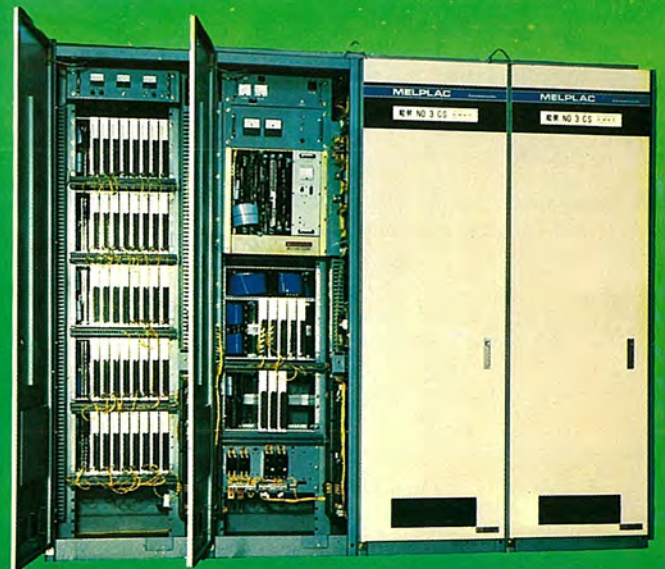


MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報



Vol.51 No.8

鉄鋼プラント電機品特集

三菱電機技報

Vol. 51 No. 8 AUGUST 1977

鉄鋼プラント電機品特集

目次

特集論文

最近の圧延機駆動用電動機の動向	林 昌宏・島 幸弘・矢野昌雄・片岡正博	501
鉄鋼プラント用電動機制御装置	村松英樹・柴田謙司・神谷秀男・留井英明・開高 徹	507
鉄鋼プラントにおける電子制御装置の応用	外山守城・松谷勝己・林 敏弘・山本 修・大野宜男	513
ホットストリップミル制御システム	辻 順一・川崎宗男・浜崎芳治・小寺嘉一・渡辺文夫	519
棒鋼(線材)圧延機用電機設備における最近の動向	大場 宏一・稲村和美・轟 幸男・稲本 惇・佐々木希晴	525

普通論文

エポキシ樹脂注型がいしプッシングの長期屋外曝露試験	坂井龍吉・宗村弘治・豊蘇正和・中沢 隆・桑原 宏	533
X-バンドシリコンダブルドリフトインパットダイオード	小谷三千男・小引道博・渡瀬 学・高宮三郎・三井 茂	539
マーガリン製造ラインの総合生産システム	丸山 昇・高橋正夫・末武 隆	543
誘導電動機の電磁騒音低減法	小泉孝之・成田正夫・山田一秀・持永元喜	548
MEL-O-MATIC TIG チューブ自動溶接機	鶴飼 順・鉄 豊造	553
オージェ電子分光法の半導体素子への応用	藤原賢三・大谷 誠・金山 清・尾形仁士	559
M2350 形インテリジェントディスプレイ端末	渡辺 治・三井浩康・古形 昌・野津工ア	564
特許と新案		531
避雷器・ろ材送り装置・冷却器		
当社の登録特許一覧		538・568・572
スポット		569
高周波パルス直流 TIG 溶接法に日本溶接協会技術賞・サンシャイン計画ソーラハウス(表紙-3)		

FEATURING ELECTRICAL EQUIPMENT FOR IRON & STEEL PLANTS

CONTENTS

FEATURED PAPERS

Recent Trends in Drive Motors for Rolling Mills	Masaharu Hayashi et al.	501
Motor-Control Equipment for Iron and Steel Mills	Hideki Muramatsu et al.	507
The Application of Electronic Control Equipment in Iron and Steel Plants	Moriki Toyama et al.	513
Control Systems for Hot-Strip Mills	Jun'ichi Tsuji et al.	519
Recent Trends in Electrical Equipment for Bar and Rod Mills	Koichi Oba et al.	525

GENERAL PAPERS

Long-Term Outdoor-Exposure Tests for Cast Epoxy-Resin Insulators and Bushings under Electrical Stress Conditions	Ryukichi Sakai et al.	533
An X-Band Silicon DDR Impatt Diode	Michio Kotani et al.	539
An Integrated System for a Margarine Manufacturing Line	Noboru Maruyama et al.	543
An Approach to the Reduction of Magnetic Noise in Induction Motors	Takayuki Koizumi et al.	548
The MEL-O-MATIC Orbital Tube Welder	Jun Ukai & Toyozo Tetsu	553
Application of Auger Electron Spectroscopy to Semiconductor Devices	Kenzo Fujiwara et al.	559
The Type M2350 Intelligent Display Terminal	Osamu Watanabe et al.	564

表紙

鉄鋼圧延プラント ハイアラキ 制御システム

鉄鋼圧延プラントのハイアラキ(階層)制御システムとして制御用計算機《MELCOM》350-50 とプラントコントローラ《MELPLAC》50 により構成されたシステムが好評を博している。拡張性の高い《MELCOM》350-50 と分散形制御システムに最適の《MELPLAC》50 の組合せは、プラント規模に応じて経済的な構成が可能であり、市場のニーズに合ったシステムを提供している。

COVER

A Hierarchical Plant-Control System

Hierarchical systems comprising MELCOM 350-50 process-control computers and MELPLAC 50 plant controllers are gaining an excellent reputation in plant control for steel rolling mills. Combining the outstanding system-expansion capability of the MELCOM 350-50 with the suitability of the MELPLAC 50 for distributed control makes it possible to develop an economical system configuration for plants of any scale, and satisfies an important area of demand.

最近の圧延機駆動用電動機の動向

林 昌宏・島 幸弘・矢野昌雄・片岡正博
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P501～506

省力化、高性能化の時代要請にこたえ、かつ過酷化する仕様に耐えて直流機単機の高速・大容量化への努力が払われてきた。更に各種設計技術及び絶縁技術の進歩により、大容量化に伴う寸法増大を極力抑えて、小形軽量・低慣性を実現してきた。一方、無保守化の要請にこたえて大容量に達するサイリスタモータが新たに圧延用として登場した(1976)。本稿は、最近の圧延用直流電動機とサイリスタモータについてその進歩の内容と現状を紹介する。

X-バンド・シリコンダブルドリフトインパットダイオード

小谷三千男・小引道博・渡瀬 学・高宮三郎・三井 茂
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P539～542

位相走査形レーダに用いる高出力・高効率のマイクロ波半導体直接発振素子が要求されている。この論文は、量産性及び製造技術の優れたSiダブルドリフトインパットダイオードを、製造プロセス及び熱放散を考慮して、設計・試作した結果を述べたものである。結果として、9.4GHzで、代表値としてパルス出力10～15W(効率7～10%)を、また、10.4GHzでは、最高パルス出力27W(効率10%)、最高効率13%(パルス出力19.5W)を得ることができた。

鉄鋼プラント用電動機制御装置

村松英樹・柴田謙司・神谷秀男・留井英明・開高 徹
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P507～512

鉄鋼プラント用電動機制御装置は、圧延設備に直結した機械出力を得るための、電気エネルギーを開閉制御する装置群である。したがって、エネルギー危機以来の省エネルギー・省力化・無保守化・高信頼性等のユーザの要望に直接関係する装置であり、絶えまない技術革新と合理化とが常に要求されている。

これらの要望に対し、最近のエレクトロニクスや制御技術を採用して新しくシリーズ化された電動機制御装置について紹介する。

マーガリン製造ラインの総合生産システム

丸山 昇・高橋正夫・末武 隆
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P543～547

マーガリン製造ラインのブレンド工程は、原料油の持つ排他性・融通性から生産計画を立てることが非常に複雑で、かつ作業条件が固定化しないために無人化ラインは困難とされていた。

この製造ラインに計算機を導入し、受注情報をもとに生産計画を立て、最適作業計画をも自動的に立案し、その計画に基づいて製造ラインを自動制御する総合生産システム(I.M.S.)を完成し、実現したのでその概要を紹介する。

鉄鋼プラントにおける電子制御装置の応用

外山守城・松谷勝己・林 敏弘・山本 修・大野宣男
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P513～518

当社は鉄鋼プラント電機品の製作には永年の経験と実績を有し、最新鋭鉄鋼プラントに適した電子制御装置を多数納入している。電子制御装置をその機能によって分類すれば①制御、②監視、③計測になるが、本文では制御機能を果たす装置の変遷を論じプラントコントローラ《MELPLAC》の適用のポイント、監視機能を果たす装置の現状と特長、更に計測では特に冷延鋼板形状検出装置を紹介する。

誘導電動機の電磁騒音低減法

小泉孝之・成田正夫・山田一秀・持永元喜
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P548～552

誘導電動機に発生する騒音のうち、電磁振動に起因する電磁騒音を取り上げ、その発生メカニズムと振動、騒音の定量的予測法を実験的事実をもとに述べる。また、その結果として電磁騒音の低減は、しゃ音、吸音といった従来の低騒音化技術だけではなく、振動応答部分、振動伝達経路、振動源、加振源へと、より音の源に対して、その各部分の性格を明らかにした上で、適切な対策を事前に構えることが最も有効であることを示す。

ホットストリップミル制御システム

辻 順一・川崎宗男・浜崎芳治・小寺嘉一・渡辺文夫
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P519～524

ホットストリップミルの最新制御技術を紹介する。マイクロコントローラの出現により、プロセス制御は集中形から分散形へと移りつつあり、本文では、制御用計算機とプラントコントローラからなる分散形制御システムの構成法、代表的なDDCシステムの実例とその特長、連続スタンド・ダイナミックシミュレータの概要とこのシミュレータを使用した数例の結果について述べている。

MEL-O-MATIC TIGチューブ自動溶接機

鶴飼 順・鉄 豊造
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P553～558

固定管の全姿勢溶接は非常に難しい溶接作業の一分野で、関連業界から自動化が強く要望されている。当社では数年前からこの分野の固定管全周自動溶接機を開発、製品化し、TIGチューブ自動機として各方面で実用化されて効果をあげている。本文では、それらの用途のボイラチューブ、化学プラント、ガス配管工事への本機の実用例を主体に、機器の構造、特性並びに実用上の問題点とその解決法について述べている。

棒鋼(線材)圧延機用電機設備における最近の動向

大場宏一・稲村和美・轟 幸男・稲本 惇・佐々木希晴
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P525～530

当社は、「棒鋼圧延機用電機品」の分野で、住友金属工業(株)小倉製鉄所向け棒鋼ミル、ポーランド向けSection Bar Millと相次いで大形商談を受注している。本稿では昨年4月に稼動した前者において、新規に開発した技術(全体制御システム、圧延電動機の喘込補償回路、最適切断スケジュール制御、可変周波数・可変電圧制御用インバータ電源等々)を中心に、最近の技術の動向及び当社独自の技術について、一般的な形式で述べる。

オージェ電子分光法の半導体素子への応用

藤原賢三・大谷 誠・金山 清・尾形仁士
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P559～563

約10Åの表面層に敏感な表面分析法、オージェ電子分光法を半導体素子技術の評価、及び不良解析手段として応用した。ボンディング、電極形成、接着性、ショットキー障壁などの例について表面不純物、拡散、薄膜構造の解析から材料特性との関係を明らかにした。また、上記法の定量性に関連して、イオン注入した不純物を標準試料として利用し、シリコン中の不純物(ほう素とひ素)密度を±20%以内の良い精度で定量化した。

エポキシ樹脂注型がいし ブッシングの長期屋外曝露試験

坂井龍吉・宗村弘次・農藤正和・中沢 隆・桑原 宏
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P533～538

注型法によって製作した実製品形状モデルブッシング、及び支持がいしによる長期屋外曝露試験を昭和46年より継続して進めているが、既に3～5.5年を経過した。現在のところ、すべての試料についてトラッキングによるせん絡は認められないが、紫外線と降雨による自然条件に電氣的作用が加わり、材料によっては「ひだ」の裏側まで著しい劣化を示すものもある。これらの試験結果と材料特性とを検討し、屋外用注型材料の実用化にあたって有力な手がかりを得ている。

M2350形インテリジェントディスプレイ端末

渡辺 治・三井浩康・古形 昌・野津工ア
三菱電機技報 Vol.51・No.8・P564～568

最近、脚光を浴びている分散処理形のオンライン情報処理システムを担う端末として、当社は、M2350形インテリジェントディスプレイ端末を開発した。この端末の主な特長は、①容易な操作性、②ホスト計算機の負荷の軽減、③通信回線の効率利用、④システムの柔軟性、⑤信頼性の向上にある。また、ユーザ言語として簡易言語FCPを提供しており、データエン트리、伝票発行、在庫管理からオンライン問合わせまで広汎な業務を可能にしている。

Abstracts

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 539~42 (1977)

An X-Band Silicon DDR Impatt Diode

by Michio Kotani, Michihiro Kobiki, Manabu Wataze, Saburo Takamiya & Shigeru Mitsui

There is a need for a high-output, high-efficiency microwave semiconductor direct oscillator for use in phased-array radars. The article discusses the results of designs and prototypes, in terms of the manufacturing process and techniques of heat dissipation evolved to produce a silicon double drift region (DDR) Impatt diode that is both mass-producible and technologically advanced. As a result, it was possible to obtain representative values of pulse output of 10~15W (efficiency 7~10%) for 9.4GHz, a maximum pulse output of 27W (efficiency 10%) for 10.4GHz, and a maximum efficiency of 13% (pulse output 19.5W).

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8 pp. 543~47 (1977)

An Integrated System for a Margarine Manufacturing Line

by Noboru Maruyama, Masao Takahashi & Takashi Suetake

In the blending process of margarine manufacture, production scheduling has been extremely complex and operating conditions difficult to stabilize with the result that it has been difficult to achieve a fully automated line.

The article reports the inauguration of an integrated manufacturing system that is computerized to produce a production schedule on the basis of orders received. The system also develops optimum operational plans, and carries out automatic control of the production line on the basis of those plans.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 548~52 (1977)

An Approach to the Reduction of Magnetic Noise in Induction Motors

by Takayuki Koizumi, Masao Narita, Kazuhide Yamada & Motoki Mochinaga

The article discusses the causative mechanism of the component of induction motor noise arising from magnetic excitation force, and presents a method of quantitative prediction of vibration and noise based on experimental results. From this it was determined that the reduction of magnetic noise must depend not only on such conventional techniques as isolation and absorption. On the basis of a clarification of the characteristics of various aspects of the noise—vibration-response distribution, transmission path, vibration source and excitation source—the article discusses the most effective measures for elimination of noise.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 553~58 (1977)

The MELOMATIC Orbital Tube Welder

by Jun Ukai and Toyozo Tetsu

All-position (orbital) welding of fixed tubes is one of the most difficult of welding operations, yet industries in which it is used clamored for some means of automation. For several years, Mitsubishi Electric has been marketing an automatic tungsten-inert gas (TIG) welder capable of all-position welding of fixed tubes. The article presents some examples of the application of these MELOMATIC welders to boiler tubes, in chemical plants and in the laying of gas lines; describes the construction and features of the equipment; and discusses some problems that arise in actual use, and ways to solve them.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 559~63 (1977)

Application of Auger Electron Spectroscopy to Semiconductor Devices

by Kenzo Fujiwara, Makoto Otani, Kanayama Kiyoshi & Hitoshi Ogata

The surface-analysis technique of Auger electron spectroscopy, which is sensitive to surface layers of approximately 10Å thickness, has been applied to the characterizing of semiconductor devices and to failure analysis. Such properties as bonding, metallization, adhesion and Schottky barrier formation have been investigated through analysis of surface impurities, diffusion and thin-film structure.

It was also possible to quantify the concentration of impurities (boron and arsenic) in the silicon with good accuracy ($\pm 20\%$) by using ion-implanted species in polycrystalline silicon as standard samples.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 564~68 (1977)

The Type M2350 Intelligent Display Terminal

by Osamu Watanabe, Hiroyasu Mitsui, Masaru Kogata & Koa Nozu

Mitsubishi Electric has developed the Type M2350 intelligent terminal as a support for the distributed systems of on-line data processing that have been the focus of attention of late. The main features of the terminal are 1) easy operability, 2) decreased load on the host computer, 3) efficient use of communications lines, 4) system flexibility, and 5) improved reliability. A simple users' language is supplied, making possible a wide range of clerical procedures from data entry, invoice preparation, and inventory control to on-line request.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 501~6 (1977)

Recent Trends in Drive Motors for Rolling Mills

by Masaharu Hayashi, Yukihiro Shima, Masao Yano & Masahiro Kataoka

To respond to contemporary requirements for manpower reduction and higher speeds while meeting increasingly severe specifications, considerable effort has been expended in raising the speed and capacity of DC motors. At the same time, progress has been made in design technique and insulation technology to minimize the accompanying increase in dimensions and inertia. And in answer to demands for freedom from maintenance, a thyristor motor suitable for large capacities was introduced for rolling-mill applications in 1976. The article discusses the progress made, and the existing situation with regard to recent DC motors and thyristor motors for rolling mills.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8 pp. 507~12 (1977)

Motor-Control Equipment for Iron and Steel Mills

by Hideki Muramatsu, Kenji Shibata, Hideo Mitani, Hideaki Tomei & Akira Kaiko

Motor-control equipment for iron and steel mills serves the function of manipulating the flow of electrical energy for the rolling mill. Such equipment, being directly involved in users' demands for energy and manpower conservation, freedom from maintenance and reliability, has thus been the subject of continuing technological innovation and rationalization.

The article introduces a new series of motor-control equipment that applies the latest electronics and control technology to meet these demands.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 513~18 (1977)

The Application of Electronic Control Equipment in Iron and Steel Plants

by Moriki Toyama, Katsumi Matsuya, Toshihiro Hayashi, Osamu Yamamoto & Nobuo Ono

Mitsubishi Electric has had many years of experience in the manufacture of electrical equipment for iron and steel plants, and has delivered many sets of electronic control equipment suitable for the most modern plants. Electronic control equipment may be divided functionally as 1) operational control, 2) monitoring, or 3) metering. The article discusses changes in the equipment that performs the control functions; factors in the application of MELPLAC plant controllers; the features of, and present situation concerning, equipment for monitoring; and, in metering, equipment specifically for detecting the shape of rolled steel plates.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 519~24 (1977)

Control Systems for Hot-Strip Mills

by Jun'ichi Tsuji, Munee Kawasaki, Yoshiharu Hamazaki, Yoshikazu Kadera & Fumio Watanabe

With the appearance of the microcontroller, there is a shift taking place from centralized to distributed process-control systems. The article introduces the latest control technology for hot-strip mills, discusses methods of developing a distributed system comprising a process-control computer and plant controllers, describes noteworthy examples of DDC (direct digital control) systems and their features, and gives a general view of a continuous-stand dynamic simulator, along with the results of several examples using the simulator.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 525~30 (1977)

Recent Trends in Electrical Equipment for Bar and Rod Mills

by Koichi Oba, Kazumi Inamura, Yukio Todoroki, Atsushi Inamoto & Kiharu Sasaki

Mitsubishi has recently received orders from Sumitomo Metal Ind., in Kokura, Japan, and from Huta Novotki in Ostrowiec, Poland for electrical equipment for a bar mill and a section bar mill, respectively. The article gives a general description of recent technological trends and developments unique to Mitsubishi Electric, with particular emphasis on the technology developed for the Sumitomo mill, which went on line in April 1976, including the overall control system, circuitry to compensate for a drop in drive-motor speed at metal entry, optimum dividing-cut control, variable-frequency/variable-voltage power supply, etc.

Mitsubishi Denki Giho: Vol. 51, No. 8, pp. 533~38 (1977)

Long-Term Outdoor-Exposure Tests for Cast Epoxy-Resin Insulators and Bushings under Electrical Stress Conditions

by Ryukichi Sakai, Hirotosugu Munemura, Masakazu Noso, Takashi Nakazawa & Hiroshi Kuwahara

Long-term outdoor-exposure tests of cast epoxy-resin bushings and insulators representing models of production types have been in progress since 1971, covering periods of 3~5½ years. At present there has been no observed case of breakdown due to tracking, but some of the test samples underwent the addition of electrical effects due to such natural phenomena as ultraviolet irradiation and precipitation, and, depending on the materials, massive deterioration even in the indentations of the bushings. The analysis of the test results and the study of the properties of the materials have provided a powerful tool in developing a practicable casting material for outdoor use.

最近の圧延機駆動用電動機の動向

林 昌宏*・島 幸弘**・矢野昌雄***・片岡正博†

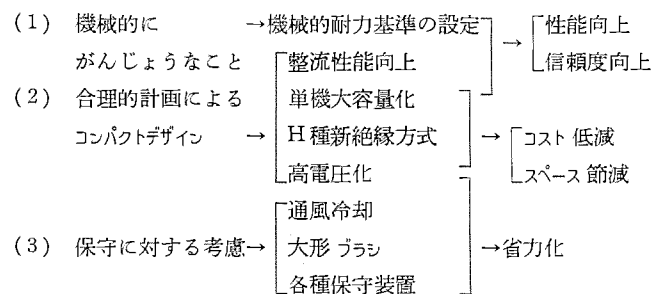
1. ま え が き

最近の高効率、新鋭圧延設備用の圧延駆動電動機は、機械的、電氣的に限度いっぱいでの使用が要求されている。かかる過酷な使用に耐えて、かつ省力化時代に対処するために単機、高速大容量化への不断努力が払われてきた。

以下に、直流圧延電動機の最近の指向と進歩の内容を述べるとともに、一方無保守化の要請にこたえて、新たに登場したサイリスタモータの現状を紹介する。

2. 直 流 電 動 機

高速大容量化に伴う寸法増大を極力抑えるため、当社は各種設計技術及び絶縁技術の連歩・向上を図り、小形軽量・低慣性化を実現してきた。更に、電氣的・機械的に過酷化する用途に対処するため、次の3本の柱を基調に設計・計画を行い需要家のニーズにこたえている。



以下に、最近の技術の一端を紹介する。

2.1 単機容量

直流機の製作限界を示す目安として、定格出力(kW)×[最高回転速度(rpm)]²/基底回転速度(rpm)がある。当社では最近の技術の進歩により、この限界値として下記を目標にしている。

可逆機	熱間可逆 2×10^6
非可逆機	熱間連続 $5 \sim 6 \times 10^6$
	タンデム冷延 $3 \sim 4 \times 10^6$

2.2 機械的耐力

電動機の機械的耐力を左右するのは、軸系のねじり振動によるトルク増幅現象である。圧延機に鋼材をか(噛)み込んだときの衝撃が、駆動軸系のねじり振動を誘起し、このためにトルクのピーク値は電動機定格トルクの数倍にも達することがある。

当社では軸系のばね定数や慣性はもちろんのこと、減衰やバックラッシュも考慮し、更に制御系までも含めた電気・機械系全体のシミュレーションができる手法を開発し、実際の設計に活用している。また、ユーザの協力を得て実際の圧延作業中の軸トルクを測定し、上記のシミュレーションがよく一致することを確認している(図1.参照)。これらのシミュレーションと実測に加え、長年にわたる実績を加味して電動機の機械的耐力の基準を確立した(表1.)。更に細部構造にわたり応力解析を行っている。図2.は電機子スパイダ部でトルクがどのよ

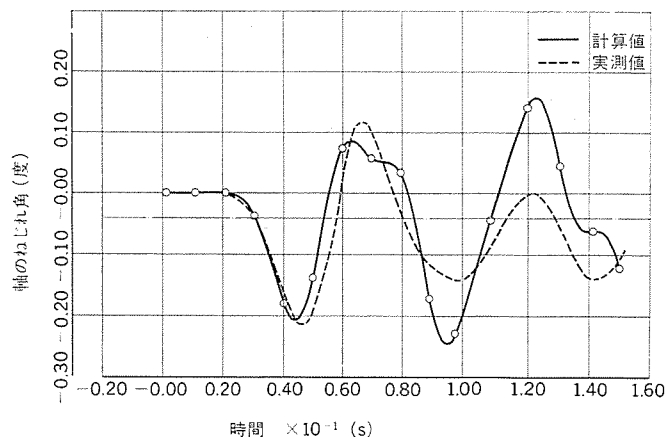


図1. 圧延駆動軸系のねじり振動解析

表1. 電動機出力軸の機械的耐力基準
(いずれも、電氣的100%トルクに対する値)

	可逆圧延	熱間連続圧延	冷間連続圧延	負荷の頻度
常用機械的耐力	6.0	5.2	4.5	10^7 回以上
非常用機械的耐力	8.4	7.3	6.3	2×10^4 回

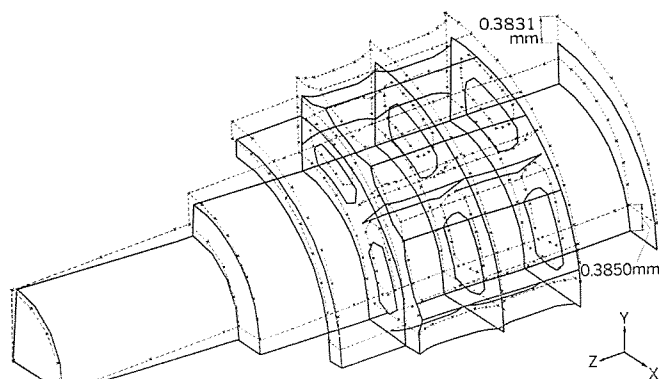


図2. 電機子スパイダの強度解析

うに伝達されるかを、三次元有限要素法によって解析したものである。これによって、応力解析の精度が飛躍的に向上した。

2.3 H種新絶縁方式の採用

従来は、F種絶縁が標準であったが、温度上昇限度の高いH種絶縁を採用することにより、小形軽量・低慣性化が可能になる。また、圧延時のピーク電流による電磁力や振動・衝撃以外に、巻線には熱膨張による応力も大きく加わってくる。このような過酷な使用条件下で、長期間にわたり高信頼度を維持できるH種新絶縁方式を開発した。

(1) レジンリッチ方式

電機子導体にポリアミドブリプレグ紙を主材とした特殊絶縁を施し、スロットにそう(挿)入後加熱硬化し、全含浸と同等の能力を発揮させるもので、熱伝導良好なこと、巻線の応力変形に対してもクラックが入りにくい、等の特長がある。また、万一の場合、短時間での現地修

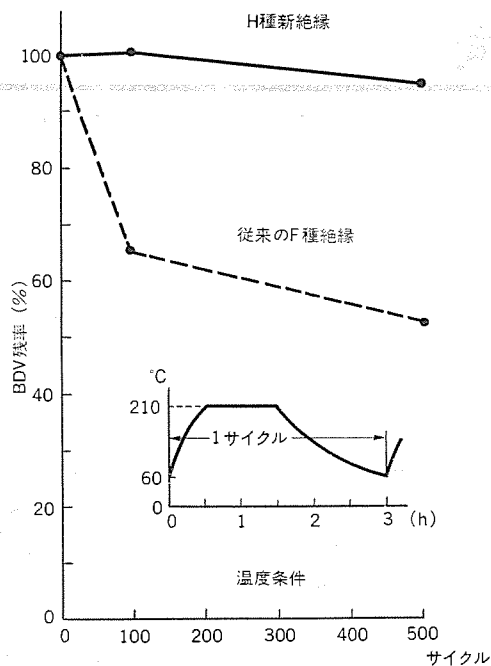


図 3. ヒートサイクル 試験

復を可能にしてある。図 3. にこの絶縁と従来絶縁のヒートサイクル試験比較を示す。

(2) 静電粉体塗装

補極裸巻線と整流子ライザ部には、ニスのタレやピンホールがなく、耐熱衝撃・耐熱・耐振・耐水等の各種特性の優れた静電粉体塗装絶縁を施し、悪環境下でもメグ低下防止に効果をあげている。

2. 4 高電圧化

圧延用直流機はこれまでほとんどが 750 V で設計されてきたが、近年、逆耐電圧の高いサイリスタが経済的に得られるようになり、高電圧化がやりやすくなった。そこで、単機容量の増大に伴い 1,200 V 近辺の高電圧が採用されるようになった。高電圧化は配線ケーブル量の低減という利点以外に、直流機にとっても有利である。すなわち、高電圧設計で主極が大きくなっても、必ずしも補極は大きくならないため、機械の利用率が上がり、よりコンパクトにできる。またブラシ個数が 750 V/1,200 V \div 60% に減る（更に、大形ブラシを採用すると 5,000 kW 級の場合、実に 40% に減る）ため、保守の手間が軽減される。

当社では、大容量機の電圧選定に当たり、まず 1,200 V の採用を検討の対象にしている。（既に、プレートミル用 5,500 kW 直流機を 1,200 V で製作し、工場試験で所定の性能確認を終えた。）

2. 5 整流性能の向上

過渡特性の向上を図るため通常は継鉄を積層構造とするが、当社では更に、磁気回路に特殊ライナ（特許申請中）を使用している。

図 4. は、補極磁束回路にこの特殊ライナ及び従来ライナを使用した場合につき、負荷電流急変時の補極磁束応答を実測したオシログラフである。すなわち、特殊ライナにより、電流に対する磁束応答は著しく改善されている。

1,700 kW, 230 rpm の直流機で比較テストをしたところ、従来ライナで、4～5 号火花発生したものが、新ライナでは無火花となり、著しい効果を確認した。また、設計段階でフラクスマップを作り、補極形状の検討も行っている。

2. 6 通風冷却

大形機の通風は循環方式とし、かつ、電機子と整流子室の冷却回路

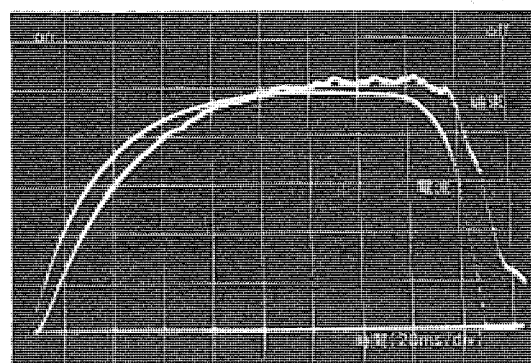
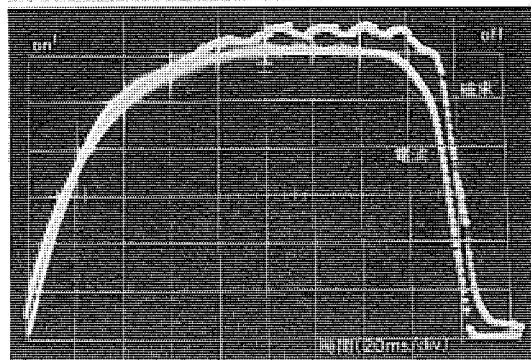


図 4. 負荷急変時の補極磁束応答

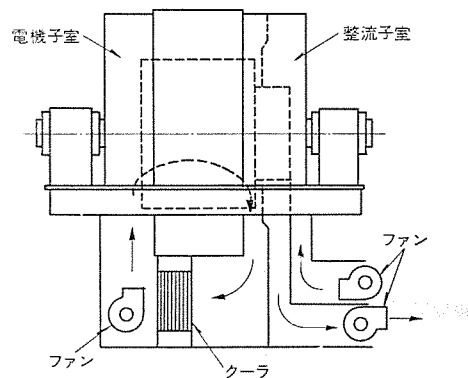


図 5. セパレートクーリングシステム

を分離する、いわゆるセパレートクーリングシステムが今後の主流である。すなわち、電機子及び固定子は循環通風し、その回路内にクーラとファンを設置する。整流子室は非循環のアップドラフトとし、機外の空気をフィルタを通して整流子室に押し込み、整流子及びブラシを冷却する。冷却後の空気は、カーボナストとともに機外へ排出する。図 5. にその概略構造を示す。

この方式では、電機子（除く整流子）及び固定子は清浄に保てるので、メグ抵抗確保に有効である。更に、整流子回りを有効に冷却でき、かつ、良好な状態に保つことができる。なお、フィルタ容量は整流子とメーキャップ用に対して選べばよいので小形でよい。

クーラ等の付属機器の配置は、地下室設置の場合と地上置きで電動機の側面又は電動機上部に設置される場合があるが、その優劣は種々の条件で異なる。

2. 7 温度

当社では、温度上昇解析プログラムを使用して、機内各部の温度を計算し、鉄心部・コイルエンド部等に対し合理的な冷却設計を行っている。

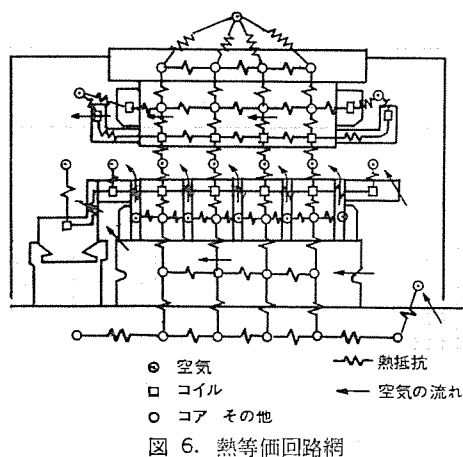


図 6. 熱等価回路網

図 6. に直流機の熱等価回路網を示す。

2. 8 保守の省力化

直流機では、整流子回りの保守に相当の労力を費している。したがって、2. 4 節の高電圧化・ブラシの大形化によるブラシ個数の激減は、有効な対策の一つである。

また、予防保全・保守の自動化を目指して、整流子吹付装置、整流子切削駆動装置、整流火花監視装置、軸トルク監視装置、整流子面自動ワイピング装置、等々の装置を準備し、省力に寄与している。

3. サイリスタモータ

3. 1 圧延駆動用電動機の交流化とその方式

圧延駆動用電動機は単機大容量化・高速化の傾向にあり、直流電動機も前述のようにそれに対処する努力が払われているが、例えば、新鋭熱間連続仕上圧延では 1 スタンド 当たり直流電動機が 2～3 台に分割されているのが普通である。これは主として整流上から単機容量に制限があるからである。この点次に述べるサイリスタモータは本質的に電圧、容量に制限がなく、無保守化のニーズとあいまって急速に時代の脚光を浴びてきた。

サイリスタ可変周波数電源と交流電動機とを組合せた、いわゆるサイリスタモータは既にプロフ、ポンプ等の速度制御駆動用に盛んに用いられている。しかし、これらは可変速運転ではあるが、急速な加減速及び制御性能が不要な用途であった。

鉄鋼圧延では鋼材の寸法精度、表面形状より優れた速度制御性能が要求される上、圧延用電動機はトルク脈動が少なく、広範囲の弱め界磁が必要であり、既開発のサイリスタモータでは対処できない。以下に圧延用として要求される性能とその対策を述べる。

3. 1. 1 低速運転時の速度特性

トルク脈動により回転むらが発生する。従来の交流 CS 形サイリスタモータでは、電機子電流は短形波であるため電動機周波数の 6 倍周波数のトルク脈動が 15 % 程度含まれる。これを減らすには電機子電流を正弦波とするか、電動機相数を増やすかする方法がある。

3. 1. 2 低速運転時のトルク脈動

圧延機駆動系の固有周波数は 10～20 Hz の範囲にあるが、前項のトルク脈動周波数と一致すると共振倍率で軸伝達トルクの脈動が増加する。

電動機相数を増すとトルク脈動周波数が増加する。すなわち駆動系固有周波数 20 Hz に相当する電動機周波数は、3 相電動機では 3.33 Hz、12 相電動機では 1.67 Hz となる。いま最高速度の電動機周波数を 60 Hz とすると、共振点は 3 相機では最高速度の約 5 %、

12 相機では約 3 % となる。したがって非可逆の熱間圧延仕上スタンドでは相数を増やせば速度制御範囲外に共振点を設定することが可能である。

型鋼、厚板等の低速圧延機では、正弦波電流を用いる WM 形電動機が用いられるが、冷延のリールのように可逆運転の高速機では WM-CS 形電動機を用いて、低速時には正弦波電流を用い、機械共振点を越えた高速では短形波電流駆動が可能である。

3. 1. 3 過負荷耐量と広い速度範囲

同期電動機に電機子電流が流れると、電機子磁束が生じ端子電圧の位相と大きさが大きく変化する。この電機子反作用による電動機力率と端子電圧の変動を考慮し、大きな電動機過負荷に耐えるには大容量の変換装置が必要となる。これを改善するには端子電圧と電動機電流の位相を一致させ、電動機力率を 1 とすることが考えられる。すなわち電機子電流の位相及び主界磁制御による 1 軸制御方式と、主界磁制御と補償界磁制御を並用する 2 軸方式とがある。前者は、端子電圧の位相を変えるには空間磁束の位相変化が必要であり、急変負荷には適さない。後者は、補償界磁電流を主電流に比例して変化させ、かつ空間磁束は電機子巻線の漏れ磁束分だけ変化させればよく、電機子巻線磁束は一定に保たれるため負荷急変に十分追従できる。

3. 1. 4 優れた応答速度と精度

圧延電動機では、負荷急変に対し高応答が要求される。サイリスタモータでは、整流の問題はなくなるがサイリスタアームの転流を考慮する必要がある。もちろん、前項で述べたように制御方式は静的、動的に十分追従できなければならない。補償巻線は、電機子反作用を打消し更にサイリスタの負荷転流を行わせるのに必要な磁束（転流電圧）を発生させる電流成分を供給する。転流電圧成分を補償巻線電流の固定分として与えておくと、電機子反作用を打消す電流を変えればよいが、負荷電流により空間磁束は変化しないので、補償界磁の漏れリアクタンスを補償できればよい。すなわち補償界磁の電圧を（補償界磁漏れリアクタンス） $\times di/dt$ の値以上に選べばよい。

以上で要求性能の達成方法を述べたが、具体的な方式の比較を表 2. に示す。CS 形サイリスタモータは最も実績があるが、トルク脈動の問題が残る。電機子電流を正弦波とするサイクロコンバータが検討されているが大幅な実用化に至っていない。これはアーム数が 36 も必要となり、電源力率がやや劣り、波形率を考慮すると電動機周波数の上限が 20 Hz 程度に押さえられるためと思われる。

これら従来機種の欠点を克服するものとして相数を増やす直流多相形、電機子電流を正弦波とする WM 形、及び高速域で正弦波より短形波運転とする WM-CS 形を開発し、実用化した。

3. 2 直流多相形サイリスタモータ

3. 2. 1 主回路構成

図 7. に主回路構成（12 相整流の場合）を示す。この回路方式は高速機用に適し高圧化を容易にする。電動機の基本形は回転界磁形同期電動機であるが、電機子巻線が多相化され界磁側は 2 コの界磁巻線が設けられている。コンバータは多相化された他励式インバータと整流器からなり、直流リアクトルとともに独特なループ接続がなされている。

3. 2. 2 電動機

電機子鉄心こう（溝）には互いに電気角 30° の位相差をもつ絶縁された 2 組の 3 相巻線が設けられていて 120° 短形波電流によるトルク脈動を小さくしている。界磁鉄心溝には主界磁巻線と補償界磁巻線の 2 種類が設けられ、それぞれの巻線軸が電磁氣的に直交するように



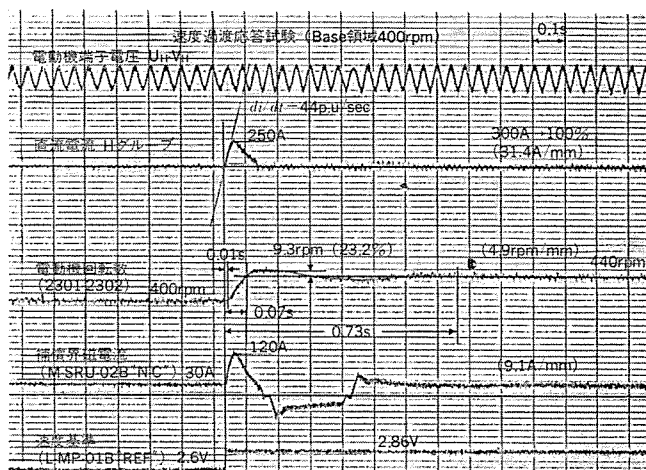


図 10. 直流多相 サイリスタモータ 速度過渡応答試験

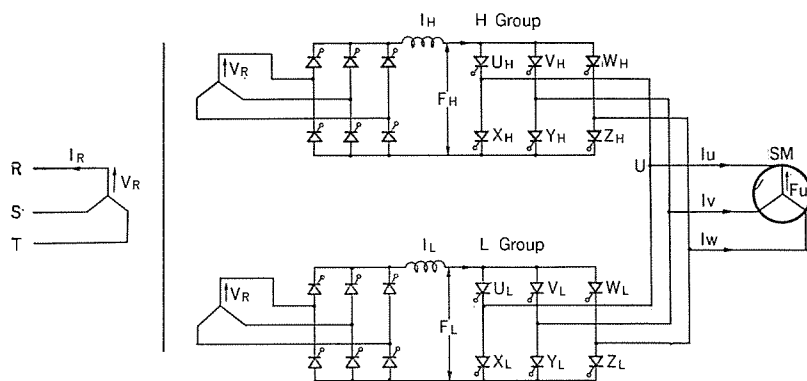


図 12. WM 形コンバータ回路図

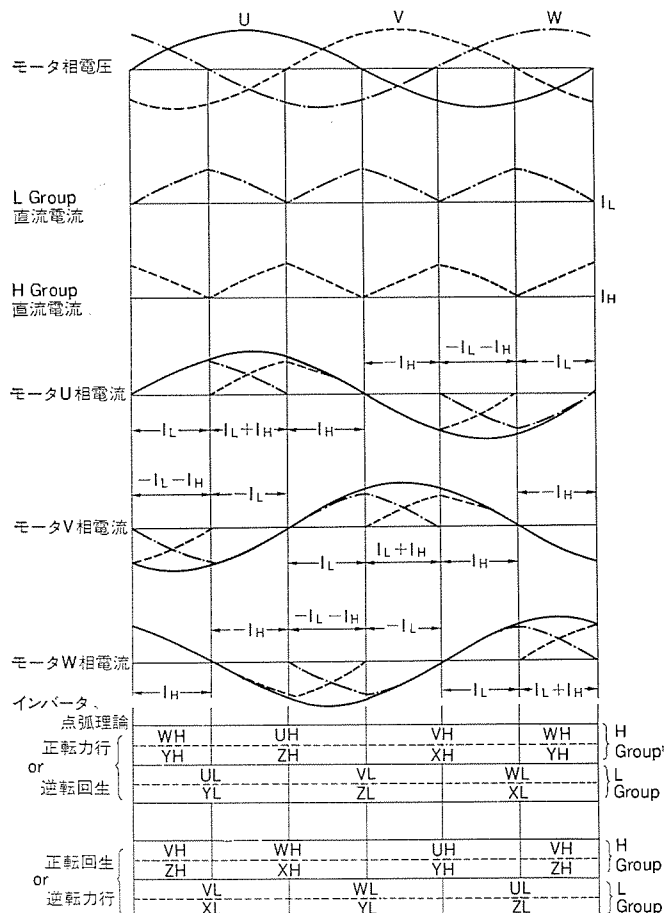


図 13. WM 形 H, L 群の電流の合成方法

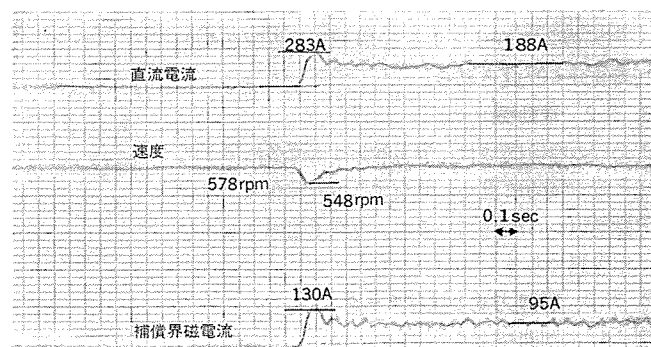


図 11. 直流多相 サイリスタモータ インパクトドロップ 試験 (70 % 負荷)

(3) 速度コントローラの出力信号によりトルク方向検出回路が働き、力行-回生のモードが切換えられる。

(4) 界磁電流は定トルク領域では一定で、定出力領域では速度発電機の出力により弱められる。

図 10. は速度過渡応答試験, 図 11. はインパクトドロップの試験結果を示す。図 10., 図 11. より明らかなように、速度制御系の ω_c は 30 rad/sec 程度に設定されており、直流電動機に劣らぬ。

3.3 WM 形サイリスタモータ

3.3.1 WM 形コンバータの原理

コンバータの構成を図 12. に、コンバータの動作波形を図 13. に示す。このコンバータには H 群、L 群の 2 組の直流リンクをもった周波数変換装置が並列に接続されている。すなわち H 群、L 群は、それぞれ電源電力を直流電力に変換するコンバータ部と、直流電力を交流電力に変換するインバータ部より構成される。

H 群及び L 群の直流側電流は、電動機の電圧位相と同期して 90 度位相をずらして制御される。図 13. の時点 t_1 より t_4 の期間は U 相電動機電圧は正の半サイクルで、 t_1 より t_2 の時点では L 群電流は正弦波の 0 度より 60 度の波形に制御され、H 群電流は正弦波の 120 度より 180 度までの波形に制御される。インバータの点弧アームは点弧理論に示されており、U 相電流は L 群電流、H 群電流又は両者の合成電流となる。H 群電流と L 群電流の合成も正弦波電流の一部となるので、電動機電流は完全な正弦波となる。力行-回生、正転-逆転各モードにおいても、図示される点弧理論により完全な 3 相交流により駆動され、トルク脈動のない方式が実現される。通常のサイクロコンバータと同じく WM 形コンバータの電流整形は、電源側コンバータにより行われるため、電源側制御パルス数により波形整形の限度があり、上限周波数は 20 Hz 程度に押さえられる。一方、直流回路のインバータ側には直流電圧が対向して存在するので、電源側コンバータの位相制御角を深くしぼり込まず波形整形が可能となり、電源側力率がサイクロコンバータより優れていることが確認されている。サイクロコンバータでは、コンバータが転失失敗し直列 2 アームが短絡するとこの状態を開放することが困難であるが、WM 形コンバータでは、2 組のコンバータが直列に接続されているので、転失しない側のコンバータを回生モードに切換えることにより転失電流をしゃ断することができる。

WM 形コンバータでは、従来形直流リンクコンバータが 2 組並列に接続されていることに注目すると、高速領域では電動機電圧による負荷転流に切換える WM-CS 形が構成できる。WM-CS 形では、高速時には L 群及び H 群直流回路電流は平滑な直流で両者が平衡したも

のとして制御される。このとき、電源変圧器を人→の2次巻線とすると12相相当電源となり、高周波分も改良される。

3.3.2 電動機

電動機の巻線構成は、界磁巻線は直流多相形と同様に電磁氣的に互いに直交する主界磁巻線と補償界磁巻線から成っているが、電機子巻線は通常の3相巻線である。

3.3.3 制御方式と試験データ

図14. に制御構成を示す。

(1) 制御系は電流制御をマイナーループとする速度制御で、主界磁及び補償界磁の電流制御も直流多相形と同一。

(2) 電流制御系の出力は電流パターン回路に与えられ、電動機に直結された分配器及びパルス発信器の信号で作られるH群、及びL群の電流基準の振幅を変える。

(3) パルス発信器のパルス数をカウンタで数え、ROMに記憶された正弦波関数のパターンを読み出している。

(4) H群及びL群はそれぞれ電流制御系があり、電流パターンCPGの出力に応じた電流制御を行う。

(5) 電流検出回路は、電動機の q 軸電流成分をアルゴリズムで計算している。

図15. はトップ速度までの加速試験結果を示す。

4. む す び

圧延用直流電動機の最近の指向と、過酷運転に耐え得る新技術の内容を紹介して需要家のニーズにこたえとともに、更に向上を期して精進努力を続けている。

一方、サイリスタモータは本質的に電圧、容量に制限がない特長があり、まさに単機大容量化時代に適しており、無保守化の要請とあいまって、次代のニューフェイスとして脚光を浴びつつある。

当社は、1976年に圧延用サイリスタモータ250kWを製作納入し、圧延駆動機の交流化へ意義ある第一歩を踏み出し、諸データを整備し、

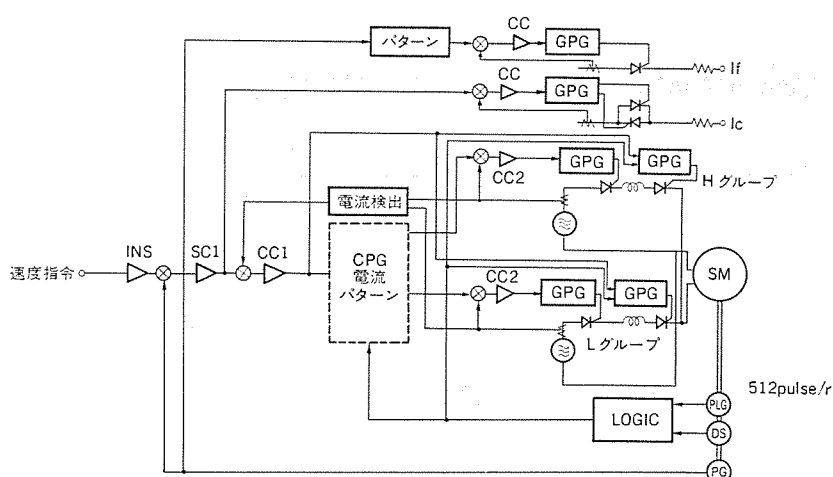


図14. WM形サイリスタモータ制御構成図

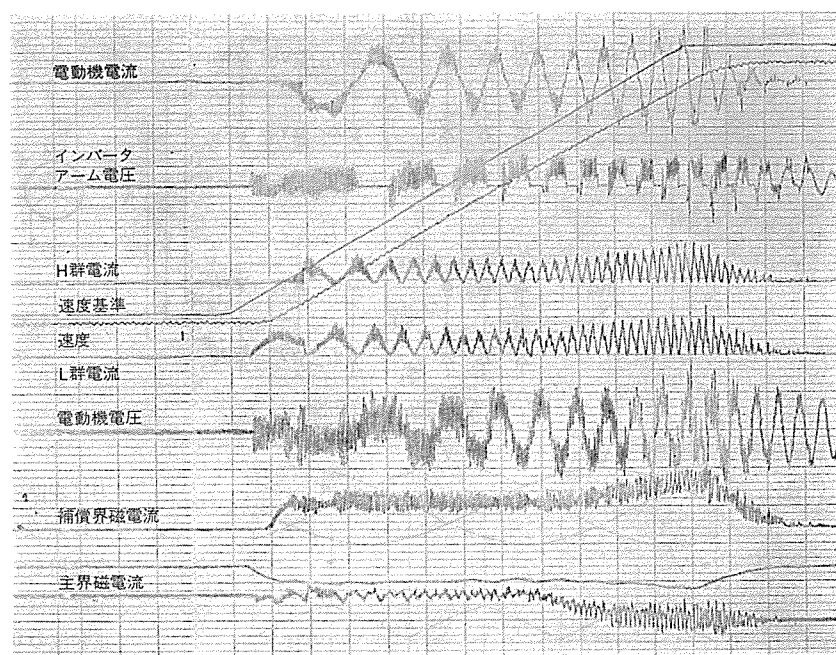


図15. WM形サイリスタモータ始動試験 0-top speed 1.2秒

大形機への適用拡大の態勢を整えた。是非とも大形圧延機への適用の機会を与えられんことをお願いするとともに、相変わらぬ三菱回転機のご愛用を切望する次第である。

鉄鋼プラント用電動機制御装置

村松英樹*・柴田謙司*・神谷秀男*・留井英明**・開高 徹**

1. ま え が き

エネルギー危機を契機として、産業界全般において、省エネルギー・省力化・自動化の重要性がますます強く認識されてきている。

この傾向は、当然、鉄鋼プラント用電動機制御装置にも影響を与えており、最近のエレクトロニクスや制御技術の進歩に伴ったかすかすの新技术が開発・採用されている。

これらに対してシリーズ化された最近の電動機制御装置について紹介する。

2. プラント構成からみた電動機制御盤

最近の新鋭鉄鋼プラント設備では、コストパフォーマンス向上のために次のような特性が要求されている。

- (1) 生産性向上のための大形化・高速化
- (2) か(稼)動率向上のための保守性・保全性向上
- (3) 製品品質向上のための性能・信頼性向上

(4) 省エネルギー・省資源による経済性向上

(5) 省力化のための自動化・合理化

等々であり、このために装置構成は複雑になってきているが、これらの要求を満たすための技術もまた急速に進歩発展してきている。

しかし、全体を構成している各装置や機器をみると、それらの技術進歩の度合には、当然のことながら(跛)行がある。そこで、全体を構成する装置を、ハードウェアとしてどのように分割、区分して革新技术を折り込み、常に新しい製品を提供するかが重要なポイントとなってくる。

鉄鋼プラント用の制御装置では、次の項目について検討を加えてハードウェアの区分単位を決定している。

- (1) 用途、目的
- (2) 動力系統、制御系統
- (3) 技術革新の進歩の度合
- (4) 仕様の確定順
- (5) 標準化と標準製品の組合せ

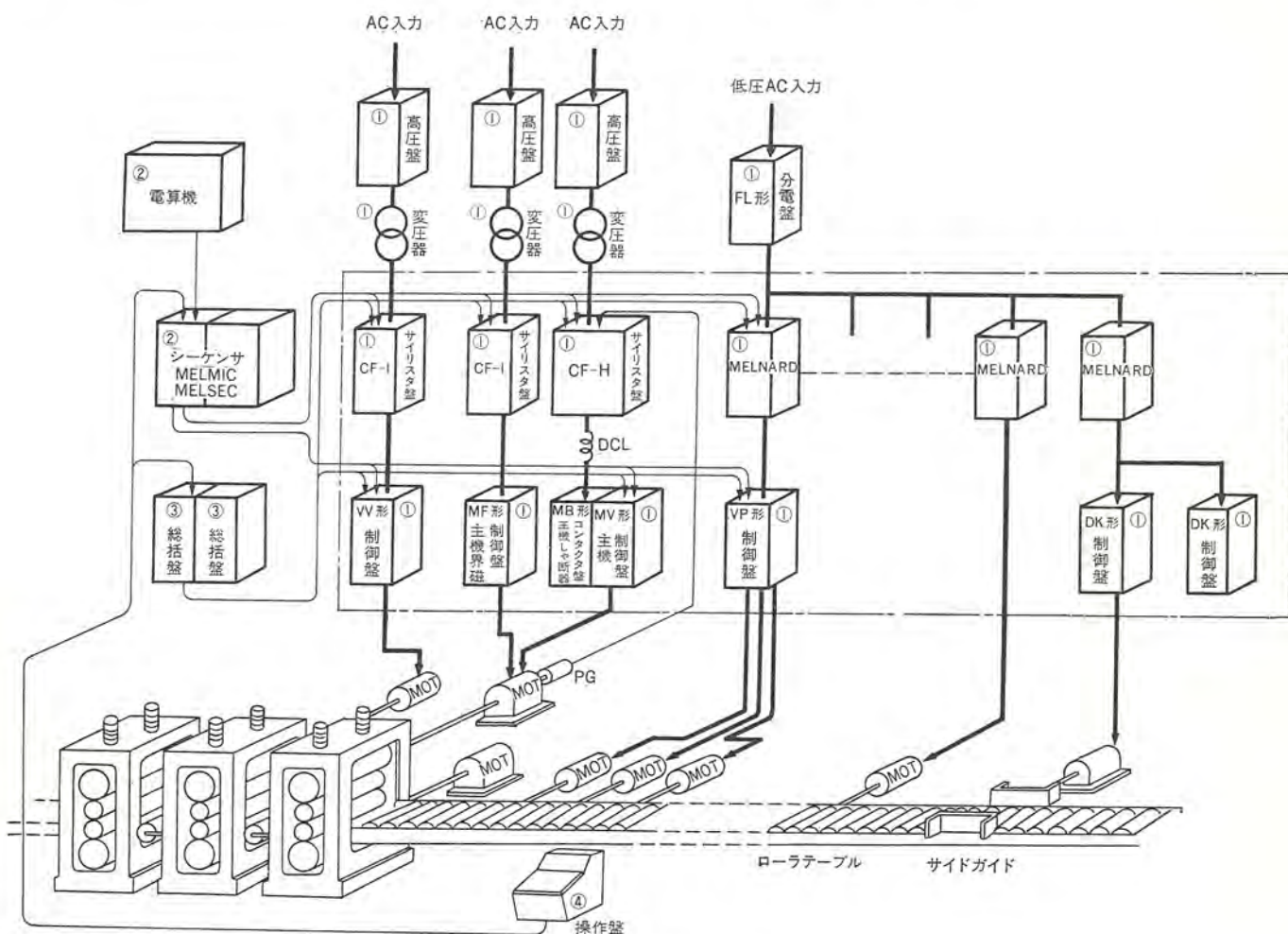


図 1. 圧延プラントの制御盤構成例

(6) 製造方法, 設備

(7) 現地すえ(掘)付工事の作業順序

当社におけるハードウェアの構成単位も、これらの点を考慮して区分されていたが、特に昭和30年後半より次のような製品区分にし、各区分内には更に標準機種体系を設け、各機種ごとに革新技術を折り込みつつ品質の向上、安定、納期の短縮、コストの低減などへの改良を常に行ってきた。

(1) 動力の変換, 調整, 制御部

(2) アナログ及びデジタル演算制御機能部

(3) プラント総括制御機能部

(4) 操作, 監視機能部

図1. に圧延プラントの制御装置構成例を示すが、本稿で紹介する電動機制御盤は、図中の1点鎖線で囲まれたもので、用途によって標準機種が設定されている。

図中の太線は、駆動電力の系統を表示し、細線は制御信号系統(アナログ及びデジタル信号)を表示しているが、電動機制御盤は周辺制御装置からの信号を受けて駆動電力の開閉, 制御, 及び電動機や装置の保護を行っている。

また、同図各機器の円内の数字は、上述の区分を示す。

3. 電動機制御装置の動向

電動機制御装置においては、エレクトロニクス技術の発達が大きな役割を果たしており、特にサイリスタ素子を応用したパワーエレクトロニクスの分野において、制御システムの小形化と質的向上とが図られ、性能や機能の面で高い信頼性・保全性・安全性が保証された、数多くの新技術が盛り込まれている製品が開発されている。

これらの新技術としては、次のような事項が挙げられる。

(1) 圧延主機用直流電動機に高電圧(900 V, 1,200 V)の採用。

(2) 直流駆動に代わるサイリスタモータの採用。

(3) 可変電圧・可変周波数インバータ(VVVF)によるテーブルロー及びヘルパロー駆動。

(4) 制御技術及びIC等のいわゆるエレクトロニクスによる制御装置類の機能並びに性能の改善。

(5) 補機用サイリスタレオナード装置での低圧受電方式の適用範囲拡大。

(6) 各種制御盤の外観及び外形寸法の統一による、据付仕事の容易さ及び統一性。

以下、これらの新技術を採用した制御装置類について紹介する。

4. 直流駆動システム⁽¹⁾⁽²⁾

4.1 主機駆動

4.1.1 サイリスタレオナード装置(CF-H形)

圧延主機用可変電圧電源の大容量サイリスタレオナード装置では、コストパフォーマンスの向上が課題とされ、その高耐圧化・大容量化を活発に進めている。なかでも、圧延主機用直流電動機に900 V及び1,200 V等の高電圧を採用し、これによって次のような利点を生み出している。

(1) 電動機自体の電気装荷と磁気装荷との間のバランスが適正になり、単機容量の増大が図れる。

(2) 外部配線ケーブル量の低減によってプラント全体の設備費の低減が図れる。

(3) 保守面においても、電流量の低減によってブラシ数が減る

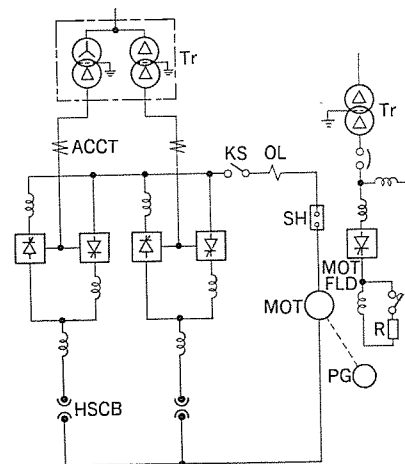


図2. 主機電動機制御回路例

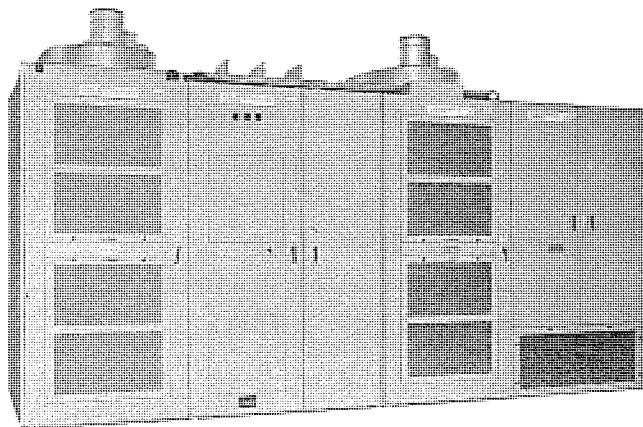


図3. CF-H形サイリスタレオナード装置

などの利点が生ずる。

(4) サイリスタレオナード装置の素子並列数低減によって部品数の減少が行われ、信頼性の向上が期待できる。

他方、高耐圧・大電流サイリスタ素子(オフ電圧4,000 V, 平均オン電流1,000 A, 形式FT 1000 BV-80)が開発された⁽³⁾。当社では、この素子を採用したCF-H形サイリスタレオナード装置をシリーズ化しており、1,200 V, 8,000 kW(100%連続, 225%1分間定格時)までを単位装置として供給している。図2. に主回路スケルトンの一例(組合せ12相整流, 可逆駆動方式), 図3. に外観を示す。

4.1.2 制御装置

当社の主機用電動機制御盤は、次のものから構成されている。

(1) MB形主機主回路盤

主回路の構成は、プラントごとに詳細に検討を加えて決定されているが、据付けの都合上、電源サイリスタ・電動機・高速度しゃ断器などの近くに置かれるために別盤にしている。

(2) MF形界磁制御盤

電動機の界磁は、ほとんど各個に専用サイリスタで制御されることが多いので、別盤にしている。

(3) MV形電動機制御盤

主電動機の付属装置(ファン・油ポンプ等)の条件や、保護装置からの信号を受け、主電動機の始動条件、トリップ条件などのインタロックを組む盤である。

従来の主回路電圧は、DC 750 Vであったが、今回DC 1,200 Vを採用するにあたり、制御盤の構成は同じであるが、各盤には次のよ

うな考慮を払った。

- (1) 制御盤はすべて閉鎖形にし、ドアハンドルは錠付きにした。
- (2) MV形制御盤では、盤内に引き込まれた高圧部分をしゃへいして安全性を高めた。
- (3) 電圧・電流の計測信号は、絶縁アンプを通して外部に引き出すようにした。

図 4. に、高圧主回路 コンタクト 盤の外観を示す。

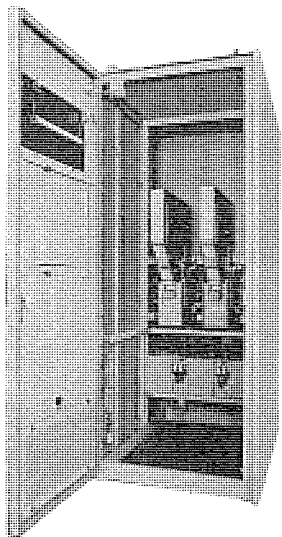


図 4. DC 1,200 V 高圧主回路 コンタクト 盤

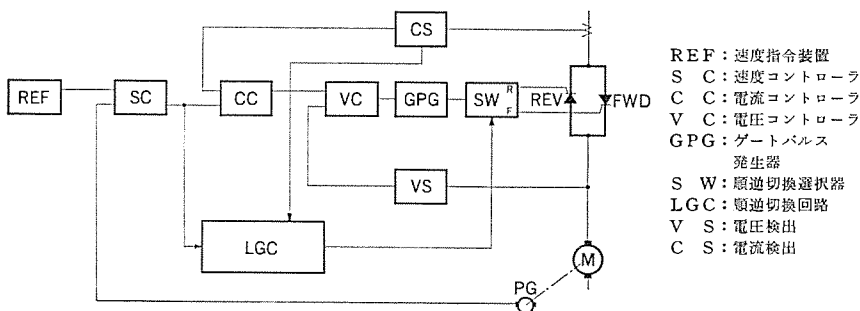


図 5. 速度制御回路 ブロック 図

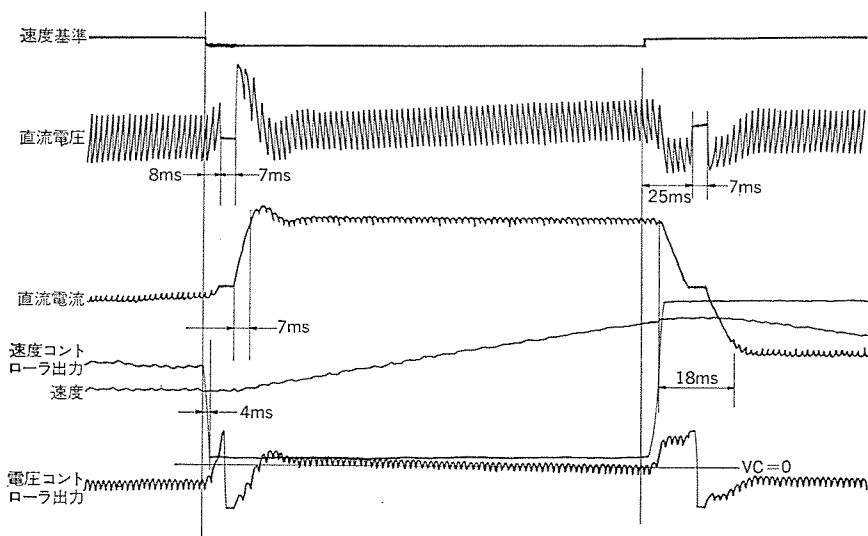


図 6. 速度制御系の応答波形

4. 1. 3 制御方式

サイリスタレオード装置の速度制御回路のブロック図の一例を図 5. に示す。速度制御回路は、その中に電圧マイナーループと電流マイナーループとを有している。電圧マイナーループの機能は、軽負荷時に電流が断続する領域では、電流マイナーループの制御性が低下し速度制御ループに影響を及ぼさない特性補償のためであり、同時に、逆並列接続無循環電流方式を採用したレオード装置の順逆変換回路のゲート切換えロジックを作るために設けられている。また、電流マイナーループは電流制限機能を持ち、サイリスタ装置に過負荷耐量以上に電流が流れないように制限するとともに、機械のはずみ車効果 (GD^2) に関係なく速度の立上りを等しくして応答を一定に制御するものである。

以前から、この逆並列接続無循環電流方式にはその利点を十分に利用した、ゲートパルス発生回路 (GPG) 1 台で順逆両変換回路を駆動するパルス切換方式が用いられている。最近では、必要な切換回路が制御部品類のエレクトロニクス化によって無接点化され、切換指令信号と電流断続検出回路との併用により、切換時間に伴う特性及び軽負荷時の制御性低下をほとんど無視できる程度に改善されている。図 6. は、この新しい方式による順逆切換時の運転特性を示すオシログラムである。

4. 1. 4 保護方式

サイリスタ変換器の保護器具として交流しゃ断器・直流しゃ断器・セルヒューズ・ゲート保護、更には必要に応じて限流リアクトルが備えられ、それらの協調によって各種の故障に対する保護が行われる。保護の程度は、その設備に期待される信頼性と、必要な保護器具の費用とを勘案して決定される。その分類は、IEEE Standard 444 規定の

Class 1 ないし Class 4 で表現されることが多い。

鉄鋼プラント用サイリスタ電源は、Class 1 又は Class 2 によることが多く、いずれも高度の保護を行ってヒューズ溶断を厳しく制限し、交流電源変動による回生中の転流失敗、直流短絡等の外部故障は、すべてゲート保護及びしゃ断器によって除去するものと規定している。主として圧延機用電源に適用される Class 1 では、不良素子及び誤点弧された素子の分離以外にヒューズ溶断があってはならないとしている。これらの目的のために変換器直流側には高速度しゃ断器を設け、その限流特性によって故障電流の立上りを抑え、かつ速やかにしゃ断する。その間の通過 i^2t がヒューズの許容値よりも十分に小さいことが必要である。推定最大電流は、故障のモードによって異なるが、その最大値は最高電圧で回生中の交流電源 1 相欠相時に現われる。当社はあり得るあらゆる重大故障時の保護協調を実機で試験し、Class 1 の保護を確認している。

なお、従来、しゃ断中のアーク電圧低減の目的で開極時に限流された電流を並列抵抗に転流した後別の開閉器で開路する手段が適用されていたが、高速度しゃ断器の改良によってこれらの補助器具なしでアーク電圧・通過 i^2t 共に許容値以下にすることに成功し、その適用範囲を

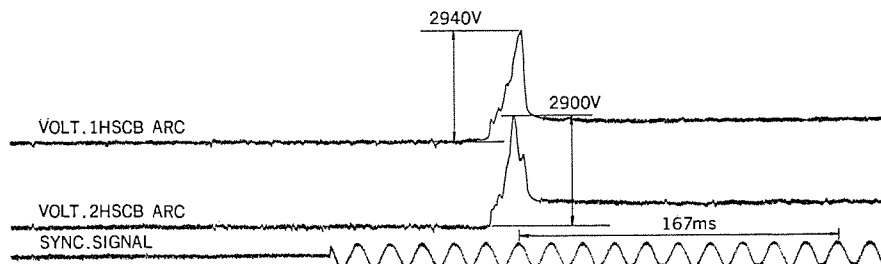


図 7. 直流高速しゃ断器のしゃ断テスト

表 1. 《MELNARD》標準定格

項番	項	目	仕	様
1	周囲条件	使用場所 使用温度 使用湿度	屋内 1,000 m 以下 -5~40°C 30~90 %	
2	交流電源	電圧 周波数 許容電圧変動 許容周波数変動	230 V 又は 460 V 3φ 50/60 Hz ±10 % ±3 %	
3	サイリスタ変換装置	整流方式 接続方式 出力電圧 過負荷耐量 出力電流 (100%連続 150%1分のとき)	3相全波整流全波制御 単基、逆並列 230 V, 460 V 100 % 連続 150 %1分 100 % 連続 200 %1分 100 % 連続 250 %1分 CF-G 3 0~200 A CF-G 4 201~360 A CF-G 5 361~540 A CF-G 6 541~720 A CF-G 7 721~1,200 A	
4	制御回路	制御方式 速度調整範囲 制御精度 運転方式 操作方式	速度制御, 電圧制御, 電流制御, 速度制限付 電流制御 1:50 (2~100 %) 定格速度に対して 0.1 % 寸動運転, 可逆運転, 非可逆運転 盤面又は遠方操作	
5	界磁	定格電圧 制御方式	DC 電源のとき DC 220 V AC 電源のとき AC 210 V 1φ 50/60 Hz 界磁一定制御	
6	その他	制動方式 冷却方式 防塵構造 防塵構造 耐圧	回生制動 風冷式 エアフィルタ 据置形 キュービクル 1,500 V 1分間	

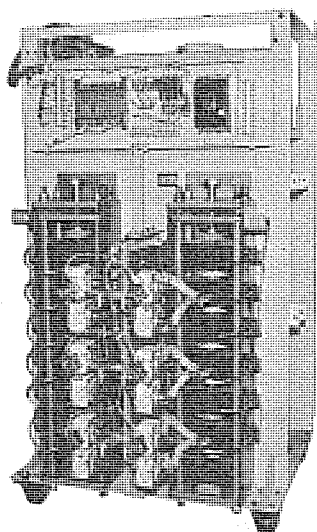


図 8. CF-G 形 サイリスタレオナード装置

DC 1,200 V 級にまで拡大することができた。

図 7. は, DC 1,200 V 5,500 kW 電動機でのしゃ断試験 オシログラム である。

4. 2 圧延補機及びプロセスライン駆動

4. 2. 1 サイリスタレオナード装置 (CF-G, I 形)

CF-G 形 サイリスタレオナード装置は, サイリスタ変換部と交直流主回路制御部とを一体化し, 信頼性と保守性の向上を目指して, 適当な制御盤内

に収納しうるようにサイリスタ変換部をユニット構造として開発した。このシリーズは, 開発して以来約3年を経過したが, この間の各ユーザの要望とパワーエレクトロニクス技術の進歩とを取り入れてこのたびの新シリーズの開発になった。主な変更点は, 平均オン電流 1,000 A の素子を使ったサイリスタユニットを新たにシリーズに組み入れ, 定格出力電流 1,200 A まで (150 %1分間過負荷定格時) 適用可能にし, 従来ならば, サイリスタ素子並列数の多い別シリーズで対処していた範囲までを1並列構成のこのシリーズで対処可能にした。このため, サイリスタ素子はもちろんのこと, 付属するヒューズ, サージアブゾーバなどの個数も減少させることができ, 保守性と信頼性の向上が図れた。このCF-G 形シリーズの定格一覧と, 最大容量のCF-G 7 形の外観を表 1. と図 8. に示した。

CF-I 形 サイリスタレオナード装置は, CF-G 形が低圧受電用に製作されているのに対し, 高圧受電及び補機用大容量装置として製作されている。このシリーズについても, 従来のCF-D 形, E 形シリーズに使用されていた平均オン電流 500 A 素子に代えて平均オン電流 1,000 A の素子を採用した。このために並列素子数がほぼ半分になり, 並列数が多いときに必要なゲートパルス増幅器 (ゲートパルス発生器からのパルス信号をパワー増幅する回路) などなくなり, 装置の小形化が図れた。このシリーズは, 460 V 2,210 kW (100 % 連続, 150 %1分間過負荷時) まで賄うことができる。このCF-I 形の外観を図 9. に示す。

4. 2. 2 制御装置

圧延プラントの補機には, プッシュ・サイドガイド・圧下・テーブルなどがあり, プロセスプラントでは, リール・ブライドル・ヘルパモータなどがあるが, これらの電動機制御盤は, 次の条件に基づいて機種が決定されている。

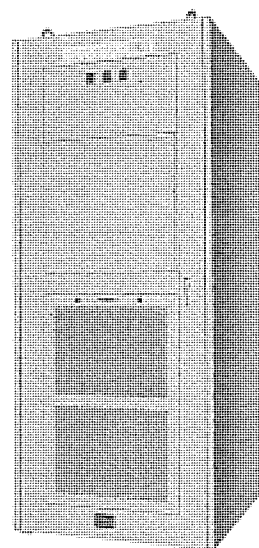


図 9. CF-I 形 サイリスタレオナード装置

- (1) 対象電動機の容量
- (2) 用途と制御方式
- (3) 電動機への給電は、定電圧か、可変電圧か
- (4) 直流電源と電動機との組合せは、1:1 か、1:n か

当社は、これらの用途に適用するため表 2. に示す標準機種を用意している。

表 2. 標準補機制御盤

区 分	機 種 名	機 能	主 要 仕 様
可変電圧制御盤	VV 形可変電圧制御盤	別盤のサイリスタレオナードと組合せて、主回路開閉と電動機の保護を行う	出力電圧 DC 230 V 460 V 500 V 出力電流 DC 300~4,000 A 主 用 途 CP 動力電源、可変電圧電源
	MELNARD	CF-G 形サイリスタレオナードと AC 側及び DC 側開閉制御装置とを一体にして制御する	出力電圧 DC 230 V 460 V 出力電流 DC 20~1,200 A 主 用 途 圧延補機及びプロセスプラント
定電圧制御盤	DK 形定電圧制御盤	定電圧電動機の始動、制御保護を行う	出力電圧 DC 220 V 出力電流 DC 20~2,500 A 主 用 途 定電圧圧延補機
複数電動機制御盤	VP 形電動機制御盤	複数台の電動機が、1 電源に接続されときの電動機保護と主回路開閉	出力電圧 DC 230 V 460 V 出力電流 DC 20~2,500 A 主 用 途 圧延補機及びプロセスプラント
	VH 形ヘルパモータ制御盤	複数台のヘルパモータについての電動機保護と主回路の開閉	出力電圧 DC 230 V 460 V 出力電流 DC 10~50 A 主 用 途 プロセスプラントのヘルパモータ制御
引込分電盤	FN 形引込分電盤	主回路及び制御回路の列盤引込及び分電	出力電圧 AC 230 V 460 V 3φ DC 220 V 出力電流 30~2,000 A

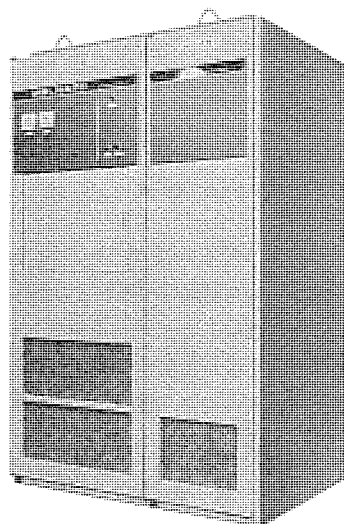


図 10. 《MELNARD》DC 440 V 1,200 A

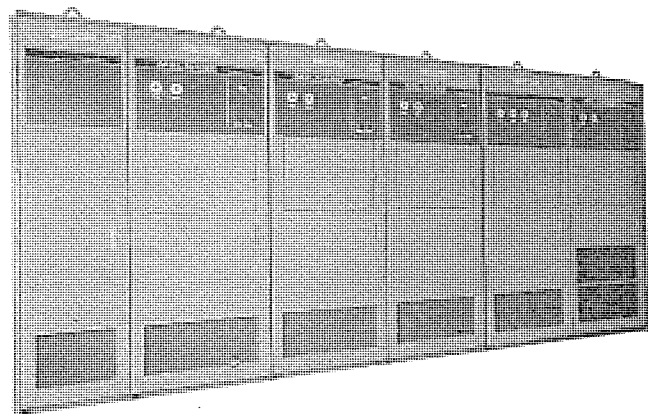


図 11. 《MELNARD》ファミリシリーズ 制御盤

補機用サイリスタレオナードは、今回、電流容量で 1,200 A までの一体化に成功し、これを《MELNARD》の名称でシリーズ化した。表 1. にその仕様を、また図 10. に外観を示す。

表 2. にあげた《MELNARD》以外の機種については、機械ヤードに設置される VH 形 ヘルパ 電動機盤を除く他の制御盤は、設置場所・列盤・電源系統など、《MELNARD》と関係が深いので、《MELNARD》のファミリシリーズとして次の事項を統一し、標準化している。

- (1) 外形寸法・据付寸法・外線引込孔の統一
- (2) 外観 デザイン の統一
- (3) 制御電源の AC 化
- (4) ユニット方式の採用

これらの統一標準の結果、機種間共用部品の拡大、工作方法の標準化によって品質の安定、納期の短縮、コストの低減などのメリットのほか、据付計画の容易性、統一性による美観向上などのメリットもある。図 11. に《MELNARD》と他機種とを列盤にした場合の外観を示す。

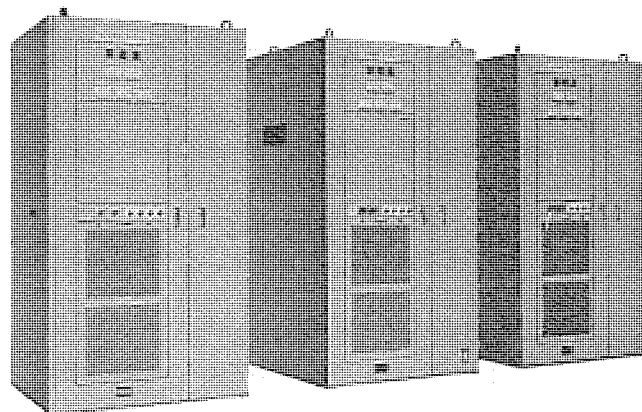


図 12. FV 形 VVVF (100 kVA 以下)

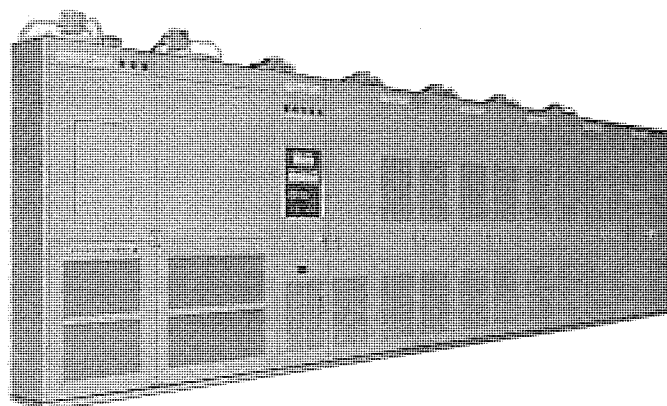


図 13. FV 形 VVVF (1,000 kVA 以下)

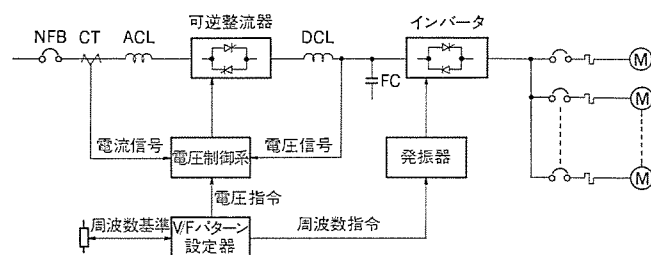


図 14. VVVF 制御 ブロック 図

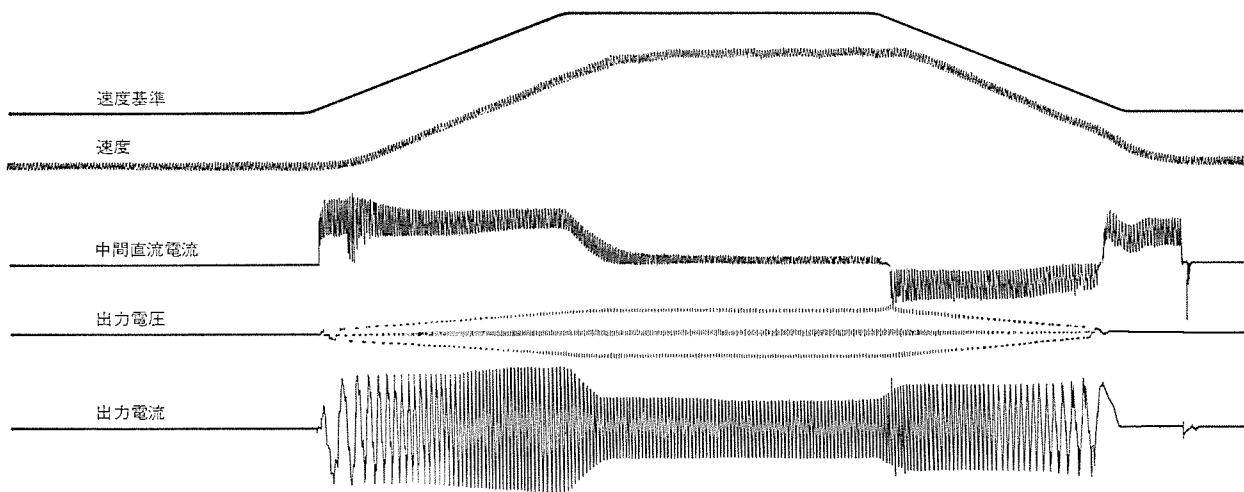


図 15. VVVF による テーブル 駆動の加減速特性

5. 交流駆動システム

交流電動機の変周波数駆動システムは、従来、直流電動機のサイリスタレオード装置を使った閉ループ制御システムの代わりに、ブラシレスの利点と、交流電動機の本質的な電源周波数に対する同期性能とにより、省力化・高速化の要求と、多数台電動機のせん(揃)速駆動に対する要求に、理想的なシステムとして注目され、各分野においてその需要が拡大されている。

このような可変周波数駆動の電源装置には、大・中・小容量を問わず、サイリスタ式インバータ(VVVF)が用いられ、各種駆動装置の交流化がすすめられ、ホットランテーブルのような急加減速を行うものにも VVVF が採用されつつある。

当社では、鉄鋼プラント補機駆動用として FV 形インバータを開発し、100 kVA 以下(図 12.), 100 kVA を超え 1,000 kVA 以下(図 13.), 更に 1,000 kVA を超える装置の 3 種のシリーズ化を図っている。これらは、いずれも電圧形インバータであり、ブロック図を図 14. に、また加減速時のオシログラムを図 15. に示した。

近年、パワートランジスタの開発により、小容量可変電圧・可変周波数電源装置の主変換素子にパワートランジスタを採用したトランジスタ式 VVVF が製品化され、プロセスライン用ヘルパなどの個別電動機駆動用電源として保守性・省力化・信頼性の点から採用される機運にある。15 kVA のトランジスタ式 VVVF の外観を図 16. に示す。

他の交流可変速駆動にサイリスタモータがあるが、これについてはこの特集別稿を参照されたい。

6. む す び

電動機制御装置に関して、最近の動向と新技術について述べ、標準

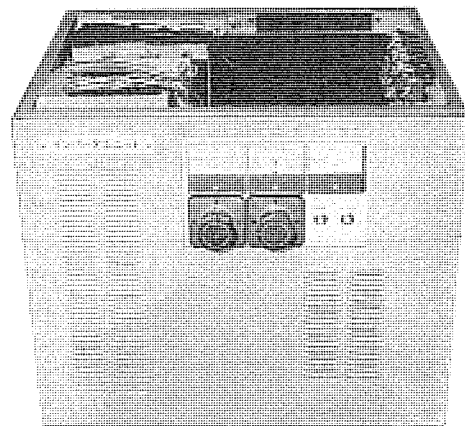


図 16. 15 kVA トランジスタ式インバータユニット

化シリーズを紹介した。これらのシリーズは、サイリスタを中心としたパワーエレクトロニクス技術進歩により制御性の高いものが作られているが、今後は信頼性の高い、保全性のよいシステムを構成し、市場のニーズにこたえるよう不断の努力を惜しまないつもりである。平素ご指導、ご愛用いただいている需要家各位の一層のごべんたつをお願いする次第である。

参 考 文 献

- (1) 平山, 開高ほか: 三菱電機技報, 48, No. 2, 173 (昭 49)
- (2) 平山, 柴田, 田中, 貴志: 三菱電機技報, 48, No. 2, 180 (昭 49)
- (3) 北陽, 岩本, 寺尾: 三菱電機技報, 50, No. 9, 459 (昭 51)

鉄鋼プラントにおける電子制御装置の応用

外山 守城*・松谷 勝己*・林 敏弘*・山本 修*・大野 宣男*

1. ま え が き

近年、鉄鋼プラントの大形化、ラインの高速化、製品品質の高級化は著しく、これに伴い設備の制御は、高速・高精度・複雑高度なものになってきている。当社は、鉄鋼プラント電機品の製作には永年の経験と実績を有し、これらに基づいた技術力によって最新鋭鉄鋼プラントの運転に適した電子制御装置を多数納入している。

電子制御装置をその機能によって分類すれば、①制御（シーケンスと演算）、②監視、③計測に分けられるが本文ではまず制御機能を果たす装置の変遷を論じ、最近開発したマイクロプロセッサ応用のプラントコントローラ《MELPLAC》⁽²⁾⁽³⁾の適用のポイント並びに適用事例を述べる。次いで監視機能を果たす装置の現状とその特長を記し、併せて計測面では特に圧延幅方向の品質向上が期待できる冷延鋼板形状検出装置の紹介をする。

2. 制 御

図1. は《MELPLAC》制御盤の写真である。

2.1 コントローラの変遷

電子制御装置の発達には、社会経済情勢、客先のニーズ、そして半導体の進歩との有機的結合に負うところが大きい。図2. は昭和40年ごろからプラントコントローラ《MELPLAC》の出現に至るまでの、これらの関係を図式化したものである。

昭和40年代の前半は、高度成長経済のもとで各企業は生産を増大させるために生産設備を増強し、自動化・省力化が大いに叫ばれ、電子制御による多くの自動化・省力化装置が製作された。このころの電子制御はシリコントランジスタの発達によっており、ディジタル制御はプロダック制御盤により、またアナログ制御はTOA制御盤により実現された（TOA；Transistorized Operational Amplifier）。

昭和40年代の中ごろになると、設備の大形・複雑化は更に強ま

り、制御装置もこれに伴い大形・複雑化した。半導体素子では集積回路“IC”が出現し、従来のシリコントランジスタに置き換わった。これにより大形・複雑化した制御装置が小形に、容易に製作されるようになった。

昭和40年代の後半になると、大形・複雑化した制御装置の信頼性と保守性が大きくクローズアップされ、ワイヤドロッジックの限界が論議された。また多様化する制御システムのニーズに対し、制御装置はフレキシビリティと高級制御機能とが要求されるようになり、プログラマブルコントローラの出現を見た。この時期に当社では、数値演算制御用にマイクロコントローラ《MELMIC》100を、またシーケンス制御用にシーケンサ《MELSEC》シリーズを開発し、現在までに多数納入している。

更に、オイルショック後の減速経済下にあつては、省資源・省エネルギーが叫ばれ、生産効率の向上、か（稼）動率の向上が要求され、より処理性の高い制御システム並びに制御装置が要求され、最近のマイクロプロセッサを採用したプラントコントローラ《MELPLAC》の製品化に至っている。

図3. は、当社の鉄鋼プラントにおける制御装置の変遷を、制御機能との関連に着目して図式化したもので、プログラマブルコントローラの浸

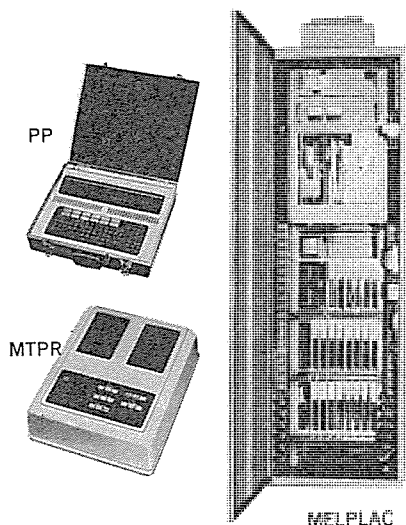


図1. プラントコントローラ《MELPLAC》制御盤

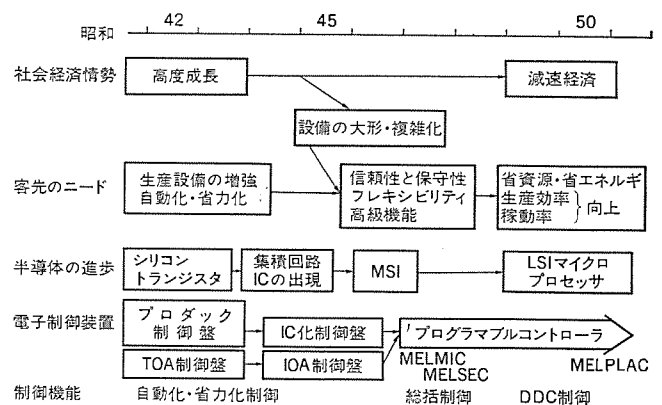


図2. 電子制御装置の変遷

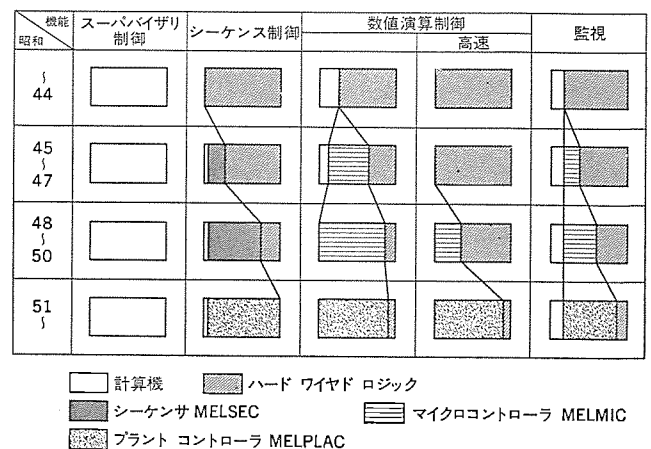


図3. 鉄鋼プラント制御用電子制御装置の変遷

表 1. 各種プラントにおける使用リレー個数の変遷

プログラマブル コントローラ	厚板ミルプラント 制御	大径溶接管ライン 制御	大形プロセスライ ン制御
適用しない	100 %	100 %	100 %
適用する	60 %	40 %	22 %

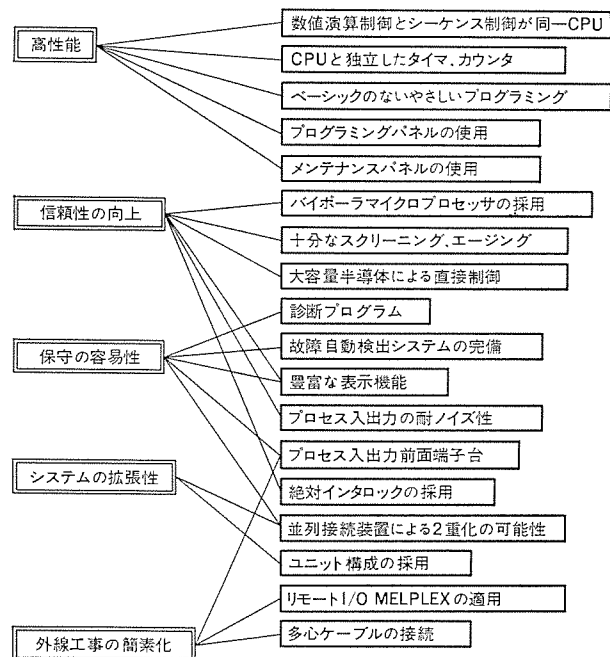


図 4. 要求機能と対応手段

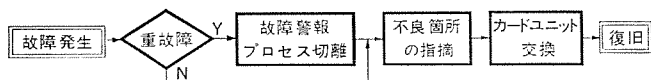


図 5. <MELPLAC> 故障復旧のフローチャート

表 2. CPU 故障一覧

	エラー項目	検出場所	表示場所	接点出力	割 込	エラー発生後の CPU 状態	エラーリセット
重故障	電源装置の故障	電源装置	CPU 電源のみ CPU-1 カード	CPU 電源を除く電源ごと		STOP	異常復帰
	異常温度上昇	CPU-2 カード					
	ロジックエラー	CPU-1 カード	CPU-2 カード				リセット スイッチ
	クロックエラー	CPU-2 カード					
	制御メモリバリエーションエラー	CPU-1 カード 制御メモリ	CPU-2 カード 制御メモリ	CPU 電源 故障と一括			
	制御メモリノイズライ	CPU-2 カード	CPU-2 カード				
	制御メモリガードエラー	制御メモリ	制御メモリ				
軽故障	オンライン診断プログラム		PO カード				
	AC 電源断	CPU 電源	※		H-0	RUN	電源復帰
	Pバスバリエーションエラー	CPU-1 カード	※ データメモリ		H-1		
	Pバスノイズライ	CPU-2 カード	※	※※	H-3		割込 センス
	Pバスガードエラー	データメモリ	※ データメモリ		H-4		
	オーバフロー	CPU-1 カード	※		H-5		

※ プログラムにより点灯するランプがメインパネルに4個あるので、プログラムにより任意に点灯させることができる。

※※ プログラムで動作するリレーが1個あるので任意に出力させることができる。

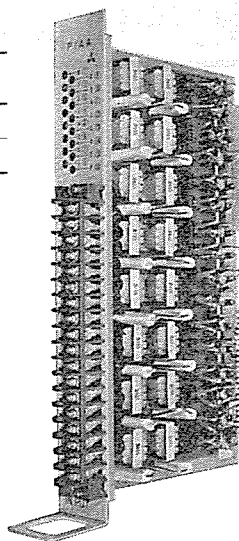


図 6. PIO カードの構造

透が一目りょう然である。

プログラマブルコントローラの適用は、電機メカにおいても大形・複雑化した制御装置の信頼性に対する解決、複雑多様化した制御システムの制御装置につきものの改造作業の容易性、企業としての生産性向上などを実現するために不可欠となった。表 1. は同規模、同種プラントにプログラマブルコントローラを適用した場合としない場合の、リレー個数を比較したもので、プログラマブルコントローラを適用した場合のリレー個数の減少が著しい。

このように客先のニーズと電機メカの意志が合致したところにプログラマブルコントローラ発展の大きな要因があろう。

2.2 プラントコントローラ<MELPLAC>の特長

図 4. は、要求される機能とそれを実現するための特長ある手段を図式化したものである。これらの特長について述べる。

(1) 高性能……マイクロプロセッサの使用と、POL (高級制御向け言語) の採用により、数値演算制御とシーケンス制御とが1台で行える高性能なコントローラを実現している。

(2) 保守の容易性……(a) 故障復旧: 図 5. のフローチャートに従い、カード若しくはユニットの交換により簡単に故障復旧できる。(b) 定期点検: 可動部の摩耗部分を少なくしているので、定期点検の箇所を減少している。

(3) 信頼性の向上……装置自身の信頼性向上以外に適用プラント制御システムの2重化、ロードシェア化が実現できる構成になっている。

(4) システムの拡張性……プラント制御システムの変更、増設に柔軟に対処できる。更に並列接続装置による大規模な拡張も容易である。

(5) 外線工事の簡素化……(a) 外線ケーブル費用の低減。(b) 外線ケーブルダクト費用の低減。(c) 配線工事費の低減。

(6) 故障自動検出システムの完備……<MELPLAC> の予想される故障を重故障と軽故障に分類している。故障が発生した場合、いずれも制御対象に影響を与えるが、その中でも全体に影響するものを重故障、局部的に影響するものを軽故障として区別して扱っている。このうち、重故障の各項目に対してはハードウェアで監視しており、異常信号によりプロセス出力を断として無用の出力を出さないようにしている。表 2. は CPU 故障一覧である。

(7) 豊富な表示機能……<MELPLAC> の重故障が表示されているので、重故障が一目で分かる。またプロセス入出力の状態が表示されているので、プロセスの動きが容易には把握できる。

(8) プロセス入出力前面端子台……プロセス入出力カードは、図 6. に示す前面端子台構造になっているので次の特長が生まれる。

(a)前面が端子台なのでチェックが容易。(b)プロセス入出力の強力な耐ノイズ性。(c)プロセス入出力の外線直接つなぎ込み。(d)多心ケーブルの接続。

(9) プロセス入出力の耐ノイズ性……最適フィルタによりノイズの発生と侵入を防ぐとともに、ノイズ源となるプロセス信号線を盤表面側に、またノイズを受けやすい論理レベルの信号線を盤裏面側に配線し、耐ノイズ性を高めている。

(10) リモート I/O の使用……三菱信号伝送装置《MELPLEX》320 を

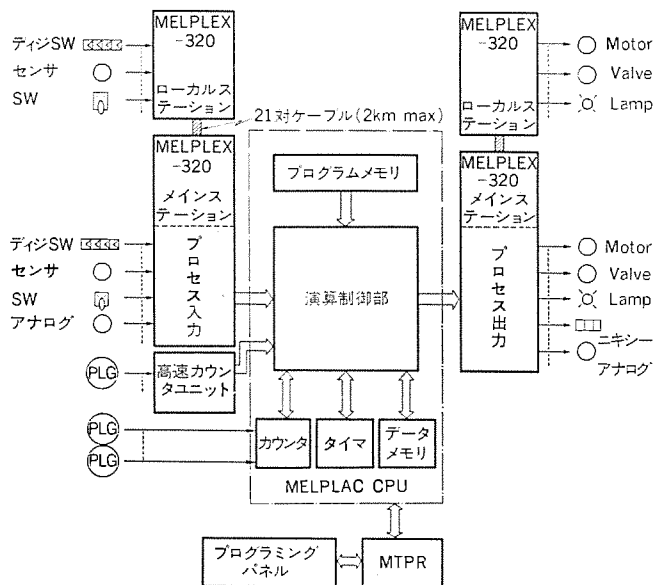


図 7. 《MELPLAC》システム構成

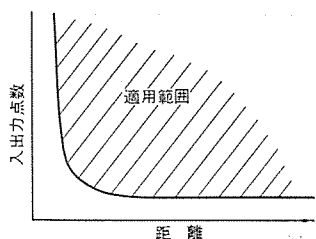


図 8. 《MELPLEX》の経済適用範囲

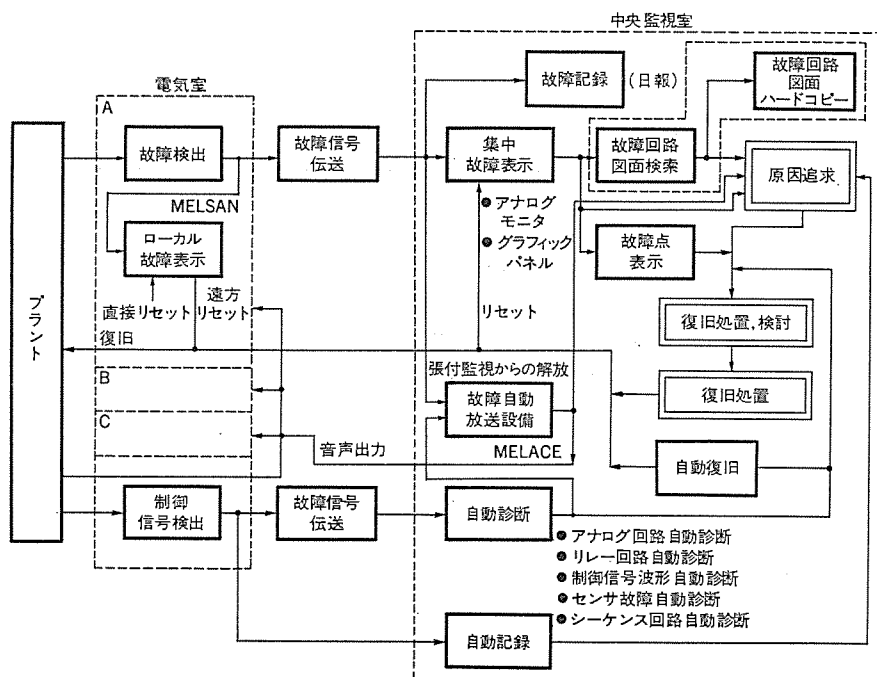


図 9. 故障監視機能系統図

(1) プロセス入出力の一部として用いることにより、容易にリモート I/O 構成が実現でき、ワイヤセービングシステムが可能になる。

(11) 絶対インタロックの採用……システムの信頼性を向上させるには、その構成機器の信頼性の高いことは不可欠であるが、更に安全性・稼働率の向上が重要である。《MELPLAC》の適用システムではフェイルセーフ機能を実現するため、絶対インタロックを採用している。

半導体回路はリレー回路と比べてはるかに高信頼性を有しているが、リレー回路のほうが比較的容易にフェイルセーフ機能を実現でき、また危険分散も考慮して、必要により《MELPLAC》出力の後に有接点のインタロック(絶対インタロックと呼ぶ)をつける。

2. 3 《MELPLAC》の応用

2. 3. 1 鉄鋼プラントへの《MELPLAC》応用のポイント

ここでは鉄鋼プラント DDC 制御を構成するための基本機能が《MELPLAC》の特長ある機能によって、いかに効率よく構成されるか、プラントとの直結性の面から数例を紹介する。図 7. に《MELPLAC》のハードウェアアーキテクチャを示す。

(1) 位置検出……この検出は鉄鋼プラントではモータ制御が大部分であるため非常に多く発生するが、従来は PLG (パルス発信機) からのパルスを直接コントローラの割込みで受けソフトウェアでカウントするか、又は CPU デューティに余裕のないときは別に外部ハードウェアカウンタを設けるかであった。

《MELPLAC》の場合は、CPU 内のカウンタが位置検出用のカウンタとなる。このカウンタは CPU とは別プロセッサであり、PLG のパルスレートにより CPU デューティが影響を受けることはない。

(2) ライン速度計測……速度計測は、圧延ロール又はブライドルロールなどの材料の移動と同期して回転するロールに結合した、PLG からのパルスを一定時間計測することによってライン速度を計測している。一般にこの場合のパルスレートは高く、前述のカウンタでは不可能で《MELPLAC》では高速カウンタユニットを用意している。

この場合、ロール径を $D(m)$ 、PLG のパルスレートを $P(P/rev)$ とすると、サンプリング時間を $t(sec)$ とすると

$$t = \frac{60 \pi D}{P}$$

の関係が成立する。高速カウンタユニットはダウンカウンタユニットへサンプリング時間を、プログラム若しくはハードウェアでプリセットすることができ、速度カウンタの結果をプログラムで読み簡単に速度計測システムが実現できる。

(4) 《MELPLEX》の使用……《MELPLAC》経由の入出力も、そうでない入出力も同じソフトウェアで読むことができるので、図 8. の《MELPLEX》適用範囲に従って導入を検討するだけでよい。

3. 監視

鉄鋼プラントにおける故障監視機能を図 9. に示す。これらの機能は、予防・予測・監視・診断・復旧、に大別される。この中で現在プラントに適用されている故障監視、故障解析について述べる。

3. 1 表示監視

故障監視システムの主要な機能の一つであり、

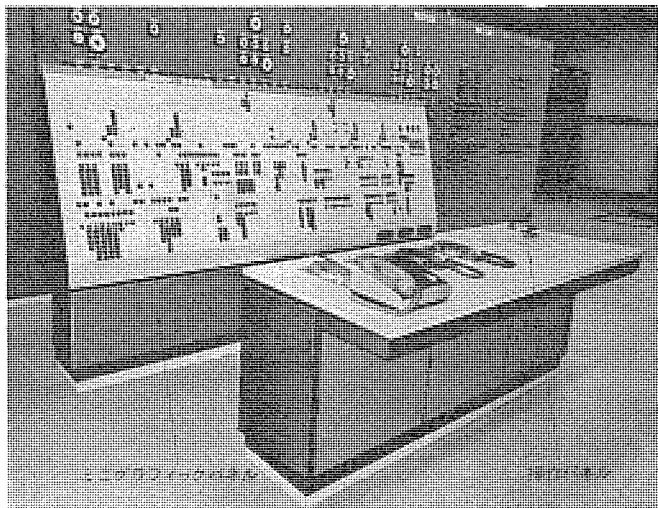


図 10. ミニグラフィックパネル と操作 パネル

従来の表示灯及びフラグ式機械故障表示器に代わって電子装置化、小形化を図っている。

3. 1. 1 ミニ グラフィックパネル

システム電源系統の複数監視を行う上で大形グラフィックパネルが必要になる。グラフィックパネルの方式としては、

(1)固定模擬母線方式(従来方式)。(2)モザイクパネル方式。(3)プロジェクティングディスプレイ方式。(4)CRT方式。(5)エレクトロルミネッセンスダイナミックディスプレイ方式。

が考えられる。CRT方式はコンピュータシステムとインタフェースして最もダイナミックなディスプレイが可能であるが、複数監視のための大形化が困難で固定模擬母線パネルとの併用が必要である。図10.に(1)項を電子装置化、小形化したミニグラフィックパネルの例を示す。(3)項については、液晶を利用した大画面ディスプレイ装置がある。

3. 1. 2 故障点表示装置

表示灯、フラグ式故障表示器が多く採用されているが、スペース的に集積化し、更に複数個の故障の同時発生に対して故障発生順序を表示する電子式故障表示装置を製作納入した。

この装置の特徴は下記のとおりである。

(1) 遠方リセットが可能のため部分的な監視対象電源断時に従来の機械式フラグ表示装置のように、全点1点ごとにリセットする必要がない。

(2) スペース的にコンパクトになっており監視対象の増大に容易に対処できる。

3. 2 集積化、小形化された操作パネル

総合監視盤においては、電源の投入、シャ断を遠方操作する機能があり、これらの機能のためのスイッチ群が開閉対象機器に1:1に配置されている。このスイッチ群はプラントの運転上重要な機能を果たし高い信頼性を要求されるものであるが、監視盤面上広いスペースをとることになり、盤すえ(掘)付面積の増大につながる。この点を考慮しスイッチ群の集積化、小形化を実現した操作選択表示パネルを図10.に示している。このパネルでは操作対象機器番号をスイッチで選択し、該当ランプ表示により選択指示が正しい事を確認の後、投入又はシャ断の押ボタン操作を行う。選択-操作の2段階操作によって操作の信頼性を保持している。

3. 3 保守監視業務の合理化、機動化

保守の主要業務である故障診断、復旧作業と同時に、限定された保

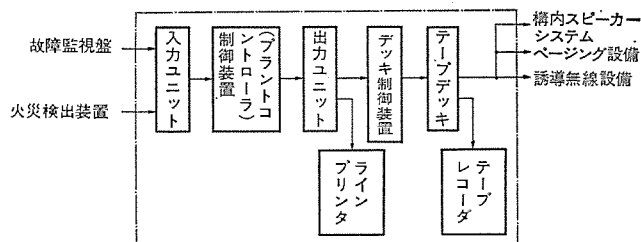


図 11. 故障自動音声通報装置 システム 構成

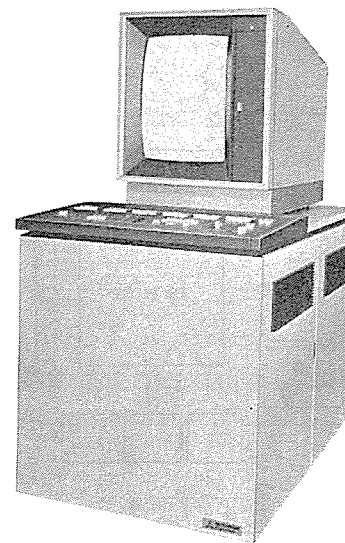


図 12. アナログトレースバック

表 3. アナログトレースバック 装置仕様

1. プロセス入力	±10 V (P-P) アナログ入力 入力チャンネル数 最大 26
2. トリガ入力	接点入力 (DC 100 V, 0.1 A) a 接点
3. ディスプレー	(1) 20" 高解像度カラープロットティング (2) 水平 512 ドット, 垂直 256 ドット (3) 16 チャンネル同時映像 (4 ブロック×4 チャンネル)
4. データ分解能	(4) 振幅倍率 1, 2, 4 倍 (5) 時間率倍率 1, 2, 4, 8, 16, 32 倍
5. サンプリング時間	8 BIT
6. データメモリ時間	1 ms 以下
7. チェック機能	最大 2 s
8. 外形	(1) ペン書オシロ接続出力 最大 DC ±10 V (2) メモリデータ オフラインチェック (3) テストパターンチェック (4) マニュアルトリガ
	高さ 1,580×横 815×幅 600 mm

守要員の機動化、効率化をさまたげているものとして

(1)表示監視主体の保守監視体制によって起因する監視員の監視盤張付業務。(2)多数の監視対象の日常の定検記録。

がある。この面の改善策として、故障自動音声通報装置、故障日報作成装置を製品化納入している。

3. 3. 1 故障自動音声通報装置

図11.にシステム構成を示す。この装置は、発生故障に対し故障発生場所、故障内容を自動的に迅速かつ正確に構内要所に音声通報する。更に誘導無線設備と音声信号とでインタフェースし、電気室外出勤中の保守要員に通報するとともに発生時刻、故障記号を自動プリントアウトし、自動録音も行う。

3. 3. 2 故障監視日報作成装置

従来の整備作業日誌作成を機械化したもので、故障発生の日時、内容、処置をプリンタ、タイプライタ等で自動的に記録する。これにより定

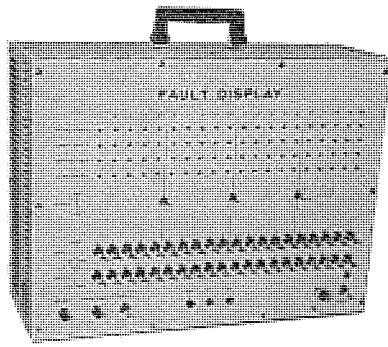


図 13. ポータブル 形故障監視装置

表 4. ポータブル 形故障監視装置仕様

故障表示点数	20点 (5点×4ブロック)
電源電圧	AC 100, 110, 200, 220 V
故障表示	故障点をすべて表示 (発光ダイオード) 各ブロックの最初に起こった故障点の表示 (発光ダイオード)
分解能	3 ms
故障監視接点引加電圧	AC 220 V (50/60 Hz) 以下 DC 220 V 以下
監視接点, 故障監視装置間絶縁耐圧	AC 1,500 V 1分間
外形	高さ 360×横 510×幅 280 mm

形的ルーチン作業からより高度な保守監視業務に集中可能となり総合効率化、機動化に寄与する。

制御装置にはプラントコントローラ《MELPLAC》を使用している。

3. 4 故障解析

プロセスの故障が突発的な故障であったり、多くの故障が連鎖的に起こった場合などその故障の原因を見出すことが困難な場合が多い。このような故障の解析が容易にできるようにした装置として、アナログトレースバック装置とポータブル形故障監視装置を製作している。

3. 4. 1 アナログトレースバック装置

プロセスの突発的な故障に伴う過渡現象を記憶し CRT 画像ディスプレイに現象波形を再生映像化し、故障原因追求のためのデータを提供するプラント監視装置である。その外観を図 12. に、仕様を表 3. に示す。

3. 4. 2 ポータブル形故障監視装置

この装置は常時閉接点を監視するもので、この接点が一時的にでも開になれば故障表示するものである。また多くの故障が連鎖的に起こった場合、最初に起こった故障及び 2 番目、3 番目の故障を表示することによって故障の原因となった箇所を見出すことができる。使用中の接点にこの監視装置を付加することができ、ポータブルタイプなので故障原因を追求したい場所に持ち運ぶことができる。外観を図 13. に、仕様を表 4. に示す。

4. 計 測

最近では圧延加工プロセスにおける品質管理が、需要家の要求品質の高級化に伴い、より高精度・より広範囲へとその重要性が深まってきており、この品質向上を目的とした計測装置が新たに要求されるようになってきている。ここでは、鋼板品質の一つとしての形状(耳のび・中のびなどの鋼板の平たん(坦)度)をオンラインで検出する冷延鋼板検出装置について紹介する。

4. 1 冷延鋼板形状検出装置の概要

冷間圧延、調質圧延ライン等はハイテンション操業であるためオンラインでは形状不良が潜在化し、あたかも形状良好材のように観察され、

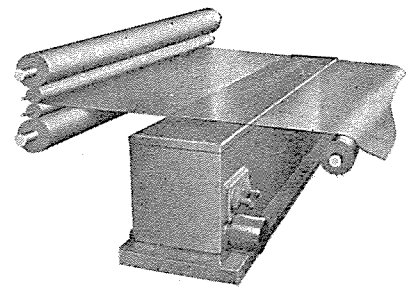


図 14. 検出ヘッド

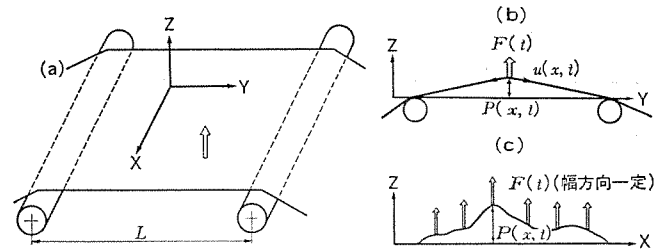


図 15. 形状測定原理図

目視による形状不良発見は不可能に近い状態である。一方、鋼板成型プロセスの加工工程が自動化するにつれ、コイル状鋼板の需要が増大し、鋼板メカにはコイル状成品のオンラインの形状管理が不可欠なものになってきている。

この装置は、この要求に応じて開発されたオンライン形状検出装置であり、フィールドにおける長期間の使用実績によってその性能を確認してきている。

4. 2 測定原理

この装置は、鋼板に対し時間的に変動する外力を印加し、応答としての鋼板変位との相関関数を計算することによって、鋼板の微小たわみ量を正確に測定するものであって、高速・高張力圧延ラインにおける形状の非接触測定を可能にしたものである。

図 15. にこの装置の測定原理図を示す。

座標系を図 15. (a) のようにとり、各パラメータを次のようにとる。

$F(t)$: 鋼板単位幅当たりの外力

$P(x, t)$: 点 x における鋼板の変位

$u(x, t)$: 点 x における鋼板の幅方向張力

L : ロールスパン

図 15. (b) において、張力 $u(x, t)$ の鋼板に対し一定外力 $F(t)$ を印加すると、変位 $P(x, t)$ が生じ、この変位は張力 $u(x, t)$ が小さいほど大きく変位し、また張力 $u(x, t)$ が大きいほどその変位は小さくなる。図 15. (c) は、鋼板の幅方向に不均一な張力が生じている場合に、一定外力 $F(t)$ を印加することにより、幅方向の変位 $P(x, t)$ が異なって生ずることを示す。

形状不良は、鋼板の幅方向に不均一な張力が生ずるために発生するものであって、この装置はこの張力の大きさを鋼板に外力 $F(t)$ を印加し、鋼板に発生した変位 $P(x, t)$ を測定して求め、形状検出をしている。なお、図では説明の便宜上、外力印加によって生ずる変位はパスライン上方に生ずるように描いてあるが、この装置では後述のように電磁石によって鋼板を吸引するので、パスライン下方に変位 (2 mm 以下の変位) が生ずる。図 16. にこの装置のブロック図を示す。

測定対象鋼板は 2 本のロール (例えば圧延ロールとデフレクタロール) によって支持され、パスラインが固定される。支持ロール間のほぼ中央に

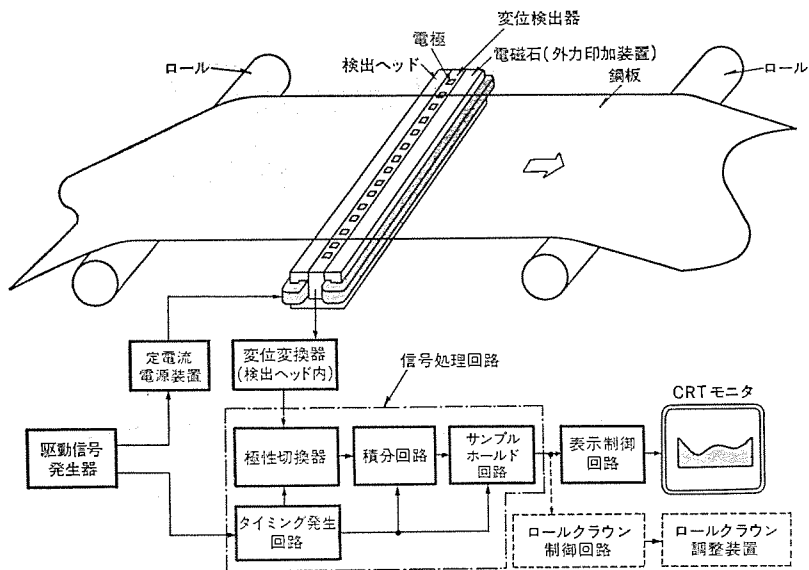


図 16. 形状検出装置 ブロック図

検出ヘッドが配置され、鋼板と約 10 mm のギャップがとられる。検出ヘッドには、鋼板の幅方向に沿い断面コ字状の磁極に励磁コイルを設けた電磁石（外力印加装置）、鋼板の幅方向に沿って検出ヘッド表面に配置された複数の変位検出用電極を持つ変位検出器、及び変位変換器から構成されている。駆動信号発生器は、周期 2 秒の短形波を発生し、この信号を定電流電源装置と信号処理回路に加える。

定電流電源装置に印加された短形波駆動信号は、検出ヘッド内の励磁コイルを励磁するので、検出ヘッド内の電磁石には、この短形波に同期した一定の断続励磁電流が流れて鋼板に短形波状の変位を発生させる。この変位は、変位検出器に設けた変位検出用電極で静電容量として検出し、変位変換器すなわち静電容量-電圧変換器で電圧信号に変換する。鋼板の幅方向に沿って設けられた複数の変位検出用電極は、その対応する鋼板各部の変位をそれぞれ同様に検出し、電圧信号に変換したのち、それぞれに対応する信号処理回路へ入力される。信号処理回路は、変位信号と短形波駆動信号との相関を演算し（同期積分）、形状不良に起因する変位量を正確に求めている。

このようにして求めた幅方向変位量分布は、表示制御回路によって直列信号に変換されて CRT モニタに表示され、オペレータの監視に供される。また、鋼板の自動形状制御を行う場合は、表示系とは別に、自動制御系すなわちロールクラウン制御回路を介してロールクラウン調整装置へ入力される。

4.3 適用可能なライン仕様

- (1) 板厚……………0.1～6 mm
 - (2) 板幅……………2,100 mm
 - (3) ユニットテンション……………1.5～20 kg/mm²
 - (4) 板温度……………250℃以下
- なお、検出精度は±0.2%（急しゅん（峻）度 2σ）が確認されている。

4.4 この装置の適用とその効果

この装置は、自動形状制御のための検出器として、また単体では、CRT モニタに表示される鋼板形状を観察して形状の良否を判断し、手動でロールベンディング装置の調整、ロールクラウン量調整・压下量操作などを行い、被圧延材の形状を制御したり、またロール組替え時期の判断に使用される。

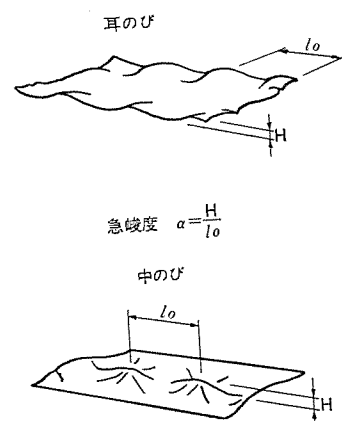


図 17. 平板の形状不良例と急峻度の定義

この装置を適用することによる効果は下記のとおりである。

- (1) 形状不良材の減少……オンライン形状観測によって即座に形状きょう（矯正）が可能であるため形状不良材を少なくできる。
- (2) 後工程における通板性の改善……後工程がある場合は、そこに形状良好材だけが通されることになるため、例えばガルバライン、連続焼鈍ラインにおける通板性が良くなる。
- (3) 省力化……この装置を設置することにより、形状のオフライン測定が不要になり、省力化に役立つことになる。

5. む す び

鉄鋼プラントの電子制御装置の応用について、制御面、監視面及び計測面の 3 分野について当社の保有する技術、商品について特に特長あるものに絞って述べた。

制御面に関しては DDC システムの実現手段であるプラントコントローラ《MELPLAC》について、また監視面では主にワイヤードロジックのものが主体となったが、当社にはこれらを総括監視制御を行う《MELCOM》350-50 と称する制御用計算機も存在する。また計測面では形状検出装置に絞ったが、実際には高信頼度の制御監視システムを実現するには材料、機械位置を検出する計測要素に頼るところが大きい。当社はこれら地味な検出器に関してもその改良・改善に十分な努力を払っている。

それらは別の機会に述べるとして、上記プラントコントローラも万能ではない。すなわち、現在のところその繰返し制御時間（サンプル時間）が 10 ミリ秒以下の制御系（例えばモータ制御系の速度制御とか電流制御等）への適用には問題がある。しかし最近の電子技術の発達は、やがて解決されることが期待されるし、鉄鋼プラントへの電子制御装置の応用はますます広がってゆくであろう。

最後に本文に対するユーザ関係者のご批判、ご指導を期待したい。

参 考 文 献

- (1) 山下、大野、石井：三菱信号伝送装置《MELPLEX》シリーズ、三菱電機技報、50、No. 12（昭 51）
- (2) 千葉、山内ほか：プラントコントローラ《MELPLAC》50 ハードウェアシステム、三菱電機技報、51、No. 3（昭 52）
- (3) 真鍋、山下ほか：プラントコントローラ《MELPLAC》50 の方式とソフトウェア、三菱電機技報、51、No. 3（昭 52）

ホットストリップミル制御システム

辻 順一*・川崎 宗男*・浜崎 芳治**・小寺 嘉一**・渡辺 文夫**

1. ま え が き

最近の鉄鋼圧延プラントは高度成長時代の産物として設備の大形化、高速化が行われ、製品品質の精度向上と高度の省力化がはかられてきた。しかし低成長経済への移行に伴い、省資源、省エネルギー、高信頼性、無保守化、性能/価格比の向上等の要求が高まっている。ホットストリップミル用電機品に関してもこの傾向はまったく同じであり、当社でもこれらの要求にこたえるべく新技術の研究開発を行い実用化をはかっている。

ここでは、ホットストリップミルの最新の制御技術の一端を紹介するものであり、制御システム構成の考え方、代表的なDDC(Direct Digital Control)システムの実例及び、連続スタンド・ダイナミックシミュレータの内容とこのシミュレータを使用した数例の結果について述べている。

2. 制御システム

2.1 ホットストリップミルの変遷とその電機品

ホットストリップミルの変遷と電機品の発展過程を当時の社会情勢とあわせてながめて見ると興味深いものがある(図1.)。鉄鋼の大規模な設備投資が行われた時代、それはホットストリップの建設が相次いでなされた時代でもあるが、それと相前後して新しい電機品若しくは新技術が出現している。これは圧延プラントの建設に際して、当時の関係者が時代の最先端技術を積極的に導入し、設備の高度化をはかった結果といえよう。

現在、当社は2基のホットストリップミルを設計製作中であるが、(稼動中のプラントへの応用例をも併せてホットストリップミル制御システムについて紹介する。

2.2 最近の制御システム

一般に制御システムを構成するにあい、要求される諸機能を満足し、更にシステムコストが最小になるよう設計しなければならない。特にDDCシステムの設計には、以下に述べる項目に注意することが必要である。

(1) 分散化か集中化か。

(2) コントローラ(計算機を含む)の適用は機能別か地域別か。

(3) コントローラ(計算機を含む)の規模は。

(4) システムの信頼性及び保守性は。

ホットストリップミルの制御機能を制御階層別に分類したものを図2.に示す。ここでは、横軸に地域(加熱炉、粗ミル、仕上ミル、コイル)を、縦軸に制御機能階層を記入してあり、階層は次のように6階層に分類される。

第1階層; Supervisory Control and Computing Control

第2階層; Preset Control and Sequencing

第3階層; Local Dynamic Control

第4階層; Master Control and Sequencing

分類	年代	1950年	1960年	1970年	1980年
経済社会情勢			鉄鋼合理化 55	所得倍増 62	高度成長 68
ホットストリップミル設備		53	第1世代 61	第2世代 68	第3世代 75
主要電機品の発達			M-G 水銀整流器	サイリスタレオナード	制御用コンピュータ DDC用ミニコンピュータ マイクロプロセッサ
ホットストリップミル設備建設時期		41 (ハ) 42 (ハ)	第1世代 (ハ) 第2世代 (ハ)	第3世代 (ハ)	(ハ)

図1. ホットストリップミルの変遷

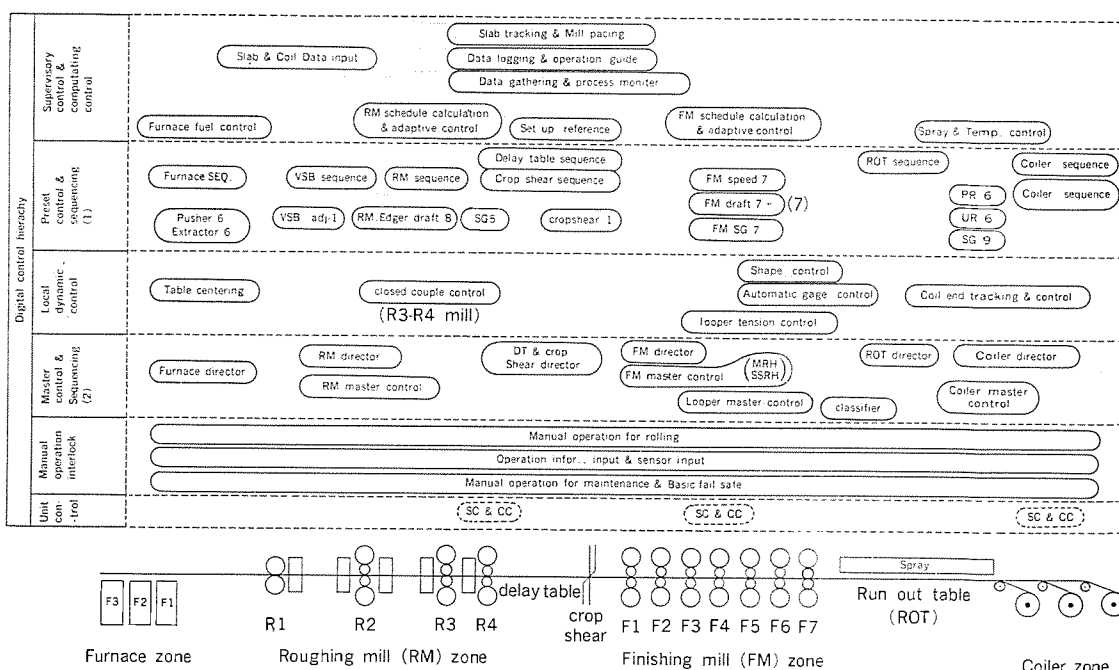


図2. ホットストリップミルの制御機能階層

第5階層； Manual Operation and Absolute Interlock

第6階層； Unit Control

図2.において、第1階層のSupervisory Control and Computing Controlは集中化が必ず(須)条件であり、場合によってはマルチコンピュータシステムが適用される。現在、プログラマブルコントローラの応用は、第2階層のPreset Control and Sequencingから第5階層のManual Operation (Absolute Interlockを除く)にまで及んでいるが、第6階層のUnit Controlのプログラマブル化は制御性、信頼性、経済性等の面からの検討がなされている段階である。

マイクロコントローラの出現により、制御システムは集中化から分散化へと移行している。分散化システムの利点については、既に各方面で述べられているためここでは説明を省略し、システムを分散化する場合の必要検討事項についてのみ記す。すなわち、

(1) 情報移動量をミニムにする。
(2) 情報移動を必要としない機能には独立したコントローラを配分する。

(1)に述べた情報移動量ミニムとは、単にコントローラ間で伝送すべき情報を最小にするだけでなく、

操作器具、センサ等からユニットコントローラに至るまで、直接入出力されるインタフェースをも考慮することが必要である。

(2)では、事故波及の程度及び保守の容易さを考えて、機能ごとに専用化されたコントローラを選定することが望ましい。

図2.において、制御機能間の情報移動の流れを矢印で示し、更に情報移動の多い機能群をまとめて囲んだものが図3.である。

まとめられた機能群のわくの中で、機能評価、デューティ算

定、プラントに占める重要度によりバックアップの必要性などが検討され最適の制御システムが決定される。

以上述べてきた条件を考慮したうえで、第1階層に三菱制御用計算機《MELCOM》350-50を、第2～第5階層には四則演算制御とシーケンス制御が同じコントローラで可能な三菱プラントコントローラ《MEL-PLAC》50を適用した三菱ホットストリップ制御システムを図4.に示す。

分散化システムにおける情報の広域化に対しては、標準のデータウエーを介して上位計算機-プラントコントローラ間及びプラントコントローラ相互間の情報伝送を行うことが可能であり、プラントコントローラのプログラムメンテナンス及びゼネレーションをも、このデータウエーを介して上位計算機

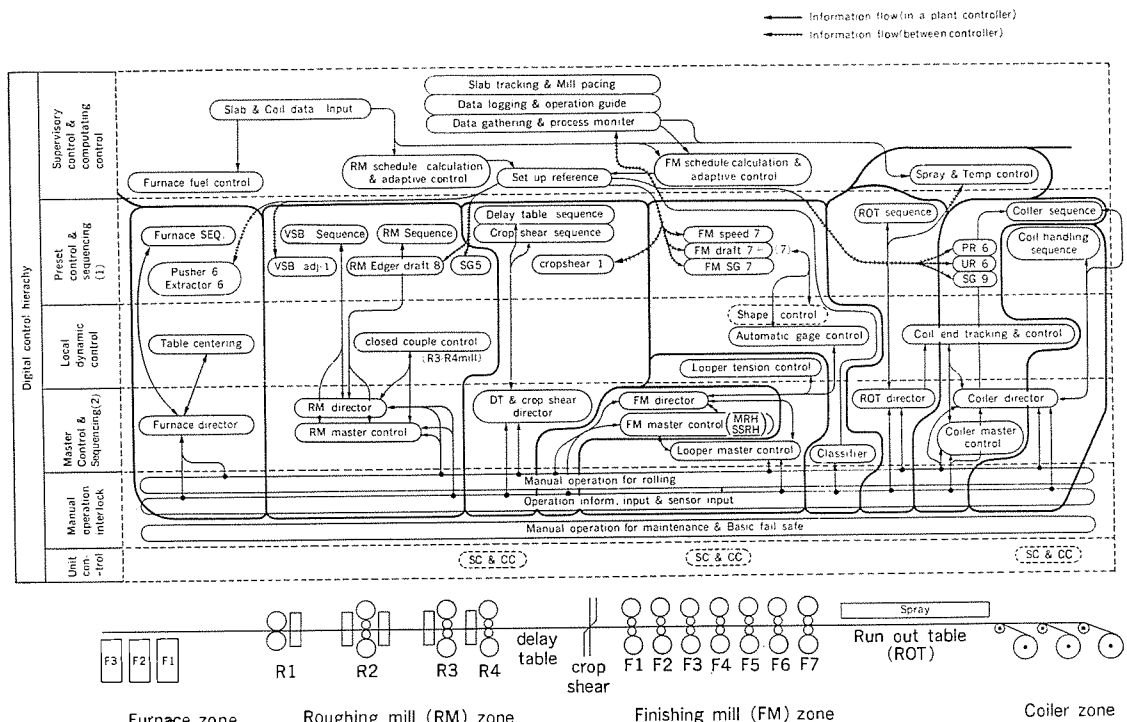


図3. ホットストリップミルの制御機能群

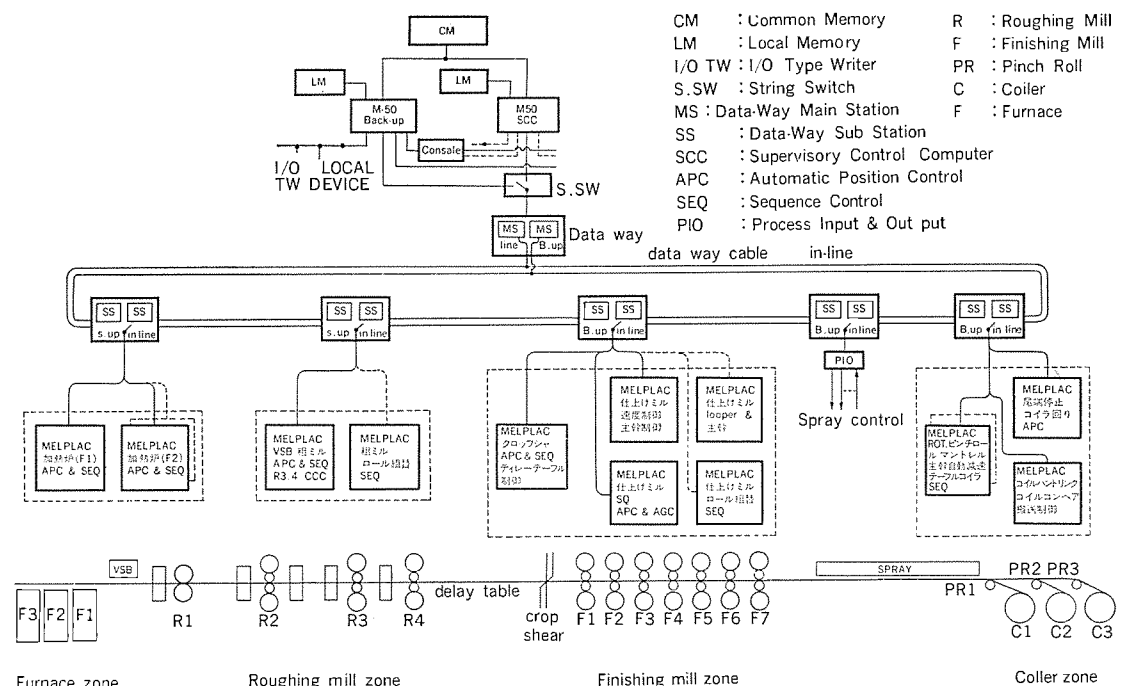


図4. ホットストリップミル制御システム

)

(b) ストリップ噛み込み後、ループ立上がり時に振動が発生し、先端部精度が十分に得られず、

位置制御系では

(b) ループ位置制御ゲインが固定であり、圧延スケジュール変更に対して制御応答の安定性にもよらずに定まる。

(c) 圧延速度に対するミル応答周波数が変化するため、圧延ス

(d) AGC (Automatic Gauge Control) に関連する圧下補償の過不足から、 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ に対して外乱を生ずる。

(e) ロール偏心に対する影響でループがその周波数で振動し張力変動が大きい。

(f) サクセシブ信号に対するマスフロー一定の制御が必要。

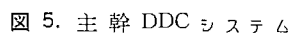
(2) 仕上ループ DDC システムのメリット

(a) 張力外乱補償回路

(c) ミル速度制御系最適調整ゲインと補正

(e) 機械共振補償回路

(g) 新圧下補償 (ダイナミック マスフロー 制御)



(h) ロール 偏心補償回路

を導入した。

(3) 仕上ループレス DDC システム

前述したループ制御の各種の解析結果は、そのままループレスの仕上圧延機制御方式に適用されている。ここでは三菱自動張力制御 MTC (Mitsubishi Tension Control) の理論検討及びシミュレーション結果を述べる。

一般に、熱間タンデムミルにおける圧延理論によると、

(a) 圧延力は張力を考慮した Sims の式

(b) 圧延トルクはロール偏平と張力を考慮した Hill の式

を基にすれば、各スタンドの圧延トルク、圧延力、張力の間の関係は、近似的に

$$G_i = a_i P_i + b_i t_{bi} + c_i t_{fi} \quad \dots\dots\dots (1)$$

表 1. テンション 制御精度

シミュレーション条件		制 御 精 度	
		従 来 方 式	MTC
板 厚 外 乱	T ₁₂	29%	0.6%
	T ₂₃	50%	0.9%
温 度 外 乱	T ₁₂	55%	6.6%
	T ₂₃	104%	7.6%

% : 設定テンションとテンション誤差比

T_{ij} : (i) スタンド, (j) スタンド間テンション

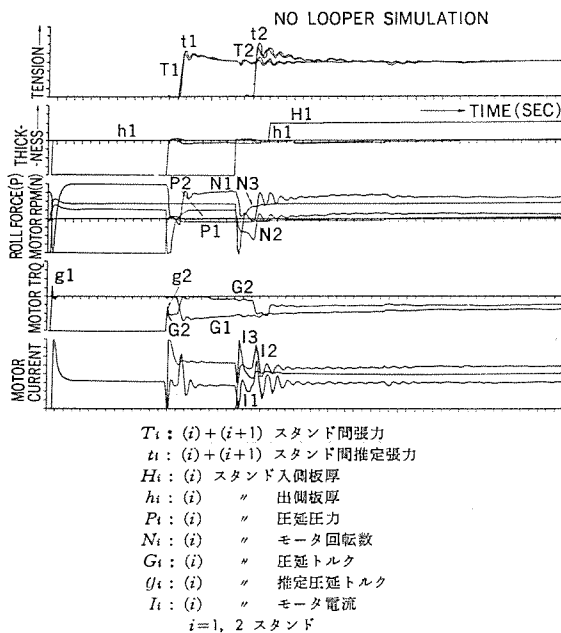


図 6. MTC CONTROL THICKNESS DISTURBANCE

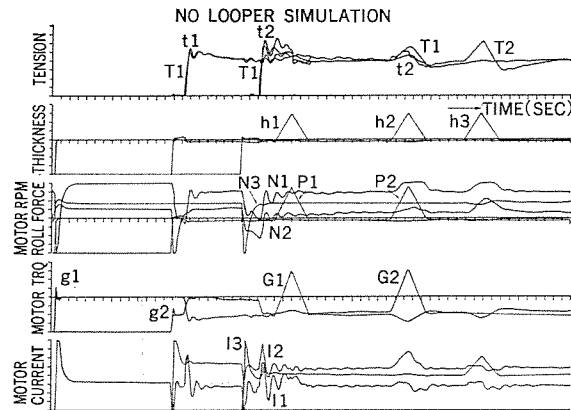


図 7. MTC CONTROL TEMPERATURE DISTURBANCE

G : 圧延トルク

a : トルクアーム

P : 圧延力

b : 後方張力アーム

t_b : 後方張力

c : 前方張力アーム

t_f : 前方張力

i : スタンド番号

となる。式(1)において、G_i, P_i, a_i, b_i, c_i は実圧延状態を計測することによって(把)握できる。したがって、この張力値を一定値になるように圧延速度を制御すれば、ループレスの張力制御が実現できる。

三菱ループレス制御の特長は、

(a) 各スタンドにおいて基準トルクアームを求めた時からの圧延条件変動を圧延力変動・板厚変動としてとらえ、トルクアームの変動及び張力アームの板厚による変動も考慮されている。

(b) 各スタンドにおけるトルクアームの変動を各スタンドの入側板厚・出側板厚等の変化により求めるので、張力変動推定が精度よく行える。

(c) 材料がスタンドに噛み込んだ直後から張力制御が行える。

表 1. は、MTC のテンション制御方式の目標値に対する精度を示すもので、図 6. は MTC の板厚外乱、図 7. は同じく温度外乱に対する張力変動のシミュレーション結果である。

3.3 AGC

従来 AGC については、多くの解析検討を行ってきたが、DDC 化された AGC 性能を、総合シミュレーションによりあらためて確認した。

(1) DDC・AGC におけるサンプリング周期

DDC・AGC の最も基本となるロールフォース AGC について、サンプリング周期の AGC 効果に及ぼす影響を検討した。図 8. にあるサンプル周期でのステップ状外乱(板厚、温度外乱)に対する圧下位置応答の行きすぎ量を示す。ここでは、圧下モータ ASR (Automatic Speed Regulation) 系は、 $\omega_c=30(\text{rad/sec})$ の 1 次系とし、圧下位置制御系ゲインを K とする。サンプル周期が長くなるとループ内位相余裕量が減少し、応答のオーバーシュート量が大きくなることは一般的に知られているところである。またオーバーシュート量を等しく押さえるために、位置制御系ゲイン、AGC ゲインを調節した応答のボード線図を図 9.、図 10. に示す。連続制御では、オーバーシュートなしの限界が $G \times K=7.5$ で約 10 rad/s の AGC 帯域幅 (AGC 効果がマイナス 3 dB となる外乱周波数) が得られる。100 ms サンプルの DDC-RF-AGC のオーバーシュートは、応答 4 rad/s で 0%、6 rad/s で 10% である。サンプル周期を 50 ms とするときには、AGC の帯域幅が 5~8 rad/s となり、図 10. の連続系との差は小さくなる。

これらは、APC 系フォーシング、その他の補償を行わないものであり、この点を考慮すれば更に良い結果を得ることができる。

(2) フィードフォワード AGC

次に、新しいフィードフォワード AGC について述べる。仕上スタンドにおいて、上流スタンド(マス)での板厚偏差量を下流スタンド(スレーブ)にフィードフォワードする方式はよく知られている。しかしながら、スキッドマーク等の温度外乱が出側ゲージ変動に及ぼす影響も大きい。したがって、後段圧延機への外乱のすべてに有効なフィードフォワード AGC としては、前段では、板厚偏差計測と板温度外乱の検出を行い、後段スタンドでは、RF-AGC とフィードフォワード AGC の 2 モードが適当なウエイトで配分され協調した AGC 効果が得られるよう改善された。

この AGC は、全スタンドに共通して適用される。図 11. は板厚変動量だけをフィードフォワードした場合で、RF-AGC だけの場合に比して効果が大きい。板温度外乱をも検出して、フィードフォワード圧下

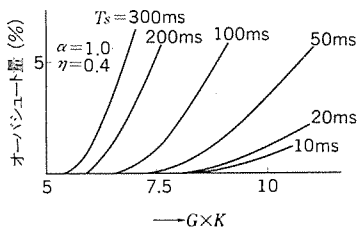


図 8. サンプル 周期, ゲイン と オ
ーバシュート 量

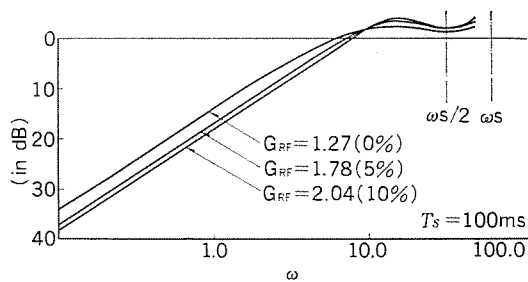


図 9. 離散形 RF AGC () 内は スクリュー 応答 オーバシュート 量

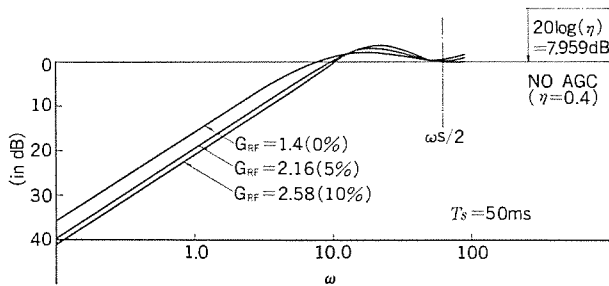


図 10. 離散形 RF AGC () 内は スクリュー 応答 オーバシュート 量

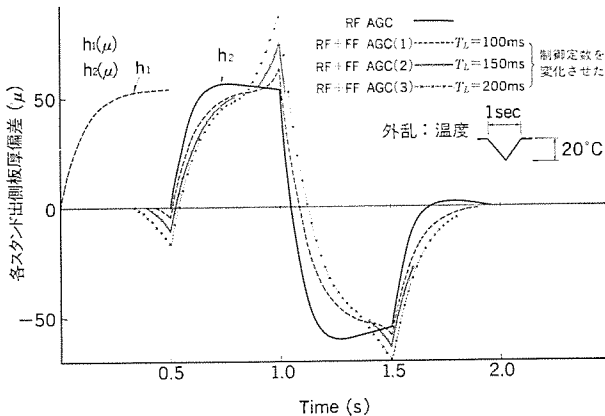


図 11. 板厚変動量のみ考慮した フィードフォワード AGC

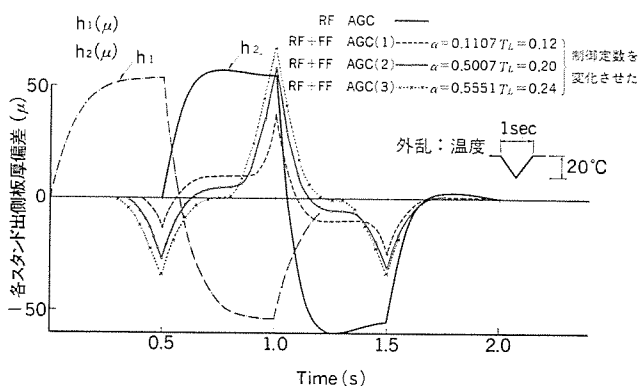


図 12. 温度外乱をも考慮した フィードフォワード AGC

制御することにより更に良い効果が得られ (図 12. 参照), 出側ゲージは, RF-AGC と比べてその変動を十分小さく抑えることができる。

4. ダイナミックシミュレータ

ホットストリップミル, 仕上圧延機の高速, 高性能化及び圧延される製品の高精度化, 歩留まり向上に伴い, その制御系 (AGC, 張力制御等) の果たすべき機能は, ますます高度なものを要求されている。当社は, ホットストリップミルの動特性のあらゆる解析に適用可能な総合シミュレータを開発し随時使用している。この総合シミュレータ《COSMIC》(Continuous Hot Strip Mill Computer Simulator) を用いることにより, すべてのミル圧延特性・制御特性の総合特性解析, ミル構成・制御構成の最適化が可能となり, 新制御技術の開発にも大きく貢献している。

4.1 《COSMIC》の特長

《COSMIC》の特長は, まず圧延特性, 材料塑性等の圧延現象の特性から, ミルモータ駆動系, 主幹, ルーパ, AGC 等, 3.2 節に記載の制御機能をすべて包括できることであり, これらの各単位機能は, ビルドアンドブロック方式ですべてシミュレータに組み込まれているため, 解析の目的に応じて, 最も適切なシミュレーションができる。このシミュレータは, 偏差方式, 絶対値方式の算出が可能であり, F₁ スタンドメタルイン, F₁ ルーパ立上がりから, 最終スタンドメタルオフまでの種々の過渡現象を計算できる。シミュレーション言語には, 当社独自の BACS (Block diagram Analysis Compiler System) を使用しており (ブロック線図シミュレータ用に特に開発されたもの), 一般の言語に比較して短時間の演算時間でシミュレーションができる。

4.2 《COSMIC》の機能

表 2. と図 13. に示すように, 多スタンド (7 スタンド) HOT STRIP MILL 圧延特性・制御特性のあらゆる機能が網羅されている。

4.3 《COSMIC》のブロック図

《COSMIC》の全体ブロック図を図 14. に示し, ブロック図の説明を以

表 2. 《COSMIC》の機能

分類	ア イ テ ム	Simulation 機 能
基 本 特 性	圧 延 機	熱間多スタンド仕上ミル ミル・圧延特性 ・材料圧延特性
	ミ ル 駆 動 系	スタンド速度制御系 ・ DC モータ速度制御系 ・サイリスタモータ速度制御系 ・軸ねじり振動系
制 御 機 能	主 幹 制 御 系	多スタンド主幹制御 ・アナログ主幹 or デジタル主幹 ・新低下補償 (DMFC)* ・インパクトコンベン
	厚 み 制 御 系	多スタンド AGC システム ・ RF-AGC ・ X-ray Monitor ・ FF-AGC ・ 張力 AGC ・ 尾端補償 ・ 加減速補償
	張 力 制 御 系	一定張力制御システム ・ ルーパ張力制御系 ・ 高き制御系 ・ 新 AMTC (ルーパレス張力制御)
	板 幅 制 御	・ 張力による板幅制御
シ ミュ レ ー タ 条 件	運 転 方 式	通板, 加速, 高速圧延, 減速
	外 乱 入 力	・ スキッドマーク ・ テンバラチャランダウン } 温度外乱 ・ 不規則板厚外乱

* DMFC (Dynamic Massflow Compensation)

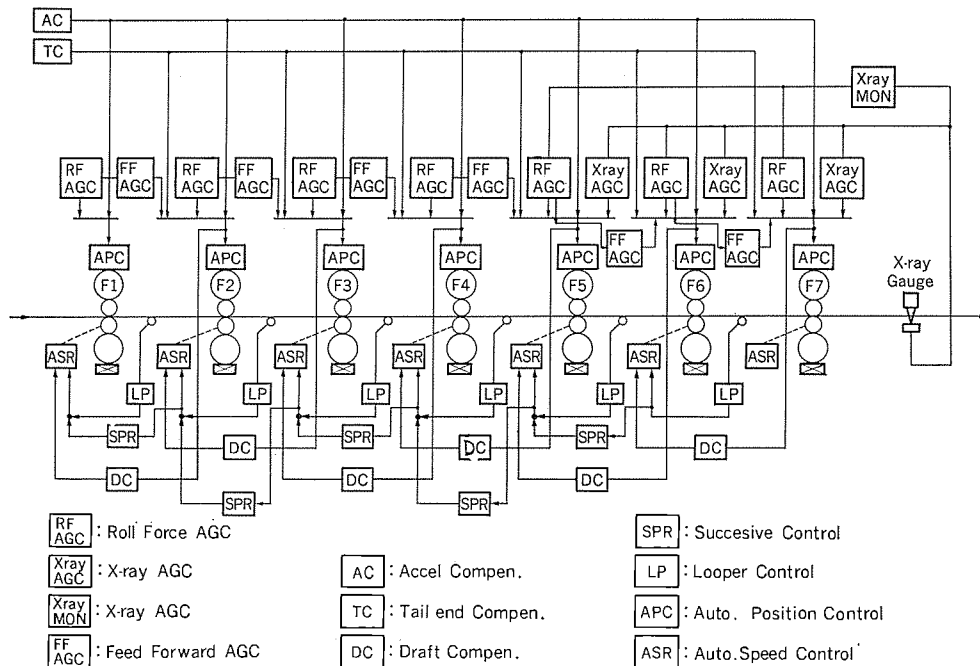


図 13. 《COSMIC》対象機能

下に示す。

(1) ミルモデル
Sims の圧延理論式をベースとし、過去の経験に基づき、ロール偏平、張力項をも考慮に入れた圧延荷重、圧延トルク、先進率モデルを用いている。

(2) AGC (自動板厚制御)
ロールフォース AGC を基本にし、フィードフォワード AGC, X線 AGC, 張力 AGC の機能をもっている。

(3) ASR (自動速度制御)
電流リミット、界磁制御を考慮した現実に忠実な制御系をもっている。

(4) LOOPER (ループ)
スタンド噛み込みのループ立上がり特性、ソフトタッチ、たるみ量制御機能を含め、更に機械系摩擦トルク等を考慮した制御システムである。

(5) 圧下 APC (Automatic Position Control) (自動圧下位置制御)

電動圧下、油圧圧下とも容易に切換えが行える。電動圧下には、バックラッシュ、摩擦トルク等を含んでいる。

(6) ループ系の各種補償機能を含んでいる。

4.3 総合シミュレーション

表 3., 表 4. に示すような機能及び外乱条件により

- (1) スタンド構成(電動・油圧組合せ)最適化
 - (2) 全電動圧下での各制御方式(AGC・ループ系)の最適化
 - (3) 全油圧圧下での各制御方式の最適化
 - (4) 最適スタンド構成での各制御方式の最適化
 - (5) 新制御方式の開発
- 等の解析を行い、多くの成果をあげている。

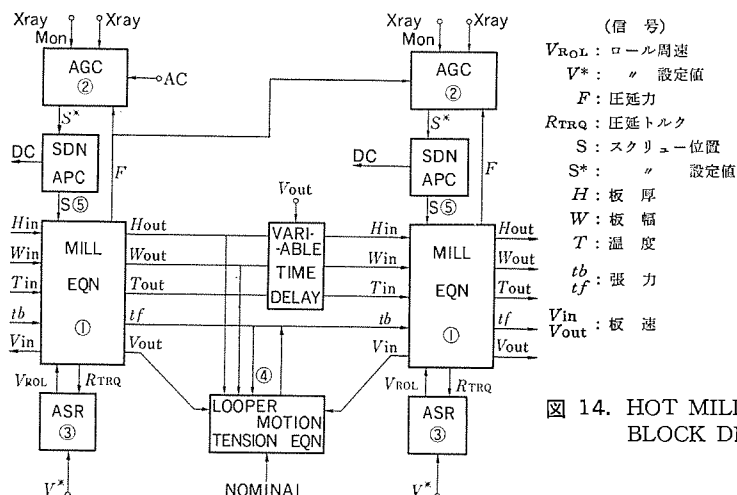



図 14. HOT MILL SIMULATION BLOCK DIAGRAM 《COSMIC》

表 3. 制御機能

区分	ケース	R.F. AGC	ABS AGC	XPAY AGC	F.F. AGC	新圧下補償	ループ	新AMTC	ロール偏平	幅制御
基本機能	a	○					○			
現状制御方式	b-1	○				○	○			
	b-2	○		○	○	○	○			
	b-3	○	○	○	○	○	○			
新制御方式	c-1	○	○	○	○	○		○		
	c-2	○	○	○	○	○	○		○	
	c-3	○	○	○	○	○	○			○

表 4. 外乱条件

SKid: スキッドマーク 
T.RD: Temp Run Down

区分	ケース	温度外乱	板厚外乱	ロール偏平	加減速
基本外乱	X-1	○			
	X-2		○		
	X-3			○	
実際外乱	Y-1	○	○	○	
	Y-2	○	○	○	
	Y-3	○	○	○	
	Y-4	○	○	○	○

5. む す び

マイクロコントローラ の出現により、圧延プラント制御システムは従来の集中形から機能分散形へと変わりつつある。今回は、幸いにして各方面から好評を博している制御用計算機《MELCOM》350-50 とプラントコントローラ《MELPLAC》50により構成したホットストリップミル制御システムを中心として、その機能分析といくつかの検討例を発表した。

低成長期にあって、我々を取り巻く社会環境は厳しいものがあるが、世の動向に注目しつつ顧客の要請にこたえるべく、今後とも新技術の開発と実現に努力したい。

棒鋼(線材)圧延機用電機設備における最近の動向

大場 宏一*・稲村 和美*・轟 幸男**・稲本 惇***・佐々木希晴+

1. ま え が き

板材圧延機に比べ、自動化率・省力化率の低かった棒鋼(線材)圧延機も、人件費の高騰や最終顧客の品質に対する要求が厳しくなるにつれ年々高級化しつつあり、おのずと電気制御の分野でも新技術

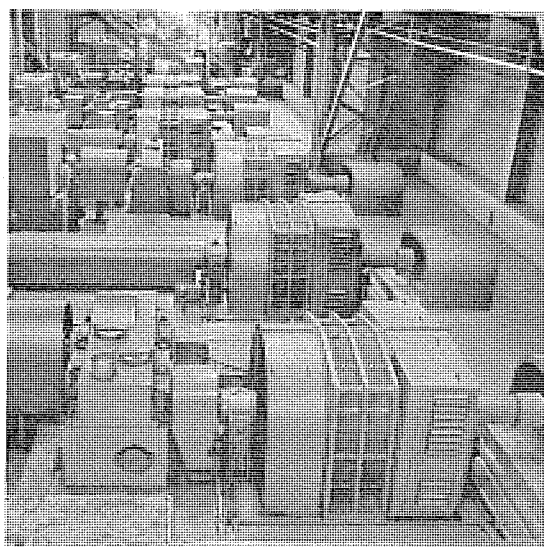


図 1. 棒鋼圧延機用主電動機群

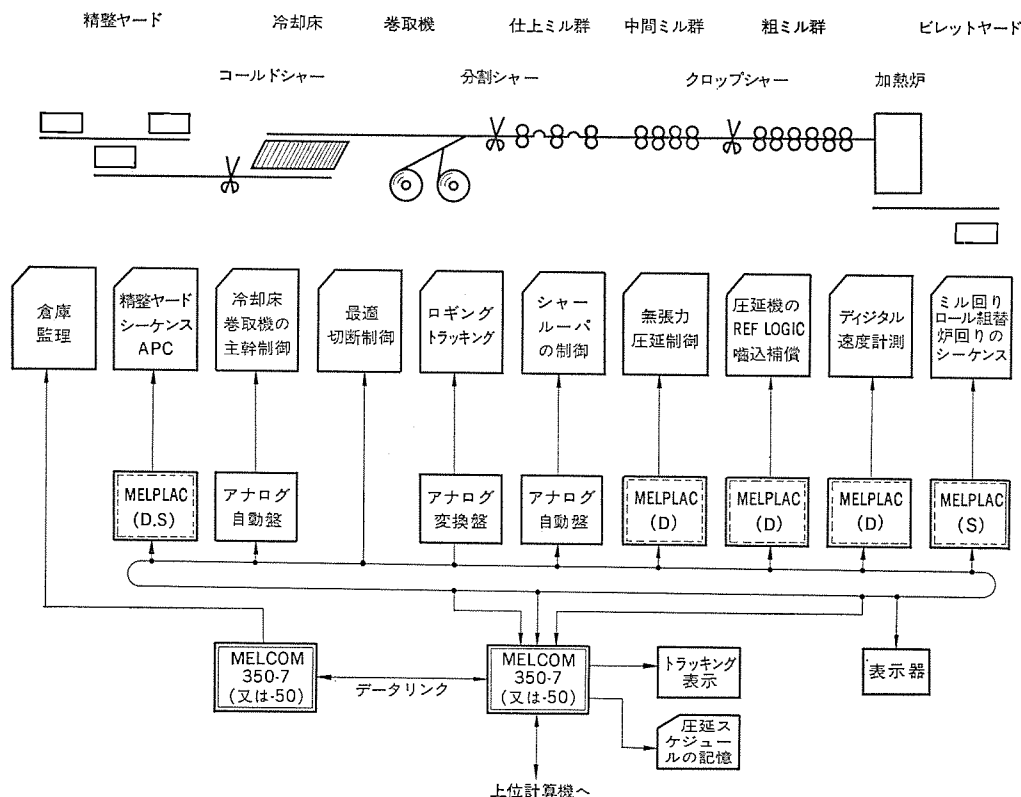


図 2. 全体制御 システム 系統図

の導入を強く要望されるに至っている。

当社はこれらの諸要求にこたえるべく、種々の新 システム、新制御方式を採用し好評を得ている。以下、当社の棒鋼(線材)圧延機用電機品の、システム 構成・制御方式・構成機器の特長について説明する。

2. 全体制御システム

2.1 棒鋼(線材)圧延機に要求される制御

圧延工程における最大の課題は、製品寸法精度をいかに良好に得るかにある。ストリップ圧延のように自動板厚制御装置(AGC)で積極的に寸法修正をしている圧延機と異なり、棒鋼圧延では、各圧延スタンドにおける圧延状態を不変に保つ努力が必要である。すなわち、各スタンド出側での材料寸法は、ロールの形状・ロールの速度・材料温度・ロール前後での材料張力・材料か(噛)み込み時の速度の変化などによって決定される。そのうち、ロール形状のようにあらかじめ決まっているものを除き、寸法への影響が大きく、しかも電氣的に制御が可能なものとして採用されている制御が「スタンド間無張力圧延制御」「負荷噛込補償制御」「スタンド間ループ制御」などである。無張力制御と噛込補償制御の詳細についてはいずれも後述している。

次に精整ヤードでの重要な課題は、圧延された材料を最終製品長に切断して行く過程での歩留まりをいかに高くするか、また製品の種分けをいかに正しく早く行うかにある。この目的で採用されてい

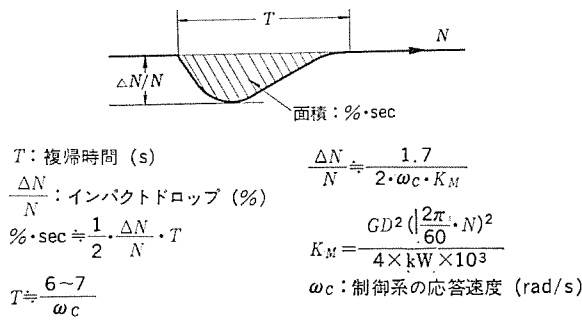


図 4. インパクトドロップ関連図

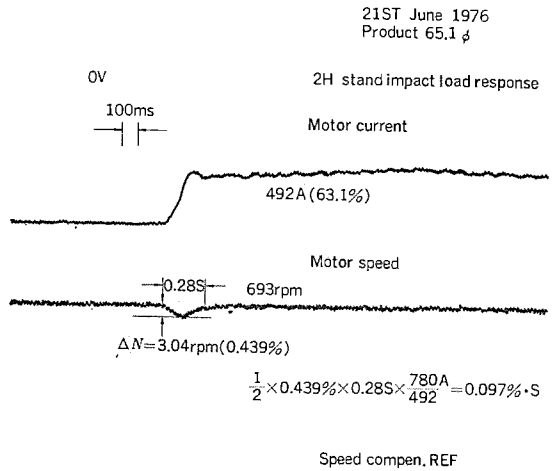


図 5. (a) インパクト 負荷応答 (補償回路のない場合)

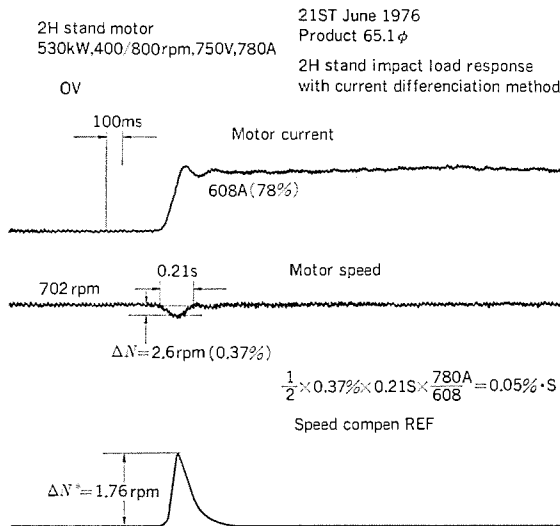


図 5. (b) インパクト 負荷応答 (補償回路のある場合)

題であった。従来はこの問題解決のために、例えば 1 本通し圧延の場合には、圧延機を速度を圧延材噛み込み前に少し高目に設定しておき、噛み込みと同時に正規の圧延速度にもどす方式も採用されていたが、このゲタ上げ修正量を幾らにするかという事に問題があった。

一方、図 4. に示すとおり、復帰時間 (T) は速度制御系の応答速度 ω_c により決められ、インパクトドロップ量は負荷に比例する。今回、当社が開発した電流微分補償方式 (特許申請中) を適用することにより、インパクトドロップ補償を適確に行うことが可能になった。すなわち圧延材噛み込み時の電流立ち上がりの傾斜より、インパクトドロップ量を予測し、また電流信号より適確に噛み込みタイミングをつかんで、速度修正を行うことによってインパクトドロップ量を少なくしている。こ

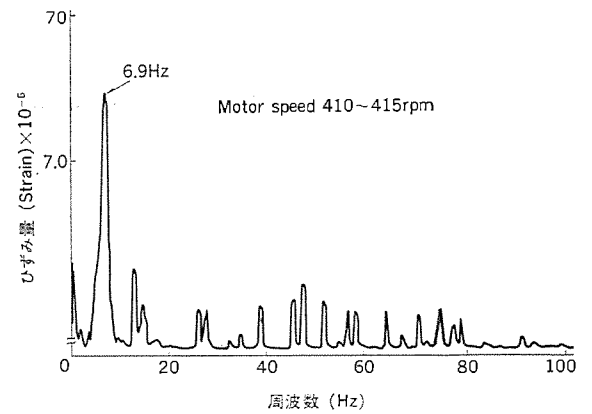


図 6. (a) 軸トルク周波数分析結果 (無負荷運転中)

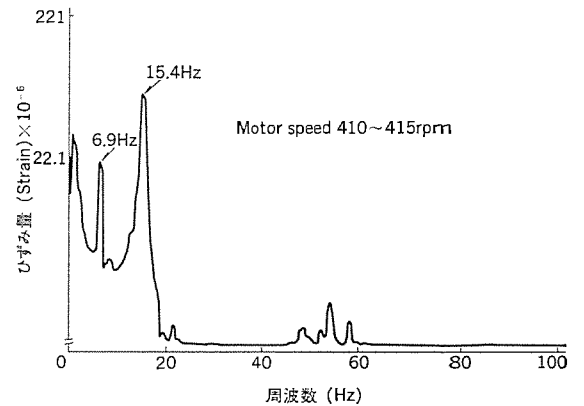


図 6. (b) 軸トルク周波数分析結果 (負荷噛み込み時)

の方式の採用により、各圧延機の $\% \cdot \text{sec}$ を採用前の約半分に減少することに成功している。噛み込み補償の無い場合を図 5. (a) に、この方式による噛み込み補償のある場合を図 5. (b) にそれぞれ表した。

3.3 軸共振

最近の棒鋼圧延機は生産性、品質向上等の目的で no twist 圧延を行うため立形圧延機が大幅に採用されるようになってきた。また、ロール組替作業の時間短縮も一つの大きな課題となり、圧延機ハウジングは高くなり、電動機と圧延機ロール間に取付けられる中間軸も長くなるに従って、従来は問題にされなかった電気制御系と機械固有振動数との共振現象も事前に検討することが必要になってきた。当社では棒鋼圧延機の場合においてもシミュレーションによる軸共振の事前検討を標準作業として行っている。

周知のとおり、軸共振の問題としては「共振周波数がいくらであるか」、「その共振点でのトルク増幅率 TAF (Torque Amplification Factor) はいくらか」という二つの要素が含まれている。極端に TAF が大きい場合は軸の破損に達するが、破損に至る程大きな値でなくても、共振点が電気制御系の応答周波数に近い場合は、TAF のために軸系との共振現象を起こし、制御不能に陥る恐れがある。

図 6.、図 7. は当社が某製鉄所で実際に圧延中を測定したデータで、図 6. は軸系に含まれる周波数分析の結果を、図 7. は負荷噛み込み時の TAF の測定結果をおのおの表している。

図 6. (a) は無負荷運転中の各周波数に対応するひずみ (歪) 量を表し、周波数にかかわらず歪の小さいことがわかる。6.9 Hz (414 rpm 相当) で歪が大きいのは、測定の都合上表れたもので、実際の軸に存在する歪ではない。一方、図 6. (b) は負荷噛み込み時の分析結果であり、噛み込みに相当する低周波領域と軸系の共振周波数

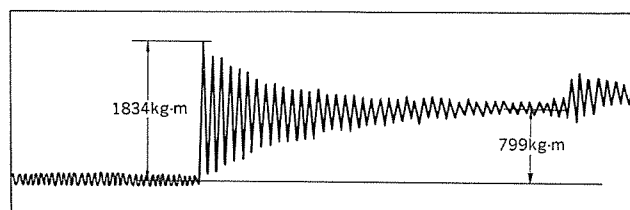


図 7. 負荷噛み込み時のトルク増幅率

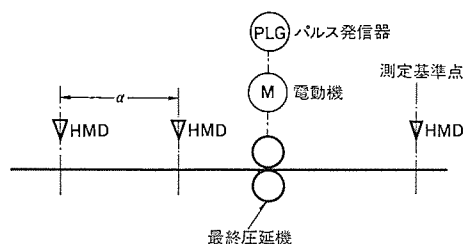
に相当する 15.4 Hz で、大きな歪を生じていることがわかる。次に図 7. で明らかとなり 799 kg・m の負荷トルクに対し、噛み込み時に軸に加ったピークトルクは 1,834 kg・m であり、TAF の値は 2.3 (7.2 dB) となっている。

軸共振に関する詳細については、本誌 48 巻 2 号 (昭和 49 年 2 月) を参照願いたい。

4. 最適切断制御

棒鋼圧延機の場合、圧延前の 15 メートル前後のピレット (棒鋼・形鋼圧延に使用される圧延前の材料名称) の圧延後の製品全長は、長いものでは 2,000 メートルくらいになる。一方、圧延後の製品を冷却する冷却床の長さは、設備上の都合もあって 100 メートル前後であり、そのため圧延機の製品は冷却床長さを考慮し、分割シャワーを用いて適当に分割されねばならない。また、冷却床に送られた製品はコールドシャワーにより最終製品長に再分割されるが、この再分割を最も効率よく (最終製品分割を行う際に生じるクロップ長さをピレット単位ごとにできる限り少なくする) 行うため、分割シャワーでの切断が開始される以前に圧延後の製品全長を予測し、冷却床上へ圧延後の製品を分割して搬送する。このシステムを「最適切断制御」と呼んでいる。

従来の棒鋼圧延機では、加熱炉入側にピレットひょう (秤) 量器やピレット測長機を設け、そのデータに基づき断面積比などの計算から最終製品全長を予測する方式が試みられたが、製品断面積のばらつきや、加熱炉でのスケールロスのばらつきのため、精度はあまり期待できるものではなかった。その後、新システムの開発、計測制御システムの向上により圧延中に最終製品全長予測が可能となった。その関係を図 8. に示す。図に示す関係より、



HMD : 材料検出器
 t_u : 測長基準となる単位時間
 P_{uf} : 最終圧延機での単位時間当たりの発生パルス数
 P_{lf} : 最終圧延機での材料圧延中に発生するパルス数
 t_B : 測定基準点を圧延材全長が通過するに要する時間
 P_{lf}' : 演算で求められる P_{lf}
 P_{df} : 圧延材先端が一定距離 d を通過する間に最終圧延機が発生するパルス数
 d : 一定距離
 L_f' : 圧延後の予測製品全長
 L_f : 圧延後の実測製品全長

図 8. 最終製品全長予測方式関係図

$$L_f' = P_{lf}' \times \frac{d}{P_{df}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{lf}' = P_{uf} \times \frac{t_B}{t_u} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式 (1)、式 (2) より圧延後の予測製品全長は

$$L_f' = P_{uf} \times \frac{t_B}{t_u} \times \frac{d}{P_{df}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式 (3) によって求められる予測製品全長は理論値であり、実際の圧延において発生する誤差は、製品長さ換算で無視され得ないものである。数多くのデータ解析の結果、演算長と実測長との差は同一圧延時にはほとんど一定であるが、製品サイズや圧延日時が異なると、その差は異なった値になる。そしてこの差は、圧延状態によって決められるものと思われ、電気制御では演算不可能なものである。すなわち、この差は図 8. の P_{lf}' と P_{lf} の差となって表れるので、式 (3) の L_f' 演算に P_{lf}' と P_{lf} より構成される修正演算をすることにより、製品全長予測精度の向上を図っている。この修正予測方式採用 (特許申請中) により、最適切断制御における製品の全長予測精度は、 $\pm 1\%$ 以下 (安定状態では $\pm 0.6\%$) に押さえられている。

5. 無張力制御

棒鋼、形鋼ミルにおいてはスタンド間を無張力状態におくことが製品精度の点で要求されており、これを実現するのにスタンド間にループを設ける方式とループを設けずに無張力状態を実現する方式とがある。しかし材料のサイズの大きいものはループ形成が不可能であるため、ループ方式の適用は一部に限定されている。また近年の製品精度に対する要求の厳しき、操作員の負担の軽減のため、後者の無張力制御の採用は必ず (須) のこととなっている。この方式には種々あるが当社では無張力時の電流と圧延力とを記憶し、それをもとに張力を検出し制御する AMTC (Automatic Minimum Tension Control) を開発採用している。この方式の原理は次のとおりである。無張力時の電流値、圧延力を記憶し、その値をもとに張力 (圧縮力) 発生時の張力分電流を算出し、材料及び圧延機の影響係数に応じた速度修正を各スタンド速度制御系に加え無張力を実現する。この方式は加熱炉内における焼き斑等による圧延力の増加に対処でき得ること。また検出機構の簡単さなど利点は大きい。AMTC 終了後発生するサーマルランダウン等による変動に対しては使用される制御装置 (マイクロコントローラ等) のデューティも考え、AMTC に比べ制御周期の遅い張力モニターを構成し、材料の全範囲にわたり、これらの影響を除去している。原理的には以上のとおりであるが最近の圧延速度の高速化、製品精度への要求により、できるだけ短い時間に所定の精度内へおさめるため細かな点まで注意を払った技術が必要である。このためこの AMTC は以下の点が考慮されている。

(1) 電流リップルに対する考慮

電流リップルは数 % の値にもなることがあり制御上無視できない。この値そのものを減少させる努力はもちろん払われているが、当社 AMTC においては平均平滑方式によるメモリの実行、すなわち電流値を数回サンプリングしそれらの平均値をメモリ値として採用すること、また適切なフィルタのそう (挿) 入によるリップルの低減とにより十分許容し得る誤差範囲での検出を行っている。

(2) インパクトドロップに対する考慮

インパクトドロップは材料への悪影響はもちろん、無張力制御系への外乱ともなる。既に述べたように補償装置の採用によってドロップ量、回

復時間とも大幅な減少を実現している。

(3) 制御時間の延長

従来の方式では材料がスタンド間を通過する時間内に無張力制御を終了して無張力状態を実現し、かつ次スタンド間制御用のメモリ動作を行わねばならなかった。この方式ではもしその時間内に無張力が実現できなかった場合、通過後制御を継続すれば上流側の制御の影響が下流側のメモリ動作及び制御動作への外乱となり制御不能となる。このAMTC方式では当該スタンド間の制御動作と次スタンド間制御のための無張力状態に相当する電流値、圧延力値の決定動作とを並列に行う方式を採用している。また圧延の最初に来るスタンド間の無張力状態を基にそれ以後に制御されるスタンドの前後方張力を監視することにより、被圧延材の先端が当該スタンド間の通過中だけでなく通過後も制御を継続することが可能である。以上の方法によって実質的な制御時間の延長を計っている。(特許申請中)

(4) AMTC 応答性能

AMTC 制御性能はスタンドモータの速度制御系に左右されており、この応答性の改善によって AMTC 自身の応答性能の向上も図れるようになっている。

以上の点から現在的高速化、精度要求に耐え得るようなシステム仕様が実現されている。

このシステムの開発・設計に当たっては計算機によるシミュレーションを実施し、各因子の影響係数の推定、スキッドマーク、サーマルランダウンの影響、並びに制御性能等の解析を完成しており、これを基に実際の適用に際しての最適なシステム設計がなされている。

6. 可変速交流電動機装置

交流電動機をインバータ電源装置で速度制御するためには、印加電圧と周波数の比率を負荷特性に応じてある法則で変化させる必要がある。この場合電動機の鉄心が飽和しないよう考慮する必要がある。更に電動機の始動、負荷変動等に対してインバータ電源装置は安定に動作し、かつ経済的な設計を考慮することが必要である。そのため多数のインバータ回路方式が提案されている。当社では図9.(a)の順変換器側で可変直流電圧を得る電圧形インバータ回路方式を使用している。この回路方式では低周波領域での転流容量を確保するため、一定電圧の転流補助電源を必要とし、動作は最も安定している。

インバータ電源装置の出力電圧と周波数の制御方法は

$$V = K \cdot f + V_0 \quad (4)$$

となる関係で与えられる。

ここに V : 出力電圧 (V)

f : 出力周波数 (Hz)

V_0 : 低周波域トルク補償電圧 (V)

K : 定格電圧、周波数によって定まる定数

式(4)中の V_0 は、電動機1次巻線及び電源装置から電動機端子までの電圧降下分による低周波領域でのトルク減少を補償するものである。電動機多数台運転の加減速運転をする場合、各電動機は速度⇄トルク特性を合わせるためには、各電動機からみた V_0 を等しくするように配慮が必要である。この制御方法では、 V_0 の電圧上昇分により電動機の過飽和が起らないよう運転可能最低周波数がある値以下に抑えている。標準的に定格周波数の10%程度としている。

図9.(b)は式(4)を図に表したものである。この制御方法で制御したとき停動(最大)トルクは制御速度(周波数)範囲内で一定となり、図9.(c)に、このときの電動機は速度⇄トルク特性を示す。

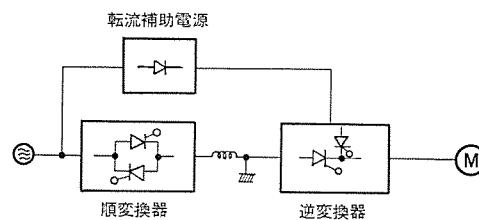


図9.(a) インバータ主回路構成

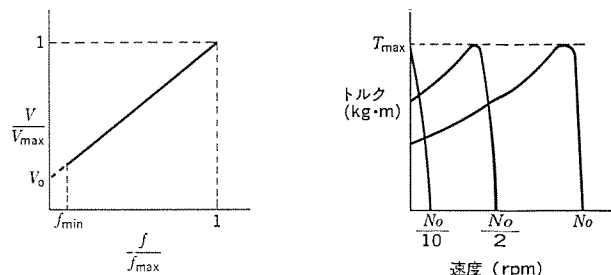


図9.(b) 電圧と周波数の関係 図9.(c) 速度-トルク特性

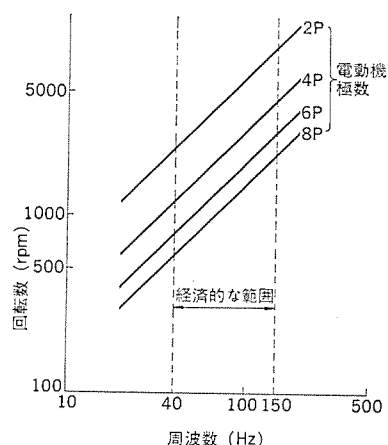


図10. 回転数-周波数-極数の関係

またインバータ電源装置の各部品(サイリスタ、コンデンサ、リアクトル等)の周波数動作責務及び電動機回転数等より考えて、定格周波数は40~150 Hz程度が経済的設計と考えられる。

図10.に回転数⇄周波数⇄極数の関係図を示す。

インバータ電源装置で交流電動機を駆動したときの主な特長は、

- (1) 保守、点検の省力化ができる。
 - (2) 多数台電動機のせん速制御ができる。
 - (3) 速度制御範囲が広く、低周波始動を行うことにより電源容量は負荷に見合った容量となる。
 - (4) 急激な加減速運転で安定に動作する。
 - (5) 直流制動を使用しているため良好な制動特性が得られる。
 - (6) 逆転運転はゲート位相の相順を変えることによりできる。
- 等であり、特にテーブルロー駆動用等には最適の駆動方式である。

7. 棒鋼圧延機用計算機

棒鋼ミルにおける計算機システムの導入の歴史は比較的浅いが、急速にシステムの開発が進んでいる。棒鋼ミルラインはその制御という観点から次のような特長を持つものであり、その特長に十分対応できるハードウェア及びソフトウェアの完備が必要である。

- (1) ラインが高速でありプラント側の応答が早い。
- (2) スタンドの数が多く多変数系の制御となり複雑な制御システムを形成する。

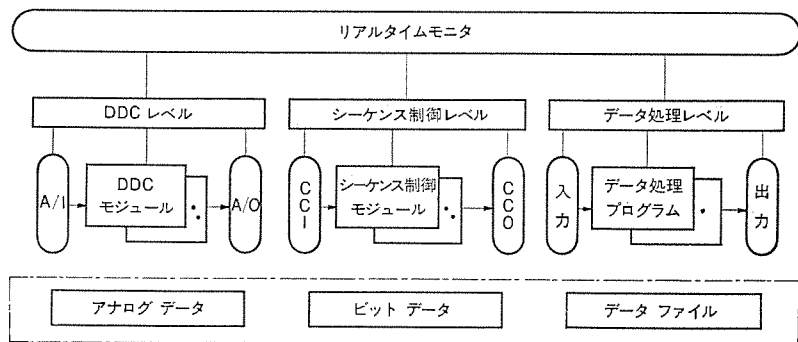


図 11. 棒鋼 プラント 制御用計算機・ソフトウェア 構造図の一例

(3) プラントの冗長性(フェキシビリティ)が高くそれに適応する必要がある。

(4) 複雑なトラッキングシステムが必要である。

7.1 プラント制御システム

プラント制御としての計算機導入は、プラントコントローラ等のデジタル技術の進歩に伴い、単純なPID制御やシーケンス制御から数式モデルを基本とした高級制御(Advanced Control)の分野に移行しつつあり、成品の品質の向上と安定化にますます大きな貢献をするようになってきている。プラント制御の機能としては、(1)スケジュール計算制御又はストアスケジュール制御、(2)最適切断制御、(3)データ解析用ロギング、(4)製品の倉庫管理等が含まれる。プラント制御応用に対しては上記特長に対応してソフトウェアについては例えば図11.のような構成をとる。

7.2 生産管理と圧延管理システム

プラント制御として生産管理及び圧延管理システムへの計算機導入は急速に進行しつつあり、ハイアラキシステムも構成されてきている。この分野への応用に対しては特にソフトウェアシステムとして

- (1) 全ラインのトラッキングシステムの確立
- (2) 強力なファイルコントロールシステムとそれをバックアップするベシックソフトウェア
- (3) パッケージ化されたCRT処理、データロギングのプログラム
- (4) データリンク等に応用される通信回線制御用のソフトウェアが要求される。

7.3 倉庫管理システム

同一種別ごとに区分け結束された製品は、定められた規則に従って

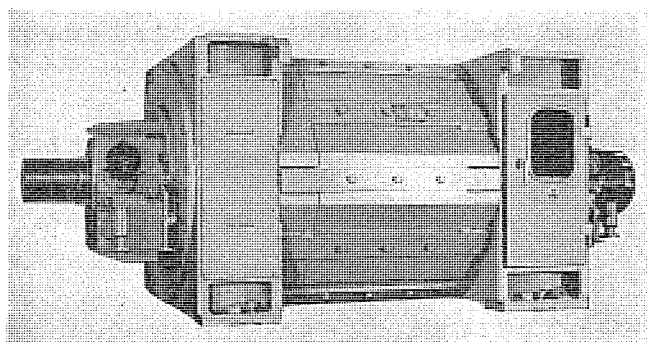


図 12. SL 形直流電動機

1,000 kW 750 V 1,450 A 500/1,000 rpm

順次保管され、また出荷される。この倉庫管理システムについては、膨大なメモリを必要とすることが多く、専用の制御用計算機を使用することが一般的である。

8. 圧延用直流電動機

このクラスの圧延用直流電動機には、新中形標準SL形直流機を適用している。このSL形直流電動機は、JEM 1157-2に準拠し、永年の豊富な製作経験をもとに、最新の設計、工作技術を駆使し開発整備した新系列であり、次の特長をもっている。図12.にSL形直流電動機の外観を示す。

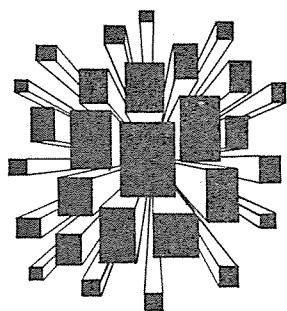
- (1) 標準化： わく(枠)番の選定と構造及び使用部品に標準化を推し進めている。
- (2) 出力向上： 同一枠番当たりの出力アップを図っている。
- (3) 構造： ブラケット形軸受と多角形フレーム構造によりコンパクト化を可能にし、また通風冷却方式の変化(アップドラフト、ダウンドラフト、スルドラフト、プロウマウント)に、簡単に対応できる構造にしている。
- (4) 電機子巻線、界磁巻線： F種用無溶剤エポキシ樹脂の真空含浸を実施し、またつなぎ部はソフトプラズマーク加熱でろう付けを行い、機械的に堅ろうで、信頼性の高いものになっている。
- (5) 冷却： 真空含浸による熱伝導率の向上と、電機子鉄心部の鉄心長さとダクト幅を最適な構成にするなど、機内通風冷却方式の改善を図っている。また電機子くさびに代わるガラスバンドによりコイルを固定し(ウエッジレス方式)、冷却効果とともに整流能力も向上している。
- (6) 整流能力向上： サリスタ電源に対しても良好な整流を確保するため、すべて成層フレーム構造とするなど設計に十分考慮している。特に過渡整流能力を持たすために、高抵抗ライナを採用している。(実用新案申請中)
- (7) 機械強度： 被圧延材噛み込み時、軸系に発生する過渡ねじり振動トルクは設計上重要な因子である。多数の現地測定データを基礎に過渡ねじり振動トルクの解析を行い、必要かつ十分な機械的強度を有するように設計されている。

9. む す び

以上棒鋼(線材)圧延機用電機品の制御の特長、システムの構成、使用電機品の特長について述べた。「まえがき」でも述べたとおり、棒鋼(線材)に対する顧客の要求はますます高級化することが予想され、電機品についても高級かつ複雑になるものと思われる。また当社が納入した一部の圧延機には、製品形状をオンラインで測定するプロファイルゲージも取付けられており、この種の圧延機にAGC(Automatic Gauge Control)が出現するのも近い将来のことであろう。

当社は、電動機・制御装置・検出器・計算機等々すべての電機品を製作している総合電機メーカーであり、その使命を十分認識してユ-ザ各位のご期待に添いたいと願っている。

最後に、棒鋼(線材)圧延機用電機品の製作納入にあたって、これらシステムの採用とご指導を賜った顧客をはじめ関係者各位に深く感謝するものである。



特許と新案

避雷器 (特許第 788916 号)

発明者 但田 昭 司・宇治田 克

この発明は避雷器要素が接地容器におおわれた避雷器の改良に関するもので、特にそのシールドリングの形状の改良により、小形で放電特性の良好な避雷器を得ようとするものである。

図 1. はこの発明の一実施例を示すもので、シールドリング(6)のリング径(D)と断面径(d)を各ギャップごとに異ならせたものである。すなわち、各ギャップに電圧が均等に分担されるようにするためには、課電側に近いシールドリングのリング径(D)と断面径(d)を大きくして、シールドリング(6)とタンク(1)の間の静電容量を大きくし、接地側のシールドリングのリング径(D)と断面径(d)を小さくして静電容量が小さくなるようにしている。リング径(D)と断面径(d)は上段から下段に順に小さくなるよう構成しているの、シールドリング(6)とタン

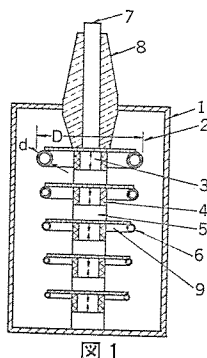


図 1

ク(1)の間の静電容量は下段すなわち接地側に近いもの程順に小さくなり、このため各ギャップの分担電圧は図 2. に示すように、AC 電圧からインパルス電圧領域まで比較的均一にすることができるものである。

従来のこの種の避雷器にあっては、シールドリング(6)のリング径(D)と断面径(d)が上段から下段までほぼ均一なものが使用されているため、分圧素子で強制分圧を行っても、AC 領域(50 Hz 付近)では均等に各ギャップに電圧が分担されるが、インパルス領域(50 kHz 以上)に近づくほど電圧分担が不均一になり、ギャップの個数倍に比例した電圧より極めて低い電圧で放電してしまう。これを防止するためにはシールドリングがタンクに対して有する静電容量を小さくする必要がある、このため接地容器が大きくなる欠点があった。これに対しこの発明によれば上述のように、接地容器を大きくすることなく、ギャップの電圧分布を改善することができ、小形で放電特性の良好な避雷器を得ることができるものである。

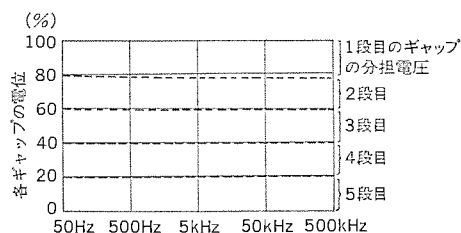


図 2

ろ材送り装置 (実用新案第 961791 号)

考案者 荒木 義 起

この考案は、たとえば空気清浄機などに用いられるろ材の送り装置に関するものである。

図 1. は、この考案の一実施例を示す縦断面図、図 2. は、図 1. の II-II 線における拡大断面図で、(1)は空気清浄機本体、(2)は合成樹脂繊維不織布で作られ、流通空気をろ過するろ材、(3)(4)はこのろ材(2)の内側縁に対して設けられた無端ベルト状の送り駆

動部材、(5)(6)はこの送り駆動部材(3)(4)に重合定着され、上記ろ材(2)の両縁部に圧接するスポンジなどの条片で作られた多孔質部材、(7)は上記送り駆動部材(3)(4)を駆動する駆動車、(8)は上記ろ材(2)をジグザグ状に案内走行させる案内ローラ、(9)は上記両駆動部材(3)(4)に所定の張力を与えるテンションコントロール装置である。

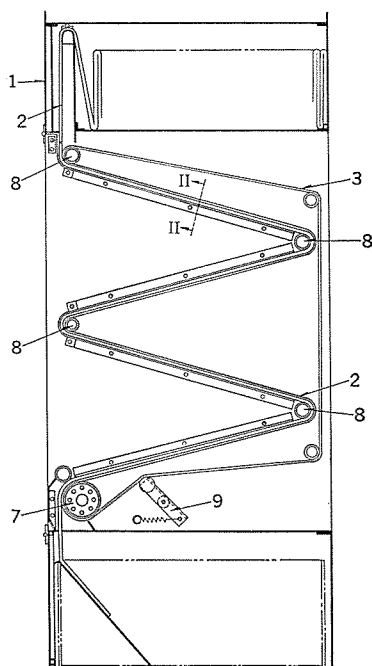


図 1

いま、駆動車(7)の回転に伴い送り駆動部材(3)(4)が循環走行すると、この駆動部材(3)(4)と一体をなす多孔質部材(5)(6)に圧接されたろ材(2)は案内ローラ(8)によってジグザグ状に追従走行して、汚れた部分は本体(1)の下部に送り込まれ、新しいろ材(2)は本体(1)の上部から繰り出されるわけである。

従来この種のろ材送り装置は、ろ材を確実に走行させるために、スプロケットホイール、無端チェーン、およびチェーンガイドなどを用いていたため、構成がきわめて複雑になり、高価になる欠点があるが、この考案によれば、ろ材(2)と、多孔質部材(5)(6)との接触によって行われるので、上述した従来のもののように複雑なチェーン機構を用いる必要がなく、単にベルトなどの簡単かつ安価な駆動部材によってろ材(2)を確実に走行させることができる優れた実用的効果を有するものである。

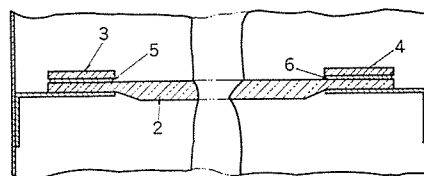


図 2

冷 却 器 (実用新案第 968993 号)

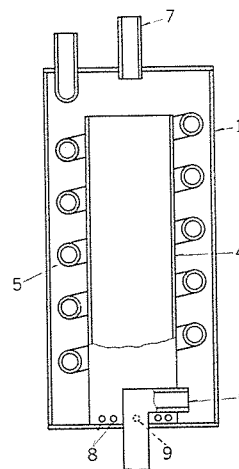
考 案 者 池 沢 勝 郎

この考案は、冷却器のうち、とくにシェル・アンド・コイル 形の水冷却器の改良に関するものである。

図は、この考案の冷却器を示す断面図で(5)は外筒(1)と、内筒(4)との間に配設された冷却管(6)は上記外筒(1)と内筒(4)との間に水を供給するための水入口管(7)は上記冷却管(5)により冷却された水を導出するための冷水出口管(8)は上記内筒(4)の下部にその円周上に等間隔にけられた比較的断面積の小さい通路(9)はこの通路(8)と同一平面上において上記水入口管(6)にけられた小断面積の通路である。

この考案の冷却器は、上記のように構成されているので、冷水負荷の激減などにより、冷却管(5)の回りの冷水が凍結して、内筒(4)と外筒(1)との間の水通路がふさ(塞)がった場合には、水入口管(6)の通路(9)、および内筒(4)の通路(8)を介して、内筒(4)の内部に水入口管(6)の水が流入し、この内筒(4)の内部を上昇して冷水出口管(7)に導かれるが、このとき、冷水出口管(7)から負荷に供給される冷水の温度は、定常時とほぼ同一である。

このように、凍結時においても冷水の供給を行わせることができるばかりでなく、定常状態における冷却効果を確保することができる。



エポキシ樹脂注型がいし ブッシングの長期屋外課電暴露試験

坂井龍吉*・宗村弘次*・農蘇正和*・中沢 隆*・桑原 宏*

1. ま え が き

エポキシ樹脂注型品は、高電圧絶縁物として使用され始めてから、当社では15年以上を経過し、GIS（ガス絶縁変電所）及びCSS（固体絶縁縮小形変電所）において特にその小形・軽量化に貢献している。一方、脂環族エポキシ樹脂の開発とあいまち、欧米では従来の磁器製がいしにとって代わるべく、一部の支持がいし・ブッシング・PT・CT等で生産、販売、実ラインへの適用も進められているようである⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。この論文では、モデル形状の20kVブッシング及び70kV支持がいしを用いて行っている長期課電暴露試験の結果を中心に、他の試験結果についても一部言及するが、紫外線や降雨等の自然条件に電氣的効果が相乗的に作用して材料間の差を明らかにしてくれている。なお、これらの結果は、試験開始後3.5年を経過するまでの中間的なものであるが、現在までのところトラッキングによってせん絡破壊を生じたものはない。今後も課電暴露試験が継続され、最終結論を出すにはまだ時間を要するが、おおむね材料間で劣化の程度に差を生じており、屋外用注型材料の実用化にあたって有力な手がかりを得ている。

2. 注型材料の選択

2.1 課電用供試注型材料選択の経緯

屋外用注型材料に関し、当社でも以前から材料開発と種々の評価を進め、エポキシ樹脂の化学構造と耐トラッキング性・耐アーク性・燃焼性・耐候性等⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾との関係について研究してきたが、これらと並行して長期にわたる無課電暴露試験⁽⁷⁾や、単純棒状モデルによる海岸線近くでの課電暴露試験等⁽⁸⁾も実施してきた。これらの試験結果より、長期の課電暴露試験を行うには、材料の耐トラッキング性、耐クラック性及び作業性について特に注意を払う必要性を認め、耐トラッキング性ではDip Track法で3.0kV以上の値を有するものを中心に供試材料を選択することにした。

耐クラック性は、一般的にエポキシ樹脂の化学構造とも密接に関係し、脂環族系エポキシ樹脂では、ヒダントイン系で良い値を示し、他は非常に悪い。この耐クラック性を改善しないと、埋込物を有する複雑な形状の実製品製作に適さないため、樹脂組成の改質による化学反応の制御や高分子量化、可塑化、充てん（填）剤の種類及び量、粒度分布の選択による膨張係数のコントロール、充填剤の沈降等による不均質化の防止⁽⁹⁾等の材料組成の検討に加え、硬化方法の研究、製品及び埋込物の形状の研究等も一般に行われる。しかし、このような改善を行っても、なお脂環族系の注型品では耐クラック性に乏しいため、普通によく用いられるようなOlyphant washer法やRing washer法⁽¹⁰⁾等を採用せず、実用面を重視して独自のブッシングモデル評価法によって材料検討を進めてきた。

以上のような耐トラッキング性、耐クラック性に関する問題のほか、材料選択にあたり、材料の調合から注入、ゲル化に至る過程での化学反応性、すなわち作業性や、硬化物の機械的特性等についても注

意が必要であり、この試験を実施するにあたってできる限りこれらの検討を行って材料選択と試料の製作を行った。

2.2 20kVブッシング及び70kV支持がいし

現在、当社で実施している実製品形状モデルによる試験状況を表1に示した。このうち、20kVブッシング及び70kV支持がいしモデルに関しては、脂環族エポキシ樹脂の化学構造の差異が、長期にわたる屋外課電暴露によっていかなる差となって現れてくるかを見出すことに主眼を置いたため、2.1節で述べた事項についての配慮を加えながらも、単純材料系で試料を製作することにした。表2に供試材料系を示したが、試料数を4としたものは、市場性、将来性、生産の可能性を期待してこの試験の中心と考えたものであり、1～2本程度としたものは、比較用である。表中には、各脂環族エポキシ樹脂のエポキシ当量と熱軟化温度（ T_g ）、モデルブッシング法によって比較したクラック指数も併記したが、 T_g とクラック指数は、概して相反する結果になっており⁽¹²⁾、 T_g をある値にコントロールする必要性を示唆している。屋外用注型品の充填剤として、耐トラッキング性を向上する目的から水和アルミナがよく用いられるようであるが、その結晶構造に帰因する機械的強度の悪さと、耐クラック性への悪影響、樹脂相互間の比較への影響、実製品製作に対する見通しの悪さ、その他から使用しないことにし、耐クラック性に優れた溶融石英粉のみを用いている。硬化剤は、脂環族酸無水物系のもので統一し、少しでも耐トラッキング性を向上するようにした。着色剤については、色の影響を除くために自然色を標準にし、（C）試料系についてのみ茶色系

表1. 屋外で長期課電暴露試験中の試料及び試験条件

	6kV 支持がいし	20kV ブッシング	70kV 支持がいし	110kV 支持がいし
樹脂組成物	・エポキシ成形品（ビスフェノール系） ・エポキシ注型品（ビスフェノール系）（シクロ系）（シクロ・ビス）（ブレンド系） ・表面処理成形品	・各種脂環族エポキシ樹脂 表2. 参照	・グリシジルエーテル形脂環族エポキシ樹脂	
試料数（本）	24	20	20	1
試験場所	当社 伊丹製作所 6kV 局部変電所	当社伊丹製作所 屋外試験場		大トー佐野工場海岸線より60m
51年11月までの課電時間	成形品 5年 注型品 3年	3.5年	3.5年	3.5年 (無課電2年)
印加電圧（kV）	6.3（線間）	18.5	63.0	73.5
ACせん絡電圧（kV）	50	107	310	483.5
1mp. (50%せん絡電圧)（kV）	(-)135	(-)191	(-)580	976
高さ（mm）	80	235	750	1,170
沿面距離（mm）	120	665	1,860	3,600
重量（kg）	0.3	10	18	45

注) 1. 70kV 支持がいし：このうちの2本は60kV用であるが、同一印加電圧で試験中。
2. 20kVブッシングの高さとは、上・下対称であるブッシングの中心導体の先端からフランジまでの寸法を現す。
3. 110kV 支持がいしの課電時間は約3.5年であるが、無課電で暴露されている時もあり、これらを合計すると5.5年になる。

表 2. 20 kV プッシング, 70 kV 支持がいしの材料一覧

試料	エポキシ樹脂の種類	熱硬化温度 (°C)	クラック指数 (プッシング注)	供試数		備 考
				プッシング	がいし	
A	脂環族 グリシジルエステル系	110	7.3	4	4	作業性は良好
B	脂環族 グリシジルエステル系	110	18以上	4	4	がいしのひだにひけ マークを生じやすい
B'	脂環族 グリシジルエステル系	108	4.0	2	2	試料Bの原料樹脂を 更に重合反応を進ま せたもの
C	脂環族 環内エポキシド系	178	1.8	4	2	各1本ずつ茶色着色 品を加えた。クラッ ク性悪い、ひけマ ークを生じやすい
D	脂環族 ヒダントイン系	116	20以上	4	4	クラック性は良好。 少しひけを生ずる。 作業性が良い
E	脂環族 環内エポキシド系	153	3.8	1	1	一番クラック性に乏 しい。がいしのひだ にひけマークを生じ やすい
F	エビビス系 + 環内エポキシド系	125	10.8	1	1	作業性は良好

- 注) 1. 充填剤は、すべて一定粒度分布の溶融石英粉を用いた(量は試料によって異なる)。
2. 硬化剤はすべて酸無水物脂環族系同一種のものを用いた(量は試料によって異なる)。
3. 硬化促進剤は、それぞれの配合に特有のものを用いて完全硬化するようにした。
4. 支持がいしについては、上記以外にB社製60号相当のグリシジルエステル系樹脂で製作されたものが2本含まれている。
5. クラック指数は、当社で独自に、これらのクラック性の悪い材料を評価できるように、10号相当のモデルプッシングを用いたヒートサイクル試験によって表現している。

を各1本加えている。

プッシングやがいしの設計にあたっては、等価塩分付着量で0.12 mg/cm²という重汚損でもせん絡を生じないような配慮のもとに基本設計を行い、電界模写によって検討を行い、注型品の特徴である形状の任意選択性を有効に利用して大小のひだを組合せて設計を行った。その結果、沿面長の増大、汚損せん絡特性の向上、紫外線しゃへい部分の増大、小形軽量化が図られている。

2. 3 その他の供試品

2. 2 節の 20 kV プッシング, 70 kV 支持がいしによる試験と同時に、昭和 46 年より 6 kV 支持がいし及び 110 kV 支持がいしによる長期課電暴露試験も進めている。6 kV 支持がいし用材料については、既に報告⁽⁹⁾の済みであり、試料の製作には実用的見地から材料及びその製造法を選択している。

110 kV 支持がいしは、ある材料メーカーより提供を受けたもので、2重注型法によって製作され、紫外線や降雨・汚損にさらされる表面側は、グリシジルエステル系脂環族エポキシ樹脂にシリカと水和アルミナとを配合したものであるのに対し、内部はシリカ配合の芳香族エポキシ樹脂注型品からできている。

3. 長期屋外課電暴露試験

既に3~5.5年にわたる長期屋外課電暴露試験を実施し、現在も続行中であるが、すべての供試品ともにトラッキング破壊に至るものではなくて順調である。材料によっては、プッシング類のひだの日照面だけでなく地面向面にも、著しい光沢の減少、退色白亜化、ざらつきが認められ、湿潤時に表面抵抗の著しい低下を示すものもある。3章では、20 kV プッシング及び70 kV 支持がいしによる試験結果を中心に述べ、最後に他の試験結果についても少し言及したい。

3. 1 20 kV プッシング及び70 kV 支持がいしによる試験⁽¹¹⁾⁽¹⁰⁾

(1) 供試試料

表 3. 印加電圧及び試験項目

試料名 試験項目	プッシング	支持がいし
印 加 電 圧	18.5 kVrms (AC 60 Hz)	63 kVrms (AC 60 Hz)
AC 耐 電 圧	50 kVrms 1分間 (AC 60 Hz)	160 kVrms 1分間 (AC 60 Hz)
Imp. 耐 電 圧	±150 kV Peak (1×40 s)	±400 kV Peak (1×40 s)
漏 れ 電 流	AC 及び DC	AC 及び DC
部 分 放 電	部分放電開始電圧 電圧対部分放電電荷量特性	部分放電開始電圧 電圧対部分放電電荷量特性
誘 電 正 接	電圧対誘電正接特性	
周囲温度・湿度	毎 日	毎 日

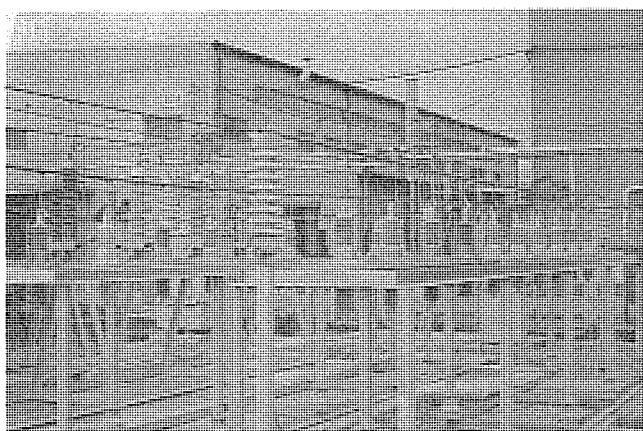


図 1. 課電暴露試験状況 (20 kV プッシング 及び 70 kV 支持がいし)

表 2. に試験に使用した 20 kV プッシング 及び 70 kV 支持がいしの材料の概要及び数量を、また表 1. に主な特性を示した。

(2) 試験方法

試験は、当社伊丹製作所構内の屋外試験場で実施している。試料の取付位置は、地上より約 1.5 m の所に南向きに垂直に立てている。印加電圧は、常規対地電圧の 1.3 倍とし、それらを表 3. に示した。試料の屋外課電暴露試験状況を図 1. に示す。

試料に対する各種評価試験は、5 年間の屋外課電暴露試験完了後に行う予定であるので、途中で試料をいじることをできるだけ避けるため、試験続行中の評価試験はある程度限定せざるをえない。表 3. に、試験続行中に適当な間隔で定期的に行った評価試験の項目を示す。以上の報告は、脂環族グリシジルエステル系(A)、(B)試料、脂環族環内エポキシ系(C)試料、及び脂環族ヒダントイン系(D)試料の4種類の結果を中心に述べることにする。

(3) 試験結果

(a) 耐電圧試験

表 3. の AC 及びインパルス試験電圧に対し、これまで全試料ともに異常は認められない。

(b) 漏れ電流試験

表面の絶縁状態を評価する方法として耐アーク性試験・耐トラッキング性試験・せん絡試験等があるが、これらは最終試験完了後に行うので、ここでは漏れ電流による評価のみを行うことにした。最初に、乾燥時の漏れ電流について述べる。図 2. は、3 年間の課電暴露試験で印加電圧が 20 kV のときに測定した、プッシング(ABC D)のフランジ部を境にして上部と下部との AC 表面漏れ電流の変化を平均値で示したものである。一方、図 3. は、AC 電圧の代わり

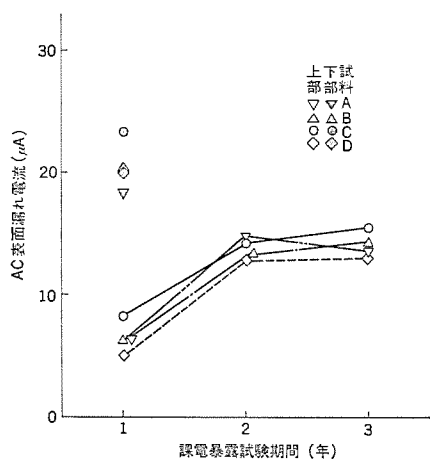


図 2. 課電暴露試験期間に対する AC 表面漏れ電流の変化

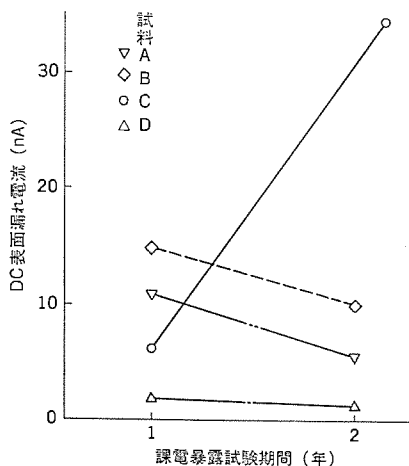


図 3. 課電暴露試験期間に対する ブッシング (上部) の DC 表面漏れ電流の変化

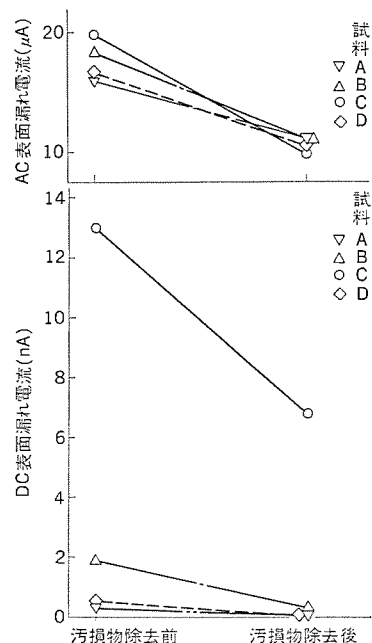


図 4. 汚損物除去前後の ブッシング (上部) の AC 及び DC 表面漏れ電流の変化

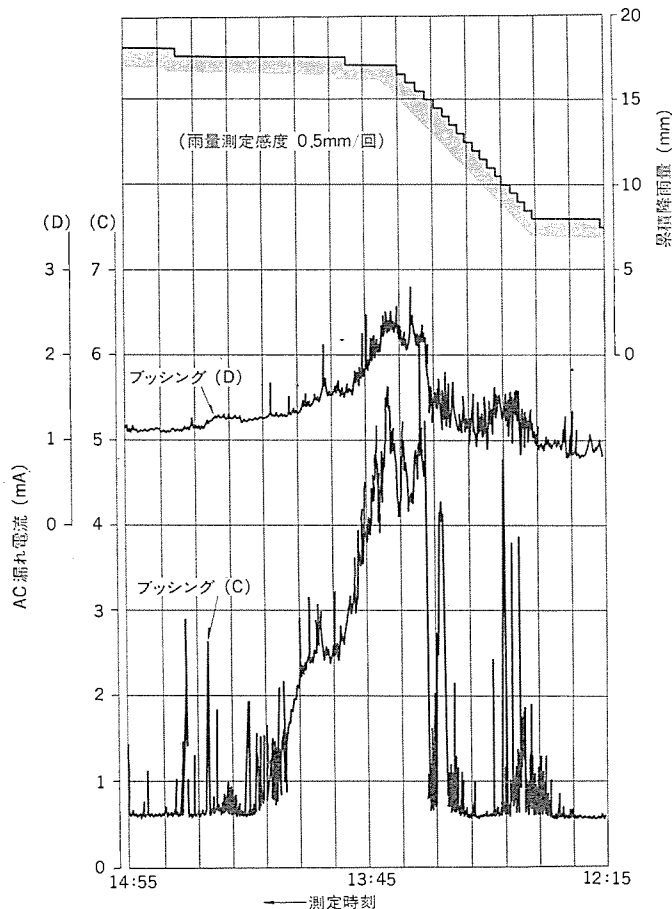


図 5. 3.5 年課電暴露試験中の ブッシング の降雨時の AC 漏れ電流

に DC $20\sqrt{2}$ kV を印加した場合の、ブッシング上部の DC 表面漏れ電流の変化を同じく平均値で示したものである。ブッシング表面の漏れ電流をみると、AC では増える傾向にあるのに対して DC では、(C) 試料以外は減っている。これらは、ブッシング表面の劣化、あるいは付着した汚損物、更には湿気が原因していると思われる。例えばブッシング下部の漏れ電流が大きいのは、フランジ部に邪魔されて上部のような雨洗効果が期待できなくて汚損物の付着量が多くなったためと思われる。このように汚損物の付着は、湿度の高い場合とか、降雨の初期に大きな漏れ電流を流す原因にもなりかねないので、注意が必要がある。

図 2. 及び図 3. において試料の種類による差異をみると、AC 印

加ではほとんどはつきりしないのに対し、DC 印加では試料間に差が生じている。この原因を検討するため、3.5 年間屋外課電暴露試験したブッシング(ABCD)のうちから各 1 本を選び、汚損物を取り除く前・後のブッシング上部の表面漏れ電流を調べた。図 4. に AC 及び DC の場合をそれぞれ示す。AC では汚損物を取り除くと、表面漏れ電流は低下し、その大きさも 1 年間の課電暴露試験を行ったブッシングのそれに近い値を示すが、試料間の差は見出せない。これは、充電電流が影響しているためと思われる。一方、DC では汚損物を取り除けば、表面漏れ電流の下がるのは AC と同じであるが、環内エポキシ系(C)試料では試料間に差が見られる。

次に、降雨状態において試料にどの程度の漏れ電流が流れるのか、あるいは試料の種類によって漏れ電流の値に差があるのかなどを知るため、降雨時の AC 漏れ電流の測定を行った。図 5. に 3.5 年目のブッシング試料(C・D)について印加電圧 18.5 kV における降雨時の AC 漏れ電流を同時に測定した一例を示す。これまでに測定された最大の AC 漏れ電流は、ブッシングで約 0.6~10 mA、支持がいしで約 0.05~6.7 mA であり、この最大漏れ電流は、乾燥時のそれに対してブッシングで約 20 倍、支持がいしで約 168 倍になっている。試料間の差を見ると、例えば 4 種類のブッシングの AC 漏れ電流を同一降雨時に同時に測定し、更に降雨日を変えて数回測定を繰り返し、またロットの異なる試料の漏れ電流を測定したところ、他の 3 試料と比べて環内エポキシ系(C)試料の漏れ電流が大きな値を示す回数が多くなっている。その一例を図 6. に示す。しかしながら、漏れ電流の値の差はわずかなものであり、これまでの測定結果からだけでは試料間の差ははっきり判定しがたいが、課電暴露試験を行った試料と、そうでない試料とでは、AC 漏れ電流に大きな差が認められる。そのほか、降雨量が増えれば、漏れ電流は増え、降雨に対して漏れ電流は極めて敏感に変化するようである。また、付着した汚損物のために降雨の初期に大きな漏れ電流が流れ、汚損物が洗い流されるとともに、漏れ電流値も小さくなるという報告⁽¹³⁾もあるが、これらの確認も含めて今後、データの集積と人工降雨的な実験とによって降雨時の漏れ電流の現象を調べようと思っている。

(2) 誘電正接及び部分放電試験

試料内部の絶縁状態を判定するという意味も含めて誘電正接及び部分放電試験を行っているが、誘電正接は印加電圧 20 kV 時に各プッシングとも 1 % 以内にあり、印加電圧対誘電正接特性もほとんど変化しておらず、試料間の差は認められない。部分放電は、プッシングで印加電圧 35 kV まで、支持がいしで 63 kV まで認められない。これらのことから試料内部の絶縁状態は、ボイドなどの発生もなく、良好なように思われる。

(3) 表面抵抗率の測定

3.5 年間屋外課電暴露試験を行った プッシング 及び支持がいしの頂部の高圧導体に近い南面側のひだの一部を切り取り、付着した汚損物を取り除いたものを試料として乾燥及び水浸した後の試料の表・裏

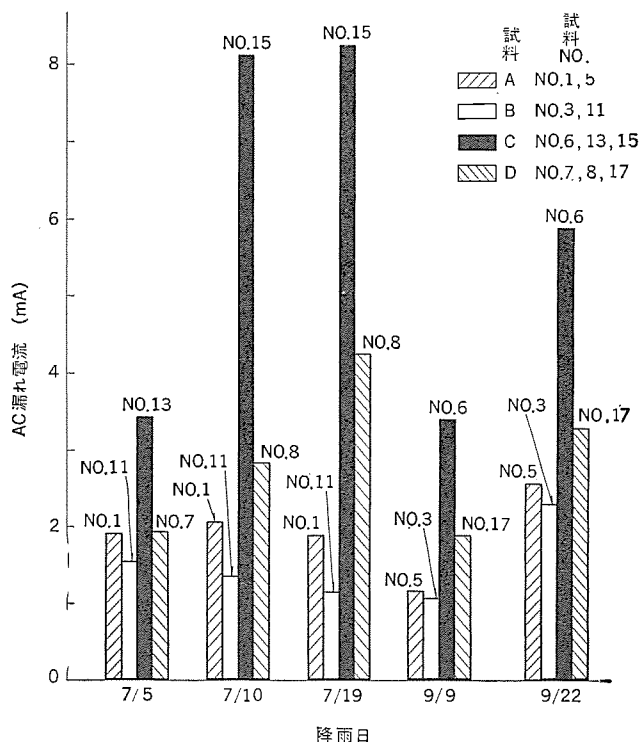


図 6. 各種 プッシング の降雨時における AC 漏れ電流の比較

の表面抵抗率の変化を測定した。この結果を図 7. に示す。乾燥後では試料間の差は余りはっきりしないが、水浸した後ではかなり明りように試料間の差が現れているようであり、(C) 試料で著しい低下を示すのに対して (B) 試料では余り大きな低下を示していない。これらは、電圧・紫外線・降雨等の影響を受けて劣化が進み、このために水分を吸収・吸着しやすくなって導電性を帯びたためと思われる。ひだの表と裏にも、(C) 試料では試料間の差がみられる。

(4) 表面粗さ

劣化表面の観察方法としては、顕微鏡によって直接見るもの、水によるぬ(濡)れやすさを接触角の測定によって行うもの、赤外線によるカルボニル基の変化の度合を追跡するもの⁽¹⁴⁾などもあるが、途中経過の調査には、タリサーフによる面粗さの測定を中心に顕微鏡観察を併用した。測定した部分が、各材料を確実に代表しているとは思えないが、他のデータとも比較的良好に一致しており、表面劣化を調べる上で有力な方法と考えられる。図 8. に、紫外線及び降雨の影響を

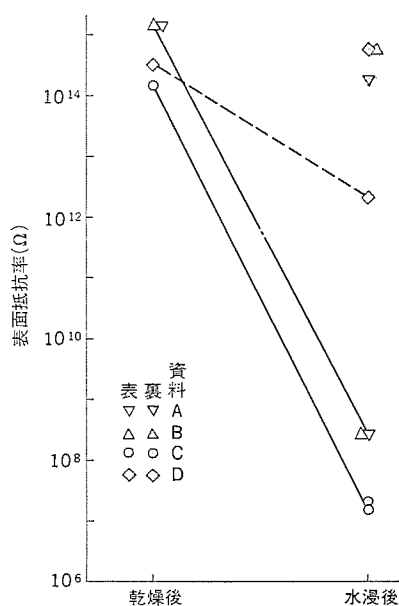


図 7. 各種 プッシング 試片の水浸前後の表面抵抗率の変化

最も受ける南向きの最上部日照面ひだを測定したチャートの一部を示したが、材料間差が反映されており、全般的に環内エポキシ系(C)の劣化が大きく、面粗さで15~20 μm にも達しているが、グリシジルエステル系(B) 試料では3~5 μm 程度である。また、20 kV プッシング及び70 kV 支持がいしとは、がいしのほうがやや面荒れがあるように思われる。ひだの裏側(地面向面)についての調査では、がいしの面はほとんど荒れていないのに対し、プッシングでは全般的に荒れがやや大きく、(C) 試料では特に著しい。

劣化の進展度合が最も大きい(C) 試料については、これとほぼ同じ化学組成をもつ110 kV 支持がいしによって既に長期にわたる課電暴露試験が続けられている⁽¹⁵⁾。図 9. に(C) 試料系に関する面粗さの測定結果をまとめて示したが、日照

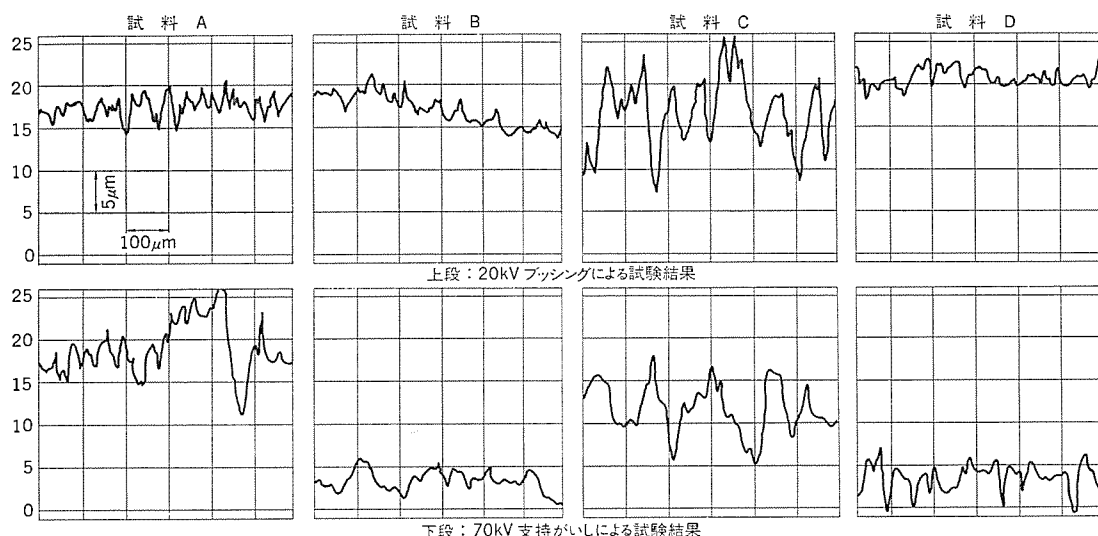


図 8. 3.5 年課電暴露した注型品の表面粗さ (日照面の比較)

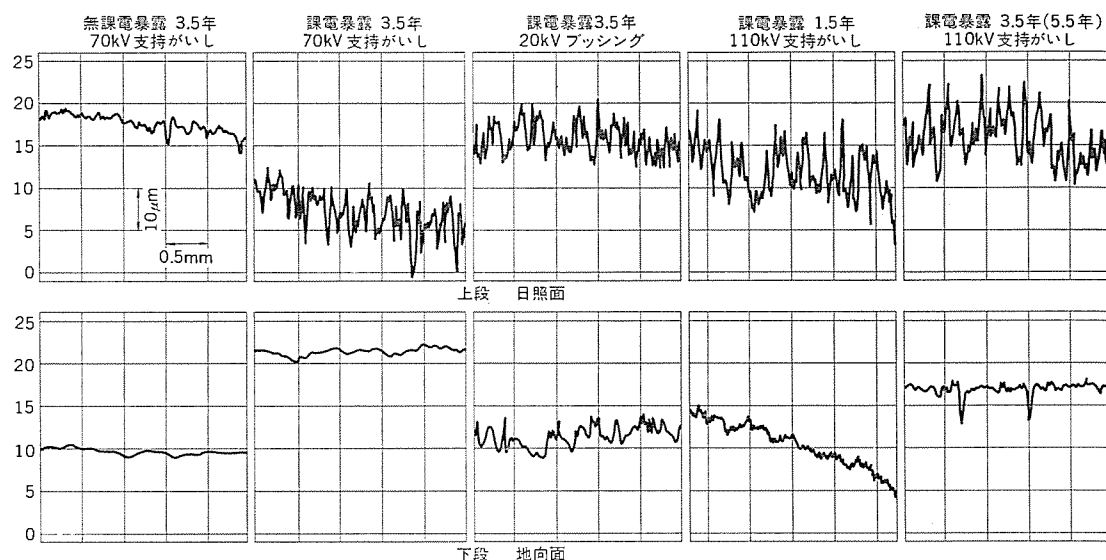


図 9. 環内 エポキシド 系脂環族材料 (試料C系) の表面粗さ

面では、水和 アルミナの入った 110 kV 支持がいしの劣化が著しいのに対し、地面向面では、20 kV ブッシングの劣化が大きい。これらの結果をまとめてみると、日照面には紫外線、降雨及び電気的作用が相乗的に作用するため、明確に材料間差となって現れるが、地面向面には紫外線の影響が極端に少なくなるのに対し、ひだの形状、電界の加わり方、雨洗後の水滴や汚損物の残留等が影響し、悪い材料では著しい劣化となって現れるのであろう。表面粗さが 20~30 μm 程度になれば、充填剤粒子そのものの粒径にまで達しており、それ以上では雨洗効果による充填剤の脱落が加わるため、面粗さとしてはみかけ上、一定値に落ち着くものと思われる。

(5) 外観上の調査

トラッキングファークは全く見られないが、上述のように面粗さに材料間差を生じている。(C)試料では、特に劣化がひどくて白亜化し、微細な網目状地割れが見られる部分もある。また、全般的に胴部に近い中心部のほうが光沢の減少が大きい。更に、ブッシング(C)試料の1本が、3年目に入って間もなく円周上クラックの発生からせん絡に至ったこと、3.5年目の点検で支持がいし(A)試料の1本の上部取付用埋金の近傍にクラックが認められたことで、耐クラック性の悪さとも関係があり、実機への適用に当たっては、残留内部応力を十分に緩和するような検討が必要であろう。

表 4. に 2.5~3年目に測定したブッシング表面の付着物、等価塩分量、その他の概要を示したが、フランジより下部では雨洗効果が期待されずに極めて高い値になっている。また、(C)試料では、表面荒れとの関係もあってか、全般的に高い値を示していた。直接、有機材料の問題とは関係ないが、鉄や銅、アルミ等の金属材料の腐食のほうが大きく、実機への適用上に検討を要する。

(6) 結果のまとめ

この試験は、5年間を目標に進めているために試料をいじっての評価を極力避けた。そのために評価項目は制限され、十分なデータを得て検討を行うことはできなかったが、おおむね次のような結果になるとと思われる。

表 4. 20 kV ブッシングのひだに付着した物質

測定項目	測定結果	
	A, B, D 系試料	C 試料
付着物の成分 (発光分光分析法による)	主成分元素 Fe, Si, Al 主にこれらの酸化物など土あい(埃)の成分が付着している	
付着分を水に溶解した際の導電性		
導電度 (Ω/cm)	800	960 (1 g/100cc)
PH	5.0	4.6 (")
SO_4^{--} (%)	2.8	9.1 (0.1 g/100cc)
Cl^- (%)	0.18	0.39 (")
NO_3^- (%)	0.26	0.89 (")
等価塩分付着量 (mg/cm^2)		
上部 大ひだ	0.002~0.003	0.005~0.011
小ひだ	0.004~0.005	0.007~0.011
下部 大ひだ	0.007~0.028	0.03 ~0.101
小ひだ	0.012~0.063	0.066~0.223
付着物の量 (mg/cm^2)		
上部 大ひだ	0.004~0.006	0.003~0.019
小ひだ	0.010~0.018	0.007~0.013
下部 大ひだ	0.108~0.647	0.156~1.094
小ひだ	0.046~1.341	0.142~2.492

注) 1. A, B, D 試料は 2.5 年課電品、試料採取の前日は雨
2. C 試料は 3 年課電品、"
3. フランジを中心にして上部、下部に分け、大ひだは最上部のものを、小ひだは中央部分のものを 1 枚用いた。また付着量等の表示は、ひだの表、裏をおしなべて平均した値であるが、当然ながら表側には多量に付着している。

- 現在の状態からみて Dip Track 法で 3 kV 以上の材料を選択すれば、電界や汚損の程度との関係についての検討も要するものの、トラッキング破壊には至らないのではないかとと思われる。
- 材料間で表面劣化の程度に差を生じており、環内 エポキシド系(C)試料が著しい劣化を示すのに対し、グリニルエステル系(B)試料の劣化は比較的少ない。
- 脂環族 エポキシ樹脂の実機への適用にあたっては、配合組成物の耐クラック性の向上、残留内部応力の除去、デザインも含めて重要である。
- 屋外用注型材料の評価法として、課電暴露の重要性を再確認した。また、材料劣化程度の判別法として、湿潤時の電気特性

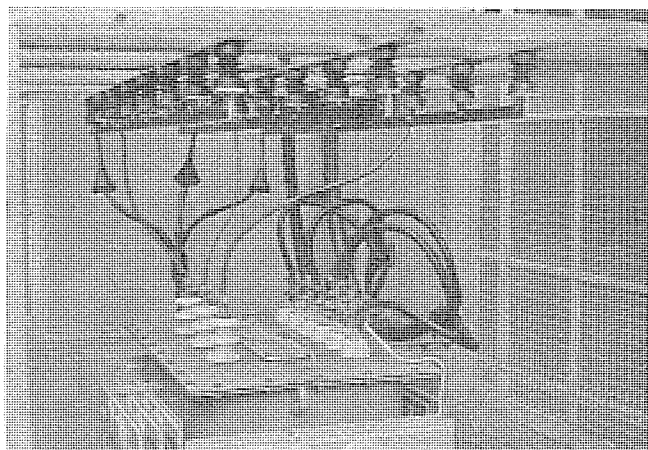


図 10. 6 kV 局部変電所 (実ライン) でのがいし取付け状況

を測定することや、面粗さを直接タリサフなどによって測定することも有効な手段であることが分かった。

3.2 その他の長期課電暴露試験

(1) 6 kV 支持がいしによる試験

図 10. に試験状況を示したが、工場内の屋外 6 kV 局部変電所の変圧器に入る 1 次側に多数のがいしを取付け、実ラインでの評価を進めている。5.5 年を経過した現在のところ、トラッキングによるせん絡に至ったものはないが、トラッキング性向上のためにビスフェノール製成形品の上に表面塗装を行ったものに、わずかのトラッキングこん(痕)を生じたものがあり、興味深い。

(2) 110 kV 支持がいしによる試験

前回の報告⁽¹⁵⁾で詳しく説明したので省略するが、この試験は、一番劣化の激しい(C)系統材料によるものの海岸線近くでの試験にもかかわらず、著しい表面劣化を伴いながらもトラッキングの生成が全く認められず、材料選上上の有力な試験になっている。図 9. に表面粗さの時間的経過を併せて示したが、日照面では充填剤粒子の露出・脱落段階にまできており、ほぼ 20~25 μm 程度で一定になっているようである。

4. む す び

現在、当社で進めている屋外用注型絶縁物による長期屋外課電暴露試験について、途中段階でのデータを中心に述べたが、紫外線や降雨に加えて電気的作用が大きく影響している点で実環境下での課電試験の価値は高い。トラッキング破壊を生ずるものはみられないが、材料間で劣化の程度に差が生じており、屋外用注型材料の実用化にあたって有効なデータが蓄積されている。また、実製品製作に当たり、材料的に耐クラック性向上の処置を十分に行うべきであるが、設計的にも残留応力を除去できるようにしなければならない。

終わりに、課電暴露試験にご協力を賜った大トー(株)の関係者に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) M. J. Billing, K. W. Humphreys : IEEE 32 C, 79-71
- (2) CIBA-GEIGY : Technical Bulletin, 1968
- (3) Hannover Messe 1974 Catalogues (Messwandler Bau, Jordan, Rity etc.)
- (4) 寺谷, 高木 : 昭和 50 年電気学会関西支部連合会, S 3-8
- (5) 草川ほか : 電学第 5 回電絶材料シンポジウム 予稿集 I-3 (昭 47)
- (6) H. Kusakawa, and O. Hashimoto : Mitsubishi Denki Lab. Rep., 10, No. 3/4 (1970)
- (7) 寺谷, 坂井外 : 昭和 48 年電気学会関西支部連合会, G 5-15
- (8) 川上 : 絶縁材料研究会資料, IM-72-10 (昭 48)
- (9) 西崎, 福島 : 第 21 回熱硬化性樹脂講演討論会資料 (昭 46-11)
- (10) A. Noshay : Insulation/Circuit 19, 33 (1973)
- (11) 宗村, 坂井, 桑原 : 第 4 回絶縁劣化研究会資料 3 (昭 50)
- (12) 時沢 : 高分子加工, 28, 1, 30 (昭 50)
- (13) T. W. Dakin ほか : IEEE Trans., E 1-8 (1973)
- (14) 黒沢 : 第 37 回絶縁劣化研究懇談会資料 (昭 47-11)
- (15) 寺谷, 坂井, 宗村 : 三菱電機技報, 47, No. 10, 1,033 (昭 48)
- (16) 坂井, 宗村, 桑原 : 昭和 51 年電気学会全国大会, 326

当 社 の 特 許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
792945	半導体装置およびその製造方法	嶋田 義行	792957	超電導維持装置	尾畑 喜行
792946	距離算出装置	遠藤 義昭・稲宮 健一	792958	磁心メモリマトリックス配列編組装置	菰原 智・沢 永寧
792947	パターン検出装置	弘中 一光・丸山 寿一	792959	半導体制御素子	山下 信三
792948	エレベータの速度制御装置	渡辺 英紀	792960	移動体の自動走行制御装置	綿谷 晴司・下村 節宏 内海 暁
792949	エレベータ方式	竹内 照男	792961	発振装置	早水 弘一・村上 謙二
792950	エレベータ方式	竹内 照男	792962	エポキシ樹脂の硬化方法	西崎 俊一郎・福島 二郎 安田 和男
792951	ミシン	本田 英三・森田 稔	792990	系統連系装置	平山 尚・馬場 準一 山田 郁夫・木下 裕道
792952	ネマチック液晶組成物	柴山 恭一・小野 博	792991	系統連系装置	平山 尚・馬場 準一 山田 郁夫・木下 裕道
792953	金属ハロゲン化物入り水銀ランプの製造方法	竹田 俊幸・土橋 理博 若林 正雄	793999	特殊レーダを用いた衝突防止装置	岡本 春樹
792954	トランジスタとその製作方法	土佐 雅宣			
792955	半導体装置	伝田 隆治			
792956	テレビジョンの高圧安定化回路	平尾 二三雄			

X-バンド・シリコンダブルドリフトインパットダイオード

小谷三千男*・小引道博*・渡瀬 学*・高宮三郎*・三井 茂**

1. ま え が き

位相走査形レーダに用いるマイクロ波源として、高出力・高効率のマイクロ波半導体直接発振素子が要求されており、その一つとして、量産性及び製造技術の優れているSiを用いたインパットダイオードが有力と考えられ、その実用化が行われている。

Siインパットダイオードは、その構造に関して、DDR(Double Drift Region)形とSDR(Single Drift Region)形とに大別される。一般に、DDR形インパットダイオードは、SDR形インパットダイオードと比べて電子と正孔を有効に利用しているため、また、動作長が長くなるため、電力・インピーダンス積が大きくとれ、高出力・高効率のパルス発振素子として適している^{(1)~(6)}。しかし、DDR形構造を採用することにより、(1)ドリフト領域の長さや不純物分布を再現性よく、精密に制御することが困難となる、(2)ドリフト領域が長くなるため熱放散が悪くなる、などの問題が発生する。また高出力を得るために大きな入力電力を与えるので、パルス動作の場合でも熱放散については十分な考慮が必要である。

それ故、位相走査形レーダ用として、高出力・高効率のパルス動作用SiDDRインパットダイオードを製造するには、ダイオード設計に応じて、不純物分布及び動作層長を再現性よく制御すると同時に、熱放散をよくするため、ダイオード熱抵抗を下げる必要がある。

高出力化を図るためには、ダイオードの面積を大きくすることが必要であり、その結果として、ダイオードのインピーダンスが低下する。したがって回路的な面から言えば、低インピーダンス回路の設計が必要になる。

筆者らは以上の認識に基づいて高出力・高効率のX-バンド・パルス動作用SiDDRインパットダイオードを試作し実験的な評価を行った。まずその設計と試作プロセスについて述べる。次いで、低インピーダンスの同軸発振器を構成し、パルス発振特性、FM変調特性を測定、評価した結果を述べる。更に、ダイオードを試作したときの再現性及び信頼性についても述べる。

2. DDR形インパットダイオード

2.1 ダイオードの設計と試作

試作したX-バンド・パルス動作用SiDDRインパットダイオードの構造は p^+pnn^+ 構造である。以下、その設計と試作結果について述べる。

まず、ダイオード設計としては、n層とp層のドリフト領域の長さを電子と正孔の速度比に対応して、4:3とし、そのn層とp層のドリフト走行角が $0.8\pi \sim \pi$ の範囲に入るようにした。また、不純物密度は、動作時に高電流が流れている状態でpn両層がほぼパンチスルーを起こすように、降伏電圧におけるパンチスルーファクタを0.85~0.9として設定した。

次に、ダイオード試作法としてはひ(砒)素ドープの n^+ 形基板上にりん(磷)を不純物として、2段エピタキシャル法⁽⁸⁾によりシリコン(SiH_4)を熱分解して厚さ $t_n \approx 5 \mu m$ 、不純物密度 $N_d \approx 6 \times 10^{15}/cm^3$ のn形エ

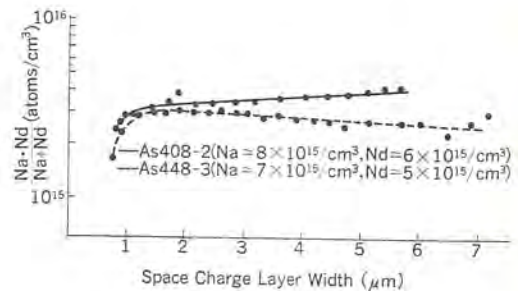


図 1. 実効不純物密度分布

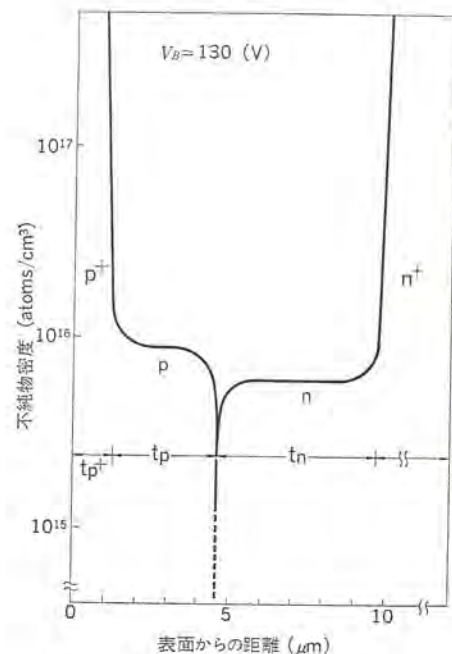


図 2. 不純物密度分布

表 1. ダイオード定数

n 層 厚 さ	t_n	$\sim 5.0 \mu m$
p 層 厚 さ	t_p	$3.6 \sim 3.8 \mu m$
p⁺ 拡 散 層	t_{p^+}	$1.0 \sim 1.5 \mu m$
ド ナ ー 密 度	N_d	$\sim 6.0 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$
ア ク セ プ タ 密 度	N_a	$\sim 8.0 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$
実 効 不 純 物 密 度	$\frac{NaNd}{Na+Nd}$	$\sim 3.5 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$
p/n 密 度 比	$\frac{Na}{Nd}$	1.3~1.5
p/n 厚 さ 比	$\frac{t_p}{t_n}$	0.7~0.8
パンチスルー係数	PF	0.85~0.90

ピタキシャル層を成長させた。次いで、ボロンを不純物として、厚さ $t_p \approx 4.9 \mu m$ 、不純物密度 $N_a \approx 8 \times 10^{15}/cm^3$ のp層を、n層の上に連続的に成長させた。p層の成長後、このp層にボロンを $1.0 \sim 1.5 \mu m$ 拡散し、p層のオーミック用バッファ層として p^+ 層を形成した。

このようにして試作したダイオードの実効不純物分布と実際の

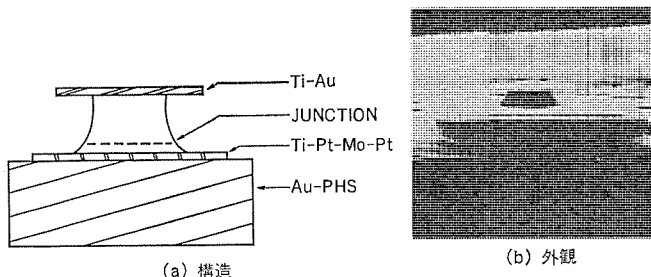


図 3. DDR インパットダイオードの構造と外観

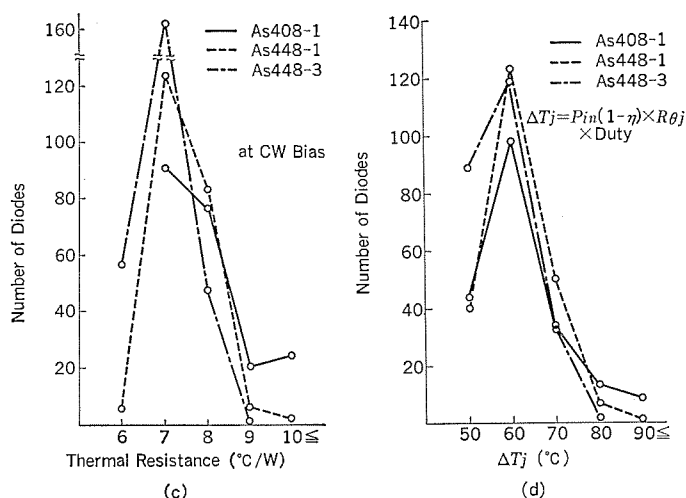
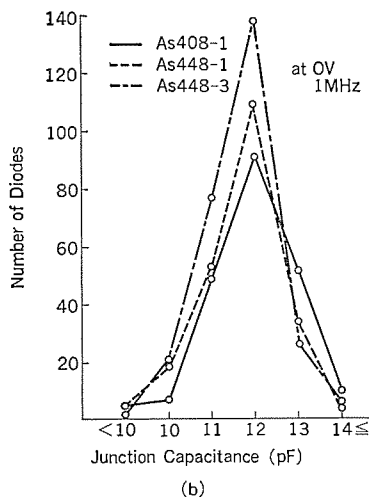
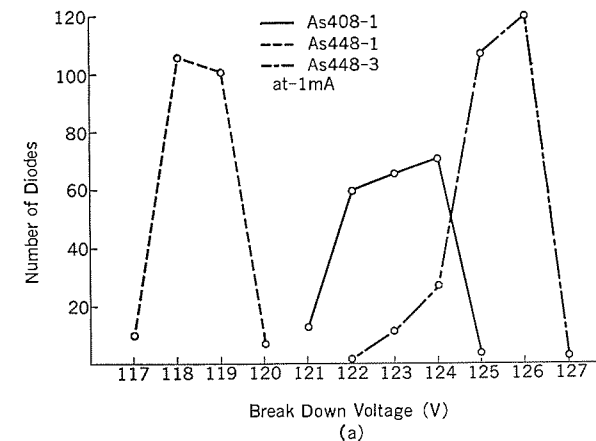


図 4. 試作した各ロットのダイオードの (a) 降伏電圧, (b) ダイオード容量, (c) 熱抵抗 (d) 平均温度上昇の分布

不純物分布を図 1., 図 2. に示す。また, 表 1. には, 図 2. の不純物分布の代表的な数値を示した。ここで, t_n と t_p は, モニタウエハで測定すると同時に, 赤外線干渉計で測定した pn 両層の和の厚さと, n 層, p 層の成長時間比からも求めた。また, n 層と p 層の不純物密度は, 電圧-容量特性から実効不純物密度を計算して求めた。

2.2 ダイオードの構造と組立て

ダイオードの形状は, 図 3. に示すように, PHS (Plated Heat Sink) を備えたメサ形構造をしている。p⁺ バッファ層のオーミック電極は, Ti (500 Å) - Pt (2,000 Å) - Mo (2,000 Å) - Pt (2,000 Å) - Au (5,000 Å) を連続スパッタリングにより形成し, その後, Au 上に Au めっきにより PHS を形成している。n⁺ 基板側のオーミック電極は, Ti (500 Å) - Au (3 μm) の 2 層から成っている。

ダイオード素子面積は, パルス動作用として高出力を得るため, 連続動作用と比べて $6 \sim 7 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ と大きくしてあり, 動作時のパルスピーク電流が 0.8~1.2 A となるように設定してある。

ダイオードパレットのうち逆方向特性が良好なものを選んで, Au・Si はんだを用いて, ピル形パッケージにろう付けした。パッケージの容量は 0.5 pF, インダクタンスは 0.3 nH である。ここで, ダイオードの熱抵抗を下げるため, PHS とパッケージスタッドの接着部に余分な Au-Si や, Au-Si 上の酸化膜が残存しないように注意した⁽⁹⁾。

2.3 ダイオードの静特性値

完成したダイオードを気密試験, 温度サイクル試験, 通電エージング等にかけて, 不良素子を除去した。良好と判定されたダイオードについては降伏電圧 (V_B), 零ボルトでの容量 (C_0), 及び熱抵抗 (R_{th}) を測定した。これらの値を判断要素としてダイオードの選別を行った。また, レーダ装置全体の熱設計と関連して, 式 (1) から得られるダイオードの平均温度上昇 ΔT を求め, 温度上昇が大きなダイオードは不良とした。

$$\Delta T = R_{th} \cdot (1 - \eta) \cdot P_0 \cdot D_p \quad (1)$$

ここで, η はダイオードの発振効率, P_0 はパルスピーク入力, D_p はパルスのデューティ比である。

この実験の X-バンド・パルス DDR インパットダイオードの目標性能は, $V_B = 120 \pm 10 \text{ V}$, $C_0 = 10 \sim 13 \text{ pF}$, $R_{th} \leq 9^\circ\text{C/W}$, $\Delta T \leq 80^\circ\text{C}$ である。

図 4. (a), (b), (c), (d) に, 試作した DDR インパットダイオードの降伏電圧, ダイオード容量, 熱抵抗及び温度上昇の分布を示す。同図では 3 回にわたって試作したダイオードをロットごとに分けて示してある。ここで, V_B は逆方向電流 1 mA での値を示す。また R_{th} は, 微小信号法⁽¹⁰⁾により測定した。なお, ΔT の計算ではデューティ比 D_p を 0.06 としている。

図 4. の実験結果から分かるように, V_B は $122 \pm 5 \text{ V}$, C_0 は $10 \sim 13 \text{ pF}$, R_{th} は $6 \sim 9^\circ\text{C/W}$, $\Delta T = 50 \sim 80^\circ\text{C}$ の範囲に大多数のダイオードが分布している。これらの値は, 先に設定したダイオードの目標性能を十分に満たしており, 再現性もよく, レーダ装置等に適用する上でほとんど問題がないことを示している。

3. ダイオード測定回路

3.1 パルス発振器の構成

パルス発振器は図 5. (a) に示すように, 50 Ω 同軸線路により構成されている。発振出力の整合及び発振周波数は, 特性インピーダンスが 11 Ω の 4 分の 1 波長同軸線路の径と長さで調整されている。9.4 GHz 帯では, この 4 分の 1 波長変成器は 7 mmφ の同軸外導体径に対して, 内導体径 5.8 mmφ, 長さ 7.5 mm となっている。また, ダイオードマウント部は, リアクタンス分を減らすため, ダイオードの一部がヒートシ

ックに沈み込むような構造となっている。

図 5. (b) に周波数安定化のために同図(a)と同様の 4 分の 1 波長同軸線路により構成した FM 変調パルス発振器を示す。変調用バラクタダイオードとしては零バイアスでの容量 C_{j0} が $1.3 \sim 2.0$ pF でかつ 75 V 以上の逆耐圧を持つ GaAs ショットキーダイオード、あるいは GaAs pn 接合ダイオードを用いた。バラクタダイオードは、同図(b)に示すように、マイクロ波電力の伝送方向と逆方向の短絡面の位置に間げき(隙)を設けて装着した。バラクタダイオードとインパットダイオードの結合は、高パルス出力のインパットダイオードにより、バラクタダイオードが焼損しないように調整を行った。また、FM 変調発振器の発振周波数のおおよその温度補償には、図 5. (b) 中に示すように、マイクロ波電力の伝送方向の同軸内導体に、酸化チタン系誘電体 ($\epsilon_r \approx 470$, $\Delta\epsilon/\epsilon \cdot \Delta T \approx -4,700$ ppm/ $^{\circ}\text{C}$) のロッドを取りつけて温度補償を行っている。

3.2 測定回路

図 6. に、この実験での DDR インパットダイオードのパルス特性測定回路を示す。マイクロ波出力は、50 Ω OSM 系のサーキュレータとバイアス T を介して、同軸コネクタにより取り出している。インパットダイオードへ

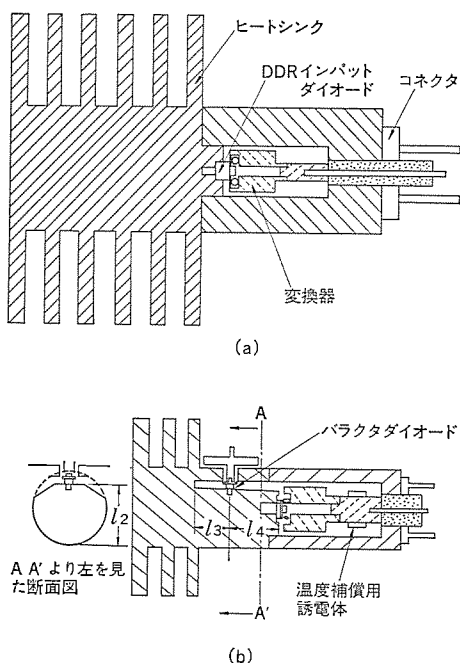


図 5. (a) パルス発振器 (b) FM 変調発振器の構造

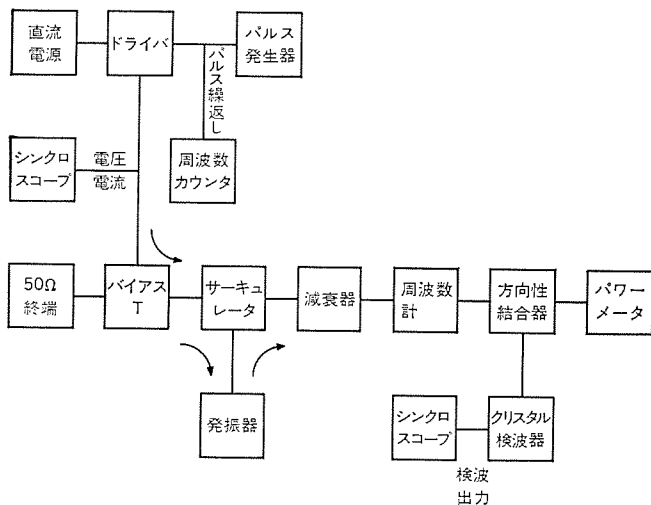


図 6. 測定回路構成

の入力電圧としては、降伏電圧以下の直流バイアス電圧に、デューティ 2 % (パルス幅 0.4 μs くり返し 50 kHz), 立上がり 12 ns 以下のパルス電圧を重畳して印加した。また、ダイオードの発振周波数及びパルス内周波数変化は、反射形空洞共振器を通過後の発振出力を検波して、ディップの位置を求めて測定した。

4. 実験結果

4.1 パルス発振特性

図 7. (a) に、DDR インパットダイオードを 9.4 GHz で動作させたときの代表的な発振出力特性を、また、同図 (b) に、10.4 GHz で最高出力と最高効率が得られたときの発振出力特性を示す。動作電圧は 145~160 V, 入力パルス電流は 0.6~1.5 A の範囲に入っている。

図 7. (a), (b) から、代表的には、X-バンドで発振出力 10~15 W (効率 7~10 %) が、また、最高出力は 27 W (効率 10 %) が、最高効率 13 % (発振出力 19.5 W) が得られていることが分かる。

また、DDR ダイオードをパルス動作させたときのダイオード温度上昇によるパルス内の周波数変化は、ほとんどのダイオードがパルス幅 0.4

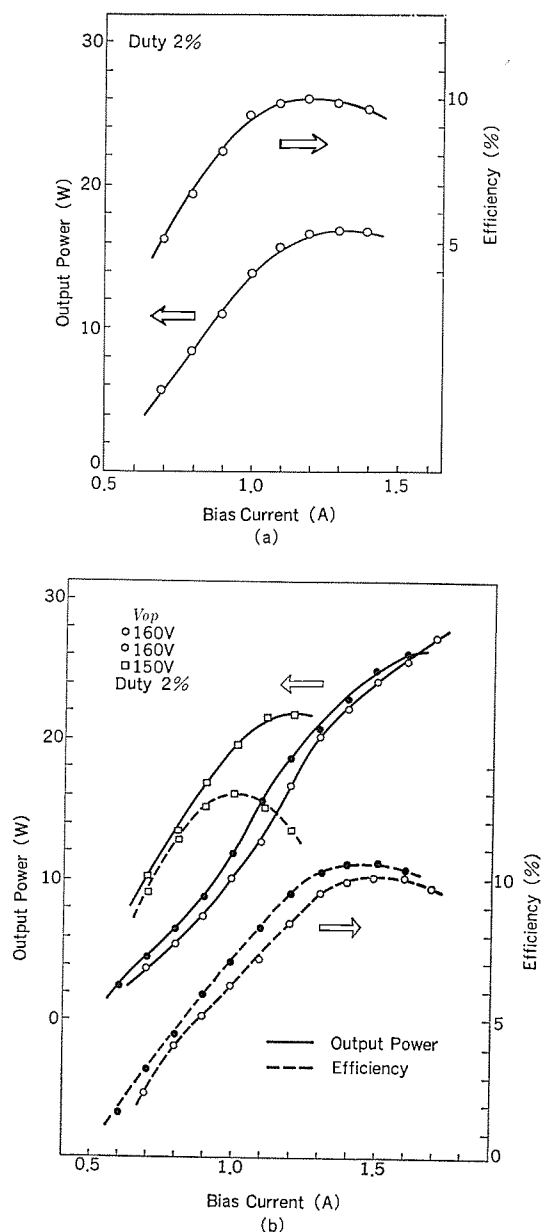


図 7. (a) 9.4 GHz 及び (b) 10.4 GHz でのパルス発振特性

μs に対して、20~30 MHz 以下となっていた。このパルス内周波数変化は、印加パルス波形をひずませることにより 10 MHz 以下とすることができる。

4.2 FM 変調特性

図 8. に、図 5. (b) に示した FM 変調パルス発振器の 9.4 GHz での FM 変調特性を示す。使用したバラクタダイオードは、零ボルトでの

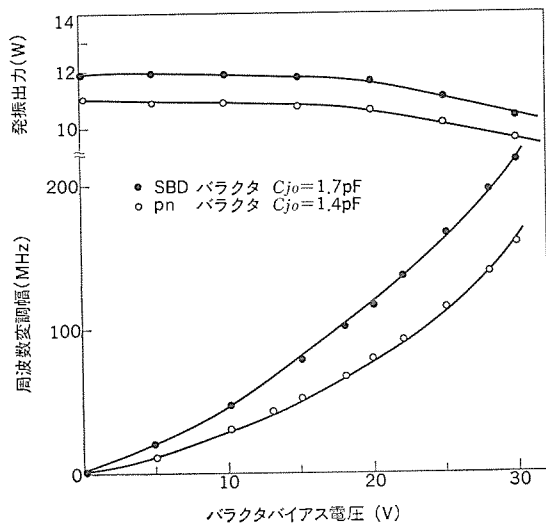
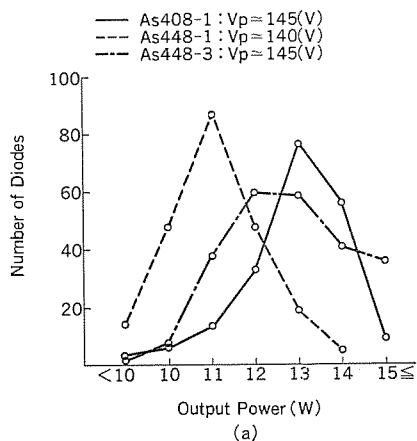
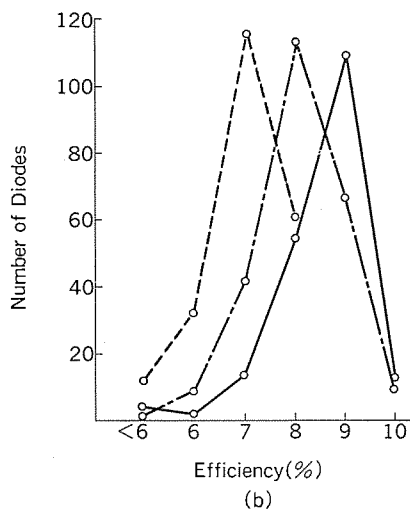


図 8. FM 変調特性

Pulse Current: 0.9~1.2(A)
Pulse Width: 0.4(μs)
Duty: 2(%)



(a)



(b)

図 9. (a) 発振出力 (b) 発振効率の分布

容量が 1.7 pF、逆耐圧 75 V の GaAs ショットキーダイオードと、容量が 1.4 pF、逆耐圧 80 V の GaAs pn 接合ダイオードである。

図 8. から、バラクタバイアス 2~30 V の変化に対して、パルス発振出力が 10W 以上、変調幅はショットキーバリヤダイオードで 200MHz, pn 接合バラクタで 150 MHz の値が得られていることが分かる。ショットキーバリヤダイオードと pn 接合ダイオードによる変調幅の違いは、パッケージ構造、ダイオード容量、Au リード線の張り方が違うためである。

発振周波数の温度補償は、図 5. (b) に示すように酸化チタン系誘電体を発振器内に組み入れる方法で行った。その結果 -20~+60°C の温度変化に対して発振周波数の変化が 20~30 MHz 以下となり、補償前と比較して、周波数変化が 1/7 程度に抑制された。なお、このとき発振パルス出力は、温度補償用誘電体の装荷により 1.5 W 程度減少した。

4.3 発振出力と効率の分布

図 9. (a), (b) に、実用上問題となる発振出力と発振効率の分布を示す。ただし、動作条件は印加パルスのデューティが 2%, 動作電流が 0.9~1.2 A, 動作電圧が 145~150 V である。ほとんどのダイオードが効率 7% 以上、発振出力 10 W 以上となっており、試作したロット間の再現性もよく、性能的にほとんど問題のないことを示している。

実用上問題となるダイオードの信頼性評価を目的として、平均直流入力 10 W (バイアス電流 90 mA) の条件で通電エージング試験を実施中である。既に、無故障で 4,000 時間 (13,600 時間・個) を経過している。また、ダイオードの高温保管試験も継続中であり、寿命推定のためのデータも集積中である。

5. む す び

X-バンド・パルス発振器用の高出力・高効率の Si DDR インパットダイオードを製造プロセス、熱放散等を考慮して設計、試作し、その出力特性値の分布を測定することにより、代表的な値として 9.4 GHz で発振出力 10~15 W, 発振効率 7~10% を得た。また、最高出力、最高効率としては、それぞれ 10.4 GHz でパルス発振出力 27 W (効率 10%), 発振効率 13% (発振出力 19.5 W) を得た。更に、FM 変調用パルス発振器も試作し、発振出力 10 W 以上、変調幅 150 MHz 以上の値を得ることができた。これら DDR インパットダイオードの発振出力特性及び FM 変調特性は、パルスレーダとして要求される性能を十分に満足するものである。 (昭和 52-4-7 受付)

参 考 文 献

- (1) S. M. Sze, and R. M. Ryder: Proc. IEEE, 59, 1,140 (1971)
- (2) 関戸: 第 13 回半導体専門講習会予稿集, 13, 45 (昭 47)
- (3) M. J. Howes, and D. V. Morgan: Microwave Devices, John Wiley & Sons
- (4) 蓮見, 長尾, 片山, 関戸: 昭 51 電子通信学会全国大会, No. S-3-2
- (5) 井野, 牧村, 山崎: 通研実用化報告, 25, 1,449 (昭 51)
- (6) 宇野, 小引, 高宮, 三井, 三木: 昭 51 電子通信学会光・電波部門全国大会, No. 129
- (7) 渡瀬, 小引, 小谷, 高宮, 三井, 三木: 昭 51 電気関係関西連合大会, No. G 8-26
- (8) T. Ishii, K. Takahashi, and A. Kondo: J. Electrochem. Soc., 122, 1,523 (1975)
- (9) 小引, 渡瀬, 小谷, 高宮, 三井, 三木: 昭 51 電子通信学会光・電波部門全国大会, No. 127
- (10) 篠田ほか: 昭 45 電気通信学会全国大会, No. 754

マーガリン製造ラインの総合生産システム

丸山 昇*・高橋正夫**・末武 隆***

1. システム化にいたる背景

食用加工油脂の中で、マーガリン及びショートニングが、我が国で本格的に生産され始めたのは昭和26年からである。それにもかかわらずここ10年間の食生活の変化、とりわけ質的向上と洋風化によるマーガリン及びショートニングの消費量は急激に上昇し、約3倍に増大した。

また、石油危機の際に一時減少した消費量も、50年に入るや他の業界に先がけていち早く回復基調を呈し、52年度の生産・消費量とも増加して史上最高になるものと予想されている。

しかし、石油危機以前に投資した過剰設備による過当競争の危険性をはらみながら、着実に伸びている分野でもある。このように消費が着実に伸びている背景には、消費者の嗜好が多様化し、高級化していることが考えられ、事実、最近では高級食パン及び焼・洋菓子の普及がめざましいことが報道されている。

マーガリン及びショートニングが伸びている他方には、これらを生産する油脂メーカーの品質の改善、新製品の開発、更に製造技術、加工技術の研究による努力も貢献している。

消費者の嗜好が高級化するにつれて、製造技術への品質上の厳しい条件が要求され、食用原料油の適正な配合、コンタミを最小限度に抑える配管とその制御技術、ブレンド及び乳化工程での条件制御などが、適格に行われなければならない。

また、嗜好の多様化につれて製品種類が多くなり、そのことが原料種類の増加を招き、在庫量を少なくしようとすれば1品種当たりのロット量が小さくなり、ひん(頻)繁な製造品種切換えを余儀なくさせられている。かかる条件のもとでは、ますます多種少量生産方式の傾向に進み、間接作業が増加し、生産性の低下を生じ、生産管理の合理化と製造ラインの自動化が特に強く要求されるようになった。

マーガリン及びショートニングに限らず、プロセス産業における製造ラインの自動化は早くから各方面で検討され、リレー制御、シーケンス制御、あるいは計算機制御がそれぞれ採用されてきた。しかし、この種の製造ラインの生産計画の自動化、更にさかのぼって受注段階まで結びつけ、また最終工程である出荷及び在庫管理までをシステム化し、一連の総合生産システム(Integrated Mfg. System 略して I. M. S.)として検討したものは数少ない。

特に食用加工油脂関係では、これまでほとんどその例を見ない。その理由として考えられる第1点は、この食品加工油脂分野では同じ製品を構成する原料油の代替使用が可能で、また、配合比も必ずしも一定ではなく、そのときどきによって容易に変更することができる融通性があるため、こうした生産プロセスの特質がかえって標準化を遅らせ、実際の生産に当たって計画の変更が容易になされてきた。

第2の理由は、食用油のブレンドにおいて精製油の特性により、いったん生産に使用したあとはより上位の油の使用、あるいはより上位の製品の生産にもどすことがやっかいで、一部の割込生産のために生産計画の脱臭順序やブレンド製品の製造順序を大幅に変更しなければならないことがあり、製造計画が守られないために現状方法に甘えていたことも考えられる。第3の理由としては、この種の製品の製造時間が比較的短いことから短納期の注文が可能で、多くの短納期注文が殺倒するたびに生産計画を変更しなければならない。以上三つの理由はいずれも一度立案した生産計画が頻繁変更させられることに帰因している。このような状況にある食用油脂メーカーとしては、自動化も部分的な範囲にとどめざるを得ず、生産計画、作業計画、配合計算などの作業に多大な労力と時間とを費していた。

したがって、これら計画の自動作成と割込受注に対する生産計画の柔軟性、更に、その都度修正された生産計画に基づく製造ラインの自動的運転が可能なら、生産性が大幅に向上し、品質も安定するであろう。

今回、工場新設に当たり生産管理の基本理念にもどり、受注から出荷までの工程をシステム化し、総合的な管理方式と製造工程の省力化・自動化を実現したのでその概要を紹介する。

2. システムの概要

2.1 プラントの概要

マーガリン及びショートニングの製造工程を図1に示す。マーガリン・ショートニングの原料は牛脂・ラード・魚油・植物油などから成り、これらを原油と呼び、タンクローリー車又は船で工場に運ばれ原油タンクに貯蔵される。この工程が原油工程である。原油はそれぞれ多量の不純物を含んでいるため、これにか(苛)性ソーダを加え脱酸する。脱酸され

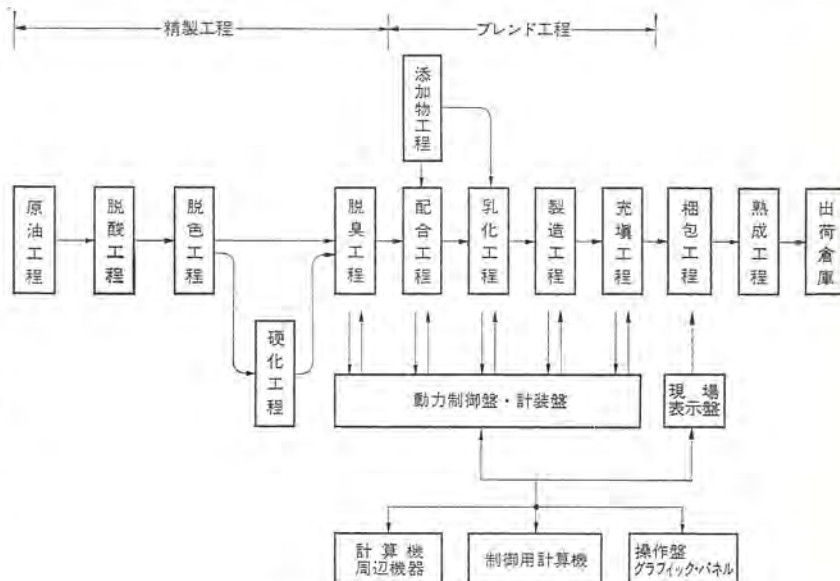


図1. マーガリン、ショートニング製造工程

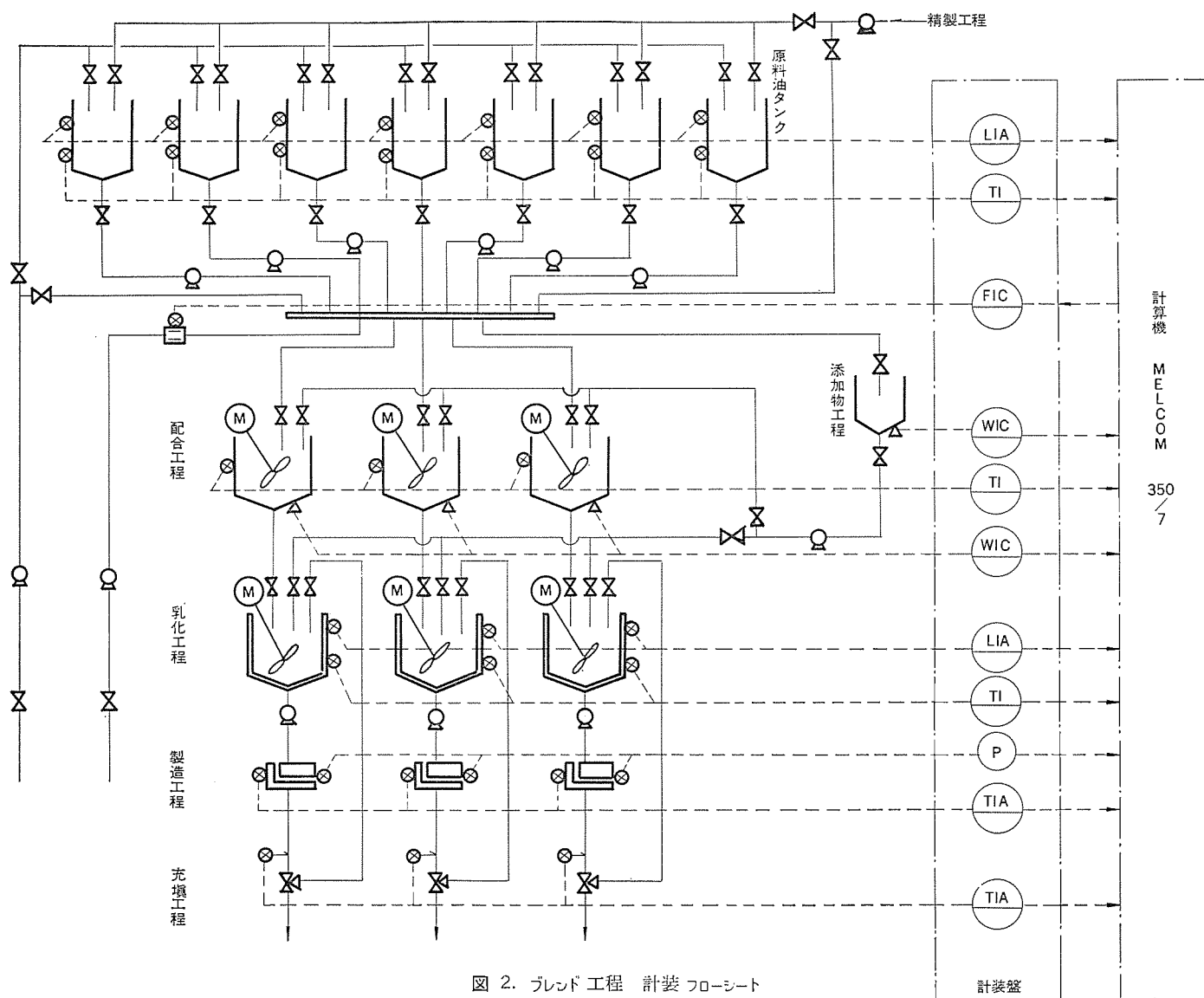


図 2. ブレンド工程 計装フローシート

たものは油とソーダ・アッシュに分離される。分離された油は脱色脱臭工程を経て精製油となる。

また、精製油の一部は触媒を加えてオートクレーブで硬化する工程を経て硬化油となる。

精製油及び硬化油は脱臭工程を経てそれぞれの原油に対応し、牛脂油、ラード、各種硬化油及び液体油ができる。この油がマーガリン及びショートニングの直接原料で精製油と呼ばれる。この精製油を数種類配合し、混合する工程が一般にブレンド工程と称されている。

マーガリン・ショートニングの製造ラインとはブレンド工程を指し、配合工程から始まる。ブレンド工程フローシートの一例を図 2. に示す。

精製油はそれぞれの種類に分けて精製油タンクに貯蔵される。そして、マーガリン・ショートニングの製品種類に合わせて一定の配合比率で精製油が配合タンクに仕込まれる。この工程が配合工程である。精製油の外に乳成分・塩・乳化剤・香料などの添加物が加えられ、混合乳化され製造工程に送られる。ポテター、パーヘクタ、あるいはコンビネータと呼ばれる製造機で処理されて、マーガリン・ショートニングができ上がる。製造機から出たマーガリン・ショートニングはかん(缶)、あるいは段ボール容器などに充てん(填)され、こん包されてから一定の期間熟成されて冷蔵製品倉庫に格納される。

以上がマーガリン・ショートニングの製造工程の概要であるが、原油か

ら精製油を作るまでの精製工程は連続プロセス形式の生産方式が採用され、ブレンド工程はバッチ生産方式となる。したがって精製工程までは一般にロットサイズが大きく、配合工程からロットサイズが小さく、多種少量生産方式になる特色がある。

2.2 ブレンド工程のシステム化のための問題点

マーガリン及びショートニングのブレンド工程には、品質的条件と生産方式による問題があり、これら諸問題の分析こそシステム化の道につながる。

2.2.1 品質的条件

(1) マーガリン・ショートニング製品の精製油及び添加物の構成は、それぞれ十数種類の原料から成り、その配合も非常に多くの組合せがある。したがって、製品を原料構成に展開する作業は非常にやかかいで古くから省力化が求められていた。

(2) 配合工程に必要な精製油を精製油タンクに貯蔵し、必要量を配合するわけであるが、当日の精製油使用量とタンクの最大容量に制約がある。また、精製油にはそれぞれの油相互に排他性があり、脱臭順序が決められていることから、緊急に必要となる原料油を精製することはできない。したがって前もって配合計画に合わせ精製油の在庫切れを起こさず、かつ最適な精製順序で、最適なロット量を決定する脱臭計画を立てなければならない。

(3) 精製脱臭工程に油の排他性があるのと同様、マーガリン・ショートニングのそれぞれの製品ごとにも排他性がある。したがってブレンドスケジュールも当日の生産予定を決定しなければ作成できない。このことは前日の末生産繰越分を当日生産に組み入れる場合にも再度、ブレンド計画を立て直さなければならない。

(4) 特急受注や事故による再生産についても、この排他性のためにブレンド計画に割込生産を組むことは非常にやっかいな作業である。

(5) 精製油の中には類似した油、及び代替が可能な油があるため、在庫不足あるいは精製油の急激な価格の上昇などにより急ぎ別の精製油タンクからの配合が行われる。このため配合制御がどうしても手動にならざるを得ない。

(6) 生産量が増加してくるとポンプ能力も大きくなり、配合速度も早くなる。そのため人手によるバルブ、ポンプの制御ではより正確な配合、安定した配合が困難となる。ちょっとした操作ミスがコンタミを多くしたり、エアの抱込みを生じ、品質を低下させる原因になる。

(7) 配合工程はバッチ生産方式にもかかわらず、製造機及び充填工程では連続作業としなければならないので、製品ロットの切換え境界が明確にならず、容器の変更はもちろんのこと、コンタミ量の増加を招く。

(8) 油の排他性のために最終バッチは工程の洗浄を兼ねて行われることが多いが、この製品も再使用する必要がある、この場合の有効油成分及び油量の算出がやっかいで省力化が望まれていた。

2.2.2 生産方式の問題点

(1) 多種少量生産形態に共通な問題である、受注ロットが小さくて受注件数が多いことがあげられる。しかもマーガリン・ショートニングは短納期受注が多いことから、受注情報を迅速に処理し、集計しなければならない。

(2) 受注に対して、原料手配、材料手配の作業が伴い、その集計作業など事務的作業が多く、間違いや複雑さを伴う。

(3) 受注集計から、生産計画・作業計画を立案するに当たって設備の能力を一定として負荷を調整バランスさせ、1日の作業時間に合わせたスケジューリングを立てることは一般にやっかいな作業の一つである。

(4) 計画を変更・修正するに当たっては、前後の作業への配慮を持ち確認しながら行わないと、次工程に計画変更によるトラブルを発生させることがあり、計算機を使った会話方式による変更・修正及びラインの監視ができることが望まれている。

(5) ラインの監視、計装の監視と管理は品質の向上を要求された場合は、アナログ計測には限界があり、デジタル計測が求められている。

(6) 作業及び製品の原料に関する条件を実績として記録集計することは、特に食品業界では必要なことである。この実績を単なる実績表にとどめず、次の製品開発への基礎データと考えると、その項目も多くなり集計が複雑な作業である。

2.3 システムの機能

マーガリン及びショートニングのブレンド工程を合理化して、生産性の向上と品質の安定化を図ったシステムを実現するには、前述のブレンド工程の多くの問題点を分析し、その解決策を組み込んだシステムを計画しなければならない。このシステムは、単にブレンド工程の合理化にとどまらず、受注から出荷に至る全工程の〔受注〕⇒〔製造〕⇒〔管理〕の一元化を図ったものである。システムの主な機能は次のとおりである。

- (1) 全国各営業所からの受注情報の受信業務
- (2) 生産管理のための一括伝票の発行
- (3) 原料展開作業の自動化
- (4) 期間日程計画の作成による負荷予測
- (5) 脱臭計画の作成
- (6) ブレンド作業指示表の作成
- (7) CRTによる計画の変更
- (8) プロセスの自動制御
- (9) ロリー車の入出荷作業の自動化
- (10) 製品油の在庫管理と歩止まり計算
- (11) ラインの監視体系の整備
- (12) 作業実績集計作業の省力化

これらの機能を満足させるシステムは《MELCOM》350-7により、正確かつ、迅速なデータ処理が行われ、原材料の最適管理と設備の有効利用、更に品質の安定化、作業の省力化、無人化が図られた。

前述の機能を実現するためにシステム計画上、特にポイントを置いた事項を要約すると、次のようになる。

(1) 情報入力力の省力化

生産に必要な情報は、紙テープ、又はCRT(キャラクタディスプレイ)を使ってマンマシンコミュニケーション方式で情報の入力及び表示をさせる。

(2) 計画立案の自動化

日程計画・ブレンド作業計画・原料油精製計画などは、油の排他性を考慮して最適ロット量・製造順序(スケジューリング)を計算機により自動的に決定し、計画を立てる。

(3) 制御の自動化

品質の安定化を図るため、計量精度・状態監視精度を上げるため、配合・乳化・添加物ラインの自動化とタンクローリー車との入荷・出荷作業の自動化を図る。

(4) 管理の省力化

計装にはデジタル方式を採用し監視精度の向上を図る。作業進捗よく(抄)状況のチェックには、CRTを使って確認を行わせる。作業実績・条件などが各バッチ終了時に一覧表として作成させ、1日の終わりには原料油の在庫量、原料油の歩止まり、更に製品在庫量を作成させる。

3. システムの概要

3.1 生産計画システム

ブレンド工程はバッチプロセスであることから、この工程をむだなく連続した効率的な作業ができるように計画を立て、運転することが生産性向上につながる。ブレンド計画の立案については、受注情報を基準とし情報の一元化を図って実際にブレンド作業にかかる前に、作業の準備、作業量の最適化、作業計画の変更、などが容易に行なえるシステムとなっている。

情報の一元化については、全国の各営業所からテレックスあるいはファクシミリ電送で送られて来る受注情報を、紙テープでこのシステムへ入力することから、生産の計画及び管理条件の設定が開始される。紙テープの内容から製造伝票、出荷伝票、出荷案内書、納品書、売掛伝票など、10連つづりの伝票が作成され、関連部門に配布される。更に、紙テープの内容の出荷日から製造日が算出され、製品別の生産量及び、製品を構成する原料に展開されて、原料別の使用予定量が集計される。この製品別生産量集計、原料別使用予定量集計などと設備の能力との比較から、製造日の変更が行われたり、原料の手

配や容器などの副資材の手配が行われる。

このようにして作業の準備、作業量の適正化を図っても、なおかつ短納期注文品による割込生産の要求が日常茶飯時のように起こる。そのために、このシステムでは翌日製造分のブレンド計画が印字されるまでは通常の受注処理と同じ手続きでシステムに情報を入力することができる。更に、最終計画表作成以降の割込生産に対しては、CRTを使って当日のブレンド計画に新しくバッチを追加したり、数量の変更、原料油の変更がマンマシンコミュニケーション機器で容易に行えるようになっている。

3.2 プロセスの運転システム

計算機が記憶しているブレンド計画によって配合仕込みが行われる。

ブレンドプロセスは配合に続く乳化工程、及び製造工程にアイドルを生じないように順次送り込むことが必要条件である。精製油の払出しについては、先入先出の原則を採用し、古い精製油のタンクを指定し、バルブを開き配合そう(槽)への仕込みを開始する。仕込量の計量には、精度を向上させるためにロードセル検出方式を採用し、更に管内残量を換算してバルブを閉じ、 N_2 パージをもって所定の仕込量を得る。

添加物関係についても自動仕込方式を採用し、仕込みタイミングに合わせて添加する。乳化工釜の払出し自動切換えについても、ロードセル検出による“空”検出により釜を切換え、切換え時の製造機内及び充填ゲートまでの管内残量を計算して、この残量が充填されたと推定される時点をもって充填ゲート部のバッチ更進をする。

製品種の高級品、低級品など排他性に伴うライン洗浄に使用した油は脱水され、再び精製油として配合に使用される。

プロセスのコントロールについては、各バルブの開閉インタロック及びポンプ、アジテータの始動インタロックが系統別にチェックされる。監視の対象としてはタンク内の容量、温度、重量、ローリ車入荷・出荷時の流量、製造機・充填ゲート部の温度・圧力などがあり、それぞれ制御シーケンスの条件項目となっている。

3.3 管理システム

プラントを運転するに当たって、ラインの状況を監視することは重要なことである。ブレンド作業を開始するに当たって、当日の精製油使用予定量と現在のタンク在庫量とを比較演算し、

不足分をCRTに表示すること、タンクローリ車の入荷・出荷の予定をあらかじめCRTに表示させておくことなどが採用されている。

ブレンド作業については、配合完了したバッチとまだ完了しないバッチが、CRTに区分されて表示される。

ポテータなどの製造機は連続運転で使用しなければならないことから、製品の切換境界をゲート充填部まで容量追跡して、切換タイミングでゲート充填部の副資材担当者に製品の変更、容器の変更、予定製造量など、を表示する現場表示盤が設置されている。この現場表示盤からは、実際に容器詰めされた数量がセットされるので、実績表にはバッチ別に実際に仕込まれた精製油、及びその量、製造条件、生産された製品数などが作表印字される。

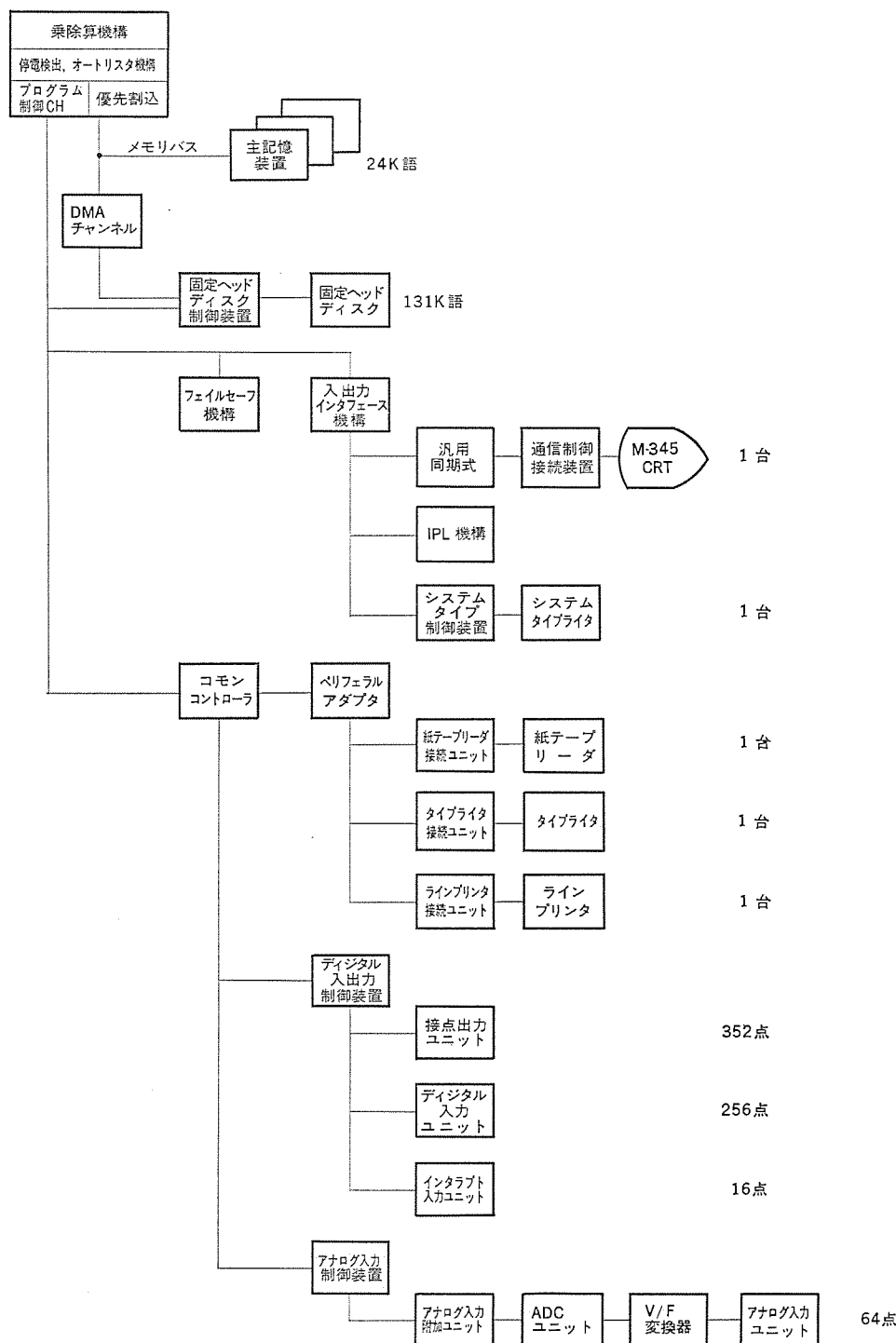


図 3. 計算機システム構成図

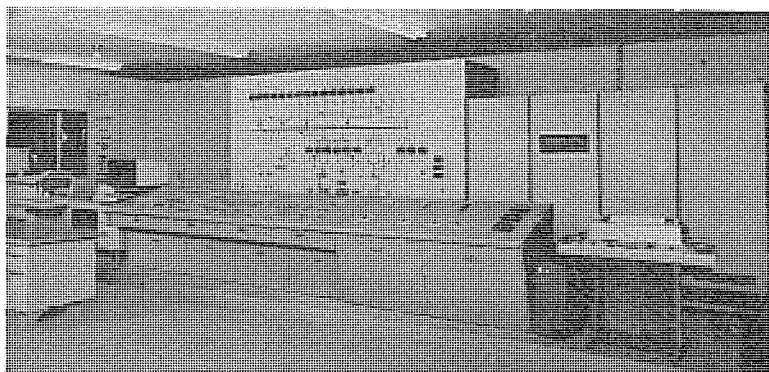


図 4. 監視操作室に設けられた計算機システム

管理資料としては、外に各精製油の期間入荷量と使用量とから歩止まり計算がなされる。容器詰めした製品数が前日までの在庫量に加算され、当日出荷分を差し引いて在庫量が算出され、記録作表される。

また、ブレンド配合中の監視として、監視室に設けられたグラフィックパネルに精製油量、配合油重量、及びローリ車出荷量がいずれもデジタル値で表示される。

将来、原価管理、設備管理などを含む総合的な生産管理が実施されるであろう。そのとき、このシステムとデータをリンクさせることが必要になる。したがって、現システムには紙テープによるオフラインリンクができるようになっているが、受注情報処理も含めて通信回線によるオンラインデータリンクも可能である。

3.4 計算機システムの構成

このブレンド工程の総合生産システムを遂行するために、計算機は情報処理機能と制御機能を持つ《MELCOM》350-7を採用した。この計算機システムの構成を図3に示す。

計算機システムの構成機器の機能は次のとおりである。

(1) 紙テープリーダー

受注情報の紙テープ(8単位)をシステムに記憶しながら、その情報内容がモニタリングされ、確認が行われる。

(2) 補助メモリ

補助メモリには、全製品の構成精製油、添加物などの配合を記憶しているファイル、紙テープで入力した受注情報及びそれらの情報から作られたブレンド計画、更に精製油の特性、などを記憶しているファイル、等を保有している。また配合工程、乳化工程などの計量値、条件値を記憶する。

(3) ラインプリンタ

受注情報と補助メモリに記憶されているファイルから、原料展開して生産計画、精製計画、ブレンド計画、などの計画表や、ブレンド工程の実績表や、原料油及び製品の在庫一覧表を高速印字作表する。

(4) キャラクタディスプレイ(CRT)

3色のカラーCRTは、ブレンド計画の表示に色区別ができ、進ちょく(捗)状況のチェック、など監視効果を高めている。また画像リクエスト

押ボタンスイッチ操作によって、各在庫量の表示や当日のタンクローリ車入荷出荷状況が画像表示される。更にブレンド計画のバッチ変更・取消し・追加や配合油の変更・配合量の修正などが容易に行えるようになっている。

(5) デジタル出力

操作盤からの自動運転指令によってラインの制御を開始する。記憶しているブレンド計画の精製油名と原料タンクのファイルから所定のバルブ・ポンプを選択し、接点出力して機器も動作させる。グラフィックパネル盤には、各タンク内の油在庫量をBCD出力してデジタル値表示する。

(6) デジタル入力

機器の動作指令出力に対して、動作確認となるデジタル入力を受けながらシーケンス制御を行う。

(7) アナログ入力

重量計、流量計、液面計、温度計、及び圧力計からアナログ値が計算機に入り、この値をファイルの基準値と比較しながらブレンド工程を制御する。

4. む す び

多種少量生産形態で、しかも生産順序決定が複雑で、頻繁に計画変更が発生するプロセスラインに計算機を導入し、合理化を図ろうとする試みには事務用計算機(EDPS)で検討されてきた。しかし、EDPSの結果を直接プラントの運転に反映させるには、計算機がオンラインでプラントと結びつく必要があり、オフラインではかえってプラント側の混乱を招く結果となることから、従来は計画と制御を分けて考えられてきた。

マーガリン及びショートニングの製造ラインのように、ロット量が小さく、計画の変更が頻繁に起こるプロセスでは、どうしても手動ないしシーケンス制御によらざるを得なかったのは、こうした理由による。

今回導入したシステムは、頻繁な変更が発生する生産計画に対処できて、プロセス側と一元化させ、プラントの自動運転ができることを基本条件とし、制御用計算機(FCCS)を導入した。したがって、この計算機にラインの生産管理機能を持たせ、総合生産システム(IMS)としての効果を上げた。

このシステム構想は、マーガリン及びショートニングの生産ラインに限らず他の食品業界、及び塗料業界などのブレンド工程への適用も容易であり、更には広く、多種少量生産におけるIMSに応用することができるであろう。

参 考 文 献

- (1) 日本油脂協会：油脂製品の市場動向，油脂，1月，p.34(昭52)
- (2) 内野：AMM方式によるマネジメントプロセス，事務と経営，6月，p.59(昭49)

誘導電動機の電磁騒音低減法

小泉孝之*・成田正夫*・山田一秀**・持永元喜***

1. ま え が き

近年社会的な要請により低騒音電動機の需要が急速に増大しており、当社においても常に将来の動向を先取りしながら多数の低騒音電動機を現在までに製作してきた。

これらの実績及びこの基礎となった研究成果のうちから、ここでは特に電磁騒音を取り上げ、その発生メカニズムと振動、騒音の定量的予測法を実験的事実をもとに述べる。また、その結果として、しゃ音、吸音といった従来の低騒音化技術に加えて、電動機を一種の構造系とみなし、振動伝達部分、振動伝達経路、振動源など各部の性格を明らかにすることで、より根本的な音源対策が可能であることを示す。

2. 電磁騒音の発生

2.1 誘導電動機の騒音

誘導電動機に発生する騒音は、大別して(1)通風騒音、(2)機械騒音、(3)電磁騒音に分けることができる。通風騒音とは、冷却ファン及び回転子、固定子に設けられた通風ダクトによって発生し、ファン音、ダクト音特有の発生周波数だけでなく広帯域な白色雑音状のスペクトラムを有する。この種の騒音に対する最も有効な騒音低減対策は、吸音材を内張りした吸収形消音器(サイレンサ)を装着することである。このサイレンサの設計には、対象とする電動機の形式、形状、必要減音量、騒音の特性、2次的な騒音の発生、サイレンサ装着による温度上昇などを考慮する必要がある、多くのノウハウ的要素を含んでいる。この種の技術的蓄積に関し当社は長年の研究開発を行っており、その成果として、低騒音電動機のシリーズ化を完了した⁽¹⁾。次に、機械騒音とは、回転子のアンバランスによる低周波騒音と、軸受部分からの高周波騒音などを差すが、ここで取り上げる大形機の場合、その大半がすべり軸受を用いており、正常運転時には機械騒音はほとんど問題となり得ない。電磁騒音については節を改めて説明を加えるが、電磁騒音に関連する電磁力波の解析や、みぞ(溝)数組合せと電磁騒音の関係は、既に本誌上においても再三解説されており⁽²⁾、ここではそれらの結論に触れるにとどめる。

実際に電磁音を定量的に評価し、有効な低減策を構ずる場合、これら従来の電磁力波に対する解析に加えて、電動機そのものを一種の構造系とみなし、電磁加振力によって引き起こされる系の振動応答と振動伝達機構とを明らかにし、また、振動面から放射される周囲の音場の推定が必要である。このような考えに基づく電磁騒音の発生メカニズムを図1.に示す。以下の章では、図1.のうち主に振動応答、振動伝達に関する部分を取り上げ、順次検討を加える。

2.2 電磁加振力、加振周波数

電磁加振力は、回転子ティースと固定子ティース間の空けき(隙)で時々刻々と変化する磁束密度を時間関数としてあらわし、これを周波数領域にフーリエ展開することにより求められる⁽³⁾。この電磁加振力の中で電磁騒音源となる最大成分は、回転子によって発生する溝高

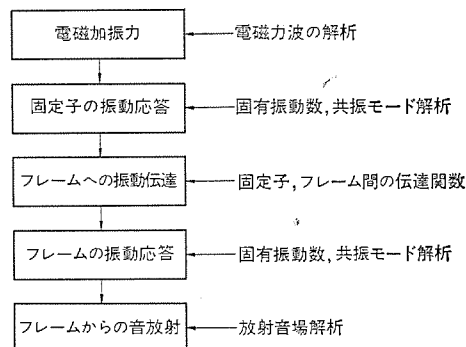


図1. 電磁騒音の発生メカニズム

調波磁束に起因するものである。その加振周波数は式(1)によって与えられる。

$$f_k = \left\{ \frac{kN_R}{P}(1-S) + B \right\} f \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、
 $k=1, 2, 3, \dots\dots$
 $B=-4, -2, 0, 2, 4$
 N_R : 回転子溝数
 P : 極対数
 S : すべり
 f : 電源周波数

通常 f_k は、1,000~2,000 Hz に位置し、聴感補正曲線にみられるとおり、騒音として最も耳ざわりな音である。

3. 振動特性とその予測

図1.に示すように、電磁加振力を受ける固定子は振動し、これはフレームへと伝達して行く。したがって各部材個々の振動特性と、それらが結合された場合の特性のは(把握)は、電磁加振力の評価とともに重要な意味を持つ。

3.1 固有振動数の推定

固定子の固有振動数を推定する方法を説明する。最も一般的には、固定子を薄肉円筒と仮定し、解析的に運動方程式を解いて求める。計算式は次のようになる。

$$f_r = \frac{\sqrt{3}}{6\pi} \frac{\kappa}{R_0} \sqrt{\frac{E_e g}{\gamma_e}} \sqrt{\frac{n^2(n^2-1)^2}{n^2+1}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし等価半径 R_0 は $R_0=r^2+(r_1-r_2)/2$ 、肉厚比 κ は、 $\kappa=h/R_0$ である。

ここで
 r_1 : コアバックの外径
 r_2 : コアバックの内径
 E_e : 等価ヤング率
 γ_e : 等価比重量
 g : 重力加速度
 h : コアバックの肉厚
 n : 共振次数=1, 2, 3, ...

である。低次の固有振動数を計算する場合式(2)で良好な精度が得

表 1. 固定子固有振動数の実測値と計算値の比較

モード次数	実 測 値 (Hz)	計 算 値			
		式 (2)		式 (3)	
		周波数 (Hz)	誤 差 (%)	周波数 (Hz)	誤 差 (%)
2	311	323	3.8	316	1.7
3	837	916	9.4	877	4.8
4	1,498	1,757	17.3	1,630	8.8
5	2,195	2,840	29.4	2,527	15.1

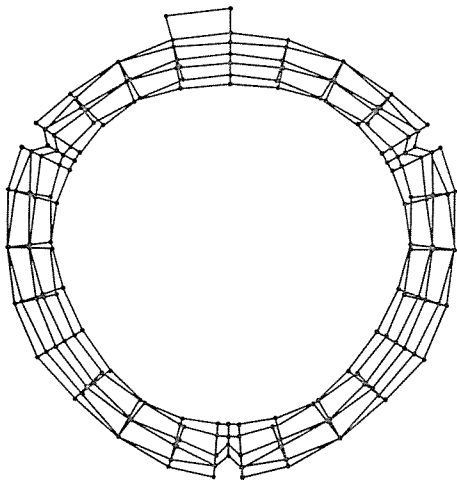


図 2. “NASTRAN” による固有振動数, 振動モードの計算結果 (3 次固有振動数, 三角形モード)

られるが, 高次に対しては誤差が増大する。比較的高次の固有振動数が電磁加振周波数に近接する大形電動機の固定子の場合, 高次で影響が現れるせん(剪)断効果を考慮した修正式(3)を用いる⁽⁴⁾。

$$f'_r = \sqrt{\frac{1}{1+n^2\alpha}} f_r \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha = \frac{h^2}{12R_c^2} \frac{E_g}{G} \cdot \frac{1}{\beta}$$

ここで G : 横弾性係数
 β : 剪断係数

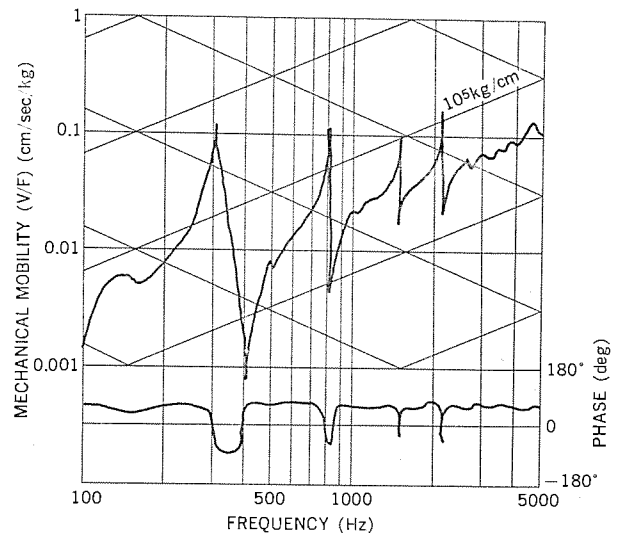
式(2)及び式(3)の適用例を表 1. に示す。

このように固定子の固有振動数は, 多くの場合かなりの精度で予測可能となったが, 固定子の形状によっては, 薄肉円筒の仮定から大きくはずれる。例えば, コアバック部の切欠きや, 固定子外周を方形にするのがこれに相当するが, その場合は有限要素法などによる数値計算手法を用いる必要がある。図 2. は, はん(汎)用構造解析プログラム「NASTRAN」による固有振動数と振動モードの計算結果の一例である。

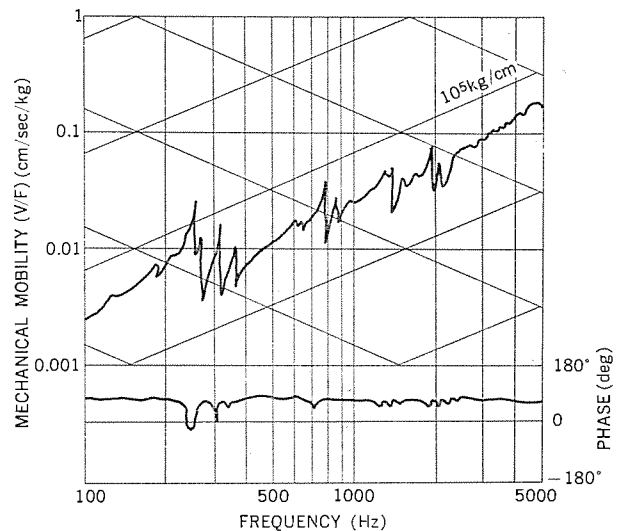
フレームの固有振動数も, 固定子の場合と同様に, 解析計算, あるいは数値計算によって求められる。例えば, 最も重要な意味を持つ方形フレームの横板の 1 次共振に対し, 横板を周辺固定の平板として取扱うことにより, 簡単な解析計算で比較的良好な精度を得ることができる。

3. 2 振動応答, 振動伝達特性

電磁加振周波数と, 固定子やフレームの固有振動数の一致を避けることは設計の第一条件であるが, 両者が一致しない場合も, 強制加振



(a) 巻線前のメカニカルモビリティ



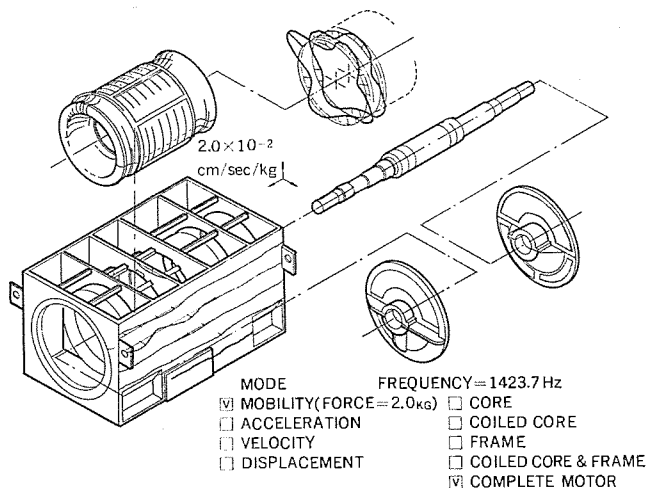
(b) 巻線, ワニス含浸後のメカニカルモビリティ

図 3. 固定子振動応答特性の組立状態による変化

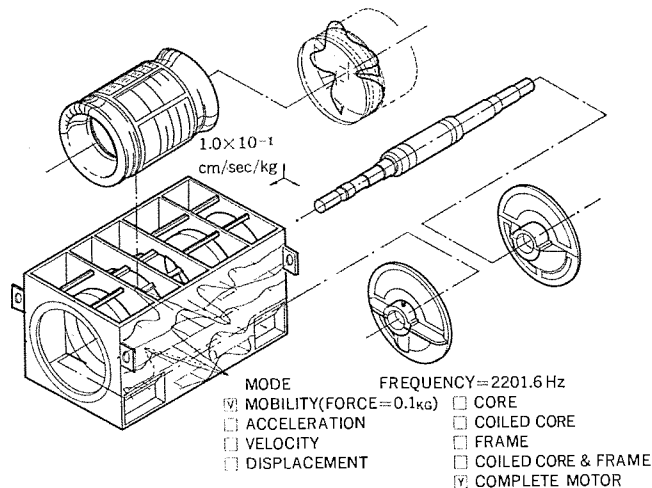
力によって固定子は振動し, それはフレームへ伝達する。したがってこの振動応答レベル, 振動伝達量を正確に把握することは, 固有振動数を推定するのと同じく, 電磁騒音を考える上で重要である。

振動応答レベルは, 解析的に求める手段もあるが, 多くの場合諸定数の設定が困難であり, また, 計算が膨大な規模になるため, 実験的手法を用いることが多い。図 3. は, 固定子のメカニカルモビリティ ($M=V/F$, V : 速度, F : 力) を組立段階ごとに測定した例である。積層コア単独の状態から, 巻線, ワニス含浸等, 組立が進むにつれて内部減衰が増加し, 応答レベルが変化してゆくの分かる。また, この結果は, 後で述べる振動特性の予測手法に対して, 一つのデータを提供することになる。

振動伝達特性も注目点間の加振テストなどによって実験的に求めることができる。図 4. は 640 kW 4P 機の振動伝達特性を振動モードとして表示したものである。この図において注目すべきは, 図の(a)に示す固定子が共振状態にある場合でも, フレームはさほど大きく振動せず, (b)のフレームの固有振動数に近い場合が著しい。これは次章で騒音データとともに再度示すが, 大形機の場合, 電磁騒音の対策が固定子だけにとどまらないことを意味している。



(a)固定子の固有振動数での振動モード



(b)フレームの固有振動数での振動モード

図 4. 電動機の振動伝達特性

3.3 振動特性の予測

上述のごとく、固定子とフレーム、更にブラケットや回転子を組合せることによって、おののの部材は連成振動系を構成することになる。この新たな振動系において、個々の部材は、固有振動数、振動応答レベルとも、部材単体の場合とは違った挙動を示す。したがって電磁騒音をあらかじめ正確に評価するためには、全系の振動特性を予測する手法が必要となる。この要請に対してビルディングブロック法(以下B. B法と略す)を導入した。B. B法とは、構造物の構成要素個々の特性を伝達関数の形で表示し、それを用いて全系を統合し、全体の特性を予測する手法である⁽⁵⁾。個々の要素の特性は、前述の有限要素法による解析的手法や、加振して実測したデータあるいは、単純なばね-質量系による計算により求められ、統合は計算機で行う。これらの解析手順を図5.に図解する。

次にB. B法の理論を簡単に述べる。構成要素おののには、他の要素との結合点や、外部から加振力あるいは強制変位を受ける点が存在する。いま、一つの要素上の2点、 i, j における加振入力 a_j と振動応答 b_i の間の伝達関数を H_{ij} とすると、次式が成立する。

$$[b]=[H][a] \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $[a]$ 、 $[b]$ 、 $[H]$ はそれぞれ a_j 、 b_i 、 H_{ij} を要素とする入力ベクトル、応答ベクトル、伝達マトリックスである。各構成要素ごとに得ら

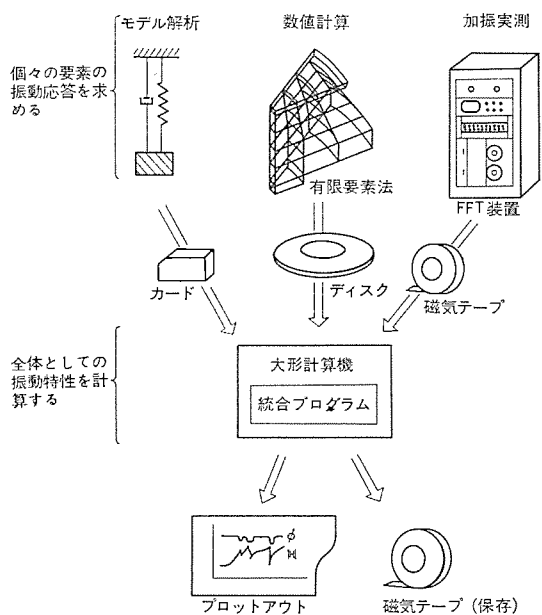
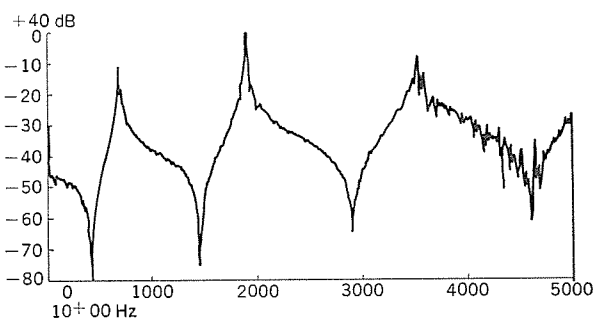
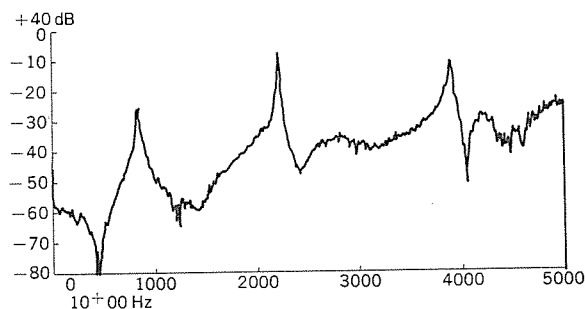


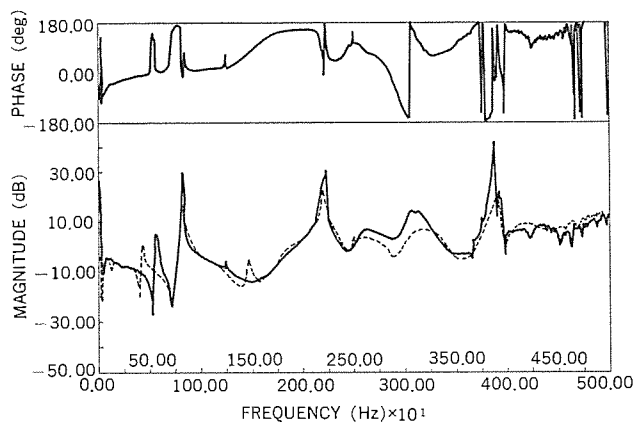
図 5. ビルディングブロック法による振動解析



(a) 固定子コアの振動応答



(b)電動機構成部材の振動応答



(c)結合後の振動応答(実線:予測値,破線:実測値)

図 6. ビルディングブロック法による解析結果

れる式(4)を、要素間の結合点において、互いに作用する力、及び振動変位が等しいという条件によって連立させると、全要素を結合したときの振動応答が求まる。図 6. (a), (b), (c) は B. B 法を適用した一例であり、(a), (b) に示す要素(固定子コアと構成部材)の振動特性が、(c) に示すように結合によって変化し、かつそれがかなりの精度で予測されていることが分かる。

4. 騒音特性と低騒音化の考え方

以上の説明で示されるように、電磁騒音とは、誘導電動機という一種の構造系が、ある特定の周波数成分を持った電磁加振力を受け、それに対して各部材及び部材間で振動応答、振動伝達が発生し、最終応答部分となるフレームから騒音が発生しているものである。

この章では、電磁騒音の周波数スペクトラムが振動特性といかに対応しているかを示し、その定量的把握の方法を説明する。また、これらすべての結論として得られる低騒音化の考え方を述べる。

4.1 騒音特性

騒音特性の表示は一般に、ホン又は dB(A) を用いて行われ、場合によって 1/1 オクターブ分析や 1/3 オクターブ分析などがつけ加えられる。騒音を評価する目的としてはこれで十分であるが、騒音の原因追求、改善策の案出といった要求に対しては、更にスペクトラムの形で騒音特性を表示する必要がある。

図 7. は先の図 3. に示した固定子の共振周波数に、式(1)の溝高調波加振周波数が一致するように電源周波数を 30~60 Hz にわたって変化させた場合の周辺騒音 オートパワースペクトラムである。測定は無響室内で行い、精密騒音計からの出力波形はリアルタイムアナライザを用いて分析した。固定子の共振と加振周波数の一致は図中電源周波数が 34.2 Hz の時に発生し、1,421 Hz のスペクトラムレベルが他の電源条件と比較して数 dB 上昇している。この両者の一致による全騒音レベルの影響は、3~4 dB である。

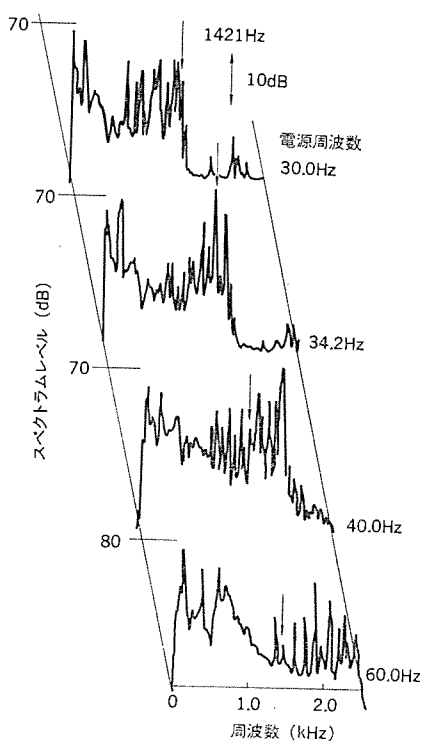


図 7. 電源周波数を変化させ溝高調波周波数を固定子の固有振動数に合わせた場合の音圧変化

次にフレーム系の共振と、加振周波数を一致させた例を図 8. に示す。この例では、フレームに 1,080 Hz の共振があり、電源周波数を 58.8 Hz にした場合両者の一致が起こっている。騒音レベルの上昇は、前後の電源条件に対して 7 dB 以上に達している。他の多くの実測経験によれば、固定子の場合と同等ないしそれ以上にフレームの共振に考慮を払うことが重要である。

4.2 振動と騒音の対応

固定子やフレーム系個々の振動応答特性や、それらを基に B. B 法を用いて推定する全系の振動伝達特性、それにその系に加わる電磁加振力を知ることにより、構造系の固有振動数と、電磁加振周波数が完全に一致して起こる著しい電磁音は、事前に十分な確度をもって回避可能となった。ただし電磁音は、3.2 節でも触れたように構造系の共振以外の原因で発生することもあり、この種の電磁騒音を完全に除去することは、構造上の制約などから困難な点を含んでいる。したがって電磁騒音のピークレベルを十分な精度で予測することは電動機の騒音低減を考えた場合今後とも必要である。

このような要請に従って、ここではフレームの振動から周辺音場の音圧を推定する手法を説明する⁽⁶⁾。

図 9. に、電動機フレームを代表する数点の振動、 x_1, x_2, \dots と、周辺音場の代表点における音圧 y との関係を示す。 y_1, y_2, \dots は

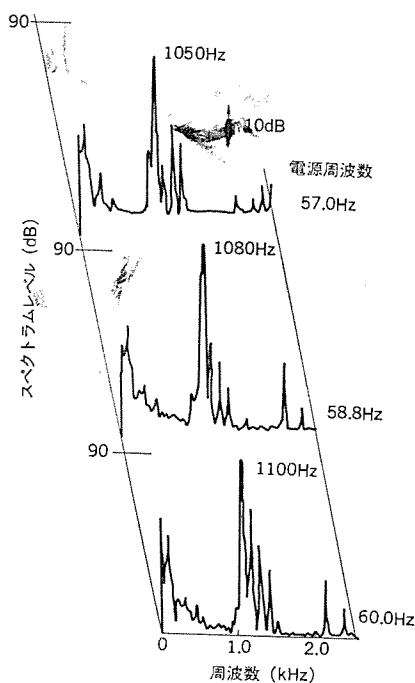


図 8. 電源周波数を変化させ溝高調波周波数をフレームの固有振動数に合わせた場合の音圧変化

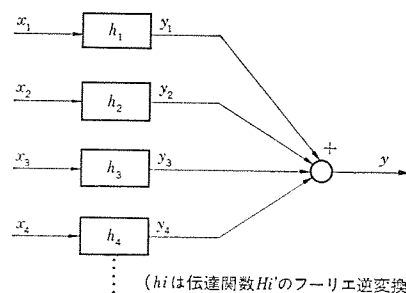


図 9. フレーム上各点の振動と周辺音圧との関係

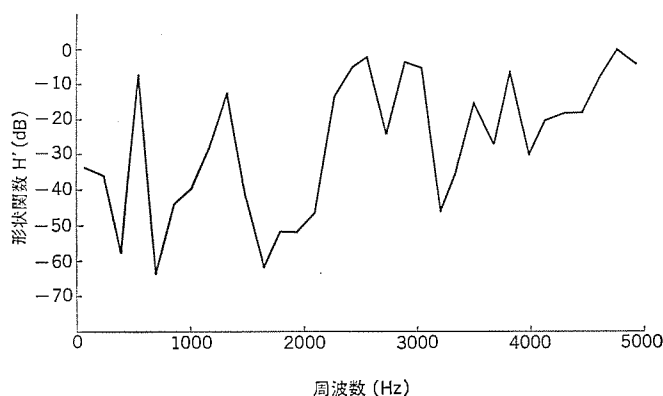


図 10. 音空間に対する形状関数の一例

表 2. 溝数組合せに対する制約条件の一例

	判 定 式
1	$N_S \approx N_R$ (N_S : 固定子溝数)
2	$ N_S - N_R \approx P$ or $P/2$ or $2P$
3	$ N_S - N_R \approx 1$ or $P \pm 1$
4	$N_R < 1.4N_S$ or $1.25(N_S + P)$
5	$N_R \approx 2(6k+1)$
6	$N_R/P \approx 3k+1$
7	$\pm N_S \pm N_R \pm P_0 \approx \pm 1, \pm 2, \pm 3$

x_1, x_2, \dots に対応する音圧で、この間の伝達関数を H_1', H_2', \dots とすれば、振動と音圧に関し次式が成立する。

$$G_{yy} = [H'] [G_{xx}] [H']^T \dots (5)$$

ここで、 $*$, T はそれぞれ、共役とベクトルの転置を意味する。式(5)より、受音点の音圧スペクトラム G_{yy} は、フレームの振動入力マトリックス $[G_{xx}]$ と、 H_1', H_2', \dots で構成される伝達関数ベクトル $[H']$ で定まることが分かる。 $[G_{xx}]$ は前章で述べた B. B 法などから推定できる。一方、 $[H']$ は音空間に関する一種の形状関数であるから、同一形状のフレームでは不変で、したがって一度求めておけばそうたびたび検討しなおす必要はない。 $[H']$ は、フレームの振動と周囲の音圧を測定し、振動と音圧のクロススペクトラム $[G_{yx}]$ と $[G_{xx}]$ とを導いて、これを次式に代入して求めることができる。

$$[H'] = [G_{yx}] [G_{xx}]^{-1} \dots (6)$$

図 10. に、 $[H']$ の一例を示す。実際の音圧は、この $[H']$ と、実験あるいは解析で得られる $[G_{xx}]$ とを用いて容易に導びくことができる。

4.3 低騒音化の考え方

電磁騒音の発生メカニズムとその定量的予測法を以上に説明した。ここでは、電磁騒音低減についての考え方を概説する。

図 1. に示したように電磁騒音の根源は電磁加振力であり、その中で問題となるのは溝高調波加振力である。これは電動機の出力、極数だけでなく、回転子と固定子の溝数組合せによっても大きく異

なる。電磁力波の解析と、経験により一般的にはこの組合せについて表 2. のごとき制約条件が設けられている。

次に、固定子の共振周波数と振動応答が重要で、すべての次数の共振周波数が式(1)の溝高調波加振周波数と一致しないように固定子の形状は決定される。この場合 B. B 法で予測されるように、固定子の共振周波数と応答は、単体の状態からフレームと結合した時変化することを考慮する必要がある。

更にフレームへの振動伝達、フレーム自体の振動応答に関しても固定子と同様であるが、電磁騒音に対するフレーム振動の寄与が非常に大きいことを考えると、固定子とフレーム間を弾性支持構造で振動シャ断するのが有効である。この試みは既に当社では昭和 38 年に 500 kW 2P 機に対して行われ、全騒音レベル 65 ホン を達成している。

これらに加えて、今日著しい発展をよげている FFT (Fast Fourier Transform) を主体としたデジタル計測技術を併用することで、電動機の設計段階、部材として完成した段階ごとに、振動応答レベル、周辺音場の電磁騒音ピークレベルが定量的に推定可能になりつつある。

5. む す び

電磁騒音の発生メカニズムに対し、電動機を一種の構造系とみなしその系が電磁加振力に対して振動応答、振動伝達、音の放射を起こすと考えて実験的解析を行い、低騒音化に必要な考え方を述べた。すなわち騒音低減には、既に発生した状態に対して、しゃ音、吸音処置をするといった、従来の受身的な低騒音対策だけでなく、振動応答部分、振動伝達経路、振動源、加振源の性格を明確に把握し、より音の源に近い位置で、適切な対策を構ずるべきである。

この積極的アプローチは、最近の低騒音に対する厳しい要求に答えるものであり、ここで取り上げた大形機にとどまらず、当社の全誘導電動機に生かされている。

今後ともこの研究の質と幅を広げ、通風騒音、機械騒音の低減を加えて更に優れた低騒音電動機の開発、製作に努力する所存である。(昭和 52-4-22 受付)

参 考 文 献

- (1) 神田ほか：三菱電機技報，48，No. 5，623 (昭 49)
- (2) 関野ほか：三菱電機技報，31，No. 4，44 (昭 32)
- (3) 衛藤ほか：三菱電機技報，48，No. 10，1,201 (昭 49)
- (4) J. Kirkhope : J. Acoust. Soc. Am., 59, No. 1, 86 (1976)
- (5) A. L. Klosterman, et al. : ASME Publication VIBR-30 (1969)
- (6) J. Y. Chung, et al. : J. Acoust. Soc. Am., 58, No. 3, 635 (1975)

MEL-O-MATIC TIGチューブ自動溶接機

鵜飼 順*・鉄 豊造*

1. ま え が き

固定管の溶接作業は、プラント機器内配管、機器間配管のいずれにおいても、制約された狭い場所での全姿勢溶接となるため、高度な熟練が要求される。一方、原子力、ボイラ、化学プラント及び各種ガス配管における溶接継手の信頼性向上の要求は、安全性などの面でますます強まってきており、熟練作業者の確保の困難さと、溶接継手の品質確保の両面から溶接の自動化が、関連業界から強く要望されている。固定管の自動溶接化については国内外で種々の試みがなされているが、現場で十分実用化されている例は少ない。

我々は数年前より、科学技術庁金属材料技術研究所のご援助を得て、全姿勢溶接の自動化の研究、開発を進め、MEL-O-MATIC 円周自動溶接機として、TIG 溶接法による各種の固定管自動溶接機を製品化し、既に各方面で実用化され効果をあげている。

ここでは、実用化段階にあるこれらの TIG チューブ自動溶接機の特長と各種用途における実用化の問題点と解決策について述べる。

2. 固定管円周自動溶接の基本条件

当初、固定管の円周溶接を自動化する上で必要と考えた事項は次のとおりである。

- (1) 均一な裏波ビードが得られること（特に裏波ビードがくぼまないこと）。
- (2) 全姿勢の各位置における溶着量が均一化できること。
- (3) 狭あい（隘）部では、溶接状況を全周にわたっては監視できないため、溶接条件が外部要因に対して影響されないか、あるいは裕度が広いこと。

- (4) 機器に可搬性があり、特に溶接ヘッドはコンパクトで、耐熱、耐久性の高いものであること。

- (5) 何千箇所もの溶接を能率よく安定に行うために、溶接の位置決めを精度よく安定に行えること。

等であり、これらを解決するために、ガス圧制御、プログラム制御、TIG パルス制御、電源の高精度化等の技術開発を行った。

しかし、実用化に及んで下記のような新たな問題が生じた。

- (1) 高能率化への要求
- (2) 2 層目溶接での融

合不良発生に対する処置（不良率の低減）

- (3) 自動溶接の完全化（全姿勢の各位置でトーチを微調整しなくても溶接できること）

- (4) 現地工事への適用

- (5) 狭間隔溶接部への適用

これらの問題を解決すべく、上記の標準機能に各種の機能を準標準仕様として付加し、現在広く実用されている製品の形体とした。

3. 機器の構成と仕様

図 1. に示すように、溶接電源、溶接ヘッド、操作箱の三つの装置より構成し、溶接場所へは小形、軽量化された溶接ヘッドと操作箱を移動して作業する。表 1. に本機の標準的仕様を示すが、各構成装置別にその概要と用途別に付加した機能について説明する。

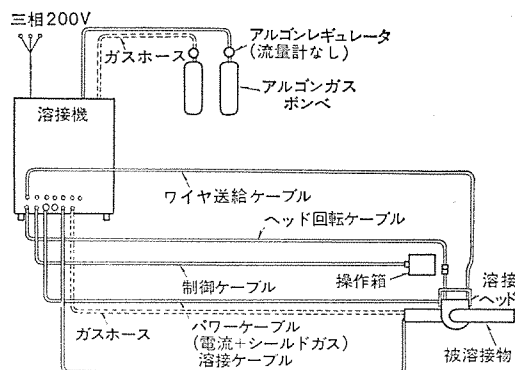


図 1. TIG チューブ自動溶接機系統図

表 1. TIG チューブ溶接機仕様概略

構 成		仕		様			
電 源	定格電流	300 A					
	使用率	60%					
	入力電圧	3φ 200 V					
	周波数	50/60 Hz					
	電流範囲	10~300 A					
	出力電流変動	電源変動 ±10% に対し ±1%					
	高周波発生装置	内 蔵					
	シールドガス制御	手 動	ON-OFF 制御	プレフロー時間	1.0~10 s	アフターフロー時間	1.0~30 s
	アークスタート後の遅延制御	ヘッド回転	ワイヤ送給	0.4~5 s			
	溶接条件のプログラム制御	方式	ピンポード式	位置検出数	360 度/45 度の 8 カ所	設定因子	ベース電流ワイヤ送給速度
	プログラム	設定範囲	ダイヤル設定値の ±20%				
	360 度回転後の遅延制御	ワイヤ停止	0.4~5 s	スロープ開始時	0.4~5 s	スロープ時限	1.0~12 s
		ヘッド回転停止	1.0~30 s				
	パルス制御	ピーク時間	0.1~0.5 s	ピーク電流	10~300 A	ベース時間	0.1~0.5 s
				ベース電流	10~300 A		
冷却水タンク	空冷ラジエータ付 10 l						
外形寸法	666(W)×1,257(D)×1,291(H)						
重 量	約 350 kg						

構 成		仕		様	
溶 接 ヘッ ド	ヘッド サイズ	適用チュー ブ径 (mm)	重 量 (kg)	冷 却	使用ワイヤ径 (mm)
	φ 48	38.1 ~45.0	3.5	ヘッド・トーチ 水 冷	0.8φ~1.0φ
	φ 56	48.1 ~54.0	3.8	ヘッド・トーチ 水 冷	0.8φ~1.0φ
	φ 65	57.1 ~63.5	4.1	ヘッド・トーチ 水 冷	0.8φ~1.0φ
	φ 95	76.3 ~89.1	6.0	ヘッド トーチ 空冷 水冷	0.8φ~1.0φ
	φ 120	101.6 ~114.3	8.0	ヘッド トーチ 空冷 水冷	0.8φ~1.2φ
	φ 175	139.8 ~165.2	10	ヘッド トーチ 空冷 水冷	0.8φ~1.2φ
	φ 275	216.3 ~267.4	12	ヘッド トーチ 空冷 水冷	0.8φ~1.2φ
操作箱	調整ツマミ	ベース電流 ピーク電流 ワイヤ送給速度 ヘッド回転速度			
	スイッチ	溶接開始 停止 非常停止 溶接条件選択			
付属品		ワイヤ巻取機 アルゴンレギュレータ ケーブル ホース類 付属工具など 1 式			

3.1 溶接電源（制御装置内蔵）

図2. に示すように極めてシャープな外部特性を有する定格容量300Aの電源であり、特に、現地工事用として装置の可搬性を考慮して電源、制御装置の一体化、小形化を図り移動自在のキャスタを設け、狭い場所への設置、移動を容易にしている（図3.）。

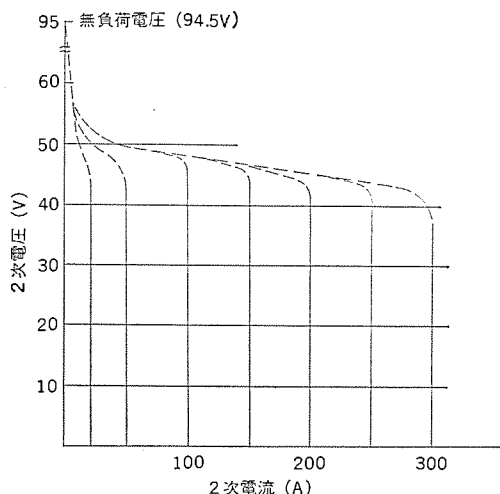


図2. 溶接電源外部特性

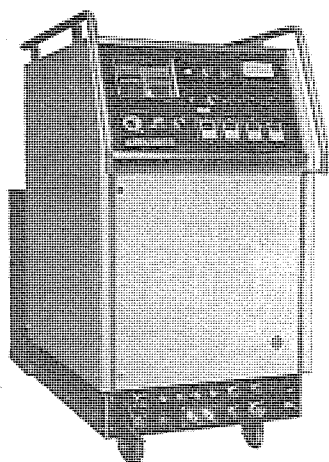


図3. TIG チューブ 溶接電源
（制御装置内蔵）

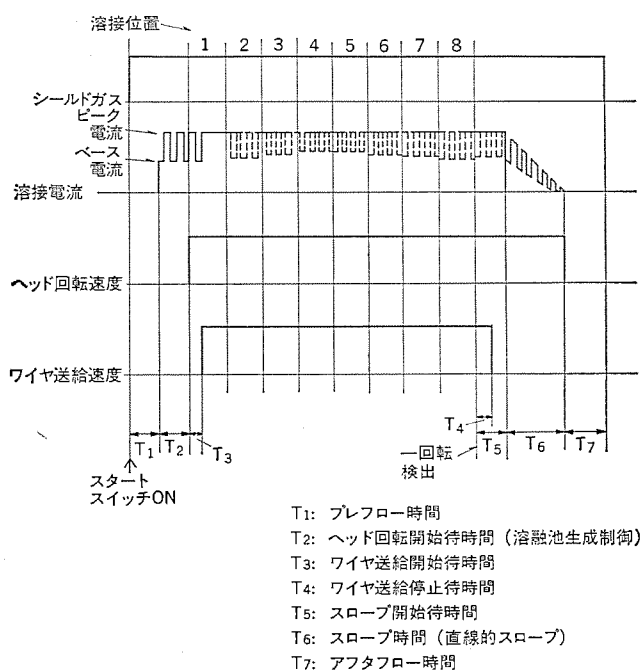


図4. 溶接 シーケンス

電源に内蔵している制御機能としては次のものがある。

（1）溶接 シーケンス 制御

チューブの円周自動溶接シーケンスは図4. に示すとおりであり、作業性を考慮して、一回転検出は位置検出方式のほかは時限設定方式にしている。おもな制御として、（a）シールドガス制御（シールドガスのプレフロー、アフローフローを行う）、（b）溶融池の生成制御（アーク発生後、溶融池が十分生成されたのち溶接を進行させる遅延制御）、（c）クレータ制御（溶接終了時のワイヤ停止、溶接電流のスローダウン、ヘッド回転停止の各制御、特に溶接電流はクレータ部の欠陥を生じないように直線的に変化する）などである。

（2）プログラム 制御

操作パネル面に配置されているプログラムピンボードにより、円周360度を8分割して条件選択ができる。設定範囲は通常、基準ダイヤル設定値に対して±20%に調整している。条件設定が容易で、条件変化のパターンが見やすく、溶接の進捗が作業者によく分かるようにしている。

（3）パルス 制御

ピーク時間、ベース時間とも0.1～0.5秒の範囲にスイッチで切換えでき、TIGパルス溶接で最も効果的な1～5Hzの周波数が簡単に設定できる。また、ピーク電流、ベース電流ともデジタルダイヤル単独設定であり、作業者が扱いやすい方式にしている。

以上のほかに、各種用途に応じて下記のような機能も備えている。

（4）アーク 長制御

大径管や厚肉管の溶接では、管自体のひずみや全姿勢での肉盛溶着状況の不均衡により、アーク長が全周で一定しない。そのため、アーク電圧をフィードバックして、トーチを上下に調整し常にアーク長が一定になるように制御することによって、トーチを全姿勢の各位置で微調整しなくても、自動的に溶接ビード面をならえるようにしている。これによって作業者は、溶接中にほかの仕事（例えば他のヘッドのセッティングなど）が行える余裕ができ、全体として能率の向上や品質の安定化に役立っている。

（5）磁気 オシレート制御

厚肉管の溶接では、層数が増すと開先幅が広くなり、図5.（a）に示すように溶接ビードをふり分ける必要がある。この時、電極のねらい位置が不正確だと融合不良を生じやすく、また溶接層数ごとに電極のねらい位置を変更することは非能率である。この欠点を解消したのが磁気オシレート制御であり、磁気ヘッドをトーチ部にとう（搭）

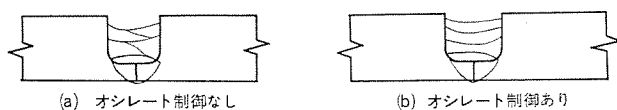


図5. オシレート制御あり、なしのビード形状

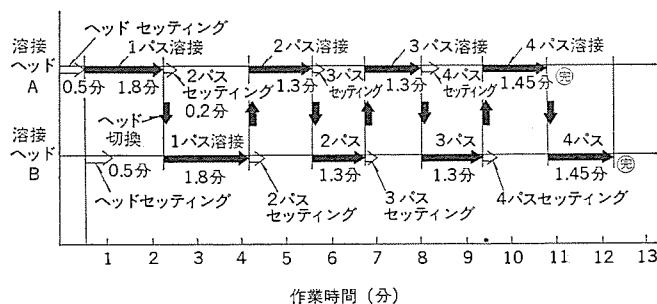


図6. 溶接作業手順

載し、アークに交番磁界をかけてオシレートさせ、溶接ビード幅を広くとれるようにしている。この制御により図 5. (b) に示すように各層 1 パス溶接が可能であり、溶接作業の高能率化が図れる。

(6) 2 ヘッド 4 条件切替制御

1 台の電源に同じサイズのヘッドを 2 台接続できるようにしている。図 6. に溶接作業手順を示すように、2 台のヘッドでセッティング、溶接が交互に行え、セッティング時間を省略できるようにしている。また、溶接条件も、初層、2 層、中間層、最終層の 4 溶接条件を一度にセッティングでき、溶接パス数に応じて、各条件をスイッチの切替操作だけで選択でき、条件の設定間違いの恐れがなく、条件設定時間の短縮など作業の能率化に非常に有効である。特にこの方式は後述するボイラチューブなど、同じサイズのチューブの溶接作業の多い現場で効果を発揮している。

(7) ヘッド自動逆転制御

円周溶接では、トーチを一回転させるとパワーケーブルなどがチューブに巻きつくので、1 パス溶接終了するごとにヘッドを逆転させる作業を必ず行う。この操作はクラッチを切って手で反転させるのであるが、一つのヘッドを操作している場合は問題とならない程度の作業時間である。しかし、一人の作業者が 2 ヘッド以上を扱う場合、この手動反転操作は非常に煩わしいものとなり、自動反転方式が必要となってくる。この方式を(6)項と組合せて用いることにより、一人で 4 ～ 6 ヘッドの操作が可能となり作業能率が著しく向上する。

(8) 手動溶接切替制御

一般に仮付溶接は手動 TIG 溶接で行う。現地工事などで、電源を手溶接用と自動溶接用と 2 台用意するのが困難な場合は、この自動溶接電源に手動溶接トーチがつけられる構造とし、仮付溶接を手動で行ったあと、すぐに本溶接を自動で行うことも可能にしている。これら(4)～(8)項の機能は各用途に応じ選択できるようになっている。このほか小径管の溶接に欠かせないガス圧制御、大径管の溶接の能率化に役立っている機械式オシレート制御、更には円周溶接の遠隔操作溶接システムなどの製品化も行っている。

3. 2 溶接ヘッド

溶接ヘッドは直接チューブにクランプされ、チューブの周囲にアークを回転させて溶接を行うもので、小形、軽量として取扱いの容易さが望まれる反面、アークやチューブからの熱伝導で高温になる悪条件のもとで、耐熱性、耐久性及び機構部分にガタが生じないなどが要求される。

溶接ヘッドには表 1. に示した標準 7 機種のほか、小径管用や大径管用のヘッドがあり、10～610 mmφ のチューブサイズによって使い分

けられる。以下にこれら溶接ヘッドの構造と特長を説明する。

3. 2. 1 溶接ヘッドの構造

代表的なワイヤ搭載式の溶接ヘッドの主要構造を説明する。図 7. に示すように、ヘッド本体、回転機構、ワイヤ送給機構、トーチ並びに電極調整機構の 4 要素より構成する。ヘッド本体は軽量と強度を考慮して、アルミニウム合金を用い、所要の形状に仕上げ、内部のリングギヤが管の周囲を回転する。リングギヤの回転は減速ギヤを通してヘッド回転モータにより駆動する。ヘッド本体並びにリングギヤは管にセッティングできるように 2 分割でき、この分割部でガタが生じないように構造的にも、機械仕上げ精度の点でも種々考慮を行っている。ワイヤ送給機構、トーチ並びに電極調整機構はリングギヤ上に取付けられ、管の周囲を回転するようになっている。

3. 2. 2 溶接ヘッドの特長

(1) 狭間隔部への適用

適用できるチューブ間隔が小さくなればなるほど応用性が広くなることは明らかであるが、一方作業性が悪くなり、耐熱性、耐久性の面でも問題が生じてくる。当社の標準ヘッドは、一般のボイラチューブの大半を占めるチューブ間隔 55 mm に適用できる構造にしている。また、後述する狭間隔ヘッドでは、更に狭い 40 mm にも適用可能にしている。

(2) アーク長制御機構(機械式)

前述したように全姿勢でアーク長を一定に保持することは、自動溶接を確実に行う上で重要であるが電氣的制御は小形化が難しい。ここで述べる機械式微い装置は小形化が容易であり、チューブ表面を微いローで追従することによって、トーチと母材の間隔を一定に保持できるようにしており、特にボイラチューブなどの小径中肉管のアーク長制御に適している。

(3) ヘッドセッティングの容易化

能率に最も影響する溶接ヘッドの心出し方式としては図 7. に示すアダプタを用い、内径を管外径よりもわずかに大きくし、スペーサ的な考えで心出しを行う。このアダプタは適用管サイズに合わせて取換えることが必要である。

(4) 各種用途に適用できる豊富な溶接ヘッドの種類

溶接ヘッドは表 1. に示す標準ヘッドの 7 機種のほか、これらと同タイプで 10～34 mmφ までのチューブに適用できる #18, #28, #38 の小径管用ヘッド、260 mmφ 以上の大径管用にはガイドレールと溶接ヘッドが分離式の大径管用ヘッド、更に後述する狭間隔専用ヘッド、そのほか現地工事用 2 分割ヘッド、エルボ管等の曲管用に改良した標準ヘッド改良タイプ、すみ肉溶接トーチ搭載部など各種の用途に応じられるようにしている。

3. 3 操作箱と付属機器

操作箱は溶接ヘッドとともに容易に溶接作業者が移動し、溶接条件の設定や所要シーケンスの選択を行うことができる。

付属機器としては、ケーブル類があり標準では 10 m の長さになっているが、現地工事用などではそれ以上長いものもある。また、溶接ヘッド専用小形リールに市販のリールからワイヤを巻取るワイヤ巻取機のほか、消耗部品、アルゴンガスレギュレータ、工具類などの付属機器をそろえている。

4. 実 用 例

4. 1 ボイラチューブ(工場内での適用)

この機器を用いて、チューブの円周溶接の自動化を図った最初の例と

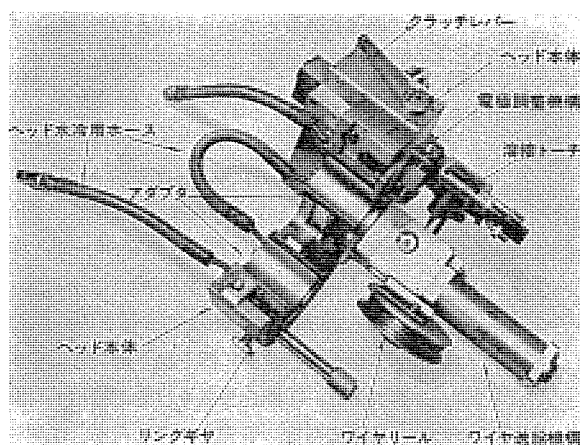


図 7. 標準溶接ヘッド

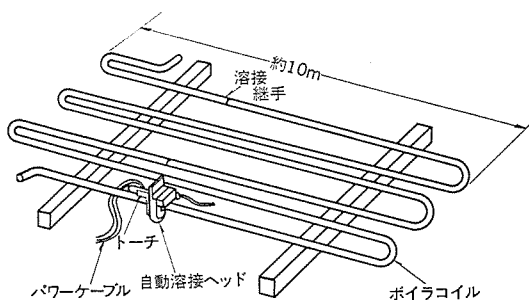


図 8. ボイラコイルの自動溶接

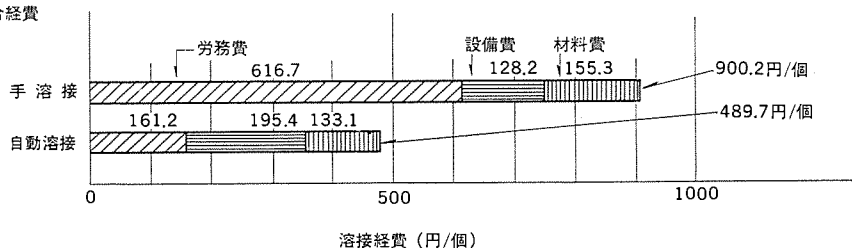
表 2. 自動溶接と手動溶接の経費の比較例

(溶接継手 1 箇所当りの経費)

対象チューブ
材質 STBA23
外径 63.5mm
肉厚 7.0mm

項 目		計 算 式	手 溶 接	自 動 溶 接																																		
1	開 先 形 状 と 溶 着 要 領																																					
2	1 カ所溶接時間 (分/個)		<table><tr><th>パス</th><th>アークタイム</th><th>クリーニング</th><th>方法</th></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>—</td><td>TIG</td></tr><tr><td>2</td><td>2.5</td><td>2.5</td><td rowspan="2">被覆</td></tr><tr><td>3</td><td>2.5</td><td>2.5</td></tr><tr><td>計</td><td colspan="2">14</td><td></td></tr></table>	パス	アークタイム	クリーニング	方法	1	4	—	TIG	2	2.5	2.5	被覆	3	2.5	2.5	計	14			<table><tr><th>パス</th><th>アークタイム</th><th>セッティングタイム</th></tr><tr><td>1</td><td>1.7</td><td rowspan="4">2ヘッド 切換により なし</td></tr><tr><td>2</td><td>"</td></tr><tr><td>3</td><td>"</td></tr><tr><td>4</td><td>"</td></tr><tr><td>計</td><td>6.8</td><td></td></tr></table>	パス	アークタイム	セッティングタイム	1	1.7	2ヘッド 切換により なし	2	"	3	"	4	"	計	6.8	
パス	アークタイム	クリーニング	方法																																			
1	4	—	TIG																																			
2	2.5	2.5	被覆																																			
3	2.5	2.5																																				
計	14																																					
パス	アークタイム	セッティングタイム																																				
1	1.7	2ヘッド 切換により なし																																				
2	"																																					
3	"																																					
4	"																																					
計	6.8																																					
3	生産高(個/年)	$\frac{1 \text{ ヶ月作業時間}}{1 \text{ カ所溶接時間}} \times 0.8 \times 12$ (余裕率)	$\frac{180 \times 60}{14} \times 0.8 \times 12 = 7400$	$\frac{180 \times 60}{6.8} \times 0.8 \times 12 = 15247$																																		
4	1 カ所当りの設備 償 却 費 (円/個)	$\frac{\text{設備費} \times \text{償却率}}{\text{生産高}}$	$\frac{500000 \times 0.164}{7400} = 11.1$	$\frac{10000000 \times 0.215}{15247} = 141$																																		
5	労 務 費 (円/個)	労賃×増加係数×溶接時 間/個	$1300 \times 2.033 \times \frac{14}{60}$ =616.7	$910 \times 1.563 \times \frac{6.8}{60} = 161.2$																																		
6	補 修 費 (円/個)	償却費×0.1	$11.1 \times 0.1 = 1.1$	$141 \times 0.1 = 14.1$																																		
7	材料費(円/個)	溶接棒及びワイヤ $\frac{1 \text{ カ所当り} \times \frac{1}{0.6} \times \frac{5}{6} \text{ の溶着量} + 1 \text{ カ所当り} \times \text{棒単価} + \frac{1}{6} \times \text{ワイヤ単価}}{\times \frac{1}{6} \times \text{ワイヤ単価}}$ シールドガス 1カ所当りの使用量×単価	$85.3 \times \frac{1}{0.6} \times \frac{5}{6} \times \frac{407}{1000}$ + $85.3 \times \frac{1}{6} \times \frac{560}{1000} = 56.2$	1カ所当りの溶着量×単価 $63 \times \frac{820}{1000} = 51.7$																																		
8	消 耗 部 品 費 (円/個)	消耗部品 使用量 生産高×単価	ノズル1コ/月 電極1.5本/日 $\frac{1 \times 12}{7400} \times 2000$ + $\frac{1.5 \times 22 \times 12}{7400} \times 2100$ =116	ノズル1コ/月 電極1本/日 絶縁板1コ/3ヵ月 $\frac{1 \times 12}{15247} \times 5000$ + $\frac{1.0 \times 12 \times 22}{15247} \times 2100$ =40.3																																		
9	電 力 費 (円/費)	$\frac{\text{電流} \times \text{電圧} \times \text{アークタイム(分)}}{\text{溶接機効率} \times 10^{-3} \times \text{単価}}$	$\frac{130 \times 25}{0.7} \times \frac{14}{60} \times 10^{-3}$ ×15=16.2	$\frac{130 \times 12}{0.7} \times \frac{6.8}{60} \times 10^{-3}$ ×15=3.8																																		
10	不良手直し経費 (円/個)	(4～9項の和)×不良率	$857.3 \times \frac{5}{100} = 42.9$	$480.1 \times \frac{2}{100} = 9.6$																																		

総合経費



して、火力発電用 ボイラチューブの自動溶接について述べる。ボイラチューブの溶接は一定長の直管を曲げ加工し、図 8. に示すように同じサ

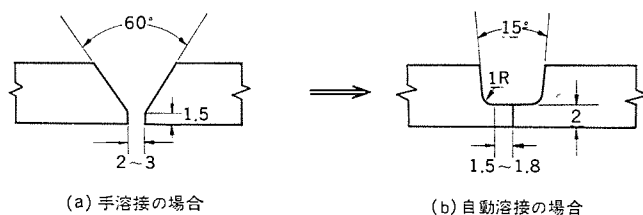
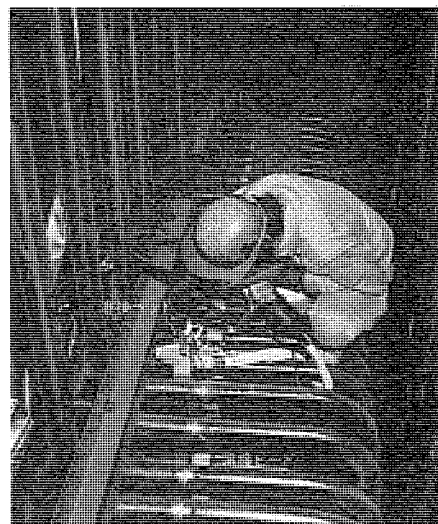
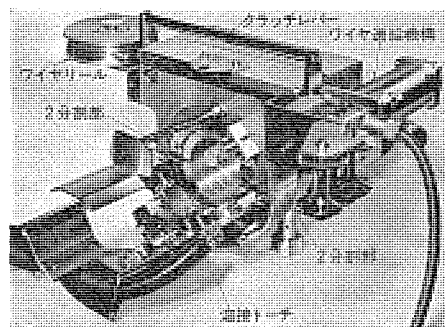


図 9. 開先形状の変更



(a) 溶接状況



(b) 溶接ヘッド (2 分割タイプ)

図 10. ボイラチューブの現地溶接

イズのチューブが狭い間隔 (約 50 mm) で並んでいる状態で曲管同志を溶接する作業であり、溶接箇所は 1 日に数百箇所になる。この用途で機器に必要とされる事項として、ヘッドの着脱が容易なこと、条件設定が簡単なこと、ヘッドの耐熱性が十分あること等であり、水冷式溶接ヘッド、2ヘッド4条件切替制御などを特にボイラチューブ用仕様として採用している。

対象チューブは、材質は炭素鋼、Cr-Mo 耐熱合金鋼、ステンレス鋼で、外径 45~60.3 mmφ 肉厚 4~10 mm t の小径中肉管が主体であり、溶接ヘッドは #48~#65 の 3 種を用いる。

本機を導入するに際し施工面でも改善が必要であり、①開先形状を自動溶接用の U 開先とする (図 9. に示す)、②開先精度の管理を十分に行う、③開先部をガス炎で加熱し開先部の脱水、脱脂を心がける、④バックシールドを

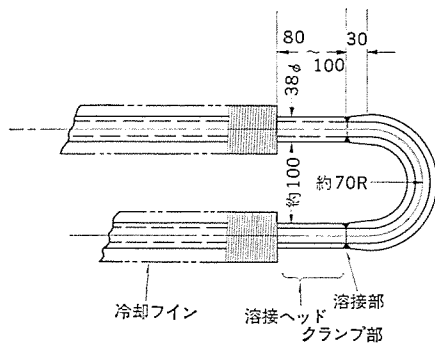
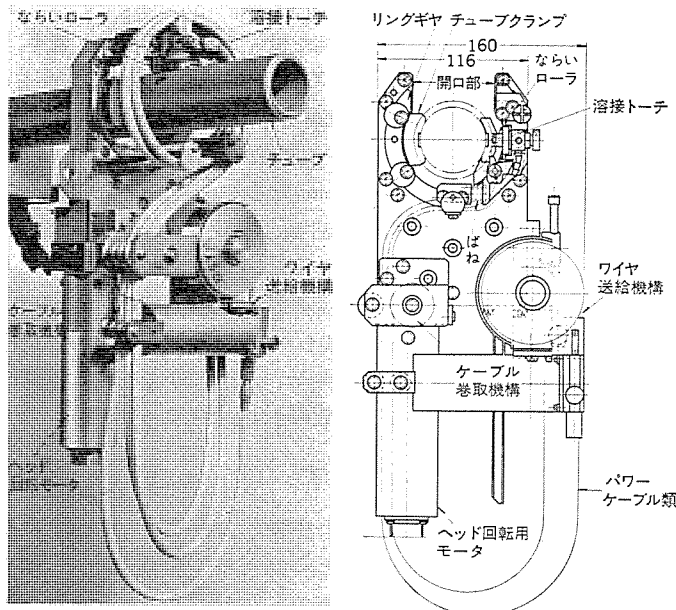


図 11. 冷却フィン付チューブ外形図



(a) チューブにセットした状態 (b) 外形図
図 12. 狭間隔ヘッド 外観 (MO 65 N 形)

行い裏波ビード形成の安定化を図る、といった事項を実施することによって、この機器の性能が十分発揮される。適用結果として、従来法に比し、①溶接工数並びに補材費の低減(表 2. に示す)、②溶接品質の向上(不良率の低下:手溶接 5%, 自動溶接 2%), ③溶接作業員以外のものでもボイラチューブ溶接が行えるなどその効果は非常に大である。

4.2 ボイラチューブ(現地工事への適用)

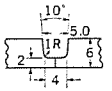
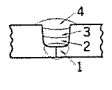
現地におけるボイラチューブの溶接はチューブ間隔が更に小さく(工場ではくさびなどで 55 mm に保持できる、現地では 38 mm で固定; 図 10. (a) に示す)、しかもチューブの配列が 2~5 列となるため、この溶接に適した特殊な溶接ヘッドが必要である。このため 3.2 節で詳述した溶接ヘッドをベースにして、2 分割形ヘッドハウジング、狭間隔用トーチ及び微調整機構、定置形のワイヤ送給機構の製品化を行った。このヘッド外観を図 10. (b) に示す。また溶接ヘッドと電源間のケーブル長を 30 m にして、電源を移動しなくても溶接できる範囲を広くしている。施工面では特に開先部をきれいにすることに注意を払う必要がある。現地溶接を自動化することによって、①全層 TIG 溶接で行え高品質な溶接ができる。②手溶接にみられるアークのつなぎ、電極角度の変化がなく溶接欠陥が少なくなる。③熟練溶接作業員の現地出張が少人数ですむ。などの効果が得られている。

4.3 化学プラントの機器内チューブ(工場内での適用)

化学プラントにおけるチューブの円周溶接は、各種の材質、外径、肉

表 3. フィン付チューブ溶接条件例

(チューブ
材質 STB42
外径 38.1
肉厚 6.0)

開先形状と溶接要領	パス	溶接電流		パルス周期(秒)		回転速度 (rpm)	溶接速度 (mm/min)	ワイヤ 送給速度 (mm/min)
		ベース	ピーク	ベース	ピーク			
	1	95	—	—	—	0.6	72	300
	2	70	180	0.3	0.3	1.2	140	500
	3	90	170	0.3	0.3	1.0	120	760
	4	60	180	0.3	0.3	1.0	110	850

厚で千差万別であり、自動化できそうでなかなか実用化できないのが実状である。しかしその中でも困難な狭間隔部の溶接である冷却フィン付チューブの溶接の自動化例について述べる。

4.3.1 冷却フィン付チューブ

各種機器に用いられる熱交換用チューブは、その効率をあげるためチューブ外面に冷却フィンがついているものが多い。フィン付チューブは図 11. に示すように U ベンドチューブとの溶接がほとんどであり、溶接部は非常に狭く、溶接自動化の面からみると、これらが更に支障になっている。これを解決すべくチューブの軸方向 75 mm、チューブ間隔 40 mm の空間に入る小形ヘッドを製品化し、従来、熟練溶接作業員の手によねられていたこの種の円周溶接の自動化を実現した。

4.3.2 狭間隔溶接ヘッド

この溶接ヘッドの外観を図 12. に示すが標準ヘッドからの改良のポイントは

- (1) ヘッドのセッティングスペースが極端に小さいこと(標準ヘッド 55×200 mm を 40×75 mm にした)。
- (2) ヘッドの一方を開口しており、管への取付け作業が容易なこと。
- (3) トーチへ接続しているケーブル類の自動巻取り機構を設け、ケーブル焼損などのケーブルによる事故が少ないこと。

などで、表 3. に溶接条件例を示すが、高品質、高能率溶接が熟練作業員の少ない職場でも実現できる。

特にこのヘッドで工夫した点は

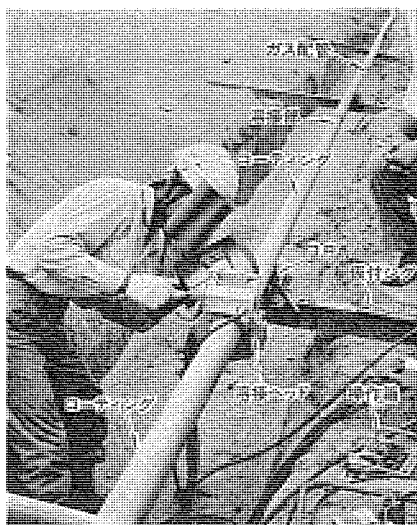
- (1) トーチを回転させるリングギヤ本体が開口しているため、最終段のギヤ 2 個で駆動しており、このギヤのかみ合いがちぐはぐにならぬよう同期させる機構。
- (2) 電極と母材との間隔(アーク長)を常に一定に保つため、トーチをスイングアームに固定し、このアームにローラを取付け、ばね力によってチューブ表面を倣わせる構造。
- (3) ガスシールド性、強度面を変えないで小形空冷トーチの製品化。
- (4) ケーブルをトーチの移動距離と同じ長さだけ巻取っていく、ケーブル自動巻取り機構などである。

4.4 ガス配管溶接(現地工事への適用)

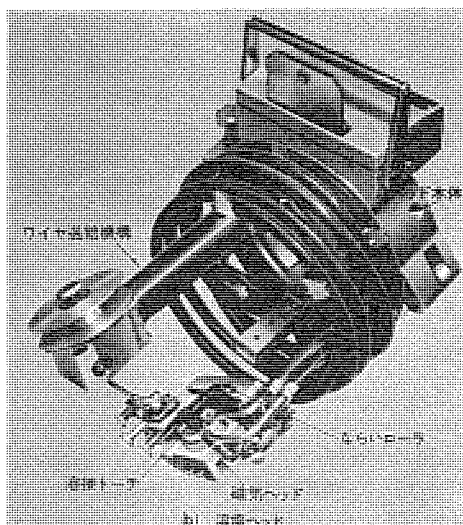
ガス配管と一口にいても、大は大都市部の LNG 幹線配管から小は我々家庭の戸口までの小径配管まで、あるいは海底配管など各種ある。ここでは既に実用化している宅地造成地での LPG ガス配管溶接の自動化例(図 13.)について述べる。

4.4.1 溶接部の品質と開先形状

ガス配管は一般に高压配管と低压配管に分かれ、溶接部に要求される品質は前者が X 線検査 JIS 2 級程度に対し、後者は施工業者の管理にある程度任せられ、X 線検査の抜取り検査や耐圧試験等が実施されているにすぎない。しかし、溶接作業員はその溶接作業資格を有したものに限り、おのずと品質も定まっており、X 線検査 JIS 3 級



(a) 溶接状況



(b) 溶接ヘッド

図 13. 宅地造成地でのガス配管自動溶接

表 4. ガス配管自動溶接用推奨開先

用途	開先形状
高圧配管	又は
低圧配管	

表 5. ガス配管自動溶接条件例

NO	チューブサイズ(mm) 外径 肉厚	開先形状	パス数	(チューブ材質 SGP)				溶接速度 (mm/min)	ワイヤ送給 速度 (mm/min)
				溶接電流(A) ベース ピーク	パルス周期(Hz) ベース ピーク	溶接電圧(V) ベース ピーク	溶接速度 (mm/min)		
1	48.6 4.2		1	50 170	0.4 0.2	91	460		
2	89.1 4.3		1	110	—	—	68	250	
			2	60 170	0.3 0.3	100	550		
3	216.3 5.0		1	130	—	—	68	400	
			2	80 190	0.3 0.3	120	620		
			3	80 190	0.3 0.3	120	360		

以上に入っている。ここで述べる例は後者の場合であるが、いずれにしてもガス配管の溶接品質は前項までに述べた適用例に比べ緩い。

ガス配管の開先形状は、特殊な場合を除いて管メカで既に加工されているV開先であり、現地で長さをそろえる場合など簡単なカットで切断し、グラインダ等で開先をV形状に整える。

自動溶接の場合、要求される品質によって開先形状及び精度の管理程度が変わってくるが一般に表 4. の開先を推奨する。

4. 4. 2 ガス配管溶接用機器

本機のガス配管溶接用仕様は、①ケーブル長を 30 m と大にする。②中径管用ヘッドでも、チューブ表面ローラ倣い式アーク長制御を用いてアークまわりの小形化を図る。③曲管用溶接ヘッドとし、図 13. (b) に示すように溶接トーチとヘッド本体との間隔を大にし、チューブのコ

ーティング部にクランプできるようにし、コーティングを除去する面積を小にする。④仮付溶接もできるように手動溶接切換制御を採用する、などである。このほかにガス配管溶接工事を行う場合チューブ切断用カッタ、開先整形用ディスクグラインダ、簡単な防風装置、仮付ジグ、エンジン発電機などの周辺機器が必要であるが、これらはいずれも市販品あるいは簡単に製作できるものであり、ユーザにて容易に取りそろえられる。

4. 4. 3 溶接結果

以上の機器を用いての溶接条件例を表 5. に示す。X線検査は JIS 2 級が得られる(ただし裏波ビードのおう(凹)部を除く)。裏波ビードは開先が V 開先でしかもルートギャップを 0 mm にしているのて上向溶接姿勢の部分で凹形になりやすい。溶接時間は平均 5~10 分程度であり、熟練溶接作業者がいなくても作業できる。

そのほか自動機適用のメリットは、①溶接品質が安定している。②溶接ヘッドがコンパクトなので配管のまわりのみぞ(溝)掘りが手溶接の場合(600~1,000 mm)に比べ 200 mm 程度まで小さくでき、溝掘り費用が大幅に節減でき、工期も短縮されることなどである。

5. む す び

固定管全姿勢溶接の自動化は、小、中径管において実用段階にある。これはユーザの関係者各位の自動化へのひたむきな努力と、ここに紹介した当社の自動溶接機との有機的な連携によるところが大きい。しかし、管の溶接作業全体からみれば自動化率はほんのわずかにすぎない。我々は今後も一層ユーザと協力して、この自動化率を少しでも高めるよう現製品の改良に努力する一方、要望の多い高能率溶接作業システム、完全自動溶接システムの開発のほか、TIG 自動溶接による大径管への適用、スタブチューブなど異径チューブ継手の溶接の自動化などに目標をおいて研究を続けていくつもりである。

最後に、本機の開発、製品化にあたって、科学技術庁金属材料技術研究所溶接研究部の稲垣道夫部長、岡田明主任研究官、及びユーザの関係各位の、ご指導ご協力をいただいた。ここに改めて深謝の意を表す次第である。

参 考 文 献

- (1) 成田：パイプラインにおける最近の溶接自動化の傾向，溶接技術，21，No. 3
- (2) 稲垣外：水平固定管の自動溶接法ならびに溶接機について，溶接技術，20，No. 1~3
- (3) 稲垣，岡田：小径管の溶接におけるビード形成の制御，溶接アーク物理研究委員会資料(昭 47-5)
- (4) 鶴飼：MEL-O-MATIC 全周自動溶接機，三菱電機技報，47，No. 2(昭 48)
- (5) 鶴飼，鉄：MEL-O-MATIC 固定管円周自動溶接システム，配管(昭 48-5)
- (6) 鶴飼，鉄：TIG 溶接による固定管の自動溶接，火力原子力発電，27，No. 8

オージェ電子分光法の半導体素子への応用

藤原賢三*・大谷 誠*・金山 清*・尾形仁士**

1. ま え が き

近年、半導体素子製造技術の進歩は著しい。しかし、高性能で、しかも信頼性の高い素子を効率よく製造するには、各素子の材料特性をより正確には(把)握し、製造技術にフィードバックして行くことが重要である。このような観点から多種多様な材料評価手段が現在用いられ、素子製造工程の信頼性向上、不良解析に威力を発揮している。ところで半導体工業においては、実用的な意味での材料特性はわずか数十Åから数千Åの表面層又は界面の現象に支配されている場合が極めて多い。このようなところから表面分析法は多くの分野から注目を集めている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。表面分析法には、イオンマイクロアナリシスや各種の電子分光法などがあり、その多くは1970年代に入って実用化され、実験技術及びその解析技術は現在なお目覚ましい発展を遂げつつある。

この報告は各種表面分析法の中で、特にオージェ電子分光法(Auger Electron Spectroscopy, 以下 AES と略す)の半導体素子への応用として、極表面不純物分析、薄膜分析の代表例を紹介し、あわせて AES による定量分析の試みについて述べる。

2. オージェ電子分光法の概要

AES の詳細については、既にいくつかの解説⁽⁴⁾⁽⁵⁾があるので、ここではその概要についてだけ述べる。

数 keV の電子線による固体内原子の内かく(殻)電子を励起し、イオン化する。このとき、励起状態は特性X線(characteristic X ray)又はオージェ電子の放出によってエネルギーを外部へ放出し、緩和される。例えば、図1.に示すように、ある原子(原子番号 Z)のK殻に生じた空孔が L_p, L_q 殻電子のオージェ緩和過程によって生じたオージェ電子($KLpLq$ オージェ電子と呼ぶ)は元素固有の内殻電子エネルギー準位で特長づけられる特性エネルギー(図1.では $E_{KLpLq}(Z)$)を持って放出される。AES は2次電子のエネルギー分布を測定し、元素の種類と量を特性エネルギー値とその強度から判断する元素分析法である。ここで重要なことは、オージェ電子は固体内部からの脱出深さ(escape depth)が極めて浅い(約10Å程度)ことである。これはオージェ電

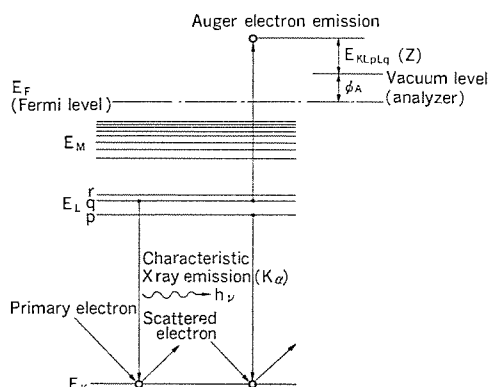


図1. KLL オージェ電子放出と K_{α} 特性X線放出の機構

子と、固体内でエネルギー帯構造(energy band structure)を形成している電子との強いクーロン相互作用により、オージェ電子の平均自由行程が短くなっているためである。すなわち、固体内で非弾性散乱を受けずに検出器に飛び込むオージェ電子は表面下、数原子層からくるものに限られ、その結果 AES は表面に極めて敏感な測定手段となる。更に重要な点は、オージェ過程が電子の結合エネルギーが小さい(準位が浅い)ほど一般に起こりやすいことである。したがって、AES は H, He を除く周期律表のすべての元素にわたって、同程度の感度を有する利点を持っている⁽²⁾。

この報告での AES の測定は、特記しない限り PHI model 5000 を用いて行った。オージェ電子の信号強度はオージェスペクトル(電子数 $N(E)$ のエネルギー E についての1次微分 $N'(E)$ 対 E 曲線)の高エネルギー側にある負の最大ピークの大きさ(Auger peak-to-peak amplitude)に比例すると仮定した。また、深さ方向の元素分布の測定には希ガス(Ne 又は Ar)イオンによるスパッタエッチングを併用した。

3. 半導体素子への応用

3.1 極表面不純物分析

3.1.1 IC フレーム Au めっき表面

ICチップから電氣的リードを取り出すためになされるフレームへの Au ワイヤボンディングには、その接着強度に極めて高い信頼性が要求される。コパルに Au めっきを施したフレームに Au 線を熱圧着する場合、もしめっき表面上に細かい結晶粒界が存在するとボンディング強度が低下するという相関関係が引っぱり試験や光学顕微鏡観察などによって明らかになっている。この原因を究明するために走査形 AES (PHI model 545) による検討を行った。

まず、測定箇所を吸収電流像から確認し、表面上の数点でオージェスペクトルをとり、元素分析を行った。その後、約5μm径の電子線の走査により、各元素のオージェ像(Auger image)を測定し、表面上の元素分布を調べた。図2.は得られたオージェスペクトルで、ボンディング強度の弱い、すなわち、結晶粒界の細かい箇所(a)では、そうでない箇所(b)に比べて、多量の遷移金属元素 Fe, Co, Ni 及び O が存在することが判明した。更に、オージェ像の測定から、これらの元素は(a)の場合、表面上に様に分布していることがわかった。一方、試料表面をわずかにスパッタエッチングした後は、C が急激に減少したのに対して、O はそれほど減少しなかった。これは C が極表面層に限られた汚染によるものと考えられるのに対し、O は単なる吸着や汚染によるものでないことを意味している。文献⁽⁶⁾によれば、Fe, Co, Ni は結晶粒界に沿って拡散することにより表面上で安定な酸化物を形成し、これがボンディング不良原因につながるとしている。したがって、上記の O も Au めっき表面でフレーム材料のコパルの成分元素と安定な酸化物を形成し、これがボンディングの強度を低下させていると考えられる。

3.1.2 多層蒸着膜電極 Au 表面

半導体素子へのオーミック電極(メタライズ電極)としては、金属の多

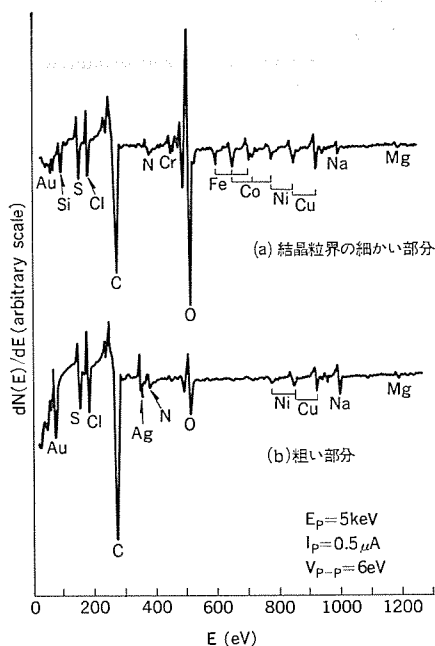


図 2. コバル Au めっき表面のオージェスペクトル

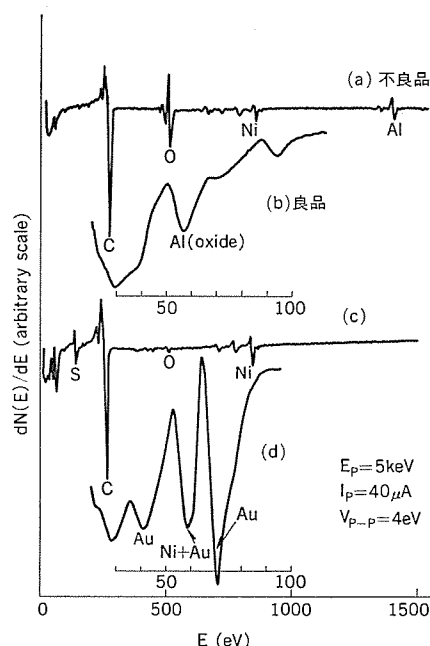


図 3. 四層蒸着膜電極 (Au/Ni/Mo/Al/Si 基板) Au 表面のオージェスペクトル

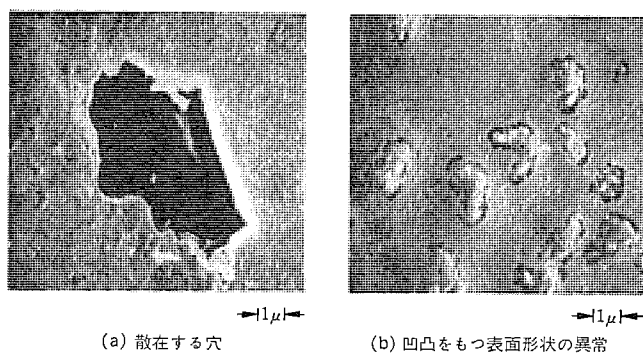


図 4. 不良品 Au 電極表面の SEM (2 次電子) 像

層蒸着構造が用いられる。この理由は、Si に対して良好なオーミック接触を形成し、同時に電極接続に用いるはんだ材に対してもよい接着性を示す金属は見出されていないからである。このため、Si 面との接着用金属として Al, Cr, Ti, Ni 等、はんだ面との接着用金属として Ag, Au 等、更に、これらの金属の間にそれらが相互にのぞましくない合金を形成するのを防いだり、はんだ材がくい込むのを防ぐための中間金属層、例えば、Ni, Mo ほかが組合せて用いられる。すなわち、Ti/Ni/Au, Cr/Ni/Ag, Al/Mo/Ni/Au 等がある。しかし、これらの多層金属層は各層の厚みの組合せ、あるいは形成条件が正しく行われないと本来の効果を発揮しない。

ここでは、一例として最も複雑な Al/Mo/Ni/Au の場合を取り上げた。Al/Mo/Ni/Au の形成実験において、Au 表面でははんだぬれ不良の発生する場合がある。この不良原因を AES 及び走査形電子顕微鏡 (Scanning electron microscope, 以下 SEM と略す) で調べてみた。図 3. ははんだぬれ不良ロット、良ロットの Au 表面のオージェスペクトルである。両表面での大きな差異は不良表面上に Al と O が多く存在することであった。更に注目すべき点は Al の低エネルギー側のピークが酸化物に特有な化学効果 (chemical effect) (金属 Al は 67 eV に、 Al_2O_3 中の Al は 52 eV に LVV 遷移エネルギーを持つ) を示して

いることである。また、測定試料表面約 200 μm の領域内の各点での元素分析をプローブ径 50 μm の電子線を走査して行ったところ Al と O は一様に分布していた。希ガスイオンスパッタエッチングによる各元素の深さ方向の分布測定結果によると、試料マウント時等の汚染と考えられる C は急激に減少し、不良品ではその下に主に Al と O とからなる層が認められ、Al は更に内部にまで一様に分布していた。一方、Au/Ni 層構造は良、不良ロットともに 500°C 前後の熱処理を経ているために完全に相互拡散してしまっており、AuNi 固溶体になっているのが認められる。以上の結果を総合して判断すると、はんだぬれの不良の直接的な原因は表面に形成された Al の酸化物によると考えられる。この Al の発生源は Al の深さ方向分布測定の結果からも推定されるように四層膜最下層の Al の拡散によるものと思われる。この点に関して、SEM による興味ある観察結果を示しておこう。図 4. は不良品表面の SEM による 2 次電子像を示している。不良ロット Au 表面のみに数 μm の大きな穴の散在と 1 μm 程度の異常なうねり (凹凸) の形状が

認められる。この結果から拡散に対するバリア金属としてそう (挿) 入されている Mo の接着応力に問題があることが確認できた。そこで、Mo 膜厚を薄くして、接着応力を緩和させると、上記不良は完全に解決された。

3. 2 薄膜分析

3. 2. 1 NiPd-GaAs ショットキーダイオード

NiPd めっきによるショットキーバリア形成法は、微小面積の半導体-金属接触を望むところに、しかも浮遊容量を小さくつくりことができるなど、マイクロ波素子製造に適用する上で多くの利点を持っている。この方法で n 形 GaAs 基板に形成したショットキーバリアは理想的な電気特性を示した。そこで、素子実用化のために、その熱的安定性を電気特性⁽⁷⁾ 及び AES による深さ方向の元素分布の測定の両面から調べた。試料は基板に NiPd を 3,000 Å、その上に Au を 7,000 Å めっきしたもので、比較のために NiPd の代わりに Ni のみをめっきしたものも作製した。電気特性はショットキーバリアの電流-電圧特性を

$$I \propto e^{-\frac{q\phi_{Bn}}{nkT}} (e^{\frac{qV}{nkT}} - 1) \quad (1)$$

とあらわしたときの n 値とショットキーバリアの高さ ϕ_{Bn} の測定値から評価した (表 1.)。NiPd めっきの場合は H_2 中 300°C 10 分の熱処理後も n と ϕ_{Bn} の値はほとんど変化しなかった。熱処理後も理想的なショットキーバリアが保持されていることから、界面近傍での組成分布の変化も小さいと予想される。これに反して、Ni めっきの場合は 200°C

表 1. n, ϕ_{Bn} の測定値

		Ni · Pd		Ni
		n	ϕ_{Bn} (V)	
as depo	n	1.05-1.13	0.89-0.90	1.05-1.13
	ϕ_{Bn} (V)			0.81-0.82
200°C 10 min	n	1.06-1.13	0.86-0.87	1.11-1.19
	ϕ_{Bn} (V)			0.83-0.85
300°C 10 min	n	1.06-1.14	0.90-0.92	1.40-1.60
	ϕ_{Bn} (V)			0.96-1.09

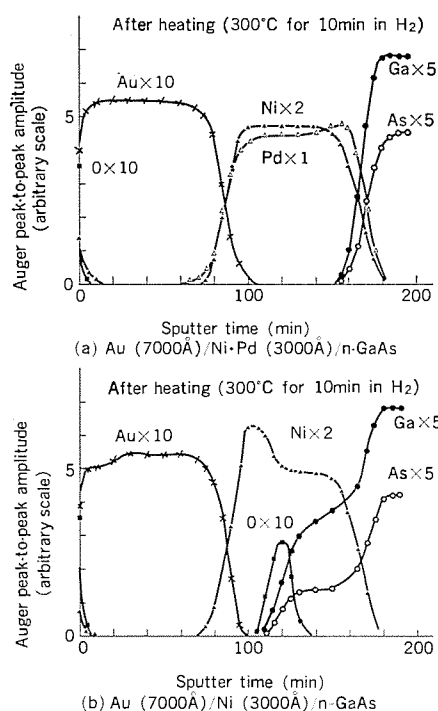


図 5. 熱処理後における n-GaAs ショットキーダイオードの深さ方向組成分布

では熱処理の影響は小さかったが、300°Cではn値は1.4以上となり、 ϕ_{Bn} も異常に大きくなった。図5.はこのときの深さ方向の組成分布を示したものである。NiPdめっきの場合では表面でNiの酸化膜が形成される点を除いては熱処理前後の組成分布に顕著な変化は認められなかった。しかし、Niめっきの場合はGaAs側の約半分がNiGaAsから成る膜に変化し、NiとNiGaAs膜界面にもともとNi膜中に均一に分散していたと思われるOの偏析が見られた。いずれの場合も、熱処理による電気特性及び組成分布の変化はよく対応しており、NiPd-GaAs系については、その熱的安定性が実証された。

3. 2. 2 Si₃N₄中へのAlの拡散

Al/Si₃N₄/SiO₂/Si構造(MNOS)素子において、誘電膜中へのAlの拡散は素子の電気的特性に大きな影響を与える。そこで、このAlの拡散が熱処理条件によって、どのように変化するかを調べた⁽⁸⁾。試料はn形Si(111)上に、750Åの熱酸化膜を、次いで500ÅのSi₃N₄CVD膜を生成し、更に、Alを電子ビーム蒸着(1.2μm厚)したものである。MNOSの熱処理条件はN₂中450°C30分、500°C30分、530°C60分の3種類である。なお、SiO₂、Si₃N₄

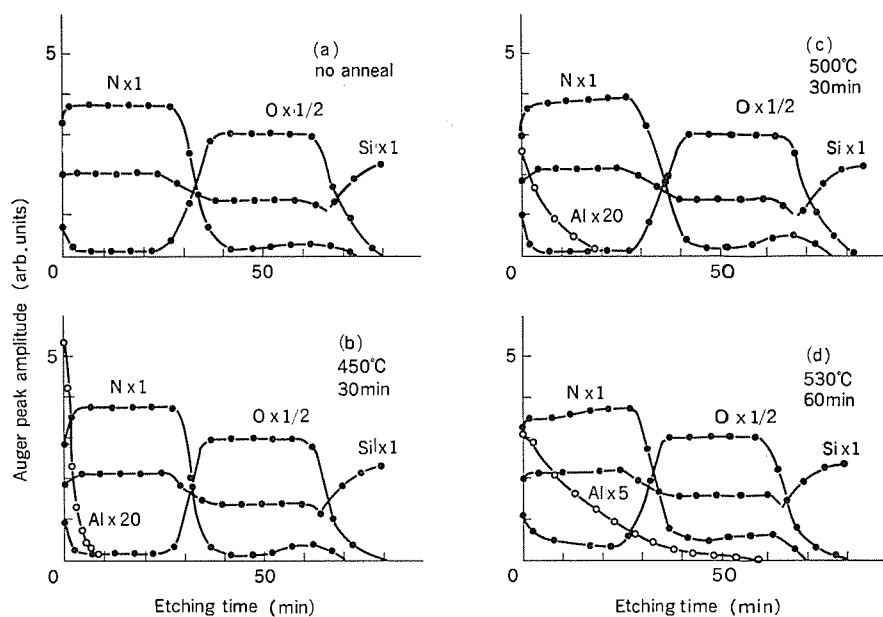


図 6. 熱処理後(N₂中)のMNOS構造の深さ方向元素分布 (Al電極は測定前に化学エッチングで除去した)

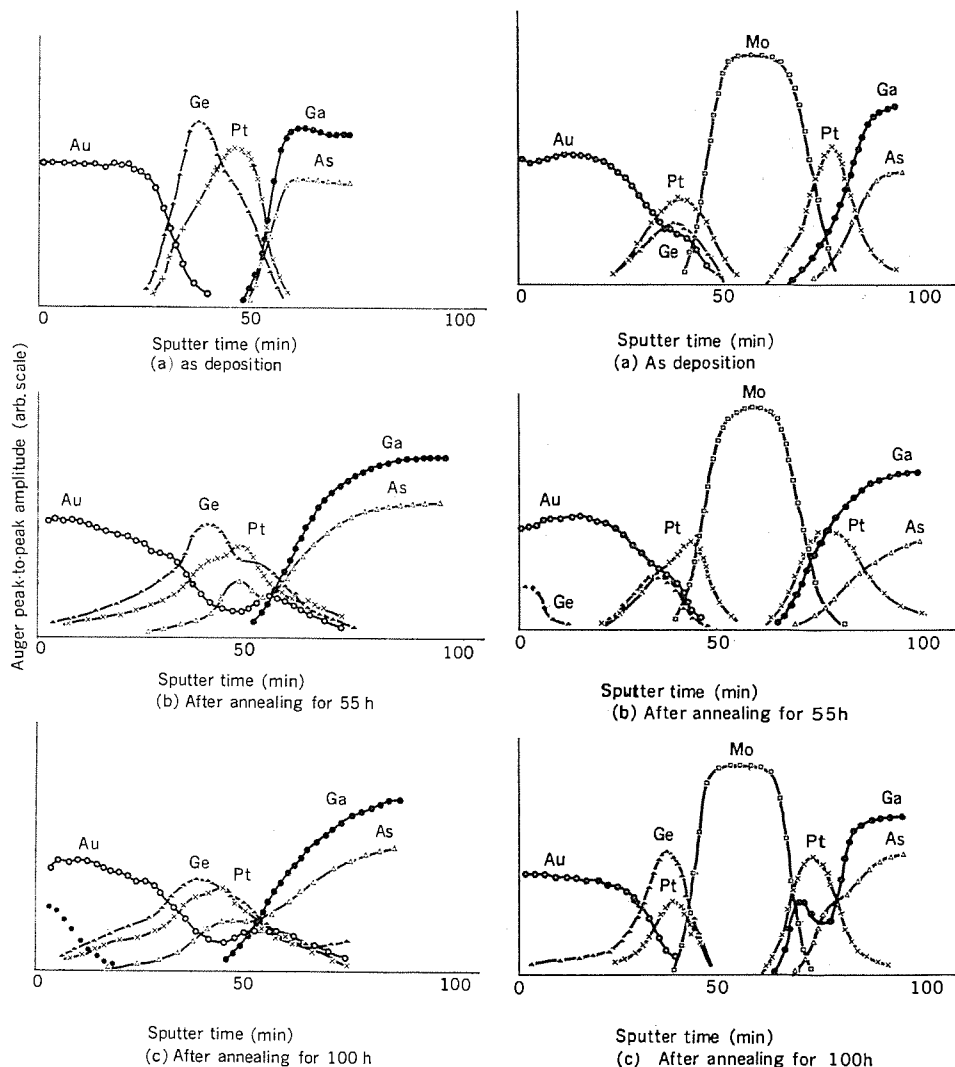


図 7. インパットダイオード (AuGe/Pt/GaAs) の熱処理 (340°C) による組成分布の変化

図 8. インパットダイオード (AuGe/Pt/Mo/Pt/GaAs) の熱処理 (340°C) による組成分布の変化

膜はおおの数%の不純物 N, O を含んでいる。図 6. に測定結果を示す。測定は未反応 Al を化学エッチングにより除去したあとを行った。この結果から、次のことがわかった。(1) Al は 500°C 30 分の熱処理で、Si₃N₄ 中約 300 Å の深さまで拡散している。(2) Al 拡散の活性化エネルギー (E), 拡散係数 (D₀) はおおよそ 2.0±0.2 eV, 7.3×10⁻³ cm²/s である。(3) 拡散した Al の KLL オージェピークのエネルギーは金属 Al のそれに比し約 10 eV ソフトしている。(4) Al の拡散後の Si₃N₄ 中での O と Al のオージェピーク強度比は Al₂O₃ のものとほぼ一致している。これらのことから、Si₃N₄ 中への Al の拡散は O と Al の反応を含む体積拡散であると推定できる。以上のことから、Al 蒸着後の MNOS 熱処理条件は 450°C 30 分、あるいはそれ以下でなければならないことが分かる。

3. 2. 3 GaAs インパットダイオードの電極形成

GaAs インパットダイオードの実用化にあたっては素子の信頼性向上が重要な要因となっている。素子の主な劣化モードは熱処理などにより電極材料が動作領域に拡散し、素子劣化に至るためと考えられている。例えば、Pt-GaAs ショットキー接合を用いた素子では、劣化は主に Pt と GaAs の相互拡散によって、界面に PtGa/PtAs₂/GaAs 多層構造ができるためであることが明らかにされている⁽⁹⁾。したがって、ショットキー接合形のインパットダイオードでは動作層に隣接した領域での相互拡散が直接的に素子の劣化に結びつくという欠点がある。一方、p-n 接合を用いたものでは、オミックコンタクト金属層として AuGe を用いるが、こう(恒)温放置の寿命試験では AuGe と GaAs との相互拡散による劣化モードが問題となる。そこで、AuGe の p-n 接合領域への拡散を制限するために、Pt(2,000 Å) 又は Pt(1,000 Å)/Mo(500 Å)/Pt(1,000 Å) からなるバッファ金属層を AuGe と GaAs の間に挿入した構造を検討した⁽¹⁰⁾。図 7. と図 8. はこれらの構造が N₂ 中 340°C の熱処理でいかに変化するかを示したものである。Mo 膜の両側で起こっている AuGe/Pt 間, Pt/GaAs 間の分布 (図 8. (c)) から予想されるように、Pt は GaAs 界面で PtGa 及び PtAs₂ に近い構造を、また AuGe 界面では PtGe に近い化合物構造を持つものと推定される。しかも、Mo 膜のある場合は相互拡散は起こらず、Au, Ge いずれの成分元素も GaAs 中への拡散が制限され、電気特性の平均寿命は約 10 倍延長された⁽¹⁰⁾。

4. 薄膜中不純物原子密度の定量

AES 定量性の実際的取扱い方法としては、一定の測定条件下で原子の量に比例した収率が定義できると仮定して、半経験的方法 (semiempirical method) が用いられている⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。この方法は単体中に含まれる微量不純物密度を定量する場合等のような理想的な系に対してはマトリックス効果が一定であると期待でき、かなり良い近似であろうと予想される。しかしながら、現在までに報告されている相対収率の値は標準試料を得ることの困難さから必ずしも十分な精度であるとは言えなかった。そこで、多結晶 Si 中にイオン注入した不純物 B と As を標準試料として利用し、半経験的方法により定量分析する方法を考えた⁽¹³⁾。

4. 1 定量分析の方法

半経験的方法によれば、元素 i のあるマトリックス中での密度 X_i (atomic fraction) は脱出深さ内での分布の一様性を仮定すれば

$$X_i = \frac{\alpha_i I_i}{\sum_j \alpha_j I_j} \quad (2)$$

で与えられる。ここで、I_i は元素 i の オージェ電子の信号強度である。α_i は逆オージェ感度因子 (inverse Auger sensitivity factor)⁽¹²⁾ と呼ばれるもので、適当な基準物質 s (standard) で規格化する。Si 中の単一微量不純物を想定したとき、その原子密度 (atoms/cm³) は次式で近似できる。

$$n_i = \rho_s \alpha_i I_i / I_s \quad (3)$$

ただし、不純物密度は数 % 以下で、I_i < I_s とした。以下、ρ_s は Si の原子密度、α_i は清浄 Si の LVV オージェ遷移 (92 eV) の強度で規格化したときの値を意味するものとする。イオン注入不純物の深さ分布の測定結果を評価するに際しては、脱出深さ Di 内での密度こう(勾)配及び表面のトポグラフィによる効果を見直し、深さ x の位置で Di 内での平均密度 n_i (x) に比例した収率が定義できると仮定する (図 9.)。脱出深さを無視したことによる分布の見積り誤差は 10 Å のオーダーであり、飛程距離 (projected range) Rp (>400 Å) に比べて十分に小さい。一方、不純物の分布を深さ方向に積分した量は全イオン注入量 (total ion dose) Q と次の関係にあることは容易にわかる。

$$Q = \rho_s A_i \quad (4)$$

$$A_i = \alpha_i \int I_i(x) / I_s dx \quad (5)$$

したがって、Q が既知の試料に対して、I_s と I_i (x) を測定できれば、式(4)、式(5)の関係から、相対収率の逆数に相当する α_i が求められる。

4. 2 多結晶 Si 薄膜中の B と As 密度の定量

試料は基板 CZSi(111) (ρ~10⁻² Ωcm) 上に成長させた多結晶 Si (粒

表 2. 多結晶 Si 中へイオン注入した B の定量的 オージェ分析結果

Samples	E(keV)	Q(cm ⁻²)	sputter etching rate (Å/min)	Rp(Å)	n(Rp)(cm ⁻³)	αB
B 1	30	1×10 ¹⁶	(100)	1,090	8.2×10 ²⁰	2.0
B 2	100	1×10 ¹⁶	97	3,690	5.4×10 ²⁰	2.4
B 3	150	1×10 ¹⁶	104	4,980	5.0×10 ²⁰	2.4
B 4	30	1×10 ¹⁵	(100)	1,190	8.4×10 ¹⁹	2.0
B 5	100	1×10 ¹⁵	98	3,490	5.7×10 ¹⁹	2.1

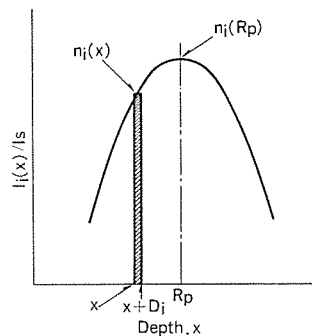


図 9. AES によるイオン注入元素の分布測定。Di は脱出深さ

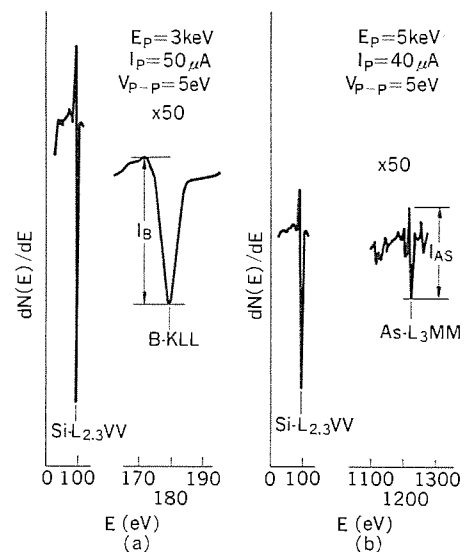


図 10. B 及び As をイオン注入した多結晶 Si の濃度分布ピーク付近における オージェスペクトル

径 20~30 Å) 中に B⁺ 又は As⁺ をイオン注入したものである。代表例として、B の場合のイオン注入条件及び測定結果を表 2. に示した。オージェ電子強度は図 10. に示すように B に対しては 179 eV の KLL 遷移、As に対しては 1,228 eV の L₃MM 遷移のピーク強度を用いた。深さ方向の分布測定は 1×10⁻⁴ torr の Ne ガスを導入して、2 keV Ne⁺ により連続的にスパッタエッチングしながら行った。多結晶 Si をエッチングするのに要する時間は基板 Si と多結晶 Si の界面に存在する自然酸化物層 (数十 Å 程度) までに到達する時間から決定し、この値とグルービング法⁽¹⁴⁾ (grooving method) により測定した多結晶 Si の厚さからスパッタリング率を求めた。

図 11. は B についての測定結果を示している。密度の較正は 4. 1 節で述べた方法に従った。全体としての分布の形は注入イオンの加速エネルギーが高くなるにつれて、Rp について左右非対称な分布形を持っている。図 12. は As についての同様の測定結果を示している。As の分布はほぼガウス形 (実線) で近似でき、分布 (a), (b) のピーク位置での濃度は 1.8×10²¹, 4.9×10²⁰ atoms/cm³ であった。これらの値は後方散乱法 (Rutherford back scattering) から全く独立に決定されている値⁽¹⁵⁾ 2×10²¹, 4.8×10²⁰ atoms/cm³ と極めて良い一致を示している。図 11. と図 12. の分布から求めた α_B, α_{As} の値の平均値はおおの 2.2, 3.7 であった。励起エネルギー (As の場合 5 keV) によるイオン化断面積の変化を考慮すると、これらの測定値は最近報告されている値とよく一致している⁽¹²⁾⁽¹³⁾。

図 13. は式 (3) に示した定量化方法の妥当性を検討するために、注入した不純物分布のピーク位置での密度に対して規格化したオージェ信号強度をプロットしたものである。数%以下の微量不純物密度の場合では式 (3) が良い近似であることがわかる。以上の結果から、Si 中の微量不純物 B, As はほぼ相対誤差 ±10% の精度で定量化できることが判明した。これらの基礎データは例えば、イオン注入をパイロラデバイスに適用した IDOPOS 法 (多結晶 Si 中にイオン注入した不純物を拡散源として用いる方法) などに応用されている。

5. む す び

オージェ電子分光法を半導体素子の信頼性向上、不良解析に応用した。AES の表面分析法としての特長を生かした極表面不純物及び

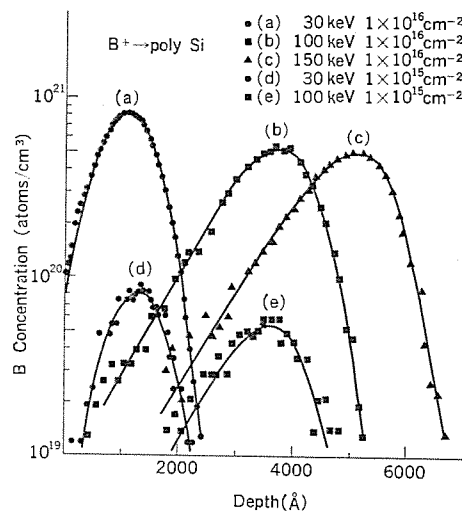


図 11. 多結晶 Si 中へイオン注入した B の密度分布

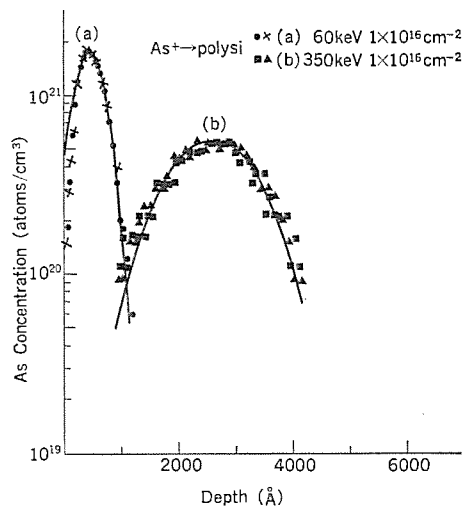


図 12. 多結晶 Si 中へイオン注入した As の密度分布

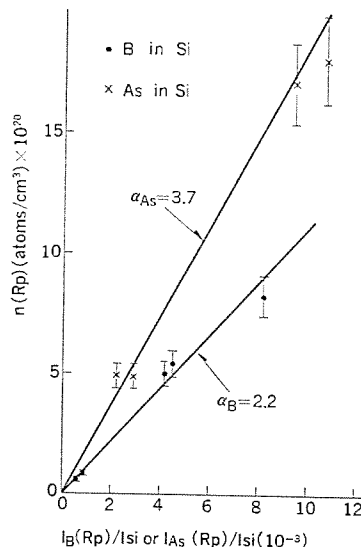


図 13. Si 中 B と As の密度対規格化されたオージェ信号強度 (密度分布のピークでの値)

薄膜の定性分析の具体例として、ボンディング等の接着技術、電極形成 (metallization) 技術等への応用例を紹介した。次に、AES の定量性の問題を取り上げ、イオン注入を利用した Si 薄膜中の不純物原子密度定量化の方法を述べた。AES に代表される表面分析法は今後も装置及び解析技術両面からの改良、進歩が加えられ、材料特性の評価、すなわちキャラクタリゼーション (material characterization) の手段として、おいに役立てられるであろう。

最後に、3. 1. 1 項での走査形 AES の測定にご協力いただいた日本真空技術 (株) 横田氏に深く感謝する。(昭和 52-5-16 受付)

参 考 文 献

- (1) P. F. Kane and G. B. Larrabee : Characterization of Solid Surfaces (1974) Plenum
- (2) C. A. Evans, Jr : Analytical Chemistry, 47, 818 A (1975)
- (3) 第 6 回薄膜・表面物理 セミナーテキスト : 最近の表面分析の進歩, 応用物理学会 (昭 50)
- (4) 室谷, 藤原, 大谷, 西嶋 : 三菱電機技報, 47, 667 (昭 48)
- (5) C. C. Chang : Surface Sci., 25, 53 (1971)
- (6) A. J. Gonzales : 11 th Annual Proc. Reliability Physics, 185 (1973)
- (7) 近藤, 奈良, 住吉, 池川 : 信学技報, SSD 76-74 (昭 51-1)
- (8) 金山, 大谷, 藤原, 阿部, 西嶋, 中山 : 真空, 19, 116 (1976)
- (9) V. Kumar : J. Phys. Chem. Solids, 36, 535 (1975)
- (10) 西谷, 沢野, 石原, 石井, 三井, 三木 : 信学技報, R 76-16 (昭 51-9)
- (11) P. W. Palmberg, G. E. Riach, R. E. Weber and N. C. MacDonald : Handbook of Auger Electron Spectroscopy (Physical Electronics, Eden Prairie, MN) (1972)
- (12) C. C. Chang : Surface Sci., 48, 9 (1975)
- (13) K. Fujiwara, M. Ohtani, K. Kana-yama and H. Ogata : Surface Sci., 61, 435 (1976)

(14) A. S. Grove : Physics and Technology of Semiconductor Devices (1967) John Wiley and Sons, Inc.

(15) 塚本, 赤坂, 佐藤, 堀江 : 電子装置研究会資料, EDD-75-127 (昭 50-10)

M2350形インテリジェントディスプレイ端末

渡辺 治*・三井 浩康*・古形 昌*・野津 工ア*

1. ま え が き

オンラインシステム のめざましい発展に伴い、キャラクタディスプレイ 装置はその優れた マンマシン インタフェース 機能によって オンライン 端末として主流をなしてきたが、情報処理 システム の オンライン 化の普及は端末に対して質的变化をもたらしている。

その第一は、端末の操作性向上の要求である。従来の集中形情報処理システムでは利用者は中央にいる特定の専任者に限られていたが、現場実務レベルのコンピュータ化とともに遠隔地の各業務担当者が端末を使用して情報処理システムを利用するようになり、オペレータの非専任化が余儀なくされている。

第二は、端末への処理機能の分散化である。オンラインシステム自身も情報の広域化と複雑化に伴って情報を多角的かつ効果的に利用することをめざし、従来のコンピュータ主体のシステムからコンピュータ、データベース、及びデータ通信網の3本柱を中心にした広域システムに変ぼうしつつあり、端末に処理機能をもたせてホストへの送信データの前処理やローカル処理を行わせることが要求されてきている。

これらの要求にこたえるために開発されたのが、M2350形インテリジェントディスプレイ端末（以下M2350と略す）である。M2350はオンライン端末としてかずかずの特長をもつキャラクタディスプレイをベースとしており、インテリジェンスの付与についてはマイクロプロセッサ及びフレキシブルディスクの発達が大きく貢献している。M2350にはスタンダード形のモデル30とクラスタ形のモデル50とがあり、次の4点をねらって設計されている。

- (1) オペレータ 負荷の最小化。
- (2) 端末装置の柔軟性と独立性。
- (3) 処理機能の分散化と回線利用効率の向上。
- (4) 信頼性の向上。

この論文では、M2350のモデル30についてソフトウェアを中心に概要を紹介する。

2. M2350形インテリジェントディスプレイ端末

2.1 特 長

M2350は（図1.）M345キャラクタディスプレイ装置の機能を包含し、かつデータの処理、蓄積交換機能によりデータエントリ、伝票発行、簡単なバッチ処理からオンライン問合わせまで広はん（汎）な業務に適用できるインテリジェント端末であり、次の特長をもっている。

- (1) 容易な操作
 - (a) 2,000文字のCRT、3色カラー、けい（野）線表示による見やすい表示と豊富なフォーマット機能、編集機能。
 - (b) 誤操作防止のためのオペレーションガイダンスとインプットデータの即時チェック、修正機能。
 - (c) 単語入力ができるワンタッチキーボードの接続。
- (2) ローカル処理機能
 - (a) データエントリ時の入力チェック、伝票発行、ファイルの参照と更

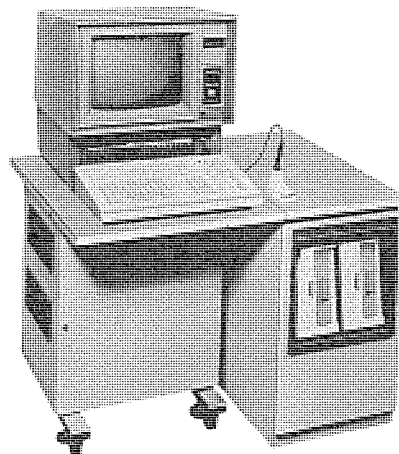


図 1. M2350 インテリジェントディスプレイ 端末

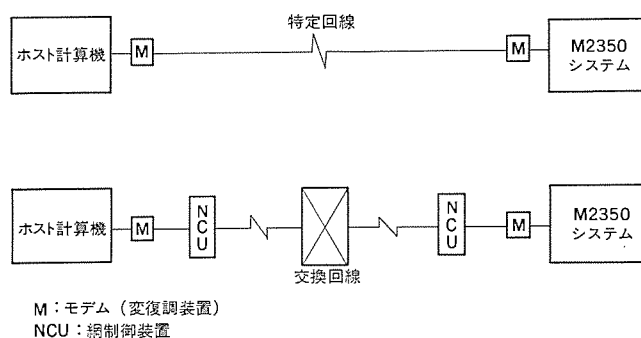


図 2. M2350 の接続形態

新などの機能。

- (b) ユーザプログラム作成用の簡易言語 FCP の提供。
- (3) ホストとの接続の容易性
 - (a) クリーンデータの送信、ファイルによる一括送受信による回線の有効利用とホストの負荷軽減。
 - (b) 公衆回線利用による回線費用の低減。
 - (c) 回線制御手順のファームウェア化。
- (4) システムの柔軟性
 - (a) 高性能オペレーティングシステムの採用とハードウェア、ソフトウェアのビルディングブロック化。
 - (b) ユーザ言語によるアプリケーション向き端末の実現性。
 - (c) 同時処理機能。
- (5) 信頼性の向上
 - (a) ホストや回線ダウン時のローカル処理業務の続行が可能。
 - (b) 端末の自己診断機能。

2.2 構 成

(1) 接続形態

M2350は図2.に示すように通常はオンラインシステムに組み込まれた端末として使用されるが、ローカル処理機能をもつのでオフライン使用の形態も可能である。

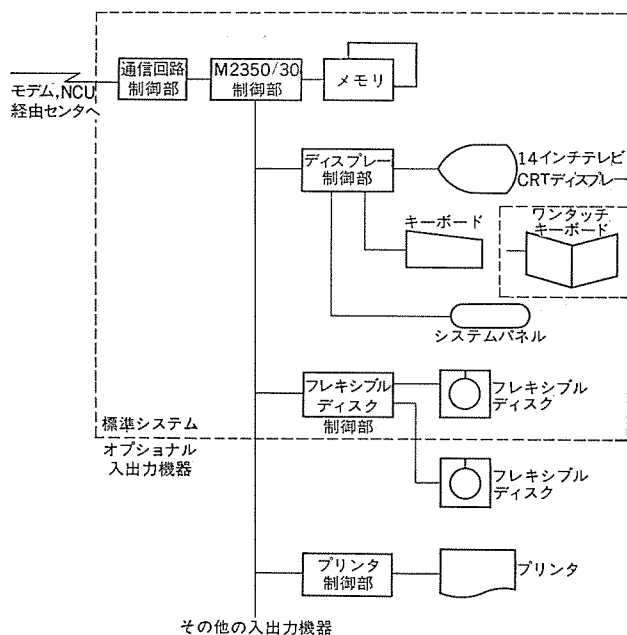


図 3. M 2350 モデル 30 の構成

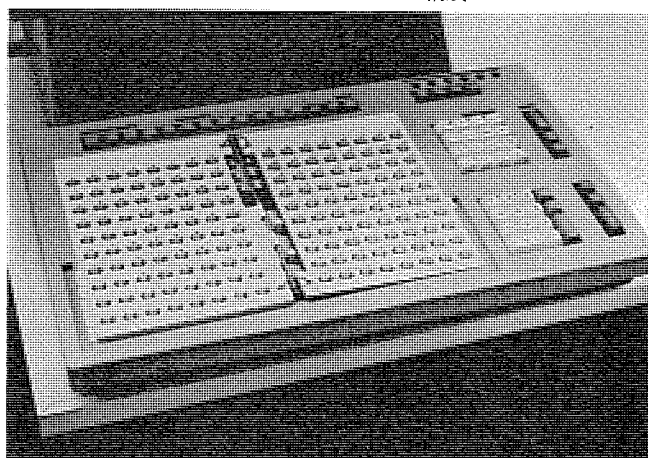


図 4. ワンタッチキーボード

(2) ハードウェア構成

M 2350 のハードウェア構成を図 3. に示す。キャラクタディスプレイは 3 色カラー及びモノクロが可能である。ワンタッチキーボードは図 4. に示すようなキーボードであり、各ページ 16 列×10 行の項目名が印刷されているシートの各項目に対応したキーを押してコード入力ができる。また英数カナ記号の入力も可能であり、プリンタは表 2. に示す 3 種の内から一つを選んで標準システムに別途接続できる。

2. 3 機能

M 2350 の機能は、大別すると①オンライン機能と、②オフライン機能とに分けられる。これらは操作上、五つのモードに要約される。

(1) オンライン機能

オンライン機能は通信モードで実行され、①ホストへの問い合わせ(会話形)、②ファイルを利用したバッチ送受信、及び③ホスト配信データのダイレクトプリントを行うユーティリティが動作する。通信モードは M 345 キャラクタディスプレイの機能を包含している。

(2) オフライン機能

(a) エントリ/バッチモード: FCP で組まれたユーザアプリケーションプログラムを呼び出して、データエントリ、伝票発行、在庫管理、在庫問い合わせなどを行うモードである。フレキシブルディスクに書込み済みの入力データの検索、修正も併せて可能である。

表 1. M 2350 の基本仕様

構 成	仕 様
端 末 制 御 部	マイクロプロセッサ : M 58710 S 命令数 78 種 マシンサイクル 2 μ s メモリ (ROM, RAM) : 8 K バイト単位で増設可 ユーザエリア 7 K バイト 入出力インタフェース : プログラム制御インタフェース (P-BUS)
	表示部 : 14 インチ高解像度 CRT 表示容量 2,000 字 (80 字×25 行) 表示色 3 色 (赤, 緑, 白) 又はモノクロ (緑) 表示文字種 128 種
	ディスプレイステーション部 フォーマット機能 : 色, 罫線, プロテクト, ブリンク 編集機能 : カーソル制御, 画面消去, 行消去, 挿入, 削除 キーボード : 英, 数, カナ, 記号等 114 種 (標準) ワンタッチキーボード接続可 (オプション)
	フレキシブルディスク装置部 駆動装置 : M 892 形, 2 台まで接続可 記憶容量 : 243 K バイト 平均アクセス時間 : 260 ms 平均待ち時間 : 83 ms
回 線 制 御 部	通信速度 : 200~1,200 BPS (調歩同期) 2,400 BPS (独立同期)
	通信方式 : 半 2 重, ボーリング又は全 2 重フリーラン (プログラマブル)
	通信回線 : 特定通信回線又は公衆通信回線

表 2. プリンタの仕様

項 目	形 名	M 2246	M 2240	M 2241
印 字 方 式		ドットマトリクス	ドットマトリクス	インクジェット
印 字 速 度		165 字/秒	165 字/秒	33 字/秒
行 印 字 数		132 字/行	80 字/行	80 字/行
文 字 種		128 種	128 種	137 種

(b) メンテナンスモード: ファイルの作成, ファイルラベルやデータの表示と更新, ファイルのコピー, FCP プログラムのソースステートメントの入力, エディット, コンパイルなどを行うユーティリティが動作する。

(c) プリントモード: ホストからのバッチ受信データやエントリ時のジャーナルをプリントアウトするユーティリティが動作するモードである。

(d) 試験モード: システムの信頼性向上のために端末構成機器の診断プログラムを動作させるためのモードである。

2. 4 機器仕様

M 2350 のハードウェアの基本仕様を表 1. に、オプションとして接続できるプリンタの仕様を表 2. に示す。

3. M 2350 のソフトウェア

3. 1 特 長

M 2350 にインテリジェンスを与えるソフトウェアは、①容易な操作、②分散処理への対処、③システムの柔軟性、などの特長を実現している。特に、分散処理には不可欠な端末独自のアプリケーションプログラムを容易に作成できるように FCP (Format Control Program) という簡易言語が用意されており、クリーンデータの作成、伝票発行、照会業務など広汎な処理を可能にしている。また、端末のデータ処理機能、ファイル機能、通信機能によりホストの負荷軽減、回線の有効利用を図っている。

また、高性能なオペレーティングシステムの上に端末の標準的なオペレーションパッケージを構築してユーザの負担を軽減するとともに、ソフトウェアをモジュール化しビルディングブロック方式で組立てることにより、端末機器構成及び情報処理システムの多様化に柔軟に対処できるようにしている。

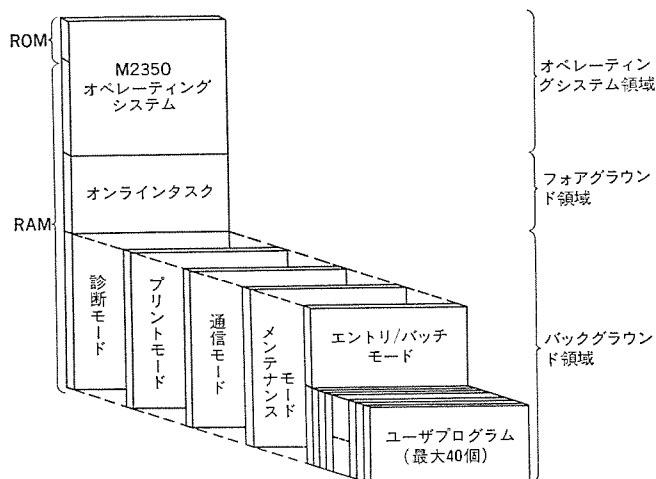


図 5. M 2350 のソフトウェアの構成

3. 2 構 成

M 2350 のソフトウェアは図 5. に示すように次の三つの部分から構成されている。

(1) オペレーティングシステム 領域

オペレーティングシステムは割込処理、入出力処理、タスクスケジューラ、回線制御プログラム、ファイル管理、リソース管理などのルーチンからなる。端末装置の特殊性を考慮してオーバヘッドを極力小さくし、かつ8個のタスクの管理を可能にしている。

(2) フォーグラウンド 領域

フォーグラウンド領域にはオンラインプログラムが常駐しており、常時通信可能であると同時に、エントリ/バッチモードで動作するユーザプログラムとの同時動作が可能になっている。

(3) バックグラウンド 領域

バックグラウンド領域にはモードスイッチによってオーバレイして使用される五つのモード、すなわちエントリ/バッチ、メンテナンス、通信、プリント、試験の各モードのプログラムがある。これらの各モードプログラムは最下位レベルのタスクで動作する。

FCPで組まれたユーザプログラムはエントリ/バッチモードの管理下で最大40個まで動作可能である。

3. 3 簡易言語 FCP

バックグラウンド領域のエントリ/バッチモードで動作するユーザプログラムはFCPという簡易言語でコーディングされる。

FCPの特長は、だれでもが容易に業務ごとのアプリケーションプログラムを作成できる点にある。特に画面設計はパラメータを記述するだけでコーディングすることができるので誤りが少なくデバッグも簡単に行うことができる。

FCPは四つの定義文(表 3.)とポジション文からなる。各定義文はパラメータ記述式であり、画面設計、帳票設計、使用ファイルの定義、入出力領域の定義を容易かつ短時間で行うことができる。

ディスプレイ画面の設計を行うためのフィールド定義文は、図 6. に示すように画面上の行位置とけた(桁)位置、桁数、フィールドの属性、入力時のチェック機能をパラメータで指定することができるため、ユーザプログラムの負担を著しく軽減できる。また、入出力領域の定義文ではリーディングゼロの処理、符号の付加などの編集機能が指定可能である。

ポジション文はマクロアセンブラ形式で演算、ファイルの入出力、プリント出力などの一般の命令を記述できるので、エントリ時のチェック、ホスト

表 3. FCP 定義文一覧

制御文字	意 味	機 能
Dnnn	ファイル (Date Set) の定義	ファイル名、ファイルの属性等の指定を行う
PRNT	プリンタ (Printer) の定義	ページ当たりの行数や、行当たりの文字数を指定する
Fnnn	CRT 画面のフィールド (Field) の定義	フィールドの属性及びチェック項目の指定を行う
Znnn	入出力領域 (Zone) の定義	入出力領域の割当てと編集機能の指定を行う



フィールド定義文

PAGE
RUN-ID

フィールド番号	行位置	桁位置	桁数	プロテクト	カラー	送信フラグ	雲線	字種	右、左詰め、カンマ	前処理	後処理	備考
F	03	25	30	CW	X							
C												
C												
F	04	01	07	CW	X							
C												
F	002	04	10	02	CGS							
C												
F		01										
C												
F	05	31	06	CW	X							
C												
F	004	05	40	35	CGS							
C												
F		07	31	09	CW	X						
C												

図 6. FCP コーディング例 (フィールド定義文)

表 4. FCP の 機 能

機 能	概 要
画 面 設 計	見出し表示/右詰め、左詰め/カンマ、小数点/カラー/作表/桁数など
キーボード/ディスプレイ	オペレーションガイダンス/エラー訂正指示/メニュー表示など
データチェック	文字種チェック/ディジットチェック/省略チェック/桁数チェック/オーバーフローチェック/範囲チェック/限界チェック/テーブル探索チェックなど
演 算	加減乗算/項目小計、合計/比較など
フ ァ イ ル	相対ファイル/ランダムファイル/パーティションドファイル
データハンドリング	ファイル出力のフォーマット/プリント出力のフォーマットなど
並 行 プ リ ン ト	プリント中のデータエントリ、ファイルアクセスが可能

への入力データの前処理、ファイル処理、伝票発行などを行わせることが可能である。

FCPはコンパイル時に中間言語に落とされ、この中間言語がエントリ/バッチモードでFCPインタプリタによって直接的に実行される仕組みになっている。

FCPの機能を表 4. にまとめる。図 7. はFCPによる画面フォーマットの例であり、FCPによるオペレーションガイダンスと各種インプットチェックの様態を示している。画面の最上位の1行はシステムとオペレータの会話領域として使用されている。

3. 4 ファイル

FCPで使用できるファイルには相対ファイル、ランダムファイル、パーティションドファイルの三つがある。相対ファイルはレコードの相対番号でアクセス可能なファイルである。ワンタッチキーボードの各項目キーは、通常この相対ファイルの各レコードと対応しており、1回のアクセスで読出される。また、この相対ファイルはシーケンシャルアクセスも可能である。ランダムファ

契約先コード (コード表を参照, コード表に無いものはエラー) 入力により住所と契約先名を自動的に表示。

ディジット・チェック (モジュラス11) 伝票発行ごとに1を加算し自動的に表示

システムとの会話領域(ステータスライン) システムとの会話領域(ステータスライン)

ADD FILEIN 0001 \$TRANS 019 R

*** シ ュ ユ ウ . デ ン ヒ ヨ ウ ***

シ ュ ウ シ ヨ [ハチオウジ シ イシカワチヨウ 105]

ガイヤクサキ コード 1015 ガイヤクサキ メイ [マ エツヒ シ ハンカ イ K.K.]

タフトウシヤ コード 1111116 シュツカ ヒ [10 カツ 04 ニチ] ソウシフ. NO [1]

見出し表示とケイ線表示

ヒンメイ コード	ヒンメイ	スクリョウ	タンカ	キンガク	ヒンコウ
1015	スピーカ システムDS-25	12	32,000	384,000	
1023	スピーカ システムDS-28	8	45,000	360,000	
1031	スピーカ システムDS-22	20	25,000	500,000	
1040	スピーカ システムDS-36	16	53,000	848,000	
1058	スピーカ システムDS-26	10	38,000	380,000	
2011	パワー アンプ DA-A1	3	250,000	750,000	
2119	パワー アンプ DA-F1	5	150,000	750,000	
2216	パワーアンプ DA-U7	11	98,800	1,086,800	
2313	チューナー DA-F7	14	69,800	977,200	

コードチェック。コード入力マスタとの突合せ。 数字チェック 品名コード入力
で自動表示。 任意キャラクタ可

数量の入力により単価×数量の計算を行い金額欄に表示。金額欄オーバーフローをチェック。カンマ表示。

図 7. エントリ画面例

イルはキー (かぎ) 指定でアクセス可能なファイルである。高速アクセスを特長としており、主としてマスタ類の登録ファイルとして使用される。

このほか、ユーザプログラムは、それ自体がシーケンシャル構成されたサブファイルからなるパーティションドファイルに最大 40 本まで登録することができる。

4. 適用例

M 2350 は、データエントリ、伝票発行、在庫管理、リスティングなどのオフライン業務からオンラインの間合わせ及びパッチ送受信まで多業務に適用できる。以下に適用例を示す。

4.1 データエントリへの適用

オフラインの紙テープさん孔機とテレックスを用いた紙テープベースのシステムを、M 2350 を端末として配置した総合オンラインシステムに置き換えた例を紹介する。

紙テープベースのシステムには次のような問題点があった。

- (1) 専任オペレータの必要性と人員の管理及び確保の困難性。
- (2) 現場と別の部門で伝票を一括処理するために起こる事務量の増加とターンアラウンドの遅延。
- (3) 端末側で入力チェックができず、センタの負荷が大。
- (4) 受注販売業務や在庫間合わせなどの即時性処理が不能。

これらの問題点を克服し、全国に散在する営業所、工場の各部門での発生データを迅速かつ正確に中央計算機へ入力するため、M 2350 をエントリマシンとするオンラインネットワークが組まれた。

M 2350 を使用して行われる主な業務は、①販売管理、②経理処理、③勤怠・人事処理、④出荷報告、⑤生産・受払い、⑥固定資産管理、⑦仕入業務、など多岐にわたっている。これらの各業務の伝

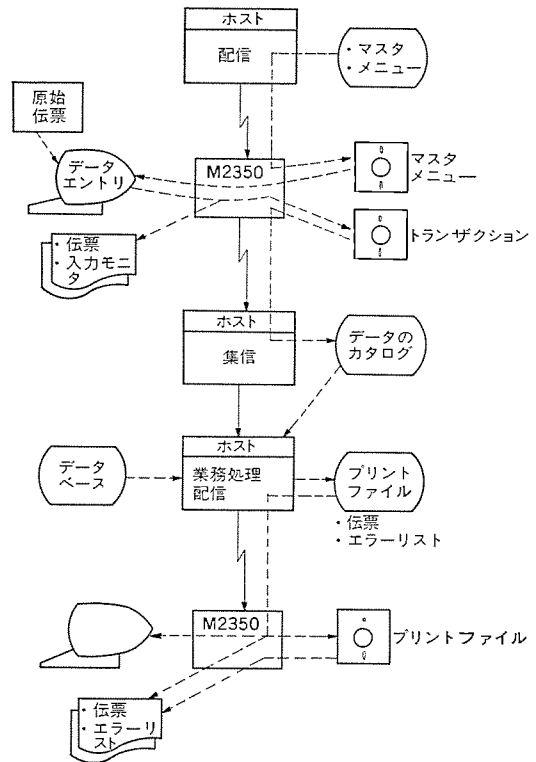


図 8. データエントリ業務の情報の流れ

票フォーマットを画面に表示し、データエントリを行っている。データエントリ時のホストと端末間のデータの流れは図 8. のとおりであり、M 2350 のエントリモード、通信モード、プリントモードが使用されている。

M 2350 の特長である二つの用法、すなわち ① オンライン即時処理

による会話形業務と、②分散処理による バッファドエントリ 業務を巧みに使い分け、M 2350 を効率的に使用している。

4.2 倉庫システム

倉庫の運用管理システムを例にして物流システムへの M 2350 の適用例を紹介する。

倉庫は工場あるいは一時的には他倉庫から製品の補給を受け、顧客へ発送する。この物の流れに従って出荷報告、売上伝票などの伝票の発行と本社へ送る受注データ等の集計処理が行われる。

図 9. は、システムの運用形態である。各倉庫では、毎朝、ホストから前日時点の在庫データを M 2350 のフレキシブルディスクに一括受信する。オペレータは受注メモによって当日分のオーダーを入力したり、ローカルな在庫問い合わせを行う。データ入力時のエラーは、FCP でチェックされ、エラーがあればエラー表示がなされる。1 画面分のデータ入力を終えた時点で送信キーを押せば、伝票発行が行われると同時にホストへ送られるトランザクションデータが書込まれる。トランザクションは、毎夕、ホストへ一括送信される。

このシステムの導入により次の成果が得られた。

- (1) 顧客への迅速かつ安定した製品供給体制の確立。
- (2) 倉庫独自の出入庫状況の把握が可能になった。
- (3) 取扱品目の増加に対するシステムの柔軟性。
- (4) ローカル 問い合わせと一括送受信による回線費用の節約。
- (5) ワンタッチキーボード採用による操作性の向上。

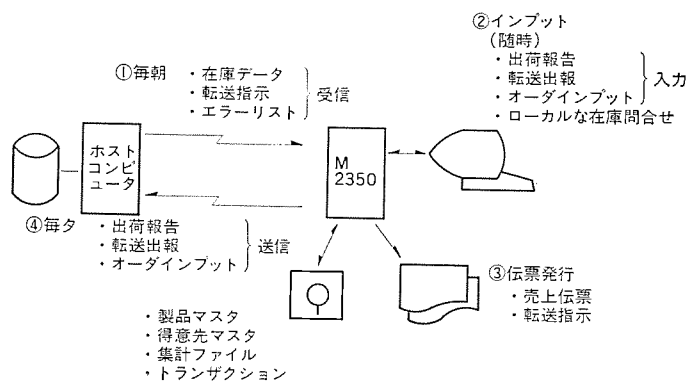


図 9. 倉庫システムの運用

特に、ワンタッチキーボードは、キータッチ数の減少と入力エラーの減少に非常に貢献している。

4.3 TSS 端末

M 2350 の会話形機能とオフラインでのバッチ処理機能を組合せて、新しいタイプの TSS 端末を実現することができる。

オフラインでフレキシブルディスクに COBOL や FORTRAN のソースプログラムを入力し、これをセンタへバッチ送信してコンパイルやデバッグ、実行を行い、結果を端末の CRT 又はフレキシブルディスクに受信する。また、センタとの会話形処理や、ファイルの検索、修正も可能である。従来のパンチカードをベースとするプログラム開発作業に代わる新しい効率的な方法として注目されている。

5. む す び

以上 M 2350 インテリジェントディスプレイ端末のソフトウェア面を中心に概要を紹介した。

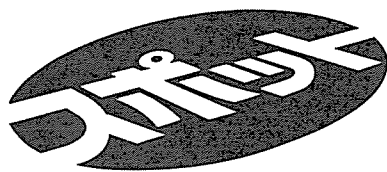
インテリジェントディスプレイは脚光を浴びているもののまだ出現してから日が浅く、装置自身もまたそれを取巻く環境も流動的である。マイクロプロセッサを中心とする LSI 技術の飛躍的進歩、大容量メモリ素子技術の発展により小形化、コストダウンを図るとともにネットワークアーキテクチャへの接続、データベースの分散化に伴うホストとの機能分担の最適化を実現していく必要がある。また、入力方式を中心としたマンマシンインタフェースの改善、ユーザの多様なニーズへの適確な対応も今後の大きな課題である。

参 考 文 献

- (1) 武居ほか：三菱周辺端末機器の現況，三菱電機技報，50，No. 5（昭 51）
- (2) 大川ほか：マイクロコンピュータを使ったインテリジェント CRT ターミナル，インタフェース，DEC，1976（昭 51）
- (3) 渡辺：インテリジェントターミナルの現状，電子通信学会関西支部，51 年 5 月
- (4) 大川ほか：マイクロプロセッサの計算機及び周辺端末機器への応用，三菱電機技報，51，No. 3（昭 52）

当 社 の 特 許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
794000	回路シャ断器	中本 勝博	794009	車輛用定速走行装置	片山 紘二
794001	パイロット 継電装置	高田 信治	794010	インダクション・パイプ・ベンダにおける曲げ角制御方法	高橋 康英・上田 時芳 奥津 尚宏
794002	搬送保護継電装置	鈴木 健治・鈴木 愿	794011	エレベータ 装置	瀬原田 三郎
794003	採点開極補助機構	岡田 正歩	794012	エレベータの出入口上部遮蔽装置	藤松 高明
794004	真空シャ断器	加藤 勝	794013	電気車チョップガート制御方式	成戸 昌司・中西 信行
794005	放電間隙装置	新田 東平・渋谷 義一 藤原 幸雄	794014	電気車制御方式	芦谷 正裕
794006	巻取り制御装置	車戸 秀男	794015	換気扇取付装置	鈴木 欽三
794007	油入電気機器の巻線温度指示装置	菅 寿郎	794016	耐熱性熱硬化性樹脂組成物	西崎 俊一郎・工藤 昌平
794008	自動位置制御装置	斎藤 豊	794017	〃	〃



高周波/パルス直流TIG溶接法に 日本溶接協会技術賞

三菱電機の高周波/パルス直流TIG溶接機(メルパルス)に日本溶接協会から第7回日本溶接協会技術賞が与えられました。

この溶接法は我国で初めて高周波/パルス電流(5~25kHz)の電磁的ピンチ効果を利用したもので、従来の直流TIG溶接にくらべてはるかに硬直安定化した溶接アークを得ることができます。したがって従来の直流TIG溶接では不可能だった薄板(約1mm厚)の溶接や特殊条件下での各種継手の溶接を高い能率で行うことができ、航空機産業、原子力産業を初めとして溶接施工に高品質化、高能率化が求められている分野での活用が期待されています。

〈特長〉

- 高周波条件下でもシャープなパルス電流波形が得られるように、高性能ICと高速トランジスタを組合せた独自のパルス幅制御式ダブルスイッチ方式を採用しています。(国内外特許保有)
- 平均電流値が5Aから定格電流値まで0.1A単位でデジタル設定でき、しかも多種の電流プログラムを内蔵していますから、用途に適した溶接ができます。
- 小電流条件域における溶接アークが安定しています。
- 複雑な形状、材質の継手に対するアークの指向性が向上しました。
- 高速溶接してもアークが安定しています。

実用の結果、次のような利点が確認されました。

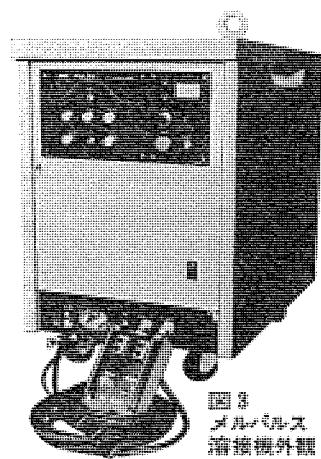
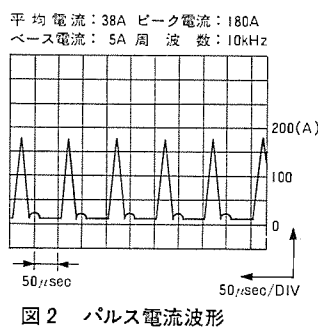
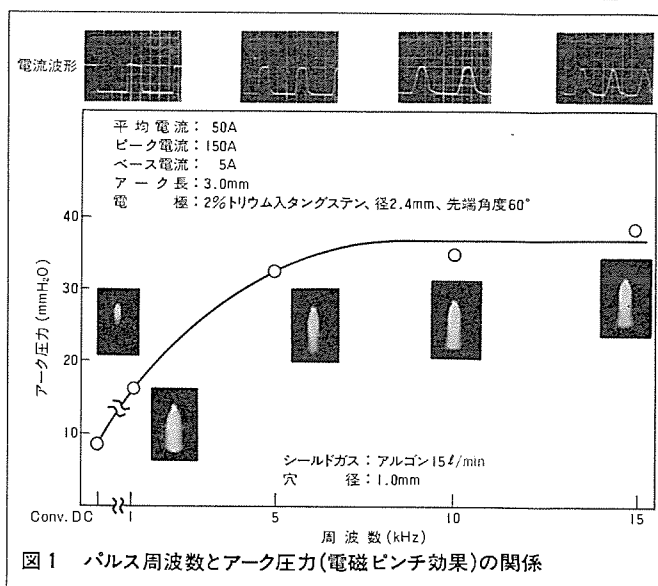
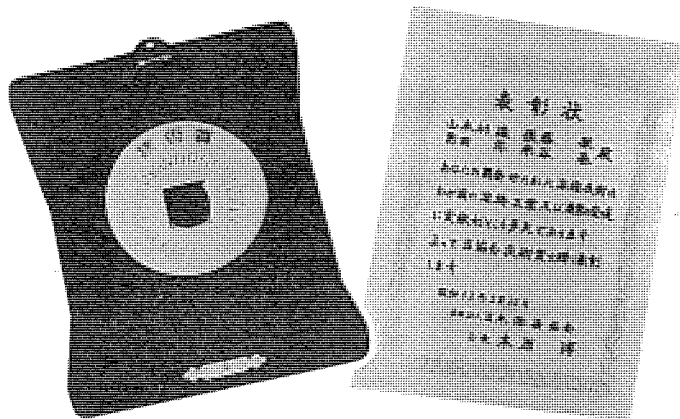
- 薄板(0.1mm厚)の溶接が可能 ● 小径管の全姿勢溶接が可能
- 母材と溶加材との融合性の向上により、多層盛溶接時の層数低減、裏波ビードの安定化が可能 ● 従来機にくらべて溶接速度が向上し、また電極寿命が延びた ● 溶接部の金属組織を改善できた。

〈高周波パルス電流0.1~10Hzの低周波では〉

- 全姿勢溶接結果が安定している ● 異種材料、異形材料、不整継手の溶接結果が安定している ● 熱歪が低減した ● ビード形状が改善された。

〈用途〉

航空機産業、原子力産業、製罐業、機械産業、計測器産業、電機産業、造管工業、小物部品加工業、高圧ボイラ業、自動車部品産業



〈適用対象材料〉

軟鋼、合金鋼、ステンレス鋼、銅、銅合金、アルミニウム合金、ニッケル合金、チタン合金及びこれらの異材継手

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
794042	放射線による木材殺虫施設	山本守之・津田栄一 三富至道	796288	エレベータ管理方式	篠崎裕久
794552	タイミング信号発生方式	佐々木勝	796289	ゴムモールド形電気機器の製造方法	野口 肇・村上貞利
794553	波高値検出回路	下井 弘	796290	多層熔接装置における熔接層数 検出装置	斎藤弘之
794554	インバータの過電流保護方式	川畑隆夫・細野 勇	796291	電気車の主回路保護方式	小山 滋
794555	搬出入装置	佐竹幸男・小林幸生	796292	薄膜形成法	中尾脛治・奈良愛一郎
794556	コンベヤ 自動制御装置	首藤佑吉	796293	車両用電気装置の制御方式	上田 敦・石井光明
794557	巻鉄心形成方法	徳永逸良・竹延 宏	796294	半導体接合レーザ	長能宗彦
794558	壁貫通 プッシング	石田四男・岸田光弘	796295	弾性体の製造法	西崎俊一郎・森脇紀元
794559	送風機の制御装置	大旗康文・水溜和哉 坂本一郎	796296	ファクシミリ装置	泉 信行
794560	冷房機の制御装置	山下紀夫・中村新一	796600	水車の起動方法	安田宜弘
794561	放電灯の起動装置	赤松昌彦	796601	電気機器	新田東平・山田直也 但田昭司
795574	コイル尾端自動定位置停止装置	斎藤 豊	796602	水冷却電気機器の水系統装置	秦 卓也・松岡宏昌 川岡靖子
795892	電波的測角装置	渡部 優・玉真哲雄	796603	ダイバシティ受信方式	上田勝彦・島本知郎
796282	透明導電被膜形成方法	竹田俊幸	796604	結合リアクトル及び結合リアクトルを 用いた多相多重チョッパ制御装置	忍 正寿・芦谷正裕
796283	蛍光ランプ用導電性ガラス管	土井貞春・安西良短 小沢英雄	796605	データブロックのエラー検出装置	鈴木雅弘・山下陽司
796284	搬送保護継電装置	鈴木健治・鈴木 愿	796606	データ・ブロックのエラー検出装置	山下陽司
796285	回転界磁形電機のブラシレス励磁 制御系装置	尾畑喜行	796607	位置偏位検出装置	小林信三
796287	残像除去回路	茂木 充・伊藤昭子	796608	半導体装置およびその製造方法	中田仗祐

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 51 No. 9 ノーヒューズしゃ断器特集

特集論文

- 新形ノーヒューズしゃ断器と付属装置
- 引きはずし素子を半導体化した船用気中しゃ断器
- 選択協調形漏電リレーによる地絡保護
- 電磁反撥形限流しゃ断器の限流特性に関する理論考察

普通論文

- 技術試験衛星Ⅱ型「きく2号」
- 三菱製紙(株)八戸工場抄紙機プロセス計算機制御
- デュアルモードバスシステムにおける衝突防止装置
- 家庭電気製品の適正包装
- 240/300 kV 及び 550 kV 単一圧力式大容量タンク形ガスしゃ断器
- 狭帯域 TV 伝送装置《ナロービジョン》
- FM 電流差動キャリアリレー
- 水冷式低圧大電流スタック

三菱電機技報編集委員				三菱電機技報 51 巻 8 号	
委員長	樫本俊弥	常任委員	茶谷 三郎	(無断転載を禁ず)	
副委員長	浦 徳太郎	員	平林庄司		
常任委員	後藤正之	員	遠藤裕男	昭和 52 年 8 月 22 日 印刷 昭和 52 年 8 月 25 日 発行	
常任委員	武藤 正	員	村上卓弥		
常任委員	佐々木二郎	員	神谷友清	編集兼発行人 本間 吉夫	
常任委員	葛野信一	員	橋爪 基		
常任委員	伊原総三郎	員	吉田 太郎	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	
常任委員	北川和人	員	山崎 肇		
常任委員	三矢周夫	員	松村長延	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	
常任委員	清田 浩	員	小野勝啓		
常任委員	阿部 修	幹事	本間吉夫	発売元 東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (〒 100) 株式会社オーム社書店	
常任委員	武田克己	幹事	三田村和夫		
常任委員	福家 章	8 号特集担当	辻 順一	定 価 Tel. (03) 291 局 0811, 振替口座 東京 20018 1 部 400 円送料別 (年間予約は送料共 5,200 円)	

サンシャイン計画 ソーラハウス

昭和49年より通商産業省工業技術院によって太陽熱利用を主体としたエネルギー政策「サンシャイン計画」という大形プロジェクトが発足しました。三菱電機株式会社及び大成建設株式会社はその中のひとつのテーマである「太陽冷暖房及び給湯システムの研究開発(既存個人住宅用システムの研究開発)」の委託を受け、研究を続けてきましたが、この程その実験住宅「ソーラハウス」が完成し

ました。

この「ソーラハウス」は既存の個人住宅(和式)に適した冷暖房・給湯システムを開発するため、選択吸収膜を有する高性能平板形集熱器、低温で効率の高い超小形ランキンサイクルエンジン駆動冷凍機、また昼間の太陽熱を貯えておき夜間の暖房にその熱を使う受放熱雨戸などの開発品を備えています。

写真1 ソーラハウス全景



ソーラハウス

- 所在地……神奈川県高座郡綾瀬町
- 敷地面積……330m²(100坪)
- 建物延面積……97.52m²(約30坪)
- 建物構造……木造2階建モルタル仕上げ
- 間取り……1階—食堂、居間、納戸
浴室、洗面所、便所
2階—和室、洋間(2室)
納戸

冷暖房・給湯機器

- 集熱器……平板形(二重ガラス)、面積48m²
- ST₁(高温蓄熱槽)…熱媒—不凍溶液
容量約1m³
- ランキンサイクルエンジン駆動冷凍機…
冷凍能力3,000kcal/h
- ST₂(低温水蓄熱槽)熱媒—水、
容量5.5m³
- 空調器……リビングマスター(5台)
- 貯湯槽……容量250ℓ

システム

〈冷房運転〉

集熱器で集めた太陽熱をST₁に貯え、ST₁内の熱交換器Iを介してランキンサイクルエンジン駆動冷凍機を駆動させます。この時に冷水を作り、ST₂に貯えると共に各室のリビングマスターに送り冷房します。

〈暖房運転〉

集熱器で集めた太陽熱をST₁に貯え、ST₁内の熱交換器IIにより直接温水を作ります。この温水をST₂に貯えると共に各室のリビングマスターに送り暖房します。

〈給湯〉

貯湯槽内に給水した市水をST₁内の熱交換器IIIにより加熱し、給湯します。

〈受放熱雨戸〉

窓部分の屋外に取付けてあり、冬期に昼間の太陽熱を受熱・蓄熱し、夜間、室内側に放熱します。また、断熱機能もあり、暖房負荷を低減します。

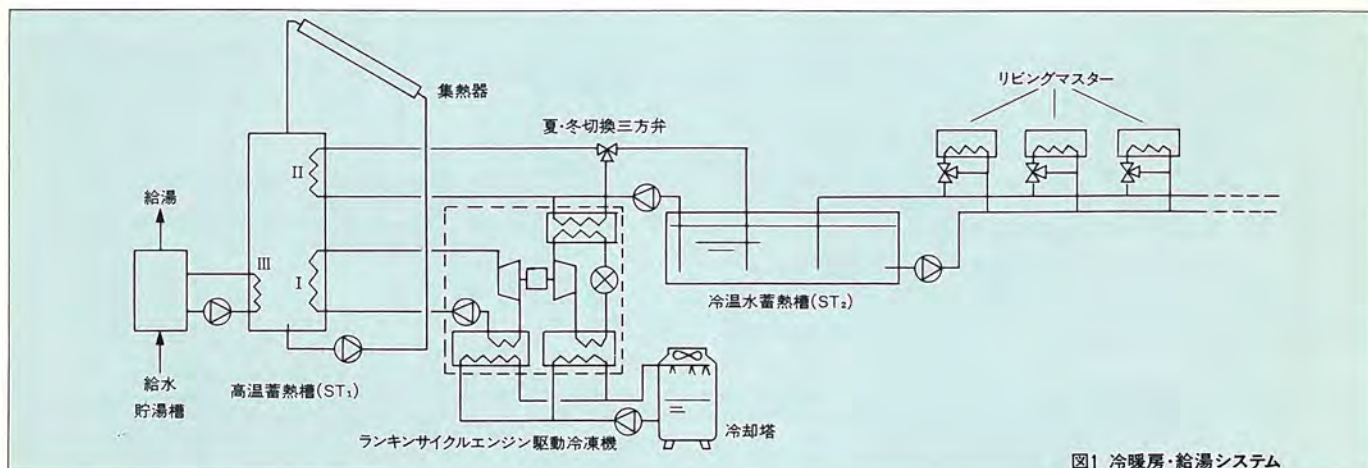


図1 冷暖房・給湯システム