クリーン化技術開発の推進及びその評価技術の蓄積を進め、より良くユーザーにマッチしたクリーンロボットを開発する所存である。

参 考 文 献

- (1) 播磨ほか：小形クリーンロボットの開発、第6回日本ロボット学会学術講演会予稿集、p.37 (1988)
- (2) 関口ほか：回転軸4軸型クリーンロボットの開発、精密工学会昭和63年度関西地方定期学術講演会論文集、p.55 (1988)
- (3) 武富：磁性流体シール〔原理と設計法〕、ターボ機械、9, 10, p.43 (1981)

ロボット ダイナミックス シミュレーション

増田隆広* 臼井久仁次**
寺内常雄**
小林智之**

1. まえがき

産業用ロボットは、組立て・溶接・塗装など多くの分野で利用されている。この機構・制御系に要求される技術課題として、次の項目があげられる。

- (1) 高速
- (2) 高精度
- (3) 高可搬重量
- (4) 長寿命
- (5) 低価格

しかし、これらの課題は互いに二律背反する要求である。設計では、限られた制約条件のもとで、これらの性能を最大限に満たす機構系や制御系諸元を効率良く見いだす必要がある。

試作試験の繰り返しによるロボットの開発は、パラメータの数が非常に多いため、設計諸元の決定に多くの時間と費用を必要とする。これはロボットシステムが図1に示すように、制御系、駆動系、伝達系及びアーム運動系など、多くのサブシステムによって構成され、様々な分野の技術を総合して検討する必要があるためである。このように、複雑なシステムの設計検討には計算機シミュレーションが有力である。さらに、メーカーにとっては、解析式による定性的評価ではなく、性能を具体的な数値で定量的に評価する必要があり、計算機シミュレーションはこの目的とも合致する。

これらの観点から、ロボットの機構・制御系の最適設計ツールとして、近年ロボットの動特性を考慮したシミュレータの開発が、各方面で活発に進められている^{(1)~(4)}。当社⁽⁵⁾でもいち早くシステムを開発し、シミュレーションによるロボット設計を進めている。《ムーブマスターEX》(RV-M1)への適用については、既に述べた⁽⁶⁾。本稿では、開発したシステムの概要、及び設計への適用例として、力覚センサの搭載可能な初めてのロボットであるRV-P3の機構決定に関する一連の検討結果を述べる。

2. システムの構成と特長

開発したシミュレーションシステムは下記の機能を持つ。

- (1) ロボットシステム全体の総合的シミュレーション
- (2) 任意の形式のロボットに適用しうる汎用性
 - ダイナミックス
 - 逆変換
 - 拘束条件
- (3) 解析・実験結果のアニメーション表示
- (4) アップル法⁽⁷⁾による運動方程式の生成

このシステムでは、試作試験にあたるものを計算機上で行うためのロボットシステム全体の総合的シミュレーションに加え、回転・直動の組合せから構成される任意の自由度のロボットに、任意の拘束条件が加わった力学系のシミュレーションの可能なことが特長である。特に、拘束条件付き力学系の解析技術は、力覚センサを用いたばかり取り作業のシミュレーションや、適用例で取り上げたループを含む並列機構の解析に応用できる。

上記を実現するためのシステムのプログラム構成を図2に示す。主要な解析プログラムは、運動の幾何学的側面を扱うKinematics(順運動学), Inverse kinematics(逆運動学)と機械システムの力学的挙動を扱うDirect dynamics(順動力学), Inverse dynamics(逆動力学)の四つで構成されている。すなわち、運動学によりロボットの動きを扱うだけでなく、動力学や制御を考慮し、ロボットの試作試験の繰り返しを計算機上で行うこと意図している。そしてこのとき、解析したロボットの運動の評価を容易とするため、Animation(アニメーション)表示機能を持たせている。以下、個々のプログラムについて、このシステムの利用法を述べる。

2.1 Inverse kinematics(逆運動学)

Kinematics(順運動学)が与えられた各関節の変位、又は運動から手先の位置、ないし軌道を求める演算であるのに対し、このプロ

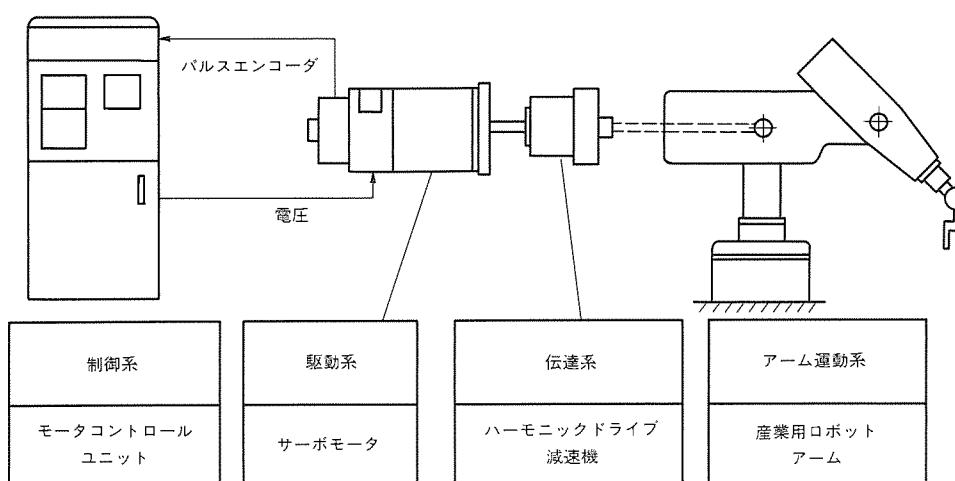
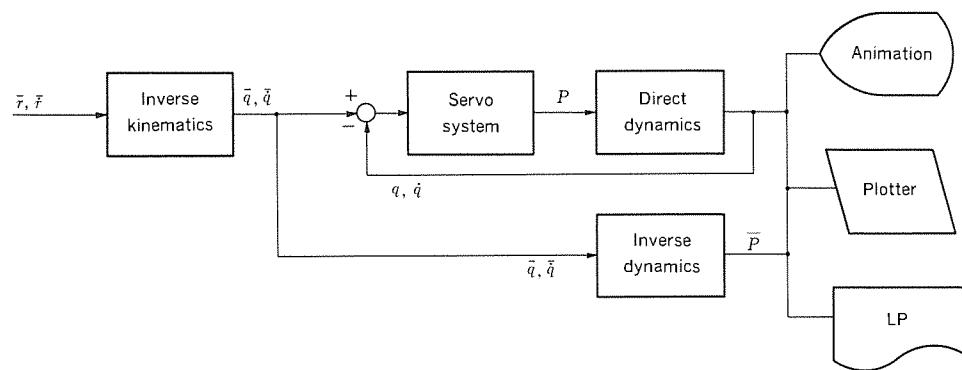


図1. ロボットシステムの構成



r, \dot{r} : 手先位置と手先速度
 q, \dot{q} : 関節回転角/変位と角速度/速度
 P : 関節駆動トルク/力
添字“ー”は目標値を表す。

図2. シミュレーションシステムのソフトウェア構成

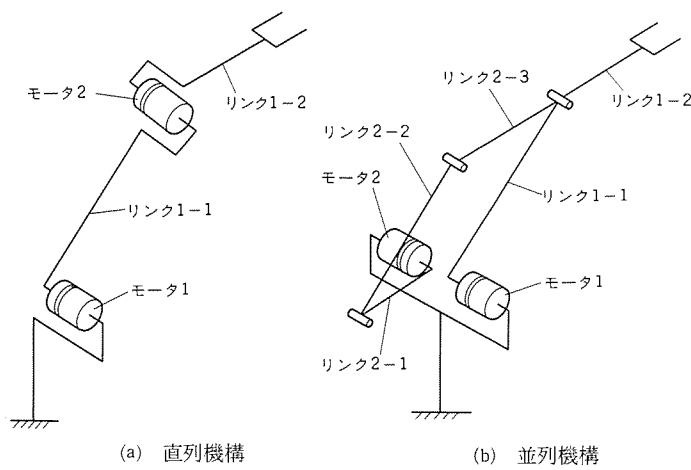


図3. 垂直多関節形ロボットの二つの形成

グラムでは、目標とする手先の位置を実現する関節の変位を求める。ロボットアームの設計スペックは、手先の軌道や最高速度など、作業座標系で与えられることが多い。しかし、動特性シミュレーションでは、各関節の変位や速度など、関節座標系での目標値を与える必要がある。このときに必要となるのが、逆運動学解析プログラムである。機構の優劣までも含めて評価できる設計支援シミュレーションシステムは、特定のロボットの軸構成に限定されではなく、いかなる形式についてもシミュレーションが可能でなければならぬ。このことから、汎用性のある逆運動学(逆変換)の解析法が必要であり、一方法⁽⁸⁾を提案して、システムに採用している。

2.2 Inverse dynamics (逆動力学)

与えられたロボットの運動を実現するために必要な関節駆動トルク/力を求める演算である。先のInverse kinematicsプログラムにより関節の運動が求まるので、これを入力してアームに所定の運動をさせるために必要な駆動モータの動力やトルクを求める。この値をもとに、モータや減速機の選定を行う。

2.3 Servo system, Direct dynamics (順動力学)

関節駆動トルク/力からロボットの運動を求める演算である。選定したモータや減速機の特性、及びアーム諸元を入力し、このプログラムを用いて制御法を考慮した総合的な運動シミュレーションを行い、ロボットの速応性や停止後の振動などを評価する。すなわち、

システムの試作試験に相当するものを計算機上で実現する。シミュレーション結果をアニメーションで見つつ評価し、トライアンドエラーで最適設計点にもっていく。

2.4 Animation (アニメーション)

次の三つのアニメーションが利用可能であり、用途に応じて使い分けている。

- (1) 線画モデル
- (2) ワイヤフレームモデル
- (3) サーフェースモデル

線画モデルは、新たなデータ入力を必要とせず、ダイナミックス計算に必要なデータのみでアニメーションが可能である。ダイナミックス解析の入力データのチェックやシミュレーション結果の簡便なアニメーションに利用できる。

ワイヤフレームモデルは、アーム形状データの入力を必要とするが、停止後の振動等も重ね書きしてうまく表現でき、ロボットの3次元運動アニメーションに必要な機能を満たしており、このシステムの目的である機構・制御系の設計評価には、このモデルが適している。

サーフェースモデルは、ワイヤフレームモデルよりも更に具体的にロボットの外観を実物に近い形で表現できる。製作前に商品としてのロボットのデザインや外観上のバランス等を評価するのに適している。

3. 設計への適用例

ACサーボモータ駆動で、力覚センサを搭載可能な初めてのロボットであるRV-P3の開発については、この特集中の別の論文で詳しく述べている。本稿では、このロボットの開発に当たり、採用すべき機構を決定するため、シミュレーションシステムを用いて検討した結果を述べる。

垂直多関節形の産業用ロボットでは、図3に示す2種類のロボットが併用されている。

図3(a): リンクそれぞれにモータを取り付け、各リンクを直接駆動する形式。以下、直列機構と称する。

図3(b): リンク1-2のモータを、リンク1-1のモータと同様、第1軸に取り付けた形式。そして、リンク2-1、リンク2-2の2つのリンクを並列に追加して平行四辺形の4節リンクを形成し、こ

これらを介してリンク1-2を間接的に駆動する。並列機構と称する。ロボットの機構設計に当たっては、上記二つの形式のうち、どちらを選定するかは重要な課題である。しかし、相互の得失については、ほとんど検討されていない。ロボットの速度や位置決め精度は、

所要モータトルク、固有振動数及び手先剛性で決まる。そこで、両機構、特に並列機構のシミュレーション技術を確立し、これらの値を比較検討している。その結果、機械性能上大差のないことが明らかとなり、価格・信頼性に優れる直列機構を採用している。以下、このシステムを用いて検討した結果の詳細を述べる。

3.1 モータトルク⁽⁹⁾

所要モータトルクを求めたロボットの運動パターンの初期と終端の姿勢を図4に示す。モータ1、モータ2それぞれの関節を90°回転させる運動であり、速度パターンは、加減速時間0.3秒、一定速度時間0.2秒、最高角速度 π (rad/s) の台形軌道である。計算結果を図5に示す。図にはモータのロータ慣性モーメントを無視したリンクのみの場合と、これを考慮するときの二通りについて必要駆動トルクをプロットしている。 p_1 、 p_2 がそれぞれのモータの駆動トルクで、Sが直列機構、Lが並列機構を採用したときの計算結果である。

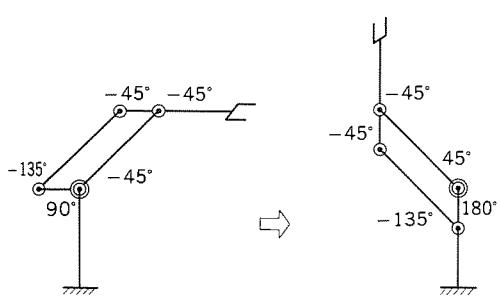


図4. 解析したロボットの運動

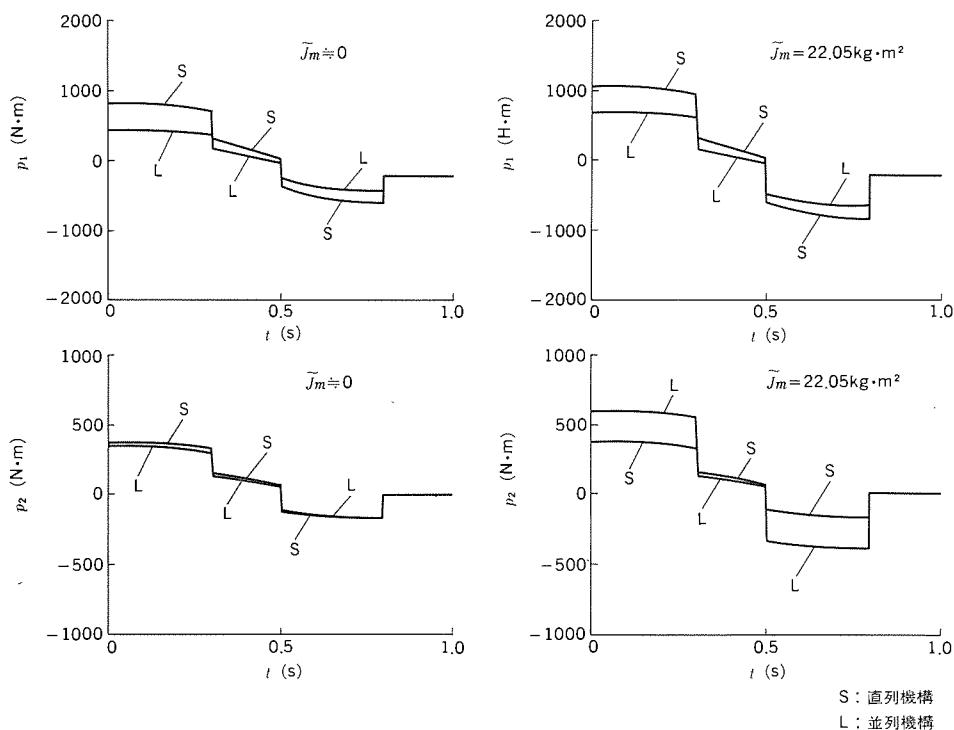


図5. 駆動トルクの比較

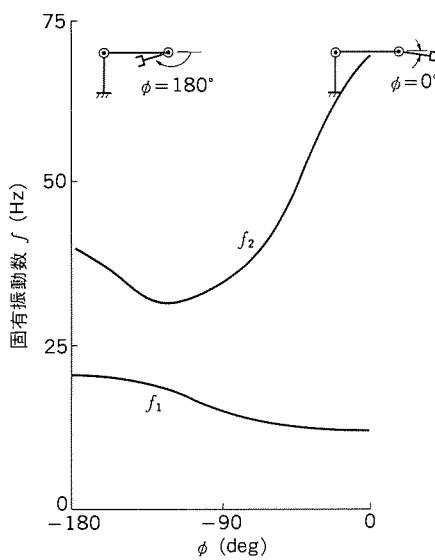


図6. 直列機構の固有振動数

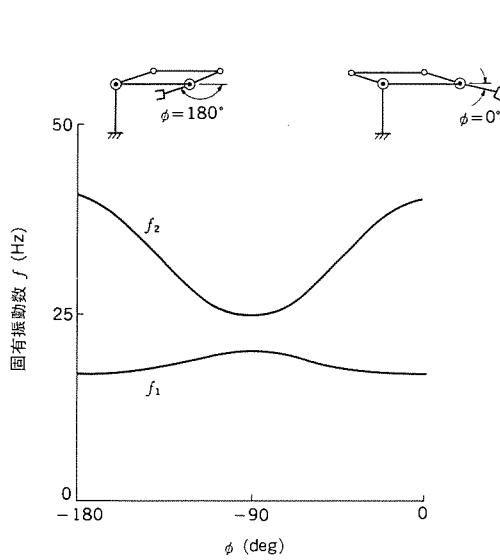


図7. 並列機構の固有振動数

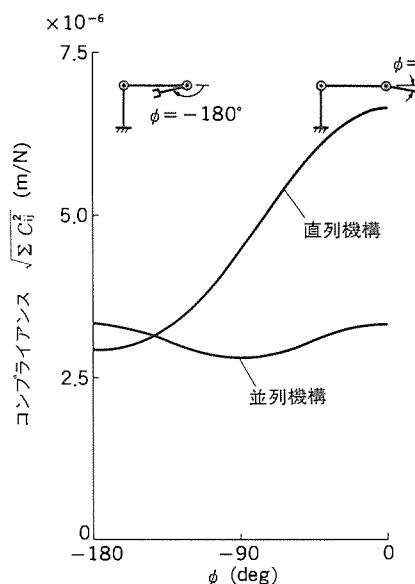


図 8. 手先のコンプライアンス

図から以下の事項が明らかである。

- (1) リンクのみの駆動に要するトルクを求めた右側の図についてみると、モータ 1 では、並列機構が直列機構に比べてかなり小さく、モータ 2 についても両者はほとんど同じであるが、わずかに並列機構が小さい。
- (2) モータイナーシャを含めたトルクについて比較すると、モータ 1 については並列機構が小さくなるが、モータ 2 では逆転し、二つのモータのトータルの駆動についてみると、両機構にほとんど差がなくなる。

以上のように、リンクのみの駆動に要するみかけのトルクで比較すると、並列機構のトルクが小さく、こちらが優れている結果が得られるが、モータを含めたより実際に近いトルクで比較すると、二つのモータのトータルの駆動トルクはほとんど変らず、並列・直列両機構間に差がないことが分かる。

3.2 固有振動数

直列機構の固有振動数を図 6 に、並列機構のそれを図 7 に示す。ロボットの自由度が 2 であるので、二つの固有振動数が存在する。また、固有振動数はリンク 1-1 の回転角にはよらず、リンク 1-2 の回転角のみに依存する。したがって、この図のみで 2 自由度ロボットの全姿勢についての固有振動数が表現できることになる。制御や残留振動で問題となる基本固有振動数 f_i について両者を比較すると、

$$\text{直列機構: } f_i = 12 \sim 21 \text{ Hz}$$

$$\text{並列機構: } f_i = 18 \sim 29 \text{ Hz}$$

となり、並列機構がわずかに優れていることが分かる。

3.3 手先剛性

手先剛性をコンプライアンス（剛性の逆数）の形で両機構を比較して図 8 に示す。コンプライアンスは、単位力が作用したときの手先の変位を示す。2 自由度ロボットについては、手先の力、変位それぞれの自由度が 2 であるので、コンプライアンスは 2 行 2 列の行列となる。しかし、行列の形では、両者の定量的比較が困難があるので、図 8 では、コンプライアンス行列を一つの代表スカラー値 C に変換してプロットしている。この値は、直交する二つの単位外力それぞれによって発生する変位ベクトルの 2 乗和と一致し、単位外力の方向には依存しない。図 8 からコンプライアンスは、

直列機構: $2.9 \sim 6.5 \mu\text{m}/\text{N}$

並列機構: $2.3 \sim 3.4 \mu\text{m}/\text{N}$

であり、手先剛性は、姿勢により、同等ないし並列機構が優れていることが分かる。

以上、これまで述べた直列機構と並列機構の比較をまとめると、駆動トルクについては、両者にほとんど差なく、固有振動数、手先剛性については、並列機構が優れていることが明らかとなった。しかし、組立ての容易さや価格・信頼性の面からは、明らかに直列機構が有利である。このため、RV-P3ロボットには直列機構を採用している。

今回の一連の検討を行うため、開発しているシミュレーションシステムの解析機能を拡張し、両機構の機械的性能の定量的比較を可能としたことにより、両者の差異が初めて明らかとなった。このため、試作試験を省略し、シミュレーションのみにより RV-P3ロボットへの直列機構の採用を決定することができた。

4. むすび

ロボットシステムの設計支援を目的として、当社で開発しているダイナミックスシミュレーションシステムを紹介した。このシステムの設計への適用例として、ACサーボモータ駆動で、力覚センサの搭載可能な垂直多関節形ロボット PV-P3 の機構設計を取り上げた。単一チェーンの直列機構とループを含む並列機構についての機械的性能差がシミュレーション可能になり、試作試験を省略して機構選定ができるようになった。

参考文献

- (1) M.W. Walker and D.E. Orin : Efficient Dynamics Computer Simulation of Robotics Mechanisms, Trans. ASME, J. of Dyn. Sys. Mes. and Cont., 104, No. 3, p.205 (1982)
- (2) M.Takano, et al. : Development of Computer Simulation System of Kinematics and Dynamics, J. of the Faculty of Eng., The Univ. of Tokyo, 34, No. 4.
- (3) J.Angels, O.Ma : Dynamic Simulation of n-Axis Serial Robotic Manipulators Using a Natural Orthogonal Complement, The International J. of Robotic Research, 7, No. 5, p.32 (1988)
- (4) 黒岩ほか：機械設計用シミュレーションシステム、日本機械学会論文集(C編) 52, No.484, p.3214 (1986)
- (5) 増田ほか：ロボットダイナミックスシミュレータの開発、昭和61年度精密工学会春季大会学術講演会論文集, p.547 (1986)
- (6) 増田ほか：ムーブマスターEX (RV-M1) の開発シミュレーション、第6回日本ロボット学会学術講演会論文集, p.415 (1988)
- (7) M.Vukobratovic, V.Potknjak : Scientific Fundamentals of Robotics 1, p.141, Springer-Verlag (1982)
- (8) 増田ほか：ロボットアームの逆変換とダイナミックスの数値解法、日本ロボット学会誌, 2, No. 2, p.79 (1984)
- (9) 増田ほか：関節座標拘束を用いたループ機構を持つロボットの動力学解析、1989年度精密工学会春季大会学術講演会論文集, p.103 (1989)

ロボットのデザイン

木村允紀*

1. まえがき

インダストリアル デザインは、個人生活の場である住空間のみならず、オフィス・工場・公共施設など広範な生活空間における機器や機械あるいは空間そのものを対象として、それらと人間との間に快適さを形成する活動であることは周知であるが、最近は生活意識の向上と労働意識の変化により、特にオフィス・工場など労働空間・産業空間の快適性が重視されている。それゆえ、これらの空間で利用されるロボットのデザインは、労働空間における人間との共存という点で重要視されねばならない。そこで、本稿ではロボットのデザインについて、その背景・意義・特性を考察するとともに、そのデザイン展開の一例として、特に人間との共存が顕著であるマイクロロボットのデザインを紹介する。

2. ロボットデザインの背景

現在、最も多くロボットが利用されている空間は、製造業における工場である。言うまでもなく、工場は18世紀後半に始まる産業革命以来、機械とエネルギーによって人間の労力を軽減して物を効率良く生産するシステムであり、“油と煙と騒音”というイメージがつきまとっている空間でもあった。近年になっても、知的生産性の向上を目指して作業環境の改善が進む事務・設計空間に比べて、製造現場における作業環境は製造という作業内容から、その作業環境は良いものとは言い難く、人間の心理的、生理的な面から、また物理的な作業空間の点からも改善が望まれてきた。一方、社会構造の変化は、就業人口の高齢化・サービス産業の興隆・若年層の製造現場労働・単純労働の忌避などを加速させ、製造現場での労働力確保は、1967年ユニメイション社・AMF社の産業ロボットの登場が喧伝された当時より更に深刻になってきた。また、メカトロニクス技術の進歩は、LSI集積度の飛躍的向上・各種センサの開発などによる制御技術の急速な進展を促し、スケールメリットが希薄となった多様な製造ラインにフレキシブルに対応できるロボットの開発を実現した。

このような状況のもとに、人間にとって退屈で単純な作業・不快な作業・危険で過酷な作業などがロボットに置き換えられ、工場空間へのロボットの導入は飛躍的に増加し現在に至っている。今後は他の自動機械とともに製造業だけではなく、あらゆる分野の労働空間に利用されていくであろうが、それらのプログラム・監視・保守点検及びその労働空間全体の管理は人間によって行われるものであり、労働空間におけるロボットと人間との共存は続くであろう。

3. ロボットにおけるデザインの意義

インダストリアル デザインの意図するところは、冒頭に述べたように、人間と機械及びそれにかかる空間をあくまでも人間を軸とした視点から、その関係を快適なものにしようとするものである。一方、ロボット利用の意図するところは、人間の行動・動作を機械

に代替えさせることである。すなわち、人間／機械系の中で人間の位置にロボットを置くことであり、一見、ロボットは人間とのインターフェースが少ない機械であるように思える。しかしながら、ロボットが利用される空間からその利用状況を眺めると人間とのかかわりは、単純なものではない。

背景で述べたように、人間の生活意識の向上と技術の進歩は工場の自動化を促すとともに、工場は人間生活の一分野としての快適な労働空間として位置付けられるようになった。この工場空間を構成する要素としてのロボット本体の形態は、他の機械とともにその空間の景観を形成するものであり、そこで働く人間にとって快適なものでなければならない。そして、ロボットの利用空間は“油と煙と騒音”というイメージの製造工場だけではなく、あらゆる業種の労働空間へ広まり、人間と共存していくという傾向からみても、この観点は更に重要になるであろう。

また、ロボットは、本体と動作をプログラミし、コントロールするコントローラやティーチングボックスなど周辺機器から構成されるが、これらの周辺機器については人間が直接に操作するものであり、その人間との関係は一般的の産業機器と同様、重要な要素である。以上の人間とロボットの関係及びデザインの要点をまとめると次のようになる。

(1) ロボット本体

人間：管理要員・監視要員・保守要員・見学者

デザインの要点：空間の景観性・快適性・安全性・設置性

(2) 周辺機器

人間：プログラム要員・操作者

デザインの要点：快適性・操作性・設置性

ロボットと人間との関係は以上のように考えられ、ロボットにとって、そのデザインは人間性の面から十二分に配慮されなければならないといえる。

4. ロボットデザインの特性

機械は一般的にその内部構造を仕事域とするが、ロボットはその外部形状によって仕事を行う。それゆえ、ロボット本体の基本形態は、現在のところ、その採用されたアーム機構の形式の種類（円筒座標形・極座標形・直交座標形・垂直多関節形・水平多関節形）にかなり左右されるが、それぞれのアーム形状と関節形状及びアームの動きによっても影響される。すなわち、仕事中のロボット本体は、常にその形態を動物のように連続的に変化させている。コントローラなど周辺機器については、そのデザイン特性は他の産業機器と大きくは変わらないが、ロボット本体についてはこの形態変化が大きい特徴であり、デザインに大きい影響を与えるものである。

4.1 ロボット本体

(1) 景観性／快適性

アームの“形状”と“動き”と“速度”の相乗効果によるロボット本体の形態変化は、ときには人間の感性に不快感・圧迫感などを

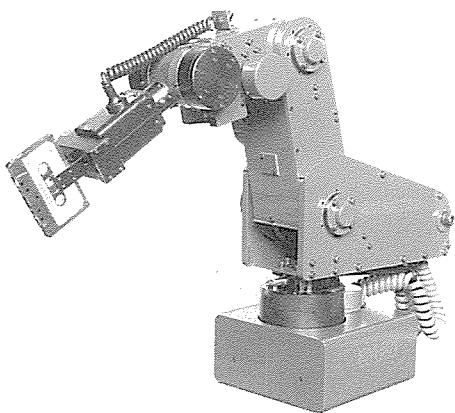


図1. RM-501



図2. RV-M1

呼び起こさせることになり、造形上、動的・静的なバランスが必要である。特に、自動化が進む工場空間での作業者は、操作・保守・プログラミングなどを兼務しながら小人数で働くことになり、工場空間の殺伐さ、孤独感に対して形態変化するロボットのイメージについては、不気味感や危険感を排除して明るさや軽快感・ソフト感を付与することなどの配慮が重要である。

また、アーム機構の形式に規制されつつも、各形式の特徴を生みた造形が可能であり、それにより快適性の演出を求めることができる。

(2) 安全性

後述する小出力のマイクロロボットについては、形状・色彩による安全対策はある程度の効果があるが、大出力・高速度を持つロボットについては、その形態変化を予測することは困難であり、また、デザイン処理による危険表示（運転状態のサイン表示・高彩度色彩による注意喚起など）も安全対策としては明らかに限度があり、本体接近による危険指示については、オフライン ティーチングやテレオペレーション技術による安全性の確立が必要である。

(3) 保守性

設置環境が複雑で狭い（隘）である加工セルなどで利用される場合を想定して、保守面の集約化・一元化に対する配慮が必要であ

る。

4.2 コントローラ

(1) 操作性

一般的な産業機器と同様、操作という行為によって人間とのインターフェースを形成するものであり、美的快適性とともに重要な要素である。

(2) 設置性

ロボット本体は、加工セルや組立ラインにおいて様々に設置されるが、コントローラもそれに応じてフレキシブルな設置の自由度が要求される。このため、機能別モジュール化によるコンパクトな形態を求める、設置性を向上させることが課題である。

5. マイクロロボットのデザイン

1981年《ムーブマスター》の愛称のもとに当社マイクロロボットの1号機であるRM-101が発表され、教育研修用として多数の学校や企業に納入された。その後、このタイプのロボットを教育以外にFA分野での軽作業として利用したいというユーザーの希望が多く、これにこたえて1983年にRM-501(図1)が開発された。これらの2機種は、教育用・軽作業用に特化したロボットとして、価格及びパソコンとのリンクによる簡便な利用性などにより、種々の分野で利用されマイクロロボットの市場を新しく開拓した。しかしながら、人間との共存というデザインの面では、そのメカニズムと構成が余りにも生々しく現れているという点で、いまだ完成とは言い難かった。

そこで、このRM-101、RM-501の利用状況と評価をもとに、期待される特徴を把握し、“マイクロロボットのデザインはいかにあべきか”というデザインコンセプトを再構築した。

5.1 利用状況

マイクロロボットの利用は、製造工場に限らず実験・試験・教育など次のように多岐にわたっている。

- (1) 研究所において金型磨きの実験に利用
- (2) 工業試験所においてFMS生産システム シミュレーションに利用
- (3) 工業専門学校においてパソコンにリンクしたロボット教育に利用
- (4) 展示会場におけるセールス プロモーションツールに利用
- (5) 機器のキーボード打けん（鍵）試験に利用
- (6) フロッピーディスクの試験に利用

5.2 期待される特長

上のような利用状況からみて、次のような特長が期待されていると判断できる。

- (1) 価格が手ごろで幅広い用途に適合する構造を持ち小形軽量であること。
- (2) だれでも容易に、また高度に利用できること。
- (3) 人間の身近で利用できるように安全性に留意され、形態が洗練されていること。

これらの期待をデザイン上で的確にこたえるため、デザインコンセプトを次のように設定した。

5.3 デザインコンセプト

- (1) 人の身近におかれる場合が多く、人と共存し得るソフトな形態を目指し、“動き”と“形態”との調和を重視する。
- (2) 多様な環境での利用に調和する違和感のない形態と色調を考慮



図3 . RV-M2

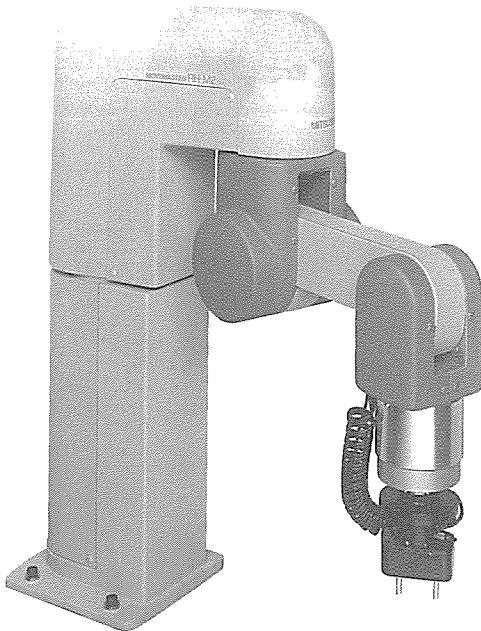


図4 . RH-M2

する。

(3) 出力や構造からの安全性への配慮だけでなく、形状面からも十分な安全性への配慮を行う。

これらのコンセプトにより、本格的にデザイン開発を行ったものが、1987年に発表されたRV-M1(図2)であり、その後機としてのRV-M2(1989年発表、図3)であった。

また、RV-M1、RV-M2で得られたデザイン成果を拡大展開して水平多関節形に応用したものが、1989年発表のRH-M2(図4)である。以下これらのデザインの概略を述べる。

5.4 RV-M1/RV-M2のデザイン

(1) デザイン意図

デザインコンセプトに基づき、教育・研究分野から三次産業・FA分野への利用拡大による人との共存を意識して、親しみの持てるソフトな造形を意図する。

(2) 造形上のポイント

- (a) 多様な環境にマッチするシンプルでソフトなアーム形状
- (b) 人に威圧感を与えない大きさと単純な構成(アーム長さを人間の上肢に比べてやや小さく設定)
- (c) 非製造現場において、OA機器や医療機器などと併置しても違和感のないように色調はライトグレー

(3) 安全性への配慮

可動アームの角部にすべて丸味をつけ、たとえ人が接触してもけ(怪)我をしないように配慮した。

(4) 材質及び加工法

- ・アーム：アルミニウム／ダイキャスト／ウレタン塗装
- ・ショルダーカバー：耐油性プラスチック／射出成形／印刷
- ・ベース：アルミニウム／精密鋳物／ウレタン塗装

5.5 RH-M2のデザイン

(1) デザイン意図

RV-M1/RV-M2で得られたデザイン成果を水平多関節形に拡大展開し、マイクロロボットシリーズの用途拡大を図る。

(2) 造形上のポイント

- (a) よりソフトで親しみのあるイメージを与える曲面形状を採用

(b) ケーブルを内装化し、アームの“動き”に対しても不快感と危険感を与えないシンプルな全体形状と構成

(c) RV-M1と同様に、他分野機器と併置されても違和感のないように色調はライトグレー

(3) 安全性への配慮、及び材質、加工法についてもRV-M1と同じ考え方を踏襲した。

以上のようにして、マイクロロボットのデザイン構築を行ったが、RV-M1は1988年度、RV-M2は1989年度通商産業省によってグッドデザイン商品に選定された。

6. むすび

従来、ロボットは主に、製造業分野において人間にとては、余りにも単純で退屈な作業あるいは危険で過酷な作業に利用されてきた。それらの環境は、どちらかといえば“油と煙と騒音”というイメージを持つ環境であった。しかし、現今社会構造の進展に伴い、ロボットは、今後、アパレル産業・化粧品産業・食品産業など“ソフトでクリーン”なイメージを持つオフィス化された作業環境で、人間と共に存しながら利用されることが多くなるであろう。我々のマイクロロボットのデザインコンセプトは、“人との身近さ、親しみ”という点で、ロボットの非製造業分野への展開に対して何がしかの示唆を与え得ると思われる。また、今後、より一層そのコンセプトを洗練させていくことが肝要であろう。

参考文献

- (1) 志賀、斎藤：パーソナルロボットムーブスター、省力と自動化、No.5 (1988)

田島 仁* 茂泉 徹*
長田典子** 小平紀生**

AI応用パレタイズシステム

1. まえがき

最近産業界において、営業情報と設計・生産情報を結びつけて、トータルの生産効率を高めるCIM（コンピュータによる統合生産管理）がクローズアップされてきている。これは、ますます多様化するニーズによって製品が多品種化しているため、従来の生産管理では追い付けなくなっていることによるものである。当社では、こうした要求に対応して、物流センター用にAI応用多品種混載パレタイズシステムを開発した。このシステムは、営業情報に基づいて一つのパレット上に複数の形状の異なる製品を混載して出庫するものであり、従来、人間の勘で積載していたものをコンピュータとロボットによって自動化を実現したものである。

以下に、システムの構成、積載計画、使用ロボット等の詳細を述べる。

2. システムの背景及び概要

製品出荷における混載作業とは、注文のあった複数品種の製品を品種別に積載されているパレットから下ろし、それを出荷先ごとに一まとめにして、なるべく少ない数のパレットに積載するという作業である。このような作業をロボットによって代替させるためには、次に挙げる作業計画が必要である。

- (1) 製品をどのパレットに積載するか（割付け計画と呼ぶ。）。
- (2) 製品をどういう配置で積載するか（積付け計画と呼ぶ。）。

これらの製品の積載配置にかかる計画（まとめて積載計画と呼ぶ。）を生成する問題は、OR等の数理モデルでは表現できないため、組合せ問題として解の全探索を行わねばならず、膨大な計画を必要とする。

そこで、エキスパートシステムの手法を採用し、積載作業に関する経験的知識を解の探索に用いることで、短時間で計画を生成するAI応用パレタイズシステムを開発した。このシステムでは、経験的知識を効率よく獲得し、かつ、現場での作業を短時間で行うという二つの目的を両立させるため、効率的に知識獲得を行う積載計画エキスパートシステムと、実作業を行う混載ロボットシステムの二つのシステムで構成した。

積載計画エキスパートシステムは、各適用分野固有の積載に関する知識を獲得し、かつ混載ロボットシステム上で動作する積載計画プログラムを作成するマザーマシン（開発用設備）である。

混載ロボットシステムは、逐次入着する出荷要求（以下、注文伝票と呼ぶ。）に即応し、上記積載計画プログラムにより、リアルタイムで積載計画の生成と積付け作業を行う。

以下、3章で積載計画エキスパートシステムについて、4章で混載ロボットシステムについてそれぞれ説明する。

3. 積載計画エキスパートシステム

3.1 システムの構成と特徴

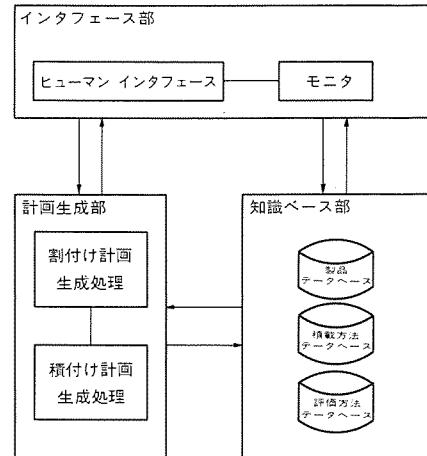


図1. 積載計画エキスパートシステムの構成

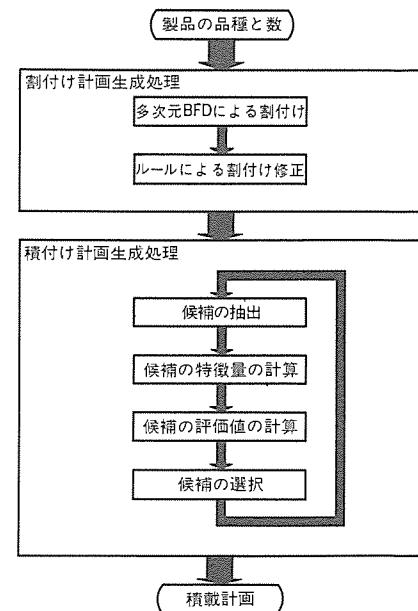


図2. 積載計画生成処理の流れ

このシステムは、ワークステーション上で実現されており、図1に示すように次の三つの部分から構成される。

(1) 知識ベース部

積載計画に必要な知識をルールの形で記述している。

(2) 計画生成部

知識ベース部に記述された知識を利用して、注文伝票で指示された製品群（以下、製品グループと呼ぶ。）の積載計画を生成する。

(3) インタフェース部

試行結果の表示や積載ルールの登録、修正を行う。

3.2 システムの特徴

このシステムは、次のような特徴を持つ。

- (1) ルールを修正することにより、対象とする各分野ごとの混載作業システムに合った知識ベースを構築することができる。

表1. 評価方法データベースにおけるルールの例

| | | |
|---------|-----------------|--|
| 制約ルール | 厳守すべき割付け制約ルール | Iパレット当たりの積載上限(体積、重量、個数)を越えてはいけない。 |
| | 守った方がよい割付け制約ルール | 同種類の製品は同じパレットに割り付ける。 |
| | 積付け制約ルール | A品種の製品の上にB品種の製品を積み付けてはいけない。 |
| 候補抽出ルール | 積付け候補抽出ルール | 高さの高いものから先に積み付ける。 底面積の広いものから先に積み付ける。 |
| 候補評価ルール | 積付け候補評価ルール | 積付け過程の前段階では平面を広く残すように積み付ける。 積付け過程の後段階では重心のズレを少なくするように積み付ける。 |
| 計画評価ルール | 積付け計画評価ルール | 積載高さを最小にする。 重心のズレを最小にする。 |

(2) 積載配置結果の3次元表示や積載計画に用いたルールをマルチウインドウ上で見ることができるために、知識獲得作業を効率的に進めることができる。

3.3 処理の概要

計画生成部は、図2に示すように、割付け計画生成処理と積付け計画生成処理に分かれており、知識ベース部に登録されている知識を用いて積載計画を決定する。まず、3.3.1項で知識ベース部の内容について示し、その後、3.3.2項で割付け計画生成処理、3.3.3項で積付け計画生成処理の方法について説明する。

3.3.1 知識ベースの内容

知識ベース部は、図1に示したように、三つのデータベースから構成される。

(1) 製品データベース

製品とパレットに関する外形寸法等のデータ

(2) 積載方法データベース

製品の積付け位置の計算方法に関する手続きや関数

(3) 評価方法データベース

積載作業に関する経験的知識をルール化したもので、次の4種類がある。

(a) 制約ルール

(b) 候補抽出ルール

(c) 候補評価ルール

(d) 計画評価ルール

表1に各々のルールの例を示す。

知識ベース構築者が試行錯誤的に登録・修正するのは、主としてルール記述されている評価方法データベースであり、ルールは、後に示す図3、図4のようなIF-THENルール表現したものである。

3.3.2 割付け計画生成処理

割付け計画生成処理は、積載すべき複数の製品グループをできるだけ少ないパレットに割り付ける計画を生成する。

ここでは、初めに割付け制約ルールのうち、厳守すべき制約を満たし、かつ充てん効率の良い解を生成するために開発した多次元BFD(Best Fit Decreasing)アルゴリズム⁽²⁾を用いて、必要パレット数と各パレットへの仮の製品割付け計画を生成する。その後、パレット数が増えない範囲で、守った方がよい制約ルールを適用し、製品の割付け計画を決定する。

3.3.3 積付け計画生成処理

積付け計画生成処理は、あるパレットに割り付けられた製品グループをパレット上に安定した配置で充てん効率良く積み付ける計画を生成する。

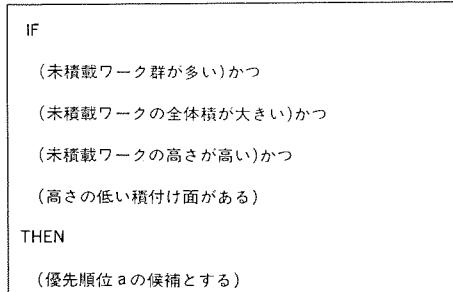


図3. 積付け候補抽出ルールの例

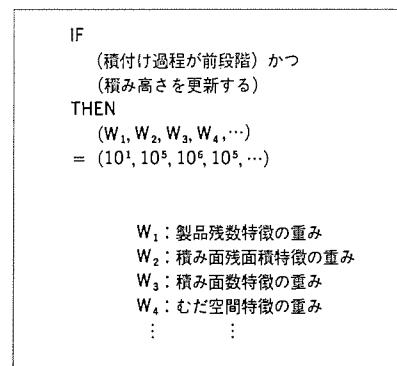


図4. 積付け候補評価ルールの例

この処理は、知識ベース部に蓄えられている知識をもとにして、以下の(1)～(4)の一連の処理サイクルを試行錯誤的に繰り返しながら、すべての品種の製品の積付け配置を決定する。

(1) 複数の積付け候補の抽出

積付け候補とは、次に積み付けるべき製品の種類と数、及びそれを積み付けるパレット上の空間位置の三つのデータで表現されている。候補の抽出は、図3に示すような積付け候補抽出ルールにより行われる。このような積付け候補の抽出ルールは、解の組合せ爆発を防ぎ、効率的な探索に有効である。

(2) 積付け候補の配置計算による特徴パラメータの算出

複数の積付け候補各々について、実際の製品の配置を計算し、このときの積み高さ、あるいは配置によって生じる無駄空間量など(3)で用いる各種の特徴パラメータを算出する。

(3) 積付け候補の評価値の計算

各積付け候補の評価値は、(2)で求めた各特徴パラメータの加重和として求めるもので、このときの各特徴パラメータの重みは、積付け候補評価ルールにより決定されるものである。図4に積付け候補評価ルールの例を示す。

(4) 候補の決定

評価値の最も高い候補を選び、その評価値が積付け計画評価ルールで決定されるしきい値より高ければ、この候補を積付け計画として採用し、これまでの計画に追加する。そして、残りの製品の積付け計画を行なうため(1)へ戻る。しきい値より低ければ、これまでの積付け計画へ追加せず、計画を後戻りさせ、別の解を探索する。

3.4 機能評価

このシステムで、ビール工場物流センターでの積載作業に合わせたルールを登録し、積載計画機能の評価を行なった。5種類の製品グループのデータを用いて計画生成を行なったところ、平均積付け充てん効率は81%となり、積載作業者の充てん効率80%とほぼ同等の効

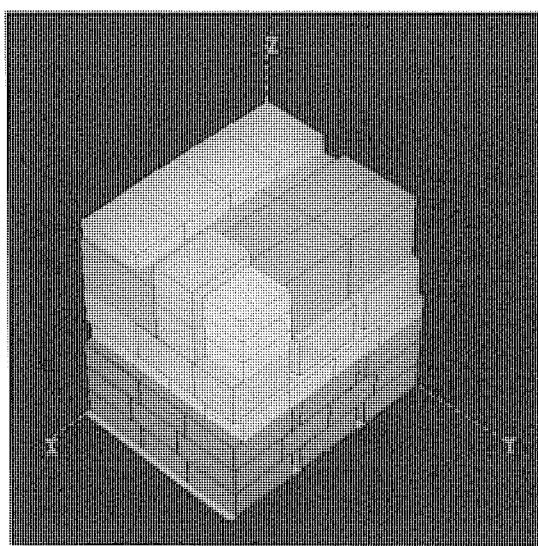


図5. 積載計画の結果

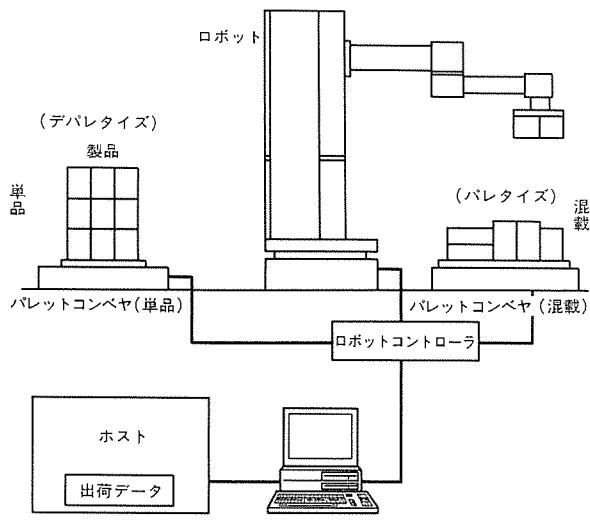


図6. 混載ロボットシステム

率が実現できることが分かった。図5に積付け計画結果の一例を示す。

4. 混載ロボットシステム

4.1 概 要

このシステムは、エキスパートシステムによって生成された積載計画プログラムにより、実際に製品の積付け作業を行う。この積載計画プログラムは、ユーザー固有の有効なルールのみを抽出しているため、安価なパソコン上でも積載計画を高速でオンラインで処理することができる。

ロボットは、高速・高可搬重量形を採用しているため、重量ワークを高速でパレタイズすることが可能である。また、センサ・リンク機能により、ワーク寸法及びワーク供給位置の誤差補正を行うことができる。

4.2 構 成

このシステムは、図6に示すように、注文伝票を管理するホストコンピュータ、積載計画を行うパソコン、ロボット、同一品種の製品を供給する単品パレット、及び製品を払い出す混載パレットで構成されている。単品パレット及び混載パレットは、各々パレットコ

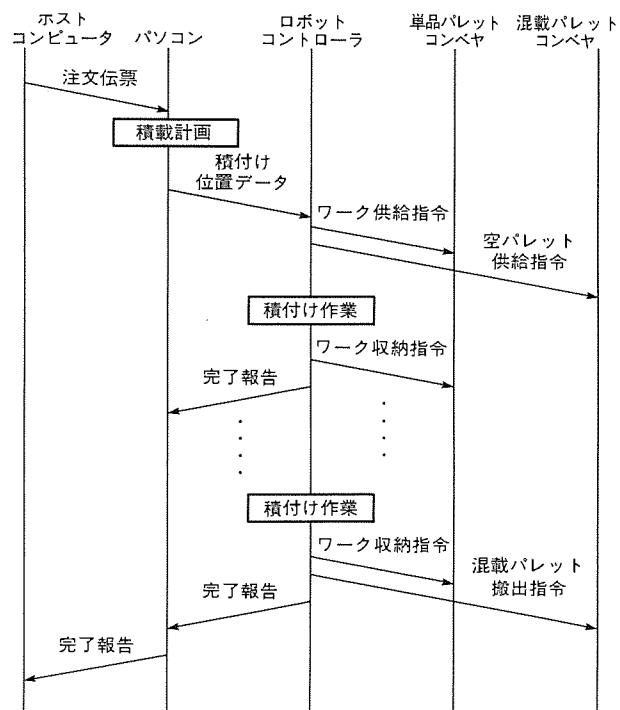


図7. 動作フロー

ンベヤで供給・払出しされる。

4.3 特 徴

- (1) 外形寸法の異なる多品種の製品を、全自动で一つのパレットに混載パレタイズすることができる。
- (2) 注文伝票により、各品種の割付け計画及び積付け位置演算をオンラインで処理できる。
- (3) 段ボールケースとプラスチックケース等の形態の大幅に異なる製品が扱える。
- (4) ロボットハンドに備えたセンサにより、ワーク寸法及びワーク位置の誤差補正を行うことができる。
- (5) 製品の供給から混載後のパレット格納までの全自动運転が可能である。

4.4 動作フロー

このシステムの基本的な動作概要を、図7に沿って以下に示す。

- (1) ホストコンピュータが、注文伝票をパソコンに送信する。
- (2) パソコンは注文伝票を基に積載計画を行い、積付け位置データをロボットコントローラに送信する。
- (3) ロボットコントローラは、単品パレットコンベヤに対して製品の供給指令を出し、混載パレットコンベヤに対しては空パレット供給指令を出す。
- (4) 製品が供給されると、ロボットはパソコンからの積付け位置データに基づいて、必要個数分を単品パレットから混載パレットにパレタイズする。
- (5) 単一品種の必要個数分のパレタイズが終了すると、ロボットコントローラは、単品パレットコンベヤに対し製品の収納指令を出し、さらに次の製品の供給指令を出す。また、パソコンに対しては、单一品種のパレタイズ完了報告を送信する。
- (6) 以降、注文伝票に記された品種数について、(4), (5)の動作を繰り返す。
- (7) 全品種のパレタイズが終了すると、ロボットコントローラは、混載パレットコンベヤに対しパレット搬出指令を出す。

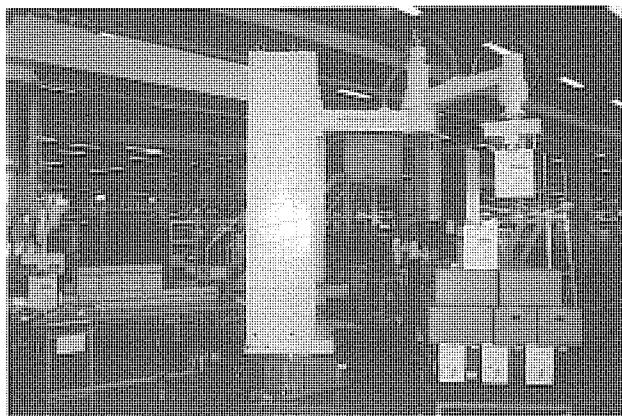


図8. RH-T100形ロボットの外観

表2. RH-T100形ロボットの本体仕様

| 項目 | | 仕様 | |
|---------------|----|-------------|-------|
| 形名 | | RH-T100 | |
| 構造 | | 水平多関節形 | |
| 動作自由度 | | 4 5 | |
| 駆動方式 | | AC サーボモータ | |
| 腕の長さ | | 1,150+1,000 | |
| 動作範囲 | 上腕 | 上下 (mm) | 1,600 |
| | 旋回 | (°) | ±150 |
| | 前腕 | (°) | ±145 |
| | 手首 | ひねり (°) | ±150 |
| 最大速度 | 上腕 | 曲げ (°) | ±150 |
| | 旋回 | (mm/s) | 1,500 |
| | 前腕 | (°/s) | 135 |
| | 手首 | ひねり (°/s) | 135 |
| 最大可搬重量 | 上腕 | 曲げ (°/s) | 140 |
| | 旋回 | (kg) | 100 |
| | 前腕 | 曲げ (°/s) | 60 |
| | 手首 | ひねり (°/s) | 140 |
| 位置繰り返し精度 (mm) | | ±0.5 | |
| 周囲温度 (°C) | | 0~40 | |
| 本体重量 (kg) | | 2,100 | |

(8) 以降、注文伝票の数だけ(1)からの動作を繰り返す。

4.5 ロボット

ロボットは、パレタイズ作業に最適な水平関節形《MELFA》ロボット“RH-T100”を用いている。図8に“RH-T100”的外観、表2に本体仕様を示す。さらに、このロボットの特長を以下に示す。

(1) 高可搬重量

最大100kgの重量物のハンドリングが可能である。

(2) 高速・高加減速

100kg可搬時でも、最大650回/時と高速でパレタイズ作業が可能である。

(3) 広い作業範囲

ロボット本体が水平面内で360°の動作が可能なため、作業能率のよいレイアウト設計を行うことができる。

(4) 高機能コントローラの採用

約200個の豊富な《MELFA-II》ロボット言語⁽⁴⁾を備えているため、センサ・リンク等の高度なプログラムを容易に作成することができる。

4.6 ロボットハンド

ビール工場物流センターでは、2種類の形状の異なる製品（プラスチックケースと段ボールケース）のパレタイズ作業を行う必要があるため、ロボットハンドは、図9に示すようにダブルハンド方式を採用している。

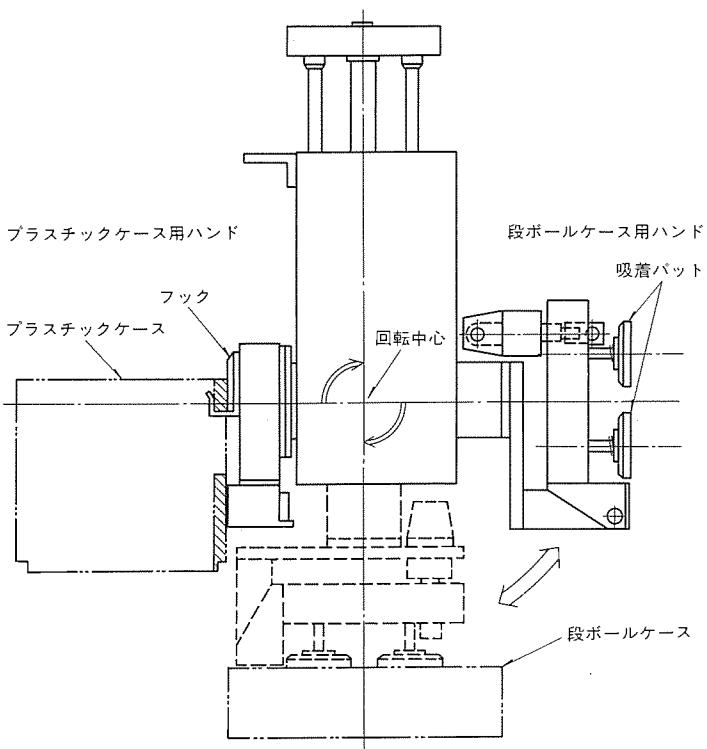


図9. ロボットハンド

プラスチックケース用ハンドは、ケースの開口部にフックを引っかけることによってハンドリングする。また、ケースの傾き・上下・左右方向のずれを検出するためのセンサを備えている。

段ボールケース用ハンドは、吸着パッドにより、ケースを吸着する。さらに、上下ずれ検出用のリミットスイッチ並びに左右ずれ検出用のセンサを備えている。

5. むすび

このAI応用パレタイズシステムを、キリンビール(株)取手工場に導入した結果、物流センターでの出荷工程における受注から出荷までの処理時間の短縮、人力作業の機械化、流通コストの削減など、物流の合理化を推進することができた。

今後は、このシステムを、食品産業・薬品産業など多品種を扱う分野に幅広く適用し、さらに工場の生産ラインに直結した自動混載システムにも一般展開していく予定である。

最後に、開発・導入に当たって、終始、御指導、御協力いただいたキリンビール(株)エンジニアリング部の諏訪田部長代理をはじめ、同部各位に深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 天満ほか：知識工学的手法を応用した貨物配置決定方式の提案，電学論，107-C，No.2 (1987)
- 長田ほか：自動積載システムにおける積載計画立案手法，信学春季全大 (1990)
- 森田ほか：第40回産業用ロボット利用技術講習会テキスト：日本産業用ロボット工業会 (1989)
- 松岡ほか：中・大形マテハンロボット-RH, RVシリーズ-, 三菱電機技報, 64, No.5 (1990)

自動車最終組立てにおける高度自動化ライン

1. まえがき

自動車の最終組立作業において、車体に取り付けられる部品には、重量・形状・硬さ・精度など多種多様なものがあり、また組立工法、作業位置、作業姿勢も接合、塗装作業に比べて著しく複雑、多種である。一方、生産設備としては、基本的には一本の長い連続コンベヤであり、その動きは必ずしも滑らかでなく、車体の位置決めもラフである。このような環境で、ラインサイドにある部品の選択から始まるほとんどの作業を人の判断感覚に頼って行ってきた。一部の悪環境（重量物、作業姿勢）作業に対しては自動化を行ってきたが、システムティックに大量の自動化を行うことは困難であった。

一方、社会的にはユーザーニーズが多様化し、車種や仕様が増加したこと、モデルチェンジの期間が短縮化傾向にあることから、生産性向上させ製造品質を安定させ、フレキシビリティに富んだ生産ラインシステムを実現する必要性が高まってきた。

このような背景のもとに、三菱自動車工業㈱が北米に新工場を建設するに当たって、従来革発的な自動化にとどまっていた最終組立ラインを自動化を前提としたラインシステムとして、ロボットをシステムティックに配置し、高度・自動化した最終組立ラインを実現したので紹介する。

2. ライン構成

一般に工場やラインを新設する場合、ラインをどのように構成しワークをどのように流すか（すなわちプロセスプラン）は、そのラインの良否が決まるほど重要なアイテムである。今回のように高度に自動化したラインに対しては更に重要度が高く、今まで蓄積したノウハウを結集して基本構想をまとめた。

まず、

- (1) 重量物から人を解放すること。
- (2) 品質・精度を向上させること。

(3) 生産性向上させること。

を目標に自動化項目を抽出した。

次に、抽出した自動化項目と残った人手作業を組立順序に従って集結、配列し、自動機工程群とマニュアル作業工程群を適当な工程数で分割し、これを交互に配置するライン構成とした。特に自動機工程は、故障時に人手によるバックアップができるよう、及び設置後容易に工程を動かせないことを考慮、将来の車両の設計構造変化にも対応できる条件を多角的に検討した。この結果、最終的に決定したライン構成を図1に示す。有人ゾーンは、作業性、安全性を考慮して従来どおりの連続コンベヤラインとしてある。自動化ラインは、完全無人ラインもあれば若干の有人工程を持つラインもある。いずれにしても、自動機主体のラインであるので高速間欠搬送装置を採用した。連続コンベヤと高速間欠搬送装置との間には移載装置を設置し、全体として1本のラインとし、全長700mあまりの建物の中に入っている。

メインラインに付属するサブラインは、ライン直結とし、余分なマテリアルハンドリングを排除してある。特にエンジン&フロントサスペンション、リアサスペンション、バンパー等のサブアセンブリラインは自動機を多用し、メインライン並みの自動化を図っている。このラインの特徴の一つとしてフードレス工法がある。これは、塗装工場から出てきた車体に対し、最初の工程でドアとともにエンジンフードを取り外し、エンジンルーム内の組立作業がほぼ終わった工程で再取付けをするものである。一般にドアレス組立方式は、案内作業を容易にするものとして普及しているが、今回はエンジンルーム内の自動組立作業と人手による組立作業を容易にするため、フードレス工法も導入している。

3. 搬送システム

一般に、安定した作業結果が得られる組立自動化を行うためには、ワーク単品の精度を所定精度に保つことが、不可欠の要件である。

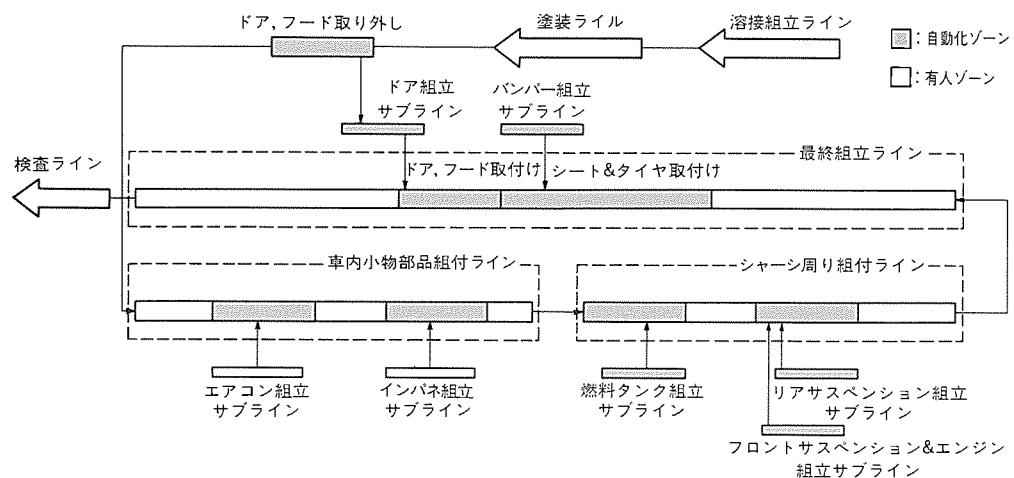


図1. 組立ラインの構成

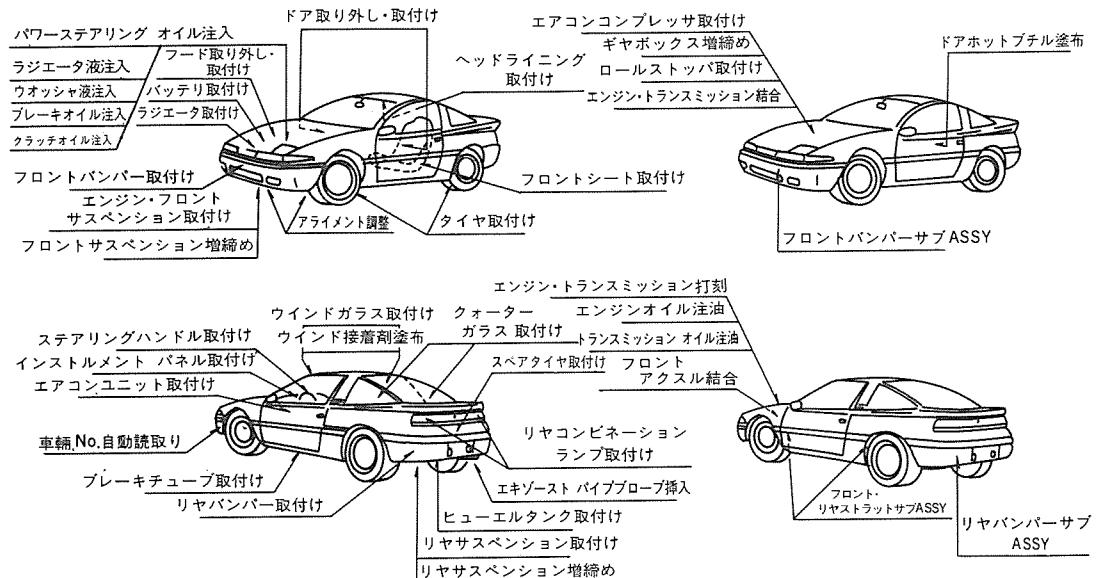


図2. 自動組立対象部位

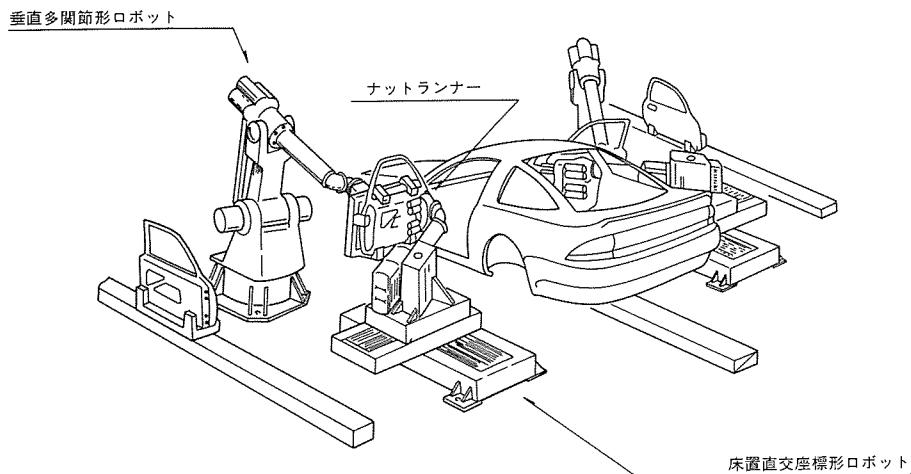


図3. ドア取り外しロボット

このためには、一方のワーク（車体）を位置決めクランプしておき、他方のワーク（ガラス、シート、エンジン等）をロボット等で取り付けるのが最もシンプルである。したがって、搬送装置は高速間欠搬送装置とし、ワークをダイレクトにクランプするという絶対位置決め方式を採用した。工程の位置決め治具が使用する基準穴は、車体溶接組立ラインの基準穴をそのまま使用している。また、搬送装置、移載装置、更には人手作業主体の連続コンベヤでも、サブの基準穴にピンを挿入して搬送する。このようにすることによって車体を安定して搬送することが可能となり、車体溶接ラインのボーダー精度が最終組立ライン全体に伝達され、自動化工程では位置決め治具によって車体溶接と同じ位置決め精度が再現できるようになり、自動化のための要件の一つが整った。

4. ロボットシステム

ロボットに限らず、自動機によって安定した組立作業を行わせるには

- (1) 製品を組立てやすい構造へ設計変更すること。
 - (2) それらのワークに最適な先端工具（エンドエフェクタ）を開発する。

が不可欠である。

自動化アイテムの最終決定に当たっては、生産技術部門と開発部門と細部にわたる検討を繰り返し、多くの構造改善を行った。

自動化のための構造改善は、熟練した作業者が組み立てて一定の製造品質を保っていた内容を、だれもが無駄なく画一的に組み立てられる構造とすることである。自動化対象部位だけではなく、一般部位にもこの考え方を普及させることが、車全体の製造品質を良くしていくことにつながる。

今回行われた構造改善は、部品同志の接合部を組立てやすく、かつ精度が出しやすくなることを主体にしている。今後は車の性能、商品性、コストとのバランスを取りながら自動化のやりやすい車両構造になっていくものと思われる。

車体は絶対位置決め方式であるので、先端工具についても、絶対位置決め方式とした。しかしながら、ゴム、樹脂部品など軟質材が関与する部分は柔軟性を持たざるを得ず、視覚センサを用いて位置補正を行ったり、先端工具に“なじみ性”を与えたりした。

自動化に当たっては、汎用性をねらって全面的にロボットが採用

された。この要因として、近年のFA機器の著しい発達により、
 (1) ロボットが安価になった。
 (2) 1台のロボットにさせたい仕事量とラインスピードとの釣り合
 いが取れるようになった。
 ことが挙げられる。

ロボットはメインライン、サブラインを含めて約100台が使用され、またその座標形式は、大別して垂直多関節形と直交座標形の2種類とした。

次に、今回自動化した部位を図2に示す。自動化対象部品は、74部品、ボルトの締め付け本数はロボット1台当たり約4本となり、これらの部品の総重量は、ホワイトボーダーをはるかに越えるものとなっている。

以下に主なロボットシステムについて述べる。

(1) ドア取り外しロボット

図3にドア取り外しロボットの例を示す。ドア取り外し作業におけるドア自体のマチハンに垂直多関節形ロボットを、また4個のナット外しには、4本のナットランナーを持った床置直交座標形ロボットを使用した。これらのロボットは、先端工具にサーボモータを内蔵し、本体機構部のサーボ軸と同様の制御を行い、汎用性を持たせた。

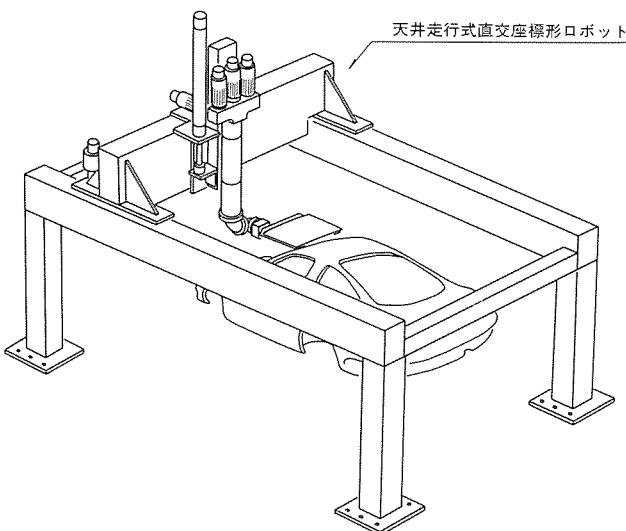


図4. ヘッドライニング取付ロボット

(2) ヘッドライニング取付ロボット

図4にヘッドライニング取付ロボットの例を示す。ヘッドライニングは軽量ではあるが大型であり、車体上部から作業を行う必要があるため、天井走行式直交座標形ロボットを使用した。ヘッドライニング部品をロボットによって室内に搬入し、車体に仮止めすることで設備の簡素化を図った。

(3) ハンドル取付け、アライメント調整ロボット

このロボットシステムは、走行品質を確保する上で最も重要な部分を自動化した例である。床置直交座標形ハンドル取付ロボットは、まずハンドルコラムのセレーション部を持ち、左右切れ角の中心を出してハンドルを取り付ける。次に専用のアライメント調整ロボットによってタイヤを回転させながらタイヤの傾きを計測し、車両の直進性とフロントタイヤのアライメントを調整するものである。

(4) エンジン&フロント サスペンション、リヤサスペンション取付ロボット

このロボットは、合計45軸のサーボ軸を持つ12台のロボット群によって一連の作業を一工程で行う。ロボットを高密度で配置した例である。

5. ロボット

重量物から人を解放するねらいからロボットは、高速、高位置決め精度とともに高可搬重量特性が要求される。また、万一のロボットトラブル時のライン停止を最短にするために、保守性の良さも重要である。今回導入されたロボットでは、これらを十分に配慮して開発した。ロボットの各形式の特徴を比較すると、

- (1) 垂直多関節形ロボットは、大きな可動領域を持ち、オープンなスペースを高速で動き回ることを得意としている。したがって、可動領域を必要最小限に限定し、密集してロボットを配置するのは、隣接したロボットとの相互干渉があるため避けた。
- (2) 天井走行式直交座標形ロボットは、床に直接据え付けないため床上が広く使え、床上の車体中央部にロボットを配置できる。また、架台内で可動するので、ラインサイドに対し安全性が図れる。
- (3) 床置直交座標形ロボットは、限定されたスペースに合わせてストロークが設計できるので、垂直多関節形ロボットに比べ省スペースとなる。

一般に用いられる汎用ロボットは、広範囲な用途に対応した、豊富で汎用的な機能を装備しているが、特定の用途には、かえって使いにくい場合がある。今回のロボットの制御については、基本操作方

表1. RG-3220, RS-3230形ロボット本体の仕様

| 名 | | RG-3220 | | | RS-3230 | | |
|---|---|---------|-----|----------|-----------|------------|--------|
| 構 | 造 | 直交座標形 | | | 4 | 5 | 6 |
| 動 | 作 | 自 | 由 | 度 | | | |
| 駆 | 動 | 方 | 式 | | 電気サーボ駆動方式 | | |
| 動 | X | 軸 | | 2,000mm | | 2,000mm | |
| 作 | Y | 軸 | | 1,000mm | | 900mm | |
| 範 | Z | 軸 | | 1,200mm | | 700mm | |
| 圍 | 手 | 首 | ひねり | | ±160° | | |
| | 曲 | げ | 曲 | — | ±120° | — | ±120° |
| | 振 | り | 振 | — | ±160° | — | ±160° |
| 最 | X | 軸 | | | 900mm/s | | |
| 大 | Y | 軸 | | | 900mm/s | | |
| 速 | Z | 軸 | | | 900mm/s | | |
| 度 | 手 | 首 | ひねり | | 120°/s | | |
| | 曲 | げ | 曲 | — | 100°/s | — | 100°/s |
| | 振 | り | 振 | — | 120°/s | — | 120°/s |
| 可 | 搬 | 重 | 量 | 100kg | 60kg | 100kg | 60kg |
| 繰 | り | 返 | し | 精 | 度 | ±0.5mm | |
| 周 | 回 | 温 | 度 | | | 0~40°C | |
| 重 | 量 | | | 約2,800kg | | 約2,400kg | |
| 床 | 面 | 振 | 動 | | | 許容値0.35G以下 | |

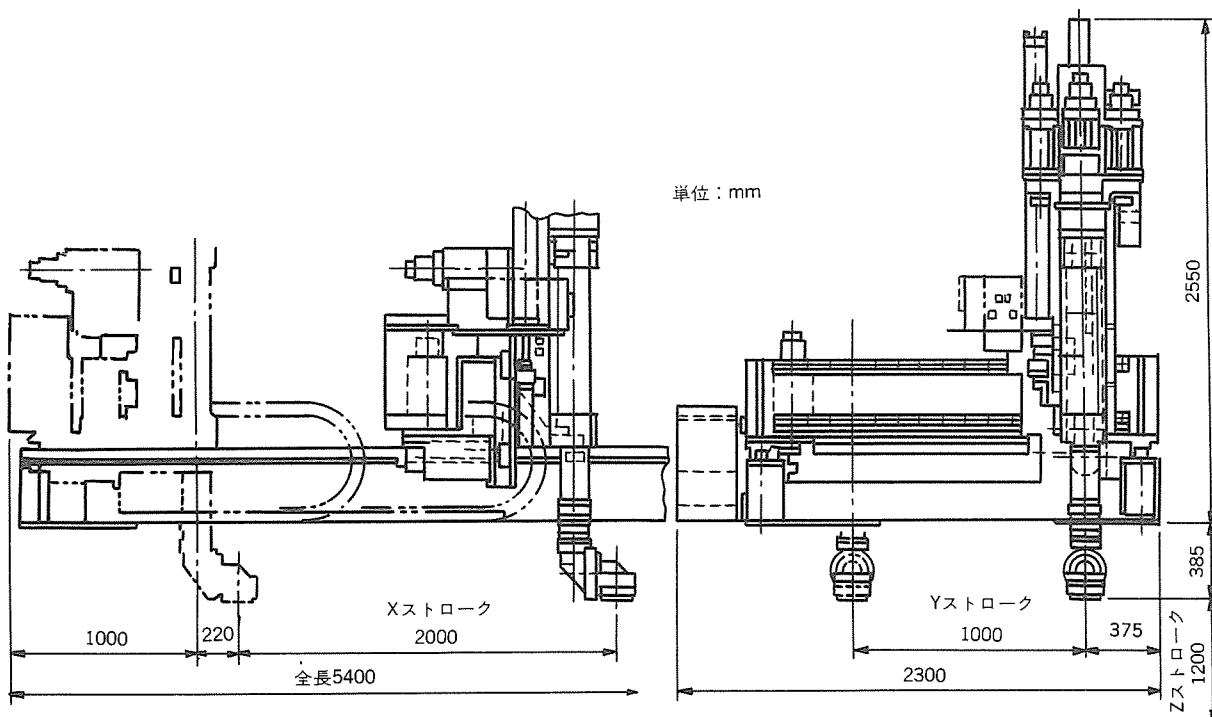


図5. RG-3220形ロボットの外形寸法図

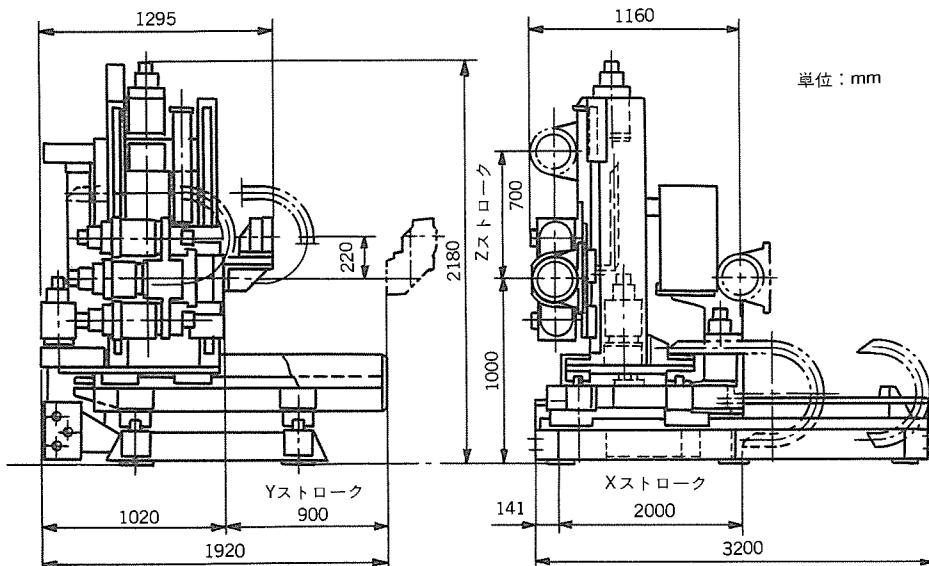


図6. RS-3230形ロボットの外形寸法図

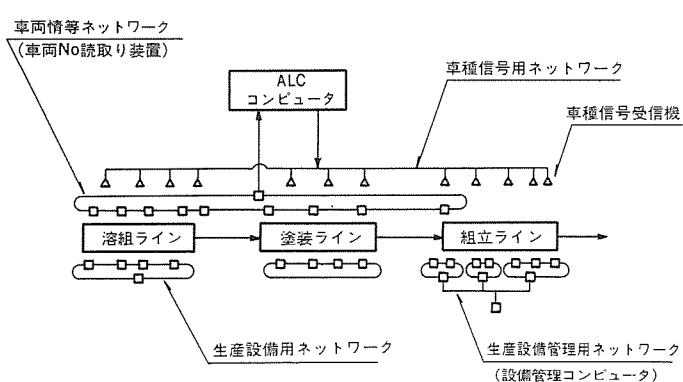


図7. ラインコントロール システム

式を統一した上で、個々の対象作業にも適応できる範囲の機能を持たせたハードウェアとソフトウェアを新たに開発した。

今回のラインには、垂直多関節形と直交座標形の両ロボットを使用したが、前者は一般的のものと同様であるため、この項では直交座標形の仕様と機構部の特徴について述べる。

RG-3220形及びRS-3230形ロボットの仕様と外形図を表1、図5及び図6に示す。

このロボットの特長は次のとおりである。このロボットは車体の流れる中央部を作業域とし、ラインの周囲（上方又は横方向）からのアクセスが容易な構造となっている。また、

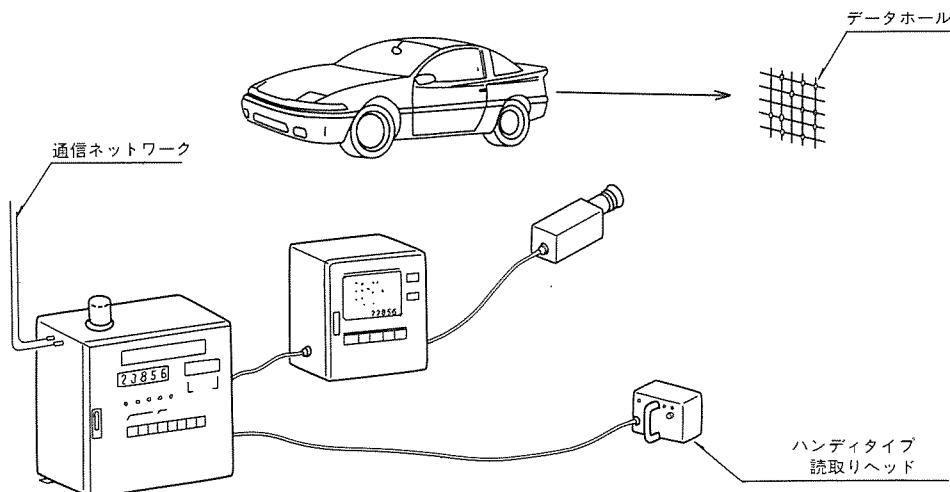


図8. 車両No.読み取り装置

経済性、信頼性及び保守性の向上のため大幅なモジュール化を行った。

(1) 拡張性

X軸上にYZ手首モジュールを複数台設置することにより、タンデム、トリプル等のロボット構成が可能である。

(2) アームのモジュール化

手首軸は分離結合することにより、1軸、2軸又は3軸への変更が可能である。

(3) アームの標準化

アームは駆動部、連結部及び手首部から構成され、連結部長さを変えることによりRG、RS両ロボットに対応できる。

(4) アームのスリム化

手首軸の駆動モータをアーム後端に配置することにより、手首周りの単純化、軽量化を図った。

(5) アームのオフセット化

Z軸、アームのオフセット配置とオフセットアームの採用により、手首軸の動作範囲を有効活用化した。

(6) モータの省エネルギー化

Z軸(上下軸)はエアシリングによる重力負荷補償式とし、小さなモータでZ軸の高加減速を可能とした。

6. ライン コントロールシステム

このように、高度に自動化したラインを円滑に運営するには、ライン全体を統括制御するシステムを構築することが不可欠である。図7に示すALC(Assembly Line Controller)は、生産計画、車両の仕様ファイルを持ち、ラインのトラッキングを行うとともに、部品の生産、供給部門に指示を出すホストコンピュータである。通信ネットワークは制御グループ別に多数あるが、このうち生産設備用には《MELSEC Aシリーズ》シーケンサを使用し、また生産設備管理用には《MELCOM》コンピュータを使用し、専用のソフトウェアを組み込んで実現した。車両情報用ネットワークは接続する車種信号に合ったものを独自に開発した。

図8にCCDカメラによる車両No.読み取り装置を示す。

一般にワークを認識する方法としてバーコード式、ICメモリを使用したIDカード方式、カメラによる形状認識方式がある。このラインでは、上流の溶接組立ラインから、最終組立ラインまで車両と一緒に通過でき、塗装色のように形状では判断できない情報を扱えるように、車体に開けられたコード化した穴(データホール)をCCDカメラで車両No.として読み取る方式を採用した。

ALCコンピュータからの車種信号を受信する受信機は200台を越すが、配線工事の簡素化のためにシリアル通信方式とし、設置後の拡張性を重視してマルチドロップ方式を採用した。この受信機は、自動化設備の制御盤内に収納して動作切替えに使ったり、作業者への部品指示に使っている。

7. む す び

自動車の最終組立作業において、絶対位置決め方式は従来より格段にワークの精度を向上させる必要があった。しかし、開発当初から関連部門でプロジェクトチームを編成し、自動化に対する新たなコンセプトを定めた上で活動した成果が実り、高度に自動化した最終組立ラインが実現できたと考える。

自動化に当たり、汎用性のあるロボットを大量に採用しこれに取り付ける先端工具の汎用化も図ったが、種々の制約により必ずしもロボット並の汎用性を持たせることはできなかった。そのため、ワークの特性を利用して整合を取りっている部分があるので、今後はこの部分の汎用化が課題となる。

また、今回のような自動化は、新設ラインであるから完成できたとも言える。制約条件の多い既存ラインをいかにして自動化していくかが今後の大きな課題である。

今回培ったこれらの技術を基にして、よりフレキシブルで安価な自動化ラインの完成が必要と考えている。

参 考 文 献

- 鈴木ほか：最終組立における高自動化ライン、三菱自動車技術レポート、No.1, p.163 (1988)

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*

1. まえがき

日本における産業用ロボットは、1980年代から普及時代を迎え、同年を“産業用ロボット普及元年”として本格的導入が始まった。そして1990年代を迎えた今、その需要は単に“専用機の置き換え”から、“インテリジェントなサーボ制御を必要とする高度な作業”へと推移してきている。また、それと同時に、マンマシン インタフェースも“人間と親和性の良い高機能なもの”が、求められるようになってきている。これらを背景として製品化した“中・大形マテハンロボット”的システム構成、マンマシン インタフェース及びサーボ制御方式を紹介する。

2. システム概要

2.1 仕様と特長

このロボットは、サーボ制御性、操作性の向上を主眼として開発したロボットで、コントローラをフルモデルチェンジし、ロボット本体、ロボット言語にも大幅な改良を加えている。表1に代表機種のロボット本体の概略仕様、図1(a), (b), (c)にその外観、表2にコントローラの仕様、図2にその外観を示す。また、その特長は、次のとおりである。

- (1) ACモータ(誘導／同期モータ)の採用により、モータのメンテナンスフリーを実現した。
- (2) モータを含むロボット本体の軽量化及びモータ容量の見直しにより、大幅な速度向上を図った。例えば、RV-S100では、先端合成速度6.4m/s(当社比1.7倍)を実現した。
- (3) 純電子式絶対値エンコーダの採用により、始業時の原点出し動作が不要となり、迅速なロボットの立ち上げを可能とした。また、従来の機械式絶対値エンコーダに比べ歯車系がなくなり、より高信頼性を実現した。
- (4) RV-S100は、ベルト及びボールねじを廃止して、減速機を直結することによって簡素化し、信頼性と保全性の向上を図った。
- (5) ロボット本体のケーブルは、ロボット本体内、又はフレキシブルチューブ内に実装して信頼性と意匠性の向上を図った。
- (6) ティーチングボックス(以下、T/Bと呼ぶ。)のみでティーチング及びプログラムの編集を可能とし、大幅な操作性の向上を図った。また、プログラミングユニット(以下、P/Uと呼ぶ。)は更に高度なプログラム編集及びモニタを可能とし、オンラインでの使用のほか、ロボットと分離しオフラインでの使用も可能とした。
- (7) コントローラは、標準タイプ“R-230R”に加えて、高速高精度タイプ“R-3100R”を用意し、ユーザーの多様なニーズにマッチできるようにした。特

に、“R-3100R”コントローラは、32ビットCPUの採用により軌跡精度が大幅に向上(当社比4倍)し、また、I/O命令処理時間の短縮(当社比1/4)により、タクトタイムの短縮が可能となった。

- (8) インテリジェント オールディジタルACサーボにより、信頼性の高い安定したサーボ系を実現した。また、サーボ系異常監視機能の向上も図っており、安定で安全な制御を実現した。
- (9) コントローラは、保守性の良い前面メンテとし、容積は40%削減(当社比)して小形化を図った。特に、コントローラの高さを、1,270mm(従来値1,720mm)と低くし、見通しを良くして操作性並びに安全性を向上させた。

- (10) ロボット言語《MELFA-II》に新たに連続移動命令5個を追加して、タクトタイムの短縮及びティーチング点の削減が図れるようにした。

2.2 “R-230R/R-3100R”コントローラの構成

このロボットのコントローラのハードウェアは、大別すると図3に示すように、MP(Main Processor), DMP(Display Management Processor), IOP(Input Output Processor), SCP(Servo Control Processor)の四つのCPUから構成されている。このコントローラのMPが16ビットCPUのものを“R-230R”, 32ビットCPUのものを“R-3100R”と呼んでおり、その他の仕様及び構成は全く同一である。

MPは、他の三つのCPUを統括しており、軌跡計画、プログラム処理、I/Oの監視を行っている。MPと他のCPUとの情報のやりとりは、システムバス上に置かれた2P(2 Port RAM)により行われている。また、MM(Main Memory)は、MPのメインメモリとして位置し、システムROM、パラメータ用EEPROM、リチウム電池でバックアップされたユーザープログラム用CMOS RAM(256Kバイト)を備えている。

DMPは、T/B, P/U, フロッピーディスクユニット、パソコン、プリンタと接続され、通信、表示内容管理、プログラムの修正、エラーの記録を行っている。P/U又はフロッピーディスクユニット

表1. ロボット本体の概略仕様

| 項目 | 形名 | RH-L3 | RH-T100 | RV-S100 |
|--------------|------------------|----------------|--------------------|--------------------|
| 構造 | | 水平関節形 | 水平関節形 | 垂直関節形 |
| 自由度 | | 4 | 4 | 6 |
| 駆動方式 | | オールディジタルACサーボ | | |
| 動作範囲(最大速度) | J ₁ 軸 | ±135°(225°/s) | ±150°(135°/s) | ±150°(110°/s) |
| | J ₂ 軸 | ±135°(225°/s) | ±145°(135°/s) | -60°~+50°(110°/s) |
| | J ₃ 軸 | 500mm(800mm/s) | 1,600mm(1,500mm/s) | -110°~+30°(110°/s) |
| | J ₄ 軸 | ±155°(225°/s) | ±150°(140°/s) | ±240°(180°/s) |
| | J ₅ 軸 | — | — | ±120°(120°/s) |
| | J ₆ 軸 | — | — | ±270°(240°/s) |
| 合成最大速度(m/s) | | 5.6 | 8.5 | 6.4 |
| 可搬重量(kg) | | 30 | 100 | 100 |
| 位置繰り返し精度(mm) | | ±0.1 | ±0.5 | ±0.5 |
| 重量(kg) | | 350 | 2,100 | 1,800 |

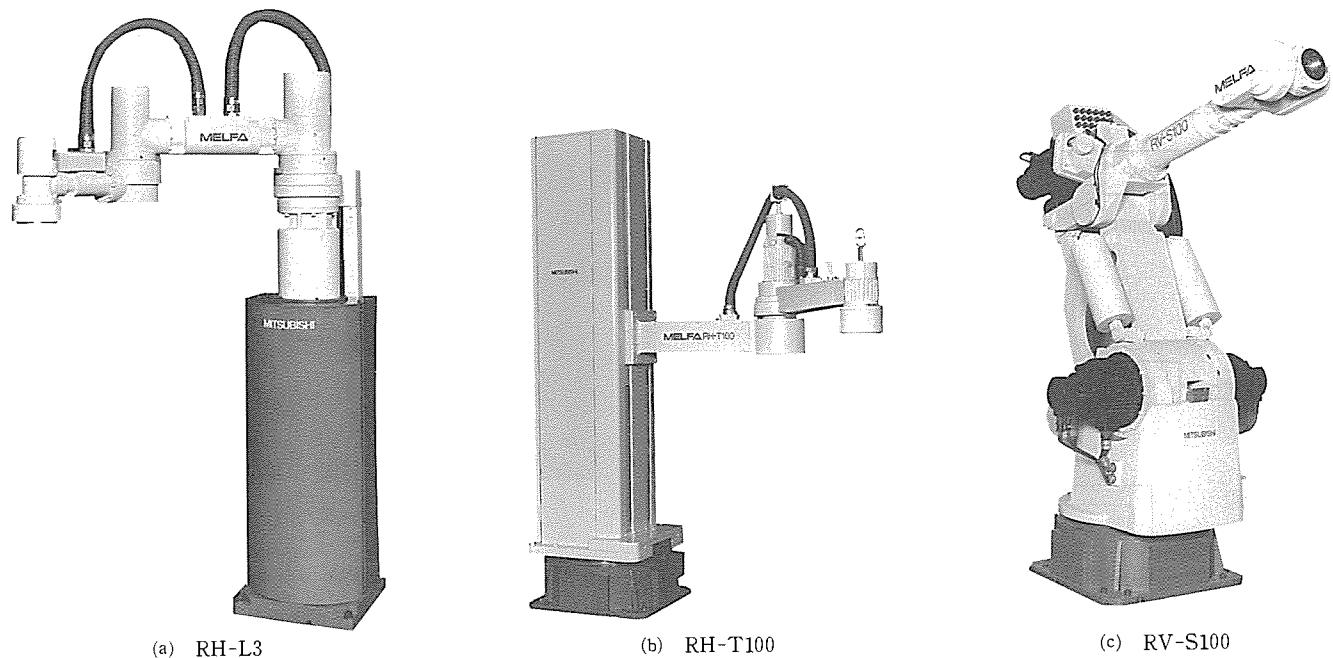


図1. マテハンロボットの外観

表2. “R-230R/R-3100R” コントローラの仕様

トとDMPの間のように、大容量のデータを高速に伝送しなければならない部分には、614KbpsのHDLC(High level Datalink Control)シリアル通信を採用した。

IOPは、オペレーティングパネル、機械インターフェース1、機械インターフェース2と接続され、周辺入出力の処理を行いMPを煩わしい入出力処理から解放している。

SCPは、INV (Inverter), PCON (Power Control), EAABS (Electronic Absolute Encoder)等と接続されサーボ制御, 電源シーケンス管理を行っている。SCPは, MPから位置指令をもらい, また, エンコーダからのパルス入力, モータの電流検出入力と合わせて

位置・速度・電流の各ループを制御し、INVにPWMのゲート信号を出力している。これをうけてINVは、CONVで平滑された主電源をスイッチングし、モータに電流を流している。この制御は、一つのSCPで2～4軸分実行している。また、SCPには、マスタとスレーブがあり、マスタのみ制御同期信号の発生及びPCONを使用した電源シーケンス管理を行っており、スレーブは、マスタの発生する同期信号に従っている。

3. マンマシン インタフェース

3.1 概 烟

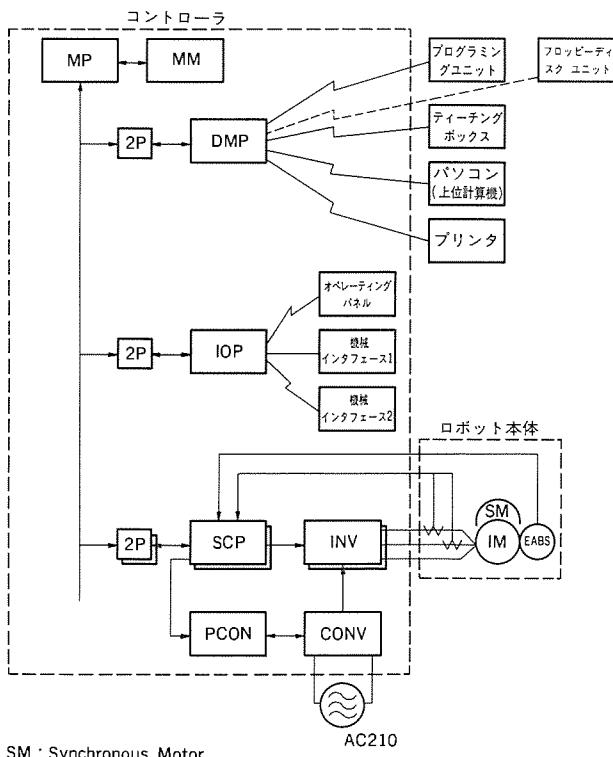


図3. ロボットコントローラのシステム構成

表3. プログラミングユニットを必要とする機能

| No. | 項目 | 分類 |
|-----|--|----|
| 1 | 加減算を除くL変数の演算 | A |
| 2 | パソコンリンク（上位通信機能） | A |
| 3 | 配列変数の使用 | A |
| 4 | プログラム間リンク (1)位置の共用 (2)マクロ（プログラム間共通サブルーチン） (3)プログラム呼出し | A |
| 5 | 外部・タイマ割り込み | A |
| 6 | ツール制御 | A |
| 7 | 複合命令（移動中の入出力） | A |
| 8 | プログラムからの画面表示、会話形式入力 | B |
| 9 | 多種多様のシステム状態表示 | B |
| 10 | 集計機能（タクト計算、通信ログ等） | B |
| 11 | プログラム名の指定 | C |
| 12 | サブルーチン、変数名へのアルファベットの使用 | C |
| 13 | コメントの使用（カタカナの使用可） | C |
| 14 | 制御構文の使用 | C |

注 A:複雑な作業のプログラム

B:ガイド機能、集計機能、大画面

C:見やすいプログラム

表4. 作業別マンマシンの適用推奨案

| No. | 作業内容 | T/Bのみ | P/U付き |
|-----|-----------|---------------|------------------------|
| 1 | 機械加工用マテハン | 1~2マシンにロボット1台 | 走行ロボットでマシン、ワーク種類が多い場合 |
| 2 | バレタイズ | 簡単なバレタイズ | ワーク種類、バレット数が多い複雑なバレタイズ |
| 3 | スポット溶接 | ワーク種類が少ない | ワーク種類が多い |
| 4 | シーリング | 一般のシーリング | ツール制御が必要な場合 |

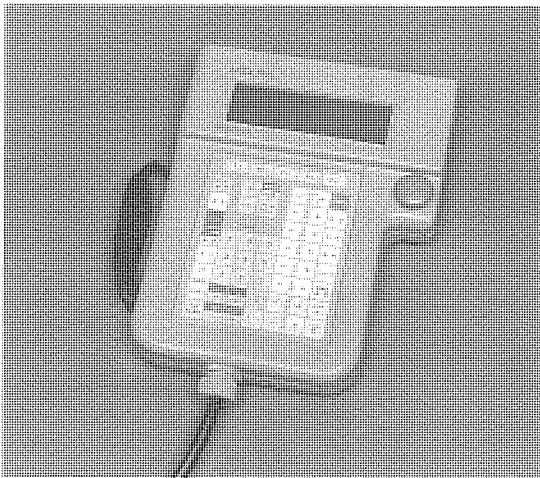


図4. ティーチングボックスの外観

このロボットでは、マンマシン インタフェースとして、T/BとP/Uが用意されている。T/Bは標準装備で、P/Uはオプションである。

従来、当社のT/Bは教示機能が主体であったが、今回新たにプログラムの作成とデバッグの機能を追加して、現場における操作効率の向上を図った。T/Bで使用可能なロボット言語の命令は75個あり、ロボットをマテハンで使用する場合ほとんどT/Bのみで対応できる。また、T/BではP/Uで作成したプログラムの実行及び変更も可能である。

P/Uは、従来に比べて “プログラムコンパイル時間の短縮、プログラム作成用ガイドの充実、プログラムのロード／セーブ時間の短縮、システム状態のモニタ強化及びオンライン プログラミングの実現” を目的として大幅な改良を加えたものである。P/Uで使用可能なロボット言語の命令は207個あり、T/Bに比べて複雑な作業を行う場合に最適である。P/Uは、T/Bに比べて次の4点が優れたものになっている。

- (1) ロボット言語の命令数が多く、かつ演算命令等が使えるので、複雑な作業をプログラミングするのが容易。
- (2) ガイダンス機能、集計機能があり使いやすい。
- (3) IF, WHILE等の制御構文を用いて見やすいプログラムが作成可能。
- (4) 画面が大きく見やすい。

表3にその機能の詳細を示す。

なお、ロボット言語は、従来どおり《MELFA-II》言語を使用しており、既に販売しているR-200R, R-210R ロボットコントローラと互換性を持っている。

ロボットの作業別にT/BとP/Uの適用推奨案を表4に示す。これまで当社で納入したロボットシステムに当てはめて考えると、約60%はT/Bのみで対応可能である。

3.2 T/B

T/Bは、図4に示すように大型液晶ディスプレイ(40文字×8行のバックライト付き)、56個のフラットシート キースイッチ、非常停止ボタン及びデッドマンスイッチ(裏面にオプション装備)を持ち、従来に比べ一回り大形化している。この大形化が作業を阻害しないように、ハンドホールド及びネックホールドのデザインを折り込んで使いやすくしている。T/Bの機能は、ティーチング、プログラムの作成編集、プログラム実行、プログラムのロード／セーブ(フ

ロッピーディスク ユニットが必要), ユーザー用データ設定, プログラムのプリントアウト (プリンタが必要) 及びシステムのモニタから成り立っている。3.1節で記した目的を実現するため, 大形ディスプレイの採用や, キースイッチの最適化を行った。また, T/B操作時のガイダンス, エラー発生時のアナウンスなどのガイド表示機能も加えた。これらにより, 生産現場におけるプログラム及びティーチング点の迅速な修正が可能となり “使い勝手が良く, 人間と親和性の良いシステム” が実現した。

このT/Bの制御には, 16ビットCPUを使っており, コントローラとはシリアル通信で接続している。また, 通信ラインには, 長距離伝送が可能でノイズに強い差動ラインを使用しており, 50mまで延長可能である。

3.3 P/U

P/Uは, 図5に示すようにポータブルなラップトップタイプになっており, 大形白液晶ディスプレイ (80文字×25行のバックライト付き), 81個のメンブレン シートスイッチ, 3.5インチ フロッピーディスク ドライブ (2DD/2HD双方使用可) 1ドライブ及びプリンタ インタフェース (後方パネルに装備) を持っている。

P/Uの機能は, プログラムの作成編集(オンライン及びオフラインでオフライン可能), プログラムのロード/セーブ, プリントアウト, データ設定及びシステムのモニタである。3.1節で記した目的の

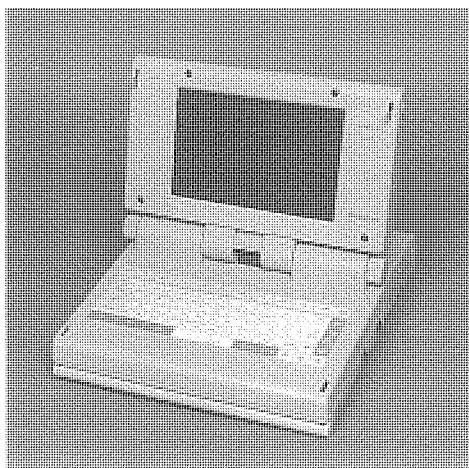


図5. プログラミング ユニットの外観

ため, 高速高機能CPU, 高速伝送方式を採用了。

その結果, コンパイル時間は, 平均で約1/10(当社比), ロード/セーブ時間に関しては, 60Kバイトのプログラムのロード時間が1/6(当社比), 画面スクロール時間に関しては, システムのモニタ強化によって約1/4に短縮された。また, 《MELFA-II》言語に

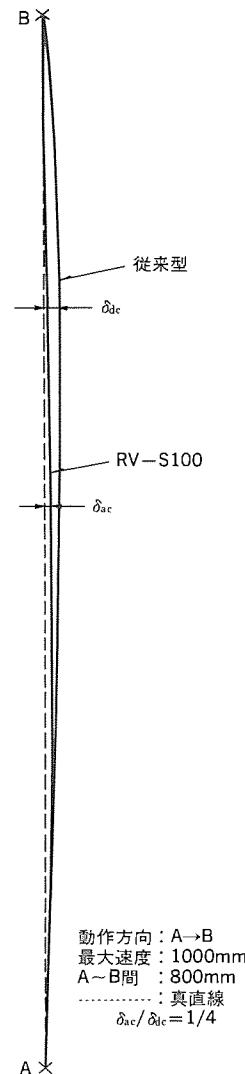


図7. 直線補間の軌跡

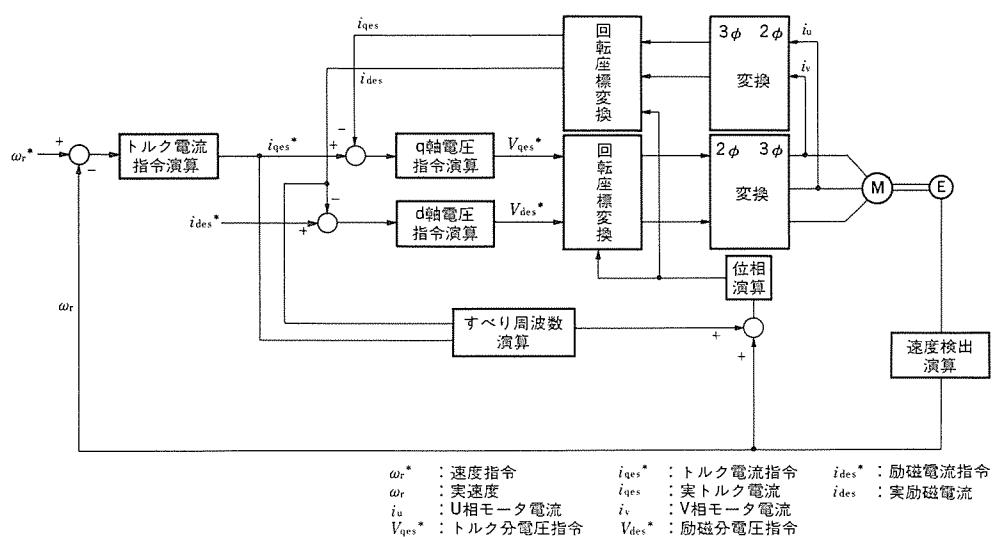


図6. 速度制御系のブロック図

おける命令の追加とともに、オフライン プログラミングを可能とした。オフライン プログラミング機能により、事務所でのプログラミング作業が可能となり、またロボットを多数使用する場合でも数台のP/Uで対応可能となった。

このP/Uには、制御用として高速高機能16ビットCPUを、コントローラとの通信用として、614KbpsのHDLCシリアル通信を採用している。また、通信ラインには、長距離伝送が可能でノイズに強い差動ラインを使用しており、50mまで延長可能である。さらに、プリンタ インタフェースは、最も普及しているセントロニクス パラレル インタフェースとしてプリンタ接続の容易化を図った。

4. サーボ制御

4.1 誘導モータ／同期モータ混合制御

ロボットに適用されるモータは、0.1～5.5kWと非常に多種にわたっている。同容量の誘導モータと同期モータを価格・市販性・汎用性・経済性等の観点から比較し、小容量は同期モータ、大容量は誘導モータという組合せを採用した。そこで、このロボットでは、2kW以下は同期モータ、これを超えるものは誘導モータを適用するという“誘導モータ／同期モータ混合制御”を行うこととし、これを開発した。

ロボットのサーボ制御に要求される仕様は、年々厳しくなっており、繰り返し位置決め精度のみならず、絶対位置精度、軌跡精度、低振動性、安定性の良さなどが、強く求められるようになった。これらの要求をロボットのように、絶えずイナーシャの変化する系で満足させるようなサーボ系をアナログで構成することは、非常に難しくなっている。そこで、近年とみに進展著しいDSP (Digital Signal Processor)に着目し、位置、速度、電流の各ループをすべてデジタルで構成し、アームの姿勢、負荷の変化などに対してアダプティブに対応できるインテリジェントなサーボシステムを実現した。図6に、その速度制御系のブロック図を示す。また、モータ及びロボットの機種の違いによって変化する、制御定数及び制御アルゴリズムは、すべてパラメータ化し、P/Uから容易に設定できるようにした。

ACサーボのサーボ特性では、カットオフ周波数が、DCサーボの2倍以上となり、DCサーボと同等以上の特性を得た。また、軌跡精度に関しては、図7に示すように“R-3100R”を使用したRV-S100に800mmの直線補間を実行させた場合、それの最大値が、従来の約1/4程度と大きく改善された。

4.2 絶対位置検出

従来のインクリメンタル エンコーダに代えて、今回新たに純電子式絶対値エンコーダを採用したことにより、始業時の原点出し動作が不要となり、迅速なロボットの立ち上げを可能とした。また、このエンコーダは、絶対位置とインクリメンタル パルスの両方を出力しているので、制御ループで使用しているインクリメンタル値を絶対位置と比較し、常時、その異常を相互監視してエンコーダの故障を未然に検知し、安全性を向上させた。

4.3 安全回路

安全回路は、過走など予期せぬ動作が予想される故障モード及び故障の際、復旧に時間を要する故障モードについては、特にこれを迅速に検知して、事故を未然に防止できるよう、自己診断回路を充実させた。以下にその一例を挙げる。

(1) インテリジェントたま(溜)りパルスチェック

従来から当社ロボットは、フィードフォワード及びフィードバック系の異常によるロボットの過走を防ぐため、溜りパルス等の監視を行っている。しかし、従来の方式では、迅速な異常検知ができないという欠点があった。そこで、このロボットでは、ロボットの状態に応じて判断を行う“インテリジェント溜りパルスチェック”を採用した。これにより、従来にも増して迅速な異常検出を可能とし、より安全なシステムを実現した。

(2) エンコーダ異常チェック

当社では、従来からロボットの過走事故につながるエンコーダ故障については、最大限の注意を払っており、次の三つの診断機能を内蔵していた。

(a) 速度異常チェック

(b) 位置異常チェック

(c) エンコーダ断線チェック

今回、これらに加えて、片相欠相チェック機能を追加した。これにより、片相欠相時、発生する帰還切れ相当の状態になることを防ぐものである。

このように、従来にも増してフィードバック系のロボットの故障に対する診断機能を充実させ、安全性向上を図った。

5. むすび

このロボットは、高信頼性サーボ制御及び使い勝手の良いマンマシン インタフェースを実現しており、生産現場における要求に十分答えるものができたと確信している。

今後は、更に拡大するニーズに答えるべく、機能の拡充を図り、よりインテリジェントなロボットとして展開していく予定である。

参考文献

- (1) 志賀ほか：組立・マテハンロボット、三菱電機技報、61, No. 4, p.315(1987)

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*

1. まえがき

最近のプラント管理システムは、単なる監視制御の高度化だけではなく、かかわり合う情報も制御情報から更に施設管理等に必要な情報へと拡大されている。つまり、管理範囲がより広域でかつ上位管理レベルとも密接に関連したトータルシステムへと移行され、最適な運転管理、施設管理を一元的かつ効率的に行える“統合化システム”へと発展している。

従来からプラント規模の大小に応じて、大規模プラント向けとしては《MACTUS 700シリーズ》，小規模プラント向けとしては《MACTUS 300シリーズ》を準備してきたが、新たに中規模プラント向けとして《MACTUS 500シリーズ》を開発した。

統合制御システム《MACTUS 500シリーズ》は、公共プラントの制御に必要な電気制御（E），計装制御（I），計算機制御（C）の機能をシンプル、かつフレキシブルに、高度・高性能な最適システムとして構築できるシステムとなっている。

図1は、《MACTUS 500シリーズ》におけるシステムの機能と役割の相互関係を示したものである。構成は、プロセスと相対したリアルタイム電気制御・計装制御を担当するEIプロセッサとそれらの高度な演算制御を担当するCプロセッサ、さらに全体の運転監視、運用管理、エンジニアリングサポートを担当するMMI（Man Machine Interface）からなる。これらを統合システムとして有効に運用することで、今後予想される高度プラント管理に対応できるシステムが構築できる。ここでは、公共プラントシステムの課題とこれらの問

題を解決するための統合化施策及び《MACTUS 500シリーズ》の基本理念と概要を紹介する。

2. 公共プラントシステムの課題

公共プラントにおける監視制御システムは、自動化・省力化の要求から発展し、現在、施設運用を円滑に行うためには、必要不可欠な存在となっている。

システム形態としては、高信頼化・高機能化といったシステムの基本的要素に加えて、公共プラントの固有的特質である増設・拡張の容易性を確保するため、地域的及び機能的分散を図ったシステムが、ほぼ定着している。

公共プラントにおける、このようなシステム化の要求は、大規模プラントから中小規模プラントへも広がっているが、システムの必要度・重要度が増加するに伴って、個々の構成要素はもちろん、システムの運用あるいは管理といった面で解決すべき課題が多い。

2.1 システム管理上の課題

システム化が進展するに伴い、その管理は施設運用の大きな課題となっている。特に中小規模プラントでは、少数の技術者でシステムを取り扱うため、管理の容易性が重要なポイントとなっている。

(1) エンジニアリング機能の統合化

分散化された各構成機器を集中的に管理できること。また、ソフトウェアの管理は、専門知識を要しないこと。

(2) 異常時対応の容易化

異常時にも、システムは極力運転を継続し、かつ異常箇所が容易

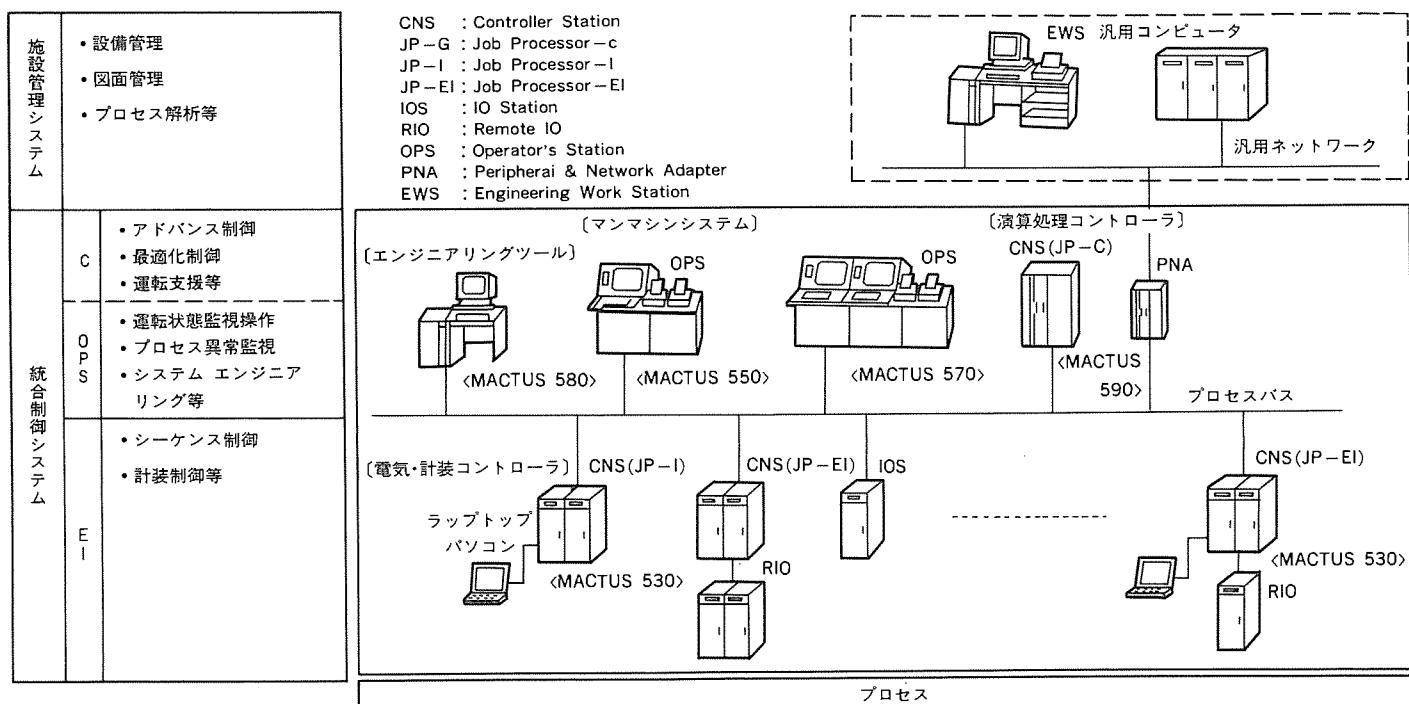


図1. 統合制御システムの構成

に管理できること。

(3) システムのオープン化

ユーザー独自の考え方を組み込めるシステムを提供すること。

2.2 システム運用上の課題

システムの高度化とその浸透によって、マンマシンの中心は、CRTに移りつつある。計装制御の分野では、CRTは既に中心的存在となっているが、今後電気制御・計算機制御を含めたシステム運用の一元化を実現することが、大きな課題である。

(1) マンマシンの統合化

電気制御(E)・計装制御(I)・計算機制御(C)は、従来独自に企画・設計されてきた。その結果、各々独自のものとして存在してきたマンマシンを統合化する必要がある。

(2) マンマシンの容易化

操作卓のもつ全体監視機能と操作性(挙動数・応答性)を実現すること。CRTの弱点であるブラインド監視をシステムとして克服し、計算機を意識させない操作性を実現する必要がある。

2.3 開発方針

先に述べた課題を解決するため、このシステムの開発に当たっては下記の方針で臨んだ。

2.3.1 拡張性

- (1) プロセスコントローラ、センターマンマシンとともに、地域的、機能的、負荷的に分割できる水平分散システムとする。
- (2) 施設、機能の拡張に対しては、ビルディングブロック形式で装置の増設が行え、導入目的と規模に合わせた最適システムが構築できるものとする。
- (3) ネットワークアダプタを介して汎用ネットワーク経由で、施設

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) |
|----------|---|---|--|
| アリゲーション | 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 運転支援、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) ○構造化プログラム用……SOL(Skeleton 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 +ライブライ +エキスパートツール |
| システムサポート | 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 | 平衡分散制御システムサポート ○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、デバッグが可能 | 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 |
| トドウェア | 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 | |

管理等を行う上位計算機やワークステーションとオープンな接続を可能とする。

2.3.2 信頼性・保守性

- (1) プロセスコントローラは、CPU・電源等完全な二重化構成を可能とし、改造・保守時のシステム停止を最大限防止する。
- (2) センターマンマシンも二重化構成を可能とする。
- (3) システムの核となるデータ伝送装置は、二重化構成を標準装備する。

2.3.3 経済性

- (1) プロセスコントローラ、センターマンマシンとともに、プログラムレス化を図り、初期及び増設時のソフトウェア費用の削減を図る。
- (2) プロセスコントローラは、電気・計装制御を同時に実行できるマルチコントローラとする。

2.3.4 監視、操作性

- (1) CRTは、タッチパネル操作を主体とし、従来の操作卓の感覚で操作できるものとする。
- (2) 機器操作は、操作卓と同等の挙動数とする。
- (3) 周辺装置は、多色プリンタ、ページプリンタなど、見やすさと高速性を重視する。
- (4) CRTは、従来のグラパネと同等の視認性を実現するため30色表示とする。

3. システム構成と特長

中規模プラントを対象とする統合制御システムは、既に図1に示した《MACTUS 500シリーズ》の監視制御機器により構成される。各機器は分散配置され、各々の役割を担い、またプロセスバスを介して各種情報交換を行う。これらの機器により、機能分散と同時に統合化された制御システムを構築することができる。表1及び表2に各々のシステムの特長、各機器の仕様を示す。

3.1 マンマシンシステム

マンマシンシステムとしては、プロセスマニタ機能を持つ《MACTUS 570》データロガー機能を持つ《MACTUS 550》，及び上記の両機能を合わせ持った《MACTUS 560》がある。これらのマンマシンシステムとしては、従来の監視機能だけでなく、運転管理、運転支援等の画面を同一の監視装置で効率よく把握できるシステムが要求されつつある。

これに伴い、オペレータに要求される管理範囲は、ますます拡大される傾向にある。したがって、オペレータの負担軽減のためにオペレーション機能の統一は不可欠であり、このシステムのマンマシンの実現に当たって、次の項目がポイントとなつた(図2)。

表2. システム構成機器の仕様

| 機種 | 機能 | 仕様 |
|------------|---------------------|--|
| MACTUS 570 | モニタ装置 | 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) |
| MACTUS 560 | モニタ+ロガー装置 | |
| MACTUS 550 | ロガー装置 | アプリケーション画面 128画面 |
| MACTUS 530 | シーケンス制御 計製御 | 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 標準8K STEP, 最大16K STEP |
| | | 制御ループ数 16ループ |
| | | IO点数 DI/DO 1,024点/1,024点 AI/AO 256点/256点 |
| プロセスバス | 高速, 高信頼 ネットワーク通信 | 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 10Mbps 最大40Mbps (10Mbps×4) |
| 接続バス | | Mバス, MLバス MELSEC-NET, RS232C |

- (1) 各プロセスごとの詳細な状態が把握できるとともに、システム全体の状況が一目で見渡せること（空間的把握）。
- (2) アラーム、ガイダンスといったイベント発生時の状況が、オペレータに迅速かつ的確に伝わること（イベント把握）。
- (3) 時系列的にプロセス変化が認識でき、データのトレースができる（時間的把握）。
- (4) ヒューマンエラー、非定常操作に対して十分な配慮がなされ、人間の思考にマッチした一貫性のある操作手順を提供すること（操作性）（図3）。
- (5) 管理・設定の機能に対し、柔軟に対応できること（管理機能）。

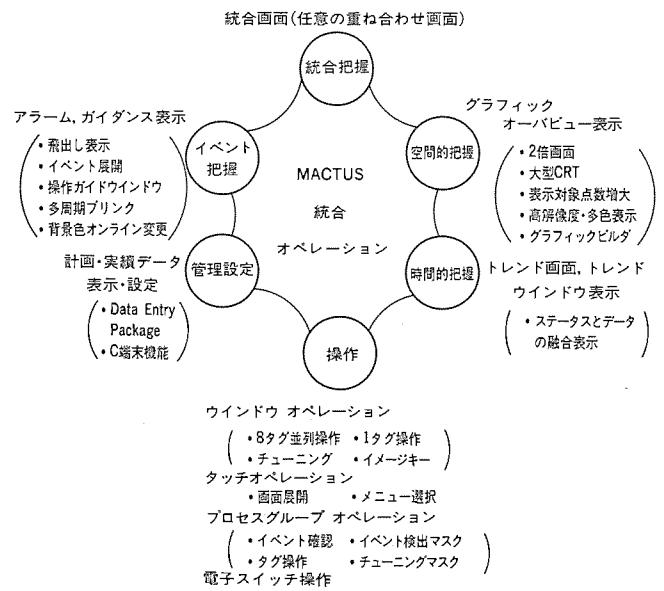


図2. マンマシン インタフェースの一元化

(6) 質の異なる情報を同一画面に表示できること（統合把握）。

以上の要求に対して、このシステムでは、以下の特長でこたえている。

- (1) 高解像度・多色表示CRT (20インチ) に加え、大型CRTの接続も可能でプロセス非定常状態におけるオペレーター以外の多人数での同時監視、グラフィック表示、ITV、VTRとの切替が可能となっている。
- (2) プロセス異常等に連動した画面やウインドウ表示、イベントの重要度に対応した表示色・プリント周期・背景色・警報音等により早期対処が可能となっている。
- (3) トレンド機能を備え、数値情報とビット情報の混在表示、任意時刻での数値表示が可能となっている。
- (4) 複雑な操作手順をなくすために、タッチオペレーションの実現

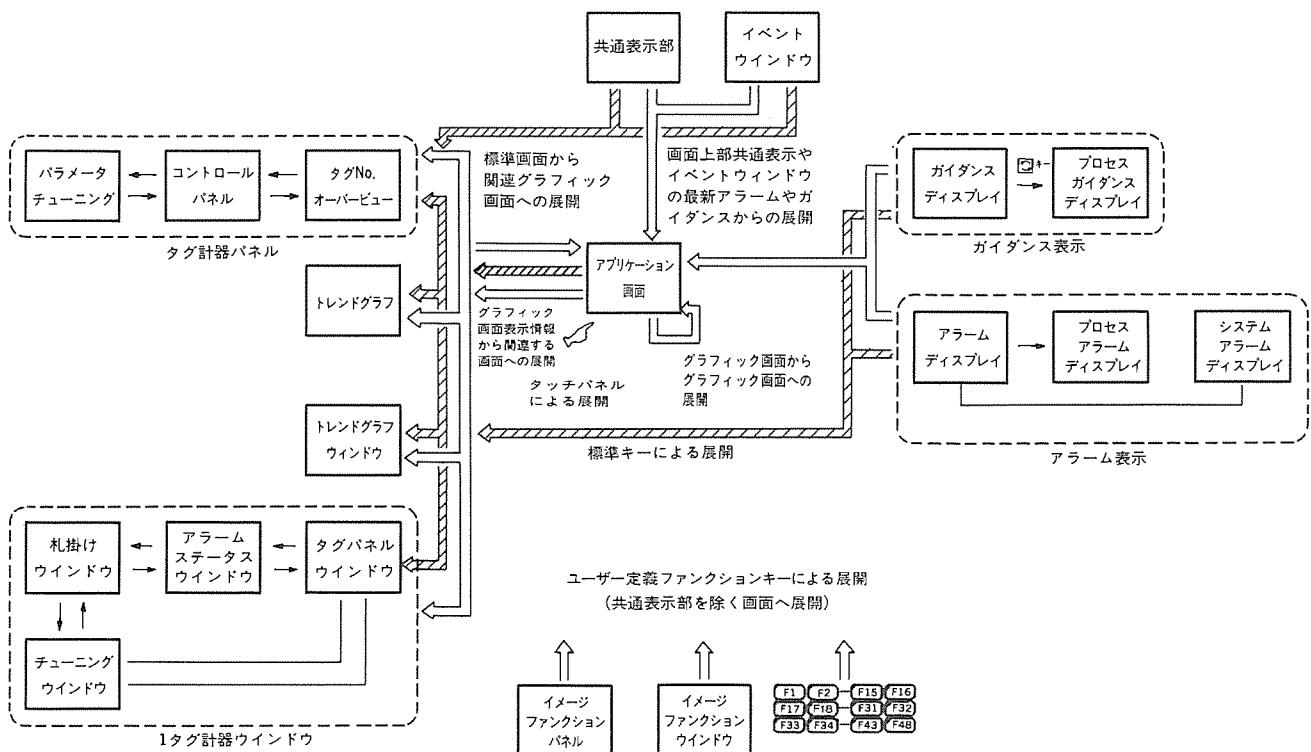


図3. 画面展開

表 3. ウィンドウの種類

| | |
|-------|--|
| ウインドウ | 1タグウインドウ 8タグウインドウ トレンドウインドウ チューニングウインドウ イベントウインドウ アラーム ステータスウインドウ 札掛け用ウインドウ イメージファンクション ウィンドウ |
|-------|--|

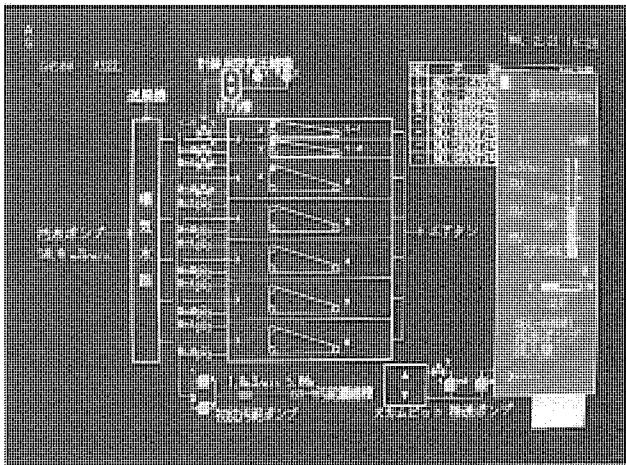


図 4. 1 タグウインドウ

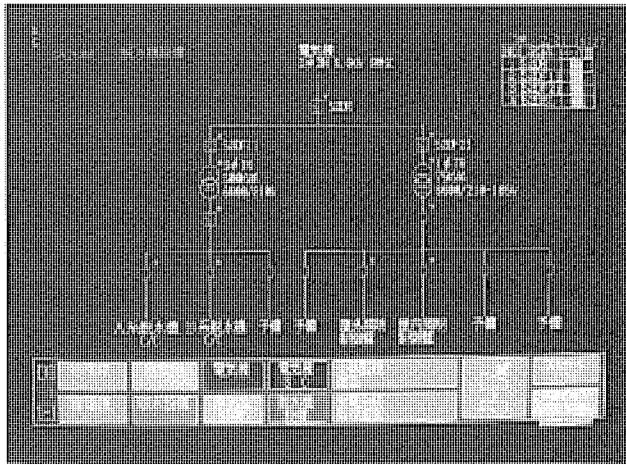


図 5. イメージファンクションキー ウィンドウ

と画面切替えの繁雑さを解消するために、ウインドウ オペレーションを提供している（表 3、図 4、図 5）。

(5) 管理・設定の機能のサポート用として、データエントリ パッケージ等標準パッケージがある。

(6) プロセスの生データに近い電気、計装にデータと高度に加工された計算機のデータ等異質データを任意に組み合わせて表示できる。

3.2 エンジニアリング支援

主な機能としては、システム全体の構成定義を行うためのシステム エンジニアリング機能、プロセスモニタの画面作成や各種定義を行うためのビルダメインテナンス機能、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ためのコントローラ ステーション エンジニアリング機能がある。これらの機能は、システム規模に応じてマンマシンシステム《MACTUS 570/560》又はエンジニアリング ツール《MACTUS 580》から統括して設定できる。

このシステムでは、次の特長を持っている。

- (1) 電気制御・計装制御・計算機制御・マンマシン インタフェース等用途別に最適な言語・ツールを用意している。
- (2) エンジニアリングの手段は、極力プログラムレスを目指しており、空欄記述方式、メニュー選択方式、会話方式などの採用によりエンジニアリングを簡単にしている。
- (3) システムの改造、増設時の機能確認・検証作業が短期間に並行して行えるよう、ラップトップパソコン等プロセスコントローラ本体から独立した環境下で設計・試験できる多彩なツールを準備している。
- (4) ソフトウェア製作・試験は、機能ごとに細分化したものを積み上げていくビルディングブロック方式で行え、ソフトウェアの構造化設計を進めている。

3.3 プロセス制御機能

従来、公共プラントでは、同一の制御機器でシーケンス制御と計装制御を行っていたが、このシステムでは構成機器のすべてにわたって、システムリソースの一元化、共用化を実現しており、より制御機能の融合化、効率化が図られている。CPUは32ビットのマイクロプロセッサを採用しており、高速シーケンス処理と計装制御処理の並列実行が可能で、高性能かつ高機能な制御を行うことができる。もちろん、システム運用上シーケンス制御と計装制御が分離独立した方が有効である場合は、複数のコントローラで機能分散することもできる。

また、言語は《MACTUS 530》用として、図 6 に示すコントロール用マルチ言語を用意している。シーケンス制御、演算制御を自由かつ簡易に記述することを特徴とする問題向き制御言語POL (Problem Oriented Language)、構造化されたプログラミング方式と图形表現で記述することを特徴とする図式表現制御言語SOL (Skelton Oriented Language)、工程遷移型制御を簡単に記述することを特徴とするSCOL (Sequential Control Logic)、計装制御機能をマイクロファンクション及びその組合せでサポートするDDCマイクロファンクション言語から構成される。さらに、ユーザーがマイクロファンクションブロックを組み合わせて自由にユーザーマクロファンクションを定義することができる。

3.4 ネットワーク技術

統合化システムを構築する上で、各機器間の情報交換を行うプロセスバスは、多機能かつ高性能でなければならない。このシステムで採用したバスの特長は、以下のとおりである。

- (1) バランス型ネットワーク アーキテクチャの採用により、マスター/スレーブ関係のないネットワークとなっており、各機器の自律性、独立性が高いシステムを構成できる。
- (2) 伝送速度は、10Mbps (最大 4ch で 40Mbps) の高速伝送が可能で、サイクリック型、会話型、同報通信型のサポートにより、各種データ伝送に対し最適な伝送方式が適用可能となっている。
- (3) 二重化／冗長化が柔軟に構成でき、万一の伝送システムの異常に対しバックアップが可能である。

こうした特長を持つプロセスバスにより、アプリケーション ソフトウェアは、他の機器内の分散データベースに対し、自己の内部に存在する場合と同様の手続きでアクセスすることができる。また、各機器のサイクリック データメモリは、一定周期の同報通信により、一斉にデータ更新することができるので、各機器間でこのサイクリックデータは共有化される。このように、プログラミングの際に通信を意識しなくてよい分散不可視型一元化データベースを構築

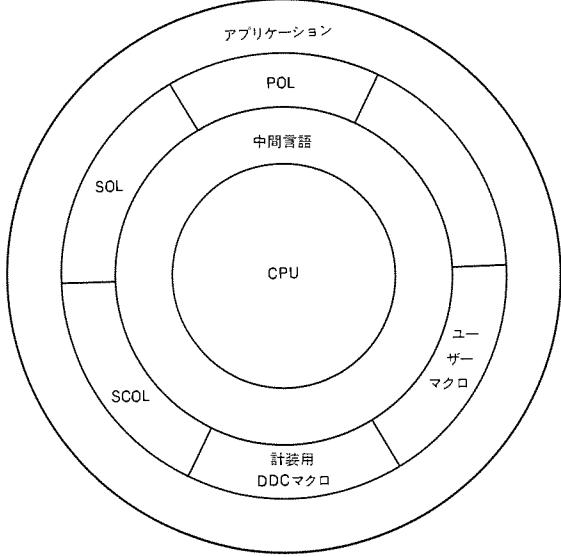


図 6. コントロール用マルチ言語

しており、図 7 に示すシステムソースの一元化を実現した。

3.5 冗長化向上対策

マイクロプロセッサの32ビット化に伴い、高性能・高機能・多機能化が実現されるが、これと同時に、このシステムでは図 8 に示す冗長化を考慮しており、高度な信頼性を確保することができる。冗長化（二重化）システムでは、図 9 に示すように、バックアップモードとセパレートモードを用意している。バックアップモードでは、マスタCPUがダウンすると、スレーブCPUが自動的にマスタとなり制御動作を継続する。セパレートモードでは、マスタCPUとスレーブCPUは切り離され個別に動作し、マスタCPUが制御動作を行っている最中に、スレーブCPUでのプログラムデバッグができる。

また、プロセス入出力部の故障に関しては、以下の機能によって保守性が向上し、一部の故障がシステム全体に影響することなく、容易に元の状態に復旧できるよう配慮した。

- (1) CRT画面で入出力ユニット及び入出力カード配列表示を行い、故障カード部位をビジュアルに指示する。
- (2) 入出力カードの活線挿抜を可能とし、プログラムを停止せずに代替カードと交換する。
- (3) アナログ入出力カードの二重化により、特に重要な制御ループの信頼度を高める。

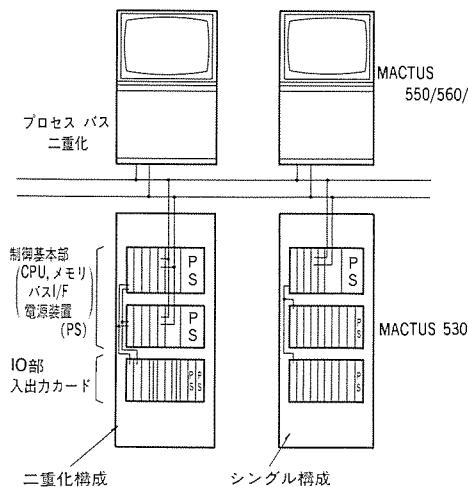


図 8. 冗長化システム構成

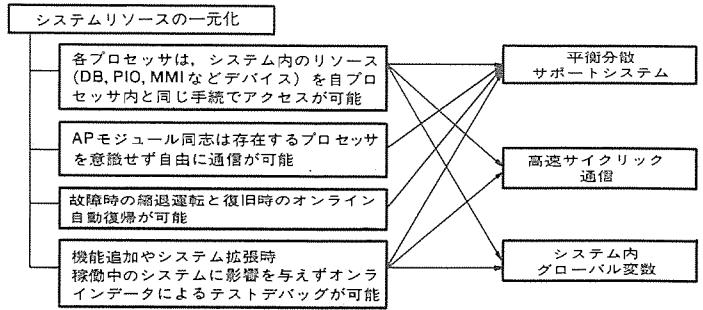


図 7. システムリソースの一元化

- (4) 入出部は各シャーシ単位で電源収納ができ、バックアップ電源を隣接することで、二重化構成もとれる。

4. システム適用

《MACTUS 500シリーズ》を適用した中規模プラント向け基本構成を、図10に示す。

4.1 システム構築の考え方

《MACTUS 500シリーズ》を中核とする中規模プラント向け基本構成は、次の設計思想に基づいて構築されている。

(1) ネットワーク化

フィールド（現場）から中央の管理領域に至るプラント全体のネットワーク化を目指し、かつシステム全体の一元管理を実現する。

(2) システムの分散化

各構成機器は、負荷的、地域的及び機能的に分散する。これによって各構成機器は、各々の管理範囲が限定されるため、機能の特化が図れ、かつ安全性が確保できる。特に中央監視操作領域では、大規模システム同様水平分散化を目指し、高機能化と経済性を追求する。

(3) システムの階層化

システムは、先に述べた各構成機器の分散化に伴って、機器単位の制御からプラント全体の管理まで階層的に構築する。これによって情報は、任意に分散・集中することが可能であり、システムネットとなる情報の過度な集中を避ける。

4.2 システム拡大と分担

最近の統合制御システムは、上位システム、下位システム等を含めたトータルシステムとしての一元化、効率化が要望されており、これに対応できる機能を充実させている。

(1) 上位システムへの拡大

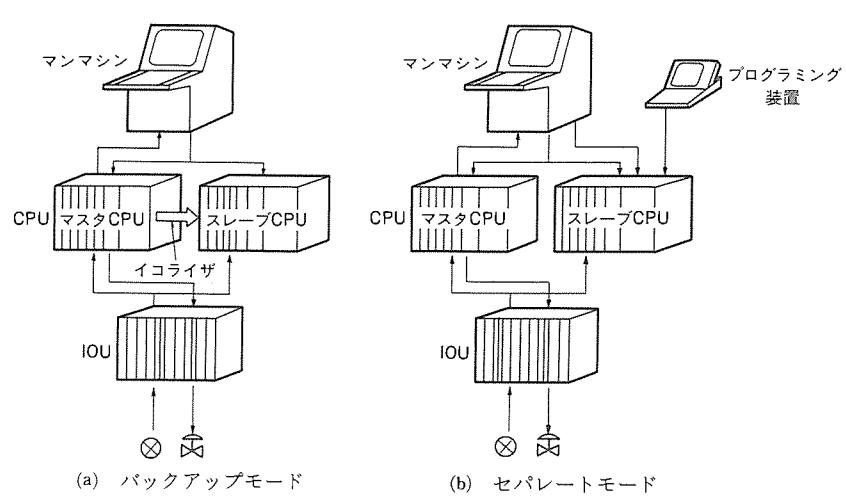


図 9. 冗長化システム動作モード

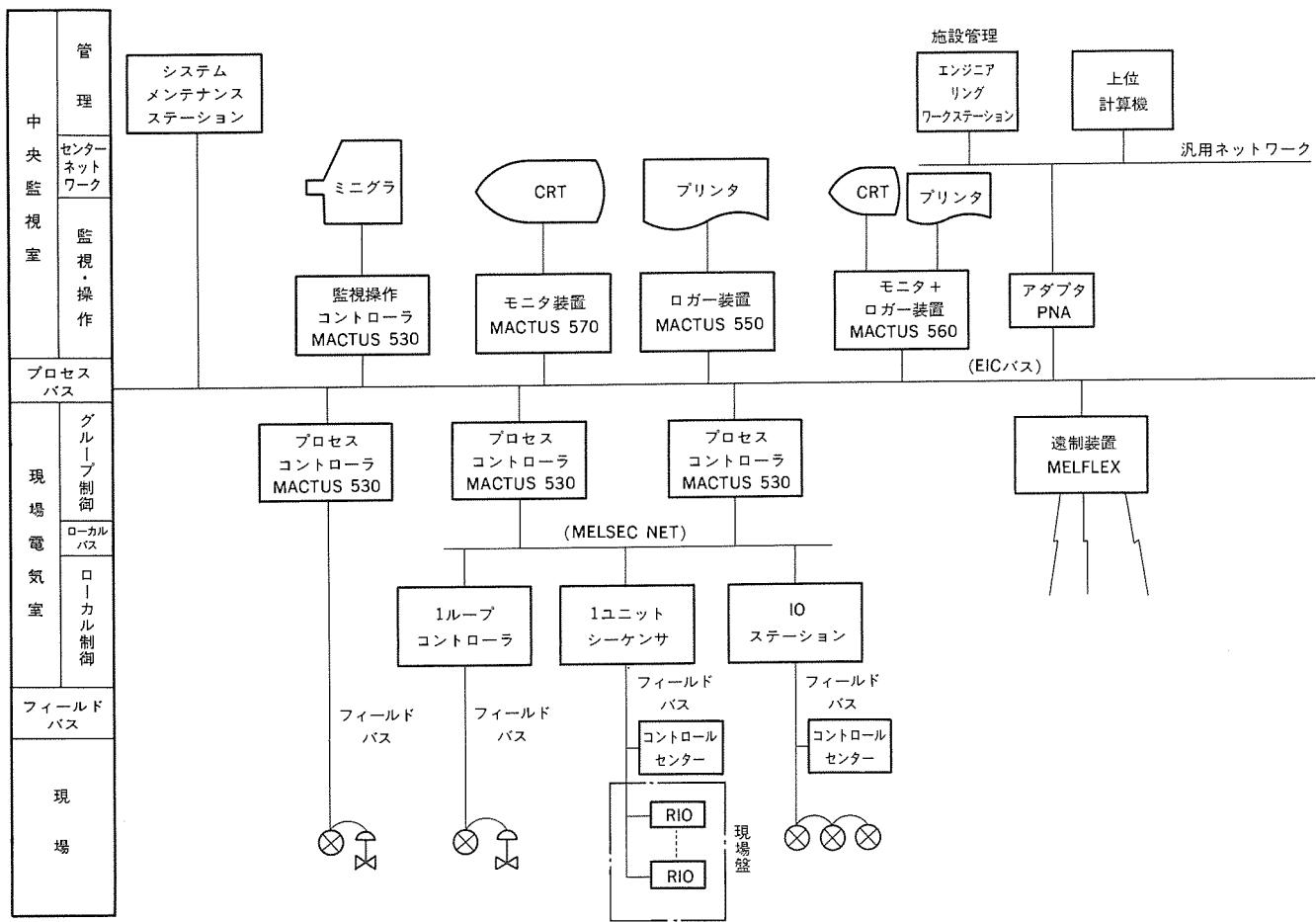


図10. 中規模監視プラント向け基本構成

施設管理等、システム全体の管理を分担するが、周辺ネットワークアダプタを介して汎用ネットワークで接続できる。エンジニアリングワークステーションを中心に構成される施設管理システム(例えば、画面管理システム、設備診断システム等)及び汎用計算機(他社含む。)等との融合化を考慮している。これにより、従来オフラインで処理されていたものがオンラインで適用することができ、高度なオンラインデータを使用した診断、管理、シミュレーション等が実現できる。

(2) 下位システムへの拡大

《MACTUS 530》によって複数機器の連動、自動制御等グループ制御が行われるが、下位側でのローカル制御は、1ユニットシーケンサ《MACTUS 320》による機械-負荷単位制御及び1ループコントローラ《MACTUS 210シリーズ》による計装1ループ単位の制御ができる。これらの機器とは、ローカルバスである《MELSEC NET》を介して接続できる。分散化と一元化という相反する要素を同時に実現するシステムの核となっている。また、これらのコントローラと現場とは、フィールドバスによりセンサ、リミットスイッチ、コントロールセンター等と効率良く接続でき、フィールド機器のインテリジェント化で可能となった精度の良いプロセスデータ、メンテナンスデータ等を統合制御システムで活用し、より高度な運用が可能となる。

さらに、広域化への対応としては、遠隔装置の接続も可能となっており、遠方のポンプ場、配水池等の情報も中央で監視、制御できる。

(3) 規模別シリーズとの融合

プラント規模に応じてシリーズ化《MACTUS 700シリーズ》、《MACTUS 500シリーズ》、《MACTUS 300シリーズ》が図られているが、プラント特性によっては、分散化・階層化された中に複数のプラント管理システムが導入されることがある。

この場合も各《MACTUSシリーズ》を効率良く、整合のとれたシステムとして接続できる構成となっている。

5. む す び

三菱統合制御システム《MACTUS 500シリーズ》について、概要とこれを公共プラントへ適用した場合の施策、導入メリット等を述べた。

今システム全体の統合化の潮流の中で、このシステムは新たな解決を施すものと確信している。さらに、統合化の波は上位の施設管理システムとも効率的に統合し融合化を図りながら、ますます発展していくと考えられる。この状況の中で、三菱統合制御システムを取り入れることで、公共プラントの課題を解決する手段となることを願っている。

今後共、維持管理の容易さがシステムの中で重要な位置付けとなるものと考えられ、これらの時代の要求に合致したシステム開発と、最新の技術動向を見据えた製品を提供していく所存である。そのためにも顧客各位の御批判・御教示をいただきたい。

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**

1. まえがき

日本電信電話(株) (NTT) は、昭和63年4月からINSネット64サービス、平成元年6月からINS 1500サービスを開始し、これらのサービス地域を経済的かつ早期に拡大していくために加入者線多重伝送方式を適用している⁽¹⁾⁽²⁾。

一方、既存のアナログ電話サービスについても新設需要が増え続けており、特に大都市における管路等の地下構造物内のメタリックケーブルのふくそう(輻轍)対策、都市周辺の再開発地における突発的な大規模需要に対応するため、光加入者線多重伝送方式の導入が求められている⁽³⁾。

光ファイバ伝送は、メタリック伝送に比べ、広帯域・低損失であり、高速・大容量の中継伝送系から導入され、発展してきた。近年、技術の確立・成熟により、光ファイバや光素子のコストも低下してきており、加入者系への本格的な導入を可能にする条件が整ってきた。

SL-A/I形光加入者線多重伝送装置は、アナログ電話サービスを主体とし、INSネット64サービスも混在収容可能とすることで、アナログ電話の新設需要に対応するとともに、極少数需要領域のINSネット64サービスも経済的に提供することをねらいとするもので、NTTの御指導のもとに開発し、既に実用に供されている。

本稿では、システム及び装置の概要を述べる。

2. 方式概要

2.1 光加入者線多重伝送方式⁽¹⁾

従来のメタリック加入者網は、アナログ電話と電話局の交換機の間を1対1に接続するスター構成となっている。そのため、新設需要の増え続ける大都市部では、ケーブルを収容する地下構造物において、輻轍や行き詰まりが生じている。このような問題を解消し、かつ今後の拡大が期待される高速・広帯域サービスと整合のとれた効率的、経済的な加入者網の構築を図る方式として、光加入者線多重伝送方式が注目されている。

光加入者線多重伝送方式は、電話局側に光加入者線端局多重伝送装置(CT)、ユーザーのビルや小規模需要局に光加入者線遠隔多重伝送装置(RT)を設置し、その間を光ファイバ伝送路で接続して信号を多重伝送する方式である。

この方式により、大都市部では、多数のメタリックケーブルを少數の光ファイバに代替することができる。また、地方では、アナログ交換機をデジタル交換機に更改するのではなく、加入者線多重伝送方式を用いて、中央の大容量のデジタル交換機に遠隔収容することで、新設需要への迅速で経済的な対応が可能となる。さらに、加入者ネットワークに光ファイバが導入されていくことは、光ファイバの持つ広帯域性から、高速・広帯域サービスの展開に必要なインフラストラクチャを整備する意味でも望ましいことである。

図1にアナログ電話サービスにおける従来のメタリックケーブル

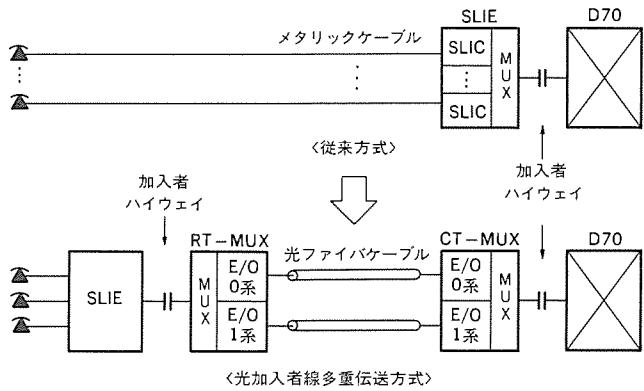


図1. 光加入者多重伝送方式

による伝送方式と、光加入者線多重伝送方式の比較を示す。

加入者線インターフェース装置(SLIE)は、加入者ハイウェイ(4M-HW)信号を加入者インターフェース回路(SLIC)に分配し、7kmのエリア内のユーザーにアナログ電話サービスを提供する。

光加入者線多重伝送方式では、これまで電話局にあったSLIEを光ファイバ伝送路を使ってユーザー側に張り出すように構成して効率化が図られている。多重伝送方式では、一つの光ファイバ伝送路の障害が多数のユーザーへのサービス停止につながるため、光ファイバ伝送路は二重化構成をとり、断線や回路故障発生時に待機系に切り替えるようになっている。

2.2 システム構成

図2に、SL-A/I形光加入者線伝送方式のシステム構成を示す。

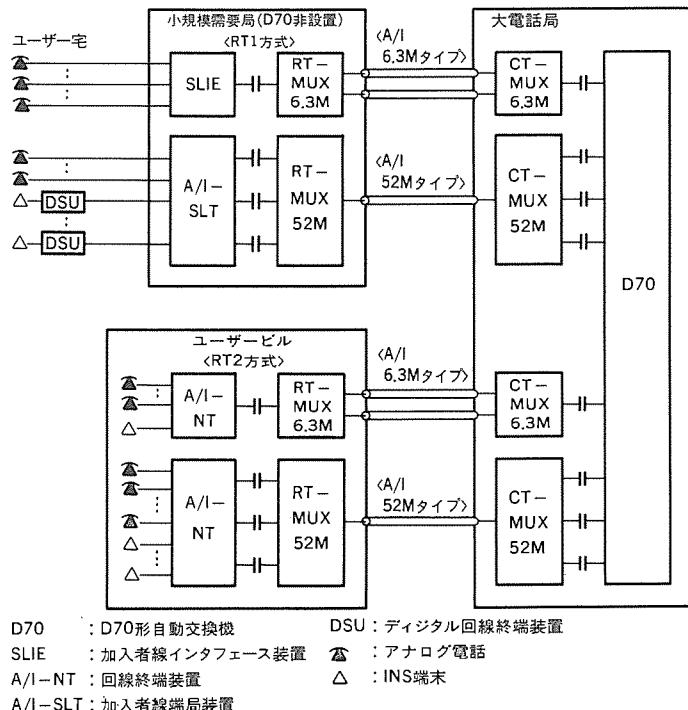


図2. SL-A/I形光加入者線多重伝送方式のシステム構成 (例)

*通信システム研究所 **通信機製作所

このシステムの適用形態としては、RTの設置場所により、2種類に分けられる。

一つは、地方において、小規模需要局や可搬形BOX局に設置されるタイプ(RT 1方式)で、アナログ電話サービスのみを収容する場合は、加入者線インターフェース(SLIE)ユニットが、またアナログ電話と2線式時分割方向制御形伝送方式によるINSネット64サービスを提供するディジタルサービスユニット(DSU)を混在収容する場合は、加入者線端局(A/I-SLT)ユニットが遠隔多重伝送ユニット(RT-MUX)に接続される。

もう一つは、大都市のユーザーのビル内に設置するタイプ(RT 2方式)で、アナログ電話とI.430インターフェース(INSネット64サービスのユーザー・網インターフェース)を収容する場合に、回線終端(A/I-NT)ユニットがRT-MUXに接続される。

また、収容回線数により、1システム当たり最大127回線を収容する小容量タイプ(伝送速度: 6.3Mbps×2本)と、その3倍容量の381回線収容の中容量タイプ(伝送速度: 52Mbps)の2種類がある。この回線数は、アナログ電話のみ収容の場合の数値である。

表1に、開発装置の主要諸元を示す。

表1. SL-A/I形光加入者線多重伝送方式の主要諸元

| 項目 | 内 容 | |
|-------------|---------------------------------|-----------------------------|
| | 小容量タイプ | 中容量タイプ |
| 収容回線種別 | 一般電話(単独、PBX)、公衆電話、共同電話、INSネット64 | |
| RT収容回線数 | 最大127回線/システム (アナログ電話換算) | 最大381回線/システム (アナログ電話換算) |
| 接続交換機 | D70形自動交換機 | |
| 交換機インターフェース | 集線通話路装置インターフェース(4M-HW) | |
| 使用伝送路 | 光ファイバ加入者線伝送路 (6.312Mbps) | 光ファイバ加入者線伝送 (51.840Mbps) |
| 加入者線試験 | RTTST方式又はメタリック試験線延長方式 | |
| 警報転送 | CTTSTにより交換機オペレーションシステムと接続 | |

2.3 A/I 統合加入者線多重伝送の原理⁽¹⁾

SL-A/I形光加入者線多重伝送装置では、アナログ電話サービス(A)とINSネット64サービス(I)を同一の多重伝送路に混在させて伝送する形態をとっている。この方式により、INSネット64サービスの極少数の需要領域における経済的なサービスの提供ができる。

図3に原理図を示す。図は、RT-MUXにAI-SLTが接続された場合(RT 1方式)を示しており、アナログ電話サービスに対応する加入者回路(SLIC)とINSネット64サービスに対応する局内回線終端ユニット(OCU)は、パッケージ(回路基板)互換によりA/Iの混在収容が可能な実装構成がとられている。SLICパッケージは、アナログの電話信号をデジタル信号に変換するA/D変換機能を持っている。このデジタル化された電話信号(64Kbps)と、INSネット64のデジタル信号(64×2+16Kbps=144Kbps: 2B+D)

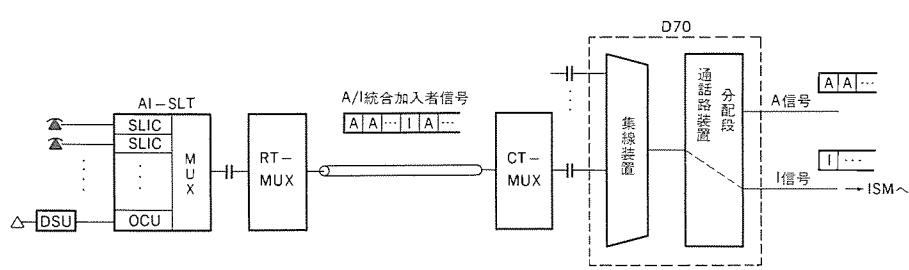


図3. A/I 統合多重伝送の原理

と、それらの付属警報・制御信号を統合的に多重化するもので、16加入分のアナログ電話信号と4加入分のINSネット64信号を置換するように信号フレームのタイムスロットが割り付けられている。多重伝送装置間(CT-MUXとRT-MUX間)では、信号フレーム内の収容信号がAかIかの認識をせずに多重伝送が行われる。

INSネット64サービスの信号は、Iインターフェース加入者系モジュール(ISM)に接続する必要がある。そこで、D70形自動交換機の分配段通話路装置において、ISMへ接続するパスを設定することにより、加入者の収容形態に対応して、アナログ電話信号と混在したINSネット64サービス信号が振り分けられ、ISMに接続される。

3. 装置概要

3.1 小容量タイプ

図4及び図5に、今回開発した6.3M端局多重伝送ユニット(CT-MUX 6.3M)、6.3M遠隔多重伝送ユニット(RT-MUX 6.3M)の外観を示す。

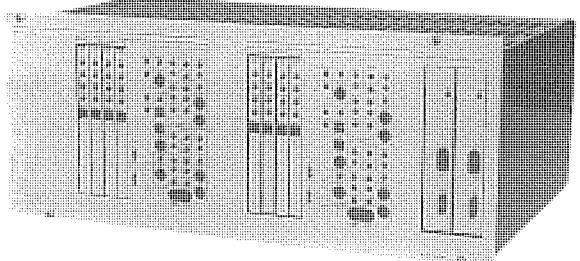


図4. 6.3M端局多重伝送ユニット(CT-MUX 6.3M)の外観

CT-MUXは、集線装置(LCNE)と一つの4M-HW信号インターフェースを持ち、8M加入者伝送路信号(8Mbps×2)に多重化した後、デジタル2次群信号(6.3Mbps×2)にフォーマット変換し、さらに電気/光(E/O)変換を行い、光ファイバ伝送路に接続する。

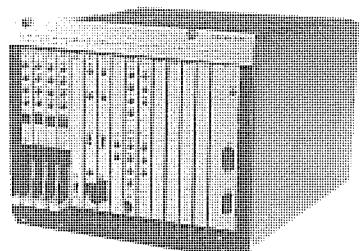


図5. 6.3M遠隔多重伝送ユニット(RT-MUX 6.3M)の外観

RT-MUX 6.3M装置は、方式概要で述べたように、RT 1方式の場合はSLIE又はA/I-SLTと、RT 2方式の場合はSLIE又はA/I-NTと一つの4M-HWインターフェースを持ち、CT-MUXと同様の過程を経て光ファイバ伝送路に接続する。

小容量装置は、既存の局間中継伝送路との接続形態も考慮して、端局中継装置(LT)との同軸ケーブルによる標準の電気インターフェースも用意されている。この電気インターフェースと光インターフェースの変更は、パッケージ交換によって可能である。

3.2 中容量タイプ

図6及び図7に、今回開発した52M端局多重伝送ユニット(CT-MUX 52M)、52M遠隔多重伝送ユニット(RT-MUX 52M)の外観を示す。

CT-MUX 52Mは、LCNEとの4M-HWインターフェースを三つ持

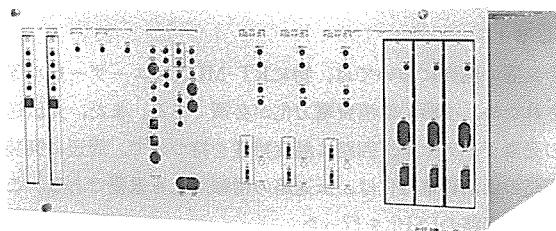


図 6. 52M端局多重传送ユニット (CT-MUX 52M) の外観

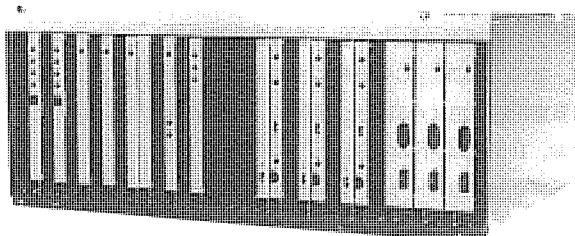


図 7. 52M遠隔多重传送ユニット (RT-MUX 52M) の外観

ち、各々インタフェース信号に対し、8M加入者線多重传送路信号(8 Mbps × 2)への多重化と、デジタル2次群信号(6.3Mbps × 2)へのフォーマット変換を行う。この処理を行う回路は、6.3M装置と共用している。

これらの6本の6.3M信号の多重化フレームは、電信電話技術委員会(TTC)標準のJT-G707~709のSTM-0(Synchronous Transport Module Level-0 : 52Mbps)に準拠している。これは、広帯域ISDNに向けて、中継伝送系で導入が進められている新しい同期デジタルハイアラーキ(SDH)の網・ノードインタフェース(NNI)を構成する中継伝送装置との接続を考慮したものである。

図8に、52M多重化フレームフォーマットを示す。図に示すように、90列バイト×9行で1フレームを構成し、125μs(1/8kHz)周期となっている。網の運用・管理情報を伝送するオーバヘッド(Overhead)と主情報を伝送するペイロード(Payload)と呼ばれる部分から構成されているのが特徴である。

この新しい同期インターフェースに対して、既存のハイアラーキ(多重化階てい(梯))の信号をオクテット多重により、効率的に収容する仮想コンテナ(Virtual Container)と呼ばれる信号の単位が階層的に定義されている。既存ハイアラーキ信号である6.3Mbpsのデジタル2次群信号は、STM-0のフレーム内に7本まで収容できる。

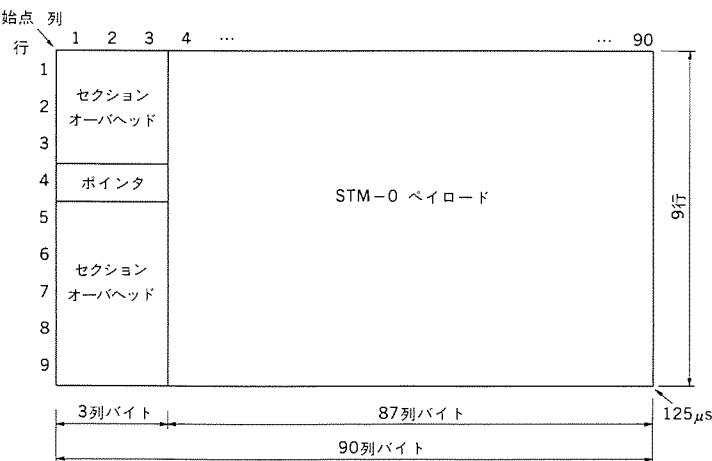


図 8. 52Mbps (STM-0) 多重化フレームフォーマット

この52M多重化信号は、光伝送回路で電気／光変換され、光ファイバ伝送路に接続する。

RT-MUX-52Mでは、6.3M装置と同様に、RT 1方式ではSLIE又はA/I-SLT、RT 2方式ではSLIE又はA/I-NTとの間に三つの4M-HWインターフェースを持ち、CT-MUX 52Mと同様の過程を経て光ファイバ伝送路と接続する。

3.3 キャビネット搭載

今回開発した装置は、いずれも標準のユニット枠に納められており、CT-MUXユニットは、電話局の集線架(LCF)に搭載される。RT-MUXユニットは、ユーザビル等に設置されるため、ユーザビルにおける作業性や保守性を考慮して、新たに開発したRTキャビネットに搭載される。図9に、RTキャビネットの外観を示す。

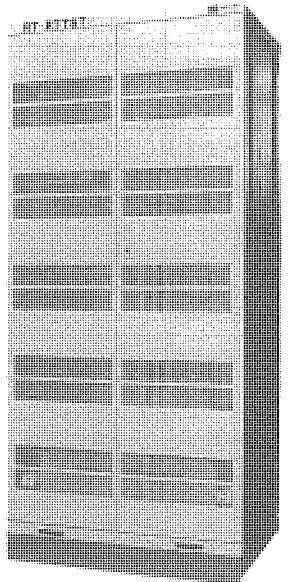


図 9. RTキャビネットの外観

4. 主要回路技術

4.1 光伝送回路⁽⁴⁾⁽⁵⁾

光加入者線多重伝送装置に実装する光伝送回路の開発に当たり、小形・低消費電力化が必須である。また、加入者系における高速・広帯域サービスへの展開を図る上で、シングルモード(SM)光ファイバの使用を前提とするとともに、既に布設されているグレーデッドインデックス(GI)光ファイバにも適用できることが要求される。

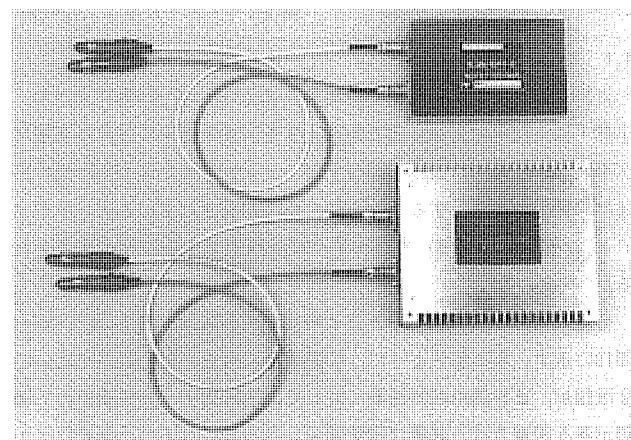
今回開発した光伝送回路モジュールの主要諸元を表2に、外観を図10に示す。表に示すように、伝送速度に対し、6.3Mと52Mbpsの2種類が、また適用区間距離に対して、短区間用と長区間用の2種類が各々用意され、必要な送受間光レベル差に対応した発光レベルと受光レベルが規定されている。光ファイバとしては、これまで中継伝送系で使用されてきた1.3μm零分散シフトSM光ファイバが用いられている。発光素子としては、従来のGI光ファイバの光加入者線伝送で使用されていた発光ダイオード(LED)に代えて、SM光ファイバとの結合効率の良いレーザダイオード(LD)が用いられている。

加入者系は中継系の伝送に比べ、伝送距離が短く、伝送速度も低いので、波長分散による波形劣化が小さいため、発光中心波長のばらつきの許容範囲が広い。また、LDを採用したことにより、送信に必要な発光レベルに余裕があるため、発光レベルにも調整等のばらつきの許容幅を持たせることができる。これらを考慮し、LDの歩留り向上による低コスト化をねらいとした加入者系としての波長・レベル規定がなされている。

受光素子についても、LDの発光レベルが、従来のLEDよりも大きくとれ、損失の小さい1.3μmの波長帯を用いるため、低コストのフォトダイオード(PD)が、52M長区間用を除いて用いられている。52M長区間用では、伝送距離を伸ばすため、高感度のアバランシェフォトダイオード(APD)が用いられる。また、光受信回路設計改善により、最大受光レベルを大きくとれるようにしたため、52M長区間用を除いて、送受直結での伝送を可能として、運用・保守性を

表2. 光伝送回路モジュールの主要諸元

| 名称 | 6.3M光伝送回路モジュール | | 52M光伝送回路モジュール | |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|-------|
| 伝送速度 (Mbps) | 6.312 | | 51.840 | |
| 適用区間 | 短区間用 | 長区間用 | 短区間用 | 長区間用 |
| 伝送路符号 | CMI | | | |
| 光波長 (μm) | 1.3 | | | |
| 光ファイバ | SM形光ファイバ (GI形光ファイバにも適用可) | | | |
| 発光素子 | LD | | | |
| 受光素子 | PD | | APD | |
| 平均発光レベル (dBm) | -19~-10 | -13~-7 | -13~8 | -3~+1 |
| 平均最大受光レベル (dBm) | -11 | | -9 | |
| 平均最小受光レベル (dBm) | -36.8 | | -30.7 | -35.4 |
| 送受間光レベル差 (dB) | 17.8 | 23.8 | 17.7 | 32.4 |
| 伝送可能距離 (km) | 9 | 17 | 9 | 28 |
| 消費電力 (W) | 1 | | 3 | |
| 寸法 (mm) | 54 (幅) × 81.5 (長) × 8.9 (厚) | 85 (幅) × 100 (長) × 8.9 (厚) | | |

図10. 光伝送回路モジュールの外観
(上: 6.3Mbps, 下: 52Mbps)

向上させている。

回路構成は、送受一体として、シールドを兼ねた金属ケースに納めてコネクタピンにより回路基板と電気的接続をする小形、薄形のモジュール構造とした。寸法は、短区間用と長区間用の互換性を考慮して同一寸法とし、6.3Mと52Mの2種類に集約した。

光伝送回路モジュールの光入出力は、図10に示すように先端に光コネクタのついた光ファイバ（ピグテール）により、光加入者線伝送路と接続されるが、送信側のピグテールはSM光ファイバ、受信側はGI光ファイバが用いられている。コア径の小さいSM光ファイバから、コア径の大きいGI光ファイバに光信号が送出される場合には、低損失での結合が可能であり、逆は不可であることから、上述のようなピグテール光ファイバの構成をとることにより、新しく布設されたSM光ファイバの光加入者線伝送路はもとより、既存のGI光ファイバ伝送路への適用も可能となる。

また、小形低消費電力化を図るために、光送受信のアナログ回路と伝送路符号化（CMI: Coded Mark Inversion）回路などの主要機能をすべてIC化した結果、6.3Mで1W、52Mで3Wと低消費電力化

が実現できた。

4.2 LSI

この装置の開発においては、特にRT-MUXはユーザーピル等に設置されたため、小形、低消費電力化が必須である。また、光伝送回路内の光素子やアナログ回路は温度特性を持つので、周辺に実装される回路の低消費電力化は、伝送路の信頼度上も重要である。このため、主要回路のLSI化を行った。

特に、高速信号を扱う52M装置では、高速動作特性は良好だが、消費電力の大きいECL (Emitter Coupled Logic) 回路の使用を極力避け、消費電力の小さいCMOSプロセスのゲートアレーLSIを並列並列による低速度で動作させ、高速動作が必要な部分にのみ高速TTL IC及びECL ICを適用して低消費電力化を図った。表3に、52M多重化処理用に今回新たに開発したLSIのリストを示す。

なお、10MHz以下の低速ロジック回路についても、既開発のCMOSプロセスのゲートアレーLSIやMSIを多用して低消費電力化を図っている。

表3. 52M多重化処理LSI

| 形名 | 機能 | プロセス |
|--------------|-----------------------|------|
| M60035-0124S | 8M局内信号/TUG-21フォーマット変換 | CMOS |
| M60037-0154S | TUG-21/8M局内信号フォーマット変換 | |
| M60032-0120S | TUG-21/VC-32多重/分離 | |
| M60032-0121S | STM-0 SOH発生・挿入 | |
| M60035-0125S | STM-0 SOH終端・分離 | |

注 TUG-21: Tributary Unit Group-21 STM-0: Synchronous Transport Module Level-0
VC-32: Virtual Container-32 SOH: Section Overhead

5. むすび

ここに紹介したSL-A/I形光加入者線多重伝送装置は、既に幾つかの電話局やユーザーピル等に設置され、順調に稼働しており、アナログ電話サービスにおける加入者ネットワークコストの低減に大きく寄与していくものと期待される。今後、更に小形化、低消費電力化、経済化を図る必要があり、NTTの御指導のもと、鋭意尽力していく所存である。

最後に、日ごろから多大なる御指導を賜わる、NTTネットワークシステム開発センターの関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 高島：光加入者ネットワーク、NTT R&D (1989-4)
- 部谷：公衆通信ネットワークにおける加入者線多重伝送方式、三菱電機技報、64, No.2 (1990)
- 露木ほか：加入者線の光ケーブル化を促進する電話CT/RT、NTT技術ジャーナル (1989-9)
- 土屋ほか：SM形ファイバにも適用可能な新しい加入者系光伝送回路、NTT技術ジャーナル (1989-7)
- 川瀬ほか：光加入者方式のキーテクノロジー、NTT技術ジャーナル (1989-9)

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 匡* 福市朋弘* 梅崎光政*

1. まえがき

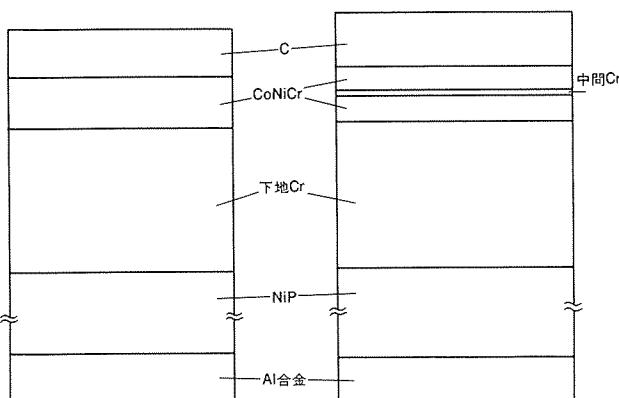
CoNiCr/Crスパッタ媒体は、磁気特性と耐食性に優れ、従来の塗布型媒体に代わる高密度記録媒体として研究開発が行われている。近年では、これを搭載した固定磁気ディスク装置が製品化されている。しかし、CoNiCr/Crスパッタ媒体は、 γ -Fe₂O₃スパッタ媒体等に比較して媒体ノイズが大きいことが知られている。今後、CoNiCr/Crスパッタ媒体で、高密度記録を進める上では媒体ノイズの低減によるSN比の改善が必要である。

当社材料研究所では、CoNiCr/Crスパッタ媒体の作製条件と媒体ノイズとの関係を詳細に検討し、CoNiCr磁性層をCr中間層で分割した積層構造になると、媒体ノイズが低減して高いSN比が得られることを見出した。

本稿では、積層型媒体の高密度記録特性を中心に、高密度記録達成のために開発された技術について述べる。また、開発された狭トラック薄膜磁気ヘッドとの組合せにより、3.5"径ディスクで面記録密度120Mbits/in²という高密度記録を達成できたので、その結果も併せて報告する。

2. 媒体構成

図1に従来のCoNiCr/Crスパッタ媒体と今回開発した積層型媒体の構造を示す。通常型では、基板側から順にNi-P層、Cr下地層、CoNiCr磁性層、C保護層となっている。一方、積層型では、下地Cr層までの構成は通常型と同様であるが、磁性層は複数のCoNiCr層から構成されており、Cr中間層が各CoNiCr層を隔てている。このCr中間層は、非磁性層で記録機能を持たないが、各CoNiCr層を分離することで媒体ノイズを低減する役割を果たす。今回、2~4層を積層することで、積層数が記録再生特性に与える影響を検討した。また、2層に分割した場合の各CoNiCr層の分割比についても検討した。



(a) 通常型

(b) 積層型（積層数2の場合）

図1. CoNiCr/Crスパッタ媒体の構造

3. 工程概要

図2に媒体の製造工程の概要を示す。

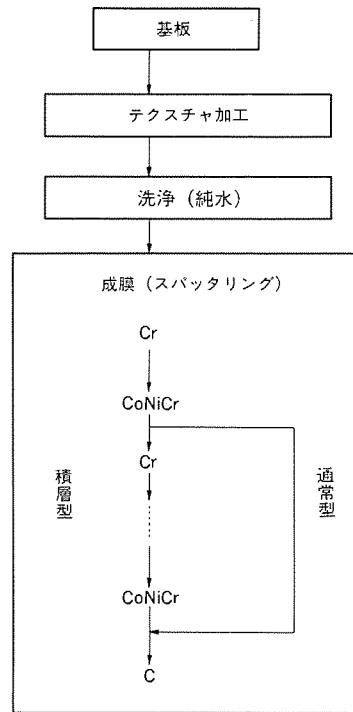


図2. 媒体製造工程

3.1 基板

基板は、①機械的強度、②表面平たん性が要求される。このため、Ni-PめっきされたAl-Mg合金を用いた。Ni-Pめっき処理によって表面硬度が改善され、磁気ヘッドの衝撃に耐えるようになる。Ni-Pめっき層は、室温では非磁性であり、基板加熱によって磁性を帯びるが、その温度は約280°C以上であり、今回の成膜条件(200°C)よりも高く、媒体特性上問題はない。

基板は、後述するテクスチャ加工をより効果的とするため、ポリッシュ加工されたものを用いた。

3.2 テクスチャ加工

表面研磨加工によって、基板表面に精密で微細な凹凸をほぼ同心円状に作る技術である。

固定磁気ディスク装置では、通常、起動/停止時に磁気ヘッドと媒体が接触している、いわゆるCSS (Contact Start Stop) 方式を採用する。しかし、この方式には特に起動時における磁気ヘッドと媒体との吸着現象が問題であった。

そこで、基板表面にあらかじめ微細な凹凸を形成しておき、磁性層等成膜後においても、その表面に同様な凹凸を生じさせることによって、この吸着現象を避ける技術を開発した。

さらにまた、CoNiCr/Crスパッタ媒体のように数層で構成される場合には、一般に基板が一方向に進みつつ成膜されるインライン方式と呼ばれるスパッタ技術が用いられる。テクスチャ加工された基板を用いれば、媒体のトラック方向(円周方向)の磁気特性を均一化するという効果をも生む。

テクスチャ加工は、回転中の基板に研磨テープを当てることで行われるが、基板の面粗さ、粗さのパターン等は、後の磁気特性、CSS特性等に大きな影響を及ぼすので、精密に制御される。

3.3 洗浄

後述する成膜時における欠陥低減、密着性の不良等を抑えるため、洗浄技術は磁気ディスク製造工程において基幹的な技術である。標準的な洗浄技術が確立された半導体製造工程の場合とは異なり、めっき処理、テクスチャ加工等が行われた表面を清浄にするためには、新たな技術を確立する必要がある。今回、環境対策として、フロンを用いず純水のみによる洗浄技術を開発し、欠陥検査及び磁気特性測定で良好な結果を得ている。

3.4 スパッタリング

図1に示したNi-Pめっき層以上は、すべてDCマグネットロンスパッタリングで成膜した。成膜はインライン方式により、真空を破ることなく全層を成膜した。スパッタガスにはArを用いた。

下地Cr層は、CoNiCr層の磁気特性を整えるための配向調整の役割を担い、Cr層が厚いほどCoNiCr層の保磁力 H_c は増大する。今回の実験では、一律に2,000Åとした。

CoNiCr層は、Co62.5-Ni30-Cr7.5 at%組成のターゲットを用いて成膜した。磁気特性、記録再生特性は成膜条件に依存しており、例えばスパッタ時のArガス圧を高めると、ノイズは低減する傾向にある。また、基板温度を高めると、 H_c は増大する傾向にある。今回は、それぞれ30mTorr、200°Cで成膜した。

積層型媒体を作製する場合には、再度Crを100~200Åスパッタし、さらにCoNiCr層を成膜する。つまり、CoNiCr層をn層にする場合には、(n-1)層の中間Cr層を付ける必要がある。

媒体の最上層に付けられるC層は、媒体表面をヘッドとのCSSの衝撃から守るため、ある程度厚い方がよい。しかし一方、記録再生特性からは、ヘッドとCoNiCr層の間隔は狭いほうがよく、その膜厚は両方を考えて決めなければならない。今回は300~400Åとした。

4. 機械的特性

一般に高い記録密度を得るには、ヘッドと磁性層との間隔、いわゆるスペーシングを小さくしなければならない。つまり、ヘッドを載せたスライダの浮上量を小さくしなければならない。しかし、浮上量を下げるには、機械的特性上大きな困難がある。ある高さ以上の突起があればスライダは墜落し、逆にテクスチャ加工で表面を粗しておかなければCSSで吸着現象を示す。そこで、高密度記録には基板表面処理の精密な技術が必要となる。これらの技術開発で、今回の実験ではスライダ浮上量0.14μm以下で測定を行うことができた。

5. 電気的・磁気的特性

装置の記憶容量の大容量化に伴い、磁気記録媒体に要求される面記録密度は、増大の一途をたどっている。面記録密度を増大させるためには、線記録密度を大きくし(高BPI化)、またトラック密度も大きくしなければならない(高TPI化)。

高BPI化のためには、記録周波数を高く(記録波長を短く)しなければならない。しかし、金属薄膜型媒体ではよく知られているように、記録周波数を高くするほど媒体ノイズは増大し、媒体のSN比が劣化してしまう。これを避けるには、CoNiCr層を薄くしてノイズを低減させねばよいが、信号出力自体も低下してしまいよくない。また、信号出力はトラック幅に比例し、ノイズはトラック幅の平方根に比例し、その結果SN比はトラック幅の平方根に比例するので、単純に高TPI化を図るとSN比は劣化する。そこで、面記録密度を増大させるためには、信号出力を低下させずにノイズのみ低減した媒

表1. ヘッド・媒体の諸元

| | | | |
|------|---------|------------------------|-------------------------|
| ヘッド: | ギャップ長 | 0.3μm | 体が要求される。 |
| | コア幅 | 17μm | 金属薄膜媒体のノイズの発生機構 |
| | ターン数 | 48 | は、のこぎり(鋸) |
| | 浮上量 | 0.14μm (3.5"ディスク内周) | 歯状磁化転移領域によるものであ |
| 媒体: | C厚 | 400Å | り ⁽¹⁾ 、二次元平面 |
| | CoNiCr厚 | 総厚500Å | 上の磁性粒子間の |
| | 下地Cr厚 | 2,000Å | 磁気的結合が低い |
| | 回転数 | 3,600rpm | ほど、媒体ノイズが低減されること |

がシミュレーションで示唆されている⁽²⁾。そこで、媒体ノイズを抑えるためには、薄いCoNiCr層のように磁性粒子間の結合が小さい磁性層を全層にわたって形成すればよいと考え、CoNiCr層を非磁性の中間Cr層で分割する積層型媒体について検討した。

静磁気特性の評価は、振動試料型磁力計(VSM)により、また記録再生特性の評価は薄膜磁気ヘッドを用い、3.5"ディスク内周において33kfrpi(2/7 RLLCで50kbpi)の記録密度で行った。(ただし、O/Wは外周で評価)。後述する120Mbits/in²の場合を除き、表1に示す諸元のものを用いた。

5.1 積層数の影響

厚み方向の結合を分離することで、媒体ノイズが低減するならば、その分割の数を多くするほど大きく低減されると考えられる。そこで、CoNiCr層の総厚を500Å一定としたまま、これを2~4に等分割し、それぞれの間には中間Cr層を100Åずつ挟んだ媒体を作製して評価した。

図3に静磁気特性を、図4に記録再生特性を示す。積層数の增加とともに H_c が増大する。その厚みが薄いほど H_c が増大するというCoNiCrの性質が現れたものである。残留磁束 B_{rs} の減少及び角型比Sがほとんど変わらないことから、飽和磁束密度 B_s が低下していくことが分かる。中間Cr層が、CoNiCr層へ拡散していくことも考えられるが、原因は明らかではない。保磁力角型比 S^* は低下していく。

CoNiCr層の総厚は、等しいのに積層数が増すと信号出力は減少する。これは、積層による B_{rs} の減少の効果だけでなく、Cr中間層を挟んだことでスペーシングが増加したことによる原因と考えられる。O/Wの若干の低下も、 H_c の増加のほかに、この理由によるものと考えられる。分解能(2/7 RLLC相当)は、ほとんど影響を受けていない。積層数の影響を大きく受けているのが、媒体ノイズ N_m と媒体の信号対ノイズ比 SNR_m である。ここで、ノイズの帯域は(DC~書き込み周波数の2.5倍)とし、 N_m 、 SNR_m は次式により求めた。

$$N_m = \sqrt{N_t^2 - N_h^2 - N_a^2}$$

$$SNR_m = 20 \times \log (V_{2F} / N_m)$$

ただし、 N_t :システム全体のノイズ

N_h :ヘッドノイズ

N_a :機器ノイズ

V_{2F} :33kFCI(50kbpi)での信号出力(0-P)

積層数の増加とともに N_m は減少し、 S^* と同様の傾向を示す。 S^* が小さいと、媒体ノイズも小さくなることはCo-P媒体等で既に報告されており⁽³⁾、積層構造とすることで低ノイズ媒体が得られることが分かる。2層に分割するだけで SNR_m は、4dB、4層に分割すると10dBも改善される。

2層に分割しただけでも積層型媒体の長所が確認できたので、以

下積層数 2 の場合に対して行った検討結果を報告する。

5.2 Cr中間層厚の影響

Cr中間層の厚さは、CoNiCr層間の磁気的結合を分離するために厚い方が望ましく、スペーシングの効果を考えると薄い方が望ましい。そこで、分離に必要なCr中間層の厚さについて検討した。250ÅのCoNiCr層を2層に積層した構造において、Cr中間層は100~500Åとした。

図5に静磁気特性を、図6に記録再生特性を示す。図中“Cr中間層 0 Å”とは従来の(非積層の)媒体を指す。

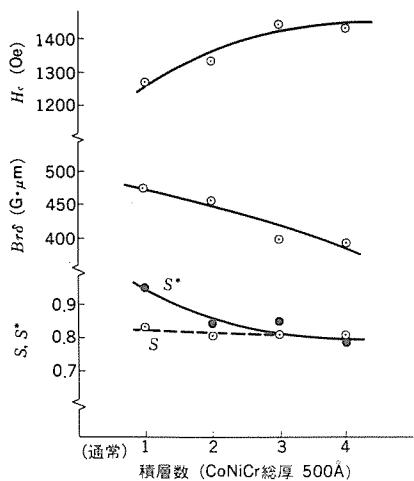


図3. 静磁気特性の積層数依存性

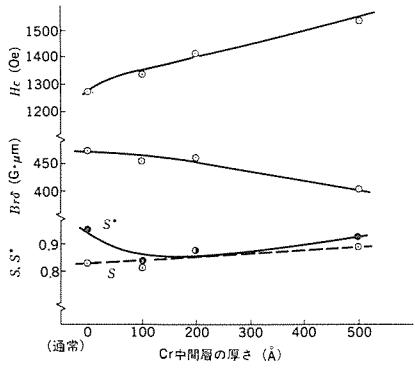


図5. 静磁気特性のCr中間層依存性

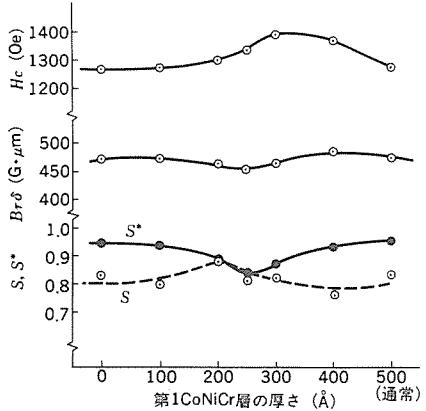


図7. 静磁気特性の分割比依存性

H_c は、Cr中間層増加とともに増大しており、分離された間隔が大きくなるにつれ、その値は单層の250ÅのCoNiCr層の値(約1,550 Oe)に近づいていく。また、前項と同様に $B_{r\delta}$ の減少及び S の増加から、 B_s が低下していくことが分かる。 S^* は、Cr中間層が100Åのとき極小値となる。

記録再生特性では、Cr中間層がスペーシングとして効くため、 V_{2F} の低下も大きく、 N_m の低下にもかかわらず SNR_m は、Cr中間層を厚くしても改善されない。つまり、Cr中間層は100Å程度が適当であることが分かる。

5.3 分割比の影響

Cr中間層を100Åとし、CoNiCr層の総厚を500Åとした場合に、積層する2層の厚さの比による影響について検討した。

図7に静磁気特性を、図8に記録再生特性を示した。図中横軸には、下地Cr層の直ぐ上に設けたCoNiCr層(第1CoNiCr層)の厚さをとってある。総厚を500Åとしたので、中間Cr層100Åの直ぐ上に設けたCoNiCr層(第2CoNiCr層)の厚さは、500Åからこの厚さを引いた値となる。横軸上0Å、500Åは、従来の媒体を指し、特性の対称性が分かりやすいように両端に示した。

H_c は、第2CoNiCr層よりも第1CoNiCr層の方が、やや大きな領域で最大値をとる。直ぐ下にあるCr層の厚さの違いによるものである。 S^* は、第1CoNiCr層と第2CoNiCr層の厚さが等しい場合、つまり等分割の場合に最小値をとり、対称性を示す。

記録再生特性でも対称性を示し、 N_m の低下が頭著であるために V_{2F} の低下にもかかわらず、 SNR_m は等分割の場合に最大値をとる。

等分割の場合に、 N_m が最小値をとる理由は、次のように考えられる。中間Cr層の存在により、第1CoNiCr層と第2CoNiCr層がそれぞれ独立のノイズ源であるとする、 N_m は各々のノイズ N_1 、 N_2 で合成される。 N_1 、 N_2 は、各CoNiCr層の厚さ d_1 、 d_2 に依

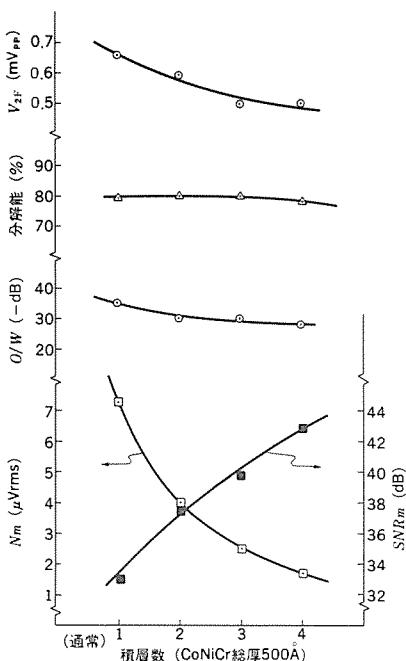


図4. 積層数と記録再生特性の関係

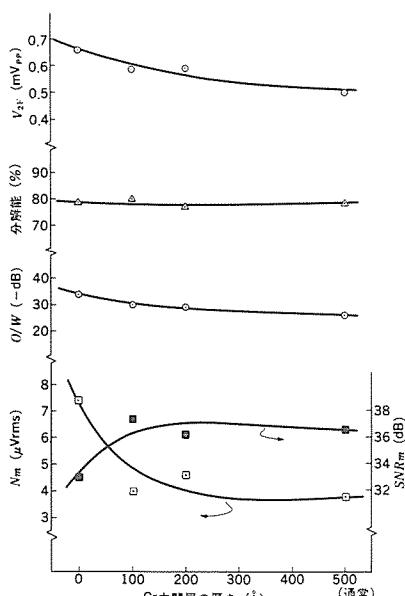


図6. Cr中間層と記録再生特性の関係

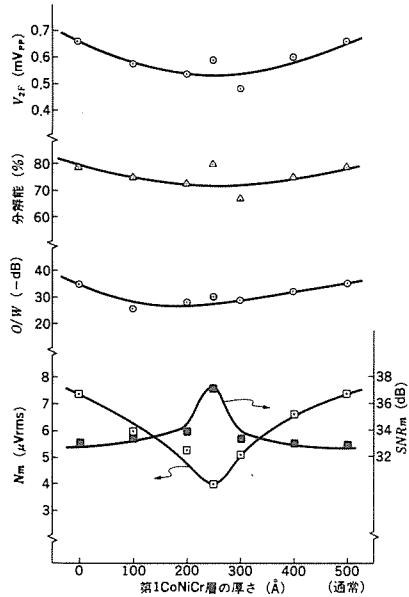


図8. 分割比と記録再生特性の関係

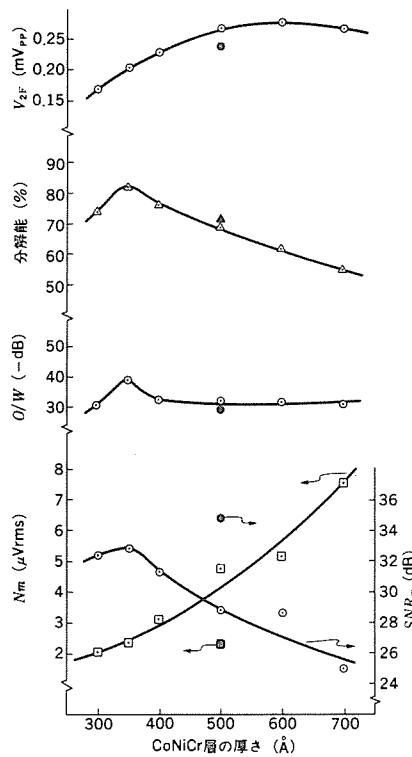


図10. 120Mbits/in²での記録再生特性

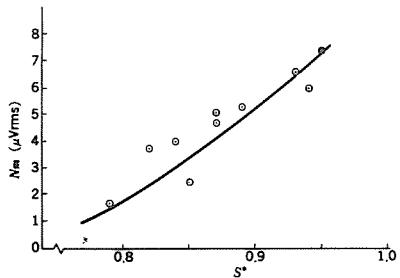


図9. 媒体ノイズとS*の関係(CoNiCr総厚500Å)

存し、

$$N_m = \sqrt{N_1^2 + N_2^2} \propto \sqrt{d_1^n + d_2^n}$$

$$\propto \sqrt{x^n + (1-x)^n} \quad (0 \leq x \leq 1)$$

の形で表される。この式を計算して、等分割の場合にN_mが最小値となることが分かる。

5.4 S*とノイズの関係

5.1～5.3節で検討した媒体のS*とノイズの関係を図9に示す(黒点が非積層の通常の媒体)。積層化でS*が低減した媒体は、ノイズが高い。このことから、積層構造とすることにより、各CoNiCr層のS*を低下させ、低ノイズ化に効果的であることが分かる。

6. 120Mbits/in²高密度記録

積層構造とすることにより、低ノイズ媒体が得られたので、従来よりも面記録密度を高くすることが可能である。

図10に非積層の通常のCoNiCr/Crスパッタ媒体の、記録再生特性とCoNiCr層厚さの関係を示した。開発した狭トラック薄膜ヘッ

表2. ヘッド・媒体の諸元(120Mbits/in²)

| | | |
|------|---------|-------------------------|
| ヘッド: | ギャップ長 | 0.6 μm |
| | コア幅 | 7.5 μm |
| | ターン数 | 48 |
| | 浮上量 | 0.14 μm (3.5"ディスク内周) |
| 媒体: | C厚 | 300 Å |
| | CoNiCr厚 | 300～700 Å |
| | 下地Cr厚 | 2,000 Å |
| | 回転数 | 3,600 rpm |

ドを用いて表2の条件で測定した。トラック幅は2,400TPIに対応し、線記録密度50kbp/in²と併せて120Mbits/in²に相当する。V_{2F}とN_mは、CoNiCr層厚增加に伴い増加し、SNR_mは両者のカーブの差異のためCoNiCr層厚350 Åで極大値をとる。

一方、250 ÅのCoNiCr層を2層に積層した媒体(Cr中間層100 Å)の結果を、同図中(CoNiCr層厚500 Å)に黒点で示した。N_mは、CoNiCr層厚350 Åの媒体と同じだが、V_{2F}がそれより大きいのでSNR_mは、約2 dB改善されている。分解能O/W共に十分であり、積層型媒体が120Mbits/in²という高密度記録において有望であるといえる。

7. むすび

CoNiCr/Crスパッタ媒体において、作製条件と媒体ノイズとの関係を詳細に検討した結果、CoNiCr磁性層をCr中間層で分割した積層型構造とすることによって媒体ノイズが低減し、高いSN比を得ることができることを見出しこの構造が

高密度記録に対して有望であることが分かった。狭トラック薄膜ヘッドとの組合せにより、面記録密度120Mbits/in²の可能性が得られ、今後更に高性能のヘッドとの組合せにより、より高い記録密度を達成する見通しが得られた。

参考文献

- 田中ほか：メキシ磁気ディスクの媒体ノイズ、電子通信学会技術報告MR-20 (1980)
- Jian-Gang Zhu and H. Neal Bertram : Recording and Transition Noise Simulation in Thin Film Media, IEEE Trans. on Mag., MAG-24, No. 6, 2706 (1988)
- B.R. Natarajan and E.S. Murdock : Magnetic and Recording Properties of Sputtered Co-P/Cr Thin Film Media, IEEE Trans. on Mag., Mag-24, No. 6, 2724 (1988)

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* 水見基治** 原田 努* 片山隆男*

1. まえがき

1988年秋に発売開始した三菱エンジニアリング ワークステーション “MEシリーズ” (ME100/200/400) は、社内外の各分野で使われ好評を得ている。

従来ミニコンピュータや汎用機等で処理されてきた数値演算処理や、またグラフィックスと結び付いたCAD等のエンジニアリング支援業務が、マイクロプロセッサの性能向上によって従来にも増しますますワークステーション(WS)，エンジニアリング ワークステーション(EWS)に移行してきている。

この分野で要求される性能を実現するために、FPA (Floating Point Accelerator: 以下、FPAと記す。) の接続と、それをサポートするコンパイラの搭載を “MEシリーズ” に実施した。

そこで、本稿ではFPAを搭載した新モデル“ME200FX/400FX”とその性能を最大限にサポートするカーネル(OS)，最適化コンパイラについてその特長及び性能を紹介する(図1)。

2. 概要

“ME200FX/400FX”は、最適化コンパイラとの組合せにより、従来の2倍の浮動小数点演算性能を発揮させる最新のアーキテクチャを採用している。単精度/倍精度ともIEEE754Ver.10.0のデータ形式に準拠、加算・減算・乗算・除算・平方根演算などをハードウェアで高速実行する。ボードは、基本処理装置に実装可能な8cm×9cmの小型サイズなので、省スペース、低消費電力が図られている。また、データ転送はライト時2クロック、リード時5クロックの高速化を実現している。最適化コンパイラは、広域レジスタ割付、定数伝ば(播)、共通部分式の削除、ループ外への不变式移動などを盛り込んでいる。

これらの最適化技術は、FORTRAN, C, PASCALに盛り込まれ、FPAをサポートしている。FORTRAN言語仕様は、ANSI77規格準拠、VAX/VMSの拡張機能をサポート、CはAT&TとBSDの拡張言語仕様をサポート、PASCALはANSI規格準拠でありBSD拡張機能をサポートしている。

3. ハードウェア

“ME200FX/400FX”は、浮動小数点数値を高速に演算するプロセッサ(FPA)を備えている。このFPAは、過去の実績及びFPAに対するコンパイラやライブラリが整備されていること等の理由により、米国Weitek社のWTL3168-BRDを採用した。

従来機種は、Motorola社の浮動小数点演算プロセッサ(Floating Point Processor: 以下、FPPと記す。)MC68881/2を標準装備している。“ME200FX/400FX”では、ソフトウェア資産の継承、上位互換性をとるためFPAとFPPを共存させている。

以下、このFPAとシステム インタフェースの特長を述べる。

3.1 WTL3168-BRD

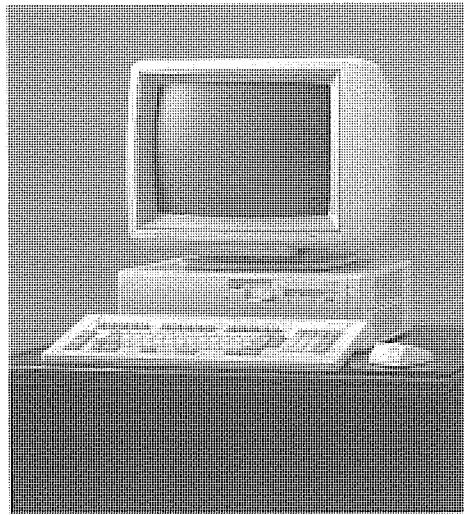


図1.“ME200FX”的外観

表1. WTL3168-BRDとMC68881/2との演算(関数)機能の違い

| WTL3168-BRD (FPA) | MC68881/2 (FPP) |
|----------------------|-------------------------|
| +,-,×,÷,√ | +,-,×,÷,√ |
| 累積乗算 | sin,cos,tan sin,cos同時計算 |
| 整数-浮動小数点変換 | mod sinh,cosh,tanh |
| 整数化 | asin,acos,atan,atanh |
| 絶対値 | 絶対値 exp,ln,log10,log2 |
| 比較 | 比較 10のべき乗,2のべき乗 |

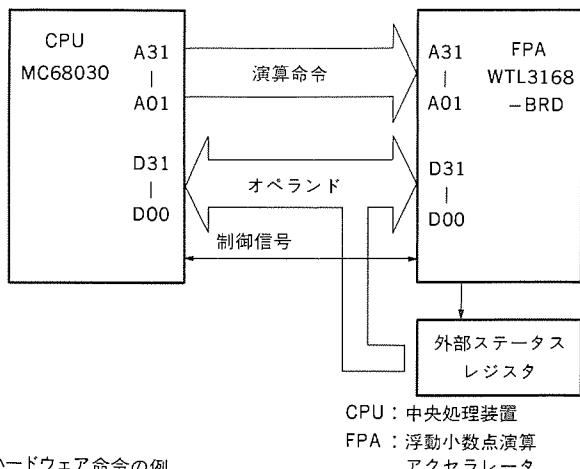
表2. 浮動小数点演算性能

| 命令のタイプ | CLOCK数 | | | | | | 性能比 FPA/FPP (MC68882) 【倍】 | |
|-----------|------------------|-----|--------------|-----|---------------|-----|------------------------------------|-----|
| | WTL3168-BRD(FPA) | | MC68881(FPP) | | MC68882(FPP)* | | | |
| | 単精度 | 倍精度 | 単精度 | 倍精度 | 単精度 | 倍精度 | | |
| ADD,SUB | 6 | 6 | 72 | 78 | 69 | 75 | 12 | 13 |
| MUL | 6 | 10 | 92 | 98 | 89 | 95 | 15 | 9.5 |
| DIV | 38 | 66 | 124 | 130 | 121 | 127 | 3.2 | 1.9 |
| SQRT | 60 | 118 | 126 | 132 | 123 | 129 | 2.1 | 1.1 |
| MAC(累積乗算) | 12 | 16 | — | — | — | — | — | — |

注 * MC68882は演算命令の並列処理が可能。

このFPAの内部アーキテクチャは、31個の単精度レジスタ又は15個の倍精度レジスタ(隣り合う二つの単精度レジスタを一つの倍精度レジスタとする。)及び一つのプロセス コンテキストレジスタを持ち、浮動小数点演算形式はANSI IEEE-754に準拠している。FPPとの関数の違い、及び最大の特長である高速演算性能を表1と表2に示す。

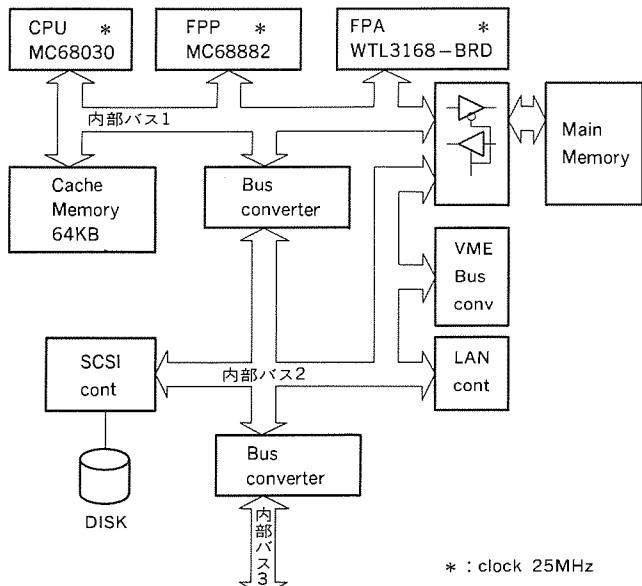
表1に示すように、FPAには三角関数が存在しないため、ソフトウェアでサポートしている。また、表2においてFPAの性能はFPP



ハードウェア命令の例

MOV.L & 0xF0008420, %A0 データバスの値をWS8 (FPA内部レジスタ8) にストアする命令をA0 (CPUのアドレスレジスタ0) にロードする。
MOV.L %D0, (%A0) A0にロードした命令を実行する。つまり, DO (CPUのデータレジスタ0) の値をWS8に転送する。
MOV.L %D1, 0xF0000020 WS8とD1 (CPUのデータレジスタ1) の加算を実行し, 結果をWS8に格納する。

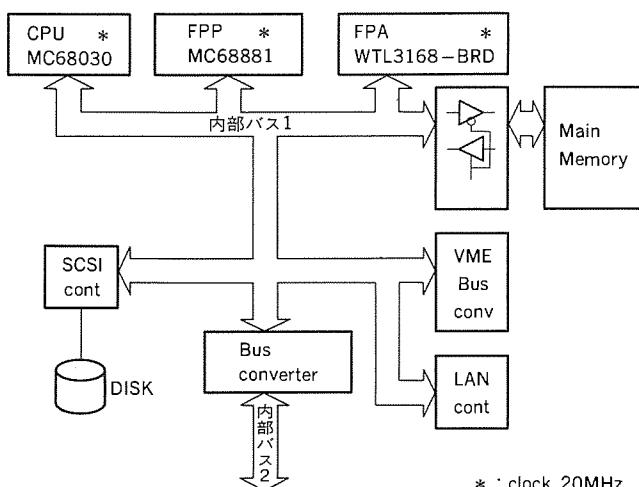
図2. FPAへの命令の与え方



CPU : 中央処理装置
FPP : 浮動小数点演算装置
FPA : 浮動小数点演算アクセラレータ
Main Memory : 主記憶
Cache Memory : キャッシュメモリ

Bus converter : 内部バス変換器
VME Bus conv : VMEバス変換器
SCSI cont : SCSI制御装置
LAN cont : LAN制御装置
DISK : 磁気ディスク装置

図4. "ME400FX" のシステムブロック図



CPU : 中央処理装置
FPP : 浮動小数点演算装置
FPA : 浮動小数点演算アクセラレータ
Main Memory : 主記憶

SCSI cont : SCSI制御装置
VME Bus conv : VMEバス変換器
Bus converter : 内部バス変換器
LAN cont : LAN制御装置
DISK : 磁気ディスク装置

図3. "ME200FX" のシステムブロック図

の2倍以上で、特に乗算及び加減算が高速化されている。

3.2 システム インタフェース

WTL3168-BRDは、各命令をシステムのメモリ空間に割り当てて、アクセスをするインターフェース（メモリマップI/O）となつておらず、メモリ空間の最後部（F000000H～F3FFFFFFH）に割り付けている。演算命令をアドレスバスで、オペランドをデータバスで同時にFPAへ渡すことにより、高速アクセスが可能である（図2）。

これらの高速アクセス性能を生かすため、FPAはCPU（MC68030）と直結するバスに接続されている（図3及び図4）。さらに、

データ転送はCPUの同期転送機能を用い、最小サイクルである2サイクルでFPAへのライトが終了するよう実現した（FPAからのリードは最小5サイクル）。転送制御は、FPAに内蔵されている命令キー（7レベルを持つ。）が一杯になったとき、これ以上命令を受け付けられないことを示すための信号、及び演算が終了してFPA内蔵レジスタに格納された結果を読み取れることを示す信号の二つの信号を用いて行う。

次にプロセス切替えが発生したときのFPA内部レジスタの退避方式を述べる。複数のプロセスが一つのFPAを使用する場合、内部レジスタファイルの退避が必要になる。この退避制御の情報として、FPAステータスレジスタを用意した。このFPAステータスレジスタの内容は、FPAの物理的存在とFPAへのデータライトが行われたかを示すフラグである。OS（Operating System）はプロセス切替えが発生した場合、このフラグを調べ、フラグが立っていれば内部レジスタの退避を行い、フラグが立っていない場合は退避を行わない。このようにすることで、オーバヘッドを減らせるようにしている。

3.3 実装方法

FPAはデータボード形式となっており、“ME200FX/400FX”的CPUボード上に実装できる。データボードとCPUボードとは、CPUボード上にある112ピンPGA専用ソケットによって接続される。データボードは、約9cm×8cmのコンパクトなものであり、実装したときの高さはVME規格（“MEシリーズ”的なボードはVME規格準拠）を越えないようになっている。このように、CPUボード上に実装できるため空きスロットが占有されることなく、省スペースを実現している。

なお、従来の“ME200/400”に対しては、浮動小数点演算アクセラレータアップグレードキットを用意し、“ME200FX/400FX”へのアップグレードが可能である。

4. ソフトウェア

“ME200FX／400FX”は浮動小数点演算を高速に演算するプロセッサFPAと浮動小数点プロセッサFPPを備えている。以下に、二つのプロセッサFPA, FPPを高速実行可能とするソフトウェア(OS(カーネル), コンパイラ)の特長, FPA用サービスユーティリティの特長を述べる。

4.1 カーネル

“MEシリーズ”のソフトウェアがFPAを使えるようにするために、カーネルでは主に以下に示す処理を行っている。

(1) FPAの有無の判断

(2) FPAの初期化

(3) プロセスのコンテキストスイッチ時のFPAレジスタのセーブ／リストア処理

一度FPAを使用したプロセスは、それ以降コンテキストスイッチのたびに、FPAレジスタのセーブ・リストアを行うようにしている。

(4) FPAの演算例外処理

FPAからの割込みを受けると、FPAの状態をみてそれに相当した情報とともにシグナルをプロセスに送る。

これらに加え、処理時間の長いFPA命令に対する処理やプロセスの終了時のFPAレジスタ関係の処理等を行うことにより、アプリケーションプログラムからFPAを使用できるようにしている。

4.2 コンパイラ

“ME200FX／400FX”では、FPAのオブジェクト生成機能と高度な最適化機能を持ったC, FORTRAN及びPASCALコンパイラ(米国Green Hills Software, Inc.)を新たにサポートしている。

4.2.1 言語仕様

各コンパイラの言語仕様は、“ME1000”及び“MEシリーズ”はもとよりBSDユーザーソースプログラムの移植を十分考慮してある。

(1) Cコンパイラの言語仕様は、Kernighan & Ritchieの“The C Program Language”+4.2BSDのポータブルCコンパイラ(pcc)の定義をベースに、AT&TとBSDの拡張言語仕様をサポートしている。

(2) FORTRANコンパイラの言語仕様は、ANSI FORTRAN-77(フルセット)をベースに、DOD MIL Std 1753(米国国防省標準1753)とVAX/VMS FORTRAN拡張言語仕様をサポートしている。

(3) PASCALコンパイラの言語仕様は、ANSI標準とISOレベル0をベースに、BSDの拡張言語仕様をサポートしている。

4.2.2 操作仕様

操作仕様は、“ME1000”及び“MEシリーズ”的AT&T UNIXコンパイラと100%上位互換であり、make及びshファイルの互換性が保たれている。追加オプションとして、FPA用のオブジェクトを生成するためのオプション“-ffpa”が提供されている。

4.2.3 コンパイラの構成

最適化コンパイラは、それぞれ1パス(パスの定義は、プロセス[ロード・モジュール]を意味する。)で、言語に依存するフロントエンドと各言語共通のオプティマイザ、コード生成部から構成されている(図5)。

4.2.4 最適化機能

C, FORTRAN及びPASCALの各コンパイラは、同じオプティマ

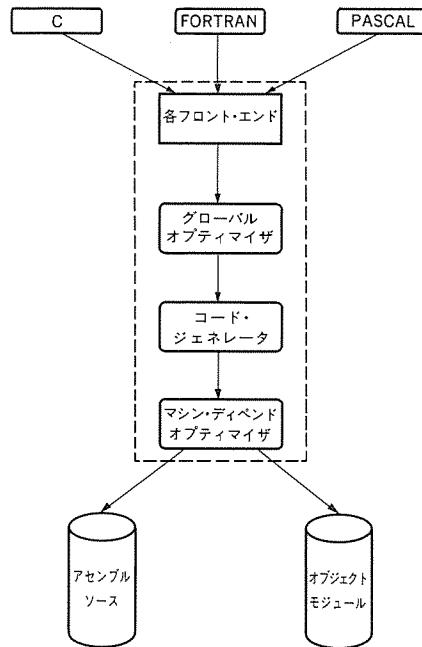


図5. 最適化コンパイラの構造

```

subroutine proc
integer i
sum = 0.0
real a(1000)
do 10 i = 1,1000
    sum = sum + a(i)
10 continue
end
  
```

図6. サンプル プログラム

| | |
|---|--|
| <pre> # 従来UNIXコンパイラのオブジェクト # subroutine proc proc_: link.l %fp,%fp%1 movl.l %fp%1,(4,%sp) fmovm.%fp%1,(FP0%1,%sp) bra L%13 sum = 0.0 L%14: mov.l L%16,v%1 mov.l &1,%d7 do 10 i = 1,1000 L%19: mov.l %d7,v%1 mov.l %d7,%d0 add.l &1,%d0 ## sum = sum + a(i) fmov.s v%1,%fp0 fadd.s (%d0,i*4,v%3),%fp0 fmov.s %fp0,v%1 continue L%17: add.l &1,%d7 mov.l &1000,%d0 cmp.l %d7,%d0 ble L%19 L%18: mov.l %d7,v%2 end L%12: L%11: mov.l (4,%sp),%fp%1 fmovm (%fp%1,%sp),%fp%1 unlk %fp rts L%13: bra L%14 data L%16: long 0x0 lcomm v%3,4000 lcomm v%2,4 lcomm v%1,4 </pre> | <pre> # 一般的な最適化のオブジェクト # subroutine proc proc_: ## sum = 0.0 ## fmov.s &0,%fp1 ## do 10 i = 1,1000 ## mov.l &1,%d0 ## mov.l %d0,L%12 ## mov.l &1,%d0 ## mov.l &1000,%d1 L%5: ## sum = sum + a(i) ## mov.l %d0,L%12 ## lea L%14-4,%a0 ## fmov.s 0(%a0,%d0.1*4),%fp0 ## fadd.x %fp1,%fp0 ## fmov.x %fp0,%fp1 ## continue ## add.l &1,%d0 ## sub.l &1,%d1 ## tst.l %d1 ## bne.b L%5 ## mov.l %d0,L%12 ## end ## rts ## data ## byte 0,0,0,0 ## lcomm L%14,4000 ## lcomm L%12,4 </pre> |
|---|--|

図7. 一般的な最適化の効果例

イザを持っているため、最適化機能はほぼ同じである。最適化機能は、一般的な最適化と速度の最適化に大別される。

(1) 一般的な最適化

```

* 一般的な最適化のオブジェクト
## subroutine proc
proc_:
sum = 0.0
fmov.s &0,%fp1
do 10 i = 1,1000
mov.l &i,%d0
mov.l %d0,L%12
mov.l &1,%d0
mov.l &1000,%d1
L%5:
##      sum = sum + a(i)
mov.l %d0,L%12
lea L%14-4,%a0
fmov.s 0(%a0,%d0.1*4),%fp0
fadd.x %fp1,%fp0
fmov.x %fp0,%fp1
continue
add.l &1,%d0
sub.l &1,%d1
tst.l &d1
bne.b L%5
mov.l %d0,L%12
end
rts
data
L%13: byte 0,0,0,0
lcomm L%14,4000
lcomm L%12,4
L%23:
##      sum = sum + a(i)
fmov.s (%a0),%fp0
continue
add.l &4,%a0
sub.l &1,%d0
tst.l &d0
bne.b L%23
##      end
rts
data
L%34: byte 0,0,0,0
lcomm L%35,4000
lcomm L%33,4

```

図8. 速度の最適化の効果例

一般的な最適化は、コンパイル時デフォルトで実施される。この最適化には、以下の機能を含みプログラムを小さく、かつ速くする。

- (a) レジスタ割当て
- (b) ローカル変数の最適化
- (c) メモリ割当て
- (d) 関数出入口のコード最適化
- (e) スタティック アドレスの広域レジスタ化
- (f) スタック調整の併合
- (g) のぞき穴式最適化（ピープホール オプティマイズ）

図6に示すサンプルプログラムを例に、一般的な最適化の効果を図7で従来のUNIXコンパイラのオブジェクトとの比較を示す。`%d0`, `%d1`, `%d7`, `%a0`, `%fp0`, `%fp1`はレジスタ番号を示す。

(2) 速度の最適化

速度の最適化は、コンパイル時オプション “-O” により選択される。この最適化には、以下の機能が含まれている。

- (a) インライン乗算
- (b) ループローテーション
- (c) ループ不变式の分析
- (d) 強さの軽減（ストレンジス リダクション）

速度の最適化の効果を図8に示す。同図は、図7の一般的な最適化との比較である。

4.2.5 FPAのオブジェクト

FPAのオブジェクト生成は、C, FORTRAN及びPASCALの各コンパイラで、コンパイル時オプション “-ffpa” を指定することで可能である。

FPPとFPAのインターフェースは、異なる浮動小数点レジスタで行われるため、実数関数の戻り値で不整合が発生する。そのため、FPPとFPAのインターフェースは、FPPの%fp0レジスタに統一されている。

4.2.6 コンパイラの速度性能

(1) コンパイル速度性能

UNIXの一般的なコンパイラは、2～5パス構成である。最適化コンパイラは、コンパイル速度高速化のために1パス構成となっている。

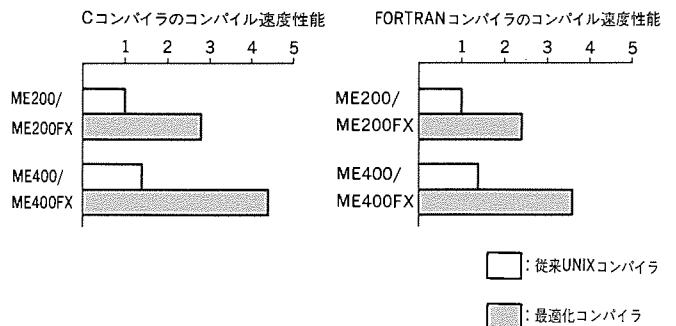


図9. コンパイル速度性能

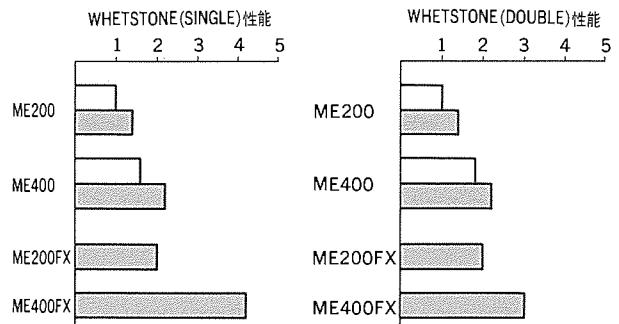
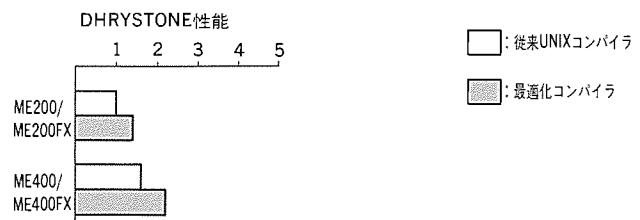


図10. 実行速度性能

る。図9は、従来のUNIXのコンパイラ（C, FORTRAN）と最適化コンパイラのコンパイル性能測定結果である（ME200の従来UNIXコンパイラのコンパイル速度を1とした相対性能）。コンパイル速度は、従来UNIXコンパイラの2.5～4.3倍という高い性能を実現している。

(2) 実行速度性能

最適化コンパイラの実行速度性能を図10に示す（ME200の従来コンパイラの実行速度性能を1とした相対性能）。実行速度性能用プログラムは、Dhrystone（ストリング処理、整数演算）、Whetstone（整数演算、実数演算）及びLinpack（実数演算）である。整数演算性能で従来のUNIXコンパイラの1.3～2.0倍、FPP使用の実数演算性能で1.4～2.8倍、FPA使用の実数演算性能で1.8～9.2倍という高い性能を実現している。

4.3 FPAサービス ユーティリティ（デバッガ）

```

% sdb -F a.out          <--- sdbの起動
No core image
*e x.f
*x.f
*4b
MAIN_:4 b             <--- アレイ・ポイントの設定
*4b
a.out                 <--- デバッグ対象ロード・モジュールの起動
Breakpoint at
MAIN_:4:               sum = sum + a(i)
*x                         <--- レジスタの表示
d0/ 0x3e8                a1/ 0xffffdf0
d1/ 0                     a2/ 0
d2/ 0                     a3/ 0
d3/ 0                     a4/ 0
d4/ 0                     a5/ 0
d5/ 0                     fp/ 0x1ffffdd0
d6/ 0                     sp/ 0x1ffffdd0
d7/ 0                     pc/ 0x2104
a0/ 0x40406c4              ps/ 0
floating point co-processor registers:
floating point accelerator registers:
ws 0: 0x00000000 ( 0.000E+00) ws 1: 0x55555543 ( 1.466E+13) wd 0: (7.073E-315)
ws 2: 0x00000000 ( 0.000E+00) ws 3: 0x22222222 ( 2.197E-18) wd 2: (2.829E-315)
ws 4: 0x40352222 ( 2.830E+00) ws 5: 0x22222222 ( 2.197E-18) wd 4: ( 2.113E+01)
ws 6: 0x3fe00000 ( 1.750E+00) ws 7: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd 6: ( 5.000E-01)
ws 8: 0x40000000 ( 2.000E+00) ws 9: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd 8: ( 2.000E+00)
ws10: 0x3efffc9 ( 5.000E-01) ws11: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd10: ( 3.051E-05)
ws12: 0x40000000 ( 2.000E+00) ws13: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd12: ( 2.000E+00)
ws14: 0x3fe0020c ( 1.750E+00) ws15: 0x40000000 ( 2.000E+00) wd14: ( 5.002E-01)
ws16: 0x3fe00000 ( 1.750E+00) ws17: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd16: ( 5.000E-01)
ws18: 0x3fdfff97 ( 1.750E+00) ws19: 0x20000000 ( 1.084E-19) wd18: ( 5.000E-01)
ws20: 0x40000000 ( 2.000E+00) ws21: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd20: ( 2.000E+00)
ws22: 0x40000000 ( 2.000E+00) ws23: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd22: ( 2.000E+00)
ws24: 0x3f800000 ( 1.000E+00) ws25: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd24: ( 7.813E-03)
ws26: 0x00000000 ( 0.000E+00) ws27: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd26: ( 0.000E+00)
ws28: 0x00000000 ( 0.000E+00) ws29: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd28: ( 0.000E+00)
ws30: 0x00000000 ( 0.000E+00) ws31: 0x00000000 ( 0.000E+00) wd30: ( 0.000E+00)
0x2104 (MAIN_:4):      23d0 f0000008    mov.l (%a0),$f0000008.1 []

```

図11. sdbでのFPAサポート例

FPAを使用するユーザーに対するサービスユーティリティとして、ソースレベルデバッガ“sdb”にFPAオブジェクトデバッガ機能が追加されている。図11のように、“sdb”コマンド実行時に“-F”オプションを追加することにより、FPAレジスタの参照が可能となる。

注 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ある。

5. アプリケーションソフトへの効果

従来ミニコンピュータや汎用機で処理されてきた数値演算処理や、グラフィックスと結びついたCAD/CAM、CAE等のエンジニアリング支援業務が、CPUの処理向上、FPA及びグラフィックエンジンの搭載によりEWS上に展開されている。

“ME200FX／400FX”は、FPA及びグラフィックエンジンの搭載により、エンジニアリング支援業務アプリケーションソフトを従来ミニコンピュータ以上の性能で実行可能である。特に、各種解析処理などの計算能力を必要とするソフトは、FPAを使用することで3～5倍の性能向上が見込める。FPAを使用すると効果が期待できるアプリケーションソフトの分類を以下に示す。

- (1) 構造解析、流体解析、成型解析、磁場解析、音場解析、統計解析、電場解析
- (2) 数値計算、統計計算
- (3) 汎用CAD
- (4) 電気系CAD、機械系CAD、建築系CAD
- (5) CAM
- (6) 総合CAE
- (7) 画像処理（イメージ、パターン）、グラフィックス

現在、“ME400FX”上で総合CAEソフトがFPAとグラフィックエンジンを使用することで、計算及び描画速度が“ME200”(FPPを使用)の約10倍以上の性能向上が実現されている。

これらのアプリケーションソフトを流通ソフトも含めて“MEシリーズ”上に搭載し、ユーザーの方々に利用していただいている。

6. むすび

以上、“ME200FX／400FX”的ねらい及び特長を述べた。

高度で複雑化してゆくエンジニアリング業務に必要とされる性能、機能、環境を兼ね備えたマシンとして、そうしたニーズにこたえるものといえるとともに、多くの分野でシステム構築する際のレパートリーの一員として位置付けられるものといえる。今後、更なる要求に対して性能、機能の強化及びレパートリーの拡充を計画しており、分野に応じた幅広い選択が可能となるようにしていく所存である。

参考文献

- (1) Weitek社 : WEITEK3168 Floating-Point Coprocessor for the MC68020 and MC68030 Preliminary Data
- (2) Motorola社 : MC68030 Enhanced 32-Bit Microprocessor User's Manual
- (3) 中山ほか : 三菱エンジニアリングワークステーション“MEシリーズ”，三菱電機技報，63，No.7，p.5 (1989)

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*

1. まえがき

信号処理技術は、種々の分野における診断、制御、解釈などの手法として重要な役割を果たしている。それらのなかで、プラント等における設備診断は重要な技術であり、特に故障にいたる前に検出する劣化検出法には大きな要請がある。劣化現象は、検出器で検出された信号のノイズ成分にその情報が重畠されている場合が多い。例えば、高速増殖炉の冷却材流量ゆらぎ、温度ゆらぎを観測することで炉心の冷却材流路の局部閉そく(塞)を推定したり⁽¹⁾、集積回路の出力端で観測されるノイズ成分から劣化徵候を判断する技術等がある⁽²⁾⁽³⁾。しかしながら、ノイズを計測し、解釈する技術は特殊なエキスパートが必要なことから、劣化診断に有効な技術であることが20年以上前から知られているにもかかわらず普及しない原因となっている。

このような背景から、信号を解釈するためのツールである信号解釈システム(SIPS)を開発した。これは、対象システムで観察される信号を信号解析処理するとともに、知識処理技術を用いてその特徴を明らかにすることが可能であり、信号の総合的な解釈を行うシステムである。SIPSの特徴は、知識処理環境(C言語)と信号処理

環境(FORTRAN言語)が通信できるように構成したところにある。図1にSIPSの概念を示す。

信号解釈システムの目的は、多次元アナログデータを意味のある

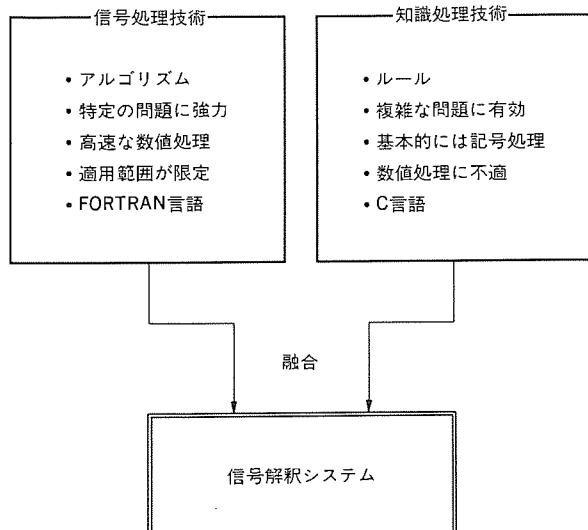
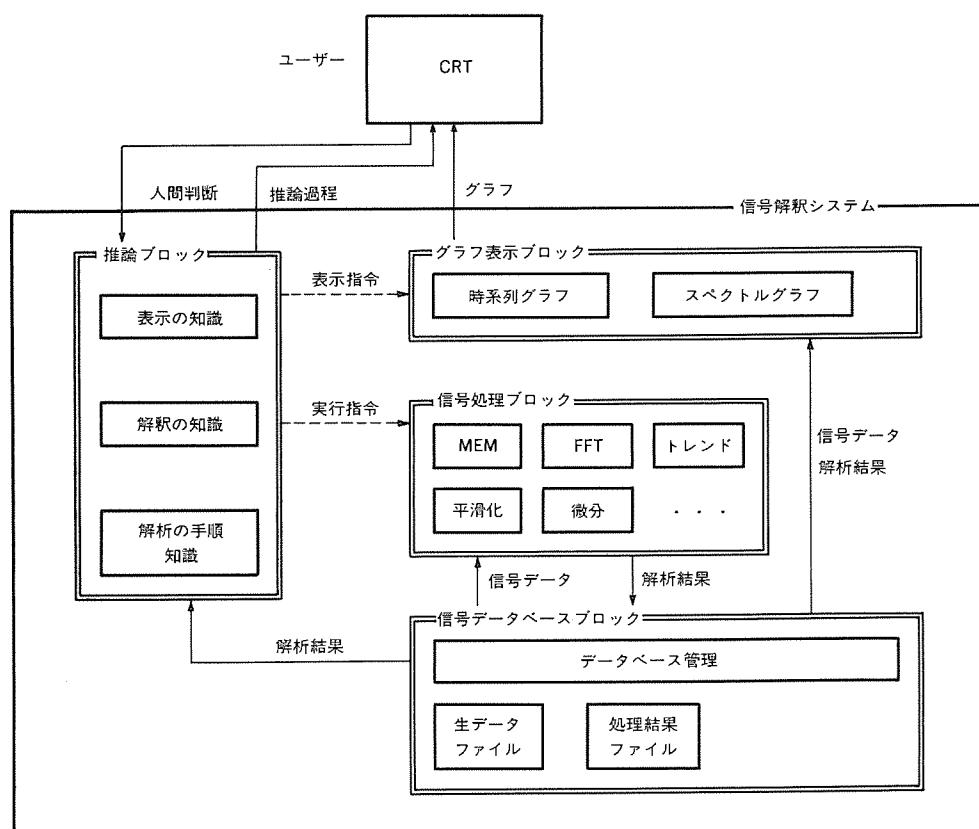


図1. 信号解釈システムの概念



MEM: 最大エントロピー法

FFT : 高速フーリエ変換

図2. 信号解釈システムの構成

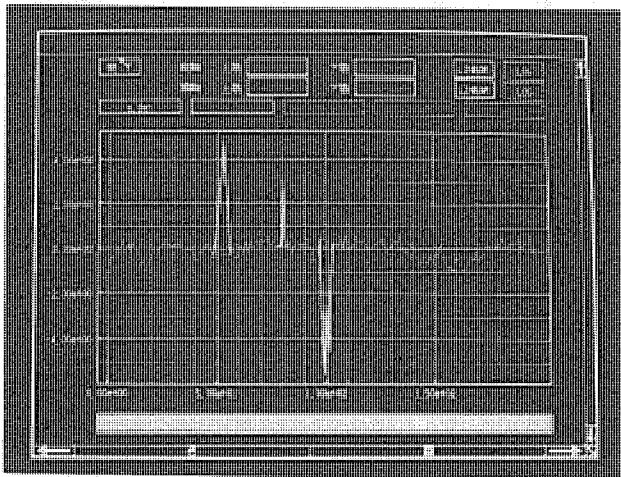


図3. サージ雑音例

単位に分割し、各セグメントを記号的に特徴付け、セグメント間に存在する相関関係を利用して、全体として整合性のある解釈を得ることである。データの欠落やノイズがある場合その解析自体が問題となって、解釈に大きな影響を与える。サージ雑音は人間には容易に識別できるが、信号処理アルゴリズムだけで認識することは困難である。スペクトルピークの認識も同様である。ここでは、例題として信号の中に含まれるサージ雑音の認識と信号からスペクトルを求めるスペクトルピーク認識問題を取り扱う。

2. 信号解釈システムの適用分野

信号解釈システムの使用目的は、大きく次の三つが考えられる。対象は特に限定されず、あらゆる分野での適用が期待できる。

例題対象としてプラントについて考察すると、以下の問題が想定される。

(1) システム同定

プラントの制御や診断を設計する前には、システムの動特性を正確に把握すること（システム同定）が欠かせない。プラントのような大規模多変数系のシステム同定は、変数間の寄与率からの関係の絞り込みや伝達関数推定など、かなり複雑な手順を繰り返して行われる。したがって、システム同定の手順の知識を組み込むと、システム同定支援ツールとして使用できる。システム同定作業の効率化が期待される。

(2) 異常診断

計測データから異常を診断する方法は、信号処理理論に基づくものや、かなり現場のノウハウに近いものまで様々である。一般的な異常診断は、二つのステップに分類される。まず、観測された信号波形に種々の信号処理を施し、信号の特徴を抽出する。そして抽出された特徴を分類、異常の原因を判断する。使用する信号処理アルゴリズムや判断の知識を組み込むと異常診断システムとして使用できる。信号解釈システムを適用することで、多様な異常に對処することができ、また必要に応じて知識を追加してよりきめ細かなシステムを実現できることが期待される。

(3) 制御

現在の制御系は、基本的にシングルループで線形制御理論を用い、一定の制御則で実行されている。しかし、実際のプラントは非線形性や外乱などで、一つの制御則では対処しきれない場合もある。こうした状況において、プラント状態を分析し、状態に応じた制御則

を選択するような知識を組み込むと、ハイブリット型のコントローラとして使用できる。きめ細かい制御系による運転効率の向上や、異常時への対処などこれからプラント制御の重要な課題を解決することが期待される。

3. 信号解釈システムの構成

信号解釈システムは、図2に示した概略図のような推論ブロック、信号処理ブロック、信号データベースブロック、グラフ表示ブロックの四つのブロックから構成されている。

(1) 推論ブロック

解析手順を決定したり、全体の制御をするブロックである。当社中央研究所で開発した知識ベース型制御システム基本ソフトウェアERIC⁽⁴⁾⁽⁵⁾上に構築する。知識の追加・修正・削除は、任意に可能である。

(2) 信号処理ブロック

スペクトル計算、ピーク検出、雑音除去などの信号処理アルゴリズムを実際に用いるブロックである。信号処理ブロックは、各種のアルゴリズムを実現するプログラムの集合である。言語はFORTRANで記述している。

信号処理プログラムの追加・修正・削除は任意に可能である。

(3) 信号データベースブロック

信号の生データや信号処理された解析結果のデータを蓄積・管理するブロックである。

(4) グラフ表示ブロック

生データや解析結果をディスプレイ上でグラフ表示するブロックである。グラフの拡大、重ね合わせなどの各種の表示操作を行う。

4. 推論ブロックの構成

信号解釈システムの中核を成している推論ブロックには、現在の人口知能技術で最も実用的といわれるルールベースシステムを採用している。ルールベースシステムでは信号処理の手順の知識や、結果の解釈をするための知識がif～thenのルール形式で蓄えられている。そして、実際に信号が与えられるとき推論が開始される。このようにルールの形で蓄積することには、FORTRAN言語などの従来の手続き型のプログラムと比較して以下の長所がある。

(1) 知識は推論実行中に自動的に組み合わされて使用されるため、種々の状況に対応できる柔軟性を持っている。

(2) ルールはモジュール性が高いので、知識を少しづつ増やすことが容易である。

(3) 知識を変更することにより、種々の対象を取り扱うことが可能である。

(4) ルールは細分化されるため、専門家の知識を容易にシステム化できる。

このような特長を持つルールベースシステムは、いろいろな分野で計測されている信号データを解析する上で、強力なツールであると考えられる。

5. 例題

信号解釈システムの有効性を確認するため、二つの例題について知識を組み込んでみた。一つの例題は、アナログデータ計測時にしばしば観測されるサージの認識及び除去である。もう一つの例題は、スペクトルピークの認識をとりあげた。信号解釈システムをそれぞ

```

error: cmd file [setup.cmd] not found
ERICO>< setup.cmd
error: cmd file [setup.cmd] not found
ERICO>< data
ERICO>< setup.cmd
ERICO>< resetusage.cmd
ERICO>< dispusage.cmd
error: cmd file [dispusage.cmd] not found
ERICO>< dispusage1.cmd
ERICO>< exec_usage
下向きのサージを除去します。
サージを 100 点付近に検出しました。
サージの範囲は 98点目～ 104点目です。
除去します。
下向きのサージは検出されません。
上向きのサージを除去します。
サージを 53 点付近に検出しました。
サージの範囲は 49点目～ 57点目です。
除去します。
サージを 61 点付近に検出しました。
サージの範囲は 78点目～ 82点目です。
除去します。
上向きのサージは検出されません。
ERICO

```

図 4. サージ認識例

サージの範囲の終点を決定するルール

日本語で表現

もし ある谷となるサンプルデータがサージピークより後ろにあり、
そのサンプルとサージピークを結んだ線の傾斜が大きく、平均値からあまり離れていない。
ならば そのサンプルデータはサージ範囲の終点である。

ルール言語で表現

```

rule 1
if { $PB.pos > pt.pos;
    $PB.f > thres.slope;
    $PB.x < thres.upper; }

then { set( pe.pos, $PB.pos); }

```

\$PB : ある谷となるサンプル（\$は「ある」を意味）
\$PB.pos : サンプルの位置
\$PB.f : サージピークと結んだ線の傾斜
\$PB.x : サンプルの値
thres.slope : 傾斜の基準
thres.upper : 平均値からのずれの基準
pe.pos : サージ範囲の終点の位置

図 5. ルール例 1

この問題に応用するには、次のような手順で行う。

5.1 サージ除去

最初の例題は、サージ雑音認識及び除去である。図 3 に示すように、サージ雑音は局所的に異常に大きな値をとる雑音で、その形状から“ひげ雑音”とも呼ばれている。計測器のサンプルミスやA/Dコンバータの異常による飽和などが原因として考えられる。このサージ雑音は、見かけ上局所的にパワーが増大するので、パワースペクトルなどに悪影響を及ぼす。したがって、前後のデータから補間

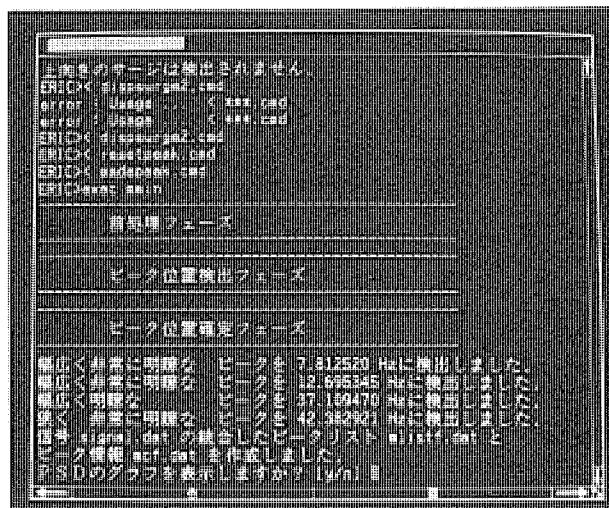


図 6. スペクトルピークの認識例

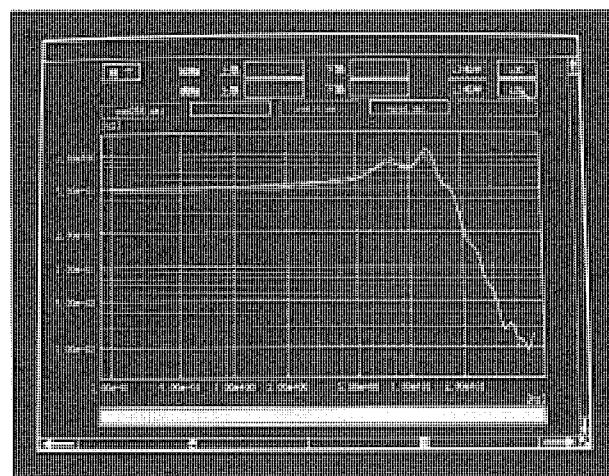


図 7. スペクトルの形状例

するかサージが含まれている信号を避けるかして、前もって除去しなければならない。

しかしながら、不規則信号にサージ雑音が載っている場合には、局所的に大きい値がサージ雑音なのか、単に信号がたまたま大きな値を示したのかの判断が難しく、サージを除去する一般的なアルゴリズムを与えるのは困難である。そこで、サージ雑音でありそうな場合を幾つか与えて、局所的に大きな値がそのどれかに該当するならばサージ雑音とみなして補間処理を行う。このように、いろいろな場合によって実行する処理を変える複雑な信号処理は、知識処理を用いなければほとんど不可能と考えられる。

サージ除去の知識を簡単に説明すると、サージにはいろいろなパターンがあり、このグラフ上には二つのパターンが表示されている。一つは55点目あたりにある単純な鈍いピークを持つもので、もう一つのパターンは100点目付近にあるようなピークの横に小さなサイドピークである。この知識ベースでは、この二つのパターンのサージ雑音に対応している。

サージ雑音除去は、三つの手順から成り立っている。サージ雑音の候補の検出、サージ雑音の範囲の決定、サージ雑音の補間である。これを下向きのサージと上向きのサージのそれぞれについて、候補がなくなるまで繰り返し実行する。まず、下向きのサージの候補を検索し、100点目付近に候補を発見している。この候補の近傍の信号

ピリオドグラム法によりスペクトルを求めるルール

日本語で表現

もし 時系列信号が与えられており、
パワースペクトルが作成されていない

ならば パラメータとして 256を与えて、
ピリオドグラム法によりパワースペクトルを計算し、
データベースに登録し、
パワースペクトルを作成済みとする。

ルール言語で表現

```

rule 2
if { psignal.status == "made" ;
      psd256.status != "made" ; }

then { set( perigram.pl, 256 ) ;
       set( perigram.status, "do" ) ;
       r_fork( exec_process ) ;
       r_fork( exec_db_regist ) ;
       set( psd256.status, "made" ) ; }

psignal.status : 時系列信号作成状態のフラグ
psd256.status : パワースペクトル作成状態のフラグ
perigram.pl : ピリオドグラム法実行パラメータ
perigram.status : ピリオドグラム法実行フラグ
r_fork( exec_process ) : プログラムを実行するルールの起動
r_fork( exec_db_regist ) : データベース登録ルールの起動

```

図 8. ルール例 2

の形をルールを使って調べ、このサージの範囲は98点目から104点目であることを決定する。そして、この区間の始めと終わりのデータから補間する。さらに、下向きのサージの候補を探査し、もう下向きのサージが存在しないことを確認する。続いて上向きにサージの探索を実施する。同様に50点目と80点目の当たりにあるサージを検出し、区間の始めと終わりのデータから補間する。この結果を図4に示す。

このようにサージの始めと終わりを正確に判定し、その間を補間していることが分かる。現在は、これら二つのパターンのサージを除去するが、このほかのパターンのサージでも知識をルール化して知識ベースに入れておけば除去することが可能である。もし、サージ除去のプログラムをFORTRANなどの言語で作ると、非常に複雑なプログラムになり、新しいパターンのサージの追加はかなり困難

と考えられる。ルール例を図5に示す。

5.2 スペクトルピークの認識

次の例題は、スペクトルピークの認識である。不規則信号が与えられたときにパワースペクトルを計算して、どの周波数でピークを持つか、そのピークはどのくらい鋭いのかを調べることは不規則信号処理の基本の一つである。パワースペクトルを求める方法には、FFTを使ったピリオドグラム法や情報理論に基づいた最大エントロピー法など幾つかの方法があり、これらの方法には、それぞれ誤差や分解能などに特性がある。ピークの鋭さなどを判断するために、この知識ベースではいろいろな方法でスペクトルを求め、これらのスペクトルを比較検討してピークを認識する。

実際には、サージ雑音除去やトレンド除去などの前処理を最初に実行するが、今回は省略する。次にスペクトルピークの検出を実施する。ここでは、スペクトルをピリオドグラム法により求め、微分などをしてスペクトルピークの候補を検出する。最後にスペクトルピークの確定を実施する。前のフェーズで求めたそれぞれのピーク候補に対して幅や鋭さなどの情報を求める。結果として、四つのスペクトルピークを認識できている(図6参照)。求めたスペクトルを図7に、ルール例を図8に示す。

6. む す び

信号解釈システムは、信号を与えれば何でもできるわけではない。対象から何を得たいのか、目標をしっかりと定めたときに効果を発揮するツールにしか過ぎない。今後は、サージなどの雑音成分の認識や、スペクトルピークの認識などの信号処理上の重要な知識処理をベースにして、プラント設備の劣化診断などに適用する予定である。

参 考 文 献

- (1) 萩野ほか：統計的手法を用いた異常診断の適用例—ゆらぎを用いた異常診断—、システムと制御, 24, No.11, p.719(1980)
- (2) 犬島, 吉島：電子回路の劣化診断、電気学会論文誌C, 109-C, No.7 (1989-7)
- (3) 犬島, 吉島：工場設備におけるICの劣化診断、電気学会論文誌C, 109-C, No.12 (1989-12)
- (4) 石岡ほか：プラント制御用エキスパートシェル ERIC, オートメーション, 33, No.6 (1988-6)
- (5) 竹垣ほか：知識ベース型制御システム構築ツール・ERIC, 第32回システムと制御研究発表講演会 (1988-5)

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**

1. まえがき

高度情報化社会の発展に伴い、オフィスコンピュータ（以下、オフコンと記す。）も従来の伝票発行機的な処理から処理能力の拡大に伴って企業内業務システムのトータル化、オンラインネットワーク化、戦略情報システム化等に利用形態が高度化・複雑化してきている。このため、従来からあるTSS（Time Sharing System）をベースとしたワークステーション（WS）処理では、システムの構築が難しくなってきており、汎用機等が行っているバンキング処理・航空機座席予約処理等に代表されるオンライントランザクション処理（OLTP）システムがオフコンでも必ず（須）となってきた。

『MELCOM80 GEOCシリーズGRファミリ』（以下、M80と記す。）のサポートOSであるDPS10では、初版からオフコン業界初の本格的なOLTPパッケージであるDPS10-TPを提供し、このような要求にこたえてきた。今般ホスト計算機をM80とし、端末にAXパソコン“MAXY”を電話回線で接続した分散画面管理機能をもったOLTPシステム《TPREPO：ティーピーレポ》を製品化した。この論文では、従来のWS処理やDPS10-TPとの比較をしながらTPREPOシステムの特長・機能を述べる。

2. 開発のねらいと特長

2.1 TPREPOシステム

従来のDPS10-TPには、主に以下に示す問題点があった。

2.1.1 DPS10-TPの問題点

(1) システムの生産性

ホスト側・端末側共に業務プログラムを作成する必要があり、エミュレータ接続に比べ生産性が悪い。また、端末側がパソコン／WS

等の場合は、言語機能等に制限があることが多く、オフコン上での開発に比べ更に生産性が悪くなる。

(2) 端末レパートリの多様化

パソコンの軽量小型化／高機能化により、DPS10機への接続要求が急速に高まってきていた。また、構内にある同軸などで接続された端末を、回線で接続されたOLTP端末と全く同様に使いたいという要求にこたえることができなかつた。

TPREPOシステムの開発は、このような背景の下に行われた。

2.1.2 TPREPOシステムとは

TPREPOシステムとは、パソコン等の端末をオフコンのリモート端末とし、分散画面処理など効率の良いトランザクション処理システムを構築するためのOLTPパッケージである。TPREPOシステムには、ホスト側はDPS10-TPの下で、パソコン側はMS-DOS^(注1)の下で動作するTPREPOシステム ソフトウェア^(注2)が提供されている。図1にTPREPOシステムの構成を示す。

(注1) MS-DOSはMicrosoft社の登録商標である。

(注2) パソコン側のTPREPOシステム ソフトウェアは、日本ユニシス株が開発し、版権を所有している。

2.2 TPREPOシステムのねらい

TPREPOシステムの主なねらいを、WS処理、DPS10-TP処理と比較しながらまとめると、以下のとおりとなる。

(1) パソコンのリモート端末化

(a) “MAXY”をはじめとするMS-DOSパソコンをDPS10機のリモート端末とすることができます。これにより、パソコンが持っている高度なOA機能を利用しながら、必要に応じて同一端末でホストとのトランザクション処理を行う等の高度な利用ができる。

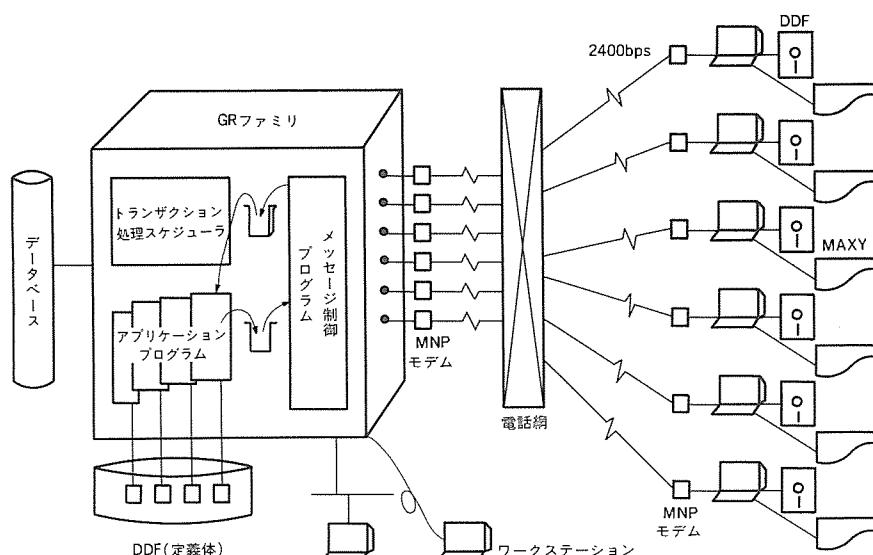


図1. TPREPOシステムの構成

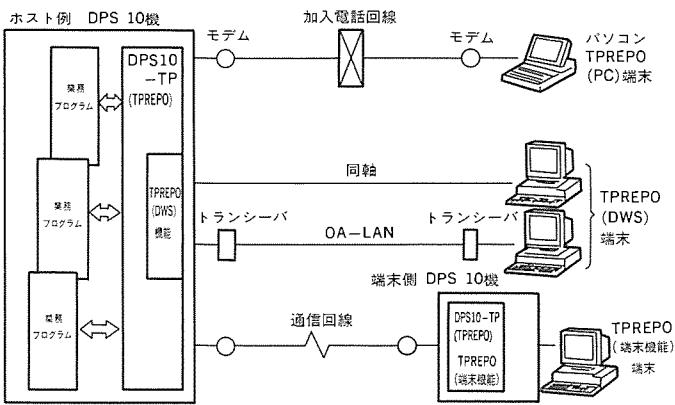


図2 . TPREPOシステムの形態

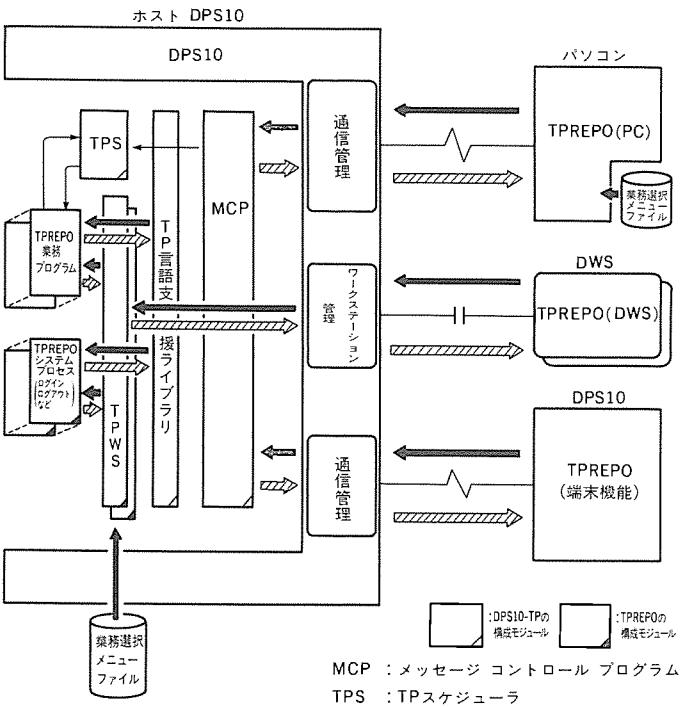


図3 . ホスト側TPREPOシステムの構成

(2) システム開発費の削減

- (a) 端末側のプログラム開発が不要である。したがって、生産性が大幅に向上する。
- (b) 端末側の画面／帳票設計は、DPS10のユーティリティプログラムや事務用簡易プログラム言語・プログレスIIを使ってホスト側で作成する。したがって、操作性・生産性が良い。
- (c) 同じ業務プログラムで同軸接続などの端末もサポートでき、プログラムを分ける必要がない。

(3) 業務処理の効率化

- (a) 業務プログラムは、DPS10-TPの下で動作するため、効率の良い実行制御をうけることができる。また、システムの拡張も容易である。
- (b) 分散画面管理によって負荷の分散を図るとともに、ホスト－端末間は必要データのみやりとりを行い、通信の効率化を図っている。

(4) 通信費用の節減

- (a) 一括トランザクション投入機能を使えば、回線の接続時間の

短縮が図れ、通信費用を軽減することができる。

また、エミュレータ処理との比較からTPREPOシステムを見ると以下のねらいがある。

(1) 通信費用の節減

エミュレータ処理では、画面／帳票のデータのほかにフィールド属性等の情報も転送される。このため、可変データのみをやりとりするTPREPOと比較すると、データ量に少なくとも5倍の差がある。

(2) 処理速度の高速化

TPREPOはデータ量が少ないため、同一回線スピードであれば2～5倍の性能が得られる。

2.3 TPREPOシステムの機能

以下に主なTPREPOシステムの機能を述べる。

(1) TPログイン／ログアウト機能

端末ごとにログインユーザー名を設定できるようにした。これにより、ログインユーザー名ごとに独立した動作環境を設定できる。

(2) トランザクション選択機能

TPREPOは、ホスト側で定義あらかじめ端末側に登録しておく業務情報をもとに、メニュー形式の業務選択画面の表示を行う。オペレーターは、このメニューから業務を選択することができる。業務の選択が成功すると、通常はあらかじめ登録されている初期画面が自動的にTPREPOによって表示される。

(3) 画面／帳票編集機能

端末でのデータ入出力は、レコード（テキスト）単位に一括して行う。ホストとのデータの受渡しは、画面／帳票の可変部のみを行い、さらにこのデータには圧縮処理が施され効率の良い転送を行っている。

(4) ファイル転送機能

ホストのファイルをパソコンに転送したり、パソコンのファイルをホストに転送することができる。

(5) 一括トランザクション処理機能

通常端末側で会話形式で入力するトランザクションを、あらかじめ作成されているファイルから入力し、ホストに送信することができる。これにより、回線の接続時間を短くすることができる。

2.4 TPREPOシステムで解決した技術的課題

2.4.1 分散画面処理の問題点とTPREPOでの解決策

TPREPOが採用している分散画面処理の特質として、一般的には以下のようないわゆる問題点があると言われている。

(1) ホストと端末での画面ファイルの整合性が崩れやすい。

ホストと端末は、各々にある画面ファイルをキーにしてデータの入出力やデータストリームの組立て／分解を行う。このため、画面ファイルは、ホストと端末を常に同じ状態に保つ必要がある。TPREPOシステムでは、システムの使用宣言（TPログイン）時に、ホスト側と端末側の画面ファイルの整合性を確認し、一致していないければエラーとなり、業務を開始できないようにした。

(2) 画面ファイル等の端末への配信が繁雑である

画面ファイルなどは、業務に先立ち端末側に送付しなければならないが、端末台数が増えると繁雑である。TPREPOシステムでは、ファイル転送機能をサポートしており、全端末に転送するモード／特定の端末に転送するモードなどを選択することにより、簡単に配信できるようにした。

2.4.2 回線品質の問題とTPREPOでの解決策

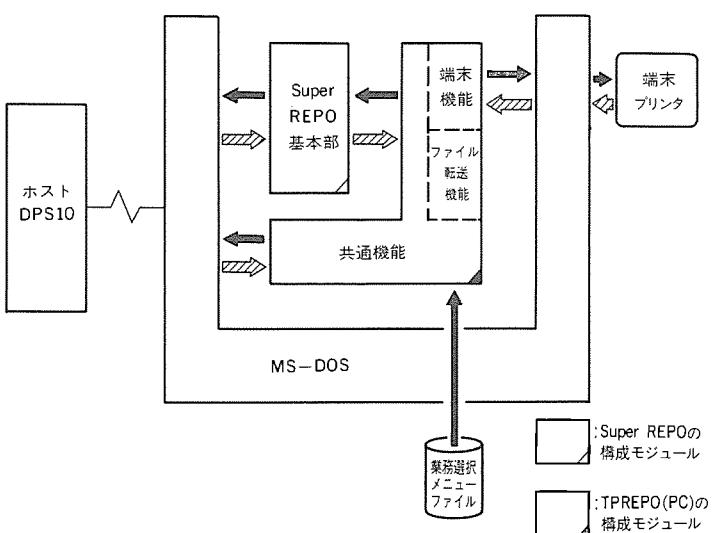


図4. パソコン側TPREPOシステムの構成

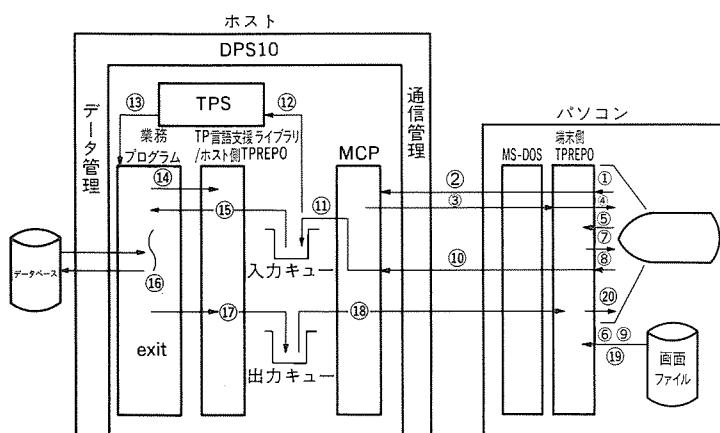


図5. TPREPOシステムの動作概要

TPREPOシステムは、電話回線を基本としている。このため、通信路上のデータ品質を確保するためにデータエラー時の誤り訂正プロトコルを持ったMNPモデム（Microcom Network Protocolモデム）を必須とした。また、通信制御装置—モデム間の万一のデータ化けにそなえて、TPREPOシステム・ソフトウェア間のデータエラーの検出機能を用意した。

3. システムの構成

3.1 TPREPOシステムの概要

TPREPOシステムには、接続の形態によって図2に示すTPREPO (PC)/TPREPO (DWS)/TPREPO (端末機能) の3種類がある。以下にホスト側とパソコン側のTPREPOシステム・ソフトウェアについて構成を示す。

3.2 ホスト側TPREPOシステムの構成

ホスト側のTPREPOシステム・ソフトウェアは、DPS10-TPに標準で組み込まれている（図3）。

3.3 パソコン側TPREPOシステムの構成

パソコン側TPREPO (TPREPO (PC)) は、統合OAソフトウェ

ア“Super REPO”の一つの機能として実現されている（図4）。

3.4 TPREPOシステムの動作環境

3.4.1 DPS10側

(1) ソフトウェア環境

OS: DPS10 G00版以降

TP: DPS10-TP B00版以降

(TPREPO機能は、DPS10-TPに標準装備)

(2) ハードウェア環境

適用機種: M80 DPS10機全機種

その他: 各モデルの基本構成以上

通信制御装置 (SCCU, MCCU III)

3.4.2 パソコン側

(1) ソフトウェア環境

OS: MS-DOS V3.1以降

TPREPO (PC) A00版以降

(2) ハードウェア環境

適用機種: MAXY, PW 2 AXなど

その他: 各モデルの基本構成以上

3.4.3 その他の機器

(1) モデム: MNPモデム

パソコンを電話回線で接続する場合必須

3.5 TPREPOシステムの動作概要

TPREPOシステムの動作概要を、図5に従って述べる。

- ① 端末側TPREPOは、ログインメニューを表示し、オペレータからのログイン入力を待つ。
- ② 端末側TPREPOは、ログインデータを編集し、ホストへ転送する。
- ③ ホスト側TPREPOのログインプロセスにより、ログインチェック（ログインユーザー名、画面ファイルの整合性）を行い結果を端末に返す。
- ④ 端末側TPREPOは、ログイン名に対応した業務選択メニューを表示する。
- ⑤ オペレータは業務を選択する。
- ⑥～⑦ 端末側TPREPOは、当該業務に対応する画面情報を読み取り、編集して表示する。
- ⑧～⑩ 端末側TPREPOは、画面入力データを編集し、入力フィールドの生データをホストに転送する。
- ⑪ DPS10-TP/ホスト側TPREPOは、トランザクションデータとして入力キューに入れる。
- ⑫～⑬ DPS10-TPは、該当する業務プログラムを起動する。
- ⑭ 業務プログラムは、画面の入力要求 (read) を出す。
- ⑮ ホスト側TPREPOは、入力キューからデータを取り出し、編集を行い業務プログラムに渡す。
- ⑯ 業務プログラムの内部処理
- ⑰ 業務プログラムから画面への出力要求 (write) が出ると、ホスト側TPREPOはデータを編集して出力キューに入れる。
- ⑱ DPS10-TP/ホスト側TPREPOは、出力キューからデータを取り出し端末に転送する。
- ⑲～⑳ 端末側TPREPOは、データから該当する画面ファイルの情報を参照しながらデータを編集・作成し表示する。

表1. 業務プログラムからみたWS処理とTPREPOの違い

| | WS処理 | TPREPO |
|----------|----------------|-------------------------------------|
| APPの起動 | バッチ起動 | 画面入力でトランザクション起動 |
| 初期画面の出力 | APPが出力 | 端末で業務選択時出力 (APP出力も可) |
| APPの処理手順 | 画面出力→画面入力の繰り返し | T#SGET→画面入力 →画面出力 →T#EXIT(終了) |
| 画面(帳票) | 項目入出力が主体 | 一括入出力 |
| 入出力単位 | | |

4. TPREPOシステムの開発・運用

4.1 TPREPO業務プログラムの概要

TPREPOの業務プログラムは、WS処理のそれと比較(表1)すると、APPのコーディング方法はほぼ同様であるが、処理形態からみると“画面入力をトランザクション、画面出力(帳票出力)をレポート”とするトランザクション処理であるため、以下の違いがある。

4.2 TPREPO業務プログラムの組み方

TPREPOの最も典型的なAPPの例を図6に示す。このほか、TPREPOシステムでは、

- (1) 1画面複数テキスト処理
 - (2) 帳票出力処理
 - (3) 入力データのセーブ／リストア
 - (4) APPからの初期画面出力
- などの処理ができる。

4.3 TPREPOシステムの運用

TPREPOシステムのホスト側の環境設定、運用管理のほとんどの部分については、従来のDPS10、DPS10-TPの方法と同一である。また、パソコン側については、可能な限りホスト側のオペレータインターフェースと合わせることにより、操作性の統一と向上を目指した。

また、従来のDPS10-TPで使用できる機能は、すべてTPREPOシステムでも何等の制限もなく使用できる。

5. むすび

以上、DPS10-TPの下で動作するTPREPOシステムの概要について述べた。

このシステムにより、従来生産性の面から大規模なオンラインシ

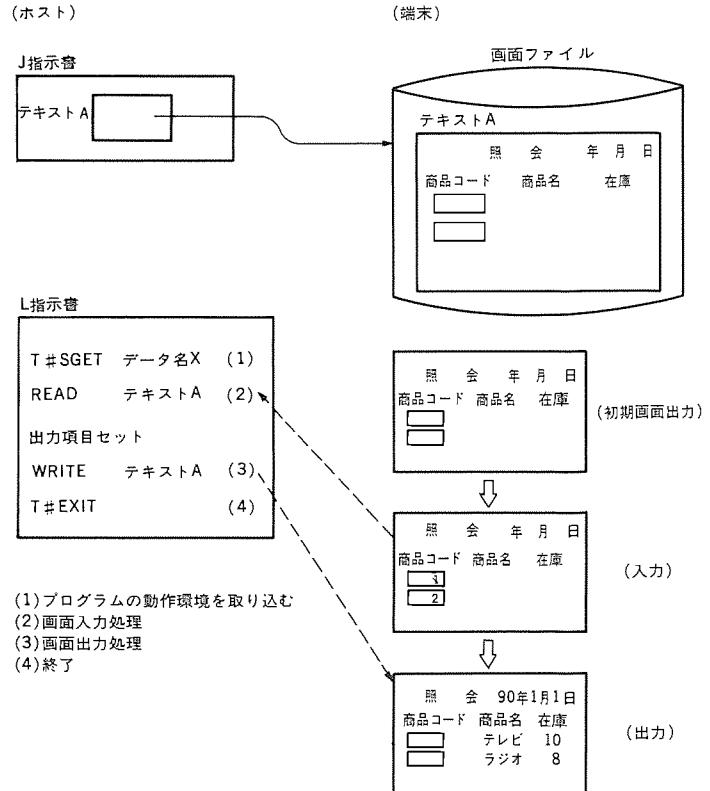


図6. TPREPO業務プログラム側(1画面1テキスト処理)

システムでしか採用しにくかったDPS10-TPを、小規模なシステムでも採用可能とし、短期間で、安定したシステムをエンドユーザーに提供することができるようになった。しかしながら、いまだ、①適用回線や伝送制御手順のサポートの拡大、②システムによる障害回復の標準サポート化、③言語(PII, COBOL)インターフェースの検討等、残された技術的課題も多い。

TPREPOでのこれらの課題を実用的な範囲で解決しつつ、さらに DPS10-TPを高信頼化、高性能化し、システムの生産性・保守性の向上を図り、より高度な分散トランザクション処理への指向を図っていく。

最後に、パソコン側のTPREPOシステム・ソフトウェアの開発及び取りまとめをしていただいた日本ユニシス(株)久保田俊雄氏はじめ、ビジネスシステム・システム本部ネットワーク技術課の各位に感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 横口ほか：オフィスコンピュータオンライントランザクション処理システム、三菱電機技報、62、No.5、p.403 (1988)

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* 鵜飼 誠* 熊崎伸夫* 岩村義巳* 田中英晴** 大薦勝久**

1. まえがき

居住空間を快適にする空調機器として、換気扇は必需品となっている。中でもダクト用換気扇は、中高層住宅、ビルをはじめ一般住宅にも多く使用され、換気扇の主力製品である。このダクト用換気扇には、送風機を天井内部のダクトの中間に取り付け、吸込口は室内の最適な位置に付ける中間取付形と送風機を天井面に埋め込んでダクトに接続する天井埋め込み形がある。中間取付形は、本体の取付位置が自由に決められ、グリルのデザイン、取付位置とも室内インテリアに合わせることができ、運転音も天井埋め込み形に比べ音源が離れるので低騒音となる等の特長がある。このため、店舗、オフィスを中心に中間取付形の需要が最近増加している状況にある。

一方、居住スペースの拡大傾向により、天井裏スペースは縮小化されており、送風機本体の薄形化が望まれている。また、建物の密閉度が上がり、換気についても排気主体から給気の重要性も認識されつつあることから、給気用送風機の開発が望まれている。これらの市場ニーズに対しては、現状の換気扇に使用されているシロッコファン、斜流ファンだけでは対応しきれない部分があり、より目的にマッチした新しいファンが望まれていた。

こうした背景から、航空機や船舶でしか実用化されていないが、高静圧、高効率が得られる二重反転プロペラに着眼し、送風機への技術展開を図ることにより、中間取付形を中心にダクト用換気扇の規模拡大と新しい空調用送風機の提供をねらいとした開発を進め、製品化を完了したので、その開発概要を述べる。

2. 二重反転ファンの原理と特長

図1は、二重反転ファンの原理である。二重反転ファンは、空気の流れる方向が同一で回転方向のみ異なる2枚のプロペラファンを同軸上に配置した基本構造をもつ。

1枚のプロペラファンを回転する単独ファンの場合、羽根の後側から流出した空気はファンの回転方向に旋回しているが、この旋回流れは空気を押し出す力（圧力エネルギー=静圧）には何ら寄与せず、後流中に捨てられるものとなる。それに対して、二重反転ファンの場合は、単独ファンと同様に発生する1段目羽根による旋回流（回転エネルギー）を、2段目羽根の逆回転により整流するとともに、圧力エネルギーに変換（回収）するから、2枚のプロペラファンで与えたエネルギーがすべて圧力エネルギーとなる。図1(c)の送風性能比較から分かるように、同一風量時に、二重反転ファンは単独ファンの約2.5倍（2倍を超える。）の高静圧が得られる。しかし、2枚の羽根が逆回転するため、前後の羽根の干渉による騒音が大幅に増大するのが欠点であった。

したがって、空調用二重反転送風機の開発では、低騒音化が最も大きな課題である。ここでは、他のファンと比較しながら二重反転ファンの位置付け（特長）について述べ、製品の特性は後述する。

表1に各種ファンの形式と送風性能、騒音等の比較を示す。この

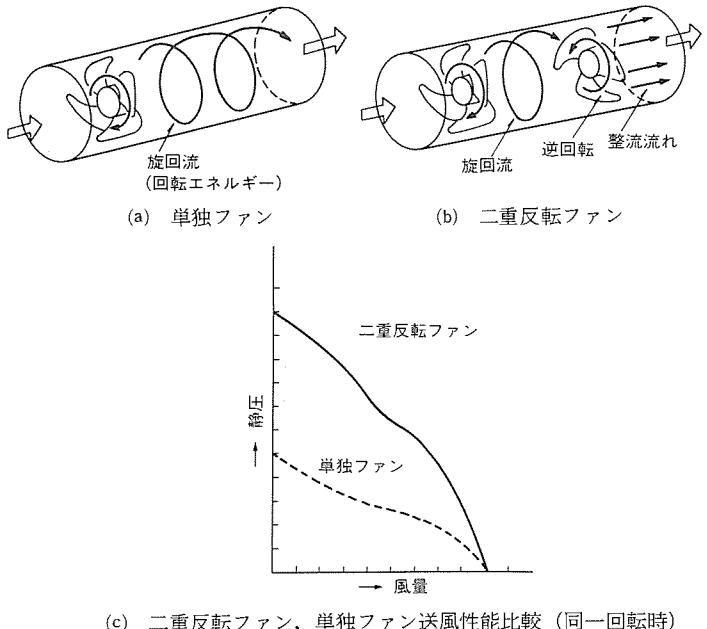


図1. 二重反転ファンの原理

表1. ファンの特徴比較

| ファン形式 | 送風性能 | | 騒音 | 流れ | 形状・大きさ |
|-------|------|----|----|------------------|-------------------------|
| | 風量 | 静圧 | | | |
| プロペラ | 大 | 低 | 中 | 軸両方向可 (逆転による) | 小径・短い |
| 斜流 | 大 | 中 | 大 | 軸一方向 | 大径・短い |
| シロッコ | 中 | 高 | 小 | 90度曲がり 一方向 | 大径・長い (ストレート 流れ時) |
| 二重反転 | 大 | 中高 | 中大 | 軸両方向可 (逆転による) | 小径・長い |

注 騒音は比騒音比較

表から、シロッコファンに近いところまで低騒音化できれば、二重反転ファンは、小径（スリム）でありながら大風量・中静圧が得られ、流れも軸方向に対して両方向へ切り替えることのできる送風機となり、前述の市場ニーズにマッチすることが分かる。

3. 性能に及ぼす主な要因パラメータの影響

二重反転ファンの性能、特に騒音特性に影響を及ぼす主要な要因パラメータは、翼の形状、翼枚数、羽根間距離、回転数比（1段目羽根と2段目羽根の回転数比）であり、これらの具体的な影響を以下に述べる。ただし、翼の形状については、回転方向への前進と吸込方

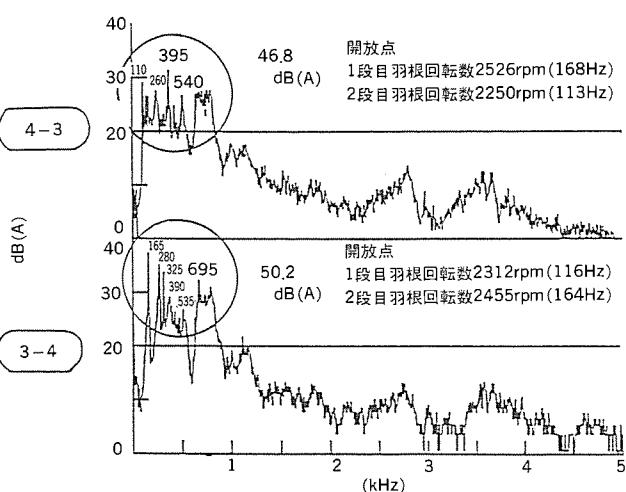


図 2. 翼枚数の違いによる騒音分析比較

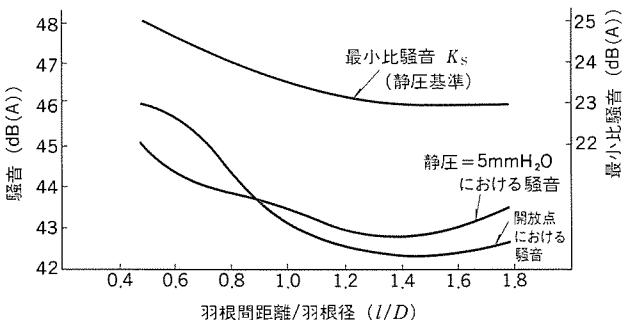


図 3. 羽根間距離による騒音特性

向への前傾を同時にもつ当社の低騒音プロペラファン《エクストラファン》を採用している。ここでは、詳細な説明は省略するが、《エクストラファン》は二重反転ファンの低騒音化に大きく寄与した。

なお、以下に記述する特性値は、 $\phi 150\text{mm}$ 配管用で、開放風量が約 $300\text{m}^3/\text{h}$ の送風機を対象にしている。

3.1 翼枚数の影響

二重反転ファンの騒音で問題となるのは空力騒音で、中でも羽根の回転音と羽根間の干渉音である。回転音及び干渉音は、回転する翼に作用する揚力や抗力の周期的变化や、翼の作る流れが他の物体(例えば、羽根やモータ等)に衝突することにより発生し、翼枚数と回転数で決まる発生周波数をもつ急しゅん(峻)なスペクトルを持つ騒音である。

また、干渉音と翼枚数の関連として一般的に言われているのは、互いに同一翼枚数の場合には、1段目翼の作る流れが同時にすべての2段目翼に衝突するので、干渉音が高くなるとともに、ダクト減衰しない平面波モードの騒音となりやすいということである。そこで、できるだけ枚数の少ない4枚翼と3枚翼の組合せの騒音に及ぼす影響を調べた。

流れの上流側を1段、下流側を2段とする。1段目羽根を4枚翼、2段目羽根を3枚翼としたものを(4-3)、その逆を(3-4)と表現する。送風性能は、1段目羽根と2段目羽根の平均回転数を同一とした場合(4-3)も(3-4)も全く同一である。しかし、騒音は(4-3)の方が(3-4)に比べて、開放騒音で約3dB(A)低く、単位風量($1\text{m}^3/\text{min}$)、単位静圧($1\text{mmH}_2\text{O}$)当たりの騒音が最小となる動作点(最小比騒音点)で、約2dB(A)低い結果が

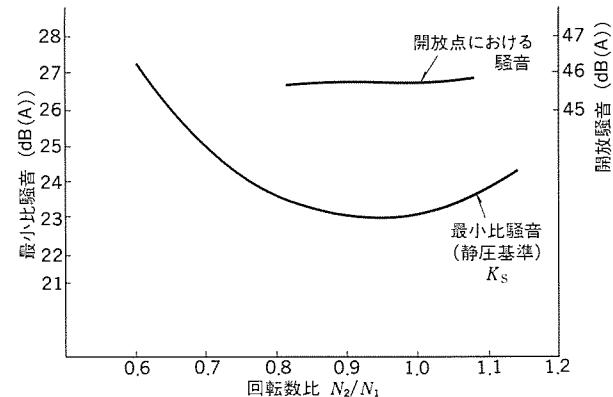


図 4. 回転数比による騒音特性

得られた。

図2は、開放点における(4-3)と(3-4)の騒音分析を比較したものである。(3-4)の方が(4-3)に比べて、2段目羽根の回転音が約5~10dB(A)高く((3-4)は165Hz, 325Hz, (4-3)は110Hz)、干渉音が約6dB(A)高い((3-4)は280Hz, (4-3)は395Hz)。

以上のことから(4-3)の方が、騒音のオーバオール値だけでなく、音質面でも優れているといえる。

3.2 羽根間距離の影響

定性的には、1段目羽根と2段目羽根の軸方向の相対距離が大きいほど騒音が下がるが、一方で送風性能が低下する。したがって、両者の性能を満足する羽根間距離の最適点が存在する。

図3は、羽根間の距離を変えたときの騒音特性を示す。羽根間距離(l)を羽根径(D)で割った無次元数、 l/D を約0.5から1.8まで変化させた。この範囲において、送風性能はほとんど同一であるが、 l/D が大きい方が若干低くなる傾向にある。騒音は、 l/D が1.0より小さくなるあたりから、騒音値及び最小比騒音値が急激に高くなる。これは、干渉音の増大によるものである。したがって、ファン全体のコンパクト性も考慮すると、羽根間距離の最適値は l/D が1.0から1.5である。

3.3 回転数比の影響

1段目羽根の回転数に対して2段目羽根の回転数を変えると、1段目及び2段目の全体の翼内の流れが変化するとともに、特に2段目翼に対する空気の流入角度が変化して、送風性能及び騒音特性に影響を及ぼす。したがって、《エクストラファン》における最適な回転数比を調べた。

回転数比 N_2/N_1 が0.6から1.2程度の範囲では、1段目と2段目の平均回転数が同一であれば、送風性能はほとんど変わらないことが分かった。平均回転数を一定にしながら回転数比を変化させたときの騒音特性を図4に示す。

回転数比 N_2/N_1 が1.0、すなわち同一回転数のあたりで最小比騒音は最も低くなる。しかし、 N_2/N_1 が0.8から1.1まで変化しても、開放点騒音はほとんど変わらない。また、最小比騒音も1dB(A)の範囲に収まっている。回転数比は比較的許容範囲が広いことが分かる。これは、流量一定(軸流速一定)で考えると、 $N_1 < N_2$ の場合は、1段目翼の出口旋回流速は小さくなるが、2段目の回転速度が大きく2段目翼への流入角度はそれほど小さくならない。逆に $N_1 > N_2$ の場合は、1段目翼の出口旋回流速は大きくなるが、2段目の回

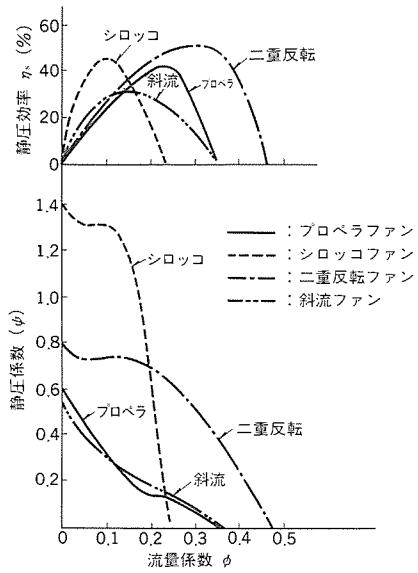


図5. 二重反転ファンの無次元送風性能（当社比較）

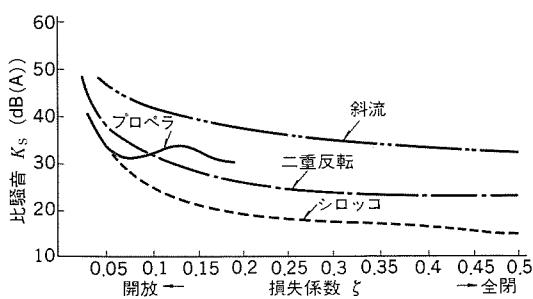


図6. 二重反転ファンの無次元騒音特性（当社比較）

転速度が小さく2段目翼への流入角度はそれほど大きくならない。すなわち、2段目翼への流入角度が、あまり変化しない分、回転数比の影響が出にくく、許容範囲が広がるものと考えられる。

4. 二重反転ファンの性能

前章で述べた性能の最適化の結果、二重反転ファンの性能が他のファンに比較して、どのような位置付けになるかについて述べる。

同一条件で比較する必要があるため、無次元性能で比較する。ただし、ファン単体ではなく製品として比較した。

図5は送風性能を示す。ここで流量係数 ϕ は、同一羽根径、同一回転数でどれだけ風量が得られるかの指標であり、静圧係数 ψ はどれだけ静圧が得られるかの指標である。また、静圧効率 η_s は羽根の仕事量のモータ出力に対する割合を示すものである。

図5において、二重反転ファンは、プロペラファン及び斜流ファンに比べすべての面で優れている。シロッコファンと比べると、開放域から中・静圧域については二重反転ファンの方が優れているが、高静圧域においてはシロッコファンの方が適している。総じて二重反転ファンは、有効動作範囲が広いといえる。

図6に騒音特性を示す。ここで損失係数 ξ は、圧力損失カーブの傾き定数である。比騒音は前述のとおりで、図6の比騒音でも、プロペラファン、斜流ファンに比べ二重反転ファンが優れている。しかし、シロッコファンの吸込み側の比騒音と比べると、約5dB(A)高い。シロッコファンは、吸込み側の騒音に対して吐出し側の騒音が

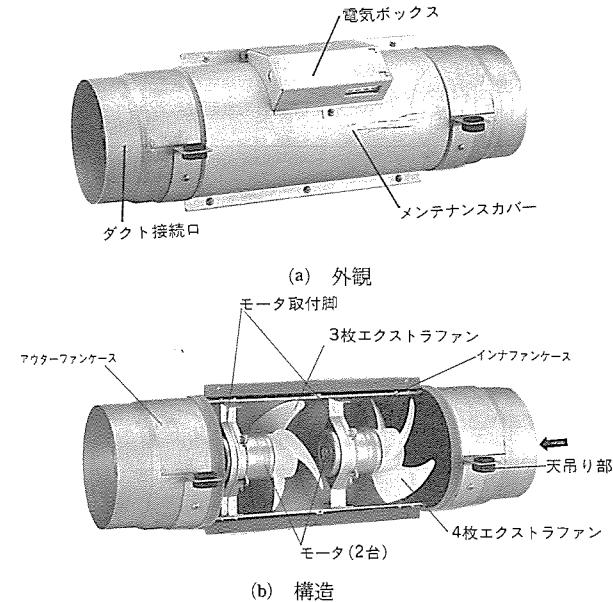


図7.《カウンターアローファン》の外観及び構造

| | 二重反転ファン V-150C | 斜流ダクト V-19ZMT | ストレート シロッコファン BFS-15AS |
|--------------|--|------------------|---------------------------|
| 外形寸法 (mm) | 平面 188 600 φ150 側面 195 350 φ200 248 238 250 240 竜氣 ボックス ドレン 穴 | 156 | |
| 重量 (kg) | ファン本体2.4 ファンケース2.2 計4.6 | 3.5 | 7.1 |

図8. 当社中間取付形送風機の寸法比較

約7dB(A)高くなるのに対して、二重反転ファンは吸込み側も吐出し側も騒音が変わらない。風の流れを室内方向へ向けて給気する場合は、むしろ二重反転ファンの方がやや騒音が低くなる。したがって、二重反転ファンは給気用送風機としては特に最適であるといえる。

5. 製品展開と換気システム提案

5.1 製品展開

この二重反転ファンは、最近、需要が伸びている中間取付形ダクト用換気扇に主眼をおき製品を開発した。

二重反転ファンを空調用送風機として実用化したのは、当社が業界初である。平成1年11月に、φ150mmダクト配管用の機種として、《カウンターアローファン》のペットネーム（二重反転ファンを使って矢のようにストレートな流れを作るファンの意）で、形名V-150Cをはじめとして合計5機種を発売した。機種系列は、同一形状・寸法で送風性能の異なるタイプ、給気用として断熱材付きのタイプ、羽根の回転方向を切り替えて、排気・給気が切り替えられるタイプの組合せである。主な用途としては、店舗、オフィス等の一般換気と空調用ブースターファンである。

のインナーファンケースの中に、2台の樹脂製の《エクストラファン》と2台のモータ及び取付脚を配設して、ファンユニットを形成している。このファンユニットの外側は、ダクト接続口のあるアウターファンケースでおおい、ファンユニットの大きさ分だけ、半径方向

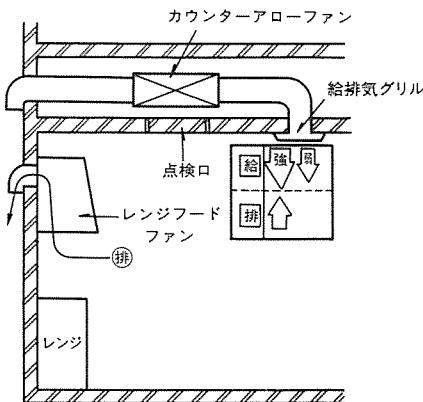


図9. レンジフードファン、給排・全体換気システム

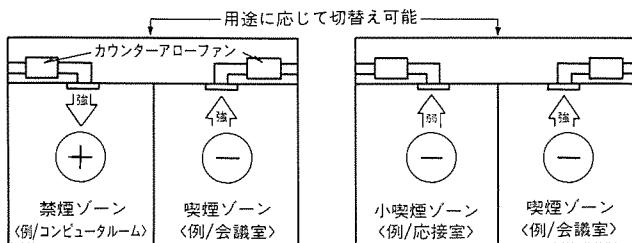


図10. 給排コントロールシステム

に2分割してメンテナンスカバーとして、ファンユニットを着脱できるようにしている。メンテナンスカバー側の上部には、電源配線を行く端子台やモータリード線等の内部配線部が収納された電気ボックスが取り付けられている。

特長として以下の内容がある。

(1) スリムで軽量である。

図8に、当社の中間取付形送風機の寸法比較を示す。この図から《カウンターアローファン》が最も薄形（スリム）であることが分かる。また、重量は斜流ダクトが3.5kgで最も軽量である。しかし、《カウンターアローファン》の送風性能が斜流ダクトの約1.5倍であることから、《カウンターアローファン》の2台は斜流ダクト3台に相当することになり、同等性能で比較すれば《カウンターアローファン》が最も軽量といえる。したがって、従来天井裏スペースが狭くて設置に苦労していた場所にも対応が可能となり、軽量であるため据付け作業が楽になる等、施工性が向上する。

(2) ファンユニットの脱着、方向の入替えが簡単である。

メンテナンスカバーを外せば、ファンユニットがアウターファンケースから簡単に外すことができ、ファンユニットを軸方向に180度反転させれば風の流れ方向が逆にできる。したがって、メンテナンス性が優れているだけでなく、配管工事後の風方向の変更も容易で、天井面に設ける点検口とメンテナンスカバーの位置と風の流れ方向を自在に組み合わせることができるため、工事性が向上する。

(3) 全機種とも強弱速度調節付きである。

全機種、強弱速度調節付きであるから、複数台設置時の排気・給気と運転モード（強・弱）の組合せにより、室内の圧力コントロールも可能となって、換気設計幅が広がる。

(4) 給排気切替タイプもラインアップしている。

羽根の回転方向を切り替えて、排気と給気が切り替えられるタイ

プもある。羽根の回転方向の切替えで、風の流れを切り替えられるのは、プロペラ形のファンの特長であり、二重反転ファンも同様である。これにより、換気設計幅が更に広がる。

(5) 給気用として、本体結露を防止する断熱材タイプもある。

給気用として送風機を使用する場合、送風機内を流れる空気温度が送風機本体の周囲温度より低いと、本体が結露することがある。その結露を防止するため、断熱材を本体に施したタイプもある。通常、断熱については、工事現場で行っているが、本体にあらかじめ断熱材を施したこの製品は、配管部分の断熱工事だけで済むことになる。

これらをまとめると、この製品群は、二重反転ファンの技術とそのコンパクト性だけでなく、送風機の重要なニーズである設計・施工性の向上に対して工夫をこらしたものである。

5.2 換気システム提案

この《カウンターアローファン》を使って、従来の送風機に勝る新しい換気システムを創造することができる。

(1) レンジフードファン、給排・全体換気システム

図9は、レンジフードファンと《カウンターアローファン》を組み合わせたシステム例である。給排切替タイプの《カウンターアローファン》を使い、室内側へ給気する流れを主体（強弱速度調節）としている。最近の建物は気密度が増しているため、大風量であるレンジフードファンを運転する際には、給気が問題となる。このシステム例では、レンジフードファン運転と連動して《カウンターアローファン》を給気運転させ、その問題を解消している。強弱速度調節もレンジフードファンと連動させることができる。一方、レンジフードファンを運転しない場合は、《カウンターアローファン》を排気運転し、小風量の全体換気ができる。最近は、ダイニングとリビングがワンルームになっている住宅が多くなり、このシステム例は好適である。

(2) 給排コントロールシステム

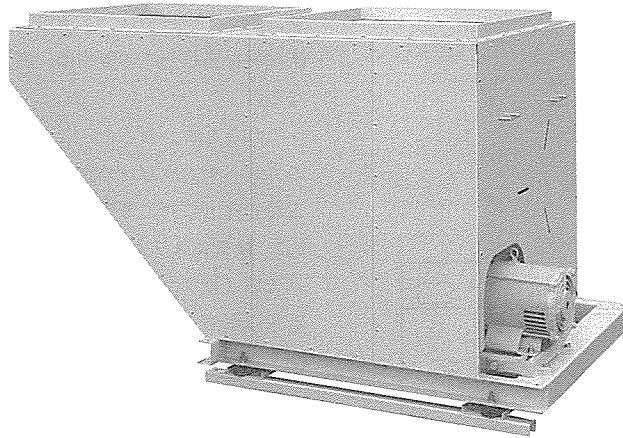
図10は、居室の換気をコントロールするシステム例である。図の左側に示すように、2室に間仕切りされた室に、2台の《カウンターアローファン》を使って、一方を室内へ給気し、もう一方を排気することで、給気側の室は正圧、排気側の室は負圧にコントロールできる。したがって、負圧側の室の空気は正圧側の室には移行しないため、禁煙ゾーンと喫煙ゾーンに設定することができる。給排切替タイプを使って排気と給気を逆にすれば、逆の設定もできる。また、図10の右側は、両方の室とも排気にしているが、一方を強運転、片方を弱運転することにより、圧力差を作ることで喫煙ゾーンと小喫煙ゾーンを設定する例である。

6. むすび

従来、空調用送風機としては、実用化されていなかった二重反転ファンに、様々な技術検討を加え、《カウンターアローファン》として製品化した。これによって、天井裏スペースの縮小化による薄形送風機や、給気用送風機の要望といった市場ニーズに対応することができるとともに、新たな換気システムを創造・提案することができた。今後は二重反転ファンの新たな用途開発を行い、送風機分野において、プロペラファン、シロッコファン等と並ぶ一ファンとして確立していきたい。

空調用送風機大風量床置形

スポットライストレートシロッコファン



昭和59年に開発したストレートシロッコファンは、ボックス形状で直線流排気方式にまとめられており、高静圧で大風量が得られ、静音性、施工性、省スペース性などにすぐれた空調設備用送風機として、各方面で幅広く採用されています。なかでも特にストレートシロッコファンの採用が多いビル、マンションなど高層建築の空調設備は、建物の利用方法、メンテナンス効率等により、個別分散化方式、ゾーン方式、集中管理方式とさまざまなシステムがあり、換気送風機も小さなものから大風量タイプまで各用途への対応が必要とされます。

こうした市場の動向に対応して従来、羽根径12cmから45cmまで揃えていますが、さらに羽根径53cm(#3½)と60cm(#4)の大風量床置形タイプを追加しました。大風量タイプは重量、メンテナンス、振動、施工等の問題により、床置設置となる場合が多くなりますので、今回の新製品は床置形とし、上部から給気・排気の配管ができる構造とっています。これにより、大風量の空調設備用送風機として低騒音化とコンパクト化を両立させたストレートシロッコファンの機種充実を図り、室内空間の快適性向上と施工性の改善に対応します。

特長

●騒音の発生原因となる空気の乱れを最小にする独自の低騒音羽根とケーシング形状の採用により、低騒音、高静圧を実現した大風量タイプです。ビル、公共施設、ホテル、工場などの換気最適です。

- 給気、排気を上部からとし、給排気口に同一寸法のダクトが直接配管できる省スペースタイプです。狭い機械室などにも容易に設置でき、また施工も簡単です。
- ダクトに配管したままで羽根、軸受の保守点検ができる構造とし、メンテナンスを容易にしています。

特性・仕様一覧

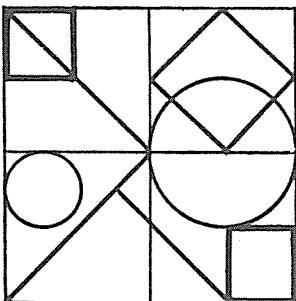
| タイプ | 形名 | 羽根径 cm(番手) | 電源 | 極数 (P) | 公称出力 (W) | 静圧 (mmH ₂ O) | 左記静圧時特性 | | | | 起動電流(A) 50/60Hz | 重量 (kg) | | | |
|-----|---------------------|---------------|------------|-----------|-------------|----------------------------|----------------------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|------------|-----|--|--|
| | | | | | | | 風量(m ³ /h) 50/60Hz | 電流(A) 50/60Hz | 入力(W) 50/60Hz | 側面騒音(ホン) 50/60Hz | 吸込騒音(ホン) 50/60Hz | | | | |
| 静音形 | BFS-53KT-50 -60 | 53 (#3½) | 三相 200V | 4 | 3700 | 30 | 12300/12300 | 13.5/13.7 | 3990/4200 | 65/65 | 74/74 | 113/97.8 | 230 | | |
| | BFS-53LT-50 -60 | | | | | | 12900/12900 | 19/18 | 5385/5400 | 67.5/67.5 | 77/77 | | | | |
| | BFS-60LT-50 -60 | 60 (#4) | | | 5500 | 40 | 15000/15000 | 17/15 | 4300/4400 | 65/65 | 73/73 | 130/110 | 240 | | |
| | BFS-60MT-50 -60 | | | | | | 18000/18000 | 24/23 | 6100/7100 | 69.5/69.5 | 79/79 | | | | |
| 消音形 | BFS-53KTU-50 -60 | 53 (#3½) | 三相 200V | 4 | 3700 | 30 | 11100/11100 | 13/13.5 | 3930/4240 | 63/63 | 66/66 | 113/97.8 | 240 | | |
| | BFS-53LTU-50 -60 | | | | | | 12300/12300 | 17.6/18 | 5000/5275 | 64/64 | 68/68 | | | | |
| | BFS-60LTU-50 -60 | 60 (#4) | | | 5500 | 40 | 14400/14400 | 18/17 | 5000/4800 | 62/62 | 64/64 | 130/110 | 250 | | |
| | BFS-60MTU-50 -60 | | | | | | 17700/17700 | 23/25 | 6700/7800 | 67/67 | 68/68 | | | | |

※風量測定はJIS B 8330に基づく風胴法で行なった値です。

※騒音は1.5m離れた地点Aスケール値です。なお実際に使用する場合は取付方法、ダクト形状などにより騒音は変化します。

※重量は電動機および床置防振架台重量が含まれています。

※外観色はマンセル7.5BG6/1.5です。



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 知的財産渉外部 TEL (03) 218-2139

半導体素子の製造方法 (特許 第1332874号)

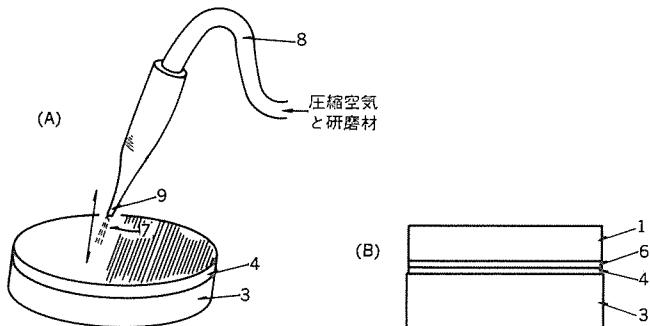
発明者 大館 光雄

この発明は、半導体ウェーハの一主面にその機械的強度を補強する金属支持板をロ一付け固着する半導体素子の製造方法に関するものである。

即ち、図に示す如く、粉末冶金法で形成されたモリブデンからなる金属支持板(3)上に厚さ $12\mu\text{m}$ 程度のモリブデンアルミニウム層(4)を形成した後、この層(4)上に強固に付着している酸化物、窒化物などを、高融点のガラス又はセラミックなどの微粉研磨材(平均粒径 $24\mu\text{m}$)(7)を用い、これを約 6 kg/cm^2 の圧縮空気と共に、パイプ(8)を経て細いノズル(9)より層(4)面に噴出させて研磨、除去する。このようにして層(4)の表面に付着した酸化物、窒化物などを除去した後の金属支持板(3)は、あらためて化学的に清浄化され、かっその後、半導体ウェーハ(1)と金属支持板(3)とは、半導体ウェーハ(1)の一主面、即ち、P形領域面に真空蒸着法などにより付着形成された厚さ $12\mu\text{m}$ 程度のロー付け金属層としてのアルミニウム層(6)とモリブデンアルミニウム層(4)を接して重ね合わせ、かつステンレス鋼による加圧を行なした状態で、不活性ガス又は真空中で、例えば 620°C 、20分間の加熱処理を施すことにより、半導体ウェーハ(1)のアルミニウム層(6)がP形領域と共に溶融してアルミニウムシリコン共晶を作り、金属支

持板(3)上のモリブデンアルミニウム層(4)に濡れ、その後冷却すると、半導体ウェーハ(1)と金属支持板(3)がアルミニウムシリコン共晶層により固着されて、例えは目的とする電力用ダイオードを得ることができる。

従って、ロー付け時のロー材の成分及び溶融点の変動を解消し、半導体ウェーハのロー材くい込みを均一化でき、これによって得られる半導体装置の電気的特性及び信頼性の向上に寄与し得る。



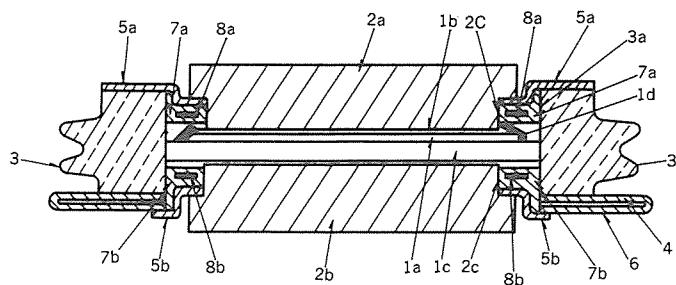
半導体装置 (特許 第1045969号)

発明者 須川 嘉幸、鹿野 義郎

この発明は、大容量用半導体装置の故障に伴う事故発生を確実に防止し、安全な運転を可能にした新規な半導体装置に関するものである。

即ち、図に示す如く、電極体(2a)に金属薄板からなるダイアフラム(5a)にセラミック等から形成された環状の外装体(3)を取り付けて一体となすことにより、ダイアフラム(5a)を底部、電極体(2a)の内壁(2c)及び外装体(3)の内壁(3a)を側壁とする環状の溝部を形成し、この溝部に室温加硫性のシリコンゴムを流し込む。このシリコンゴムにセラミックリング(8a)を押し込むことによりセラミックリング(8a)をシリコンゴム層(7a)に埋設し、ダイアフラム(5a)の半導体素子(1)に対向する面側に保持する。また、電極体(2b)にダイアフラム(5b)を取り付け、外装体(3)に相当するガイド(図示せず)をダイアフラム(5b)に設けることにより環状の溝部を形成する。こうして、この溝部に上記の場合と同様にシリコンゴムを流し込み、シリコンゴム層(7b)中にセラミックリング(8b)を埋設する。次に、半導体素子(1)を電極体(2a)及び(2b)の間に接合すると共に溶接フランジ(4)と溶接リング(6)とをアーク溶接する。

以上のように、この発明に係わる半導体装置は、電極体と外装体とを結合するダイアフラム等の金属板と半導体素子との間にセラミックからなる高耐熱性絶縁体及び埋設させるシリコンゴムからなる接着性絶縁層から構成された絶縁遮へい体を装着することにより、上記半導体素子と上記金属薄板との間を電気的かつ熱的に完全に遮へいするので、故障電流による火災等の事故発生を確実に防止することができ、単に接着性絶縁層のみで構成されている場合に比べて熱的電気的遮へい能力の高いものが得られる。



1

特許と新案 有償開放

有償開放についてのお問合せ先 三菱電機株式会社 知的財産部 TEL (03) 218-2139

半導体装置 (特許 第1208454号)

発明者 大館 光雄

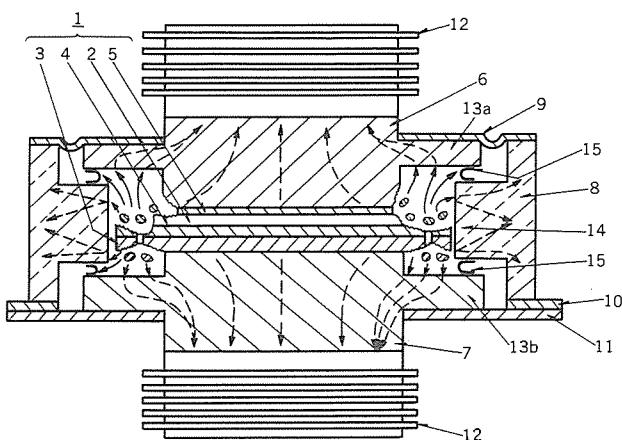
この発明は、特に電力用半導体装置などにおいて、その短絡電流による爆発に対する耐量の向上を図るようにしたものである。

即ち、図に示す如く、第1の主電極(6)及び第2の主電極(7)がその対向方向においてそれぞれ絶縁体(8)と対向すると共に、上記第1、第2の主電極(6)(7)の突出部(13a)(13b)と絶縁体(8)の突出部(14)との対向面間、金属からなる断面U字形の環状遮へい体(15)を介在させ、半導体整流素子(1)から可接金属板(9)及び環状平板(11)への遮へいの通路を閉鎖するようにした。

従って、短絡電流により半導体整流素子(1)の周辺部に発生した高温アーカによって溶融した部材の溶融片が、図中で実線矢印で示すように、各突出部(13a)(13b)(14)に当たり、可接金属板(9)及び環状平板(11)に触れることを防止することができると共に、上記高温アーカによりプラズマ化された封入ガスのプラズマが直接可接金属板(5)及び環状平板(11)に触れることも防止できる。また、図中で点線矢印で示すように、各主電極(6)(7)及び絶縁体(8)内部に溶融片のもつエネルギーが吸収され、溶融片はこれに固着する。突出部(13a)(13b)(14)に集中的に溶融片が当たる場合は、大きなエネルギーにてこれを溶かすことになるが、これに要するエネルギーが大きく消

費され、また加速された溶融片が一時的に停止するため、可接金属板(9)及び環状平板(11)を溶かし得るだけのエネルギーを持たなくなる。

以上のように、この発明によれば、従来のものにより電流二乗時間積値を大きくすることができ、爆発耐量のある半導体装置を提供することができる。



〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 64 No. 6 エンジニアリングオフィスシステム《EOS》特集

特集論文

- 《EOS》特集に寄せて
- 《EOS》の現状と動向
- 三菱が提案する将来の《EOS》
- 機械設計における《EOS》
- 電子設計における《EOS》
- 《EOS》の基礎技術
- 《EOS》のユーザー インタフェース
- 《EOS》のモデル環境
- ソフトウェア開発業務における《EOS》の構築
- 研究業務における《EOS》の構築

普通論文

- 関西電力㈱南港発電所向け 1号600MW水冷却タービン発電機
- 口径1.3m赤外線モニタ観測装置
- 分散利用が可能な日英機械翻訳システム
- MS OS/2用端末エミュレータ
- 高速4MビットCMOS EPROM
- トレンチ堆積法によるCVD成膜機構の解析
- 工業用ミシン押さえ機構の追従性

三菱電機技報編集委員

委員長 山田 郁夫
委員 名畠 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
5月号特集担当 渡辺 光人

三菱電機技報64巻5号

(無断転載を禁ず)
1990年5月22日 印刷
1990年5月25日 発行
編集兼発行人 長崎 忠一
印刷所 東京都新宿区榎町7
大日本印刷株式会社
発行所 東京都千代田区大手町二丁目6番地2号(〒100)
日本ビル 650号室
三菱電機エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」Tel.(03) 218-2806
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) 233-0641㈹, 振替口座東京6-20018
定価 1部721円(本体700円) 送料別
年間予約は送料共9,373円(本体9,100円)

デジタルオーディオインターフェース 受信用IC“M65810FP”

三菱電機ではこのたび、デジタル化が進むオーディオ機器向けに、デジタルデータを受信、復調するIC“M65810FP”を開発しました。近年ではミニコンポーネントにもCD、DAT、BSチューナ等のデジタルオーディオ機器が充実し、これらの機器とアンプ間の接続はデジタルデータで伝送されるケースが多くなりました。デジタルデータで伝送することにより伝送路での信号の劣化が少なく性能が向上すると同時に、アンプ以外の機器にはD-Aコンバータが不要になるため簡素化が図れるなどさまざまなメリットがあります。こうしたデジタルデータは図1に示すようにオーディオデータ以外に同期プリアンブル、バリディフラグ、チャネルステータスビットなどのデータが国際規格によって定められたフォーマット(デジタルインターフェースフォーマット)にしたがって組み込まれています。アンプ側ではまず、伝送されてきたデータをそれぞれのデータごとに復調する処理が必要になりますが、今回開発したICはアンプに搭載し、各デジタルオーディオ機器から伝送されてくる信号を受信、復調する役割を果たします。“M65810FP”は入力を6系統備えるなどミニコンポーネント用に最適設計しているほか、最近、国際的な協定が成立したDATのシリアルコピーマネジメントシステムに対応するビットが判定可能であるなどの先進の機能も盛り込み、アンプに音響シーンの新たな1ページを開きます。

特長

- 光伝送対応入力(CMOSレベル)3系統、同軸ケーブル伝送対応入力(レベル変換器内蔵)3系統、合計6系統の入力を備えています。
- 入力の切り替えは、リモコンに対応するシリアルデータによるマイコンモードと、パネルスイッチ対応のパラレルデータによるイージモードの2種類が選択できます。
- VFO(バリアブル フレケンシ オシレータ)を含むPLL回路を内蔵し、無調整で受信信号に同期します。
- 豊富なクロックを備え、幅広いデジタルフィルタIC、D-AコンバータICに対応できます。
- バリティチェックエラーのときはオーディオデータを前置ホールド、PLLアンロック時はミートし、不要なノイズを防ぎます。
- Cビットのサンプリング周波数情報、エンファシス情報は専用端子に出力されます。さらにマイコンモードではCビットの先頭32ビットをシリアルデータとして読み出すことができます。
- 36ピン超小形SOP(36P2R)を採用しています。

図1 デジタルオーディオインターフェースサブフレームフォーマット

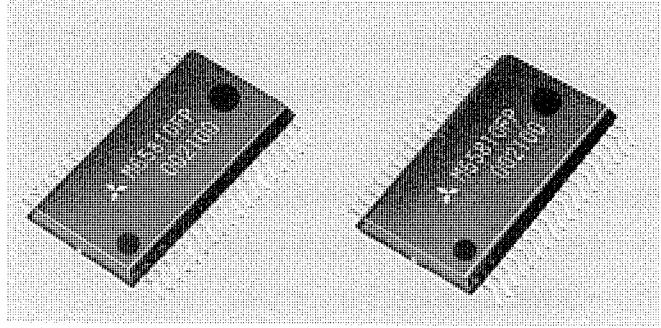
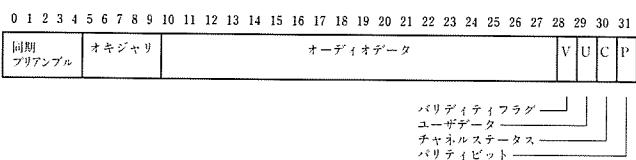


図2 ブロック図

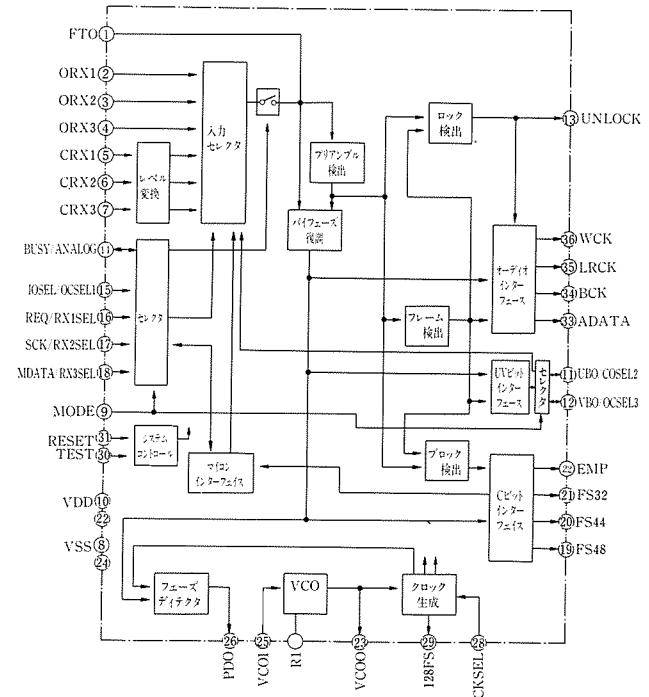
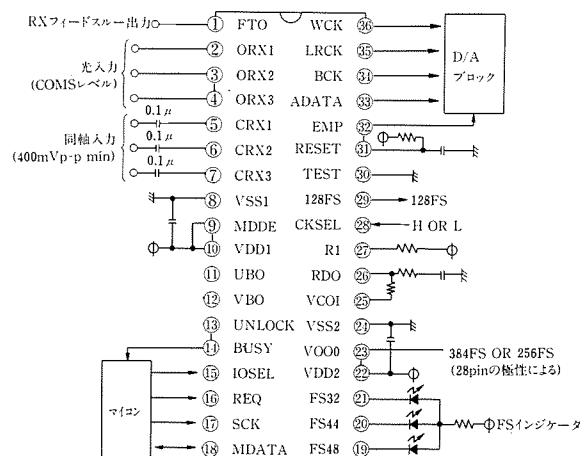


図3 応用回路例(マイコンモード)



新形超高压一点切タンク形

ガス遮断器

スポットライ

三菱電機の新形超高压一点切タンク形ガス遮断器は、高性能新形高速パッファ消弧室と新形油圧操作装置の特長を活かした、小形で信頼性の高い遮断器です。電力供給の高信頼度化などを目的とする送電系統の拡張や大容量化に伴って、電力用遮断器にもより一層の高信頼度化と大容量化が望まれています。このような市場ニーズに応え、遮断性能や動作信頼性の向上と小形化・大容量化を図るため、ここ数年の間に大きく進歩・向上した数々の新技术を適用して、超高压一点切タンク形遮断器の新鋭化を行いました。

特長

●新形高速パッファ消弧室

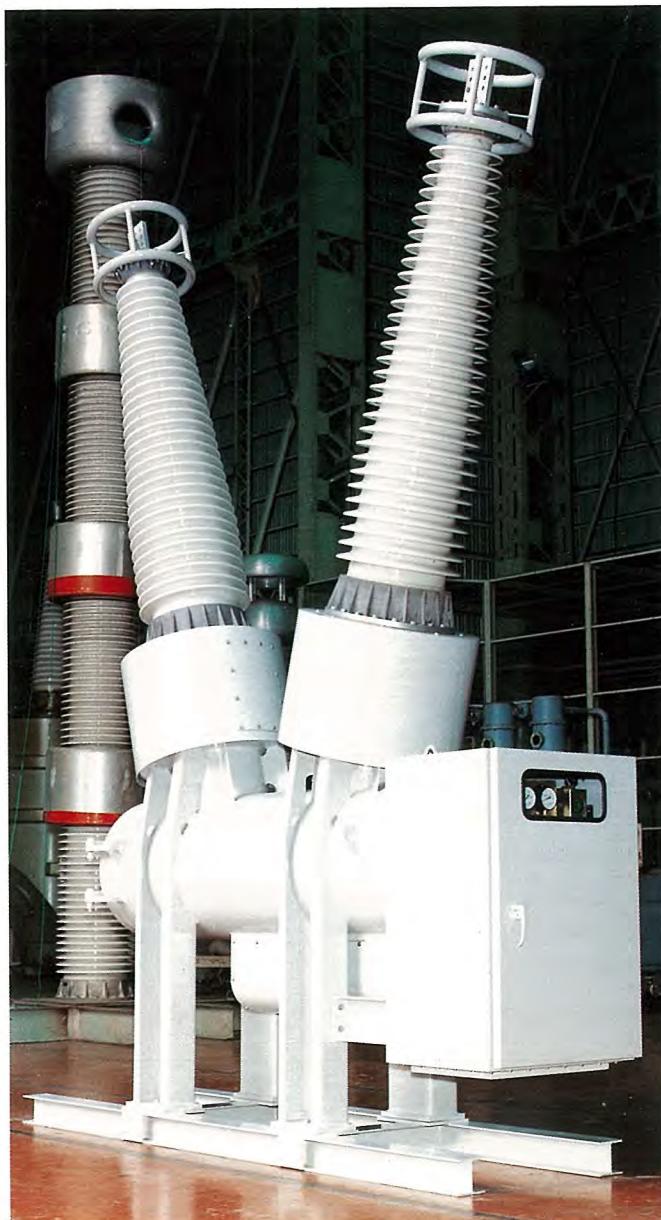
新形高速パッファ消弧室の設計には遮断時のアーク現象解析や、新開発の熱ガス流解析などの高度な解析技術を用い、パッファ室から絶縁ノズルに至る流路を超音速流に適した形状にしています。また、パッファ室を小形・軽量化して、従来と同一の操作力で遮断速度を高めています。その結果、アークに吹き付けられるガス流速や開極速度が高められ、遮断性能が向上しました。

●新形油圧操作装置

この遮断器に適用している新形油圧操作装置(OM形)には、回路内の油圧の変動を開閉極動作の瞬時に限定し、動作完了後はすべての回路内の油圧を常に高圧に保つ三菱独自の常時高圧安定回路を採用しています。このため、油に溶解した空気を排出するためのならし操作が不要となり、さらに溶解空気の気泡化に伴うトラブルを本質的になくすことができるため、保守性や動作信頼性が従来形に比べて向上しました。

●新材料

絶縁耐力を従来の1.5倍に向上させた小形で高性能な新形セラミックコンデンサを開発。素子の絶縁裕度の向上と、極間の電界緩和を図っています。また63kA短絡遮断時のノズルの耐損傷性や耐消耗性を改善するために、新材料を用いたノズルを採用。63kA多数回遮断時の性能裕度が大幅に向上しました。



定格

この遮断器は、JEC-2300-1985に準拠しています。

- 定格電圧 : 240/300kV
- 定格電流 : 2/4/6/8kA
- 定格遮断電流 : 50/(63)kA
- 定格遮断時間 : 2サイクル
- 定格操作圧力 : 320kgf/cm²(油圧)
- 定格ガス圧 : 5kgf/cm²(20°C)

スポットライト 設備巡視点検システム



変電設備の異常の数十%が巡視点検で発見されている現状に着目して、三菱電機では「設備巡視点検システム」を開発しました。このシステムは、巡視点検の実態を分析し、保守マンの経験や、統計処理技術などを導入することにより、巡視点検の確度・精度の向上や判断の均一化を目指したもので、この巡視点検システムでは、まずホスト計算機から当日の巡視項目をハンディーターミナルに転送し、このハンディーターミナルに巡視点検結果を入力します。そして巡視点検終了後、結果を計算機に転送すると計算機で各種判定処理が実行され、判定結果とともに判定理由や点検要領が提示されます。この結果は保存され、データの検索やグラフも表示できますので判断や調査に有効です。また隨時、巡視指示票や報告書の作成も可能です。

特長

● 豊富なソフトウェア

4つのシステム：巡視点検システム、データ処理システム、メンテナンスシステム、システム生成システムで構成しています。

● 柔軟なデータ構造

対象(変電所)に応じて、階層化構造をとったデータベース：機種、形式、巡視項目、判定基準値等の作成やシステム運用後の変更も容易にできます。

● ベテラン並の能力

巡視項目の特性に応じた判定方法を有し、統計処理などにより異常徵候の早期発見も支援します。

● すぐれた操作性

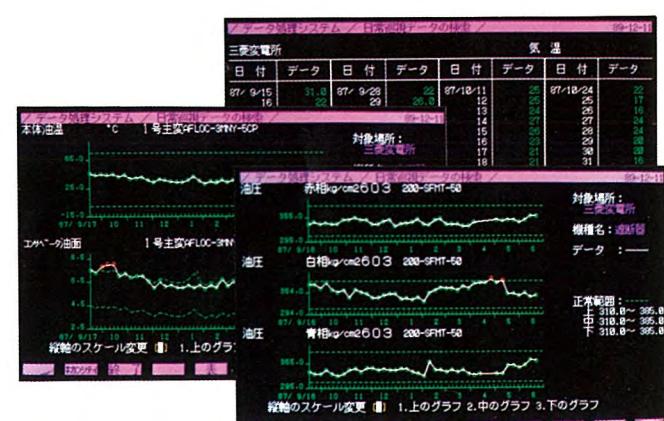
対話形操作で簡単に利用できます。

● すぐれた経済性

最大26対象場所までサポートできます。またパーソナルコンピュータで利用できます。

| ／巡回点検システム／日常巡回／ | | 89-12-1 | | | | | |
|-----------------------------|--|---------|------|------|------|-----|--|
| 605 遮断器 | 油圧 kg/cm ² 白相 | 345 | 330 | 330 | 330 | 330 | |
| | 青相 | 340 | 323 | 327 | 330 | 330 | |
| | ガス圧 kg/cm ² 赤相 | 5.4 | 5.2 | 5.3 | 5.3 | 5.2 | |
| | 白相 | 5.4 | 5.2 | 5.3 | 5.3 | 5.2 | |
| | 青相 | 5.4 | 5.2 | 5.3 | 5.3 | 5.2 | |
| 606 遮断器 | 空気圧 kg/cm ² | 16.2 | 15.8 | 16.2 | 15.9 | — | |
| | ガス圧 kg/cm ² | 5.5 | 5.4 | 5.4 | 5.5 | 4.8 | |
| | CB動作回数カイ 赤相 | 608 | 608 | 608 | 608 | 608 | |
| 604 遮断器 | 白相 | 585 | 585 | 585 | 585 | 585 | |
| | A:異常 a:データ急変 g:誤報 q:誤報? | | | | | | |
| | X:定期点検中 t:計測不能 U:不可効力 | | | | | | |
| | 50口6 遮断器 力矩は kg/cm ² データ急変(正常範囲で変化範囲が大きい) | | | | | | |
| | 日常巡回データ 4.8 - 5.2 予想範囲 5.7 200-SFT-40 | | | | | | |
| 各種要領：IB-425-E PT-9-27-41-33 | | 保持 取消 | | | | | |
| 初期化 編集 | | グラフ | | | | | |

巡回結果確認、入力画面例



表、グラフ出力例

三菱エンジニアリング・ワークステーション

スポットライト

MELCOM-ME250/250FX/350/350FX



このたび三菱電機では、三菱エンジニアリング・ワークステーションMELCOM MEシリーズにME250/ME250FX/ME350/ME350FXを開発し、一層充実しラインアップとしました。

特長

①ME250/ME250FX

ME250/ME250FXはパーソナルユースの小形高性能エンジニアリング・ワークステーションで、UNIX環境、文書処理、CAE、CADスケマティックエンタリなどの多様な用途にパーソナルな感覚で使用できます。

●軽量・薄形タイプ

3個のASIC-LSIによりCPU、メモリ、入出力制御のすべての機能をA4サイズ・カード1枚に集約。3.5インチ200MBの固定ディスクと3.5インチのフレキシブルディスクを標準内蔵し、高さ69mmの超薄形ボディにコンパクトに収めています。

●豊富な表示機能

ビットマップディスプレイは、高精細(解像度1280×1024)のディスプレイを採用し、17インチモノクロ、16インチ/20インチの16色または256色(×ウィンドウ)の中から、制御装置とディスプレイの組合せにより選択できます。ディスプレイ制御装置も2個のASIC-LSIにより小形化しています。

●高速演算

ME250FXは、浮動小数点アクセラレータ(FPA)付きで、ME250の約2~3.5倍の浮動小数点演算性能を発揮し、高度科学技術計算に適しています。

②ME350/ME350FX

ME350/ME350FXは文書処理、CAE、CAD/CAM、CASEの高性能エンジニアリング・ワークステーションとして、またプリント・サーバおよびファイル・サーバとしてネットワーク・システムに使用できます。

●高性能

本装置の特長は高速演算機能でCADやCAEなどの解析計算や技術計算に必要な高速浮動小数点演算を行います。さらにFXモデルでは、浮動小数点アクセラレータ搭載により約2~3.5倍の性能アップが可能です。

●多様な拡張機能

オプション・スロットは2スロット準備されており、A/B複合通信制御装置、インテリジェント通信制御装置、イメージ・リーダ・プリンタ制御装置およびX.25通信制御装置から選択して利用できます。

仕様

| モデル | ME250 | ME250FX | ME350 | ME350FX |
|-------------------|------------------------------------|---------------------|--|---------------------|
| CPU (クロック) | | | 68030 (25MHz) | |
| FPP (クロック) | | | 68882 (25MHz) | |
| FPA (クロック) | - | 3168-BRD (25MHz) | - | 3168-BRD (25MHz) |
| 主メモリ | 4MB(基本) 16MB(最大) | | 8MB(基本) 32MB(最大) | |
| キャッシュメモリ | - | | 64KB | |
| 解像度 | | 1280×1024 | | |
| CRTサイズ | カラー16インチ/20インチ、モノクロ17インチ | | カラー16インチ/20インチ | |
| 同時表示色数 | モノクロ、16色(基本)、256色 | | 256色 | |
| ディスク | | 3.5インチ 200MB(基本) | | |
| FDD | | 3.5インチ 1MB/1.4MB | | |
| 入力装置 | JISキーボード、マウス(3または4ボタン)またはタブレット(A3) | | | |
| 基本入出力インターフェイス | SCSI、RS232C×2、セントロニクス、LAN | | | |
| 入出力スロット (VME) | - | | D.L(ダブル・ロング)×1 S.L(シングル・ロング)×1 | |
| 増設FXD | | 140MB/320MB 最大3台 | | |
| 増設FDD | - | | 5.25インチ 1MBまたは 8インチ 1MB | |
| カセットMT | 155MB(外置き) | | 155MB(内蔵または外置き) | |
| 入出力制御/ 通信制御 | | - | GPIB/RS232C/Vインターフェイス /X.25インターフェイス/SCSI、 イメージリーダ・プリンタ制御装置 インテリジェント通信制御装置 | |
| 本体寸法(H×W×D) 重量 | 69×428×360mm 9kg | | 133×440×360mm 17kg | |

インテリジェント電磁流量計 “SF780F”



ハンドヘルドコミュニケータ(オプション)の
分かりやすい日本語表示とタッチパネルによる操作

三菱電機では、総合計装制御システムのラインアップを充実させるため、このたび新たに電磁流量計“SF780F”を開発・発売します。この電磁流量計は、ファラデーの電磁誘導の法則により、管路を流れる導電性流体の流量を測定するものですが、さらにマイクロプロセッサを搭載することによってインテリジェント化を図り、高精度・高機能化を達成しています。またメンテナンス用の端末であるハンドヘルドコミュニケータを、電磁流量計変換器の出力信号ラインに接続することにより、リモート操作で保守・点検業務を行なうことができます。今回発売するのは口径が50φから600φまでですが、本年6月に5φから25φの小口径、10月には700φから1,200φまでの大口径も発売する予定です。

特長

●小形、軽量化を実現

検出器、変換器とも従来のものと比較して小形、軽量化されており、特に検出器は最短面間距離を実現しています。

●指示値に対し±0.5%の高精度

口径50φ～200φの検出器においては流速1～10m/sの範囲で、指示値に対して±0.5%の高精度度を可能にしています。

●インテリジェント化された豊富な機能

多重レンジ、正逆流量測定、自動ゼロ・スパン校正、積算(正・逆・差)、上下限警報、自己診断などの機能を標準で装備しています。

●ハンドヘルドコミュニケータ(オプション)によるリモート操作

電磁流量計変換器から離れた場所での保守・点検作業が可能になりました。

- 日本語(漢字含む)による分かりやすい対話方式
- 各種パラメータの設定および確認
- プロセス量の瞬時表示およびトレンド表示
- 自己診断機能

●真空などに強いライニングパイプを採用

配管内が真空になることによって生じるライニングの剥離を防止する構造となっています。

主な適用分野

- 浄水場、下水処理場、農業用水、ダムなどにおける流量計測
- 食品、化学、発電プラントなどのあらゆる工業分野の流量計測
- その他 管路における流体の流量計測

仕様

| 検出器仕様 | | | |
|----------|--|----------|--------------|
| 口径 | 50～200φ (50, 80, 100, 150, 200) | フランジレス | |
| | 250～600φ (250, 300, 400, 500, 600) | フランジ付 | |
| 電極材質 | SUS316L、チタン、ハステロイC、タンタル、白金イリジウム | | |
| ライニング材質 | テフロンPFA、ポリウレタン | | |
| 法兰規格 | JIS10K・20K、水道規格1種・2種 | | |
| 構造 | 防浸型 (JIS C 0920) | | |
| 変換器仕様 | | | |
| 測定範囲 | 0～0.3m/s～0～10m/s (流速換算) | | |
| 精度 | 検出器と組合せて | | |
| 公称径 | | 流速 | 25%指示以上 |
| 50～200φ | | 1～10m/s | 0.5% OF RATE |
| | | 0.3～1m/s | 1.0% OF FS |
| 250～300φ | | 1～10m/s | 1.0% OF FS |
| | | 0.3～1m/s | 1.0% OF FS |
| 400～600φ | | 1～10m/s | 1.0% OF FS |
| | | 0.3～1m/s | 1.5% OF FS |
| 電源 | AC100V±10% 50/60Hz DC24V±10% 共用 | | |
| アナログ出力 | DC4～20mA (負荷抵抗800Ω以下) | | |
| パルス出力 | 0.0001～1000PPS (オープンコレクタ出力) | | |
| 警報・状態出力 | 警報出力…流量上下限・自己診断 *自己診断…μP異常、A/D異常、コイル断線、空検知など 状態出力…正逆流量方向・自動多重レンジ | | |
| 多重レンジ | 手動切換…最大4レンジまで可能 自動切換…2重レンジ | | |
| その他の機能 | 正逆流量測定機能・瞬時および積算流量表示機能・停電復帰処理機能・遮断機能・0%シグナルロック機能などを標準装備 | | |
| 表示 | 7セグメントLED7桁 | | |
| 構造 | 耐水形 (JIS C 0920) | | |