

MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.42 March 1968

溶接機, 誘導炉, 焼入・加熱装置特集

3

三菱-BBC形 誘導炉





溶接機，誘導炉および焼入・加熱装置特集

目次

《特集論文》

誘導加熱による焼戻し，焼鈍，焼準	酒井良雄・上田時芳	403
最近の高周波焼入装置	酒井良雄・君塚 齊	408
鍛造押出用誘導加熱装置	藤室雅司・松尾 茂	413
自動車工業用抵抗溶接機	福井三郷	421
マルチスポット溶接機の半導体制御	馬場利彦・越智紀明	425
SN形ノーガスアーク溶接機	鶴飼 順・鉄 豊造・平松正毅・平塚秀雄	434
FC形サブマージアーク溶接機	鶴飼 順・後藤洋治・鉄 豊造・平塚秀雄	440
三菱-BBC形誘導炉	田口 堅	446
立形高周波発電機	生駒鉄郎・鈴木条夫	456
高周波発電機用制御盤	西山 卓	461

《普通論文》

MELCOM-7200 シリーズ全トランジスタ式アナログ計算機	柴谷浩二・多田 淳・持田雅夫・井塚秀弥・佐藤 毅	473
全IC化数値制御装置 MELDAS-3200 (自動位置ぎめ)，MELDS-4200 (自動位置ぎめ，直線切削)	俵口久元・金森剛明・黒田泰次	481
指令電話装置	三宅正巳・加藤典正・室田 慎・山内才胤・中川弘平	487
MELCOM-3100 ソフトウェア(3) —モデル 30 T におけるプログラムの処理—	首藤 勝・中山俊英・末沢敏裕・東海林正明	493
レンズによる超音波の集束と探傷への応用	奥村 謙	501
真空スイッチを用いた負荷時タップ切換器	嶋 裕史・西山喜順・竹内伴治	510

《新製品紹介》

T-630, T-260 形三菱テープレコーダー発売・三菱電子検診装置

《ニュースフラッシュ》

超小形化変電所用 22 kV 機器試作完成・真空しゃ断器の公開試験を実施・量産用 IC テスタ (LZ-2400 シリーズ) 完成・D 形うず電流動力計続々出荷

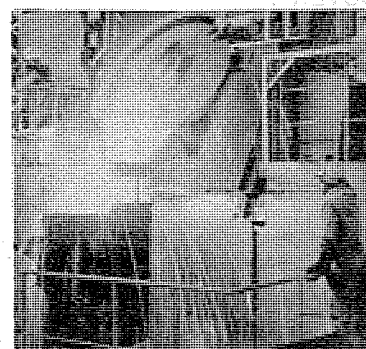
《特許と新案》

関数発生装置・雨量流量変換演算方式・炉内監視窓の保護装置

《表紙》

三菱-BBB 誘導炉

鑄造工場においては，生産性と品質の向上，作業環境の改善等一連の合理化の一つとして，重油炉やキューボラに代わって，低周波誘導炉が，最近非常に多く採用されつつある。溶解エネルギー面から見れば，よごれて扱いにくい重油やコークスから，純粋清潔な燃料というべき電気エネルギーへの移行である。当社は，30 有余年以前から，鉄および非鉄金属溶解用各種誘導炉の生産を行なってきたが，鑄鉄溶解用大形誘導炉の需要増大のすう勢に対処するため，スイス BBC(ブラウンボベリー社)と技術提携を行ない，多数の納入実績をあげつつある。写真は，るつば容量 12 トン，電力 1,500 kW の鑄鉄溶解用低周波炉が，油圧装置により傾動しつつ，1,500°C の溶湯を出湯中のもので，出湯量を，自動的に指示する計重装置をはじめ，自動運転のための各種装置がついており，溶解作業の単純化，溶解時間の短縮，電力消費量の低減を行なっている。





**SPECIAL EDITION OF ARC WELDER, INDUCTION FURNACE,
TEMPERING AND HEATING EQUIPMENT**

CONTENTS**SPEIALLY COLLECTED PAPERS**

Tempering, Annealing and Normalizing by Induction Heating.....	Y. Sakai • T. Ueda	403
Recent Induction Hardening Equipment.....	Y. Sakai • H. Kimizuka	408
Induction Heating Equipment for Forging and Extrusion.....	M. Fujimuro • S. Matsuo	413
Resistance Welders for Automobile Industry.....	S. Fukui	421
Semi-conductor Controlled Timer for Multispot Welders.....	T. Baba • T. Ochi	425
Type SN No-Gas Arc Welders.....	J. Ukai • T. Tetsu • M. Hiramatsu • H. Hiratsuka	434
Type FC Submerged Arc Welders.....	J. Ukai • Y. Gotô • T. Testu • H. Hiratuka	440
Mitsubishi-BBC Induction Furnace.....	K. Taguchi	446
Vertical High Frequency M-G Sets.....	T. Ikoma • N. Suzuki	456
Control Panels for High Frequency Generators.....	T. Nishiyama	461

TECHNICAL PAPERS

MELCOM EA-7200 Series All Transistorized High Precision Analog Computers	K. Shibatani • A. Tada • M. Mochida • S. Izuka • T. Satô	473
Integrated-Circuit Numerical Controller—MELDAS-3200 (Positioning NC)—MELDAS-4200 (Positioning & Straight Cut NC).....	H. Hyôguchi • T. Kanamori • Y. Kuroda	481
Selective Telephone Equipment.....	M. Mimuro • N. Katô • S. Murota • T. Yamauchi • K. Nakagawa	487
MELCOM-3100 Software (3)—Process of Programs in MELCOM-3100-30 T—	M. Sudô • T. Nakayama • T. Suezawa • M. Tôkairin	493
Forcussing of Ultrasonic Waves with a Lenz and its Application to Flaw Detection.....	Y. Okumura	501
On Load Tap Changer using Vacuum Switches.....	H. Shima • K. Nishiyama • T. Takeuchi	510

NEW PRODUCTS	518
---------------------------	-----

NEWS FLASH	520
-------------------------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL	471
---------------------------------------	-----

COVER :**Mitsubishi-BBC Induction Furnace**

In foundry shops, induction melting furnaces are now being used in place of conventional oil and cupola furnaces as one of a part of many improvements in foundry, covering the elevation of productivity, easy of quality control, and improvement of working conditon etc. From a view point of melting energy, it is a skift from soiling and unhandy oil or coak to pure and clean electrical energy.

Mitsubishi has produced a variety of induction furnaces for melting ferrous and nonferrous metal for these thirty years. Now, coping with the trend of increasing for large installations, the Company has made contract about licenses with Brown Boveri Company in Switzerland and are now delivering many furnaces successfully.

Illustrated is a crucible type low frequency induction melting furnace of 12 t capacity and 1500 kw pouring melted cast iron at 1,500°C tiled with hydraulic cylinders. It is provided with autmatic weighing and indicating devices of poured iron, and other various apparatus for automatic operation, to expect simplifying of melting work, cutting down of melting time, and reducing of electric power consumption.

UDC 621.785:621.365.5

誘導加熱による焼戻し、焼鈍、焼準

酒井良雄・上田時芳

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P403~407

誘導加熱を利用し、焼戻し、焼鈍、焼準を行なう方法は、(1)局所的な加熱ができる。(2)ライン化できる。(3)処理時間を時間から秒に短縮できる。(4)品質が向上する。などの数々の長所があるため、しだいに注目を浴びてきており、その応用分野も拡大しつつある。この原理は“Master Curve”と呼ばれる式

$$P = (^\circ\text{C} + 273) (20 + \log_{10} \text{Th}) \times 10^{-3}$$

と硬度との関係が、同一のPの値に対して一義的に成立するため、加熱温度を高くとることにより、加熱時間を短縮できるということに基づいている。

本文では、その原理、応用、○ 問題点について簡単に述べる。

UDC 621.791.76.03:621.316.7

マルチスポット溶接機の半導体制御

馬場利彦・越智紀明

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P425~433

多量生産方式が広範囲に使用されるに伴って、マルチスポット溶接機の需要も増加してきたが、最近はその自動化をいっそう進めるため制御装置はますます複雑大形になってきた。このため従来の方式では様々の欠点が表われこれら問題を一挙に解決するためわれわれは制御装置の全半導体化を行なったが、これは機械シーケンス制御、通電シーケンス制御、さらに主電流の制御をもサイリスタに置換えた全半導体式制御装置である。さらにそのサイリスタを溶接トランスにとう載したことで機械全体のまとまりが非常に良くなり、長寿命、高信頼性、小形軽量など半導 ○ 体の特長と合わせ、今後の溶接機の進む一つの方向を示したものと考えられる。

UDC 621.782:621.365.5

最近の高周波焼入装置

酒井良雄・君塚 斉

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P408~412

近年各工業分野での熱処理技術はいちじるしい発展をなし、これにともない熱処理設備も急激な開発が進んだ。とくに自動車工業を背景とした高周波焼入装置においては、従来のはん用的機器形体より、完全に自動化された専用機に移行され、他の工作機械と同様加工組立ラインに設置され、生産性の向上・合理化、製造原価の低減等製造方式の近代化に貢献してきた。本文は、焼入装置に必要な機能の概要を説明するとともに、現在製作している焼入装置について紹介し、最近の焼入装置のあり方を検討した。



UDC 621.791.75

SN形ノーガスアーク溶接機

鵜飼 順・鉄 豊造・平松正毅・平塚秀雄

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P434~439

ノーガスアーク溶接法は、屋外作業に適用できる半自動溶接法として、造船・土木・橋りょうの現場溶接に広く使用される機運にある。

SN形ノーガスアーク溶接機は短アーク長の制御特性を改善した定電圧交流アーク溶接法、SLC制御方式や、現場溶接に必要な条件である装置の軽量化・簡略化を計ったノーガスアーク溶接専用機であり、本文にその構造・特性・応用面について紹介している。



UDC 621.73:621.365.5

鍛造・押出用誘導加熱装置

藤室雅司・松尾 茂

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P413~420

熱間成形用誘導加熱装置は、設備の合理化、作業環境の改善、据付面積の縮少をめざす鍛造、押出し、圧延等の各業界にあっては、不可欠なものとなってきた。当社においても、この情勢に相呼応して装置の生産を飛躍的に増大させた。

本文では、熱間成形用誘導加熱装置のうち、鍛造、押出用誘導加熱装置につき、その概略を述べ大方の参考に供した。



UDC 621.791.756

FC形サブマージアーク溶接機

鵜飼 順・後藤洋治・鉄 豊造・平塚秀雄

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P440~445

サブマージ溶接法は、CO₂溶接法と並んで現在最も広く用いられている自動溶接法の一つであるが、従来、溶接材料、溶接機の点で水平状態の下向溶接に限定されていた。しかし、本法の特長を生かす研究がユーザ・メーカー間で始められ、耐傾斜性能のすぐれたフラックスなどが発表され、溶接機としては登坂能力、可搬性にすぐれたものが要求されるようになった。当社でもこれに添えて新たにFC形サブマージ溶接機を開発し、造船・橋りょう・製かんなど広い範囲で使用されつゝある。

本文ではFC形サブマージ ○ 溶接機の構造、特性について紹介する。



UDC 621.791.76.03:629.113

自動車工業用抵抗溶接機

福井三郎

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P421~424

最近の自動車産業の発展は著しいものがあり、量産規模の拡大につれて合理化が要求されているが、抵抗溶接機も例外でなくますます専用機化される傾向にある。

本文では抵抗溶接機を専用機化する場合に要求される事項、最近の専用機化の傾向、各種専用機についての一般的事項および当社独自の専用機について特長を紹介する。



UDC 621.783:621.365.5

三菱-BBC形誘導炉

田口 堅

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P446~455

三菱-BBC形誘導炉は、世界最大の誘導炉メーカーであるBrown Boveri社との技術提携により製作されているもので、大電力・高性能を特長とする。BBC社は700件以上の溶解プラントを手がけており、当社はそのかすかずの経験に基づいて、単に炉を製作するのみでなく、溶解プラントの計画にも寄与しうる。

その溶解プラントの計画法のあり方を述べ、より合理的な誘導炉操業法の可能性を示して新しい操業法の提案をしている。



UDC 621.313.322 : 621.314.26

立形高周波発電機

生駒鉄郎・鈴木條夫

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P456~460

当社は昭和10年、誘導加熱用高周波発電機の製作を開始してから約 220台、57,000kVAの多数を納入してきた。とくにわが国ではじめて昭和28年より製作開始したモノブロック形は、誘導加熱の一般化とともに各種用途に広く用いられ、この間多数の記録品を開発しわが国第一の実績を持っている。従来の横形機に対し昭和39年から3kc 600kVAの世界記録品をはじめ立形機を多数製作納入し、すでに約3年の運転実績を得た。従来の立形機は占有面積が非常に小さくなるが保守点検にや・難があった。当社では新しくふうによりこの欠点を解消させた。特性についても種々の考察 ○ を加え、直列コンデンサを使用せず安定性の大きなものとしている。

UDC 621.316 : 621.313.322

高周波発電機用制御盤

西山 卓

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P461~470

金属体に誘起される誘導電流のジュール熱を利用して、金属体を加熱する高周波誘導加熱は戦前より誘導炉として用いられていたが、近年この誘導加熱は鍛造加熱、表面焼入れなどへの利用が普及し、ここ数年の発展には著しいものがある。この誘導加熱の電源装置としての制御盤およびその制御方式においても、この間改良に改良を重ねるうちに標準化がなされているが、時代とともに常にその標準も変わりつつある。ここでは、現在の標準方式を記載すると同時に、これまでの変遷も歴史として残す意味で、とくに記述しておくことにした。なお現在さらに新しい標準 ○ への計画をすすめているが、これについては、別の機会に述べることにする。

UDC 681.332A

MELCOM EA-7200シリーズ 全トランジスタ式アナログ計算機

柴谷浩二・多田 淳・持田雅夫・井塚秀弥・佐藤 毅

三菱電機技報 Vol.42 No.3・P473~480

デジタル計算機が急速に普及している現在でも、アナログ計算機は、その生来の特質とコストパフォーマンスの良さがユーザに深く理解され、需要は着実に伸びている。電子管式でスタートしたアナログ計算機も半導体技術の進歩とともに、ここ数年半導体式への移行が行なわれてきた。この素子の変革期に備えて基礎回路開発を続けてきた当社では、高耐圧シリコントランジスタの実用化により演算電圧 100Vを保持しつつ一段と高性能化をおしすすめた全半導体式大形精密アナログ計算機を昭和41年夏に完成した。これがここに紹介するEA-7200シリーズである。 ○

UDC 621.396.9 : 656.2

指令電話装置

三室正己・加藤典正・室田 慎・山内才胤・中川弘平

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P487~492

鉄道の近代化が進み、列車の高速・高密度運転を円滑に行なう必要が生じ、鉄道の指令業務はますます重要となってきた。日本国有鉄道は通信の近代化の一環として、従来のウェスタン式指令電話装置にかわる指令の迅速、かつ高信頼度伝達を目的とした新方式の周波数選別式F-1形およびF-2形指令電話装置を取りあげ、昭和36年より開発を進め、昭和40年にその実用化を見たが、このたびさらに信頼度を向上するため、装置の心臓部ともいえる子電話機の信号選択素子に以前のリード・セレクトにかわるメカニカル・フィルタを採用したので、ここにあらためて装置の概 ○ 要について報告する。

UDC 681.142 : 007.3

MELCOM-3100ソフトウェア (3)

—モデル30Tにおけるプログラムの処理—

首藤 勝・中山俊英・末沢敏裕・東海林正明

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P493~500

MELCOM-3100モデル30テープシステム(30Tと呼ぶ)は、MELCOM-3100システムシリーズの代表的システムの一つであり、そのソフトウェアシステムは従来のそれとは設計方式の上で大きく異なっている。とくに、プログラムの処理方法の拡充は、計算機使用者に多大の便宜を提供している。

ここでは、プログラムの処理における新しい概念である編集について説明し、この編集という立場からプログラムの構造について考察し、さらに編集を行なうためのプログラムPRO ○ GRAM EDITORの説明に及んでいる。また、入出力機器のシンボル割り付けにも触れている。

UDC 620.179

レンズによる超音波の集束と探傷への応用

奥村 謙

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P501~509

超音波探傷法が発達するとともにその対象となる被検査物の範囲はますます拡大されてきた。この論文は、小形の部品に対して精細な探傷検査を行なう立場から、レンズによる超音波の集束について概説したのち、レンズを利用した集束探傷法の基礎的手法に触れ、次いで自然傷の検出例を付して集束法の有用性を提示している。 ○

UDC 681.32.004 : 621.9-589

全IC化数値制御装置・MELDAS-3200(自動位置ぎめ)、MELDAS-4200(自動位置ぎめ直線切削)

依口久元・金森剛明・黒田泰次

三菱電機技報 Vol.42 No.3・P481~486

最近急速に需要がふえてきた工作機械の数値制御化に対処するため従来の技術を集大成し、頭記二つのMELDAS-3200、MELDAS-4200の開発、製品化を行なった。

本装置のおもな特長は、半導体集積回路を使用しているので高い信頼で小形であること、アナログフィードバック方式のため安定で高精度であること、はん用性のある標準仕様に加えて豊富な選択仕様により機能の追加拡張が可能なことである。

本文では、この装置の動 ○ 作原理、プログラムなどにつきその概略を述べた。

UDC 621.316.5.064:621.314.214.3

真空スイッチを用いた負荷時タップ切換器

嶋 裕史・西山喜順・竹内伴治

三菱電機技報 Vol.42・No.3・P510~516

近年、負荷時タップ切換器の運転信頼度向上の要求はますます強いものがある。これに対処するため、当社は真空スイッチを用いた新しい負荷時タップ切換器を開発した。真空スイッチを負荷時タップ切換器に使用することにより、切換能力が高く、長寿命、無保守さらに絶縁油が汚損しないなどすぐれた特長をもつタップ切換器をつくることができた。試験の結果、LRT委員会の規約寿命30万回に難なく耐えることが検討され、きわめて高い運転信頼度をもつことが実証できた。本文は試作の経過とその試験結果を示すとともにさらに定格を拡大して適用限界を広げ ○ ることの可能性について検討している。

誘導加熱による焼戻し、焼鈍、焼準

酒井 良雄*・上田 時芳*

Tempering, Annealing and Normalizing by Induction Heating

Itami Works Yoshio SAKAI・Tokiyoshi UEDA

Process to effect tempering, annealing and normalizing of metal by making use of induction heating has a good number of features such as to be able to heat locally, to be applicable to the production line, to be feasible to cut down the treatment time from hours to seconds and to enable the quality of products to be improved. These advantages have come to draw attention of the circles concerned and it has resulted in the expansion of applicable spheres. This principle is based on a fact that, heating time can be cut down by raising heating temperature, because relation of an equation called "Master curve", $P = (T^{\circ}\text{C} + 273) (20 + \log_{10} Th) \times 10^{-3}$, with hardness directly holds good with respect to the same value of P . The text deals with the principle, applications and problems of the matter.

1. ま え が き

最近、従来数時間以上もかかっていた焼戻し・焼鈍・焼準などの熱処理を誘導加熱を利用して数秒・数十秒の短時間でこなすようになってきた。

これらの熱処理は、従来 furnace や saltbath がその主役をなしていたのであるが、20 世紀も 40 年代になり、自動車工業をはじめとした近代工業に誘導加熱による焼入れが登場すると、被加熱物自体の内部に誘導電流を誘起させることにより、短時間で被加熱物を 1,000 度近い高温にもってゆけるという長所がクローズアップされ、誘導加熱は焼入れのみでなく、それ以外の熱処理にも大いにその応用面がみいだされるとともに新しく脚光を浴びるにいたったのである。

この誘導加熱による短時間加熱の可能性は、金属学的には、一般の加熱よりも高温に加熱し、加熱時間を短くすることができるといふ原理に基づいている。

本文では、この原理について簡単に触れ、さらにその特長を述べ、最後に一、二の応用例を紹介したいと思う。

2. 原 理

いままで数時間以上もかかっていた加熱が、わずか数秒で加熱できるのは、焼戻し・焼鈍・焼準などの現象が いずれも下記の Arrhenius の式に従うからである。

$$V = A \exp(-Q/kT) \quad (2.1)$$

ここで V : 反応速度

A : 定数

Q : 活性化エネルギー

k : Boltzmann 定数

T : 絶対温度

ところで、上述の焼戻し・焼鈍・焼準などの現象は、いずれも炭素原子の移動をとまなっている。このような、いわゆる拡散現象において原子の移動反応を支配する因子として

(1) Q の大きさ

(2) Q の大きさのエネルギーをもった原子の数

が考えられるが、(1) のほうは原子の構造、したがって構成材料の種類によって決まる。

つまり原子が一つ隣りに移動するためには Q の大きさのエネルギー

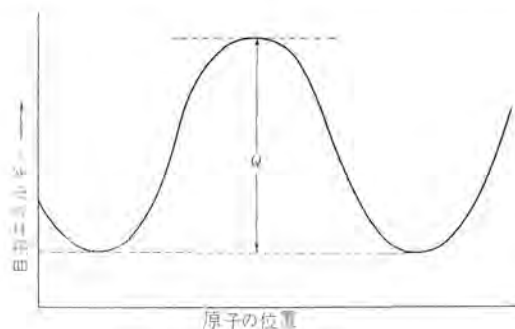


図 2.1 格子間の自由エネルギー
Activation energy.

の壁をこさなければならないのである (図 2.1)。

ところが(2)のほうは、このような Q の大きさのエネルギーをもった原子の数、すなわちその原子の集団におけるエネルギーの分布状態で決まる。

このような原子の集団のエネルギー分布は、気体運動論において展開された Maxwell-Boltzmann の分布則、すなわち古典統計力学による分布則により記述されている。

さて、この原子の集団の全エネルギーを E とすると、 E が一定という条件を与えても、個々の原子はその条件の下でいろいろのエネルギー単位をとりうる。難解な理論は統計力学の教科書にゆずるとして、かいつまんで述べると、Ergod の理論により、時間軸方向のエネルギー分布の刻々の変化を論ずるかわりに、ある瞬間におけるエネルギーの空間分布の問題として取扱ひ、いろいろなエネルギー系の空間分布の中で、目ざす全エネルギー E なる系がどのように分布しているかを求めると、エネルギーが E の集団は、

$$\exp(-E/kT) \quad (2.2)$$

に比例して分布していることがわかる。もちろん集団を 1 個の原子に置き換えて考えると、そのエネルギーを ε とすれば、

$$\exp(-\varepsilon/kT) \quad (2.3)$$

に比例して分布する。

ところで式 (2.1) は絶対温度 T の関数ではあるが、時間 t の因子は入っていない。しかし一定の反応については、反応速度は t の逆数に比例するから式 (2.1) は、

$$1/t = A \exp(-Q/kT) \quad (2.4)$$

と表わすことができる。

式 (2.4) の両辺の対数をとると、

$$T(C + \log t) = Q/2.3k \dots\dots\dots (2.5)$$

となる。ここで $C = \log A$ である。

式 (2.5) からわかるように、同式の左辺が一定である反応は、すべて結果が一定となり、一対一の対応がつく。

したがって加熱時間 t を短くしようと思えば、右辺を一定にしたまま、それに応じて T 、すなわち加熱温度を高くすればよいわけで、ここに短時間加熱の長所がでてくるわけである。

式 (2.5) の左辺に対して硬度をプロットしたグラフは、焼戻し・焼鈍・焼準いずれの場合にも重要な規準となり、これを一般に “master curve” と呼んでいる。

この式の左辺中の定数 C は被加熱物の炭素濃度の関数で、図 2.2 のように変化するが、一般には下記のような理由で 10~20 (t が hr 単位の時) が選ばれることが多い。

(1) 二つのおたがい独立した理論的考察から、それぞれ 21.5⁽¹⁾ と 18.4⁽²⁾ を得ている。

(2) Nehrenberg⁽³⁾ は、一般の鋼に対して 20 がよいという結果を得ている。

(3) 20 という値は、単に焼戻しなどの場合のみでなく、creep, rupture の場合に対しても十分通用する。

(4) グラフ上の点の位置は、 C が多少変わっても、たいした影響を受けない。

なお式 (1.5) は、どのような温度においても成立するわけではなく、どの熱処理の温度範囲内、たとえば焼戻しであれば A_{c1} 変態点以下でなければならないし、たとえ以下であっても変態点の直下で

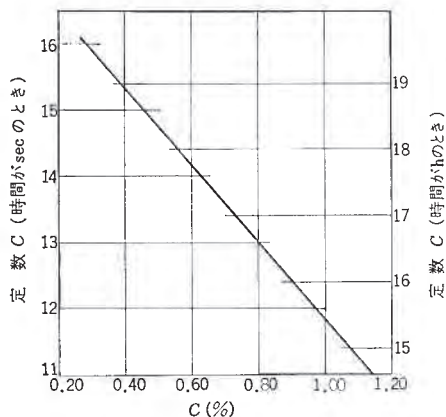


図 2.2 C % と定数 C との関係
Relation between carbon contents and constant “C”.

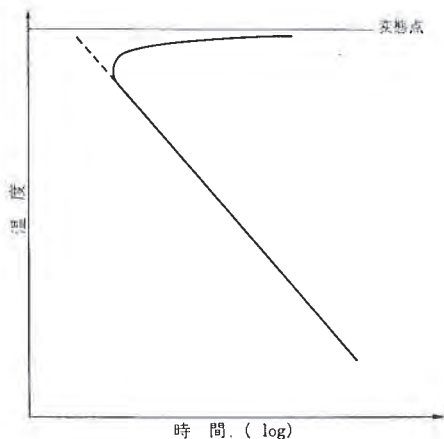


図 2.3 一定の反応に対する時間と温度との関係
Relation between heating time and temperature.

は、エネルギーが核の生成にとられて反応時間が非常に大きくなるので、式 (1.5) は通用しなくなる点に注意しなければならない (図 2.3)。

3. 文献に見られる事例

furnace や saltbath による焼戻しについては、1946 に Hollomon と Jaffe が硬度、加熱時間と温度との関係を論じて以来 Nehrenberg, Grange, Baughmann, Larson, Salmas たちがそれぞれ前述の dimension less のパラメータと硬度との関係を示す master curve を発表している。

ここでいうパラメータとは式 (2.5) の左辺のことで、実用上は絶対温度でなく摂氏または華氏を用いる。

摂氏の場合

$$P = (C^\circ + 273) (20 + \log_{10} Th) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (3.1)$$

華氏の場合

$$P = (F^\circ + 460) (20 + \log_{10} Th) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで、 C° : 加熱温度 ($^\circ\text{C}$)

F° : 加熱温度 ($^\circ\text{F}$)

Th : 加熱時間 (h)

である。

前述のように、歴史もやや古いので、furnace や saltbath を中心とした master curve はいろいろと発表されているが、それらの事例を示すと、図 3.1⁽³⁾ は焼入された炭素鋼 ($C: 0.40 \sim 0.80\%$) の焼戻しにおける master curve であり、図 3.2⁽³⁾ は C 濃度がほぼ等しくても、合金と炭素鋼ではその master curve が異なることを示すものである。

R. A. Grange, R. W. Banghman⁽³⁾ らは、この原因について、合金鋼のパラメータが、同一 C 濃度の炭素鋼より同一硬度について大きく、また、しばしばパラメータが 20 のところに、突起があらわれるのは、このパラメータは、 $650^\circ\text{F} (343^\circ\text{C}) \times 1 \text{ h}$ の加熱条件に相当するが、この付近の温度では、残留オーステナイトがやや硬いベイナイトに変わるからだといっている。

焼鈍では、 A_{c1} 以下再結晶温度以上に加熱する軟化焼鈍、いわゆる

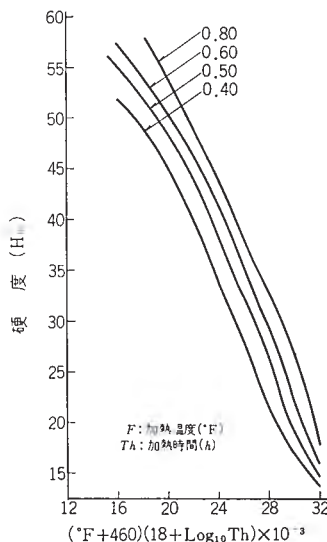


図 3.1 炭素鋼の焼戻し master curve
Master curve for tempered martensite in carbon steels containing 0.60~0.90 Mn.

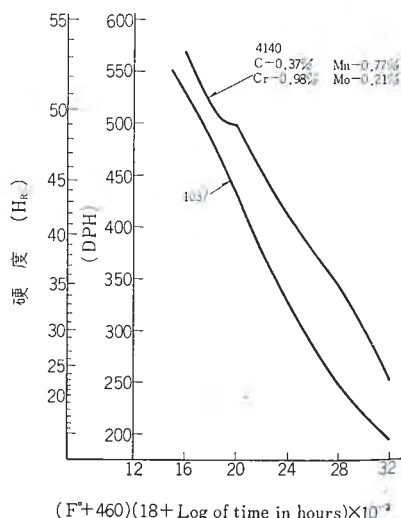


図 3.2 SAE 1037, 4140 鋼の焼戻し master curve
Master curve for tempered martensite in SAE 1037, 4140 steels.

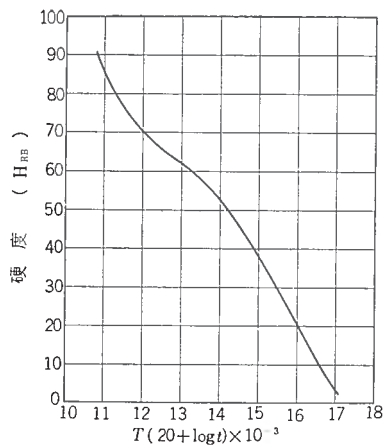


図 3.3 71.5%冷間加工した黄銅の再結晶 master curve

Master curve for recrystallization of deep drawing brass cold-reduced 71.5%.

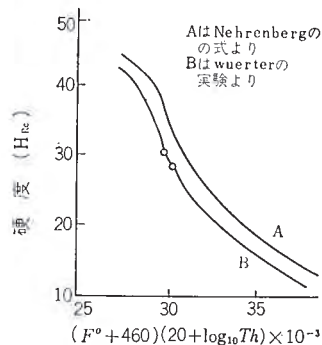


図 3.4 410 stainless 鋼の焼戻し master curve

Master curve for the tempering of 410 stainless steel.

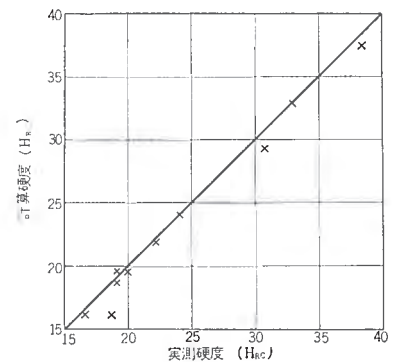


図 3.5 実測硬度と計算硬度との比較
Comparison between actual hardness and calculated hardness obtained from curve B of Fig. 3.4.

表 3.1 計算値と実測値の比較データ
Comparison of calculated values with actual data.

(a) 銅線を 51~54 R_{15T} まで焼鈍する場合

加熱方式	時間	温度 °C		
		実測値	式 (3.3)	式 (3.4)
furnace	7.0 h	397	—	—
induction	10 s	589	528	585

(b) 30φ の 7-3 黄銅のカートリッジケースを 100~105 RH まで焼鈍する場合

加熱方式	時間	温度 °C		
		実測値	式 (3.3)	式 (3.4)
furnace	2.0 h	458	—	—
flame	30 s	565	556	613
induction	5 s	649	596	652

る再結晶焼鈍について実験データが散見される。

図 3.3⁽⁴⁾ は黄銅を 71.5% 冷間加工したときの再結晶 master curve である。

再結晶 master curve は、圧延・引抜き・曲げなどによる加工硬化の回復に利用されることはいうまでもない。

ところで、上述したように furnace や saltbath を加熱源として展開された “master curve” 論が、誘導加熱のようなきわめて短時間の加熱の場合にも利用しうるのであろうか。

この疑問を解決するために、Westinghouse 社の R. K. Wuertel⁽⁵⁾ は一連の実験を行ない、誘導加熱にも十分通用することを確認した。

図 3.4 はこの結果を示すグラフであるが、曲線 A と B の違いは、実験に使用された両材料の成分の差によるものだろうと Wuertel は述べている。同図の曲線から計算した値と実験値は図 3.5 に示すようにきわめて一致している。

後述するように、われわれの実験でも結果はよい一致を示した。また犬飼氏⁽⁶⁾らは、Hollomon の式が高温短時間領域で適用可能であることを確かめている。

このように、master curve が短時間加熱にも適用できることがわかれば、その際の加熱温度は次の式から求めることができる。

$$\begin{array}{cc} \text{Furnace} & \text{Induction} \\ (F^\circ + 460)(20 + \log_{10} Th) = (F^\circ + 460)(16.44 + \log_{10} Ts) & \\ \dots\dots\dots (3.3) & \end{array}$$

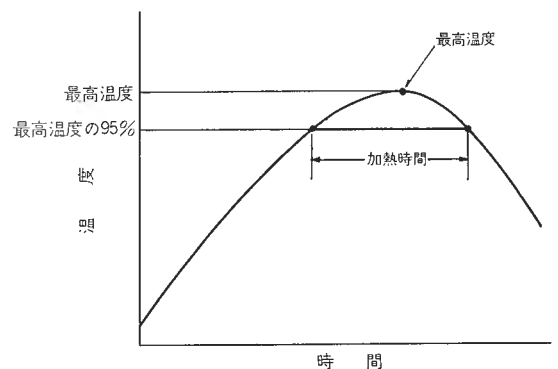


図 3.6 加熱温度と加熱時間
Heating temperature and time.

しかし、加熱時間が 5~10 sec 程度の加熱では、むしろ次の式のほうがよい結果を示すともいわれている。

$$\begin{array}{l} \text{Furnace} \\ (F^\circ + 460)(20 + \log_{10} Th) = (F^\circ + 360)(16.44 + \log_{10} Ts) \\ \dots\dots\dots (3.4) \end{array}$$

計算値と実測値の比較例を表 3.1 に示す。

このデータでは、30 s 以上の加熱では式 (3.3) が、5 s 程度の加熱では式 (3.4) がよく一致していくことがわかる。

このように短時間加熱の際の加熱温度は、furnace 加熱でのデータをもとにして計算で求めることができるが、その際に注意しなければならないのは加熱温度と加熱時間との考え方で、われわれの経験によれば、図 3.6 に示すように、加熱温度が 200~400°C くらいで、加熱電力が小さい場合には、加熱温度は最高温度をとり、加熱時間は最高温度の 95% の温度に達して、ふたたび冷却の際その点を通過するまでの時間をとればよい結果を示すようである。

4. 誘導加熱による短時間加熱の長所

短時間焼戻し・焼鈍・焼準には次のような長所がある。

- (1) 局所的な焼戻し・焼鈍・焼準ができる。
- (2) ライン化することができる。
- (3) 床面積を少なくすることができる。
- (4) 焼戻し・焼鈍・焼準時間が h 単位から s 単位に短縮され、処理能力が向上する。
- (5) プロセスが簡単になる。

表 4.1 高周波焼戻しにおける周波数の選択
Selection of frequency in high frequency tempering.

Work 直径 (mmφ)	3.2~ 6.3	6.3~ 12.5	12.5~25.4	25.4~50.8	50.8~152	152 以上
焼戻し温度 (°C max)	705	705	425	705	425	705
50 または 60 c/s				B	A	A
180 c/s			B	C	B	A
1,000 c/s (MG 式)			A	B	A	A
3,000 c/s (MG 式)			A	A	A	B
10,000 c/s (MG 式)		A	A	B		
20~600 kc (ギャップ式)	A	A	B	C		
200 kc 以上 (真空管式)	A	A	B	C		

注) 1 A 80% の効率で加熱できる最適周波数
B 加熱効率は 60~80%。周波数がやや高めであり、均一な加熱するには low power を必要とする。
C この周波数では 60% 以下の効率となる、また B と同じく周波数が高めで不均一加熱になりやすい。
2 power は $0.003 \sim 0.07 \text{ kW/cm}^2$ くらいがよい。

(6) 製品の品質が均一になり向上する。

機械を構成している部品は、その荷重・耐摩耗性への要求に応じて形状が一つの部品でもいろいろ変化している。こういった部品を焼戻す場合にも、furnace による焼戻しでは一様な硬度の均一な焼戻しをすることにより妥協させられることが多い。

このような場合、それぞれの要求に応じて局部焼戻しができたならば部品の機械的性質はさらに向上することは明白である。

とくに軸類の scanning によって焼入されたものの焼戻しに適していて、対称的な形状の部品（たとえば棒・平板・鋼管など）は非常につごうがよい。軸類の場合には焼入れ、焼戻しとも scanning によって行なうこともできる。

また鋼管・鋼板の溶接部の焼鈍には、被加熱物を小さい電力で、局部的に、連続して加熱することができるという長所のため、誘導加熱が次第に利用されてきている。

なお、誘導加熱を利用して焼入された軸類などを焼戻しする際にも誘導加熱で焼戻しをすれば、その周波数の選択により、表面と内部との焼戻し効果に差をつけることもできる。これは表面に浅いスリットやセレーションがある場所に利用される。全体を焼戻しするときは表 4.1 に示すように周波数を選択する。

5. わが社における応用例

以上述べたように、その特長が認められるにつれて、産業界の各分野でも誘導加熱を焼戻し・焼鈍・焼準の部門に積極的に採用するかまえを見せてきた。わが社でも熱処理センタにおける基礎試験を精力的に進めており、その応用面も各分野にわたっているが、ここではその一、二を紹介する。

図 5.1 は浸炭されたシャフトを焼戻しする装置の外観である。

浸炭材で作られたシャフトは浸炭後、焼戻しを行なうが、これを誘導加熱で行なえば、他の部分の硬度をそこなうことなく局部的な焼戻しができる。

図 5.2 はその master curve を示す。ただし、加熱は 2 章でも述べたように、 A_{c1} 変態点以下にすべきで、これを変態点以上に加熱すると図 5.4 に見られるように硬度はあまり低下しない。

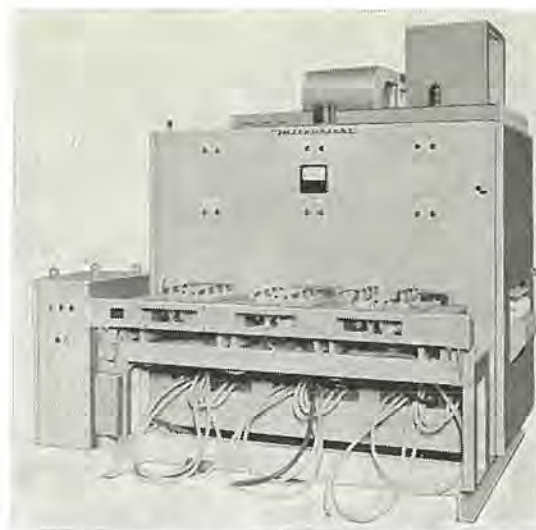


図 5.1 高周波焼戻し装置
Induction tempering apparatus.

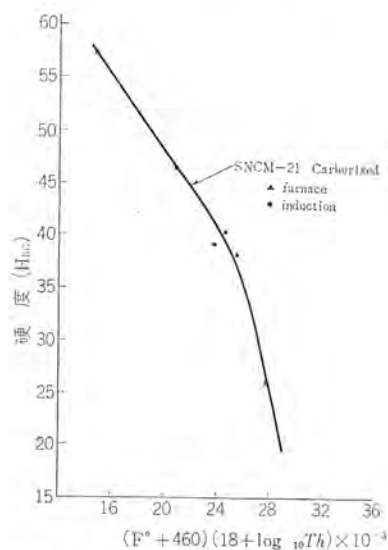


図 5.2 SNCM 浸炭材の焼戻し master curve
Master curve for tempering carburised SNCM-21.

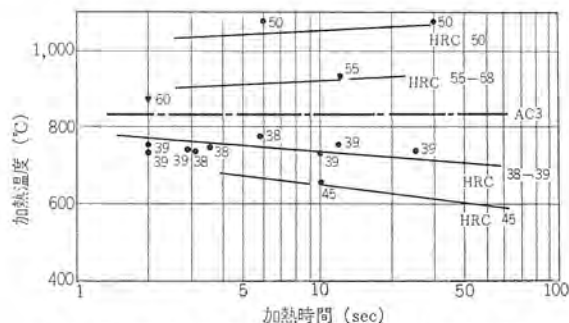


図 5.3 焼戻し硬度に対する加熱時間と温度の影響
Effect of the heating time and temperature on the tempered hardness.

その他誘導加熱は、同じく誘導加熱を利用してシーム溶接されたいわゆる電縫管の溶接部の焼鈍に応用することができる。

図 5.4 はその一例で、焼鈍前後の硬度・組織を示す。

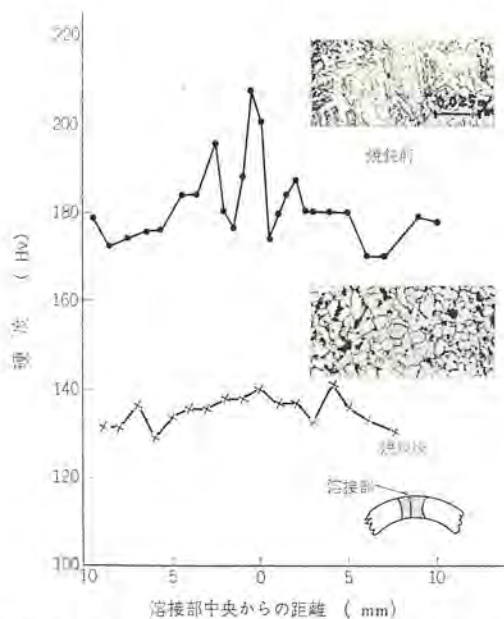


図 5.4 焼鈍前後における溶接部の硬度分布および組織
Hardness pattern and micro structure of a welded pipe and annealed pipe.

6. む す び

誘導加熱を利用した焼戻し・焼鈍・焼準についてごく簡単にその現状を述べたにとどまったが、その応用分野の洋々さとともに問題点がないわけでもないので、最後にそれらについて述べる。

(1) 多くの文献で、誘導加熱で焼戻しされた材料について、その機械的性質を論じており、 P の値が同一であれば、硬度だけでなく、引張り強さに関しても同一であり、絞りおよび伸びについては短時間焼戻しを行なったもののほうが性質がよいともいわれているが、金属組織についてはあまり検討されたのを見ない。一般に短時間焼戻しのほうがやや細かい組織を示すといわれている程度で、 ϵ 炭化物の析出、炭化物の形成・成長・残留オーステナイトの分解などがどのように行なわれているか未知である。

(2) 一般には前述の式 (3.1) が通用しているが、なかには

$$P = (C^0 + 273) (15 + \log_{10} Th) \dots\dots\dots (6.1)$$

または

$$P = (C^0 + 273) / (\log_{10} Th - 15) \dots\dots\dots (6.2)$$

のほうがより実測値に一致するのではないかという議論もあり、またきわめて短い 1~5 s という時間範囲ではその関係式も変わってくる可能性もある。

(3) 焼鈍において A_{r3} 以上の加熱をする場合に、結晶粒の成長に関する master curve はどうか。銅合金・ニッケル・ジルコニウムなど、その他いくつかの金属・合金についての master curve は報告されているが⁽⁷⁾、焼鈍現象と比較した報告は見ない。つまり金属の焼鈍において、 P の変化に対して硬度はそう変わらないのに、結晶粒の大きさの変化が顕著であれば短時間加熱にとってぐあいがわるいのである。

(4) 応力除去加熱・析出硬化などへの応用の可能性。

その他実際的な面からも、self-temper など横形の高周波焼入装置にともなう興味ある問題が多いが、いずれ近日中に解明せられると考えている。

終わりに拙文が多少なりとも興味あるかたがたの参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) F. R. Larson, J. Miller : ASME Transaction 74, 765 (1952)
- (2) J. J. Kanter : ASME Transaction 74, 775 (1952)
- (3) R. A. Grange, R. W. Banghman : ASM Transaction 48, 165 (1956)
- (4) H. L. Walker, W. J. Craig : AIMME Transaction 180, 42 (1949)
- (5) R. K. Wuertel : Industrial Heating June, 1,128 (1958)
- (6) 犬飼, 金田 : トヨタ技報 17, 231 (昭 40 年)
- (7) F. R. Larson, J. Salmas : ASM Transaction 46, 1,377 (1954)

最近の高周波焼入装置

酒井 良雄*・君塚 齊*

Recent Induction Hardening Equipment

Itami Works Yoshio SAKAI・Hitoshi KIMIZUKA

Heat treatment technique has made marked development in various industrial field of late, being accompanied by rapid advancement of heat treating equipment. Especially induction hardening equipment in the automobile industry has been shifted to automatized apparatus of exclusive use from old general purpose machines. Similar to other machine tools it is set up on the production line to help contribute to modernization of facilities such as elevation of productivity, rationalization of processing and reduction of manufacturing cost.

This article describes the outlines of essential functions of induction hardening equipment and introduce the equipment of the kind now in production at present. It also discusses the ideal form of recent hardening equipment.

1. ま え が き

高周波焼入装置は、多機種小量生産方式の装置から大量生産方式の産業機械へ脱皮し、機械工場用（または組立工場用）の装置となりつつある。現在製作している高周波焼入装置を中心に最近の焼入装置の概要を紹介する。はん用性の要求される熱処理工場用焼入装置と専用機化された機械工場用焼入装置とでは、使用条件の異なる以外に設置場所、作業環境等が大きく異なるため、新しい技術を取り入れやすいのは機械工場用焼入装置であり、その形式の変化はめざましいものがある。

今日の高周波焼入装置は、単なる工場電化製品ではなく、製作される機器の生産工程を一つのラインで結び、製造工程ラインの一元化を可能にした。

2. 高周波焼入装置の一般性

高周波焼入装置の使用上において、加熱時間がきわめて短いため、この特長を生かした生産性の向上を計るよう、ワークピースを順次コイルへ能率よく運びこみ、焼入後の処理もすべて連続に自動送りで次々と移動させる装置が必要である。

ワークピースの自動送り機械装置の処理速度は、高周波加熱電源の出力に応じて決まるが、この処理能力は高周波焼入装置の生産量に直結するので、自動焼入機械装置の特性はきわめて重要である。

このためにワークピースの取り付けに要するハンドリング時間と焼入処理に要する時間や、熱処理の前後工程のコンベヤ送り速度とその作業性などの条件によって焼入装置は選ばれる。

2.1 ワークピースの取り付け 取りはずし

一つのワークピースを取り付けて処理が完了するまでの1サイクル時間中には、高周波電源の出力に応じた加熱時間・自動送り時間とワークピースの取り付け 取りはずし時間が含まれている。高周波電源の有効な利用時間が1サイクル中長いことが望ましいが、（1サイクル中の1/2～1/3以上）加熱時間が数秒間程度となると、取り付け取りはずしのハンドリング時間も極力短縮し、作業性が便利にする必要がある。小さなワークピースを数秒間に1個ずつ作業者が取り付け 取りはずしすることは作業上好ましいことではない。このために、たとえば、ワークピース数10個を一度にホッパに投入して、ワークピースの方向などを自動選別しながら取り付け 取りはずしする全自動式のものがある。

また一定の加熱電源の出力に対して2～6個を同時に加熱して加熱時間を1サイクル中で長くすることによって、取付け 取りはずしのハンドリング時間の1サイクル中に占める割合を低減させる方法もある。

またこの作業時間は、1人の作業者が取付け取りはずしができ、疲労度を低減させるために30秒～1分以下に1回の割合にワークピースをチャージさせるような方法が好ましい。

ハンドリング時間は、作業者の作業性にもよるが、この機械装置の前後工程の方式によって、コンベヤ送りで1個ずつ送り込まれて送り出すか、一度にまとまって搬入搬出されるかによって、またそのときのワークピースの方向などによっても異なる。

ワークピースの取り付けは、取付位置精度が正確にかつ容易に行なえるようになっていることが焼入後のひずみ、均一な焼入パターンなどをうるために必要である。

大形の重量物がワークピースである場合には、ワークピースの位置出しが容易になるよう、また搬入搬出が便利のように特別な設備を併用しないと、ハンドリング時間を長く費やすこととなる。1サイクル中の加熱時間の比率が1/3以上となるように、高周波電力か動率を向上するために、ハンドリングは作業上たいせつである。

2.2 ワークピースの駆動

連続移動焼入機械装置では、ワークピース か コイル かを相対的に移動させ、ワークピース 自体も回転させることが多い。図2.1、2.2に示すように、均一な硬化深度をうるためには加熱電力、加熱時は電周

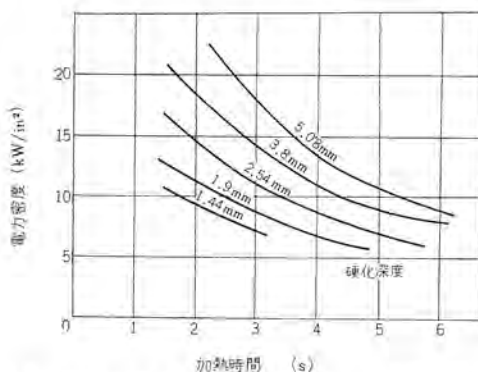


図 2.1 3,000 c/s における焼入深度、加熱時間、電力密度の関係（シャフト送り焼入）

Relation among hardness penetration, heating time and electric power density at 3,000 cycles.

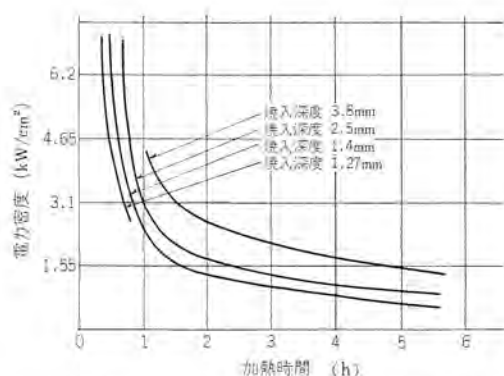


図 2.2 9,600 c/s における焼入深度、加熱時間、電力密度の関係(シャフトの送り焼入)
Relation among hardness penetration, heating time and electric power density at 9,600 cycles.

源電圧などの変動に対しても一定であることが必要である。このためにコイル中の通過時間である加熱時間、すなわち送り速度の偏差は、約±5%以下が常識である。同一のワークピースで硬化深度を位置によって変える必要がある場合や硬化深度一定でワークピースの径の異なる場合には、焼入位置によってプログラムされた送り速度に自動的に変えられる速度制御器を備えるものもある。

ワークピースの回転駆動は、ワークピースの軸心が加熱コイル軸心に対して偏心した場合でも、全周にわたって均一な硬化深度をうるために回転させる。この回転数は加熱時間(移動のときはコイル幅の通過時間)中に加熱むらが生じない程度以上の回転数を与える。

相対移動源とワークピースの回転駆動源には一般に電動機または空気圧が用いられるが、大きな駆動力を必要とする場合には油圧と油圧モータを使用する。回転用駆動モータは焼入液の防湿のため注意が必要で、焼入液を浴びない位置に設けるか、場合によっては電動機を用いず、油圧モータ、水タービンなどを使用する例もある。

歯車の表面焼入の場合には、冷却中のみ回転を止める方法があり、これで大形歯車の歯先と歯底の均一な冷却を行なって焼きわれを防止している。

2.3 全自動制御

焼入装置の制御は主として電気リレー回路により制御している。起動スイッチの始動により、ワークピースの自動送り(急上昇・停止・下降速度可変・停止)ワークピースの回転停止、高周波電力の投入、電力可変、シャ断とその時間制御、放冷時間の変設定、焼入液の噴射停止とその可変時間制御など、その他機械構造物の制御などすべて一連のシーケンスを全自動で停止まで行なうものが一般的である。またワークピースの大きさ長さ方向の位置検出によってそれらの位置制御ができるようになっている。

また保守点検やためし焼入れのときのために、位置制御に無関係に各動作が各個に操作できるものも備えている。

品質を一定に保つための制御としては、加熱電力・加熱時間・送り速度・焼入液の量・液圧・温度・冷却時間・位置出し精度などがあり、1サイクル中の諸動作を、電源電圧や周囲条件の変動に対しても自動制御することにより安定を保つことができる。これは最近の自動計測制御技術の発達とともに従来の他の加熱設備で得られなかったことであり、均一な熱処理作業は高周波焼入装置を利用することによって達成できる。

2.4 焼入機の形式

ワークピースの形状・大きさから加熱の送り方向が決まるが、一般に

焼入機械では冷却液の噴射は水平方向にかけて、液は落下するため、ワークピースは下降しながら連続に加熱冷却させる立て形機械装置の方式が最も多い。

しかしワークピースの自動供給・取出装置との関連を考えると、横形のほうが有利になり、ラインの流れもスムーズになるので横形焼入装置も数多く製作されるようになった。

これら焼入装置の形式は次のように分類される。

- (1) 横形焼入装置
- (2) 立て形焼入装置
- (3) 全自動焼入装置

これらは焼入方法の形式による分類であり、全自動焼入装置とは部品供給装置と取出装置を一体とした構造の装置のことである。立形・横形各焼入装置の特長は種々あるが、横形焼入装置はほとんどが専用機であり、立て形焼入装置はほとんどは汎用機であるところがその最大の特長である。

3. 横形焼入装置

水平移動する特長を利用したフィーダを備えた専用機が多く、アックスルシャフトやクラックシャフトなど長軸物の焼入装置は、主として、横形焼入装置である。供給位置と取出位置が装置の中心に対して対象の位置になるのでワークピースが直線運動の流れとなる。したがって焼入装置のライン入りが多くなった現在需要が増加する傾向にある。リヤアックスルケース、アウタシャフト、カムシャフト、アックスルシャフト、ピン、クラックシャフト、リング、シュール旋盤ベッド等横形焼入装置のうち低ひずみ焼入装置について述べる。

3.1 低ひずみ焼入装置

本装置は軸類を高周波焼入する際に素材内に残留する、機械加工による加工応力または焼入時の急熱急冷による変態応力が原因で生ずる焼入ひずみを防止しながら焼入を行なう装置であり、当社がその特許の独占実施権を有している。低ひずみ焼入の必要性は次の三つの理由による。

- (1) ひずみ取り工程を省略、または縮小できる。
- (2) C量の多いシャフトの場合はひずみ取りによる“われ”を防止できる。
- (3) シャフトの疲れ限度にばらつきが少なくなる。

また焼入ひずみのでる原因は次のとおりである。

- (1) 材質の不等質性
- (2) 焼入前の内部応力(機械加工、ひずみ取り、鍛造等)
- (3) 加熱冷却の不均一による
- (4) 鍛造肌の偏心、真円度
- (5) ローラ接触面の径のばらつき
- (6) 焼入前のひずみ

以上は焼入ひずみの質的な面であるが、焼入ひずみ量の大小に影響を与えるものとしては、焼入深度に関係する周波数と材質とが考えられる。本装置は主としてリヤアックスルシャフトの焼入に利用される。リヤアックスルシャフトの焼入ひずみ除去には、これまで多額の資金を投じて、後処理としてひずみ取りの工程を設けてプレスにより人為的にひずみをとっていたがウェスティングハウス社は焼入中のひずみの増大を防ぐひずみ取りローラを取り付けた低ひずみ自動焼入装置を開発し、多くの自動車メカに納入し、すでに一億本以上焼入した実績をもっている。当社では、この技術をうけ入れ、トラック用、乗用車用のアックスルシャフト低ひずみ焼入装置を、数多くの自動車会社に納入

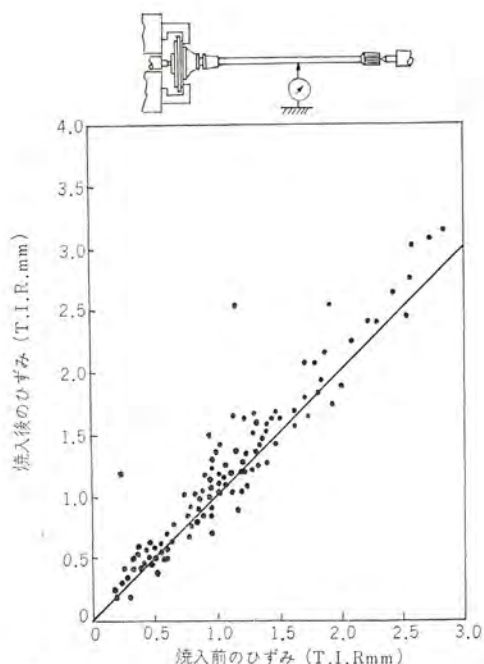


図 3.1 フランジ固定法による焼入ひずみ
Hardening strain produced by a flange fixed method.

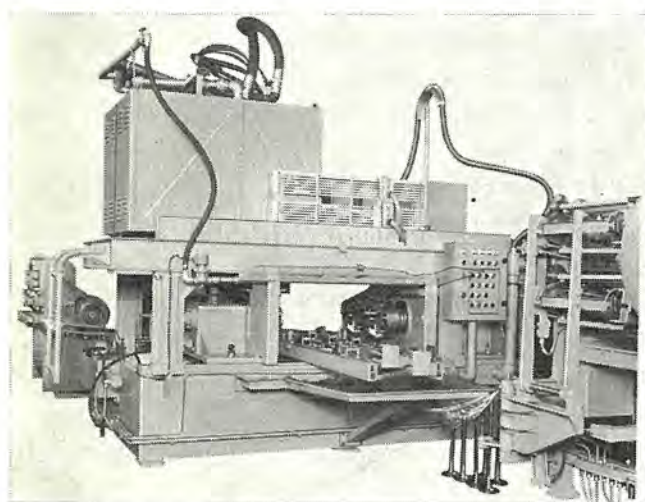


図 3.2 アクスルシャフト低ひずみ焼入装置
Low strain hardening equipment of axle shaft.



図 3.3 アクスルシャフト低ひずみ焼入装置 (供給装置付)
Low strain hardening equipment of axle shaft (with feeding devices).

している。

本装置は次の特長をもっている。

(1) 焼入後のひずみ取り修正の工程は不要になる。(図 3.1 参照)

(2) アクスルシャフトの焼入深度を深くし、安価な材質で強いシャフトを作ることができる。

(3) 完全自動式であるからワークピースをフィーダ上に置けば、以後の焼入工程はすべて自動的に行なわれる。

(4) 装置はがんじょうで信頼度高く、量産用に最適である。また自動注油方式等を採用し保守性・作業性も十分に考慮して設計してある。

(5) これまでの焼入機では、焼入後にひずみ取り工程が必要で、このときに必ず残留ストレスが残るが、この低ひずみ焼入機では、残留ストレスが生じないので折れないシャフトを作ることができる。

(6) 本装置の主要部であるテルストック、ヘッドストック、ローラサポートについては、テルストックの熱処理、ヘッドストックのチャックの材質、ローラサポートの材質表面処理に当社独特のものを使用している。

昭和 39 年第 1 号機を完成して以来、種々改良を加え現在では図 3.2 に示すように、供給機をつけて無人運転の装置としてか動を続けている。

4. 立て形焼入装置・全自動焼入装置

立て形焼入はワークピースを垂直に立ててセットし焼入するため、送り焼入の場合等焼入液がコイルを通過した後もかかっているのではじゅうぶんな冷却ができ、焼入液の加熱部へ盛り上がりが少ない等の利点がある。それ故あらゆるワークピースの焼入に使用できるのでは人用機はすべて立形となっている。

全自動とは部品供給・取出装置と一体化になった焼入装置で無人運転可能なものである。これまでは小物部品に限られていたが、次第に、大物部品の焼入装置も無人運転可能な装置となる傾向にある。

4.1 立て形焼入装置

最も古くからある装置で、高周波焼入が存在する以上絶対必要な装置である。

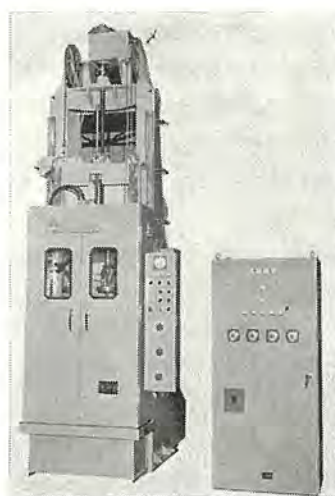


図 4.1 立て形 2 軸焼入装置
(ワークピース昇降形)
Vertical type two shaft hardening equipment (work piece being moved up and down).



図 4.2 立て形 2 軸焼入装置
(コイル昇降形)
Vertical type two shaft hardening equipment (coil being moved up and down).

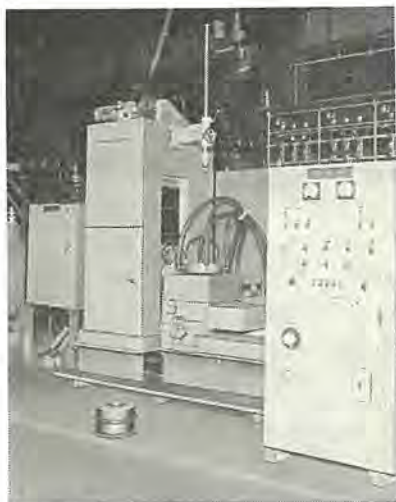


図 4.3 立て形万能焼入装置
Vertical type universal hardening equipment.

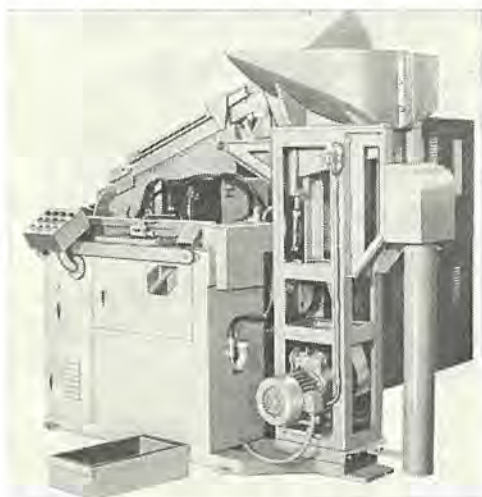


図 4.4 バルブステム端面自動焼入装置
Automatic hardening equipment of valve stem and surface.

熱処理工場用の装置であり、1軸から4軸までである。

図 4.1, 4.2 に立て形焼入装置のワークピース昇降式とコイル昇降式を示す。

この形式の装置は、人間がローダ、アンローダになればラインにはいることができるので、機械工場のラインにはいつている場合も多い。

熱処理工場におかれたとき、威力を発揮するのが図 4.3 に示す万能焼入装置である。10 kc, 150 kW の高周波電源によると、立て形万能焼入装置は、連続焼入法でシャフト・カムシャフトおよびシリンダライクなどが焼入でき、また一発焼入法で最大 300 mm 外径までのギヤや車輪が焼入できる。そのうえ、一歯焼入法による最大 2,000 mm 外径までの大きな歯車の焼入も可能である。ワークピースがシャフトのときは、回転下部センタと上部ローリングセンタ間に取付けられる。シャフト類に対する連続焼入のときはワークピースは昇降せず、整合変圧器と接続された焼入コイルが昇降する方式である。

立て形焼入装置の場合、油焼入を行なう部品以外は、専用機と呼べる焼入装置はないと言える。

4.2 バルブステム端面全自動焼入装置

この焼入装置は自動車などのエンジンの給気弁・排気弁（バルブ）のステム端面を全自動的に焼入れる装置である。バルブはホッパに投入されると自動的に焼入機に供給され、ステム端面が高周波焼入されてシュート上に放出される。すべての動作は自動化されているため無人運

転を行なうことも可能である。種々のバルブ材質に適するように空気焼入れ（エア吹付け）・油焼入れ・水焼入れの3種類の焼入が簡単に切換え使用できるようになっている（図 4.4 参照）。

5. 最近の焼入装置

現時点において、高周波焼入装置の持つ意味は、製鉄・機械工業・金属・製鋼工業へ進出するための従来の方法とは異なった新しい熱処理方法の一つという金属学的研究段階と自動車工業・建設機械工業におけるようにその価値は、金属学的に既知とされ、産業機械として、最先端の技術導入によりラインコントロールされる機械となりはじめた段階との二つの意味に分けられる。

本文は後者について扱ってきたが、さらにシステムとして考えると焼入装置に要求されるものは、次の3点に要約できるであろう。

- (1) 生産能力のスピードアップ
- (2) 無人運転機械化
- (3) 機械工場ラインへの導入化

5.1 生産能力のスピードアップ

焼入装置の生産能力の向上は、加熱時間の短縮が最も簡単であるため、一発焼入の傾向は進み、1個所ずつ焼入していたカムシャフトやクランクシャフトは、ジャーナル、カム、ピン各個所にすべてコイルをつけ、1本のシャフトを1サイクルの加熱・冷却で焼入する装置がすでにアメリカで実現している。

その装置で焼入する場合 500 kW の電力により、20 秒以内に1本焼入できるのである。

またアクスルシャフト等の連続焼入を要するものも高電力、高速度焼入を行ない、600 kW の電力を用いて、焼入中の送り速度 35 mm/s. (3本同時焼入) という装置もアメリカにはある。この装置では、3本が 45 秒以内に焼入可能となり、機械加工と同程度の能力をもつことになる。高電力高速度の高周波焼入装置が出現することにより、ラインコントロールの可能性を増加させたのである。

5.2 機械工場ラインへの導入

無人運転機械は、4章で述べたように、すでに、小物品品だけではなく、大物品品の焼入装置においても実現している。しかしながらこれらは、焼入工程のみの無人化であり、孤立した熱処理機械であった。

真の意味の機械工場ラインへの導入の困難の要因は、高周波焼入の変動因子の多様さに影響されている。焼入における加熱・冷却のサイクルにおいて、冷却の主因子である焼入液の温度と濃度の変化に対するデータを記す。図 5.1 は焼入液温の変化による硬度深度への影響のデータであり、温度が低いほど深度が大きいことを示している。

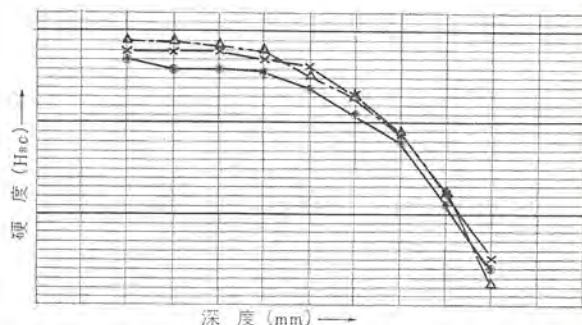


図 5.1 焼入液温の変化による硬化深度への影響（炭素鋼軸）
Effect of changes in hardening temperature on hardness penetration.

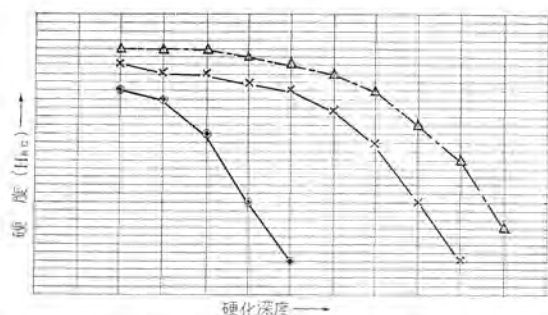


図 5.2 焼割れ防止剤の各濃度における硬化深度への影響
(炭素鋼軸)

Effect of the concentration of preventive agent against hardening cracks on the hardness penetration.

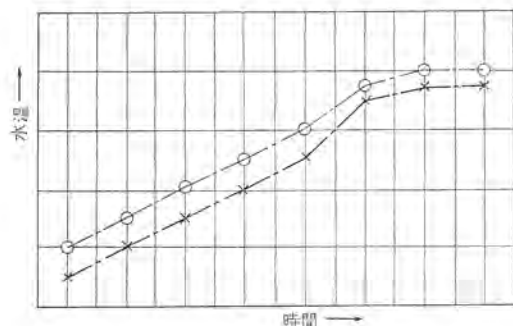


図 5.3 焼入液温の変化(経時)
Changes of hardening temperature.

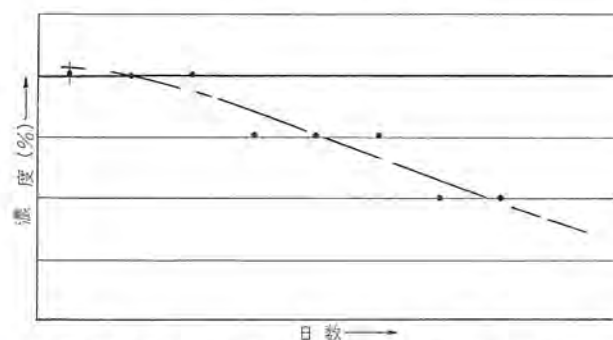


図 5.4 焼入液濃度と経過日数との関連
Relation between quenching medium concentration and time elapsed.

図 5.2 は焼割れ防止剤の各濃度における硬化深度への影響のデータであり、濃度は、深度に大きな影響を与えることを示している。焼入液温の経時変化と焼入液濃度の経日変化とのデータを、図 5.3、5.4 に示す。このデータは最も一般的な、水槽のデータである。これらのデータが示すように焼割れ防止剤の濃度・焼入液温とも非常に不安定であるため、深度・パターン のチェックは抜き取りで行ない、われ・なまりのチェックは、全数行なうようにしている現状である。われの識別は非常に困難であり時間を要する。研磨してエッチングしてみてもはじめてわかる われ もある。焼割れ防止は現在熱処理技術家の一つの課題であり種々検討されている。機械工場ラインへの導入化を可能にするには、その1ステップとして、熱処理データの機械設計者へのフィードバックによる われ の発生しにくい機械部品の形状をつくりだすことを推進するとともに、焼入液温・濃度を一定にすることによって、われ・なまり判定装置不要の焼入条件を決定しなければならない。すなわち われ・なまりのチェックは抜き取りでも安心して流してゆける焼入条件を維持することを可能にする装置を実現しなければならない。経験に頼っている熱処理を、一歩一歩データを積み線形化し、工場ライン化実現に努めることが熱処理装置メーカーの務めである。

6. む す び

以上、高周波焼入装置の原理説明、装置の概略、工場ライン化の問題点などについて簡単に述べた。

高周波焼入装置は自動車業界を中心に急速に発展した。

技術革新にともない合理化はますます進み、焼入装置に要求される機能も高度に広範囲になってゆくと思うが、この文が、関係者の参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 東田：三菱電機技報 37.
- (2) R. K. Wuerfel：Metal Progress 84, 6, 93 (1963)
- (3) Shimpson：induction heating.
- (4) 中村、酒井、早瀬、上田：三菱電機技報 39, 755 (昭40)

鍛造・押出用誘導加熱装置

藤室 雅司*・松尾 茂*

Induction Heating Equipment for Forging and Extrusion

Itami Works Masaji FUJIMURO・Shigeru MATSUO

A method to heat metal placed in an alternating magnetic field by eddy current losses produced in its interior—what is called induction heating—is applicable to the melting, heat treatment or forming with heat of various kinds of metal, the adaptability being almost limitless. Particularly induction heating equipment used for forming the work with heat is now regarded as indispensable tools in the field of forging, extrusion and rolling where most efficient operation of facilities, improvement of working conditions and reduction of installation spaces are aimed at. Under the circumstances Mitsubishi has increased a great deal production of the induction heating equipment. This article outlines the forging and extrusion apparatus among the equipment thus cited.

1. ま え が き

交番磁界内に置かれた金属を、その内部で発生するうず電流損によって加熱する、いわゆる誘導加熱は、各種金属の溶解、熱処理あるいは熱間成形に適用され、その応用範囲は、止まるところを知らない。とくに熱間成形用誘導加熱装置は、設備の合理化、作業環境の改善、据付面積の縮小を目指す鍛造、押出し、圧延等の各業界にあっては、不可欠なものとなってきた。

当社においてもこの情勢に相呼応して、ここ数年来、誘導加熱装置の研究開発を重ね、昭和37年EM-FW1形鍛造用ヒート1号機を製品化して以来、業界の認識と相まって、装置の生産を飛躍的に増大させた。

近年、合理化の波は、これら鍛造、押出し、圧延設備の大形化を、推進し、当社では、昭和42年に、60 c/s, 1,800 kW, 960 c/s, 1,500 kWの2重周波大容量鍛造用ヒートを開発し、住友金属工業に納入するに至った。その容量において、国内外に類を見ない本装置については、別稿にゆずるとして、以下では、当社鍛造および押出用誘導加熱装置の概略を紹介する。

2. 鍛造用誘導加熱装置

- (1) 作業環境がよい。
- (2) 全自動運転ができる。
- (3) 温度、生産量の調節が確実容易である。
- (4) 始動が簡単、じん(迅)速である。
- (5) 鍛造品にむらがない。
- (6) スケールがほとんど出ない。

など、誘導加熱方式は重油炉、ガス炉等の燃焼加熱方式に比べて数多くの利点を持つ。

工場設備の合理化は、時代の要請であり、自動車部品、機械部品の鍛造工場においても、上記利点を持つがゆえに誘導加熱方式の採用は避けられないものとなってきた。

鍛造用誘導加熱装置は、一般に高周波発電機から変圧器、コンデンサ等の電源設備と加熱機からなるものであるから、各機器の協調を考えた総合設計によってはじめて、最高の性能を発揮しうるものである。総合電機メーカーである当社は、この意味で他社の追随を許さない鍛造用誘導加熱装置メーカーとして、活躍しているわけである。

2.1 加熱電源の周波数

鍛造用加熱においては、

- (1) 加熱素材(ビレット)の中心部まで均一な温度に
- (2) 効率よく

加熱することが要求される。

交番磁界内に置かれた金属内には、電磁誘導作用により逆起電力を生じ、うず電流が流れて熱を発生する。この電流の流れる層は、交番磁界の周波数により異なる。いま、その部分の発熱量が全体の約90%を占める層の金属表面からの深さを電流深度と呼ぶ。そして電流深度を δ (cm)、加熱電源の周波数(交番磁界の周波数)を f (c/s)、被加熱金属の比透磁率を μ 、固有抵抗を ρ ($\mu\Omega$ -cm)で表わすとき、

$$\delta = 5.03 \sqrt{\rho / \mu f}$$

式が成り立つ。本式より、周波数が高くなればなるほど、電流は被加熱物の表面層に集中しやすくなることかわかる。

(1) ビレットの中心部まで均一な温度に加熱するということは、加熱電源の周波数をできるかぎり低くし、電流深度を深くしてやればよいということに対応する。もちろん、ビレットの加熱温度とその温度までの熱伝導度、加熱時間を考慮しなければならない。

(2) 効率よく加熱するということは、加熱電源の周波数をできるかぎり高くせよということに相当する。周波数が高ければ高いほど、効率はよくなるからである。なお、ここで効率とは、加熱コイルに加える電力の何%が被加熱ビレットの熱源となり得るかということである。

上記、相対立する点を総合的に考え合わせて、加熱金属の材質、直径に応じて周波数が選定される必要があり、それが考慮されたものが表2.1に示される。

この表は鍛造用のみならず、同じ要求をもつ圧延用および押出用

表 2.1 周波数選定表
Selection of frequency.

素材直径mmφ	20	40	60	80	100	120	140	160
アルミ銅	10kc	3kc	1kc	50, 60%				
黄銅	10kc	3kc	1kc	50, 60%				
鋼	650℃以下 10kc	3kc	1kc	50, 60%				
650℃以上 ステンレス鋼 ニッケル合金	10kc	3kc	1kc	と1kcとの2重周波併用 50, 60%				

誘導加熱装置にも適用できる。

鋼を鍛造温度の1,250°Cに加熱する場合の周波数は、鋼650°C以上の欄によればよい。広範囲のビレット直径を1台の加熱機で処理する必要が生じた場合には、単位期間(たとえば1ヶ月)の所要生産量の多い直径を中心に考えれば、より経済的となろう。もちろん緻密を期する必要があるから、初期投資額、運転費などより、経済比較を行なって結論を出す必要がある。

誘導加熱装置の構成は、加熱電源の周波数によって大幅に異なる。鍛造、押出しあるいは圧延用等の全体加熱に用いられる周波数は、一般に、低周波、高周波および二重周波の3種に大別される。したがって、当社では以下の形名を採用している。

(a) EL形……低周波誘導加熱装置

50 c/s または 60 c/s 商用周波電源を加熱電源とし、おもにアルミ、銅等の非鉄金属の押出用および鉄鋼の圧延用に適用される。

(b) EM形……高周波誘導加熱装置

商用周波数を越える周波数(150 c/s~10 kc)を加熱電源とし、おもに鉄鋼の鍛造用に適用される。

(c) ED形……二重周波誘導加熱装置

商用周波と高周波の両者を加熱電源とし、鉄鋼をキューリー点までを商用周波で、それ以上を高周波で加熱する。とくに、大容量機において採用される。

2.2 生産量と加熱電力

一般に鍛造ラインは、ビレット切断装置、ビレットヒータ、鍛造プレスおよび熱処理装置により形成される。鍛造品の所要生産量に応じて、この鍛造ラインの各設備の能力が決定される。鍛造ラインへのビレットヒータの導入にあたって、第1に考慮すべき点は、ビレットヒータの能力を、鍛造ライン中の他設備の能力に合わせることであろう。専用機的使用ならいざ知らず、ライン内にはいる機械は、その前後の設備とのかねあひもあり、設置後の変更は相当の困難が予想されるからである。

鋼を鍛造温度に加熱するのに必要な電力量は、図2.1に示される。同図は、各周波数において各直径のビレット1kgを、鍛造温度に加熱するのに必要な電力量(kWh)を示すものである。

鍛造ラインの生産量に応じて、ビレットヒータの処理能力が決められた場合、前述の最適周波数の選定を行なって、その周波数とビレット直径から加熱に必要な電力量が求められる。この電力量(kWh/kg)と処理能力(kg/h)との積より、加熱電力(kW)が大略求められる。

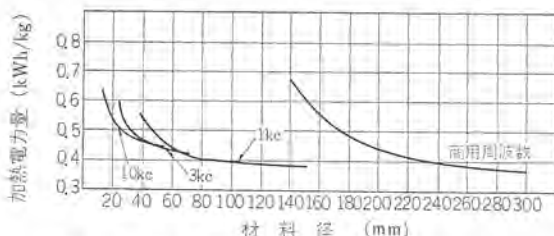


図 2.1 鋼材加熱の所要電力量 (1,250°C まで)
Necessary kWh for steel billets heating to 1,250°C.

2.3 送り方式

鍛造ビレットヒータにおいて、ビレットの送りは以下の条件が満たされる必要がある。

(1) トンネル状の加熱コイル内部を、コイル耐火物に接触することなく円滑に送られること。

(2) 鍛造プレスと連動するため、一定時間間隔で取り出せること。

(3) ビレットは一般にシャワーで切断されるが、この切断面がある程度きたない場合でも円滑に送られること。

(4) ビレットは1,200°C~1,250°Cにおいて溶解寸前まで達するが、この温度においてもビレット相互間に極端な溶着が生じて、送りに遅滞をきたさないこと。

(5) 直径、長さの異なる数種のビレットを同一ビレットヒータで処理する必要のあるとき、その寸法の変更に対して簡単に調整ができること。

上記条件を満足する方式として、

(a) ピンチローラ式

(b) ブラッシュ式

(c) ウォーキングビーム式

の三つの代表的な方式が考えられる。

これらの方式はそれぞれ一長一短があり、方式の採用にあたっては、ビレットの断面形状、材質、加熱温度、処理数量、鍛造プレスとの連携などに対し、十分比較検討し選択する必要がある。これら3方式を比較検討したものを表2.2にまとめる。

また、それぞれの装置の一例を図2.2、2.3、2.4に示す。

表 2.2 各種送り方式の比較
Comparison of each transfer mechanisms.

送り方式	ピンチローラ式	ブラッシュ式	ウォーキングビーム式
形 名	EM-FR3形	EM-FP1(2または3)	EM-FW1
駆動装置	モーター	油圧、エアシリンダ、モーター	油圧シリンダ
送り方式	加熱コイル入口側に設けられたピンチローラで、ビレットはピンチされながらコイル内に押入れられる。ビレットはコイル内、ロール上を押し入れながら移動する。	ビレットは、油圧エアシリンダまたはモーターで押入れながら加熱コイル内のロール上を進む。	固定ロール上に乗ったビレットは、油圧シリンダで駆動されるウォーキングビームで上に持ち上げられ、前進しおろされ1ピッチ進むが、これらの動作の繰返しにより、コイル内を搬送される。
効 率	エアギャップが小さくできるから、効率に非常に良好。	ピンチローラと同様。	ビレットが上下するため、ギャップが大きくなりピンチローラほどの効率は期待できない。
電気的問題	ビレットが連続して移動するから、電気の負荷が一定であり、発電機出力をフルに利用できる。	ビレットが間欠的に出入するため、負荷電力の変動があり、発電機出力をフルには利用できない。	ブラッシュ式と同様。
冶金的問題	エアギャップが小さいため、酸化脱炭はほとんどない。	ピンチローラ式と同様。	ギャップが大きいため、酸化、脱炭はピンチローラ式よりも大きい。
機械的問題	機械が簡単であり、かんじょうな構造である。ロールは固定されているから、ゆがむことが少ない。ロールに耐摩耗性合金の肉盛りをする。	ピンチローラ式と同様。しかし、ビレットの出入は間欠的であるのでロールに衝撃力がかかる。	構造が複雑である。ロールやウォーキングビームがゆがみやすい。
ビレット送りの問題	ビレットの切断面形状が荒れ、バックリングすることがある。加熱温度が高いと、ビレット同士が融着することがある。	ピンチローラ式と同様。	切断面におうとつがあってもバックリングしない。融着はほとんどない。
保守点検	モーター駆動の機構方式であるから、保守がきわめて簡単である。いかなる部分もほとんどない。	油圧シリンダや配管からの油もれが時としてある。	ブラッシュ式と同様。

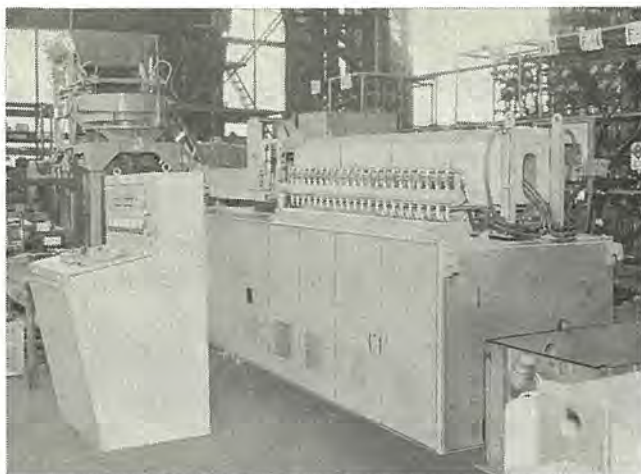


図 2.2 EM-FR 3 形 鍛造用 ビレットヒータ
Type EM-FR 3 billet heater for forging.

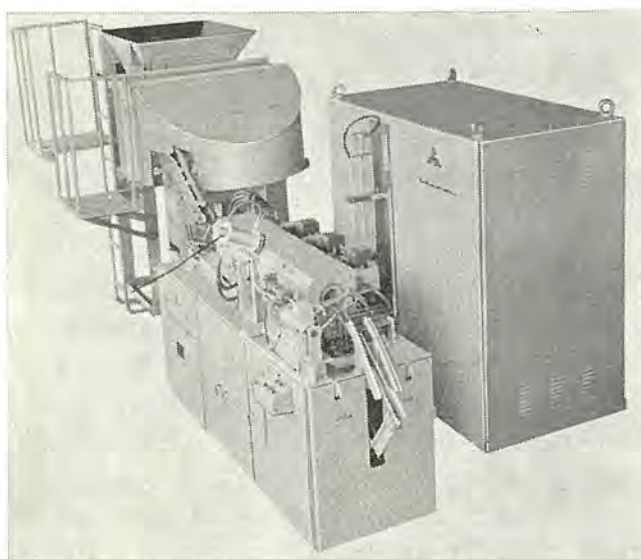


図 2.3 EM-FW 1 形 鍛造用 ビレットヒータ
Type EM-FW 1 billet heater for forging.

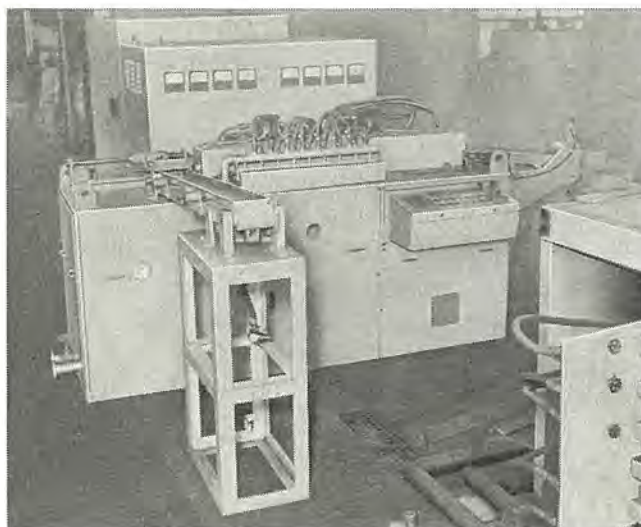


図 2.4 EM-FP 1 形 鍛造用 ビレットヒータ
Type EM-FP 1 billet heater for forging.

上記3方式のいずれを選択しようとも、ビレットの切断面の形状がきれいであればあるほど、またビレットの寸法変化範囲が少なければ少ないほど、送り機構は単純化されることは言うまでもない。

2.4 加熱コイル

燃焼加熱方式においてその本体とも称すべき炉に対応するものが、誘導加熱装置における加熱コイルである。重油炉やガス炉に比べ、寸法が著しく小さいけれども、誘導加熱装置の主体であることに変わりはない。そのため、以下に示すような十分な考慮が払われる必要がある。

(1) 誘導加熱の特性を生かして、必要かつ十分な炉長（加熱コイル長さ）が決定される。

炉長が短かすぎると、コイル出口部でのビレット中心と表面との温度差が大となり、均一加熱の目的に反する。逆に長すぎると設備費が増し、据付面積が広くなること以外に、熱放散のほうが大きすぎて、所定の温度まで加熱できないこともある。コイル入口側の電力密度を上げて急速加熱し、コイル出口側で熱放散損を補うことを考慮しながら電力密度を下げて、均一加熱を目指すことによって始めて、最短の炉長が決定される。

(2) 機械的、効率的見地からコイルギャップが決定される。

コイルギャップ（コイル内径とビレット直径との差）が、小さければ小さいほど効率は良くなり、所要電力量が減るため、運転費（電力消費量）が少なくてすむ。

一方、コイルは銅管を巻回し、一般には水冷して大電流（5,000～10,000 A）による銅管の溶解に対処している。

(a) 巻回した銅管の隣合う部分での電氣的接触（層間短絡）は、銅管の溶融破壊より水漏れ事故に派生する。このため、層間絶縁が必要である。

(d) 銅管とビレットとの接触は地絡事故となり、銅管の破壊に進展する。このため銅管とビレットとは、絶縁されねばならない。

(c) 鍛造温度まで加熱されたビレットがこのコイル内を通過するため、コイル絶縁物とビレットとは熱的に隔絶される必要がある。

(d) ビレットが円滑に送られるように、ビレット下面にレールが敷かれる必要がある。

以上の4項目を満足し、しかも長寿命を期すためには、コイルギャップは、できるかぎり大きいほうが好ましい。

つまり、運転費の点からはコイルギャップは小さく、機械的強度の点からは大きくということになる。上記を総合的に検討して、このコイルギャップは30～60 mmとしているが、この値は耐火物、絶縁物、耐熱耐摩性金属材料の研究開発により、徐々に小さくなってきている。

(3) 安全に対して十分な注意が払われる。

加熱コイルに印加される電圧は、一般に600 V以上のいわゆる高圧であり、人が触れると感電する。そのため、コイル外周は耐火物でモールドして安全に対処している。なお、このモールドは、鍛造プレス用の潤滑材や鉄粉のような導電性じんあいのコイル上への堆積に対しても、層間短絡事故の防止に役立つ。

(4) 保護ガスが封入できる構造である。

燃焼加熱方式より数段まさるとしても、コイル出口部分が外気にさらされている以上、酸化脱炭は避けられない。とくに、精密鍛造を行なう場合には、ときとして酸化脱炭防止用保護ガスをコイル内に封入する必要が生ずる。これに対処すべくコイルを構成し、耐火物も特殊品を使用している。

三菱電機技報・Vol. 42・No. 3・1968

いづに耐熱耐摩耗性合金のステライトを肉盛りし、内部を水冷している。この水冷は、レールの誘導加熱およびピレットからの熱伝達による熱ひず(歪)みを防ぐためである。

(5) 電源電圧の変動により、ピレットの温度にむらが出てくることに對して十分考慮している。

すなわち発電機出力電圧を常に一定に保つよう、SCR 式定電圧装置を設けている。また、ピンチローラの回転が変動してピレットの送り速度が変わらないよう、直流モータ入力回路の電圧を別の定電圧装置により制御している。

(6) ラインにはいる装置であるから、故障絶滅を期さねばならない。そのため、数々の高周波電源設備を有する実験工場(熱処理セクタと呼称)を利用して、引合時あるいは納入前の段階で試験調整を行ない、完全にうみを出してから出荷している。

3. 押出用誘導加熱装置

アルミ、銅、黄銅、ニッケル合金、鋼等の伸線、製管およびサッシュの製造は押出し加工によって行なわれるが、この分野の発展は、最近とくにめざましいものがある。これは、押出し技術の進歩によることはもちろんだが、押出し前の加熱に誘導加熱装置を採用しているためであることも見のがすことはできない。

温度制御が自在で、急速かつ均一な加熱が容易であり、作業環境が良く、設備費も安く、加熱電源として商用周波数をそのまま、かつ三相電源を平衡させて使用できる等、かすかずの特長を押出用誘導加熱装置は有している。

3.1 加熱電源

押出用加熱においても、鍛造用加熱と同じく、加熱素材の中心部まで均一な温度に効率よく加熱することが要求される。したがって周波数について十分な考慮が払われるべきだが、その周波数の選定については、表 2.1 によればよい。

ところで一般に、押出機にかけられるピレットの寸法は 150 mm φ 以上であるから、押出用加熱装置の電源周波数は 50/60 c/s にきられる。そこで、以下では 50/60 c/s のいわゆる商用周波数を電源とする低周波誘導加熱装置につき説明する。

加熱装置に使用される電源は、6 kV あるいは 3 kV の 3 相電源であり、消費電力も数百 kW のオーダーである。したがって、3 相電源の不平衡による逆相電流は送電線路の損失を増し、他の並列回転機器に悪影響を与えて好ましくない。そこで、3 相電源を平衡させる必要が生ずる。そのため、一般には 3 相負荷にするよう加熱コイルの構成を考えているが、加熱条件によっては単相負荷にしなければならないこともある。この場合には、三相電流平衡装置が必要であり、一般にはコイル有効電力の $1/\sqrt{3}$ の kVA 容量を持つリアクトルおよびコンデンサが、コイル負荷とともに Δ 接続されるよう結線するグローブ回路が使われる。

銅、アルミ等の非鉄金属を誘導加熱する際、負荷率は 30~40 % と非常に悪く、そのまま線路に接続することはできない。したがって、力率改善用コンデンサが必要となる。一方、加熱コイルに供給すべき電圧は、100~200 V であり、線路電圧の 3/6 kV を、この 100~200 V に降圧するための変圧器が必要である。回路の構成にあたって、変圧器あるいはコンデンサのいずれを電源側に設置するかが問題となるが、経済性の点からコンデンサを電源側に設置する方式が採られる。ただし、これは非鉄金属の押出用誘導加熱における話であって、負荷率が良く、インピーダンスの異なる鉄鋼の低周波加熱にお

いては、変圧器を電源側に設置するほうが望ましい。

負荷力率改善用コンデンサは負荷に並列に接続されるが、押出用誘導加熱装置におけるこの並列コンデンサの容量は 800~3,000 kVA とかなり大きい。電源側に高調波が存在するときには、このコンデンサ回路はその影響を受け、コンデンサには基本波電流に高調波電流が重畳し、過大電流が流れる。これはコンデンサの温度上昇、計器や保護継電器の誤動作等を招き好ましくない。電源側の高調波発生源としては、アーク炉による第 3 調波、変圧器の磁気飽和による第 5 調波等が考えられるが、誘導加熱装置は、このような系統からはずして使用することが望ましい。しかし、系統からはずすことが困難な場合には、各調波に対して誘導加熱装置の系統が誘導性となるに十分な直列リアクトルを設ける必要がある。

3.2 加熱コイル

加熱コイルは図 3.1 の構造をしている。水冷角銅管をツレノイド状に巻回し、その内面に断熱材を巻き、さらに内側にステンレス板のライナを巻き、加熱ピレットが通過する下面にはステンレス板のレールを敷いている。断熱材は通常耐火コートを使用し、ピレットからのふく射熱が、コイル層間絶縁物を焦がすことを防ぐと同時に放散熱損失によるピレットの温度低下を防いでいる。ライナは、断熱材の脱落を防ぐためのものである。レールはピレットをなめらかに送るために必要である。

耐火断熱材が薄いほど、加熱コイル内径と加熱素材外径との差は小さくなり、その差(エアギャップ)が小さいほど、電気的効率は向上する。反面、断熱材を貫通する放散熱が多くなり、また断熱材の機械的強度も低下するので、通常アルミを加熱する場合は 20~40 mm、銅で 30~55 mm のエアギャップがとられる。

誘導加熱装置は、押出しラースの能力に合わせて加熱能力が選定される。この加熱能力と加熱素材寸法に応じて、加熱直後における表面と中心との温度差を小さくし、しかも効率よく運転できる最適コイル長さが選ばれる。このコイル長さは、一般には 1.2~2 m であり、一方コイル内径は 150~300 mm であるから、コイル長を 3 等分してもなお、内径に比べて長さのほうが大きい。したがって、磁束の漏えい(洩)分が少なく、3 相コイル方式が採れる。加熱コイルは軸方向に一体に巻回され、3 分割された部分にタップが出され、各タップに 3 相電源が接続され、負荷のバランスにより、3 相平衡回路を形成している。

3 相電源の位相差は 120° であり、このまま加熱コイルに接続すると、相のつぎ目部分で磁界強度が弱まり、その部分の加熱温度が他

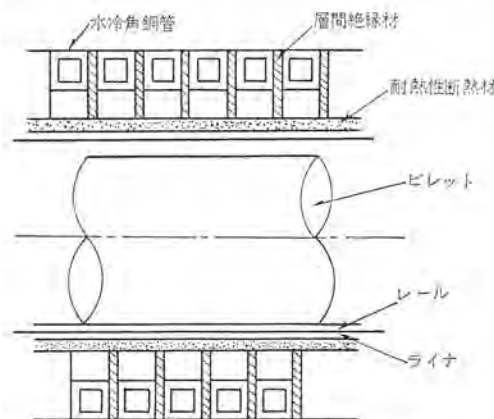


図 3.1 EL 形加熱コイル断面
Cross sectional view of type EL induction coil.

の部分より低くなり、ビレットの長手方向の温度むらをきたす。そこで、通常真中に位置する加熱コイルの相を反転して、隣り合うコイルの位相差がちょうど 60° 差となるように結線する。これにより、熱伝導率の良好なアルミ、銅の加熱にあたっては長手方向の温度むらはほとんどなくなり、実際の押出加工操作上、問題とならなくなる。

ビレットで消費される電力は、加熱コイルに流れる電流と加熱コイルの巻数の積であるアンペアターン²の2乗に比例する。ところで、ビレットの消費電力は加熱能力が決まれば一律に決定されてしまうから、その電力を供給するのに必要なアンペアターンも決まってしまう。一方加熱コイルは、電気的効率および工作上から一層巻きが望ましい。加熱コイル長さが決まり、一層巻きであると巻数はあまり多くすることができず、所要のアンペアターンを生ぜしめるには、コイル電流を増す以外にない。コイル電流は通常 $5,000 \sim 10,000$ A 必要であり、コイル銅帯の面積も十分に大きくとれないから、図 3.1 に示すように角銅管により水冷する形式が採られる。

冷却水の断水は銅帯を過熱し、層間絶縁物の熱破壊をきたすので、断水時には電源をしゃ断する必要がある。加熱コイルの冷却水系が、開放形で排水状態が監視できる場合には問題ないが、水系が閉回路を形成する場合には、個々の水系での水のつまりが問題となる。そのため、各水系の出口側のコイル部分の温度上昇を検知するため、サーモスタットが取り付けられる。

加熱コイルの電流が大きいために生ずる問題として、電磁振動があげられる。この電磁振動は、巻回したコイル相互間に働く吸引力と、ビレットに流れる電流による反発力とが主原因となる。巻回したコイル相互間に働く吸引力は、加熱コイルを長手方向に、押し縮める向きに働くが、加熱コイルの流れる電流の周波数の2倍の周期で働くため、振動を引き起こすことになる。

一方、ビレットには、加熱コイルに流れる電流と逆方向の電流が流れるから、加熱コイルとビレット間には反発力が働き、これも加熱コイルの周波数の2倍の周期で加熱コイルに振動を与えることになる。これらの電磁振動は、層間絶縁物の脱落、加熱コイル形状の変形をきたすために、機械的に押えつける必要がある。そのため、層間絶縁物と角銅管間には、絶縁性接着剤を塗り込むとともに加熱コイル両端に補強板を設けて、板と板をボルト締結している。

加熱コイルとビレットに働く電磁力は、上記のように加熱コイルが固定されると、ビレットを移動させる力となる。同時に加熱コイルには三相電流を流しているが、三相の移動磁界による電磁力も考慮されねばならない。三相の移動磁界による電磁力は位相の遅れの方に向う。したがって、加熱コイルはビレットの送入側から位相が順次 60° ずつ遅れるように配置して、両電磁力によるビレットの移動する方向を送出側になるようにしている。そして、加熱中にビレットが加熱コイルから飛び出さないよう。送出端に機械的ストップを設けている。

3.3 均一加熱とこう配加熱

3相電源は図 3.2 のように変圧器を介し、各相ごとに加熱コイルに接続される。変圧器の二次電圧は $100 \sim 200$ V で、通常 12 タップをもち、タップ切換器により調整できる。タップ切換器は各相ごとに独立して設けられていて、相対応する加熱コイルの電圧、したがって供給電力をそれぞれ調整できる。

加熱コイルにはいるビレットの本数は、その寸法、生産量等により異なるが、押出用加熱においては通常 2 本入れられる。加熱コイル入口側に置かれたビレットは、所定温度の $1/2$ の温度まで加熱され続

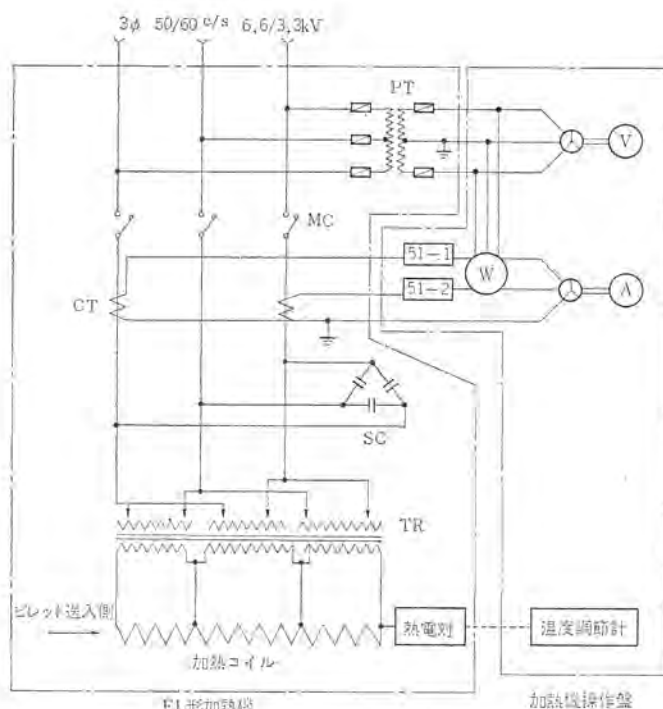


図3.2 EL形誘導加熱装置電気系統
Schematic diagram of type EL induction heating equipment.

いてはいつてくるビレットに押されて出口側に進む。そこで、所定の温度まで加熱されると、新たにはいつてくるビレットにより押し出される。

ビレットを長手方向に均一に加熱しようと思う場合には、各相の変圧器のタップ値をほぼ同一に選べば良い。ところが、アルミの押出しの場合、型材の加工度が大きいと塑性変形のため熱を発生し、ビレット後部の温度が異常に上昇し、押出加工がしにくい。そこで、変形熱を見込んで素材の後部を前部よりも低く加熱するいわゆるこう配加熱(テーパーヒート)が必要となる。この場合には、変圧器のタップを加熱コイルの送入側を高く、送出側を低く選ぶことにより簡単に解決される。

3.4 温度制御

押出しにおいて、加熱して取り出されたビレット相互間に温度のばらつきがあると、押出機のダイスの寿命を縮めると同時に押出成形品の品質がばらつき、品質管理が困難となる。押出し作業時間が一定している場合には、誘導加熱方式を採用するかぎり、常に一定温度のビレットが取り出されるので、この点は問題とならない。しかし、一般的には押出し作業時間は一定していない。つまり、加熱完了後すぐに取り出されることもあれば、加熱完了後も加熱コイル内に待機させておかねばならぬこともある。

そこで温度制御が必要となってくる。誘導加熱装置においては、温度制御が燃焼式炉に比べてごく簡単である。加熱素材の表面温度を測温し、その信号で加熱電源を ON-OFF すればよい。

測温は、熱電対またはふく射高温計により行なわれる。これらの熱起電力を温度調節計に入れ、所定温度まで昇温したら加熱完了のランプ表示をするともに加熱電源を切り、温度が下ってきたらふたたび電源を入れる。いわゆる 3 位置制御を行なう。この温度制御範囲は、一般に $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 程度である。

アルミ、黄銅、銅のように、 $1,000^\circ\text{C}$ 以下の加熱温度のものの測温にあたっては、CA 裸熱電対が使われる。CA 裸熱電対をビレット出

口端面にバネ力により押しつける。これは、一般には電磁力によりピレットが、加熱コイルから飛び出さないように設けられたエアシリンダ駆動のストップに取り付けられる。したがって、電磁力によるピレットの移動を考慮して、熱電対にも機械的強度が要求され、通常6.5mmφの太い特殊素子が使われる。

ステンレス鋼、ニッケル合金のように加熱温度が1,000°Cを越えるものに対しては、CA裸熱電対では酸化がひどく寿命の点で実用に供さない。またPt-Prにしても機械的強度のある素子が市販されていないため採用できない。したがって、温度指示値が実温度より若干下がるが、CA電対の素子に耐熱合金のSUS42、あるいはインコネルの保護管をかぶせた熱電対が用いられる。

ふく射高温計を用いると、850°C以上の高温のピレットに直接触れる必要がないので、測温素子の寿命は非常に長い。これはニッケル、銅合金、ステンレス鋼の測温に使われるが、測定面が荒かったり、おうつ(凸凹)がある場合には実用に供さないばかりか、ピレット表面にスケールが生ずる場合にはふく射率にばらつきを生じ、正しい測温が困難となるという難点がある。

3.5 装置の構成

三菱押出用EL-EP形誘導加熱装置は、電源開閉装置・進相用コンデンサ・変圧器・加熱コイル・送り機構をコンパクトに一体構造とした加熱機と、温度調節計・計器・操作器具を取付けた操作盤からなるが、この操作盤を加熱機に取付けることにより、据付面積の縮小をはかることもある。

(1) 加熱機

(a) リフトコンベアおよびストック

リフトコンベアによりピレットは持ち上げられ、ストックに送り込まれる。ストックには数本のピレットがたくわえられる。ストックの部分は図3.3のように開放形となっていて、保守が容易な構造である。

(b) 送り機構

エアシリンダを使用したラッシャ式で、ピレットは1個ずつ加熱コイルに押し入れられる。加熱コイルを出たところは、モータ駆動のローラがあり、加熱されたピレットを押し出しプレスに送り込むためのシュータに運び入れる。エアユニットは、加熱機架台内に収納されている。

(c) 測温機構およびストップ機構

電磁力によりピレットが加熱コイルから飛び出すのを防ぐために、エアシリンダを使ったストップ機構を設けている。このストップ機構に測温用熱電対を取付け、ピレットの温度を制御している。

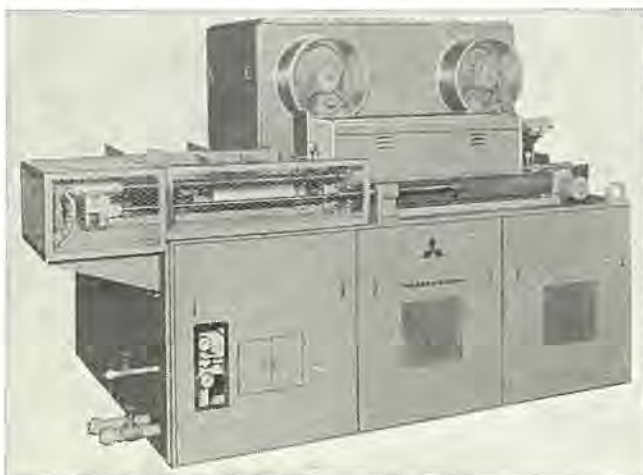


図 3.3 EL-EP2形押出用ピレットヒータ
Type EL-EP 2 billet heater for extrusion.

(d) 加熱コイル

加熱コイルは加熱機架台上に取付け、ピレットはラッシャにより加熱コイル内に送入される。送入されたピレットは一定時間加熱されて送出側から取り出される。

(e) 電源機器

加熱コイル回路の力率を改善し、インピーダンス整合を行ない、加熱コイルに電力を能率よく供給するために、コンデンサおよび変圧器を加熱機架台に収納している。

(i) 電源変圧器

3相送油水冷式の変圧器で、加熱コイルと電源のインピーダンス整合をとるため、二次電圧調整用タップ切換器を取付けている。

(ii) 進相用コンデンサ

3相不燃性油入自冷コンデンサでユニット形である。回路力率を90%程度に改善している。

(iii) 高圧電磁接触器

6kVあるいは3kV回路において負荷の開閉を行なう。真空スイッチまたは気中電磁接触器が使われる。

(iv) 計器用変成器

負荷の電圧、電流、電力を監視するために、P.T.およびC.T.を取付けている。

(2) 加熱機操作盤

加熱機を制御するために必要な各種計器、タイマ、温度調節計、表示灯を取付け、操作器具も合わせて取付けたキュービクル形あるいは、デスク形の盤であるが加熱機に埋込むこともできる。また、操作器具は押し出しプレス操作盤に取付けることも可能である。

3.6 特長

常にユーザの立場に立って、保守点検の容易な誘導加熱装置の開発に努めてきた当社は、押出用誘導加熱装置としてすでに20台の実績を持つに至った。以下、三菱ELピレットヒータの特長を列記する。

(1) コンパクトにまとまっている。

電源開閉装置から加熱コイルまで、ピレットヒータに必要なあらゆる機器を一体構造にまとめ、調整および保守点検を容易にするよう十分留意している。

(2) 温度制御が容易である。

一定温度の加熱ピレットを自動的に一定間隔で取り出すことも、また、所定の温度範囲にピレットを保温しておくことも自由に選択できる。

(3) 希望の温度分布のピレットが容易に得られる。

ピレットの長手方向の温度を均一にすることはもちろん、押し出し時の塑性変形による発熱を考慮して、長手方向に温度こう配をつけることも簡単にできる。

(4) 変圧器は、誘導加熱装置用として特殊設計されている。

誘導加熱装置の主体をなす変圧器は、小形、長寿命が要求されるが、この要求に合わせて、当社は三相送油水冷式変圧器を開発した。

(5) 総合設計がなされている。

高圧電磁接触器、進相コンデンサ、変圧器等の電源用機器と加熱機の協調を考えた総合設計は、これら機器を一括して製作している当社のみが、なし得るところである。

4. む す び

熱間成形用誘導加熱装置は、設備の合理化を目指す、鍛造、押出しあるいは圧延業界にあっては不可欠なものであり、その需要の増大は著しいものがある。設備費の点で従来の燃焼炉に比べ、若干のひらきはあるが、運転、保守等を考え総合的に経済比較すれば誘導加熱装置の優位性は不動のものとなる。

鍛造、押出し、圧延の各業界の設備の大形化の傾向に相呼応して、誘導加熱装置も大形化の道を歩むであろう。現に、アメリカにおいては圧延用誘導加熱装置として、60 c/s, 210 MW という大容量機が

設備化されようとしている。

こうした大容量機は、受電設備から加熱機まで一貫して設計製作できる総合電機メカにしてはじめてこなし得るものであろうが、当社はこの意味で研究開発の責務を感じる次第である。

参 考 文 献

- (1) 荻野, 藤室: 誘導加熱装置, 金属材料, 6, 第 11 号, (昭 41)
- (2) 藤室, 松尾: 三菱鍛造用 ビレットヒータ, CASTING & FORGING, 86~90. (昭 42-8)

自動車工業用抵抗溶接機

福井 三郎*

Resistance Welders for Automobile Industry

Itami Works Saburô FUKUI

Remarkable is the latest development of automobile industry, the scale of which is enlarging rapidly. In line with this trend rationalization of the industry is called for vigorously and numerous measures are taken for the goal. Resistance welders are one of representative tools in the fabricating line and those designed for exclusive purposes are deemed necessary.

The text introduces various items relative to resistance welders when turned to exclusive use recent trend exclusive machines of the kind various information concerning them, and unique resistance welders designed and built by Mitsubishi under this category.

1. ま え が き

近年におけるわが国産業の発達著しく、なかでも自動車工業の発展には目をみはるものがあり、昨年度は自動車総生産台数においてアメリカに次ぎ世界第2位の座をうるに至った。

しかしながら自動車工業においても自由化問題、熟練労働者不足および生産量の増大にともない生産向上を要求されるようになり、ますます自動化・合理化がさげばれつつある。

自動車生産ライン中でも重要な部分を占める抵抗溶接機分野においても同様なことがいわれ、従来のはん用溶接機から専用溶接機へと急速に移行しつつある。以下はこれ等専用溶接機について述べるものである。

2. 専用機化のすう勢

生産規模が大きくなればなるほど、生産ラインも大きくなるのは当然であり、ある程度までは設備の数を増し、人員を増強すればこれに対処することは可能であるが、これにはおのずから限界があり管理上の問題からも当然これ等の集約化が考えられなければならない。とくに昨今のように労働力不足の状態では、熟練労働者を大量に集めることは不可能に近いことであり、生産規模の拡大につれて設備を大形化し、専用化することが至上命令とならざるを得ない。設備を大形化・専用化することにより、工数節減・床面積節減、さらには少ない人数でしかも未熟練作業によって、品質の安定したものを大量に生産することが可能となるからである。

抵抗溶接ラインにおいても例外ではなく、従来どおりのポータブルスポット溶接機では限界があり、専用機化が急速に進められつつあるのが現状である。

専用機設置に当たって生産数量、経済性および品質が重要な要素を占めるのは当然であるが、さらに

- (1) タクトタイム
- (2) 前後の工程との搬送関係
- (3) か動開始時期
- (4) 技術程度
- (5) 工場スペースおよびレイアウト
- (6) 工場立地条件

等をも総合的に考え合わせることが必要であろう。

とくに自動車産業のようにモデルチェンジが数年ごとに行なわれる

場合には、か動開始時期が非常に大きな要素となる。これに対処するためには、はん用性をもった専用機を設置することを十分に考慮する必要がある。また量産規模が大きくなるにしたがって搬送装置は欠くことのできない重要な問題で、これを有効利用することにより、著しく人員を減らすことが可能となる。さらに溶接設計上も従来のはん用機中心の少量生産から、専用機中心の大量生産へ移行するにつれて、専用機化しやすい方向への拘束を受けざるを得ない。すなわち溶接ピッチ・溶接点数・溶接方向・部品の分割などにおいて、専用機化を念頭において設計を行なうならば、より有効な専用機が期待できるであろう。

3. 専用溶接機

3.1 C フレーム プレスウェルダ

C フレーム プレスウェルダは小物部品の単体結合用として従来から最も一般的に使用されている機械であり、部品形状および打点数によっては2工程以上にわけることもある。図3.1はプラテンが上昇下降するプラテンリフト式であるが、このほかにプラテンが固定式のもの、クラウンが上下動するクラウン昇降式のものがある。プラテン固定式の場合は被溶接物の形状に制限を受けるので、プラテンリフト式あるいはクラウン昇降式が多く使用されている。

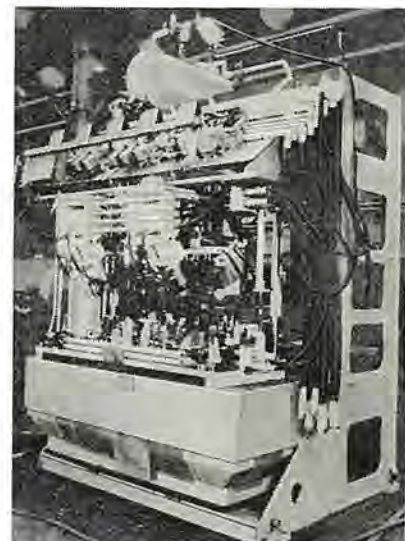


図 3.1 プラテンリフト形 C フレーム プレスウェルダ
Knee type C frame press welder.



図 3.2 クラウン 昇降形 C フレーム
プレスウェルダ (本体のみ)
C frame press welder
(without fixture).



図 3.3 チューリップ コンタクト
Tulip Contact.

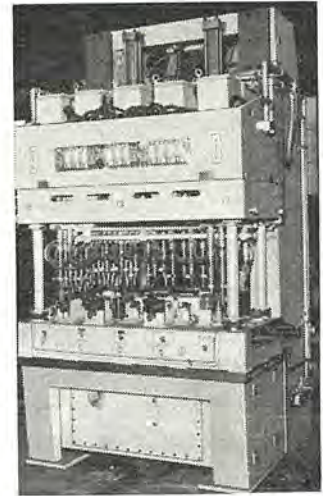


図 3.4 クラウン 昇降形
C フレームプレスウェルダ
C frame press
welder.



図 3.5 ダイセット
Dieset.

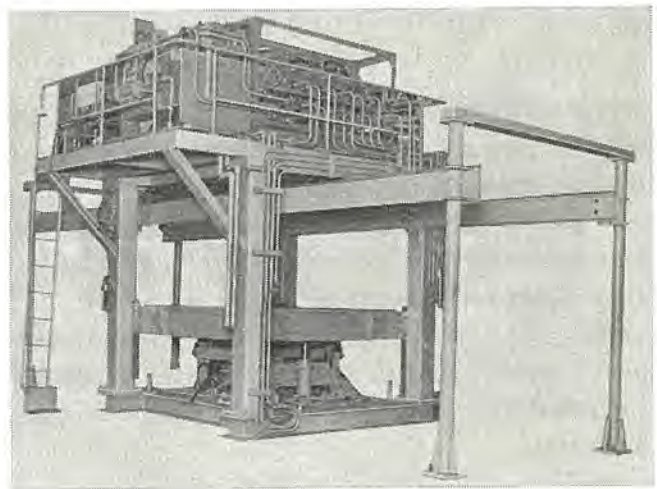


図 3.6 4ポスト プレスウェルダ
4 post press welder.

図 3.2 はクラウン 昇降式であるが、これの特長として

(1) プラテンリフト式では溶接不可能な大きなもので溶接が可能である。

(2) 2台を並べて設置し、長尺物に対して同一工程での溶接が可能である。

(3) さらに数台を適当にレイアウトすることにより、広範囲の応用が可能となる。

など使用範囲がプラテンリフト式にくらべて広がる。

さらに機械単体としても次に述べるような特長をもっている。

(1) クラウン 昇降用およびウェルディング動作用の油圧ユニットをコンパクトに内蔵している。すなわちテーブル内部を油圧タンクとし、その後方に電動機・油圧ポンプなどを配置してある。

(2) 制御装置はリレーはまったく使用せず、すべて半導体化しプリント基板のカード化してある。したがってコンパクトになり、寿命は半永久的で保守点検が容易である。

(3) 万一制御装置にトラブルを生じた場合に、すみやかにチェックできるようにシーケンス表示ランプを完備している。

(4) 従来溶接電流制御用に使用していたイグナイトロンをサイリスタに換えた。もちろんこれの保護は十分に考慮されている。

(5) さらに大きな特長はサイリスタと載の溶接トランスをクラウン上部に設置し、二次導体を特殊なコンタクトにより締結するようにしたことである。すなわち図 3.3 に示すようなチューリップコンタクトにより溶接トランスと溶接治具の結合を行なわせたために、ダイセットの内部に溶接トランスを収納せずにすみ、スペースに余裕ができる。このため治具設計時点において自由度が増し、数多くの溶接ができ、保守点検が容易である。しかしながらこのチューリップコンタクトを使用

した場合は二次導体が長くなる欠点があり、また通電容量に制限があるのであまり大容量のものには適さないが通常の薄板溶接には問題はない。

(6) 治具交換は簡単にでき、油圧配管、冷却水配管および空気配管はクイックジョイントにより着脱できる。

(7) 制御回路は1台の単独運転が可能であるのはもちろん、2台の並列運転も可能である。

図 3.4 は溶接治具を取りつけた状態である。

3.2 4 ポスト プレスウェルダ

C フレームプレスウェルダでは溶接できない大物溶接物に対してもっとも一般的に用いられるもので、単体結合用としてもまた何台も並べてその間をワークトランスファー装置で結合しラインとしても使用される。図 3.5 に示すダイセットに溶接治具を組み込み、これを図 3.6 に示す機械本体に取りつけて溶接作業を行なう。この形式のものは下部プラテンが油圧動作により昇降するものが多い。これの制御装置および油圧ユニットは本機上部に設置し、床面積の有効利用をはかるようになっている。ラインとしてでなく単体で使用されるときには、タクトタイムも短かいので治具交換装置をつけて数種類のワークの溶接を行なうことができる。

3.3 シャトルタイプ プレスウェルダ

この形式のプレスウェルダは、被溶接物がかなり大きく前記4ポストプレスウェルダではローディングが困難であるような場合に有効である。

図 3. 7, 3. 8 はシャトルタイプ、クローン 昇降式の例である。これの特長としては

- (1) ワークローディング のとき、上部がオープン であるので作業性がよい。
- (2) 作業時の安全性が高い。
- (3) 溶接治具の保守・点検が容易である。
- (4) サイリスタ とう載形溶接 トランス を上部に設置し、トランス ごと にきめのこまかい ヒートコントロール を行なっている。
- (5) チューリップコンタクト を使用して溶接 トランス と治具との締結を行なっているので、溶接治具設計時の ガンレイアウト が容易である。
- (6) 治具が簡素化されるので、1 工程で 100 点以上の溶接が可能である。

などの長所がある反面欠点として、シャトル 運動が加わるためにタクトタイム がやや長くなる。またチューリップコンタクト を使用したために二次導体が長くなるなどがある。

この形式のプレスウェルダ はライン としても使用可能であるが、作業性がよく、1 工程でのスポット 容量が大きいので単体で使用される場合が多い。

3. 4 テーブルトップタイプ ウェルダ

溶接用治具にエコライジングガン を組み込んだもので、図 3. 9 に例を示す。この形式のものは従来 ポータブルスポット 溶接機で行なっていた

溶接をエコライジングガン に変えることにより手軽に実施でき、モデルチェンジ に際しても ガン、溶接 トランス などが流用できるのでかなり広く利用されている。

しかしながらエコライジングガン がかなり大きいので、計画時点においてある程度工数をふやして保守点検を容易にする必要がある。

サブアッセンブリライン においては数台の溶接機をトランスファー 装置 で結合すればさらに有効に利用できる。

この形式のものは部品の単体結合に利用されるのはもちろんであるが、さらに総組立 ライン 中に設置し、品質の安定化、作業者の節減などが可能であるのが合理化に有効である。

3. 5 その他の溶接機

はん用機と治具とをうまく組み合わせることにより、非常に有効な使い方が可能である。図 3. 11 は標準 シームウェルダ とターンテーブル 形の治具の組み合わせによりタンクのシーム溶接を行なうものである。単純な治具のみの交換でモデルチェンジ にもすぐに対処できる のみでなく、多種類の タンク を流すこともできる。

図 3. 11 は標準 プロジェクションウェルダ に治具および パーツフィーダー を組み合わせた例であり、エンジン 部品の プロジェクション 溶接を行なうものである。

このようにはん用機と治具とを組み合わせることにより、未熟練

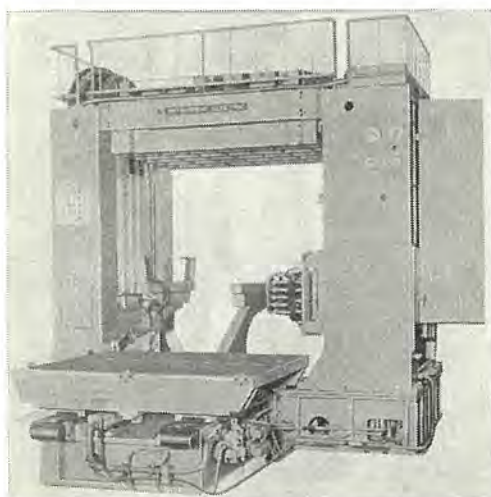


図 3. 7 シャトル タイプ プレスウェルダ (シリンダ 形)
Shuttle type press welder.

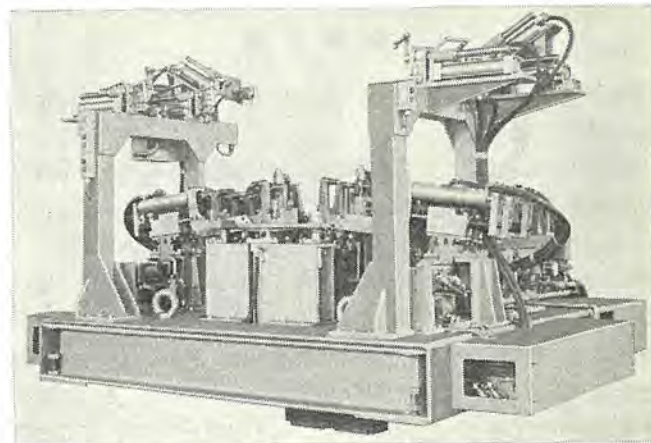


図 3. 9 テーブルトップ タイプ マルチウェルダ
Table top type multi welder.

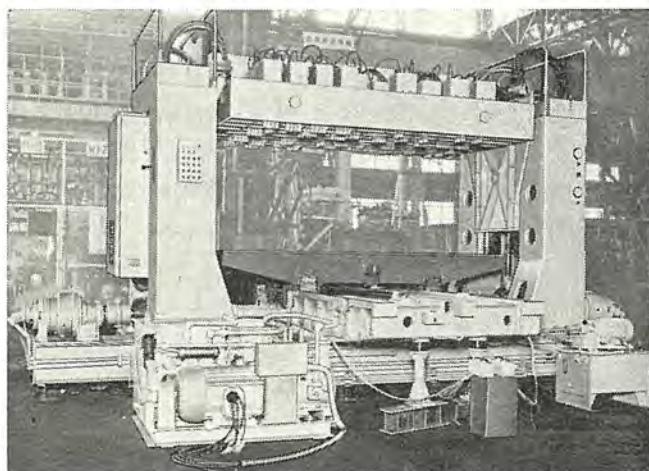


図 3. 8 シャトル タイプ プレスウェルダ (クランク 形)
Shuttle type press welder.

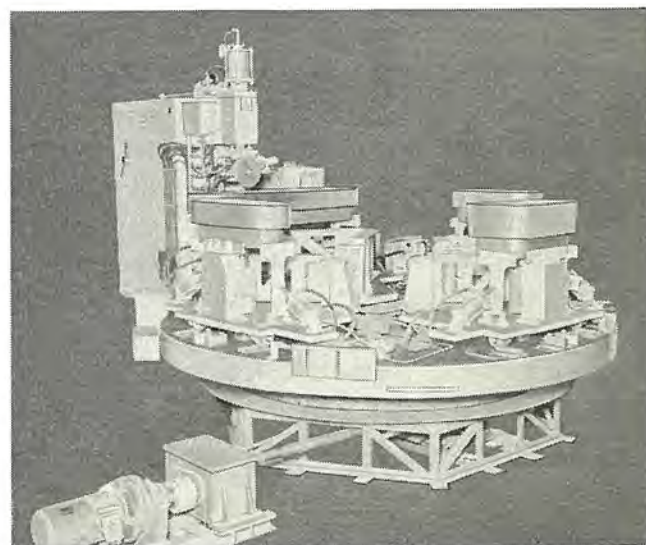


図 3. 10 タンク 用 シームウェルダ
Seam welder for tank.

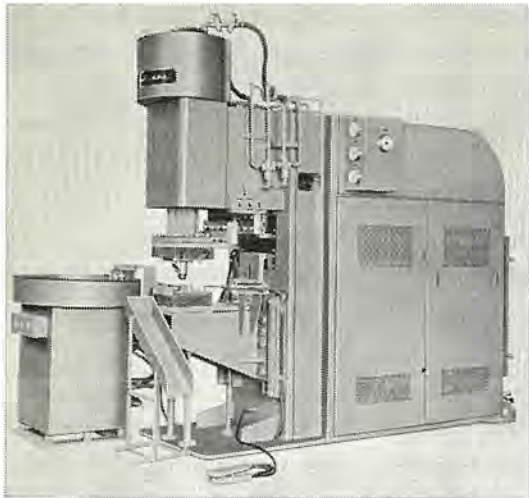


図 3.11 プロジェクションウエルダ
Projection welder.

作業員でできるばかりでなく、1人の作業員で数台の機械を操作することができる。さらに前後の工程とうまく結合することにより、1人で1ラインを受け持つことも可能となり、また溶接機本体が標準品であるので早く、安く入手できるので、品質の安定化、作業の合理化をすることができる。

4. 制御装置

溶接機制御装置の詳細については別に述べるので、ここでは概略の説明にとどめる。

最近の一般的傾向として半導体化が著しく進められているが溶接機も例外ではない。溶接機の制御装置としては大別してシーケンスコントロールタイマとウェルディングコントロールタイマに分けられる。シーケンスコントロールタイマは従来リレーにより構成されるのが通例であったが、最近ではトランジスタ化されたものが増えつつある。図4.1はその1例であり、半導体化することにより接点の摩耗がなくなるので寿命は半永久的となり、信頼性が著しく向上する。専用機、とくに複数の機械を結合したラインにおいてはこの点が重要である。構成部品は図4.2に示すように標準カード化された部品を使用しているので信頼性が高く、互換性があるので保守点検が容易である。

ウェルディングコントロールタイマも部品は半導体化され標準カード化されている。ヒートコントロールは溶接トランスごとに、また通電回数ごとにきめてまわることができ、トランスの通電順序・通電時間とも可変にしてある。

正常運転中は問題ないが、トラブルを生じた場合すみやかに対処できることが必要となるので制御装置全体としておもなところはすべてランプ表示し、保守点検の便をはかっている。

さらに最近では従来のイグナイトロンにかわってサイリスタが使用されてきている。図4.3はこれを示す。サイリスタの使用により、小形軽量、半永久化となるので、今後の大容量サイリスタの発展とともにますますサイリスタ化することは確実と思われる。

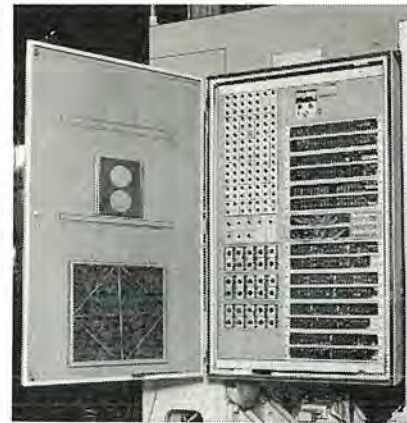


図 4.1 制御装置
Control timer.

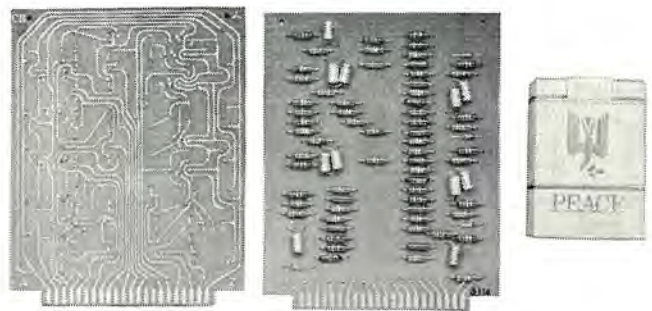


図 4.2 NORカード
NOR card.



図 4.3 サイリスタ
Thyristor.

5. む す び

以上専用溶接機について概略を述べたが、今後専用機化がますます推進されるのは明らかである。専用機化に当たって重要なことは、設備計画者を中心として車体設計者、使用作業員および溶接機メーカーの密接な連携のもとに使いやすく、保守しやすい機械を設備することである。また最近の技術革新は著しくテンポが早いので、これら新しい技術を積極的に取り入れる努力をしなければならない。

マルチスポット溶接機の半導体制御

馬場 利彦*・越智 紀明*

Semi-conductor Controlled Timer for Multispot Welders

Itami Works Toshihiko BABA・Toshiaki OCHI

Prevalence of a mass production method in various fields of industry has increased the demand of multispot welders markedly. In addition, a trend of automatizing the work has turned the control equipment more and more complicated and large sized recently, thus conventional apparatus being found not good enough for the purposes. To do away with the defects Mitsubishi has applied semi-conductor technique fully to control equipment. In new devices sequence control of machines and controls of welding sequence and further controls of welding current are made with semi-conductors. Thyristors for control of welding current are mounted on welding transformers to enable the whole set to be compact, small sized, lightweight, of long life and high dependability, all being the features of semiconductor.

1. ま え が き

多量生産方式が自動車産業をはじめ、多くの業界で採用されるようになり、そこに使われる産業機械自動化への進展は著しい。その多量生産方式に合致する溶接機として最近各方面で使用されているのがマルチスポット溶接機であるが、この溶接機は多量生産の代表的機種である自動車産業をはじめ多方面の板金工作に使用されている。

多量生産ラインの一翼をになう機械として要求されることは当然のことながら高い信頼性が第1である。分秒を争って生産を行なっているラインとして、機械の故障により生産が止まるということは致命的な欠陥といえる。ところが自動化を計った機械は制御が複雑となるのが常であり、制御装置の部品数が増加するため従来の真空管、放電管、リレー、イグナイトロンなどを用いた制御装置の故障率はかなり高い。

この問題を解決するためトランジスタ、サイリスタなどの半導体で制御装置を構成することによって、長寿命、高安定度を得ると同時に、性能の向上、小形化、保守取扱いの容易さなどをあわせて取入れたものである。本装置のもう一つの特長として主電流の開閉を従来のイグナイトロンからサイリスタに置き換えた点である。このことは半導体の一般的長所を生かしたというだけでなく、このサイリスタを溶接変圧器に組み込むことによりマルチスポット溶接機そのものが非常にまとまりやすくなる。とくにプレスタイプの溶接機にとって最も有効な方法であり、このタイプの溶接機の形を全面的に変えてゆくものと考えられる。

最近まで使用環境の悪い多量生産用自動溶接機の制御装置を、全半導体化することに対して疑問を唱える意見もいくらか聞かれたが、本装置と組合わせたマルチスポット溶接機はすでに約20台生産され、各地で2年近く順調に運転されており、相当な悪条件下でも十分その性能を発揮できることが実証された。以下に半導体制御装置の概要を述べるが、ここに記された回路、方法、構造については多くの特許、あるいは特許申請中のものが含まれている。

2. サイリスタとう載形溶接トランスと主回路構成

従来溶接トランスとその開閉装置は分けて考え、機械本体に取付けられた溶接トランスの一次リード数十本をタイマ内に引込み、この中

に並べたイグナイトロンで2, 3台ずつ通電するのが常識であった。今回、開閉装置をイグナイトロンからサイリスタに置換え、さらに溶接トランスにとう載したことは先にも述べたが、この方式の特長をまとめると次のようになる。

(1) 溶接電流の開閉にサイリスタを用いたので、寿命が半永久的であり、冷却水の許容温度範囲もイグナイトロンより広い。

(2) 開閉器損失が小さいため効率が良く、また電流制御が広範囲に行なえる。

(3) 溶接トランス個々に電流調整ができるので、最適溶接条件が選べる。

(4) 溶接トランスとタイマ間の主回路リードが不要となり、機械のまとまりが非常によくなる。ことに溶接トランスを集中して動かすプレスタイプなどには最適である。

(5) タイマ箱には主回路リードのみでなく、冷却水も引込む必要がなくなり、純然たる制御回路のみとなるのでまとまりがよく小形化される。

(6) 溶接トランス、サイリスタ部がそれぞれユニット化され保守に好都合である。また平常は電気系、水系ともに結合されて一体となっているので外部との接続は簡略化される。

図2.1にサイリスタとう載形溶接トランスの上部とサイリスタユニットを取出した写真を示すが、以下溶接トランス、サイリスタユニットおよびマルチスポット溶接機の主回路構成について順次述べる。

一般に溶接機用トランスは非常に大きい溶接電流を通電しなければならない。電氣的、機械的にじょうぶなものでなければならない。さらにマルチスポット用トランスは、小形軽量を重視するため特殊構造



図 2.1 サイリスタとう載形溶接トランス および サイリスタユニット
Welding transformer equipped the thyristor and its thyristor unit.

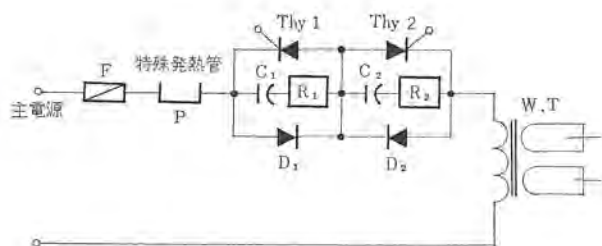


図 2.2 サイリスタ回路接続図
Connection of thyristor circuit.

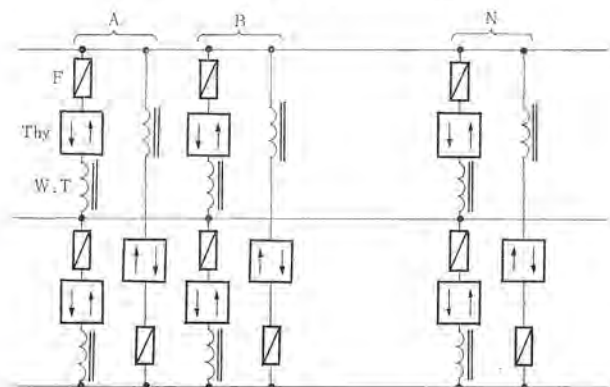


図 2.3 主回路接続図
Connection of main circuit.

を必要とされる。これら電氣的、機械的諸要求を満たすため、鉄心は方向性巻鉄心を使用して小形化すると同時に鉄損、励磁電流の減少を計っている。

二次コイルは異形銅管を採用しているため冷却効果が高く、一次コイルとのコイル配列はインピーダンスが最小となるよう考慮し設計製作される。また特殊絶縁材料を用いてピンホールなどの欠陥、電磁反発力による絶縁材疲労を防いでいる。その他マルチウェルダに取付ける場合、便利なように外周にタッパねじ切りを行ない、四面取付け可能な構造としている。この溶接トランスの上部にサイリスタユニットを組込んでサイリスタとう載形トランスとして使用する。

サイリスタユニットは保守を考慮して自由に取りはずしできるが、平常はトランスに組込んで内部接続を行なった後一体として取扱う。

図 2.2 はサイリスタとう載形溶接トランスの接続図であるが、図の特長はサイリスタのアノードとダイオードのカソードが同電位で、しかもフィンであることを利用したもので、冷却フィンが A 点 1 個所でよいことである。これはトランスにとう載する場合ユニットをコンパクトにまとめねばならず、そのためにフィンが 1 個所となるこの方式を用いたものである。ダイオードは主電流の通電とともにサイリスタを保護する役目も兼ねている。

マルチスポット溶接機はその名のように多くの打点を一連の動作で溶接するものであり、小は一つのガンを 2, 3 回インデックスするものから、数百の打点を一動作で溶接するものまで非常に種類は多い。したがって使用される溶接トランスも 1 台しか使わないものから数十台を用いるものまで広範囲であるが、通常用いられる単相電源は溶接トランスの台数が少ない場合は別状ないとして、数十台の溶接トランスを同時に通電する場合には問題が生じる。

溶接機は間欠負荷であり、しかもその瞬時には大容量の不均衡負荷となるため、同じラインに接続されている他の機器に悪影響を及ぼす。これを避けるため溶接トランスの使用台数が多い場合には、三相電源を用いさらに分割通電を行なうがその結線を図 2.3 に示す。図に示すように各相に分散して配置された溶接変圧器を R, S, T 相

まとめて一組にし、この組を数組ずつ順次通電するが、このようにすると三相平衡負荷となり通電台数に比べて電源の負担、他機への影響はよほど少なくなる。

このようなまとめ方をする場合、従来の方式ではイグナイトロンがタイマ側にあるため配線がまとめるににくい。しかしサイリスタとう載形トランスを使用すれば、主回路の配線は溶接トランスの数にかかわらず 3 本ですむことになり、後は各トランスから最短距離で電源用バーに接続し、タイマからザート信号を供給するだけでよいわけで、非常に簡潔にまとまる。

主回路の保護について簡単に述べる。図 2.2 において F は速動ヒューズで溶接トランス個々にそう入されており、層間短絡、接地、片側通電などの故障電流をしゃ断するものである。したがってこの定格は熱容量の小さいサイリスタに合わせて選ばねばならずサイリスタの耐過電流特性と協調をとって選定するものである。

また P は特殊発熱管で、水冷を行なっているサイリスタ、溶接トランスの断水を検出しサーモスタットにて通電停止信号をタイマに入れてトランスの焼損を防止する。通常、使用する場合はトランス 2, 3 台で一つの冷却水系を構成するので、その水系中の最も使用条件の過酷な部分に 1 個所そう入すればよく、溶接トランス容量、使用率、サイリスタ容量などにより管の材質、断面積、有効長を選定する。

3. 制御装置

マルチスポット溶接機の動きは各種各様で、シーケンスの繰り返し、ガンのインデックス、ピッチング、ローリング、多回通電その他非常に複雑な動作の組合せとなってくるが、その基準となるシーケンスは図 3.1 に示されたものである。これを大別すると機械の動きに関するシーケンス制御回路と、通電時間、電流調整などの溶接に関する溶接制御回路とに分けられるが、実際にはさらに手動回路、非常停止、再帰動、リセット、インタロックなどが入り組んで相当複雑となるがここでは考えない。

従来この回路はすべてリレーによって組み上げていたため動作が複雑になり、溶接トランスの数が増加するに従って制御装置は大形となり、別置にしたり、架台を組んでその上にのせたりしていた。したがって機械のまとまりは悪く、据付、移転の際はすべて解体せね

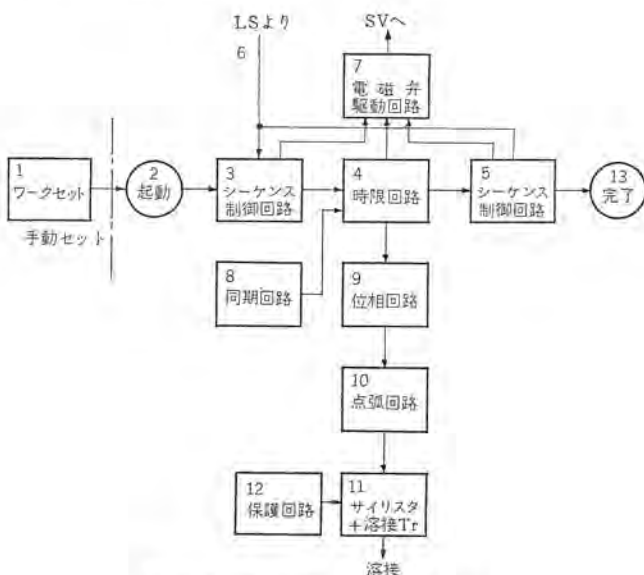


図 3.1 基本ブロックダイアグラム
Basic block diagram.

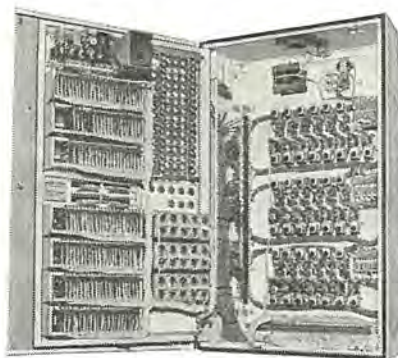


図 3.2 全半導体マルチ用タイマ内部
Inside view of timer controlled by semiconductor for multispot welders.



図 3.3 タイマ外観 (標準形)
View of timer cabinet
(Standard type)

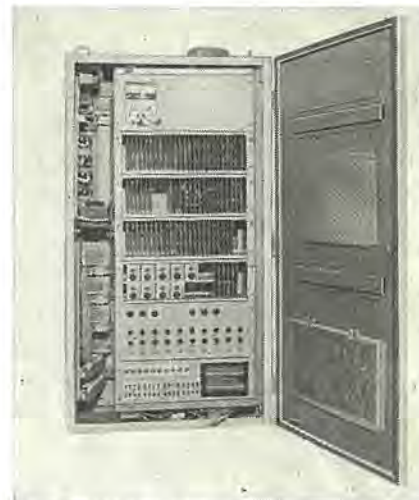


図 3.4 タイマ内部 (標準形)
Inside view of timer cabinet
(Standard type)

ばならないし、またリレーの信頼性が相当高いとはいえ、マルチスポット溶接機が生産ラインで重要な位置を占め生産量が上ってくるに従い、その故障、保守に要する手間も増加してきた。

これに対し、半導体式無接点タイマの使用ひん度に対する寿命はリレーの比ではなく、その多くの長所を認めながらも溶接機の使用条件が悪いため周囲温度、ノイズ電圧変動などに対する不安感から今日までとかく敬遠されがちであった。われわれは先に三相溶接機用タイマ、ポータブル溶接機用タイマを全半導体化したが、これに続いてマルチスポット溶接機用タイマも全半導体化を試み、前記の半導体に対する種々の弱点もすべて解決し、実績を上げつつあることは1章にも一部述べた。

半導体式タイマが長寿命であるだけでなく、小形軽量になるため、機械本体に取付けられるので、前項に述べたサイリスタを溶接トランスにとり載することとあわせて機械全体のまとまりがよくなり、据付、移転が容易に行なえるほか、機械の占有面積が小さくてすむ。

図3.2は全半導体タイマの内部である。左に開いている部分にカードが取められ、奥面の点弧ユニットより主回路制御サイリスタに通電信号が送られるが、図に見られるように本体の横に取付けたタイマのみで、シーケンス制御と40台の溶接トランスの制御をすべて行なっている。

タイマを全半導体化するにあたってもう一つ重要な点は、使用部品またはユニットを標準化することである。これは装置が高度化するに従って保守がむずかしくなり、作業場で細かい部品を修理、調整するのは時間的にむだが大きく、技術的にもむずかしくなってくる。このことは技術が進歩するに伴っていっそう切実な問題となってくるが、これは対処する方法としては、標準化された数種類の部品を常備しておき、取換えることによってラインストップを最短にする方法である。今日まで特殊品と考えられていたマルチスポット用タイマも例外ではなく、回路の細部は異なってもユニットは標準化すべきで、ここに述べるタイマもすべて数種類の標準カード、標準ユニットを用いて製作されている。図3.3、3.4はCフレーム形ラズウェルダに使用されている標準形全半導体タイマである。

3.1 シーケンス制御回路

シーケンス制御回路とは図3.1の2, 3, 5, 6, 7, 13などいわゆる機械の動作を行なうものを総称して呼んでいるが、これをトランジ

表 3.1 リレー、NOR 基本回路比較表
Comparison table of relay and NOR basic circuit.

論理記号	リレー回路	NOR回路
AND		
OR		
NOT		
NOR		
MEMORY		

タに置換える場合、動作を安定に行なわせるため、エミッタ接地されたトランジスタの飽和領域とシャ断領域を使用し、いわゆるトランジスタスイッチとして使用する。トランジスタの飽和時0Vの時を[0]、シャ断時の電圧が出ている状態を[1]と呼んでいるが、エミッタ接地されたトランジスタは、[1]入力で出力[0]、[0]入力で出力[1]となり論理回路のNOT動作を行なうことになる。

このトランジスタの入力を2個以上にすると全入力[0]の時のみ出力[1]、いずれかでも入力が[1]であると出力は[0]となるのでOR+NOTの作用をすることになり、これをNORと呼んでいる。一般の論理回路、AND、OR、NOT、MEMORYはすべてこのNORを組合わせて構成することができる。表3.1は基本的なリレー回路をNORで表わしたものである。

この基本回路を組合わせて実際のタイマを作っていくが、それにはいくつかの方法がある。最もオーソドックスな方法としては、表3.1

の基本回路を駆使してリレーとまったく同様に順次組み上げてゆく方式であるが、簡単なタイマは別として設計に多少の経験を要する。

これを解決する方法として、論理数学を利用してリレーの ON, OFF をトランジスタの [1][0] に置換えてゆく方式がある。論理数学そのものは厳密なもので、かなり習熟しないと十分な運用は困難である。しかしここではそのようなむずかしいものは必要でなく、その最も基本的な考え方を利用するだけである。論理数学のうちリレー、トランジスタの変換に必要なもののみ列挙すると、次のようになる。

論理記号

AND (論理積) を \times または \cdot で表わす

例 A AND B, $A \times B$, $A \cdot B$

OR (論理和) を $+$ で表わす

例 A OR B, $A + B$

NOT (否定) を $-$ で表わす

例 NOT A, \bar{A}

De Morgan の定理

これはトランジスタリレー回路において常に使用する定理で AND 回路を NOR 回路に変換するとき必ず使用する

$$\overline{(A \cdot B)} = \bar{A} + \bar{B} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\overline{(A + B)} = \bar{A} \cdot \bar{B} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

全体の否定はおののおのを否定して論理記号を変換したもの ($\cdot \rightarrow +$, $+$ $\rightarrow \cdot$) に等しい

これらを用いて一例として図 3.5 のリレー回路を論理式で表わすと

$$R = (A + \bar{B} \cdot C) (D + E) (F + \bar{G} \cdot H + \bar{I} \cdot J \cdot K) \quad \dots\dots (3.3)$$

式 (3.3) を変換し順次解いてゆくと次のようになる。

$$\begin{aligned} R &= (\overline{A + \bar{B} \cdot C}) \overline{(D + E)} \overline{(F + \bar{G} \cdot H + \bar{I} \cdot J \cdot K)} \\ &= (\bar{A} + B + \bar{C}) + (\bar{D} + \bar{E}) \\ &\quad + (\bar{F} + \bar{G} \cdot H + \bar{I} \cdot J \cdot K) \quad \dots\dots\dots (3.4) \end{aligned}$$

さらに \cdot の部分をそれぞれ変換する

$$\bar{B} \cdot C = \overline{\bar{B} \cdot C} = \overline{\bar{B} + C} = B + \bar{C} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\bar{G} \cdot H = \overline{\bar{G} \cdot H} = \overline{\bar{G} + H} = G + \bar{H} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

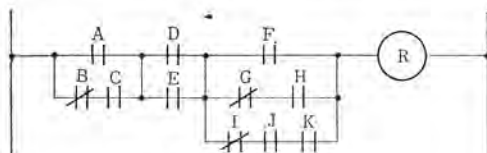


図 3.5 リレー回路 (例)
Relay circuit (Example)

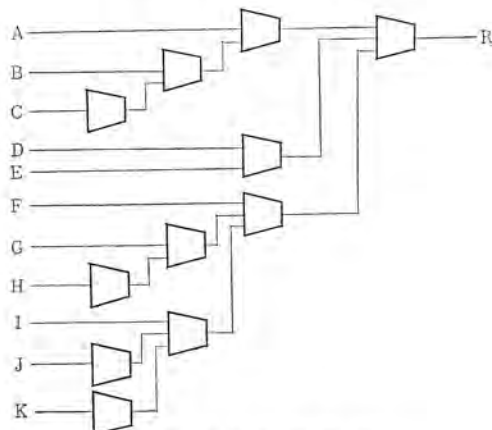


図 3.6 NOR 回路 (例)
NOR circuit (Example)

$$\bar{I} \cdot J \cdot K = \overline{\bar{I} \cdot J \cdot K} = \overline{\bar{I} + J + K} = I + \bar{J} + \bar{K} \quad \dots\dots\dots (3.7)$$

式 (3.5), (3.6), (3.7) を式 (3.4) へ入れて整理すると

$$\begin{aligned} R &= (A + B + \bar{C}) + (D + E) \\ &\quad + (F + G + H + I + J + K) \quad \dots\dots\dots (3.8) \end{aligned}$$

A, B, C, ..., J, K を入力とすれば式 (3.8) は図 3.6 のように NOR にて表わされる。

以上の方式は、トランジスタのみによって回路が構成された TTL 方式であるが、次にダイオードとマトリクスを組合わせてシーケンスを作つてゆくダイオードマトリクス方式について述べる。図 3.7 がその原理図で上列にシーケンスユニット回路を並べ、右側に出力信号取出し用の回路を並べる。

上列に並んだユニットは押しボタンスイッチ、リミットスイッチなど、シーケンスの進行とともに動作する接点によってシーケンスの各区切りごとに $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow \dots \rightarrow n$ と一つずつ進んでゆく、動作信号を出すユニットが移動してゆく。出力側はこの進行とともに移動する信号のうち、入用なものだけをマトリクス上のダイオードにて集めればよい。この方式は回路を繰返し使用したり、一動作中の電磁弁の開閉回数が多いときなど非常に有効であり、また動作状況がマトリクス上で一覧表のように見えるので、わかりやすいなどの特長がある。図 3.8 はダイオードマトリクスを用いたマルチ用タイマの内部である。

以上 2 方式のうち、いずれを用いるかは制御する機械の動きを主に決めるべきであるが、比較的小形で動きの簡単なものは前者、大形で動作の複雑なものについては後者がそれぞれ適していると考えられる。トランジスタを制御装置に使う場合、注意すべき点が種々あるが、その一つは接触不良がある。とくに押しボタンスイッチ、リミットス

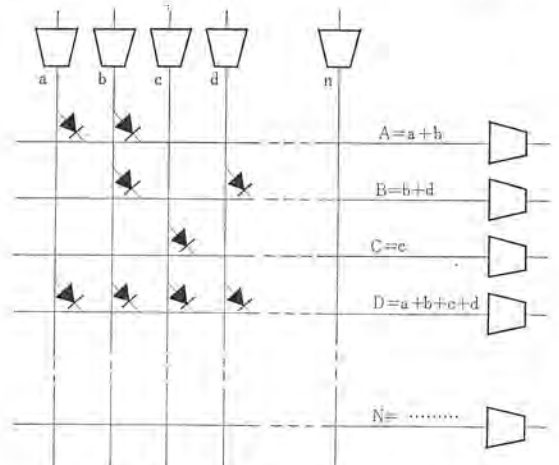


図 3.7 ダイオードマトリクス形シーケンス回路
Diode matrix type sequence circuit.



図 3.8 ダイオードマトリクス形タイマ
Diode matrix type timer.

ッチなどの接点入力を電気信号に変換する場合、トランジスタ回路の電圧は低く、また流れる電流が微小であるため接点についたわずかなごみ、薄い被膜でも絶縁状態となり誤動作を起こす。これを防ぐためには接点入力は高圧 (DC 100 V) で開閉し、その後低圧に変換してトランジスタ入力とし接触不良を防止する。

次に、ノイズによる誤動作であるが、溶接機のノイズ源は使用環境から考えて周囲に無数にあると考えねばならず、電源からはいるものの、空間的に伝わってくるものいずれに対しても完全に防護を施さねばならない。とくに記憶回路へのノイズは絶対に避けねばならない。他の論理回路ならば、もしノイズを受けたとしても数 μs ~数十 μs であるため、機器への影響は比較的小さい。しかし記憶回路がノイズで誤動作すると、これ以降の論理回路は統制がとれなくなり非常に危険な状態となる。

ノイズの防止には要点に絶縁トランスを入れ、インダクタンス、コンデンサでフィルタを構成するほか、トランジスタ回路には積分要素を各所にそ入して、動作の安定化を計っている。

また温度の変化による誤動作、故障を起こさないためには、半導体の材質、回路構成、安全率、タイマ箱の形状、部品配置など種々注意を要する所である。タイマを全半導体化した場合、正常に運転しているときは問題ないとしても、万一故障が起こると完全無接点ということが逆にチェックしにくいということにもなる。これは部品が故障しなくても、誤操作、リミットスイッチ、電磁弁の故障など十分あり得ることで、このとき故障発見の手がかりとするのが作動表示板である。

表示板は、リミットスイッチ、タイマ各部、電磁弁などシーケンス中の重要ポイントをネオンランプにて表示するもので、図 3. 9 はその一例を示す。表示板の上に一連の動作シーケンスを描いておき、その進行に伴ってネオンランプが点滅するもので、保守点検が非常に容易となる。

以上、シーケンス制御について述べてきたが、それらの出力信号はいずれもトランジスタの出力であり、低圧小容量のものである。したがって実際に機械を動かしてガンを加圧するには、油圧または空気圧用の電磁弁を動作させる必要があり、トランジスタの出力信号を増幅変換せねばならない。

以下はその信号変換回路であるが、電磁弁程度の負荷の駆動には電磁弁の種類、電圧によってさまざまな半導体を用い、また組合せた無数の方式が考えられる。しかしここでは最も多く使われている交流 100 V または 200 V の電磁弁に焦点を絞り、それを駆動するに適した簡単な交流無接点スイッチについて述べる。

図 3. 10 にその動作原理図を示す。交流負荷を制御するためにサイリスタを 2 個並列に接続して使用するが、この方式の特長はトランジスタの出力信号を直接使用できることで、一方のサイリスタを駆動すれば単巻変圧器 AT の作用により逆側のサイリスタは従属的に動作するので、結合変圧器その他が不要となり回路が簡単になることである。

待機時は a—d 間に電圧が印加されているが、e 点に入力信号がないため回路はすべて動作をしない。しかし e 点に入力信号がくると a 点が正のとき Thy 1 は動作し SV を半サイクル励磁する。このとき、同時に AT も励磁し f 点に負電圧を誘起するが、これは D により g 点が短絡されているため Thy 2 の入力とはならない。半サイクル後、電圧の極性が反転し SV、Thy 1 に流れていた電流がシャ断されるが、切れた瞬間この回路に接続されたインダクタンスにより

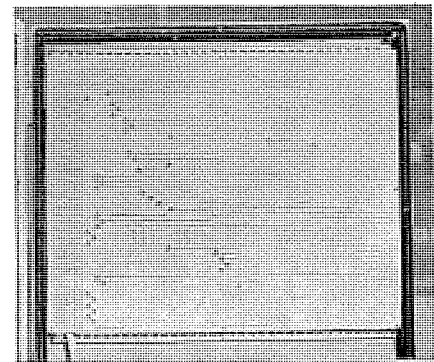


図 3. 9 動作表示板
Sequence indicator.

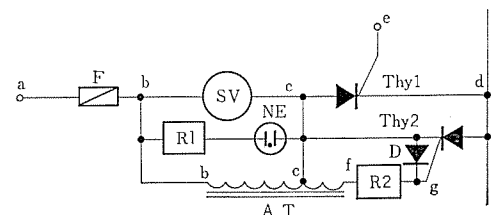


図 3. 10 電磁弁駆動回路
Solenoid valve driving circuit.

逆電圧が誘起され、AT には f 点に正電圧が表われて Thy 2 のゲートに ⊕ 信号が送られる。このとき、Thy 2 のアノードは正であるから導通して、SV に逆方向電流を流す。

このようにして e 点に入力信号のある間 SV を励磁し続け、入力を取り去れば半サイクル後に OFF となる。e 点への入力信号の与え方は、PNP トランジスタ、NPN トランジスタいずれからでも可能であり、前者ならば図の d 点をトランジスタ回路のコレクタ電源に合わせてエミッタ接地から供給すればよく、後者ならばトランジスタ回路の接地電位を d 点に合わせ、エミッタフォロアにて供給すればよい。この無接点スイッチは負荷が遅れ力率のものであれば電磁弁に限らず、一般交流回路にも応用できる簡便な方式である。

3. 2 時限回路

時限回路は機械シーケンス制御中の各遅れ時間に使用されるほか、溶接シーケンスは大半がこの時限回路の組合せによって構成される。溶接シーケンスは種々な組合せがあるが、次のような一連の基本シーケンスを適宜組合わせて使用する。

起動—圧接時間—通電時間 I—冷却時間—通電時間 II—冷却時間—通電時間 III—……………—通電時間 N—保持時間—休止時間—完了信号

時限回路は、この動作を満足に行なうための時間精度と、広い時限調整範囲と安定性を備えることを要求され、図 3. 11 の回路を用いている。図は同一回路から 3 種類の異なった時限を取り出せる回路を示しているが、Tr2、Tr3、D3、D4、C3、C4、R5~R10、VR2、VR3 を省いて一種類のみの時限回路として使用したり、また逆に Tr、C、R などを追加して 4 種類以上の時限を取り出す場合もある。

時限の切換えは F、H、J 端子への入力切換えにて行なう。使用時には 3 端子のうち、いずれかが [0]、残りが [1] となるが、いま、かりに F を [0]、H、J をそれぞれ [1] とする。待機状態で Thy はシャ断されているため、Tr1、Tr2、Tr3 には R2、R5、R8 を通してベース電流が流れ込み導通、したがって UJT は動作しない。入力端子 K から正のトリガパルスがはいると、Thy 1 は ON、ゆえに R2、R5、R8 を通して流れていたベース電流がシャ断されて Tr1 は OFF

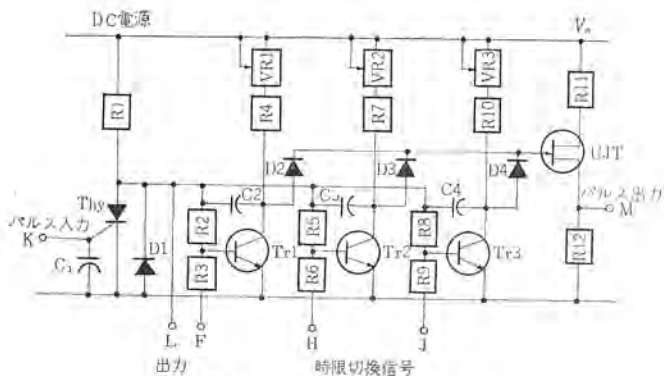


図 3.11 時 限 回 路
Timing circuit.

となる。しかし Tr2, Tr3 は R6, R9 から [1] 信号がはいっているため導通状態を継続する。

Tr1 がカットオフになった瞬間から、コンデンサ C2 には VR1 R4 を通して充電が始まり、C2 の充電電圧が UJT のピークポイント電圧に達した瞬間 C2 の電荷は UJT のエミッタから R12 に流れ込み、M 端子に出力パルスを出す。それとともにこの放電電流は D1 を通って流れるが、このとき Thy を逆方向にバイアスするので Thy をしゃ断する。Thy のしゃ断により元の状態へ返るが、この間 $k \cdot C2 \times (VR1 + R4)$ によって決められた時限が得られたわけで、K 端子にトリガ信号がはいってから M 端子に出力パルスが出るまでの間、L 端子には負の長方形波が出力として取り出される。

Tr2, Tr3 の回路を使う場合も同様で、H または J を [0], 他を [1] にすればそれぞれ $k \times C2 \times (VR2 + R5)$, $k \times C3 \times (VR3 + R6)$ により決められた時限出力が L 端子、M 端子より得られる。このような回路を順次並べておき、一段目の出力パルスを次段の K 端子に接続すれば連続したシーケンスが構成されることになる。UJT は電圧変動、温度変化のいずれに対しても自動補償特性を持っているのでこの点につき要点を記す。UJT が変調を起こすエミッタ電圧 V_P は次式で表わされる。

$$V_P = \eta V_{BB} + V_d \quad (3.9)$$

ただし η : スタンドオフ比と呼ばれる定数で、UJT 固有の定数形名により範囲が決められているが、大体 0.5 近辺である。

V_{BB} : ベース間電圧

V_d : エミッタ接合部の順方向電圧降下

上式において V_d は 0.7 V であり、回路電圧を 20~30 V にとれば、 V_d の V_P に与える影響はきわめて小さくなり無視できる。このことは V_P と V_{BB} がほぼ比例した特性を持つことになるので、電源電圧 V_0 が変わっても充電電圧 V_0 もこれに比例して変化しさえすれば時限は変わらないことを示す。これらを数式に表現すると次のようになる。

$$T = CR \log_e \frac{V_{BB}}{V_{BB} - V_P} \div CR \log_e \frac{1}{1 - \eta} \quad (3.10)$$

$$\therefore T = 2.3 CR \log_{10} \frac{1}{1 - \eta} \text{ (sec)} \quad (3.11)$$

ただし C : 時限回路のコンデンサ (F)

R : 時限回路の可変抵抗 + 固定抵抗 (Ω)

次に温度に対する補償作用であるが、これは式 (3.9) のうち温度に対して変化するものは V_d のみであり、 η は $B_2 - E$, $E - B_1$ 間の

抵抗値の比であり、エミッタでほぼ等分されているシリコン棒のためほとんど変化しない。 V_d は 25°C で 0.7 V の値を持ち $-3 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ の温度係数を持つ。したがってこの変化分を外部抵抗 R11, R12 で補ってやればよい。R11, R12 にカーボン抵抗を使うとし、R12 を負荷抵抗とみて定数と考えれば R11 は次式で与えられる。

$$R11 = \frac{V_0 \alpha R12 + 0.0021 R12 + 0.0021 R_{BB}}{V_0 \alpha - 0.0021} [\Omega] \quad (3.12)$$

ただし α : 抵抗の負の温度係数

R_{BB} : UJT のベース間抵抗

V_0 : 直流回路電圧

このように UJT を用いた時限回路は、電源の電圧変動にも周囲温度の変化に対しても変わらない安定な特性を得ることができる。実際の回路で試験した結果、55°C の外気中で連続運転試験を行なったが、60 c/s に設定した時限の変化はまったく認められず、また電圧の変動に対しては 60 c/s にセツトした場合、+15% の電圧変動に対して -1 c/s , $+0 \text{ c/s}$ の特性を示した。

次に最低動作電圧は UJT のパルス出力が、次段のサイリスタをトリガさえできれば V_0 が数ボルトになるまで可能であり、M 端子出力を増幅して K 端子に加えれば理論的にはいくらでも下がるが、実際には直接トリガを行なうことと、 V_d の影響が無視できなくなって時限の誤差が増すため、定格値の約 60% である。しかしいかに電源電圧の変動が激しい所でも定格値の 60% は絶対安定の範囲であり、前述の電圧、温度に対する自動補償作用とともに大きい特長と考えられる。

時限回路を同期式にする場合、以前は時間精度の向上とフラッシュを押えて良好なナゲットを得るのが目的であった。しかし溶接トランスに方向性けい素鋼帯が使われるようになってからは、その過渡電流防止も重要な目的となった。ことに最近のように溶接トランスが小形軽量化されてくると非同期式、準同期式では過渡電流が防止できず、溶接トランス、サイリスタ、ヒューズ、NFB など溶接機の一次側に接続されたもろもろの機器の負担が大きい。これを防止する方法として同期式を用いるほか、スローコントロールを用いる方法もあるが、後者は通電時の正負励磁量が毎回同じになるとはいえず、またプロジェクト溶接などのときアップスロー中に突起をつぶすので使用できないなどの欠点もあり、過渡電流防止には同期式が最適である。

時限に同期をとる場合、図 3.11 の UJT の B_2 に同期パルスを入れるが、同期パルス発生回路を図 3.12 に示す。TR は R 相と同相のトランスで、この正弦波を Tr1 で増幅反転し出てくる長方形波を微分回路にてパルスにした後、正側パルスのみをさらに Tr2 で増幅反転して負のパルスとしたものである。この R 相に同期した負のパルスを図 3.11 の UJT の B_2 へダイオードを介して伝達する。前述のように UJT の動作電圧は $V_P = \eta V_{BB}$ であるため、ベース間電圧が下がれば低いエミッタ電圧で働く、換言すればエミッタ電圧が一定

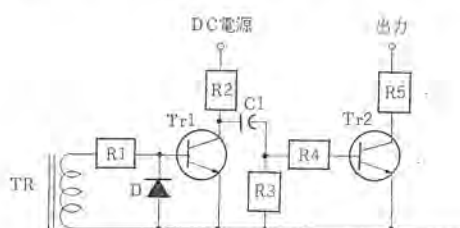


図 3.12 同期パルス発生回路
Circuit of synchronous pulse generator.

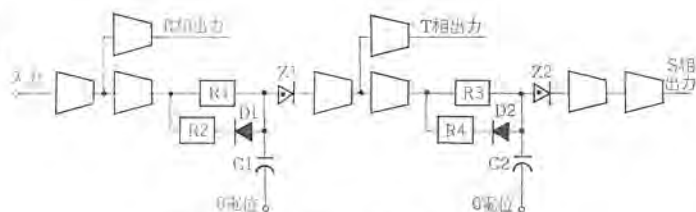


図 3.13 三相通電制御回路
Control circuit of three phase current.

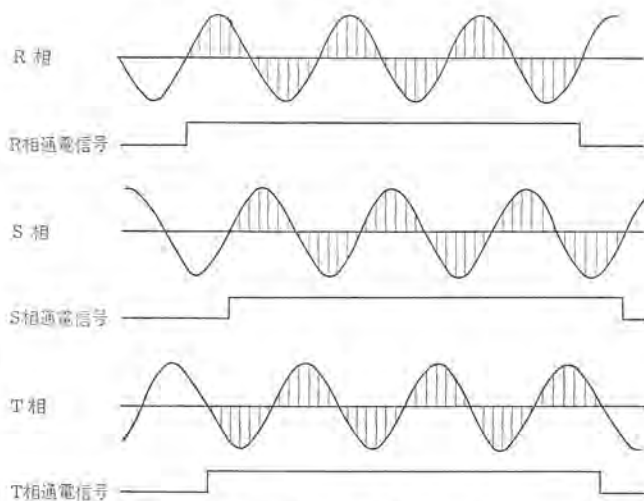


図 3.14 三相同期式通電波形
Wave form of three phase synchronous current.

のときは B_2 の電位が下がれば動作することになる。ただこの方法では時限の終わりしか同期できないため、前段の時限を同じ方法で同期させれば順次各時限は同期がとれることになる。

なお、溶接電源に三相を用いる場合溶接トランスは R, S, T 相に分散して配置されるが、上記方法では R 相のみしか制御できない。したがって S 相, T 相は R 相の通電信号を全体にずらして使用することになる。この目的で使われるのが二つの遅延回路で、その回路図を図 3.13 に示す。また三相電源に配置された溶接トランスを一つの同期式タイマで全数同期制御する状況を図 3.14 に示している。

3.3 溶接電流制御回路

溶接電流の制御は主回路サイリスタの点弧位相を調整して行なうが、電流調整は各トランスの各ステーションごとに行なうのが理想で、このようにすれば数十、数百という打点すべてについて最適な条件が選定できる。さらに電源電圧の変動に対する自動補償を行ない、溶接電流を一定に保てば溶接点の信頼性はいっそう向上する。

この目的で、現在タイマに用いられている電流調整回路を図 3.15 に示す。図の KTR は給合トランスで、この出力パルスが点弧回路を通して主回路サイリスタを制御する。したがってこの 1 回路で溶接トランス 1 台を制御するが、VR 1, 2, 3 と 3 個の VR があるのは 3 種類の異なった電流制御パルスが取り出せることを示している。

たとえば VR 1, 2, 3 をそれぞれ 1 sta 用, 2 sta 用, 3 sta 用と設定しておけば三つのステーションで異なった電流を流すことができ、溶接トランス二次回路のケーブル、ガンがステーションで異なる場合、あるいは被溶接物が異なる場合などでも自由自在に電流を調整できるわけである。図は 3 種類の場合を示しているが、実際に用いるときは Tr2, Tr3, VR2, VR3 など省いて 1 種類にしたり逆に追加して 4 種類, 5 種類にして使う場合もある。図の動作を概略説明する。

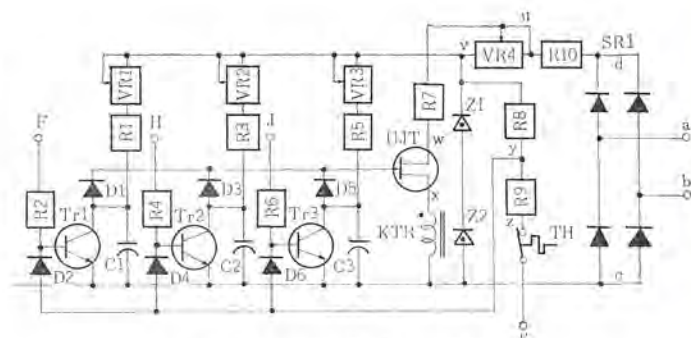


図 3.15 電流調整回路
Current adjusting circuit.

この回路も前項時限回路にて述べた UJT の特長を生かしたもので、温度補償特性、動作安定性などは同じであるが、電源電圧に対する補償特性は逆用して溶接電流の自動補償に使っている点が異なる。VR1 回路の動作について考えれば、待機状態では F, H, J 端子ともすべて入力 [1] であり、Tr1, Tr2, Tr3 とともに導通状態で C1, C2, C3 の充電を止めているため UJT は動作しない。

通電時間となり F へ [0] 信号がはいると Tr1 はカットオフとなり、VR1, R1 を通って C1 への充電がはじまる。この電圧が UJT のピークポイント電圧に達した瞬間 C1 の電荷は、D1 から UJT のエミッタに流れ込み KTR を励磁する。この放電電流で KTR にパルスが出て、次段のトリガパルスとなる。

発振は F が [0] の間、持続するが、SR1 からはいってくる電源は全波整流時のリップルがあるため 0 点で必ずとぎれる。このリップルによって毎サイクル始動点が正確に決まり同期がとれる。発振周波数は充電回路の時定数 $C1 \times (VR1 + R1)$ により決まるので、VR1 の値を変えることにより出力パルスの位相は制御できる。

次に電圧補償作用について述べる。電圧補償とは主回路の電源が変動した場合、点弧位相を調整して電流実効値を設定値と等価にすることである。したがって電圧が上昇すれば点弧位相を遅らせ、低下すれば進めることになるが、この作用を UJT の特性をうまく利用して行なう。図 3.15 で v 点はゼナーダイオードでクリップされるため定電圧となるが、u 点はそれに VR4 の電圧降下が加算されるので、電源電圧に比例して変化する部分をいくらか含む。この電圧が UJT の B_2 に導かれるので V_{BB} は電圧とともに上下する。

いま、電源電圧が上がったとすれば、 V_{BB} は上昇するため UJT の動作電圧 V_P は上昇し、一定の充電電圧で上昇する UJT のエミッタ電位は、定常値より高い電圧まで充電した後動作することになり、それだけ出力パルスが出る時点が遅れたことになる。

電源電圧が下がれば今とまったく逆の作用をし、出力パルスは前へ進む。補償効果は VR4 の値を選定して決定し、電圧の変動に対して電流が一定となる最適値を選びセットする。なお R8, R9, D2, D4, D6 はサーモスタット動作時、あるいはタイマ電源が切れたときなど発振回路をとめて通電を停止するものである。

電流制御回路の出力信号はパルス状であり、また信号自体小さいため主回路制御用サイリスタを点弧するには、増幅と波形の成形が必要で、図 3.16 にその接続図を示す。2TS は主回路サイリスタ Thy 1 に印加されている交流電源と同相で Thy 1 のゲート電源となる。KTRS にトランジスタ回路からパルスがくると、その期間だけ Thy 2 が点弧し R2, SW を通って Thy 1 のゲートへ信号が送られ、サイリスタが点弧し溶接トランスが励磁される。

信号の増幅、波形の成形はともに Thy 2 に行なうが、ここで

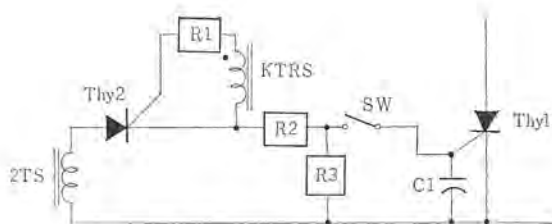


図 3.16 点弧回路
Firing circuit.

いう波形形成とは ゲート 信号の幅を広くすることであり、これは溶接トランスが過渡現象を起こして力率角が変わってくる場合を想定し、そのときにも安定した点弧制御が行なえるようまえて幅を広くしておくものである。

単相溶接機の負荷電流は正弦波に近い曲線で上昇するため、三相溶接機その他に比べ主回路サイリスタの順電流上昇率は比較的楽に考えられるが、サイリスタのターンオンは早いほどよい。そのためゲート回路はターンオンの早いサイリスタを用いてゲートパルスの上立ちを鋭くしている。なお SW はスイッチで、点弧回路以前の動作チェックや、非常停止時の安全用に用いる。また回路は交流制御に用いるので、2 回路を 1 ユニットにしており、ユニット 1 個で溶接トランス 1 台を制御するようになっている。

3.4 多回通電制御回路

溶接トランスの数が増加した場合、その最大入力を一定限度内に抑えるため数台ずつ順番に通電することを 2 章に書いたが、その通電回数を記憶して次に流す通電時間、溶接電流などの条件切換えを行ない、また通電完了信号を出す目的で計数回路を用いる。計数には二進法回路を用い、この段数を増すことによって計数しうる数は増加してゆくが、段数を n 段とすれば計数可能な数は 2^n の式で表わされる。ここで用いる二進法計数回路は通常のフリップフロップとやや異なっている。というのはこの回路が一種の記憶回路であり、しかも同一入力の ON, OFF 繰返しによって進行してゆくという最もノイズに対して警戒を要する回路であるためである。

図 3.17 は安定形二進計数回路の一段目となるもので、実際にはさらに積分要素を加えたり、切換え時の遅れ補正を入れて使用することになるが図の a 点が入力端子で、ここに幅の広い長方形波（実際には冷却時間をトリガに利用する）を加えて駆動し、 X_1 点に出力信号を取り出す。 n 段の二進計数回路出力はさらにトランジスタ NOR によるデコーダで十進法に直され、この信号で通電を制御するが、通電順序の選択にはマトリクスを利用すると非常に都合である。

図 3.18 はマトリクスを利用した通電制御回路であるが、最上列に並んでいる NOR は計数回路から取出された信号で、左から順に右へ通電が 1, 2, 3 ……、 n と進んでゆくことを示し、また右に並んだ NOR の出力 A, B ……、N はそれぞれが、溶接トランスの A グループ、B グループ ……、N グループの通電を制御していることを示す。

マトリクスの交点には穴があいており、そこにピンをさし込むと、行と列の線が短絡され、通電信号が上列 NOR から右に並んだ NOR へ伝達される。したがって通電順序を選択するには通電したいグループから順次 1, 2, 3 ……と交点へピンを入れる。たとえば図のようにそう入すれば A, C, D, B ……の順に通電する。さらに n 回目二つ以上のグループを通電したいときには、 n 行にそれらグループのピンを入れ、逆に N グループの通電を 2 度以上行ないたい場合は N 列に 2 個以上のピンを入れればよい。また通電しないときはピンを抜くなど、通電が自由自在に選択できるもので打点の変更など

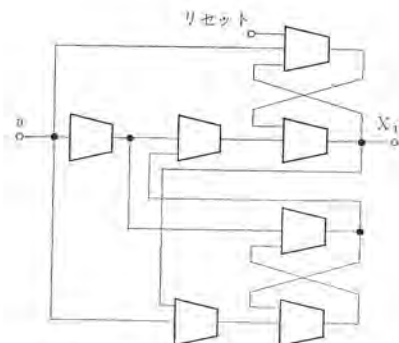


図 3.17 安定形計数回路
Stable counting circuit.

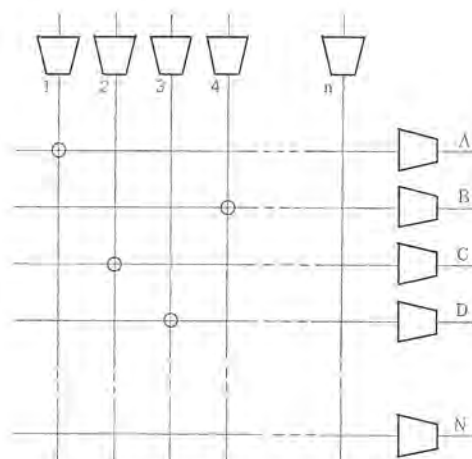


図 3.18 通電順序選択マトリクス回路
Selecting matrix circuit of welding current sequence.

があっても容易にそれに対処できる。

図 3.8 のタイマ中段に見えるのは上記の通電順序選択マトリクスである。通電時間は 3.2 節に述べたように F, H, J 端子の入力を切換えればよいわけで、計数回路出力か、または図 3.18 の A, B, ……、N などの点から OR を通して導く。このときたとえば F 端子はスポット用、H 端子はラビプロジェクト用などと決めて使用すれば非常に扱いやすくなる。

次にタイマ全体にいえることであるが、たとえばマトリクスでピンをさし込んで使用する場合など、わずかでも接触不良となるおそれのある箇所は、すべて安全サイドに回路を構成するべきで、現タイマももし接触不良を起こせば機械は止まり、溶接電流は流れなくなるなど安全にまた機械は破損しないよう「Fail Safe」の考えで作られている。

4. む す び

従来半導体へのなじみの薄さから、マルチスポット溶接機など多量生産ラインにはいっている溶接機の制御装置に半導体を使用することを敬遠するユーザが多かったが、半導体の弱点をたねんに補い、使用者側のなれさえできれば、リレー、放電管など従来のタイマ部品にすぐれることは誰の目にも明らかであり、今後マルチスポット溶接機の需要増加とともにますますふえてゆくものと思われる。

今日では半導体製品そのものが日進月歩で、まったく目まぐるしいばかりにより良い製品が表われるが、われわれはそれら半導体の長所を十分に取入れて現在製品の標準化と、そしてさらに安定で、性能が良く、小形軽量、廉価なものを追求する努力を同時に行ない

たいと思っている。

タイマの半導体化にあたり伊丹製作所電機製造部、北伊丹製作所はじめ社内のかたがたに数々のご指導をいただき厚く感謝している。

参 考 文 献

- (1) 馬場、越智、大賀：トランジスタ制御三相低周波点溶接機、三菱電機技報、40、1547 (昭41)

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
会計機の支持装置	41- 9-10	810327	渡辺義彦	鎌倉製作所
電動機の制御回路	41-12-15	817144	木の内達夫	静岡製作所
二温度式冷蔵庫	41-12-15	817147	中島智信・高田弘明	静岡製作所
冷凍装置の冷媒流量制御装置	41-12-15	817148	牛田善和	静岡製作所
扇風機の動作表示装置	41-12-15	817153	入沢淳三	中津川製作所
シロッコ形翼車	41-12-15	817154	曾我武夫・原文明 二俣長信	中津川製作所
扇風機移送用包装装置	41-12-15	817156	牛越 諒・竹中正恭	中津川製作所
換気扇	41-12-15	817157	白石和雄	中津川製作所
電気掃除機	41-12-15	817158	武井久夫	群馬製作所
スライド幻灯機	42- 1-11	819395	成木利正・田中武夫 寺田 武	郡山 商品研究所
感熱素子	42- 1-11	819399	東 邦弘・横運俊一郎	群馬製作所
複合ガラス	42- 1-11	819394	山越明秀・高木 昇	日本建鉄・本 社冷機計画部
機関点火用配電器	42- 1-11	819402	荒川利弘	姫路製作所
ミシンの布送り調節装置	42- 1-11	819404	森田 稔	和歌山製作所
タッパ 切換器	42- 1-11	819405	嶋 裕史	伊丹製作所
機関用始動電動機のピニオン移行装置	42- 1-11	819406	高見 昭	姫路製作所
ミシンの布送り調節装置	42- 1-11	819407	辻本忠司・堀本耕一	和歌山製作所
ミシンの布押え装置	42- 1-11	819408	山田正和	和歌山製作所
ミシンの布押え装置	42- 1-11	819409	三津沢武夫	和歌山製作所
可動鉄片形計器	42- 1-11	819410	小野達男・佐野重信	岡山製作所
加工送り量設定装置	42- 1-11	819411	西 健一	名古屋製作所
開閉器の接触部	42- 1-11	819412	小山 貢	伊丹製作所
トランジスタ用ベースタブ	42- 1-11	819413	片井正男	北伊丹製作所
電気装置の保護装置	42- 1-11	819414	梅垣義縁	通信機製作所
クリップ積分回路	42- 1-11	819417	川上 昭・中村信弘	通信機製作所
アンテナ素子	42- 1-11	819420	浜口道雄・堅田賢二	通信機製作所
電圧調整装置	42- 1-11	819421	藤岡勝彦・三木隆雄	姫路製作所
ミシンの糸立棒支持装置	42- 1-11	819422	三津沢武夫	和歌山製作所
内燃機関点火用信号発電機	42- 1-11	819423	三木隆雄	姫路製作所
半固定記憶装置	42- 1-11	819425	壺井芳昭	中央研究所
卓上電気ドリル	42- 1-11	819571	佐々静男・神信昭仁	福岡製作所
くまとり線輪形電動機	42- 1-12	819403	野口昌介	名古屋製作所
同軸ケーブルの接続部	42- 1-12	819415	喜連川 隆・武市吉博 小野 誠	鎌倉製作所
コイル	42- 1-12	819416	中原昭次郎・川端俊一郎	鎌倉製作所
気体膨張式救命用浮舟装置	42- 1-12	819418	宇川 彰・大久保貫一	中央研究所
気体膨張式救命用浮舟装置	42- 1-12	819419	宇川 彰	中央研究所
電気毛布の過熱保護装置	42- 1-12	819424	小原英一・中村新一 中村富家	商品研究所
オフセット付き直接接地系統用短絡地絡両用距離継電装置	42- 1-13	819606	古谷昭雄	神戸製作所
差動歯車装置	42- 1-13	819614	岩永 弘	長崎製作所

SN 形ノーガスアーク溶接機

鵜飼 順*・鉄 豊造*・平松 正毅*・平塚 秀雄*

Type SN No-Gas Arc Welders

Nagoya Works Jun UKAI・Toyozô TETSU・Masaki HIRAMATSU・Hideo HIRATSUKA

Cored wire no-gas arc welding has features of nice appearance of the bead and a wide permissible range of application, being widely used for the fabrication outdoor such as in shipbuilding yards and bridge construction of civil engineering work in which gas shielded arc welding e. g. CO_2 welding is impracticable because of working conditions. In consideration of the basic matter of arc welding phenomena, Mitsubishi has made a series of study on the workability and reliability of welding when adopted to the operation at job site and developed type SN no-gas arc welders.

The text introduces control characteristics (mainly the control of short arc, SLC system), construction and applications of the welders.

1. ま え が き

ワイヤの送給を自動制御し、溶接線に沿っての溶接トーチの移動は人が行なう、いわゆる半自動溶接法は、完全自動化のできない大形構造物、複雑な形状の溶接、あるいは短継手長の溶接などに広く用いられ、溶接作業の合理化におおいに役立っている。

従来、半自動溶接法と言え、 CO_2 溶接法・MIG溶接法などのガスシールド溶接法であったが、これらのシールドガスは風の影響を受けやすく、風速 2 m/s 以上ではシールドが不完全となり、溶接部にブローホールなどの欠陥を生ずる。このため、造船あるいは土木工事など屋外の現場溶接ではシールドガスを使用しない、可視アーク式の半自動溶接法の出現がまたれていた。

当社ではノーガスアーク溶接法の基礎研究について昭和 38 年より着手し、裸ワイヤ式についてはその研究成果を報告しているが⁽¹⁾、現状では溶接条件範囲が狭く実用化までには至っていない。一方複合ワイヤ式については昭和 36 年米国 リンカーン 社より、“インナーシールド溶接法”の商品名で発表されて以来、裸ワイヤ式に比べて

- (1) ビード外観が美しいこと
- (2) 溶接条件範囲が広いこと

などの理由で、国内の材料メカがこぞって開発を行ない、最近では、作業性、溶接部の性能とも実用に供しうるすぐれたワイヤが市販されるようになっている⁽²⁾⁽³⁾。

複合ワイヤ式ノーガスアーク溶接法（以下ノーガスアーク溶接法という）はワイヤ自体の性能はもちろんであるが、溶接電源の特性、ワイヤ送給の制御方式などによって溶接結果が著しく左右される。当社では三菱重工株式会社の協力を得て、ノーガスアーク溶接法のアーク現象に関する基本的事項から、溶接機を現場に適用した場合の作業性・信頼性まで一連の検討を行ない、新たに SN 形ノーガスアーク溶接機を開発した。

ここでは SN 形ノーガスアーク溶接機の構造・特性・応用面について紹介し、アーク現象などの基本的事項については稿を改めて報告したい。

2. SN 形ノーガスアーク溶接機の開発方針

SN 形ノーガスアーク溶接機の仕様を表 2. 1 に、系統図を図 2. 1 に示す。本機の開発時にもに検討した事項を次に説明する。

表 2. 1 SN-500 形ノーガスアーク溶接機仕様
Specification of type SN-500 no-gas arc welder.

総 合 形 名		SN-500
定 格 電 流 (A)		500
適 用 溶 接 法		ノーガス複合ワイヤ、AC 専用
CN-500 形 ワイヤ送給 装置	使用ワイヤ径 (mm)	3.2
	ワイヤ送給速度 (m/min)	0.5~5
	制 御 方 式	SLC 方式 サイリスタによるアーク電圧制御
	重 量 (kg)	20
MV-501 形 溶接トーチ	定 格 電 流 (A)	500、連続
	冷 却 方 式	自 然 空 冷
	ケ ー ブ ル 長 (m)	3 (パワーケーブル、コンジット一体式)
	重 量 (g)	600 (本体のみ)

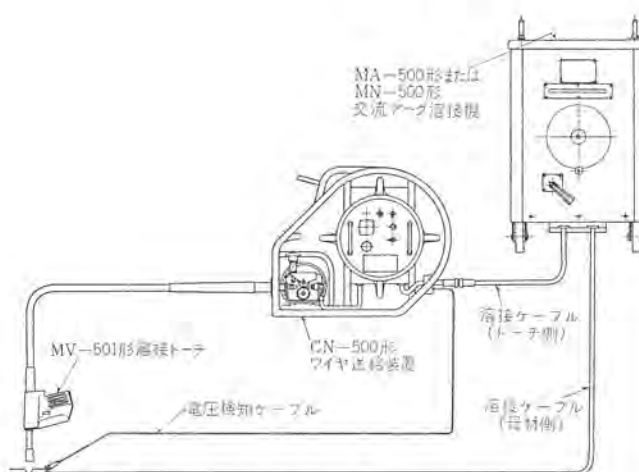


図 2. 1 SN-500 形ノーガスアーク溶接機系統
Systematic diagram of type SN-500 no-gas arc welder.

2. 1 アーク長の制御特性

ノーガスアーク溶接法ではシールドガスを使用せず、溶接中にワイヤに巻き込まれたフラックスから生ずるガスにより手溶接の場合と同じように、大気中の酸素・窒素・湿分を排除している。したがってアーク長が長くなるとシールド効果が不完全となり、溶接部の性質が劣化する。このため溶接機としては短アーク長を安定に持続させる制御特性が必要であり、次の 2 点について検討を加えた。

2.1.1 定電圧交流アーク溶接機の開発

短アーク長では、溶接中にワイヤと母材が短絡しスタッピング現象が生じやすいが、定電圧特性の電源では短絡電流が大きく、溶滴がフリーズすることなくアークが容易に再生する。ただし電源の無負荷電圧が低くなると、アークの再点弧電圧との関係でアーク消失が起こりやすく、回路定数を適当に選定しなければならない。

当社ではこれらの点について基本的な研究を行ない、MN-500 形交流アーク溶接機を開発した。詳細はアーク現象の研究結果とともに稿を改めて報告したい。(なおこの定電圧交流アーク溶接法は特許出願中である)

2.1.2 SLC 方式の開発

垂下特性の交流アーク溶接機を使用するアーク電圧制御方式で、短アーク長を維持するためには、長アークが短くなり短絡寸前になるとワイヤを急速に停止することがポイントである。

SN-500 形ノーガスアーク溶接機では、サイリスタの点弧停止回路と、モータのブレーキ回路を組み合わせた SLC 方式 (Short arc Length Control の略) を開発した。回路の詳細については 4 章で説明する。

2.2 可搬性

制御装置とワイヤ送給機構を一体化し、10 kg のワイヤを装てんした場合にも、1 人運搬の安全上の許容重量 30 kg を越えないように、CN-500 形ワイヤ送給装置の重量は 20 kg とした。

2.3 信頼性

半自動・自動溶接機類ではケーブル類の断線事故が多い。ワイヤ送給モータの電源はアークからとり、制御ケーブルを使用しない方式とした。また制御回路はすべて無接点化し、プリント配線構造とした。

2.4 作業性

溶接トーチは空冷構造とし、簡略化すると同時に軽量化を計った。また行動範囲を広くするラッシュアップ方式についても検討を加え 2.4 φ (mm) ワイヤについてはほぼ実用化の目標をつけた。

2.5 その他

SN-500 形ノーガスアーク溶接機は、ユーザーの既設の交流アーク溶接機を電源として組合わせ使用されることが多い。また最近の造船所では、安全上ならびに溶接品質を確保する目的で、電撃防止器・無線式電流リモートコントロール装置を、交流アーク溶接機に組合わせていることが多い。したがってこれらの装置と組合わせた交流アーク溶接機を電源として使用しても正常に動作する制御回路の開発を行った。

3. 構造

3.1 MV-501 形溶接トーチ

図 3.1 に MV-501 形溶接トーチの構造を示す。コンジットケーブルは溶接ワイヤの通るスプリングチューブと、溶接電流の流れるケーブルを一体化したもので、トーチの操作、ワイヤ送給の安定性に支障ない範囲で柔軟化されている。トーチは 500 A の大電流まで使用されるが、空冷式にし、ケーブル類の簡略化を計っている。またとくに絶縁構造に留意している。すなわち鉄身部の絶縁管には H 種クラスのガラス布基材ドリル樹脂層管を使用し、消耗した際は止めねじをゆるめ取換可能な構造にした。またトーチ先端部で、アーク熱やスパッタからコンタクトチップを保護するチッププロテクタは数百度 C° の温度にも耐えることが必要であり、アスベスト系の成形材料と磁器を銅管でおおう構造にした。



図 3.1 MV-501 形溶接トーチ
Type MV-501 welding torch.

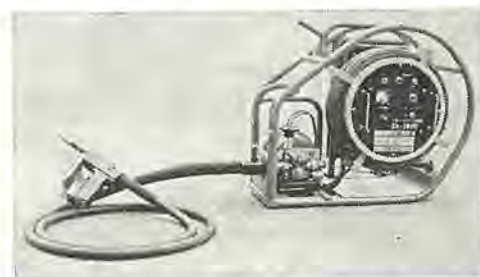


図 3.2 SN-500 形ノーガスアーク溶接機
Type SN-500 no-gas arc welder.

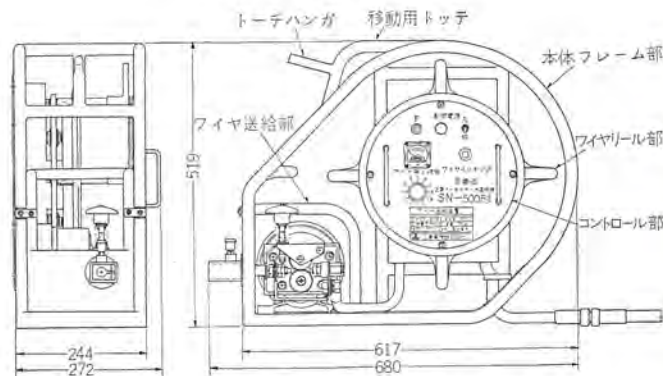


図 3.3 CN-500 形ワイヤ送給装置外形
Outline of CN-500 wire feeding unit.

コンジットケーブルの内部のスプリングチューブは 2 重構造とし内側のスプリングチューブは抜取り可能である。これは長時間使用した場合にワイヤ表面のけずれた鉄粉、ワイヤに付着してはいるほこり、ワイヤ送給の円滑を目的として注入した潤滑剤が内部で蓄積し、ワイヤの送給に支障をきたした際に、スプリングチューブを抜取り、清掃することができるようにしている。このスプリングチューブの外径とコンジット内径のすきまを厳密に管理しないとワイヤの送給は不安定となるので、製作時とくに注意している。コンジットケーブルとトーチの接続はロックナットをゆるめて簡単に取換え可能でケーブルの故障時に便利である。

このトーチの操作は手溶接と同じように、ワイヤを母材に触れるのみでアークは発生し、引離すと消失する。したがって制御ケーブル、トリガースイッチもなく簡略化されている。

3.2 CN-500 形ワイヤ送給装置

図 3.2 に SN-500 形ノーガスアーク溶接機の外観写真を、図 3.3 に CN-500 形ワイヤ送給装置の外形寸法図を示す。

ワイヤ送給装置は、ワイヤ送給機構・ワイヤリール制御装置から構成されており、本体フレーム部に取付けられている。このフレームは強度

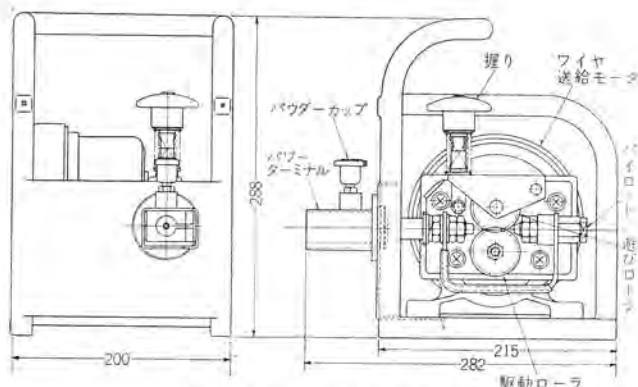


図 3.4 ワイヤ送給機構
Wire feeding unit.



図 3.5 プッシュプル方式の使用例
Exempl of using push-pull type.

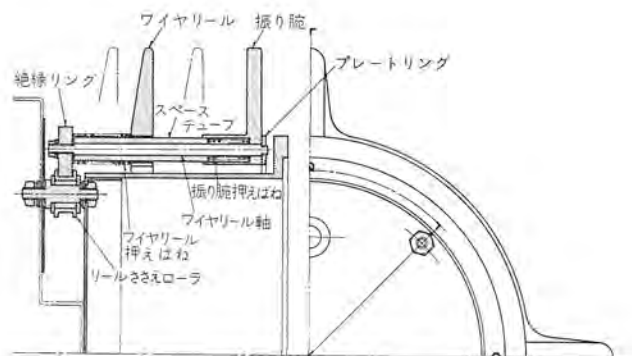


図 3.6 ワイヤリール
Wire reel.



図 3.7 コントロール構造
Control unit.

と軽量化を満足するため、アルミニウム合金製のパイプを用いた。ワイヤリールの下部には絶縁板を設け、ワイヤの短絡を防止するとともに、各部の帯電箇所には黄色の危険色を塗装して作業者の注意を喚起している。トーチハンガーは無負荷電圧が印加されているワイヤが、誤って母材に触れないようにこの部分に溶接トーチを掛けておくためである。

次に各部の詳細について説明する。

3.2.1 ワイヤ送給機構

図 3.4 にワイヤ送給機構の詳細を示す。パイロットからはいったワイヤは駆動ローラと押上ローラによって送給され、パワーターミナルに取付けられたトーチのコンジットケーブルにはいる。パウダークラップは潤滑剤の注入口であり、二硫化モリブデンの粉末をここから供給する。押上ローラはコイルバネで加圧されてワイヤに送給力を伝達するのであるが、握り位置の調整で加圧力は自由に変えられる。ワイヤ送給モータには慣性が小さく軽量のブラントモータを使用している。

本装置の特長としては、ワイヤ送給機構を図 3.5 のように本体から分離して、プッシュプル方式としての使い方も可能にしていることにある。この場合ワイヤ送給機構と本体間は適当な延長ケーブルを使用すればよく、単にトーチのコンジットケーブルを長くしたのみではワイヤの送給に問題があるが、この方式では約 6 kg のワイヤ送給機構のみを持ち運びすればよく、大幅な行動範囲の拡大が期待できる。

3.2.2 ワイヤリール

ワイヤリールは溶接ワイヤと一緒に回転しなければならない。図 3.6 の絶縁リングとプレートリングは 4 本のワイヤリール軸で連結され、全体がリールささえローラの上を回転する。溶接ワイヤは押えばねの作用で直立している振り腕を倒し、前面より入れて、ワイヤリールとの間に装着される。ワイヤ押えばねは適当な加圧力で溶接ワイヤを側面から加圧し、ワイヤのパラケを防止すると同時に、スペースチューブの上をしょう(摺)動してワイヤの減少に追従してゆく。本体フレームとの電氣的絶縁は絶縁リングが受け持ち、また図には示されていないが、振り腕側面にはワイヤ終端止めの穴が設けてあるので、回転中のワイヤが直接本体フレームあるいは他のアース部分と接触して事故を起

こすことはない。

3.2.3 制御装置

制御装置はワイヤリール内部に納められている。制御装置を箱に入れて別置する従来の装置に比べて、全体がコンパクトにまとまり使用時の繁雑さが軽減される。ワイヤリール部とは 4 本のねじで固定されているのみであるので、内部点検・故障修理の際には、図 3.7 に示すように容易に取りはずしできる。

前面パネルにはアーク電圧調整つまみとアーク電圧計、インチング用押しボタンスイッチ、送給モータの正転・逆転切換スイッチなどが取付けられている。

4. 制御特性

4.1 SLC 方式の原理

溶接アークの特性は一般に図 4.1 で表わされる。すなわち、アーク電圧は電極の材質、ふん囲気ガスなどで決まる電極降下電圧 V_0 と、アーク長に比例するプラズマ降下の L に分離される。

従来から使用されているアーク電圧制御方式では、アーク電圧に比例してワイヤ送給速度が変化する図 4.2(a) の特性であった。この場合には、電極降下電圧 V_0 に相当する電圧でも、ワイヤは S_0 なる速度で送給されることになるが、実際にはアーク長は図 4.1 のようにほとんどゼロであり、ワイヤが母材に突込むことになる。また短絡すればアーク電圧はゼロになるはずであるが、実際の溶接機では

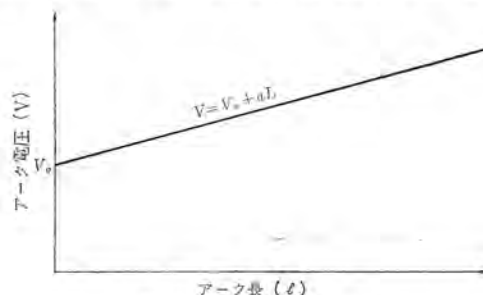


図 4.1 アーク特性
Characteristic of welding arc.

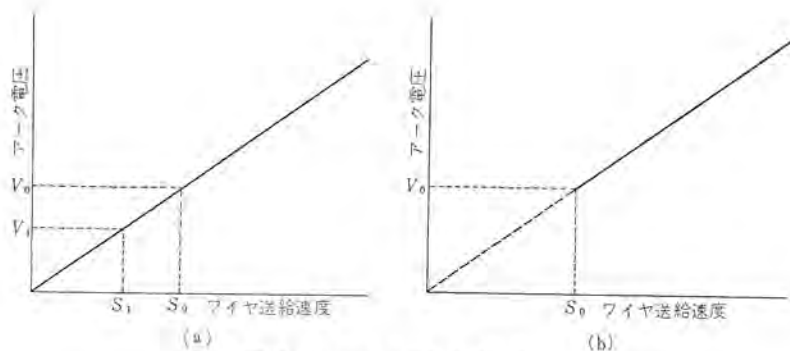


図 4.2 ワイヤ送給特性
Characteristic of wire feed.

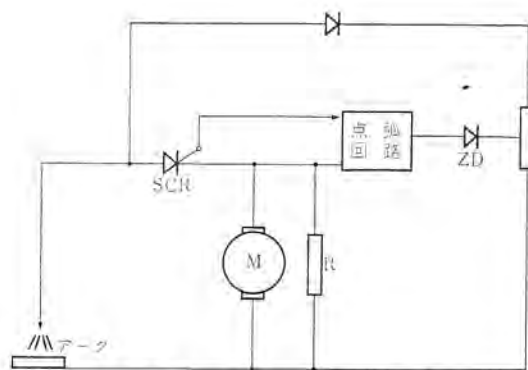


図 4.3 SLC 方式の原理
Principle of SLC circuit.

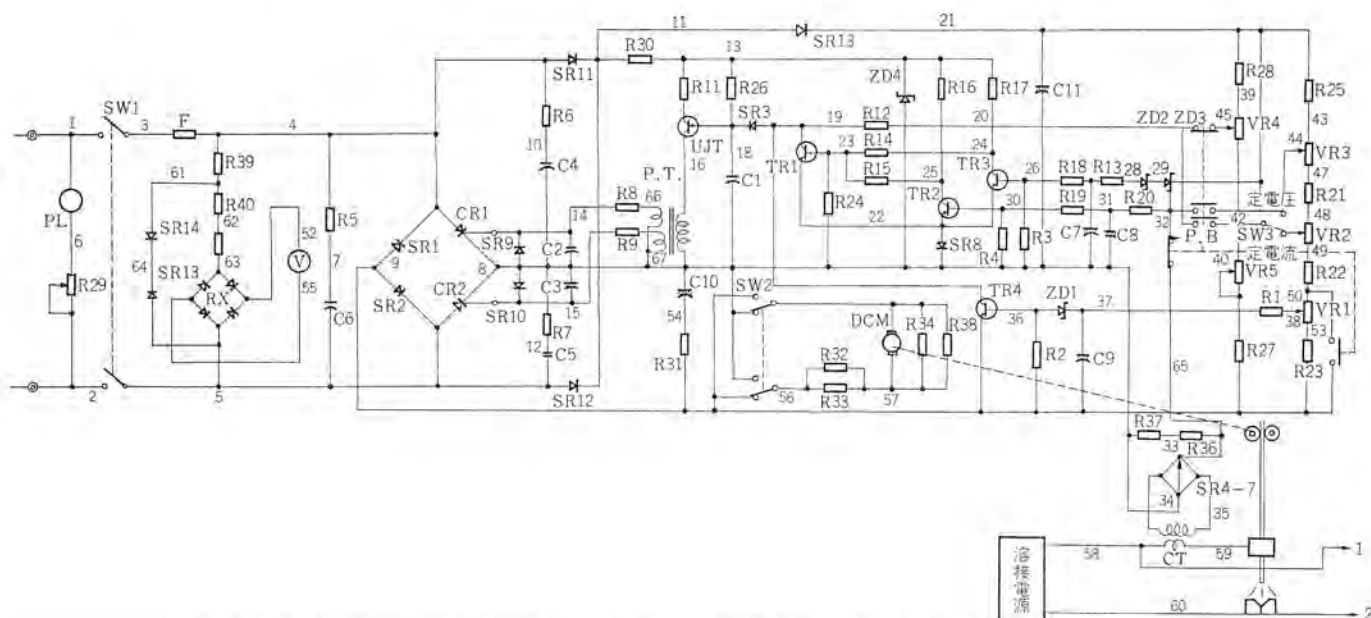


図 4.4 SN-500 形 ノーガスアーク溶接機制御回路

Control circuit of type SN-500 no-gas arc welder.

電圧の検出端は溶接ケーブルの電圧降下、および溶接ワイヤの抵抗降下を含んだ部分にならざるを得ない。したがって短絡時においてもこれらの部分の電圧降下で検出端には V_1 なる電圧が残留する。これに対応する送給速度は S_1 であり、短絡しているにもかかわらずワイヤの送給は止まらず、ついには、アーク起動時と同じようになり、ワイヤはチップ端などで溶断して爆発的に飛散し、よく知られているスタッピング現象として不安定アークが続く。これはノーガスアーク溶接法のようにアーク長を短く保とうとする場合ほど顕著であり、アーク長のわずかな変動でスタッピング現象が発生する。

SLC 方式はこの点を解決するために考案されたものであり、送給特性を図 4.2(b) のように、アーク電圧 V_0 以下ではワイヤ送給を停止するようにしたものである。図 4.3 に原理図を示しているが、たとえば、SCR の点弧回路を直列にゼナーダイオード ZD を接続し、そのゼナー電圧 E_z を

$$E_z \geq V_0$$

とすることによって、図 4.2(b) のような特性が得られる。

またモータ M に並列抵抗 R を接続し、通常整流器回路では流れ得ないモータの逆電流をこの抵抗に流すことにより、モータの機械的エネルギーをジュール熱に変換し、モータにブレーキをかけ、減速時の応答性を改善することができた。

4.2 制御回路

図 4.4 は SN-500 形 ノーガスアーク溶接機の制御回路である。アーク電圧は SR_1, SR_2, CR_1, CR_2 により全波整流、位相制御されてワイヤ送給モータ DCM に加えられる。 CR_1, CR_2 の点弧回路は $ZD_4, R_{26}, C_1, PT, UJT, R_{11}$ であり、 C_1 の充電周波を変えることにより位相制御を行ない、DCM に加わる電圧を制御しワイヤ送給速度を変えている。 C_1 の充電時間の調整は、ボリューム VR_4 により行なわれるが、インッチ時には VR_3 (無負荷電圧の低い定電圧特性の交流アーク溶接機使用時)、 VR_2 (無負荷電圧の高い交流アーク溶接機使用時) により目的を選んでいる。 ZD_2, ZD_3, TR_3, TR_1 の回路はアーク電圧が低くなったときに CR_1, CR_2 の点弧を停止しモータを止める回路であり、溶接中に何らかの原因でアーク長が短くなったとき、ワイヤと母材が短絡する直前にワイヤの送給を停止するものである。つまりアーク電圧が低下し、 ZD_2, ZD_3 のゼナー電圧以下になると TR_3 のベースに入力が入らなくなり、エミッタ、コレクタ間は OFF となり、 TR_1 のベースには R_{17} を通じてベース電流が流れ込み TR_1 は ON となる。したがって C_1 は TR_1 により短絡されて点弧回路は動作しなくなり、モータ DCM を停止させる。

R_{34}, R_{38} はモータのブレーキ抵抗であり、アーク電圧低下時に、上に述べた点弧停止回路が動作すると、モータの慣性エネルギーをジュール熱に変換し、モータにブレーキをかけワイヤのゆきすぎを防止するもので

ある。

CT, SR₄₋₇, TR₂, TR₁ は電流 リレー であり、上述の TR₃-TR₁ の動作と同じように、アーク電流が流れたときのみ、C₁ の両端子を開放して点弧回路が動作するようにしたものである。

ZD₁, TR₄ は電圧 リレー であり、交流アーク溶接機の無負荷電圧ではモータが回転しないようにするためである。この電圧リレーの役目は電流リレー とほぼ同じであるが、電流リレーのみであると溶接終了時にワイヤが出過ぎるのでその防止用に設けてある。

5. 応 用

5.1 溶接条件の選定

表 5.1 に下向突合せ溶接条件の一例を示す。溶接可能電流範囲は 100~500 A であるが、経済性より考えてメリットのある範囲は 300~5,000 A であろう。

適正電圧範囲は 23~30 V であり、CO₂ 溶接法などと比べると電圧範囲は狭い。適正溶接速度は 20~50 cm/sin で手溶接よりもやや速い程度である。これらの条件の上限をこえると、スラグのかぶりが悪くなり、溶接部に欠陥を生ずる。とくにアーク電圧が高くなるとブローホールなどの欠陥をまねきやすいので、適正範囲内に低く保つことが必要である。

5.2 経済性

図 5.1 に溶融量・溶着量・溶着効率の溶接電流に対する変化を示す。溶着量は裸ワイヤを使用する CO₂ 溶接に比べてやや劣るが、手溶接と比べると大電流使用ができるので相当高くなっている。また溶着効率も手溶接(約 60%) よりも高く能率的な溶接法と言える。

図 5.2 に溶込み形状を示している。CO₂ 溶接に比べて、溶込みが少なく、そのため CO₂ 溶接のように開先角度を小さくして層数を少なくすることはできないが、開先角度を 50° ぐらいにして溶着量でカバーすることも考えられる。

表 5.1 下向突合せ溶接条件表(銅板)
Conditions of flat position butt welding.

板 厚	開 先 形 状	層 数	溶 接 条 件		
			電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (cm/min)
4.5		1	300	25	40
6		1	500	27	50
9		2	450 500	27	40
12		3	350 500 350	27 27 26	35 25 40
16		4	350 450 500 400	27 27 28 27	30 30 30 40
20		5	350 450 500 500 400	26 27 28 28 27	35 30 30 30 30
25		6	400 450 500 500 500 500	26 27 28 28 29 29	30 25 25 25 25 25

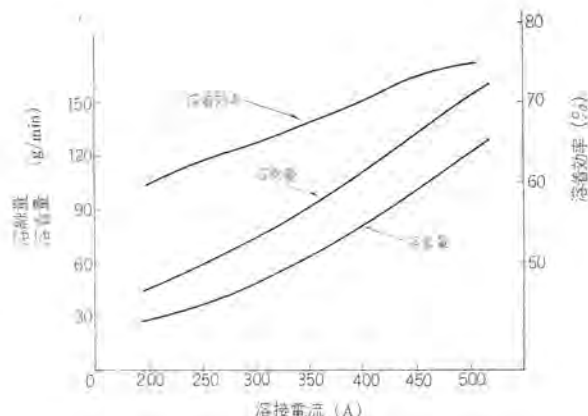


図 5.1 溶接電流と溶融量・溶着量・溶着効率の関係
Relation between welding current and deposition rate.

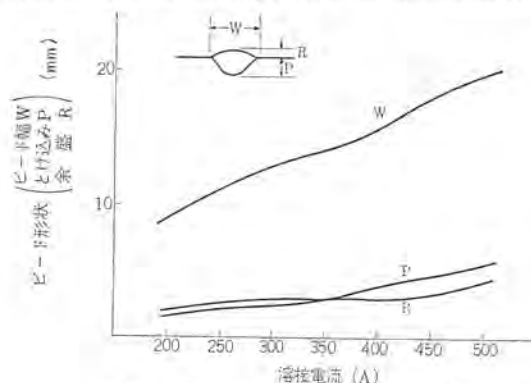


図 5.2 溶接電流とビード形状の関係
Relation between welding current and shape of bead.

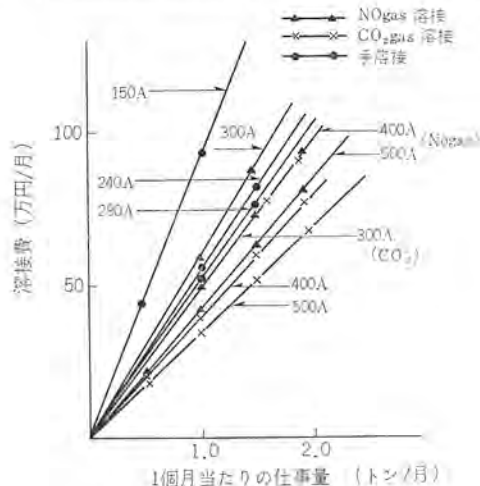


図 5.3 1 個月あたりの溶接費
Welding cost per month.

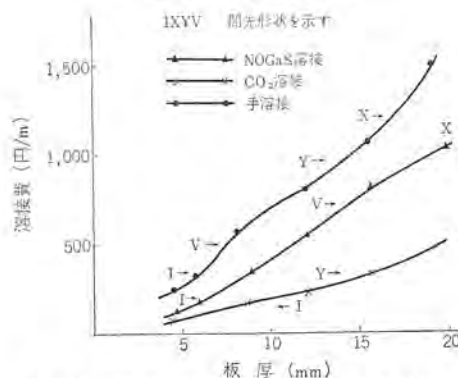


図 5.4 下向突合せ溶接の場合の経費比較
Comparison of costs of flat position butt weldings by different practices.

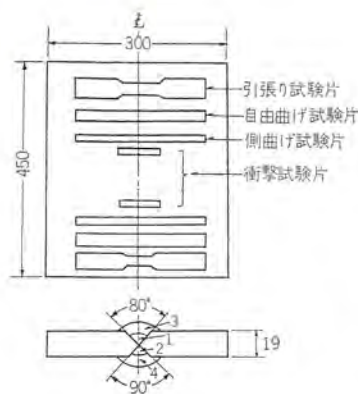


図 5.5 試験片形状
Test pieces.

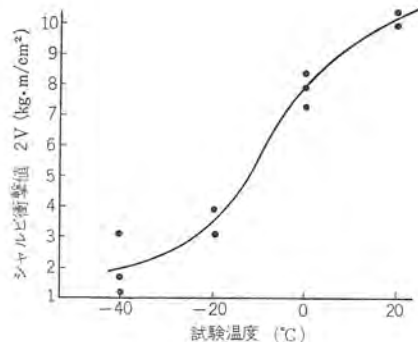


図 5.6 溶着金属の衝撃値
Charpy impact value of deposited metal.

表 5.2 溶接条件
Welding conditions.

パス 数	溶接電流 A	溶接電圧 V
1	390	27
2	420	28
3	450	28
4	450	28

・ SS 41 P

表 5.3 引張り曲げ試験結果
Results of tension and bending tests.

試験項目 試片 No.	引張試験結果			曲げ試験結果	
	強度 kg/mm ²	伸び %	破断位置	側曲げ	自由曲げ
1	47	32	母材部	良好	良好
2	47	29	母材部	良好	良好

図 5.3 に各溶接法の 1 個月当たりの溶接費、図 5.4 に板厚と溶接費の関係について示している。図 5.3 では、ノーガスアーク溶接法は、手溶接法と、CO₂ 溶接法の間であるが、手溶接法の 290 A の条件と比べほとんど差がない。しかしこれは各溶接法でアークタイム率を同一にしたためであり、実際にはノーガス溶接法のほうが、アークタイム率は 20% 程度アップするのでそれだけ有利になろう。また現状ではノーガスワイヤの価格がまだ高く、将来使用量の増加に伴い安くなればもっと経済的になろう。

5.3 溶接部の諸性質

図 5.5 に試験片の形状、表 5.2 に溶接条件表 5.3 に引張りおよび曲げ試験結果、図 5.6 に衝撃強度を示す。

引張り試験および曲げ試験の結果はいずれも良好であるが、衝撃強度にはときにはばらつき低い値を示すことがある。このばらつきをなくすためには、溶接中アーク電圧を一定に保って作業することが必要である。

5.4 応用

ノーガス溶接法が現在最も多く用いられているのは鋼管坑の現場溶接などで、風に強く、湿気に強いこの溶接法の特長を生かし、材料メカで開発された各種のジョイント工法で施工されている。

造船所における本法の採用は、当初非常に期待されていたが、従来のワイヤでは、造船所の要求する衝撃値を満足できず、現状では



図 5.7 造船現場での溶接 (その 1)
Welding for fabricating work in the ship-building yard.

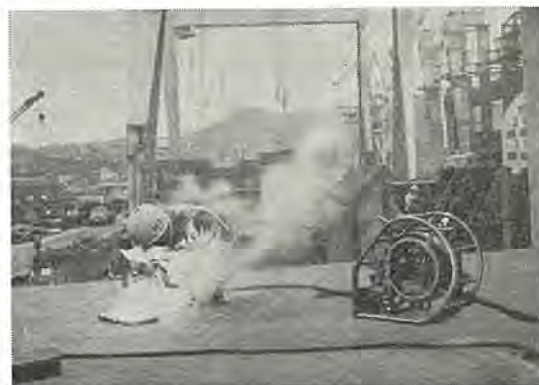


図 5.8 造船現場での溶接 (その 2)
Welding for fabricating work in the ship-building yard.

まだその割には伸びていない。しかし、最近になって D 級鋼にも適用できる高い衝撃値のワイヤも開発され、手溶接法に代わって大幅に使用されてゆることが期待される。図 5.7、5.8 はドックにおける SN-500 形ノーガスアーク溶接機の使用状況である。

その他溶着量が大で、溶込みが浅いというノーガスアーク溶接法の特長を応用して、重車両の補修、回転ローの摩耗肉盛など肉盛関係の用途には早くから応用されている。

6. む す び

ノーガスアーク溶接法はまだ草創期であり、当社では今後ともユーザ、あるいは材料メカと共同し、本法発展の研究を続け、SN 形ノーガスアーク溶接機に続く、各種の自動・半自動溶接機の開発・改良に努力してゆきたいと考えている。

最後に、SN-500 形ノーガスアーク溶接機の開発に際して、ご指導ご協力をいただいた三菱重工業本社 品田課長代理、横浜造船所尾上課長付をはじめとする社内・社外の関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 山本、島田ほか：三菱電機技報 40, 1,598 (昭 41 年)
- (2) 森本：溶接学会誌 36, 1,062 (昭 42 年)
- (3) 馬田：溶接学会誌 36, 1,072 (昭 42 年)

FC形サブマージアーク溶接機

鵜飼 順*・後藤 洋治*・鉄 豊造*・平塚 秀雄

Type FC Submerged Arc Welder

Nogoya works Jun UKAI • Yôji GOTO • Toyozô TETSU • Hideo HIRATSUKA

Submerged arc welding is one of the most widely employed automatic operation as well as CO₂ arc welding. However, in the point of work materials and the character of the machines, it has been limited to flat welding on a horizontal plane. Recently flux having excellent performance fitting for inclined work has been developed and it has been successful in expanding the range of application of welding to curved surfaces and narrow spaces such as the shells of vessels or other members on erection stages in dockyards. Under the circumstances Mitsubishi has brought to completion type FC submerged arc welders which are small sized, lightweight, mobile with climbing ability. They are well commented in the operation at shipbuilding yards, bridge construction site and can manufacturing plants.

The article describes the construction and characteristics of the machine chiefly.

1. ま え が き

サブマージーク溶接法は、(1)溶け込みが深いこと、(2)溶着量が大きいこと、(3)ビード外観が美しいことなどの特長を有し、CO₂溶接法とならんで最も広く用いられている自動溶接法の一つである。

わが国の造船所では、従来から サーマー・アーク 溶接法を使用していたが、フラックス および機器の性能の点で、水平状態の下向溶接に限定されていた。

最近、材料メーカーによって、耐傾斜性能のすぐれたフラックス、あるいは、板状固形フラックスなどが開発され、サブマージーク溶接法の用途が曲り外板、あるいは、船台上の各種の突合わせ継手に拡大されるにつれて、従来の溶接機にくらべて、より可搬性の富んだ溶接機の要求が強くなってきた。

当社は第2次世界大戦直後のサマー・ジャーク溶接法の草創期に、機器の研究、開発を行ない、その後一時中断していたが、溶接業界の自動化を推進する一連の自動、半自動溶接機シリーズの一環として、新たに可搬性に富んだFC形サマー・ジャーク溶接機を開発したので本文にその構造、特性について紹介する。

2. FC 形サブマージアーク溶接機の開発方針

表 2.1 に FC 形 サーマー・ジャーク 溶接機の仕様を、図 2.1 に系統図を示す。溶接機は MA-1200 形 交流 アーク 溶接機 (電源) と、FC-1000 形 サーマー・ジャーク 溶接機 (本体) から構成され、おのおのの開発上のポイントを次の各節で説明する。

2.1 電源容量

ワイヤ径 6.4 φ(mm) の実用上の最大電流は、約 1,100 A であり、多少の余裕をみて定格電流は 1,200 A とした。溶接電流値は溶接ケーブルのインピーダンスに非常に影響され、従来の機械では、ケーブル長を長くするとインピーダンス降下が大きくなり、定格電流がとれないことがあったが、本機ではリアクタンス降下分を 17 V とし、150 mm²、2 本の溶接ケーブルを 50 m 使用しても 1,100 A の溶接電流をとりうる。

2.2 本体の仕様

使用ワイヤ径 6.4φ(max)、ホッパ容量 4L、水平、垂直調整範囲、
ヘッド回転機構など、従来の大形機(重量約 120 kg)と実用上の仕

表 2.1 FC-1000 形 サブマージーク 溶接機仕様
Specification of type FC-1000 submerged arc welders.

MA-1200 形 交流アーク 溶接機	定格二次電流 A	1,200
	定格一次電圧 V	200±20
	周波数 c/s	50 または 60
	二次無負荷電圧 V	89
	定格一次入力 kVA	110
	定格一次電流 A	550
	負荷電圧 V	(抵抗分)40, (リアクタンス分)17
FC-1000 形 サブマージア ーク溶接機	定 格	全負荷1時間, 80% 負荷連続
	重 量 kg	650 (600)
	定 格 電 流 A	1,000
	使用ワイヤ径 mm	4.0, 4.8, 6.4
	ノズル調整範囲 mm	(垂直調整範囲) 60
		(水平調整範囲) 50
	ワイヤリール	特殊マガジン形 12.5 kg 巻ワイヤ使用
	走行速度範囲 cm/min	10~75
	制 御 方 式	(ワイヤ送給) SCR によるアーク電圧制御
		(走行速度) SCR による静止レオナード電圧制御
	ヘッド回転角度 °	(溶接線直角方向) ±20
		(溶接線平行方向) +20.0
	ホッパ容量 l	約 4
	重 量 kg	30
	レール幅 mm	240

() 内は 60 c/s の重量を示す。

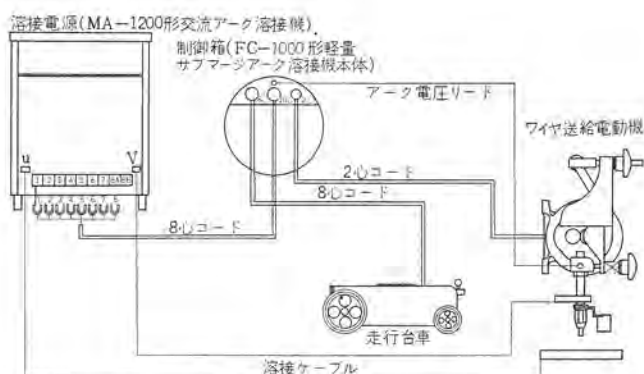


図 2.1 FCC-1000 形 サブマー・ギーク 溶接機系統図
Systematic diagram of type FC-1000 submerged
arc welder.



図 2.2 KK-X 方式による溶接状況
Welding operation of type KK-X welding method.



図 2.3 水平すみ肉溶接
Welding operation of horizontal fillet welding.



図 2.4 開先ガイド溶接状況
Welding operation of groove guide.

様はほぼ同等とした。

2.3 可搬性

1人運搬を原則として重量は30kg以下とした。移動用としてを設けると同時に、30cmからの落下試験に合格するように各部の強度を設定し、移動時の破損などのトラブルを防止することを考慮した。

2.4 登坂能力

本機の主用途である造船所の曲り外板溶接作業への適用を考えた場合、傾斜面での安定な走行は重要な特性の一つである。本機ではラックピニオン駆動とし、 $10^\circ \times 10^\circ$ の傾斜面での使用に耐えるようにレール幅、重量のバランスを設定した。

2.5 その他

その他、多用途への適用を考慮して、次の方法の具体化を計った。

(1) 手溶接用交流アーク溶接機を電源とする

電磁接触器箱を補助装置として、交流アーク溶接機を2～3台並列に使用する方法を実用化した。

(2) 既設のサブマージ溶接電源を使用する

補助トランスボックスの開発で実用化した。

(3) 高能率溶接法 KK-X 法への適用

給電部からアーク端までのワイヤのジュールの熱を利用して、溶着量を増加させる方法(約1.2～1.5倍)で、神戸製鋼(株)と共同でノズルの開発を行なった(図2.2)。

(4) 水平すみ肉溶接への適用(図2.3)

(5) 開先ガイド方式の実用化

曲り外板一層目の溶接に、台車にガイド車輪を取付ける開先ガイド方式を開発し、レールのセッティング時間を不要にした。なおこの方式は開先ならばどんな用途へも適用できる(図2.4)。

3. 構造

3.1 MA-1200 形交流アーク溶接機

図3.1にMA-1200形交流アーク溶接機の外形図を示す。

MA-1200形交流アーク溶接機は、漏えい変圧器形で可動鉄心の移動によって溶接電流を調整する。電流の調整は駆動モータによって可動鉄心を移動させ、操作は前面パネルの押しボタンスイッチ、またはFC-1000形サブマージ溶接機の制御パネル部の押しボタンスイッチで遠隔操作される。

内蔵されている制御部品は、電磁接触器・コントロールリレー・制御用変圧器・一、二次端子台・変流器がある。また力率改善用コンデンサ

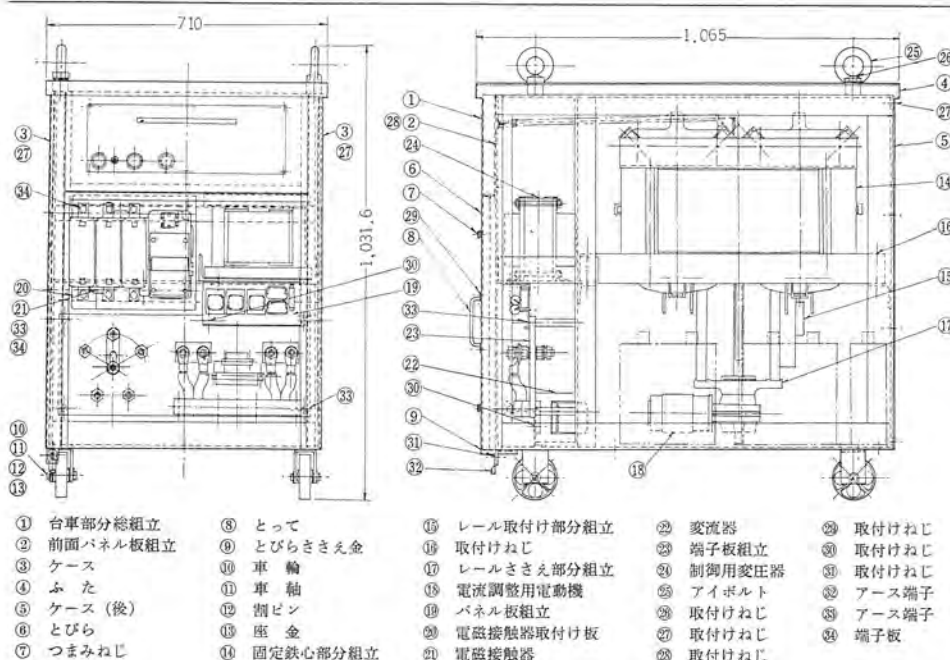


図 3.1 MA-1200 形交流アーク溶接機外形図
Outlines of type MA-1200 AC arc welder.

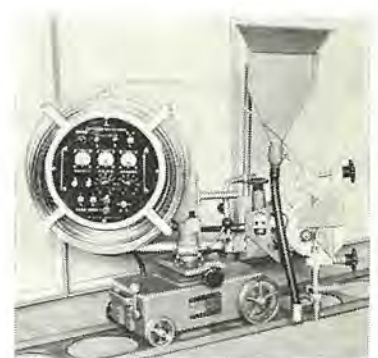


図 3.2 FC-1000 形サブマージアーク溶接機
Type FC-1000 submerged arc welder.

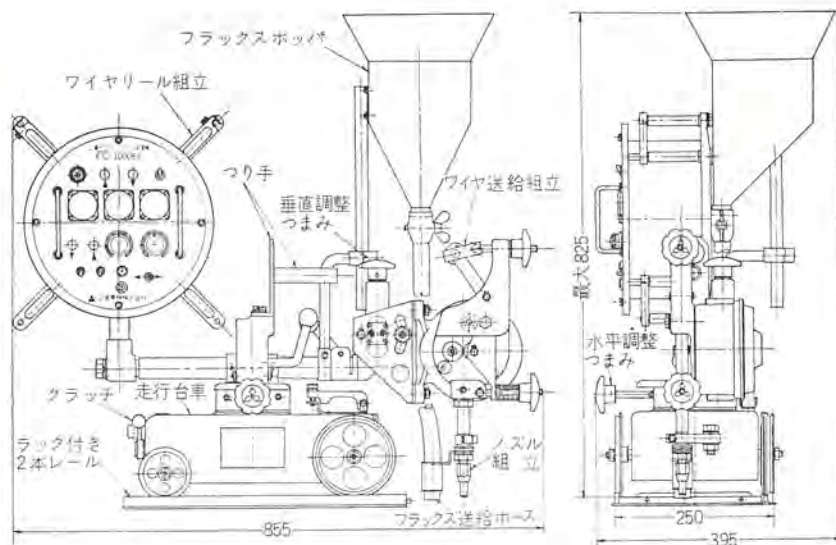


図 3.4 コントロール内部構造
Control unit.

図 3.3 FC-1000 形サブマージーク溶接機外形図
Outlines of type FC-1000 submerged arc welder.

を内蔵できるスペースを設けており、特殊用途に使用される。

3.2 FC-1000 形サブマージーク溶接機

FC-1000 形サブマージーク溶接機の外形を図 3.2 に、外形寸法図を図 3.3 に示す。

3.2.1 ワイヤ送給機構

ワイヤ送給モータには、慣性の小さいプリントモータを使用して、アーク長の変化に対し敏感に応答できるように考慮している。ワイヤ径に対する変更部品は、4.0φ(mm) 以上はチップのみ、4.0φ(mm) 未満はチップと駆動ローラを交換する。

ワイヤ加圧の着脱はレバー方式とし、さらに加圧調整はつまみにしたので、溶接のセッティングは迅速に行ないうる。ワイヤストレーナは駆動ローラ共用の3点ローラ構造でスペースを軽減し、溶接機全体の重心位置を下げることを計った。

3.2.2 ワイヤリール機構

マガジン形のワイヤリールで 12.5 kg 巻きのワイヤまで使用できる。リール軸は内部にニードルベアリングを設け、長期間使用しても円滑に回転し、ワイヤ送給の安定を計っている。ワイヤの着脱は4本のレバーの操作のみで簡単に行なうことができ、また使用中にワイヤが台車にアースすることがないように絶縁構造に留意している。

3.2.3 調整機構

ノズルの垂直、水平調整はハンドルによって調整ねじを回し、各回転の位置決めはクランクレバーによって行なう。使用中にこれらの部分にがたが生じないよう、各締付部には (30 kg) × (荷重のかかる最大腕の長さ) のモーメントを加えて、破損や締付けが不完全にならないことを基準にしている。また垂直調整のしゅう(摺)動部には調整板を設け、摩擦によるがたを補正できるように考慮している。

3.2.4 制御装置

本体の回路は無接点化し、プリント配線化した。さらに制御装置は前部の4本のねじをゆるめ、後部のコネクタをはずすことにより本体から簡単に取りはずしでき、故障の際の点検、修理が容易な構造とした。制御装置全体は図 3.2 に示すように、ワイヤリールの内部におさめられ、全体をコンパクト化することを計った。制御装置の構造を図 3.4 に示す。

3.2.5 走行台車

アルミ鋳物のケースに内蔵した防じん形である。台車は後輪駆動の4輪式で、駆動輪の一つにレールのラックとかみ合うピニオンがねじ止めされている。適用レールゲージは 250(mm) で、レールの形状も従

来のサブマージーク溶接機に合わせ、既設のレールが使用できるように考慮した。その他台車には、手動走行用ハンドル、クラッチ、開先ガイド車輪取付け構造、アース端子などを設けている。

4. 制御回路

4.1 ワイヤ送給制御方式

自動溶接機においてワイヤ送給方式をいかにするかというのは重要であり、現在一般的に使用されているものには次の二つがある。

(a) 定速度送給方式

(b) アーク電圧制御方式

定速度送給方式は初期に設定した速度でワイヤが常に一定量送り出されるもので、MIG 溶接、CO₂ 溶接法のように細径ワイヤに大電流を流す場合に、つまりワイヤ送給速度の大きい場合に定電圧特性の電源と組合わせて使用される。

アーク電圧制御方式とは、図 4.1 のようにアーク電圧を整流回路、調整回路をへてワイヤ送給モータに加える方法である。この方式は、前者に比べてワイヤ送給速度が小さい方法、たとえばサブマージーク溶接法、ノーガスアーク溶接法に垂下特性の電源と組合わせて使用される。

この二つの方式がこのように使い分けされる理由は、一般に次のように説明される。

ワイヤ送給速度の速い場合には、アーク長の制御に関しては機械系のはいるアーク電圧制御方式よりも、電気系すなわち溶接電流の変化でワイヤの溶融量に変化するほうが応答性が速く好ましい。この場合、ワイヤの溶融量に変化するので、溶接ビード形状も変化するはずであるが、単位時間あたりのワイヤ送給長が単位時間あたりの溶接ビード長にくらべて著しく大きいので、アーク長の変化による

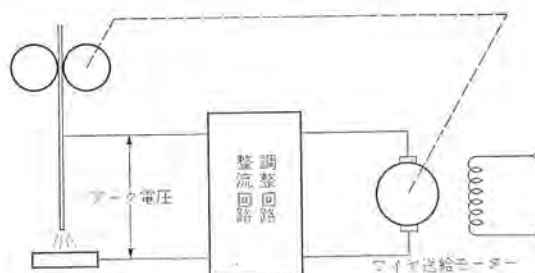


図 4.1 アーク電圧制御方式のブロック図
Block diagram of arc voltage control type.

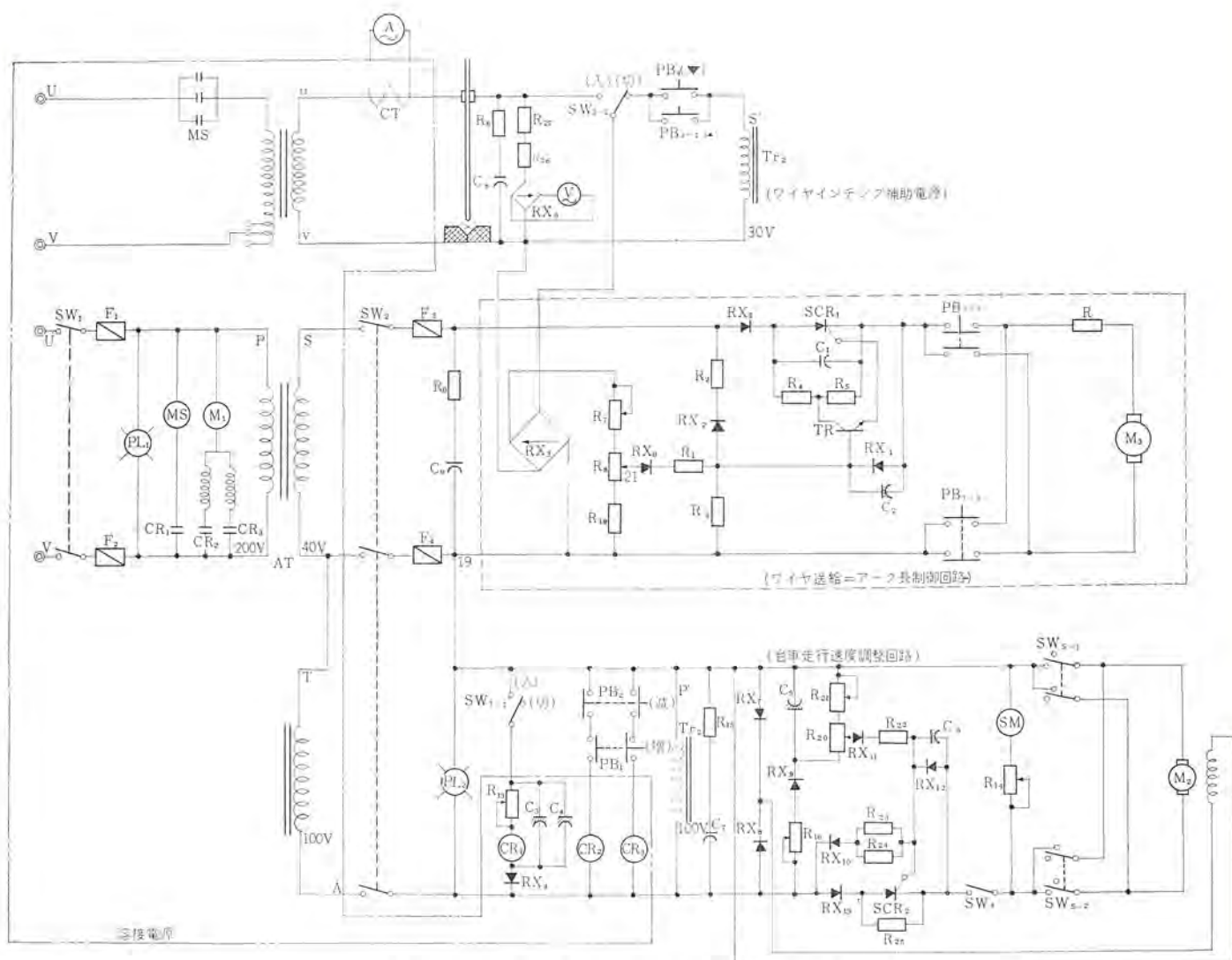


図 4.2 FC-1000 形 サブマージーク 溶接機制御回路
Control circuit of type FC-1000 submerged arc welder.

ワイヤ 送給量，母材溶け込みなどは無視できる。

一方ワイヤ 送給速度が遅くなるとこの影響が無視できず，ビード形状におうとつ(凹凸)を生じる。したがってこの場合には溶融量を一定，すなわち溶接電流を一定（垂下特性の電源を使用するのはこの理由がある）にしてアーク長の変化に対してワイヤ 送給速度を変化させる必要がある。このため，アーク 電圧制御方式ではワイヤ 送給モータの応答性が速い制御回路が必要になる。

FC-1000 形 サブマージーク 溶接機は，4.0φ 以上の大径ワイヤを主用途としているので，アーク 電圧制御方式となっている。

慣性の小さいプリントモータとサイリスタを組み合わせ，応答性の改善を計っているが，具体的な回路については次節で説明する。

4.2 静止レオナード

FC-1000 形 サブマージーク 溶接機のワイヤ 送給モータとしては，永久磁石を界磁とする DC モータが使用されているが，この種のモータの速度制御方式としては，最近サイリスタを使用した静止レオナードが最も多く使用されているが，FC-1000 形 サブマージーク 溶接機でもその回路を使用している。

図 4.2 において破線で囲んである部分がワイヤ 送給回路であり， E_1 ， E_2 間に AC 40 V が印加されているとき， RX_3 の交流側にアーク電圧を印加すると RX_3 ， R_7 ， R_8 ， R_9 の回路に全波整流された直流

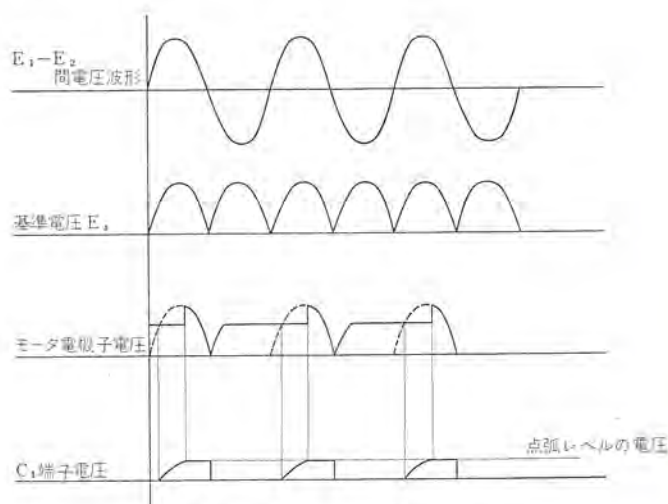


図 4.3 静止レオナード各部の波形
Wave form of static Leonard element.

が流れる。このとき線番 19-21 間に E_3 なる電圧が発生し，これにより RX_0 ， R_1 ， C_2 ， R_1 ， M_3 回路に電流が流れて C_2 が充電される。 C_2 がある電圧まで充電されると，トランジスタ TR のベースエミッタを通じて電流が流れ C_2 は放電される。TR にこのような電流が流れる

と TR のコレクタ、エミッタ間は導通状態になり、 E_1 が正、 E_2 が負の半波においては、 RX_5 、 R_4 、TR を通じて SCR_1 のゲートに電流が流れ SCR_1 は導通となり、モータ M_3 の電機子に電圧が印加されモータは回転する。 E_1 が負、 E_2 が正の半波においては、 E_2 、 M_3 、 R 、 RX_1 、 RX_2 、 R_2 、 E_1 回路に電流が流れ、 C_2 は RX_1 により短絡されているために充電されない。

したがってこの回路では $E_s > E_a$ で、かつ E_1 が E_2 に対して正のときのみ SCR_1 は導通し、 E_s の値を大きくすれば C_1 の充電速度が増し、 SCR_1 の導通角が大となりモータは高速で回転し、 E_s を小さくすればモータは低速で回転することになる。図 4.3 は各部の波形を示したものである。

4.3 制御回路

図 4.2 は FC-1000 形 サーマー[®] 溶接機の制御回路および電源内の制御回路を示したものであり、2 点鎖線で囲んである部分が電源内に組込まれている部分である。

ここで UV 間に単相 200 V を (他に 180 V、220 V タップ付き) を印加し、 SW_1 、 SW_2 を投入し、 SW_3 を切の側にして PB_4 あるいは PB_3 (インチングボタン) を押すと、 RX_3 の交流側には Tr_2 を通じて電圧が印加され静止レオナード回路が動作し、ワイヤ送給モータ M_3 が回転する。インチング動作を行なうことによりワイヤを送り、母材とワイヤ先端の間にスチールロールをはさんでフラックスをかけてから SW_3 を入の側に倒すとリレー CR_1 が動作し、 MS が投入されてアークが発生する。次に SW_4 を投入すると、台車走行モータ M_2 が回転し台車が走行する。台車走行速度調整はワイヤ送給回路と同一の原理で、 R_{20} を調整することにより行なわれる。

溶接終了時には SW_3 を切のほうに倒すと、 CR_1 は C_2 、 C_4 、 R_{13} によって定まる時限を経過してから MS コイルを開放し、溶接電流をしゃ断するためワイヤと母材が短絡することはない。

5. 応 用

5.1 曲り外板の溶接条件

曲り外板とは船体の前後部の側外板の曲り部をいう。従来この外板の溶接作業は、傾斜溶接となるためにサマー[®] ジアーク溶接法では、溶接機およびフラックスの耐傾斜性能の点で問題があり、手溶接が主であった。しかし傾斜面での登坂力を増し、重量のバランスを計った FC-1000 形 サマー[®] ジアーク溶接機の開発により適用が可能になった。

ここでは母材の傾斜度と開先条件などを変化した場合の適正溶接条件の一例について試験結果を報告する。

表 5.1 に溶接条件の一例を示す。傾斜角度は溶接進行方向および直角方向にそれぞれ $8^\circ \times 8^\circ$ までとし、対象板厚 11~18 (mm) について、ルートフェース、ルートギャップ、ワイヤ径、下盛数を変えることによって適正溶接条件を求めた。溶接結果については全数 X 線検査を行なった。また一部は機械的強度をもとめて結果の良否を確認した。図 5.1、表 5.1 にその一例を示す。

結果を大略すると $8^\circ \times 8^\circ$ までサマー[®] ジアーク溶接を行ないうが、傾斜角度が大になるほど熔融金属の流れが目立ち、アンダーカットの危険性がある。6.4φワイヤでは $8^\circ \times 8^\circ$ ではアンダーカットを生じ 4.8φワイヤしか応用できないことがわかった。

5.2 経済性

サマー[®] ジアーク溶接法の経済性については、すでに各種の論文が発表されており、ここではその内容の詳細については触れないで、溶接機が小形軽量化された場合どんな利点が付加されるか簡単に述べ

表 5.1 曲り外板溶接試験条件
Condition of welding test on curved shell plates.

ワイヤ径	4.8φmm		6.4φmm	
	16mm		18mm	
板厚	16mm		18mm	
溶接順序	おもて溶接	うら溶接	おもて溶接	うら溶接
開先形状				
母材傾斜 θ_1	6°	6°	4°	4°
角度 θ_2	6°	6°	4°	4°
下盛層数	2	—	2	—
溶接電流 A	750	730	730	750
電圧 V	32	33	30	35
溶接条件 速度 cm/min	40	45	35	40
X 線結果	JIS 1 級		JIS 1 級	

(注) 母材傾斜角度

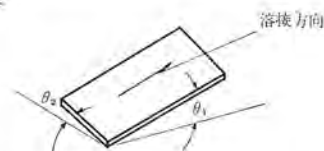


表 5.2 引張り、曲げ、衝撃試験結果
Test results of tension, bend and impules.

心線径 mm	引張強さ kg/mm ²	変曲げ	変曲げ	自由曲げ		衝撃強度 kg・m/cm ²		
				接点距離	伸び %	溶着金属	熱影響部	
4.8φ	a	49.0	O. K	O. K	17.0	47.1	9.4	8.3
	b	50.0	O. K	O. K	22.0	50.0	7.5	7.2
6.4φ	a	51.9	O. K	O. K	22.0	56.8	15.2	12.8
	b	51.9	O. K	O. K	22.0	53.4	10.5	12.5



図 5.1 試験片の採取位置
Picking positions of test pieces.

る。

図 5.2 は各種溶接法の溶接経費を板厚別に示したものである。サマー[®] ジアーク溶接法では、まず手溶接の約 $1/3$ の経費になる。しかもアーク発生率の上昇によって経費の低下率は著しく、たとえばアーク発生率が 20% から 30% に増加すると、板厚 16 (mm) ~ 25 (mm) のところで 13~18% も下がる。

従来、溶接機が大形のため溶接機の移動、セッティングに時間をついやしていたことから考えて、FC-1000 形 サマー[®] ジアーク溶接機では、アーク発生率の上昇が期待できる、また作業も完全に 1 人作業となり、工数節減が考えられよう。

5.3 応 用

FC-1000 形 サマー[®] ジアーク溶接機は、使用用途が造船所を主体として開発したが、2 章にも述べたように機械本体の仕様は従来の大形機とくらべて実用上はなんらそん色なく、造船所の曲り外板、コルゲート、船台上の各種の溶接、あるいは橋りょう (梁) におけるフランジ、

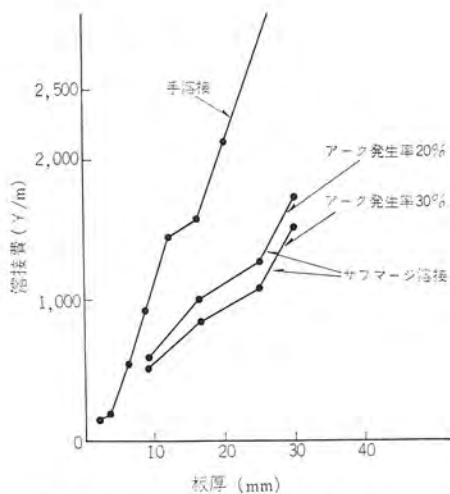


図 5.2 各種溶接法の板厚と溶接費
Relation between welding costs and thickness of plates on different weldings.



図 5.3 曲り外板の溶接
Welding of curved shell plates.

ウェブプレート の突合わせ溶接, I ビーム のすみ (隅) 肉溶接などに広く用いられている。

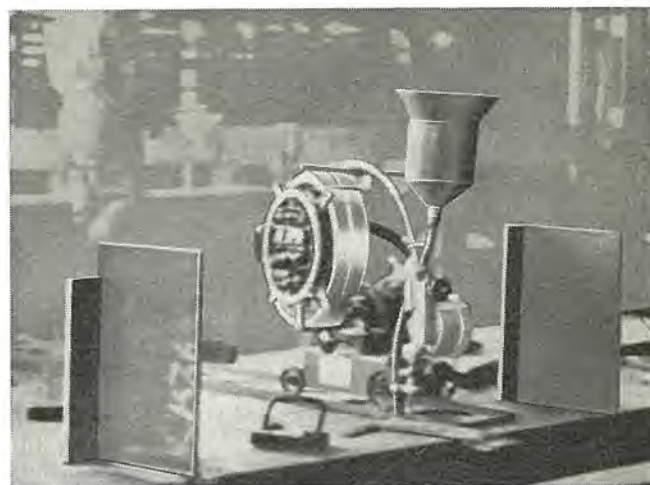


図 5.4 短継手の溶接
Welding of short butt joint.

図 5.3 は造船所における曲り外板の溶接作業に, 図 5.5 は短継ぎ手長の溶接に FC-1000 形 サブマージアーク溶接機を使用している 状況を示す。

6. む す び

以上 FC 形 サブマージアーク溶接機について紹介したが, 本機の特長とするところは, 機械の仕様が低下することなく大幅に小形軽量化された点であり, 造船, 橋りょう, 製かん(缶)をはじめとする大企業ばかりでなく中小鉄工所でも手軽に使用でき, 溶接作業の合理化を計ることができると確信している。

当社では今後も サブマージアーク溶接法の応用面について引続き研究を行ない, FC 形 サブマージアーク溶接機をより バリエティー に富んだ シリーズ にしてゆきたいと考えている。

最後に FC 形 サブマージアーク溶接機の開発にあたり, 多大なご協力をいただいた三菱重工(株)横浜造船所および石川島播磨重工(株)名古屋造船所の関係各位に厚く感謝の意を表わす次第である。

三菱-BBC 形誘導炉

田 口 堅*

Mitsubishi-BBC Induction Furnaces

Itami Works Ken TAGUCHI

Mitsubishi-BBC induction furnaces are products manufactured by the Mitsubishi Electric Corporation as a result of technical concert with the Brown Boverie Co., the world largest builder of induction furnaces, being featured by large electric power and high performance. Brown Boverie has built more than 700 melting plants in the past, while Mitsubishi is proud of manufacturing above 400 units through its techniques unique to the Company. Now it is in a position to contribute to the industrial world by working out the plan of melting plants as well as producing furnaces based on the experiences of both the manufacturers.

The paper describes the planning of melting plants appropriate to the industry, points out possibility of more logical operation of induction furnaces and suggests a new method to reach the goal.

1. ま え が き

BBC は Brown Boverie & Co. の略で、スイス国 Baden に本社をおく各国にその工場をもつ世界でも屈指の総合電機メーカーで、当社とおもむきをおなじする。BBC は種々の得意とする製品をもつが、その中でも誘導炉は最も著名な製品のひとつとして業界に知られている。

BBC 誘導炉の最大の特長は、何といってもその製作台数およびそれに伴う種々の経験がきわめて豊富であることで、たとえば鉄系金属溶解用誘導炉では世界の約 70% を占めており、世界の著名な誘導炉による溶解プラントのほとんどすべてが BBC 炉であるところからも容易に知ることができる。

一方当社では昭和 10 年より各種誘導炉を製作納入してきたが、中でもるつぼ形低周波誘導炉を同時期に世界で最初に工業用の炉として完成、納入し、以来当社の単独の技術によって約 400 基（うちるつぼ形低周波誘導炉約 100 基）の誘導炉を製作、納入して日本の業界に貢献してきた。しかるに戦中戦後の混乱時代は、この名誉あるるつぼ形低周波誘導炉にとっても受難の時期であり、その生育が停止し、一般にこの炉は欧米でうぶ声をあげたかのように理解さ

れているのはきわめて残念なことである。

しかし誘導炉の製作およびその使用にはいわゆる経験を必要とする面が多く、溶解・鑄造の分野の近代化への転換が遅れ、需要の少なかつたわが国ではこれを十分生長させ得なかつたのも止むを得なかつた。この点欧米ではいち早くこのるつぼ形低周波誘導炉の優秀性が着目され、非常な勢いで普及されてきた。この動向はわが国でも注目され、数年前よりその設置台数・単機容量・定格電力が急激に増長してきており、今後ますますその傾向が助長されるものと予想される。これはわが国においても近代化の風潮に遅れがちであった溶解・鑄造工場の後進性打破が真剣に考えられつつある点や、欧米各国における誘導炉の利用度とわが国のそれとの格差の大なる点より容易に想像される。しかし現状としてはまだまだ鑄造工場における誘導炉の主体性は低く、一工場に一炉といった単なる工場の片すみの 1 個の溶解機の感から脱脚していない。

当社ではこの点にかんがみて、半歩の如き緩慢な経験の蓄積による発展では急を要する時代の要求にこたえ得ぬことを痛感し、一挙にこれを世界の最高レベルに引上げることを目標に、世界最高の技



図 1.1 出湯中のるつぼ形低周波誘導炉
Crucible type low frequency induction furnace
in operation of pouring molten metal.

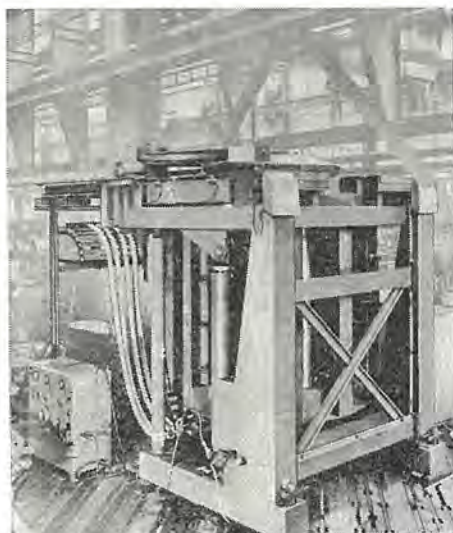


図 1.2 組立て中の 23 トン るつぼ形低周波誘導炉
23 tons crucible type low frequency induction
furnace under assembling.

術を所有する BBC から誘導炉に関するあらゆる技術を導入した次第である。以来わずか1年足らずの昭和42年末までに36基という多数の受注をみ、そのほとんどが現在か動に入り、いずれも誰も予想し得なかったほどの高性能を発揮し、圧倒的な顧客の好評を得ている。以下にBBC炉の特長を述べ、鑄造工場の計画法や操業法について記す。

2. BBC 誘導炉

BBC は“まえがき”にも触れたように世界市場の大部分を占め、1,000 基を優に越す納入実績をもち、多数の鑄造プラントの計画を行ってきた。そのうちでも著名なプラントは

(a) ドイツ Daimler Benz, Mannheim 5トン炉 15基

(図2.1)

(b) アメリカ General Motors, Central Foundry 33トン炉 5基 (図2.2)

(c) アメリカ Caterpillar Tractor, Mapleton 25トン炉 14基等があり、大小合わせて約700件のプラントを手がけている。最近のトピックスとして、本年末には70トンのつば形低周波炉、最大電力17,000 kW という超大容量の炉が完成する予定であるというニュースがあげられ、台数・容量・経験等あらゆる面で後続メカの追隨を許さない。

BBC 誘導炉の最大の特長は、近代的鑄造工場に必要なあらゆる条件をすべて備えている点である。そのおもな点を列記する。

(a) 炉容量に対する電力が大きい。また120%の過負荷が可能

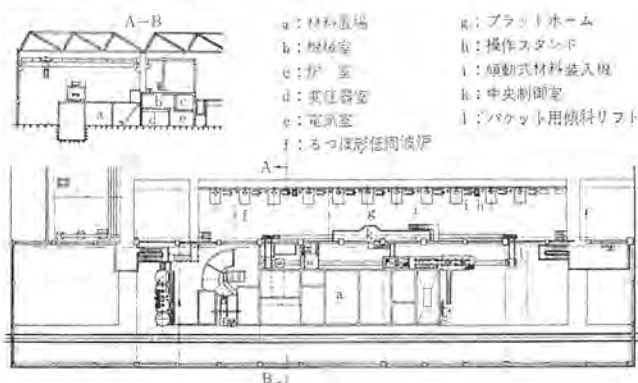


図 2.1 大形溶解プラントの一例
Example of large melting plant.

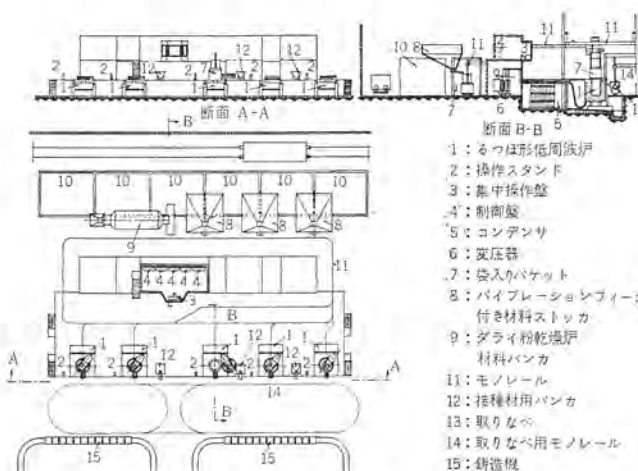


図 2.2 大形鑄造プラントの一例
Example of large casting plant.

表 2.1 鑄鉄用つば形低周波誘導炉標準表
List of standard crucible type low frequency induction furnaces for cast iron.

炉容量	電 力		溶解能力(1/3 残湯連続操業)				昇 温 時 所要電力量
			出湯温度 1,450℃		出湯温度 1,500℃		
TON	定 格	最 大	溶 解 量	所要電力量	溶 解 量	所要電力量	(出湯温度 付近)
	kW	kW	t/h	kWh/t	t/h	kWh/t	kWh/t 100℃
0.8	320	380	0.48	610	0.46	635	47
1.5	450	540	0.71	580	0.69	604	44
2.0	550	660	0.90	565	0.85	588	42
3.5	800	960	1.38	535	1.32	557	40
4.5	1,000	1,200	1.77	520	1.70	541	39
5.0	1,200	1,440	2.15	515	2.06	536	39
6.0	1,400	1,680	2.56	505	2.46	525	38
8.0	1,800	2,160	3.39	490	3.26	510	36
12.0	2,500	3,000	4.80	480	4.60	500	36
16.0	3,200	3,840	6.21	475	5.96	494	35
22.5	4,250	5,100	8.37	467	8.10	485	35
30.0	5,200	6,240	10.32	465	9.93	483	35

で操業のフレキシビリティが非常に大きい。

表 2.1 に炉容量に対する電力を示すが、いずれも在来の値を相当上回っている。このことはより迅速な溶解が可能であることを意味している。

(b) 大電力炉に適した単純・安定かつ合理的なコイル締結構造および絶縁構造となっている。

経年体積変化の最も少ないすぐれた特殊絶縁物を使用しており、かつ炉材に含まれる湿分を容易にコイル外にのがすようふうされており、炉材の膨張によるコイルへの強大な上向き力を逆用してより安定なコイルの締結とする特殊の構造をとっている。

(c) 独得の築炉方式をもつ

他社方式に比べ、人工数および所要時間が数分の一で、しかも安定なラインングが得られる。これにより誘導炉設備の利用率を高めるとともに人件費を低減させ得る。

(d) 効率が良い。

電気効率および熱効率を高める独得の設計がなされている。このため電力消費量は少なく溶解率は大である。

実例：16トン炉 2,800 kW 鑄鉄 1,515°C 出湯 454 kWh/t
6.2 t/h

12トン炉 1,000 kW 鑄鉄 1,500°C 出湯 495 kWh/t
2.0 t/h

(e) 保守が簡単な構造となっている。

不幸にして湯洩れを生じてもコイルをいためないような構造となっている。しかもたとえばコイル層間の絶縁が湯洩れにより焼損しても、コイルを引出すことなく炉内で簡単に保修取換えができる。

(f) みぞ形炉についても熱効率が低い。

みぞ形炉の最大の欠点の熱効率低さを改善した耐火物構造として、保持電力小さくランニングコスト安価となる。

(g) みぞ形炉についても独特の築炉法をもつ。

在来高度の技術を要するとされていたみぞ形炉の築炉も、個人差がなく簡単かつ迅速にできるようになり、しかも長寿命である。

(h) 保持用・二重操業用・注湯用いづれの目的にも適する独特の形式のみぞ形炉をもつ。図2.3参照。

いわゆるティーポット形と称する独特の IRV 形みぞ形は、鑄造工場



図 2.3 鋳鉄用 IRV みぞ形低周波誘導炉
IRV groove type low frequency induction furnace
for cast iron.

のレイアウトに適した形状をもち、種々の用途に向いている。

3. 溶湯製造機としての誘導炉の可能性

図 3.1 に示すように鋳鉄を例にとった場合の溶解機としての炉には種々のものがあるが、その出湯方式より見て連続的なものから不連続なものへと配列した。これを別の図に示すならば図 3.2 のようになる。これより容易に判明するように、誘導炉はあらゆる可能性をもつ。しかし図に示す 3 種の誘導炉もカバーする範囲が若干ずつ異なるので、その目的により慎重に選択する必要がある。

図 3.3 は溶湯の工程を図に示したものであるが、鋳造工場の計画に当て図中に炉の形に示したおのおのの個所に誘導炉を設置しうる可能性があることを認識されたい。

- (A) 溶解炉
- (B) 二重操業炉
- (C) 保持炉
- (D) 注湯炉

これら 4 用途の炉をすべて必要とすることはまずあり得ず、このうちの単独使用またはいくつかの組み合わせとなるのが通常である。これの検討には、その設備投資に見合うコストの低減・合理化が行なわれるかどうかの調査を十分慎重に行なわねばならない。

(a) Aのみ

大半のプラントはこれに属するが、溶解・鋳造おのおののつごうや要求が互いに他をじょう乱し、工場全体としては個々の性能よりかなり下回る生産しか上げられないことが多い。すなわち設備利用率が低い。しかし投資額が少なく済み、一応の生産が十分可能である。

例：キューボラのみ

るつぼ形誘導炉のみ

みぞ形誘導炉のみ（一般に非鉄系）

(b) A+B

Aとしてキューボラを採用した場合に、近來この組み合わせが多くなっている。この組み合わせはキューボラのほぼすべての欠点を排除するので非常に有効な組み合わせといえる。この場合、Bとしては通常みぞ形誘導炉が用いられるべきで、溶湯がキューボラから取りなべて運ばれ、かつ冷材の添加量が多い場合にのみるつぼ形誘導炉が考慮されるといってよい。一般にキューボラよりるつぼ形炉にとい（随）で給湯することは熱損失、耐火物の観点およびるつぼ形炉を基設置する必要からの設備費の高騰より好ましいものとはいえない。

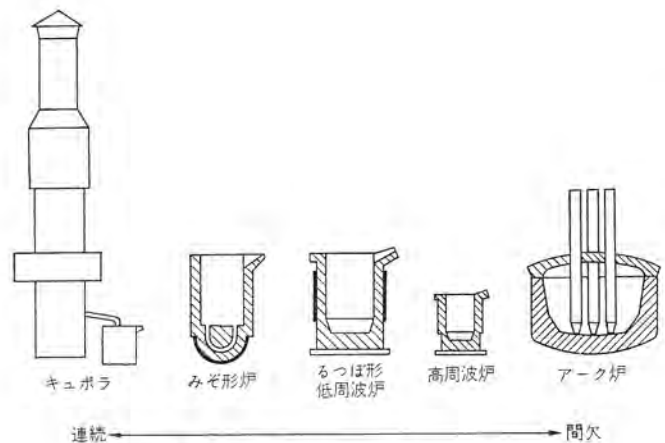


図 3.1 鋳鉄溶解用の種々の炉形式
Furnaces of various types for melting cast iron.

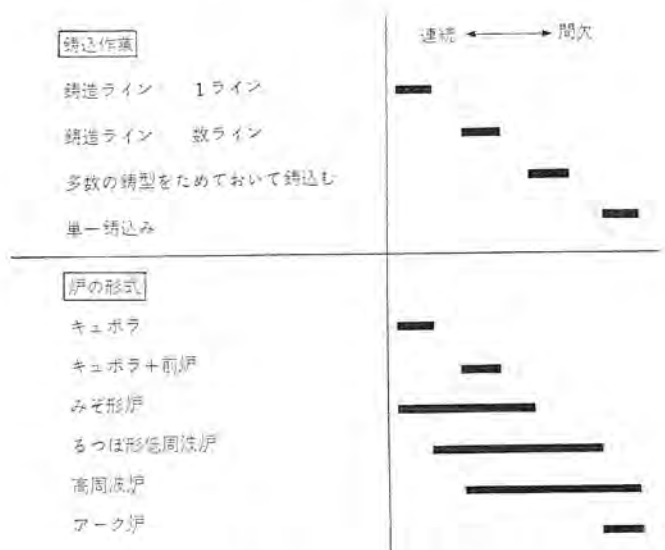


図 3.2 種々の出湯方式と炉
Various types of taking out melt and furnaces.

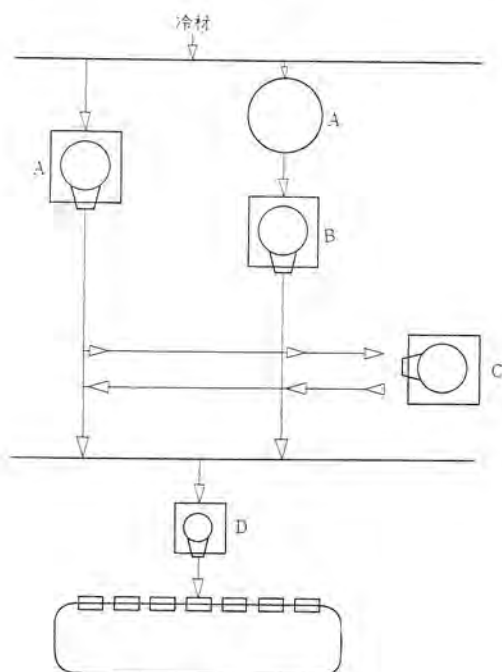


図 3.3 溶湯の工程
Process of melting bath.

(c) A+C

この組合せは、溶解の出力と鋳造の要求の間の需給関係の不均衡を吸収し、溶解炉は高能率溶解に専念しうるので設備の有効利用率が格段に上昇する。Cには一般にみぞ形炉が採用されるが、用途および目的によってはつば形炉のほうが適することがある。(b)の組合せのBもこの用途の役割りを果しうる。

(d) A+D, A+B+D

この組合せは、鋳込みのサイクルの変動を吸収し、成分や温度の調整に役立つ。一般には(c)のA+Cの組合せが目下の傾向であるといえるが、最近のあらたな傾向としてこのA+D, A+B+Dが出現しはじめた。これはDの出湯炉を各鋳造ラインの頭に設置し、AまたはA+Bにてベースになる成分・温度の湯を供給し、各ラインのDの炉にてそのラインに必要な成分・温度に調整するもので、一段とすぐれた合理的生産管理・品質管理が行ないうる。この目的には通常ティポット形(IRV形)みぞ形炉(図2.3)が最適である。

4. 鋳造工場の計画

2章にて三菱-BBC形誘導炉の特長は、近代化設備にマッチした高性能迅速溶解炉であることを述べたが、この炉に見合う炉の前後設備も同時に検討のうえ設置されるべきことは言を待たない。たびたび経験することであるが、材料配合・搬送・装入設備が未完成または半完成の状態で炉を試験運転する際に、炉の性能を立証するように溶解材料を人力や簡単な機器で装入することが、いかに多くの作業者をもってしてもなお追いつき得ぬことがある。わが国にはまだ大電力誘導炉の設置台数が少ないためか、一般に材料搬送・溶湯搬送の設備を軽視し、予算面の配慮も不十分であることが多い。簡単なホイストやリフティングマグネットにより材料を炉に装入できると考えるのははたは早計であるといわねばならず、十分練られた計画検討が材料供給・配合・搬送・装入の各面で必要である。

これと同時に、鋳造工場の計画の基本となる鋳造ラインのレイアウトとそれに適合した溶湯の搬送方法も、根本的に検討される必要がある。月産量・日産量・操業日数・操業時間よりはじまりピーク生産時の対処法・製品種およびその数・単重・型わくサイズ・鋳込量・鋳込温度・溶湯の処理の必要の有無、砂の処理、必要量、型込め速度等を考慮してスペースの最有効利用を考えねばならない。その後取りなべサイズとピッチを想定して、そのうえで溶解炉の仕様や、保持炉・注湯炉の必要性の検討をせねばならない。

4.1 材料供給、配合、搬送、装入の設備計画

4.1.1 材料供給

溶解材料の供給といっても、製品成分・入手可能な材料等により一概に述べられないが、次の諸点に留意されるべきであろう。

- (a) すべての溶解材料は屋内に貯蔵されるべきである。
- (b) 溶解工場内に少なくとも2,3日分の材料をストックされるべきである。非常に合理的に材料供給が計画されている場合は1日分の貯蔵でもよい。
- (c) さびた材料は不適である。
- (d) ぬれた材料は意識的に乾燥されねばならない。
- (e) 返り材の砂はできるだけ除去されているべきである。
- (f) 炉寸法に比べて装入材が寸法的に長大なものは適当に割断されているべきである。
- (g) プレスくずはベールされているほうが望ましい。
- (h) 材料のかさ比重を高めるような形状とすることが望ましい。

(i) 材料の成分が溶湯成分をコントロールできる程度に知れていることが望ましい。

(j) 高度の自動材料配合装置を使用する際には、微細な形状にしストックよりの注出、微細計量に便することが望ましい。場合によってはクラッシャを利用すべきである。

(k) 材料ストックは材料別に仕切って貯蔵されるべきで、その配置は持ち込みの便よりもむしろ炉への搬出に便になるよう考慮されねばならない。

4.1.2 材料配合

材料の配合をいかなる割合にするかは重要な問題で、溶湯費の低減に直接的に影響を与えるので、その入手価格、安定な入手量、炉への装入の難易およびそのための処理費(ぬれた材料の乾燥費、長大なものの割断費等)もあわせて考慮し、究極的に安価になるようくふうせねばならぬことは当然であるが、その経済比較は別の機会に譲り、ここでは単に配合方法を検討することにする。

配合されるべき溶解材料には、ダライ粉、銅板くず、返り材等種々あるが、簡略のためにこれらをX, Y, Zと名づける。

(a) 炉装入時配合方式

図4.1に見られるように、種々の材料を別々に計量して炉に装入する方式で、最も単純で多用されている。この方式は一見安価な方式に思えるが、必ずしも安価ではなく、作業床上が雑然として見苦しく、作業者職分が不明確となり誤解誤認がおこりやすく、生産管理・品質管理上もほめられた方式ではない。比較的小容量の炉の単機運転の場合にはさして問題とならぬ場合も多いが、複数基の炉が設置されていたり、溶解率の高い炉が設置されている場合、この溶解速度に材料の装入が追いつき得ず、しかも装入ひん度が多く装入所要時間が長くなるので熱損失がふえ、電力消費量が増し、溶解能力が低下するとともに出湯時間の変動し、型込め・鋳込み等の作業手順が乱れ、ひいては鋳造工場全般としても能力低下することになる。

この方式をとらざるを得ない場合には、少なくとも所定の時期に所定量を可能な限り短時間に装入しうよう、少しでも便利な道具を使用することを考え、配合時に誤りのおこらぬよう単純化した手順にすべきである。白墨で床上や壁面に装入量や残量・配合比などを計算している風景は一日も早く追放されねばならない。

(b) 装入前一括配合方式

図4.2に示すように、炉内に装入する前に配合を完了する方式で、最も推奨したい方式である。この方式によれば装入作業と配合作業が分離独立されるので、誤りを犯す可能性が少なく、しかも炉への装入が所定の時期に短時間に行ないうるので、炉の動率を高め

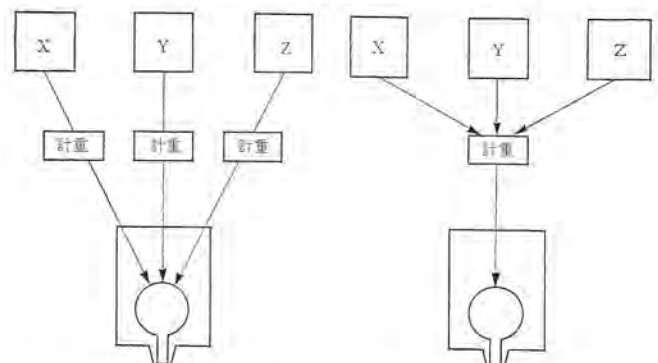


図 4.1 装入時配合方式
Blending system in charging.

図 4.2 一括配合方式
En-bloc blending system.

うると同時に電力消費量も低下し、所定のサイクルタイムに出湯を繰返すことができる。作業床は清潔に保ち得、作業者の職分責任が明確となり、ひいては能率、モラルの向上にもつらなる。

この方式は、比較的僅少な投資によって達成できる場合が多いので、一日も早く(a)方式よりの変換を計画すべきであるが、既設炉の場合簡単にレイアウトが変更できぬ場合もある。

(b)方式を具体例で示してみよう。

X, Y, Z を各々コンクリートの壁で仕切られたストックに貯蔵しておき、リフティングマグネット付きのクレーンまたはレッカ車にてX, Y, Zを順次計重機付きのホップに投入する。すなわち、Xを投入して規定値はいったらYを投入、X+Yが規定値となったらZを投入してX+Y+Zの値を規定どおりとする。この計重はホップのかたわらに大きなスケールの計器を備えておき、計器面のX, X+Y, X+Y+Zの位置に目じるしとなるマーク(色別にテープをはるのも一策)を付して、クレーンマンがこれを見ながら配合作業をするようにふうも良策であろう。規定量がホップに投入し終われば、このホップの底を開くとか、傾けるとか手段により配合済みの材料をバケット、ボックス、コンベア等に移し、炉へ搬送する。この場合の必要人員はとくにふえることなく、炉の作業員(2炉に2~3名)とクレーンマン1名だけである。

この方式は比較的に安価で実効のあがる方式ではあるが、多数の炉が設置された場合に、装入のサイクルが設置台数が増すに従い、短縮されるため追いつききれなくなることがある。このサイクル時間の短縮限度は、配合材料種類数・材料形状・設備能力・レイアウト等により異なるので一概にいえないが、大体において3分が限度であり、通常5分以下となるときは何かの方策を考える必要がある。

(c) 順次配合方式

より合理化された大規模な溶解工場では、図4.3に示すような順次配合方式が望ましい。これはバケットまたはボックスが循環してX, Y, Zを収納したホップの下、あるいは前を移動する際に、おのこの材料の規定量をバイブレーションフィーダ等によりこれに投入する方式である。この際ホップ数が増加してもサイクル時間は同一で延びないので、カーボンやシリコンまたはその他の合金元素も同時に配合することも可能であり、炉ごとに成分の異なる場合でもあらかじめセットされた配合量を、ある成分に専属のバケットであることを検知せしめることにより自在に行なうこともできる。

2章に記した著名な誘導炉による溶解プラントは、すべてこの方式によっており、ほぼ完全に自動化されている。

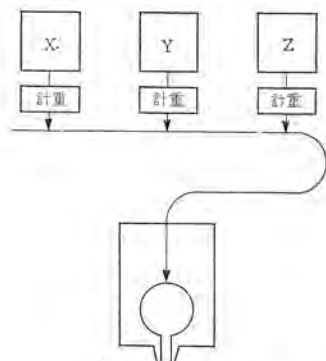


図 4.3 順次配合方式
Sequential blending system.

4.1.3 搬送方式

炉への搬送方式も種々あり、溶解工場の規模・レイアウト・材料配

合方式・操業方法等と大いに関連があるので、いろいろの方式が考えられ、かつ実用されているが、ここではその具体的な3方式に分類してみた。

一般に炉の作業床と配合場所あるいは材料置場とは高さが異なるのが通常であるため、平面的な考え方だけでは不十分で、上下方向の移動も考慮せねばならず、その良否が搬送スケジュールの時間配分の大きな部分を左右することも念頭におく必要がある。

(a) 循環方式

この方式は主として4.1.2項の(c)の配合方式に適用される。これにはコンベア方式とモノレール方式とがあり、前者の例は図2.1に示され、作業床後部と材料配合所を横に移動し、この両端でケーブルカー式リフターによって結ばれており、作業床後部のコンベアと炉の間はスタッククレーン、フォークリフト等により運搬される。モノレール方式の例は図2.2に示される。この場合もコンベア方式と同様に、作業床後部と材料配合所をモノレールでループに接続されており、上下方向の移動はレール自身がバケットをつつたまま昇降する場合と、走行レールが傾斜をもたせている場合とがある。作業床後部より炉への搬送も一般に2方式あり、レール自身がバケットをつつたまま炉上に移行する方式と、転路機によりよりループ分岐して炉にゆく場合とがある。

(b) 往復方式

材料配合所と作業床または炉上を走行範囲とするクレーン、モノレールをもつもので、上下移動はクレーン、モノレールの巻取りに依存する最も簡単なもので、一般に4.1.2項の(b)の配合方式に多い。この方式は炉の設置数が多くなったときには不向きである。この方式の変形として、材料配合所と作業床の間に往復2本のコンベアを設置する方式も実用されている。この場合もコンベアより各炉へ運搬する別の設備が必要となり、スタッククレーン、フォークリフト等が用いられる。この方式で無人自動操縦のスタッククレーンが1分40秒ごとに約2.5トンの溶解材料を各炉に配給している実例がある。

(2) 特殊方式

(a)方式、(b)方式の組合わせや変形が多々あるが、そのいずれにも属さない方式がアメリカで実用化されつつある。これは一般に設置台数が少ない場合に適合する方式で、振動式コンベアを用いる方式である。すなわち作業床後部に設けた材料配合または計重所と炉の間を振動式コンベアで結ぶもので、その一つは材料配合所または計重所の部分を中心に旋回しうる構造のコンベアをおき、必要時にコンベアを旋回して炉上にとどめ、コンベアの運転により素早く装入を終えるもので、作業終わればただちにコンベアを戻し旋回して該炉の諸作業を妨害しない。旋回中心を2炉の中間後部とすればその旋回により両炉に材料供給できる。他のものは、この振動式コンベアが伸縮する方式で、旋回式と同様材料供給時のみコンベアを炉に伸ばし、終わればただちに作業床後部に縮めておく。

この方式は炉上を走行する設備が不要で安価であり、既設建家にもほとんど手を加えずともよく、非常に簡単な機器の数が少ない集合体であるため、故障発生少なく保守も楽である。ただ炉が3基以上となった場合にはこの設備を増す必要がある。また、必然的に作業床後部に配合所また計重所を設ける必要があり、これにともない材料置場もこれに近接させねばならないので、既設炉設備の場合には多少問題がある。

4.1.4 装入方式

一般に炉への搬送は、4.1.3項の(c)方式を除いてバラ送りさ

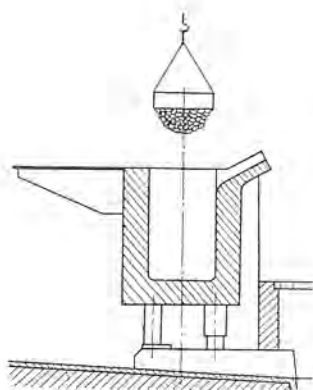


図 4.4 リフティングマグネットによる装入
Charging by means of lifting magnet.

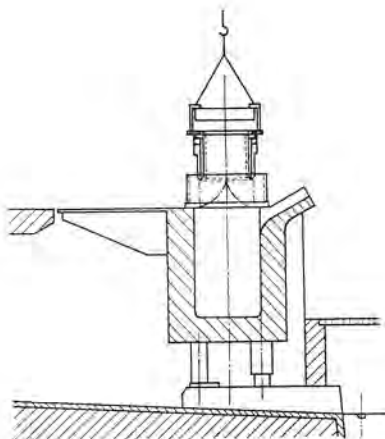


図 4.5 装入 パケット による装入
Charging with a charging bucket.

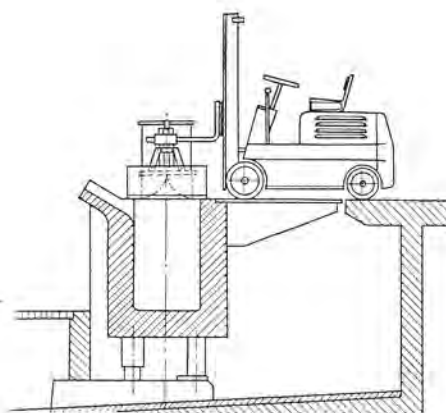


図 4.6 装入 パケット による装入
Charging with a charging bucket.

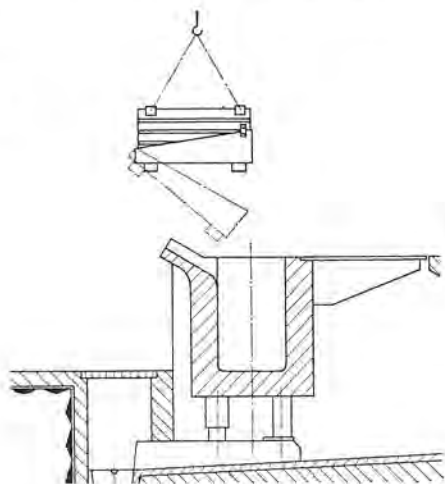


図 4.7 チャージボックスによる装入
Charging with a charging box.

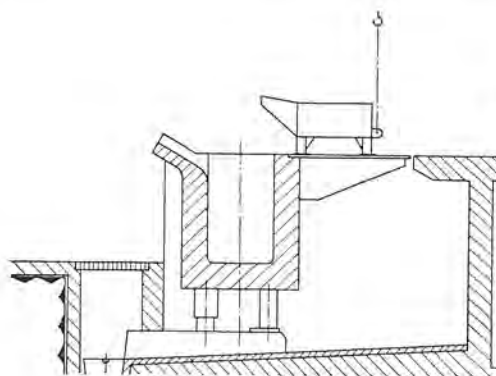


図 4.8 チャージボックスによる装入
Charging with a charging box.

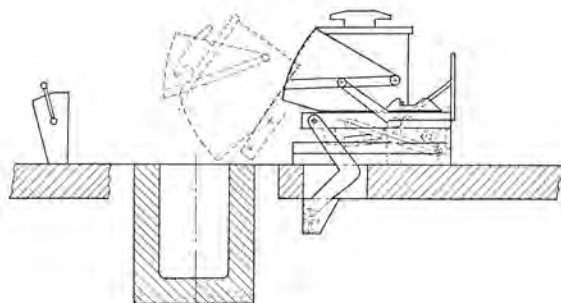


図 4.9 油圧傾動装入機による装入
Charging with a oilpressure tilting charging device.

れることは少なく、何らかの容器が用いられる。その容量が装入に適するような形状・構造となっているのが普通で、装入方式の論議はこの容器に向けられることになる。この容器の形式種類は数多くあるが、つまるところ、容器を傾倒するか、容器のある部分すなわち底板とか側板を開くことにより、場合によってはこれに若干の傾倒を加えることで装入を助成する方法に集約される。しかし実際のところまったく同じ容器を用いているところを探すほうがむしろ難しいほど、それぞれに創意くふうが折り込まれているのが実情で、需要家各位で個々の条件に合ったものを研究、くふうされることを希望する。ここでは数種の方式を紹介するにとどめる。

(a) リフティングマグネット 装入

図 4.4 はリフティングマグネットによる装入方式であるが、炉容量の小さい場合には周囲にこぼれやすく、また材料の形状により吸着量が一定しない難点がある。非効率なので、あまり推奨できない。

(b) 装入 パケット 方式

図 4.5、4.6 は装入パケットによる装入方式である。このパケットは炉上におろすと自重によって底が開くもので、炉上にかぶされるので、材料落下時のスプラッシュが作業床に飛び散ることがなく、装入時間がきわめて短いという大きな利点がある。しかし材料の形状によっては少量しか装入できない不便さがあるが、現在か動中の大形プラントでは多用されている。

(c) チャージボックス 装入

図 4.7 に示すもので、炉上にいったんおろし先端のストップをはずしてから再びつり上げることで、底板が開いてシュートとなり

材料をすべり落とす方式である。

(d) チャージボックス 装入

その典型的な例を図 4.8 に示すが、この変形が数多くあり、いちいち例をあげるまでもないと思われる。しかしこの方式の高級な一例として、油圧傾倒式装入機を図 4.9 に示しておく。これは炉の横に装備され、油圧にてボックスを載せた台が炉上にせり出すと同時に傾き、油圧操作によりこのボックスの側面のふたを開いて中の材料を炉中に落とし込むものである。この油圧操作は、炉の傾動スタンドに並設された装入機操作スタンドにより遠隔操作される。

以上の数例のうち(c)、(b)の方式の場合には、カーボン、合金元素等を装入材料とともに入れることも可能であるが、一般には別途投入している場合が多い。

4.2 溶湯搬送の計画

溶解の前工程の計画に比べて後工程の計画は関連事項が多く、他動的に決まる場合が多い。そのため溶湯搬送のみを分析論議しても無意味であるので、炉設備計画に必要と思われる範囲にとどめて参

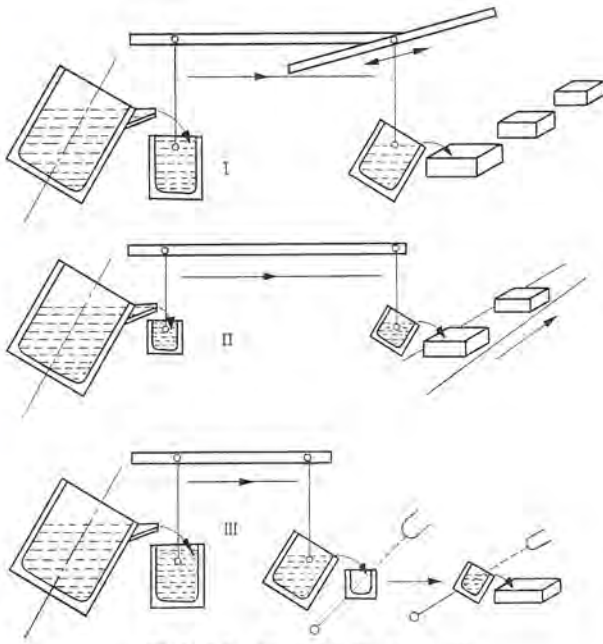


図 4.10 溶湯搬送法の例
Example of carrying molten metal.

考に供したい。

炉の設備計画に当たって明らかにすべき点は、主として出湯温度・出湯量・出湯回数およびそのピッチである。

可能であるならば、炉の特性に合わせた出湯量およびピッチであることが望ましいし、出湯温度も低い方が望ましい。これらは大抵の場合鑄造の要求するところと相反する。この点慎重なる検討と判断により総合的に見てよりよい方向にすべきことは当然である。

図 4.10 は溶湯搬送の数例を示したもので、I は湯よりの出湯を受けた比較的大きい取りなべが直接多数の鑄型に注湯しているものであり、II は比較的小さい取りなべで湯を受け単純な搬送で少数の鑄型に注湯しており、III はいったん小さい取りなべに移してから注湯している。この他種々の搬送形式が考えられるが、大きくわけて次の 2 種 2 分類することができよう。

(a) 比較的大きな取りなべに受け、小取りなべに移してから鑄型に注湯する方式は溶湯搬送と鑄造設備を分離して計画をすすめるので計画しやすく、炉にとっても出湯のための時間が短かくピッチが長いのでか動率が高い。しかし移し変えどきの温度降下を見込んだ高い出湯温度にする必要があり、ピッチが長いため、注湯待ちの型がふえスペースを多く必要とし、型わく砂等の回転がおそい欠点がある。

(b) 比較的小さい取りなべで受け、この取りなべで鑄型に注湯この方式は、(a) 方式と逆となり、炉の出湯ピッチが短かく、炉のか動率が低下する。この方式の場合には通常複数基の炉のうちの溶解完了した 1 基を保温状態にして短かいピッチで回数多く出湯するが、炉 1 基が常に溶解作業から離れることになり、保温炉設置の意義を生ずることになる。

いずれにせよケースバイケースに検討せねばならず、固定観念に捕われず、柔軟な態度で計画を煮つめる必要があり、当社の技術陣に相談をもちかけて下さることを切望する。

5. 炉の操業法

誘導炉に関する一般の認識が深かまってきており、種々の形で誘導炉の操業方法が公にされているので、ここでは一般的な操炉法に

ついて述べることを避け、るつば形低周波誘導炉のより一段と進んだ操業法の可能性について 2, 3 述べることにする。以下に述べることは、多少固定観念化したるつば形低周波炉操業法に新しい考え方を導入しようとするもので、より良き生産および管理が行なわれ、誘導炉の発展の一助となるものと信じている。

5.1 連続操業時の残湯量の問題

るつば形低周波炉の操業には、一般によく知られているように、全量出湯せず、るつば内にある量の溶湯を残し、これに溶解材料を投入して連続に溶解するいわゆる残湯操業がとられるが、まれには全量を出湯し、あらためて冷材を投入して溶解する冷材始業操業がとられることもある。一般には 1 日の操業の最初はこの冷材始業操業で、2 回目以降に残湯操業が行なわれる。量産工場の場合には残湯操業時の残湯量は一定であるが、個別生産工場の場合にはこの残湯量が必ずしも一定しないことが多い。図 5.1 はこれらのおのの場合の炉内湯量・溶湯温度・電力の時間的推移を示したものである。図の A は冷材始業溶解の例、B は一定残湯溶解の例、C は不定量残湯溶解の例を示したものである。図 B でも明らかに、一定残湯溶解すなわち定量出湯溶解は、炉の諸条件が一定に保たれるために、きわめて正確なピッチの出湯をすることができ、すぐれた生産・工程管理が実施できる。個別生産工場の場合でも、できるだけ同一品種の製品をまとめ、必要溶湯量もできるだけ一定となるような組合わせを考えることが望ましい。

このような残湯操業の際に、残湯量をどの程度にするかは興味深い問題であり、この点を少し説明してみることとする。

一般に誘導炉の溶解時間 T 、溶解電力量 Q 、溶解能力 P 、電力消費量 E の間の関係は次の諸式で表わされる。

$$T = \frac{W + L}{N\eta'} \quad (\text{h}) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$P = \frac{G}{T} \quad (\text{t/h}) \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

$$E = \frac{N}{P} \quad (\text{kWh/t}) \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

$$Q = NT \quad (\text{kWh}) \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

ただし、 W : 溶解物 G (t) を目標温度まで溶解昇温するに要する理論電力量 (kWh) (図 5.2 参照)

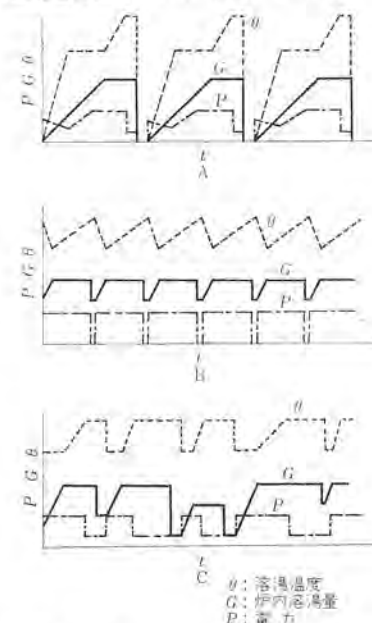


図 5.1 溶解の進行 Progress of melting.

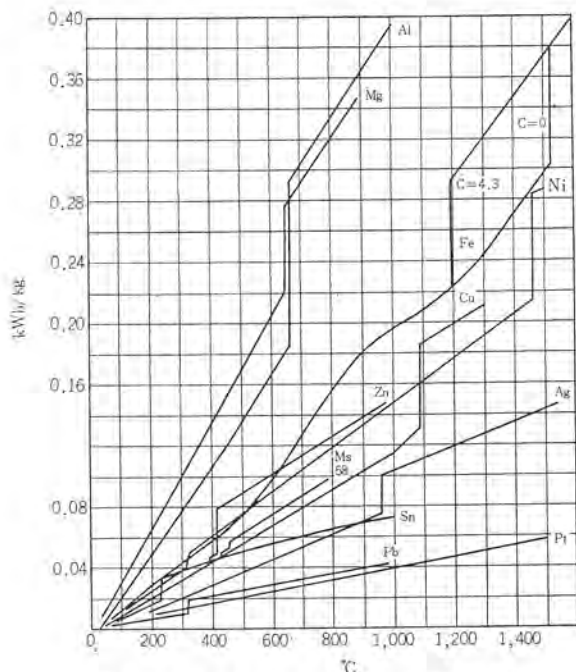


図 5.2 各金属の加熱に必要な理論電力量
Theoretical electric power necessary for heating various metals.

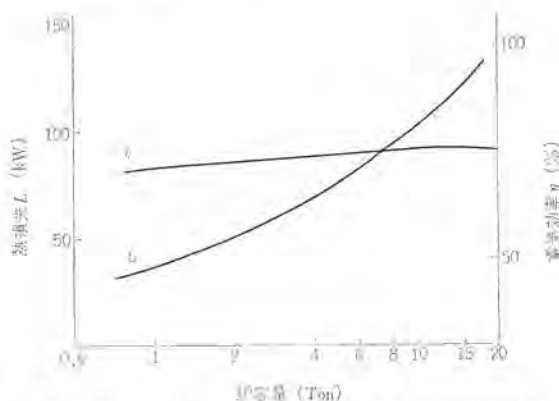


図 5.3 りつば形低周波誘導炉による鑄鉄溶解時の熱損失および電気効率

Heat loss and electrical efficiency in melting cast iron with a crucible type low frequency induction furnace.

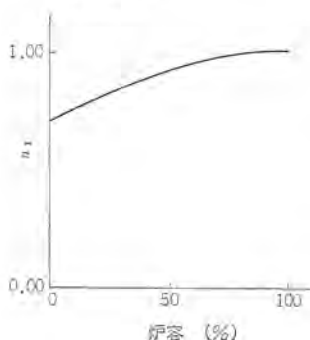


図 5.4 初期溶解量による電力補正係数

Electric power compensation factor with initial melting quantity.

G : 溶解量 (t)

$$N' = N \cdot n_1 \quad (\text{kW}) \quad (5.5)$$

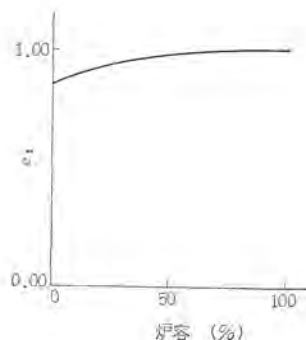


図 5.5 初期溶解量による電気効率補正係数

Electric efficiency compensating factor with initial melting quantity.

N : 炉公称電力 (kW)

n' : 初期溶解量による補正係数。るつば形低周波誘導炉による鑄鉄溶解の場合を図 5.4 に示す。

$$\eta' = \eta \cdot e_1 \quad (5.6)$$

η : 炉満量の際の電気効率。るつば形低周波誘導炉による鑄鉄溶解の場合を図 5.3 に示す。

e_1 : 初期溶解量による補正係数。るつば形低周波誘導炉の場合を図 5.5 に示す。

L : 炉の熱損失 (kW)

鑄鉄溶解用るつば形低周波誘導炉の場合を図 5.3 に示す。

式 (5.1) および式 (5.2) より

$$P = \frac{N' \eta' G}{W + L} \quad (\text{t/h}) \quad (5.7)$$

式 (5.3) および式 (5.7) より

$$E = \frac{W + L}{\eta' G} \quad (\text{kWh/t}) \quad (5.8)$$

となり、これらの式および図 5.3、5.4、5.5 より次のことがいえる。

(1) 炉容量が大きくなると電気効率は若干上がるが、熱損失が大幅に増すので、同一電力の炉では、炉容量小なるほど溶解能力が増し、消費電力量が減る。

(2) 初期溶解量を多くすると、電力および効率の補正係数 n_1 、 e_1 が 1 に近づき、溶解能力が増し、消費電力量が減る。

換言するならば、

(1) 生産量から炉の電力が決まったら、その電力を印加できる最小容量の炉を選択する方がよい。また同一電力の炉の場合、炉容量が小さいほど溶解能力が大きい。

(2) りつば形低周波誘導炉では、パッチ操作を行わず、残湯をもった連続溶解をすべきで、しかも残湯量が多いほどよい。

ということができる。

しかし残湯量が多いということはそれだけ一回の出湯量が減るということであり、出湯の度に行なわれる除さい(滓)作業・温度チェック・成分検査・サンプル採取等の付帯作業時間および出湯に要する時間の溶解時間に対する割合が大きくなり、炉のか効率低下するが、出湯サイクルが短縮されるので、鑄造工場設備の回転率が高まるという利点もある。わが国では一般に 1/3 残湯の操作がとられており、これが定説化しているが、はたしてこの 1/3 残湯が適当かどうかを今まで考慮に入れられていなかった問題をとらえて検討してみたい。

一般に誘導炉の操作では、特別の場合を除き溶湯温度を溶解中低く保つように材料を分割してしばしば装入し、規定量の溶湯に達してから出湯温度に上げ出湯する。

追加装入すると湯温は急激に低下するが、装入物が細かくて、無視しうるほどの時間内に溶け、溶湯温度が瞬時にある値に下がるものと仮定すると、その温度降下 $\Delta\theta$ は次式で示される。

G_t : 時間 t における炉内量

g_t : 時間 t における装入量

θ : 時間 t における溶湯温度

$\Delta\theta$: g_t を装入したことによる溶湯温度降下

θ_m : この金属の溶融点

とすると、

(a) $\theta > \theta_m$ の場合

$$g_t(C_s + C\theta) = G_t C \cdot \Delta\theta \dots\dots\dots (5.9)$$

(b) $\theta \cong \theta_s$ の場合

$$g_t(C_s + C\theta) = G_t(C\Delta\theta + C_s) \dots\dots\dots (5.10)$$

ただし、

C : この金属の比熱

C_s : この金属の溶解の潜熱

ゆえに $\Delta\theta$ は、

(a) $\theta > \theta_s$ の場合

$$\Delta\theta = \frac{g}{G} \cdot \frac{C_s + C\theta}{C} \dots\dots\dots (5.11)$$

(b) $\theta \cong \theta_s$ の場合

$$\Delta\theta = \left(\frac{g}{G} - \frac{C_s}{C\theta + C_s} \right) \frac{C\theta + C_s}{C} \dots\dots\dots (5.12)$$

となる。

(a) の場合、溶解温度が常に溶解点を越えているのに対し、(b) の場合は溶解点の潜熱を考慮に入れている。すなわち、同一温度降下を考えた場合に、その温度範囲のとり方により G に対する g の割合を大きくすることができる。

たとえばアルミニウムの溶解の場合に、溶解の潜熱を利用しない温度範囲の 670°C から 770°C の間を考えると、 $\Delta\theta$ を 100°C 以下にすると、わずかに残湯量の 10% の材料しか投入できない。一方これを 658°C から 785°C の間で考えると、実に残湯量の 47% の材料が投入できる。

図 5.6 は、溶解の潜熱を利用しない場合 (図中の a 曲線) と、これを利用した場合 (図中の b 曲線) の残湯中に材料を投入したときの温度変化を示したものである。

図でも明らかなように、溶解の潜熱を利用した装入を行なえば、温度変化の割に大量の材料装入で可能となる。

図 5.7 はこの考えを取り入れた作業を示したもので、溶湯量が増すにつれて追加装入量を増している。

この溶解温度を溶解点付近に保つ作業法により得られる利点は次のようなものである。

(1) るつば耐火物平均温度を低く保つことができるので、耐火物寿命が長くなる。

(2) 溶湯温度が低いと溶湯の粘性高く、溶湯の過剰かく拌が減り、るつばの摩損が減る。ことに湯面が低い場合に溶湯温度を低

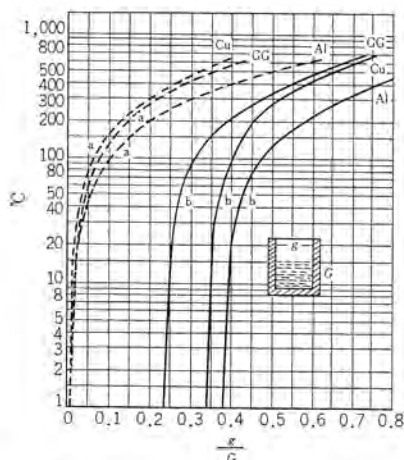


図 5.6 材料装入時の溶湯の温度変化
Temperature change of melting bath in charging material.

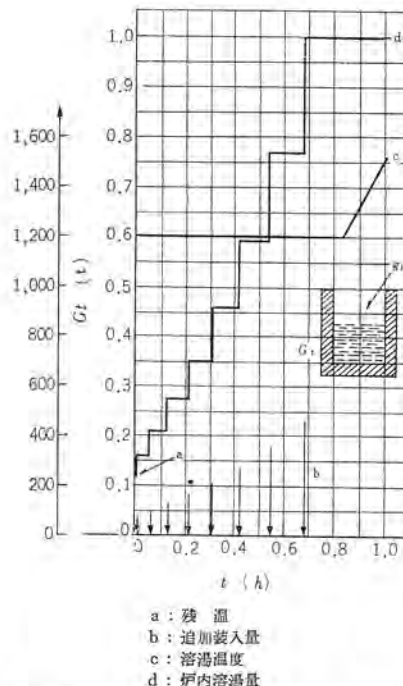


図 5.7 推奨される鋳鉄溶解時の装入方法
Recommended charging method in melting cast iron.

く保つことは効果的である。

(3) 1 回の装入量を大きくすることができるので、早く湯面を上昇させることができ、電力の負荷状態が改善され、効率も上昇する。

(4) 装入回数が減らせるので、炉ふたの開閉回数が減り、熱損失減少するうえに、作業者の仕事量を減らすことができる。

これ等の点をまとめて次のような作業法が提案される。

(1) 残湯量を増し、1 回当たりの出湯量を減らす。

できれば残湯量を $2/3$ あるいはそれ以上にする。

(2) 装入回数をできるだけ減らし、しかも定量装入にする。これにより材料の配合・搬送作業を画一化してこの作業を一段と合理化する。

(3) 付帯作業時間を短縮するよう一段と合理化を計る。

この作業法により、溶解率・電力消費量共に 5% 程度の改善がほぼ確実に可能であり、炉の入・切のみで電圧を変える必要がなく、作業量、注意が減るので作業人員を減らすことができ、より良い管理が可能となり、鋳造工場全体の設備利用率・能力・能率が改善される。需用家各位にはそれぞれ事情や条件があると思われるが、勇を鼓してこの提案を検討していただきたい。

5.2 積算電力量計量作業

5.1 節にて付帯作業時間の短縮に努力すべきことを述べたが、これに関連して積算電力量計量作業、kW h カウンティング作業を推奨したい。

5.1 節の式 (5.1) と式 (5.4) より $G(t)$ 溶解時の電力量 Q は

$$Q = \frac{W + L}{\eta'} \quad (\text{kW h}) \dots\dots\dots (5.13)$$

であらわされる。この中で W は $G(t)$ 溶解して目標温度にするに必要な理論電力量であるから定数であり、 L の炉の熱損失および η' の電気効率、固定された操業手順が繰り返えられるかぎり、るつばの耐火物の溶損による変化が問題とならない程度の日数の範囲で

は定数とみなすことができるので、 Q の値はある日数の範囲で一定とみなすことができる。

すなわち、逆に Q をチェックすることにより溶解温度がチェックできるわけで、出湯後の材料の装入が終わった時点で kWh カウンタの計数を開始させ、あらかじめセットした Q kWh に達したときに警報させればよい。

この kWh カウンティング 操業を行ない、ある精度に入れるためには次の諸点が前提となる。

- (1) 作業手順が完全に固定化していること。
- (2) 定量を最小回数で装入すること。
- (3) 装入材料の計量を正しく行なうこと。
- (4) 不必要な炉ふた開閉を避けるとともに、諸作業時のふた開放時間を極力短縮すること。
- (5) こくめいにデータをとり、炉の習性をは握しておくこと。
- (6) ときどき測温して、必要ならばセット値を変えること。

この前提条件は、5.1 節に述べた大量残湯操業を示唆しており、また付帯作業時間の削減にも効果がある。

この kWh カウンティング 操業を実施している工場では、いずれも 2/3 残湯方式および定量装入が実施されており、出湯温度は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 前後にはいっている。これらの工場では作業が完全に合理化されており、作業者は数少なく、この作業後も出湯後の装入が終わりカウンタをリセットするとあとは炉にはほとんど見向きもせず材料計量および搬送作業を行ない、カーボン、シリコンの計量、袋積みをし、なお余りの時間はサンプルの整理、作業床の清掃を行なっている。温度チェックは 3 回出湯に 1 回程度である。

5.3 非通電時間カウンティング操業

5.1 節、5.2 節に述べたことにさらに一層の合理的作業を推進

するのに非通電時間を管理することを提唱する。ある設備を所有したならば、この設備を最大限に活用してか動率を可能なかぎり高めてゆかなければならない。しかしともすれば惰性的な作業に流れがちで生産性が向上しない。その管理のために、出湯待ちとか材料装入待ち等の溶解電力を投入していない時間をカウントし、一定時間内に再通電されない場合に警報して注意をうながす方式を提案したい。これによりか動率を一定に保つとともに、その改善への資料をうることができる。

この場合にも残湯量を増して固定作業手順で定電圧操業が行なえるようにしておき、作業者の作業量を減らすと同時に、定められた通電時間率を維持できなかった理由を種々作り出せぬようにしておくことも必要である。

このことは決して労働強化を提案しているのではなく、作業合理化の一助として取り上げているのであって、種々述べた前提条件を実施せずして結果のみを要求し期待することは本末転倒もはなはだしいというべきである。これ等の諸提案を十分消化のうえ実施に移されることを願う。

6. む す び

三菱-BBC 誘導炉は世界で最も多くの経験をもつ炉であり、その特長とするところは、大電力・高性能の炉を製作していることのみでなく、溶解・鑄造工場の計画にも多数の経験をもち、その操業にも常に最新の研究がなされている。紙数に制限のある小稿ではいいつくせぬ面が多く、舌足らずな点もなしとはしないので、需要家各位よりの直接の質問・相談をお願いする。小稿がいささかでも参考となり得、誘導炉発展に寄与するところがありとすれば望外のしあわせである。

立形高周波発電機

生駒 鉄郎*・鈴木 條夫*

Vertical High Frequency M-G Sets

Kôbe Works Tetsuro IKOMA・Nagao SUZUKI

High-Frequency M-G sets for induction heating began to be manufactured by Mitsubishi in 1935. From then the total output amounts to 57,000 kVA for 220 sets. Especially our "mono-bloc" M-G sets, which were developed in 1955, have been widely used in Japan for various purposes. Mitsubishi becomes top maker of this machine in this country, making many record-breaking sets. From 1964 newly developed vertical M-G sets, including 3 kc 600 kVA H. F. generator, were made with conventional horizontal machines and they are running successfully for three years.

It has been said that vertical set has small floor space but its inspection and maintenance are rather troublesome. Novel construction eliminates this difficulty. Large short circuit ratio is adopted and series condensor is removed to increase stability and avoid over voltage in consequence of considerations about the effect of synchronous reactance.

1. ま え が き

昭和28年から製作開始した当社の新形誘導加熱用高周波発電機は、加熱作業の合理化に適しているため種々の産業に用いられてきたが、今日ますます広く一般にその価値を認識され、各種の新用途が開拓されている。ウェスティングハウス社では誘導加熱装置の生産額は最近5個年間で2.6倍に増大している。

当社でこの間製作した10 kc 150 kVA, 250 kVA, 3 kc 300 kVA, 500 kVA さらに20 kc 25 kVAのような多くの誘導加熱用高周波発電機としての記録品はすべて横形機であった。高周波発電機は横軸が是か、立軸が適当か、論議のわかれるところであり、世界でもメーカーにより横・立てそれぞれが製作されている。当社ではすでに昭和36年に250 kVA 10 kc 3,600 rpm 機に対し立軸機の開発をおこない、受注態勢を整えていたのであるが、このほど図1.1に示す3 kc 600 kVAの世界記録品をはじめ、3 kc 500 kVA, 10 kc 250 kVAなど多数の立軸機を受注製作し、約3個年間良好な運転を確認することができたので、ここに立形高周波発電機につき発表する次第である。



図 1.1 600 kVA 3 kc 立形高周波発電機
Vertical high-frequency M-G set, 3 kc 600 kVA.

2. 立軸と横軸との比較

立軸機の最大特長は占有面積の少ないことである。たとえば300 kVA 3 kcの横軸機では2.2 m²の据付面積を要するが、立形にすれ

ば1.25 m²でよい。これはとくに多数の発電機を集中しておくとき、既設の工場スペース内に納めるときなどに便利である。その他固定子構造が全周対称で部分的変形をおこさず、また軸やフレームの重量または磁気吸引力荷重による静たわみが空げき(隙)に影響をおよぼさない。しかし一方、回転子重量をささえながら3,000ないし3,600 rpmの高速で回転する軸受は相当の技術的困難をとまらなければならず、MGセットの分解、下部軸受の保守交換が不便で構造は多少複雑となるという欠点がある。

当社の製品はこれらの欠点をカバーし立形の利点を十分に発揮できるものとなっている。

3. 標準定格

横形と同一である。電動機と継手で直結した形のものも立形に作る例も外国にはあるが、種々不便な点が多いので、当社では立形で

表 3.1 標準定格

Standard rating of Mitsubishi high-frequency M-G sets.

周波数 kc	高 周 波 出 力 kVA	形 式
1	60, 100, 175, 250, 350, 500, 600	横・立
	700, 1,000, 1,250, 1,500	横
3	50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 600	横・立
	800, 1,000, 1,250, 1,500	横
4	30	横・立
6	250	横・立
10	15, 30, 50, 75, 100, 150, 250, 300, 400	横・立
	700	横
20	25	横・立

表 3.2 外形寸法、重量の例
Examples of dimensions and weights.

周波数 kc	出力 kVA	直 径 mm	高 さ mm	重 量 kg
1	100	1,020	1,880	2,350
	175	1,020	2,220	2,900
	350	1,270	2,300	5,700
	600	1,310	2,450	6,200
3	30	650	1,300	780
	100	1,020	1,800	2,350
	300	1,270	2,230	4,850
	600	1,310	2,470	6,300
10	15	600	1,050	670
	100	1,020	2,060	2,700
	150	1,100	2,040	2,900
	250	1,270	2,300	5,500
	300	1,310	2,370	5,850

製作しないことにしている。したがって立形はすべて電動機と発電機とが同一軸、同一わく上に組み立てられたいわゆるモノブロック形となっている。

表 3. 1 は発電機の標準定格を示す。表 3. 2 は立形高周波発電機の外形寸法、重量の一例である。

4. 標準構造

図 4. 1 は立形高周波発電機の断面である。上部に誘導電動機、下部に高周波発電機を配置し中央に通風ファンを置いており、冷却空気通路は電動機と発電機の独立 2 経路を循環する。

空気冷却器はしたがって上・下 2 個に別れており各系統の空気を冷却する。

上部軸受は案内軸受であり、スラスト軸受は下部に配置されている。全体をカバーでおおい、また騒音をシャ断している。

固定子の下部は非常に剛性が大きく、固定子上部と回転子の重量をささえ、セット全体の下部には防振ゴムを備え、振動が基礎に伝達されることを防いでいる。したがって通常の発電機に必要な大がかりな基礎工事は不要である。

4. 1 高周波発電機

すべて多極形を採用し、3 kc 以下はローレンツシュミット形、10 kc 以上はギューイ形としている。鉄心はとくに製造された低鉄損高強度の高級けい素鋼板を使用し、鉄心打抜きには特別の精度を持った加工法を採用している。

回転子と固定子の空けきは非常に小で、回転子外径の $\frac{1}{1000}$ 程度、すなわちスリーブ軸受のメタルクリアランスに相当するほどであるから、その工作は非常に精密なことが必要であるのみならず、各部の剛性がたいせつとなることは容易に想像できるであろう。不均等な空けきは電機子コイル誘導電圧の不平衡を生じ、並列回路中の横流、損失の増大、磁気吸引力の不平衡、軸曲り、回転子と固定子との接触などのトラブルの原因となるので、空けきの平等は非常に重要なことである。

コイル絶縁にはマイカ、ガラスなどを使用した H 種とし、極力小形化をはかっている。H 種絶縁に採用しているシリコン樹脂は、はっ(酸)水性があるのでとくにわが国のような湿度の高い環境で使用するの

に適している。

4. 2 誘導電動機

2 極特殊かご形電動機である。とくに高周波発電機の大きな慣性質量を始動するためかご巻線の負担が重くなり、始動時温度上昇が高くなるので種々の考慮が払われている。全負荷運転時にもすべりが非常に小さく効率が高い。回転子棒と短絡環とのろうづけは高周波発電機による誘導加熱を利用することにより、従来のガス炎などによるろうづけの欠点をすべて解消できた。

高速回転機であるから、熱時冷時の平衡状態変化は極力小さいことが必要でこの点にも注意を払ってある。

コイル絶縁には当社の誇る無溶剤熱硬化性ダイラスティック絶縁を使用しているので、耐熱性・耐湿性・耐薬品性・機械的性質・電気的性質などに非常にすぐれている。

4. 3 軸受

前述のように 3,000 rpm または 3,600 rpm の高速で回転する軸受には、相当の技術的困難をともなう。

当社では昭和 36 年に開発した 250 kVA 10 kc 機(回転子重量約 2 t)により、基本的構造を確立し、その後軸受試験装置(図 4. 2)により研究を進めたものである。

上部は案内軸受とし、下部はスラスト軸受としている。潤滑法として上部にグリース、下部にグリースまたは油潤滑を採用している。グリース給油法は従来横形機で標準とされている運転給油グリース自動交換方式とし、油循環法にはねじ形粘性ポンプ方式を使用している。したがって軸の回転するかぎり自動的に給油が続けられ、停電時などの際にも運転の確実性が得られる。

軸受ハウジングはカートリッジ形となっており、軸受交換に便利である。とくに立形セットとしての弱点である下部軸受の交換はカートリッジ形の特長を 100% 生かして新しい方法を考案した。

従来軸受部を分解し軸受を単体で焼きばめするのが通常であったのであるが、下部軸受に対しては MG セットの下部空間が狭いためこの作業が困難である。したがってこのときには MG セットを上方につり上げて下方より交換作業をおこなう必要があり、作業性が非常に悪い、これに対して当社の方法は下部軸受カートリッジのまま押しねじで引き抜けば軸受部全部が外部に出るようになっている。そこで軸受を交換し、またカートリッジ組立てのまま下部ブラケットに取り付けられ、自動的に軸受は軸にかん(嵌)合して交換作業は完了する。(実用新案出願中)

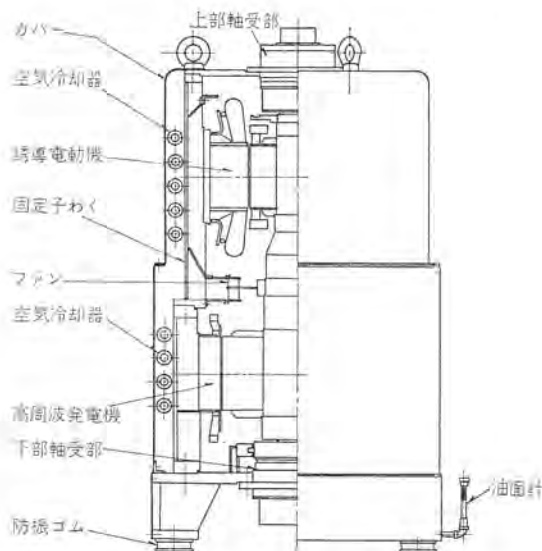


図 4. 1 立形高周波発電機構造
Construction of vertical high-frequency M-G set.



図 4. 2 立形軸受試験装置
Testing apparatus for vertical bearing.

立形機では上部から漏油があれば、たちまち全体に波及するので油封装置に十分の考慮を払って絶対漏油のないようにしている。

高周波発電機にはかならず軸電圧が発生し、対策を構じないものではわずか数十分間で軸受を焼損することもあるので、全機種とも軸受を絶縁し、軸受寿命を長くしている。

4.4 軸

臨界速度に対する考慮としては横軸も立軸も同様であって、立形にしたからといって臨界速度が上がるものではない。軸受および軸受をささえる固定部の剛性、磁気吸引力などを考慮して回転軸の剛性を定めている。高周波発電機の空けきが非常に小さいため、定格回転速度は一次臨界速度より低くなるようにしている。

4.5 その他

臨界速度の点からも、空けきを均一に保つためからも固定部分の剛性が大きいことが必要となることは横形と同一である。高周波発電機の空けきは上述のように回転子外径の $\frac{1}{1000}$ 程度しかないので、あらゆる場合にもこの空けきを均一に保つために、工作上高度の精度が要求される。

空気冷却器は固定子わくとカバーとの間に設けられたエロフィン形のアライトロンを使用し、高能率の熱交換をおこなっている。非常に少量の水量で冷却することができる。たとえば 150 kVA 10 kc 機において、一般に冷却水入口温度 25°C のとき 4.2~4.8 t/h (70~80 l/min) 程度を要するのである。当社は入口温度 30°C において 3.0 t/h (50 l/min) で十分である。

固定子の下部には防振ゴムが付属している。これは本機の発生する 50 または 60 c/s の振動をしゃ断して外部に有害な振動が伝達されないようにし、またあわせて外部から基礎を伝わってくる衝撃・振動を防いで高周波発電機の軸受に害を及ぼさないためのものである。

固定子わくの外部にはカバーがあり、本機全体をおおっている。これは固定子わくとの間に冷却空気の通路を提供し、この中に前述の空気冷却器が設けられている。

このカバーによって高周波発電機独特の騒音は 75 ホン (150 kVA 10 kc 機の場合) にまで減衰されている。

立形であるので重心が高く、回転子のわずかの不平衡によっても振動が生じやすいのであろうがバランス修正を十分おこない、軸受にも特別の考案を払うことにより、振動は機械の最上部においても振幅 3~10 μ 程度におさえることができた。

5. 特 性

多極形高周波発電機であるので、界磁時定数は小さく精密急速の制御を必要とする用途に適している。サイリスタ式自動電圧調整器により負荷に相応した励磁が時々刻々界磁に加えられ、それに応じて発電機の出力電圧が即時に変化する。

高周波発電機は通常の発電機のスロットリップルを利用しているので、前述のように空けきが非常に小さくなっている。通常の発電機では空けきが小さくなるとリアクタンスの増大、短絡比の減少につながる。本機の場合はかならずしもそうでなく、発生電圧の大なることは安定性を増し、機械寸法の減少、短絡比の向上、効率の上昇などすべて望ましい方向に向かう、したがって空けきは機械的に可能な限り小とし、性能向上をはかるのである。

高周波発電機は上述のように空けきがせまく、周波数が高いのでどうしてもリアクタンスが大きくなりがちである。一方空けき磁束密

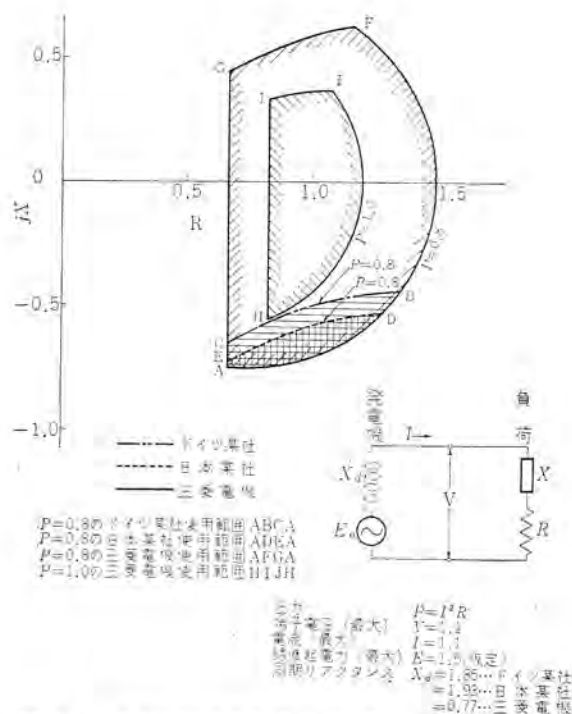


図 5.1 各社高周波発電機の出力-負荷インピーダンス曲線 (10 kc 150 kVA)

Power-load impedance characteristics of 10 kc 150 kVA high-frequency generators of several manufacturers.

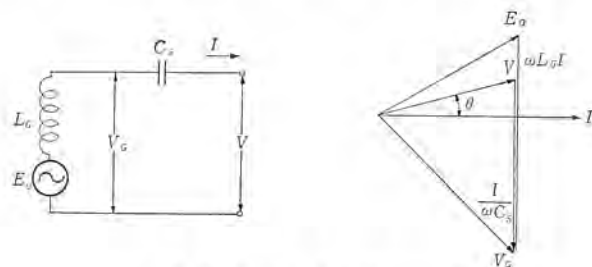


図 5.2 直列コンデンサのベクトル図
Vector diagram of series condenser.

度は鉄損の点からもあまり上げることはできない。したがって短絡比は小となり同期リアクタンスは大きくなる。このような機械は電圧変動率が大となるばかりでなく、負荷のインピーダンスが適当でないと全出力が得がなくなる。

これをインピーダンス平面で現わせば図 5.1 のようになり、内部インピーダンスの高い機械の出力あるいは狭くなることがわかる。(付録) 磁性体の加熱の際には抵抗が温度とともに変化するばかりでなく、導磁率も磁気変態点において急変するから負荷のインピーダンスは時々刻々変化し、力率も大幅に変動する。このとき出力域の狭いものは力率調整用コンデンサや出力変圧器のタップを細かく調整しないと全出力が維持できない。これを自動的におこなうためには自動力率調整装置や自動タップ切換装置を設けるか、または直列コンデンサを用いて発電機内部リアクタンスを補償する必要がある。

直列コンデンサは上記のような目的で内部リアクタンスの大きな機械に対し使用されるものである。これにより発電機は短絡比の小さな、したがって小形で安価なものでよくなる。この他電圧変動率の減少、効率向上などの利点が生れる。しかし図 5.2 のように一般に発電機の端子電圧 V_g は直列コンデンサ端での電圧 V より上昇するので、短絡、並列投入時など大電流が流れる場合や負荷回路を突然開放したとき、直列コンデンサの充電電圧の位相により V_g や $\frac{I}{\omega C_g}$ が過大に

表 5.1 各社製 10 kc 150 kVA 高周波発電機の
短絡比と同期リアクタンス
Short circuit ratio and x_d of 10 kc 150 kVA high-
frequency generators of several manufacturers.

製 造 者	短 絡 比	x_d 飽 和 値 %
ド イ ツ 某 社	0.544	185
日 本 某 社	0.518	193
三 菱 電 機	1.295	77

なって、絶縁破壊を引き起こすおそれがある。実際に国内でも数個の事故を見聞している。また内部誘導起電力 E_0 が小さくなるので、安定度が悪く同期化力が小さくなり並列投入に難がある。

したがって三菱電機では機械の短絡比を大とし、直列コンデンサを使用しないことを原則としている。このため多少機械は大形となり、原価は上昇するがこれは使用者にとって大きなサービスと考え、採算上の不利を顧みず当社の標準としている。10 kc 150 kVA を例として各社の製品を比較すれば表 5.1 のようになる。

この値により負荷インピーダンス曲線を求めたものが前掲の図 5.1 であり、当社のものの使用範囲が大きいことがわかる。

つぎに問題となるのは自励現象である。

高周波発電機の負荷には、かならず力率補償用コンデンサが必要である。負荷のインダクタンスの変動やコンデンサの調整誤りのため負荷の力率はしばしば進相となる。また高周波発電機の内部リアクタンスが大きいので、ときに自励現象を引き起こす。このため発電機の絶縁破壊、高周波コンタクトの焼損、コンデンサのパンクなどの事故が発生する。この防止には短絡比の大きな発電機を用いるのがもっとも根本的な方法である。

その他商用周波数の回路に比べ、線路開閉のひん度が高く、その上周波数が高いので、ときに異常サージ電圧が発生する問題がある。したがって機器の耐圧はこれを考慮したものしておく必要がある。また電機子回路の開閉時などに電機子反作用により、界磁に異常高電圧が発生する場合もあるから、界磁コイルの両端にコンデンサをつないでこれを防止している。

6. 並 行 運 転

高周波発電機は通常誘導電動機によって駆動されるので、同期機の並列投入時通常おこなわれる周波数および位相の調整が不可能である。

つぎのよいことに高周波発電機の内部リアクタンスが大きく、またその大部分はスロット漏れリアクタンスに類するものであり、並列投入時の突入電流を制限すること、および突極形同期機と異なり誘導子歯部は同極性を持っていること、またそのリアクタンストルクが大きいことなどの理由により強制並列投入がきわめて容易におこなわれる。

並行運転は信頼性の増大、モブロック機による取り扱い、および基礎工事の簡易化、予備機の節約、部分負荷時における高効率の確保、起動電流の減少、ユニット分割により弾力的運用が可能など多くの利点があるため、近時多く用いられているが小容量機をあまり多数並行運転しても無意味でおのずから適当な台数が定まる。

当社は 1 kc 750 kVA 2 台、1 kc 600 kVA 2 台、3 kc 500 kVA 2 台、3 kc 300 kVA 4 台、10 kc 250 kVA 2 台（2 回）など国内随一数多くの実績を持っている。

図 6.1 は 3 kc 300 kVA 機 4 台の並行運転試験を示す。並行運



図 6.1 3 kc 300 kVA 機 4 台の並行運転
Parallel running of 4~3 kc 300 kVA high-frequency
M-G sets.

転における有効電力の分担は誘導電動機のトルクすべり特性により、無効電力の分担は高周波発電機の界磁と内部リアクタンスにより定まる。通常の同期発電機ではその原動機のガバ調整などの方法で有効電力を加減できる。また誘導電動機の時も巻線形では二次抵抗調整により負荷分担を変えることが可能であるが、かご形の場合は調整不能である。このとき誘導電動機の一次電圧を変化することにより負荷の分担を変化させ、したがって異特性の電動機を並行運転することができる（実用新案第 769438 号および同出願中）。無効電力分担について横流補償装置を設ければよい。

いずれの場合においても誘導電動機の同期速度において高周波発電機の周波数は同一であることが前提条件である。たとえば、10 kc 400 極 3,000 rpm 機において全負荷時における誘導電動機のすべりを 2% とすれば、2 極の差は約 25% の負荷不平衡となる。

7. む す び

火花放電式、真空管式からはじまった高周波誘導加熱は、その電源としての高周波発電機の発達とともに工場合理化の一翼になって、数多くの応用を生み出している。高周波発電機はその経済性・がんじょう・保守容易・大出力などのためこれまでの電源方式を駆逐した。

当社は他社に先んじてこの機種の開発をおこない、上記のように常に改良を加え、わが国随一の実績を持つと同時に世界的記録品を製作するに至った。今後高周波発電機はなおいっそう大容量・小形・軽量化の途を進み、多数用いられるものと思われる。



図 7.1 組立中の高周波発電機
High-frequency M-G sets on assembling line.

参考文献

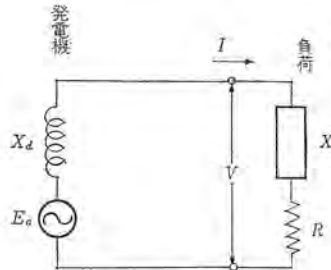
電動発電機式高周波発電機,

三菱電機 35, No. 8, 84 (昭36)

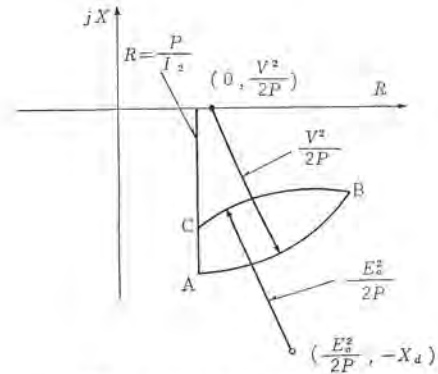
(昭43-1-22 受付)

(1) 技術解説: 高周波誘導加熱装置(Ⅲ)

付 録



付図11 回路図
Circuit.



付図2 出力-負荷インピーダンス曲線
Power-load impedance characteristics.

$$P = I^2 R$$

$$R = \frac{P}{I^2} \dots\dots \text{電流, 出力一定のとき負荷インピーダンス軌跡}$$

$$V = I \times \sqrt{X^2 + R^2}$$

$$\left(\frac{V}{I}\right)^2 = \frac{V^2 R}{P} = X^2 + R^2$$

$$X^2 + R^2 - \frac{V^2}{P} R = 0$$

$$X^2 + \left(R - \frac{V^2}{2P}\right)^2 = \left(\frac{V^2}{2P}\right)^2 \dots\dots \text{端子電圧, 出力一定のとき負荷インピーダンス軌跡}$$

$$E_0 = I \sqrt{(X + X_d)^2 + R^2}$$

$$E_0^2 = \frac{P}{R} \{(X + X_d)^2 + R^2\}, (X + X_d)^2 + R^2 - \frac{E_0^2}{P} R = 0$$

$$(X + X_d)^2 + \left(R - \frac{E_0^2}{2P}\right)^2 = \left(\frac{E_0^2}{2P}\right)^2 \dots\dots \text{誘導起電力, 出力一定のとき負荷インピーダンス軌跡}$$

AB……端子電圧一定

BC……誘導起電力一定*

AC……電流一定

*……高周波発電機の誘導起電力には最大値がある。

高周波発電機用制御盤

西山卓*

Control Panels for High Frequency Generators

Kôbe Works Takashi NISHIYAMA

High frequency induction heating, as a means to work on metallic products by making use of Joule heat produced by induction current flowing in them, has been in use for induction furnace since the prewar period. It has been prevalent in the work of forging and surface hardening, making great strides recently. In the control panel, power supply equipment of induction heating, and control systems, improvement on improvement has been made to work out several standard types. With the elapse of time, however, the standards have undergone these days.

Herein are described present standard systems together with these of bygone days as a review on the history.

1. ま え が き

高周波を利用した誘導加熱は、当社では、昭和11年より着手し、これまで400~20,000 c/sの各種の高周波発電機を使用して、誘導炉、表面焼入れ、ろう付け、熱処理などに大いに利用されているが、近年では、鍛造工場および圧延工場の設備合理化により、これまでガスの炉、重油炉にとって換わりつつあり、その利用範囲はますます増大されるものと思われる。高周波発電機による誘導加熱方式は、真空管式などに比べると、単機にて大容量を得ることができ、任意な制御ができるうえに経済比較においても、最もすぐれた方式であるため、今後の需要はまだまだ延びるものと思われる。ここでは、高周波発電機の制御とその装置について述べることにする。

2. 高周波発電機用制御盤の用途と変遷

2.1 用途と目的

高周波発電機用制御盤は前述のように主として誘導炉、表面焼入れ、鍛造加熱に使用しており、それぞれその目的が異なるため、その制御方法は当然異なるが、根本的に、高周波電力をそれぞれの加熱装置へ、有効に伝達することには変わりはない。一般に高周波発電機用の制御盤としては、駆動用誘導電動機の制御・監視・保護を行なう電動機盤と、高周波発電機の制御・監視・保護を行なう発電機盤にて構成されるのがふつうであるが、レイアウトの関係で、制御および監視を遠隔に行なう場合には、別に操作盤を設けることにしている。もう少し詳しく説明すれば、電動機盤については、加熱装置の種類に関係なく、同じであるが、発電機盤については用途により主回路器具の構成が異なり、誘導炉の場合は、高周波発電機と制御盤と誘導炉によって構成されるため、制御盤は、発電機関係の制御、監視、保護ばかりでなく、力率改善のための並列コンデンサ、炉電圧を切換えるための整合変圧器、あるいは複数台の炉体を切換えて使用するための刃形開閉器の制御も併せて行なうことにしているし、焼入れの場合は、高周波発電機、発電機用制御盤、整合変圧器、焼入れ機、焼入れ機制御盤にて構成され、加熱装置側の監視・制御は、焼入れ機制御盤に行なうため、発電機用制御盤は、発電機まわりの運転、監視、制御および全体の保護を行なうことにしている。

保護については、追って保護方式の項で述べる保護のほかに加熱

装置側の保護についても発電機用制御盤にてまとめて見ることにしている。また、鍛造加熱の場合には、高周波発電機、発電機制御盤、加熱機、加熱機制御盤（加熱機に含める場合もある）にて構成され、加熱機の制御はむしろ後工程の作業と同一作業者が行なうことが多く、発電機用制御盤では、高周波出力のON-OFF制御と、全体の保護を行ない、常時の監視と制御は、加熱機側で行なう場合が多い。したがって、この場合は、メータ類や制御スイッチ類は、加熱機の側に制御盤を設けるかあるいは、加熱機本体に小さな操作箱を付属させている。

2.2 変遷

現在、高周波発電機用制御盤といえば、ずいぶん標準化され、コンパクト化されて、非常に扱いやすいものになっているが、これまでの構造および形体の変遷をふりかえてみると、電動機盤については、古くはOCB・断路器・CT・PTなどを、アングルフレーム製のキュービクルに収納しているため、盤幅800、高さ2,300、奥行1,800（人—Δの場合はOCB2台がさらに別置）の大きなキュービクルであったが、昭和38年後半より、高圧の場合はCLS形電力ヒューズとSH205BK形高圧コンタクトのコンビネーション保護を行なうEHキュービクルを採用して、性能の向上をはかる一方、幅800、高さ2,300、奥行1,200（人—Δの場合は1,600×2,300×1,550）に固定させ、低圧の場合は、コンタクトまたは電動操作NFブレーカを採用して幅600、高さ1,800、奥行600のコンパクトな制御盤にしいずれも外形寸法、使用機器のみならず、制御回路までの標準化を行なった。さらにはSH-205C形高圧コンタクトの登場により、じか入れ人—Δの如何にかかわらず、幅660、高さ2,300、奥行1,450面のキュービクルにする計画を進めている。

発電機関係の制御盤としては、FD-602DH形高周波コンタクト・界磁用コンタクト・高周波CT・PTを収納した幅900、高さ2,300、奥行1,900の発電機盤と自動定電圧装置を収納した幅800、高さ1,900、奥行800の磁気増幅器盤、レイアウトによってはそのほかに直立形操作盤または制御機形操作盤によって構成されていたが、昭和37年ごろFL-302DH形高周波コンタクトの開発により、発電機盤寸法を幅800、高さ2,300、奥行1,350まで縮小し、自動電圧調整装置も発電機盤に収納して磁気増幅器盤を廃止した。さらには昭和39年5月には、これまで全負荷しゃ断していた高周波電磁接触器を無負荷しゃ断する方式に改革することによりM形コンタクトの採用にふみ切る一方、すべての機器を再検討し、自動電圧調整装置も磁気増幅

器形からサイリスタ式に切换え、幅 600、高さ 1,800、奥行 600 の超小形配電盤を出現させた。その後、昭和 40 年 11 月に、M 形、N 形と同一構造、同一寸法で通電部分を高周波用に改造した。小形の MH 形高周波コンタクトの開発が完了し、現在はすべてこの種のコンタクトを使用している。

3. 高周波発電機用制御盤の種類と構造および寸法

3.1 種類

これまで述べてきたように、高周波発電機用制御盤は、改良に改良を重ねてきたが、現在では、電動機盤・発電機盤・操作盤の 3 種に絞られ、表 3.1～表 3.3 のように標準化している。電動機盤に 10 種類もあるが、形名中の 1 と 2 との相違は、制御、監視用器具を遠隔操作するために別置操作盤につけることにしているか、電動機盤自体につけているかであって、構造上から分類すると、高圧用ではじか入れ用、抵抗起動用で 1 種類、人-Δ 起動用で 1 種類の 2 種類、低圧用では起動方式に関係なくすべて同一フレームであり合計 3 種類ということになる。

発電機盤については、用途別によって使用する器具がちがうため、分類しているが、フレームとしては同一であり、1 種類と考えてよい。また操作盤についても同じことで電動機関係の操作盤にするか、発電機関係の操作盤にするか、あるいは、両方兼用の操作盤にするかのちがいであって、フレームは 1 種類のみである。とくに誘導炉用では最近、発電機盤をやめ、炉操作盤として、電動機の監視・制御と発電機から誘導炉までの監視・制御・保護を行なうように変える傾向にある。

表 3.1 電動機盤の種類
Kind of Motor panel.

形 名	電動機 始動方式	電 圧 V	別置操作 盤の有無	盤 寸 法 mm		
				幅	高 さ	奥 行
MH1D	直 入	3,300	無	800	2,300	1,200
MH2D	直 入	3,300	有	800	2,300	1,200
MH1Y	人-Δ	3,300	無	1,600	2,300	1,550
MH2Y	人-Δ	3,300	有	1,600	2,300	1,550
MH1R	抵 抗	3,300	無	800	2,300	1,200
MH2R	抵 抗	3,300	有	800	2,300	1,200
ML1D	直 入	220/440	無	600	1,800	600
ML2D	直 入	220/440	有	600	1,800	600
ML1Y	人-Δ	220/440	無	600	1,800	600
ML2Y	人-Δ	220/440	有	600	1,800	600

表 3.2 発電機盤の種類
Kind of generator panel.

形 名	用 途	電 圧 V	別置操作 盤の有無	盤 寸 法 mm		
				幅	高 さ	奥 行
GL1	1～3 kc	400/800	無	600	1,800	600
GL2	1～3 kc	400/800	有	600	1,800	600
GH1	3～10 kc	400/800	無	600	1,800	600
GH2	3～10 kc	400/800	有	600	1,800	600

表 3.3 操作盤の種類
Kind of control panel.

形 名	用 途	盤 寸 法 mm		
		幅	高 さ	奥 行
CMG	電動機、発電機関係用	600	1,800	600
CM	電動機関係用	600	1,800	600
CG	発電機関係用	600	1,800	600

3.2 構造

つぎに、それぞれの制御盤の構造について述べる。

3.2.1 高圧電動機盤

高圧用電動機盤はすべて主回路機器の保守点検に便利のように自動連結式の引出し形とし、同時に操作の安全のためにシャッタ装置、インタロック機構をもたせた、EH キュービクルを採用している。EH キュービクルの機構、構造については別途「EH キュービクル開閉装置取扱説明書」IB-62028 を参照していただければよくわかるが、本用途としてのキュービクルは、電動機回路の監視・制御・保護をすべて本盤にて行なえるようにしているため、取付器具の点で標準 EH キュービクルとは多少相違している。

まず、じか入れ起動の場合は図 3.1、3.2 のようにキュービクルの下段に、高圧コンタクト、高圧電力ヒューズ、CT などの高圧主回路器具を収納しており、上段後方には、PT および PT 用高圧ヒューズを収納している。上段前方には、過電流リレー、補助リレーなどを取付けてあり、上段前面とびらには、電動機回路用メータ、制御スイッチ、運転故障表示灯を取付けてある。(別個に操作盤を設ける場合は、これら上段前面とびら取付器具が操作盤に取付けられ、操作盤にて監視、制御をすることになる。)

人-Δ 起動の場合は、じか入れの場合のキュービクルのほかに、人-Δ 切換用高圧コンタクトを上下段に 1 台ずつ収納した起動盤が列盤としては付属しさらに後部にコンタクト接続用高圧母線ユニットが追加されるため図 3.3、3.4 のように幅が 800 と奥行が 350 大きくなっているだけで、そのほかは上記と相違ない。人-Δ の切換えは自動的に行なうので、操作上の面倒もまったくない。

抵抗起動の場合は、じか入れ起動の場合と同一構造、同一寸法で

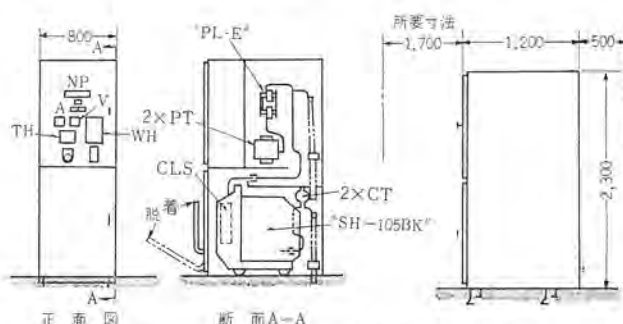


図 3.1 誘導電動機盤 (じか入れ始動、抵抗起動の場合)
Motor panel.



図 3.2 誘導電動機盤
Motor panel.

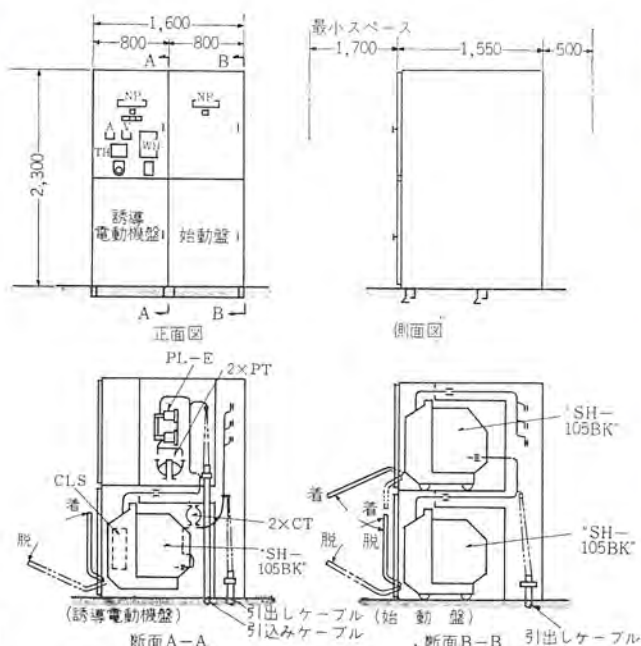


図 3.3 誘導電動機盤始動盤 (Y-Δ 始動の場合)
Motor panel, starting panel.

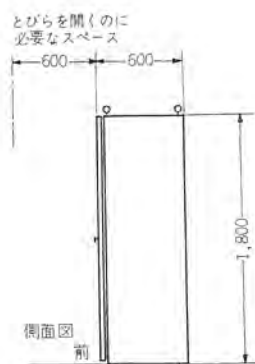


図 3.6 高周波発電機盤
Generator panel.



図 3.4 誘導電動機盤始動盤
Motor panel, starting panel.

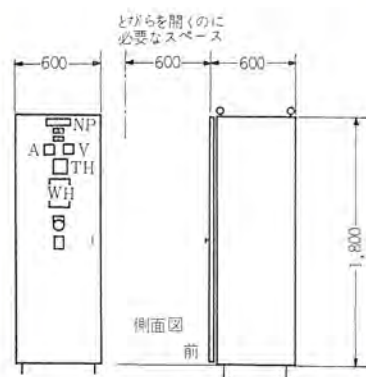


図 3.5 誘導電動機盤 (低圧電動機用)
Motor panel (low voltage).

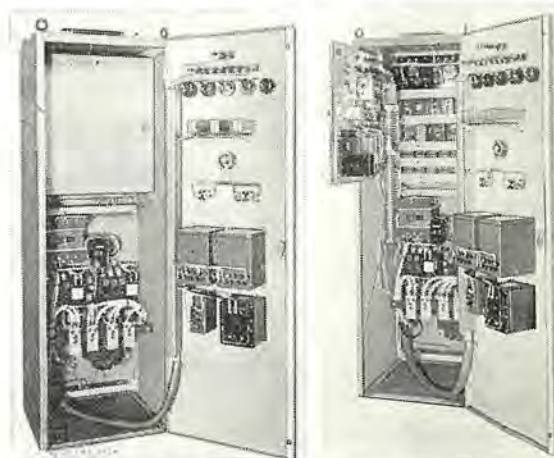


図 3.7 高周波発電機盤正面 (1例)
Front of generator panel.

図 3.8 高周波発電機盤内部 (1例)
Interior of generator panel.

あり、相違点はただ起動抵抗器制御用電流リレーと補助リレーなどが若干多くついている程度である。なお、抵抗起動の場合は、このほかに、起動用抵抗器、電動式カム形制御器、操作電動機用コンタクタ箱が別に必要である。

3.2.2 低圧電動機盤

低電圧電動機盤の場合は、起動方式に関係なく、同一構造、同一寸法とし、図 3.5 ように前面とびら dead front 方式のキュービクルである。開閉器としては、コンタクタまたは電動操作 NF ブレカを使用しており、CT・PT などの主回路器具、電流リレー、補助リレーなどとともにすべてを一枚の器具取付板に取り付け、それを盤内部後面に固定している。前面とびらには、監視計器、制御スイッチ、運転および故障表示灯など電動機の運転制御に直接必要な器具を取付けており、電動機回路の監視、制御、保護はすべて本盤にて行なえるようにしている。ただし、遠隔操作、集中制御のために別に操作盤を設ける場合には、電動機の監視、制御に必要な器具は操作盤の方に取付けることになるが、いずれにしても、盤の構造、盤内取付器具には変わりはない。保守点検、ケーブルの引込み引出しはすべて前面とびらを開き、盤前面より行なうようになっているため、盤後部および盤側面は壁などに密着して設置しても支障はない。

3.2.3 発電機盤

発電機盤の種類としては、別置操作盤の有無と周波数によって分類しているが、構造については、低圧電動機盤と同じように前面とびら dead front 方式のキュービクルとし、すべて同一寸法、同一構造としている。高周波コンタクタ、高周波 CT・PT などの主回路器具その他制御に必要な器具などは、低圧電動機盤の場合と同様に一枚の器具取付板に取り付け、やはり盤内部後面に固定し、自動電圧調整装置は、一枚の可揺盤に組込んで、盤の中央上部に取付けている。前面とびらには、高周波計器、運転および故障表示灯、制御スイッチ、電圧調整用ボリューム、保護リレーなど、高周波発電機の運転、制御に直接必要な計器、器具を取付けている。別に操作盤がある場合は、発電機盤は、主回路器具と保護リレーのみを収納し、自動電圧調整装置も含めてすべての監視制御器具は操作盤に取付けることにしている。ただし、鍛造加熱の場合のように、加熱機付属の操作箱に監視・制御器具を取付ける場合とはまた別である。図 3.6～図 3.8 は発電機盤の一例である。

3.2.4 操作盤

操作盤は、とくに遠隔操作の必要がなければ、その必要はなく、取付器具として、主回路器具はなく、監視・制御に必要な器具およ

び補助 リレー などの雜器具を収納しているもので、構造については発電機盤とまったく同様である。

4. 誘導電動機の始動方式

4.1 始動方式の種類

高周波発電機の駆動用としての誘導電動機は、ほとんどかご形を使用しているが、大容量の場合には巻線形も使用している。かご形誘導電動機の始動法としては、全電圧始動（じか入れ始動）と減電圧始動があり、さらに減電圧始動にも人-Δ 始動、リアクトル 始動、単巻変圧器始動などがあるが、当社の標準としては、顧客の電源設備容量が十分であれば、操作が簡単で、付属設備を必要としないじか入れ始動を採用し、650 kW 以上の大容量のものについては抵抗始動をその他の場合には、総合的に最もすぐれている人-Δ 始動を採用している。図 4.1 はじか入れ始動、図 4.2 は人-Δ 始動、図 4.3 はリアクトル 始動、図 4.4 は単巻変圧器始動、図 4.5 は抵抗始動の単線接続図を示す。

なお、減電圧始動として人-Δ 起動を採用している理由を述べると次のとおりである。

(a) 始動電流が比較的小さい

リアクトル、単巻変圧器の場合はタップによって電流値を変えることができるが、一般的に人-Δ のほうが始動電流は小さい。

(b) 安価である

リアクトル、単巻変圧器に代わるものとして開閉器（コンタクト）を使用するので、非常に安価である。

(c) 制御盤寸法が統一される

リアクトル、単巻変圧器の場合は電動機容量によって大きさが異なるが、人-Δ の場合は同一寸法のコンタクトを使用するので、まったく同一寸法である。

(d) 焼損の心配がない

リアクトル、単巻変圧器等は、1 分～3 分定格であり、始動渋滞に

より焼損のおそれがあるが、人-Δ の場合はその心配がない。

(e) 据付けが容易であり床面積が少なくてよい

リアクトル、単巻変圧器に比べて盤寸法、重量とも小さく、据付けが容易でかつ床面積も少なくてよい。

(f) 保守点検が容易である

あえて人-Δ 始動の不利な点をあげれば、次の 2 点である。

(a) 配線工事費がやや高つく

誘導電動機への配線本数が、リアクトル、単巻変圧器が 3 本であるのに対して、6 本必要であるため、制御盤と電動機の距離が長ければ、配線工事費が高つく。

(b) 起動時にややショックがある

リアクトル に比べて切換時、瞬時的にピーク電流が流れるが、定格電流の 2 倍程度であり、これによる影響はまったくない。

4.2 始動方式の比較

上記の理由で減電圧起動としては人-Δ 始動を推奨しているが各方式の比較をまとめて表 4.1 に示す。

すべてじか入れ始動の場合の値を 1 として比較した数値で示したが、算出の根拠は次のとおりである。

(人-Δ の場合)

電動機巻線端子電圧が $1/\sqrt{3}$ となり、かつ Y 接続になるため始動電流は $1/3$ となる。始動トルクは電圧の二乗に比例するため $(1/\sqrt{3})^2 = 1/3$ となる。

(リアクトルの場合)

リアクトル での電圧降下が定格の 20—35—50% であるので、電動機端子電圧は 80—65—50% となり、定格電圧との比を $m(m < 1)$ で表わすと、始動電流は $i = KE$ より m 倍となり、始動トルクは $\tau = KE^2$ より m^2 倍となる。

(単巻変圧器の場合)

電動機端子電圧は変圧器二次タップ電圧であり、定格の 0.5—0.65

表 4.1 誘導電動機の始動方式の比較
Comparison of starting methods.

始動方式	じか入れ	人-Δ	リアクトル	単巻変圧器
焼				
電動機端子電圧	1	$1/\sqrt{3}$ $=0.58$	0.50 0.65 0.80	0.50 0.65 0.80
一次流入電流 (始動電流)	1	$1/3$ $=0.33$	0.50 0.65 0.80	0.25 0.42 0.64
始動トルク	1	$1/3$ $=0.33$	0.25 0.42 0.64	0.25 0.42 0.64
始動時間	1	3	4.0 2.4 1.6	4.0 2.4 1.6
コンタクトの必要数	1	3	2	3
付属設備器具	—	—	リアクトル (盤内収納 または別置)	単巻変圧器 (同左)
電動機端子数	3	6	3	3
備 考	・電源容量が十分な場合	・始動電流を制限する場合に最適 ・あまり大きい始動トルクを必要とするものにはだめ	・始動トルクを必要としないものに適する	・始動電流を制限し、かつ始動トルクをある程度保持する場合に適する

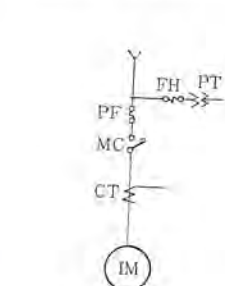


図 4.1 じか入れ始動
Direct starting.

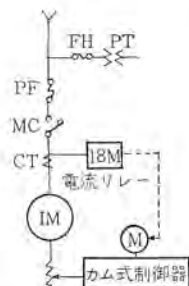


図 4.2 抵抗始動
Resistor starting.

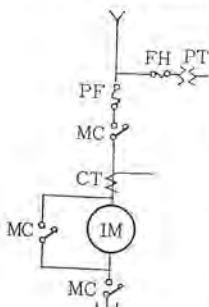


図 4.3 人-Δ 始動
Star-delta starting.

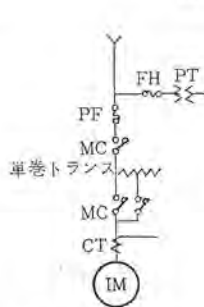


図 4.4 リアクトル 始動
Reactor starting.

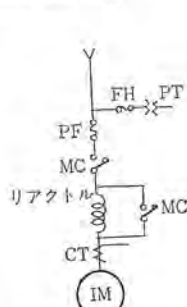


図 4.5 単巻変圧器始動
Auto transformer starting.

—0.8である。電動機端子電圧と変圧器一次側電圧（電動機定格電圧との比を m とすると、二次電圧は m 倍、二次電流も m 倍となるため一次電流は $i_1 = \frac{E_2}{E_1} \times i_2$ より $m \times m^2$ 倍となり、始動トルクは $\tau = KE_2^2$ より m 倍になる。

5. 制御方式

図5.1に高周波発電機の主回路展開接続図を示す。

5.1 誘導電動機回路

誘導電動機は高周波発電機の駆動用として使用するのであって、なんらかの方法で回転させればよく、前述のように種々の始動法があるが、要するに、簡単に運転操作できることが望ましい。普通、高周波加熱用に使用する場合、発電機負荷側では、かなりひん繁にON-OFFするが、電動機は無負荷のときも連続運転させ、作業者の交替時に、停止—始動させる程度である。当社の電動機制御方式としては、どんな始動方法であっても、制御電源を生かし、制御スイッチを操作することによって条件さえそろっていれば、あとは、自動的に電動機は正規運転にはいるようにしている。

すなわち減電圧始動の場合は、最初減電圧にて始動させ、同期速度に近づいた時点で限時リレーにより全電圧に切換え、抵抗起動の場合は、電流リレーを利用して、始動電流が120~150%におさまる

ように二次抵抗を順序短絡していき最終的に抵抗器をすべて短絡するといった方法をとっているが、これらは、すべて自動で行なっている。監視計器としては、電流計・電圧計・積算電力量計のほかに積算時間計において電動機の軸受取換えのめやすにしている。

5.2 高周波発電機回路

高周波発電機の出力制御方式には、自動方式と手動方式があるが、いずれにしても界磁電流を制御して発電機出力電圧を調整することには相異なる。自動方式としては定電圧制御方式・定電力制御方式・定温度制御方式・プログラム制御方式などがあり、用途によって適当なものを選定する。

(a) 定電圧制御方式

定電圧制御方式というのは、あらかじめ整定した基準電圧と発電機出力電圧を突き合わせその差電圧によって界磁電流を制御し、発電機出力電圧を整定値に保つ方式で、基準電圧調整用ポットの調整により任意の電圧に保つことができる。図5.2にその制御回路系統図を示す。

(b) 定電力制御方式

定電力制御方式というのは、発電機出力の電圧と電流をとり出して、これをサマルコンバータにより電圧に置きかえ、要すれば増幅し、電圧に換算した基準電力と比較させて、界磁電流を制御し、出力電

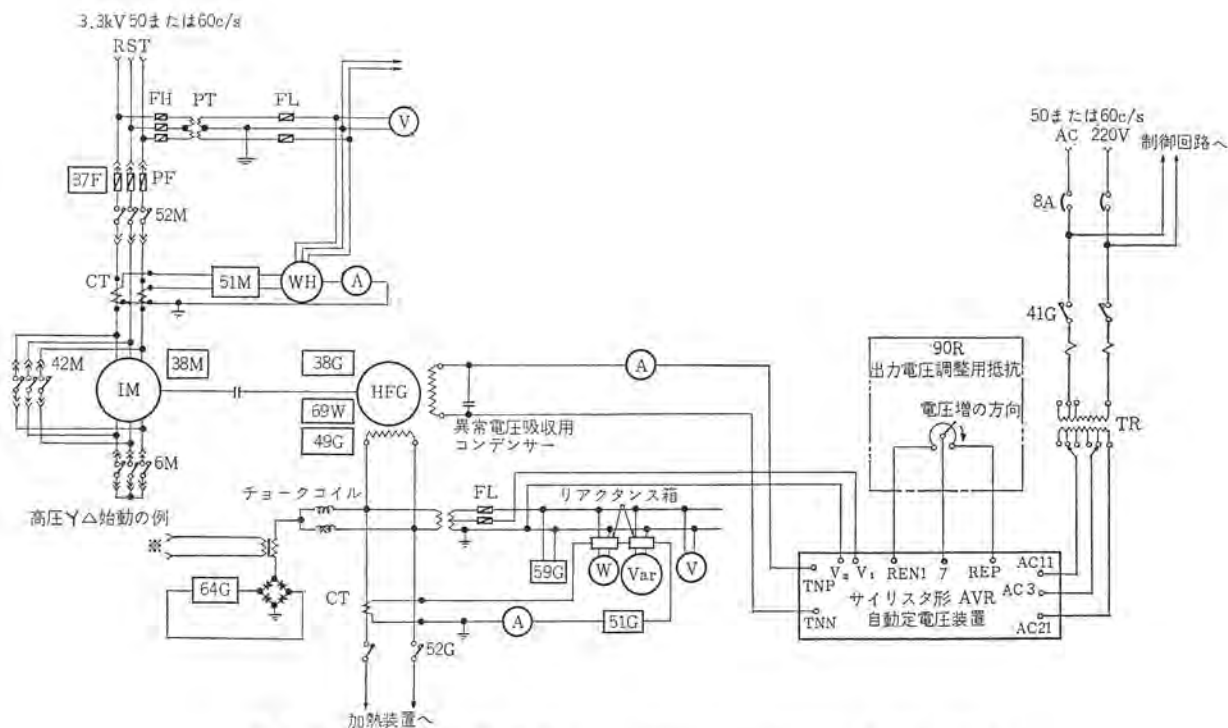


図5.1 主回路展開接続

Elementary diagram of main circuit.

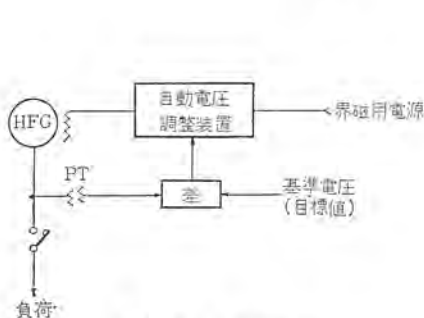


図5.2 定電圧制御
Constant voltage control.

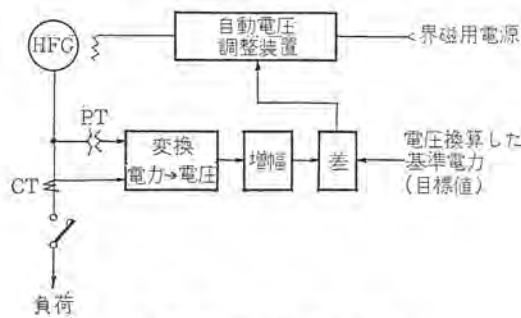


図5.3 定電力制御(1)
Constant power control.

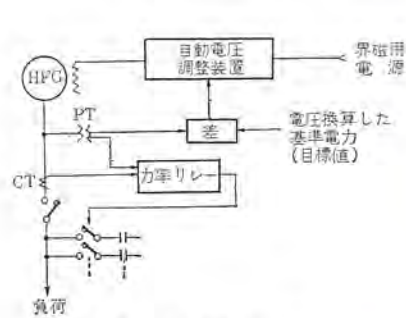


図5.4 定電力制御(2)
Constant power control.

力を整定値に保つ方式で、電圧調整装置としては、定電圧制御の場合となら変わらない。また、別の方式として、力率リレーによって並列コンデンサを制御させて自動力率調整を行ない、これに定電圧制御を併用させて定電力制御を行なう方法もある。いずれも界磁電流を制御して発電機電圧を制御しているののであるが、前者が電力だけみているのに対し、後者の場合は、力率を1.0に保つこともできるので、発電機の出力を有効に利用することができ、より好ましい方法である。図5.3、5.4にその制御回路系統図を示す。

(c) 定温度制御方法

この方式は、加熱装置の温度を、熱電対などを用いて直流電流として取り出し、適当に増幅するとともに、基準温度をバイアスとして、偏差温度分を電流偏差として、自動電圧調整装置に作用させ、発電機電圧を制御させることによって温度制御する方式であるが検出温度の精度、電圧温度の換算、制御系の時定数などで多少問題がある。図5.5にその制御回路系統図を示す。

(d) プログラム制御方式

あらかじめ、一工程分の時間—電圧関係、時間—電力関係、または時間—温度関係を定め、それに従って発電機出力電圧を制御する方式で、プログラムの信号源としては、アルミはくなどを密着させた回転ドラムなどを用いて直流電流をとり出し、前述と同様の方法により、自動電圧調整装置に作用させる。よく電圧プログラム制御方式が使用されるが、加熱装置によっては、これに温度プログラム制御を併用して、微調整的な役割をさせる場合もある。図5.6にその制御回路系統図の一例を示す。

手動方式としては図5.7のようにスライダックと整流器を用いて交流電流を適当な直流電流に変え、界磁電流を制御する方法で最も簡

単な方法である。

以上の制御方式は用途によって決定するわけであるが、電圧制御方式定電圧制御および電圧プログラム制御方式が最も簡単で、安価であり、精度が良い点から、ほとんどの場合、この方式を採用し、場合によっては、これに自動力率制御を追加する方式をとっている。当社で温度制御を採用したものもあるが、数はまだ少ない。各装置に使用されている例をあげれば

(a) 焼入れ

一発焼のものは定電圧制御方式でよいが、シフトのように各部の加熱条件が変わるものは、プログラム制御方式をとっている。すなわち電圧と速度のプログラムで調整している。

(b) 鍛造加熱

同一被鍛造物の連続加熱を行ない、また加熱時間も短いため、加熱中にインピーダンス整合を行なうこともできず、定電圧制御方式をとっている。場合によっては温度制御をする場合もある。

(c) 溶解

溶解においては、加熱時間が長く、加熱初期と途中とでは材料の溶解状態によってインピーダンスが変化するため、インピーダンス整合を行なって定電力をとるようにするが、ほとんどの場合、定電圧制御と力率制御を併用している。

自動電圧調整器としては動作原理から分類すると、振動形、抵抗器形、および無接点形があるが、高周波発電機用としては、前述のように用途が多く、動作ひん度も大きいため、無接点形を採用している。内容としては最初は増幅率の大きい磁気増幅器を使用していたが、昭和39年5月より、磁気増幅器を使用した点弧装置とサイリスタ（制御極付き整流器）を併用した方式を採用し、昭和42年9月より、さらに、点弧装置をすべてトランジスタ化したものに変えている。それぞれの制御回路を図5.8～5.10に示す。動作原理としては、制御電源変動による誤差防止のために設けた定電圧装置による基準電圧と、発電機出力回路の計器用変成器からとり出して整流した発電機電圧とを比較し、磁気増幅器の場合は、その偏差により磁気増幅器の制御巻線を励磁し、その偏差の大小によって磁気増幅器

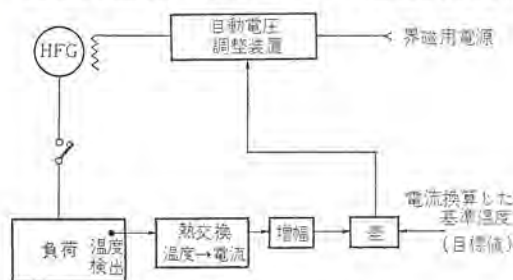


図 5.5 定温度制御
Constant temperature control.

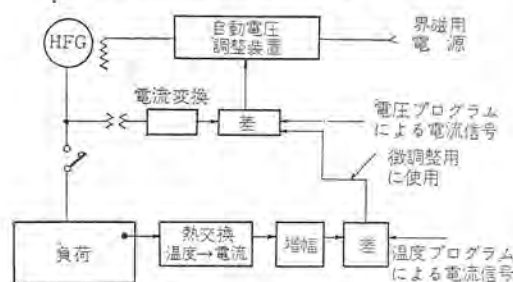


図 5.6 プログラム制御
Program control.

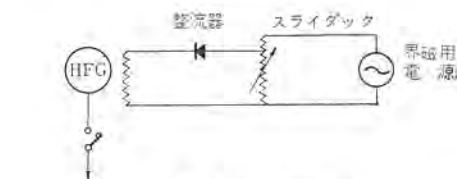


図 5.7 手動制御
Manual control.

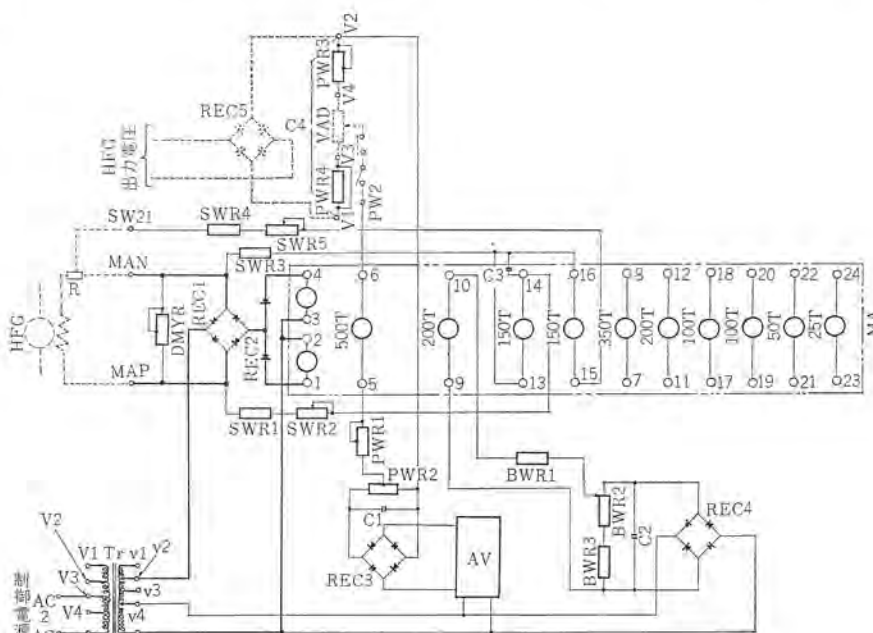
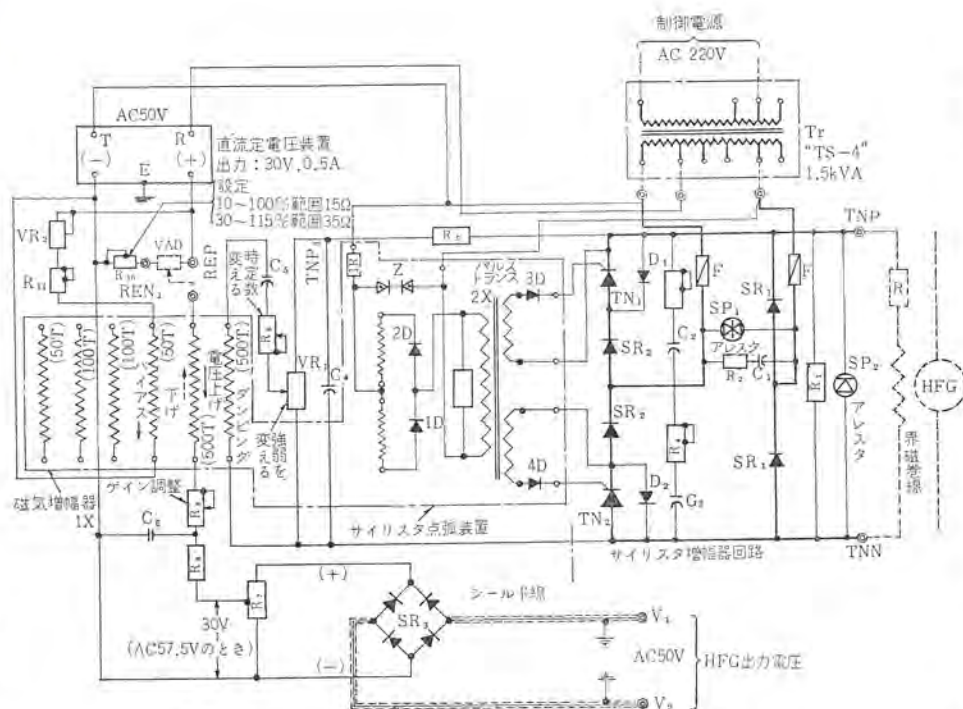


図 5.8 磁気増幅器形 AVR
Mag. amp. type AVR.



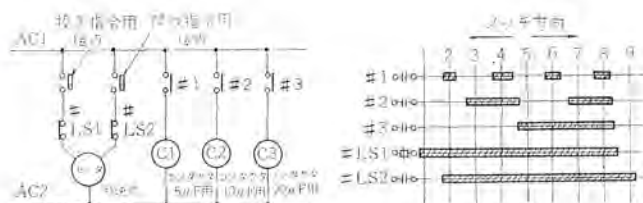


図 5.11 並列コンデンサ制御回路
Paralell condenser control circuit.

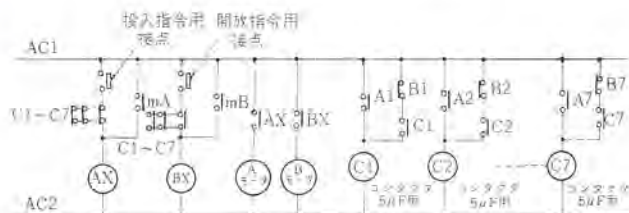


図 5.12 並列コンデンサ制御回路
Paralell condenser control circuit.

6. 並行運転

最近、加熱装置も鍛造加熱など大容量の分野にまで発展し、発電機の並行運転が多く用いられるようになった。もちろん単機大容量のものの製作もできるが、単機定格の統一、予備機の節約、始動電流の減少、運転効率の向上、据付工事が容易であるなどの点で中容量の並行運転の方が得策である。高周波発電機の並行運転を行なうためには、それぞれの発電機の周波数が等しいことはもちろんであるが、そのほかにそれぞれの駆動用電動機のトルクすべり特性を一致させること、それぞれの発電機の特性を一致させることが必要である。なぜかという点で発電機の並行運転を行なうためにはそれぞれの発電機は容量に比例した有効電力と無効電力を分担することが必要であるが、電動機のトルクすべり特性によって有効電力の配分が行なわれ、発電機の特性の相異、励磁電流の相異によって無効電力の配分が行なわれるからである。また、自動電圧調整装置によって出力電圧を同一にすることは述べるまでもないが、それぞれの誘導起電力に相異があった場合には、無効横流が生じるので、これを押えるために自動電圧調整回路に、横流補償装置を設ける場合もある。図 6.1 に 2 台並行運転した場合の接続図の一例を示す。

励磁方式としては、単機運転をも必要とする場合には、それぞれの発電機に自動電圧調整装置を設けて単独励磁方式とするが、常時並行運転する場合には、複数台の発電機に対して自動電圧調整装置を一組とした共通励磁方式をとることもできる。むしろこの方が横流補償を行なう必要もなく経済的であるといえる。方式の選択は使用条件によって異なるので、かならず使用者の条件を考慮して決定する。

高周波発電機の並列投入は、強制投入であり、何らの同期装置も必要とせず、回転数、端子電圧、位相角がちがっていても、投入後ただちに同期化される。

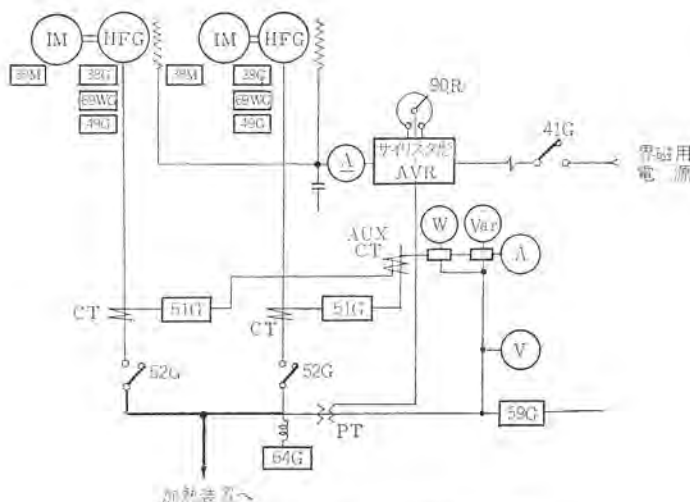


図 6.1 常時並列の単線接続図 (一例)
Schematic diagram for paralell run.

7. 保護方式

高周波発電機の保護としては、故障の内容により、電動機回路の開閉器を開放して電動機を停止する場合と、電動機の再起動を省略するため、発電機出力回路および界磁回路の開閉器のみを開放する場合の二つに分類している。

7.1 駆動用電動機回路の保護

駆動用電動機回路の保護としては、過負荷保護・過電流保護（短絡保護）・低電圧保護・欠相保護・逆相保護・三相不平衡保護・過電圧保護・始動渋滞保護が考えられる。

(a) 過負荷保護

駆動用誘導電動機が過負荷になった場合には、TR 形 サーマルリレーを動作させ、コンタクトを開放して保護する。サーマルリレーには、始動電流によって動作しないように、飽和リアクトルを並列に接続して使用している。

(b) 過電流保護（短絡保護）

駆動用誘導電動機回路の短絡などによる過電流事故時には、高圧と低圧の場合で保護が異なる。

高圧電動機回路では、EH キュービクルを使用しているが、これは、CLS 形電力ヒューズと SH 形コンタクトを組合わせたコンビネーションスタータで、短絡事故のような過電流時には、CLS 形電力ヒューズが溶断し、回路を開放する。

低圧電動機回路では、保護は受電設備側に使用者にて準備願うものとし、短絡事故時には、受電設備側にて、シャ断器をトリップさせて回路を開放し、低圧電動機用 キュービクルには電源シャ断器は収納しないものとしている。とくに要求されれば NF ブレーカまたは電力ヒューズを収納する場合もある。

一般に電動機回路の短絡時には、定格の 10 倍以上の電流が瞬時に流れるので、電力ヒューズは、定格の 10 倍程度に整定しておけばよい。しかし始動電流、拘束電流によって誤動作しないように、過負荷ヒューズとの時限協調に十分注意する必要がある。図 7.1 に、電動機の熱特性と保護曲線との関係を示すが、JEM 1001 では、リレーの動作特性として次のように定めている。

(1) 電動機全負荷電流の 500% の電流を通じ、45 秒以内に作動すること。

(2) 電動機全負荷電流を通じ、温度一定となったのち、その電

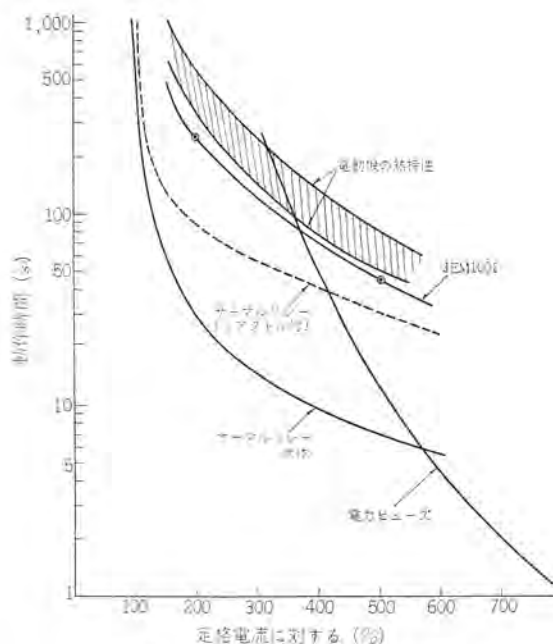


図 7.1 電動機の熱特性と保護曲線
Thermal characteristic of motor and protection curves.

流値の200%の電流を通じ4分以内に作動すること。

(3) 電動機全負荷電流の110%の電流を通じても作動せず温度一定となったのち125%に上昇して作動すること。

このうち(1)の条件は、拘束保護であり、(3)の条件は、電源電圧低下10%を考慮しているといえる。

(c) 低電圧保護

低電圧保護の目的としては電源電圧低下によって電動機電流が増加して加熱されるのを防いだり、トルクの減少による危険を防ぐことにもあるが、停電後に電圧が回復して自動再起動するのを防ぐのが重要な目的であるといえる。このため、CP-E形低電圧リレーを用いてコンタクトを開放する場合もあるが、コンタクトの制御電源を主回路の計器用変成器の二次回路からとって、低電圧時、コンタクトを開放させるようにしている。

(b) 欠相保護

欠相は電力ヒューズを使用している場合の一相溶断、あるいは、コンタクトの故障、配線の断線などにより起こりうるが、単相過負荷または単相拘束となり、過負荷リレーにて保護できるので別に保護リレーは設けない。電力ヒューズの場合は溶断検出装置を設けて欠相の検出をする場合もある。

(e) 逆相保護

これは電動機の保護というより、逆転による危険防止が目的であり、高周波発電機の保護としてはとくに必要としない。逆相のおこる機会も配線工事のミスによるものだけであり、十分注意して工事を行なうことにして、一般に省略している。とくに必要な場合は、CP-E形リレーにて保護することもできる。

(f) 三相不平衡保護

最近の配電系統では、三相の不平衡は起こり得ないが、大容量の単相整流装置とかアーク灯がある場合には不平衡率を検討する必要がある。たいていの場合は過負荷リレーにて検出できるが、2CT方式で、サーマルリレーのない相にだけ過電流が流れる場合の検出ができないので、この場合は、3CT方式にして各相にサーマルリレーを置くことによって保護せざるを得ない。

(g) 過電圧保護

電動機回路が過電圧になることは、ほとんど考えられないが、どうしても必要であれば、CV-E形リレーを用いて、コンタクトを開放して保護する。普通は使用しない。

(h) 始動渋滞保護

巻線形誘導電動機を使用した抵抗起動方式において起動時間経過しても、抵抗短絡を完了しないとき、あるいは、リアクトル始動、単巻変圧器始動において、一定時間経過しても全電圧運転に切換わらない場合には、限時リレーを用いて、コンタクトを開放し、抵抗器、リアクトル、および単巻変圧器の焼損を防止する。

7.2 高周波発電機回路の保護

高周波発電機の出力回路電圧は400Vと800Vを標準としており、とくに小容量機では200Vも使用しているが、発電機回路の保護としては、過負荷および過電流保護・過電圧保護・地絡保護・界磁過電流保護・界磁回路異常電圧保護を行なっている。

(a) 過負荷および過電流保護

高周波発電機回路の短絡事故あるいは過負荷の場合にはIP-E形過電流リレーにより界磁および主回路コンタクトを開放させる。

IP-E形過電流リレーは動作値が4~12Aの間で連続可調整のできる整流形リレーで瞬時動作形である。この整定は普通、発電機定格電流値の115%にセットする。

(b) 過電圧保護

高周波発電機回路が過電圧になれば、OVD-4-D形過電圧リレーにより界磁および主回路コンタクトを開放する。OVD-4-D形過電圧リレーは高周波を整流してD-5形直流リレー要素を使用しており、100~200%の連続可調整である。この整定は普通、発電機定格電圧値の120%にセットしており、動作時間は秒程度である。とくに、動作時間を早くする必要がある場合は、瞬時動作ラランジャ形のSV-R-E形リレーを使用している。

(c) 地絡保護

高周波発電機主回路に地絡事故が発生したときには、SC-A-E形電流リレーにより界磁および主回路コンタクトを開放する。SC-A-E形リレーはラランジャ形の直流電流リレーで図7.2に示すとおり、AC 200V 60 c/s または 50 c/s の高周波数電源を整流して使用し、高周波発電機からの高周波電流はチョークコイルによって阻止している。調整範囲は40~80mAで、普通65mAにセットする。動作は瞬時動作であり、検出感度は上記のセットにて約1kΩ以下の地絡が検出可能である。これは加熱装置の冷却水の水质によってひんぱんに

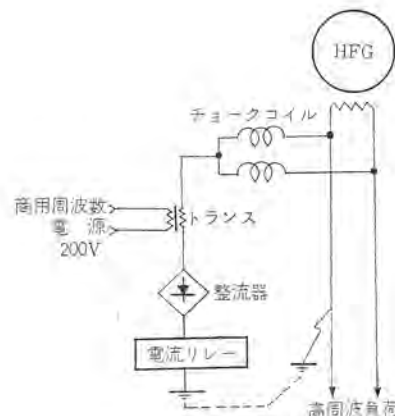


図 7.2 地絡保護回路
Arc grounding protection circuit.

動作することをさけるためあまり高感度にはできず、状況に応じてセツト値を調整する必要がある。また不要トリッウをさけるために警報表示のみとする場合もある。

(d) 界磁過電流保護

界磁コイルの層間短絡などによる過電流に対しては自動電圧調整器内の速断ヒューズにて保護し、それより電源側の短絡事故および過負荷に対しては TR 形 サーマリレー にて保護している。

(e) 界磁回路異常電圧保護

高周波発電機界磁巻線に誘導する異常電圧から界磁巻線の絶縁を保護するために 10 μ F のコンデンサを界磁巻線と並列に接続して異常電圧を吸収させている。

7.3 MG 本体の保護

高周波発電機と駆動用電動機とをカップルした MG 本体の保護としては、MG 本体の冷却・発電機固定子の過熱保護・軸受の過熱保護を行なっている。

(a) 冷却水量不足保護

MG 本体および軸受の冷却水量が規定値より不足すると冷却効果が悪くなり、MG 本体あるいは軸受が過熱焼損するので、流量リレーにより電動機回路のコンタクトを開放する。瞬時断水のために電動機まで停止するのをさけるために、発電機の界磁および主回路コンタクトのみを開放する場合もある。

(b) 発電機固定子過熱保護

固定子にそう入したサーチコイルをブリッジ回路の一部として、D-5-E 形直流リレーを動作させ規定値以上になれば界磁および主回路コンタクトを開放させる。

なお制御電源変動による誤動作をさけるため、定電圧電源装置を使用している。

(c) 軸受過熱保護

MG 軸受温度が規定値以上になると軸受にそう入している温度検出素子により電動機回路のコンタクトを開放し電動機を停止させる。

7.4 当社の標準保護運動

当社で採用している高周波発電機の標準保護方式とその場合の処置をまとめると表 7.1 のとおりである。

8. 主回路器具

高周波発電機用制御盤に使用している主回路器具の特殊なものとして、高周波用コンタクト・高周波 CT・高周波 PT があるが、とくに高周波用コンタクトは、表 8.1 のように普通のコンタクトとはちがって、高周波用に設計したものを使用していたが、昭和 40 年 11 月さらに M 形、N 形コンタクトを高周波用に開発し、表 8.2 のような定格で使用している。CT、PT は 1 kc、3 kc 用には TLC-11 形 CT、TVC-D 形 PT を使用しているが、10 kc 以上用には、HFC-E 形 CT、HFE-P 形 PT を使用している。

9. む す び

以上、高周波発電機用制御盤とその制御および保護について説明

表 7.1 標準保護方式
Standard protection methods.

故障の種類	自動処置	故障表示灯の取付場所	警 報
ヒューズ熔断 電動機過負荷 電動機軸受過熱 発電機軸受過熱 発電機冷却水減 発電機過電流 発電機過電圧 発電機温度異常 出力回路地絡	電動機回路用コンタクトおよび発電機回路用コンタクトを開放する 発電機回路用コンタクトを開放する	電動機盤（または操作盤）に表示する 発電機盤（または操作盤）に表示する	発電機盤（または操作盤）にてベル警報する

表 8.1 高周波用コンタクト
High frequency contactor.

定格電圧 形 名	400 V		800 V	
	各周波数における定格電流 (A)		各周波数における定格電流 (A)	
	1/3 kc	10 kc	1/3 kc	10 kc
FN-152 A	125	100	—	—
FN-154 H	250	200	125	100
FL-302 H	—	—	250	200
FL-302 DH	500	375	500	375
FD-602 H	750	—	600	—
FD-752 HB	1,500	1,000	850	850

表 8.2 高周波用コンタクト
High frequency contactor.

形 式	項 目	周波数 ke	レ ッ ト 容 量、通 電 容 量 と も 必 要 な 負 荷										通電容量のみ 必要な負荷	
			コンデンサ開閉器						電 源 開 閉 器				タップ切換用	
			3 極 (2 極) 並列			3 極 (2 極) 直列			3 極 (2 極) 直列				3 極 (2 極) 並列	
			電 圧 V	電 流 A	コンデン サ容量 kVA	電 圧 V	電 流 A	コンデン サ容量 kVA	電 圧 V	電 流 A	高周波発 電機容量 kVA	電 圧 V	電 流 A	
M-65 H	1	400	110	45	800	55	45	400/800	55	25/40	400/800	150		
	3	400	100	40	800	50	40	400/800	50	20/40	400/800	125		
	10	400	75	30	800	40	30	400/800	40	15/30	400/800	100		
M-105 H	1	400	175	70	800	80	65	400/800	80	35/65	400/800	200		
	3	400	150	60	800	75	60	400/800	75	30/60	400/800	200		
	10	400	125	50	800	60	50	400/800	60	25/50	400/800	150		
M-155 H	1	400	225	90	800	130	105	400/800	130	50/100	400/800	300		
	3	400	200	80	800	120	100	400/800	120	45/100	400/800	300		
	10	400	150	60	800	100	80	400/800	100	40/75	400/800	200		
M-305 H	1	—	—	—	800	250	200	400/800	250	100/200	400/800	600		
	3	—	—	—	800	200	160	400/800	200	75/150	400/800	500		
	10	—	—	—	800	150	120	400/800	150	60/120	400/800	400		
N-602 H	1	400	600	240	800	400	300	400/800	400	150/300	400/800	1,000		
	3	400	500	200	800	300	240	400/800	300	125/240	400/800	800		
	10	400	400	160	800	200	160	400/800	200	75/150	400/800	600		
N-605 H	1	—	—	—	800	500	400	400/800	500	200/400	—	—		
	3	—	—	—	800	450	360	400/800	450	175/350	—	—		
	10	—	—	—	800	350	280	400/800	350	150/300	—	—		

したが高周波加熱は大きいものは製鉄会社から、小さいものは家内工業にいたるまでその分野は広く、ますます需要は増大の途上であり、かつ容量も漸次大きくなってきた。今後、技術の進歩とともに年々、方式も変わってくると思うが、研究、開発に努力し、需要家各位のご期待に沿いたいと念願するものである。さいごに本文が、高周波加熱用電源設備の計画の参考になれば幸甚である。

(昭 43-1-19 受付)



特許と新案

関数発生装置

発明者 柴谷 浩二・桑田 博

この発明はアナログ計算機の非線型要素として重要な関数発生装置の改良に関するもので、関数の精密な模擬を行なわせることができるようにしたものである。以下この発明を入力電圧範囲を n 等分し、等分された各範囲をそれぞれ1個の関数発生器で模擬するようにした図に示す実施例により説明する。

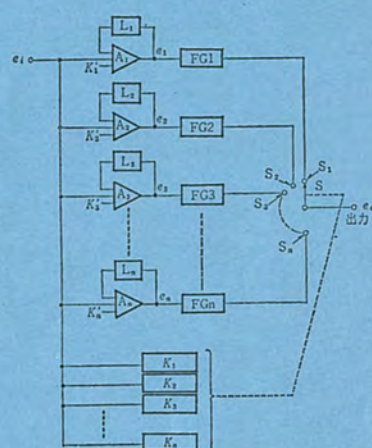
まず $-1 \sim +1$ の範囲(たとえば $-100 \text{ V} \sim +100 \text{ V}$)の入力電圧 e_i を n 個の入力分配加算係数器 $A_1 \sim A_n$ に印加する。この係数器 A_i ($i=1, 2, \dots, n$)は、それぞれ $\frac{2}{n}e_i$ の異なった範囲の入力電圧に対してリミッタ L によって制限された ± 1 の範囲の関数電圧を発生する。すなわち第1の係数器 A_1 は $-1 \sim -1 + \frac{2}{n}e_i$ の範囲、第2の係数器 A_2 は $-1 + \frac{2}{n}e_i \sim -1 + \frac{4}{n}e_i$ の範囲、第 n の係数器 A_n は $+1 - \frac{2}{n}e_i \sim +1$ の範囲の入力に対して、それぞれ ± 1 の範囲の関数出力電圧 e_1, e_2, e_n を生ずるように倍率 n 倍で増幅し、かつ他の入力端子に加えられるバイアス電圧 K_i' を加算する。

この出力電圧は次に接続された関数発生器 $FG_1 \sim FG_n$ に印加され、各関数発生器 FG_i は対応する入力分配加算係数器 A_i に割り当てられた動作範囲の入力電圧に対応した関数電圧を切換スイッチ S の固定接点 S_i に供給する。

一方電圧比較器 $K_1 \sim K_n$ はそれぞれ上記の入力分配加算係数器 $A_1 \sim A_n$ の動作範囲と入力電圧 e_i を比較して、この動作範囲に対

応する関数発生器の出力が切換スイッチ S の可動接点 S_0 に接続されるようにこのスイッチを制御する。

(特許第 460984 号) (久保記)



雨量流量変換演算方式

発明者 柴谷 浩二・桑田 博

この発明は河川流域における雨量(普通流域の複数の観測点における平均値をとる)から、その下流の特定地点たとえば Δm の取入口における流量をあらかじめ計算する演算方式の改良に関するものである。

河川の特定点の時刻 t における流量 $Q(t)$ を、その河川流域における雨量の時間的変化すなわち雨量関数 $R(t)$ と、この流域での単位雨量に対する上記流量測定地点における流量の時間的変化、すなわち図1に示すようなユニットグラフ $U(t)$ とから、式

$$Q(t) = \int_0^t U(t-\tau) R(\tau) d\tau$$

にもとづいて求める雨量流量変換演算方式において、上記ユニットグラフ $U(t)$ を、ラプラス変換した等価二次おくれ伝達関数 W

$$W(S) = \frac{K}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)}$$

(ここに K は定数、 S はラプラス演算子、 T_1, T_2 は上記ユニットグラフによって定まる時定数)

に変換し、この変換された伝達関数を図2に示すようなアナログ演算回路で構成し、この回路に関数発生器により設定された上記雨量

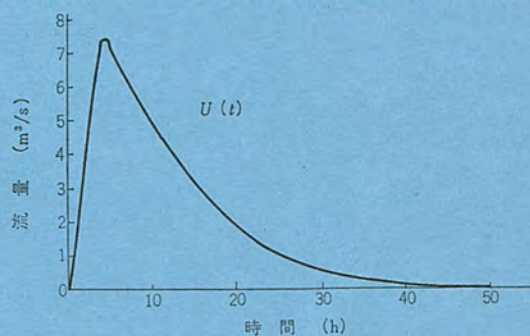


図 1

関数 $R(t)$ に対応する入力印加し、これにより上記流量に対応する出力を得るようにしたものである。

それゆえこの発明によれば、従来相当複雑な装置を必要とした雨量-流量変換の演算を、単なる等価二次遅れ伝達関数などの基本演算回路を使用するのみでよいから、アナログ計算装置が著しく簡単・小形・安価となり、かつ伝達関数の T_1, T_2 を連続可変任意の値に設定できるから、種々の河川、流量測定点などのユニットグラフを適宜模擬することができるなどの種々のすぐれた利点を有する。

(特許第 465770 号) (久保記)

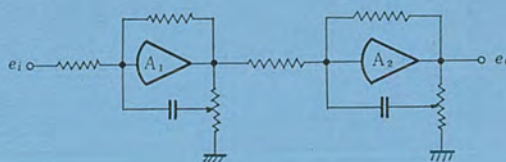


図 2

炉内監視窓の保護装置

考案者 中根茂樹・本谷昇一

この考案は火力発電所などにおいて炉内の燃焼状況を監視するために設けられている炉内監視窓の保護装置に関する。

一般に炉内の燃焼状況の監視には炉内監視窓から肉眼によって直接監視するほか、工業用テレビを用いて遠隔監視する方法などが採用されているが、とくに工業用テレビを利用する場合監視窓に関して考慮すべき点は、炉内のばいじんに対する防じんと炉熱に対する防熱の問題である。

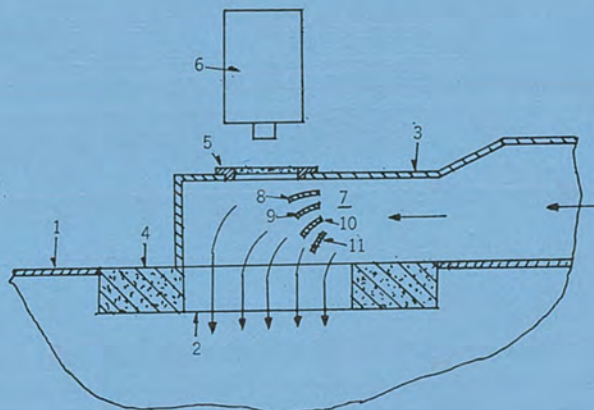
この考案は上記事項にかんがみてなされたものである。図はこの考案の実施例を示し、(1)は炉壁、(2)はこの炉壁の一部に形成された開口部、(3)はこの開口部に水とう(套)または断熱材(4)を介して設けられた通風ダクトで、上記開口部(2)を通じて炉内へ空気流を矢印のように誘導する。(5)はこの通風ダクトの上記開口部と対向する位置に設けられた監視窓で、通風ダクト(3)に対して着脱可能に装着され、その保守点検に便利になされている。

(6)はテレビカメラ、(7)は上記通風ダクトに配設される通風ガイドで、図に示すように異なる曲率をもった一連の円弧状ガイド板(8)~(11)から構成されている。この通風ガイド(7)は通風ダクト(3)内を通る空気流を上記開口部(2)に向うように、方向転換させるとともに、開口部を(2)その全面にわたって均等な圧力をもって通過するように作用するものである。

この考案によれば、通風ガイドにより通風ダクト内の空気流が図に

示す炉壁の開口部の左側で圧力が高く、右側で低くなるような現象を緩和でき、開口部の全面にわたって空気流が均等な圧力をもつように調整されているので、炉内から開口部を通して飛来するばいじん等により監視窓の一部が汚損されやすいのを防止して、監視窓をばいじん等による汚損から保護するとともに、通風ダクト内の空気流の一部を通風ガイドにより監視窓へ導き監視窓の冷却をすることができる。

(実用新案第 806774 号) (奥村記)



MELCOM EA-7200 シリーズ全トランジスタ式アナログ計算機

柴谷 浩二*・多田 淳*・持田 雅夫*・井塚 秀称*・佐藤 毅*

MELCOM EA-7200 Series All Transistorized High Precision Analog Computers

Kamakura Works Kôji SHIBATANI・Atsushi TADA・Masao MOCHIDA・Shûya IZUKA・Tsuyoshi SATO

Although digital computers have come into wide use so rapidly for the present, analog computers are making steady strides in their demand because of their intrinsic features, favorable costs and good performance well commented by users. They were initially built by the use of electron tubes, but have been gradually changed to being designed with semiconductors these years, as marked progress has been made on semiconductor technique. Mitsubishi kept working on the development of the basic circuits to provide for the renovation of these elements, being successful in the summer of 1966 in the completion of all transistorized large scale high precision analog computers provided with new application and high performance by bringing high voltage silicon transistors into practical use while the operation voltage being held at 100 V. They are EA-7200 series introduced herein.



図 1.1 EA-7250 形アナログ計算機
Appearance of type EA-7200 analog computer.

1. ま え が き

デジタル計算機が急速な普及の一途をたどっている昨今においても、アナログ計算機が堅実な需要にささえられているのは、その生来の特質——並列演算、高速演算性、直観的なプログラム方式、シミュレーションの可能性、反復演算の可能性など——が真にユーザに理解され、かつ、コストパフォーマンスの点で導入がきわめて容易である点が買われて、密度の高い活用が行なわれていることにほかならない。

この間、電子管を能動素子として製品化されたアナログ計算機も、半導体技術の発展とともに徐々に素子の変革を遂げ、当社では、本邦初の全トランジスタ式アナログ計算機 EA-7402/51 を世に送ったことは、本誌でもすでに紹介したとおりであるが、演算基準電圧の点で、従来の電子管式に比肩しうるものを製作するには、高耐圧トランジスタの実用化をまたねばならなかった。その時期にそなえて、当社では、高耐圧直流増幅器の基礎開発を着実に進めてきたのであるが、このたびの演算電圧 100 V を採用した EA-7200 シリーズの完成により、所期の目標が達成され、名実ともにアナログ計算機の全半導体化が実現したわけである。

一般に、精密級アナログ計算機では、高精度を保持するために演算基準電圧を可能なかぎり大きく（通常 100 V）とり、S/N の値を最

良にすることは論をまたないが、当社のアナログ計算機では、この根本思想が能動素子のいかに問わず終始一貫している点、他社の追随を許さぬところである。これに加えて、電子管式 EA-7160 形で開発した独特の自動演算システムは、さらに洗練されたフォームで引き継がれ、半導体化によって新たに生じた高信頼性、小形化、飛躍的に改善された周波数特性等の諸利点とあいまって、超高速繰返しによる自動反復演算が可能となったほか、次章以下にのべるような電子管式にはなかった数々の特長を生み出した。

このような背景から生まれた EA-7200 シリーズは、今後、大形超精密級アナログ計算機の決定版として、各分野での活躍が期待されている。

なお、EA-7200 シリーズとは、全半導体式超精密級アナログ計算機全般を包括する名称であって、この中には、超大形機 EA-7200 形と大形機 EA-7250 形の 2 系列があるが、演算制御システム、各演算要素の回路方式とも同一思想で貫かれている。ここでは構成の規模、価格帯からみて最近とくに需要の多い EA-7250 形についてその概要を紹介することとした。

2. 特 長

EA-7250 形の全般的な特長を列挙すれば下記のとおりでである。

(1) トランジスタ式ではあるが、演算電圧は 100 V である。この種の超精密級大形機では、演算要素のドリフト、雑音、積分器のホード誤差、接点部接触抵抗による誤差等の影響、ダイオード初期導通部の影響等を十分無視しうる程度におさえる必要から、最大信号レベルを大きくとり、ダイナミックレンジを拡大するという点で、100 V の演算電圧は絶対不可欠の条件である。

(2) 演算の高速化に対処して、演算要素をパッチベイ裏面に直接実装して周波数特性の向上を計っているが、とくに演算周波数帯での大振幅周波数特性を重視し、各演算要素内での信号レベルの配分にも細心の注意を払った。

(3) 演算増幅器はもとより、他の演算要素、電源にいたるまですべて半導体化を行なって高信頼度を期し、また MOS トランジスタの採用により、トランジスタの欠点である低入力インピーダンスの問題を解決している。

表 2.1 EA-7250 形 アナログ 計算機主要性能と構成例
Principal performance of EA-7250 analog computer and example of constitution.

演算要素名称		仕 様	構 成 例			演算要素名称		仕 様	構 成 例			
			構成Ⅰ	構成Ⅱ	最大構成				構成Ⅰ	構成Ⅱ	最大構成	
演 算 増 幅 器	共通仕様	直流利得 140 dB 以上 出力 $\pm 100\text{ V } 20\text{ mA}$ 直線性 $\pm 0.01\%$ ドリフト $30\text{ }\mu\text{V}/8\text{ h}$ 以下、 $3\text{ }\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 基準演算インピーダンス $1\text{ M}\Omega$ $1\text{ }\mu\text{F}$ $\pm 0.01\sim 0.05\%$	計 60	計 120	計 200	関数乗除算要素	1/4 自乗差方式、出力 XY または X/Y 精度 $\pm 0.1\%$ 、周波数特性 50 kc	6	12	20		
	加算積分器Ⅰ	1, 1, 1, 1, 10, 10 S, SF, IC	電子スイッチ付 積分時定数 0, 0.1, 0.01, 0.001 秒 4 段切換	8	16	24	関数発生器	ダイオード折線近似方式 10 折線等間隔 (標準) 折線初期こう配 $0\sim\pm 5$ 隣接折線こう配差 $0\sim\pm 1$ 設定精度 $\pm 0.2\%$ 周波数特性 50 kc	専用増幅器内蔵 短絡プラグによ り正負変換器に 転用可能	計 2	計 12	計 20
	加算積分器Ⅱ	1, 1, S, SF, IC ICS	ホールド特性 $\pm 0.005\%/min$	8	16	24						
	はん用演算器	1, 1, 10, 10, S SF	積分器転用可	8	16	24	時 分 割 方 式 関 数 発 生 器	座標点設定方式 10 折線間隔可変 こう配制限なし 関数設定象限切換 9 とおり 設定精度 $\pm 0.2\%$ 周波数特性 200 c/s	自動設定方式も あり			
	加算係数器Ⅰ	1, 1, 1, 1, 10, 10 S	周波数特性 100 kc (200 V _{p-p}) 300 kc (小信号)	8	16	24						
	加算係数器Ⅱ	1, 1, S	掃還抵抗開放可	8	16	24	むだ時間発生器	Padé 4 階近似方式 むだ時間設定 2 けた $0.1\text{ ms}\sim 10\text{ sec}$ 静的精度 $\pm 0.1\%$	2	4	10	
	正負変換器	1	非線形要素用増幅器兼用	20	40	80						
手 動 設 定 ポテンシオメータ	30 k Ω 、10 回転ダイヤル付、設定精度 $\pm 0.03\%$ Yyp		計 60	計 120	計 180	特殊関数発生器	自乗・平方根、三角関数、対数関数 正弦・余弦波、雑音発生器など各種	任 意				
自 動 設 定 ポテンシオメータ	30 k Ω 設定精度 $\pm 0.05\%$ Typ					自動演算要素	積分器の分割制御、時定数指定、分割モード 指定、などの機能	1 式				
電 圧 比 較 要 素	感動電圧 50 mV 計算用リレー、増幅器と組合せて使用		4	8	12	ロジック素子	AND $\times 4$ 、OR $\times 3$ 、フリップフロップ $\times 4$ シフトレジスタ $\times 1$ 、エミッタフアウト $\times 4$	1 式	2 式	3 式		
高 速 電 圧 比 較 器	感動電圧 20 mV ロジックレベル出力 動作速度 0.5 μs 前置増幅器内蔵		4	8	12	パ ッ チ ベ イ	シールド式カラーパッチボード 1520 点/1 式 ビルディングブロック方式 過負荷表示ランプ	1 式	2 式	3 式		
飽和・不感帯要素	折点電圧 $0\sim\pm 100\text{ V}$ 、設定精度 $\pm 0.1\%$ 増幅器と組合せて使用		各 4	各 8	各 12	演 算 制 御 盤	出力選択キーボード、電圧計、デジタル 電圧計基準ポテンシオメータ、自動設定関 係、設定機構、手動演算制御、繰返し演算 制御 (400 $\mu\text{s}\sim 10\text{ sec}$) 自動反復演算制御、電源制御 各種チェック機構、ファンクションスイッ チ	1 式				
フ リ ー ダイ オ ード	逆耐圧 200 V		8	16	24							
計 算 用 リ レ ー	2 トランスファ ロジックレベルで駆動可		6	12	18	電 源		1 式				
は ん 用 電 子 ス イ ッ チ	1 メーク相当 ロジックレベルで駆動可 動作時間 2 μs (単体)		8	16	24	ブラウン管オシロ	3 チャネル、1 チャネル、各種	任 意				
フ リ ー 演 算 インピーダンス	(2, 1, 0.5, 0.25, 0.1, 0.05 M Ω) $\pm 0.05\%$		計 32	計 64	計 96	デ ィ ジ タ ル 入 出 力 装 置	タイプライタ、テーブリーダ、テープバン チャで構成、各種設定、読出し、演算制御 演算解の実時間連続読出し (1 秒間隔) テープによる時間関数発生 (40 データ/秒)	任 意				
	(1, 0.1 μF $\pm 0.05\%$ 0.05, 0.01, 0.005, 0.001 μF ± 0.5)		計 24	計 48	計 72							

(4) 電子スイッチの採用により、高低速自動演算が可能であり、繰返し演算時間は 10 秒から 400 マイクロ秒まで連続可変である。各種の自動演算のためのデジタル論理素子を備えたインテグレイテッドハイブリッド計算機であり、固有値問題、境界値問題、最適値問題の解析、波形処理、統計処理などに使用できるほか、ブラウン管オシロによる解の立体表示も可能である。

(5) 人間工学的配慮によるカラーシールドパッチボードの採用により、プログラムが容易にでき、高速演算時の雑音による演算誤差を除去している。また、自動演算を指定する制御用パッチベイもプログラムに便利な位置に分割配置されている。

(6) デジタル入出力装置を付加することにより、パンチテープ、タイプライタによる演算モード指定、各演算要素の自動設定、設定値を含めたプログラムの完全保存ができるほか、パンチテープによる時間関数発生など、機能をさらに拡張できる。また、デジタル計算機と組み合わせることにより、バランスドハイブリッドシステムへの拡張が容易であるよう設計されている。

(7) 演算増幅器最大 200 台、ポテンシオメータ最大 180 台、関数発生器、関数乗除算器最大各 20 台、その他を実装できる大形計算機

で、これらの演算要素を 1～3 架の演算ラックに収め、パッチボードまで含めたビルディングブロック方式を採用しているため、目的に応じた最適の構成が自由に組める。演算制御などの操作関係は、演算ラックから独立した机形式とした。

EA-7250 形アナログ計算機の構成例、および各演算要素の主要性能をまとめて表 2.1 に示したので参照願いたい。

3. 演算制御機能

精密形アナコンである EA-7250 形の制御装置は、取扱いが簡単であり集中して行なえること、フールプルーフ方式を採用し直観的に操作が行なえ、しかも誤操作を防いでいること、演算回路には誤差が混入しないよう、また出力装置は精度のよいものを使用して信頼度を高めていること、簡単に自動化システムを採用し、調整、設定、測定および演算の自動化が可能なこと、などの主要な特長をもっている。

演算制御装置は、演算要素きょう (筐) 体とは別の机形式になっており、必要な操作押しボタンや表示部分のみが集中して机上の操作パネルに収められている。

表 3.1 演算制御機能一覧
List of operation control.

演算制御システム	手動	演算	基本演算制御	ワンタッチの押しボタンシステム、演算状態指示、誤操作防止機構誤差混入防止回路有。
			高速演算制御	リセット、コンピュートの自動繰返し、演算時間可変。
		調整、測定	プロブレムチェック (SPC, DPC)	2種用意され、いずれもなんら接続を要することなしにワンタッチで演算抵抗、コンデンサ、線形、非線形要素のすべてと接続の正誤が確かめられる。チェック用ポテンシオメータも不要。
			出力選択	全押しボタン式でデジタル電圧計、出力電圧計に、各モード、各出力に応じて自動的に接、断する。アドレス指示。
			ポテンシオメータ設定	接続、スイッチによる変更をしないでよい。負荷効果自動補正。リセットモード以降自動的に演算状態に復帰。
	自動	調整の自動化	演算増幅器ゼロ調整 (ABC)	セレクトとコンパレータにより調整のずれた要素は自動的に表示される。
			要素出力読取 (AOS)	任意点電圧の自動走査デジタル表示、デジタルプリントアウト。
		演算の自動化	ポテンシオメータ自動設定	パンチドテープまたはキーボードによる自動設定。負荷効果補正。
			自動演算	プログラムにより分割演算、多時間軸演算などによる高度に複雑な問題が全自動で解ける。アナログメモリなどにより信号系統の自動切換操作可能。

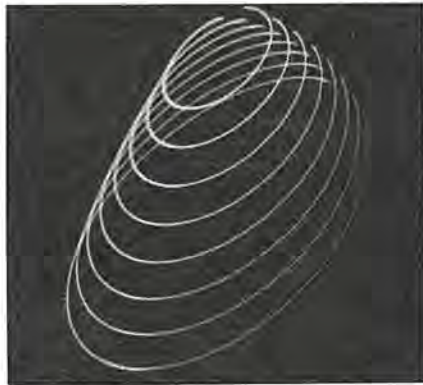


図 3.1 演算解の三次元表示の一例
An example of the 3 dimensional display.

EA-7250 形の演算制御装置の主要な機能と、その特長を一覧表にしたものが表 3.1 である。

演算制御機能のうちでとくに自動演算機能について述べる。

いわゆる自動演算と呼ばれるものには、簡単なものから高度の手法を必要とするものまで、またその式の形態もさまざまである。しかし解析の手法を整理して、必要と考えられる機能を EA-7250 アナコンの制御システムに収めてある。

(1) 自動演算の内容は広義の修正演算であり、繰返し演算がベースとなるが、これは $400\ \mu\text{s} \sim 10\ \text{sec}$ 連続可変に設定できる。

(2) 記憶機能を与えるものとして、サンプルホールドなどと呼ばれる制御が必要であるが、全積分器の半数までは任意にプログラムして分割制御ができるようになっている。

なお、修正または変更の機能も分割制御によって可能となり、とくにアキュムレータ用に特殊な端子をもうけてあり、少ない要素で有効な演算が行なえるよう考慮されている。

(3) 比較機能をもつ素子としては電圧比較器が用いられるが、これをとくに高速高感度とした結果、高速繰返し演算時でも十分な機能が發揮できるようになっている。

なおデジタル入出力装置のコアメモリなどを活用して、多点の電圧比較も可能なよう考慮されている。

(4) 多時間軸演算機能を要求される場合には、分割演算制御機構または内蔵のデジタルロジックを使用して、3時間軸以上の演算が可能となるよう考慮されている。

こうした自動演算機能をもったアナコンで最適値問題を解く場合、最適値そのものよりも、その近辺の様子など、もう少し大きな見方をしたい場合も多い。最適値問題などにおけるパラメータの数は一般

的にはかなり多いが、これを2パラメータ程度に限ると、たとえばパラメータ a, b に対する最適値 G の様子を立体的に表示して、その影響の大きさを直観的に知ることができる。

EA-7250 形アナコンは高速繰返し演算が可能であり、方程式にもよるが1回の演算を $1 \sim 3\ \text{ms}$ で解くことができるので、たとえば G の各種の G_n 値に対する a, b の組合せ、つまり等高線表示を、 n が7~8程度なら全部で $20\ \text{ms}$ 以内に解き、さらにそのサイクルを繰返し等高線をブラウン管上に静止像で得ることができる。またこれを立体的に表わすことも簡単である。

図 3.1 はこうした立体表示の一例である。

4. 各演算要素の概要

4.1 線形演算要素

EA-7250 形アナログ計算機の線形演算要素は、加算積分器 I 形・II 形、加算係数器 I 形・II 形、はん用演算器およびポテンシオメータに大別される。個々の演算器は、演算インピーダンス (入力インピーダンスおよび帰還インピーダンス) と演算制御リレー、および演算増幅器を一体のパッケージ内に収容してある。さらに、高速演算時に必要な積分器用電子スイッチ、高速電圧比較器、低速電圧比較要素、はん用電子スイッチ、飽和・不感帯要素、はん用演算インピーダンス、フリーダイオード、計算リレーなどを同一パッケージ内に収容することができる。図 4.1 に加算積分器 I 形、加算係数器 I 形を示す。表 4.1 に各増幅器パッケージの構成を示す。また、加算積分器 II 形は、自動演算要素と組み合わせで独立に演算制御が行なえるように考慮されている。

4.1.1 演算増幅器

演算増幅器は全トランジスタ化をはかり、すべて、チョップによる安定化を行なっている。チョップも MOS 型電界効果トランジスタによる半導体チョップを採用し、性能的には機械式チョップと同等であり、寿命的には半永久的である。出力段はエミッタフォロアで行なっている

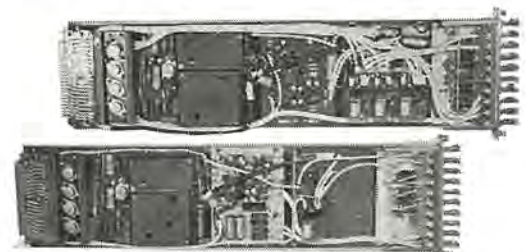


図 4.1 積分器・加算器外観
Appearance of the integrator and the adder.

表 4.1 演算増幅器パッケージの構成
Constitution of operation package.

パッケージ	主演算要素	付加要素
加算積分器Ⅰ形パッケージ	加算積分器Ⅰ形	積分器用電子スイッチ
加算積分器Ⅱ形パッケージ	加算積分器Ⅱ形	積分器用電子スイッチ、フリー演算抵抗
加算係数器Ⅰ形パッケージ	加算係数器Ⅰ形	高速電圧比較器、フリー演算コンデンサまたは低速電圧比較要素、計算リレー
加算係数器Ⅱ形パッケージ	加算係数器Ⅱ形	飽和不感荷要素、フリーダイオードまたははん用電子スイッチ、フリー演算抵抗、コンデンサ
はん用演算器パッケージ	はん用演算器	フリー演算抵抗、コンデンサ

注) 主演算要素には、加算器・積分器等に必要な演算抵抗、コンデンサおよび演算制御リレーを含む

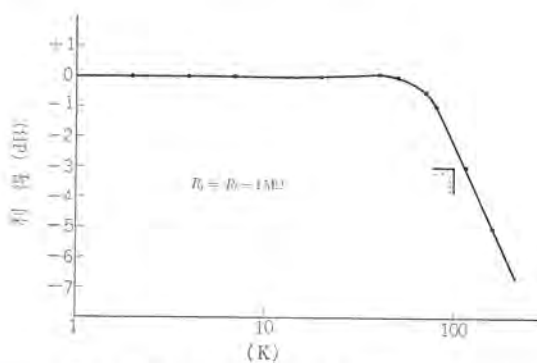


図 4.2 加算器の周波数特性 ($k=1$)
Frequency characteristics of summing amplifier (at $k=1$).

ため、出力インピーダンスが非常に低く、対負荷容量に対して十分安定に動作する。実演算回路での安定度に対しても、加算係数器直接続台数は40台以上（ただし、 $k=1$ にて）、安定に動作を行なう。また、保護回路を内蔵しているために、接続ミスによる増幅器の損傷を未然に防止できる。高速度演算に要求される高周波特性に関しては、とくに実演算状態を十分考慮しており、図 4.2 に示す周波数特性は、実装状態における加算器の周波数特性であり、入力信号電圧は 200 Vp-p である。

4.1.2 積分器用電子スイッチ

高速繰返し演算には、演算増幅器の広帯域化と並んで、演算モード切換えの高速化が必要不可欠の事項となる。従来の機械的な接点をもつスイッチでは、動作時間に限度があり、また、リセットモードのとき、初期値入力端子と出力端子間の時定数によって、初期値設定電圧あるいはサンプリングすべき信号をトラックするのに時間を要し、この点からも高速繰返し演算は困難となる。積分器用電子スイッチは、このような高速繰返し演算の要求に応じて作られた半導体素子的高速スイッチング回路である。図 4.3 に積分器用電子スイッチの外観を、図 4.4 に積分器用電子スイッチを用いた積分回路を示す。図 4.4 において、電子スイッチを制御信号でオン・オフさせると、リレー R がオンの場合は Reset \leftrightarrow Compute、オフの場合は Reset \leftrightarrow Hold を繰返すことになる。図 4.5 に示すように、積分器用電子スイッチは電流増幅器と電子スイッチで構成されており、電流増幅器がないときに比べて、リセット時に、積分コンデンサに流れる電流は、K 倍（K は電流増幅器の電流増幅率とする）に増加し、等価的に積分コンデンサが、 $1/K$ に小さくなったことになり、リセットにおけるトラック時間が非常に早くなる。また、電子スイッチもトランジスタで構成されており、ス



図 4.3 積分器用電子スイッチ外観
Appearance of the electronic switch for integrator.

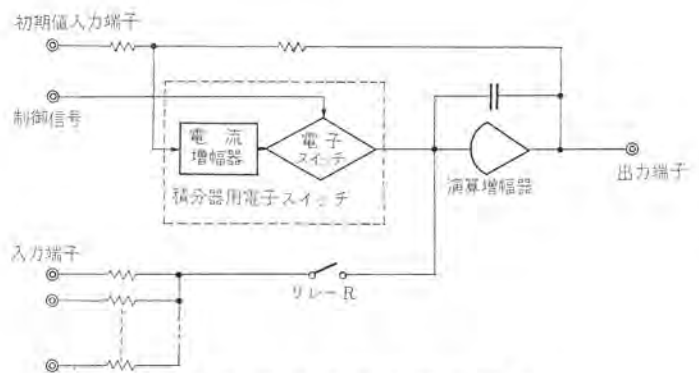
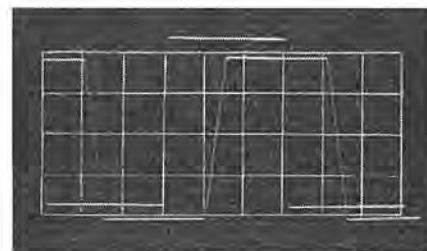


図 4.4 高速演算用積分回路
Integrator circuit for high speed operation.



縦軸 50V/cm(div)
横軸 0.2ms/cm(div)

図 4.5 トラックホールド実施例
An example of track-hold operation.

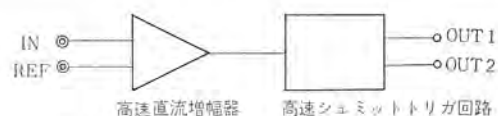


図 4.6 高速電圧比較器回路構成
Block diagram of the high speed comparator.

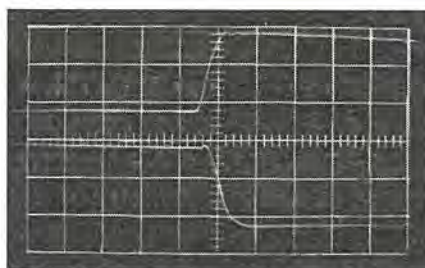
ッチング速度は $1 \mu\text{sec}$ 以下である。すなわち、積分器用電子スイッチを付加することにより、高速繰返し演算、高速サンプリングホールドができる。図 4.5 に示す写真は、トラックホールドの一例である。入力信号として波高値 200 Vp-p のく形波を用い、 $200 \mu\text{s}$ の遅延をもうけて、電子スイッチをオン・オフしたときの様子を示している。

4.1.3 高速電圧比較器

自動収れん（斂）演算・最適化演算等に必ずアナログ電圧比較回路が必要となり、高速繰返し演算を行なうため、高速の電圧比較器が要求される。図 4.6 に高速電圧比較器の構成を、図 4.7 に外観を示す。高速電圧比較器は図 4.6 に示すように、周波数特性 200 kc の直流増幅器とヒステリシス幅 10 mV、立上がり、立下がり時間 0.3



図 4.7 高速電圧比較器外観
Appearance of the high speed comparator.



縦軸 5 V/cm(div)
横軸 0.2 μ sec/cm(div)

図 4.8 高速電圧比較器動作波形
Response of the high speed comparator.

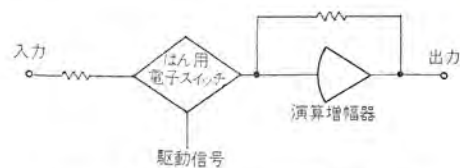
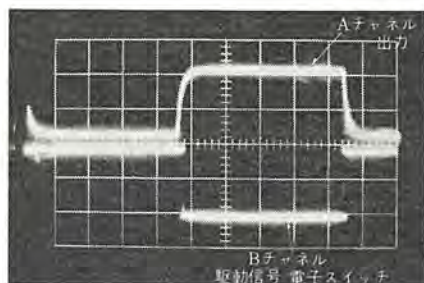


図 4.9 はん用電子スイッチ使用回路
Circuit diagram for the universal electronic switch.



縦軸 A チャネル 50 V/cm(div)
B チャネル 5 V/cm(div)
横軸 0.2 ms/cm(div)

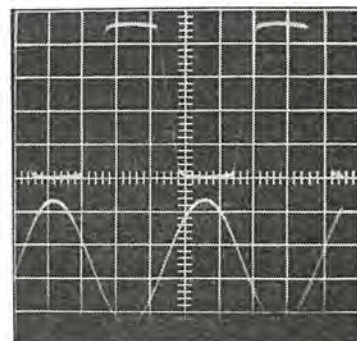
図 4.10 はん用電子スイッチ動作波形
Response of the universal electronic switch.



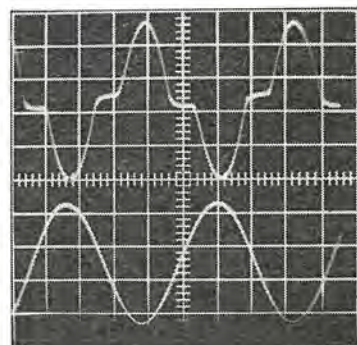
図 4.11 はん用電子スイッチ外観
Appearance of the universal electronic switch.



図 4.12 飽和・不感帯要素外観
Appearance of the limiter and dead zone element.



(a) 飽和要素 Aチャネル 出力
Bチャネル 入力



(b) 不感帯要素 Aチャネル 出力
Bチャネル 入力
縦軸 A チャネル 20 V/cm(div)
B チャネル 50 V/cm(div)
横軸 0.2 ms/cm(div)

図 4.13 飽和・不感帯要素動作波形
Response of the limiter and dead zone elements.

μ sec 以下の高速シュミットトリガー回路からなっており、最小感動電圧20 mV、出力端子からはロジックレベルで互いに相補う信号をとり出すことができる。図 4.8 に動作例を示す。入力に 100 kc の形波を印加したときの OUT 1, OUT 2 の出力波形である。

4.1.4 はん用電子スイッチ

パラメータの変更、接続回路の変更等を行なうためにスイッチ動作を行なう要素が必要であるが、高速演算を行なう場合、従来の機械的接点をもつものでは速度の点で不十分であり、そのために作られたのがはん用電子スイッチである。図 4.9 に使用回路を、図 4.10 に実測写真を示す。MOS 型電界効果トランジスタの高 OFF 抵抗を利用しており、1M Ω の演算抵抗を用いた場合で、OFF 抵抗による誤差は 0.001 % 以下である。図 4.11 に外観を示す。

4.1.5 飽和不感帯要素

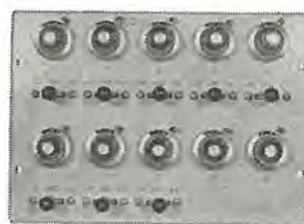
高速演算で実用できるように考慮されており、図 4.12 に外観を、図 4.13 に動作例を示す。

4.1.6 ポテンシオメータ

ポテンシオメータは、手動設定用ポテンシオメータとサーボセットのポテンシオメータの 2 種があり、手動設定用には、通常の係数設定用のほかに、初期値および係数設定兼用のものも用意されている。いずれも 1 パネルに 10 個収容しており、1/1,000 目盛までのダイヤル設定およびデジタルポルトメータあるいはデジタルポテンシオメータで、じか読み設定することができる。サーボセットポテンシオメータも 1 パネルに 10 個収容しており、0.05 % の精度で設定することができる。図 4.14 に手動設定のポテンシオメータを、図 4.15 にサーボセットポテンシオメータを示す。

4.2 非線形演算要素

EA-7250 形アナコンの標準の非線形演算要素は、関数乗除算要素・関数発生器・むだ時間発生器などである。その他雑音発生器・三



(a) 初期値、係数兼用



(b) 係数用

図 4.14 手動ポテンシオメータ外観
Appearance of manual setting potentiometers.

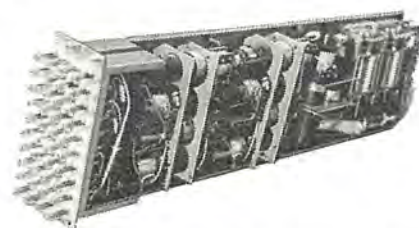


図 4.15 サーボセットポテンシオメータ外観
Appearance of the servo setting potentiometers.

角関数発生器・対数関数発生器なども要求により実装することができる。

関数発生器とむだ時間発生器には、手動設定および自動設定のものが用意されており、関数発生器はモータ付きポテンショメータで、むだ時間発生器はロータリツレノイド付きスイッチで、それぞれ自動設定されるが、ここでは主として手動設定方式のものについて紹介する。

4. 2. 1 関数乗除算要素

関数乗除算要素は1枚のカードに1要素納められ、標準の線形要素と同一寸法・同一構造で、パッチベイ裏面に直接実装されている。動作原理は次の等式

$$XY = (1/4) \cdot [(X+Y)^2 - (X-Y)^2]$$

にしたがって、2変数 X, Y の積を発生する1/4自乗差方式と呼ばれるものである。

関数乗除算要素は、ダイオードによる絶対値回路4組、正側および負側の2乗回路と帰還抵抗とで構成され、パッチボード上で加算器と組み合わせて関数乗除算器として使用する。図4.16にその外観を、図4.17にその静的精度の一例を示す。

乗算および除算の切り換えは、プレパッチボード上のプログラミングの変



図 4.16 関数乗除算要素の外観
Appearance of the multiplier/divider unit.

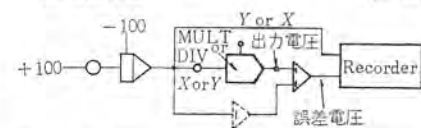
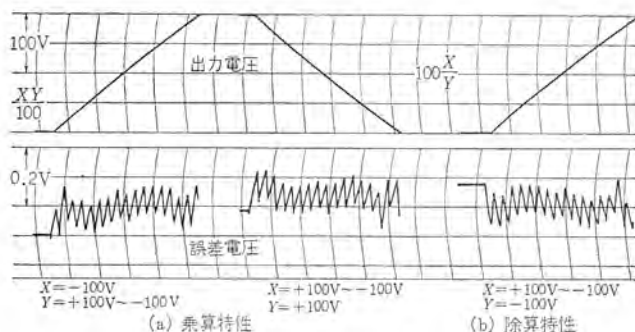


図 4.17 関数乗除算要素の演算誤差
Error characteristics of multiplier/divider.

更により行なうことができ、さらにプログラムによっては2乗、平方根演算はもちろんのこと、流体関係のシミュレーションによく使われる $(\text{sgn } X) \cdot \sqrt{|X|}$, $X \cdot |X|$ など一種の特殊関数発生器としても使用できる。図4.18にその一例を示す。

4. 2. 2 むだ時間発生器

入力信号 $e_i(t)$ に対して、出力 $e_o(t)$ が

$$e_o(t) = e_i(t - \tau), t > \tau$$

の関係で表わされる場合、 τ をむだ時間と称する。これをアナコンで模擬する方法には、磁気テープ、コンデンサなどを用いる直接形と、むだ時間の伝達関数 $e^{-\tau s}$ を S (ラプラス演算子) に関する有理式に展開して近似する間接形とがあるが、一般に自動制御系あるいはプロセス系には、安定条件その他から周波数帯域に制限があるものが多い点に着目して、定常特性の良い間接形を採用している。

$e^{-\tau s}$ の近似式として Padé の近似式を4階まで、4台の演算増幅器によって模擬しており、1要素/1ユニットにまとめられている。むだ時間 τ の値は、前面に取付られたロータリスイッチによって有効数字が、プログラミングによってけたがそれぞれ設定される。タイムスケール

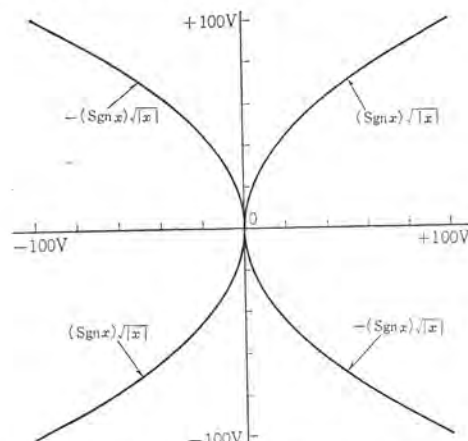


図 4.18 関数乗除算要素による $(\text{sgn } x) \cdot \sqrt{|x|}$ および $-(\text{sgn } x) \cdot \sqrt{|x|}$ の発生
Generation of $(\text{sgn } x) \cdot \sqrt{|x|}$, $-(\text{sgn } x) \cdot \sqrt{|x|}$ by multiplier/divider.



図 4.19 むだ時間発生器の外観
Appearance of the time delay unit.

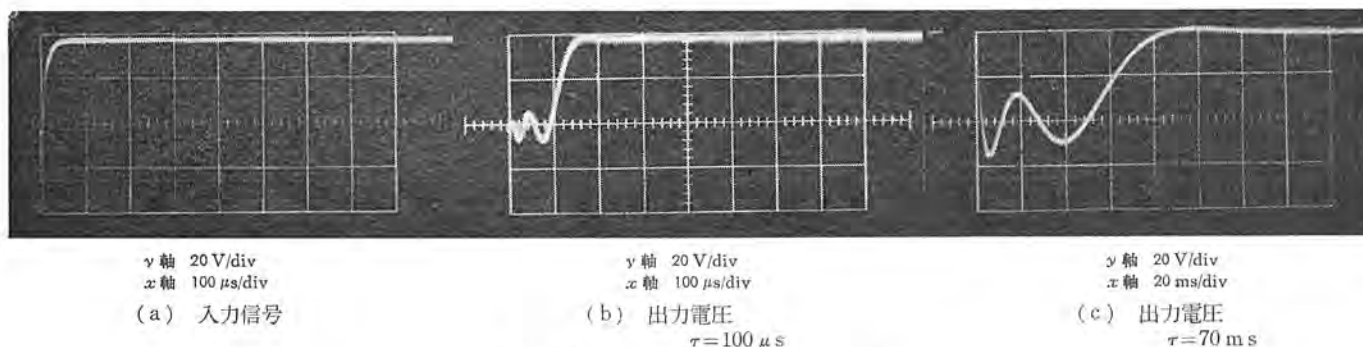


図 4.20 むだ時間発生器の動特性
Dynamic response of the time delay unit.

切換は演算制御機より集中制御されるとともに、プログラミングによって単独に行なうこともできる。

なお内蔵の演算増幅器4台はラレパッチボード上で指定することにより、正負変換器としておのおの独立に使用することができる。図4.19にむだ時間発生器の外観を、図4.20に高速時の動特性の一例を示す。

4.2.3 関数発生器

関数発生器とは、入力電圧 x に対し、ある関数関係をもった出力電圧 $y=f(x)$ を発生する装置である。EA-7250形アナコン用として、動作原理の異なる二つの方式（折線方式および時分割方式）の関数発生器が用意されている。

(1) ダイオード折線式関数発生器

この関数発生器は、出発点の異なる折線を多数、積み重ねることによって所要の関数を得るという方式であるが、関数形設定の際には、正確に校正された折点電圧が、X軸へ入力信号として与えられているので、そのときの対応するY座標の折点電圧のみを設定すればよく、一種の座標点設定方式である。とくに高速繰返し演算時の動特性に留意して広帯域化をねらっている。そのため設定に際し関数形の最大傾斜に制限がある。

この関数発生器では、折線の傾斜を決定する抵抗ブリッジ回路、折点位置を決めるダイオードとバイアス回路が折線数だけ用意され、これに2台の専用増幅器が組み合わされて関数発生機能が発揮する。

入出力電圧範囲は、正負全範囲で、X軸は等間隔固定、Y軸は連続可変、折線数は10折線・20折線の2種類があり、1要素/1ユニットにまとめられている。内蔵の演算増幅器2台は、ラレパッチボード上で指定することにより、おのおの独立の正負変換器としても使用することができる。図4.21にその外観を、図4.22にその周波数特性の一例を、図4.23にその静的精度の一例を示す。

(2) 時分割式関数発生器

この関数発生器は時分割方式を応用した折線近似形のもので、折点の座標だけで関数形の設定ができ、しかも関数形を簡単に、任意に変えることができ、設定関数のこう配に制限はなくさらに各座標



図4.21 折線式関数発生器の外観
Appearance of the diode function generator.

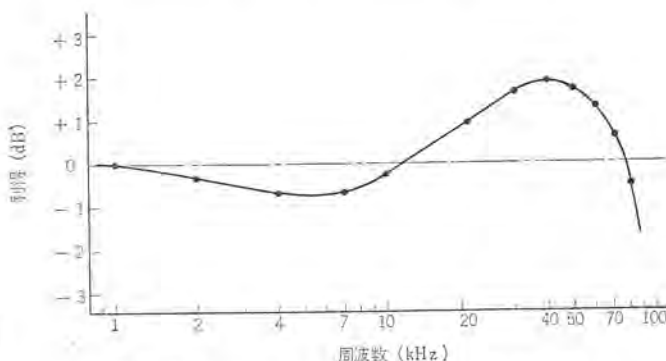


図4.22 折線式関数発生器の周波数特性
Frequency response of the diode function generator.

の設定は変域内のいずれの点であっても動作原理上支障はないので、任意のヒステリシス関数、二価あるいは二価以上の多価関数の発生も可能である。

折線の数に相当する電圧比較器と、その2倍の数の電子スイッチと、2台の演算増幅器（積分器、出力増幅器）とから構成されており、積分器・電圧比較器・電子スイッチのルーティングが形成する時分割チャンネルによって、各座標点間の折線部分を直線補間している。

入出力電圧の範囲は、切換スイッチによりそれぞれ独立に、(a)正負全範囲に対して、(b)正側だけに対して、(c)負側だけに対して、の3位置に切り換えて使用することができるので、合計9とおりの変域が得られ、いずれの変域を使用するかは任意である。

関数発生器の折線数は10折線で、X軸・Y軸とも連続可変であり、1要素/1ユニットのわりで収納されている。内蔵の演算増幅器2台は、ラレパッチボード上で指定することにより、おのおの独立の正負変換器として使用することができる。

図4.24にヒステリシス関数を発生させたときの一例を示す。

4.3 デジタル入出力装置

アナコンの入出力装置としては光電式カーブリーダー、ペン書きオシログラフ等が普通であったが、主としてデジタル計算機等との相互接続、演算の自動化等の目的のため、紙テープ、タイプライタを主体としたデジタル入出力装置もEA-7250アナコン用に標準化されている。

機能的には、演算モードの制御、ポテンショメータ、関数発生器などの

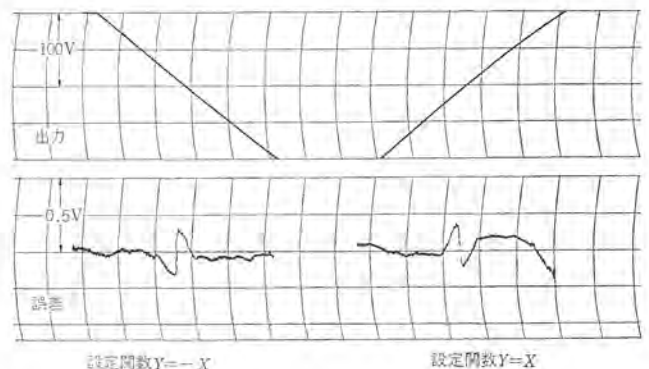


図4.23 折線式関数発生器の演算誤差
Error characteristics of the diode function generator.

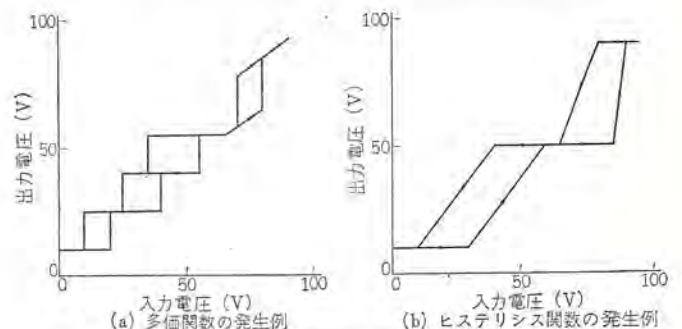


図4.24 時分割関数発生器によるヒステリシス関数の発生例
Generation of hysteresis function by the time division function generator.



図 4.25 デジタル 入出力装置
Digital input/output system.

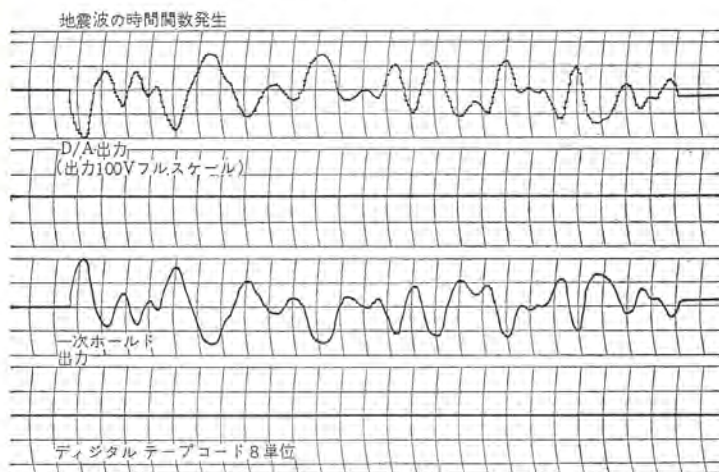


図 4.26 デジタル 入出力装置による関数発生
An example of time function generation by D-I/O system.

設定が可能で、操作の自動化および自動演算機能があり、またデジタル計算機の演算結果などを紙テープに連続パンチし、これを連続的に読み取り、逐次 D/A 変換することによりアナコンの時間関数発生器として用いることもできる。またこれら入力機能のほかに、演算解のデジタル読み取り、あるいは演算波形の高密度テープパンチなどの出力機能がある。

標準のデジタル入出力装置には各種の段階があり、入出力の処理速度・チャンネル数に応じて、非常に安価な構成から高度の機能をもつ構成まで容易に拡張ができる。

基本システムだけでも、従来のパッチボード式アナコンが演算回路の接続の保存ができたのに加えて、数値の設定や制御のシーケンスの保存も容易となり、さらに上記入出力機能により、容易に紙テープを介した一種のオフラインハイブリッド計算システムを構成することができる。

基本システムにコアメモリ、論理回路、高速 A/D その他を付加することにより、演算波形の高速高密度記憶、および高速関数発生、多変数関数の発生などの機能が増し、アナコンの自動演算機能と連動して高度のインテグレイテッドハイブリッドシステムを構成し、各種の偏微分方程式なども解析が可能となる。

さらに、任意の科学用デジタル計算機とオンラインで結び、完全な

パラシッドハイブリッドシステムを形成することも可能である。

機器自体についていえば、高安定な論理素子を用い、信頼度の高い機器を使用し、各機器の連動には特別の考慮が払われているため信頼度が高いことが特長である。

また命令体系は簡単で統一的な体系にまとめられており、このため直観的なプログラムが可能である。さらにオペレータミスの訂正は簡単に行なえ、またチェック機構も完備しているため、誤設定・誤演算が防げ、パリティチェック、アラームも可能で、取扱いが簡単である。

デジタル入出力装置はアナコンにとって今後有力な付属機器のひとつとなる。

図 4.25 に外観を、図 4.26 にデジタル入出力装置を用いて地震波波形を発生させた例を示す。

5. む す び

以上、従来の電子管式精密級アナログ計算機を演算電圧 100 V を保持しながら、全半導体化した最新式アナログ計算機 EA-7250 形について、その概要を紹介した。EA-7250 形は、単に素子を半導体化したばかりではなく、半導体化によって付加された種々の特長を備えた斬新な機種であることが理解いただけたことと思う。

EA-7200 シリーズ一号機はすでに昭和 41 年夏に完成しており、本誌での紹介の時期がややおそきに失った感があるが、詳細をとりまとめてここにご紹介した次第である。

参 考 文 献

- (1) 馬場、大鳥羽、柴谷、松本：MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ(1)，三菱電機，33，No. 12 (昭 34)
- (2) 馬場、大鳥羽、柴谷、松本、桑田：MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ(2)，三菱電機，34，No.3 (昭 35)
- (3) 馬場、大鳥羽、柴谷、桑田、多田：MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ(3)，三菱電機，35，No. 6 (昭 36)
- (4) 大鳥羽、柴谷、桑田、持田：アナログ計算機の最近の進歩(その 1)，三菱電機技報，38，No. 5 (昭 38)
- (5) 柴谷、持田、井塚：アナログ計算機の最近の進歩(その 2)，三菱電機技報，38，No. 6 (昭 39)
- (6) 大鳥羽、柴谷、桑田、持田、井塚：三菱大形高性能アナログ電子計算機(MELCOM EA-7150 形)，三菱電機技報，38，No. 12 (昭 39)
- (7) 柴谷、桑田、井塚：アナログ計算機の自動プログラミングの方式，電学連大 (昭 39)
- (8) 大鳥羽、柴谷、多田：MELCOM EA-7402 形全トランジスタ式アナログ計算機，三菱電機技報，36，No. 8 (昭 37)
- (9) 大鳥羽、柴谷、多田：MELCOM EA-7451 形全トランジスタ式アナログ計算機非線形要素，三菱電機技報，37，No.8 (昭 38)
- (10) 柴谷、桑田、多田、佐藤：100 V 級全トランジスタ式アナログ計算機，電学連大 (昭 41)
- (11) 柴谷、桑田、井塚：アナログ計算機の自動演算機能について，電学連大 (昭 41)

全 IC 化 数 値 制 御 装 置

MELDAS-3200 (自動位置ぎめ)

MELDAS-4200 (自動位置ぎめ, 直線切削)

俵口 久元*・金森 剛明*・黒田 泰次*

Integrated-Circuit Numerical Controllers

MELDAS-3200 (Positioning N. C.) and

MELDAS-4200 (Positioning and Straight Cut N. C.)

Kamakura Works Hisamoto HYÔGUCHI・Takaaki KANAMORI・Yasutsugu KURODA

To cope with the trend of applying numerical control to machine tools for which demands have rapidly increased of late, Mitsubishi has developed MELDAS-3200 and MELDAS-4200 controllers through allout efforts of the engineering staff, introducing the products to the circles.

Principal features of the devices consist in their high reliability yet small sizes because of semiconductor integrated circuits in use, stability and high accuracy due to an analog feed back system, and feasibility of addition and expanding the function by rich optional specifications in addition to standard specification of general use character. The text outlines operation principle of the devices and programming with them.

1. ま え が き

わが国においても近年ようやく数値制御工作機が本格的に普及しつつあるが、なかでも位置ぎめ、軸平行直線切削の数値制御の需要が非常に多く、これに対し当社では従来の技術を集大成し、信頼性のある安価な制御装置として MELDAS-3200, 4200 のシリーズを開発、製品化を行なった。

位置ぎめ数値制御装置の系列として以下この二つの制御装置のあらましを述べる。MELDAS-3200 は、ボール盤、パンチプレスなどに適用される自動位置ぎめ機能のみを持つものであり、MELDAS-4200 は、自動位置ぎめ機能および軸平行の直線切削の機能を持ちフライス盤、中ぐり盤などに適用できる。

図 1. 1 に MELDAS-4200 の外観を示す。MELDAS-3200 も外形は同一である。



図 1. 1 MELDAS-4200 外観図
Exterior view of MELDAS-4200.

2. 設 計 の 方 針

本装置の開発に際しての基本的な設計方針は、つぎのとおりであ

る。

(1) 集積回路 (I. C) 化

集積回路は、従来のトランジスタなどの個別部品の組合わせより信頼性が高い。またハンダ付けする点も前者は、後者に比べて大幅に減るのでこの点からも装置の信頼性が向上する。また安価で、将来コストダウンの可能性も大きい。

集積回路は小形なので実装密度があがり、装置が小形になるのでフロアスペースが減少し、かつ小形化によるコストダウンなどのメリットが生ずる。集積回路は、消費電力が少ないので電源が小さくなる。トランジスタを用いた場合の約 1/4 の電力ですんだ。また消費電力が少ないことからファンによる冷却の必要がなくなり、装置も密閉できるので工場のようにじんあいの多い環境での信頼性が向上する。

図 2. 1 に集積回路を実装したカードを示す。

(2) レジスタによるアナログフィードバック方式

移動体からの直接位置検出が可能なので、送りネジなどの精度に関係なく高精度の制御もできる。またアナログ量による位置検出なので工場に多い電気雑音により累積誤差を生ずることはない。



図 2. 1 I. C カード 外 観 図
Exterior view of IC card.



図 2.2 レゾルバ外観図
Exterior view of resolver.

図 2.2 にレゾルバの外観を示す。

(3) 機能の拡張、追加が容易に可能

各種さまざまな機械への適合を考え、機能の拡張追加が容易にできるようにいわゆるビルディングブロック的構成とする。MELDAS-4200 の場合、油圧駆動または直流モータのみによる駆動、直流モータと交流モータとの併用による駆動など各種の駆動方式に適合できるようになっている。

以上列記したようにこの装置がオンライン機器であり、かつ使用環境が非常にきびしいという点から信頼性を重視、また工作機械の多様性を考慮して種々のシステム構成が可能であるよう配慮した。

3. 仕様

MELDAS-3200 および MELDAS-4200 の標準仕様および選択仕様の概略を表 3.1、3.2 に示す。

4. 動作原理

4.1 MELDAS-3200 の動作原理

図 4.1 に MELDAS-3200 の制御ブロック図を示す。図では 1 軸分のみの制御ブロックを示し他は省略してある。

紙テープより与えられる入力指令は、テープリーダーで入力制御回路へ読み込まれる。テープからの情報はコード化されているのでデコード回路で翻訳され、各データの前に付いている語の種類 (G, X, Y, Z, M, S, T など) によって対応するレジスタへ数値がはいる。たとえば、X 1000 と読み込まれると、位置指令レジスタへ 1000 が置数され、M 10, S 8 などではそれぞれ補助機能制御回路中の補助機能レジスタ、主軸回転数レジスタに記憶される。

ブロック終了 (EB) を読み込むと入力制御回路は、テープリーダーを停止させる。読み込んだ指令を完了するとふたたびテープリーダーは起動する。このほか入力制御回路では読み込んだテープの穴の数が奇数であることのパリティチェックを行ない、誤読の場合はリーダーを停止させる働きも持っている。

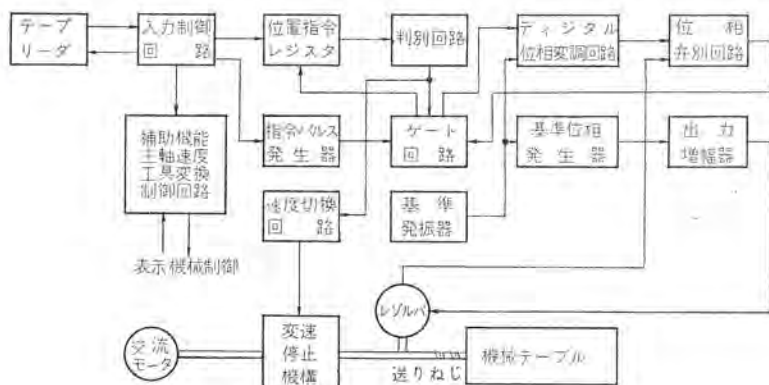


図 4.1 MELDAS-3200 制御ブロック図
Block diagram of MELDAS-3200.

表 3.1 MELDAS-3200, MELDAS-4200 標準仕様
Standard specifications of MELDAS-3200 and MELDAS-4200

項 目	MELDAS-3200	MELDAS-4200
入 力 指 令	8 単位紙テープ (EIA 標準コード) ワードアドレス	8 単位紙テープ (EIA 標準コード) ワードアドレス
座 標 方 式	相 対 座 標	相 対 座 標
制 御 指 令 軸 数	2 軸 ただし同時 1 軸	3 軸 ただし同時 1 軸
最 小 指 令 量 位	0.01 mm	0.01 mm
最 大 指 令 値	±9,999.99 mm	±9,999.99 mm
切 削 送 り 速 度	—	10~999 mm/分
切 削 送 り 速 度 設 定	—	ダイヤル設定、4 速設定可能
位 置 ぎ め 速 度	最大 10,000 mm/分	最大 10,000 mm/分
位 置 検 出 方 式	レゾルバによるアナログフィードバック方式	レゾルバによるアナログフィードバック方式
制 御 方 式	レゾルバ検出、モータおよびクランプ駆動による閉ループ ON-OFF 制御方式	レゾルバ検出、モータ (電気または油圧) 駆動による閉ループ連続制御方式
再 現 精 度 (電気系)	±0.005 mm (同一点における位置ぎめ精度)	±0.005 mm (同一点における位置ぎめ精度)
原 点 オ フ セ ッ ト	全 域 可 能	全 域 可 能
補 助 機 能 (M)	プログラム停止、オプション停止 ほか 14 種	プログラム停止、オプション停止 ほか 14 種
主 軸 速 度 指 定 (S)	テープ指令により最大 100 個	テープ指令により最大 100 個
工 具 番 号 指 定 (T)	テープ指令により最大 10 個	テープ指令により最大 10 個
そ の 他	テープ指令起動時に指令値は現在位置に対し自動的に誤差零となるよう修正される	テープ指令起動時に指令値は現在位置に対し自動的に誤差零となるよう修正される
演 算 回 路 構 成	集積回路を主体とするプリント基板	集積回路を主体とするプリント基板
電 源	100 V ± 15 V, 50/60 c/s, 1 φ 約 300 VA	100 V ± 15 V, 50/60 c/s, 1 φ 約 400 VA
周 囲 温 度	-5°C ~ 45°C	-5°C ~ 45°C
外 形 寸 法	750 mm (H) × 520 mm (W) × 473 mm (D)	750 mm (H) × 520 mm (W) × 473 mm (D)
重 量	約 50 kg	約 50 kg

表 3.2 MELDAS-3200, MELDAS-4200 選択仕様
Selective specifications of MELDAS-3200 and MELDAS-4200.

項 目	MELDAS-3200	MELDAS-4200
制 御 指 令 軸 数	最 大 5 軸	最 大 5 軸
同 時 駆 動 軸 数	最 大 2 軸	最 大 2 軸
送 り 速 度 テープ 指 令	—	mm/分単位でテープ入力、手動で -50% 調整可能
送 り 速 度 設 定	—	最大 7 個まで
移動量設定ダイヤル	符号+10 進 6 けた、最大 9 個	符号+10 進 6 けた、最大 9 個
補助テープリーダー	1 台	1 台
ピッチ誤差補正	補正単位 0.01 mm	補正単位 0.02 mm
バックラッシュ補正	0.99 mm まで最大 5 軸	0.99 mm まで最大 5 軸
ねじ切り	—	主軸回転角度に比例した各軸送り可能
リニアインダクトシン	高精度の直線形位置検出器	高精度の直線形位置検出器
工 具 番 号 指 定	最 大 100 個	最 大 100 個
補 助 機 能	最 大 30 個	最 大 30 個
手動ハンドル運転	—	移動量は 2 mm/回転
1 パルス送り	—	0.01 mm/回の手動送り
シーケンス番号表示	10 進 3 けた	10 進 3 けた
主 軸 速 度 表 示	テープ指令表示 10 進 2 けた	テープ指令表示 10 進 2 けた
現 在 位 置 表 示	±10 進 6 けた、最大 5 軸	±10 進 6 けた、最大 5 軸
工 具 番 号 表 示	テープ指令表示 10 進 2 けた	テープ指令表示 10 進 2 けた
サーボバルブ駆動増幅器	—	油圧モータサーボの場合
DCM 駆動増幅器	—	550 W, 1.1 kW, 2.2 kW 各直流モータ駆動用
テープパンチ	さん孔のみ	さん孔のみ

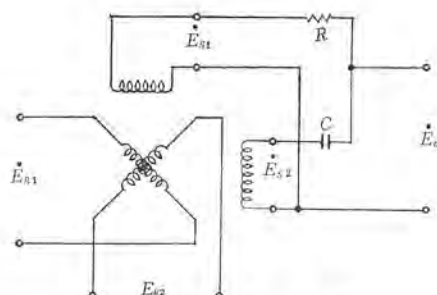


図 4.2 レゾルバ移相器
Resolver phase shifter.

位置指令レジスタに読み込まれた数は判別回路により機械テーブルを高速、中速、低速のいずれで駆動すべきか、またその方向はどちらかの判別が行なわれる。また、読み込まれた軸指令より駆動すべき軸を選択する。その結果、速度切換回路を経て変速停止機構を動作させ、送りネジにより機械テーブルを駆動する。

図4.1では位置検出用のレゾルバは送りネジに結合されているが、機械テーブルに直接ラックピニオン結合することにより送りネジの精度、バックラッシュに関係なく検出精度を上げることができる。レゾルバは図4.2に示すように空間的に直交する2個の巻線を有する回転子と、同様に2個の巻線を有する固定子とから構成される回転形の機械変位-電気量変換器である。回転子の入力電圧 E_{R1} および E_{R2} 、回転角 θ 、固定子の出力電圧 E_{S1} および E_{S2} との間には次式で示す関係がある。

$$E_{S1} = k(E_{R1} \cdot \sin \theta + E_{R2} \cdot \cos \theta)$$

$$E_{S2} = k(E_{R1} \cdot \cos \theta - E_{R2} \cdot \sin \theta)$$

ここで k は比例定数

いま回転子の1個の巻線のみに入電圧 E を与えると

$$\begin{aligned} E_{S1} &= kE \sin \theta \\ E_{S2} &= kE \cos \theta \end{aligned} \quad (E_{S1}, E_{S2}, E \text{ はそれぞれ正弦波である}) \dots (4.1)$$

となり、2個の出力巻線にはその振幅が軸の回転角 θ の正弦および余弦に比例した正弦波が得られる。この2個の巻線を図のようにそれぞれ抵抗 R およびコンデンサ C を通して接続するとその出力電圧 E_0 は次のようになる。

$$\dot{E}_0 = \frac{X_C^2 \dot{E}_{S1} + R^2 \dot{E}_{S2}}{R^2 + X_C^2} + j \frac{RX_C \dot{E}_{S1} - RX_C \dot{E}_{S2}}{R^2 + X_C^2}$$

ここで $R = X_C$ に選ぶと

$$\dot{E}_0 = \frac{\dot{E}_{S1} + \dot{E}_{S2}}{2} + j \frac{\dot{E}_{S1} - \dot{E}_{S2}}{2} \dots (4.2)$$

となり式(4.2)に式(4.1)を代入すれば

$$\dot{E}_0 = \frac{kE}{\sqrt{2}} \angle \theta - \frac{\pi}{4}$$

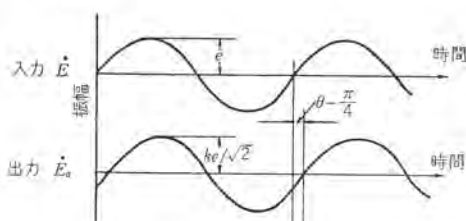


図4.3 レゾルバの入出力波形
Input waveform and output waveform of resolver phase shifter.

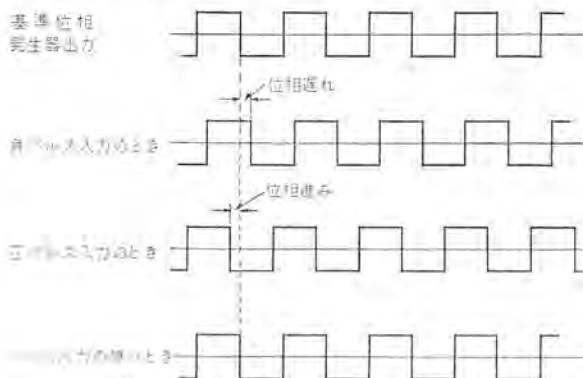


図4.4 デジタル位相変調器出力
Output of digital phase modulator.

が得られる。すなわち出力電圧 E_0 は振幅一定で、位相が入力電圧 E に対して回転子の角度 θ に比例して変化する。これらの波形関係を図4.3に示す。レゾルバは普通10分程度の精度をもっているから、軸1回転を6mmにとると0.01mmは36分に相当し検出精度は約 3μ となる。

図4.1の基準位相発生器は図4.2の入力 \dot{E} を与えるためのもので、基準発振器の周波数を低減する回路である。この出力は出力増幅器を通して電力増幅され、レゾルバ入力電圧 \dot{E} となる。

デジタル位相変調器は、基準位相発生器と同様基準発振器の周波数を低減したものが出力であるが、もう一つゲート回路からのパルス入力端子を有している。この入力端子に正または負のパルスがはいるとデジタル位相変調器の出力位相は、基準位相発生器の出力に対して進んだり遅れたりする。この関係を図4.4に示す。ここで位相のずれの量はゲート回路からの入力パルス数に比例し、ずれる早さは入力パルスの密度に比例する。この装置では入力パルス600個でちょうど 360° の移相を行なうようになっており、したがって片方向のみに600個のパルスを加えると入力パルスのなかったときと同位相になる。

位相弁別回路はレゾルバの出力位相(位置帰還量)とデジタル位相変調器からの位相を比較して位相差を弁別する回路で、レゾルバ出力位相に比較して、デジタル位相変調器出力位相が進んでいるときには、正誤差信号、遅れているときには負誤差信号を出し、同位相の場合には出力は出ない。この位相弁別回路の出力は、デジタル位相変調器に加わる正負パルスを制御するゲート回路へ結合されている。

指令パルス発生器は、デジタル位相変調器へ加えるパルス源である。ゲート回路を通ったこの指令パルス発生器出力パルスは、位置指令レジスタへも減算パルスとして加えられている。

判別回路出力により変速停止機構が動作し、機械テーブルが高速で駆動されたとすると、レゾルバ軸回転によりその位相が変化する。デジタル位相変調器からの出力位相が変わらないとすると、位相弁別回路には、たとえば正誤差信号が発生する。これによりゲート回路が開かれて指令パルス発生器から正のパルスがデジタル位相変調器へ加えられ、デジタル位相変調器の出力位相を進める。

これによりレゾルバ出力位相とデジタル位相変調器出力位相とは同位相となり、位相検出器出力は零となる。したがってゲート回路は閉じてデジタル位相変調器への入力パルスはなくなる。レゾルバの軸回転により位相差が出れば、ふたたび同様な動作を繰り返す。

このようにしてデジタル位相変調器、位相弁別回路、ゲート回路は閉ループを形成してレゾルバからの帰還位相に追従する。

一方ゲート回路出力パルスは、位置指令レジスタへも加えられテータ入力指令値からの減算を行なう。したがって位置指令レジスタの内容は設定目標位置と現在位置との差となり、この大小によって高速・中速・低速・停止の判別を行なうことができる。機械テーブル停止後は位置指令レジスタの内容をゼロにするまでゲートを開き、設定値との差をデジタル位相変調器に記憶させて誤差の累積をなくしている。

4.2 MELDAS-4200の動作原理

図4.5にMELDAS-4200の制御ブロック図を示す。図では直流モータによる駆動で高速送りは弱め界磁を併用している場合を例示し、また1軸分のみ止めて他は省略してある。

紙テープより与えられた入力指令が、入力制御回路を経て各レジスタに記憶されることは、MELDAS-3200と同様である。MELDAS

ゲート回路を経たデジタル位相変調器への入力パルスは、同時に位置指令レジスタへ与えられ、指令値からの減算を行なう。判別回路は、位置指令レジスタの内容が零になったときゲート回路を閉じてデジタ

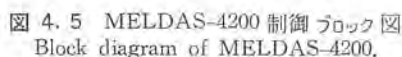


図 4.5 では、直流モータによる駆動の場合を示したが、その他図 4.6 に示すような方式が適用できる。図 4.6(a) は、直流モータ、交流モータを差動ギヤで連結して機械テーブルを駆動する方式で、直線切削時は、交流モータはブレーキでロックし、直流モータのみで駆動し、位置ぎめの場合は、直流モータの電機子に最大電圧を与え、また高速切換回路の出力信号で交流モータも起動させ、差動ギヤで両者の和の回転速度で機械を駆動する方式である。

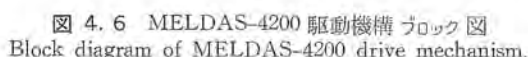


図4.6(b)は、直線切削の場合は直流モータで駆動し、位置決め時は交流モータで駆動する方式で、高速切換回路の出力信号で直流モータ、交流モータ切換クラッチを働かせる。

図4.6(c)は、油圧モータによる駆動で、この場合駆動増幅器は、必要なく、その代わりパルス駆動増幅器によりサーボ弁を制御する。油圧モータは、直流モータに比べ変速比がかなり大きいので、通常は直流モータのときのように早送りに対して弱め界磁、交流モータの併用などの特別な制御あるいは駆動装置を必要としなが、早送り速度が非常に大きい場合には、特殊なサーボ弁の使用あるいは交流モータの併用も行なう。

5. プログラミング

MELDAS-3200, MELDAS-4200 は共通のプログラム体系をもっているので以下一括して述べる。

5.1 プログラムブロックの構成

1ブロックは一つの指令をもっており、指令は、一つあるいは二つの語により構成されている。各語は、その頭に一つのアルファベット文字を持つ10進数値により構成されている。語の種類には、つぎの8種ある。

- | | |
|---------------|-------------------------------|
| (1) シーケンス番号 | 頭文字 N |
| (2) 座標語 | 頭文字 X, Y, Z, U, V, W, A, B, C |
| (3) 送り速度 | 頭文字 F |
| (4) 準備語 | 頭文字 G |
| (5) 主軸回転指数 | 頭文字 S |
| (6) 工具番号 | 頭文字 T |
| (7) 補助語 | 頭文字 M |
| (8) 移動量ダイヤル選択 | 頭文字 H |

ブロック内での語の配列順序は、ワードアドレス方式を採用しているので特別の制限はない。また各ブロックの最後には、必ずEBマーク(End of Block)をおく。このEBマークは、タイプライターの Carriage Return と同じである。

なお、つぎのコードは無作業すなわち制御装置は読みとばす。

- | |
|-------------|
| (1) オールマーク |
| (2) テープフィード |
| (3) スペース |

したがってテープ作成中ミスパンチをした場合には、テープをバックさせて誤まった文字の上にオールマークを重ね打ちすることにより、その文字をキャンセルすることができる。

また前述した八つの語、三つの無作業コード、数値、符号、EBマーク以外の不必要な文字、および機能コードが指令テープ中にあると誤動作することがあるので上記のもの以外は打ってはならない。

以下各語の説明を行なうが、G, F, S, T はその内容が保持されているので、それぞれ変更が加えられるときのみプログラムにつけるとよい。

5.2 各語の説明

5.2.1 シーケンス番号 Nddd (dは10進数値)

ブロックの最初にさん孔し、文字Nとそれにつづく最大999の数字からなる。選択仕様で表示を行なう場合のみ必要で無作業である。

5.2.2 座標語 X (Y, Z, U, V, W, A, B, C) ±dddddd

機械の移動量を与えるもので、数値は0.01mm単位で与え、上位けたの0は省略してもよいが、下位けたの0は必ずつける必要がある。たとえば、36mmの量を規定するには3600と与える。もし36

と与えると0.36mmとみなされる。座標軸は、上記9種のうち3軸(選択仕様で最大5軸)を選択したものを持ちいる。数値は最大指令値を(9999.99mm)をこえてはならない。+符号は省略してもよい。

5.2.3 送り速度 Fd または Fddd

直線切削指令の送り速度を与える。標準仕様では数値dは3個(選択仕様により最大7個)の送り速度設定ダイヤルのいずれかを指定する1~3(1~7)を与える。

選択仕様により送り速度テープ指令の機能をもたせた場合は、数値dddはmm/分単位の整数で与える。上位けたの0は省略してもよい。なおこの語は、MELDAS-4200にのみ必要である。

5.2.4 準備語 Gd

(1) 位置決め指令 G0X (Y, Z, ……, B, C) ±dddddd

位置決め指令は、G0と座標語で与える。たとえば、X軸50mmの点に位置決めする場合は、G0X5000EBとなる。

また選択仕様で同時2軸位置決め機能を有している場合は、あらかじめ決められた2グループの座標軸について、1ブロックの中に各グループから一つずつの座標語を同時に与えることができる。たとえばX, Y, Z, A, Bの5軸制御の場合、第1グループをX, A, B, 第2グループをY, Z, と仕様上決まっていれば、XY, AZなどは同時2軸駆動できるが、XA, YZなどは同時駆動できない。今X軸30mm, Y軸80mmの点に位置決めする場合の例を示すとG0X3000Y8000EBとなる。

(2) 直線切削指令 G1X (Y, Z, ……, C) ±dddddd Fd

直線切削指令はG1と座標語と送り速度とで与える。たとえば、X軸を150mm/分の速度で100mm直線切削し、さらにY軸を同一速度で200mm直線切削する場合は、設定ダイヤルFIで150mm/分を速度設定したとして、テープ指令は次のようになる。

G1X10000F1EB Y20000EB

なお、この指令は、MELDAS-4200にのみ必要な指令である。

(3) プログラム停止 G2

プログラム停止は、G2EBで与える。この指令を読むと送りのみ停止し、自動起動ボタンを押すことによりテープリーダーが再起動し、残りのプログラムを続行する。

(4) 加工開始指令 G3 (またはG4)

この指令は、MELDAS-3200のみに必要な指令で、位置決め終了後、穴あけなどの加工指令を出すものである。加工完了信号を受けて次のブロックに進む。G3とG4は、まったく同じ指令であるが、二つのヘッドがあって、それぞれ独立に加工指令を与える必要がある場合に一つのヘッドに対する加工指令をG3、もう一つのヘッドの加工指令をG4とする。

以上各準備語を説明したが、その他選択仕様でねじ切り指令G5などがある。

5.2.5 補助語 Mdd

主軸正転・逆転・停止などの機械制御および入力装置の選択などを行なうもので、数値ddは0~29を与える。上位けたの0は省略してもよい。

(1) ダイヤル入力ON指令 M0

この指令は、後述する語Hを併用し、このHによりいくつかの設定ダイヤルのうち読込むべき設定ダイヤルが指定される。この指令が読み込まれると、次の読み込みは選択されたダイヤルの指令を読み込み遂行する。この読み込んだ指令を完了すると、次の読み込みは

テプリーダより行なう。この場合設定ダイヤルにより行なうことのできる指令は、G指令のみである。つぎにM0指令を含む例を示す。この場合、H1の設定ダイヤルには、G0X3000EBが、またH2の設定ダイヤルにはG0Y8000EBが設定されているとする。

G1X15000F1EB X軸150mmF1で切削送り
M0H1EB X軸30mm移動
M0H2EB Y軸80mm移動
G1Y-2500EB Y軸負方向へ25mmF1で切削送り

この指令は、原点移動、削りしろ変更、工具オフセットなどに応用できる。

(2) オptional 停止指令 M1

この指令は、外部操作盤のOptionalスイッチと関連がある。このスイッチがONとなっておれば、この指令を読むと送りを停止し、自動起動ボタンを押すことにより再起動する。スイッチがOFFになっていれば、この指令は無視される。

(3) 補助リーダON指令 M2

補助リーダOFF指令 M3

メインのテプリーダのほかに、補助リーダが付加されている場合に必要の指令で、メインリーダから読まれる指令テプにM2EBとあると、次からは補助リーダより読み込まれる。補助リーダから読まれる指令テプにM3EBとあると、次からはメインテプリーダより読み込まれる。これは、プログラム中同じシーケンスが繰り返し出てくる場合、この部分のプログラムだけ補助テプリーダにかけ、必要なときにメインテプリーダから補助リーダに切換え、その部分のプログラムが終わったらメインリーダに戻すようにしてメインのプログラムを簡単化する場合などに使われる。

(4) テプOFF形ON指令 M4, M6

テプOFF形OFF指令 M5, M7

指令としては、M4とM5、M6とM7が対となっており、M4EB(またはM6EB)が読まれると外部への信号をONにし、M5EB(またはM7EB)が読まれるまでONを持続する。いずれの指令も外部への信号を切換えるとすぐ次の指令を読み込む。

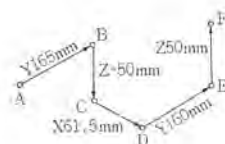
(5) 遅延OFF形補助指令 M8, M9

この指令が読まれると一定時間外部へON信号を出すもので、ON信号がなくなると次の指令を読み込む。これはDwellなどに応用され、ON信号を出す時間は外部にて設定できる。

(6) 外部OFF形補助指令 M10~M29

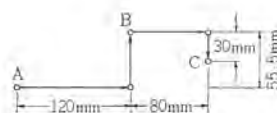
この指令が読まれると外部にON信号を出す。外部制御盤でこの信号によるシーケンスを完了すると、完了信号を受けてON信号を切り、次の指令を読み込む。

以上補助指令について説明したが、(4)、(5)、(6)の補助指令は、初めにおのおのの機械制御と対応がつけられており、上記ON信号により機械制御が行なわれる。たとえばM10EBは主軸起動、M11EBは主軸停止と決めてあれば、M10、M11により主軸起動停止のプログラムが行なわれる。



シーケンス番号	指令	EB	描 要
N 1	G0X16500	EB	B点位置決め
N 2	M10	EB	主軸起動
N 3	Z-5000	EB	C点位置送り下降
N 4	G1X6150F1	EB	C-D切削
N 5	Y16000	EB	D-E切削
N 6	G0Z5000	EB	F点位置送り上昇

図 5.1 MELDAS-4200 プログラム例
Example of MELDAS-4200 programming.



シーケンス番号	指令	EB	描 要
N 1	G0X12000	EB	B点位置決め
N 2	Y5550	EB	B点加工
N 3	G3	EB	B点位置決め
N 4	G0X8000	EB	C点位置決め
N 5	Y-3000	EB	C点加工
N 6	G3	EB	C点加工

図 5.2 MELDAS-3200 プログラム例
Example of MELDAS-3200 programming.

5.2.6 主軸回転指数 Sdd

主軸回転数とあらかじめ対応をつけられた指数を与えるもので、最大100個のいずれかを選択するものである。数値ddは、0~99を与える。上位けたの0は省略してもよい。

5.2.7 工具番号 Tdd

工具番号としてあらかじめ命名された最大100個のいずれかを選択するもので、通常工具交換指令(外部OFF形補助指令)と併用される。上位けたの0は省略してもよい。

5.2.8 移動ダイヤル選択 Hd

5.2.5項の(1)で説明したダイヤル入力ON指令と併用されるもので、最大9チャンネルある設定ダイヤルのうち、いずれの設定ダイヤルから読み込むかを選択するものである。

5.3 プログラムの一例

図5.1にMELDAS-4200を用いる場合のプログラムの一例を示す。この場合補助指令M10は主軸起動となっている。また図5.2にMELDAS-3200を用いる場合のプログラムの一例を示す。

図中プロセスシートは簡略化してあるが、実際には各語ごとに欄をわけチェックを容易にする必要がある。

6. む す び

以上MELDAS-3200、MELDAS-4200のあらましを説明したが、低価格、小形、高信頼性など多くの特長をもつこの装置が、今後ますます進むであろう機械加工工業の自動化の一翼をになうことが期待される。

なお、MELDAS-4200の1号機は、当社伊丹製作所にて横中ぐり盤数値制御(機械本体は池貝鉄工製)として9月より実動し、またMELDAS-3200の1号機は、当社神戸製作所でターレットパンチプレス数値制御として10月より実動の予定である。

指令電話装置

三室正巳*・加藤典正*

室田 慎**・山内才胤**・中川弘平**

Selective Telephone Equipment

Japanese National Railways, Electrical Engineering Dept.
Mitsubishi Elec. Corp., Communication Equipment Works.

Masami MIMURO・Norimasa KATÔ
Shin MUROTA・Toshitane YAMAUCHI
Kôhei NAKAGAWA

With the progress of modernization of railways necessity has arisen to carry out smooth operation of high speed and high density traffic. This has brought about more and more importance on the selective instructions of trains in operation. The Japanese National Railways have realized the trend and taken up instructing telephone equipment of frequency selective type F_1 and F_2 in the place of old western type selective telephone equipment in view of speeding up the instructions with high reliability in transmission. Study in the development of new equipment was set fourth in 1961 and bore fruit in 1965 putting it into practice. Nevertheless, further improvement has been thought about, and to signal selecting elements of individual telephone equipment have been applied mechanical filters instead of lead selectors so as to elevate the reliability. The article describes the outline of new devices.

1. ま え が き

F-1 形および F-2 形指令電話装置は、日本国有鉄道の通信の近代化の一環として、昭和 36 年より開発を進め、昭和 40 年その実用化を見た。列車ダイヤの過密化に伴い鉄道の指令業務は、ますますその重要性が叫ばれている今日、この指令電話装置は高信頼度および通信の迅速なことなどが高く評価され、鉄道の運転・配車・旅客・電力などの指令業務用電話装置として重要な役割を果たしているが、このたびさらに信頼度を向上するため、この装置の心臓部とも言え

る子電話機の信号選択素子にメカニカルフィルタを採用したので、ここにあらためて装置の概要について紹介する。

2. 装置の概要

指令電話装置は、鉄道の運転・配車・旅客・電力などの指令業務のほかに、電力の送電系統・警察・消防・工場など各所に散在する個所機関へ常に 1 個所より指令、およびこれに対する報告等を迅速に通信することを必要とする場合に、最も適する接続線電話装置である。指令電話装置は、指令所に設置する親装置および駅・派出所等に設置する子電話機により構成し、親装置と多数の子電話機は図 2.1 に示すように一対のケーブルまたは裸線に接続して使用される。また図 2.2 に示すように搬送装置をアプローチして遠距離との通信を行なうことができる。

2.1 装置の種類

F-1 形と F-2 形の違いは、親装置から子電話機を呼出す場合の信号方式と、F-2 形の親装置が F-1 形に比べて簡易化されている点であり、本質的には違いがないので、ここでは F-1 形について説明する。なお相違点の詳細は性能の項を参照されたい。親装置は表 2.1 に示すように座席容量と回線容量により 3 種類にわかれて



図 1.1 指令電話親装置および指令操作台
Master telephone equipment and operating consoles.



図 1.2 指令子電話器群
Group of individual telephone equipment.

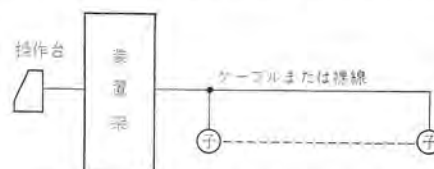


図 2.1 実回線の場合の回線構成
Circuit construction with real link.

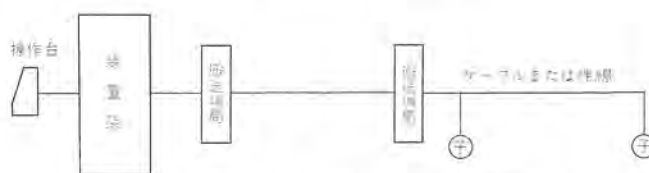


図 2.2 搬送をアプローチした場合の回線構成
Circuit construction with carrier terminal equipments.

表 2.1 装置の種類
Type of equipment.

種 類	座 席 容 量	回 線 容 量	記 事
F-1 形 1 号	3	6	座席および回線の 実装数は指定によ る
F-1 形 2 号	7	18	
F-1 形 3 号	17	30	

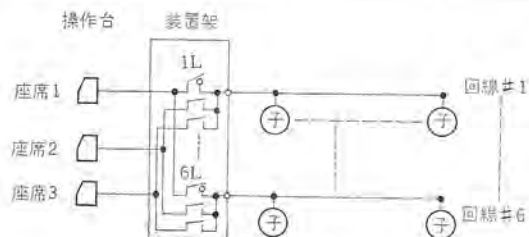


図 2.3 F-1 形 1 号 系統図
Schematic diagram of type F-1-1.

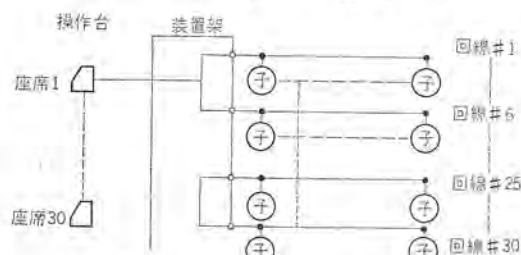


図 2.4 F-1 形 3 号 系統図
注) 同一回線は任意の右に接続できる
Schematic diagram of type F-1-3.

表 2.2 子電話機種別
Type of individual telephone equipment.

種 類	呼 出 し 種 別	記 事
F-1 形 1 号	運 転 座 席	呼出し用押しボタン 1 個実装
F-1 形 2 号	運転および配車座席または旅客	呼出し用押しボタン 2 個実装

おり、図 2.3、2.4 に F-1 形 1 号および F-1 形 3 号の場合の系統図を示す。親装置は、操作台と装置架に大別され、操作台は指令者と子電話機相互の呼出通話を行なうために必要な操作機能を有し、装置架とは別な場所に配置し、装置架を遠隔制御する。一方、子電話機を呼出するための回路、子電話機からの信号を選択する回路等は装置架に收容されている。子電話機は運転業務・旅客業務等を 1 台の電話機より報告する場合があるので、連絡先を選択する必要がある、表 2.2 に示す 2 種類に別れている。

2.2 呼出しの種類

親装置から子電話機を呼び出す場合は、

- (1) 個別呼出しは 1 個所の子電話機のみ呼び出す場合。
- (2) 群呼出しは同一回線に接続された子電話機を 10 個以下の 4 群に分けて呼び出す場合。
- (3) いっせいに呼出しは同一回線に接続された子電話機をいっせいに呼出す場合。

の 3 種類の方法で呼出しを行なうことができ、それぞれ子電話機が応答することにより通話が行なえる。

子電話機から親装置を呼び出す場合は、2.1 節で述べたとおり、1 号の場合は運転座席、2 号の場合は運転および配車座席、または旅客座席を電話機の前面に実装された押しボタンスイッチの操作によ

り呼び出すことができ、親装置が応答することにより通話を行なうことができる。

注) F-2 形の場合は親装置からの群呼出しはできない。

3. F-1 形 指令電話装置

3.1 親装置の性能

- (1) 性能は温度 20°C 相対湿度 70 % のときを基準とする。
- (2) 電源電圧は直流 48 V \pm 5 V。
- (3) 呼出し種別
 - 個別呼出し：40
 - 群別呼出し：4 (1 群の子電話機は 10 個以下)
 - いっせいに呼出し：1
- (4) 子電話機の接続数は 1 回線に標準 30 個以下、最大は 40 個である。

表 3.1 呼出番号一周波数略号
Relationship of signal frequency with address number
for type F-1 individual telephone equipment.

呼 出 番 号	OSC ₁	OSC ₂	OSC ₃	OSC ₄	群
1	F ₂	F ₁	F ₂	F ₀	1 群
2	F ₃				
3	F ₄				
4	F ₅				
5	F ₆				
6	F ₇				
7	F ₈				
8	F ₉				
9	F ₁₀				
10	F ₁₁				
11	F ₁	F ₃	F ₁	F ₀	2 群
12	F ₃				
13	F ₄				
14	F ₅				
15	F ₆				
16	F ₇				
17	F ₈				
18	F ₉				
19	F ₁₀				
20	F ₁₁				
21	F ₁	F ₃	F ₁	F ₀	3 群
22	F ₂				
23	F ₃				
24	F ₄				
25	F ₅				
26	F ₆				
27	F ₇				
28	F ₈				
29	F ₉				
30	F ₁₀				
31	F ₁	F ₄	F ₁	F ₀	4 群
32	F ₂				
33	F ₃				
34	F ₄				
35	F ₅				
36	F ₆				
37	F ₇				
38	F ₈				
39	F ₉				
40	F ₁₀				

表 3.2 呼出し種別一発振器
Relationship of oscillation number with type of call.

呼 出 番 号	動 作 す る 発 振 器	
	第 1 信 号	第 2 信 号
個 別	OSC ₁	OSC ₃
群	OSC ₃	OSC ₂
い っ せ い	OSC ₃	OSC ₄

表 3.3 信号周波数
Signal frequency of type F-1 individual telephone equipment.

周波数略号	公称周波数 c/s
F ₀	697.5
F ₁	712.5
F ₂	727.5
F ₃	742.5
F ₄	757.5
F ₅	772.5
F ₆	787.5
F ₇	802.5
F ₈	817.5
F ₉	832.5
F ₁₀	847.5
F ₁₁	862.5
F ₁₂	877.5

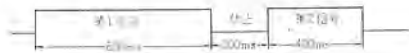


図 3.1 呼出し信号の送出時間
Transmission time of selective signal from master to individual.

(5) 子電話機の呼出し番号の呼出し信号周波数およびその組合わせは表 3.1~3.3 による。

(6) 呼出し信号周波数の確度は、表 3.3 に示す公称周波数に対し ± 0.1 c/s 以内である。

(7) 信号方式は音声帯域内 2 周波の時分割逐次送出方式。

(8) 信号送出時間は図 3.1 に示すとおりとし、呼出し電源の操作ごとに 1 回送出とする。

(9) 呼出信号の送出レベルは 0 dBm を標準とし、レベル変動は ± 1.5 dB 以内とする。

(10) 受信信号

(a) 受信信号周波数は 2,140 c/s 単独、2,140 c/s と 2,040 c/s の 2 周波共用の 2 種類とする。

(b) 受信信号周波数の確度は ± 10 c/s 以下。

(c) 信号の受信レベルは +3 dBm ~ -25 dBm

(11) 通話レベルは周波数 1 kc においてつぎのとおりとする。

送 話：入力 -5 dBm において $0 \pm \frac{2}{3}$ dBm

受 話：入力 20 dBm において $-20 \text{ dBm} \pm \frac{2}{3} \text{ dBm}$

(12) 外線側インピーダンスは 600 Ω を標準とする。

3.2 子電話機の性能

(1) 性能は温度 20°C 相対湿度 70 % のときを基準とし、つぎのとおりとする。ただし温度の -10°C ~ +40°C 範囲で動作に支障なきものとする。

(2) 使用電源

電 圧：直流 6 ± 1 V

消費電流：動作時 300 mA 以下、待機時 5 mA 以下

(3) 動作減衰量は 1 kc で測定し表 3.4 のとおりとする。

(4) ひずみ率は出力 1 mW (600 Ω) 測定周波数 1,000 c/s において 10 % 以下。

(5) 直流電鈴の電鈴音量は直流電鈴を電話機にとりつけた状態で、電話機底板の中心より前方 0.5 m の点において B-60 音圧計で測定し 70 dB 以上とする。

(6) 呼出發振器

(a) 発振周波数

F-1 形 1 号：2,140 c/s

表 3.4 子電話機動作減衰量
Dynamic Attenuation of telephone.

種 別	減 衰 量 dB	記 事
送 話 減 衰 量	5 以 下	入力 -5 dB において
受 話 減 衰 量	7 以 下	入力 -10 dB において
側 音 減 衰 量	18 以 上	入力 -5 dB において

F-1 形 2 号：2,040 c/s および 2,140 c/s

(b) 発振周波数の確度： ± 10 c/s 以内

(c) 線路送出レベル： 0 ± 4 dBm

(7) リングバックトーン

(a) 2,140 c/s

(b) 線路送出レベル： $-15 \text{ dB} \pm 5 \text{ dBm}$

(8) 入力信号動作範囲は +2 ~ -25 dBm

(9) 受信周波数範囲は表 3.1 に示す指定呼出番号に対応する周波数、ただしメカニカルフィルタの組合わせにより、表 3.1 に示すすべての呼出番号に対応する周波数を選択受信できるものとする。

(10) 入力インピーダンス

(a) 1 kc において送受器をかけた状態で 30 k Ω 以上。

(b) 1 kc において送受器をはずした状態で 6 k Ω 以上。

(11) 信号の受信時間は図 3.1 による。

(12) 電鈴鳴動時間は約 3 秒

(13) 信号の選択度

動作帯域幅：公称周波数 ± 4 c/s 以上

不動作帯域幅：公称周波数 ± 10 c/s 以内

3.3 動作概要

(1) 親装置から子電話機を個別呼出す場合

(a) まず、呼び出そうとする子電話機の接続された回線を回線選択電鍵（鍵）の操作により選択すれば、回線選択装置の回線リレーが動作し、それにより受信装置の LINE リレーが動作し、所望の回線の捕そく（捉）が行なわれる。回線が捕捉されれば回線話中ランプと回線監視ランプが点火し、指令者に捕そく完了を告げるとともに他の操作台の回線話中ランプを点火して話中表示を行なう。

(b) 次に加入者呼出し電鍵を押せば、回線選択装置の起動リレーが動作して信号制御装置を捕そくし、所望子電話機に対応する呼出信号が、信号装置→信号制御装置→回線選択装置→受信装置→線路の順で送出される（図 3.2 参照）。信号が送出されている間は回線監視ランプが滅火するとともに送出される信号音が受

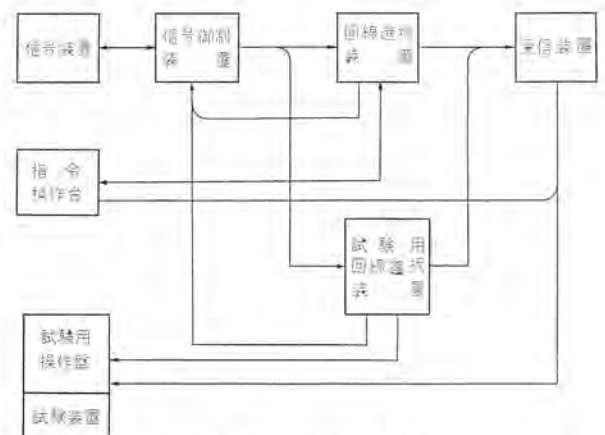


図 3.2 親装置回路構成図 (F-1 および F-2)
Block diagram of type F-1 & F-2 master telephone equipment.

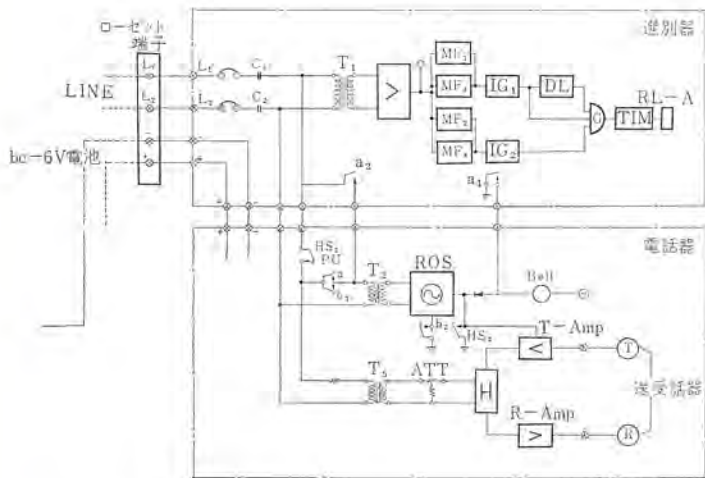


図 3.3 F-1 形子電話器回路構成
Block diagram of type F-1 individual telephone equipment.

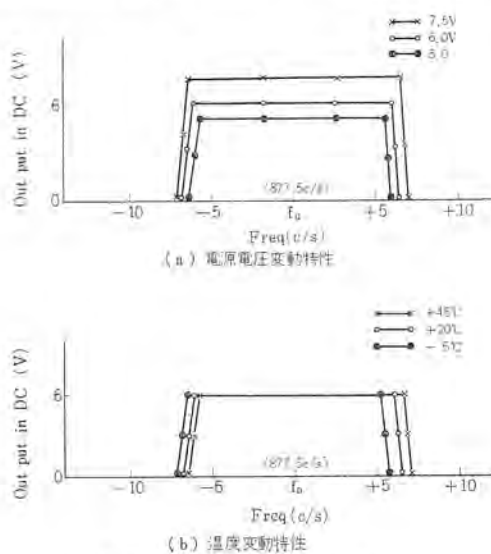


図 3.4 信号選択度特性
Characteristic of signal selectivity.

話器を経て指令者に聞えるので信号送出の確認ができる。

(c) 子電話機は呼出信号を受信すると、図 3.3 に示す MF-1 または MF-3 で第 1 信号の周波数選別を行ない、自局に割り当てられた信号であれば、信号蓄積回路 DL が動作し第 2 信号の到来を待つ。第 2 信号は、MF-2 または MF-4 で周波数選別を行ない、自局相当信号であればゲート回路 G に信号を与える。G は IG₁ に信号がなく、DL と IG₂ から信号が加えられて初めて動作し、TIM→RL-A を動作させベルを約 3 秒間鳴動させるとともに、その間 2,140 c/s のリングバックトーンを指令者に対して直送する。

なお、この信号選択回路には、機械的接触部分がなく、しかも急しゅんな周波数特性を有するメカニカルフィルタを使用しているので、雑音および音声による誤動作は皆無であり装置の信頼度を高めている。(図 3.4~3.6 参照)。

(d) 子電話機で送受話器をはずし応答することにより通話が可能となる。また通話が終了し回路を復旧する場合は、親装置、子電話機共送受話器をもとに戻すだけで、回路はすべて自動的に平常状態に復旧する。

(2) 親装置から子電話機を群呼出しする場合
群呼出しの場合は呼出そうとする群呼出し電けんを押せば、該当

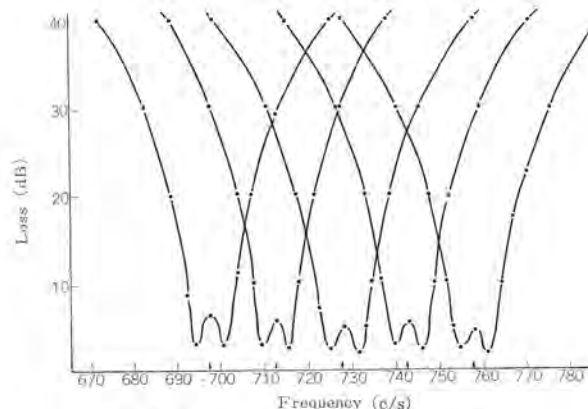


図 3.5 メカニカルフィルタ周波数特性
Frequency characteristic of mechanical filter.

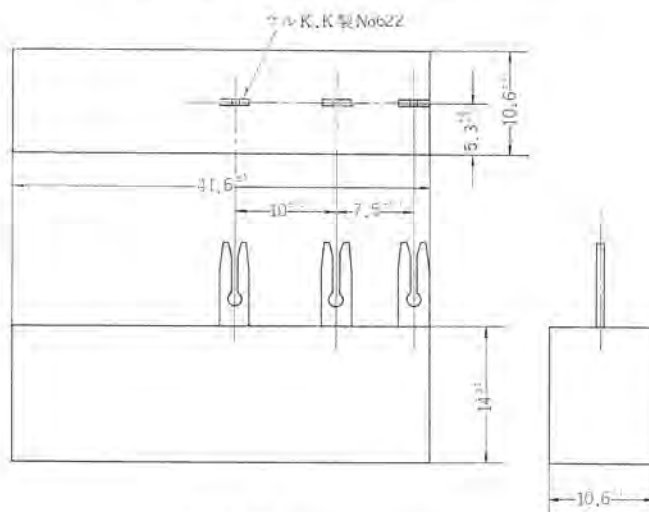


図 3.6 メカニカルフィルタ外観
Exterior view of mechanical filter.

する呼出信号が送出される以外は、個別呼出しの場合と同様である。

(3) いっせいに呼出し

いっせいに呼出しの場合はいっせいに呼出し電けんを押せば、該当する呼出信号が送出される以外は個別呼出しの場合と同様である。

(4) 子電話機から親装置を呼出す場合

(a) まず、子電話機の送受話器をはずしてから呼出しボタンを押すことにより、2,140 c/s、または 2,040 c/s の呼出信号が線路に送出される。

(b) 線路に送出された呼出信号は、受信装置の RING パネルのメカニカルフィルタによって信号周波数のみ抽出されて各周波数に対応した信号受信リレーを動作させる。

(c) 信号受信リレーが動作すると、操作台の呼出ランプを 120 INT で点滅表示をするとともにブザーを鳴動(連続)して呼出し表示を行なう。その間子電話機に対して 1 kc 60 INT のリングバックトーンを指令者が応答するまで送出する。

(d) 指令者は呼出し表示がされている回線の回線選択電けんを押せば、回線選択装置の回線リレーが動作する。それにより受信装置の LING リレーが動作し、通路回路を構成すると同時に信号受信リレーを復旧して、呼出し表示、リングバックトーン等を止め、回線話中表示を点火し通話可能な状態となる。

(e) 通話が終了し、回路を復旧する場合は、送受話器をもとに戻すだけで自動的にこなされる。

(5) 親装置の回線保留

指令者が現に通話をしている回線を保留して他の回線と通話を行なう場合は、新たに通話をする回線の回線選択電鍵を押すことにより、すでに通話中であった回線を自動的に保留状態にし、新たな回線の呼出しおよび通話を通常の手順で行なう。

4. F-2 形 指令電話装置

この装置は F-1 形指令電話装置を簡易化したもので、比較的通信ひん度の低い回線に使用する目的で設計したものである。次に記述する F-1 形と F-2 形の相違点以外はすべて F-1 形に準拠しているので割愛する。

4.1 F-1 形と F-2 形の相違点

(1) 親装置の座席および回線容量 (1 種類のみ)

座席容量 : 3 座席

回線容量 : 6 回線

(2) 親装置性能

(a) 呼出種別

個別呼出し : 30

いっせい呼出し : 1

(b) 子電話機の呼出し信号周波数は表 4.1 による。

(c) 呼出信号周波数の確度は、表 4.1 に示す公称周波数に対して $\pm 0.05\%$ 以内とする。

(d) 呼出し信号の送出時間は 1 回約 3.5 秒間である。

(e) 受信信号

(i) 受信信号周波数 2,300 c/s 単独および 2,300 c/s と 2,100 c/s の 2 周波共用とする。

(ii) 受信信号の周波数確度 ± 20 c/s 以下。

(f) 回線保留機能は有していない。

(3) 子電話機の性能

(a) 使用電源

電 圧 : 直流 6 V ± 0.5 V

消費電流 : 動作時 300 mA 待機時 10 mA

表 4.1 呼 出 信 号 周 波 数

Signal frequency of type F-2 individual telephone equipment.

周波数略号	公称周波数 c/s	周波数略号	公称周波数 c/s
F ₀ ⁽¹⁾	1,957.5	F ₁₀	1,507.5
F ₁	1,057.5	F ₁₇	1,537.5
F ₂	1,087.5	F ₁₈	1,567.5
F ₃	1,117.5	F ₁₉	1,597.5
F ₄	1,147.5	F ₂₀	1,627.5
F ₅	1,177.5	F ₂₁	1,657.5
F ₆	1,207.5	F ₂₂	1,687.5
F ₇	1,237.5	F ₂₃	1,717.5
F ₈	1,267.5	F ₂₄	1,747.5
F ₉	1,297.5	F ₂₅	1,777.5
F ₁₀	1,327.5	F ₂₆	1,807.5
F ₁₁	1,357.5	F ₂₇	1,837.5
F ₁₂	1,387.5	F ₂₈	1,867.5
F ₁₃	1,417.5	F ₂₉	1,897.5
F ₁₄	1,447.5	F ₃₀	1,927.5
F ₁₅	1,477.5		

注) 1 F₀ の公称周波数は、いっせい呼出し周波数に使用する。

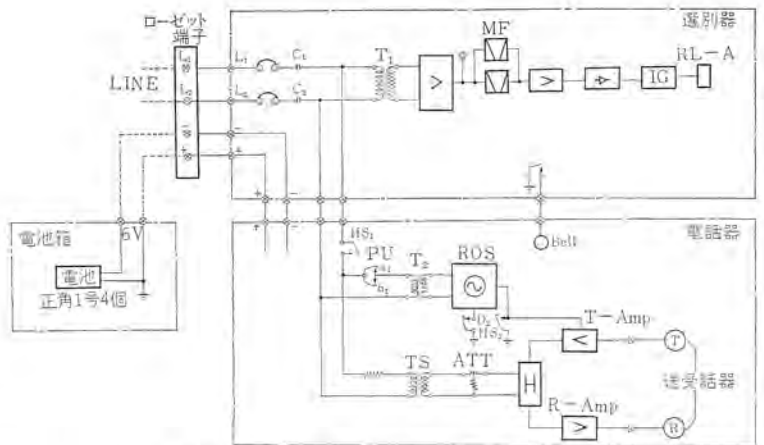


図 4.1 F-2 形子電話器回路構成図
Block diagram of type F-2 individual telephone equipment.

(b) 呼出し発振器

F-2 形 1 号 : $2,300 \pm 15$ c/s

F-2 形 2 号 : $2,100 \pm 15$ c/s と $2,300 \pm 15$ c/s

線路送出レベル : 0 ± 3 dBm

(c) 選択度

動作帯域幅 : 公称周波数 ± 3 c/s 以上

不動作帯域幅 : 公称周波数 ± 20 c/s 以内

(d) 親装置に対するリングバックは返送しない。

(4) 親装置の呼出信号方式

音声帯域内周波数 1 波の周波数選別方式を採用しており、音声・線路雑音等による誤動作を防ぐため、子電話機の信号選択素子にはメカニカルフィルタを使用し、さらに信号周波数と同一な周波数が短時間子電話機に加わっても、誤動作を起こさないよう、約 600 ms の信号吸収回路を設けてある。

4.2 動作概要

親装置からの呼出しおよび子装置からの呼出しも、子電話機の信号受信動作が 1 周波を受信するのみで動作する点以外は、3.2 節の F-1 形の動作とまったく同じであるからここでは割愛する。

5. 伝 送 線 路

この装置 (F-1 形, F-2 形) は親装置と多数の子電話機とを一對のケーブル、裸線または搬送装置等により回線構成を行なうので、ここに装置を使用するにあたっての回線設計の概略について述べる。

5.1 線路損失

この装置の線路損失は周波数 1 kc で測定して、20 dB を標準としている。これは子電話機が同一回線に接続された場合の分岐損失を含めた値である。したがって、つぎの関係を満足するよう回線設計を行なわなければならない。

(1) 個別呼出し通話時

$20 \text{ dB} \geq \text{「線路のみの損失」} + \text{「送受信器をかけたときの子電話機 1 個あたりの分岐損失} \times m \text{」}$

(2) いっせい呼出し通話時

$40 \text{ dB} \geq \text{「線路のみの損失」} + \text{「送受信器をはずしたときの子電話機 1 個あたりの分岐損失} \times n \text{」}$

ただし n は同一回線に接続される子電話機の個数

(3) 線路のみの損失

線路個有の損失のほかにつぎの損失も加味して考えなければならない。

表 5.1 子電話機 1 個あたりの分岐損失
Insertion loss of a individual telephone equipment.

線路種別	特性インピーダンス Ω	分岐損失 dB	
		送受話器をかけたとき	送受話器をはずしたとき
装荷ケーブル	1,400	0.2	0.9
無装荷ケーブル	480	0.07	0.3
裸線	680	0.09	0.4

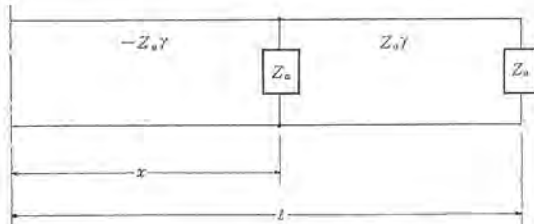


図 5.1 線路の等価回路 (γ は単位長あたりの減衰量)
Equivalent circuit of line (γ : att/unit length)

(a) 特性インピーダンスの異なる回線を接続する場合は、中継線輪をそう入してインピーダンス整合を行なう必要がある。この場合、中継線輪 1 個あたりのそう入損失は 0.3 dB 程度である。

(b) T 分岐で回線が接続される場合、同一特性インピーダンスの回線状態で相方に約 3 dB の分岐損失が生ずる。

$$T \text{ 分岐損失} = 10 \log P_2/P_1 = 10 \log 1/2 \div 3 \text{ dB}$$

(c) 搬送装置をアプロチする場合は、端局により 8 dB または 4 dB の損失を生ずる。なお、この場合はとくに搬送装置の周期ずれを最悪 3 c/s 以内にしなければならない。これ以上同期ずれを

生ずる場合は副搬送波装置を使用する。

(4) 指令子電話機の方岐損失

回線に子電話機を接続した場合、そこに分岐損失を生ずるが、子電話機 1 個あたりの分岐損失は、各種線路における通話時・無通話時の別により表 5.1 に示すとおりである。なお分岐損失の算出はつきによる。図 5.1 において線路の特性インピーダンス (Z_0) に子電話機の入力インピーダンス (Z_a) をそう入したときの分岐損失 (Δ) は式 (5.1) のとおりである。

$$\Delta = 10 \log \left[1 + \frac{Z_0}{Z_a} + \frac{Z_0}{4Z_a} (1 - e^{-4lx}) \right] \dots \dots \dots (5.1)$$

式 (5.1) において、 $1 - e^{-4lx} \leq 0.1$ の場合にはこの項は無視して、近似式式 (5.2) で算出できる。

$$\Delta \div 10 \log \left(1 + \frac{Z_0}{Z_a} \right) \dots \dots \dots (5.2)$$

ただし Z_a の値は無通話時 (送受話器をかけた状態で) 30 k Ω 、通話時 (送受話器をはずした状態) で 6 k Ω として算出する。

6. む す び

ここに述べた指令電話装置は、信号の選択素子にメカニカルフィルタを使用することにより、装置の信頼度を向上するとともに、搬送回線に付加装置を必要としないで接続できること、および子電話機の待機時の消費電力を軽減することにより小容量の電池で駆動できるなど、多くの利点を生むことができたので鉄道関係はもとより、電力・警察・消防関係等広範囲に使用できる装置である。

(昭 42-9-29 受付)

MELCOM-3100 ソフトウェア (3)

—モデル 30 T におけるプログラムの処理—

首 藤 勝*・中山 俊英*・末沢 敏裕*・東海林正明*

MELCOM-3100 Software (3)

—Process of Programs in MELCOM-3100-30 T—

Kamakura Works

Masaru SUDÔ・Toshihide NAKAYAMA・Toshihiro SUEZAWA・Masaaki TÔKAIRIN

A MELCOM-3100 Model 30 tape system (called 30 T) is one of typical configurations in the MELCOM-3100 series. Though the 30 T software system keeps upward compatibility from 10 T software, it has a number of distinguished features based upon the upgraded design concepts especially as to manipulation of programs which provide efficient and flexible computer operations.

In this paper are described a method of program edition in 30 T-OS and structure of programs from the viewpoint of program edition. Then, referred to is a symbolic assignment of I/O devices.

1. ま え が き

MELCOM-3100 モデル 30 T オペレーティングシステムは、使用可能な言語のうえでは 10 T-OS のそれと互換性を有し、ジョブ制御方式では 10 T-OS と同じスタッキングジョブ制御を採用している。しかし、プログラムを作成してから実行するまでの処理過程、あるいは、プログラム実行の操作性の面でいくつかの改善、機能拡張が施されている。その中で顕著なものとして次の項目をあげることができる。

- (1) 磁気テープベースでのオペレーティングシステムでの欠点を実質的に解決している。
- (2) SPOOLING と呼ばれるマルチプログラミングを行なうことができる。
- (3) プログラムの RERUN に関して十分な考慮がはらわれている。
- (4) プログラムのリケーションが行なえる。
- (5) 入出力機器のシンボル割付けが可能である。

(1)～(3)については、すでに別稿で説明されているので、ここでは、(4)、(5)についての説明を中心にし、(1)～(5)の採用により新しく生れたスーパーバイザ命令についても説明を加える。

2. プログラムの処理過程

2.1 処理過程の概略

MELCOM-3100-30 T オペレーティングシステム(以下 30 T-OS と略す)

では、プログラムの処理の過程を次のように表わすことができる。

投入→変換→登録-1→編集→登録-2→実行

一般的には、このような過程で処理されるものと考えてよいが、実際の処理過程では必ずしも登録されたプログラムばかりではなく、編集過程からの出力が直接実行されることもありうる。この場合の編集過程からの出力および登録過程-2 の出力は多少の相違はあるものの同一物の 2 形式であり、両者ともにエグゼキュタブルオブジェクトと呼ぶ。(この両者の相違については後述する。) また、編集過程の出力で登録過程-2 の入力となるものは、直接実行することはできないが、すでに絶対番地に割り当てられているので、アソシエイトオブジェクトと呼ぶ。なお、変換過程の出力は、編集前の再配置可能なプログラムであるので、リロケータブルオブジェクトと呼ぶ。これらの関係をつける道具(プログラム)と処理過程とを簡単に示すと図 2.1 のようになる。

実際には、プログラムの媒体がカードか磁気テープかによって、また変換の方式などがいくつかあるのもう少し複雑である。一つのプログラムがどのようにシステムに与えられ処理されるかを図示するならば、図 2.2 のように描くのが適切であろう。

図 2.1 および図 2.2 で 2 重の箱形で示した部分は、MELCOM-3100-30 T を使用する過程であり、そのとき使うプログラムの名前が箱の中に記入してある。図中に示す

GENERATE SYSTEM INPUT TAPE (GIP)
PROGRAM EDITOR

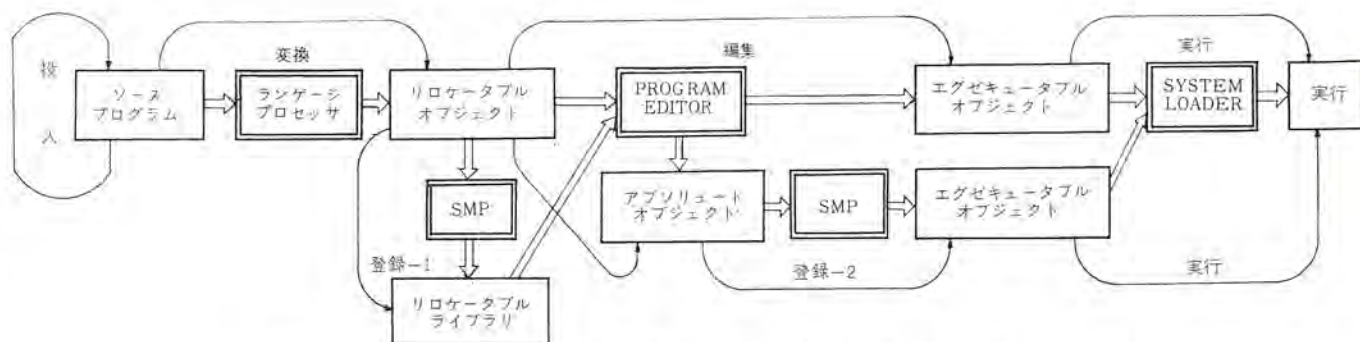


図 2.1 プログラム処理の一般過程

General flow of process of programs.

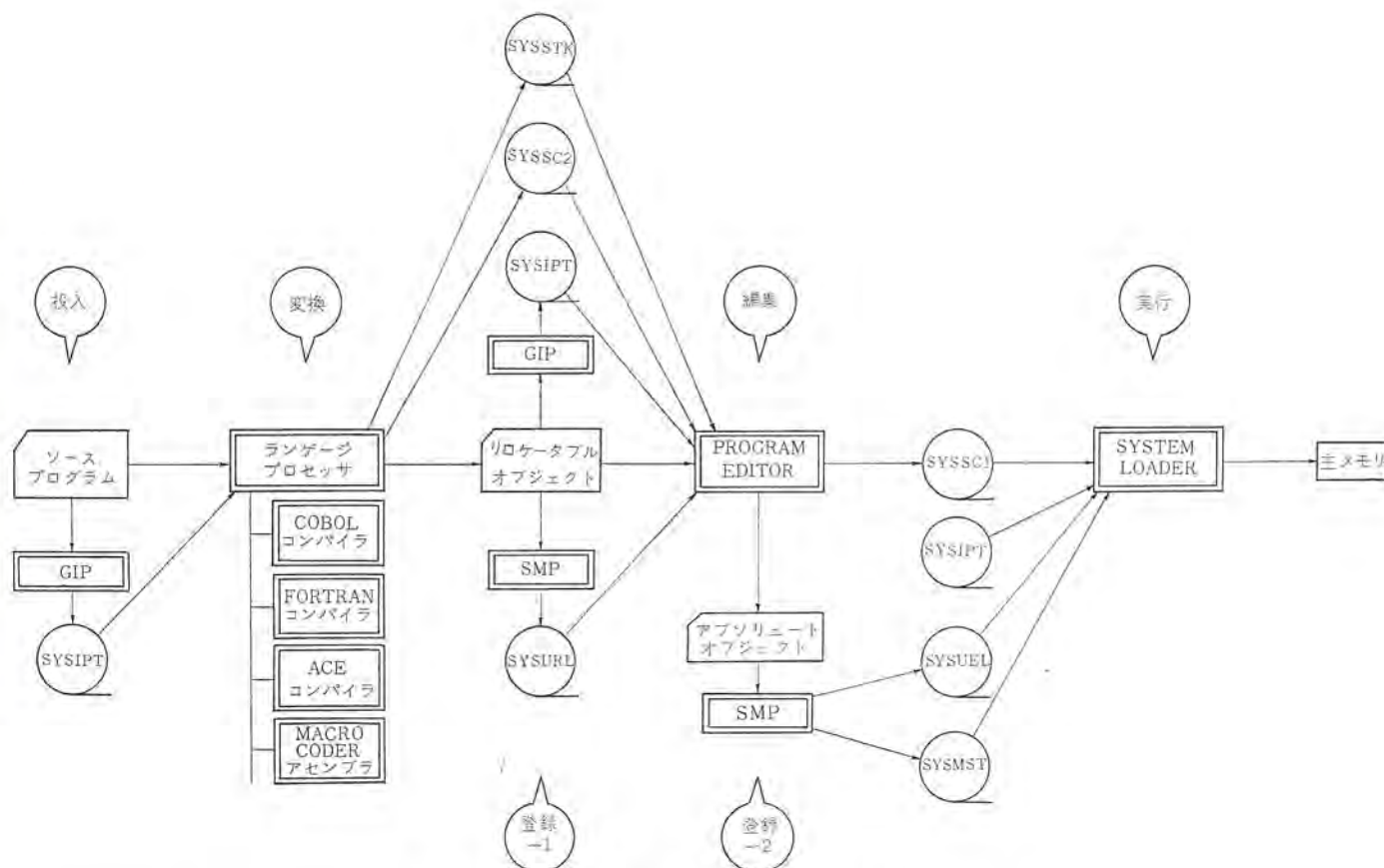


図 2.2 プログラム処理の過程 Process of programs.

SYSTEM MAINTENANCE PROGRAM (SMP)

SYSTEM LOADER

はすべてオペレーティングシステムの中の一部分プログラムである。また、図中の

SYSTEM INPUT TAPE (SYSIPT)

USER RELOCATABLE LIBRARY TAPE (SYSURL)

SYSTEM STACK TAPE (SYSSTK)

SYSTEM SCRATCH TAPE-1 (SYSSC 1)

SYSTEM SCRATCH TAPE-2 (SYSSC 2)

はすべてシステムで使用する磁気テープのロジカルな名称である。この名称および割り付け方については、入出力装置のシボル割り付けの章で説明する。

プログラムの実行の方法にはいくつかのタイプがあり、ジョブコントロール言語でそのタイプを指定する。MELCOM-3100-30 T オペレーティングシステムでは実行のタイプ(ジョブの形式)として次のものがある。

- (1) 「変換」「編集」「実行」を連続して行なう。
- (2) 「編集」「実行」を連続して行なう。
- (3) 「編集・登録」済みのプログラムの「実行」を行なう。

トランスレータなどのベシクソフトウェアや、使用ひん度の大きいプログラムはSYSTEM, SYSUELなどのライブラリテープに登録しておいて、必要に応じて呼び出して実行するのが通常である。

MELCOM-3100-10 T オペレーティングシステム(10 T-OS)におけるプログラムの処理過程[文献(1)参照]と30 T-OSにおけるそれとを比較すると、30 T-OSには「編集」過程が加わっていることが注目すべき点である。これによってプログラムの設計と作成の方式がおのずから異なったものとなる。30 T-OSにおけるプログラムの構成の考え方、およびそのようなプログラムを作成する場合の技法について、

MACRO-CODER 言語を例として、以下に説明する。

3. プログラムの設計と作成

3.1 プログラムの分割と結合

2章で述べたように、30 T-OSはプログラムの処理過程という立場では10 T-OSに「編集過程」を加えた形になっている。この「編集過程」の採用によりプログラムの分割処理が可能になった。プログラムを分割して、その各部分ごとにプログラミングすることができれば、処理もしやすくなり、また管理しやすくなる。30 T-OSによる分割方式の利点として次の諸点をあげることができる。

- (1) プログラムの各部分を異なったプログラマが分担できる。
- (2) プログラムの各部分をその部分に最も適した言語で作成することができる。
- (3) プログラムのテストを各部分ごとに行なうことができる。
- (4) プログラムの変更は必要な部分に対してさえ行なえばよい。
- (5) プログラムの各部分ごとに共通ファイル、共通データ、固有データおよび固有ファイルの定義ができるので、データやファイルの取扱いが非常に融通性に富んでいる。

一つのプログラムがいくつかの部分プログラム(これをプログラムセグメントまたは単にセグメントと呼ぶ)に分割したとき、このプログラムの処理過程では、いずれかの時点でこれらセグメントの結合を行なう必要がある。30 T-OSでは次の3時点で結合を行なうことができる。

(1) プログラム投入時点

コンパイラやアセンブラのとき、各セグメントを一つにまとめて入力することにより結合される。

(2) プログラム編集時点

すでに「変換」済みのリロケータブルオブジェクトプログラムをまとめて入力することにより、実行可能なエグゼキュタブルオブジェクトまたはアソシエイトオブジェクトプログラムとして結合される。

(3) プログラム実行時点

プログラムが大きすぎて、主メモリに一度に読み込むことのできない場合がしばしば起こりうる。このような場合にもしも、このプログラムが主メモリに入りうる大きさとして論理的にいくつかのセグメントに分割できるならば、そのセグメント単位にプログラムを作成し、編集して、実行時にこれらのプログラムをスーパーバイザによって結合することができる。なお、この場合の論理的セグメントをフェーズと呼ぶ。

3.2 プログラムの構造

さて、30 T-OS では、プログラムは前述のように分割され、結合され、実行されるが、プログラムの構造上大別すれば、次の三つに分けられる。

- (1) シンプルストラクチャ
- (2) セグメンタリストラクチャ
- (3) オーバレイストラクチャ

つぎに、これらのプログラム構造について詳述する。

3.2.1 シンプルストラクチャ

一つのセグメントだけで構成されているプログラムをシンプルストラクチャプログラムと呼ぶ。この構造のプログラムでは、プログラムがメモリに読み込まれて、タスクが終了するまでの間、システムに組み込まれているシステムズペーシックライブラリルーチン以外の他のプログラムフェーズセグメントに一切関知しない。それゆえ、“ENTER”、“CALL”などのリンケージ命令はプログラム中で使用されることはなく、また、コモンデータも持っていない。

3.2.2 セグメンタリストラクチャ

二つ以上のセグメントで構成されているプログラムをセグメンタリストラクチャプログラムと呼ぶ。30 T-OS では、最高18個までのセグメントを一つのプログラムに合成することができる。セグメンタリストラクチャは、複数個のセグメントで構成されるので、マルチセグメントプログラムとも呼ぶ。

セグメンタリストラクチャでは、主体となるセグメント(メインプログラム一つのプログラムが実行されるにあたって最初に実行されるセグメント)と補助セグメントとによって構成される。補助セグメントには、サブプログラムとサブルーチンとに分けられる。プログラム作成時に、メインプログラムでは“MAIN”命令、サブプログラムでは“SUBPRO”命令、サブルーチンでは“SUBR”命令によって、各セグメントの性格と名前を定義する。

メインプログラムとサブプログラムの間の相互のリンケージは“ENTER”命令で行なわれ、サブルーチンの呼び出しは“CALL”命令で行なわれる。“ENTER”命令は復帰アドレスを持たないリンケージ命令であるが、“CALL”命令は復帰アドレスをサブルーチンに受け渡すので、サブルーチンの処理後に“CALL”命令の次の命令に戻ることができる。

二つ以上のセグメントが同じファイルまたは同じデータを取り扱う必要が生じたときには、おのおののセグメントで共通ファイルまたは共通データの定義を行なう。(共通ファイルおよび共通データに関しては後述する。)セグメンタリストラクチャプログラムの構成例を図3.1に示す。

3.2.3 オーバレイストラクチャ

複数個の実行単位セグメント(これをフェーズと呼ぶ)によって構成されるプログラムをオーバレイストラクチャプログラムと呼ぶ。この構造は、プログラムが大きすぎて決められたメモリには入り切らない場合に非常に適切な方式である。オーバレイストラクチャは、複数個のフェーズ

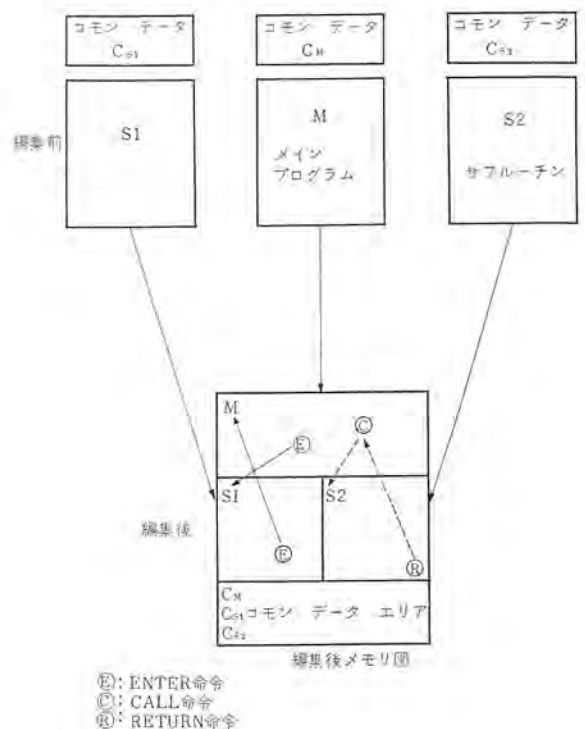


図 3.1 セグメンタリストラクチャプログラム例
Example of segmentary structure program.

によって構成されるので、マルチフェーズプログラムとも呼ぶ。

オーバレイストラクチャプログラムの作成方法には、つぎの二つが考えられる。

(1) 一度にアセンブルまたはコンパイルする方法

プログラムの各フェーズが同一言語で記述できる場合には“MULTI”命令で、オーバレイストラクチャであることを定義し、“PHASE”命令で各フェーズを定義することによって、全フェーズを一度にアセンブルすることができる。この場合には、フェーズ間の共通データはプログラムの最初で定義する。ファイルはすべて共通ファイルとして取り扱われる。フェーズ間のリンケージは、“CFETCH”命令または“FETCH”命令で行なわれる。

(2) フェーズ単位にアセンブルまたはコンパイルする方法

プログラムの各フェーズを個別に処理していく場合には、各フェーズはメインプログラムとして取り扱う。もちろん、各フェーズはセグメンタリストラクチャであってもよい。この場合、各セグメントの定義方式はセグメンタリストラクチャの項で説明したものと同一である。フェーズ間のリンケージは“CFETCH”または“FETCH”命令で行なわれる。フェーズ間の共通データは、各フェーズで自由に定義することができる。プログラム構成例を図3.2に示す。

3.3 共通データ

セグメンタリストラクチャやオーバレイストラクチャでは、二つ以上のセグメントまたはフェーズで同じデータフィールドを取り扱う必要が生ずる場合が多い。このような場合、各セグメントまたはフェーズでは他のセグメントまたはフェーズと共用するデータを共通データとして定義する。

30 T-OSでの共通データの定義とその取り扱い方式は、ラベルコモン方式と呼ばれるものである。各セグメントまたはフェーズでは必要な共通データを“COMMON”命令を用いて定義する。プログラム編集過程で同じ名前の共通データは、同一データフィールドとして割り当てられる。このとき、セグメント間、フェーズ間でのフィールドの大きさの定

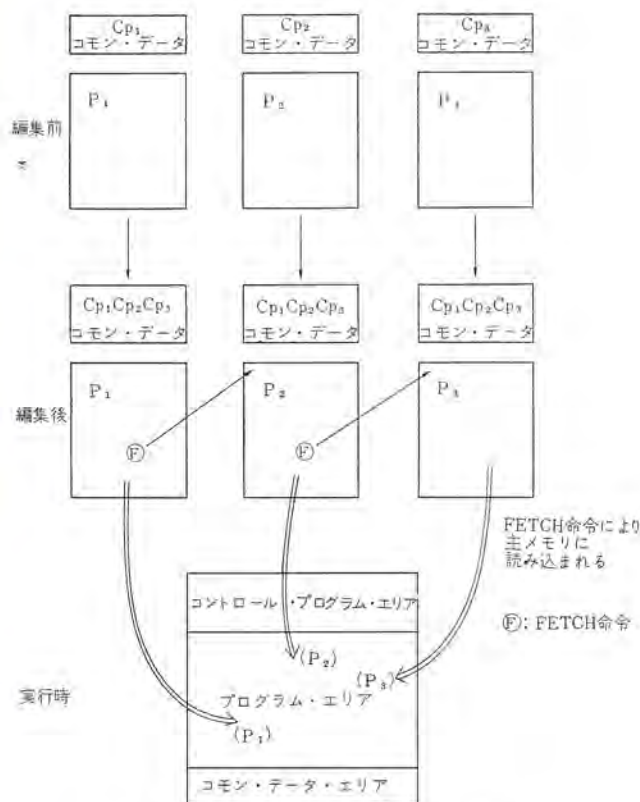


図 3.2 オーバーレイストラクチャプログラムの例
Example of overlay structure program.

義が異なっている場合には、そのフィールドの大きさは、最大長が割り当てられる。共通データフィールドは、一つのプログラムで最大100個までとることができる。

3.4 共通ファイル

オーバーレイストラクチャプログラムで使用するファイルおよびセグメンタリストラクチャプログラムで二つ以上のセグメントで使用するファイルは、共通ファイルとして定義し、取扱う。

共通ファイルは共通データの種類として“COMMON”命令で定義する。

3.4.1 セグメンタリストラクチャにおける共通ファイル

セグメンタリストラクチャプログラムでは、各セグメントの性格によって定義方式が異なる。

(1) メインプログラムでの共通ファイル

メインプログラムでは、“COMMON”命令に引き続いて“DSF”命令でファイルの定義を行なう。このとき、“DSF”命令の書き方は通常のファイルと同じである。

(2) サブプログラムおよびサブルーチンでの共通ファイル

サブプログラムおよびサブルーチンでも“COMMON”命令に引き続いて“DSF”命令でファイルの定義を行なう。このとき、“DSF”命令では“EXD”(External Define)と定義し、“DEVICE”だけを指定する。

すなわち、メインプログラムで、共通ファイルの完全な定義を行ない、サブプログラムでは、共通ファイルを使用することのみを指示する。

3.4.2 オーバーレイストラクチャにおける共通ファイル

(1) 全フェーズ同時にコンパイルまたはアセンブルする場合

各フェーズの定義を行なう前に全フェーズ共通として、共通ファイルおよび共通データを定義する。各フェーズ単位に共通ファイルの定義を行なうことはできない。

(2) フェーズ単位にコンパイルまたはアセンブルする場合

前述のようにオーバーレイストラクチャでは各フェーズはメインプログラムとして定義し、実行するので、各フェーズごとに共通ファイルを“DSF”命令で定義する。“EXD”を指定することはできない。

3.4.3 “DSF”命令の各エントリの定義

(1) メインプログラムにおける定義

“DSF”命令の各エントリのうちでデータエリアの指定を行なう必要のあるものは、必ず共通データフィールドとして定義する。ルーチンアドレス名の指定を行なう場合は、共通データ名である必要はなく、メインプログラム中のルーチンアドレス名でよい。

(2) サブプログラムおよびサブルーチンにおける定義

サブプログラムおよびサブルーチンでは“DSF”命令のエントリは、“DEVICE”だけ指定する。ファイル処理するために必要なデータエリアは、メインプログラムで共通データエリアとして定義されているので、改めて定義する必要はないが、ロジカルIOCSからの「出口」を自セグメント中のルーチンアドレスにしたい場合には、Set Exit 命令と呼ばれる特別の命令を使用し、「出口」のアドレスを復元する場合には、Reset Exit 命令を使用する。

以上プログラムの設計と作成について述べてきたが、PROGRAM EDITORを中心にプログラムの編集およびそれに関連する諸事項について次章で説明する。

4. プログラムの編集

4.1 ランゲージプロセッサ

30 T-OS では、MACRO CODER, FORTRAN, COBOL, ACE の四つのプログラミング言語が使用できる。これらの言語に対応するランゲージプロセッサ(トランスレータ)はSYSMSTに登録されていて、ジョブコントロールカードの指定によりJOB CONTROLLERによって呼び出され、SVの管理下でリロケータブルオブジェクトを生成する。ジョブコントロールカードに引き続き「編集」動作を行なうよう指定があれば、PROGRAM EDITORを呼び出して「編集」を行なわせる。

4.2 PROGRAM EDITOR

4.2.1 PROGRAM EDITORの概要

PROGRAM EDITORは、ランゲージプロセッサによって作り出されたリロケータブルオブジェクトを合成し、編集してエグゼキュタブルオブジェクトを作り出すプログラムであり、SYSMSTおよびSYSURLに登録されていて、ジョブコントロールカードの指定により、いずれか一方のテープより呼び出されて、スーパーバイザの管理下で実行される。SYSMSTの場合には、ランゲージトランスレータと同頁に含まれていて、つぎのライブラリを管理する。

- (1) プログラマーズマクロライブラリ(PML)
- (2) システムマクロライブラリ(SML)
- (3) 紙テープコード変換テーブルライブラリ(CTL)
- (4) マイクロプログラムライブラリ(MPL)

SYSURLはつぎのプログラムおよびライブラリによって構成される。

- (1) PROGRAM EDITOR
- (2) プログラマーズマクロライブラリ
- (3) システムマクロライブラリ
- (4) 紙テープコード変換テーブルライブラリ
- (5) マイクロプログラムライブラリ
- (6) リロケータブルオブジェクトライブラリ

4.2.2 PROGRAM EDITOR の機能

PROGRAM EDITOR は、エディットコントロールカードを読み込んで、その指定によって次の機能を果たす。

(1) プログラムの合成を行なう

別個にランゲージプロセッサによって生成されたリロケータブルオブジェクトを最終的に1本のプログラムとして結びつけて、実行可能なエグゼキュタブルオブジェクトを作り出す。この場合、プログラムはFORTRAN, COBOL, ACE, MACRO CODER のいずれの言語で書かれたものであってもよく、また、おのおの異なってもよい。

(2) ライブラリの呼び込みを行なう

システムベーシックライブラリまたはリロケータブルオブジェクトライブラリからプログラムまたはライブラリエレメントを呼び出し、プログラムを編集する。

この場合、リロケータブルオブジェクトライブラリ中のプログラムはエディットコントロールカードに指定することによって呼び出され、システムベーシックライブラリ中のライブラリエレメントはリロケータブルオブジェクトコントロールセクションの情報によって呼び出される。

(3) プログラムのオーバレイを行なう

オーバーレイストラクチャプログラムを作り出す。スーパーバイザは必要フェーズのみを主メモリに読み込んでおき、必要のない部分は磁気テープ上に置いておき、それが必要となったときにメモリに読み込む。

(4) プログラムの変更を行なう

エディットコントロールカードの指定により、プログラムの一部を置き換えたり、配列をかえたりする。

これによって、プログラムはプログラム全体をふたたびコンパイルまたはアセンブルすることなく、該当部分のみを修正することができる。

(5) コモンエリアの編集を行なう

プログラムの合成の際に、各オブジェクトのコモンデータを集めて、コモンデータフィールドの位置および大きさを決定し、絶対アドレスを割り付ける。

(6) プログラムの割り付け場所を決定する

エディットコントロールカードの指定によって、エグゼキュタブルオブジェクトのスプールの可否を決定したり、エグゼキュタブルオブジェクトを実行すべきメモリサイズ(49kc用, 98kc用)を決定し、それに従ってエグゼキュタブルオブジェクトのアドレス割り付けを行なう。

(7) パンチオプション

エディットコントロールカードの指定によって、エグゼキュタブルオブジェクトライブラリ(SYSMSTおよびSYSUEL)登録用のアソシエートオブジェクトをパンチすることができる。

(8) リストオプション

エディットコントロールカードの指定によって、エグゼキュタブルオブジェクトのメモリマップをプリントすることができる。

4.2.3 エディットコントロールカード

PROGRAM EDITOR の行なうタスクはエディットコントロールカードによって決定される。コントロールカードとしてはつぎのものがある。

(1) OVERLAY

オーバーレイストラクチャであることを定義するとともに、そのフェーズ数を指定する。

(2) EDIT

編集に関するすべての指定を行なう。

(3) INCLUDE

システムベーシックライブラリ中のライブラリエレメントの組込みを指定する。

(4) DELETE

システムベーシックライブラリ中のライブラリエレメントをエグゼキュタブルオブジェクトから除く。

(5) EQUAL

コモンデータフィールドの同等化を指定する。

(6) PATCH

プログラムの一部修正を指定する。

4.2.4 リロケータブルオブジェクト

ランゲージプロセッサはソースプログラムを変換して、リロケータブルオブジェクトを作り出す。リロケータブルオブジェクトは、オブジェクトプログラムの制御情報はいったコントロールセクションと、プログラムの内容そのものであるプログラムセクションとで構成される。

プログラマーズマクロ命令やシステムマクロ命令に対応するマクロサブルーチンおよび紙テープコード変換テーブルおよびベーシックインストラクションに対応するマイクロプログラムルーチンはプログラムセクションには表われず、使用したライブラリルーチン名がコントロールセクションに表示される。プログラムセクションとライブラリルーチンとの合成はPROGRAM EDITORが行なう。

コントロールセクションは、つぎのテーブル類によって構成される。

(1) SCT (セグメントコントロールテーブル)

プログラムセグメントのオブジェクトシーケンスのワード数、実行開始番地、外部シンボル名等を表示する。

(2) LCT (ライブラリコントロールテーブル)

プログラムセグメントで使用しているシステムベーシックライブラリルーチン名を表示する。

(3) FNT (ファイルネームテーブル)

プログラムセグメントで使用しているファイルに関する情報を表示する。

(4) CDNT (コモンデータネームテーブル)

プログラムセグメントで使用しているコモンデータに関する情報を表示する。

(5) CSEND (コントロールセクションエンド)

コントロールセクションが終了したことを表示する。プログラムセクションは、つぎのオブジェクトシーケンスによって構成される。

(a) CDOS (コモンデータオブジェクトシーケンス)

プログラムセグメント中で、データを伴ったコモンデータフィールドを定義した場合に、そのデータのオブジェクトシーケンスを表示する。

(b) POS (プログラムオブジェクトシーケンス)

プログラムセグメントのオブジェクトシーケンスを表示する。

4.2.5 システムベーシックライブラリ

システムベーシックライブラリはPROGRAM EDITORにより管理されるライブラリの集合体で、プログラム編集時にプログラムオブジェクトシーケンスに結び付けられる。つぎのライブラリによって構成されている。

(1) プログラマーズマクロライブラリ (PML)

ユーザが作成、登録したプログラマーズマクロ命令に対応するサブルーチンのライブラリで、SMPを利用して任意にメインテナンスできる。

(2) システムマクロライブラリ (SML)

クロス型システムマクロ命令(ロジカルIOCSマクロ命令, FORTRANのBuilt-in-Function等)に対応するサブルーチンのライブラリである。

(3) 紙テープコード変換テーブルライブラリ (CTL)

紙テープコード変換テーブルのリロケータブルオブジェクトのライブラリで、SMPを利用してユーザは任意にメインテナンスできる。

(4) マイクロプログラムライブラリ (MPL)

ベーシックインストラクションに対応するマイクロプログラムルーチンのライブラリである。

これらのライブラリに関してランゲージプロセッサに管理されているつぎのようなテーブル類がある。

- (1) インストラクションリスト (PMIL, SMIL, BIL)
- (2) オペランドプロパティリスト (PMOPL, SMOPL, BIOPL)
- (3) ネームリスト (CTNL, MNL)
- (4) アイデンティファイヤリスト (SMIDL)

4.2.6 リロケートブルオブジェクトライブラリ

ユーザ作成のプログラムセグメントに対応するリロケートブルオブジェクトをSMPによって登録し、ライブラリにしたものである。ライブラリテープはSYSURLと呼ばれる。

ジョブコントロールカードの指定により、SYSURLの中に含まれるPROGRAM EDITORを呼び出し、エディットコントロールカードの指定により、SYSURLの中からリロケートブルオブジェクトを呼び出して編集することができる。引き続きそのプログラムを実行することもできる。

SYSURLは次のプログラムおよびライブラリによって構成される。

- (1) PROGRAM EDITOR
- (2) システムベーシックライブラリ
- (3) リロケートブルオブジェクトライブラリ (ROL)

SYSURLの形式は図4.1のように描くことができる。

4.2.7 リロケートブルオブジェクトのスタックとその編集

30 T-OSでは、あらかじめ複数個のプログラムを個別にトランスレート(コンパイルまたはアセンブル)し、磁気テープSYSURLにスタックして

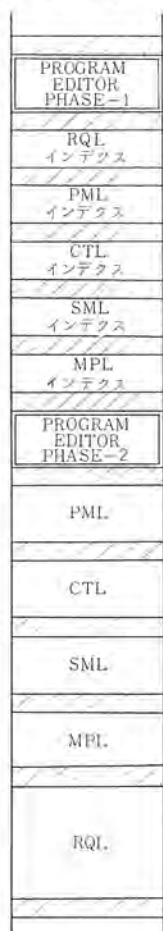


図 4.1 SYSURL の形式
Format of SYSURL.

おき、任意の時点でそれらを読み出して、編集したり、編集に引き続き実行することができる。

この機能により、セグメンタリストラクチャプログラムの各セグメントや、オーバーレイストラクチャプログラムの各フェーズを個別にアセンブルしても、後刻任意の時点で、これらのプログラムの編集を自動的に行なうことができる。

(例) SYSSTK を利用しての変換、編集、実行の連続処理

図4.3に示すような構成を有するプログラムで、セグメント1, 2, 3, 4の変換をおのおの個別のジョブと考え、異なった時点で処理した後でこれらをまとめて編集し、引き続き実行することができる。この場合の変換・編集・実行の流れを図4.4に示す。

5. 入出力装置のシンボル割り付け

30 T-OS を利用することにより得られる利益の一つにこのシンボル割り付けがある。

入出力装置のシンボル割り付けの方法はプログラム作成時(ファイル定義時)にシンボル名を用いて指定し、実行時にそのシンボル名に対し実際の装置名を割り付けるようになっている。

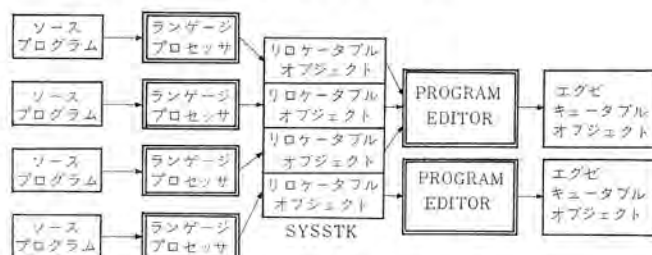


図 4.2 SYSSTK に利用しての変換、編集
Translation and edition by means of SYSSTK.

プログラム (EXAMPLE)

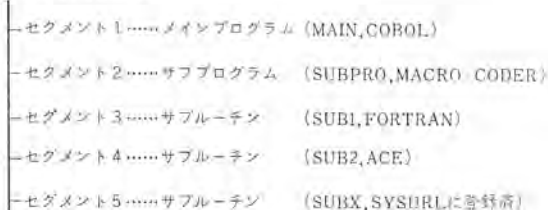


図 4.3 プログラム例
Structure of example program.

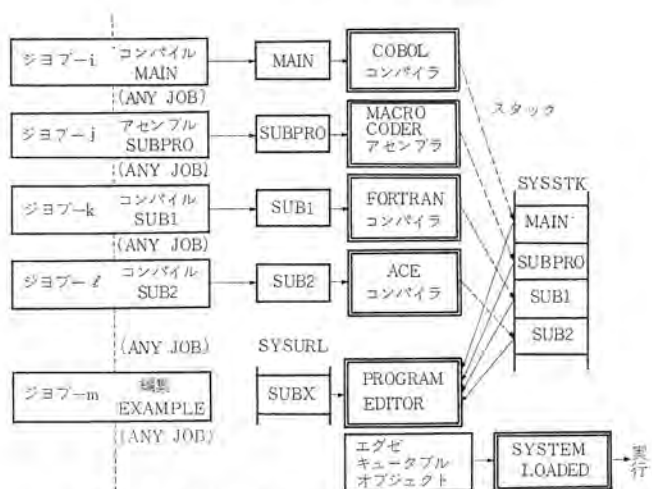


図 4.4 SYSSTK を利用しての変換、編集、実行
Translation, edition and execution by means of SYSSTK.

実際のオペレーションの行なわれる状態や入力装置の要件などに無関係にプログラムを書くことができる。このような指定はジョブを始めるときに与えればよく、またそのためにプログラムの変更を考慮することはない。すなわちデバイスインデペンデントなシンボル割り付けが可能なのである。

5.1 プログラム作成時におけるシンボル割り付け

30 T-OS の入出力命令としてロジカル IOCS 命令とフィジカル IOCS 命令とがある。

(1) ロジカル IOCS における割り付けの場合はロジカル IOCS の DSF マクロ命令を用いてファイルを定義している。そのマクロ命令中の BUNT エントリおよび AUNT エントリにより、そのファイルで用いる入出力装置のシンボル名を割り付ける。

(2) フィジカル IOCS 命令における割り付けの場合は直接シンボル名の相対番地をフィジカル IOCS 命令に記入する。またシンボル名をプログラム途中で変更したいときはアセンブル命令の“ASSIGN”命令と“CUNIT”命令を組み合わせて行なうことができる。

5.2 実行時におけるシンボル割り付け

ジョブの開始前に Job Controller (以下 JC と略す) の働きにより適当な入出力装置を割り付けることができる“ASSIGN”カードがある。このコントロールカードによりチャネル番号、コントローラ番号およびユニット番号が指定される。ただし、JC は“ASSIGN”カードの指定がないシンボル名に対しては標準インターフェースをもつデバイス(30 T-OS として標準的に定められている)が割り付けられる。また、シンボル名の中には“ASSIGN”カードで指定することのできないものがあり、それらには常に固定した入出力装置が割り付けられている。

JC の ASSIGN ときには異なるシンボル名に対し Multi-Assign を行なうことも可能である。しかし実際の入出力処理をするためにはそのシンボル名は必ず OPEN されていなければならない。この OPEN に相当する命令が“ATTACH”命令である。システムテープ、システムインプットテープあるいはプログラムライブラリテープなどを間違えて動作されるのを防止したり、同一フィジカルデバイスユニットに異なった二つ以上のシンボル名を使用したときの誤動作の防止を行なうためにこの命令が使用される。

したがって同一フィジカルデバイスがある理由で重複して使用したい場合は旧シンボル名のほうを“DTTACH”命令により CLOSE してから新シンボル名を“ATTACH”する、そうすることにより同一デバイスにかかっている異なるデータファイルを処理することができる。

ジョブが終了すると JC は次のジョブのためにすべてのシンボル名を“DTTACH”して、新しく標準インターフェースをもつフィジカルデバイスをシンボル名に割り付けすべてのシンボル名を解放する。

5.3 シンボリック名

シンボル名を大きく分けるとつぎのとおりである。

(1) システムシンボル名

メカ側の作成したプロセスプログラムでとくに使用するシンボル名であり、一般にはユーザプログラムでは使用しない。表 5.1 に示す。

(2) ユーザシンボル名

ユーザプログラムで使用することのできるシンボル名であり、特別な場合のほかはシステムサービスプログラムでは使用しない。表 5.1 に示す。

表 5.1 30 T-OS シンボル名一覧
System-, and user-symbolic names in 30 T-OS.

システム シンボル名		ユーザ シンボル名	
シンボル名	用 途	シンボル名	装 置 名
SYSMST	System tape	SYSCOM	Mag. Tape (Common Tape)
SYSIPT	System Input Tape	SYSDMP	Mag. Tape (CKPT Tape)
SYSRDR	System Card Reader	SYS 100 ~101	Card Reader (2 台)
SYSUEL	User's Executable Library	SYS 200	Card Punch (1 台)
SYSURL	User's Relocatable Library	SYS 300 ~317	Mag. Tape (16 台)
SYSLOG	System Typewriter	SYS 400 ~401	Line Printer (2 台)
SYSPRN	System Line Printer	SYS 500 ~501	Paper Tape Reader (2 台)
SYSPPH	System Card Punch	SYS 600 ~601	Paper Tape Punch (2 台)
SYSSIT	SPOOL Input Tape		
SYSSDT	SPOOL Output Tape		
SYSSIO	SPOOL Job Tape		
SYSSTW	SPOOL Typewriter		
SYSSTK	System Stacked Tape		
SYSSC 1	System Scratch Tape 1		
SYSSC 2	System Scratch Tape 2		
SYSSC 3	System Scratch Tape 3		
SYSSC 4	System Scratch Tape 4		
SYSSC 5	System Scratch Tape 5		

6. スーパーバイザ命令

スーパーバイザ命令を機能的に分類するとつぎのようになる。

- (1) 入出力命令 (PIOCS)
- (2) リンケージ命令
- (3) オペレータコール命令 (Communication Handler)
- (4) 入出力コントロール命令 (PIOCS)

上記各項目について説明する。

6.1 入出力命令

PIOCS を呼び込むマクロ命令形式の命令である。入出力を動作させるときは JC, LIOCS およびスーパーバイザ自身もこの命令を必ず経由している。ただし一般のプロセスプログラムが入出力を動作させるときは直接 PIOCS を呼び込むのでなしに LIOCS のマクロ命令により行なっている。

スーパーバイザの入出力命令としてつぎのものがある。

(1) Start IO 命令として CPIO 1 がある。入出力のオペレーションをスタートさせるために使用され、IO の終わりは必ず Wait IO 命令を要する。

この CPIO 1 はチャネルスケジューラ、IO アクション、IO エラーハンドリングおよび IO エンドインタラプトは自動的に処理されている。

(2) Wait IO 命令として CPIO 2 がある。Start IO 命令によってスタートした IO オペレーションを終了させ、エラーおよびエンドオブ

ファイル状態を調べ所定の番地へジャンプする。もちろん CPIO 2 が呼び出されたときアクション中であったり、またはアクションをまだ開始していないときにはアクションを終えるのを待ち、それから CPIO 2 のエンド処理が行なわれる。

(3) Test IO 命令として CPIO 3 がある。フィジカルデバイスの状態をテストし、その条件が満足されていなかったら次の命令に進み、満足していたならば所定の番地へジャンプする。

この命令でテストできる条件はインオペラティブ、パリティエラー、ロードポイント、エンドオブファイルおよびファイルプロテクトのおおのである。

6.2 リンケージ命令

リンケージ命令には次のようなものがある。

(1) ジョブとジョブをつなぐ命令として EXIT がある。

現在実行中のジョブ(ジョブの最終に実行するプログラム)を終了し、スーパーバイザにコントロールが移り、スーパーバイザはエンドオブジョブの処理後に SYSMST または SYSIPT より JC をロードして、JC は次のジョブの準備を行なう。

(2) タスクとタスクをつなぐための命令として SEARCH がある。この命令はシステムローダの一部の機能である。

SEARCH 命令が実行されると、この命令により指定されたプログラム名により SYSMST、SYSIPT または SYSUEL よりプログラムをサーチして、プログラムをロードできる状態のところまで準備してからつぎの命令に進む。したがってプログラムをメモリにロードするためにはつぎの命令が FETCH または CFETCH になっていなければならない。すなわち、タスクとタスクをつなぐ命令は SEARCH と FETCH または CFETCH との組み合わせからなっていなければならない。

(3) マルチフェーズプログラムのフェーズ間をつなぐための命令として FETCH または CFETCH がある。この命令はシステムローダの一部の機能である。

この命令により指定されたフェーズ名によりプログラム中よりフェーズを呼び出し、メモリにロードし実行する。CFETCH と FETCH の違いはフェーズをロードする前にメモリをクリアすることである。その他の機能はすべて同じである。

6.3 オペレータコール命令

この命令はスーパーバイザのオペレータコミュニケーションルーチンと呼ば

すのに使用され、OPCAL と書く。

この命令が実行されるとタイプライタよりコミュニケーションが可能となる。コミュニケーション後プログラムへ復帰するにはオペレータが指示情報をタイプラインすることにより行なえる。とくにダイナミックデバックルーチンと呼ば出すのに使用することも可能である。

6.4 入出力コントロール命令

この命令は PIOCS の一部の機能である。この命令は STPIO と RLSIO よりなる。

STPIO 命令は現在動作中の入出力動作が終了するのを待つと同時に、そのジョブ系でその後に入出力スタート命令ができて入出力処理を行なわないようにする。(入出力ストップモードという)

RLSIO 命令は入出力ストップモードになった状態を解くことを行なう。

6.5 その他のスーパーバイザ命令

その他の命令として HLT がある。この命令が実行されるとプログラムは停止し、再スタートはオペレータの指示を待つ。再スタートはコントロールパネルにより行なわれる。

3. む す び

本稿では、MELCOM-3100 システムシリーズのソフトウェアに関する報告の第3編として、30 T-OS においてプログラムを作成し処理する過程での考え方および方式について記述した。これは 30 T-OS を機能的に説明した第2編[文献(2)]を補足するものである。

30 T-OS では、各ランゲージプロセッサがダイレクトコンパイル方式を採用して、プログラム処理の効率を上げるとともに、プログラムの編集方式をさらに強化しているが、これらのランゲージプロセッサの機能、構造等についてはそれぞれの説明書にゆずる。

参 考 文 献

- (1) 嶋村、首藤、藤井、中山：MELCOM-3100 ソフトウェア(1) —モデル 10 T プログラムの概要— 三菱電機技報, 41, No. 4 (昭 42)
- (2) 首藤、関本、武田、三光：MELCOM-3100 ソフトウェア(2) —モデル 30 T オペレーティングシステムの概要— 三菱電機技報, 41, No. 10 (昭 42)

レンズによる超音波の集束と探傷への応用

奥村 謙*

Focussing of Ultrasonic Waves with a Lens and Its Application to Flaw Detection

Nagoya Works Yuzuru OKUMURA

With the development of ultrasonic flaw detection, the range of objects to be detected has been enlarged more and more. The text first discusses brief by the focussing of ultrasonic waves with a lens from the viewpoint of conducting precise flaw detection on small sized component parts. Next, it outlines the basic process of flaw detection by means of a lens. This new method has been proved not only effective for precise detection but also expanded the scope of the ultrasonic flaw detection that was otherwise considered impracticable, except that there remain several questions to be straightend out. Lastly, a number of examples of detecting natural flaws have been cited to suggest efficacy of the focussing method.

1. ま え が き

超音波探傷法が非破壊検査の一手法として加えられて以来 20 年近くとなり、昨今では産業界のすみずみにまで普及浸透するとともに、一方では自動化・高速化、探傷結果の解釈と評価の定量化、実製品における有害性との対応などに精力的な努力が傾注されつつあり、当社も一探傷器メーカーとしてそのいくぶんかをになっているものである。

ただ、多くが比較的大物を対象として取扱うものであり、また、板、棒など比較的形状の単純なものであった。筆者は工場現場にあって、多種多様でかつ小形の加工部品を対象とした検討と経験を重ねてきたが、それらに対して十分高い精度をもって小欠陥を検出し、定位しあるいは複雑な欠陥分布を知るためには、小径の超音波ビームが必要であると考えた。小径ビームを得るには

- (1) 小径探触子を用いる。
- (2) マスキングを行なう。
- (3) レンズその他により集束する。

などの方法が考えられるが、前 2 者は探触子またマスクに近い範囲でのみ有効なこと。音響勢力の点で絞りうるビーム径が限られることなどの不利を有する。(3)の集束法では前者の不利が一応回避され、既存の探傷器をそのまま利用できると考えられることから、レンズを用いた集束探傷方式を採り上げ、検討を加えている。

この論文では、実際の探傷に応用するに先だてては握しなければならないレンズの諸特性について、理論と実験結果より述べ、さらに 2, 3 の応用例を示すことによって、集束法が超音波探傷の一方式として有用であることを提示するものである。

2. 超音波の集束

2.1 音響集束子

超音波を集束する方法^{(1)~(3)}としては、球面鏡・放物面鏡などの反射形集束子あるいはレンズによるものが一般的であり、やや特殊なものとして、ゾーンプレーツ形集束子、導波形集束子、階段格子形集束子(ゾーニレンズ)などがある。さらに直接に収れん性の超音波ビームを放射する球殻状振動子も、電ひずみ磁器振動子の一般化とともに実用されるにいたっている。これら集束子の概要を図 2.1 に示す。

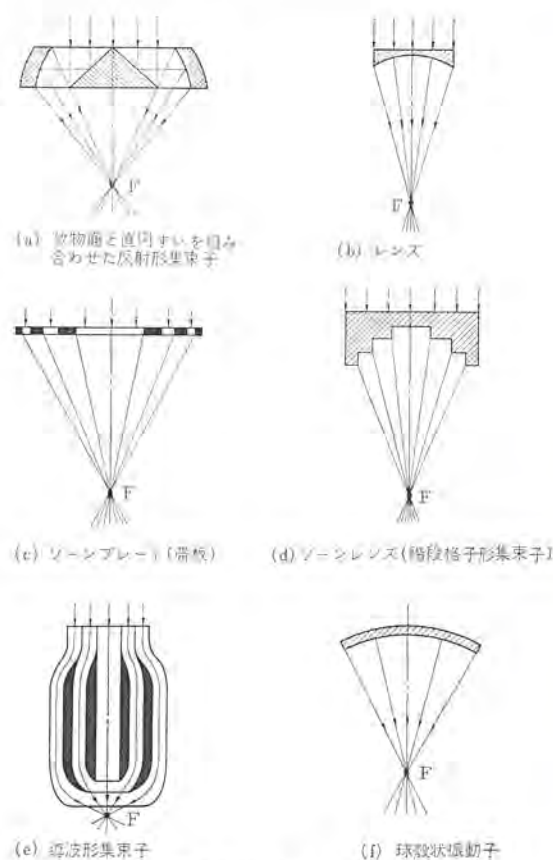


図 2.1 音響集束子
Acoustic concentrators.

以上のうち、レンズと球殻状振動子とは現在すでに探傷に試用されているが、他の形の集束子はむしろ強力超音波応用への使途が主体と考えられる。これら 2 者のうちでは、球殻状振動子が今後しだいに多用されると思われるものの、構造簡単で製作が容易であり、従来普及している平板振動子と組合せて用いることができ、使用周波数の制限を受けないことなど、種々のメリットを持つレンズが今後もお重用されるべきであると考えられる。

2.2 超音波レンズの特性

2.2.1 平凹レンズの理論

ごく簡単には幾何光学的な考え方を導入しても、超音波レンズの

作る音場を把握することはできるが、波長と可干渉性の相異とからくる特殊性に着目すれば、幾何光学の転写だけでは済まされない。音響レンズに関しても、すでに種々の検討がなされているようであるが、多くは強力超音波応用に属するものであって、主要な関心は焦点付近の、しかもエネルギー分布に集められており、超音波探傷法の立場からはさらに広い範囲での音圧分布を知る必要があると思われる。ここでは、そのような目的から、平凹レンズの特性について整理してみることとした。

(1) 焦点距離

図2.2のような直径 $2a$ の平凹レンズの平側からレンズ軸と平行に平面波が入射する場合を考える。Tarnoczy⁽²⁾の考え方にしたがって、経路1および2を通る波動が点Fにて会合し、また両者の位相が等しいための条件から焦点距離 f を求めると

$$f = \frac{R}{1-n} - \frac{d}{2} \cdot \frac{n^2}{1-n} \quad (2.1)$$

ここに、 R : レンズの球面半径

d : レンズの深さ

n : 屈折率 ($=C_1/C_2$)

C_1, C_2 : 周囲媒質およびレンズ中での音速度

なお、式(2.1)の第2項は球面収差を表わす項である。

(2) 軸上音圧分布

図2.2において、焦点Fを中心にもつ半径 f の仮想球面Sを考える。これが近似的に等位相面であるものとすれば、球面半径 f の球殻状振動子(凹面)の場合⁽³⁾と対応させて考えることができる。以下この類推を用いてレンズ後方の軸上における音圧分布を求める。

球面Sが等位相面であり、またこの面における平均音圧を p_0 、観測点Qにおける音圧を p とすると、中心軸上の音圧は

$$\left. \begin{aligned} p &= p_0 \cdot P \cdot ie^{i(\omega t - k\delta f)} \\ |p| &= |P| \cdot p_0 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

ここに、 $P = E \cdot \sin k\delta/2$ $E = 2/(1-x'/f')$

$\delta = b - x'$ $f' = f - nd$

$M = (b+x')/2$ $x' = x - nd$

$k = 2\pi/\lambda$

また、 x : レンズ中心から観測点にいたる距離

x : 球面S中心から観測点にいたる距離

b : レンズ外縁から観測点にいたる距離

λ : 周囲媒質中での波長

P は p と p_0 との比を表わす。したがって軸に沿う音圧分布を知るには、

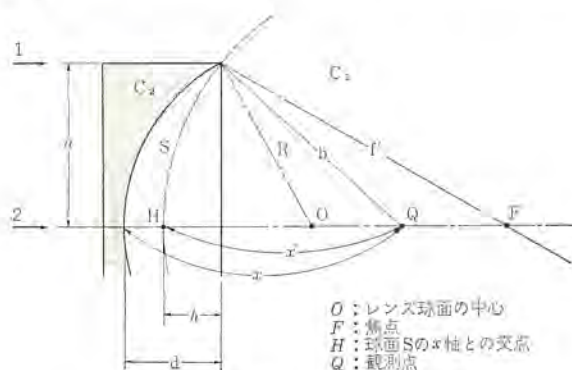


図 2.2 レンズによる集束の説明
Focussing with lens.

$$P = \frac{2 \sin k\delta/2}{1-x'/f'} \quad (2.3)$$

の形がわかればよい。ただし、 $x'=f'$ のときの P は

$$P_f = \frac{\pi a^2}{\lambda f'} \quad (2.4)$$

で表わされる。

x が0から ∞ にいたる間に、 P は $P=\pm E$ で表わされる曲線間を振動し、

$$\delta = m\lambda/2 \quad (m=\pm 1, 3, 5, \dots) \quad (2.5)$$

となる x において曲線 $P=\pm E$ と接し、

$$\delta = n\lambda \quad (n=\pm 1, 2, 3, \dots) \quad (2.6)$$

となる x において x 軸を切る。

なお、木村⁽⁵⁾は図2.2の h について、 $h=f'-(f'^2-a^2)^{1/2}=x'-(b^2-a^2)^{1/2}$ であることから近似的に $\delta=a^2(f'-x')/2f'x'$ とし、さらにこの δ を用いて式(2.3)を

$$P \approx \frac{2 \sin \{ \pi a^2 (1-x'/f') / 2\lambda x' \}}{1-x'/f'} \quad (2.7)$$

としている。(木村の場合は f' でなく f そのものとしている)

実用的には、エンベロープ $P=\pm E$ と P_f 、さらに式(2.5)、(2.6)より得る x_0, x_p ($P=0$ の点を与える x と、 $P=\pm E$ に接する点を与える x)

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{2f'h - n^2\lambda^2}{2n\lambda + 2h} + nd \\ x_p &= \frac{2f'h - m^2\lambda^2/4}{m\lambda + 2h} + nd \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

により音圧分布の概形を知ることができる。

なお、さらに球殻状振動子の場合⁽³⁾より類推すると、音圧最大の位置は点Fより少し音源側にずれ、これに対応する x の値 x_m は、 $kh > 4$ の範囲では近似的に、

$$x_m \approx f' - \frac{12f'}{(k^2h^2 + 12)} + nd \quad (2.9)$$

で表わされ、この点における P_m は

$$P_m = kh + \frac{12}{kh} \quad (2.10)$$

になるという。この P_m または式(2.4)の P_f をかりに集束利得と呼ぶ。

図2.3はレンズ直径 $2a=20$ 、球面半径 $R=33$ の亚克力樹脂レンズを水中で用い、周波数 $\nu=5$ Mcの平面波を集束する場合を考え、上の方法により音圧分布の概形を描いたものである。

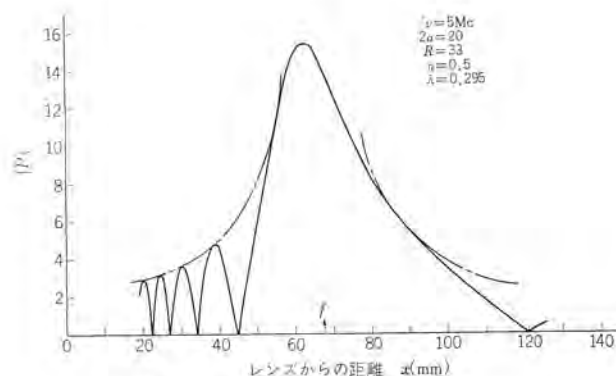


図 2.3 軸上音圧分布の計算例
Axial distribution of sound pressure (calculated).

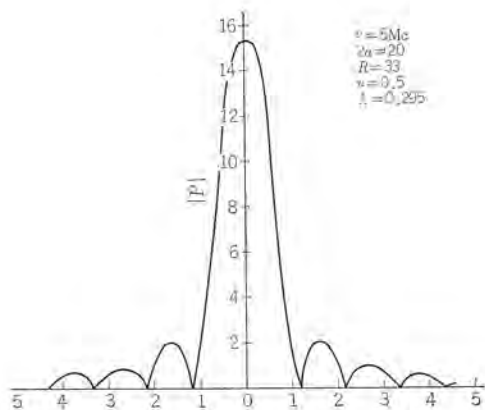


図 2.4 焦点面における音圧分布計算例
Distribution of sound pressure in the focal plane.

表 2.1 レンズ材の屈折率, 往復透過率および吸収係数
Refractive index, reflection coefficient and absorption coefficient of lens materials.

材 料	屈 折 率 n	往復透過率	吸 収 dB/cm		
			0.1 Mc	1 Mc	10 Mc
アクリル樹脂	0.56	0.84	0.4	1.6	16
ポリスチレン樹脂	0.64	0.91	0.2	0.6	9

※ 1.46 Mc 20°C 付近の値

表 2.2 レンズ料の音速度または屈折率の温度変化
Propagation velocity or refractive index of materials as function of temperature.

材 料		温 度 0°C				
		0	10	20	30	40
音 速 度 mm/μs	水	1.407	1.449	1.484	1.509	1.530
	アクリル樹脂※	2.677	2.661	2.644	2.602	2.567
	ポリスチレン樹脂※	2.380	2.350	2.319	2.288	2.259
屈 折 率	アクリル樹脂	0.544	0.544	0.561	0.580	0.596
	ポリスチレン樹脂	0.617	0.617	0.642	0.659	0.678

※ 1.46 Mc の値

表 2.3 レンズ材の音速度の周波数による変化
Propagation velocity of lens materials as function of frequency.

材 料	音 速 度 mm/μs		
	0.1 Mc	1 Mc	10 Mc
アクリル樹脂	0.52	2.65	2.99
ポリスチレン樹脂	2.19	2.30	2.38

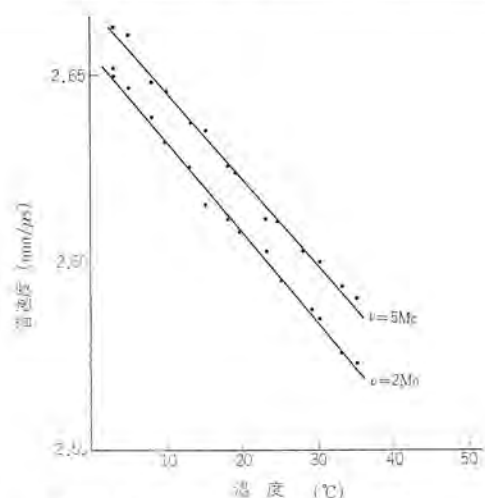


図 2.5 アクリル樹脂中の音速度 (実測)
Velocity of ultrasonic waves in acrilite (measured).

(3) 焦点直径⁽⁴⁾

焦点面上の音圧分布は円形ピストン音源の指向関数と一致し, このことから, 焦点面上で中心から出発して最初に音圧が 0 となる点の軌跡が作る円の直径 d_0 (これを焦点直径と呼ぶ) は

$$d_0 = \frac{1.2\lambda f}{a} \dots\dots\dots (2.11)$$

で与えられる。図 2.4 に, 図 2.3 に示したと同じ例について音圧分布の概形を計算した結果を示す。

(4) 反射・吸収損失

先に P の基準としてレンズ透過直後の平均音圧 p_0 を採ったが, レンズ前面での音圧 p_{00} を考えると p_0 は, 往復透過率 $T^{(6)}$ を用いて

$$p_0 = T \cdot p_{00} = \frac{4z_1 z_2}{(z_1 + z_2)} \cdot p_{00} \dots\dots\dots (2.12)$$

ここに, z_1, z_2 はレンズおよび周囲媒質の音響インピーダンスである。また, この式ではレンズ内での吸収を無視しているが, 実際にはかなり大きなエネルギー吸収がある。この内部吸収のほか, 共振透過現象を考慮してもレンズ厚さが問題となり, この観点から, レンズを幾つかの共振透過輪帯のみで構成した階段レンズ⁽²⁾が作られているが, 探傷用レンズの場合, 多くは超音波パルスが用いられるのであまり大きな意味はないと思われる。むしろ吸収を考慮して厚さは小であるほどよいと考えられる。実際には, レンズ材料としてアクリル樹脂, ポリスチロール, エポキシ樹脂が用いられることが多い。水中で用いる場合の屈折率, 往復透過率を表 2.1 に示す。

(5) 屈折率の温度および周波数による変化

屈折率 n は温度および周波数により, たとえばアクリル樹脂, ポリスチロールについては表 2.2, 2.3 のように変化する。これらの値からけっきょく, 焦点距離の温度係数は両材料について +0.4~0.5 %/°C となる。ただ, レンズ材料の音速度は, 実際には同一材料でも重合度の差などにより, 絶対値にかなり差の生ずるのが普通である。図 2.5 は筆者の用いたアクリル樹脂について, 2~5 Mc にて測定した結果の一部である。

2.2.2 実測結果と検討

この項では, 市販アクリル樹脂棒を用いて製作した直径 $2a=20R=13\sim35$ のレンズについて得た結果を示す。レンズの特性としては, 前掲各項目のほかにもいくつかあり, ここではそれらのうちおもなものを含めて示すこととする。なお, レンズの製作方法としては, 簡単のため旋削のみとし, 外形完成後に 2 面を軽く研磨した。曲率半径の誤差は最小の 13 R レンズでも 3% を越えない。また球面底での厚さは 2~4 mm 程度とした。

音圧分布の測定法としては, 強力超音波を用いサーミスタまたは熱電対を用いたマイクロプローブによって超音波エネルギーに比例する量を測定する方法⁽⁷⁾, 進行波ソノデなどにより直接音圧を測定する方法⁽⁸⁾のほか, 便法として反射式超音波探傷器を用い, 小球からの反射強度を測定する方法⁽⁹⁾がある。ここでは, 三菱電機 FD-5 超音波探傷器を用いて, 水中における鋼球からの反射強度を求める方法によった。

(1) 軸上音圧分布

やや古い測定結果であるが, 図 2.6 に数例を示す。ここで図の縦軸には CRT に現われた反射エコーの, 飽和値に対する比をとっている。また () に示した値は測定に用いた鋼球の直径である。音圧分布の山谷に比べて大きな反射球を用いた測定結果では, 山谷が実際より複雑に現われているが, これは有効反射面上における反

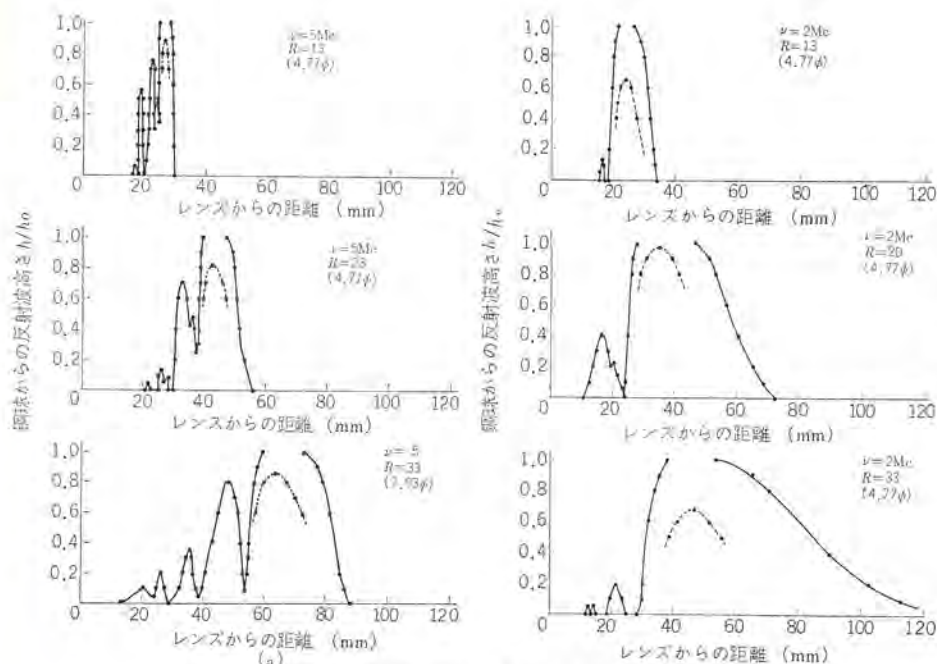


図 2.6 鋼球反射による軸上音圧分布
Axial distribution of sound pressure reflected from steel ball.

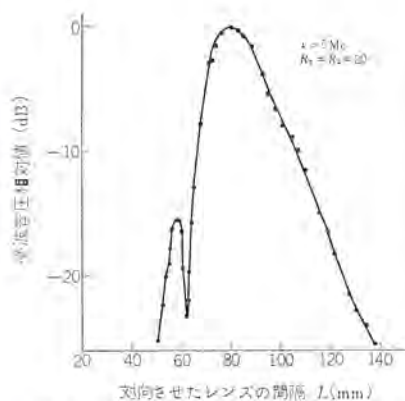


図 2.8 2探触子対向法における受波音圧の軸方向分布
Axial distribution of received sound pressure in 2-probe transmission method.

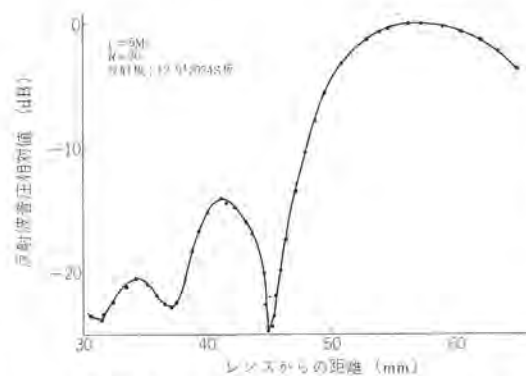


図 2.9 平板反射による軸方向音圧分布
Axial distribution of sound pressure reflected from flat plate.

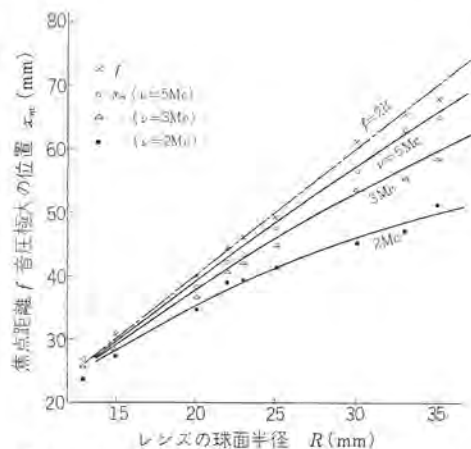


図 2.7 レンズ球面半径と焦点距離、音圧極大位置との関係 ($2a=20$)
Relation between radius of lens curvature and focal length, distance to peak pressure ($2a=20$).

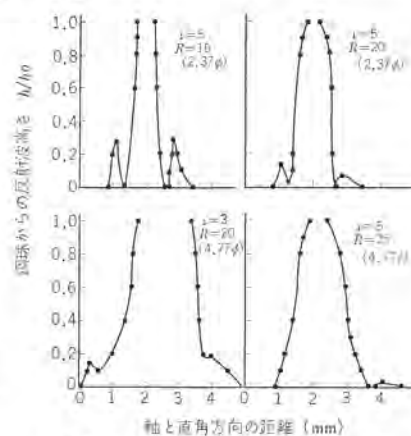


図 2.10 鋼球反射による軸と直角方向の音圧分布
Cross sectional distribution of sound pressure reflected from steel ball.

射波の干渉によるものと考えられる。

図 2.7 は音圧極大点 x_m を各レンズについてまとめたものである。また同図には $n=0.5$ として計算した f , x_m の値を破線および実線で示した。ここで $n=0.5$ としたことは次のような理由がある。すなわち、レンズ付き振動子を 2 個対向させて透過法としたとき受波側レンズに入射するビーム径が振動子径 (= レンズ径) に等しくなる条件から、両レンズ間の最適対向距離 L_0 は $2f$ となる (これはレンズ付き振動子の指向性が送受いずれの場合にも等しいと考えることもできる)。

図 2.8 は 5 Mc にて 20 R レンズ付き振動子を対向させ、両レンズ間の距離と受波音圧との関係を求めた結果の一例である。このようにして求めた音圧極大を与える L_0 は、測定誤差の範囲で周波数とは無関係の値であり、図 2.7 に \times 印で示したように、 $f=2R$ の直線によく一致する。 x_m の値も $n=0.5$ として求めた計算値に一致することがわかる。したがって、先に示したようにレンズ材音速の実測値があるにもかかわらず、 n の値は実質的には若干小さな値となっている。なお測定された x_m の値は、球の反射能に基づく距離補

正を行なうことによりわずかに大きくなる。音圧分布のうち、 x_0 , x_p などの値は必ずしも計算値とよくは合致しない。

図 2.9 は上記鋼球を鋼板に代え、これからの反射波強度を求めたものである。縦軸には音圧極大値を基準とした音圧相対値 (dB) をとった。音圧極大点がわずかに後退するほかは、焦点付近では球の場合とよく似たパターンを示し、やや浅いがはっきりした山谷が見られる。ただ反射板の厚さが小さいと反射板底面からの反射波との干渉が生ずるため、レンズに近い側で分布のくずれるのが認められる。このような平板反射における山谷は、後述するようにとくに反射式探傷法を行なう際に巧妙に利用することができる。その意味から、このような平板反射の様子を求めるのが实际的であろうと考えている。

(2) 焦点における直角方向の音圧分布、焦点直径

図 2.10 は焦点面における音圧分布の測定例である。このようなパターンのうち、副極が現われているものについては焦点直径を定めることができるが、分布自体がくずれていたり、また使用する鋼球が十分小さいことを要求されることから感度上の制限を受け、すべ

ての場合について焦域直径を求めることはできなかった。図 2. 11 に測定結果をまとめた。

(3) 焦域付近の音場

5 Mc にて 20R レンズを用いた場合の焦域付近における軸を含む面内での音圧分布を求めた結果が図 2. 12 である。図示したコンターラインは CRT 上のエコー高さを表わしている。対称性が若干くずれてはいるが焦域付近、とくに前面での音圧分布がよくわかる。

(4) 集束利得

図 2. 13 に各周波数で測定した音圧極大値を示した。測定には 2.37 φ, 4.77 φ, 7.93 φ 鋼球, 2.10 φ, 4.30 φ 鋼線をういたが、図にはそれぞれ 4.77 φ, 4.30 φ の場合を示した。基準値としては、レンズを

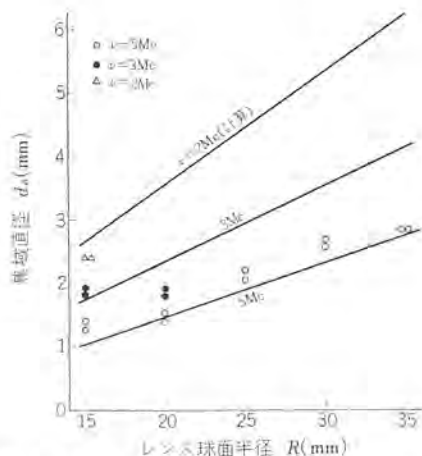


図 2. 11 レンズ球面半径と焦域直径との関係
Relation between radius of lens curvature and focal diameter.

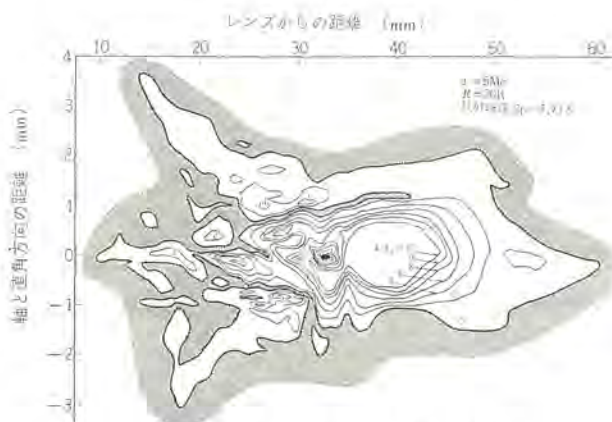


図 2. 12 焦域付近における集束音場
Focussed sound field near the focal zone.

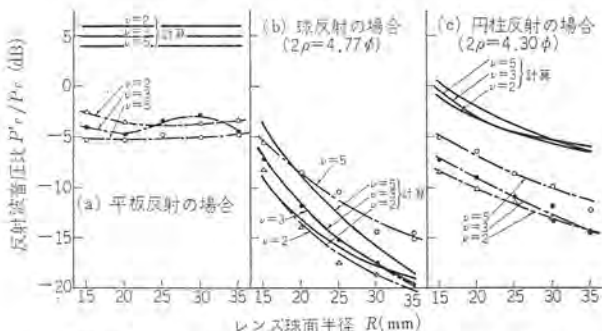


図 2. 13 レンズ球面半径と見かけの集束利得との関係
Relation between radius of lens curvature and apparent focussing gain.

つけない平板振動子を用いたとき、大略 x_m に等しい距離においた十分大きな鋼板から得られる反射波を採っている。

この場合、振動子面に戻った鋼板からの反射波音圧 p_F は、水-鋼間の反射率を r 、送波時の振動子面における平均音圧を p_0 とすれば近距離音場内であることから、

$$p_F \approx p_0 \cdot r$$

であるから、レンズを用いた場合の反射波音圧 $p_{F'}$ は、 p_0 がレンズをつけたときも変わらないものとして、

$$p_{F'}/p_F \approx A \cdot \gamma \cdot P \dots\dots\dots (2.13)$$

となる。ここに、 γ は反射体の反射能、 A はレンズの反射・吸収損失、 P は反射体表面における音圧 p の p_0 に対する比である。図 2. 13 に示した値はこの $p_{F'}/p_F$ に相当する。

いま、レンズを用いて得た平板からの反射波を考える。このとき平板面における照射面積を、焦域直径 d_0 で表わして $\pi d_0^2/4$ とすれば、受波器としての振動子はこの円に比べ十分遠方にあるから、反射能 γ は $\gamma \approx \pi d_0^2/2\lambda x$ となる⁽¹⁰⁾。さらに、この面における平均音圧をかりに $p_0 \cdot P_m/2$ と見れば x_m の位置にある平板からの反射については

$$\frac{p_{F'}}{p_F} \approx A \cdot \frac{\pi d_0^2}{2\lambda x_m} \cdot \frac{\pi a^2}{2\lambda x_m} \approx 0.36\pi^2 A$$

となって、周波数や焦点距離に無関係の一定値となる。

一方、球・円柱状反射体の場合には反射能 γ がそれぞれ

$$\gamma_1 \approx \frac{P}{\rho + x} \quad (\text{球})$$

$$\gamma_2 \approx \sqrt{\frac{2\rho}{(\rho + x)\lambda x}} \cdot d_0 \quad (\text{円柱})$$

ここに、 ρ : 球または円柱の半径

また円柱の有効長さを d_0 と考える

のようになると考えられる⁽¹⁰⁾。これらの反射能を用い、 A を $\nu = 2, 3, 5$ Mc について -5, -6, -7 dB (実測値の大略) として求めた $p_{F'}/p_F$ の値を図 2. 13 に併示した。また異径鋼球または鋼線による測定値を比べると、 γ はそれぞれ ρ および $\rho^{1/2}$ に比例すると思われる。したがって、反射能の見積り以外の、いくつかの仮定や測定精度などにも定量的不一致の原因があると考えている。なお、図 2. 13 の測定値は後に述べる理由から、振動子-レンズ間げきが 8 mm の場合の値を示した。いずれにしろ、このような反射法による測定については種々の意味から批判・検討を加える必要があると考える。

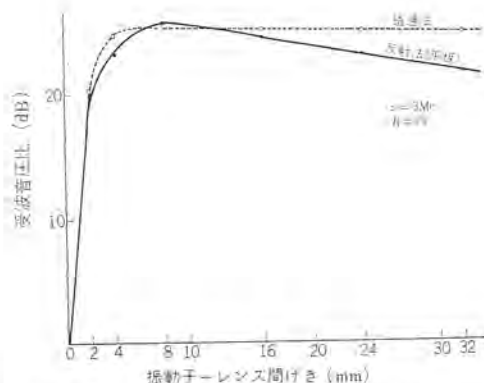


図 2. 14 振動子-レンズ間げきと音圧極大値との関係
Relation between transducer to lens gap and measured peak pressure.

(5) 振動子-レンズ間げきによる音圧極大値の変動

図 2. 14 は 3 Mc にて 15 R レンズを用い、振動子-レンズ間げきを変えて透過法、反射法の場合の受波音圧の最大値を測定した結果である。縦軸はそれぞれ振動子-レンズを密着させた場合を基準としている。反射波で反射体の形状を変えても、さらに一般に周波数やレンズ半径を変えても、比の値はともかく、間げき 8 mm 程度で極大または飽和値に達する様子は変わらない。また、このような変化は受波側レンズ-振動子間げきを変えても同様に生ずる。これらの理由については、振動子の放射抵抗の問題、レンズ入射面における音圧分布の問題が関与していると予想されるが、まだ説明するにはいたっていない。なお、間げきを変えても x_m の変動はわずかで、密着の場合に同じと考えてよい。いずれにしてもこの現象はレンズの実用上、重要な意味を持つものである。なお、先の集束利得の検討にはすべて間げきが 8 mm の場合の値を用いている。

2. 2. 3 2. 2 節の総括

前項までに超音波探傷に必要と思われる音響レンズの特性を検討し、大略次の結果を得た。

(1) 焦点距離 f はアクリル樹脂を用いたとき $2R$ で、一般には $R/(1-n)$ で与えられ、 $R/a \geq 2$ の範囲では球面収差の補正は不要であり、 f の実測には、2 探触子対向法が適当である。音圧極大の位置は球殻状振動子の場合と同様に求められる。

(2) 焦域直径 d_0 は、アクリル樹脂の場合は $2.4\lambda R/a$ で表わされると思われるが、 $\lambda R/a$ の大きな範囲では測定が不能であった。また測定値には使用球径の影響はいりやすい。

(3) 集束利得については、定性的にはともかく、定量的には十分よい結果が得られなかった。この理由として収れん球面波に対する反射能、および反射面における平均音圧の見積り、さらに音圧比の基準値のとり方などがあげられる。また、送受波いずれの場合にも振動子-レンズ間げきによって送・受波感度が異なる現象を見出した。レンズ自体の損失は 3~4 mm 厚さのレンズで数 dB 程度である。

(4) 球体からの反射波を測定する方法は、分布形の調査などにはほぼ妥当と思われるが、これも可及的小径とすべきである。全般的にみて、この方法にはさらに突込んだ批判の余地がある。

3. 探傷への応用

3. 1 基礎的事項

前章にて、レンズにより超音波の集束される様子を明らかにしたが、これを利用して探傷を行なうには、なお種々の検討が必要である。たとえば走査、検出、記録表示およびこれより派生する種々の問題、被検査材や探触子あるいはこれらを結合する媒質としての水などの条件によるレベル変動などがそれである。しかし、これらの問題点の多くは他の方法とも共通の問題でもあるので割愛し、ここでは集束法、とくに得られた細小なビームを積極的に利用する探傷法の問題の中から、2, 3 採り上げて記述する。集束探傷法としては他に指向性・入射角の修正を利用した同じく精密探傷法向きの使途が考えられるが、ここでは一応触れないこととする。

(1) 透過法における探触子配置

前章にて、対向 2 探触子法の場合に、受波音圧が最大となるレンズ間げき $L_0 = 2f$ であることを示した。透過法では、両レンズ間に屈折率 n_s 、厚さ t の被検査材がそう入されるから、このときは、

$$L \approx 2f - t/n_s \dots \dots \dots (3. 1)$$

とするのがよい。5 Mc にて 20 R レンズを用い、鋼・アルミ板 ($n_s =$

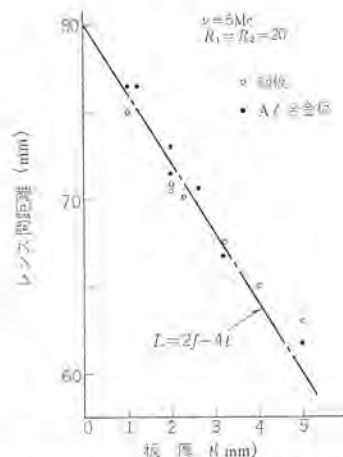


図 3. 1 透過極大を与えるレンズ間距離と板厚との関係
Lens to lens distance giving maximum transmission
vs. plate thickness.

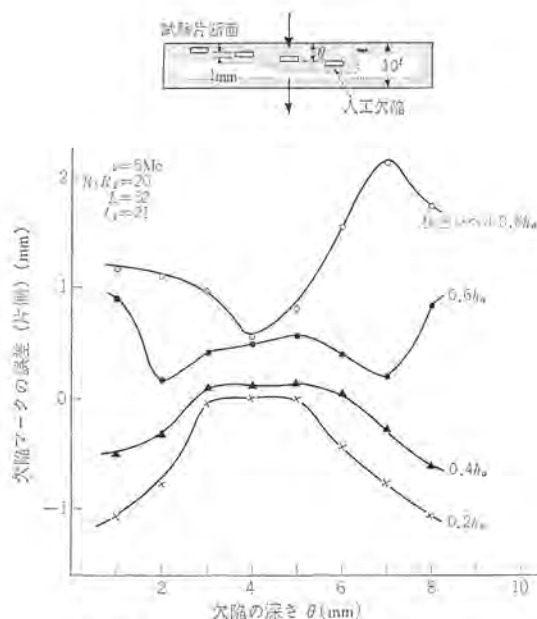


図 3. 2 欠陥の深さと C スコープ図形における
欠陥記録誤差との関係

Relation between depth of defects and marking error
in C-scope patterns marked at various detecting levels.

0.24~0.25) について測定した L を図 3. 1 に示した。この結果はまた、ビーム周縁部で横波に変換されるエネルギーがあるにもかかわらず、実質的にはビーム中心近くの音束のみが探傷に関与することを示すものと考えられる。

次に、被検査機厚さ t が大きくなると被検査面と焦点面との不一致が問題となる。図 3. 2 は厚さ 10 mm の 24 s 板に種々の深さ θ で人工欠陥を与えた試験片を、5 Mc にて 20 R レンズを用いて透過探傷し、警報装置を経て自記させた結果を整理したものである。縦軸は記録された欠陥マークの実寸法よりの偏差で、横軸は人工欠陥の表面からの深さ θ である。この場合、 $L = 52$ 、送波レンズから試験片までの距離 $L_1 = 21$ としている。また図中パラメータ h/h_0 は、検出レベル (CRT 上のエコー高さ) h の、飽和高さ h_0 に対する比である。

図 3. 3 は同一試験片について前図の結果から、検出レベル $h = 0.2 h_0$ として探傷したときの結果をまとめたものである。点線で囲まれた範囲では、マークの偏差が ± 0.1 mm 以下である。この図において、

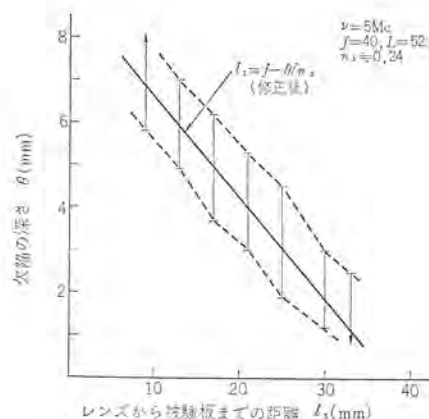


図 3.3 ±0.1 mm 以下の記録誤差で検出される欠陥深さと
レンズ-被検査物表面間距離との関係
Relation between lens to surface distance and depth of
defects detected in marking error less than ±0.1 mm.

点線で囲まれた帯の傾斜は $1/n_s$ であり、深さ方向の幅は実効的な焦点深度と考えられる。図示したように欠陥厚さは 1 mm であるが、ここで厚さのない欠陥を考えると、任意の欠陥深さに対して、設定すべきレンズ-被検査物表面間の距離 L_1 は簡単に、

$$L_1 = f - \theta/n_s \quad (3.2)$$

図示の例で、欠陥深さは実質的に 0.5 mm 増す。同図の直線はこの修正を行なった L_1 を示す。なお、この例では $L=52$ としたが、要するに式 (3.1) は受波音圧を最大にするのが目的であり、式 (3.2) は重要視する必要はないものである。

(2) 反射法における探触子配置

この場合には、焦点距離とともに軸上音圧分布における山谷の位置が重要であり、被検査面に焦点または極大点を一致させることよりも、むしろ表面を谷の位置におくことが肝要である。とくに被検査面が浅いときには、通常の反射法では表面と欠陥との両者からの反射波が時間的に分離されず、水浸法でも探傷できないことがあるが、集束法にて $L_1 = x_0$ とすれば、反射強度の点で表面と欠陥とが分離される。図 3.4 は 24 s 板の表面下 2 mm の深さにある円柱状欠陥を反射法により検出した例である。CRT 上では単一のエコーであるにもかかわらず、 L_1 を選ぶことによって容易に表面直下の欠陥を検出しうることがわかる。なお、一般に欠陥エコーと表面エコーとの比 p_d/p_s は、簡単には、

$$p_d/p_s \approx r_d \cdot \gamma_d \cdot \frac{1-r^2}{r} \cdot P \quad (3.3)$$

で表わされる。ここに、 r_d 、 γ_d は欠陥の反射率および反射能、 r は

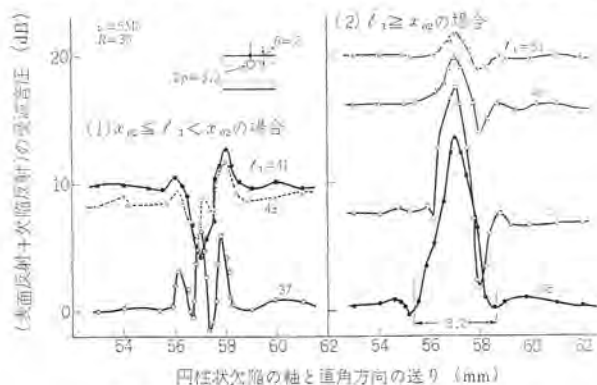


図 3.4 反射法による表面下欠陥の検出
Detecting of subsurface defect by means of
reflection method.

表面の反射率であり、 P は表面および欠陥の位置における音圧の比である。両者が時間的に分離されないときには、干渉が生じてこのように簡単ではないが、いずれにしろ P をできるだけ大きくするため、 $L_1 = x_0$ とするとともに、

$$f - x_0 = \theta/n_s \quad \text{または} \quad x_m - x_0 = \theta/n_s$$

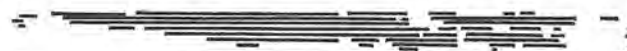
となるようなレンズを選択することが必要である。また、欠陥に応じてこのような条件を満たすことは、安価なレンズによってはじめて可能であろうと考えている。

3.2 自然傷の検出例

3.2.1 集束透過法の例

この方法の適用が考えられる対象としては、一般板材におけるミネシオン、プリスタなど、パイメタル・クラッド材における接合不良、接点その他ろう付け部品における接着不良などがある。あるいは小形精密の鋳造品などにおけるわれやブローホールなどにも適用されるであろう。このうち、とくにろう付け欠陥は一般に分布が複雑で集束法の対象としては好例といえる。

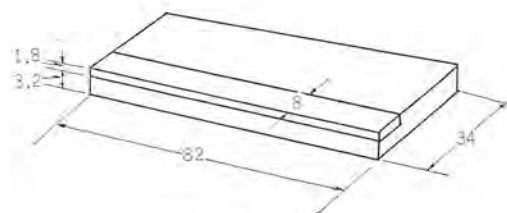
図 3.5~3.7 はシャ-刃ろう付け部の探傷例である。被検材と集束透過法による C スコー-図形、X 線透過写真を図 3.5 に示す。X



(a) C スコー-図形 (×1)



(b) X 線透過写真と欠陥 (×1)



(c) 試料形状と寸法

図 3.5 シャ-刃ろう付け部の接着不良検出例
Example of detection of defective bond in brazed
shear blade.

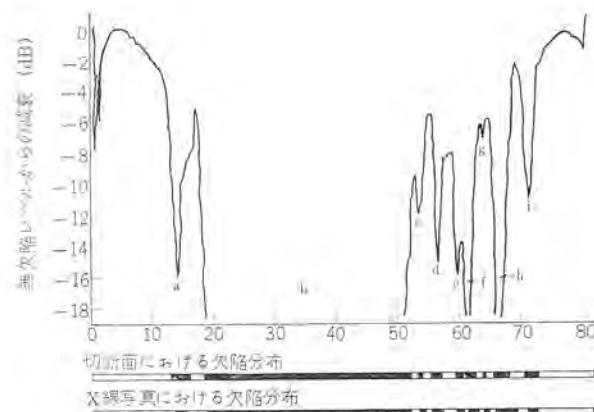


図 3.6 シャ-刃ろう付け部における直線 1 回走査時のレスポンス
Response to defects in brazed shear blade
(one linear scanning).



▲図 3.7 シヤー 刃断面におけるろう付部欠陥
($\times 8.6$)
Defective bond detected in cross section of
shear blade ($\times 8.6$)

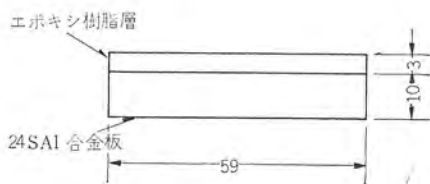


図 3.8 試験片概略 Rough sketch of specimen.



(a) Cスコープ図形



(b) 浸透探傷後の試験片の外観

図 3.9 試験片外観と反射法による
Cスコープ図形
Exterior view of specimen (after penetrant
inspection) and C-scope pattern.

線写真は探傷後研削して全厚さを 1 mm まで減寸して撮影した。X
線写真における黒化部が接着部で、Cスコープ図形のスペースにあたる。
図 3.6 は走査線に沿う透過レスポンスであり、欠陥に付した記号は
X線透過写真および図 3.7 に示した断面拡大写真の記号と対応さ
せてある。これらの結果を対比することにより集束法の効果が知
られると思う。なお、探傷条件は $\nu=5$ Mc, $R_1=R_2=20$, $L=65$,
 $I_1=24$ とした。Cスコープ図形の検出レベルは、健全部透過レベルより
10 dB 下げた。

透過法では、ほかに接点ろう付け部、バイメタルなどの探傷例があ
るがここでは省略する。

3. 2. 2 集束反射法の例

初めに、軸上音圧分布の山谷を利用した例として、エポキシ樹脂層
の接着部検査の結果を図 3.8～3.9 に示す。実際の被検査物は
SUS-52 材のドーナツ状円板合金上にエポキシ樹脂 (+減摩剤) を盛り

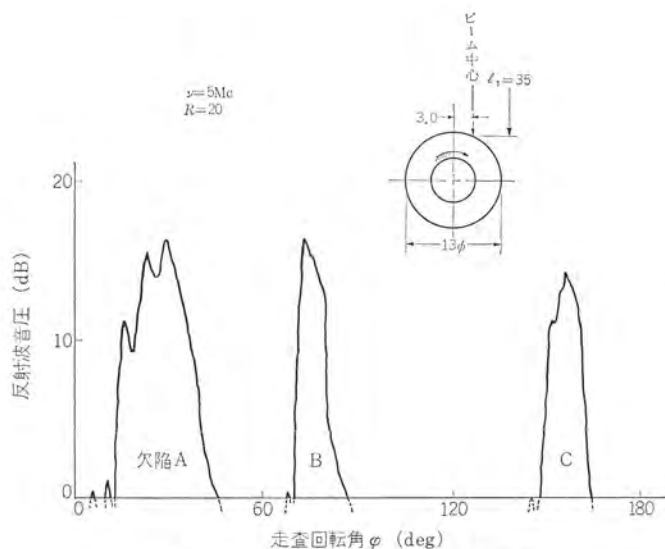


図 3.10 小径中空軸中の地きずの検出
Detection of defects (stringer) in small
hollow shaft.



図 3.11 中空軸材断面における地きず (欠陥B)
($\times 100$)

Flaw in the cross section of hollow shaft (defect B)
($\times 100$).

上げたものであるが、ここに示す例は24s板に図3.8のように、エポキシ樹脂を盛った試験片を用いた。試験片では図示のような文字と記号を1×1mm(幅×深さ)で刻み入れ、また樹脂層中の気ほう(泡)や非接着層が観察できるように透明の樹脂を盛りつけた。この試験片を用いて上側検出(あるレベル以上のエコーを検出、記録する)により接着不良部を、また下側検出により文字を重複記録したものが図3.9である。同図の文字マーク中に点々とするスペース小は、樹脂注型時に文字の部分に付着残留した小気ほうを示している。この場合の接着不良部の反射強度を考えるに、樹脂-台金間の反射率 r は0.7程度であり、これに対して非接着部では約3dBの増加でしかなく、通常の多重反射法では検出困難なものである。なお図3.9に見るように非接着部とはいえ、その中でも空けきこう配があり、探傷図形との対比から欠陥反射率にもこう配があるものと考えられる。

図3.10はSUS-27材13φ中空軸の表面欠陥を集束反射法により検出した例である。同図に示した探触子配置によって表面からの反射エコーを消去することができ、きわめて微小の欠陥(ストリガー)をも検出することができた。図3.11は中空軸断面における欠陥Bを示す。

4. む す び

以上に、レンズによる超音波の集束について述べ、さらに、これによって得られる小径ビームと集束利得とを積極的に利用した探傷の実施例を示した。

ここに見るように、集束探傷法は精密探傷法として十分な効果を

有するだけでなく、従来は考えられなかった被検査物または欠陥をも超音波探傷の対象として加えうるものであることが認められた。ただ、今後この方法により実用の成果をあげるには、なおいくつかの問題がある。その最大のものとして、検査速度の向上があるが、使用周波数の選定と探傷器の更改、走査方法システムの改良によって十分向上の余地があり、他の問題の解決とともに多くの自然傷について検討と経験を集積することによって、超音波探傷の有力な一手段となるものと考えられる。

最後に、この方法の開発過程で当社鎌倉製作所各位から適切な助言と協力を得たことを付記し謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 井出：手術，信学誌，48，1,923(昭40)
- (2) T. Tarnoczy：Sound Focussing Lenses and Waveguides, Ultrasonics, July-Sept./1965, 123
- (3) 寒吉，菊池，能本：超音波技術便覧 167～169(昭35)
- (4) 同上の171
- (5) 木村：音響レンズの超音波集束効果，非破壊検査協会，NDI資料2,222(昭40)
- (6) 学振編：超音波探傷法，30(昭39)
- (7) 井出：超音波の集束について，電四学連論文集1,081(昭35)
- (8) たとえば(1)の1924
- (9) 山本：米国の探触子について，非破壊検査協会 NDI 資料2,219(昭40)
- (10) (6)の43～47

真空スイッチを用いた負荷時タップ切換器

嶋 裕史*・西山 喜順*・竹内 伴治**

On-Load Tap Changers using Vacuum Switches

Itami Works Hirochika SHIMA・Kitoshi NISHIYAMA
Communication Equipment Works Tomoharu TAKEUCHI

It is a recent trend to place vital dependence on the operation of on-load tap changers. To meet the requirement Mitsubishi has striven to develop new on-load tap changers using vacuum switches. Through this application it has been successful to complete new tap changers having marked advantages of high switching capability, long life, maintenance freedom and no contamination trouble of insulation oil. Test results on the new products have brought to light a fact that they withstand with no difficulty, life expectancy of 300,000 operation in conformity to the recommendation of the LRT commission, proving the new design possessed of very high operation reliability. The paper describes the progress of the trial manufacture and the test results, also touching upon the feasibility of extending applicable limit by raising the rating.

1. ま え が き

負荷時タップ切換変圧器や負荷時電圧調整器は長年の歴史と実績をもち、これからますます多く採用される傾向にあるが、負荷時タップ切換器の運転信頼度の向上が近年とくに強く要求されている。

この情勢にそうため、当社では真空スイッチを用いた負荷時タップ切換器を開発した。従来の負荷時タップ切換器は、切換開閉器として空气中あるいは絶縁油中で開閉する接点を用いているため、しゃ断性能に限界があることと接点の消耗や油の汚損が運転信頼度を阻害しており、ひんばんな保守点検を必要とした。

もちろん、これらの欠点を補う目的で特殊な素子を用いた無接点形の負荷時タップ切換器も考案されているが、これらは高圧大容量変圧器への適用がむずかしく経済性も劣るという難点があり、広く実用されるに至っていない。むしろ有接点形であっても、接点に安価で性能の高い真空スイッチを用いたほうがはるかに信頼度が高く、有利であると考えられる。

真空スイッチを用いた負荷時タップ切換器は次のような特長をもち、今後広い採用が期待される。

- (1) しゃ断性能がすぐれている。



図 1.1 真空スイッチを用いた負荷時タップ切換器の切換開閉器
Exterior view of diverter switch.

このため小形の真空スイッチで高圧大容量の負荷時タップ切換器が製作できる。

- (2) 寿命が著しく長い。

真空スイッチの接点の消耗量はきわめて少なく、高い切換えひん度で運転しても長年月の寿命をもち、接点の交換などの保守をまったく必要としない。

- (3) 絶縁油の汚損がない。

真空容器の中で接点の開閉が行なわれるため、油はまったく汚損されない。このため絶縁耐力の低下がなく、絶縁信頼度が高いとともに油のろ(汙)過、交換や内部の清掃などの保守を必要としない。

ここに今回試作試験した真空スイッチおよび負荷時タップ切換器の概要を報告し、おおかたのご参考に供する次第である。

2. 真空スイッチの概要

2.1 消弧原理

真空スイッチは真空を消弧媒体とした開閉器である。気体空間の絶縁耐力は、大気圧から圧力をしだいに低下していくと、絶縁耐力は $P \times d$ (P : 圧力 d : 間げき) と一定の関係をもち、圧力にほぼ比例して低下するが数 torr で最低になり、それからさらに 10^{-4} torr まで低下させるときわめて高い絶縁耐力をもつようになる。真空スイッチに使用する圧力は 10^{-4} torr 以下の高真空領域である。

図 2.1 に真空スイッチの構造を示す。①は固定電極、②は可動電極、③は伸縮自在の金属ペローズ、④は電極がアークにより金属蒸気となり、拡散して容器の絶縁部へ付着しないよう防止するためのシールドである。

今、①、②に交流電流が流れている状態で操作棒⑤が動作し、①、②の電極が開極して電極間にアークが発生すると、電極表面から電子の放出とともに電極物質が蒸発して金属蒸気・イオン・電子からなるアーク空間が形成される。電流が零点に達した瞬間に残存イオンや電子は非常に高速度で真空中を拡散し、器そう(槽)内面やアークシールドに付着するので、電流零点では電極間げきはすみやかにもとの真空空間に回復し、ふたたび高い絶縁耐力をもつようになる。

図 2.2 は真空およびガス中での絶縁回復特性を示す。

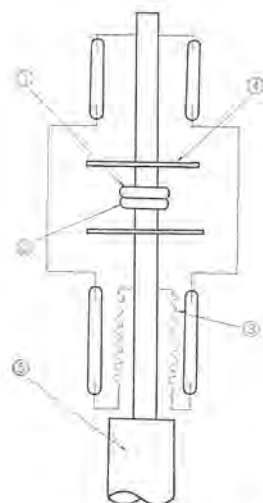


図 2.1 真空スイッチの構造
Construction of vacuum switch.

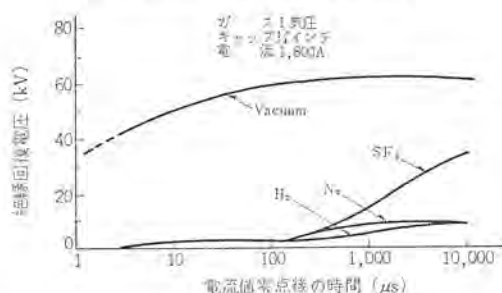


図 2.2 真空中およびガス中での絶縁回復特性
Insulation recovery characteristic in the vacuum and gases.

2.2 真空スイッチの特性

2.2.1 シャ断特性

真空中の絶縁回復速度はきわめて速く、アーク空間から純粋の真空空間への復帰はマイクロ秒のオーダーにすぎないため、最初の電流零点で交流アークは消滅し、シャ断が完了する。真空スイッチで電力回路の短絡電流をシャ断する場合、電流波高値およびアークエネルギーがシャ断能否を決定し、シャ断限界は回復電圧と電流波高値の上限で決まる。シャ断電流が大きくなるとアークによる金属蒸気が急激に増加して電極表面を充満し、外部への拡散が妨げられ一定の限界値を越えとシャ断不能になる。このため大電流シャ断においては、アークを電極表面で高速度に移動させる方法が考えられている。

小電流シャ断では電流が零点をまたずに消弧する。いわゆる電流さい断現象であるが、これはアークの平均寿命が電流の減少とともに短くなることであり、回路に異常電圧を発生する心配がある。しかしこの現象は電極材料を適当に選ぶことで押えることができる。

2.2.2 耐電圧特性

真空スイッチの絶縁耐力は規定の間げきでの商用周波1分間耐電圧と衝撃波耐電圧とで表わしているが、一般に高真空中の絶縁耐力はきわめて高く、真空スイッチは短い間げきで使用される。真空中の電極間耐圧は1mmの間げきで数万ボルトに耐えるが、表面状態によって変わり清浄でなめらかなほどよい。絶縁破壊は電極やシールド面に局部的に電界が集中し限界値以上になっておこる。したがって電極その他各部の表面電位傾度が、もっとも小さくなるよう、間げきは十分余裕をもった設計がされている。

真空スイッチの耐電圧は、電極間で維持される必要があると同時に絶縁器壁でも維持されなければならない。絶縁部沿面には、蒸発し

た電極材料が付着するため徐々に劣化するので、適当なシャへいを設けた内部構造をとって電極材料の付着を防いでいる。

2.2.3 寿命特性

真空スイッチの寿命はおもに電極の消耗できまり、寿命とは定格電流から定格最大シャ断電流まで異常なく電氣的機械的に投入・シャ断ができる回数である。定格シャ断電流よりも低い電流をシャ断しているかぎり、電極の消耗は少ないので寿命回数はそれだけ多くなる。真空スイッチの電極消耗量は一般に少なく、200A、25万回の開閉でも消耗量は0.5~1.0mm程度である。

真空スイッチは長期の間、高真空の維持が必要であるが定格電流を開閉すれば、アークによる金属蒸気の拡散がクリアアップ現象を呈し真空度はよくなる。

以上真空スイッチのおもな特性について述べたが、真空スイッチはこれまでのスイッチ類の欠点をおぎなうべく生れたもので、シャ断器、開閉器等の消弧機構に相当する理想的な“真空開閉素子”として注目され、工業用としては高圧モータの起動用開閉器、電気炉の高速度負荷開閉器さらに電力用途としては負荷時タッパ切替器、配電用区分開閉器等広い範囲に使用されようとしている。

2.3 当社真空スイッチの特長

真空スイッチは高い絶縁耐力、高速度シャ断性能、保守点検不要、高い開閉ひん度、長寿命、小形化等の多くの長所があるが、さらに当社の真空スイッチは次のような特長をもっている。

(1) 小形

消弧部と外囲気とを一体にし、2重構造をとらないので同一容量に対して消弧部を小形に構成している。

(2) 信頼度が高い

耐熱・耐真空性の金属消弧室であるから、高温加熱排気による十分な脱ガスが可能で、長期にわたり高真空をたもち安定した特性を維持できる。

(3) 堅固

外部衝撃、振動に対して強い。

(4) さい(截)断電流が小さい。

当社独特の電極材料を使っているため、さい断電流は平均2A以下である。

(5) 電極消耗が少ない。

(6) 量産にすぐれ特性が均一化されている。

3. タッパ切替方式の選定

変圧器に負荷電流が流れている状態で巻線のタッパを切換えようとする場合、切換えの途中で現在運転中のタッパと次に切換えようとするタッパとの間が一時的に短絡されるため、この部分に電流が環流する。そこで現在の負荷時タッパ切替器では、このタッパ間の環流電流(横流)を安全な値に制限するため、リアクトルや抵抗器をそう入する方式をとることは周知のとおりである。

負荷時タッパ切替器の切換開閉器の使命とは、負荷電流や横流のシャ断・投入を一定の順序で行ないながら負荷電流をつぎのタッパへ移しかえることであり、電氣的に十分な通電能力と切換能力を持ち、長年月の使用に耐える寿命をもつことが機能として要求される。そこで切換開閉器の接触子部分に、従来の機械的な開閉器に代わり切換能力のすぐれた真空スイッチを採用すれば、冒頭にあげたような多くの特長を発揮することは明白であろう。

電流の開閉要素として可飽和リアクトルやサイリスタを用い、従来あ

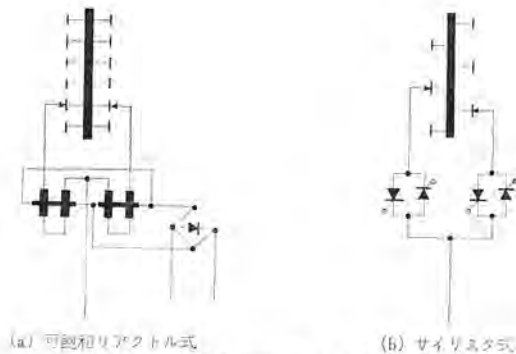


図 3.1 無接点負荷時 タップ 切換方式の一例
Examples of arcless on-load tap changer.

表 3.1 開閉器数を 4 個までと限定したときの負荷時
タップ 切換方式
Various circuits of on-load tap changing.

並列区分 リアクトル式	単一回路 リアクトル式	並列区分 1 抵抗式	並列区分 2 抵抗式	単一回路 1 抵抗式	単一回路 2 抵抗式
a-1	b-1	c-1	d-1	e-1	f-1
a-2	b-2	c-2	d-2	e-2	f-2
a-3	b-3	c-3	d-3	e-3	f-3
a-4	b-4	c-4	d-4	e-4	f-4
a-5	b-5	c-5	d-5	e-5	f-5
a-6	b-6	c-6	d-6	e-6	f-6
a-7	b-7	c-7	d-7	e-7	f-7
a-8	b-8	c-8	d-8	e-8	f-8

った切換開閉器やリアクトル・抵抗器をすべて省略しようとする新しい方式の実用化がはかられており、その基本回路の一例を図 3.1 (a), (b) に示すが、これらの新しい方式の負荷時タップ切換器も高圧大容量変圧器への適用には制御や保護に技術的な問題があり、真空スイッチを採用するほうがはるかに経済的で信頼度が高くなる。

ただし真空スイッチは単純な単極単投の開閉器であって電流抑制作用をもたないから、現在の段階ではこれを切換開閉器として適用し、リアクトル・抵抗器と組合わせて負荷時タップ切換回路を構成することが必要である。

リアクトル式、抵抗式負荷時タップ切換器の中にも多くの結線方式があり、また抵抗式では 1 抵抗から多抵抗まで種々の切換方式があるが、これらの切換開閉器に真空スイッチを適用するにあたっては、できるかぎり少数の真空スイッチを用い、簡単な機構をとることが経済的にも信頼度の点からもきわめて重要な問題であり、複雑な機構や回路構成をとることは得策ではない。

いま真空スイッチの必要数を 4 個までと限定し、抵抗数も 2 個までと限定して実現性のある結線方式を列挙すれば表 3.1 のとおりとなる。これらに対して真空スイッチの必要数や、そのしゃ断責務の軽重はもとより、機構や動作が簡単で信頼性が高いという条件によって適合する方式を選出してみると、つぎの 2 種がその有力候補となる。

a-4	真空スイッチが 1 個でよく構造が簡単である。 常時は 2 個の通電用スイッチによりバイパスされるから真空スイッチには常時の通電能力を必要としない。
-----	---

e-2	単一回路方式のためタップ選択器の構造、動作が簡単である。 抵抗器は通電時間が短縮できるから小形軽量となる。
-----	--

この 2 候補の大きな相違点は

- a-4 並列区分リアクトル式
- e-2 単一回路抵抗式

という点である。並列区分リアクトル式は構造が比較的簡単であり、2 タップにまたがった状態で停止して中間タップとして使えるなどの利点をもつが、他方単一回路抵抗式は、抵抗器が小形軽量で高圧用負荷時タップ切換器がきわめて作りやすいという利点を持つ。

今回の真空スイッチつき負荷時タップ切換器の開発にあたっては、その適用対象を電圧で 77 kV、容量で 20 MVA 前後までの配電用変圧器に、中性点切換直接式として取付けることをまず第 1 段階として考慮した。そこでこの程度の変圧器に適用する場合には、上記 2 候補のうち e-2 方式（単一回路抵抗式）のほうが経済的で信頼度も高いと判断される。これらの比較検討にもとずき、切換方式は単一回路方式 1 抵抗 3 開閉器つきと決定した。

4. 適用 限界

現用の負荷時タップ切換変圧器は、電圧では 11 kV から 275 kV まで、容量では 3,000 kVA から 300 MVA まできわめて多くの種類がある。そこでこれに取付ける負荷時タップ切換器も、1 機種だけではとうていすべての需要を満たすことはできない。しかし変圧器ごとに定格の異なる多くの機種を整備することはかえって不経済なので、一般には通過電流別、タップ間電圧別などにランク分けし、数種の負荷時タップ切換器でこの需要をまかなうのが通例である。

今回の真空スイッチつき負荷時タップ切換器の適用にあたっては、まず、77 kV 以下、20 MVA の配電用変圧器に専用することを第 1 段階として計画した。すなわちこれらの配電用変圧器に適用した場合の通過電流と、タップ間電圧の最大をとり適用限界を

$$\left. \begin{array}{l} \text{最大通過電流} \quad 220 \text{ A} \\ \text{最大タップ間電圧} \quad 850 \text{ V} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

と定めた。最大通過電流を 220 A とすると、直接式として適用できる負荷時タップ切換変圧器の三相限界容量は、図 4.1 のとおりとなる。さらに同じ真空スイッチを流用し同じ切換方式で

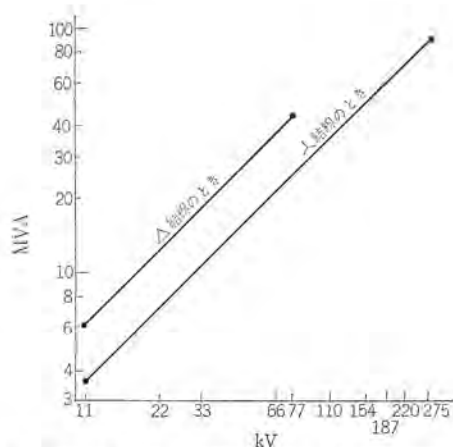


図 4.1 220 A タップ 切換器が適用できる限界容量 (三相)
Applicable limit of 220 A on-load tap changer to the transformer (3 phase)

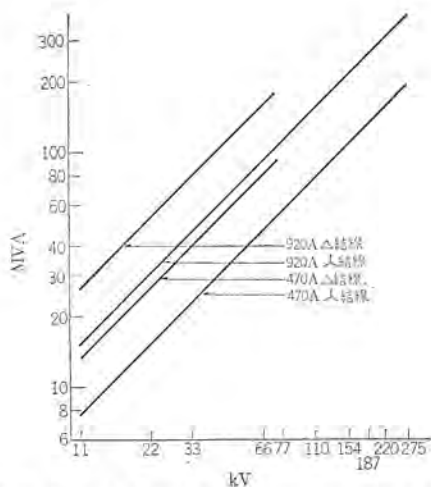


図 4.2 470 A, 920 A タップ切換器が適用できる
限界容量 (三相)
Applicable limit of 470 A, 920 A on-load tap changer
to the transformer (3 phase).

第2段階 最大通過電流 470 A 最大タップ間電圧 1,900 V }
第3段階 最大通過電流 920 A 最大タップ間電圧 1,900 V }
..... (4.2)

という適用も予定している。この場合、真空スイッチには常時の通電用接点を並列に設けるなどの処置が必要となるが、もしこの第2、第3段階の適用能力が検証できれば、図 4.2 に示す容量の負荷時タップ切換変圧器まで適用できることとなり、1種類の真空スイッチで現用されているほとんどすべての負荷時タップ切換変圧器に直接式として組み込むことが可能となって、負荷時タップ切換器の経済性をいちじるしく高くすることができる。

5. シャ断責務

単一回路1抵抗式3開閉器つき負荷時タップ切換器の切換順序は、図 5.1 に示すとおりである。この切換順序に従うとき A, B, C 各真空スイッチのシャ断責務は、表 5.1 のとおりとなる。

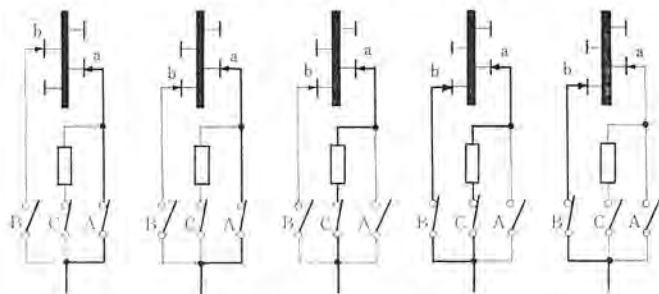


図 5.1 単一回路1抵抗式3開閉器形の切換順序
Diverter switch operating sequence.

表 5.1 A, B, C 各スイッチのシャ断責務
Switching duty of each switch.

切換方向	a → b 方向		b → a 方向	
スイッチ	シャ断電流	回復電圧	シャ断電流	回復電圧
A	i	iR		
B			$e/R \pm i$	$e \pm iR$
C	e/R	e		

ただし i : 通過電流
 e : タップ間電圧
 R : 抵抗値
±符号のあるものは電圧下降方向切換のとき+を、電圧上昇方向切換のとき-をとる。

表 5.2 $R=e/i$ の抵抗をつけたときのシャ断責務
Switching duty of each switch equipped with
resistor of $R=e/i$.

負荷状態	100 %			150 %		
	通過電流が i のとき			通過電流が $1.5i$ のとき		
スイッチ	シャ断電流	回復電圧	シャ断回数	シャ断電流	回復電圧	シャ断回数
A	i	e	$n/2$	$1.5i$	$1.5e$	$n/2$
B	上昇	0	$n/4$	$0.5i$	$0.5e$	$n/4$
	下降	$2i$	$n/4$	$2.5i$	$2.5e$	$n/4$
C	i	e	$n/2$	i	e	$n/2$

n : タップ切換回数

ここで電流 i 、タップ間電圧 e が一定であるときには抵抗値 R は一般に

$$R=e/i \dots\dots\dots (5.1)$$

と定めるのが、切換能力、接点寿命の点でもっとも合理的である。そこで $R=e/i$ とし、負荷電流 i の力率=1.0 とすれば n 回のタップ切換えのうちに生ずる A, B, C 各真空スイッチのシャ断責務は表 5.2 のとおりとなる。

いま第1段階として $i=220$ A, $e=850$ V の値をとれば、抵抗値 $R=3.86 \Omega$ となり、100 % 負荷で 30 万回の切換寿命を検証しようとするときは

A, C スイッチ……シャ断電流 220 A 回復電圧 850 V で 15 万回 }
B スイッチ……シャ断電流 440 A 回復電圧 1,700 V で 7.5 万回 }
..... (5.2)

のシャ断を行なわせることになる。また、150 % 負荷のときの切換能力を検証するには、このときに最大のシャ断責務を負う B スイッチの電圧下降方向切換えの場合のみを考慮して、

$$\text{シャ断電流 } 550 \text{ A 回復電圧 } 2,125 \text{ V} \dots\dots\dots (5.3)$$

のシャ断試験を行なってみればよいこととなる。さらに 200 % 負荷のときの切換能力を検証するには B スイッチについて、

$$\text{シャ断電流 } 660 \text{ A 回復電圧 } 2,550 \text{ V} \dots\dots\dots (5.4)$$

のシャ断試験を行なってみればよい。

なお第2、第3段階の適用限界として式 (4.2) に示した条件を予定しているが、この場合にも抵抗値を式 (5.1) にから定めるものとすれば、これらの条件を表 5.2 に代入すれば

第2段階の場合 100 % 負荷での寿命試験については

A, C スイッチ シャ断電流 470 A 回復電圧 1,900 V

B スイッチ シャ断電流 940 A 回復電圧 3,800 V

でシャ断を行なわせることに該当し、150 % 負荷での切換能力を検証するためには、

シャ断電流 1,175 A 回復電圧 4,750 V

のシャ断試験を行なえばよいこととなる。

また第3段階の場合、寿命試験については

A, C スイッチ シャ断電流 920 A 回復電圧 1,900 V

B スイッチ シャ断電流 1,840 A 回復電圧 3,800 V

でシャ断を行なわせることに該当し、150 % 負荷での切換能力の検証には

シャ断電流 2,300 A 回復電圧 4,750 V

のシャ断試験を行なえばよいこととなる。

6. 構造

負荷時タップ切換器の全体の構成を決定する際に留意した点は、

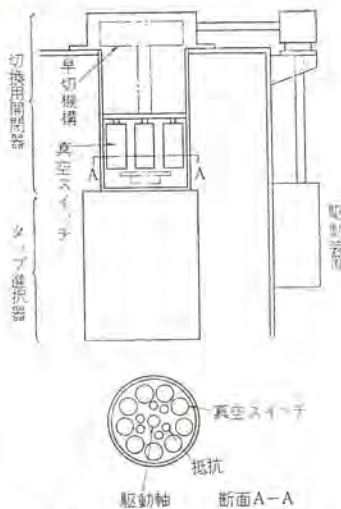


図 6.1 試作品の構成
Arrangement of on-load tap changer.



図 6.2 切換開閉器 中身
Diverter contents.

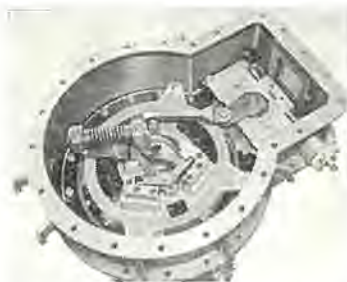


図 6.3 早切り機構
Quick motion mechanism.

変圧器の組立輸送が可能なこと、高圧負荷時タップ切換器の製作が容易なこと、機械的にも電気的にも信頼度の高い構造であることなどであり、これらの条件を満たすものとして埋込形（内蔵形つり下げ式）の構造を採用した。

タップ切換器は、切換開閉器・タップ選択器・駆動装置の三つの部分からなり真空スイッチは早切り機構、抵抗器と一体になって切換開閉器を構成している。切換開閉器は図 6.1 のようにタップ選択器と結合され、変圧器タンクからつり下げられている。切換開閉器絶縁筒の中には 9 本の真空スイッチが同心円状にならべられている。真空スイッチを採用しているため、切換開閉器室内の油はアークによる汚損の心配がなく、変圧器本体の油とは隔離する必要はまったくないが、切換開閉器部分のつり上げ点検をやりやすくするため、絶縁筒の中に収納する構造とした。

6.1 早切り機構

抵抗式負荷時タップ切換器であるため、切換開閉器の切換動作は途中で停滞することは許されない。そのために早切り機構が必要であり、早切り機構としては簡単な構造であること、ばねの力の伝達効率のよいこと、衝撃の少ない構造であることなどを考え図 6.3 のようなまったく新しい早切り機構を採用した（特許出願中）。駆動装置からの動力をばねに蓄積しておき、蓄勢が十分行なわれた時点で止め金を引きはずして、ばねのエネルギーを瞬時に開放し、駆動軸を介して真空スイッチの駆動に回転力を与え、きわめて早い速度でカムを回転させている。

6.2 真空スイッチ駆動機構

三相の負荷時タップ切換器を構成したので真空スイッチは 9 本必要であり、これらは 3 本を 1 グループとして規則正しく開閉をくり返す必要がある。また真空スイッチの可動接点は所定の速度でまっすぐ投入し、まっすぐ開離させる必要がある。そのため早切り機構の回転力

をカムにより必要とする速度の直線運動に変換し、真空スイッチの開閉シーケンスを確保した。真空スイッチの投入後の接触圧力は、可動接点にとりつけたばねにより与えている。また駆動カムの回転による衝撃力を吸収するため、駆動には特殊なカムオイルダンパを形成している。このため真空スイッチはきわめて安定した開閉動作をさせることができた。

6.3 抵抗器

切換開閉器は早切り機構により駆動されるため、切換時間は数マイクロ秒であり抵抗器に電流の流れる時間は非常に短い。したがって発生熱量も少なく、その熱はすぐ周囲の油に吸収されるためきわめて小形の抵抗器でまにあう。抵抗器は円筒磁器に抵抗線を巻いた構造とし、9 本の真空スイッチが形づくる円の内側に収納した。

7. 試作品の仕様

- | | |
|--------------|------------------|
| (1) 相数 | 三相 |
| (2) 結線方式 | 中性点切換方式 |
| (3) 切換開閉器 | |
| (a) 切換方式 | 単一回路 3 開閉器 1 抵抗式 |
| (b) 真空スイッチ形名 | 三菱電機製 VS-3C2A |
| (c) 真空スイッチ本数 | 9 本 |
| (d) 定格タップ間電圧 | 850 V |
| (e) 定格電流 | 220 A |
| (f) 定格しゃ断電流 | 4.4 kA |
| (g) 対地絶縁階級 | 70 号 |
| (4) タップ選択器 | 単一回路方式間欠駆動形 |

8. 試験

試作品の試験はおもに LRT 委員会が作成した試験要項に準じて行なった。

8.1 試験回路

実回路とできるだけ等価な試験が行なえるように、試験は図 8.1 の回路を使用した。この回路によれば負荷電流と横流とが同時に与えられるとともに、力率 1.0 の負荷電流を切換える場合と等価となり、実回路との等価性はきわめて高い。またこの回路で切換動作させれば、①から②に切換わるときには A、C スwitch が電流をしゃ断し、②から①に切換わるときには B スwitch が電流をしゃ断することとなり、三つの真空スイッチの切換動作も実回路とまったく等しくなる。

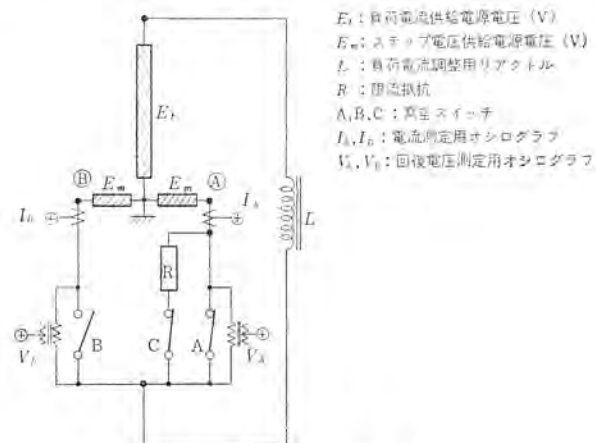


図 8.1 試験回路
Test circuit.

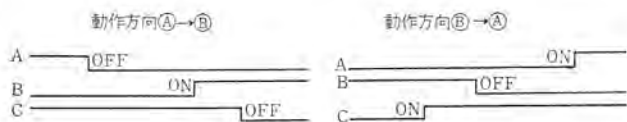


図 8.2 基本動作順序
Basic operation sequence.

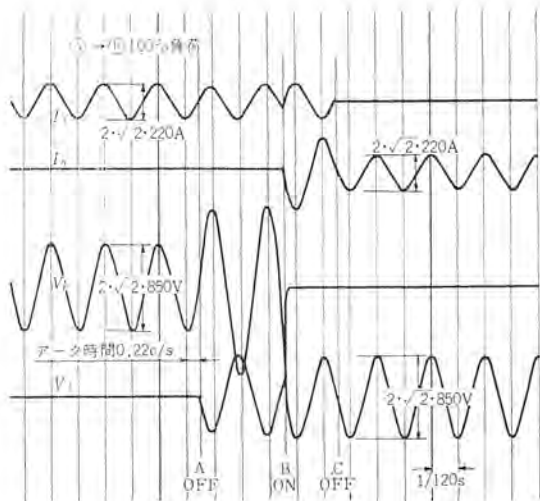


図 8.3 100 % 負荷切換オシログラム
Oscillogram of 100 % load switching.

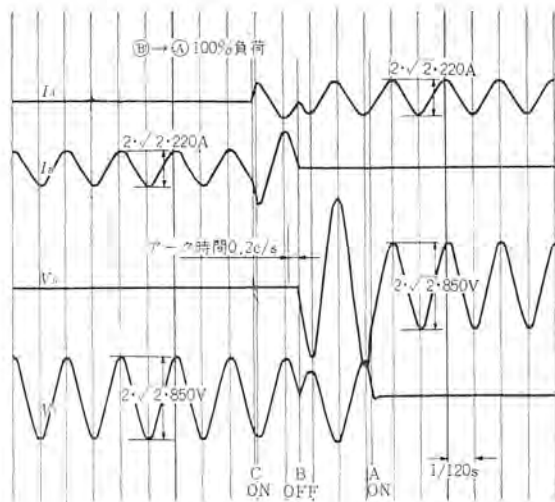


図 8.4 100 % 負荷切換オシログラム
Oscillogram of 100 % load switching.

8.2 連続負荷開閉試験

図 8.1 の試験回路でしゃ断性能と電氣的寿命をしらべるために、約 2.7 秒に 1 回という短いインターバルで連続負荷開閉試験を実施した。現在まで約 20 万回の切換え (①→② 方向が 10 万回、②→① 方向が 10 万回となるので、各スイッチとも電流しゃ断はこの 1/2 の 10 万回) をしたが、なんら問題なく安全に切換動作を行なっている。実回路においては表 5.2 であきらかなように、B スwitch は負荷電流と横流とが同方向に重畳するとき (電圧下降方向切換) と逆方向に相殺するとき (電圧上昇方向切換) とがそれぞれ $n/4$ 回存在する。

しかし今回の負荷開閉試験は、常に同方向に重畳された電流をしゃ断するように結線したので、B スwitch についての 10 万回の電流しゃ断は実回路では、すでに 40 万回の切換動作を行なわせたことに該当することとなり、LRT 委員会という 30 万回の規約寿命をはるかに越えたこととなる。この間の B スwitch の接点を消耗量はき

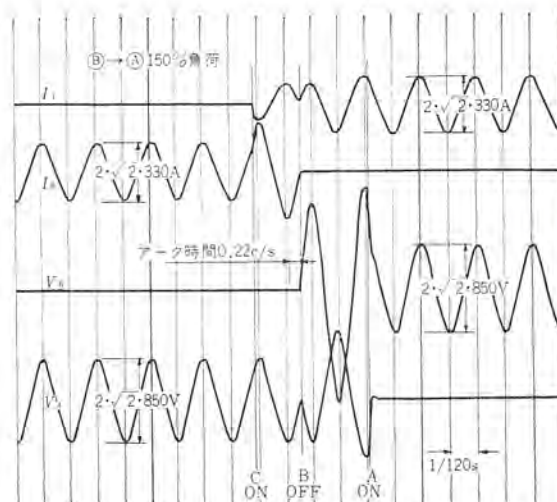


図 8.5 150 % 負荷電圧下降方向切換オシログラム
Oscillogram of 150 % load switching.

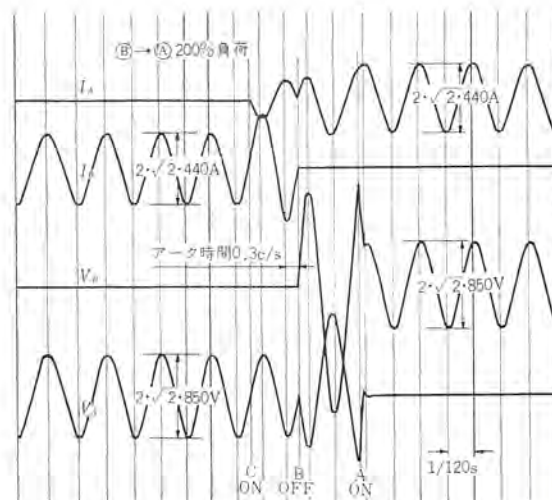


図 8.6 200 % 負荷電圧下降方向切換オシログラム
Oscillogram of 200 % load switching.

わめて少なく、1.0 mm 以下であり、真空スイッチの場合接点の消耗についてはまったく考慮する必要がないことが確認できた。図 8.3, 8.4 に 100 % 負荷 (負荷電流 220 A タッ 間電圧 850 V) の切換オシログラムを (①→②), (②→①) 両方向について示す。

負荷時 タッ 切換器に使用される真空スイッチは、しゃ断器や負荷断断路器に使用される場合と異なり、非常に動作ひん度が高いので電氣的寿命もさることながら、機械的寿命についても十分な試験を必要とする。今回の連続負荷開閉試験に先立ち十分な機械的寿命試験を行なっており、負荷時 タッ 切換器として完全な実用性能をもつことが証明された。

8.3 過電流切換試験

LRT 委員会においては、過電流切換能力については一般に、120 % 電流で片道連続切換が、150 % 電流で 3 回連続切換ができることが要求されるが、真空スイッチ式負荷時 タッ 切換器はこれらの条件をさらに過酷にして試験した。

試験は 20 万回の連続負荷開閉試験を行なったスイッチを試料とし、前記連続負荷開閉試験同様、2.7 秒に 1 タッ の切換インターバルで、150 %, 180 %, 200 % 負荷をおのおの 40 回連続して切換を行なった。この間 アーク 時間はすべてのケースについて 0.5 サイクル 以下であり、きわめて安全に切換動作が行なわれていることが確認された。150

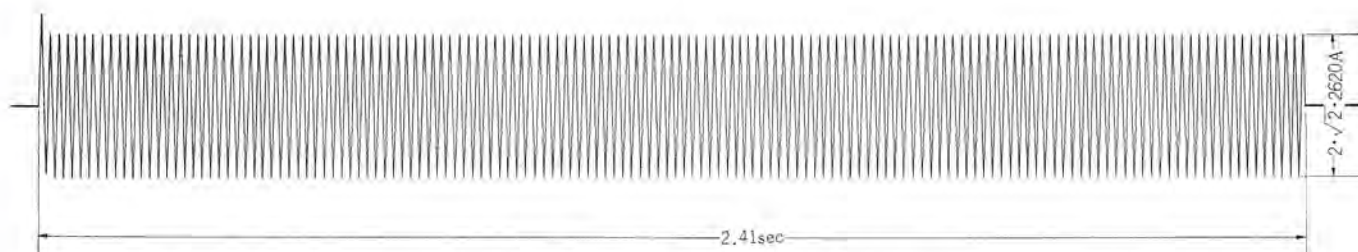


図 8.7 短絡電流通電オシログラフ
Oscillogram of short circuit current test.

%, 200 % 負荷における③→①方向 (このとき B スイッチ のしゃ断責務は最大となる) のオシログラムを図 8.5, 8.6 に示す。

8.7 短絡電流通電試験

100 % 電流の連続負荷開閉試験 20 万回後, 150 %, 180 %, 200 % の過電流切換試験を行なった真空 スイッチ で, 短絡電流通電試験を行なった。定格電流の 10 倍すなわち 2,200 A (電源のつごうで 2,620 A 通電した) を 2 秒間ずつ 1 分間隔で 5 回通電し, 真空 スイッチ ならびに通電回路各部に溶着や機械的な変形などの異常のないことを確認した。オシログラムを図 8.7 に示す。

8.5 温度上昇試験

通電回路に 220 A を連続通電し, 各部の温度上昇値を測定したが温度上昇値はいずれも 20 deg 以下であり, 十分安全な値であった。

8.6 機械的寿命試験

上記のように主要な電気的な各種試験を実施したが, これに併せて機械的な実用性能をしらべるために, 4 万回ごとに機構各部を詳細に点検している。とくに長年月無点検で運転できることを確認するため, 開閉 シーケンス や各部の摩耗, ゆるみ, がたなどを注意深くチェックしているが, 現在まで異常はまったく認められず正常に運転

を続けており, きわめて高い運転信頼度が実証されている。

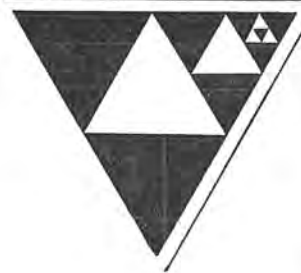
9. む す び

当社がいちはやく新しく開発した真空 スイッチ を用いた負荷時 タッチ 切換器について概要を紹介した。試験結果はきわめて高い実用性能をもつことが実証された。この負荷時 タッチ 切換器は過酷な運転状態のもとで高い信頼度を要求する場合, とくにすぐれた適合性をもっており, 負荷時 タッチ 切換器の新しい方向を開いたものと自負している。

今回試作したものは通過電流 220 A, タッチ 間電圧 850 V の定格を有し, 20 MVA 配電用変圧器を対象としたものであるが, 今後は第 2 段階 (通過電流 470 A タッチ 間電圧 1,900 V), 第 3 段階 (通過電流 920 A タッチ 間電圧 1,900 V) の定格をもつ負荷時 タッチ 切換器にまで試作を進め, あらゆる電力用変圧器を対象に適用範囲を広げる予定であり, その進展とともに採用実績も積みあげてゆく所存である。需要家各位のご理解とご協力を望んでやまない。最後に試作試験に種々ご協力いただいた関係者各位に厚くお礼申しあげる。

最近における社外寄稿一覧表

年月日	寄稿先	題名	執筆者	所属場所
42-3-6	オ - ム	ガスシャ断器の操作機構と問題点	潮 恒 郎	伊丹製作所
42-3-14	オ - ム	電力用保護装置解説事典	潮 恒 郎	伊丹製作所
42-3-17	溶 接 学 会 誌	直列点溶接について (第1報)	山本利雄・奥田滝夫	中央研究所
42-3-23	電 気 公 論	超高圧 SF ₆ ガス シャ断器	{稲村彰一・山内高雄 大野 玲	伊丹製作所
42-3-24	電 気 学 会 誌	自動式 インバータ による誘導電動機の二次励磁	大野 栄一・赤松昌彦	中央研究所
42-3-28	設 備 設 計 誌	サイリスタとその建築関係への応用 (II) 交流電力制御への応用	大野 栄一・岸 本 健	中央研究所
42-3-29	工 業 調 査 会	エポキシ 樹脂の電気分野への応用	穴山光夫・伊藤公男	中央研究所
42-3-31	産 業 ろう 接 便 覧	ろう接便覧第10章ろう接方法と装置	山本利雄	中央研究所
42-3-31	J. polymer Sci.	Effect of monoglycidic composition upon the properties of alkyd resin films	柴山恭一	中央研究所
42-4-8	難削材の切削加工	そのトラブル対策と効果的切削加工法	水 上・中 山	伊丹製作所
42-4-11	溶 接 学 会 誌	直列点溶接について (第2法) 直列点溶接の応用	山本利雄・奥田滝夫	中央研究所
42-4-17	図 説 電 気	最近の抵抗溶接とその応用	馬 場	伊丹製作所
42-4-28	鑄 鍛 造	三菱鑄造用 ビレットヒータ について	藤 室・松 尾	伊丹製作所
42-5-16	電気工学年報(42年版)	粒子加速装置	今村 元	中央研究所
42-5-19	Reviews in micromolecular chemistry	Network topology high polymers.	柴山恭一	中央研究所
42-5-25	J J A P	Variations of resistivity and photoresistivity of vacuum-deposited CdS : Ag and CdS : LiF/ins with baking atmospheres	{大 西 勝・吉沢達夫 伊吹順章	中央研究所
42-5-25	電 気 鉄 道	電気鉄道用技術資料 電鉄変電所用 タンク 形油シャ断器について	稲塚輝男	伊丹製作所
42-6-5	電 子 科 学	ハイブリット IC を用いた10進可逆計数回路	壺井芳昭	中央研究所
42-6-7	IEE Journal of Quantum Electronics	A new method of contour measurement	{安 東 滋・谷口一郎 岡田和夫・宮沢生行	中央研究所
42-6-7	工 業 化 学 雑 誌	N, N'-置換 ビス-コオキサリドン と ビスフェノールの反応生成重合体	西崎俊一郎・不可三 晃	中央研究所
42-6-9	図 説 電 気	サイリスタ による交流・直流制御	川 畑	伊丹製作所
42-6-21	溶 接 学 会 誌	高周波誘導加熱によるろう付け法	酒 井・稲 村・君 塚	伊丹製作所
42-6-22	超 高 温 研 究 会 誌	レーザ 光散乱による微粒子径測定	田畑則一	中央研究所
42-6-23	真 空	油拡散ポンプ による圧力変動	藤 永 敦・鳥 取 浩	中央研究所
42-6-30	工 業 化 学	4, 4'-オキシジフェニル を含む ポリエステルの融点およびガラス 転移温度	西崎俊一郎	中央研究所
42-6-30	電 気 学 会 誌	エラストイン わく による可聴周波鉄損試験法に関する研究	土屋英司	中央研究所
42-6-30	J. of polymer science	Study of the preparation of polyester amides from Bisoxazolidones and dicarboxylic acids	西崎俊一郎	中央研究所
42-7-4	溶 接 技 術	銅フラット 銅板の溶接	稲 村・島 田	伊丹製作所
42-7-25	溶 接 学 会 誌	メッキ 銅板の点溶接	奥田滝夫	中央研究所
42-7-25	工 業 調 査 会	Ti-Nb-Ta 系超電導合金線	小俣虎之助	中央研究所
42-7-25	電 気 計 算 会	変圧器の保護装置と油劣化防止装置	山 内 敦	伊丹製作所
42-8-7	真 空	マスフィルタの触媒反応への応用	藤 永 敦・花 坂 孝 雄	中央研究所
42-8-8	建築設備と配管工事	昇降設備の電源設備計画	舟 橋 謙 三	稲沢製作所
42-8-11	日 刊 工 業 新 聞	ドリル 樹脂 (耐熱性高分子講習会)	西崎俊一郎	中央研究所
42-8-11	溶 接 学 会 誌	No Gas アーク 溶接現象	山本利雄・島田 弥	中央研究所
42-	電 気 公 論	MHD 発電に関する実験	{伊藤公男・森川鉄也 佐 藤	中央研究所
42-8-11	機 械 技 術	ISO ねじ切換えの諸問題とその推進対策	阿 澄・中 根	伊丹製作所
42-8-30	電 気 鉄 道 P R 用	"70-SFL" ガス シャ断器	阿 田 辺	伊丹製作所
42-8-30	電 気 学 会	「技術レポート」 T. C. 9. Electric Traction Equipment	鶴 田	伊丹製作所
42-8-31	電 気 学 会	過電流を含む磁界の差分法による解析法と精度	野村達衛	中央研究所
42-9-6	電気現場新技術9月	SF ₆ ガス シャ断器の特性と現場保守の手引き	合 志・山 内	伊丹製作所
42-11-6	建 築 設 備	名鉄 バスターミナルの昇降機設備について	高村 明	稲沢製作所



新製品紹介

T-630 形 (愛称・メモパック C) および

T-260 形 (愛称・メモリー V) 三菱テープレコーダー発売

当社では、このたびカセットタイプのテープレコーダー (フィリップスタイプ) T-630 形とパーチカルタイプのテープレコーダー T-260 形の 2 機種を発売することになった。

■ 形 名

T-630 形三菱テープレコーダー (愛称・メモパック C)

T-260 形三菱テープレコーダー (愛称・メモリー V)

■ 価 格

T-630 形 現金正価 ¥23,800 月賦正価 ¥25,700 (12 回)

T-260 形 現金正価 ¥21,800 月賦正価 ¥23,500 (12 回)

■ 特 長

T-630 形 (メモパック C)

(a) 使いやすいカセットテープ方式

(b) AC-DC 共用方式

(c) ワンタッチでふたが開き、カセットテープが飛び出すカセットアップ

機構採用

(d) マイクは本体に収容でき、ケースふたがマイクスタンドに早変わりする便利な機構

(e) 自動録音-手動録音切換方式採用

(f) 記録音防止装置付き

(g) フェライト磁石使用の高性能薄形ダイヤトーンスピーカー使用

T-260 形 (メモリー V)

(a) AC-DC 共用方式

(b) 音質本位に設計した本格的 O. T. L. 回路採用

(c) 場所をとらないパーチカルタイプ

(d) シリコントランジスタ使用のオールソリッドステート

(e) 大形レベルメーター兼電池インジケーター付き

(f) テープカウンター付き

(g) カラーリール付き

■ 仕 様

	T-630 形	T-260 形
電 源	AC 100 V 50/60 c/s DC 9 V (単二) 6 本	AC 100 V 50/60 c/s DC 9 V (単一) 6 本
消 費 電 力	100 V にて 5 W 以下	100 V にて 5 W 以下
使 用 テ ー プ	カートリッジ・テープ	5 号まで
テ ー プ ス ピ ー ド	4.75 cm/s	9.5 cm/s, 4.75 cm/s
録 音 方 式	AC バイアス	AC バイアス
消 去 方 式	AC 消去	DC 消去
周 波 数 特 性	50~10,000 c/s	50~8,000 c/s
ス ピ ー カ ー	10 cm×7 cm 超薄形フェライト磁石	16×8 cm
入 出 力 端 子	マイク入力 (200 Ω), 補助入力 (330 kΩ), 外部スピーカー出力 (8 Ω), AC 100 V 入力	AUX 入力, マイク入力 AC 100 V 入力, モニター出力
出 力	最大 1.2 W, 無ひずみ 0.8 W	最大 1 W, 無ひずみ 0.8 W
寸 法	31.1×17.7×7 cm	29.3×13.0×30.0 cm
重 量	2.4 kg	3.9 kg
付 属 品	ダイナミックマイクロホン (筒形), C-60 形デモカセット, 電源コード, 接続コード, 電池引換券	ダイナミックマイクロホン, 5号テープ, 5号リール, 電源コード, 接続コード, 接着テープ



図 1 T-630 形



図 2 T-260 形

[郡山製作所]

三菱電子検診装置 AN-1201 A 形を完成!

NEWS FLASH

■ 超小形化変電所用 22 kV 機器試作完成

東京電力(株)と当社は、大容量変電所超小形化の一環として、22 kV 用機器の大幅な縮小化をかねてから共同研究中であったが、このたび世界ではじめて画期的な技術による試作を完成した。これは従来使用されているキュービクルが、母線をはじめ各種機器を空気の絶縁にたより、がいしで支持して鋼板製の箱の中に閉鎖していたのに対し、今回開発された新技術では、母線からしゃ断器まですべてを絶縁度のいちじるしく高い合成樹脂の固体で絶縁し、かつ絶縁物外被表面を接地層でおおったものである。またしゃ断器は固体絶縁に適するよう新たに開発された真空しゃ断器を使用し、引出形にして断路器を省略するカートリッジ方式断路部が採用されている。この結果 22 kV 機器のスペースは従来のキュービクルの 10%以下になり、大容量変電所全体を、超高圧側の超小形化とあいまって、従来方式の約 10%にすることができ、建設費の大幅な低減ができる。充電部が露出していないので安全性が向上する。汚損などに対する耐力が増大し、機器はほとんど無保守・無点検で済む等のかずかずの特長をそなえたもので、都市過密化のきびしい条件下に、電力供給のかな

めとなる重要変電所を、限られたスペースに安全かつ経済的に建設することができるものとして期待が寄せられている。



開発機器(左)と従来のキュービクル(右)

[伊丹製作所]

■ 真空しゃ断器の公開試験を実施する

近年、真空しゃ断器の大容量化・系列化がしよく望されるようになってきたが、当社では、このほど 7.2 kV 級の真空しゃ断器としてしゃ断容量 150 MVA の 6-VKG-15 形真空しゃ断器を製品化し、続いてしゃ断容量 250 MVA の 6-VKG-25 形真空しゃ断器の開発を完了した。またさる 2 月 6 日・7 日両日には、各電力会社をはじめとし多方面のかたがたのお立会いによる 6-VKG-15 形真空しゃ断器の公開形式試験が行なわれ、好評裏に公開試験を終了した。

三菱真空しゃ断器は、従来のしゃ断器にくらべ数多くの利点を有しており、その用途も配電用から工業用に至るまで広範囲な適用分野をもっている。

(1) 特長

三菱真空しゃ断器は鉄そう(槽)形真空スイッチ管を使用した唯一の

ものであり、真空しゃ断器としての利点はもちろん、次のような特長を有している。

(a) 画期的に小形軽量であり、火災の心配もないので最近話題になっている。コンパクト変電所やビルディング用として適したものである。

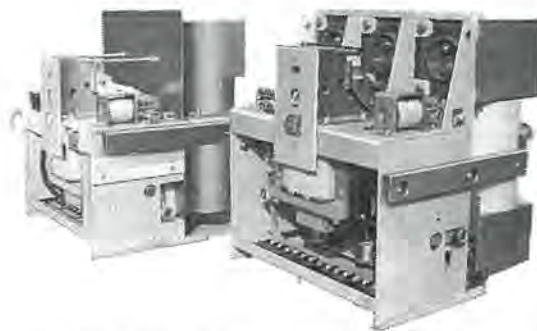
(b) 真空管スイッチの接点材料の開発により、さい断電流が小さく、安心して系統に使用することができる。

(c) 高速度開閉・高開閉ひん度使用可能であるため、再閉路用として、またとくにコンデンサ開閉能力にすぐれていることにより、コンデンサバンク開閉に最適である。

(d) 空気しゃ断器のような爆発音がなく、騒音は著しく低減されている。

(2) 定格

形名	6-VKG-15 形	
定格電圧 (kV) :	7.2	3.6
定格電流 (A) :	600	
定格周波数 (c/s) :	50/60	
定格しゃ断容量 (MVA) :	150	
定格しゃ断時間 (サイクル) :	3	
開極時間 (s) :	0.035	
無負荷投入時間 (s) :	0.15	
絶縁階級 (号) :	6	
重量 [全装備] (kg) :	150	[神戸製作所]



6-VKG-15 形真空しゃ断器
7.2/3.6 kV 150/150 MVA

6-VKG-25 形真空しゃ断器
7.2/3.6 kV 250/150 MVA

■ 量産 IC 用テスト (LZ 2400 シリーズ) 完成

当社ではこのほど、デジタル IC の出荷検査あるいは受入検査に適した量産用 IC テスタ (LZ 2400 シリーズ) を開発した (写真右)。この IC テスタはデジタル IC の機能動作および若干のパラメータ試験を行なうものである。これは試験本体、電源部、カウンタ部およびプラグインユニットから構成されており、現在三菱モロトロン TTL M 5300 シリーズの試験用のプラグインユニット 2 種を備えているが、他の機種の開発

も予定されている。

(1) 特 長

- (a) 機能試験に比較方式をとっているので構成が簡単である。
- (b) 機能試験のほかに出力電圧レベルの判定も行なう。
- (c) 測定条件（電圧、電流）の設定はデジタル（3けた）に行なえる。
- (d) 測定は自動的に速かに（約0.4秒）行なわれる。
- (e) 試験結果（GO, NO-GO, 不良内容）はランプ表示され、同時にその回数が電磁カウンタで計数される。
- (f) 測定品種の切換えはロータリースイッチで行なえるので操作がきわめて簡単である。
- (g) 装置は極力ICが採用されており小形軽量化ならびに信頼度の向上が図られている。
- (h) 装置は自動分類機（写真左）と結合でき、完全自動運転で1時間当たり約2,000～2,500個の処理が可能である。

(2) 仕 様

- (a) 試験項目： 機能試験、出力電圧レベル試験
- (b) 測定所要時間： 約0.4秒
- (c) 入力信号パルス： 8ビット最大周期パターンパルス
振幅： デジタル設定電圧電源 V_{IH} , V_{IL} により可変
原発振周波数： 約23kc
- (d) 被測定素子電源電圧： デジタル設定電圧電源 V_{CC} により可変
- (e) 被測定素子負荷電流： デジタル設定電流電源 I_{OH} , I_{OL} により可変
- (f) レベル判定： デジタル設定電圧電源 V_{OH} および V_{OL} の2値において判定可能
判定精度： $0.2\% \pm 10\text{mV}$
分解能： 5mV
- (g) 表 示： ランプ表示
- (h) 項 目： GO, NO-GO, FUNCTION ERROR $\times 4$,
LEVEL ERROR(HIGH) $\times 4$,
LEVEL ERROR(LOW) $\times 4$
- (i) テスト進行： Manual, External (Auto) 両方可
- (j) 保有デジタル設定電源： 7組
 V_{CC} , V_{IH} , V_{OH} , V_{OL} : $0.00 \sim 5.99\text{V}$, $0.2\% \pm 10\text{mV}$
 I_{OH} : $0.00 \sim 5.99\text{mA}$, $0.2\% \pm 10\mu\text{A}$
 I_{OL} : $0.00 \sim 59.9\text{mA}$, $0.2\% \pm 100\mu\text{A}$
- (k) 保有電磁カウンタ： 測定個数、良品個数および不良内容、計数用6けた電磁カウンタ14組
- (l) 入力電源： AC 100V ($\pm 10\text{V}$), 50/60 c/s, 130VA

(m) 使用周囲温度： $25^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$

(n) 寸 法： $540\text{W} \times 680\text{H} \times 500\text{D}(\text{mm})$

[中央研究所]

■ ED形うず電流動力計続々出荷

当社電流動力計は従来からの直流式のほかに、うず電流式の受注が順調で多数製作中である。とくに当社の誇る圧延機、工作機の制御技術に応用したディーゼルエンジン、ガソリンエンジンのプログラム自動運転制御（特許出願中）が多く、続々出荷されている。写真はその一部であって、プログラムはピンボードによるマトリックスにより構成される。プログラムの内容はトルク・回転数・時間・工程指令の4種がプリセットされ、多数の工程を定まった回数くり返して運転し、その後自動的に停止することができる。その間規格値からはずれた場合は不合格信号を出し、それ以後の運転を中止する。

従来困難とされていたスピードガバナ付きディーゼルエンジンにおいても、その全範囲にわたってエンジン特性を判別し動力計吸収トルク・速度特性を自動的に選択し安定した運転を行なうことができる。これを用いて耐久試験・排気ガス試験・すり合わせ運転などの自動化が可能となり人員の節約をはかることができる。

上記のほかミッション耐久試験用ミッション自動変速試験装置（マニピュレータ）、差動歯車試験装置、完成車走行模擬試験装置など多数製作中である。

わが国のモータリゼーションが進むにつれて、この種の試験装置は今後ますます多くの需要が期待される。

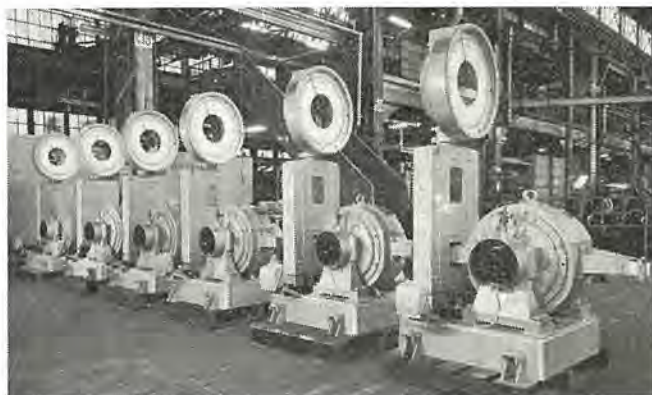


図1 1,100 kW 3,000/10,000 rpm ED-15形動力計



図2 自動運転制御盤



(左) 自動選別機
(右) IC テスター
(LZ 2400 シリーズ)

[神戸製作所]

次号予定

三菱電機技報 Vol. 42, No. 4.

コールドチェーン特集

《特別寄稿》

- だんばく質構成の変化に対応した食品流通体系
- 食品放射

《特集論文》

- 野菜の真空冷却装置
- コールドチェーンにおける新しい販売容器—その問題点とあり方—
- 食品販売用 オープンショーケース
- 食料品貯蔵庫および冷蔵 クーリングユニット
- コンテナ用冷凍ユニット
- コールドチェーン 事例実験
- 牛乳の流通経路と冷凍機応用製品

《普通論文》

- 輸出化学繊維 プラントの電機品
- サイリスタ 静止 セルビウス 装置
- 東北大電子 リニアック 用放射線 モニタリングシステム
- MELCOM-3100 ソフトウェア (4) —10 PT システム の概要—
- 高温気体の非平衡電離現象
- 上下水道の計装設備

《技術講座》

- 車両用電動発電装置

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉弘毅
副委員長	片岡高示
常任委員	明石精一
"	石川理一
"	上田重夫
"	宇佐見重夫
"	大野寛孝
"	神崎遼
"	北川和人
"	小堀富次雄
"	鈴木正材
"	祖父江晴秋
"	山田栄一
委員	横山茂
"	尾畑喜行
"	黒田忠光
"	南日達郎
"	林昇寿
"	松元雄蔵
"	和田義勝
	(以上50音順)

昭和43年3月22日印刷 昭和43年3月25日発行
「禁無断転載」定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内)
(電) 03-212-6111 (内線 3818)

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
(電) 03-291-0912 振替東京 20018

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本 社 東京都千代田区丸の内2丁目12番地
(三菱電機ビル) (電) 03-212-6111

大阪営業所	大阪市北区梅田町8・西阪神ビル (電) 06-321-1231
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番地1号・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 0764-31-8211
広島営業所	広島市中町7番32号・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松営業所	高松市鶴屋町5番地1 (電) 0878-51-0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目12番地・三菱電機ビル (電) 03-212-6111
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8の1 (電) 06-344-1231
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番地1号・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台商品営業所	仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山商品営業所	富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 0764-31-8211
広島商品営業所	広島市中町7番32号・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町5番地1 (電) 0878-51-0001
新潟営業所	新潟市東大通1丁目12番地・北陸ビル (電) 0252-45-2151
中央家電営業所	東京都千代田区丸の内2丁目12番地・三菱電機ビル (電) 03-212-6111
城北家電営業所	東京都文京区大塚3丁目3番1号・新茗溪ビル (電) 03-944-6311
城南家電営業所	東京都世田谷区池尻3丁目10番3号 三菱電機世田谷ビル (電) 03-411-8181
城西家電営業所	東京都杉並区清水1丁目10番1号 (電) 03-392-6823
横浜家電営業所	横浜市中区富士見町3番地4 (電) 045-251-2226
大宮家電営業所	大宮市寿能町1丁目37番地・大宮公園ビル (電) 0486-41-5324 43-4116・0156
千葉家電営業所	千葉市新宿町2丁目49番地・三菱電機千葉ビル (電) 0472-27-5486~8
静岡出張所	静岡市七間町9番地10・池田ビル (電) 0542-53-9186
長崎出張所	長崎市大黒町3番1号・長崎産業交通ビル (電) 0958-23-6101
岡山出張所	岡山市西長瀬字村北122番地の1 三菱電機岡山ビル (電) 0862-24-0331
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 06-491-8021
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号 (電) 0467-6-6111
神戸製作所	神戸市和田崎町3丁目10番地の1 (電) 078-67-5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 06-491-8021
三田工場	三田市三輪町字父々部85 (電) 07956-4371
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号 (電) 0958-23-6211
稲沢製作所	稲沢市井之口1100番地 (電) 0587-32-4121
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地 (電) 0734-23-7231
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地 (電) 0467-6-1111
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 06-491-8021
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 0727-72-5131
熊本工場	熊本市竜田町弓削720番地 (電) 0963-64-0259・1094・1492
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地 (電) 052-721-2111
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地 (電) 092-88-0431
福山製作所	福山市緑町1番8号 (電) 0849-21-3211
姫路製作所	姫路市千代田町840番地 (電) 0792-23-1251
相模製作所	相模原市小山字久保224 (電) 0427-72-5131
世田谷工場	東京都世田谷区池尻3丁目1番15号 (電) 03-414-8111
静岡製作所	静岡市小鹿110番地 (電) 0542-85-1111
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号 (電) 05736-5-2121
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号 (電) 0467-6-6111
郡山製作所	郡山市栄町2番25号 (電) 02492-2-1220
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 0276-22-4311
藤岡工場	藤岡市本郷字別町117番地 (電) 02742-2-1185
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1 (電) 075-921-4111
ラジオ工場	尼崎市南清水字中野80番地 (電) 06-491-8021
札幌営業所	札幌市北二条東12丁目98番地 (電) 0122-22-3976
札幌工場	