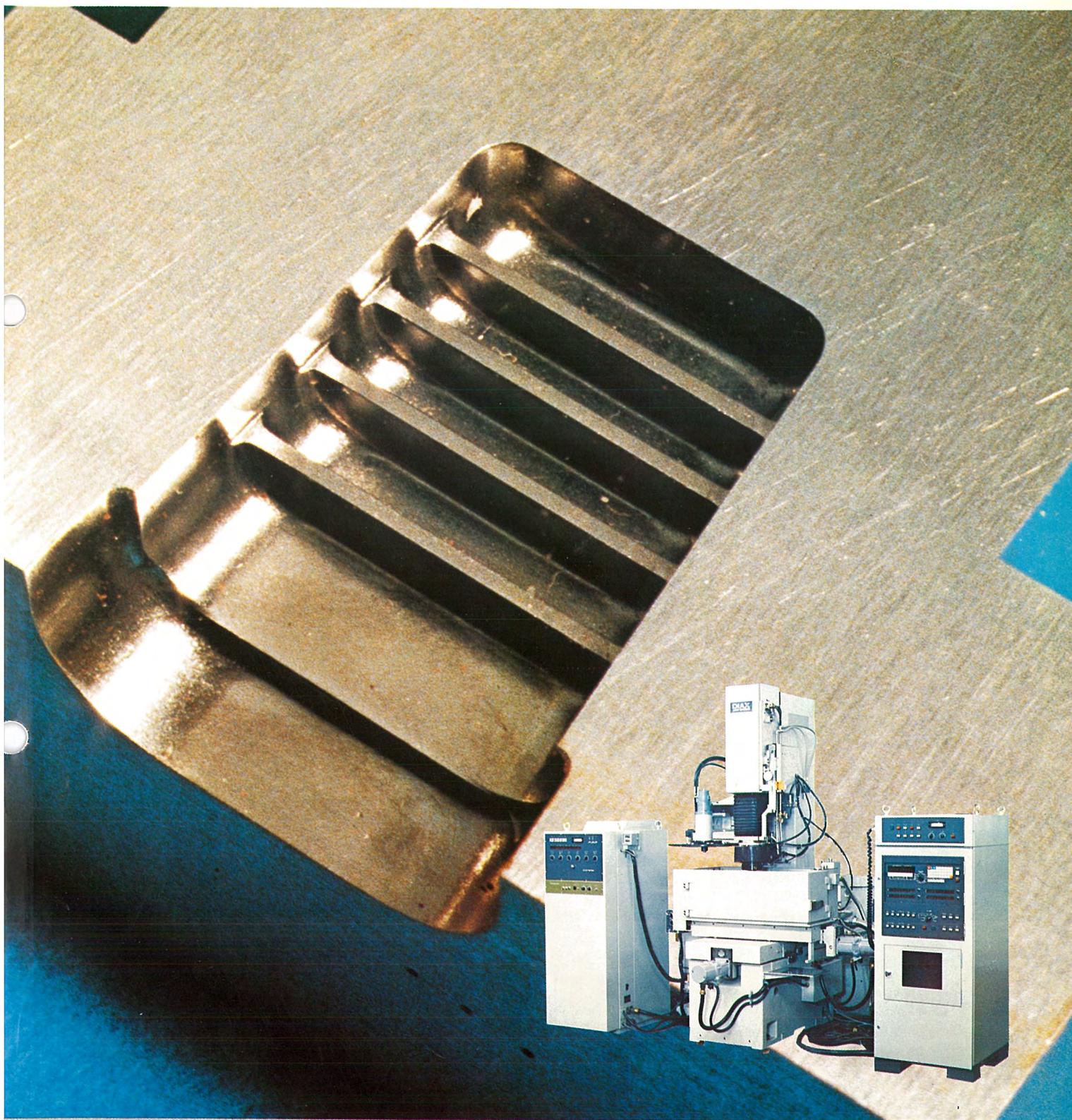


# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報



Vol.55 No.2

産業機特集

# 三菱電機技報 Vol. 55 No. 2 1981

## 産業機特集

### 目次

#### 特集論文

産業機の展望	1
片岡高示・北浦孝一・齊藤長男	
振動運動をもつNC放電加工機	3
高橋義博・伊東哲朗・大泉敏郎・中山建夫	
ワイヤカット放電加工機の技術進歩	8
坂口恒夫・倉橋安則・高鷲民生・吉田公生・大丸隆正	
数値制御装置《MELDASシリーズ》	13
黒田泰次・米谷光雄・今西一夫	
三菱トランジスタパルスマグ溶接機《クリーンマグ》	17
殖栗成夫・田畠要一郎・平本誠剛・水野孝治・木谷 基	
炭酸ガスレーザ加工	22
島田 弥・森 一平・星之内 進・小林 実・安藤 隆	
量産部品用電子ビーム溶接機	26
安永政司・佐々木茂雄・大峯 恵・原 且則・大野義隆	
誘導加熱応用機器	31
新見明彦・岩佐康彦	

#### 普通論文

GaAsFETの故障解析と信頼性改善	39
鈴木 武・石井 孝・三井 茂	
食品店舗の省エネルギーkontローラ《MELTIC》とその応用	44
藤井 保・西岡隆文	
一般電子機器用プリント基板CADシステム	49
藤井孝知・吉田和幸・伴野 保・濱村正夫・坂本 茂	
壁掛形ヒートポンプルームエアコンMSH-2510R	54
富樫健二	
ヒートポンプ式チーリングユニット制御へのマイコン応用	58
飯尾幸司・阿川正憲・志賀隆司・太田 誠・高橋 修	
大容量変圧器の計測データ処理システム	63
青木俊之・池田五郎・渡邊次男・篠原秀雄・仁田周一	

特許と新案	37
長尺物の送出張力調整装置	
密閉型圧縮機の防振装置	
電流制限装置	
陰極線管のアノード回路	

当社の登録実用新案一覧	36, 70
-------------	--------

#### スポットライト

三菱酸化亜鉛形避雷器《MOA》配電用MAS形シリーズ	68
三菱パッケージ形電子ビーム溶接機	69
三菱オフィスコンピュータ《MELCOM 80》モデル8 [日本語] (表3)	

#### 表紙

#### 全自動NC放電加工機 (DK280NC-ATC+EP30-11+YD500N)

本機はエレクトロニクス技術、計算機技術の導入により、3次元制御加工を可能にするとともに、新しい振動機能、1μ単位の位置決め精度、自動電極交換装置、電極長及び芯(芯)ずれ自動補正機能、及び加工条件プログラムコントロール機能などの付加により、NC化の諸問題を解決した業界の最先端をゆく機械である。更に新しい加工方法が可能となり、従来の金型加工方法を大きく変える技術革新となりつつある。

本機の導入により、仕上加工時間の短縮、面あらさと電極消耗改善による加工精度の向上とともに、放電加工の前後工程や加工操作の自動化など、加工プロセス全体の効率アップを実現させ、ユーザーの好評を博している。



## アブストラクト

### 産業機の展望

片岡高示・北浦孝一・齊藤長男

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P1~2

当社産業機事業の沿革と、産業界の動向に立脚した当社産業機事業の特質と成長性を論じた。今後の産業機械に要求される必要条件として、(1)枯渇傾向にある労働力対策として知識労働的作業形態による生産性向上と、熟練作業からの解放を可能とすること、(2)人、もの、金の経営資源について節約技術であること、(3)メカトロニクス活用の複合製品となるので使用技術研修が必要となることを述べた。また産業機械の成長性を放電加工機を例にとり述べた。

### 三菱トランジスタパルスマグ溶接機《クリーンマグ》

殖栗成夫・田畠要一郎・平本誠剛・水野孝治・木谷 基

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P17~21

今後、アーク溶接ロボット等による自動化が急展してゆくなかで、CO<sub>2</sub>溶接機に全面的に置き換わる溶接機として《クリーンマグ》を開発した。《クリーンマグ》溶接機は溶滴移行現象の解析結果から、1パルスマグエネルギーを明確にし、ワイヤ送給量に比例してパルス周波数を変え、1パルスマグエネルギーをアーク電圧に換算してパルス幅を帰還制御する方法により、全電流範囲で理想的な溶滴移行を得るようにしたのである。本稿では、その原理、諸特性について述べる。

### 振動運動をもつNC放電加工機

高橋義博・伊東哲郎・大泉敏郎・中山建夫

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P3~7

放電加工機は、従来Z軸(主軸)制御のみが行われていたが、ここに新たに、振動機能を含む3次元制御のできるNC放電加工機の開発により、Z軸制御のみでは得られない種々の特長が生まれ、仕上加工速度の増大、うねりと電極消耗改善による加工精度向上、更には放電加工のみによる鏡面加工、前後工程短縮と加工操作の自動化による加工プロセス全体の効率アップを実現させ、従来の加工特性を著しく改善するに至った。

### 炭酸ガスレーザ加工

島田 弥・森 一平・星之内 進・小林 実・安藤 隆

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P22~25

炭酸ガスレーザは、金属・非金属の切断・溶接・熱処理など多様な加工が可能で、従来法に比べ多くの優れた利点をもつ新加工熱源として産業界から注目されている。本文ではレーザ加工の原理・特長及び有効な適用分野と基礎加工データについて説明するとともに、当社のレーザ加工機の製品系列及び特長についてその概要を述べる。

### ワイヤカット放電加工機の技術進歩

坂口恒夫・倉橋安則・高鷲民生・吉田公生・大丸隆正

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P8~12

最近のワイヤカット放電加工機への顧客ニーズに対応した製品として、Nシリーズ及び高精度機を完成了。本稿では、これら機種の構成及び特長について述べると共に、関連業界で最も注目されているワイヤ自動供給装置をはじめ、Nシリーズに付加できる自動化、高速加工化の諸機能について述べる。

### 量産部品用電子ビーム溶接機

安永政司・佐々木茂雄・大峯 恵・原 且則・大野義隆

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P26~30

電子ビーム溶接法は、現行の溶融溶接法の中で総合的に最も優れた溶接品質が得られるとともに生産性も高いため、自動車産業を中心とした量産工業に普及しつつある。この論文では、生産ライン導入を促進すべく開発された小形で信頼性の高いパッケージ形電子ビーム溶接機の特長を中心に、生産能力を向上させるハードウェアシステム、及び電子ビーム溶接法の効果的適用方法について述べている。

### 数値制御装置《MELDASシリーズ》

黒田泰次・米谷光雄・今西一夫

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P13~16

最近のNC技術動向を踏まえ、マイクロプロセッサやメモリなど半導体技術の著しい進歩に基づいて《MELDAS》M1及びL1を開発した。これらはマルチマイクロプロセッサ方式の採用により、部品点数の大幅な縮減がなされるとともにコストパフォーマンスの向上及びCRT導入を初めとする各種機能の充実が図られた。また、サーボシステムの改善により、サーボの応答性と切削面精度が一段と向上した。

### 誘導加熱応用機器

新見明彦・岩佐康彦

三菱電機技報 Vol.55-No.2-P31~35

各産業分野において、省エネルギー、省資源、省力化等の面から、もう一度誘導加熱の利用について見直そうとする傾向が、最近特に活発になってきているが、本文では誘導加熱の応用機器全般にわたって分類、紹介し、また新しい応用について説明する。そのうち、特に熱間加工ヒータ、誘導炉については、省エネルギー、省力化の最近の動向や実際の経済性を他方式と比較し、省エネルギー効果、将来の動向などについて述べる。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 17~21 (1981)

## The Development of the Clean Mag Transistor-Pulsed MAG Welders

by Shigeo Ueguri, Yoichiro Tabata, Seigo Hiramoto, Takaji Mizuno & Motoe Kitani

In anticipation of future rapid automation by arc-welding robots, Mitsubishi Electric has developed the Clean Mag series of welders as a complete substitute for conventional CO<sub>2</sub> arc welders. By analyzing the phenomenon of metal transfer, a Clean Mag accurately defines the energy of a single welding pulse, and varies the pulse frequency to suit the wire-feeding speed. Feedback control of the pulse width after conversion of the one-pulse energy into the appropriate arc voltage enables perfect metal transfer over the full range of currents. The article describes the principles and characteristics of the Clean Mag welders.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 22~25 (1981)

## CO<sub>2</sub> Laser Processing

by Toru Shimada, Kazuhiro Mori, Susumu Hoshinouchi, Minoru Kobayashi & Takashi Ando

A CO<sub>2</sub> laser can be used to perform a number of different processing operations, including the cutting of metals and nonmetals, welding, and heat treatment. It has therefore attracted the industrial world as a new source of energy for materials processing, with important advantages over conventional processing methods. The article discusses the principles of operation, the operating characteristics, and the fields of application where it is proving useful. Fundamental processing data is also given. A summary description of laser-processing equipment developed by Mitsubishi Electric, with its features, is appended.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 26~30 (1981)

## An Electron-Beam Welder for Use on Mass-Produced Parts

by Seiji Yasunaga, Shigeo Sasaki, Megumi Omine, Katsunori Hara & Yoshitaka Ono

Of currently available fusion-welding methods, electron-beam welding ensures not only the highest weld quality but also the greatest productivity. Thus it has come into widespread use in such mass-production industries as the automotive industry. The article chiefly describes the features of this compact, highly reliable, packaged Mitsubishi electron-beam welder, a hardware system that expands production capacity, and the range of applications for electron-beam welding.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 31~35 (1981)

## Induction-Heating Equipment for Industry

by Akihiko Shimmi & Yasuhiro Iwasa

Any consideration of recent trends toward the saving of energy, resources, and manpower in industry must include an examination of the possibilities of utilizing induction heating. The article categorizes and introduces various appliances for induction heating and gives examples of novel applications. In particular, it details the energy savings achieved by an induction heater for hot forming and an induction furnace. It also gives a comparison between various methods of saving energy and manpower, and examines the future prospects for induction heating in the light of current trends.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 1~2 (1981)

## Prospects for Industrial Machinery & Equipment

by Takashi Kataoka, Koichi Kitaura & Nagao Saito

The article reports on the development of Mitsubishi Electric's range of industrial machinery and equipment, discussing its distinctive features and prospects for growth based on current industrial trends. The authors cite as essential requirements for industrial machinery in the future: 1) contributions to the move away from labor-intensive to knowledge-intensive industry, and to reduce dependence upon highly skilled labor; 2) technology that will offer savings in labor, materials, and costs; and 3) a program of training in the use of complex hybrid equipment utilizing mechanical and electronic technology. The practical example of an electrical-discharge machine is cited as evidence for the high growth potential of the industrial-machinery field.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 3~7 (1981)

## A Numerically Controlled Electrical-Discharge Machine with Planetary-Motion Capabilities

by Yoshihiro Takahashi, Tetsuro Ito, Toshiro Oizumi & Tatsuo Nakayama

An NC electrical-discharge machine developed by Mitsubishi Electric has improved machining characteristics and is capable of three-dimensional control including planetary-motion control. It offers a number of marked advantages over conventional machines confined to z-axis control only. These include a high removal rate in fine finishing, improved machining precision thanks to reduced undulation, and minimum electrode wear. The glass-like mirror finish characteristic of EDM is combined with automatic control of machining operations and the elimination of several processes that normally must precede and follow EDM processing. The result is greatly improved overall machining quality and efficiency.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 8~12 (1981)

## Advanced Wire-Cut EDMs

by Tsuneo Sakaguchi, Yasunori Kurahashi, Tamio Takawashi, Kimio Yoshida & Takamasa Daimaru

The completion of our Series N EDMs and other high-precision machines is good news for users of wire-cut machines. The article describes the construction and features of these models, and describes the automation, high productivity, and functions achieved by the automatic wire-feed device and other optional devices that are attracting widespread attention from machine-tool users.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 55, No. 2, pp. 13~16 (1981)

## New Models in the MELDAS Series of Numerical Control Equipment

by Yasutsugu Kuroda, Mitsuo Yonetani & Kazuo Imanishi

Mitsubishi Electric has developed the MELDAS H1 and L1 models, which embody the latest NC technology and exploit the most advanced semiconductor technology in microprocessors and memories. The use of multiprocessors minimizes the number of components, considerably reducing costs. Various functional improvements have also been made—e.g., by the introduction of CRTs, etc. Improved servo-system response also gives a marked reduction in surface roughness.

## アブストラクト

### GaAsFETの故障解析と信頼性改善

鈴木 武・石井 孝・三井 茂

三菱電機技報 Vol.55・No.2・P39～43

GaAs FETの動作状態での故障モードを詳細に分析し、分類した上で、これを実験的シミュレーションし、劣化、故障機構を明らかにした。この結果ゲート金属のマイグレーションの防止及び電界集中を緩和するような素子の改善設計が高信頼度化のために必要なことが分かり、これを素子の高信頼度設計に反映させた。

改善された素子では、従来素子に比べて、サージ耐量で2倍、RF耐量で5～10倍の改善が見られ、フィールド動作での信頼性が著しく向上した。

### 壁掛形ヒートポンプルームエアコンMSH-2510R

富樫健二

三菱電機技報 Vol.55・No.2・P54～57

省エネルギー時代にマッチした高効率暖房方式として、ヒートポンプエアコンに対する評価が高まってきている。

当社は高容量、高効率ロータリコンプレッサをとう(搭)載したヒートポンプ方式だけで従来のヒーター併用形ヒートポンプエアコンと同じ暖房能力を持つMSH-2510Rを開発した。

この機種は新冷媒回路方式による能力可変システムとマイコンを応用した省エネルギーシステムを採用したものである。

### 食品店舗の省エネルギーコントローラ《MELTIC》とその応用

藤井 保・西岡隆文

三菱電機技報 Vol.55・No.2・P44～48

食品店舗における省電力の要請に応じて、省エネルギーコントローラ《MELTICシリーズ》を開発した。

本文では、食品店舗の省エネルギーの問題に触れ、省エネルギーコントローラ《MELTIC 500》の機能と応用について説明する。また、小形汎用形の《MELTIC 224》、《MELTIC 104》の紹介も併せて行う。

### ヒートポンプ式チーリングユニット制御へのマイコン応用 飯尾幸司・阿川正憲・志賀隆司・太田 誠・高橋 修

三菱電機技報 Vol.55・No.2・P58～62

生活水準の向上に伴い冷／温水を媒体としたセントラル冷暖房方式が、家庭用・業務用を含めて広く普及している。この熱源機として数多くの利点を持つヒートポンプ式チーリングユニットが採用されているが、昨今の『省エネルギー性と快適性向上』の要求に答えるために民生用への普及が著しい4ビットワンチップマイクロコンピュータを用いた制御システムを開発したので概要について紹介する。

### 一般電子機器用プリント基板CADシステム

藤井孝知・吉田和幸・伴野 保・濱村正夫・坂本 茂

三菱電機技報 Vol.55・No.2・P49～53

プリント基板は、あらゆる分野へのエレクトロニクス化の進展と急速な技術革新による製品の多様化、ライフサイクルの短期化により、設計需要の増加が顕著である。また、高密度化、大形化も進んでおり、迅速な開発体制と安定した設計品質の確保が強く望まれている。当社では、高密度デジタル回路用と、個別部品が混在した入出力回路用の2つのプリント基板自動設計プログラムを開発し、グラフィックシステムと結合してシステム化を図り、実用化しているので、その概要を紹介する。

### 大容量変圧器の計測データ処理システム

青木俊之・池田五郎・渡邊次男・篠原秀雄・仁田周一

三菱電機技報 Vol.55・No.2・P63～67

大容量変圧器の製品試験、開発試験における計測、データ分析、試験成績書の作成を行うデータウェイに光ファイバを用いた総合的な計測データ処理システムを完成し、実用に入ったのでその概要を紹介し、あわせて試験監視・表示装置についても紹介する。また、電気ノイズに弱い電子計算機をはじめとする各種電子機器を、数百万ボルトの高電圧を扱う試験場で使用するための、ノイズ対策についても記述する。

## Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō : Vol. 55, No. 2, pp. 54~57 (1981)

### The MSH-2510R Heat-Pump Air Conditioner

by Kenji Togashi

Heat-pump air conditioners are important as a means of achieving high thermal efficiencies in heating systems that meet the current demand for energy saving. The MSH-2510R air conditioner developed by Mitsubishi Electric is a good example, with its high heating capacity and high-efficiency rotary compressor. Its heating capacity is equivalent to that which can only be achieved by conventional heat-pump air conditioners using an auxiliary heating element. This air-conditioner's energy-saving system uses a microcomputer and variable-power operation with a new refrigerant cycle.

Mitsubishi Denki Gihō : Vol. 55, No. 2, pp. 58~62 (1981)

### The Application of a Microcomputer to Heat-Pump Chilling Units

by Koji Iio, Masanori Agawa, Takashi Shiga, Makoto Ota & Osamu Takahashi

Reflecting the rise in living standards, central air-conditioning systems using hot and cold water as the heat-transfer medium have come into widespread commercial and home use. Air-source heat pumps have been employed because of their great advantages as the source of heat in these applications. To reconcile demands for energy saving and a more comfortable living environment, a control system using a four-bit, one-chip microcomputer has been developed by Mitsubishi Electric for use in home-use units. The article gives a general description of the control system.

Mitsubishi Denki Gihō : Vol. 55, No. 2, pp. 63~67 (1981)

### An Automatic Data-Acquisition and Processing System for Testing Large Power Transformers

by Toshiyuki Aoki, Goro Ikeda, Tsugio Watanabe, Hideo Shinohara & Shuichi Nitta

The article introduces an automatic data-acquisition and processing system using optical fibers for the dataway, enabling measurements, data analysis, and test-report generation for commercial and development tests of large power transformers. It details the practical test procedures, and the display and supervisory equipment used in the tests. It also describes the measures taken to prevent the electrical noise generated in the test area, where high voltages of several million volts are used, from interfering with such electronic devices as the computer.

Mitsubishi Denki Gihō : Vol. 55, No. 2, pp. 39~43 (1981)

### Failure Analysis and Improvement in the Reliability of GaAs FETs

by Takeshi Suzuki, Takashi Ishii & Shigeru Mitsui

Degradation and failure mechanisms of GaAs FETs have been investigated by performing simulations based on the classification of detailed analyses of failures undergone during operation. As the result of this simulation, new design requirements have been identified for high-reliability devices, particularly to prevent gate-metal migration and high electric-field concentrations. Compared with conventional devices, our improved devices provide high reliability in field service, with surge tolerance doubled and RF input-power tolerance improved by a factor of five to ten.

Mitsubishi Denki Gihō : Vol. 55, No. 2, pp. 44~48 (1981)

### The MELTIC Series of Energy-Saving Controllers

by Tamotsu Fujii & Takafumi Nishioka

In response to the growing need to save energy at the retail level of distribution—e.g., in stores handling foodstuffs—the MELTIC series of energy-saving controllers has been developed. The article discusses the considerations affecting the use of energy in food stores, and introduces the functions and applications of the MELTIC 500 energy-saving controller. Also described are the smaller MELTIC 224 and 104 for general use.

Mitsubishi Denki Gihō : Vol. 55, No. 2, pp. 49~53 (1981)

### CAD Systems for Manufacturing Printed-Circuit Boards for Use in General Electronic Equipment

by Takatomo Fujii, Kazuyuki Yoshida, Tamotsu Banno, Masao Hamamura & Shigeru Sakamoto

As the various sectors of industry have made increasing use of electronics, the multiplication in the numbers of products stimulated by rapid technological developments, with their correspondingly shorter product-life cycles, has generated a strong demand for the manufacture of printed-circuit boards. At the same time, there is a demand for ever larger and more highly integrated products, calling for rapid development systems and stable, high-quality manufacturing capabilities. Mitsubishi Electric has developed two computer-aided design programs for use in developing printed circuits: one for high-density digital circuits, and the other for I/O boards using discrete components. They have been practically implemented in combination with a graphic system. The article gives a general description of the two programs.

# 産業機の展望

片岡高示\*・北浦孝一\*\*・齊藤長男\*\*

## 1. まえがき

当社の産業機械関係の沿革は古く、アーク溶接機が昭和10年頃に、また放電加工機が昭和27年頃に研究報告が発刊されている。かなり早い時期から着手していたが、いづれも各種の電気機械の副産物として誕生していたものである。

これらの中で放電加工機が昭和40年代に最初の高度成長期を迎えた、かなりの企業規模に達したのを機会に重電、機器両事業部から今後の社会経済の変動に応じ一層の伸長、拡大が予想される合理化産業装置、省力化装置などを集約し総力を結集して事業の積極的発展を図るべく、生産、販売一体化の事業体制として昭和50年4月に産業機事業部を設立した。

この設立の前後は、折からの第1次石油ショックによる産業界の大不況のただ中で、不況に強いと見られた放電加工機も大きな落込を迎えた時であり辛酸をなめたが、その後の産業界のニーズが、省人、省エネルギー、多種少量生産への適応など高度成長時代とは異なる対応が求められる中で、当社産業機事業の産業界に対して果たす役割が次第に大きくなり、事業も活発になってきた。

事業規模は昭和55年度においては設立時の昭和50年度に比し4倍強の規模に発展する見込みであり、今後は新規戦略機種も戦列に加え昭和60年度には現在の2倍強を考えおり高い成長を期待し得る有望事業分野であると確信している。

ここに、産業機事業部発足以来、初めての産業機特集号を発刊するにあたり、今後の産業機事業の展望と産業界に貢献すべき役割を述べることとする。

## 2. これから時代に求められる産業機械の必要条件

今後、産業機械に求められる一般的必要条件を、かなり明白となりつつある事実について述べると次のようになる。

- (1) これから時代は人口構成がますます高学歴化、高齢化し、しかも3次産業人口増加が2次産業人口の減少を加速するゆえ、貴重な少数の労働力を最も効果的に活用する高度の生産性向上が必要となる。特にますます増加傾向にある多種少量生産において、この必要度が高まりつつある。すなわち、作業形態を頭脳労働的に構成し自動化、無人化を推進し、従来長年の徒弟的熟練技能に依存していた高精度、高品質製品についても自動機によりこれを実現する必要がある。これが技術立国として日本が存立してゆく原動力である。
- (2) 今後の数10年は、資源枯渇による産業形態の変化に基づく需要が生じるので、節約技術（省エネルギー、省資源、省人、省工程）であることが重要である。
- (3) これからの産業機械は、自動化、最適化、無人化のために、制御技術との結合を必要とし、メカトロニクスの言葉で代表されるように高度の複合製品となる。したがってこの分野の研究開発、システム取りまとめ、製造販売、サービス使用技術のいづれをとっても、複合技術に対する認識と能力とそのための研修を必要とする。

(4) サービス業務が高度技術化し、独立事業として成立する。

## 3. 産業機事業の特質

当社の取扱っている産業機事業及びそれらの特質を述べる。

### 3.1 当社の産業機械

当社の取扱っている産業機製品には次のものがある。

- (1) 電気加工機（放電加工機、電解加工機）
- (2) 数値制御装置
- (3) 溶接機（アーク溶接機、スポット溶接機）
- (4) 電子ビーム溶接機
- (5) レーザ加工装置
- (6) 誘導加熱応用機器
- (7) 環境装置

環境装置を除いた前記機種の最近の技術について本誌に論文を掲載しているので、御参考願いたい。

これらの産業機製品について、これから時代の産業機の必要条件との結びつきを述べると次のようになる。

### (1) 電気加工機（特に放電加工機、ワイヤ放電加工機）

数多くある生産手段の中で、金型を使用する塑性加工と注型加工ほど生産性を高めるものはない。その証拠に、金型工業は昭和32年度106億円が22年間に46倍と成長している。しかしながら、従来、金型は長納期、高価格であり、特に複雑で加工精度の高い金型ほどこの傾向は強く、生産個数が何10万個とまとまらないと金型を製作してもペイしないと言う問題があり、多種少量短納期の製品には、適用することが困難であった。

放電加工は、ワイヤ放電加工を戦列に加えることによって、金型短納期化と低コスト化を実現し多種少量生産にも適用可能とするに至った。その例として、従来40日、製造コスト200万円を要した抜型を5日、50万円を実現<sup>(1)</sup>し、従来30日を要した複式抜型が数100枚であれば金型を作った方が安く、それ以下なら数100枚を重ねてワイヤ放電加工機で加工するのがよいと言う報告<sup>(2)</sup>もある。

### (2) 数値制御装置（N.C装置）（本誌参照）

自動化、無人化を進めるためには、工作機械のみならず、すべての産業機械にN.C化を浸透させる必要がある。また、多種少量生産を進めるに必要なフレキシブルな加工システムは、要するに従来専用機で固定的に行っていた加工を、N.C化によって動作の種類、寸法を任意に変化させることから出発するものであり、自動化と多種少量生産にN.C装置の果たす役割は大きい。放電加工機、レーザ加工機もN.C化によって機能が拡大している。

### (3) 溶接機（アーク溶接機）（本誌参照）

溶接機は、構造物を構成するときの結合固定手段としてコストが安く、古くから使われているが、最も多く使われているアーク溶接機がスパッタを発生し、その除去や自動機への付着損耗が重要問題であり、これが解決されれば大きな省力となるほか、溶接品質の向上ともなる。最近開発されたノンスパッタ溶接はこれにこたえるものである。

#### (4) 電子ビーム溶接機（本誌参照）

電子ビーム溶接機は、高品質で無わい（歪）に近い溶接が可能で生産性も高い。量産ラインに採用されつつあるが、従来は熱陰極の寿命が短く省人省力を妨げていた。当社は陰極の長寿命化を実現し、量産ラインの安定化に寄与している。また設備面積が小さく、排気時間の短い装置を開発し、広く普及活用させる体制を整備している。

#### (5) レーザ加工装置（本誌参照）

大出力のレーザ光は、エネルギー密度を自由に変えることによって、切断、溶接、熱処理作業を大気圧の中で行うことが可能である。これもN.C.装置と結合して、任意の輪郭を加工することができ、板状材料の輪郭切断や、金属板とプラスチック材料の積層材料のように他の切断法では困難な加工にも適する。

#### (6) 誘導加熱応用機（本誌参照）

誘導炉、誘導加熱装置などの誘導電熱機器は、省力・環境改善に効果的であるが、近年加熱特性（加熱速度、加熱制御性）が見直され、鉄鋼中心に省エネルギーの対応機器として、その用途を急速に広げつつあり、また非金属の分野にも応用を広げつつある。

### 3.2 産業機事業の特質

以上述べたいづれの機種についても、次に述べる共通点がある。

#### (1) 受注のパターン

代理店、特約店等を通じ引合が寄せられると、必ずサンプル加工、試し加工が行われ、顧客はその出来栄えを他メーカーとの比較において評価し、発注を決意する。また、顧客に対するコンサルティングを必要とするときも多い。

(2) 納入前後に顧客に使用技術を十分に理解できるまで研修を行う必要がある。これが納入後、短期間に設備か（稼）働を軌道に乗せ、トラブルを容易に解決し、投資効率を改善するためにも必要である。

(3) 問題が発生すれば直ちにアフターサービスを行う必要がある。通常緊急を要し、変則的勤務となる場合もある。また複合製品が多いため、機械、電気、電子にわたる複合技術サービスを必要とする。

昭和55年10月に放電加工機と数値制御の2つのサービス会社を合併したのも、このような理由に基づく部分もある。

(4) 顧客が、これらの装置を購入して利益を期待通り得ることによって、初めて次の機械の発注がありうる。実績と信用によってメーカーと顧客がつながっていく製品である。

(5) 本来、設備機械であるから需要が一巡すれば頭打ちとなる性格はある。そのため常に従来技術の欠点の研究改良を行うとともに、古い技術を周辺の革新的技術を応用して新しくすることが必要である。これに成功すると、大きな需要を生み出す新技術になることがある。放電加工の半導体化電源、ワイヤ放電加工のC.N.C.化、アーク溶接のノンスパッタ化などは、その典型的な例である。

### 4. 産業機の成長性

産業機の成長性を放電加工機に例をとり、実例を折りませ述べる。

#### (1) 熟練からの解放と工程の省略加工

従来金型の生産は、①多数のセグメントに分割、②各セグメントの高精度加工、③セグメントの組立及び精度調整、あるいはみがき加工からなる職人的仕事であった。特に③の組立、調整、仕上は長年の熟練を要する。

放電加工はセグメント分割の必要がないので、あまり熟練を要しない。加工時間を要したとしても最終形状が自動的に加工され、作業者は、他の計画、準備に取りかかれる。

また、みがき作業といふ熟練作業は、従来は切削加工によるカッタマークを手加工で平滑化し試行錯誤的にゲージに合わせる作業であったが、放電加工では電極といふ1種のゲージを低消耗加工条件によって加工を進めることにより、電極形状と放電間げき（隙）の微少間隙（5～10ミクロン）を隔てた現物合わせ加工ができる。また最近は微光沢を呈する加工面まで放電加工面だけで仕上げができるようになつた。（本誌参照）

#### (2) 顧客研修

当社では、型彫放電加工、ワイヤ放電加工のいづれも約5日間程度の研修を行い、高校卒2～3年程度の受講者がこれをこなしており、更にこの受講者が講師となって自工場で研修の輪を拡大し知的生産性を高めつつある。

#### (3) 放電加工機の成長性

放電加工機が、工作機械に占める割合が昭和50年で2%程度であったものが、昭和54年で6%（工作機械5,000億円、放電加工機300億円）と成長しており、日本の工作機械が伝えられるよう10年後に2兆円産業となるのであれば、放電加工がその10%を占めると仮定しても2,000億円産業となる。放電加工機はメカトロニクスとして高度の技術を必要とするに至っているので、当社が総合電機メーカーとしての長所を発揮するには、最もふさわしい事業となると考えている。

### 5. むすび

産業機の事業は、前述したように複合技術に対する知識が必要である。日本人はこのような分野に対して、最も適合しているのではないかと考えられる。

その理由は、（1）人の資質として前後工程に気を配る特質があると言われ、（2）技能、技術の多能化に容易に適応し、（3）高学歴化が、この理解力を促進する。

このことは当社にとり更に適性を発揮することを意味するものであり、今後当社の主たる事業として大成するよう努力する所存である。

（昭55-11-14受付）

### 参考文献

（1）ダイアックスニュース、22号（昭54）

（2）ダイアックスニュース、23号（昭55）

# 揺動運動をもつNC放電加工機

高橋義博\*・伊東哲郎\*・大泉敏郎\*・中山建夫\*

## 1. まえがき

近年、プレス型、プラスチック型を中心として、金型の需要が急速に伸びてきている中で、金型の生産性向上に呼応する生産設備の開発が重要視されてきている。

放電加工機は、従来から省力性に富んだ機械として知られ、金型製作工程の最も重要な位置を占めているが、ここに新たに揺動機能を含む3次元制御のできるNC放電加工機の出現により、従来の主軸制御のみでは得られない種々の特長、機能を発揮するとともに、用途の拡大に大きな期待が寄せられている。更に放電加工の前後工程短縮と加工操作の自動化、高精度化を可能にし、導入ユーザーの生産性向上に大きく寄与しつつある。

放電加工における能率向上として、

- (1) 加工時間そのものの短縮。
- (2) 加工に至る前の電極製作時間、及び段取り時間の短縮。
- (3) 精度修正及びみがき作業など、後処理工程短縮。

が考えられる。従来能率向上方法としては(1)項を主体に推進されていたが、最近では電極製作も含めて、放電加工プロセス全体の効率化を図ることが注目されている。

ここでは、計算機制御技術の進歩の結果開発された揺動運動加工法による加工性能向上と、高精度化及びNC放電加工機による加工プロセス全体の高効率化につながる応用技術について述べる。

## 2. 3次元制御のできる放電加工機

### 2.1 従来の放電加工

1940年代にソ連のラザレンコ夫妻によって発明されて以来、今日にいたるまで放電加工機は垂直上下動(Z軸駆動)により電極と被加工物の間隔(隙)制御をするのが一般的であった。放電加工における荒加工においては、この制御方式によっても比較的問題はないが、荒加工後、余分に仕上電極を必要とするほか、少し寸法の大きい仕上加工用電極を用いて仕上加工を行うと、以下のような不具合が生ずることが多い。

- (1) 仕上取代のほとんどが電極端部によって加工されるため、端部が消耗して加工形状精度が悪くなる。
- (2) 放電面積が小さく放電の集中が起こりやすいため、異常アーク放電の危険があり、電流を多く流すことができず加工速度が遅い。
- (3) 底面方向については、間隙制御がされ、所望のギャップを得ることができるが、側面方向については、加工粉による2次放電などの影響のためテーパや中ぶくらみといった不測の加工形状になる可能性がある。
- (4) 底面の加工粉の影響による、うねりや電極面の荒れが加工底面に転写され、側面の面あらさと異なってしまう。
- (5) 側面方向の寸法を、面あらさを変えないで拡大することができないため、修正が必要の場合には仕上電極を作りなおす必要があり、不経済である。

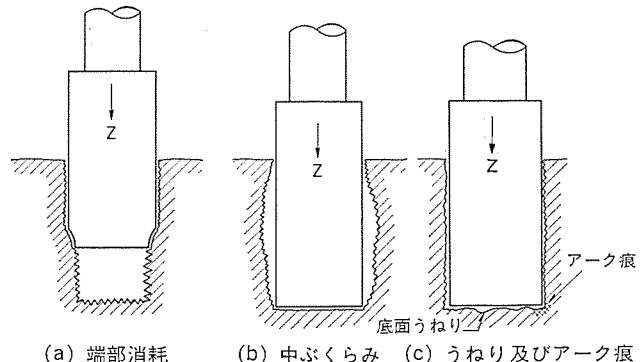


図 1. 仕上加工における問題点

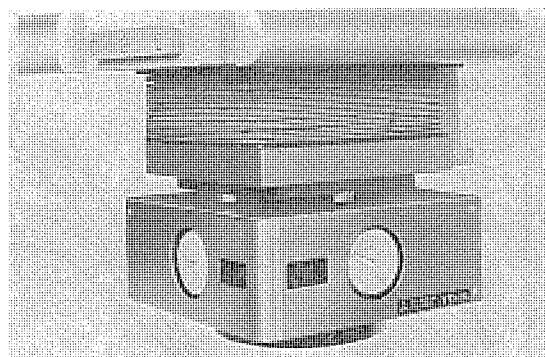


図 2. 主軸揺動放電加工機 YD 100 N

以上の問題点を図1.に模式的に示した。

### 2.2 揺動加工

揺動加工とは、電極と被加工物の相対位置の制御を上下方向(以下Z軸と記述する)に限定せずに、X軸Y軸も含めて制御するようにした加工方法である。この加工方法は、20年前に、発案されたものであるが<sup>(1)</sup>、当時の技術では実現が困難で実用化されるには至らなかった。当社も昭和47年に世界初のNCEDMを発表したがN.C.の高価格が、その普及を妨げた。

最近になってエレクトロニクス技術やNC技術が急速な進歩を遂げるに従い、XYクロステーブルを放電加工機のヘッドに取付け、X、Y各軸のモータをNC装置で駆動するもの(図2.)や、公転運動機構を持ち、これを電気的に制御するものが出現してきた。

当社においても、数年前から再び揺動加工の研究開発を行い<sup>(2)</sup>、現在既に、YD放電加工機シリーズを完成している。

#### 2.2.1 揺動加工の特長と効果

Z軸のほか、X、Y軸方向の制御ができるため、従来の放電加工では得られない、種々の加工性能の向上が図られる。

##### (1) 加工形状精度の改善

側面方向の加工により形状を仕上げる方法なので、電極消耗の影響が従来方法に比べて極めて小さく、そのため側面方向の精度悪化(クリアランス不均一、うねり、テーパ、中ぶくらみ、面の不均一)を防

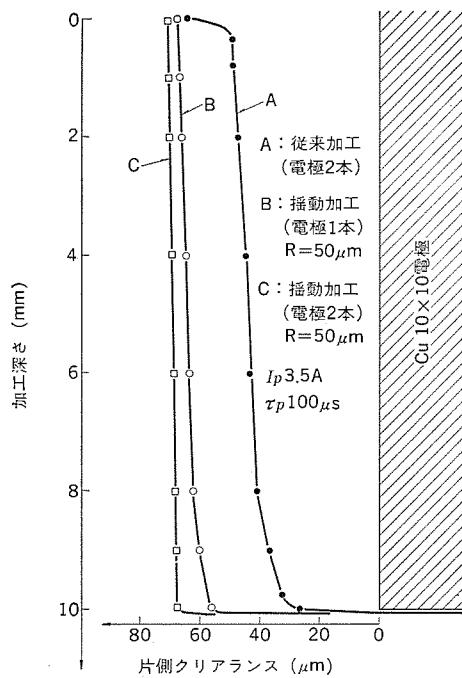


図 3. 摆動加工における深さとクリアランスの関係

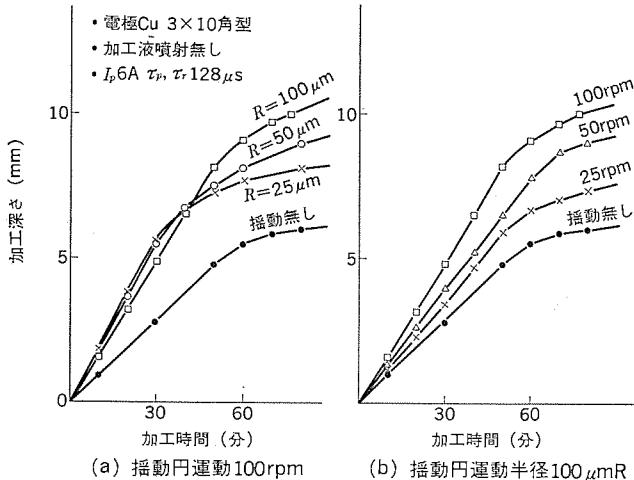


図 4. 摆動加工における深さと加工時間の関係

ぐことができ、加工面全部を均一に、しかも所望のクリアランスで加工することができる(図3.)。

#### (2) 仕上加工速度の増大

放電エネルギーの小さい仕上加工用の条件のみで加工するのではなく、多段階にわたり加工条件を切換えて加工するため、加工時間が短縮されるほか、側面と底面を同時に加工するので、放電が全周に均一になされ、放電面積が広く加工電流を十分流すことができる。また揆動運動による加工粉の排出作用と、ギャップの増加による加工液の噴入量増加により、アーカ発生を防止する効果もある(図4.)。

#### (3) 電極消耗の実質的減少、加工面性状の改善

前記例のように仕上加工時に電極端部のみで加工するということがなくなり、電極消耗の影響が減少するので、加工精度に影響を与えない程度の、若干消耗する加工条件、すなわちパルス幅の狭い条件も加工することができる。これにより面あらさは細かくなり、放電硬化層も減少し、更に加工速度も増加する<sup>(3)</sup>。

#### (4) 電極製作工数の低減

加工寸法は揆動運動量によって任意の値にできるため荒加工用と仕

揆動運動の動き		内容
A 放射状		中心から外に延びる半径Rの位置にある諸点に放射状に移動しながら加工を行う。(極座標的入力)
B 多角形状		上記の諸点を接続するようにして多角形状に移動しながら加工を行う。(極座標的入力)
C 任意軌跡		移動する諸点をX, Y座標で入力し、この諸点を接続するよう移動しながら加工を行う。(XY座標入力)
D 円弧		円弧モードD99を入力し半径Rの円運動を行う。
E 自動拡大(A, B, D可)		A, B, Dの各運動を、R=0から、所定値まで遂時拡大して加工を行う。
F テーパ加工(A, B, D可)		A, B, Dの各運動を $\theta = \tan^{-1} \frac{R_1 - R_2}{Z_2 - Z_1}$ の傾斜角で行い、加工する。

図 5. 摆動運動の種類と動作内容

上加工用の2種類以上の寸法の電極を必要とせず、1種類の電極製作工程で済むことになる。

#### (5) ストレート電極による傾斜面加工(テーパ加工)

金型のキャビティには必ず抜けこう(勾)配が必要であるため、従来は電極に勾配をつけて加工していたが、加工深さに応じて揆動量を制御することによりストレート電極で所望の勾配の加工ができる。従来の勾配電極では、いったん消耗すると使用不能となつたが、この方法であれば先端をカットするだけで何回も使用でき、経済的である。

#### 2.2.2 摆動運動の種類

揆動加工は、主加工方向(Z軸)と側面加工(X, Y軸)の合成された動きによって行う。XY平面における動きには次のような種類がある。A 放射状、B 多角形状、C 任意軌跡、D 円弧の4種類(図5.)で揆動加工専用NCのXY補間機能により制御している。更にこれらの動きを中心から除々に拡大していく自動拡大機能や、Z軸の動きとの関連で制御していくテーパ加工機能がある。

#### 2.2.3 Z軸の制御と極間サーボ

揆動加工がXY平面の動きによって行うことは既に説明したが、Z軸の動きもまた揆動加工において、極めて重要な意味を持つ。揆動加工におけるZ軸の制御方法とその特長を以下に述べる。

#### (1) 固定モード

Z軸の動作をNC装置の位置サーボ系で固定化してしまうもので、短絡や放電あるいは無負荷といった極間状態の影響を受けない。Z軸が上下してはいけない中ぐり加工などに用いる。極間サーボはXY平面における軌跡バック機能を用い、側面方向のみで間隙制御を行う。

## (2) 自由モード

Z軸の動きは一般的な放電加工機と同様に極間状態に応じて自由に上下し、X、Y軸の動きのみNC装置の指令によって制御する。ただしX、Y軸は、極間状態の影響を受けないので高速の揺動を行うと、加工粉の排出効果（ポンプ作用）が最も良好で加工速度も速い（図4.）。

## (3) 半固定モード

Z軸の最進位置はNCが制御し、それより上では極間状態に応じて極間サーボを行う。更にXY平面では固定モードと同様に軌跡バックを行うものである。これにより極間間隙はX、Y及びZの3軸で同時に制御することになり、底面あるいは側面のいずれかにおいて短絡が発生しても短絡の解消をすみやかに行うことができる。また加工代を完全に除去しなければX、Y、Z軸とも前進しないので、取り残しがなく加工精度が高いという特長がある。

以上のように揺動加工におけるZ軸の動作は、加工の内容、種類によって選択されるべきであるが、多くの実験から最も効率のよい組合せを決定していく必要があると思われる。

## 3. NC放電加工機 (CNC)

### 3.1 主軸形、テーブル形揺動NC放電加工機

#### 3.1.1 揺動NC放電加工機の構成

主軸形の場合の構成は、放電加工機本体、加工電源部、主軸揺動部（機械本体主軸定盤に取付け）、CNC制御部から成り、主軸揺動部はX、Y軸クロスヘッド形（ストロークはX、Y軸共20mm）になっている（図2.）。

一方、テーブル形の場合は、テーブルそのものが揺動運動（揺動半径30mm）やピッチ送り（テーブル全ストローク）ができるX、Y軸クロステーブル形になっている（図6.）。

#### 3.1.2 システム構成

図7.は、揺動NC放電加工機のシステム構成を示す図である。CNC制御部は、コンピュータ部、パネルコントローラ部、軸制御部から成っており、キーボードから入力されたプログラムはいったんメモリに記憶し、スタート時点で順次読み出して実行する。

コンピュータ部は、8ビットマイクロプロセッサM5L8085ASを中心に、

PROM 16K（最大32K）バイト、RAM 2K（最大4K）バイト、I/O 12ポート、割込み12レベルより構成しており、将来の機能追加にも対応できるよう各プリント基板のバスライン、御制ラインの共通化を行っている。

パネルコントローラ部は、操作パネル上のキーボードや表示関係の制御を行っている。

軸制御部は、X、Y、Z軸の速度制御及び補間制御に必要な、I/O出力をいったん記憶するラッピング群と補間パルス列を出力するためのBRM（バイナリレートマルチプライヤ）をもつX、Y、Z軸インターフェース、BRM出力と光学式位置検出器からのフィードバック量とを比較し、その差分をD/A変換するX、Y、Z軸コントローラ、及びアンプから成っている。

#### 3.1.3 仕様、機能

表1.に主軸形、テーブル形揺動NC放電加工機の主な仕様を示す。主軸形は、揺動運動機能の他に加工条件自動切換機能（オプション）を持っており、加工深さ及び揺動半径に応じた加工条件のプログラムコントロールが可能である。

テーブル形は、主軸形の機能のほかにテーブル自動位置決め機能を持っており、多数個取り加工のピッチ送り（最大24ポイント）が可能であり、ピッチ送りされた各場所で揺動加工を行うことができる。また、横加工機能はX、Y軸方向に対する加工の機能で、金型表面の長い溝彫り加工が可能である（テーブルストローク分可能）。

#### 3.2 全自動NC放電加工機

3.1節で述べた主軸形、テーブル形揺動NC放電加工機のCNC制御部のコンピュータがマイクロコンピュータであるのに対し、全自动NC放電加工機（図8.）の方はミニコンピュータを使用しているので次のような特長をもっている（表1.に主な仕様を示す）。

(1) テーブル自動位置決め個数、加工条件自動切換段数、自動電極交換回数に制限がない。キーボード入力方式は簡易でメリットがあるが、複雑な加工で非常に多くのデータを入力する場合は、全自动NC放電加工機のテープ入力方式にメリットがあり、長時間自動運転が可能である。

(2) 揺動運動形状を任意にプログラムできる。サブテーブ用いて揺動サイクル領域に揺動運動形状が任意に登録可能なので、どんな揺動加工にも対応できる。

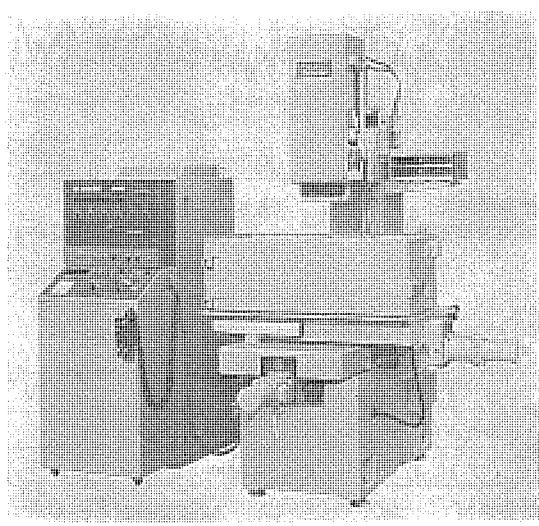


図6. テーブル 揺動NC放電加工機  
(DK 280 YD+EP 15-11+YD 200 N)

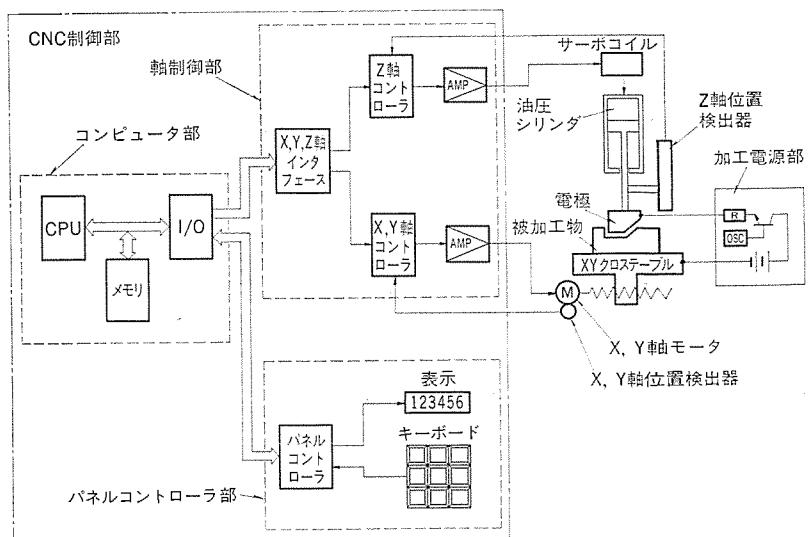
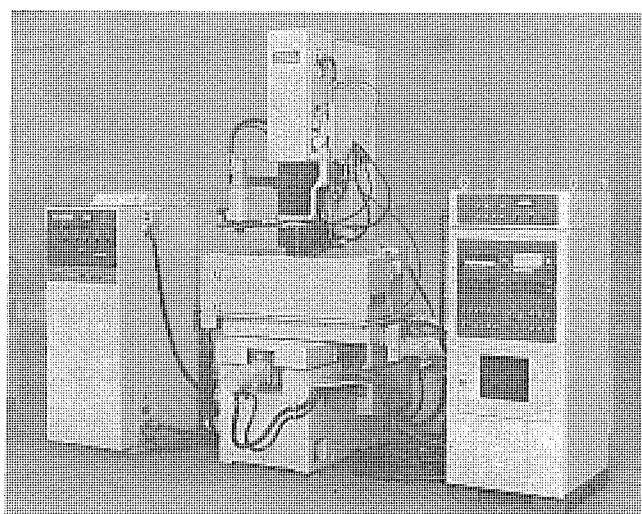


図7. 揆動NC放電加工機システム構成

表 1. NC 放電加工機の主な仕様

機能	主軸形振動 NC	テーブル形振動 NC	全自动 NC	備考
制御方式 CNC クローズドループ方式	○	○	○	
制御軸数 X, Y, Z 3 軸	○	○	○	
設定単位 X, Y, Z 軸 (mm)	0.001	0.001	0.001	
最大指令値 (mm)	±20.000	±999.999	±9999.999	
標準仕様	キーボード 紙テープ	○ —	○ ○	○
補間機能	直線 円弧	○ △	○ △	○ △ : 振動の円弧モードで使用
バッカラッシュ補正	○	○	○	
振動運動	○	○	○	全自动 NC は円弧を含む任意軌跡可能
加工条件自動切換	(○)	(○)	○	(○) : オプション
テーブル位置決め数	max 24	max 24	任意	
自動端面、中心位置決め	○	○	○	
横方向加工	△	○	○	△ : ±20 mm
バッテリバックアップ (h)	72	72	80	
機械シーケンス制御	△	△	○	△ : 加工入切
特殊仕様	C 軸制御 設定単位、最大指令値 エンジレス回転速度 (rpm) 電極交換機能 最大 8 本 電極位置自動補正 ピッセラー補正 テーブ編集、メモリ選択	— — — — — — —	○ 0.01°, 9999.99° 最大 50 ○ — — ○	主軸回転機能 0.01°, 9999.99° 最大 50 ○ 電極交換機能と並用 ○ ○

図 8. 全自動 NC 放電加工機  
(DK 280 NC + EP-30-11 + YD 500 N)

- (3) 輪郭加工が可能である。直線、円弧補間機能を用いて、金型の内面を棒状電極でこするようにして輪郭加工を行うことができる。
- (4) 主軸回軸、主軸角度割出しが可能である (C 軸制御)。C 軸と Z 軸との組合せ (直線補間) でねじ切り加工も可能である。
- (5) 各種補正機能により高精度加工が可能である。ピッセラー補正機能、バックラッシュ補正機能をはじめ、自動電極交換の際の各電極間の中心軸のずれ量、及び高さ方向のずれ量を自動補正する電極位置自動補正機能がある。
- (6) 機械シーケンス制御機能、各種警報状態を表示する自己診断機能、テーブ編集機能などで更に自動運転が容易になっている。

以上のような特長をもつ全自动 NC 放電加工機は、高精度、自動化という市場ニーズに十分こたえうるものである。

#### 4. NC 放電加工機の応用

放電加工機において、Z 軸方向のみの加工ではなく、X, Y 軸方向へも加工方向を持つような形で NC 化されたことは、その効果として、第 1 に加工を自動化すること、第 2 に放電加工機の持つ性能を向上させたこと、更に第 3 として従来は放電加工機の応用分野として考えられていなかった領域をも、放電加工機の応用分野に組みつつある。

それらの代表的な例としては、ATC (電極交換装置) を使用して、組合せ電極による一体物の加工を自動的に行うことと、面の細かい電気加工条件のもとで振動運動を行うと鏡面に近い面が得られるということがあり、また新しい応用例としては、細い電極により彫刻機のような加工を行ったり、ストレート電極によるテープ加工に見られるようなより単純な電極で複雑な形状の加工を行う試みなどがなされている。以下、それぞれの技術と加工例について説明する。

##### 4.1 鏡面加工

従来、放電加工法による面あらさとしては、実用機の限界性能として、例えば当社の放電加工機用電源 EP シリーズで、SF 回路を用いた場合に  $0.7 \sim 1.0 \mu\text{m} \text{ R}_{\text{max}}$ 、トランジスタのスイッチングを利用した回路で  $3 \sim 4 \mu\text{m} \text{ R}_{\text{max}}^{(4)}$  であり、加工の経済性をも加味すると、放電加工法による最終加工面あらさは、実用的には  $5 \mu\text{m} \text{ R}_{\text{max}}$  以

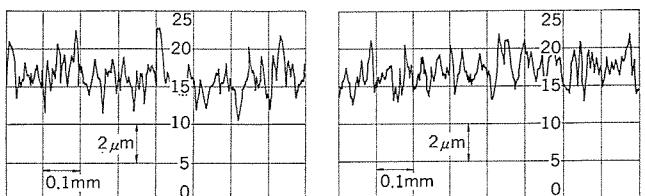
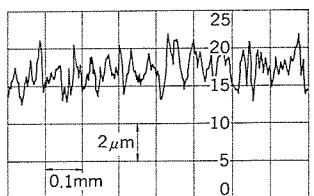
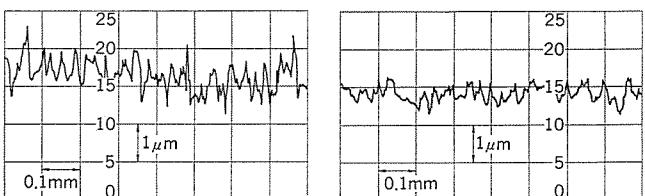
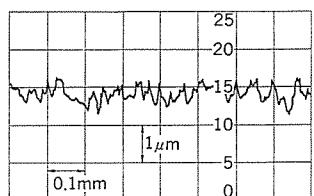
(a) 振動運動無し  
鏡面加工装置使用せず(b) 振動運動有り  
鏡面加工装置使用せず(c) 振動運動無し  
鏡面加工装置使用(d) 振動運動有り  
鏡面加工装置使用

図 9. 鏡面加工面あらさ比較 データ

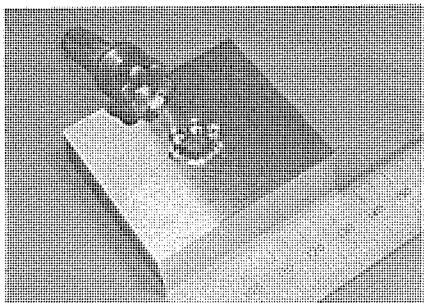


図 10. 加工サンプル（鏡面加工）

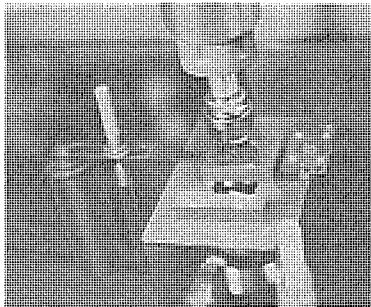


図 11. 加工サンプル（網目加工）

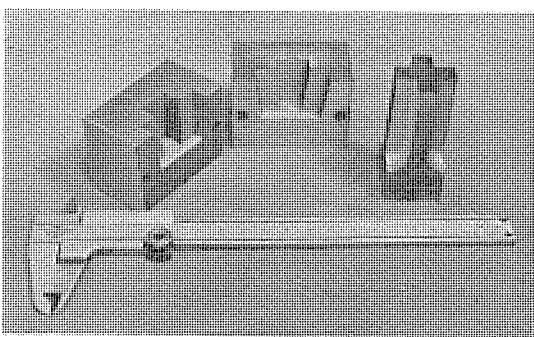


図 12. 加工サンプル（ストレート電極によるテー<sup>バ</sup>加工）

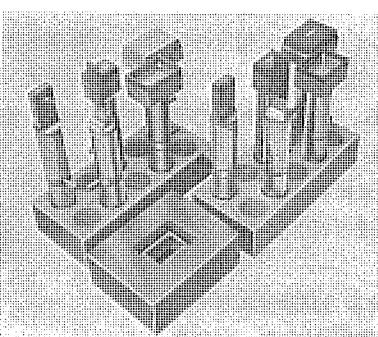


図 13. 加工サンプル（自動電極交換装置を用いた加工）

上で用いられている場合が多い。

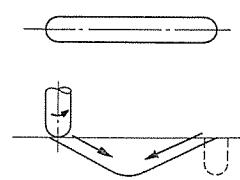
電極に揺動運動を与えるながら放電加工を行うと、揺動運動を与えない場合に比べて、同じ電気条件で加工した場合でも、面あらさが均一になる傾向がある<sup>(5)</sup>。ここで更に電気条件を小さくしていくと、従来 3~5  $\mu\text{m}$  R max 程度の加工面あらさしか期待できない加工条件を使用しても、容易に 1  $\mu\text{m}$  R max 程度の加工面あらさを得ることができ、その加工面も光沢を有することがわかった。このような効果を引き出すために、極間に供給される電流を最適に設定するようにしたのが、最近発表した鏡面加工装置 GM-1 であり、図 9. はそれぞれ実際に加工した際の面あらさの測定結果である。この結果からわかるように、放電加工により鏡面加工を行う際には、揺動加工装置及び鏡面加工装置の双方が開発されて初めて可能になった。図 10. は、揺動加工により鏡面加工を行った例であり、加工時間は 2 時間で、面あらさは 0.8  $\mu\text{m}$  R max 程度に仕上っている。

#### 4.2 単純電極による彫刻加工

放電加工法は、最終加工形状を反転させた工具電極を必要とするが、NC 放電加工機を使用することにより、細い電極を使用して X, Y, Z 軸を同時に移動させながら加工を行うことができる。図 11. は、Φ0.8 の電極により網目のプラスチックモールド型を加工したもので、プログラムとしては、網目 1 個分をプログラムしておき、その形状をメモリサイクルにより個数分呼出して加工している。このような加工においては、電極の単位体積により加工する被加工物の体積が極めて大きいため、電極の消耗が大きく影響する。この加工では、電極の消耗を減らすために、網目 1 個分ごとに自動的に端面を拾い、また電極を連続的に回転し消耗の方向性を無くしている。

#### 4.3 ストレート電極によるテー<sup>バ</sup>加工

2.2.1 節(5)に示したように、揺動量を加工深さに応じて変化させることによりストレート電極によるテー<sup>バ</sup>加工が可能になる。図 12. は、ストレート電極によりテー<sup>バ</sup>加工を行った例である。テー<sup>バ</sup>加工を



網目の1個分の加工方法

行うときは、 $\Delta Z$  の値を大きくすると形状精度に影響するためあまり大きくできず、そのため電極の底面方向での加工する比率が高く、底面部のコ<sup>ーナ</sup>の消耗は、通常の加工と同程度になる。そのため、サンプル例においても、3 回電極の底面を修正している。そのため、電極にテー<sup>バ</sup>を付けることが簡単にできるものは、電極にテー<sup>バ</sup>を付けた方が加工速度の点で有利であり、複雑な形状の電極の場合にテー<sup>バ</sup>加工の効果が大きい。

#### 4.4 自動加工 (ATC, 加工条件自動切換の利用)

現在放電加工機を使用して金型を加工する場合、特にプラスチックモールド型は、電極を一体で製作することが困難なものが多いため、放電加工機を NC 化する場合、電極を自動で交換する機能も大きな要素になってくる。図 13. は、総計 10 本の電極を使用して加工を行ったものである。このように多数本の電極を用いて加工を行う場合、従来の方法では、電極を交換したときの相互の位置決めをするのにかなりの時間を要するし、人為的なミスの介入する余地があったが、この加工においては、最初の電極の位置決めをする際のみ人間により、後はプログラムテーブによる自動運転を行っている。

### 5. む す び

金型加工における放電加工プロセスの高効率化として、揺動加工技術を中心とした加工性能向上と NC 放電加工機の応用技術について述べたが、今後これらの技術は、従来 Z 軸のみの制約を受けた加工法から、2 次元、3 次元的な加工法へと拡大する技術も無数に開発されていくであろう。

また NC 放電加工機は、ワイヤカット放電加工機も含めて、今後ますます金型製作の中心的機械として重要性を増すものと考えられ、従来の Z 軸制御のみの形彫り放電加工機の 8~9 割は、NC 放電加工機に置き換わるものと推察されている。

更に自動化、省力化を推進するに当たり（今回特に述べなかったが）計算機技術を最大限に駆使した自動測定（インプロセス制御）機能や自動補正機能への発展と充実が、期待されている。

### 参 考 文 献

- (1) ランギュバン PAT, No. 478980
- (2) 小林, 伊東ほか: 精器学会春季大会(昭 53-3) 講演番号 507
- (3) 斎藤ほか: 放電加工のしくみ 100 % と活用方法(昭 54)
- (4) 三菱ダイアックス放電加工機「EP 電源シリーズ」カタログ
- (5) 斎藤ほか: 放電加工表面層の材質変化とその減少対策, 金属(1980-2)

# ワイヤカット放電加工機の技術進歩

坂口恒夫\*・倉橋安則\*・高鷲民生\*・吉田公生\*・大丸隆正\*

## 1. まえがき

金型加工分野に画期的な技術革新をもたらしたワイヤカット放電加工機は、その操作性、精度の良さ、無人運転機能等により、金型業界に急速に普及している。一方最近の顧客のニーズは、加工精度のミクロンオーダーへの追求といった高精度指向、加工速度の向上、加工の準備作業などの自動化傾向が強く出てきている。当社はこれらのニーズにも十分対応でき、自動化・高速化機構をとり入れた高精度機械の開発を進めてきた。また顧客の幅広い要求にもマッチした小形から大形までの標準機種の新シリーズ及び高精度ワイヤカット放電加工機の開発を完成した。

更にこれら新製品の性能をより一層高めるための諸機能として、ワイヤ自動供給装置、5軸制御装置をはじめ、高速加工装置、計算機制御技術を利用したワイヤ自動垂直出し機能、自動オフセット機能などを併せて開発した。ここではこれらワイヤカット放電加工機の新製品、新機能についての概要を紹介する。

## 2. Nシリーズ及び高精度ワイヤカット放電加工機

### 2.1 “Nシリーズ”ワイヤカット放電加工機

ワイヤカット放電加工機の進歩は著しいものがある。ここに従来からの高性能・高精度加工特性に加えて更に新機能を盛り込んだ新形制御装置の開発と、新機能を盛り込んだ小形DWC 70から大形DW C 200までを“Nシリーズ”として開発を完了したのでその概要を述べる。

#### 2.1.1 システム構成

ワイヤカット放電加工機のシステムは、図1に示すように、(1)機械本体、(2)制御装置(含む加工電源)、(3)テープ作成装置で構成している。システムの組合せは、機械本体4機種、テープ作成装置の有無により8種類の組合せとなっている。

#### 2.1.2 機械本体の特長

機械本体は、送りテーブルの中心に荷重を乗せ、荷重の移動によっても機械変形、ピッチ誤差を発生しない高剛性で中心荷重方式である。またテーブル案内と駆動方式はころがり接触と発熱の少ないDCサーボモータ送りによるクローズドループ機構であり、ステイクスリップを発生せず、また熱変形の少な

い構造となっている。ワイヤテンション系には2個の電磁ブレーキを使用した張力伝達機構により低張力から高張力まで安定した張力を与えることができる。

#### 2.1.3 新形制御装置 W5N (EP 10 HB) の特長

新形制御装置は、加工用電源盤、機械系操作盤との一体化を図るとともに、性能向上を図った。

##### (1) 新制御機能による自動化

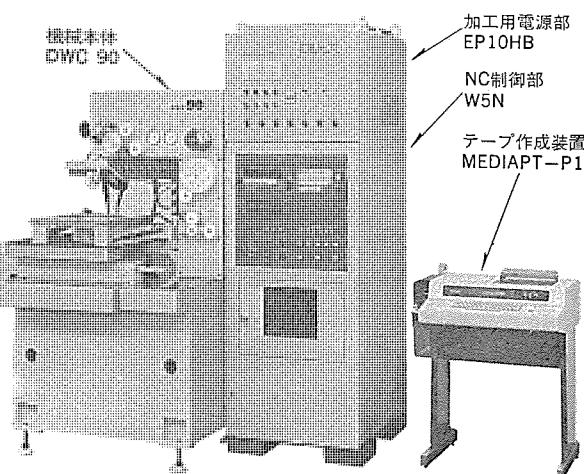


図1. ワイヤカット放電加工機システム構成  
(DWC 90-CNC 2)

表1. N形シリーズ機械系仕様

	項目	DWC 70	DWC 90	DWC 110	DWC 200
機械本体	最大工作物寸法(参考)(幅×奥行×高さ)(mm)	350×300×100	350×400×100	600×550×150	650×750×200
	工作物最大重量(kg)	100	100	400	700
	テーブル寸法(左右×前後)(mm)	420×365	420×470	600×660 L形	660×800 L形
	テーブルストローク(左右×前後)(mm)	250×200	250×300	300×450	400×750
	テーブル早送り速度(mm/min)	200	200	200	800
機械本体	使用ワイヤ径φ(mm)			0.05~0.25	
	最高ワイヤ送り速度(mm/s)			80	
機械本体	ワイヤ張力(g)			200~2,000	
	機械本体寸法(幅×奥行×高さ)(mm)	950×555×1,565	900×600×1,603	1,420×1,250×1,760	1,520×1,570×1,900
	機械本体重量(kg)	650	850	2,550	3,200
加工液供給装置	加工液タンク容量(l)			120	
	外形寸法(幅×奥行×高さ)(mm)			1,002×530×1,026	
	ろ過流量(MAX)(l/min)			20	
	ろ過精度(μ)			3	
	フィルタエレメント			カートリッジ式紙フィルタ	
	純水器			イオン交換樹脂 5L	
	加工液比抵抗制御			内蔵調整範囲(2~20)×10 <sup>4</sup> Ω·cm	

従来の機能に加えて、自動垂直出し機能、自動ワーク傾き補正機能、自動オフセット機能、自動停電復帰などの新機能の開発により加工準備作業の自動化、自動無人運転など、加工の自動化、省力化が更に進み、より使いやすいシステムとなっている。

#### (2) 加工性能の向上

従来の電源に新回路、新機構を加え、更に新ワイヤの採用などにより加工速度が 65~70 (mm<sup>2</sup>/min) と従来の約 2 倍の速度まで向上した。

#### (3) 操作性の向上

操作部を集中化することにより、操作性を向上させた。また大形機では手元操作を可能とし、操作性の改善を図った。

表 2. 制御装置仕様

\*印はオプション

入力方式	紙テープ入力、テープコード ISO/EIA 切換可能
設定単位	入出力共 0.001 mm
最大指令値	XY 軸 ±9,999.999 mm
補間機能	直線、円弧
位置指令方式	アブソリュート、インクリメンタル併用
スケール倍率	0.001~99.999
ワイヤオフセット	0~9.999 mm (0.001 mm 単位)
手動送り	高速、中速、インチング (0.001 mm 0.005 mm) (スイッチ切換)
制御軸数	2 軸 (X, Y) 同時、テーパ加工装置付のとき 4 軸 (X, Y, U, V) 同時
シーケンス番号	999
ミラーメージ	X 軸、Y 軸、単独、同時
最適送り制御	極間状態により最適送り速度を自動選定
逆軌跡追従	短絡発生時に軌跡を逆にもどる
図形チェック	ペン装置により図形を高速で作図
手動速度制込	手動データ入力による割込みにより速度 F の変更可能
停電復帰	加工中の停電時テープをもとの位置にサーチし再加工可能
手動データ入力 (MDI)	移動指令値、ワイヤオフセット値、スケール倍率、テーブル送り速度等
表示機能	現在位置、ワイヤオフセット値、指令値、モーダル、手動データ入力表示等
ランプ表示	プログラムエラー、プログラムストップ、プログラムエンド、サーボエラー等
各種制御機能 (標準)	マシンロック、ブロックディート、リファレンスブロック、シングルブロック、フィードホールド、ストロークエンド、CPU ダウン処理、ワイヤ断処理、送り 1 秒停止、30 秒短絡、円弧指令チェック
自己診断機能	アラーム内容をコード番号で表示
インターフェースチェック	各信号の状態をコード番号で表示
テーブリード	200 文字/秒、テープ巻取装置*
システムタイプライタ*	MEDIAPT-P1
各種制御機能* (オプション)	テーパ加工装置、自動原点復帰、自動位置決め機能、軸交換、加工条件自動切換、メモリ選択、メモリサイクル、図形回転、テープ編集、手動ハンドル、自動停電復帰、自動オフセット設定、自動垂直出し、自動ワーク傾き補正、上下同一 R テーパ加工、テープレス選択
電源回路方式	トランジスタバ尔斯回路
最大加工電流	10A
加工電圧切換	10 ノッチ
加工セッティング	4 ノッチ
バルス幅	12 ノッチ
休止幅	12 ノッチ
コンデンサ	8 ノッチ組合せ (機械本体組込)
外形寸法	650×800×1,950 mm
重量	475 kg

#### (4) 省スペース化

一体形制御装置により、すえ(据)付面積を縮小し、従来の 70 % とした。

#### (5) システムの拡張性

従来のテーパ加工装置をはじめ、ワイヤ自動供給装置、5 軸制御装置等を取り付け、システムのグレードアップが容易に行える。

#### (6) 信頼性の向上

従来の送り 1 秒停止、30 秒短絡、CPU ダウン検出などのフェイルセイフ機能、各ボード、モジュールの自動試験・装置の信頼性テスト等に加え、間接空冷方式の採用による防じん(塵)対策の強化などにより信頼性の向上を図った。

#### 2.2 高精度ワイヤカット放電加工機「DWC 90 P」<sup>(1)</sup>

DWC 90 P は、治具研削盤の加工領域に含まれる高精度加工も可能な機種として開発・製品化を実施したものである。これは、特に加工精度への影響主要因となる、(1)機械精度の向上 (2)放電加工現象に基づく性能の向上 (3)設置環境への対応、を考慮して従

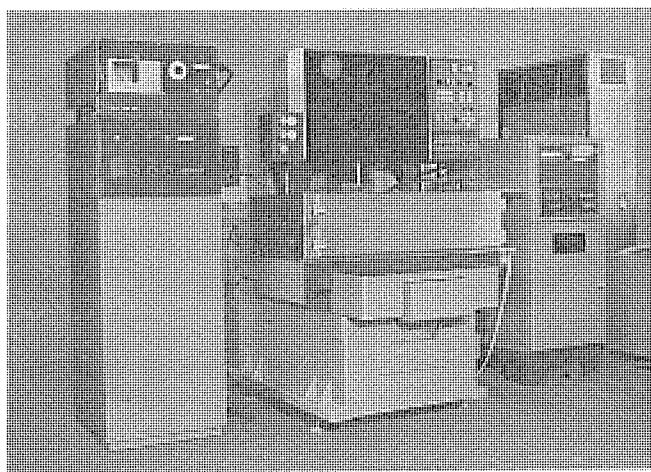


図 2. 高精度機 DWC 90 P-CNC 1 形外観

表 3. DWC 90 P 形仕様

機械本体	DWC 90 P
工作物取付可能スペース (参考) (幅×奥行×高さ) (mm)	390×600×100
工作物最大重量 (kg)	100
工作物取付面寸法 (幅×奥行) (mm)	385×550
テーブル移動距離 (左右×奥行) (mm)	250×300
使用ワイヤ径 ϕ (mm)	0.05~0.25
ワイヤ張力 (g)	200~2,000
ワイヤ最大送り速度 (mm/s)	60
機械本体外形寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)	950×1,790×1,830
機械本体重量 (kg)	2,800

#### 加工液供給装置

形名	T 800 W
加工液タンク容量 (l)	800
加工液ろ過方式	カートリッジタイプ紙フィルタ
ろ過精度 (μ)	3
比抵抗自動制御	(2~100) × 10 <sup>4</sup> Ω cm
純水器	イオン交換樹脂 (5 l)
外形寸法 (幅×奥行×高さ) (mm)	1,650×990×1,300
重量 (kg)	350 (乾燥重量)
液温制御	空冷式加工液冷却装置

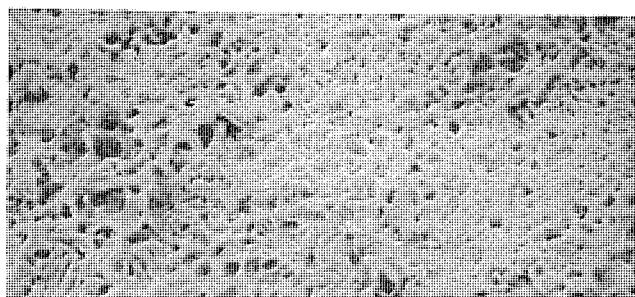
来のワイヤカット放電加工機シリーズ機種のもつ性能を更に向上するように対策を施した機械で、以下のような特長をもっている。

### (1) 機械精度の向上

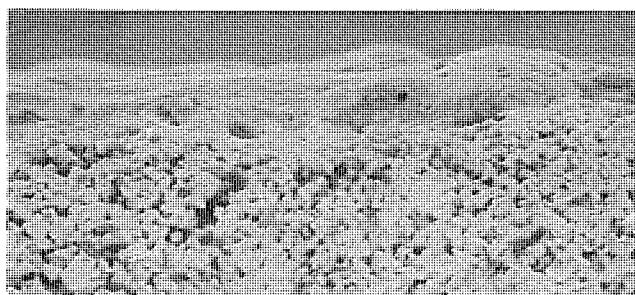
- (a) 高い繰返し精度を得るため、機械本体は従来のワイヤカット放電加工機より高剛性化している。すなわち、構造物の高剛性化はもとより、テーブル駆動系に使用するボルトねじ及びそれらの支持部、テーブルガイド部については従来機の2~3倍に剛性アップを図っている。
- (b) 热影響（モータ、ソレノイド等により発生する損失熱、放電加工により発生する加工熱、外部ふんい気熱）に対する安定性を向上するために、本体に付属する発熱源についてはそれら自身若しくはそれらを取付けているパネルについて熱絶縁を実施し、機械本体精度への影響を極力抑制している。また機械本体構成上においても熱影響がキャンセルできるよう極力配慮した。
- (c) テーブル送り精度向上のため、レーザ測長による送り量補正を実施している。

### (2) 放電加工現象に基づく性能の向上

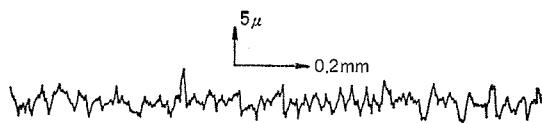
- (a) 水中浸し（漬）加工法が可能な構造とした。このため、加工部の冷却、加工チップの排出、ワイヤ振動規制、熱分布均一化によるワーク熱ひずみ（歪）防止などが期待できるとともに、ワークの防せい（銷）効果も上がっている。
- (b) 高抗張力・低応力歪の特殊ワイヤ電極の開発と、ワイヤ駆動系においてテンションの安定化とワイヤ曲げ癖を除去した安定供給構造の採用により、高精度・高速加工が可能となった。
- (c) 加工時の方向性を排除するため、特殊ダイヤモンドダイスを採用。



加工面性状 ( $\times 1000$ )



加工断面 ( $\times 1000$ )



加工面面粗度

従来電源による加工

(d) 空冷式加工液冷却装置の装備により、加工液温を室温となるよう制御している。

### 加工形状

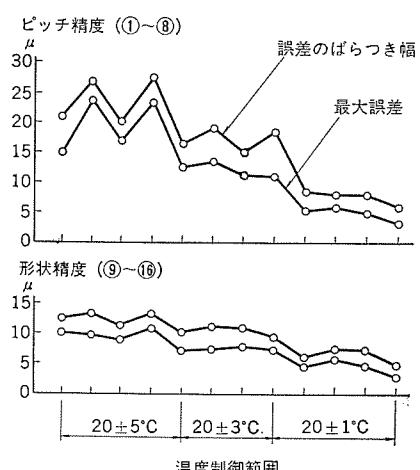
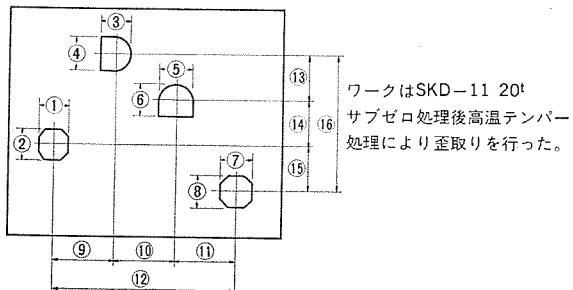
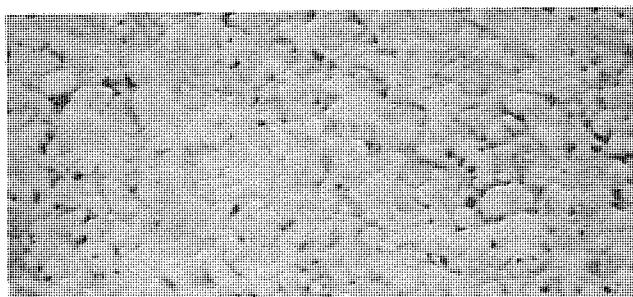
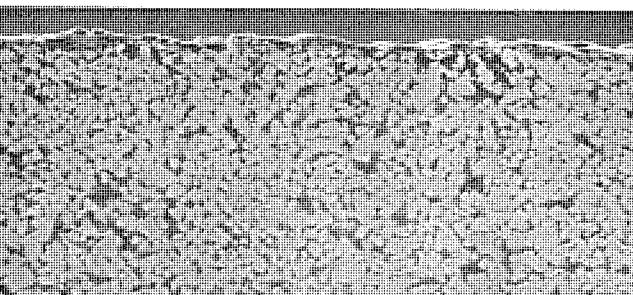


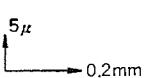
図 3. 加工精度と室温変化の関係



加工面性状 ( $\times 1000$ )



加工断面 ( $\times 1000$ )



加工面面粗度

FC 電源による加工

図 4. ワイヤカット放電加工による加工面性状 (加工物: 超硬合金 G 種)

(e) セカンドカット用電源盤(FC電源)により、超硬合金加工部の表面組織ポイドを除去し面粗度向上を図ることができる。

### (3) 設置場所への対応

防塵・防振対策と共に、特に長時間加工の場合には室温管理が必要である。本機は $20\pm1^{\circ}\text{C}$ の恒温室への設置を前提としている。

#### 2.2.1 加工精度

ワイヤカット放電加工機における加工精度を評価する場合、一般には形状精度(2次元形状における寸法精度、加工面の真直度、コーナ部における部分的寸法変化)及び位置決め精度(基準面、穴からの位置精度)を考慮する必要がある。その中でも形状精度、とりわけ寸法精度に影響を与える要因としては、放電ギャップのばらつきの外、機械自体のテーブル送り精度、ワーク材料の内部応力による歪、放電加工の熱によるワークの歪及び液温や室温の変化による機械とワークの歪があげられる。

DWC 90P では内部要因対策として、最適送り制御、比抵抗自動制御及び SU 電源などにより放電ギャップの一定化を目指すと同時に、1台ごとにテーブル送り精度をレーザ測長器により測定し、そのデータをもとにコンピュータによるピッヂエラー補正を実施し、総合加工精度 $\pm 5\mu$ を追求している。図3.は外部要因としての室温の変化幅がピッヂ精度、形状精度にどの程度影響するか試験した結果を示す。特にここでは前記の材料の内部応力解放による変形と機械の熱変形との区分を明確化するため、SKD-11材をサブゼロ処理し更に高温テンパーして材料の歪発生を防いだ。この結果から明らかに、時間の経過が影響するピッヂ精度は室温の変化幅の影響を大きく受け、形状精度も同様の傾向を示すことから、恒温室( $20\pm1^{\circ}\text{C}$ )への設置が精度確保の重要な要因となる。

#### 2.2.2 仕上加工(FC)電源<sup>(2)</sup>

ワイヤカット放電加工機の加工面は、電極との放電により溶融した後、再び凝固し溶融再凝固層を形成する。特に超硬合金の加工の場合には、陽極となる被加工物(超硬合金)の陽極酸化若しくは陽極溶解を生ずる可能性があり、空どう(洞)を生じ、表面をもろ(脆)くするおそれがある。この層の厚みは $10\sim15\mu$ 程度であるが、精密金型として使用する場合、クリアランスや金型寿命を維持するため何らかの手段によりこれを除去する必要があり、現在ラッピング、ホーニングなどを用いているが、いずれの方法もワイヤカットの加工精度を維持したまま仕上げることが困難で、しかも自動化が不可能である。

FC電源はこれらの問題に対し次の特長により解決を図ったものである。

- (1) 印加周波数が高いため陽極酸化や電触作用が複合されない。
- (2) 微小エネルギー加工により溶融再凝固層を薄くできる。

図4.はFC電源を用いた場合と従来の電源による加工面性状及び溶融再凝固層厚みを示したもので、これからもFC電源は面性状もクラック、空洞を持たず、溶融再凝固層厚みも $1\mu$ 程度になることが確認できる。ただし実際の加工においては、FC電源の能率は低いため、第1次加工は従来電源で行い、高次加工(セカンドカット)は、FC電源を用いて溶融再凝固層の除去と面粗度の向上を図る方式を用いる必要がある。なおFC電源は他の加工材料の場合にも良い結果を与える。

### 3. 自動化、高速加工化への諸機能

ワイヤカット放電加工機の一層の自動化、高速化をねらって種々の機能を開発した。ここではこれら諸機能について述べる。

#### 3.1 ワイヤ自動供給装置

ワイヤ自動供給装置は、従来のオペレータにより行われていた工作物の加工開始穴へのワイヤのそう(挿)入作業や、加工中にワイヤが断線した場合の断線処理作業を自動化したもので、特に順送型のような多数穴加工を行う場合、又は長時間加工する場合にワイヤ断線を心配することなく連続加工が可能になり、この装置の開発により、ワイヤカット放電加工の完全無人運転化を図ることができる。この装置によるワイヤ自動切断、自動供給の動作は次のとおりである。

- (1) 加工終了後ワイヤはカッタにより切り離され、下部ワイヤは巻上げて回収箱内に回収する。
- (2) 上部ワイヤは次の加工開始穴へ位置決めをする。
- (3) 上部ワイヤを保持しているパイプガイドがこの加工開始穴を貫通し、下部ダイスガイドの上面まで下降する。
- (4) ワイヤ自動送り出し機構によりワイヤは、下部ダイスガイドのガイド穴を貫通し、巻上装置へと導かれ、ワイヤを張架させた後パイプガイドが所定位置まで上昇し、加工を再開する。

これらの動作はすべて連続して行い、オペレータを介する必要は全くない。また加工途中の断線時の処理については、切断機構部分によるワイヤ切断工程と切断後のワイヤ切りかす処理工程を附加してワイヤ断線処理を行っている。この装置の特長を再記すれば、

- (1) 無人運転が可能(加工途中のワイヤ断線処理が可能)。
- (2) 連続多数穴加工が可能(自動切断、自動供給機能)。
- (3) イニシャルホールをガイドとして使用しないので自動供給に関し位置の制約がない(特殊パイプガイド方式)。
- (4) テーパ加工も可能(テーパ加工装置との併用)。
- (5) ワイヤ自動供給装置を取付けた場合でも、加工精度が低下することなく加工ができる。

#### 3.2 5軸制御装置

テーブルのX・Y軸、テーパのU・V軸の4軸に加え、従来のオペレータがマニュアル設定していた第5番目の軸、Z軸(上部ガイド)をNC(数値制御)化した5軸制御装置を開発し、ワイヤカット放電加工機の自動化、高精度化を更に進めた。表4.に5軸制御装置の仕様を示す。主な特長は

##### (1) 高精度Z位置決め機能

これまでオペレータがスケール、バーニアにより読みとりながらセットしていたZ軸(上部ガイド)位置の設定が、MDI、NCテーパからの指令で $1\mu$ 単位で可能となった。特にテーパ加工時には、ワーク板厚、テーパ角度、下部ガイドとの距離などにより決定される上部ガイド位

表4. 5軸制御装置仕様

制御軸数	5軸 4軸(X, Y, U, V軸)+1軸(Z軸)*1
駆動方式	DCモータ
最小設定単位	$1\mu$
位置検出方式	エンコーダ*2
・イニシャルホール加工	
使用電極径	$0.6\sim5\phi$
最大加工深度	40mm

注 \*1 Z軸は他の軸とは独立に使用する。

\*2 Z原点はマグネセンサ。

置を正確に設定する必要があるが、この装置により高精度で再現性の高いZ位置決めが実現された。

#### (2) イニシャルホール 加工機能

Z軸に電極治具を付加し、Z軸のサーボ機能を用いることによりワイヤカット放電加工の加工開始穴（イニシャルホール）をワイヤカット放電加工機だけで加工することもできる。

### 3.3 高速加工装置

加工速度を向上させるための要因として、電気条件、加工液系（比抵抗、液圧）、ワイヤの種類及びワイヤ送り系（張力、送り速度）があげられる。これらの要因に対し最適値を与える、かつそれが保たれるように制御する必要がある。高速加工（新SU）装置は、これら要因の制御を適切に行うことにより実現したものである。すなわち電気的には、個々の放電エネルギー（無負荷電圧、充電電流、パルス幅、休止時間、コンデンサ容量）の大きさを設定された最適値に保つように制御し、加工液系では、比抵抗の自動制御と、加工液圧の調整、ワイヤは特殊な熱処理を施した高抗張力黄銅ワイヤを開発し、ワイヤ送り系では高い張力が保たれるブーリー、ブレーキ等の改良と、独特な工夫をこらしたダイヤモンドダイスガイドの開発など、総合技術から成り立っており、従来のワイヤカット放電加工機の加工速度を大幅に上まわる65~70 mm<sup>2</sup>/minを実現している。

### 3.4 その他の自動化機能

新シリーズのワイヤカット放電加工機には前項までに説明してきた新装置に加え、主としてソフトウェアの追加、拡張により、各種の新機能を実現している。それら新機能の概略について説明する。

#### 3.4.1 ワイヤ自動垂直出し

ワイヤカット放電加工機において、ワイヤと被加工物との垂直出しは、基本的な準備作業の1つであり、直接、加工精度に影響を与える重要な作業でもある。この作業は従来手作業であったが、テーブル加工用のU-V軸と、ワイヤとワークとの上下2点の接触信号をNC装置にインプットして、CNC内のソフトウェアに置き換えることにより、ワンタッチ操作でX、Y軸ともわずかな時間で確実に垂直出ししが可能となった。

#### 3.4.2 自動ワーク傾き補正

ワークのテーブルへの取付けに際して、ワークとテーブルの平行度を出すことは、加工精度に大きな影響を与える作業の1つである。このため、スコヤや位置決め用治具が使用されるが、ワークの形状テーブルへの取付位置などの問題で、必ずしも一般的ではなく、多くの場合手作業で行っているのが実情である。この自動ワーク傾き補正是、ワイヤによりワーク端面2箇所で接触感知を行うことにより、ワークの傾き角を知り、NCテーブル指令の座標系をこの角度だけ回転移動してすることにより、ワークとテーブルの平行度を確保するものである。

#### 3.4.3 自動オフセット

ワイヤカットにおけるオフセット量（工具径補正量）は、放電加工の性質上、電気条件、ワーク材質等により影響を受けるので、とくに初めて加工する材料とか、高精度をねらうものには必ず試し加工を行い、オフセット量を求めている。この機能は、この作業を自動化したものであり、スタートホールから実加工までのアプローチ部分において加工溝幅を自動的に測定し（接触感知）、その加工状態でのオフセット量をNC装置に設定するものである。

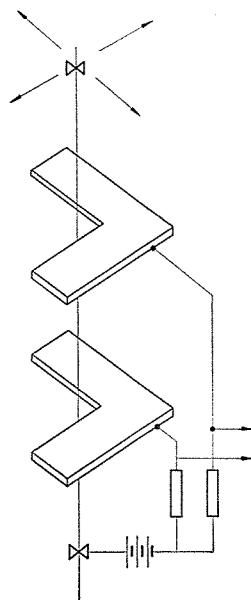


図5. ワイヤ自動垂直出し

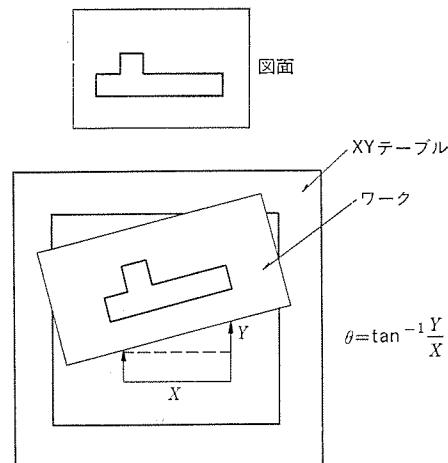


図6. 自動ワーク傾き補正

#### 3.4.4 その他の機能

以上の説明以外に、自動停電復帰機能、上下同一Rテーブル加工、テーブレス運転等の新しい機能をもっている。

## 4. むすび

今後のワイヤカット放電加工機は、更に高精度化、高速化、自動化が要求される。それらを高信頼性のもので、かつ省エネルギー、省資源の観点からも追求しなければならない。そのためにはここで紹介した製品及びそれらに含まれる機能を更に充実したものにするとともに、新しい機械、電源、制御装置の開発に力をそそぎニーズにマッチした製品を作るよう努力する所存である。

## 参考文献

- (1) 佐藤、吉田：金属プレス、10、P 24 (昭54)
- (2) 葉石、高鷲：昭和54年度精機学会春季大会学術講演会論文集
- (3) 斎藤 ほか：放電加工のしくみと100%活用法、技術評論社

# 数値制御装置《MELDASシリーズ》

黒田泰次\*・米谷光雄\*・今西一夫\*

## 1. まえがき

NC の進歩、特に NC 機能をソフトウェアで実現した CNC(COMPUTERIZED-NC) の出現が機械加工分野に大きな影響を与えたが、最近のマイクロプロセッサ、メモリなどLSIの著しい進歩は更にNC装置の向上につながり、ますますその普及の度合を増してきている。

以下最近のNC技術の動向と当社が最近開発製品化し、好評を博している新シリーズについてその概要を紹介する。

## 2. NC技術の動向

最近のNC技術としては、半導体技術の大きな進歩と工作機械側の要求に対応して次のような動向がある。

### (1) テープレス運転

現場で紙テープを使用することから解放する手段として従来DNCシステムの導入しかなかったが、最近ではNC自体で加工プログラム用メモリを有するいわゆるテープレス運転が普及しており、このメモリがメモリ技術の進歩に従い大容量化の傾向にある。

### (2) マンマシンコミュニケーションの高度化

CRTを始めとする表示装置の多文字化はテープ編集、MOI、オフセット設定表示などNC装置との対話性が格段と向上し、かつ各種データ表示の内容が豊富になってきている。またこれはCNCの大きな特長の1つである自己診断機能の内容の充実にもつながっている。今後とも画面寸法の拡大、グラフィックディスプレイの応用なども含め、更にその高度化は進むものと考えられる。

### (3) オンライン計算処理の高度化

プログラムを容易にするために複雑な計算処理をNC内で行うほかに、ユーザーmacroのようにユーザーがNCの計算機能を利用する機能などはCNCの特性を最もよく生かしたものであり、今後ともマイクロプロセッサの性能向上により、更に高度化していくことが予想される。また最近では外部からの計測データを計算処理し、オフセットするなど計測との結びつきも1つの傾向である。

### (4) 機電一体化

NC装置の機械とう(搭)載、操作部の集中化、シーケンスのNC内蔵などのほか、NC内で座標系処理を行うようになって従来機械側のリミットスイッチ信号により処理していたストロークエンド、ピッヂエラー補正等をソフト処理で行うなど広い意味での機電一体も進んできている。今後ともコストパフォーマンスが高く、保守性、操作性を考慮した機電一体化指向への対応は1つの大きな課題である。

### (5) 高速度、高精度化

最近工作機械の高速度、高精度化が進んできており、特に精度の面では形状精度はもちろんのこと仕上面精度の向上も重要なファクターとなっている。これらに対応して検出器性能の向上あるいは送りサーボ系の駆動増幅器の高性能化が進んできている。

以上簡単にNC技術の動向を列記したが、これらを踏まえて当社が開発製品化した《MELDAS》M1、L1シリーズについてその概要

を紹介する。

## 3. 《MELDAS》L1、M1のシステムと特長

《MELDAS-L 1》は、従来の《MELDAS》5100A II 及び 5100C の後継機種として新しく開発製品化した旋盤専用CNCである。

《MELDAS-M 1》は、従来の《MELDAS-5000C》のレベルアップ機《MELDAS-5000C II》に次いで、より小形化低価格化を目指して開発製品化したフライスマシニングセンター用CNCである。

《MELDAS》L1、M1両機種の開発にあたっては、次の3点を主眼とした。

(1) ハードウェアの共通化により、標準化を推進するとともに量産に対応できる機種とする。

(2) 小形化により制御装置のユニット化など、従来よりも一段と前進した機電一体化を推進する。

(3) 低価格化を目指すとともに機能の拡張性及び柔軟性をもたせる。

そのために《MELDAS》L1、M1は、従来のCNC技術を更に拡張させ、大部分のNC機能をすべてソフトウェア化した。この結果L1、M1で制御対象の違いから生じる機能の違いはすべてソフトウェアで処理され、制御部の基本的なハードウェアはL1、M1共通となった。

次に、ソフトウェア化の担い手であるCPU(中央演算処理ユニット)は、ソフトウェア化の拡張に伴って増大する処理能力をカバーするため、従来の1CPU方式を改めマルチCPU方式を採用し、NCの処理をソフト的にも分散した。これにより、CPUの処理能力に基づく機能拡張の限界を打破する可能性をもつて至った。それと同時に、マルチCPU方式の分散処理により、ミニコンレベルの処理能力を必要としていたCPUに、はん(汎)用のマイクロプロセッサの採用が可能になった。

以上のように、マイクロプロセッサを用いたマルチCPU方式を採用した《MELDAS》L1、M1は当初の開発主旨を十分満足した形で製品化した。

### 3.1 ハードウェア構成とその内容

以下に《MELDAS》L1、M1に共通なハードウェアの構成及びその内容について述べる。図1.はハードウェア構成図、図2.、図3.はそれぞれL1、M1の本体外観、図4.はL1の設定表示パネル外観を示したものである。

図1.に示したように、《MELDAS》L1、M1は4個のマイクロプロセッサと1個の算術演算ユニット(APU)からなるマルチCPUシステムである。

メインプロセッサであるCPU1は8ビットのマイクロプロセッサを使用し、その演算能力の不足を補うために、32ビットの固定及び浮動小数点演算LSI(APU)を併用している。このAPUは加減乗除だけでなく超越関数も処理できるため、図形処理など高度の演算処理を要求されるメインプロセッサとして、16ビットのマイクロプロセッサ同等以上の処

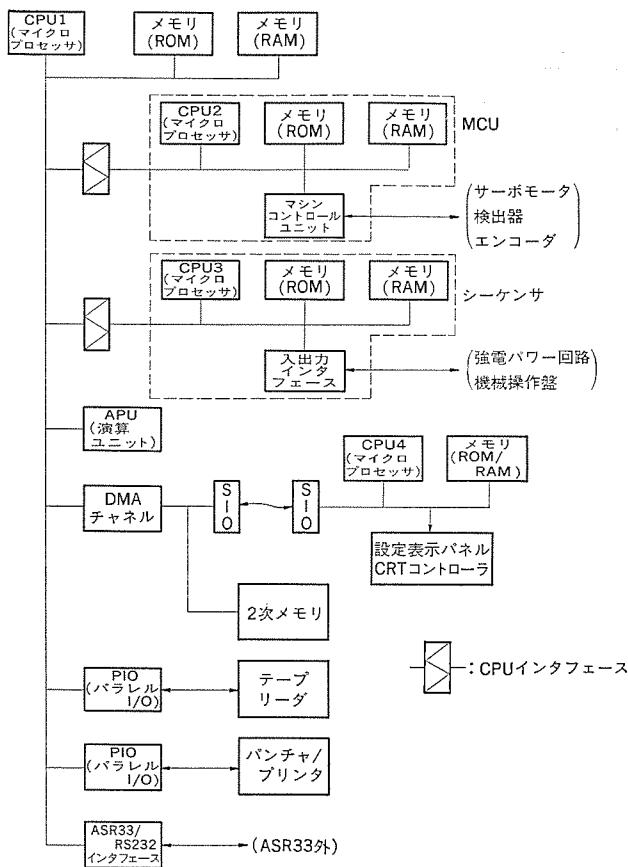


図 1. 《MELDAS》 L 1, M 1 ハードウェア構成図

理能力をもつことができた。

メインプロセッサは、スーパーバイザとしての役割のほかに、MCU(CPU 2), シーケンサ(CPU 3) 及び設定表示パネル(CPU 4)の各々に対する一連のデータ処理を司っている。更に、IO デバイスコントロールとして、テーブリーダのほかにパンチャ、プリントなどの制御を行っている。

MCU(CPU 2)は、CPU 1 から受け渡される 1 ブロック単位の移動情報と検出器からのフィードバック信号に基づいて、

- (1) 直線、円弧、ねじ切りなどの補間処理
- (2) 各軸ごとの指令加減速制御
- (3) サーボ系の位置ループ、速度ループ制御

を行っている。CPU 2 は、サーボ系をソフトウェア化して処理するため高速処理を要求される。このため CPU 2 は高速の 16 ビットマイクロプロセッサを用いている。

シーケンサ(CPU 3)は、機械対応の強電シーケンスをストアードプログラム方式で処理するもので、CPU 3 として 8 ビットのマイクロプロセッサを用いているが、シーケンス命令の高速処理化のためハードウェアを付加している。シーケンサの主な仕様は、

- (1) 入力 160 点、出力 77 点 + 12 ビットアナログ出力
- (2) 処理ステップ数 2,000 点最大。4.5  $\mu$ s/1ステップである。

設定表示パネルは、6 インチの CRT によるキャラクタディスプレイとフラットタッチキーにより構成している。メインプロセッサとのデータ伝送は、シリアル伝送方式を採用したが、これにより伝送における耐ノイズ性を向上させ、設定表示パネルの機械パンダントボックスへの実装など、機電一体化に伴うパネルと制御部の分離に十分対応できるようになった。

また設定表示パネル内には、CPU 4 としてマイクロプロセッサを内蔵し、今後ますます拡大されるディスプレイ処理の高度化、分散化を可能にしている。

以上のようなハードウェア構成の結果、従来の CNC と比べて、使用素子数は大幅に縮減し、約 1/2 になった。基本部は完全に 1 ボード化され、それにメインメモリ及び入出力インターフェースカードを制御電源を加えて制御ユニットを構成しているが、その大きさは約 540 W × 380 H × 160 D である。

### 3.2 システムとハードウェアの特長

《MELDAS》 L 1, M 1 は、4.1 節に述べたハードウェア及びシステムからみて、従来機種と比べて次のような特長を持つ。

- (1) マルチマイクロ CPU 方式の導入により、小形化を実現するとともに大幅なコストパフォーマンスの向上及び機能拡張性、柔軟性を実現した。
- (2) 制御部が従来に比べ大幅に小形化できたため、機械搭載形をはじめ、制御ユニット単体での機械内実装も可能なユニット構造とした。
- (3) ローパワーショットキー及び CMOS IC を全面的に採用し、制御部における消費電力を従来の 1/3 とした。
- (4) 6 インチ CRT ディスプレイの採用により マンマシンインターフェースとしての設定表示機能の大幅な向上と操作性の向上を図った。
- (5) なお《MELDAS》 L 1, M 1 のサーボシステムとして<sup>(1)</sup>、駆動部に新形のパルス幅変調式トランジスタ駆動増幅器を採用、また新しく開発した高性能形の検出器を採用し、従来のようにギヤを介することなく直接モータにマウントする方式としたことにより、サーボの応答性、切削面精度が一段と向上している。

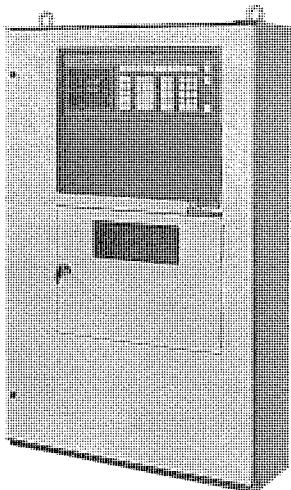


図 2. 《MELDAS-L 1》  
本体外観

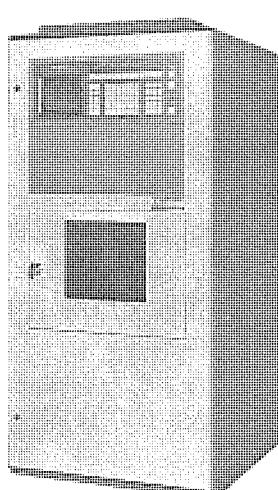


図 3. 《MELDAS-M 1》  
本体外観

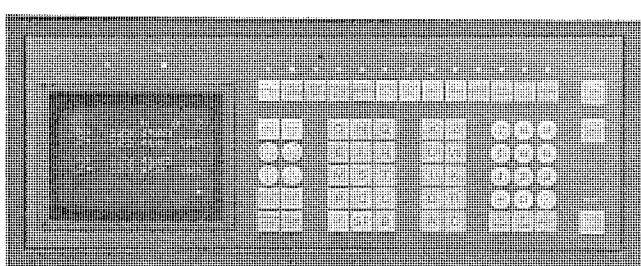


図 4. 《MELDAS-L 1》 設定表示パネル外観

#### 4. 《MELDAS》 L 1, M 1 の仕様構成と機能的な特長

《MELDAS》 L 1 及び M 1 の主な仕様構成を表 1. 及び表 2. に示す。以下、これらの機能の中で特長あるものについていくつか述べる。

表 1. 《MELDAS-L 1》仕様構成一覧

区分	機能概要及び項目
標準仕様	制御軸数 2 軸
	同時制御軸数 同時 2 軸
	入力設定単位 0.01/0.001 mm, 0.00005 inch
	補間機能 位置決め, 直線, 円弧補間
	位置指令方式 増分, 絶対値併用
	テープリーダ 光電式 200 ch/s, 卷取なし
	テープコード EIA, ISO 自動判別
	送り速度指定 F 5 衍 直接指定
	ねじリード指定 F 5 衍, E 7 衍
	設定表示機能 6 インチ CRT, フルキーボード
各種機能	各 種 機 能 小数点入力, MST 機能, 工具位置補正 16 組, 手動送り, バックラッシュ補正, F 5 衍指定, シングルブロック, 稲荷時間表示, フィードホールド, ドライアン, マシンロック, エラーデテクト, ストロークエンド, 原点復帰, オーバライド, 早送りオーバライド, ドウエル, ブロックディリート, れじ切り, 固定サイクル, バッファレジスタ, 設定表示機能 (CRT)
	付 加 仕 様 テープ巻取装置, X 軸半径指定, 半径指定円弧補間, コーナ取り, S 4 衍周速一定, S 4 衍ナログ出力, ノーズ R 補正, オフセット追加 (16 組), テープ記憶録集, サブプログラム, 变数形サブプログラム, 复合形固定サイクル, パンチプリント I/F, 機械座標系, ストアードストロークリミット, チャックバリヤ, インチ, ミリ切換, ユーザーマクロ, X 軸ミラーイメージ

表 2. 《MELDAS-M 1》仕様構成一覧

区分	機能概要及び項目
標準仕様	制御軸数 3 軸
	同時制御軸数 同時 2 軸
	入力設定単位 0.01/0.001 mm, 0.0001 inch
	補間機能 位置決め, 直線補間
	位置指令方式 増分, 絶対値併用
	テープリーダ 光電式 200 ch/s, 卷取なし
	テープコード EIA, ISO 自動判別
	送り速度指定 F 4 衍 直接指定
	設定表示機能 6 インチ CRT, フルキーボード
	各種機能 バッファレジスタ, 自動加減速, ドウエル, M 2 衍, MDI, シーケンスナンバーサーチ, 座標系設定, 原点復帰, セットゼロ, バックラッシュ補正, ストロークエンド, JOG 送り, インクリメントル送り, シングルブロック, フィードホールド, ドライアン, マシンロック, ブロックディリート, インタロック, ミラーイメージ, オーバライド, 补助機能ロック, Z 軸キャンセル, 早送りオーバライド, 手動アブソリュート, 積算時間表示, 自己診断機能, ドアインタロック
付 加 仕 様	付加軸 1 軸追加, 同時 3 軸制御, 円弧補間, ヘリカル補間, 巻取装置 S 2 衍, S 4 衍, T 2 衍, T 5 衍, B 3 衍, インチ/ミリ切換, 工具位置補正, 工具径補正 I, 工具径補正 II, 工具補正組数, 追加, 外部オフセット入力, 固定サイクル, サブプログラム機能, 演算形サブプログラム, 小数点プログラミング, 半径指定円弧補間, テープ記憶録集, テープパンチ/プリントアウトインターフェース, パンチ, プリント, プログラムナンバーサーチ, 外部シーケンスナンバーサーチ, 高速原点復帰, 第 2 原点復帰, メモリ式ピッチエラー補正, ストロークチェック, ハンドル送り, 手動ハンドル送り, オートリストア, 外部减速, サーボオフ, 現在位置表示外部
特別付加仕様	コンピュータリンク, シーケンサ内蔵, 機械操作ボード内蔵, 操作ボード外部, テープリーダ外部, リレー出力

#### 4. 1 設定表示機能

L 1, M 1 では設定表示機能として新しく CRT キャラクタディスプレイとフラットタッチキーを採用し, 表示内容の充実と操作性の向上を図っている。CRT は 6 インチを標準装備し 1 画面で最大 128 文字のマルチデータ表示ができる, 更に画面切換操作で数多くのデータを容易に表示できるようにしている。以下, 《MELDAS-L 1》を例にとって, 主な機能を紹介する。

##### (1) POSITION (ポジション/コマンド表示)

指令値, 機械座標値, 残距離の表示, 現在実行中の ブロック, バッファメモリ 内のコマンドデータ及びアクティビデータの表示, か (稼) 動時間表示など画面切換により選択する。

##### (2) DIAGNOSIS (自己診断)

NC の運転状態, 故障状態の診断に用いる機能で詳細は 4. 2 節による。

##### (3) PARAMETER (パラメータ設定・表示)

NC のパラメータの表示及びキー入力の設定ができる。

##### (4) EDIT (MDI/編集)

手動によるデータ入力及びメモリに格納されている加工プログラムの編集が, マルチデータの表示とカーソルキー操作により, 容易に操作できる。

##### (5) OFFSET (工具補正量設定・表示)

工具補正量として X, Z の補正量とノーズ R 補正值, 刃先点の設定ができる, 画面選択により 16/32 組のデータ設定, チェックが可能となっている。

以上の外に SEARCH(プログラムサーチ), DATA IN(メモリへのローディング), DATA OUT(パンチ/プリント出力), ERASE(メモリ内データ消去)などの機能をもっており, 従来機種に比べ大幅な機能向上となっている。

なお《MELDAS-M 1》もほぼ同等の機能を具備している。

#### 4. 2 自己診断機能

CNC の拡大すなわち機能の多様化, また NC の機械加工ラインへの急激な普及に伴い, NC の運転状態, 故障診断の必要性及び容易化の要求はますます増えている。《MELDAS》 L 1, M 1 ではこれらの状況にこたえるため, CRT を用いての自己診断機能の格段の充実を図った。従来のプログラム上のエラー, 操作上のエラーを発見すると CRT 画面上にエラーコードを表示するほかに,

##### (1) 機械シーケンス上の異常動作を表示。

(2) 機械との入出力信号のオンオフ状態表示及び機械側への強制出力信号による機械側状態の診断。

(3) 時定数, ゲインなどサーボ系の設定内容表示とサーボ系の追従誤差, 速度ループ指令値のオンライン監視。

##### (4) マイクロプロセッサ及びシステムメモリの診断(運転停止時)。

(a) 演算ユニット(APU)のインストラクションチェック

(b) 制御プログラムメモリ(ROM)のチェックサム

(c) 保持データエリア(RAM)のチェックサム

(d) 全 RAM エリアでのリード・ライトチェック

更に運転時, 全メモリの内容を CRT 画面上で順次監視することも可能。

(e) ストアードストロークチェック, チャックバリヤ(L 1 のみ)など機械干渉チェックのソフトウェア化。

などを実現した。これら自己診断機能の充実は, NC のコンピュータ化に伴う信頼性向上の一環として必然の流れであり, 今後更に機会をみて充実を図っていきたいと考えている。

#### 4.3 変数形サブプログラムと演算形サブプログラム

《MELDAS》L1, M1 ではプログラム援助機能として、いろいろな機能をもっているが、その中の1つとしてサブプログラム機能のレベルアップを行った。

サブプログラムは、メインプログラムから別プログラムの任意のプログラムブロックを呼出すといふ従来からの機能に加え、新たに変数形サブプログラムと演算形サブプログラム(ユーザー・マクロ)を備えている。

変数形サブプログラムはサブプログラムの中のデータとしては変数  $L_n$  ( $n=1, 2, \dots$ ) で指定しておき、メインプログラムでサブプログラムを使用するときに変数の値を指定するもので、これを用いると類似の形状の加工は1本のサブプログラムで行うことができる。

演算形サブプログラム(ユーザー・マクロ)は表3に示すような演算命令、制御命令を用いて種々の演算や条件判別が行えるものである。これにより、ユーザー独自で任意の加工サイクルをプログラムすることができる。演算形サブプログラムによるL1の深穴ドリルサイクルのプログラム例を図5に示す。

#### 4.4 複合形固定サイクル機能

《MELDAS-L1》において、プログラム援助機能の1つとしてユーザーのプログラミングをより簡略化するために有効な機能である。最終形状の寸法をプログラムするだけで途中の径路を自動的に計算しながら荒削りから仕上げ削りまで行えるもので、その種類として棒材切削サイクル(長手及び端面)、成形材切削サイクル(長手及び端面)、溝入れサイクル(長手及び端面)、ねじ切りサイクル、穴明けサイクルと豊富なメニューを揃えている。

表3. ユーザー・マクロ命令一覧

##### (1) 演算命令

Gコード	演算内容	A(a): 引数a	B(b): 引数b	C(c): 引数c	備考
G 101	$a \leftarrow b$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	—	引数b無指定は0
G 102	$a \leftarrow b+c$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	Lk, K <sub>2</sub>	引数b, c無指定は0
G 103	$a \leftarrow b-c$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	Lk, K <sub>2</sub>	—
G 104	$a \leftarrow b \times c$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	Lk, K <sub>2</sub>	引数b, c無指定は1
G 105	$a \leftarrow b \div c$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	Lk, K <sub>2</sub>	—
G 106	$a \leftarrow \sqrt{b}$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	—	引数b無指定は0
G 107	$a \leftarrow b \sin c$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	Lk, K <sub>2</sub>	引数b無指定は0 引数c無指定は0
G 108	$a \leftarrow b \cos c$	Li	Lj, K <sub>1</sub>	Lk, K <sub>2</sub>	—

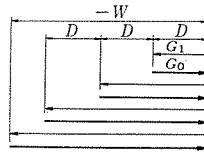
ここで、Li, Lj, Lk: 変数番号 (i, j, k=1~24)。K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>: 定数。

数値の単位は 0.001 mm 又は 0.001°

##### (2) 制御命令

Gコード	制御内容	A(a): 引数a	B(b): 引数b	C(c): 引数c	条件
G 200	無条件分歧		—	—	無条件にシーケンス番号aのブロックに分歧
G 201	等価分歧	N (分歧先のシーケンス番号)	Li, K <sub>1</sub>	Lj, K <sub>2</sub>	b=cならシーケンス番号aのブロックに分歧 b≠cなら次のブロックへ進む
G 202	負条件分歧		Li, K <sub>1</sub>	Lj, K <sub>2</sub>	b<cならシーケンス番号aのブロックに分歧 b≥cなら次のブロックへ進む

#### 1. ドリルサイクル加工パターン



W: 穴の深さ

D: 1回の切込み量

W<0 (Wのデータは負で入れる)

|W|>D

F: 切削送り速度

#### 2. プログラム例

(1) メインプログラム(加工プログラム)

0001 N001 G50X.....Z.....\*

⋮

N00n L1/D L2/W L3/F \*

N00m GZZ A1000 P0001 Q0011 \*

⋮

N0nm M0Z \*

(2) サブプログラム

O1000 N0001 FL3\*

N0002 G101 AL4 BL1\*

N0003 G103 AL5 CL2\*

N0004 G202 A0010 BL5 CL4\*

N0005 G201 A0010 BL5 CL4\*

N0006 G1W-L4\*

N0007 GOW L4\*

N0008 G102 AL4 BL4 CL1\*

N0009 G200 A0004\*

N0010 G1WL2\*

N0011 GOW-L2\*

EOR

#### 3. サブプログラム フロー図

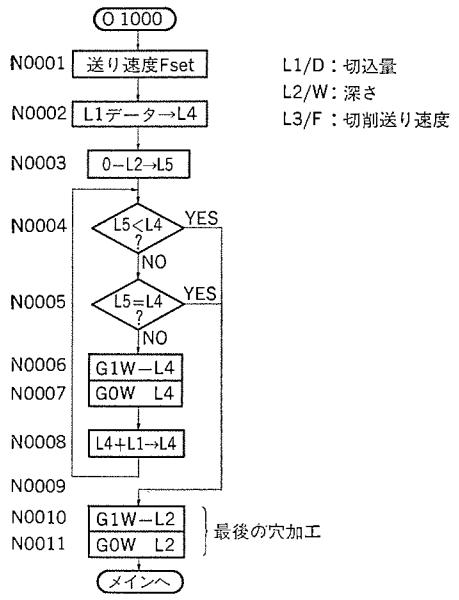


図5. 演算形サブプログラムを利用したドリルサイクルのプログラム例

#### 5. むすび

以上当社の最近開発製品化した《MELDASシリーズ》について紹介したが、今後ともユーザー各位、工作機メーカー各位の御指導と御協力を得ながらNC工作機システム全体から見て最適でありますNC装置の実現をめざしたいと考えている。

#### 参考文献

(1) 近藤、吉田、風間: 三菱電機技報、53、No. 9、p. 637(昭54)

# 三菱トランジスタパルスマグ溶接機《クリーンマグ》

殖栗成夫\*・田畠要一郎\*・平本誠剛\*\*・水野孝治\*\*\*・木谷基\*\*\*

## 1. まえがき

現在アーチ溶接作業で最も多く用いられている炭酸ガス溶接法( $\text{CO}_2$ 溶接法)は、その高能率性の故に、この10数年間に被覆アーチ溶接棒による手溶接法から急速に置き換えられてきた。しかし、今後アーチ溶接ロボットなどによる自動化が急速に進展してゆくなかでは、スパッタによる機器の損傷、ワークへの付着、ビードの不安定、継手裕度が狭いことなどが大きく問題としてクローズアップされている。

当社では「三菱アーチ溶接機 ノンスパッタシリーズ」の開発思想のもとにセミティグ溶接機、プラズマ溶接機等、各種の溶接機をここ数年間に開発、製品化してきたが、今回、最も需要の大きい $\text{CO}_2$ 溶接法への置き換えをねらい、アーチの基本現象から解明した「ノンスパッタシリーズ」の決定版ともいえる溶接機《クリーンマグシリーズ》を開発した。

本稿では《クリーンマグ》溶接機の原理、諸特性、製品仕様及び溶接施工について紹介する。

## 2. 《クリーンマグ》溶接法の原理

《クリーンマグ》溶接機は、パルスマグ溶接における溶滴移行現象の解析結果から理想的な溶滴移行時の溶滴部に供給される1パルスエネルギー量を明確にし、その適正1パルスエネルギー量を全電流範囲に拡大したものである。

本章ではパルスエネルギー量、パルス電流波形、具体化に当たっての制御機能について述べる。

### 2.1 溶滴移行現象の考察

消耗電極式アーチ溶接法においては、一般に、ワイヤ(電極)端の溶融部に働く力は、重力、表面張力及び同方向の電流間に働く電磁力の3種類で、これらが溶滴径を決める因子となっている。このうち制御し得る力は電流に依存する電磁力で、図1.(a)に示すように電流が小さく、 $D > d$ ( $D$ :ワイヤ径、 $d$ :ワイヤ先端部通電径)の場合には電磁力の軸方向成分 $F$ は上向きとなり、溶滴径はワイヤ径の数倍となってしまうのに対し、電流が増加し図1.(b)に示すように $D < d$ となると、 $F$ は下向きに働くことによって溶滴の等価重量が増して溶滴径はワイヤ径と同程度まで細粒化される。これをスプレー移行といい、スプレー移行が生じる最小の電流値を臨界電流値( $I_c$ )という。純直流に近い電流の場合の $I_c$ はワイヤ径1.2 mmの場合、通常300 A程度であるため、平均溶接電流がそれ以下でスプレー移行を得るためには、周期的に $I_c$ より大きなピーク値( $I_p$ )をもつパルス電流を一定の直流電流に重畳させる方法が用いられている。

図2.は1パルス当たりの溶滴に注入される熱量 $Q$ を変えたときの溶滴移行形態を模型的に示すもので、(b)は溶滴1個分を溶融させるのに必要な熱量 $W$ と前述 $Q$ がほぼ等しい状態(適正スプレー移行状態)であるのに対し、(a)は $I_p < I_c$ 、(c)は $Q \gg W$ の場合で、ともに溶滴径は大きくなり、母材との短絡により発生するスパッタ(溶融球)を防止するためにはアーチ長を長くせねばならず、それは溶接作業上好ましくない結果をまねく。

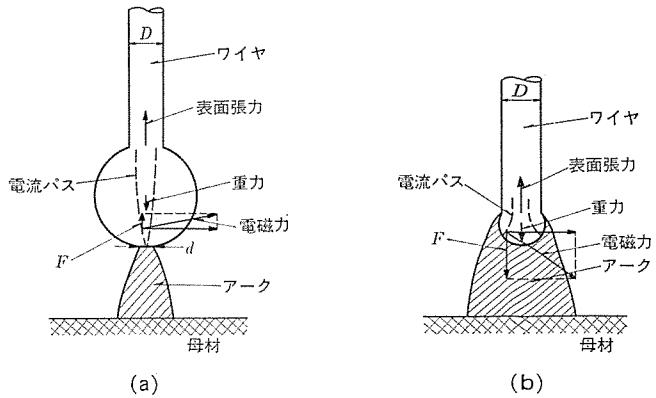


図1. ワイヤ端の溶融部に働く力

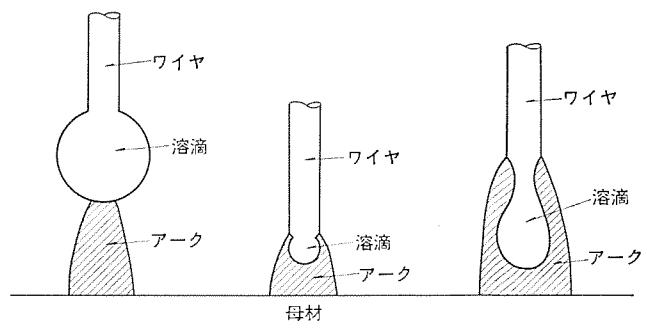


図2. 各種溶滴移行形態

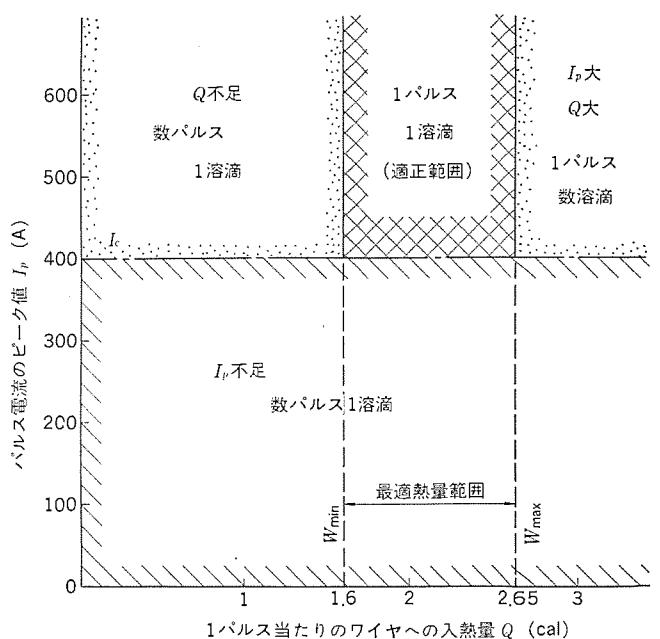


図3.  $I_p$ ,  $Q$  を変化させたときの溶滴移行形態  
(ワイヤは軟鋼  $\phi 1.2$  mm, ガスは  $\text{Ar}/\text{CO}_2 = 8/2$ )

《クリーンマグ》溶接機は  $I_P \geq I_c$ ,  $Q \approx W$  の 2 条件を満たすことにより短かいアーチ長でスプレー移行状態を得、溶接作業性を改善すると共にスパッタの発生を防止している。図 3. は前記 2 条件を満たす  $I_P$ ,  $Q$  の範囲を示す例で、 $I_P$ ,  $Q$  を図 3. に示した範囲に固定し、単位時間当たりのパルス発生個数をワイヤ送給量に応じて連続的に増減させれば、溶接電流値の大小にかかわらず適正な溶滴移行形態を得ることができる。

## 2.2 パルス波形の考察

パルス電流波形はおおむね図 4. に示す形状で、前述の考えに基づき  $I_P$ ,  $I_B$ ,  $T$ ,  $\tau$  を決めている。 $I_P$  は臨界電流値  $I_c$  以上に設定し、 $I_B$  はアーチが持続する必要最小限の電流で、溶接電流値によらず一定の値 (1.2 mm ワイヤで約 50 A) となっている。 $T$  はパルス周波数の逆数であり、パルス周波数はワイヤ送給量を 1 個の溶滴の重量で除したものである。溶滴径がワイヤ径 (1.2 mm) に等しいものとし、ワイヤ送給速度が 10 m/min であれば、

$$T = \frac{\frac{4}{3}\pi \cdot (0.06)^3}{\pi \cdot (0.06)^2 \cdot \frac{1000}{60}} = 4.8 \text{ (ms)}$$

となる。また  $\tau$  は  $Q \approx W$  の条件より求める。 $Q$  はアーチ熱によるものと突出部分のジュール熱によるものとの和であり、

$$Q = K \int_0^\tau i dt + Rl \int_0^\tau i^2 dt$$

$K$  : 比例定数,  $R$  : ワイヤの単位長さ当たりの電気抵抗

$l$  : 突出長 (ワイヤの給電部からアーチ部までの長さ)

$i$  : 溶接電流

と表される。ワイヤが軟鋼 1.2 mm $\phi$ , シールドガス比が  $\text{Ar}/\text{CO}_2 = 8/2$  の場合、 $W = 2.08 \text{ cal}$  であり、 $I_P = 450 \text{ A}$  とし  $I_B$  を無視すれば上式よ

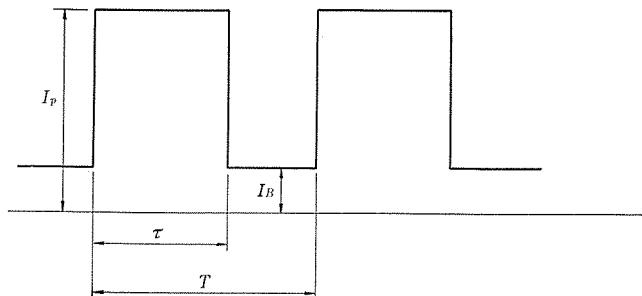


図 4. 溶接電流波形の模式図

表 1. 各種条件における溶滴径及びパルス形状

ワイヤ材質、径、シールドガスの種類	溶滴径 (mm $\phi$ )	$I_P$ (A)	$\tau$ (ms)	$v \cdot T$ (m)
軟鋼, 0.9 mm $\phi$ , $\text{Ar}/\text{CO}_2 = 8/2$	1.1	350	2.5	$1.1 \times 10^{-3}$
軟鋼, 1.2 mm $\phi$ , $\text{Ar}/\text{CO}_2 = 8/2$	1.2	450	3.2	$0.80 \times 10^{-3}$
軟鋼, 1.6 mm $\phi$ , $\text{Ar}/\text{CO}_2 = 8/2$	1.3	550	4.6	$0.57 \times 10^{-3}$
ステンレス, 1.2 mm $\phi$ , $\text{Ar}/\text{O}_2 = 9/3$	1.0	400	1.7	$0.46 \times 10^{-3}$
アルミ, 1.6 mm $\phi$ , Ar	1.4	300	3.8	$0.71 \times 10^{-3}$

注  $v$  (m/min) : ワイヤ送給速度,  $I_B$  は無視した

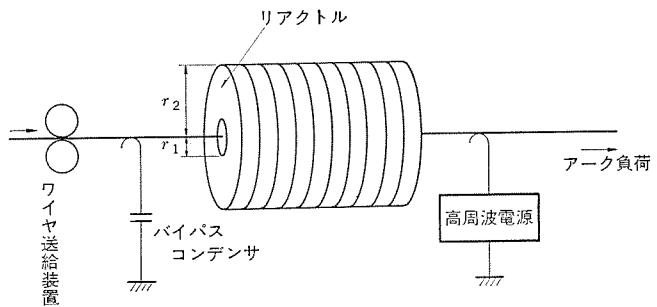


図 5. リアクトルの概略形状

り、 $\tau \approx 3.2 \text{ ms}$  となる。各種条件における溶滴径及びパルス形状の例を表 1. に示す。

## 2.3 外乱への対応

溶接電流波形を表 1. に示した値に固定した場合、溶接機の出力電流電圧特性は定電流特性となり、作業者の手振れにともなって発生する突出長の変動によって、前述  $Q$  が変動し溶滴移行形態が変化し、ワイヤの突込みによるスパッタの多発もしくはアーチ長の伸びを発生させ、溶接作業の大きな阻害要因となる。《クリーンマグ》溶接機ではアーチ長とアーチの平均電圧 ( $V_0$ ) がほぼ比例することに着目し、 $V_0$  が突出長の変動に関係なく、常に目標電圧値となるよう前述の  $\tau$  を制御し、 $I_P$ ,  $T$  が一定であることと手伝って、等価的に  $Q$  の変動を抑えている。

## 2.4 高周波阻止リアクトルの開発

《クリーンマグ》溶接機は急峻な電流の立上がりと最大電流の抑制により安定なアーチ起動ができるよう製作されているが、母材に付着した油、スラグ等のような電気的絶縁物があった場合でもスムーズなアーチ起動を得るために、自動機専用の準標準仕様として高周波アーチ起動方式が採用できるよう考慮されている。この方式における高周波重畠方式は安全を配慮して並列重畠方式を採用し、新規に開発したリアクトルにより高周波高電圧による機器の破壊を防止している。

このリアクトルは図 5. に示すようにフェライトコアの中央部にワイヤもしくは溶接ケーブルを貫通させ、高周波分に対しては高インピーダンスを得ている。このリアクトルのインピーダンス  $Z$  は、

$$Z = 2 \times 10^{-7} \omega \mu_r l \frac{r_2}{r_1} \quad (\Omega/\text{m})$$

となる。ここで、 $\omega$  は角周波数、 $\mu_r$  は比誘磁率、 $r_2$  はリアクトルの外径、 $r_1$  は内径である。 $\mu_r$  は高周波の場合、表皮効果により見かけ上低下してゆくため、薄い円板を多数枚重ねることで  $\mu_r$  の低下を防止している。図 5. の例では高周波電圧は、リアクトルとバイパスコンデンサのインピーダンス比で定まる小さな電圧しかワイヤ送給に印加されず、機器を絶縁破壊から保護している。

## 3. 製品の構成と仕様

《クリーンマグ》溶接機は前章の原理を基に製品化したもので、

- (1) 小電流から大電流まで、短かいアーチ長にてスプレー移行溶接ができる、スパッタの少ない高速の溶接ができる。
- (2) 突出長の変動に対しても溶滴移行状態が変化しないよう制御しているため、アーチ長の変動が少なく、確実な溶け込みが得られる。
- (3) 溶接条件の調整がダイヤル 1 個で行えるため、アーチを出しながら、片手で適正溶接条件を選ぶことができる。

などの特長をもっている。本章では機器の構成、仕様について述べる。

### 3.1 構成

装置は図6. のように、(1)溶接電源、(2)ワイヤ送給装置、(3)溶接トーチ、(4)付属品で構成している。

図7. は溶接電源の主回路部の結線図を示すもので、3相全波整流により純直流源を得、 $I_B$ の経路にて、溶接電流値には無関係でワ

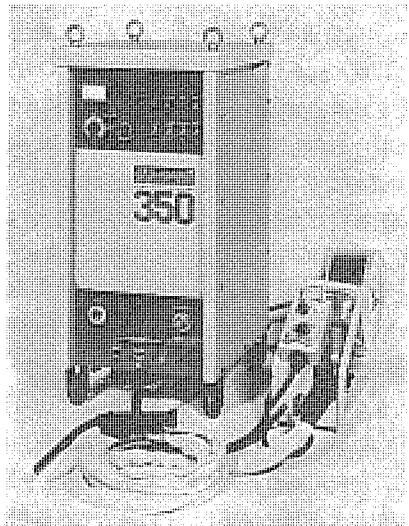


図6. 《クリーンマグ350》溶接機

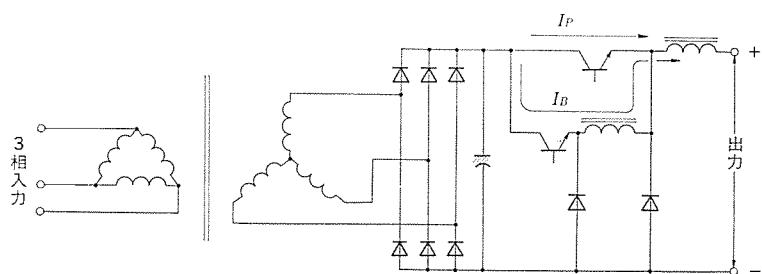


図7. 主回路結線図

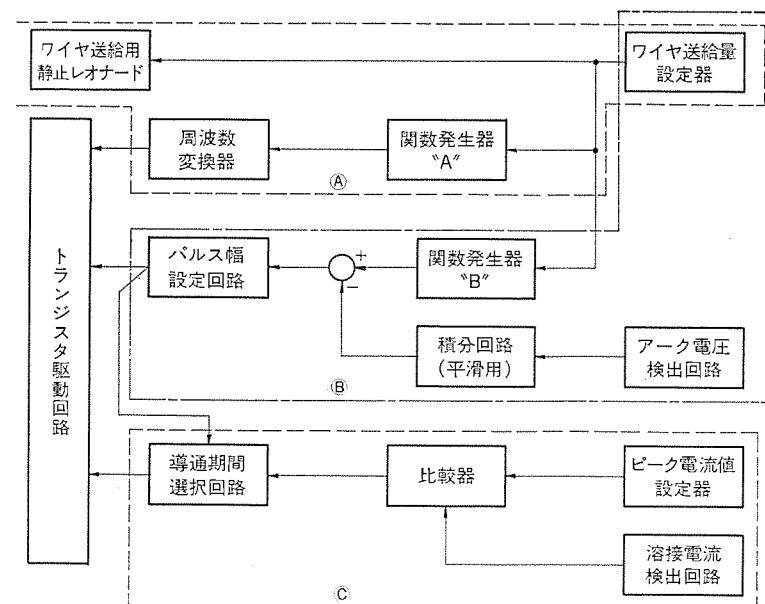


図8. 制御回路ブロック図

イヤ径により異なる一定のベース電流値を供給する。一方、 $I_B$ の経路にて、ワイヤ送給量に比例した出力周波数で、そのピーク電流値はワイヤ径により異なるパルス電流値を供給している。いずれのトランジスタもスイッチング制御にて流れる電流を一定値に制御し、直流リアクタによりアーカーの安定化を図っている。この方式により3相平衡負荷状態にて溶接機が稼働することができ、契約電力料もCO<sub>2</sub>溶接機並に低減することができた。

### 3.2 パルス制御方式

図8. は溶接電源の制御方式をブロック線図で示すもので、その機能は大きく3区分できる。

#### 3.2.1 パルス周波数

図中Ⓐで囲まれた機能部で、ワイヤ送給量とパルス周波数の関係を作り出している。関数発生器“A”は理論的に求めたワイヤ送給量とパルス周波数の関係を、実験を通して一部修正し、ワイヤ材質径別に、約30~250Hzの範囲で調整できるように設定されている。また、ワイヤ送給装置を取換えた場合でも、ワイヤ送給量とパルス周波数の適正な関係が崩れるのを避けるため、ワイヤ送給装置に調整器を設け、基準電圧に対する回転数が、どのワイヤ送給装置でも同一値となるよう設定している。

#### 3.2.2 パルス幅

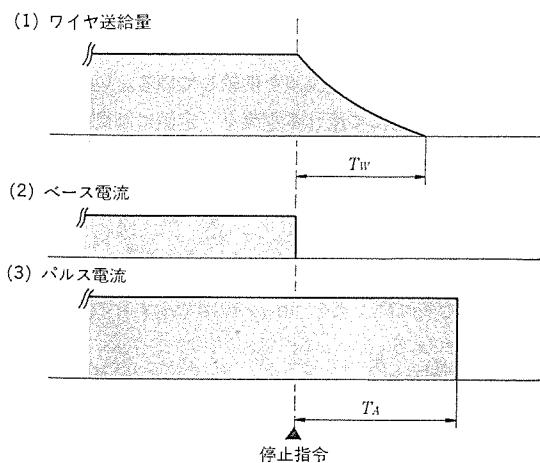
図中Ⓑで囲まれた機能部で、1パルス当たりの適正入熱量を制御している。関数発生器“B”は理論より求めた1パルス当たりエネルギーを、実験を通してアーカー電圧に換算した値として、ワイヤ材質、径別にパルス幅を設定している。実作業においては電源電圧の変動、運棒時の突出長の変動などにより溶滴へ与えられる入熱量が変化するため、本回路ではアーカー電圧を帰還し、関数発生器“B”的出力と突合せ、パルス幅を制御することにより、1パルス当たりの溶滴への入熱量を一定に維持する方法をとっている。

#### 3.2.3 パルスピーク電流

図中Ⓒで囲まれた機能部で、パルス電流のピーク電流値をワイヤ材質、径別に一定の値に維持する働きをする。比較器はピーク電流値設定回路からの信号( $I_0$ )と溶接電流検出回路からの信号( $I_f$ )とを比較し、 $I_0 \leq I_f$ の場合は出力段トランジスタへOFFの指令を、 $(I_0 - \Delta I_0) \geq I_f$ の場合は出力段トランジスタへONの指令を出力してピーク電流値を一定に維持している。ここで、 $I_0$ は前項で述べた臨界電流値以上であれば、大きい値をとるほど溶滴の離脱に有利に作用するが、あまり大きすぎると、溶融金属を吹き飛ばすため、実験を通して、表1. に示すピーク電流値に設定している。また、 $\Delta I_0$ は小さい値となるほど溶接性の面では改善されるようであるが、機器の経済性の面より50~100A程度となるよう、比較器により設定されている。

### 3.3 アーカー起動と終了時の制御

一般にアーカー起動を改善するには、ワイヤと母材間の接触抵抗値がワイヤとチップ間の接触抵抗値より大きい間にワイヤと母材間に大電流を供給し、ワイヤと母材の接触部で発熱させ、アーカーに移行する必要がある。このため、最近はアーカー起動時のみ別回路を設けて急峻な立ち上がりの電流を供給する方法が採用されてきている。《クリーンマグ》溶接機はパルスピーク電流値でアーカースタートする方式のため、



注  $T_w$ : ワイヤ送給モータの停止までの慣性時間  
 $T_a$ : 停止指令から出力をしゃ断するまでの時間

図 9. 溶接終了シーケンス

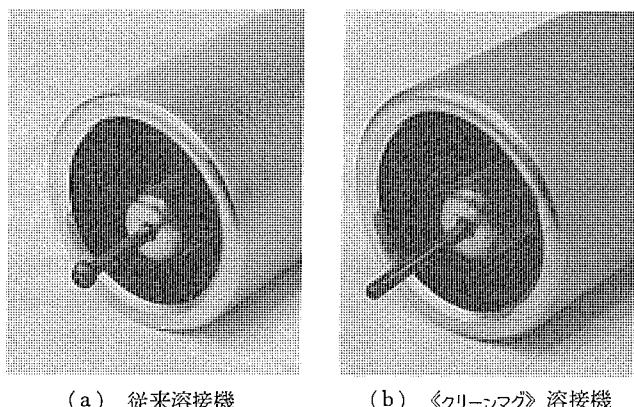


図 10. 溶接終了後のワイヤ先端部形状

小さな回路 リアクタンスによる急峻な短絡電流の立上がりと、ピーク電流値設定回路による定電流制御の作用により、スパッタの少ないアーク起動ができる。また、溶接終了時においても、図 9. に示すベース電流をワイヤ送給しゃ断と同時にしゃ断する溶接シーケンスの採用により、図 10. のように、ワイヤ先端部の球の発生を確実に抑え、再アークを容易にしている。

#### 4. 溶接施工

溶滴の移行形態はシールドガス中の  $\text{CO}_2$  ガス混合比に大きく左右されるが、《クリーンマグ》溶接機で使用するシールドガスは、市販のマグガスが使用できるようになっている。軟鋼では 5~20%  $\text{CO}_2$  入りアルゴンガスを使用する。本章では  $\text{CO}_2$  溶接機と比較して、その特長を述べる。

##### 4.1 溶接性

《クリーンマグ》溶接機は、溶け込み、機械的品質は  $\text{CO}_2$  溶接機並の品質を確保しており、更に、スパッタ量においても 180 A で溶接を行った場合の  $\text{CO}_2$  溶接機との比較では 1/150 以下と激減しており、スパッタ除去に大きな労力を要していた部門では、著しい効果を発揮する。

##### 4.2 溶接コスト

《クリーンマグ》溶接機では、

###### (1) 溶接速度の向上による作業時間の低減 (特に薄板分野)

(2) スパッタ除去時間の大幅な減少 (特に厚板分野)  
 の理由により、総合溶接コストの低減ができる。以下に薄板と厚板に例をとって総合溶接コストを試算する。

##### 4.2.1 軟鋼薄板溶接

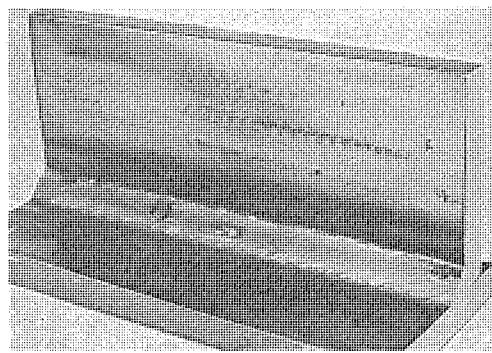
2.3 mm の軟鋼板を溶接電流 200 A 一定として、脚長 3.5 mm となるよう自動溶接を行うと、《クリーンマグ》溶接機 114 cm/分、マグ溶接機 85 cm/分、 $\text{CO}_2$  溶接機 68 cm/分の結果を得た。

薄板溶接では母材へのスパッタの付着が少ないのでスパッタ除去時間は無視しても、《クリーンマグ》溶接機での溶接速度は  $\text{CO}_2$  溶接の 1.7 倍と速いため、工賃が大幅に減少し、シールドガス費用も単価で 5 倍のものが 3 倍程度に減少し、かつ、溶接ビードが  $\text{CO}_2$  溶接のそれに比較し平滑なため単位溶接長当たりのワイヤ消費量も低減する。

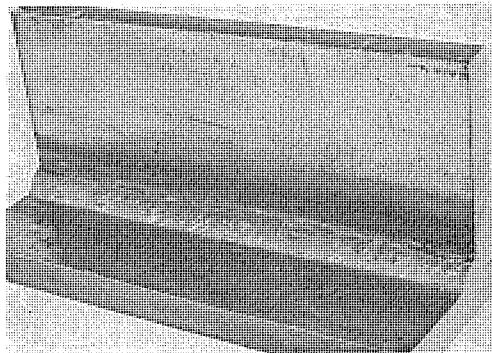
量産工場における薄板溶接でのアーク発生率は 20~40% とされており、年間就業時間を 2,000 時間とした場合の《クリーンマグ》溶接機における年間溶接長は 25~50 km、 $\text{CO}_2$  溶接機の場合は 16~32 km と想定できる。年間 30 km 溶接量がある場合、溶接コストの差額は  $\text{CO}_2$  溶接機に対し《クリーンマグ》溶接機は約 78 万円/年低減できる見込みとなり、初期投資を 1 年間で十分回収することができる。

##### 4.2.2 軟鋼厚板溶接

溶接電流が大きくなると、《クリーンマグ》溶接機と  $\text{CO}_2$  溶接機でのワイヤの溶融量の差は小さくなり、溶接速度の差はみられなくなってくる。しかし、薄板の場合と異なり、 $\text{CO}_2$  溶接機、マグ溶接機の場合はスパッタが母材に多量に付着し、その除去費が無視できなくなる。前項と同様、年間就業時間を 2,000 時間、アーク発生率を 30% とした場合の年間溶接長は約 10 km となり、 $\text{CO}_2$  溶接機に比較し《クリーンマグ》溶接機では約 100 万円/年の溶接コストの低減が図れる。

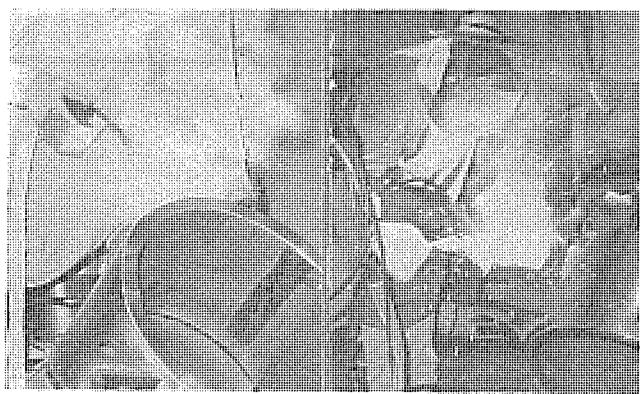


(a) 《クリーンマグ》溶接機 (250 A, 27 V)



(b)  $\text{CO}_2$  溶接機 (250 A, 26 V)

図 11. 水平すみ肉溶接 (板厚 12 mm)



(a) 『クリーンマグ』溶接機 (b)  $\text{CO}_2$  溶接機

図 12. 製品に適用したときのスパッタ飛散状況



図 13. アングル材の施行例 (立向下進溶接から水平すみ肉溶接)

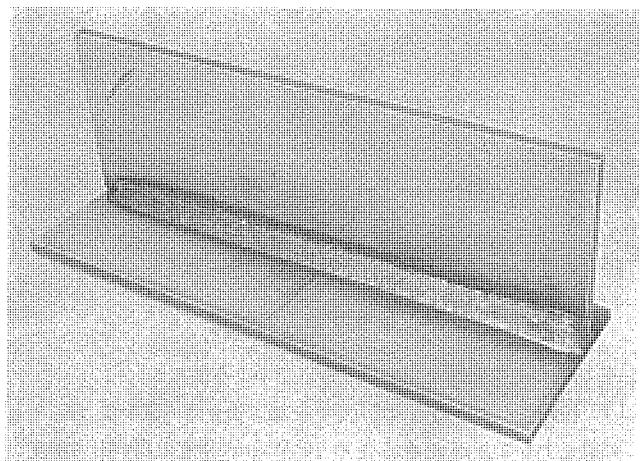


図 14. ステンレス (4 mm) の溶接  
(190 A, 60 cm/分)

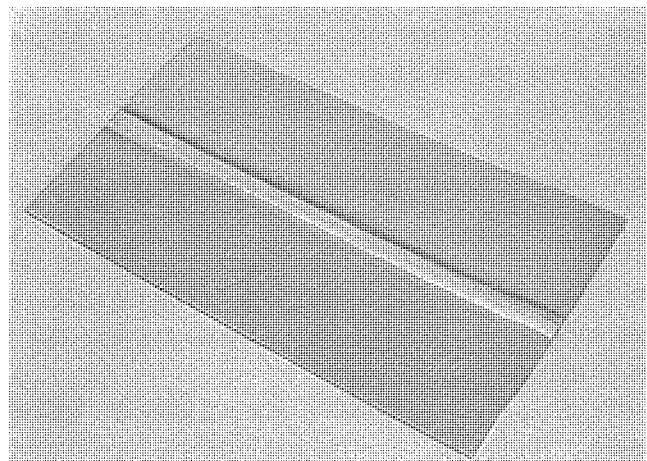


図 15. アルミニウム (1.2 mm) の突合せ溶接  
(60 A, 70 cm/分)

#### 4. 3 溶接施工例

図 11. は板厚 12 mm での溶接ビード形状及びスパッタ付着状況を示したものである。 $\text{CO}_2$  溶接機ではビード表面が荒く、スパッタが数多く付着しているのに対し、『クリーンマグ』溶接機ではビード表面が平滑でスパッタもほとんど付着していない。図 12. は実際の製品に『クリーンマグ』溶接機を適用した場合のスパッタの飛散状況を  $\text{CO}_2$  溶接機と比較して示す写真である。スパッタの発生が激減していることが良くわかる。

図 13. はアングル材のすみ肉溶接の例であるが、従来のパルスマグ溶接機では溶接姿勢 (例示写真では立向下進溶接から水平すみ肉溶接への変化) が変ると突出長の変化をともなって溶滴移行形態が変り、アーク長の伸び、もしくはワイヤの突込みなどを発生していたが、『クリーンマグ』溶接機では安定に溶接を行うことができる。図 14. は『クリーンマグ』溶接機をステンレス材に、図 15. はアルミニウム材に適用

した例を示すもので、いずれの場合もスパッタの少ない良好な結果を得ている。

#### 5. むすび

『クリーンマグ』溶接機は、スパッタが激減、溶接ビードが平滑で安定、継手裕度が大きいなどの理由により、溶接業界には画期的インパクトを与える、またロボットによる溶接自動化の大きな武器となり、数年後には、 $\text{CO}_2$  溶接機にほぼ全面的に置き換わると予想している。

当社では、今後ともアークの基本現象を解析し、各種のノンスパッタ溶接機の開発、製品化を行ってゆく所存である。

#### 参考文献

- (1) W. J. Greene : An Analysis of Transfer in Gas Shielded Welding Arcs, T. A. I. E. E., p. 194 (1960-7)

# 炭酸ガスレーザ加工

島田 弥\*・森 一平\*\*・星之内 進\*・小林 実\*・安藤 隆\*\*

## 1. まえがき

レーザは単色光であり指向性もよくて、光学レンズなどにより極めて小さなスポットにそのエネルギーを収束することができ、非常に高いエネルギー密度が得られる。

既にYAGレーザは、電子部品や精密機械部品の微細加工などの分野で生産ラインでの使用が定着しているが、炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)レーザに関しては大出力で信頼性の高い発振器の開発が遅れていたこともあり、いまだ導入段階である。

しかしCO<sub>2</sub>レーザは他のレーザと比べて発振効率が高く大出力を連続して発生できるので、大出力の加工用エネルギー源として最適であり、kW級の発振器が広く市販されはじめたのに伴い各種加工への適用が始まった。

CO<sub>2</sub>レーザは波長が10.6 μmの遠赤外域にあり、大気中のエネルギー伝搬による減衰が少なく、大気圧下でいろいろな加工ふんい気を自由に選択できるので、非金属材料から金属材料まで広い範囲の加工に適用できる。

ここでは出力1kW程度のCO<sub>2</sub>レーザによる切断・溶接・表面熱処理などの加工能力及びその性能に影響を及ぼす因子などの加工技術について説明するとともに、当社のCO<sub>2</sub>レーザ加工機の製品シリーズについても紹介する。

## 2. レーザ加工の原理

レーザビームは、時間的及び空間的に優れたコヒーレンシー(位相がそろっていること)を持っており、通常の光に比べ広がり角が著しく小さく指向性が良い。広がり角θの光を焦点距離fのレンズで集光した場合焦点面におけるビーム径dは光の回折理論により、

$$d = f \cdot \theta \equiv 2.44(\lambda/D) \cdot f$$

で表される<sup>(1)</sup>。ここでθはビームの波長、Dは入射ビーム径である。θは入射ビーム径に依存するが加工用CO<sub>2</sub>レーザでは通常2mrad程度であり、レンズや反射鏡よりなる光学系を用いることにより約0.1mm程度のスポット径に集光することができ、その結果10<sup>6</sup>~10<sup>8</sup>W/cm<sup>2</sup>程度の高いエネルギー密度を得ることができる。レーザ加工は集光されたレーザビームのもつ高いエネルギー密度とエネルギー密度の広範な可変性を利用した加工法である。

レーザ加工では、透過形安定共振器を構成する部分反射鏡を介して発振器から取り出したレーザビームをビームベンダを含む伝送系により加工ヘッドに伝送し、光学系により集光した後被加工物に照射する。加工ヘッドの構成は加工の種類により変わるが主たる構成要素はビームを集光するためのレンズ若しくは反射鏡と、加工を促進したり加工部を大気から保護するために用いる補助ガスをビームと同軸状に噴射するノズルの2つである。その他、被加工物を移動させるためのNCテーブルなどが付加される場合もある。

レーザ加工では高いエネルギー密度とエネルギー密度の広範な可変性に起因して多岐にわたる加工が可能である。図1にレーザ加工の種類

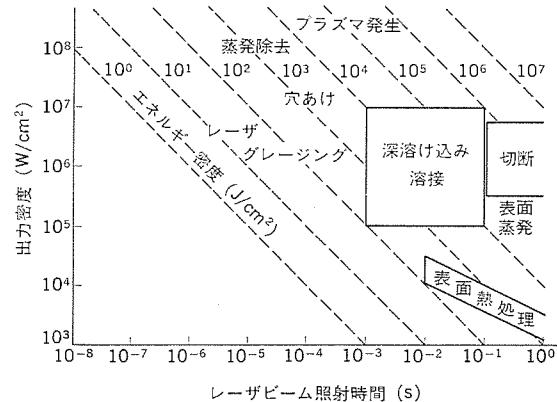


図1. レーザ加工の種類と出力密度

を出力密度とレーザ照射時間の関係で整理して示す。

## 3. レーザ加工の特長

レーザ加工の主な特長を列挙すると以下のようになる。

- (1) 指向性のよい高出力のレーザを加工物表面に微小なスポットとして集光することができるため10<sup>8</sup>W/cm<sup>2</sup>程度の高い出力密度が容易に得られる。この出力密度は従来の加工法のなかでは最高の部類に属し、従来の加工法では加工困難な材料、例えば高融点材料、セラミック、複合材料など広範な材料を加工できる。
- (2) エネルギー密度や加工部の位置決め制御が容易であり、加工の自動化や最適制御を実現できる。
- (3) 高密度熱源による加工であるため加工時間が短く、加工による熱影響やひずみの少ない加工ができる。
- (4) 光を用いて非接触で加工するため、材料の剛性や硬さ・もろ(脆)さに無関係に加工でき、騒音・粉じん(塵)を発生しないため作業環境が良好である。
- (5) 光学系を用いて加工場所を自由に変えることができ、時分割利用も可能で生産性向上に有利な加工法となりうる。
- (6) 加工ふんい気を自由に選択できる。また加工にともなうX線の発生がない。したがって被加工物の寸法や形状に対する制約が少なく作業性が良好である。

このようにレーザ加工は多くの特長があるため、従来の加工法に比べ適用領域が多岐にわたり、同一の加工機で多目的の加工を行うことができるようになり、時代の要請でもある柔軟な加工システムを生み出すことができる加工法として期待されている。

以上の優れた特長を生かして、既にいろいろな分野で導入が進められている。例えば、微小部品の高精度溶接、型段取りの繁雑な複雑形状を持つ薄い金属の高速切断、部品寿命や機能を向上させるための局所的な表面熱処理などがその例である。

次章ではレーザ加工の典型的な応用例として、金属の切断・非金属の切断・溶接・表面熱処理をとりあげ、それぞれの分野での技術の動向を紹介する。

## 4. レーザ加工の応用

### 4.1 金属の切断

レーザによる金属切断の特長は、複雑な形状を薄板から高速で精密に切り出すことができ、しかも型を用いないため寸法の変更が容易な点にあり、切断のメカニズムや切断面の精度などについて重点的に研究が行われ<sup>(2)</sup>、既に薄板パネルの切断などの分野で実用化が始まつつつある。

金属の切断では集光されたビームと同軸状に  $O_2$  若しくは空気などのガスジェットをノズルから吹きつける。これは、切断材料との酸化反応による反応熱を有効に利用すること及び生成した酸化物を円滑に離脱・排出させることなどにより切断能力と切断面の品質を向上させるのに使われている。

切断面の粗さやドロスの残存などの切断面品質に影響を及ぼす因子は、出力、焦点位置、補助ガスの種類と流量、切断速度、板厚などである。このうち1例として図2.に切断品質と切断速度の関係を示す。金属の切断では、ガスジェットの酸化反応を利用するため切断速度が遅過ぎる場合は酸化反応が過度に進み、おうとつ(凹凸)の大き

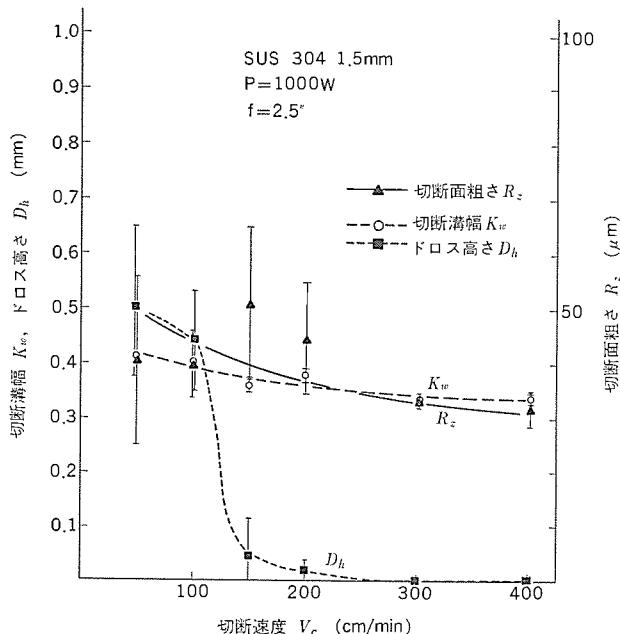


図2. 切断品質と切断速度の関係

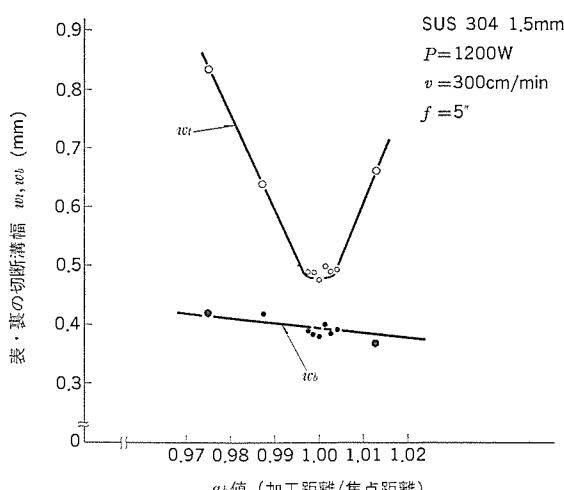


図3. 切断溝幅と焦点位置の関係

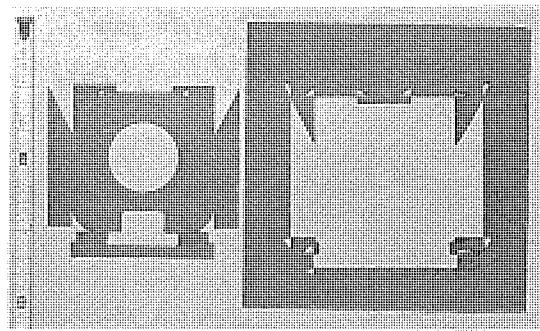


図4. 薄鋼板の形状切断例

きな切断面となりドロスも裏面に付着しやすい。一方、切断速度が早過ぎると切断面下部が不整となり、最終的にはガウジングとなる。したがってドロス付着のない平滑な切断面を得るためにレーザ出力に対して適正な切断速度が存在する。

レーザ切断では、集光されたビームを用いるため焦点位置に対しては十分な精度を保証することが必要である。図3.に焦点距離5"のレンズを用いた場合の切断溝幅と焦点位置の関係を示す。良好な切断品質と精度の高い切断を得るために適正な焦点位置は、被加工物の板厚やレンズの焦点距離・焦点深度などによっても異なるが、通常被加工物表面から下方0~0.2 mm程度の精度で維持することが必要である。

その他の加工因子としては、ビームの横モードが重要である。切断では出力密度の絶対値が大きく、分布が急しゆん(峻)である程良好な切断品質の得られる条件範囲の広いことが知られており<sup>(2)</sup>、その意味で TEM<sub>00</sub> モードが望ましい。

レーザによる金属の切断では、上記の加工条件を適正に制御することにより、シヤー切断と同程度の精度と品質が得られる。1例として図4.に薄鋼板の形状切断例を示す。現在のところ型を用いない薄板の高速精密切断では、他に有力な切断法が見あたらず、3次元曲面の切断技術や加工機の小型化などとあいまって実用性の高い切断法となるものと期待されている。

### 4.2 非金属の切断

木材、アクリル樹脂、紙などの非金属材料のレーザ切断は、切屑や騒音を発生しない、切断取り代が少なく複雑な形状が自由に切断できる、非接触加工であるため加工物の剛性が小さくても加工できるなどの理由で実用化が最も進んでいる分野である。非金属のレーザ切断の方法は基本的には金属の切断の場合と同じであるが、溶融昇華した材料の効率的な除去と加工面の大気からの保護を目的としてガスジェットとしては乾燥空気や  $N_2$ などの不活性ガスがよく用いられる。

図5.に代表的な非金属のレーザ切断能力<sup>(3)</sup>を示す。金属に比べ小さな出力でかなりの板厚まで切断可能であり、切断限界板厚と切断速度の間にはほぼ比例関係が存在する。

切断品質は材料の種類に依存するが、アクリル樹脂、ABS樹脂、木材、紙、布などは良好な品質の得られやすい材料である。図6.にアクリル樹脂の形状切断結果を示す。

非金属のレーザ切断は、今までにボール紙工業で用いられるダイブロック(抜き型)の加工や布地の切断に用いられてきたが、今後炭化に代表される切断面の熱変質の防止技術や、複雑なビーム走査技術の進歩に伴い、複合材料などの難加工材を含む広範な工業分野に導入されるものと推測される。

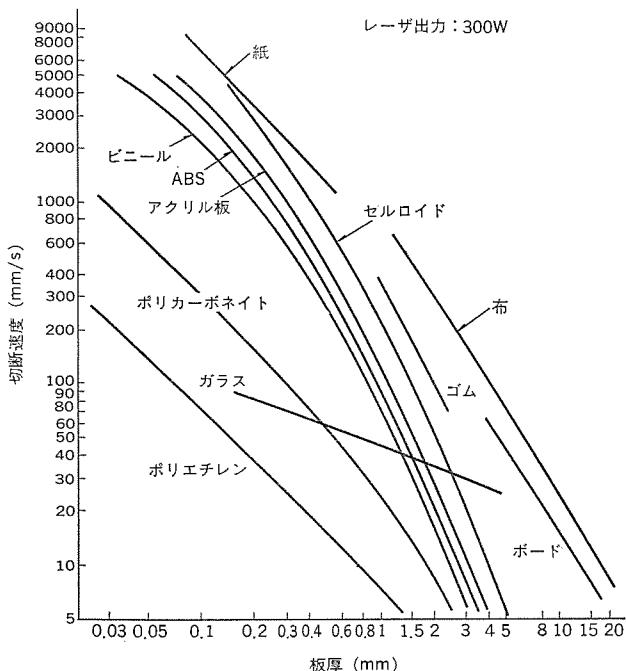


図 5. 300 W 級  $\text{CO}_2$  レーザによる非金属材料の切断能力

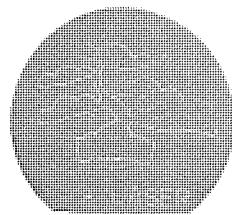


図 6. アクリル樹脂の形状切断例

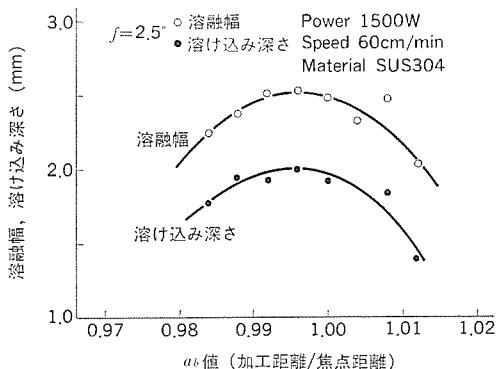
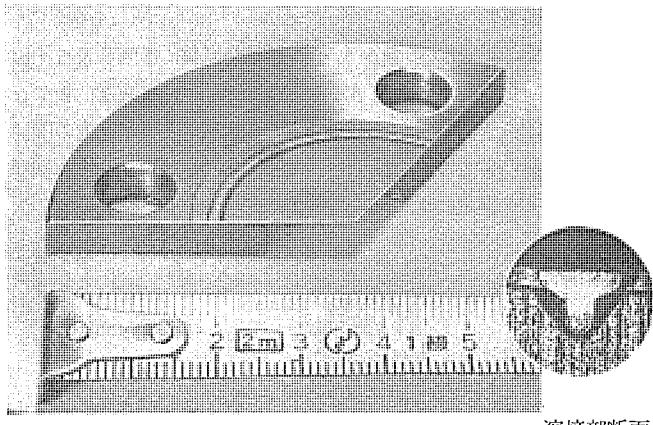


図 7. ビーム焦点位置と溶込み形状の関係



溶接部断面

図 8. レーザによる精密接合

#### 4.3 金属の溶接

レーザ溶接の特長は、高エネルギー密度の光を利用して幅の狭い深溶け込みの溶接部を高速で作れる点にある。したがって既に自動車工業などで実用されている電子ビーム溶接が競合技術となるが、レーザはふんい気が自由でX線も発生しないため大気中で溶接できるので被加工物の形状・寸法に制約条件が少なく、多種少量の生産にも柔軟に対応できる。

レーザ溶接条件のうちで重要な因子としては、適正な焦点位置と有効なプラズマ雲の除去があげられる。図7に被加工物表面に対するビーム焦点位置を示すパラメータ  $a_b$  値（加工距離／焦点距離）と溶け込み形状の関係の1例を示す<sup>(4)</sup>。この実験の範囲では、溶け込み深さ、溶融幅とともにビーム焦点位置が材料表面下約0.3 mmに位置する場合（すなわち  $a_b=0.995$ ）に最大値を示し、これから上下に移動するにしたがって小さくなる。

更にレーザ溶接に特有の現象としてビーム照射部におけるプラズマ雲の発生があげられる<sup>(5)</sup>。溶接における補助ガスは通常溶接部を大気から保護するために用いられるが、レーザ溶接の場合補助ガスを吹き付けないと溶接部が酸化されるほかにビームがプラズマ雲に吸収されてしまい溶融効率が極めて悪くなる。今までに溶接部の側方から高速のHeガスジェットを吹きつけるだけの簡単な方法でも溶け込み形状のかなりの改善が確認されており<sup>(4)</sup>、高密度熱源であるレーザの特長を生かした溶接を達成するためにはプラズマ雲の効果的な除去が重要な決め手になるものと考えられ、鋭意研究が進められている。

もう1つのレーザ溶接の特長は、ひずみが少ないことであり、従来精度を出すために素材から一体物として切削していくものをプレ

ス加工などにより成形した後、完成品に近い形で精度高く接合することにより材料の節減や製造の合理化が可能となる。1例として図8に厚板と0.5 mm程度の薄板の組合せよりなる部品の精密接合例を示す。

#### 4.4 表面熱処理

レーザを用いた熱処理は、焼入れ、合金化処理、グレーニング、衝撃硬化などに分類されるが、実用を目指した研究は現在のところ焼入れに集中している。

レーザ焼入れの原理は、炭素鋼や鉄物表面に高エネルギー密度のビームを照射し、表面近傍を急熱・急冷することによりマルテンサイト変態を行わせ、熱変形を小さく抑えたまま硬い表面を得る方法である。レーザ焼入れは被加工物の持つ熱容量を利用した自己焼入れプロセスであり、外部から強制的に冷却しなくとも水焼入れの数倍の冷却速度が得られる。したがって水焼入れよりも高い硬さが得られるものの硬化深さには限界があり、1 kWの出力で1 mm前後が最大深さである。

同じ高密度熱源である電子ビーム加工でも表面熱処理の研究が推進されているが、電子ビーム加工がビームの電気的制御性に優れているのに対して、レーザは適当な光学系を用いることにより管の内面とか狭い(隘)部の処理にも適用できビームの空間的制御性に優れている。

レーザ焼入れを実用化した例としてはGM社のパワーステアリング用ギヤハウジング内面の局部焼入れが有名であり、フェライト可鍛鉄製ギヤハウジングの内面に幅1.5~2.5 mm、深さ0.25~0.35 mmの線状焼入れ部を4本形成することにより耐摩耗性を10倍高めている。この例のようにレーザ焼入れの実用化には被加工物に要求される機能を

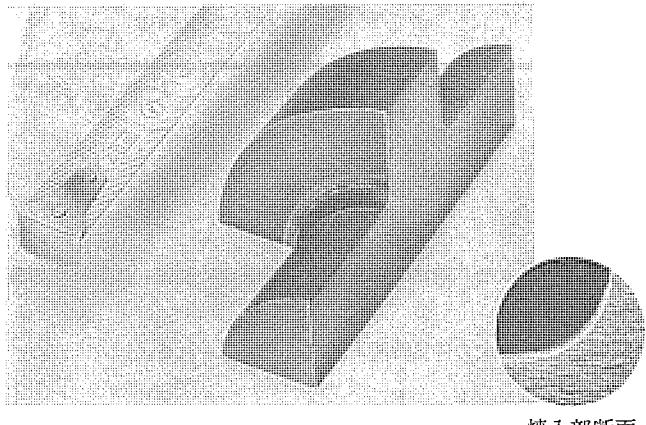


図 9. レーザによる局部焼入れ

十分に解析した上で最適な位置を最適な硬さに焼入れすることが肝要である。

図 9. に軸の疲労強度を向上させる目的で、焦点はずし、してエネルギー密度を適度に調整したビームを軸のコナ部に照射し局部焼入れを行った例を示す。

### 5. 《メルレーザ》製品シリーズの紹介

当社のレーザは、独自の技術による高圧ガス(200~300 Torr)での放電励起技術と、レーザビーム、放電、ガス流の方向が互いに直交した発振器構造を採用したガス循環形レーザであり<sup>(10)</sup>、次のような特長を持っている。

- (1) 1.5 m の短発振器長で 1 kW レーザ出力が得られ、スペクトル線の幅が広い高ガス圧を使用しているので温度変化に対して出力変動が少ない。
- (2) 共振器は全反射鏡と部分反射鏡各 1 枚のみの簡単な構造で、発振器の調整が簡単である。
- (3) ガスは封じ切りで使用でき(約 100 時間)運転中に常時補給する必要がなくランニングコストを削減できる。
- (4) 出力フィードバック機能が設けられており、長時間にわたりドリ

表 1. 《メルレーザ》CO<sub>2</sub> レーザ加工機仕様

形 式	ML-1000	ML-1500	ML-3000
定格出力 (W) (連続波)	シングルモード 550 マルチモード(低次) 1,000	マルチモード 1,500	マルチモード 3,000
出力波長 (μm)	10.6	10.6	10.6
出力安定度 (%)	±5 (8時間)	±5 (8時間)	±5 (8時間)
ガス封じ切時間 (h)	100 以上	100 以上	100 以上
ガス消費量 (l/100時間) (He・N <sub>2</sub> ・CO <sub>2</sub> ・CO) 混合ガス	150 以上	280 以上	980 以上
所要電源	AC 200/220V, 50/60Hz, 20kVA	AC 200/220V, 50/60Hz, 32kVA	AC 200/220V, 50/60Hz, 60kVA
付属機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各種異常表示及びインタロック</li> <li>・レーザ発振表示灯</li> <li>・パワー表示</li> <li>・シャッタ機能</li> </ul>		
オプション機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・出力スローブコントロール機能</li> <li>・He-Ne 可視レーザ重量機能</li> <li>・低周波パルス機能</li> </ul>		

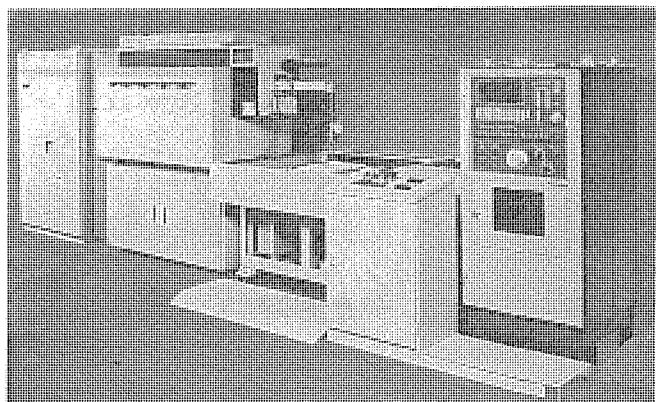


図 10. NC X-Y テーブル付 ML-1000 形 レーザ加工機

フトの少ない安定な出力が得られる。

(5) 出力の低周波パルス制御、スローブコントロールが可能である。

(6) ガス自動交換 シーケンスやレーザ光軸確認用可視光レーザが組込まれており、操作が容易である。

このような特長を有する CO<sub>2</sub> レーザ加工機(商品名《メルレーザ》)を当社は 3 機種商品化しており、表 1. にその仕様を示す。ML-1000 形は、非金属材料及び薄鋼板の切断が主用途であり、ML-1500, ML-3000 形は熱処理、溶接が主用途のレーザ加工機である。図 10. は、ビーム集光レンズを持つ加工ヘッドと、NC 制御の X-Y テーブルを組込んだ ML-1000 形 レーザ加工システムの 1 例である。

### 6. むすび

CO<sub>2</sub> レーザは、加工用熱源として数々の優れた特長があり、加工技術の研究、発振器の改良(大出力化・低価格化・信頼性の向上など)及び NC やコンピュータなどの組合せによるシステムアップなどによりここ 1~2 年の間に経済的な生産手段として急速に普及すると考えられる。

1 kW 以下の出力領域では、既に試験設備から生産設備への移行段階にあり、コンピュータとの組合せにより多種少量生産の高速度精密切断に革命をもたらすと言われており、更に 3~5 kW の大出力領域では低ひずみ(歪)高速度溶接や局部表面焼入れに従来の加工法ではできなかったメリットをもたらすであろう。

このような現状の中で、通商産業省の大形プロジェクト「超高性能レーザ応用複合生産システムの研究開発」が発足しており、当社も参画している。このプロジェクトは最終的に 20 kW CO<sub>2</sub> レーザ加工機を完成させ、多種少量生産の分野に適用しようとするものである。このプロジェクトの進捗に伴って、現在かかえている課題の多くが解決されるものと期待できる。この報告の一部データはこのプロジェクトの成果に基づいている。

### 参考文献

- (1) 神保、志田：日本金属学会会報、18, 495 (昭 54)
- (2) Y. Arata et al. : Transaction of JWRI, 8, 15 (1979)
- (3) 奥田、小林：エレクトロニクス・ニュース、85, 9 (昭 54)
- (4) 島田：電気学会東京支部レーザ加工講演会、予稿 (昭 55-2)
- (5) E. V. Lock and R. A. Hella : IEEE J. Qua. Elec., QE-10, 179 (1974)
- (6) 永井ほか：電子通信学会講演会、OQE 80-42 (昭 55)

# 量産部品用電子ビーム溶接機

安永政司\*・佐々木茂雄\*・大峯恩\*\*・原且則\*\*\*・大野義隆\*\*\*

## 1. まえがき

省エネルギー、省資源といった社会的要件のもと、部品の高精度化、高品質化、小形軽量化指向が進むなかで、生産のコストダウンを達成するためには、「新しい加工法導入による新しい加工プロセスの実現」ということを基本にして、設計の段階から製品の加工プロセスを見直すことが必要である。電子ビーム溶接法が自動車用部品を中心とする多量生産の分野に普及した理由は、まさにこの点にある。

電子ビーム溶接法は他の溶接法と比べて、イニシャルコストが高いという問題があるが、一方では格段に優れた溶接性能を有している。したがって、電子ビーム溶接法の量産部品への適用拡大を図るために、(1)高い生産能力と信頼性を維持でき、しかも生産ラインへの組込みが簡便に行えるような構成の溶接機、(2)電子ビーム溶接の特長を十分に発揮することにより、低コストで高い付加価値が得られるような最適加工プロセスの2点を並行して実現していくことが肝要である。

ここでは、量産部品を対象とした電子ビーム溶接機のシステムを構成する上での基本思想と、それに基づいた装置の特長、並びに電子ビーム溶接の効果的な適用方法について説明する。

## 2. システムの基本思想と装置の特長

電子ビーム溶接機が量産部品の生産ラインに導入される場合、高い溶接品質、高い生産能力が期待されるとともに、ライン構成の面から、小さな占有床面積とレイアウト変更に対する速応性が要求される。当社では、(1)タクトタイムの短縮、(2)か(稼)働率の向上、(3)装置のコンパクト化を基本方針として、システムとその構成部品の開発を行っている。

### 2.1 真空排気の高能率化

電子ビーム溶接は1~4m/minといった高速度で溶接が可能ため、多くの場合3~15秒程度の短時間で溶接は終了する。しかし真空中の溶接であることは、高い溶接品質が得られる反面、タクトタイム短縮における最大の制約条件となっている。そこで、生産規模に応じて異なった真空形成方法を採用している。中規模の量産の場合は、排気と吸気を繰り返すバッチ排気方式が、大規模の量産の場合は、常時真空排気された溶接室に、差圧排気された空間を介して、被溶接物(ワーク)を搬送する連続差圧排気方式が用いている。図1.にそれぞれの概念図を示している。

#### 2.1.1 バッチ排気方式

ワークを載せたテーブルをインデックスしたのち上昇させて、下方が開口した溶接室を密封

し排気する方式で、溶接室の容積を必要限度に制限し排気時間の短縮を図っている。

真空圧力 $P$ までの排気時間 $T$ は次式で近似される。

$$T = \sum_n K_n \frac{V}{S_n} \ln \frac{P_{n-1}}{P_n - \frac{Q}{S_n}} \quad (1)$$

ここで、 $V$ は排気容積、 $S_n$ は真空圧力 $P_n$ における実効排気速度、 $Q$ は放出ガス量、 $K$ は排気抵抗・ポンプ特性などに依存する係数である。図2.に排気の実測例を示す。金属蒸気の付着のため、壁面からの放出ガス量が多いので、 $10^{-1}$  Torrを割ると、 $P \approx Q/S$ となり所要排気時間が急激に長くなる。このため溶接品質上の許容範囲で溶接開始真空圧力を高くすることが、効率のよい排気時間の短縮法となる。そこで、電子銃に2段の差圧排気機構を設けることによって、従来 $10^{-2}$  Torrであった溶接開始真空圧力を $1 \times 10^{-1}$  Torrまで高めできるようにしている。図1. (a)の標準的なタクトタイムは30秒(溶接12秒、排気12秒、ハンドリングその他6秒)である。

#### 2.1.2 連続差圧排気方式

差圧装置は、複数の排気ステージを備えたわく(枠)体と、複数のワーク収納室を備えたインデックステーブルで構成し、ワークは収納室とともに順次搬入ステージから、差圧排気ステージを通って、溶接ステージまで搬送する。この方式は放出ガスの影響が少なく量産に向いているが、真空差圧機構に高い信頼性が必要となる。そこで当社は、枠体とインデックステーブルとのすき(隙)間を大きくしても、隙間の流体抵抗だけで差圧を維持できる新機構を開発した。

ワークの搬入ステージから隙間を通って流入する空気の流れを、薄いく(組)形管を流れる圧縮性粘性流とみなすと、隙間のコンダクタン

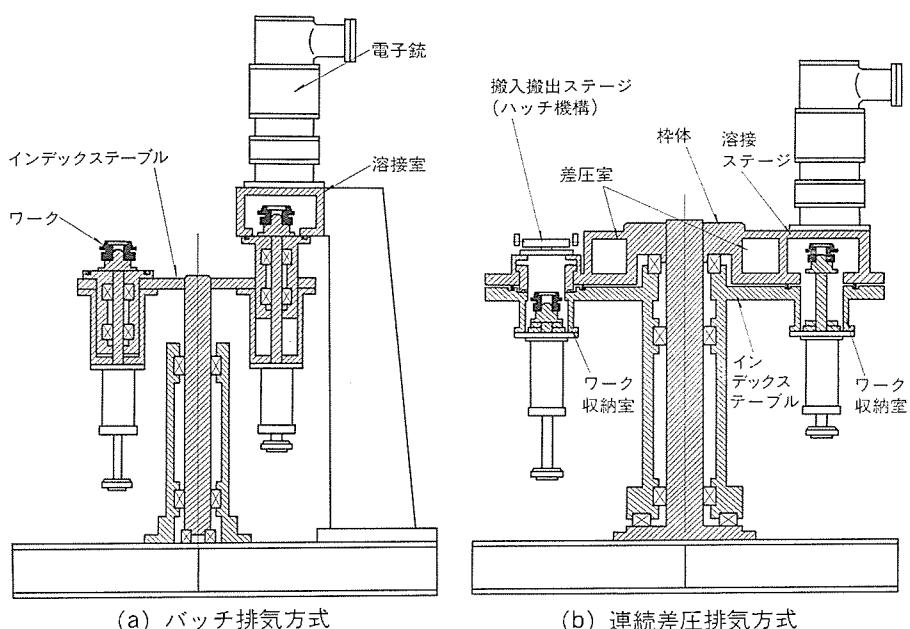


図1. 量産部品用電子ビーム溶接機の概念図

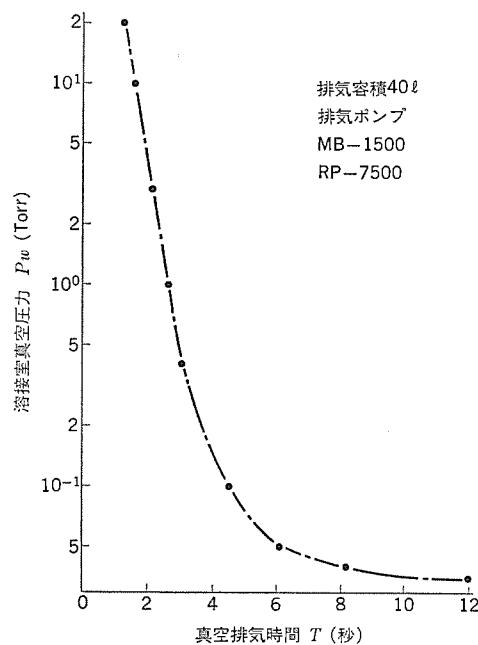


図 2. バッチ 排気方式の排気例

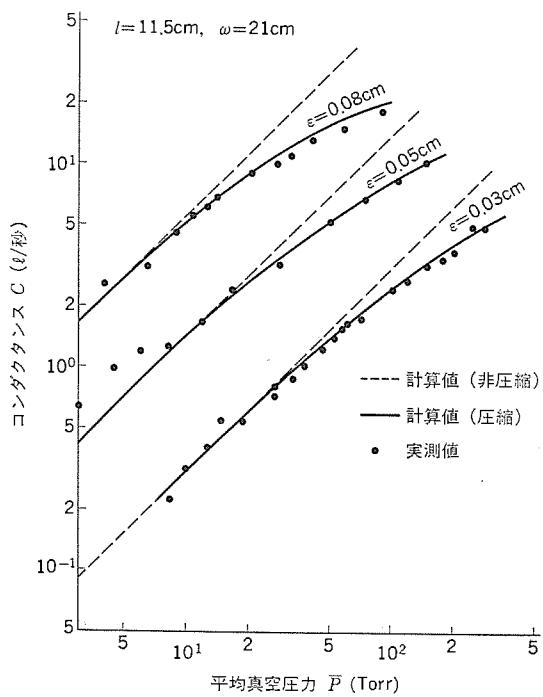


図 3. 矩形管の コンダクタンス

スは次式で近似できる。

$$C = \frac{\left\{ 1 + 907 \frac{\varepsilon^4}{L^2} (P_i^2 - P_o^2) \ln \frac{P_i}{P_o} \right\}^{1/2} - 1}{1.47 \frac{\varepsilon}{L \omega} (P_i - P_o) \ln \frac{P_i}{P_o}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $\varepsilon$  は隙間の大きさ、 $L$  は隙間の長さ、 $\omega$  は隙間の幅、 $P_i$  は入口圧力、 $P_o$  は出口圧力である。図 3. に隙間の大きさをパラメータにし、コンダクタンスの圧力依存性を示している。隙間の圧力が高い初段は差圧の形成が難かしい。このため従来は、全体の隙間を 0.1 mm 程度に狭くして差圧を大きくするか、初段の隙間をスライドシール材で密封する方法がとられていたが、いずれも高い寸法精度の管理が必要な上、溶接スパッタなどの異物の混入に弱く、信頼性に欠けた。新

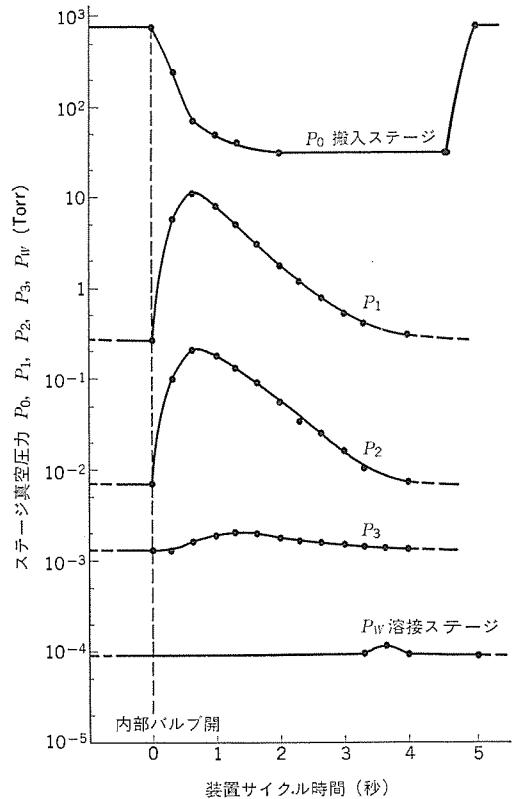


図 4. 連続差圧排気方式の排気例

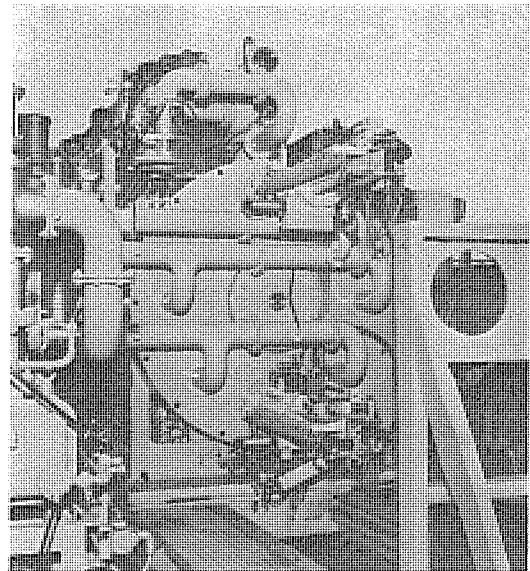


図 5. 連続差圧排気式電子ビーム溶接機（縦形）

しく開発した機構は、タクトタイムを延ばすことなく、ワークの搬入、搬出ステージで大気をしゃ(遮)断できるハッチ機構であり、その特長は次のとおりである。

- (1) ワークの搬入、搬出を容易に行える。
- (2) 閉じ込められる空気量が少なく、瞬時に排気されるため、初段の圧力を低くし広い隙間で差圧を形成することができる。
- (3) 排気空気量が非常に少ないため、ポンプ油の劣化が遅く、保守のひん(頻)度が激減する。

図 4. にハッチ機構の効果を示している。0.5 mm 程度の隙間で、溶接ステージは 1 サイクルのあいだ安定して  $10^{-4}$  Torr の真空に維持されている。図 5. に縦形の連続差圧式電子ビーム溶接機の外観を示す。

ワークの自動搬入・搬出機構を備えておりタクトタイムは12秒である。

## 2.2 電子銃の高信頼化

システムの構成部品の内、最も寿命の短かい部品は、電子ビーム発生源の陰極であり、陰極を交換して溶接性能を再確認するまでに、30～60分程度の時間が必要である。このため、陰極の長寿命化に加えて、電子銃コラムバルブの高信頼化によるシール機能の改善が、装置の稼働率を向上させるきめ手になる。

### 2.2.1 長寿命陰極

当社が独自に開発した電子衝撃加熱形の棒状陰極は<sup>(1)</sup>、従来の直熱形の帶状陰極と比較すると、イオンスピッタリングによる消耗の影響が小さいため、寿命が本質的に長く、50倍以上あることが、量産部品の生産ラインで実証されている。このため陰極の交換周期は1か月(300時間)以上で、装置の稼働率が高い。

### 2.2.2 高信頼コラムバルブ

回転式の弁機構を採用することによって、コラムバルブの信頼性が著しく向上した。従来のバルブと比較すると次の特長がある。

(1) 弁に摺動動作がないためパッキングの寿命が長い。

(2) 扉を開けるだけで、パッキングの交換ができる。

(3) 弁、弁座とも常にカバーで覆われているため、金属蒸気やスパッタの付着による真空不良がない。

## 2.3 装置の小形・パッケージ化

電子ビーム溶接機が生産現場に浸透するにつれて、従来の技術寄せ集め的な機器構成ではなく、他の加工機と同様な小形・可搬式でかつ操作性のよい電子ビーム溶接機が要求されるようになってきた。当社では、高電圧技術、電子ビーム技術、電子回路技術を有機的に組合せて、図6.に示すパッケージ形電子ビーム溶接機を開発した。この溶接機の特長は次のとおりである。

(1) 溶接機の設置スペースが従来の1/3である。

(2) 全装可搬形でフォークリフト又はクレーンで簡単に移動できる。

(3) 据付工事が簡単で、現地での再組立の必要がない。

(4) 間口が狭くライン化に適している。

(5) 機器はすべて、周辺から手の届く所にあり、保守が容易である。

(6) サージ電圧に弱い高電圧ケーブルがないため、信頼性が高い。

(7) シーケンス回路からリレーを追放し、ICロジックによる専用基板化しているので動作の信頼性が高い。

このように装置を小形化できた要因は、電源と制御盤の小形化及び全システムのパッケージ化である。

### 2.3.1 高電圧タンクの小形化

新しく開発された高電圧タンクでは、ガス絶縁化によって使用部品の実装密度をあげるとともに、図7.の制御ブロック図に示すように、高周波インバータを採用して部品自体を小形化し、更に、陰極用絶縁変圧器3台を統合している。このため、従来の油絶縁タンクと比較すると、全体の容積及び重量が1/15(当社比)に小形・軽量化した。

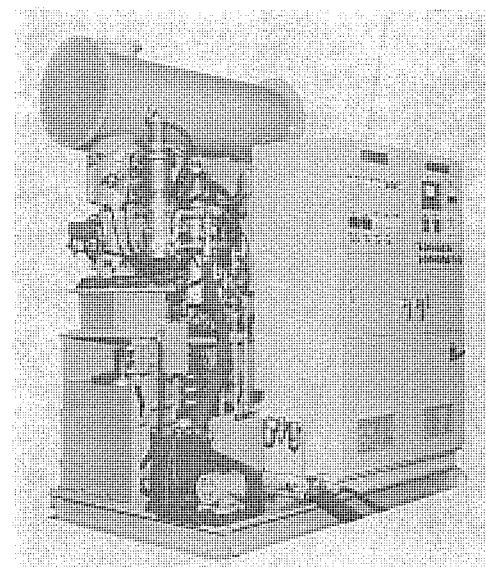


図6. パッケージ形電子ビーム溶接機

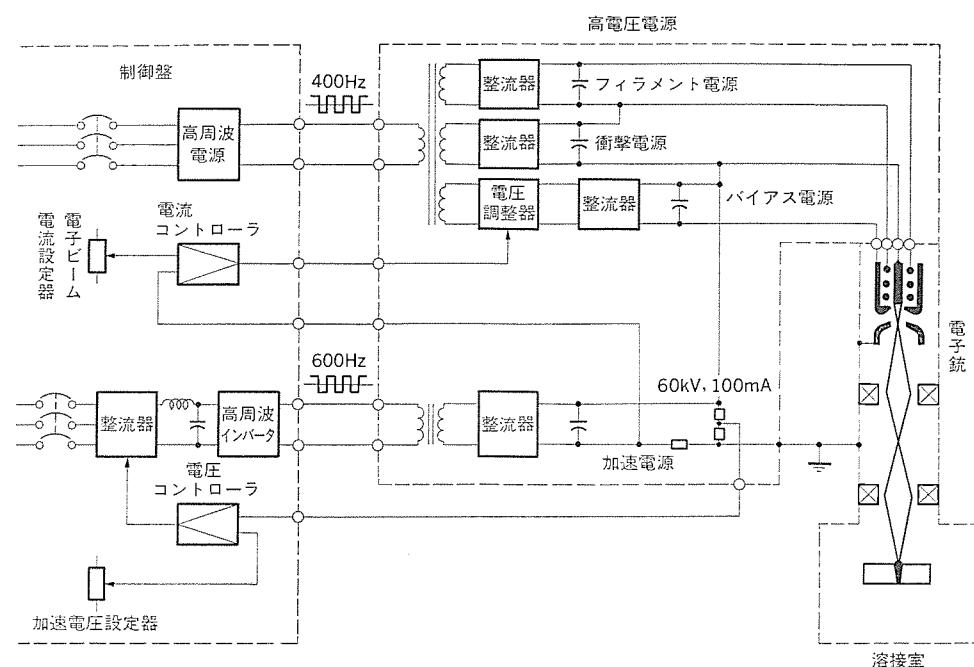


図7. 電子ビーム電力制御回路

以下、その内容について説明する。

(1) タンク内部品の高集積化

タンク内部品間の絶縁に、安全で絶縁性のよいSF<sub>6</sub>ガスを使用するととも、部品の形状及び部品の配置を工夫して電界集中を緩和し、部品の実装密度を飛躍的に向上させた。

(2) 変圧器の小形化

高周波インバータを用い、入力を単相600Hzとし鉄心量を激減させるとともに、ガス絶縁化によって耐アース間の絶縁距離を短縮し、外形で1/5から1/10程度に小形化した。

(3) フィルタの小形化

入力電圧波形を矩形波としたので、整流後のリップルは、従来のサイリスタで位相制御したものに比べると非常に小さく、しかも高調波成分の比率が高いため、小容量のコンデンサでリップルを低減することができた。

#### (4) 絶縁変圧器の一体化

陰極の加熱及びビーム制御用電源は、従来それを低電圧側で制御していたため3台の絶縁変圧器が必要であったが、この装置では制御を高電圧側に変更し絶縁変圧器を1台に統合した。

#### 2.3.2 制御盤の小形化

電子ビーム溶接機は、小規模なものでも、リミットスイッチや電磁弁が多く、シーケンス制御やインタロックを行うリレー数は100個程度となり、制御スペースの半分近くを占める。そこで、回転溶接用のはん(汎)用機である1ステーション形及び2ステーション形の機械動作を標準化し、シーケンスをICロジックによる専用基板化してカードバスケットに収納した。また高周波電源やその他の制御回路もコンパクト化し、従来3面で構成されていた制御盤を1面に減らして、設置面積を1/2(当社比)に縮小した。

#### 2.3.3 パッケージ形電子ビーム溶接機

コラムを装置に固定したまま消耗部品の交換、電子ビーム通路の掃除、電子ビーム軸のアライメントなどすべての保守を行える電子銃を開発した。これにより、電源の小形・軽量化とあいまって、電源タンクと電子銃を直結し、電源の実効的な設置スペースを無くした。また、制御盤の小形化、油回転ポンプの振動対策を行うことによって、すべての機器をコンベイスの上に配置することができ、小形パッケージ化を世界で初めて実現した。

標準化されたパッケージ形電子ビーム溶接機の出力は、3kW又は6kWで、外形寸法は次のとおりである。

1ステーション形：幅1,400mm、奥行3,500mm、高さ2,800mm

2ステーション形：幅1,400mm、奥行3,900mm、高さ2,800mm

### 3. 電子ビーム溶接の効果的な適用法

電子ビーム溶接の導入のメリットを部品のコスト低減及び部品の性能改善に求めることが多い。

部品コストの構成要素としては、素材費・加工費・設備費・人件費などがあげられる。素材費の低減は、素形材加工をプレスや冷間鍛造で行って加工屑を減らすこと、あるいは材質をできる限り低級化することで達成できる。電子ビーム溶接は異種金属溶接に有効であるので、高級材と低級材の組合せ溶接を行うことにより、素材費低減に寄与できる。

加工費の低減は省エネルギー化、消耗部品・材料の節減などで達成できる。電子ビーム溶接法はエネルギーを高度に集中させることにより低入熱溶接・低ひずみ(歪)溶接ができるので、電力消費や後加工の費用が節約され、加工費の低減が容易である。

設備費・人件費の低減は、基本的に固定費回収の問題であるため、設備稼働率と生産能率の向上で達成しなければならない。これは主に電子ビーム溶接機のシステム構成で解決されるべき問題で、2章で述べたような開発が進んでいる。また、電子ビーム溶接機は制御性に優れているため自動化による人件費の削減も可能である。前述の素形材加工の簡略化も生産能力の改善に大きく影響する。

以上のように、素形材加工を簡略化して生産性向上と素材費低減を図り、電子ビーム溶接の特長を生かして加工費を総合的に低減するとともに、これらの相乗効果により製品の小型化、高性能化を達成していくことが、電子ビーム溶接の効果的な適用といえる。

次に、実際に電子ビーム溶接法が用いられている量産部品の例について説明する。

図8.は自動車用トランミッションギヤの例である。元来は一体物に

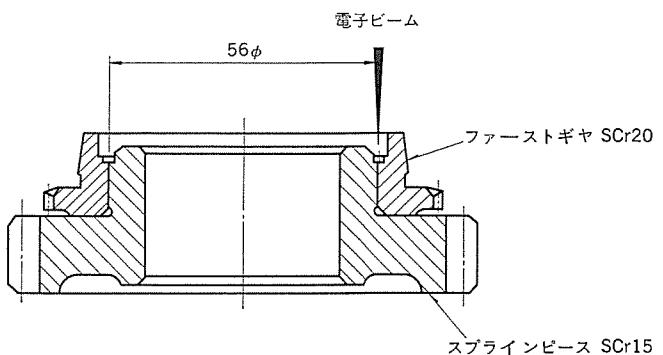
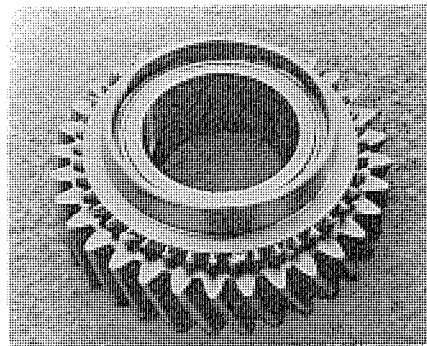


図8. 自動車用トランミッションギヤ

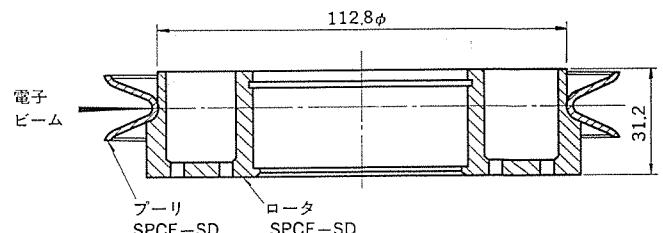
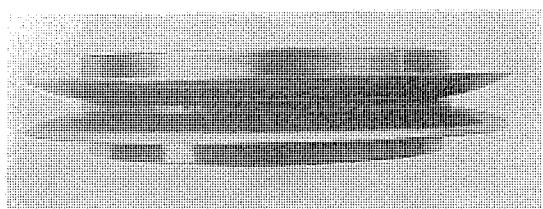


図9. カーエアコン用Vベルトブーリ

機械加工して作っていたが、切削刃の逃げ代などの制約があるので必要以上の部品寸法となり、また形状が複雑なため加工の能率と歩留りが上りにくいという問題があった。しかし電子ビーム溶接の低歪の特長を生かすことにより、単純な形状に2分割して各部を鍛造及び切削で作り、インローで組合せて溶接で固定するという加工プロセスに変更できた。このように加工が簡略化された結果、所定の精度と強度を確保しつつ、生産性と歩留りが向上するとともに、小形・軽量化が達成できた。

図9.はカーエアコン用Vベルトブーリの例である。この場合もロール成形されたブーリ部と鍛造、プレス、切削で加工されたロータ部を組合せて溶接するという加工プロセスが採用されている。電子ビーム溶接の高能率、低歪の利点が生かされたもので、ブーリの大幅な軽量化と高精度化が達成された。

図10.は自動車のオートミッション用部品の1つであるキャリアプラネットリの例を示したものである。鍛造と切削で加工された部分とプレス加工された部分を組合せて溶接するという加工プロセスになっている。

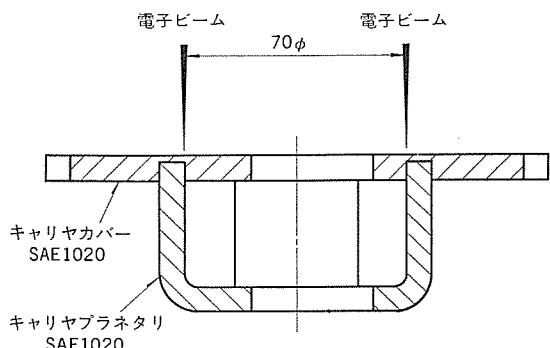
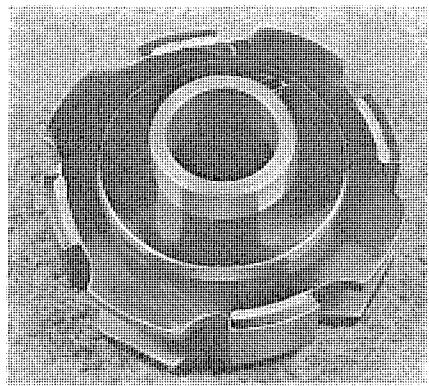


図 10. オートミッション 部品

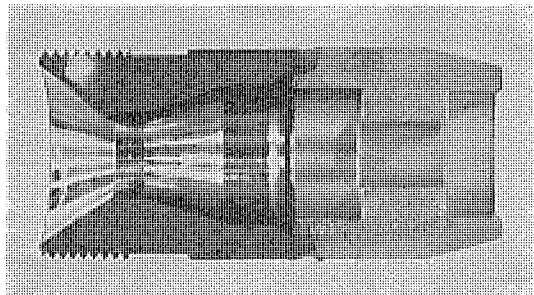


図 11. 水冷 ジョイント (ステンレス 鋼+銅)

継目部は円周上に 4箇所あり、スキップ溶接する必要がある。電子ビーム溶接の優れた制御性と高能率、低歪の特長が活用されており、部品の軽量化が達成されている。

図 11. は電気機器用の水冷ジョイントの例である。従来は銀ろう付けで直接に接合していたが、ろう付け部の水密性、耐食性などに対する品質管理が難しいといふ問題があった。そこで前もって銅とステンレス鋼を電子ビーム溶接したジョイントを作つておき、このジョイントと銅管を銅対銅でろう付するというプロセスに変更した。物理的特性に差のある異種金属の接合が電子ビームを用いることによりはじめて可能となり、加工費の低減に加えて、品質と信頼性の大幅な改善がなされた。

このように、電子ビーム溶接法を採用して成功したものは、部品のコスト低減と性能向上が同時に達成されている。現状の量産部品への適用例は、コスト低減の要求の高い自動車部品が圧倒的に多く、特にオートミッション関係の部品は、大部分電子ビーム溶接で作られている。

#### 4. む す び

量産部品を対象とした電子ビーム溶接機の特長とその効果的な適用方法について紹介した。部品の高精度化、小形軽量化の要求が高まるにつれ、溶湯鍛造、ファインプランギングなどの高精度量産加工技術の進歩とあいまって、電子ビーム溶接の用途はますます拡大すると予測される。大規模な量産品に対しては、連続差圧排気式の装置がロボットと組合わされて無人化の方向でその威力を発揮し、中小規模の量産品に対しては、設置面積が小さく、ライン編成替えの簡単なパッケージ形電子ビーム溶接機の活躍が期待される。

#### 参 考 文 献

- (1) 上山、安永ほか：電子ビーム溶接資料 No. EBW-178-77
- (2) 原、安永、大峯：溶接技術、27, No. 6 (昭54)
- (3) 下山、安永ほか：三菱電機技報、54, No. 3 (昭55)

# 誘導加熱応用機器

新見 明彦\*・岩佐 康彦\*

## 1. まえがき

2度にわたる石油ショックの後、エネルギー価格の高騰、石油資源の入手不安などが著しくなり、エネルギー多消費形の設備を持つ業界では、省エネルギー、省資源、省力化などの面から、誘導加熱の利用に関する再評価が活発に行われている。特に鉄鋼プロセスや鍛造ラインなどでは、新しい応用や、省エネルギーに関する改善が顕著である。ここでは、これらを紹介するとともに、特に鍛造用の誘導加熱装置及び誘導炉の最近の動向、実際の経済性に関する他方式との比較、省エネルギー効果や将来の動向などについて述べる。

## 2. 誘導加熱の応用分野

誘導加熱の特長のうち、特に重要なものは、(a)急速加熱、(b)非接触加熱、(c)良好な制御性、再現性、(d)高い加熱効率、(e)良好な作業環境、(f)省力化などである。これらを長所を生かして、誘導加熱は現在、各産業分野において、多種多様な応用が行われている。これらを機能別に分類すると、およそ次のようになる。

- (1) 热処理………焼入れ、焼戻し、焼準、焼なまし、固溶体化処理など
- (2) 溶解………鋳造、合金の調整、単結晶引上げなど
- (3) 热間加工………鍛造、圧延、押出し、絞り、曲げなど

(4) 接合………溶接、ろう付け、はんだ付け、圧接、焼結、拡散接合など

(5) 表面処理………リフロー、乾燥焼付け、浸し(漬)めっき用の予熱、ブルーリングなど

(6) その他………反応釜、パイプラインの保温、調理器(クリーンレンジ)、焼ばめなど

これらのうち、鉄鋼分野では、かなり広範囲の応用が実現しつつあり、最近では、約15,000 kWという大容量のパイプの熱処理ラインが実現している。更にスラブや鋼板の端部加熱装置、造管ラインにおける端部加熱装置やカラーティングのための乾燥、予熱装置、すず(錫)めっき鋼板や亜鉛鋼板用のストリップヒータなどが、すでにか(稼)働中又は実現段階にあるといった状況である。これらの鉄鋼プロセス用の応用例の概要を図1に示した。

鍛造ラインの分野では、すでに古くからビレットの加熱装置が使われており、最も利用が多い分野である。鍛造用のヒータは大きく分けると次の4種類となる。

- (1) ビレットヒータ(丸、角の断面形状をもつビレット)
- (2) バーヒータ(丸、角の断面形状をもつ棒材)
- (3) バーエンドヒータ(中実の丸棒やパイプなどのアップセット用)
- (4) 特殊素材用のヒータ(矩形断面の素材など)

熱処理のうち、高周波焼入の分野では、最近の自動車部品の小型化

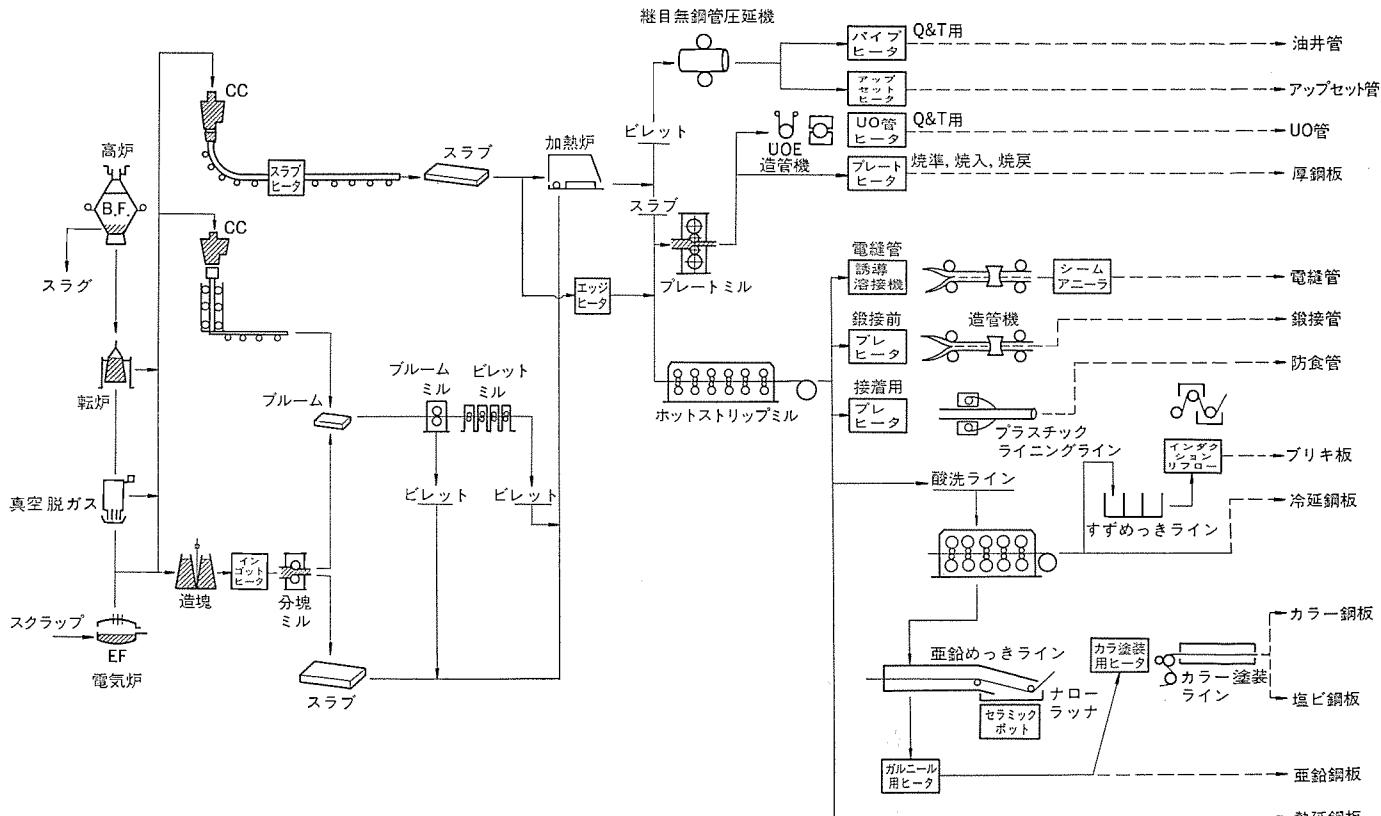


図 1. 鉄鋼プロセスにおける誘導加熱の応用

にともなって、30 kHz 以上のラジオ周波数を使う例が多くなってきている。またパイプ関係の熱処理への応用が広く行われるようになった。パイプへの応用のうち、よく知られているものにシームアニーラがある。これは電縫管の溶接部焼なましを連続的に行うものであり、パイプのシーム溶接部にインダクタを追従させる機能をもつ装置も実現している。その他、パイプの焼入焼戻し装置にも誘導加熱がかなり使われるようになってきた。

溶解への誘導加熱の応用は、一番古い歴史を持っており、我が国でも大正年間に設置された記録（輸入品）がある。対象とする金属も鉄鉱など鉄系のもの以外に、アルミニウム、亜鉛、黄銅、銀など、多種にわたっている。また、形態別には一番多く使われている、るつぼ形誘導炉（低周波及び高周波炉）、鉄鉱などの保温、昇温用に用いられるみぞ（溝）形誘導炉がある。更に付帯設備として自動注湯装置が合理化設備として改善されてきており、電磁ポンプ式、圧力式、ストップノズル式、傾注式などが採用されている。

### 3. 熱間加工用誘導加熱装置

#### 3.1 最近の鍛造用ヒータ

熱間加工用として最も多く使われているのが鍛造用ヒータであるが、最近は省力化と省エネルギーが最重点項目となっている。省力化のうち、特に問題になる加熱コイルの交換については、2系列コイルによる自動交換が普及はじめた。これは初めから異なった種類のコイルを2列配置しておき、スイッチ操作でいずれか一方を選定できるようにしたものである。コイルの段取りがえは30~40秒程度で完了する。図2.は2 kHz、600 kWの2系列形のヒータ外観で、現在稼働中のものである。

また、最近は新しい鍛造ラインを計画するに当たって、バーヒータを採用する傾向が強くなってきた。これはヒータだけをとっても、バーヒータの方が一般的に電力原単位が低く、また前進後退が可能であるなど、操作性にも優れていることもあるが、ライン全体からみて、棒材の冷間切断→ビレット搬送→パートフィーダによる整列→ビレットヒータ→鍛造機 とつながるよりも、棒材供給装置→バーヒータ→熱間切断→鍛造機 という構成の方が、むだがなく、省エネルギーでもあり、レイアウトの上でも、設置スペースの縮小など有利な点が多いことによっている。

その他、受電盤、変圧器、インバータ盤とヒータを一体化したパッケージヒータや、電源部分のみ一体化した電源ユニットなどが注目をあび、



図2. 2系列形 ビレットヒータ (2 kHz, 600 kW)

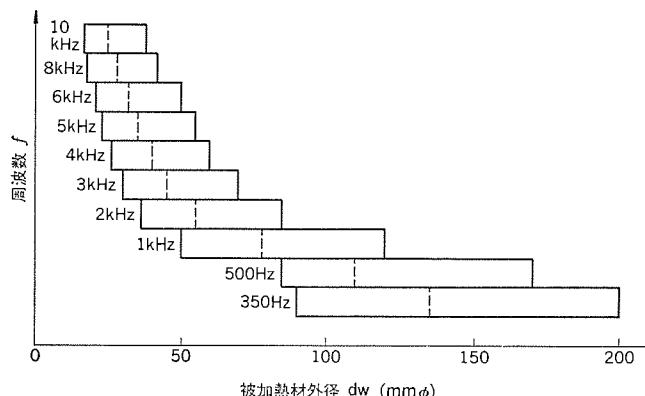


図3. 各周波数に対する被加熱材外径の適用範囲  
破線は最適外径を示す

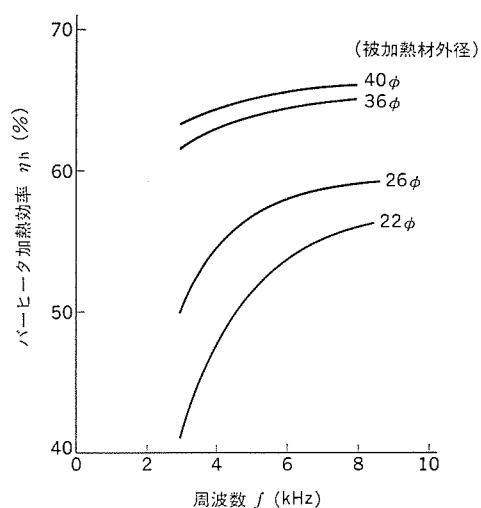


図4. 周波数とバーヒータ効率の関係

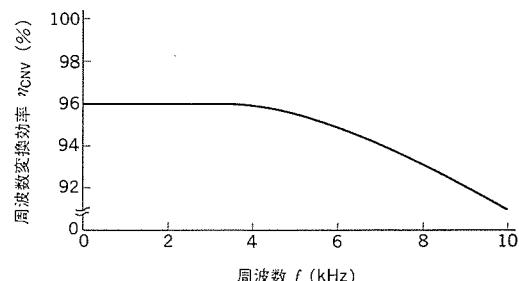


図5. 高周波インバータの周波数と周波数変換効率

広く採用されるようになってきた。更に高周波電源設備の出力周波数の選択範囲が広くなり、最適周波数の選択が可能になった（図3.参照）ことも記しておかなければならない。

#### 3.2 省エネルギー

これから新しく設備を計画するとき、もしくはすでに使用している設備の省エネルギー改善を計画する上での資料として、表1.に鍛造用誘導加熱装置の主な省エネルギー対策をまとめてみた。このうち、周波数の選定は前にも述べたとおり、省エネルギーに重要な影響を与える。図4.は周波数とバーヒータの効率、図5.は周波数と変換効率の関係を示したものであるが、細径の素材には高い周波数が必要であると同時に、高い周波数ほど変換効率が低下することも考慮する必要がある。被加熱材が細径の素材の場合、一般的には加熱効率向上のための高い周波数の選定が省エネルギーとなる場合が多い。また従来のMG（電動発電機）の設備をサイリスタインバータに変えるだけ

で10%以上の省エネルギーが期待できる。次に加熱コイルの改善が大きな要素となるが、素材の寸法精度(曲がり、切断角など)の向上によって、コイル内径の縮小を図ることが電気的な効率を高めることになり、大きな省エネルギー効果を生む。また熱的にはコイル内壁の耐火断熱構造の改善や、素材露出部の保温構造、無水冷レールの採用などがある(詳細は表1.参照)。

これらの改善の結果、最近のバーヒータの電力原単位は75φ材を1kHzで加熱した場合で、0.350kWh/kg(従来では、0.38~0.40kWh/kg程度)のデータが得られている。

### 3.3 操業経費

ランニングコストを低減させるために、当然省エネルギー、省資源を進めていかなければならないが、前項で述べた省エネルギー対策の成果によって電力原単位を下げても、プレスの故障などで実際に鍛造されない加熱材を多く出しては、何もならない。現在鍛造用では焼まし材(加熱しながら鍛造されない素材)発生率は、10~15%が一般的であるが、よく改善された所では数%程度までになっている。

表2.に最も一般的な600kWビレットヒータと重油炉の比較例を示した。重油炉は鉄鋼プロセスや一部の大形鍛造品に用いられている大形の炉は加熱効率もよく、全体加熱で誘導加熱のエネルギーコストを下回るが、一般的な鍛造に用いられている中小形炉では表2.のようにエネルギーコストの面で誘導加熱に及ばない。したがって大形品では誘導加熱は局部加熱に、小形品では全体加熱に用いるのが現在では経済的である。

### 4. 誘導溶解炉

誘導溶解炉として最も多く使用されているのは、るっぽ形低周波誘導炉であり、自動車産業に代表される高度成長に追随して大形化・高電力化の傾向をたどってきた。容量的にも、アメリカでは鉄鉱溶解

表1. 鍛造用誘導加熱装置の主な省エネルギー対策

区分	省エネルギー項目	適用		注釈
		A	B	
受電盤	受電電圧は高く	○	○	電圧が高い方が送電損失少
変圧器	ポンプを非通電時にOFFにする	○	○	冷却用にポンプを使っているものは、無用な運転を少なくする
	容量を適正に	○	○	負荷率の低い使い方をすると効率が悪い
	ポンプは休止中OFFにする	○	○	変圧器と同様
インバータ	スペースヒーターを用いた場合は温度によって自動的にON-OFFする	○	○	入れっぱなしにならないように
	変圧器とのつなぎは距離を短くする	○	○	
	周波数変換効率のよいインバータを選ぶ	○	○	
	専用コイル化	○	○	各素材に対して専用コイルを設け、最大の効率で加熱する
	コイル鋼管内径をできるだけ小さくする	○	○	図7参照
加熱コイル	水冷スキッドレールを無水冷にする	○	○	レールの損失の減少
	コイル内壁の保温性を向上させる	○	○	
	コイルブロック長さはなるべく長いものにする			効率向上
	コイルとコイルの間を保溫する	○	○	
	潤れフランクスによって過熱される部分がないようにする	○	○	
	整合変圧器を用いないシステム	○	○	変圧器の損失がゼロになる
	損失の少ないコンデンサの使用	○	○	
ヒータ本体	インバータとの結線長さは最短にする	○	○	
	コイルの潤れフランクスによって過熱される部分がないようにする	○	○	
	操作・制御盤の無接点化	○	○	
	その他省エネルギー形の部品の使用	○	○	
基本計画	適正な周波数	○	○	図3参照
	適正なヒータ容量	○	○	余裕を見すぎていなか
	適正な加熱温度	○	○	温度をもう少し下げられないか
	ケーブル長さが最短となるレイアウト	○	○	
運転・制御	初期加熱運転	○	○	焼まし材の減少
	スタンバイ運転	○	—	焼まし材の減少
	保溫加熱運転	—	○	焼まし材の減少
	電源の順次ON-OFF	○	—	
	温材投入	○	○	
	負荷のかからないダミーバーによる取出し	—	○	

注 適用欄のAはバーヒータ、Bはビレットヒータを示す。

表2. 誘導加熱と重油炉の最近の操業経費比較の例  
(3kHz, 600kW, 1.5t/h ビレットヒータと同規模能力の重油炉)

No.	項目	誘導加熱	重油炉
1	処理能力	(3,600t/年) (1.5t/h)	8h/日, 25日/月, 12月/年の稼働時間 2,400h/年 処理量 1.5t/h として 1.5t/h × 2,400h/年 = 3,600t/年
2	エネルギー費	40,500千円/年	全運転原単位 450kWh/t 電力料 25円/kWh 25 × 450 = 11,250円/t 11,250 × 3,600 = 40,500千円/年
3	操業(人件費)		専任者不要
4	スケールロス	1,980千円/年	発生率 0.5% 3,600 × 0.005 = 18t/年 材料費 110千円/t 18 × 110 = 1,980千円/年
5	鍛造製品の品質		誘導加熱でないとできない鍛造品もある。
6	作業環境		工場全体のふんい気が改善される。 排ガスがない。
これまでの合計		42,480千円/年	77,940千円/年
8	稼働率		重油炉に比較して約20%高い 21,600千円/年 加熱、鍛造の設備が生みだすべき生産利益が稼働率の低下により損失となって表される分。 3,600t/年 × 0.2 = 720t/年 生産利益を30円/kg(30千円/t)とすると, 30 × 720 = 21,600千円/年
9	消耗品	800千円/年	耐火セメント、レール等の補修など 2,000千円/年 耐火材、炉壁、バーナの補修など

用  $60\text{t}/21,000\text{kW}$  炉、そして我が国でも  $40\text{t}/10,000\text{kW}$  炉が稼働しており、低周波炉による経済性の追求は既に成熟域に達したと考えられる。

一方、高周波誘導炉は容量  $0.5\sim1.0\text{t}$  で、電力も  $300\sim600\text{kW}$  程度の小形炉に需要が限られていた。しかし、最近になってその主な欠点であった周波数変換装置の価格や効率（電動発電機式で約 80 %）が、高効率（96 %）・高信頼性そして経済的な価格のサイリスタコンバータ式周波数変換装置の発展によって、高周波炉がその利点に加えて省エネルギー・省資源の点からも見直されてきた。実績的にも、特殊鋼の溶解用として  $5\text{t}/1,800\text{kW}$  炉が、また欧州では  $16\text{t}/6,000\text{kW}$  炉が稼働し、大型化の傾向にある。低周波炉と比較しても十分に設備選定の比較対象となってきた。

#### 4.1 低周波炉と高周波炉の比較

電磁誘導作用を応用した誘導炉は、その誘導作用が使用周波数によって大きく影響をうけるため、周波数すなわち低周波（50 又は 60 Hz）、高周波（500～3,000 Hz）の違いによって溶解機構上の基本特性が異なる。

##### （1）表皮効果（Skin effect）

電磁誘導作用によって生じる電流は、被加熱体（溶解材料）に均等に生じるのではなく、コイル側表面に集中する。この表皮効果を表す電流の浸透深さ  $\delta$  は、周波数  $f$  の平方根（ $\sqrt{f}$ ）に反比例するから周波数の高い程、表皮効果が強い。したがって、小塊などの加熱（初期溶解）は高周波炉の方が容易である。

##### （2）加熱物の大きさ（炉径）

半径  $a$  の被加熱体に吸収される電力  $P$  は  $a/\delta$  の関数として表される  $F$  値に比例し、 $F$  値が 1 に近いほど加熱効率はよい。そのためには  $a/\delta$  を 3 以上になるように周波数を選ぶ必要がある。すなわち、電力  $P$  を大きくして効率をよくするには、低周波炉ほど被加熱体（炉径）を大きくしなければならない。逆に、高周波炉は炉径を小さくできる（低周波炉の  $1/2\sim1/4$ ）。

##### （3）かくはん（攪拌）力

誘導炉では溶湯内に誘導電流と磁力線が同時に存在するため電磁力をうけて、溶湯を炉の中心に動かす。そのため溶湯は中央に盛り上がる。この盛り上り高さは周波数の低い程高くなる。すなわち、高周波より低周波炉の方が攪拌力が強い。また、攪拌力は炉容量が同一とすると、 $P/\sqrt{f}$  に比例するので、周波数が高いほど電力は大きくなる。

上述の諸特性から、高周波炉は次のような特長がある。

（1）高周波炉は初期溶解に際して スターティングブロック が不要（低周波炉は冷材の小塊への電力吸収は困難なため スターティングブロック を使用）。

すなわち、①スターティングブロック 製作のための余分な溶解電力が不要、②材質の切換えが自由、③残湯溶解が不要で自由な溶解が可能。

（2）同じ炉容量では、高周波炉の方が大きな電力が投入でき、迅速溶解が可能。

すなわち、①生産効率の向上（電力消費量 kWh/t の低減）、②熱損失が少ない、③迅速溶解のため酸化消耗が少ない。

（3）同一電力なら、高周波炉の方が炉容量を小さくできる。

すなわち、①小形なため熱損失が小さい、②炉材使用量が少なく、炉材蓄熱量も少ない、③炉材消耗量が少ない、④設備設置 スペース が少ない、⑤小形なため、炉操作及び作業環境がよくなる。

#### 4.2 高周波誘導炉の経済性

以上、高周波炉の種々の長所について述べたが、ここで経済性の点から、消費電力量について低周波炉と比較してみる。

次のような比較条件で検討することとする。

（1）溶解炉：  $5\text{t}/1,200\text{kW}$  低周波炉と  $1\text{t}/1,200\text{kW}$  及び  $2\text{t}/1,200\text{kW}$  高周波炉の場合について。

（2）溶湯材質及び出湯温度： 普通鉄鉄、 $1,500^{\circ}\text{C}$

（3）出湯取りなべ（鍋）：  $1\text{t}$

（4）溶湯  $1\text{t}$  の運搬、鉄込み、取鍋返送時間： 10 分

（5）ロスタイム： これは除さい（滓）、測温、成分調整その他取鍋待ち、材料装入待ち時間で、 $5\text{t}$  及び  $2\text{t}$  炉で 10 分、 $1\text{t}$  炉で 8 分

表 3. 低周波炉と高周波炉の電力消費量比較（8時間/日 操業の場合）

	比 較 項 目	低 周 波 誘 導 炉		高 周 波 誘 導 炉	
		$5\text{t}/1,200\text{kW}$	$1\text{t}/1,200\text{kW}$	$2\text{t}/1,200\text{kW}$	$2\text{t}$
炉 基 本 仕 様	基準溶解能力	2.20 t/h	2.05 t/h	2.09 t/h	2 t
	電力消費量（通常） (冷炉)	545 kWh/t	585 kWh/t	575 kWh/t	58 分
	保温電力 at $1,500^{\circ}\text{C}$	715 kWh/t	745 kWh/t	740 kWh/t	10 分 (3 分)
	1,250°C 裸湯面からの熱損失	115 kW	68 kW	82 kW	10 分
溶 解	保温電力	80 kW	35 kW	58 kW	1.54 t/h
	出湯量/溶解サイクル	170 kW	60 kW	96 kW	2 回
	溶解時間/溶解サイクル	2 t	1 t	1.54 t/h	6 回
	ロスタイム (うち炉ふた開時間)	55 分	29 分	55 分	60 t
溶 解	出湯待ち時間	10 分 (3 分)	8 分 (2 分)	10 分 (3 分)	2 回
	実溶解能力	10 分	0 分	10 分	6 回
	出湯回数/溶解サイクル	1.6 t/h	1.62 t/h	1.54 t/h	60 t
	溶解サイクル/日	2 回	1 回	2 回	575 kWh = 34,500 kWh
ス 冷 タ ー ト	出湯量/溶解サイクル	6 回	12 回	12 回	575 kWh = 34,500 kWh
	溶解時間/溶解サイクル	60 t	60 t	60 t	
	①溶解分の電力量/週	$545 \times 60 \text{ kWh} = 32,700 \text{ kWh}$	$585 \times 60 \text{ kWh} = 35,100 \text{ kWh}$	$575 \times 60 \text{ kWh} = 34,500 \text{ kWh}$	
	②余分溶解電力量/週	$(715 - 545) \times 5 \times 5 = 4,250 \text{ kWh}$	$(745 - 585) \times 1 \times 5 = 800 \text{ kWh}$	$(740 - 575) \times 2 \times 5 = 1,650 \text{ kWh}$	
保 温	冷却回数/週	5 回	5 回	5 回	
	スターティングブロック製作数/週	5 個 (5 t 分)	なし	なし	
	③同上 電力量/週	$545 \times 5 \text{ kWh} = 2,725 \text{ kWh}$	なし	なし	
	操業時保温時間/週	$(10 + 10) / 60 \times 6 \text{ 回} \times 5 \text{ 日} = 10 \text{ h}$	$8 / 60 \times 12 \text{ 回} \times 5 \text{ 日} = 8 \text{ h}$	$(10 + 10) / 60 \times 6 \text{ 回} \times 5 \text{ 日} = 10 \text{ h}$	
保 温	④同上 保温電力量/週	$115 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 1,150 \text{ kWh}$	$68 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 544 \text{ kWh}$	$82 \text{ kW} \times 10 \text{ h} = 820 \text{ kWh}$	
	炉ふた開放時熱損失/週	$3 / 60 \times 6 \text{ 回} \times 5 \text{ 日} = 1.5 \text{ h}$	$2 / 60 \times 12 \text{ 回} \times 5 \text{ 日} = 2 \text{ h}$	$3 / 60 \times 6 \text{ 回} \times 5 \text{ 日} = 1.5 \text{ h}$	
	⑤同上 電力量/週	$170 \text{ kWh} \times 1.5 \text{ h} = 255 \text{ kWh}$	$60 \text{ kW} \times 2 \text{ h} = 120 \text{ kWh}$	$96 \text{ kW} \times 1.5 \text{ h} = 144 \text{ kWh}$	
	非操業時保温時間/週	なし	なし	なし	
合計電力消費量 (①～⑤)/週		41,080 kWh	36,564 kWh	37,114 kWh	
	溶湯 1t 当たりの電力消費量	$41,080 / 60 = 685 \text{ kWh/t}$ (100 %)	$36,564 / 60 = 609 \text{ kWh/t}$ (89 %)	$37,114 / 60 = 619 \text{ kWh/t}$ (90 %)	

表 4. 低周波炉と高周波炉の電力消費量比較 (16 時間/日 操業の場合)

比較項目	低周波誘導炉	高周波誘導炉		
	5t/1,200kW	1t/1,200kW	2t/1,200kW	
炉基本仕様は表 3 に同じ				
溶解	出湯量/溶解サイクル 溶解時間/溶解サイクル ロストタイム (うち炉ふた開時間) 出湯待ち時間 実溶解能力 出湯回数/溶解サイクル 溶解サイクル/日 出湯量/週 ①溶解分の電力量/週	2t 55分 10分 (3分) 10分 1.6t/h 2回 12回 120t 545×120kWh=65,400kWh	1t 29分 8分 (2分) 0分 1.62t/h 1回 24回 120t 585×120kWh=70,200kWh	2t 58分 10分 (3分) 10分 1.54t/h 2回 12回 120t 575×120kWh=69,000kWh
冷炉スタート	②余分溶解電力量/週 冷却回数/週 スターティングブロック製作数/週 ③同上 電力量/週	(715-545)×5t×1回=850kWh 1回 1個 (1t分) 545×1kWh=545kWh	(745-585)×1t×5回=800kWh 5回 なし なし	(740-575)×2t×5回=1,650kWh 5回 なし なし
保温	操業時間保温時間/週 ④同上 保温電力量/週 炉ふた開放時熱損失/週 ⑤同上 電力量/週 非操業時間保温時間/週 ⑥同上 保温電力量/週	(10+10)/60×12回×5日=20h 115kW×20h=2,300kWh 3/60×12回×5日=3h 170kW×3h=510kWh 8h/日×5日=40h 80kW×40h=3,200kWh	8/60×24回×5日=16h 68kW×16h=1,088kWh 2/60×24回×5日=4h 60kW×4h=240kWh なし なし	(10+10)/60×12回×5日=20h 82kW×20h=1,640kWh 3/60×12回×5日=3h 96kW×3h=288kWh なし なし
	合計電力消費量 (①~⑥)/週 溶湯 1t 当たりの電力消費量	72,805kWh 72,805/120=607kWh/t (100%)	72,328kWh 72,328/120=603kWh/t (99%)	72,578kWh 72,578/120=605kWh/t (≈100%)

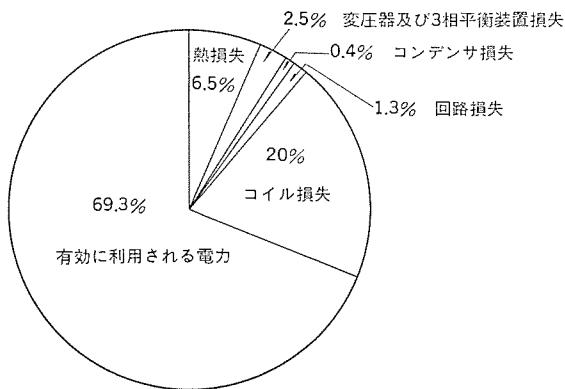


図 6. 5t 1,200kW 低周波炉のエネルギーバランス

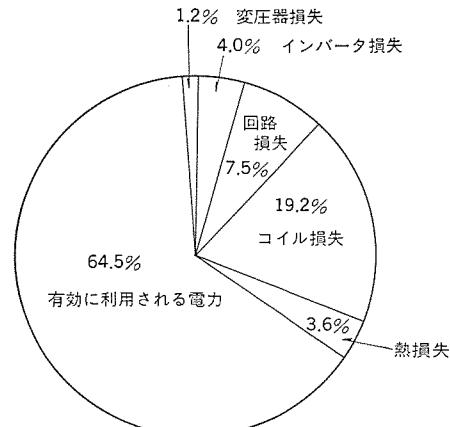


図 7. 2t 1,200kW 高周波炉のエネルギーバランス

とする。またこのうち除滓、測温、成分調整などによる湯面露出時間を各々 3 分と 2 分とする。

- (6) 操業日数 : 5 日/週
- (7) 操業時間 : 8 時間/日, 16 時間/日の 2 通り。
- (8) 非操業時の保温は 1,250°C とする (必要な場合)。
- (9) スターティングブロック用の溶解量は 1t とする。

このような条件のもとで、各々の炉について、1 日の操業時間別に溶湯 1t 当たりの電力消費量の試算結果を表 3., 表 4. に示す。その結果から、1 日 16 時間以内の操業の場合は高周波炉の方が経済的である。これは、図 6., 図 7. に示すように、低周波炉の方が設備そのもののエネルギー効率が高いにもかかわらず、実操業においては、無駄なスターティングブロックの溶解及び保温分の増加がともなうためである。

## 5. む す び

以上、誘導加熱応用機器の応用分野の一部として、鍛造用ヒータ及び誘導炉の最近の動向、実際の経済性について述べた。鍛造業界や铸物業界はエネルギー多消費形の産業であり、省エネルギー、省力化を

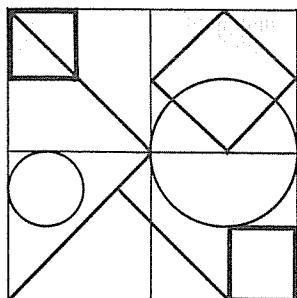
含めた最終目標は、単に各設備の効率向上にとどまらず製造ラインの無人化、コンピュータ化である。

石炭や重油やガスを直接のエネルギー源とする設備は、一部の例外を除いて、どのように改良され、工夫をほどこしても、電力ほどに制御性はよくならない。すなわち誘導加熱機器は、他のどのエネルギーを使用するものより制御性が格段によいわけで、これが製造ラインの無人化、コンピュータ化を可能にしている。今後は、ユーザー各位の協力のもとに、新しい応用分野の開拓と実用化を図るとともに、経済的で高性能な誘導加熱機器の完成に精進する所存である。

## 参 考 文 献

- (1) 安孫子、岩佐：高周波誘導炉の現状と経済性、工業加熱、15, No. 6
- (2) 田口、安孫子、岩佐：誘導炉の省エネルギー操業、鍛造、No. 4 (昭 53)
- (3) 新見：最近の誘導加熱と省エネルギー技術、電気計算、48, No. 14
- (4) 前田：誘導加熱炉の効率計算と測定、電気計算、48, No. 4

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1221686	電気スイッチのストップ装置	渡辺陸夫・寺田光彦 池本一雄	1222966	マンコンペヤの安全スイッチ調整装置	江崎 茂
1221687	白熱灯器具	願念和男	1222967	マンコンペヤの防音装置	瀬戸紀臣
1221688	移乗装置	山口彰弘	1222968	屋外用マンコンペヤのスカート板締結装置	大藤秀夫・阿部勝巳
1221689	膨張形スパイラルシーツ	樋口昭義	1222969	蓄熱暖房器	須田洋・遠藤清
1221690	換気扇包装体の構造	吉村 勉	1222970	蓄熱暖房器	鶴谷嘉正
1221691	循環ろ過装置	板谷芳之・山岸義正	1222971	取付装置	須田洋・遠藤清
1221692	エネルギー分析装置	西嶋光昭・室谷利夫	1222972	換気扇取付装置	福原充
1221693	計数表示回路	中尾佳生	1222973	窓用換気扇取付装置	新井純一
1221694	磁気応動装置	林正之・山根満徳	1222974	換気扇用コード	新井純一
1221695	クラッチモータ	横山昌弘	1222975	換気扇用ケース	林 悅二
1221696	照明器具用セード	武田輝明	1222976	換気扇	中村俊夫
1221697	吊上電磁石	御厨英喜	1223708	モールド形電磁機器	中村俊夫
1221698	電気機械の口出端子	福田清司	1225623	ラップ断線検出装置	篠原俊介
1221699	キャンド式電動機の固定子構造	山本作衛・合田洋	1225654	閉鎖形配電盤	山本一智・高橋貞博
1221700	スピーカ取付装置	田中稔男	1225655	巻取装置	佐々木利彦
1221701	防火シャッター装置	井口武夫	1225656	磁性粒子式連結装置	光森弘之・河上国彦
1221702	マンコンペヤの欄干	石田松彦	1225657	負荷駆動装置	金沢熙
1221703	マンコンペヤの移動手摺	石田松彦	1225658	微細加圧機構	堀幸輝・小林良治
1221704	磁気鉄心	岡田 将	1225659	チャタリング防止回路を有するスイッチング時間制御回路	堀幸輝
1221705	磁気鉄心	岡田 将	1225660	回転電機のブラケット	山崎雅敏
1221706	電気掃除機	長嶺元・福田興司	1225661	渦電流電機の冷却装置	高橋道典
1221707	空調装置	池内正毅・大串哲明 村上政明	1225662	溶接ならい装置	野口昌介
1221708	力率制御用スイッチ装置	水谷次雄	1225663	回転電機	白石初
1221709	工具	山崎豊・大村信明	1225664	空中線の方位検出装置	堀部透・真田義夫
1221710	鋼板浮上搬送装置	二村紘	1225666	電磁粒子式連結装置	船橋善明
1221711	電磁ブレーキ用固定鉄心	広田憲一	1225667	放射線照射装置	野口昌介
1221712	冷凍装置	酒井誠記・中西幸弘	1225668	印刷用原版の支持装置	野中忠彦
1221713	放電加工装置	久慈陽一・荒井伸治	1225669	摩擦式電磁連結装置	車戸秀男
1222951	回転電機の磁性楔	伊藤昭八郎・足立 覚 宮本良一	1225670	パルス信号の同期検定装置	三富至道・津田栄一
1222952	運搬装置	三富至道	1225671	細長部材の座屈防止装置	高山政広
1222953	リフティングマグネットの制御装置	松本素郎	1225672	パラメトリック増幅器	西村幸男・小林良治
1222954	バキュームカップ	田中三郎	1225673	パラメトリック増幅器	細野勇
1222955	制動装置	辻昭紀	1225674	ベルト式動力伝達装置	塙田憲三
1222956	中性子検出器	田中広二	1225675	密封容器	白幡潔
1222957	電磁装置付圧力応動装置	大西正義	1225676	スパイラルシーツの横剛性補強装置	白幡潔
1222958	ワイン付シーザーヒータ	町原義太郎・近藤正司 市村伸男	1225677	密閉型電動圧縮機	荒川功
1222959	暖房機	齊藤辰夫・安福昭次	1225678	摩擦式連結装置	藤原健三・長田大三郎
1222960	傾斜角度可変式鏡装置	鳥川建夫	1225679	閉鎖配電盤のシャッター機構	猪熊章
1222961	クランク機構	遠藤誠・山城芳裕	1225680	コネクター	池田文雄
1222962	燃焼装置	酒井正侃・野間口有	1225681	スパイラルシーツ	小林良治
1222963	天井埋込形換気扇のグリル取付装置	長瀬卯三郎・牛越康徳	1225682	スチームアイロン	納庄貞宏
1222964	換気扇	入沢淳三・牛越康徳			松田哲・飛岡正巳
1222965	真空蒸着装置の被蒸着物保持具	山田富久			木名瀬武男・樋口昭義
					猪熊章
					大竹操



# 特許と新案

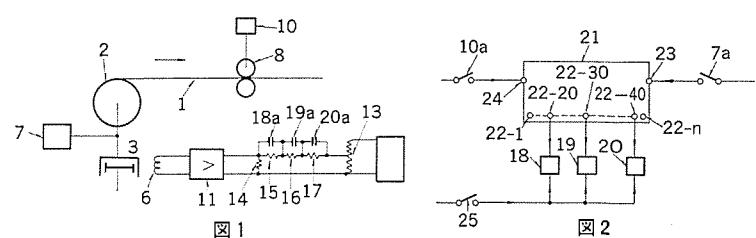
## 長尺物の送出張力調整装置 (特許 第907472号)

発明者 浅野哲正

この発明は巻わく(枠)に巻回された帶状物などの長尺物をその巻枠から送出するにあたり長尺物に所望の張力を与える張力調整装置に関する。図1.図2.において、長尺物(1)が巻回された巻枠(2)には制動トルクを与える電磁ブレーキ(3)が、この電磁ブレーキ(3)には入力電圧に比例した出力を発生する電源(11)により励磁される電磁コイル(6)が設けられている。巻枠(2)に対してはその1回転につき1回閉路する常開スイッチ(7a)を備えたパルス発生装置(7)が、またロール(8)に対してはロール(8)が所定回数回転する度に開路する常閉スイッチ(10a)を備えたパルス発生器(10)がそれぞれ設けられている。電源(11)の入力側には抵抗(14)～(17)が接続されており、抵抗(17)は調力設定用ポテンシオメータ(13)に接続されている。抵抗(15)～(17)に並設された常閉接点(18a)～(20a)を備えた記憶装置(21)には出力端子(22-1), (22-2)…(22-n), カウント信号入力端子(23)及びリセット信号入力端子(24)が設けられており、この記憶装置(21)は常閉スイッチ(10a)が閉路している期間中における常開スイッチ(7a)の閉路回数を計数し、この計数に応じた出力端子まで順次出力信号を発生し、長尺物(1)の送出動作中常閉スイッチ(10a)がいったん開路し再び閉路したとき改めて最初から計数を開始する。送出動作が完了して巻枠(2)が取り外されるときにはリセットスイッチ(25)が閉路され、これにより記憶装置(18)～(20)の記憶内容は解消されるように構成されている。

今、巻枠(2)が満貫状態にあるとき、常閉スイッチ(10a)が1回開路する間に常開スイッチ(7a)が10回閉路するように設定しておけば、常閉スイッチ(10a)が1回開路するまでの期間に記憶装置(21)は10番めの出力端子(22-10)までの各出力端子(22-

1)～(22-10)に出力信号を発生し、常開スイッチ(7a)が10回閉路した時点で常閉スイッチ(10a)が開路し、記憶装置(21)はリセットされる。その後スイッチ(10a)が再び閉路し、改めて零から計数される。長尺物(1)の巻径が減少すると、常閉スイッチ(10a)の閉路期間は一定であるのに対し、その期間での常開スイッチ(7a)の閉路回数は次第に増大する。長尺物(1)の巻径が満貫時の1/2, 1/3, 1/4になれば、その巻径に応じて記憶装置(21)の計数値は20, 30, 40となり、計数値に応じて出力端子(22-20), (22-30), (22-40)に出力信号が発生する。記憶装置(18), (19), (20)はそれぞれ巻径が満貫時の1/2, 1/3, 1/4になったときに作動し、その作動に対応して常閉接点(18a), (19a), (20a)は順次開路する。これに伴い電源(11)への入力電圧が減少し、電磁コイル(6)への励磁電流が減少し、長尺物(1)に与えられる張力は段階的にほぼ一定となるよう調整される。したがって、記憶装置を多数用意し、これらを計数装置の出力端子(22-1)～(22-n)の所定端子に適宜接続して構成すれば最大径から最小径まで巻径が変化する間に、巻径の減少に応じて長尺物に適切な張力を与えることができる。



## 密閉型圧縮機の防振装置 (実用新案 第1242026号)

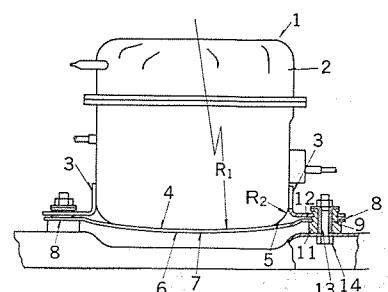
考案者 大石善堂

この考案は密閉型圧縮機のケーシング底面の振動を防止する防振装置に関する。

図において、(1)は圧縮機本体、(2)はケーシング、(3)はケーシング(2)の周壁に固着された脚片、(4)は曲率半径R<sub>1</sub>のケーシング(2)底面、(5)は曲率半径R<sub>2</sub>のかど(角)部である。(6)はケーシング底面(4)とできるだけ広い面積で接するような形状の中央部(7)と取付孔(9)を有する外縁部(8)からなる防振板である。(11)は上記脚片(3)及び防振板(6)の外縁部(8)がかんそう(嵌挿)される周溝(12)を有する防振ゴムで、その中心孔(13)にボルト(14)が貫通し固定される。この場合、脚片(3)と防振板(6)の外縁部(8)とは互い

に接するか、図示のように若干の間隙tを設けておく。

このように構成された防振装置では、ケーシング(2)の底面(4)と防振板(6)との接触及び防振板(6)の弾性支持との作用により、底面(4)の振動は吸収され、共振現象を抑えて低騒音化が図れる。



# 特許と新案

## 電流制限装置 (実用新案 第 1267423 号)

考案者 伊藤利朗・宮本紀男・村井裕・和田勇一

この考案は限流材料としてナトリウム(Na), カリウム(K) またはそれらの混合物(NaK)等のアルカリ金属を用いることにより, 電気回路における短絡電流などの大電流を制限するようにした電流制限装置に関するものである。

Na, K, NaK のようなアルカリ金属は, 常温においては抵抗が非常に小さく良好な導電性を示し, また限流すべき電流によるジュール発熱によって蒸発気化した時においては, 回路の短絡インピーダンスよりも著しく高い抵抗を示して限流動作を行う。そしていったん限流した後は冷却又は置換により液化又は固化し, 再び初期の電気導電性を回復する。しかしながらこのようなアルカリ金属は蒸発気化時に相当高い圧力上昇をもたらすため, アルカリ金属を収納する密閉容器は十分な剛性を有した構造にしなければならない。

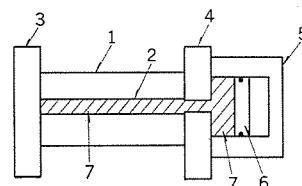
この考案は限流材料の限流動作に基づく気化圧力上昇を所要最適値までに抑制かつ維持する圧力緩衝機能を設けることによって, 密閉容器の耐圧設計を軽減するようにしたものである。

図に示すように, この考案は絶縁物のきょう(筐)体(1)と電流接続端子(3), (4)とからなる密閉容器の一端に, ピストン(6)を用いた圧力緩衝装置(5)を備えている。ピストン(6)の一方には窒素または

アルゴンガスを所要の圧力で充満させ, ピストン(6)の他方及び筐体(1)の貫通孔(2)にはアルカリ金属の限流材料(7)を充てん(填)している。

今しゃ断すべき短絡電流によってアルカリ金属(7)が気化し, このアルカリ金属を充填している部分の圧力が上昇すれば, ピストン(6)はその一方で充満されたガス圧力との差圧により右側に動き, アルカリ金属が充填された部分の体積膨張をおさないつつ, 圧力が平衡状態に維持され, 圧力急上昇を抑制する。

このようにこの考案は圧縮可能な可変容積で構成される圧力緩衝装置を用いることにより, 限流材料が気化する時の圧力上昇を抑えることができるため, 限流材料が充填されかつこれが気化する部分の耐圧設計に特別の配慮を必要としなくなった。



## 陰極線管のアノード回路 (実用新案 第 1239523 号)

考案者 奥谷一夫

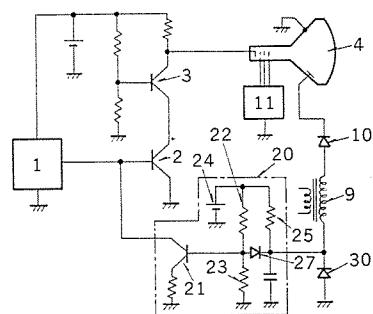
この考案はテレビジョン受信機に使用される陰極線管のアノード回路に関するものである。

図において, ビデオドライブ回路(1)によって出力された映像信号は映像増幅トランジスタ(2), 映像出力トランジスタ(3)を介して増幅され, ブラウン管(4)のカソードに供給されている。ブラウン管(4)のアノードには, フライバックトランジスト(9)で誘起された高圧のフライバックパルスをダイオード(10)によって整流した高電圧が印加される。ブラウン管(4)のグリッドを制御するバイアス回路(11)は映像出力トランジスタ(3)の出力信号をブラウン管(4)の画面上に再現する。アノード電流応動回路(20)はブラウン管(4)のアノード電流を制限し, 水平出力トランジスタなどの破壊を防止する自動ビーム電流制限回路として適用されている。ダイオード(30)はアノード電流応動回路(20)では制御できないような異常大電流がアノードに流れた場合に, アノード電流応動回路(20)の焼損, 発火を防止するものである。

上記のように構成されたものにおいて, ブラウン管(4)のアノード電流は電源(24)から抵抗(25), フライバックトランジスト(9), ダイオード(10)を介して供給される。このアノード電流が増大すると, 抵抗(25)の電圧降下が増大し, ダイオード(27)がオンとなり, トランジスト(21)のベース電圧が低下し, そのコレクタ電流が減少して映像増幅トランジスト(2)のベース電圧が上昇し, 映像出力トランジスト(3)のコレクタ電流が減少して

アノード電流が制限され, 通常の電流制限動作が行われる。

ところで, 上記アノード電流が異常に増大すると, ダイオード(30)を設けない場合には, ダイオード(27)のカソード電圧が低下し, 抵抗(22), (23), (25)に過電流が流れ, 発火を起こす恐れがある。しかし, この考案ではダイオード(30)のカソードが零電位以下になれば, ダイオード(30)がオンし, アノード電流応動回路(20)を測路する。したがって, ダイオード(30)のカソード電圧がその順方向降下電圧以下に低下することなく, 抵抗(22), (23), (25)に過電流が流れ発火を起こすようなことが防止される。



# GaAsFETの故障解析と信頼性改善

鈴木 武\*・石井 孝\*\*・三井 茂\*\*

## 1. まえがき

GaAs 電界効果トランジスタ (GaAsFET) は、今や UHF 帯以上、X 帯に至る周波数帯域で最も重要な半導体能動素子となった<sup>(1)</sup>。

すなわち、非冷却 78 K の雑音温度を有する GaAsFET 低雑音増幅器は、パラメトリック 増幅器に取って代わり衛星通信地上局受信機の主流になりつつあり、また X 帯以下の通信機、レーダは次々に FET 化されつつあって、この傾向は更に Ku 帯、K 帯にも及んでいる。このように GaAsFET が実用素子として定着するに至った背景には、その信頼性の確立、とりわけフィールドでの故障率の低減を図った高信頼度素子設計の寄与が大きい。

本稿では、開発期初期段階で主としてフィールド試験中に故障に至った GaAsFET の故障モードを徹底的に分析し、その原因と要因を追跡して、高信頼度素子設計に反映した過程について述べる。更に、この設計理念に基づいて製作した GaAsFET について、フィールド故障を誘引する主たる原因に対し、改善効果を確認するとともに、実用機器に装てん(填)された素子の履歴を追跡して、その高信頼性を確認した結果について述べる。

## 2. 故障解析

故障解析には主として低雑音 GaAsFET を用いた。フィールド試験あるいは室内動作試験を行い、その過程で故障に至った素子の故障モードを詳細に分析、分類した。解析では故障した素子を顕微鏡あるいは SEM を用いて観察し、これと類似の故障モードを人為的に再現して故障モードの相互比較を行い、妥当性を確認した。

### 2.1 試料

故障解析では解析結果に一貫性を持たせるために、当社の GaAsFET MGF 1400 シリーズを使用した。

GaAsFET の基本的構成は、半絶縁性 GaAs 基板上にエピタキシャル成長させた n 形 GaAs 面上に、互いに対向して形成させたソース及びドレン電極とその間に形成させたゲート電極からなる。

故障解析に供試した低雑音 GaAsFET は、ゲート長 0.7  $\mu\text{m}$ 、単位ゲート幅 200  $\mu\text{m}$ 、全ゲート幅 400  $\mu\text{m}$  の Al ショットキーバリアゲート電極と電極間隔 4  $\mu\text{m}$  で対向するソース及びドレン電極で構成している。ソース及びドレン電極は、GaAs に対し接触抵抗  $2 \times 10^{-7} \Omega\text{cm}^2$  以下の Au-Ge-Ni 系オーミック金属で形成している。

### 2.2 故障モードと故障原因

GaAsFET の故障モードを大別すると図 1. に示すように 4 つに分類することができた。

(1) 故障モード(I)は、ゲート・ソースあるいはゲート・ドレン間の電気的ショートで、図 1. (a) に示すようにゲート・ソース間の GaAs が溶融し、ホールが形成した状態を呈する。この故障モードは接地の不完全な装置の電気リーカ、帶電した人体からの放電あるいは電源の on-off による電気的スパイクなどにより経験した。

(2) 故障モード(II)は、ドレンボンディングパッド近傍でのドレン・ソース

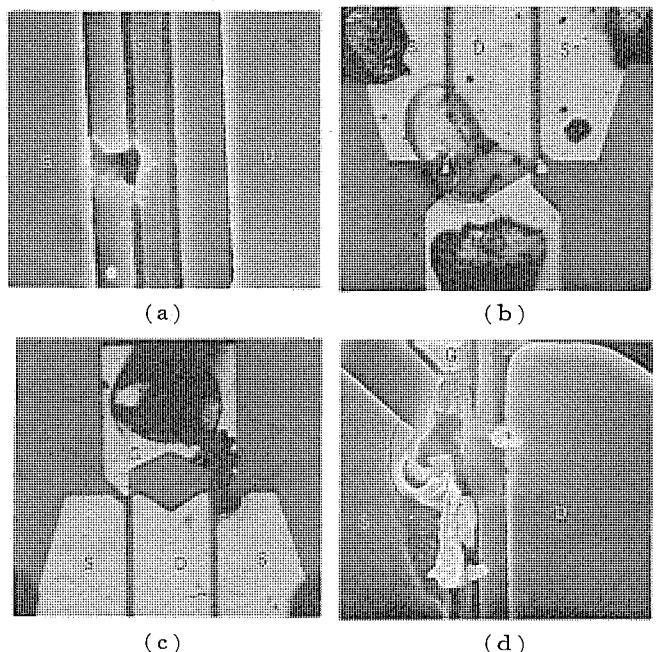


図 1. 代表的な故障モード

間の電気的ショートで、図 1. (b) に示すようにドレンボンディングパッドの一部とドレンとソースが激しい損傷を受けている。この故障モードは過大なバイアス設定あるいは不安定な電源を使用した場合に経験した。

(3) 故障モード(III)は、ゲートボンディングパッド近傍でのゲート・ソース間の電気的ショートで、図 1. (c) に示すようにゲートボンディングパッドの一部とゲートとソースに激しい損傷が見られる。この故障モードは、過大 RF 入力電力の印加あるいはゲート極性を間違えた場合に経験した。

(4) 故障モード(IV)は、ゲートボンディングパッド近傍でのゲート・ソース間の電気的ショートで、図 1. (d) に示すようにゲートパッドの部分的損傷とゲート電極金属とソース電極金属の溶融混合状態が観察され、故障モード(III)にゲート・ドレン間の GaAs が溶融しホールを形成した故障モード(I)が加味した状態と類似している。この種の故障モードは、過大 RF 入力が素子に印加された場合に経験した。

### 2.3 故障要因分析と劣化故障機構

2.2 節で分析し分類した故障モードに関して、故障要因を推定し、妥当性を証明して、その結果を高信頼度素子設計に反映する必要がある。そこで、初めに故障要因を推定し、次にこれに立脚して既に観察された故障状態と同一の状態を再現し得るバイアス条件を与え、故意に素子を破壊して、そのときの故障モード及び劣化過程を比較検討することによって故障機構の解明を図った。

前節の故障モード分析結果から、故障要因として故障モード(I)では、瞬間にゲート・ソースあるいはゲート・ドレン間に破壊電圧以上の過大電圧が印加され(1種のサージ)、大電流が流れたことに因る

ものと推定される。

故障モード(II)では、ドレン・ソース間に破壊電圧以上の過大電圧が加わり、大電流が流れショートした後、大電流が持続したことで損傷部が激しくなったものと推察される。すなわち、故障モード(I)及び(II)は、いずれも直接的には電界破壊によるものと考えられる。

故障モード(III)は、直接的には過大RF電圧のゲート順方向への振り込み、あるいは正ゲートバイアスなどにより過剰ゲート順方向電流が流れることに起因している。ゲートボンディングパッド近傍(RF給電点側)でのみ損傷が発生するのは、この部分で電極形状が急激に変化していることに対応して電界集中が起りやすくなっているためである。高密度化した電流と、電界集中に因る高電界でゲート金属のマイグレーションを誘発し、これが故障を誘引しているものと予想される。

故障モード(IV)では、故障モード(III)の状態で、過大RF電圧がゲート逆方向電圧に加わり、ゲート・ドレン間に破壊電圧以上の過大電圧が印加されて、ソース・ドレン間に激しい損傷状態を引き起したものと考えられる。すなわち、故障モード(III)及び(IV)の故障誘発の直接の要因は過剰ゲート電流と推定される。

以上の推定の妥当性を確認するために以下のシミュレーションを行った。バイアス設定条件は各々次のとおりである。

- (1) 故障モード(I)では、ドレン電圧を固定して過大電圧を印加する。
- (2) 故障モード(II)では、ゲート電圧を固定してドレン・ソース間に過大電圧を印加する。
- (3) 故障モード(III), (IV)では、ゲート金属のマイグレーションを誘引する高電流密度のゲート電流を印加する。

設定条件(1), (2)では、素子が故障に至るまで設定電圧を順次印加させた。

図2.～図5.は各々の設定条件に対応して再現された故障モードを示したものである。図2.は設定条件(1)に対応した試験結果で、ゲートとドレン間が電気的にショートし、かつこの間のGaAsが溶融している。図2.と図1.(a)の故障モード(I)の酷似性から、故障モード(I)の要因がゲート・ソース間に印加された高電圧によるものとの推定の妥当性が裏付けられる。

更にこの種の故障モードは、ソース・ドレン間隔が狭くなる程低い逆ゲート電圧で起こることから、両電極間のスペーシングの何等かの不均一性により発生する局在化した高電界によって引き起こされたものと考えることができる。

すなわち、ゲート・ドレン間隔は動作性能を損なうことのない範囲内で出来る限り大きくし、電界集中を抑えることが高信頼度化のポイントの1つとして指摘されよう。

図3.は条件(2)によって誘引された故障モードを示したもので、ゲート・ソース間及びゲート・ドレン間が共に電気的にショートし、GaAsが溶けた状態を示している。図示したシミュレーション実験では、電気的にショートになった瞬間に素子への電圧印加を止めているが、引き続き電圧がソース・ドレン間に印加された場合には、ショート回路に過剰電流が流れ続けることによって図1.(b)の状態に至る。このことから図1.(b)の直接の故障要因はソース・ドレン間に印加された過大電圧によることが分かる。

図4.及び図5.は設定条件(3)によって、ゲートに過剰電流を流した場合のゲート・ソース間の順方向抵抗の変化と、この抵抗の変化に対応したゲート電極状態の経時変化をそれぞれ示したものである。

図4.に示すように、最初順方向電流が60mA流れるようにバイ

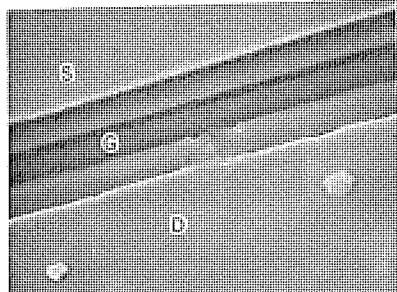
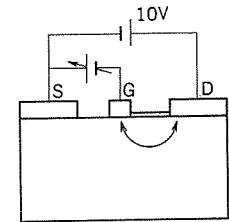


図2. 過大逆ゲートバイアスによる故障モード

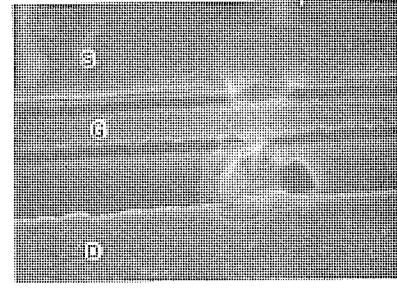
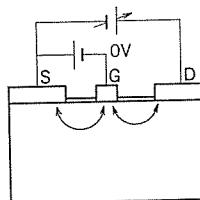


図3. 過大ドレンバイアスによる故障モード

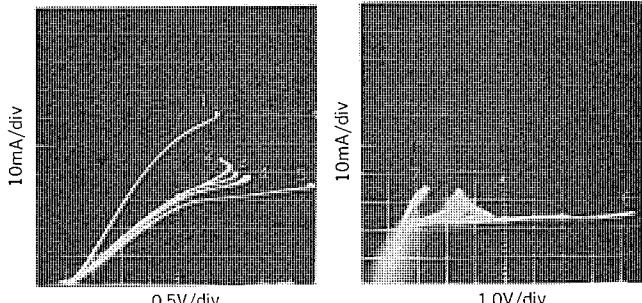
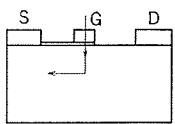


図4. 過剰ゲート順方向電流によるソース・ゲート間電気特性の経時変化

アス設定した①の状態がゲート抵抗の増大によって②→⑥へ経て変化した後、状態⑥→⑦で急激にショート状態に至る。

図5.に示すように、過剰ゲート電流によりゲート、ソース電極は(a)～(f)のように変化する。まずゲートボンディングパッド側のソース端近傍でゲート形状が不規則になり、ゲート金属(Al)のエレクトロマイグレ

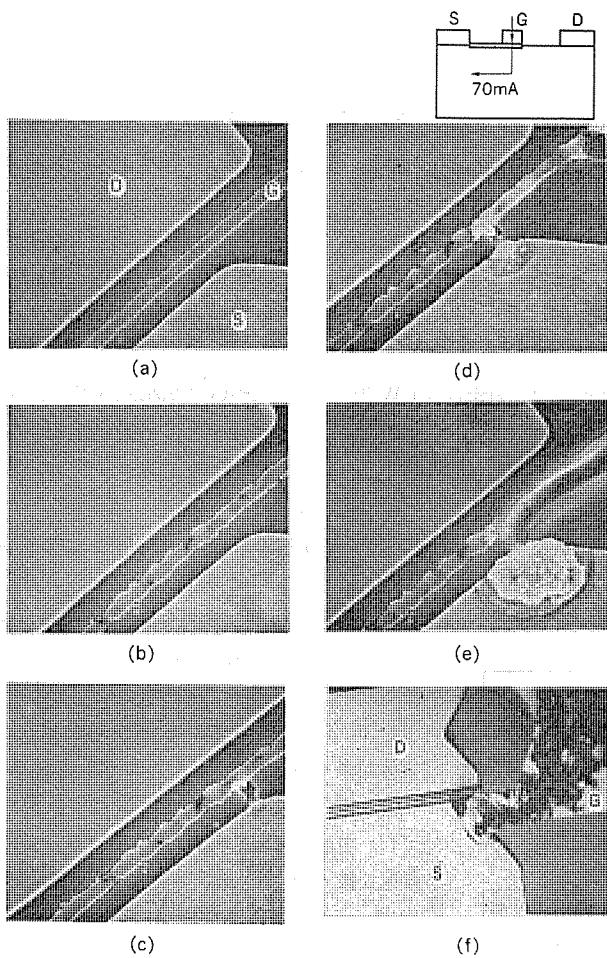


図 5. 過剰ゲート順方向電流によるソース・ゲート電極の経時変化

ーションにより徐々にゲートがやせ細る(a), (b)<sup>(2)(3)</sup>。その後、ソース電極端でゲート・ソース間にショート回路が形成する(c)と、ショート回路を通って過剰電流が流れ、ジュール熱による温度上昇で容易に電極金属が相互拡散し(d), (e)、最終的には(f)の壊滅的な破壊に至る。

この図 5. (f)は図 1. (c)と明らかに同一の故障モードで、このことから図 1. (c)に示す故障モードが過剰ゲート電流により誘引されるとの妥当性が裏付けられる。

図 6. (a), (b)は過剰ゲート電流によりゲートのやせ細りが観察される前後の状態で、該当部分の SEM 像と EMF 像を対比して示したものである。ゲート電極が均一状態の間はゲート・ソース間に均一な電界が掛かっているのに対して(図 6. (a)), ゲート電極のやせ細りにより部分的に不規則になった箇所で、特に電極形状の不連続なソース電極端部で明らかに強い電界集中を起こしていることが分かる(図 6. (b))。

以上の観察から、過大 RF 入力電力あるいは不適正なゲート極性に起因する過剰ゲート電流による劣化故障機構は、

- (1) 最初、高電流密度の下で、特に RF 給電点側でゲート金属のマイグレーションが発生する。
- (2) 次にマイグレーションによりゲート電極形状の不規則が起こり、ゲート・ソース間スペーシングの狭小化した部分で電界集中が発生する。
- (3) 電界集中によりソース電極端の電極形状不連続部分で電界破壊を起こしやすく、ゲート・ソース間にショート回路が形成する。この

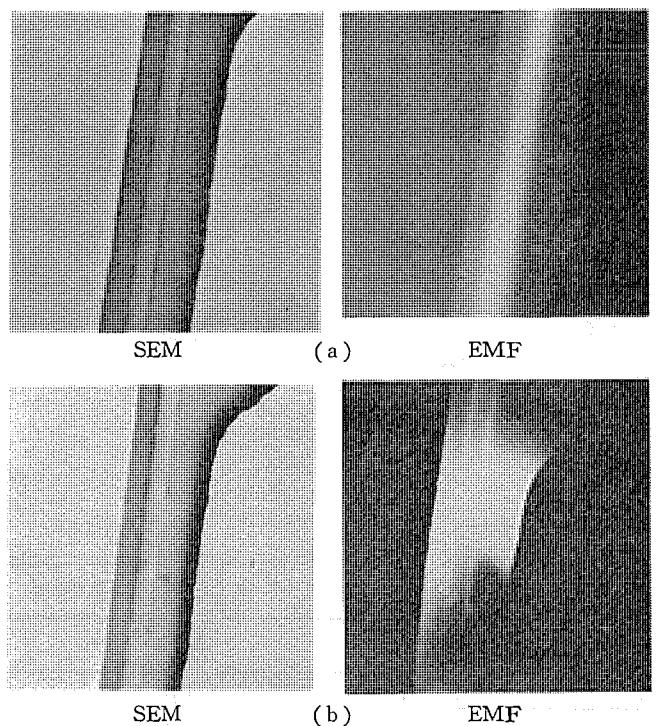


図 6. ゲート金属マイグレーション前後の SEM 像、EMF 像

ショート回路を通して過大電流が流れ壊滅的破壊に到達するものと考察される。

したがって図 1. (c)は上記の過程の軽微の状態、(d)は過大RF電圧がゲートバイアスに重畳され、ゲート逆方向降伏電圧以上の高電圧が印加されて、ゲート・ドレイン間の電界破壊が起こった壊滅的状態と理解される。

### 3. 高信頼性 GaAsFET の設計

以上の故障解析結果から、GaAsFET の信頼性を向上させるためにはゲート電極金属のマイグレーションの防止と電界集中の緩和が必要なことが明らかになった。

局部的な電界集中を緩和させるために、

- (1) 深いゲートリセス構造を用いる。

図 7. にリセス構造の電界集中緩和の効果とノンリセス構造との対比で示した。図はフィンガ当たり 60 mA のゲート電流を 20 分間通電した後、SEM 像で比較したもので、ノンリセス構造の方が不均一性が大きい。リセス構造がマイグレーションの緩和に効果のあることが分かる。この効果はゲート部をリセス構造にすることで、ゲートからドレイン及びゲートからソース方向への抵抗が徐々に減少するために電界集中が緩和されたことに基づいている。

破壊電圧を向上させるために、

- (2) ゲート・ドレイン間隔をゲート・ソース間隔より広くし、更に
- (3) 傾斜形キャリヤプロファイルを有する GaAs エピタキシャルウェーハを用いる<sup>(4)</sup>。

傾斜形キャリヤプロファイルは、半絶縁性基板と n 層の界面近傍でキャリヤ濃度が高く、結晶表面に向かうにつれて徐々に低くなるようなプロファイルを指す。このように工夫されたキャリヤプロファイルでは、動作領域での有効キャリヤ密度が高く、しかも平均キャリヤ濃度が低くなることから、高性能化を図れるとともに破壊電圧が向上する。

過大電流密度による、ゲート金属のマイグレーションとゲートの温度上

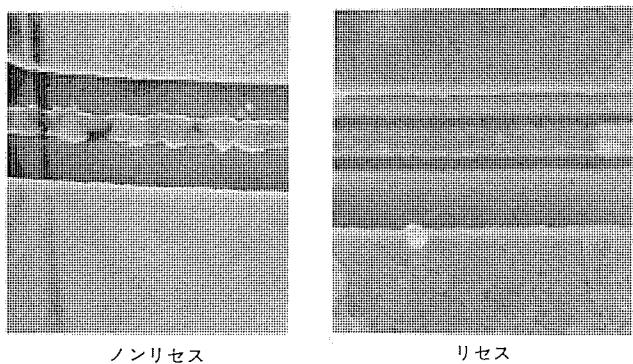


図 7. 過剰ゲート電流によるリセス構造とノンリセス構造のゲート電極の変化

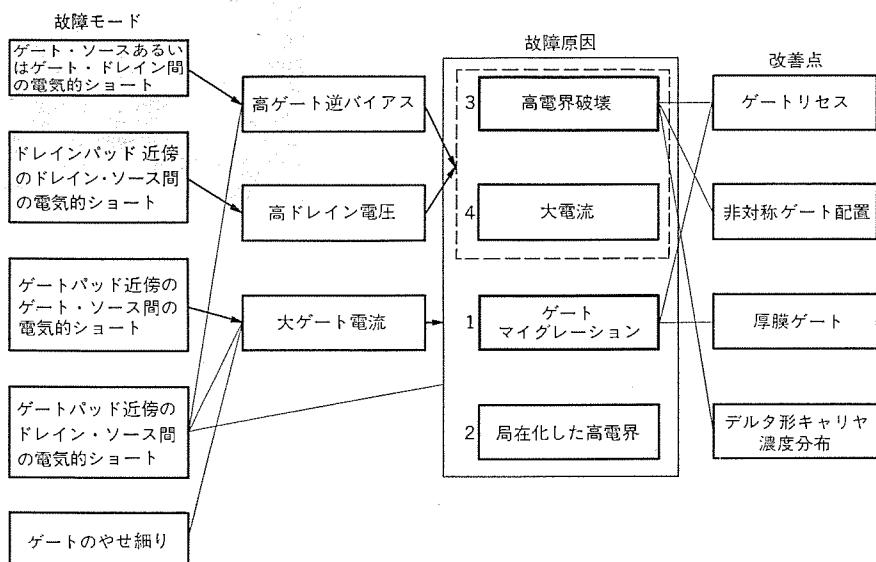


図 8. 故障モードと故障要因及び素子改善点

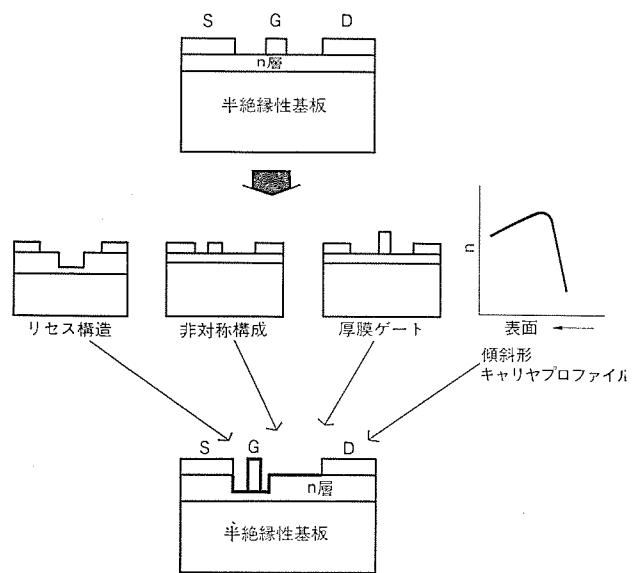


図 9. 改善された FET 構成断面図

昇を抑えるために、

(4) ゲート電極の厚さを大きくし ゲートの抵抗の低減を図ることが指摘される。

図 8. に前章での故障解析結果と上述の素子設計上の留意点の関

連を、また図 9. にこれらの諸点を加味して設計した高信頼度 GaAs FET の断面構造図を示した。

#### 4. 信 頼 性

故障解析に基づいて改善設計した GaAsFET を用いて、サージ耐量、RF 入力電力耐量試験を実施し、その効果を確認した。

サージ耐量は  $200 \text{ pF}$  のコンデンサを用い、これを充電し、素子電極間で瞬間に放電するコンデンサ放電法で求めた。ゲート・ソース間逆耐圧  $V_{GSO}$  が初期値に対して  $-1 \text{ V}$  低下した点をもって故障と判定した。

RF 入力電力耐量は CW 及びパルスについて求めた。CW 入力電力耐量試験の場合、CW 動作が主として要求される通信機用途の実

体に合せて、GaAsFET をドレン電圧  $6 \text{ V}$ 、ドレン電流  $40 \text{ mA}$  にバイアスし、周波数  $8 \text{ GHz}$  の CW 入力を段階的に印加した。故障判定パラメータとして、直線電力利得  $G_L$ 、最小雑音指数  $NF_{min}$ 、付随利得  $G_s$  を用い、各 CW 入力レベルで 2 時間動作後、各パラメータを測定した。

一方、パルス入力電力耐量試験の場合は使用実体が多くの場合、レーダー用途であることから、ドレン電圧  $3 \text{ V}$ 、ドレン電流  $10 \text{ mA}$  にバイアスし、中心周波数  $9.375 \text{ GHz}$ 、パルス幅  $1 \mu\text{s}$ 、繰返し数  $1 \text{ kHz}$  のパルスを印加した。故障判定パラメータは CW と同様で、各パルス入力レベルで 10 分間動作後各パラメータを測定した。

図 10. に示すように、改善設計を施した素子は  $1.2 \text{ erg}$  のサージ耐量を有し、改善設計以前の素子、あるいはこのような考慮を払わず製作された市販素子に比べて 2 倍の耐量を有している。

図 11. に示した RF 入力電力に対する耐量では、改善設計素子の劣化が CW 動作で  $0.4 \text{ W}$ 、パルス動作では  $2 \text{ W}$  以上の RF 入力で起こるのに対し、改善設計を行っていない素子の RF 耐量は、各々  $0.07 \text{ W}$ 、 $0.4 \text{ W}$  で、CW で 5 倍、パルスで 10 倍と大幅に向上している。

このようなサージ耐量と RF 入力電力耐量の向上によって、フィールドでの信頼性は大幅に改善された。マイクロ波機器に実装し、フィールド動作している追跡可能な 173 個の改善設計を行った GaAsFET

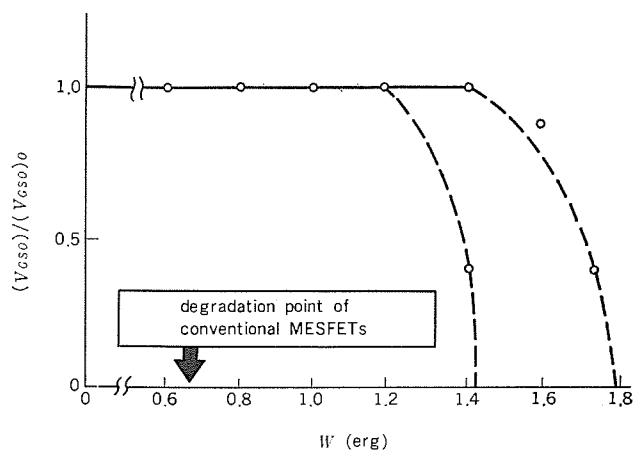


図 10. サージ耐量試験

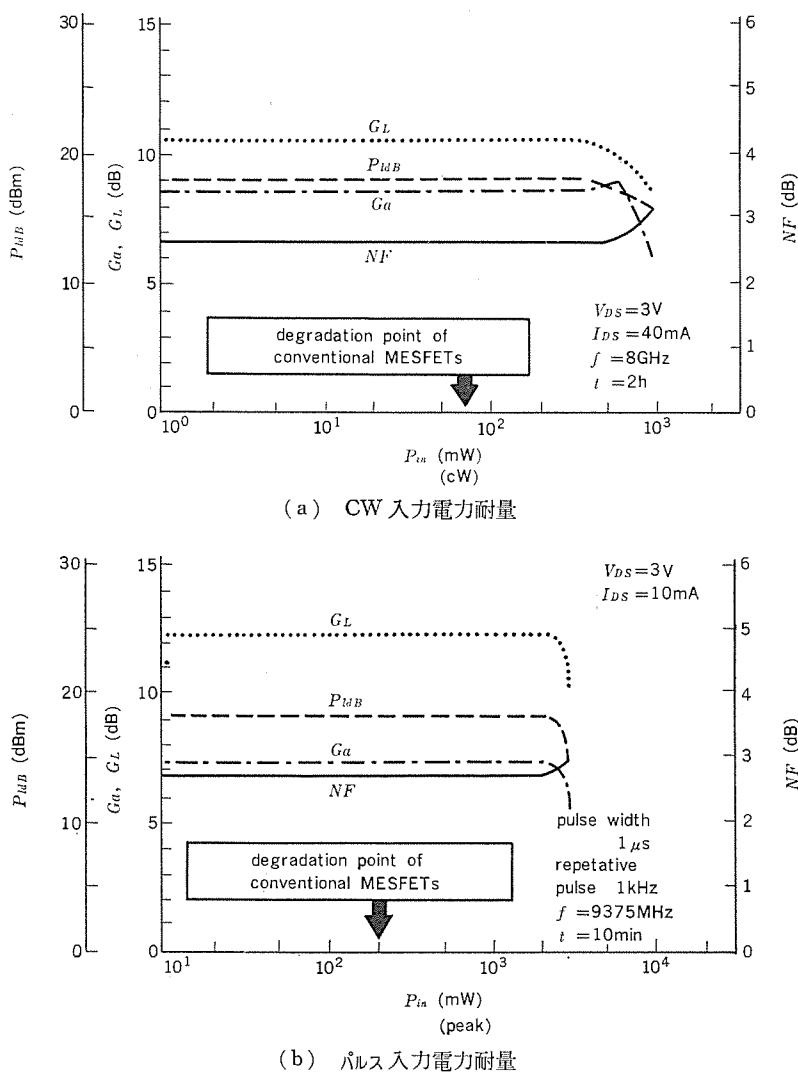


図 11. RF 入力電力耐量試験

について、それらの履歴を追跡調査した。FET は、4 GHz 及び 7 GHz 帯のマイクロ波機器の低雑音増幅器、小電力増幅器に使用され、雑音整合 ( $V_{DS}$  3 V,  $I_{DS}$  15 mA) あるいは利得整合 ( $V_{DS}$  3 V,  $I_{DS}$  30 mA) 条件の下で使用されている。最長 3 年間以上、最短のものでも 1.5 年間動作し、全素子いまだ劣化、故障が発生していない

。動作実績 381 万コンポーネント時間を得て、フィールドデータとして 60% 信頼度水準で 230 FIT が推定された。

## 5. む す び

GaAsFET の故障モードを詳細に分析し、その原因と要因を追求した。この結果に基づいて GaAsFET を人為的に破壊し、劣化故障機構を調べ、原因究明に努めた。

その結果、GaAsFET の信頼性の向上は、基本的にはゲート金属マイグレーションの防止及び高電界集中の緩和が不可欠なことが分かった。このような点を考慮して、改善した低雑音 GaAsFET はサージ耐量で 2 倍、RF 入力電力耐量は CW 動作に対して 5 倍、パルス動作に対して 10 倍の改善がなされたことを確認した。

本稿では低雑音 GaAsFET の故障解析結果に限定して論じたが、高出力 GaAsFET の故障要因もバイアス電力点が違う点を除けば本質的に同じであると考えられ、等しく高信頼度化素子設計に反映している。かかる高信頼度設計した低雑音及び高出力 GaAsFET は共にフィールドで安定に動作し、ユーザーの要求にこたえている。

## 参 考 文 献

- (1) 鈴木、石井、三井：Ku 帯低雑音 GaAsFET とその特性、電子材料、19, No. 7, p. 109~115 (1980)
- (2) E. Nagasawa, H. Okabayashi, T. Nozaki and K. Nikawa : Electromigration of sputtered Al-Si alloy films, 17th. annual proceedings, Reliability Physics, p. 64~71 (1979)
- (3) J. R. Black : Electromigration of Al-Si alloy films, 16th. annual proceedings, Reliability Physics, p. 233~240 (1978)
- (4) R. E. Williams and D. W. Shaw : Graded channel FETs; Improved linearity and noise figure, IEEE Trans. Electron Devices, ED-25, p. 600~605, June (1978)

# 食品店舗の省エネルギー・コントローラ《MELTIC》とその応用

藤井 保\*・西岡 隆文\*

## 1. まえがき

食品店舗において売上高に占める電力費の割合（電力費率）は、平均 1.18%（(社)日本セルフサービス協会昭和 53 年度調査）となっている。昭和 55 年度 4 月の約 50% の電気料金値上げを加味すると、食品店舗における経常利益率を上回り、従来の利益がそのまま電力費の値上り分に食われてしまうことになる。省エネルギー・コントローラ《MELTIC》は、電力費の占める割合が比較的大きい食品店舗を対象としたもので、食品店舗全体の電力負荷を無駄なく効率的に運転しようとするものである。

## 2. 省エネルギー・コントローラ開発の背景

表 1. に食品店舗の電力費率と図 1. に使用電力量の構成比を示す。スーパーマーケットに代表される食品店舗は、大規模店よりも小規模店が多くなる傾向で（図 2.），電力費率が高い店舗が増す傾向にあり、電力費の低減が重要な課題となってきた。食品店舗における各電力機器の省エネルギー項目を上げてみると次のとおりである。

### 2.1 空調設備の省エネルギー

- (1) 店内温度、湿度の適正な設定
- (2) 冷気回収

表 1. 食品スーパー店の電力費率

売り場面積	集計店舗数	平均値	一般的範囲
99m <sup>2</sup> 以下	3 店*	0.46%	—
100～199m <sup>2</sup>	22 店	0.91%	0.70～1.58%
200～299m <sup>2</sup>	55 店	1.07%	0.90～1.35%
300～399m <sup>2</sup>	85 店	1.24%	0.96～1.47%
400～599m <sup>2</sup>	120 店	1.22%	1.10～1.48%
600～999m <sup>2</sup>	132 店	1.15%	0.91～1.40%
1,000～1,499m <sup>2</sup>	82 店	1.20%	0.90～1.50%
1,500m <sup>2</sup> 以上	17 店	1.08%	0.83～1.60%
総合	516 店	1.18%	0.90～1.50%

注 売上高に占める電力費の割合 ((社)日本セルフサービス協会昭和 53 年度調査)

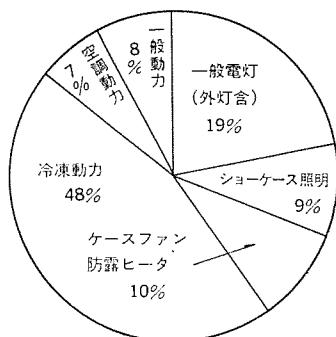


図 1. 食品スーパー店の消費電力量比率  
(社)日本セルフサービス協会資料より

表 2. 食品スーパー店の営業利益率

3店以下企業	2.5%
4店以上9店以下企業	2.17%
10店以上19店以下企業	1.73%
20店以上企業	1.61%
総合	1.81%

注 100 社個々の集計平均 ((社)日本セルフサービス協会昭和 53 年度調査)

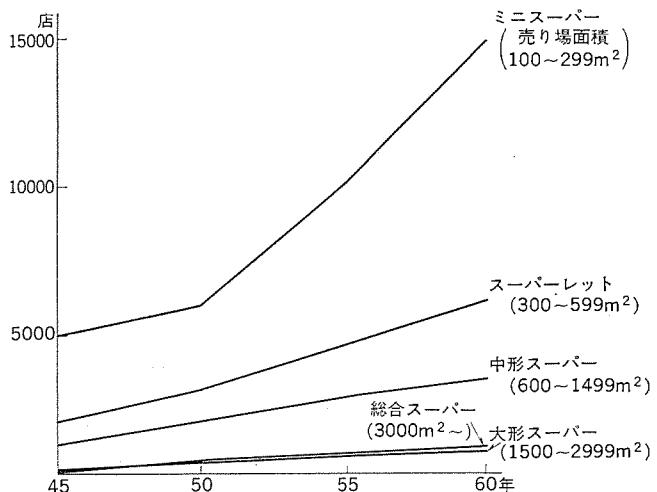


図 2. 経営規模別飲食料品小売店舗数の推移と予測

ショーケースからの漏えい冷気を回収し、冷房源として再利用する。

(3) ヒートリクレー (冷凍機排熱利用)

ショーケース用冷凍機の凝縮器の排熱を利用して、冬期の暖房を行う。

(4) 換気処理

全熱交換器《ロスナイ》を利用して、換気負荷を低減する。

(5) 空冷式空調機の利用

水冷式に比べ、空冷式は冷却塔の補給水やポンプ動力が要らない利点がある。

### 2.2 ショーケース及び冷凍機の省エネルギー

(1) 省エネルギー・ショーケースの採用

2重エアカーテン式、平形ケース、リーチインケースを採用する。

(2) ホットガスデフロスト方式の採用

冷凍食品、生鮮、精肉等のデフロストは、除霜時間の短いホットガスデフロスト方式とする。

(3) 品温に影響の少ない期間の運転停止

冬期、中間期の午前中など外気温が低い期間は、青果、日配用のケースの運転を止める。

(4) ナイトカバーの利用

夜間、休日には、ナイトカバーを利用し、ケース内への外気巻込みをなくして冷気の逃げを防ぐ。

(5) マルチ（並列）式冷凍機の採用

軽負荷時は、冷却負荷に合わせて冷凍機運転台数を低減し、効率の

良い運転を行う。

## 2.3 照明設備の省エネルギー

### (1) 場所により照度をかえる。

売場、レジなど主要部は高照度に、通路、包装台などは照度を落とす。

### (2) 高効率光源の利用

省電力形けい光ランプ、メタルハライドランプ、屋外では高圧ナトリウムランプを使用する。

### (3) タイムスケジュール運転の導入

営業時間帯によって、間引き照明や調光による照度変化を行う。

## 2.4 その他の省エネルギー

### (1) 出入口の2重ドアにより、空調負荷を低減させる。

### (2) 天井、壁に断熱材を使用し、建物の断熱性を向上させる。

(3) 効率的な運転制御を行う。店舗従業員による電灯の点滅、機器の運転、操縦には限界があるので、これらの制御をあらかじめ記憶させておいた手順により、マイクロコンピュータにより行わせる。これが、省エネルギーcontroーラ《MELTIC》である。

## 3. 《MELTIC 500》

《MELTIC 500》(図3)は、マイクロコンピュータを使用したスーパーマーケット、ビルなどにおける冷凍、空調、照明、その他各種電気設備の電力消費量を節減する省エネルギーシステムの中心的な機器である。以下、《MELTIC 500》の機能について説明する。

### 3.1 《MELTIC 500》の機能と特長

#### (1) ショーケースの温度制御

食品店舗においては、ショーケースの温度管理が食品の鮮度の保持と省エネルギーの点で重要である。《MELTIC 500》は、個々のショーケースの温度をサーミスタ温度センサで測定し、それぞれのショーケースごとにあらかじめ設定された値と比較を行い、液電磁弁を開閉制御することにより、“設定値±1°C”の範囲に多数のショーケースを集中管理し、冷し過ぎを防止する。

#### (2) 冷凍機のデューティサイクル(間欠運転)制御

ショーケース用冷凍機の運転を32分ごとに一定時間強制停止させ、消費電力量を削減させる。ただし、製品の品質の低下を防止するため、デューティサイクル制御により庫内温度が一定の上限値を超えた場合や

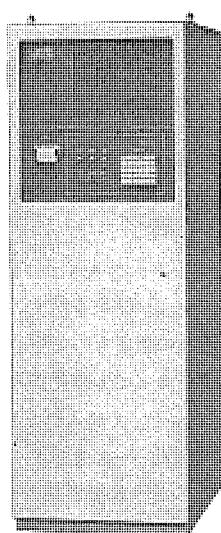


図3. 省エネルギーcontroーラ《MELTIC 500》

デフロスト(冷却器の除霜)中、デフロスト直後で庫内温度が上昇している場合は、デューティサイクル制御は行われないようになっている。

#### (3) 運転スケジュール制御

店内外の照明設備や空調設備の運転・停止をあらかじめ、定められたスケジュールに従い、自動的に繰返す。発停の時刻設定は、きめ細く行えるようにするため分単位で行える。また、食品店舗の場合、負荷の運転スケジュールは、平日、休業日、繁盛日(土曜、日曜、祝日)など、曜日によって異っているので、1週間の各日を平日、休業日、繁盛日の3種類に設定し、それぞれ運転スケジュールが定められるようになっている。

#### (4) 環境コントロール

空調設備、及び、熱回収設備を様々な環境条件に応じて自動制御し、温度、湿度の調節、コールドエアの解消並びにショーケース用冷凍機からの排熱の有効利用を図っている。環境コントロールの方式は、季節によって異なるので、「夏期」、「冬期」、「梅雨期」、「中間(秋、春)期」の季節ごとに適切な制御を行う。表3に空調機の季節別の運転方法を示す。

#### (5) 除霜コントロール

ショーケースの冷却器に付着する霜は、定期的に除去しないと、冷却効果が低下し、エネルギーのロスとなるばかりでなく、商品の品質の劣化をもたらす恐れがある。《MELTIC 500》により、あらかじめ定められた任意の時刻に、除霜信号を発生させることができる。

#### (6) ナイトセットバック(夜間自動設定変更)

夜間は、外部の温度が低下し、品物の出入りも少ないので、ショーケースの保冷効果が向上し、デューティサイクルによる冷凍機の運転停止時間を昼間より長く設定したり、ショーケースの温度設定を昼間より高い温度に設定変更することが可能である。こうした処理により、夜間電力の低減を行っている。

表3. 空調機の季節別運転

季節	モード	入力	コンプレッサ	ファン	冷暖	レヒータ
夏	30°C 夜 27°C 昼 30°C 温度制御	室温	設定値以上でON	全ON	冷	全OFF
	昼間・夜間で各々目標温度を設定可能 設定値±1°Cで温度制御					
中間期	ファンOFF 夜 ファンON 昼 夜		全OFF	昼間ON 夜間OFF (冷)		全OFF
ファンのみ昼、夜のスケジュール運転						
梅雨期	夜 昼 夜 昼間、除湿制御	室温 湿度 外気温 以上でON	湿度70% 以上でON	昼間ON 夜間OFF (冷)	室温<外気-3°CでON (2段ステップ)	
湿度が70%を超えると冷房、室温が下がり過ぎるとレヒータON						
冬	18°C 夜 12°C 昼 12°C 夜 温度制御	室温	設定値 以下でON	全ON	暖	設定値以下でON 2段
	昼間、夜間で各々目標温度を設定可能 設定値±1°Cで温度制御 コンプレッサ、レヒータはレヒータ優先の3段ステップ制御					

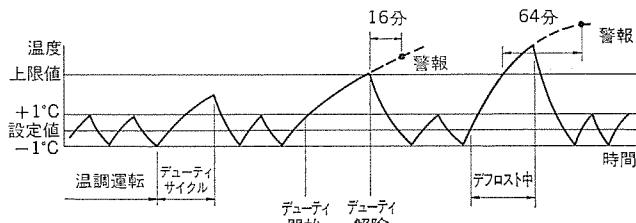


図 4. ショーケースの温度変化と警報

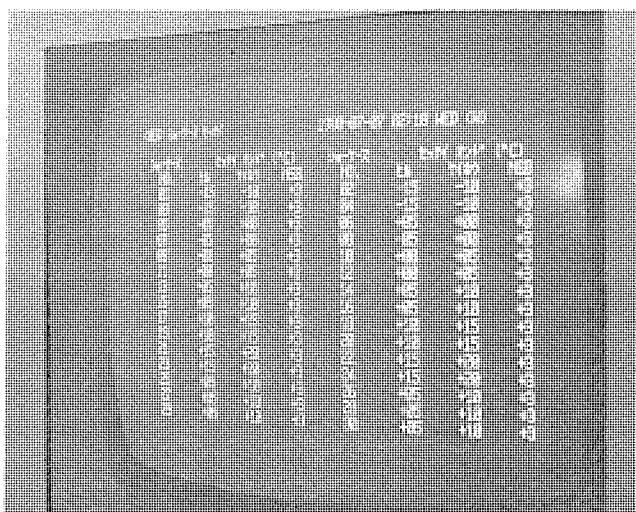


図 5. CRT 表示器

#### (7) 温度異常警報

ショーケース温度が上限値を超え、16分間経過した場合は温度異常警報信号を出力し、デフロストを中断して冷却の動作に入る。図4.は、ショーケースの温度変化と警報の発生状況を示す図である。

#### (8) ピーク電力(デマンド)コントロール

使用電力が、500kW以上の店舗、ビルなどの場合、電力会社との取決めにより、30分間の平均電力を一定値以下に保つことが義務付けられている。これを契約電力といふ。《MELTIC 500》ではピーク電力を検出し、契約電力の超過を防止する。すなわち、発信装置付電力量計からのパルスを入力とし、平均電力を1分ごとに過去15分間にわたっての電力使用状況を基に算出し、この値とあらかじめ設定した目標電力を比較し、平均電力値が目標電力値を上回ると、負荷制御信号を出力する。負荷制御出力は5段階の出力になっていて、負荷が過大になると順次ピーカットを行う。

#### (9) 運転状態表示と設定

食品店舗の監視と制御は対象項目が多数であり、設定や表示の識別が困難である。《MELTIC 500》はCRT表示器(図5.)を採用し、多点の項目が1度に表示できる。また、設定は対話形となっており、設定ミスを防止することができる。

### 4. 《MELTIC シリーズ》

食品店舗用省エネルギー コントローラは、《MELTIC 500》の外にも食品店舗規模に応じて、小形・はん(汎)用コントローラの需要がある。ここでは、これらのコントローラの紹介を行う。

#### 4.1 《MELTIC 104》

《MELTIC 104》(図6.)は、小形・汎用のコントローラで店内照明、ショーケースの照明、空調機の運転などのスケジュール制御を行うものに適している。制御回路数は、4回路で1週間のプログラム運転が可能

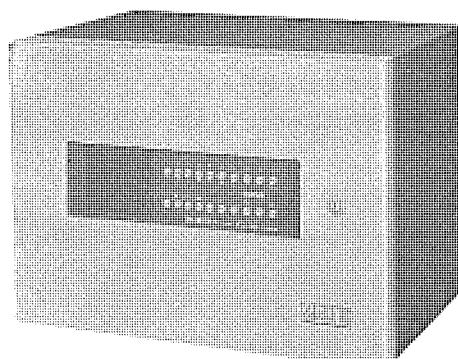


図 6. 省エネルギー コントローラ《MELTIC 104》

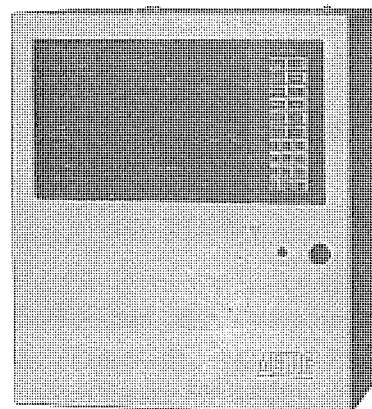


図 7. 省エネルギー コントローラ《MELTIC 224》

で、比較的小規模の店舗に適している。

#### 4.2 《MELTIC 224》

《MELTIC 224》(図7.)は、8回路のスケジュールコントロールと16回路のデューティサイクルコントロールの可能な汎用コントローラである。4.1節と同様、週間のスケジュール運転の外、冷凍機のデューティサイクル制御が可能である。また、デューティサイクルによる運転は、夜間の停止時間を昼間の停止時間より長くするナイトセットバック機能を持たせてある。《MELTIC 224》では温度検出機能は具備していないので、温度調節は外部のサーモスタットを設置し、このサーモスタットの外、デューティサイクル停止時は、やや温度を高めにセットしたバックアップ用のサーモスタットを設置する。

### 5. 省エネルギー コントローラの応用と導入効果

省エネルギー コントローラ《MELTIC》が備えているスケジュールコントロールによる例を図8.に示す。図9.には、照明回路の制御回路を示す。照明回路の点滅には、連続して励磁電流が流れないリモコンリレーが省エネルギーのためにも優れている。

図10. ICショーケースのデューティサイクルコントロールによる庫内温度と商品の温度変化のシミュレーション結果を示す。この結果によれば、テストパッケージのように熱容量のあるものの中心部温度はデューティによる数分間の冷却停止時間があつても変化がみられない。

図11.には、実際にショーケースに入れた場合の商品(テストパッケージ及びスライスハム)の温度変化データを示す。

この実例では、スライスハムのように熱容量の小さい商品では、デューティの停止時間による温度変化が見られる。また、実際の商品における表面部と内部の温度差の例を図12.示す。デューティサイクルコントローラ

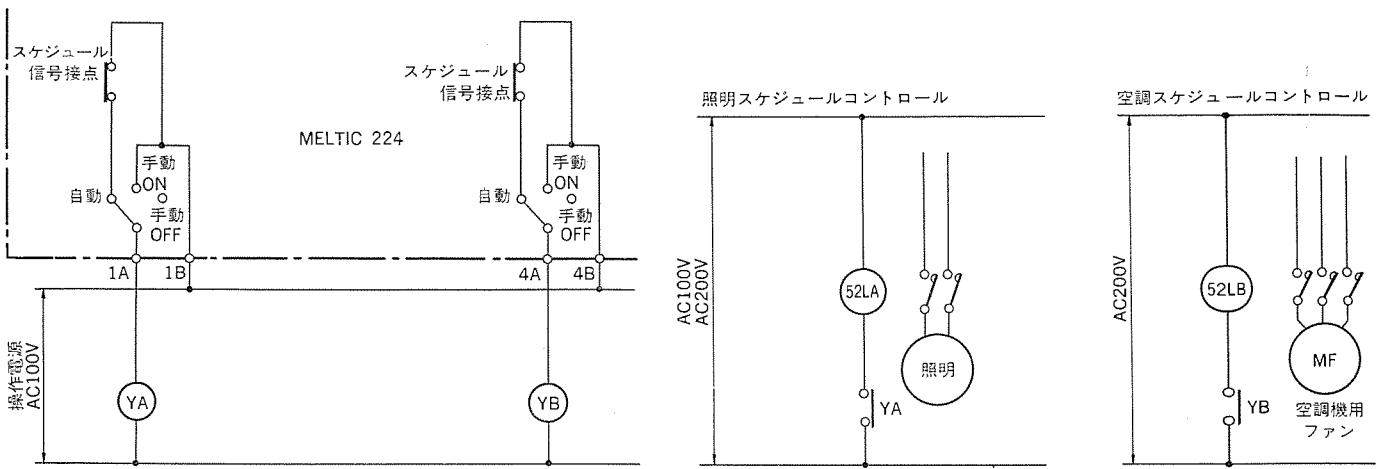


図 8. スケジュールコントロール 制御回路

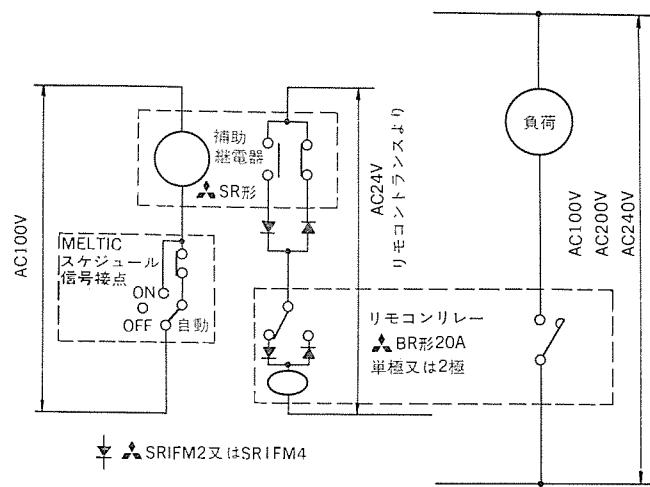


図 9. 照明回路 リモコンリレーとの接続

ルを空調機に利用する例としては、2台の空調機の送風機は、連続運転とし圧縮機のみデューティサイクルにより交互に運転する方法がある。特に、契約電力限界に近い状態で、空調機制御をする場合に有効である。

### 5.1 省エネルギー コントローラ導入効果

食品店舗において、省電力の効果は電気料金で評価できる。電力需要家における電気料金の算出は、次の式で算出される。

$$\cdot \text{電気料金支出手合計} / \text{月} = (\text{基本料金} + \text{電力量料金}) \times 1.05$$

$$\cdot \text{基本料金} = [(\text{基準電力} \times \text{一般基本料金}) / \text{kW}] \text{ 円} / \text{kW}$$

$$\div (\text{契約電力} - \text{基準電力}) \times \text{特別基本料金} / \text{kW} \text{ 円} / \text{kW}$$

$$\times (1 + 0.85 - \text{力率})$$

$$\cdot \text{電力量料金} = 1 \text{か月間電力量} \times \frac{(\text{基準電力} \times \text{一般電力量料金}) / \text{kWh}}{\text{契約電力}} \text{ 円} / \text{kWh}$$

$$+ \left( 1 - \frac{\text{基準電力}}{\text{契約電力}} \right) \times \text{特別電力量料金} / \text{kWh}$$

・基準電力 (昭和 55 年 4 月以降の場合)

$$\text{新基準電力} = \text{旧一般料金適用電力} + \text{旧特別料金適用電力} \times 0.5$$

新規契約時の基準電力 = 0 (すべて特別料金が適用される)

契約電力、基準電力の値は需要家により異なる。割合も別々である。

・違約金 (契約電力が 500 kW 以上の需要家に限る)

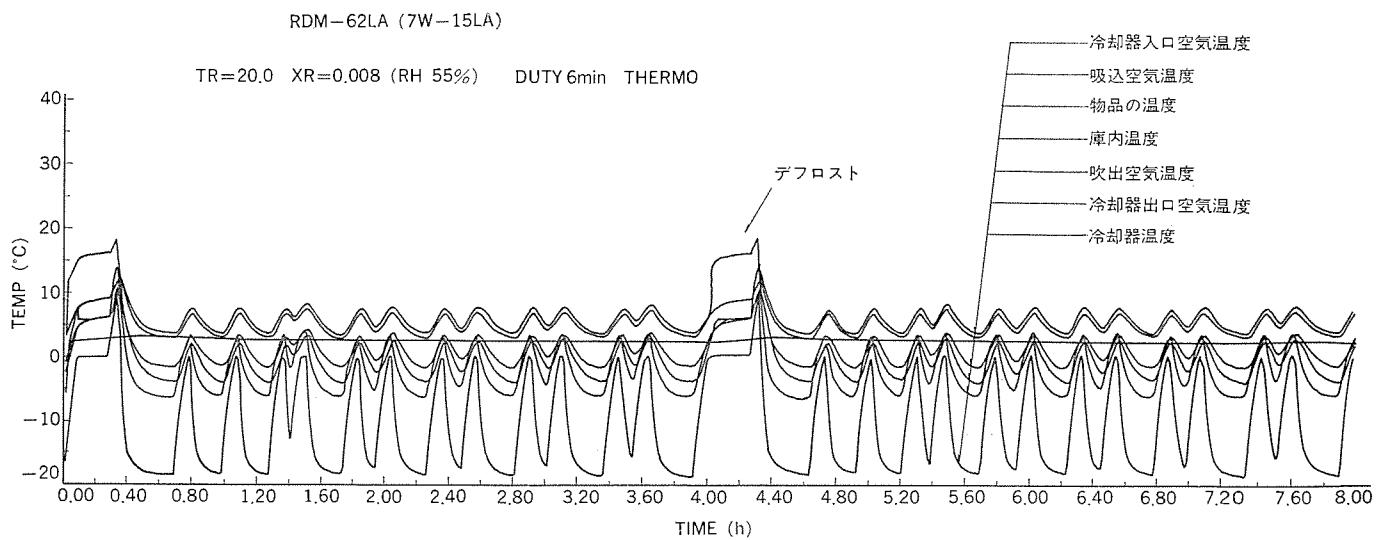


図 10. デューティサイクルと温度変化のシミュレーション

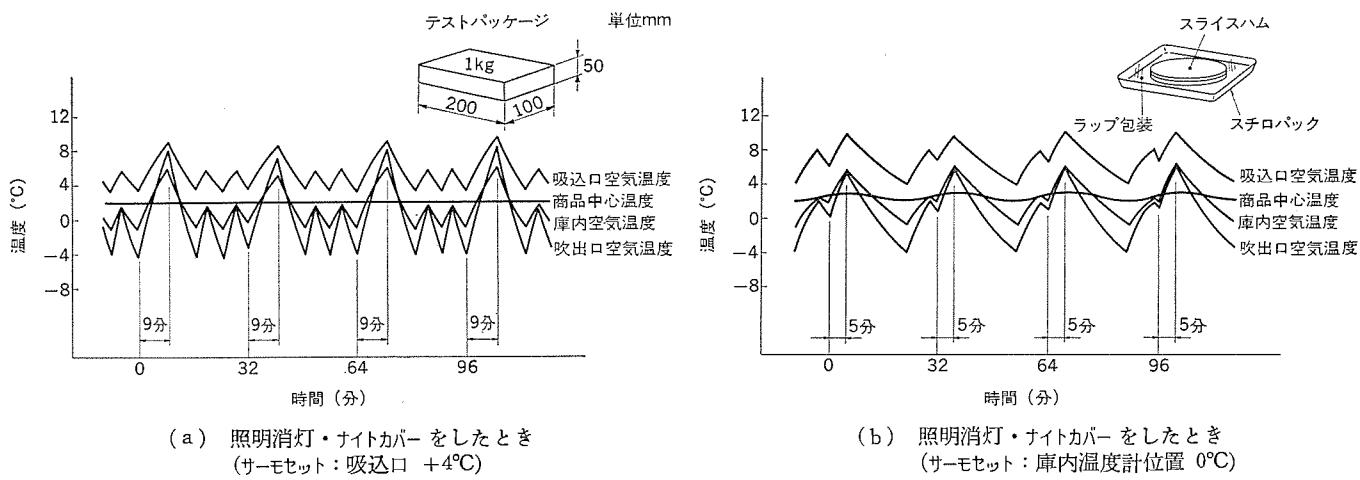


図 11. デューティサイクルと商品温度変化例

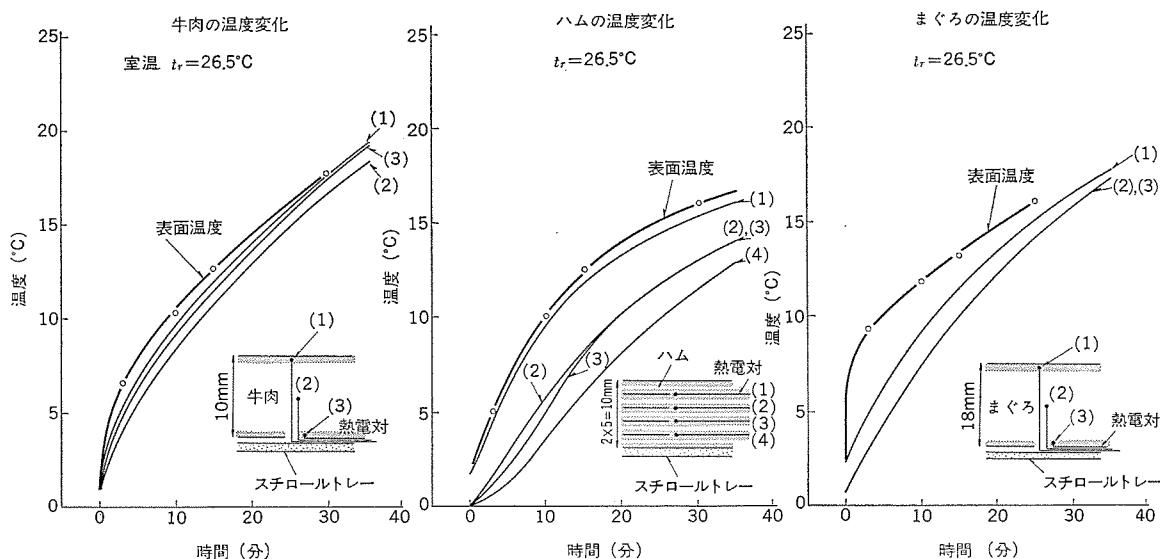


図 12. 冷却された商品 (0°C) を室温に放置したときの温度変化

$$\text{違約金} = (\text{最大需要電力計の読み} - \text{契約電力} \times 1.04) \text{ kW}$$

$$\times (1 + 0.85 - \text{力率}) \times \text{特別基本料金} \times 1.5 \text{ 円} / \text{kW}$$

・電気税（ほとんどの業種で課税される）

$$\text{電気税} = \text{電気料金} \times 0.05 \text{ (一般的に 5% である)}$$

違約金には課税されない。

したがって、電力使用量と電気料金とは比例しない。契約電力が変わらないものとすれば、省電力による電気料金の低減は電力量料金の低減となるから、

$$\begin{aligned} \text{省電力低減額} &= \text{省電力量} \times \left( \frac{\text{基準電力}}{\text{契約電力}} \times \text{一般電力量料金} \right. \\ &\quad \left. + \left( 1 - \frac{\text{基準電力}}{\text{契約電力}} \right) \times \text{特別電力量料金} \right) \times 1.05 \end{aligned}$$

また、使用電力量は変わらなくても、力率が改善されると基本料金が少なくなり、契約電力が低くなれば基本料金と電力量料金が少なくなる。この面からも電気料金を少なくできる方策が考えられる。

## 5.2 投資効果

例えば、『MELTIC 224』を工事費込みで 300 万円の投資額になるものとすれば、次式によると、利率 10% / 年、満 2 年で回収しようとするならば、省電力による効果は約 173 万円 / 年、満 3 年で回収しようとするならば、約 121 万円 / 年の省電力効果を必要とする。

$$\text{利益額} / \text{年} = \frac{\text{投資額}}{\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}} \quad n: \text{回収年数} \quad i: \text{年利率}$$

## 6. むすび

省電力のためには、まず、消費電力の少ない電気機械を設備し、その上で効率のよい運転をすることであるが、運転の仕方次第で電力消費量に大きな差が生じることは確かである。各食品店舗ごとに条件が異なるので一律の方法にでき難く、省エネルギー運転方法のは(把)握には試行錯誤が伴うが、『MELTIC』の普及につれて確立すると期待する。

# 一般電子機器用プリント基板CADシステム

藤井 孝知\*・吉田 和幸\*・伴野 保\*・濱村 正夫\*・坂本 茂\*\*

## 1. まえがき

あらゆる分野に拡大しつつある エレクトロニクス化と、部品技術、特に半導体技術の急激な進展は、製品の多様化、システム化を促進し、製品ライフサイクルを短くしている。電子機器の主要構成品であるプリント基板は、これらの影響をうけて、高密度化、大形化、機能化が進んでおり、設計需要の増加が顕著である。それだけに、迅速な開発体制と安定した設計品質の確保が強く望まれている。

当社では、電子機器のIC化が始まった昭和40年初期から、電子計算機を利用して自動設計を試行しており<sup>(1)</sup>、昭和44年には、最初の本格的なプリント基板自動設計プログラム(PACS-2F)<sup>(2)</sup>を実用化した。その後、この技術をベースにして、ICのピン間に2本の導体を配線する高密度デジタル回路用自動設計プログラム(PACS-X4)を開発し、更には、個別部品、IC、LSIが混在し、信号レベルが多様な入出力回路や、低中密度の電子回路にも適用できる自動設計プログラム(PACS-Y4)を開発した。また、これらのプログラムを大形電子計算機に実装し、グラフィックシステム及びフォトプロッタと結合し、システム化を図って利用体制を確立している。

この論文は、このプリント基板CADシステムを通信機器、レーダ機器などの、主としてデジタルプリント基板の設計に適用し、大きな成果をあげているので、その概要を紹介する。

## 2. CADの必要性

プリント基板は、高速化に伴う信号線路長の短縮化と接続部品(接栓)の削減による信頼性の向上を主な目的として、大形化し、集積度が増大しているため、設計時間が指数関数的に増加し、製品工期に大きな影響を及ぼしている。このような状況の改善策として、プリント基板の種類の増加を徹底した標準化で抑制する方法と、設計作業そのものを効率化する方法がある。いずれも重要な課題であるが、後者の具体的な方策として、CAD(Computer Aided Design)システムがある。

プリント基板の設計は、機械的な作業が大半で、自動設計(Design Automation: DA)向きである。しかしながら、自動設計は種々の検討がなされているが、現実に完璧なものはない。この点を補うものとして、グラフィックシステムなどにより自動設計システムに設計者が適宜介入し、設計作業を完成する、いわゆる Man-Machine の有機的な結合による CAD システムが効果をあげている。これは、電子計算機の正確性、高速性と人間の幅広い応用能力をうまく結合し、アルゴリズムの限界で行き詰まっていた自動設計を、現実に、設計ラインに組込んで実用化したという意味で、大きな進歩である。

具体的には、(1)設計時間、設計期間の短縮、(2)設計品質の向上、(3)総合的な生産の合理化、品質の向上、などが目的であり、今や、CADシステムは電子機器の生産に不可欠なものとなっている。

## 3. CADと標準化

CADと標準化は、車の両輪にたとえることができる。両者は相互に他方を加速し合う関係に保つ必要がある。CADは、標準品を効率よく処理する強力なツールとなり、このことが翻って標準化の糧となる。

テレビ、ラジオで代表される量産工場においては、開発設計費用を生産量で吸収することが比較的容易である。しかし、航空機、船舶、車輌などや一般産業向きの電子機器を開発し製造する多機種少量生産工場においては、各機種間の共通部分を横断的に標準化し、開発費の低減、製造ラインの段取りなどの作業時間の短縮とともに、自動化を強力に推進する“地ならし”を行なう必要がある。

標準化なきところに CAD の有効活用の場はないと考える。

## 4. プリント基板の仕様

プリント基板の主な仕様を表1. 及び表2. に示す。表1. は、航空機などの移動機器にも実装すること、及び多機種少量生産工場での開発時の設計効率と自動化の適用性の向上のために、比較的小形にしている。個々の仕様については、工作や試験に直接関連する外形寸法や接栓などは固定とし、直接関連しない設計パラメータ的なものはいくつかの方法が選択できる方式としている。表2. は大形プリント基板の仕様例を示す。

表1. 代表的プリント基板の仕様

項目	単位	仕様	
		シングルサイズ	ダブルサイズ
外形寸法	mm	150×90	150×189
実装ビッチ	mm	12.7	12.7
接栓	ピン	56	112
ミニターミナル	ピン	18	36
板厚	mm	1.6	1.6
層構成	層	両面	4~6
最大IC実装数	個	20	24
基本格子	mm	2.54	2.54
導体本数/格子間	本	1~2	1~2
配線方式	—	固定・浮動スルーホール方式	固定・浮動スルーホール方式
主な使用素子	—	DILパッケージIC (TTL, LS, S, ECLなど)	

表2. 大形プリント基板の仕様例

項目	単位	仕様	備考(CAD最大条件)
外形寸法	mm	205×365	500×500
層構成	層	2~6	2n(n=1, 2, ...)
板厚	mm	1.6	—
基本格子	mm	2.54	一般に2.54
導体本数/格子間	本	1~2	1~2
部品実装数	個	120~150	800

## 5. CAD システムの概要

### 5.1 システムフロー

図 1. に示すように、プリント基板の共通部と部品構造情報を、あらかじめ、#1～#2 グラフィックシステムに登録する。プリント基板の CAD は、これらの共通情報を有効に利用して、電子回路ごとに接続データと部品・実装データを作成し、OCR で読み取ってインハウスの大形電子計算機に設計情報ファイルを構築する。TSS 端末から、設計情報ファイルのチェック、修正を行い自動設計の実行も制御する。

入手でプリント基板を設計する場合は、設計したパターン情報を #2 グラフィックシステムでデジタル化し、設計情報ファイルと自動照査する。

自動設計の場合は、設計情報ファイルを高速大形電子計算機に転送し、実装密度などにより PACS-X4, PACS-Y4 の 2 つのプログラムを使い分ける。自動設計結果はパターンファイルとして出力し、通信回線を通じて #1 グラフィックシステムに転送し、自動設計でどうしても避けられない未結線や、入力データの誤り、設計変更を対話的に修正する。また、入手に起因するエラーを排除するために、設計情報ファイルとプリント基板のパターン設計結果を自動的に照合し、完璧な設計にして製作図を作成する。

完全になったパターン情報は、#2 グラフィックシステムに転送し、クリーラムに設置したフォトプロッタにより、マスクフィルムを作成する。同時に、穴明テープも作成してプリント基板製造ラインに供給する。

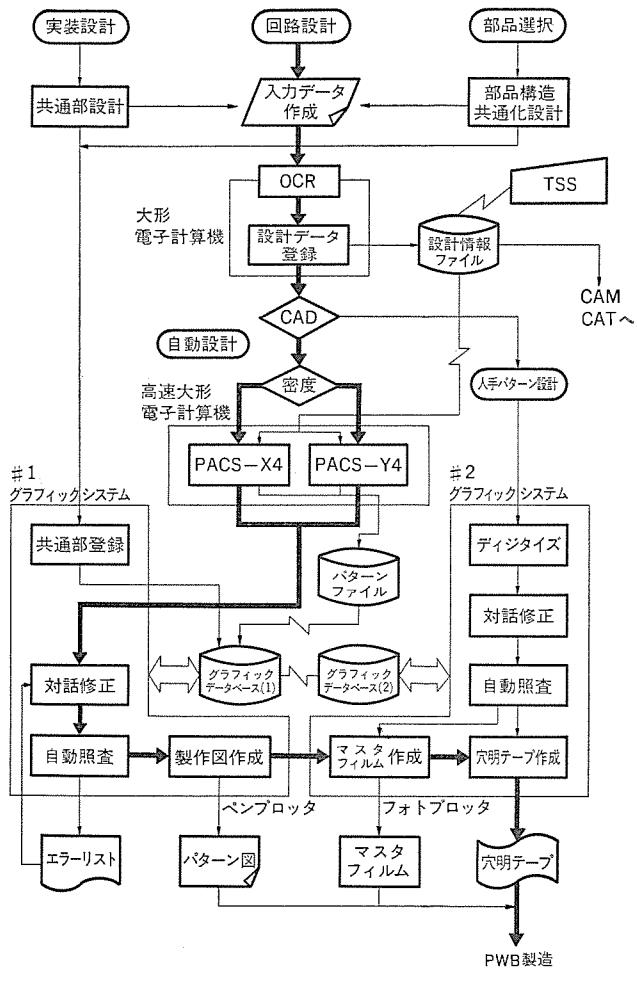


図 1. システムフローチャート

### 5.2 プリント基板共通部設計

各々の電子機器に、極力共通化できるようプリント基板を標準化し、CAD の適用性の向上と量産化を図っている。具体的には、外形寸法、基準穴、接栓、電源供給パターン、モニタ端子、部品配置、取付方向、取付ピッチ、及び各種の表示文字の位置などの実装要素を共通化して、CAD システムに登録し、個々のプリント基板設計においては回路情報のみを入力して設計を行う。

### 5.3 部品構造共通化設計

部品構造レベルの情報を共通化した例を図 2. に示す。部品構造情報としては、穴径、ランド径、ソルダレジスト径、製作図作画用穴略記号などの穴データとその位置、及び部品番号、部品形名などの文字の位置、並びにシンボル印刷記号、組立図記号などである。この部品構造情報も、前述のプリント基板共通部と同様、あらかじめ CAD システムに共通データとして登録し、個々の設計データで構造名称を参照することによって引用する。

### 5.4 高密度ディジタルカード設計プログラム (PACS-X4)

#### (1) 部品配置

配置設計は、大きさがほぼ一定な IC (一般に 14～16 ピンの SSI) を対象とする。あらかじめ入手で位置が指定された IC があればその IC を固定する。位置が指定されていない IC は、IC 間の総配線長を最小化する「反復改良形高速部品配置アルゴリズム (Steinberg 法) (2)」を用いて、縦横各々一定ピッチの整列に配置する。

#### (2) 配線順序

配線順は、入手指定のパターンを最優先とし、優先信号、一筆配線信号、任意分岐信号、電源・GND 信号の順に決定する。一筆配線信号は、部品の各ピンの入出力をチェックして、Wired-OR を優先して一筆径路 (chain tree) (図 3. (a)) を決定する。任意分岐信号は最短径路法 (minimum spanning tree) (図 3. (b)) である。電源・GND 信号は、部品ごとに、ペア性を配慮したバスパターンに接続し、1 点アースの考え方によづけている。

#### (3) 配線

配線は、2.54 mm ピッチに配列されたスルーホールを、部品穴若しくは表裏導通穴として用い、そのスルーホール間に 2 本の導体を配線する固定スルーホール方式 (図 4. (a)) である。配線径路の決定は、線分

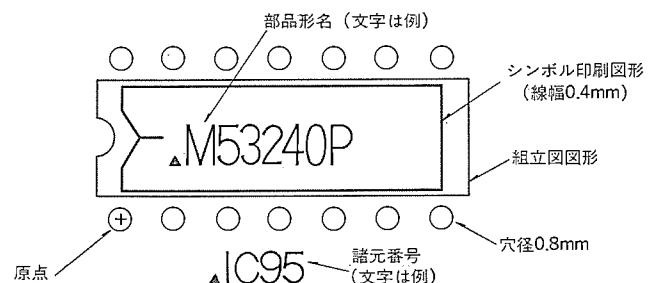


図 2. 部品構造情報の 1 例

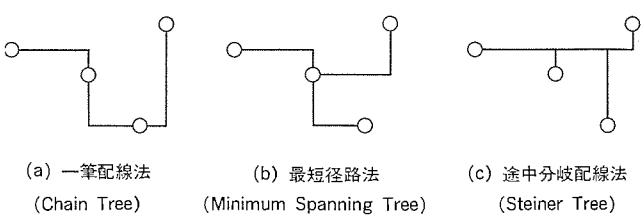


図 3. 配線順序

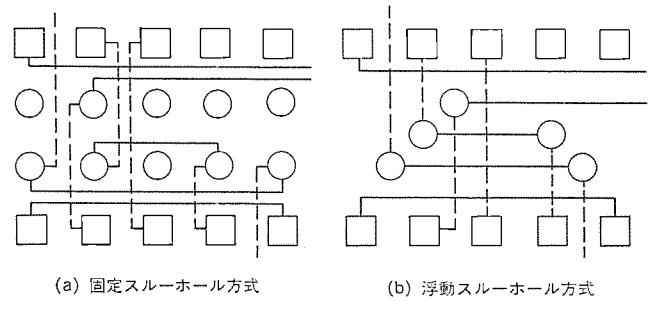


図 4. 配線方式

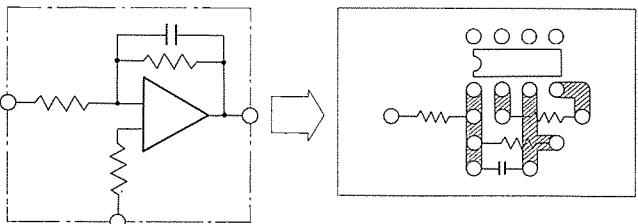


図 5. 機能ブロック

探索法<sup>(2)</sup>と迷路法を併用しており、組合せを選択することができる。また表裏2面を信号層として配線し、残った未結線信号をつぎの2層ごとに展開して多層配線を行う。

#### (4) モニタ図出力とグラフィックシステムへの受渡し

配線結果は、必要に応じてペンプロッタによりモニタ図を作成することができる。また、シンボル印刷データ、ソルダレジストデータとともにパターンファイルにとりだして、グラフィックシステムに受け渡す。

#### 5.5 中密度I/Oカード設計プログラム (PACS-Y4)

##### (1) 部品配置

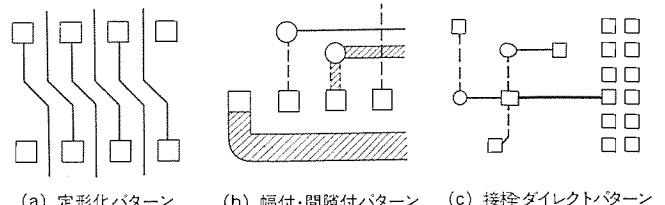
部品配置は、信号の流れ、部品の実装条件などをきめ細かく評価して、部品相互の接続関係に重みづけを行い、大きさが異なる部品の位置関係も最適になるように、拡張ペア単位反復重心法(拡張FDPR法)<sup>(3)</sup>を用いて自動的に交換し配置する。NANDやNORなどのはん(汎)用ゲートは、部品の自動配置と同時に同じ機能のゲートと交換して、より精度の高い部品配置としている。また、アナログ回路の部品配置は、自動設計が難しい回路を人手で設計して機能ブロック(図5.)とし、これを部品と同様に扱って自動配置することにより、アナログ回路への適用を可能にするとともに、回路の標準化にも役立てている。

##### (2) 配線順序

配線順は、人手指定があればこれを優先し、他は、定形化パターン(図6.(a)), 幅付・間げき(隙)付パターン(図6.(b)), 接栓ダイレクトパターン(図6.(c)), 一筆配線信号、分岐信号、及び電源・GND信号の順に決定する。分岐信号についても、信号ごとの接続点の分布状態に応じて、最短径路法と途中分岐配線法(Steiner tree)(図3.(c))を使い分けるなど、配線アルゴリズムの特徴も考慮し、未結線をできるだけ抑えるための工夫を行っている。

##### (3) 配線

配線は、1.27 mm格子の任意の箇所にスルーホールを設けて配線する浮動スルーホール方式(図4.(b))である。配線径路の決定は、メモリICの接続パターンなどのような定形化パターンを自動的に発生するパターン法、幅付・間隙付のパターンも配線する拡張線分探索法、及び迷路法を組合せている。多層配線は、許容された層数に対して配線



(a) 定形化パターン (b) 幅付・間隙付パターン (c) 接栓ダイレクトパターン

図 6. 特殊パターン

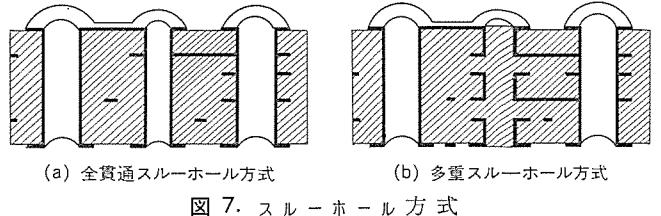


図 7. スルーホール方式

パターンが均等化するように、信号単位の層割付を行い、表裏導通穴がすべての層を貫通している全貫通スルーホール方式(図7.(a))と、2つの信号間だけを接続している多重スルーホール方式(図7.(b))を可能にした。また、部品のリード径に対応した穴径、ランド径の設定、及び信号の電圧と電流に対応した導体幅、間隙の決定も自動化した。

#### 5.6 対話修正

一般に、自動設計の結果には未結線があり、モニタ図に接続すべき点間を直線で明示している。設計者はこれを参考にして追加径路を書き加え、グラフィックディスプレイと対話しながらパターン情報を修正する。

グラフィックシステムのプリント基板パターン情報は、穴、ランド、パターン、文字、シンボル印刷記号、及び組立図記号などをグラフィックデータベースに層分けして格納している。パターンの修正は、関連する層のパターン情報を画面に表示して、不要なパターンを削除し、追加パターンを入力する。

対話修正作業は、作業手順や使用コマンドをマクロコマンド化してメニュー ボードに割付けることによって、完全に規制し、作業ミスを防止するとともに、操作を簡単にして作業効率の向上を図っている。また、これらにより、数日間の教育でだれでも利用することができる。

#### 5.7 人手設計パターンのデジタル化

人手設計したプリント基板は、後工程の自動化と加工精度を確保するために、座標読取装置(デジタル化)により、パターン情報を読み取って、グラフィックデータベースに格納する。

作業は、デジタル化ボードにパターン図面をは(貼)り付け、尺度、原点、用紙補正、格子設定などを行って、部品の位置、穴及び導体などのパターン情報を人手でデジタル化し、あらかじめ登録している部品構造、プリント基板共通部と組合せる。

用紙補正と格子設定は、座標入力時に一番近い格子交点にまるめることができ、作業の効率化と精度の確保に極めて有効な手段である。そのために、部品穴や表裏導通穴は必ず格子交点上に設けることを原則とし、パターンについても直角、若しくは45°に制限している。

#### 5.8 自動照査

自動照査は、自動設計及び人手設計したパターン情報を誤りがあるかどうかを、グラフィックシステムで自動的にチェックするもので、大別して、

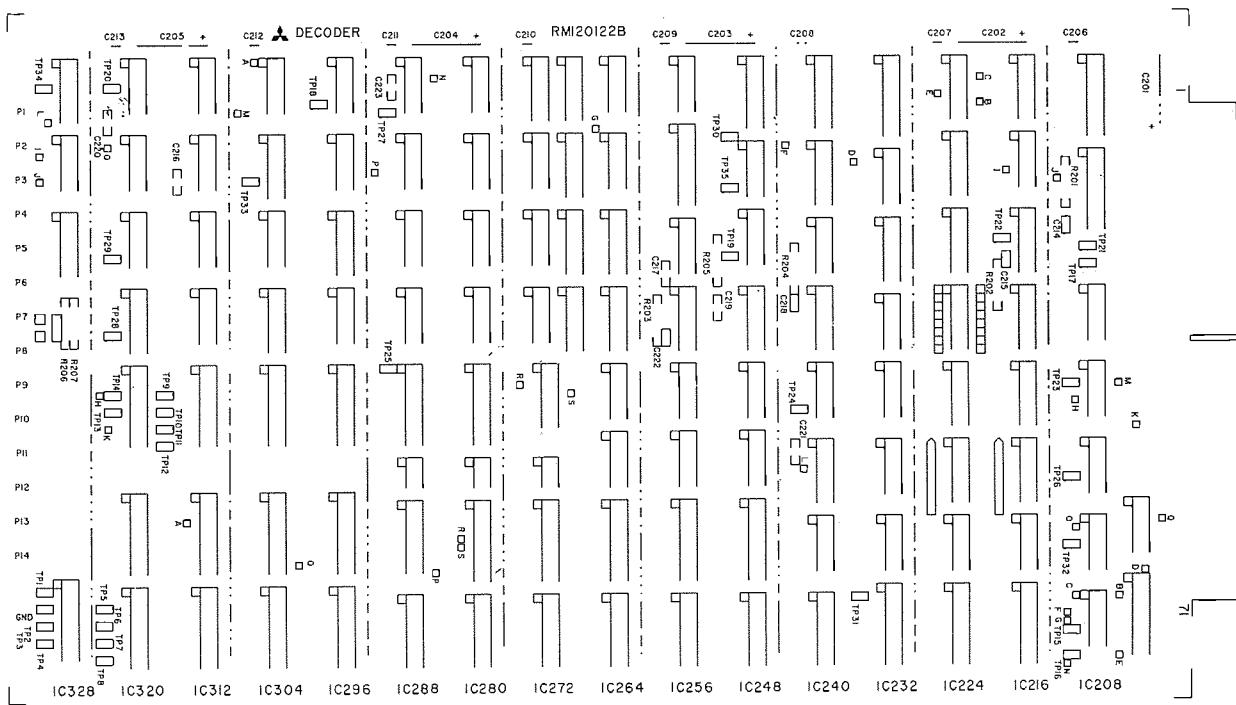


図 8. シンボル印刷マスタフィルム作画例

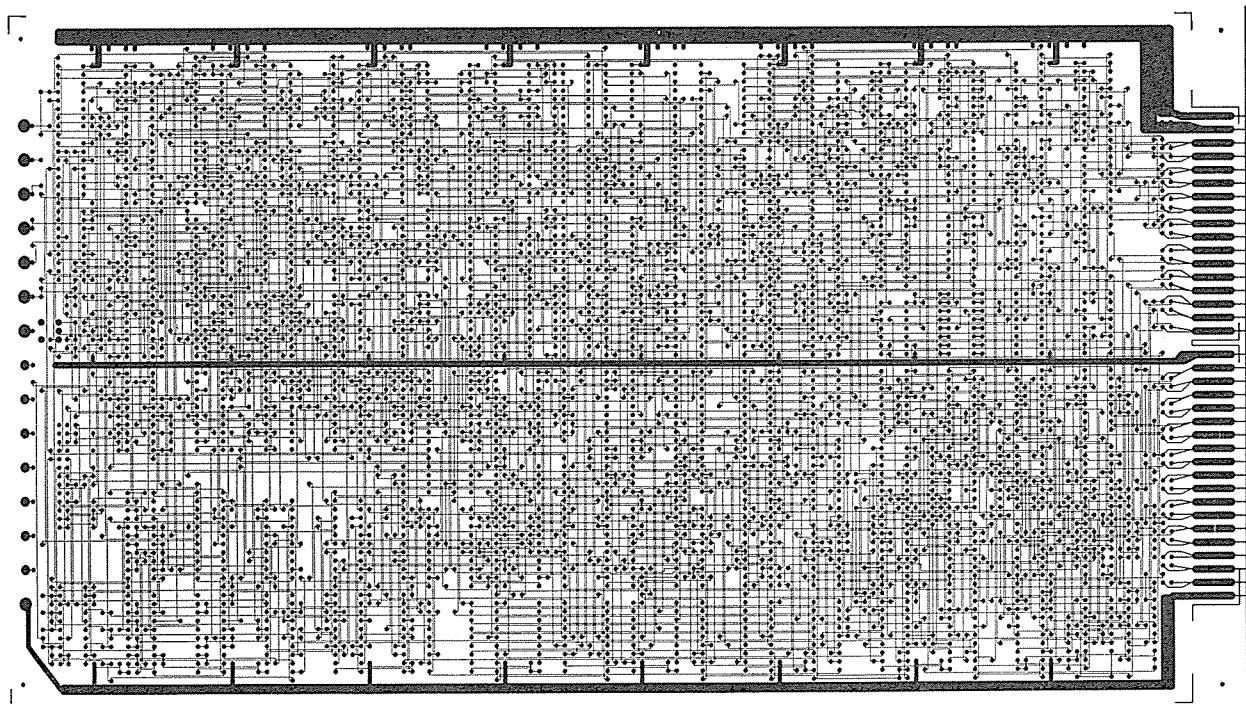


図 9. パターンマスタフィルム合成例

つぎの 2 つがある。

1 つは、プリント基板のパターン情報と電子回路の接続関係を論理的にチェックして、未接続ピン、余剰接続ピン、余剰配線を検出するもので、各々の接続点ごとにチェックする対話方式と、最後に一括して行うバッチ方式がある。

もう 1 つは、導体幅、間隙、オーバーラップなどの物理的な設計ルールをチェックするものである。

#### 5.9 マスタフィルムの自動作画、穴明テープの作成

自動設計、あるいは人手設計-デジタル化で完成したパターン情報を各層ごとに必要な情報を選択して、フォトプロッタにより、感光フィ

ルムに直接露光して、マスタフィルムを製作する。

作画は、スケーリング、原点オフセット、ミラーリングなどのパラメータを設定し、後工程の作業が効率的に行えるよう配慮している。シンボル印刷用マスタフィルム、ソルダレジスト用マスタフィルムについても同様である。作画例を図 8. と図 9. に示す。

また、穴明テープもマスタフィルムの製作と同一のパターン情報から作成し、穴種ごとの個数をリストアップする。

#### 6. 運用

CAD システムを有効に利用し所期の成果をあげるために、自動設

計プログラム、標準化とともに、運用体制の整備が極めて重要である。電子計算機のコストパフォーマンスが飛躍的に向上しつつあるとはいえ、設備台数的にも設計者の人数的にも制限があり、また、効率を上げる意味もあって、CADを中心とする集中化した専門組織で運用している。CADは定形的なコーディング作業と電気的な知識が必要な設計作業に専業分化できるので、これに合わせた人員構成とし、TSS端末やグラフィックシステムなどはプリント基板設計者が直接使用するオープンシステムを採用している。設備の有効利用の観点からは、処理時間が比較的長く、対話性も必要としないバッチ式自動照査やフォトプロットなどは夜間無人運転を行い、総合的なスループットの向上を図っている。また、プリント基板設計部門の設計者には、CADシステムによるプリント基板設計を必ず(須)要件と課し、現在、全員が使用できる体制にある。

このプリント基板CADシステムにより、年間千数百件の新規設計と変更処理を行っている。設計方法の選択はプリント基板の設計要求仕様とトータルコストを基準としている。一般には、標準化したプリント基板は自動設計とし、高周波アナログ回路は人手設計-デジタル化方式を適用している。

## 7. 効 果

CADの効果は、品質の向上、工期の短縮、省力化・効率化、及びコスト低減などに集約することができる。

### (1) 設計品質及び製造品質の向上

CADシステムの設計プロセスには、熟練技術者の設計手法を豊富に取込んでいたため、未熟練技術者でも高度な設計が可能である。また、設計情報ファイルを利用して、設計、製造、検査とも、大部分が一元化した情報で自動化できるため、人間による誤りの混入を防ぐことができ、安定した品質を確保することができる。

### (2) 設計、開発期間の短縮と工数低減

CADシステムを適用した場合、プリント基板の設計期間は人手設計に比べ、約50%の短縮が図れた。設計工数も同様に約45%の削減が実現できている。現在、CADシステムは種々の改良を行っており、昭和55年度中には、更に、5~10%の改善を図る予定である。

### (3) コスト低減

CADシステムを利用した場合のコストの低減は、プリント基板の実装密度や未結線パターンの本数などによって左右されるが、設計費用のみを比較すれば、人手設計に比べ10~30%の低減ができた。コストのは(把)握が困難な波及的効果も含めると、トータル的なコスト低減はもっと大きい。

### (4) その他のCADシステムとの総合効果

プリント基板CADシステムは、電子回路図の自動作画システムや自動布線システムなどの他のCAD・CAM(Computer Aided Manufacturing)・CAT(Computer Aided Testing)システムと、生産管理情報を含む一元化されたデータベースによる集中管理が可能であり、更に効率を上げて生産性の向上に貢献する。

## 8. む す び

以上、オフィスオートメーション機器、衛星通信機器、レーダ機器など、多様な電子機器の開発・設計に使用しているプリント基板CADシステムについて紹介した。紙数の関係で、他のCADシステム、データベースなどは割愛したが、別の機会に報告したい。

高品質の製品を短期間に低価格で市場に送りだすために、CAD・CAM・CATの役割はますます重要になってくると考えられ、今後、更にこのシステムの機能を充実させ性能の向上を図って、適用分野の拡大を図るつもりである。

最後に、このシステムの開発及び運用に当たり、ご指導、ご協力をいたいたいた関係各位に、あらためて謝意を表したい。

## 参 考 文 献

- (1) 小島、三上ほか：電子計算機の自動設計、三菱電機技報41, No. 9, p. 1197~1206 (昭42)
- (2) 三上、田淵ほか：プリント配線の自動設計システム、三菱電機技報43, No. 10, p. 1406~1415 (昭44)
- (3) 鈴木、大師堂、濱村、稻田：プリント基板における部品配置手法、情報処理学会第21回大会、4E-9, p. 1121~1122 (昭55)

# 壁掛形ヒートポンプルームエアコンMSH-2510R

富樫 健二\*

## 1. まえがき

近年、小形エアコン市場におけるヒートポンプエアコンの評価の高まりとともに、その市場占有率が上昇してきた。特に昭和54年の第2次オイルショック以降の石油高騰で、その伸びは目ざましいものがある。

その理由は、電気を使った暖房であるので、灯油のような供給不安がないと言うこともあるが、ヒートポンプエアコンの特長である1台で冷暖房ができる、かつ暖房の場合より安全で清潔であることが消費者に認められてきたことにある。更に暖房能力の向上、ユニット薄形化及びマイコン導入による操作性改善など多くの製品改良が進められたことが挙げられる。

更にもう1つの大きな要因としては、ヒートポンプ方式が他の暖房式で得られない100%を超える高い効率を持っていることが理解されはじめていることである。ヒートポンプエアコンは、その駆動源として電気を使用しているために電気ヒーター暖房と混同され、維持費の高い暖房方式と見られていた傾向がある。しかし、ヒートポンプ方式は、電気ヒーターのように電気エネルギーを直接熱エネルギーに変えるのではなく、電気エネルギーを単なる駆動源として利用し、大気中の熱エネルギーを室内の暖房に用いている方式である。

一般に使用する電力の効率は、石油の輸送効率と発送電効率を考えると、1次エネルギー（石油の）の34%程度と言われているが、ヒートポンプではEERが2.46kcal/Wh以上であれば灯油やガスをそのまま燃やすよりも高い100%以上の効率が得られる。MSH-2510Rは、ヒートポンプのEERが2.87/2.64kcal/Wh(50/60Hz)の高効率暖房機である。

最近省エネルギーの観点から、EERの評価のみでなく、実使用条件におけるエネルギー効率を示すSEER（期間エネルギー効率）なる評価基準が一般化してきている。EERが一定温度条件下で連続運転した場合のエネルギー効率を表すのに対して、SEERはシーズンを通しての使用条件下で運転した場合のエネルギー効率を表すものである。MSH-2510Rは、マイコン応用の省エネルギー・システムを冷暖房両面に採用し、実運転時のSEERを改善したものである。また、暖房能力も補助ヒーターなしで3,300/3,700kcal/hと改善し、従来の1,200Wヒーター付ヒートポンプエアコンと同じ暖房能力を実現している。この高い暖房能力を持つヒートポンプエアコン MSH-2510Rの概要をつぎに紹介する。

## 2. 仕様及び特長

表1.はMSH-2510R(図1.、図2.)と同シリーズの補助ヒーターを併用しているMSH-2210Rの仕様の比較を示したものである。

ヒートポンプ方式だけで3,300/3,700kcal/hの暖房能力を出すために、このMSH-2510RはMSH-2210Rの圧縮機に比べて冷凍能力が約30%大きい圧縮機をとう(搭)載している。効率の悪い補助ヒーターを使用していないので、暖房時(JIS標準状態、室内21°C、室外7°C)のEER2.87/2.64kcal/Whとなり、MSH-2210Rより約50%

表1. MSH-2510RとMSH-2210Rの仕様比較 (50/60Hz)

		MSH-2510R	MSH-2210R
冷房	冷房能力 (kcal/h)	2,240/2,500	2,000/2,240
	消費電力 (W)	1,140/1,315	870/1,040
	EER (kcal/Wh)	1.96/1.90	2.30/2.15
暖房	暖房能力 (kcal/h)	3,300/3,700	3,300/3,700
	消費電力 (W)	1,150/1,400	1,890/2,070
	EER (kcal/Wh)	2.87/2.64	1.75/1.79
圧縮機	定格出力 (W)	800	750
	冷凍能力 (kcal/h)	2,500/3,050	1,970/2,400
	入力 (W)	1,150/1,380	930/1,115
機	押しのけ量 (cc/rev)	18.91	15.43
	重量 (kg)	14.3	12.8
室内ユニット	高さ (mm)	380	380
	幅 (mm)	850	850
	奥行 (mm)	170	170
	重量 (kg)	12	14
室外ユニット	高さ (mm)	506	506
	幅 (mm)	750	750
	奥行 (mm)	250	250
	重量 (kg)	39	35
補助ヒーター (W)	—	—	1,200
室内コンセント	20A①	30A②	—

注\*はJIS標準条件(室内21°C、室外7°C)での数値である。

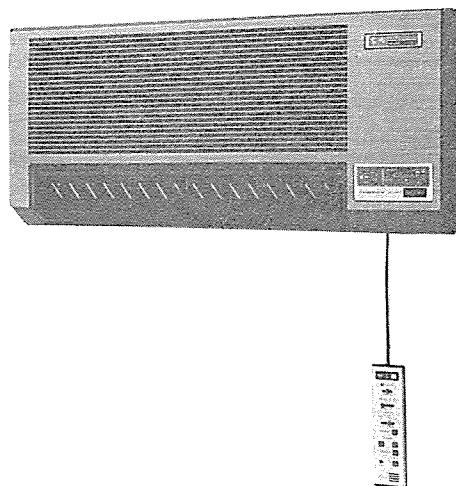


図1. 室内ユニット MSH-2510R

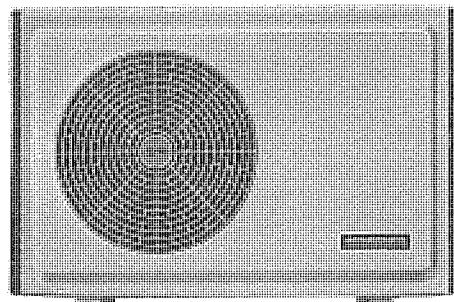


図2. 室外ユニット MSH-2510R

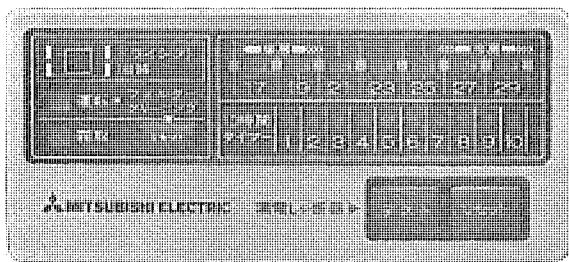


図 3. 温度表示部

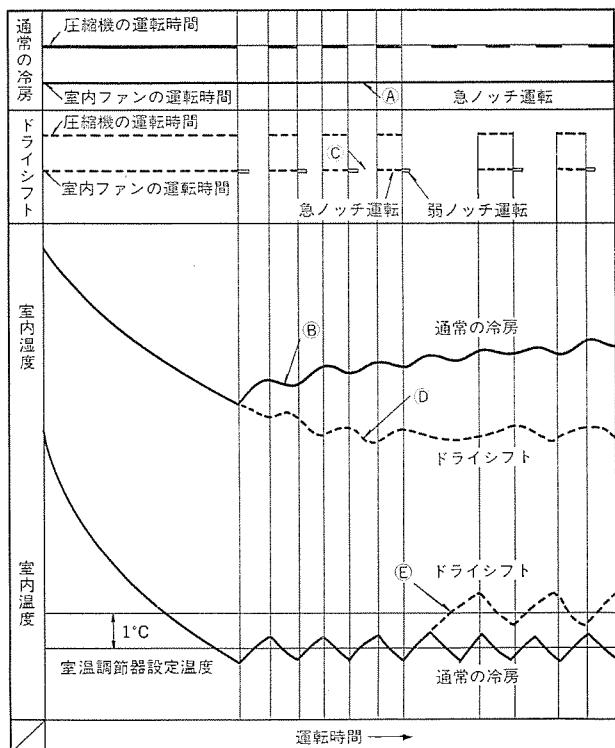


図 4. “ドライシフト回路”通常冷房運転回路運転パターン比較

~60% 良くなる。

しかし、室外温度が非常に低い場合は、ヒートポンプ方式での暖房能力が低下するので、補助ヒーターを併用している MSH-2210 R の方が優れている。この点から言えば、MSH-2210 R は比較的低外気温度での暖房能力が必要とされる寒冷地域向けであり、その他の地域では MSH-2510 R ということになる。

ヒートポンプエアコンの需要の拡大と共にその使用地域も広がりつつあり、気温の地域差が大きい日本では補助ヒーター付きの方式とヒートポンプだけの方式との使い分けが要求され、それぞれの特長を活かした機器の開発が重要である。

つぎに MSH-2510 R の特長について述べる。

#### (1) 室温表示システム“グリーンサイン”

室内温度を LED ランプで表示する室温表示システム(図 3.)を内蔵している。

冷暖房を体感だけでコントロールする場合は、どうしても冷し過ぎや暖め過ぎになりがちであり、健康的によくないし電気の無駄使いになる。当社が開発した室温表示システム“グリーンサイン”は、視覚で室温を確認しながら室温

を調節することにより健康的、経済的にエアコンを運転するようにしたものである。

冷房時に室温を 1°C 高く設定しておくとエアコンの電気代は約 10% 安くなるというデータがあるが、MSH-2510 R の室温表示システムは、マイコンで制御し、7 個の LED ランプにより 17°C から 29°C までの範囲を 1°C 間隔で室温を表示するようにしている。

#### (2) “ドライシフト回路”

エアコンによる冷房では、室内の冷却作用と共に除湿作用があることは良く知られているが、当社はこの除湿作用を最大限に生かして省エネルギー化を図ったシステム“ドライシフト回路”を開発した。

図 4. はドライシフト運転と通常冷房運転における運転パターンの比較を示している。通常冷房運転時は、運転開始から低下した室内の相対湿度が徐々に上昇している。これは折角除湿作用で室内から取去られたドレン水が室内冷却器に付着しているため、圧縮機の運転が OFF になったときに送風機で再び室内に吹き出されるためである。

送風機と圧縮機の運転をマイコンで制御することにより、ドライシフト運転し、相対湿度を約 15% 低く保つようにしている。更にドライシフト回路に、室内湿度が低くなると自動的に室内温度の設定を 1°C 上昇させる機能を持たせ、省エネルギー化を図っている。

#### (3) 冷房能力可変システム“パワーアップ回路”

冷房運転の立上がり時に、冷媒流量を切換えて冷房能力を約 10% 上昇させるシステムで、その内容は後述する。

#### (4) 低温暖房能力改善機構“ホットアップ回路”

暖房時に室外温度が降下した場合、冷媒流量を制御し暖房能力を約 10% 上昇させるシステムで、その内容は後述する。

### 3. 冷凍サイクル

図 5. は MSH-2510 R の冷凍サイクルを示す。冷房、暖房、暖房ホットアップ回路及び冷房パワーアップ回路の切換は 4 方弁、チェック弁、2 方弁の動作の組合せで行う。

通常暖房時に 2 方弁を通って流れている冷媒は、暖房ホットアップ回路時には 2 方弁は閉となり大きく絞られた状態で流れる。この場合の 2 方弁は、外気温度を検知するサーモスタットによって操作される。外気温度の低い暖房運転時には、室外熱交換器における外気との熱

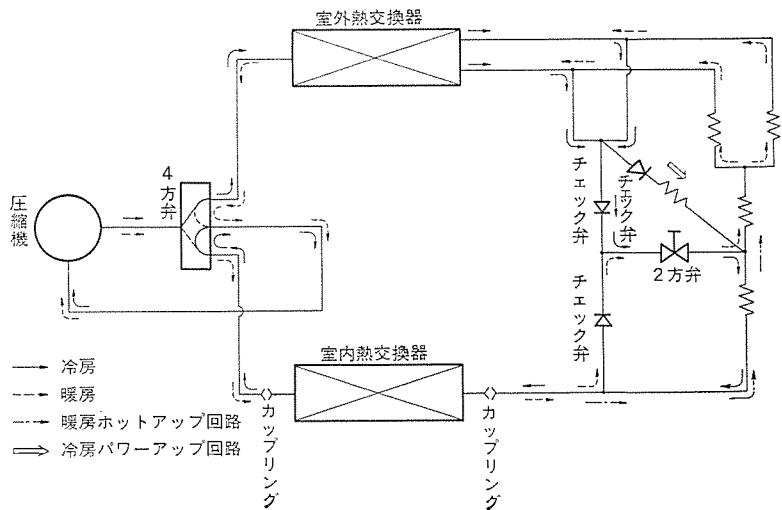


図 5. MSH-2510 R 冷凍サイクル

交換能力が低下し、冷媒は蒸発しないまま圧縮機へ吸引される。このため圧縮機の効率が低下し、暖房能力が低下する。冷媒流量を制御することにより圧縮機へ過熱状態の冷媒を吸引させ、圧縮機効率を回復して外気温度の低い場合の暖房能力を上昇させているのが“ホットアップ回路”である。この回路は暖房時に外気温度が約0°C以下になれば自動的に作動する。圧縮機効率を回復して暖房能力を上昇させ、EERも上昇する。

通常冷房時に2方弁を通って流れている冷媒は、冷房パワーアップ回路時に2方弁は閉となり、大きく絞られた状態で流れる。この“パワーアップ回路”は、高容量圧縮機を搭載したこの機種の特長を生かし、省エネルギー化に貢献している。高容量圧縮機を従来のユニット容積の中で使用する場合には、冷房時は押えぎみの使い方をしないと高負荷時の保護が困難となる。そのため、EERがやや悪い状態での使用条件を標準状態において取らざるを得ない。この押えぎみで使用される圧縮機を短時間だけ、フルパワー運転させるのが“パワーアップ回路”である。冷媒回路条件を最高効率点に合わせて運転ができるため短時間ではあるがEERが約5%上昇し、高い冷房能力を発揮することができる。

この2つのシステムは、冷暖房とも実使用状態でのEERを向上さ

せており、“ドライシフト回路”、“グリーンサイン”と合せSEERの改善を図っている。

#### 4. 制御回路

図6.はMSH-2510 Rの制御回路の構成を示す。MSH-2510 Rの制御回路は、40pin LSI 2K×8ビットの記憶容量を持つワンチップマイクロコンピュータを中心として、6ビットデジタルアナログ変換器、MOS長時間タイマーIC、室温增幅器、各種ハイブリッドICを備えている。これらは93×140mmの小形制御回路基板に装着されている。この制御回路は、室温表示システム“グリーンサイン”、“ドライシフト回路”、瞬時霜取検知回路、各種タイマーコントロール、室内ファン運転コントロール、誤使用時の保護回路、停電保護回路などを制御している。

万一の漏電事故防止に備えて、ルームエアコンの電源コードの先端に電子式漏電しゃ断器を装備している。この漏電しゃ断器は感度電流15mA、衝撃波不動作形で、電サージ吸収用400Vバリスタを内蔵している。

暖房時の霜取検知用フォトカプラとトランス2次側よりの時間基準クロック信号、室温・配管温度検知信号及びリモコンからの操作信号は、ハイブリッドICで構成した入力ゲート回路で時分割選択されてマイクロコ

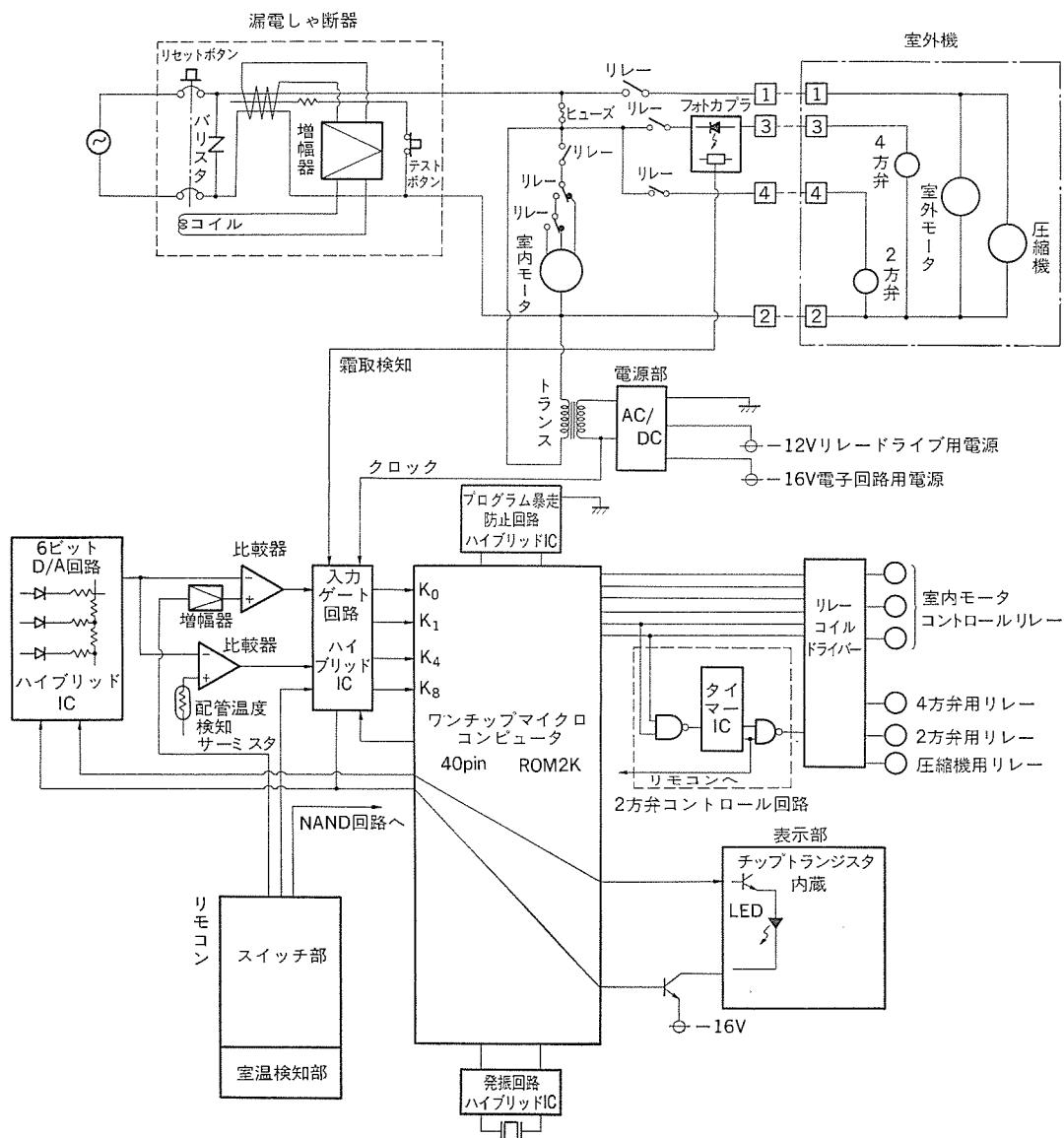


図6. MSH-2510 R 制御回路構成

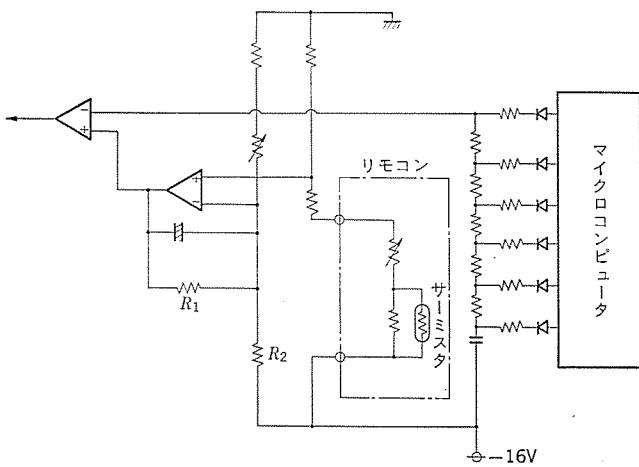


図 7. 室温検知デジタル-アナログ変換回路

ンピュータへ入力される。また、マイクロコンピュータの出力は、温度表示 LED 及び 10 時間タイマー LED 表示部へ 10 ビットで送られる。この表示部には、トランジスタウェーハを直接基板にボンディングしたチップトランジスタを使用しており、制御回路基板及び表示部基板を小形化している。

ワンチップマイクロコンピュータは、MSH-2510 R だけでなく、補助ヒーターを搭載した MSH-2210 R などのこのシリーズのすべての機種に使用できるようプログラムされており、各機種固有の部分をマイクロコンピュータの外部のハード回路で処理できるよう設計されている。また、制御回路基板を小形化するために、6 ビット D/A 回路、プログラム暴走防止回路、発振回路、入力ゲート回路をハイブリッド IC 化している。

#### (1) 温度表示システム制御部

温度測定回路は、6 ビット D/A 回路を用い、測定温度範囲 16°C～31°C で 1°C 当たり 2 ビット 4 step 構成である。室温検知サーミスタは、外径寸法 3 mm のチップタイプサーミスタで、リモコンに内蔵している。この抵抗変化量を  $R_1 : R_2 = 3 : 1$  の非反転増幅で 1°C 当たり 200 mV の電位変化に増幅して、ワンチップマイクロコンピュータのラッチ出力が直接ダイオードラダ分割されるときのビット内電位ばらつきを無視できるようにしている。

この温度表示部は、7 個のグリーンの LED の点滅により室温を表示しているが、室温設定温度もリモコンの温度確認ボタンを押すことにより 5 秒間点灯表示する。

#### (2) 霜取検知回路

MSH-2510 R には、フォトカプラを用いた瞬時霜取検知回路を採用している。従来の機種では、室内側熱交換器の管温をサーマルリードスイッチで感知することによって霜取りの検知を行っていたために、サーマルリードスイッチの応答の遅れで霜取り開始の約 1 分後に室内ファンを停止していた。このために、霜取り時に若干の冷風の吹出しがあり、一時的に寒く感じる。MSH-2510 R では、室外機側の 4 方弁の切換えを電流差で検知した信号をフォトカプラで交流回路から絶縁したマイクロコンピュータに入力し、霜取り開始と同時に室内ファンの運転を止めることによって冷風の吹出しを完全に防止している。また霜取り終了後と暖房運転スタート時には、室内側熱交換器に取付けた管温測

定用サーミスタにより熱交換器の温度を検知し、熱交換器が十分に暖まってから室内ファンをスタートさせることによって冷風の吹出しを防止している。

## 5. 操作性

MSH-2510 R は、すべての操作をリモコン部に集約して操作しやすいようにしている。マイクロコンピュータを導入したエアコンは、ややもすると操作が複雑になり十分に使いこなせなくなる危険性がある。この点を考慮して、MSH-2510 R ではリモコンと本体に分かれていた従来の操作スイッチをすべてリモコンに集約し、操作内容も従来品の範囲に限定している。更に、スイッチもワンタッチのプッシュスイッチやスライドスイッチを採用することにより、リモコンの小型薄形化を図った。従来の電動式タイマー やガスサーモで行っていた操作内容をそのままワンタッチ化したものである。

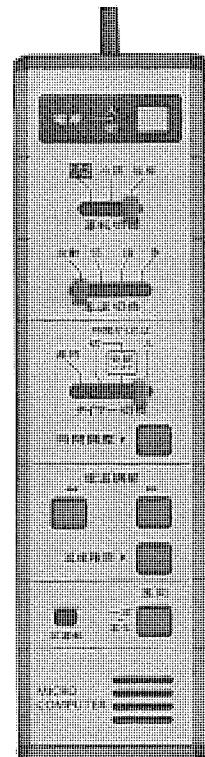


図 8. MSH-2510 R リモコン部

## 6. むすび

ヒートポンプ方式が効率の良い暖房方式であることが広く認識され、省エネルギーの時代に沿ったものとして、需要が更に拡大して行くものと期待される。今後はその高効率化を進め、ヒートポンプの欠点である室外温度が非常に低い地域あるいは低い場合での暖房能力の低下を改良する技術開発を行ってゆく必要がある。1 台で冷暖房運転が可能でしかも安全性及び清潔性で優れた特長を生かし、使いやすくかつ経済的なヒートポンプエアコンの開発を進めてゆく所存である。

# ヒートポンプ式チーリングユニット制御へのマイコン応用

飯尾 幸司\*・阿川 正憲\*\*・志賀 隆司\*\*\*・太田 誠†・高橋 修‡

## 1. まえがき

省エネルギー化の社会情勢のなかで、ヒートポンプに寄せられる期待は大きい。当社としてもヒートポンプの有効性を最大限に生かすべく研究を進めてきた。この一環として、このたびマイクロコンピュータの導入により、ヒートポンプ式チーリングユニットの制御機能を大幅に向上させることができたので、当社の業務用中形機種である CAH-15 D, K 20 E 形の制御を例に、その内容を報告する。

## 2. ヒートポンプの制御機能向上のポイント

ヒートポンプ式チーリングユニットは、全電気式でかつ水を熱媒体としており、①効率が高いので維持費が安い、②取扱いが簡単、③1台で冷暖房に安定して使える、④負荷変動に強いので広範囲な運転ができるなどの特長よりセントラル冷暖房の熱源機として近年成長が著しい。

このヒートポンプシステムの持つ省エネルギー性、快適性を、制御の面から更に向上させ、工事性、サービス性の改善による省力化を図るといった観点から、制御機能向上のポイントとして、次の3点をあげることができる。

### 2.1 水温の適正化による効率改善

ヒートポンプは、暖房を例にとると、温水温度を高く出そうとすればする程、また外気温度が低下すればする程、加熱能力、成績係数(加熱能力  $kcal/h$  / 入力  $kW \times 860 kcal/h$ )ともに低下する(図1.)。これに対し、負荷側の放熱器は、温水温度が高い程加熱能力は大とな

る特性を持っている。

これらの特性をもとに機種選定すると、暖房負荷の軽い外気温度が高いときは必要以上の高い温水温度で運転することになるため、ヒートポンプは成績係数のよい状態での運転をせず、また過剰暖房となる。

この問題は冷房についても同様のため、水温制御を、水温が外気温度と反比例するようにすれば、年間を通じて、①能力アップによるヒートポンプ実効(稼働時間短縮)、②成績係数向上等により2重の省エネルギー効果が得られることとなる。具体的効果は、後述のシミュレーションによる試算結果のとおりである。

### 2.2 デフロストタイミングの適正化

デフロストに関する問題は、暖房効果の側面からみると、霜を融かすための熱量よりは暖房加熱を停止することによる“本来あるべき加熱量分の損失”が大きい。すなわちデフロスト運動時間が問題となるが、デフロスト運動中の状態をみると、デフロストを開始してから霜を融かし始めるまでの時間のウエートが高い。これは冷媒サイクルの問題と同時に、デフロスト開始時の着霜量により決まる。

着霜は、蒸発器表面の露点温度が $0^{\circ}\text{C}$ 以下になったとき発生するため、デフロストの開始は一般的には蒸発温度により決定する。ここで、蒸発温度は外気温度により変わり着霜量も変わるために、従来より CAH 形はデフロスト開始の蒸発温度を外気温度で補正していた。

しかしながら、蒸発温度は水温によっても若干変わり、図2.に示すように、わずかな蒸発温度の違いで着霜量が変わり、水温が高いと開始が遅れ気味、水温が低いと多少早くなる傾向にある。

最も効率よいデフロストを開始させるためには、開始の蒸発温度を外気温度だけでなく水温でも補正する必要がある。

### 2.3 サービス性の向上

ヒートポンプ式チーリングユニットは、圧縮機を異常運転から保護するため各種の保護装置を持っている。したがって万一運転のトラブルが生じた場合は、この保護装置の作動により運転停止するようになっているが、原因調査はどの保護装置が作動したかの調査から始まるのが通常である。

一般にはトラブルの再現性は乏しく、この調査に時間がかかり、ま

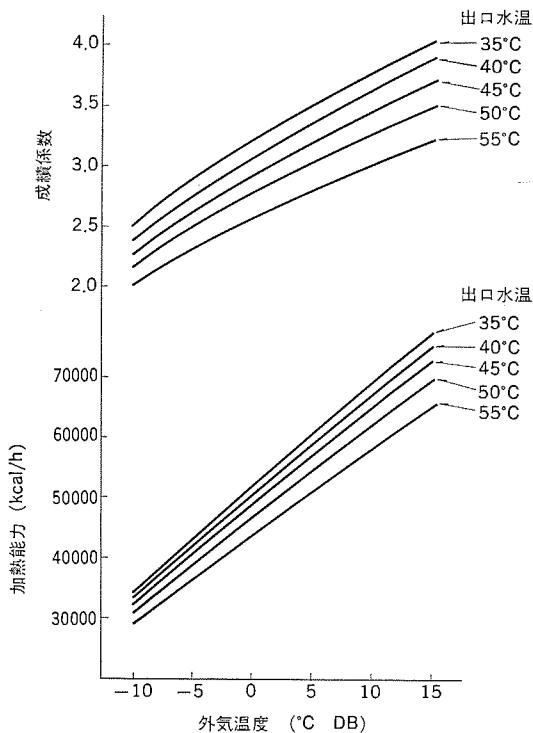


図 1. ヒートポンプの加熱能力と成績係数 (CAH-K 20 E 形)

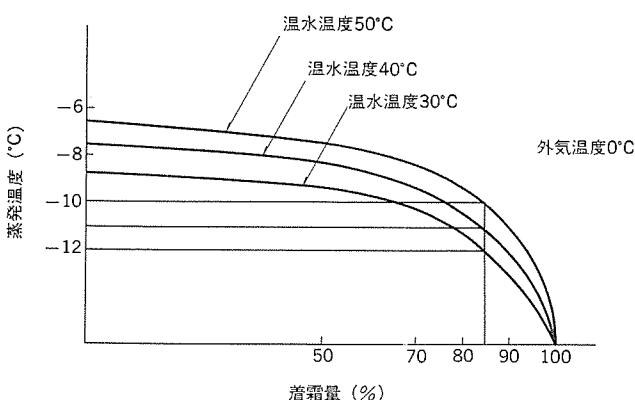


図 2. 温水温度による着霜量

た誤診断をする場合があり、サービス性の向上からはそれぞれの保護装置の作動履歴の表示などにより、かかる作業時間をなくすことが重要となる。

### 3. マイクロコンピュータ制御の概略

#### 3.1 マイクロコンピュータ制御回路の外観

CAH-15 D, CAH-K 20 E 形に導入したマイクロコンピュータ制御回路の外観を図 3. に示す。

#### 3.2 マイクロコンピュータ制御システム

CAH 形ヒートポンプ式チーリングユニットは、能力により 6 機種にシリーズ化しているが、この制御システムは、全機種対応できるように設計している。その中でも特に 2 系統の冷凍サイクルを有する上位 2 機種

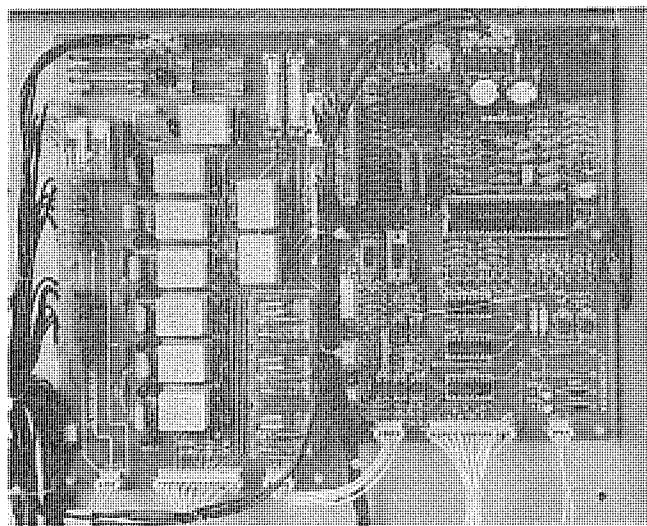


図 3. マイクロコンピュータ制御回路の外観

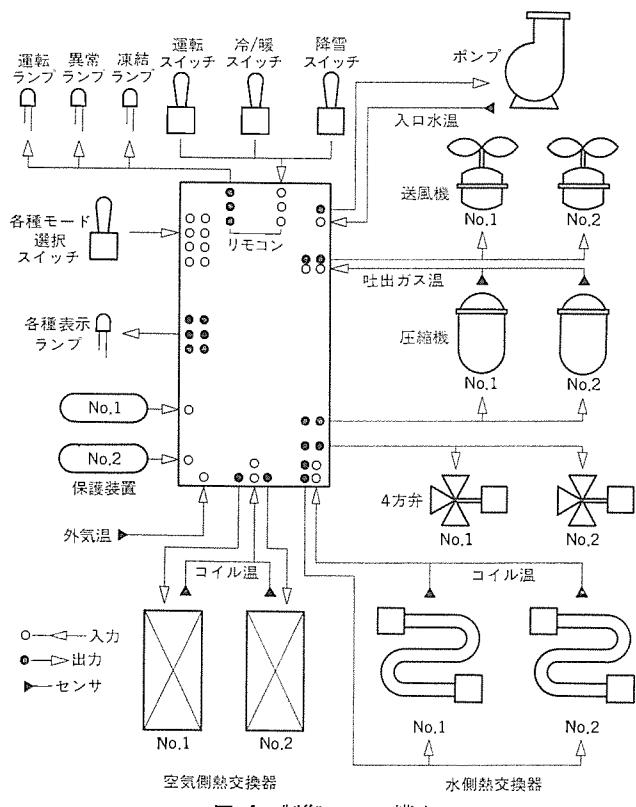


図 4. 制御システム構成

(CAH-15 D 及び K 20 E 形)においてシステムの機能をフルに生かすことができる。

このシステムは、マイコンを含むコントロールユニットと遠隔操作用リモコンからなり、下記に示す豊富な入出力関係を持つ。

(1) アナログ入力は、温度センサ 8、調整用可変抵抗 3 の合計 11 である。

(2) デジタル入力は、モード切換スイッチ 10、異常検出 2、タイマ基準信号 1 の合計 13 である。

(3) 出力操作端子は 8 である。

(4) 表示出力は運転表示 1、異常表示 8 の合計 9 である。

これらの入出力は A/D 変換器を内蔵する M 58840 P マイコンを有効に活用して処理する。図 4. にシステムの入出力関係を示す。

#### 3.3 制御機能

このシステムが持つ主要な機能について説明する。

(1) 順次始動

運転開始時又は、サーモ復帰など機器の立上がり時にはラッシュ電流を防止するために、ポンプ、ファン、圧縮機が一定の時間間隔を持って順次始動する。そのタイミングチャートを図 5. に示す。

(2) ローテーション

機器に複数台の圧縮機をとう(搭)載する場合、容量制御運転により圧縮機間に稼働時間差が生じてくる。この時間差を平均化するために、ローテーション機能を設けた。これは負荷の変動によって容量制御の必要が生じたときに最も長時間稼働し続けている圧縮機を選択して停止させ、最も長時間停止し続けている圧縮機を選択して運転させる方式である。図 6. にタイミングチャートを示す。

(3) 冷/温水制御

ヒートポンプ式チーリングユニットの入口水温をサーミスタにより検出し、負荷の増減に応じ 2 ステップ制御し能力を 0-50-100 % の容量制御を行う。この際に前項で記述したローテーションを行い稼働時間の平均化を実現する。特長の 1 つに省エネルギー制御がある。これは外気温度によ

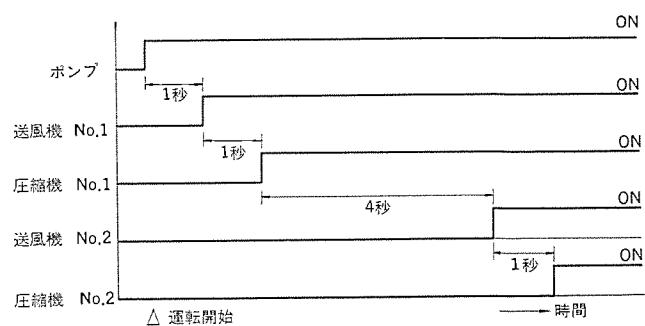


図 5. 順次始動制御

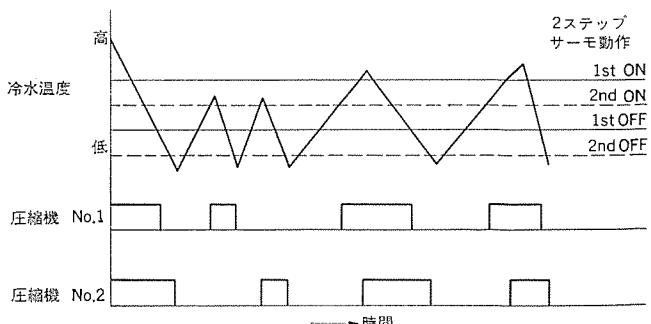


図 6. 圧縮機ローテーション制御

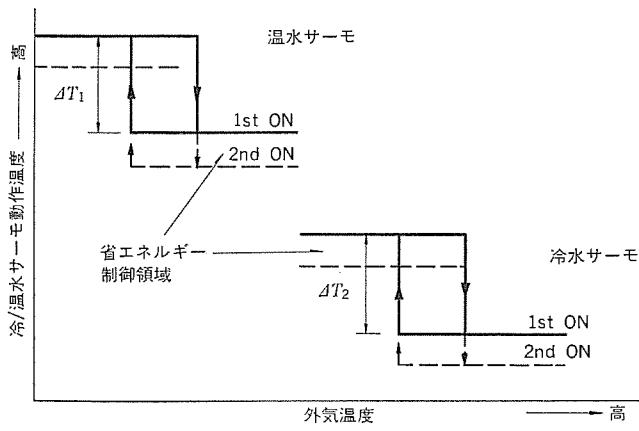


図 7. 冷／温水 サーモ制御特性

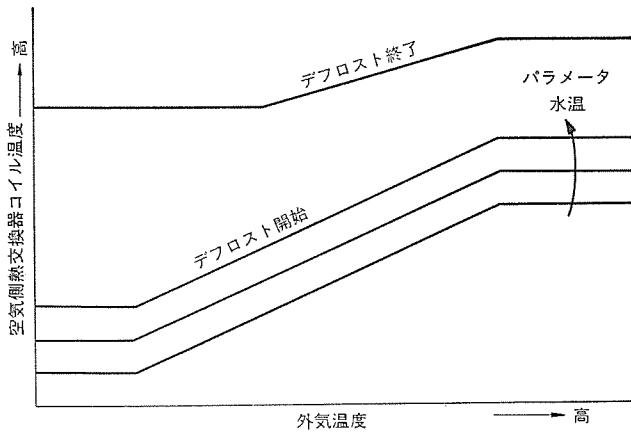


図 8. デフロスト制御特性

り冷／温水 サーモの設定値を自動的に変更し、ヒートポンプ式 チーリングユニットの運転効率の高い範囲で運転させるものである。この機能は、スイッチにより標準的なモードとの選択切換が可能であり、省エネルギー モードにした場合は後述するように標準的な空調条件では成績係数 (COP) が約 6 ~ 7 % 向上することが試算されている。図 7. に省エネルギーを加味した冷／温水 サーモ特性を示す。

#### (4) デフロスト制御

霜状態を空気側熱交換器コイル温度と外気温度との相関で検知する デマンドデフロスト方式を採用し、デフロストの開始及び終了の適正化を図っている。特に開始条件は水温をパラメータに持ち、終了条件とともにプログラム処理している。図 8. にデフロスト制御特性を示す。

この制御システムは、マイコン制御の特徴を生かして制御面からの改善も行っている。運転開始後及びデフロスト終了後の一定時間内 デフロスト禁止、低水温時のデフロスト禁止、複数台圧縮機搭載の場合の同時 デフロスト防止、デフロスト中に水温低下すれば強制復帰するなどがこれに該当し、デフロストの効率向上を図っている。

#### (5) 送風機制御

外気温度を検出し送風機の強弱切換を自動的に行わせている。デフロスト時には送風機を停止し、デフロスト時間の短縮を図る。また降雪時には、スイッチにより機器が休止中でも送風機のみ連続運転させ、送風機部分への積雪を防止することができる。

#### (6) 圧縮機保護

圧縮機保護のためにひん(頻)繁な発停を防止する ショートサイクル 防止及び一定時間内再起動防止機能を採用している。また瞬時停電による電源欠落時間を検知し、 $36 \pm 5$  ms 以上の欠落では運転を停止する

瞬停保護対策を取っている。更に圧縮機吐出温度を監視し、冷媒ガス洩れなどによる吐出温度過昇防止を行うが、判定にはタイマを併用し確実を期している。

#### (7) 凍結防止制御

デフロスト時に水側熱交換器コイル温度の異常低下を検出し、その系統の運転を停止する。また冬期は水温の低下を検出し、ポンプを自動運転させて機器を保護している。

#### (8) 点検機能

表示を除く機器の運転又は停止、時間短縮運転、保護機能のリセット及び一定時間後の短縮運転から通常運転への自動復帰が可能で検査時、施工又は保守点検時の容易さを図っている。例えば遠方・手元切換回路を設け、リモコンパネル側を切り離して、熱源機側ですべての運転が確認できるようにすると同時に、短縮運転を採用し循環水量不足による圧縮機の頻繁な運転の防止や除霜運転の誤作動を防止するため設けたタイマ時間すべて 5 秒に短縮させ、点検・サービス性を向上させた。また、ユニットが異常停止したときの原因について、それぞれ凍結・圧力開閉器等の保護装置及びガス洩れについて履歴を表示するようにし、サービス性を改善した。

#### 3.4 ハードウェアとソフトウェア

使用した M 58840 P マイクロコンピュータは、P チャネルアルミゲート、ED-MOS プロセスの 4 ビット、ワンチップマイコンで、42 ピン DIL パッケージに収納している。これの特長の 1 つは A/D 変換器を内蔵する点であり、K ポートから取込まれたアナログ信号は、基準電圧と比較のうえ、8 ビットのデジタル値に変換されて処理できるため、空調機のようにサーミスタで温度を入力として扱う場合は特に有効である。

##### (1) ハードウェア

###### (a) アナログ入力

サーミスタのばらつきが大きいことを考慮して、設計してあり設定値はすべて無調整である。また各センサには、リード線引き回しによるサージ混入を防止する対策を施してある。

###### (b) デジタル入力

入力の読み込みにはチャタリング防止プログラムを実施し、リモコン及び高圧系からの入力に対してはフォトカプラ、バッファドライバ、リレーを介して誤作動を防止している。

###### (c) 制御出力

ポンプ、送風機、4 方弁及び圧縮機の制御は、マイコン→バッファドライバ→小信号リレー→AC 200 V 系開閉器又はリレー→負荷の形で行われ、AC 200 V 系からのサージ混入を防止している。最終安全を確保する保護開閉器で直接 AC 200 V 主回路を開閉する。

##### (2) ソフトウェア

このシステムにおけるプログラムのゼネラルフローチャートを図 9. に示す。スタート後 RAM をクリアし、初期値をセットする。次いで、50/60 Hz 識別を行うが識別時間が約 40 ms かかるため、電源投入時と運転スイッチの切換時にのみ周波数識別を実行する。各種タイマの基準クロックは AC 電源より割込み入力の形で読み込む。リモコン、各種スイッチ及び異常信号の読み込みは、動作の確実を期するために 3 回読み込みのチャタリング防止を実施している。

デフロスト、水温制御、保護制御、タイマ制御は、センサ及びタイマベースでのフラグ処理であり、表示及び運転で各フラグを判定し出力するものである。AC クロック読み込みの割込み入力は、M 58840 P のネステイキングの深さを十分に活用するために、常時受付けるのではなく、プログラム内の数か所に配置された ブロック内で読みむようになってい

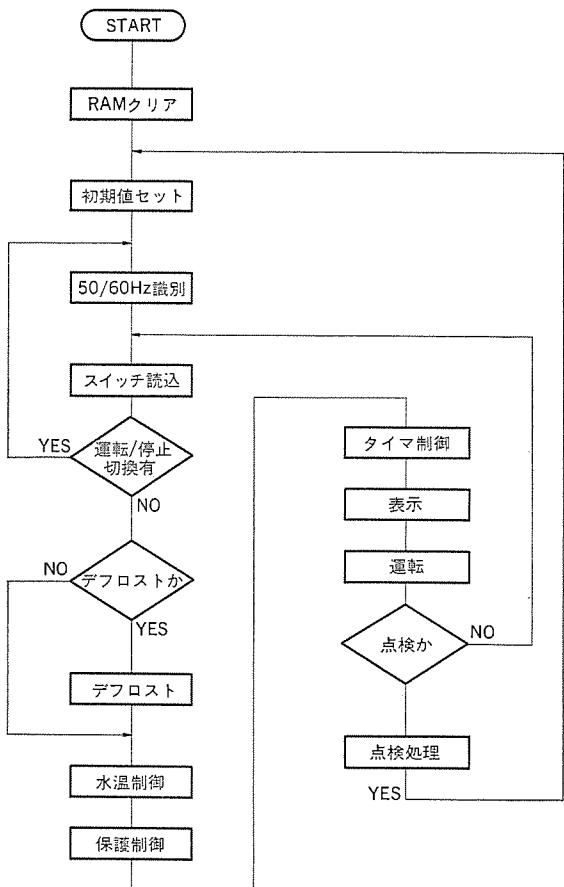


図 9. ゼネラルフローチャート

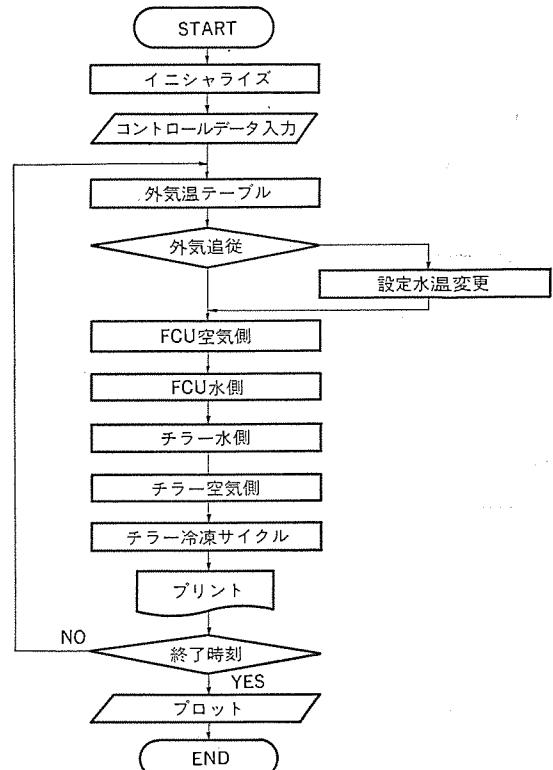


図 11. ゼネラルフローチャート

る。

#### 4. シミュレーション

検討したシステムの概略を図 10. に示す。冷・温水源として空冷式ヒートポンプ式チリングユニットを、放熱器にはファンコイルユニット（以下、FCU と略す）を使用し、これと循環ポンプを水配管で接続している。ヒートポンプチラーアニットは、入口水温によって圧縮機を ON-OFF 制御しており、FCU は入口側に取付けた 3 方弁によってバイパス制御している。各機器の仕様を次に示す。

##### (1) ヒートポンプ式チリングユニット

$$\begin{aligned} \text{冷房能力} &= 5,570 \text{ kcal/h} \\ \text{暖房能力} &= 6,960 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

##### (2) ファンコイルユニット

$$\begin{aligned} \text{冷房能力} &= 1,500 \text{ kcal/h} \\ \text{暖房能力} &= 1,950 \text{ kcal/h} \end{aligned}$$

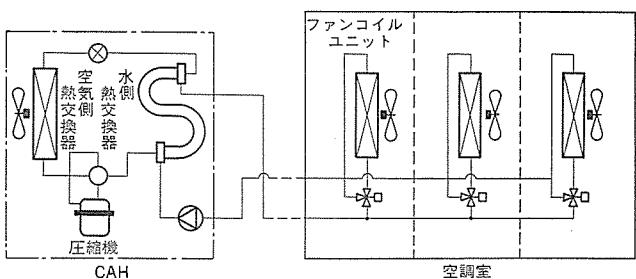


図 10. システム概略図

#### 4.1 シミュレーションプログラム

図 10. に示したシステムの各部分を理論モデル化し、動的動作をシミュレーションできるプログラムのゼネラルフローを図 11. に示す。このプログラムでは、ヒートポンプ式チリングユニット並びに FCU の空気及び水側各部の温度は、時定数を考慮した差分法によって求められる。また、被空調室の冷・暖房負荷は、別途負荷計算プログラムを用いて計算した値を使っている。ヒートポンプ式チリングユニットの冷凍サイクルは、各部での冷媒状態を冷媒回路の一般的な理論及び実験式でサイクル計算することによって得られる。ここで、繰返し計算の刻み時間は、計算速度と精度の面から種々検討した結果 5 秒とした。

#### 4.2 シミュレーション例と実測値

図 12. (a) は実際のシステムでの各部温度を、図 12. (b) はシミュレーションによる各部温度を示す。両者は良く近似しており、このプログラムの実用性が高いことを示している。

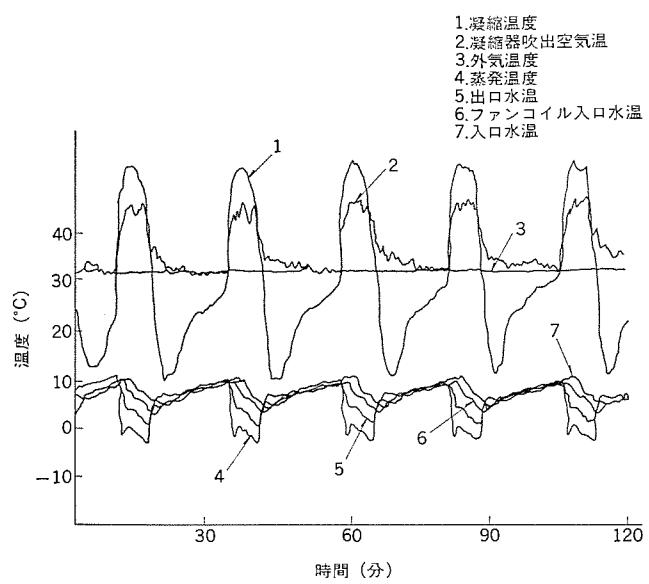
#### 4.3 シミュレーション結果

##### (1) 制御条件

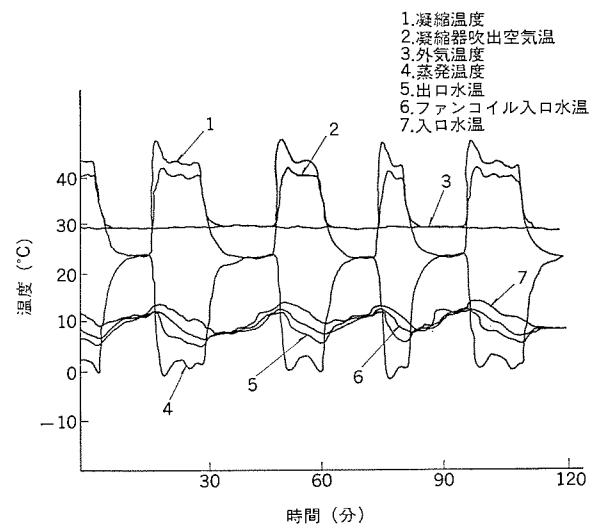
ヒートポンプ式チリングユニットの入口水温を固定した固定水温運転と、入口水温を図 13. のように外気温度に追従して変える外気追従運転について検討した。図 13. で冷房時を例に動作を説明すると、初期起動時水温は 11.5°C に設定されている。外気温が 31°C を超すと水温 9.5°C に変更され冷房負荷増大に対処する。一方、外気温が 29°C より低くなれば負荷が軽減すると、水温は 11.5°C に再設定される。また外気温と水温の間には、圧縮機のハシビング運転防止のためヒステリシス特性を持たせている。

##### (2) 設定条件

外気温度は、夏季及び冬季における東京地方の平均温度の各時刻の値をテーブルとして用い、各時刻間の値は補間法で算出している。室温は、冷房時 27±1°C、暖房時 20±1°C とした。



(a) 実測値



(b) シミュレーション

図 12. 溫度特性

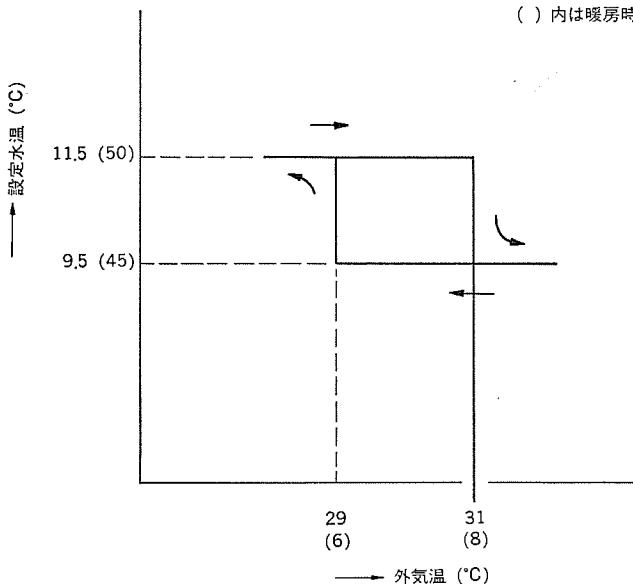


図 13. 外気温 - 水温特性

( ) 内は暖房時

(3) 計算結果

固定水温運転並びに外気追従運転における、冷房及び暖房時の消費エネルギーを次に示す。

	冷房	暖房
固定水温運転:	17.53 kWh	24.57 kWh
外気追従運転:	16.32 kWh	23.02 kWh
省エネルギー率:	6.9 %	6.3 %

上記計算結果より、ヒートポンプ式チーリングユニットの入口水温の設定値をわずか 2~5°C 変えることによって、6~7% の省エネルギー効果が得られることが判明した。

## 5. むすび

民生品への普及が目覚しい 4 ビットワンチップマイクロコンピュータを用いて、ヒートポンプ式チーリングユニットの制御機能向上に加え省エネルギー性、圧縮機運転の安定性、サービス性改善を実現した。今後とも市場要求を反映した製品開発を通じ、合理的な制御を目指し改善を重ねていくつもりである。

# 大容量変圧器の計測データ処理システム

青木 俊之\*・池田 五郎\*・渡邊 次男\*・篠原 秀雄\*・仁田 周一\*\*

## 1. まえがき

大容量電力用変圧器は、典型的な注文生産品でその仕様は非常に多岐にわたっている。そのためいろいろな生産活動の面で自動化が困難であり、試験業務も例外ではない。

しかしながら、最近では試験業務の複雑化、高度な測定技術の導入、省力化の要求から試験の自動化が要望されるようになった。大形変圧器を製作している当社赤穂製作所では、これまで部分的に自動測定技術を導入して試験の合理化に努めてきたが、今回試験業務を総合的に見直し、全面的な計測の自動化を図るために高耐ノイズ性を有する計測データ処理システムを、当社コンピュータシステム工場と共同で完成し実用に入ったので、その概要を紹介する。

また、試験時の安全を図るために監視や、構造点検を行うためのITVカメラによる監視装置、並びに試験内容、状況を知らせる試験表示装置についてもあわせて紹介する。

## 2. システム設計の目的

システム設計に当たっては、その使用目的、範囲を明確にしておく必要があり、筆者らの工場で行われている試験業務を次のように分類してみた。

- (1) 品質管理試験
- (2) 製品試験（標準試験、形式試験、特殊試験）
- (3) 開発試験

これらの中(1)は、製造工程途中で品質チェックの目的に行われるもので、比較的低電圧の簡単な試験が多いので、今回のシステム設計からは除外した。

(2)の製品試験は、変圧器の完成時に行われる試験で、試験項目はある程度標準化されているので、変圧器仕様の変化によって内容は若干変わることはあるが、今回のシステムでは、次の各試験項目が含まれるようになった。

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| (a) 極性及び角変位      | (f) ブッシングCTチェック |
| (b) 変圧比          | (g) ヒートラン時の測定   |
| (c) 卷線抵抗         | (h) 無負荷損失       |
| (d) 絶縁抵抗         | (i) 負荷損失        |
| (e) 静電容量及び誘電体損失角 | (j) 補機損失        |

(3)の開発試験は、どのような新しいものが出てくるかを予想することは困難であるが、筆者らの工場で行われる開発試験の特徴は次のようなものである。

- (a) 扱う量は電圧、電流などの電気量と温度、流体量、振動騒音などの機械量である。
- (b) 扱う現象は、比較的低速の機械量のようなものから、高速の絶縁破壊現象のようなものまで、現象の速さという見地からは広い範囲に及んでいる。
- (c) 数百点にも及ぶ多くの量を、同時測定する必要となることがある。

このような特徴を有する開発試験については、できるだけこのシステムで処理できるよう多様性のあるシステム設計を志向した。

次に試験の手順としては、以下のように分類できる。

- (1) 結線、配線などの試験準備。
- (2) 電圧印加などの試験実施業務。
- (3) データ収集。
- (4) データ分析及び記録。

これらの項目の中で(1)は、特に非標準の大形変圧器において自動化することがむずかしいので、今回のシステム設計からは除外することとした。ただし、計測系の結線などは、後述のように被試験変圧器のそばに置かれる端末装置を設けることにより、簡単化を図った。

(2)については、電源の操作、監視業務が主なものであるが、これは、これまでにかなり自動化されているので、今回のシステム設計には考慮しなかった。

したがって、今回のシステム設計の主な目的は(3)と(4)ということとした。この2つの項目を自動化することにより製品試験については、試験時間の短縮や試験結果の迅速な(把握)及び顧客への迅速な報告が可能となり、開発試験においては能率的なデータ収集、データの同時性の向上、より高級なデータ解析手法による現象の理解の向上などにつながることになる。

なおシステムの導入後もますます複雑化、高度化する試験業務に対応してゆくために、ソフトウェアの開発が容易にしかも短時間で行えるように、システム構成装置全体が共通のソフトウェア体系をもつものとし、言語としてはアセンブリ、フォートラン、CONFORM(三菱電機で開発したJIS7000レベルを満したフォートラン言語で制御用の処理機能などをもつ)を採用することとした。

## 3. システムの構成と機能

### 3.1 全体構成

上述のような要求を満足させ、ノイズ対策を考慮して設計した結果、全体の構成としては、図1に示すようなものとした。すなわち、各被試験器からデータを取り込む端末装置は、製品試験用2式、開発試験用3式とし、いずれも移動式とした。これらの装置から得られるデータの処理を行う中央処理システムを、工場の一部に設置した。端末装置と中央処理システム間をつなぐデータウェイは、ノイズ対策として光ファイバケーブルを用いた《MDWS-30S》を採用した。このデータウェイは、工場内の各試験場で端末装置がオンライン接続できる脱着可能なターミナルを10箇所設け、これらと中央処理システムを中心に環状に結ぶ方式である。なお中央処理システムと端末装置には、あわせて5式のCPU《MELCOM 350-50 A2100》を内蔵し、データの処理効率を上げると共に、ソフトウェアの開発効率の向上を図っている。

### 3.2 中央処理システム

このユニットは、図1に示す構成であり高性能CPUを中心とし、補助記憶装置及び各種周辺機器を装備した総合データ処理システムで

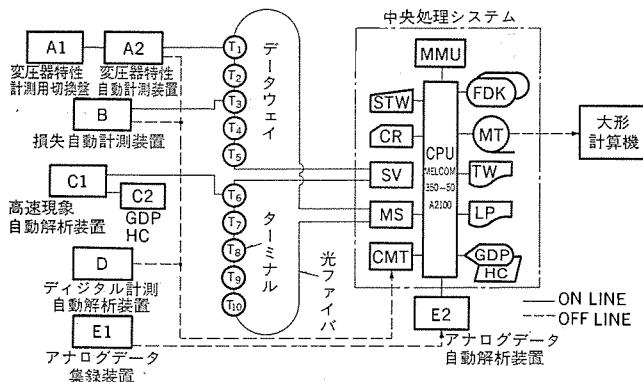


図 1. 計測データ処理システム構成

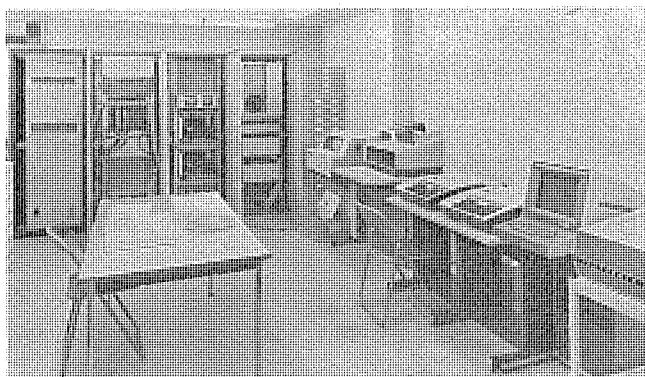


図 2. 中央処理システム

ある。このユニットは大きく次の4つの機能を有する。

#### (1) オンライン及びオフラインデータ処理

データウェイを通じて伝送されるオンラインデータ、CMT（カセット磁気テープ）やAMT（アナログ磁気テープ）を媒体としたオフラインデータの処理を同時に行うことができる。特にAMTの処理は、一般に長時間を要するため、後述のアナログデータ自動解析装置を用いて、無入処理ができるように考慮しており、夜間無入処理を行ってシステムの有効活用を図っている。

#### (2) データ管理

FDK（固定ヘッドディスク）に製品試験用と開発試験用のデータ領域を設定し、端末装置が専用の補助メモリとして自由に使用できる方式としている。データ領域は、製品試験用として常に最大クラスの変圧器6台分、開発試験用として640Kバイト確保されており、試験が終了し必要な出力処理後、長期保管用として磁気テープに記録する。

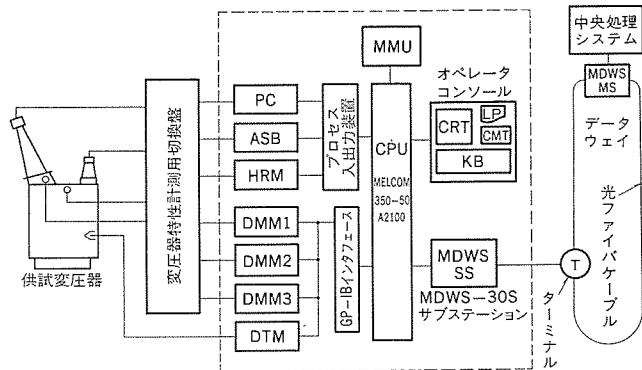
#### (3) 出力処理

製品試験については、FDK内のデータをバッチ処理で専用のタイプライタより試験成績書標準用紙に数値出力を、GDP（グラフィックディスプレイ）に特性曲線の出力を行う。一方開発試験の場合には、オフライン入力の処理結果をラインプリンタあるいはGDPに出力する。更にここで処理できない高度な解析処理には、磁気テープを媒体とする技術計算用大形計算機で処理する。

#### (4) ソフトウェアの開発

システムの処理機能を向上させる解析プログラムや、開発試験を更に効率よく行うための専用プログラムなどのアプリケーションプログラムは、アセンブリ、フォートラン、CONFORMで容易に開発できる。ハードウェアに対する処理は、すべてサブルーチンコールで行える。

図2. 中央処理システムの全景を示す。



PC: 極性チェック  
ASB: 自動シェーリングブリッジ  
HRM: ハイレジスタンスオームメータ  
DMM 1～DMM 3: デジタルマルチメータ  
DTM: マルチチャネルデジタル温度計

図3. 変圧器特性自動計測装置構成

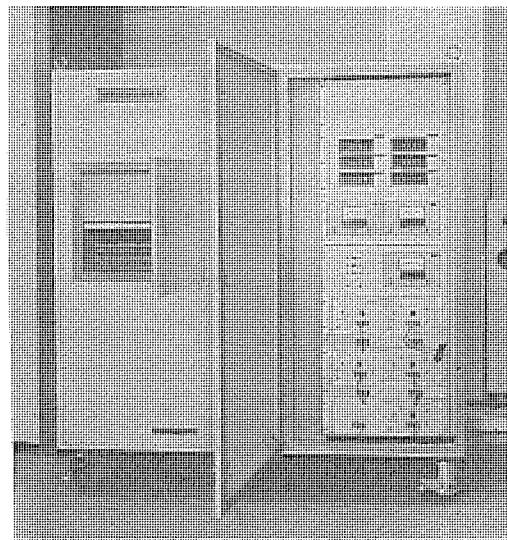


図4. 損失自動計測装置(本体)

#### 3.3 変圧器特性自動計測装置

この装置は、製品試験のうち極性及び角変位、変圧比、巻線抵抗、絶縁抵抗、静電容量及び誘電体損失角、ブッシングCTチェックなど低電圧で行う試験並びにヒートラン時の計測を行う。図3.にその構成を示す。

この装置には、低電圧試験時の結線作業を軽減するため、1度の結線でブッシングCTチェックを除くすべての試験が行えるように、コンピュータコントロールの専用切換盤を持っている。この切換盤は、絶縁抵抗測定時には5,000MΩ以上、抵抗測定（電圧降下法）時には最大100Aを通電するなどの、高絶縁性を有し、しかも大電流を流せるよう設計されている。

計測のプロセスは、あらかじめ中央処理システムのFDK内に入力していた試験計画をオンラインで読み出し、この内容に従って計測していく方式で、計測結果の確認は試験員が行う。1区切り計測が終了した時点で、計測データを自動的に中央処理システムのFDKに伝送し格納する。なお慎重を期して、計測データはオペレータコンソールのCMTやミニプリンタに出力し、2重のバックアップをする。

#### 3.4 損失自動計測装置

この装置は、製品試験のうち無負荷損失、負荷損失及び補機損失の計測を行う。図4.に装置本体を示す。

この装置には、2台のオペレータコンソールを持ち、各々別の測定室に設置されており、必要に応じていずれかのオペレータコンソールより計測指示が行える。

計測プロセスは、上述の変圧器特性自動計測装置と同様で、あらかじめ中央処理システムのFDKに入力していた試験計画を読み出し、これに従って計測を進めてゆく方式である。計測データは自動的に中央処理システムのFDKに伝送、格納すると共に、オペレータコンソールのCMTやミニプリンタに出力し、2重のバックアップをとっている。

### 3.5 高速現象自動解析装置

この装置は、開発試験に使用し、絶縁破壊現象のような高速現象から比較的低速の機械振動などの現象を計測し、解析処理する。図5.に構成を示し、図6.に全景を示す。

この装置は、高速から低速までの広範囲な現象を計測するために、2種類のA/D変換器を内蔵している。すなわち、高速用として最高サンプリングタイム10nsのA/D変換器（トランジエントレコーダモデル8100）、低速用としては、前段に高周波ノイズを除去するための高性能のローパスフィルタを設けた高分解能（10ビット）、多チャネル（4ch）で最高サンプリングタイム5μsのA/D変換器（デジタルメモリDM501）を持ってい。

この装置は、計測したデータを中央処理システムICオンラインで伝送し、FDKに記憶したり、FFT（高速フーリエ変換）などの解析処理を行わせ、処理結果は、この装置のGDPに表示するなどの処理を

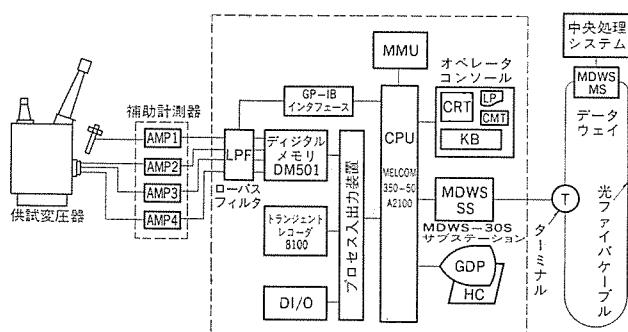


図5. 高速現象自動解析装置構成

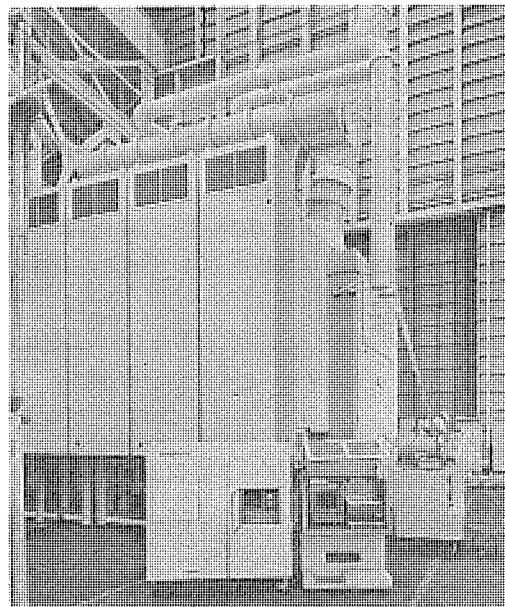


図6. 高速現象自動解析装置

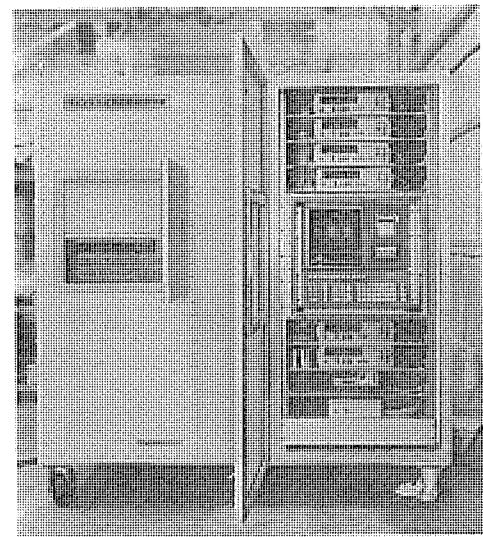


図7. デジタル計測自動解析装置

オンラインリアルタイムで行うもので、多種多様な試験に使用できる。

### 3.6 デジタル計測自動解析装置

この装置は開発試験で行われる数百点に及ぶセンサ出力を、同時測定する装置である。図7.に全景を示す。

基本機能として、7台の計測器を全台あるいは任意の組合せで瞬時測定する機能を持ち、計測器前段にコンピュータコントロールの多点切換器を接続することにより、数百点のセンサ出力を同時に測定する。測定に際しては種々の開発試験に適応するように、基準入力値が設定値に達したとき測定を開始する自動比較起動、操作員が任意の時点で行える手動起動、内蔵タイマにより一定時間ごとに測定を開始する周期起動ができる。測定したデータは物理量に変換し、CRTに表示すると同時にCMTに記録する。CMTのデータは、中央処理システムで解析処理する。

### 3.7 アナログデータ自動解析装置

この装置は中央処理室に設置され、中央処理システムのCPU制御のもとで、アナログデータ集録装置で記録した磁気テープのアナログデータをA/D変換し、中央処理システムへ送り込む。

構成としては、再生用データレコーダ、A/D変換部、テープ位置をサーチするテープサーチユニットとCPUインターフェースから成っており、A/D変換部では、A/D変換器前段にローパスフィルタを設けハードウェアでフィルタをかけている。

この装置は、一般的に長時間の処理を要するものが多いため、夜間無人処理することで、システムの有効利用を図っている。

## 4. 試験監視・表示装置

測定室内に試験時の安全を図るための監視や、構造点検を行うための遠隔監視装置、並びに試験内容、状況を知らせる試験表示装置を設置した。

### 4.1 試験監視装置

この装置は、工場天井にITVカメラを設置し、これを測定室に設置した遠隔操作器で制御し、同室に置かれたモニタテレビに写し出すもので、試験時の安全確認、作業点検更に高所での構造検査の負担を軽くする。ITVカメラは、6台使用し各々回転台、ズームレンズを備えたものを2式設置して試験場全体をカバーできる構成とした。図8.にモニタテレビ及び遠隔操作器を示す。

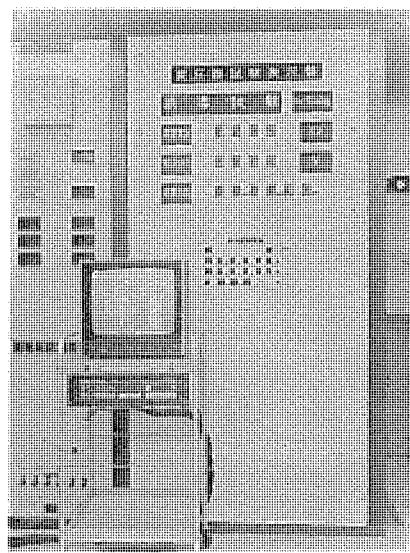


図 8. 試験監視・表示装置

#### 4.2 試験表示装置

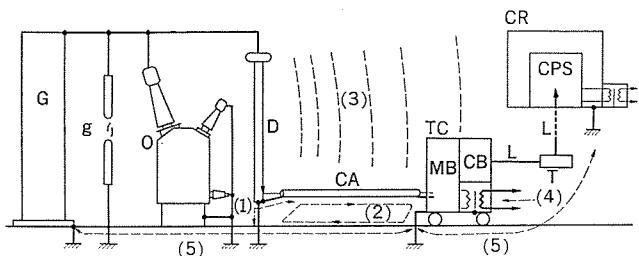
この装置は作業進捗状況及び試験時の電圧、電流、時間を表示し、試験内容が十分に把握できるもので、マニュアル操作及びコンピュータ制御ができる。図 8. に全景を示す。

### 5. ノイズ対策

このようなシステムを変圧器製造工場に導入するに当たり、最も考慮しなければならないのは、対ノイズ対策である。この種のシステムには、ノイズに弱い電子機器を多く使用することになるが、工場の中には各種ノイズが存在するため、ノイズより電子機器を保護する必要がある。

#### 5.1 ノイズ発生源と侵入経路

変圧器製造工場には、一般の製造工場と同じく電動機、照明用放電灯などによる種々のノイズ源があるが、最大のノイズ源は発生ノイズの大きさ、周波数範囲、システムへの影響などいずれをとっても最も厳しいインパルス試験設備である。当工場でも、4,500 kV IVG をはじめ数台のインパルス試験設備があり、日常的に百万ボルトを超える試験を行っている。このインパルス試験設備からのノイズに対して十分な耐力を持ったシステムであれば、その他のノイズ源からのノイズに対しても十分な耐力をもつことになる。



G: インパルス 電圧発生装置  
g: 棒 ギャップ  
O: 供試変圧器  
D: 分圧器  
CA: 測定 ケーブル  
L: 光 ファイバーケーブル  
TC: 端末装置  
MB: 計測部  
CB: 制御部  
T: 光 データウェイ ターミナル  
CR: 中央処理室  
CPS: 中央処理 システム

図 9. 代表的なノイズ侵入経路

図 9. に、インパルス発生装置を用いた試験の中でも特に厳しいさい断波試験時に、3.5節で述べた高速現象自動解析装置を用いて電圧を測定している場合のノイズ伝ば(播)状況を図式的に示す。図中の番号はそれぞれの侵入経路を示し、次のようなものである。

- (1) 分圧器の接地リードと測定系アース側とのインピーダンス分流によって測定系に流れ込む電流ノイズ。
- (2) 測定ケーブル又は信号伝送線と接地との循環電流ノイズ。
- (3) 端末装置あるいは中央処理室に直接侵入する放射ノイズ。
- (4) 電源線への侵入ノイズ。
- (5) さい断波主電流による接地間の電位浮動。

さい断波主電流値として 8,000 A peak (1,780 kV 印加時) の実測値がある。

これらのノイズにより、測定誤差や電子機器の破損及び測定者に対する電撃の危険など重大な障害を発生する。

#### 5.2 ノイズ対策

効果的なノイズ対策は、システムの部位に応じてノイズの主原因や経路を明らかにすることにより可能となる。以下インパルス試験に対するノイズ対策の主なものについて述べる。

##### 5.2.1 端末装置

端末装置は、ノイズ源から 10 m 以内に置かれることもあり、ノイズ的には最も厳しい。したがって、放射ノイズに対し装置を金属板で覆い、できる限り密閉構造とした。端末装置とデータウェイターミナル間は、光ファイバーケーブルで接続している。電源からのノイズについてはシールド付絶縁トランジスタ、サージアブソーバ、ラインフィルタをあわせて用い実験的に効果を確めた。CPU と外線あるいは計測器とのインターフェースユニットにはフォトカプラーを用いた絶縁タイプを採用した。

##### 5.2.2 データウェイ

データウェイについては、総長(直)が 1,000 m を超すので、電気的伝送方式では電位浮動を除去する効果的なものは見当たらない。したがって、最近技術的進歩の目覚ましい光ファイバーケーブルを使用した光データウェイ《MDWS-30 S》を採用した。

##### 5.2.3 中央処理システム

放射ノイズを除去するため、中央処理室をシールドルームとした。電源からのノイズについては 5.2.1 節と同様に行なったが、更に絶縁トランジスタの 1 次、2 次側の接地の取り方が重要である。その他、照明、空調機などによって室内にノイズを引き込まないように、配管についても対策を施した。

#### 5.3 ノイズ対策確認試験

今回のシステム導入に当たっては、数次の耐ノイズ試験、対策項目別試験を行なった。4,500 kV IVG を用い、印加電圧としては標準全波 3,000 kV、さい断波 1,780 kV まで発生させ、端末装置をノイズ源より約 10 m の距離に設置して試験した結果、完成した計測データ処理システムは正常に動作した。

以上の試験より、このシステムが変圧器製造工場のような厳しいノイズ環境のもので、ルーチン的システムとして稼働できることが確認できた。

### 6. 計測データ処理例

このシステムで行った計測データ処理より具体例を 2 つ紹介する。

#### 6.1 製品試験成績書

客先に提出する製品試験成績書は、製品試験用端末装置で測定したデータをオンラインで中央処理システムの FDK 内に蓄えておき、中央処

# 変圧器試験成績書

80年5月20日 製造番号

## 絶縁抵抗測定

	H-E	H-L	L-E	H-M	M-E	M-L	油温度(°C)	気温(°C)	湿度(%)	単位 MΩ
	1700	4000	1700				22.5	21.0	65.0	
	1100	2500	1200				36.5	22.0	68.0	

## 誘電体損失角( $\tan \delta$ )および静電容量測定

測定ケース	$\tan \delta$ (%)	静電容量(μF)	油温度(°C)	$\tan \delta$ (%)	静電容量(μF)	油温度(°C)			
(H)-(M,L,E)	0.23	0.0307	22.5	0.22	0.0307	36.5			
(M)-(H,L,E)									
(L)-(H,M,E)	0.27	0.0346	22.5	0.27	0.0348	36.5			
(H,M)-(L,E)									
(H,L)-(M,E)	0.23	0.0650	22.5	0.23	0.0651	36.5			
(M,L)-(H,E)									
(H,M,L)-(E)									
	気温(°C)	21.0	湿度(%)	65.0	気温(°C)	22.0	湿度(%)	68.0	

## 冷却器入力測定

台数	電圧(V)	電流(A)			入力(kW)	油温度(°C)
		U	V	W		
ポンプ	6 440	54.1	54.3	54.5	28.76	22.5
ファン						
ポンプ・ファン合計入力						28.76 (kW)

図 10. 製品試験成績書出力例

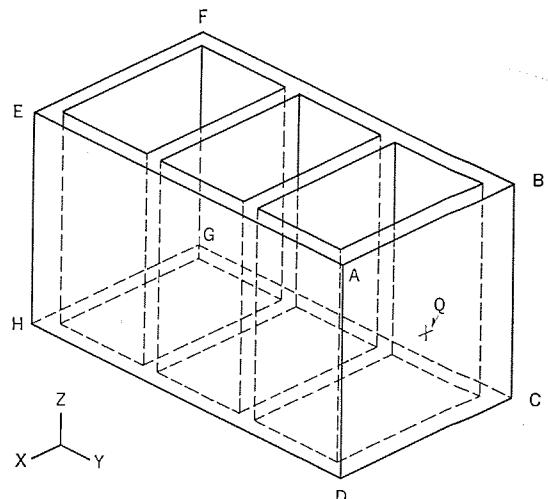
理システムで、システムタイプライタあるいはカードリーダから試験成績書作成プログラムを起動することにより、製造番号、試験項目をもとに自動検索し、所定の演算処理後、専用のタイプライタにセットされた試験成績書用紙上に所定のフォーマットで出力する。図 10. は、絶縁抵抗、誘電体損失角及び静電容量、補機損の測定結果に対する出力例である。図中数値以外はあらかじめ印刷されている。

## 6.2 機械振動解析

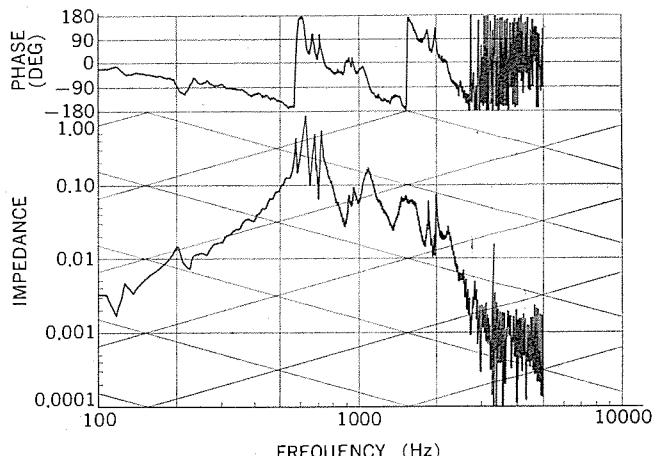
高速現象自動解析装置を用いて行った、インパルス加振法によるリアクトル鉄心モデルの機械振動解析結果の1例を示す。図 11. (a)に試験対象の外形図を示す。加振点をQとし各測定点に加速度センサを取りつけた。Q点をインパクトハンマでたたき、力(F)波形と加速度( $\alpha$ )波形を測定し、機械インピーダンス( $\alpha/F$ )を求める。図 11. (b)は、Q点における機械インピーダンス特性である。各点の機械インピーダンスを中央処理システムのFDKに記憶しておき、このデータ群より代表的な周波数における振動モードを求める。測定点のうち代表的な点をピックアップし、周波数 576.17 Hzにおける振動モードを図 11. (c)に示す。

## 7. むすび

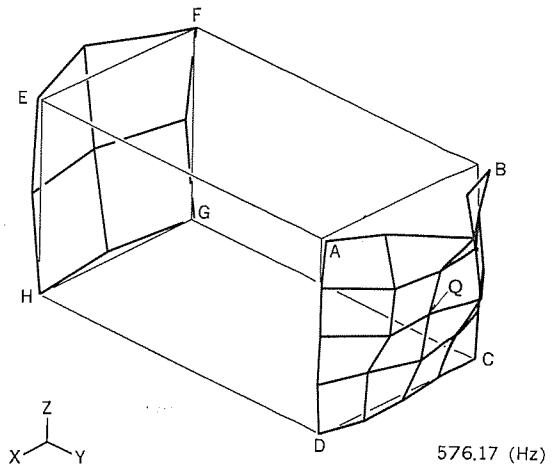
大容量変圧器の製品試験や開発試験を行う、総合的な計測データ処理システムを紹介した。このシステムを完成したことにより、試験時間の短縮が可能となり、また顧客へ提出する試験成績書がオンラインにより自動処理でき、開発面では絶縁関係や機械振動関係などの高



(a) リアクトル鉄心モデル外形



(b) Q点の機械インピーダンス特性

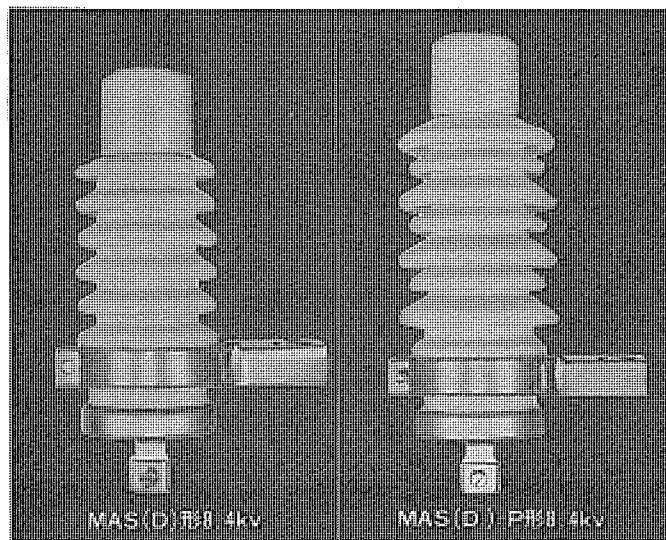


(c) 機械振動モード

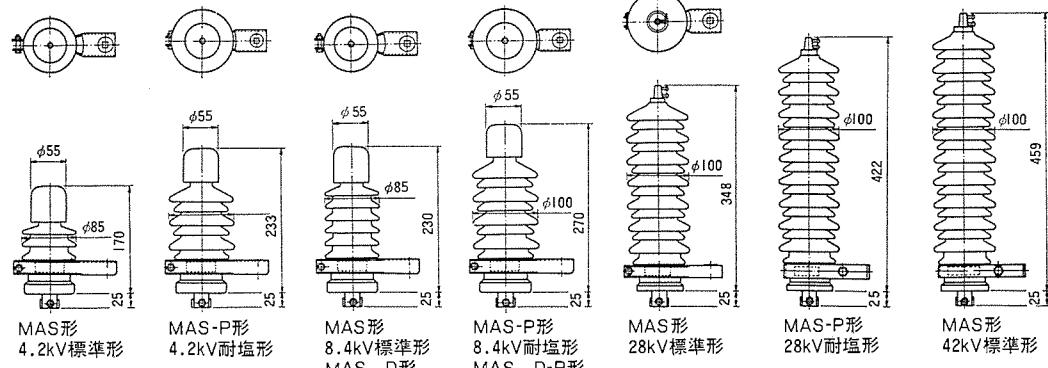
図 11. 高速現象自動解析装置の出力例

度の解析や数百点に及ぶ検出器からのデータ処理が飛躍的に向上するなど、複雑化、高度化する大容量変圧器の各種試験に効率よく対処できるようになった。

三菱電機では、昭和5年に配電用LV形避雷器の発売以来、200万相以上の製作実績を有するオートバルブ避雷器に代り、このたび配電用避雷器の新製品として、非直線抵抗性が非常に優れた酸化亜鉛素子(ZnO)を使用した、配電用酸化亜鉛形避雷器<MOA>MAS形4.2kV~42kVシリーズを製品化し、昭和55年11月に電力会社の公会試験を受験し、昭和56年4月より発売を開始いたします。



### 外形寸法図



### 仕様

項目	形名	MAS	MAS-P	MASD	MASD-P	MAS	MAS-P	MAS	MAS-P	MAS
公称放電電流(A/crest)						2500				
定格電圧(kV/rms)	4.2			8.4			28		42	
構造	ギヤップ無し 標準形	ギヤップ付き 耐塩形		ギヤップ無し 標準形		ギヤップ無し 耐塩形	ギヤップ無し 標準形	ギヤップ無し 耐塩形	ギヤップ無し 標準形	
仕様	MAS形 4.2kV標準形	MAS-P形 4.2kV耐塩形	MAS形 8.4kV標準形	MAS D形 8.4kV標準形	MAS-P形 8.4kV耐塩形	MAS-D-P形 8.4kV耐塩形	MAS形 28kV標準形	MAS-P形 28kV耐塩形	MAS形 42kV標準形	
絶縁抵抗(MΩ)						2000以上				
商用周波始動電圧※(kV/crest)	8.4	—	—	16.8	—	50.4	—	75.6	—	
標準特性	乾燥 標準形	—	16.0	16.0	—	—	—	—	—	
商用周波放電開始電圧(kV/rms)	15.8	—	15.8	—	—	—	—	—	—	
雷インパルス放電開始電圧(kV/crest)	29.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
放電耐量	0.5μs	—	30.0	—	—	—	—	—	—	
制限電圧(kV/crest)at 2,500A	14	18	28	—	84	—	126	—	—	
放電耐量	大電流 方形波	4 × 10μs 10kA 2回	—	—	—	—	—	—	—	
普通動作責務	—	2 ms 75A 20回	—	—	—	—	—	—	—	

※商用周波始動電圧とは、酸化亜鉛形避雷器の抵抗分電流が1mA流れる時の電圧波高値

### 特長

#### ●多重雷責務に最適

外雷を対象とした責務(普通動作責務試験)では、続流が流れないため、多重雷擊サージを処理する際の耐量に優れています。

#### ●迅速な応答特性と優れた保護性能

ZnO素子はSiC素子に比べて電流の応答特性が優れているため、急峻波電流に対する制限電圧の上昇比率が小さく、機器保護に対して有利となります。

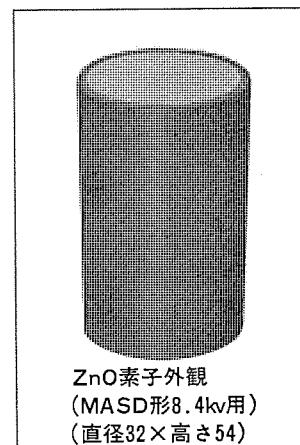
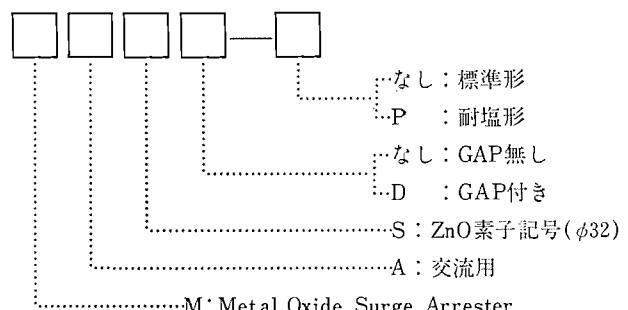
#### ●優れた耐汚損性能

続流が流れないため、しゃ断性能が汚損の影響をほとんど受けません。

#### ●無保守・無点検で長期間使用可能

続流が流れないため消耗部分がなく、また完全密封形のため湿気などが侵入する懼れがなく、無保守・無点検で長期間使用できます。

### 形名

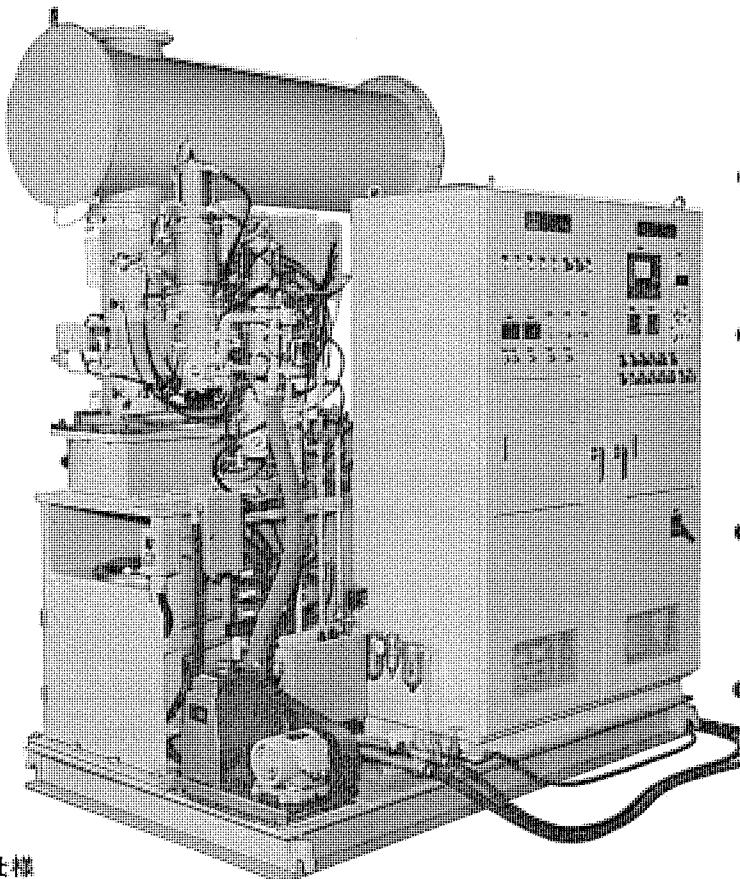


# スポットライ

## 全装可搬形のコンパクトな 三菱パッケージ形電子ビーム溶接機

三菱電機では、生産現場での取扱いが容易な電子ビーム溶接機の開発を進めていましたが、このたび、長寿命な棒状陰極方式の電子銃に続く第2弾として、全装可搬形でコンパクトなパッケージ形電子ビーム溶接機を、世界で初めて製品化しました。

この溶接機は、その優れた電子ビーム技術に加え、ガス絶縁技術、エレクトロニクス技術を応用して、画期的な溶接機本体と電源との一体化に成功、従来の電子ビーム溶接機のイメージを一新する全装可搬性と設置スペースの大幅な縮小、そして動作の高信頼性を実現しています。



仕様

形 式	EBW-6LB	EBW-3LB
定 格 出 力	60KV, 100mA	60KV, 50mA
所 要 電 力	AC220/200V, 50/60Hz, 35kVA	AC220/200V, 50/60Hz, 30kVA
冷 却 水 量	2~3kg/cm <sup>2</sup> , 35ℓ/min, 0~30℃	
空 気	4~5kg/cm <sup>2</sup>	
溶 接 の 種 類	回転体の連続溶接あるいは断続溶接	
溶 接 の 方 向	下向きあるいは横向き	
ワークハンドリング方式	1ステーション形あるいは2ステーション形	
溶 接 条 件 の 制 御	<ul style="list-style-type: none"> <li>●出力安定度 ±1%/Hr以内</li> <li>●レンズ電流安定度 ±0.1%/Hr以内</li> <li>●溶接条件のモニタ(加速電圧, 電子ビーム電流, フォーカス電流, 溶接速度)</li> <li>●溶接条件の表示(同上)</li> <li>●各種異常表示およびインターロック</li> <li>●電子ビーム偏向機能</li> <li>●電子ビーム監視機能</li> </ul>	
付 属 機 能		
オ プ シ ョ ン		

### 特長

#### ●小さな設置スペース

従来、別置きされていた高電圧電源を小形化し、電子銃と一緒に一体化することで電源の実効的スペースをなくし、小形化された制御盤とともに、全体をコモンベース上に組み上げました。床面積を従来の1/3以下(幅1.5×奥行4m・当社比)に、総重量も従来の1/2以下(約4.5トン・当社比)に縮小しています。

#### ●移設および据付けが容易

パッケージ形ですので、機器や配線および配管を取り外すことなく、装置全体をフォークリフトやクレーンを用いて容易に移動させることができます、ホールインアンカで簡単に据付けできます。

#### ●ライン化に最適

間口が狭く、奥行きが長い構造ですので、ラインへの組み込みに適しております、しかも機器配置も保守が容易なように設計されています。

#### ●信頼性が向上

シーケンス回路からリレーを追放し、ICロジックによる専用基板化して、動作の信頼性を高めています。また、電子銃と電源とが一体構造であるため、高電圧ケーブルを使用することによるトラブルがありません。

#### ●長寿命の陰極

当社独自の棒状陰極方式であるため、イオンスノッタリングに強く、陰極は長寿命です。電子ビーム発生時間で100時間、溶接機稼動時間で300時間以上です。

#### ●低電圧で、しかも高性能ビーム

電子ビームの形状を円に近い形としていますので、低電圧でも集束性がよく、高性能です。また低電圧であるため、電子銃内部の汚れに対する動作の安定性に優れています、しかもX線シヤ蔽用鉛を使用していないため、安全で衛生的です。

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1225683	端子台	弁木善行 田島尚志・木名瀬武男	1225689	高周波加熱器	町原義太郎・池田宏司 慶野長治
1225684	移動通路用手摺	矢野勇・木村稔	1225690	投入装置	喜多村弘明
1225685	ベルト駆動回転装置	丹内幸治	1225691	フィルター取付装置	坂井明夫・堀尾則泰
1225686	軸受の点検窓装置	末永宏	1225692	窓据付形換気扇	堀尾則泰・鈴木欽三
1225687	計数器	元木義明	1225693	シャッター装置	井口武夫
1225688	浄水器	鳥山建夫	1225694	掛け金装置	慶野長治・小川幸治
			1225695	開放シャッター自動選択装置	中村三男

訂正 Vol. 54 No. 7 に次のような誤りがありましたので、訂正しておわびいたします。

正	誤
32ページ左側上から4行目	……磁束の直軸分は空げきから……
“ 上から 11 行目	…… $f$ : 電源周波数) の……
“ 下から 18 行目	…… Agarwal 氏は塊状鉄体の……
33ページ左側下から17行目	…… 電動機入力の脈動分と脈動トルクが……

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 55 No. 3 光伝送特集

特集論文

- 光ファイバ伝送用部品の製品化
  - ディジタル光送受信器 MF-DS シリーズ
  - 光ファイバ通信システム
  - 光ファイバ伝送の計算機システムへの応用
  - 1.3  $\mu\text{m}$  帯レーザダイオードを用いたアナログ光送受信器
  - ビデオ信号とディジタル信号との光波長多重伝送系
- 普通論文
- コンピュータリレーに適した電力系統保護方式の開発

- 立形電動機の振動解析
- 《MELCOM 70 シリーズ》用対話形データベースプロセッサ (IDP-70)
- 最近のしゃ断器の短絡試験技術
- ブラシレス交流発電機の界磁テメータ
- 酸化亜鉛形避雷器用漏れ電流検出器
- 新しい常温短時間硬化接着剤とその金属構造・補強接着への適用
- カラーブラウン管の新形ネック磁石

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

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

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

# スポットライト

## 三菱オフィスコンピュータ 《MELCOM80》モデル8 日本語



三菱電機では、漢字4000字種を内蔵の高性能日本語オフコンをカナ文字オフコンクラスの価格で実現した、《MELCOM80》モデル8 [日本語]を新発売します。

日本語オフコンは、扱いやすく、出力データも見やすいところからユーザーの関心が高く、急速に普及しています。このモデル8 [日本語]も、このような需要動向に対応して開発したものですが、オフコン市場で大きなウェイトを占める500万円台の機種に、現在の英字・数字・カナ文字オフコンと同程度の価格(当社比)で日本語オフコンが実現できたことから、今後オフコンの日本語化がさらに急ピッチで進展することが予想されます。

### 特長

#### ●漢字4000字種を内蔵

JIS第一水準を含む漢字4000字種を内蔵し、しかも漢字専用の高速プロセッサを搭載していますから、入出力がきわめてスピーディです。(4000字種のうち一部ユーザー定義可あり)

#### ●2種から選択可能な、簡単な漢字入力

##### ①ワンタッチスクリーンキーボードタイプ

日本語表示の商品名や得意先名がそのまま入力できます。漢字入力もスクリーンシートから直接行えます。

##### ②タイプライタキーボードタイプ

テンキーよりJIS区点番号(4桁)で漢字が入力できます。

#### ●高密度の漢字を1000文字表示できる14形画面

14形の大きなビデオ画面に、高密度(24×24ドット)の見やすく読みやすい明朝体漢字が1000文字も表示できます。

#### ●美しい文字を高速で印字する日本語プリンタ

日本語プリンタは、漢字印字で60字/秒、英数カナ印字で150字/秒です。漢字と数字で構成されるデータのプリントは漢字の数にもよりますが、平均実行処理速度としては120字/秒クラスのカナプリンタに相当するスピードで処理できます。官製ハガキに縦書きでも横書きでも自由にプリントでき、また長体文字(縦2倍の拡大文字)や平体文字(横2倍の拡大文字)もプリントできます。

#### ●場所をとらないデスクサイズ

オフィスの事務机と同程度の大きさのコンパクト設計(幅108×奥行79cm)です。定格電流6Aですから特別な電源設備は不要で、空調もいりません。

※三菱オフィスコンピュータは、《MELCOM80》[日本語]と《MELCOM 80》の2シリーズとも、モデル8・18・28・38の4モデルずつの機種ラインとなり、小規模システムから大規模システムまで多様化するニーズに合せ、最適なシステムが構築できます。

シリーズ名	機種名	備考
MELCOM80 日本語シリーズ	MELCOM80 モデル8 [日本語] MELCOM80 モデル18 [日本語] MELCOM80 モデル28 [日本語] MELCOM80 モデル38 [日本語]	新発売
MELCOM80 シリーズ (英・数・カナ文字オフコン)	MELCOM80 モデル8 MELCOM80 モデル18 MELCOM80 モデル28 MELCOM80 モデル38	