

未来を開発する  
三菱電機

昭和37年9月15日第三種郵便物認可 三菱電機技報 50巻8号(通巻543号)昭和51年8月25日発行(毎月1回25日発行)

# MITSUBISHI DENKI GIHO

# 三菱電機技報

Vol.50 No.8

8  
1976



低真空中での電子ビーム溶接

# 三菱電機技報

Vol. 50 No. 8 AUGUST 1976

## 目 次

普通論文

予混合炎の速度論的解析	松井安次・野間口 有	409
静的コンタクトにおける接触抵抗と接触力の関係	長谷川知治・村田安裕・小俣 桂	414
サッシ表面処理ラインの計算機制御	奥森志朗・末武 隆	418
マイクロプロセッサの保護リレーシステムへの応用	鈴木健治・前田耕二	424
簡易形座席予約端末装置	伊東俊一・清水 嶽・広尾 崑・今泉 犀・林 信喜	430
低真空形電子ビーム溶接機用棒状熱陰極電子銃	上山善司・安永政司・佐々木茂雄・丹羽 隆・田野正博	434
エポキシ FBC 絶縁母線	寺谷 宏・玉置明信・鳥居仁志・宮地哲郎	439
三菱煙道ガス測定器 SA-401 形	羽深嘉郎・宇野沢 譲・小堺 孝・小畠光也・酒井喜代博	444
制御用計算機のアナログ入力における雑音とその対策	中根 勇・齊藤成一	448
水分散絶縁ワニスの安定性に及ぼす化学組成と表面電荷の影響	小野 博・柴山恭一	453

## CONTENTS

GENERAL PAPERS

Kinematic Numerical Analysis of a Premixed Flame .....	Yasuji Matsui & Tamotsu Nomaguchi	409
The Relation Between Contact Resistance and Contact Force in Stationary Contacts .....	Tomoharu Hasegawa et al.	414
Computer Control of an Anodizing Line for Aluminum Sash .....	Shiro Okumori & Takashi Suetake	418
The Application of Microprocessors to Protective Relaying Systems .....	Kenji Suzuki & Koji Maeda	424
A Simplified Seat-Reservation Terminal .....	Shunichi Ito* et al.	430
A Bolt-Cathode Electron Gun for Use in Low-Vacuum Electron-Beam Welders .....	Yoshiji Ueyama et al.	434
Insulation of Bus Bars by Fluidized-Bed Epoxy Coating .....	Hiroshi Teratani et al.	439
The Type SA-401 Stack-Gas Analyzer .....	Yoshio Habuka et al.	444
Rejection of Analog Input Noise in Process-Control Computers .....	Isamu Nakane & Seiichi Sato	448
The Effects of Chemical Composition and Surface Charge on the Stability of Water-Dispersion Insulating Varnishes .....	Hiroshi Ono & Kyoichi Shibayama	453

## 表 紙

低真空中での電子ビーム溶接

写真は、低真空形電子ビーム溶接機によって低真空中で厚肉の鋼管を溶接している状況で、中央に、上下に細長く光る青白い線が集束された電子ビームである。鋼管の溶接箇所から火花が激しく飛び散っているようすがわかる。

当社では、大形構造物を溶接する生産工程に電子ビーム溶接機を導入したときに、安定した生産性が得られるように、低真空形電子ビーム溶接機用電子銃の高出力化と高出力電子銃用陰極の長寿命化を進めている。  
(本文参照)

A large industrial furnace or kiln, likely used for heat treatment or annealing of metal parts. It features two prominent circular ports on its front face, which are covered by protective doors. The unit is mounted on a heavy-duty metal frame and is connected to a complex network of black flexible hoses and metal piping. On the right side, there is a control panel with several gauges, switches, and indicator lights. The entire apparatus is situated in what appears to be a workshop or laboratory setting.

## 低真空形電子ビーム溶接機

COVER

## Low-Vacuum Electron-Beam Welding

The photo shows the welding of thick steel pipe in a low vacuum using a low-vacuum electron-beam welder. The focused electron-beam passes from top to bottom, glowing with a bluish-white light in the center, amid a shower of sparks from the pipe weldment.

In applying electron-beam welding to the fabrication of large structural members, Mitsubishi Electric has improved production stability by increasing the output of the electron gun for the electron-beam welder, and by increasing the service life of the gun cathode.

# アブストラクト

## 予混合炎の速度論的解析

松井安次・野間口 有

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P409~413

炭化水素(ex. CH<sub>4</sub>)を燃料とする、層流予混合炎の燃焼過程を数値計算により求め、反応の進行の様子をみた。その結果、火炎帯でのCH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>の消費、中間生成物の生成や消滅、更にCO, H<sub>2</sub>やO, H, OH等のラジカル類の挙動が明らかになり、全1次燃焼におけるNOの生成もこの計算により説明可能である。

通常火炎は、厚さ数百μの反応帯ではほぼすべての反応を完結してしまうので、実験的に反応の進行を見ることは困難であるため、燃焼反応を理解していく上で、数値計算による解析は非常に有効である。

## 静的コンタクトにおける接触抵抗と接触力の関係

長谷川知治・村田安裕・小俣 桂

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P414~417

電気回路をつないだり開閉したりするスイッチ・リレー・コネクタなどの接触部品は、電気・電子機器に使用されている多くの部品の中でも重要な役割を果たしているもの一つである。そのため、多くの基礎的な研究がなされており、接触抵抗と接点接触力の関係の研究もその内の一つである。

本文では、一般に接触部品のコンタクトとしてよく用いられている数種のめっき接点の清浄時、及び各種ふんい気で加速劣化させたときの接触抵抗と接点接触力の関係がどのような様子を示すかについて、調べた結果を報告する。

## サッシ表面処理ラインの計算機制御

奥森志朗・末武 隆

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P418~423

アルミサッシの電解工場を新設するに当たって、ラインの合理化と自動化を極力採用すべく、新しい観点から、ラインの計画を進め、計算機制御導入の効果を確認した。サッシのMH(マテリアル・ハンドリング)については、一貫した流れ方式と機械化による大幅な自動化をとり入れた。表面処理ラインについては計算機を導入して、従来の処理方式とは全く異なる方式とし、自由経路のキャリヤ運転・整流器の最適負荷使用・発色カラーの均一化・同一ラインでの多色処理、などが可能な方式とした。

本文では、計算機の機能とその内容を中心に述べる。

## マイクロプロセッサの保護リレーシステムへの応用

鈴木健治・前田耕二

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P424~429

最近のマイクロプロセッサ、半導体メモリなどのLSI素子の出現は、電力系統の保護リレーシステムのデジタル処理化を可能にしようとしている。本文では系統保護リレーをデジタル処理化した場合の、リレーシステム、リレー演算原理と特性、実用化上の問題点と対策、今後の課題について述べる。

## 簡易形座席予約端末装置

伊東俊一・清水 嶽・広尾 栄・今泉 畏・林 信喜

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P430~433

この装置は、日本国有鉄道の座席予約システムに接続して指定券の発売を行う端末装置で、中小駅用及び多客期対策用などに開発したものである。従来の端末装置と異なり、交換電話回線を利用し、小型化、軽量化をはかったため設置場所のスペースが節約でき、設置工事も簡単になった。今般2度にわたる試作をへて実用形が完成したので、ここに装置の概要と試作機から実用機に至るまでの試験結果を報告する。

## 低真空形電子ビーム溶接機用棒状熱陰極電子銃

上山善司・安永政司・佐々木茂雄・丹羽 隆・田野正博

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P434~438

低真空形電子ビーム溶接機用電子銃として開発した棒状熱陰極電子銃の構成・機能・設計概念・主要特性などを紹介する。

この電子銃は、電子ビーム出力の高い低真空形電子ビーム溶接機を、3シフトの稼働条件で使用したとき、陰極の取換周期が1週間以上になるように設計して開発したものである。

棒状陰極を定格電力を加熱試験した結果、500時間の加熱に耐え、また、電子銃から得られる電子ビームによる溶け込み試験の結果、軟鋼板(SS41)上に得られたピードの溶け込み深さとピード幅の比が20を越え、いずれも、設計計算の結果が実証された。

## エポキシFBC絶縁母線

寺谷 宏・玉置明信・鳥居仁志・宮地哲郎

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P439~443

流動浸せき塗装法(Fluidized Bed Coating Process)によれば、複雑な形状の母線に、厚い連続した塗膜を形成させることができる。自動塗装装置により、特性のすぐれたエポキシ粉体塗料を塗装した絶縁母線は、絶縁特性が向上し、品質が安定化し、設計も行いやすくなる。ここでは、6.6kV閉鎖配電盤用のエポキシFBC絶縁母線についての性能試験結果と併せ、エポキシ粉体塗料の性質、塗装時の注意すべき点などを述べた。

## 三菱煙道ガス測定器SA-401形

羽深嘉郎・宇野沢 謙・小堺 孝・小畠光也・酒井喜代博

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P444~447

大気汚染は公害問題の主要な項目として取り上げられている。環境濃度の許容値が定められ、発生源の排出濃度、特にNO<sub>x</sub>とSO<sub>2</sub>については、大気汚染の主要物質として厳しくその排出が国又は地方自治体で規制されている。当社では紫外線吸収方式の「SA-302形」を製品化して、非常にユニークな計測器としてNO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>の測定、監視に利用されてきたが、このたび排脱処理後の低濃度ガスの測定の必要にも応ずるべく「SA-401形」の製品化を完成したので紹介する。

## 制御用計算機のアナログ入力における雑音とその対策

中根 勇・齊藤成一

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P448~452

制御用計算機の重要な問題点の一つにアナログ入力の雑音による精度の低下がある。本文ではプロセスからのアナログ入力信号に混入する雑音の一般的な性質を解説し、雑音対策の一概論を紹介する。

次に《MELCOM》350制御用計算機のアナログ入力部ではどのように雑音対策を実施しているかを紹介するとともに、積分方式A/D変換に関して、雑音除去効果を改良した改良形2回積分方式の検討について述べる。

## 水分散絶縁ワニスの安定性に及ぼす化学組成と表面電荷の影響

小野 博・柴山恭一

三菱電機技報 Vol.50・No.8・P453~456

水分散絶縁ワニスを使用する際に問題となる凝集安定性を改善するために、この水分散ワニスに使われる高分子ラテックスの安定性に及ぼす種々の要因の影響を検討した。その結果、分散相高分子の極性の増加につれてラテックスの安定性が低下することが分かった。これは粒子間引力が増加するためである。また分散相高分子の組成によるカルボキシル基の量が増加すると、安定性が増加することが明らかになった。重合開始剤からの解離基に由来するラテックス粒子表面の電荷の増加につれて安定性は著しく増加する。これらの知見は、水分散絶縁ワニスの安定性の制御に利用されている。

# Abstracts

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 434~38 (1976)  
A Bolt-Cathode Electron Gun for Use in Low-Vacuum  
Electron-Beam Welders  
by Yoshiji Ueyama, Seiji Yasunaga, Shigeo Sasaki, Takashi Niwa &  
Masahiro Tano

The article describes the structure, functions, design concept and main characteristics of a bolt-cathode electron gun that has been developed for use in low-vacuum electron-beam welders. The gun was designed to provide a full week of triple-shift use in a high-power low-vacuum electron-beam welder before cathode replacement.

The bolt-cathode has endured 500-hour heat-run tests at rated heating power, and a penetration test of the beam on mild steel (SS41) plate has produced a bead of a depth-to-width ratio in excess of 20:1. Both of these results confirm design calculations.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 439~43 (1976)  
Insulation of Bus Bars by Fluidized-Bed Epoxy Coating

by Hiroshi Teratani, Akinobu Tamaki, Hitoshi Torii & Tetsuro Miyaji

Thick, continuous insulation coatings can be applied on bus bars of rather complex shape by applying the fluidized-bed coating process. Bus bars insulated by automatic coating equipment using a high-grade epoxy resin powder offer the advantages of higher insulation performance, controlled quality and design flexibility. The article describes the characteristics of the epoxy powder, features of the coating process, and results of insulation testing for bus bars used in 6.6kV metal-enclosed switchgear.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 444~47 (1976)  
The Type SA-401 Stack-Gas Analyzer

by Yoshiro Habuka, Yuzuru Unozawa, Takashi Kozakai, Mitsuya Kotsugai &  
Kiyohiro Sakai

Air pollution is a major environmental concern, and permissible levels of concentration have been established. To reduce in particular NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>, two primary sources of air pollution, national and local governments have drawn up stringent regulations governing emission concentrations at the source.

Mitsubishi Electric manufactures the unique Type SA-302 stack-gas analyzer, which measures and monitors NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> levels by ultraviolet absorption, and has now developed the Type SA-401 to meet the need for measurement of the low gas-concentrations following emission-control procedures.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 448~52 (1976)  
Rejection of Analog Input Noise in Process-Control  
Computers

by Isamu Nakane & Seiichi Sato

An important problem with process-control computers is the degradation of accuracy caused by analog input noise.

The article takes up the general properties of the noise content of analog input signals from the processes, and presents a general theory of countermeasures to be taken. Noise-rejection measures actually implemented in the analog input section of the MELCOM 350 process-control computer are also discussed, along with the evaluation of two analytical models for improving noise rejection in the A/D converter.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 453~56 (1976)  
The Effects of Chemical Composition and Surface Charge on  
the Stability of Water-Dispersion Insulating Varnishes

by Hiroshi Ono & Kyoichi Shibayama

To improve the coagulation stability of water-dispersion insulating varnishes, studies were made on the effects of various factors on the stability of the polymer latices used in them. It was found that lattice stability decreases with increases in polymer polarity, and this was attributed to the increase in van der Waal's attraction between particles. Stability was shown to increase with increases in the number of carboxyl groups contained in the components of the polymers, and it also increased notably with increases in the surface charge of the latex particles resulting from the dissociative groups produced by the polymerization initiators. These results were utilized to regulate the stability of water-dispersion varnishes.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 409~13 (1976)  
Kinematic Numerical Analysis of a Premixed Flame  
by Yasuji Matsui & Tamotsu Nomaguchi

The paper presents numerical calculations made to clarify the combustion process of laminar premixed flames fueled by methane (CH<sub>4</sub>). The rates of consumption of CH<sub>4</sub> and O<sub>2</sub> in the reaction zone, the formation and consumption of intermediates, and the behavior of radicals (CO, H<sub>2</sub>, O, H, OH, etc.) were clarified. These calculations have made possible an explanation of NO formation in combustion using lean fuel mixtures.

Since it has been difficult to obtain experimental data by observation of the progress of reaction in which virtually the full reaction chain takes place inside a reaction zone only a few hundred microns thick, numerical analysis will become an effective tool in achieving an understanding of combustion reactions.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 414~17 (1976)  
The Relation Between Contact Resistance and Contact  
Force in Stationary Contacts

by Tomoharu Hasegawa, Yasuhiro Murata & Katsura Omata

The switches, relays, contactors, etc. that connect and switch electric circuits are among the most important of the many components used in electrical and electronic equipment, and as such have been the subject of a great deal of basic research. The relationship between contact resistance and contact force is one aspect.

The article presents the results of investigations of this relationship during contact wiping and under accelerated aging in a variety of environments, using several types of the plated contacts commonly employed in switching devices.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 418~23 (1976)  
Computer Control of an Anodizing Line for Aluminum Sash

by Shiro Okumori & Takashi Suetake

In the laying out of a new electrolytic plant for aluminum sash, new design concepts of assembly-line rationalization and automation were applied, and the effectiveness of using computers was confirmed.

For material handling, a largely automated integrated assembly line was employed. For surface treatment, computerization made possible a system totally different from that conventionally used, in that the carriers operate on unrestricted routings, rectifiers work at optimum load, coloring is uniform, and multiple colors can be applied on a single line.

The article focuses on the functions performed by the computer.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 424~29 (1976)  
The Application of Microprocessors to Protective Relaying  
Systems

by Kenji Suzuki & Koji Maeda

The development of such LSI devices as microprocessors and LSI memories has made possible digital processing in protective relaying systems for electric power networks. The article discusses the relay system, characteristics of relay algorithms, problems in practical application, and topics of future interest.

Mitsubishi Denki Gihō: Vol. 50, No. 8, pp. 430~33 (1976)  
A Simplified Seat-Reservation Terminal

by Shunichi Ito,\* Iwao Shimizu,\* Akira Hiro, Tatsumi Imaizumi &  
Nobuki Hayashi

This terminal is designed to sell reserved tickets while connected to the Japanese National Railways' computerized seat-reservation system. It was developed for use in small stations or during peak-travel periods. Unlike present terminals, it uses normal voice-telephone lines, and its compact lightweight construction makes for space savings and simplification of installation work. The article describes the finished terminal and presents the results of the test series, including the two successive prototype stages.

# 予混合炎の速度論的解析

松井安次\*・野間口有\*\*

## 1. まえがき

“燃焼”は最も簡単な熱源であるため、我々の周囲で広く利用されており、燃焼現象に関する研究もよく行われている。従来の研究は、主に火炎の安定性、各種燃料の火炎温度・可燃範囲・燃焼速度等々<sup>(1)(2)</sup>、燃焼現象をマクロ的に見たものであり、燃焼の効果的な利用という要請に強く根ざしたもので、筆者らも強制燃焼機の開発に際して、種々の報告を行っている<sup>(3)</sup>。しかし最近のように高負荷燃焼機の開発が盛んになってくると、炉内滞留時間が著しく短くなり、反応時間やその過程を無視することはできない。しかも一方では環境保護に対する関心が高まり、汚染物質、特に NOx の生成に関する研究が活発になり、燃焼反応をミクロ的に検討する必要性が急速に増大してきた。

しかし通常の火炎では、燃焼反応が数百 μ の厚さの反応帯中でほぼ完結してしまうため、各成分濃度や温度の変化が急激で、これらを実験的に測定して、反応の進行を観測することは極めて困難である。また中間生成物や原子・ラジカル類等の不安定な成分の検出や測定も困難であり、それらの挙動もまだ未知なものが多い。

そこでこの研究では、反応速度定数の比較的よく知られたメタン(CH<sub>4</sub>)の予混合炎を例にとり、空・燃比、温度等を変えた場合の反応の進行の様子を数値計算的に求めたので、その結果について報告する。今回の計算により、火炎帶内で O, H, OH 等のラジカル類が、平衡値よりもかなり大量に生成され、これが CH<sub>4</sub> の酸化や、火炎中の NO の生成に重要な役割を果たしていることが分かる。

実験的に反応過程を観測することは上述のように極めて困難であるので、ここで行ったような理論的研究の助けをかりることが、燃焼の反応機構をはあく(把握)する上で、不可欠であるといえよう。

## 2. 予混合炎の構造

燃焼反応は通常、拡散燃焼と予混合燃焼に大別されるが、前者は空気と燃料の混合の速さが律速となるため、燃焼の進行や火炎の形状が、燃焼機の構造、空気・燃料の供給方法等に影響される。そこで今回は、空気と燃料がバーナに供給される前に十分混合が行われている予混合炎を例にとり、燃焼過程を検討した。

### 2.1 層流予混合炎のモデル

層流予混合炎の燃焼過程は図 1. に示すモデルによって、次のように考えることができる<sup>(4)(5)</sup>。すなわち、予熱帶は、火炎からの熱伝導や拡散粒子によって未燃混合気が加熱される領域であり、この間の温度分布は簡単な計算<sup>(4)</sup>により次式で示され、指數関数的に上昇する。

$$T - T_0 = (T_{ign} - T_0) \exp(\bar{C}_P \rho_0 v_0 x / \bar{k}) \quad (1)$$

ここで  $T_0$ ,  $\rho_0$ ,  $v_0$  は未燃混合気の温度密度、初速度であり、 $\bar{C}_P$ ,  $\bar{k}$  は平均的な比熱、熱伝導率である。

混合気が着火温度 ( $T_{ign}$ ) まで加熱されると、拡散によりもたらされたラジカル類による開始反応が、それらの消滅反応よりも大きくなる。

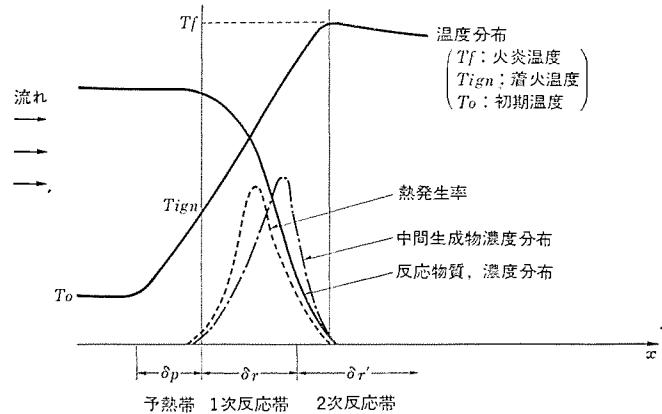


図 1. 層流予混合炎 モデル

り、燃焼の連鎖反応が進行する。反応帯は大略 1 次、及び 2 次反応帯に分類され、前者では燃料の分解、中間生成物の生成と酸化という非常に早い反応が進行し、熱発生率も大きい。通常火炎中に見られる発光やイオン化等の非平衡現象が起こるのもこの領域である。後者の領域では、CO の酸化やラジカル類の再結合等、ゆっくりした反応が進行し、熱発生率も少ない。

以上の燃焼過程を数値計算的に求めるには、次の質量、化学種、エネルギーの各保存式を適当な素反応群の連立微分方程式 (rate equations) を立てて解けばよい。簡単のため、定常層流 1 次元火炎を考える<sup>(4)</sup>。

$$\text{質量保存式} \quad \rho v = \rho_0 v_0 \quad (2)$$

$$\text{エネルギー式} \quad \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (C_P \cdot T \rho v) + Q \cdot U = 0 \quad (3)$$

$$\text{化学種の保存式} \quad \frac{\partial}{\partial x} \left( D_j \frac{\partial n_j}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (n_j v) - \nu_j \cdot U = 0 \quad (4)$$

ここで、0, j は初期値及び j 成分を示す添字であり、ρ : 密度、v : 速度、T : 絶対温度、k : 熱伝導率、C<sub>P</sub> : 比熱、Q : 反応熱、U : 反応速度 (mole/cm<sup>3</sup>s)、n : 粒子密度 (cm<sup>-3</sup>)、D : 拡散係数、ν : 反応によって消費されるモル数である。

### 2.2 燃焼反応

CH<sub>4</sub> の酸化の主過程は、表 1. に示す経路をたどると考えられている。□は安定成分、[]は中間生成物、( )は反応化学種を示した。また今回の計算では以下の 15 種の化学種を考慮した。

安定化学種 : CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO

中間生成物 : CH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>CO, HCO

ラジカル類 : O, H, OH, N

表 1. CH<sub>4</sub> の酸化過程

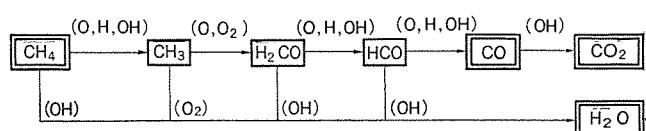


表 2. 反応速度定数

 $(k_f = A \cdot T^n \exp(-E/RT))$  (単位は cc, cal, mol, sec, °K)

反応	A	n	E	温度範囲	ref.
(1) $\text{CH}_4 + \text{M} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H} + \text{M}$	$2.0 \times 10^{17}$		8,900		(a)
	$4.0 \times 10^{17}$		8,800		(b)
	$1.68 \times 10^{18}$		103,000		(c)
(2) $\text{CH}_4 + \text{OH} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$	$5.0 \times 10^{14}$		9,900	300~2,500	(d)
	$3 \times 10^{13}$		6,000		(e)
	$2.2 \times 10^{13}$		5,000		(f)
	$3.5 \times 10^{14}$		9,000	1,200~1,800	(g)
	$1 \times 10^{14}$		8,500	400~600	(h)
	$2.8 \times 10^{13}$		5,000		(a)
(3) $\text{CH}_4 + \text{H} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}_2$	$2.1 \times 10^{13}$		4,850		(i)
	$5.0 \times 10^{14}$		13,500	300~2,500	(d)
	$1.26 \times 10^{14}$		11,900		(j)
	$1.6 \times 10^{13}$		9,400	600~700	(k)
	$6.9 \times 10^{13}$		11,900		(a)
(4) $\text{CH}_4 + \text{O} \rightarrow \text{CH}_3 + \text{OH}$	$4.04 \times 10^{14}$		11,610		(l)
	$2.0 \times 10^{13}$		9,280		(a)
	$1.0 \times 10^{13}$		8,060		(m)
	$2.1 \times 10^{13}$		4,550		(n)
(5) $\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO} + \text{OH}$	$3.19 \times 10^{13}$		7,950		(l)
	$1 \times 10^{11}$				(o)
	$1.2 \times 10^{11}$		10,000		(p)
(6) $\text{CH}_3 + \text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO} + \text{H}$	$1.3 \times 10^{14}$		2,000		(e)
	$2.0 \times 10^{13}$			300	(q)
	$1.9 \times 10^{13}$				(r)
(7) $\text{CH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{HCO} + \text{H}_2\text{O}$	$2 \times 10^{10}$				(a)
(8) $\text{H}_2\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{HCO} + \text{H}_2\text{O}$	$3.0 \times 10^{14}$		4,000		(s)
	$3.1 \times 10^{14}$		4,240		(l)
	$2.3 \times 10^{13}$			1,400~1,800	(e)
	$5.4 \times 10^{14}$		6,300		(p)
(9) $\text{H}_2\text{CO} + \text{H} \rightarrow \text{HCO} + \text{H}_2$	$6.0 \times 10^{13}$		4,630		(l)
	$1.35 \times 10^{13}$		3,750		(t)
(10) $\text{H}_2\text{CO} + \text{O} \rightarrow \text{HCO} + \text{OH}$	$1.0 \times 10^{14}$		5,300		(u)
	$5.0 \times 10^{13}$		4,500		(p)
(11) $\text{HCO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	$4.6 \times 10^{12}$				(u)
	$1 \times 10^{14}$				(p)
	$1 \times 10^{13}$				(v)
	$3 \times 10^{13}$				(w)
(12) $\text{HCO} + \text{M} \rightarrow \text{CO} + \text{H} + \text{M}$	$2.0 \times 10^{12}$	0.5	28,600		(a)
	$1.0 \times 10^{14}$		26,000		(x)
	$7.1 \times 10^{13}$		15,000		(w)
	$5 \times 10^{12}$		19,000		(y)
(13) $\text{CO} + \text{OH} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}$	$5.6 \times 10^{11}$		1,080	250~3,000	†
(14) $\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}$	$2.1 \times 10^{13}$		55,300		(l)
	$1.2 \times 10^{11}$		35,000		(z)
(15) $\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{O}$	$2.24 \times 10^{14}$		16,800	300~1,500	†
	$1.74 \times 10^{13}$		9,450	400~3,000	†
(16) $\text{O} + \text{H}_2\text{O} + \text{H} \rightarrow \text{OH} + \text{H}$	$5.75 \times 10^{13}$		18,000	300~3,000	†
	$8.41 \times 10^{13}$		20,100	"	†
(17) $\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH} + \text{H}$	$3.24 \times 10^{18}$	-1.20	1,500~3,800	†	
	$2.62 \times 10^{18}$	-0.84	1,500~2,500	†	
(18) $\text{H} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH} + \text{H}_2$	$5.65 \times 10^{17}$	-0.46	300~3,000	†	
	$6.63 \times 10^{13}$	-1.06	1,500~2,500	†	
(19) $\text{H} + \text{H} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2 + \text{M}$	$8.40 \times 10^{17}$		75,050	300~5,000	†
			6,520	"	†
(20) $\text{O} + \text{O} + \text{M} \rightarrow \text{O}_2 + \text{M}$	$8.98 \times 10^0$	1.0	1,500~2,500	†	
(21) $\text{H} + \text{OH} + \text{M} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{M}$	$4.2 \times 10^{13}$				
(22) $\text{N} + \text{N} + \text{M} \rightarrow \text{N}_2 + \text{M}$	$5.65 \times 10^{17}$				
(23) $\text{N}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{N}$	$6.63 \times 10^{13}$				
(24) $\text{O}_2 + \text{N} \rightarrow \text{NO} + \text{O}$	$8.98 \times 10^0$	1.0			
(25) $\text{OH} + \text{N} \rightarrow \text{NO} + \text{H}$	$4.2 \times 10^{13}$				

- (a) Emissions from Continuous Combustion System<sup>1</sup>  
 (b) 13 th Symp. on Comb. P. 147 (1971)  
 (c) J. Chem. Phys. 38, 989 (1963)  
 (d) "Flame Structure" § XIV  
 (e) 14 th. Symp. on Comb. P. 133 (1973)  
 (f) 11 th Symp. on Comb. P. 1143 (1967)  
 (g) J. Phys. Chem. 65, 2200 (1961)  
 (h) Dokl. Akad. Nauk USSR 67, 867 (1949)  
 (i) Comb. Flame 15, 33 (1970)  
 (j) Trans. Farad. Soc. 66, 2812 (1970)  
 (k) J. Chem. Phys. 30, 58 (1959)  
 (l) Planetary Space Sci. 15, 643 (1967)  
 (m) Comb. Sci. Techn. 3, 83 (1971)  
 (n) J. Chem. Kinet. 1, 527 (1969)  
 (o) J. Phys. Chem. 65, 591 (1961)  
 (p) 15 th. Symp. on Comb. P. 869 (1974)  
 (q) J. Chem. Phys. 48, 5,729 (1968)  
 (r) J. Phys. Chem. 65, 1532 (1961)  
 (s) 13 th. Symp. on Comb. P. 451 (1971)  
 (t) J. Phys. Chem. 76, 2213 (1972)  
 (u) Chem. Ing. Techn. 44, 8 (1972)  
 (v) Comb. Flame 23, 233 (1974)  
 (w) 12 th Symp. on Comb. P. 1035 (1969)  
 (x) 9 th Symp. on Comb. P. 560 (1963)  
 (y) Comb. Sci. Techn. 2, 161 (1970)  
 (z) J. Phys. Chem. 78, 497 (1974)

これらの化学種の関与する反応及び反応速度 ( $k_f$ ) を表 2. に示す。\*印がこの計算に用いた反応速度である。反応(1)~(12)では比較のため、従来提案されている反応速度の主なものを列記したが、反応(15)~(25)では文献(6)で比較的詳しく検討されているので、そのまま用いることにした(表 2. 中†印)。NOx に関しては、燃焼排ガス中では NO が 90% 以上であるので、反応(23)~(25)に示す拡大 Zeldovich 機構のみを考えた。また NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O の反応も容易にこの計算に付け加えることができるが、生成量は少なく無視できるので、今回の報告では省略した。なお、逆反応速度は JANAF tables<sup>(7)</sup>より求めた。文献(2)の付録にもこの表の抜粋があるので、参照するには便利である。

### 3. 反応計算

表 2. に与えた反応を考慮して、予混合炎の燃焼反応の計算を行った。あたって、次の仮定、簡単化を行った。

(a) 層流・1次元・定常火炎, (b) 大気圧, (c) 拡散無視, (d) 壓力こう配・粘性項を無視

通常のバーナ火炎では比較的乱れが少なく、しかも火炎の大きさに比較して反応帯の厚さは非常に薄いので(a), (b), (d)は容易に成立する。また各化学種は非常に大きな反応間で部分平衡を保つと考えられるので(c)も妥当と思われるが、これは反応速度の選び方にも依存するので、将来再検討を要する項目である。

#### 3.1 温度場

火炎中の連鎖反応を数値計算的に求めるには、基本的には前述のように、式(2)~(4)を適当な初期値と素反応群のもとで解けばよい。1次元の火炎伝ば(播)に対しては Hirschfelder ら<sup>(8)</sup>が拡散方程式を与えており、更に Spalding ら<sup>(9)</sup>は各成分濃度を線形化した計算法を H<sub>2</sub>-Br<sub>2</sub> 炎に適用している。

しかし今回は拡散を無視し、可燃混合気が火炎に相当する温度場を通過していくという自発火過程を考えるものとする。更に実火炎にあっては、バーナその他への熱損失があり、これを理論的に見積ることは困難であり、しかも予熱帶への熱伝導量は、化学種の拡散によるものと、熱伝導によるものとが同程度である<sup>(5)</sup>ので、拡散無視の条件下では、エネルギー式を解くことは無意味であり、温度場としては実測値、若しくは Tiggelen らの予測式<sup>(10)</sup> ( $\delta_r \alpha \sqrt{T_m} / v_f \cdot P$ ,  $T_m = 0.74(T_f - T_0) + T_0$ ,  $v_f$ : 燃焼速度,  $P$ : 圧力) を用いるほうが適当である。

しかし、実際に計算してみると、反応の進行は反応帯厚さや温度分布の与え方にはあまり影響されず、むしろ表 2. に示した反応速度の精度のほうが重要である。そこで今回の計算では、図 1. に示した温度分布をほう(拡)物線で近似し、高速反応帯厚さ ( $x = \delta_r$ ) でラジカル類がピークを示すように設定した。

#### 3.2 反応計算式

$i$  成分の分圧を  $x_t$  とすれば、反応による  $x_t$  の時間変化は次式で示される。

$$\frac{dx_t}{dt} = \sum k_{jk} x_j x_k \cdot A - \sum k_{lj} x_j x_l \cdot A \quad \dots \quad (5)$$

ここで  $k_{jk}$  : j, k 式分より i 成分の生じる反応の速度定数

$k_{lj}$  : j 成分との反応により i 成分が消費される定数

$A$  : 1 ccあたりのモル数

式(5)を初期条件、与えられた温度のもとで解けばよいが、反応速度が非常に大きいため通常の差分形では、各成分濃度が負になつた

り、発散したりするのを防ぐためには、時間間隔を非常に短くとる必要がある。 $(\leq 10^{-8} \text{ sec})$

しかし、式(5)で  $i$  成分以外を時間間隔  $\Delta t$  の間の平均値を用いれば、

$$\frac{dx_i}{dt} = E - Fx_i \quad \dots \dots \dots (6)$$

とおける。

式(6)を  $\Delta t$  時間内で積分して、

$$(x_i)_{t+\Delta t} = (x_i)_t e^{-F \cdot \Delta t} + \frac{E}{F} (1 - e^{-F \cdot \Delta t}) \quad \dots \dots \dots (7)$$

式(7)では  $F \cdot \Delta t \rightarrow 0$  の時、 $(x_i)_{t+\Delta t} = (x_i)_t + E \cdot \Delta t$ 。 $\dots \dots \dots (8)$

$F \cdot \Delta t \rightarrow \infty$  の時、 $(x_i)_{t+\Delta t} = E/F$ 。 $\dots \dots \dots (9)$

すなわち、消費量の小さい時  $t+\Delta t$  時刻の  $x_i$  は式(8)のごとく、 $\Delta t$  間の生成量  $(E \cdot \Delta t)$  で、また逆に消費反応の大きい時は式(9)から分かるように  $x_i$  は部分平衡で示される。

式(7)を用いることにより、各成分濃度が負になることもなく、時間間隔を多少大きくとることができた。そこで、1次反応域では、 $\Delta t = 2 \times 10^{-7} \text{ sec}$ 、2次反応域では  $\Delta t = 5 \times 10^{-7} \text{ sec}$  にとり、初期温度は  $\text{CH}_4$  の自然着火温度近傍の  $1,000^\circ\text{K}$  とし計算を始めた。なお初期値は、混合気の空気過剰率  $\mu$  ((Air/Fuel)/(Air/Fuel) stoichi.) より簡単に求まる。

#### 4. 計算結果と考察

##### 4.1 燃焼過程

火炎温度  $T_f$  が図2. に示す断熱火炎温度 ( $T_{ad.}$ ) に等しく、しかも後流において冷却がない場合の計算例を図3. ( $\mu=1.0$ )、図4. ( $\mu=0.8$ ) に示す。横軸は時間、縦軸は分圧である(対数目盛)。右端に  $[\text{O}]_{eq.}$ 、 $[\text{H}]_{eq.}$ 、 $[\text{OH}]_{eq.}$  等として、各成分の平衡値を示した。

$\mu=1.0$  の場合を例にとると、 $\text{CH}_4$  の酸化過程はほぼ次のように進行する。すなわち、開始反応(1)により、 $\text{H}, \text{CH}_3$  が生成され、 $\text{H}$  が反応(15)により、 $\text{O}, \text{OH}$  を、 $\text{CH}_3$  が反応(5)により  $\text{OH}$  を生成する。反応初期には、この  $\text{CH}_3$  と  $\text{OH}$  が反応(2)、(5)により、互いに増幅し合って燃料の分解が進行し、1次反応帯で  $\text{O}_2, \text{CH}_4$  が急速に消費され、かわって  $\text{CH}_3, \text{H}_2\text{CO}, \text{HCO}$  等の中間生成物、及び  $\text{O}, \text{H}, \text{OH}$  等のラジカル類、更には  $\text{H}_2, \text{CO}$  等が急激に増大して

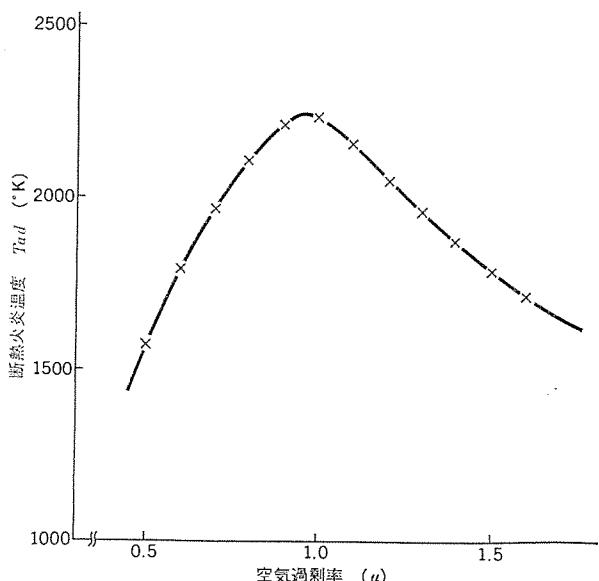


図2.  $\text{CH}_4$ -空気炎の断熱火炎温度 ( $T_{ad.}$ )

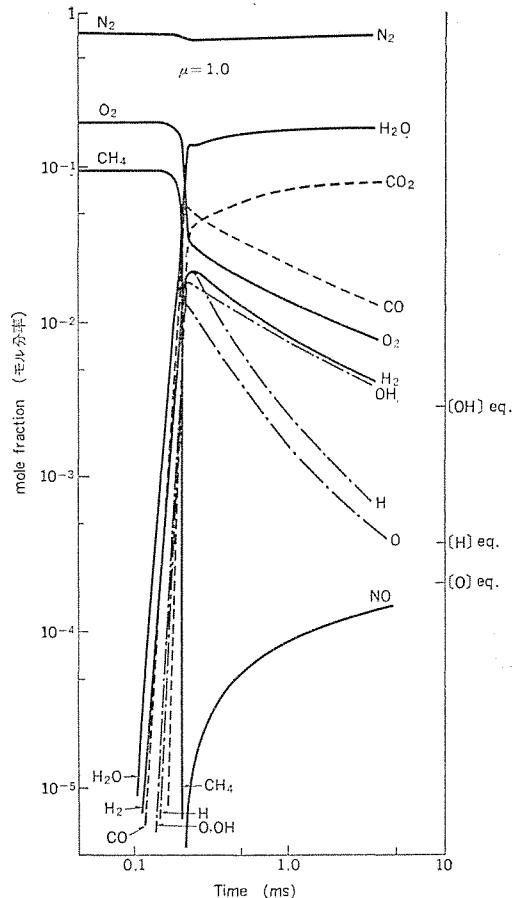


図3. 酸化過程 ( $\mu=1.0$ )

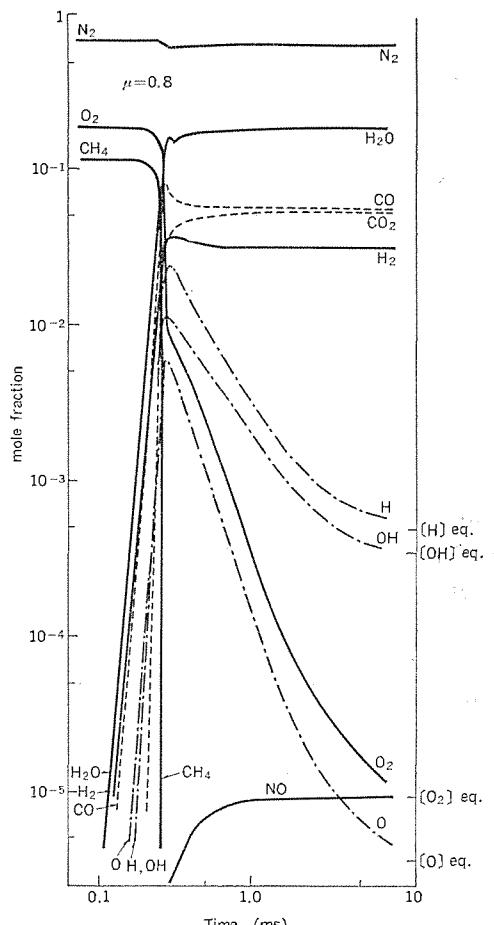


図4. 酸化過程 ( $\mu=0.8$ )

くる。更に酸化が進むと、中間生成物の消費反応が生成量を上回るようになり、 $\text{CH}_4$ とともに急激に消費されていき、これらの反応が終了した段階でラジカル類や $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ 濃度はピークを示し、反応(15)～(18)がほぼ平衡に達する。これをラジカル類の部分平衡という。この間に1次反応帯であり、通常火炎帯又は反応帯と呼ばれる、前述のように種々の発光やイオン化現象が観測される領域である。

$\text{CO}$ から $\text{CO}_2$ への酸化は主に反応(13)により行われるが、これは比較的遅いため、1次反応帯の後半、若しくは2次反応帯で $\text{CO}_2$ 濃度が増大してくる。またこの領域で反応(13)及び(15)～(18)は部分平衡を保ちつつ、 $\text{H}_2$ の酸化、及び反応(19)～(21)で示すラジカル類の再結合が進行し、次第に平衡値へ近づいていく。通常10 ms程度で平衡に達し、その間の距離は1～2 cm程度である。

$\mu=0.8$ の場合も進行過程はほぼ同様であるが、燃料過剰であるため、2次反応帯での酸化は進行せず、 $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ が高濃度のまま排出されるとともに、 $\text{O}_2$ ,  $\text{O}$ 濃度は急激に減少している。

両図から明らかなように、1次反応帯でラジカル類が平衡値よりかなり多量に生成されている。この現象をovershoot(又はsuper-equilibrium)という。これは後述するように、NOの生成に関連して非常に重要である。またこの現象は $\text{CH}_4$ の酸化を平衡値から予想されるよりずっと急速なものにしている。ラジカル類のovershoot量は、主に反応(12)によるものであり、このことはovershoot量が反応速度 $k$ に大きく依存することから分かる。すなわち、反応(12)によりH原子のovershootが生じ、このHが反応(15)により、 $\text{O}$ ,  $\text{OH}$ のovershootを引き起す。またこの量は、空燃比が一定であれば火炎温度にそれ程依存しないため、 $[\text{H}]/[\text{H}]_{\text{eq}}$ の比は低温になる程大きくなる。

#### 4.2 NOの生成

NOの生成機構には、前述のように拡大zeldovich(反応(23)～(25))のみを考慮した。反応(23)は比較的遅く、一方反応(24), (25)は早い。しかもNO濃度が100 ppm以下では逆反応は無視できるので、N原子に対して部分平衡が成立する。すなわち

$$\frac{1}{A} \frac{d[\text{N}]}{dt} = -k_{24}[\text{N}][\text{O}_2] + k_{23}[\text{O}][\text{N}_2] - k_{25}[\text{N}][\text{OH}] = 0$$

$$\therefore [\text{N}] = \frac{k_{23}[\text{O}][\text{N}_2]}{k_{24}[\text{O}_2] + k_{25}[\text{OH}]} \quad \dots \dots \dots (10)$$

故にNOの生成速度は次のようになる。

$$\frac{1}{A} \frac{d[\text{NO}]}{dt} = k_{24}[\text{N}][\text{O}_2] + k_{23}[\text{O}][\text{N}_2] + k_{25}[\text{N}][\text{OH}]$$

$$= 2k_{23}[\text{O}][\text{N}_2] \quad \dots \dots \dots (11)$$

NOの生成速度はO原子濃度に比例する。火炎帯内で、前記のO原子のovershootが起こると、この領域でNOが急激に生成される(prompt NOという)。ちなみにO原子が平衡にある場合のNOの生成速度と、今回の計算による生成速度(0～1 msの平均値)を表3に示す。

火炎温度が変化した場合のNO生成量を図5に示す。滞留時間

表3. NO生成速度の比較

$\mu$	$T_f$ (°K)	$k_{23}$ (cc/mol·s)	$[\text{O}]_{\text{eq}}$ (mol/cc)	$(\frac{d[\text{NO}]}{dt})_{\text{f}}/\text{f}_{\text{eq}}$	$(\frac{d[\text{NO}]}{dt})_{\text{cal}}$
				(ppm/ms)	(ppm/ms)
1.0	2,230	$2.9 \times 10^3$	$2.2 \times 10^{-4}$	5	90
0.8	2,100	$1.0 \times 10^3$	$4.0 \times 10^{-6}$	0.02	9

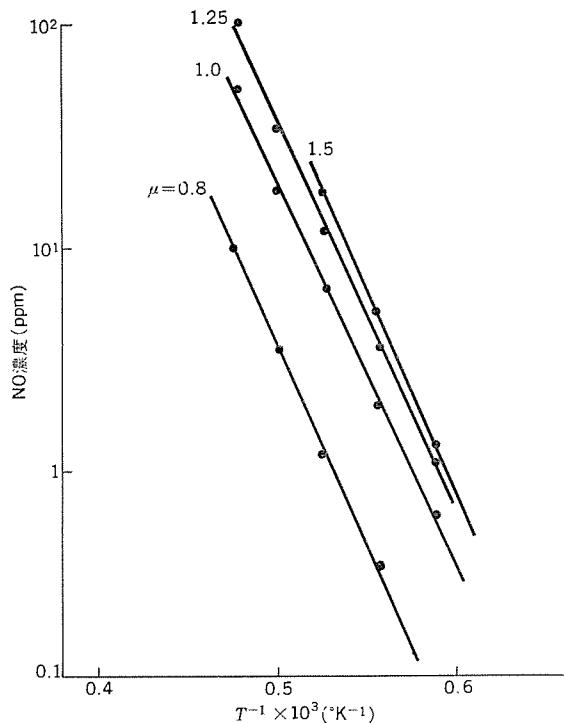


図5. NO生成の温度依存性

は約5 msである。火炎温度が低下すれば、NOは指數関数的に減少し、空燃比によらず $[\text{NO}] \propto \exp(-79,200/RT)$ と表すことができる。すなわち、見かけ上のNO生成の活性化エネルギーは79.2 kcal/moleと考えることができる。これは前述のように、O原子のovershoot量がほとんど温度に依存しないため、 $k_{23}$ の温度依存性に近い形をとるからである。これは従来の $\text{O}+\text{O} \rightleftharpoons \text{O}_2$ (反応(20))に平衡を仮定した式と比較すれば、興味深い。

$$\frac{1}{A} \frac{d[\text{NO}]}{dt} = 3 \times 10^{14} \exp(-129,000/RT) \cdot [\text{N}_2][\text{O}_2]^{1/2} \dots \dots \dots (12)$$

すなわち、式(12)では、NO生成の活性化エネルギーは129 kcal/moleであり、温度依存性を大きく見積りすぎることになる。

次に、火炎後流に冷却のある場合を図6に示す( $\mu=1.0$ )。上図は計算時に仮定した温度場であり、距離の平方根に比例した温度低下を考慮した。この図より、冷却の大きい場合には、NO生成が極めて抑制されることが分かる。これは主に、温度低下によりO原子の再結合が早くなるとともに、反応速度 $k_{23}$ が減少するためであり、 $\mu=1.0$ では、火炎温度がほぼ2,000 °Kまで冷却されると、NO生成は停止している。空気比が異なる場合でも事情は同様である。

筆者らが焼結金属板上に平面火炎を作り、NO生成量を測定した結果<sup>(11)</sup>と今回の計算値の比較を図7に示す。ただし計算値には前述と同様に断熱温度を用い、滞留時間を5 msとした。実験は混合ガスの初速度を最大燃焼速度より大きい41.5 cm/sとし、測定は化学発光式のNO計を用いている。

図7より、 $\mu=20.9$ の領域では、両者は非常によく一致しているが、 $\mu<0.9$ ではかなり様相が異なることが分かる。すなわち、計算値では $\mu \approx 0.8$ からNO生成が急減するのに対し、実験値では $\mu=0.7 \sim 0.8$ で一定値をとり、 $\mu<0.7$ で急減する。これは $\mu<0.9$ の燃焼では、2章で示した酸化過程以外に、 $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}$ 等を経由する反応が重要になってくるためであり、実際この領域の排ガス中に、 $\text{HCN}$ ,  $\text{NH}_3$ 等が検出されており、表2に示した反応だけでは不

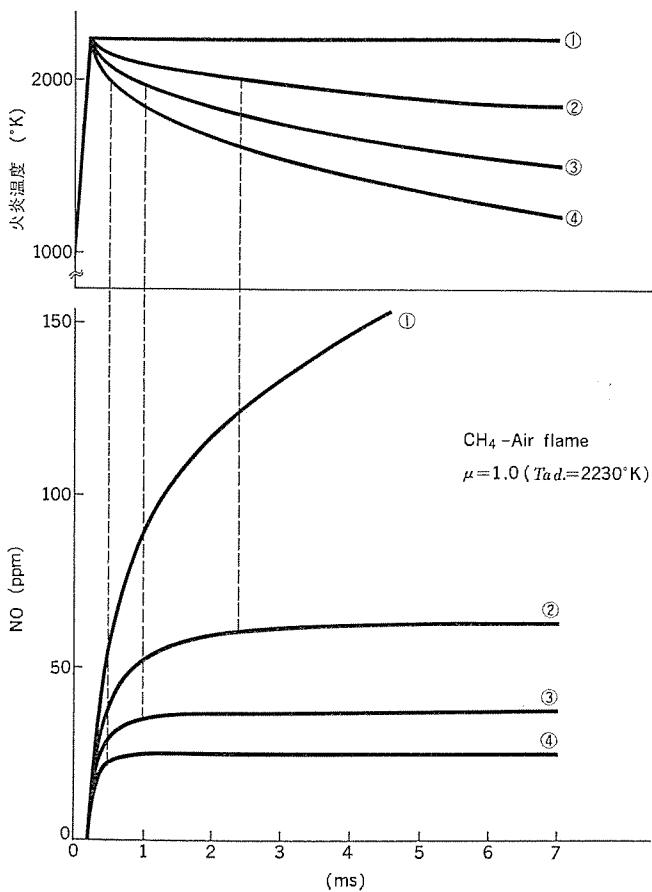


図 6. 冷却の効果

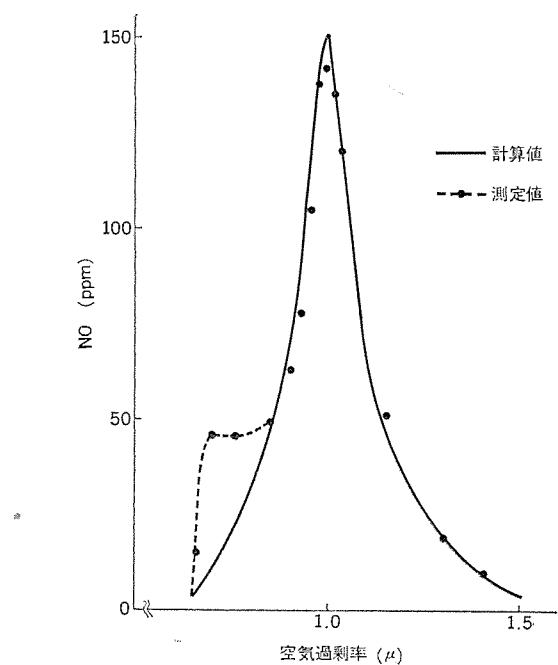


図 7. 計算と実験値の比較

分である。金丸ら<sup>(5)</sup>は  $\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_2 \rightarrow \text{CH} \rightarrow \text{HCN} \rightarrow \text{NCO} \rightarrow \text{NO}$  の反応を推定して、かなりうまくこの間での NO 生成を説明しているが、まだ定説ではなく、目下議論が活発であり、筆者らも検討中である<sup>(11)</sup>。また、CH や C, C<sub>2</sub> 等を含む反応及び反応定数が明らかになれば光のふく(幅)射過程も数値計算的に検討できるので、近い将来大いに注目を集める分野になると思われる。

## 5. むすび

以上の検討により、メタン-空気の燃焼過程がだいたい明らかになってきたと思われる。この研究の結果をまとめると次のようになる。

(1) 表 2. に示す反応、及び反応速度により、CH<sub>4</sub>-空気の予混合酸化反応を数値計算的に求めることができる。その結果、1 次反応帯で中間生成物やラジカル類、H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO 等が急速に生成され、2 次反応帯で CO の酸化、ラジカル類の再結合等が起こるという燃焼反応の進行する様子を求めることができた。

(2) 火炎帯で、O, H, OH ラジカルが平衡値よりかなり多量に生成され (overshoot といふ)、これは次の反応による。



また、O 原子の overshoot により、火炎帯で NO が激しく生成される。(prompt NO といふ)

(3)  $\mu \geq 0.9$  の燃焼での NO 生成は、上述の O 原子の overshoot を考慮すれば、拡大 zeldovich 機構で十分説明される。また、高空気過剰率の燃焼では、火炎温度の低下のため、NO 生成量が極めて少なくなる。火炎温度の低下、また火炎後流での冷却は、NO 抑制に非常に効果的であり、2,000°K 以下では NO 生成量はほぼ無視できる程度になる。

以上の研究より、全 1 次・高空気過剰率の燃焼が NO 抑制に非常に効果的であることが分かる。この研究の成果は、他社に先がけて開発したクリーンボイラや灯油クリーンヒータに既に生かされているが、上記燃焼法は燃焼器の低 NO<sub>x</sub> 化の有力な手段の一つとして、注目されている。

## 参考文献

- (1) Lewis, B., von Elbe, G.: Combustion, Flames and Explosions of Gases, Academic Press (1961)
- (2) Strehlow, R. A.: Fundamentals of Combustion, International Textbook Co. (1968)
- (3) 野間口ほか：三菱電機技報, 49, No. 11, 724 (昭 50)  
Combustion Institute European Symp., P.695 (1973)  
機械学会論文集, 39, 3, 134 (昭 48)  
第 10 回燃焼シンポジウム前刷集, P.5 (昭 47)
- (4) Gaydon, A. G., Wolfhard, H. G.: Flames, Chapman and Hall (1970)
- (5) 金丸, 大東：機械学会関西支部第 49 期講演論文集, P.57 (昭 49-3)
- (6) 森ほか：燃焼反応に伴う環境汚染物質の挙動研究分科会成果報告書、機械学会 (昭 50)
- (7) JANAF : tables of thermodynamic data, Dow Chemical Co. (1967)
- (8) Hirschfelder, J. O. et al. : Advances in Chemical Physics 3, Prigogine (1960)
- (9) Spalding, O. B. et al. : Proc. Roy. Soc. A324, 315 (1971)
- (10) Tiggelen, A. et al. : 6th Symp. on Comb. P.61 (1957)
- (11) 松井, 野間口：第 13 回燃焼シンポジウム前刷集, P.5 (昭 50)  
機械学会関西支部第 51 期講演論文集, P.42 (昭 51)

# 静的コンタクトにおける接触抵抗と接触力の関係

長谷川知治\*・村田安裕\*・小俣桂\*

## 1. まえがき

電気・電子機器に多く使用されているスイッチ・リレー・コネクタなどの接触部品は、“電気回路を開閉する”又は“電気回路の通電を保つ”と言う重要な役割を果たしている。したがって、これらの接触信頼性は十分に確保しておかねばならず、研究・開発に当たっては、負荷回路の解析・接点挙動のは(把)握・接点材料及び接点の周辺の材料の検討など広い範囲にわたって検討する必要がある。

接触抵抗( $R$ )と接触力( $P$ )の関係(以下 $R-P$ 特性と呼ぶ。)は、このうちの接点挙動に含まれるものであり、接触力が適切な値でないと接点表面に皮膜ができる場合や接点が異物をかみ込んだ場合などにこれを破壊することができず、接触抵抗の増大あるいは接触不良を起こす危険性が大きいことから、接触部品の信頼性を考える上で大変重要な事項である。

ここでは、一般に接触部品のコンタクトとしてよく用いられている数種のめっき接点をとり上げ、清浄時及び各種ふんい気で加速劣化させたときの $R-P$ 特性がどのような様子を示すかについて調べた結果を報告する。

## 2. 接触抵抗と接触力の関係

実験結果を報告する前に、接触抵抗と接触力の関係について簡単に触れておく。

### 2.1 接触抵抗

図1.に示すように、機械的に接觸している導体A・B間に電流を流すと、接觸面及びその近傍で電位が急変する。このときの電位低下を電流で割った値、

$$R = \frac{V}{I} \quad \dots \dots \dots (1)$$

を接触抵抗と言う。

ここに  $R$ : 接触抵抗,  $V$ : 電位低下,  $I$ : 電流

また、接触抵抗は次に述べる集中抵抗と境界抵抗とから成っており、式(2)のような関係にある。

$$R = R_c + R_f \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに  $R$ : 接触抵抗,  $R_c$ : 集中抵抗,  $R_f$ : 境界抵抗

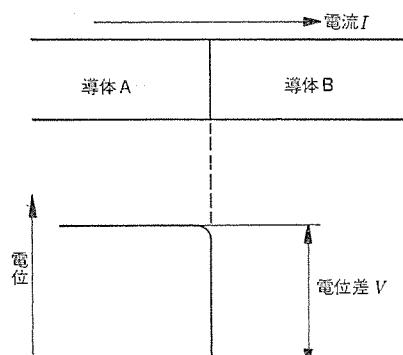


図1. 接触抵抗

### 2.2 集中抵抗

図1.に示した導体A・Bの接觸面をミクロ的に見ると、実際に電気的に接觸している部分の面積は図2.に示すように小さい。そのため、ここを流れる電流の通路が絞られこれによる抵抗が生じる。

この抵抗は集中抵抗と言われ、式(3)で与えられる<sup>(1)</sup>。

$$R_c = \frac{\rho_A + \rho_B}{4} \sqrt{\frac{\pi F}{nP}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに  $R_c$ : 集中抵抗,  $\rho_A$ : 導体Aの固有抵抗,  $\rho_B$ : 導体Bの固有抵抗,  $F$ : 金属の弾性限界(両材質のFのうち小さいほうの値を取る),  $n$ : 接触点の数,  $P$ : 接触力

### 2.3 境界抵抗

普通の状態の金属の表面は、清浄にしたつもりであっても極めて薄い(数分子層)水・油・酸化膜などの皮膜で覆われているし、まして腐食などが生じたときには厚い皮膜で覆われている。したがって、このような金属を単に接觸させた場合には、図2.に示したように皮膜を介して接觸が行われていると考えられる。この皮膜の存在によって生じる抵抗を境界抵抗と言い、次の三つの場合がある。

#### (1) 皮膜が極めて薄い場合

皮膜の厚さが数~数十Å程度の場合には、トンネル効果と呼ばれる効果により境界抵抗は無視できる程度となる。

#### (2) 皮膜が厚い場合

皮膜が数十Å以上厚さになれば抵抗は急激に増大する。この場合には、皮膜が接触力によって機械的に破壊されるか、あるいはある電圧以上の電圧によって電気的に破壊されるまでほとんど電流を通さない。

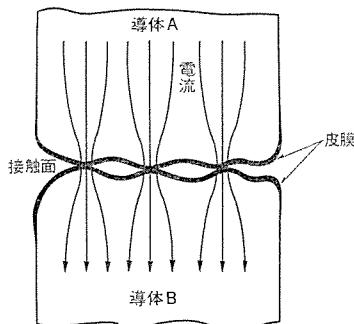


図2. 集中抵抗と境界抵抗

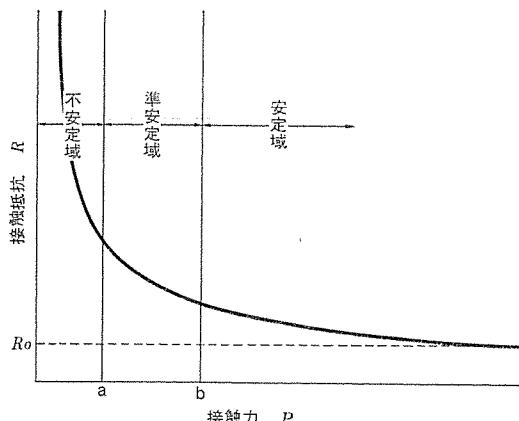


図3. 接触抵抗と接触力の関係

### (3) 皮膜が半導体である場合

皮膜が半導体の場合には厚さが数十 Å 以上であっても相当の導電性を示す。この場合には抵抗値は式(4)で与えられる<sup>(1)</sup>。

ここに  $R$ : 皮膜による抵抗,  $\rho$ : 皮膜の固有抵抗,  $d$ : 皮膜の厚さ,  $F$ : 金属の弾性限界,  $P$ : 接触力

以上の 2. 1, 2. 2, 2. 3 節から、接触抵抗は接触力に依存して図 3. に示すように変化することが分かる。このグラフにおいて、不安定かつ高い接触抵抗を示す接触力  $Og$  から  $Ag$  程度までの領域を不安定域、安定で十分低い接触抵抗を示す接触力  $b_g$  程度以上の領域を安定域、その中間領域を準安定域と言う。

### 3. 実験方法

### 3. 1 試料及び加速劣化の方法

試料は、図4.に示すような形状・寸法の黄銅棒と銅張積層板の表面に、一般に接触部品のコンタクト部によく施されるRh・Au・Ag・Sn・Niめっきを施したものを用いた。これらのめっきは、下地めっきを施すことなく試料に直接施した。また、めっき厚は、ピンホールの影響を少なくするために、一般に用いられている厚さより多少厚めとし、固定片・可動片とも同じ厚さとした。めっきの種類と膜厚を表1.に示す。

試料の加速劣化は、試料を表2に示す条件のふんい気中に放置することで行った。使用した試験そう(槽)の高温ふんい気は電気炉、高温高湿ふんい気はこう(恒)温恒湿槽、 $H_2S$ ガスふんい気は発露形の腐食試験機である。発露形腐食試験機は、 $40^\circ\text{C} \cdot 100\% \text{ RH} \rightarrow 20^\circ\text{C} \text{ 結露} \rightarrow \text{高温水蒸気で加熱} \rightarrow 40^\circ\text{C} \cdot 100\% \text{ RH}$ の状態を繰り返しているため、常に湿度100%の状態にあると考えられる。

試料は可動片のみ各種ふんい気中に放置して加速劣化させ、固定片はデシケータ中に保管しておき測定時にはアセトンで洗浄して用いるようにした。

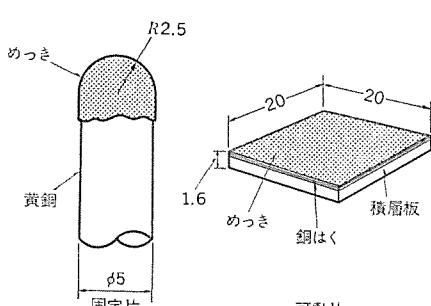


図 4 試料の形状と寸法

表 1 めらきの種類と臍廻

めっき金屬	Rh	Au	Ag	Sn	Ni
めっき厚(μ)	2	5	10	20	10

表 2. 試料の加速劣化とその気・条件及び放置時間

ふんい気	条 件	放 置 時 間 (h)
温 度	80°C 一定	1,000
湿 度	60°C, 90% RH 一定	1,000
H <sub>2</sub> S ガス	20 ppm, 100% RH 20°C, 1 h ←→ 40°C, 1 h 吹きかけ.	100

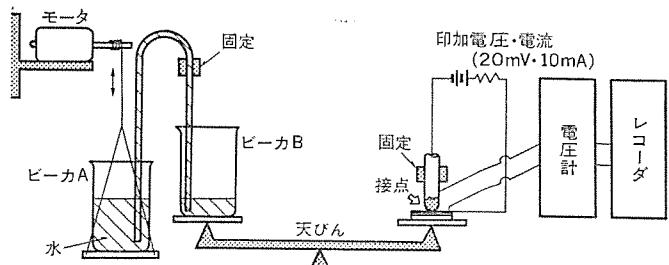


図 5.  $R$ - $P$  特性測定装置

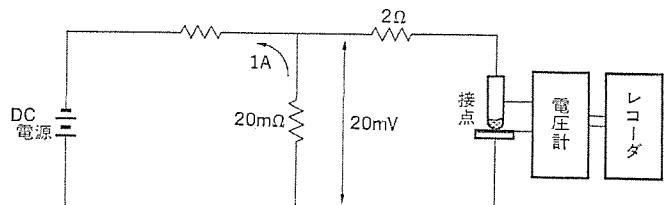


図 6. 接触抵抗の測定回路

### 3.2 測定方法及び測定装置

*R-P* 特性の測定は、図 5. のような装置を使用して行った。この装置では、低速で回転するモータで A のビーカを持ち上げることによりサイホンの原理で水が A から B のビーカに移るので、接触力は天びん(秤)を媒体として接点に連続的に加わる。したがって、このときの接触抵抗を測定すれば、*R-P* 特性の連続的なデータを得ることができる。また、モータを逆転することによって接触力を減らしていく場合の測定もできる。

接点に加わる接触力は水の移動量で求まるので、前もってモータを始動してからの時間と水の移動量の関係を求めておけば、レコーダに記録されている接触抵抗と対応づけることができる。今回は、接触力の変化の割合を 20 g/min と比較的おだやかにして、0 g から 300 g の範囲で変化させた。

接触抵抗は、図 6. に示す回路で接点間の電圧降下を測定することによって求めた。接触面の境界に存在する皮膜は、印加電圧・電流が大きいと破壊される恐れがあるので、ここではそのような恐れのない小さい電圧・電流である DC 20 mV・10 mA とした。接触抵抗の測定端子は図 5., 図 6. に示すとおりであり、接触抵抗はコンタクト部近傍の可動及び固定片の導体抵抗も一部含んだ値として求めた。

*R-P* 特性の測定は、高温及び高湿ふんい気のものでは初期・500 時間後・1,000 時間後において、H<sub>2</sub>S ガスふんい気放置のものでは初期・100 時間後において、試料上の異なる 3 点について行い、データとしてはその平均値を用いた。

#### 4. 實驗結果

#### 4.1 清漈時における $R$ - $P$ 特性

各種めっき接点の清浄時における  $R-P$  特性の測定結果を図 7. に示す。

Au・Agめっき接点は、共に接触力20g程度で十分安定した小さな接触抵抗を示しその後も安定している。また、接触力を300gまで加えていった後に減少させていった場合には、接点が開離する少し前まで接触力300gのときと同程度の接触抵抗を示している。

Sn・Rh めっき接点は、Au・Ag めっき接点ほど小さい接触力で安定した接触抵抗は示さないが、Sn めっき接点では 30 g 程度、Rh めっき接点では 50 g 程度で比較的の安定化を接触抵抗を示す。また

接触力を減らしていく場合には、Sn めっき接点では Au・Ag めっき接点と同じような小さい接触抵抗を示すが、Rh めっき接点では、接触力が減るにつれて接触抵抗が増加していくと言った傾向を示す。

Ni めっき接点は、測定点により異なるばらつきのある不安定な特性を示すが、接触力が 200 g 以上になれば比較的安定した接触抵抗を示す。また、接触力を減らしていく場合にも、接触力が 100 g 程度以下になると不安定になり接触抵抗は上昇していく。

#### 4.2 加速劣化後における R-P 特性

加速劣化させた各種めっき接点の R-P 特性の測定結果を図 8., 9., 10. に示す。これらの結果を接触力 50 g から 300 g の範囲における接触抵抗の平均上昇率によって分類すると、表 3. のようになる。

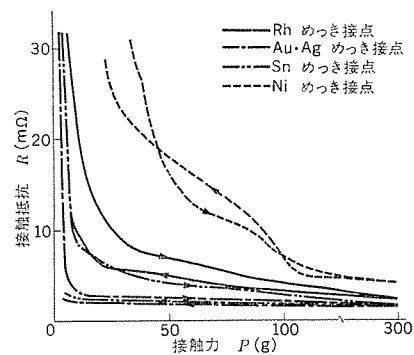


図 7. 清浄時における各種めっき接点の R-P 特性

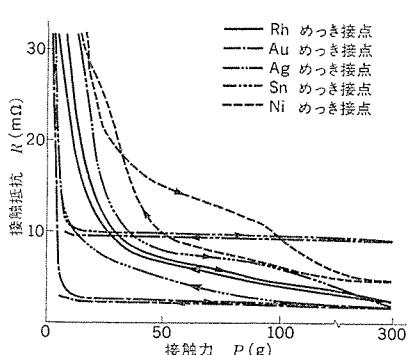


図 8. 高温ふんい気放置 1,000 h 後における各種めっき接点の R-P 特性 ( 温度 80°C )

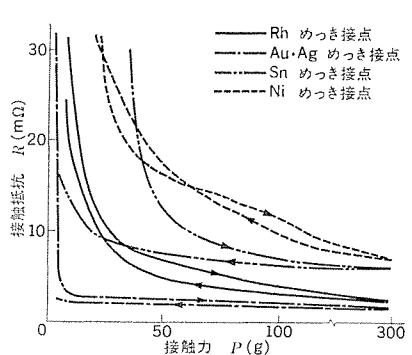


図 9. 高湿ふんい気放置 1,000 h 後における各種めっき接点の R-P 特性 ( 温度 60°C, 濡度 90% )

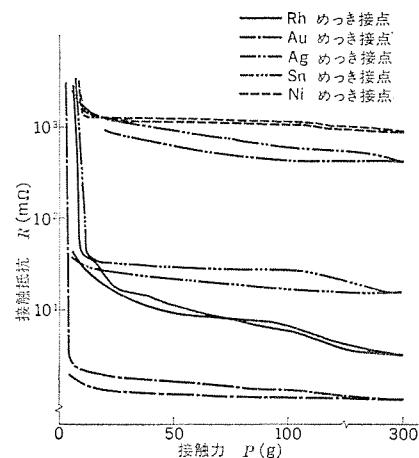


図 10.  $H_2S$  ガスふんい気放置 100 h 後における各種めっき接点の R-P 特性 ( $H_2S$  ガス濃度 20 ppm, 温度  $20^\circ C \cdot 1 h \leftrightarrow 40^\circ C \cdot 1 h$ , 濡度 100 %)

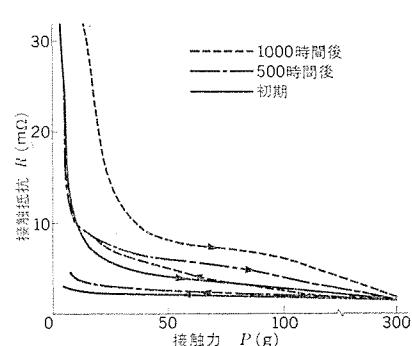


図 11. 高温ふんい気放置後の Sn めっき接点の R-P 特性 ( 温度 80°C )

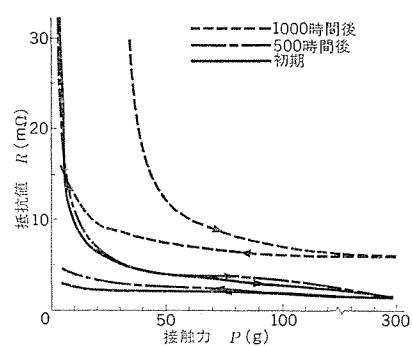


図 12. 高湿ふんい気放置後の Sn めっき接点の R-P 特性 ( 温度 60°C, 濡度 90% )

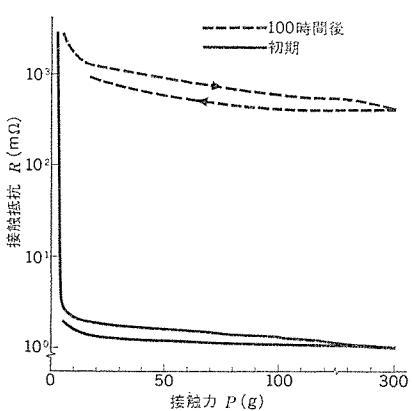


図 13.  $H_2S$  ガスふんい気放置後の Ag めっき接点の R-P 特性 ( $H_2S$  ガス濃度 20 ppm, 温度  $20^\circ C \cdot 1 h \leftrightarrow 40^\circ C \cdot 1 h$ , 濡度 100 %)

表 3. 各種ふんい気に対する各種めっき接点の性能

めっき接点 ふんい気	Rh	Au	Ag	Sn	Ni
高溫	1	1	2	2	3
高湿	1	1	1	2	3
$H_2S$ ガス	1	1	4	2	4

#### 記号の説明

数値は試験後の R-P 特性の 50 g から 300 g の範囲における接触抵抗の程度を示す。  
1 : 5 mΩ 以下, 2 : 5~10 mΩ, 3 : 10~100 mΩ 又は抵抗値のばらつきの大きいもの, 4 : 100 mΩ 以上

この表から、Au・Rh めっき接点では高温・高湿・ $H_2S$  ガスふんい気のすべてにおいて R-P 特性の変化はほとんど見られないが、Ag・Sn・Ni めっき接点においてはかなり変化しており、特に  $H_2S$  ガスふんい気における Ag・Ni めっき接点が大きな変化をしていることが分かる。

これら変化を生じたもののもう少し詳細な結果を次に述べる。

#### 4.2.1 高温ふんい気放置後の R-P 特性

Sn めっき接点の R-P 特性的測定結果を図 11. に示す。このグラフから、清浄時においては接触力 30 g 程度で比較的小さな安定した接触抵抗を示していたが、放置時間が長くなるにつれて接触抵抗が安定するための接触力及びそのときの接触抵抗も大きくなり、1,000 時間放置後では、60 g 程度の接触力がないと接触抵抗は安定しない

ことが分かる。

Ag めっき接点の  $R-P$  特性も放置時間とともに悪くなり接触抵抗は上昇している。更に、この場合には図 8. に示すように接触力を 300 g まで増しても接触抵抗は減少せずにある一定値を示している。

Ni めっき接点では、接触抵抗の平均値は初期よりあまり大きくなっていないが、初期から大きかった測定点によるばらつきが更に大きくなるとともに不安定な特性を示すようになった。

#### 4. 2. 2 高温ふんい気放置後の $R-P$ 特性

Sn めっき接点の  $R-P$  特性は図 12. に示すようであり、変化の傾向は高温ふんい気放置の場合と類似している。ただ、高温ふんい気放置の場合には、1,000 時間放置後のものに 100 g 以上の接触力を加えると接触抵抗は減少していくが、高温ふんい気放置の場合には変化がみられない点に違いがある。

Ni めっき接点では、高温ふんい気放置の場合と同様であった。

#### 4. 2. 3 $H_2S$ ガスふんい気放置後の $R-P$ 特性

Ag めっき接点の  $R-P$  特性の測定結果を図 13. に示す。100 時間後における  $R-P$  特性は非常に悪くなっている、接触抵抗は接触力を 300 g にしても数百 mΩ という大きな値を示している。

Ni めっき接点においても図 10. に示したように Ag めっき接点と同様であり、その接触抵抗は約 1 Ω という非常に大きな値を示している。ところが、Sn めっき接点では接触抵抗は清浄時より 40 mΩ 程度高くなっているだけあり、Ag・Ni めっき接点に比べればはるかに良い特性を示している。

### 5. 考 察

#### 5. 1 清浄なめっき接点の $R-P$ 特性

4. 1 節の結果から、めっき接点の表面が清浄である場合の  $R-P$  特性は良い順に、Au・Ag>Sn>Rh>Ni であることが分かる。これは、2 章で述べた事柄と表 4. に示す硬度と % 導電率とを考慮すれば理解できる。すなわち、Ag めっきのように硬度も比較的大きく導電率も大きいめっきを行った場合や Sn めっきのように導電率も小さく硬度もかなり小さいめっきを行った場合には  $R-P$  特性は良くなり、Ni めっきのように硬度が高く導電率の小さいめっきを行った場合にはあまり良くない  $R-P$  特性になる。また、接触抵抗は接触力を増やしていく場合より減らしていく場合のほうが小さく、この傾向は Sn めっきのように硬度の小さいめっきほど大きいが、これは一度大きな接触力にすることによって接触部分が増加するためであり、硬度が小さいほどそうなりやすいためと考えられる。

#### 5. 2 加速劣化後の $R-P$ 特性

Au・Rh めっき接点は高温・高湿・ $H_2S$  ガスふんい気においた後も  $R-P$  特性に変化は見られなかったが、これは、Au・Rh が貴金属であるために腐食がほとんど起こらないこと、及びめっき厚を比較的厚くしたためにピンホールが少なくその影響がほとんどなかったことのためと考えられる。したがって、今回とり上げたふんい気での腐

表 4. 各種金属の硬度と パーセント導電率

金 属	Rh	Au	Ag	Sn	Ni
硬 度 (Hv)	350	124	200	30	350
パーセント導電率	36	72	106	15	25

注) 硬度は試料の実測値である

食の影響だけを考えるのであれば、今回と同程度以上のおよびを持つ Au・Rh めっき接点では  $R-P$  特性の経時変化はほとんどないと考えられるので、接触力は Au めっき接点で 20 g 程度、Rh めっき接点で 50 g 程度としてもよいであろう。

Ag めっき接点は、高温ふんい気ではほとんど変化がなく高湿ふんい気では接触抵抗は上昇してはいるが 8 mΩ 程度と少ないため、これらのふんい気ではあまり問題にならないと考えられる。ところが、 $H_2S$  ガスふんい気においては接触力を 300 g にしても数百 mΩ の接触抵抗を示すほど悪くなってしまおり問題である。これは、Ag が硫化に弱いために表面に  $Ag_2S$  の厚い膜が生成されたこと、及び一般には  $Ag_2S$  膜は機械的に弱くしゅう(摺)動を伴うような動的な接点では皮膜が破られるので問題ないとされているが、今回のような静的なコンタクトにおいては摺動による皮膜の破壊が起らぬことのためと考えられる。

Sn めっき接点は卑金属めっき接点でありながら Au・Rh めっき接点に次いで良い特性を示しており、 $H_2S$  ガスふんい気においても Ag・Ni めっき接点ほど悪くはない。したがって、環境の影響を受けて  $R-P$  特性が変化することを十分考慮した上で適切な接触力を選べば、Sn めっき接点はかなり良好な性能を示す接点となり得る。これに対し Ni めっき接点は、初期から測定点によりばらつきのある特性を示す上に  $H_2S$  ガスふんい気においては 1 Ω の接触抵抗を示すなど環境の影響を受けやすいので、使用にあたっては接触力を十分大きくするなど注意が必要である。

### 6. む す び

接触部品のコンタクトとして一般によく用いられている Au・Rh・Ag・Sn・Ni めっき接点をとり上げ、清浄時及び各種ふんい気で加速劣化させたときの  $R-P$  特性がどのような様子を示すかについて調べた結果について簡単に述べた。

接触部品の信頼性を確保するために検討しなければならないことは前にも述べたように非常に広範囲にわたっており、 $R-P$  特性の検討はそのうちのごく一部にすぎない。しかし、このようなデータの地道な積重ねが接触部品の品質を保証する上で特に重要であると考えられる。

### 参 考 文 献

- (1) 鳳：電気接点と開閉接触子、金原出版社(昭 37)
- (2) 長谷川、小袋：三菱電機技報、47、No. 11、1,182(昭 48)

# サッシ表面処理ラインの計算機制御

奥森志朗\*・末武隆\*\*

## 1. まえがき

我が国におけるアルミサッシの生産高は、昭和40年に21,000トンであったが、その後のビル建築の増加、住宅需要の増加により、ビル用サッシ、住宅用サッシは急速に普及して、48年には月間生産高40,000トン、年間450,000トンとこの8年間に約20倍に急成長をとげた。

このように成長をとげたサッシ業界は、メーカー数も増加し、その数約80社に達するとも言われている。そのうち、住宅・ビルの規格サッシを生産するメーカー数はたかだか20社程度である。アルミサッシの市場は大手企業が優位にあり、大手上位5社で昭和45年に53.8%、49年には67.1%と市場占有率を上げ、寡占化の傾向が見られる業界である。

このことは量産が生産性を向上させ、品質の安定とコストダウンに効果的であることを立証しているとも見なされる。

大手のサッシメーカーはアルミ地金を購入し、鋳造、押出し、表面処理及び組立までのすべての加工工程を有する生産形態を採用している。したがって、今後ますます市場競争の激しいサッシ業界においては、品質の向上とコストダウンのために加工工程の合理化に目が向けられる。

アルミサッシの量産化といつても、住宅用標準サッシの形種を数百種類も持つメーカーが多く、これにビル用規格サッシ、ビル用オーダーサッシなどを加えると、サッシの種類は1,000種を越えるとも言われている。

このような多種多様の製品種を扱う加工ラインは常に、設備面の合理化だけでなくより高い生産管理方式の導入が要求される。生産管理方式の改善として各加工工程間を有機的に連結させ、一貫した管理体系のもとに合理化・省力化を計ることが生産性を向上させることになる。したがってサッシ生産工場での将来は、鋳造から組立までの一連のラインが同期化し、自動化された形態となるであろう。

現状ではまず、各工程内での有機的な管理方式とその範囲内の省力化、自動化の検討から着手された。

今回、アルミサッシの表面処理を行う電解工場の新設に当たり、その工程の省力化と合理化を電解工場全体から総合的に検討し、一連のMH(マテリアル・ハンドリング)方式と表面処理作業の新しい管理方式を確立した。この新しい管理方式を遂行するために計算機《MELCOM》70を導入して、より一層の効果を生むことができたのでここにその概略を紹介する。

## 2. 電解工場の概要

### 2.1 電解工場の概要

アルミサッシは押出機により、所定の形状のサッシ形材に成型される。このサッシ形材(以下形材と呼ぶ)は、材料組織的に不安定でこのままでは実用に適さず、アニーリングにより調質し、陽極酸化(アルマイト)処理によって形材表面を硬質化させ、実用に供するサッシができる。また、陽極酸化処理を施した形材に更に塗装処理を施して、より商品価値を高める手段がとられている。これらの処理を施した

形材は、次工程である組立ラインに送られ、そこで窓わくサッシ、ドアなどの住宅関連機器に組立てられる。

表面処理ラインとは形材にアルマイト処理及び塗装処理を施す工程をいい、電解工場とはそれらの表面処理を行うために形材を持込み、表面処理を施して次の組立工程に発送するまでの工程である。

電解工場は一般に設備投資額が高く、人的作業が多く、しかも分業化のできない工程である。また、サッシの製造原価に占める表面処理費も無視できず、合理化・省力化によるコストダウンが要求されている工程の一つである。

### 2.2 電解工場の機能

電解工場の機能は、アルミサッシに表面処理を施して所定の品質に加工し、次の組立工程が必要とするときにタイムリーに受渡すことである。したがって、この機能を満足させるために合理化された諸設備と適切な管理方式がバランスしてか(稼)動する必要がある。

### 2.3 電解工場の構成

電解工場は表面処理を施す部分が中心となるが、この部分を最も効率よく稼動させるには、表面処理部分への形材の投入・搬送、及び表面処理を施した後の形材の送り出しが重要な要素となる。したがって、形材が電解工場に送られて来てから表面処理までの間の工程と表面処理、及び表面処理完了から次工程への発送までの三つの工程に大別され、次の名称で呼ばれる。

(1) 入側形材搬送ライン(受入れから表面処理まで)

(2) 表面処理ライン

(3) 出側形材搬送ライン(表面処理から発送まで)

(1) 入側形材搬送ライン

既に述べたように、形材は押出機を出ると所定の長さに切断後、ボックスパレットに入れられてからアニーリングされて電解工場に送られてくる。

入側形材搬送ラインでは、このパレットを一時ストックさせ、組立工程のスケジュールに合わせてパレットを取り出し、ラッキング作業位置までパレットを運び、パレット中の形材を次の表面処理ラインに送り込む。空になったパレットは、すみやかに空パレットを必要とする部門まで送り返す。

(2) 表面処理ライン

ラッキングされた形材はハンガにつ(吊)られて表面処理ラインに送られる。表面処理ラインの工程の流れは次のとおりである。

(a) ラッキング

(b) ローディングストックヤード

(c) 前処理工程

(d) 陽極酸化処理工程

(e) 発色カラー処理工程

(f) 塗装処理工程

(g) アンローディングストックヤード

(h) アンラッキング

各工程での処理時間を管理しながら、門形走行キャリヤが形材を吊っ

たハンガを順次搬送する。アンラッキングで形材をとりはずした空のハンガは、再びキャリヤで運ばれてローディングストックヤードまで返送される。

### (3) 出側形材搬送ライン

出側形材搬送ラインは、入側形材搬送ラインの対称で、表面処理を施した形材を再びボックスパレットに入れて次の組立工程に仕分けながら発送する部分である。

表面処理が完了した形材の種類、寸法などに合わせて適切に空パレットを供給することも重要な作業である。

## 3. 電解工場合理化の計画

新工場の運転方式、管理方式、作業方案、レイアウト、設備仕様、などを計画するに当たって、立地条件・人的条件・物的条件及び資金的条件の制約を受け、その範囲内で最適な計画を立てることが要求される。電解工場の仕様を表1に示す。

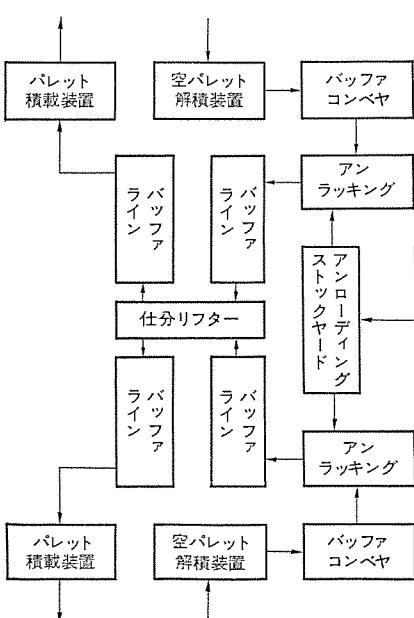
今回、電解工場新設に当たってライン上の問題点をまとめ、生産性の向上に効果的と考えられる下記の項目を考慮し計画した。

### 3.1 ライン全体の合理化

- (1) 電解工場を構成する入側形材搬送ライン、表面処理ライン及び、出側形材搬送ラインの各ライン三つが作業方式と設備能力にバランスがとれていること。
- (2) 一つの設備機器が故障しても、バックアップできる対策が講じてあること。
- (3) 省力化、自動化を採用し作業者数を最少人数にすること。
- (4) 生産高、すなわち表面処理ラインでの出来高集計が容易であること。

表1. 電解工場仕様

仕様項目	数値
生産能力	2,500トン/月
表面処理ライン数	2ライン
形材仕上がり色種	数色/ライン
キャリヤヤ�数	5台/ライン
パレットタクトタイム	4分
キャリヤタクトタイム	14分



### 3.2 入側形材搬送ラインの合理化

- (1) 押出し工程からくる形材パレットのストックスペース効率が高くなるような方式及び、レイアウトであること。
- (2) 緊急表面処理を必要とする形材に対応できるレイアウト及び、搬送方式であること。
- (3) 次工程のラッキング作業にアイドルを生じさせないように形材パレットを供給すること。
- (4) 形材をラッキングへ送り込んだ後の空パレットを、すみやかに搬出すること。

### 3.3 表面処理ラインの合理化

- (1) 発色カラー処理において、色調を均一に仕上げること。
- (2) 陽極酸化(アルマイト)処理において、処理皮膜が所定の品質で仕上がるること。
- (3) 陽極酸化処理に必要な電流を最適に制御し、過剰品質にならないよう省エネルギー化を計ること。
- (4) 形材を吊ったハンガの搬送キャリヤにアイドルタイムがでないように、搬送効率を上げること。
- (5) 一つの処理ラインで数色種の処理が可能で、かつ自由に色選択ができる方式であること。

### 3.4 出側形材搬送ラインの合理化

- (1) 処理された形材とその形材の情報とが容易に確認できる方式であること。
- (2) 形材パレットが次工程別に仕分けられ、出荷できる方式とレイアウトであること。
- (3) 表面処理ラインで処理された形材を収納する空パレットをすみやかに必要とする場所に供給できるレイアウトであること。

## 4. 電解工場の搬送方式

サッシ形材が電解工場に到着してから表面処理されて電解工場を出て行くまでの、一連の工程の流れを図1に示す。

### 4.1 入側形材搬送ラインの流れ

- (1) 電解工場に送られてくる形材パレットは、数段重ねでストックコンベヤ上に待機する。
- (2) 表面処理作業順序に合わせてストックコンベヤが指定されその上

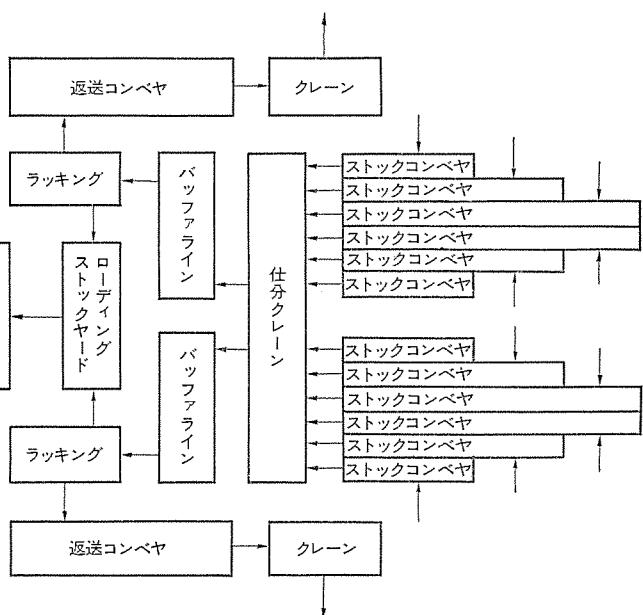


図1. 電解工場フローブロック図

のパレットが移動する。

(3) パレットは、所定の位置で仕分けクレーンにより1段ずつに分離される。

(4) 分離したパレットは、そのパレットにセットされた処理ライン選択カードによって、自動的にそれぞれの処理ライン側に仕分けられる。

(5) ラッキング作業は、形材の寸法によってパレットの収納数が異なるので、作業時間にはばらつきが大きい。ラッキング作業にアイドルタイムを生じさせないようバッファラインで次パレットを待機させる。

(6) 形材のラッキングにより生じた空パレットは、順次返送コンベヤで屋外に搬出される。

(7) 空パレットは運搬に便利なようにクレーンで5段重ねされる。

#### 4.2 表面処理ラインの流れ

(1) ラッキングされた形材はハンガに移され、ローディングストックヤードで次工程すなわち、前処理工程の順番待ちになる。

(2) 前処理工程に余裕ができると、キャリヤがローディングストックヤードのハンガを前処理工程まで運ぶ。

(3) 所定の処理時間が経過すると、キャリヤが再びハンガを前処理工程から次の陽極酸化処理工程に運ぶ。

(4) 以下前に述べた各処理工程を経過して、アンラッキング部まで送られる。

#### 4.3 出側形材搬送ラインの流れ

(1) 空パレットは、運搬が便利なように5段重ねにされて送られてくるので、これをパレット解積装置を使って1段単位に分解される。

(2) アンラッキング作業にアイドルタイムが生じないように空パレットを1個ずつ供給し、予備空パレットをバッファコンベヤ上に待機させる。

(3) アンラックされた形材は、空パレットにロット単位で積込まれ、同時に行先組立工場を指定するカードがパレットにセットされる。

(4) 形材を積込んだパレットは仕分け装置のついたリフタまでバッファライン上を移動し、行先組立工場指定カードによって、所定のバッファラインに仕分けられる。

(5) 仕分けられたパレットは、パレット積載装置まで運ばれ、3段重ねされて次工程への発送待機となる。

上記、電解工場の流れを自動化し、流れに対して自由度を持たせ先に述べた合理化を考慮しながら生産性を向上させるために計算機『MELCOM』70を導入した。

計算機の規模を小さくして最大の効果を上げるために、その制御対象を表面処理ラインに限定した。

### 5. 計算機導入の目的

電解工場に計算機を導入するねらいは、電解工場全体の計画、各機器、装置の最適運転制御、作業者への適切な作業指示、各種管理資料の作成など期待される業務は非常に多いが、今回計算機導入の目的を次の項目に置いて最小限の計算機システムとした。

- (1) キャリヤの運転稼働率の改善
- (2) 陽極酸化処理の改善
- (3) 発色カラー処理の改善
- (4) 異色処理の混合運転
- (5) 処理ラインでの情報管理

#### 5.1 キャリヤ運転稼働率の改善

従来、この種のキャリヤの走行及び昇降運転制御には、固定プログラムによるシーケンサが採用されていた。したがって、キャリヤの走行時間すなわち処理時間は、形材の大きさ、吊り面積等に全く関係なく一

定の時間で、しかも、一定の順序で走行する方式がとられていた。この固定プログラム方式の運転が、以下に述べる処理条件の多様化や形材の多様化を困難にさせていた。

今回採用したキャリヤの運転方式は、キャリヤをできる限り遊ばせないように作業順序を定めず、キャリヤの走行経路も決めず、搬送作業が必要になった時点で作業を開始する方式である。

したがって同時に、搬送されるべきハンガが2組以上あるときは、それぞれの工程に優先順位を付けて優先順位の高い工程にあるハンガから搬送を始める。

優先順位については、この表面処理ラインでタクトタイム的にクリティカルな工程及び、品質的に一定時間が要求されるエッティングそう(槽)など、特に綿密な管理を要する工程を最優先とし、逆に、一部の水洗工程のようにインバッファ的な工程で滞留時間の長短が品質的に問題を生じない工程の優先順位は低くする。

キャリヤの走行制御がフリーであることからラインの途中で不良品が発生した場合、それ以後の工程を省略して直接アンローディングストックヤードまで運ぶことが可能となった。

キャリヤが行先に関してフリーに走行すること、及びハンガに待ち時間を与えないためにはキャリヤ相互にラップして走行できる範囲を持つことが必要となる。そのためキャリヤ相互の衝突防止を特に注意する。衝突防止については計算機によるソフトの対策とキャリヤ本体にとりつけた検出器による対策が施されている。

キャリヤのフリー運転方式による空ハンガの返送は、形材ハンガの搬送作業の合間に特定の中継ポジションにこだわることなく、そのキャリヤの走行範囲内で空ハンガ中継可能なポジションまで行われる。

また、表面処理作業が開始した時点では空ハンガの返送作業がないので、キャリヤは専ら形材ハンガの搬送作業に専任する。したがってタクトタイムもその間は短くなる。

#### 5.2 陽極酸化処理の改善

陽極酸化処理は被処理材の単位面積当たりの電流密度、及びその通電時間で形成皮膜特性が決まる。しかし、従来この種の陽極酸化処理では、ハンガの表面積を算出するのにライン外で人手によって計算が行われ、その数値によって処理が行われていた。したがってこの算出に時間と労力を要する作業であった。

今回的方式は、形材のラッキング作業時に処理しようとする形材の形状、断面周長、長さ及びハンガへの形材本数を、情報入力操作卓を使って計算機に入力し、記憶させる方式である。陽極酸化皮膜の特性、厚さなどを計算機が必要に応じて管理することができる。

アルマイト皮膜の形成及び特性を管理する計算機は、陽極酸化処理用整流器の最大容量とこれからラッキングしようとする形材の条件を比較し、要求される特性の皮膜を形成させる電気化学条件を求め、作業条件に変換してラッキング作業指示を出力する。

この方式によってハンガ当たりの吊り面積が異なっても同一皮膜を得ることができる。

#### 5.3 発色カラー処理の改善

白色サッシに比べ、ブロンズ、ゴールドなどのカラーサッシは組立ラインにおいて窓わくなどを組合せてみるとわずかな色の違いから不良となることがある。したがって特にカラー処理工程では色調の均一性が要求される。

交流発色の場合、厳密な色調の均一性を要求するならば形材に流れる有効電気量を制御することが必要となる。そのためには、処理液の特性と処理条件の相互関係を明確にすることであろう。しかし

現在の発色技術は実用化されてまだ間がなく、今後の改善技術に負うところが多い。

今回的方式は計算機による管理とローカルでの試行錯誤による運転が可能な方式とし、計算機インターフェースに色制御装置を設置した。色制御装置は、したがって試験的に取得したデータ値を順次計算機に入力して記憶の更新をしながら、液特性の変化に対応した制御が可能である。

計算機は形材のハンガ吊り面積及び形状係数から、発色に必要な通電時間を設定しデジタル出力する。この値を受けた色制御装置はその時間値になるまで通電する。

#### 5.4 異色処理の混合運転

従来、白色サッシの表面処理ラインと発色カラー処理ラインは、工程の違い、キャリヤの走行経路及び走行時間の違いからそれぞれ独立した別々のラインであった。

今回的方式では、同一ラインで白色仕上げもカラー仕上げも選択可能なものとした。形材をラッキングするに当たり、情報入力操作卓を使って仕上がり色を選択することによって計算機が記憶し、指示された処理経路をとるようにキャリヤを制御する。

今回2ラインを設置したことは、白色・カラーの負荷変動や、1ラインが故障しても白色及びカラーサッシも生産できるバックアップ体制をとっている。

#### 5.5 処理ラインでの情報管理

情報管理の中には情報を記憶し集計することにより実績を知ること及び、その情報が正しいものかどうかを確認することができなければならない。

##### (1) 形材情報の記憶

あらかじめ使用する形材の製品名やその特性などが、計算機の中にテーブルとして記憶されている。

実際に形材をラッキングするに当たって、作業者が形材を確認しながら製品名・型番などを計算機に入力する。計算機は、あらかじめ記憶している形材条件に適合しているかどうかをチェックしてその情報を受付ける。

##### (2) 情報の更新

計算機が記憶している形材情報をもとにキャリヤ制御装置、陽極酸化処理用整流器制御装置、発色カラー処理用制御装置、電着塗装用制御装置などに信号を出し、処理が完了したことにより計算機内部の情報を更新させる。

##### (3) 結果の集計

形材の処理条件及びその品質と出来高の集計などは、管理資料として必要なものである。また表面処理ラインのように、処理工程を流れる形材に伝票類が添付できないために処理完了時に品物と情報の確認作業が必要である。

今回的方式では処理完了時に、その形材に関する情報を計算機が情報出力操作卓に出力表示する。品質検査の情報もこの情報出力操作卓から計算機に入力されるので、計算機は形材別の出来高集計をし、その結果をタブレットに印字する。

## 6. 運転方式

一般にプロセス制御における運転方式を分類すると、次の3段階に区分される。

##### (1) 手動運転

##### (2) 半自動運転

##### (3) 自動運転

##### 6.1 手動運転

一般に単独手動運転を意味し、制御システムにおける最低レベルの制御方式で、常用することは生産性が悪く、専ら調整時及び事故の時にやむなく使用するものである。しかしシステムの基本として備えなければならない重要な運転方式である。

今回のキャリヤ走行及び昇降については、インチング操作による手動運転を、整流器については遠隔インチング操作による電流制御ができる方式を採用している。

##### 6.2 半自動運転

半自動運転の範囲は非常に広く、それぞれ計画する人により異なる。今回的方式は操作員があらかじめ所定のデータにプリセットして始動をかけば動作してそのプリセット値まで自動運転をする方式を半自動運転に採用した。

すなわち、キャリヤについては行先と動作モードを設定すればそのモードで設定された行先(停止アドレス)まで走行し、停止する。整流器の電流昇降についてもあらかじめそのパターンと最大電流値及び時間を設定すれば、その与えられた条件で陽極酸化処理を実施する。発色カラー処理についても通電時間値を設定し始動させれば、その時間値に達すると自動的に通電をストップする方式となっている。

##### 6.3 自動運転

計算機による自動運転方式にはS.P.C(セットポイント・コントロール)方式とD.D.C(ダイレクト・デジタル・コントロール)方式があり、S.P.Cとは計算機がプロセスのローカルな制御装置に設定値を出し、その制御の結果・成果をフィードバックさせる方式である。D.D.Cとは計算機が制御ループの要素となり、プロセスに対して直接制御指令を出力し、その動きを時々刻々読みとて評価して次の指令を出力する方式である。

今回の自動運転方式は、キャリヤの運転、発色カラーの設定時間値、及び電着塗装用電圧値に対してはS.P.C方式を採用し、陽極酸化処理用整流器の制御にはD.D.C方式を採用した。

## 7. 電解工場の計算機システム

### 7.1 システムの構成

計算機の制御対象となる表面処理ラインのシステム構成は次のとおりである。

- (1) 計算機(《MELCOM》70)システム
- (2) 情報入力操作卓
- (3) ラッキング制御部
- (4) ローディングストックヤード制御部
- (5) 整流器制御部
- (6) 発色処理制御部
- (7) 電着塗装制御部
- (8) キャリヤ制御部
- (9) 不良情報入力部
- (10) アンローディングストックヤード制御部
- (11) アンラッキング制御部
- (12) 情報出力操作卓
- (13) キャリヤ監視操作部
- (14) 整流器監視操作部
- (15) 発色処理監視操作部

上記構成のうち、計算機システムは次の機器から構成されている。

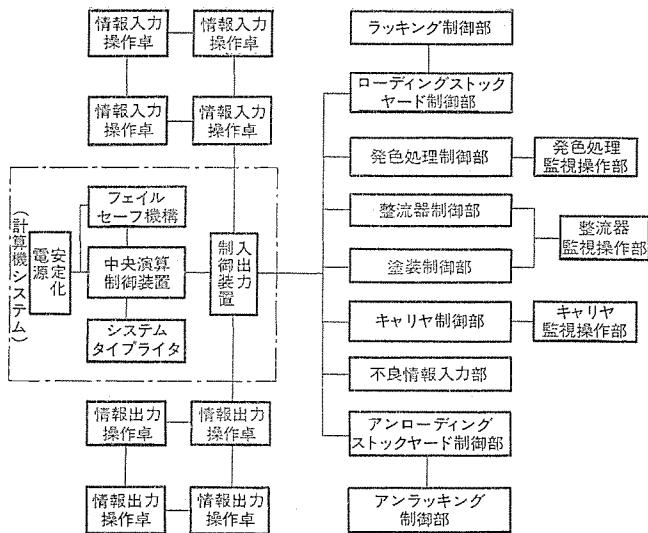


図 2. 表面処理ラインシステムブロック図

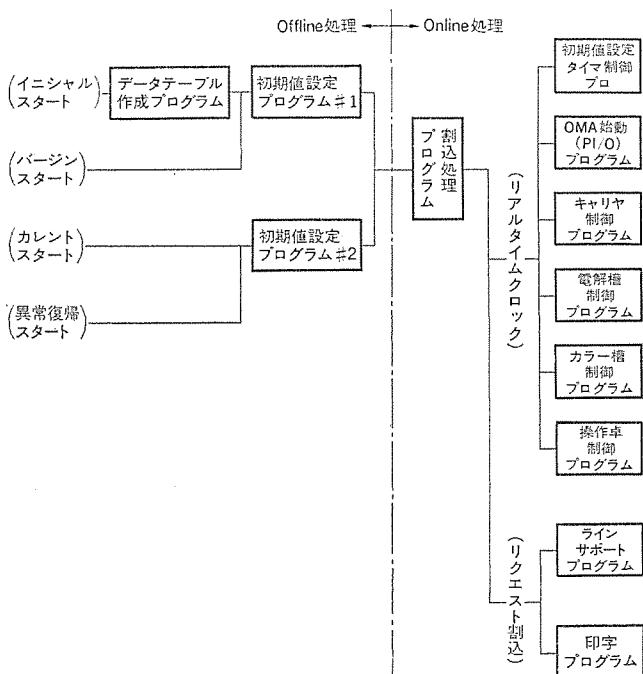


図 3. プログラム構成ブロック図

- (1) 中央演算制御装置 (CPU) ..... 20 kW
- (2) フェイルセーフ 機構 ..... 1 式
- (3) システムタイプライタ (M 271) ..... 1 台
- (4) 入出力制御装置 (PI/O) ..... 約 450 点
- (5) 安定化電源 (3.5 kVA) ..... 1 基

表面処理ラインのシステム構成ブロック図を図 2. に示す。

## 7.2 プログラムの構成

計算機制御システムにおける制御機能をオンライン処理機能とオフライン処理機能にあらかじめ区分することは重要なことである。今回のシステムは 24 時間稼動であるが、プログラムの経済性を考慮してデータ設定に相当する準備動作をオフライン処理で、一般的の機器制御・ラインサポート及び印字プログラムをオンライン処理で行えるようなプログラム構成とした。プログラムの構成ブロック図を図 3. に示す。

計算機制御システムのプログラムを組むに当たって、特に考慮した項目に次のものがある。

### (1) 計算機ダウン時の対策

### (2) 計算機ダウンからの復帰

### (3) 機器の誤動作の対策

### (4) 計算機の記憶情報と現物の照合

一般にシステムを組む場合、省力化・自動化の検討が先行し、半自動運転、手動運転の方式が軽視され勝ちである。計算機制御を導入する大量生産ラインでは、計算機のダウンが操業不能につながらないようなバックアップ方式を慎重に検討することも重要である。

24 時間稼動のシステムでは、一度ダウンしたものでも半自動モードなり、手動モードで工程を進めるケースが多く、この場合、手動運転から自動運転にモードを切換える作業が容易であるか否かが生産性を大きく左右する。

システムの機器構成が大きくなるに従ってシステムの一部が故障する確率が高くなる。システムの一部の誤動作をいち早くキャッチし、アクションすることも計算機の機能に適している。

また、一般に生産ラインにおいて計算機が流れている品物を追跡し、認知しておくことは非常に重要な機能である。表面処理ラインのように、作業環境が悪いところでは検出器だけによる品物の認知は危険であり 2 重、3 重の認知を必要とする。この品物の移動に合わせて計算機内部で、その品物の情報を移動させることを一般にトラッキングプログラムと呼び、トラッキングエラーに対して容易に現状に復帰できるプログラムが必要である。

## 7.3 プログラムの内容

6.2 節でプログラムの構成を述べたが、そのうちの主要な項目について詳しく記する。

### (1) 情報の設定

システムの始動に当たっては、形材の情報と設備の条件情報をあらかじめ計算機に設定記憶しておかなければならない。形材の情報を設定し、システムを始動させるケースに三つの方法を考えた。

#### (a) イニシャルスタート

計算機に、形材に関する情報を設定してスタートさせる。これらの設定値は紙テープにより入力される。

#### (b) バージンスタート

計算機には既に形材情報が記憶されている場合のシステム始動のうち、表面処理ライン上に形材の仕掛けりがなく、作業を開始するときである。このときは設備条件もリセットされてから始動する。具体的には休日明けのシステム始動時などが相当する。

#### (c) カレントスタート

計算による自動運転が一部の機器の故障により半自動ないし手動運転に切換えられた後、再び計算機の管理下に復帰する場合、実際の形材の位置と計算機が記憶しているソフト的な情報が異なる。計算機が記憶している内容を修正し、形材が仕掛けた状態でシステムを始動することができるようになっている。

## 7.4 形材情報の設定

情報入力操作卓は Online 作業において計算機に形材情報を入力設定するために設置する。ラインに形材が到着するとこの情報入力操作卓を使って形材の内容・仕様などの形材情報を設定し計算機に入力する。

計算機はこの形材情報に対してあらかじめ記憶している形材の固有データと関連する設備の条件データから作業条件を算出し、作業指示データとして操作卓に表示出力する。作業者はこの表示に従ってラッキング作業を行う。

情報入力操作卓の設定項目及び表示項目を表 2. に示す。

表 2. 記憶情報一覧

設備情報項目	入力設定項目	出力表示項目	固有データ項目
整流器容量	製品名	チャージ数	製品名
交流電源容量		ハンガ順番	
チャージ数	番	つりビッチ数	番
最大つり本数	選択	つり本数	形状係数
処理時間	組立ライン選択	カウント本数	断面周長
優先順位	つり本数	處理面積値	単位重量
キャリヤ速度	長さ	余裕面積値	
処理時間	混載選択	ハンガ積卸方向	

### 7.5 作業完了処理

アンラッキング 作業部に配置されている情報出力操作卓は、表面処理が完了した形材とその形材の情報を照合・確認する マンマシン インタフェースである。形材が アンラッキングされるごとに製品名などの形材情報を計算機から情報出力操作卓に出力表示する。

この操作卓を使い処理形材の検査結果を設定操作して計算機に入力する。計算機では ハンガ が単位の実績が集計印字される。

印字には ハンガ が アンラッキング されるごとに印字する毎回印字と、1日の実績をまとめて印字する集計印字がある。印字項目を表3に示す。

### 7.6 キャリヤの動きと制御

キャリヤは表面処理 ライン 上を走行し、形材を順次搬送する。キャリヤの走行動作 モード は 2通りの方式がある。その一つは走行時に ハンガ を持ち上げて走行する モード で、他の一つは走行時に ハンガ を持たないで走行する モード である。

計算機からキャリヤに対して動作命令を出す信号は、キャリヤ停止 アドレス 信号と動作モード 信号がある。キャリヤ停止アドレスの設定法はあらかじめ白色 サッシ 工程及び、カラー サッシ 工程ごとに加工経路が設定記憶されており、この経路で ハンガ が運ばれるように停止アドレスが設定される。

工程途中で形材不良の信号が入力すると、計算機はその ハンガ の以後の工程を省略して アンローディング ストックヤード までその形材を搬送すべく走行出力する。優先順位の高い処理工程については、その処理完了時間をあらかじめ計算して必要に応じてキャリヤを待機させる方式となっている。

キャリヤの動作確認は、走行については位置検出器の On から Off の変化、及び Off から On の変化を順次 チェック する プログラム が組まれ、ハンガ の持上げ、移動の確認はキャリヤについている フック 下限 及び フック 上限 の検出器の変化で行う。

形材の確認は、ハンガ の移動による ハンガ 検出器 (在荷 センサ) によって行われる。これらの信号によって計算機内部の形材情報を移動させる方式がとられているが、表面処理 ライン のように環境条件が悪いところでは検出器の誤動作も多く、この信号だけに頼ることは危険であるため、形材の移動の確認には更に ソフト 的な確認方式を併用している。

### 7.7 電気量の制御

表面処理 ライン で形材を電気化学的に処理する工程は次の 3 工程である。

#### (1) 陽極酸化処理 (アルマイ特 处理)

表 3. 印字項目一覧

毎回印字項目	集計印字項目
製品名	製品名
形番	形番
長さ	月・日・時間
良品本数	良品重量
不良品本数	不良品重量
総本数	

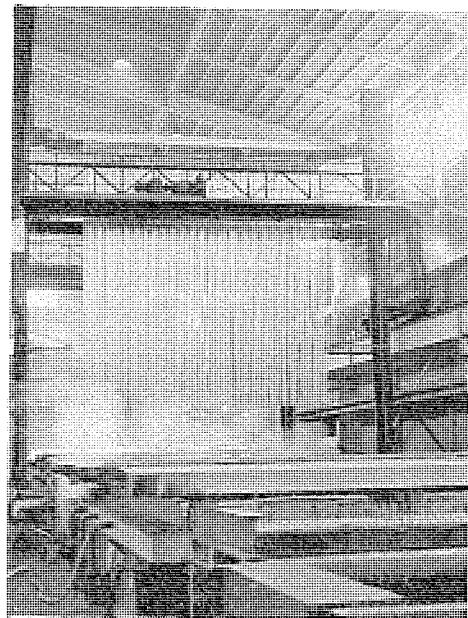


図 4. 表面処理 ライン

#### (2) 交流発色処理 (カラー処理)

#### (3) 電着塗装処理

計算機による表面処理 ライン の制御は、形材の総表面積及び形材の形状が記憶されているので容易である。

陽極酸化処理については、前に述べたように D. D. C 方式がとられ計算機から整流器制御部に対して無電圧接点のデジタル信号データが出力される。陽極酸化の処理時間は、最適電流密度の範囲内で前後工程とのタクツタイムのバランスから設定され、その時間に合った電流密度が算出される。

交流発色処理及び電着塗装処理については S. P. C 方式がとられている。あらかじめ処理表面積及び形状係数からそれぞれの通電時間値及び初期電流値を計算機が算出し、それぞれの制御装置にそのデータ値をデジタル出力する。

制御装置は受けたデータ設定値に合うようにローカル制御を行う。データ設定値に対して処理した品質が異なる場合は、あらかじめ計算機が記憶している形材情報の要因値やデータ値及び算出式を修正する。

## 8. むすび

今回、電解工場の搬送方式を合理化したことにより、多種多量の形材の搬入・搬出にもかかわらず、入側形材搬送 ライン 及び出側形材搬送 ライン を、それぞれ 1 名の操作員で管理できるようになった。

また、表面処理 ライン に計算機を導入したことにより陽極酸化皮膜の厚さが一定となり、その結果発色 カラー の色合わせが容易になった。キャリヤの走行については通常 14 分のタクツタイムで運転するが、形材の種類、空 ハンガ の条件によってタクツタイム 12 分で処理することがあり、生産性を向上させた。

今後の表面処理 ライン に要求される計算機の役割は、特に カラー 処理の自動色調整、建浴の自動化及び溶液の再生に向けられるであろう。

電解工場の改善としては、形材の生産管理が中心となり、処理スケジューリング、在庫管理、更には製造原価が管理できる方式が採用される。

# マイクロプロセッサの保護リーシステムへの応用

鈴木 健治\*・前田 耕二\*\*

## 1. まえがき

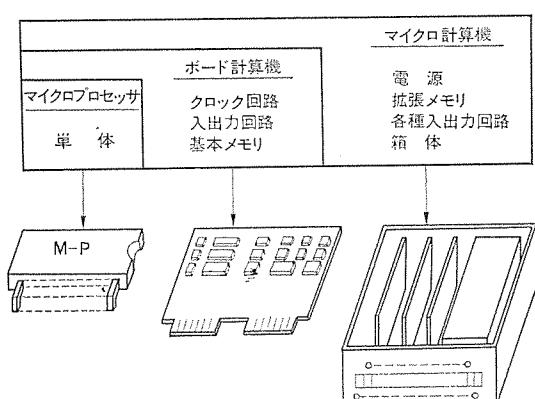
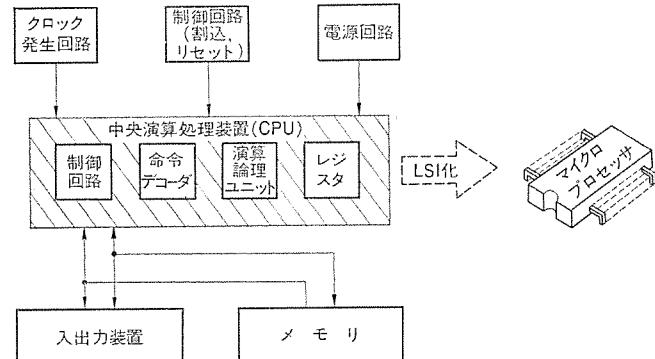
マイクロプロセッサの広い分野にわたる応用が経済性、信頼性に有利性を与える。電力分野においても保護制御機能の高度化、あるいは増改設時の変更容易化、メンテナンスフリー化へのひとつの方向としてデジタル処理が注目され、従来技術に大きなインパクトを与えようとしている。

マイクロプロセッサ、半導体メモリ等のLSI素子の発達により、保護リレー分野においてもデジタル処理化の研究開発が世界的な規模で行われつつある。

現在は、保護リレーのマイクロプロセッサ化の出発点であり、この関連する技術についての現状における基礎的事項をレビューし、今後の指針となる事項をまとめたものである。すなわち、リーシステム、技術課題、今後の検討課題について、それぞれの主要部を述べることにする。

## 2. マイクロプロセッサと半導体メモリ

マイクロプロセッサはコンピュータ構成要素から図1に示した中央処理装置をLSI化したものであり、これにデジタル処理を行わせるためには、周辺回路を装備させる必要がある。この周辺回路の装備の程度により単一機能からミニコン程度まで自由に構成することが可能であ



り、図2.に示したようにボード計算機、マイクロ計算機等の呼称が与えられている。

市場で現在主流をなしているマイクロプロセッサの代表的なものは8ビット構成のCPUとして完結したタイプのものと、2ビット又は4ビット構成で拡張使用されることを考慮した半完結タイプのものがあり、これらを保護リレーの観点から比較すれば表1.に示したものとなり、更にリレーとしての精度面からも併せて考えれば8ビットでは不十分であり、2N又は4Nビットで拡張使用可能なものであるほうが望ましい。

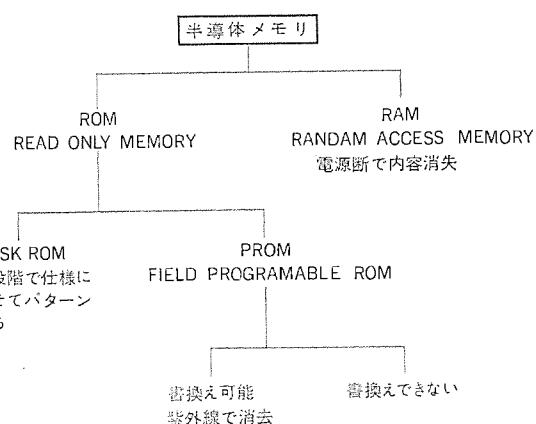
したがってマイクロプロセッサは単一機能構成とすることができるのに機能別ブロック積上げ方式で構成される保護リレーには有利な道具の一つであると考えられる。

更に保護リレーをデジタル処理する際に用いられるメモリはあらかじめ処理する手順（プログラム）を格納する記憶エリアと、系統からの情報を一時的に格納する記憶エリアが必要であり、消費電力、大きさ、高速応答性の面から半導体メモリが有利である。

これらの半導体メモリは図3.に示した種類があるが、プログラムを格納する記憶エリア用としては停電があってもその内容が消失しないROMタイプメモリが必要であり、情報を一時的に格納する記憶エリア用としては絶えずその内容を書き換える必要からRAMタイプメモリが適当である。

表1. 各種マイクロプロセッサの特性比較

	I-8080	I-3000	MMI 6701 / AMD 2901	備考
概要	8ビット構成でCPUとして完結したタイプ	2ビットストライスのタイプ	4ビットストライスのタイプ	
ビット/チップ	8	2	4	
語長	8ビット/ワード	2Nビット/ワード	4Nビット/ワード	演算精度
拡張性	困難	容易	容易	
演算速度	5.7μs	1.48μs	1.42μs	処理能力



### 3. デジタルリレー システム

従来のアナログリレー システムに比べて、デジタルリレー システムの相違点は、前者が、5 A あるいは 110 V のようにエネルギーを伝達しているのに対し、後者は 5 V の信号を伝達していることである。更に後者は、データの記憶、分配が得意である点に代表される。

これらの観点からデジタルリレー システムをみた場合、下記に大別されたものとなる。

#### 3.1 現地変換方式と屋内変換方式

アナログ電気量をデジタル電気量に変換する場合、これを現地の PCD の直下に設置して、従来ケーブルを信号線に置換するもので、図 4. に示したシステム構成図となる。

この方式ではケーブルスペース及び負担を減少させて、少數の信号線で屋内までデジタルデータを伝送させ得るが、受信したデータの妥当性をチェックする手段が必要となり、現地の A/D 変換部に供給する電源、及び A/D 変換部のサージ・ノイズ対策の手法が今後の課題となる。

屋内装置では S/P 変換されたデータをデジタルリレー部の RAM 内に取り込み、ROM に書込まれているプログラムに従って、マイクロプロセッサ (M-P) が演算を実行し、整定値を記憶してある整定メモリ (ディジスイッチのような機械的メモリが一般的である) の値と比較して、レベルアウト (L/O) からしゃ断器の制御信号を出すと同時に人間に對して判断結果及び動作結果を通報することで構成できる。一方、人間からデジタルリレーの制御はインタラプト (IT) 及び整定メモリ (K) を通して行うことになる。

一般的に系統保護リレーの機能をみると、各サンプリングごとに系統の異常の有無を判断する機能と、判断結果の印字機能等、処理ひん度の高低、あるいは要求される信頼度の違いによりデジタル処理部を使い分ける等、機能分割を考慮しておくほうが、増改設、保守等の面からみても都合がよい。

これに対して、屋内変換方式は図 4. の現地変換部装置を屋内に持ち込んだもので、構内伝送が不要である反面、デジタルリレー盤で系統からのサージ・ノイズを防止する必要がある。

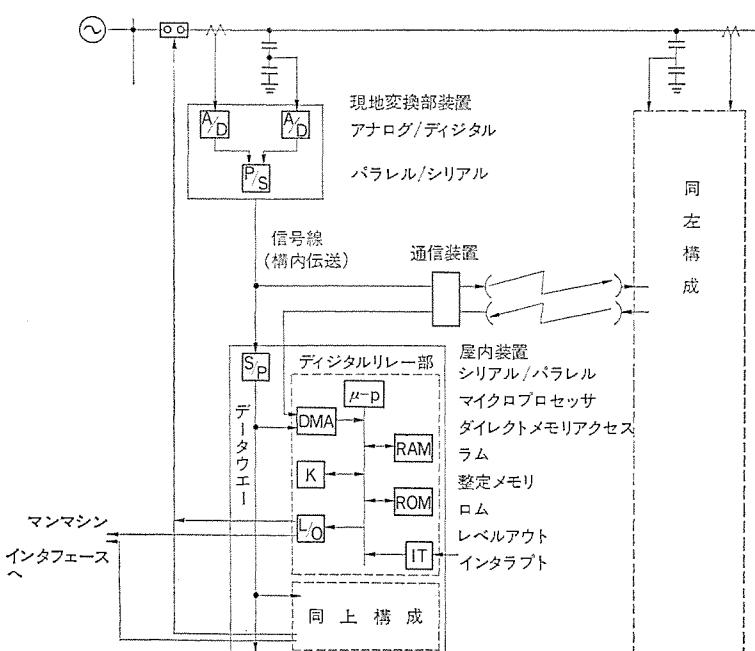


図 4. デジタルリレーシステム構成図

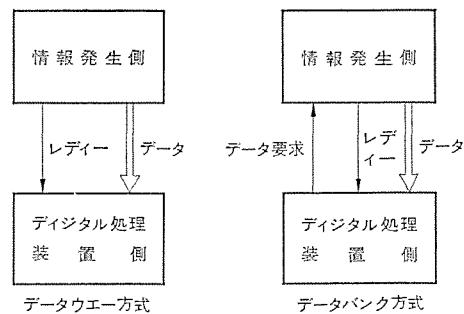


図 5. データウェー方式とデータバンク方式

#### 3.2 データウェー方式とデータバンク方式<sup>(8)</sup>

システムを情報フローの観点からみると図 5. に示したようにデータウェー方式とデータバンク方式に大別される。

データバンク方式は、デジタル電気量の特長を押し進めたもので、デジタル量を扱う事によって初めて可能となる情報の一元化を目指すものである。これについては現在計算機の分野でマルチアクセスの手法等に関する技術課題が検討されている。保護リレーにこの手法を適用する場合図 5. に示したブロック構成となるが、信頼度面、及び増改設、保守、についての配慮が必要である。

データウェー方式の一具体例については図 4. に示したとおりであるが、保護リレーとしてみた場合、複数本の信号線を用いることにより、装置障害により機能停止範囲が局限できること、及び増改設に際して当該部分の停止で対処し得るなどの配慮をしておくことが必要である。

### 4. デジタルリレーの技術課題

デジタル処理保護リレーを構成する場合、電力系統からもたらされる情報はアナログ情報であるため、当然のことながらこの情報をデジタル情報に変換してやる必要がある。したがって、サンプリング方式、フィルタ、量子化について明確にしておく必要がある。

#### 4.1 サンプリング方式<sup>(1)(2)(3)</sup>

保護リレーシステムを決定づけるサンプリング方式として表 2. に示した分類があるが、隔たった地点間で差動保護が適用しやすいこと、処理装置側で同期の補正がないこと、処理装置を機能ごとに占有できること、高速動作が期待できることなどから同期、常時、直接サンプリング方式が適当であろう。

これらを図示したのが図 6. で A, B 両端を同期してサンプリングすることを示しており、各端の電圧、電流を同期してサンプリングしてあるため、相手端情報を必要とする主保護、及び自端情報による後備保護のとりやすい方式となってくる。

#### 4.2 フィルタ

一般にアナログ電気量をデジタル電気量に変換する場合、系統情報に含まれる各種の調波に対してデジタル電気量に変換した際、何調波までの再現性を期待するか、更にはデジタル保護リレーとして系統保護をする場合、何調波までの情報があればよいか、リレーの動作時間のねらいをどこにおくかあるいはアルゴリズム処理に要する時間とマイクロプロセッサの処理能力からサンプリング

表 2. サンプリング方式の分類

分類	概要	比較
同期別	電力系統のすべての電気所間の電圧・電流を同一時刻でサンプリングする方式	全系のブロックを同期化させる装置が必要である反面処理装置側で同期の補正が不要
	電気所内の電圧・電流を同一時刻でサンプリングする方式	相手端情報を必要とする保護方式では処理装置側で同期化補正が必要
目的別	常時	機能分担の配慮が必要で、処理装置を機能ごとに専有化させる必要がある
	割込み	処理装置の外部に故障検出を設け、これの作動を条件に最優先割込みで保護演算を行う方式
手法別	直接	新しく考案された保護演算の適用が容易であり高速動作に適している
	間接	処理装置の負荷軽減と入力波形歪の処理を交流側にゆだねた方式

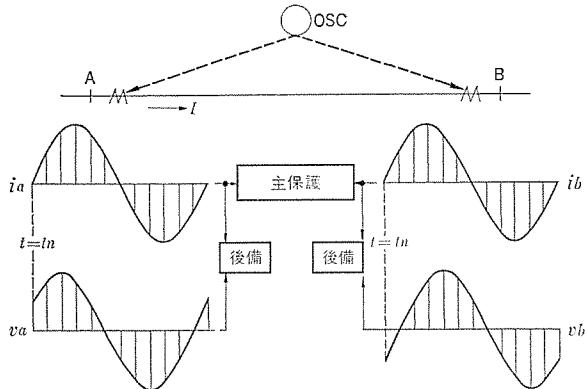


図 6. デジタルリレーのサンプリング

周波数が決定されてくる。

一方、現用のアナログリレーはベクトルを基本にして構成されており、変圧器保護を考慮して基本波及び第2調波のみを主体に構成されている。

以上の事柄から、リレーの演算原理及び動作時間、信頼性向上のための常時点検を含めた処理機能とマイクロプロセッサの処理能力から30°間隔でサンプリングするのが妥当であり、シミュレーションの結果からも十分実用的であることが判明した。

このため、フィルタとしては折り返し誤差を逃げるために第12調波に対して減衰極を有するローパスフィルタの設置が必要となってくる。更に、瞬時値同志の差動を行なう方式であれば、時間の流れに無関係であるから、電力系統の同期をとれば、フィルタは不用となる。

したがってアナログデジタル変換部の交流側に設置されるフィルタの方式についてもいくつかの方法があり、これらのフィルタの用法については今後の検討課題の一つであろう。

#### 4.3 量子化<sup>(4)</sup>

アナログ電気量をデジタル電気量に変換する場合、保護リレーからみると入力の変化幅が広いため、所定の入力範囲で精度を確保するためには、ある程度のビット数の増大を許容して量子化誤差を低減する必要がある。

符号ビットを含めてNビットのA/D変換器を用いるものとし、対称入力の最大と最小の比をK、最小入力の誤差をεとすれば、最大入力をA/D変換器のフルスケールに調整するため、1ビット当たりの分解能は、最大入力/ $2^{N-1}$ となる。したがって最小入力に対する

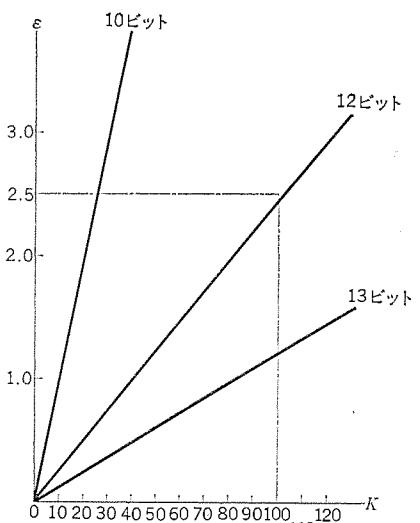


図 7. 入力倍率と量子化の相対誤差

相対誤差 ε は

$$\frac{K}{2^{N-1}} \times 100 = \varepsilon \quad \dots \dots \dots (1)$$

となる。図 7. はビット数をパラメータとして横軸に K、縦軸に ε をとって示したものである。

演算処理途上の丸目誤差が出ないように処理装置のビット数を決定する必要がある。量子化の相対誤差 ε を 2.5 %、比 K を 100 程度にとれば 12 ビットの A/D 変換器でリレーのアルゴリズムを実行したとき、その相対誤差は加算に対しては図 7. に示されているが、乗算に対しては相対誤差が 2 倍となるため、アルゴリズム決定時、この面の配慮が必要である。

#### 5. リレーの演算原理とその特性

デジタル保護リレーとして機能させるためには、デジタル量化された系統情報から、事故の有無、事故域、事故点を正確に判断させる必要がある。デジタルリレーでは演算処理手法により任意の特性をもつものが実現可能であるが実用に際しては最適実用処理方式を用いる必要があろう。

##### 5.1 デジタル電気量の処理

アナログ電気量を所定サンプリング周期で標本化し、これを量子化したものがデジタル電気量であるから、これは時間的に刻々変化しており、一方リレーの整定値は時間に関係なく一定であるからデジタル処理リレーの原則は、入手したデジタル電気量を用いて、時間に無関係となる量を割り出す方法が一般的である。更にはサンプリング周波数を無限大にすれば（入力波形を極めて密にサンプリングすれば）アナログ波形を扱うのと同じになる。したがってデジタル電気量の処理も離散的なアナログ電気量の瞬時値を処理することと等価なものとなる。

##### 5.1.1 処理手法

###### (1) 数値積分による移動積分法

所定期間の瞬時値を加算するもので、新しいデータが入力されるごとに一番古いデータをクリアする方式である。この方式では、サンプリング周期は入力の周期を偶数等分する必要があり、入力データの絶対値をとる必要がある。

一般にサンプリング開始位相角を α、サンプリング間隔（度）を φ とし、時刻  $t_n$  のときの入力波形の瞬時値を  $p_n$ 、入力波形を  $P \sin \omega t_1$  移

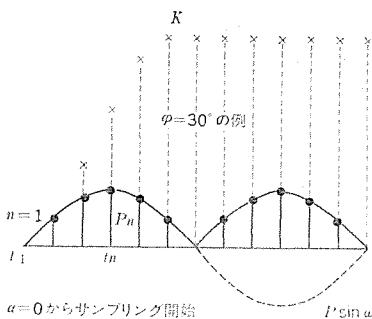


図 8. 移動積分法

動積分法により得られた電気量を  $K$  とすると、図 8. に示したように、 $n=1$  からサンプリングを開始したものとすれば、

$$n=1 \text{ のとき } p_1 = P \sin \omega t_1 = P \sin \alpha \dots \dots \dots (2)$$

$$n=2 \text{ のとき } p_2 = P \sin(\alpha + \varphi) \dots \dots \dots (3)$$

$$n=k \text{ のとき } p_k = P \sin\{\alpha + (k-1)\varphi\} \dots \dots \dots (4)$$

となり  $\varphi$  について等差数列をなすから下記の関係式を得る。

$$\begin{aligned} K &= \sum_{n=1}^k |p_n| \\ &= P \left| \frac{\sin\left(\alpha + \frac{k_1-1}{2}\varphi\right) \sin \frac{k_1}{2}\varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right| + \left| \frac{\sin\left(\alpha + \frac{2k+k_1-1}{2}\varphi\right) \sin \frac{k-k_1}{2}\varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}} \right| \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

ここで  $k_1$  はサンプリングの始まりから、入力波形の符号が変化する寸前の数であり、 $k_1 \leq k$  である。図 8. は  $\alpha=0$ ,  $\varphi=30^\circ$  とし  $k=6$  としたもので  $K$  は第 6 サンプル目から直流レベルとなることが分かる。更に式(3)からこの方法はサンプリング開始時刻により（サンプリング開始時刻で  $\alpha$  は  $0 \sim \pi/k$  まで変わり得る） $K$  は若干値が変わることになる。

## (2) 数値微分による導関数法<sup>(7)</sup>

サンプリング周期と系統周波数は移動積分のように所定の因数関係に規定する必要はないが、図 9. に示すようにサンプリング間隔（時間） $h$  が比較的小さければ  $p_{n-2}$ ,  $p_{n-1}$ ,  $p_n$  の 3 サンプル数から時刻  $t_{n-1}$  における微係数を求め、これから大きさを求めるものであるが、数値微分を行うため原理誤差を含み、 $h$  を小さくしていった場合でも A/D 変換器の量子化誤差の影響を受けるため精度面への配慮が必要である。

図 9. (1) から時刻  $t_{n-1}$  の微係数  $p'_{n-1}$  は

$$p'_{n-1} = \frac{1}{2h}(p_n - p_{n-2}) \dots \dots \dots (6)$$

となり、入力波形を時間  $t$  で微分したものに近似し得るから

$$p'_{n-1} = \frac{1}{2h}(p_n - p_{n-2}) \approx \omega P \cos \omega t_{n-1} \dots \dots \dots (7)$$

となり図 9. (2) の導関数を得る

これらから時間に無関係な量として

$$p_n^2 + \left(\frac{p'_{n-1}}{\omega}\right)^2 = (P \sin \omega t_n)^2 + \left(\frac{\omega P \cos \omega t_n}{\omega}\right)^2 = P^2 \dots \dots \dots (8)$$

を得、図 9. (3) に示したように高速度に大きさを得るが、 $30^\circ$  サンプリングの場合、幅で 9% 程度変動幅を有するものとなる。

## (3) 積演算による方式<sup>(5)</sup>

従来の誘導円筒要素のトルク発生原理と同様に、2 個の量

$$P_1 \sin \omega t \dots \dots \dots (9)$$

$$P_2 \sin(\omega t - \theta) \dots \dots \dots (10)$$

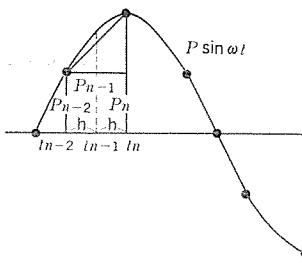


図 9. (1) 微係数導出

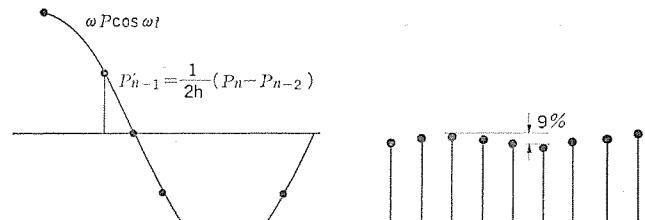
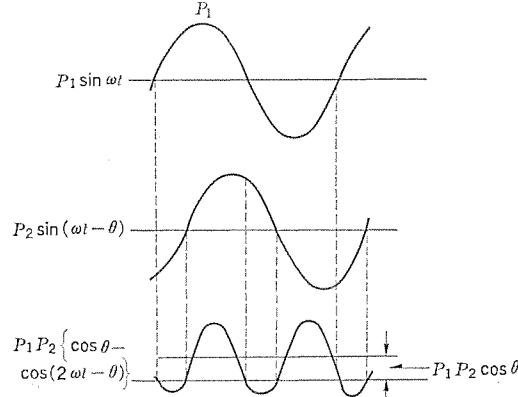
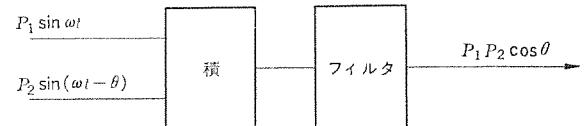


図 9. (2) 導関数



図 9. (3) 大きさの2乗



の積をとると、

$$P_1 \sin \omega t \times P_2 \sin(\omega t - \theta) \approx P_1 P_2 \{ \cos \theta - \cos(2\omega t - \theta) \} \dots \dots \dots (11)$$

となって、これから第 2 高調波を除去すれば、 $P_1 P_2 \cos \theta$  を導出できる。したがって、2 個の量の同一時刻におけるサンプリングデータの積をとり、適当なデジタルフィルタで第 2 高調波を除去すれば 2 個の量のスカラ積を求めることが可能、この積の極性を判別すれば、誘導円筒要素と全く同一の性能を出すことができる。 $P_1 = P_2$ ,  $\theta = 0$  とすれば、単一量の 2 乗値も求めることができる。

デジタルフィルタとしては、上記(1)項のような移動積分を利用する方法もあるが、4.2 節の加算フィルタを利用して、 $90^\circ$  前の積値との和をとると、容易に第 2 高調波を除去できる。この場合の一般式は、 $P_{1n}$ ,  $P_{2n}$  を現時点のサンプリング値、 $P_{1n-x}$ ,  $P_{2n-x}$  を $90^\circ$  前のサンプリング値とすれば、

$$P_{1n}P_{2n} + P_{1n-x}P_{2n-x} = P_1 P_2 \cos \theta \dots \dots \dots (12)$$

また、 $P_{2n}$ ,  $P_{2n-x}$  をおのおの $90^\circ$  遅らせば、 $P_{2n} \rightarrow P_{2n-x}$ ,  $P_{2n-x} \rightarrow -P_{2n}$  となり、式(12)は、

$$P_{1n}P_{2n-x} - P_{1n-x}P_{2n} = P_1 P_2 \sin \theta \dots \dots \dots (13)$$

となって、ベクトル積も得ることができる。ただし、この第 2 高調波フィルタを用いるときは、サンプリング周波数  $f_s$  を

$$f_s = 4nf \quad (n=1, 2, 3, \dots, f = \frac{\omega}{2\pi}) \dots \dots \dots (14)$$

にする必要がある。

## (4) 暫時値比較法

前の 3 手法が SHANNON の標本化定理に従うものであるが、この手法はこの定理の範囲外にあるもので、全く同一時刻のサンプリング値の代数和をとるものであるが、この値は、時間的に変動するので、一定レベルで判断する場合適当な処理が必要となる。また、距離的に隔たる場合には、伝ば(播)時間を考慮する必要がでてくる。

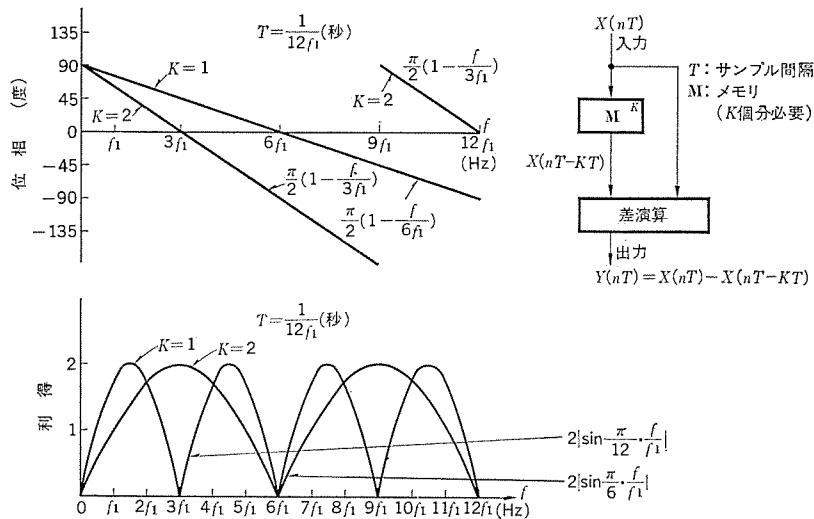


図 11. 差分 フィルタ

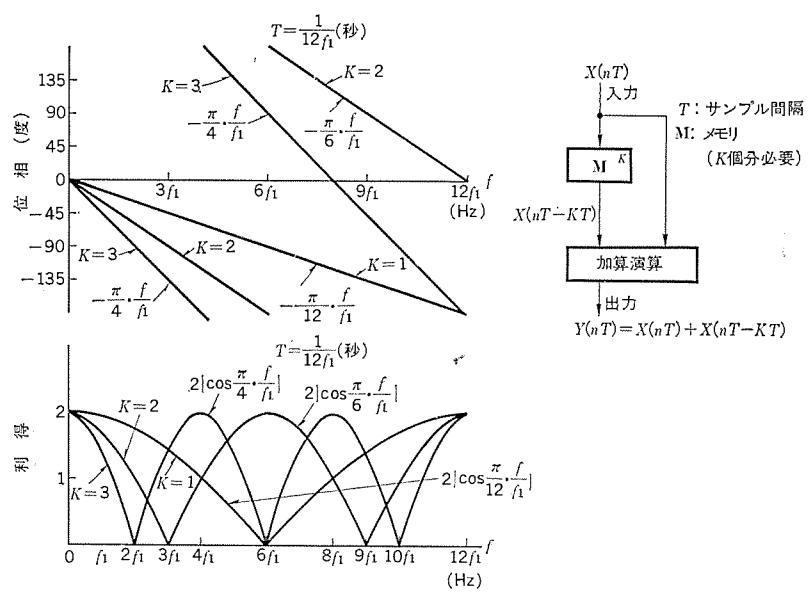


図 12. 加算 フィルタ

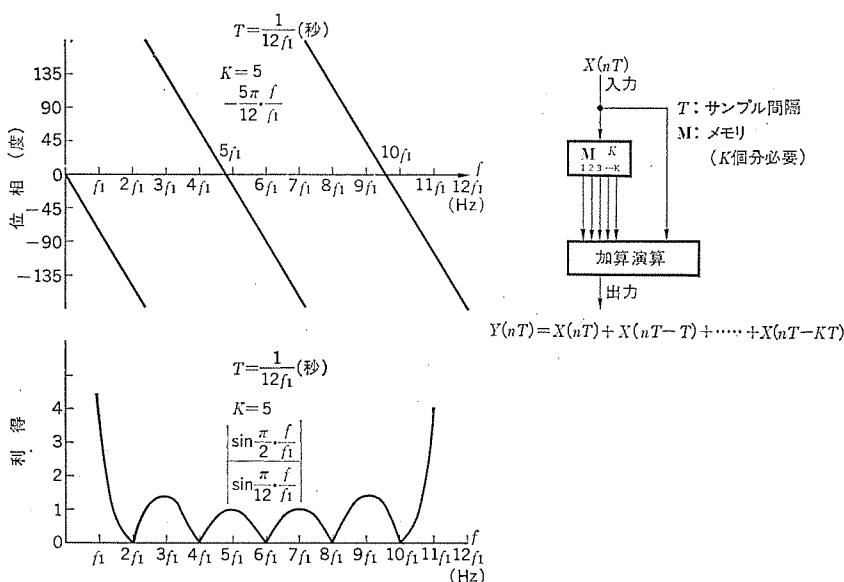


図 13. 積分 フィルタ

以上の 4 手法が デジタル 電気量の処理の基本で、これらの組合せ、あるいは、これらの考え方の組合せで保護リレーとして必要な特性を付与することが可能となる。

### 5.2 デジタルフィルタ<sup>(9)</sup>

入力データをリレーとして処理する場合、一般的に、時間に無関係な量として処理するため、基本波のみを対象として考えられるのが普通である。演算原理が選定された後、直流分、高調波分が重畠された場合を想定して、主としてシミュレーションを経て、最適アルゴリズムが決定される。この場合演算原理上波形ひずみの影響を避けられない場合、動作速度的に有利な デジタルフィルタ が用いられる。

デジタルフィルタは、入力される最新のサンプリング量を  $X(nT)$  最新のサンプリング時刻を  $nT$ 、サンプリング時間幅を  $T$  とし、これから  $K$  サンプリング前のデータを  $X(nT-KT)$   $K$  回前のサンプリング時刻を  $KT$  とし、フィルタの出力を  $Y(nT)$  とするとき、下記のものとなる。

#### 5.2.1 差分 フィルタ

このフィルタは直流分を除くために用いられるもので下式で示されたものである。

$$Y(nT) = X(nT) - X(nT-KT) \quad \dots \dots \dots (15)$$

この式を  $Z$  変換して、

$$\begin{aligned} Z[Y(nT)] &= Z[X(nT) - X(nT-KT)] \\ &= X^*(Z)(1-Z^{-K}) \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (16)$$

式(17)の パルス 伝達関数  $H_D^*(Z)$  は

$$H_D^*(Z) = Y^*(Z)/X^*(Z) = 1 - Z^{-K} \quad \dots \dots \dots (17)$$

で示され、この利得を  $|G_D^*(j\omega)|$ 、位相を  $\phi_D$  とすれば、

$$\begin{aligned} |G_D^*(j\omega)| &= |1 - (\cos K\omega T - j \sin K\omega T)| \\ &= \sqrt{(1 - \cos K\omega T)^2 + \sin^2 K\omega T} \\ &= Z \left| \sin \frac{K\omega T}{2} \right| \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (18)$$

$$\phi_D = \tan^{-1} \left( \frac{\sin K\omega T}{1 - \cos K\omega T} \right) = \tan^{-1} \left( \cot \frac{K\omega T}{2} \right)$$

$$= \frac{\pi}{2} (1 - 2fKT) \quad \dots \dots \dots (19)$$

となり、基本波に対する比率  $G_D$ (P.U) 及び位相  $\phi_D$  を示したのが図 11. である。

図 11. から、直流分及び第  $\frac{n}{KT}$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ) 調波の除去が可能であり、 $KT$  時間後から フィルタ 出力を得ることができる。

#### 5.2.2 加算 フィルタ

このフィルタは高調波分を除くために用いられるもので下式で示されたものである。

$$Y(nT) = X(nT) + X(nT-KT) \quad \dots \dots \dots (20)$$

パルス 伝達関数を  $H_S^*(Z)$ 、利得を  $|G_S^*(j\omega)|$ 、位相を  $\phi_S$  とすれば、それぞれ下式で示される。

$$Y^*(Z) = X^*(Z)(1+Z^{-K}) \quad \dots \dots \dots (21)$$

$$H_S^*(Z) = 1 + Z^{-K}$$

$$|G_S^*(j\omega)| = |1 + \cos K\omega T - j \sin K\omega T|$$

$$= \sqrt{(1 + \cos K\omega T)^2 + \sin^2 K\omega T} = 2 \left| \cos \frac{K\omega T}{2} \right| \quad \dots \dots (22)$$

$$\varphi_s = \tan^{-1} \left( \frac{-\sin K\omega T}{1 + \cos K\omega T} \right) = \tan^{-1} \left( -\tan \frac{K\omega T}{2} \right) = -\pi f K T \quad \dots \dots (23)$$

図 12. から直流分を減衰させずに、直流分に重畠する高調波成分を除去することができる。

### 5.2.3 積分フィルタ

特定の高調波分を減衰させるとともに、直流分から無限の周波数領域にわたって指數関数的に減衰させることができる。

$$Y(nT) = X(nT) + X(nT-T) + \dots + X(nT-KT) \quad \dots \dots (24)$$

パルス伝達関数を  $H_1^*(Z)$ 、利得を  $|G_1^*(j\omega)|$ 、位相を  $\varphi_1$  とすると、それぞれ下式で示される。

$$\begin{aligned} Y^*(Z) &= X^*(Z) (1 + Z^{-1} + Z^{-2} + \dots + Z^{-k}) \\ &= X^*(Z) \cdot \frac{1 - Z^{-(k+1)}}{1 - Z^{-1}} \quad \dots \dots (25) \end{aligned}$$

$$H_1^*(Z) = \frac{1 - Z^{-(k+1)}}{1 - Z^{-1}} \quad \dots \dots (26)$$

$$\begin{aligned} |G_1^*(j\omega)| &= \left| \frac{1 - \{\cos(K+1)\omega T - j \sin(K+1)\omega T\}}{1 - (\cos \omega T - j \sin \omega T)} \right| \\ &= \left| \frac{\sin \frac{(K+1)\omega T}{2}}{\sin \frac{\omega T}{2}} \right| \quad \dots \dots (27) \end{aligned}$$

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} \{1 - 2(K+1)fT\} - \frac{\pi}{2} (1 - 2fT) = -\pi f K T \quad \dots \dots (28)$$

図 13. に  $K=5$  の例で示してあるが、偶数調波を除去することができる。

以上のデジタルフィルタを組合せればバンドパスフィルタが可能となり、このときは、パルス伝達関数は各フィルタのパルス伝達関数の積で示され、利得は各フィルタの利得の積となり、位相は各フィルタの和で示されたものとなる。

## 6. 実用化上の問題点と対策<sup>(4)</sup>

### 6.1 動作速度

デジタルリレーの動作速度は適用するアルゴリズムにより決定されてくる。実用されると思われるアルゴリズムは瞬時値差動を主体としたもの、乗除算を主体としたもの、加減算を主体にしたものとなろう。これらは系統の重要度から要求される動作速度から決まってくるものと思われるが、アナログ形のリレーに比べて大幅に高速化されるため、動作速度の規格の見直しが必要となってくると思われる。

### 6.2 信頼性

#### 6.2.1 ソフトウェア上での信頼性

信号レベルを取扱うため突発現象(サーボ・ノイズ)に対してデジタルリレーから不要信号を出さないようにすることが必要であり、この問題は高速動作をねらう場合、特に留意する必要がある。これらに対してはアルゴリズムでの対処も必要であるが、データの妥当性確認、複数回出力一致等が有効である。

#### 6.2.2 ハードウェア上での信頼性

これはサーボ・ノイズに対する素子の耐量上の問題と半導体の確率的な素子不良の問題があり、前者に対しては電源も含めて装置の入出力回路にこの種の外乱を侵入させないことが必要であり、光などを使った絶縁が有効である。特に電源については注意を要する後者は装置全体を簡素化して素子数を低減する必要があると思われる。このためには各処理装置を単機能化してある程度の分散化、機能分

割(保護リレーとしての演算をつかさどる装置、シーケンスをつかさどる装置)をし、多重化組合せ、最終出力 OR 構成が有効と思われる。

また LSI 素子は一般に電源容量が多く、発熱が大きいので、実装に当たっては十分注意する必要がある。

## 7. 今後の検討課題

### 7.1 耐サージ・ノイズ性<sup>(4)</sup>

デジタル処理リレーは LSI 素子の集合体であるため、外乱に対する環境用語であるダーティクリーンに対し、ベリーキーンの環境を作り出してやる必要があると考える。更には外部サージだけでなく内部サージに対しても十分な配慮が必要であり、これらは処理装置内での対策は、扱う信号が従来リレーに比較して極めて高速であるため、入出力部で完全に除去する必要がある。最近ではこれらのものに対する絶縁として光結合が大きくクローズアップされており、これの適用が進むものと思われる。

### 7.2 光ファイバ パイロットワイヤ<sup>(6)</sup>

相手端をも含めてデジタルリレーを適用する場合、相互にデータを送受する必要があるが、デジタル処理による高速度動作の可能性が追求されると、自然条件に左右されることなく信頼度の高い伝送媒体で高速度にデータを送受する必要が出てくる。これを可能にする一つの道具に最近脚光をあびている光ファイバがあり、これを使用した、同期信号、データの送受が具体化されてくるものと思われる。

## 8. むすび

以上、マイクロプロセッサを保護リレーに応用する観点からデジタル処理、実用化に当たっての問題点と解決方向について概略を述べたが、保護リレーを担当する側からみれば、このデジタル処理化の動きは、デジタル量の特質を見極めて、電力系統の保護制御に対する情報の整理、無配電盤化によるスペースセービング、ハードウェア、ソフトウェアの標準化による量産効果のコストダウン等魅力に溢れたものであり、機械式のリレーがトランジスタ化され、更に IC が導入されてきているように、マイクロプロセッサは電力分野の担当者が、判定要素の一つとして取扱うことの可能な部品であり、最適システム、最適アルゴリズムも近い将来決定されると思われる。

## 参考文献

- (1) 前田ほか：計算機系統保護装置、48年電気学会、974
- (2) " " " 975
- (3) 三木ほか：デジタル保護方式における基本演算方式、51年電気学会、902
- (4) 鈴木、前田ほか：マイクロプロセッサの系統保護リレーについての考察、51年電気学会、904
- (5) 鈴木、前田ほか：積演算によるデジタル保護方式、51年電気学会、900
- (6) 鈴木、前田ほか：マイクロプロセッサによるリレーの試作結果、51年電気学会、887
- (7) G. D. Rockefeller Fault Protection with a Digital Computer, IEEE, PAS 88, No. 4 (1969)
- (8) 鈴木、前田ほか：自動同期デジタル制御方式におけるデータワークの一括化と機能別化について、51年電気学会、914
- (9) 三木ほか：Study of Operating Principle and Digital Filter for Protective Relays with Digital Computer, IEEE, Winter Meeting, C-75 197-7 (1975)

# 簡易形座席予約端末装置

伊東俊一\*・清水巖\*・広尾果\*\*・今泉巽\*\*・林信喜\*\*

## 1. まえがき

“みどりの窓口”の愛称で親しまれているマルスシステムは、端末装置を全国の主要駅、営業所及び販売センタ等に設置し、特急、急行列車などの指定席券、寝台券等の予約販売を行っている。

ここに紹介する簡易形座席予約端末装置は、1日の発売量が比較的小ない中小駅用、及び旅行シーズンや年末年始などの多客期の発売量の波動を吸収するために設置する目的で開発された。

この装置は、昭和47年度から昭和49年度にわたり、技術課題として研究、開発された装置を実用化したもので、既設の電話交換網を利用して、簡単に指定券販売網を拡充し、旅客の利便を向上させることができた。

この装置は、従来の装置に比べて次のような特徴がある。

(1) 交換電話回線を利用し、電話機と切換えて利用できるため、特別な専用回線を新設することなく、広域にわたり、手軽に設置できる。

(2) 小形、軽量な卓上形なので、特殊な設置工事が不要なため、設備費が軽減でき、多客期などの仮設置にも適している。

(3) 列車名、駅名を符号化し0~9の数字として入力するので、少ないスイッチでも大形機とほぼ同等の機能がある。

(4) 故障原因の大部分を占める印刷機に高信頼度の小形ラインプリンタを採用したため保守が容易であり、プリンタを本体内に組み込むことが可能になった。

今般、実用機が完成したので、装置の概要と試験結果を以下に紹介する。

## 2. システムの概要

座席予約システムにおいて簡易形座席予約端末装置が占める位置を図1に示す。

簡易形座席予約端末装置は略称をK形と称し、電話交換網を通してN形集線装置と結ばれる。N形端末装置(従来の多機能、高性能な装置)は点線で示すように直接N形集線装置と結ばれている。集線装置とは文字が示すように、各端末からの回線を集め、回線数を

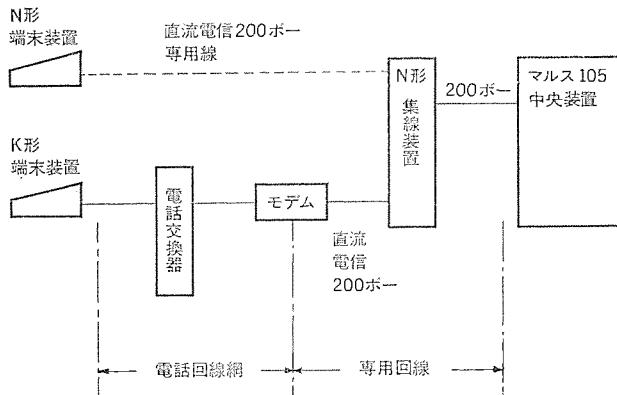


図1. 座席予約システム接続系統図

しほった後、中央装置と結ぶものである。したがってK形端末は、N形に比べ、電話交換機で回線をしほられ、更に集線装置で回線をしほられるので話中率は高くなるが、K形は元来、発売枚数の少ない地域に設置することを目的としたものであり回線利用効率からすると好ましいことである。マルス105中央装置は、“みどりの窓口”的愛称で親しまれているマルスシステムの中核をなすもので、指定席等の発売状況を記憶し、端末装置からの要求により、端末装置へ指定券などの印刷発券情報を送り出す装置である。

K形端末とマルス105中央装置間の信号伝送形態は、端末と集線装置間が周波数変調された直列8単位JIS符号、集線装置と中央装置間が直流電信であるため、K形端末を受入れる集線装置と電話交換機の間には、モードム装置を設置し信号伝送形態の相互変換を行っている。

## 3. 仕様

### 3.1 機能

簡易形(K形)端末装置が有する機能を、従来の多機能(N形)端末装置と比較する。

表1. 従来形と簡易形の機能比較

操作種別内容	簡易形(K形)	従来形(N形)
指定券発売	○	○
指定券乗車券併売	○	○
乗車券発売	×	○
営業試験	○	○
照会	○	○
座席指定発売	○	○
号車指定発売	○	○
取消	○	○
座席表示	×	○
残席状況表示	×	○
累計	○	○
塗除、再製	○	○
端末障害報告	○	○
保守試験通告	○	○
保守試験(固定回答形)	○	○
保守試験(要求情報返送形)	×	○
保守試験解除	○	○
電話発券	○	○

表2. 簡易形端末装置仕様

項目	内容
構造	卓上形 寸法: 435 W × 226 H × 620 D mm 重量: 32 kg
送受信符号	符号形式: JIS 準拠 7 単位+1 バリティ 同期方式: 調歩同期 符号検定: 水平垂直バリティチェック 伝送速度: 200 bps
変復調形式	周波数変調
電話接続形式	手動ダイヤル発信
印刷形式	印 刷 機: インパクト形ラインプリンタ 印字速度: 0.7 行/秒 印字数: 40 字/行 活字種類: 64 種
入力方式	テンキー及び回転スイッチ

末と比較して表 1. に示す。○印は可能な操作、×印は不可能な操作を表す。

### 3.2 装置の仕様

簡易形端末装置の仕様を表 2. に、構成を図 2. に示す。図 2. に示すようにこの装置は、電話機の直前に設置し、通常は事務用電話として使用し、座席予約を行う時だけ端末装置側へ回線を切換えて使用することが可能である。電話機は、通常の 600 号相当電話機を使用している。図 3. は、この装置の外観、図 4. は操作面、図 5. は表示面の外観である。

### 3.3 操作手順

表 3. に示す操作要項により操作した後、付属電話機を使い、最寄

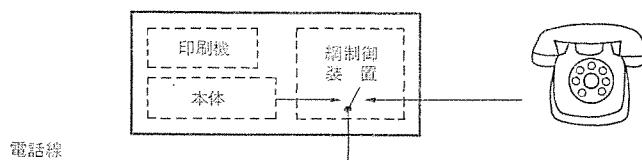


図 2. 簡易形端末装置の機器構成



図 3. 簡易形端末装置の外観

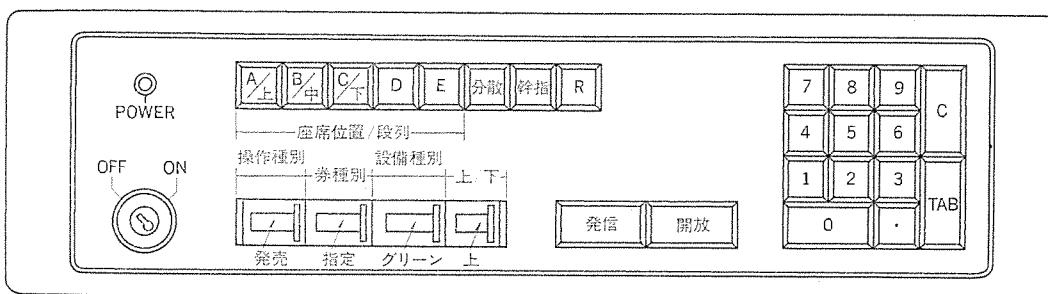


図 4. 操作面外観図

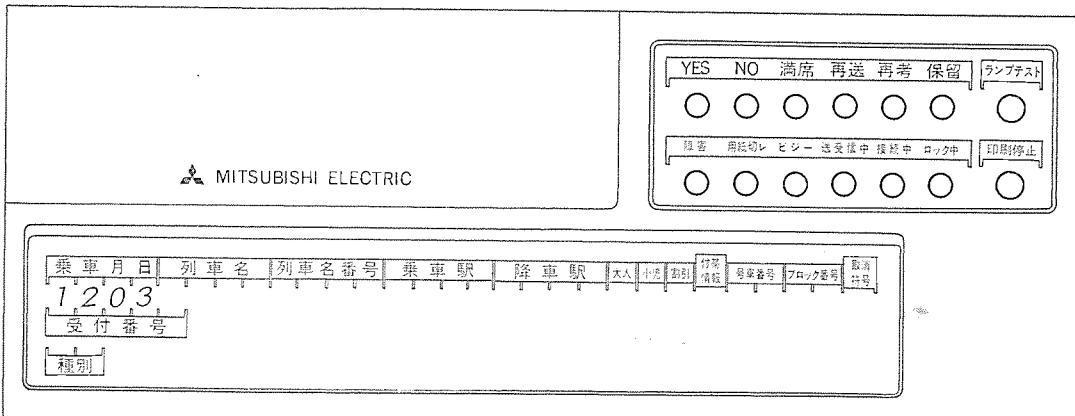


図 5. 表示面外観図

表 3. 操作要項一覧

番号	項目	スイッチの種類	内容
1	操作種別	回転スイッチ	発売、照会、営業試験、座席指定発売、取消、控除、再製、電話発券、集計
2	券種別	〃	指定、定員、指定+乗車券、定員+乗車券
3	設備種別	〃	普通、グリーン、B寝台、A寝台
4	乗車日	テンキー	乗車日を数字で入れる
5	列車名	〃	列車コードを数字で入れる
6	列車名番号	〃	列車名番号を数字で入れる
7	乗車駅	〃	乗車駅コードを数字で入れる
8	降車駅	〃	降車駅コードを数字で入れる
9	人數	〃	人數を数字で入れる
10	割引	〃	割引種別を数字で入れる
11	付帯情報	〃	増結、分散、増結分散を数字で入力する
12	号車番号	〃	号車番号を数字で入力する
13	ブロック番号	〃	ブロック番号を数字で指定する
14	取消符号	〃	取消の時チェック杆を入力する
15	座席位置	押しボタン	座席位置を押しボタンで指定する

りの集線装置をダイヤルで呼出し、集線装置から発している 1,750Hz の連続音 (ピーと言ふ音) を付属電話機の受話器を通して確認したのちに端末装置の発信ボタンを押して、受話器をもどし、指定券等の発券をした後自動的に電話回線は開放される。指定券等が発行されない場合は、図 5. に示すランプ情報によりその原因を知ることができる。

### 3.4 回線制御及びデータフォーマット

図 6. に回線制御手順及びデータフォーマットを示す。使用している記号の意味は、次のとおりである。

⊖, ⊕ : 発信ボタン押下以前は、回線が空いていることを示す情報、回線接続後は、回線開放要求情報として使用する連続スペース極性 (ロングスペース) の信号である。

⊕, ⊖ : 中央から端末に対しては、回線が話中であることを示す情報、端末から中央に対しては、回線接続要求情報として使用する連続マーク極性 (ロングマーク) の信号である。発信ボタン押下直後中央からの極性が⊖から⊕に変わるのは、中央が端末からのデータを受入可能であること、その後の⊕の連続は、情報送受のため回線を保留していることを表す。

STX, ETX, BCC, AC  
K, NAK : JIS 準拠の 7 単位 +1 パリティ の調歩式符号 (先頭にスタートビット、最後にストップビットを付加し、合計 10 ビットとして直列に 1 ビットずつ送る。) で、STX は情報ブロックの始まり、ETX は情報ブロックの終わり、BCC はブロックチェックコード、ACK は正しく受信できしたこと、NAK は正しく受信できなかったことを表す。

中央と集線装置間は直流電信区間で ⊖ は -10 mA, ⊕ は +10 mA で表し、集線装置と端末間は周波数変調区間で ⊖ は ⊖ に、⊕ は ⊖ に対応する。

発信ボタンを押下すると、

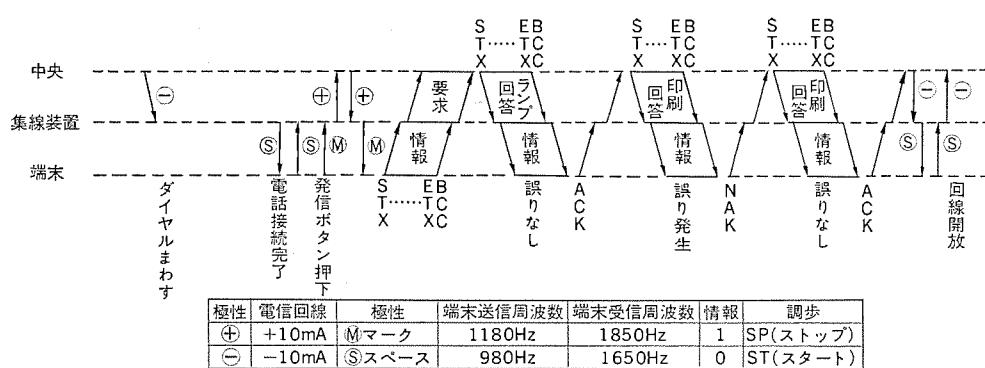


図 6. 回線制御手順及びデータフォーマット

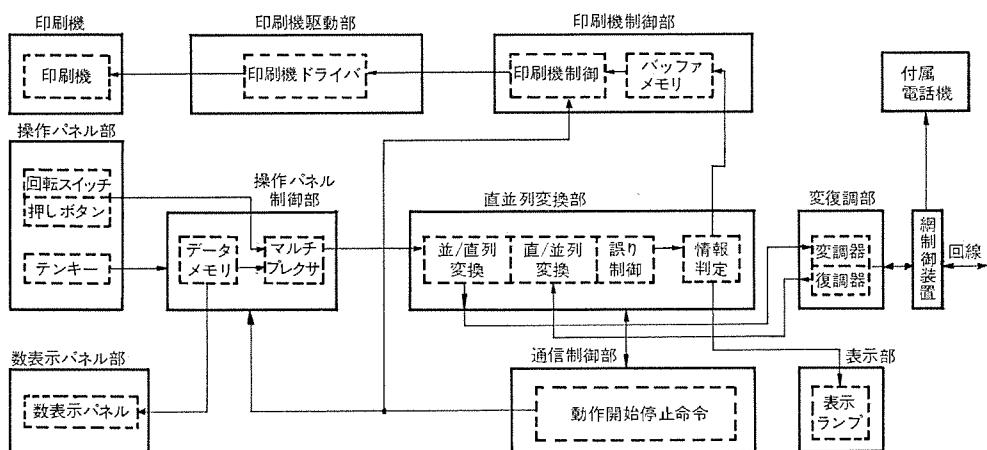


図 7. 端末装置の機能構成図

回線が空き (−) であれば端末は中央に対する回線接続要求情報をとして (+) を送出する。中央は (+) を受けた時に端末からの要求情報を受入れる体制にあれば端末に (+) を送り、端末は (+) を検出して指定券等の要求情報を中央に送信する。中央は送られてきた要求情報を従い、ランプ回答情報ブロック、続いて印刷発券回答情報ブロックを送出する。端末は各ブロック受信完了ごとに受信符号中に誤りがなければ ACK、誤りがあれば NAK を返送する。中央は NAK を受けると再度同一ブロックを端末に送り出し端末から ACK 受信後、端末へ送り出す回答情報がなければ端末に対して − を送り、端末は − を検出して中央に回線開放情報をとして − を送り返し通信を終了する。

### 3.5 端末装置の機能構成

図 7. に端末装置の構成を示す。構成図に示す各ブロックは プラグイン式のユニットになっている。

操作パネルは、予約要求情報を設定するもので、操作ひん度の低いものと 0~9 の数字に記号化するのが好ましくないものは回転スイッチ、その他は 0~9 の数字を設定するテンキースイッチを使っている。操作パネルで設定された情報は情報メモリに蓄えられ数表示パネルにその内容を表示しながら中央に送出されるのを待つ。

通信制御部は図 6. に示した回線制御及び中央との情報のやりとりをつかさどる部分で、あらかじめ定められた順序に従い各ブロックに動作命令を与える。

直並列変換部は中央と情報のやりとりを行うために符号変換を行う部分で、装置内部では並列の 7ビットの符号形態に、通信線路上では 2線式で通信するため調歩式直列 7ビット + 1 パリティの符号形態に相互変換している。

表示部は、中央から送られてくる情報のうちランプ回答情報だけを受けて表示する部分、印刷機制御部は印刷回答情報だけを受けて印刷機の印刷可能時期に合わせて印刷機へ送り出す部分である。

印刷機駆動部は印刷機の電磁石を駆動するために信号を増幅する部分である。

網制御部は、端末装置と回線を接続、開放する機能を持つ。

### 4. 交換電話回線の誤り率

図 8. は、鉄道技術研究所が簡易形端末を開発するに当たり実施した鉄道電話回線の特性実測結果の一部から S/N と誤り率の関係を各測定ごとに点で表したもので直線 B で平均的特性を予想した。誤り率の測定は、200 ポーの周波数変調されたランダム符号を使用して 7カ所で、1カ所当たり 5~10 回ダイヤルをしなおして行った。

この直線 B を具体的に簡易形座席予約端末装置が行う通信状態に適用してみると、S/N 20 dB の場合の誤り率は、直線 B 上において  $3.5 \times 10^{-6}$

であり、この値から 1ビットの誤りが発生する平均周期を算出すると 1,430 秒 (1ビットは 200 ポーなので 5 ms とする。) となる。端末装置が中央に向けて要求情報を送出する時間は約 2 秒、中央から回答情報を受信する時間は約 14 秒であるため、送信に関しては 715 回に対して 1 回、受信に関しては 102 回中 1 回情報が正確に伝わらず再度送受信を行う必要が生じることになる。図 9. は、図 8.

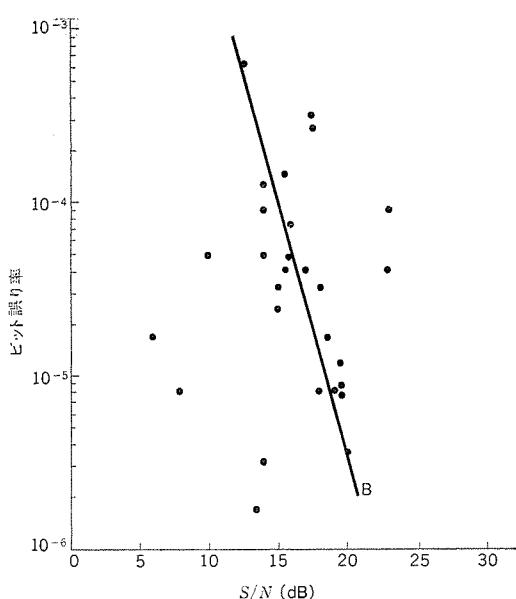


図 8. 電話回線の特性実測結果 (S/N と ビット 誤り率の関係)

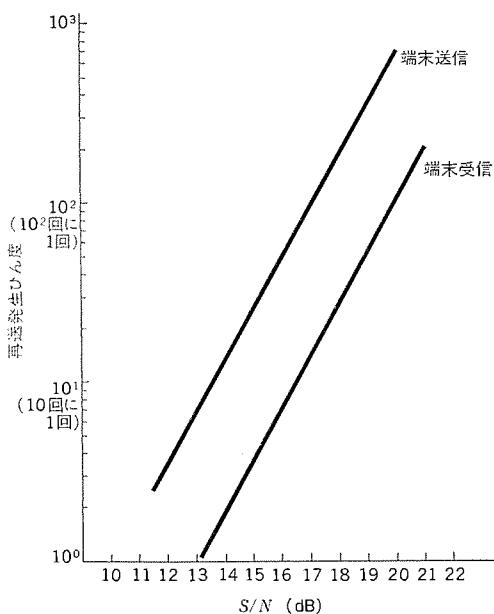


図 9. 電話回線の特性実測結果 ( $S/N$  と再送発生ひん度の関係)

の直線 B を、簡易形端末装置における  $S/N$  と再送発生ひん度の関係に書き直したものである。

この装置は回答情報の受信に関して自動再送要求機能を持っているため 3 回に 1 回程度の再送を許すとすると、図 9. により  $S/N$  15 dB まで使用可能となる。図 8. において  $S/N$  15 dB を満足しない点が数点あった。これらは回線の信号レベルを上げることにより(端局入力 -15 dB 以内)ほとんど解決できたが、特に雑音の多い回線については、良好な回線を再ダイヤルして選択し通信ができる事を確認した。

## 5. 印刷機

実用機と同一仕様の第 2 次試作機で公開試験を行いアンケート調査を行ったところ、大きさ、色、応答時間、印刷時間、操作パネルの斜度、使いやすさ、ランプの色、あかるさ等は 70~100 % の人々が良好との判断を出したが、動作音については 80 % の人がもう少し静かにすべきとの意見を述べた。動作音は印刷機から発生するもので、

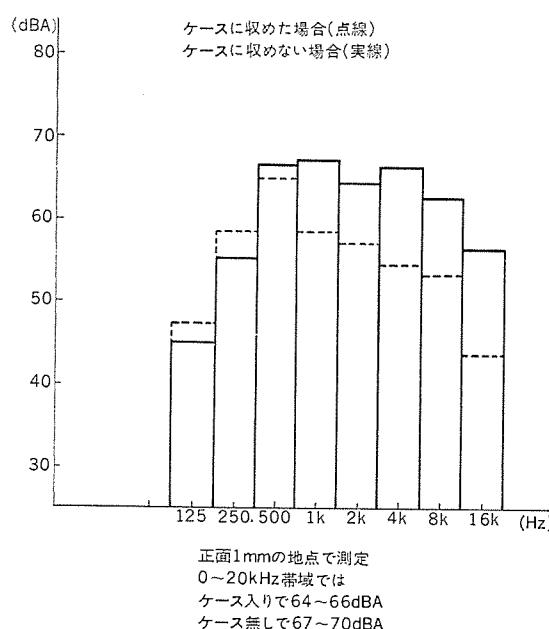


図 10. 印刷機の騒音実測結果

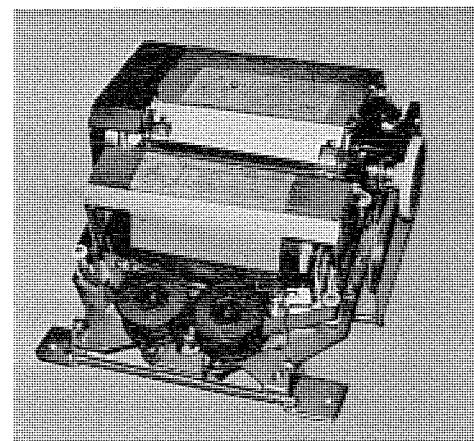


図 11. 印刷機外観

正面の 1 m 離れた点で 500 Hz ~ 1 kHz の成分を中心に最大 79~81 dB あり改善の対象となった。音源の主なものは、紙送り、リボン送りの時に発生する金属がすれ合う音、歯車、モータの回転音、活字が紙をたたく時に発生する紙の振動音で、紙の振動音以外は、音を装置ケース内に閉じ込めるか ケース側壁に吸音材を張り吸収することで解決し、実用機では更にプリントの紙送り機構を変更するなどして騒音を軽減させた。実用機の騒音測定結果を図 10. に示す。印刷機は、この装置で唯一の機械的部品であり、印刷機の信頼性が装置全体の信頼性を左右することになるので特に念入りに試験を行い、頭初の目標値である平均故障発生間隔 25 万行を十分満足する結果を得た。印刷機の外観を図 11. に示す。

## 6. 変復調装置

交換電話回線を使用するこの装置は、操作する度に使用する回線が変わるために起こるレベル変動、交換装置が発生する雑音など専用回線には無い要素の影響を受けるため、変復調装置でできる限りこれらの影響を軽減することが必要となる。このために実用機では専用の変復調装置を設計し、信号着信レベルが 0 ~ -42 dBm の範囲の任意の点で、受信フィルタ出力の  $S/N$  が 12 dB になるような雑音を加えても、ランダム符号のビット誤り率が  $10^{-5}$  を十分満足するものを使用した。図 8. に示した回線特性の実測結果では、 $S/N$  15 dB のビット誤り率が  $10^{-4}$  であり、変復調装置の性能に比べると差が生じているが、これは実回線の雑音と試験用の白色雑音の性質の差に起因した結果である。

## 7. むすび

現在各種試験を完了し、今後中央装置との結合試験を行い、営業開始される予定である。

全国の電話回線網を利用して、容易に設置できる長所を、最大限に活用し広い範囲においてこの装置が旅客のサービス向上に役立つことを期待する。

最後に、この簡易形座席予約端末装置の開発に当たって、ご指導、ご協力いただいた日本国有鉄道関係機関の各位に謝意を表します。

## 参考文献

- (1) 小川、伊東、井上、斎藤：第 10 回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集、205 (昭 48)
- (2) 伊東、清水：簡易形端末装置、鉄道通信 (昭 49-7)

# 低真空形電子ビーム溶接機用棒状熱陰極電子銃

上山善司\*・安永政司\*・佐々木茂雄\*・丹羽 隆\*\*・田野正博\*\*

## 1. まえがき

電子ビーム溶接機を生産工程に導入するとき、安定した溶接品質と安定した生産性を得ることが基本的な条件となる。

低真空形電子ビーム溶接機は、溶接ふんい気圧を  $5 \times 10^{-2}$  torr. 以下にすれば<sup>(1)</sup>、溶接継手の品質を、高真空形電子ビーム溶接機で溶接した継手と同等の品質にすることができ<sup>(2)</sup>、しかも、電子ビーム溶接機のか(稼)動時間の約30%を占める溶接室真空排気時間が、装置の使用歴や大気の湿度などの影響をほとんど受けることがないようになることができる。したがって、低真空形電子ビーム溶接機が実用化されて以来<sup>(3)</sup>、電子ビーム溶接機の溶接対象物は、小物部品から大型構造物へ、薄肉材から厚肉材へと範囲が広がり、その適用目的も、小物部品の量産溶接、長尺物の高速溶接、厚肉物の低ひずみ(歪)溶接など、多様化の傾向を示している<sup>(4)(5)</sup>。このような傾向の中で最近、溶接施工時に、溶接箇所の溶融池で発生して、電子銃室に流入する金属蒸気の量を減らす技術が開発されたので<sup>(6)</sup>、より厚肉材の溶接を目的として、電子ビーム溶接機用電子銃の高出力化が進められている。<sup>(7)</sup>

しかし、電子ビーム溶接機の電子銃を高出力化すると、陰極の寿命が短くなる傾向があるので、電子ビーム溶接機を生産工程に導入して、安定した溶接品質と安定した生産性を維持するためには、電子ビーム溶接機用電子銃の陰極の長寿命化が重要な課題であるとされている<sup>(8)</sup>。

筆者らは、電子銃を高出力化しても長い寿命が得られる陰極を実用化するために、各種方式の陰極について検討した結果、棒状熱陰極<sup>(9)(10)</sup>が、長寿命陰極として実用性が高いという結論を得て開発を進めてきた。

本稿では、棒状熱陰極を採用して実用化した低真空形電子ビーム溶接機用電子銃について、構成、機能、設計概念、主要特性などを紹介する。

## 2. 電子銃の概要

棒状熱陰極を採用して、実用化した低真空形電子ビーム溶接機用電子銃の外観を図1に、その構造を図2に示している。この電子銃は、電子ビーム加速電圧が60 kV、溶接ふんい気圧が  $5 \times 10^{-2}$  torr. として設計されている。

この章では、電子銃各部の構成と機能の概要について説明する。

### 2.1 陰極部

陰極部は、取換えなどのときに容易に着脱ができるように、プラグインユニットとして組立てられており、リング状締付ねじによって陰極部サポータに取付けられている。図3にプラグインユニットとして組立てられた陰極部と、リング状締付ねじを示している。

### 2.2 集束電子レンズ

集束電子レンズは2枚構成で、それぞれの焦点距離が独立可変になっている。したがって、溶接施工時に電子ビームの集束点の位置・集

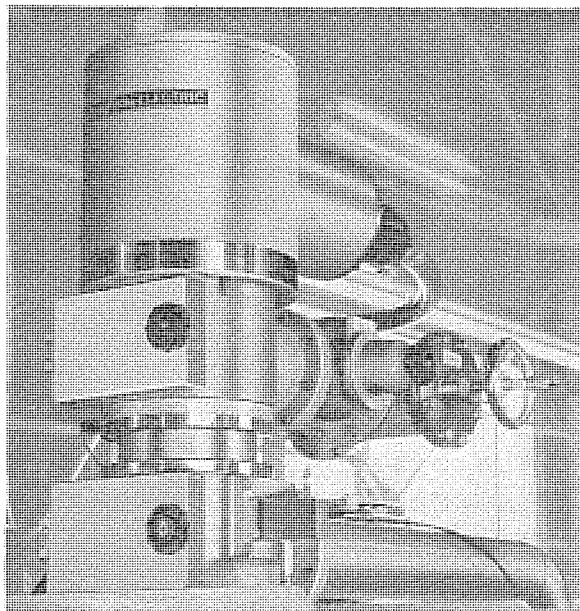


図1. 棒状熱陰極電子銃の外観

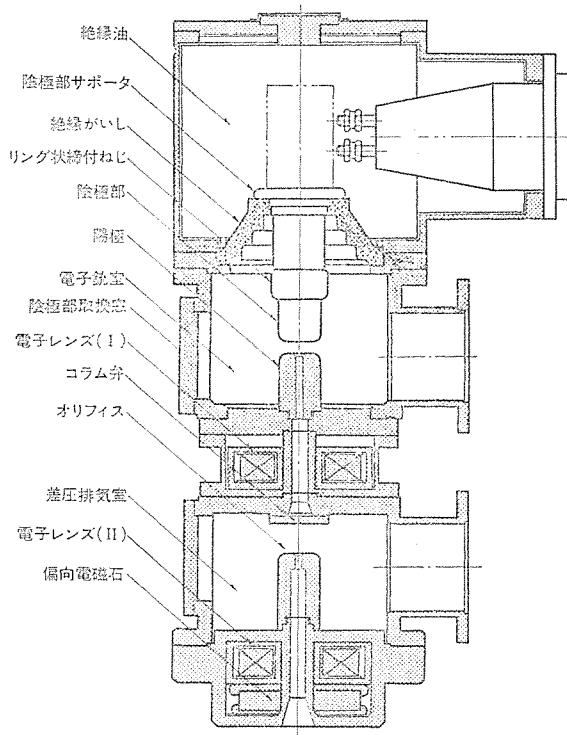


図2. 棒状熱陰極電子銃の構造

束角・集束径を調整して、最適の溶接条件を得ることができる<sup>(1)</sup>。焦点距離の可変範囲は30 mm~∞である。

### 2.3 偏向電磁石

電子銃から放射される電子ビームを、電子ビームの軸と垂直な面内で、2軸(X・Y)方向にそれぞれ独立に±15°の範囲でDC及びAC偏

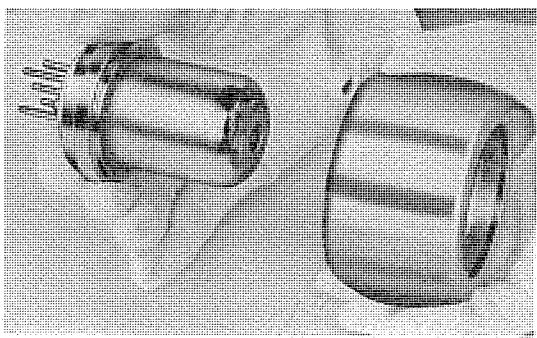


図 3. 陰極部 プラグイン ユニット

向することができる。

DC 偏向及び AC 偏向の効果は次のとおりである。

#### (1) DC 偏向<sup>(8)(11)</sup>

- (a) 溶接施工時に、溶接箇所への電子ビームの投入角度を調整することによって、最適の溶接条件を得ることができる。
- (b) 溶接施工時に、溶接箇所の溶融池で発生して、電子銃室に流入する金属蒸気の量を減らすことができるので、電子銃の動作が安定になる。

#### (2) AC 偏向<sup>(12)(13)</sup>

- (a) 溶接線に沿った方向の振幅を加減して、溶接箇所の加熱・冷却の速度を調整することによって、最適の溶接条件を得ることができ。
- (b) 溶接線を横切る方向の振幅を加減して、溶接ビードの断面形状を整形することができるので、開先の加工や溶接線の追従が楽になる。

### 2.4 差圧排気装置

電子ビームの径路内に差圧排気室を設けて、電子銃室と差圧排気室とを、それぞれ独立に真空ポンプで排気している。電子銃室と差圧排気室とは陽極こう(孔)によって、差圧排気室と溶接室とはオリフィスによって、それぞれ圧力差が得られるように設計されている。

差圧排気装置の機能は次のとおりである。

- (a) 溶接室の真空圧力が  $2 \times 10^{-1}$  torr. 以下になれば、電子銃室の真空圧力が  $1 \times 10^{-4}$  torr. 以下になり、電子ビームの放射が可能になる。
- (b) 溶接室の真空圧力が  $5 \times 10^{-2}$  torr. 以下になれば、溶接施工が可能になる。
- (c) 溶接施工時に、溶接箇所の溶融池で発生して、電子銃室に流入する金属蒸気の量を減らすことができるので、電子銃の動作が安定になる。

### 2.5 コラム弁

差圧排気室の内部にコラム弁を設けて、溶接室内の圧力が  $2 \times 10^{-1}$  torr. を越えるとコラム弁を閉じる。したがって、溶接室内を大気圧にするととも電子銃室内の真空圧力を  $1 \times 10^{-4}$  torr. 以下に維持することができる。その結果、陰極部は電子銃に装着されたら大気にさらされることがなく、電子銃の動作が安定になる。

### 2.6 その他

#### (1) 高電圧部の冷却

耐熱性絶縁油を用いて高電圧部を冷却しているので、陰極部の温度変化が少なく、電子銃の動作が安定になる。

#### (2) 電子ビーム軸の傾斜

電子銃は、電子ビームを垂直下向きから  $90^\circ$  の範囲で任意の向きに

放射するように設置することができる。

## 3. 基本設計

低真空形電子ビーム溶接機を生産工程に導入して、安定した溶接品質と安定した生産性を得るために、電子銃を高出力化するとき、電子銃が持つべき特性の中で、陰極の寿命と電子ビームの集束点における電力密度が基本的特性である。

この章では、低真空形電子ビーム溶接機用電子銃の陰極の寿命と電子ビームの電力密度について、設計内容を説明する。

#### 3.1 陰極の寿命

低真空形電子ビーム溶接機を、小物部品の量産溶接、長尺物の高速溶接、厚肉物の低歪溶接などに使用したときに、電子ビーム溶接機の保守に特別の配慮をしなくても、安定した生産性を維持するためには、電子銃の陰極の取換え周期が1週間以上であることが不可欠の条件である。

低真空形電子ビーム溶接機の稼動時間の中で、電子銃が電子ビームを放射する時期の占める割合は約30%であるので、電子ビーム溶接機が昼夜連続稼動(3シフト)の条件で使用されるとき、電子銃の陰極に要求される寿命は約60時間である。

表1.に、寿命が60時間の陰極を用いた場合について、電子ビーム溶接機の稼動条件に対応させて陰極の取換え周期を示している。

#### 3.1.1 棒状熱陰極

電子銃を高出力化しても寿命が60時間程度の陰極を実用化するために、各種方式の陰極について検討した結果、棒状熱陰極が長寿命陰極として実用性が高いという結論を得て、開発を進めてきた。

#### (1) 動作原理

図4.に、当社が開発した棒状熱陰極の動作原理を示している。円柱形の棒状陰極のまわりに、コイル状のフィラメントを同軸に配置し、真空中でフィラメントから放射される電子流を棒状陰極の側面に衝撃して棒状陰極を加熱する。フィラメント及び棒状陰極の材質はタンゲステンである。

#### (2) 陰極の消耗

熱陰極の消耗は、おもに次の現象によるものと考えられている<sup>(14)</sup>。

- (a) 陰極が高温(約3,000K)に加熱されることに伴う蒸発。
- (b) 陰極から熱電子を放射して、電子ビームを形成したときに

表 1. 陰極の取換え周期

1日の交替回数(shift)	3	2	1
1日の稼動時間(h/day)	24	16	8
1週間の稼動日数(day/week)	7	6	5
1週間の稼動時間(h/week)	168	96	40
陰極の取換え周期(week)	1	2	5

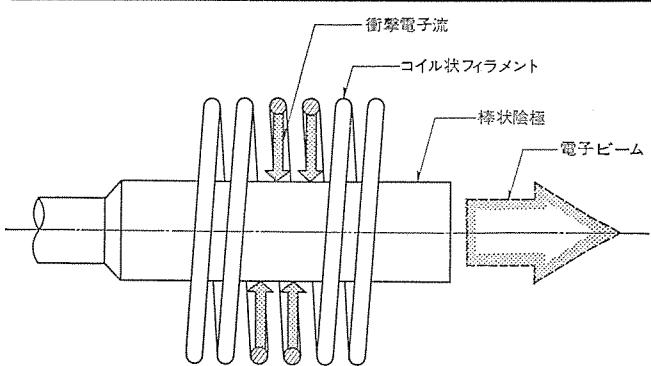


図 4. 棒状熱陰極の動作原理

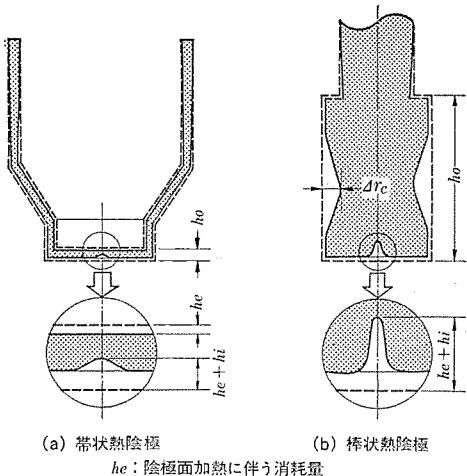


図 5. 陰極の消耗 (点線は原形)

表 2. 陰極の許容消耗量

	帯状熱陰極	棒状熱陰極
陰極直径 $d_K$ (mm)	3.0	3.0 5.0
輻方向長さ $h_o$ (mm)	0.1	10 10
許容消耗量 $h_e + h_i$ ( $\mu\text{m}$ )	6	180 300

電子ビームの軌道内で発生して、陰極の方向に逆流する高速正イオンによって、陰極面が衝撃されることに伴う現象（スパッタリング及び局所加熱による蒸発）。

図 5. は、従来から一般に使用されている帯状陰極<sup>(1)</sup>と、棒状陰極の消耗のようすを示している。帯状陰極の場合、寿命は陰極面の減肉によってきまり、その許容消耗量 ( $h_e + h_i$ ) は、肉厚の 12% とされている<sup>(17)</sup>。棒状熱陰極の場合には、寿命は陰極面にできるクラックのために、電子ビームの性質が変わることでできるが、その許容消耗量についての定義がないので、この設計では許容消耗量 ( $h_e + h_i$ ) は棒状陰極の半径の 12% として計算する。なお、棒状熱陰極の場合、電子衝撃加熱に伴う蒸発によって棒状陰極の側面が消耗するが、その許容消耗量 ( $Δr_c$ ) を棒状陰極の半径の 24% とすると、棒状陰極の許容加熱時間は 300 時間以上になる。表 2. に熱陰極の典型的設計例について、許容消耗量 ( $h_e + h_i$ ) を示す。

### 3.1.2 放射電流密度

陰極の寿命  $τ_K$  は、陰極面の放射電流密度  $j_K$  の関数で、近似的に次式で与えられる。

$$τ_K = \frac{K_h \cdot h_K}{j_K^n} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $K_h$ 、 $n$  は陰極の材料できまる定数、 $h_K$  は陰極の方式できまる許容消耗量である。図 6. に、 $τ_K/h_K$  を  $j_K$  の関数として示している<sup>(15)</sup>。比較のために Bloomer<sup>(16)</sup>、Von Ardenne<sup>(17)</sup>、及び Meleka<sup>(1)</sup> のデータを示している。いずれにしても、 $j_K$  を高くしすぎると、 $τ_K$  が短くなることが分かる。

### 3.1.3 陰極寿命の計算

表 2. に示す設計例について、 $τ_K$  を計算して、その結果を図 7. に示している。 $j_K = 7.0 \text{ A/cm}^2$  の条件で使用すると、肉厚が 0.1 mm の帯状陰極は、 $τ_K$  が約 10 時間であるのに対して、直径が 5.0 mm の棒状陰極は、 $τ_K$  が約 500 時間になることが分かる。

実際の使用状態では、高速正イオンの衝撃のために、陰極面の中

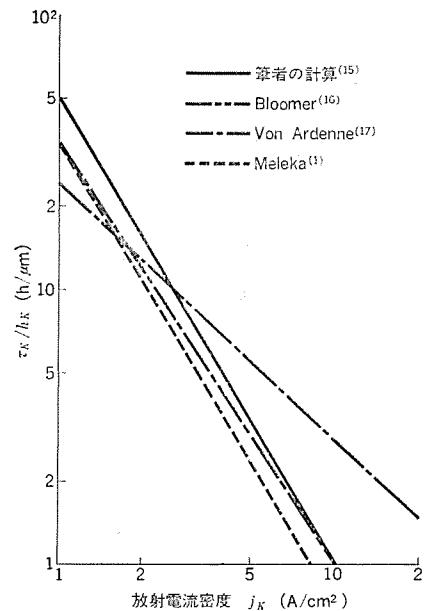


図 6. 陰極の許容消耗量当たりの寿命

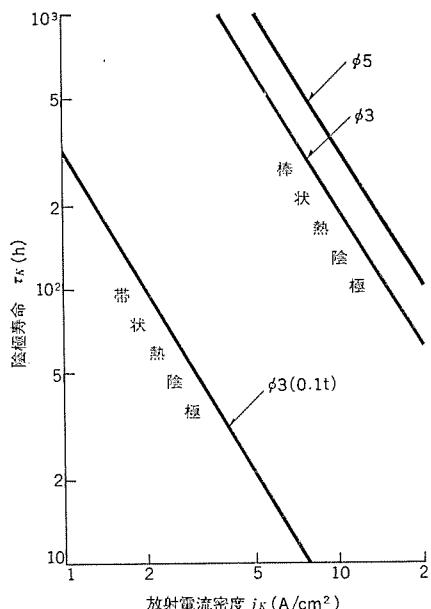


図 7. 陰極の寿命

心部が局所的に加熱されて  $j_K$  が大きくなり、 $τ_K$  が短くなる。 $j_K$  が局所的に  $20 \text{ A/cm}^2$  になるとすれば、 $τ_K$  は約 100 時間になる。

### 3.2 電子ビームの電力密度

電子ビーム溶接法の特性を十分に活用して、溶接歪や熱影響のすぐない安定した溶接品質を得るために、溶接ビードの溶け込み深さとビード幅の比を 20 度程にすることができ、したがって、電子ビームの電力密度を  $20 \text{ kW/mm}^2$  程度にすることが必要である<sup>(4)</sup>。

#### 3.2.1 電子ビームの集束半径

電子ビームの集束点における半径方向の電力密度分布は、近似的に次式で与えられる。

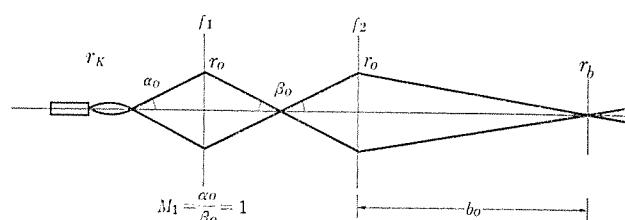
$$J_r = J_0 \exp \left( -\frac{r^2}{r_b^2} \right) \quad \left. \begin{array}{l} \\ J_0 = \frac{W_b}{\pi r_b^2} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $J_0$  は電子ビームの軸上での電力密度、 $r_b$  は電子ビームの半

径、 $W_b$ は電子ビームの電力である。溶接箇所で電子ビームの電力密度を20kW/mm<sup>2</sup>程度にするためには、電子ビームの電力に応じて電子ビームを適当な半径に集束する必要があることが分かる。

低真空形電子ビーム溶接機の場合、電子銃から放射される電子ビームの空間電荷は、電子ビームの軌道内で発生する正イオンによってほぼ中和されると考えてよい<sup>(18)</sup>。したがって、熱陰極から放射される電子ビームを図8に示すように、2枚構成の電子レンズで集束すると、集束点における電子ビームの半径は、電子の熱初速度、電子レンズの球面収差及び色収差によってきまり、近似的に次式で与えられる<sup>(1)(19)</sup>。

$$r_b = \left( \frac{kT_K}{eV_b} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{b_0}{r_0} \right) r_K + (K_S r_0^3 + K_C r_0 \gamma_f) \left( \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \right) b_0 \dots (3)$$



設計条件  
 $T_K = 2900\text{K}$     $r_0 = 0.3\text{cm}$     $K_S = 0.1\text{cm/cm}^3$     $K_b = 0.1\text{cm/W}^{\frac{1}{2}}$   
 $j_K = 7.0\text{A/cm}^2$     $\beta_0 = 3 \times 10^{-2}\text{rad}$     $K_C = 1.0\text{cm/cm}$     $\gamma_f = 1.2 \times 10^{-2}$

図8. 電子光学系の設計条件

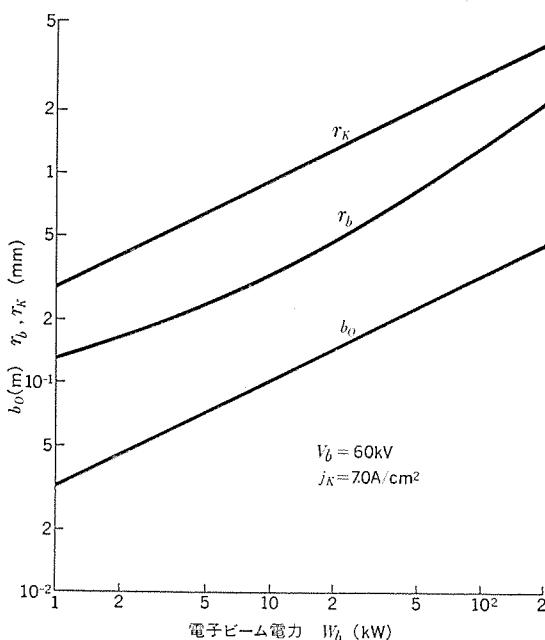


図9. 電子光学系の設計計算の結果

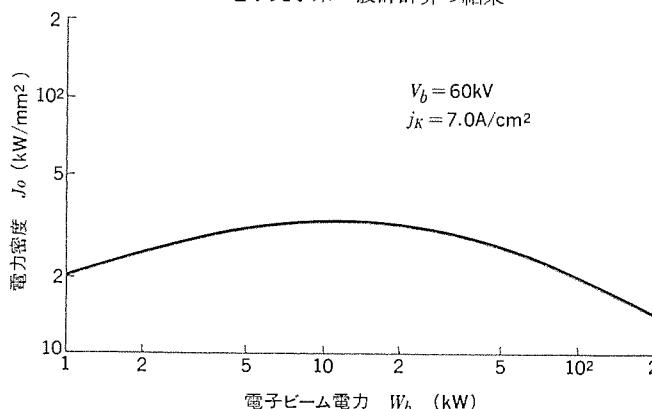


図10. 電子ビームの電力密度

ただし、電子レンズの球面収差係数  $C_S$  と色収差係数  $C_C$  とは、それぞれ、 $K_S f^3$ ,  $K_C f$  で近似し<sup>(20)</sup>、2枚の電子レンズのそれぞれの正面における電子ビームの半径が等しくなるようにしている。

ここで、 $T_K$  は陰極面の温度、 $r_K$  は陰極の半径、 $V_b$  は電子ビーム加速電圧、 $f$  は電子レンズの焦点距離、 $\gamma_f$  は電子レンズの焦点距離の変動割合、 $r_0$  は電子レンズ正面における電子ビームの半径、 $e$  は電子の電荷量、 $k$  はBoltzmann定数である。

式(3)において、 $r_K$  は電子ビームの電力に応じて実用性のある陰極寿命が得られるように、また、 $b_0$  は溶接施工時に溶接箇所の溶融池で発生して電子銃室に流入する金属蒸気の量が、許容値以下になるようにする必要があり、この設計では次式で与える。

$$r_K = \left( \frac{W_b}{\pi j_K V_b} \right)^{\frac{1}{2}} \dots (4)$$

$$b_0 = K_b W_b^{\frac{1}{2}} \dots (5)$$

ここで、 $K_b$  は電子銃の構成及び被溶接物の材料によってきまる定数である。式(3)に式(4)及び式(5)を入れると次式を得る。

$$r_b = \left( \frac{kT_K}{e} \right)^{\frac{1}{2}} \left( \frac{1}{\pi r_0^2 \cdot j_K} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{K_b}{V_b} W_b + (K_S r_0^2 + K_C \gamma_f) [K_b \beta_0 (M_1 + 2) W_b^{\frac{1}{2}} + r_0] \dots (6)$$

式(6)によれば、 $r_b$  は、 $W_b$  に比例する項と、 $W_b^{\frac{1}{2}}$  に比例する項と、電子レンズの特性のみできる項 ( $K_S r_0^3 + K_C r_0 \gamma_f$ ) とで構成されることが分かる。図8に示す設計条件で、 $r_K$ 、 $b_0$  及び  $r_b$  を計算して、その結果を図9に示している。

### 3.2.2 電力密度の計算

式(6)で求めた  $r_b$  を式(2)に入れて  $J_0$  を計算し、その結果を図10に示している。図8に示す条件で設計すると、 $W_b = 1 \sim 100$  kW の範囲で、 $J_0$  が 20kW/mm<sup>2</sup>以上になることが分かる。

## 4. 主要特性

棒状熱陰極電子銃の諸特性の中でも、棒状陰極の寿命及び電子ビームの電力密度について、基本設計の結果を確認するために、棒状熱陰極の加熱試験と、電子ビームの軟鋼板への溶け込み試験をおこなった。

### 4.1 棒状熱陰極の加熱特性

棒状熱陰極の陰極面を2,900Kに加熱するときの諸量を表3に示してある。

これらの中で、直径3.0mmの棒状熱陰極を、定格加熱電力で、

表3. 棒状熱陰極の加熱諸量

陰極直 径 $d_K$ (mm)	2	3	4	5
フィラメント加熱電力 $W_F$ (W)	140	145	150	155
衝撃加熱電力 $W_B$ (W)	120	135	150	165
衝撃加熱能率 $\Delta T_K / \Delta W_B$ (°K/W)	6.0	5.5	5.0	4.5

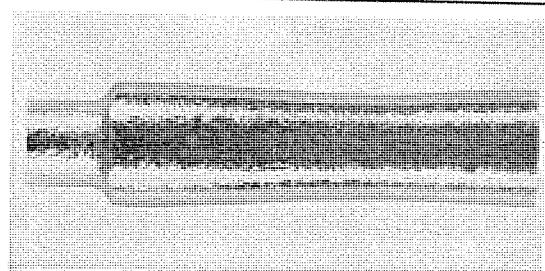


図11. 500時間加熱試験後の棒状陰極

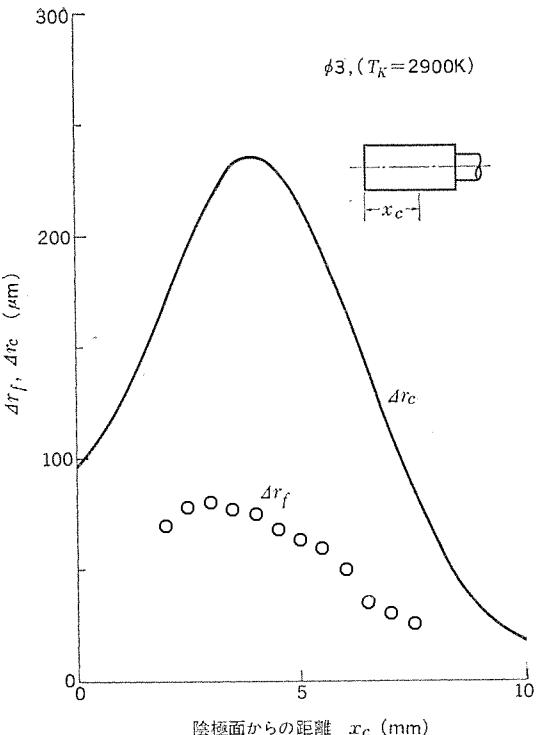


図 12. 棒状陰極側面の消耗量分布

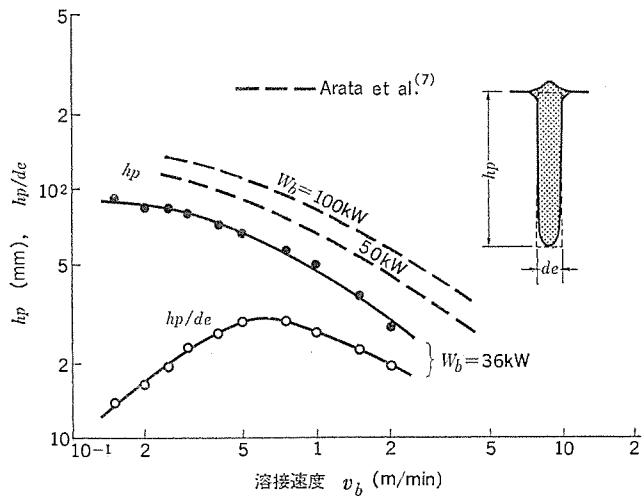


図 13. 軟鋼板への溶け込み試験の結果

500時間加熱して、棒状陰極の蒸発による消耗量を測定した。図 11.に、棒状陰極の側面の消耗状況を示し、また、図 12.に棒状陰極の側面の消耗量分布と、コイル状フィラメントの半径の増加量( $\Delta r_f$ )分布を示している。

棒状陰極の加熱試験の結果だけで、棒状陰極の寿命について論じることはできないが、直径 3.0 mm の棒状陰極が、定格加熱電力で 500 時間の加熱に耐えることが明らかになり、棒状陰極の許容加熱時間に関する基本設計(3.1 頃)の結果は、ほぼ実証された。

#### 4.2 電子ビームの溶け込み特性

電子ビーム電力  $W_b=36 \text{ kW}$  で、軟鋼板上にビードを置き、ビードの溶け込み深さ  $h_p$  と、実効ビード幅  $d_e$  を測定した。図 13.に、 $h_p$  と  $h_p/d_e$  を溶接速度  $v_b$  の関数として示している。図中、破線は、 $W_b=50$  及び  $100 \text{ kW}$  で得られた  $h_p^{(7)}$  を示している。

$h_p/d_e$  が 20 を越えることが明らかになり、基本設計(3.2 頃)の

結果がほぼ実証された。

#### 5. むすび

低真空形電子ビーム溶接機用棒状熱陰極電子銃の概要を紹介した。棒状陰極の加熱特性及び電子ビームの溶け込み特性は、基本設計の結果をほぼ実証している。棒状陰極の寿命に関しては、種々の使用条件による寿命試験で確認を進めているが、現在までの実績では、基本設計の結果をほぼ実証するような特性が得られている。寿命試験の結果については、まとまり次第報告する予定である。

以上、紹介したとおり、棒状熱陰極電子銃は、特に陰極の寿命に関してすぐれた特性を持っており、この電子銃を装着した低真空形電子ビーム溶接機を生産工程に導入して使用すれば、安定した溶接品質と安定した生産性を、長期にわたって維持することが可能になるものと確信する。

#### 参考文献

- (1) Meleka, A. H : 電子ビーム溶接—原理と実際—, 産報 (昭 47)
- (2) 橋本, 松田, 大橋, 入江 : 溶接学会誌, 38(10), 1,091 (昭 44)
- (3) 寺井, 永井, 黒瀬 : 溶接学会誌, 41(8), 901 (昭 47)
- (4) 荒田, 松田, 橋本 : 溶接学会誌, 41(11), 1,338 (昭 47)
- (5) 荒田, 松田, 横山, 鳥居ほか : 溶接技術, 22(2) (昭 49)
- (6) 荒田, 富江 : 電子ビーム溶接研究委員会資料, No. EBW-150-76, 溶接学会 (昭 51)
- (7) Arata, Y. and M. Tomie : Papers Presented at the Symp. on Advanced Welding Technology, I, 45, No. 1-1-(9) (1975)
- (8) Arata, Y. and M. Tomie : JJWRI, 2(1) (1973)
- (9) Bas, E. B., Z. Angew. Phys. : 7, 333 (1955)
- (10) Lanyi, R. J., B. W. Schmacher and J. M. Wells : Westinghouse Engineer, 34(4), 98 (1974)
- (11) 浜崎, 勝村 : 電子ビーム溶接研究委員会資料, No. EBW-142-75, 溶接学会 (昭 50)
- (12) Arata, Y., K. Terai, K. Kita, S. Matsuda, and T. Nakamura : Papers Presented at the Symp. on Advanced Welding Technology, 39, No. 1-1-(8) (1975)
- (13) 長田, 荒川 : 電子ビーム溶接研究委員会資料, No. EBW-104-74, 溶接学会 (昭 49)
- (14) Bas, E. B., G. Cremosnik and H. Lerch : Trans. of the 8th Vacuum Symp. and 2nd Intern. Congress, 2, 817, Pergamon Press. (1962)
- (15) Kohl, W. H. : Handbook of Material and Techniques for Vacuum Devices, 475, Reinhold Publishing CO. (1967)
- (16) Bloomer, R. N. : Proc. IEE., 104 B, 153 (1957)
- (17) Von Ardenne, M. : Tabellen zur Angewandten Physik, I, 81, Veb Deutscher Verlag der Wissenschaften (1962)
- (18) 裏 : 電子・イオンビームハンドブック, 165, 日本学術振興会第 132 委員会編, 日刊工業新聞社 (昭 48)
- (19) Grivet, P. : Electron Optics, 2nd English Ed. 155, Pergamon Press. (1972)
- (20) Haine, M. E. : The Electron Microscope, Spon, Ltd. (1961)

# エポキシFBC絶縁母線

寺谷 宏\*・玉置明信\*・鳥居仁志\*\*・宮地哲郎\*\*

## 1. まえがき

粉体塗装法は、溶剤を使用しないため公害とか作業の危険性がなく、塗装時の粉体塗料の損失もきわめて少ないとところから、いわゆる無公害、省資源形塗装法として注目され、大きく伸展してきた。粉体塗装法は、厚くて性能のすぐれた塗膜が得られるうえ、自動塗装設備の導入も容易であり、一般の美粧、防食の分野だけでなく、電気絶縁を対象とした分野においても好適な塗装法である。

当社では、いちはやく粉体塗装法の利点に着目し、各種電気機器部品への適用をはかってきた<sup>(1)</sup>。なかでも、閉鎖配電盤に用いられる高圧絶縁母線には、粉体塗装法による絶縁処理の特長を大きく生かしうると考えられたため、塗装プロセス及び粉体塗料の両面から研究を行い、エポキシ粉体塗料を流動浸せき塗装法(Fluidized Bed Coating Process)により塗装し絶縁した母線(エポキシFBC絶縁母線)を開発し、一部の配電盤に採用した<sup>(2)</sup>。その後、更に性能向上と品質の安定化をはかり、かつ量産化に対応するため、自動製造プロセスの開発をすすめた結果、このたび、自動塗装装置によるエポキシFBC絶縁母線の製造を開始した。

ここでは、6.6 kV閉鎖配電盤用のエポキシFBC絶縁母線の特性、エポキシ粉体塗料の性質、塗装時留意すべき点などについて述べる。

## 2. エポキシFBC絶縁母線の特長

絶縁材料としてすぐれた特性を有するエポキシ粉体塗料を、流動浸せき塗装法で塗装し絶縁した母線を、エポキシFBC絶縁母線と称している。絶縁母線は使用電圧により要求される絶縁耐圧が異なるが、高電圧用は要求耐圧も高く、絶縁層を厚くする必要がある。エポキシFBC絶縁母線は、絶縁テープとか絶縁スリーブを用いた絶縁方式と異なり、複雑な形状の母線にたいしても、厚い均一な絶縁塗膜が連続的に形成されており、次のような特長を有している。

- (1) 品質が安定している。
- (2) 絶縁層表面が滑らかでじんあい(塵埃)等が付着しにくい。
- (3) 絶縁耐圧が高い。
- (4) 耐湿性がすぐれている。
- (5) 耐アーキ性、耐トラッキング性がよい。
- (6) 難燃性である。

上記の特長は、特性のすぐれたエポキシ粉体塗料と適切な塗装プロセスの採用によって達成されたものであり、十分な実機検証により確認されている。

## 3. エポキシFBC絶縁母線の製造プロセス

ここで、流動浸せき塗装法及びこの塗装法を母線の絶縁に適用する際に留意すべき点について述べる。

### 3.1 流動浸せき塗装法(FBC法)

流動浸せき塗装法の模型図を図1に示した。粉体塗料は、多孔(孔)板で2段に仕切られたそら(槽)(流動浸せき槽)の塗料室に入れ

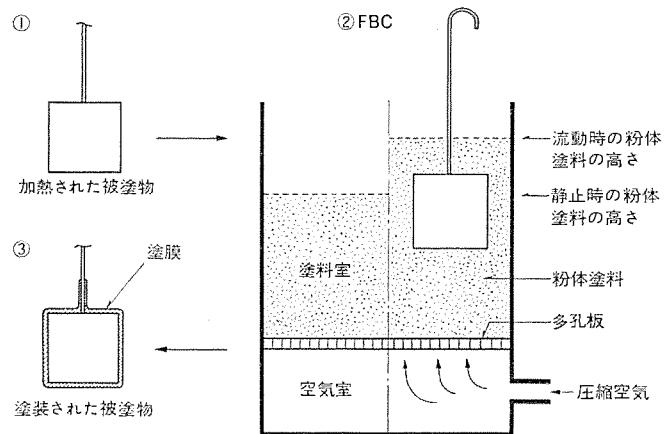


図1. 流動浸せき塗装法の模型図

られ、下部の空気室から多孔板を通して送り込まれる気体により流動状態に保たれる。この中に、粉体塗料の融点以上、分解温度以下に加熱された被塗物を浸せきし、被塗物表面に粉体塗料を蒸融させ塗膜を形成させる。流動浸せき槽から引上げられた被塗物は、塗膜の性質を安定化させるに必要な加熱処理を行ったのち、冷却され、仕上げられる。流動浸せき塗装法は、厚い塗膜が得られやすいので、高圧母線の絶縁処理には好適な塗装法である。

### 3.2 塗膜の厚さ

流動浸せき塗装法で得られる塗膜の厚さは、被塗物の表面温度と浸せき時間に依存する。予熱された被塗物は、流動浸せき槽の中で、しだいに表面より温度が低下し、表面温度が粉体塗料の融点以下になれば塗膜は形成されなくなる。しかし、光沢がありピンホールのない良好な性状の塗膜を得るには、粉体塗料が溶けて十分流動する温度にあるうちに、被塗物を流動浸せき槽から引きあげることが重要である。

被塗物の表面温度の低下は、被塗物の熱容量が小さく、体積にたいする表面積の比が大きいほど速くなる。母線は断面がく(矩)形状の銅又はアルミのバーであり、電流容量に応じて、厚さ6~12 mm、幅25~150 mmにわたる多種の寸法が使われている。したがって、いずれの種類の母線にも一定の厚さの絶縁塗膜を形成させるためには、綿密な実験を重ねて塗装条件を決定せねばならない。図2は実験結果の一例で、材質、寸法の異なる母線について、浸せき時間と塗膜厚さの関係を示したものである。浸せき時間が長くなるにつれて、得られる塗膜厚さは、母線の材質と寸法(主として厚さ)に応じてそれぞれの限界値に近づくが、良好な性状の塗膜を得るには、限界値に近づく前に浸せきを中止する必要があるので、表面温度が低下しやすい母線にたいしては、予熱と浸せきを繰りかえして塗装する必要がある。

### 3.3 前処理

粉体塗装による絶縁の効果が発揮されるには、塗膜と母線との接着がよいことが前提となる。接着不良は塗膜の耐衝撃性を低下させき

裂発生の原因となることが多い。流动浸せき塗装法では、被塗物は塗装前に加熱されるが、高温の空気中におかれた金属の表面には酸化膜が生成しやすいので注意を要する。アルミ母線の場合は、酸化膜と下の素地との密着性が良好であるが、銅母線の場合は、酸化の進行に伴い表面に生じた酸化銅と銅素地との密着性が低下するため、絶縁塗膜と銅素地との接着が妨害される<sup>(3)</sup>。例えば、空気中で加熱した銅の酸化量と接着性低下との関係を図3.に示した。銅母線にたいしては、十分な脱脂、洗浄を行ったのち、酸化防止を兼ねたプライマを塗付して加熱することが必要である。

### 3.4 自動塗装プロセス

エポキシFBC絶縁母線の自動塗装プロセスのブロックダイヤグラムを図4.

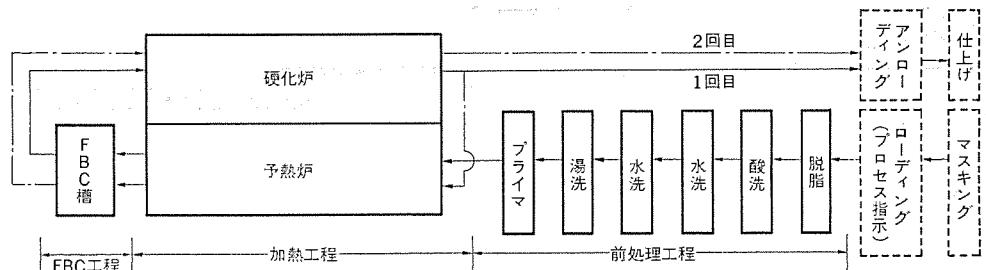
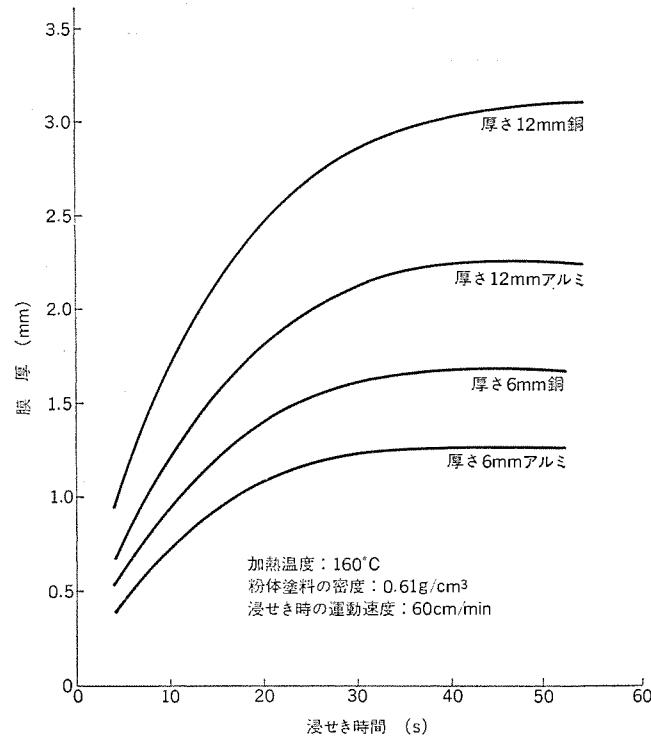
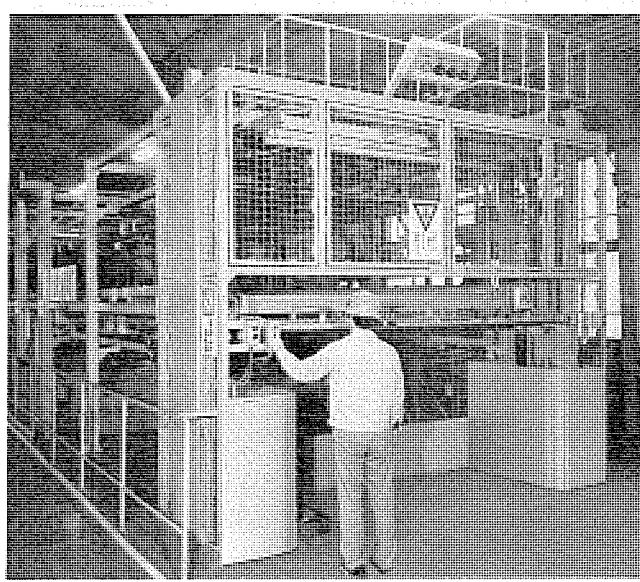


図4. 自動塗装装置のブロックダイヤグラム



に、装置の写真を図5.に示した。作業者は、所定の箇所にマスキングした母線を装置にローディングし、材質、寸法、要求膜厚を指示すると、装置が指示を識別して、あらかじめ定められた条件で塗装処理を行っているようになっている。

### 4. エポキシ粉体塗料

FBC絶縁母線用の粉体塗料は、塗膜の特性がすぐれているだけでなく、塗装時に塗膜の形成性がよいことを要求される。塗装時の処理温度が低く塗膜の耐熱性が高い粉体塗料としては、熱可塑性樹脂よりも熱硬化性樹脂をベースとしたものが適している。なかでもエポキシ樹脂は接着性がすぐれ塗膜の性質もよいため、粉体塗料用のベースとして選ばれた。粉体塗料の塗膜形成性は、溶融温度、溶融時の流動性、ゲル化時間などに依存することを見い出し<sup>(4)(5)</sup>、硬化塗膜の要求特性を考慮しながら組成開発をすすめた結果、FBC絶縁母線に適した粉体塗料を得ることができた。

#### 4.1 エポキシ粉体塗料の性質

硬化塗膜の性質を表1.に示した。電気的、機械的性質がすぐれ、耐トラッキング性で難燃性である特長を有している。耐水性については、吸水率のほかに、室温吸水時の電気特性の変化をしらべた結果、吸水3ヵ月後の1mm厚さの塗膜の絶縁破壊電圧は23kV、体積抵抗率は $2 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ であり良好である。耐熱性については、硬化塗膜の熱劣化後の曲げ強さの変化をしらべたところ、厚さ3mmの塗膜について図6.の結果がえられた。絶縁母線の最高許容温度を105°Cとみなすと、十分な耐熱性を有し実用上問題ないと考えられる。

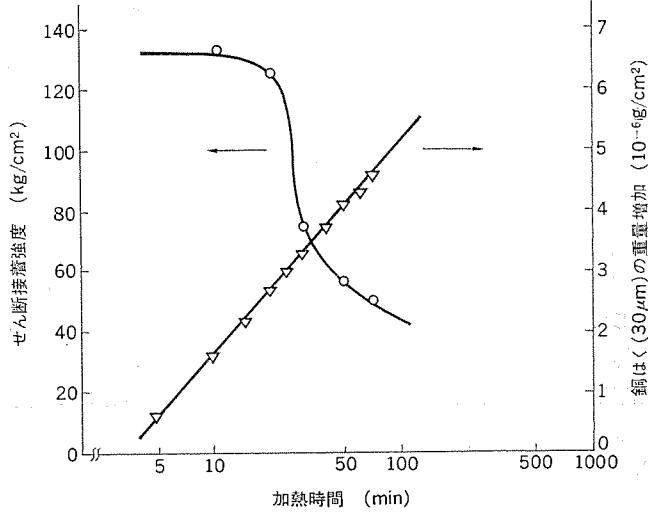


図3. 銅の酸化と接着性

表 1. エポキシ粉体塗料の硬化塗膜の性質

項目	単位	特性値
比重	—	1.71
硬度, パークル, 室温	—	50
機械的性質, 室温		
引張り強さ	kg/mm <sup>2</sup>	3.8
破断伸び	%	1.4
曲げ強さ	kg/mm <sup>2</sup>	9.4
曲げ弾性率	kg/mm <sup>2</sup>	680
接着強さ, 鉄-鉄突合せ	kg/cm <sup>2</sup>	500
電気的性質		
誘電率 60 Hz 20°C	—	5.7
" " 80°C	—	5.7
" " 105°C	—	5.8
誘電正接 60 Hz 20°C	%	0.67
" " 80°C	%	1.11
" " 105°C	%	2.03
体積抵抗率 20°C	Ω·cm	>10 <sup>14</sup>
" 80°C	—	>10 <sup>14</sup>
" 105°C	—	>10 <sup>13</sup>
絶縁破壊電圧, 室温 (1 mm 厚さ)	kV/mm	>20
耐アーチ性	sec	130
耐トラッキング性, IEC 法	CTI	>600
DIP 法	kV	>3.0
熱的性質		
熱変形温度, 264 PSI	°C	103
熱膨脹係数 (線)	cm/cm/ <sup>°</sup> C	40×10 <sup>-6</sup>
熱伝導率	cal/cm·sec·°C	1.2×10 <sup>-3</sup>
燃焼性, JIS K 6911	—	不燃性
吸水率		
室温 7 日間	%	+0.4
煮沸 2 時間	%	+1.2
耐薬品性, 耐溶剤性 (室温 400 時間)		
30% 硫酸	%	-0.60
10% か性ソーダ	%	+0.46
アセトン	%	+19.7
トルエン	%	+0.89

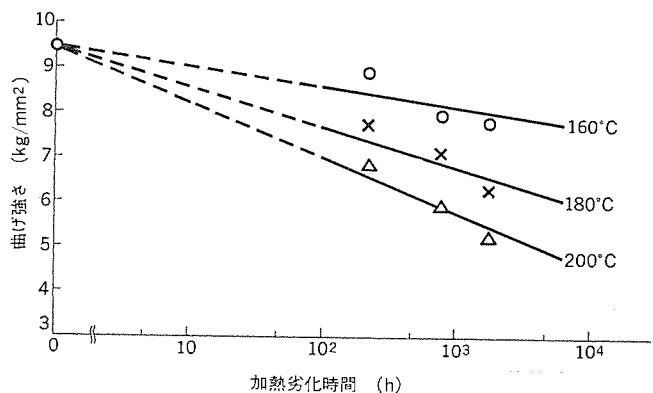


図 6. 塗膜の熱劣化時の曲げ強さの変化

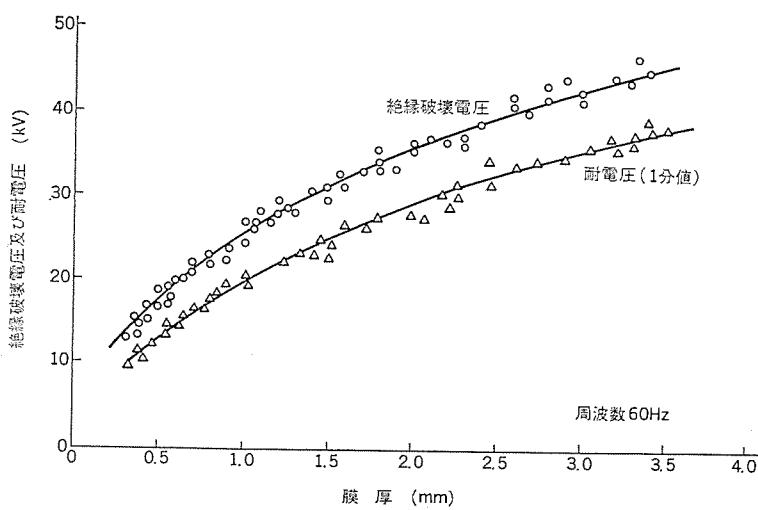


図 7. 膜厚と絶縁破壊電圧及び耐電圧との関係

#### 4.2 硬化塗膜の絶縁破壊電圧

一般に、絶縁物の絶縁破壊電圧  $V$  と、絶縁物の厚さ  $t$  との間には  $V=kt^n$  ( $k, n$  は定数) の関係がある。絶縁塗膜の厚さと絶縁破壊電圧との関係を知ることは、絶縁母線を設計する上で重要である。そこで、表 1 のエポキシ粉体塗料について、塗装条件をかえて種々な厚さの塗膜を作り、絶縁破壊電圧を測定したところ、図 7 のような結果が得られ、 $V$  は、 $n=1/2$ 、すなわち  $\sqrt{t}$  に比例することが見い出された。耐電圧 (1 分値) は、短時間昇圧時の絶縁破壊電圧にくらべ約 20% 低いが、やはり  $\sqrt{t}$  に比例している。

#### 5. エポキシ FBC 絶縁母線の特性

実機のおかれる状態を想定して、6.6 kV 閉鎖配電盤用のエポキシ FBC 絶縁母線について特性試験を行った結果を述べる。

##### 5.1 曲げ許容限界

この試験は、母線上の塗膜の曲げ許容限界を知るために行った。一般に、絶縁母線は、閉鎖配電盤とかバスダクトに組み込む際に、わずかに変形があるため、塗膜の変形許容限界をしらべておく必要がある。ここでは、試験片として、厚さ 6 mm、幅 100 mm の絶縁母線を用い、図 8 に示す方法で測定した。測定結果を表 2 に示す。曲げ許容限界は母線の形状により異なり、L字形母線では 5%，直線状母線で 12~17% で塗膜の破壊がみられた。

一方、実機について絶縁母線組立時の最大曲げ率を測定した結果、

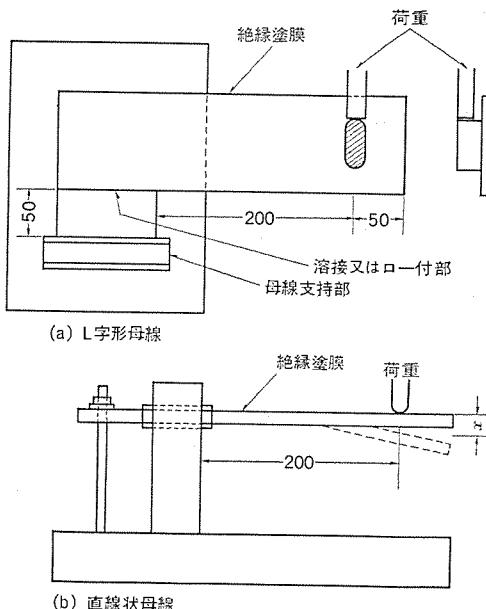


図 8. 曲げ許容限界測定法

#### 表 2. 曲げ許容限界値測定結果

項目	種類 材質	L字形母線	直線状母線
	曲げ許容限界値 (%)	5.0	17.0
(%)	アルミ	5.0	22.0
	組立時の最大曲げ実測値 (%)	2.36	2.03

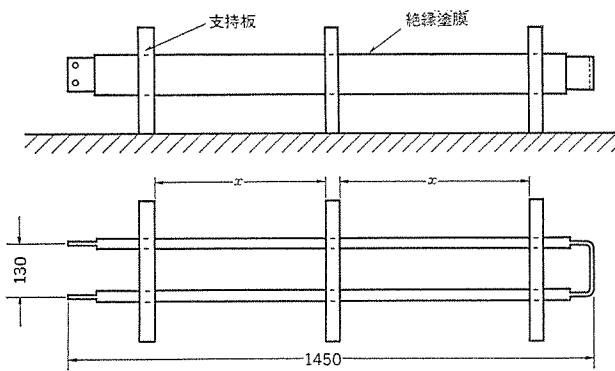


図 9. 電流衝撃試験方法

表 3. 電流衝撃試験結果

絶縁母線	支持間隔 $x$ (mm)	ピーク電流値 (kA)	衝撃力 (kg)	応力 (kg/mm <sup>2</sup> )	たわみ量 (mm)	永久たわみ量 (mm)	絶縁塗膜 外観変化
銅, 6t×75W	450	94.5	548	137	30.8	2.0	異常なし
アルミ, 6t×75W	400	91.5	671	102	31.3	0.5	"
銅, 12t×75W	600	110.0	986	88	19.0	0.5	"
アルミ, 12t×75W	600	90.6	456	60	19.4	0.5	"

L字形母線では約2.4%, 直線状母線では約2%であり、エポキシFBC絶縁母線は十分な裕度をもっている。

## 5.2 電流衝撃試験

過電流が流れた場合に、母線は電磁衝撃力を受けて変形し、それに伴い絶縁塗膜が破壊されるおそれがあるため、図9のように絶縁母線を支持し、電流衝撃試験を行った。試験条件及び試験結果は表3に示した。通電した瞬間に母線は大きくたわむが、絶縁塗膜には異常が起らなかったことが確認された。

## 5.3 耐振性

絶縁母線単体あるいは閉鎖配電盤に組込んだ状態で輸送する際の振動に対する強度をしらべるため振動試験を行った。絶縁母線は図10に示すように実機組込状態を模擬してフレームに取付け、表4に示した条件で振動を与えたが、塗膜のクラック発生は認められなかった。

## 5.4 熱劣化

### 5.4.1 絶縁破壊電圧

寸法が $1,000 \times 100 \times 12$  mmの銅母線を用いて、熱劣化に伴う絶縁破壊電圧の変化をしらべた。絶縁母線は $150^{\circ}\text{C}$ の熱風循環(恒温槽)中で熱劣化させたのち、中央部に幅100 mmのアルミ箔電極を巻きつけ、母線導体との間に電圧を印加した。測定結果を図11に示す。絶縁破壊電圧は、初期値で32 kV以上、 $150^{\circ}\text{C}$ で2,000時間劣化後でも30 kV以上を示し、低下はわずかであった。母線の許容温度を $105^{\circ}\text{C}$ と考えれば、実用上問題はないと考えられる。

### 5.4.2 耐クラック性

エポキシFBC絶縁母線は塗膜が厚いため、温度が低下するにしたがい塗膜と金属との熱膨脹係数の差により、塗膜中に残留応力が増大し、クラックが発生するおそれがある。また、熱劣化により塗膜がもろくなるとクラックが発生しやすくなる。絶縁塗膜のクラックの発生は、重大な絶縁破壊事故につながるため、実母線により性能検証をしておく必要がある。そこで、直線状母線よりもクラックが発生しやすい形状の母線について、初期及び熱劣化後にヒートサイクル試験を行い、塗膜のクラック発生状態をしらべた。供試母線の形状、寸法及びヒー

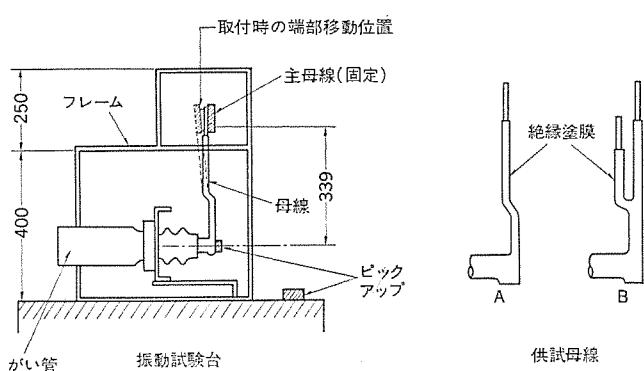


図 10. 耐振性試験方法

表 4. 耐振性試験条件及び試験結果

供試母線	取付時の端部移動量(mm)	加振台加速度 (gal)	加振時間 (min)	加振方向	絶縁塗膜のクラック発生
A	0	1,700	10	前後	なし
	10	"	"	"	"
	0		10	上下	なし
	10	"	"	"	"
B	0	1,700	10	前後	なし
	10	"	"	"	"
固定せず	1,700	10	前後	なし	

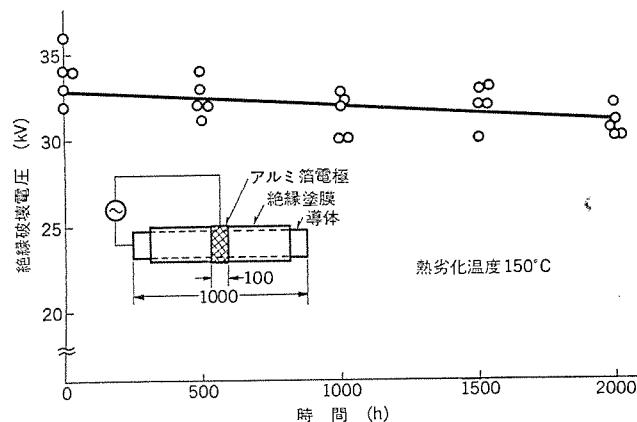


図 11. 热劣化時の絶縁破壊電圧の変化

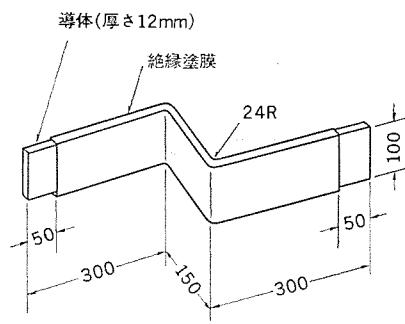
トサイクル条件を図12に示した。ヒートサイクル試験は、実際に出会う環境よりもきびしいが、エポキシFBC絶縁母線は、銅、アルミいずれの場合も $150^{\circ}\text{C}$ 、2,000時間の熱劣化後においても何らクラックの発生がみられず、耐クラック性がすぐれていることが確認された。

## 5.5 屋外課電暴露試験

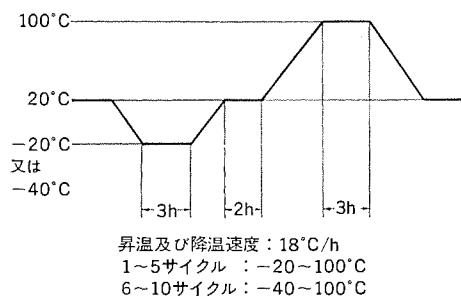
エポキシFBC絶縁母線の耐環境性を確認する目的で、屋外課電暴露試験を当社神戸製作所構内(海岸より約500 m、高さ19 m)で行っている。絶縁母線は図13のように支持し、母線導体とアース間にAC 6.6 kVを印加している。試験は昭和45年6月より開始したが、現在までトラッキングの発生は認められていない。

## 6. 閉鎖配電盤への適用

流动浸せき塗装法の母線絶縁処理への適用は、複雑な形状の母線にたいしても、均一で連続した絶縁層の形成を可能とするため、母線



(a) 供試絶縁母線  
(材質: 銅及びアルミ)



(b) ヒートサイクル条件

図 12. 耐クラック性試験方法

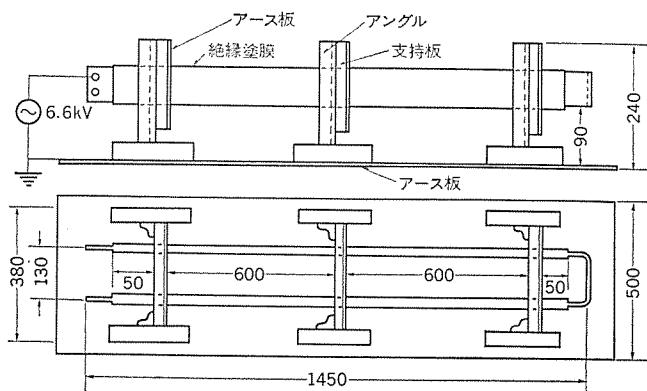


図 13. 屋外課電暴露試験方法

設計が容易となり、組込時の接続部が減少する。エポキシFBC絶縁母線の一部を図14に、また閉鎖配電盤に組込んだ例を図15に示したが、エポキシFBC絶縁母線の採用により閉鎖配電盤の信頼性の向上、小形化、高性能化を図りうるものと考えている。

## 7. むすび

以上、粉体塗装法の一種である流动浸せき塗装法により絶縁処理したエポキシFBC絶縁母線について述べた。エポキシFBC絶縁母線の有する多くの特長は、性質のすぐれたエポキシ粉体塗料の開発と、母線に適した塗装プロセスの採用によって支えられているものであり、更に特性のすぐれたFBC絶縁母線を開発するために材料、プロセス両

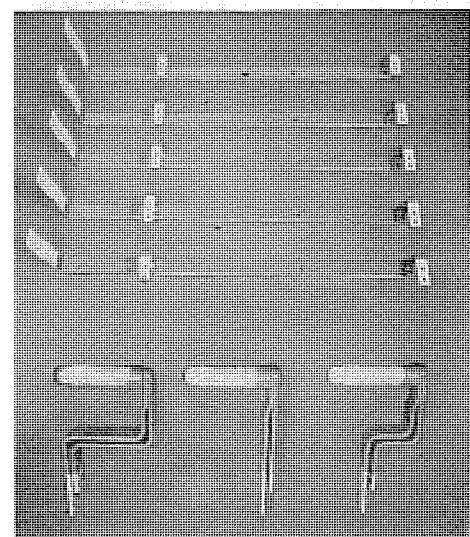


図 14. エポキシFBC絶縁母線

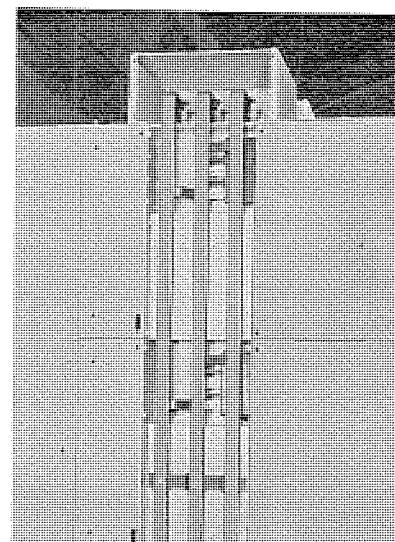


図 15. 閉鎖配電盤に組み込まれたエポキシFBC絶縁母線

面からの研究開発をすすめていく所存である。

## 参考文献

- (1) 西崎、寺谷、玉置: 粉体塗装による絶縁、三菱電機技報, 45, No. 3, 394 (昭46)
- (2) 新製品ニュース: 真空シャンク取扱い三菱クリーンクラッド開閉装置、三菱電機技報, 44, No. 3, 469 (昭45)
- (3) 玉置、寺谷: エポキシ樹脂と熱劣化された銅との接着性、第21回高分子学会年次大会、24D01 (昭47)
- (4) 玉置、寺谷: エポキシ樹脂の融点とその応用、日本化学会、第31秋季年会、IV20 (昭49)
- (5) 玉置、藤沢、寺谷: エポキシ粉体塗料の流动性と塗膜形成性との関係、日本化学会第28春季年会、IM12 (昭48)

# 三菱煙道ガス測定器SA-401形

羽深嘉郎\*・宇野沢 譲\*・小堺 孝\*・小番光也\*・酒井喜代博\*

## 1. まえがき

大気汚染は公害問題の主要なひとつとして取り上げられ、環境濃度の許容基準が定められて常時監視されるとともに、固定発生源に対しては排出基準の制定と強化が進められている。汚染防止や監視体制の整備に關係部門の努力が続けられているが、中でも汚染物質の正確な計測技術の早急な確立が必要とされている。

固定発生源から排出される大気汚染物質の主成分は二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)と窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)である。前者は排煙脱硫装置がかなり普及し、後者も排煙脱硝装置が採用されつつあるので、SO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>の排出濃度規正は年々厳しくなってきており。これら排出ガスの低濃度測定は、従来の計測器や測定方式では精度、干渉ガス対策あるいは保守性などの問題から実用に供せないものが多くなっている。更に脱硫脱硝装置を効率よく2次公害の心配がないような運用を図るための制御用計測器の要求も高まりつつある。

当社は昭和48年に紫外線吸収方式による、NO<sub>x</sub>とSO<sub>2</sub>を同時に測定可能な「SA-302形」<sup>(1)</sup>を発売して既に数多くの顧客で使用されているが、このたびさきに述べたような要求をみたし排脱装置制御用計測器として、紫外線吸収方式の特長を最大限に生かした「SA-401形」を製品化したので、各種煙道への適合性を中心に紹介したい。

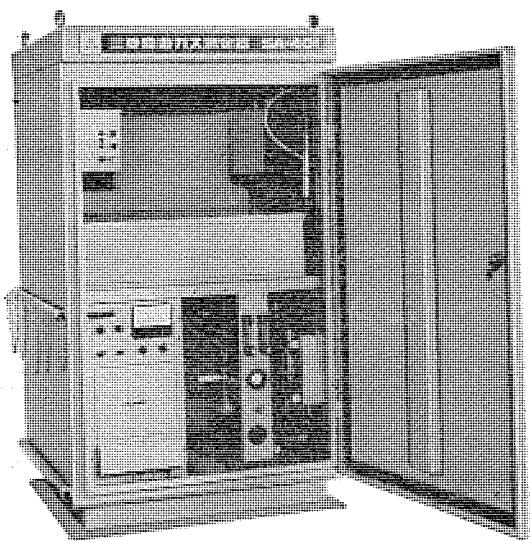


図1. 三菱煙道ガス測定器 SA-401形

## 2. SA-401形の構成と測定原理

### 2.1 構成

SA-401形の構成を表1.に、標準構成の系統図を図2.に示す。測定器は試料採取部とNO<sub>x</sub>-SO<sub>2</sub>分析部とからなる。試料採取部は煙道などから試料ガスを採取して分析部へ導入するまでの処理をするもので、測定対象の煙道条件や測定目的に適した構成にする必要があるが、標準構成は排ガス温度120~300°Cに適するように設計し

表1. SA-401形標準構成

No.	分類	構成部位	備考
1	NO <sub>x</sub> -SO <sub>2</sub> 分析部	光学部	キューピカル内に収納される。(本体) 図1.参照
		電子回路部	
		電源部	
2	試料採取部 (MGS-B11形)	ガス導入部	
		除湿部	
		採取管部	
		採取管部	

表2. 試料採取部

No.	構成部名	記号	構成品	主な用途
1.1	採取管部	B	B形採取管、フランジ、テフロン導管(20m)(標準)	120~300°C 排ガス用
		C	C形採取管(B形と同タイプ小形)の外はB形と同じ	120~300°C 排ガスで小形煙道用
		H	H形採取管(一付)の外はB形と同じ	上記以外(ただしmax 800°C)の排ガス
		S	S形採取管(1次フィルタないもの)の外はB形と同じ	ダストがない煙道用
2.1	除湿部	1	ドレンセパレータ+電子除湿器(1段)(標準)	標準
		2	ドレンセパレータ+電子除湿器(2段)	高温用
		3	ドレンセパレータ(ドレンポンプ)+電子除湿器(1段)	低損失用
		4	ドレンセパレータ(ドレンポンプ)+電子除湿器(2段)	"
		5	(1)に前処置装置を追加	"
		6	(3)に前処置装置を追加	"
3.1	ガス導入部	1	標準フロー(標準)	
		2	標準フローに3次フィルタ追加	
4.1	オブショーン	M	ミストフィルタ	ミストを捕集する
		D	ダストフィルタ	ダスト "
		P1	1次フィルタの手動エアバージ	1次フィルタの逆洗用
		P2	1次フィルタの自動エアバージ	"

た。試料採取部は採取管部、除湿部及びガス導入部からなり、排ガス条件によって表2.の構成の中から選択される。

NO<sub>x</sub>-SO<sub>2</sub>分析部は、光学部、電子回路部及び電源部からなり2.3節に述べる測定原理にもとづいてNO<sub>x</sub>とSO<sub>2</sub>を分析する部分で、標準の出力形式はNO<sub>x</sub>とSO<sub>2</sub>については電圧及び電流出力、NOとNO<sub>2</sub>については電圧出力である。なお、NOとNO<sub>2</sub>の電流出力も信号変換用のCONVカードを組めば簡単に取り出せる。

酸素分析部は、磁気式酸素分析計(635-II;三鷹工業製)あるいはジルコニア式酸素分析計(SCX-L形;日本碍子製)のいずれかを、本体内に組むことができる。酸素分析計の試料採取は図2.に示すとおり、試料採取部を共用する。

### 2.2 標準仕様

標準仕様は次のとおりである。

(1) 測定方式 紫外線吸収方式による日本工業規格による。

(a) NO<sub>x</sub>:「排ガス中の窒素酸化物分析方法」

JIS-K 0104-1974

(b) SO<sub>2</sub>:「排ガス中の二酸化硫黄自動計測器」

JIS-B 7981-1975

(2) 測定対象 NO<sub>x</sub>(NO, NO<sub>2</sub>) SO<sub>2</sub>

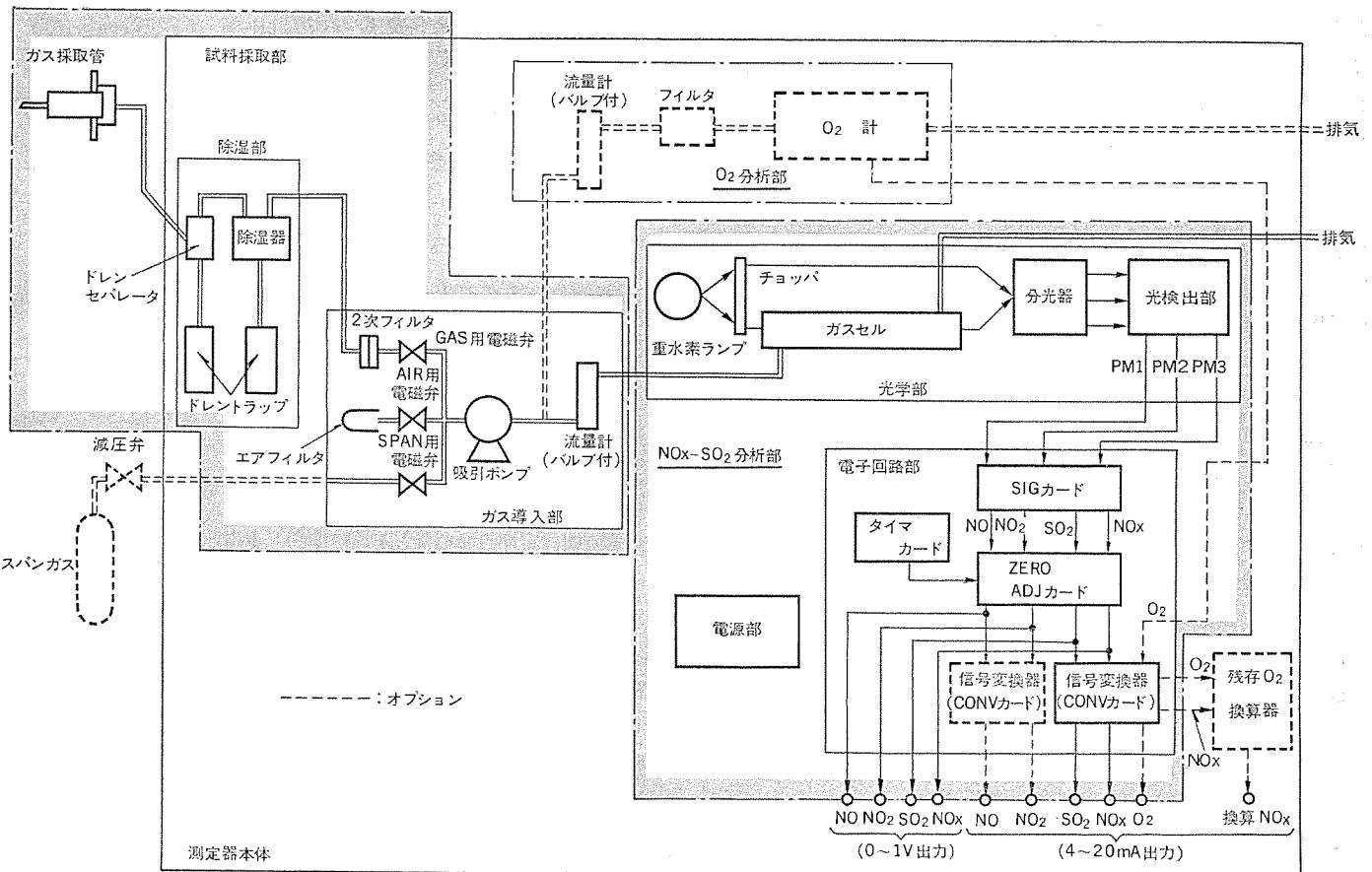


図 2. 煙道ガス測定器 SA-401 形の基本構成

表 3. SA-401 形の測定精度

測定範囲 (ppm)	50	100	250/200 (注1)	500	1,000
再現性 (%/F.S.)	±4	±2	±0.8/±1	±0.4	±0.2
ゼロドリフト (%/F.S.)	±4	±2	±0.8/±1	±0.4	±0.2
スパンドリフト (%/F.S.)	±2	±2	±2	±2	±2

注 1) 測定範囲、再現性、ゼロドリフトの上段、下段に分かれた欄は上段は NOx、下段は SO2 の値。

2) 試験条件は JIS-B 7981 に準拠。

### (3) 測定範囲と測定精度

#### 表 3. 参照

### (4) 零点調整

1, 3, 6, 12

及び24時間

ごとのうち

いずれかの

モードで自動

的に零点の調整を行う。

### (5) 応答速度

(a) キュービクル入口から 90% 60 秒以内

(b) スパンガス入口から 90% 30 秒以内

(6) 環境条件 温度 -5~+40°C、相対湿度 90% 以下

(7) 電源 電圧 AC 100 V ±10 V

周波数 50 Hz 又は 60 Hz

消費電力 300 VA 以下

(8) 尺法 幅 850×奥行 840×高さ 1,500 mm

(9) 重量 約 320 kg

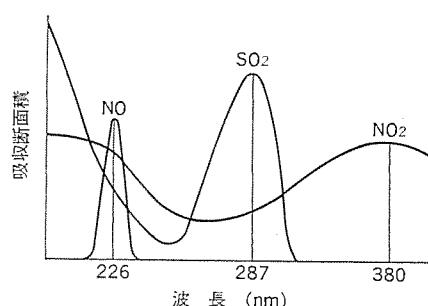


図 3. SO<sub>2</sub>, NO 及び NO<sub>2</sub> の吸収スペクトル

表 4. 共存ガスの NO の測定値に与える影響

成分	予想最大濃度	NO ガス濃度に与える誤差濃度 (ppm)
H <sub>2</sub> O	20 (%)	~0.04
CO <sub>2</sub>	15 (%)	<0.82
NH <sub>3</sub>	10 (ppm)	<0.12
CO	100 (ppm)	<0.006
CH <sub>4</sub>	100 (ppm)	<0.006
HCl	500 (ppm)	<0.7
N <sub>2</sub> O	100 (ppm)	<0.06
N <sub>2</sub>	75 (%)	0.42
O <sub>2</sub>	5 (%)	<0.28

注) SO<sub>2</sub> 及び NO<sub>2</sub> への影響は NO の値より更に小さい値である。

### 2.3 測定原理<sup>(1)(2)</sup>

紫外線吸収法は光吸収法でガス濃度を測定する方式の一種である。ガスセル内に試料ガスを導入した場合、各ガスの濃度  $N_i$  と測定波長  $\lambda_j$  のガスセル中の透過率  $T(\lambda_j)$  の間には Lambert-Beer の法則によって式(1)が成立している。

$$-\ln T(\lambda_j) = \sum_i^N N_i \sigma_i(\lambda_j) L \quad (1)$$

ここに  $T(\lambda_j)$  : 波長  $\lambda_j$  における透過率 ( $j$  は測定波長を示す)

$N_i$  :  $i$  番目のガスの濃度 ( $i$  はガスの種類を示す)

$\sigma_i(\lambda_j)$  :  $i$  番目のガスの波長  $\lambda_j$  における吸収断面積

$\lambda_j$  : 測定波長 ( $j=1, 2, 3, \dots, n$ )

$L$  : ガスセル長

$n$  : ガスの種類

共存しているガスの数を  $n$  とすると、 $n$  個の波長に対して透過率を測定すれば式(1)からガス濃度を求められる。この測定器は上述し

た測定原理を紫外線の吸収スペクトル領域で実現したものである。ここで測定対象とする NO<sub>x</sub> と SO<sub>2</sub> は紫外線領域で図 3. の吸収スペクトルをもっている。一方、一般の排ガス中の共存ガス、例えば CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, NH<sub>3</sub>などの紫外線領域における吸収断面積は、NO<sub>x</sub>あるいは SO<sub>2</sub> に比べて  $10^{-2} \sim 10^{-6}$  も小さいので式(1)を解くにあたって無視することができる(表 4. 参照)。すなわち、 $\lambda_1 \sim \lambda_3$  として図 3. に示すように各吸収スペクトルの極大点すなわち 226 nm, 287 nm 及び 380 nm の 3 波長に対する透過率から NO<sub>x</sub> 及び SO<sub>2</sub> の濃度を演算によって求めることができる。

### 3. SA-401 形の特長

紫外線吸収方式にもとづく特長を生かし、連続計測器としての目的に適合するよう設計されている。以下に原理的な面も含めて SA-401 形の特長を述べる。

#### (1) 干渉ガス対策が不要である。

共存ガスの紫外線領域の共鳴吸収が小さく無視できるので、干渉ガス対策を施す必要がない。特に H<sub>2</sub>O の干渉が小さく、除湿はガスセル内で水分が結露しない条件を満たせばよいので試料採取部が非常に簡素化されている。また低濃度の測定においては、共存ガスの干渉を受けやすい赤外線吸収方式等に比較して、共存ガスの変動などに影響されず高い精度を維持することができる。

#### (2) 2 光束分光方式(相対値測定方式)である。

光学的透過率の測定には 2 光束分光方式(相対値測定)を採用しているので、ゼロドリフト及びスパンドリフトの要因となる光源の輝度変化、検出器(光電子増倍管)の感度変化の影響を実用上無視できる。また、スパンドリフト低減のための温度補償回路を設けたので、スパンドリフトは非常に小さく、スパン調整は通常 1 回/月程度で要求精度を十分満足する。

#### (3) コンバータが不要である。

紫外線吸収方式は NO, NO<sub>2</sub> 及び SO<sub>2</sub> の個有の共鳴スペクトルの大きさから濃度を求めるので次の利点がある。

化学発光方式、赤外線吸収方式、紫外線 2 波長法などによる NO<sub>x</sub> 計は、NO 計あるいは NO<sub>2</sub> 計で、NO<sub>x</sub> を測るために NO<sub>2</sub> → NO あるいは NO → NO<sub>2</sub> の変換を行って NO あるいは NO<sub>2</sub> どちらかの濃度を測定する。したがって前述のような成分を変換する、いわゆるコンバータが必要となるが紫外線吸収方式では、個々に濃度を測定するのでコンバータが不要である。その他化学反応なども測定の過程に入らないので測定器として安定な性能を保持できる。コンバータは変換効率の変化とその寿命に伴う保守などの問題があり、本機はこれららの問題にわずらわされない。

#### (4) NO, NO<sub>2</sub> を同時測定できる。

NO, NO<sub>2</sub> を同時に測定できるのは紫外線吸収方式だけで、脱硝装置の制御、効率測定などに適する。

#### (5) 試料ガス流量変化が精度に影響しない。

試料ガスの流量が設定流量の ±50 % まで変動しても、指示値変動は ±0.5 % 程度と極めて小さい。これは、コンバータを用いない方式であること、共存ガスの干渉がないことによる特長である。

以上、主として測定原理面からの特長であるが、本機は更に次に述べるような特長をもつ。

#### (6) 低濃度から高濃度まで測定範囲が広い。

表 2. に示したとおり、NO<sub>x</sub> 及び SO<sub>2</sub> は 50 ~ 1,000 ppm まで 5 レンジ切換えとなっているので、脱硫脱硝処理の前でも後でも適用でき

表 5. 点検項目

No.	点検項目	点検方法	標準的な周期
日常点検	1 試料ガス流量	流量目視点検	1週間
	2 1 次フィルタ	流量、汚れを目視点検	"
	3 エアフィルタ	"	"
	4 ドレントラップ(注1)	水位を目視点検	"
定期点検	5 零点チェック	零点を手動調整	1~3カ月
	6 スパンチェック	スパンチェック	"
	7 ホトマル出力	操作部で出力点検	"

注 1) ドレントラップの水位で、1 次フィルタの目詰まりを点検する。

る。

#### (7) 小形、軽量化

SA-302 形と比べ重量は約 1/2、寸法は各部とも約 2/3 である。

#### (8) 保守性

日常点検、定期点検項目とその標準的な実施期間を表 5. に示す。本機は保守点検を最小にする事を重点として開発、設計し、特に測定器の心臓部に当たるガスセルの清掃も、未熟練者でも簡単に行うことができる構造とし、その他重水素ランプの交換、2 次フィルタの点検及び交換も容易に行える。

#### (9) 高信頼性部品の採用

特殊設計の高性能回折格子分光器をはじめとして、光学部品、電子回路部品を厳選したので屋外使用電子機器としての信頼性が高い。

#### (10) 酸素分析計を追加できる。

酸素分析計(磁気式あるいはジルコニア式)は各発生源で定められた酸素濃度において NO<sub>x</sub> の値を換算する残存 O<sub>2</sub> 換算器も含めて本機のキューピクル内に収納できる。

## 4. 適合性

紫外線吸収方式による煙道ガス測定器 SA シリーズの開発製品化に着手して以来、多くの顧客の協力、指導を得て、各種発生源において試験し、本機の適合性について鋭意検討を進めてきた。現在までに多くの発生源についての試験あるいは調査が完了し、本機の適合性についての結論を得た。

### 4.1 適合性と測定データ(発生源別)

302 形及び 401 形の発生源対応の適合性を表 6. に示す。

総括すれば、NO の測定に対する干渉が数例で見られたが、SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> の測定に対する干渉はある種の脱硝装置の排ガスを除いて全くなく、適合性は非常に優れている。

(1) 重油、原油、灯油、LNG、LPG、B ガス、C ガス、金属加熱炉、石油加熱炉、コークス炉、セメント焼成炉、ガラス溶融炉、硝酸製造炉等に対して、NO<sub>x</sub> 及び SO<sub>2</sub> ともに優れた適合性を有している。

(2) 4 種類の焼結炉についての試験データを検討した結果、次の 1 例を除いて優れた適合性をもつことが分かった。

- 原鉱に特殊な含油金属廃棄物を加えて原料とする炉では SA-401 形の NO の測定に干渉を与える特殊な有機性ガスが共存する。この干渉ガスの影響は炉の運転状況からほぼ一定値であるので、干渉量を簡単な電気的補正回路で消去することにより、実用上の要求を満足することができた。

(3) キューポラ炉では排出される高濃度の CO を低減するための燃焼塔を附加した炉に対しては適合性を有している。

- 上記燃焼塔を備えていないキューポラ炉は含油スクラップの種類によっては SA-401 形の NO の測定に干渉する有機性ガスを排出

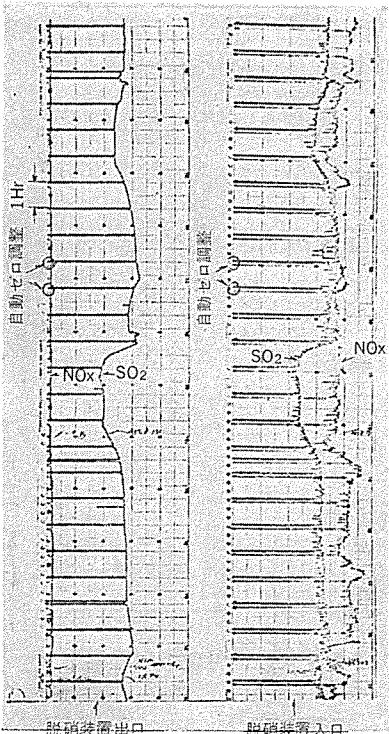
表 6. 三菱煙道ガス測定器の発生源別適合性

発生源等の種類	燃料の種類	適合性	
		NOx 計	SO <sub>2</sub> 計
ボイラ	重油、原油、灯油、LNG、LPG、Bガス、Cガス	◎	◎
金属加熱炉	重油、Cガス、Bガス	◎	◎
石油加熱炉	低質油、ガス	◎	◎
コークス炉	Cガス	◎	◎
セメント焼成炉	重油	◎	◎
ガラス溶融炉	重油、ガス	◎	◎
硝酸製造炉		◎	—
焼結炉	B(C)ガス、重油	○	◎
キューボラ炉	B(C)ガス、コークス	○	◎
黒液回収	CGP	重油	◎
	SCP	“	◎
	KP	“	○
ごみ焼却炉	重油、灯油	△	◎
脱硝装置	(乾式)	◎	◎
	(湿式)	◎	◎
脱硫装置	(乾式)	◎	◎
	(湿式)	◎	◎

◎ 優れた適合性を示す。

○ 一般に優れた適合性を示すが、特殊な排ガス性状の場合に、干渉ガス対策が必要なことを示す。

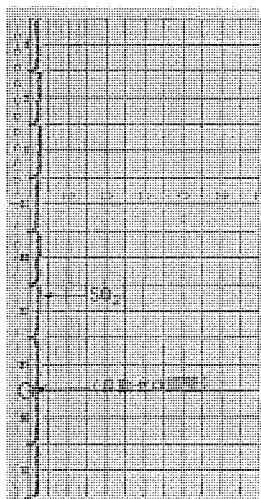
△ 排ガス中の干渉ガスの濃度に注意が必要なことを示す。

図 5. 脱硫脱硝処理後の SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> 測定データ

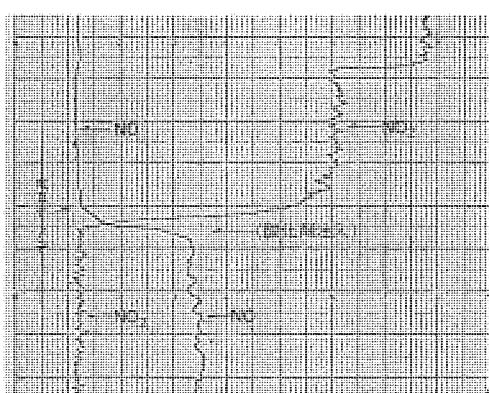
する。この場合、加熱分解等の前処理で除去する方法が有効である。

(4) 黒液回収ボイラでは、次のように適合させよう。

- CGP(ケミカル グランド パルプ) 及び SCP(セミ ケミカル パルプ) ボイラに対しては優れた適合性を有する。
- KP(クラフト パルプ) ボイラで悪臭分解装置あるいは燃焼管理装置が付加されている場合には適合できる。



スケール : SO<sub>2</sub> 100 ppm / フルスケール  
脱硫装置 : 濡式 (溶液吸収方式)  
図 4. 脱硫処理後の SO<sub>2</sub> 測定データ



スケール : NO 250 ppm / フルスケール  
NO<sub>x</sub> 100 ppm / フルスケール  
脱硝装置 : 濡式 (酸化吸収方式)  
図 6. 脱硝装置の反応過程測定データ

スケール : SO<sub>2</sub> 500 ppm / フルスケール  
NO<sub>x</sub> 250 ppm / フルスケール  
脱硫装置 : 濡式 (溶液吸収方式)  
脱硝装置 : 乾式 (接触還元方式)

● 上記以外の KP ボイラでは本機の NO の測定に干渉を与える悪臭成分 (H<sub>2</sub>S, メルカプタン等) がかなり排出されるので注意が必要である。

(5) ごみ焼却炉に対して、完全燃焼時には問題はないという一応の検討結果を得ている。しかし更に検討中である。

(6) 脱硫後の排ガスに対しては、次の特殊な場合を除いて適合性に問題がない。

● 接触還元方式で還元ガスに H<sub>2</sub>S を用い、しかも過剰の H<sub>2</sub>S を注入した場合。またアルカリ金属化合物添加方式、溶融炭酸塩方式で副生成物を還元再生する際に H<sub>2</sub>S を発生し、しかも反応による H<sub>2</sub>S が過剰となった場合。いずれも NO の測定に干渉する。

(7) 脱硝後の排ガスに対しては、次の特殊な例を除いてすべての方式について優れた適合性を有する。

● 選択、非選択接触還元方式、気相酸化吸収方式あるいは還元吸収方式において、反応に対して H<sub>2</sub>S, O<sub>3</sub>, ClO<sub>2</sub> 等が過剰となった場合。H<sub>2</sub>S は NO に、O<sub>3</sub> は SO<sub>2</sub> に、ClO<sub>2</sub> は NO<sub>x</sub> の測定に干渉する。

(8) その他、NH<sub>3</sub> を使用する脱硫脱硝処理で過剰な NH<sub>3</sub> が排出される場合、試料採取系の除湿部で NH<sub>3</sub> と SO<sub>2</sub> の反応が生じ、SO<sub>2</sub> の損失が大きくなることがある。これは本機に限った問題ではなく、他の方式においても生ずる試料採取部共通の問題であり、今後解決すべき課題である。

#### 4.2 低濃度排ガスの測定結果

数十例におよぶ排ガスの実測データの集約結果については、既に各種資料に紹介されているように、排煙脱硫脱硝処理後の排ガスの数 ppm オーダーの低濃度において、極めて精度よく、安定に測定でき、化学分析との対応も良好であるという評価を得ている<sup>(3)(4)</sup>。図 4., 5. 及び図 6. はこれを実証するデータの一例である。

#### 5. むすび

大気汚染監視用測定器として SA-302 に続き低濃度から高濃度まで測定できる SA-401 形を製品化した。発生源からの排出基準が強化され、排出ガス濃度がますます厳しく規制される情勢において、顧客の要求に十分こたえられる測定器であると考える。今後は更に低濃度測定、安定性、保守の容易さ、価格の低減等に努力する計画である。

終わりに、共存ガスの干渉、あるいは適合性について、実測に協力していただいた顧客の方々、及び当社応用機器研究所森川主任研究員はじめとする研究部門の方々に衷心からお礼申しあげます。

(昭和 51-5-6 受付)

#### 参考文献

- (1) 菊池ほか：三菱電機技報, 48, No. 4, p. 459 (昭 49)
- (2) K. Ito et al.: J. J. A. P., 14, Suppl. 14-1, p. 131 (1975)
- (3) たとえば、日本鉄鋼協会第61回計測部会資料、煙道ガス低濃度 SO<sub>2</sub> 計比較試験結果 (昭 50)
- (4) 羽深ほか：オートメーション, 20, No. 9, p. 46 (昭 50)

# 制御用計算機のアナログ入力における雑音とその対策

中根 勇\*・齊藤成一\*

## 1. まえがき

プロセスの制御、監視、データロギングなどに利用される制御用計算機の一つの問題点は、いかにプロセスからのデータを正しく計算機に入力するかということである。データがデジタル量の場合には雑音による問題は非常に少ないが、アナログ量の場合には、雑音による精度の低下がしばしば問題になっており、その対策が要求されている。

以下に、プロセスからのアナログ入力信号における雑音について述べるとともに、その対策を《MELCOM》350 制御用計算機 アナログ入力部では、どのように実施しているかを述べる。

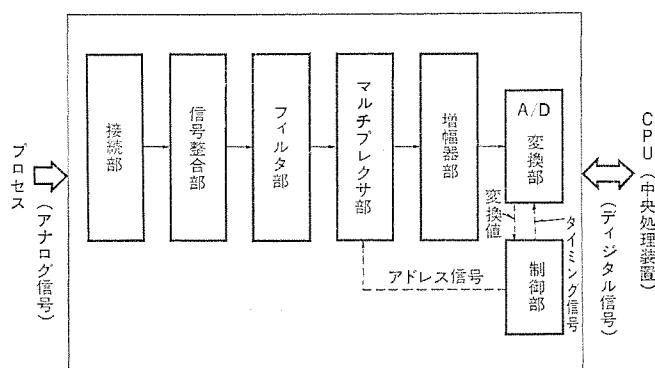
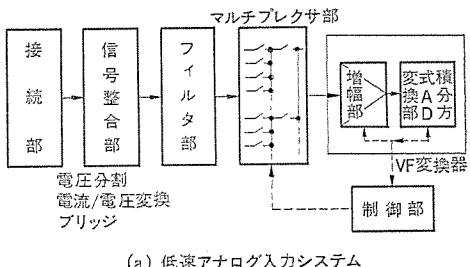
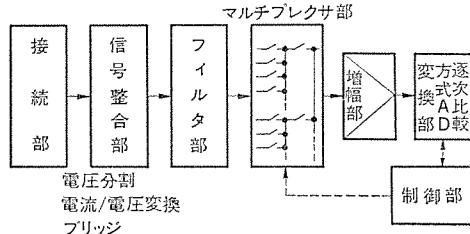


図 1. アナログ入力部構成図



(a) 低速アナログ入力システム



(b) 中速アナログ入力システム

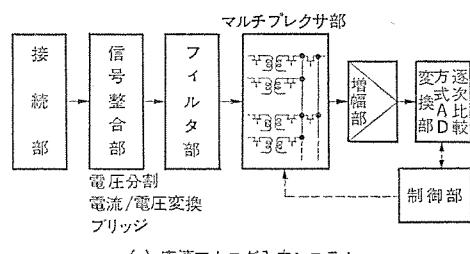


図 2. 《MELCOM》350 アナログ入力部構成図

## 2. 制御用計算機のアナログ入力部

制御用計算機のアナログ入力部は、一般に図 1. のような構成になっている。プロセスからのアナログ入力信号は、接続部、信号整合部、フィルタ部を経由してマルチブレーカ部に導かれる。ここで CPU から指定されたアドレスの入力信号のみが選択され増幅部に接続される。増幅部で必要に応じ増幅されたアナログ信号は A/D 変換部でデジタル量に変換され、制御部経由で CPU へ送られる。

図 2. に《MELCOM》350 制御用計算機のアナログ入力部の構成図を、表 1. に仕様一覧を示す。

表 1. 《MELCOM》350 アナログ入力部仕様一覧

仕様項目	低速アナログ入力システム	中速アナログ入力システム	高速アナログ入力システム
最大入力点数	512 点×4	511 点×4	224 点×4
入力信号レベル (フルスケール)	$\pm 10mV$ , $\pm 20mV$ , $\pm 50mV$ , $\pm 100mV$ , $\pm 200mV$ , $\pm 500mV$ , $\pm 1V$ , $\pm 2V$	$\pm 10mV$ , $\pm 20mV$ , $\pm 50mV$ , $\pm 100mV$ , $\pm 200mV$ , $\pm 500mV$ , $\pm 1V$ , $\pm 2V$	$\pm 10mV$ , $\pm 20mV$ , $\pm 50mV$ , $\pm 100mV$ , $\pm 200mV$ , $\pm 500mV$ , $\pm 1V$ , $\pm 2V$
ゲイン切換	プログラム切換	マニュアル切換	固定ゲイン
スキャン速度	30 点/秒 4 グループスキャンの場合 30 点/秒×4	125 点/秒又は 91 点/秒 4 グループスキャンの場合 125 点/秒×4 又は 91 点/秒×4	10,000 点/秒 同一点サンプリング速度 300 点/秒
マルチブレーカ形式 (素子)	3 線切換リレー方式 (水銀リレー)	3 線切換リレー方式 (水銀リレー)	トランジスタ絶縁形半導体方式 (トランジスト+FET)
同相電圧耐圧	120 V	350 V	500 V
CMR	110 dB(50 Hz)	120 dB(50 Hz)	130 dB(50 Hz)
A/D 変換方式	V/F変換方式による 積分方式 1,667カウント(60Hz)/ 2,000カウント(50Hz)	逐次比較方式 符号+11ビット	逐次比較方式 符号+11ビット
総合精度	$\pm 0.25\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 10mV$ , $\pm 12.5mV$ ) $\pm 0.175\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 20mV$ , $\pm 25mV$ ) $\pm 0.1\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 50mV$ ~ $\pm 5V$ )	$\pm 0.2\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 10mV$ , $\pm 20mV$ ) $\pm 0.15\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 50mV$ ~ $\pm 500mV$ ) $\pm 0.1\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 1V$ ~ $\pm 10V$ )	$\pm 0.2\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 10mV$ , $\pm 20mV$ ) $\pm 0.1\% + 1 \text{ digit}$ ( $\pm 50mV$ ~ $\pm 10V$ )

## 3. プロセスからのアナログ入力信号における雑音

プロセスからのアナログ入力信号には、図 3. に示すような種々の雑音が入ってくる。表 2. は主な雑音発生源を周波数帯域に分類して示したものである<sup>(1)</sup>。この外に信号源自体がもっている雑音及び計算機内部で発生する雑音がある。

以下、最も問題となる商用周波電力線との結合による雑音及び大地電位差にもとづく雑音について述べる。

### 3.1 大地電位差にもとづく雑音

図 3. のように、信号源が接地されていると、計算機の接地との大地電位差にもとづく大地電流が流れ、同相雑音（後述）を誘起する。

この同相雑音は、2 接地間が長いほど大きく、また近くに大電力

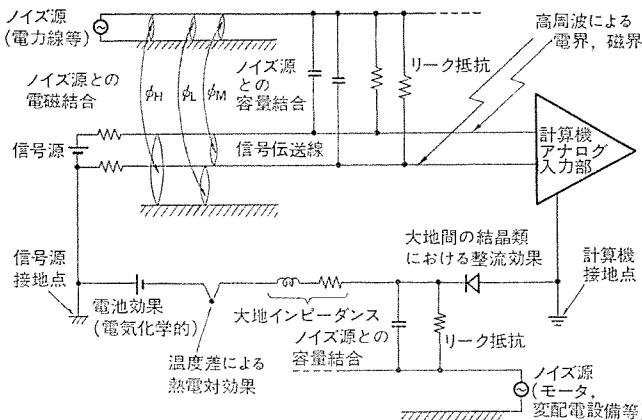


図 3. アナログ入力信号の雑音源

表 2. 主な雑音発生源と周波数帯域による分類

分類	主な雑音発生源
直流及び超低周波	熱起電力、電気化学的な起電力、直流機器、直流装置、鉄道
商用周波とその高調波	配電系、交流機器、交流装置、電源装置、電源線、計器
高周波及び無線周波	高周波加熱炉、超音波洗浄器、放送局、トランシーバー
インパルス及び広帯域周波	しゃ音器、リレー、スイッチ、けい光灯、サイリスト制御装置、溶接機、接触子付電動機、点火線、雷

を使用した装置（モータ、変配電設備など）の接地点があると更に大きくなり、状況によっては数百Vに達することがある。

### 3.2 商用周波電力線との結合による雑音

結合形態には、抵抗結合、静電誘導結合、電磁誘導結合の三つがある。

#### (1) 抵抗結合によるもの

信号源あるいは信号伝送線が絶縁物を介して結合している場合に、絶縁の劣化などにより無視できない程度の電流が流れることにより雑音を生じる。例としては、電気炉壁に熱電対をそう入した場合の20~100Vの同相電圧の発生<sup>(1)</sup>や、発電機の固定子コイルに張り付けた熱電対への100V程度の同相雑音の発生などがある。

#### (2) 静電／電磁誘導結合によるもの

静電誘導は信号線（被誘導線）が電力線（起誘導線）に近接する場合に両者の静電的な結合によって生じるものである。

電磁誘導は信号線（被誘導線）が大電流の流れる電力線（起誘導線）に並行して長い距離で設置される場合に両者の電磁結合によって生じるものである。

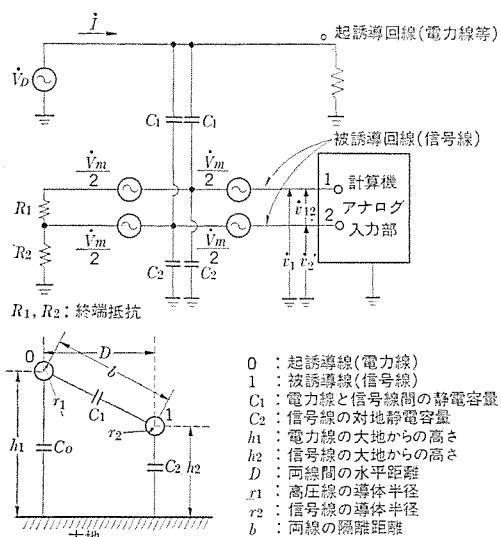


図 4. 誘導雑音電圧予測のための模擬回路

静電誘導及び電磁誘導による雑音電圧の大きさを予測するために図4. のように簡単な模擬回路を想定してみる<sup>(2)</sup>。図4. では取扱い上、静電容量が回線の中央に集中し、電磁誘導による誘導線電圧は2分され、左右等しく現れるものとし、また被誘導対は完全に平衡しているものと仮定している。

この時、計算機側における線間雑音電圧  $v_{12}$ 、対地雑音電圧  $v_1$ 、 $v_2$  は次のようになる。

$$v_{12} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + Z_2 + R_2 \left(1 + \frac{1}{Z_2}\right)} \cdot \left(\frac{\dot{V}_m}{2} + \dot{V}_e\right) \quad (1)$$

$$\dot{V}_e = \frac{Z_2}{R_1 + R_2 + Z_2 + R_2 \left(1 + \frac{1}{Z_2}\right)} \cdot \left(\frac{\dot{V}_m}{2} + \dot{V}_e\right) + \frac{\dot{V}_m}{2} \quad (2)$$

$$\dot{V}_m = \dot{V}_1 - \dot{V}_{12} \quad (3)$$

ここにおいて、 $\dot{V}_e$ 、 $\dot{V}_m$  はそれぞれ静電誘導電圧、電磁誘導線電圧であり、式(6)、式(7)で与えられる。 $Z_2$  は被誘導回線の対地インピーダンスであり、式(4)で与えられる。また  $R_1$ 、 $R_2$  は図4. に示すような終端抵抗である。

$$Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2} \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon_s}{\log e^{\frac{2h_2}{r_2}}} \quad (\mu\text{F}/\text{km}) \quad (5)$$

$\epsilon_s$  : 比誘電率 (空気の場合 1)

$\epsilon_0$  : 真空の誘電率 ( $8.855 \times 10^{-12} \mu\text{F}/\text{km}$ )

$$\dot{V}_e = \frac{\log e^{\frac{(h_1+h_2)^2+D^2}{2}}}{2 \log e^{\frac{2h_1}{r_1}}} \cdot \dot{V}_0 \quad (\text{V}) \quad (6)$$

$$\dot{V}_m = -j\omega M \dot{I} \times 10^{-3} \quad (\text{V}) \quad (7)$$

$$M = 0.2 \log e^{\frac{2}{\gamma|K|b}} + 0.1 - \frac{j\pi}{20} \quad (\text{mH}/\text{km}) \quad (8)$$

$\gamma$  : 1.7811 (ペッセル定数)

$|K|$  :  $\sqrt{4\pi\omega(11\rho \times 10^5) \times 10^{-11}}$  (cm<sup>-1</sup>)

$\rho$  : 大地の固有抵抗 ( $\Omega\text{-cm}$ ) (我が国では山地で  $1 \times 10^4$ 、平地で  $1 \times 10^5$  程度)

$b$  : 両回線の隔離距離 (cm)

ここに  $\omega$  : 角周波数 ( $= 2\pi f$ ,  $f$  は 50 又は 60 Hz)

$I$  : 両回線の並行長 (km)

$\dot{V}_0$  : 起誘導回線の電圧 (V)

$\dot{I}$  : 起誘導回線の電流 (A) である。

$c_1$ 、 $c_2$ 、 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $D$ 、 $r_1$ 、 $r_2$  に関しては図4. の中に示してある。

### 3.3 同相雑音と重畠雑音

以上四つの原因によって混入した種々の雑音は、最終的には二つのモードの雑音すなわち同相雑音（コモンモード雑音ともいう）と重畠雑音（ノーマルモード雑音ともいう）の形態で表される。

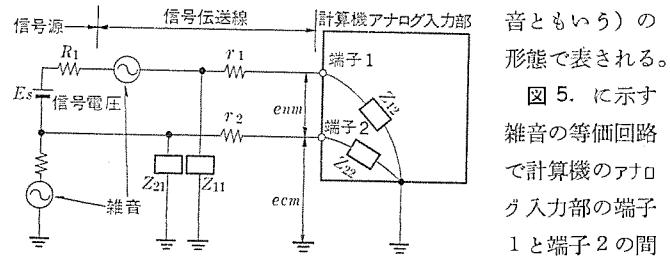


図 5. 雜音の等価回路

に現れ信号電圧

$E_S$  に重畠している線間雑音  $e_{nm}$  が重畠雑音であり、端子 1 と端子 2 の計算機の接地電位に対する対地電位と一緒に上下させる対地雑音  $e_{cm}$  が同相雑音である。

重畠雑音は信号電圧に重畠しているため取り除かなければ測定上の誤差となる。

同相雑音はそのままでは測定上の誤差とはならないが、図 5. に示す信号伝送線の対地インピーダンス  $Z_{11}, Z_{21}$  及び計算機のアナログ入力部の対地インピーダンス  $Z_{12}, Z_{22}$  を通り雑音電流が流れ、この電流差により同相雑音から重畠雑音に変換され、これが測定上の誤差となる。同相雑音から重畠雑音に変換される割合を同相雑音除去比 (Common Mode Noise Rejection Ratio, CMR と略す) といい、式(9)で表すことができる。

$$CMR = 20 \log \frac{e_{cm}}{e_{nm}} \quad (\text{dB}) \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

図 5. の CMR は式(10)で表される。

$$CMR = 20 \log \left( \frac{r_1 + R_1}{Z_1} - \frac{r_2}{Z_2} \right) \quad (\text{dB}) \quad \dots \dots \dots \quad (10)$$

ここに  $r_1, r_2$  : 信号伝送線抵抗

$R_1$  : 信号源アンバランス抵抗

$$Z_1 = \frac{Z_{11} \cdot Z_{12}}{Z_{11} + Z_{12}} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

$$Z_2 = \frac{Z_{21} \cdot Z_{22}}{Z_{21} + Z_{22}} \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

#### 4. 信号伝送線における雑音防止対策

##### 4.1 静電誘導防止対策

電力線との静電誘導による同相雑音を防止するには

- (1) 電力線と信号線との距離 (図 4. の  $D$ ) を大きくする。
- (2) 電力線と信号線の間に静電シールドを施す。すなわち信号線に静電シールドケーブルを用い、シールドを接地する。表 3. に防止効果例を示す<sup>(3)</sup>。

静電誘導による重畠雑音を防止するには

- (3) 信号線の往復線をより合わせることにより電力線との結合容量 (図 4. の  $C_1$ )、対地容量 (図 4. の  $C_2$ ) をバランスさせる。

##### 4.2 電磁誘導防止対策

電磁誘導による同相雑音を防止するには

- (1) 電力線と信号線の距離 (式(8)の  $b$ ) を大きくする。
- (2) 電力線と信号線の並行長 (式(7)の  $l$ ) を短くする。
- (3) 電力線と信号線の間に電磁シールドを施す。

電磁誘導による重畠雑音を防止するには

- (4) 信号線の往復線をより合わせることにより電力線との結合をバランスさせるとともに、隣接部分で互いに相殺させる。この方法により平行線に比し 20~40 dB の防止効果が得られる。

##### 4.3 CMR 対策

CMR を良くし、同相雑音より重畠雑音に変換される割合を少なくするには

- (1) 信号源アンバランス抵抗 (図 5. の  $R_1$ ) を小さくする。

表 3. 静電シールドの効果

シールド構造	雑音除去比	シールド効果
網 組 (密度 85%)	103 : 1	40.3 dB
横巻シールド (密度 90%)	376 : 1	51.5 dB
アルミマイラーテープ重ね巻	6640 : 1	76.4 dB

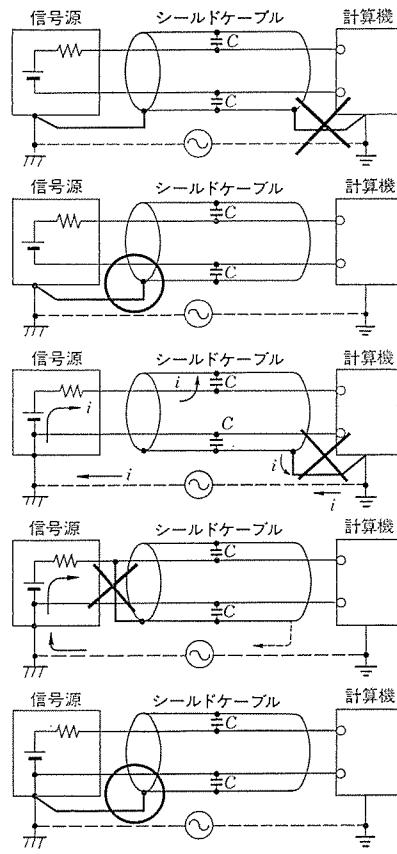


図 6. シールドケーブルの接続法

(2) 信号線の対地インピーダンス (図 5. の  $Z_{11}, Z_{21}$ ) を大きくする。そのために、信号線には静電シールドケーブルを用い、シールドを信号源側で 1 点接続し、同相雑音による電流をシールドを通して大地へ流し、信号ラインからは大地へ電流が流れないようにすることにより、結果的に信号線の対地インピーダンスを上げる。図 6. に CMR を良くするためのシールドケーブルの正しい接続法を示す。

#### 5. アナログ入力部における雑音対策

##### 5.1 重畠雑音対策

###### (1) ローパスフィルタの使用

重畠雑音を除去するには、図 7. に示すような RC ローパスフィルタが用いられる。(a) に回路構成を、(b) に周波数特性を、(c) にステップ応答を示す。フィルタを使用する場合注意すべきことは、フィルタは雑音の減衰ばかりでなく、信号に対する応答速度も遅らせるということである。商用周波数に対して、20 dB の減衰特性を持つフィルタの時定数は約 26 ms, 99.9%までの整定時間は約 0.17 秒、40 dB のものはそれぞれ 0.13 秒、0.6 秒、60 dB のものはそれぞれ 0.3 秒、2 秒である。

###### (2) 積分方式 A/D 変換器の採用

図 2. (a) に示す低速アナログ入力システムは、特に雑音に強い仕様とするため、A/D 変換器に積分方式を採用している。

図 8. に比較方式 A/D 変換と積分方式 A/D 変換の重畠雑音に対する影響の大小の概念を示した。重畠雑音に対する除去効果は一般に NMR (Normal Mode Noise Rejection Ratio) といわれ、式(13)で表される。

$$NMR = 20 \log \frac{\text{重畠雑音の最大値}}{\text{測定結果における最大誤差量}} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

積分方式の商用周波数における NMR を求めると以下のようなになる。

図 8.において、重畠雑音が式(14)で表されるものと仮定し、

$$e_{nm}(t) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \theta\right) \quad \dots \dots \dots (14)$$

ここに  $A$  : 重畠雑音の最大値

$T$  : 重畠雑音の周期

$\theta$  : 積分開始時の重畠雑音の位相

積分時間を  $T_I$  とすると、NMR は式(15)で表される。

$$\begin{aligned} \text{NMR} &= 20 \log \frac{A}{\left| \frac{1}{T_I} \int_0^{T_I} A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \theta\right) dt \right|_{\max}} \\ &= 20 \log \frac{2\pi(1+K)N}{2 \sin^2 \pi KN \cdot \cos \theta_0 + \sin 2\pi KN \cdot \sin \theta_0} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (15)$$

ここで、 $\theta_0$  は式(16)で表される最大誤差量を与える位相角である。

$$\theta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\tan \pi KN}\right) \quad \dots \dots \dots (16)$$

また、 $N$  は雑音の周期の何倍の時間積分するかを示す整数であり、 $K$  は式(17)で表される雑音周期の変動分を示す値である。

$$K = \frac{\frac{T_I}{N} - T}{T} \quad \dots \dots \dots (17)$$

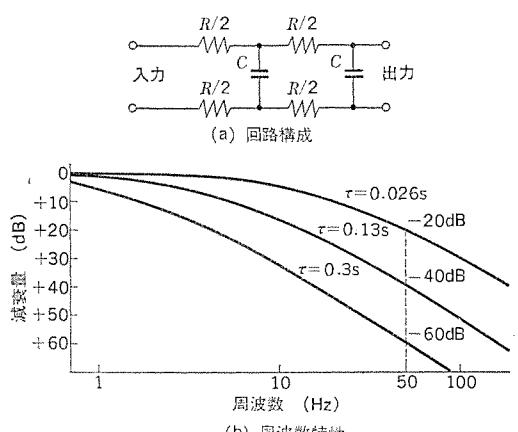


図 7. RC ローパスフィルタ

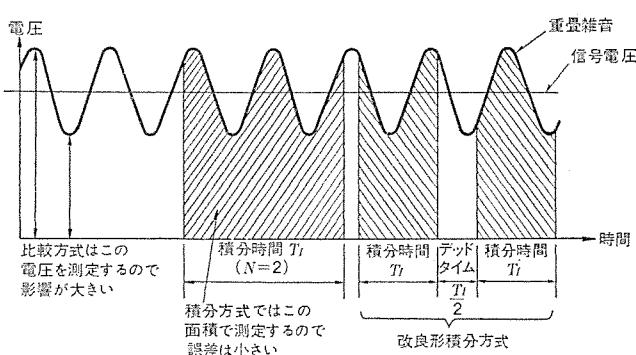


図 8. 重畠雑音に対する影響

図 9. は式(17)にもとづいて、NMR と  $K$  との関係を  $N$  をパラメータにして描いたものである。 $K=0$  すなわち雑音周期に変動がなく完全に積分時間の整数分の 1 であれば、NMR は無限大となり、重畠雑音の影響を完全に除去することができる。

しかしながら、もし雑音周期に 2% の変動があれば、 $N=1$  の時には 34 dB の NMR しかなく、雑音が大きくて、この値で問題がある場合には、次のような対策が考えられる。

(a) ローパスフィルタを付加する。

(b)  $N$  を大きくし、積分時間を長くする。

(c) 改良形積分方式を用いる。

(c) の改良形積分方式とは図 8. に示すように、 $T_I/2$  のデッドタイムを取った 2 回積分方式であり、この方式の NMR は式(18)で表される。

$$\text{NMR} = 20 \log \frac{2(1+K)}{3\pi K^2 \left| \cos \theta_0 - \frac{8}{3}\pi K \sin \theta_0 \right|} \quad \dots \dots \dots (18)$$

$$\text{ここで } \theta_0 = \tan^{-1}\left(-\frac{8}{3}\pi K\right) \quad \dots \dots \dots (19)$$

NMR と  $K$  との関係を図 9. に点線で示したが、NMR を 20 dB 改

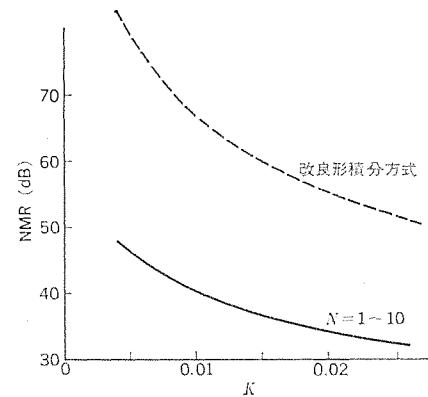


図 9. 雜音周波数変動と NMR

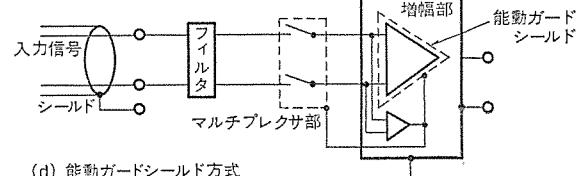
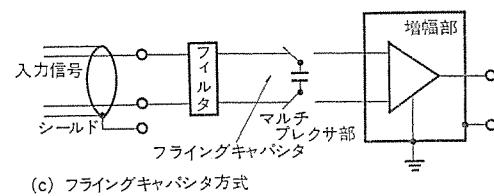
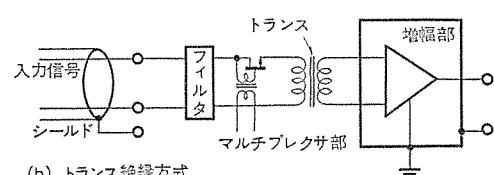
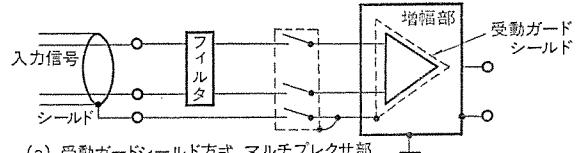


図 10. CMR 対策方式

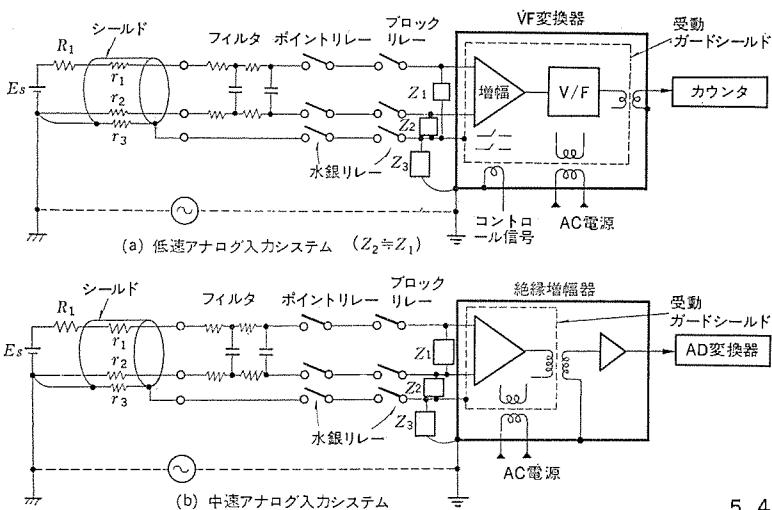


図 11. 受動ガードシールド方式の実施回路

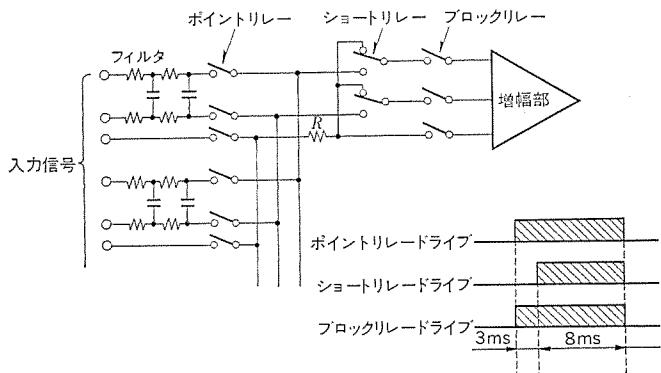


図 12. ショートリレー

善することができる。

なお、《MELCOM》350では、現在のところ対策(a)を採用している。

## 5.2 同相雑音対策

計算機のアナログ入力部の入力端子に同相雑音の形で与えられたものは、計算機内部では除去することはできず、対策としては、いかにも同相雑音から重複雑音への変換を少なくするか、すなわち 5.3 節の CMR 対策に尽きる。なお、当然同相雑音が加えられても入力部が壊れないように十分な対地耐圧が入力部の各部分に必要となる。

## 5.3 CMR 対策

CMR を良くし、同相雑音より重複雑音に変換される割合を少なくするには、アナログ入力部の対地インピーダンス(図 5 の  $Z_{12}$ ,  $Z_{22}$ )を大きくすることであり、図 10. に示すような方式が一般に考えられている。《MELCOM》350では、低速アナログ入力システム、中速アナログ入力システムで図 10. (a)の方式を、高速アナログ入力システムで(b)の方式を採用している。(a)の方式は、(c)の方式に比し、A/D 変換器が、積分方式の場合にも適用できるという利点がある。

図 10. (a)の方式は、受動ガードシールド機構を用いたもので、入力信号ケーブルのシールドをガードシールドに接続することにより、ガードシールドを同相雑音と同電位に保つことにより見かけ上の対地インピーダンスを大きくし、CMR を良くしている。この方式での実施回路を図 11. に示す。(a)は低速システムの回路、(b)は中速システムの回路である。

図 11. (a), (b)の CMR は式 (20) で表される。またガードシールドを用いない場合の CMR は式 (21) で表され、大幅に改善されることが分かる。CMR の実測値は、フィルタがない単体の場合で、両回路ともに約 110~120 dB であり、ガードシールドを用いない場合の CMR は約 60 dB である。

$$CMR = k + 20 \log \frac{Z_3}{r_3} \cdot \frac{Z_1}{(R_1 + r_1 - r_2)} \quad \dots \dots \dots (20)$$

$$CMR = k + 20 \log \frac{Z_1 + Z_3}{(R_1 + r_1 - r_2)} \quad \dots \dots \dots (21)$$

ここで、 $k$  はフィルタの減衰値(dB)である。 $R_1$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  は図 11. に示された抵抗であり、 $Z_1$ ,  $Z_3$  は同図に示すインピーダンスで漂遊容量と絶縁抵抗の並列回路で構成される。

## 5.4 受動ガードシールド方式適用上の問題点

図 11. に示す回路で原理的には式 (20), 式 (21) に示すように高い CMR を得ることができるわけであるが、実際に適用するには、次の問題を解決しなければ、実効的な CMR が低くなってしまう。

### (1) 問題点 1

選択されていないマルチプレクサの絶縁抵抗、漂遊容量の並列効果による対地インピーダンスの低下に伴う CMR の悪化。

### (2) 問題点 2

同相雑音の印加された信号をマルチプレクスすることによる過渡現象による実効 CMR の低下。

### (3) 問題点 1 の解決策

マルチプレクサをポイントリレーとブロックリレーの 2 段で構成し、マルチプレクサの並列効果を最小にする。ブロックリレーは、増幅器側から見た入力点の、絶縁抵抗、漂遊容量の並列効果を制限し、マルチプレクサ部の並列容量を最小に、絶縁抵抗を最大にするように総点数に対してその数を決定すべきである。《MELCOM》350では、16 ポイントリレーごとに 1 個のブロックリレーという構成になっている。

### (4) 問題点 2 の解決策

問題点 2 の原因が、過渡時にフィルタ部のコンデンサから増幅部の漂遊容量への電荷の移動であるため、これを防止するショートリレーを図 12. のように追加することにより解決できる。

## 6. むすび

以上、制御用計算機のアナログ入力で常に問題になる雑音について的一般論を述べ、雑音の性質を知ることにより、その防止対策を提案し、それらを《MELCOM》350 制御用計算機のアナログ入力部では、どのように実現し実施しているかを紹介した。

## 参考文献

- (1) 木下：オートメーション, 21, No. 1, 31 (昭 51)
- (2) 山本：オートメーション, 21, No. 1, 49 (昭 51)
- (3) 住友電気工業：電子技術, 第 E 7-30 号 (昭 46)
- (4) James Jursik : Control Engineering, 10, No. 8, 61 (1963)
- (5) Bruce E. Klipec : IEEE Trans. on Industry and General Applications, IGA-3, No. 2, Mar./Apr. (1967)

# 水分散絶縁ワニスの安定性に及ぼす化学組成と表面電荷の影響

小野 博\*・柴山 恒一\*\*

## 1. まえがき

近年公害問題に関する一般社会の関心が急速に高まり、更に先般のいわゆる石油危機に端を発して、無公害、節資源、節エネルギー形絶縁材料の開発が急がれている。これらの要求を満たす有力な材料の一つとして水性絶縁ワニスがある。従来ワニスとしては、溶剤形ワニスあるいは無溶剤形ワニスが使われてきたが、溶剤形ワニスの場合には、本質的には溶剤は不要なものであるから資源の浪費となり、かつ溶剤の揮散によって大気汚染などの公害問題をひき起こす原因となっている。一方無溶剤形ワニスにはほとんどの場合スチレンが使われており、その沸点が比較的低いためにその揮散による材料の浪費、大気汚染などの問題を生じており、またその臭気がかなり強いために作業環境の悪化などの安全衛生上の問題を起こしている。これに対し水性絶縁ワニスは絶縁材料として用いる高分子物質を水中に溶解、あるいは分散させた状態で使用されるので、揮発性の溶剤、あるいはスチレンなどを使わないで済むので無公害、節資源形絶縁材料といふことができる。当社では現在電着用水分散絶縁ワニスの開発を進めており、その一部は既に《MEDIS》電線用ワニスとして実用に供せられている。このワニスは乳化重合法で作られているが、水分散ワニスの宿命として製造過程中、保存中、及び使用中に安定した状態で水中に分散していくなければならない。ワニス粒子間に作用する引力が大きすぎる場合や反発力が小さすぎる場合には、ワニスの安定性が乏しくなり、製造中、保存中、あるいは使用中に凝集してしまう恐れがある。例えば極性の強いアクリロニトリルの比率の高い組成のワニスを非イオン界面活性剤の存在下で製造しようとすると、安定性が悪く、重合反応中に凝集してしまう。この凝集を防ぐためには、分散系の安定性を支配している粒子間引力、及び斥力に影響を与えている諸要因をみつけ出し、かつそのそれぞれの要因が分散系の安定性にどの程度寄与しているかを明らかにしなければならない。その上で、これらの諸要因の安定性への影響を総合的に考慮して、他の諸特性とのバランスのとれた水分散絶縁ワニスを作らなければならぬ。粒子間引力を支配する要因は主としてその化学組成であるが、最終皮膜特性との関係もあって簡単に変えられないことが多い。そのため粒子間反発力を調節する手法を探る場合が多い。ここではこの反発力を支配する静電斥力を主として取り上げ、化学組成、表面解離基、及び界面活性剤の影響を検討した結果について述べる。

## 2. 高分子ラテックスの安定性の理論と実験法

液体中に粉体が分散している分散系の凝集現象を考察するときにまず注目すべきことは、一般に分散系が可逆系と不可逆系に分類され、その凝集安定性に本質的な相違があるという点である。

例えばゼラチンラテックスは可逆的に調整され、これは安定な系であるが、よう化銀ラテックスや乳化重合法で作られる高分子ラテックスなどは普通“安定”な疎水性分散系と呼ばれているが、これらは真的平衡状態ではなく長期間放置すると必ず凝集する。ただその凝集速

度が非常に小さいので観測時間中に変化が認められないだけである。

この両者の相違は分散相粒子と分散媒の親和力の大小によるものである。親和力が大きいと溶媒和によって界面自由エネルギーが負の大きな値をとるので界面面積の大きい分散状態のほうが2相に分離した状態よりも自由エネルギーが小さく系の安定性が大きくなる。このような系の例が前述のゼラチンの場合であり、可逆（親液）分散系と呼ばれる。一方、分散相粒子と分散媒の親和力が小さいときには溶媒和による負の自由エネルギー項がなくなるので、この場合には界面面積の小さい2相分離状態のほうが分散状態よりも自由エネルギーが小さくより安定である。前述のよう化銀ラテックスや乳化重合法で作られた高分子ラテックスなどがその例であり、この系は熱力学的には本質的に不安定な系であり必ず不可逆な凝集を起こすはずである。この系を不可逆（疎液）分散系と呼んでいる。前述の水分散絶縁ワニスとして用いられる高分子ラテックスは言うまでもなく、後者の不可逆分散系に属する。

一般に吸着層をもたない疎液性分散系の安定性については有名なDerjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (DLVO) の理論<sup>(1)(2)</sup>があり、安定性の理論の基礎となっている。DLVO理論によれば、コロイド粒子間の相互作用のポテンシャルエネルギー  $V$  は斥力ポテンシャルエネルギー  $V_R$  と引力ポテンシャルエネルギーの和として表される。

$$V = V_R + V_A \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここで  $V_R$  は斥力ポテンシャルエネルギー、  $V_A$  は引力ポテンシャルエネルギーである。 $V_R$  は電気2重層の重なりによる粒子間の静電斥力で二つの球状電粒子の場合には次式で表される。

(1)  $\kappa a$  が大きいとき、25°Cの水溶液では

$$V_R(u) = 4.62 \times 10^{-6} (\alpha \gamma^2 / \nu^2) \exp(-\kappa au) \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

(2)  $\kappa a$  が小さいとき

$$V_R(u) = \beta \cdot \varepsilon \cdot \alpha \cdot \psi \delta \exp(-\kappa au) / (u+2) \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

ここで  $a$  は粒子の半径、  $\gamma = \{\exp(\gamma \cdot e \cdot \psi \delta / 2kT) - 1\} / \{\exp(\nu \cdot e \cdot \psi \delta / 2kT) + 1\}$ 、  $\nu$  はイオン価、  $\kappa$  はDebye-Hückel パラメータ、  $u = H_0/a$ 、  $H_0$  は粒子表面間の最短距離、  $\psi \delta$  は Stern 電位、  $k$  はボルツマン定数、  $T$  は絶対温度、  $e$  は電子の電荷、  $\beta$  は1に近い係数、  $\varepsilon$  は媒質の誘電率である。一方  $V_A$  は粒子間に働く van der Waals 引力ポテンシャルエネルギーであり、二つの球状粒子の場合には次式で表される<sup>(3)</sup>。

$$V_A(u) = -\frac{A}{6} \left\{ \frac{2}{[u(u+4)]} + \frac{2}{(u+2)^2} + \ln \frac{u(u+4)}{(u+2)^2} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

とくに  $u \ll 1$  の場合には

$$V_A(u) = -A/12u \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

となる。ここで  $A$  は Hamaker 定数である。

吸着層で覆われた粒子間の相互作用ポテンシャルエネルギーを考える場合には前述の静電斥力と van der Waals 引力の外に吸着層による自由エネルギー項を加える必要がある。この場合の相互作用の全自由エネルギーは次式で表される<sup>(4)</sup>。

$$\Delta G_{\text{全相互作用}} = \Delta G_{\text{斥力}} + \Delta G_{\text{引力}} + \Delta G_S \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

上式において  $\Delta G_S$  は吸着層に起因する相互作用の自由エネルギーであ

る。また  $\Delta G_{\text{斥力}} = V_R$ ,  $\Delta G_{\text{引力}} = V_A$  とおくのが便利であるが、これらはいずれも吸着層の影響を受けて変化することを考慮しておく必要がある。 $\Delta G_S$  には吸着層による立体障害効果、水和効果など多くの因子が影響しているので定量的な議論をするのはかなり難しい。

ラテックスの安定性を実験的に調べる方法について次に述べる。ラテックスの凝集の初期過程における粒子の消失速度は次式で表される。

$$-dN/dt = KN^2 \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

ここで  $K$  は凝集の速度定数,  $N$  は粒子数である。

式(7)を積分すると次式が得られる。

$$N_t = N_0 / (1 + KN_0 t) \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

$N_t$  は時間  $t$  において存在する粒子数、 $N_0$  は最初に存在する粒子数である。一方体積  $V$  の粒子が  $N$  個存在する分散系の濁度  $\tau$  は次式で与えられる<sup>(5)</sup>。

ここで  $A$  は光学定数である。式(8), (9)より

$V_0$ は粒子の最初の体積である。この式は厳密にはRayleigh領域でのみ成立するが、凝集の初期過程においては、やや大きい粒子についても近似的に成立すると考えられるので、凝集の初期過程における濁度の経時変化から  $K'$ を求めることができる。

またラテックスの安定性の尺度となる安定度比  $W$  は絶対反応速度論によって  $\exp(E/kT)$  によって定義されるが ( $E$  は凝集過程の活性化エネルギー), 実験的には次式で求められる。

$$W_{\text{exp}} = K_0/K \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

ここで  $K_0$  は急速凝集の速度定数である。

DLVO の理論によれば、安定度比とラテックスに加えられた電解質の濃度  $C_e$  の間には次式が成立する<sup>(6)</sup>。

$$\log W = -K_1 \log C_e + K_2 \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

この式は安定度曲線、すなわち  $\log W$  と  $\log C_e$  のプロットは粒子間の反発エネルギーがゼロになるまでほぼ直線であるべきことを示している。またこの理論によれば表面電位は次式で求められる<sup>(6)</sup>。

$$-d \log W/d \log C_e = 2.15 \times 10^7 (a + \gamma^2/v^2) \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

式(13)を用いれば Stern 電位  $\psi\delta$  が求められるが、実験的には電解質の存在下で荷電粒子の電気泳動易動度を測定し、Zeta 電位を求めることができる。

Hamaker 定数  $A$  は前述のように液中に分散している粒子間の引力エネルギーの尺度であるが、電解質の存在下における凝集速度の測定結果から次式によって求められる<sup>(7)</sup>。

$$c.c.c = \frac{8 \times 10^{-22} \cdot \gamma^4}{A^2 \cdot \nu^6} (\text{ミリモル}/l) \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

ここで c. c. c. は臨界凝集濃度で、急速凝集を起こすのに必要な最小量の電解質濃度として定義されるが、実験的には  $\log W$  と  $\log C_e$  の関係をプロットし、 $\log W=0$  の点まで外そうして、そのときの電解質濃度として定めている。

### 3. 高分子ラテックスの安定性

前述のように水分散絶縁ワニスには高分子ラテックスが使われているが、これは本質的には不安定な系であり、調整中、保存中、あるいは使用中に安定性を失って凝集する恐れがある。この凝集を防ぐために、ラテックス粒子間に働く van der Waals 引力と静電斥力を調節する必要がある。その方法としてはラテックス粒子を構成する高分子の組成を変えて van der Waals 引力を調節する方法もあるが、これ

表 1. スチレン-アクリロニトリル 共重合体 ラテックス の化学組成

名 称	化 学 組 成 (モル%)	
	ス チ レ ン	アクリロニトリル
ST	100	0
SA 82	84.6	15.4
SA 64	61.8	38.2
SA 46	44.0	56.0
SA 28	25.0	75.0

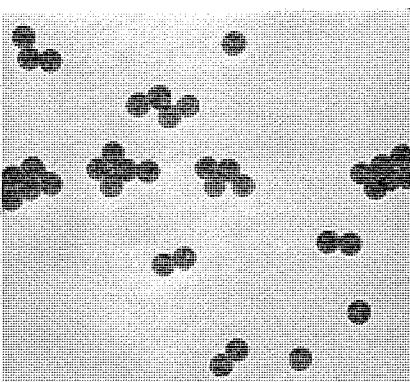


図 1. ラテックス SA 82 の  
電顕写真 ( $\times 37,000$ )

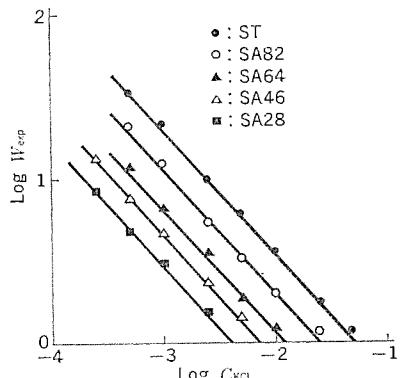


図 2. スチレン-アクリロニトリル 共重合体 ラテックス の安定度曲線  
アクリロニトリル 共重合体 ラテックス について

表 1. にラテックスの化学組成を示した。図 1. にはラテックス SA 82 の電顕写真を示す。これをみるとラテックス粒子はほぼ球形で、粒径はかなりよくそろっていることが分かる。

表 1. に記したそれぞれの ラテックス に塩化 カリウム 水溶液を添加して濁度の変化を測定し、凝集の初期段階における濁度の変化から凝集の速度定数の相対値として  $W_{exp}$  を定めた。結果は安定度曲線として図 2. に示した。これをみると、ラテックスの安定性は SA 28 < SA 46 < SA 64 < SA 82 < ST の順であり、ステレン 含有率の増加について安定性が増大することが分かる。このことは分散相高分子の極性の増加についてラテックスの安定性が低下することを示している。

図 2. から分かるように臨界凝集濃度 (c. c. c.) は、アクリロニトリル 含有率の増加について一様に減少している。図 3. には塩化 カリウム の濃度を変えて測定した電気泳動易動度から Overbeek の式<sup>(9)</sup>を用いて求めた Zeta 電位の塩化 カリウム 濃度依存性を示す。これを見ると電解質濃度が  $10^{-4}$  モル/l のときには、いずれの ラテックス でも Zeta 電位の値はほとんど変わらないが、その傾斜は ラテックス によってかなりの差があり、SA 28 > SA 46 > SA 64 > SA 82 > ST の順であることが分かる。したがって電解質濃度の高い領域では Zeta 電位は ST > SA 82 > SA 64 > SA 46 > SA 28 の順となり、ラテックス の安定性の順序と

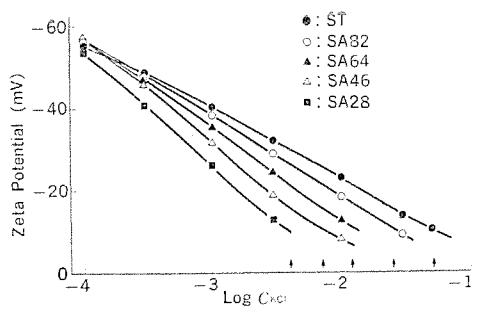


図 3. スチレン-アクリロニトリル共重合体ラテックスのZeta電位

表 2. スチレン-アクリロニトリル共重合体ラテックスの諸特性

名 称	Stern 電位 $\psi\delta$ (mV)	$S_c.c.c.$ (mV)	Hamaker 定数 $A$ ( $10^{-14}$ erg)
ST	-9.8	-10.0	3.5
SA 82	-10.2	-10.2	5.4
SA 64	-10.7	-10.7	8.5
SA 46	-10.2	-10.0	10.4
SA 28	-9.8	-9.7	12.8

表 3. スチレン-MAA 及びスチレン-MMA 共重合体ラテックスの諸特性

名 称	MAA(SA) あるいは MMA(SM) の含有率 (モル%)	平均粒径 (nm)	変動係数	硫酸基数 (数/cm <sup>2</sup> )	カルボキシル基数 (数/cm <sup>2</sup> )	全電荷数 (電荷/cm <sup>2</sup> )	表面カルボキシル基の比率
SA 0	0	60.0	6.0	$5.12 \times 10^{12}$	$1.01 \times 10^{12}$	$6.13 \times 10^{12}$	1
" 1	0.98	57.2	6.9	6.43 "	$4.10 \times 10^{13}$	$4.74 \times 10^{13}$	0.72
" 2	1.92	54.5	7.2	5.13 "	7.30 "	7.81 "	0.69
" 5	4.63	48.6	7.5	4.99 "	$1.50 \times 10^{14}$	$1.55 \times 10^{14}$	0.65
" 10	9.40	42.2	8.1	6.37 "	2.30 "	2.36 "	0.56
" 15	13.9	37.6	8.4	6.49 "	2.71 "	2.77 "	0.50
" 20	19.9	34.5	8.7	6.18 "	3.01 "	3.07 "	0.44
SM 0	0	60.0	6.0	$5.12 \times 10^{12}$	$1.01 \times 10^{12}$	$6.13 \times 10^{12}$	
" 5	4.8	56.2	6.3	5.93 "	1.98 "	7.91 "	
" 10	9.5	54.3	6.3	6.87 "	1.48 "	8.35 "	
" 15	15.4	52.3	6.5	5.68 "	1.55 "	7.23 "	
" 20	19.6	51.2	6.6	6.31 "	1.37 "	7.68 "	

一致している。図 2. に考した安定度曲線から式(13)を用いて計算した Stern 電位を表 2. に示した。この表には図 3. から求めた c. c. c.における Zeta 電位も同時に示したが、Stern 電位は Zeta 電位とよく一致しており、その値はアクリロニトリル含有率には全く依存していない。一方 Hamaker 定数  $A$  は式(14)によって求められるが、その値も表 2. に示した。 $A$  の値はアクリロニトリル含有率の増加につれて著しく増大する。これらの結果からこの系列のラテックスにおいては、アクリロニトリル含有率が増加しても粒子間の電気的反発力はほとんど同一であるが、粒子間に働く van der Waals 引力がアクリロニトリル含有率の増加につれて増加するために安定性が低下することが明らかになった。

### 3.2 粒子表面に存在するカルボキシル基の影響

ラテックス粒子表面に存在するカルボキシル基がラテックスの安定性に与える影響を、メタクリル酸メチル(MMA)、及びメタクリル酸(MAA)の含有率の異なる一連のスチレン-MMA 及びスチレン-MAA 共重合体ラテックスについて検討した<sup>(10)</sup>。

表 3. に試料の特性を示した。これをみると重合開始剤に起因する、ラテックス粒子の表面の硫酸基の数は、いずれのラテックスにおいてもほとんど変わらないことが分かる。MAA を含有する系列では、ラテックス表面に存在する解離基の大部分はカルボキシル基であることが分かる。これらのラテックスの安定度曲線を図 4. 及び図 5. に示

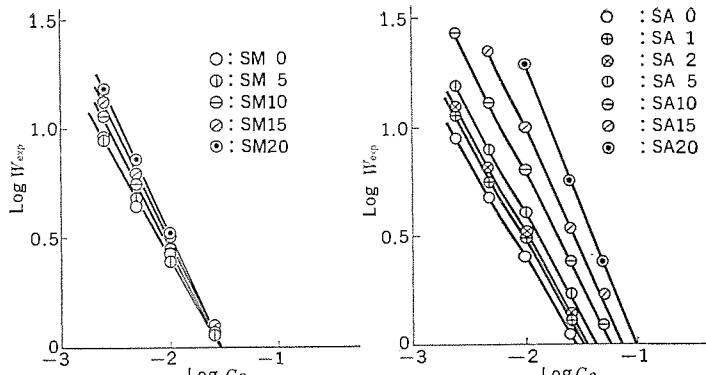


図 4. スチレン-MMA 共重合体ラテックスの安定度曲線

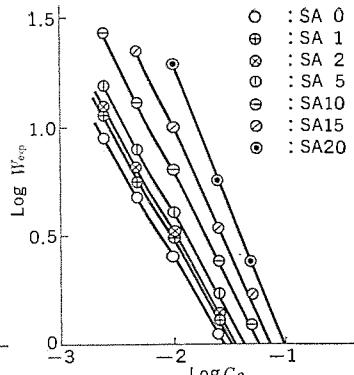


図 5. スチレン-MAA 共重合体ラテックスの安定度曲線

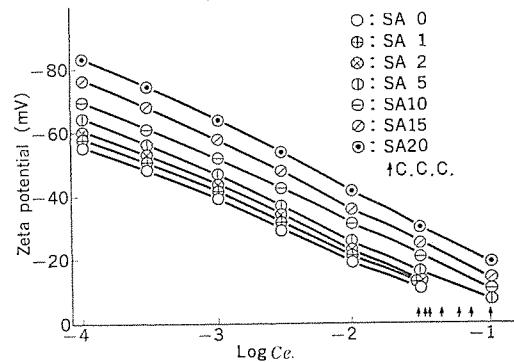


図 6. スチレン-MAA 共重合体ラテックスのZeta電位

した。図 4. から分かるようにスチレン-MMA 共重合体ラテックスでは c. c. c. は MMA 含有率にほとんど依存せず、安定性に差は認められない。これに対し、図 5. から分かるようにスチレン-MAA 系ラテックスでは、MAA 含有率の増加につれて c. c. c. は一様に増大し、安定性が向上した。Hamaker 定数は両系列のラテックスとも  $3.7 \sim 5.3 \times 10^{-14}$  erg の範囲で、MMA あるいは MAA の含有率の増加につれてわずかに増加しているが、両系列の間には相違が認められなかった。図 6. には、スチレン-MAA 共重合体ラテックスの Zeta 電位の塩化バリウム濃度依存性を示した。これをみると、測定した全電解質濃度領域にわたって Zeta 電位の値は SA 20 > SA 15 > SA 10 > SA 5 > SA 2 > SA 1 > SA 0 の順になっており、その傾斜をみると MAA 含有率による差はほとんど認められなかった。一方スチレン-MMA 共重合体ラテックスの Zeta 電位は、測定した全電解質濃度領域にわたって MMA 含有率による差はほとんど認められなかった。このことは重合開始剤の過硫酸カリウムに由来する硫酸基によるラテックス粒子の表面電荷の差はほとんど認められないことを示している。すなわち、スチレン-MAA 系ラテックスについて観測された MAA 含有率の増加による c. c. c. の増加は、ラテックス表面に存在するカルボキシル基が安定性に寄与することを示しており、観測された MAA 含有率の差による Zeta 電位の差がカルボキシル基によることを示している。これらの事実から MMA 系、及び MAA 系の両系列のラテックス間の安定性の相違は、MAA のカルボキシル基によることが明らかになった。

この結果は、ラテックス粒子を構成する高分子中に含まれるメタクリル酸、アクリル酸などの含有率を調節することによって、ラテックスの安定性を制御しうることを示唆しており、この知見は絶縁ワニスの化学組成を定めるうえで重要な役割を演じている。

### 3.3 重合開始剤からの解離基の影響

重合開始剤からの解離基に由来するラテックス粒子表面の電荷がラテッ

表 4. 界面活性剤を含まない PMMA ラテックスの諸特性

名 称	平均粒径 (nm)	表面電荷密度 ( $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ )	c. c. c. (モル/l)	$S_{\text{c.c.c.}}$ (mV)	$A$ ( $10^{-13}$ erg)
M-2	212	0.53	$6.6 \times 10^{-3}$	-20.7	4.3
M-4	167	0.64	$1.1 \times 10^{-2}$	-22.1	3.9
M-9	185	0.68	$1.4 \times 10^{-2}$	-22.9	4.0
M-18	183	1.6	$1.7 \times 10^{-2}$	-25.6	4.2
M-37	207	2.4	$2.3 \times 10^{-2}$	-26.8	3.9
M-56	252	3.6	$5.6 \times 10^{-3}$	-33.7	3.8

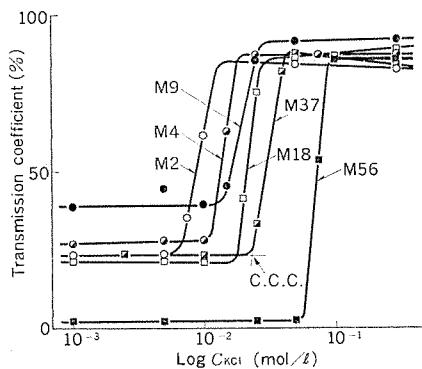


図 7. 界面活性剤を含まない PMMA ラテックスの安定性

クスの安定性に与える影響を検討した<sup>(11)</sup>。対象としたのは、界面活性剤を全く使わない、重合開始剤として過硫酸カリウムを用いて、不均一水系重合でつくったポリメタクリル酸メチル(PMMA)ラテックスである。表4.にラテックスの特性を示す。ラテックスの名称の右側の数字は過硫酸カリウムの量の相対値を表している。ラテックスの表面電荷密度はアルカリ滴定法で求めたもので、重合時の過硫酸カリウムの量の増加につれて著しく増加している。図7.には沈殿法で求めたラテックスのc.c.c.を示した。これをみるとc.c.c.は粒子表面に存在する硫酸基に起因する表面電荷の増加につれて著しく増加することが分かる。図8.にはこれらのラテックスのZeta電位の塩化カリウム濃度依存性を示した。これをみると、測定した全電解質濃度領域にわたってZeta電位はM56>M37>M18>M9>M4>M2の順であり、その相互の差も全電解質濃度領域にわたってほとんど変わらない。これはこの系列のラテックスは界面活性剤を全く含んでいないためであろうと考えられる。一方Hamaker定数の値は表4.に示すように、ラテックス間の相違はほとんど認められない。この実験結果は、粒子表面に存在する強酸性の解離基がラテックスの安定性に寄与していることを示している。この実験から、重合開始剤からの解離基によってラテックスの安定性を制御しうることが明らかになり、実際の分散ワニスの製造時に応用されている。

### 3.4 界面活性剤の影響

ラテックス調製時に存在する界面活性剤が安定性に及ぼす影響を検討した<sup>(12)</sup>。重合時に存在するアニオン界面活性剤と非イオン界面活性剤の比率を、アニオン界面活性剤/非イオン界面活性剤=10/0, 8/2, 5/5, 3/7及び1/9にして調製したPMMAラテックスのc.c.c.は非イオン界面活性剤の比率の増加につれて増加する。図9.にはこれらのラテックスの電気泳動易動度の塩化ナトリウム濃度依存性を示した。この図でMM10は、アニオン界面活性剤/非イオン界面活性剤=10/0のラテックスで、以下MM82, MM55, MM37, 及びMM19は、アニオン界面活性剤/非イオン界面活性剤が、それぞれ8/2, 5/5, 3/7, 及び1/9の試料である。この図をみるとラテックス粒子の表面電荷は、非イオン界面活性剤の比率の増加につれて減少す

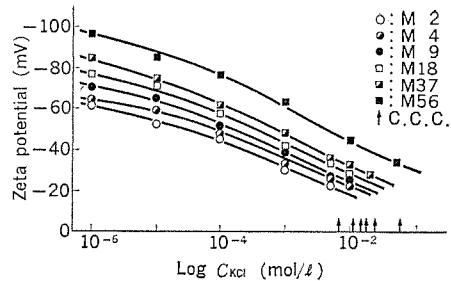


図 8. 界面活性剤を含まない PMMA ラテックスの Zeta 電位

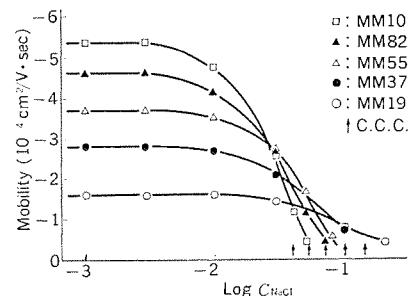


図 9. アニオン界面活性剤と非イオン界面活性剤を併用した PMMA ラテックスの電気泳動易動度

るが、高電解質濃度域ではこの順序が逆転することが分かる。これは非イオン界面活性剤の吸着層のためであると考えられる。このよう非イオン界面活性剤を併用することにより、ラテックスの安定性を改良することができる。

## 4. む す び

分散形ワニスは高分子量の材料を低粘度で使用でき、また高効率の電着プロセスにも適応可能である。この種のワニスでは製造過程、保存中、及び使用中を通じて、ワニス粒子が安定な状態で水中に分散していくなければならない。分散ワニスとして使われる高分子ラテックスの安定性を左右する諸要因についてその効果を検討した。その結果得られた知見をもとに、MEDIS電線用ワニスにおいては、ワニスに含まれているカルボキシル基の量、重合開始剤の種類と濃度、界面活性剤の種類と濃度を調節して、安定性のすぐれた分散ワニスをつくるっている。

## 参 考 文 献

- E. J. Verwey, J. Th. G. Overbeek : Theory of Stability of Lyophobic Colloids, Elsevier, Amsterdam (1948)
- B. Derjaguin, L. Landau : Zhur. Eksperim. i. Teor. Fiz., 11, 802 (1941)
- H. C. Hamaker : Physica, 4, 1,058 (1937)
- R. H. Ottewill : "Nonionic Surfactant" M. G. Schick, Ed., Marcel Dekker, N. Y. (1967), P. 627~682
- G. Oster, J. Colloid Sci., 2, 291 (1947)
- H. Reerink, J. Th. G. Overbeek : Discuss. Faraday Soc., 18, 74 (1954)
- J. Visser, Advan. Colloid Interface Sci., 3, 331 (1972)
- H. Ono et al., Colloid and Polymer Sci., 253, 538 (1975)
- J. Th. G. Overbeek, Kolloid-Beih., 54, 287 (1943)
- H. Ono et al., Colloid and Polymer Sci., in press.
- H. Ono et al., ibid, 253, 744 (1975)
- H. Ono et al., J. Phys. Chem., 79, 2,020 (1975)

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1075436	ピンチローラを用いた搬送装置	{森 忠彦・梅田清一 喜多村弘明	1077156	切断装置	駒井克行
1075437	密閉形電動圧縮機の防音装置	遠藤 誠	1077157	水平すみ肉溶接機の曲線ならい装置	飯田幸雄
1075438	換気扇取付 パネル	八代勝雄・酒井政幸	1077158	密閉形圧縮機の取付足	高田 宏・忠五雄
1075439	密閉形圧縮機の取付足	池田文雄	1077159	強制送気流の消音装置	川合輝一
1075683	洗濯機の外筐	田原康夫・上野昭良	1077160	エアポンプの送気量調整装置	川合輝一
1076271	開閉器	木村雅夫	1077161	うす鋼板コイルなどの吊り具	浅井敏勝
1076272	テレビジョン電話装置	{伊藤修一・仲佐節男 蛇原正臣	1077162	真空掃除機のちり落し装置	加藤悟
1076273	パルス検出回路	斎藤善治	1077163	電動噴霧器	服部信道・森田清司
1076274	切断装置付 ワイヤストリッパー	近藤 司	1078327	肩掛け式電気掃除機	加藤悟・相河富雄
1076275	フリップフロップ回路を含んだ論理回路の誤動作防止装置	志賀正明・西 健一	1078328	レシピード	神谷昭美・吉村 宏
1076276	カウタの数字表示装置	山崎英蔵・西 健一	1078329	推力軸受装置	山本 明
1076277	ケーブル 切断装置におけるケーブル保持部の構造	福津豈良・安岡博敏	1078330	船舶電動推進装置	{有働星一・生原春夫 高井一三・生駒鍊郎 広田秀男・鳥居睦男
1076278	低沸点ガスの液化装置	徳島勝憲	1078331	エレベータ到着予報装置	日比野正義
1076279	油入機器の圧力緩放装置	菅 寿郎	1078332	電磁石の鉄心	高田桂市・小嶋三郎
1076280	低沸点ガスの液化装置	栗須芳孝	1078333	エレベータの非常停止用スイッチ装置	牧野克己
1077001	揚水ポンプの運転装置	町原義太郎・三ヶ田文彦	1078334	冷房機	木ノ内達夫
1077134	ドア装置	山田春夫・八木信郎	1078335	扇風機スタンド	糸魚川佐富
1077135	密閉形電動圧縮機	{榎戸保・忠五雄 大草文夫	1078336	送風機	坂本隆博
1077136	電動噴霧器	{武井久夫・服部信道 岩田尚之・森田清司	1078337	温水器	奥田文一・宇佐美忠
1077137	電動噴霧器の吸排気装置	{武井久夫・服部信道 岩田尚之・森田清司	1078338	温水器の給水装置	赤羽根正夫・桜井信捷
1077138	電動噴霧器	服部信道・森田清司	1078339	温水器用排水コック	{赤羽根正夫・馬淵公作 宮崎昭信
1077139	屋根の融雪装置	近藤正司・市村伸男	1078340	電機調理器の表示灯取付装置	{小川昇・大沢和夫 石井寛夫
1077140	密閉形電動圧縮機	田中満・杉山睦	1078341	電気洗濯機	高沢正二・廣岡博
1077141	屋根の融雪装置	近藤正司・市村伸男	1078342	電気洗濯機のゆすぎ検出装置	小椋義正・高沢正二
1077142	屋根の融雪装置	{町原義太郎・近藤正司 市村伸男	1078343	電気加湿器の蒸発皿	{町原義太郎・近藤正司 日比野浩一・市村伸男
1077143	屋根の電熱融雪装置	{町原義太郎・近藤正司 市村伸男	1078344	電気加湿器の蒸発皿	{町原義太郎・近藤正司 日比野浩一・市村伸男
1077144	密閉形電動圧縮機	河村 求	1078345	電気加湿器の蒸発皿	{町原義太郎・近藤正司 日比野浩一・市村伸男
1077145	電熱による屋根の融雪装置	近藤正司・市村伸男	1078346	電気加湿器の蒸発皿	{町原義太郎・近藤正司 日比野浩一・市村伸男
1077146	電熱による屋根の融雪装置	近藤正司・市村伸男	1078347	温水器の給水装置	赤羽根正夫・桜井信捷
1077147	電熱による屋根の融雪装置	近藤正司・市村伸男	1078348	音量兼音質調整装置	戸沢 稔
1077148	燃焼ガスによる屋根の融雪装置	{近藤正司・市村伸男 岩松孝寿	1078349	噴出装置	横山誠志
1077149	エレベータかご室の目地保持装置	加藤光雄	1078350	自動除霜装置	酒井誠記
1077150	電気掃除機のちり落し装置	加藤悟・田山勇	1078351	多段圧縮冷凍装置の中間冷却器	本田幸持
1077151	印字形記録計	林 正之・渡辺学	1078352	洗濯機	高沢正二・廣岡博
1077152	高速分割送り装置	西村征治	1078353	テープレコーダーのしゃへい装置	小倉大八
1077153	日光反射膜	田嶋尚志	1078354	圧縮機用電動機	長田毅信・武長豊
1077154	つかみ装置	松谷英治	1078355	リミットスイッチ調整機構	福津豈良・青井保
1077155	密閉式電動圧縮機	田中満	1078356	回転リミット動作機構	大林愛弘・畠中靖通

当社の登録実用新案

登録番号	名 称	考 案 者	登録番号	名 称	考 案 者
1078357	放電加工ねじ切装置	佐藤国彦・加藤幸夫	1080457	閉鎖形配電盤	水溜和哉
1078358	灯具吊下装置	井上員成	1080458	負荷時タップ切換器の保護装置	樋口昭
1078359	機関点火時期制御装置	伊楳禎之・大西正義	1080459	カム装置	林正之・元木義明 宇佐美勝洋
1078360	冷却器	永野幸信	1080460	電子機器ユニットの実装機構	山崎明彦
1078361	冷蔵庫の除霜装置	永野幸信	1080461	選別装置	加藤宗平・鎌田勉
1078362	立て形軸流送風機	品川博昭	1080462	自動車用方向指示器の未復帰警報装置	坂本敏之
1078363	圧縮機密閉ケーシングの台足	忠五雄	1080463	操作装置	桜井清一
1078364	機器内装部品の支持台	三浦晋	1080464	サイリスタ・インバータ装置	太田幹雄・赤松昌彦
1078365	最大需用電力超過予報装置	佐藤安俊	1080465	電磁粒子式連結装置	車戸秀雄
1078366	レーザ加工装置	谷口一郎・安東滋	1080466	サイリスティスイッチ回路	高橋一智・赤松昌彦
1078367	冷房機	牛田善和	1080467	照明器具のシェード取付装置	桂秀年・井上員成
1078431	ドライヤ兼用カミソリ	小川昇	1080468	コードブッシュ	今井将・松沢久行 保田智行
591974	放電加工装置	斉藤長男・岩村武志	1080469	照明器具用かさ	二木盈行・井上員成
1079200	母線切換断路器保護装置	久松章三	1080470	冷蔵庫などのバーコンディショナスイッチ取付装置	田中毅
1079696	液圧押上機の作動速度調節装置	田村勝明	1080471	アンテナ装置	遠藤正和
1079697	電動液圧押上機	田村勝明	1080472	オゾン発生器付水処理装置	小井川茂・吉瀬元博
1079698	クリンチストップ	中村正範	1080473	カートリッジ	平野一郎・小泉孝之
1080451	温度調節器ダイヤル	荒木勲・石井寛夫	1080474	浄化槽攪拌機	日比野重敏
1080452	荷重検出装置	古瀬元博・田代登	1080475	変圧器の端子台支持装置	秋沢久夫
1080453	限時開閉器	伊藤義樹	1080476	自動電圧調整装置	山田勉
1080454	けい光ランプ	木村雅夫・杉浦博	1080477	機関点火時期調整装置	才田敏和
1080455	閉鎖形配電盤のしゃ断器ユニット	久保幸正・村井直道			
1080456	しゃ断器の補助開閉器連動装置	鈴木勝利			
		水溜和哉・柳堀純一郎			
		久保修造			

〈次号予定〉 三菱電機技報 Vol. 50 No. 9

普通論文

- 高耐圧大電力サイリスタの開発
- 火力発電所運転員訓練用ディジタルシミュレータ
- 外鉄形変圧器の油流分布と可視化法による面流れの観察
- 静電粉体塗装の直流機への適用
- 電気浮上法による水産加工排水処理
- 入換用DE11形液体式ディーゼル機関車自動操縦装置
- コミュニケーション・プロセッサ・タイプ2
- 車両用シリコン油入ポリアミド絶縁変圧器
- 超音波によるスポット溶接のインプロセス検査
- 南海電鉄(株) 納め8000形AVF チョッパ制御電車

三菱電機技報編集委員会

委員長	小原敬助	當任委員	茶谷三郎
副委員長	松岡治	"	平林庄司
"	後藤正之	委員	村上卓弥
常任委員	武藤正	"	神谷友清
"	佐々木二郎	"	熊本永
"	葛野信一	"	橋爪基
"	伊原總三郎	"	吉田太郎
"	北川和人	"	竹田俊幸
"	三矢周夫	"	松村長延
"	清田浩	"	藤永敦
"	阿部修	幹事	本間吉夫
"	武田克己	"	三田村和夫
"	福家章		

三菱電機技報50巻8号

昭和51年8月22日 印刷  
昭和51年8月25日 発行

定価1部300円(送料別)無断転載を禁ず  
編集兼発行人 松岡治  
印刷者 高橋武夫  
印刷所 東京都新宿区市谷加賀町1丁目12番地  
大日本印刷株式会社  
発行所 東京都千代田区大手町2丁目6番2号(〒100)  
菱電エンジニアリング株式会社内  
「三菱電機技報社」Tel.(03)243局1785  
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  
Tel.(03)291局0912, 振替口座 東京20018

# 三菱プラントコントローラ

## 三菱プラントコントローラ

MELPLAC®

三菱電機は長年にわたり、鉄一非鉄プラント、電力プラントなど、多くのプラントの制御を担当してきましたが、このたび、その豊富な経験と知識を基に、プラントコントローラの構成に最適なプラントコントローラ《MELPLAC》、を完成しました。ここに、その用途および特長をお知らせします。

### 用途

鉄一非鉄プラント、電力プラントおよび各種産業プラント用コントローラ

- (a) DDCコントローラ
- (b) シーケンスコントローラ
- (c) データロガー

### 特長

●マイクロプロセッサを採用しています

●プログラマブルコントローラです

写真のプログラミングパネルにある押ボタンでプログラミングが行えます。

●新体系のプログラム用シンボル(言語)の完成により、プログラミングが簡単にできます

AND・OR・+・-・×・÷など、従来から制御技術者によく知られているシンボルで、シーケンス制御、四則演算制御をプログラムできます。

●信頼性の高いプラントコントローラシステムが経済的に構成できます。

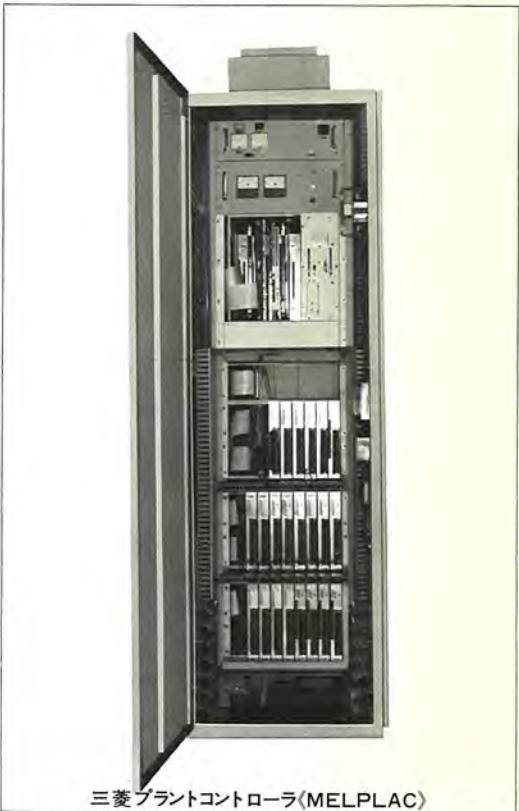
表に示すようにコントローラの性能が高く、高性能のシステムを経済的に構成できます。さらに、大規模なプラントシステムには、信頼性の高い分散形制御システムが組めます。

●オフラインにおけるプログラム処理も効果的に行えます。

カセットMTとプリンタを収納した装置(MTPR)を介してホストコンピュータと連動できます。

### 仕様

演 算 制 御 部	演 算 方 式 (ワード/ビット)	ワード処理 ビット処理	2進並列、固定小数点演算、1語=16ビット シーケンシャル演算
	命 令	AND, OR, +, -, ×, ÷等	
	割 込 制 御 (自動レスポンス) (制御方式)	レ ベ ル 要 因	ハイ/ロー 2レベル ハイレベル……8点、ローレベル……24点
	サ フ ル ー チ ン		3重ネット処理まで可能
	イ ン テ ッ ク ス 修 飾		インテックスレジスタ 2語装置
	環 境 条 件	温 度 湿 度 電 源	0~50°C 10~95%RH(結露なし) AC100/110V +10, -15% 50/60Hz
主 記 憶 部 (コアメモリまたは ワイヤメモリ)	サイクルタイム	I μsec	
	プログラムメモリ	max8K語	1語=24ビット+バリティビット
	データメモリ	2K語	1語=16ビット+バリティビット
カ ウ ン タ 部 (比較回路付 (プリセット可逆カウンタ)	点 数	max 64点	
タ イ マ 部 (プリセット (ダウンカウント方式)	点 数	max 128点	
	時 限	10msec インクリメント 0~327.67sec 100msec インクリメント 0~3276.7sec	64点
入 出 力 部 (プロセス直接制御方式)	デジタル入力	ワードmax128語、ビットmax1024点(ワードと共に)	
	デジタル出力	ワードmax128語、ビットmax1024点(ワードと共に)	
	アナログ入力	max 208点、スキャニング速度 5000点/sec	
	アナログ出力	max 256点	
シス テ ム デ バ ッ ク 处 理 (プログラミングパネル)	カセット磁気テープ装置 / プリンタ装置(MTPR)		



三菱プラントコントローラ(MELPLAC)



プログラミングパネル



オフラインプログラム(MTPR)