

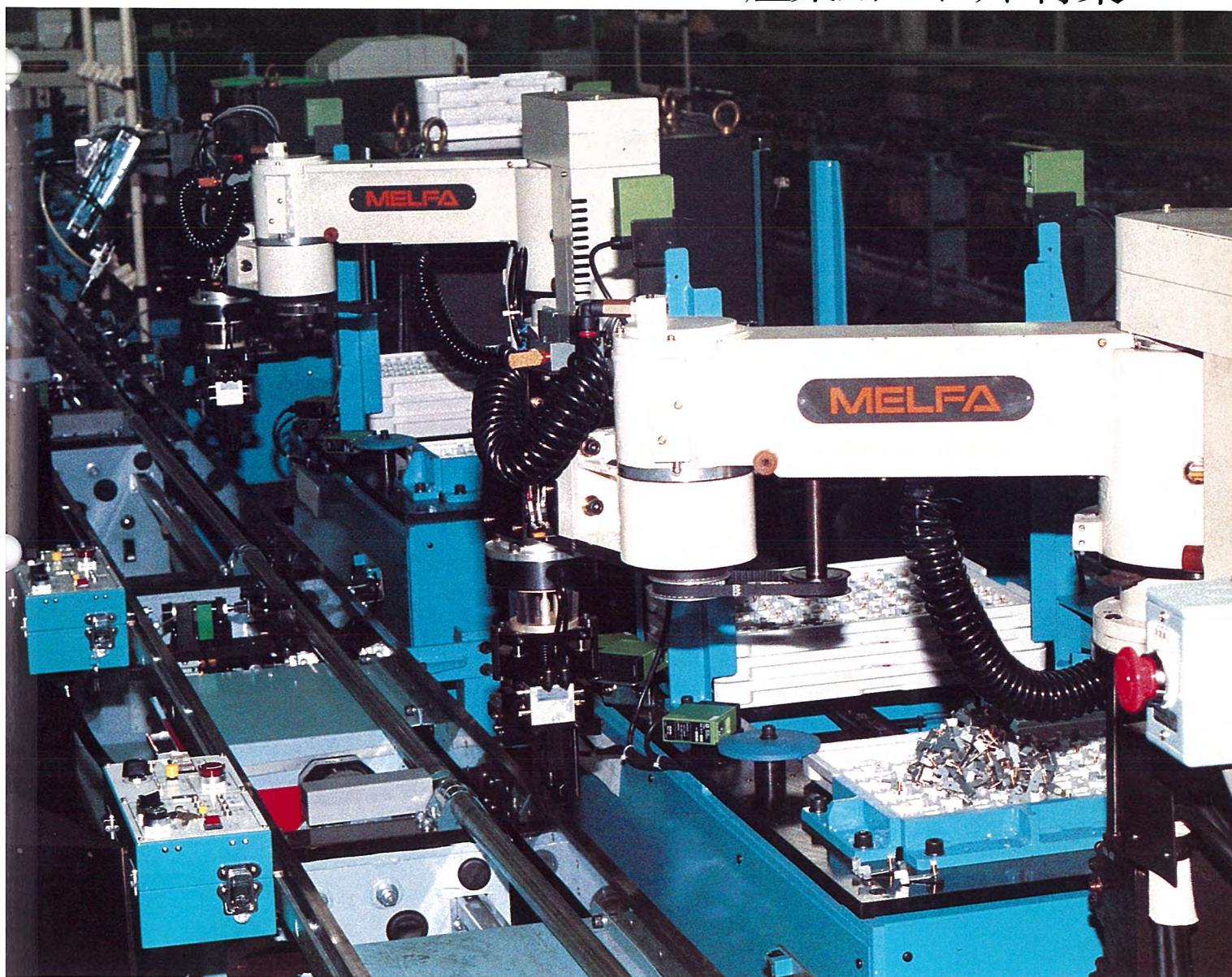
MITSUBISHI

三菱電機技報

MITSUBISHI DENKI GIHO Vol.59 No.10

10
1985

産業用ロボット特集



三菱電機技報

Vol.59 No.10 1985

産業用ロボット特集

目次

特集論文

- FAにおける産業用ロボットの現状と今後の課題…………… 1
田口 堅・宮 幸助
- 産業用ロボットコントローラ《MELFA-RA2》とその応用…………… 5
安藤春樹・森 俊二・志賀康宣
- 中小形組立・マテハンロボットシリーズとその応用…………… 10
志賀康宣・寺内常雄・宇根隆蔵
- クリーンルーム用搬送機器…………… 16
三田村隆輝・深沢 豊・近藤 誠・今井弘志・渡辺 寛
- オンライン視覚付きアーク溶接ロボット…………… 21
馬場孝夫・丸山寿一・可部明克・土井研一
- 原子炉格納容器内遠隔点検ロボット…………… 25
青木紀彦・柏井潤一・山本郁夫・深田浩一・山中芳宣
- 山積みされたクランクシャフトの認識…………… 30
深田陽司・土井 博・永峰啓二・稲荷隆彦
- 力覚ハンドを適用したピンピッキングロボット…………… 34
平田洋司・西田好秀・守田裕親

普通論文

- 気象情報システム…………… 38
辻 浩一・西浦武士・流郷忠彦・由良 隆
- NR形Hシリーズ負荷時タップ切換器…………… 43
柳 武彦・吉田和夫・今井満夫・坂本 昇・源川一志
- プロセスオートメーションにおけるマンマシンシステム《MACTUS 620》…………… 48
片岡猪三郎・小川賢治・江上憲位・一枝圭祐・谷口裕則
- 《MELCOM 70 MX/3000》内蔵形科学技術計算プロセッサSP…………… 54
下間芳樹・黒田健児・黒田正博・井上信義
- 球レンズ付きInGaAsP/InP1.3 μ mLED…………… 58
池田健志・浪崎博文・大村悦司
- 漢字キャラクタジェネレータ用大容量マスクROM…………… 61
松尾龍一・金子正秀・藤本 稔・的池敦子・上村統久

特許と新案…………… 64

発電制動装置

スポットライト

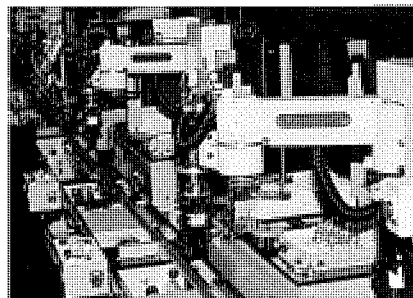
- KD-25HTX形コンパクトタイプ石油ファンヒーター…………… (表3)

表紙

産業用ロボットMELFA

FA時代といわれる今日、フレキシブルな生産システムの確立が強く求められ、各種産業用ロボットの出現が望まれています。当社はコンピュータやシーケンサ開発などのエレクトロニクス技術と、レーザ加工機や放電加工機開発などのメカニカル技術を結集したメカトロニクス技術を駆使して、各種ロボットの開発を強力に推進しております。今回、産業用ロボット特集としてその開発の一端を紹介します。

写真はMELFAインテリジェンスシリーズを使用した電子商品組立ライン。



アブストラクト

FAにおける産業用ロボットの現状と今後の課題

田口 堅・宮 幸助

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P1～4

加工組立産業を中心にFA化の波が急速に伸展してきているが、その中で、産業用ロボットの役割は極めて大きい。このような背景をもとに、FAにおける産業用ロボットの現状と今後の課題について、普及面、役割面から解説するとともに、当社の産業用ロボットに対する現状及び取組について紹介する。

オンライン視覚付きアーク溶接ロボット

馬場孝夫・丸山寿一・可部明克・土井研一

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P21～24

半導体レーザ及び光位置検出器からなる三角測量利用の視覚センサを備えたアーク溶接ロボットシステムである。この視覚システムは従来からの溶接線検出方法に比べ適用範囲が広く、かつ高精度である点が特長である。また視覚ユニットが溶接トーチと一体的に装備され、溶接線のオンライントラッキングが可能である。このアーク溶接ロボットシステムにより教示作業が簡単化され、ワークの位置決め誤差や熱ひずみによる変形などに柔軟に適應することができる。

産業用ロボットコントローラ《MELFA-RA2》とその応用

安藤春樹・森 俊二・志賀康宣

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P5～9

《MELFA-RA2》は、実用レベルでは最上位に位置する動作記述レベルのロボット言語を持つ拡張性の高い産業用ロボットコントローラである。基本形は昭和57年に開発製品化したが、その後知覚判断機能を必要とする応用分野が増大しつつある。これに対応して最近開発したコンペイトラッキング、視覚センサリンク及びパーソナルコンピュータリンクについて、その概要を紹介する。

原子炉格納容器内遠隔点検ロボット

青木紀彦・柏井潤一・山本郁夫・深田浩一・山中芳宣

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P25～29

原子力発電所の原子炉格納容器内は、厳しい環境下において運転員による巡回点検の実施に制約を受けるため、遠隔で点検可能なロボットの開発が望まれている。原子炉格納容器内を点検するロボットは、厳しい環境条件に耐え、かつ複雑で狭隘なスペースの移動が可能な小形化が要求される。こうした要求に答えるため、加圧水型原子炉格納容器内の機器類の遠隔監視が可能な小形空間走行式点検ロボットを開発中（試作試験段階）であるのでその概要を紹介する。

中小形組立・マテハンロボットシリーズとその応用

志賀康宣・寺内常雄・宇根隆蔵

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P10～15

自動化が難しいとされていた組立作業へのロボットの適用は、ここ2、3年で急速に実用化段階へ進んできている。組立作業は一般に人間が本来的に持っている柔軟性を要求され、内容も様々であり、その作業に対応した経済性の追求も厳しい。本稿では、これまでに開発製品化した中小形組立・マテハンロボット《MELFAシリーズ》の概要と応用事例について紹介する。

山積みされたクランクシャフトの認識

深田陽司・土井 博・永峰啓二・稲荷隆彦

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P30～33

複雑な構造を持つ物体が山積み状態で提供される場合、物体を一つずつ正確に認識し確実に取り出すことが必要となる。本論ではクランクシャフトを例として、この機能を実現するための認識アルゴリズムについて述べる。まずクランクシャフトを単純な二次元図形（基本図形）の集合体とみなし、基本図形間の距離や方向などの幾何学的関係をモデル化しておく。認識時には入力二値画像を基本図形画像に変換した後、モデルを利用してシャフトを1本ずつ認識する。

クリーンルーム用搬送機器

三田村隆輝・深沢 豊・近藤 誠・今井弘志・渡辺 寛

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P16～20

工場のFAを進める上で自動搬送は欠くことのできない大きな役割を担っており、近年はとくにOA機器や半導体生産ラインなど、クリーン環境で使用される搬送の要求が高まっている。当社においても既にFA化された半導体工場が稼働している。今回、システムの中核となる無人搬送車と搬送ロボットを開発したので、機器の特長と仕様並びに技術ポイントについて紹介する。

力覚ハンドを適用したピンピッキングロボット

平田洋司・西田好秀・守田裕親

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P34～37

現状のロボットを応用する場合、把持対象部品を分離、整列して供給する必要があることから、部品の位置や方向を認識できる感覚機能をもったロボットの開発が待望されている。ここでは、力覚センサを備えた指先を対象に接触させて、接触力の3方向成分を検出、演算することにより、位置と方向を判断し、部品収納容器に詰められた部品を1個ずつ取り出せるインテリジェントなロボットを紹介する。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 21 ~ 24 (1985)

An Arc-Welding Robot with an On-Line Visual Sensor

by Takao Bamba, Hisaichi Maruyama, Akiyoshi Kabe & Ken'ichi Doi

Mitsubishi Electric has developed an arc-welding robot system with a new type of visual sensor designed to track welding seams with greater precision and under more diverse conditions than previous sensors. The new sensor, consisting of a laser diode and photodetector, is mounted directly on the welding torch and employs triangulation to detect the welding seam. The system features on-line tracking, simplified teaching, and flexible compensation for workpiece-positioning error and thermal distortion.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 1 ~ 4 (1985)

The Present and Future of Industrial Robots in FA

by Ken Taguchi & Kosuke Miya

Factory-automation (FA) systems are being adopted rapidly, especially in machining and assembly operations, where industrial robots have made a remarkable contribution. The article focuses on the present and future of industrial robots, evaluating the robot's popularity and potential. Mitsubishi Electric's current generation of robots is introduced, with a survey of future development projects.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 25 ~ 29 (1985)

A Remote Inspection System for Use Inside Reactor Containment Vessels

by Toshihiko Aoki, Jun'ichi Kashiwai, Ikuo Yamamoto, Koichi Fukada & Yoshinobu Yamanaka

The harsh environment in the reactor-containment vessels of pressurized-water reactor nuclear-power plants precludes the possibility of direct circuit inspection; a remote-inspection system is essential. A robot for performing this task must not only be able to withstand the harsh conditions but must also be small and maneuverable enough to function effectively within complex and confined spaces. The article describes a monorail-type remote-inspection robot developed by Mitsubishi Electric to meet these needs, which is now under trial production and testing.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 5 ~ 9 (1985)

The MELFA-RA2 Industrial Robot Controller and Its Applications

by Haruki Ando, Shunji Mori & Yasunobu Shiga

The MELFA-RA2 is a highly expandable industrial robot controller featuring a high-level motion-control language that is one of the most advanced commercially available. Since the RA2 was first released in 1982, sensory functions have been added to meet growing demand for these capabilities. The article describes the newly developed conveyer-tracking function, the visual-sensor and personal-computer interfaces, and their applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 30 ~ 33 (1985)

Recognition of Crankshafts Stacked in a Bin

by Yoji Fukuda, Hiroshi Doi, Keiji Nagamine & Takahiko Inari

For a factory-automation system to cope with complex workpieces supplied in a bin, it must be able to accurately recognize and remove them. The article uses the example of crankshafts stacked in a bin to describe a recognition algorithm that implements this function. First, the crankshafts are viewed as a complex of two-dimensional images (or primitives), which are then geometrically resolved into relationships of distance and orientation. After the binary input images are converted to primitives, the model is used to distinguish the crankshafts one at a time.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 10 ~ 15 (1985)

A Series of Small- and Medium-Size Robots for Assembly or Material Handling

by Yasunobu Shiga, Tsuneo Terauchi & Ryuzo Ume

Robots performing assembly tasks require the flexibility of the human hand, the ability to perform a variety of operations, and high cost efficiency. Although these objectives were for long difficult to achieve, remarkable strides over the past two or three years have brought such robots into practical utilization. The article describes the structure and applications of the MELFA series commercially produced small- and medium-size robots for assembly and material-handling operations.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 34 ~ 37 (1985)

A New Bin-Picking Robot with Tactile Sensory Feedback

by Yoji Hirata, Yoshihide Nishida & Hirochika Mochida

Because present robot systems require that workpieces be lined up and supplied in a specific orientation, demand has arisen for robots with tactile feedback that can sense workpiece position and orientation. The article describes an intelligent robot that can remove workpieces individually from a bin. The robot's fingers are equipped with tactile sensors, and when these contact the workpiece, the three components of the contact force are analyzed to determine the workpiece position and orientation.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 16 ~ 20 (1985)

Material-Handling Equipment for Clean Environments

by Takateru Mitamura, Yutaka Fukazawa, Makoto Kondo, Hiroshi Imai & Yutaka Watanabe

Automatic material-handling equipment plays an indispensable role in any factory-automation scheme. In recent years, demand has arisen for automated material handling in the clean environments used to produce office-automation (OA) equipment and semiconductors. Based on experience with its own automated semiconductor plants, Mitsubishi Electric has developed an unsupervised transport car and material-handling robot as the core of an automated material-handling system. The article describes the features, specifications, and significant technical aspects of this equipment.

アブストラクト

気象情報システム

辻 浩一・西浦武士・流郷忠彦・由良 隆

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P38～42

気象情報は電力系統の安定運用及び経済運用に、不可欠なものである。三菱電機(株)では(財)日本気象協会を經由して気象庁の気象情報をオンラインで処理する「気象情報システム」を開発、北陸電力(株)中央給電指令所に納入した。このシステムによって、従来は電話・FAXなどに頼っていた気象情報がオンラインで入手できるようになり、気象の変化に対して以前よりも素早く対応できるため、電力系統の安定運用及び経済運用の精度向上を図ることが可能となる。

《MELCOM 70 MX/3000》内蔵形科学技術計算プロセッサSP

下間芳樹・黒田健児・黒田正博・井上信義

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P54～57

画像／信号処理、シミュレーションなど、様々なアプリケーションを高速に処理するコンパクトな15メガFLOPS内蔵形ベクトルプロセッサSPを開発した。この論文では、そのハードウェア、ソフトウェアの構成及び特長を示し、具体的なアプリケーション例及びその処理性能を紹介する。

NR形Hシリーズ負荷時タップ切換器

柳 武彦・吉田和夫・今井満夫・坂本 昇・源川一志

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P43～47

負荷時タップ切換器の普及がめざましく、小形化・保守の省力化の要求が年々高まり、この要求に沿うタップ切換器としてタップ選択開閉器式の負荷時タップ切換器が多用されるようになってきた。

当社では、同方式の豊富な納入実績と経験をもとに新しい技術的改善を加えてコンパクトで、保守に手のかからない中容量(132kV 95MVA)変圧器にまで適用できるNR形Hシリーズ負荷時タップ切換器を開発・製品化した。その技術的概要を報告する。

球レンズ付きInGaAsP/InP 1.3 μ mLED

池田健志・浪崎博文・大村悦司

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P58～60

これまでに当社が製品化している半導体光デバイスに加えて、球レンズ付きInGaAsP/InP発光ダイオードをME7011として新しく開発した。発光径、レンズ径、活性層の不純物濃度などのパラメータは、ファイバ内出力 $\sim 20\mu$ W、遮断周波数 ~ 120 MHzの特性が得られるよう設計されている。ME7011は、比較的短距離・大容量の光ファイバ通信用光源に適している。

プロセスオートメーションにおけるマンマシンシステム 《MACTUS 620》

片岡猪三郎・小川賢治・江上憲位・一枝圭祐・谷口裕則

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P48～53

プロセスオートメーション分野では、ユーザーニーズの多様化、高度化及びそれを実現するマイクロエレクトロニクス技術・通信技術の進歩により、分散形DDC、集中形CRTオペレーションが定着化し、更にトータルシステム化へと進んでいる。それに伴いマンマシンシステムの重要性はますます増大し、人間工学的アプローチによる操作性、監視性の向上、また高度な機能を容易に実現するソフトウェア生産性向上への要求が非常に大きい。

漢字キャラクタ ジェネレータ用大容量マスクROM

松尾龍一・金子正秀・藤本 稔・上村統久・的池敦子

三菱電機技報 Vol.59・No.10・P61～63

近年、OA化の普及に伴い、日本語情報処理システムの発展が著しい。また、これらのシステムに不可欠な漢字キャラクタ ジェネレータ用メモリとして、大容量マスクROMの需要が急増している。今回は、既に開発を完了し量産中である1Mビット マスクROM M5 M231000- $\times\times\times$ PにJISフォントを搭載させた漢字キャラクタ ジェネレータを開発したので、その開発の背景・製品概要・今後の動向について述べる。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 54 ~ 57 (1985)

The Integrated Array Scientific Processor for the MELCOM 70 MX/3000 Computer

by Yoshiki Shimotsuma, Kenji Kuroda, Masahiro Kuroda & Nobuyoshi Inoue

An integrated array processor performing at 15 megaflops has been developed for the MELCOM 70 MX/3000 computer to provide the high-speed capabilities needed for image processing, signal processing, simulations, and other data-intensive applications. The article introduces the hardware and software configurations, highlights their special features, and reports on the system's processing performance in several applications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 38 ~ 42 (1985)

A Meteorological Data-Processing System

by Koichi Tsuji, Takeshi Nishiura, Tadahiko Ryugo & Takashi Yura

Up-to-date meteorological information is essential for stable, economical operation of power-distribution networks. Mitsubishi Electric has recently developed a meteorological data-processing system for the Central Power Distribution Center of the Hokuriku Electric Power Co. This on-line system receives data from the Japan Meteorological Agency via the Japan Weather Association and supplies them immediately in a highly usable form. This permits faster response to meteorological changes than previous telephone or facsimile reports, improving power-supply stability and raising operational efficiency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 58 ~ 60 (1985)

An InGaAsP/InP 1.3 μ m LED with a Spherical Lens

by Kenji Ikeda, Hirofumi Namizaki and Etsuji Omura

Called the ME7011, this new device has an emission-diameter, lens-diameter, and active-layer impurity concentration designed to provide a 20 μ W fiber input with a 120MHz cutoff frequency. It is ideal as a light source for comparatively short-range, large-capacity fiber-optic communications.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 43 ~ 47 (1985)

Type NR-H On-Load Tap Changers

by Takehiko Yanagi, Kazuo Yoshida, Mitsuo Imai, Noboru Sakamoto & Hitoshi Genkawa

The startling growth in the use of on-load tap changers over the past several years has been accompanied by a continuing demand for reduced size and maintenance. Selector-switch-type on-load tap changers have been widely adopted to meet these requirements. Mitsubishi Electric, a long-standing producer of these tap changers, has now introduced Type NR-H, featuring a compact, maintenance-free design suitable for medium-capacity substations up to 132kV, 95MVA. The article outlines the technologies of this new series.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 61 ~ 63 (1985)

A *Kanji*-Character Generator Using a High-Density Mask ROM

by Ryuichi Matsuo, Masahide Kaneko, Minoru Fujimoto, Atsuko Matoike & Tsunehisa Kamimura

The spread of office automation has brought rapid development of Japanese-language data-processing systems. These systems require a *kanji*-character generator—usually in the form of a mask-ROM device. To meet this heavy demand, Mitsubishi Electric has developed a 1Mb mask ROM (the M5M321000-XXXP) that carries the standard JIS *kanji*-character font. The article describes the development background and features of the new character generator and examines future trends.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 59, No. 10, pp. 48 ~ 53 (1985)

The MACTUS 620 Man-Machine System for Process Automation

by Isaburo Kataoka, Kenji Ogawa, Noritaka Egami, Keisuke Ichieda & Yasunori Taniguchi

Process-automation technology has advanced greatly as developments in microelectronics and communications technology have been employed to meet increasingly diverse and sophisticated user needs. Now the industry is moving toward distributed systems employing direct digital control sub-units organized around a central CRT operation console. As systems grow in complexity, this man-machine interface is increasingly important. Human engineering for this interface demands highly productive software that is capable of implementing sophisticated systems while remaining easy to monitor and operate. The article reports on the MACTUS 620 man-machine system, which has been developed by Mitsubishi Electric to meet these needs.

FAにおける産業用ロボットの現状と今後の課題

田 口 堅*・宮 幸助**

1. ま え が き

加工組立産業を中心にファクトリーオートメーション（以下、FAとよぶ）という概念が導入されはじめてから、既に5年以上の日時を経過してきたが、その間にこの概念は他の産業分野にも広く浸透し、今日では、このFAという言葉がごく普通に通用するまでに一般化している。

しかし、現在実用化されているFAの内容については、このような普及の急速な広がりのため、その用途、規模、技術レベルなどから極めて多岐多岐のものを含んでおり、外見上からは共通的に一本化してくるのは困難な状況になりつつある。ただし、近年の生産構造の変革に伴う旧来の少種多量生産方式より、多様化する製品群を最も効率的に多種少中量生産するための自動化という点では思想的に一致していることは、もちろん言うまでもない。

ところで、このFAの内容について、もっと単純化して、技術、システムの面で旧来の自動化とどこが異なっているのか、また何が新しく導入されているのかを考えてみると、前記の生産構造の変革に対応したシステム面での変化は当然のことであるが、構成する機器面からみると、

- (1) NC、PCに代表される記憶装置をもったプログラマブルで、安価、高機能なマシンコントローの実用化
- (2) 同上コントローで制御される各種NC加工機、産業用ロボット、自動搬送車に代表されるメカトロ製品の出現
- (3) コンピュータ支援（COMPUTER AIDED）に代表される新しいコンピュータ応用の拡大

の三つの新技術製品の導入が旧来との大きな差となっており、逆説的に言えば、この三つの柱がFAの三種の神器として、FAを生み出し、また実用化を促進させてきたということもできる。

このようなFAを取り巻く種々の背景の中で、当社では早くから、コンピュータ分野、NC、PCを中心とするマシンコントロー分野、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をビジネスとして手がけてきていると同時に当社内にユーザーの立場として実際に実用できる加工、組立現場を多数持つことから、その中で得られた豊富な加工技術、システム技術のノウハウの蓄積を図ってきており、これらの総合力によってFA関連ビジネス全般で市場の要求に十分答え、また好評を博してきたと自負している。

この特集号は、このような当社のFA事業の展開の中で、今後、最も重要な役割を期待されている、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についての概要を述べたものである。

2. FAにおける産業用ロボットの役割

産業用ロボットは、前述のようにFAの三種の神器の一つとして脚光をあび、またその重要性も近年とみに高まってきている。この章

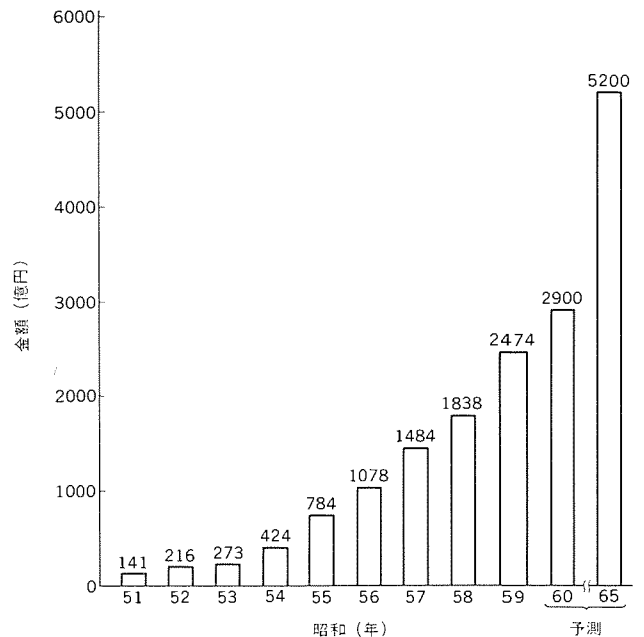


図 1. 日本における産業用ロボットの年間生産高推移
(日本産業用ロボット工業会調査)

ではこのような背景をもとに、産業用ロボットがFAの中で、どのような役割を果たし、また課題をもっているのかについて考えてみる。

まず基本的な面から考えてみると、その役割は生産現場における人間の作業の代行、又は従来から自動化されていた機械による作業の中で、より柔軟性を高めるための代替のいずれかと言える。この中で、後者の代替はFAの考え方から必然的な結果といえるが、前者の場合はいろいろな導入要因があり、必ずしも一律的でなく、このためロボットの役割も具体的な面では、かなりの差が生じていると言える。では、次に産業用ロボットの普及度、使用先の側面から具体的にその役割をみてみよう。

図 1. は日本産業用ロボット工業会が発表している生産実績及び将来予測を示したものである。なお最近の情報では、昭和60年については図 1. の予測値をオーバーし、生産規模は3,000億円以上と予想されており、このため60年を、55年のロボット普及元年に対比し、ロボット飛躍元年と名づける気運が高まっている。なお、図 1. のデータは、固定/可変シーケンスロボットまで含んだものであるが、その中で今後本命として伸長が更に期待されているティーチングレトリック方式以上のものについては、昭和59年実績では、生産高ベースで約80%、台数ベースで約55%となっており、台数ベースでみるとまだ比率は低いが、今後この比率は更に高まり、過半数を占めるようになっていくものと予想されている。

図 2., 図 3. は、図 1. のデータを需要先別、用途別に分類して示したものである。同図から分かるとおり、需要先、用途とも、その普及状況に差はあるものの、あらゆる分野でその応用が広がってき

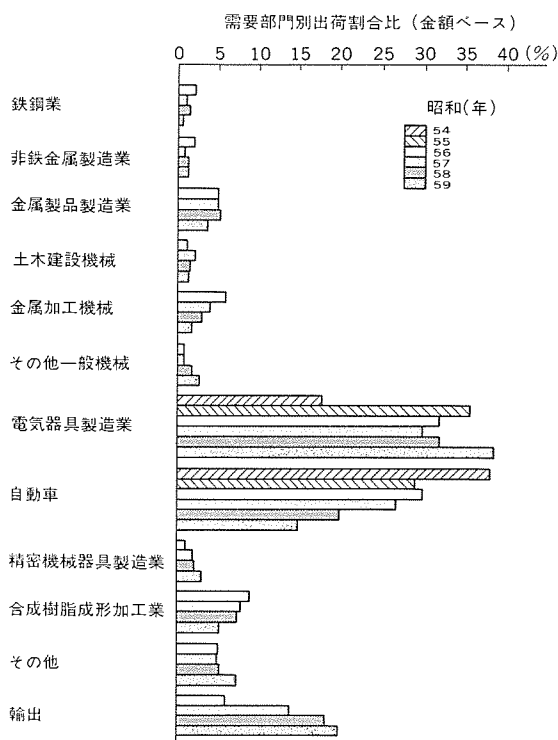


図 2. 需要部門別産業用ロボット出荷割合

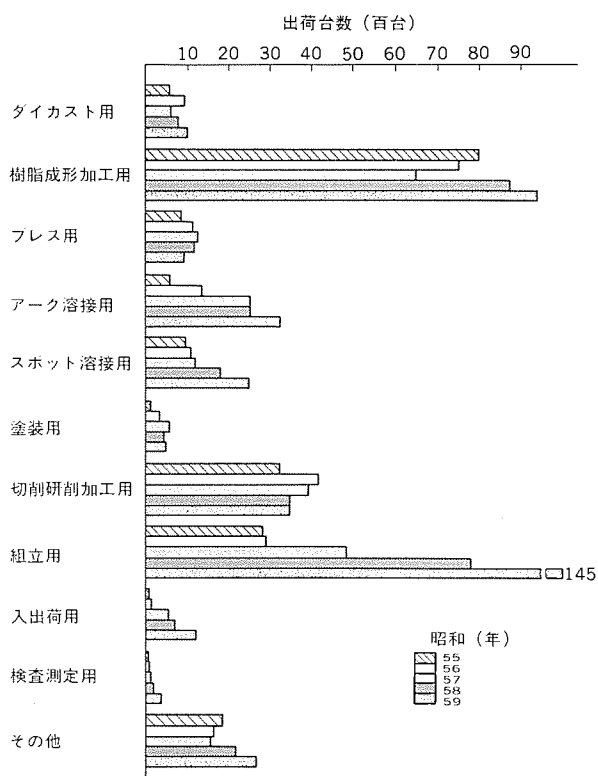


図 3. 用途別産業用ロボット出荷台数
(日本産業用ロボット工業会調査)

ているが、作業内容からみると、悪環境、危険作業→単純作業からの人間の開放を指向して、スポット溶接、塗装→アーク溶接→組立の順で普及が進んできており、これに対応して需要先分野別では、自動車→電気器具産業が大きな使用比率となっていることが分かる。なお、樹脂成形加工用も台数ベースでは、大きな普及度を示しているが、この分野で現在使用されているロボットは、固定シーケンス形で

専用自動機的なものが多く、FA との関連では別の見方が必要と思う。

以上、図 1.～図 3. をもとに、産業用ロボットの普及度、使用先から具体的な役割をみてきたが、この側面からは特に量的な伸長度の大きさより産業用ロボットが、FA の中で極めて重要な存在になりつつあることが理解できたものと思う。

次に、産業用ロボットの FA における役割を、その目的とする作業を実現するための構成面から考えてみよう。この側面からみた場合、まず言えることは、どのようなロボットでもその目的とする作業を遂行するためには、ロボット単体(マイコン本体+同左コントローラ)のみでは何の役にも立たず、単なる位置姿勢決装置にすぎないという事実である。

すなわち、目的の作業を達成するためには、このロボット単体に、それぞれの目的、用途に見合ったツール、ハンド(いわゆる END-EFFECTOR)、周辺装置、加工/施工技術が必要であり、またその規模によっては他の加工機械や、他のロボット群との組合せ連携運転のための総括制御装置、コンピュータとの結合などの必要もでてくる。このような観点から、ロボットがその役割を発揮するための他の機器との関連及び構成の関係を示したのが図 4. である。

同図から分かるとおり、その規模は単純なものから大規模なものまで広範にわたるが、いずれの場合でも前述のように、ロボット単体でみた場合、FA 中の重要な要素であることに変わりはないが、その役割を最終的に発揮するためには関連周辺部と組み合わせ、はじめて実現されるということを十分認識することが必要である。したがって、FA における産業用ロボットの役割を構成面から考えた場合、その役割は、周辺部(取扱う人間も含め)と対等といえ、このためロボットと人間の役割の明確化と効率的な両立、周辺装置、他のロボット群、加工機械などを含めた前後工程とのマッチングの適正化といったいわゆるロボット運用技術、FA システムエンジニアリングが極めて重要な課題であると言える。

最後に、産業用ロボットのもつ技術ポテンシャルから、その役割を考えてみよう。現在の産業用ロボットの技術レベルは、マイクロエレクトロニクスの進歩により、かなりの高機能化がなされているが、知的レベルはまだまだ低く、また人間に近い走行機能も実現していない。このため、FA において使用できる範囲は、現状では限定されており、また周辺部への負担が大きい。したがってこの側面からはまだまだ課題が多く、1日も早いロボットの技術向上が強く望まれている。

以上、FA における産業用ロボットの役割について、幾つかの側面から現状及び課題をみてきたが、前述のようにその役割を更に高め十分発揮させていくためには、ロボット自身の技術向上と、泥臭い部分を含めた FA 全般の技術の向上が最重要であり、この解決が今後より一層、ロボットの普及を推進していくキーと考える。

3. 当社における産業用ロボットの現状

当社では、昭和 30 年代からロボットの研究開発に着手し、その後、社内での各種試行導入によるノウハウの蓄積を重ねるとともに、当社のもつ FA 関連技術、マイクロエレクトロニクス技術を結集し、昭和 56 年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。

以降、各種の新要素技術の研究、開発や新製品の発表を行い今日に至っている。表 1. は現在の当社における産業用ロボットの製品シリーズを紹介したもので、これらの製品は、いずれも商品名「MEL

表 1. 《MELFA》産業用ロボットのシリーズ

項 目	用 途 形名	組 立 用				組立・一般作業用		組立・搬送用 〈汎 用〉			組立・搬送用 〈モジュールタイプ〉		重量物組立・ 搬送用		アーク溶接用		
		ムーブマ スタ RM-501	テーブル タイプ RS-T	アームタ イプ RS-N	スライダ タイプ RS-A	ビックア ーム RC-136P	ビックア ーム RV-133P	RH-111	RH-211	RH-212	RH- 221 B	RH- 223 B	RC-227	RC-321	RW -211	RW -213	
ボ ッ ト 本 体	構 造	垂直多関節	直 交 座 標			円筒座標	垂直多関節	水 平 多 関 節					円 筒 座 標		垂直多関節		
	動作自由度	5	2		2~4	3~4	5	4			4~6		3~5(6)		5	6	
	駆 動 方 式	L・C モータによる電気サーボ駆動															
	腕 の 長 さ (mm)	220+160	X: 200~600	X: 200~600	X: 200~600	685	300+300	250+160	400+250	630+400	400+250	630+400	2,070	2,275	680+960	680+960	
	Z軸ストローク (mm)	—	Y: 200~400	Y: 200~400	Y: 200~400 Z: 100	250	—	150	300	500	300	500	500	1,200	—	—	
	可 搬 重 量 (kg)	1.2	35	15	2~6	3~5	1.5	5	10	20	20~35	15~50	25~50	60~120	10	10	
	先端最大速度 (mm/s)	400	500	500	500	1,400	1,600	1,300	2,000	2,500	2,800	3,500	3,200	2,800	1,000	1,000	
	位置繰返し精度 (mm)	±0.5	±0.02	±0.02	±0.02	±0.05	±0.2	±0.05	±0.05	±0.1	±0.05	±0.1	±1.0	±1.0	±0.2	±0.2	
	重 量 (kg)	27	41~57	43~59	55~79	109	45	60	85	165	200	350	1,000	2,000	680	680	
コ ン ト ロ ー ラ	教 示 方 式	MDI・ティーチングブレイバック															
	制 御 方 式	P・T・P	P・T・P/CP														
	制 御 軸 数	同時 5 軸	同時 2 軸		同時 2~4 軸	同時 3~4 軸	同時 5 軸	同時 4 軸			同時 3~6 軸			同時 5 軸	同時 6 軸		
	位 置 検 出	パルスエンコーダ														レゾルバ	
	補 間 機 能	—	直線補間 (円弧補間)			直 線 補 間		直 線 補 間 (円 弧 補 間)								直線補間, 円弧補間	
	記 憶 点 数	max 629 点 (ROMフ イタ付)	標準 500 点 (max 800 点) (バッテリーバックアップ)			標準 500 点 (max 800 点) (バッテリーバックア ップ)		標準 2,400 点 (max 21,000 点) (磁気バブルメモリ)			標準 2,400 点 (max 6,000 点) (磁気バブルメモリ)			標準 3,000 点 (max 10,000 点) (磁気バブルメ モリ)			
	オプション機能他	パソコン リンク	パレタイジング, シフト, ジ ャンプ機能				MELFA ロボット言語 パレタイジング, ビックアンドブレース, シフト機能									ミラーイメージ, ウィーピング, 三次元立体シフト	

FA》の統一名のもとに、多様化したユーザーニーズにそれぞれマッチできるように、用途対応で豊富な機種の商品ぞろえを行っている。またこの表には記載していないが、高機能ロボットの最先端にある原子炉用、クリーンルーム用ロボットについても開発を行ってきており、この特集号で紹介している。

一方、新要素技術の研究、開発では、既に発表しているセンサ関係、ダイレクトドライブ、ロボット言語、オフラインティーチングなどを中心に強力に推進中であり、この特集号でその最新のものを紹介している。

4. 今後の課題と当社の取組

産業用ロボットの今後の普及予想は、図 1. で示したように昭和 65 年では、昭和 60 年の約 2 倍まで伸長すると予測されている。しかし、この予測が達成されるためには、2 章で述べた現在のロボットの使用状況、技術ポテンシャル、また、今後導入する場合のユーザーの産業用ロボットに対する各種の期待などを考えると、知能化に代表されるロボット自身の技術レベルの向上と人間の代行として評価される価格の整合性の追求が、まず、今後の重要な課題の第 1 と考えられる。このため、産業用ロボット自身の今後の動向としては、現在も既に進行しつつある低価格タイプと高機能タイプへの分化が、更に明確化していく方向に進むと思われる。

また、2 章で述べたロボットの役割を最大限に発揮するためのロボット運用技術、FA 関連技術の向上も、今後、ますます重要度を高

めていくと思われ、このためには、ロボット自身の技術向上と合わせ、FA 全般から得られた知識、技術ノウハウの蓄積とその活用も重要な課題となっていくものと考えられる。

当社では、このような市場動向を十分認識して、ロボット自身についての研究開発、製品化を 3 章のように推進してきているが、今後、これらのテーマを更にブラシアップし、価格の低廉化に努力するとともに、高機能化、知能化の面でも、現在具体的に研究開発を進めているダイレクトドライブロボット、各種センサ、高度な制御機能などの実用化、製品化に更に積極的に取り組んでいく所存である。また、ロボット運用技術の向上についても、当社内での導入と FA 関連事業全般を通じて得た知識、経験、技術をもとに更にレベルアップを図るとともに、将来の重要課題であるオフラインティーチングシステムの製品化にも鋭意取り組んでいく計画である。

5. む す び

以上、FA における産業用ロボットの現状と今後の課題について、当社の状況を含め紹介してきたが、産業用ロボットの FA における重要性が、今後、ますます高まることが予想される昨今、当社としてもこの分野で、更に積極的にユーザー各位の新しいニーズに対応して、新技術の開発、製品化に挑戦し、産業界の FA 化促進のために役立つよう努力していきたい。

産業用ロボットコントローラ《MELFA-RA2》とその応用

安藤 春樹*・森 俊二*・志賀 康宣*

1. ま え が き

《MELFA シリーズ》の組立ロボットの制御を行うコントローラ《MELFA-RA2》(以下、RA2と称す)は、当初から汎用のロボットコントローラとして応用できるよう以下の点に主眼をおいて開発した。

- (1) 各種のロボットメカニズムの制御ができること(最大8軸同時サーボ制御)。
- (2) 動作記述レベルのロボット言語システム《MELFA 言語》を有すること。
- (3) 組立ラインを容易に実現できる豊富な入出力信号インタフェースを有すること。
- (4) 視覚センサ《MELFA-IS-211》とのインタフェースロジック部を内蔵すること。
- (5) その他の機能拡張性があること。

以来3年余を経て現在、数多くの項目にわたって、機能及び性能の向上を行い多くの分野で採用され、高機能で拡張性のあるロボットコントローラとして評価を得ている。

ここではハードウェアシステム構成の特長と、《MELFA 言語》の概要、そして機能拡張の応用例として、トラッキング制御、視覚センサリンク、上位コンピュータ(パーソナルコンピュータ)リンクについて述べる。

2. RA2のシステム構成

2.1 設計思想と特長

RA2の設計思想とその特長を以下に列記する⁽¹⁾。

- (1) 16ビット高速CPU及び高速演算素子によるマルチプロセスシステム
- (2) カードアドオン方式による機能拡張性の実現
- (3) 大容量バブルメモリの標準採用
- (4) 拡張性、柔軟性のある制御軸数
- (5) 大規模システムへの拡張性
- (6) リアルタイムマルチタスク汎用オペレーティングシステムの採用
- (7) ソフトウェア開発期間短縮のため、高位言語による開発

2.2 RA2のハードウェア構成とその内容

RA2のハードウェア基本構成を図1に示す。RA2のハードウェアは大別して、メイン制御部、MCU(マシンコントロールユニット)制御部、CRT制御部の三つに分けられる。メイン制御部はマスタCPU(CPU1)を中心に16ビット高速CPUに加え、高速演算用LSIを搭載し、RA2におけるスーパーバイザとしての役割を果たす。CPU1に付随する機能としては、DMA制御、割込制御、タイマ機能などがある。メインメモリはROM、192Kバイト、RAM32Kバイトが標準装備されており、これが高速CPUの採用とともに、ロボット機能の高度化に貢献している。更に各CPU間あるいは入出力インタフェースとのデータ交換を共通バス(システムバス)上に高速で行うために、64Kバイトの共通メモリを用意している。これによりマルチCPU方式においてCPU間のデータ転送に起因する処理能力の低下を極力抑えている。

次に補助メモリとしてバブルメモリを用意している。これはユーザーが

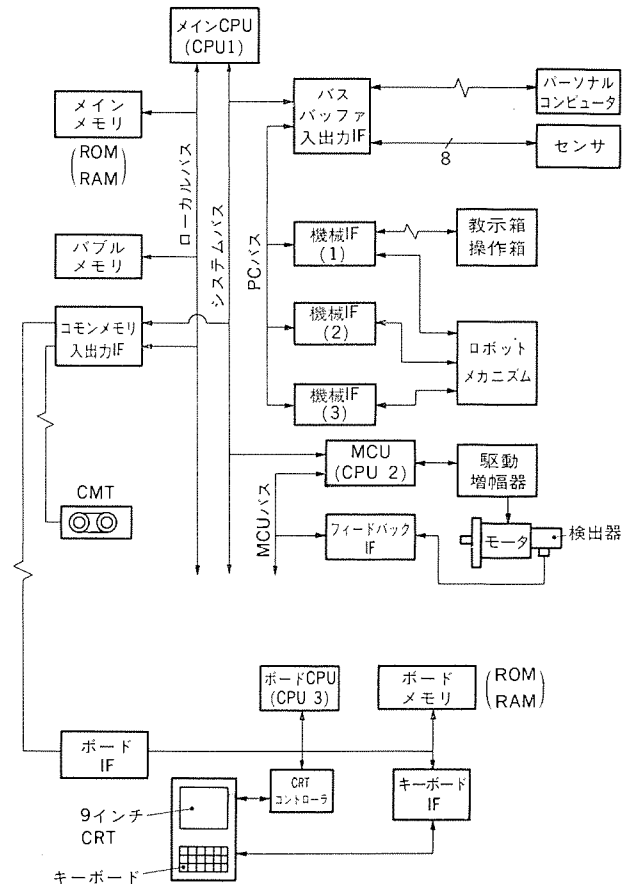


図1. RA2 ハードウェアの構成

作成するプログラム用外部メモリとして用いられるほか、各種パラメータのバックアップなどとしても用いられる。データの転送はCPU1の管理下で、DMAにてメインメモリで行う。メモリ容量は128Kバイトから1Mバイトまで各種用意されており、特に1Mビットのバブルチップを8個使用した1Mバイトモジュールは、ロボットコントローラとして最大級の外部メモリ容量である。なおロボットメカニズムに対応したシーケンス処理やデータ処理は、メインCPUがバスバッファと機械入出力インタフェースを介して信号の処理を行っている。MCU制御部は、CPU2を中心として、CPU1から渡される制御データをもとにサーボ制御を行うもので、複数軸を1個のCPUで処理している。位置検出はインクリメンタルパルスエンコーダによるセミクローズドループを標準としているが、レゾルバなどによる制御も可能である。

更にCRT制御部は、9インチCRT白黒モニタ、キーボード、CRT制御ユニットで構成される。CRT制御ユニットはCPU3を中心に、制御メモリ、CRTコントローラ、キーボードインタフェースから成り、CPU1とはリアルタイムインタフェースを介してリンクしている。

一方、現場に設置されるコントローラに要求される構造上の重要なポイントとしては、コンパクト性、耐振動性、防じん密閉性などが考え

* 名古屋製作所

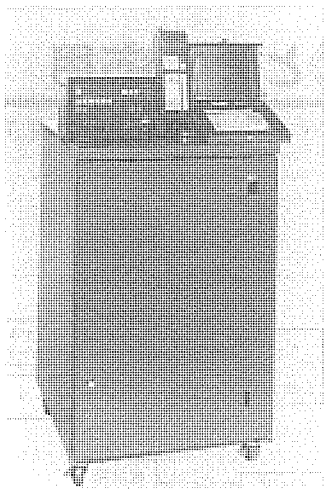


図 2. RA 2 の外観

られる。RA 2 では特に拡張性とコンパクト性を両立させるために各種の考慮を払っている。

また当然のことながら、RA 2 のきょう体は完全密閉構造とし、教示箱、操作箱及びキーボードという一連のマンマシンインタフェース部は完全防じん形のフラットタッチキースイッチを採用している。表面シート、パッキン類も耐油性の高い材質のものを選択使用している。耐振動性はモジュール単位での振動試験、評価を重ね、部品の改良、カードモジュールの構造を強化するとともに、RA 2 全体についても、きょう体内での各ユニットの配置、固定方法などに十分な考慮を払っている。図 2. に RA 2 の外観を示す。

2. 3 各種メカニズムへの対応例

一般的には、三次元空間内にある物体の位置と姿勢を表すには X, Y, Z 各軸の平行移動と各軸まわりの回転の合計 6 自由度が必要である。したがって 6 軸未満のロボットメカニズムでは、これらの自由度の一部がメカニズムに固有の関節角度で代用されている。RA 2 は拡張性、柔軟性のある制御軸数を持ち、各種のロボットメカニズムに対応できることを 2. 1 節で示した設計思想としたことにより、座標変換の表現には、メカニズムに依存しないオイラー角を含めた一般座標系 (X, Y, Z, O, A, T) を採用している。

各種のメカニズムに対応して所望の位置決め制御、速度制御をするためのサーボ系統図を図 3. に示す。ユーザーの作成したプログラムから直線補間、円弧補間などの各種補間処理をし、微小時間に動くべき各軸の移動データを CPU 2 は CPU 1 から受け取り、更にこのデータを細分化し、直線加減速あるいは指数加減速などのスムージング処理をして各軸の指令データを作成する。D/A 変換された指令データは駆動増幅器を経て各軸のモータを駆動する。一方、フィードバック系においては、TG (タコメータ) の出力あるいは PE (インクリメンタルパルスエンコーダ) の出力であるパルス列を F/V 変換したアナログ出力による速度ループと上記 PE のパルス列をカウントすることによって、指令データとの間でサーボ誤差計算を行う位置ループを構成している。

RA 2 の MCU ハードウェア構成を図 4. に示す。第 1 軸から第 4 軸、あるいは第 5 軸から第 8 軸の 4 軸を 1 個の CPU で制御できる構成になっている。したがって水平関節形 RH 汎用シリーズなどのメカニズムは破線で囲まれた部分の構成で制御することができる。一方制御軸として 5 軸以上をもつようなメカニズム、例えば垂直多関節形 RW シリーズでは一点鎖線で囲まれた部分を上記破線の部分に追加するこ

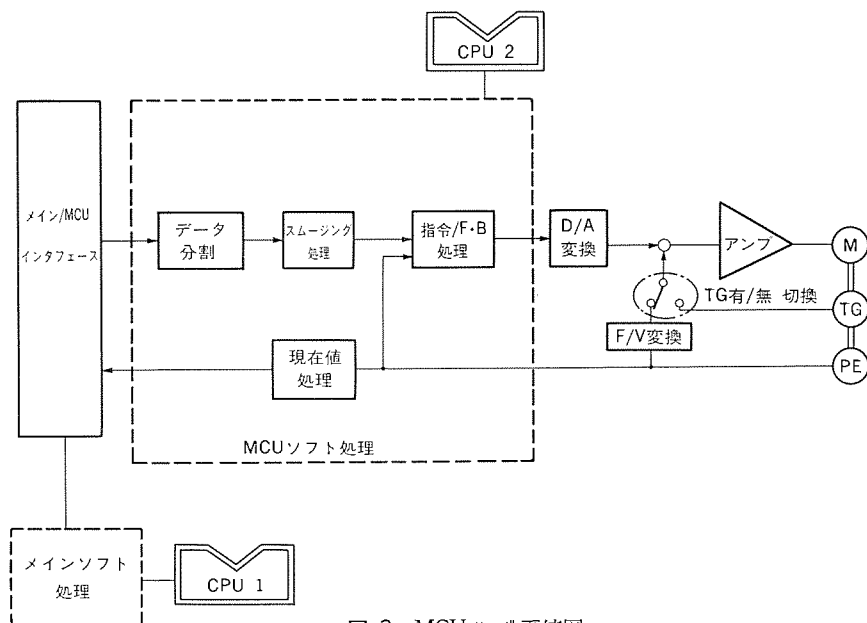


図 3. MCU サーボ系統図

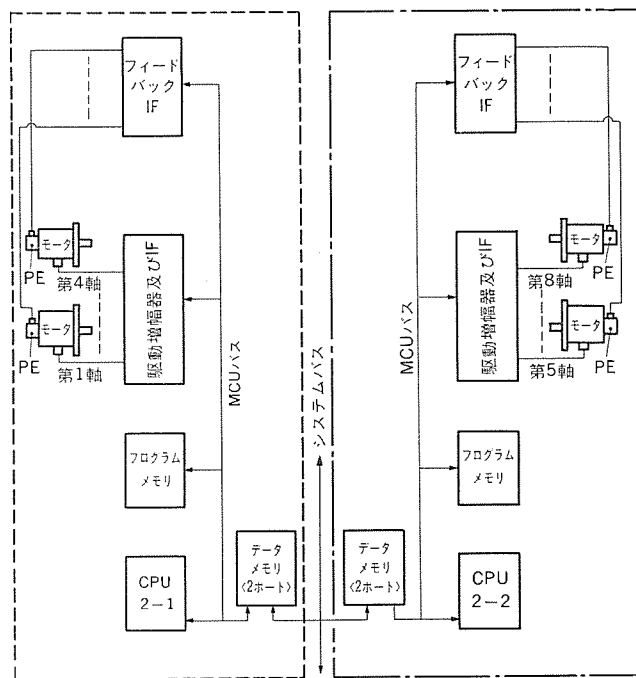


図 4. MCU ハードウェアの構成

とによって対応できる。またロボットメカニズム本体を走行台に取り付けて移動させるロコモト形のメカニズム、更には物を把持する手段としてサーボハンドなどをもつメカニズムについても、制御対象の最大制御軸数が 8 軸以下であれば制御可能なように考慮されている。なお図 5. と図 6. に代表的なメカニズム外観を示す。

3. 《MELFA 言語》の概要⁽²⁾

作業者がロボットに位置と動作シーケンスを教示するには、ティーチングラレイバックによる方法と、ロボット言語を用いた作業をプログラムの形態で記述する方法とがある。RA 2 では、両者を統合した形で実現し、動作記述レベルのロボット言語として《MELFA 言語》を開発した。開発当初は約 130 個の命令であったが、現在では機能拡大に伴い約 160 個となっている。図 7. に《MELFA 言語》の機能分類と代表

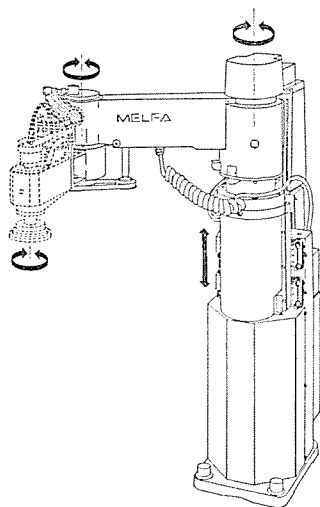


図 5. RH-211 形 ロボットの
外観

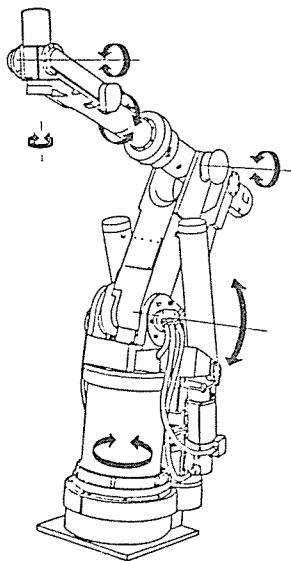


図 6. RW-213 形 ロボットの
外観

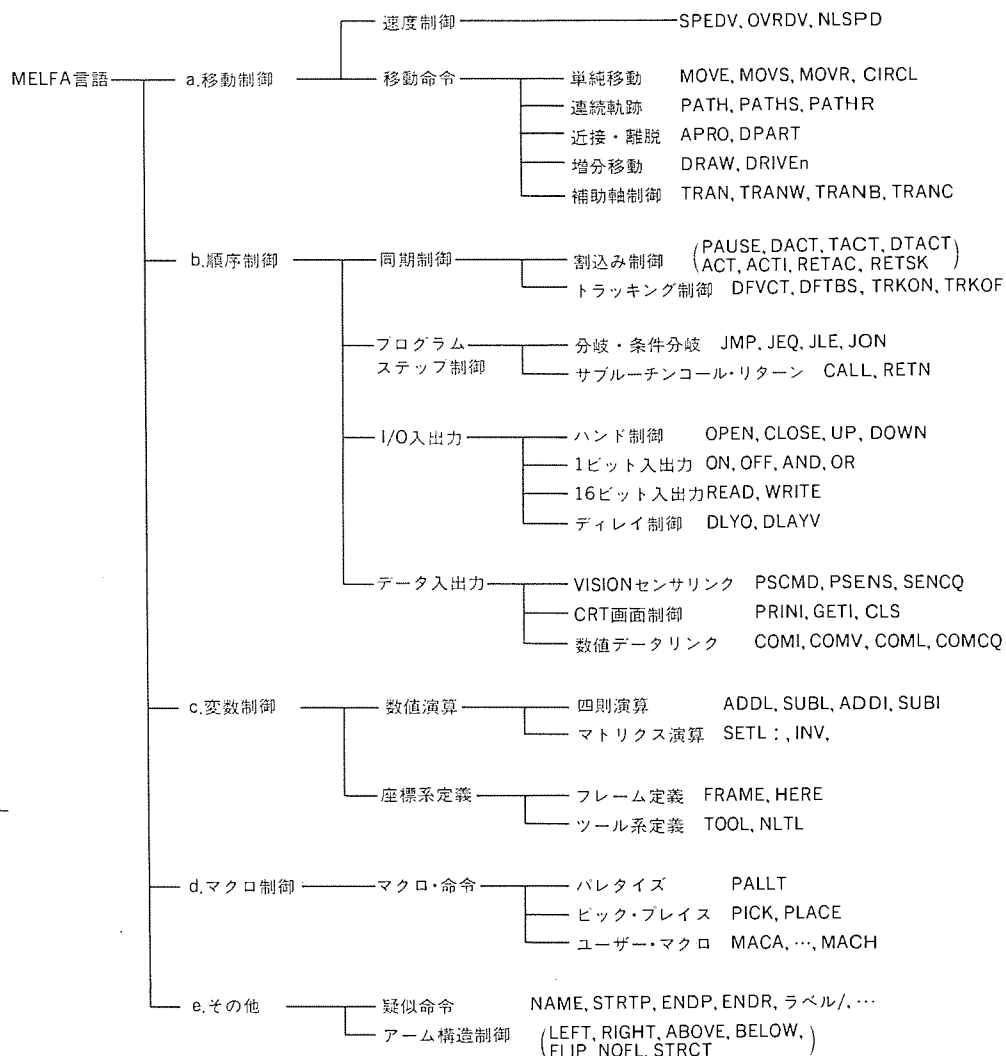


図 7. 《MELFA 言語》の機能分類と代表的命令

的な命令を示す。《MELFA 言語》の主な特長は次のとおりである。

- (1) プログラムを作成するための支援環境が用意されており、例えばティーチングボックスでボタンを押すと移動命令と位置変数が自動生成する。またプログラムを作成、編集するとき、命令を入力すればオペランド部分〔(-) 表示〕が自動的に表示される機能があり、文法を覚えなくてもよく使いやすい。
- (2) ユーザープログラムから独立したマクロ命令とレジスタを持っており、作業に対応したプログラムをマクロ命令として登録することができる。また CRT 画面への入出力命令を利用してユーザー自身で簡単に対話式のマンマシンをユーザープログラムによって実現できる。すなわち、作業記述レベルのロボット言語の足掛りとなる。
- (3) 外部信号による割込み機能により一時停止や条件分岐ができる。また視覚センサ、パーソナルコンピュータなどと数値データリンクを可能とする機能をもっており、上位システムとの協調作業も容易である。

4. FA システムへの拡張性

RA 2 は各種の機能をモジュール化しており、論理カードを付加又は置

き換えることにより、FA システムの中の要素コントローラとしての機能拡張が容易にできる。最近では単なる位置決め及び軌跡制御に止まらず、外界の変化を認識する知覚判断機能が強く要求されている。そのために開発した機能拡張例としてトラッキング制御、視覚センサリンク及び上位コンピュータ（パーソナルコンピュータ）リンクについて述べる。

4.1 トラッキング制御

ロボットアームが移動中の物体をトラッキングしながら作業することは知覚判断ロボットとして実現しなければならない課題の一つである。また、現状の量産ラインの多くはコンベヤによる組立、調整及び検査などの流れ作業が一般的であり、ロボットがトラッキングしながらコンベヤと同期して作業が可能になれば、既設のコンベヤラインを最小限の改造で人間が行っている作業を代替する展望が開けてくる。コンベヤのトラッキング制御を実現する際の問題点は、コンベヤ自体の速度変動であり、コンベヤ上のワークの量や流れの関係で速度変動率が数十パーセントに達することがある。今までの速度補償の考え方では位置偏差を少なく、かつロボットの座標系とコンベヤの移動方向を一致させることは、かなり困難であった。

システム構成は、コンベヤ位置を検出するためにコンベヤ側に取り付けたインクリメンタルパルスエンコーダのパルス列とワークがコンベヤ上の特定の位置を通過したことを検出する信号とを、図 4. に示す第 5～第 8 軸のフィードバックインタフェースを介して CPU 2-2 に転送する。これ

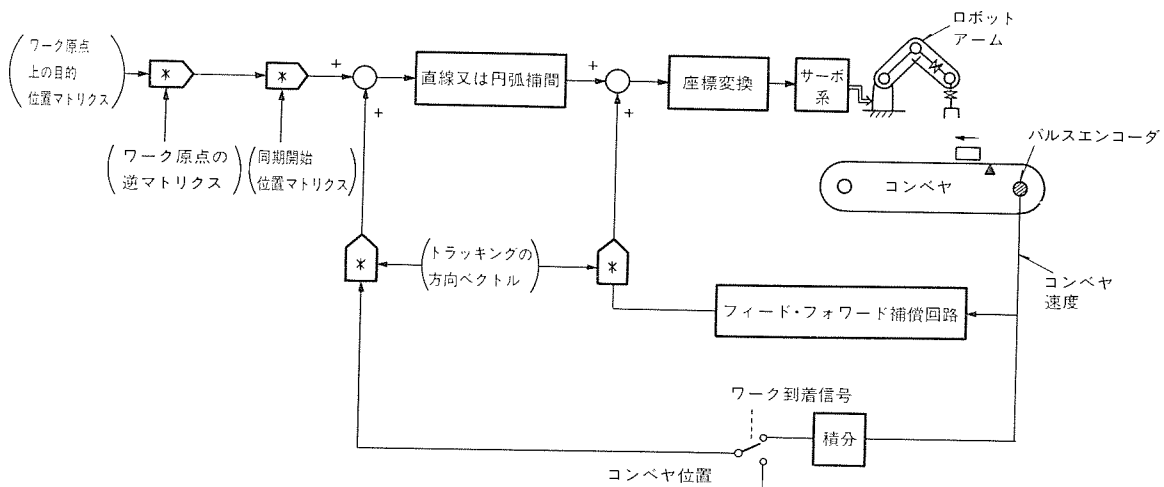


図 8. トラッキング制御ブロック線図

らのデータに基づいてコンベヤと相対速度ゼロで移動しているワークの現在位置と速度との演算を行う。図 8. にトラッキング制御のブロック線図を示す。特長はワーク座標系で教示した位置データをコンベヤ座標系の現在位置へ座標変換し、この変換された位置データに基づき直線補間または円弧補間を行い、直交座標系の位置ベクトルを求めている。更にコンベヤ位置を計測するパルス列を微分し速度に変換し、これを直交座標系の位置ベクトルへ加算する。そのあと、各関節角度に座標変換し、駆動指令とする。これによりコンベヤの速度変動があっても制御対象点（ロボットの手先）は、正確な軌跡でトラッキングすることが可能となった。

トラッキング制御用の《MELFA 言語》は次のとおりである。

DFVCT コンベヤの移動方向、トラッキング開始点でのワーク原点、トラッキング最大長を定義する。

DFTBS ワーク原点を定義する。

TRKON トラッキングの開始を宣言する。

TRKOF トラッキングの終了を宣言する。

また、トラッキングの位置情報の関係を図 9. に示す。《MELFA 言語》の DFVCT 及び DFTBS を使用することによりロボットの動作領域内であれば、教示作業の大部分はコンベヤ上でなくても可能となる。なお実用ラインでは安全確保のためロボットの動作領域を越えてトラッキングを実行しようとした場合や、コンベヤが急停止した時などインタロックが多重に掛かる。実際のトラッキングの応用例をデータで示すと 5m/分のコンベヤ速度で速度変動が 3Hz の三角波で $\pm 1\text{m/分}$ 変動した場合の直線追跡精度は $\pm 1\text{mm}$ であった。

4.2 視覚センサリンク⁽³⁾

人間の目に相当する視覚センサ《MELFA-IS-211》とデータリンクすることにより、ロボットは物体の形状、位置、姿勢などを知ることができる。《MELFA-IS-211》は、任意に置かれた物体の種類を識別する機能と、円、矩形などの指定された特徴を局所的に抽出する機能をもっている。これらの情報は、図 1. の 8ビット並列バス（伝送速度 1M バイト/秒）を介して、RA2 に伝送される。ロボット側はこれに基づいて制御対象点（ロボットの手先）の目的位置を修正し、作業を行うことができる。

このセンサリンクにおいて、複雑な環境を認識、識別する場合センサの演算処理に要する時間が無視できないことも予想されることから、センサの演算処理中にロボットが他の作業を行えるように性能向上

DFVCT LVCT1, LVCT2, LA, トラッキング長
DFTBS LB

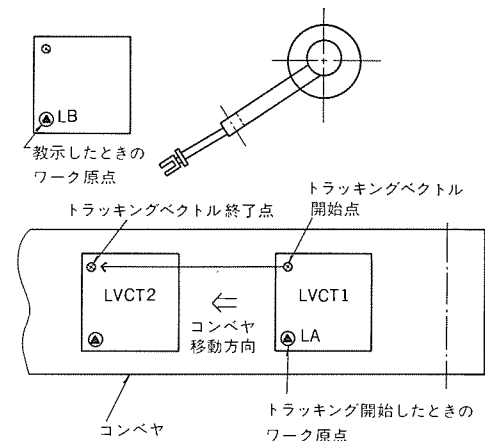


図 9. トラッキング用言語と位置関係

を図っている。これは、従来センサ起動とデータの受信を一つの《MELFA 言語》で行っていたものを起動用の言語（PSENS）とデータ受信完了チェック用の言語（SENCQ）とに分離し、データリンクの監視制御を並列的に行うタスクを増設することで実現した。

視覚センサはカメラの取付方式によって、固定カメラ方式と、ハンドカメラ方式の 2 方式が可能である。固定カメラ方式では、カメラはロボットの基準座標系と相対的に静止した位置にあり、ロボットアームが移動してもセンサの基準座標系は変化しない。すなわち、組立セルなどでワークが常に同一の位置に概略位置決めされ、センサにより正確な情報を計測するときに利用される方式である。一方、ハンドカメラ方式では、ワークを数箇所に入射したり、ワークを数箇所の個別視野にて計測する場合、ロボットアームの先端にカメラを取り付け、ロボットアームが運動し、それぞれの位置で視覚を働かせるときに有効である。ハンドカメラの場合の位置関係を図 10. に示す。ここで、

Or ロボット座標系

Os センサ座標系

LRPFi Or と Os を関係づけるデータ

LRTFi ロボットのツール取付面から見たセンサ座標系を示すデータであり、キャリブレーションを行うことで求まる。

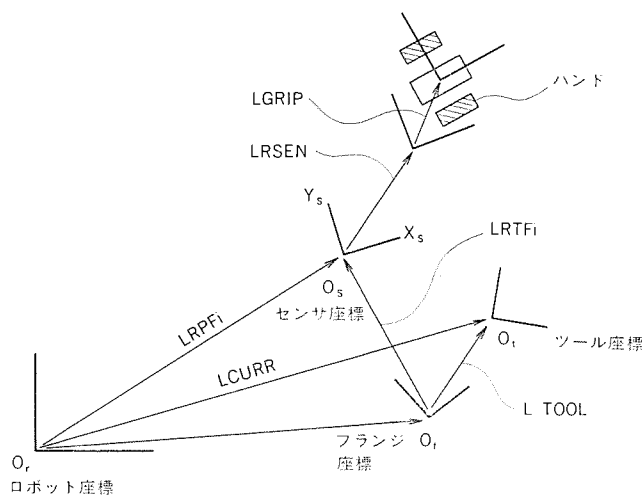


図 10. ハンドカメラ方式の場合の位置関係

LTOOL ハンド（フィンガ）の把み中心と ツール 取付面との関係を示すデータであり、機械的に与えられる。

図 10. において処理順序は、センサ座標系でのワークの位置と姿勢を LRSEN に格納する。同時にキャリブレーションによって求められた LRPFI とハンドの把み中心の現在位置 LCURR 及び ツール座標 LTOOL からロボット座標系 O_r におけるセンサ座標系 O_s の座標 LRPFI を演算する。ロボットは LRPFI : LRSEN : LGRIP で与えられる把持点にハンド（フィンガ）を移動して作業を行う（: はマトリクス積を示す）。

4.3 上位コンピュータ（パーソナルコンピュータ）リンク

ロボットコントローラの上位コンピュータとして各種が考えられるが、ここでは普及の著しいパーソナルコンピュータ（以下、パソコンと称す）との接続について述べる。現在、ロボットコントローラとパソコンを接続し各種機能をパソコンに分担させる具体的要求は次にあげるような項目である。

- (1) パソコンをユーザー独自のインテリジェントセンサとして使用しロボットの動作シーケンスや軌跡（直線、円弧など）を変更したり、パソコンから目標位置を指示し修正する。
- (2) パソコンのカラーグラフィック機能を用いロボットの動作をモニターする。
- (3) パソコン上で位置情報を演算し複雑なパターンをロボットに描かせる。
- (4) パソコン上で位置情報を作成及び管理をして実機による位置の指示作業を減らし指示時間の短縮とともに安全性を高める。

これらの要求を実現する手段として RS 232 C シリアル伝送による数値データリンクを採用した。図 11. にプロトコルの概要を示す。この

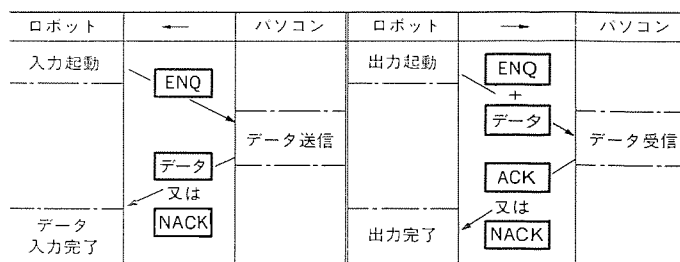


図 11. パーソナルコンピュータリンクのプロトコル概要

方式では 5 個の送受信コマンドを五つのチャネルに登録可能とし、伝送処理を並列処理することで送受信中でもロボットは他の作業を行うことができる。パソコンリンク用の《MELFA 言語》は次のとおりである。

- COMI 整数変数名, 登録チャネル番号, 伝送方向
- COMV 実変数名, 登録チャネル番号, 伝送方向
- COML 位置変数名, 登録チャネル番号, 伝送方向
- COMC 登録チャネル番号, 15 文字以内の伝文
- COMCQ 送受信状態をチェックしたいチャネル番号とエラーが発生したときのサブルーチンプログラム名を指定する。

パソコンリンクの実用例を示すと、COMI による整数値の送受信を行いパソコン又はロボットの条件分岐に使用し、物体の識別、タイミングのインタロックなどに利用している。更に、COMV の実数値リンクによりロボットの速度、アプローチ量、デレイ時間の変更を行う。また、COMC によるコメント文をパソコンへ送信しロボットの異常モニタを行う。

5. む す び

産業用ロボットを含むロボットの制御は、今後も研究開発の対象となる分野の一つであり、多くの課題がある。一方、産業用ロボットのコントローラは、市場ニーズが多様化の方向にあり価格と機能との追求がますます厳しくなっている。今後は FA システムの中の要素コントローラとしての機能階層を明確にし、使いやすくユーザーの期待に応じられる製品として行きたい。

参 考 文 献

- (1) 米谷ほか：新形数値制御装置《MELDAS-M2》, 三菱電機技報, 57, No. 3, p. 221 (昭 58)
- (2) 森ほか：MELFA ロボット言語システム, ロボット 29, p. 67-73 (昭 57-5)
- (3) 森ほか：APPLICATIONS OF ROBOT WITH VISION SENSOR, '83 ICAR PROCEEDINGS, p. 367 (昭 58-9)

中小形組立・マテハンロボットシリーズとその応用

志賀 康 宣*・寺内 常 雄*・宇根 隆 蔵**

1. ま え が き

産業用ロボットの必要性は、生産性の向上、熟練労働者の不足、作業環境問題などの要請により急速に増大し、溶接（スポット及びアーク）、塗装に続いてマテハン・組立などの分野で着実に実績を作っている。その中で組立ロボットは、ここ2、3年で急速に実用化段階へ進んでいるが、作業内容がいろいろあり自動化の難しい分野の一つである。組立の自動化（ロボット化）には二つの壁があり、その一つは、一般に人間が本来的に持っている柔軟性を要求されることで、もう一つは経済性である。特に組立ロボット導入に対する経済メリットは、他のロボット（アーク溶接、塗装など）に比較して付加価値は低い。したがって、組立ロボットは比較的安価でありながら高い機能を要求される。

一方、組立ロボットの需要分野をみると必ずしも組立に使用されているものは少なく、繰返し作業であるマテハンロボットとしての用途が多い。これら組立・マテハンロボットは、専用機及び人間と混在するラインに設置されることが多く比較的小形のものが望まれ、かつライン化しやすい機能を持つことが要求される。

当社では、組立・マテハン用ロボットとして、実用レベルで最上位に位置するロボット言語をもち、かつ機能拡張性の高いロボットコントローラ《MELFA-RA 2》を装備したRHシリーズ（水平多関節形）に引き続き、経済性を重視したPICKARMシリーズ（垂直多関節形及び円筒座標形）及びRSシリーズ（直交座標形）を開発製品化した。本稿では、《MELFA》組立・マテハンロボットシリーズの製品紹介、並びにその応用例について述べる。

2. 《MELFA》PICKARM シリーズ

このロボットシリーズは軽量ワーク（約1kg以下）を対象とし、機能も組立・マテハンに必要なものに限定して、経済性と使い勝手を追求するという基本方針で開発した。

全軸DCサーボモータ駆動で垂直多関節形のRV-133P（5軸）と円筒座標形のRC-136P（3軸、4軸）との2系統があり、いずれも昭和58年に発表した。その後、いろいろな分野での使用状況を反映して機能と安全性（労働安全衛生規則などの遵守）の向上を図っている。表1.（a）、（b）、（c）に仕様を示す。

2.1 特 長

（1） 教示作業の簡易化

ティーチングボックスで位置座標データ、ハンドの開閉状態、移動方法（関節補間か直線補間）を教示すると、速度、タイマディレー、汎用出力の条件構成が同時に自動的に設定される。なお、この条件構成は必要に応じ変更することができる。

（2） 簡易なプログラム編集

プログラマブルコントローラと接続することによって条件分岐、サブルーチンなどが簡易にできる。

（3） コントローラの小型化

表 1.（a） RV-133 P マニピュレータの仕様

項 目			仕 様
構 造		垂 直 多 関 節 形	
制 御 軸 数		5	
腕 の 長 さ		300+300 mm	
動 作 範 囲 (最大動作速度)	腕	J ₁	±140° (160°/s)
		J ₂	112° (84°/s)
		J ₃	123° (84°/s)
	手 首	J ₄	±95° (97°/s)
		J ₅	±183° (171°/s)
可 搬 重 量		1.5 kg	
位 置 繰 返 し 精 度		±0.2 mm	
本 体 重 量		58 kg	

表 1.（b） RC-136 P マニピュレータの仕様

項 目		仕 様	
構 造		円 筒 座 標 形	
制 御 軸 数		4	3
腕 の 長 さ		685 mm	660 mm
動 作 範 囲 (最大動作速度)	腰 旋 回 θ_1	±135° (120°/s)	
	伸 縮 R	320 mm (0.6 m/s)	
	上 下 Z	250 mm (0.45 m/s)	
	手 首 旋 回 θ_2	±190° (450°/s)	
可 搬 重 量		3 kg	5 kg
位 置 繰 返 し 精 度		±0.05 mm	
本 体 重 量		112 kg	108 kg

表 1.（c） RV-133 P, RC-136 P 用 コントローラの仕様

項 目	仕 様
同 時 制 御 軸 数	最 大 5 軸
制 御 方 式	関節補間、直線補間
駆 動 方 式	PWM サーボアンプ
位 置 教 示 方 式	ティーチングブレイバック、MDI 併用
プ ロ グ ラ ム 数	99
記 憶 点 数	標準 500 点、最大 800 点（オプション）
入 力 信 号	プログラム No. 選択 8 ビット 専用入力 3 点
出 力 信 号	汎用出力 8 点 専用出力 3 点
電 源	AC 100/110 V ±10 % 50/60 Hz
外 形 寸 法 (mm)	420(W)×470(D)×450(H)

このシリーズに対して最適な小形サーボアンプを開発し、コントローラの小型化を実現した。

（4） ハンドの標準化

ハンド開閉用の空気圧電磁弁、動作確認用のスイッチ、配管、配線を含むハンドの標準化を図った。

2.2 垂直多関節形ロボット《MELFA-RV-133 P》

RV-133 P は、図 1.（a）、（c）、（d）のマニピュレータ、コントローラ、

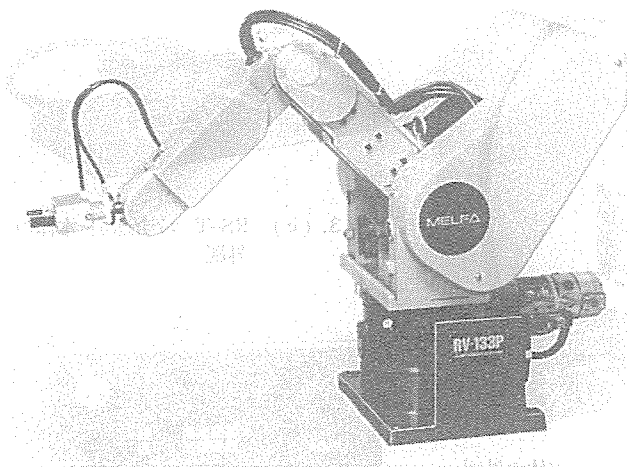


図 1. (a) RV-133 P (5軸) マニピュレータの外観

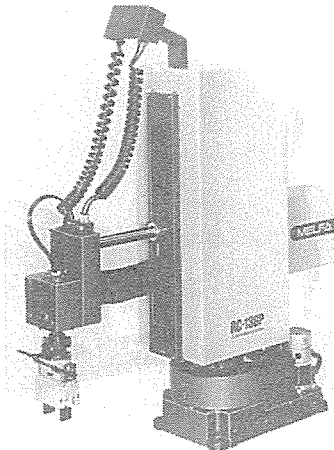


図 1. (b) RC-136 P (4軸) マニピュレータの外観

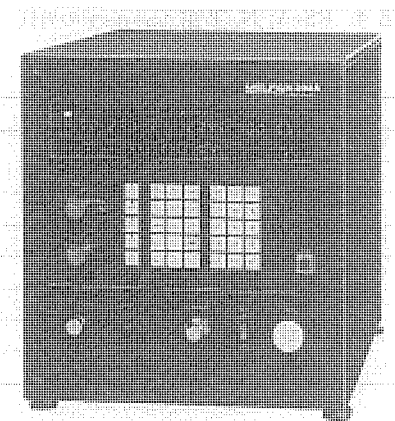


図 1. (c) RV-133 P, RC-136 P 用コントローラの外観

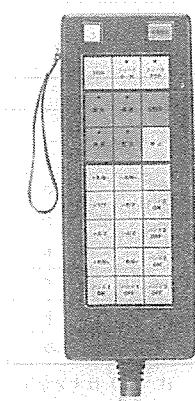


図 1. (d) RC-136 P 用ティーチングボックスの外観 (RV-133 P 用は操作面表面シートのみ異なる)

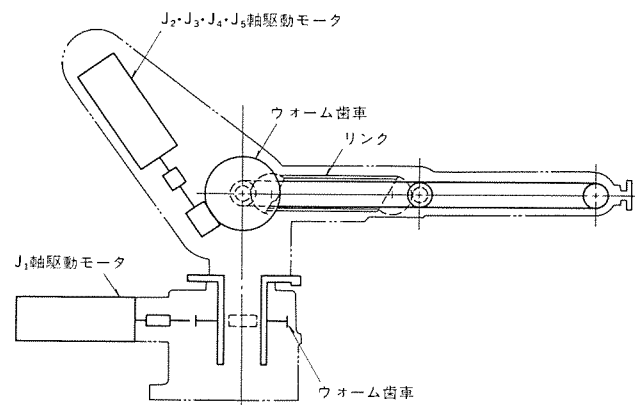


図 2. RV-133 P 前腕 (第2アーム) の駆動系

ティーチングボックスで構成している。設置面積が約 260 mm×215 mm と小形であるが、広い動作領域をもつ 5 自由度のロボットである。このマニピュレータの減速機構は、全軸バックラッシュ調整機構を持つウォーム減速機を採用し、高精度と低騒音及び無通電時の自重落下を防いでおり、特に前腕 (第2アーム) の駆動は図 2. に示すように歯車とリンクによって高剛性化を図った。

2.3 円筒座標形ロボット 《MELFA-RC-136 P》

RC-136 P は、図 1. (b), (c), (d) のマニピュレータ、コントローラ、ティーチングボックスで構成している。この機種は、手首の回転軸の有無で 4 軸と 3 軸の 2 種類がある。マニピュレータの旋回軸はタイミングプーリ 1 段と平歯車 2 段で減速しており、伸縮軸と上下軸は、ピニオンとラックの組合せで駆動している。上下軸の無通電時の自重落下防止には無励磁作動形電磁ブレーキを用いている。また、手首の回転はタイミングプーリと平歯車及び傘歯車の組合せで駆動している。

3. 《MELFA-RS シリーズ》

VTR, OA 機器などの小形化、高密度化に伴い、その組立、検査などに要求される位置決め精度は年々厳しくなり、これらの自動化のために高精度なロボットの必要性が高まってきている。この要求に対して、精密作業が可能な直交 (直角) 座標形ロボット《MELFA-RS シリーズ》を開発製品化した。表 2. (a), (b) に仕様を示す。

このシリーズは、図 3. (a), (b), (c) に示すように、スタイデタイプ (RS-A), アーム移動タイプ (RS-N), X-Y テーブルタイプ (RS-T) の 3 タイプがあり、また各々のタイプは、動作領域の違いにより 3 機種

表 2. (a) RS-A, N, T ロボット本体の仕様

項目	形式	RS-A 形	RS-N 形	RS-T 形
構造		直 角 座 標 形		
制御軸数		2~4	2	2
動作範囲 (最大動作速度)	X 軸	200~600 mm		
	Y 軸	200~400 mm		
	Z 軸	100 mm	—	
	θ 軸	±183°	—	
可搬重量		4 軸 2 kg, 3 軸 4 kg	15 kg	35 kg
位置繰返し精度		±0.02 mm (X, Y, Z) ±0.04° (θ)	±0.02 mm	
本体重量		55~79 kg	43~59 kg	41~57 kg

表 2. (b) RS-A, N, T 用コントローラの仕様

項目	仕 様
同時制御軸数	2~4 軸
制御方式	直線補間, 円弧補間 (オプション)
駆動方式	PWM サーマンプ
位置教示方式	ティーチングプレイバック, MDI 併用
記憶ステップ数	標準 510 ステップ, 最大 838 ステップ (オプション)
プログラム数	31
入力信号	汎用入力 8+4 点 専用入力 16 点
出力信号	汎用出力 8 点 専用出力 10+3 点
電源	AC 100/110 V ±10% 50/60 Hz
外形寸法 (mm)	430 (W) × 349 (D) × 199 (H)

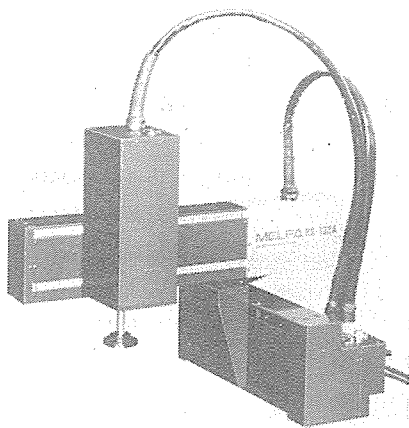


図 3. (a) RS-A タイプロボット本体の外観

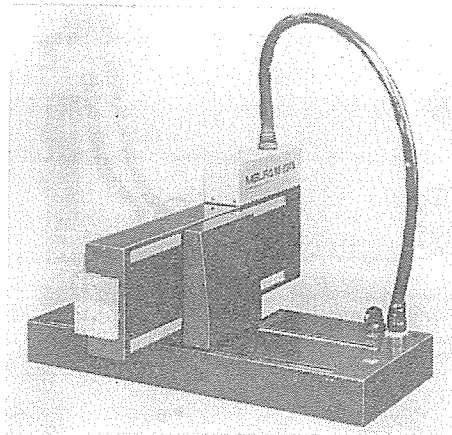


図 3. (b) RS-N タイプロボット本体の外観

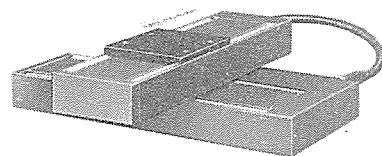


図 3. (c) RS-T タイプロボット本体の外観

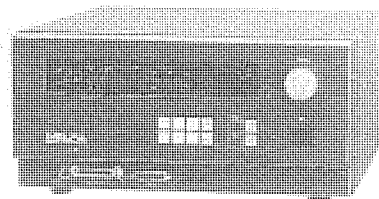


図 4. RS-A, N, T 用コントローラの外観

PU ON/OFF	キーシフト	画面切換 位置表示 切換	定寸送り	グリッパ 操作
モード設定	↓	↑	+X	-X
終了	←	→		
RSK	JPC	PAL	+Y	-Y
7/MOV	8/JMP	9/CAL		
ACI	PTH	MVR	+Z	-Z
4/SFT	5/GSB	6/RET		
DAC	DRW	PTR	+θ	-θ
1/EOP	2/WON	3/WOF		
	+ /ON	- /OFF	ステップ動作	←
0	— /JON	· /JOF	一時停止	緊急停止

図 5. RS-A, N, T 用プログラミングユニットの操作面

表 3. 簡易ロボット言語一覧

分 類	命 令
移 動 命 令	MOV, PTH, DRW, (MVR, PTR)
ジ ャ ン プ 命 令	JMP, JON, JOF
割 込 み 処 理 命 令	ACI, DAC, RSK
入 出 力 命 令	WON, WOF
コ ー ル 命 令	CAL, GSB, RET
パ レ タ イ ズ 命 令	PAL, JPC
シ フ ト 命 令	SFT
そ の 他	EOP

注 () はオプションを示す。

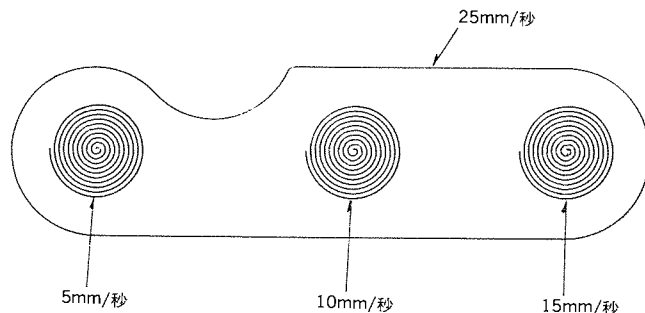


図 6. 動作軌跡例 (尺度 1/2)

実現している。またコントローラはモジュール化を図り、保守を容易にしている。

4. 《MELFA-RH シリーズ》⁽¹⁾

《MELFA-RM シリーズ》は組立ラインで、組立(マテハン)作業をロボット化するために必要な機能・性能と経済性は何であるかを追求するという方針から開発製品化した水平多関節形ロボット(4軸)である。このRHシリーズは、当社の組立(マテハン)ロボットの第1シリーズであり、可搬重量(5 kg, 10 kg, 20 kg)と動作領域の違いから基本機種は、RH-111, RH-211, RH-212の3機種である。開発の際、特に重視した点は、ロボットの動作教示時間の短縮と動作順序の柔軟性、及び機能の拡張性である。RHシリーズの主な特長は次のとおりであり、表4.(a), (b)に代表機種であるRH-211の仕様を示す。

(1) 小形・軽量で高速・高精度

ずつある。RS-N及びRS-Tの制御軸数は2軸であるが、RS-Aは2, 3, 4軸の3種類ある。駆動は全軸DCサーボモータであり、RS-Aの手首回転軸を除いてタイミングベルトを介してボールねじへ動力伝達している。この直交(直角)座標形ロボットは、ロボット本体、コントローラ、プログラミングユニットで構成している。図4.にコントローラの外観、図5.にプログラミングユニットの操作パネルを示す。主なる特長は、次に述べるとおりである。

(1) 小形コンパクトで省スペース

ロボット本体はX軸を短かく取付スペースを少なくしており、またコントローラの小形も含めコンパクト化を図っている。

(2) 使いやすさ

《MELFA》言語の基本的な考え方を採用した簡易ロボット言語(プログラミング言語)を開発し、プログラミングユニットから教示できるようにしており、パス制御、位置座標シフト、割込み、条件分岐機能などを備えている。またオプションとして円弧補間もでき、シーリング作業への適用も可能である。表3.に、簡易ロボット言語一覧を、図6.に動作軌跡例を示す。

(3) 高剛性、高信頼性

リニアガイドとボールねじとの使用でロボット本体の高剛性、高信頼性を

表 4. (a) RH-211 マニピュレータの仕様

項	目	仕 様
構 造		水 平 多 関 節 形
制 御 軸 数		4
腕 の 長 さ		400 mm + 250 mm
動 作 範 囲 (最大動作速度)	θ_1 軸	$\pm 135^\circ$ (227°/s)
	θ_2 軸	$\pm 135^\circ$ (225°/s)
	θ_3 軸	$\pm 160^\circ$ (255°/s)
	Z 軸	300 mm (500 mm/s)
可 搬 重 量		10 kg
位 置 繰 返 し 精 度		± 0.05 mm
本 体 重 量		85 kg

表 4. (b) ロボットコントローラ RA2 の仕様

項	目	仕 様
教 示 方 式		ティーチングプレイバック, MDI 併用, ロボット言語
経 路 制 御 方 式		PTP 制御, CP 制御
制 御 軸 数		同時 4 軸制御 (最大 6 軸 + 付加軸 2 軸)
位 置 制 御 方 式		ソフトウェア・サーボ
記 憶 容 量		標準 2,400 点 (最大 21,000 点)
プ ロ グ ラ ム 数		最大 40
ユ ー ザ ー 開 放 入 出 力	入 力	汎 用 入 力 16 点 + (32 点) 専 用 入 力 25 点
	出 力	汎 用 出 力 8 点 + (40 点) 専 用 出 力 (20 点)
自 己 診 断 機 能		有 り 約 250 種
ロ ボ ッ ト 言 語		有 り 約 160 語
電 源		単 相 AC 200/220 V $\pm 10\%$ -15% 50/60 Hz
外 形 寸 法 (mm)		650(W) × 700(D) × 935(H)

注 () はオプション

駆動モータを回転中心付近の固定台にコンパクトに配置し、アーム重量を軽減したため、高速・高精度が可能となった。RH-211 を例にとると、先端の合成最大速度は 3.5 m/秒で、かつ、位置繰返し精度は ± 0.05 mm である。また、(マニピュレータ重量) ÷ (可搬重量) ≈ 8 (他の形式のロボットでは 15~40 である)

(2) 全軸 DC サーボモータ駆動

特に Z 軸がサーボ方式であるため、コンベヤ、治具高さなどに気を取られることなくレイアウトができる。また、サーボ方式の付加軸を 2 軸まで追加可能である。

(3) 広い作業 (動作) 範囲

第 2 アームの姿勢が第 1 アームに対して左右同等の動作が可能で、かつアーム全体が上下するため、広い作業範囲を確保できる。

(4) 補間機能 (関節, 直線, 円弧)

三つの補間機能を組み合わせることにより、目的に一致した動作をさせることができる。例えば、直線と円弧補間機能を使えば少ない位置の教示でシール剤、グリースなどの塗装作業が可能となる。

(5) 簡単なティーチングとプログラミング

動作記述レベルのロボット言語 (《MELFA》言語) とメニュー方式 (CRT 画面へ入れるデータの位置を表示する方式) の開発により、ティーチングとプログラミングが容易になった。特に組立手順のプログラミングと位置定義の分離は非常に有効である。

(6) 視覚センサリンク及びパーソナルコンピュータリンク

視覚センサ《MELFA-IS-211》とパーソナルコンピュータ《MULTI 16-II》

との接続が可能である。

(7) システムアップが容易

プログラマブルコントローラ《MELSEC-K シリーズ》との接続を考慮した入出力インタフェースを装備している。

5. 応 用 事 例

5.1 PICKARM シリーズ (RV-133 P 及び RC-136 P) の応用事例

図 7. は ノーヒューズ遮断器の端子部のろう付け作業を行うロボットセルであり、2 台の RV-133 P と 1 台の RC-136 P 及び部品供給装置 (マガジンフィーダ、ボールフィーダなど) で構成している。RV-133 P は、部品供給装置の終端部からワークを取り出してろう付け位置への位置決めと、ろう付け部のミガキ作業、及びろう材供給を分担する。RC-136 P は、部品供給装置の終端部から、もう 1 個のワークを取り出して、ろう付け位置への位置決めと完成品の取出しをする。ワーク寸法の異なる数種類のろう付け作業ができる柔軟性の高いロボットセルであり、無人運転を実現した。

図 8. は、RV-133 P を使用してダイナモスタータのコイルエンドを端子に巻き付ける斜め作業であり、5 自由度のロボットの特長を生かした作業である。

5.2 直交 (直角) 座標形ロボット RS シリーズの応用事例

直交 (直角) 座標形ロボットは、主としてフリーフロー方式のベースマシンを用いた組立ラインへ適用されることが多い。図 9. はベースマシンでの VTR の部品組付けの例であり、この組立ラインではねじ締め、

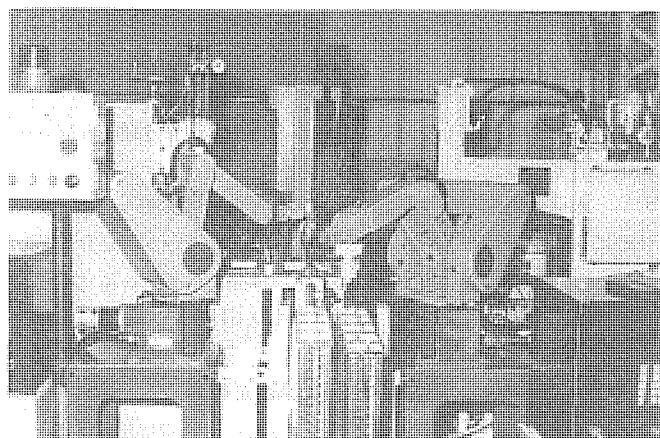


図 7. ノーヒューズ遮断器の端子部のろう付け

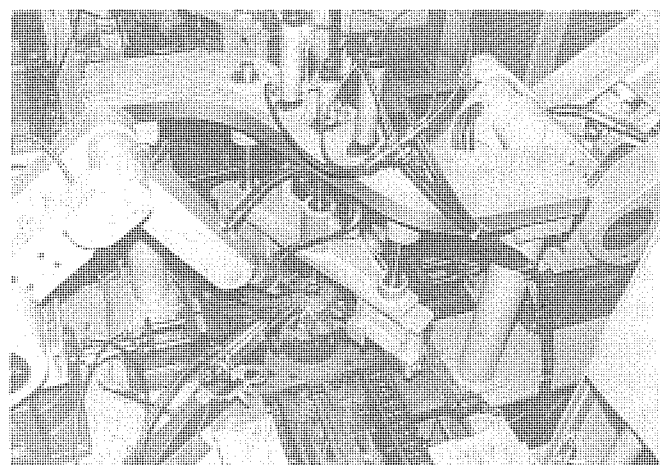


図 8. ダイナモスタータのコイルエンドを端子に巻付け

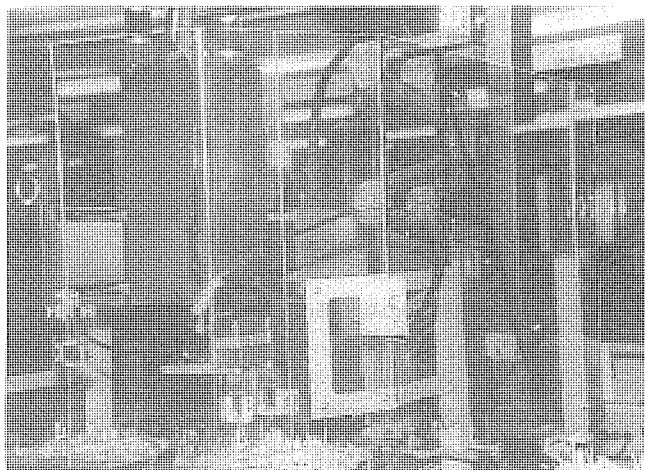


図 9. VTR 部品の組付け

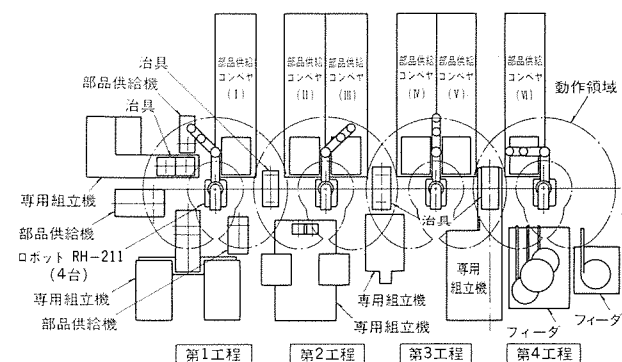


図 10. RH-211 を 4 台使用した部品組立セル 配置図

接着剤塗布、グリス塗布、調整作業などを行っている。そのほか、プリント基板へ異形電子部品を挿入するなど精密組立分野へも数多く採用されている。

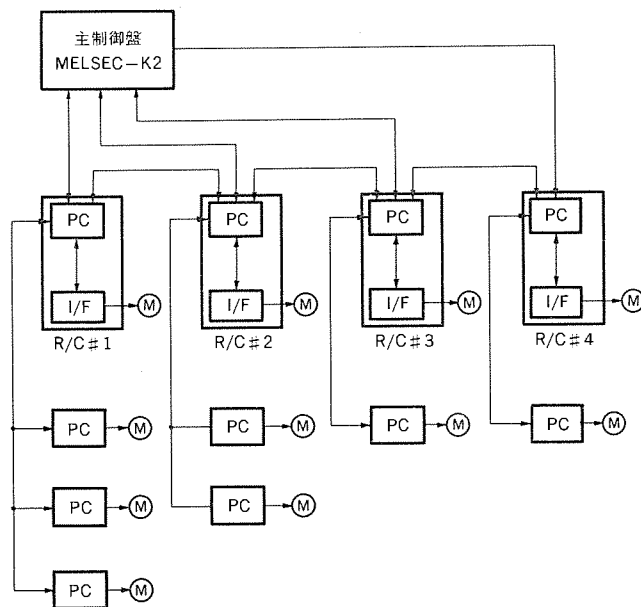
5.3 水平多関節形ロボット RH シリーズの応用例

一般に水平多関節形ロボットは、動作領域の広いという特長を生かし、組立ライン外のコンベヤなどのパレットから部品を取り出し組立位置へ供給する作業に適している。以下、当社の RH シリーズを用いた応用事例を紹介する。

5.3.1 RH-211 を 4 台使用した部品組立セル

この組立セルは、4 台の RH-211 形ロボット、5 台の専用組立機、6 台の部品供給コンベヤ及び各種の部品供給機（マガジンフィーダ、ボールフィーダなど）で構成している。図 10. に概略配置図を示す。この組立セルの特長は、ペースマシンを用いず、各ロボットの動作領域を共有させ、その共有領域に治具を設けていることである。各ロボットは、部品供給コンベヤのパレット及び各種の部品供給機から部品を各専用組立機及び治具へ搬送し、そこで位置決め、又はかん(嵌)合作業（H8/e7 から H7/g6 程度）を行う。ここでの治具は、次工程へ送る半組立品の一時保管と治具上での組立補助作業の二つの役割を持っている。また、5 台の専用組立機はロボットでは組立が困難な O リングの挿入、ピンの打込み、止め輪の挿入などの作業をする。なお、専用組立機へのマテハンはロボットが行う。この組立セルで組み立てるワークの機種は 20 種類以上あり、1 機種当りの部品点数は 12 又は 13 点であり、ある決めた個数のロット生産方式を採用している。

組立セルの制御は、図 11. に示すようにプログラマブルコントローラ《MELSEC-K 2》を統括コントローラとして構成した。そして、図 10.



PC (プログラマブルコントローラ): 《MELSEC-K0》

R/C #1-R/C #4: ロボットコントローラ《MELFA-RA2-4》

I/F: ロボットコントローラインタフェース

Ⓜ: 専用機, 部品供給機, 治具

図 11. RH-211 を 4 台使用した部品組立セル制御システム構成

ロボットアーム姿勢検知用近接スイッチ

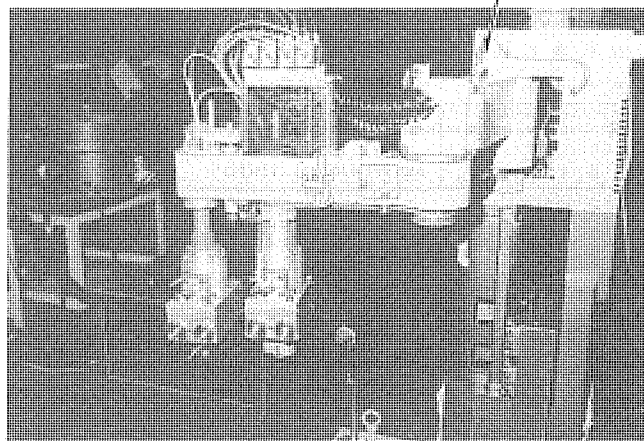


図 12. ロボットハンド (ダブルハンド)

で示したように各ロボットは共有する動作領域を持つため、ロボットのアーム位置を検出する近接スイッチを取り付けて、その信号をプログラマブルコントローラを介しロボットコントローラへ送り、ロボット間の協調を行いアーム同志の衝突を防止している。この共有領域へは、先に入ったロボットが優先して作業を行い、作業終了後に共有領域から抜けた時点で、待機していたロボットが共有領域へ入り作業を行う。

また、各ロボットの把持部は、多種の部品を段取りなしで把持できるように工夫を加え、かつ図 12. のようにすべて 2 個のハンドを設けた。ハンドは空気圧による平行スライド方式であり、部品の把持検出と組付け時の嵌合異常を検出するスイッチを備え、異常時には警報を発生しロボットを一時停止させる。これにより、不良品ができるのを防ぎ信頼性と生産性の向上を図っている。

この事例は、ロボットで組立と工程間のマテハンを実施しているため、ペースコンベヤを用いる方式に比べると設置面積は、かなり小さく、かつ工程間マテハン装置費用が節約できる。しかし、その反面、レイアウト変更がやや難しい。

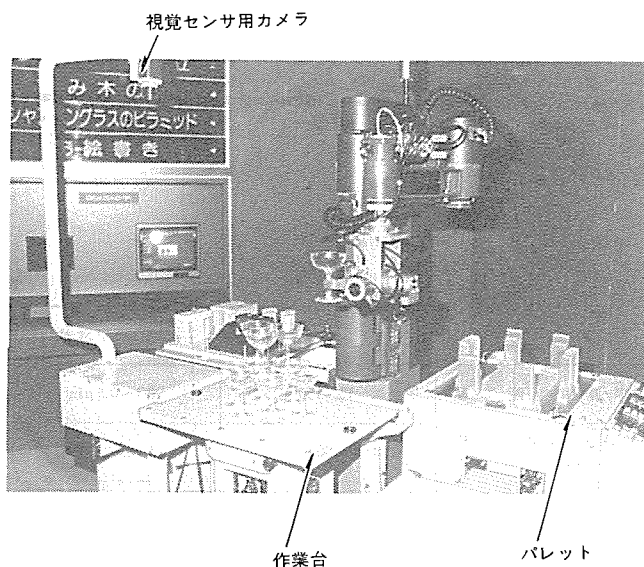


図 13. 札幌市青少年科学館納め常設展示 ロボットセル の外観

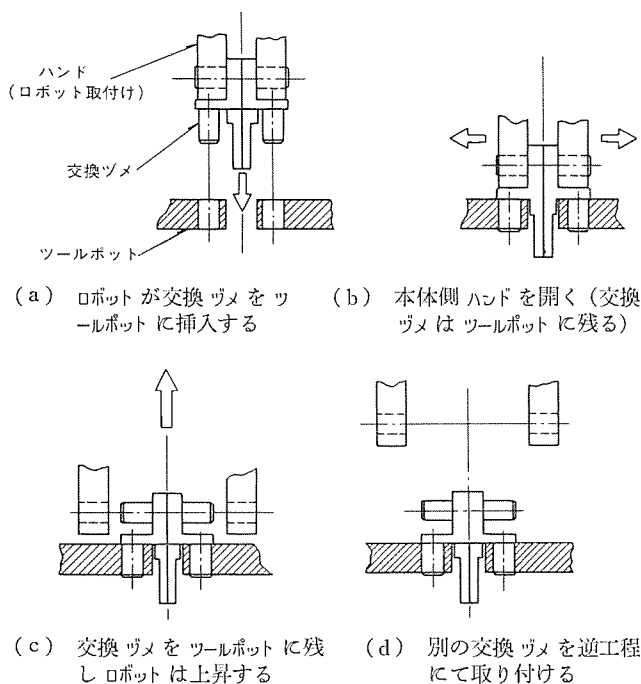


図 14. フィンガの交換手順

5. 3. 2 札幌市青少年科学館納め常設展示ロボットセル

このロボットセルの事例は、青少年向けの展示用であるが、産業用として応用できる部分が多数あるので紹介する。ロボットは RH-211 を使用し、ロボットの前面に上下機構を持った実演用の作業台を設け、ロボットの付加軸としてサーボ制御を行っている。更に、ロボットの動作領域内の周辺部へ実演で使用する各種ワークを、4 段のストック装置内のパレットと、別の 1 段の固定パレットに格納している。ハンドは、各種のワークに対応するため自動フィンガ交換 (AFC) 方式を採用している。この AFC 方式は、ハンド本体の把持部にフィンガ部分のみが交換できるように、嵌合穴とボールプランジャがあり、ツールポットとの

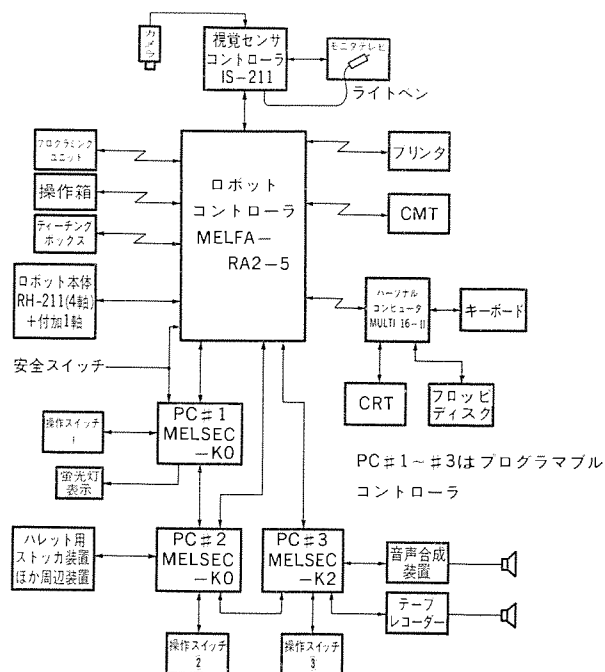


図 15. 札幌市青少年科学館納め常設展示 ロボットセル 制御システム構成

組合せで、フィンガの自動着脱が可能となる方式である。図 13. にロボットセルの外観を、図 14. にフィンガの交換手順を示す。このロボットセルの実演内容は、次の 4 種類である。なお、実演内容はワークとプログラムの入替えによって変更できる。

- (1) ミニロボットの組立
- (2) 積木で家の形を作る
- (3) シャングラスのピラミッド
- (4) ミニロボット、星座、幾何学模様などの作図

また、図 15. に制御システムの全体構成を示す。ここで視覚センサは積木の形状認識を行い、指示されたものと一致するかを判定する。パーソナルコンピュータは、実演内容の進行状況を順次、CRT 画面へ画像として表示して行く。更に展示効果をあげるために、テープレコーダーと音声合成によって実演内容を説明する。

なお、この事例では付加軸を作業台の上下機構に使用したが、産業用では RH-211 を搭載して移動する走行軸、又は手首先端の曲げ軸として適用している。同様に視覚センサ及びパーソナルコンピュータも用途は異なるが、実ラインで多数稼働している。

6. む す び

本稿では、中小形組立・マテハンロボット《MELFA》の各シリーズの仕様と特長及び応用事例について述べたが、今後は、ますます多様化する市場ニーズに対応できる経済的で、かつ、安全と信頼性の高いロボットを開発製品化し、ユーザーの期待にこたえて行きたい。

参 考 文 献

- (1) 志賀ほか：三菱電機《MELFA》組立マテハンロボット RH・RL シリーズ、三菱電機技報、57, No. 3, p. 201 (昭 57)

1. ま え が き

工場のFAを進める上で自動搬送は欠くことのできない大きな役割を果たしており、近年は特に、医薬、食品をはじめOA機器や半導体など、極めて清浄度の高い環境下での生産ラインに使用される、いわゆるクリーンルーム内搬送の要求が高まってきた。

工場の生産ラインにおける自動搬送は、通常、省力を第一の目的とするが、クリーンルームにおける生産現場では、製品品質や生産歩留りに大きな影響を与えるダストの発生を抑えることがポイントとなり、省力の面からも、ダストの発生源となる人間の生産ラインへの混在を減らすよう、自動搬送が用いられる。また、クリーンルーム内は省スペースが要求されるため、生産設備が集中するなど、物流経路も複雑となっており、ロット管理、搬送のいずれにおいても人手では限界が生じてくる。コンピュータとリンクした自動搬送は生産工程と仕掛管理を行う上で大きなメリットを持ち、今後ますます必要不可欠なものとなる。

当社においてもFA化された半導体工場が稼働している。本稿ではこれらFA工場の中心コンポーネントとなる無人搬送車と搬送ロボットを取り上げ、機器の特長、仕様並びに技術ポイントについて述べる。

2. クリーン化の要求

クリーンルーム内で扱われるダストとは、目に見える限界の10 μ m程度から、ビールスと同等の0.1 μ m程度までの、いわゆる微粒子（パーティクル）じんあいを指しており、これら微小物体の大きさを比較すると図1.のようになる。クリーンルームは通常HEPA（High Efficiency Particulate Air Filter）フィルタと呼ばれるフィルタで、ろ過された清浄空気を天井からダウンフローの状態で供給する。ダウンフローは床下又は側壁から回収し再び天井のHEPAフィルタに戻し、循環使用して高いクリーン度を維持するようにしている。クリーン度の規定は、通常1ft³の空气中に浮遊する0.5 μ m以上のダストの数で表す方法が用い

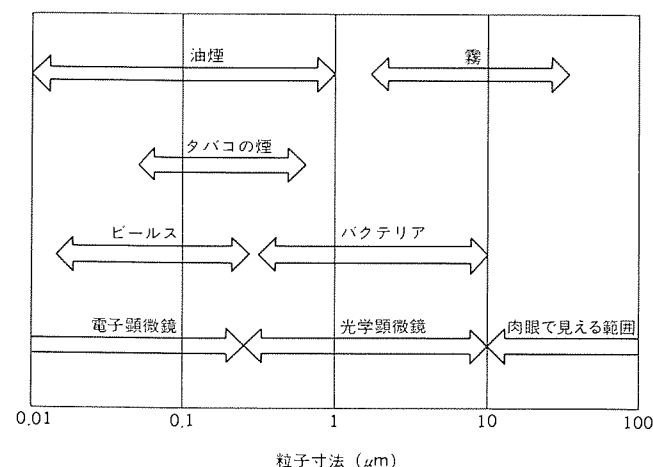


図1. 微小物体の寸法比較

表1. 各生産分野別のクリーン環境

分 野	要求クリーン度	対象粒子寸法
半 導 体 生 産 工 程	クラス 10~100	0.1~0.5 μ m
OA 機 器 生 産 工 程 精 密 機 械 生 産 工 程	クラス 10,000	5 μ m 以下
光 学 機 器 生 産 工 程	クラス 10,000	5 μ m 以下 (レンズ系1 μ m 以下)
食 品 生 産 工 程	クラス 10,000~100,000	微 生 物
医 薬 品 生 産 工 程	クラス 100~100,000	微 生 物

られ、クラス100とか1,000と呼ばれて区分される。表1.に各産業分野で使用されるクリーン環境の程度を示す。

クリーン環境における生産現場では、人間がダストの大きな発生源となるため、極力、人を減らすことが肝要となる。半導体生産工程では表1.にみられるように、最もきびしいクリーン環境を必要とする一方、ウェハの搬送作業は人手作業の中でもウェットが高く、クリーン搬送機器の導入によって得られるダストの低減効果は非常に大きなものとなる。また、クリーン環境での生産は稼働率向上のため、連続自動運転されるものが多い。したがってクリーンルーム用搬送機器は、特に念入りなダスト対策とともに、24時間の連続自動運転に対しても使用できる十分な耐久性と信頼性を備えておく必要がある。

3. 生産ラインにおける搬送システム

3.1 搬送の種類

表1.に挙げた生産工程の中には、複雑な経路で生産が行われるものが多くあり、搬送システムの種類も多岐にわたる。これを使用目的で分類すると、

- (1) 工程間搬送システム
- (2) 工程内搬送システム

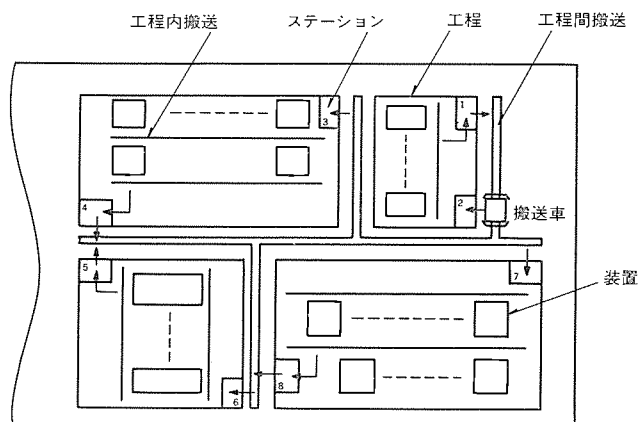


図2. 工程間・工程内搬送システムモデル

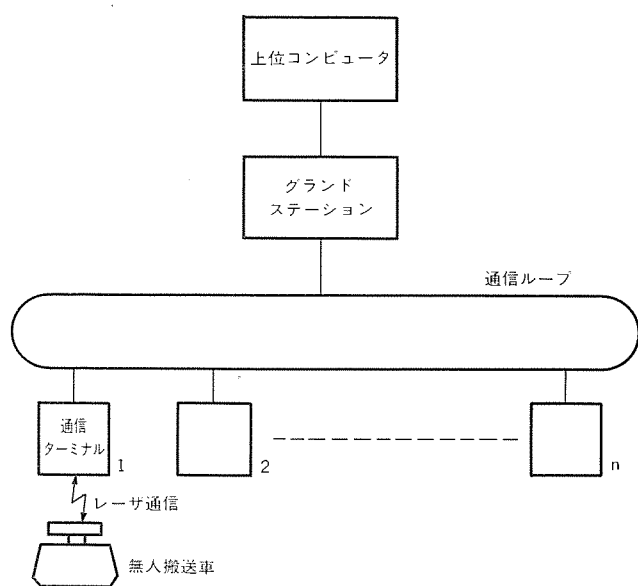


図 3. (a) 搬送システム構成 (工程間)

(3) 装置内搬送システム

に分けられる(図 2.)。以下に各々の搬送システムについて述べる。

3.2 工程間搬送システム

各工程の出入口には、ステーションが設けられている。ステーションには工程での処理を待つワーク及び工程で処理を終えたワークが、キャリアケースに入れられてストックされている。工程間搬送システムは、処理を終えたキャリアケースを次工程のステーションまで搬送する機能を持ち、生産ラインのレイアウトにもよるが、一般に長距離でかつ複雑な搬送経路が要求される。これらの要求を満たすため、自動移載機構付き全方向移動機能を備えた無人搬送車を開発し、図 3. (a) の工程間搬送システムを構成した。

無人搬送車が停止してロード、アンロードを行う各工程のステーションには、無人搬送車と通信を取り交わす通信ターミナルを配置し、通信の親局であるグラウンドステーションとの間は光ファイバによる通信ループを形成した。グラウンドステーションとすべての工程間搬送を制御する上位コンピュータとは SECS (Semiconductor Equipment Communication Standards) 準拠の通信プロトコルで通信している。

搬送車への指令は、上位コンピュータからグラウンドステーションに動作指令として与えられる。例えば、搬送車の移動指令を受けたグラウンドステーションは、搬送車の現在位置から移動先ステーションまでの走行経路情報を搬送車がビジョンセンサで認識できるマーク列として生成する。次に、生成した経路情報を通信ターミナル経由で搬送車に送信する。搬送車は指示されたマーク列に沿って加速、走行、減速、停止動作を行う。

このようにグラウンドステーションに経路情報生成機能を持つことで搬送車本体は走行レイアウトから独立でき、したがって搬送車はソフトウェアも含めて標準化及び搬送車相互の互換性を得ることができる。また搬送車の移動は任意のステーション間で行われるため、ステーション数が増大すると走行経路情報は膨大な量になる。このため圧縮された経路データから経路情報を生成するアルゴリズムを開発し、メモリ容量の減少と、わずかな経路データの修正によって複雑な搬送システムにも適用できるようにした。

3.3 工程内搬送システム

工程内搬送システムは、一つの工程を構成している各処理装置間の搬

送を行うもので、ステーションからキャリアケースをロードして処理装置の前まで搬送した後、処理装置の投入へアンロードする機能、あるいは処理装置の払出口のキャリアケースをロードして次の処理装置又はステーションまで搬送してアンロードする機能を持っている。工程内搬送は、工程間搬送に比べて短距離でかつ直線的な搬送となるが、キャリアケースを処理装置の投入口へ直接ロード、アンロードするため、高精度のロード・アンロード機能が要求される。このため走行軸付きの水平関節形搬送ロボットを開発し、図 3. (b) の工程内搬送システムを構成した。

地上コントローラであるグラウンドステーションと搬送ロボット本体上に搭載したロボットコントローラ間は SECS 準拠の通信プロトコルで通信されている。また工程内の処理装置及び搬送を制御する上位コンピュータ間についても、SECS 準拠の通信プロトコルで通信を行っている。搬送ロボットへの指令は、上位コンピュータからグラウンドステーションに動作指令として与えられる。グラウンドステーションは動作指令を搬送ロボットごとに仕分けして対象のロボットに送信する。搬送ロボットは表 2. に示すように、動作指令をロボットの動作コマンドに展開して走行動作、ロード・アンロード動作を行っている。

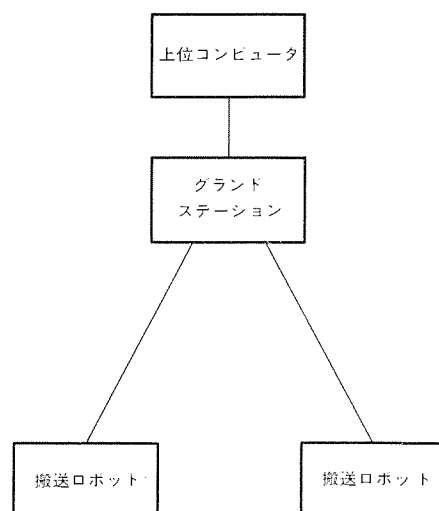


図 3. (b) 搬送システム構成 (工程内)

表 2. 作業指令のロボット動作コマンドへの展開

動作指令	ロボット動作コマンド (MELFA 言語)
CMOVE S ₀ S ₁ P ₀ P ₁ , S ₂ S ₃ P ₂ P ₃ (ステーション S ₀ S ₁ ポイント P ₀ P ₁ の キャリアケースを ステーション S ₂ S ₃ ポイント P ₂ P ₃ へ 移動する)	MOVSP
	;
	APRO (100, 0) WRK
	;
	MOV P ₀ P ₁
	;
	CLOSE
	;
	AND Jhand
	JON ERR/
	;
	DPART (100, 0)
	;
	MOVSP
	;

3.4 装置内搬送システム

装置内搬送システムは、一般には装置の投入口に投入されたキャリアケースからワークを1個ずつ取り出して装置に供給し、次に装置内で処理を終えたワークを再びキャリアケースに挿入する機能を持ち、装置に付属した搬送機器を用いることが多い。

以上述べたように、搬送システムは、工程間、工程内、装置内という階層構造をもって構成され、それぞれが有機的に結合して全体として統合化されていなければならない。以下では、今まで述べた搬送システムで使用されている各機器の、その特長、仕様について述べる。

4. 機器の特長と仕様

4.1 無人搬送車 (図 4.)

特に、CIM (Computer Integrated Manufacturing) 及びクリーン環境での使用を考慮したものである。その仕様を表 3. に示し、主な特長、機構及び制御の概要を述べる。

4.1.1 主な特長

- (1) クリーン環境に適合
- (2) 全方向移動可能なため、搬送路のスペースファクタが良好
- (3) 制御回路には CMOS を全面的に採用して省電力化を図り、バッテリー自動交換との併用による 24 時間連続運転が可能
- (4) 床面上のテープによる誘導方式を採用しているため、据付け、リレイアウトが容易
- (5) テープ認識用カメラからの位置情報をフィードバック量として用いるデジタルサーボ制御方式により、高精度の位置決めが可能
- (6) SECS 準拠の通信プロトコルでステーションとの光通信が行えるため、計算機制御された搬送システムへの導入が容易
- (7) 10 軸のサーボアンプを搭載し、走行軸以外に移載装置用として 6 軸のサーボ制御が行え、複雑なロード・アンロード動作が可能

4.1.2 機構部

全方向移動可能とするため、車体中央部に横一列で配置されている 4 個の車輪は、それぞれ独立に制御できるとともに、2 個ずつが回転円板に取り付けられており、車体の姿勢を変えずに走行方向を変える機能をもっている。更に、床面の凹凸に対してすべての車輪が均等に接地できるようなイコライザ機構を設けている。クリーン化に対しては、タイヤに摩擦の少ないウレタンゴムを使用し、スカート部を路面近くまで下げて車輪部からのごみの発散を防いでいる。

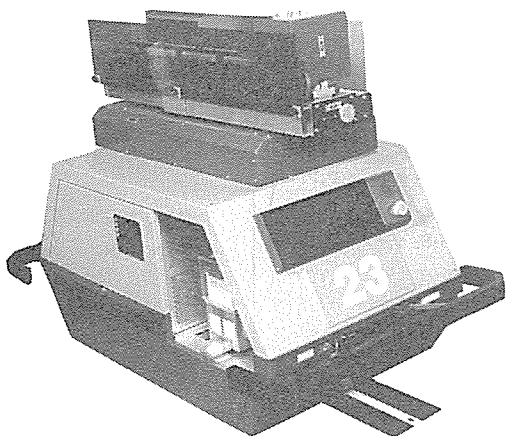


図 4. 無人搬送車の外観

表 3. 無人搬送車の仕様

項 目	仕 様
積 載 荷 重	60 kg
走 行 速 度	直 進
	横 進
加 減 速 度	0.04 G
停 止 精 度	±5 mm
誘 導 方 式	テープ及びマーク認識
ス テ ア リ ン グ 方 式	4 輪速度差方式
バ ッ テ リ 交 換 イ ン タ バ ル (自 動 交 換)	約 8 時間
外 部 通 信	非接触レーザ通信
安 全 装 置	バンパー、チャイム
外 形 寸 法 (移 載 装 置 別) 自 重 (")	1,400 mm × 860 mm × 600 mm 約 100 kg

4.1.3 制御部

制御部はメイン制御、認識制御、走行制御の 3 部から成り、それぞれを制御する 8 ビットのマイクロプロセッサがラッチを介して他のプロセッサと交信するというマルチプロセッサ構成になっている (図 5.)。メイン制御部は、全体を統轄管理するとともに、操作パネル制御や移載ステージとの通信の制御を行っている。

認識制御部は、カメラから得られたテープ画像からラインのエッジ及びライン上のマークを認識し、残距離演算のデータ及びマークの種類をメイン制御部にわたす。一方、走行制御部に対しては、操舵(舵)制御データとして目標経路からの偏差量を計算してわたしている。走行制御部では、メインから目的値及び走行パターンの指令をもらい、認識部からの偏差量を使って PID 制御演算を行い舵行の少ない操舵を実現している。

4.2 無人搬送車用通信ネットワーク

FA では計算機そのものより、むしろ通信ネットワークの性能が全体性能を左右するといっても過言ではない。特に信頼性は重要であり、今回開発した無人搬送車の通信ネットワークも信頼性を第一に考えた構成になっている。すなわち、光通信を全面的に採用し、プロトコルも SDLC をベースに確実なものとし、更に通信ターミナル故障時のバイパス機能などのバックアップ機能を充実させている。通信ネットワークは、図 3. (a) で示したように親局であるグランドステーションと通信ターミナル間を、光ファイバによる光通信ループで構成し、通信ターミナルと無人搬送車間、非接触式レーザ通信方式とした。表 4. に光通信ループとレーザ通信の仕様を示す。

4.3 RLH 形搬送ロボット (図 6.)

このロボットは、《MELFA-RH》モジュールタイプロボット⁽¹⁾をベースにクリーン環境での使用を考慮して開発したもので、直線上に配置された処理装置群にグランドステーションからの指令に基づいてワークのロード、アンロードを行うものである。表 5. にその仕様を示し、以下に主な特長、機構及び制御の概要を述べる。

4.3.1 主な特長

- (1) コントローラの内蔵化及びグランドステーションとの通信の光ファイバ

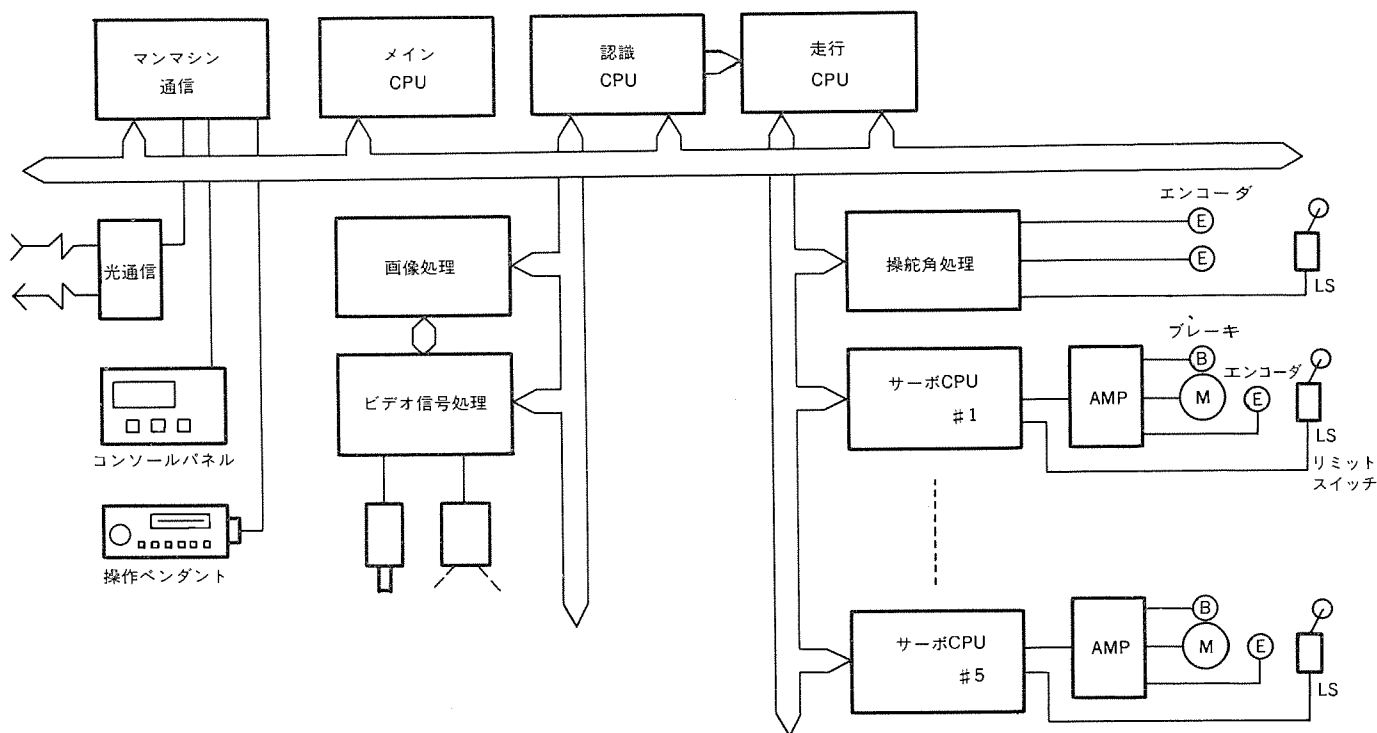


図 5. 無人搬送車の制御ブロック

表 4. 通信ネットワークの仕様

項 目	光通信ループ	レーザ通信
通 信 路 形 式	ループ	1:1
“ 媒 体	光ファイバ	空間伝搬
通信速度 (NRZ)	1 Mbps	4,800 bps
通信プロトコル	SDLC	SECS 準拠
通信ノード数	最大 45	—
“ 間距離	最大 100 m	140~300 mm

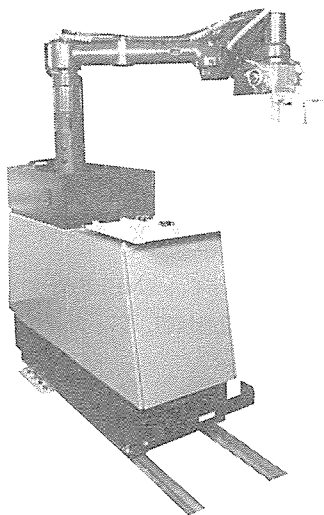


図 6. RLH 形搬送ロボットの外観

化により最大 20 m の走行路長を可能とし、しかも大容量 バブルメモリ採用による ティーチング 点数の増加 (最大 800 点) により、広範囲のサービスが可能である。

(2) レール上を走行する形式をとるとともに、クローズドループ制御により高速 (1 m/s)、高精度 (± 1 mm) の位置決めが可能である。

表 5. RLH 形搬送ロボットの仕様

項 目	仕 様
自 由 度	マニピュレータ 5 軸 ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, Z$), グリップ (ON/OFF) 走 行 1 軸 (M)
積 載 荷 重	3 kg
速 度	アーム θ_1 90 °/s “ θ_2 121 °/s 手 首 θ_3 177 °/s “ θ_4 100 °/s 上 下 Z 300 mm/s 走 行 M 1 m/s
位 置 繰 返 し 精 度 (総合)	± 1 mm
動作範囲	θ_1 270 ° θ_2 ± 135 ° θ_3 ± 180 ° θ_4 100 ° Z 480 mm M 2 m
駆 動 方 式	全軸 DC サーボ
ハ ン ド 制 御	PWM 方式 ON/OFF
電 力 供 給 信 号 伝 達	光・導体複合ケーブル巻取方式
安 全 装 置	衝突バンパー, 光ビームスイッチ

(3) クリーン環境に適合するよう軸受、しゅう (摺) 動部のシールを十分に行うとともに、ハンド機構部は真空ポンプにより内部を負圧に保ってダストの発散を防止した。

(4) グラウンドステーションからの簡単な動作指令により作業を指定でき

るので、計算機制御をベースにした搬送システムへの組込みが安易である。

(5) 作業点の教示は《MELFA》ロボットと同様、ティーチペンダントによる方法とMDIが可能である。

(6) 走行路には光ビームセンサを配置し作業者の侵入を検出するとともに、ロボット本体のパンパにより万一障害物に衝突した場合でも即時に停止するようにして高い安全性を保証している。

4.3.2 機構部

機構部は大別してマニピュレータ部と走行部から構成される。マニピュレータ部は、基本的には《MELFA-RH》モジュールタイプ水平関節ロボットと同一構造としている。軸数は、上下1軸、アーム2軸、手首2軸の計5軸であり、その他にON/OFF制御のハンド軸がある。走行部は台車とレール、給電用のケーブル及びケーブルリールなどの機器から構成される。台車の駆動は特殊ウレタンゴム車輪とレール間の摩擦で行っているが、走行軸の位置情報はレールに取り付けたラックと台車軸上のエンコーダから得ているため、高精度の位置決めが可能となった。

パワー供給用ケーブルは、台車の走行とともに自動的にケーブルリールに巻き取られるようになっているが、高加減速時のケーブル慣性の影響を小さくするために適切なリール径と減速比を選定し、トルクモータにより一定の張力を発生するよう駆動される。クリーン化に対しては、多層ラビリンス構造や、内部負圧化などにより機構部から発生するダストが外部に漏れないようにしている。

4.3.3 制御部

ハードウェアに関して《MELFA-RH》モジュールタイプロボットと異なるのは以下のような点である。

- (1) ハンド制御を電気式とした。
- (2) グランドステーションとロボットとの間を光通信方式とした。

ハンドを電気式としたのはクリーン化の要求にこたえるためであるが、空圧ハンドと同様の開閉速度を得、しかも適切な把持力を発生するよう開閉位置に応じてトルク制御を行うようにした。またグランドステーションとロボット間に光通信方式を採用し、同一ケーブル内に電力供給用導体と通信用光ファイバを収納した。このため、移動ケーブルは軽量で長寿命の特性が得られたとともに、サージ誤動作などのない、高信頼のCPU間通信を行うことができた。

ソフトウェアの製作に関しては以下のような点を考慮した。

- (1) 上位の指令により動作するスレーブ運転方式とする。
- (2) 作業の単位が処理装置ごと、多数となる。
- (3) 障害物が多く、ロボットの動作スペースが限られる。

上位からの指令は表2.の左側に示すように非常に簡潔な形式になっており、それをロボットコントローラ側でマクロ展開し表2.の右側

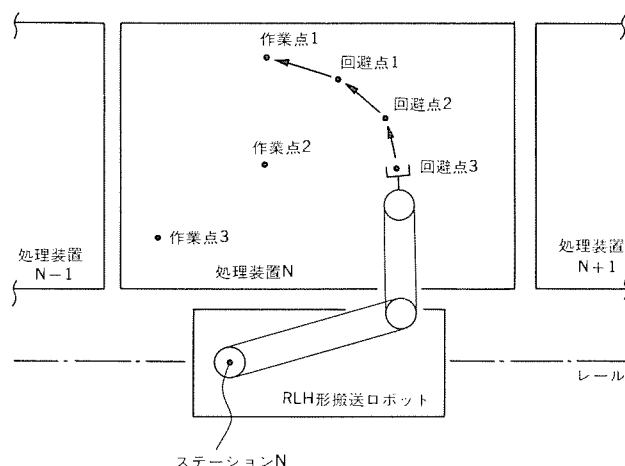


図7. ステーション、作業点、回避点

のように《MELFA》ロボット言語レベルにおとしている。

作業点に関しては一般のロボットと異なっている。すなわち、図7.に示すように各処理装置ごとに“ステーション”という概念を設け、各処理装置内で実際にロボットが作業する点を各ステーションに從属する“作業点”という形で指定する。更に上記(3)にかんがみ、各作業点にはその点への経路を指定するための点（“回避点”）を設定できるようにしている。このように作業点を構造化することにより、上位からの指令がわかりやすくなるとともに、回避点の有効活用により狭いスペース内でもアームを処理装置に干渉させることなくワークのロード、アンロードを可能とした。

5. む す び

現在は、256 KDRAMに代表される超LSIの時代であるが、今後更に高集積化が進み、クリーン化のレベルはますますきびしいものになる。またOA機器などについてみても、より一層の小形化、高信頼性が要求され、半導体生産工程とはレベルが異なるにしても、クリーンルーム内での自動搬送が必要不可欠のものとなってくる。今後はこのような状況を十分に認識し、機器のクリーン化レベルを向上させるとともに、日進月歩で変化する生産ラインのリレイアウトに対応可能なフレキシビリティのある搬送システムの開発を進めて行く。

参 考 文 献

- (1) 志賀ほか：三菱電機ロボット《MELFA》組立マテハンロボットRH・RLシリーズ、三菱電機技報、57, No. 3 (昭58-3)

オンライン視覚付きアーク溶接ロボット

馬場 孝夫*・丸山 寿一*・可部 明克**・土井 研一**

1. ま え が き

近年の生産工程における急速な自動化の中で、アーク溶接ロボットの生産現場への導入が、作業者の劣悪環境からの開放、均一な溶接品質の確保、熟練技術者の不足解消などの観点から積極的に行われ、成果を挙げている。しかし一方では従来の溶接ロボットがあらかじめ指定された位置・姿勢を単に自動再生するいわゆる教示再生方式を採用するため、作業分野によってはロボットの適用範囲が著しく制限されるという問題が生じている。すなわち、このような教示再生方式のロボットでは、溶接対象であるワークをロボットに対し溶接箇所が教示点に一致するように厳密に位置決めする必要があり、そのためには高価な治具の開発、ワーク自体の加工精度の高精度化や頻繁な教示点の修正などを図らねばならない。また溶接中の熱いずみに帰因する溶接線の位置誤差への対策も解決しなければならない問題である。

以上の問題点を解決するには、溶接中に溶接線位置を検出できるセンサ(いわゆる オンラインセンサ)の開発と、これを用いたロボットの制御技術の開発が要求される⁽¹⁾。以下、本稿では当社で開発したオンライン視覚付きアーク溶接ロボットの視覚システムと、センサフィードバックを用いたロボットの制御機能について紹介する。

2. ロボットシステムの構成

ロボットシステムは、視覚センサ、溶接ロボット RW-213、CNC 装置《MELDAS-RW 2》及び溶接電源から成っている。溶接ロボット RW-213 は、6 自由度を持つ垂直多関節形ロボットであり、視覚センサを装備してトーチ姿勢を自在にとることができる。また、このロボットは手首部分の剛性が高くトーチ付近にセンサ部を搭載するのに適しているなどの特長をもっている。図 1. にこのロボットの外観を示す。

CNC 制御装置はメイン制御装置、ティーチングボックス、オペレーティングボ

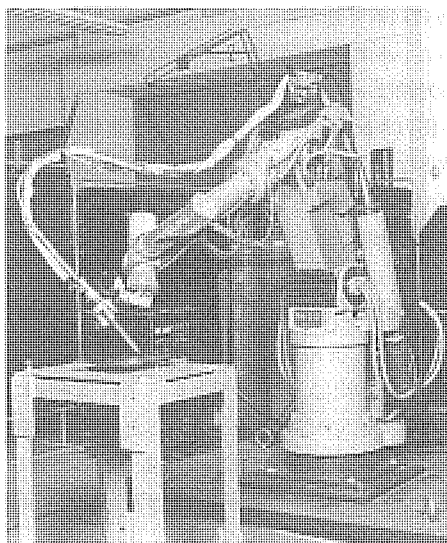


図 1. 視覚付き溶接ロボット

ックスからなっている(図 2.)。メイン CPU にはマルチプロセッサ方式を採用しており、センサによる溶接線追従制御などの高度な制御機能を実現している。メイン CPU はこのようなセンサ補正量演算、補間演算、I/O 制御などのロボットにおける動作制御と、センサを用いた溶

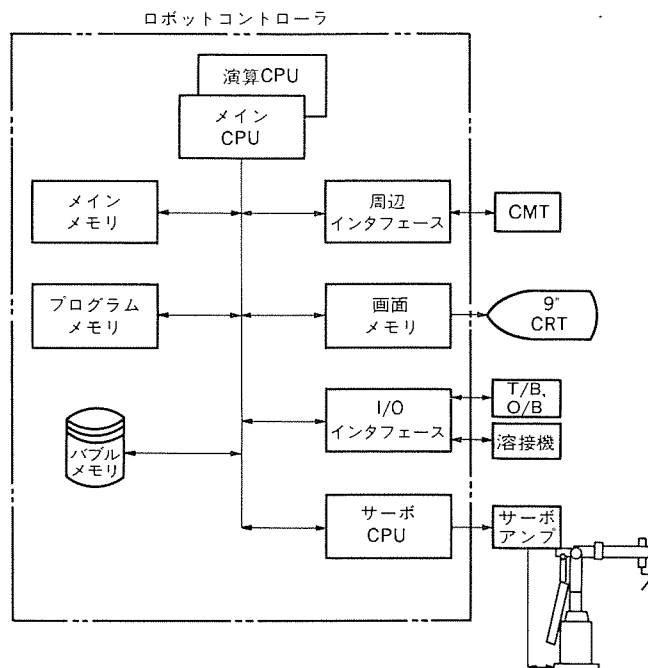


図 2. ロボットコントローラのハードウェア構成

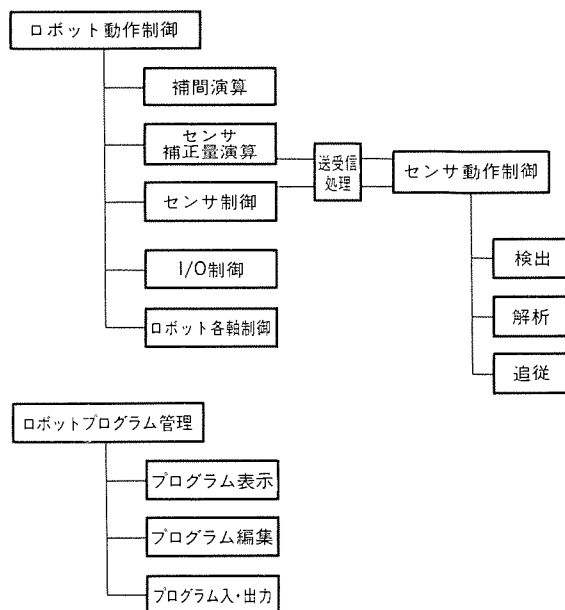


図 3. システムソフトウェア

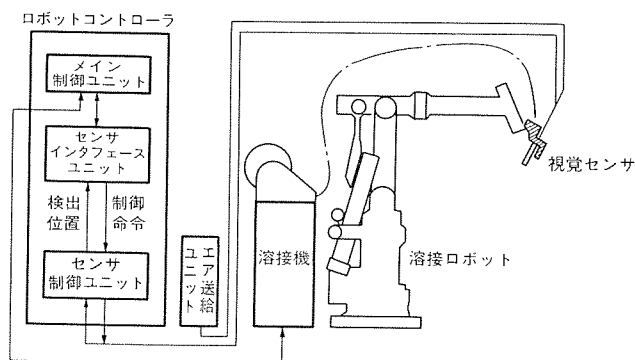


図 4. ロボット 制御 システム 構成図

接動作シーケンスを教示するロボットのプログラム管理などを行っている(図3.)。

図4.にロボット制御システムの構成図を示す。視覚センサは、マイクロプロセッサによるセンサ制御ユニットにより制御され、メイン制御ユニットとはセンサインタフェースユニットを介してリンクしている。センサ制御ユニットは簡単なコマンドを受信することによって、視覚センサの各機能を制御するようインテリジェント化されており、メイン制御ユニットのスレイブとして機能する。なお、センサ制御ユニットとセンサインタフェースユニットはシリアルチャネルでつながれている。

3. オンライン視覚センサ

3.1 概要

溶接線を自律的に追うセンサとして、溶接トーチのウィービング動作によるアーク電流変化から溶接開始中心を同定するアークセンサが従来から用いられている。アークセンサは“センサレスセンサ”と呼ばれ、溶接トーチに何ら特殊なセンサを取り付けることなくオンラインの溶接線追従が行えるため、トーチのワークへの挿入範囲が広くとれることや低価格であることを特長とする。ただアークセンサはウィービング不要な溶接箇所や高速溶接時、又は板厚0.8~3.2mm程度の薄板溶接などには適用が困難又は不可能であり、代替となるセンサが必要である。

一方、視覚センサは汎用性に富み、アークセンサの問題点をカバーできる反面、コストがかかり、またオンラインで使用する際には強烈なアーク光、ヒューム、スパッタなどに対する保護を必要とする。また、センサ部を溶接トーチ付近に装備するためトーチの保持部周辺が大形化し、ロボットの操作性を著しく損なう。したがって、これまで視覚センサは実用的に問題があるとされてきた。

しかしながら、視覚センサは既に述べたように機能的には高いポテンシャルを持っており、以上の問題点を解消すれば、ロボットの適用範囲を飛躍的に拡大する大きな効果をもたらす。当社では、このような視覚センサの汎用性に着目し、かねてから指摘されている問題点を考慮し、実用的なアーク溶接ロボット用視覚センサを開発した。この視覚センサは以下のような特長を持っている。

- (1) 溶接中に溶接線検出可能なオンラインセンサである。
- (2) センサヘッドが小形化されており、溶接トーチのワークへの挿入範囲を広く確保できる。
- (3) 検出分解能が高く、薄板溶接に適用できる。
- (4) 各種の継手形状に適用できる。
- (5) ヒューム、スパッタなどに対する保護がなされている。
- (6) 視覚情報処理は短時間で実行されるため、高速溶接時にも使用できる。

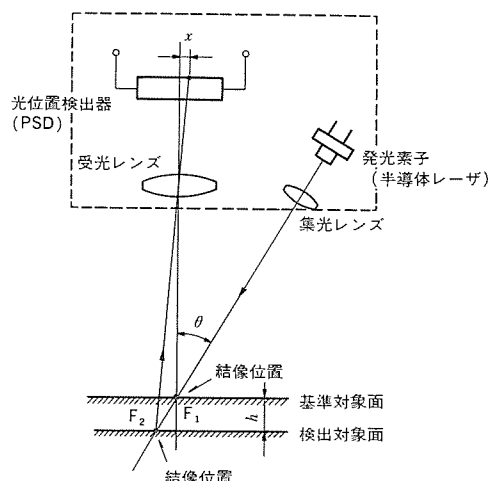


図 5. 距離検出ユニットの構成

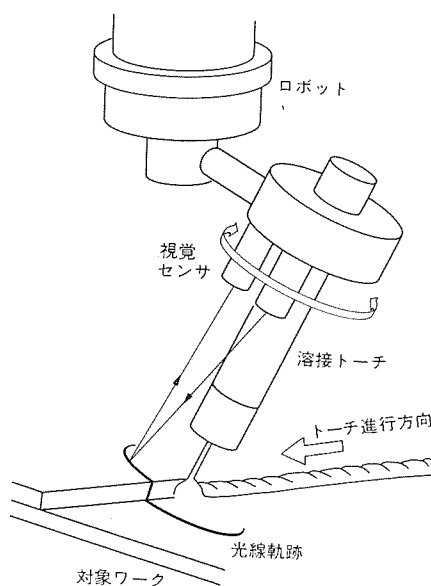


図 6. 視覚センサ構成図

(7) ローコストに構成できる。

3.2 動作原理と構成

視覚センサは三角測量による非接触距離検出ユニットと、これを溶接トーチまわりに回転移動させる駆動部とから構成されている。図5.に距離検出ユニットの構成図を示す。このユニットは投光部、受光部を持ち、各光軸は一定角度 θ で交差(叉)するよう配置されている。投光部から出力される光ビームは光学系により集光され、対象ワーク表面上に微小なスポット光(直径0.5mm)として結像される。この像位置 x を一次元の光位置検出器で検出することにより、各光軸交点 F_1 からの距離変位量 h を得ることができる。

投光部には、オンラインでの位置検出を可能とするために高輝度でかつ小形の光源が必要であり、高出力の半導体レーザ(光出力30mW、波長830nm)を用いている。受光部を構成する受光素子は、一次元半導体位置検出器(PSD)である。これは表面に均一な抵抗層を持つ半導体素子で、受光面上に結像したスポット位置に生じる光電流から像位置をアナログ量として検出することができるため、固体撮像素子のように画素間の不感帯を持たず高分解能、高精度な位置検出が行えることを特長とする。

この視覚センサは、以上の距離検出ユニットを図6.に示されるよ

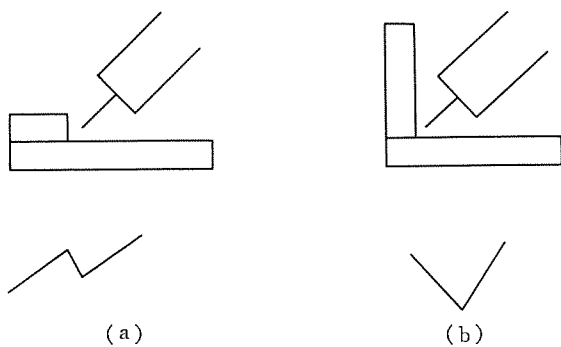


図 7. 溶接開先と検出パターン

うに溶接 トーチ と一体化して装備している。溶接線位置は、この距離検出ユニットをトーチまわりに揺動回転させ、この走査周期に同期して距離検出値を逐次サンプリングし、得られた距離像をマイクロプロセッサで解析することにより検出する。例えば図 7. に示す溶接開先形状は、それぞれ図の下部に示したパターンとして検出され、各パターンの折点位置を認識すれば溶接線位置を同定することができる。以上の方法は、よく知られた光切断と同じ原理である。

視覚センサのハードウェア構成を図 8. に示す。視覚センサの情報処理には 16 ビットのマイクロプロセッサを用い、距離検出値のサンプリング、形状情報の解析及び溶接線の位置判定、溶接ロボットへの動作補正量演算、及び各種ステータスの設定がここで実行される。このプロセッサはまた、視覚センサの揺動駆動アクチュエータであるステップモータを制御し、溶接トーチ軸まわりにおける溶接線追従制御をも担当している。

投受光部は、レーザパワードライバ及び PSD 信号処理回路により、上のマイクロプロセッサとインタフェースされている。外乱光に帰因する雑音を除去するために、投光部半導体レーザ出力をパルス変調し、PSD 信号処理回路によりこれを復調する方式を採用している。

図 9. に視覚センサの外観を示す。溶接トーチ上部にある円板状トーチホルダ（白色部分）から突出した 2 本の鏡筒が投光部及び受光部である。投受光部の鏡筒先端位置は対象ワーク平面から約 150 mm 離れて位置するよう設計し、かつ各検出部は小形化に留意しているため、トーチの挿入可能範囲を大きく損なうことはない。表 1. にこの視覚センサの仕様を示す。

3.3 溶接環境に対する保護

視覚センサはアーク溶接中に機能するため、対環境性が問題となる。アーク溶接中に発生するスパッタの光学レンズへの付着、ヒュームによる光路の遮断、また強烈なアーク光による受光素子の飽和などを防ぐ必要がある。

スパッタの問題は、本質的にスパッタの発生しない溶接機を使用する以外に対策はないと思えるが、ここではこの問題に関し、光学系へのスパッタの進入確率を減少させる対策を構っている。すなわちスパッタは、トーチワイヤ先端の溶接箇所から発生し放射状に飛散するので溶接トーチ上部にセンサヘッドを配し、これがトーチ自体の影の中に入るようにしてある。ただこの場合でもワークに反射して飛び込んでくるスパッタもあるので、光学系に取換え可能なフィルタを挿入し、これを定期的に交換することで保護を図っている。またヒュームや熱に対しては、エアを鏡筒内にガイドし、これを各鏡筒先端部から噴射する構造とすることにより保護している。

この視覚センサは溶接点の比較的近傍（約 28 mm 前方）で開先検

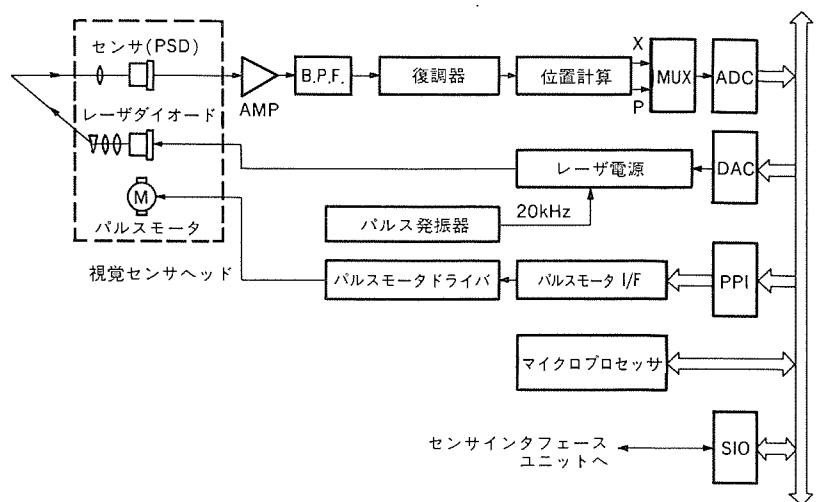


図 8. 視覚センサのハードウェア構成

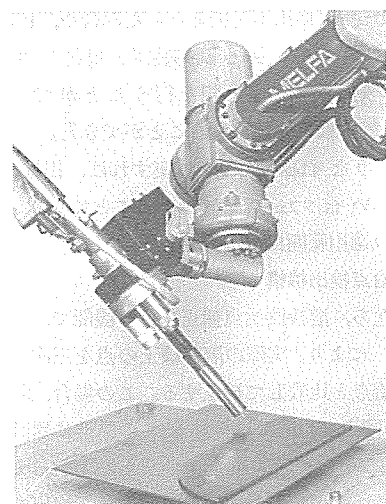


図 9. 溶接トーチに装備された視覚センサ

表 1. 視覚センサの仕様

原 理	光 切 断 法
対 象	重ね隅肉、水平隅肉など
精 度	±0.2 mm (距離方向、回転方向共)
投 光 部	半導体レーザ ($\lambda=830\text{ nm}$, $P_0=30\text{ mW}$)
受 光 部	PSD (一次元)
検 出 基 準 面	センサ先端から 150 mm
視 野	検出基準面 ±10 mm (距離方向) ±20° (回転方向)
開 先 検 出 位 置	トーチ前方 28 mm
処 理 プ ロ セ ッ サ	16 ビット CPU
検 出 周 期	125 ms/回
形 状	ホルダ部 (φ80×27) 鏡筒部 (φ24×56)
重 量	約 1.9 kg

出をする。このとき受光系には強烈なアーク光による外乱成分が混入するが、外乱光と信号光の分離抽出には信号源のパルス変調化、光学バンドパスフィルタの挿入、ソフトウェアによる検出信号の平滑化などにより対処し、良好な結果を得ている。

4. 制御機能

4.1 視覚センサ制御方式

既に2章で触れたように、ロボットコントローラは視覚センサ制御用として専用のインタフェースユニットを持っている。このユニットは、各種センサ制御を目的として開発した汎用性の高いもので、センサに対するすべての入出力がこのユニットを介して行われる。特に視覚センサ用としては、開先検出、センサ回転、自動原点出しなどの数種のコマンドによりセンサ制御を行う機能、及びセンサ検出データを変換し、これをメイン制御装置へ転送する機能があり、メイン制御装置におけるセンサ状態管理を容易にしている。

また、視覚センサが検出不可能となった場合や、センサ本体に異常が生じた場合についても、メイン制御装置と視覚センサが共同で処理を進めるため、効率的な機能分割を行うことができ、次に述べる

4.2節～4.4節の機能を実現することができた。

更に、このようなインタフェースを構築すれば、視覚センサ自体としても汎用性の高いインタフェースを装備することになり、今後他用途へ応用する場合の適用範囲拡大に寄与する。

4.2 溶接開始点検出機構

溶接開始に先立ち、溶接開始点補正を行う機能で、先に述べた開先位置検出コマンドにより、実際の溶接線上の点を三次元で検出し、教示した溶接開始点と比較して補正する。この場合、図10.のようにセンシング点と溶接点との間には視覚センサの構造に帰因する一定のオフセットがあるため、溶接トーチを、いったんセンシング点が溶接点と一致するように移動させ、この地点の開先位置検出を行い、更にこの開先位置へ溶接トーチを位置決めする一連の動作により溶接開始点を補正する。

4.3 オンライン自動経路補正機能

溶接トーチ前方における溶接線の情報をもとに、現在位置と溶接線の相対関係を求め、これにより逐次的に目標位置を設定し溶接線を追従しながら溶接する機能である。このとき、溶接トーチ先端位置の溶接線追従制御は溶接ロボットのメイン制御ユニットが、溶接トーチまわりにおける視覚センサのセンシング方向制御にはセンサ制御ユニットがそれぞれの機能を分担する。

この経路補正機能は、溶接線前倣い方式であるため、溶接線上に数mm程度のセンシング不可能な部分があっても一定距離は移動する

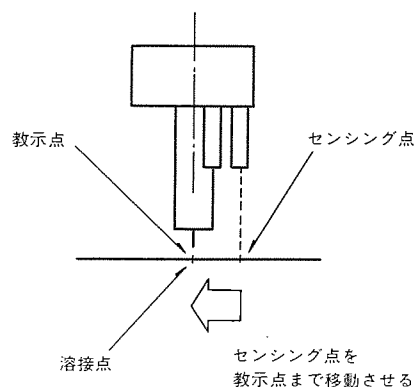


図 10. 溶接開始点検出時の動作

ことができ、仮付けがある場合でも連続した溶接が可能である。また前述したようにトーチの位置決め制御系と、視覚センサの位置決め制御系が全く独立に機能しうるため、折れ曲がった教示パスが連続している場合などでは、折れ点付近で視覚センサを次のパスの方向へ位置決めしておくことができ、このようなパスでの溶接線倣い制御を円滑に行える。

4.4 センサ倣い機能

これは主に教示作業時に用いる機能であり、ティーチングボックスによる操作で、視覚センサを用いて溶接トーチを溶接線に連続して追従させ、必要な点で停止させることにより教示を行うことができる。したがってティーチングボックスの手動操作による複雑な位置決め手順が大幅に削減されることになり、作業効率を向上させることができる。またこの機能を用いれば、教示作業中に仮付けなどの開先位置検出が不可能な部分を確認することができ、適切な教示点を選択できる。

5. む す び

以上、当社が開発したオンライン視覚付きアーク溶接ロボットについて述べた。視覚付きアーク溶接ロボットは、各方面で比較的早い時期から研究開発が行われているが、アーク溶接というハードな環境条件、更にコストパフォーマンスの問題などからこれまで実用化が遅れていたのが現状である。しかし近年における各種デバイスの飛躍的進歩、高性能マイクロプロセッサの出現などにより、技術革新が確実に進んでおり、今後、より実用的な視覚付き溶接ロボットを開発していきたいと考える。

参 考 文 献

- (1) 丸山ほか：三菱電機技報，57，No. 3，p. 15（昭58）

原子炉格納容器内遠隔点検ロボット

青木 紀彦*・柏井 潤一**・山本 郁夫***・深田 浩一+・山中 芳宣+

1. ま え が き

原子力発電所の信頼性をより一層向上させ、高稼働率を維持するためには、プラント状態を常時的に把握し、早期予防保全を可能にすることが重要である。こうした設備保全には、日常点検により異常の芽を初期につみ取ることが有効であり、固定式モニタテレビや各種監視計器による監視及び運転員による巡回点検が実施されている。しかし、運転中の原子炉格納容器内は、運転員による巡回点検の実施に制約があり、遠隔で点検可能なロボットの開発が望まれていた。

こうした観点から、関西電力(株)、三菱重工業(株)及び三菱電機(株)の共同で、加圧水型原子炉格納容器内の狭い(隘)なスペースを移動しながら機器類の遠隔監視が可能な小形空間走行式点検ロボットを開発中であるので、その概要を紹介する。

2. 特 長

点検ロボットの仕様は、発電所の現場調査や運転員の助言をもとに、新設だけでなく既設の加圧水型原子炉格納容器内への適用性を考慮し決定した。以下、今回試作・試験を実施した原子炉格納容器内点検ロボットの主要な特長について述べる。

(1) 耐環境性

点検ロボットは蒸気、水漏れなどの異常時にも使用できるよう次の環境に耐える設計としている。

温度	70℃ (最大)
湿度	100 % (")
放射線量率	1,000 R/h (")

(2) 小形化

格納容器内は限られたスペースに多数の機器、配管類がふくそう(輻湊)しているため、ロボットの小形化が必ず(須)となる。発電所における現場調査から、案内軌道も含め点検車の通過断面を300 mm(幅)×350 mm(高さ)程度以下とする必要があり、点検車の断面を220 mm(幅)×260 mm(高さ)以下とした。

(3) 駆動方式と案内軌道

点検車の駆動方式は、プッシュロッド方式としているため次の特長がある。

(a) 軌道構造が単純で支線切換が容易なため、特に加圧水型原子炉格納容器内のように小区画の多い施設では、最短距離で軌道ルートを計画することができる。

(b) 開ループ(単線)軌道構成が可能のため、閉ループ(複線)構成を必要とするシステムと比べ、軌道総長を短かくできる。

(c) プッシュロッドをロッド収納ケースに収納すると、軌道の着脱が容易に行えるため、定期点検時、他設備の点検作業に支障を与える位置にある軌道は、取

り外すことができる。

(4) 伝送及び給電方式

点検車への給電はバッテリーとしている。これにより、トロリー方式の場合に発生する火花ノイズの影響をなくするとともに、給電のためのケーブル処理設備を不要としている。また伝送方式は、近接結合無線方式により、他設備に対し電波障害を与えない設計としている。

(5) 運転・操作性

点検ロボットは、CRT表示を基に点検箇所間の移動から点検結果の記録・作表まで自動運転可能としている。CRTは点検車位置や計測データだけでなく、格納容器内の複雑な機器配置情報も表示可能である。また、ティーチング方式により点検箇所の追加・変更など、点検プログラムの変更が容易なシステムとしている。

(6) 信頼性

運転中の原子炉格納容器内を移動する点検ロボットは、高い信頼性が要求される。ロボットシステムが正常なときの誤操作をはじめ、ロボット自身の故障や地震時など、考えられるすべての異常時にもロボットが、プラント設備に損傷を与えたり、プラント異常の引金となることがあってはならない。このため、安全停止系の多重化をはじめ、地震時にも点検車の脱落が生じない構造とするなど、信頼性を高める設計としている。

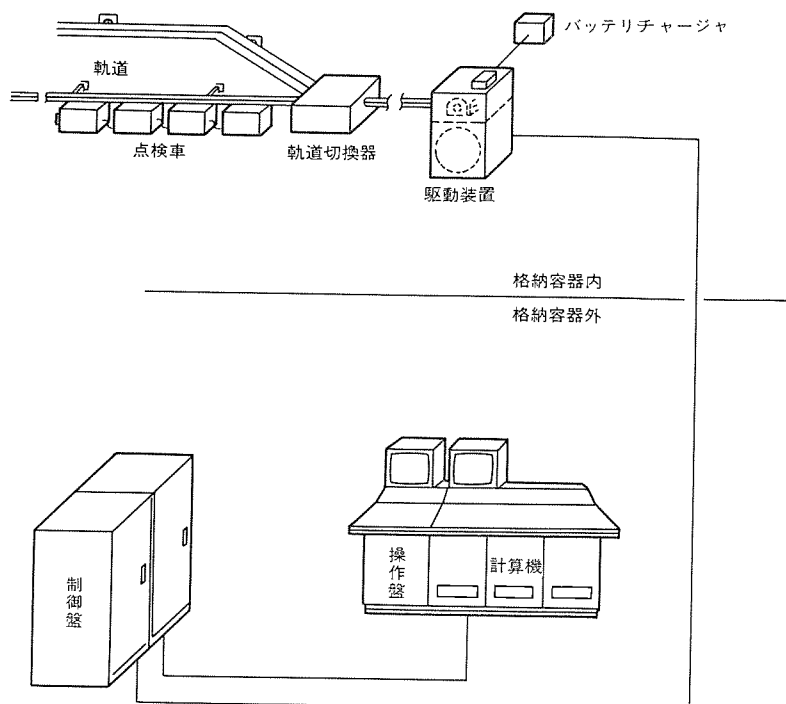


図 1. 格納容器内点検システム構成の説明図

3. 装置説明

3.1 システム構成と基本仕様

このシステムは、空間に支持された案内軌道に沿って点検車が走行し、格納容器内の機器を遠隔監視するものである。全体システムの構成を図1.に、基本仕様を表1.に示す。このシステムは下記装置により

表 1. 点検システムの基本仕様

分類	項目	仕様及び機能
基本システム	制御方式	(1) 計算機による自動制御 (2) 操作員による手動制御
	点検方式	(1) 画像、音響の遠隔監視 (2) 温度、湿度、放射線量の測定
	移動方式	軌道走行方式
設計条件	温度(最大)	70°C
	湿度(最大)	100% RH
	放射線(最大)	1,000 R/h (γ 線)
	積算線量	4×10^5 R
	メンテナンス	1年間メンテナンスフリー
点検車	耐震クラス	C (S1)
	構成	○ 目視点検車 ○ 電源車 ○ 伝送車 ○ 環境モニタ車
	目視点検車 (パン、チルト)	左右 $\pm 135^\circ$ 上 45° 下 135° 高速 $10^\circ/\text{秒}$ 低速 $3^\circ/\text{秒}$

分類	項目	仕様及び機能
点検車	搭載センサ	(1) カラーテレビカメラ (ズームレンズ付き) (2) マイクロホン (3) 温度センサ (4) 湿度センサ (5) 放射線量率計
	通電方式	近接給合無線
	通過断面積	300×350 以下
	電源方式	バッテリー
駆動部	駆動方式	(1) 最小回転半径: 600 R 以下 (水平方向) 800 R 以下 (垂直方向) (2) 走行速度: 最高速 24 m/分 (可変速付き) (3) ブッシュロッド 駆動方式 (4) 登坂能力: 垂直 (5) 軌道切換可
	運転モード	(1) 自動運転 (2) 点検箇所指定運転 (3) 手動運転 (4) 自動パターン作成運転
制御部	データ処理機能	(1) 走行ルート表示 (2) 点検車位置表示 (3) パン、チルト傾き表示 (4) 点検データの樹集表示 (5) ガイダンス (警報表示) (6) 点検機器名ガイド

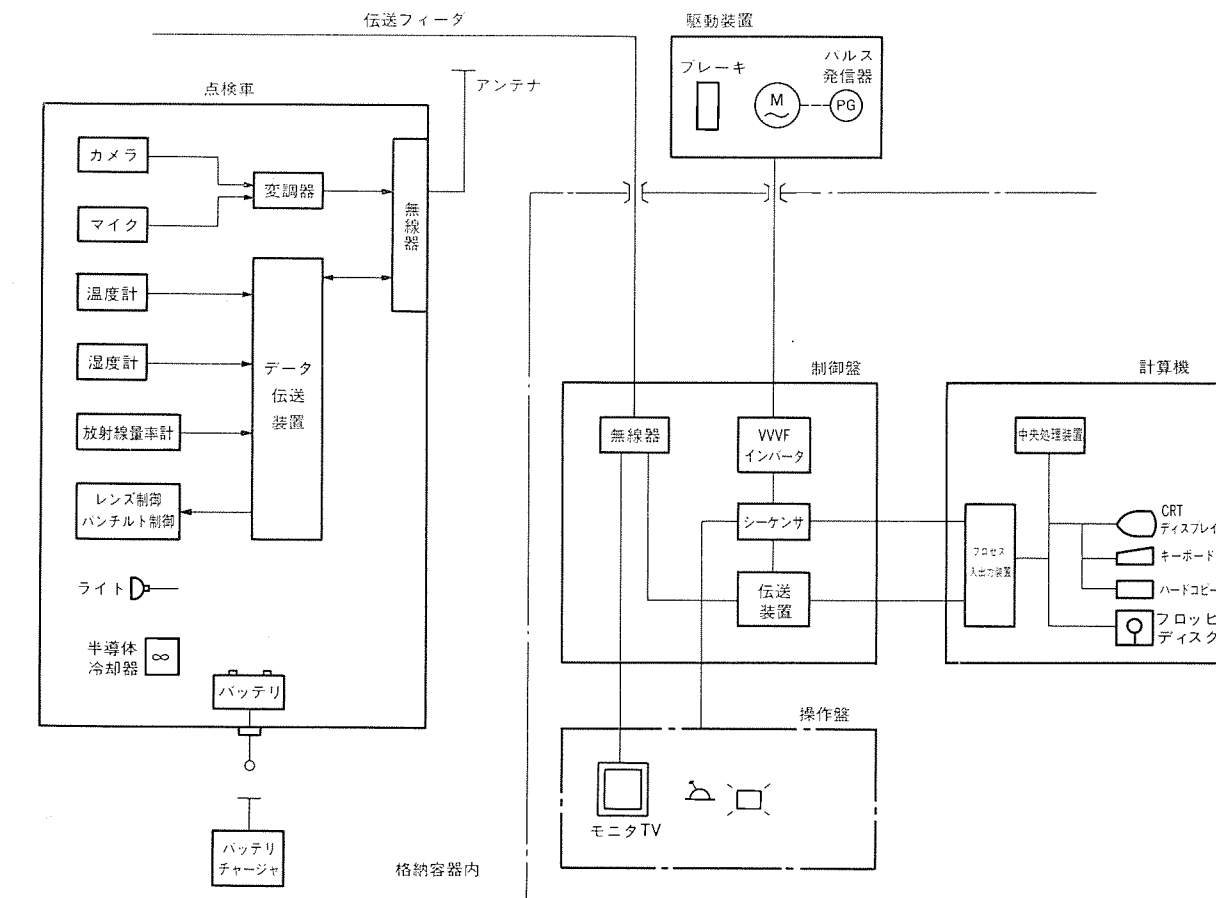


図 2. システムブロック図

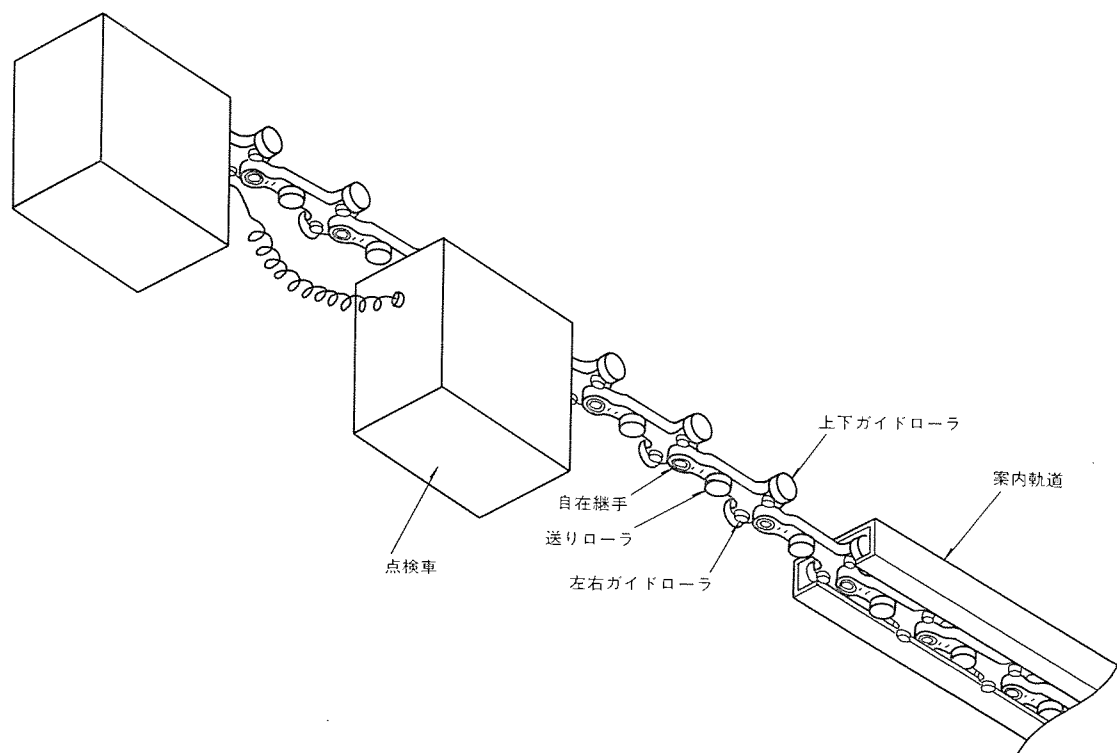


図 3. プッシュロッド及び軌道

構成される。

- (1) 駆動装置及び案内軌道
- (2) 点検車
- (3) 駆動装置制御盤
- (4) 操作監視盤
- (5) 自動運転用計算機

各装置間のシステム構成を図 2. に示す。

3. 2 駆動装置

プッシュロッド駆動・案内軌道方式の駆動システムとした。駆動部は、ロッド収納ケース、駆動機構、プッシュロッド、軌道及びサポートから構成され、プッシュロッドには点検車を取り付けられている。プッシュロッドとは、引張・圧縮の両方向で使えるチェーンと言えるもので、駆動機構を正転させれば、ロッド収納ケース内に巻き取られているプッシュロッドは軌道に案内されながら押し出され、ロッドの先端に連結された点検車は前進する。逆転させれば、軌道内のプッシュロッドは引き戻され、点検車は後退するとともにロッドは収納ケースに巻き取られる。

(1) プッシュロッド

図 3. にプッシュロッドの連結体を示す。プッシュロッドには、上下ガイドローラが 2 個、左右ガイドローラが 2 個、及び送りローラが 1 個取り付けられ、自在継手を用いてプッシュロッド相互を連結している。

(2) 軌道

軌道は図 3. に示すように、大略コの字形断面をもち、プッシュロッドの上下、左右のローラ転がり面を形成して、摩擦ロスを最小限にとどめながら、点検車を所定のルートへ案内させる。

(3) 駆動機構

ドラムに角ねじを切り、プッシュロッド下部に取り付けられた送りローラをねじ溝にかみ合わせ、ねじをモータで正転・逆転させることにより、プッシュロッドを押し出したり、引き込んだりさせている。また、停電時でも点検車を引き戻せるように、手回しでドラムを回転でき

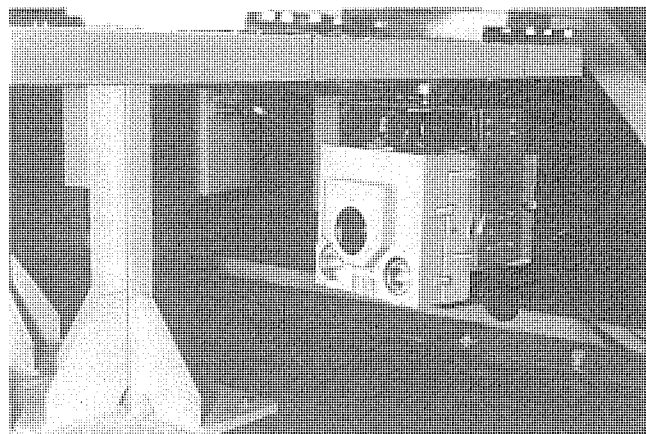


図 4. 点検車の外観

るように、手動ハンドルを設けている。

(4) ロッド収納ケース

軌道を円筒状に、段数・列数とも重ね、小さなスペースにプッシュロッド全体を収納可能としている。また、搬入容易のように、所要所分割可能な構造とし、狭い搬入口でも搬入可能としている。

3. 3 点検車

点検車は、4 両 1 編成にて運転される。制御用電源はすべて電源車のバッテリーから供給され、トrolley線やケーブルなどによる給電は行わない。また TV 映像、音声、データ及び指令信号の送受信もアンテナとフィーダによる無接触式伝送(近接結合無線伝送)としており、点検車の移動にともなうケーブル処理の必要はない。図 4. に点検車の外観を示す。

(1) 目視点検車

TV カメラとマイクロホンを搭載し、目視及び聴音による点検を行う。カメラユニットは首ふり(パン・チルト)機構により上下左右へ向きを変えることができる。TV カメラには、単管式カラーカメラを使用し、撮像

管には耐放射線能力の優れた カルコン 管を採用している。なお、高温時の画像の色の再現性劣化を防ぐため、半導体冷却器を設けて撮像部の温度を 40℃ 以下に制御している。

(2) 電源車

点検車の電力を供給する バッテリ を搭載する。バッテリ は照明用と照明以外の機器用との 2 系統に分割している。これは、消費電力の 50 % 近くを占め、かつ入切の繰返しで負荷変動の多い照明系統を他の系統から分離して、センサや伝送装置の安定動作を図るためである。

(3) 伝送車

TV 画像及び音声信号用の送信機、データ及び操作指令用送受信機、インタフェース装置、アンテナなどを搭載している。

(4) 環境 モニタ 車

温度・湿度・放射線量率センサを搭載し、計測データを伝送装置へ送る。

3. 4 操作制御盤

(1) 駆動装置制御盤

駆動装置用電源装置・シーケンス制御装置・データ伝送装置を収納する。駆動用誘導電動機はVVVFインバータにより可変速運転され、点検車位置検出用パルス発信器を用いて自動位置決め制御を行っている。

(2) 操作監視盤

マンマシンインタフェース用として、手動操作用のコンソール、及び自動運転

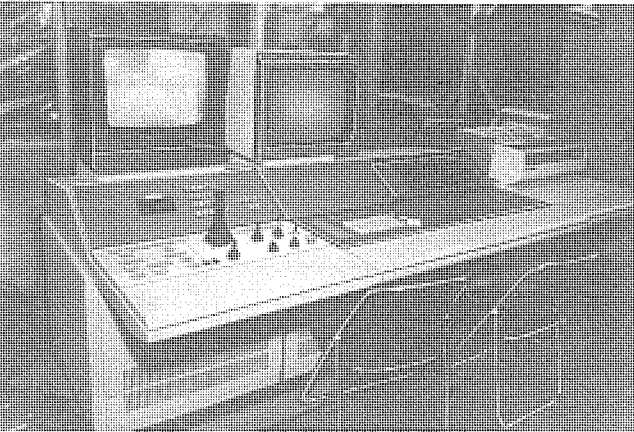


図 5. 操作盤の外観

表 2. マンマシンインタフェース

	品 名	用 途
操 作 盤	TV (カラー)	点検車から伝送される画像を映す。
	ジョイスティック	手動運転モード時使用する。 点検車移動及びカメラの各操作を単独に行う。 ・点検車移動 (前進, 後進, 速度選択) ・TV パン, チルト (全方向) ・TV ズーム ・TV フォーカス
計 算 機	CRT (カラー)	点検車位置及び図形を表示する。 計測値を表示する。 運転情報を表示する。
	タイプライタ (ハードコピー機能)	計測値を点検表としてプリントアウトする。 CRT 表示画面をプリントアウトする。

制御用計算機を収納した コンソール があり、その外観は図 5. のとおりである。コンソールには TV 画像 モニタ 及び グラフィックディスプレイ用の 計算機 CRT が設置されている。マンマシンインタフェースの内容を表 2. に示す。

図 6. は計算機 CRT に表示された点検車位置表示画面の例であり、点検車位置表示図・点検対象機器リスト・計測データ・カメラ方位図などが 1 画面内に表示される。

(3) 運転モード

このシステムでは、定期巡回点検を想定し、巡回ルートに従って点検箇所を自動走行し、巡回点検表を作成する自動運転モード、希望点検箇所を指定することにより、指定箇所まで短時間に自動移動でき、緊急時の点検が容易な点検箇所指定運転モードやティーチング方式により、自動運転プログラムの追加変更が容易なパターン作成運転モードなどが用意されている。表 3. に各運転モードの概要を示す。

3. 5 通信・伝送系

環境モニタ車、目視点検車に対し、中央から遠隔制御・監視・計測する機能を達成するため、通信・伝送系は図 7. に示す構成とした。この構成を大別すると、格納容器内に設置される伝送車と操作盤が設置される制御室間の通信を行う通信部と、データを送受するデータ伝送部に分けることができる。

(1) 通信部

通信方式は、移動体アンテナと軌道部に布設された平行 2 線による近接結合無線で非接触化を図っており、結合ロスも少なく、良質な画像伝送・データ伝送が確立できた。

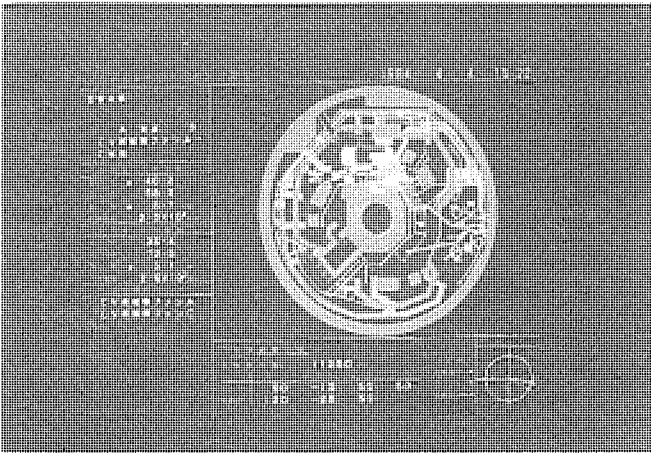


図 6. CRT 画面例

表 3. 運転モード

運転モード	手 動 運 転	自 動 運 転	定 点 箇 所 指 定 運 転	パ タ ー ン 作 成 運 転
概 要	すべての動作 (発進・停止, カメラ操作, 計測指令など) が操作盤から単独に操作できる。計算機故障時にも運転可能である。	巡回点検箇所をあらかじめ定められた順序に従って自動的に運転する。点検車の点検箇所での停止及びカメラの方向・調整をすべて自動操作する。	特定の点検箇所を指定することにより自動的に運転する。その他は自動運転と同じである。	自動運転パターンを作成又は訂正するとき使用する。操作盤からのティーチング動作によりパターンを作成する。

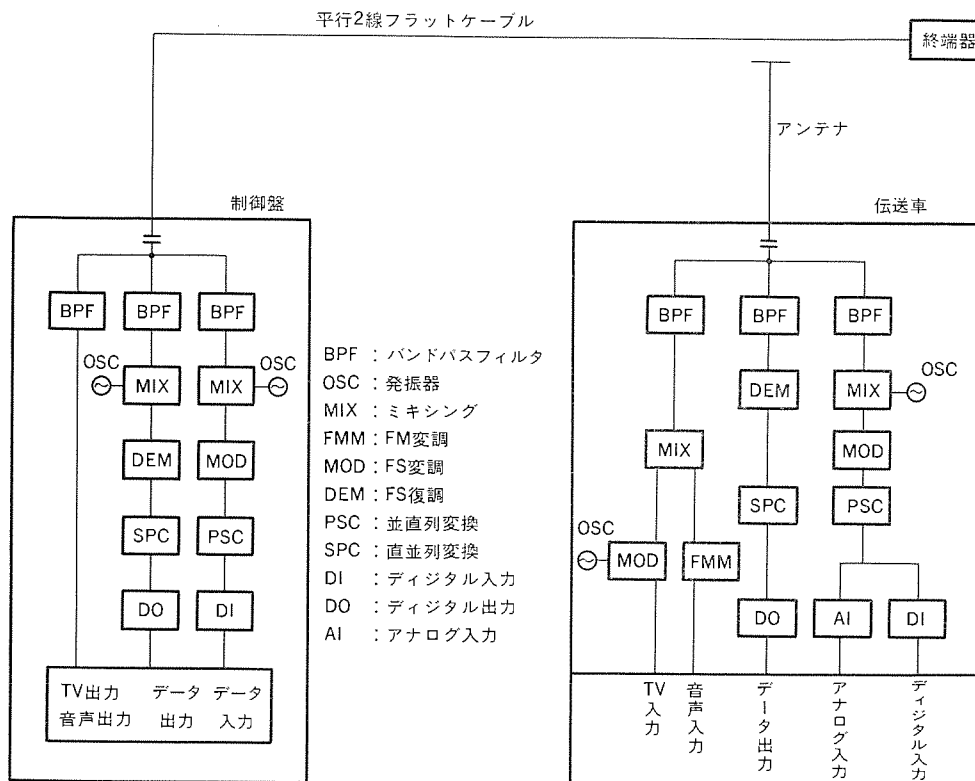


図 7. 通信・伝送系構成図

(2) データ伝送部

データ伝送を行う符号は、電気学会方式とし、自動制御性能を満たすため、データ更新時間を 20 ms 以下としている。

4. 試験

開発ロボットが所定の性能をもっていること及びプラントへの適用性についても総合的に評価するため、工場内に軌道の全長 30 m、高低差 14 m の試験設備を設置し、各種の試験を実施した。その結果、計画どおりの性能をもっていることを確認したので、概要を紹介する。

4.1 操作・監視性の評価

上記試験設備を使用し、発電所の運転員による評価試験を実施し、運転操作がスムーズに行えること及び走行ルート付近に設置された模擬対象物の点検が可能であることを確認した。また評価試験時に抽出された改善項目の反映により、操作・監視性の一層の向上を図った。

4.2 耐環境試験

規定の耐高温・耐高湿性能をもっていることを実証するため、設計条件以上の環境条件として、80°C、通常湿度で160時間、及び80°C、100%湿度で80時間の環境中にて加速試験を行い、正常に動作することを確認した。

4.3 耐震試験

大形加振台上に、実プラントと同様の据付け状態で軌道と点検車を設置し、既設及び建設中のプラントの耐震条件を包絡する加速度で耐震試験を実施した。周波数 5, 7, 9.5, 13, 17, 22 及び 30 Hz のビート波を、ビート間隔 2 秒で 5 ビート加振し、各周波数での加振試験後機器を点検し、走行可能状態を維持していることを確認した。

4.4 耐久試験

試験設備の垂直軌道部分で片道 10 m の距離を約 1 万回、最高速度 24 m/分で連続往復走行させる耐久試験を実施した。試験後、各部を点検し、支障なく運転できることを確認した。

4.5 その他の試験

その他システムの信頼性を確認するため各種の試験を実施した。代表的なものとして 2 例をあげる。

(1) 運転中、軌道上の走行に伴い点検車は一定の振動環境にさらされるため走行中と同等の振動を加え、耐振性をもつ機能構造であることを確認した。

(2) 漏えい電波が他設備に影響を与えないことを確認するため、プラントで最も微弱な信号を扱う核計装装置と組合せ試験を行い、核計装系へ影響を与えないことを確認した。

5. むすび

加圧水型原子力発電所の格納容器内に設置されている主要設備を、遠隔で監視する空間走行式点検ロボットを開発し、モックアップ設備を使用した各種試験で、計画どおりの性能をもっていることを確認した。この装置は今後、実プラントでの確認試験を実施して、機能の拡大や操作性の向上等で導入効果を更に高めるとともに、他のロボット設備との共用化を図るなど、コストダウンに努める必要がある。また、この装置は新設プラントのみでなく既設プラントへの導入をも目的としているので、限られた定期検査期間内で追加設置するための施工性も十分検討し、実用化に向けて努力していくつもりである。

最後に、この装置の開発にあたり御指導、御協力いただいた関西電力(株)の各発電所員をはじめ関係の方々へ深く謝意を表するものである。

山積みされたクランクシャフトの認識

深田 陽司*・土井 博*・永峰 啓二*・稲荷 隆彦**

1. ま え が き

フレキシブルな生産ラインを構築するためには、視覚機能が必ず(須)要素であり、既にこれまでに実験機や商品として幾つかの視覚システムが実現されている⁽¹⁾。それらの多くは画面内に分離して存在する物体の識別と位置・方向を検出する機能を持ち、異なる物体が混在して提供される場合のマテハンに使用されている⁽²⁾⁽³⁾。分離のためにはパーツフィーダなどが使用されている。

一方、振動を与えると破損する物体や、大きすぎてパーツフィーダが使えない物体のマテハンのために、重なり合った物体の認識の研究が最近盛んになってきている。このような視覚(いわゆるピンピッキング用視覚)の研究には大別して二通りの方法がある。一つは、物体の持つ特徴を記述したモデルを利用して、個々の物体の認識と位置・方向の検出を行う手法であり⁽⁴⁾、他の一つは物体を容器の中から取り出すことに主眼をおき、物体の認識は行わずにロボットハンドが把握すべき位置を求める手法である⁽⁵⁾。

筆者らは複雑な形状と重量をもち、パーツフィーダの使えない物体の例としてクランクシャフトを取りあげ、モデル利用の認識手法を開発した⁽⁶⁾。クランクシャフトを対象とした研究は既に発表されているが⁽⁷⁾、そこでは図1.に示すようにいげた(井桁)状に積み上げられている。しかし、機械部品の製造工程においては部品の製造と組立は離れた場所で行われることが多い。その結果、部品の輸送が必要となるが、井桁積みでは輸送効率が悪くなる。この点を考慮した我々はクランクシャフトが密に積み上げられた状態を対象としている。

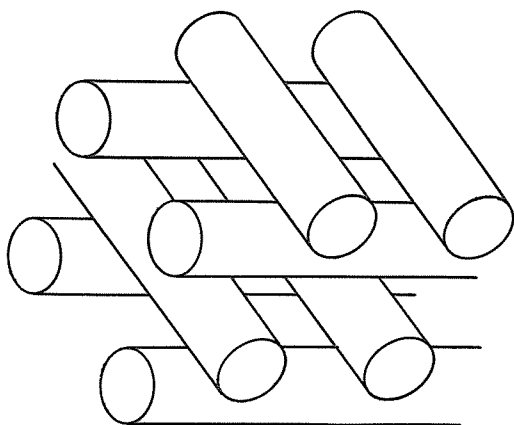


図 1. 井桁積み

2. 画像の性質

対象としたクランクシャフトは図2.に示され、約50cmの長さとし10kgの重さを持っている。シャフト数本で一層を成し、数層で一山を形成している。そして二山が金網の中に格納された状態で提供され

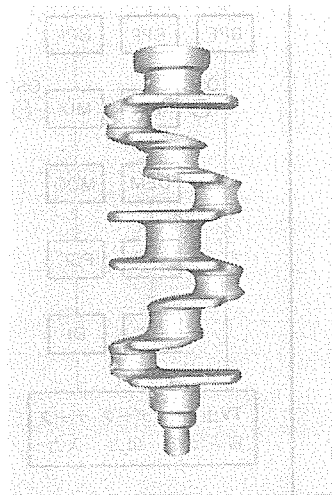


図 2. クランクシャフト

る。図5.と図9.に一山が二層積みされた例を示す。

クランクシャフトは主軸部とクランク部が交互になっており、その間には接続部分が存在する。大ざっぱにいうと、主軸部とクランク部は円柱であり、接続部分は角を丸めた平板である。このようなクランクシャフトの山積みを上側から撮像すると、物体の側面に相当する部位(画像上では図形の境界部分)は十分な反射光を返さない。その結果、それほど厳密にしきい(閾)値を選ばなくてもその二値化画像では、異なるシャフトに属する部位の図形は図6.のように比較的分離した画像が得られる。

3. クランクシャフトのモデル

複雑な三次元形状をもつ一般的な産業部品に対しては、これまでに種々の表現方法が提案されている⁽⁸⁾。これらの方法は、三次元空間の任意の一点からの二次元平面への物体の投影図が、その内部表現から計算によって求められるので、グラフィックスやCADの分野で利用されているが、認識問題には用いられていない。それは表現が余りに汎用的すぎて、ロボティクスでは重要な課題である実時間処理をマイコンで実現するには計算量が多く非現実的なためと思われる。

ここで対象とする図2.のクランクシャフトについて考察してみると、全体としては複雑であるが、各部分は比較的単純な形状をしており、図3.のように1～9の要素とそれらを継ぐ接続部で概略描写できる。前に述べたように、三次元空間では要素1～9は円柱であり、接続部は長方形の平板である。そのうち要素1と5は径の異なる2ないし3個の円柱の合成である。

クランクシャフトは、まえがきで述べたように容器の中に密にそして比較的整然と並べて納められているので、ここでは水平面内の回転と、主軸まわりの回転の二通りの回転のみ生じていると仮定する。この仮定の下では、画像上では要素1～9は常に四角(1と5は台形でその他は長方形)となる。互いの位置(方向と距離)に関して

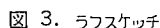


図 3. ラフスケッチ

以上述べたように、回転に対する仮定を設けることにより、我々の例は、複雑な三次元モデルを考える必要はなく、二次元モデルで十分に表現できる。逆にいえば、モデルと全く異なった様子に見える状態の物体は認識しない（できない）ということであるが、回転に対する二つの仮定のみ許す我々のモデルは、物体の三次元空間における姿勢に対してそれほど厳しい要求をしない。というのは、密に積まれている場合、輸送中の振動により荷くずれを起こしても、容器の中で物体が垂直になってしまうことはまれであり、 z 軸方向への傾きが少々起る程度である。例えば一層分のずれが起った場合でも、長さ 50 cm に対して厚さ 10 cm なので、約 11° の傾きであり、投影長は 49 cm に縮む程度で済む。この程度の変動はモデルの数値に対する許容誤差内で十分吸収できる。

(1) 形 : 長方形 2~4, 6~9

台形 1, 5

(2) サイズ：長方形 縦，横

台形縦, 横, 高さ

(3) 距離： $D(i, j) = D(j, i)$

(4) 方向: $O(i, j, k) = 360 - O(k, j, i)$

ここで、 $D(i, j)$ は、要素 i と j の重心間の距離であり、 $O(i, j, k)$ は、要素 i, j, k の重心がなす角である ($1 \leq i, j, k \leq 9$)。

4.1 連結性解析

山積みされた クランクシャフト の認識・深田・土井・永峰・稲荷

4.2 直線近似

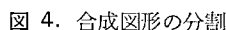
4.3 合成図形の分割

まず最初に直線近似結果のうちで、最も長い線分に注目する。図 3. から分かるように、長い線分は接続部の境界線であると考えられるので、現在注目している線分に垂直な方向をクランクシャフトの方向と想定する。そして注目している線分の存在位置から、この線分が境界線をなしているシャフトが存在すると考えられる適当な大きさの領域を処理領域とする。処理領域に含まれる図形の境界点列に対して、注目線分に並行か垂直な直線で再び直線近似を行う。すると要素と接続部の合成図形では 270° のカドを生じるので、 270° のカドを持つ図形に対しては図 4. のように、カドの点を通り、注目線分と並行な直線で合成図形を切断し、基本四角形群に分割する。

4.4 判定手続

クラックシャフトの要素のうち、主軸上の要素1～5は、回転に対する二つの仮定の下では常に水平面上に存在し、安定した図形が得られると期待できる。特に要素2～4は単一の円柱からできているので、一つの長方形で表される。そこでまず要素が2か4（共に同じ形とサイズを持っている）に注目し、以下の手続きによりモデルを参照しながら1本のシャフトを認識する。

(1) 処理領域を走査し、要素2(又は4)の形とサイズを持つ図形



を探し、このような図形の一つを i とする。

(2) i からの距離が $D(2, 3)$ (又は $D(4, 3)$) で、その形とサイズが要素3の条件を満たす図形の一つを j とする。

(3) j からの距離が $D(3, 4)$ (又は $D(3, 2)$) で、 i, j との方向が $O(2, 3, 4)$ (又は $O(3, 4, 2)$) であり、その形とサイズが要素4 (又は2) を満たす図形の一つを k とする。

(4) i, j, k を使って(3)と同様の方法で要素1と5を探す。ここで、要素1と5は複数の円柱で構成されているので、照明の状態によってはそれぞれ基本の円柱に対応する長方形群に分割されているかもしれない。それゆえ、形とサイズの条件を満たさない場合は、それぞれの然るべき近傍に存在する複数の長方形の合成図形で条件のチェックを行う。

(5) 要素6~9をそれぞれの形とサイズの条件と、主軸まわりに回転している場合に満たすべき回転角と距離の関係式から探す。

現アルゴリズムでは手続(1)~(4)をすべて満たし、(5)においては4個のクラック要素のうち3個以上の要素が見つかった場合、1本のシャフトと認識している。判定の手続の途中で然るべき要素が見つからなかった場合は、現在処理している層から下の層に存在するシャフトと見なされる。

5. 実験結果

前節で述べたアルゴリズムを図5.の原画に適用した。この例ではクラックシャフトは二層に積まれており、底と横の金網の一部が見えている。

図6.は適当な閾値による二値画像であり、 290×360 画素である。図7.は境界点列に対する直線近似処理の結果である。直線近似は距離差2を採用している。

次に、画像全体の中で最長線分を探し、この線分方向と存在位置から適当な大きさの処理領域を設定する。処理のしやすさから長方形の領域を採用している。この例では 170×360 画素のサイズである。処理領域内の境界点列に対して、注目している最長線分に並行及び垂直な直線で再近似した後、長方形や長方形の合成図形として不適当なサイズを持つ図形を除去しておく。

最後に、モデルによる判定を行った結果を図8.に示す。図8.において主軸上の要素を結ぶ直線がクラックシャフトの方向であり、その

他の二線は4個のクラック要素を示している。

4章で述べた画像解析は、物体が水平面内で自由に回転すること

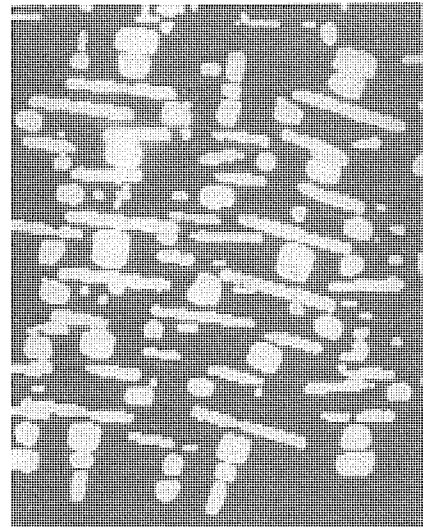


図 6. 二値画像

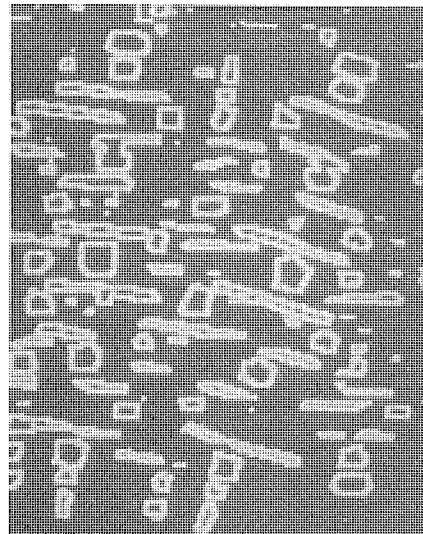


図 7. 直線近似

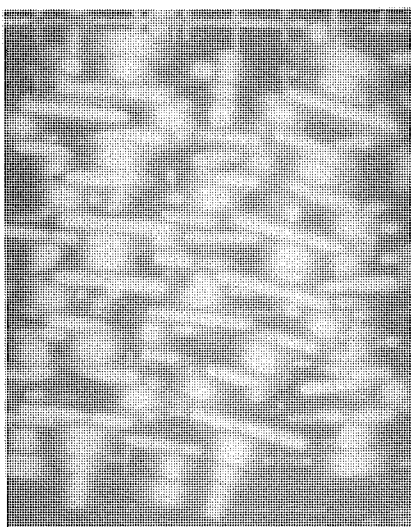


図 5. 原画像 I

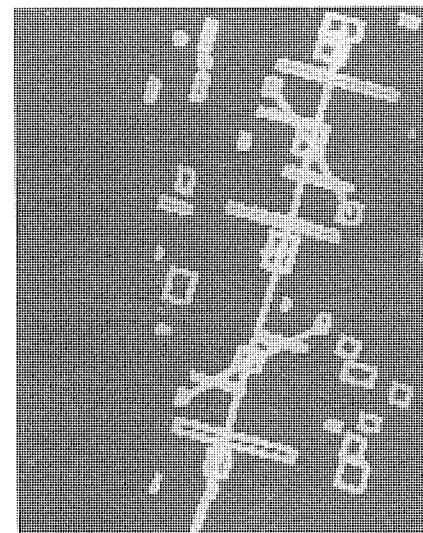


図 8. 認識結果 I

6. む す び

重なりあった物体のそれぞれを、モデルを使って認識するアルゴリズムを述べた。我々は比較的大きな物体を対象としたので、物体の姿勢について有効な制限を設けることができたが、ねじ、ボルトや電子部品などの小さな物体は容器の中に全く乱雑に格納されており、更にフレキシブルなモデルを構築する必要がある。またこのような小さな部品は、ここで対象にしたクランクシャフトに比べて、はるかにシンプルな形状をしている。シンプルな対象は孤立して存在している場合の認識は容易であるが、重なりあった場合には逆に要素間の関係が少なく、難しくなる。

処理時間については、現在のところ約1分要しているが、実験結果で述べたように、現実問題には簡易な手法が採用できるし、アルゴリズムをアセンブラやマイクロプログラムで実現することにより、大幅に改善すると思われる⁽⁹⁾。

参 考 文 献

- (1) 深田陽司：組立加工における画像処理，電学誌，105，No. 3，p. 49～52（昭60）
- (2) G. J. Agin and R. O. Duda：“SRI vision research for advanced industrial automation”，Proc. 2nd USA-Japan Computer Conf.，p. 113～117（1975）
- (3) Y. Fukada, et al.：“Development of a vision system for robots”，Proc. IECON '84，p. 1041～1046（1984）
- (4) R. C. Bolles and R. A. Cain：“Recognizing and locating partially visible objects: the local-feature-focus method”，The International Journal of Robotics Research，1，No. 3，p. 57～82（1982）
- (5) R. B. Kelley, et al.：“Three vision algorithms for acquiring workpieces from bins”，Proc. IEEE，71，No. 7，p. 803～820（1983）
- (6) Y. Fukada, et al.：“Relationships-based recognition of structural industrial parts stacked in a bin”，Robotica，2，No. 3，p. 147～154（1984）
- (7) J. P. Hermann：“Pattern recognition in the factory: an example”，Proc. 12th Int. Symp. on Industrial robots，p. 271～280（1982）
- (8) A. Baer, et al.：“Geometric modelling: a survey”，Computer-Aided Design，11，No. 5，p. 253～272（1979）
- (9) Y. Fukada：“Real time region analysis for image data”，Real-Time/Parallel Computing，M. Onoe, K. Preston and A. Rosenfeld eds.，p. 159～169，Plenum press，New York（1980）

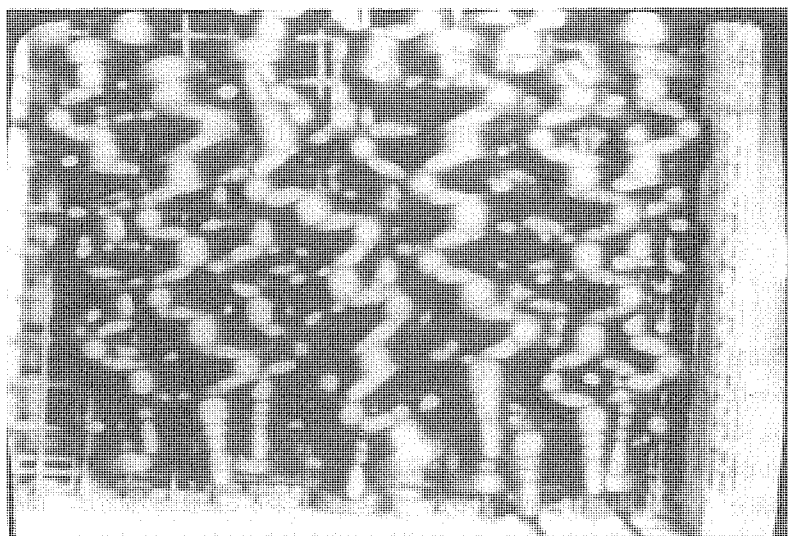


図 9. 原 画 像 II

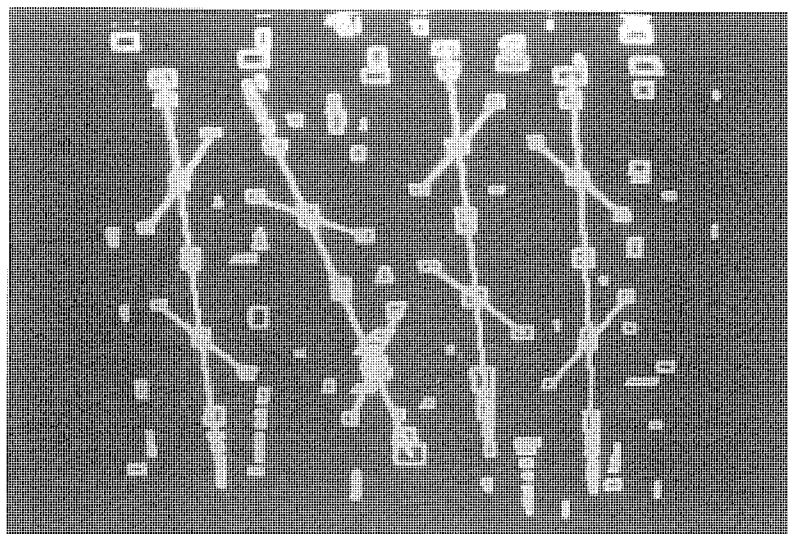


図 10. 認 識 結 果 II

を想定している。しかし、現実にはそれほどの回転は起らないので、 $20\sim 30^\circ$ 程度の回転しか起らないと仮定すれば、解析手法ははるかに簡単になる。物体は、画面内でほぼ垂直（又は水平）と仮定できるので、水平（又は垂直）方向の凸凹を見つければよく、直線近似は、境界点列の x 座標（又は y 座標）の差の大小判定に置きかえられる。図9.の原画像に対して、この方法により基本四角形群に分割し、全画面を認識した結果を図10.に示す。図10.において上部に見える図形は、他の山に属する物体の一部であり、認識された物体の間に見える図形は、下層に属する物体の一部である。

このアルゴリズムの画像解析は VAX 11/730，判定は《MELCOM 70》の FORTRAN で実現されている。図5.の例では、解析に約45秒，判定には、約10秒要している。

1. ま え が き

ロボットが、部品収納容器に詰められた位置や方向の不確定な部品を1個ずつピックアップ(ビンピッキング)するためには、視覚センサあるいは触覚センサによって、部品の位置と方向を検出する必要がある。これまでに報告されているビンピッキングに関する多くの研究は、テレビカメラを視覚とした画像処理技術を適用したものであり、触覚情報を積極的に取り入れた研究は、現状では、ほとんど報告されていない。しかしながら、人間の作業を観察すればわかるように、触覚が視覚と同程度あるいはそれ以上に重要な働きをしている場合がある。例えば、単純な形状の部品であれば、作業者は箱の中の部品を見ずにつかみあげることができる。触覚によって、複雑な形状の物体を認識することは困難であるが、生産現場では、円柱・直方体のような単純な形状の部品を扱う場合が多く、我々は、触覚センサを有効に活用でき得ると考えた。

そこで、力覚を用いた円柱部品の位置・姿勢を検出する方法を考え、2本の指に3分力センサを備えた力覚ハンドを試作して、容器内に積み重ねて置かれた大形ボルトを1本ずつ取り出すことのできる従来にないビンピッキングロボットを開発したのでここで紹介する。

2. 力覚による円柱部品の位置・姿勢検出原理

円柱部品にロボットの指先が接触したときに生ずる力の3成分を検出することによって、円柱部品の位置・方向を認識する方法について、図1に基づいて述べる。ここでは、水平面(X-Y平面)上にある円柱部品の場合を例にして、基本原理を述べる。

部品と接触している力センサ(ロボットの指)には、接触点での法線方向の反力 N と摩擦力 μN の合力 F が作用し、力センサで検出されるX, Y, Z方向の力 F_x , F_y , F_z は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= (N \sin \alpha - \mu N \cos \alpha) \cos \beta \\ F_y &= (N \sin \alpha - \mu N \cos \alpha) \sin \beta \\ F_z &= N \cos \alpha + \mu N \sin \alpha \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、 μ : 力センサ先端部と部品との間の摩擦係数

したがって、式(1)から接触点での円周角 α と、部品の方向角 β は、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \theta_f + \cos^{-1} \left(\frac{F_z}{\sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}} \cos \theta_f \right) \\ \beta &= \tan^{-1} \left(\frac{F_y}{F_x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 θ_f : 摩擦角、 $\theta_f = \tan^{-1} \mu$

式(2)は、円周角 α が摩擦角 θ_f より大きい場合に成り立つ。

角度 α が得られると、 X' -Z座標における接触点の位置は、部品の半径を r として、式(3)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} X' &= r \sin \alpha \\ Z &= r \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

角度 α が摩擦角 θ_f 以下の場合には、X, Y方向の力は検出されず F_x , F_y , F_z は、式(4)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F_y = 0 \\ F_z &= \frac{N}{\cos \alpha} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

したがって、部品の位置・方向は得られないので、円周角 α が摩擦角 θ_f より大きい領域へ指を移動して検出する。

3. ビンピッキングロボット

この章では、まず、開発したビンピッキングロボットの構成について述べ、次にこのロボットの用途の一例として、大形ボルトの取出しに適用したので、その動作アルゴリズムと試験結果について述べる。

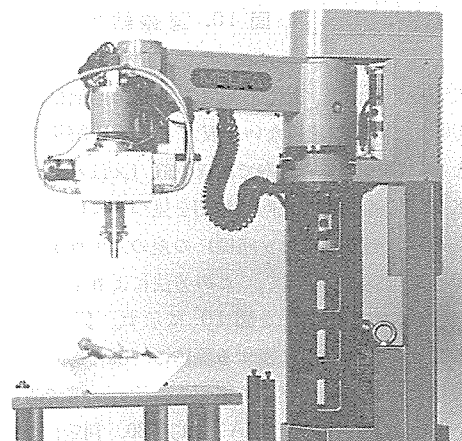


図 2. ビンピッキングロボット

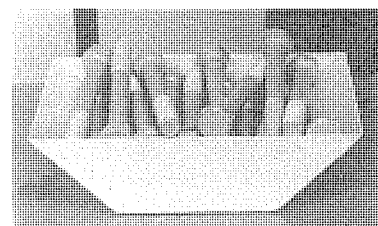


図 3. ボルトと容器

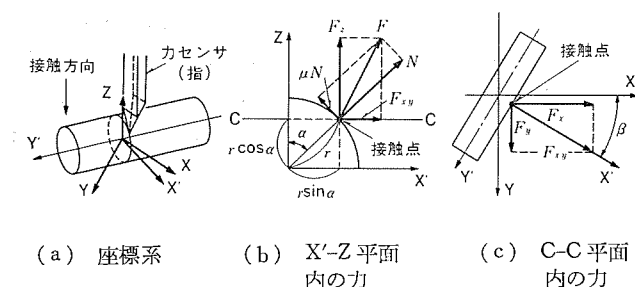


図 1. 力の作用状態

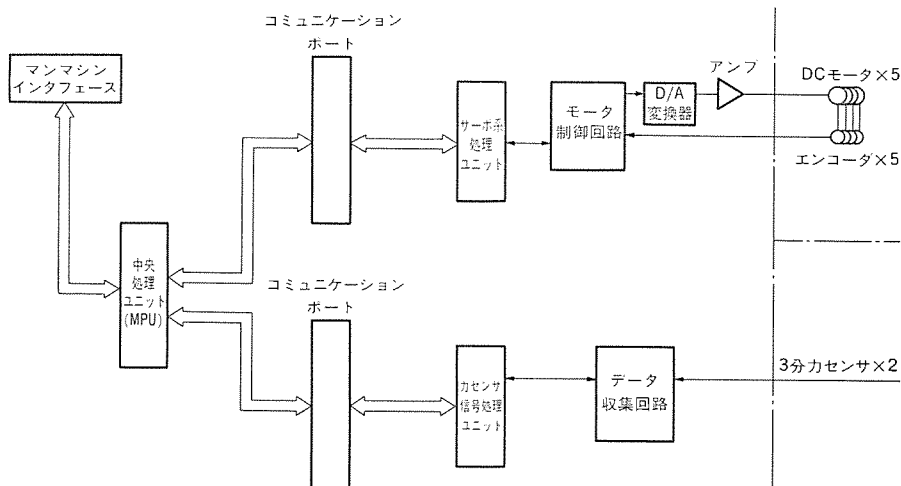


図 4. 制御ブロック図

表 1. ロボットの仕様

アーム (RH-211)		ハンド	
腕の長さ	400+250 mm	重量	2.8 kgf
自由度	4	力感度	5 gf
可搬重量	10 kgf	許容荷重	6 kgf
繰返し位置精度	±0.05 mm	指開閉範囲	8~23 mm

ロボットは、図 2. に示すように、《MELFA 言語》を備えた当社 RH-211 に、3分力センサを指に備えた力覚ハンドを装着しており、図 3. で示すように、水平面 (X-Y 平面) に対して粗く方向が定まった状態で箱に入れられたボルト (M 16, $L=120$ mm) を、1 本ずつ取り出すことができる。アームと力覚ハンドの主な仕様を表 1. に、コントローラの構成を図 4. に示す。このコントローラは、標準 RA 2 ロボットコントローラに力センサ信号処理ユニットとそのインタフェースを備えている。中央処理ユニットは、力センサ信号処理ユニットから送られた力情報に対応した動作指令をサーボ系処理ユニットに送り、アームとハンドを制御している。

3.1 力覚ハンド

力覚ハンドは図 5. に示すように、2 本の指が DC サーボモータと送りねじによって平行移動をする構造を採用した。それぞれの指は、図 6. で示す丁字形の弾性体に、12 枚の半導体ひずみゲージをは(貼)りつけた3分力センサになっており、ひずみゲージ X1~X4, Y1~Y4, Z1~Z4 は、それぞれブリッジ回路を構成して X, Y, Z 方向の力を検出する。ひずみゲージのてん(貼)付誤差などによる各成分間の力の干渉については、あらかじめ干渉量を実測し、その結果をもとに校正式を設定し、ソフトウェアでセンサ出力を補正して検出精度を高めるようにしている。

次に、ボルトの位置・方向を検出する力センサの検出精度に関する評価結果について述べる。図 7. はボルトの円周角 α と方向角 β の角度検出精度を示している。図からわかるように、 α の検出精度は設定した α , β の値による影響は少ないが、 β の検出精度は α によって左右され、 α が 30° 未満の領域で悪くなっている。これは、 α が小さい領域では、 F_x , F_y の絶対値が小さいので、その検出値に含まれる検出誤差の占める割合が高く、しかも式(2)で α , β を算出する際に、 F_x , F_y の検出精度が α より β の精度に大きく影響する

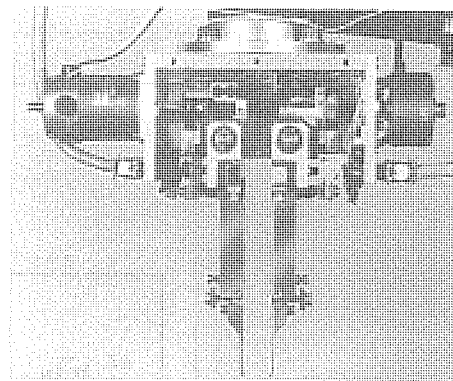


図 5. 力覚ハンド

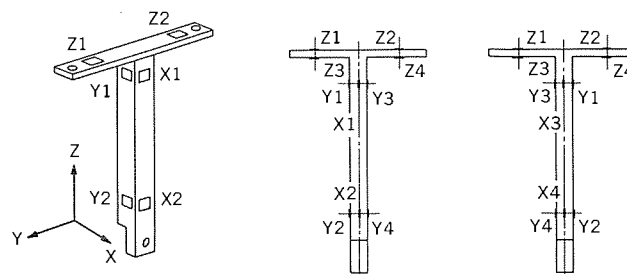


図 6. 力センサ

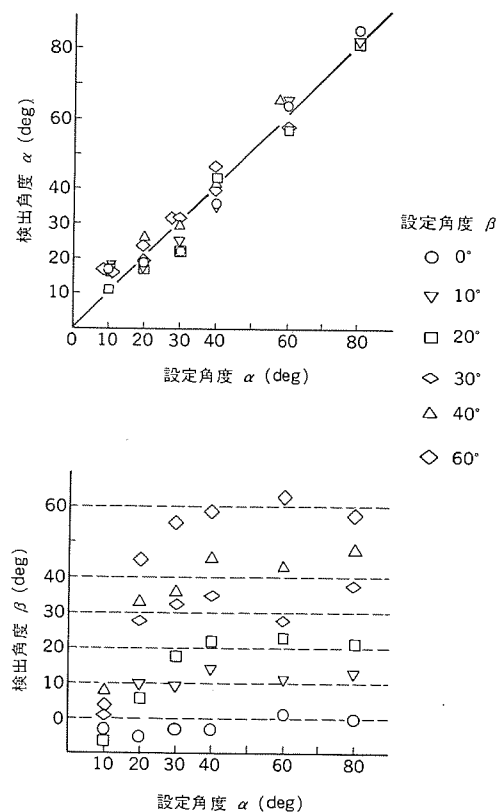


図 7. 角度検出精度

ためである。したがって、 α が 30° 未満の領域に指が接触した場合は、検出精度を向上させるために、再度、 α が 30° 以上の領域に指を接触させ、ボルトの位置・方向を検出するようにした。

3.2 動作アルゴリズム

箱の中のボルトを取り出すための一連の動作アルゴリズムの概要を図 8.

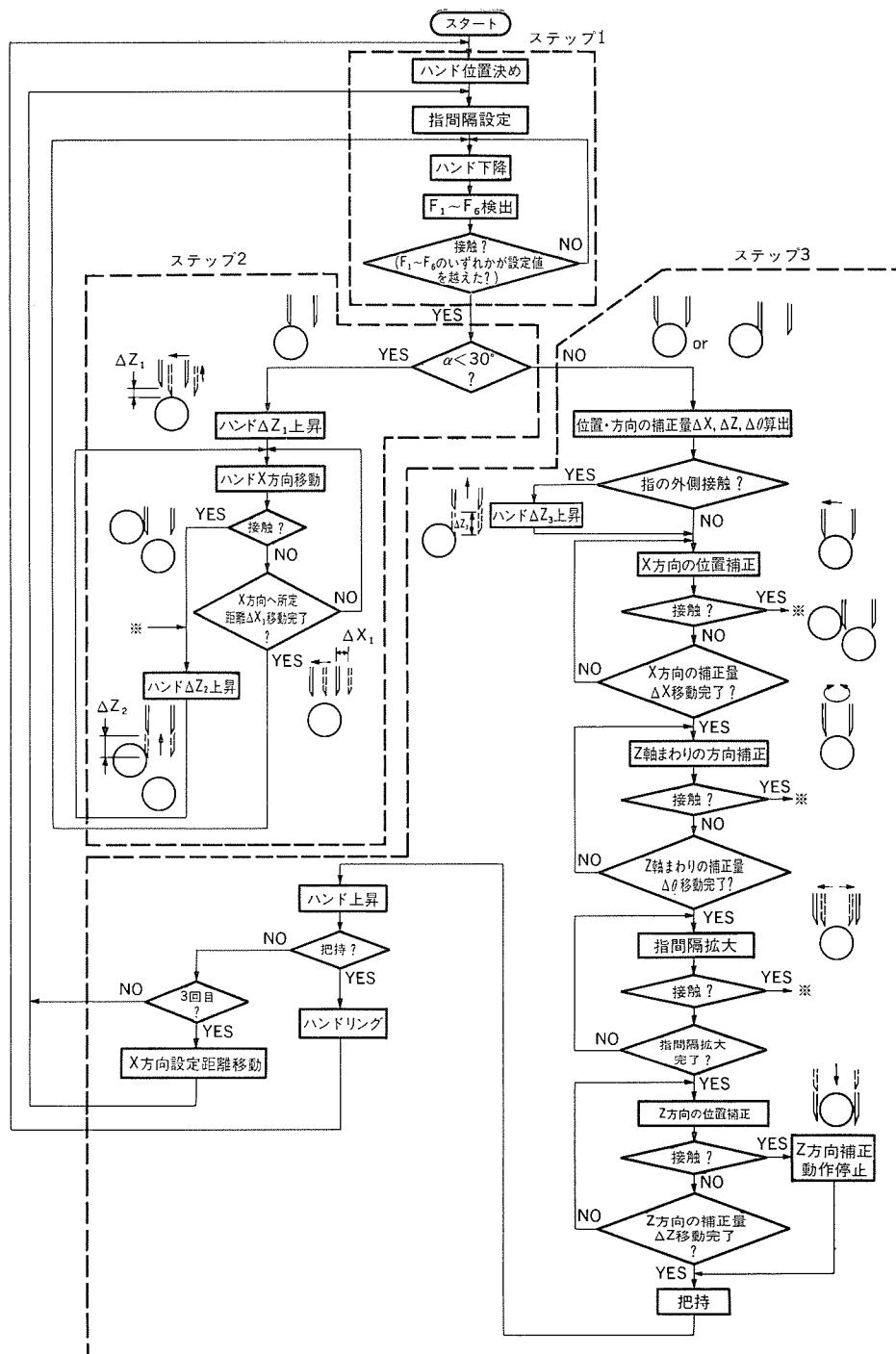


図 8. 動作アルゴリズム

で示したフローチャートと同図中に示されたハンドとボルトとの間の状態図に基づいて述べる。

ステップ1

- (1) ハンドを箱の上方で位置決めし、ハンドの指間隔をボルトの直径より小さい幅に設定する。
- (2) ハンドはボルトに向かって下降し、左右の指の合計六つの検出出力 $F_{x1\sim2}$, $F_{y1\sim2}$, $F_{z1\sim2}$ のうちいずれか一つでも所定設定値を越えれば、指がボルトに接触したと判断して、下降を停止する。

ステップ2

- (3) ボルトと指との接触状態が次の二つの状態のいずれかを判定する。

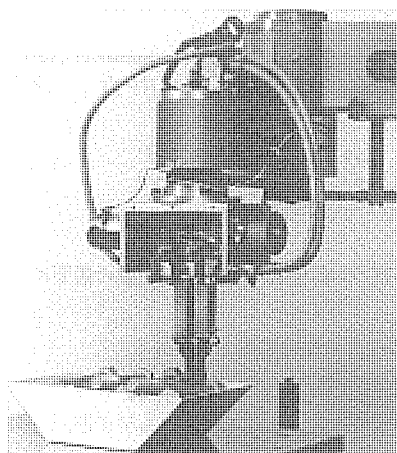
(a) 接触点の円周角 α が 30° 未満である。

(b) 接触点の円周角 α が 30° 以上である。

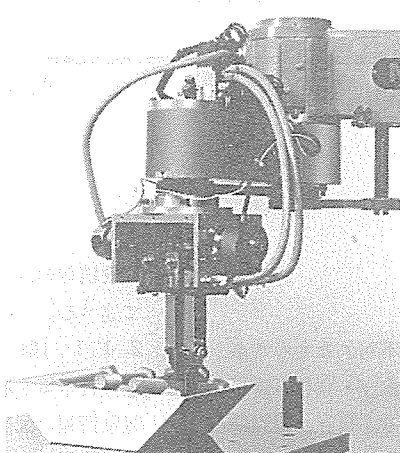
- (4) (a)の状態の場合には、前節で述べたように位置・方向の検出精度をよくするため、ロボットは、(b)の状態を得るための動作をする。すなわちハンドは再度上昇し、続いて水平方向に動いて、再び上記(2)の動作をする。

再動作の過程で、もし、指が周囲のボルトに接触したならば、そのボルトが前に接触したボルトよりも上方に位置していると判断し、ハンドはそのボルトを取り出すための位置に動き、(b)の状態が得られるまで(2)～(4)の動作を繰り返す。

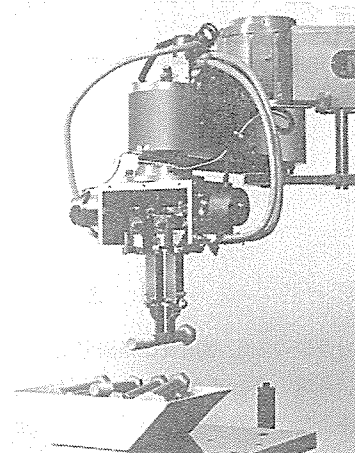
ステップ3



(a) 接触



(b) ハンドの位置・姿勢の補正



(c) 持ち上げ

図 9. 一連の取出し動作

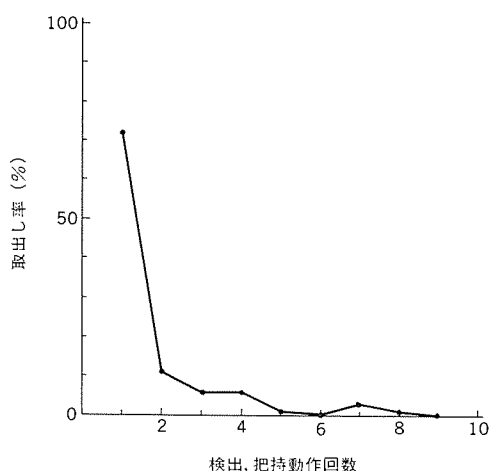


図 10. 取出し能力

(5) (b)の接触状態が得られたら、2章で説明した原理によってボルトの位置・方向を算出する。

(6) 算出された位置・方向に合わせて、ハンドの位置・方向を補正し、ボルトを把持する。

もし、ハンドの補正動作中及び指間隔を広げる動作中に、指が周囲のボルトに接触したならば、(4)と同様に接触した方のボルトを取り出すため、ハンドの位置を変えて、(2)～(6)の動作を繰り返す。

(7) ハンドが上昇した後、力センサのX方向の出力値を監視することにより、ボルトを把持したことを確認した後、所定の位置にそのボルトをハンドリングする。もし、持ち上げ動作中にボルトが落下した場合には、更に2回までの再検出と把持動作を試行する。この再試行をしても取り出せないときは、ハンドを別の位置へ移動して、違うボルトを取り出す。

(8) ハンドリング完了後、前にボルトを取り出した位置から、上下左右方向に所定距離だけ離れた位置にハンドを位置決めし、次のボルトを取り出す動作を開始する。

3.3 試験

25本のボルトが入る箱の中から取り出す試行を繰り返し行った結果、取出し成功率100%を実現した。図9.はボルトに触れてから取り出すまでのロボットの連続の動作を示している。

ボルトを取り出すために要する時間は、ボルトの位置・方向並びに

指とボルトの接触状態により多少異なる。以下に、ハンドが箱の上方で停止した状態から、下降を開始して、ボルトをつかみあげたところまでの平均的な取出し時間を、指とボルトとの接触状態によって分類して示す。

(a) 円周角 α が 30° 未満の領域に指が接触した場合…10秒/本

(b) 円周角 α が 30° 以上の領域に指の内側が接触した場合……8秒/本

(c) 円周角 α が 30° 以上の領域に指の外側が接触した場合……9秒/本

である。

図10.は取り出すために要した検出及び把持動作回数と取出し率の関係を示した実例である。図中、4回目以降の値は、3回の試行で失敗し、他の何本かのボルトを取り出した後、再び前に取り出すことができなかったボルトを取り出すときに要した回数を加算したものである。70%程度は、最初の試行で取り出せたが、それ以外は次のような把持対象ボルトを取巻く状況により、動作を繰り返す必要があった。

(a) ボルト同士が密接していて、ボルトの間に指が進入できない。

(b) ボルトの把持はできたが、周囲のボルトに動作を妨げられて、持ち上げることができない。

このような状態にあるボルトは、その状態が変わらない限り取り出すことができない。しかしながら、3.2節で述べたように、3度の試行をして取り出せないときは、ハンドを他の位置に移動して別のボルトを取り出すようにしているので、周囲の状態の変化に伴い、(a)(b)の状態が次第に解消されて、すべてのボルトを取り出すことができた。

4. む す び

2本の指に3分力センサを備えた力覚ハンドを開発し、箱の中の大形ボルトを1本ずつ取り出すことができる、新しいタイプのピンピックロボットを開発した。このロボットによって、力覚情報を処理して、指先に触れた部品の位置・方向を認識する技術を完成したとともに、力センサの従来になかった用途開発ができたといえる。また、このロボットは部品をピックアップする作業のみならず、力の制御を要する、例えば破損しやすい物体のハンドリングなどにも適用でき、幅広いアプリケーションが考えられよう。

1. ま え が き

電力システムの安定運用及び経済運用に、気象情報は不可欠なものである。各電力会社においては、自社の観測網及び気象庁・(財)日本気象協会などの外部機関から気象情報を収集している。自社の観測網の場合は、設備や保守の費用の制約で、比較的限定された気象情報しか得られていない。一方、外部機関による場合は入手の頻度が少なく、時間遅れが大きいという問題がある。気象センサの性能及び処理技術が飛躍的に向上した現在、気象情報の効率的な入手がその有効利用の重要課題となっている。

各電力会社をはじめとした気象情報に対する関心の高まりを受けて、(財)日本気象協会では昭和59年から「気象情報配信システム(MICOS-LAN)」の運用を開始した。このシステムは、レーダ画像をはじめとする気象庁のデータを、オンラインで迅速に配信する画期的なものである。このたび、このMICOS-LANを電力システム運用に有効に利用する「気象情報システム」を開発、北陸電力(株)中央給電指令所(以下、中給と呼ぶ)に納入、実運用に入ったのでその概要を報告する。

2. システムの概要

2.1 システム構成

このシステムの全体構成を図1.に示す。この章では、図1.を中心にして(財)日本気象協会の気象情報配信システムの概要、配信される

気象情報の内容及び北陸電力(株)中給に納入した装置の概要について述べる。

2.1.1 (財)日本気象協会気象情報配信システム

(財)日本気象協会には本部が6箇所あり、将来的にはそのすべてで気象情報の配信を行う予定である。ここでは、いち早く運用を開始し北陸電力(株)中給へ気象情報を配信している東京センターのシステムを中心に述べる。

この配信システムは、東京センター、新潟サブセンター及び北陸サブセンターの3センターで構成されている。全国の気象管署(気象台・測候所)からの注意報・警報・予報及び各地の気象情報などは、気象庁に集められており、東京センターに取り込まれる。気象レーダからの画像(エコー強度)は、最寄りのセンターに取り込まれる。これらの気象情報は、日本電信電話(株)(NTT)のDDXパケット網にてセンター間で送受信されて、それを必要としているすべてのセンターに送出され蓄積される。

各センターには、当社の汎用ミニコン《MELCOM 70》が設置され、上記の気象情報の送受信及びエンドユーザーへの配信などを行っている。将来は、サブセンターが更に2〜3箇所増設され、一層きめ細かい配信サービスが行われる予定である。

2.1.2 配信データ

配信されるデータの種類・配信頻度などを表1.に示す。

2.1.3 北陸電力(株)中給の装置構成

北陸電力(株)中給へ納入した気象情報処理装置は、《MELCOM 70

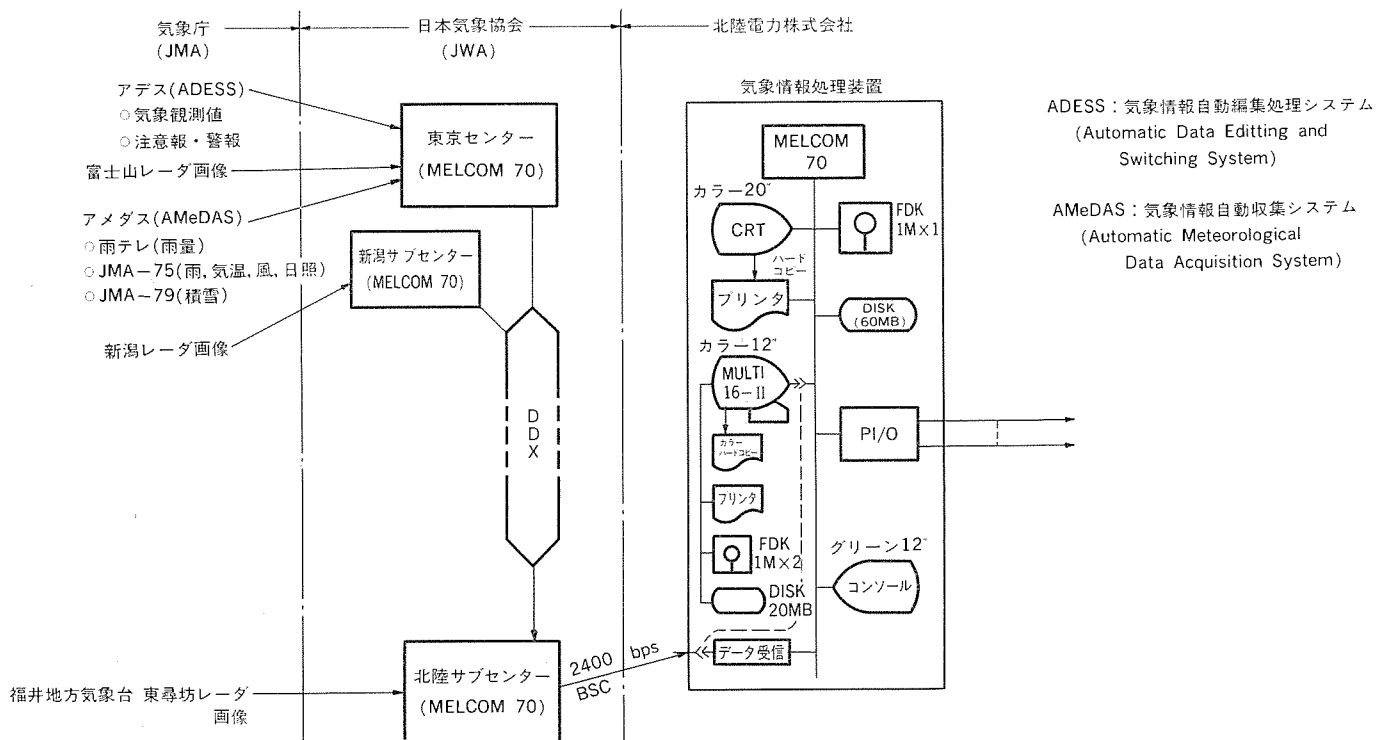


図1. 気象情報システムの構成図

表 1. 気象情報リスト

項 目 名 称	入 手 頻 度	観 測 範 囲
レーダーエコー強度データ	最高 8回/時間	福井, 新潟, 富山
AMeDAS 観測値	1回/時間	富山, 石川, 福井, 岐阜 (以上4県内の約100地点)
ADESS 地上実況	最高 1回/3時間	金沢, 輪島, 富山, 福井, 敦賀, 高山, 伏木
ADESS 高層実況	1回/6時間	輪島 米子, 館野, 秋田, 潮岬
ADESS 予測・確率資料	2回/日	北陸地域
ADESS 天気予報	5回/日	富山, 金沢, 福井, 岐阜
ADESS 注意報	発令の都度	富山, 金沢, 福井, 岐阜

表 2. 《MELCOM 70》概略仕様

機 器	仕 様
中央演算処理装置 (M70/30 C-II)	主 メ モ リ: 1MB (最大2MBまで増設可) 語 長: 16ビット+2パリティ サイクルタイム: 550ns以下
磁気ディスク装置	方 式: 可動ヘッド固定ディスク 記 憶 容 量: 60MB
ディスプレイ装置	C R T: 20インチ高解像度CRT (カラー8色) 英数, カナ表示数: 80字×30行 漢 字 表 示 数: 40字×30行 図 形 表 示: (縦)1,280×(横)960ドット 表 示 文 字 種: 160種(英数, カナ, 記号) 漢 字 種: JIS第1水準+非漢字+外字906種 (JIS第2水準を増設可)
プ リ ン タ 装 置	方 式: ワイヤドットマトリクス 印 字 速 度: 100字/秒 英数・カナ印字数: 136字/行 漢 字 印 字 数: 68字/行 印字文字種, 漢字種などはディスプレイ装置と同じ。

表 3. 多機能端末の概略仕様

機 器	仕 様
演 算 処 理 装 置 (MULTI 16-II)	C P U: 16ビットマイクロプロセッサ 主 メ モ リ: 512KB
磁気ディスク装置	方 式: 固定ディスク 記 憶 容 量: 20MB
ディスプレイ装置	C R T: 12インチCRT (カラー7色)
プ リ ン タ 装 置	方 式: ワイヤドットマトリクス 印 字 速 度: 80字/秒
カラーハードコピー装置	方 式: 熱転写式 (カラー7色) コ ピ ー 速 度: 40秒 インタフェース: RGBセパレートビデオ

／30 CII》を中核とし、多機能端末としてパソコン《MULTI 16-II》を組み合わせたものである。

(1) 《MELCOM 70/30 CII》

主メモリ1MB(最大2MB)の汎用ミニコンであり、外部メモリとして固定ディスク(60MB)及びフレキシブルディスク(1MB)をもち、マンマシンインタフェースとして20インチ高解像度カラーディスプレイ及び22ピン漢字プリンタをもっている。概略仕様を表2.に示す。

(2) 多機能端末

主メモリ512KBのパソコンであり、外部メモリとして固定ディスク(20MB)及びフレキシブルディスク(1MB)をもち、マンマシンインタフェースと

して12インチカラーディスプレイ, 24ピン漢字プリンタ及びカラーハードコピーをもっている。概略仕様を表3.に示す。

2. 2 特 長

2. 2. 1 マルチプロセッサ方式

この装置は、《MELCOM 70》と多機能端末とのマルチプロセッサ構成であり、以下の特長をもっている。

(1) 機能分散

《MELCOM 70》は、北陸サブセンターからの気象情報の受信及び蓄積を主として行う。同時に、出水予測を中心としたディスプレイ出力及び日報・月報などの印字を行う。

多機能端末は、《MELCOM 70》から気象情報を受信して各種ディスプレイ出力を行う。多機能端末は、MICOS-LAN標準端末と同等機能をもっており、豊富な知識に基づいた(財)日本気象協会の処理・表示プログラムをそのまま使用できる。このシステムにおいても、多機能端末の処理・表示プログラムは(財)日本気象協会が作成し北陸電力(株)へ供給されたものである。

(2) バックアップ

《MELCOM 70》の保守・点検時などには、北陸サブセンターからの気象情報は多機能端末によって直接受信し蓄積でき、システムダウン及びデータの欠損を避けることができる。多機能端末の保守・点検時には、停止中の気象情報を《MELCOM 70》内に蓄積しておき、復旧後に再送することができる。

2. 2. 2 日本語処理

(1) 《MELCOM 70》

《MELCOM 70》のディスプレイ及びプリンタは、内部に漢字フォントをもっており、明朝体の美しい漢字を表示・印字できる。ディスプレイはローカルに“カナ-漢字変換”を行うことができ、将来の画面追加の際には、日本語で画面名称を登録することができる。

(2) 多機能端末

OS (Operating System) として“日本語 CONCURRENT CP/M 86”を使用しており、日本語を基本とした各種処理・表示・印字などが可能である。将来のプログラム作成のために、BASIC言語の日本語変換用各種命令及びOSの文節単位“カナ-漢字変換”などの豊富な日本語処理機能をもっている。

2. 2. 3 カラーハードコピー

豊富な気象情報を効果的に視覚に訴えるために、このシステムではフルカラーのグラフィック表示を駆使している。これらの表示画面を保存するためにカラーハードコピーが設置されている。このカラーハードコピーは、多機能端末からの画像記号を受けて動作する熱転写形のものである。高速である(約40秒/画面)、音で静かである、などの特長をもっている。

3. システムの機能

この章では、各プロセッサの処理内容を中心にして、システムの機能について述べる。

3. 1 《MELCOM 70》

3. 1. 1 気象情報の受信及び送信

北陸サブセンターからの気象情報を受信して編集した後、メモリ(固定ディスク)へ格納する。同時に、受信した生データを多機能端末へ送信する。送受信の伝送仕様を表4.に示す。

3. 1. 2 ディスプレイ表示

メモリ内の気象情報を加工処理し、分布図, 表, 及びグラフなどの所

表 4. 気象情報の伝送仕様

項 目	仕 様
信 号 伝 送	伝 送 方 式：時分割多重による間欠伝送方式 伝 送 速 度：2,400 bps
MODEM	方 式：4 相差動位相変調方式 変 調 速 度：1,200 baud (CCITT V. 26 A による)
伝 送 仕 様	通 信 方 式：半二重通信方式 通 信 回 線：2 線式／4 線式 接続制御方式：コンテンション方式 伝 送 コー ド：EBCDIC 及びバイナリ (透過モード) 誤 り 制 御：CRC 方式 ($X^{16}+X^{15}+X^2+1$) 応 答 方 式：ACKO/ACK 1/NAK (MELCOM 70-BSC)

表 5. ディスプレイ表示画面リスト

名 称	内 容
有峰・神通流域 降雨分布図	地図上の全地点に、指定した時刻の累加雨量（1時間、3時間又は6時間の設定可）を表示する。
有峰・神通流域 降雨日表	指定した日の1時間ごとの雨量及び日合計を表として、全地点一括表示する。
有峰・神通流域 ハイト・累加グラフ	指定した地点の指定した2日間の時間雨量及び累加雨量を棒グラフ及び折れ線グラフで表示する。
有峰・神通流域 社内データ入力	社内収集しているデータ（雨量及び流量）を1時間単位でキーボードより入力する。
地 上 実 況 月 報	指定した月の地上実況を、気象管署ごとに表示する。スクロールによって、1か月分を表示する。
高 層 実 況 月 報	指定した月の高層実況を気象管署ごとに表示する。スクロールによって、1か月分を表示する。
注・警報発令一覧表	指定した県の注・警報の発令・解除履歴を表示する。スクロールによって最新100情報を表示する。
東 海 坊 レーダ 画 像	指定した時刻の東海坊レーダのエコー強度を、数値表示する。雲の動きを表すコマ送り・アニメーション表示も可能。
浅井田流域出水予測	アメダスデータ及び社内データより出水予測を行って、時間雨量・実績流入量及び予想流入量をグラフ表示する。
注・警報発令状況	現時点での注意報及び警報の発令状況を4県8地域に分けて一括表示する。
注・警報発令内容	指定した県の注・警報の最近電文をそのまま全文表示する。
地 震 連 絡	最新の地震連絡を、定形化した漢字カナ混り文で表示する。
津 波 注・警報発令	最新の津波注・警報を定形化した漢字カナ混り文で表示する。
雷 雨 警 戒 報	最新の雷雨警戒報をそのまま全文表示する。
帳 票	指定した月日の月報及び日報の印字起動を行う。前日の日報及び前月の月報は一括起動可能である。

定のフォーマットでディスプレイ表示する。画面の選択は会話式であり、ガイダンスで要求される指定値をメニューなどを参照して入力することにより、だれでも容易に操作できる。このシステムでは運用の効率化の観点から、画面リクエスト時の応答時間を3～5秒とすることを目標として開発を行った。ディスプレイ装置とのインタフェースは、19,200 bpsの高速シリアルインタフェースを採用した。

画面には、自動受信できない社内収集気象情報を手動入力するための画面や日報・月報などの印字を起動させるための画面がある。表示画面の概略内容を表5.に示し、表示例を図2.、図3.に示す。

3.1.3 プリント印字

ディスプレイの印字起動用画面からの指定によって、必要な日報及び月報が印字できる。前日の日報又は前月の月報を一括して印字させることも可能である。ディスプレイ上の表示のハードコピーもできる。印

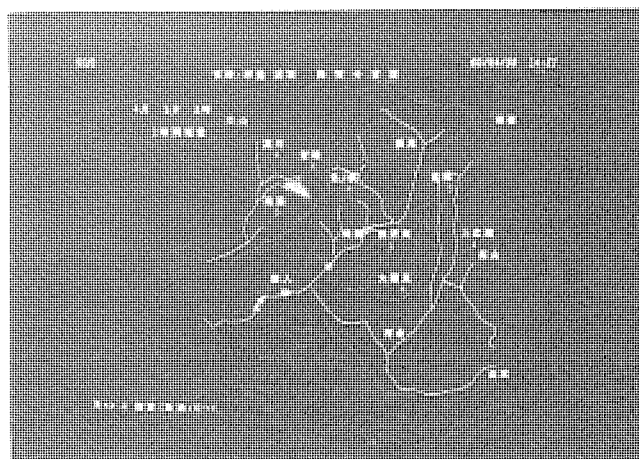


図 2. ディスプレイ表示画面例（降雨分布図）

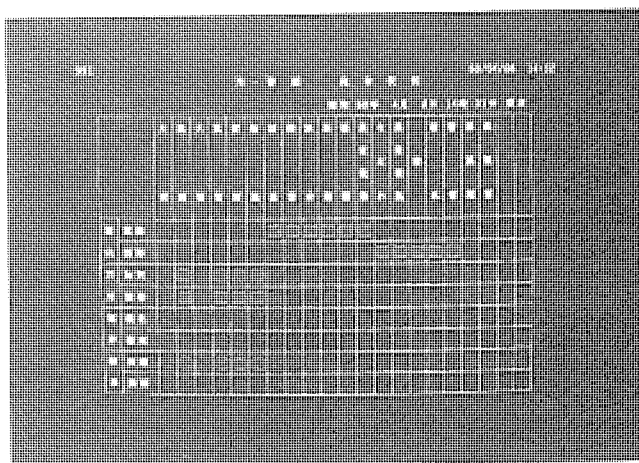


図 3. ディスプレイ表示画面例（注・警報発令状況）

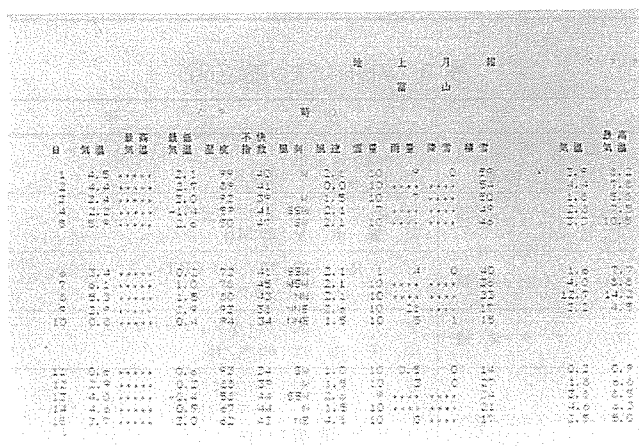


図 4. プリント印字例（地上日報）

字できる日報及び月報は以下のとおりである。

- ・地上日報（AMeDAS…気温、積雪）
- ・地上日報（AMeDAS 及び社内…雨）
- ・地上月報（富山・金沢・福井の各気象台）
- ・高層月報（輪島）

地上日報の印字例を図4.に示す。

3.1.4 注・警報外部出力

各種注意報・警報、地震連絡、津波注意報・警報及び雷雨警戒報の発令の都度、外部へ接点信号を出力する。この接点によって中給気

象盤への表示及び可聴信号の発生などを行うことができ、従来は気象台からの電話連絡に頼っていた、これらの気象通報への対応を自動化することができる。

3.1.5 出水予測

この予測処理は以下の特長をもっている。

- (1) AMeDASデータなどの自動収集情報に基づいて予測演算を行うため、演算の都度データを入力する必要がない。ただし社内収集された気象情報は、現状では自動収集できず、キーボードからマニュアルで入力するようになっている。
- (2) 出水予測用定数は、演算の都度キーボードから設定するようになっている。演算終了後の流量グラフに表示される実績値と予測値を比較して、入力した定数の評価を行うことができる。
- (3) 北陸サブセンターから受信されるさまざまな気象情報に基づいて、今後の予測雨量をマニュアルで入力することができる。これによって、将来雨量を含めた本当の意味での出水予測を行うことができる。出水予測画面を図5.に示す。

3.1.6 気象情報転送

北陸サブセンターからの受信情報及び社内収集情報の中の気象観測値は、固定ディスクに2か月分が格納される。これらのデータを1か月単位でフレキシブルディスクに転送して、データの移管を行うことができる。データの内容及びフォーマットを以下に記す。

(1) 転送データ

- ・AMeDAS観測値
- ・社内気象観測値
- ・ADESS地上観測値
- ・ADESS高層観測値

(2) データフォーマット

- ・ディスク：8インチ両面倍密形(2D-1MB)
- ・フォーマット：IBM-H形データ交換形式
- ・データ：バイナリ

転送した気象情報は長時間にわたって蓄積されて将来の各種予測のための資料となる。

3.1.7 プログラム作成

コンソール、シリアルプリンタを使用して、フォートランによる各種予測プログラムの作成・編集・コンパイルなどを行うことができる。特に、ユーザー側においても容易にプログラムの作成・修正ができるように、豊富なサポートツールが用意されている。以下にプログラム作成の手順を示す。

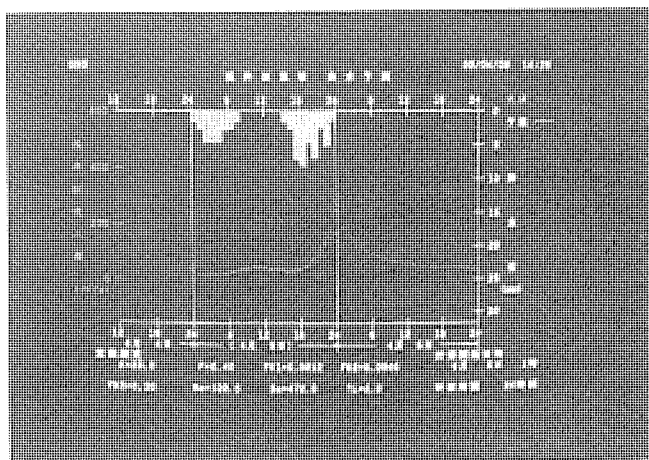


図5. 出水予測のディスプレイ画面

(a) ソースプログラムを作成する。

(b) ソースプログラムをコンパイル、リンクしてロードモジュールを作成する。

(c) ロードモジュールを画面番号に該当するエリアへ登録する。

(d) ディスプレイの“予測プログラム用目次作成画面”にて、該当の画面番号に名称を日本語で登録する。

(e) ディスプレイの目次画面で該当の画面番号をキーインすることによって、作成した予測プログラムを実行させることができる。

3.2 多機能端末

3.2.1 ソフトウェア構成

多機能端末のソフトウェアは、日本語CONCURRENT-CP/M86をOSとして、1個のアセンブラプログラムと2個のベーシックプログラムによって構成されている。

(1) 日本語CONCURRENT-CP/M86

従来のパソコンのイメージを大きく変えるマルチタスクOSであり、同時に2個のベーシックプログラムと複数レベルのアセンブラプログラムを動かすことができる。日本語処理も強化されており、国語辞書の使用及び文節単位の“カナ-漢字変換”が可能である。

(2) BSC送受信処理プログラム

BSC送受信モジュールから1ブロックごとにデータを取り込み、メモリ(固定ディスク)へ格納するアセンブラプログラムである。受信ブロックが1テキスト分になると、電文解析タスクを起動する。北陸サブセンターより直接受信したデータの場合には、バックアップ用として別途メモリへ保存しておき、必要ときに《MELCOM 70》へバックアップ転送する。送受信時以外の場合には、一定時間(約3秒間)処理をディレーさせて、後述の2個のタスクが実行できるようにする。

(3) 電文解析タスク

BSC送受信処理プログラムによって起動されるベーシックプログラムであり、(財)日本気象協会によって開発されたものである。受信した電文を編集処理した後、表示用のデータとしてメモリ(固定ディスク)へ格納する。このタスクは、処理終了後は起動待ちモードとなって、後述のデータ表示タスクが高速に実行できるようにしてある。

(4) データ表示タスク

キーボードからのリクエストに応じて、必要なデータをメモリ(固定ディスク)から収集して所定の処理を行った後にディスプレイ表示をする。このタスクは(財)日本気象協会がその豊富な知識に基づいて作成したものである。

3.2.2 機能

(1) ディスプレイ表示

表示画面の一覧表を表6.に示す。また、レーダ表示画面の例を図6.に示す。

(2) プリンタ印字

注・警報などは、発令の都度にその概要がプリンタ印字される。必要に応じて画面をハードコピーして印字することができる。

(3) カラーハードコピー

ディスプレイ画面をそのまま、カラーでハードコピーすることができる。

(4) 汎用気象データ処理

データ表示タスクに任意のベーシックプログラムをローディングして、メモリ(固定ディスク)内の気象情報を使用した各種処理を行うことができる。この場合にも、BSC送受信プログラム及び電文解析タスクは平常どおり動作しており、新しい気象情報が入力されている。

(注) CONCURRENT-CP/M86はデジタル・リサーチ社の登録商標

表 6. 多機能端末表示画面リスト

項 目	内 容
ア メ ダ ス	作 図 作 表
ア メ ダ ス 解 析	雨量変化図 アメダス上位表示 過去データ表示
地 上 実 況	地上実況日報 地上実況分布図 給電気象状況速報
高 層 実 況	状態曲線 作 表
予 測 資 料	雨・日照・雪・雷雨・気温
天 気 予 報	
注 意 報・警 報	発令内容 発令状況
地 震・津 波・雷	地震 震源情報 津波 注意報・警報 雷 発雷 警戒報・予報
台 風	台風経路図 台風位置一覧表
レ ー ダ	一覧表 レーダ表示

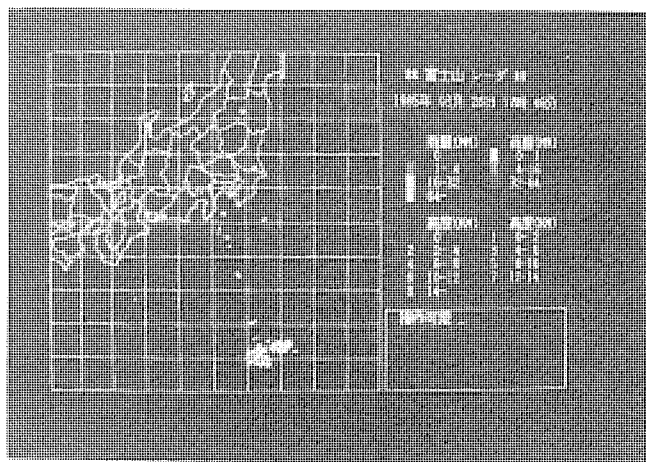


図 6. 多機能端末表示画面例(富士山レーダ画像)

3.3 バックアップ処理

このシステムは、《MELCOM 70》と多機能端末とのマルチプロセス構成であり、お互いにデータのバックアップを行うことができる。

(1) 多機能端末によるバックアップ処理

定期点検などで《MELCOM 70》を停止させる場合には、マニュアルスイッチを操作して、北陸サブセンターからの信号を多機能端末で直接受信させることができる。多機能端末で直接受信された気象情報は、《MELCOM 70》の復旧後に自動的にバックアップ転送される。これ

によって、定期点検などによるデータの抜けを防止できる。

(2) 《MELCOM 70》による再送処理

保守などで多機能端末を停止させた場合には、送出されなかった気象情報が《MELCOM 70》のメモリに別途保管される。その気象情報は、多機能端末が復旧した後に《MELCOM 70》から自動再送される。

4. 将来機能

4.1 気象情報の充実

このシステムの気象情報は、以下のとおり将来ますます充実される予定である。

(1) ひまわり画像

北陸サブセンターから配信される気象情報にひまわり画像が追加され、広範囲にわたる気象予測の強力なデータとなる予定である。

(2) 社内情報の自動収集

現在キーボードからマニュアルで入力している社内情報が、計算機経由もしくは直接入力によって自動収集化される予定である。

(3) LLS(雷撃位置標定システム)との接続

将来LLSとの接続も検討中である。これによって雷撃位置と各種気象情報との相関を調べることができる。

4.2 予測処理

このシステムで広範囲な気象情報の蓄積を行うことができる。これらのデータの解析によって将来的に実施できる可能性がある予測処理としては、以下のものがある。

- ・降雨出水予測
- ・発雷予測
- ・総需要予測

5. む す び

このシステムの開発によって、従来は電話・FAX・郵送などの入手に頼っていた気象庁の気象情報が、オンラインで入手できるようになった。気象情報は、発表の都度に迅速に入手でき社内情報と同等に扱える。このため、気象状況の変化に以前よりも素早く対応して、電力システムの安定運用及び経済運用を図ることが可能となる。またこのシステムでは、気象情報の蓄積を行っており、これらの資料を解析して各種予測処理の試行を押し進めてゆき、気象状態の将来の変化に対応した電力システム運用を図れるようにすることが今後の課題である。

終りに、このシステムの開発にあたり多大な御指導、御協力をいただいた、北陸電力(株)、(財)日本気象協会の関係各位に深く感謝する次第である。

NR形Hシリーズ負荷時タップ切替器

柳 武彦*・吉田和夫*・今井満夫*・坂本 昇*・源川 一志*

1. ま え が き

負荷時タップ切替器（以下、LTCと呼ぶ）の最近の傾向の一つとして、タップ選択器に切替開閉器の機能を兼ねさせた、いわゆるタップ選択開閉器式LTCが中小容量変圧器用として多用されてきている。これは、この方式のLTCが持つ下記に挙げるような本質的な特長が、年々増大しつつある機器の小形化及び保守の省力・容易化という時代的志向にマッチするものとして、注目され評価されるようになってきたからであるといえる。

- (1) 切替開閉器とタップ選択器とを備えた、いわゆる切替開閉器式LTCに比べて小形である。
- (2) 構造が単純で構成部品数も少ないので、保守・点検が容易である。
- (3) 切替開閉器式ではできなかったタップ選択器部分の点検が、変圧器本体の絶縁油を抜かずにできる。

このような情勢に沿って当社では、1979年に63kV—40MVAまでの小容量変圧器に適用できるタップ選択開閉器式のNR形LTCを開発・製品化し、これまでに250台以上を納入してきた。これらの納入実績の増加に伴い、その使用実績に対する好評とともに、より容量の大きい変圧器にまで適用できるものの出現を望む声が次第に強くなってきたので、このたび132kV—95MVAまでの中容量変圧器に適用できる同方式のNR形Hシリーズ（以下、NR-Hと呼ぶ）LTCを開発・製品化した（図1.）。

一般にこの方式のLTCは、上記のような特長をもつ反面、タップ選択器に切替開閉器の機能も兼ねさせているため、容量アップを行う場合に乗り越えなければならない機能的、あるいは構造的制約も少なくない。このNR-H形LTCでは先のNR形LTCの経験を基

に、新しい技術改善を加えることにより、その難点を克服した。容量のみならず、電圧・寿命・タップ点数などにおいても従来の切替開閉器式LTCに匹敵し得るように配慮されているので適用範囲が広く、今後様々な用途でその特長を発揮するものと期待される。以下、このNR-H形LTCについてその技術的概要を述べる。

2. 定格・仕様・適用

NR-H形LTCは、表1.に示すように中容量変圧器に適用するに十分な定格及び仕様となっている。更に最大47点まで可能なタップ点数は、電力用以外の特殊用途への適用をも可能とする。図2.に

表1. NR-H形負荷時タップ切替器の定格・仕様

LTC モ デ ル	NR-H Ⅲ	NR-H Ⅲ入	NR-H Ⅰ	NR-H Ⅱ
内 蔵 相 数	3	3	1	2
変 圧 器 へ の 適 用 法	入中性点及び △中間点切換	入中性点切換	NR-H Ⅰ と NR-H Ⅱ の組 合 せ で △ 中 間 点 切 換	
定格最高ステップ電圧	1,500 V			
定格最大通過電流	400 A			
定格ステップ容量	400 kVA			
定 格 周 波 数	50／60 Hz			
タ ッ プ 点 数	最大 35 点（非標準 最大 47 点まで）			
転 換 方 式	極性，又は多段転位切換			
切 換 方 式	2 抵抗・タップ選択開閉器方式			
過 負 荷 切 換 能 力	200％			
対 地 絶 縁 階 級	80 号	120 号	120 号	
相 間 絶 縁 階 級	60 号	一	80 号	
電 気 的 寿 命	20 万回以上			
機 械 的 寿 命	80 万回以上			
切 換 時 間	5 s／1 タップ切換			

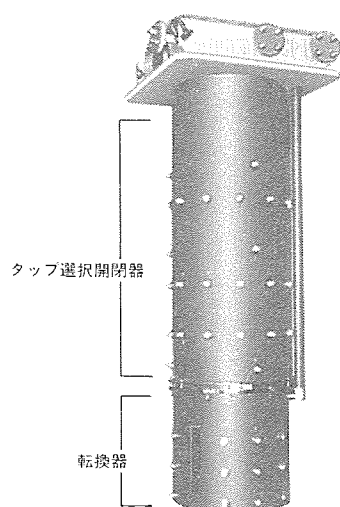


図1. NR-H形負荷時タップ切替器

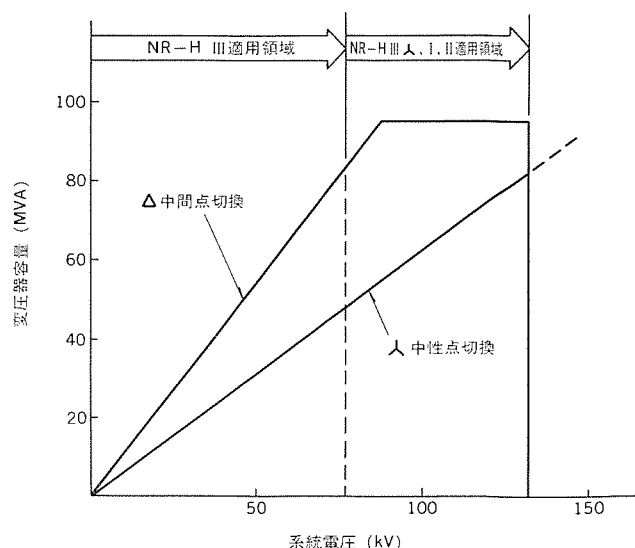
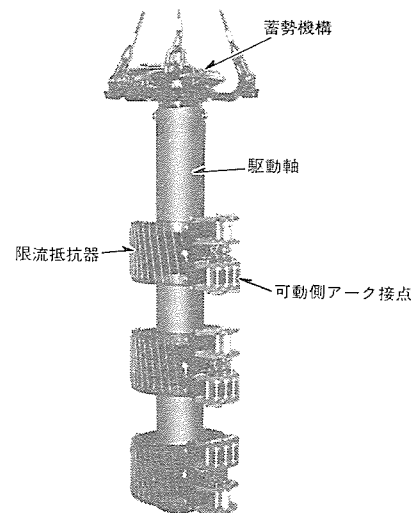
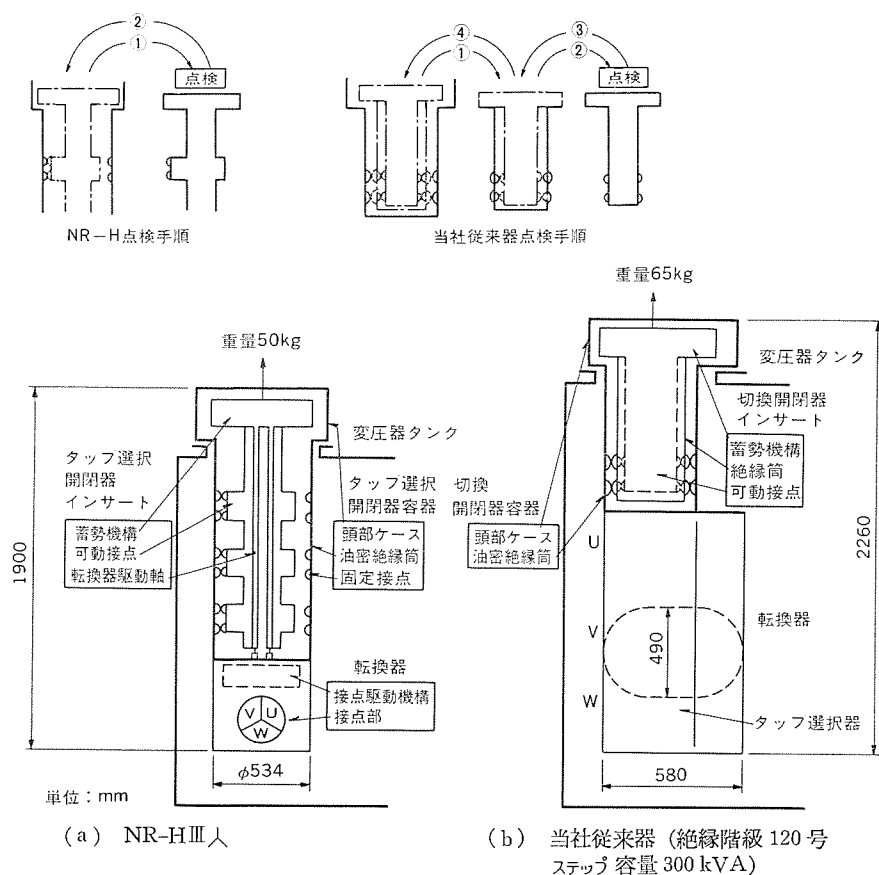


図2. NR-H形負荷時タップ切替器の適用（電圧調整幅±12.5%±11点の場合）



4.1 2 抵抗式・ローラ形アーク接点方式の採用

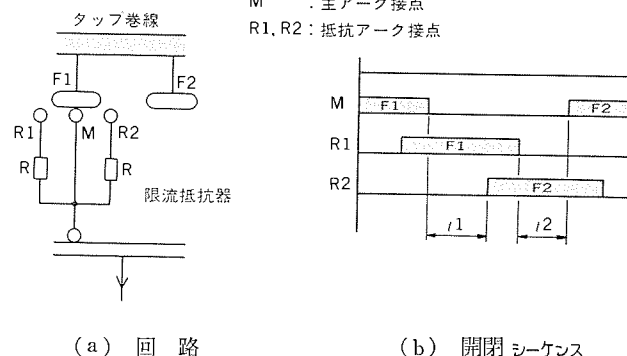
所要の切換能力を得るために、どのような切換方式と接点開閉方式にするかは LTC の死命を制する重要なポイントである。切換能力を向上させる方法には、大別して各アーク接点の遮断責務を軽減する方法と各アーク接点の遮断能力を向上する方法とがあ

る。それぞれの具体的方法として、下記に挙げるようなものがある。

- (1) 各アーク接点の遮断責務を軽減させる方法
 - (a) 使用する限流抵抗器の数を増し、多抵抗式とする。
 - (b) 各アーク接点を分割し、並列多点遮断とする。
- (2) 各アーク接点の遮断能力を向上させる方法
 - (a) 各アーク接点の実質開閉寸法を大きくする。
 - (b) 各アーク接点を直列多点遮断とする。

以上の各方法は、構造の複雑化及び大形化を招く不利を合わせもつので、それぞれの効果の程度を勘案して各方法を使いこなすことが肝要である。NR-H 形 LTC の開発にあたっては、特にこの点に留意して検討した結果、単独の方法に頼り過ぎて構造を複雑・大形化するよりも、必要最小限の範囲に抑えた各方法の幾つかを組み合わせ

- F1 : 固定接点 (偶数側)
F2 : 固定接点 (奇数側)
M : 主アーク接点
R1, R2 : 抵抗アーク接点



この NR-H 形 LTC の各種変圧器への適用可能領域を示す。

3. 全体構成

図 3. に NR-H 形 LTC の全体構成を従来器（切換開閉器式）に対比して示す。NR-H 形 LTC では、電流開閉を行う タップ 選択開閉器を、独立油密室である タップ 選択開閉器容器内に、また電流開閉を行わない転換器を同容器外下端に配置した。これにより、従来と同様に電流開閉による汚損油が変圧器本体の絶縁油から完全に仕切られた基本構造となっている。以下に述べる新技術の採用と工夫とにより、寸法的には LTC 全体の高さ・平面占有面積とも従来器より小さくなっている（容積にして当社従来器の 20% 減）ので変圧器の小形・軽量化が可能となる。また、点検のときつ（吊）り出す必要のある タップ 選択開閉器 インサート（図 4.）については、重量を小さくするとともに吊り出すだけで直ぐに点検できる構造としたので、点検の労力と手間が軽減され（当社従来器の点検時間の 30% 減）保守性が向上している。

4. タップ選択開閉器

従来の切換開閉器式 LTC の定格・仕様に匹敵するタップ選択開閉器とするために、解決しなければならなかった技術的課題の主なもの
は次の4点である。

- (1) 切換能力の向上
- (2) アーク接点の寿命の確保
- (3) 通電能力の確保
- (4) 保守性の向上

以下、上記課題をどのように解決したかについて述べる。

わせて、それらの相乗効果を期待するのが得策であり、均衡のとれたものができあがることが分かった。そして、種々の組み合わせの中で(1)―(a)の抵抗数を2にしたものと、(2)―(a)の開極寸法を ϕ ー ϕ 形アーク接点とすることにより実質的に大きく⁽¹⁾したものと

の組合せが、構造を複雑・大形化させないで所期の切換能力を得るベストな方法であるという結論に達し、2抵抗式による接点当たりの責務軽減と、 ϕ ー ϕ 形アーク接点方式による実質開極寸法の増大とが相まって、所期の高い切換性能を実現できた。図5.に回路と開閉シーケンスを示す。

4.2 複合形の接点構造の採用

切換能力について重要な課題は、接点寿命及び通電能力の向上である。 ϕ ー ϕ 形アーク接点方式の場合の寿命は、アーク消耗によって各 ϕ ー ϕ 形アーク接点の外径の減少が進行し、やがて ϕ ー ϕ 形アーク接点が固定アーク接点に接触しなくなるまでの切換回数でほぼ決まる。したがって、容量アップに伴って増大した遮断電流責務下で、所期の接点寿命を確保するためには外径寸法の減少速度を小さくする必要がある。その方法として、 ϕ ー ϕ 長を大きくするよりも初期外径寸法を大きくし、初期発弧面積を大きくする方が効果的である。しかしながら、一般に使用されるアーク接点材料は銅―タングステン系合金であり比重が大きいので、単に外径を大きくすることは可動接点部分の重量増加、更にはこれを駆動する装置の大形化をも招く。

NR-H形LTCでは、外径表面から所要の厚さだけにアーク接点材料を使用することによって、重量増加・大形化させることなく所期の接点寿命を得られるようにした。一方、構造の単純化・小形化のためにはアーク接点に運転電流の通電もさせることが望ましいが、NR-H形LTCの通電容量領域ともなると、発弧によって表面が荒れるアーク接点で運転電流を通電させることは不適当である。通電能力確保のためには通電専用接点を別置する必要があるが、単に別置すると複雑・大形化する。

そこでNR-H形LTCでは、通電専用接点を別置する代わりに ϕ ー ϕ の軸方向の中央部をアーク接点材料で、また両端部を通電接点材料でアーク部と通電部を一体にして単純かつ小形化を図るとともに、 ϕ ー ϕ 接点表面の通電部とアーク部との境界には環状溝を設けて、境界近傍での発弧によって通電部が損傷を受けないようにした。また、アーク部と通電部との一体化のために、信頼度の高い拡散接合法を採用した。以上のように、通電部とアーク接点を複合化した新しい接点構造の採用によって、構造を複雑・大形化することなく所要の容量領域での接点寿命と通電能力の確保に成功した。

4.3 新形蓄勢機構の採用

2抵抗式での各アーク接点の遮断責務を、開閉シーケンスの乱れによって増大させないために、主アーク接点が開極・発弧してから先行する抵抗アーク接点が隣の固定アーク接点に投入するまでの時間(図5.の t_1)、及び後行する抵抗アーク接点が橋絡状態から開極・発弧してから主アーク接点が隣の固定アーク接点に投入するまでの時間(図5.の t_2)は、長ければ長いほどよい。これらの時間を長くする方法としては、各可動アーク接点の移動速度を遅くする方法と、それぞれの開極距離を大きくする方法とがある。前者は各可動アーク接点の所要開極距離に達するまでの時間(アーク時間)が伸び、実

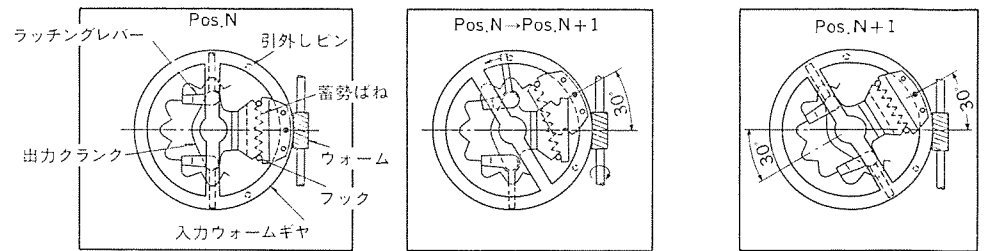


図6.蓄勢機構

質的な時間的余裕の増加をさまたげるだけでなく、各アーク接点の消耗量を増加させるので好ましくない。

一方、後者は隣り合う固定接点相互間の寸法を大きくすることを意味し、タップの数だけの固定接点を取り付けなければならない絶縁筒の直径が大きくなることから、むやみに大きくすることは実用上の問題を生じる。そこで絶縁筒の直径を大きくすることだけに頼らず、むしろ各可動アーク接点の移動速度を増すことによってアーク時間を可能な限り短くして、実質的な時間的余裕の増加を図る方がLTC全体の小形化の観点から望ましい方法といえる。

しかしながら、各可動アーク接点の移動速度を増すには、大きなエネルギーを蓄えられる蓄勢機構が必要となる。更にタップ選択開閉器式においては、絶縁筒内面の円周上に配置された各固定接点に可動側接点が選択的に接触していかなければならないので、これを駆動する蓄勢機構の所要出力回転角は小さいものとなる。一般には、大きな入力回転角で蓄勢のための大きなたわ(撓)みを蓄勢ばねに与え、大きなエネルギーを蓄えておいて、その出力回転を減速して可動側接点に伝える方法が広く採用されているが、このような方法では減速機構が必要となり、複雑・大形化が避け難い。

そこでNR-H形LTCでは、小さな入力回転角でより大きく蓄勢ばねを撓ませるために、図6.に示すように蓄勢ばねを、そのフックが入力回転方向に運動させられるように配置した。このような蓄勢ばねの配置によって、小さな出力回転角の中でより大きなエネルギーを出力できるようになり、出力回転を直接、可動側接点に伝えても所要の回転速度が得られるようになった。このような特長を備える新形蓄勢機構の採用によって、構造の複雑・大形化を回避し、所期の接点寿命と切換能力を確保できた。

4.4 タップ選択開閉器インサートの開放構造化

保守性の改善のため、吊り出したらすぐに点検できるようタップ選択開閉器インサートを開放構造(図4.)にした。この開放構造化を成功させるために次のような問題を解決しなければならなかった。すなわち、単に開放構造とした場合には、点検後再挿入の際、可動側 ϕ ー ϕ 形接点が固定接点面への投入ストロークの寸法だけ接圧ばねによって押し出されているため、タップ選択開閉器インサート下部の軸受ハウジングの中心がタップ選択開閉器容器底部の軸受ボスの中心からずれる。この状態で無理に挿入することは、構造メンバに損傷を与える危険があり望ましくない。また、このような中心ずれを防ぐため可動側 ϕ ー ϕ 形接点の突出を挿入時だけ阻止し、挿入後これを解除するような機構を付加するなどの方法も考えられるが、構造が複雑になる不利は避け難い。

そこでNR-H形LTCでは、タップ選択開閉器インサート下部の軸受ハウジングの一部に、前述のずれ寸法以上の寸法だけ下方に向かうにしたがって広がった円すい形内面をなす求心案内部を設け、タップ選択開閉器容器底部の軸受ボスの外径面を球面にするという組合せと

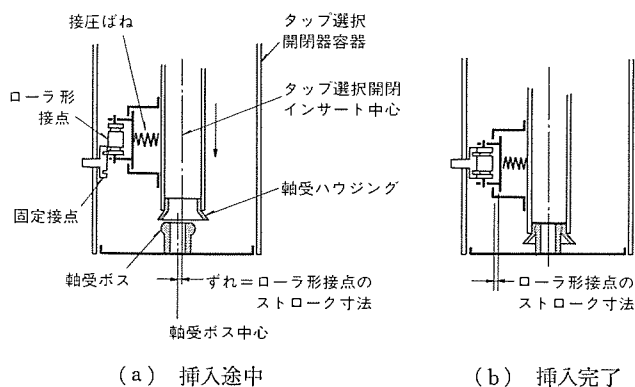


図 7. 求心軸受の機能

した。この軸受構造は、図 7. に示すように働き、滑らかな挿入を実現する。

このように単純な構成の求心軸受構造とすることによって、保守性に優れた開放構造のタップ選択開閉器インサートの採用が可能となった。

5. 転換器

従来器に匹敵する仕様を満足し、かつ小形化を図るために解決しなければならない課題は次のとおりである。

- (1) 転換器をどのように配置するのが小形化の達成に有効か。
- (2) タップ選択開閉器の極数(固定接点の数)を増加させないでどのように多点化するか。
- (3) (1)及び(2)に最適な駆動機構はどうあるべきか。

以上の課題の解決のために以下の工夫をした。

5.1 タップ選択開閉器容器と同軸・3相分平面配置の採用

転換器の配置には、タップ選択開閉器容器の横に配置する方法と、下端に同軸に配置する方法とがある。前者は LTC 全体の高さが大幅に低くなるという利点がある反面、単に平面寸法が大きくなるだけでなく平面の形が点対称にならないため、変圧器タンクの小形化を阻害する場合も予想される。一方、後者は平面寸法を最小にできる反面、高さが高くなり、変圧器の大形化を招く場合が予想される。平面形状が点対称でないという本質的な不利がある前者の方法では、改善を加えたとしてもベストな結果は得られないと判断し、NR-H 形 LTC では後者の同軸配置とするとともに、高さを低くするために 3 相各相の接点部を上下方向に配置せず、円筒絶縁空間を 120 度の扇状に分け、各々に各相の接点部を配置するようにした。以上のような同軸・3 相分平面配置の採用によって、LTC 全体の大きさを当社従来器の容積の 80% にまで小形化できた。

5.2 多段転位切換方式の採用

転換器によって、従来一般に密タップ巻線の切換を 2 回まで繰り返すことが行われているが、それでも対応できぬほどの多点数の要求があった場合には、変圧器巻線に多くのタップを設け、多極の LTC を適用するか、あるいは 2 台以上の LTC を取り付け、交互に切り換えるなどの方法がとられてきたが、いずれも変圧器を大形化してしまう欠点があった。そこで NR-H 形 LTC では、タップ選択開閉器の極数を増さないで、従来器に匹敵する 35 点、必要ならば 47 点まで拡張できる多段転位切換方式(図 8.)を採用した。この方式の採用によって特殊な用途の変圧器にも経済的に適用できるようになった。

タップ位置表示	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
タップ選択器接点番号	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	K	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	K	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
多段転位 切換器	K側										K2										K1														
	O側										O2										O1														

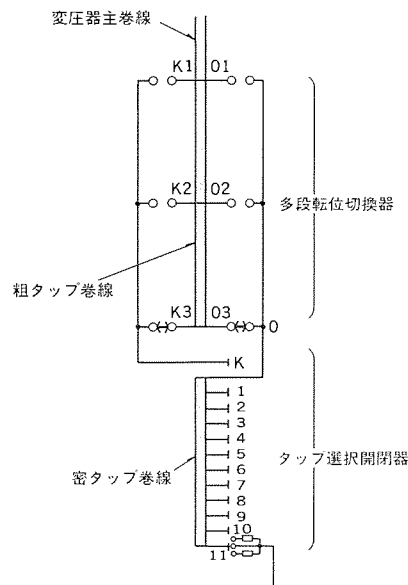


図 8. 多段転位切換方式

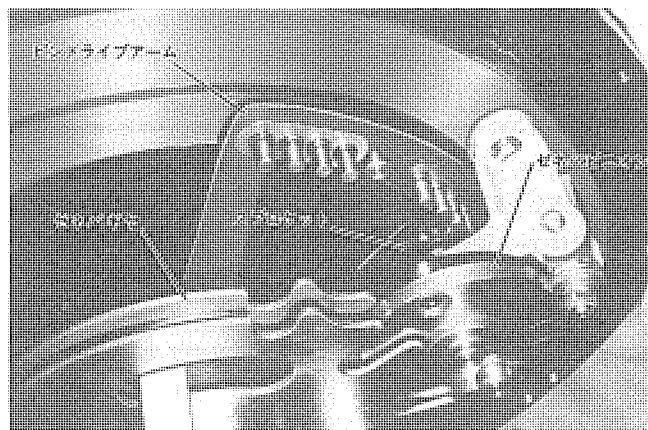


図 9. 転換器接点駆動機構

5.3 新形接点駆動機構

転換器の接点駆動機構には、図 8. に示すように可動接点の開閉を所定の 1 タップ切換動作の中で確実に行うとともに、切換後はその投入状態を安定して維持する機能が要求される。

NR-H 形 LTC では、以上の基本的機能を果たすだけでなく、特に前述の同軸配置への最適化を図るために新形接点駆動機構(図 9.)を採用した。この機構は、タップ選択開閉器の蓄勢機構の入力側に連結された転換器駆動軸によって、1 タップごとに所定の角度ずつ回転させられるピンドライブアームが所定のタップ位置から切換動作を始めたとき、そのピン列がスプロケットにか(噛)み合い、スプロケットに直結されたゼネバギヤを 180° 回転させ、タップ選択開閉器の中心と同軸に配置されたゼネバギヤが可動接点を所要の角度だけ正確に回転させるように構成されている。この新形接点駆動機構の採用によって、転換器の同軸配置が可能になった。

試験条件		
条件	ステップ電圧 (V)	負荷電流 (A)
1	1050	400
2	1320	320
3	1580	270

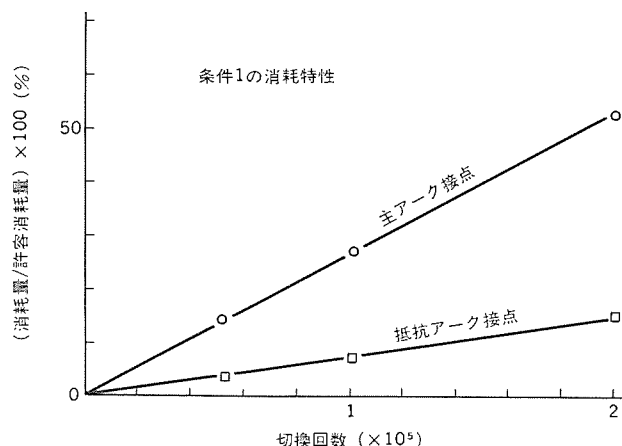


図 10. 電氣的寿命試験

6. 試 験

試験は複数台の供試器によって、実用性能の検証を JEC-186(1972) 及び IEC pub. 214(1976) の規定にしたがって実施した。この検証の結果、いずれの供試器も JEC 及び IEC に規定の性能を十分な裕度をもって満たすことが確認できた。以下、その概要について述べる。

(1) 耐電圧試験

対接地、隣接相間及びタッパ選択開閉器、転換器内の各充電電極間に、変圧器に適用された場合に発生すると推定される最大電圧を印加したが異常なく耐えた。

(2) 油密試験

機械的寿命試験の前後に、タッパ選択開閉器容器内に 0.7 kg/cm^2 の油圧をかけて 48 時間放置したが油もれはなかった。

(3) 機械的寿命試験

途中、計 60 万回の電氣的寿命試験を含む通算 80 万回以上の切換動作をさせ、その途中で動作シーケンス、駆動トルク、電動機電流の測定を行ったが異常なく、また、その都度点検を行ったが不都合はなかった。

(4) 電氣的寿命試験

機械的寿命試験の途中、図 10. の三つの条件で各々 20 万回ずつの切換を行わせた。試験中、各接点のアーク時間を測定したが異常な変化は認められなかった。また、その都度点検を行ったが不都合はなかった。電流条件の厳しい条件 1 での接点の消耗特性は図 10. のとおりとなり、電氣的寿命においても十分に余裕をもつことが確認された。

(5) 切換試験

電氣的寿命試験完了後の油污損状態で、図 10. の 3 条件の各々で

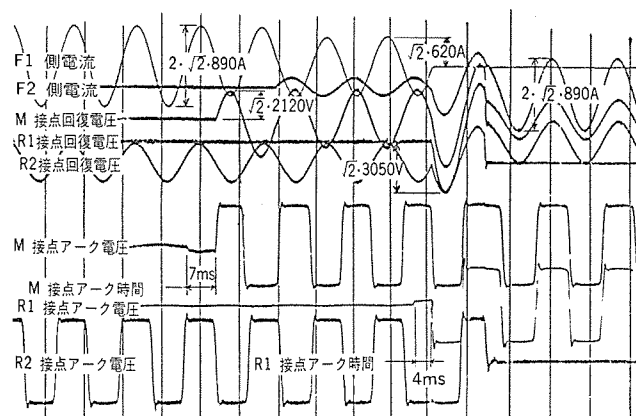


図 11. 条件 1 の過電流試験結果
(負荷電流 890 A/ステップ電圧 1,050 V)

34 タッパ連続切換を行い、異常なく切り換えられた。また、過負荷切換試験として図 10. の 3 条件の 2 倍以上の負荷電流でそれぞれ 40 回ずつ…その内 3 回は連続…の切換を行った。各条件のすべての切換における各接点の遮断電流、回復電圧、アーク時間をオシログラフにて観測し、アーク時間の異常な増加のないことを確認するとともに、点検によって接点部、限流抵抗器などに異常のないことも確認した。図 11. に条件 1 の過負荷切換試験での切換状況の一例を示す。

(6) 短絡電流通電試験

運転時に連続通電を行うすべての接点を直列接続し、最大定格通電電流の 10 倍以上の電流を 3 秒間ずつ 1 分間隔で 5 回通電した。5 回の通電電流のうちの 1 回は、その初期波高値が定格通電電流の 25.5 倍以上の値に達したが、溶着・溶損・変形などの異常は認められなかった。

(7) 温度試験

短絡電流通電試験と同様に、すべての接点を直列接続して最大定格電流の 120% 以上の電流を連続通電し、各接点の接触点近傍の温度上昇値を測定したが、すべて 20°C 以下であった。

7. む す び

NR-H 形 LTC は、小形・保守容易というタッパ選択開閉器式 LTC の本質的特長とともに、2 抵抗式・ロー形アーク接点方式をはじめとした新技術・新工夫の採用によって、従来の切換開閉器式 LTC に匹敵する性能をもつことから、中容量領域の LTC として極めて完成度の高い LTC であると確信している。特に構造が単純で、短時間で行き届いた保守・点検ができるという優れた取扱い性・保守性をもっているということから、NR-H 形 LTC は今後、中容量領域で主流の LTC になるものと期待される。

末筆ながら、開発・製品化にあたって終始御指導、御尽力をいただいた関係者各位に厚くお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 樋口ほか：DR 形負荷時タッパ切換器，三菱電機技報，48，No. 12 (1974)

プロセスオートメーションにおけるマンマシンシステム 《MACTUS 620》

片岡猪三郎*・小川賢治*・江上憲位*・一枝圭祐*・谷口裕則*

1. ま え が き

プロセスオートメーション分野では多様化したニーズ、高度な制御要求、また、それを具体化したマイクロエレクトロニクス技術、通信技術の進歩により、分散形DDC (Direct Digital Control) が広く普及し定着化した。それに対し、プロセスのオペレーションは全体を統合管理する機能に優れ、省力化、省スペース化が図れるという利点をもつ集中形CRT (Cathode Ray Tube) オペレーションへと急速に移行してきている。更に最近では、生産現場情報から経営情報までを統括して運用し、工場全体としての最適化を目指すFA (Factory Automation) 化要求はますます増大しており、トータル制御システムへの対応が重要となっている。当社ではこれらの動向に対応してマイクロエレクトロニクス、通信技術を駆使したプロセス制御・監視システム《MACTUS 620》を製品化しているが、ここでは、プロセスのオペレーション及びソフトウェアの生産性向上の2点を中心にその基本思想について説明する。

2. 《MACTUS 620》の全体構成

《MACTUS 620》はコントローラステーション (CNS)、オペレータステーション (OPS)、ゲートウェイステーション (GWS) 及び伝送バス (MMバス) から構成されている。

CNSには高速ビットスライスマイクロプロセッサを採用することによりシーケンス制御、ループ制御、データ処理及びそれらを融合させた制御の高速処理を可能にし、OPSにはマルチマイクロプロセッサを採用し、多機能化を図っている。更に、MMバスには複数CNSや複数OPS、汎用シーケンサ、パソコン、上位コンピュータもGWSやCNSを介して接続することができ、図1.のようなユニット形の単体システムから図2.のようなパネル形のトータルシステムまで、用途に応じて拡張性・融通性に富んだシステムを提供することができる。

また、信頼性向上という面からOPSにはCRT 1台ごとにOPSのCPU部を設け、マルチCRTオペレーション時のCRT相互バックアップを図り、CNSではCPU・メモリ・電源・伝送・アナログ入出力カードの二重化により、図3.のようなバックアップシステムの構築を可能にしている。

3. エンジニアリング機能

図4.に示すように《MACTUS 620》のソフトウェアは、CNSの動作を記述する部分と、OPSの監視・操作機能を記述する部分に大別され、それぞれの機能を容易に実現するのに最適なソフトウェア体系となっている。CNSでは、シーケンス制御、DDC、各種データ処理などを行うが、これらの機能には、プロセス制御向け専用言語POL (Problem Oriented Language)、SCOL (Sequential Control Oriented Logic) テーブル、DDCループダイアグラムを用意している。OPSでは、監視・操作機能、各種グラフィック画面、帳票などプロセス運転時に必要な情報の処理を行うが、これらの機能には、空欄記述方式のビルダーあ

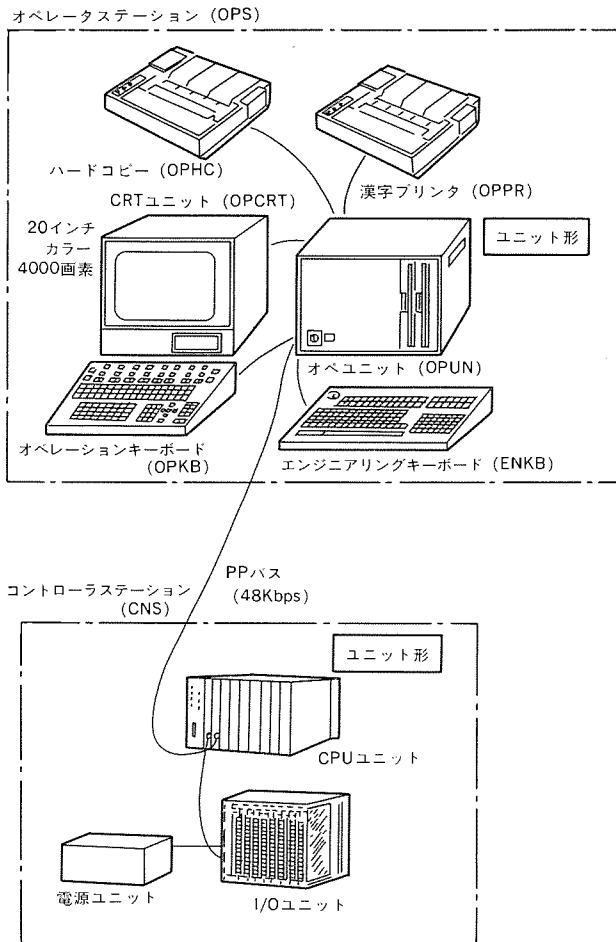


図1. 単体システム構成図

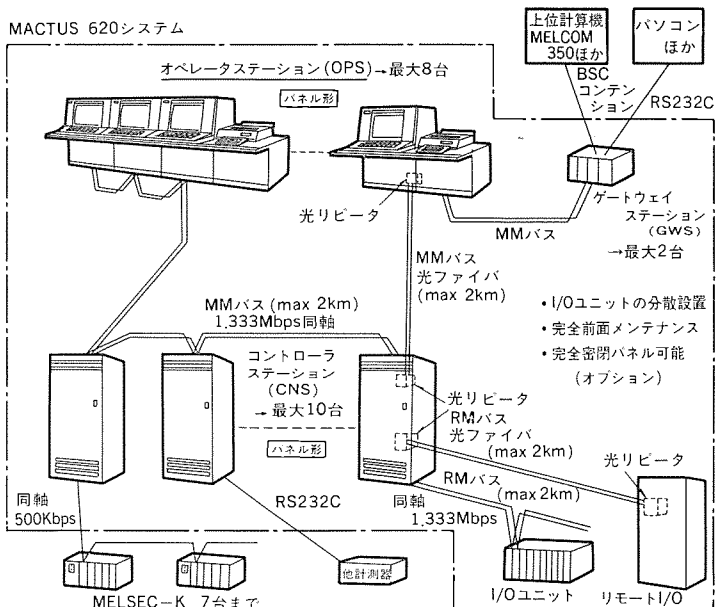


図2. トータルシステム構成図

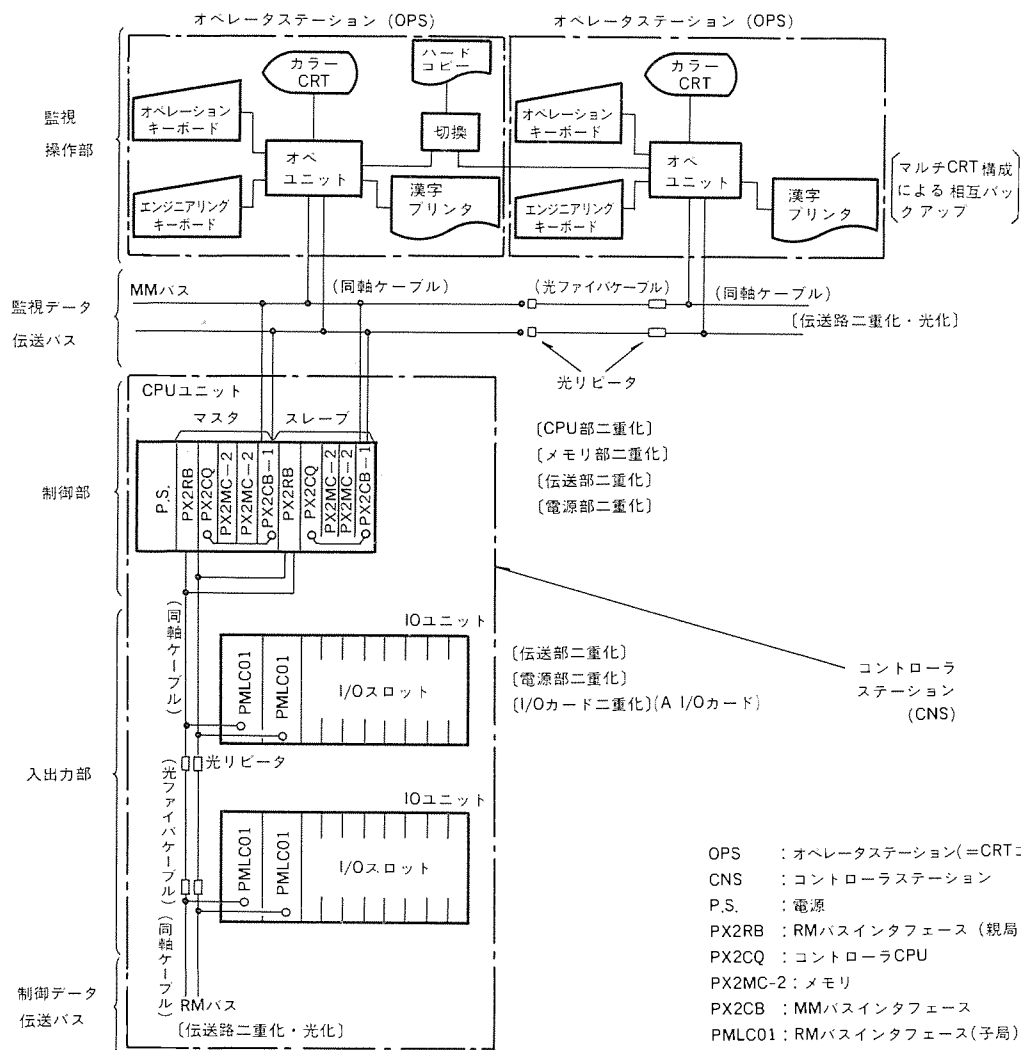


図 3. バックアップシステム

るいは BASIC 言語を用意している。一方、ソフトウェアのメンテナンス機能には、プロセスの入出力信号ごとのシミュレーションフラグ、複数の OPS による 1 台の CNS の同時メンテナンス機能、オンラインプログラム変更機能など、充実した機能を備えており、デバッグの効率化、ソフトウェアの生産性、メンテナンス性の向上を図っている。

3.1 CNS のソフトウェア

論理形シーケンス制御機能は POL で記述する。POL は 59 種の豊富な命令を備えており、この命令を組み合わせることにより、制御動作を自由に規定することが可能である。しかも 1 ステップを約 6 μ s で高速に実行するため、あらゆるプロセスに対応できる。プログラミングは、プログラムアドレスの概念を意識せずに、制御フロー図から図面対応で CRT との対話により行える方式を採用しているため、コンピュータの専門知識を必要としない。

一方、工程遷移形シーケンス制御機能は、SCOL テーブルで記述する。これはステップ的に進行するプロセスに適用する目的で開発したもので、工程遷移形プロセスの進行状況、入出力パターンなどの監視

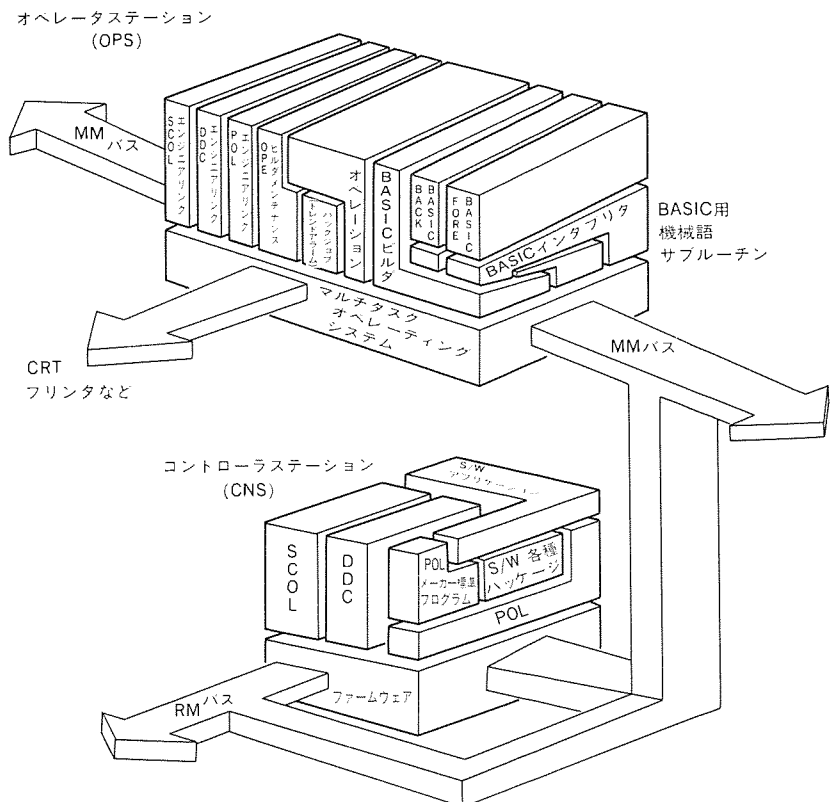


図 4. 《MACTUS 620》のソフトウェア体系

機能を記述するのに適している。プログラミングは、図 5. に示すように、入力、出力のテーブルには“1”，“0”のパターンを、分岐テーブルには分岐先のステップ No. を記入するだけで簡単に行える。

DDC機能は、基本PID制御、カスケードPID制御、オンオフ制御などの9種の基本ソフトウェアがあり、それぞれは、入力処理から、警報チェック、調節機能、出力処理までパッケージ化されている。また、無駄時間、折線関数、温度・圧力補正など機能ユニットも用意され、DDCソフトウェアのループダイアグラム化を図っているため、図 6. に示す

ように空欄記述方式でプログラミングできる。

POL, SCOLテーブル, DDCダイアグラムは、相互の有機的リンクも容易に行えるため、ループ間の協調制御あるいはシーケンス制御とDDCの融合制御などの、高度な制御機能が実現可能である。

3.2 OPSのソフトウェア

プロセスの操業時に必要な監視・操作機能の中で、タグリスト、プロセス値オーバビュー、パラメータチューニングなど9種類を標準オペレーション機能として用意している。これらの機能を規定するビルドメンテナンス機能では、

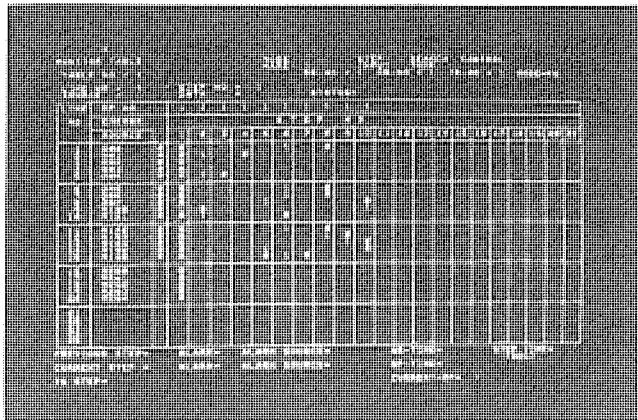


図 5. SCOL テーブルプログラム画面

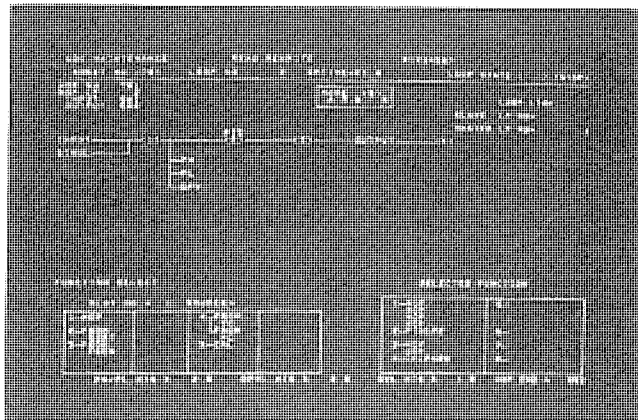


図 6. DDC ループダイアグラム画面

表 1. オペレーション画面・ビルドメンテナンス画面仕様

	メニュー	機能概要	表示・登録容量
オペレーション画面	TAG NO LIST DISPLAY	TAG NOを一覧表示すると同時にTAGの状態を表示	64 TAG/ページ, 23 ページ max
	PV OVERVIEW DISPLAY	PV 値を一覧表示すると同時にプロセス警報を表示	32 TAG/ページ, 46 ページ max
	DEVIATION OVERVIEW DISPLAY	偏差値を一覧表示すると同時にプロセス警報を表示	同 上
	CONTROL PANEL DISPLAY	プロセス状態をアナログ指示計又は調節計に似せて数値とバーグラフで一括表示	8 TAG/ページ, 50 ページ max
	PARAMETER TUNING DISPLAY	制御ループあるいは監視ループの全パラメータの TUNING とともにその内容表示	1 TAG/ページ, 400 ページ max
	TREND GRAPH DISPLAY	指定された TAGNO の SV/PV/PH/PL/MV/MH/ML/DV のうちから任意に選択された値をパーセント値としてトレンド表示	6トレンド/ページ 8 ページ max
	DATA DISPLAY	PV 値をデジタル値で一括表示	32 TAG/ページ, 46 ページ max
	ALARM DISPLAY	全異常発生点を異常発生類に編集し表示	32 アラーム/ページ, 2 ページ max
ビルドメンテナンス画面	TREND CRAPH LINK DISPLAY	TREND GRAPH DISPLAY で表示する TAG NO/表示色/表示時間などを設定	24トレンド/ページ, 2 ページ max
	ANALOG INPUT LIST DISPLAY	システムの制御ループ, 監視ループの TAG NO/メッセージを設定すると同時にハードウェアとの結合を定義	16 TAG/ページ, 25 ページ max
	STATUS INPUT LIST DISPLAY	システムのステータス入力の形式を設定すると同時にハードウェアとの結合を定義	16 TAG/ページ, 64 ページ max
	TAG NO LINK DISPLAY	オペレーション画面に表示する配列を制御ループ及び監視ループ, ステータス入力それぞれの TAG NO を使ってグループ (8 点/グループ) に分類設定	32 TAG/ページ, 46 ページ max
	UNIT INPUT LIST DISPLAY	標準 (20 個) 以外の工学単位の定義 (80 個)	100 単位/ページ, 1 ページ max
	MESSAGE LIST DISPLAY	アラームメッセージを登録すると同時にハードウェアとの結合を定義	16 メッセージ/ページ, 40 ページ max

D

The diagram illustrates a computer system architecture. At the top, two OPS (Operator Panel Station) units are shown, each connected to a central MM (Main Memory) bus. The MM bus is represented by a horizontal arrow. Below the MM bus, a vertical arrow connects to a large rectangular box labeled CNS (Control and Monitoring System). Inside the CNS box, the following components are shown: a CPU, a 通信インタフェース (Communication Interface), and two MPX (Multiplexer) blocks. The CPU is connected to the Communication Interface and both MPX blocks. The left MPX block is connected to an 出力 (Output) block, which is then connected to a プロセス (Process) bus at the bottom. The right MPX block is connected to an 入力 (Input) block, which is also connected to the プロセス bus. A feedback loop labeled 'b' connects the output of the right MPX block back to the input of the right MPX block. A legend on the right side of the diagram defines the labels: 'a' for 強制出力 (Forced Output) and 'b' for 疑似入力 (Pseudo Input). The text 'MPX : Multiplexer' is also present.

OPS OPS

MMバス

通信
インタフェース

CPU

MPX MPX

出力 入力

CNS

プロセス

a 強制出力
b 疑似入力
MPX : Multiplexer

4. オペレーション機能

《MACTUS 620》において OPS は最大 8 台まで接続可能であり、複数オペレータによるマルチオペレーションシステムが容易に実現できる。マ

マルチCRT構成とすることにより、中央におけるプロセスの集中監視・操作及び中央と現場における分散監視・操作システムにもフレキシブルにかつ経済的に対応できる。また、OPS間のバックアップシステムが可能となることもマルチCRT構成における大きな特長の一つである。

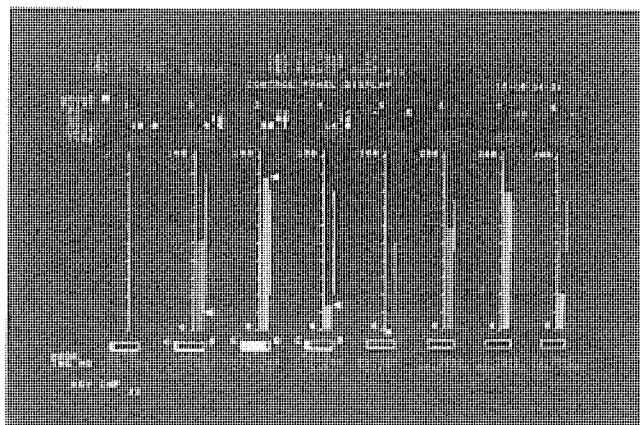


図 8. コントロールパネルディスプレイ画面

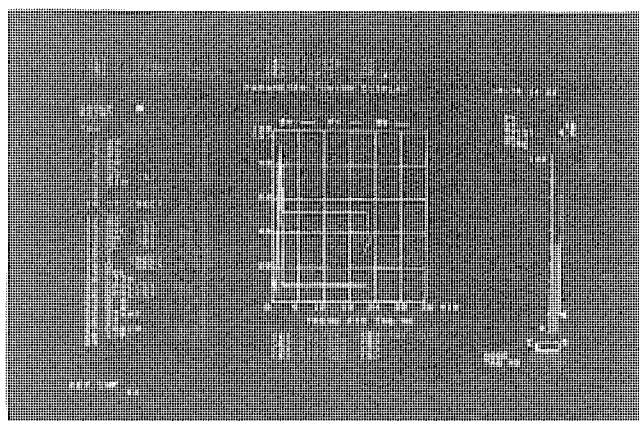


図 9. パラメータチューニングディスプレイ画面

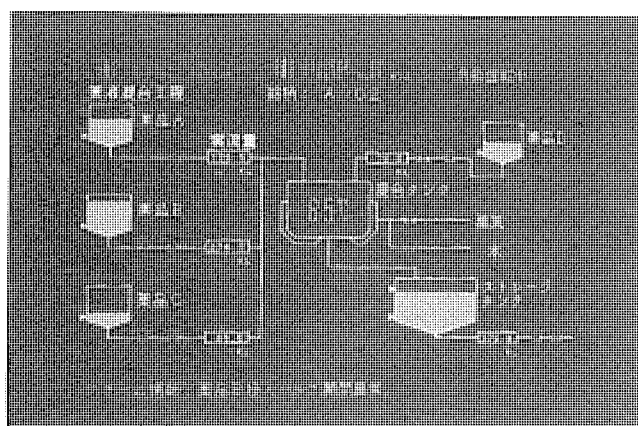


図 10. BASIC グラフィック画面

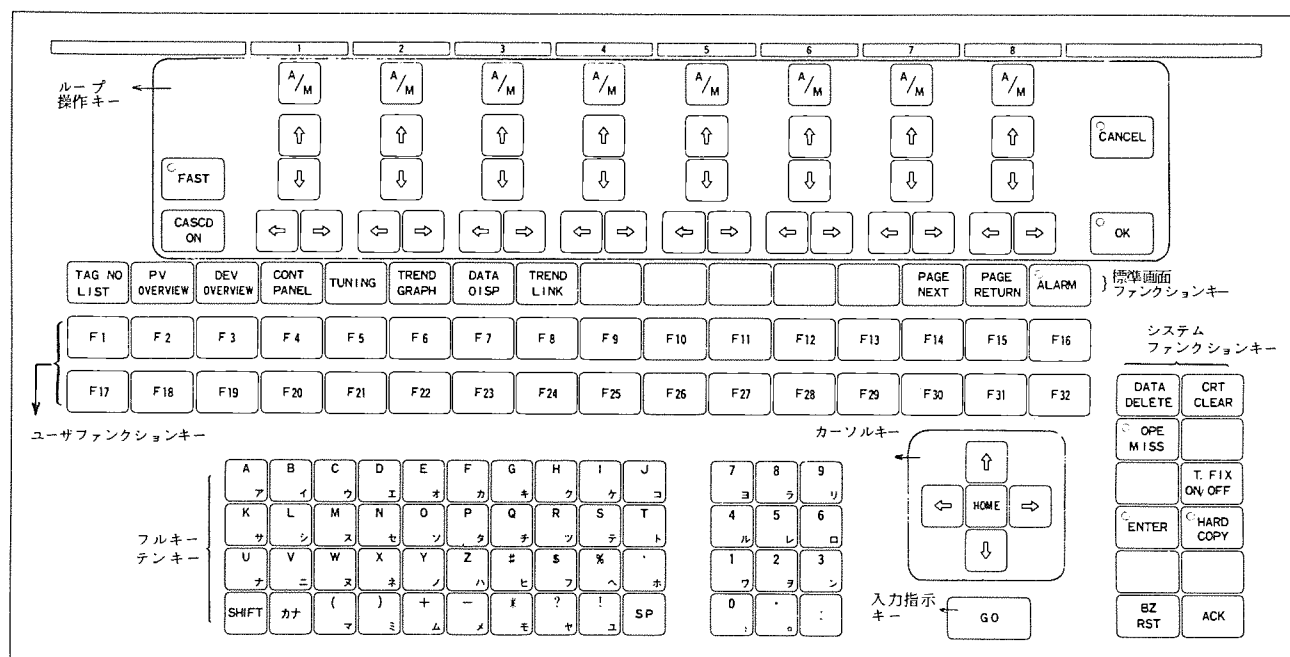


図 11. オペレーションキーボード配列図

各 OPS は幾つかのグループに分けて管理することができるため、例えばアラーム確認操作などの複数 OPS にわたる一括オペレーションをグループごとに分離することも可能である。また、各ステーション間においては、時刻合わせ機能をはじめ BASIC アプリケーション間の通信機能もサポートされており、有機的に結合されたトータルシステムが容易に構成できる。

4.3 CRT画面の移行

(1) システム正常時における画面の移行

OPS は 1 台当たり ループ数 400 点、ステータス数 1,024 点をサポートしているため、各標準オペレーション画面のページ数は数十に及ぶこともある。各グループ、及びステータスはタグ No. が定義されているとともに、関連タグごとにグループ分けして管理されている。例えば図 8. のコントロールパネルディスプレイ画面は、グループ (最大 8 タグ) 単位で CRT 表示が行われている。この画面からパラメータチューニングディスプレイ画面へ移行する場合は、カーソルキーを移動させ、CRT 上の No. 1~No. 8 のタグのいずれかを選択した後、「TUNING」キーを押せばワンタッチで該当タグの表示が得られる。このほかにも標準オペレーション画面間の移行では、現在オペレーションの対象になっているタグ又はグループ

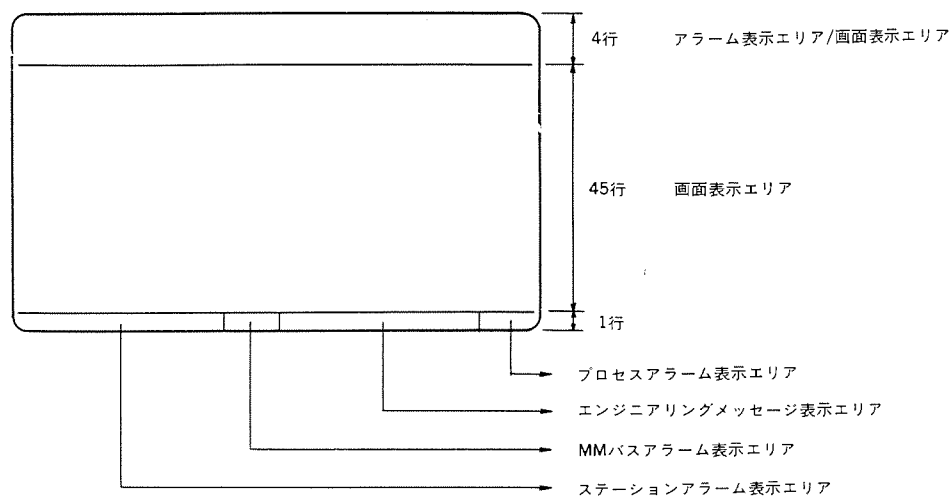


図 12. CRT 画面構成図

に関連したページが暗黙的に最初に表示される。したがって、特定のタグに対する情報を、いろいろな角度から監視したい場合などのオペレーションにおいては、キー操作が少なく済むうえ、グループの管理などをオペレータが意識する必要がなくなっている。

また、BASIC 言語により作成されたアプリケーション画面はファンクションキー F 1～F 32 によってワンタッチで呼び出される。図 11. にオペレーションキーボードの配列図を示す。

(2) アラーム発生時における画面の移行

プロセスアラーム発生時、CRT のアラーム表示エリアにメッセージが表示されるとともに、OPS 内のアラーム接点 ON になり、ブザーなどによってオペレータの注意がうながされる。オペレータはアラームディスプレイ画面によりアラームの内容を確認する。その後、アラームディスプレイ画面以外の標準オペレーション画面を呼び出した場合は、最新アラーム発生ループを含むページが自動的に表示され、迅速にアラーム発生ループの状態を調べることが可能になっている。

4.4 アラーム機能

CRT 画面は図 12. に示されるように 3 分割されており、CRT 上段 4 行にはプロセスアラーム及び《MACTUS 620》システムアラームの内容と発生時刻が最大 6 個まで表示される。表示順序は常に最新のアラームが最優先で表示されるようになっており、6 個以上になった場合は古いものから順にスクロールアウトされる。スクロールアウトしたアラーム情報は、アラームディスプレイ画面において確認することが可能である(最大 128 個)。

CRT 最下段の 1 行は《MACTUS 620》システムにおける各ステーションのアラーム、MM バスのアラーム、及び、エンジニアリングモード時のメッセージ用に使用される。

各ステーションのアラームについては、ステーションの重故障・軽故障・通信異常を検知した場合に、そのステーション No. が表示されるようになっている。アラーム要因はその表示色により識別される。ステーションアラームは最大 8 個まで表示される。二重化された MM バスに万一異常が発生した場合には、MM バスアラーム表示エリアに、どちらの通信系の異常かが表示され、オペレータはこの情報を元に容易にシステムのメンテナンスが行える。

5. む す び

近年、ユーザーニーズの多様化、高度化及びシーズ技術であるマイクロエレクトロニクス技術、通信技術の進歩は、分散形 DDC、集中形 CRT オペレーションを急速に普及、定着化させ、更に工場全体としての最適化を目指す FA 化へと押し進めている。それに伴い、マンマシンシステムの重要性はますます増大している。より人間工学的な配慮や新技術、新デバイスの導入により、操作性、視認性を高め、使いやすく高度なマンマシンシステムを実現する必要がある。一方、システムの高度化、多様化はソフトウェアの生産性向上をより強く要求するようになっている。今後、《MACTUS 620》にそのような要求を取り入れてゆくべく、常に努力したいと考えている。

《MELCOM 70 MX/3000》内蔵形 科学技術計算プロセッサSP

下間 芳樹*・黒田 健児*・黒田 正博*・井上 信義*

1. ま え が き

大規模科学技術計算を高速に実行したいという要求は古くから存在するが、近年その増加には著しいものがある。一方、ここ数年の半導体技術や計算機方式技術の進歩を背景に、マイクロプロセッサレベルの数値演算プロセッサからスーパーコンピュータまで、本格的な実用化の時期を迎えている。ミニコンピュータの分野においてもこの要求にこたえるために外付形のベクトルプロセッサが開発され、専用システムとしての実績を上げている。特にスーパーミニコンでは使いやすさと高速性が追及され、手軽に使える汎用大形機なみの性能が要求されるようになってい

る。この稿では、スーパーミニコン《MELCOM 70 MX/3000》(以下、M 70 MX/3000と呼ぶ)用に開発された内蔵形科学技術計算プロセッサ(Scientific Processor, 以下 SP と呼ぶ)のねらいとアーキテクチャ及びアプリケーション例を紹介する。

2. 開発のねらい

スーパーミニコンに要求される科学技術計算分野は多種多様であるが、リアルタイム処理分野に目を向けると振動解析、熱伝導計算などの計測信号処理、各種シミュレーションといった浮動小数点演算処理と医療用イメージ処理、リモートセンシングなどの画像処理及びその周辺処理の高速処理という要求があり、いずれもベクトル形データの高速処理が必要である。

汎用スーパーミニコンにベクトルプロセッサを付加する方式としては外付形と内蔵形の2種類が考えられる。外付形のベクトルプロセッサはホストコンピュータとチャネル結合やDMA結合によって接続し、いわゆる入出力機器として扱う。このためデータ転送や起動/終了のオーバーヘッドがホストコンピュータ側にも外付形ベクトルプロセッサ側にも必要となる。

外付形のベクトルプロセッサの単体性能としては十分であっても、これらのオーバーヘッドが大きく、しかも内部演算幅が32ビットのものが多く、32ビット以上の内部演算幅をもっているホストへ転送すると32ビットデータになってしまうことから、特定の限定された用途に用いている。ハードウェア規模/価格の点からみても、サブシステムとして閉じた外付形ベクトルプロセッサは不利となる。

一方、内蔵形ベクトルプロセッサはファームウェアの追加やサポートハードウェアの追加によって実現することが多い。この場合、高速演算を実現するには演算部へのデータ供給がネックとなる。一般にキャッシュメモリはプログラム/データの局所性を利用するため、メモリ上の連続した大量のベクトルデータに演算を施しこれを別のメモリ上の連続した領域に格納するという、典型的なベクトル演算では高ヒット率は期待出来ない。更にバス方式による分散チャネル方式のシステムでは、ディスクや外部データ収集装置から主記憶へのデータ転送においてCPU内部のキャッシュ

メモリの内容は無効化機構により無効化され、高ヒット率は得られないことが一般的である。

M 70 MX/3000に導入されたSPは、これら外付形、内蔵形の欠点を補い、かつ基本処理装置をマスタ/スレーブ方式のマルチプロセッサ構成として両者の長所を組み込んでいる。

3. 特 長

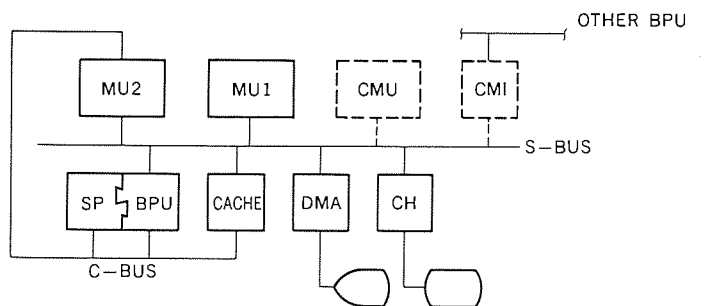
SPは、M 70 MX/3000にオプションとして接続可能な内蔵形ベクトルプロセッサである。M 70 MX/3000 SP接続システム構成図を図1.に、SPの主要諸元を表1.に示す。

(1) 15メガFLOPSの高性能演算

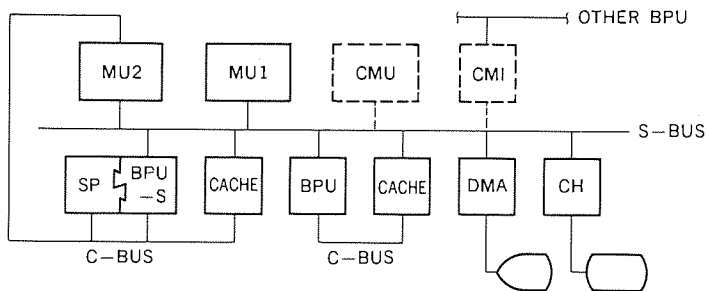
SPは135 nsごとに1回の浮動小数点データの乗算と加減算を行うことができ、最大15メガFLOPSと高性能である。またSP内部及び高速主記憶装置は、40ビットのデータ幅をもち、従来の外付形ベクトルプロセッサと比較しても1けた以上の高い精度を保証する。

(2) 内蔵化による性能の向上

図1.(a)はシングルプロセッサ構成の基本処理装置(以下、BPUと呼



(a) シングルプロセッサ構成



(b) マルチプロセッサ構成

SP	: Scientific Processor	DMA	: Direct Memory Access
BPU	: Basic Processing Unit	CH	: Channel
BPU-S	: Slave Basic Processing Unit	S-BUS	: System Bus
MU1	: Main Memory Unit	C-BUS	: Cache Bus
MU2	: High Speed Main Memory Unit		
CMU	: Common Memory Unit		
CMI	: Common Memory Interface		
CACHE	: Cache Memory		

図1. M 70 MX/3000 SP接続システムの構成図

表 1. B 0315 SP の主要諸元

項 目	仕 様
B 0322 高速主記憶装置	素 子 64 K ビット SRAM
	容 量 0.5 M バイト / カード, 最大 2 M バイト
	サイクルタイム 270 ns / 8 バイト
	デ ー タ 幅 40 ビット
B 0315 科学技術計算プロセッサ	デ ー タ 形 式 浮動小数点データ, 固定小数点データ
	デ ー タ 幅 40 ビット
	演 算 機 能 乗算, 加減算, 論理演算など
	マシンスイクル 135 ns
	最 大 性 能 15 M FLOPS (SP 1 台時) 60 M FLOPS (SP 4 台時)
	乗 算 性 能 7.5 M FLOPS 加 減 算 性 能 7.5 M FLOPS

表 2. 外付形ベクトルプロセッサのオーバヘッド

項 目 機 種	1,024 点複素 高速フーリエ 変換処理時間	デ ー タ 転 送 オーバヘッド	起 動・終 了 オーバヘッド	合 計 処 理 時 間
当社ミニコン+専用ベ クトルプロセッサA	4.8 ms	4.4 ms	5.0 ms	14.2 ms
当社ミニコン+専用ベ クトルプロセッサB	4.7 ms	11.7 ms	7.8 ms	24.2 ms
M 70 MX / 3000 + SP	5.5 ms	0 ms	0 ms	5.5 ms

ぶ)にSPを付加した例である。SPはBPUとキャッシュバスを共有し、高速主記憶装置、キャッシュメモリを高速にアクセスすることができる。またキャッシュメモリを介して主記憶装置もアクセスできる。通常は高速主記憶装置がSP用のデータ・メモリとして使用されるため、外付形ベクトルプロセッサが必要であった、主記憶とデータ・メモリ間のデータ転送オーバヘッド及び起動、終了のオーバヘッドが無い。当社のミニコンに市販の外付形ベクトルプロセッサを接続した場合とSPの比較を表2.に示す。

(3) マルチプロセッサ化による性能の向上

図1.(b)はマスタ/スレーブ方式のマルチプロセッサシステムでスレーブプロセッサにSPを付加した例である。この場合、両プロセッサが並列動作することが可能であり、スレーブプロセッサ+SPに大量のデータをオフロードすることができる。主記憶共有のメリットは損なわれなし、また高速主記憶装置アクセスがシステムバスを妨害することも無いので、両プロセッサ間の干渉は少ない。

各BPUは共有記憶インタフェースを介して最大4台まで接続できる。したがって最大構成では4台のSPを接続でき60メガFLOPSの性能となる。

(4) 等間隔配置データの高速処理

SPライブラリでは、ベクトル基本演算から高速フーリエ変換まで、すべて等間隔に配置したデータについても性能を落とすことなく処理することができる。例えば二次元の高速フーリエ変換の場合データの並べかえをする必要がなくなるなど利用範囲が広がる。

4. SP のハードウェア

4.1 ハードウェアブロック

SPの内部構造を図2.に示す。SPのハードウェアは演算パイライン部

が主体であり、メモリのアドレス生成、メモリアクセス制御、マイクロプログラムアドレスなどはBPUで行う。

演算ユニットとしては乗算ユニットと加算ユニットがあり、これらを合計32箇の2ポートレジスタファイル2組で結合している。各組のレジスタファイルは135nsの間に2リード、2ライトが可能である。ローカルメモリとして12Kワードの内部メモリがあり、SINE/COSINE定数テーブルとして使用したり、ワーキングメモリとして使用したりする。SP内部の主要なハードウェアは、64ビットのマイクロプログラムにより制御される。

4.2 基本演算幅

SPは単精度浮動小数点演算が基本である。その様々な演算の中で内積計算、種々の関数計算でけた落ちが発生する可能性がある。また単精度では、精度面でもの足りないが倍精度もいらないというリアルタイムアプリケーション分野も多い。このためSPは40ビット基本演算幅を採用した。データ形式は浮動小数点形式と固定小数点形式をサポートし、浮動小数点データは1ビットの符号ビットと7ビットの16進指数部と32ビット仮数部から成る。固定小数点演算では8ビット単位の演算も効率よく行うことができる。40ビットのデータは、SP内部のレジスタファイルやローカルメモリだけでなく、データメモリとして使用される高速主記憶装置においてもサポートする。

この高速主記憶装置は、図1.(a),(b)にあるようにBPU側から見た場合32ビット、SP側から見た場合40ビットという構造をしている。このため、様々な演算でのけた落ちを防ぐことができ、初期データを32ビットでセットし、途中の演算をすべて40ビットで行い、最終データのみ32ビットで得るいわゆる収束計算もできる。

4.3 専用LSI

SPの高性能化とコンパクト化のために専用LSIを開発した。今回開発したLSIは32ビット×32ビット符号付乗算器で63ビットの積を出力する。このLSIはCMOSゲートアレーを使用したものでゲート換算で約7Kゲートを使用している。

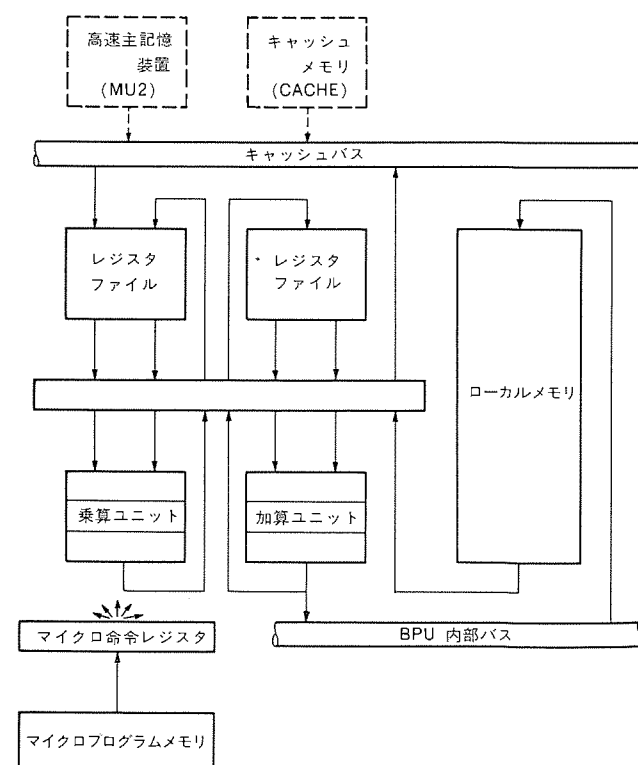


図 2. SP 内部構成図

マシンサイクル

ステージ1

ステージ2

ステージ3

トランケーションステージ (省略可)

	A1+B1	A2+B2	A3+B3	A4+B4	A5+B5
		A1+B1	A2+B2	A3+B3	A4+B4
			A1+B1	A2+B2	A3+B3
				A1+B1	A2+B2

図 3. 加算ユニットのステージ遷移

4.4 演算パイプライン

図 2. に示す乗算ユニット、加算ユニットは並列動作を行い 1 サイクルごとにデータを出力する。したがって 135 ns のマシンサイクルから乗算、加算とも 7.5 メガ FLOPS であり、あわせて 15 メガ FLOPS の最大演算能力をもつ。通常のベクトル加算、内積計算は比較的演算能力を発揮しやすいが、パイプライン形のベクトルプロセッサはテーブルルックアップのためのインデックス演算が不得手である。SP では、線形補間をサポートするために浮動小数点加算のステージに整数部切出しステージを設けこれを直接 BPU (アドレス計算部) に送り、テーブルルックアップのメモリ要求を出すことができるようにしている。

乗算ユニット、加算ユニットともに三つのステージから構成される。加算ユニットのステージ遷移を図 3. に示す。加算ユニットでは 16 種の浮動小数点演算と 16 種の固定小数点演算が実行できる。

4.5 高速主記憶装置

演算パイプライン部である SP に対して途切れなくデータを供給することがベクトルプロセッサの最重要課題の一つである。SP のデータメモリは主記憶であるが、一般に主記憶からのデータをシステムバス経由アクセスすると SP の能力に見合うデータは供給できない。一方、開発のねらいで述べたように、キャッシュメモリの効果は大きく期待できず、場合によってはキャッシュの汚染により全体の性能を低下させることもあり得る。この問題を解決するために 2 ポートメモリ方式の高速主記憶装置を付加した。高速主記憶装置は NMOS 高速スタティック RAM を使用し最大 2 メガバイト実装可能とし、システムバスとキャッシュバスの両バスからアクセスできる。SP へのデータ供給はキャッシュバスを通して行い、37 MBps のデータ供給能力をもっている。この特長はマスタ/スレーブ方式の SP システムにおいて特に重要であり、スレーブプロセッサ (SP) からの高速主記憶装置へのアクセスとマスタプロセッサからのシステムバスを介した主記憶アクセスの間に干渉がなく、共にその最大性能を発揮できる。

SP の使えるデータ領域としては、高速主記憶装置だけでなく主記憶装置や共有記憶装置でもよい。その差異はデータアクセス速度だけであり、データサイズが高速主記憶装置サイズに制限されることはない。

4.6 特殊なハードウェアサポート

画像処理を行う場合、周波数領域のデータであると直交変換 (FFT) を行う必要がある。この演算を高速処理するためには、ビットリバースオーダーに配列されたデータの取り出しをスムーズに行い、加えて SINE/COSINE データを発生させる必要がある。

SP は、これらのビットリバース操作・SINE/COSINE データ発生機能を備え、高速フーリエ変換 (FFT) の高速化を図っている。

5. SP のソフトウェア

5.1 SP ライブラリ

SP は表 3. の約 120 あるライブラリをフォートランサブルーチンコールすることにより利用することができる。外付形のベクトルプロセッサではデータ転送、起動・終了の特有プロトコルが必要であるが、SP は内蔵形であるためこのようなプロトコルは一切不要である。また演算に必要なデータ領域確保についても SP では何ら特殊な操作はいらない。データ領域を FORTRAN の名前つき COMMON 文で宣言し、リンケージエディット時にその COMMON 領域を高速主記憶に指定しさえすればよい。

PROGRAM

COMMON/MU2/R(100), S(100), T(100)

R(100)=1.0

S(98)=2.0

CALL VASADD(R, S, T, 1, 1, 1, 100, I) SP で実行

X=T(100)

PRINT X

STOP

END

(a) シングル・プロセッサ構成時のプログラミング

PROGRAM

COMMON/MU2/R(100), S(100), T(100)

R(100)=1.0

S(98)=2.0

CALL SLAVE

CALL VASADD(R, S, T, 1, 1, 1, 100, I) スレーブ+SP

X=T(100)

CALL MASTER

PRINT X

STOP

END

(b) マスタ/スレーブプロセッサ構成時のプログラミング

図 4. SP プログラミング

表 3. SP ライブラリ

項 目	内 容
レバートリー	ベクトル基本演算 35 種
	ベクトルスカラー変換 16 種
	ベクトル関数演算 16 種
	ベクトル比較 9 種
	ベクトル変換 7 種
	複素ベクトル基本演算 27 種
	高速フーリエ変換 (FFT) 4 種
	合 計 114 種
性 能 例	ベクトル加算, 減算 0.405 μ s/要素
	ベクトル乗算 0.405 μ s/要素
	内 積 0.27 μ s/要素
	ベクトル余弦(cosine) 1.35 μ s/要素
	複素高速フーリエ変換 5.5 ms/1,024 点

5.2 マルチプロセッササポート

SP は M70 MX/3000 のマスタ/スレーブ方式マルチプロセッサと共存する。図 4. (a) にシングルプロセッサ構成時のプログラミング、図 4. (b) にマスタ/スレーブプロセッサ構成時のプログラミング例を示している。マスタ/スレーブプロセッサ構成時には、マスタプロセッサと並列処理したい部分にスレーブプロセッサコールを入れるだけでよい。

6. 応 用

SP の応用としては、リモートセンシング・医療用イメージ処理などの画像・信号処理、熱伝導計算などのシミュレーションがある。それぞれの応用について簡単に紹介する。

6.1 画像・信号処理への応用

画像処理は大きく見て図 5. に示す過程がある。この中で画像変換としては、色彩画像に対する濃度変換、色彩系変換、色彩距離演算や濃淡画像に対する空間積和演算、座標変換 (アフィン変換・最近傍内挿・Cubic Convolution など)、疑似メディアンフィルタなどがある。また画像計測をみると特徴抽出で用いる最尤 (尤) 法などがある。SP はこれらを高速に処理することができる。

次に医療用イメージ処理をみると、X線 CT・NMR-CT (核磁気共鳴断層装置) の画像再構成処理方法である Filtered Back Projection 法、二次元 FFT 法について、他の外付形ベクトルプロセッサ以上の

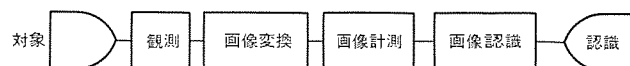


図 5. 画像処理過程

性能を出すことができる。この画像・信号処理分野での SP 処理性能を示すと、1,024×1,024 画素の濃淡画像 Cubic Convolution に約 35 秒、1,024×1,024 画素のアフィン変換に約 0.6 秒、512×512 画素の Back Projection 法による画像再構成に約 80 秒、512×512 画素の二次元 FFT で約 3 秒、16,384 点の複素数 FFT が約 110 ms である。

6.2 オンラインシミュレーションへの応用

ここではシミュレーションの一つとして熱伝導計算をとりあげる。熱伝導計算は、偏微分方程式解法の一つで基本部分は差分計算であるが、その前後で配列データに対して線形補間・テーブルサーチ・限界値チェックなどの特殊処理を行う必要がある。この特殊処理を高速化しなければトータル性能はそれほど向上しない。SP では、これらの処理が基本機能として入っているため高速化を図ることができる。この熱伝導計算の処理性能としては、SP を内蔵することにより約 9 倍 (1 格子点あたり 160 μ s→17 μ s) の性能向上を図ることができる。

7. む す び

以上のように、《MELCOM 70 MX/3000》に SP を内蔵することにより、画像・信号処理、オンラインシミュレーション各々の分野で数倍以上の性能向上が図れることを示した。更に SP は《MELCOM 70 MX/3000》のマスタ/スレーブ方式マルチプロセッサと共存するため、負荷分散形の高速処理システムを構築することも示した。

今後は、様々な応用分野に適用できるようにソフトウェアの充実を図っていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 黒田：スーパーミニコン内蔵ベクトル演算アクセラレータ，アーキテクチャワークショップインジャパン'84 情報処理学会，p. 73～82
- (2) 黒田：MELCOM 70 MX/3000 内蔵形ベクトルプロセッサ，情報処理学会第 30 回全国大会 '85，p. 97～98
- (3) 高井ほか：MELCOM 70 MX/3000 マルチプロセッサ，同上学会第 30 回全国大会 '85，p. 125～126

球レンズ付きInGaAsP/InP 1.3 μ mLED

池田 健志*・浪崎 博文*・大村 悦司*

1. ま え が き

半導体レーザに代表される半導体光デバイスは、光ファイバ通信、光ディスク、レーザプリンタなどのキーデバイスとして実用化が進められている。当社は、発光素子では AlGaAs 系レーザ (ML 2000~6000 シリーズ)、発光ダイオード (ME 1000 シリーズ) 及び InGaAsP/InP 系レーザ (ML 7000 シリーズ)、受光素子では Si アバランシホトダイオード (PD 1000 シリーズ) 及び InGaAs/InP pin ホトダイオード (PD 7000 シリーズ) の製品化を行った⁽¹⁾。

ローカルエリアネットワーク (LAN)、コンピュータリンクなど比較的短距離、大容量の光通信には、半導体レーザに比べ信頼性が高く、取扱いが容易で価格の安い InGaAsP 系発光ダイオード (LED) の方が、信頼性及び経済性の面でふさわしいと言われている。当社では、これらの光源として前述の光デバイスに加え、発光波長 1.3 μ m の InGaAsP LED の開発を行ってきた。この LED は、ME 1000 シリーズ (AlGaAs 系 LED) の設計思想を受け継ぎ、光ファイバの結合が有利な球レンズ付き構造⁽²⁾を採用している。本稿では、新しく開発した 1.3 μ m LED について述べる。

2. 素 子 構 造

図 1. は球レンズ付き InGaAsP LED の模式構造図を示す。液相成長法によって、n-InP 基板の上に n-InP、p-InGaAsP 活性層、p-InP 及び p-InGaAsP キャップ層を順次成長させる。素子の抵抗を小さくするため p 形不純物であるカドミウムを熱拡散した後、p-InGaAsP キャップ層をエッチングによって直径約 40 μ m の円形にする。電流を活性層へ集中させるため、p 電極は円形に加工されたキャップ層にのみ電気的につながっており、他の部分は酸化膜によって絶縁されている。電流密度を高め、LED の応答速度を上げるため p 電極径は 25 μ m とした。

発光領域から出た光は、n-InP 基板側から取り出される。ファイバ

への高効率結合を達成するため、発光領域の直上に球レンズが樹脂によって取り付けられている。球レンズ径は 200 μ m である。球レンズ径を小さくすると、ファイバへの結合効率は大きくなるが、最大結合効率を与える位置はレンズ上端に近づきすぎ取扱いが難しくなる。ここで用いている 200 μ m のレンズでは、レンズ端からおよそ 200 μ m の位置で最大の結合効率が得られる。

LED チップは、図 1. に示すように結晶成長された層が下になるいわゆるジャンクションダウン法によって、サブマウントにボンディングされている。ボンディング性を良くするためと、発光領域で発生した熱を効率よく放散するために、LED の p 電極上には金めっきが施こされている。サブマウントは TO-18 系のステムにボンディングされている。ステムの電気極性は AlGaAs 系 LED ME 1000 シリーズと同一である。ME 7011 の外観写真を図 2. に示す。

3. 特 性

表 1. に球レンズ付き LED ME 7011 の特性を一覧表として示す。図 3. は発光スペクトルの例で、ピーク波長 λ_p は 1,300 nm、半値幅 $\Delta\lambda$ は 140 nm である。発光スペクトルは、ケース温度の上昇に伴って、活性層である InGaAsP の禁制帯幅が小さくなるため長波長側 (低エネルギー側) へ移動する。ピーク波長の温度に対するずれは、図 4. に示すように約 0.43 nm/deg の割合である。この値をエネルギーに換算すると -0.32 meV/deg となり、禁制帯幅の温度依存性 -0.35

表 1. 電氣的・光学的特性 (ケース温度 25°C)

記 号	項 目	測 定 条 件	特 性 値			単 位
			最 小	標 準	最 大	
λ_p	ピーク波長	$I_F=100$ mA	1,260	1,300	1,340	nm
$\Delta\lambda$	スペクトル半値幅	$I_F=100$ mA		140		nm
P	光 出 力	$I_F=100$ mA	800	1,000		μ W
f_c	遮断周波数	$I_F=100$ mA $I_{RF}=4$ mA p-p		120		MHz
V_F	順 電 圧	$I_F=100$ mA		1.5	2.0	V

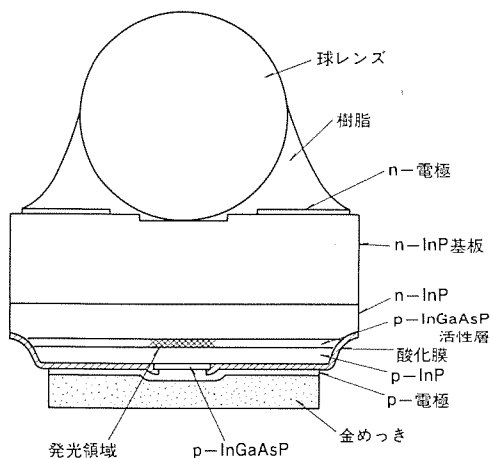


図 1. InGaAsP LED の模式構造図

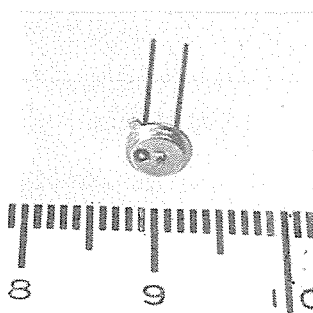


図 2. ME 7011 の外観写真

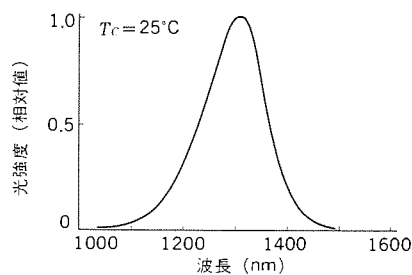


図 3. 発光スペクトルの例

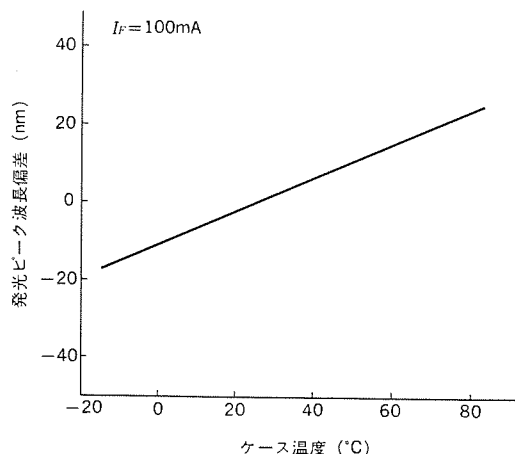


図 4. 発光ピーク波長とケース温度の関係

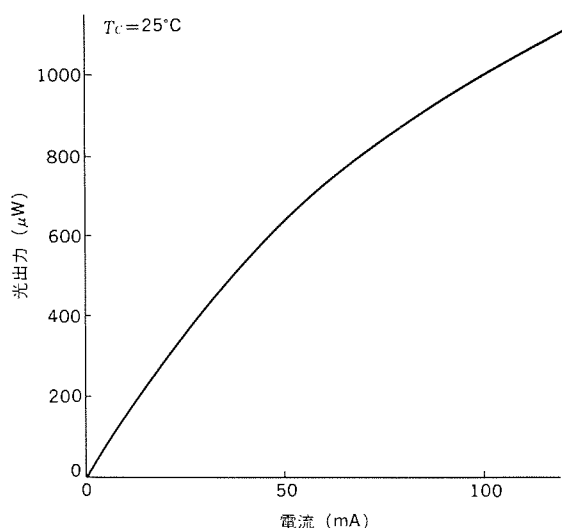


図 5. 光出力-電流の関係

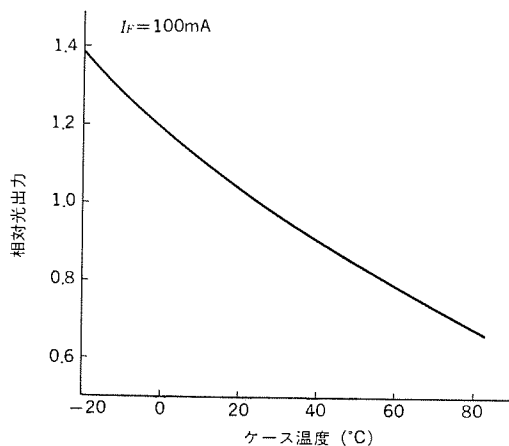


図 6. 相対光出力とケース温度の関係

meV/deg⁽³⁾と良い一致を示している。

図 5. は、光出力-電流特性の例である。光出力は電流に伴って直線的には増加せず、電流値の大きなところで飽和傾向を示す。この飽和傾向は、InGaAsP 系 LED の特徴であり、注入キャリアの活性層からのあふれ出し (Carrier Overflow) や、注入キャリアが、発光を伴わないで再結合する過程 (Auger Recombination) によるものと説明されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。Auger 再結合によって注入キャリアの寿

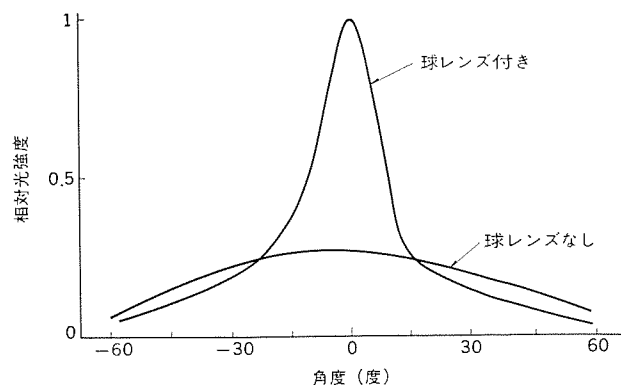


図 7. 放射 パターンの例

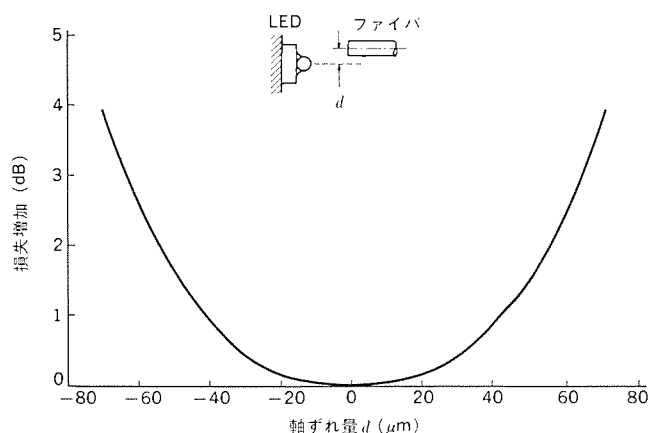


図 8. ファイバの軸ずれ量と損失の関係

命が短くなることを利用し、活性層の不純物濃度を増して LED の応答速度をあげることが可能である。ただし、この場合非発光の再結合過程が増えることになるため、光出力は減少する。図 5. の光出力-電流特性に対し、コア径 5.0 μm NA=0.2 のグレーデッドインデックス (Graded Index, GI) ファイバに、およそ 20 μW (-17 dBm) のファイバ内出力を得ることができる。

光出力 P は、ケース温度 T_C の上昇に伴って減少する。図 6. は光出力とケース温度の関係を示す測定例である。 P と T_C の関係は、次式のように表されることが多い。ここで T_0 は特性温度と呼ばれるパラメータである。

$$P \propto \exp(-T_C/T_0)$$

図 6. の測定結果を上式にあてはめると、 T_0 はおよそ 140 K となる。式からわかるように、温度範囲が広くないとき、光出力はおおむね 0.7 %/deg (0.03 dB/deg) の割合で減少する。AlGaAs 系 LED の 0.015 dB/deg に比べると、長波長 LED は周囲温度に対して敏感である。したがって長波長 LED を使用する場合は、できる限り大きな放熱体にシステムを固定し、ケース温度が上がり過ぎないように十分気をつける必要がある。

図 7. は、放射 パターンの例である。比較のため、球レンズを付けないサンプルの放射パターンもあわせて示してある。球レンズがない場合、放射パターンには指向性が少なく、広い分布を示している。球レンズを付けることによって、指向性が大きく改善されている様子がわかる。図 8. は、最大結合効率が得られる位置から光軸に対し垂直方向にファイバ (50/125 GI, NA=0.2) をずらしたときの損失増加量の測定例である。この例では、±30 μm のずれに対し、損失の

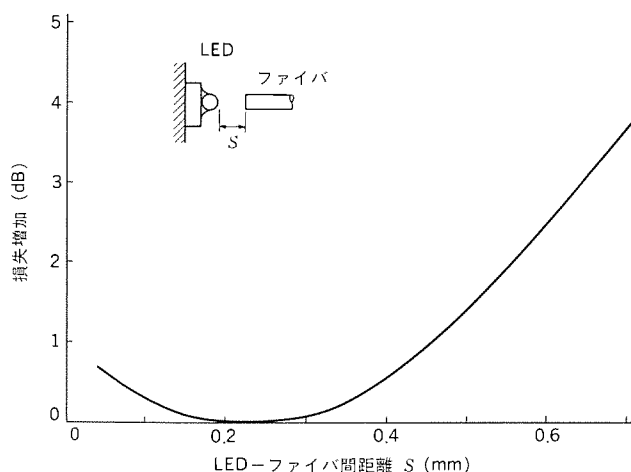


図 9. LED-ファイバ 間距離と損失の関係

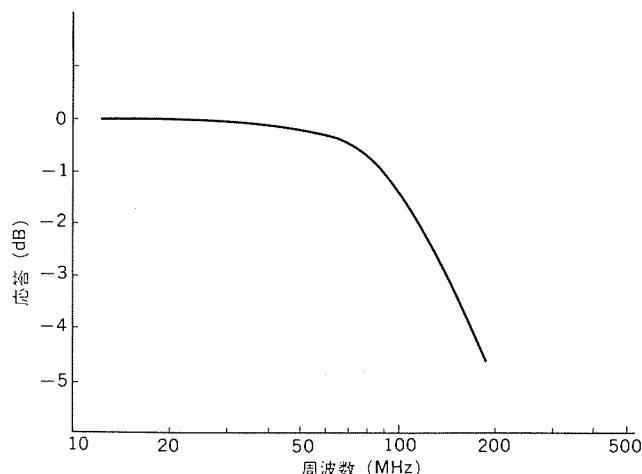


図 10. 周波数特性の例

増加は約 0.5 dB にとどまっている。図 9. は、LED とファイバ (同) 間の距離を変えたときの損失増加量の測定例である。レンズ端からおよそ、200 μm 離れた場所に最大結合効率を与える位置があることがわかる。最大結合効率を与える位置から $\pm 150 \mu\text{m}$ のずれに対し、損失の増加は、0.5 dB と小さな値になっている。

長距離、高帯域の光ファイバ通信用 LED としては、ファイバ内パワーができるだけ大きく、しかも応答速度が大きいたことが望まれる。応答速度を上げるためには、活性層の厚みを薄くしたり、発光径を小さくしたりして注入キャリア密度を増す方法、あるいは活性層の不純物濃度を上げ、非発光再結合中心を増やし、注入キャリアのライフタイムを短くする方法がとられる。いずれの場合も、光出力の飽和あるいは、発光効率の低下による光出力の低下をまねく。すなわち、光出力と応答速度の間には、トレードオフの関係があり両特性を同時に

満足させることは難しい。ME 7011 では、両特性のいわば中間的な特性を実現するように設計されている。もちろん高光出力・低速応答、あるいは低光出力・高速応答と目的に応じて設計することは可能である。

図 10. は、ME 7011 の周波数応答の例である。LED のバイスは 100 mA、重畳した交流成分は 4 mA (Peak to Peak) である。応答が、低周波領域から 3 dB (光出力では 1.5 dB に対応) 低下する周波数 (遮断周波数) は、120 MHz である。遮断周波数は、バイス電流を増すと、おおむね バイス電流の平方根に比例して増加する。パルス駆動時の光出力パルスの立ち上がり及び立ち下がり時間 (t_r , t_f) は、それぞれ $t_r \approx 3 \text{ ns}$, $t_f \approx 4 \text{ ns}$ である。RC によるピーキング及び LED 駆動パルスの立ち下がり時に、逆バイスパルスを加えるなどの応答補償回路を用いることによって、200 Mbps のパルス変調が可能である。

前述したように、LED の活性層にドーピングする不純物濃度を高くすることによって高速応答を実現できる。ME 7011 の不純物濃度の約 4 倍の $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度をドーピングしたサンプルでは、遮断周波数 $\sim 300 \text{ MHz}$, $t_r = 1.5 \text{ ns}$, $t_f = 2.3 \text{ ns}$ が得られている。このときのファイバ内出力は、14 μW (-18.5 dBm) であった。活性層の不純物濃度を $2 \sim 10 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の間で変化させた一連の実験結果から、光出力は、遮断周波数のおよそ $-3/4$ 乗に従って減少することがわかった。

ME 7011 の系統的な寿命試験のうち、雰囲気温度 100°C 、駆動電流 100 mA ($J = 20 \text{ kA/cm}^2$ に相当) の条件での寿命試験では、1,000 時間を経過しても光出力の低下は認められていない。

4. む す び

これまでに当社が製品化している半導体光デバイスに加えて、1.3 μm InGaAsP/InP 発光ダイオード (LED) を ME 7011 として新しく開発した。この LED は、光ファイバへの結合に有利なように、球レンズ付き構造を採用している。球レンズ径及び活性層の不純物濃度などの設計パラメータは、ファイバ内出力 $\sim 20 \mu\text{W}$ 遮断周波数 $\sim 120 \text{ MHz}$ の特性が得られるよう考慮されている。ME 7011 は、比較的短距離・大容量の光ファイバ通信用光源として LAN, CATV 幹線系、コンピュータリンクなどに用いられると期待される。

参 考 文 献

- (1) 須崎隆夫：三菱電機技報, 58, No. 7, p. 474 (1984)
- (2) S. Horiuchi et al.: J. Electron Devices, p. 986~990 (1977)
- (3) S. Adachi: J. Appl. Phys., p. 8775~8792 (1982)
- (4) G. H. B. Thompson et al.: Electron. Lett., p. 42~44 (1980)
- (5) M. Yano et al.: J. Appl. Phys., p. 3172~3175 (1981)

漢字キャラクタ ジェネレータ用大容量マスクROM

松尾 龍一*・金子 正秀*・藤本 稔*・上村 統久**・的 池 敦子***

1. ま え が き

近年、国内でOA (Office Automation) 化が普及するのに伴い、日本語情報処理システムの発展が著しくなってきた。また、これらシステムに不可欠な漢字キャラクタジェネレータ用メモリとして、フロッピーディスクなどに比べて、はるかに高速でコンパクトである大容量マスクROM (Mask Programmable Read Only Memory) の需要が急増している。

筆者らは、昭和60年4月に“高速大容量1MビットマスクROM”を本誌 (Vol. 59, No. 4, p. 61, 昭60) で紹介したが、今回、その1MビットマスクROM M5M231000-×××Pに日本工業規格で定められたフォント (字形) [以下、JISフォントとよぶ] を搭載させた漢字キャラクタジェネレータを開発したので、その開発の背景、製品の概

要、今後の動向などについて述べる。(形名中の×××は、ROMの内容によって割り当てられる3けた10進数である)

2. 開発の背景

(1) マスクROMの製品動向

現在のマスクROMの用途を大まかに分けると、マイコンなどのシーケンスを記憶する「プログラムROM」と漢字などの大量な固定データを記憶する「データROM」に分類できる。「プログラムROM」はEPROM (Erasable and Programmable Read Only Memory) によるプログラム開発後、コスト低減のためマスクROMに置き換えて用いるのが一般的であり、当社の64K~256KビットマスクROMはこの点を考慮し同容量のEPROMと互換性を持っている。図1.に当社の64K~1MビットマスクROMのピン接続図を示す。

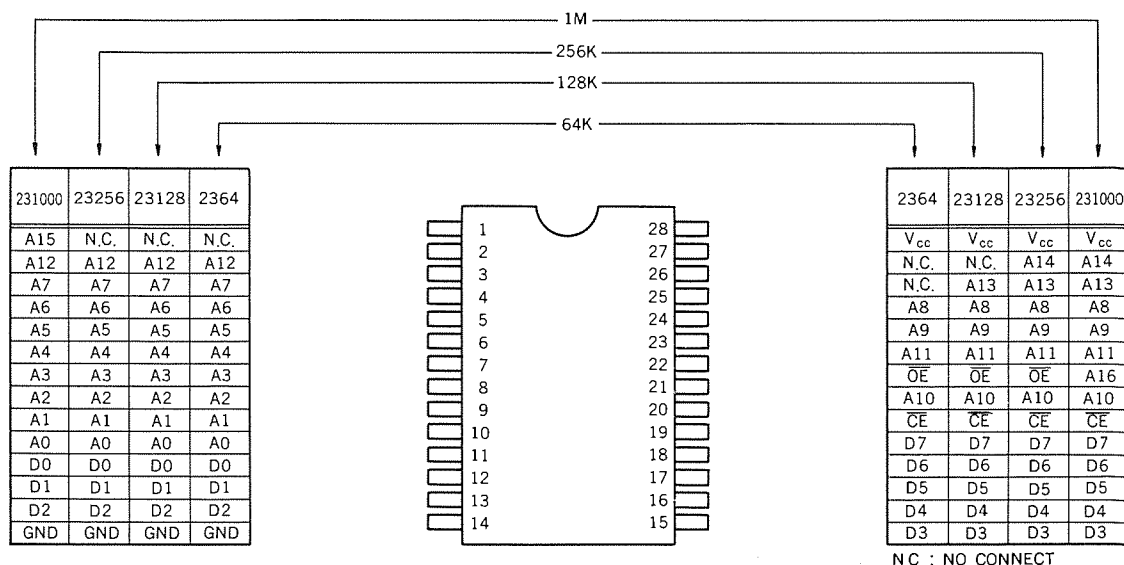


図 1. 三菱 64K~1M ビット マスク ROM の ピン 接続 部

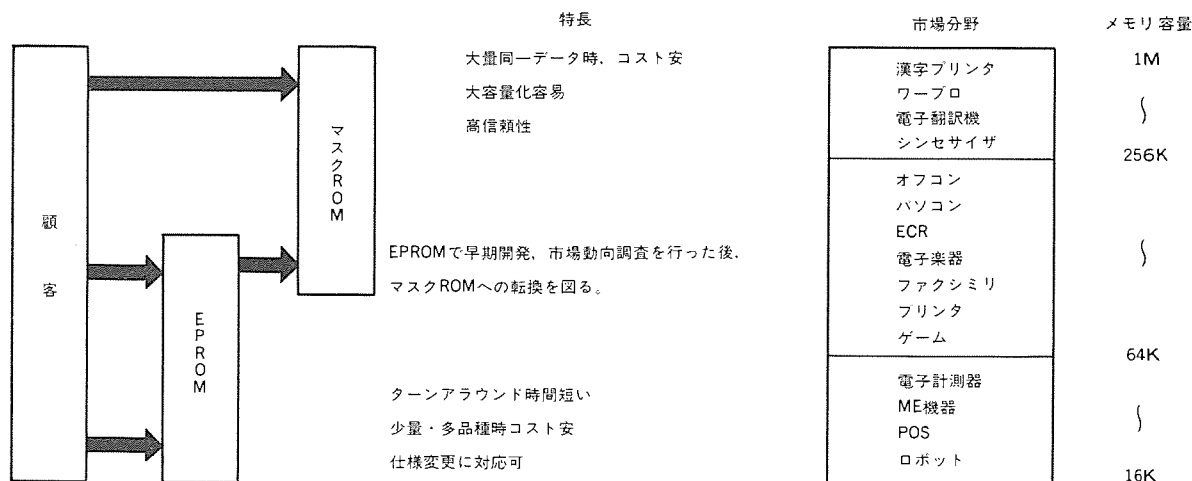


図 2. ROM の容量別市場動向

* 三菱電機(株)北伊丹製作所 ** 同 計算機製作所
*** 三菱電機 セミコンダクタソフトウェア(株)

これに対して「データROM」は日本語情報処理システムに不可欠な漢字キャラクタジェネレータ用メモリに代表される。従来、フロッピーディスクに格納されていた漢字フォントの情報がIC化されるわけであり、高速でコンパクトであるという利点から、近年一段と要求が強い。これらの動向を図式化したROMの容量別市場動向を図2.に示す。1Mビットの容量になると漢字プリンタ、ワープロなどの漢字キャラクタジェネレータや音声合成などの大量なデータを必要とするものに使用される。

(2) 漢字キャラクタジェネレータの動向

日本語情報処理システムにおける文字出力は、ドットマトリクスによって表現する方式が多く用いられている。従来、各メーカーは漢字の種類を定めてある日本工業規格 JIS C 6226 (情報交換用漢字符号系) を参考に独自にフォントを作製していることから字形が不統一であった。しかし日本工業規格 JIS C 6234 (ドットプリンタ用 24 ドット字形) でフォントが定められるなど、統一化の動きが出てきて各ユーザーから大きな期待がよせられている。

3. 1Mビット マスクROMの特長

今回、開発した漢字キャラクタジェネレータは、既に量産中である高速大容量の1MビットマスクROM M5M 231000- $\times\times\times$ P に JIS フォントを搭載させたものである。表1.に M5M 231000- $\times\times\times$ P の特長を示す。アクセスタイムは、250 ns/300 ns と高速であり、消費電力も150 mW (動作時: Typ.) と少なく、従来のマスクROMに比べて一段と高性能化が図られている。

表 1. M5M 231000- $\times\times\times$ P の特長

構 成	128 K $\times$ 8 ビット
プ ロ セ ス	NMOS
回 路	完全スタティック
電 源 電 圧	5 V $\pm$ 10%
ア ク セ ス タ イ ム	(-25) 250 ns max. (-30) 300 ns max.
消 費 電 力	150 mW Typ. スタンバイ時 50 mW Typ.
入 出 力 電 圧	TTL コンパチブル
パ ッ ケ ー ジ	28 ピン DIL プラスチック

4. 漢字キャラクタジェネレータ

(1) 主な特長

今回、開発した漢字キャラクタジェネレータの主な特長は次のとおりである。

・JIS C 6226 情報交換用漢字符号系

JIS C 6234 ドットプリンタ用 24 ドット字形に完全準拠の漢字フォントを内蔵

・24 $\times$ 24 ドットマトリクス字形

・ロウスキャン/カラムスキャンの2タイプ

・高速大容量1MビットマスクROMに搭載

(2) 製品系列

当社の漢字キャラクタジェネレータの製品系列を表2.に示す。ここで JIS 第1水準は、漢字2,965字と非漢字524字を表し、JIS 第2水準は、漢字3,388字を表す。1MビットマスクROM 6個で24 $\times$ 24ドットマトリクス字形を6,877字表現することができる。また、16 $\times$ 16ドット (JIS フォント) や文字多重放送及びキャプテンシステム用文字フォントなど

表 2. 三菱・漢字キャラクタジェネレータ製品系列

ドット構成	スキャン方式	形 名	チップ数	収 容 文 字
24 $\times$ 24	ロ ウ	M5M 231000-051 $\sim$ 053 P	3	JIS 第1水準
24 $\times$ 24	ロ ウ	M5M 231000-054 $\sim$ 056 P	3	JIS 第2水準
24 $\times$ 24	カ ラ ム	M5M 231000-061 $\sim$ 063 P	3	JIS 第1水準
24 $\times$ 24	カ ラ ム	M5M 231000-064 $\sim$ 066 P	3	JIS 第2水準
16 $\times$ 16	カ ラ ム	開発計画中	2	JIS 第1, 第2水準
16 $\times$ 24	ロ ウ	開発中	3	キャプテンフォント

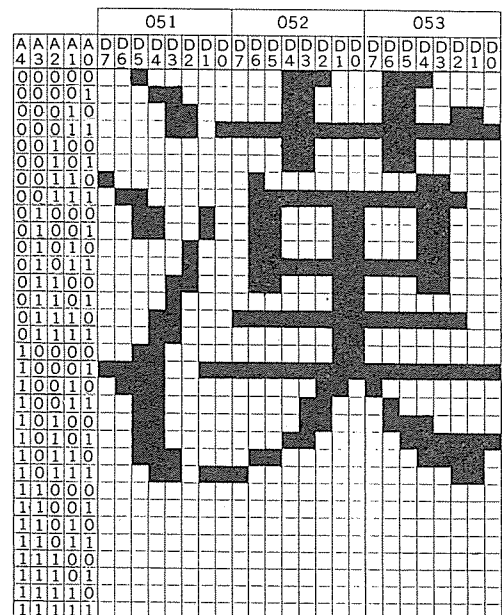
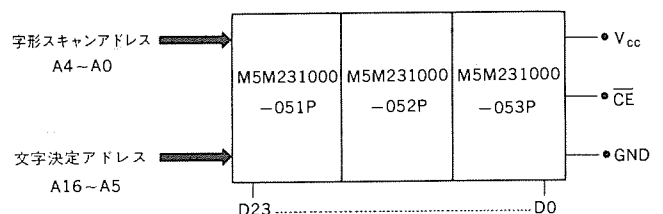


図 3. 24 $\times$ 24ドット、ロウスキャン方式での漢字表示例



注 1文字は、3チップ (1セット) で構成される

図 4. システム構成

を開発し製品系列を充実させる予定である。

(3) 漢字表示例とシステム構成

M5M 231000-051 $\sim$ 053 P の1MビットマスクROM 3個で、CRT (Cathode Ray Tube) に適したロウスキャン (横方向走査) 方式による24 $\times$ 24ドットのデータを出力する。24 $\times$ 24ドット、ロウスキャン方式での漢字表示例を図3.図に示す。そのシステム構成を図4.に示す。1MビットマスクROM 3個 (ROMコード051 $\sim$ 053) に文字決定アドレス (A16 $\sim$ A5) を選択し、スキャンアドレス (A4 $\sim$ A0) を振ると、シリーズに配置されたデータ端子 (D23 $\sim$ D0) に文字が表現される。スキャンアドレスは文字の水平方向のドットパターンを垂直方向にスキャンさせるのに用いる。

表 3. JIS C 6226 のコードと ROM アドレスの相対関係

〈JIS 第 1 水準〉

(1) 漢字部 (b 17, b 16, b 15) = (0, 1, 1), (1, 0, 0)

JIS C 6226-1983	第 1 バ イ ト							第 2 バ イ ト						
	b 17	b 16	b 15	b 14	b 13	b 12	b 11	b 27	b 26	b 25	b 24	b 23	b 22	b 21
ROMADDRESS	A 16			A 15	A 14	A 13	A 12	A 11	A 10	A 9	A 8	A 7	A 6	A 5

(2) 非漢字文字部 (b 17, b 16, b 15) = (0, 1, 0) (A 10, A 11) = (0, 0)

JIS C 6226-1983	第 1 バ イ ト							第 2 バ イ ト						
	b 17	b 16	b 15	b 14	b 13	b 12	b 11	b 27	b 26	b 25	b 24	b 23	b 22	b 21
ROMADDRESS					A 14	A 13	A 12	A 16	A 15	A 9	A 8	A 7	A 6	A 5

〈JIS 第 2 水準〉

(1) 漢字第 1 部 (b 17, b 16, b 15) = (1, 0, 1), (1, 1, 0)

JIS C 6226-1983	第 1 バ イ ト							第 2 バ イ ト						
	b 17	b 16	b 15	b 14	b 13	b 12	b 11	b 27	b 26	b 25	b 24	b 23	b 22	b 21
ROMADDRESS		A 16		A 15	A 14	A 13	A 12	A 11	A 10	A 9	A 8	A 7	A 6	A 5

(2) 漢字第 2 部 (b 17, b 16, b 15) = (1, 1, 1) (A 10, A 11) = (0, 0)

JIS C 6226-1983	第 1 バ イ ト							第 2 バ イ ト						
	b 17	b 16	b 15	b 14	b 13	b 12	b 11	b 27	b 26	b 25	b 24	b 23	b 22	b 21
ROMADDRESS					A 14	A 13	A 12	A 16	A 15	A 9	A 8	A 7	A 6	A 5

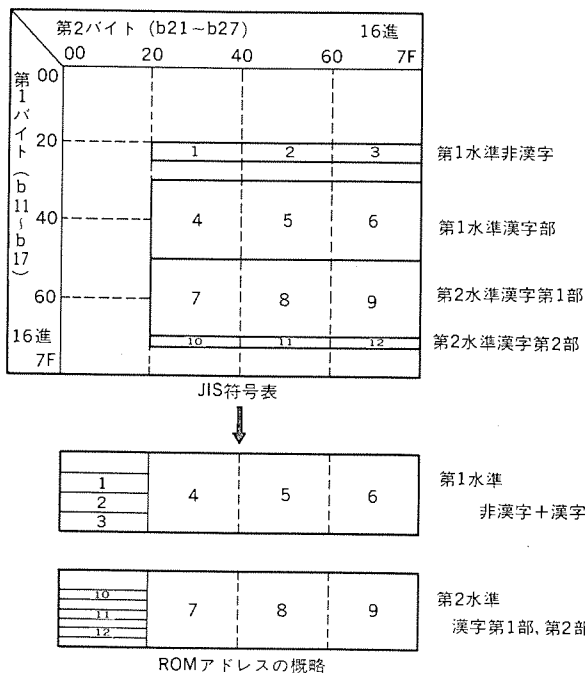


図 5. JIS 符号表と ROM アドレスの概略

次に CRT に適した ロウキャン 方式に対して、プリンタなどに適したカラムキャン(縦方向走査)は M 5 M 231000-061~063 の 1 M ビット マスク ROM 3 個で表現され、24×24 ドットのデータを出力する。システム構成は、ロウキャン方式で説明したとおりである。

(4) JIS 符号表と ROM アドレスの関係

図 5. に JIS 符号表と ROM アドレスの概略を示す。JIS 符号表では、第 1 バイト (b 11~b 17) と第 2 バイト (b 21~b 27) という定義でなされたマトリクス空間に文字の指定を行っている。また、ROM の文字決定アドレスは JIS 符号表の第 1 バイトと第 2 バイトに対応させて非漢

字・漢字第 1, 第 2 水準の割付けを行っているが、JIS 符号表の空白部分を有効活用するために、JIS 符号表と文字決定アドレス間で一定の規則に従った変換を行っている。表 3. に JIS 符号表 (JIS C 6226) と ROM アドレスの相対関係を示す。JIS 符号表によって文字の指定を行う場合は表 3. のようなコード変換をする必要がある。

5. 今後の動向

現在、漢字キャラクタジェネレータ用マスク ROM としては、1 M ビットが製品化されている。しかし、1 M ビットでも 24×24 ドットマトリクス字形の場合、JIS 第 1, 第 2 水準を表現するのに 6 チップを必要とする。このため、今後は 1 チップ化を目指し、更に大容量のマスク ROM が要望される。また、字体は高精度化のためにレーザプリンタなどが用いられ 32 ドットあるいはそれ以上の多ドットへ移行するものと予想される。

更に、世界中で最も話す人口と語数の多い中国語用漢字キャラクタジェネレータが出現するのは時間の問題である。

6. む す び

マイクロプロセッサの出現とともに、その固定メモリとして発展してきたマスク ROM であるが、近年、国内での日本語情報処理システムの急速な発展に伴って、その端末装置に不可欠な漢字キャラクタジェネレータ用メモリとして注目を浴びてきた。

今回、既に量産中である 1 M ビットマスク ROM M 5 M 231000-×××P に JIS フォントを搭載させた漢字キャラクタジェネレータ 4 機種を開発した。

これらを用いることにより、従来装置に比べてはるかに高速度・コンパクト・低価格である端末装置の実現が可能となる。

最後に今回の JIS フォントを搭載した漢字キャラクタジェネレータの開発にあたり、多大な御指導をいただいた関係者各位に深く感謝する。

発電制動装置 (特許 第808651号)

発明者 横田 浩

この発明は同期機の発電制動に関するものである。発電機が大容量となると、回転部のもつエネルギーも大きく、従来の機械的摩擦ブレーキでは、熱的制約もあって停止時間も長くなり、ブレーキシューの摩耗も大となる。これにより、ブレーキシューの摩耗粉の飛散による清掃点検、ブレーキシューの取替等のごとき作業をともなう。そこで通常の停止は発電制動により行い、緊急時のみ機械的ブレーキを使うようになってきた。

周知のとおり発電制動は発電機回路を短絡し、定格電流程度の短絡電流を流して I^2R ロスにより発電機に制動をかける方式である。

図1. は従来の発電制動の励磁方式を示す回路図である。通常の運転時は励磁装置(2)を制御して発電機(1)の界磁を制御する。次に発電機(1)に停止指令が出ると、発電機を無負荷にした後に同期しゃ断器(52)を開路後、界磁しゃ断器(41)を開路する。したがって、界磁電流は界磁放電抵抗器(5)により急速に減磁される。次に発電制動用断路器(89D)を閉路し、所内電源より電源を得て発電制動用の励磁装置(4)を生かし発電制動用界磁しゃ断器(56B)を投入して発電制動をかける。

以上のように従来の方式では通常の励磁装置の外に発電制動用の励磁装置を必要とする欠点があった。この発明は、通常の励磁装置を発電制動用にも兼用するようにした発電制動装置を提供するものである。

この発明の一実施例を図2. に示す。(9)は切換回

路で、励磁装置(2)の電源を発電機(1)の端子より変圧器(10)を通して供給する場合と、所内電源より供給する場合の切換を行なう。(11)は発電制動時の界磁電圧を発電制動に適する通常無負荷界磁電圧付近の一定値にするため点弧角を一定に固定する信号を発生させる装置、(12)はゲート回路(8)の入力信号切換スイッチである。

発電機(1)に停止指令が出ると、短絡用断路器(89D)を閉路するまでは従来の方式と同様にして制御される。その後切換回路(9)を所内電源側に切換えると共に自動電圧調整器(7)の出力信号を切換スイッチ(12)にて信号発信器(11)側に切換え界磁しゃ断器(41)を閉路する。これにより発電機は発電制動により停止する。

したがって、従来のように発電制動専用の励磁装置が不要となり、発電機ユニットを経済的に構成することができる。

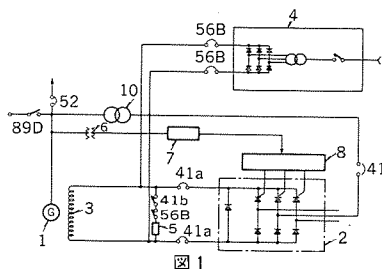


図1

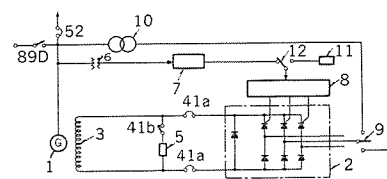


図2

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 59 No. 11 画像処理特集

特集論文

- 画像処理の動向
- 電力分野の図形画像処理システム
- 手書き図面自動読取りシステム
- 半導体素子の組立ラインにおける画像処理技術の応用
- カラー動画通信会議システム
- デジタル信号処理によるTV画質の改善
- 高精細度医用画像表示装置

普通論文

- 1 kW 溶融炭酸塩形燃料電池
- 国際電信電話(株)納め非常用発電設備自動点検システム
- 中部電力(株)駿遠変電所納め550 kV ガス複合開閉装置
- 新しい変電所の構成“四国電力(株)北松山変電所への監視システムの適用”
- 電磁かくはん装置の設計におけるCAEシステム
- 電子計算機《MELCOM コンピュータシリーズ》におけるパケットネットワークシステム

三菱電機技報編集委員

委員長 村上卓彌
委員 峯松雅登
“ 翠川 祐
“ 三浦弘明
“ 高橋宏次
“ 藤井 学
“ 三輪 進
“ 郷 鉄夫
“ 的場 徹
“ 杉岡八十一
“ 木戸一之
幹事 岡田俊介
10号特集担当 宮 幸助

三菱電機技報 59 巻 10 号

(無断転載を禁ず)

昭和60年10月22日 印刷
昭和60年10月25日 発行

編集兼発行人 岡田 俊介
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2丁目6番2号 (〒100)
菱電エンジニアリング株式会社内
「三菱電機技報社」Tel. (03) 243 局 1767
発売元 東京都千代田区神田錦町3丁目1番地 (〒101)
株式会社 オーム社
Tel. (03) 233 局 0641 (代), 振替口座東京 6-20018
定 価 1部 500円送料別 (年間予約は送料共 6,700円)



石油ガス化ファンヒーターKD-25HTXは、サブルーム暖房用のKD-23HTXと、メインルーム暖房用のKD-27HTDとの中間機種であり、ミニメインルーム(6畳)暖房用として開発されたものです。燃焼器には、昭和59年に当社が独自に開発した気化管式CCDバーナーを搭載。軽量、コンパクトで、燃焼幅も燃料ポンプの運転周波数をマイコン制御することにより、当社比で10%改善、60%(従来50%)まで広げることが可能になりました。さらに幅広い燃焼量を7段階に制御するリニア燃焼システムを採用。設定温度に対して $\pm 1^{\circ}\text{C}$ となるよう燃焼量をきめ細かくコントロールできるため、ムダな暖めすぎや、寒すぎがなく、快適な暖房が可能です。またモニター部に燃焼量の変化が一目で分るパワーモニターも装備しています。

特長

- 24時間デジタルタイマーを採用し、一度時刻のセットをすれば、着火時間をそのつど計算することなく、毎日同じ時間に運転が開始できます。
- 4.9ℓ大形カートリッジタンク内蔵により弱燃焼(1000kcal/h)で連続40時間の燃焼が可能です。
- 長時間室内を換気せずに使用したり、エアフィルターにゴミがたまるなどして、燃焼用の空気が不足すると、酸欠防止のため自動的に燃焼を停止する不完全燃焼防止装置付きです。

- ルームセンサによって室温をデジタル表示します。また、ルームセンサ部が、約 50°C 以上になると自動的に燃焼を停止する室温異常過熱防止装置付きです。
- 送風用ファンに、着脱自在のエアフィルターを取付け、清掃性を改善しました。

仕様

形 名	KD-25HTX
種 類	気化式(石油ガス化燃焼方式)強制対流形
点 火 方 式	高圧放電点火・自動点火
使 用 燃 量	白灯油(JIS 1号灯油)
発 熱 量(入力)	2,500kcal/h
燃 料 消 費 量	最大 0.303ℓ/h 最小 0.121ℓ/h
油 タ ン ク 容 量	4.9ℓ
燃 焼 持 続 時 間	(連続強燃焼時)約16時間/4.9ℓ
外形寸法(置台を含む)	高さ450mm、幅450mm、奥行282mm
重 量	10kg
電源電圧及び周波数	100V・50-60Hz
定 格 消 費 電 力	燃焼時 370W 点火時 370W
平 均 消 費 電 力	燃焼時 180W
安 全 装 置	対震自動消火装置・過熱防止装置 停電時安全装置・点火安全装置 不完全燃焼防止装置・室温異常加熱防止装置
そ の 他 の 装 置	給油検知装置・換気検知装置 室温表示装置・24時間点火タイマー
付 属 品	スポイト・ロシフィルター