

MITSUBISHI DENKI GIHO

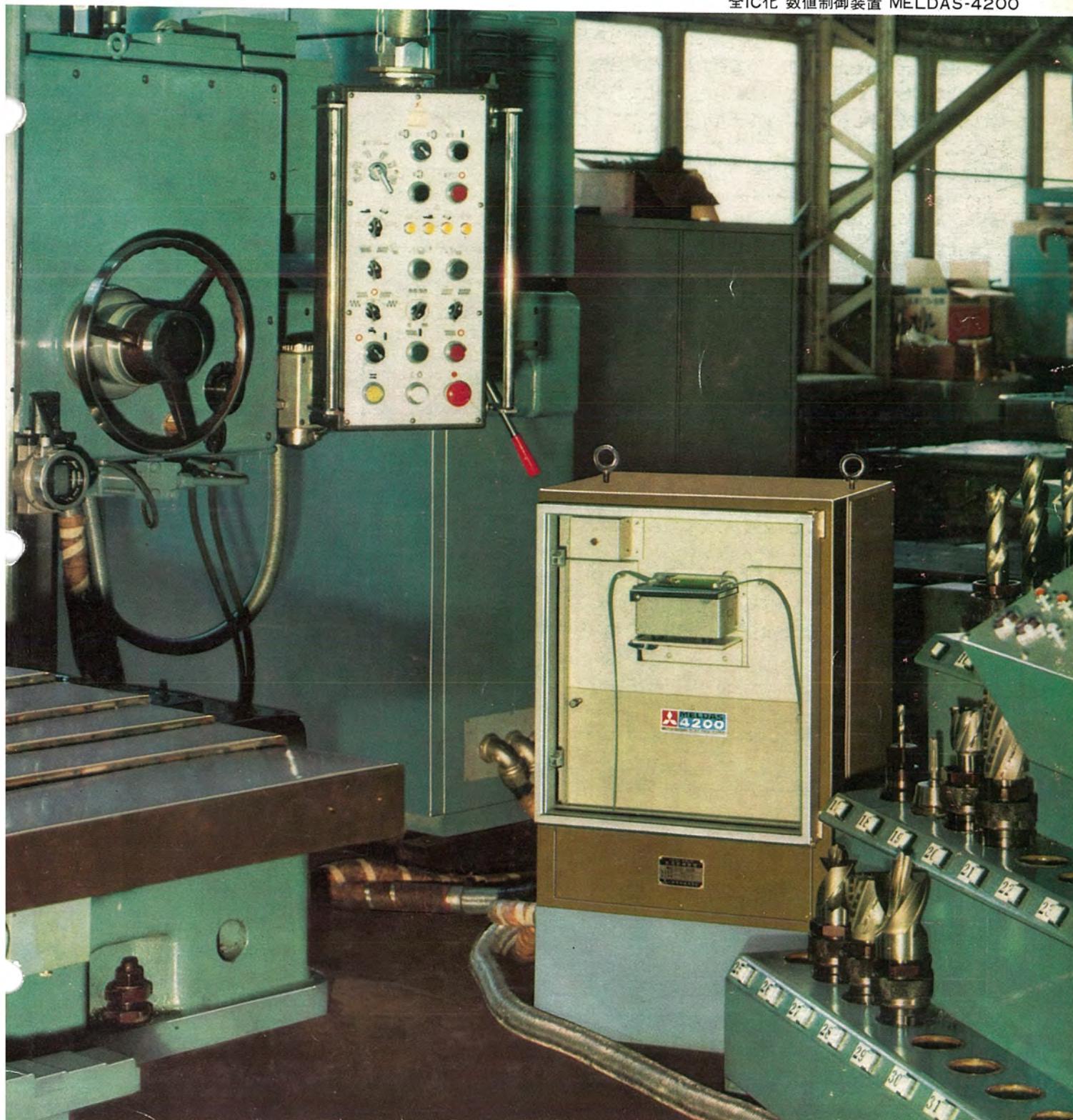
三菱電機技報

Vol. 42 July 1968

工作機用電機品特集

7

全IC化 数値制御装置 MELDAS-4200



建設大臣賞を受賞

短限時付ノーヒューズしや断器

NF2000, 1600Aフレーム

さる5月15日から21日までの7日間、東京都立産業会館において開催された、第13回全国優良電設資材展の電材ショーコンクールにおいて、「短限時付ノーヒューズしや断器NF2000, 1600Aフレーム」が、参加メーカー73社の中からとくに最優秀の新製品として選ばれ、最高位の建設大臣賞を受賞した。

これは、従来のノーヒューズしや断器では不可能とされていた「選択しや断」を、世界で初めて可能にしたことが受賞の対象となったもので、従来主回路用しや断器として使用されていたACB(気中しや断器)に比較して、数多くの特長をもっている。

■ 特長

(1)世界で初めて選択しや断が可能

短限時付ノーヒューズしや断器NF2000, 1600Aフレームは、従来のノーヒューズしや断器では不可能とされていた選択しや断方式の主回路用しや断器として使用できる画期的な性能をもっている。

(2)ACBを上まわる性能

- (a)モールドケース入りのため、だれでも安全に操作できる。
- (b)取扱いや保守が簡単で専門知識を必要としない。
- (c)小形・軽量(寸法・重量共ACBの2/3以下)であるため、盤材料やフロアスペースが大幅に節約できる。
- (d)安価であるため非常に経済的な設計ができる。
- (e)引出形のほか、表面接続形・裏面接続スタッド形・埋込みわく付きスタッド形など、バラエティに富んだ取付方ができる。

(3)低圧大容量回路に最適

瞬時付はもとより、短限時付の場合にも、従来のノーヒューズしや断器に比較して大きなしや断容量をもち、低圧大容量回路に最適である。

■ 仕様

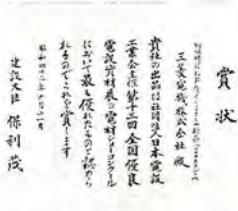
形 名		NF 2 0 0 0		NF 1 6 0 0	
機 数		2	3	2	3
定 格 電 流 (A)		2000, 1800		1600, 1400, 1200	
定 格 電 壓 (V) AC		550		550	
定 格 し ゃ 断 容 量 (A)	短 限 時 (4 %)	220V	5 0 , 0 0 0	5 0 , 0 0 0	
		460V	5 0 , 0 0 0	5 0 , 0 0 0	
		550V	5 0 , 0 0 0	5 0 , 0 0 0	
	瞬 時	220V	1 5 0 , 0 0 0	1 5 0 , 0 0 0	
		460V	1 0 0 , 0 0 0	1 0 0 , 0 0 0	
		550V	7 5 , 0 0 0	7 5 , 0 0 0	
外 形 尺 法 (mm)		高 さ	2 2 9	2 2 9	
		幅	3 0 5	3 0 5	
		長 さ	5 5 9	5 5 9	
重 量 (kg)		5 5	6 5	5 3	6 3



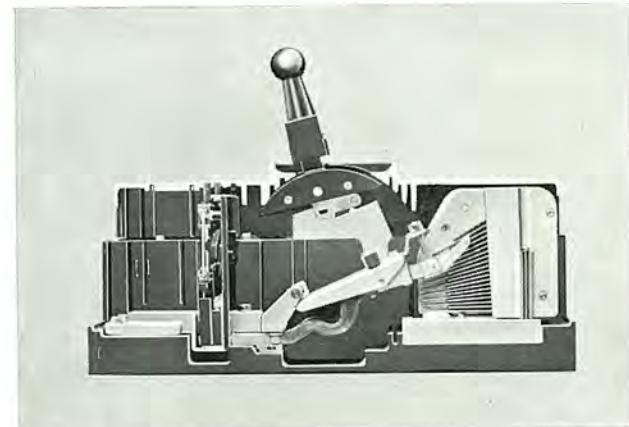
受賞の喜びを語る三菱電機取締役 前田機器事業部長



建設大臣賞



賞 状



短限時付ノーヒューズしや断器NF2000Aフレーム内部構造



今日もあなたと共に



目次

《特集論文》

工作機用交流電動機	小島敏男・三富孜・酒向潔	915
工作機用直流機	酒井正昭	922
電動油ポンプ	三富孜	927
工作機用電磁クラッチ・ブレーキ	村田俊哉・車戸秀男・西野広・浅野哲正	930
工作機用電動機の速度制御	小川裕三・越田哲太・梶野幸男・石橋和夫	938
ならい制御装置	酒井靖夫・石橋和夫・久保田弘・清水賢一	948
数値制御装置	浜岡文夫・俵口久元・金森剛明・吉田太郎・宮幸助・山崎宣典	956
工作機用電磁制御器具	丸地謙二・茂手木良夫・岡戸弘行・杉浦博・松尾宏之	968
工作機用半導体制御器具	宮幸助・三浦守生・宮崎治	978
消磁装置	首藤佑吉	985

《普通論文》

観測用ロケットとう載電子機器	波多洋介・佐藤武・近藤倫正	989
パッケージ形シリコン整流器変電所	冬広力・鍋倉浩一郎・津久井進	997
MELCOM 9100 システム(2) 一グループ 30 ハードウェア	松本大四・曾我正和・貴田篤志	1003
トランジスタ形自己照合符合式遠方監視制御装置	島田政代士	1013
150 Mc/FM 50 W 全シリコン固体化ニュースター連絡用無線装置	加藤治・片山泰一・山本俊夫・白幡邦彦・来村俊	1020

《技術講座》

量子エレクトロニクス(2) メーザー、レーザーとその応用	安東滋	1027
------------------------------	-----	------

《新製品紹介》

新形エポキシレジンモールド計器用変成器 K シリーズ発売・三菱インバータ用大電力サイリスタ・シリコン整流素子 SRIEM SR 400 A FD 1,000 A およびサイリスタ FT 500 A・三菱高周波制御ダイオード (MI 7000 ダイオード)・三菱ステップリカバリダイオード (MS 7100 シリーズ)・Ga As バラクタ・三菱モレクトロン DTL 5930 P	1038
---	------

《ニューフラッシュ》

鉄鋼プロセスライン用 WT-125 M 形シングルシームウエルダ完成・厚板厚延用新鋭電気品か動開始・12 kV, 1,500 MVA, 4,000 A C 形空気しゃ断器・縮少形 DHE ライン磁気しゃ断器電動ばね操作機構	1046
---	------

《特許と新案》

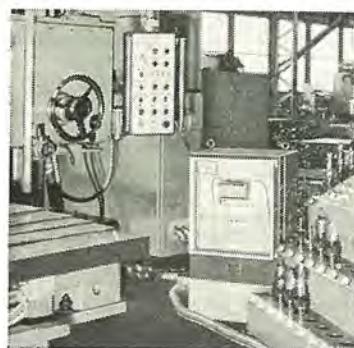
多重母線保護继電装置・イオン発生装置	987
--------------------	-----

《表紙》

全 IC 化数値制御装置 MELDAS-4200

機械加工合理化の一環として近年急速に普及しつつある工作機械の数値制御化に対処するため、従来の技術を集成し、信頼性のある安価な使いやすい制御装置として MELDAS-3000 (自動位置ぎめ), MELDAS-4000 (自動位置ぎめ、直線切削) シリーズの開発、製品化を行なった。

写真は当社伊丹製作所で実動中の MELDAS-4200 で、池貝鉄工の横中ぐり盤と組み合わせて、テーブル前後、ヘッド上下、サドル左右のほか、テーブル回転位置をも制御し、さらに主軸回転変速、工具番号表示、カッタ径摩耗補正などの機能をも備えている。装置は IC を使用して信頼性が高く、環境条件の悪い工場現場においてほとんど無故障で連続使用され、作業能率の向上、製品の均一化など生産性向上に大きな役割を果している。



**SPECIAL EDITION OF EQUIPMENTS FOR MACHINE TOOLS****CONTENTS****SPECIALLY COLLECTED PAPERS**

Induction Motors for Machine Tools.....	T. Kojima • T. Mitomi • K. Sakô...	915
DC Motors and Generators for Machine Tools.....	M. Sakai...	922
Motor Driven Oil Pumps.....	T. Mitomi...	927
Magnetic Clutches and Brakes for Machine Tools.....	T. Murata • H. Kurumado • H. Nishino • T. Asano...	930
Speed Control Systems for Machine Tools.....	Y. Ogawa • T. Koshida • Y. Kajino • K. Ishibashi...	938
Control Apparatus for Copying System.....	Y. Sasai • K. Ishibashi • H. Kubota • K. Shimizu...	948
Numerical Controlling Devices.....	F. Hamaoka • H. Hyôguchi • A. Kanamori • T. Yoshida • K. Miya • N. Yamazaki...	956
Electromagnetic Control Devices for Machine Tools	K. Maruchi • Y. Motegi • H. Okado • H. Sugiura • H. Matsuo...	968
Control Apparatus for Machine Tools as Applications of Semiconductor Elements	K. Miya • M. Miura • O. Miyazaki...	978
Demagnetizers.....	Y. Shudô...	985

TECHNICAL PAPERS

Electronic Apparatus Carried by Sounding Rockets.....	Y. Hata • T. Satoh • M. Kondoh...	989
Packaged Type Silicon Rectifiers for Railway Substation.....	T. Fuyuhiro • K. Nabekuro • S. Tsukui...	997
MELCOM 9100 Computer System (2) —Structure of Group 30 Hardware—	H. Matsumoto • M. Soga • A. Kida...	1003
Transistorized Self Check Pulse-Code Type (SCPT) Supervisory Control Equipment.....	M. Shimada...	1013
Type 47 VM-71, All Silicon Solid-State 150 Mc/FM 50 W Mobile Radio Telephone Equipment	O. katô • Y. Katayama • T. Yamamoto • K. Shirahata • S. Kitamura...	1020

TECHNICAL LECTURE

Masers, Lasers and their Applications (2) —Quantum Electronics—	S. Andô...	1027
---	------------	------

NEW PRODUCTS

NEWS FLASH	1046
------------	------

PATENT AND UTILITY MODEL

COVER :	987
---------	-----

Numerical Control Device fully equipped with Integrated Circuits, MELDAS-4200

To cope with the trend of changing machine tools to numerically controlled ones, which is now becoming prevalent with rapidity as one of the measures to rationalize machine work, MELDAS-3000 (automatic positioning) and MELDAS-4000 (automatic positioning and straight cutting) serieses have been developed for marketing with their features of reliable, inexpensive and handy control. This is an outcome of the Company's profound experience.

The illustration shows a MELDAS-4200 in operation at the Itami Works of the Company. Combined with a horizontal boring machine built by the Ikegai Iron Works, it is capable of controlling the operation not only of back and fourth of the table, up and down of the head and to and fro of the saddle, but also of the turning position of the table. It is also provided with a function of changing the spindle speed indicating the tool number and compensating the wear of cutter diameter. The device is equipped with integrated circuits to insure high reliability and has been operating continuously with almost no trouble in the plant of poor environmental condition, fulfilling its important duties of improving the productivity such as elevating efficiencies and uniforming manufactured goods.

UDC 621. 313. 3(621-9)

工作機用交流電動機

小島敏男・三富 孝・酒向 潔

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P915~921

最近の技術革新とともに、工作機械の自動化・高性能化はめざましく、それとともに電動機もますます高性能・高精度などを要求されるようになってきた。これに対応して電動機もIEC寸法E種電動機に切り替わり、さらに工作機用の各種特殊電動機も開発されてきている。

本文は工作機用交流電動機の特色・選定・電動機応用品、ならびに実用例などについて概要を紹介したものである。



UDC 621. 313. 2 (621-9)

工作機用直流機

酒井正昭

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P922~926

直流電動機の特長は、その制御性が非常にすぐれていることにあるが、最近各種の工作機が自動化され、同時に高精度の要求が著しくなるにともない、工作機用電動機として直流機の適用が再認識され、各方面で広く採用され始めた。本文では当社における工作機用直流機を紹介し、はん用機との差異について若干説明を加えるとともに、直流機わくの選定について概説し、工作機メーカにおけるご参考になることを目的としたものである。



UDC 621. 65

電動油ポンプ

三富 孝

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P927~929

近年工作機械の発展は質・量の両面において著しいものがあるが、これに連して工作機械の切削油、研削油を供給する電動油ポンプの性能・種類・数量においても大きな発展が見られる。

本文は当社で製作している電動油ポンプの概要について述べたものである。



UDC 621. 839(621. 9-5)

工作機用電磁クラッチ・ブレーキ

村田俊哉・車戸秀男・西野 広・浅野哲正

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P930~937

各種機械の自動化とともにその制御要素の一つとして、各種の電磁クラッチが採用されている。電磁クラッチには数多くの種類があり、それぞれの特長をいかして使用すれば、その機能が十分発揮できる。

ここでは工作機用の電磁クラッチ・ブレーキを中心に、その種類・特長・特性、ならびに応用方法について説明する。

とくに特性については選定上注意すべき点を、また、応用方法については具体的な例について技術的に説明し、電磁クラッチを使用するときに役立つようまとめた。



UDC 621. 313(621. 316. 7): 621. 9-5

工作機用電動機の速度制御

小川裕三・越田哲太・梶野幸男・石橋和夫

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P938~947

工作機は、自動化・高速化の方向に進んでおり、これらを実現するうえで非常に重要な役割を果しているのが、最近のエレクトロニクスを使用した速度制御装置である。ここでは、当社の代表的な速度制御装置であるサイリスタレオナード方式を中心に、ワードレオナード方式などについて解説し、機能的な相異点についても述べた。また、最近注目されている交流かご形電動機の速度制御装置である、一次電圧制御と、周波数制御についても紹介し、最後に、読者の参考になると思われる工作機に関する最近の実用例について述べている。



UDC 621. 9-5

ならい制御装置

酒井靖夫・石橋和夫・久保田 弘・清水賢一

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P948~955

最近、需要が著しく増加している形影機などの多次元ならい制御装置として、当社では電気式追値サーボ機構によるMELDAS-2200形連続式二、三次元ならい制御装置を開発・製作し、多数の納入実績をあげ、各ユーザーから好評を得ている。本装置は、自動ベクトル調整装置を主体として構成され、エラーコンスタント・スピードコンスタントで象限切換えを必要としない連続ならいを可能ならしめたもので、信頼性の高い、高速度・高精度のならい制御装置である。本文では、原理・製作例などについて概要を述べている。



UDC 621. 9-52

数値制御装置

浜岡文夫・俵口久元・金森剛明・吉田太郎・宮 幸助・山崎宣典

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P956~967

工作機械の数値制御は、わが国においても最近その有用性が一般に認識されるようになり、ようやく実用段階に大きく飛躍することが期待できるようになってきた。この間、数値制御装置自体もエレクトロニクスとサーボ機構の進歩により、またその使用方法の研究によって、すぐれた性能をもつようになってきた。

本文は、その一かんとして、当社で最近開発製品化されたMELDAS 3000、4000、5000シリーズ数値制御装置の概要を紹介したもので、すでに数10台の受注をえており、各ユーザーより好評をえているものである。



UDC 621. 316. 53/56(621. 9-5)

工作機用電磁制御器具

丸地謙二・茂手木良夫・岡戸弘行・杉浦 博・松尾宏之

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P968~977

工作機械の制御の自動化、高度複雑化にともない各種の制御器具が多数使用され、そのうち電磁制御器具は電動機の駆動、シーケンス制御用として古くからもっとも多く使用されている。最近はこれら器具は高信頼性が要求されてきたが、個々の器具の高性能信頼性とともに適切な選定使用が必要である。こでは代表的器具として電磁開閉器、繼電器、操作スイッチ等について構造・特性、ならびに選定の概略について述べる。



「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621. 316. 53[621. 382]: 621. 9

工作機用半導体応用制御器具

宮 幸助・三浦守生・宮崎 治

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P978~984

最近の工作機械の発達は、目ざましいものがあるが、その制御面とりみると、何んらかのかたちで半導体素子の導入が著しく、また、導入によってその発展がなされできたと言つても過言でないような状況である。

本文は、この半導体素子導入の一分野で、とくに最近脚光をあびている工作機用半導体応用制御器具について、最近の傾向、当社における機種およびその応用例について述べたものである。



UDC 621. 318. 38

消磁装置

首藤 佑吉

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P985~986

研削盤等に使用されている電磁チャックは、その残留磁気のためには(把)持装置としての長所をマイナスされることが多く、よい消磁装置との組合せが望まれる。

新開発の消磁装置はサイリスタによる電圧漸減方式をとり、良い消磁効果が得られる。本文では、その概略を紹介する。



UDC 551. 507. 326. 2: 629. 13. 05/06

観測用ロケットとう載電子機器

波多洋介・佐藤 武・近藤倫正

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P989~996

当社では種々のロケットとう載用電子機器を製作してきているが、今回はそのうちトランスポンダ、テレメータ送信装置、磁力計について紹介する。ロケットとう載用電子機器が他の電子機器と違がってとくに要求される点は、一つにはロケット飛しょう中の振動、衝撃、あるいは超高層を飛しょうする際の真空、装置によっては太陽光線の照射に対する耐環境性である。二つには定められた寸法、重量のわく内でできるだけ多くの機器をとう載できるよう小形、軽量化をはかることがある。本文では上述の3機種について当社の現状を紹介するとともに耐環境性、小型、軽量化に焦点をあわせて述べることにする。



UDC 621. 311. 4: 621. 314. 63: 546. 28

パッケージ形シリコン整流器変電所

冬広 力・鍋倉浩一郎・津久井 進

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P997~1002

市街電車を主とした、受電6kV(または3kV)き電々圧600V(または750V)の変電所について、経済性・信頼性のうえから再検討を加え、新しい機器構成の変電所方式を考案した。シリコン整流器を油入自冷式とし、騒音をなくし保守不要とするとともに、高圧機器や直流しゃ断器などを、EKメタルクラッドキューピクルに収納し、この前面とびらにメータ、制御スイッチ類を配し配電盤兼用とし、スペースの縮少化とともに、電位部をすべて閉鎖化することにより安全にしている。信頼性の向上から無人変電所に適することと各機器を共通ベースにまとめ変電所建屋の簡略化を行なったことで、これから変電所の合理化に最も適したものである。

UDC 681. 142

MELCOM 9100 システム シリーズ(2)

—グループ30のハードウェア—

松本大四・曾我正和・貴田篤志

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P1003~1012

先に紹介したMELCOM 9100システム設計に統いて、同システムのグループ30の金物の組織・構造の概要紹介およびいくつかの技術中心点に関する解説を行なう。MELCOM 9100グループ30は、いくつかのモデルを含む計算機グループであるが、この論文で紹介するのは今回完成した基本モデルである。これは主要プロセッサをTTL型集積回路により構成し、実行メモリとして最大65k語の20ミルコアメモリを、システムメモリとして最大4台、1,048k語の8.3msアクセス、回転型メモリを有する、オンラインリアルタイム! フリータイム並列動作を主目的として設計されたものである。

UDC 621. 54

トランジスタ形自己照合符号式遠方監視制御装置

島田政代士

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P1013~1019

遠方にある被制御所の機器に対する制御信号・状態監視信号などをパルス符号に変換して伝送する符号式遠方監視制御装置において、制御あるいは表示所要時間の短縮、長寿命化、小形化、保守の容易、信頼度の向上をはかるため、装置の符号送受信に関連した部分をシリコントランジスタ、シリコンダイオードなどによって無接点化するとともに、2重誤り検出可能の自己照合符号を採用した遠方監視制御装置について述べている。

制御に要する時間は200ボード送信の場合約0.5秒以内、監視も同程度ときめて早い。一方動作ひん度の高い部分は無接点化されているので長寿命であるとともにほとんど無保守で済む。

UDC 621. 396. 931

日本放送協会納め150Mc/FM 50W全シリコン固体化ニュースカー用47VM-71形連絡用無線装置

加藤 治・片山泰一・山本俊夫・白幡邦彦・来村 俊

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P1020~1026

当社では、すでに60Mcおよび150Mc帯25W出力の全シリコン固体化無線機を開発してきたが、さらに高周波大出力のトランジスタ化へと開発を進めた結果、このほど150Mc帯50W出力の全シリコン固体化移動用無線機として、47VM-71形連絡用無線装置を日本放送協会へ納入したのでその概要を紹介する。

この装置は、当社のすぐれた半導体および回路技術により、移動用として150Mc帯50W出力の送信最終段までトランジスタ化されており、業界にさきがけ製品化したもので、ニュースカーにとう載され、報道取材、連絡業務などの通信に使用される。

UDC 538. 61

メーザ、レーザで代表される新しい技術分野

—量子エレクトロニクス(2)—

メーザ、レーザとその応用

安東 滋

三菱電機技報 Vol. 42・No. 7・P1027~1036

メーザ、レーザの解説書は多く、豊富なその内容をこのようないい小文で完全に説明できるものでもない。しかし、レーザを何か実際面に応用するとき、必ずしも詳細な専門知識が必要なわけではない。メーザおよびレーザ光の重要な特性に対して、単純ではあるが正確な知識さえあれば十分である。レーザによる長所が明らかなような応用が発展することを望みつゝ、このような必要最低限の内容について説明したい。

工作機用交流電動機

小島 敏男*・三富 孜*・酒向 潔*

Induction Motors for Machine Tools

Nagoya Works

Toshio KOJIMA・Tsutomu MITOMI・Kiyoshi SAKO

The latest technological innovation has brought a new tendency on machine tools to be of automatic operation and high performance. To cope with it, driving motors are demanded to be of much higher performance and higher accuracy. Then, the motors are now designed and built in conformity to the IEC standard so that they are changed to small sized and of high performance class A units. In comparison with the conventional class A motors, new products are equipped with a frame number two step smaller, resulting in compact, less vibrating and less noisy. Their rotors have smaller GD², which makes the motor suitable for frequent change over from forward to reverse rotation together with frequent starting and stopping.

1. まえがき

最近の技術革新にともない、工作機械は性能・自動化の面において、ここ数年間躍進的な進歩発展をとげ、NC化の段階にはいってきているが、なかでも電気機器の進歩・発展は工作機械の自動化・高性能化に大きな役割を果している。

誘導電動機は工作機械の動力源として従来から広範囲にわたって使用されているが、工作機械の自動化・高性能化にともない、ますます高精度・高性能なものを要求されるようになってきた。これに対応して電動機も絶縁材料の著しい進歩、製作技術の向上などにより、従来長い期間にわたって採用してきたNEMA規格に準拠したA種電動機から、IEC規格に準拠した小形・高性能なE種電動機に切換えられてきた。E種電動機は、従来のA種と比較してわく番が約2段小さくなっている、小形軽量であるのが特長である。したがって機械全体をコンパクトにでき、小形になったため振動・騒音が小さく、また回転子のGD²が小さく、工作機のように正逆転・起動停止の多い場合には発生熱損失が少なくなるなどの利点がある。

本文ではIEC寸法E種電動機を中心に、工作機用電動機の特色・選定・電動機応用品・実用例などについて述べる。

2. 工作機用電動機の特色

2.1 工作機用電動機の機能

工作機はその切削動作の上から、旋盤・フライス盤・中ぐり盤・ボル盤・平削盤・歯切盤などの種類に大別されるが、これらは機能あるいは方式によりきわめて多岐多種類にわたるので、電動機に対する要求も各種各様である。

とくに最近、工作機が高い機能を発揮するために、1台の工作機に対し数台の電動機がおののの機能を分担して使用されるようになり、工作機の自動化とともにますますその傾向は助長されている。

これらの機能は主作業と補助作業とに大別され、さらにつぎのように分類される。

主作業をするもの：

(1) 刃物を駆動するもの(フライス盤・ボル盤・研削盤・横中ぐり盤などの主軸を駆動するもの、およびシェーバー、スロッターなどの刃物台を駆動するもの)

(2) 被加工物を駆動するもの(旋盤・立て中ぐり盤など主軸を

駆動するもの、およびブレーナのテーブルを駆動するもの)

(3) 両者を同時に行なうもの

補助作業をするもの：

(1) テーブルや刃物の送り用

(2) 位置決めなどの準備作業を行なうもの

(3) 潤滑剤・切削剤・冷却剤の移送用ポンプ類を駆動するもの

(4) 冷却装置・集じん(塵)装置・油圧機構などに使用されるもの

2.2 工作機用電動機の負荷

工作機械の負荷は、その使用目的に応じて異なっているが、一般的には切削剤ポンプ・潤滑ポンプなどを除いては、一定負荷連続使用はほとんどなく、変動負荷断続使用・変動負荷連続使用あるいは反復使用の場合が多い。たとえば、旋盤の主軸駆動の場合は被加工物の切削箇所、加工精度により常にその負荷は変動する。また、ブレーナのテーブルやスロッター、シェーバーの刃物台の往復運動においては大きな荷重を駆動し、その負荷もテーブルあるいはコラムの往復にともない周期的に変化する。

以上のように工作機の負荷はきわめて変化が大きく、したがって電動機の定格容量の選定に際しては、とくに注意する必要がある。容量が小さすぎる場合には、トルク不足、温度上昇過大など不つごうを生ずることになるが、あまり余裕をとりすぎて容量過大にすると、効率・力率の低下や、起動電流・トルク過大による機械の損傷が起きたり、取付スペースが大きくなり、また電動機の価格も高くなる。したがって機械の実情に即し、使用目的に最も適合した定格容量の選定が必要となってくる。

2.3 電動機の形式

工作機用電動機として外被・外観・取付方式など各種形式のものを製作している。

2.3.1 外観の形式

一般に工作機用としては切削油や切粉などの異物の侵入を防ぐため、全閉外扇形(SF-E, SF-EF形)がもっとも多く使用されている。使用場所によっては防滴保護形(SB-E, SB-EF)も使用されている。また全閉形を必要とし、かつ短時間定格で外形寸法も小さくしたい場合には、寸法的に有利な全閉自冷形(SE-E, SE-EF形)が適している。

2.3.2 外観

電動機の外観は工作機との調和が必要とされるが、当社 IEC 寸法 E 種電動機のスマートなデザインはあらゆる工作機械に調和する。

2.3.3 取付寸法

主としてつきの3種類に分けてある。

(1) 床取付形

床取付形は水平取付のほかに壁掛取付・天井取付としても使用される。取付寸法は JEM-1180 に準拠したものと当社標準としている。

(2) フランジ形

工作機用としては、機械形状に適合させるためフランジ形が多く使用されているが、寸法は JEM-1189 に準拠し、横取付けと立て取付けとがある。フランジ形で軸方向寸法のとくに短いことを必要とする用途に対して、当社ではフラットモータ SFU, SBU 形(図2.1)を製作しており、軸方向寸法は図2.2に示すように非常に小さく、標準フランジ形の 50~60% となっている。寸法は JEM-1125 に準拠している。

(3) ベルトイン形

電気部分、すなわち固定子および回転子だけを製作して、工作機械の中に組み込まれる形式で、回転子と軸とのめ合いにはスパイダ、あるいはテーパー軸などの方式が採用されている。用途によっては寸法・構造的に有利な場合があるが、機械に組み込んだ後で温度上昇・精度・振動などが問題となるため、事前に十分検討を行なう必要がある。

上記各種形状・寸法のものがあるが、工作機用としては特殊寸法



図 2.1 SFU-F 形 フラットモータ
Type SFU-F flat motor (totally enclosed fan cooled type).

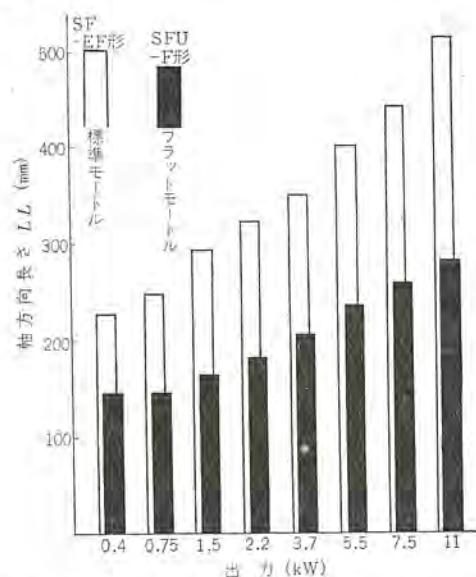


図 2.2 フランジ形電動機軸方向長さの比較 (全閉外扇形)
Comparison of lengths in an axial direction (totally enclosed fan cooled motors).

を要求される場合があり、とくにフランジ特殊の場合が多いが、コスト・納期の点で不利となるので極力標準寸法を採用することが望ましい。たとえばわく番が一段大きくなても標準寸法のほうが安価な場合があり、また絶縁種別の変更により標準寸法を採用できることが多いので検討する必要がある。

2.4 定格出力の選定

工作機用電動機は 2.2 節で述べたように、変動負荷および反復負荷短時間定格で使用される場合が多いが、変動負荷の場合の定格出力の選定、および負荷時間率 (% ED) と時間定格の関係などについて述べる。

(1) 変動負荷

変動負荷連続使用や断続使用の場合には温度上昇に関して等価的に出力を求めることができ、求め方には 2 乗平均法と平均損失法があるが、本文では 2 乗平均法について述べる。

電動機は普通の負荷状態では、鉄損による温度上昇よりも銅損による温度上昇のほうがはるかに大きく、鉄損は電圧・周波数が一定であれば負荷のいかんにかかわらず一定であるが、電流はほぼ負荷に比例して変化する。電動機の温度が銅損にのみ支配されると仮定すれば、温度上昇はほぼ出力の 2 乗に比例するといえる。したがって、図 2.3 に示すような変動負荷の場合の定格出力は次式により求められる。

$$P_S = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_{av}}} \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

(2) 負荷時間率と時間定格

一定負荷および停止のサイクルが繰り返される場合には、最初の内は負荷時の温度上昇が停止中の冷却よりも大きく、電動機の温度は 1 サイクルごとに上昇するが、しだいに負荷時の温度上昇と停止中の冷却がつり合い、ついに一定値に落ち着く。

この場合の負荷時間率 (% ED) と時間定格の関係は次式で表わされる。

$$t = T_a \log \left[1 + \frac{\varepsilon}{T_a (1 - \varepsilon)} \right] \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\varepsilon = \frac{T_a (1 - e^{-\frac{t}{T_a}})}{1 - (1 - e^{-\frac{t}{T_a}}) \left(1 - \frac{T_a}{T_b} \right)} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

ここに T_a : 電動機運転中の熱時定数 (h)

T_b : 電動機休止中の熱時定数 (h)

t : 電動機の時間定格 (h)

ε : 負荷時間率 $\varepsilon = \alpha / \alpha + \beta$

α : 1 サイクル中の運転時間 (h)

β : 1 サイクル中の休止時間 (h)

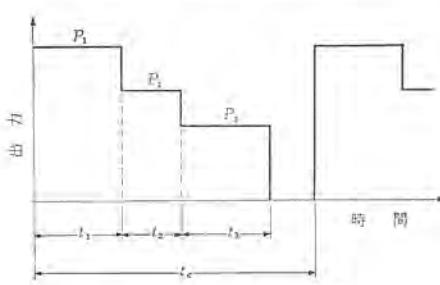


図 2.3 変動負荷の一例
Example of variable load.

ただし起動時における損失および熱時定数の変化を無視し、電動機の運転周期は熱時定数に比べ、無視できるほど小さいものとする。

T_a/T_b をパラメータとして %ED と時間定格の関係を求めれば図 2.4 のようになる。 T_a/T_b は運転時間と休止時間中の熱時定数の

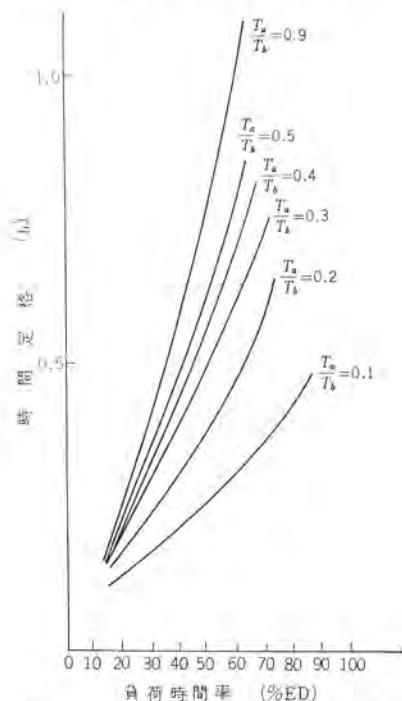


図 2.4 負荷時間率と時間定格の関係
Relations of % ED with time ratings.

比を与えるもので、 T_b は電動機の保護形式に応じ若干の変化はあるが、ほとんど一定と考えることができるのにに対し、 T_a は冷却方式・保護形式によって大いに変化する。電動機の熱時定数は表面冷却係数に逆比例するので、冷却のよい電動機ほど T_a/T_b は小さくなる。一般に全閉自冷形の場合は $T_a/T_b \approx 0.9$ 、全閉外扇形の場合は $T_a/T_b \approx 0.3 \sim 0.4$ 、開放形の場合は $T_a/T_b \approx 0.1 \sim 0.2$ と考えられるので、各冷却方式に応じ、%ED と時間定格との関係を図 2.4 から求めることができる。なおこの図は同一損失配分をもつ、表面の冷却面積をほぼ一定とした電動機を考え、この電動機を全閉自冷形として使用したときの T_a の値を 1h として求めたものである。実際には、反復定格時の起動時損失、起動時の熱時定数等の影響のため、この図で示すより大きい時間定格を必要とするが、一応のめやすを与えるものと考えられる。

(3) 起動時の電動機損失と GD^2

電動機は定常運転時の損失のほかに、ひんぱんな起動または逆相制動時に、電動機回転子軸にかかる GD^2 によって熱損失を発生し、これが温度上昇となって現われる。したがって工作機のように起動

表 2.1 振動階級一覧
List of vibration class.

振動階級 JEM 1020	振動階級 三菱電機規定	振全振幅 μ
	V-3	3 以下
V-5	V-5	5 以下
V-10	V-10	10 以下
V-15	V-15	15 以下
V-30	V-30	30 以下

表 2.2 工作機用電動機の精度

Accuracy of motors for machine tools.

測定項目	測定方法	機種番号	加工精度		
			Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ
軸の平行度	 軸端における長さ 50mmについて定盤上にて測定し、その相互差が右記以内にあること	132M以下	0.01	0.02	0.03
		160M~200L	0.015	0.03	0.05
フランジ面の軸に対する直角度	 軸を基準としてフランジ外径とフランジ取付穴の中間にて計測し右記以内にあること	112M以下	0.03	0.05	0.07
		132S~200L	0.05	0.07	0.1
軸端のふれ	 軸先端より10mm内側における軸のふれは右記範囲内にあること	132M以下	0.01	0.02	0.03
		160M~200L	0.02	0.03	0.05
フランジはめ合わせの外径の偏心度	 軸を基準としてフランジはめ込み径のふれを測定し右記以内であること	112M以下	0.02	0.04	0.05
		132S~200L	0.04	0.07	0.1

種別 加工精度 Ⓛ 特殊工作機用電動機（振動 V-5 級以上で部品の精度要求が高いもの）

Ⓑ 一般工作機用電動機（振動が標準品以上で部品の精度を要求されるもの）

Ⓒ 一般用電動機（標準仕様のもの）

停止をひんぱんに繰り返す場合や、大きな GD^2 の負荷を繰り返し起動する場合には、この発生熱のために、運転条件によって決定された出力が制限を受ける場合がある。逆に回転子構造を適当に選定することにより、この発生熱を抑え、温度上昇を規格値をこえないようになることができる。起動時の発生損失は二次抵抗を大きくするほど小さくなるので、 GD^2 の大きい負荷を起動する場合や、起動・逆相制動をひんぱんに行なう場合には、 GD^2 をできるだけ小さくするとともに回転子抵抗を大きくすると効果的である。この点から IEC 寸法 E 種電動機は GD^2 が従来の A 種の 60~80 % と小さくなっている、起動ひん度の多い工作機用と適した電動機といえる。

反復使用の場合は、負荷状況・起動ひん度・% ED・負荷の GD^2 等が明確であれば、標準電動機のシリーズ中よりその使用条件に対して最適な電動機を選定できるが、その規格化について、現在電気学会工作機用電気品専門委員会において検討されている。

2.5 振動と精度

(1) 振動

工作機における振動は精度や機能の低下および工具寿命の低下を招くので、電動機の振動はできるだけ小さいことが必要である。高速度でしかも高精度が要求される今日、電動機の振動はますます小さいことが要求されるようになってきた。とくに研削盤のといし軸用などでは電動機の振動はただちにといしに伝わり影響するところが大きいので、振動は極力小さいことが望ましい。

振動の振幅と振動階級を表示する記号は JEM-1020 に表示されているが、当社においては JEM よりやや詳細に規定している。表 2.1 にその値を示す。工作機用としては一般に V-10 級で、とくに精度を必要とするところには V-5 級がめやすくなっているが、研削盤用などは V-3 級を必要とする場合がある。しかし V-3 級の場合には工作的に特別な処置が必要となり、コスト高となるのでこの点を考慮して指定する必要がある。

(2) 精度

電動機が工作機械の一部を構成するような場合、電動機の取付部分・フランジ面・軸端などの工作精度の良否は振動とともに直接工作機の精度に影響を与える。したがって減速機構に直結されるフランジ部分、といし軸を兼ねる電動機軸などは高い精度が要求される。

当社では各種工作機に適合した工作精度で製作できるように、電動機精度に基準を設け、これを A, B, C 級に区分し、必要によりこの精度を適用し製作している。表 2.2 にその値を示す。

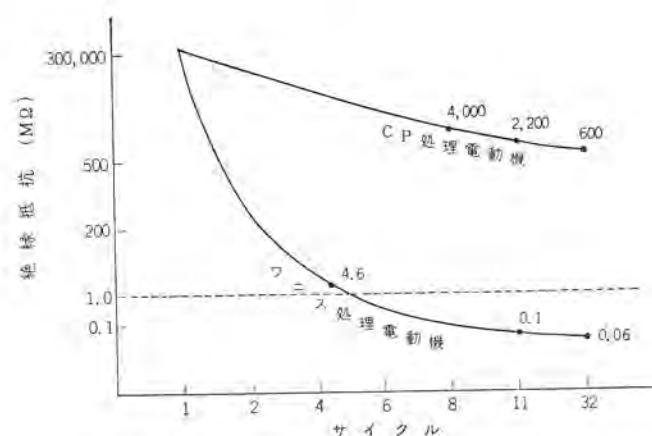


図 2.5 研削液浸せきによる絶縁抵抗の変化
Change of insulation resistance dipped in solvent solution.

2.6 耐研削液電動機 (CP 处理電動機)

研削盤そのほか精密仕上用電動機では加工面の冷却、防せい(錆)、仕上面の精度向上のため、多量の水溶性研削油が使用されているが、通常の絶縁処理ではメラ低下・焼損などの危険がある。当社ではこのような用途に適するものとして、CP 处理絶縁電動機を製作している。

CP(Chemical Protected) 处理は、エポキシ樹脂系の特殊ワニスと共に適合した絶縁材料の組み合わせによる特殊絶縁のことと、通常の絶縁処理によるものと外形寸法・電気特性は変わりなく、さらに絶縁全体がきわめて強固に成形されているので、耐酸・耐アルカリ・耐湿性にすぐれた効果があり、研削盤に多く使用されている。

CP 处理した電動機と通常のワニス処理(4回)したものとを、1 m³ の噴霧でシリコン K 50 倍水溶液を噴霧させ、その中で電動機を 8 h 運転、その後 16 h 休止密閉のままにしておき、これを 1 サイクルとして試験を繰り返し絶縁抵抗の変化を測定し、比較した結果を図 2.5 に示すが、CP 处理電動機の耐水溶性切削油性は非常にすぐれている。

2.7 热帯処理電動機

工作機械は熱帯地方に輸出される場合が多いが、このような場合には耐湿・耐熱・防せいなどの目的で、特殊な絶縁処理を施した熱帯処理(Tropical Treatment) 電動機を使用する必要がある。

3. 工作機用電動機応用品

3.1 ゼロスピードスイッチ付電動機

電動機を急停止する電気的制動方法の一つとして、逆相制動による方法が工作機用として多く使用されているが、これは固定側の 3 線中、2 線を入れ換えて回転磁界の方向を逆にして制動する方法である。逆転を防止するには、停止に近づいたときに自動的に電源から切離す ブラッギングリレー を用いる。当社では電動機に ブラッギングリレー を直結した ゼロスピードスイッチ付電動機 (図 3.1) を生産しており、逆相制動のほかに速度上昇検出・ゼロ付近速度検出などの用途にも使用できる。

特殊構造にしてあるため最高 3,600 rpm まで使用できる。また最近動作回転数は 17 rpm まで設定できる。なお逆相制動を行なう場合には、大電流が流れるため負荷 GD^2 ・ひん度などを考慮し温度上昇についての検討が必要である。

3.2 NB ブレーキ付電動機

NB ブレーキ付電動機 (図 3.2) は、IEC 寸法 E 種電動機として開発された交流・多板・スプリング制動式・連続定格 150 % 制動トルクのブレーキで、小形軽量、停止時間が短い、制動仕事量が大きいなど多くの特長をもった高性能なブレーキ付電動機である。工作機用としては主軸の高ひん度起動・停止、テーブルの惰行防止、急停止などの用途に広く使用されている。表 3.1 に仕様を示す。なお フラットモートルと NB ブレーキを組み合わせ、軸方向寸法を極端に短くした NB ブレーキ付 フラットモートル (図 3.3) も生産しており、全閉外扇フランジ形を必要とする用途に適している。

3.3 EBA ブレーキ付電動機

NB ブレーキが交流スプリング制動式であるのに対して、EBA ブレーキ付電動機 (図 3.4) は直流・单板・励磁制動式で、NB ブレーキに比較して軸方向寸法がきわめて小さく、摩耗調整が不要で高ひん度に耐えるなどの特長があり、単なる停止だけを目的とした用途や、全閉外扇フランジ形の用途に適している。ただし励磁ブレーキであるた



図 3.1 ZS-A 形 ゼロスピードスイッチ付電動機
Motor with type ZS-A zero speed relay.



図 3.2 SB-E 形
NB ブレーキ付電動機
Type SB-E brake motor with type NB magnetic brake.



図 3.3 SFU-F 形 NB ブレーキ付
フラットモータ
Type SFU-F Flat brake motor with type NB magnetic brake.



図 3.4 SB-E 形 EBA
ブレーキ付電動機
Type SB-E brake motor with type EBA magnetic brake.



図 3.5 親子電動機
Twin motor.

め安全ブレーキとはならない。

表 3.2 に NB 形と EBA 形ブレーキ付電動機の比較を示す。

3.4 親子電動機

親子電動機は図 3.5 に示すように親子 2 台の電動機と電磁クラッチブレーキ、減速機を巧みに組み合わせて一体構造としたもので、クラッチ切換えにより親電動機の高速回転と、減速機を介した子電動機の低速回転とが得られる。変速比が大きくそれ変速・停止は電磁クラッチ、ブレーキにより行なうためきわめて迅速であり、また減速機部分を内蔵しているため、機械のギヤボックスが必要になり、機械がコンパクトになるなどの特長がある。工作機用としてはフライス盤・中ぐり盤・プラノミラー・ボール盤・パンチプレスなどの早送り、切削送りの切換え、または位置決めなどの用途に多く使用されている。仕様の一

表 3.1 NB ブレーキ付電動機仕様
Specification of type NB brake motors.

kW		わく番号	ブレーキ形番	制動トルク kg·m	許容制動仕事量 kg·m
4 極	6 極				
0.2	—	63	NB-0.2	0.2	80
0.4	0.2	71	NB-0.4	0.4	80
0.75	0.4	80	NB-0.8	0.8	170
1.5	0.75	90 L	NB-1.5	1.5	340
2.2	1.5	100 L	NB-2.2	2.2	420
3.7	2.2	112 M	NB-4	4	550
5.5	3.7	132 S	NB-7.5	7.5	750
7.5	5.5	132 M	NB-7.5	7.5	750
11	7.5	160 M	NB-15	15	1,050
15	11	160 L	NB-15	15	1,050

定格: 連続
ブレーキトルク: 150 %

表 3.2 NB 形、EBA 形ブレーキ付電動機の比較表
Comparison between type NB and EBA brake motors.

形式	NB 形ブレーキ付	EBA 形ブレーキ付
形式	交流、多板式	直流、单板式
制動方式	スプリング制動式	励磁制動式
電源	交流 3φ 200 V 50/60 c/s, 220 V 60 c/s	直流 24 V
軸方向寸法	やや大きめ (標準 E 種電動機の 160 %増)	きわめて小さい (標準 E 種電動機の約 130 %増)
摩擦調整	要	不要
トルク調整	スプリング圧力調整により可能	電圧変化により調整可能
手動開放	機械的 (後部のハンドルを操作し開放)	電気的
軸貫通方式	不可	可
ブレーキトルク	電動機定格トルクの 150 %以上	電動機定格トルクの 150 %以上
寿命	100 万回以上	100 万回以上
適用電動機	下記形式の 0.1 kW~15 kW SB-E SB-EF(V) SF-E SF-EF(V) SBU-F SFU-F (◎印以外の電動機の取付寸法 (は IEC 寸法に準拠))	下記形式の 0.1 kW~15 kW SB-E SB-EF(V) SF-E SF-EF(V) SBU-F SFU-F (電動機取付寸法は ICE 寸法 (に準拠))
特長	① 交流電源のため簡単に使用できる ② 安全ブレーキとなる ③ 使用ひん度は EBA 形よりやや多い	① 単板式のため、高ひん度、高エネルギー用に適用する ② 直流電源を要す ③ 安全ブレーキとならない
用途	① 惯走防止(慣性体の停止) ② 急停止および寸動 ③ 急停止およびロック ④ 危険防止等を目的とするロック	① 惯走防止(慣性体の停止) ② 急停止および寸動

表 3.3 親子電動機仕様
Specification of twin motors.

出力 kW	減速比 1/20		親モータ わく番号	クラッチ形 番(直流)	ブレーキ形 番(交流)
	親モータ 4 極	子モータ 4 極			
0.75	—	0.1	1,500/75	1,800/90	NB-0.4
	—	0.4	1,000/75	1,200/90	
1.5	—	0.1	1,500/75	1,800/90	NB-0.4
	—	0.75	1,000/75	1,200/90	
2.2	—	0.2	1,500/75	1,800/90	NB-0.4
	—	1.5	1,000/75	1,200/90	
3.7	—	0.2	1,500/75	1,800/90	NB-0.4
	—	2.2	1,000/75	1,200/90	
5.5	—	0.4	1,500/75	1,800/90	NB-0.4
	—	3.7	1,000/75	1,200/90	
7.5	—	0.4	1,500/75	1,800/90	NB-0.4
	—	5.5	1,000/75	1,200/90	

表 3.4 数値制御装置用親子電動機の一例
Example of twin motors for numerical control.

AC 親モータ (卓上用)	DC 子モータ (位置決め用)	回転数 rpm	
		高速	低速
SE-EF 形 3φ 1M 400W 12P	FK 形 DCM 200W 2P	500/600	100~5
SE-EF 形 3φ 1M 800W 6P	FK 形 DCM 300W 2P	1,000/1,200	200~3.3
SE-EV 形 3φ 1M 5.5W 4P	FK 形 DCM 1.5kW 2P	1,500/1,800	240~12

例を表 3.3 に示すが減速比は 1/100, 1/20 を標準としている。取付寸法はフランジ取付と床取付の場合がある。また子電動機に直流電動機を使用し、サイリスタ制御により低速回転をさらに無段階に速度制御を行なっているものもあり、上記工作機の数値制御装置（自動位置決め、直線切削）用として最近多く使用されてきている。表 3.4 にその実用例を示す。

4. 実用例

4.1 高周波電動機

4.1.1 内面研削盤用超高速電動機

小さな軸受やエンジンの燃料噴射弁ノズル、引き抜きダイスの内径のように、数 mm 以下の非常に小さな径で、とくにきびしい仕上精度を必要とする穴を研削するには、その研削する穴径より小さな孔を毎分数回転以上の高速で回転させる必要を生じてくる。この種の駆動は、今までベルトによる增速などの機械的方法によっていたが、最近はさらに高性能なものとして、高周波電動機による直結駆動のものが、多く採用されるようになってきている。

この高周波電動機は、構造的に最も簡単な 2 極かご形誘導電動機であり、電源は別に設けた高周波発電機により供給される。その外観を図 4.1 に示す。

この電動機の設計上・構造上の特異点を列挙すれば、

(1) 固定子については、電源が 1,000 c/s 以上の高周波のため、その高周波による固定子鉄損を極力減少させるように、適切な低い磁束密度に設定するとともに良質な鉄心材料を選定するなど、設計上に十分な注意を払っている。また巻線は、オイルミストの潤滑方式の

表 4.1 内面研削盤用超高速電動機の一例
Example of super high speed motors for internal grinder.

全閉水冷形 かご形三相誘導電動機 2 極 運転定格					
出力	100W	150W	250W	1.5kW	2.2kW
周波数 c/s	2,500	1,800	1,800	1,350	1,000
電圧 V	120	120	120	200	200
回転数 rpm	150,000	108,000	108,000	81,000	60,000

表 4.2 フライス盤用高周波電動機の一例
Example of high frequency motors for milling machine.

形 式	出力 kW	極数 P	電圧 V	周波数 c/s	定格	絶縁	潤滑方式	その他
開放防じん立形	3.67/7.33/11	2	220/200/300	60/120/180	連続 B 種	オイルミスト	振動 V5 級	
全閉水冷立形	15	2	300	150	連続 E 種	オイルミスト	振動 V5 級	

ために絶縁の侵されないような特殊な耐油絶縁処理を施している。

(2) 回転子については、きわめて高速で回転するため、機械的に大きな遠心力に耐えるように、精密なダイナミックバランスをとっている。また電気的には高周波のための鉄心内部に発生する熱を極力制限し、温度により軸精度に対する影響のないよう設計上に特別の考慮を払っている。

(3) 軸受については、超精密級 アンギュラコンタクトボールベアリングを使用し、スプリングで適正な予圧を与える構造をとっている。その潤滑方式は、オイルミストであり、1~2ミクロン程度の噴霧状の油とともに軸受部に供給する方式である。

(4) 外わく・軸などは、振動に対して十分な剛性をもたせている。

なお、表 4.1 は、最近の実施の一例である。

4.1.2 フライス盤用高周波電動機

比較的出力の大きい、ならいれた(柄)フライス盤用等の工作機用立て形高周波電動機の需要も、最近増加の傾向をみせている。これらの電源には、誘導周波数変換機を採用し、150~180 c/s 程度の周波数を供給している。図 4.2 は開放防じん形のものであり、図 4.3 は全閉水冷形のものである。

この高周波電動機についての構造上の特長をあげれば、

(1) 固定子については、オイルミスト潤滑のための油のコイルエンドへの付着や、水冷形の場合の水滴の発生の点を考慮して、耐油性の特殊絶縁処理でコイルを保護するとともに、ワニス含浸も十分に行なって、コイル全体の機械的強度も大きくしている。

(2) 回転子については、商用周波数での 2 極モータの約 3 倍の高速で回転するため、とくに軸の固有振動数を大きくとるように軸径・スパンの設計を行ない、最大回転数より大きいところに危険速度をとるようしている。またダイナミックバランスは、とくに十分念を入れてとっている。

(3) 軸受については、10,000 回転の立て形で、スラスト荷重も大



図 4.1 内面研削盤用超高速電動機 (SE 形全閉水冷形三相誘導電動機 100W 2P 120V 2500c/s)
Type SE totally enclosed water cooled induction motor.



図 4.2 高周波三相誘導電動機 (3.67/7.33/11kW 2P 220/200/300V 60/120/180c/s)
開放防じん立形
High frequency three phase induction motor.



図 4.3 高周波三相誘導電動機 (15kW 2P 300V 150c/s)
全閉水冷立形
High frequency three phase induction motor.

きくなること、また取付けるカッターの関係より軸端径の制限があるなど、軸受設計上の制約事項が多いいため、ベアリングの形番の選定、その組み合わせには十分な検討を行なっている。潤滑方式は、オイルミストによる噴霧潤滑方式を探っている。

表 4.2 は、最近の実施例である。

4.2 スパーミラー用電動機

スパーミラーは、航空機の翼・胴体などに要求される複雑な形状の加工を目的とした大形専用工作機で、高精度で、高速度の切削が可能な工作機械である。この専用機のカッター駆動用として、非常に特殊な構造の電動機が要求される。図 4.4 にその外観を示す。この電動機は細長いフレーム内に、出力の半分の出力の同一仕様の電動機 2 台を、タンデムに配置した構造を採用している。この電動機の特長をあげると次のようになる。

(1) フレームは、鋼材を溶接した十分な強度をもった二重構造で構成され、溶接によるひずみ取りを完全に行なうために、溶接後焼純を行なっている。電動機を冷却するための冷却水は、内殻板に溶接した隔壁にそって、固定子外周をジグザグ移動しながら、注水口より排水口へ流通させられる強制水冷方式であるので、その冷却効果は、非常にすぐれている。

(2) 固定子は大きな出力に比較して、その外形寸法が非常に小



図 4.4 スパーミラー用電動機

Type SE-A totally enclosed water cooled induction motor.

表 4.3 スパーミラー用電動機の一例
Example of square miller motors.

形 式	出 力 kW	極 数 P	電 壓 V	周波数 c/s	定 格 絶 緑	潤滑方式	その 他
全閉水冷横形	45/22	2/4	440	60	30 分	B 種	グリース 直流電磁 ブレーキ付
全閉水冷横形	45	2	440	60	30 分	B 種	オイルミ スト 手 動 ブレーキ付

きく制限されているために、同一フレーム内で 2 分割されている。したがって、回転子も固定子に対応した個所に、タンデムに配置されている。

(3) 回転子は同軸上に 2 個装着されているため、また比較的鉄心幅も長いため、軸受スパンが非常に長い構造になっている。したがって、危険速度は運転速度に対して十分高くとれるように、軸の強度に万全な注意を払っている。またダイナミックバランスは、完全にとっている。

(4) 軸受については、超精密級 ボールベアリングを使用し、とくに負荷側軸受は、2 個のベアリングにブレードをかける構造に組み立てて、軸方向の遊びを完全になくしている。熱膨脹による軸の伸びは、反負荷側に逃がす構造についている。潤滑については、潤滑性・耐老化性のすぐれたグリースを使用するか、オイルミスト潤滑にするかにしている。

(5) 反負荷側にブレーキを取り付けることができる構造であり、たとえば電磁ブレーキを取付けたり、手動ブレーキを取付けたりする。

(6) 各部の寸法精度は非常にきびしく抑えられているので、巻線および絶縁処理を完了した固定子を圧入後、フレームの端面、はめ込み部分および固定子内径を精密仕上げし、軸心および端面の直角度を完全にしている。また負荷側軸端は、テーパ軸とし、焼入処理を行なっている。そのテーパ軸はゲージに合わせて、精密仕上げを行なっているので、カッター直結が理想的に行なわれる。なお、回転子組み立て後、動的バランスを完全にとっているので、振動精度はきわめて高い。

表 4.3 に最近の製作例を示す。

5. む す び

以上当社の製作している工作機用交流電動機ならびにその応用品の概要を紹介したが、最近の工作機械ははん用機から専用機へ、手動機から自動機・NC 機へと高能率化するとともにますます高精度化の傾向にある。これらの情勢に応じるため、電動機に対する要求もさらに高度なものとなってくるが、われわれは日進月歩の技術革新時代に、さらに研究に努め、よりいっそうすぐれた電動機の製作をもって需要家の皆がたのご期待に添っていきたいと考えている。

工作機用直流機

酒井正昭*

DC Motors and Generators for Machine Tools

Kōbe Works Masaaki SAKAI

The most conspicuous feature of DC motors is an excellent control character. With the technical progress in turning various machine tools into automatic operation with higher precision, application of DC motors has come to draw renewed attention of engineers of late. Through the combined use of voltage control and field control, the motor speed can be adjusted over a wide range with no step and yet with relative simplicity and steadiness. Furthermore, the recent development of semiconductors has solved a number of troubles concerning DC power supplies, giving spur to the application of DC machines.

Under the circumstances Mitsubishi produces several types of DC motors for the above purposes. The article describes them and explains a number of points to be noted by machine tool builders in the selection of proper frame numbers.

1. まえがき

機を紹介する。

工作機械の動力伝達は、昔の機械工場における1本の定速駆動軸からベルトを介して、各機械に必要な動力を分配するいわゆる集団駆動方式から、各機械にただ1台の定速電動機を備える初步的単独駆動方式を経て、最近では一般に各機械の各動力所要部にそれぞれ負荷にマッチした別個の電動機を備える近代的な方法に変遷してきている。このため工作機における直流電動機の用途は広くなり、あらゆる面でその特長を十分生かした使い方がなされた優秀な工作機械が多く製作されるようになってきた。一般に工作機械が具備すべき条件としては、

- (1) 能率が良いこと。
- (2) 機械の取扱いが便利であること。
- (3) 外形がスマートであること。
- (4) 保守が簡単であること。
- などであるが、最近はさらに、
- (5) 高精度であること。
- (6) 加工範囲が広いこと。

などの条件が要求されるものが多くなり、これらを十分満足させるためには、電動機の制御性がすぐれており、かつ電動機自体が広範囲な速度範囲を有するものを使用することが望まれる。

直流機はその制御性が交流機に比較して非常にすぐれしており、電圧制御と界磁制御を併用することにより、広い無段階速度調整が比較的簡単にしかも安定に得られるため、その活用範囲は広く最近の工作機械自動化の波に乗って、ますます直流機の工作機への適用が注目されはじめてきている。また最近、著しい進歩を示している半導体素子を利用した電源設備の出現が、この傾向になおいっそうの拍車をかけているといえる。

当社では、さきに一般工業用として JEM 1170 (日本電機工業会標準規格) に準拠して製作した一連のスーパーライン D 形直流電動機をはじめとして、工作機のスタイルに合った特殊形、内部に組み込まれるビルトイン形など各種の形状の直流機を製作し、三菱直流機として広く長年にわたって各界に好評を博している。

以下、本文では工作機 メーカーにおける直流機のわく番選定の参考に供することを目的とし、当社で工作機用として適用している直流

2. 工作機用直流電動機

工作機用直流機といつても、はん用直流機に比較して構造および特性の両面でそれほど差異があるわけではなく、その一部分のみが異なる形で適用されることが多い、そのなかに工作機用としての注意事項を折り込んだものとなっているわけである。

当社では一般工業用として、前述のスーパーライン D 形 (以下 SD 形と呼ぶ) 直流機を標準化し製作しているので、とくに複雑な構造を要求されないかぎりこの中からわくを選定しているが、工作機用直流機として、このような標準形電動機を採用することは経済性または納期の面で非常に有利となるばかりでなく、工作機 メーカーのほうで簡単にわくの選定ができるという利点もある。以下に直流機の特性および工作機用としてのはん用機との差異について簡単に説明する。

2.1 速度特性

直流機の基本式は周知のとおり

$$V - RI = K \Phi N$$

で示される。

ここに V : 電源電圧 I : 入力電流
 R : 直列抵抗 (電動機内部抵抗を含む)
 K : 定数 Φ : 磁束

よって直流電動機の速度を変えるには、電源電圧、磁束または直列抵抗値を変化させれば所要の速度を無段階に得ることができるが、直列抵抗の操作による抵抗制御法はこの部分での損失を伴うので、工作機用としてはほとんど採用されないで、わずか電鉄用主電動機の速度制御法として採用されているにすぎず、もっぱら、電源電圧または磁束を変化させるいわゆる電圧制御および界磁制御が採用されている。これらの方針を負荷の要求する特性に合致させて適用すれば、直流機ばかりでなく工作機全体を有効にか動でき、作業能率の向上も大いに望むことができる。

2.1.1 電圧制御

界磁電流を一定に保ち電動機の入力電圧を変化させて速度調整を行なう方法である。すなわち前式の Φ を一定に保ち V を変化させて調整する方法で、定トルクを持った負荷に採用するが多く、

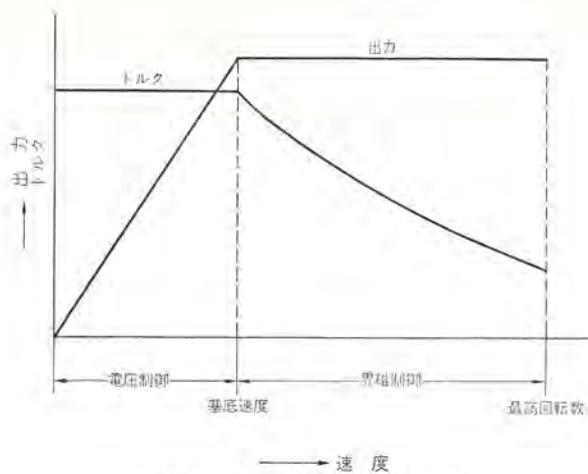


図 2.1 直流電動機の特性
Characteristic curves of DC motor.

表 2.1 工作機用直流機の振動階級
Vibration class of DC rotating machines for machine tools.

機械名	用途	振動	機械名	用途	振動
研削盤	といし用	$V_3 \sim V_5$	治具、精密中ぐり盤	主軸用	$V_3 \sim V_5$
	主軸用	$V_3 \sim V_5$	送り用	$V_3 \sim V_5$	
	送り用	V_5			
ロール研削盤	といし用	$V_3 \sim V_5$	横中ぐり盤	主軸用	V_{10}
	主軸用	V_{10}	送り用	V_{10}	
	往復送り用	V_5			
フライス盤	主軸用	V_{10}	平削盤立て削盤	主軸用	V_{15}
	送り用	V_{10}	送り用	V_{30}	
			ボール盤	主軸用	V_{10}
				送り用	V_{30}

この負荷のときに最適の制御法といえる。トルクは

$$Tr = K \Phi I$$

ここに Tr : 電動機トルク

の形で示されるので、 Φ を一定にして制御すると、入力電圧または速度の値にかかわらず入力電流はほぼ一定となる。回転数は理論的には、ゼロから最高回転数まで連続的に制御できるはずであるが、磁極の残留磁束および低速域における速度変動、(すなわち V が低くなると IR が大きくなるため、速度変動が大きくなる。) などにより、安定な速度をううことができず、1:50程度がその限度とされていた。しかし、特殊な制御方式を採用すれば、1:100程度までの制御は可能である。

2.1.2 界磁制御

入力電圧を一定に保ち、界磁磁束を弱めて速度調整を行なう方法であり、定出力特性の負荷に採用されることが多い。この方法により速度を上昇させると整流が悪化するので、あまり広範囲な調整は行なえず、だいたい 1:4 が限度である。

電圧制御・界磁制御それぞれによる特性は図 2.1 のとおりとなる。

2.2 振動

研削中または切削中に振動が発生すると被削物が満足に加工されないので、駆動源である電動機は一般にはん用に比べて低振動のものが要求される。速度範囲の広いものは、その範囲内で電動機自体が共振点を発生するおそれがあるばかりでなく、工作機械との共振現象が発生する所以があるので、製作にあたっては電動機、機械側

ともに十分の注意を払う必要がある。

工作機用電動機の振動階級としては、一般に

V_{30} 以下、 V_{15} 以下、 V_{10} 以下、 V_5 以下、 V_3 以下

の 5 段階に分けて振動の大きさを判定している。ここに V_{15} とは、振動全振幅値が $15/1,000 \text{ mm}$ のことで、このほかも同様である。

この振動階級を電動機の用途に従って選定しているが、この適用は、いままでの製作例からみて大略表 2.1 のとおりとなる。ここに、この値は電動機単体の無負荷振動値と考えるべきではなく、実際に使用される状態における振幅を、この値内に抑えなければまったく意味のないものとなる。一例としてベルト駆動を行なって動力を伝達する電動機などはただ単にバランスを良くし、加工精度を上げたのみでは実際の機械に組合わせて負荷を掛けた際、電動機単体の振動値の数 10 倍の値の振動を発生することがあるが、これはベルト張力が電動機軸受または機械側軸受に悪影響を与えるためで、これを防止するためには、アンギューラーコンタクト軸受、スリーブ軸受あるいは第 3 軸受などを採用したり、軸受スキマを小さくするようくふうが必要となる。そのほか、電動機自体を強固にしたり、電動機と機械の間に防振ゴムを介するなど種々の振動対策を行ない、実負荷の際にきわめて小さな振動値とする努力が必要となる。

2.3 GD^2

ブレーナまたはブローチ盤などのように急激な加減速・正逆転あるいは位置決めなどサーボモータに似た制御を行なう機械に対しては、とくに GD^2 の小さい電動機が要求されるが、周知のように GD^2 を低くするには鉄心径を小さくし、鉄心長を長くするため、整流性能は低下するので必要以上に GD^2 の小さなものを要求することには問題がある。前述の SD 形電動機は、整流能力を勘案したうえで GD^2 を比較的小さくしてあるので、この意味でも工作機用として適したものとなっている。

なお、上記のような急激な速度調整を必要とする機械に対しては、ただ単に電動機の GD^2 を小さくするばかりでなく、制御方式についての考慮も払うべきで、一般にこのような用途には電圧制御方式が採用される。すなわち加減速時間および電動機トルクは次式で与えられる。

$$t = \frac{GD^2 \times N}{K \times Tr}$$

$$Tr = K' \times \frac{KW}{N}$$

ここに K, K' : 定数 N : 回転数

Tr : 電動機トルク

この式で簡単に説明すると、いま回転数 N を 2 倍にするための電圧制御で調整すれば上式の KW も 2 倍となり、 Tr は変化しない。よって t は 2 倍となる。これに反し、界磁制御で調整すると、 KW は一定ゆえ、 Tr は $1/2$ となり、加減速時間 t は 4 倍となる。よってカッターまたはテーブルの惰走距離は後者のほうが前者に比べて 2 倍となるわけで、作業能率が悪くなるばかりでなく不経済な工作機となる。

このように同一 GD^2 でも制御方式によって著しく効果の異なる場合があるので、制御方式も考慮したうえで GD^2 の判定が要求される。

2.4 外観

工作機の一部として装備される電動機は、その特性が満足されればよいというものではなく、十分調合のとれたデザインでなければな

らない。外部塗装もとくに上等なものが適用される。

2.5 特殊処理

研削盤用電動機のように、研削油の霧が漂う機械に備えられるものに対しては、耐アルカリエボキシ処理を施しているほか、とくにふん囲気の悪い場所で運転するものは全閉形または全閉外扇形を採用している。

2.6 騒音

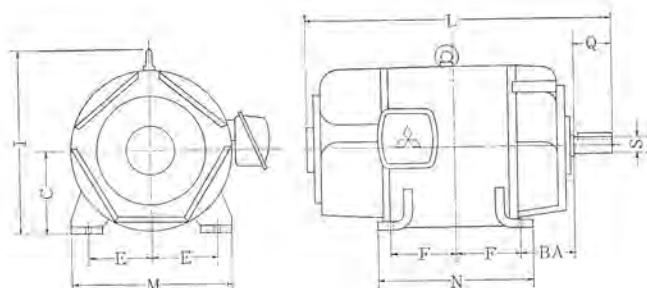
作業者は電動機の回転している近くで作業をするため、騒音の大小は作業能率に著しい影響を与える。このためとくに作業者の近くに備えられる電動機および高速回転をする電動機に対しては、自己ファンを取り去って、65~70 ボーン程度の低い値に抑えている。

3. SD 形標準直流電動機

アメリカの NEMA 規格に対応するわが国の JEM 1170 (日本電機工業会標準規格) に従って計画した一般工業用直流電動機であり、そのすぐれた特長のために、多方面にわたる適用性があり、工作機用としても最近多く採用している。ここにその特長およびわく番の選定法について紹介したい。

3.1 特長

この電動機の有するすぐれた特長は、ほほ、そのまま工作機用として要求される特性・構造に合致しているため、きわめてつづよく適用できる。



(1) 電圧制御・界磁制御により広範囲に速度制御ができる。

(2) B種絶縁を採用しているので、小形軽量である。

(3) GD^2 が低くしてあるので、機械的な過渡特性がすぐれているのみならず整流能力も非常にすぐれている。

(4) 外形寸法は IEC によっているので国際性がある。

(5) 各種の付属品、たとえばドラム形電磁ブレーキ・円筒形電磁ブレーキ・電動送風機・回転計発電機・制御用パイロット発電機などが、各フレームに適合するように製作されているため、簡単に装備できる。

(6) フランジ立て形・フランジ構形・全閉外扇形・減速電動機などの変形も用意されている。

3.2 定格とわく番

出力および回転数は JEM 1170 に準拠し 0.37 kW~110 kW、回転数は 300~3,500 rpm を数段階に分けて、それぞれに対応するわく番を定めている。この関係は表 3.1 のとおりとなり、定格出力と回転数が判明すれば、顧客側でだいたいのわく番が選定できる。たとえば、出力 7.5 kW で基底速度 650 rpm のとき、わく番は、自己通風形で電圧制御により基底速度以下に速度を下げないときは、225 M が適用できる。またこのわく番では界磁制御により 2,200 rpm まで速度を上げうることがわかる。同一定格で電圧制御により 300 rpm 程度まで速度を下げる必要のあるときは、低速における通風効果の減少を考慮に入れて、自己通風形で一段上のわく番、すなわち 225 L を適用する。これを他力通風形で使用すると、冷却風量は電動機の回転数が低下しても減少しないので、同一トルクで高速回転数に対応する点でわく番を選定する。すなわち前記の定格のものに対しては、22 kW 1,750 rpm のわく番である 200 L が適用できる。

表 3.1 は当社で SD 形として定めているもののみで、この上の段階に SM 形標準電動機と呼称するものを製作しているが、工作機用としての需要はあまりないので本文では省略する。

SD 形電動機としては、標準横形のほか工作機として多く使用されるフランジ形に対してもその標準寸法を定めているので、図 3.1, 3.2 にそれらの寸法を示し参考に供したい。SD 形電動機の構造

わく番号	外形寸法 mm												概略重量 kg	概略 GD^2 ($kg \cdot m^2$)	NEMA 相当わく番		
	本体																
	M	N	L	C	E	F	Z	I	BA	S	Q	キーみぞ幅	キー長さ				
112 L	224	201	413.5	112	95	79.5	12	264	70	22	50	7	4	40	45	0.06	185 A
132 M	260	222	489.5	132	108	89	12	304	89	28	60	7	4	48	70	0.07	215 A
132 L	260	247	514.5	132	108	101.5	12	304	89	28	60	7	4	48	76	0.09	216 A
160 M	312	260	586.5	160	127	105	14	358	108	38	80	10	4.5	67	115	0.16	254 A
160 L	312	304	630.5	160	127	127	14	358	108	38	80	10	4.5	67	125	0.23	256 A
180 M	350	300	657.5	180	139.5	120.5	14	406	121	42	110	12	4.5	95	170	0.43	284 A
180 L	350	338	695.5	180	139.5	139.5	14	406	121	42	110	12	4.5	95	185	0.55	286 A
200 M	394	332	737.5	200	159	133.5	18	457	133	42	110	12	4.5	95	230	0.7	324 A
200 L	394	370	775.5	200	159	152.5	18	457	133	42	110	12	4.5	95	250	0.9	326 A
225 M	444	380	797	225	178	155.5	18	507	149	48	110	12	4.5	95	300	1.5	365 A
225 L	444	425	842	225	178	178	18	507	149	48	110	12	4.5	95	330	1.7	366 A
250 S	494	382	879.5	250	203	155.5	22	568	168	55	110	15	5	95	430	2.5	404 A
250 M	494	420	917.5	250	203	174.5	22	568	168	55	110	15	5	95	460	2.7	405 A
280 S	554	445	983.5	280	228.5	184	22	637	190	60	140	15	5	120	590	3.7	444 A
280 M	554	496	1034.5	280	228.5	209.5	22	637	190	60	140	15	5	120	650	4.3	445 A
315 S	620	483	1113.5	315	254	203	27	715	216	70	140	18	6	120	870	7.8	504 A
315 M	620	537	1164.5	315	254	228.5	27	715	216	70	140	18	6	120	980	8.8	505 A

図 3.1 SD 形電動機外形寸法図 (標準形)
Outline dimensions of SD motors (Standard type)

表 3.1 SD 形直流電動機の定格とわく番 (防滴保護形)
Output and frame no. of SD motors (Drip-proof type)

標準回転速度 rpm	標準基底速度								
	3,500	2,500	1,750	1,150	850	650	500	400	300
標準出力 kW	弱め界磁による標準最高回転速度およびわく番の適用								
0.37	.....	.....	.....	.....	3,000 112 L	2,600 112 L	2,000 132 M	1,600 132 M	.....
0.55	.....	.....	.....	3,200 112 L	3,000 112 L	2,600 132 M	2,000 132 M	1,600 132 L	.....
0.75	.....	.....	3,500 112 L	3,200 112 L	2,800 112 L	2,600 132 M	2,000 132 L	1,600 160 L	.....
1.1	4,000 112 L	4,000 112 L	3,500 112 L	3,000 132 M	2,800 132 M	2,600 132 L	2,000 160 M	1,600 160 L	.....
1.5	4,000 112 L	4,000 112 L	3,300 112 L	3,000 132 M	2,600 132 L	2,600 160 M	2,000 160 L	1,600 180 L	1,200 180 L
2.2	4,000 132 M	3,700 112 L	3,300 132 M	2,800 132 L	2,600 160 M	2,600 160 L	2,000 180 L	1,600 180 L	1,200 200 L
3.7	3,700 132 M	3,700 132 M	3,000 132 L	2,800 160 L	2,600 180 M	2,400 180 L	2,000 200 M	1,600 225 M	1,200 225 L
5.5	3,500 132 L	3,500 132 L	3,000 160 M	2,800 180 M	2,600 180 L	2,400 200 L	2,000 225 M	1,600 225 L	1,200 250 M
7.5	3,500 160 M	3,500 160 M	3,000 160 L	2,800 180 L	2,500 200 M	2,200 225 M	2,000 225 L	1,600 250 M	1,200 280 S
11	3,500 160 L	3,300 160 L	3,000 180 L	2,600 200 L	2,500 225 M	2,200 225 L	2,000 250 M	1,600 280 M	1,200 280 M
15	3,500 180 M	3,300 180 L	3,000 200 M	2,600 225 M	2,400 225 L	2,200 250 M	1,800 280 S	1,600 280 M	1,200 315 M
18.5	.....	3,100 180 L	3,000 200 L	2,600 225 L	2,400 250 S	2,000 280 S	1,800 280 M	1,600 315 S	.....
22	.....	3,100 200 M	3,000 200 L	2,600 225 L	2,400 250 M	2,000 280 M	1,800 280 M	1,600 315 M	.....
30	.....	3,100 200 L	2,700 225 L	2,400 250 M	2,200 280 S	2,000 315 S	1,800 315 M	.....	.....
37	.....	.....	2,700 225 L	2,400 280 S	2,200 280 M	1,800 315 M	.....	.....	.....
45	.....	.....	2,400 250 S	2,200 280 M	2,000 315 S	.....	.....	.....	.....
55	.....	.....	2,400 250 M	2,200 280 M	2,000 315 S	.....	.....	.....	.....
75	.....	.....	2,200 280 M	2,000 315 S	.....	.....	.....	.....	.....
90	.....	.....	2,000 280 M	2,000 315 M	.....	.....	.....	.....	.....
100	.....	.....	2,000 315 S	.....	.....	.....	.....	.....	.....

注) 電圧制御で、基底速度以下の運転があるときは適用をかえる場合がある。

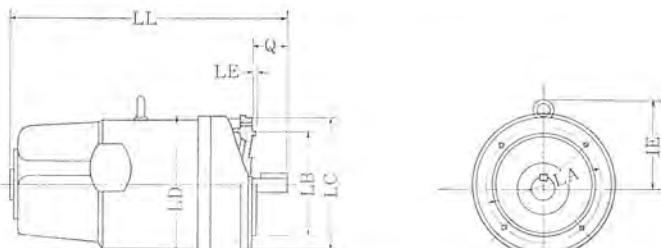


図 3.2 SD フランジ形電動機外形寸法図
Outline dimensions of SD motors (Flange type).

わく番号	外形寸法 mm										概略重量 kg	概略GD ² (kg · m ²)	
	本体					キーミズ							
	LA	LB	LC	LD	LE	LL	LZ	Q	IE	幅	深さ	長さ	
112 L	165	130	200	223	3.5	413.5	11.5	50	157	7	4	40	50 0.06
132 M	215	180	250	263	4	489.5	14	60	172	7	4	48	75 0.07
132 L	215	180	250	263	4	514.5	14	60	172	7	4	48	85 0.09
160 M	265	230	300	316	4	526.5	14	80	198	10	4.5	67	120 0.16
160 L	265	230	300	316	4	630.5	14	80	198	10	4.5	67	135 0.23
180 M	300	250	350	354	5	657.5	18	110	226	12	4.5	95	180 0.43
180 L	300	250	350	354	5	695.5	18	110	226	12	4.5	95	200 0.55
200 M	350	300	400	399	5	737.5	18	110	257	12	4.5	95	240 0.7
200 L	350	300	400	399	5	775.5	18	110	257	12	4.5	95	270 0.9
225 M	400	350	450	449	5	797	18	110	282	12	4.5	95	330 1.5
225 L	400	350	450	449	5	842	18	110	282	12	4.5	95	370 1.7
250 S	400	350	450	500	5	879.5	18	110	318	15	5	95	450 2.5
250 M	400	350	450	500	5	917.5	18	110	318	15	5	95	500 2.7

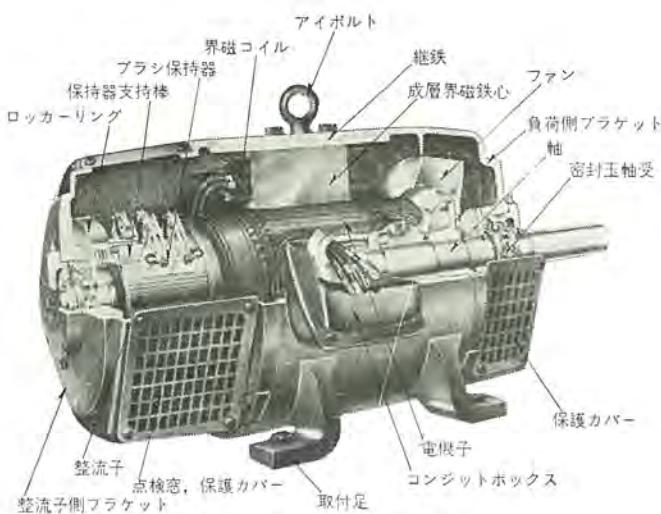


図 3.3 構造説明
Construction of SD motor.

を図3.3に示す。

4. 電源設備比較

直流機の有するすぐれた特性を十分發揮させるために、電圧制御を行なう場合に、従来よりこの電源としては回転機形のM-Gセットを使用したワードレオナード方式が採用されていた。しかし、水銀整流器を使用した静止レオナードが出現し、また最近になって半導体が著しく進歩するのにともない、サイリスタを使用した静止レオナードが注目されてきた。日進月歩で半導体が進歩しているので、将来は後者が著しく改善され需要も多くなると推定されるが、一応現状においてのワードレオナードと静止レオナードの比較をしてみると表4.1のとおりで、長所・欠点が半々となり、いずれの方式を採用するかは、用途によって検討しなければならない。

5. むすび

以上、工作機用直流電動機について簡単に説明したが、これ以前

表 4.1 電源比較表
Comparison of difference of power source.

項目	ワードレオナード	静止レオナード
価格	大容量、正逆転および制動ありでは有利	小容量、一方回転、制動なしで有利
応答速度	おそい	速い
正逆転、回生制動	容易	高価複雑となりやすい
制御回路	比較的簡単	やや複雑
保守	回転部、整流子等の保守点検を要す	可動部がないため簡単
過負荷耐量	強い	弱い
耐サージ	強い	弱い
騒音	大きい	やや小さい
基礎工事	中・小容量では簡単	不要
電源電圧変動の影響	小さい	受けやすい
電源周波数の影響	受けやすい	小さい
悪ふん聞気	弱い	強い
効率	高い	きわめて高い
制御性	良い	きわめて良い
最適例	ブレーナ、ブローチ盤	シーリング盤

の段階として直流電動機の出力の決定の問題がある。従来より特殊なものを除き、出力は工作機メーカーのほうで決定する傾向が大きかったが、直流機には整流と言う困難なものがあるので、出力決定の根拠、すなわちその出力を定めた機械仕様についてはかならず連絡いただき、万一の事故をも未然に防止すべく十分な事前打合せが必要であると考える。

参考文献

- (1) 小山、林ほか：三菱電機技報 40, 1,223 (昭41)
- (2) 高月、生原ほか：三菱電機技報 38, 836 (昭37)
- (3) 小山、電気計算 8月号, 1,337 (昭38)
- (4) 生原ほか：三菱電機技報 36, 334 (昭35)

電動油ポンプ

三富 孝*

Motor Driven Oil Pumps

Nagoya Works Tsutomu MITOMI

Recently machine tools have made remarkable progress in their quality and number put in use. In line with the trend, motor driven pumps to feed oil for cutting and grinding have been improved a great deal about their performance with an increase in the type and manufactured quantity. Nevertheless, no standard has yet been established so far with the electrically driven oil pumps in this country. Their named capacities, testing methods and assembling procedures are left to the choice of individual manufacturers without any interchangeability among them. To obviate the inconvenience it is reported that the J. I. E. E. is attempting to standardize the motor driven oil pumps by forming special committee.

1. まえがき

機械工作における金属切削において、液体の切削油および研削油が重要視されていることは言うをままたない。すなわち切削油・研削油のおもな機能は、

- (1) 切粉と刃物の間の溶着を少なくし、摩擦や摩耗を減じ構成刃先を小にする。
- (2) 刃物や加工物を冷却し、冷却中に生じた熱を切削領域から外部へ伝導する。
- (3) 切粉を切削域から洗い流す。
- (4) 切削面が腐食するのを防ぐ。

などがあげられる。この切削油を能率よく循環させるためには、一般に電動油ポンプが使用されているが、工作機械の高速化および切削工具の進歩発展とともに、上記機能を満足させるための電動油ポンプもますます高性能なものを要求されるようになってきている。

一方国内においては現在までのところ電動油ポンプの規格はなく、したがって各メーカーで製作されている電動油ポンプの名称・称呼・容量・試験方法・取付寸法などは各社各様であり、各メーカー間での互換性がなく、使用者側からみて不便な点多かったが、最近標準化の気運が高まり、現在電気学会工作機用電気品専門委員会において電動油ポンプの規格化を検討している。

本文では工作機用として最も多く使用されている電動油ポンプの概要について述べる。

2. 形式と種類

2.1 形式

電動油ポンプの構成は、三相誘導電動機と遠心うず巻きポンプをコンパクトに組み合わせ、電動機の駆動によりポンプ作用を行なわせるもので、形式はNP形およびNQ形を標準としている。

(1) NP形は床置形で図2.1にその外観を示す。電動機と自吸ポンプを内蔵した任意の床上に設置して使用する形式のもので、シール機構はメカニカルシールを採用しているため、故障の心配がなく、したがって保守の手間がかかるない。工作機用としては旋盤・フライス盤・ボール盤・ホブ盤などに適している。

(2) NQ形は浸油形で図2.2にその外観を示す。電動機とポンプ部分はそれぞれ分離された構造となっており、ポンプ部分は直接油



図 2.1 NP形電動油ポンプ
Type NP motor driven oil pump.



図 2.2 NQ形電動油ポンプ
Type NQ motor driven oil pump.

表 2.1 電動油ポンプ仕様一覧表
Specifications of motor driven oil pumps.

名 称	形 式	電 圧	周 波 数	総 揚 程	流 量	使 用 モ ー ト ル	
		V	c/s	m	l/min	構 造	容 量
床	NP-50	200 200	50 60	1.5 1.5	13 17	全閉形	三相 50 W 2 P
	NP-75	200 200	50 60	2 2	15 21	全閉形	三相 75 W 2 P
置	NP-150	200 200	50 60	2 2	37 43	全閉形	三相 150 W 2 P
	NP-250	200 200	50 60	3 3	73 105	外扇形	三相 250 W 2 P
形	NP-400	200 200	50 60	4 4	110 150	外扇形	三相 400 W 2 P
	NQ-50	200 200	50 60	1.5 1.5	17 20	全閉形	三相 50 W 2 P
浸	NQ-75	200 200	50 60	2 2	18 25	全閉形	三相 75 W 2 P
	NQ-150	200 200	50 60	2 2	45 53	全閉形	三相 150 W 2 P
油	NQ-250	200 200	50 60	3 3	86 125	外扇形	三相 250 W 2 P
	NQ-400	200 200	50 60	4 4	124 170	外扇形	三相 400 W 2 P
特	NQ-750	200 200	50 60	3 3	135 注1 205	全閉形	三相 750 W 2 P
	NQ-1500	200 200	50 60	8 12	200 注1 240	外扇形	三相 1.5 kW 2 P

使用液は粘度 40 cst 160 R 秒とする。

(注1の使用液は水とする。)

そう中に浸漬されているので吸込管が不要であり、またポンプ部のシール機構がないので保守・取扱いが簡単である。ただ、油を上に取り付けた際、毛細管現象により軸を伝わって上昇して電動機内部へ浸入する研削油を、下部軸受の下側に耐油性合成ゴムのフリンジャーを取付けて油切りをするように考慮している。工作機用としては研削油中に研磨粉や、切削粉が浸入してメカニカルシールを摩耗させやすい機械、たとえば研削盤・ホーニング盤などの用途に最適である。

2.2 種類

種類は表2.1に示すようにNP・NQ形それぞれ5機種を標準化しており、大きさは形名で称呼するようにし、形名のつぎの数値が使用電動機の定格出力を表示している。

なお特殊品としてNQ-750、NQ-1500形も生産している。

3. 性能

図3.1、3.2はNP形・NQ形電動油ポンプの粘度40cst(160R秒)における揚程-流量特性を示したものである。

油ポンプの流量特性は使用油の種類(粘度)により変化し、また同

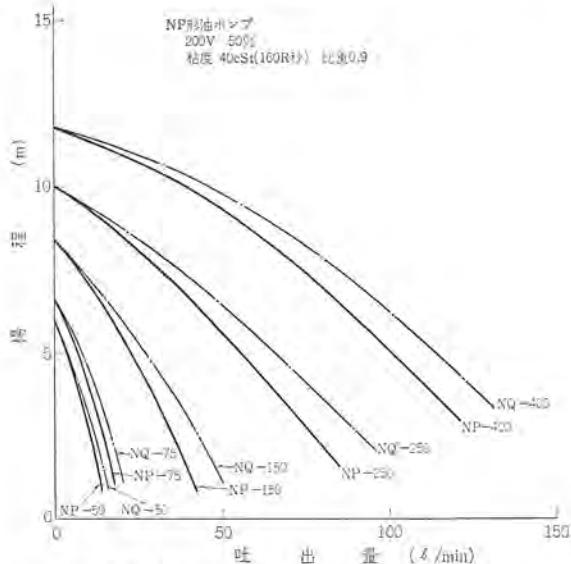


図3.1 揚程-流量特性 (200V, 50c/s)
Head-quantity of flow characteristic curves.

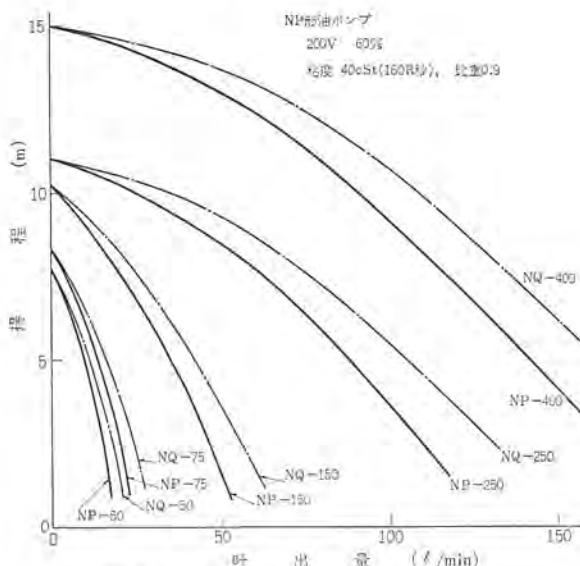


図3.2 揚程-流量特性 (200V, 60c/s)
Head-quantity of flow characteristic curves.

種の油でも油の温度により異なるので、ポンプ選定の際とくに注意する必要がある。

4. 特長

(1) 完全な保護方式

油滴や水滴のかかる場所や、ほこりにまみれやすい所に設置されやすいため、全閉形または全閉外扇形とし電動機内部を完全に保護している。

(2) 小形軽量で優美な外観

小形軽量でスマートなデザインのためあらゆる機械に調和する。

(3) すぐれたポンプ性能

形状を小形化したにもかかわらず、すぐれたポンプ性能を有している。

(4) 静かな運転

工作機械などの一部品として使用するため、振動があつては工作精度に悪影響を与える心配があるためポンプと電動機は一体に組み立てられ、回転子は十分なバランスがとつてあるので、きわめて静かな運転である。

(5) 寿命が長い

すぐれたコイルの絶縁、耐摩耗性の羽根、高性能なメカニカルシールなどのほか、十分吟味された材料および部品を選択使用しているので長年の使用に耐える。

(6) 据付、取扱いが簡単

据付は2本のボルトで油タンクの上または取付台などに簡単に設置できる。また油量の調節は遠心ポンプを使用しているので、吐出管側に取付けられるコックなどで容易にできるから、取扱いはきわめて簡単である。

(7) 便利な端子箱

端子箱は上下左右に向きが変えられ、配線に便利で接続しやすい端子箱としている。

(8) 回転方向は透明商標ぶたにより容易に確認できる。

5. 取扱上の注意

(1) 据付け

NP形は吸込損失を少なくするため、なるべく油面に近い位置に据付けることが効率よくポンプを使用するコツである。

NQ形はポンプ部分が必ず油面より下になるように据付けなければならない。

(2) 配管

ポンプ性能は配管による損失揚程が予想以上に大きいものであるから、なるべく曲りを少なくし、全配管長さも極力短くするように考慮する必要がある。とくにNQ形の吸込管は空気漏れがあるとポンプ特性が低下するため、継手部分は塗料などを塗布してねじ込むと有効である。

(3) 呼び油

NP形は据付後第1回めの運転にだけ呼び油が必要である。呼び油は必ず吐出側から十分注入するようにする。2回めからの運転は自吸作用ができるから呼び油の必要はない。なおNQ形はまったく呼び油の心配がない。

(4) 回転方向

回転は一方向のため名板内に明示した方向へ回転させるよう配線しなければならない。標準回転方向は上部から見て反時計式である。

(4) 油そう

油そうにもどった冷却油は、切削粉や異物が無数にはいっているから十分に切削粉を除いて油ポンプに吸わせることが必要である。一般に油そうを数個に区切ったオーバーフロー装置式のものが多く使用されている。

(5) 工作機の最近の傾向として潤滑油はクーラント化してきているが、潤滑油（乳化油が多量）にかかる場合には、CP処理絶縁および特殊なメカニカルシールを使用する必要がある。

6. 電動油圧ポンプ

工作機械の油圧送りなどに油圧ポンプが多数使用されているが、当社では電動機と油圧ポンプを一体構造にした電動油圧ポンプを生産している。ポンプと一体構造となっているためにきわめてコンパクトであり取扱いも便利である。仕様の一例を表6.1に外形寸法の一例を図6.1に示す。

表 6.1 電動油圧ポンプ仕様の一例
Example of motor driven oil pumps.

形 式	電 壓 V	周波数 c/s	吐出圧 kg/cm ²	流 量 l/min	使 用 モ ー ト ル	
					構 造	容 量
NG-200	200 200	50 60	3 3	3.5 4.2	全閉外扇形	三相 200 W, 4 P
NG-400	200 200	50 60	5 5	14 17	全閉外扇形	三相 400 W, 4 P
NG-750	200 200	50 60	15 15	12 16	全閉外扇形	三相 750 W, 4 P

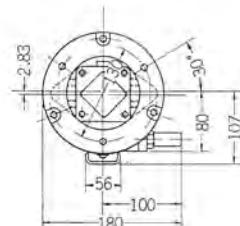
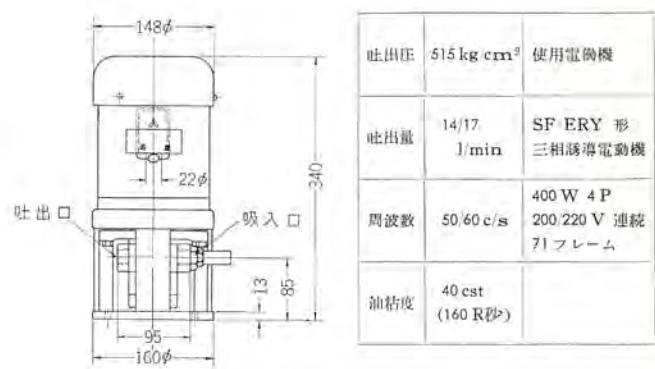


図 6.1 電動油圧ポンプ外形寸法の一例

Example of outline dimensions of motor driven hydraulic pump.

7. む す び

以上当社で製作している電動油ポンプの概要について述べたが、これにより少しでも油ポンプを理解され、利用の一助とあれば幸である。われわれもさらに小形・高性能化についての研究を進め需要家各位のご期待にそいたいと念願している。

工作機用電磁クラッチ・ブレーキ

村田 俊哉*・車戸 秀男*・西野 広*・浅野 哲正

Magnetic Clutches and Brakes for Machine Tools

Himeji Works Toshiya MURATA・Hideo KURUMADO・Hiroshi NISHINO・Tetsumasa ASANO

With the trend of turning machines into automatic operation various types of electromagnetic clutches have come into use as one of control elements. There are a good many kinds of them, and when they are made the best use of according to their individual features, their functions are fully displayed.

This article makes description with the magnetic clutch brakes for machine tools as the central topic, giving explanation on the types, features, characteristics and application. Particularly, as for the characteristics, points to be noted in the selection or application are elucidated technically with concrete examples so that the information quoted will be of service to those who use them.

1. まえがき

わが国での電磁クラッチは工作機用への採用から始まったと考えてさしつかえない。

昭和30年ごろまで日本に輸入されていたオーストリアの HEID, VULCAN のものが基本になり、まず現在でもかなり使用されている湿式多板電磁クラッチ JKA が開発された。以来、工作機械をはじめ一般産業機械の発達とともに、電磁クラッチ ブレーキも急速に伸展した。

その後、性能の向上、コンパクト化などの要求が強くなり、その目的を達成するために開発されたのが HK 形湿式多板電磁クラッチである。

一般に工作機械に使用される電磁クラッチ・ブレーキは、ギヤボックス内で使用されるケースが多いため、湿式多板電磁クラッチの使用される割合が高いが、一方、クラッチの高速応答・高精度化が要求されており、したがって空転トルクのより少ないもの、より応答性のよいものということから近年乾式クラッチ・ブレーキを採用する傾向も増加してきている。

VK 形・EBA 形は、当社の代表的な乾式单板電磁クラッチ・ブレーキである。

一方工作機械も一般はん用機から次第に複雑化した専用機へと変化してゆき、それにつれて、質の異なったクラッチも要求されるようになってきた。パウダクラッチ・ブレーキは、その持っているすぐれた性能から、トランスマシンのオートチャック装置、バイト送りの自動化などのトルクリミッタクラッチとして応用されるようになってきている。また、このクラッチはサイクルが1秒以下の超高ひん度の断続運転にも耐えうるので、今後の新しい分野への利用も期待されている。

2. 種類と特長

ここで述べようとする電磁クラッチ・ブレーキは、操作方式が電磁力によるものである。他の操作方式としては機械式・油圧式・空圧式などがあげられる。

機械式は、安価なはん用旋盤に用いられており、主として作業者がハンドレバーで操作する手動式クラッチである。

空圧式は、プレスなどの特殊な機械に用いられている。

油圧式は、油圧操作で制御をおこなうことができるが、他の目的

のために油圧源を持っているばかりのみ使用されている。クラッチ・ブレーキの操作のためのみに油圧源を持つことは非常に不経済であり、そのばあいには電磁式のほうが有利である。

電磁クラッチ・ブレーキは、操作が簡単であり、応答性の点、スペース的なまとまりの良さ、複雑化する制御系の駆動要素としてもっとも便利なクラッチである。

現在電磁クラッチ・ブレーキは、かなりの種類があり、また、それぞれの特長をもっているので、その目的に応じて使いわけがなされている。

2.1 電磁クラッチ・ブレーキの種類

一般に工作機械に使用されている電磁クラッチ・ブレーキを機械的に分類すると、表2.1のように分けられる。併記している形名は現在工作機械に使用されている当社の主力機種である。

空げき式については、パウダ式のほかに、うず電流式・ヒステリシス式があるが、いずれも工作機械用として使用されることが少なく、とくにヒステリシスクラッチにいたっては、わが国で製作しているメーカーもほとんどみあたらない。

ここでマイクロクラッチ・ブレーキと称しているものは、その公称トルクが1kg・m以下のものである。現在では1kg・cmから500kg・程度のものまで広範囲に製作している。

表 2.1 電磁クラッチ・ブレーキの分類
Classification of magnetic clutch and brake.



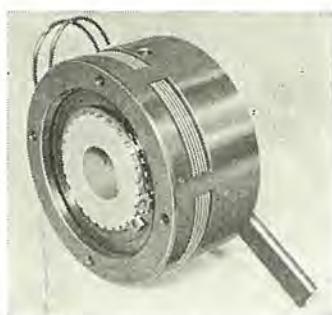


図 2.1 HK 形 湿式多板電磁クラッチの外観
Exterior view of type HK (wet multiple disc) magnetic clutch.

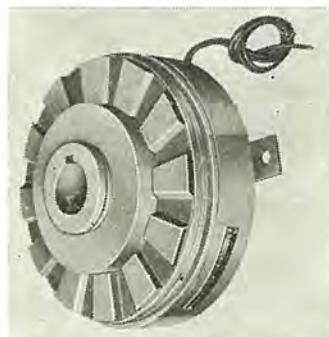


図 2.2 VK 形 乾式单板電磁クラッチの外観
Exterior view of type VK (dry single disc) magnetic clutch.

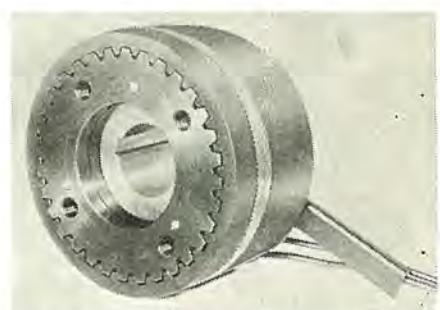


図 2.3 YK 形 齒形クラッチの外観
Exterior view of type YK (tooth) magnetic clutch.

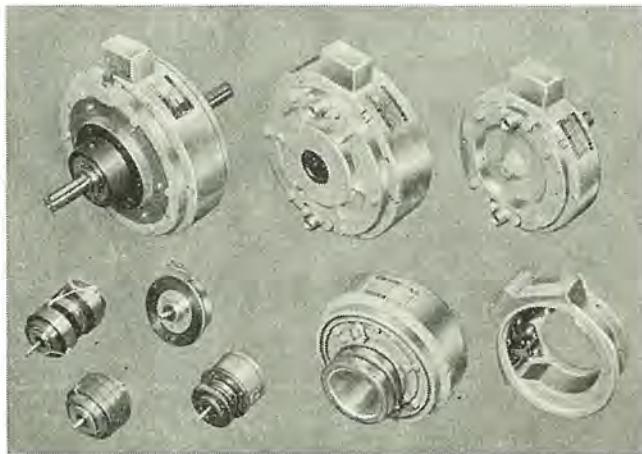


図 2.4 各種 パウダクラッチ・ブレーキの外観
Exterior view of magnetic powder clutches and brakes.

2.2 各種クラッチ・ブレーキの特長

2.2.1 湿式多板クラッチ・ブレーキ

工作機械用 クラッチの主力をなしているのは、湿式多板形の HK 形電磁クラッチ および HB 形電磁ブレーキである。この形式は磁束を直接摩擦板に通す摩擦板磁化形であり、非常に構造が簡単にできる。HK 形はコイル 静止形では各社製品中もっとも軸方向寸法を短縮したものであり、コンパクトなギヤボックスに組み込むには便利な構造になっている。図 2.1 は HK 形クラッチの外観である。

2.2.2 乾式クラッチ・ブレーキ

乾式には多板式と单板式があるが、多板式はコンパクト化を要求されるところに、单板式は熱容量の大きいことを要求されるところに使用される。とくに单板式では摩擦面の摩耗分を修正し、常に一定のギヤップを保たせるためのオートギヤップ装置を内蔵しているのが特長である。図 2.2 は VK 形クラッチの外観である。

2.2.3 かみ合いクラッチ

かみ合いクラッチは駆動側と被動側との間に面に刻まれた小さな歯のかみ合いによりトルクを伝達させるもので、同一トルクを伝達させるにはもっとも小形になる。また運転中のわずかのすべりが問題になるばかりに使用される。図 2.3 は YK 形かみ合いクラッチの外観をしめす。

2.2.4 パウダクラッチ・ブレーキ

パウダクラッチは、トルクが電流で自由に制御でき、また連続スリップ使用も可能であるため、工作機械ではとくにトルクリミッタ用クラッチや高ひん度脱着用クラッチとして使用されることが多い。図 2.4 は

各種 パウダクラッチ・ブレーキの外観をしめしている。

3. 特 性

電磁クラッチを選定するとき、とくに注意して検討する必要のあるトルク特性・動作時間および許容連結エネルギーについて説明する。

3.1 摩擦板電磁クラッチ

(1) トルク特性

摩擦板電磁クラッチのトルク特性は静摩擦トルクと動摩擦トルクとに分けて考える必要がある。前者はクラッチが完全に連結された状態で、スリップすることなく伝達できる最大トルクであり、クラッチを選定するときは、予想される負荷の最大トルクよりもクラッチの静摩擦トルクが十分大きい必要がある。

後者はクラッチがスリップしながら負荷を加速するときのトルクであり、この動摩擦トルクは負荷の起動トルクよりも大きい必要がある。

動摩擦トルクは図 3.1 にしめすようにスリップ回転数によって変化する。湿式と乾式のばいとでは多少その傾向が異なる。これは摩擦機構が異なるためであり、湿式は摩擦特性が潤滑油の境界潤滑状態によってきまり、乾式は摩擦材料固有の特性によってきまる。したがって起動時間や起動特性を検討するときは、回転数による影響を十分考慮する必要がある。

(2) 動作特性

起動時間を速くしたいとき、高ひん度のくりかえし動作が必要なとき、定位置停止がしたいときなど、クラッチ・ブレーキの連結または制御時の動作時間を検討する必要がある。

図 3.2 は湿式多板電磁クラッチの連結時の動作をしめす。クラッチ

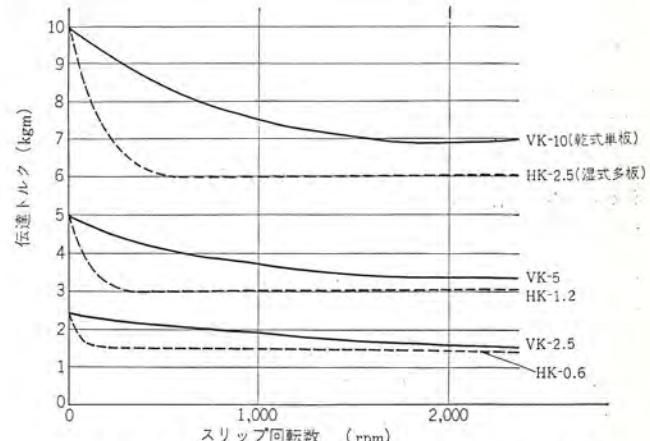


図 3.1 摩擦板 クラッチのスリップ回転数と伝達トルクの関係
Characteristics of slip speed and torque of disc magnetic clutch.

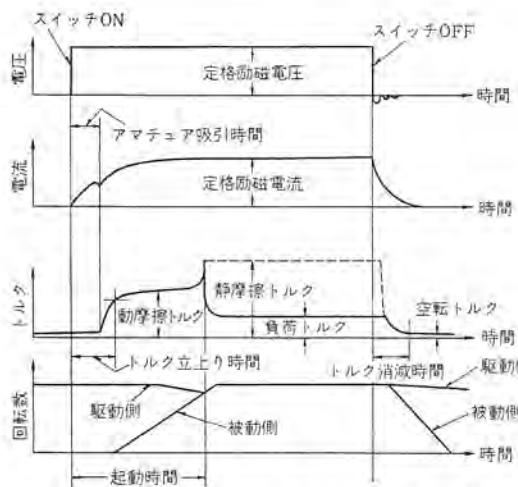


図 3.2 濡式多板電磁クラッチ動作特性
Response characteristics of (wet multiple disc) magnetic clutch.

表 3.1 HK 形電磁クラッチ性能表
List of characteristics of type HK magnetic clutch.
(電圧 DC 24 V)

形名	動摩擦トルク (kgm)	アマチュア吸引時間 (s)	トルク立ち上り時間 (s)	トルク消滅時間 (s)
HK-0.3 S	0.6	0.015	0.06	0.08
HK-0.6 S	1.2	0.015	0.09	0.09
HK-1.2 S	2.5	0.025	0.16	0.14
HK-2.5 S	5	0.035	0.23	0.20
HK-5 S	10	0.050	0.31	0.24
HK-10 S	20	0.070	0.42	0.30
HK-20 S	40	0.085	0.55	0.40
HK-40 S	80	0.11	0.70	0.90
HK-80 S	160	0.18	0.90	1.60

表 3.2 VK 形電磁クラッチ性能表
List of characteristics of type VK magnetic clutch.
(電圧 DC 24 V)

形名	静摩擦トルク (kgm)	アマチュア吸引時間 (s)	トルク立ち上り時間 (s)	トルク消滅時間 (s)	重量 (kg)
VK-1.2	1.2	0.02	0.04	0.04	2
VK-2.5	2.5	0.02	0.07	0.06	3.5
VK-5	5	0.04	0.09	0.10	7
VK-10	10	0.05	0.13	0.12	12
VK-20	20	0.06	0.18	0.13	18
VK-40	40	0.10	0.30	0.20	35

電流は励磁コイルの抵抗とインダクタンスによって定まる時定数によって指數関数的に増加する。電流がある値に達するとアマチュアが吸引され、摩擦板が押しつけられてはじめてトルクを発生する。このとき電流が一時減少するのはアマチュアが吸引され、ギャップが小さくなると磁気回路の抵抗が小さくなりインダクタンスが急増するためである。その後電流の増加にしたがってトルクも増加し、ほぼ一定のトルクで負荷を加速し、駆動側と被動側の相対回転数がだいに小さくなるにしたがって、トルクはふたたび増加し、連結完了後静摩擦トルクに達する。この特性も濡式と乾式では多少異なり、濡式は乾式にくらべて油の影響で、トルクの立ち上がりおよび消滅はやや遅くなっている。表 3.1, 3.2 はそれぞれのクラッチの動作時間の一例である。連結時間を検討するときは、負荷の慣性モーメント GD^2 [kg m²]・負荷トルク T_L [kg m]・クラッチ軸の回転数 N [rpm]・クラッチの動摩擦

表 3.3 過電圧励磁のばあいの動作時間の一例
Example of response time in overexcitation.

電圧	動作時間	アマチュア吸引時間 (s)	トルク立ち上り時間 (s)
60 %	0.13	0.46	
100 %	0.06	0.17	
150 %	0.04	0.10	
200 %	0.015	0.08	

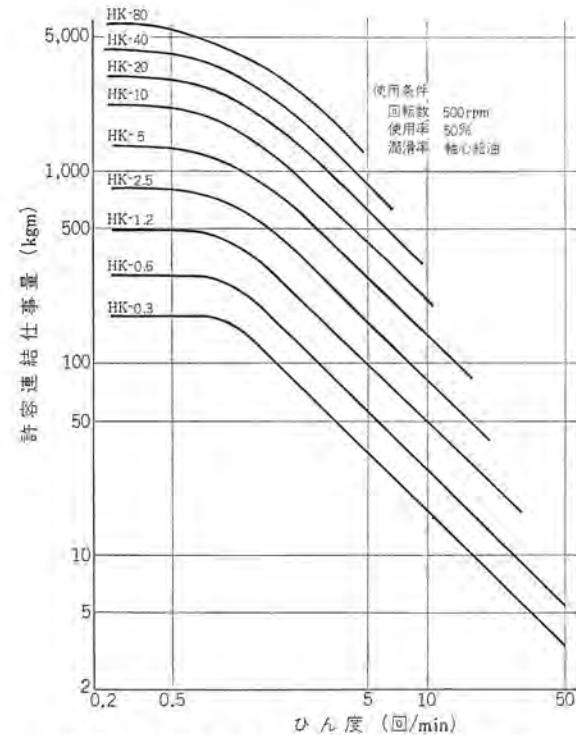


図 3.3 HK 形乾式单板クラッチ許容連結仕事量
Allowable working characteristics of type HK (wet multiple disc) magnetic clutch.

擦トルク T_c [kg m] がわかれば、連結時間 t は次の式で求められる。

$$t = \frac{GD^2}{T_c - T_L} \times \frac{N_r}{375} \quad \dots \quad (3.1)$$

しかし、負荷トルクや負荷の慣性モーメント GD^2 が小さいとき、式 (3.1) で求める値よりも、アマチュア吸引時間・トルク立ち上り時間のほうが大きい値となることに注意する必要がある。

とくに急速な連結や制動が要求されるばあいは、クラッチのコイルに直列抵抗を入れて、時定数を小さくし電流の立ち上がりを速くするか、過電圧励磁をする必要がある。

表 3.3 は過電圧励磁のばあいの動作時間の一例であるが、200% 電圧ではきわめて速くなっている。この方法は高精度を要求される定位置停止・位置ぎめなどの用途に有効である。

(3) 許容連結仕事量

クラッチで慣性を有する負荷を起動・加速するとクラッチの摩擦板はスリップし、摩擦熱を発生する。この発生熱は摩擦板をはじめとしてクラッチ各部の温度を上昇させる。この発生熱が過大なばあいは摩擦部の温度が異常に上昇し、焼けつきを起こす原因となる。したがって、クラッチの摩擦材料の許容摩擦仕事により定められた許容連結仕事量 (熱放散容量) が決められている。図 3.3, 3.4 に HK 形濡式多板電磁クラッチ・VK 形乾式单板電磁クラッチの許容連結仕事量と連結ひん度の関係を示す。

濡式クラッチでは摩擦が潤滑状態でおこなわれ、その多くが密閉し

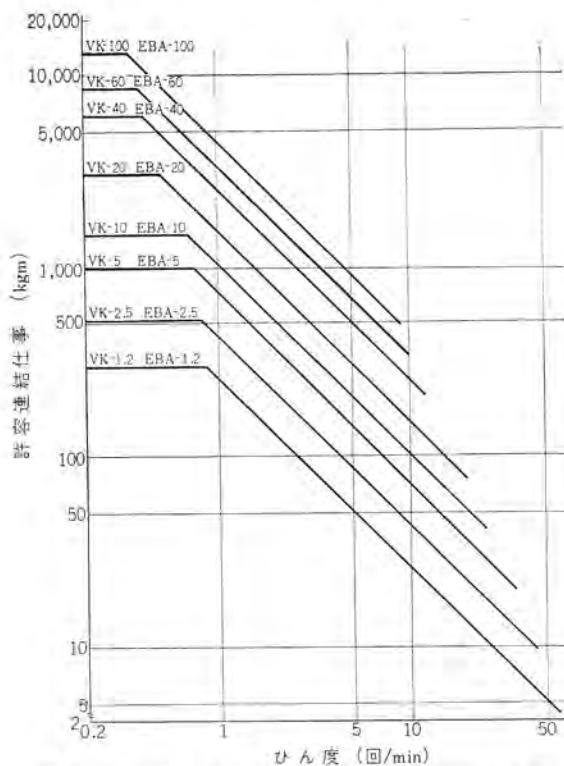


図 3.4 VK形湿式多板電磁クラッチ許容連結仕事量
Allowable working characteristics of type VK (dry single disc) magnetic clutch.

た容器内に収容されるから、熱放散は主として潤滑油を媒体としておこなわれる。したがって、給油条件・回転数によって許容連結仕事量の値が変わるので注意を要する。乾式は摩擦熱により発生した熱は大気中に放散されるので、湿式のものよりも許容量が大きいのが特長である。

この許容連結仕事量はクラッチの寿命と深い関係があり、寿命がとくに機械の性能と深いつながりがあるばあいの選定は十分に注意して検討する必要がある。

3.2 パウダクラッチ

(1) トルク特性

パウダクラッチは磁性鉄粉を動力伝達の媒体として使用しているため、そのトルク特性も摩擦板式のものと異なり、スリップ回転数に関係なく励磁電流に比例した伝達トルクが得られる。いいかえれば静摩擦トルクと動摩擦トルクの差がなく、理想的なトルク特性が得られる。また摩擦板式のばあいのようないターンスプリングは必要でなく、そのため制御できるトルク範囲は広く、しかも広範囲にわたって励磁電流に比例したトルクが得られる。

図 3.5 はパウダクラッチのトルク特性の一例である。

(2) 動作特性

図 3.6 はパウダクラッチの連結時の動作状況を示す。摩擦板式のものと異なる点は、電流の立ち上がりにおいてはアーマチュア吸引による一時的な減少がなく、指数関数的に増加し、トルクはごくわずか電流のそれに遅れて立ち上がり、駆動側と被駆動側が完全連結しなくとも、電流できる設定トルクまで上昇し、その後負荷を一定トルクで加速することである。この特性はクラッチの熱容量の大きいことと合わせて緩衝起動をするばあいにつごうがよい。

パウダクラッチも摩擦板クラッチの場合と同じく電流の立ち上がりを速くするように制御してやれば、トルクの立ち上がりも速くすることができる。

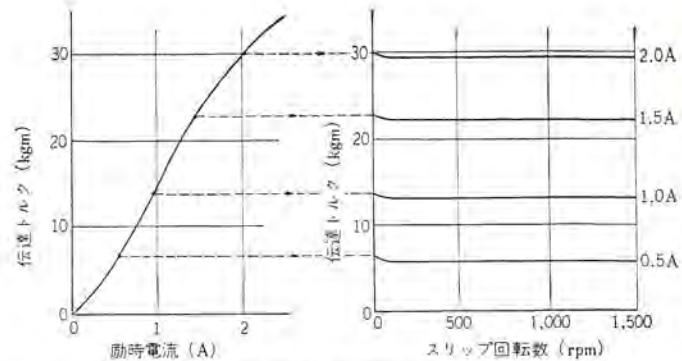


図 3.5 ZKA-20 A₁形パウダクラッチのトルク特性
Torque characteristics of type ZKA-20-A₁ magnetic powder clutch.

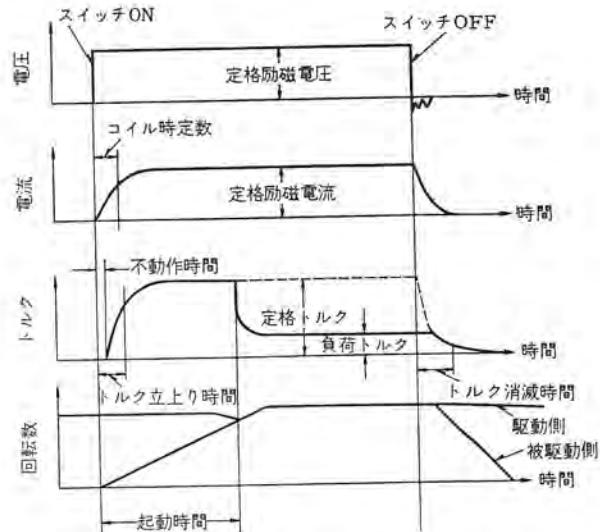


図 3.6 パウダクラッチの動作特性
Response characteristics of magnetic powder clutch.

(3) 許容連結仕事量

パウダクラッチは、摩擦板式より外径・重量ともに大きいが、そのことと合わせて、耐熱・耐摩耗性のある磁性鉄粉を使用しているため許容連結仕事量は大きい。また許容スリップ功率の範囲内で連続スリップ状態で使用することも可能である。

4. 応用例

工作機械に使用される摩擦板クラッチ・ブレーキ、パウダクラッチ・ブレーキを、機械の種類と使用目的によって分類すると表 4.1 のようになるが、プログラム制御・数値制御などの機械が普及されるにしたがい、クラッチ・ブレーキの用途もますます多様化してきている。

これらは主動力用・送り装置用・トルクリミッタ用などに分けられるが、これらの応用例を実例に基づき説明する。

4.1 主動力用

工作機械のメイン系統となる関係には、信頼性などの点から従来はせいぜい主軸の起動・停止用に使用される程度であったが、最近の自動盤あるいは数値制御機械の発達により、多段速度用としての用途が増大している。

電磁クラッチは工作機械の内、最も生産の多い旋盤に使用されることが多く、とくに高速旋盤・ならい旋盤・自動盤・ターニングなどに応用されるが、はん用旋盤はコストの点から使用されることはない。図 4.1 はならい旋盤の起動・停止用として、HK形電磁クラッチが使用された例で、同時に機械全体の潤滑あるいは送り系統の合

表 4.1 機械別使用例一覧表

List of magnetic clutch application classified according to machines.

機械名	主動力用	送り装置用
普通旋盤	起動・停止 主軸速度切換 ブレーキ	早送り、切削送り切換
自動盤 ターレット旋盤	主軸速度切換	早送り、切削送り切換 刃物台駆動
ターニング盤	起動・停止※ テーブル速度切換 保持ブレーキ	早送り、高低切削送り切換 ヘッドの送り方向選択
正面旋盤	起動・停止※	
フライス盤	主軸速度切換 ブレーキ	早送り、切削・微速送り切換 テーブル・サドル・ニーなどの送り方向選択 手動・自動送り切換
各種ボール盤	主軸速度切換	早送り・切削送り切換
中ぐり盤	主軸速度切換 ブレーキ	早送り、切削・微速送り切換 テーブル・コラム・クロスレール・サドル・ヘッドなどの送り方向選択 レールクランプ用ブレーキ
ブレーキナ ブロノミラー	テーブル往復駆動 安全ブレーキ	早送り、切削送り切換 送り速度切換 ヘッドなどの送り方向選択
研削盤	ブレーキ	と石台の早送り、切削送り切換ならびに手動自動切換
専用機 トランスマシン	起動・停止	早送り、切削送り切換 定位置停止 トルクリミッタ※
機械 機械	ホブ起動	早送り、切削送り切換 コラム・サドルなどの送り方向選択
ホーニング盤		送り速度切換 と石の拡張装置※

注) ※印にはパウダークラッチブレーキが使用される。

理化が計られている。

従来はブレーキ付モータあるいは足踏式ブレーキの使用が圧倒的であったが、起動ひん度・発熱・起動スイッチの耐久性などの点から電磁クラッチの有用性が認められつつある。

なお、ターニング・正面旋盤などでは、機械の高速化につれて機械自体の回転部 GD^2 が大きくなるので、熱容量の大きいパウダクラッチが使用されることもあり、図 4.2 にこの例を示す。クラッチとしては ZKA 形を使用し停止用としてもパウダブレーキを用いている。

加工能率の向上を計るために、ターレット旋盤・自動盤などの需要が伸びているが、これらの主軸速度切換用として電磁クラッチの果たす役割は大きい。

一般に主軸の変速に電磁クラッチを使用する方法として

- (1) 電磁クラッチと手動操作の組合せ
- (2) 電磁クラッチと極数変換モータの組合せ
- (3) 電磁クラッチ・極数変換モータと手動操作の組合せ
- (4) 電磁クラッチと DC モータの組合せ
- (5) 電磁クラッチと無段変速機の組合せ
- (6) 変速はすべて電磁クラッチで行なう方法

などが考えられる。

(1), (3), (5)は半自動、あるいは起動をかねるような中・小形のはん用機に用いられ、(2)は機械全体の小形・安価をねらって用いられるが、プログラム制御・プリセレクトなどが可能な点で前者よりすぐれている。(4), (6)は自動機・専用機でよく用いられるが、とくに(4)は数値制御機械で、(6)は大形機械で使用されている。

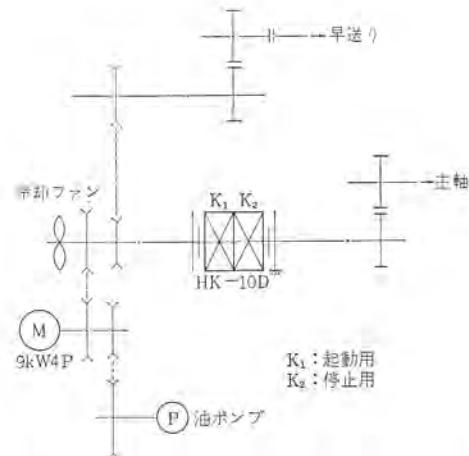


図 4.1 ならい旋盤での起動・停止機構例
Mechanism for start and stop in copying lathe.

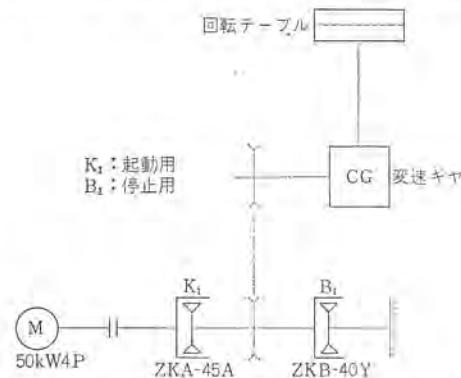


図 4.2 パウダクラッチによるターニングの起動・停止機構
Mechanism for start and stop by magnetic powder clutch in turning lathe.

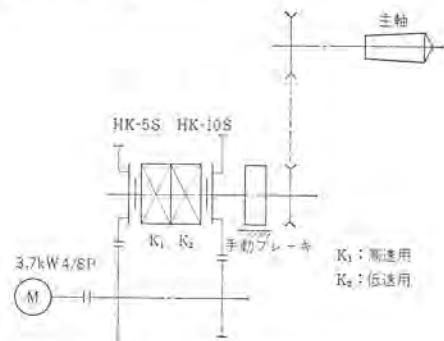


図 4.3 ターレット旋盤での4段速度切換機構
Four speed change mechanism in turret lathe.

図 4.3 は4段速度切換用として使用されたもので、(2)の方法を採用し、主軸台への温度の影響をなくするために専用のクラッチボックスを設計し、ベット内に納めている。

このようなクラッチ選定は、トルクの点から高速側に低容量のクラッチが使用されることが多いが、この連結仕事量は一般には大きくなるが、かりにこれが同一でも高速時には図 4.4 のように瞬時的に摩擦面の温度が相当高くなるので十分な検討が必要である。

ならいあるいは数値制御の旋盤・中ぐり盤・フライス盤などの開発とともに、主軸の変速用として多数の電磁クラッチを組み込まれる例が増加している。図 4.5 は9段速度切換用として6個の電磁クラッチを使用したもので、すべて軸心給油とし、かつマグネチックフィルタを使用して常に清浄な潤滑油を供給するようにし、信頼性の高い設計としている。

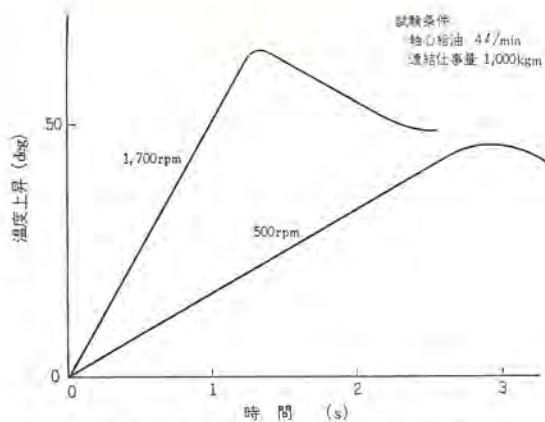


図 4.4 回転数と摩擦面温度
Characteristics of slip speed and temperature of friction face.

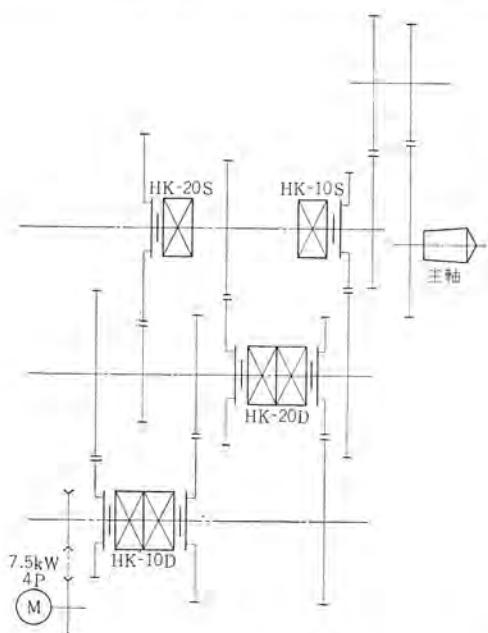


図 4.5 自動旋盤での 9 段速度切換機構
Nine speed change mechanism in automatic lathe.

機械のアイドルタイムをなくすため、主軸は急停止させることが多いが、この目的での電磁ブレーキの採用も増加しつつある。とくにモートルの標準化、クッションブレーキなどの点で、旋盤・フライス盤などにHB形・EBA形電磁ブレーキが多く使用されている。

4.2 送り装置用

駆動系統の簡略化、モートルとの組合せによる合理的設計・定位置停止などの要求から送り装置用としては、電磁クラッチ・ブレーキが主動力用以上に多く使用される。

図 4.6, 4.7 はフライス盤・ブレーナ・専用機ユニットなど各種送り用に使用されている基本的な例であるが、とくに図 4.6 は早送りと切削送りの切換え、あるいは DC モートルを使用した広い範囲の送り速度切換え用として、また図 4.7 は早送りと普通送りの切換え用に用いられる。さらに図 4.6 では手動送り用として歯形電磁クラッチが使用されたもので、大形機械ではこのような例が多い。

送り装置用として電磁クラッチを使用するときは、

(1) 図 4.6 の機構では高速側クラッチで運転するとき、低速側クラッチの相対回転数が高くなりやすいこと。

(2) 機械側たとえばスピンドルヘッドなどの空転トルクによるつれ回り、あるいは残留トルクによるオーバーランを検討し、要求によって

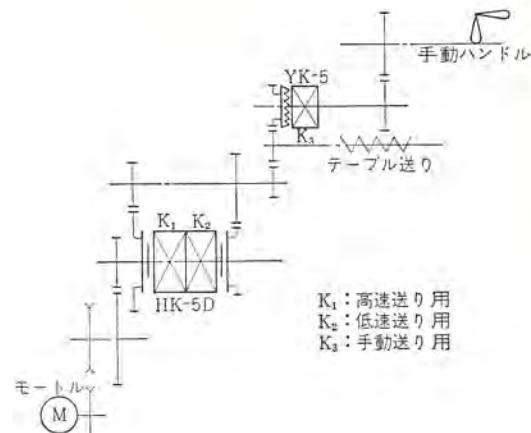


図 4.6 送り切換機構例 (1)
Feed speed change mechanism (1).

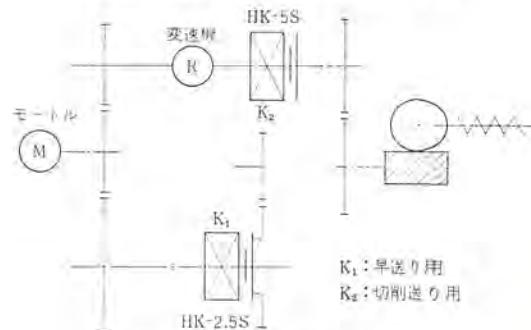


図 4.7 送り切換機構例 (2)
Feed speed change mechanism (2).

はブレーキを設ける。

(3) 図 4.7 の機構では低速側クラッチでの所要摩擦トルクについて十分チェックすること。たとえばテーブル送りなどでクラッチ投入瞬時の反応トルクが相当大きいときがある。

(4) ミーリング加工あるいは DC モートルで起動するときは、クラッチにかかるピーコトルクを考慮すること。

(5) 連結仕事量は一般に少ないので、潤滑油量が過度にならないようにすること。

などに注意する必要がある。

大形フライス盤において、電磁クラッチ使用による自動運転の例を図 4.8 に示す。このような例は中ぐり盤・フェーシング・ホブ盤などでもよくみられるが、早送り・切削送り・微速送り・停止ブレーキなどと送り用モートルでユニットとし、三次元の送りを個々に行なうことも多い。

定位停止用として高低速二つのクラッチとブレーキを用いた例を図 4.9 に、またその制御回路を図 4.10 に示す。このように定位停止が必要なときにはつぎのこととに注意する。

(1) 停止位置直前で $K_1 \rightarrow K_2$ に切換え、目的の位置で $K_2 \rightarrow B_1$ とし停止精度を確保する。

(2) さらに精度の向上を計るために、シリーズ抵抗を入れるとか過電圧励磁を加える。また乾式の EBA 形電磁ブレーキが使用されることもある。

(3) K_1, K_2 間では $1/10$ 程度の減速としているが、ギヤトレーンをくふうし(図 4.9 参照)起こりがちな相対回転数の増大を防止する。

(4) ギヤなどにパックラッシュを考慮し、許せる範囲でブレーキは高回転軸に設ける。

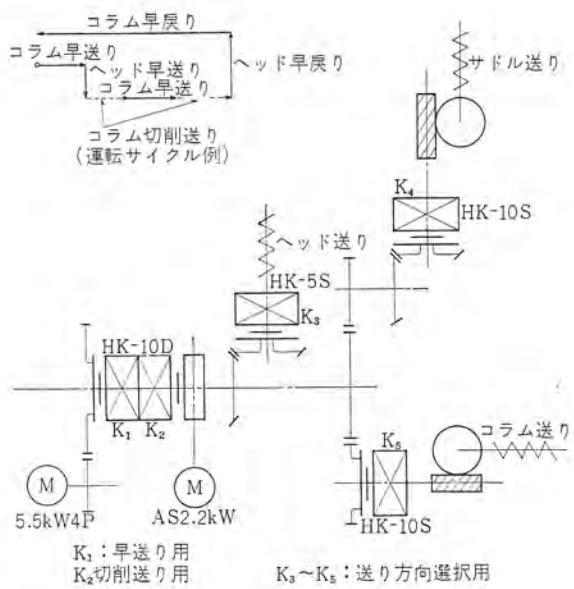


図 4.8 大形 フライス盤での送り切換機構例
Feed speed change mechanism in large milling machine.

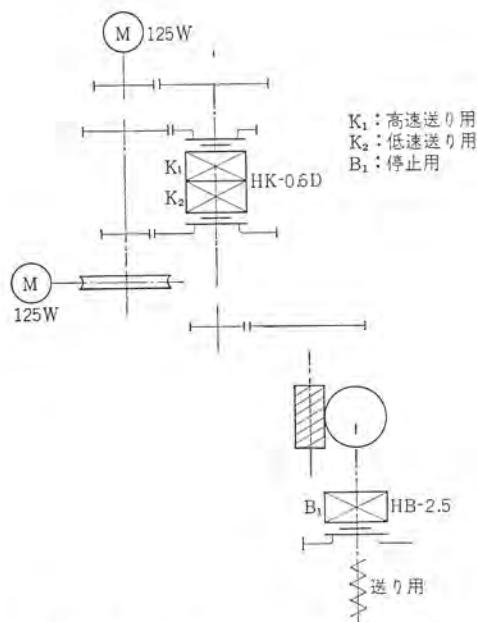


図 4.11 ボール盤での立形使用による機構
Example of vertical use in drilling machine.

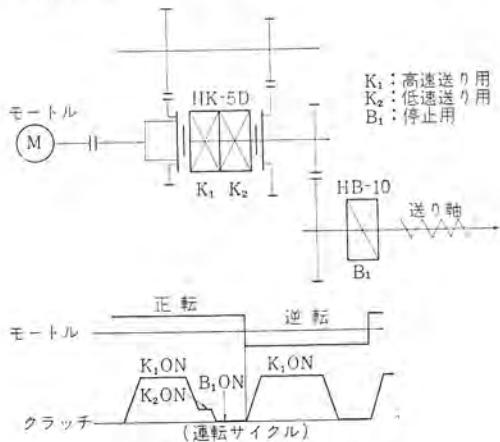


図 4.9 定位置停止機構例
Positioning mechanism.

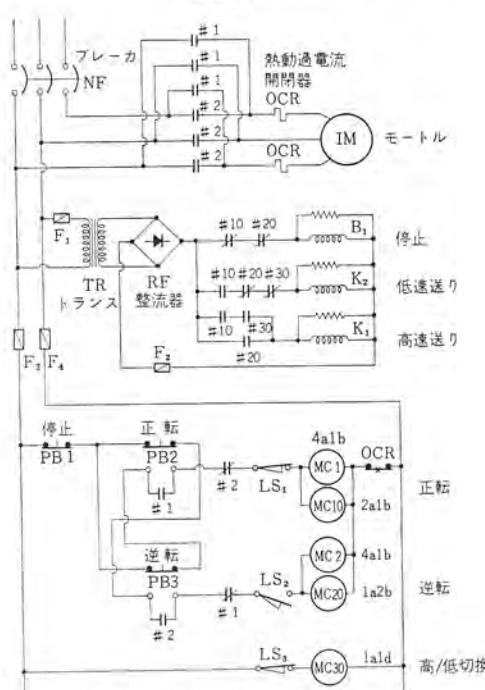


図 4.10 定位置停止制御回路
Control circuits of positioning mechanism.

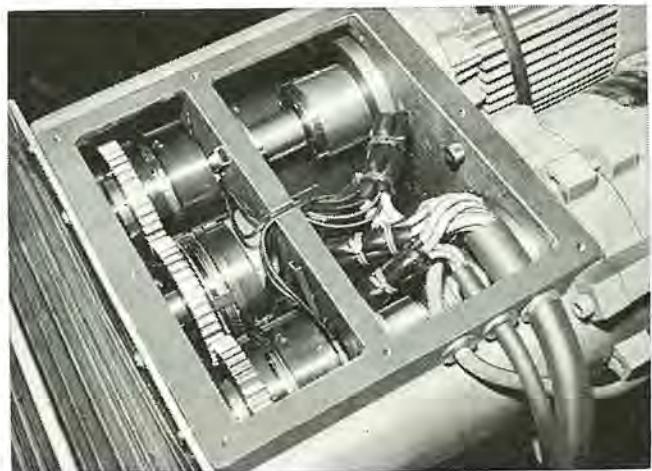


図 4.12 フライス盤の送り機構に HK 形電磁クラッチと HB 形電磁ブレーキを使用した例
Application of type HK and type HB in feeding speed mechanism of milling machine.

送り装置用としては、このほか表 4.1 に示すように、旋盤・中ぐり盤・ホブ盤・研削盤・ホーニング盤などによく使用されるが、最近ボール盤・ボーリングマシン用としてクラッチを立て形で使用する例が増加している。図 4.11 にその使用例を示すが、このばかりは次のこと 注意する。

(1) 潤滑は原則として軸心給油とするが、軸負荷では噴霧潤滑などとしてもよい。

(2) 動作時間が問題となるときは、摩擦板側を上部にする。

(3) 空転トルクが問題となるときは、摩擦板側を下部とする。

図 4.12 は、フライス盤の送り機構の高低速切換えに HK 形電磁クラッチと HB 形電磁ブレーキを応用した実用例である。

4.3 トルクリミッタ

パウダクラッチの定トルク・低慣性特性を有効に利用した用途として、チヤック・クランプ・ねじ締め装置・ストップ機構・圧力調整機構などのトルクリミッタがある。

図 4.13 はパウダクラッチをストップ用に使った例であり、テーブルがストップに当たるとこらのクラッチがスリップし、一定時間後モートルが

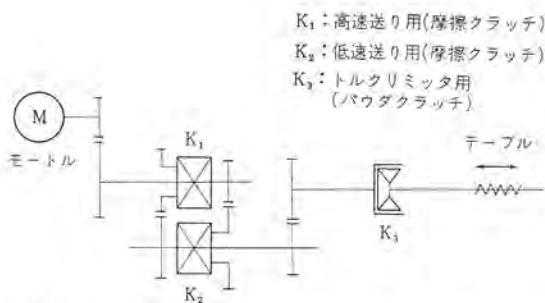


図 4.13 専用機のストッパー用にパウダクラッチを用いた例
Application of magnetic powder clutch for stopper use in machine tool.

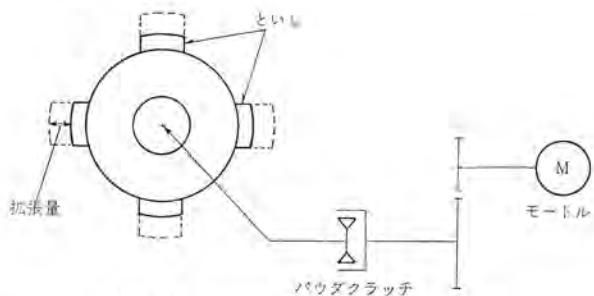


図 4.14 内面研磨盤のといし拡張装置例
Expanding mechanism of grinding wheel of internal grinder.

逆転して元に戻るようになっている。

図 4.14 はシリンダ内面研磨盤のといし拡張装置の例であり、パウダクラッチはといし拡張過程における緩衝起動、および拡張後の面圧調整用として使用されている。

いずれのばあいもパウダクラッチは水平取付けで、油がかからぬよう配慮されている。

またクラッチのスリップ時間が長くなるばあいには、クラッチの発熱が問題になるので、スリップ開始後のクラッチ入力軸回転数を 20 rpm 程度にするよう高低速切換え操作が行なわれる。

5. む す び

工作機械での電磁クラッチブレーキの需要の中心はやはり主軸駆動用と送り装置用であり、またこれらクラッチブレーキの組合せ、およびモートルとの組合せも、機械の複雑化によってしだいに多様化してきている。摩擦板電磁クラッチ・ブレーキ、なかでも湿式多板の需要がもっとも多いが、高速応答性の要求度は今後さらに強くなつてゆくであろうし、乾式電磁クラッチ・ブレーキの工作機械での占める位置も今後はしだいに高まつてくるものと思われる。

パウダクラッチ・ブレーキは工作機械の分野では特殊用途に限られるであろうが、技術的には興味深い用途が期待できる。

工作機用電動機の速度制御

小川 裕三*・越田 哲太*
梶野 幸男**・石橋 和夫**

Speed Control System for Machine Tools

Kobe Works Yuzô OGAWA・Tetsuta KOSHIDA
Nagoya Works Yukio KAJINO・Kazuo ISHIBASHI

Machine tools are on the trend of being operated automatically with higher speed. To realize the aim high speed control equipment based on the latest electronics plays a very important role. This article describes a thyristor leonard system, the representative speed control equipment of the Company, as a main topic of discussion. The Ward-Leonard system is also elucidated and functional difference between these two systems are commented on. Another items introduced are primary voltage control and frequency control as speed control systems of AC squirrel cage induction motors which are in the limelight nowadays. Lastly practical examples of machine tools of late are given for reference to readers.

1. まえがき

最近の工作機は、人手不足のおりから、熟練者でなくても、高い品質と生産性が得られるよう、自動化・高速化の方向に進んでおり、必然的に広範囲の、しかも精度の高い速度制御が、要求されるようになった。数年前においては、工作機に比較的多く使用される小容量の速度制御装置は、性能・価格いずれにおいても十分でなく、一般的なものとはいえないかった。

しかし、最近半導体工業の急速な進歩により、トランジスタ、サイリスタなどが容易に入手できるようになり、現在では直流機のみならず交流機においても、信頼性の高い、実用的な速度制御装置を供給できるようになった。

ここでは当社で製作している速度制御装置のうちで、工作機メーカー関係者のかたがたに、いくらかでもご参考になると思われる、直流機および交流機の速度制御について述べ、代表的な最近の実例を紹介する。

2. 直流電動機の速度制御方式

直流電動機の速度制御方式は、基本的に二つにわけることができる。

(1) 定電圧制御方式(界磁制御方式)

(2) 可変電圧制御方式

方式の選定については、被駆動側に要求される仕様により決めなければならないが、一般的にいって定電圧制御方式は安価・簡便経済的であり、適用しやすい範囲をよく見きわめて適用すれば非常に有効である。一方可変電圧制御方式は、定電圧制御方式に比較して高価であるが、定電圧制御方式では得られない数々の特長を持っており、とくに制御増幅器類を使用することにより、良好な制御性能をうることができ、理想的な速度制御方式として適用範囲が広い。

3. 直流電動機の定電圧制御方式

電源として一定電圧を使用し、界磁電流を調整することにより速度を制御する方式である。制御方式の特質上、可変電圧制御方式と比較して特性的な点で適用範囲に制約を受ける面があるが、ごく簡

単な装置で無段階の速度制御ができるので、工作機の場合誘導電動機を使用して、機械的あるいは電気的な变速方法により变速しているような装置に使用した場合効果が多い。直流電源として使用できる適当な容量を持った工場電源がない場合は、直流電源装置を設けるが、最近はシリコン整流器の進歩により、簡単な装置で直流電源をうることが可能となり、シリコン整流器が多く使用される。電源装置は電動機各個に設ける必要はなく、電動機電圧が同一であれば、共通電源として1組設ければよく、経済的である。直流電源装置としては、他に直流発電機およびサイリスタがあるが、特殊な場合を除いては一般に使用されない。

定電圧制御方式を適用し得る、あるいは適用して効果のある条件は、一般的につきのとおりである。

(1) 速度精度がとくに要求されないこと。

特殊な場合、界磁制御用増幅器を使用して部分的な自動制御を行なうこともあるが、原則として無制御であり、速度精度がとくに要求されるものには適用できない。

(2) 速度範囲が広くないこと。

速度範囲は一応1:4が限度である。電動機を特殊な設計にすれば1:6程度までは可能であるが、範囲の増大につれて整流の悪化、速度変動の増大、尻上がり特性など、やっかいな問題がおこるので、1:4以上の速度範囲は避けたほうがよい。

(3) 定出力特性の負荷であること。

界磁制御における電動機特性は定出力特性であり、定トルク特性の負荷に適用すればトルクを活かして使用できず、体格の大きな電動機が必要となる。図3.1に電動機の特性を示す。

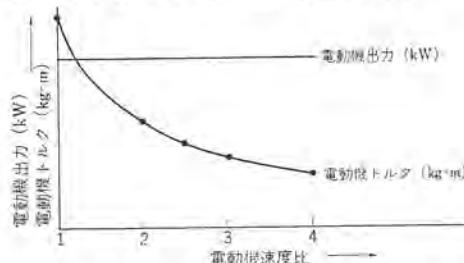


図3.1 界磁制御方式における電動機の特性
Characteristics of motor with field current control.

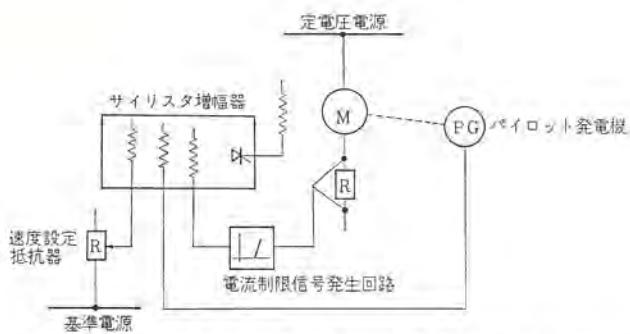


図 3.2 定電圧制御方式における速度自動制御
Block diagram of automatic speed control by a constant voltage control system.

界磁電流の供給電源として制御増幅器を使用した場合、見のがせないのはパイロット発電機と組合わせて速度の自動制御を行なうことである。制御性能において、可変電圧制御（制御増幅器を使用した）よりそん色のあるのは避けがたいが、簡便な自動速度制御方式として有効である。図 3.2 にその回路を示す。

4. 直流電動機の可変電圧制御方式

電動機の電機子に加える電圧を制御することにより速度を制御する方式である。

可変電圧電源として、直流発電機またはサイリスタ装置を使用するが、直流発電機を使用する場合をワードレオナード方式、サイリスタ装置を使用した場合をサイリスタレオナード方式と一般に呼びならわしている。

工作機械は、近年、数値制御、ならい制御等が積極的に採用されはじめ、操作の自動化が発達しつつあるが、これらの制御においては基準値に対する追従性、速応性、および停止精度が要求され、駆動装置を含めたサ-ボ機構の優劣は、機械の性能を左右する大きな要素となる。検出器・駆動電動機を含めた可変電圧制御装置を、サ-ボ機構として応用した場合、つぎのようなすぐれた特長を持っており、またその特長は、同時に、一般的な自動制御に適用した場合にも発揮され、今後ますます広く使用されるものと考えられる。

（1）制御性能

可変電圧制御方式は、本質的に制御性能がすぐれているが、とくに最近は自動制御理論、および制御増幅器類（サイリスタ増幅器・磁気増幅器・トランジスタ演算増幅器など）の急速な進歩により、速度制御・トルク制限・位置停止など、任意の制御が可能であり、速度は正転から逆転まで全範囲に対して、連続的、かつスムーズに制御することができる。また、急速な加減速を行なうためには、電流制限回路により一定電流（トルク）を保ちながら短時間での加減速が容易にできる。制御信号に対する応答速度も 0.1~0.5 秒と速いものも必要に応じて可能である。

（2）無接点化

可変電圧制御方式では、主回路には保護用のしゃ断器や電磁接触器を設けるとしても、通常の運転中には開閉を行なわず、制御増幅器の基準入力として信号を与えるのみでよいため、接点の保守そのものはほとんど不要であり、完全に無接点化することも可能である。このことは、ひんぱんな動作を行なう用途に対しては非常に望ましいことである。

4.1 ワードレオナード方式

可変電圧電源として直流発電機を使用する場合をワードレオナード方

式と称している。発電機はおもに誘導電動機で駆動され、MG セットとして適当な場所に設置される。

可変電圧制御においても、制御増幅器を用いない、いわゆる OPEN LOOP の制御もあるが、ここでは制御増幅器を使用した、電流制限回路付き速度制御について説明する。図 4.1 に簡略接続図を示す。電動機界磁は定電圧電源より一定励磁を行ない。発電機はサイリスタ増幅器出力により励磁している。この点弧位相回路は磁気増幅器形のものを使用し、前置増幅器として 1,600 c/s 自励電源を内蔵した磁気増幅器を使用している。基準巻線 PW に所要の回転方向と基準値に応じた電流を流すと、前置増幅器-サイリスタ増幅器-発電機を経て電動機は回転はじめ、電動機に直結したパイロット発電機の電圧が速度制御巻線 SCW に負帰還され、所要の回転数が得られたところで PW と SCW が平衡する。この場合に制御系として十分高いループゲインをとることにより、発電機界磁・機械系の慣性などがあっても速度の応答は早くでき、負荷の変動、交流電源電圧の変動にかかわらず一定の速度を保つことができる。

加減速時、あるいは過負荷により主回路に過大な電流が流れようとした場合、電流制限巻線 CLW に電流が流れ、前置増幅器出力電流を打消すように働き、主回路の電流はほぼ一定値に制限される。図 4.2 にトルク T と回転数 N の各基準値に対する特性を示す。

以上は、前置増幅器として磁気増幅器を使った場合について説明したが、トランジスタ演算増幅器を使用して同様の制御を行ない、さらに高性能をうることができる。

制御増幅器をまったく使用しない OPEN LOOP、制御による

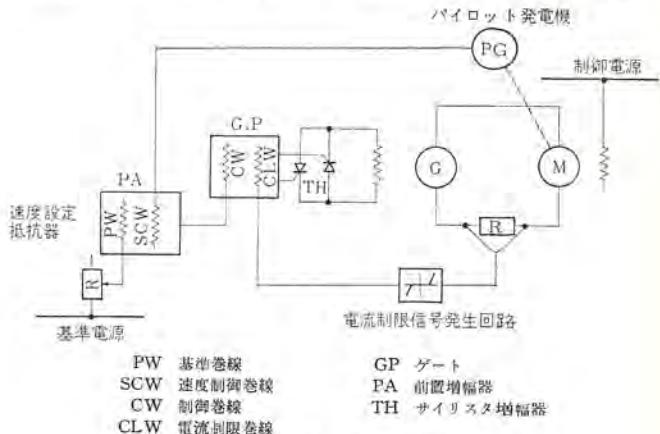


図 4.1 ワードレオナード方式速度制御 ブロック図
Block diagram of Word Leonard system.

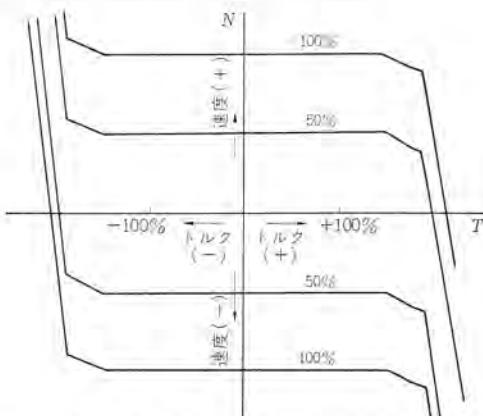


図 4.2 電流制限付可変電圧速度制御によるトルク-速度特性
Torque speed characteristics of variable voltage with current limiter.

ードレオード方式の例も多いが、加減速時の電流制限は、界磁巻線の時定数を適当な値に大きくし、併せてシーケンス制御の方法により、界磁電流の立ちあがり時間、または減ずい時間を長くすることにより行なっている。

4.2 サイリスタレオナード方式

4.2.1 小容量サイリスタレオナード

(1) TH 形サイリスタレオナード

TH 形サイリスタレオナードは、表 4.1 に示すとおり、30 W~1.1 kW の直流電動機に適用できるもので、高性能かつ安価な装置を提供することに目標をおいて開発したものである。

なかでも、30 W~200 W の装置はとくに小形化されており、スライド制御などの代わりに使用できる簡易なものである。回路は図 4.3 に示すとおり单相半波制御であるが、サイリスタの点弧しない休止半サイクルの間に、電動機の逆起電圧を帰還する方式であるので、負荷変動に対して速度の変化は小さく、テーブルなどの送り用に使用され、好結果を得ている。

400 W~1.1 kW の装置は、図 4.4 に示すとおり、単相全波制御方式で、2 アームサイリスタ・2 アームダイオードの混合ブリッジ回路を用いている。

点弧回路は、UJT を使用したもので、速度帰還には電流補償を

表 4.1 TH 形サイリスタレオナード仕様一覧
Specifications of TH type thyristor Leonard.

形名	定格出力	入力	整流方式	変動率	モータ電圧	共通仕様
TH 003	30 W	100/110 V 50/60 c/s	单相波	5 %	$V_a=55 V$ $V_f=45 V$	周間温度 -10°C~+50°C
TH 012	120 W	100/110 V 50/60 c/s	单相波	5 %	$V_a=55 V$ $V_f=45 V$	電源電圧変動 ±10 %
TH 020	200 W	100/110 V 50/60 c/s	单相波	5 %	$V_a=55 V$ $V_f=45 V$	最大速度範囲 1:30
TH 040	400 W	200/220 V 50/60 c/s	单相全波	2 %	$V_a=160 V$ $V_f=140 V$	立上り時間 (ステップ応答) 約0.2秒
TH 075	750 W	200/220 V 50/60 c/s	单相波	2 %	$V_a=160 V$ $V_f=140 V$	
TH 110	1.1 kW	200/220 V 50/60 c/s	单相全波	2 %	$V_a=160 V$ $V_f=140 V$	

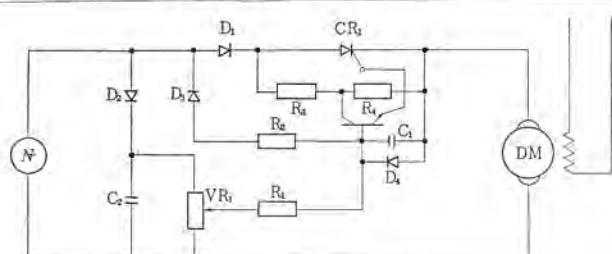


図 4.3 单相半波方式サイリスタレオナード
Singl phase half wave control thyristor Leonard.

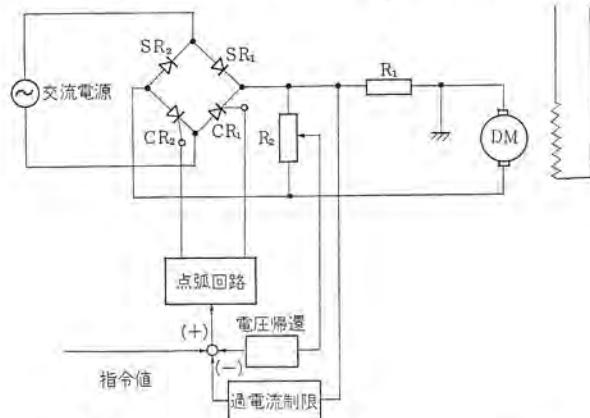


図 4.4 TH 形サイリスタレオナード回路図 (单相全波方式)
Block diagram of type TH thyristor Leonard.

した電圧帰還方式を標準とし、高精度を要求されるものには、指速発電機を使用することもできる。速度変動率は、負荷 100 %変動に対し、前者では 2 %以下、後者では 1 %以下である。

400 W 以上の装置では、起動電流をおさえ、また、過負荷から電動機を保護する目的で、過電流制限回路を設けている。制限電流値は、定格電流の 100 %~200 %で調整できるようになっているので、これを用いて、電動機のクッションスタートも可能であり、広い応用が期待できる。

TH 形サイリスタレオナード装置は、図 4.5 に示す全閉の箱に収納されているが、要求によりパネル形式にても製作可能である。表 4.1 には、TH 形サイリスタレオナード装置の標準仕様を示す。

TH 形サイリスタレオナードでは、仕様を満すことのできない用途に対し、種々の装置を用意しているが、標準品は、5.5 kW をさかいとして、单相全波制御方式と三相全波制御方式とに使いわけている。

(2) 可逆式サイリスタレオナード装置

(1) では、非可逆式の TH 形サイリスタレオナード装置について説明したが、ここでは、ならい制御や NC (数値制御) のように、ひん繁に正逆転を繰り返し、しかも速応性を必要とする用途、センタレス研削盤の調整車輌のごとく、他より力を受け加速されるような用途などに使用する場合は、可逆式サイリスタレオナード装置が適している。図 4.6, 4.7 に、单相全波可逆式サイリスタレオナードのブロック図と点弧回路図を示す。移相の原理は、電源と同期するのこぎり歯状の信号

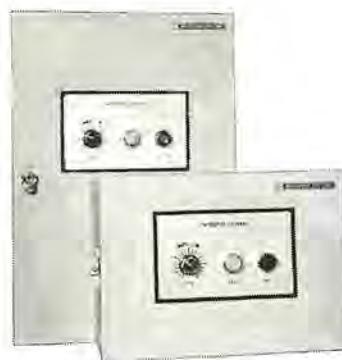


図 4.5 TH 形サイリスタレオナード
Exterior view of type TH thyristor Leonard.

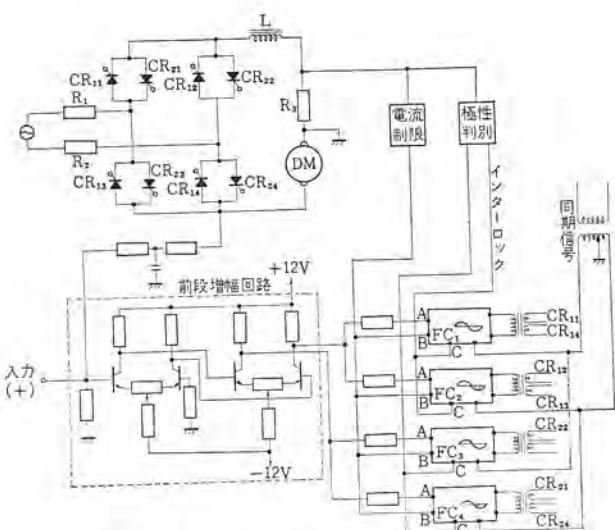


図 4.6 单相全波可逆式サイリスタレオナード
Block diagram of reversible thyristor Leonard.

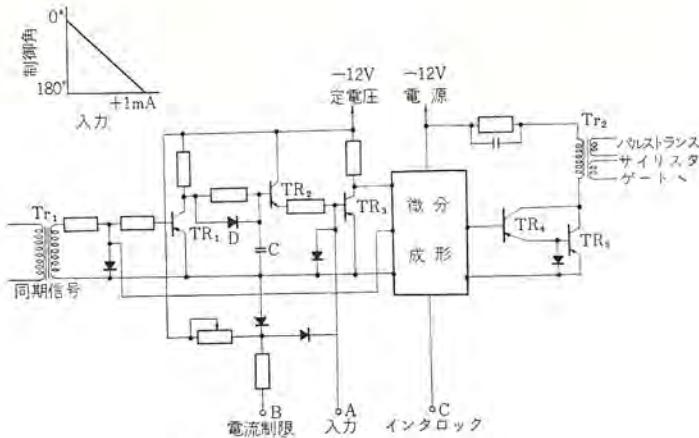


図 4.7 サイリスタ点弧回路
Thyristor firing circuit.

を作り、これと直流制御信号を加えて、パルス幅を変調する方式のもので、A制御入力の正信号が小さくなるほど、パルストラns出力パルスの位相は進み、 0° から 180° まで位相制御が可能となる。なお、この点弧回路の出力は、三相全波制御回路にも使用できるよう、パルス幅を電気角にて、 60° 以上続くようになっている。図4.6に示す回路の特長は、次のとおりである。

(a) 前段増幅器回路に、シリコントランジスタの差動増幅器を使用しているので、温度特性が良い。また、互いに共役な関係にある二つの出力を、それぞれ正転信号・逆転信号としているので、同時に正転・逆転の信号がでることがない。

(b) サイリスタの出力極性が反転するとき、反転直前に導通していたサイリスタが、完全に不導通になったことを確認して、反転側のパルスを出すよう電流極性判別回路を設け、互いに インタロック しているので、同時に点弧によるサイリスタの損傷はない。

(c) 不感帯が小さく、応答が速い。

(d) 電流制限回路を設け、ひんぱんな正逆運転による過電流から、モータ、サイリスタを保護している。

可逆式 サイリスタレオナード のステップ応答のめやすは、使用する直流機の特性に左右されるものであるが、最大トルクを 400 %程度にあげたとき、普通の小容量直流電動機で、全速から停止までに要する時間は、むだ時間を含め約 0.1 秒であり、慣性の小さいサーボモータを使用すれば、0.02 秒から 0.05 秒のものが得られる。後者の例では、油圧モータの性能と比べ大差ないものである。したがって、この装置を使用すれば、高精度の位置制御や、入力信号が時間とともに変化する追従制御において、満足できる結果が得られる。

4.2.2 大容量サイリスタレオナード

(a) 制御方式

工作機用として、図4.8、4.9の方式がよく用いられる。図4.8は増幅器に 1.6 kc 磁気増幅器を用いる方式で、主回路と制御回路が、PT, CT を用いないで簡単に絶縁できる特色がある。図は、IR 補償付の電圧制御方式を示しているが、速度の精度を上げるときは速度発電機の信号を用いることになる。電機子電流が定格値以上になったときには、電流制限回路で電圧を押えて電流の増加を防ぐ。電流制限回路で押えられないぐらいに電流が急変したときにはゲートシャットをかけ、ゲートパルスを消滅させて、保護動作をする。

図4.9は、演算増幅器のようなトランジスタ形増幅器を用いた場合で、DCCT を用いて電機子電流を検出し、IR 補償・電流制限・ゲ

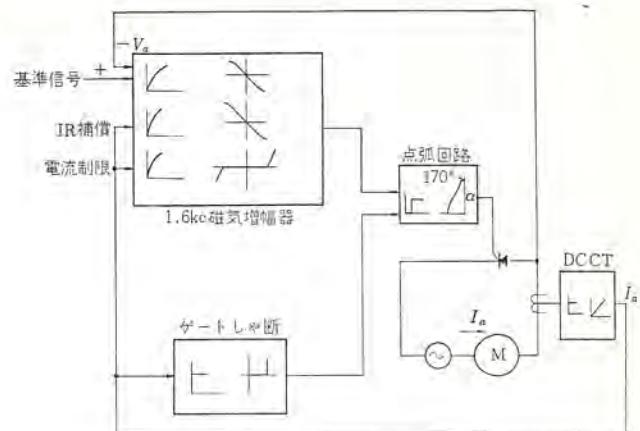


図 4.8 サイリスタレオナード ブロック図 (magamp 方式)
Block diagram of thyristor Leonard system.

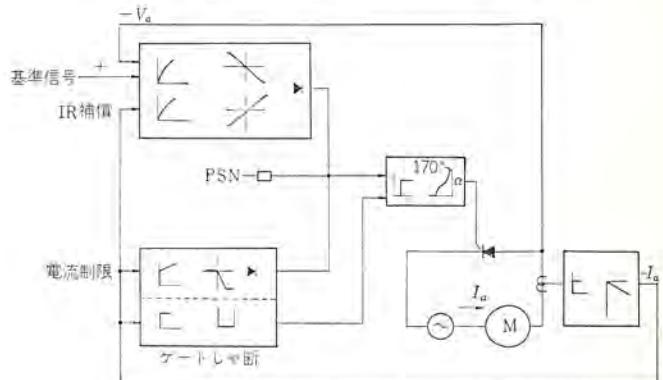


図 4.9 サイリスタレオナード ブロック図 (TR 方式)
Block diagram of thyristor Leonard system.

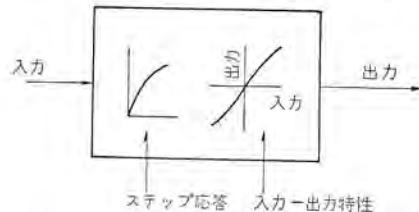


図 4.10 記号
Symbol of transfer function.

ートシャットを行なっている電圧制御系と、電流制限回路とを分けて、ダイオード OR 回路により優先順序を決めている。たとえば電機子電流が定格値をこえると、電流制限回路の出力がゼロ近くになり、この回路が電圧制御出力より高くなり、優先してゲートの点弧角を遅らせて出力を減少させる。図4.8に比べこの方式は比較的大きいものに適している。

この図中に示した記号の内容を図4.10に示す。入力側の記号が、ステップ入力に対する応答を示し、出力側が入力-出力特性を示している。

(b) サイリスタ主回路

サイリスタ主回路は、単相・三相とも混合ブリッジ回路を標準とし、CR アブソーバとセレンアンプにより外部からのサージに対する保護を行なっている。サイリスタ、ダイオード素子と並列に入れている CR アブソーバと抵抗で転流サージによる保護を行ない、ゲート回路は、線をより合わせ、素子側に C, R を入れて誘導サージによる誤動作を防いでいる。正逆転させるときには、全アームブリッジ回路を用い、正逆転でゲート回路を切換える方式を採用している。直流機の容量により単相・三相、自冷・風冷の基準を表4.2のように決め、標準シリ

表 4.2 大容量サイリスタレオナード
Large Power thyristor Leonard.

相数	電源	電圧 V	最大電流 A	最大適用直流量容量 kVA	冷却方式
1	100/110 V 50/60 c/s	70	43	3	自冷
		135	56	7.6	自冷
	200/220 V 50/60 c/s	135	133	18	風冷
3	200/220 V 50/60 c/s	200	80	16	自冷
		200	350	70	風冷

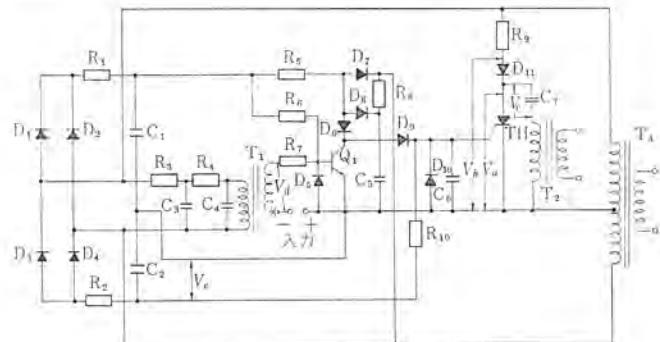


図 4.11 点弧回路
Schematic diagram of the gating amplifier.
(Voltage comparator type).

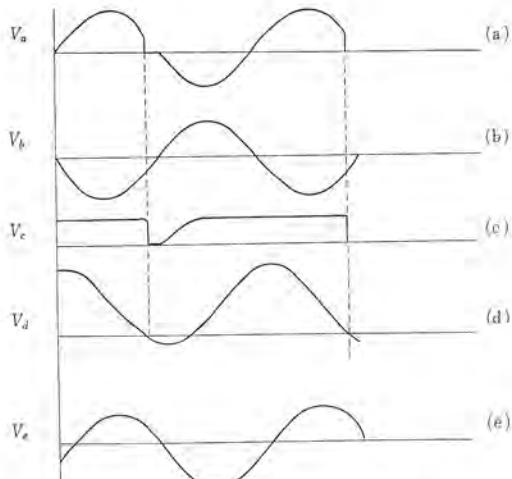


図 4.12 各部電圧波形
Voltage waveform.

ズを設けて標準化を計っている。

(c) 点弧回路

サイリスタ点弧回路には、いろいろの種類があるが、つぎの理由により図 4.11 の回路を標準としている。

(i) ハイゲート駆動ができる。素子が大形化するにしたがい点弧時の電流の立上がりが、問題になるケースが多く、点弧パルスとして一時に大きなゲート電流を流す必要がある。

(ii) 動作が早い。サイリスタレオナードの速応性を生かすために点弧回路の遅れをできるだけ防ぐようにしなければならない。

(iii) 直流電源が不要である。交流電源だけで駆動できるので、電源を含めた価格を考えると安価になる。

(iv) 電源変動の影響をあまり受けない。電源の変動により点弧角が自動的にそれを修正するように移動する。

図 4.11 の点弧回路は、電圧比較形の回路で各部の波形を図 4.12 に示す。電源位相 (V_a) より 90° 進んだ電圧 (V_d) に入力電圧を重畠させ、その和が 0V になったときにトランジスタ Q₁ がカットオフ



図 4.13 サイリスタレオナード装置
Exterior view of thyristor Leonard cubicle.

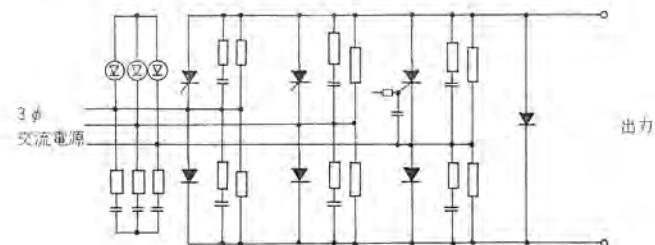


図 4.14 3相混合ブリッジ回路
Three phase thyristor-diode bridge circuit.

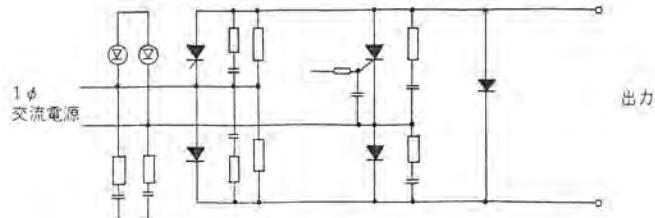


図 4.15 単相混合ブリッジ回路
Single phase thyristor-diode bridge circuit.

になり、点弧用サイリスタ TH が点弧して、コンデンサ C₇ に充電されていた電荷が放電して、パルストラns T₂ から点弧パルスが出される。コンデンサ両端の電圧は (V_c) に示すように放電が開始されると 0 になり再び充電を始めて次の点弧に備える。

V_c の電圧は、ゲート点弧角が進んだときのリミッタ動作を行なうものである。単相のときには、この回路を 2 個、三相のときには 3 個使用する。

図 4.13 に最近出荷したレオナード盤の外観を示す。これはプラグイン式の演算増幅器を用い、精密な速度制御 ($\pm 0.1\%$) を行なったものである。

4.3 ワードレオナード方式とサイリスタレオナード方式の比較

ワードレオナード方式・サイリスタレオナード方式ともそれぞれ特長があり、一概に優劣は決められないが、本質的な機能の相異とそれによるメリットについて述べる。

(1) 出力方向および回生制動

ワードレオナード方式は、本質的に 2 方向出力で回生制動の機能を備えている。これに対してサイリスタレオナード方式は、最小ユニットが 1 方向出力、回生制動なしのものであり、サイリスタレオナード方式にワード

レオナード方式と同じ機能を持たすためには、2ユニット使用する必要がある。ゆえにワードレオナードは電動機の回転方向をひんぱんに変える必要のある負荷を運転する場合にメリットがあり、サイリスタレオナードは電動機回転方向が一方向で、回生制動が不要の場合にメリットがあるといえる。

(2) 制御性能

サイリスタレオナードは、本質的に応答時間が速く感度もすぐれているため、極度に速い応答性・速度精度・位置精度などを要求される駆動系に対しては、ワードレオナードよりも一段とすぐれているため、採用される場合が多い。

(3) 停電に対する問題

直線運動を行なうような負荷は、加減速特性の必要性から機械的なブレーキを備えていない場合が多いので、停電時の問題は重要である。ワードレオナードは、停電に際しても発電機が慣性により回り続けるため、しばらくは制動機能が保たれるため、停電に際してもシーケンス的に対策をとてていれば安全である。サイリスタレオナードは停電即機能のそな失であるから、ワードレオナードの特長を求めるることはできない。

(4) 価格

2方向出力回生制動付きで比較した場合、容量の大きいものについては現時点でも、一般的にサイリスタレオナードのほうが高価である。しかしサイリスタレオナードは用途により1方向出力回生制動なし、1方向出力回生制動付き、2方向出力回生制動付きと使いわけることができ、小容量1方向出力については、価格的に有利になることが多い。

(5) その他

ワードレオナードとサイリスタレオナードは本質的に回転機と、静止器の相異があり、そのため保守はサイリスタレオナードのほうが容易である。ワードレオナードはブラシ・整流子など摩耗部分があり保守の手間がいるが、サイリスタレオナードは摩耗部分がない。

騒音はワードレオナードのほうが大きい。

4.4 界磁制御と可変電圧制御の併用

実際に電動機の速度制御を行なう場合、界磁制御と可変電圧制御を併用することが多い。速度ゼロ近傍から電動機ベース速度までは可変電圧制御により、あとは界磁制御により速度を制御する。可変電圧制御の部分はトルク一定特性、界磁制御の部分では出力一定特性であり、両特性が組み合わされることによって、広い速度範囲にわたり各種類の負荷に対して電動機出力を有効に利用することができる。図4.16にこの方式における電動機特性を示す。

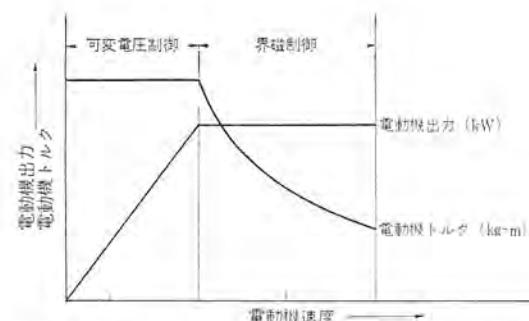


図4.16 可変電圧制御と界磁制御を併用した場合の電動機特性
Motor characteristics when variable voltage control and field current control combined

5. 交流電動機の速度制御

直流電動機にくらべ、交流電動機を無段階に速度制御することは困難であり、従来、小容量のものでは、うす電流継手を使用するもの以外、あまり実用されなかった。

しかし、最近トランジスタ、サイリスタをはじめとする半導体部品が、安く手にはいるようになり、電動機の電源を直接制御（電圧制御・周波数制御など）する方式が、実用的なものになってきた。とくに小容量交流かご形誘導電動機の電圧制御は、性能では、直流機に若干劣るが、保守・価格の面で有利であるため、今後直流機が使用されてきた分野の一部に、採用されるであろう。

ここでは、10W～7.5kWまでの工作機によく使用される小容量交流電動機の電圧制御方式と、電動機制御用小容量可変周波数、可変電圧静止インバータの概略を紹介する。

5.1 単相誘導電動機の速度制御

近年家庭電気品を含め、サイリスタによる電動機の無段变速が一般化する傾向にあり、今後さらに、この傾向は強まるものと思われる。これにともない、10A以下の小容量サイリスタ（SCR, TRIAC, SSSなど）が量産され、安価になってきた。これらを使用した10W～200W程度の速度制御装置は、速度範囲が1:3(1:10も製作は可)ならば、十分実用できるものであり、手軽な無段变速機となろう。

図5.1(a)は、200W単相誘導電動機の速度制御回路の一例を示す。主回路制御素子に、10A定格電流のTRIAC、点弧素子にDIACを使用、移相回路にはC-R回路を用いている。

また誘導電動機の速度制御が、直流電動機と異なる点は、電動機の二次損失がスベリに比例することである。すなわち、速度が低くなるほど損失が大きくなり、かご形電動機の場合、そのまま回転子の温度上昇に結びつき、速度可変範囲の制限にもなっている。この制御装置の速度・トルク特性は、図5.1(b)に示すとおり、変動率は5～10%である。

5.2 三相誘導電動機の速度制御

従来、工作機関係で使用される400W～7.5kWの可変速モータには、ほとんど直流機が採用されてきているが、保守・価格の面で、今一つ問題が残されていた。

当社では、この点にかんがみ、直流機に近い制御特性を有する安

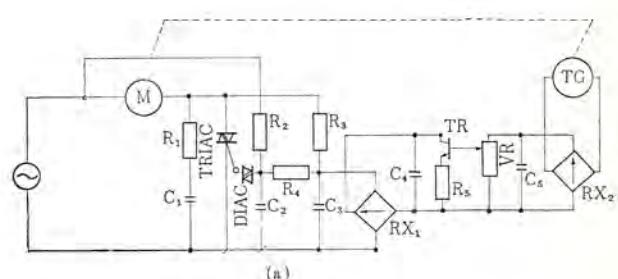
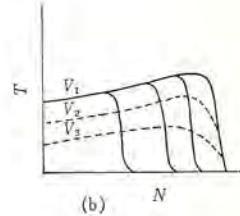
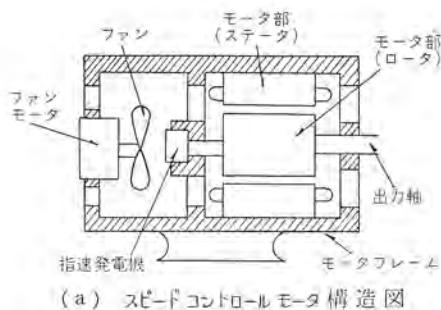


図5.1 単相誘導電動機の速度制御
Speed control of single phase induction motor.





(a) スピードコントロールモータ構造図

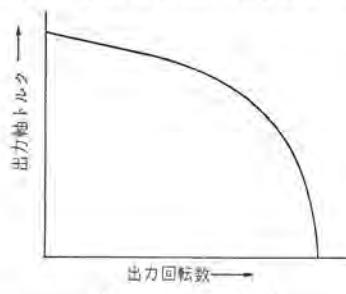


図 5.2 PS-E 形スピードコントロールモータ
Type PS-E speed control motor.

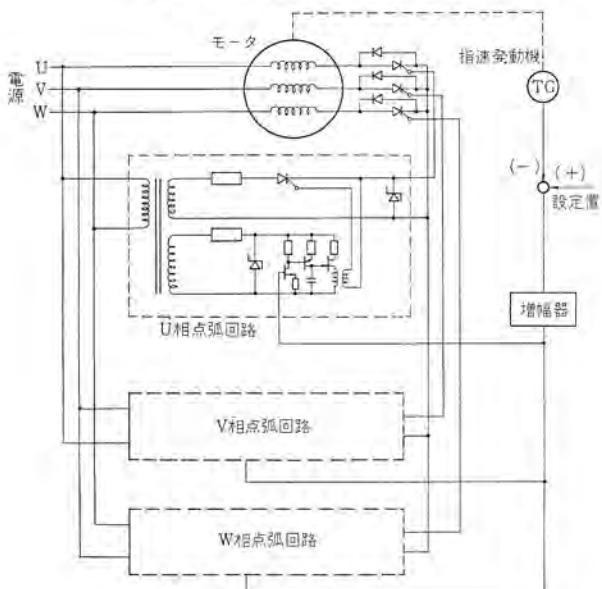


図 5.3 PS-E 形制御回路
Block diagram of type PS-E speed control circuit.

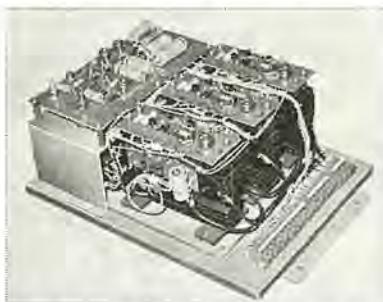


図 5.4 PS-E 形スピードコントロール制御装置
Type PS-E speed control device.

くて、保守の容易なかご形電動機の制御装置の開発をすすめてきたが、三菱 PS-E 形スピードコントロールモータとして、製品化に成功したので以下紹介する。

5.2.1 構造と原理

三菱 PS-E 形スピードコントロールモータの構造原理図と、トルク特性を

表 5.1 定格と仕様
Ratings and specifications.

出力	0.4~7.5 kW
モータ極数	4 P
モータ構造	開放形
速度制御範囲 (定格トルク時)	50 c/s 135~1,350 rpm 60 c/s 160~1,600 rpm (連続定格)
速度変動率	2 %
電源電圧	200 または 220 V, 50/60 c/s

図 5.2、制御装置原理図を図 5.3 に示す。

図 5.2 (a) のように、モータ部は、モータ本体・冷却ファン・指速発電機を一体構造のフレーム内にまとめている。とくに普通のかご形モータと異なるところは、モータのトルク特性は図 5.2 (b) のとおり、速度制御に適すよう、起動トルクが大きく、しかも同期速度近くまでフラットなトルク特性をもたせ、また、速度制御上不可欠なロータ内部の発熱による温度上昇をおさえるため、冷却風の通りやすい特殊なロータ構造となっていることである。

制御装置は、図 5.3 に示すように、モータの一次巻線の中性点側をはなし、制御用サイリスタとダイオードの逆並列回路を、各相とも直列に接続している。点弧回路の同期は、電源の線間電圧からとり、UJT 移相回路の出力パルスで、別の小サイリスタを点弧させ、安定な幅の広いゲート信号を、主回路サイリスタに印加できるよう増幅している。

5.2.2 定格と仕様

表 5.1 に示すとおり、7.5 kW 以上の容量に対して、効率・温度上昇などの点で好ましくないので、連続定格では 0.4 kW~7.5 kW のものに限定している。

5.2.3 特長

三菱 PS-E 形スピードコントロールモータは、次のような特長をもっている。

- (1) 特殊設計された高性能のかご形モータより構成されているので、保守が不要。
- (2) 制御装置は、小形かつ安価。
- (3) 速度制御範囲が広く、低速・軽負荷においても安定した運転が可能、高速においても大きいトルクを出すことができる（うず電流継手を用いたものに比べ有利）。
- (4) 主回路をサイリスタにより、直接制御しているので、応答が速く、また制御入力もわずかであるので、適当な検出装置と組み合わせることにより、自動制御運転や遠方操作が可能。
- (5) サイリスタとダイオードを逆並列接続し、さらに、電源に対し、モータ巻線の後にそう入しているので、過電圧・過電流保護において有利であり、いっそう信頼性を高める効果をもつ。

図 5.4 に、2.2 kW 用 PS-E 形制御装置のユニットを示す。

5.3 交流電動機の周波数制御

交流誘導電動機の速度制御法で、最もすぐれた方式は周波数制御方式であるが、従来は、広範囲かつ高精度に周波数を変えられるインバータの製作が困難であり、高価であったので、十分実用されるまでに至っていなかった。しかし、タンオフ時間の短いサイリスタや、大容量シリコンパワートランジスタの出現により、静止式インバータの性能・価格も格段に改善され、回転式インバータや回転式周波数変換機に代わって、実用されるようになった。

交流電動機のインバータ制御方式には、広範囲に速度を変化させる

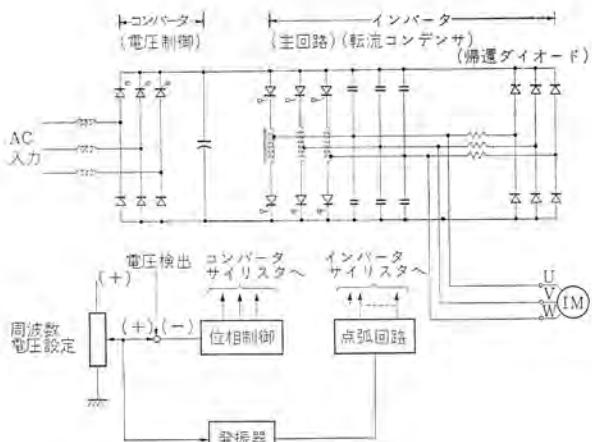


図 5.5 サイリスティンバータ回路
UF, VV, thyristor inverter circuit.



図 5.6 サイリスティンバータ装置
Exterior view of thyristor inverter.

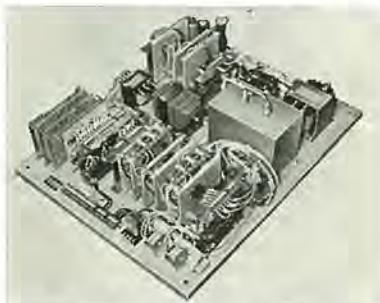


図 5.7 高周波インバータ
High frequency inverter panel.

もの、速度は必要としないが、非常に高精度の速度安定を必要とするもの、および超高速回転を必要とするものなど、用途に応じ若干内容は異なるが本質的には変わるものではない。また現在使用されている静止式インバータのほとんどは、正弦波電源でなく方形波であり、電動機に与える悪影響が心配されるのであるが、効率・温度上昇・脈動トルクなどいくらかは犠牲になるものの、実用的には問題となることは少ない。

図 5.5 に三相サイリスティンバータの基本回路を示す。定トルク制御を行なうため、周波数と電圧を比例的に変化させている。電圧制御には、直流電圧を変化させる方式と波高値を一定のままにして、交流側のパルス幅を変化させる方式があるが、ここでは、直流可変電圧をサイリスタの三相混合ブリッジにより制御している。図 5.6 に、5 kVA～10 kVA サイリスティンバータ装置を示す。図 5.5 の回路では、

20～100 c/s まで変えられるが、さらに広い (1 : 10 以上) 周波数制御を必要とする場合は、転流能力の大きい転流補助回路付サイリスティンバータ方式が適している。周波数安定性は、発振器の精度により決まり、電動機の負荷とは無関係にすることができる、現在製作しているもので 0.1 %～0.5 % の安定性をもっている。

以上、商用周波数に近い範囲のインバータの例について述べたが、電源周波数を高くし、電動機を 20,000～200,000 rpm の回転数で使用するものもある。このような超高速回転する電動機容量は、比較的小さいものが多く、静止式インバータの用途に適している。図 5.7 に示す装置は、出力三相 1 kVA 2,500 c/s の可変周波数・可変電圧インバータである。本装置の場合、周波数が 2,500 c/s であるため、サイリスタでは安定な動作を得ることが困難であり、 V_{CBO} 300 V, I_C 30 A, P_C 200 W のシリコントランジスタ 6 個を使用している。

トランジスタインバータの特長は、転流回路を必要としないので、サイリスタ式インバータに比べ、回路が簡単で効率が良いことである。電動機の起動は、300 c/s より周波数と電圧を比例的に上昇させ、ほぼ定スリップ状態で起動を完了させることができる。

以上のような、超高速電動機用電源は、プリント板の精密孔あけとか、内面研削盤用スピンドルモータなどに利用されている。

6. 最近の実例

6.1 大形施設

大形立旋盤・ロール旋盤などでは、主軸駆動電動機の容量が 100 kW をこえるものがあり、常用速度範囲は 1 : 10 ぐらいと広いので、可変電圧制御と界磁制御を組み合わせたものがほとんどである。回転方向はだいたい 1 方向で、逆転を行なうことはあってもひんぱんには行なわないので、サイリスティオード方式であれば 1 方向出力のもの、ワードレオード方式であれば 1 方向出力のサイリスタ増幅器を使用しているが、現時点ではワードレオード方式のほうが多い。刃物台送りに対しても直流電動機が使用されることが多いが、可変電圧制御方式により非常に広い速度範囲を得ている。

6.2 プレーナ

プレーナはひんぱんな正逆転を行ない、加速・減速・制動・反転がくり返される典型的な例である。性能として、短時間の加減速、加減速時のトルク制限、反転位置のばらつきの制限などが要求されるが、これらの要求に対しても単に制御装置のみならず、電動機を含めた被駆動系の GD^2 ・モレシオ・回転数の選定などに考慮をはらわなければならない。速度範囲は広く、サイリスタ増幅器を用いたワードレオードを適用するが、これは 2 方向出力で回生制動の機能を持つという有利な点によることはもちろんであるが、交流電源停電の際、MG が慣性で回り続けるためしばらくは制動機能が保持されるため、テーブルを急速に停止させることができるためであり、このことはプレーナを駆動する方式としては重要なことである。速度範囲を広くとるために界磁制御を併用することもあるが、加減速特性の面から考えればあまりよろこばしいことではないので、できるだけ少ない範囲にとどめるべきである。プレーナとしては、制御増幅器を使用した高級なものほかに、制御増幅器を使用しない、経済性に重点をおいたいわゆる量産形機、はん用形機があるが、発電機界磁の時定数の選定、低慣性電動機の使用、シーケンス制御の方法などにより、比較的良好な性能を得ている。当社は高級形・はん用形とも多くの実績を有し、客先の要求にいつでも応じうる技術と体制を整えている。

6.3 クランクプレス

打抜き用・形絞り用・切断用などに使用される クランクプレスは、従来交流電動機が多く使用されていたが、最近は可変電圧制御による直流電動機の利点が認識されはじめ、採用されることが多くなった。利点はつぎのとおりである。

(1) トルク一定の制御ができる。

(2) 効率がよい。

(3) 速度が無段階に設定できる。

電動機回転方向は1方向であり サイリスタレオナードにメリットがあるが、容量その他によってはワードレオナードが有利となる場合もある。当社は、両方式とも実績を持っており、プレスフィーダなどの駆動装置とともに好評を得ている。

6.4 研削盤回転テーブルの制御

図6.1に示す例は、被加工物を回転テーブルに固定し、といしが回転テーブルの中心に向か、半径方向に前後する構造のものである。もし、回転テーブル速度が一定であれば、といしが中心に向うにしたがい、といしと被加工物が接する点の相対速度は、徐々に減少するので、研削能率は低下する。これを全面にわたり、相対速度が一定となるよう回転テーブルの速度を、といしの動きに同期して増減させることにより好結果が得られた。減速時は、電機子と並列に抵抗を接続し、発電制動を行ない、追従性を改善している。

6.5 電気軸（遠隔操作）

大形工作機などで、操作面より離れた部分の微少手動送りを必要とする場合、機械的に長い軸や、ジョイント部を多く設けることは、精度の面から望ましいことではない。このようなときは、図6.2に示す方法で解決できる。図6.2に示すように、アナログ方式では手元に、シンクロ発振機(CX)を、遠方に、駆動モータと運動するシンクロ制御変圧機(CT)を設け、CTの出力を同期整流した後、可逆式サイリスタレオナードの入力信号とする。このようにすれば、手元のハンドルにより、CXを θ_1 だけ回転させると、CTの出力には、CXとCTの軸角度差に比例した電圧が生じ、サイリスタレオナードは、この信号が小さくなる方向にCTを回し、最終的にはCTの出力がゼロ、すなわち、CXとCTの軸角度差がゼロとなる位置で平衡し、停止する。したがって、CXに機械的入力を与えれば、遠方の離れた所でまったく同じ動きを再現することができる。工作機の微調送りハンドルには、1回転何mmと、等分目盛が付いているが、本装置を使用すれば、1度ぐらいの伝達精度が得られるので、従来の機械式微調送り機構と同様の使い方ができる。

6.6 ロールグラインダ

主軸・といし・往復台各駆動用に直流電動機を使用するほか、特殊な制御として直流電動機を使用したといし自動切込み制御、およびこれらの総合的なプログラム制御がある。

(1) 主軸、といし

負荷としては定出力で運転されるので、定電圧制御方式を採用している。速度の範囲は主軸用が1:4~1:5、といし用が1:2~1:3が多い。工場電源としてDC 220Vがある場合はこれを使用する場合が多い。

(2) 往復台

速度範囲は一般に広く、1:3~1:10ぐらいが多い。負荷は定トルクであり、可変電圧制御が適しているが、制御増幅器を使用しないOPEN LOOP制御とし、界磁の時定数の延長、シーケンス制御の方法、キラー界磁の使用などにより加減速時のトルク制限、残留電圧

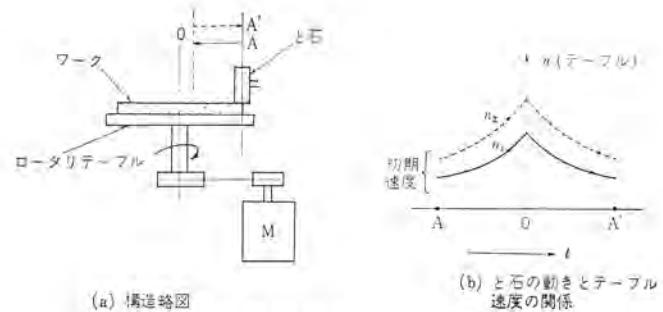


図 6.1 研削盤回転テーブルへの応用
Application to rotary table of surface grinder.

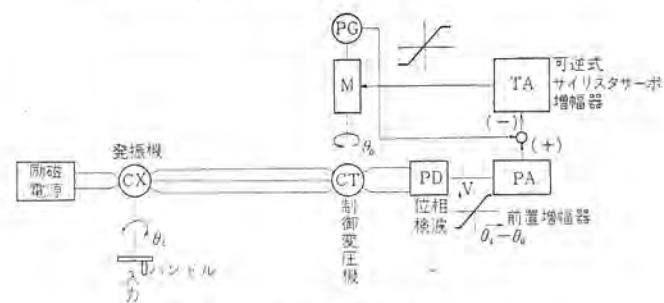


図 6.2 電気軸制御ブロック図
Block diagram of electric shaft control.



図 6.3 プログラム制御用自動運転制御盤
(ピンボード、パンチカード併用式)
Exterior view of program control cubicle.

の低下をはかっている。速度範囲が1:3程度であれば、定電圧制御を行ない、可変電圧電源を省略することもある。

(3) といし自動切込み制御

ロール表面のおうとつ(凹凸)による接触圧の変化、といし自体の摩耗に対し、といしの負荷が一定となるよう制御することにより、機械の能力いっぱいまで効率よく使用できる。当社は、サイリスタレオナードにより切込みの自動制御を行ない、好成績を得ている。

(4) プログラム制御

本装置には、研削作業をすべて設定されたプログラムにより、自動的に行なう機能をもたせることもできる。とくに、大量のロールを研削する熱延工場用のロールグラインダに適用されることが多い。当社は、ピンボード式およびピンボードとパンチカードの併用式を完成し、現在好調に実動中であり、好評を得ている。図6.3にプログラム制御用自動運転制御盤の外形図を示す。

6.7 その他

上記の応用例以外に、フライス盤・中ぐり盤・マシニングセンタ・複合工作機などにおいて、数値制御装置や、ならい制御装置と組み合わせて使用される場合が多く、一般には性能のよいサイリスタ増幅器と、直流サーボモータを使用している。

7. む す び

以上工作機に適した直流電動機・交流電動機の速度制御装置について、その概要と最近の実例を紹介したが、今後さらに無段変速の要求は多くなるものと思われる。しかし、速度制御装置のみならず、工作機用電気制御装置は機械本体と機械的に結びついたものか、あるいは一体化したものでなければならぬので、工作機メーカー各位と十分協調をとり、現状に満足することなく、高性能・小形軽量・高信頼性・安価などの諸条件を満たす装置へと、改良に努力したい。

な ら い 制 御 装 置

酒井 靖夫*・石橋 和夫*・久保田 弘*・清水 賢一*

Control Apparatus for Copying System

Nagoya Works Yasuo SAKAI・Kazuo ISHIBASHI・Hiroshi KUBOTA・Kenichi SHIMIZU

Demand is rapidly increasing for control multi-dimensional copying systems such as die sinking machines.

In the device of this category Mitsubishi has developed MELDAS-2200 continuous type two and three dimensional copying system operating in the principle of electrical servo mechanisms for tracing model. Apparatus thus produced have been delivered to the users in quantities and enjoying good reputation. The system is composed of automatic vector adjuster as the main assembly, being of constant error and constant speed, requiring no exchange of quadrants and being capable of continuous copying with high reliability, high speed and high accuracy.

1. ま え が き

従来工作機のならい制御は、主として一次元ならいであり、油圧制御によるものがその大半を占め、電気式の場合も比較的簡単な ON, OFF 制御によるものであった。しかし、近年の自動車産業を中心とする多くの形影機の需要は、多次元ならい制御の開発を促進し、自動制御技術・電子制御技術の急速な進歩にささえられて、その方式も電気式連続ならいが主流をなしている。この分野では、数年前までは外国からの輸入機が多かったが、国産技術のレベルアップにより、現在では大部分国産機が使用されるかうになってきている。

いっぽう、最近になって連続切削方式数値制御によって複雑な三次元的なワークを切削することも試みられてきているが、これにはモデルあるいは図面から入力データを作成するのに必要な計測装置や計数装置がぼう大なものとなり、まだ位置決め、直線切削方式数値制御などには一般化していない。とくに計算にのせにくいモデルの場合には、多次元ならい制御は実用的、経済的なものとして独自の発展が予想される。

当社の MELDAS-2200 形連続式二、三次元ならい制御装置は、すぐれた電気式追値 サーボ 機構によるもので、多数の納入実績をもち各ユーザから好評を得ているものである。以下、その概要ならびに実用例を紹介する。

2. 二、三次元ならいの原理

2.1 工作機ならいの概要

一般に工作機のならいは、ならいを行なうときの制御軸の数によって、一軸のみを制御する一次元ならい、二軸同時に制御する二次元ならいおよび三軸同時に制御する三次元ならいに分類される。図 2.1 は一次元ならいの概念を示すもので、送り速度が絶対値・方向ともに一定で制御軸方向のみ モデル にならって制御される。図 2.2 は二次元ならいの概念を示すもので、二次元平面内で送り軸、制御軸二軸の制御が行なわれ、送り速度は絶対値は変わらないがその方向が モデル にしたがって、接線方向に追従変化していくならいである。

一次元ならいはその送り速度が一定であるために、ならい切削可能な モデル 角度に制限をうけるのに対して、二次元ならいでは モデル 角度に制限がなくなる。一般に一次元ならいは、旋盤などの簡単な

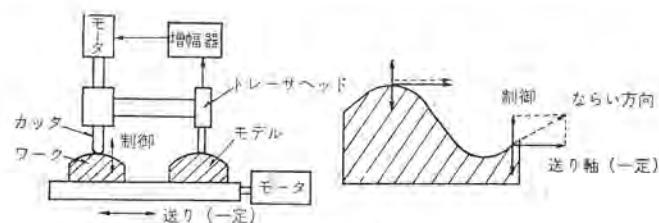


図 2.1 一次元ならい
One-dimensional copy.

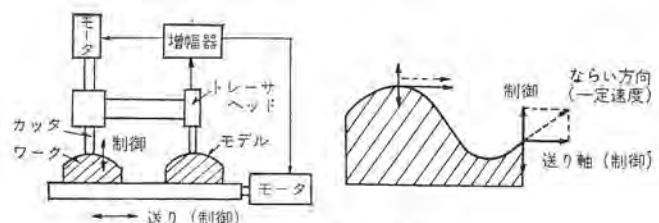


図 2.2 二次元ならい
Two-dimensional copy.

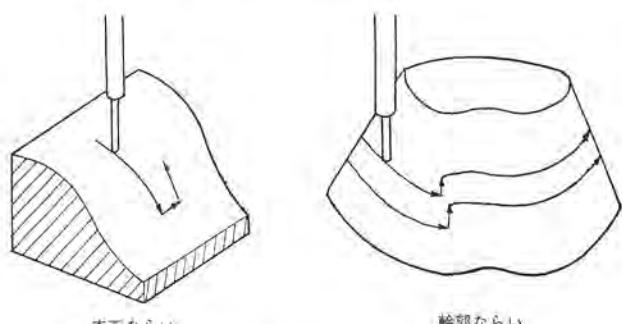


図 2.3 表面ならいと輪郭ならい
Surface copy and contouring copy.

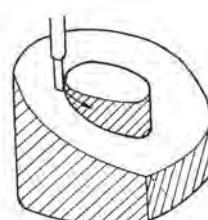


図 2.4 三次元ならい一深さ方向制御輪郭ならい
Three-dimensional copy.

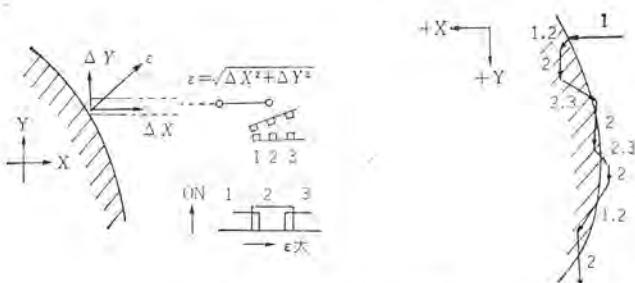


図 2.5 接点ならいの原理
Principle of copy using contacts.

テンプレートならいに使用され、二次元ならいは型、プロペラ翼など加工の複雑なフライスならいに使用される。ワーク自体が三次元的な広がりをもったものが多いが、これを切削するには、固定されている第3軸を適当に移動（ピックフィード）させて、順次切削する方法をとる。このために図2.3に示す表面ならい、輪郭ならいなどのならい方式が考えられている。

三軸同時三次元ならいは、二次元ならいほど一般的ではないが、特定の切削に使用されて効果をあげている。図2.4はこの一例を示すもので、深さ方向制御輪郭ならいである。モデルの側壁を案内（すなわち輪郭ならい）として、さらに軸方向（深さ方向）の動きがモデル表面から規制されるならい制御である。

2.2 従来のならい方式

従来、もっとも一般的で実用例の多い接点式二次元ならいについて、動作原理を簡単に説明する。

この方式では、検出ヘッドのフライ（モデルと接触する接触子）は、モデルと接触した場合に各軸いずれの方向にも変位可能な構造となっており、フライの変位は最適終的には検出ヘッド本体内部に設けられた機構の一方の動きに、メカニカルに変換されるようになっている。この動きに応じて数個の接点を順次ON, OFFさせ、この信号によって、各軸の送りモータまたはクラッチを入れ・切してならいを行なうものである。

図2.5はこの一例であるが、3個の接点“1”～“3”がフライの変位 ε に応じて順次ON, OFFし、出力駆動装置の開閉を“1”接点で $+X$ 、 “2”接点で $+Y$ 、さらに“3”接点で $-X$ 方向になるように制御して、図のようにモデルをならしている。

しかし、この方法では $-Y$ 方向の信号が得られないので、輪郭ならいの場合には、このままでは 180° の範囲しかならうことができない。このために、たとえば“1”, “3”接点の内側と外側にそれぞれ“4”, “5”的接点を設けて、その信号を発生するたびに検出接点信号と各軸出力駆動装置開閉の関係を切換えて、 360° 全周ならいを可能ならしめている。この切換えを、一般に象限切換えといい、通常 90° ごとに切換える方法がとられている。図2.6にその一例を示す。ただし、この方法では象限切換えのたびに図2.7に示すような段差を生ずることが避けられない。

また、各接点入力信号でそのまま各軸駆動装置をON, OFFしているので、モデル面とフライの接触角度によって誤差が一定とならない。

なお、検出ヘッドの接点部を差動トランジスタにおきかえ、この出力から図2.8のような二つの連続信号F, Cを得て、接点“2”的代りにF, “1”, “3”的代りにCを使用することによって、まったく同じ方法で連続式二次元ならいが可能になる。

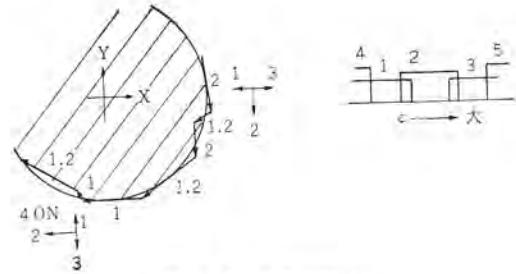


図 2.6 象限切換え
Change-over of quadrant.

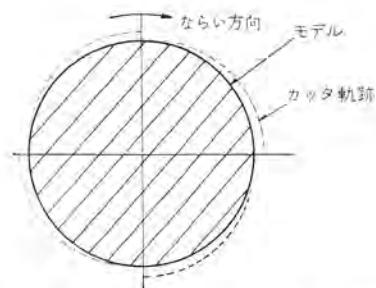


図 2.7 象限切換えによる誤差 (90°象限切換えの場合)
Error caused in changing over of quadrant.

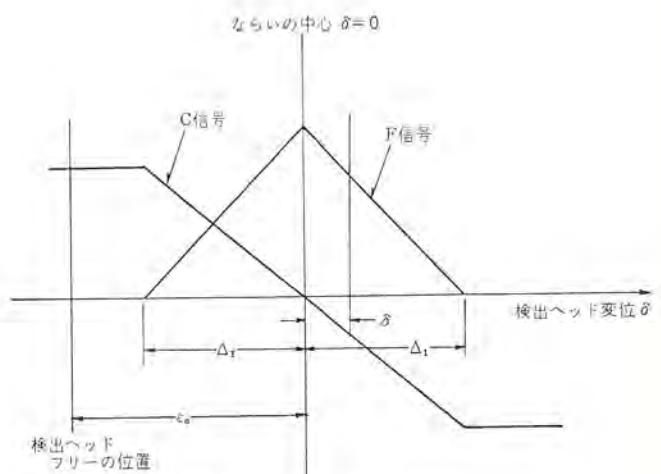


図 2.8 連続式ならい信号
Signal of continuous copy.

2.3 自動ベクトル調整装置によるならい方式

当社では、2.2節で述べた従来のならい方式の欠点を除いて高性能化し、しかも比較的安価な連続式二、三次元ならい制御方式を開発し、製品化を行なった。これが、MELDAS-2200形ならい装置である。

このならい方式は、2.2節で説明した連続式検出ヘッドを用いて、常にそのF信号が接線方向送り速度 V_T に、またC信号が法線方向送り速度 V_N になるようにするものである。このために、図2.9(X, Y平面を示す)のように、 V_T , V_N 出力をX, Y方向に分離するため、後で述べるような自動ベクトル調整装置を使用している。

図2.8より、

$$\left. \begin{aligned} V_T &= K_1 \cdot (\delta_1 - |\delta|) \propto F \\ V_N &= K_2 \cdot \delta \propto C \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

いっぽう、かりにベクトル調整装置によって、モデル接線方向角度 φ を検出し、この角度にしたがって V_T , V_N をX, Y方向に分離できたとすると、

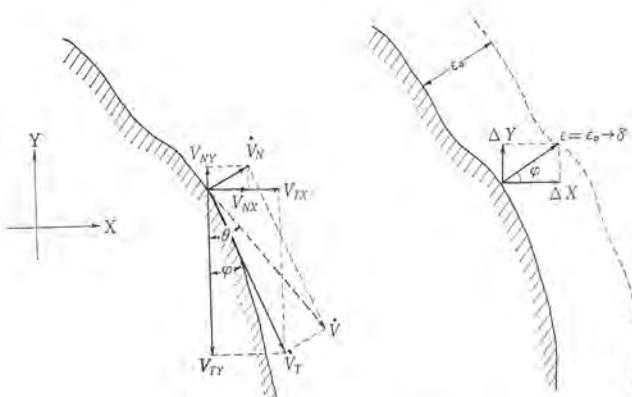


図 2.9 ならい速度ベクトル
Vector of copying velocity.

$$\left. \begin{aligned} V_X &= V_{TX} + V_{NX} = V_T \sin \varphi + V_N \cos \varphi \\ V_Y &= V_{TY} + V_{NY} = -V_T \cos \varphi + V_N \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

が得られる。いま、図 2.9において

$$\cos \varphi = \frac{\Delta X}{\varepsilon} = \frac{\Delta X}{\varepsilon_0}, \quad \sin \varphi = \frac{\Delta Y}{\varepsilon} = \frac{\Delta Y}{\varepsilon_0} \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

であるから、

$$F = V_T, \quad C = V_N$$

とすると、X, Y 軸の速度指令は式 (2.1)～(2.3) から、

$$\left. \begin{aligned} V_X &= F \sin \varphi + C \cos \varphi \\ &= K_1' \cdot (\Delta_1 - |\delta|) \cdot \Delta Y + K_2' \cdot \delta \cdot \Delta X \\ V_Y &= -F \cos \varphi + C \sin \varphi \\ &= -K_1' \cdot (\Delta_1 - |\delta|) \cdot \Delta X + K_2' \cdot \delta \cdot \Delta Y \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

となり、これがこのならいの基本式となっている。式 (2.4) の V_X, V_Y のおのおの第1項は接線方向送り速度成分、第2項は法線方向制御速度成分であり、 $\delta = 0$ になるようにする誤差補正指令である。したがって、この方式ではモデルの角度によって誤差が変わらず、ならい速度は常に一定値 F であり、もちろん象限切換も必要とせず、従来のならい方式の欠点を除いた高性能のならいを可能ならしめている。

自動ベクトル調整装置の原理は、図 2.10 に示すように正弦、余

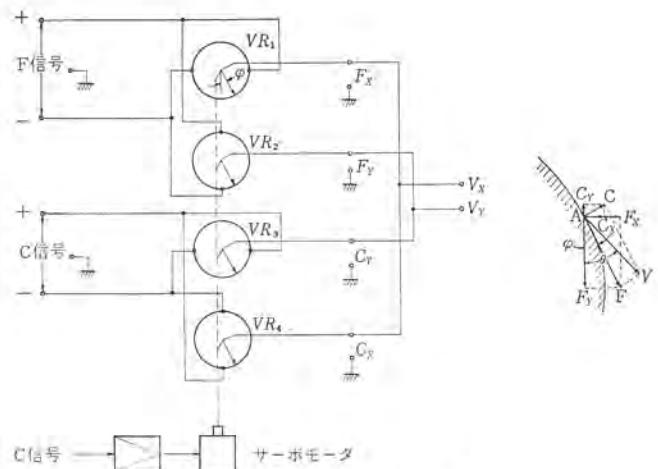


図 2.10 自動ベクトル調整装置
Automatic vector adjuster.

弦の分布をもった四連可変抵抗器を使用し、その軸が常に $\delta = 0$ (すなわちモデル接線方向 φ) になるように、C 信号によって駆動されるサーボモータ軸に連結されている。ベクトル演算は、図 2.10 のように機械的に 90° ずつずらして組合せられた四連可変抵抗器 $VR_1 \sim VR_4$ に、F, C 信号を供給することによって、X, Y 軸に分解された駆動出力 V_X, V_Y が、

$$\left. \begin{aligned} V_X &= F \sin \varphi + C \cos \varphi \\ V_Y &= F \cos \varphi + C \sin \varphi \end{aligned} \right\}$$

という関係で得られ、この関係は式 (2.4) とまったく同じである。したがって、F, C 信号を X, Y 駆動出力に分解することが可能になる。この式は図 2.10 から明らかなように、モデル接線方向 θ の A 点をならうに相当しており、もし $\delta = 0$ ならば、 $C_X, C_Y = 0$ すなわち $\theta = \varphi$ となり。これから逆にモデル接線方向の検出は、 $\delta = 0$ となるように φ を回転させれば可能となることがわかる。

3. MELDAS-2200 形ならい制御装置

3.1 自動ベクトル調整装置

2.3 節で説明した自動ベクトル調整装置を主体とした、MELDAS-

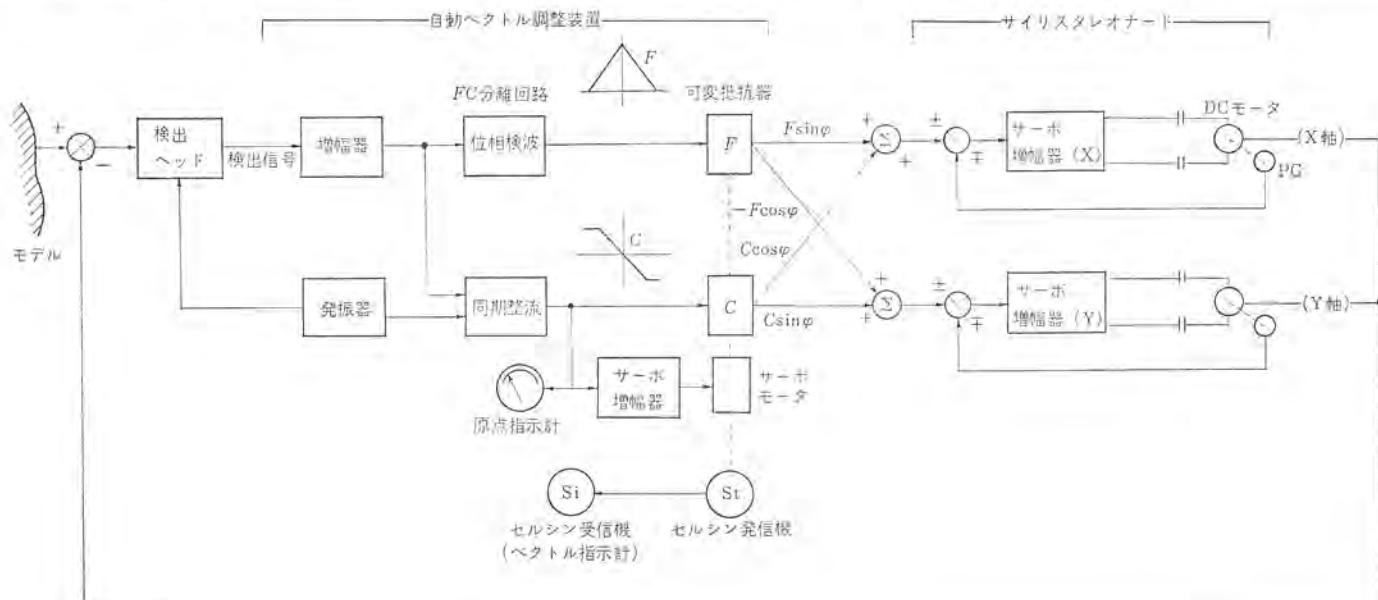


図 3.1 自動ベクトル調整装置ブロック図
Block diagram of automatic vector adjuster.

2200形ならい制御装置は図3.1に示すように構成される。

図3.1はX,Y平面における二次元ならいの場合を示している。検出ヘッドによって検出された信号を増幅した後、F,C分離回路により、ならい送り速度を規制するF信号と、送り方向が常にモデル接線方向に一致するように制御するC信号に分離する。さらにこのF,C信号を各駆動軸X,Y成分に分解し、その後ふたたびそれらをX,Yごとに合成して各軸モータに必要な速度指令を与える。ここでC信号によってベクトル調整装置のサーボモータを駆動し、モデルの接線方向を自動的に調整している。

図3.2はベクトル調整装置の四連可変抵抗器とサーボモータの部分である。このサーボモータは、小形直流減速モータを使用し、サーボ増幅器にはサイリスタを採用している。不感帯の極力小さいものであることが望ましく、このため入力ゼロでは、正逆両方向のサイリスタ同じ位相だけ点弧させるようにしている。図3.3に主回路とサイリスタ

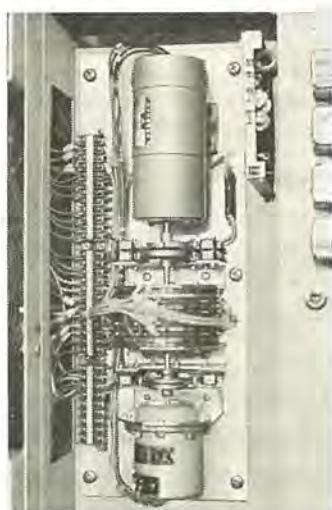


図3.2 自動ベクトル調整装置
Automatic vector adjuster.

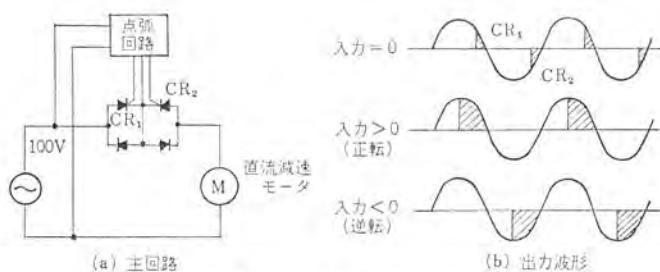


図3.3 角度検出サーボモータ回路
Servomotor circuit for vector adjuster.

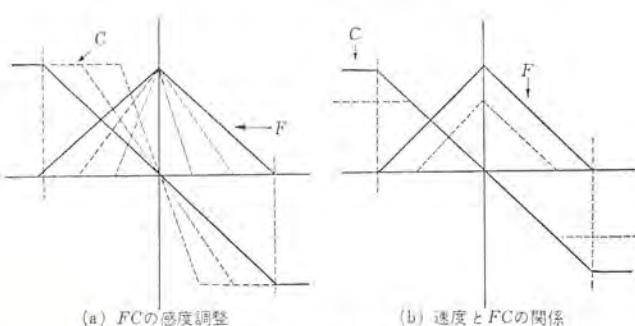


図3.4 FCの調整
Adjustment of FC.

の点弧状態を示している。

なお、ならい方向が一目でわかるように、ベクトル調整装置の可変抵抗器にセルシン発信機を直結し、操作盤面に取付けたセルシン受信機で指示するようにしている。さらに、C信号で振れる原点指示計を設け、変位 μ が直視できるようにしている。

安定なならい制御を行なうには、閉ループ利得を調整して最適な状態に設定しなければならない。検出ヘッドの変位に対するF,C信号のこう配(感度)が独立に変えられるようにする必要があり、図3.4(a)に示すように、F信号およびC信号の飽和値を変えることなくこう配だけを簡単に調整できるように、感度調整ボリュームを設けている。

いっぽう、ならい速度の調整は速度調整ボリュームに連動させて、F,Cの振幅を変えて行なっている。この場合とCの変化は図3.4(b)に示すとおり、検出ヘッド変位に対するこう配を一定にしたまま、最大値を変えるようにしている。したがってF,Cの飽和する検出ヘッド変位は、低速になるほど小さくなっている。なお、自動ベクトル調整装置において、F速度にくらべてC速度を小さくしたほうが、精度を落すことなく安定な制御ができるので、一般にC信号はF信号の50~70%に設定している。

各駆動軸の制御は、後で述べるように可逆式サイリスタ静止レオード制御方式とし、直流分巻モータをサーボ制御し、各軸の速度指令値に忠実に追従させている。

実際のならい制御装置は、自動ベクトル調整装置のほか図3.5のように、検出ヘッド、送りモータ駆動のサーボ増幅部およびシーケンス制御部から構成されている。以下、各部について説明する。

3.2 検出ヘッド

検出ヘッドはならいの精度に非常に影響するので、簡単な構造で剛性があり、しかも高精度でなければならない。モデルを傷つけないために接触圧力が小さいことも必要である。

三菱MT形検出ヘッドは、このような要求性能を満すもので、その構造は図3.6に示すとおりである。主軸は、その中央部のユニバーサル球体によってX・Y・Zいずれの方向にも変位でき、スライス(フライ)とモデルの間の相対的変位量を、その変位方向X・Y・Zのいかんにかかわらず、連結ポールを介してスライドカル軸の直線運動に変換する。この軸に固定された差動トランクの一次元的変位量による出力信号として、連続的に検出する。

検出ヘッドの上部には差動トランク出力用のプリアンプを内蔵し、1/100

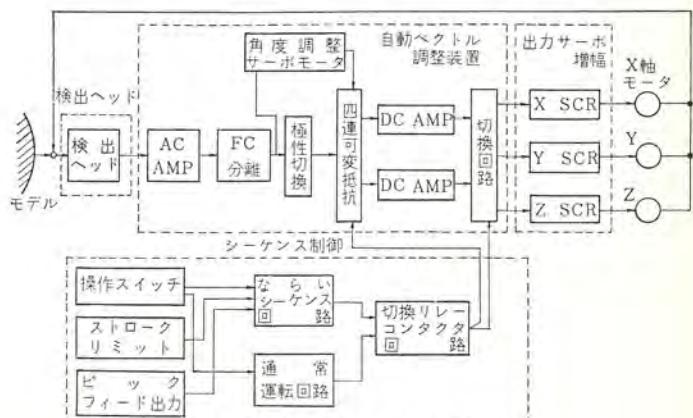


図3.5 ならい装置ブロック図
Block diagram of copying system.

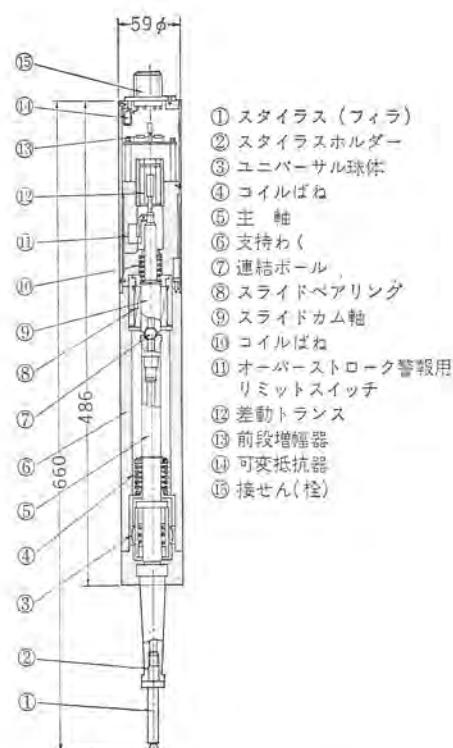


図 3.6 検出ヘッドの構造
Construction of tracer head.



図 3.7 検出ヘッド
Tracer head.

mm の変位に対して 0.18 V 程度の出力電圧として制御装置へ送るようになり、配線によるノイズの影響を軽減している。検出ヘッドおよび機械本体の破損を防ぐために、オーバーストローク警報用のリミットスイッチを設けている。検出ヘッドは、取付け方向が縦のものと横のものを製作しており、用途に応じていずれかを使用する。

図 3.6 は、全長 660 mm (外径 59 mm) の MT-20 形シリーズを示しているが、このほかに小形化した全長 460 mm (外径 59 mm) の MT-120 形シリーズも製作している。

MT-20 形シリーズのおもな仕様は次のとおりである。

- | | |
|----------------------|---|
| (1) 励振電圧 | 2 kc 2~14 Vrms (通常 4 Vrms) |
| (2) 最低共振点 | 40~50 c/s |
| (3) 検出精度 | 直線性 ± 0.02 mm 以下
ヒステリシス 幅 ± 0.05 mm 以下 |
| (4) 修正量 | 0.3~1.0 mm 任意設定可能 |
| (5) フィラ (スタイラス) 接触圧力 | 約 800 g |

MT-120 形シリーズは、検出精度は一段と向上し、フィラ接触圧力は約 600 g である。図 3.7 は検出ヘッドの外観である。差動変圧器励磁用発振器は、検出精度・応答性を良くするために周波数は 2 kc とし、回路は実用的な CR 発振器であるが、温度特性、波形ひずみに十分な考慮を払っている。

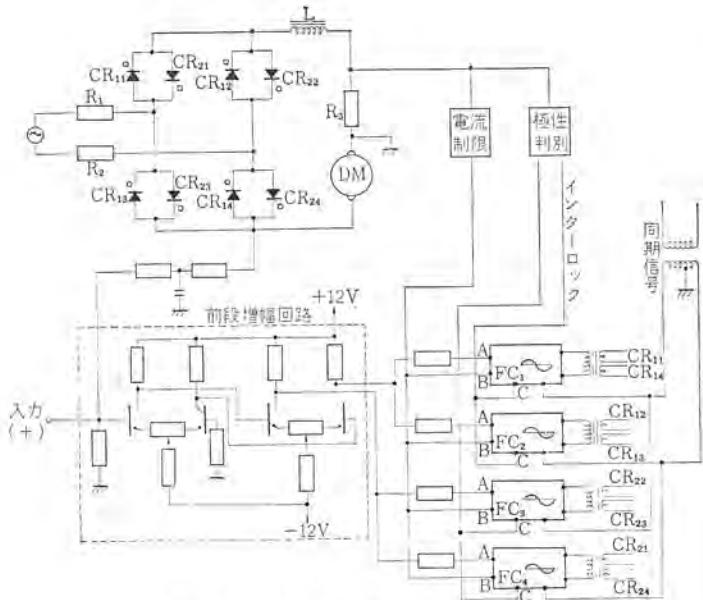


図 3.8 単相全波静止レオナード回路
Block diagram of static leonard with thyristor (single phase full wave).

3.3 サーボ増幅器

ならい制御駆動部のサーボ制御方式としては、従来、主として油圧モータか、電気式ではモータとクラッチによる ON, OFF 制御が使用されていた。しかし最近、半導体による各種制御が可能となり、とくにサイリスタを応用した静止レオナード制御（直流モータの電機子電圧制御）が、応答の速いすぐれた制御方式として広く実用されている。当社のならい制御駆動部には、可逆式サイリスタ静止レオナード制御を採用し、直流モータを直接、サーボ連続制御している。したがってモデルの角度急変点においても速やかに応答することができ、過渡状態における精度もすぐれ、高精度高速度のならい切削を可能にしている。

サーボ制御回路は、主としてモータ容量によって単相半波方式（数 W~100 W 程度）、単相センタータップ方式（100 W~2 kW 程度）、単相全波方式（500 W~5 kW 程度）あるいは三相全波方式（3 kW 程度以上）が使いわけられるが、応答性はここに記した順序で後者ほど良くなる。

図 3.8 は単相全波方式のブロック図である。主回路を構成するブリッジの各端子のアームにサイリスタを逆並列に接続し、正転時には CR₁₁~CR₁₄ のグループに点弧回路 FC₁, FC₂ から点弧パルスを、また逆転時には、CR₂₁~CR₂₄ のグループに点弧回路 FC₃, FC₄ から点弧パルスを印加している。電機子回路にそう入された抵抗 R₃ によって、電機子電流の方向を検出し、極性判別回路を介して FC₁~FC₄ の端子へインターロック信号を送り、外乱などによる両方向同時点弧による電源短絡を防ぐようにしている。抵抗 R₁, R₂ は、サイリスタ素子の過電流保護抵抗で、このほかに定常時にモータの過負荷を保護する電流制限回路が別に設けられている。

図 3.9 は 2 kW 用の外観を示すものである。

サーボ増幅器の感度は、ならい精度に影響するが不感帯は前段増幅器入力に換算して約 1/100~2/200 mm となっており、検出特性とあわせて考慮すると、定常時で 5/100 mm 以下のならい精度が容易に得られる。

3.4 ならいシーケンス制御回路

各種の自動ならい運転を行なうためには、シーケンス制御回路を必要

とする。図 3.10 に示すように、シーケンス回路は三菱トランジスタサイバックを使用し、リミットスイッチには近スイッチ接を使用した無接点制御とし、か酷な使用条件のもとにおいても信頼性を高めている。

3.4.1 ならいモード

図 3.11 に各種のならい運動操作方式（いわゆるならいモード）を示している。自動ならいにおいて必要なシーケンス切換信号としては、ならいストロークリミットスイッチ、ピックフィードカウンタまたはピックフィード



図 3.9 2 kW サイリスタサーボ増幅器パネル（3台分）
2 kW thyristor servo amplifier panel (included three set).

ドタイマ、あるいは電位線を使用している。電位線は、モデルのストロークリミットが曲がっている場合に、リミットスイッチの代りに導電性の電位線をモデルにはりつけて、これにフィラが接触することによってストローク信号を得るものである。図 3.11 に示すように、各種の特殊モードも行なえるようにしているが、これらはオプションとして必要に応じて製作している。

3.4.2 ピックフィード

ピックフィード”中もならい動作を行ない、ピックフィード送り量はカウンタまたはタイマで規制している。カウンタによる場合は、図 3.12 に示



図 3.10 ならいシーケンス制御パネル
Sequence control panel for copy.

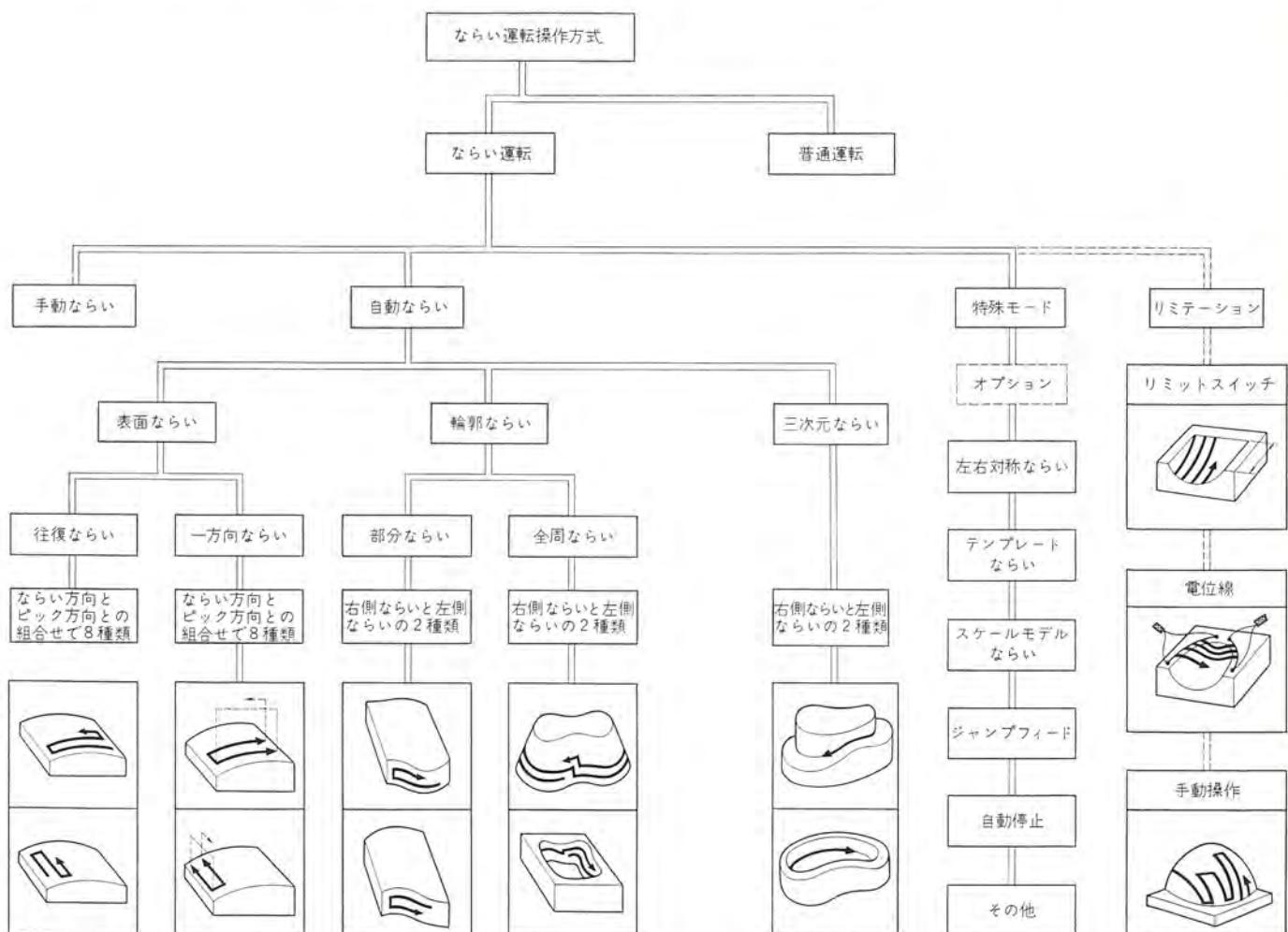


図 3.11 ならい運動操作方式

Operation for copy.

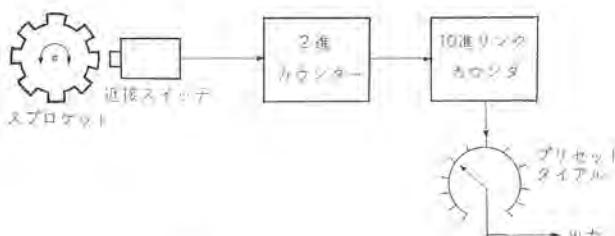


図 3.12 ピックフィードカウンタ
Pick-feed counter.

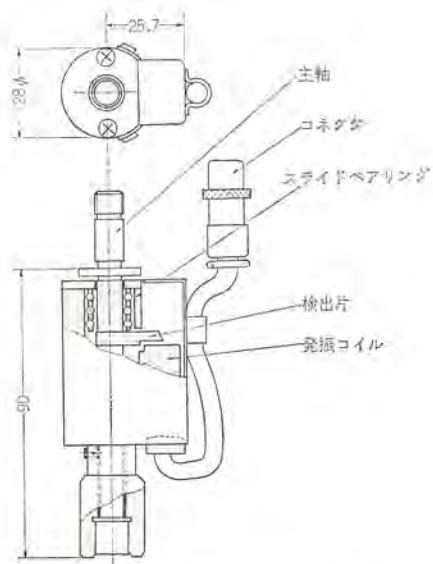


図 3.13 三次元検出ヘッド
Three-dimensional tracer.

すように駆動軸に設けたスプロケットの回転数（角度）を近接スイッチによってパルスとして検出し、これをプリセットカウンタによって計数している。

なお、10進リングカウンタの前段に使用した2進カウンタは、検出精度を上げるためのものである。このカウンタによるピックフィード方式は、送り量の設定が容易であるのと同時に、ならい速度を変えたときはも、ピックフィード送り量を正確に一定にすることができる。

3.5 三次元ならい

2.1節で説明したように、三軸同時三次元ならいは、主として深さ方向制御輪郭ならいとして使用される。3.2節で説明した検出ヘッドは、同時二次元検出であるので、この場合はスタイラスホルダーとスタイラスの間に、図3.13のような第3軸（軸方向）を独立に検出するアタッチメントを追加して取付ける。これは発振コイルと検出片との間の距離によって軸方向の変位のみ検出し、軸方向の駆動出力を制御するものである。ただし、検出ヘッドとアタッチメントのスプリング圧力の関係からモデルの形状に制限があり、輪郭ならいの側壁の傾斜が60°以上、モデル表面の傾斜が30°以下でなければならない。

3.6 ならい制御装置の標準化

ならい制御は、駆動サーボモータの容量において数百ワットの小形フライス盤、旋盤あるいはホブ盤などから、数キロワットにおよぶ大形形彫機まで各種工作機は使用される。そこで、これらの各種容量の用途に簡単に適用できることを目的として、図3.5のブロック図において、機械仕様に応じて変更しなければならない出力サーボ増幅器を除いた部分を、標準ならい制御装置として標準化した。この外形寸法を図3.14に示す。

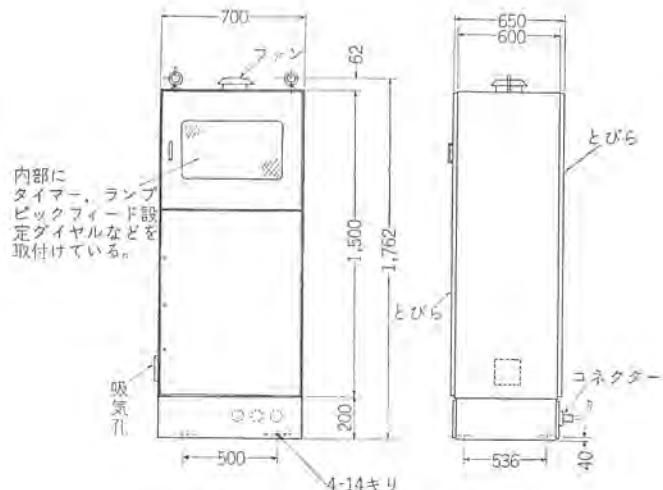


図 3.14 標準ならい制御装置
Standard control box for copying system.

この標準ならい制御装置には、自動ペクトル調整装置、シーケンス制御回路、これらを駆動するための電源回路および操作パネルを含む。したがって、これと出力サーボ増幅器やそのほかの駆動パワー関係制御装置を含む、いわゆる強電制御盤を組合わせるだけで各種のならい工作機に適用することが可能である。

4. 製作例

当社のMELDAS-2200形ならい制御装置は、これまでに多数の納入実績をもち、すぐれたならい切削性能を得ている。横形あるいは縦形の大形形彫機（駆動モータ1～5kW程度）では、

ならい速度 25～750 mm/min

ならい精度 200 mm/min 送りにおいて

定常精度 ± 0.1 mm 以下

過渡精度 ± 0.2 mm 以下

使用条件 周囲温度 $-5 \sim +40^\circ\text{C}$

電源電圧変動 $-15 \sim +10\%$

というすぐれた結果を得ている。

高精度を要求されるならいの実例としては、ホブ盤においてホブヘッドを一定速度（0.5～5 mm/min）で上下方向に送り、その送りに連動させてテーブル上の加工歯車を、クラウン形状のテンプレートにならって前後方向にサーボ制御する方式の一次元ならいでは（サーボモータ容量 300 W）、ホブ上下送り最大速度 4 mm/min のときの切削精度 ± 0.01 mm 以下を実現している。

1章においても述べたように、連続切削方式数値制御の発達によって、比較的簡単に演算できるような形状のワークに対しては、数値制御によって加工し、いっぽう、自動車のボディー、船舶・航空機のプロペラ・翼のような高度に複雑な（数値制御インプットテーブルを作成するのに、きわめて複雑な演算を必要とするような）形状のワークに対しては、ならい制御によって加工するというように2本立てで進むことが予想される。

また、機械のはん用性の点から数値制御・ならい制御併用機も考えられ、このような需要に対しては、当社の数値制御装置 MELDAS-5200（連続切削）と、3.6節で説明したMELDAS-2200の標準ならい制御装置を、図4.1に示すように組合わせて使用することができる。この場合、出力サーボ増幅器を含む強電制御盤は、共通に使用できるので経済的である。

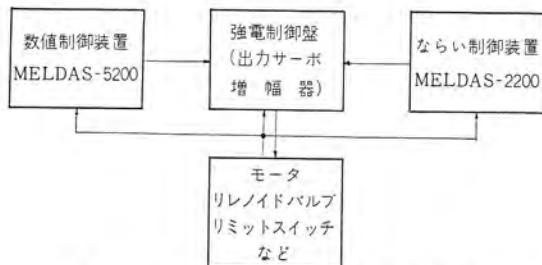


図 4.1 数値制御・ならい制御併用機
Numerical control combined with copying control.



図 4.2 強電制御盤
Control box for power circuit.

図 4.2, 4.3 は、強電制御盤およびならい機の製作例を示すものである。

5. むすび

以上、MELDAS-2200 形ならい制御装置について概要を説明した。

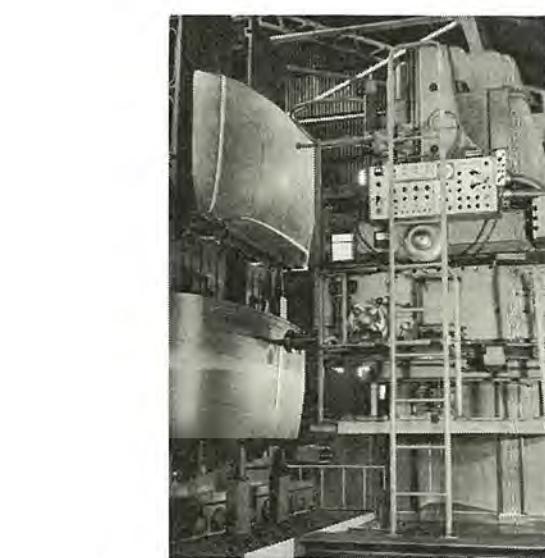


図 4.3 MIB フライス 中ぐり複合工作機（ならい）—
三菱重工・広機
MIB combined milling and boring machine tool (copy).

自動ベクトル調整装置により、エラーコンスタント・スピードコンスタントで象限切換えなしの連続ならいを可能ならしめたものであり、高精度の検出ヘッド、サイリスタ静止レオナード制御による直流サーボモータ駆動ならびに無接点シーケンス制御などと相まって、信頼性の高い、高速度高精度のならい機を実現した。今後、いっそう各方面に応用されることが期待できる。

最後に本装置の開発製作にあたり、多大のご協力をいただいた工作機メーカーおよび鎌倉、名古屋製作所の関係各位に謝意を表する。

参考文献

- (1) 馬場、小島：工作機械の多次元ならい制御、機械の研究, 17, 179 (昭 40)
- (2) 吉田、宮、梶野、石橋：三菱電機技報 40, 1,775 (昭 41)

数値制御装置

浜岡文夫*・俵口久元*・金森剛明*
吉田太郎**・宮幸助**・山崎宣典**

Numerical Control Systems

Kamakura Works Fumio HAMAOKA・Hisamoto HYOGUCHI・Takaaki KANAMORI
Nagoya Works Tarō YOSHIDA・Kōsuke MIYA・Nobuyoshi YAMAZAKI

Numerical control of machine tools is now generally approved in this country of its effectiveness nowadays, entering into a stage of practical operation and being expected to make development at a bound. Meanwhile, numerical control systems have come to possess excellent performance through the progress in electronics and servo mechanism backed up by study of operating methods.

Under the circumstances, Mitsubishi has developed recently MELDAS 3000, 4000 and 5000 series of the systems referred to. Several units have been now in actual operation with good reputation and a good number of units are under manufacture to fill the orders. The article reports on them briefly.

1. まえがき

工作機械の数値制御装置がアメリカにおいてここ（頃々）の声をあげてから十数年を経た今日、わが国においてもその有用性が一般に認識され今年10月開催される工作機見本市を機に、ようやく実用段階に大きく飛躍することが期待されている。この間数値制御はエレクトロニクスとサーボ機構の進歩にささえられた装置メーカーの研究開発や、機械メーカーの数値制御に適応した機械装置の改良研究、さらにユーザーにおける数値制御導入に対する研究など、数値制御の実用化に対する各部門におけるたゆまざる努力が払はれてきた成果が、いまや大きく実を結ばんとしているわけである。

数値制御工作機が企業において大きく取り上げられてきた理由は、それぞれの企業の特質によっていろいろ考えられるが、その最大の要因は数値制御の持つ特長を活用することによって、企業として最小の設備投資と最小の労費によって最大の効果を期待しうるからである。すなわち労働賃金の上昇による製品コストの上昇をおさえるための設備投資の低減と、生産能率の向上および未熟練工による低賃金労働力の活用による生産価格の低減を、数値制御が可能にするからである。

それではこのような能力を持つ数値制御の特長はどこにあるかといふと、数値制御は数値指令に従って、位置決めおよび切削動作を高精度でしかも高速度に行なう機能と、さらに同一精度同一速度で同じ作業を繰り返し行なうことのできる「再現性」を有するサーボ機構と、あらかじめ定められた手順に従って能率よく工作機械の操作するすなわち起動停止、工具交換またはテーブルの回転などをプログラムで行なう「操作性」を有するシーケンス機能の二つを有するためである。したがって数値制御はサーボ機構の再現性とシーケンス機能による操作性を、プログラムで指令する加工の自動化といえる。

それではどのような作業条件のもとで数値制御を設備すればどのような効果がえられて設置目的を達しうるかを考えてみるに、まず数値制御がその特長を發揮しうるような作業環境を与えることが最も重要なことである。

数値制御の効果を上げるためにまずは第一に十分な作業量を持つてそのか（稼）動率を上げることである。普通の機械ではそのか動率が20ないし30%あれば採算が取れるとされているが、数値制御で

は80から90%のか動率（これは2交代制を意味するが）にして普通の機械に比べて3倍から4倍の生産性をあげる必要がある。数値制御はテープを交換するだけで一つの加工から他の加工へ迅速に変えうるところの「融通性」をもつていて、また1台の数値制御機械で簡単なものから複雑なものまでテープの交換だけでいろいろな加工ができる「はん（汎）用性」をもつていて、さらに切削は高速度で高精度な再現性を有するサーボ機構で自動的に行なうから操作員に熟練者を必要とせず、単に装置の起動停止を行なう監視員でことなり、しかも製品は高度の再現性を持って作られているから、製品検査をほとんど必要としないことなどから十分そのか動率を上げるわけである。

つぎに数値制御が持っているプログラムによる「操作性」を十分活用できる工作機であることが必要である。すなわち加工物の供給、工具の交換、テーブルの回転、加工物のセッティング、製品の運搬などはあらかじめ計画によってプログラムで実行できるわけであるから、プログラムされた処理能力を十分生かしうるような加工能力を機械本体が具備していることが、数値制御の効果を発揮さすためにはきわめて重要な要素である。

第三に重要なことは、被加工物を加工から組立まで一貫した作業システムとして計画することである。これは数値制御単体としてえられる効果と、加工から組立までの全工程を、一つのシステムとして見た場合の総合効果が上がるよう位置決め数値制御を主体として加工システムを検討することが、数値制御の効果を上げるためにきわめて重要なことである。この場合、数値制御機単体としてあまり効果がめだたなくとも、それに関連する付属部門、たとえば工程の変更が容易で正確かつ短縮されるとか、使用工具が限定されて設計が簡素化されるとか、あるいは検査や治工具がいらなくなるなど関連部門の大きなメリットに対しても十分検討する必要がある。

つぎに数値制御を評価する場合の直接的な効果を考えてみるに、これも当然先に述べた数値制御の持つ特長から生れてくるものであって、とくにそのプログラムによる操作性はその使用条件によっていろいろなメリットを生むもので、ここでいちがいに述べることは困難であるが、大方に認められている効果として次のようなものがあげられる。

(1) 多種小量生産において流れる製品の種類を変更する場合、

テープの交換のみで対応できるから、段取り時間が短縮できる。

(2) 加工物のセッティング時間や治工具が減少し、納期およびコストが短縮される。

(3) 作業員に熟練者を必要とせず、また作業員を減らすことができるから、要員の確保が容易でかつ人件費が減少する。

(4) 高精度の再現性によって品質が向上均一化するため、不良品の減少および検査費用の節約が計れる。

(5) 数値制御機械の持つ工具の種類や加工寸法などに明確な制限があるため設計がそれに合わせようになり、設計の標準化と簡素化が推進される。

(6) プログラムテープによって加工工程が直接的に決まるから工程の狂いがない。

その他付随的な加工物や治工具の保管場所の減少や管理費の節減など使用される工場の条件に応じていろいろな成果が期待されるのであるが、このような成果を上げるために十分教育されたエンジニアを中心として十分数値制御工作機を使いこなすことが最も重要な基本要素であるといえる。

このように数値制御はその再現性と操作性の二大特長があります複雑高度化する社会に対応して企業の体質改善に大きな効果をもたらすものと思われる。とくにそのプログラムによるシーケンス制御機能は電子計算機と直結するものであるから、最近注目されてきている工作機の群制御にその例を見るように、電子計算機による事務の合理化の手法が加工の合理化にも取り入れられようとしていることは、1台の工作機で穴明け・タッピングから、切削仕上げまで完成させるとか、1台の計算機で同時に数台の数値制御工作を制御してそれぞれ異なる加工をさせ、しかも全工程を制御する方式の実用化が今後の課題になってくると思われる。

2. MELDAS シリーズの概要

このように数値制御が加工の合理化の重要な道具として広く採用される気運に際して、当社も過去10年間にわたって研究開発してきた数値制御技術を結集して、数値制御装置「MELDAS」シリーズを確立してたので、その概要を紹介させていただく。

MELDAS シリーズは簡易位置決め装置から高級な連続切削装置まで、いかなる工作機械にでも適用できるように性能および価格の幅広い対応性を持たせ、しかも多種類のオプションを自由廉価に選択組合せすることができるよう構成されていて、つきのような特長を持っている。

(1) きわめて高い信頼性

単なる計算機技術の焼き直しではなく、電源変動、ノイズ、温度および湿度の変化、振動・じんあいなど十分機械工場の実状を勘案して完全な動作が確保できるように設計されている。

(2) 大きな機能の拡張性

数値制御は価格的な面から極端に単能機化された計算機となっているため、オプション機能の選択や価格が非常に制約を受けやすいが、MELDAS シリーズでは基本設計から容易にオプションが付けられるように考慮されている。

(3) 機能単位のプリントカード化

軸制御機能・表示機能などのように各制御機能ごとにプリントカードにまとめてあるから、オプションの追加はカード単位ででき、また故障に際しても現象からただちに故障カードが摘出でき、保守メンテナンスが容易である。

(4) フィードバック方式

機械の移動位置を直接フィードバックする閉ループ方式のため機械系の摩擦・ねじれ・たわみ・伸縮・ギャラ精度を補正し高精度がえられるとともに、摩擦の変化による暴走を防止して安定な制御ができる。

MELDAS シリーズとしてつきのように各種類あり、性能構成の詳細については後述するが、それぞれ用途に応じて選択できるように準備されている。

(1) MELDAS-3200 :

簡易位置決め装置、全 IC 化、レジラフィードバック方式

(2) MELDAS-3300 :

簡易位置決め装置、トランジスタ、パルスフィードバック方式

(3) MELDAS-4200 :

位置決め直線切削装置、全 IC 化、レジラフィードバック方式

(4) MELDAS-4300 :

位置決め直線切削装置、トランジスタ、パルスフィードバック方式

(5) MELDAS-5210 :

連続切削装置、全 IC 化、直線補間方式、2 軸制御

(6) MELDAS-5220 :

連続切削装置、全 IC 化、直線補間方式、3 ～ 5 軸制御

(7) MELDAS-5230 :

連続切削装置、全 IC 化、直線および円弧補間方式、2 軸制御

(8) MELDAS-5240 :

連続切削装置、全 IC 化、直線および円弧補間方式、3 ～ 5 軸制御

以下各装置の概要について述べる。

3. MELDAS-3200, 4200 の概要

3.1 特長 (図 3.1)

(1) 集積回路 (IC) の使用により信頼性が高く小型である。

オンライン機器に要求される絶対条件としてまず高信頼性があげられるが、IC の採用により従来のトランジスタ方式に比べて信頼性が格段に向上した。すなわち IC 1 個の機能は個別部品の数にして十数個から 20 個ぐらいに匹敵し、個別部品を組合せて回路を構成する場合には、その数に比例したハンダ付けを必要とする。部品単体の故障率としては現在の IC はトランジスタよりも多少劣るが、数量とハンダ付け箇所の減少により、装置全体としての MTBF (平均故障



図 3.1 MELDAS-4200 外観
Exterior view of MELDAS-4200.

時間間隔) の推定値はトランジスタ方式に比べて約 10 倍となり使用実績もこれを裏付ける数値がでている。IC は消費電力が少ないため必要な直流電源も小さくてすむほか熱の発生が少ないので冷却ファンの必要がなく、制御装置は密閉構造で防じん(塵)しており、環境条件の悪い工場現場での絶縁不良・接触不良などの事故を防ぎ、この面でも装置の信頼性を高めている。このほか IC 使用により実装密度をあげられるので後述するように拡張性のある実装方法をとることができ、プロアスペースも少なくてすむ利点もある。

(2) アナログフィードバック方式のため安定性がよく高精度である。

位置検出器にレジルバを使用したアナログフィードバック制御を採用しているので、移動体から直接位置検出を高精度に行なうことができる。さらに精度が要求される場合は、直線形の位置検出器(リニアインダクション)を用いて直線偏位を直接検出する方式をとることもできる。いずれの場合にも位置を位相に変換しているので電源電圧変動・電気雑音の影響を受けず、また誤差の累積もない。

(3) 標準仕様で十分機能を発揮でき、さらに豊富なオプション機能が簡単に付加できる。

最大指令値 ± 9999.99 mm で大形機械への適用も容易であり、駆動系も機械に最適の電気・油圧いずれでも可能である。また各種補助機能も備えているなど、標準仕様に十分はん用性を持たせているうえにビルディングブロック方式により軸数追加、各種表示などの機能追加がカード単位で簡単に行なえる。すなわち回路は IC などを実装したプリント配線基板と、この基板間を接続する接せん(栓)間配線で構成されているが、MELDAS-3200, 4200 は接せん間配線はまったく同一であり、これにそう(挿)入する基板の種類と数により異なった機能を持つことができるよう考慮されている。オプション機能についても相当数のものについては基板だけをそう入すればこの機能が発揮できるよう標準仕様のものについても接せん間配線がなされている。標準本体内に収容しきれない機能については、オプションきょう(筐)体を付加して相互接続を行なうだけでよいように標準本体内の配線が考慮されているので、多種多様の工作機械に対して種々のシステム構成が可能であり、設置後の機能拡張も簡単に行なえる。

3.2 動作原理

(1) MELDAS-3200 の動作原理 (特許申請中)

図 3.2 に MELDAS-3200 の制御ブロック図を示す。図では 1 軸分のみのブロックを示し他は省略してある。

テーブリーダから読み込まれた入力指令は入力制御回路によって位置指令・補助機能指令などに振り分けられそれぞれのレジスタに記憶される。入力制御回路はパリティチェックの機能を有しており、リーダの誤読を防止する。位置指令 レジスタに読み込まれた数値は判別回路により機械テーブルの移動速度(高速・中速・低速)および方向が判別

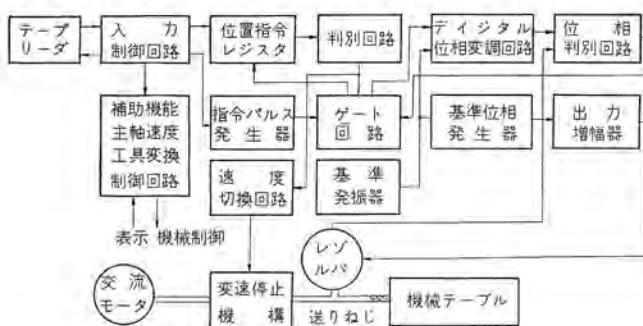


図 3.2 MELDAS-3200 制御ブロック図
Block diagram of MELDAS-3200 control system.

され速度切換回路を経て変速停止機構を動作させ、送りねじによって機械テーブルを駆動する。

図 3.2 では位置検出用のレジルバは送りねじ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、送りねじの精度、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。レジルバは空間的に直交する 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一電気量変換器である。すなわち外部に簡単な回路を附加することによりレジルバへの入力電圧に対し、出力電圧が回転子の角度 θ に比例した位相ずれを持つ交流波形としてとり出せる。標準仕様ではレジルバ 1 回転を機械偏位 6 mm になるよう結合し、この場合のレジルバの検出精度は $\pm 3 \mu$ 程度である。リニアインダクションの場合はスケールとスライダ間の直線偏位がレジルバの固定子・回転子間の角度偏位に相当し、2 mm が 360° に相当して同様の位相ずれを持つ交流波形がとり出せる。この場合の検出精度は 250 mm 当たり(スライダ 1 本) $\pm 2.5 \mu$ である。

図 3.2 の基準位相発生器はレジルバへの入力位相を与えるもので機械テーブルが動かされてレジルバが回転するとレジルバの出力位相は基準位相と異なるものとなる。位相弁別回路はレジルバおよびデジタル位相変調回路からの位相を比較して、その差に応じた正負の電圧を発生する回路で、いまデジタル位相変調回路の位相が一定とすると、レジルバの回転により位相弁別回路から正または負(レジルバの回転方向による)電圧を発生する。この電圧はゲート回路に接続され、指令パルス発生器からのパルスをデジタル位相変調回路へ加えるようにはたらく。デジタル位相変調器はその入力パルス数に応じて出力位相が変化する回路で正方向パルス、負方向パルスに対応してその出力位相が進みあるいは遅れる。デジタル位相変調回路の出力位相がレジルバからの出力位相に等しくなると位相弁別回路の出力電圧は零となり、デジタル位相変調回路への入力パルスはなくなる。このようにレジルバの回転すなわち機械テーブルの移動は、デジタル位相変調器の入力側でパルス数に変換される。このようにデジタル位相変調回路・位相弁別回路・ゲート回路は閉ループを形成して、レジルバからの検出位相に追従してパルスに変換する機能をもつ。これらはすべて制御装置内で行なわれ外部ではパルス電圧を取扱わないので、特長の項でのべたような安定した高精度の検出が可能となる。

ゲート回路からの出力パルスは位置指令レジスタも加えられ、入力指令値からの減算を行ない、その残数によって判別回路は高速・中速・低速・停止の信号を発生する。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、指令値との差をデジタル位相変調回路に記憶させて誤差の累積をなくしている。

以上の動作による機械テーブルの速度線図を図 3.3 に示す。

(2) MELDAS-4200 の動作原理 (特許出願中)

図 3.4 に MELDAS-4200 の制御ブロックを示す。図では直流モ

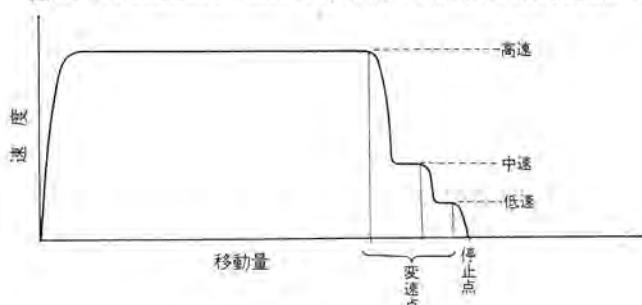


図 3.3 MELDAS-3200 速度線図
Velocity diagram of MELDAS-3200.

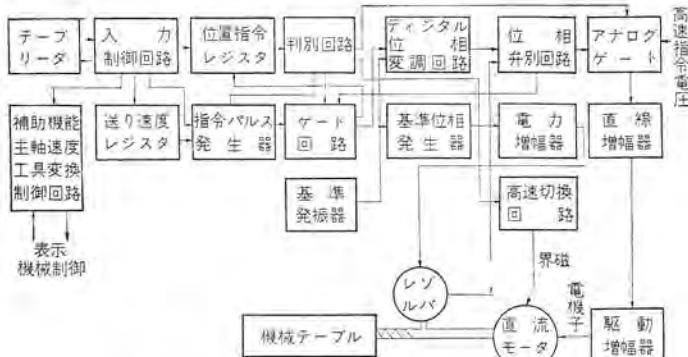


図 3.4 MELDAS-4200 制御ブロック図
Block diagram of MELDAS-4200 control system.

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、1軸分のみにとどめて他は省略してある。

テープリーダから読み込まれた入力指令が各レジスタへ記憶されることは、MELDAS-3200の場合と同様であるが、MELDAS-4200の場合は切削送り速度を与える速度の指令が含まれる。速度指令は送り速度レジスタに記憶されて、指令パルス発生器からのパルスの繰り返し周波数を制御する。指令パルス発生器からゲート回路を通ってデジタル位相変調回路へ加えられるパルスにより、デジタル位相変調器の出力電圧位相が変化する。

レジラバが停止していれば位相弁別回路出力に電圧が発生し、アナログゲート・直流増幅器・駆動増幅器を経て直流モータの電機子に電圧が加わり、モータを回転させ機械テーブルを移動させる。この動きはレジラバを回転させるので、位相弁別回路の出力電圧がゼロになる方向にレジラバの出力位相が変化する。すなわち位相弁別回路・アナログゲート・直流増幅器・駆動増幅器・直流モータ・レジラバの閉ループ系は、デジタル位相変調回路からの指令位相に応じて、位相指令を機械テーブルの移動に変換するはたらきをもつ。この場合機械テーブルの移動速度は、デジタル位相変調器からの位相変化の速さ、すなわち指令パルス発生器からのパルスの繰り返し周波数で与えられる。

また機械テーブルの移動量は指令パルス発生器からのパルスの数で与えられるが、このパルス数は同時に位置指令レジスタから減算され、残数がゼロになれば判別回路によってゲート回路を閉じ、デジタル位相変調回路へのパルスの供給を止めるので、デジタル位相変調回路への供給パルス数は位置指令レジスタの内容と等しくなる。

判別回路はこのほか停止点の手前で送り速度を落して機械にショックを与えないよう、指令パルスの発生周波数を順次低くする点の判別を行なう。MELDAS-4200では、このように位置サーボ系に対して時々刻々の位置指令を与えることにより速度を制御する形をとっているので、速度帰還のみによる速度制御の場合と異なり、制御速度範囲を広くとることができる。

以上は速度制御を必要とする直線切削の動作原理であるが、速度制御を必要としない位置ぎめ動作の場合は、少し違った動作原理となる。図3.4において高速切換回路により直流モータの界磁電流を弱め、高速指令電圧をアナログゲートの出力とすると、直流モータは最高速で回転し機械テーブルを移動させる。この場合の動作は、MELDAS-3200と同様で、移動量は位置指令レジスタから減算されてゆく。位置指令レジスタの残数が所定の値以下になると判別回路が動作して、動作モードは直線切削と同様になり、指令パルス発生器からのパルスによりモータの回転が制御され、指令位置に位置ぎめされる。MELDAS-4200の場合の速度線図を図3.5に示す。

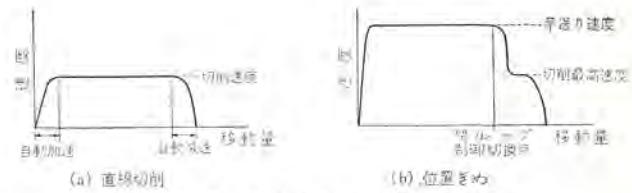


図 3.5 MELDAS-4200 速度線図
Velocity diagram of MELDAS-4200.

図3.4では1個の直流モータによる駆動の場合を示したが、このほか早送り用として交流モータを併用し、直流モータと差動ギヤまたはクラッチで切換える方法、サーボ弁と油圧モータにより駆動する方法など所要トルクと速度により最も経済的な方法をとることができる。

位置検出器としてリニアインダクションを用いることができるのも、MELDAS-3200の場合と同様である。

3.3 プログラミング

(1) ブロック構成

1ブロックは1個の指令をもっており、指令は1個または2個の語から構成される。各語はその頭に1個のアルファベット文字を持つ10進数値からなり、語の種類はつきの8種である。

(a) シーケンス番号 Nddd dは10進数値(以下同じ)

ブロックの最初にさん孔する。表示およびテープサーチ機能がある場合に必要で無作業である。

(b) 座標語 X(Y, Z, U, V, W, A, B, C)±dddddd

機械移動量を与えるもので、標準仕様では数値は0.01 mm単位で与える。上位けた(桁)の0および+符号は省略してもよい。

(c) 送り速度 Fddd または Fd

直線切削指令における送り速度を与える。標準仕様では数値はmm/min単位の整数で与え、上位けたの0は省略してもよい。選択仕様で送り速度設定ダイヤルの場合は、3個のダイヤルのいずれかを指定する1~3の数値を与える。送り速度は別の送り速度が与えられるまで保持されるので、速度を変更する場合のみ与えればよい。

(d) 準備語 Gd

次の4種類ありいずれも別の準備語が与えられるまで保持されるので変更を要するブロックにのみ与えればよい。

(i) 位置ぎめ指令 G0

G0のあとに座標語を与えてその距離だけ位置ぎめすることを示す。

(ii) 直線切削指令 G1 (MELDAS-4200のみ)

G1のあとに座標語および送り速度を与えてその距離だけその速度で切削送りすることを示す。

(iii) 加工開始指令 I G3 (MELDAS-3200のみ)

(iv) 加工開始指令 II G4 (MELDAS-3200のみ)

ともに位置ぎめ終了後穴あけなどの加工指令をだすものである。

(e) 補助語 Mdd

主軸正転・逆転・停止などの機械制御を行なうもので、上位けたの0は省略してもよい。M0はプログラム停止、M1はオプショナル停止ときめられているが、他の数値は強電制御盤との接続で任意に選ぶことができる。上位けたの0は省略してもよい。

(f) 主軸速度 Sdd

主軸回転数としてあらかじめ設定された最大100個のいずれかを選ぶもので、設定を変更する場合だけ与える。上位けたの0は省略してもよい。

(g) 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、設定を変更する場合だけ与える。上位けたの 0 は省略してもよい。

(h) 入力装置切換指令 Hdd

(i) 補助リーダ指令 H 1~H 19

補助 テープリーダが テープサーチ 機能を有していない場合は H 1 読込み (メインリーダ) で補助リーダへ移り、H 19 読込み (補助リーダ) でメインリーダへ戻る。テープサーチ 機能がある場合は、H 1~H 18 の読込み (メインリーダ) で対応する シーケンス番号 (N 001~N 018) をサーチし、H 19 読込み (補助リーダ) でメインリーダへ戻る。

(ii) 移動量設定 ダイヤル 選択指令 H 21~H 29, H 31~H 39, H 41~H 49, H 51~H 59

H 21~H 29, H 31~H 39 はそれぞれ対応する チャネル の ダイヤル 指令 (ch 1~ch 9, ch 11~ch 19) を符号を変えずに読取る指令で、 ダイヤル 指令が終わると自動的に テープ 指令へ復帰する。H 41~H 49, H 51~H 59 は対応する チャネル (ch 1~ch 9, ch 11~ch 19) の符号を反転して読取る指令である。

(2) テープコード

8 単位の EIA 標準コード であり上述の数字、+ 符号、アルファベット のほかに次に示す ファンクションコード がある。

EB (End of Block) 各 ブロック の最後にかならずつける。

DELETE この記号から次の EB までの内容は無作業

SP (Space) 無作業

AS (All Space, Tape Feed) 無作業

AM (All Mark) 無作業

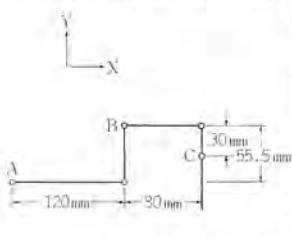
(3) プログラム 例

図 3.6, 3.7 にそれぞれ MELDAS-3200, MELDAS-4200 を用いる場合の プログラム の一例を示す。

4. MELDAS-3300, 4300 の概要

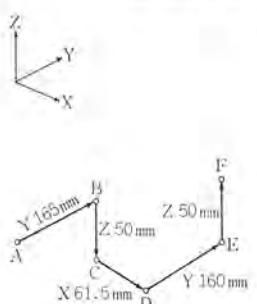
4.1 特長

制御機器はその高信頼性とともに、使いやすさが考慮されている



番号	指令	EB	摘要
N 1	G0 X 12000	EB	
N 2	Y 5550	EB	B 点位置決め
N 3	G3	EB	B 点加工
N 4	G0 X 8000	EB	
N 5	Y -3000	EB	C 点位置決め
N 6	G3	EB	C 点加工

図 3.6 MELDAS-3200 プログラム例
Example of program of MELDAS-3200.



番号	指令	EB	摘要
N 1	G0 Y 16500	EB	B 点に位置決め
N 2	M 10	EB	主軸起動
N 3	Z -5000	EB	C 点に早送り下降
N 4	G1 N4150 F100	EB	C-D 切削
N 5	Y 16000	EB	D-E 切削
N 6	G0 Z 5000	EB	F 点に早送り上昇

図 3.7 MELDAS-4200 プログラム例
Example of program of MELDAS-4200.

ければならない。MELDAS-3300, 4300 はとくにこの高信頼性と使いやすさに重点が置かれている。

(1) 簡単な原理・高性能な方式

位置検出用に光電式 パルス 発信機、位置 レジスタ に 10 進 リングカウタを用いた最も簡単な動作原理を採用し、しかも所要の機能を十分發揮しうる方式となっている。原理の簡明さは、回路構成の簡素化ひいては装置全体の高信頼性と低価格につながっている。

(2) 外乱に強く、使用される現場にマッチした性能

位置検出 パルス を常に 1 kc 以下で計数する 独特な 精粗切換計数方式を採用していて、非常に外乱に強く、通常の工場電源を使用しても、また カップル で置かれる強電制御盤の各 リレー に ノイズキラー をつけなくても安定した性能を発揮する。数値制御装置には専用の電源を、強電回路には ノイズキラー をという従来の常識を打破している。

(3) デジタル フィードバック方式 の採用

精粗各 2 相の位置検出 パルス を発生する 光電式 パルス 発信機は、回転形 デジタル パルス 発信機 であって、内部の パルス 円板を取換えるだけで 1 回転あたりの パルス 数が 400, 500, 600, 800, 1,000, 1,200 と変更可能である。したがって、駆動 ポール ねじの リード に応じて、 パルス 発信機を選定すれば、減速機等を介せず、軸直結で、位置検出が可能である。機械系の振動に対しても、確実に、位置の変位を回転角としてとらえ、エラーレジスタ 等のはたらきと協調して、累積誤差は皆無である。デジタル式であるので、電源変動や温度変動により影響を受けることがなく、外乱に対しても (2) により非常に安定である。

(4) 豊富な内容を持つ標準仕様

使いやすさという点から、 ダイヤル 入力装置や テープ の チェック 機能、さらに動作 チェック に便利な 指令値表示、有接点の個別出力による補助指令等、標準仕様内に含んでいて、これだけで各種工作機械に適用して、十分性能を発揮できる。オプション 追加は、機能単位の プリント板カード を追加することで可能でその内容も豊富に用意されている。

駆動系は、MELDAS-3200, 4200 と同様、機械に最適の電気、油圧いずれも可能であるが、早送りを AC モータ駆動、切削送りを SCR 制御による DC モータ駆動という方式を標準としている。



図 4.1 MELDAS-4300 外観
Exterior view of MELDAS-4300.

4.2 動作原理

(1) MELDAS-3300 の動作原理 (特許申請中)

図 4.2 に MELDAS-3300 の制御ブロック図を示す。図では一軸分のみを示し、他は省略してある。

テープリーダあるいはダイアルの指令は、MELDAS-3200, 4200 と同様、入力制御回路によって位置指令、補助機能指令などに振分けられそれぞれのレジスタに記憶される。

位置指令レジスタの内容により判別回路を通して、方向・送り速度(高速・中速・低速)の指令が発生して、交流モータの駆動が行われ、機械テーブルが移動する。機械テーブルが移動すると、送りねじに直結された光電式パルス発信機から、たとえば 0.01 mm ごとに 1 パルスがフィードバックされて、位置レジスタの内容を減じてゆく。このレジスタの内容がゼロになると送り指令はすべてオフし、つぎの指令の読み取りに移行する。この間の送り速度線を図 4.3 に示す。

光電式パルス発信機の内部を図 4.4 に示す。アクリル円板に、透明・不透明のパターンが同心円上に 4 相写真焼付けしてあり、このパターンをランプと太陽電池とで電圧変換するシャフトエンコーダであって、たとえばリード 6 mm のボルネジに直結するものは、精検出パターン

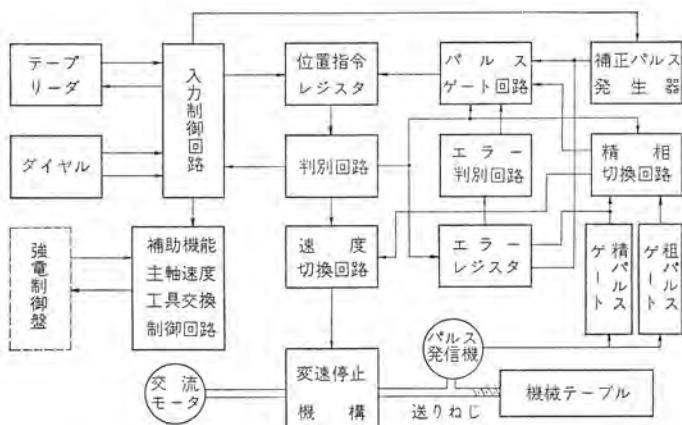


図 4.2 MELDAS-3300 制御ブロック図
Block diagram of MELDAS-3300 control system.

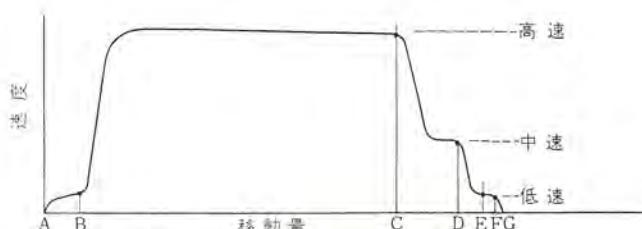


図 4.3 MELDAS-3300 速度線図
Velocity diagram of MELDAS-3300.



図 4.4 光電式パルス発信機 (内部)
Photo electric pulse generator (interior view).

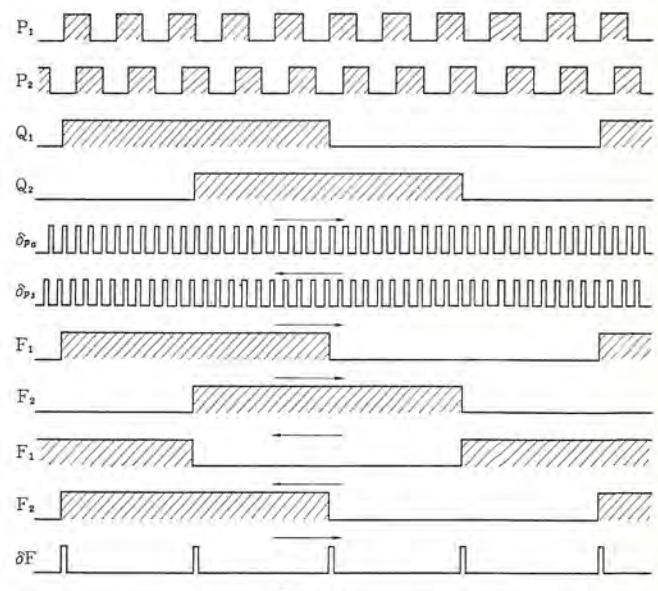
が、150 対で 2 相、粗検出パターンが 15 対で 2 相としてあり、それぞれ 0.01 mm・0.1 mm 単位の検出を行なう。得られる出力パルスは、1 回転あたり、精パルスが 150 個 2 相、粗が 15 個 2 相であるが、その位相関係が図 4.5 のようになって、精パルスゲートあるいは粗パルスゲートにより精・粗ともに 4 倍のパルス数に変換される。

精パルスは精パルスゲートにより正方向移動、負方向移動に応じて、自動的に方向弁別された正方向パルスと負方向パルスとに、位置応差ゼロで変換されるのである。これは、機械系が振動するような場合、確実に位置の変位をとらえるためのものである。

粗パルスは、粗パルスゲート回路により、いったん記憶回路を通してにより、正逆転時の位置応差を検出単位分 (0.1 mm) だけ与えている。すなわち、粗パルス計数時には、検出端での振動が、粗検出単位分だけ許されるようになっている。このように論理操作された精粗パルスは、つぎの条件で位置指令レジスタの減算パルスとしてゲートされる。停止時には、パルス発信機の検出ヘッドがパルス円板のある一点に対していて、起動すると必ず精粗同期位置を通過する。したがって起動後第 1 番目の精粗同期点までは、精パルスをゲートして、位置レジスタの減算パルスとし、0.01 mm 単位で計数を行なう。この間は低速移動とし、上記の精粗同期点で、減算パルスを精から粗へ切換えるとともに、高速駆動に移る。

粗パルスによる計数は 0.1 mm 単位であって、位置指令レジスタの 10 進最下位けたをバイパスして、減算を行なうことになる。位置レジスタの内容が、20 パルス未満になると、粗から精への切換準備指令が判別回路から、精粗切換ゲートにおくられる。この指令が与えられてから、第 1 番目の精粗同期点にて、粗パルスから精パルスへ切換えられて、起動時と同一状態に戻り、指令レジスタの内容がゼロとなるまで続く。

このように起動と停止寸前の間だけ精パルスで計数し、中間の高



P₁P₂ : パルス発信機精検出出力
Q₁Q₂ : パルス発信機粗検出出力
δP_a : 精パルスゲート出力正方向移動時のみ発生
δP_s : 精パルスゲート出力負方向移動時のみ発生
F₁ : 粗パルスゲート内記憶出力 オン条件 = Q₁Q₂ オフ条件 = Q₁Q₂
F₂ : 粗パルスゲート内記憶出力 オン条件 = Q₁Q₂ オフ条件 = Q₁Q₂
δF : 粗パルスゲート出力

図 4.5 位置検出信号の関係
Relation among pick-up signals.

・中速移動幅は粗パルスで計数する方式となっている。したがって位置指令レジスタの計数能力は、高速送りが 6 m/min であっても 1 kc あればよく対外乱対応性を確保している。図 4.3において、AB 間と EG 間が精パルス、BE 間が粗パルスゲート期間である。

図 4.3 に示したように、停止点は G 点であるが、停止指令点は F 点である。停止指令は、位置レジスタ内容がゼロのときに発生させる方法であって、負荷の慣性、ブレーキの性能、最終送り速度等で決まる量の惰行がある。したがって、この停止指令と同時にエラーレジスタの入力ゲートを開き、この惰行量（時には逆戻りすることもある）をエラーレジスタに計数させて次回起動時に、指令の方向により、指令値の加減算を行ない、前回位置決め時の惰行量や、停止時の種々のショック等による位置の変位を補正する方式をとっている。

エラーレジスタは可逆カウンタであって、停止指令後からつぎに指令が与えられて補正が完了するまで、正負両方向の検出パルスを入力として与え続ける。補正の方法を例をあげて説明する。今、指令が正方向に与えられたとき、エラーレジスタの内容が正であると、補正パルス発生器から、位置指令レジスタとエラーレジスタの減算入力端に補正パルスが同時に与えられ、エラーレジスタの内容がゼロになると補正パルスゲートは閉じて、駆動に移る。この間に指令値は、エラーレジスタの内容分だけ減算された値となっている。またエラーレジスタの内容が負のときは、補正パルスは与えられず、ただちに駆動されるが、精検出パルスは、エラーレジスタのみに与えられ、これの内容がゼロになると、位置レジスタ側に検出パルスが与えられる。結果的には、エラーレジスタの内容分だけ、指令値が補正加算されることになる。このようにして、毎回位置決め時の惰行量による誤差の累積を防止している。

エラーレジスタの主機能は上記のとおりであるが、つぎの2種の付加機能を有している。駆動中は、振動等で指令方向の精パルスだけでなく逆方向の精パルスが発生することがある。位置レジスタの減算計数入力としてその精パルスゲート期間において、正方向パルスと負方向パルスとを指令の正負に対応して与えていて、このとき、たとえば 1 パルス分だけ逆行があると、何も補正動作を施さなければ、実際の機械移動量よりも 1 パルス余分に減算され、指令値より 1 パルス分だけ足りないところで停止指令が発生することになる。したがって、エラーレジスタ内容がゼロでなければ位置レジスタへの減算パルスを与えないようにして、エラーレジスタには正負両方向の精パルスを与えておき、指令が正のときは、この零点よりも正側への計数を、指令が負のときは零点より負側への計数をそれぞれロックすることにより、逆行パルスが入来すると、エラーレジスタ内容がゼロでなくなり、位置レジスタの計数は、順方向パルスにより、エラーレジスタの内容が再びゼロとなるまで停止する。この機能により、精パルスゲート期間中における検出端の振動のための誤計数を防止している。また、停止指令後の惰行量は、そのまま毎日の位置決め誤差として無視できないものであるが、この量のばらつきは一般に小さく、あらかじめ見込むことが可能である。この惰行量の見込みをエラーレジスタの零点をシフトするという方法で行なっている。

エラーレジスタの内容がゼロのときは位置レジスタの精パルス入力のゲート条件とするのが基本形であるわけだが、たとえば惰行量を 2 パルス分だけ見込むときは、正方向指令に対しては、エラーレジスタの内容が、-2 のときを、負方向指令に対しては、+2 のときを、エラーレジスタの基準点とする。補正動作の状態では、エラーレジスタの内容が、-2 あるいは +2 になるまで補正が行なわれ、機械の移動中には、やはり、-2 あるいは +2 のとき、位置レジスタの精パルス入力のゲ

ートが開くことになる。すなわち、指令値を毎回強制的に 2 パルス分だけあらかじめ減じておいて、その量をエラーレジスタに記憶させておく方式である。この機能により毎回の位置決め絶対誤差は、停止機構のばらつき内に押えることが可能で、原理的に繰り返し誤差と同一の値となる。

以上のように、精粗切換計数方式と、エラーレジスタの 3 機能が動作原理の骨子であり、本装置を特長づけているものである。

(2) MELDAS-4300 の動作原理

図 4.6 に MELDAS-4300 の制御ブロック図を示す。図では親子モータによる駆動系の場合を 1 軸分について例示してある。

入力指令の読み取り、各レジスタへの分配、位置レジスタの内容別、精粗切換計数、エラーレジスタの動作等はすべて、MELDAS-3300 と同様である。制御ブロック図に示したとおり、送り速度の指令レジスタ、直流モータの速度制御用の速度サーボアンプとしての直流増幅器（サイリスタ増幅器を標準とする）が追加された形となっている。

駆動系として図 4.7 に示す親子モータを使用する場合について述べる。切削を必要としない早送りの場合の速度線図は、図 4.3 の MELDAS-3300 の場合とまったく同様で、中速、低速を直流モータで高速を交流モータで駆動する方式である。切削送りを必要とする場合には、速度指令レジスタに読み込まれた切削送り速度指令により、直流増幅器の基準入力を選択し、図 4.8 の速度線図に示したとおり A 点で直流モータにより低速起動し、フィードバックパルスが精から粗

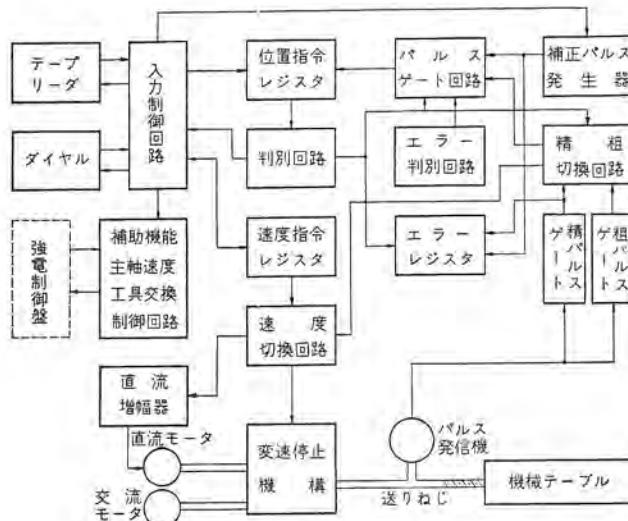


図 4.6 MELDAS-4300 の制御ブロック図
Block diagram of MELDAS-4300 control system.



図 4.7 親子モータ (AC 400 W, DC 200 W)
Twin motor AC 400 W, DC 200 W.

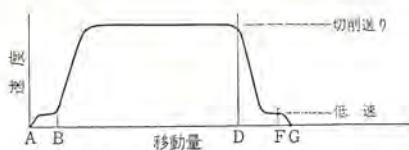


図 4.8 MELDAS-4300 速度線図
Velocity diagram of MELDAS-4300 (cutting feed).

シーケンス番号	指令	EB	摘要
N 1	X 12000	EB	B点位置決め
N 2	Y 5550	EB	
N 3	M 3	EB	B点加工
N 4	X 8000	EB	C点位置決め
N 5	Y -3000	EB	
N 6	M 3	EB	C点加工

図 4.9 MELDAS-3300 プログラム例
Example of program of MELDAS-3300.

シーケンス番号	指令	EB	摘要
N 1	GO Y 16500	EB	B点に位置決め
N 2	M 3	EB	主軸起動
N 3	Z -5000	EB	C点に早送り下降
N 4	G 1 *6150F 2	EB	C-D 切削
N 5	Y 16000	EB	D-E 切削
N 6	G -Z 5000	EB	F点に早送り上昇

図 4.10 MELDAS-4300 プログラム例
Example of program of MELDAS-4300.

へ切り換えると同時に、速度指令によって選択された基準入力電圧が直流増幅器に与えられて、所定の切削送りとなるように直流モータが制御される。指令レジスタの残り量判別によりD点に達すると速度指令レジスタと直流増幅器との接続が切りはなされて、起動時と同じ直流モータの低速駆動に移行する。このときの減速は、機械ブレーキによる方法、熱制動による方法、あるいは、可逆直流増幅器のサーボブレーキによる方法、これらの併用など、対象工作機械に応じて適宜使いわけるようにしている。

直流モータの速度制御範囲は、電圧制御と界磁制御とを併用して1:60程度までとっている。

MELDAS-4300は基本的にMELDAS-3300と、動作原理が同一であるが、これを母体として、デジタル位置サーボ系を付加したMELDAS-4310は、旋盤用数値制御装置として開発したもので、ねじ切り、手動ハンドル運転等の機能を有している。本文にては、その詳細を省略する。

パルス発信機を駆動ボルネジに直結する方法だけでなく、MELDAS-3200、4200のレバーレバの場合と同様、機械テーブルにラックピニオン結合することにより、移動体から直接、位置検出することが可能である。

4.3 プログラミング

ブロック構成、テーブコード等MELDAS-3200、4200の場合と大略同様であるが、下記の点が異なる。

(1) 送り速度 Fdd (MELDAS-4300のみ)

送り速度をダイレクトに与える方式ではなく、シンボライズされた符号として与えて、可調整あるいは固定の送りが対応する。

(2) 準備語 Gd (MELDAS-4300のみ)

G 0, G 1 は MELDAS-4200 と同様

G 3, G 4 は使用せず補助語 M 指令で加工指令を与える。

(3) 入力装置切換指令 Hdd

この指令は使用せずに、補助語 M 指令で行なう。

図 4.9, 4.10 に図 3.6, 3.7 に示す加工内容と同じプログラム例を示す。

5. 連続切削数値制御 MELDAS-5220 の概要

5.1 特長

(1) 集積回路 (IC) の使用により信頼性が高く小形である。

前述の MELDAS-3200, 4200 と同じく、全面的に IC を採用して、信頼度を向上している。連続切削数値制御は、位置決め、直線切削の装置に比べ、論理回路も複雑であり、素子数も多く高価であるので、IC の使用と十分な設計マージンを取ることによってより信頼性を高めている。

(2) アナログフィードバック方式のため安定性がよく高精度である。

位置検出方式も、前述の MELDAS-3200, 4200 と同じくレバーレバ、またはリニアインダクションによるアナログフィードバック方式を採用している。したがって、電源電圧変動、電気雑音の影響を受けず、また誤差の累積もない。

(3) 標準仕様で十分機能を発揮でき、さらに豊富なオプション機能が簡単に付加できる。

最大指令値 $\pm 600,000.00$ mm で大形機への適用も容易である。駆動系も、機械に最適の電気、油圧いずれでも可能である。また各種補助機能も備えている。送り速度は、早送り最大 10,000 mm/min と高速であり、切削速度は、テーブにより ISO のマジック 3 けたで指定するので、0.1~6,000 mm/min を $\pm 10\%$ の精度で指令でき、適用機械の幅が広くなっている。

5.2 動作原理

図 5.2 に MELDAS-5220 の制御ブロック図を示す。図では、1 軸分のみのブロックを示し他は省略してある。テーブリーダから読み込まれた入力指令は入力制御回路によってパッファレジスタに記憶される。パッファレジスタは、指令テーブの各ブロックのつぎ目で、指令パルスがとぎれてテーブルが停止しないように、1 ブロックの指令を先行して読み込んでおく記憶回路である。

MELDAS-5220 と MELDAS-4200 との他の相異点は、パルス分



図 5.1 MELDAS-5220 外観
Exterior view of MELDAS-5220.

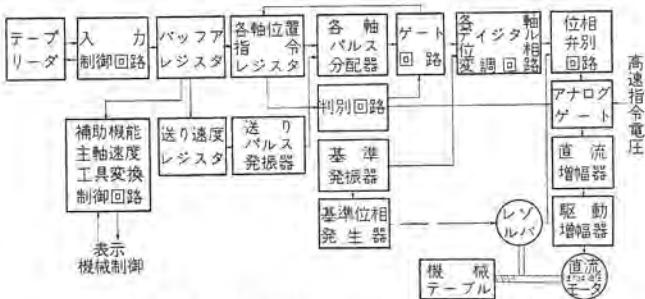


図 5.2 MELDAS-5220 制御ブロック図
Block diagram of MELDAS-5220 control system.

配器の有無だけである。ここで用いているパルス分配器は、最大5軸の直線補間が可能であり、現在位置と指令の目標位置を、直線で結ぶ軌跡上を機械が移動するように、各軸の送り速度を指令する回路である。切削速度は、各軸の送り速度の合成であるから、この合成速度が、テープの速度指令と一致するようになっている。つまり、速度指令値が同じであれば、機械の移動は方向に関係なく常に等速度になる。自動加速減速は、テープ指令の準備語により自動的に行なわれる。

5.3 プログラミング

(1) ブロック構成

MELDAS-3200, 4200 とほとんど同じである。すなわち、シーケンス番号 Nddd, 補助語 Mdd, 主軸速度 Sdd, 工具番号 Tdd は同じであり、座標語 X (Y, Z, U, V, W, A, B, C) は $\pm dddddd$ と d が多いだけであり、また送り速度 F は Fddd となることは同じであるが、ISO のマジック 3 の方法を用いている。ここで、Fd₁d₂d₃ の d₁ はけた数、d₂d₃ は送り速度の有効数字 2 けたであり、送り速度が $d_2d_3 \times 10^{d_1-4} \text{ mm/min}$ であることを示す。たとえば 0.1 mm/min は F 310, 5 mm/min は F 450, 6,000 mm/min は F 760 と並ぶ。d₁ は 10 進けた数に 3 を加えた数字である。準備語 G は下記のようになる。

G 0 : 位置決め指令, G 1 : 直線切削指令 (多次元直線補間)

表 6.1 数値制御装置標準仕様

Standard specifications of MELDAS-3000, 4000.

項目	自動位置決め数値制御装置 MELDAS-3200	自動位置決め直線切削数値制御装置 MELDAS-4200	自動位置決め数値制御装置 MELDAS-3300	自動位置決め直線切削数値制御装置 MELDAS-4300
入力指令	8 単位紙テープ (EIA 標準コード) ワードアドレス	同 左	同左とダイヤルプリセット	同 左
座標方式	相対座標	同 左	同 左	同 左
テープ読み取り速度	25 文字/s	同 左	20 文字/s	同 左
制御指令軸数	2 軸同時 1 軸	3 軸同時 1 軸	2 軸同時 1 軸	3 軸同時 1 軸
最小指令単位	±0.01 mm	同 左	同 左	同 左
最大指令値	±9999.99 mm	同 左	±999.99 mm	同 左
切削送り速度	—	10~999 mm/min	—	10~600 mm/min
切削送り速度設定	—	送り速度テープ指令 mm/min 単位	—	ダイヤル設定, 3 階設定可能
位置決め速度	最大 10,000 mm/min	同 左	最大 6,000 mm/min	同 左
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	同 左	パルス発信機によるデジタルフィードバック方式	同 左
制御方式	レゾルバ検出, モータおよびクラッチ駆動による閉ループ ON-OFF 制御方式 ±0.005 mm (同一点における位置決め精度)	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	パルス発信機モータおよびクラッチ駆動による閉ループ制御方式 ±0.01 mm	同 左
再現精度 (電気系)	全域可能	同 左	同 左	同 左
原点オフセット	プログラム停止, オプショナル停止 ほか 98 種	同 左	10 種	同 左
補助機能	—	—	テープ指令により最大 10 個	同 左
主軸速度指定	集積回路を主体とするプリント基板	同 左	トランジスタ回路を主体とするプリント基板	同 左
演算回路構成	100±15 V, 50/60 c/s, 1 φ 約 300 VA	100±15 V, 50/60 c/s, 1 φ 約 400 VA	200/220 V, +10%, -15%, 50/60 c/s, 3 φ, 約 500 VA	同 左
周間温度	-5°C~45°C	同 左	-10°C~40°C	同 左
外形寸法	高さ 750mm 幅 520mm 奥行 473mm	同 左	高さ 240mm 幅 450mm 奥行 670mm	同 左
重量	約 50 kg	同 左	—	—

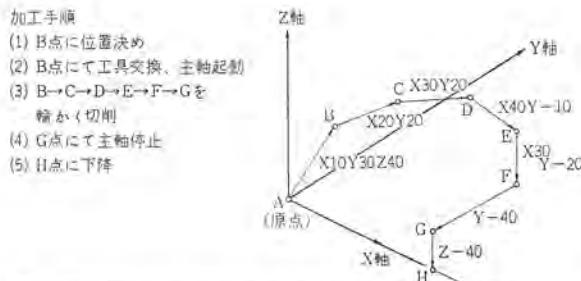


表 6.2 数値制御装置選択仕様

Optional specifications of MELDAS-3000, 4000.

項目	自動位置決め数値制御装置 MELDAS-3200	自動位置決め直線切削数値制御 装置 MELDAS-4200	自動位置決め数値制御装置 MELDAS-3300	自動位置決め直線切削数値制御 装置 MELDAS-4300
制御指令軸数	最大 5 軸	同 左	—	—
同時駆動軸数	2 軸	同 左	同 左	同 左
送り速度設定ダイヤル	—	最大 3 個	—	最大 20 個
移動量設定ダイヤル (工具オフセット、カッタ径補正と) (して使用可)	手動運転 1 指令 自動運転最大 18 指令	同 左	(標準仕様に含む)	同 左
補助テーブリーダ	1 台	同 左	同 左	同 左
ピッチ誤差補正	補正単位 0.01 mm	同 左	—	—
パックラッシュ補正	0.49 mm 0.01 mm 単位	同 左	同 左	同 左
リニアインダクション	高精度の直線形位置検出器	同 左	—	—
工具番号指定	最大 100 個	同 左	最大 40 個	同 左
主軸速度指定	最大 100 個	同 左	—	—
補助機能	—	—	最大 30 個	同 左
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/回の押しボタン式	同 左	同 左
テーブバンチ	さん孔のみ	同 左	同 左	同 左
A V R	100 V ±15 V 電圧安定用	同 左	—	—

表 6.3 MELDAS-5220 標準仕様
Standard specifications of MELDAS-5220.

項目	MELDAS-5220
入力指令	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
テープ読み取り速度	200 字/s 光電式 バッファレジスタ付
制御指令軸数	3 軸、同時 3 軸直線補間
最小指令単位	0.01 mm
最大指令値	±600,000.00 mm
切削送り速度	0.1~6,000 mm/min
切削送り速度設定	送り速度テープ指令、ISO マジック 3 方式 手動で速度変更可能
位置決め速度	最大 10,000 mm/min
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
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決め精度)
原点移動	全域可能
補助機能	プログラム停止、オプショナル停止ほか 98 種
自動加速減速	準備語 (G) にて指定
演算回路構成	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 600 VA
周囲温度	-5°C~45°C
外形寸法	1,550 mm(H) × 700 mm(W) × 650 mm(D)
重量	約 100 kg

表 6.4 MELDAS-5220 選択仕様
Optional specifications of MELDAS-5220.

項目	MELDAS-5220
制御指令軸数	最大 5 軸、直線補間
同時駆動軸数	最大 5 軸 (位置決めおよび切削)
送り速度設定ダイヤル	なし
移動量設定ダイヤル	1 ブロック最大 64 字
補助テーブリーダ	200 文字/s 光電式 1 台
ピッチ誤差補正	0.01 mm 単位
パックラッシュ補正	0.01 mm 単位 最大補正 0.49 mm
主軸速度指定 (S)	最大 100 秒
工具番号指定 (T)	最大 100 種
手動ハンドル運転	2 mm/rev
1 パルス送り	0.01 mm 単位 押しボタン式
シーケンス番号表示	10 進 3 けた
主軸速度表示	テープ指令表示 10 進 2 けた
現在位置表示	士 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
サーボバルブ駆動増幅器	油圧モータサーボの場合は
DCM 駆動増幅器	550 W, 1.1 kW, 2.2 kW, 3.7 kW
テーブバンチ	さん孔のみ
テーブサート	可能
テーブチェック	総和チェック
テーブ巻取装置	付加可能
対称切削	各軸独立
直線形位置検出器	リニアインダクション
プロックディレット	可能

7. MELDAS シリーズの適用例、実績

MELDAS-3000, 4000, 5000 シリーズは、開発、製品化以来、短日の間に各方面より注目をあび、また好評をもってむかえられ、その受注製作台数も大幅にのびてきている。

表 7.1 はその受注、製作台数を示したものである。

表 7.1 MELDAS シリーズ受注製作実績

List of MELDAS-series manufactured or ordered.

適用機械名	納入先	使用先	機種	制御軸	納入年月	備考
台車ねく加工専用機	三菱電工(広機)	東急車両	MELDAS-4200	5	42/4	
横中ぐり盤	池貝鉄工	三菱電機(伊丹)	MELDAS-4200	4	42/8	
横中ぐり盤	三菱重工(広機)	住友機械	MELDAS-4200	3	43/5	
マシニングセンタ	新潟鉄工所	同左	MELDAS-4200	3	43/5	
マシニングセンタ	三菱重工(広機)	同左	MELDAS-4200	3	43/5	リニアインダクション使用
レーザ付N/C(カーモデル用)	三菱電機(鎌倉)	新日本工機	MELDAS-4200	3	43/6	リニアインダクション使用
マシニングセンタ	安田工業	三菱重工	MELDAS-4200	2	43/5	リニアインダクション使用
横中ぐり盤	池貝鉄工	三菱電機(長崎)	MELDAS-4200	4	43/6	
マシニングセンタ	安田工業	同左	MELDAS-4200	3	43/7	リニアインダクション使用
研削盤	日平産業	三菱重工	MELDAS-4200	3	43/11	
マシニングセンタ	新日本工機	(輸出)	MELDAS-4200	3	43/6	
旋盤	三菱電機(鎌倉)	同左	MELDAS-4200	2	43/9	
溶接機	三菱電機(名古屋)	三菱重工	MELDAS-4200	4	43/11	
横中ぐり盤	野村製作所	三菱電機(長崎)	MELDAS-4200	4	43/12	リニアインダクション使用
横中ぐり盤	野村製作所	—	MELDAS-4200	4	43/9	リニアインダクション使用
フライス盤	新潟鉄工所	同左	MELDAS-4200	3	43/9	
マシニングセンタ	新日本工機	同左	MELDAS-4300	3	42/10	
ラジアルボーラー	三菱電機(名古屋)	三菱電機(長崎)	MELDAS-4300	3	42/12	
ターレットボーラー	富山機械	同左	MELDAS-4300	3	43/1	
H型鋼穿孔機	大同機械	川崎建材	MELDAS-4300	5	43/5	
ターレットボーラー	藤ヶ産業	三菱電機(名古屋)	MELDAS-4300	3	43/7	
ターレットボーラー	藤ヶ産業	同左	MELDAS-4300	3	43/8	
旋盤	三菱重工(広機)	三菱重工(長崎)	MELDAS-4300	2	43/6	
旋盤	三菱重工(広機)	同左	MELDAS-4300	2	43/6	
プラノマチック専用機	三菱重工(広機)	会田鉄工	MELDAS-4300	5	43/7	
プラノマチック専用機	三菱重工(広機)	三菱重工(三原)	MELDAS-4300	5	43/9	
横中ぐり盤	野村製作所	同左	MELDAS-4300	3	43/6	
旋盤	山崎鉄工	三菱電機(名古屋)	MELDAS-4300	2	43/7	
旋盤	山崎鉄工	三菱電機(名古屋)	MELDAS-4300	2	43/8	
ターレットパンチプレス	三菱電機(名古屋)	三菱電機(神戸)	MELDAS-3200	2	42/11	
ターニング旋盤	オーエム製作所	同左	MELDAS-3200	2	43/6	リニアインダクション使用
フライス盤	三菱重工	同左	MELDAS-3200	3	43/5	リニアインダクション使用
フライス盤	三菱重工	同左	MELDAS-3200	3	43/5	
管板穴明機	三菱化工機	同左	MELDAS-3200	2	43/6	
フライス盤	新日本工機	同左	MELDAS-5220	3	43/7	
ターレットパンチプレス	三菱電機(名古屋)	同左	MELDAS-3300	2	42/5	
グルーピング専用機	三菱電機(名古屋)	三菱電機(和歌山)	MELDAS-3300	2	43/9	
ボーラー	三菱重工(京都)	同左	MELDAS-3300	1	43/7	
ターレットパンチプレス	三菱電工(名古屋)	三菱電機(神戸)	MELDAS-3300	2	43/12	

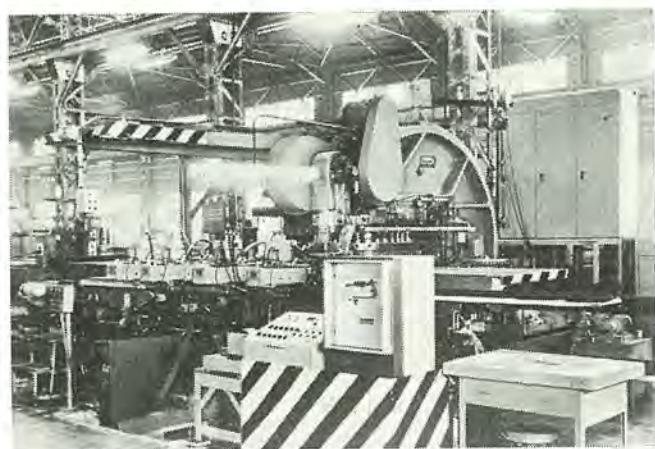


図 7.1 MELDAS-3200 ターレットパンチプレス
MELDAS-3200, Turret punch press.

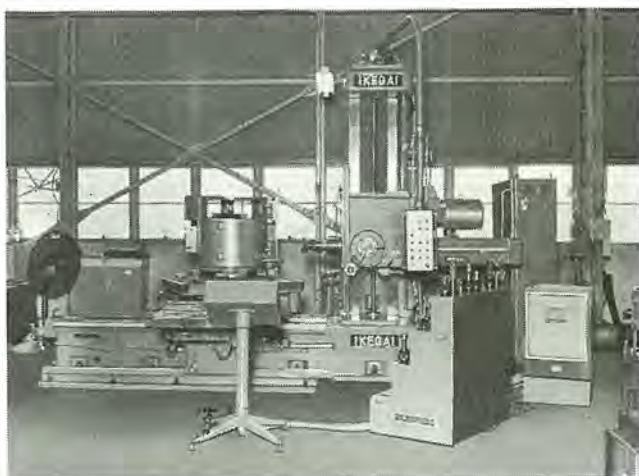


図 7.2 MELDAS-4200 横中ぐり盤
MELDAS-4200, Horizontal boring machine.

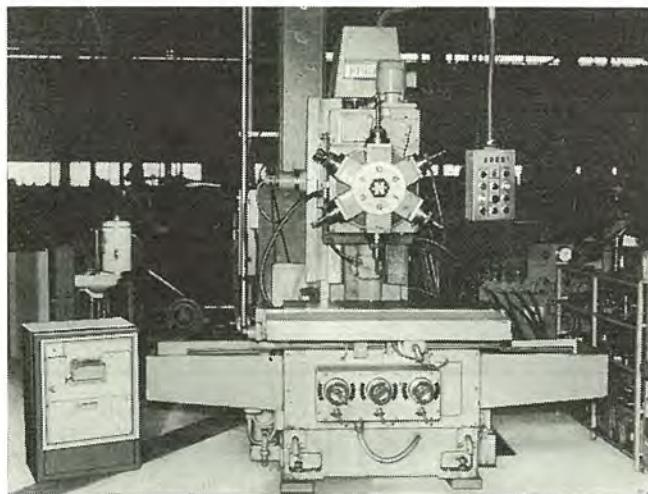


図 7.3 MELDAS-4200 ターレットフライス盤
MELDAS-4200, Turret milling machine.



図 7.4 MELDAS-3300 ターレットパンチプレス
MELDAS-3300, Turret punch press.

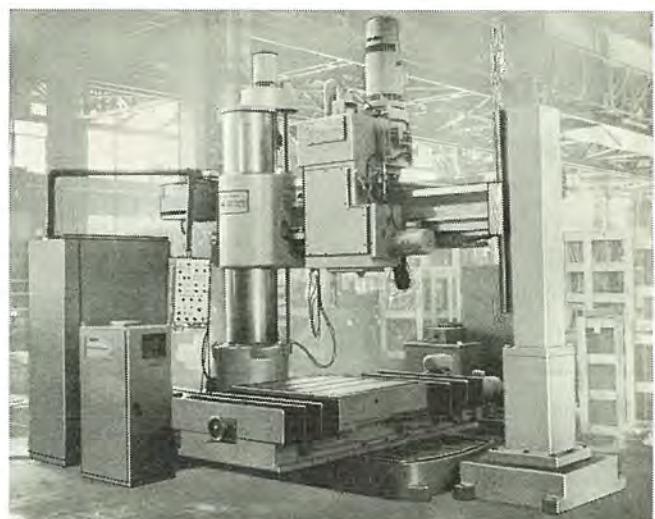


図 7.5 MELDAS-4300 ラジアルボール盤改造
MELDAS-4300, Radial drilling machine.

8. む す び

以上、当社で製作している MELDAS 数値制御装置シリーズについて、そのあらましを述べてきたが、これから発展はさらにめざましいものになると思われ、当社でも、これに対応するため、新しく種々の面で研究開発を進めており、今後とも各ユーザの期待に十分こたえる製品としていきたい所存である。

工作機用電磁制御器具

丸地謙二*・茂手木良夫*・岡戸弘行*
杉浦博*・松尾宏之*

Electro-magnetic Control Devices for machine tools

Nagoya Works Kenji MARUCHI・Yoshio MOTEKI・Hiroyuki OKADO
Hiroshi SUGIURA・Hiroyuki MATSUO

For automatic and highly complicated control of machine tools, a good many number of various kinds of control devices are put to use. Of them electromagnetic control devices have been used from old times in quantities for driving and sequence control of electric motors. Recently high reliability has been demanded of these apparatus, but selection of proper types is necessary as well as the high performance and high reliability of individual devices. This article describes electromagnetic switches, relays and operating switches as representative apparatus of the Company about their construction, characteristics and points in selection.

1. まえがき

電磁制御器具は工作機用として電動機の駆動、シーケンス制御用として種々のものが使用されるが、適用に当って比較的数が多くまた問題もある電磁開閉器、接触器、制御用繼電器、限時繼電器ならびにその他の操作スイッチ類についてその構造、特長、使用と選択の概要を述べる。

工作機械は、最近制御の複雑化、自動化、大規模化また生産能率向上が進み、信頼性向上のため使用される機器の高性能信頼性の向上と適確な適用使用も必要とされる。

2. 電磁開閉器、接触器

2.1 種類と定格

電磁開閉器は電動機の制御系において最も重要な地位を占め、工

作機械においても駆動源の制御に多数使用されており、今後も機械の制御が複雑となり、高能率化が進むにつれていよいよ数を増すものと考える。これら工作機械の能力を十分に發揮するために電磁開閉器の適切な選定が必要である。三菱電磁開閉器および接触器は工作機の電動機制御用として長年各方面に実績をもつが、ここではEM形電磁開閉器、M形電磁接触器などにつき述べる。

EM形電磁開閉器シリーズの種類と定格は表2.1に示すとおりで、各10種類あり、いずれもJISC 8325「交流電磁開閉器」に準拠しA級1号1種以上の性能を有する。

特長としては、とくに開閉部の能力すなわち接点の溶着および消耗の点ですぐれ、ひんぱんな開閉にもよく耐える。また直流操作のMD形電磁接触器はとくに機械的寿命にすぐれ、1,000万回以上の開閉に十分耐え、高ひん度長寿命を要求するところに適する。

2.2 特殊業務で使用される電動機への適用



図 2.1 EMO 形電磁開閉器
Type EMO Magnetic Switches.



図 2.2 MD 形直流操作電磁接触器
Type MD Magnetic Contactors for DC operation.

表 2.1 三菱電磁開閉器の接触器定格一覧表

List of ratings of Mitsubishi magnetic switches and contactors.

形 電磁開閉器	名 電磁接触器	直 流 操 作 電 磁 接 触 器	定格容量 (kW)								定格電流 (A)			
			三相電動機 (かご形)		三相電動機 (巻線形)		単相電動機		250 V	600 V				
			200~220 V	400~550 V	200~220 V	400~550 V	100~110 V	200~220 V						
EM(0)-4	M-4	—	2.2	2.2	2.2	2.2	0.4	75	11	6				
EM(0)-7	M-7	MD-7	2.2	2.2	2.2	2.2	0.4	75	11	6				
EM(0)-15 B	M-15 B	MD-15 B	3.7	5.5	3.7	5.5	0.75	1.5	18	10				
EM(0)-35 C	M-35 C	MD-35 C	7.5	11	7.5	11	2.2	3.7	35	25				
EM(0)-65	M-65	MD-65	15	22	15	30	—	—	65	50				
EM(0)-75	M-75	MD-75	19	30	20	37	—	—	80	65				
EM(0)-105	M-105	MD-105	25	45	25	50	—	—	100	100				
EM(0)-125	M-125	MD-125	30	50	30	60	—	—	120	100				
EM(0)-155	M-155	MD-155	37	75	40	75	—	—	150	150				
EM(0)-205	M-205	MD-205	45	75	50	90	—	—	200	150				
EM(0)-305	M-305	MD-305	75	150	75	150	—	—	300	300				

注) 電磁開閉器形名 EM は箱入、EMO は開放形を示す。

電磁接触器の一般に公称される電気的寿命は、JISC 8325 の規定により、抵抗およびリアクトルで電動機とほぼ等価な負荷を作り、A 級 1 号の性能のものにおいては定格電流の 5 倍電流（力率 0.3~0.4）を投入し、定格電流（力率 0.6~0.7）をしゃ断する責務で、1,200 回/時の開閉ひん度で実施したばあいのものである。したがって電動機を起動し、運転状態を継続した後停止するような標準責務で電動機が使用されるばあいは、ほぼ公称値と同じ電気的寿命を得られる。

しかし寸動運転や逆相制動を含む条件で使用されるばあいは、電磁接触器は電動機の起動電流をしゃ断することとなり、当然電気的寿命は大幅に短縮される。したがってある程度の電気的寿命を確保するには、電磁接触器の容量は必要に応じて低減して使用しなければならない。M 形電磁接触器における責務（電流）と寿命の関係を図 2.3 に示す。逆相制御責務における接点寿命は、寸動責務における寿命とほぼ同じと考えてよい。図中には、標準責務または寸動責務だけで使用したばあいの寿命が示されているが、寸動責務が標準責務の中にある割合で含まれるばあいの寿命は次式で計算し、必要寿命に応じて適当な電磁接触器を選定することができる。

$$N = \frac{N_S}{1 + \frac{P}{100} \left(\frac{N_S}{N_I} - 1 \right)} \quad (2.1)$$

ただし N_S : 標準責務だけで使用したときの接点寿命（回数）

N_I : 寸動責務だけで使用したときの接点寿命（回数）

N : 混合責務における全寿命回数

P : 全開閉回数中における寸動責務の含有百分率

2.3 可逆形電磁開閉器、接触器

可逆形電磁開閉器、接触器は工作機においても電動機の正逆運転、逆相制動あるいは配線を変えてスターデルタ起動などに多数使用されている。これらの制御を行なうばあい、正逆両方の接触器が同時に投入されることで、短絡事故となるのでぜひとも防止せねばならない。この事故の防止のために正逆接触器間にインタロックが施されている。国内で市販されているものは電気的インタロックだけを施したものが多いが、当社のものは機械的インタロックを併用している。インタロックの役割としては、

(1) 片側接触器投入時または接点溶着などの発生時、他方の誤投入の防止

(2) 切換時間の確保

(3) 正逆同時に誤投入されたばあいの相間短絡の防止

以上の 3 点であるが、(3) については電気的インタロックのみでは完全に防止することができないことが実証されている。機械的インタロックを併用するものにおいては、これも完全に防止することができる。これは当社品の一つの特長である。

また可逆形については性能上、切換時の無通電時間（一方の接触器が完全に OFF になってから他方の接触器の主接点が接触するまでの時間）も問題としなければならない。この無通電時間が短いばあいは、切換時にアーケショットを発生する可能性があり、リレーを 1 個仲介して切換時間をかせぐなどの対策が必要となる。EM 形の動作時間、アーケ時間などの値は表 2.2 に示すとおりであり、切換時の無通電時間は定格の 10 倍電流のしゃ断で最低 0.5 c/s (60 c/s ベース) 以上あり、切換時にリレーを仲介するなどの考慮は必ずしも必要としない。

2.4 サーマルリレーによる電動機の保護

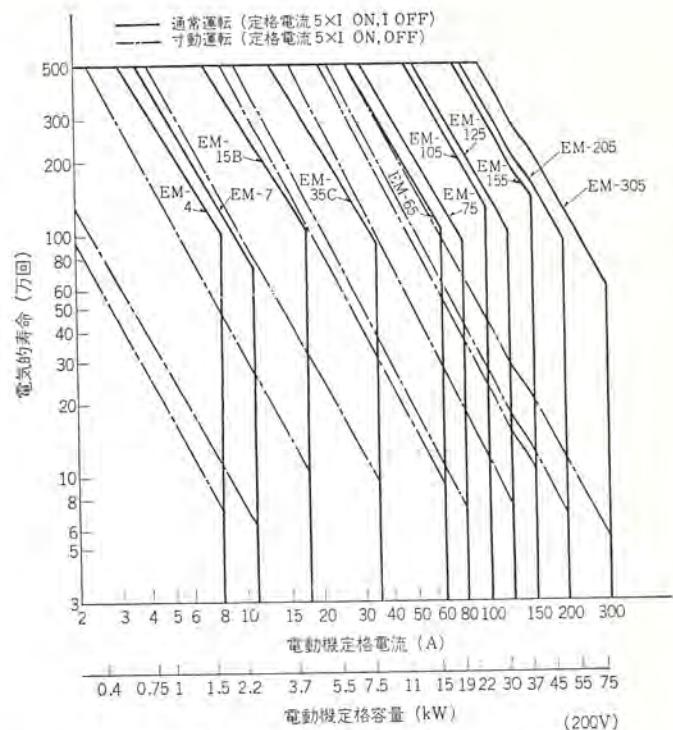


図 2.3 EM 形電磁開閉器の電気的寿命 (200 V 級)
Electrical life of Type EM magnetic switches.

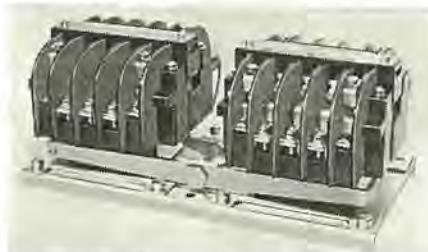


図 2.4 M-2×35 CM 形 電 磁 接 触 器
Type M-2×35 CM magnetic reversing contactor.

サーマルリレーの動作特性は電動機の保護を想定して、JISC 8325 に つぎのように規定されている。

(1) 電動機全負荷電流の 500 %電流を通電して、45 秒以内に動作すること。

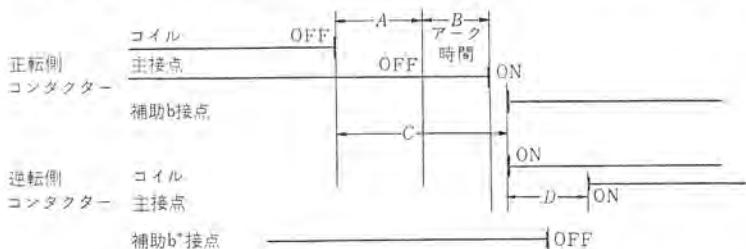
(2) 電動機全負荷電流を通電し、温度飽和後 200 %電流を通電して 4 分以内に動作すること。

(3) 電動機の全負荷電流で動作せず、125 %電流を通電して動作すること。

サーマルリレーで電動機を保護するためには、標準責務においては (3) を満足するようにヒータを選定すればよい。(1), (2) はサーマルリレー固有の特性として決定されてしまい、各メーカーにおいて電動機の熱特性を勘案してこの特性を適宜設計している。現在普及が進みつつある E 種電動機については、拘束時の熱的許容時間が 20 秒程度のものが多く、これを保護するサーマルリレーとしては 500 %電流での動作時間が、特殊なばあいを除き最大 20 秒程度におさまるものを使用しなければならない。EM 形に使用している TR 形熱動過電流继電器は 500 %電流での動作時間が最大 15 秒程度であり、E 種電動機に対し適切な保護を行なう。

さて標準的な責務で使用される電動機の保護はサーマルリレーで容易に行なうことができ、またヒータの選定も簡単であるが、間欠運転 (duty cycle) や寸動責務で使用される電動機をサーマルリレーだけ

表 2.2 可逆形電磁開閉器の切換動作時間
Operating time of magnetic reversing switches in connection changing.



形名	回路条件	時間 (c/s)				
		A コイル OFF 後 主接点 OFF 時間	B 主接点アーカ時間	C コイル OFF 後 補助 b 接点 ON までの時間	D コイル励磁後 主接点 ON までの時間	(C+D)-(A+B) 無通電 余裕時間
EM-2×7	3φ 220 V 105 A pf=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.48~0.58	0.1~0.3	0.68~0.82	0.52~0.68	0.51~0.81
	3φ 550 V 55 A pf=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.48~0.58	0.1~0.4	0.68~0.82	0.52~0.68	0.51~0.79
EM-2×15 B	3φ 220 V 165 A pf=0.33 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.40~0.69	0~0.34	0.62~0.96	0.61~0.98	0.52~1.0
	3φ 550 V 100 A pf=0.39 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.65~0.78	0~0.36	0.62~1.08	0.59~0.95	0.52~1.03
EM-2×35 C	3φ 220 V 330 A pf=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.55~0.62	0.52~0.27	0.95~1.1	0.92~1.36	1.0~1.57
	3φ 550 V 255 A pf=0.37 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.52~0.62	0.06~0.58	0.88~0.98	1.0~1.23	0.85~1.23
EM-2×65	3φ 220 V 525 A pf=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.6~1.25	0~0.34	0.85~1.57	0.7~1.15	0.77~1.25
	3φ 550 V 760 A pf=0.33 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.6~1.33	0.4~1.0	0.83~1.8	0.7~1.14	0.5~1.1
EM-2×105	3φ 220 V 1,000 A pf=0.37 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.8~1.1	0.1~0.4	1.1~1.5	0.9~1.5	0.8~1.5
	3φ 550 V 1050 A pf=0.35 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.8~1.1	0.25~0.77	1.11~1.44	0.98~1.56	0.66~1.1
EM-2×155	3φ 220 V 1740 A pf=0.33 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.8~1.02	0.15~0.36	1.3~1.6	0.8~1.38	0.9~1.7
	3φ 550 V 1620 A pf=0.3 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.8~1.02	0.23~0.96	1.38~1.50	0.71~1.23	0.69~1.23
EM-2×305	3φ 220 V 3100 A pf=0.3 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.8~1.05	0.17~0.4	1.5~1.75	2.0~3.1	2.1~3.8
	3φ 550 V 3050 A pf=0.34 コイル電圧 220 V 60 c/s	0.8~1.1	0.32~1.08	1.5~1.8	1.9~3.1	1.4~3.7

注) 1. 時間は 60 c/s ベースで示す。

2. 電流は、最大定格容量の電動機全負荷電流の 10 倍または定格電流の 10 倍で行なった。

3. CO 回数は、10 回で時間はその範囲を示す。

で保護するばあいは、ヒータの選定が困難である。しかし責務が完全に周期的であるばあいは、TR 形 サーマルリレーについて、つぎに記載する方法でヒータを選定するとよい。

(1) 周期的な間欠運転責務のばあい

TR 形 サーマルリレーは短ざく(冊)形のバイメタルをもち、動作時の

バイメタル 温度はほぼ 120°C である。一般に電流 I を通電したときの t 秒後の温度上昇 θ は次式となる。

$$\theta = \theta_0 \left(\frac{I}{I_0} \right)^2 \left(1 - K_1 e^{-\frac{t}{T_1}} - K_2 e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \dots \quad (2.2)$$

ただし θ_0 : 動作時の温度上昇 (120—周囲温度) (°C)

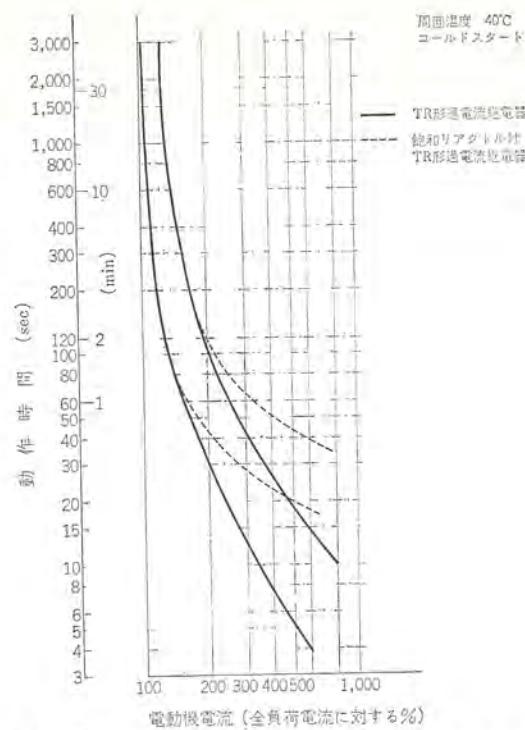


図 2.5 TR 形熱動過電流遮断器動作特性曲線
Time-Current characteristic curves of Type TR thermal overload relays.

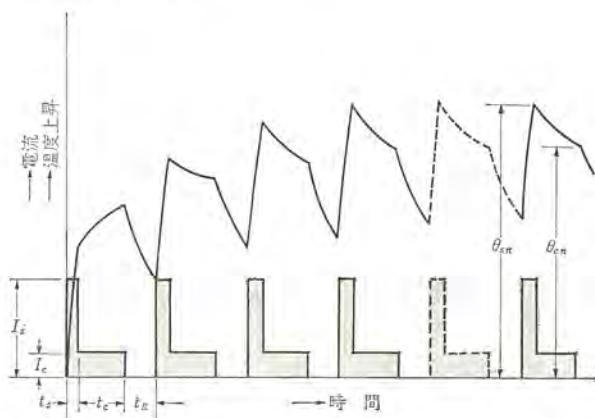


図 2.6 間欠負荷における熱動過電流遮断器の加熱子温度上昇
Temperature rise of thermal overload relay heater on duty cycle.

I_0 : サーマルリレーの最小動作電流 (A)

T_1, T_2 はサーマルリレーの熱時定数, K_1, K_2 は定数で各種 TR 形サーマルリレーの実測値は下表のとおりである。

	TR-4	TR-7	TR-15	TR-35B	TR-65	TR-75	TR-105
K_1	0.7	0.7	0.7	0.67	0.64	0.63	0.56
K_2	0.3	0.3	0.3	0.33	0.36	0.37	0.44
T_1 (s)	72	72	80	80	113	115	110
T_2 (s)	800	900	780	800	1,040	1,000	1,450

図 2.6 に示すように周期的な間欠責務を、 n 回行なったときのバイメタルの温度上昇 θ_{Sn} , θ_{Cn} は式 (2.2) を利用して

$$\theta_{Sn} = \frac{1 - (A_S A_C A_R)^n}{1 - A_S A_C A_R} B_S \theta_0 \left(\frac{I_S}{I_0} \right)^2 + \frac{1 - (A_S A_C A_R)^{n-1}}{1 - A_S A_C A_R} B_C A_R A_S \theta_0 \left(\frac{I_C}{I_0} \right)^2 \quad (2.3)$$

$$\theta_{Cn} = B_C \theta_0 \left(\frac{I_C}{I_0} \right)^2 + A_C \theta_{Sn} \quad (2.4)$$

$$\text{ただし } A_S = K_1 e^{-\frac{t_S}{T_1}} + K_2 e^{-\frac{t_S}{T_2}}, \quad A_C = K_1 e^{-\frac{t_C}{T_1}} + K_2 e^{-\frac{t_C}{T_2}}$$

$$A_R = K_1 e^{-\frac{t_R}{T_1}} + K_2 e^{-\frac{t_R}{T_2}}, \quad B_S = 1 - A_S, \quad B_C = 1 - A_C$$

t_S : 起動電流通電時間 (s) t_C : 電動機負荷電流通電時間 (s)

t_R : 運転休止時間 (s)

I_S : 電動機起動電流 (A) I_C : 電動機負荷電流 (A)

サーマルリレーが誤動作しないための条件は、 $\theta_{Sn} < \theta_0$ および $\theta_{Cn} < \theta_0$ である。式 (2.3), (2.4) で、 θ_{Sn}, θ_{Cn} のうちどちらか大きいほうと θ_0 が等しくなるような、 I_0 よりも少し大きめのヒータを選定する。

(2) 周期的な寸動責務のばあいは、 n 回行なったときのバイメタル温度上昇 θ_{Sn} は式 (2.3) において $t_C = 0$ とおいて求められる。ヒータの選定方法は (1) と同じである。

上述したような方法で周期的な寸動、または間欠運転責務に対するヒータを選定するばあい、周期が短いとヒータが電動機全負荷電流よりもはるかに大きくなり、過負荷の保護が不可能となることがしばしばある。このようなばあい飽和リアクトル付き TR 形サーマルリレーを使用すると便利である。飽和リアクトル付きサーマルリレーにおいては、電動機の起動電流のうちヒータに分流するのは半分程度(定格電流の 3 倍程度、したがって $I_S = 3I_C$ として計算すればよい)に制限され、他はリアクトルに分流するため選定するヒータをさほど大き



図 2.7 飽和リアクトル付 TR-35 B 形熱動過電流遮断器
Type TR-35 B thermal overload relay with saturating reactors.

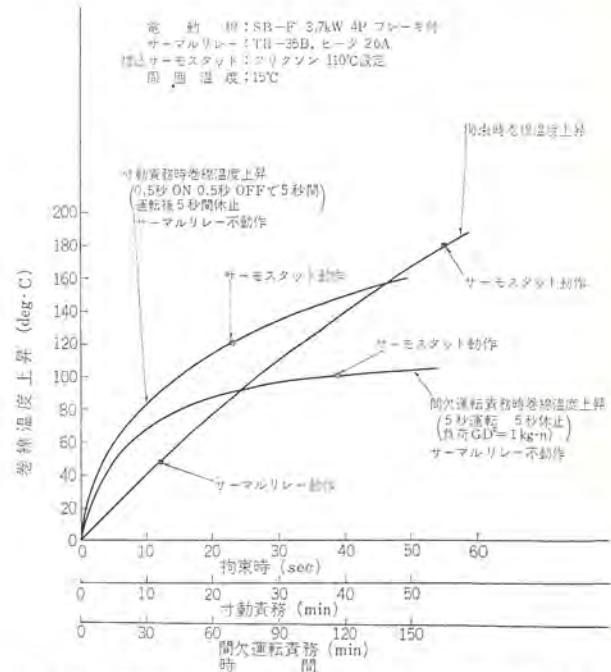


図 2.8 電動機のサーマルリレーおよびサーモスタットによる保護
Motor protections by thermal overload relay and thermostats.

くしなくとも $\theta_{sn} < \theta_0$, $\theta_{cn} < \theta_0$ の関係を満足することができ、過負荷保護も可能とすることができます。またこのような寸動または間欠責務においては、電動機自身の容量もこれに耐えるよう十分検討して選定されねばならないことはもちろんである。

以上のような方法で周期的な寸動や間欠運転責務におけるヒータは選定できる。また上記のような単純な線返責務でなくもっと複雑なばあいでも周期的であれば計算可能である。しかしまったく不規則な責務のばあいには計算できない。それでも飽和リクトル付 TR 形サーマルリレーを使用すれば、標準選定でかなりのところまで使用できるが、完全な保護を期するためにはどうしても埋込み形サーモスイッチなどの併用が必要である。

すなわち過負荷領域の保護はサーモスイッチに行なわせ、サーモスイッチでは熱的な遅れのために保護できない拘束時の保護をサーマルリレーで行なわせる方式をとれば、各種の使用責務に対して、電動機の能力ぎりぎりのところまで安心して使用できる。図 2.8 にサーモスイッチとサーマルリレーによる電動機の保護状況の一例を示す。寸法および間欠責務における保護が完全に行なわれることがわかる。

3. 電磁繼電器

3.1 種類と定格

電磁繼電器は工作機制御用としてシーケンス制御、パワー中継等に各種のものが用いられ、制御が複雑高度になるにしたがって信頼度の高いものが要求されてくる。ここではもっとも一般的に用いられるはん用制御用繼電器の定格、構造、寿命および接触信頼度についての概要を述べる。MR 形電磁繼電器はモールドタイプのはん用繼電器で、表 3.1 に示すよう 4 極系列と 5 極系列の各機種からなり、交流操

作用の MR 形、直流操作用の MRD-5, 10 形および機械ラッチを付加した MRL-5, 10 形等があり、それぞれの用途・回路構成によって使い分ける。

また最近接点のころがりを利用し接触信頼度を向上させ、コイルもモールド化し、切削油や水等の環境に対して強化した MR-S 形高信頼度リレーを発表した。また小形プラグインタイプリレーとして、RP 形も工作機用として取扱いが簡単なことから数多く使用されている。

3.2 構造と特性

MR 形はモールドタイプの水平動作形のコンパクトな構造であり、接触子部分は図 3.4 に示すような固定接触子の構造と防じんカバーで配線くずやごみがはいりにくくし、それに起因する接触不良・動作不良の防止を計っている。また接点構成の変更も可能としている。

RP 形はフラッパ形電磁石で、ナイフエッジ支点を中心として接点部分は、可動、固定接触子とも板バネでワイヤリング動作をし、可動部にリード線がなく長寿命で信頼性が高い。

MR 形および RP 形の動作特性は、表 3.1, 3.2 に示すように動作電圧も電圧変動に対してかなり余裕をもち、動作時間も MR 形は 7~13 ms で制御用リレーとして十分な特性を有している。耐振性については、MR 形および RP 形とも 10~50 c/s 1 G の振動に耐え、16.7 c/s 複振幅 4 mm 2 G で各方向 1 時間の耐久試験に誤動作もなく耐えている。また耐衝撃性も 10 G に耐える。開閉ひん繁度は定格が 1,800 回/時であるが、シーケンスリレーとして自己のコイル電流程度の小電流開閉等では 7,200~18,000 回/時の高ひん度開閉が可能で、工作機の高ひん度運転に十分耐えられる。

3.3 寿命

3.3.1 電気的寿命

形名		MR-4	MR-44(8)	MR-5	MR-10	MRL-5	MRL-10	MRD-5	MRD-10
操作回路		交流				直流			
極数	接点成	4	8	5	10	5	10	5	10
定電流 (A)	AC 250 V	4a, 3a1b, 2a2b 1a3b, 4b	4a4b (8a, 6a2b, 4a4b)	5a, 4a1b, 3a2b 2a3b, 1a4b, 5a5b	10a, 9a1b, 8a2b 7a3b, 6a4b, 5a5b	3a, 2a1b, 1a2b	8a, 7a1b, 6a2b 5a3b, 4a4b	5a, 4a1b, 3a2b 2a3b, 1a4b, 5b	10a, 9a1b, 8a2b 7a3b, 6a4b, 5a5b
定電流 (A)	AC 600 V					5			
連続電流 (A)	AC 220 V 25 A ON/5 A OFF					3			
寿命	AC 220 V 15 A ON/3 A OFF	40 万回以上	50 万回以上	40 万回以上	40 万回以上	50 万回以上	40 万回以上		
	AC 220 V 10 A ON/2 A OFF	100 万回以上	120 万回以上	100 万回以上	100 万回以上	120 万回以上	100 万回以上		
	DC 48 V	250 万回以上	300 万回以上	250 万回以上	100 万回以上	300 万回以上	250 万回以上		
命	DC 110 V								
	DC 220 V								
動作電圧	吸引	60 c/s		誘導負荷 ($T_0=100$ ms) 50 万回の電流	1P 2A, 2P 直列 3A, 3P 直列 5A			コールド状態で定格の 75% 以下	
		50 c/s		誘導負荷 ($T_0=100$ ms) 50 万回の電流	1P 0.4 A, 2P 直列 1A, 3P 直列 2A			ホット状態で定格の 85% 以下	
	落	下		誘導負荷 ($T_0=100$ ms) 50 万回の電流	1P 0.1 A, 2P 直列 0.3 A, 3P 直列 1A			コールド状態で定格の 10~20%	
動作時間 (平均 ms)	投入	a 接点 ON	12	12	12	9	10	28	22
		b 接点 OFF	9	9	9	7	8	—	—
	落下	a 接点 ON	9	8	9	9	15	18	16
		b 接点 OFF	12	11	12	12	18	—	—



図 3.1 MR 形電磁繼電器
Type MR magnetic control relays.

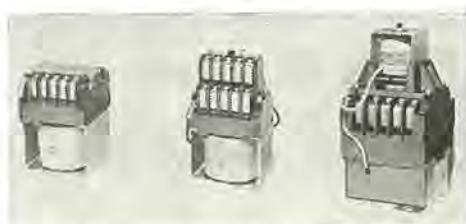


図 3.2 MRD 形直流操作および MRL 形ラッチ式電磁繼電器
Type MRD DC operated magnetic control relays
and MRL mechanical latch control relay.

表 3.2 RP 形コントロールリレーの仕様、特性
Specification and characteristics of type RP Control relays.

形名	RP-20	RP-30	RP-4
操作回路	交流または直流		
極数および接点構成	2極 2ab	3極 3ab	4極 4ab
接続表面	ネジ止め端子・ソケット	ネジ止め端子・ソケット	—
ソケット裏面	オクタル・ソケット	サブマグナム・ソケット	ファストン端子・ソケット
定格電圧(V)	AC 250		
定格電流(A)	AC 125V 3	2	15
	AC 250V 2	1	1
連続通電電流(A)	5	3	3
寿命 AC 220V		10 A ON 2 A OFF 50万回以上 5 A ON 1 A OFF 150万回以上 25 A ON 0.5 A OFF 300万回以上	
寿命 AC 220V		5 A ON 1 A OFF 50万回以上 2.5 A ON 0.5 A OFF 150万回以上 1.25 A ON 0.25 A OFF 300万回以上	
動作電圧	AC 吸引 落 下	定格の 50~80 % 定格の 30~60 %	
DC 吸引 落 下	コールド状態で定格の 50~70 % コールド状態で定格の 20~40 %		
動作時間	投入 a 接点 ON b 接点 OFF	7 6	7 4
平均 (AC ms)	落 下 a 接点 ON b 接点 OFF	7 8	6 7

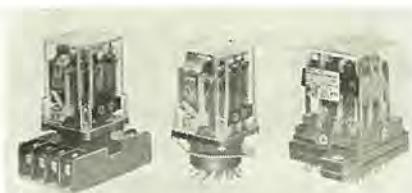


図 3.3 RP 形コントロールリレー
Type RP control relays.

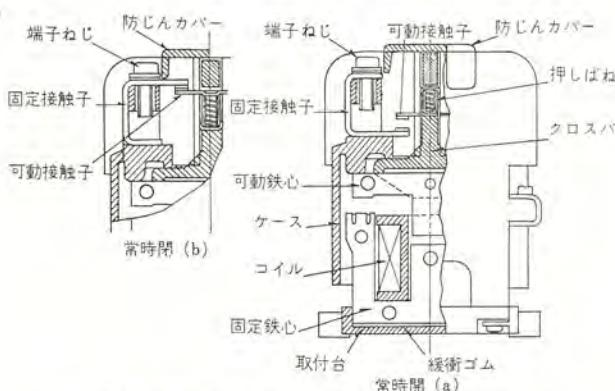


図 3.4 MR-4 形電磁継電器の構造
Cutaway sketches of type MR-4 relay.

電気的寿命は負荷条件により変わる。MR 形電磁継電器の交流負荷の寿命曲線を図 3.5 に、各種負荷における期待寿命を表 3.1 に示す。通常使用される電流は交流 1 A 以下が多いので、電気的寿命は機械的寿命とほぼ同等になる。

なお一般的にはつぎのことがいえる。

- (1) 電気的寿命はほぼ負荷電流の二乗に反比例する。
- (2) 電気的寿命における負荷電流と接触抵抗の関係は、負荷電流が 1 A 以上のはあいには、ほとんど新品の数倍の数 10 mΩ 以内

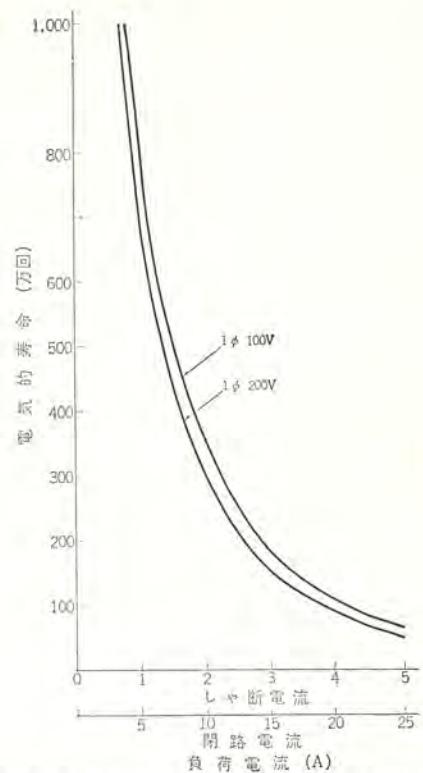


図 3.5 MR 形電磁継電器の負荷寿命曲線
Electrical life curves of type MR relay,

に安定するが、自己のコイル電流程度の数 10 mA のばあいには数千回をすぎると、数 100 mΩ とかなり大きな値を示すものがある。開閉に対しては 100 万回過ぎても接触抵抗の平均値はほとんど変わらないが、ばらつきがやや大きくなる。これは接点の消耗、アーカによる損傷または摩耗による結果であるが、通常のばあいとくに接触は異常ではない。

3.3.2 機械的寿命

機械的寿命は開閉衝撃のくり返しによる破損、摩耗が問題になり、開閉条件により大きく変わるが MR 形および RP 形の量産品の寿命試験は、電圧が定格の 105 %、周波数は 50 c/s で行ない、平均寿命は MR-4 : 600 万回 RP リレー : 800 万回で、90 % 信頼限界の寿命は MR-4 : 約 350 万回 RP リレー 約 500 万回である。なお直流操作の MRD-5、10 形および RP 形は 1,000 万回が完全に保証できる。

機械的寿命には操作回路の電圧変動は大きな影響があり、10 % 過電圧では鉄心寿命は 30~50 % 減じ、操作コイルも過電圧による温度上昇、機械的衝撃による レンショート の発生の危険性も増大するので、定格電圧での使用が寿命を確保するためには望ましい。

3.4 接触信頼度

継電器の信頼度は「ある装置が定められた条件のもとで定められた範囲内の特性をもって、所要の機能を遂行する確率」と定義され、継電器自体の保証寿命（電気的と機械的）と接触信頼度が問題となる。

最近接触信頼度試験が各方面でとり上げられ、その一方法として米国アーレンブロードレー社の文献を参考にしたものがあり、継電器のコイル電流を試験電流として開閉試験したばあいの接触不良の有無を確認するものである。試験回路は図 3.6 に示す基本ユニットにより構成される チェーンセーキット で、供試リレーのコイル電流を順次開閉していく。a および b 接点はコイル電流を通電のみする ドライ接点、c 接点はしゃ断する接点、d 接点は投入のみする接点で接触不良また

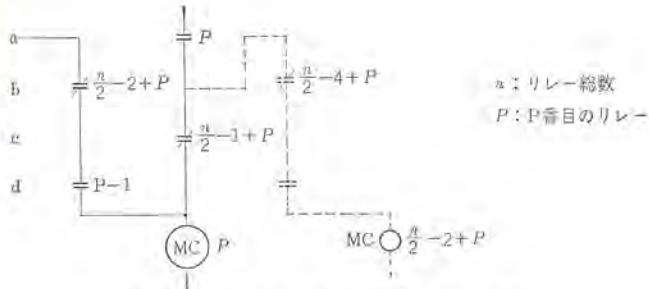


図 3.6 接触信頼度試験基本回路
Fundamental chain circuit unit.

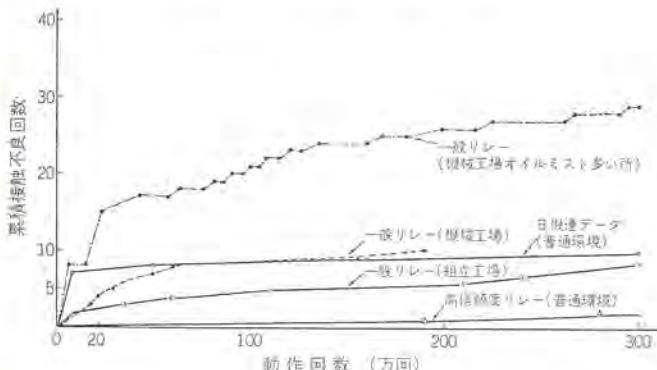


図 3.7 接触信頼度試験結果
Reliability test result.

は動作不良が発生しないかぎり連続運転される。

一般制御用繼電器 (MR 形相当) の AC 100 V 回路での試験結果では、普通環境では 20 個のユニットで 300 万回閉閉、接触不良による停止回数は図 3.7 の例に示すように数回～数十回、リレー 1 個あたりの接触不良発生率は数十万回～数百万回に 1 回程度、1 接点当たりでは $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 回程度である。しかし環境の影響をかなりうけ、切削油等のオイルミストの存在するふん団気では、一けた悪くなるデータがある。したがってじんあいあるいはオイルミストの存在する個所や、腐食ガスの存在する個所では制御盤の保護構造に注意を要する。

接触不良の原因は、銀接点表面の不導通皮膜の生成、じんあいなどが接点間にさみこまれて発生するのがおもなものである。

低電圧、小電流の開閉または低ひん繁度開閉時には接触不良発生率が多くなり問題となる。

この対策として繼電器の設計上、

- (1) 接触圧力を大きくし接点表面の異物を破壊する。
- (2) 閉回路時にしゅう（摺）動作作用をもたせ表面を清掃する。
- (3) 接点表面に適当な突起を設け、表面の異物を破壊しやすくするなど (2), (3) に相当する改良をしたものが MR-S 形電磁繼電器である。

またユーティ側において対策として考慮すべきことは、

- (1) 高温、高湿をさける。
 - (2) オイルミストやじんあいの侵入を防止する。
 - (3) 腐食性ガスをさける
- などで、制御盤の箱の保護構造を適当に選ぶことにより防止する。また回路的には、

(4) 操作回路電圧の低電圧をできるだけ避ける。

100 V 以上の回路では $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 程度の接触不良の発生確率のものが、24 V では 10^{-5} 程度に悪くなるというデータもある。

(5) 並列接点の使用。

1 接点あたりの発生率を P とすると 2 接点並列にすると理論的には発生率は P^2 となる。とくに低電圧の場合は、並列使用が有効で、たとえば 24 V の場合は 2 接点並列では 10^{-8} 程度に向上する。これに反し直列使用の場合は発生率は増加し、 n 個直列の場合は $1 - (1 - P)^n$ となり、多数の接点を直列に接続することは避けるべきである。

(6) ならし運転で初期に発生する接触不良を除くなどの各項目を並行に行なうことも必要となる。

4. SM 形限時繼電器

4.1 種類と特長

動作の方式、接点構成、操作電源の組合せにより、表 4.1 のように種類を分けることができ、限時スイッチ接点の動作を利用して種々の遅延動作を働かせることができる。SM タイマーは、比較的高精度を必要とせず、耐久力を要求される用途に適し、つきの特長がある。

- (1) 時間調整範囲が広い。
- (2) 小形、安価で種類が豊富である。
- (3) 時間調整が容易である。
- (4) 時限方式の違いや、瞬時接点の有無にかかわらず、外形寸法は変わらないため盤内の納りがよい。

(5) CSA 規格 (file No. LS 22452) に合格しており、輸出用機械に最適である。

4.2 仕様と特性

仕様と一般性能を表 4.1, 4.2 にそれぞれ示す。

(1) 時間特性、ダイヤル回転数対設定時間の特性を図 4.1 に示すが、これは 0.2 秒を基点として個々の特性を包含したものであり、これによって設定時間までの目安を付けることができる。

(2) 振動特性、一定振動耐久試験では複振幅 0.5～3 mm、加速度 1 G まで各方向とも支障ない。可変振動耐久試験中の時限変化を図 4.2 に示すが、一般に構造上加速され、時限がわずかに短くなる傾向にあるが、振動を与えないまゝの時間に戻りひずみは生じない。

表 4.1 種類と仕様
Kinds and specification.

形名	時間方式	落下限時		吸引限時	
		交流操作	SM-01	SM-21	SM-02
直録	直録操作	SMD-01	SMD-21	SMD-02	SMD-22
瞬時スイッチ	1 ab	なし	なし	なし	なし
時限スイッチ	△○	△○	△○	△○	△○
時限スイッチ	○△	○△	○△	○△	○△
シングル	時限スイッチ	○-II-O	○-II-O	○-II-O	○-II-O
操作電磁コイル	○-RT-O	○-RT-O	○-RT-O	○-RT-O	○-RT-O
瞬時スイッチ					○-H-O ○-II-O
限時スイッチの動作	△○ 時限でON、限時でOFF △○ 時限でOFF、限時でON	△○ 時限でOFF、瞬時でON △○ 時限でON、瞬時でOFF			
製品重量(kg)	SM	0.66	0.72	0.66	0.72
	SMD	1.04	1.10	1.04	1.10
時間調整範囲(s)	操作電磁コイル電圧(V)	投入時間(最大)(s)	復帰時間(最大)(s)	電磁石(最大)	
SM 0.2～60	AC600以下各種	0.02	0.02	4.5	120 20
SMD	DC250以下各種	0.03	0.03	9.0	—
連続通電電流容量(A)	交流(JIS C 4503)	電圧(V)	投入しや断電流容量(A)	定格電流(A)	直流
250	電圧(V)	50	5	125	抵抗負荷(A)
10	600	30	3	250	L/R 100ms 誘導負荷(A)
				0.6 0.3 0.3	0.3 0.15

表 4.2 性能
Performance.

項目	内 容	
繰返し時間精度	周囲温度一定で±10% (1秒以下は±0.1秒)	
寿命	電気的 機械的	100万回以上 SM: 200万回以上 SMD: 300万回以上
開閉ひん度	1,800回/時まで	
電圧、周波数の許容変動範囲	操作電磁コイル温度上昇安定後、定格電圧の85%~110%または定格周波数の95%~105%のいずれか一方のみ許容	
吸落引下電圧	定格電圧の85%以下 交流: 定格電圧の30~35%、直流: 定格電圧の10%以上	
周囲温度による時間の変化	25°Cを基準に -10°Cで+10%、+50°Cで-10%変化	
耐電圧	AC 2,200V 1分間 ただしスイッチの端子間は 600V 1分間	

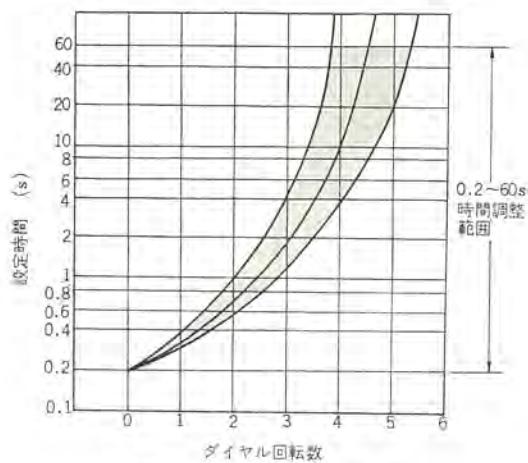


図 4.1 時間特性曲線
Characteristic curves of timing.

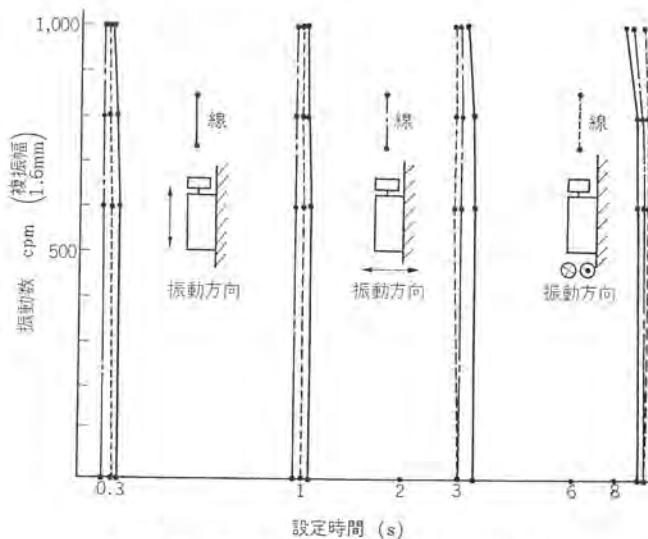


図 4.2 可変振動耐久試験による時間の変化
Characteristics of timing under vibration.

(3) 温度特性、周囲温度が設定時間に及ぼす影響は図 4.3 の通りである。基準温度 25°C で設定したものを、周囲温度を連続的に変化させてその特性を示した。繰返し誤差の影響はないが、設定時間が長いとき、影響が多少表われているため、時間の長いところでは使用環境下で設定したほうがよい。

(4) スイッチの寿命-負荷特性、限時および瞬時スイッチの一定電圧下における電流-寿命の特性を図 4.4 に示す。純理論的な接点のアーカによる消耗特性以外に、実際面ではスイッチ固有の機械的要因も加重される。寿命限界の判定内容を図中に示したが、タイマ用として実際面をみる必要がある。

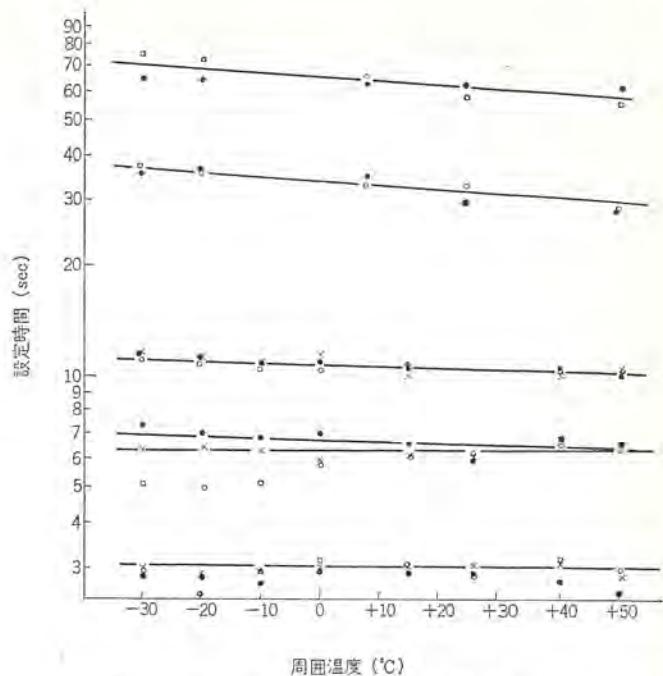


図 4.3 周囲温度による時間の変化
Changes of timing due to ambient temperature.

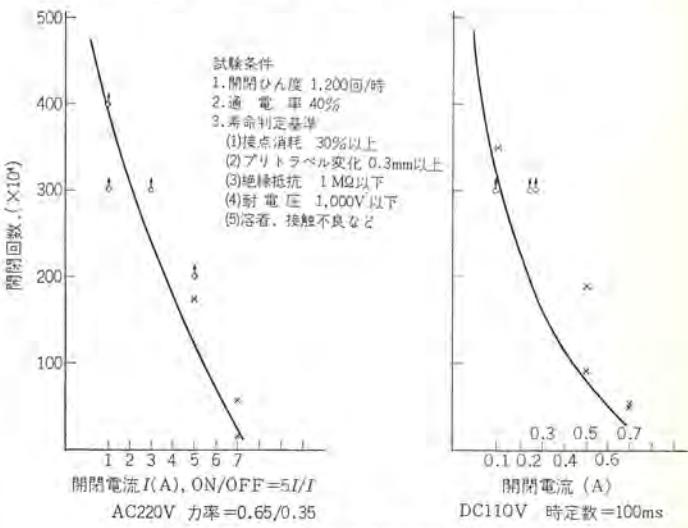


図 4.4 スナップスイッチ寿命-負荷特性
Characteristic curve of life-load.

(5) 設定時間変化、ある値に設定し一定ひん度で寿命試験した場合の一般的な傾向としては、初期的な増加が顕著にみられ、その後落ちつくが寿命期間中きわめてわずかであるが、漸増気味である。よってこの初期増加を取り去るため全数ならし運転を行ない出荷している。なお繰返し誤差の値は寿命期間中変化する傾向はない。

4.3 選定と応用

限時スイッチの動作特性を用いた基本回路例を参考までに示す。

(例 1) リレー R はタイマ T が ON してから時限をとって動作する。入-△起動やスパークアウトなど。形名 SM-02。

(例 2) ボタンを押して自己保持しタイムアウト後、リレー R, T とも切れる。時間がきてなおボタンを押してもリレー R は必ず切れる。このようにリレー R は、タイマ T の時限中しか ON していないので、この接点は一定距離を動かす微動装置などに応用する。形名 SM-02。

(例 3) 瞬時接点をもつ使い方で、タイマ T が切れてリレー R が ON, タイムアップ後リレー R は切れる。たとえばモータを切ってか

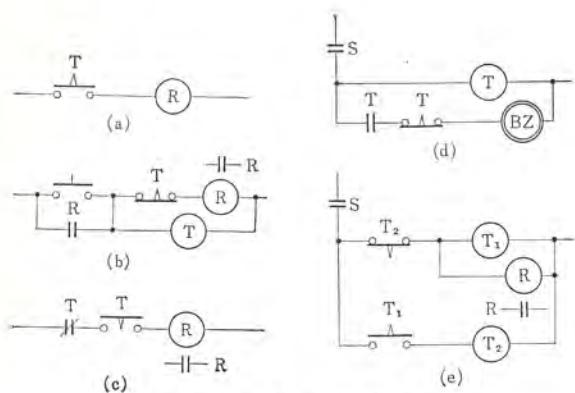


図 4.5 a, b, c, d, e (基本回路例)
Example of timer fundamental sequence.

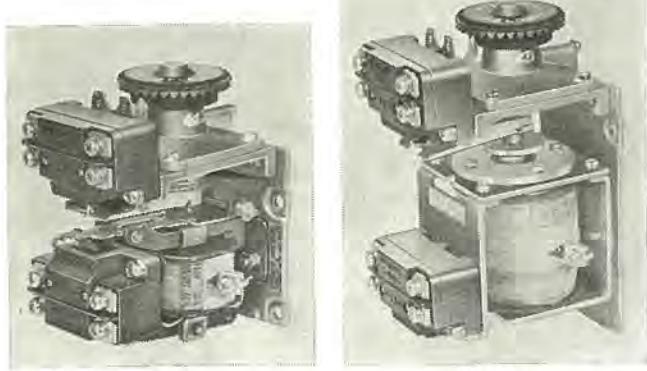


図 4.6 SM形限時繼電器
Type SM time limit relay.

ら一定時間のブレーキをかけるときなど。形名 SM-21。

(例4) たとえば1サイクル完了の信号Sが出るとタイマTはONしてブザーを一定時間鳴らし終わる。形名 SM-22。

(例5) 簡単なフリッカの例で信号Sが出るとタイマT₁がON、タイマアウト後タイマT₂がONしてタイマT₁をOFFする。続いてタイマT₂がOFFし、もとの状態に復帰しこれを繰返す。形名 SM-01, SM-02。

5. 操作スイッチ・信号灯

5.1 操作スイッチの工作機械への適用

工作機械の起動・停止を含む種々複雑な制御をするために、作業者が直接操作する各種スイッチ類や信号灯は欠くことのできない重要な要素である。中でも電磁開閉器操作用スイッチ類は、機械の近くに取付けられることや、操作がひんぱんであることから工作機用として、特に考慮しなければならないいくつかの問題がある。すなわち、

- (1) オイルタイト構造であること。
- (2) 操作がしやすく、じょうぶで寿命が長いこと。
- (3) 種類が豊富であること。

などが要求される。

さらに、最近の動向の一つとして、形状、寸法、性能を含めた規格統一化の問題があり、また半導体使用のため、低電圧低電流回路にも適するようにすることなど、ユーザーのこうした要求に十二分にこたえていく必要があろう。前記の要求に適合する三菱操作スイッチ、信号灯として、つぎのようなものがある。

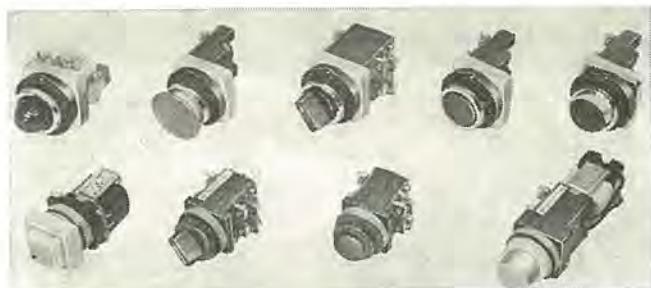


図 5.1 OU形/OS形操作スイッチおよびPL形/PC形信号灯
Control switches and pilot lamps.

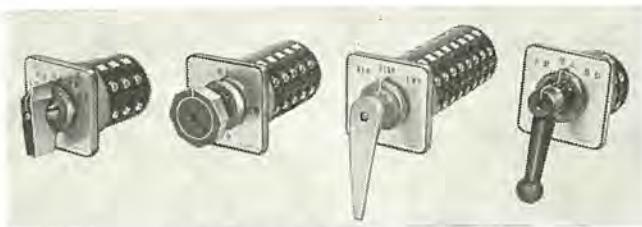


図 5.2 AK形切換スイッチ
Type AK change over switches.

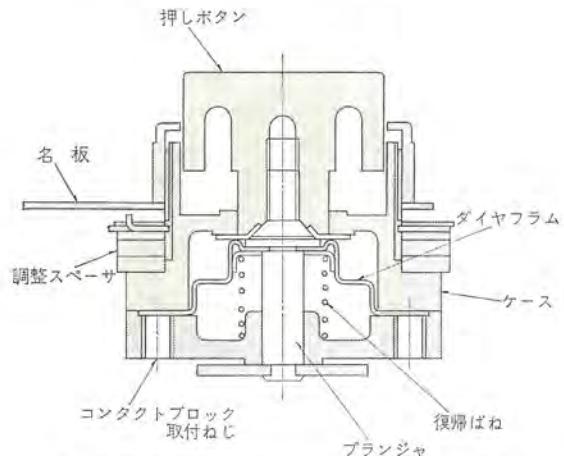


図 5.3 OU形操作スイッチの操作部分の構造
Construction of working parts of Type OU operating relay.

5.2 OU形/OS形押しボタンスイッチ・切換スイッチ

取付穴31φシリーズのOU形と、25φシリーズのOS形とがあり、それぞれ操作部の形状、色およびカムの種類が多く、用途に応じて使いわけることができる。図5.3にOU形(ランプなし)の操作部分の構造を示すが、ボタンと接点部分との間にダイヤフラムを設けてあるので、油や水の浸入を完全に防いでいる。接点接觸機構は銀接点のバットコンタクト式であるが、寿命が長く、耐振、耐衝撃性も高い。低電圧、低電流用にはワイヤリング接觸にしたり、あるいは金メッキする方法で応じている。表5.1は一般的な電気的定格を示す。

OU形、OS形ともランプを内蔵した構造のものがあり、そのほか自動復帰式切換スイッチ、天びん式切換スイッチ、誤動作防止用保護ガードなどがある。

5.3 AK形切換スイッチ

20接点、12ノッチまでの多段、多ノッチの切換えをするときに使用するカム式のコンパクトな切換スイッチである。パネル面に突出するつまみにより操作し、ブロックの段数とカムの形状との組合せで非常に多くの接点構成が得られ、一つのつまみで効果的な制御ができる。

表 5.1 操作スイッチの定格
Ratings of operating switches.

項目	形名	OU	OS	AK
A C	250 V 誘導負荷	5 A	3 A	10 A
	600 V 誘導負荷	3 A	—	5 A
DC 110 V 誘導負荷 100 ms	0.4 A	0.2 A	0.4 A	
連続通電容量	10 A	6 A	15 A	
電気的寿命	50万回以上	50万回以上	50万回以上	
適用電動機容量	—	—	220 V 2.3 kW 550 V	

きる。電気的な定格は表 5.1 に示すが、とくにこの切換スイッチでは、2.2 kW 以下の小型電動機を直接制御できる。したがって、正逆切換、極数変換、速度制御などが簡単に実現できる。

5.4 PL 形/PC 形信号灯

それぞれ OU 形/OS 形 操作スイッチとシリーズに製作されたもので、意匠・取付要領は同一である。レンズの色には赤、緑、黄など 7 種類あり簡単に交換ができる。電球は 18 V 2 W または 6.3 V 1 W で、通常の 100 V, 200 V の回路電圧に対し、AC ではトランジスタ (複巻), DC では抵抗をつけて降圧する。

6. その他の

6.1 LC 形リミットスイッチ

LC 形リミットスイッチは表 6.1 の仕様、性能表に示したように、3 種類の基本形があり、これでほとんどの用途に使いわけることができる。LC を他の同等品と比較しての特長は

(1) 小形、高感度であること。とくに動作までの動きが小さく、かつ基準位置の再現性にすぐれている。

(2) 完全オイルタイト構造であること。工作機用切削油に深さ 50 mm まで浸漬し実動しても油の浸入がない。などの性能をもっている。

内蔵されたスナップスイッチの切換時間は、ドックの速度に関係なく約 4 ms のため各端子は同極で使用する必要がある。

表 6.1 仕様と性能
Performances.

形名	LC-RAI	LC-RBI	LC-RVI
操作方式	自動復帰式 ローラーレバー	自動復帰式 ローラーボタン	外力復帰式 V 形 ローラーレバー
定格 (JISC 4505) (抵抗負荷)	AC 250 V 6 A 550 V 1.5 A DC 115 V 0.4 A		
接点構成	1 ab		
接点動作までの動き	5° ± 0.5	0.9 mm ± 0.1 mm	約 55°
接点動作後の動き	25° 以上	5 mm 以上	約 35°
応答の動き	約 3°	0.6 mm 以下	約 70°
運動範囲	—	—	50° 以上
全体の動き	—	—	90° ± 5°
操作力 (g)	500 以下	1,500 以下	1,000 以下
復帰力 (g)	120 以上	500 以上	—
寿命電気的機械的	50 万回以上 250 万回以上		
重量 (kg)	0.25	0.21	0.3

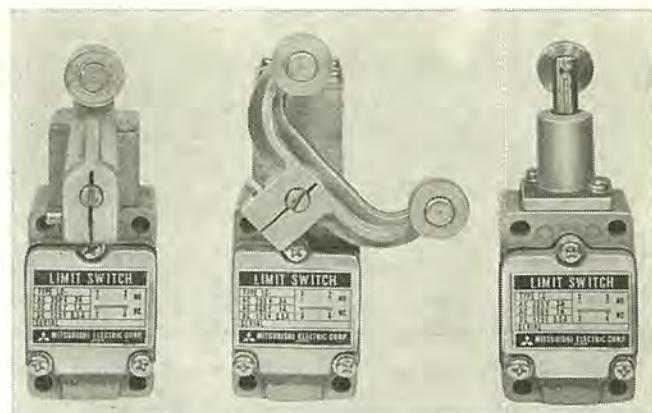


図 6.1 LC 形リミットスイッチ
Type LC limit switches.

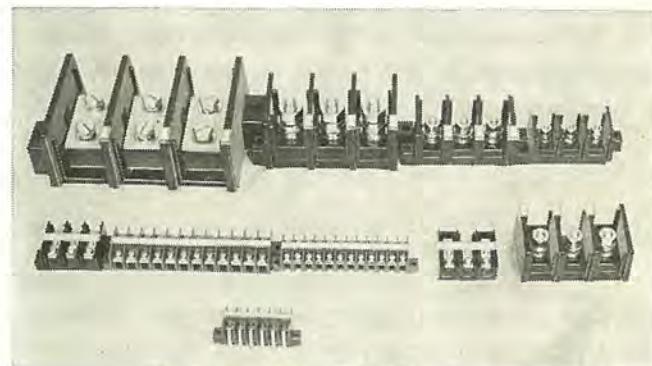


図 6.2 TE 形端子台
Type TE terminal blocks.

6.2 TE 形端子台

配線の中継用として非常に使いやすい端子台である。適合電線サイズをベースとして 2~325 mm² まで各種あり、いずれも 3 極またはその倍数の固定式である。したがって組立式のようにレールや連結棒などの付属品がいらず、しかも最少必要機能のみで設計されているため、価格が安い。

現在使用されている端子台は、ほとんどがねじ締め式であるが、ねじのゆるみに対する不安、あるいは配線作業コストの低減のため今後はファストン式のものが増えてくるであろう。TE 形でもすでに多くの実績がある。

7. むすび

以上電磁開閉器、継電器等の工作機用としての特性、選定上の問題について概要を述べたが、制御装置の信頼度を高めるために、器具自体の固有信頼性の向上とともに正しい選定使用により、十分性能を発揮させ使用信頼度を向上させることが必要である。

したがって本文が多少でも制御器具の正しい選定使用の一助になれば幸いと考える。

参考文献

- 高見、丸地、岡戸：三菱電機技術報、38, No. 7, 2 (昭 39)
- 岡戸、中沢、宇佐美：三菱電機技術報、40, No. 5, 828 (昭 41)
- 丸地、中島：三菱電機技術報、38, No. 7, 15 (昭 39)

工作機用半導体応用制御器具

宮 幸助*・三浦 守生*・宮崎 治*

Control Apparatus for Machine Tools as Applications of Semiconductor Elements

Nagoya Works Kôsuke MIYA・Morio MIURA・Osamu MIYAZAKI

Remarkable is the latest development of machine tools. From the viewpoint of controlling them, semiconductor elements are introduced into the mechanism in some forms. In other words it will not be exaggeration to claim that the introduction of semiconductors has brought about presentday development of machine tools.

The text of the paper deals with the latest trend of control apparatus for machine tools as applications of semiconductor elements, those kinds manufactured by Mitsubishi and practical examples of them. It is needless to mention that the company is striving hard to make improvement on them through the introduction of integrated circuits as well, aiming at small size, higher performance, enlargement of interchangeability and price reduction.

1. まえがき

最近の工作機械は、その制御面よりみると、一方において数値制御の導入による全自動化、他方においては各種の新しい制御器具の導入による高信頼度・高寿命・高性能化により長足の進歩をとげてきつつあるが、これらの発展は半導体応用技術の導入によるところが大きい。たとえばその例としては数値制御の場合はもちろん、ならい制御、モータの無段变速等の制御装置において、また制御素子・ユニットでは、近接スイッチ・無接点リレー等がそのおもなものとしてあげることができよう。これらのものは半導体応用技術の導入なくしては発展できなかつたものである。

本文は、これらの半導体応用製品のうち、とくに工作機用に向く制御器具について、その最近の傾向、標準機種、応用例等について述べたものである。

2. 最近の傾向

従来より、工作機の故障において一番発生件数の多いものは電気部分であるといわれてきたが、実際の調査でもそういった結果がでており、こういった面より早くから信頼性の高い制御器具の出現がきかれてきていた。

一方、最近の工作機械の制御においては、自動化・高速高ひん度化がその第一の必要条件となってきており、このためにこれらの条件に十分耐えるばかりではなく、従来考えられなかった各種の特殊な検出装置や制御器具がさらに必要とされるようになってきた。

このような条件より、半導体を応用した制御器具の出現は必然的にうまれ、すでにここ10年以上も前から実用化されるようになり、とくに最近の発達はめざましいものがある。また最近は、半導体応用制御が、はじめて導入された当時にくらべて（その当時は物珍しさが先だち、あまり経済性を重視していなかった。）各ユーザともその特長・内容をよく知って使用するようになり、この傾向は、今後ますます強くなっていくものと思われる。

ところで、これらの工作機の半導体応用器具にのぞむ要求を考えてみると、工作機の制御器具として、他の産業機械用のものと同じ

仕様上の要求事項もあるが、一般的には特有のものもかなり多い。半導体応用器具は、これらの要求を満たすべく作られてきたものであり、また満たさなければならない責任をもっているが、このいくつかをあげてみると、

- (1) 高ひん度（インチング動作を含めて）に耐えること。
- (2) 最近の自動化により、シーケンシャルな動作の導入が多くなり、リレーの数が増加しているため高信頼性の要求。
- (3) 悪い使用環境（とくにごみ・油・切削油・きり粉）に耐えること。
- (4) 取扱いが簡単であること。
- (5) 小形・軽量であること（ほかのユーザにくらべとくに要求が強い。）
- (6) 工作機に特有な検出機能をもった入力装置が必要。
- (7) 安価で手にはいりやすいこと。

のとおりで、今後とも、これらの要求はさらに強くなるものと思われる。

一方、半導体応用制御器具の最近の傾向としては、前述の条件を満たすべく努力していると同時に、

- (1) 有接点リレー回路との結合が容易にできると同時に、無接点リレーとの結合も容易なもの。
- (2) プラグイン型式、ユニット型式の導入。
- (3) 半導体応用制御器具に必要な電源（操作）は AC 100 V, AC 200 V そのままでもよい。

（従来は直流電源が必要のものが多かった。）

(4) 特殊な無接点入力検出装置の開発製品化。

等があげられ、制御装置全体（経済性・性能面等）よりみて、全無接点式でも、また必要部分のみ無接点化する場合でも、いずれも使用できるように十分考慮された製品とする点に重点がおかれてきている。当社においても、このような考えにもとづいて各種の半導体応用器具を製作・実用化してきているが、以下、これらのうち、とくに工作機用に向くものについていくつかを述べよう。なおこれらのものはいずれも工作機のみでなく、他のものにも使用可能なものであることはいうまでもない。

3. 三菱工作機用半導体応用制御器具

3.1 三菱 TML, AL 形 近接スイッチ

三菱 TML, AL 形近接スイッチは、その検出部にトランジスタ高周波発振器をもち、金属体がその検出面に接近するだけで機械的な接触なしに検出できる高周波発振式の無接触スイッチで、直流電源で使用する TML 形と、商用周波交流電源でそのまま使用できる AL 形よりなり、TML 型に対しては、その電源および出力リレーを一

つにまとめたものとして TMP 電源部も製作している。

これらは、いずれも従来のリミットスイッチ、マイクロスイッチを使用していた個所はもちろん、その他いろいろな応用が考えられるもので、すでに相当数の納入実績をみている製品である。

特長としては、いずれも主要な部分はすべてシリコントランジスタを使用し、エポキシ系のケースに入れその内部をモールドして、信頼性が高く耐振・耐衝撃性にすぐれた製品としている点である。表 3.1 はその機種一覧表、図 3.1 は TML 形の外形、図 3.2 は TMP 電

表 3.1 近接スイッチ機種一覧
Standard series of proximity switches.

TML 形近接スイッチ

形名			動作距離 mm	標準近接体 mm	使用温度 °C	出力 mA	温度特性 mm	電圧特性 mm	用途
検出面 A 用	検出面 B 用	検出面 C 用							
TML-S-1 PA	TML-S-1 PB	—	3±0.3	15×15×1	-10~50	+160	0.5 以下	0.1 以下	小形用
TML-S-1 TA	TML-S-1 TB	—	3±0.3	15×15×1	-10~50	-5	0.5 以下	0.1 以下	小形用
TML-S-1 ST	TML-S-1 SB	—	3±0.3	15×15×1	-10~70	+1.5	0.5 以下	0.1 以下	高温用
TML-S-1 DA	TML-S-1 DB	—	2.5±0.3	15×15×1	-10~50	+1.5	0.5 以下	0.1 以下	高速応答用
TML-M-1 PA	TML-M-1 PB	—	3±0.3	15×15×1	-10~50	-200	0.5 以下	0.1 以下	一般用
TML-M-2 PA	TML-M-2 PB	—	5±0.5	25×25×1	-10~50	-200	0.8 以下	0.2 以下	一般用
TML-M-3 PA	TML-M-3 PB	—	8±1	25×25×1	-10~50	-200	1.5 以下	0.4 以下	一般用
TML-M-1 TA	TML-M-1 TB	—	3±0.3	15×15×1	-10~50	-5	0.5 以下	0.1 以下	一般用
TML-M-2 TA	TML-M-2 TB	—	5±0.5	25×25×1	-10~50	-5	0.8 以下	0.2 以下	一般用
TML-M-3 TA	TML-M-3 TB	—	8±1	25×25×1	-10~50	-5	1.5 以下	0.4 以下	一般用
TML-M-1 SA	TML-M-1 SB	—	3±0.3	15×15×1	-10~70	1.5	0.5 以下	0.1 以下	高温用
TML-M-1 DA	TML-M-1 DB	—	2.5±0.3	15×15×1	-10~50	1.5	0.5 以下	0.1 以下	高速応答用
TML-R-4 PA	TML-R-4 PB	TML-R-4 PC	15±2	50×50×1	0~40	-200			遠距離用
—	—	TML-R-5 PC	30±4	70×70×1	0~40	-200			遠距離用
TML-R-4 TA	TML-R-4 TB	TML-R-4 TC	15±2	50×50×1	0~40	-5			遠距離用
—	—	TML-R-5 TC	30±4	70×70×1	0~40	-5			遠距離用

AL 形近接スイッチ

形名			動作距離 mm	標準近接体 mm	使用温度 °C	適用電圧 AC, V	出力 A	温度特性 mm	電圧特性 mm	用途
検出面 A 用	検出面 B 用	検出面 C 用								
AL-M-2 A1	AL-M-2 B1	—	5±0.5	25×25×1	-10~50	100	0.2	0.8 以下	0.2 以下	一般用
AL-M-2 A2	AL-M-2 B2	—	5±0.5	25×25×1	-10~50	200	0.2	0.8 以下	0.2 以下	一般用
AL-M-3 A1	AL-M-3 B1	—	8±1	25×25×1	-10~50	100	0.2	1.5 以下	0.4 以下	一般用
AL-M-3 A2	AL-M-3 B2	—	8±1	25×25×1	-10~50	200	0.2	1.5 以下	0.4 以下	一般用
AL-R-4 A1	AL-R-4 B1	AL-R-4 C1	15±2	50×50×1	0~40	100	0.2			遠距離用
—	—	AL-R-5 C1	30±4	70×70×1	0~40	200	0.2			遠距離用
AL-R-4 A2	AL-R-4 B2	AL-R-4 C2	15±2	50×50×1	0~40	100	0.2			遠距離用
—	—	AL-R-5 C2	30±4	70×70×1	0~40	200	0.2			遠距離用

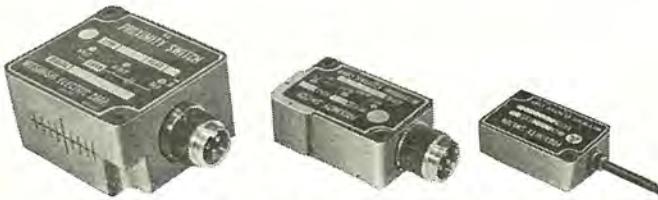


図 3.1 TML 形近接スイッチ
Type TML proximity switch.

図 3.2 TMP 形
電源部
Type TMP power
supply unit.

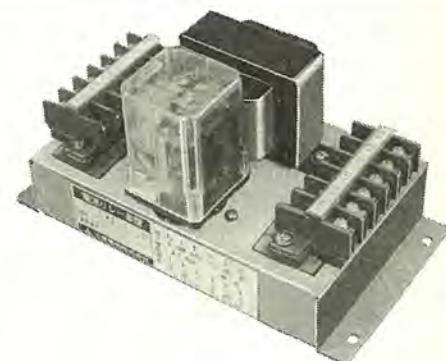


表 3.2 TMD 形 モーションディテクタ 標準機種一覧
Standard series of type TMD motion detectors.

形	名	電源電圧 AC, V	検出周波数 c/s
設定値以上でリレー吸引	設定値以下でリレー吸引		
TMD-A1A-025	TMD-A1B-025	100	0.25~1
TMD-A1A-075	TMD-A1B-075	100	0.75~3
TMD-A1A-250	TMD-A1B-250	100	2.5~10
TMD-A1A-750	TMD-A1B-750	100	7.5~30



図 3.3 TMD 形
モーションディテクタ
Type TMD motion
detector.

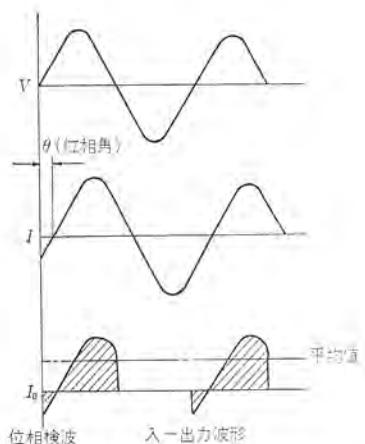
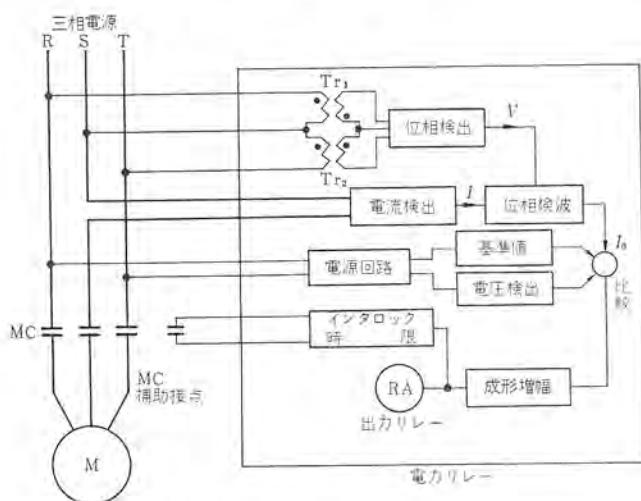


図 3.4 電力リレー原理図
Block diagram of power detecting relay.

表 3.3 電力リレー仕様一覧
Specification of power detecting relay.

項	目	仕 様
電源電圧	AC 200, 220 50/60 c/s	
電圧許容変動	+20~-15%	
使用温度範囲	-10~50°C	
出力リレー	三菱 RP-20 プラグインリレー	
接点	2a, b	
検出電力	0.5~1.5 kW (可調整)	
インターロック時間 (起動時)	0.5~5s (可調整)	

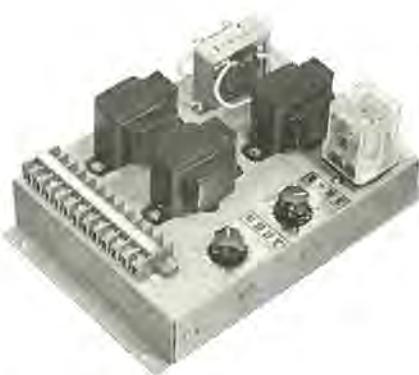


図 3.5 電力
リレー
Power detecting
relay.

源部を示したものである。

3.2 三菱 TMD 形 モーションディテクタ

本装置は、近接スイッチと回転軸にとりつけたスプロケットよりなる検出部と、その近接スイッチの出力によってスプロケットの回転数を検出する制御部よりなり、後述のように、各種の応用例があるので、とくに低速回転数の無接触検出に使用することにより各方面から好評を得ているものである。表 3.2 はその標準機種一覧表、図 3.3 はその外観を示すものである。

3.3 三菱 TWR 形 電力リレー

本装置は、主としてモータの電力（有効）を検出するのに使用するもので、主要部はすべてトランジスタを使用しており、各種の用途に応用されている。本装置の原理は図 3.4 のように有効電流を検出し、それに電圧補正回路を使用し、使用電圧範囲で±5%以内の誤差で有効電力を検出するもので、その仕様を表 3.3 に、またその外観を図 3.5 に示す。

3.4 三菱 TVR 形 電圧リレー

本装置は、その主要部にシリコントランジスタを使用した電圧検出リレーで、トランジスタによる検出のため、入力インピーダンスが高く、わずかの検出入力ですみ、ポテンショメータ、PG との組み合わせ等で使用する場合に好都合であり、またトランジスタ式の特長として設定が簡単でしかも高精度であり、いろいろな応用が考えられるものである。表 3.4 はその機種一覧表、図 3.6 はその外観を示したものである。

3.5 SS タイマ

工作機用の制御回路のなかには、タイマを使用する機会が非常に多い。これらのタイマでとくにシーケンシャルな動作を行なうもの（たとえばターリタイマ）はひん度がはげしく、従来の機械式のものではしばしば問題になることが多い。このような用途に使用できるものとして開発製品化されたのがこの SS タイマである。本品は従来のトランジスタタイマのようにその内部に有接点リレーをもたず、出力回路は図 3.7 のようなサイリスタを使用した無接点スイッチからなり、その出力で、補助リレーはもちろん、小容量のコンタクタ、バルブ等を直接駆動できるようになっており、各種の応用ができる製品である。

表 3.5 はその機種一覧表、図 3.8 はその外観を示したもので、その構造はプラグイン式でオクターブーストを使用し（当社 RP-20 形 プラグインリレーと同じ床面積）、保守点検にも便利なように製作されている。

3.6 無接点スイッチ

工作機においては、高ひん度動作の場合、そのリレー回路を無接点リレーで作ることにより高信頼・高寿命化することができるが（当社三菱トランジスタサイバック）この場合問題になるのは出力装置である。この部分は従来より無接点化すると非常に高価になるため、やむをえずコンタクタ等を使用している場合が多いが、この無接点スイッチは、

表 3.4 TVR 形 電圧リレー 標準機種一覧
Standard series of type TVR voltage detecting relays.

名				仕様			
直 流 電 圧 検 出 用		交 流 電 圧 検 出 用		檢出電圧 V	許容入力電圧 V	入力インピーダンス kΩ	操 作 電 源
設定値以上でリレー吸引	設定値以上でリレー落下	設定値以上でリレー吸引	設定値以上でリレー落下				
TVR-AA-005 D	TVR-AB-005 D	TVR-AA-005 A	TVR-AB-005 A	5~15	125	35	200/220 V 100/110 V 50/60 c/s 共用
TVR-AA-015 D	TVR-AB-015 D	TVR-AA-015 A	TVR-AB-015 A	15~50	200	104	200/220 V 100/110 V 50/60 c/s 共用
TVR-AA-050 D	TVR-AB-050 D	TVR-AA-050 A	TVR-AB-050 A	50~150	200	305	200/220 V 100/110 V 50/60 c/s 共用
TVR-AA-150 D	TVR-AB-150 D	TVR-AA-150 A	TVR-AB-150 A	150~250	300	585	200/220 V 100/110 V 50/60 c/s 共用



図 3.6 TVR 形
電圧リレー
Type TVR voltage
detecting relay.



図 3.8 SS タイマー
Type SS timer.



図 3.9 無接点スイッチ
Contactless switch.

表 3.6 無接点スイッチ仕様一覧
Specification of contactless switch.

項 目	仕 様
電源電圧	AC 100/110 または AC 200/220 V 50/60 c/s
許容電圧変動	-15~+20 %
電流容量 (連続)	1 A (周囲温度 -10°~+50°C)
電流容量 (短時間)	10 A (1サイクル以下断線り返し)
使用周囲温度	-10°~+50°C
制御入力	DC 6~12 V (入力インピーダンス 2.2 kΩ)
最高開閉ひん度	投入電流 10 A 以下 600 回/h 5 A 1,800 回/h

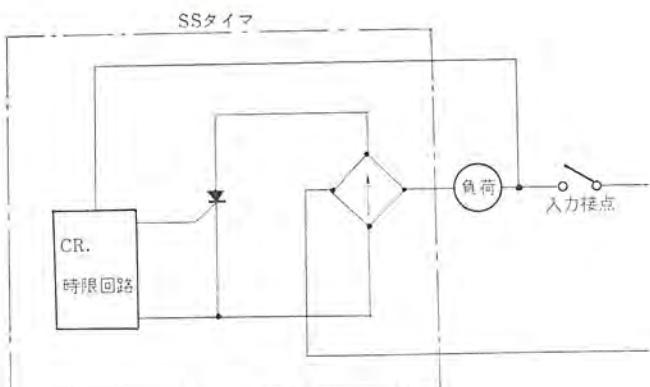


図 3.7 SS タイマー出力原理図
Block diagram of SS timer output circuit.

表 3.5 SS タイマー標準機種一覧
Standard series of SS timer.

形 名	仕 様				
	時間範囲 s	使 用 電 圧 V	定格出力 A	標準付止時 s	消費電力 W
SS-P□-A 1	0.2~1.2	DC 24 (20~26 V)	0.25	0.15	0.3
SS-P□-A 2		DC 48 (41~53 V)	0.25		0.5
SS-P□-A 3		DC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.0
SS-P□-A 5		AC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.3
SS-P□-A 6		AC 200 (170~225 V)	0.20		2.4
SS-P□-B 1	0.5~3	DC 24 (20~26 V)	0.25	0.3	0.3
SS-P□-B 2		DC 48 (41~53 V)	0.25		0.5
SS-P□-B 3		DC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.0
SS-P□-B 5		AC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.3
SS-P□-B 6		AC 200 (170~225 V)	0.20		2.4
SS-P□-C 1	2~12	DC 24 (20~26 V)	0.25	1.2	0.3
SS-P□-C 2		DC 48 (41~53 V)	0.25		0.5
SS-P□-C 3		DC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.0
SS-P□-C 5		AC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.3
SS-P□-C 6		AC 200 (170~225 V)	0.20		2.4
SS-P□-D 1	5~30	DC 24 (20~26 V)	0.25	3.0	0.3
SS-P□-D 2		DC 48 (41~53 V)	0.25		0.5
SS-P□-D 3		DC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.0
SS-P□-D 5		AC 100/110 (85~120 V)	0.25		1.3
SS-P□-D 6		AC 200 (170~225 V)	0.20		2.4

これらの出力装置のうち単相負荷の開閉用に作られたもので、バルブ等の開閉に使用されている。その出力スイッチにはトライアックが使用してあり、表 3.6 はその仕様、図 3.9 はその外観を示したものである。

3.7 無接点リレー (三菱トランジスタサイバック)

シーケンス回路の無接点化に必要な無接点リレーは、従来より各社から多数発売され実用化されてきているが、当社のトランジスタサイバックはすでに約 10 年以上の歴史をもち、各ユーザより好評を得ているものである。詳細は省略するが、最近の傾向としてはカード化していく方向にあり、今後はこれらの共用ないしどちらかの選択のもとでますます普及していくものと思われる。

4. 最近の工作機への応用例

以上各機種について、その概要を述べてきたが、以下、その最近の応用例について、いくつかを述べよう。いずれも製品試験用等に実用されている例である。

4.1 近接スイッチの応用

近接スイッチは前述のように、従来のリミットスイッチ、マイクロスイッチの代わりに使用できるばかりでなく、その他にもいろいろな応用が考えられ、とくに他の機器との組み合わせ（無接点スイッチ、リレー、タイマー、カウンタ等）によりその応用はますます広がっていく傾向にある。以下その応用例をいくつか述べよう。

4.1.1 ストローク検出（位置）

従来より、工作機にはストローク位置検出のためにリミットスイッチが多数使用されてきたが、いずれも使用する傾向が悪く、しかも最近



図 4.1 近接スイッチ応用例
(その1)

Example of application of proximity switch (1).



図 4.2 近接スイッチ応用例
(その2)

Example of application of proximity switch (2).

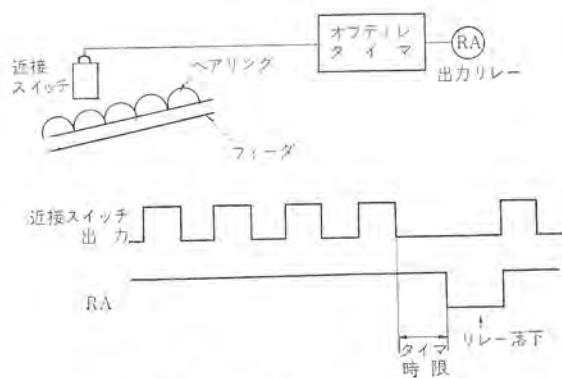


図 4.3 オフディレタイマー応用例
Example of application of OFF delay timer.



図 4.4 オフディレタイマー
Contactless OFF-delay timer.

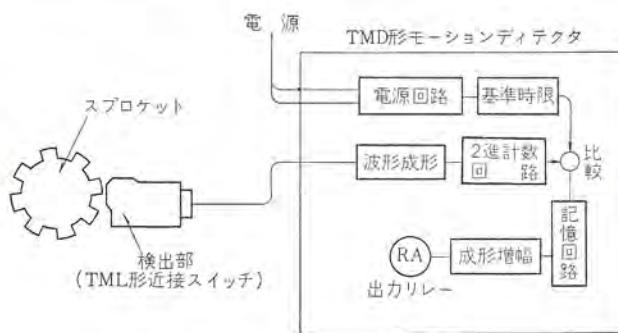


図 4.5 TMD形モーションディテクタ原理図
Block diagram of motion detector.



図 4.6 モーションディテクタ応用例(プレス)
Example of application of motion detector (press).

の自動化・高ひん度化により、大幅に近接スイッチがとり入れられるようになってきた。現在までに使用されているおもな例としては、

- (1) プレーナのストローク位置検出
 - (2) 研削盤のストローク位置検出
 - (3) ホーニング、フライス、ボール盤のストローク位置検出
 - (4) 各種トランクルマシンのストローク位置検出
 - (5) 各種自動機(単能盤・ならい機・N/C機)用
- などがあり図4.1、図4.2はその一例を示すものである。

4.1.2 タイマとの組合せ

近接スイッチと無接点タイマを組み合わせて使用すると、各種の検出が可能となる。その一例として図4.3はオフディレーティマーと組み合わせて使用したもので、ベーリング加工機のフィーダー中を流れるワークの流れを検出するのに使用しており、ワークがある一定間隔、一定時間で流れている場合には、このオフディレーティマーより出力は出ないがそれがとぎれた場合にはタイマより出力が出て信号を与えるようしている。このような回路により、コンピア、フィーダー等におけるワークの流れの異常を検出することが可能となる。当社ではこのような用途に使用できるタイマとしてTDT形無接点入力タイマ装置を作製しており、図4.4はその外観を示したものである。時限は0.5秒から5秒まで、あるいは3秒から30秒まで可変でしかもオフディレーティマー形とオフディレーティマー形よりなっている。

4.1.3 モーションディテクタの応用

本装置は前述のように、回転軸にとりつけたスプロケットの回転数を近接スイッチとその制御部によって検出するもので、その原理は

図4.5のようになる。この原理からわかるとおり本装置の検出応答時間おくれは、2進計数回路の出力と基準時限との時限比較により、またその時限比較は上昇時は2進計数出力1サイクルで1回、下降時は2回行なうようしているため

$$\text{上昇時 } T_1 = \frac{240}{N_1 \times S} \text{ (最大)}$$

$$\text{下降時 } T_2 = \frac{60}{N_2 \times S} \text{ (最大)}$$

ここで $N_1 =$ 上昇検出回転数 (rpm)

$N_2 =$ 下降検出回転数 (rpm)

$S =$ スプロケット歯数

となり、低速度の検出を行なう場合、スプロケットの歯数が少ないとときは応答時間のおくれが大きいので使用する場合注意する必要がある。図4.6は大形のプレスに使用した例で、プレスのクランク往復運動を制御するシーケンスカムスイッチ軸の破損検出に応用している例で、すでに数百台の実績をもつものである。その他の応用例としては、コンピアの故障検出、ZERO SPEED検出用等に使用されている。

4.1.4 ボルスタ浮上検出装置

本装置は主としてプレス用に製作されたもので、ボルスタの浮上りを検出するのに使用し、その構造は図4.7のように近接スイッチの検出コイル部のみをおさめた検出ヘッドと増幅部、出力リレー部よりなり、検出ヘッドの動作距離は0.1~0.2mmとして増幅部で可調整している。また検出部と増幅部間は同軸ケーブルで接続し、その動作を安定にしている。

4.1.5 カウンタとの組合せ

従来よりマイクロスイッチ、リミットスイッチとカウンタを組み合わせた回路は工作機でもしばしば使用されてきたが、最近のこのような用途では、その検出部はほとんど近接スイッチが使用されるようになってきている。もちろんカウンタもエレクトロニックス化されたものが使用され、高精度動作でも高信頼・高寿命で使用できるようになっている。これらの用途には場合によって検出部が小形のものを要求されることが多いが、特殊品としてそのような用途には、検出コイルのみはいった図4.8のようなヘッドも製作している。ただしこの場合ヘッドの動作距離は3mm以下でそのケーブル長さにも制限があるので、応用は限られた範囲になっている。

4.2 ドリル破損検出

最近の工作機でとくにトランスマシン等の場合、ドリルの破損検出は大きな問題となっている。この検出は従来よりいろいろな方法が考えられているが、当社では

(1) 差動式無接点スイッチによる方法

(2) 近接スイッチによる方法

(3) 電力リレーによる方法

の三つが実用化されており図4.9は(1)の場合の検出ヘッドで、その出力は図4.10のようにトランジスタサイバックを使用して検出している。(2)の方法は前述の標準のものでは実用上はかなりむづかしく、特殊な貫通形の検出ヘッドを使用する必要がある。

電力リレーによる方法は、間接的な方法としてとくにドリル駆動モータと工具間の機械駆動系が比較的簡単で、しかも1~2軸の場合には有効な方法である。その検出方法はドリルが破損した場合の駆動モータの電力の変化を検出する方法で、ドリルの摩耗検出も可能である。しかし多軸の場合や、細いドリル、機械的に複雑な場合には検出がむずかしく万能でない欠点がある。

いずれの場合も、その機械との組み合わせを十分考えて使用方法を決める必要があろう。

4.3 電力リレーの応用

工作機の場合、グラインダ、ドリル等の駆動においては、通常切削または研削時と無負荷時ではあまり皮相電流は変わらないが、電力の変化がとらえられるものがあり、このようなところには電力リレーの応用が有効である。その例としては、

(1) 深穴ドリルのステップフィード

ある深さ以上になると電力リレーが働きドリルを上昇させる。

(2) ギヤアップエリミネーター

といしがワークにあたったことを検出し、早送りより切削送りに切換える。

(3) といしの目づまり検出

等があり、いずれも実用化されている。なお本装置を使用する場合は、仕様決定前に十分ユーザ側でその必要条件、測定値等をそろえておくことが望ましい。

4.4 電圧リレーの応用

図4.11はポテンショメータと電圧リレーを組み合わせて円筒研削盤の切削ストロークを決めているもので、ポテンショメータは駆動部の動きを拡大してとられており、簡単な微小位置検出方法として使用できるものの一例である。また図4.12はPG(指速発電機)と組み合わせて速度切換え等に使用しているもので、他にも各種の用途に応用している。

図4.7 ポルスタ浮上検出装置
(検出ヘッドと増幅部)
Detecting device for press.



図4.8 検出コイルのみの近接スイッチ
Proximity switch with sensing head only.



図4.9 差動形近接スイッチ
Differential type proximity switch.

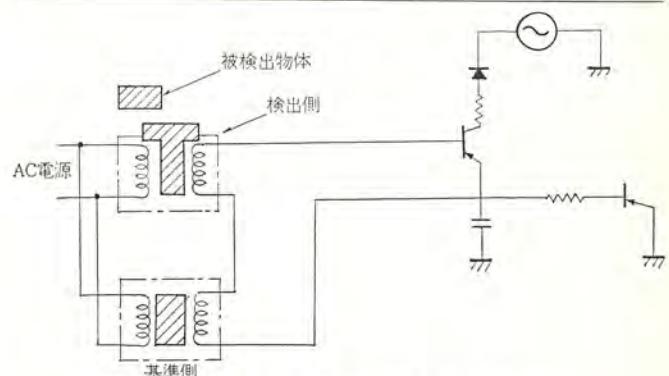
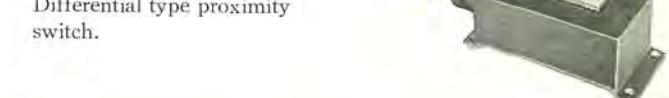


図4.10 差動形近接スイッチによる検出
Detecting by differential type proximity switch.

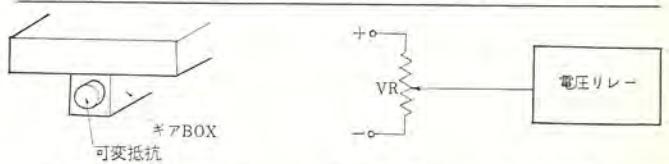


図4.11 ポテンショメータと電圧リレーの応用例
Example of application of voltage detecting relay with potentiometer.

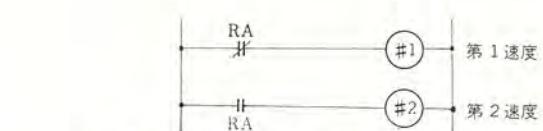
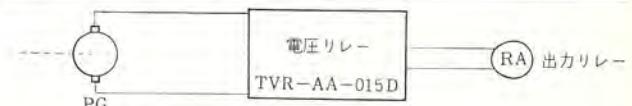


図4.12 PGと電圧リレーの応用例
Example of application of voltage detecting relay with PG.

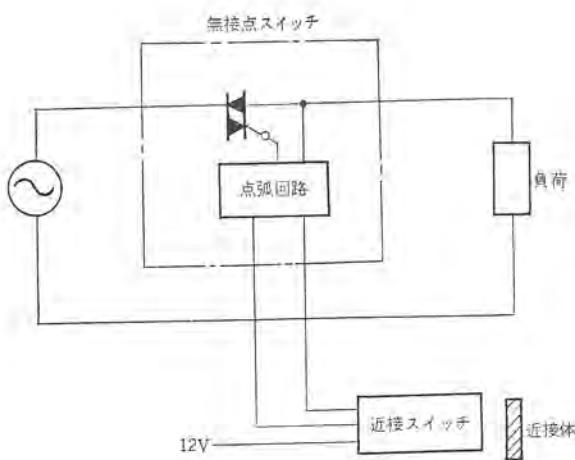


図 4.13 近接スイッチと無接点スイッチの組み合わせ例
Example of contactless switch combined with proximity switch.

4.5 無接点スイッチ、SS タイマー、無接点リレーの応用

これらの半導体応用制御器具は、シーケンス回路で必要なところにそのまま使用できるため、各種の用途に応じて広く使用されている。とくに無接点スイッチの場合は、直流用近接スイッチの出力でそのまま駆動できるようになっているため、この二つを組み合わせて使用することにより高ひん度動作にはとくに推奨できるものである。図 4.13 はその回路例を示したものである。

なお無接点リレーの応用については、すでに当社のものについていろいろ発表されているので本文では省略した。

5. 半導体応用制御器具の保守点検

半導体応用制御器具は、本質的に摩耗故障をする部分はありえない。(出力リレーのあるものではその部分を除き) このため定期的な保守・点検はとくに必要ないと思われるが、半導体素子(抵抗、コンデンサ等の部品も含む)には、偶発故障というものがあり、この面から、新しい考え方で保守点検を行なう必要があるのではないかと思う。一般には、このような偶発故障に対しては MTBF(平均寿命間隔)で表現されているが、この考えをもとにこれからは

(1) しっかりした故障記録(誤動作を含め)を作る。

このため故障報告をはっきりしたフォームで行なう。

(2) 故障記録の内容を分析し、その結果とその製品の MTBF との関連をはあくし、異常がある場合はメーカーと打合せ原因をつかむ。

(半導体を使用したものは)単に MTBF だけで、その期間がきたらとりかえるということはあまり意味がない。

(3) あらかじめその製品の MTBF を知り、それによってその製品の使用されている役割より考えられる重要度・個数・入手の難易より予備品の要・不要・個数を決めておく。

(4) 故障した場合は、そのものをそっくりとりかえることを原則として、故障して運転不能となる期間を短かくする。

(5) 保守は通常 テスター 1 個でたいていのものはできるので、その際、どこを テスター でチェックしたらよいか教育しておく。といった点を考慮に入れて保守点検を行なえばよいのではないかと思う。

6. む す び

半導体応用制御器具は、以上述べてきたように、いろいろな用途が考えられ、今後ますます発展していくものと思われる。またこれからはさらに

*(1) 新しい半導体素子の導入による新装置の開発。

(2) IC の導入による小型化・高性能化。

(3) 互換性の拡大(無接点、有接点器具間の)。

(4) ユニット化、安価化。

にいっそうの努力がはらわれていくことと思われるが、これらの発展はいずれもユーザーの助言・協力が多くのささえとなっており、こういった面から今後ともさらに各ユーザーのご指導、ご鞭撻をお願いして本文の終りとしたい。

参 考 文 献

- (1) 吉田、酒井、宮: 三菱電機技報、34, No. 12, 112 (昭 35)
- (2) 吉田、篠原、三浦: 三菱電機技報、38, No. 7, 41 (昭 39)
- (3) 宮: 機械エンジニア、68, 3, 50, 産報 (昭 43)

消磁装置

首藤佑吉*

Demagnetizers

Nagoya Works Yûkichi SHUTO

Electromagnetic chucks are very effective and handy for holding work with their wide areas in operation and ease in handling. However, residual magnetism of the apparatus makes it difficult to take off the working object and hampers operating efficiencies a great deal. Demagnetizers are devices to solve this problem by quickening the speed of operation. There are several types of demagnetizers in the market, whereas Mitsubishi has developed a new type to operate with a thyristor and diminish the voltage of electromagnetic chuck gradually. Demagnetizing effect obtained with this is very remarkable. The main working part of this development is of a static type making the adjustment easy in a wide range by a simple turn of a knob.

1. まえがき

は(把)持装置としての電磁チャックは、その作業面の広さやローディング操作の容易性において、有効かつ便利な手段である。

とくに薄板状のものやおうとつ(凹凸)の多い加工物では、その効果はいちじるしく、最近では旋盤・シーリング盤・プレーナなどの重切削機にも広く応用されている。その反面残留磁気による加工物離脱の困難さは、作業能率のうえで大きな障害になっている。

消磁装置は残留吸着力を速かに除去して加工物の取りはずし時間を短縮し、あわせて加工物の脱磁も兼ねようとするものである。消磁の最も単純な方法は、ナイフスイッチまたはコンタクタで逆励磁回路に切換える、チャックの磁気がゼロになったころをみはからって電流を断つことである。装置は簡単ですが、消磁効果のほうは作業者の経験に頼るところが大きい。

一般にはスライダックまたは抵抗器でチャックの端子電圧を徐々に減少させながら、正逆交互に励磁を切換えるものがほとんどである。スライダックや抵抗器を動かすには、電動機によるものや、渦巻ばねの復帰力をを利用するもの等があるが、いずれも時間の調整要素がないので、チャックの大きさや、加工物の材質によって消磁効果にばらつきが生じる。

当社では先に電圧漸減式と、時間漸減式の2種類の消磁装置を開発し、良好な消磁効果を得ているのでここに紹介しよう。



図 1.1 消磁装置
Demagnetizers.

2. 電圧漸減式

この方式はチャックの励磁を正逆交互に切換えるながらチャックの端子電圧を漸減させることによって、磁化の履歴を図2.1のような渦巻形のループとする。

このループが十分小さくなったら時点で電流を断てばよい。電圧の漸減幅は最初は大きく、終りに近づくにしたがって小さくなるのが望ましい。すなわち、図2.1の0点付近に渦巻形ループが何重かに集中したほうがよい消磁効果を期待できる。

当社の消磁装置は電圧漸減特性をコンデンサの放電特性に追従させる方式をとったので、最も望ましい漸減特性が容易に得られた。図2.3は電圧漸減の制御回路を示す(特許出願中)。

SCR₁, SCR₂はサイリスタで点弧回路からのパルスによって當時は全点弧しており、このときちょうどチャックの定格電圧が出るようにする。点弧移相回路はトランジスタT₁が導通すると点弧パルスの位相が遅れるようになっている。

けっきょくT₁が導通するとサイリスタの導通角が減少してチャックの端子電圧は下がる。

SW₃が投入されているときは、トランジスタT₁のベースは電源によって常に(-)電位に保たれ、T₁は不導通の状態にある。したがって、チャックには定格電圧が加えられる。SW₃を開放するとT₁のベース、エミッタ間にコンデンサC₁による電圧と整流器RX₃からの(+)電圧が加わる。

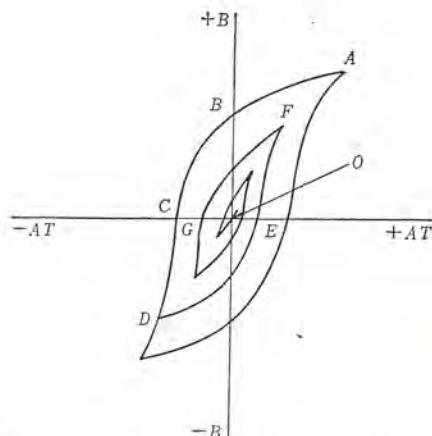


図 2.1 消磁装置による磁化曲線
Characteristic curves of demagnetizer.

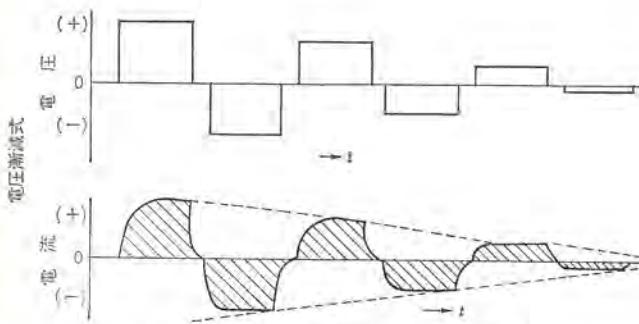


図 2.2 電圧漸減式の通電状態
Chart of demagnetizer in operation.

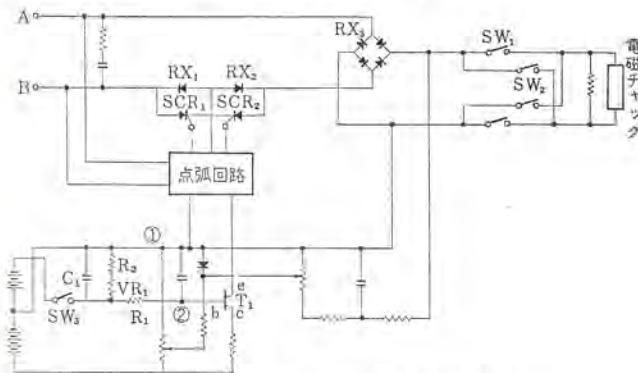


図 2.3 電圧漸減式の制御回路
Control circuits of demagnetizer.

の帰還電圧がかかり、SW₃開放の直後はコンデンサC₁によってなお(-)電位に保たれるが、C₁がR_gとVR₁を通じて放電するにつれ、T₁のベース電位は帰還電圧によって(+)に転ずる。

T₁は導通しサイリスタの点弧位相が遅れてチャックの電圧は下がる。C₁の放電は継続して行なわれる所以、チャック端子電圧は徐々に低下し、その漸減特性はR_gとVR₁によって定まるC₁の放電特性に追従したものとなる。

正逆の励磁切換は、2個のタイマーを組合せ回路を構成する。正逆の通電時間は、チャックの大きさや加工物の材質によって異なるが、一般にチャックコイルの時定数は1~1.5秒程度が多く、これ以上確実に励磁するのがよい。正逆切換のステップ数は約10回で、1回の通電時間とステップ数の積が消磁時間となる。消磁時間の概略は下記のようである。

角形チャック	500×1,000 mm	40~50 s
角形チャック	300×900 mm	30 s
角形チャック	200×400 mm	20 s
丸形チャック	1,000 φ mm	50 s

以上いずれも鋼材を作業面全面に吸着させた状態の数値である。

このとき加工物の残留磁気は10ガウスぐらいである。

具体的には加工物のエッジに虫歯がかろうじてぶら下がる程度になっている。これ以上の脱磁を要する場合は専用の脱磁器を使用しなければならない。

3. 時間漸減式

これはチャック端子電圧を一定にして、正逆交互の励磁時間を漸減させる方法である。その通電状態を図示すると図3.1のようになり、磁化の履歴はやはり図2.1のような渦巻形となる。

消磁効果は電圧漸減式に劣るが、小形チャックで加工物に引きはすし力が働いている場合(加工物の自重、引きはすしばね、空気圧等)には、消磁時間が短くてすむ点において有効である。ただし加工物の脱磁までは期待できない。

時間漸減の方法は、トランジスタタイマーのバイアス電源としてコンデンサの放電電圧を利用していいる。そのため、時間漸減特性はコンデンサの放電特性に追従することになり、漸減幅は最初は大きく、終りに近づくにしたがって小さくなる利点がある。

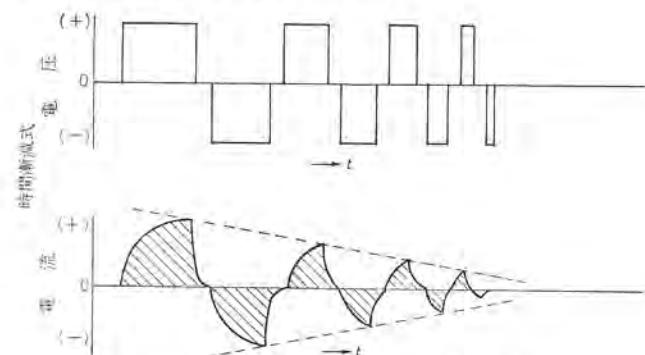


図 3.1 時間漸減式の通電状態
Chart of demagnetizer in operation.

4. むすび

以上二つ的方式について述べたが、消磁装置としては電圧漸減式が効果的である。ことに従来のスライダック等による電圧漸減式と比較して、きめの細かい消磁が可能である。

電圧漸減や励磁方向切換に回転体の動力をを利用する場合は、一般に回転速度の調整がむずかしいから、電圧漸減速さ、あるいは励磁時間は一定になる。したがって加工物の大きさや材質の相異に応じた調整ができないので、消磁効果にばらつきが生ずる。

開発品では主要部が静止形になっているため、ボリュームのつまみで容易にしかも広範囲に調整できるから、常に条件に適合した消磁が可能である。



特許と新案

電解加工装置

発明者 吉田太郎・篠原宇一

この発明は、被加工体と加工用電極との間の加工間げきに印加される電圧ならびにこの加工間げきにおける電流密度を、加工面積の変化に関係なく、常に一定に制御するようにした電解加工装置に関するものである。

図1はこの発明の回路図で、(1)は三相交流電源、(2)は電源に三相用可飽和リクトル(3)を介して接続される△-Yの三相変圧器、(5)は上記(3)の制御巻線(4)に単相全波整流装置(6)を介して接続された単相全波整流装置、(10)は変圧器(2)の二次巻線(11)の出力を整流する三相全波整流装置、(12)は被加工体で図2のように対向した加工電極(13)によって電解液中で加工される。(15)は加工間げき(14)の印加電圧の電圧検出装置、(16)は基準電圧装置、そして変成器(23)、電流検出器(25)、基準電流装置(26)およびサバコイル(30)で加工送り装置(31)を構成する。(33)は速度検出装置である。

電解加工においては、加工間げき(l)に印加される電圧 E と電流 I との間には $\rho = \text{加工間げきにおける抵抗}$, $S = \text{加工電極の加工面積} = \text{加工体と対向する部の面積}$ とすれば次の関係がある。

$$E = IR = I \cdot \rho \cdot l = \rho \cdot l \cdot I/S$$

この発明ではたとえば図2のように、加工の進行に伴い加工電極の加工面積 S が変化する場合において、印加される電圧 E および加工間げきにおける電流密度 I/S をともに、上記加工面積 S の変化に関係なく常に所定値に調整するものであって、加工間げき l を常に一定に保ちながら加工を行ない得、加工精度が加工中常に一定

となり、したがって所望の加工精度で正確に加工し得るうえ、短絡事故等もまったくなく、被加工面を損傷することもない。

(特許第486405号) (古沢記)

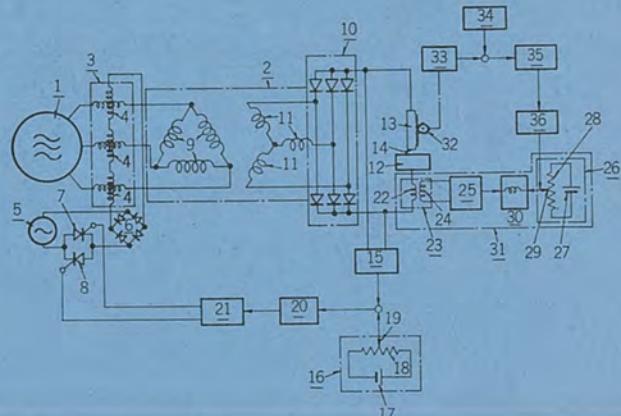


図1

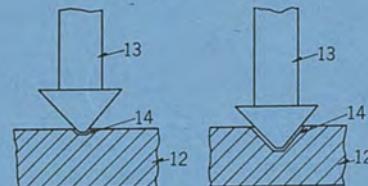


図2

多重母線保護継電装置

発明者 森 健・久松 章三

この発明は複雑な多重母線を安全かつ確実に保護する多重母線保護装置に関するものである。

この発明は図に示されるように、母線分離用しゃ断器CBと区分断路器DSによって互いに接続あるいは区分されうる複数組の小母線からなる多重母線A, B-Busに適用される。すなわちこの発明は、1)被保護多重母線内に事故があるかないかを判断する差動方式の継電器(87), 2)各小母線部分ごとに設けられた内部事故を検出する継電器Rを備える。

継電器Rは母線分離用しゃ断器によって、他の小母線部分から区分されて選択的に各小母線部分を保護するものであり、その付勢回路に区分断路器の開閉に応じる継電器接点DS---Lをそう入し、2個以上の小母線が区分断路器により連結されたとき、この母線群中の各端子を任意の1個の継電器Rに一括接続するように切り換える。なお上記DS---LはDS閉で復帰開放する。---X

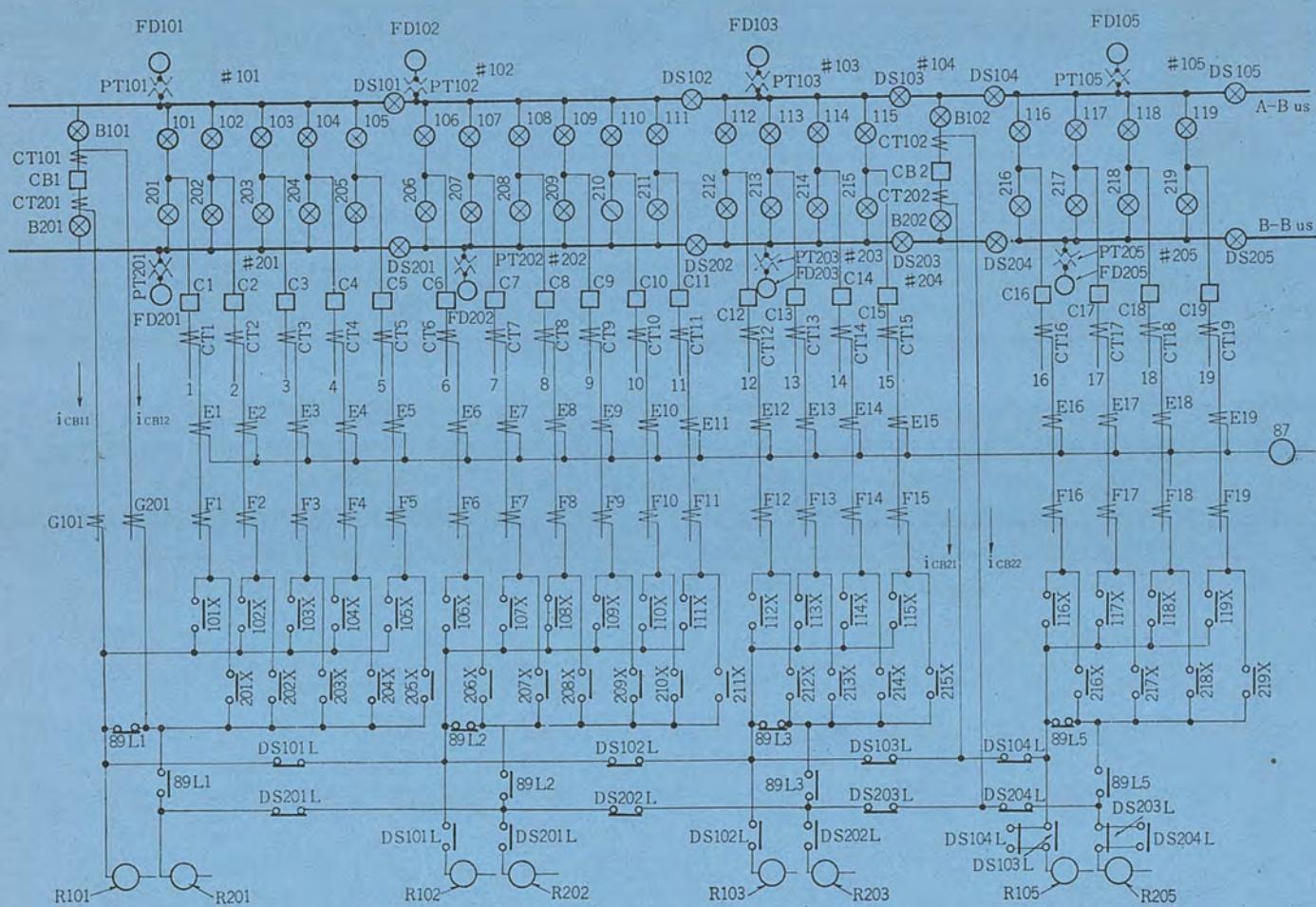
は断路器101, 102, ……の開閉とともに開閉する接点、継電器89Lは---Xで制御され、ブリッジ状態で復帰する。

したがって DS---Lにより隣接小母線が接続されると、それらを包括して1個のRにより母線保護を行ない、ブリッジ状態では89Lにより同様に1個のRにより両小母線を一括保護する。ゆえに、ある小母線で事故があった場合、事故母線部分のみを確実に切り出し、図示しない補助継電器回路によりその区分のしゃ断器Cをトリップし、また他の継電器Rは、いうまでもなく不動作となる。

さらに全母線外部での事故時、87の誤動作があつてもR不動作により誤動作(誤トリップ)を防止することができる。なお上記説明では、煩雑さを避けるため記号の添字は省略し、また継電器の復帰とは図示a接点が開、b接点が閉なる意味としたことを念のため付言しておく。

(特許第499448号) (太田記)

特許と新案



イオン発生装置

発明者 原 仁吾・平林庄司・山口南海夫

この発明は電極にパルス電圧を印加するようにした、イオン発生装置に関するものである。

従来はイオンを発生させるために電極に直流を印加する、いわゆる直流コロナ放電による方法が用いられている。しかしこのような方法では、発生した所要のイオンのうち取り出しうるイオンは、ごくわずかで効率が悪く、コロナ放電電流が大きいために空気中では、オゾンや酸化窒素が生じて種々の弊害をきたすなどの欠点があった。

この発明は上述の欠点を解決するもので、図1(イ)に示す略式回路図によって説明すると、1および2はコロナ放電によってイオンを発生するための電極、3は前記各電極に所定のパルス電圧を印加する高電圧パルス発生器、4は送風機である。今電極1に負の高圧パルスが印加されコロナ放電を生じると、電極1の近傍に正および負のイオンが形成され、放電が終了すると正イオンは電極1に吸着されて消滅し、負イオンは電極2に向って進行するが、このとき印加電圧が零になるようにパルス電圧を設定すると、負イオンは、電極2の方向の加速度を受けないで、送風機4によって所望の空間へ効率よく放出される。図1(ロ)の5は高電圧パルス発生器3のパルス周波数

を調整するためのパルス周波数制御器で、これによりパルス電圧の繰り返し周波数を変えれば、連続的に発生するイオンの濃度を調整することができる。

(特許第481433号) (伊藤記)

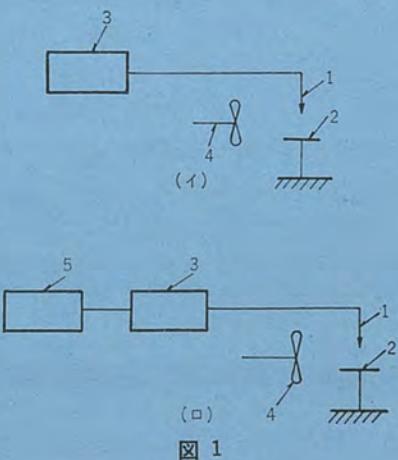


図1

観測用ロケット積載電子機器

波多 洋介*・佐藤 武*・近藤 倫正*

Electronic Apparatus carried by Sounding Rockets

Kamakura Works Yôsuke HATA・Takeshi SATOH・Michimasa KONDOH

Mitsubishi has built various kinds of electronic apparatus carried by rockets. Of them are introduced herein transponders, telemeter transmitters and magnet meters. Points particularly required for rocket carrying electronic apparatus, unlike other instruments of the kind, are ; one for resisting power against environmental conditions such as vibration, impact and vacuum around them in flying ultra high attitudes and against irradiation by the sun's rays and the other for measures of minimizing the size and weight so as to permit mounting them as many as possible within a limited space.

The article describes the our Company's present situation about the foregoing three kinds of apparatus with their features focussed on the resisting power against the environmental conditions and the means of reducing the size and weight.

1. まえがき

当社では種々のロケットとう載用電子機器を製作してきているが⁽¹⁾、今回はそのうちトランスポンダ、テレメータ送信装置、磁力計について紹介する。ロケットとう載用電子機器が他の電子機器と違がってとくに要求される点は、一つにはロケット飛しょう中の振動、衝撃、あるいは超高层を飛しょうする際の真空、装置によっては太陽光線の照射に対する耐環境性である。二つには定められた寸法、重量のわく内でできるだけ多くの機器をとう載できるよう小形、軽量化をはかることである。本文では上述の3機種について当社の現状を紹介するとともに耐環境性、小形軽量化に焦点をあわせて述べることにする。

2. トランスポンダ

2.1 トランスポンダに要求される性能

トランスポンダは地上レーダと信号の受信送信を行なって、ロケットの位置の情報を地上レーダに与えるものであるから、受信機と送信機の性能が要求される。トランスポンダの受信機はとくに受信感度が重要で、この値をいかに定めるかはロケットの飛しょう距離とレーダの性能によるが、一例として地上レーダの送信電力を10 kW程度とし、ロケットの飛しょう距離を200 kmとすると、受信感度は-70 dbm程度にとれば良いことがレーダ方程式から導びかれる。送信電力についても同様に地上レーダの受信感度を-100 dbmとするとピーク電力100 W程度が要求される。

さらにトランスポンダに要求される性能としては、本質的なものではないが、フリーラン発振および遅延時間をもたせることが要求される場合がある。前者の目的は地上レーダの送信機系統、またはトランスポンダの受信機系統がなんらかの事故で故障した場合でもロケットの飛しょう状態が、正常かどうかの情報を得ることにある。後者の目的はロケットが発射直前、すなわちランチャー上に置かれている状態では、ロケットと地上レーダの距離が近いため、クラッタエコーがレーダにはいりトランスポンダとの信号の授受ができにくくなり、発射直前トランスポンダの動作確認ができない、そのためトランスポンダに遅延時間をもたせ、クラッタエコーがあっても確認可能にするためである。

その他に測距の精度に影響するパルス幅は、ロケット観測実験の目

的にもよるが現在のトランスポンダは大体1~2 µsにとっている。周波数は観測用アンテナがさかんに行なわれた当時、整備された地上装置をそのまま使用している関係で1600 MHz帯の周波数を使用している。またアンテナに対しては、できるだけロケットの空力特性を劣化させることなく、良好なインピーダンスおよび放射特性をもたせることが要求される。

2.2 トランスポンダの現況

当社のトランスポンダは、わが国でロケットによる宇宙観測実験が行なわれるようになった当初から開発を始め、現在にいたっている。

その間半導体、プリント配線等の技術の進歩に応じて改良を加え品質向上に努力してきた。その結果、消費電力についても体積重量についても、初期のものの約1/3に減少させることに成功している。

現在当社で製作しているトランスポンダには図2.1~2.3に示すようにFT-801 L、FT-121 L、FT-520 Lの3種類があり、いずれも標準化を行ない品質の安定、信頼性の向上を行なっている。

図2.1に示すトランスポンダは、送信電力8 Wで150 mmφ程度の小形ロケットに適し、アンテナを内蔵し、さらにトランスポンダ本来の機能のほかにロケットが受ける加速度と大気温度を計測するPPM方式



図2.1 FT-801 L形トランスポンダ
Transponder



図2.2 FT-121 L形トランスポンダ
Transponder



図 2.3 FT-520 L形
トランスポンダ
FT-520 L Transponder.

のテレメータ機能を兼ねている。重量は約 1.8 kg、電池は酸化銀電池を使用している。

図 2.2 に示すトランスポンダは、送信出力 100 W 中形以上のロケット用に開発したもので、一体構造をとり、小形軽量が特長である。体積は $150 \times 140 \times 100$ (H) mm、重量は約 2 kg である。

電池はニッケルカドミウムアルカリ電池を使用している。

図 2.3 に示すトランスポンダは、送信出力 500 W 大形ロケットに適している。構造はユニットに分かれているため、組込みに融通性があり取り扱いが容易になっている。重量は 3.6 kg、電池は酸化銀電池を使用している。

2.3 小形軽量化

小形軽量化のために各部分の改良を行なってきたが、ここにそのおもなものを述べる。

(1) クリスタルミキサ

トランスポンダに使用するクリスタルミキサは、同軸シングルミキサで小形化を図るために小形ダイオード、接せん(栓)を用い、また長さを短かくするためチョーク部分には高誘電率の誘電体をそう入した。局部発振入力は容量結合とし、結合量は可変可能である。局部発振器はラジオブン用のペンシル管 5794 G をトランスポンダ用に改良して使用している。従来のものは、出力取り出しが金属同軸であったため振動等環境条件に弱い。当社ではこの取出し口に小形接せんおよびフレキシブル同軸ケーブルを使用することにより、ロケットとう載機器のようにきびしい環境下におかれても十分耐えうるようになった。

発振出力は 150~200 mW で、ミキサ入力電力は約 2 mW でバイアス電流 0.5~1.0 mA を与えている。局部発振入力と変換損失との関係を図 2.4 に示す。

(2) 遅延回路

トランスポンダに遅延回路が必要なことは 2.1 節で述べた。従来この遅延回路は L, C の遅延線を使用していたが、体積重量が大きく当社では単安定マルチバイアレータと微分回路を組合せて小形軽量化を行なっている。この遅延回路のもう一つの利点は、遅延時間を任意にとれることであるが、われわれは約 $15 \mu s$ に設定している。問題点としては温度による遅延時間の変動とトランジスタのドリフトによるジッタがあるが、部品の選択さえ注意すれば十分使用できる。

(3) 送信キャビティ発振器

トランスポンダに使用される周波数帯では、普通の真空管を用いた L C 発振回路は、真空管の電子走行時間、電極間静電容量および導入線インダクタンス等が問題となって使用できない。そのため上記の欠点を解決するため、ペンシル管を用いた同調回路として同軸空洞共振器を使用して発振を行なわせている。機構的には小形軽量、耐振性をもたせるため、材料の選択および機構設計を厳密に行なっている。

電気的に重要な点は帰還部、ブランジ部、出力結合部に大別できる。帰還部の構造および誘電体の厚みは、種々実験して決められた。ブランジ部は、プレート測空洞およびカソード側空洞の大きさを加減し

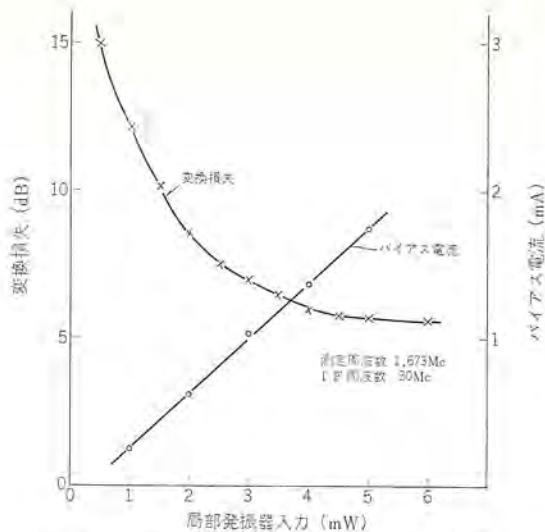


図 2.4 ミキサー変換損失、バイアス電流
Characteristics of mixer conversion loss and bias current.

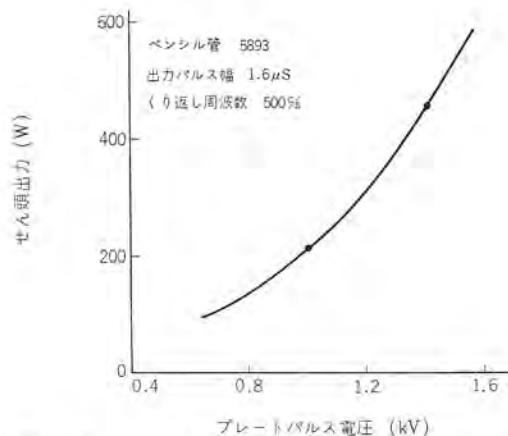


図 2.5 ペンシル管パルス発振キャビティ出力
Output power of pencil tube pulse O. S. C.

て発振周波数および出力を調整するものであるが、その可変機構および電気的な絶縁構造にとくに注意が払われている。

出力結合部は容量結合と誘導結合の 2 種類があるが、いずれもほぼ同じ最大出力が得られている。ループ(またはブローブ)のそう入位置および構造は種々実験により決定した。ペンシル管は RCA 製 5893 (パルス発振用) を用いている。プレート電圧と出力の関係を図 2.5 に示す。

(4) 電源

初期のトランスポンダは変調器に 4 層ダイオードを使用していたこと、トランジスタ回路に 12 V を使用していたことのために 5 種類の電源を使用していたが、変調器に SCR を使用し、トランジスタ回路に 6 V を使用することにより 3 種類に減らし簡素化を図った。

2.4 耐環境性

表 2.1 にロケットとう載機器の受ける環境条件の一例を示す。

ロケットとう載機器と他の電子機器と最も異なる点は、きびしい環境条件下にさらされることである。しかもいったんロケットが発射するといかなる故障も許されない。当社では航空機とう載用電子機器の製作にあたって入手した豊富な経験と設備を基礎にし、さらにロケット独自の条件を加味して十分な試験を行なっている。ここでその詳細を論することは割愛するが、これらの条件に対し有効な処置を 2, 3 記しておく。

表 2.1 ロケットと載機器の受けける環境条件
Environmental alcondition.

振動	5~2,000 c/s
	機軸方向 全振幅 1.27 mm または ± 10 G 横軸方向 全振幅 1.27 mm または ± 5 G
加速度	機軸方向 加速 30 G 以上 減速 20 G 以上 横軸方向 10 G 以上
	機軸方向 $+50$ G 11 ms -30 G 11 ms 横軸方向 20 G 11 ms
気密	120 km 以上
	-70° ~ $+60^{\circ}$ C

(1) 振動、衝撃、加速度に対して

破損しやすい個所はショックマウントに取付け、振動・衝撃・加速度を減衰させる。またプリント基板に取付けた部品は、調整後シリコンラバー等の固定剤で固める。

(2) 真空に対して

高度が高くなると大気は真空状態になるため、高電圧を使用する個所は放電を起こしやすくなる。その対策としては、ケースを気密にする、シリコンラバーで固める、放電防止剤を塗布する、等を場合に応じて使いわける必要がある。

(3) 温度に対して

大気が希薄になると対流による熱放散がなくなるため、地上にお

ける考えはなりたたないことが多いので、発熱体は熱の放流を考えなければならない。

2.5 トランスポンダ用アンテナ⁽²⁾

当社で開発したトランスポンダ用アンテナにはノッチ形、埋込形等があるが、これらの詳細を論ずることは別の機会にするとして、ここでは機体の空力特性にとくに考慮をはらった埋込アンテナについて簡単に述べる。

外観は図2.6に示すように、黒いカバーはFRPを使用している。またこの形状は機体外被と同じ曲率にし、機体に装着する方法は機体外被にアンテナをはめこむ穴をあけて装着する。装着後はアンテナ外被はロケット外被面と同一形状となり、ロケットの飛しょうに対してアンテナによる空力的影響をまったく与えない。また放射素子はFRPカバーの下に埋込まれていて折返しモノポールアンテナの形式である。

このアンテナは2個1組として使用しロケットの頭胴部に、同一断面上の機軸に対して対称に配置され、給電は互いに逆相となるように給電し、合成インピーダンスが 50Ω になるようにしている。

このアンテナのインピーダンスおよび実物大模型に取りつけて測定したパターンデータを、図2.7, 2.8に示す。

一般に放射素子を埋込む形式は、ロケットの外に素子を出す形式(突出形)に比べてインピーダンスマッチング、パターンの点で、劣るとされていたが、当社で開発した埋込形アンテナは、データからわかるように突出形に比べて何らそん色のないことを示している。



図 2.6 トランスポンダアンテナ
Transponder antennas.

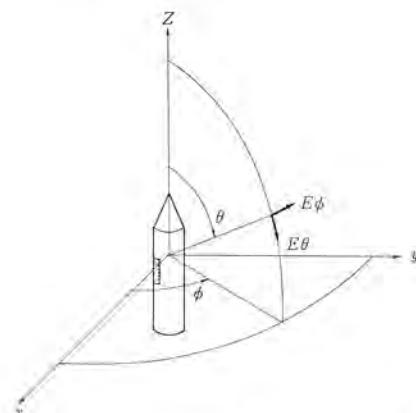


図 2.8 (a) ロケットに固定した座標系と
電界成分
(ロケット模型、全長 3.25 m 直径 0.3 m)
Coordinate system and electric field
component.

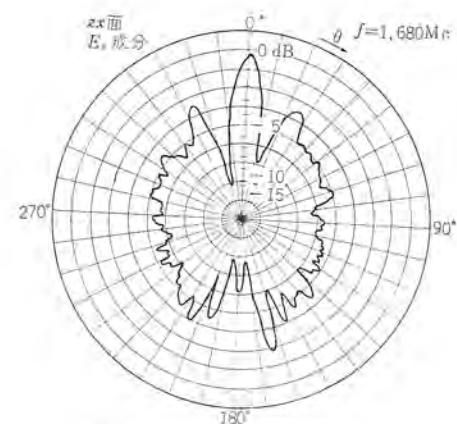


図 2.8 (b) アンテナパターン
Antenna pattern.

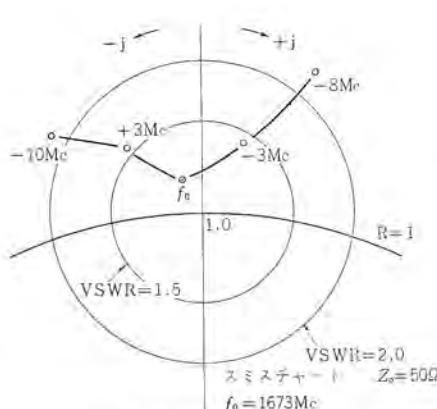


図 2.7 アンテナインピーダンス
Antenna impedance.

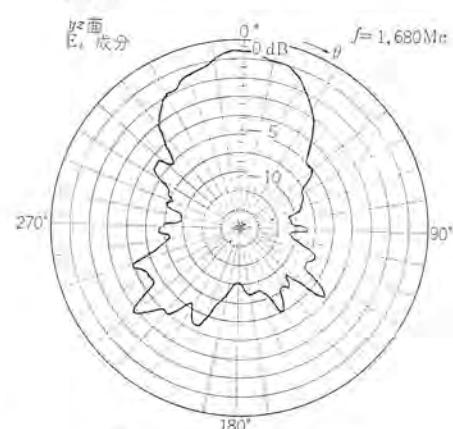


図 2.8 (c) アンテナパターン
Antenna pattern.

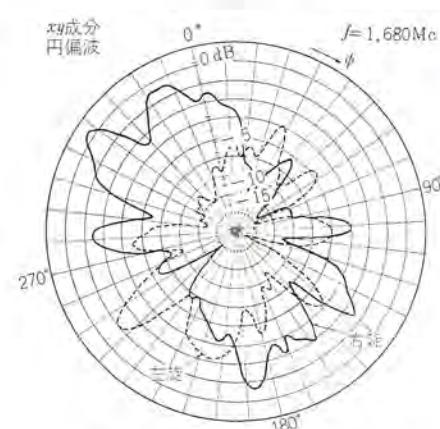


図 2.8 (d) アンテナパターン
Antenna pattern.

3. テレメータ送信装置

3.1 ロケットテレメータ送信装置の現況

当社では早くから無線遠隔計測装置を手がけ、医用テレメータと平行して、工業用、ロケット用のテレメータ装置の開発を行ない、すでに数多くの装置を世に出してきた。

近年半導体素子の発達に伴い、装置の小形軽量化が容易になりリニアICが普及した結果、半導体化された時点から見ても容積、重量で半分、消費電力では1/3と性能が向上し、現在も改良を加えつつある。このように一般電子機器の例にもれずテレメータ装置も年々進化している。ここでは現地点でのロケット用テレメータ送信装置として、主としてPT 650 A形装置について述べる。

3.2 テレメータシステム

副搬送波を用いた周波数分割多重によるFM-PM方式で、副搬送波周波数はIRIG標準に定められた400c/s～30kcを使用している。0～5Vの伝送信号でおののの副搬送波を周波数変調し、直線加算した複合信号で主搬送波を位相変調する。副搬送波の最大周波数偏移は中心周波数の±7.5%である。

3.3 回線の品質

通信回線の設計にあたって、回線の品質が重要である。テレメータ送信装置においては、副搬送波変調器の変調特性が伝送信号の忠実性に重きをなす。副搬送波変調器に使用し得る400c/s～30kcの周波数範囲の電圧制御発振器には、種々の回路が考えられるが非安定マルチバイブレータ方式を採用している。この回路の特長は回路素子の非直線要素が発振周波数に影響しないことで、他の回路方式に比べて著しく直線性が良い。図3.2の非安定マルチバイブレータ回路では発振周波数は次のように表わされる。

$$f = \frac{1}{2CR_{BL}n(1+E_c/E_i)}$$

f と E_i との関係は図3.3のようになり、 E_i の電圧が $1/2 E_c$ 以上の広い範囲にわたり非常に良い直線特性を有している。

実際の動作例についても、周波数漂動が少なく、1%以下の直線性が普通である。

テレメータ送信装置の中では、今一つ送信機の主搬送波変調特性が多重回線の品質としての漏話に関係する。PT 650 A形装置の変調特性は図3.4に見られるとおり、良好な直線性を有しており、変調によるひずみ率を3%以下に押えている。

3.4 マルチバイブルエータの問題点

マルチバイブルエータは、発振周波数を表わす式に電源電圧が含まれており、電源電圧の変動が発振周波数に影響することを意味し、電源電圧変動1%はほぼ1%の周波数変動を与える。しかしながら現在市販されている定電圧ダイオードによる電源電圧の安定化によるのみで、十分この欠点を補うことが可能である。

また発振周波数の温度変化による変動については、次のものがあげられる。

- (a) 発振周波数を決定するコンデンサ
- (b) 抵抗器の温度変化に基づくもの
- (c) ワンジスタの V_{BE} の変化によるもの。

このうちコンデンサ、抵抗器によるものが、 $60 \times 10^{-4} \text{ %/deg}$ 、 V_{BE} の変化によるものが、 $5.6 \times 10^{-2} \text{ %/deg}$ で後者が著しく大きい。この温度による変動には感温素子セミスター（三菱電機製）により入力電圧 E_i にバイアスをかけ温度補償を施している。

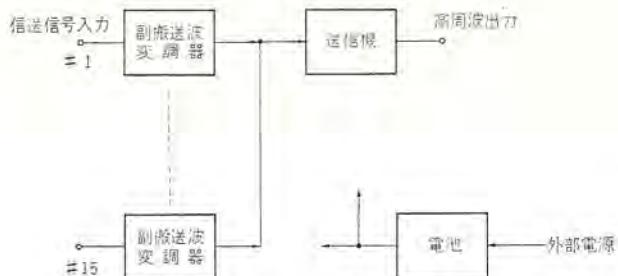


図3.1 PT 650-A テレメータ送信装置 ブロックダイヤグラム
Blockdiagram of PT-650 A type telemetry transmitter system.

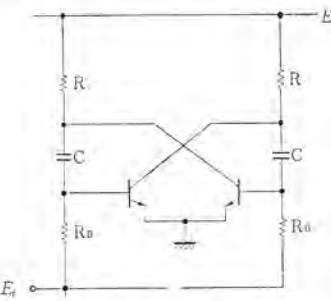


図3.2 非安定マルチバイブルエータ
Unstable multivibrator.

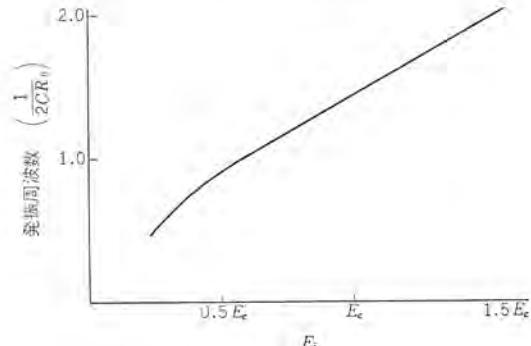


図3.3 マルチバイブルエータの発振特性
Vibrating characteristic of multivibrator.

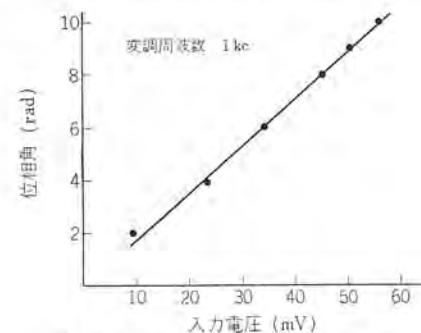


図3.4 主搬送波変調特性
Modulation characteristic of main carrier.

3.5 小形軽量化

このテレメータ送信装置は周波数分割多重方式であるため、副搬送波は他のチャネルへの漏話为了避免のため、各チャネルの帯域外の周波数スペクトルを出すことは避けなければならない。したがって副搬送波変調器出力波形はひずみ率の低いものでなければならぬ。変調回路として非正弦波発振回路方式によった場合、帯域外スペクトルを除去するためにフィルタを用いるのは当然であるが、正弦波発振回路によった場合においても一般にひずみ率が良くないため、やはり帯域ろ過器が使用される。

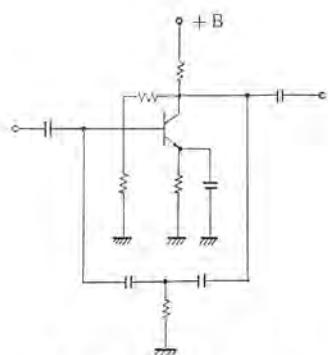


図 3.5 活性ろ波器
Schematic diagram of active filter.

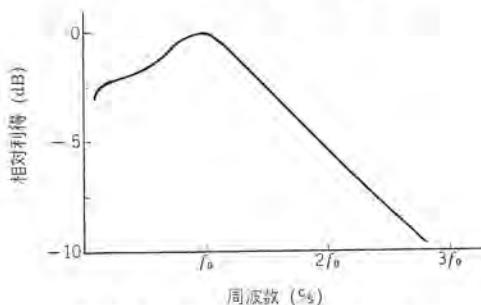


図 3.6 活性ろ波器周波特性
Characteristic of active filter.



図 3.7 PT 650-A テレメータ送信装置
PT 650-A telemetry transmitting system.

従来副搬送波変調器のろ波器には、フェライトコアを用いたインダクタによる LC フィルタが貢用された。このフィルタは比較的小容量で、しゃ断特性の良いものが得られるためであった。しかしリニア形 IC が一般化し、十分実用的になった結果、活性フィルタのほうが有利となつた。

活性フィルタは図 3.5 のように減衰帯域で増幅器に負帰還をかけるもので、通過帯域の周波数減衰特性および位相特性が悪いため通常のフィルタとしては利用されない。副搬送波変調器のフィルタとしては、高調波除去のため 4 段従続接続し 18 dB/0 ct. のしゃ断特性を得ている。この結果フィルタは、従来のフェライトコアによるものと比較して 150 g/CH の軽量化が行なわれた。

送信機については低電源電圧で動作する高周波電力増幅用のトランジスタの開発によって電源電圧昇圧用コンバータ不要となり、消費電力の減少とともに格段の進歩をとげた。

4. 磁力計

4.1 概況

昭和 32 年、H. G. Dehmelt によって透過光による磁気共鳴が観測されて以来、この技術は磁力計に応用され、いわゆる光磁気共鳴磁力計としてすでに種々の用途に使用されている。光磁気共鳴磁力計の特長は、

(a) 非常に高感度である。 (b) 常に全磁場をスカラー量として

検出できる。(c) 連続測定ができる。(d) 応答速度が早い。(e) 構成が簡単である。したがって信頼度が高い。

等であつて、現在のところ目的である、地球上層大気のうちの磁気圏における超低周波磁波の測定、上層の磁界分布の調査等に対しては最適な測定器であろう。ロケットによる載用光磁気共鳴磁力計は当社で独自に開発され、すでに 7 台が打上げられている。光磁気共鳴磁力計そのものについては、種々の文献⁽³⁾⁽⁴⁾に詳述されているから、その作動原理について簡単に述べるにとどめ、ここでは主としてロケットによる載機器としての光磁気共鳴磁力計の現状と将来について述べてみる。

4.2 原理と構成

4.2.1 原子発振器型光磁気共鳴磁力計の原理

静磁場内におかれたアルカリ金属蒸気の原子を考える。この原子のエネルギーレベルは、ゼーマン効果によりその間隔が周囲磁場に比例したサブレベルに分離している。この間隔に対応する原子の振動数 f は、いわゆる ラモア振動数である、

$$f = \frac{\gamma}{2\pi} H_0 \quad (4.1)$$

ここに γ : 磁気回転比 H_0 : 静磁場の値

で表わされる。式 (4.1) で決定される周波数は、オプティカルパンピング (Optical Pumping) の手法をたくみに応用することにより、光の明暗として検出することができる。このラモア振動数に同期した明暗を有する光を変調光⁽³⁾⁽⁴⁾と称する。図 4.1 に原子発振器のプロック図を示す。図中、アルカリ金属が吸収セル中に封入されていて、周囲温度を適当に制御することにより一定蒸気圧に保たれている。このアルカリ金属の D_1 線に相当する単一スペクトル光線を円偏光にして吸収セル中を透過させるとともに、図 4.1 に示すように吸収セルのまわりにコイルを設置して、ラモア振動数に同期した振動数をもつ磁界を印加すると、吸収セル中で光磁気共鳴吸収がおこる。

その結果吸収セルを通過した光は変調光を含む。この変調光を電気信号に変え、増幅するとともに、位相を整えて、セル内にラモア振動同期磁界として帰還してやると、図 4.1 は自励振動系となる。当然その発振周波数は式 (4.1) で決定されるものである。したがって周囲静磁場 H_0 の情報を、図 4.1 の発振周波数でとらえることができる。

4.2.2 ロケットによる載磁力計の原理と構成

現在のロケットによる載磁力計は、セシーム (C_8^{133}) の原子発振器をセンサーとしている。セシームの場合、 $H_0 = 1 G$ のときのラモア振動数は、350 kc である。昭和 42 年 1 月に打ち上げられた L-3 H-3 で

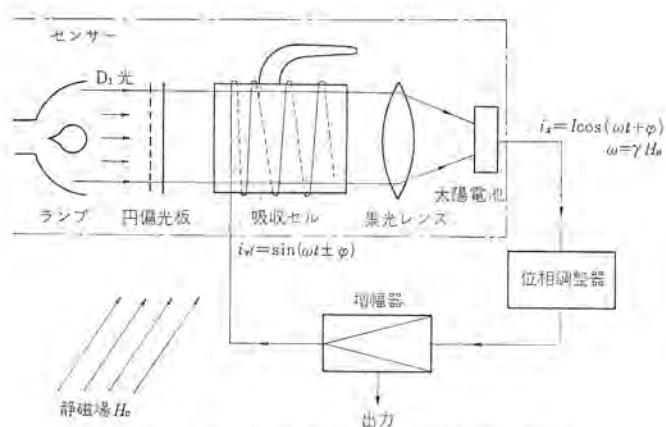


図 4.1 原子発振器 Atomic oscillator.

ケットの場合、到達高度は 2,000 km 以上にもなり、ロケット飛しょう中の周囲地球磁場変化は、およそ 0.16~0.46 G と推定される。これを原子発振器の出力周波数にすると (56.0 kc~161.0 kc) となり、このままの周波数幅をそのままテレメタリングするということは、現在の IRIG 標準方式によるテレメータでは不可能である。そこで原子発振器の出力周波数を適当に変換分割しなければならない。

上記のことを考慮したシステムの一例として、L-3 H-3 とう載磁力計の総合ブロック図を図 4.2 に示す。また L-3 H-3 の磁力計に関する⁽¹⁾総合テレメタリングシステムを図 4.3 に示す。この磁力計の場合出力信号を周波数 (通常はアナログ電圧) としたほうが好都合であるから、図 4.3 に示すように、磁力計出力をそのまま副搬送波

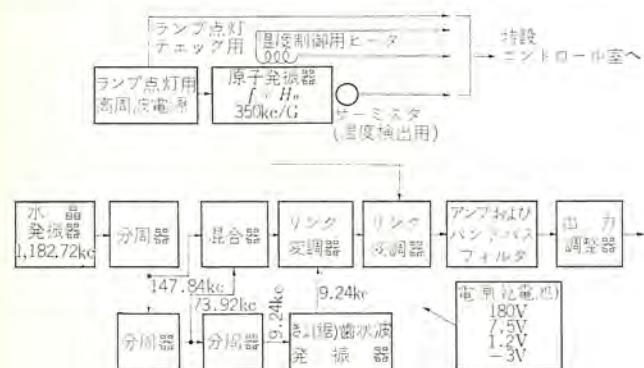


図 4.2 L-3 H-3 ロケットとう載磁力計ブロック図
Blockdiagram of L-3 H-3 Rocket magnetometer.

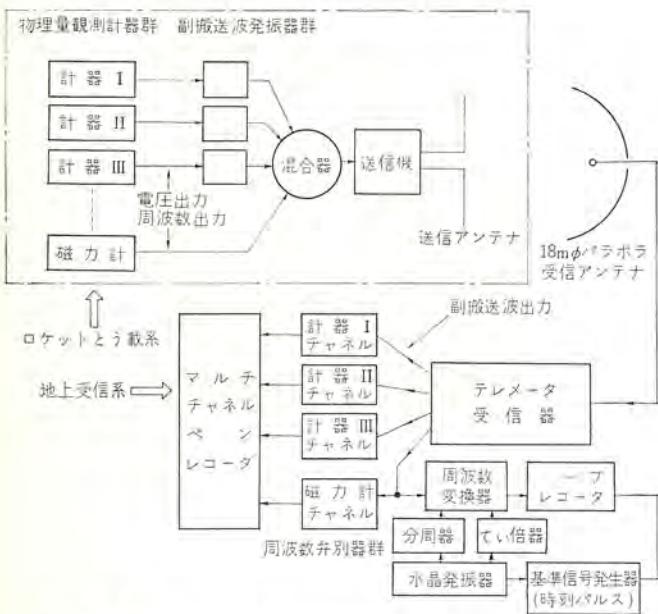


図 4.3 L-3 H-3 ロケットのセシーム磁力計信号用テレメタリングシステム
Telemetering system for Cesium vapour magnetometer.

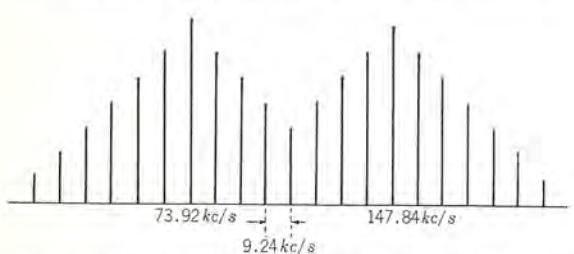


図 4.4 L-3 H-3 ロケットとう載磁力計の基準波形スペクトル
Reference wave spectral lines of L-3 H-3 rocket magnetometer.

として、テレメタの副搬送波混合器に入れている。L-3 H-3 で磁力計に割りあてられたテレメタチャネルは、IRIG 標準方式の第 15 チャネルであって、したがって磁力計出力は 27.75⁽²⁾~32.25 kc の周波数幅でなければならない。

図 4.2 のシステムの各定数は、テレメタ使用チャネルおよびロケットの飛しょう性能から算出されたものであって、大略次のように動作する。1182.72 kc の高安定な発振器から、その 1/8, 1/16, 1/128 分周波を作る。1/128 分周波 (9.24 kc) をきょ (鋸) 歯状波にして 1/8 分周波 (147.84 kc) および 1/16 分周波 (73.92 kc) とを、リング変調器で混合すると、きょ歯状波のスペクトル成分を考慮して図 4.4 のようなスペクトルを含んでいて、しかも高安定な波形が得られる。この波形と原子発振器出力とをふたたびリング変調器で混合し、27.75~32.25 kc の帯域フィルタに通すと、上記帯域内に周囲磁場 H_0 変動に対応する周波数スペクトルが 1 本だけ存在することになる。

4.3 ロケットとう載磁力計の特質

ロケットとう載磁力計は一般のロケットとう載機器が具備しなければならぬ諸条件のほかに、具備しなければならぬ条件が多い。以下これらの条件を列挙するとともに、当社の磁力計にどのような対策が施されているかを述べる。

4.3.1 外形寸法について

表 4.1 に当社のロケットとう載磁力計の製作実績と外形寸法の変化を示す。この表中飛び出し機器と記載してあるものは、ロケット機体から発生する磁気ノイズの影響を軽減するために、センサー部を本体から飛び出させる装置で、表中に記載された数値だけセンサーが飛び出すようになっている⁽⁴⁾。この表であきらかに外形寸法は短縮されつづけている。小形化するために施された方策は次のようなものである。

- (1) 電子回路基板形状を空間効率のよいものに変更してきた。
- (2) 部品配置の高密度化。
- (3) 小形部品および IC の採用。
- (4) 部品点数の削減。

4.3.2 磁力計の性能を確保するための対策

現在の当社のセシーム原子発振形磁力計はセンサー自体が、表 4.2

表 4.1 ロケットとう載磁力計の外形寸法の変化
Variation of outline dimensions of rocket magnetometer.

と う 載 機 種		打 上 時 期	高さ×最大外径 mm × mm	飛び出し機器 (ストローク) mm
カ フ バ 形	K-9 M-10	昭和 40 年 3 月	632 × 200	300
	K-9 M-17	昭和 40 年 12 月	535 × 200	275
	K-8-13	昭和 41 年 4 月	530 × 200	280
	K-9 M-22	昭和 42 年 1 月	495 × 200	230
	K-9 M-27	昭和 43 年 1 月 (予定)	430 × 200	180
ラ ム ダ 形	L-3-2	昭和 40 年 1 月	410 × 240	ナシ
	L-3 H-1	昭和 41 年 3 月	410 × 260	150
	L-3 H-3	昭和 42 年 2 月	395 × 256	130

表 4.2 セシーム原子発振器形磁力計センサーの性能
Ability of Cesium atomic oscillation type magnetometer senser.

項 目	性 能
磁力計動作物質	C_8^{133} 蒸気
感 度	$\pm 0.01 \gamma$ ($1 \gamma = 10^{-5} G$)
応答速度	0~5 k c/s 以上
センサー最適温度	(25±3)°C

表 4.3 K-9 M-22 ロケット振動、衝撃テスト条件
Condition of vibration and shock test for K-9 M-22 rocket magnetometer.

振動テスト	印加振動数 c/s	振幅	印加時間
	5~35	0.5 mm	2分程度で掃引
	35~2,000	2.5 G	2分程度で掃引
	2,000~35	2.5 G	2分程度で掃引
	35~5	0.5 mm	2分程度で掃引
	100 c/s(共振点)	2.5 G	1分
衝撃テスト		衝撃印加 40 G	



図 4.5 L-3 H-1 ロケット とう載磁力計
L-3 H-1 rocket magnetometer.



図 4.6 K-9 M-17 ロケット とう載磁力計
K-9 M-17 rocket magnetometer.

のような性能を保持している。この性能をロケットにとう載して飛しようするという条件で、十分に発揮できるように次のような対策を施している。

- (1) センサー飛び出し機構 (4.1 節を参照のこと)
- (2) 可能なかぎり非磁性部品を使用する。
- (3) センサー内を最適温度に保つために、電流を流しても磁気ノイズのない特殊ヒータを内蔵している。
- (4) ロケット本体も磁力計近傍は非磁性化してもらった。
- (5) ロケット飛しょう中の加速度・振動・温度・および気圧等の変動に対処するために、センサー部で使用されるガラス部品の保持機構、基準周波設定のための水晶振動子の保持機構、電子回路基板の支持機構等に特殊な工夫をするとともに、各回路部品には厳重なボッティングを施している。

ところで昭和42年2月に打ち上げられたK-9 M-22号ロケット

表 4.4 総合性能
Total system ability of rocket magnetometer.

項目	総合性能
総合計測精度	±0.17
総合応答速度	0~100 c/s
電源	乾電池内蔵
飛び出し機構ストローク	150~300 mm(とう載機種による)
総重量	9 kg 以下



図 4.7 K-9 M-22 ロケット とう載磁力計の電子回路部
Electronic circuit room in K-9 M-22 rocket magnetometer.



図 4.8 K-9 M-22 ロケット とう載磁力計のとう載状況
Rocket magnetometer installed in K-9 M-22 rocket.

について、地上テストで実施された環境テストは図4.7のとおりである。この環境テストは、全とう載計器をロケット本体に取り付けて実施されるものであって、全体の重心、部分的な共振等により、個々のとう載計器に加わる振動振幅は、表4.3記載値よりも異常に大きくなることがある。とう載計器の耐振性は、これだけのことを考慮して設計されねばならない。現在の磁力計のセンサーおよび電子回路は、この環境で十分に動作することは確認されている。

4.3.3 外観と総合性能および今後の改良点

以上述べたことと、ロケットの最先端にとう載されることとから、ロケットとう載磁力計は図4.5、4.6のような外観を呈している。またK-9 M-22号にとう載されたものの電子回路部は、図4.7に示すとおりである。実際にロケットにとう載された状況は図4.8に示すとおりである。図4.8のようにとう載された磁力計の総合性能は、表4.4のようなものとなる。観測目的から判断すると、磁

力計精度は高いほどよい。図4.6と表4.4の比較および実際に得られたデータにロケットのスピンの影響がでる等のこと注目すると、磁力計の機構設計にさらに一考を要するようである。また将来人工衛星にとう載されることも考慮して、次の諸点は改良されるべきであろう。

- (1) センサー飛び出しストロークを1~2mにする。このために、センサーをさらに小型軽量化して、センサー飛び出し機構の駆動力をなるべく有効に使えるようにする。
- (2) 信頼度、性能の両面から、機構設計を含めたシステム全体のバランスを考える。
- (3) 動作電力を軽減する。
- (4) 電子回路のIC化をさらに徹底させるとともに、長期使用に耐える部品を厳選する。

5. む す び

ロケットによる宇宙および気象観測が発展し、それにとう載する電

子機器の需要が増している現在、われわれはその需要に応ずるため、標準化をし品質向上を行なっているが、信頼度設計の導入、品質管理体系の合理化をはかって、さらに信頼性を向上させていくことがこれから課題と思われる。

参 考 文 献

- (1) 石井、藤掛、三輪：三菱電機技報 37, No. 2 (昭38)
- (2) 喜連川、武市、河村ほか：電子通信学会アンテナ伝播研究会資料 A. P 67-12 (1967-06)
- (3) 小川：SES ノート, K-No. 190 p. 14 東京大学生産研究所
- (4) 久保、安東：三菱電機技報, 38, No. 7, 102 (昭39)
- (5) 大川、久保、安東、吉山ほか：三菱電機技報, 39, No. 9, 21 (昭40)

パッケージ形シリコン整流器変電所

冬広力*・鍋倉浩一郎**・津久井進**

Packaged Type Silicon Rectifiers for Railway Substations

Itami Works Tsutomu FUYUHIRO

Kobe Works Kōichirō NABEKURA・Susumu TSUKUI

About substations receiving power at 6 kV or 3 kV and feeding current chiefly to street cars at 600 V or 750 V, reexamination has been made on their economy and reliability so as to devise a substation consisting of a new system of apparatus. The details are that silicon rectifiers are made oil-natural cooled to dispense with noise and eliminate the troublesome maintenance; high voltage equipment and DC circuit breakers are housed in EK metal clad cubicles, on the front door of which are mounted meters, and control switches providing a combined unit with distribution panels. Thus spaces are reduced and safety is increased by completely enclosing their live parts. Because of the elevation of reliability, they are suited for unattended substations. Various apparatus are arranged on a common base to simplify the substation. The features are good for rationalization of substations.

1. まえがき

現在のシリコン整流器変電所の機器構成は、水銀整流器以来の経験をもとにして作られたもので、それぞれ意義をもちかつ“Well established technique”であるといえる。しかしながら最近の社会状勢から、経済性と保守の便利なものの要求が高まっており、これらの要求に合致した新しい考え方を適用して再検討したものが本文に示す方式である。

整流器を油入自冷式とし騒音をなくし保守不要とするとともに、高圧機器や直流しゃ断器などをEK形メタルクラッドキューピカルに収納し、この前面とびらにメータ、制御スイッチ類を配し配電盤兼用とし、スペースの縮少化とともに電位部をすべて閉鎖化することにより、安全にしている。信頼性の向上から無人変電所に適することと、各機器を共通ベースにまとめ変電所建屋の簡略化を行なったことで、これらの変電所の合理化に最も適したものである。

パッケージとは、変電所の機器構成がおののその機能区分ごとにユニット化されていること、変電所全体が一つのパッケージ形となっているところから生れた名前である。またこれは、レクチフォーマと相まって全体の形を完成するものであり、レクチフォーマが主として大容量をカバーするのに対して、市街電車を主とした受電 6 kV（または3 kV）き電電圧 600 V (750 V) の変電所を対称としている。

2. パッケージ変電所の特長

シリコン整流器が電鉄変電所に採用されて久しく、初期に論じられた素子の信頼度などに代わり、経済性・保守・公害などの実施面上の問題点が強調される段階になっている。

(1) 地価の騰貴に対する変電所敷地、建屋の縮少と据付工事簡略化による建設費の低減要求。

(2) 冷却系統を中心とした建屋および機器の保守、とくに整流器内部の絶縁物、冷却片の長期運転上の保守と信頼性の確保。

(3) 海風、ガスなどによる変電所内蔵器の腐食対策。

(4) 冷却扇騒音による公害とその解決の費用。

これらの問題点の解決にいろいろ検討された結果、シリコン整流器は油入冷自冷式とし、交流側・直流側機器ともキューピカルにいれ、共通ベース上に配置する方式をとり、変電所機器一式が一つの機械のようにまとめあげられた。

この方式による特長として次のものがあげられる。

(1) 変電所機能は変わらずとも機器構成はできるだけ簡略化される。

(2) 高圧機器は、すべて閉鎖化して安全にするとともに保守の手数を省かれる。

(3) 変電設備を一つのパッケージ化してそれを据えるだけで変電設備を構成する。

(4) 構成機器の各区分ごとにユニット化して、標準化するとともに客先要求に対する適合性も有する。

(5) 整流器は自冷式で、完全な静止機器で騒音の解決とともに保守の手数を省かれている。

(6) 構成機器はこの変電所ユニットとして組合せられたとき、必要なあらゆる事故に対して保護されるものとして相互に協調をとった設計となっている。

以上のようなもので、外形寸法は図4.2に示すとおりで、従来の変電所に比べて非常にすくないスペースに納めることができ、前記した現在の変電所に対する要求点をすべて満足していると考える。



図 1.1 パッケージ形変電機器 (600/750 V 500 kW)
Packaged type substation equipment.

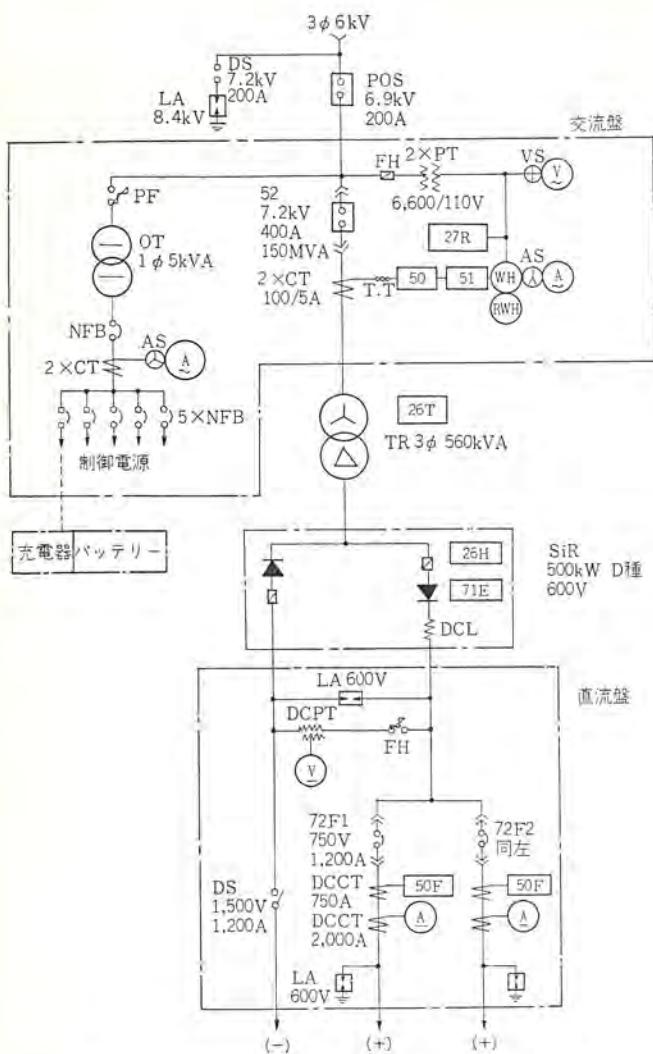


図 3.1 500 kW パッケージ形変電所単線結線図の一例
Wiring diagram of 500 kW packaged type substation equipment.

3. パッケージ形変電所の系統と適用範囲

パッケージ形変電所の標準的系統を図 3.1 に示す。適用範囲（性能限界）は後述するが、パッケージ形としての基本事項は受電電圧が 3kV、または 6kV の高圧で直流出力が 600V または 750V（共用でもよく、750V 以下であればよい。）である。この基本内であれば回路の構成を変化させても製作可能のように設計されている。これはこの変電所の設置条件により、まず受電が買電か自家線受電か、電灯、信号線が必要かどうか、き電回路は 2 回線必要か、等々により回路構成も変化あるものと考え、製作に幅をもたせている。

パッケージ形変電所の回路構成は図 4.1, 4.2 に示すように四つのグループからなっている。それぞれのグループについては、個々にその仕様を後述するが、交流盤と直流盤に収納しているしゃ断器の仕様が、このパッケージ形変電所の製作限界となっている。

- (1) 受電電圧 3kV もしくは 6kV
- (2) 短絡容量 3kV において 100MVA 以下
6kV において 150MVA 以下
- (3) 出力電圧 750V 以下
- (4) 出力電流 定格出力電流で 1,300A 以下
(1,300A を越える場合でも、しゃ断器形式を変えて標準外パッケージ形として製作可能である。)

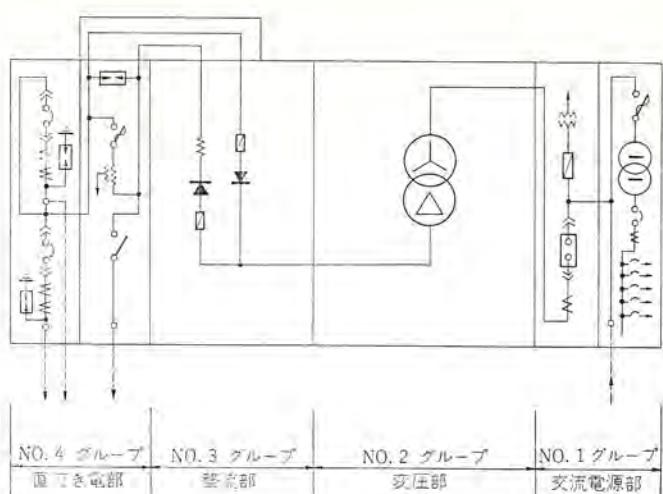


図 4.1 配列単線接続図
One line diagram of cubicle arrangement.

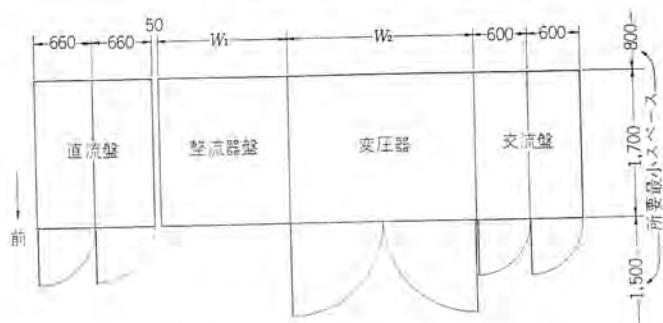


図 4.2 平面寸法図
Dimensions in the plan of equipment.

4. パッケージ形変電所の機器構成

パッケージ形変電所は全体を下記の 4 グループに分け、それぞれを閉鎖単位とした自立形のキューピクルとして構成する。

- No. 1 グループ 交流電源部
- No. 2 グループ 変圧部
- No. 3 グループ 整流部
- No. 4 グループ 直流水電部

図 3.1 に示された単線結線図の場合を例にとってその構成の一例を図 4.1, 4.2 に示す。

キューピクルは前面をとびらにして、これに計器・繼電器・制御器具をすべて取付けている。各グループ間の主回路、制御回路の連絡は盤内を原則とするが、内蔵機器等の関係から上部でバスダクト等により行なうこともある。機器搬入条件や、経済的な理由からとくに変圧器盤を設けず変圧器を床面据付として保護たなで代用することが多い。主回路ケーブルは、上部からの引込み・引出しも可能である。スペースの縮小と保守点検の便から、しゃ断器はすべて自動連結引出し形として前面引出しにしている。直流側のき電線が増加する場合は、簡単に増設できるように考慮されている。

4.1 交流盤

交流盤は電源引込み、所内用変圧器およびその二次側配電用しゃ断器・計器用変圧器・受電用しゃ断器からなるが、需要家の受配電形態・建屋の都合などで取引用 MOF、避雷器、電灯線電力線の引出し等の回路もはいる場合があるが、これ等に対しても列盤面数を増して収納することができる。

主回路は絶縁アルミ合金母線を主体に、6kV 絶縁口出線を補助的

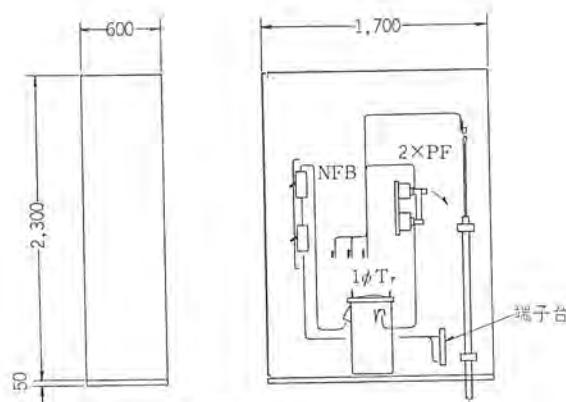


図 4.3 所内盤の構成図
Structure of station panel.

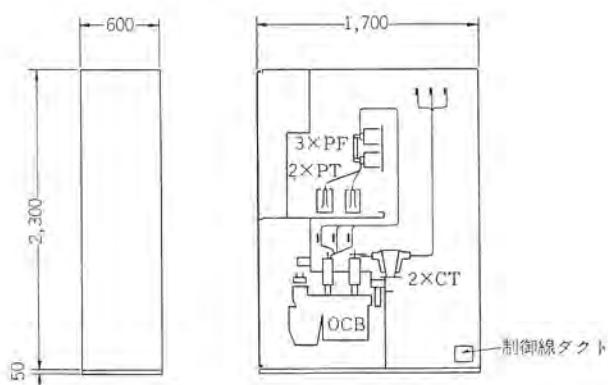


図 4.4 しゃ断器盤の構成図
Structure of circuit breaker panel.

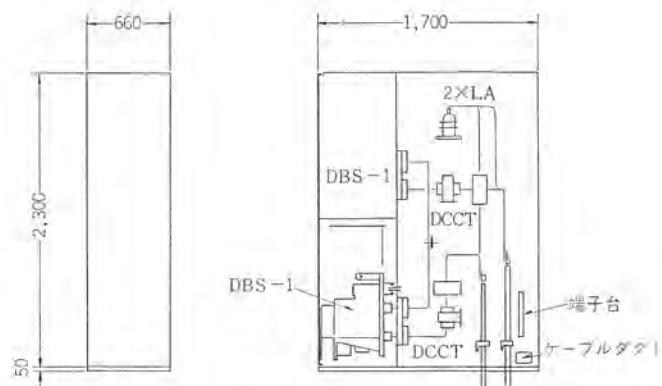


図 4.6 主幹盤構成図
Structure of main panel.

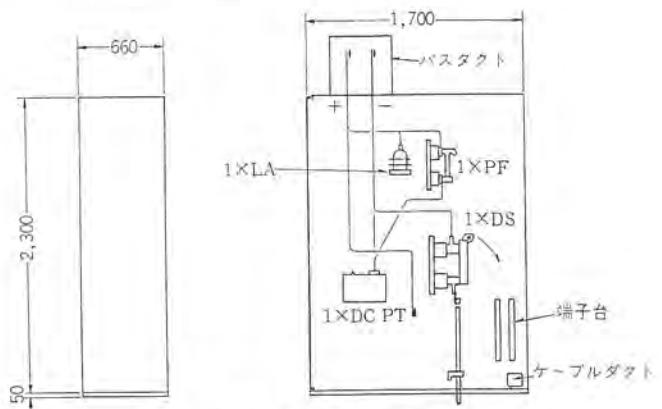


図 4.7 き電盤構成図
Structure of feeder panel.

より後部に出して、交流・直流盤と接続するようにしている。図 4.5 に外観を示す。

4.3 直流盤

直流盤は避雷器・計器用変圧器・変流器・負極断路器を収納した盤を主幹盤とし、正極母線をここから延長してフィーダの数に応じてき電盤の面数を選択する。フィーダの DBS-1 形しゃ断器は 1 面に 2 段収納可能であるが、しゃ断器の前面のとびらに計器類を取付けることができなくなるので、この場合は主幹盤に取付ける。

主回路は裸アルミ合金母線を主体に、600 V 絶縁口出線を補助的に使用している。図 4.6 に主幹盤の構成を図 4.7 に 2 段積みき電盤の構成を示す。

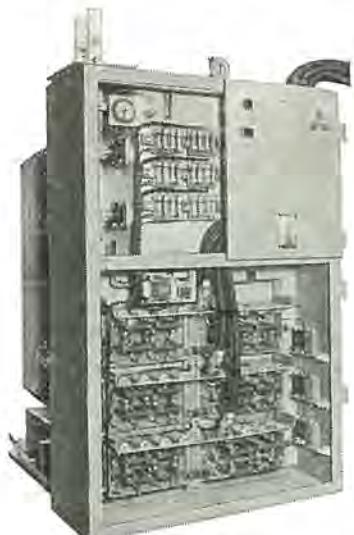


図 4.5 500 kV 600 V 油入自冷式シリコン整流器
500 kV 600 V oil immersed self-cooled silicon rectifier.

に使用している。しゃ断器部分は EK 形メタルクラッドのしゃ断器ユニットを使用している。OCB の操作機構、機械的 インタロック、排油装置、主回路制御回路の接触機構など完備している。図 4.3 に所内盤の、図 4.4 にしゃ断器盤の構造の一例を示す。

4.2 整流器盤

整流器 キュービクルは油タンクを兼ねた構造で、前面カバーを開くことにより、内蔵機器はすべて点検できる。キュービクル上部タンク内には直流リアクタを内蔵し、後面に放熱器を取付けている。主回路端子はキュービクル上部から出し、変圧器および直流盤とケーブルあるいはダクトで接続される。補助回路配線はキュービクル下部から配線管に

5. パッケージ形変電所の機器仕様

5.1 交流側しゃ断器

標準の 6-FK-15 形タンク形油しゃ断器にチューリップ形接触部、接地接触部、制御回路接触部、インターロック機構、昇降操作用部品等を取付けて引出し形としている。

5.2 電力ヒューズ

電力ヒューズ類は、系統の短絡容量に見合った十分なしゃ断容量を有する信頼度の高いものを選定している。限流形であるのでガス放出がなく、スペース的に有利である。

5.3 計器用変成器

交流側の計器用変成器はすべて信頼度の高いブチルゴムまたはエポキシモールドの物を使用している。

計器用変流器 BN-0 形 (ブチルゴムモールド) または

CD 形 (エポキシモールド)

計器用変圧器 PD 形 (エポキシモールド)

表 5.1 6-FK-15 形油しゃ断器定格
Rating of 6-FK-15 oil circuit breaker.

準 拠 規 格	JEC 145 交流しゃ断器	
定 格 電 壓 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	100
定 格 投 入 電 流 kA	32.8	43.7
定 格 短 時 間 電 流 kA	12	16
開 極 時 間 s	0.03	
定 格 し ゃ 断 時 間 c/s	3	
再 起 電 壓 () 号 kc	(II) 20	
危 縁 階 級	6	
標 準 動 作 費 事	0-1分-CO-3分-CO および CO-15秒-CO	
無 負 荷 投 入 時 間 s	0.15	
油 量 l	20	
油 な し 重 量 (電気操作) kg	100	
投 入 操 作 方 式	電 気, 手 動	
投 入 制 御 方 式	電 气	
投 入 操 作 電 流 A	45(DC-100 V)	
引 き は ず し 操 作 方 式	電 气, 手 動	
引 き は ず し 操 作 電 流 A	4(DC-100 V)	

表 5.2 パッケージ形変電所に使用のヒューズ定格
List of ratings of fuses used for packaged type substation.

	PT 一次ヒューズ	変圧器一次ヒューズ	DC PT 一 次ヒューズ
形 名	PL	CL	BAL-PTD
定 格 電 壓 V	3,600 7,200	3,600 7,200	600
定 格 電 流 A	1	5, 10, 20, 30, 50	1
し ゃ 断 容 量 三 相 対 称 MVA	150 250	250 500	
三 相 非 対 称 MVA	250 400	400 800	
最 大 し ゃ 断 電 流 kA	27 22	44	

表 5.3 DBS 形気中しゃ断器定格
Rating of DBS air circuit breaker.

準 拠 規 格	JEM 1182 工業用準高速しゃ断器	
定 格 電 壓 V	850	
定 格 電 流 A	2,000	
定 格 し ゃ 断 電 流 kA	50	
定 格 開 極 時 間 c/s (60 c/s 以下)	2.0 (過電流引きはすし装置による場合) 2.5 (電圧引きはすし装置による場合)	
定 格 投 入 操 作 時 間 s	0.15	
定 格 引 き は す し 電 流 A	2.5 (DC-125 V)	
投 入 操 作 電 流 の 最 大 値 A	35 (DC-125 V)	
重 量 kg	180	

5.4 直流側き電用しゃ断器

低圧気中しゃ断器として豊富な実績をもつ DB 系列の DBS-1 形気中しゃ断器を使用している。図 5.1 に特性曲線を示す。

5.5 変圧器

油入自冷式で、動力用変圧器として使用されているものとほとんど同仕様のもので、標準品であり量産されていることからも信頼性の高い機器である。絶縁紙として耐熱性を大幅に改善した当社独自の HI-L 絶縁紙を使用し、過負荷耐量が増大し変圧器寿命が一段と長くなっている。

5.6 整流器

5.6.1 構造と冷却

整流器は油入自冷式で図 5.2, 5.3 に示すように、整流素子は絶縁板に取付けられた冷却片に外部からねじ込まれており、油とは直接ふれておらず保守・点検に便利である。素子はタンク下部にあつめ、上部には直流 リアクトルを納め後面に放熱器を配して、自然対流による完全自冷式である。温度上昇による呼吸作用および、タンク内事故に対する気圧上昇に対しては、油封式呼吸装置をタンク上部につけている。

5.6.2 冷却特性

油の大きな熱容量が、電鉄負荷に対して理想的な温度特性を与える。

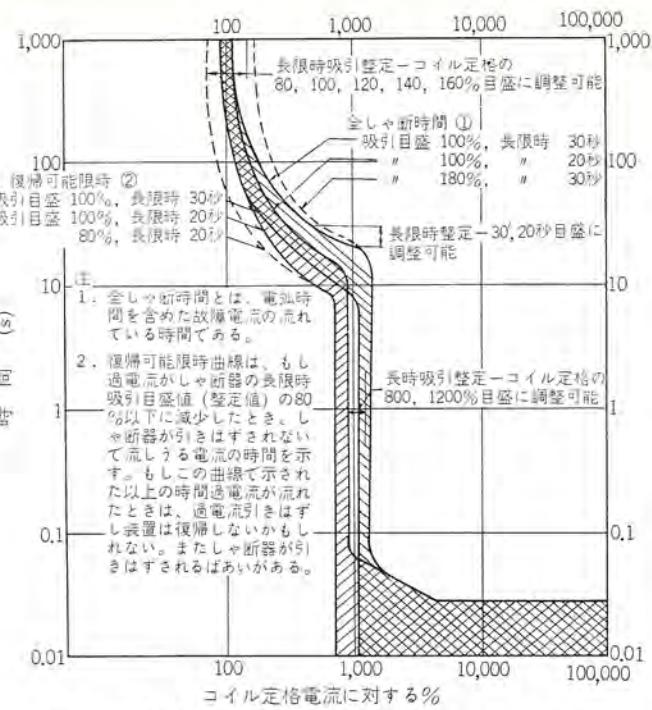


図 5.1 DBS-1 形気中しゃ断器用過電流引きはすし装置
(長限時および瞬時) 電流—時間特性曲線
Overcurrent tripping device of DBS-1 air circuit breaker.

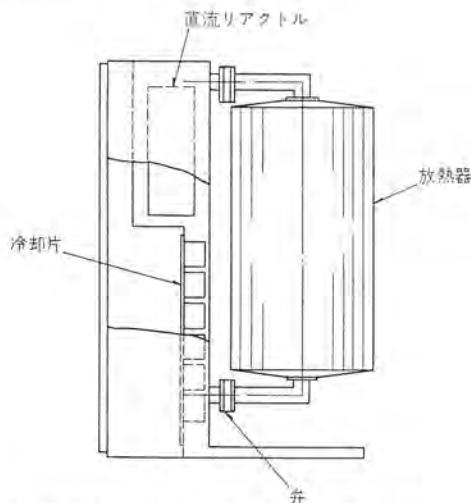


図 5.2 油冷式シリコン整流器
Oil cooled silicon rectifier.

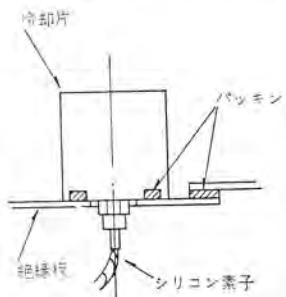


図 5.3 油冷式整流器素子取付部
Cell mounting oil cooled rectifier.

ている。なお一般の油入自冷式の場合、タンク上下間の温度差が大きく、素子は不経済な使用状態になるが、この整流器の場合は直流 リアクトルをタンク上部に納めているため、素子間の温度差は比較的小なく、上部に熱源をもつことにより冷却効果を理想的にしているといえる。

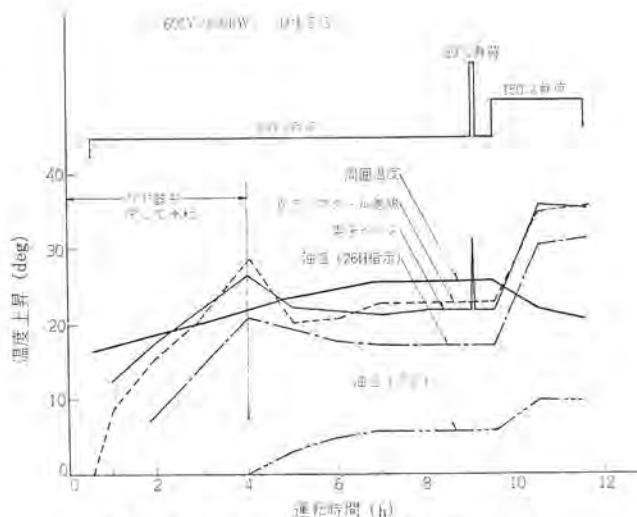


図 5.4 油自冷式シリコン整流器温度試験結果
Temperature test result of self-oil cooled silicon rectifier.

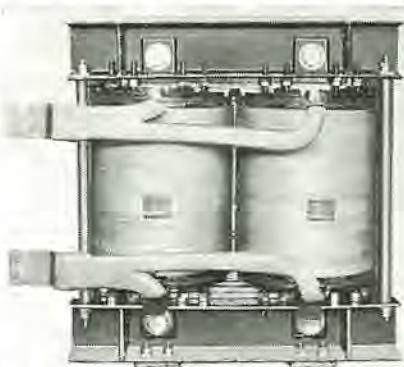


図 5.5 600 V 834 A 1.0 mH 油入自冷式 リアクトル
(整流器タンクに内蔵しているもの)
600 V 834 A 1.0 mH oil immersed self cooled reactor.

図 5.4 に 600 V, 500 kW, 整流器の工場温度試験の一例を示す。最高油温 (26 H の指示で直流リアクトルの巻線近く) に比べて、素子の温度は低く、素子の定格選定にさいし経済的な設計ができる。

5.6.3 主回路方式

従来から 600 V き電の整流器は、6 相 2 重星形結線を採用しているが、これは変圧器容量が不経済であることや相間リアクトルを要することで、変圧器を特殊品としている。この整流器は三相ブリッジとし、標準形変圧器の使用を可能とするとともに、素子アーム間にかかる電圧が低くなるので、ヒューズ保護を可能としている。

6. パッケージ形変電所の制御と保護

6.1 整流装置の制御

一般の整流装置との違いは整流器用変圧器、整流器とも冷却方式を油入自冷式としているため、冷却関係の補機と付属装置がまったくなく、交流側のしゃ断器の開閉がそのまま整流器の運転、停止となる点である。これは一般的に電鉄変電所の制御連動が複雑と考えられていることを脱却し、その制御は単なるしゃ断器の開閉制御として考えればよいので制御連動は単純である。

パッケージ形変電所の整流器の運転・停止の標準方式は、三つの制御区分に分けています。それは、遠方制御・直接制御・タイムスイッチ制御である。これらの制御方式の選択は変電所内で切換え可能である。個々の制御方式の内容は、遠方制御と直接制御はいわゆる命令運転と言われるもので、その命令の場所が遠方か直接かの位置的違いである。タイムスイッチ運転は、24 時間目盛のタイムスイッチを変電所内にもうけ、タイムスイッチに整流器の運転開始時間と停止時間を記憶させ、

その命令で制御を行なう一種のプログラム制御である。パッケージ形変電所の場合は、このタイムスイッチ制御と遠方制御はその性格から見て、最適の制御方式と考えている。

6.2 き電回路の制御

き電線しゃ断器の制御は、整流器との制御とは独立して行なっている。これは整流器停止時における延長き電が考えられるからであるが、き電線が 1 回線の場合で T き電のときはだき操作とすることも可能である。またき電線しゃ断器の制御は上記命令運転のほかに、制御の自動化を目的とし、しゃ断器の過負荷における自動しゃ断時には 1 回を標準として自動再閉路を行なえるように考えている。この自動再閉路の方法としては、タイムリレーによる強制再閉路方式と三菱獨得のき電線の外線短絡状態を監視して、事故の有無を判断して再閉路を行なう抵抗測定式再閉路方式の種類が準備されている。

6.3 遠方制御

パッケージ形変電所は前にも述べたように、その性格上無人変電所とするほうが得策であり、また使用機器、制御回路とも無人変電所を前提として設計を行なっている。無人変電所とする場合その遠方制御方式をどのようにするかの問題が残るが、この変電所であれば直接式か多段多重式が適していると考えられる。その理由として、パッケージ形変電所の回路構成は非常に簡素にできているため、遠制装置として簡素なものであるほうが保守上よく、また変電所の遠方制御、監視項目とも一般の電鉄変電所に比べその数は相当少なく、標準回路構成では制御 4 項目、監視 12 項目で表 6.1 に示す項目内容を考えている。

なお直接式か多段多重式（三菱が開発した遠制方式の一方法で、連絡線に印加する指令の順序により選択、および回路の接続を行なう方式）かの遠制方式の選択は、遠制装置の経費（直接式>多段多重式）と連絡ケーブルの経費（直接式>多段多重式）とを考え合わせ

表 6.1 パッケージ形変電所の遠制項目
Remote control items of packaged type substation.

制御項目		監視項目	
52 開閉	52 開閉表示	重故障	障
72F1 開閉	72F1 開閉表示	中故障	障
72F2 開閉	72F2 開閉表示	軽故障	障
タイマー使用除外	遠方制御中	27R	
		80B	
		火災	異常開
		とびら開	

表 6.2 パッケージ形変電所保護連動表の一例
Example of protective interlocking of packaged type substation.

故障内容	被制御所		制御所		備考
	表示	開放CB	ロック	警報	
受電停電	27R	52	なし	ベル	停電回復にて 52R 再閉路
SR過負荷	50	52	なし	ベル	中故障
SR過負荷	51	52	なし	ベル	中故障
トランス過熱	26T	—	なし	ブザ	軽故障
SR過熱	26H	52	あり	ベル	重故障
SR保護ヒューズ断	71E	52	あり	ベル	重故障
△I動作	50F	72F	なし	ベル	中故障
72F自動しゃ断	72F	72F	なし	ベル	—
72F再閉路失敗	82F	—	なし	ベル	重故障
NFB自動しゃ断	8	—	なし	ブザ	軽故障
DC制御電圧低下	80B	—	なし	ブザ	80B
室内換気とびら故障	88RF	—	なし	ブザ	軽故障
火災	28F	52, 72F	あり	ベル	火災
とびら開	—	—	—	—	扉開
連絡線断	—	—	—	—	連絡線断

た上で経済性から決めるのが第1であるが、変電所と制御所との距離が長くなると直接式では技術的に困難となる場合がある。

6.4 保護運動

パッケージ形変電所の保護装置とその運動関係は、表6.2の保護運動表に記載の内容のものを考へている。これは一例であるので変電所の系統に応じて修正する必要があるが、その内容は一般電鉄変電所と大差はない。

その故障内容と保護運動について2、3ピックアップして述べると、まず、受電停電時の処置は#52を開路し、整流器の運転をいったん停止させるが、停電回復時において整流器の再運転を行なう際、運転員の停電期間内の電圧回復の監視が常に必要となってくるので、このわざらわしさをのぞくため停電回復時には#52を自動再閉路するように回路を組んでいる。しかし停電時間が長時間続く場合は、この自動再閉路は保安上好ましくないので、2、3分程度を限度として（通常買電停電は数十秒で回復される）それ以上の停電が続く場合は自動再閉路回路をリセットして、自動再閉路は行なわないようしている。

整流器の過負荷（過電流）保護としては、一般電鉄変電所同様、誘導形（限時動作形）過電流継電器#51と、限時動作形過電流継電器#50で完全に保護している。整流素子の短絡時の保護としては速応動形のヒューズを設けている。ヒューズ採用により整流器の保護はより完全なものになる、すなわち万一の素子の短絡に対しても短絡アームをきりはなし事故を拡大させない。また変圧器の二次側短絡電流を制限し、交流側機器を安全にしている。

なお直流出力回路の短絡事故時において、ヒューズが動作するのは望ましくないので、整流器の出力側に直流リアクトルをいれて短絡電流の立ち上りを抑え、直流しゃ断器で保護するようにしている。この直流リアクトルは整流器のサージアブソーバとともに、DC側サージ電圧を制限して素子耐圧と協調をとっている。整流器の保護としては、このほかに温度継電器を整流器本体に設けて総合的な過負荷保護をみている。

き電回路の保護としては、き電線しゃ断器に準高速度形気中しゃ断器を置いている。このしゃ断器は過電流引きはずし装置を持っているのは高速度形しゃ断器と同じであるが、過電流引きはずし要素に限時引きはずし装置と長限時引きはずし装置の2種類を持っているので、過電流保護としては好適である。

き電線保護のもう一つの課題として、運転電流と事故電流との区別をはっきりするための選択特性は、このしゃ断器は低いので別に ΔI 形故障選択装置を併置している。この ΔI 形故障選択装置はパッ

ケージ形変電所のき電回路用として、小容量変電所に適するもので、今回開発したものを準備している。この選択特性は図6.1に示すとおりで、 ΔI の整定電流範囲は400A～750A連続整定が可能である。

6.5 直流制御電源装置

蓄電池は無人変電所の場合制御の信頼度を考えれば必要である。もちろん電池を絶対必要とするものでなく、制御運動も保護運動も交流電源のみでよく、直流電源が必要あれば、整流器やキャパシタ装置を置くことで十分制御回路は組めるし、遠制装置も整流式を採用すれば可能ではあるが信頼度が遅ってくる。

パッケージ形変電所の場合は、焼結式アルカリ電池を設置するのを標準としている。この焼結式アルカリ電池は電気的にもすぐれた特長を持っているが、保守・取り扱いが容易で、かつ、急放電性能がすぐれているため小形軽量となり、パッケージ形変電所に適している。電池容量は20～30AH程度のものを考へている。

7. パッケージ形変電所の据付・保守

7.1 据付

据付床の構造を簡単にするために、No.1～No.4の全グループを、溶接により一体に組んだチャネルベース上に設置するのを標準とする。チャネルベースは、輸送上の制限から2分割または3分割にする場合が多く、現地で溶接またはボルト締めで固定する。図7.1に基礎部を示す。キューピクルは多くの場合、工場から分割発送するので、盤間の制御線の接続、主回路の接続、接地母線の接続は据付後行なう。制御線や母線には合マークを付けて図面で照合しやすいうようにされている。

7.2 保守・点検

キューピクルとしては、とくに毎々行なう必要のある事項はなく、内部のじんあい（塵埃）の付着状態、油入機器の油もれ、機器導電部の発熱状態等のほか、しゃ断器の操作機構、インタロック機構の点検・注油を行なう。しゃ断器のジャンクション部の潤滑には、導電性のグリース（グラファイトグリス）を使用せねばならない。

整流器も完全自冷式であり、毎日保守するものではなく、定期点検として各部品の絶縁劣化、締付部のゆるみ、発熱状態などに注意することで一般電機品と同様に考えればよい。

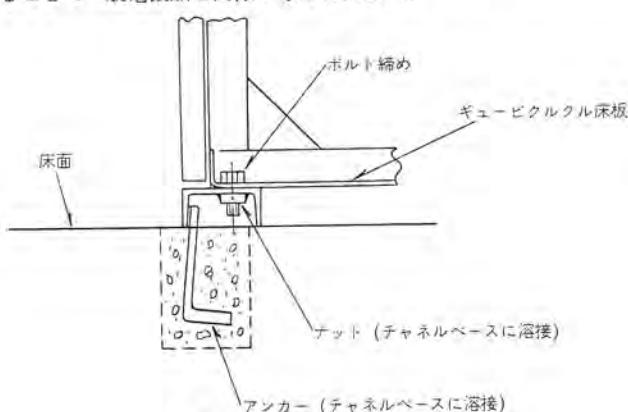


図7.1 基礎部 Foundation.

8. むすび

以上に紹介したように、パッケージ形変電所は新しい機器構成を採用し、電鉄変電所の諸問題を解決したが、これは使用者側に十分満足ゆく運転をしていただいている。今後とも改良と新製品の開発に努めて使用者の要望にこたえてゆきたいと考えている。

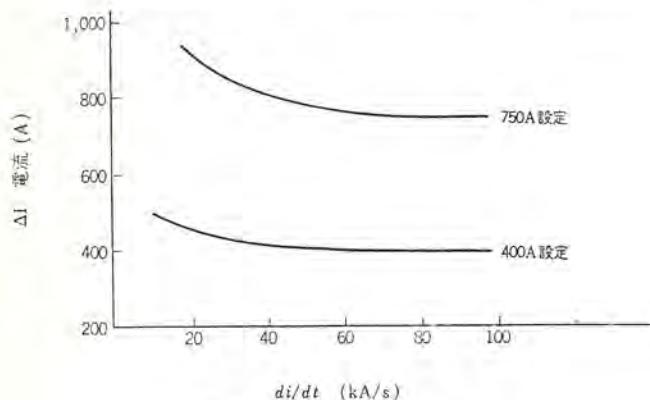


図6.1 ΔI 選択特性曲線
 ΔI selection characteristic curves.

MELCOM 9100 システム シリーズ (2)

—グループ 30 のハードウェア—

松本 大四*・曾我 正和*・貴田 篤志*

MELCOM-9100 Computer System (2)

—Structure of Group 30 Hardware—

Kamakura Works

Hiroshi MATSUMOTO・Masakazu SOGA・Atsushi KIDA

Following the design of MELCOM 9100 system introduced before, outlines of the composition and structure of hardware for the same system group 30 are given herein together with explanation related to several technical items. The MELCOM 9100 group 30 is a group of computers comprising a number of models, but one introduced in this article is a basic model brought to completion recently. In this device principal processor consist of integrated circuits (TTL), and there are 20 mil core memory having 65 K words at the maximum used as an executable memory and four units of 8.3 ms access time rotary memory with 1,048 K words as a system memory, the design being aimed at multiplexed running of On-Line Real Time and Free Time.



図 1.1 MELCOM-9100 30 システム の計算機本体部外観
Computer cabinet of MELCOM-9100 30 system.

1. まえがき

この論文は、MELCOM-9100 システム シリーズ のうち、今回完成したグループ 30 の基本 モデルの金物の組織・構造の概要紹介およびいくつかの技術中心点に関する解説を行なうものである。

MELCOM-9100 グループ 30 計算機は、主要 プロセッサ 類を TTL 型集積回路により構成し、実行 メモリ として最大 65 k 語、サイクルタイム 約 0.8 μ s のコアメモリ を使用し、システムメモリ として最大 4 台、1,048 語、8.3 ms アクセス の回転型 メモリ を使用した、オンライン リアルタイム フリータイム 並列動作を主目的として設計されたものである。金物設計の理念は、

(1) リアルタイム 处理諸機能の質的・量的充実、高信頼性の実現、質的・量的将来発展性の具備および完備した フェールセーフ。

(2) フリータイム 处理諸機能の質的・量的充実と将来発展性の具備。

(3) リアルタイム フリータイム 並列処理機能の完備、相互干渉を絶対にする フェールセーフ 機能の完備、高速性の実現。

等である。以下、システム の概要紹介、入出力 データチャネル、プロセッサ および故障検知について解説を試みる。

2. 金物システムの概要

2.1 機構構造

グループ 30 金物は、素子として M 5300 P 型集積回路 5 ~ 20 個を 14 cm \times 8 cm の印刷配線板に取付け、36 枚の配線板を 1 フレーム、10 段 フレーム を 1 架とし、表・裏・中 3 層の架を収容する キャビネット 群により構成される。これを機能面からながめると、各架は数個の機能 モジュール からなり、各 モジュール はそれ自体で一つの充足した機能 単位 となっている。原則としてこれら モジュール への直流電源の給電は、それぞれ独立した直流電源により行なわれ、共通接地は各負荷 モジュール 側で施される。したがって、電源 インピーダンス は極限まで低められ、共通接地線には電源電流が流れず、静かな接地 レベル を保持して外來雑音に対する耐力を極限まで高めている。

2.2 金物構成および仕様

グループ 30 金物の構成を 図 2.1 に、仕様を 表 2.1 に示す。図 2.1 の各 ブロック に示された モジュール 相互間は、原則として、その距離に応じて高・中・低速の ドライバーレシーバー により接続し、これら レシーバー には十分に高い敷居と適切な周波数感度を与える、内外の雑音に対する SN 比を最大に保っている。またこれらの データ転送 は共通の クロック を持たせず、完全な非同期方式を採用している。

中心的 モジュール である セントラルプロセッサ、入出力 チャネル 等に関しては 3 章以降に触れるとして、以下その他の 2、3 の特殊仕様 モジュール について説明する。

(1) ランダム アクセス 制御装置

セレクタチャネル に接続され、磁気 ドラム・磁気 ディスク 等の高速 ランダム アクセス メモリ を最大 1,048 k 語まで制御する。これら回転型 メモリ では集団脱落誤りの危険性があり、この制御装置では、ビットシフト 検出およびビット 計数値照合の二重検知方式によって、実用上十分な確率で集団脱落の検出を可能とするとともに、書き込み拒否のスイッチを設け、書き込みを拒否されたことを自動的に プログラム に知らしめるようにしている。

(2) 計数機構

MELCOM-9100 では パルス 計数を直接 メモリ 内部で行なう機能が

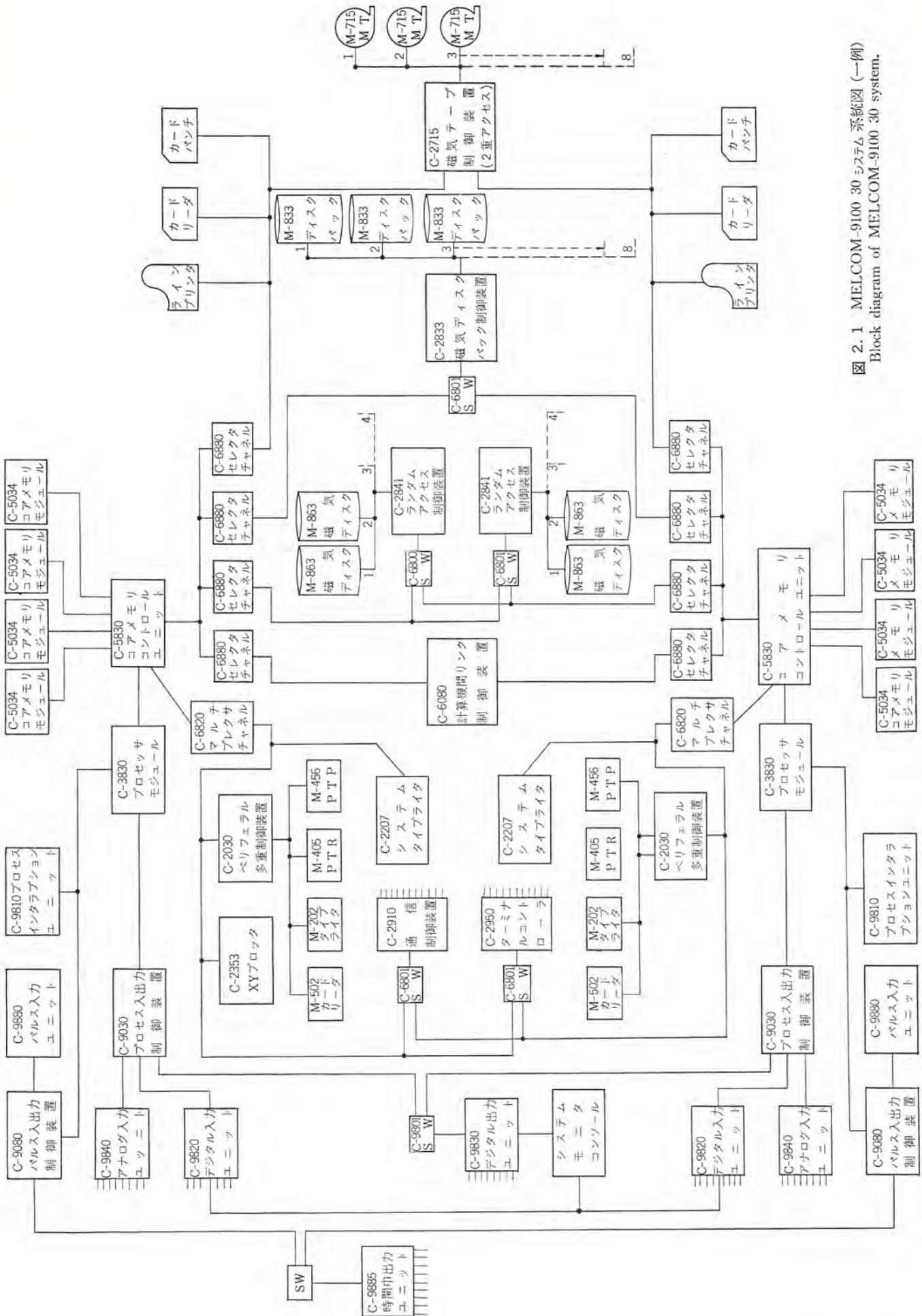


図 2.1 MELCOM-9100 30 ドラテル 系統図 (一例)
Block diagram of MELCOM-9100 30 system.

表 2.1 MELCOM-9100 30 システム仕様一覧表
Specification of MELCOM-9100 30 system.

分類	項目	仕様
コアメモリ	容量	8 k, 16 k, 32 k バイトスタッフ 4 台 (131 k バイト)
	読み出し幅	16 ビット+1 ビット (パリティ)
	メモリサイクルタイム	R・W サイクル約 0.8 μ s; R・M ・W サイクル約 1.2 μ s
	チャネル数	2 (出入力データチャネル, プロセッサチャネル)
セントラル プロセッサ	チャネルマルチプレクサ	優先順位制御, 最大 5 チャネルまで 多重化可
	命令アドレス方式	アドレスセグメント数 20 直接・相 対・間接アドレス可。範囲・リロケ ータブル, モード可
	レジスタ (インデックス)	12 (3×4), (ステータススイッチに よる 4 群切換方式)
	命令数, 方式	RR・RS・RI・RX 型基本 95 種 RX・SI・SS 型 5 種のパッケージ による 44 種
	オペランド種類	ビット, バイト 16 ビット語 32 ビット 語, 可変長語, 10 進 32 ビット浮 動, 64 ビット浮動
	演算速度	16 ビット加減算約 2.5 μ s, 16 ビット 乗除算約 10 μ s
	割込み制御	プログラムステータス切換を含む内 部 6 レベル, 外部 16 レベル
	計数機能	システムタイマー 高速カウンタ 16 点 低速カウンタ 256 点 (外部付加) ハード割り: コアパリティ, 命令 シーケンスチェック他 ソフト割り: メモリ保護, 轉換命令 保護, 不正命令, 他
	誤動作検出	
入出力データチャネル	ダイレクトコントロールチャネル	最大 8 トランジスタ, 直接入出力命令に より制御される
	マルチプレクサチャネル	最大 64 サブチャネル, 約 50 k バイ ト/秒レート
	セレクタチャネル	データコマンド用チャイニシング・ト ランスマスフィアインチャネル可 最大 4 チャネル, 各約 1 M バイト/ 秒レート 8 トランク/チャネル, チェイニン グ, トランスマスフィア機能可
入出力 諸機器	ランダムアクセス制御装置	524 k バイト, 磁気ディスク/ドラム, 122 k バイト/秒平均アクセスタイム 8.3 ms, 最大 4 台
	磁気ディスクバック制御装置	7250 k バイト, 交換型ディスク, 122 k バイト/秒, 平均アクセスタイ ム, 85 ms, 最大 8 台
	磁気テープ制御装置	9 トランク MT 8 台, 30 k バイト/ 秒, 60 k バイト/秒
	ラインプリンタ制御装置 (1)	64/96 字種, 600/400 行/分, 132 字/ 行, パッファ付
	同上 (2)	50/100 字種, 240/120 行/分, 80 字/ 行, パッファ無 800 枚/分 250 枚/分
	カードリーダ制御装置	キーボード・紙テープ入力, プリン タ・紙テープ出力 ASCII
	カードパンチ制御装置	最大 8 サブチャネル, 機器 64 台接 続可。ASCII, EBCDIC, 総 2 進 モード可。PTR(200/400 CH/S), PTP(120 CH/S), CR(100 c/m)入 出力タイプライタロギングタイプラ イタ, 接続可
	システムタイプリタ制御装置	アナログ入力デジタル入出力, RD アナログ出力バ尔斯入出力, 割 込み入力マルチプレクサ等々
事故検出機器	プロセス入出力制御装置	
	ウォッチドッグタイマー	10 ms~10 s 可変長 プログラムインループを検知
	エマージェンシタイマー	10 ms~10 s 可変長 瞬時エラー自動回復
	電源レベルモニタ	1 次, 2 次電源, 電圧監視用

あり、計数オーバーフローをエコーとしてパルス源に返送することにより、インターバルタイマーとしても使用し得る。高速パルス入力・低速パルス入力の 2 種類のモジュールが利用可能である。

(3) 電源シーケンサとレベルモニタ

電源シーケンサは、プロセッサ電源、メモリ電源、入出力装置電源の投入・切断のシーケンスを制御し、記憶の破壊、入出力装置の暴走を保護する。またすべての直流電圧レベルを常時モニタしており電源が検知レベルを越えると、割込み信号と外部警報信号を発生し、かつシーケンサを起動せしめる。

3. コアメモリ

3.1 概要

グループ 30 の主記憶装置に使用するコアメモリは、記憶容量 4 k 語、8 k 語、16 k 語の 3 種のモジュールが用意され、これを 4 モジュール (したがって最大容量 65 k 語) まで実装することができる。1 語は 16 ビット+パリティ 1 ビットからなり 1 回の読み出し書き込みは、グループ 30 では 17 ビット並列に行なう。

読み出し書き込みの速度 (サイクルタイム) は、今回使用のものは 800 ns であるが、今後さらに高速化が予想され、また CPU のクロック速度についても使用 IC の高速化等により、ますます向上されるであろう。このようにコアメモリ、CPU あるいはチャネルの自由な発展を期待するとともに、dual system 構成等を可能にすべく、コアメモリとプロセッサあるいはチャネル間のインターフェースは、全面的に非同期方式が採用されている。

コアメモリへの access path は基本的に 2 チャネル持ち、これらと非同期の回答を行なうが、磁心の持つ性能を十分に生かすよう、コントロールロジックについても完全な非同期化の工夫が払われている。

3.2 構成

図 3.1 にメモリインターフェースモジュール (CMC)を中心としたインターフェース構成を示す。コアメモリモジュール (CMM) は 4 台並列に CMC に接続され、それぞれメモリスタックのほか、パルストランスマトリクス、駆動アンプ、センサアンプを収容している。

CMC には 1 ワードのデータレジスタ、16 ビットのアドレスレジスタのほか、タイミング発生回路、パリティ発生および検出回路、および 2 チャネルのリクエストに対するマルチプレクス回路からなる。CMC は A, B 2 チャネルのアクセスインターフェースを持ち、CPU あるいは入出力チャネルに接続されるが、両チャネルは論理的に完全にコンパティブルな構造となって

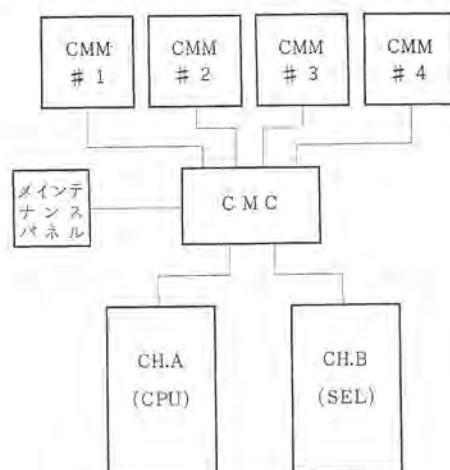


図 3.1 コアメモリインターフェース構成
Configuration of core memory interface.

いる。

さらにこのチャネルを拡張する場合には、チャネルマルチプレクサ(CMX)を付加することにより、Bチャネルを4チャネルに増設することができる。この場合拡張されたチャネルについてもすべて共通なインターフェースである。

3.3 制御動作

(1) 動作モード、およびバイトオペレーション

読み出し幅は17ビット並列に行なっているが、1語単位の読み出し、書き込みのほかバイト(Byte)単位での読み出し書き込みを可能とし、CMC内部でパック、アンパックを行なっている。

すなわち、あるロケーションのワードの上位バイトに書き込んだり、下位バイトに書き込んだりする場合には、一度1ワードデータをメモリデータレジスタ(MDR)に読み出し、このMDRの上位または下位バイトに書き込みたいバイトをパックした後、コアに書き込みを行なう。この際パリティエラーの取扱いとして、パックする前に読み出したときにすでにパリティエラーが発生した場合には、パック後ふたたびパリティビットをジェネレートするのに、エラー状態となるように作成して書き込みを行なっている。

バイト読み出しの場合にはワード幅で読み出した後、リクエスト側で上位または下位のバイトを取り込めばよい。したがってCMCの動作モードとしては、次の三つのモードを設けている。

(a) Clear-Write Mode

(b) Read-Rewrite Mode

(c) Byte-Write Mode

(2) リクエストインターフェース

A、B両チャネルからのリクエストは、まったく共通に扱い少しでも速くきたリクエストに対するサービスを行なうが、完全に同時にきた場合にはBチャネルを優先する。通常Aチャネル側にCPUを接続している。両チャネルとCMC間のインターフェースは非同期であり、図3.2に示す問答を実現している。

すなわちRequestに対する受付応答としてReceipt信号を返す。この信号が返ったことにより、Requestおよび制御情報、メモリアドレス情報を消し、プロセッサは次のシーケンスに進んでよい。さらに読み出しデータの準備、あるいは書き込みデータの受取りが完了した時点でData Read信号を返し、この信号がきたことによりリクエスト側はデータの取込み、あるいはホールドの解消を行なう。このように、RequestとReceipt、およびData Readyによって非同期問答を行なっている。

(3) タイミング発生

Read-Writeのタイミングはすべて遅延線回路によって行なっている。

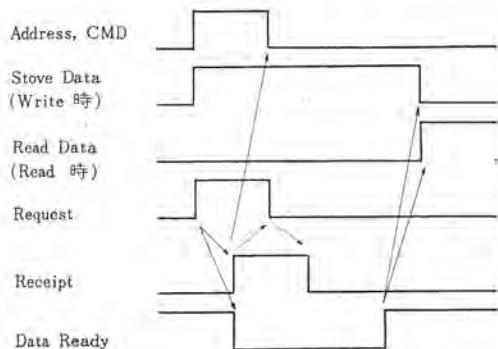


図3.2 コアメモリインターフェースタイミング
Interface timing of core memory.

る。遅延線は10ns間隔で任意のタイミングを取り出すことが可能で、コアス택に最も適したタイミングを発生している。

さらにCMC内部の制御動作に対してもこの遅延線を使用し、将棋倒し式ロジックによって高速化を計っている。

3.5 エラーチェックおよびメモリ保護

コアメモリに関するエラー検出機構およびメモリの保護として、次の事項を行なっている。

(1) パリティチェック

Read-Rewrite Mode時およびByte-Write Mode時にパリティチェックを行なっている。チェック結果はそれぞれリクエストのあったチャネル側に送っている。Byte-Write時、Read Cycleでパリティエラーを検知すれば、Write Cycleにおいてパリティエラー状態を記憶するように書き込んでいる。

(2) モジュールシフト

CMCには最大4台のCMMモジュールが接続され0~65kの連続したアドレスが割付けられるが、このうちいずれか一つのモジュールが万一故障によってDownした場合、Downしたモジュールに無関係に残りのモジュールを0~48kの連続番地として使用しうるようなモジュールシフトの機能が設けられている。これによって0~48k番地は常に確保されている。

(3) アドレスチェック

メモリモジュールは最大4台まで実装されるが、プログラムミス等によってそのシステムに実装されていないメモリアドレスを呼びにきた場合には、これをアドレスエラーとして検知している。

(4) メモリフリーズ

Emergencyによってシステムの電源を自動的にしゃ断する場合には、コアメモリの記憶内容がTransientによって破壊されないように、メモリフリーズ信号が自動的に発生する。この信号によってRead Write共駆動電流がインヒビットされる。

(5) オーブン温度監視

コアメモリは恒温(槽)オーブンに入れ、外気温にかかわらずオーブン温度を一定に保っているが、このオーブン内部の温度が±5°C以上変化した場合にはサーミスタによってこれを検知し、エマージェンシ割込みを発生させている。さらに+60°Cを越える異常温度になった場合には、電源を自動的に切る温度接点を用いている。

4. 入出力チャネル

4.1 入出力チャネルの種類および構成

MELCOM-9100の入出力チャネルは、高速での多データ処理能力を要求される大規模構成から、小規模における経済構成へ幅広いシステムを容易に実現できるようにかなり多種類のチャネルが準備されている。これらのチャネルの組合せにより各種の目的に適したシステムが構成され、グループおよびモデルによってその構成が異なる。

グループ30には次の入出力チャネルがある。

(1) セレクタチャネル

磁気ディスク/ドラム記憶装置、磁気テープ、高速ラインプリンタなどの高速入出力装置とのデータ転送に適するチャネルである。セレクタチャネルはCPUと独立して主メモリとのインターフェースを持ち、またデータ転送およびチーニング等チャネル動作に必要なハードウェアをすべて備えており、独立した入出力プロセッサとして働く。

セレクタチャネルと入出力制御装置間は、標準インターフェースを構成し、最大8台の入出力制御装置を接続しうる。セレクタチャネルは常にバース

15	FLAG	0
N	CSB	
N+1	COUNT	
N+2	DATA ADDRESS	
N+3	NEXT CCW ADDRESS	

FLAG : 動作の修飾
CSB : サブチャネルの状態保持
COUNT : データ量指定
DATA ADDRESS : コアメモリのデータアドレス
NEXT CCW ADDRESS : 現在のCCWのアドレス+3

図 4.1 サブチャネルレジスタ (UCW)
Subchannel register (UCW).

トモードで動作するが、その転送速度は最大 440 k Bytes/s である。
このようなセレクタチャネルを最大 4 チャネルまで設けられる。

(2) マルチプレクサチャネル

紙テープリーダやタイプライタなどの低速入出力機器に対して、一つのチャネルハードウェア機構を時分割使用することにより、多数の入出力動作を並列に処理しうる経済的なチャネルである。単一の入出力動作に必要な機構をサブチャネルというが、グループ 30 では最大 64 のサブチャネルを持っている。このチャネルは転送に必要なレジスタおよび加算器を CPU と共に使用し、サブチャネルレジスタはコアメモリ内に図 4.1 の形で収容している。

転送動作は CPU インストラクションの間に割込まれるが、その転送レートは最大 40 k Bytes/s である。データチェイニングおよびコマンドチェイニングはマイクロプログラムにより実行され、その所要時間は約 300 μs である。

(3) ダイレクトコントロールチャネル

計算機をプロセスコースに用いるときに必要となるプロセス入出力とのコミュニケーションに便利なチャネルであり、CPU プログラムの直接的な制御により CPU の A レジスタとの間で 1 ワード単位の転送を行なう。このチャネルはまた CPC と外部のプロセッサとの情報交換にも使用される。

(4) システムトランク

これは計算機内部で使用する入出力情報の転送を行なうもので、たとえば割込みのマスクレジスタ、リロケーションレジスタ等の CPU 内部レジスタ、メンテナンスパネルのスイッチや表示レジスタなどと A レジスタ間の転送に使用される。このトランクは前記(1)～(3)のチャネルとはまったく別の特殊なインターフェースを構成している。

4.2 入出力制御動作

(1) インストラクション

入出力制御命令は実際のハードウェア命令となる“DIRECT 命令”と、これを使ってソフトウェアの取扱いに便利にし、またセレクタ、マルチプレクサ両チャネルに完全な共通性を持たせたマクロ命令としての“QUASI 命令”の二つのレベルがある。QUASI 命令を使用した場合には内部割込みが発生し、マイクロプログラムが起動作される。このマイクロプログラム内に DIRECT 命令が使用されている。セレクタチャネル、およびマルチプレクサチャネルに対しては通常 QUASI 命令が使用され、ダイレクトチャネルに対しては DIRECT 命令がそのまま使用される。

QUASI 命令および DIRECT 命令はそれぞれ種 5 類あり表 4.1 に内容を示す。

(2) チャネルプログラム

セレクタチャネル、マルチプレクサチャネルは図 4.2 に示すような 3 ワードか

表 4.1 入出力制御命令
I/O instructions.

QUASI 命令

SIO	Start I/O	チャネル、入出力装置を起動させる
HIO	Halt I/O	チャネル、入出力装置を停止させる
TIO	Test I/O	チャネル、入出力装置の状態を調べる
TCH	Test Channel	チャネルの状態によってコンディションコードをセットする
AOI	Acknowledge I/O	入出力割込みの要因を調べる

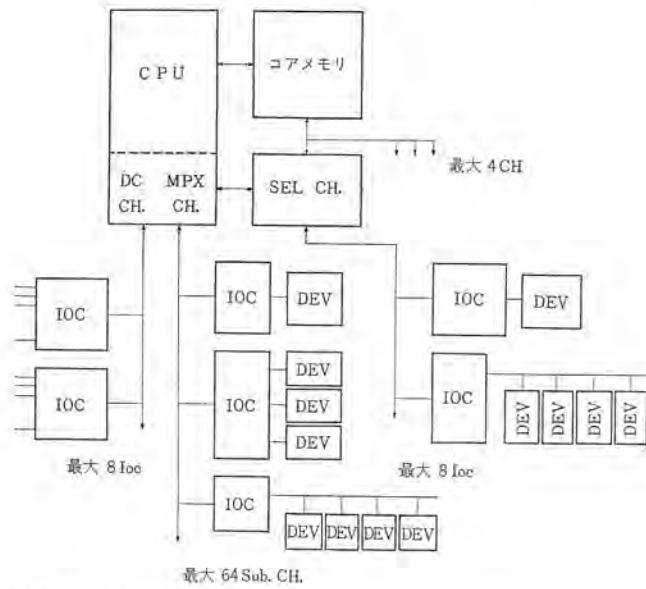
DIRECT 命令

SDD	Sense Direct	IOC の SDB を読みとり CMD を与える
RDD	Read Direct	IOC よりデータを AR に読み込む
WDD	Write Direct	IOC にデータを AR から送出する
ACD	Acknowledge Direct	入出力割込みのアドレスを AR に読み込む
CDD	Control Direct	IOC に制御情報を AR から送出する

15	FLAG	0
	COMMAND	
	COUNT	

FLAG : 動作の修飾
COMMAND : 動作の指定
COUNT : データ量の指定
ADDRESS : コアメモリのデータアドレス

図 4.2 チャネルコントロールワード (CCW)
Channel control word (CCW).



注) IOC: 入出力制御装置
DEV: 入出力装置

図 4.3 グループ 30 の入出力チャネル構成
I/O channel configuration of group 30.

らなるチャネルコントロールワード (CCW) によって制御される。CCW は 3 ワードを単位としてコマンドチェイン、またはデータチェインによって連続的に継続することが可能であり、また無条件ジャンプ、条件付きジャンプ等も行なう。一つの特殊なプログラムを形成する。これをチャネルプログラムと称する。

以上の各チャネルの全体構成をグループ 30 について図示すれば図 4.3 のようになる。セレクタチャネルは一つの独立したプロセッサとしての構造をとり、CPU との情報交換はダイレクトコントロールチャネルを通して行なわれる。マルチプレクサチャネルは CPU モジュールと共に存する構成

でベイシックに常に内蔵されている。ダイレクトコントロールチャネルはチャネル機構としてはとくにないわけであるが、インターフェースラインはマルチプレクサチャネルのものと同一のものを使用している。ダイレクトコントロールチャネルに接続された形として使用するか、マルチプレクサチャネルに接続された形として使用するかは、入出力制御装置によって決められる。

4.3 チャネル入出力装置間インターフェース

(1) 標準インターフェース

チャネルと入出力装置間のインターフェースは、すべてのチャネルに共通な標準インターフェースを設けている。この標準インターフェースを実現することにより、すべての入出力装置に互換性を持つ。標準インターフェースは国内標準化の動向に沿い、将来への技術の発展性、構成の拡張性とともに経済性を主眼とし次のような特長を持っている。

(a) チャネル、入出力装置間は非同期の結合とする。

チャネル、入出力装置はそれぞれ独自のクロック速度で動作することができ、相手の速度に依存しない。

(b) インターフェースシーケンス選択の主導権はチャネル側にあり、入出力装置はチャネル指定のシーケンスに従って動作する。

(c) オープンエンドな構造による拡張性、基本構成における経済性を重視し、BUSの方式を採用している。

(d) 入力信号線、出力信号線に対してそれぞれ1本のタイミング線を設け、互いに相手の応答を確認しながらシーケンスを進める。

(e) 入力情報線にはアドレス、ステータス、データを時分割に乗せ、出力情報線はアドレス、コマンド、データを時分割に使用する。

(f) シーケンスは、起動・転送・終了・割込みの四つを設けチャイニングオペレーションを可能にしている。

(g) 割込みのペンドイングは入出力装置側に持たせている。

(2) フィジカルインターフェース

標準インターフェースの物理的な構造は次のようになる。

(a) インターフェースはIN-BUS、OUT-BUSの2本のケーブルからなり、これがキャビネット内においては特殊なトレイの中を走っている。

(b) このトレイには接せん(栓)とともに切離し用のスイッチが用意され、モジュール単位で入出力制御装置を切離しても、以下のモジュールに影響をおよぼさないようになっている。

(c) 入出力装置相互間の優先度の判別はBUS内のブライオリティ線によって行なわれ、BUSに接続する物理的な位置によって決められる。

(d) ラインドライバ、ラインレシーバには特別な配慮を行ない、表4.2のような各種のものを使用し、とくにラインレシーバについては対雑音のスレショルドレベルを高くすべく、ヒステリシス特性を持たせている。図4.4にその特性を示す。

4.4 周辺機器

(1) システムメモリ

MELCOM-9100(30)のシステムメモリとしては磁気ディスクまたは磁気ドラムを使用している。いずれの場合にもアクセスタイムは8.3msと高速のものを使用し、容量は1ユニット当たり262k語のものを、最大4ユニットまで一つのコントローラに接続しうる。このコントローラはランダムアクセスファイルや制御装置として、磁気ディスク、磁気ドラムを共通に制御し、データ転送速度は6μs/バイトと高速を要するためセレクタチャネルに接続する。

システムメモリの主たる仕様を表4.3に示す。

(2) 周辺入出力機器

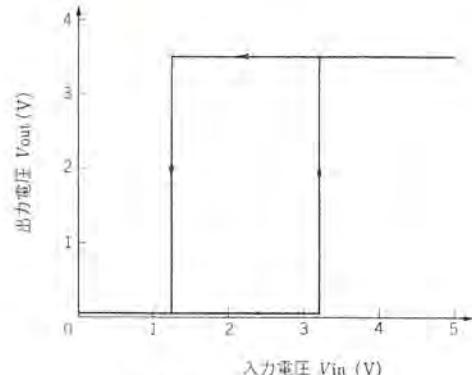


図4.4 ラインレシーバ特性
Characteristics of line receiver.

表4.2 ラインドライバ、ラインレシーバ一覧表
Line driver/receiver list.

カーフド名	ラインドライバ			ラインレシーバ		
	DLI	DIW	DWI(M)	RLI	RWI	RWI(M)
使用ケーブル	同軸線	単線	ツイスト線	同軸線	単線	ツイスト線
最大ケーブル長 m	20	20	8	20	20	8
使用周波数 kc	1000 ~300	300 以下	1000~300	1000 ~300	300 以下	1000~300
終端抵抗 Ω	—	—	—	56	470	150
出力ワイヤロジック数	8	25	8	3	—	—
最大遅延時間 μs	0.3	0.7	0.2	0.2	0.3	0.15

表4.3 システムメモリ仕様
Specification of system memory.

記憶容量	262 KWD
ビット密度	700ビット/インチ
回転数	3600 rpm
アクセスタイム	8.3 ms
トラック数	256トラック
セクタ数	64セクタトラック
書き込み方式	周波数変調方式
読み出し方式	自己同期化クロック方式

基本入出力機器としては、キーボード入力、紙テープリード、紙テープパンチ、プリントの諸機能を持つシステムタイプライタ(ASR-35)を使用している。このシステムタイプライタの速度は10字/秒であり、コードはASC11コードである。

その他低速入出力機器として紙テープリーダ、紙テープパンチ、入出力タイプライタ、ロギングタイプライタ、低速カードリーダはこれらを共通に制御するペリフェラル多重制御装置に接続される。ペリフェラル多重制御装置はマルチプレクサチャネルのサブチャネルを複数個使用し、各サブチャネルに8台のデバイスを接続しうる。

その他ラインプリンタ、高速カードリーダ、高速カードパンチ、X-Xレコード、ディスプレイヤーミナル、問合せタイプライタ、データコレクタ、グラフィックディスプレイ、通信制御装置などがマルチプレクサチャネルに接続され、磁気テープ、磁気ディスクパック等がセレクタチャネルに接続されるが、主たるもの仕様を表4.4に一覧する。

4.5 プロセスインターフェース

プロセスとのコミュニケーションとしてアナログ入力・デジタル入力・デジタル出力・アナログ出力・パルス入力・パルス出力などがあるが、ME

表 4.4 周辺機器仕様
Specification of peripheral device.

入出力装置	仕 様
システムタイプリータ	10字/秒, 印字, キーボード入力, 紙テープリード, 紙テープパンチ
紙テープリーダ	8単位 200/400字/秒, 600/1,200字/秒
紙テープパンチ	8単位 120字/秒
ロギングタイプリータ	8字/秒, 14字/インチ 可動キャレッジ
入出力タイプリータ	15字/秒, 12字/インチ 固定キャレッジ
カードリーダ	80欄カード 100枚/分 800枚/分
カードパンチ	80欄カード 250枚/分
ライントリント	100/200行/分, 400行/分, 600行/分, 1,250行/分
磁気テープ	9トラック 30KB/秒, 60KB/秒, 96KB/秒
磁気ディスクパック	7,800KB/ユニット, 平均アクセス 110ms, 6枚/ユニット
X-Yレコーダ	300ステップ/秒, プロット幅 0.1mm, 0.005", 0.01"
ディスプレイヤーミニル	300mm×200mm, 64字×32行, 56字種
グラフィックディスプレイ	16" CRT, X, Y軸, 1,024点, キーボード, ライトペン付
データコレクタ	80欄カード, バッジカード, キーインプット, 20字/秒
通信制御装置	50/200/1,200ポート 256回線, 全二重可

表 4.5 プロセスインターフェース仕様
Specification of process Interface.

アナログ入力	点 数	最大 2,048 点, 32 点/ユニット
	スキャン速度	60, 100, 200 点/秒
	入力	10mV~V
	精度	0.1%
デジタル入力	点 数	最大 2,048 点, 16 点/グループ
	読取速度	14 μs
デジタル出力	点 数	最大 2,048 点, 16 点/グループ
	種類	シングルビット, マルチビット, 自己保持型, 時型, マトリックス出力
アナログ出力	点 数	最大 128 点, 6 点/ユニット
	出力信号	電圧, 電流, 抵抗
	精度	8ビットまたは10ビット両極性
パルス入力	点 数	最大 256 点, 32 点/ユニット
	速度	50 パルス/秒
高速パルス入力	点 数	最大 16 点
	速度	1kc/s
	点 数	最大 256 点, 12 点/ユニット
	分解能	10ms
パルス幅出力	点 数	最大 320 点
	出力信号	トランジスター接点
	点 数	最大 256 点, 8 点/グループ
	レベル割付	4 レベル
高速アナログ入力	点 数	最大 128 点, 8 点/ユニット
	速度	12,000 点/秒
	精度	0.1%

LCOM-9100 ではこれらに対してかなり強力な機能を具備している。すなわち非常に多様な種類のプロセスインターフェース信号に対して、すべて処理する各種のモジュールが用意され、これらのモジュールがビルディングブロック構造によって拡張と組合せの自由性を持っている。この豊富なプロセスインターフェースモジュールによって融通性の富んだシステム構成が可能である。

CPU との接続にはダイレクトコントロールチャネルが活用されるが、アナログ入力に関してはマルチプレクサチャネルに接続し、連続的にデータを読み込むサイクリックバッファモードも使用可能である。

パルス入出力はコアメモリを使用したカウンタを用い、コアメモリの 1 語

が 16 ビットのカウンタを構成する。パルス入力は高速パルスカウント(1kc/s) 16 点、および低速パルスカウント(100c/s) 256 点の 2 種があり、低速カウントはさらにパルス幅アナログ出力にも使用される。

プロセスより、割込み要求入力は 8 点を 1 グループとして最大 63 グループをマルチプレクス CPU の割込み要求レベルに接続するプロセスインターフェースがある。

プロセスインターフェースの主たる仕様を表 4.5 に一覧する。

5. セントラルプロセッサ

5.1 概略

グループ 30 のセントラルプロセッサモジュールは、演算制御装置という概念ではなく、下記に示すようにそれより広い範囲をカバーしている。これらのうちのあるものは、従来のはん用計算機には全然なかったものもあるが、最新の高信頼度オンラインリアルタイム計算機としては必須である。

- (1) 計算機の各種の走行モードにおける走行停止制御
- (2) 各種の外部内部割込み処理
- (3) カウンタパルス割込み処理
- (4) ダイレクト入出力チャネル制御
- (5) マルチプレクサチャネル制御
- (6) 誤り検出および状態記録処理
- (7) 命令の任意時刻状態記録
- (8) 各命令の実行制御

セントラルプロセッサはこれらの諸機能を有機的に結合したもので、M 5300 P モノリシック TTL 型集積回路(IC) で実現されている。論理回路は NAND と JK フリップフロップを使った並列同期方式で、基

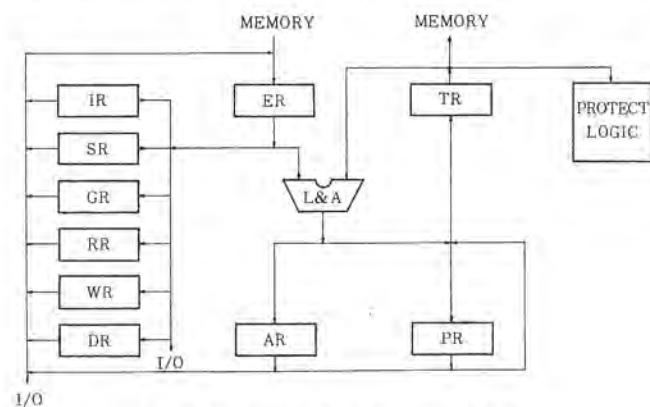


図 5.1 セントラルプロセッサ レジスタ構成図
Diagram of central processor.

表 5.1 各レジスタの主要機能
Function of each register.

レジスタ	主要機能
ER	外部ユニットとのデータ交換
TR	テンボラリ, メモリアドレス算出
IR	命令記憶
AR	アキュムレータ
PR	PSW (プログラムアドレス)
SR	PSW (ステータス)
GR	はん用
RR	リロケーション
WR	割込みマスク
DR	誤り記録および診断

本クロックの繰り返し時間は200ns秒である。

図5.1にセントラルプロセッサのレジスタ構成図を示す。

図5.1における各レジスタの主要な機能を表5.1に示す。

5.2 制御方式

セントラルプロセッサは、命令実行のほかに上に述べた種々の動作を行なうため7個の走行モードをもち、外部内部からの要求に応じ優先度判定を行ないながら、これらのモード間の転移を行なう。この様子を図5.2に示す。

各モードの動作内容と優先度を表5.2に示す。カウンタモードとマルチブレクサモードの実行は、そのとき実行されていた命令シーケンスに何らの影響をも与えず、何らのレジスタの待避もせずに、必要な実時間だけを盗む形(スチーリング)で行なわれる。

セントラルプロセッサにこのように多種類の動作を行なわしめることにより、同じハードウェアを多重に活用してコストパフォーマンスを大いに改善している。

おのののモードのなかでの走行は、各モードに共通に定義している「タイム」と個別に定義している「フェーズ」とのからみで進行する。命令モードにおいては、実行時間を少しでも節約するため、一部分の実行時間を次の命令の時間と重複させる方式をとっている。

5.3 インターフェイス方式

他のモジュールとのインターフェイスについては、入出力チャネルのみならずコアメモリとの間の情報授受も非同期で行なっている。したがって、いずれか一方が現在の速度よりも高速になったとしてもそのまま接続可能である。さらにまた、距離的に離れた別のプロセッサからのコアメモリアクセスも可能である。コアメモリとのコネクト時間の点では、

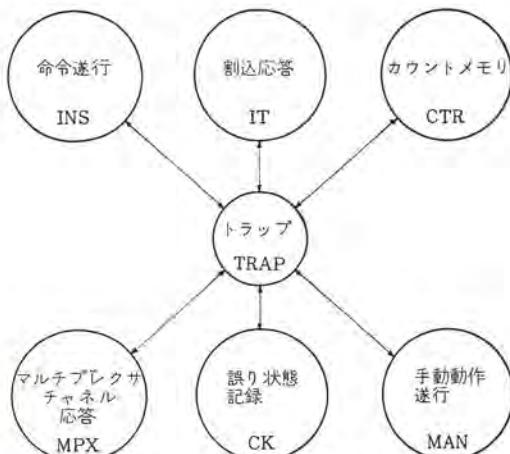


図5.2 モード転移関係図
Mode transition.

表5.2 各モードの優先度および動作
Operations in each mode.

モード	優先度	動作内容
CK	1	誤り検出あるいは命令中断(診断用)の後のレジスタ待避およびPSW交換
IT	2	スーパーバイザコールその他の内部割込みによるPSW交換
CTR	3	メモリ内所定番地のカウントアップ
IT	4	電源故障およびウォッチドグタイマ割込みによるPSW交換
MPX	5	マルチブレクサチャネルデータ転送
IT	6	一般外部の割込みによるPSW交換
INS	7	命令遂行
MAN	8	パネルスイッチからの手動動作(走行中はスイッチアクションは無効)
TRAP	—	各モード間の転移の橋わたし

命令の途中といえども真に情報授受を行なう時間のみに限られており、それ以外では切り離され、セレクタチャネルあるいは他のプロセッサとのメモリ共用の利用率を上げている。コネクト時間が一定値を超過したときは、マシンチェックエラーとしてチェックモードに落とされる。

5.4 アドレス方式

グループ30のアドレス方式は、進歩したオンラインプログラミングに備えて多種用意されている。

ロジカルアドレスを算出するための修飾方法としてインデックス、相対アドレス、間接アドレスがある。逆に命令中に直接オペランドの値を持っているものもある。(RR, RIタイプ) 相対アドレスは、RSタイプの命令でTAG=0の場合において

$$\pm \Delta + (P) + 1$$

の形で実現される。ただしリードオンリモードのときは例外で、スクラッチパドメモリアクセスをするため

$$\pm \Delta$$

となる。

データ長の面から見ると、ワードアドレスおよびバイトアドレスがある。ワードアドレスはもちろんあるが、バイトアドレスもバイト単位でインデックス修飾を行なえる。バイトアドレスの指定はワードアドレスのLSBのさらに下位に1ビットを設け、これが「0」のときが上位バイト、「1」のときが下位バイトである。バイトアドレスのインデックスとはこのビットの位から加算を行ないうるということであり、この特性はマルチブレクサチャネルの入出力データ転送あるいはキャラクタファイルの処理に有効である。

グループ30ではマルチプログラミングを行なうため、ダイナミックリロケーションは必要な特性である。リロケーションを行なうためのロジカルアドレスとマッピングレジスタ内容の加算には、一般的の演算に使われる高速並列加算回路をそのまま流用している。なおこの稿に記載している演算時間はすべてリロケーション含みの時間である。リロケーションに加えて、各プログラム間でコモンルーチンまたはコモンデータをダイナミックに共有するため、セグメンテーション方式を採用している。グループ30では2個のセグメントを設け、その指定はロジカルアドレスのMSBをこれにあてている。(リロケートモードの場合) したがってゼネラルレジスタ(インデックス)を使って容易に他セグメントへのアクセスが可能となる。

5.5 プログラムステータス

プログラム実行上の条件、実行結果の状態表示、その他各種の制御情報を2ワードのレジスタに集約し、これをプログラムステータスワードとして扱っている。ステータスワードの内容を図5.3に示す。

ステータスワードは特権命令「LOAD-PSW」によってロードされるほかに、外部割込み、内部割込み、エラー検出の際ハードウェアで所定番地の内容と交換されてプログラムスイッチされる。このほかにPレジスタはブランチ関係およびインデックス関係の命令で変更され、Sレジスタのなかの若干のフラグも特権命令でビット単独にセットリセットされる。

5.6 パッケージング

プロセッサモジュールは全集積回路化されており、140mm×85mmのカード基板に三菱電機製M5300PシリーズICを最大21個積載する。図5.4はプロセッサで使用しているICカードの一例である。

基板寸法としては比較的小形ではん用カードタイプであるが、これはカード検査・保守備品費・カード歩留り・設計負荷等の面からの有利性を重視したためである⁽¹⁾。しかしながらん用カードにばかり頼っていると布線数・総枚数の点からはまずいので、この基板の範囲内で最大限の機能化を行ない、2種類の機能カード合計32枚によ

PROGRAM															
ADDRESS															
CONDITION															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
PROTECT KEYS	SUPERV./PROB.	ABSOLUTE/RELAT.	NOT USED	R.O.M.-2	R.O.M.-1	WAIT	IT MASK	CTR MASK	MPX MASK	CHECK MASK					

図 5.3 プログラムステータスワード
Program status word.

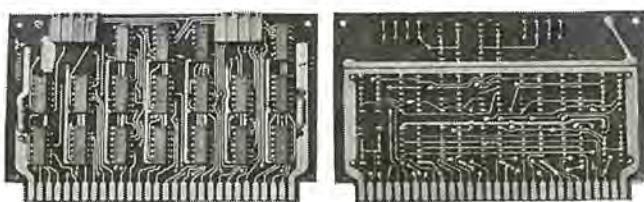


図 5.4 IC 印刷配線ワードカード
IC printed wiring card.

ってプロセッサのレジスタおよびレジスタ間トランジスタゲートの約80%をカバーしている。

この機能カードのパッケージングは、ビットたて割り方式をとっており、並列論理回路でありますながら1枚のカード内での接続でカバーできる部分が多く非常に有力である。たとえばFRIカード1枚には、図5.1に示すEレジスタ、Aレジスタ、Tレジスタ、Pレジスタおよびそれらの間のゲートを各1ビット分収容している。一方はん用カードについても実際の論理構成のNAND素子のファンインおよびファンアウト点数の分布状況を調べ、それに合わせて幾種類かの分布を抽出し、それに従った組合せでカードを構成している。したがってある機能ブロックは、ほとんどある1枚のカードでカバーされており、トラブルシュートの面に大いに寄与している。

5.7 布線

布線条件はクロストークや反射の面から実験、検討を行ない⁽²⁾、それに従ってプログラムによって布線指定を行ない、さらに布線工作および検査を行ないやすい順序にグループ分けしてワイヤリストをプリントアウトした⁽³⁾。

5.8 高信頼度設計

セントラルプロセッサのMTBFは、6,000時間目標として設計されているが、このほかにMTTRをできるかぎり短縮することが高稼動率を維持するために必要である。このため、まず第1に診断プログラムを走らせることができないような故障を迅速にシューティングするため、基礎動作部分に対し手動テストスイッチを用意し、さらに診断プログラムが走る場合には、十分分解度のよい診断を行なえるように診断用ハードウェアを用意している。

5.8.1 手動テスト

プログラム走行制御の中心部分に関係する故障で、走行に支障をきたすような場合に対処するため、手動スイッチを設け、容易にかつ部分的に機能検査ができるようにしている。このために準備されているスイッチとしては、メモリリードスイッチ、メモリライトスイッチ、パリティ切換スイッチ、メモリサイクルスイッチ、加算検査スイッチ、カウント検査スイッチ、レジスタ交換スイッチ、命令シーケンス反復スイッチ、ランプスイッチ等である。



図 5.5 メンテナンスパネル
Maintenance panel.

表 5.3 誤り検出項目およびその処置
Items of error-check.

区分	項目	割込み様式	待避処置	外部処置
マシンエラー	バリティチェック	実行シーケンス中断	エラー検出時の制御状態および揮発性全レジスタを待避させPSWを交換する	緊急タイマをトリガする
	シーケンスチェック			
プログラムエラー	メモリプロテクションチェック			
	不正命令チェック			
	不正アドレスチェック			
インターフェイスエラー	特権命令チェック			
	ウォッチドッグタイマーチェック	一命令終了後割込み	PSW交換	最終緊急出力セット
	電源異常			
インターフェイスエラー	温度異常			
	IO暴走			IO強制終了
	IO不動作	割込みます Condition Codeをセットする	—	

5.8.2 誤り検出

グループ30で用意されている誤り検出回路を表5.3に示す。

5.8.3 誤りの記録

グループ30のプロセッサには誤り状況を記録するための専用レジスタがある。(図5.1のDレジスタ)このレジスタは、誤りが検出された瞬間のモード、フェーズ等そのままでは待避しえない制御状態情報および誤り原因を記録する。実行中のシーケンスは誤り検出と同時に中断停止されチェックモードに落ち、Eレジスタ、Tレジスタ、Iレジスタの3個の揮発性レジスタおよびDレジスタ、Pレジスタ、Sレジスタがメモリへ待避させられる。

5.8.4 診断

診断用に任意の命令に対し、プログラムで指定した任意の途中ステップでの状況をDレジスタに記録するモードがある。これにより診断の時間的分解能が向上する。

5.8.5 切離し

故障部分を切離し、機能を縮少しても運転できるようにしておることは、オンラインシステムとして必要不可欠である。主として各種入出力装置がこの対象となるが、グループ30ではメモリスタックも切離しできるようにしてある。すなわち、故障したスタックを切離し、そのアドレスの他のスタックを割りあてることがスイッチ1個でできる。全メモリ容量は故障した分だけ減少するが、あらかじめかかる事態に対

して機能を縮少したプログラムを用意しておくことにより十分有効である。

6. む す び

MELCOM-9100 30 は、昭和 42 年 9 月にその 1 号機が完成してからなお日も浅く、まだその実効性能の全貌をは握し得る段階ではないが、現在までにすでにいくつかの大きな利点で確認されている。

(1) 信頼度の向上

集積回路化により、計算機の信頼度が著しく向上した。集積回路 1 個の信頼度は 10^{-6} と 10^{-7} の間と発表されてきたが、MELCOM の場合もこれにかなりよい一致を見ており、むしろ 10^{-7} に近くさらに 10^{-7} 以下にはいることも十分実現可能な見通しを得た。

(2) 保守性能の向上

集積回路化と各種組込み テスト 機能の充実により、故障復旧時間が著しく短縮された。

(3) マルチプログラミングによる計算機高能率運用

多作業の平行処理機能はメモリ保護・特権命令機能と相まって、計算機の実効能率を著しく向上するとともに、オンラインアセンブル、コンパイル、デバッグが可能となり、システムの運用効率が顕著に高められた。具体的な実績は後日再度報告する予定であるが、本計算の開発にあたって密接なご協力ご指導をいただいた、ソフトウェア部門、品管部門、工作部門、システム部門の関係者各位に感謝するとともに、その成果のご報告に代えさせていただく。

参 考 文 献

- (1) 電子通信学会予稿 976 (昭 42)
- (2) 電気四連大会予稿 2781 (昭 42)
- (3) 電気通信学会雑誌 Vol. 50, 4 4265 (昭 42)
- (4) 小島、阪尾ほか：三菱電機技報 41, 1052 (昭 42)
- (5) 回線制御懇談会：入出力インターフェース標準化に関する報告書 (昭 42-6)

トランジスタ形自己照合符号式遠方監視制御装置

島田政代士*

Transistorised Self-Check Pulse Code Type (SCPT) Supervisory Control Equipment

Kobe Works Masayoshi SHIMADA

In pulse code type supervisory control equipment with which control or supervisory signals for apparatus in remote stations are converted to pulse codes for transmission, it is essential to cut time required for control or indication, and to make the device long life, small size, easy to maintain and elevate reliability. To attain the purposes, its components related to the transmission and reception of codes are made contactless with silicon transistors and silicon diodes, and further self check pulse codes are used to enable the device to detect double errors. Time needed for control is within 0.5 sec. in case of 200 band transmission. The supervisory operation is also possible in so short a time as the above. On the other hand, parts need frequent work are of contactless so as to ensure long life and do away with maintenance.

1. まえがき

最近、各種制御装置において、装置の長寿命化および小形化をはかるため半導体による無接点化が盛んに行なわれるようになってきた。当社では多数の遠方監視制御装置および半導体の製作、利用実績で表わされる高度の技術を活用し、新方式のトランジスタ形符号式遠方監視制御装置を開発したが、それは符号送受信部などきわめて動作ひん度が高く、かつ操作時間に関連する部分をシリコントランジスタ、シリコンダイオードなどによって無接点化し装置寿命を半永久的にするとともに、符号検定方式に当社独特の2重誤り検定能力を有する新しい自己照合符号を採用して信頼度の向上をはかったものである。

本装置はすでに発電所遠方監視制御用として各方面に活用され、その高信頼性、保守の容易なことが明らかになっているので本文にその紹介をすることにしたい。

2. 自己照合符号

2.1 符号式遠方監視制御装置

遠方監視制御装置方式の決定にあたっては

- (1) 被制御所の規模、その数
- (2) 系統における重要度
- (3) 制御・監視・計測などの項目数
- (4) 制御所と被制御所間の距離
- (5) その間の利用しうる信号伝送路たとえば連絡線数
- (6) 制御・監視などの信号の伝達時間
- (7) 利用しうる器具の仕様

など多くの要因があり、技術的・経済的に最も適当な方式が選ばれる。したがって遠方監視制御装置には種々の方式があり、その一つとして符号式がある。

符号式は機器の選択指令・制御指令・状態表示信号などの各種の情報を、パルス信号の組み合わせからなる符号に変換して伝送する方式であり、制御所と被制御所間の連絡線数を少なくすることができるので、距離が長いとか、連絡線数に制限がある場合に活用される。

しかしながら符号式は多数の情報を少ない連絡線で送信するため装置が複雑になり、装置の構成上動作ひん度の高い部分が生じ、装

置の寿命に影響を与え、かつ符号が複雑になるにつれ、信号の伝送に要する時間が長くなるという問題があった。

また迅速に伝送するためにはパルスの幅をせまくすれば、周囲の雑音によって符号が誤って受信され、誤制御・誤表示を起こす可能性が大きくなり、信頼性が低くなるという問題があった。そこで本方式では下記3点の解決が望まれていた。

- (1) 符号を迅速に、かつ絶対確実に相手かたに送信すること。
- (2) パルス信号の送受信部・符号変換部などの最も動作ひん度が高く、装置寿命に影響を与える部分をなくし、長寿命化をはかること。
- (3) 装置を簡略化して保守の便をはかること。

すなわち、機器の制御・状態表示に要する時間を短縮するためには、符号の伝送速度を上げることが第一に必要となるが、このために装置器具の動作時間を極力短縮せねばならない。これについては装置の符号送受信部に関連した部分を、電磁継電器回路からトランジスタ回路に置きかえることによって解決される。

同時にトランジスタ化によって、消耗部分がなくなるため装置の寿命は動作ひん度に無関係となって延びる利点が生ずる。これらトランジスタ化の利点を列挙すれば、

- (1) 機器の選択・制御・状態表示信号などの伝送所要時間が従来の装置の数秒から1秒以内に短縮される。

(2) 電磁継電器接点の損耗のはなはだしい部分がないので装置は無調整・無保守で運転継続できる。

- (3) 長寿命となる。

(4) 小形の部品を使用するので装置が小形になる。

などが言えるが、その反面、信号レベルの低下によって、周囲の雑音の影響をうけやすくなり、符号に誤りを生じる可能性が強くなる。しかし強電機器の制御装置として、符号の誤りがそのまま機器の誤制御あるいは誤表示になることは絶対に許されないので、論理回路設計および符号構成にとくに考慮を払う必要がある。すなわち、装置内外に発生する雑音によって破損しないことはもちろんのこと、たとえば記憶回路が反転するといった誤動作をしないように、雑音に強い回路設計・構造設計をするとともに、パルス符号の送受信中に誤りが生じた場合にそれを自動的に検出し、誤制御・誤表示にいた

ることを防止する符号構成としなければならない。

装置製作上雑音を完全にシャットアウトすることは、実際不可能であるから符号自身で誤りを検出できることにすれば、伝送途中あるいは装置内部の雑音によって符号が誤っても、それを検出し装置動作をそこで停止させ、他に支障をおぼさないようにすることができる。これを自己照合符号と称するが、首題の装置で使用するものはとくに2重誤り検出可能の自己照合符号であり、符号中1~2個のパルスの誤り（たとえば符号の伝送途中、雑音によって生ずるパルスの発生とか消滅）が生じた場合でも、符号自身でその2重誤りを検出できるもので、非常に信頼度の高い自己照合符号である。

つぎに2重誤り検出可能の自己照合符号の原理につき説明をする。

2.2 自己照合符号の原理

従来一般に使用されている自己照合符号には、奇数検定・定マーク検定などがあるが、そのうち奇数検定は、論理記号“1”と“0”とから構成される符号のなかで“1”的総数が常に奇数になるように指令符号の末尾に1個の照合符号を付加し、受信側では受信符号中の“1”的総数をチェックし、奇数ならば良、もし偶数ならば誤った符号であると判断する誤り検定方法である。この検定方法ではパルス1個の誤り（1重誤り）は検出できるが、2個の誤り（2重誤り）は検出できない。また定マーク検定では、1重誤りと1方向かたよりの2重誤りは検出できるが、2方向かたよりの2重誤りは検出できない欠点があり、実用上自己照合のみでは不十分で、返送照合を併用する必要があった。そのため装置は複雑になる。

これに対し本装置で採用している2重誤り検出可能の自己照合符号は、2方向かたよりの2重誤りまで検出できるものである。その符号構成方法は図2.1に示すとおり、指令符号の末尾に指令符号を構成するパルス数によって定まる複数個の照合符号を付加し、上記の奇数検定を一つの符号のなかで自動的に複数回（照合符号のパルス数だけ）行なうようにしたものである。すなわち「指令符号を数個のパルスを1組とした数グループ（本装置例では4グループ）に分け、そのおののに1個ずつの照合符号を付加し、各グループごとに奇数検定を行ない、4グループすべての奇数検定が良のときのみ正しい符号受信と判断する検定方式」であり、その検定方法を表2.1に示す。

以下図2.1および表2.1について説明をする。なおパルスのかぞえ方などにビット（bit, binary digitの略）という呼び方があるのでそれを使用する。

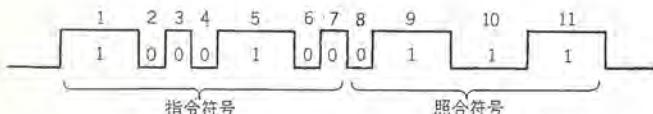


図2.1 自己照合符号例
Example of self check pulse code.

表2.1 自己照合符号構成
List of self check pulse code composition.

ビット	指 令							照 合 符 号			檢 定
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
照合群	※	※	※				※	※			“1”の総数が奇数
第1グループ											“1”の総数が奇数
第2グループ	※			※	※		※		※		“1”の総数が奇数
第3グループ	※			※		※	※			※	“1”の総数が奇数
第4グループ		※		※	※	※					※ “1”の総数が奇数

11 bit のとき

いま、指令符号が7ビットで構成される場合を考える。たとえば、ある機器に割りあてられた選択指令符号が7ビットで、1000100あるとする。

これは生の符号であり、まったく検定能力をもたないが、この末尾に4ビットの照合符号を付加することにより、2重誤り検出自己照合符号とすることができます。上記例の選択指令に対しては、付加する照合符号は表2.1にしたがってきめられ0111となり、送信側から1000100111なる符号が送出されるのである。

照合符号のきめ方は次のとおりである。

表2.1において1~7ビットは指令符号、8~11ビットが照合符号で、指令符号はそのなかの数個ずつ（※印を付した4個ずつ）を組み合わせて1~4のグループに組み分けされる。そのグループにおののおの1個の照合符号が奇数検定符号を構成するように付加される。

すなわち第1グループは1, 2, 3, 7の各ビットからなり、それに8ビットめの照合符号が付加され、第1グループのみで奇数検定を行なう。上記例では1, 2, 3, 7ビットがそれぞれ1, 0, 0, 0であるから、第1グループ内での1の総数を奇数にするため8ビットめを0に決める。

第2グループでは1, 4, 5, 7の各ビットからなり、それに9ビットめの照合符号を付加するが、それは1, 4, 5, 7ビットが1, 0, 1, 0であるから1に決められる。

以下同様にして10, 11ビットがそれぞれ1, 1に決められる。このようにして上述のごとき1~11ビットの符号が構成され相手かたに送信される。

受信側では上記グループに対応した四つの奇数検定装置があり、一連のパルスからなる上記指令符号を受信すれば、グループごとに同時に奇数検定を行ない、4グループすべての検定が良であれば正しい符号受信と判断し、必要な出力を出すのである。

2.3 本検定方式符号の特長

(1) 2重誤りも検出することができ、符号の信頼度が非常に高い。

すなわち、本検定方式を採用すれば符号自身で1重誤りのみならず、すべての2重誤りを確実に検出することができる。とくに本装置においては送信側で照合符号も最初から組み込んだ符号構成にしているので、装置内外に発生する雑音によるもののみならず、万一装置内部にて故障が発生した場合でも誤り検出できる構成にしているので非常に信頼度が高い。

つぎに表2.1にて2重誤りを検出する方法を説明する。

まず、1重誤りが発生した場合は1~4グループのうちのいずれかにて検出される。たとえば、2.2節でのべた符号で1ビットめが1から0に変わったとすれば、第1グループの奇数検定にひっかかり、この指令符号は、2~3グループの奇数検定をするまでもなく不良と判定される。

2重誤りが発生した場合には二つのグループにて検出される。たとえば、1ビットめが1から0に、3ビットめが0から1に同時に誤ると、第1グループではそれを検出できず検定は良とされるが、第2グループで1ビットめの誤りが検出できる。さらに第4グループにおいて3ビットめの誤りが検出できる。したがって2ビットの誤りが検出できる。この例でわかるように1ビットが1→0に、他の1ビットが0→1にというように2方向かたよりの2重誤りもすべて確実に検出できる。

通常使用される信号伝送系では1重誤りが大部分を占め、2重誤り発生はきわめて少なくなるので、上記のごとく2重誤りをすべて確実に検出できれば、実用上非常に高い信頼度を有することができ

る。

(2) 符号伝送時間が短かい。

指令符号のビット数が少ないので符号伝送時間を短かくすることができます。すなわち、選択・制御・状態監視の各信号をいずれも 11 ビットで構成することができ、しかも符号自体の信頼度が高いので、返送照合など他の検定方法を併用する必要がないため、符号伝送時間を短かくすることができる。たとえば 200 ポー 伝送の場合、長短符号を使用し、さらに安全のため、その長短比を 4 にとっても、図 2.1 に示す符号では符号長さはわずか 115 ms にしかならない。

符号中長 パルスは大体 4 ~ 6 個であるから、符号長さは最大 145 ms である。したがって、状態変化が発生してから表示灯が点灯するまで、各段階の継電器の動作時間を入れても約 400 ms 程度という短時間とすることができます。

3. 装置の機能

3.1 制御

この装置によって、制御所より被制御所のしゃ断器の投入および開放制御、発電機の起動、停止制御、電圧昇降の調整制御など約 50 項目の制御を、任意かつすみやかに (0.5 秒以内) 行なうことができる。なおこの装置には遠方計測装置も内蔵しているので、電圧・電流などを計測することができる。

3.2 操作方式

この装置では機器の操作は 2 挙動式としており、制御盤上の各機器ごとに設けた選択開閉器を操作し、項目選択が選択開閉器上部にとりつけられた選択確認表示灯 (白色) が点灯することによって確認された後、すべての機器に対して共通に設けた主幹制御開閉器 (MCS) を開 (閉) 側に扱う。

3.3 選択開閉器の同時操作

制御所では 1 時点には選択スイッチを 1 個のみ扱うことを原則としている。したがって同時に 2 個以上扱うことは操作上避けねばならないが、万一 2 個以上を扱っても誤制御になることのないよう選択スイッチに優先順位をつけ、若い選択番号のスイッチのみが有効となるようにしている。なお同時操作時にベル警報するとともに送信回路をロックすることもできる。

選択の復帰は選択開閉器を復帰することにより自動的に行なわれる。

3.4 選択開閉器

遠方監視制御盤の盤面を整理し、監視しやすくすることおよび盤を小形化することの目的のため使用器具が小形化される傾向にあるが、本装置においても選択開閉器を上記目的のため照光式の押しボタンスイッチ、小形の赤・緑表示灯を使用している。とくにしゃ断器などについては照光式押しボタン式選択開閉器と赤・緑表示灯を一体とした器具を使用している。

もちろん、選択開閉器と操作開閉器を兼ねた普通配電盤にとりつけられるものと同様の開閉器を使用する場合もある。その場合には引いて選択、引いた状態で左・右にねじ回して制御という 2 挙動式となるが、この開閉器のほか別個に白色・赤色・緑色表示灯を置かねばならないので制御盤が大きくなることもある。

3.5 表示

この装置によって、被制御所における機器の状態を常時制御所にて監視し、状態変化発生はベル警報あるいは表示灯フリッカによってすみやかに検知することができる。すなわち、しゃ断器が自動しゃ

断すれば赤色表示灯が消え、緑色表示灯がフリッカし、ベル警報する。

故障表示器は、故障の発生または復旧時 フリッカすると同時にベル警報する。ベル停止、フリッカ停止は制御盤上のそれぞれの停止用ボタンを押すことによって行なわれる。フリッカ故障表示器の動作は、故障が連続的なものあるいは瞬時なものによってつぎのようになる。連続故障では故障が継続している間点灯し、故障が復旧すれば自動的に消灯する。瞬時故障では発生と同時にフリッカするが、フリッカ停止操作で、その時点までに故障が復旧していれば消灯する。

故障表示は、状態変化後約 0.4 秒以内 (200 ポー) にて制御所に表示され、これは従来の装置にくらべてきわめて短時間である。また装置は制御装置と表示装置が独立しているため、制御所から機器操作中であっても操作に関係なく迅速に表示が行なわれる。また被制御所において、同時に多数の状態変化が発生しても、各項目に優先順位を設けて順次に符号化したうえ送信するようにしているので、すべてを正しく表示し、表示漏れの発生することはない。

また被制御所が“直接”に切り換えられた場合には、制御所からの制御はロックされるが、状態表示は切換えに関係なく行なわれるので、制御所では被制御所における手動運転の結果を知っておくことができる。

3.6 信号伝送装置異常警報

FSOSC など信号伝送装置異常 (ヒューズ断、着信レベル低下など) を検出すれば制御所にて表示・警報を行なう。制御チャネル・表示チャネルおののの異常を別個に表示するようにしている。

3.7 試験

(1) この装置では、符号の送受信部など動作ひん度の高い回路はすべて無接点化しているので、常時符号を送受信させることができるのである。そこで常時、制御回線 (制御所→被制御所) および表示回線 (被制御所→制御所) の両方にある特定の符号 (装置監視信号) をのせ、符号送受信部・復号部・誤り検定部・麥復調器・連絡線・電源状態など装置を常に監視しているので、万一異常が発生すればただちにそれを検出・警報することができる。

したがって、常時装置の動作試験をしていることになるが、さらにつぎの試験を行なうことによって、選択開閉器・表示灯などの試験をすることができる。

(2) この装置では実際の機器になんら影響を与えることなく、機器選択試験・表示試験を行なうことができる。これら試験は制御所と被制御所を連絡した状態において行なうことができる。また表示試験は反転試験としているので、送信側装置も含めて回路の確認ができる。

4. 装置の構成および動作

4.1 構成

この装置は通常の遠方監視制御装置と同じく (制) 遠方監視制御盤および遠方制御継電器盤、(被) 遠方制御継電器盤よりなる。それらの盤の構造例を図 4.1 に示すが、それらの詳細な構成および動作ブロック図を図 4.2 に示す。

遠方監視制御盤は垂直形あるいは机形などあり、盤面上に選択開閉器・表示灯類・テレメータ指示計器などがとりつけられる。遠方制御継電器盤は幅 700 mm × 高さ 2,300 mm × 奥行 (厚み) 350 mm の垂直形をしており、リレー類は防じんのケースに収納されている。遠方制御継電器盤には半導体回路をとりつけたプリントカード部、制御・表示などの入出部を構成するワイヤスプリングリレー部、半導体回路用の電

庄を供給する電源装置、テレメータ送受量装置などが取りつけられる。この装置では論理回路に使用するトランジスタ、ダイオードとともにすべてシリコン化し、使用周囲温度範囲を $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ まで十分の余裕をもって広げることができたが、それら半導体部品は図 4.3 (a) に示すとおりプリントカードにとりつけられている。それらのカードは図 4.3 (b) に示すとく高さ約 140 mm のカードバスケットに順序よ

く収納されるが、カードは万一の場合容易に予備カードと交換ができるよう簡便にカードバスケットに着脱できる。

4.2 動作說明

機器の選択・制御などの指令は“1”および“0”的組み合わせからなる2進化符号に変換され、長・短・マーク・スペース符号として送受信される。すなわち、すでに図2.1にあげている例に示すご

とく“1”はマークあるいはスペースを問わず長パルス，“0”は同様に短パルスで表わされる。パルスの長さは短-20 ms, 長-60 ms (50ボルト伝送の場合) あるいは短-5 ms, 長-20 ms (200ボルト伝送の場合) である。

つぎに本装置の動作を図 4.2 動作 ブロック 図を参考にして説明する。

本 ブロック 図は装置の構成 も 同時に示しており、 図 4.1 に示す盤内部に①, ②, ③ ……で示す ブロック が 収納されていることを示す。

4.2.1 制御

(1) 選 択

(制) で機器選択スイッチを扱うと、選択信号は①符号化回路によって1～7ビットの選択指令と9～11ビットまでの照合符号が同時に構成される。従来一般に行なわれてきた符号方式では照合符号は最初から構成されていず、指令符号を送出しながら奇数検定を自局で行ないつつ照合符号を付加しているのであるが、この

図 4.1 自己照合符号式遠方監視制御装置
Self check pulse code type supervisory control equipment.

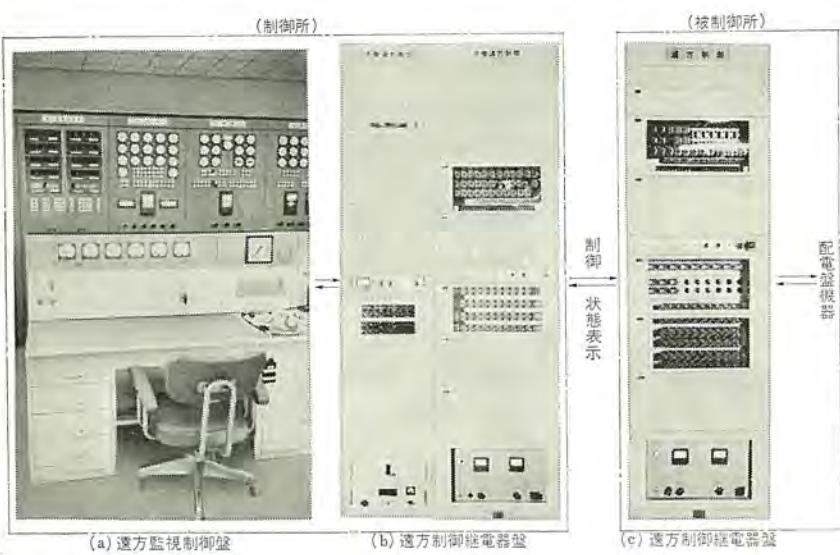


図 4.1 自己照合符号式遠方監視制御装置

Self check pulse code type supervisory control equipment.

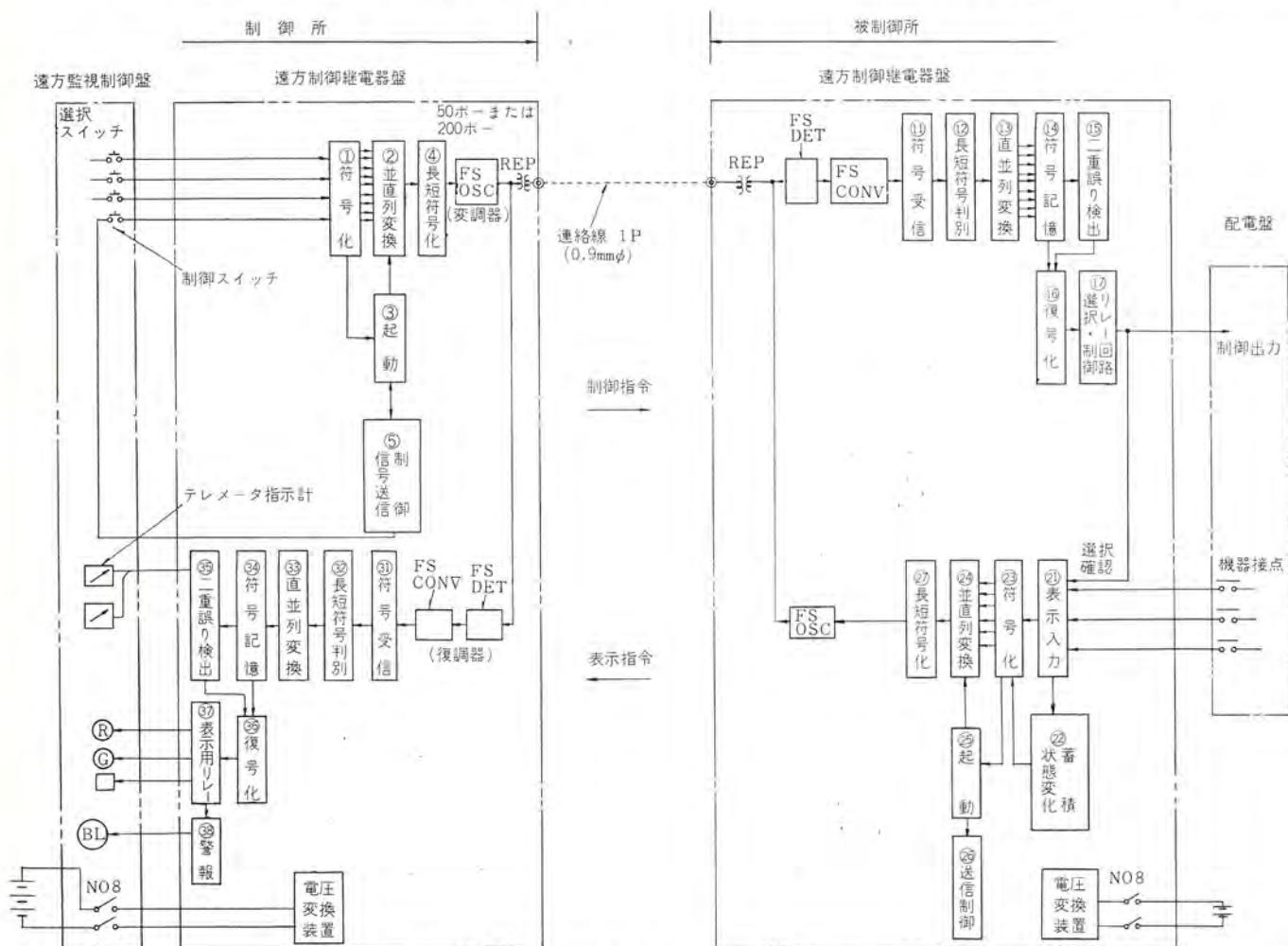
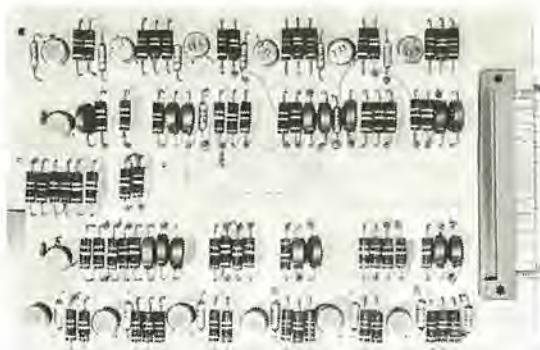
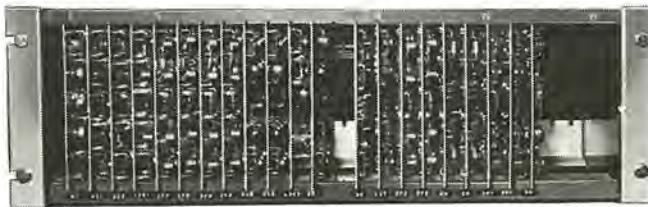


図 4.2 自己照合符号式 遠方監視制御装置動作 ブロック 図
 Block diagram of self check pulse code type supervisory control operation.



(a) 論理回路 プリントカード



(b) カードフレーム 収納図

図 4.3 論理回路 プリントカード
Logic circuit printed card.

方法は信頼度が高くなないので本装置ではあらかじめ照合符号まで含めて符号構成をしている。

符号が構成されるとついで⑩起動回路が動作し、常時送信している装置監視信号を上記選択信号に切りかえ、選択パルスの送信を開始する。符号化回路の出力は⑪並直列変換回路に入り、⑫起動回路内のクロックパルス発信器よりの出力によって並列符号が直列符号に変換される。この回路の出力は電圧有、電圧無で表わされる信号であるがこれが次の⑬長短符号化回路によって1～11ビットすべてが順次長短符号に変換されて変調器(FS-OSC)に送り込まれる。本装置では周波数偏移式(FS変調方式)の変調方式を採用しているので、論理回路の直流パルスは上記変調器で長あるいは短パルスの長さだけFS変調されて送信されることになる。

(被)の復調器(FS-DET, FS-CONV)では、受信信号が⑪符号受信回路を経て波形整形されたうえ、⑫長短符号判別回路によって長パルスが短パルスと判別される。

同時に受信パルスはシフトレジスターによって順次計数され、⑬並直列変換回路を駆動する。そこで受信符号は、1ビットめから順次長、短いずれのパルスを受信したかということが判別される。そして1～7ビットまでの符号は⑪符号記憶回路で一時記憶される。

選択符号に引き続き8～11ビットの照合符号が順次受信されるに従い長、短符号判別回路で長短が判別される。その出力と符号記憶回路の出力が⑫二重誤り検出回路に送られ、そこで前記表2.1符号構成表にしたがい、4個のグループの2重誤り検出を自動的に行なう。二重誤り検出回路例の詳細を図4.4符号検定回路に示す。

すなわち二重誤り検出回路中のフリップフロップFF1は、選択信号中の1, 2, 3および7ビットと照合符号8ビットめの合計5個の受信パルスのなかで、長パルスが受信されるたびに、ORゲート1を通過してトリガパルスが加えられる。したがって長パルスの数が奇数、すなわち“1”の総数が奇数であれば反転した状態となり、出力がANDゲート1に与えられる。

同様に、選択信号中の1, 4, 5, 7および照合符号の9ビットの5個のパルス中の長パルスが、ORゲート2を通過してFF2をトリガし、

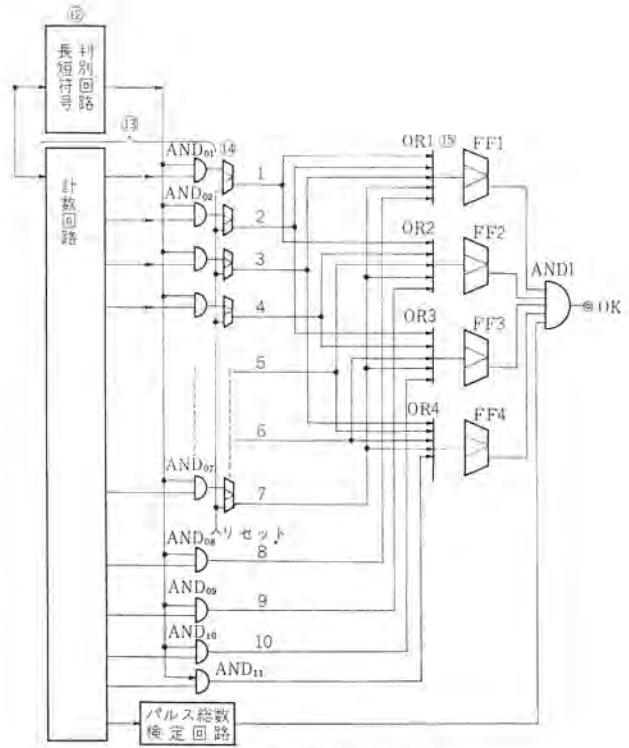


図 4.4 符合検定回路
Pulse code detection circuit.

奇数であれば反転した状態となる。FF3およびFF4についても同様であり、表2.1に示す4グループ個々の奇数検定が行なわれる。

ただし以上の説明は検定回路の1例であって、実際には微分回路を使わないよう別の回路としている。さらに符号受信を確実にするために、パルス総数検定回路にて受信符号が11ビットであることを確認する。それらの検定回路の出力がいずれも良であればANDゲート1の出力が出る。

一方⑪符号記憶回路の出力は⑫復号化回路にて復号化され、上記符号検定回路の出力が良であれば、⑬選択・制御リレー回路で所要の選択リレーが動作して必要な項目の選択が完了する。符号受信完了しスペースパルスが一定時間継続すれば、装置は自動的にリセットするが選択リレーは自己保持し、選択が記憶される。(制)では選択を完了すれば選択確認表示灯が点灯する。

(2) 制御

ついで(制)で各選択点に共通の制御スイッチを扱うと、入または切指令が、前記選択信号とまったく同様にして二重誤り検定符号に変換されて送信される。

(被)における制御信号受信動作も選択信号受信動作と同様であり、制御信号が復号されると、先に自己保持している選択リレーと組み合わされて所要の項目に対する制御出力が得られる。

4.2.2 状態監視

(被)にて制御の結果あるいは自動的に機器の状態変化が生ずれば、⑭状態表示入力回路のリレーが付勢(消勢)するので、その変化が⑮状態変化蓄積回路にて検出のうえ記憶される。

表示項目各点には発信優先順位がつけられており、表示符号は優先順位の高い項目から順次⑯表示符号化回路によって、前述の選択符号などと同じく1～7ビットの表示符号および8～11ビットの照合符号よりなる自己照合符号に変換される。以下表示符号の送受信および表示、警報は前項1～2にて説明したものと同様にして行なわ

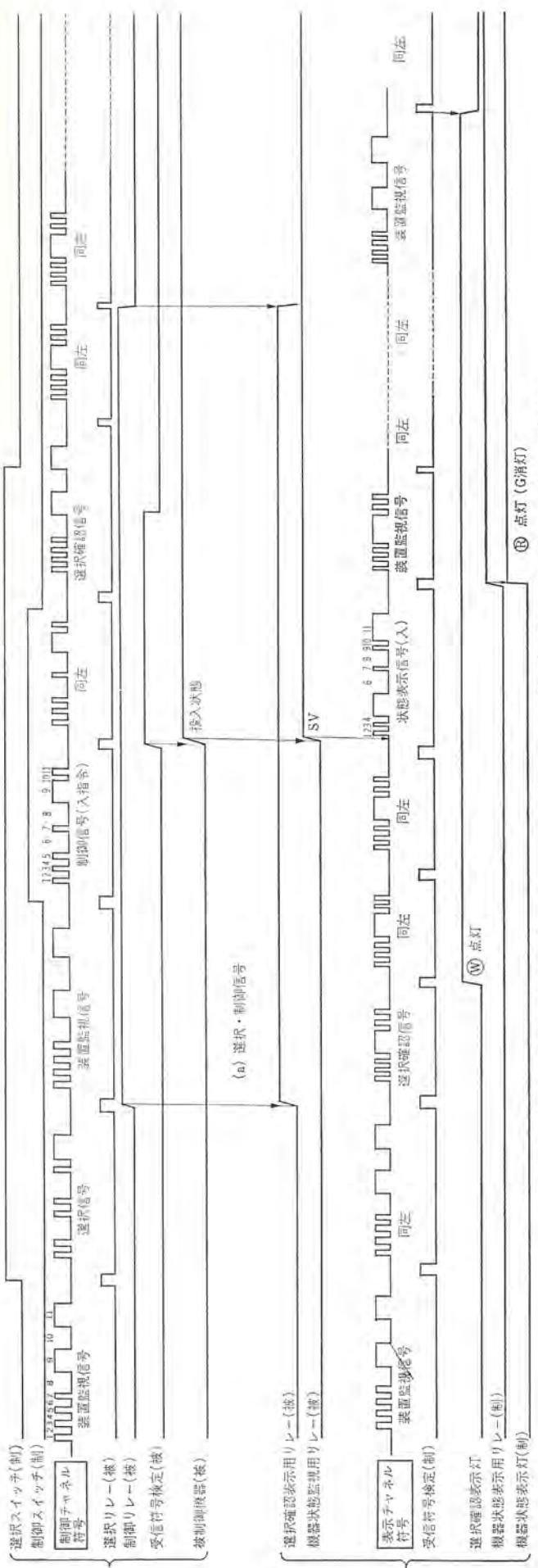


図 4.5 制御・状態表示動作 ダイアグラム Time chart of indicating control operation and state.

れる。

なお、機器選択の確認信号も表示信号と同様にして送信することができる。

4. 2. 3 裝置監視信号

本装置では上記のごとく選択スイッチ・制御スイッチを扱っていないとき、あるいは機器の状態変化がないとき、すなわち平常時には(制)→(被)に、(被)→(制)に11ビットの装置監視信号を常時送信し、連絡線・変復調装置を含めて装置を監視している。したがって装置に異常があればただちに検出することができる。

以上の符号送受信の状態を図 4.5 制御・表示動作 タイムチャートに示す。

4.3 盒

本装置では状態監視送受信回路・表示灯回路などの点検を行なうために反転表示試験の機能を有している。制御にて試験ポジションを選択した後、試験入操作を行なうことによって、被制御所の全表示項目がいっせいに蓄積され、順次制御所に反転表示送信を行なう。制御所ではそれを受信し、現在の表示と異なるものであれば表示灯を反転させ、かつフリッカ有の項目はフリッカをさせる。

表示試験が終了すれば、フリッカ停止押しボタンスイッチを押してフリッカを停止した後、試験・復帰・操作を行なうことにより被制御所から順次正常表示送信を行なう。

4.4 パラジスタ論理回路

前に述べたとおり、本装置では符号の送受信部等動作ひん度の高い部分をすべて無接点化しているが、それはシリコンランジスタを使用したNOR回路およびシリコンダイオードから構成されている。NOR回路は図4.6に示すとおり、1個のトランジスタと数個の抵抗から構成されるもので、すべての入力が“0”的き出力が“1”となるのでNORと呼ばれる。AND, OR, NOT, MEMORY, PULSE, GENERATORなど論理回路は、NOR回路の組合せで容易に作ることができる。

また時限回路 (TIMER) なども NOR 回路を変えることによって容易に作ることができる。表 4.1 にそれら論理回路のシンボル説明表を記載する。

本装置の論理回路で使用するトランジスタは当社製 2SC 形で、とくに使用周囲条件のきびしい場所に設置されても十分余裕をもち、安全確保に動作するよう中出力・高速度スイッチング用のものからさらに厳選して使用している。また NOR 回路についても十分余裕をもった回路設計および製作としているので、今までまったく問題はおきていないし、また今後もおきることはないと考えている。

5. 仕 様

5.1 遠方監視制御装置仕様

- (1) 制御あるいは監視所要時間: 約 0.5 秒 (200 箇- 伝送)
 (2) 装置容量: 制御・表示 100 量

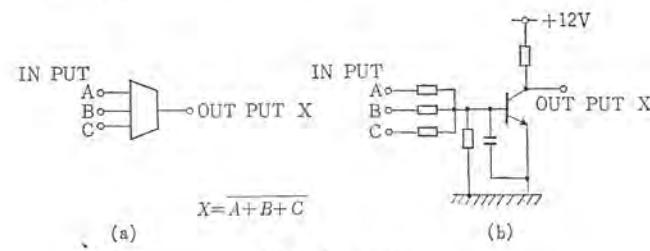


図 4.6 NOR

表 4.1 シンボル説明 Description of symbols.

シンボル	名称	回路	説明
	+12V 电源		コレクタ電源
	0V		
"1"		+12V 電位	
"0"		0V 電位	
	NOT		A=1" がいると Tr1 は導通し X="0" となる。
	NOR		A, B いずれかに 1" がいると Tr1 は導通し X="0" となる。
	DIODE OR		A, B いずれかに 1" がいると ダイオード抵抗を通して電流が流れ X="1" となる。
	DIODE AND		A, B いずれかが 0" であると 抵抗、ダイオードを通して電流が流れ X="0" となる。

シンボル	名称	回路	説明
	MEMORY		A=1" は Tr1 が導通する。A=0" は Tr2 が導通する。非導通となり、その状態を保持する。
	TIMER		A=1" は Tr1 が導通する。A=0" は Tr2 が導通する。X=1" となる。
	PULSE-SCHAPER		A に一定値以上の入力電圧がいるとき X=1" となる。
	OSCILLATOR		R1, R2, C1, C2 の時定数により発振する。発振周波数 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R1C1 + R2C2}}$
	EMITTER FOLLOWER		電流増幅を行なう。A=1" のとき X=1" A=0" のとき X=0"
	AMP		出力端子 X に回路ごとにリレーを接続する。A=1" がいるとき Tr は導通し、リレーを付ける。

(3) 使用条件：周囲温度 $-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ まで動作保証
湿度 40~90 %

- (4) シンボル検定：2重誤り検定（2重誤り検出可能）および
パルス総数検定の併用
- (5) シンボル長さ：短パルス 20(5)ms, 長パルス 60(20)ms
- (6) 装置耐圧：入出力端子部 AC 1,500 V 1 分間
- (7) 電 源：AC 100 V, DC 24 V ($\pm 10\%$) を標準 DC
100 V の場合には前置装置を設けるものとし、
その許容変動範囲は 90~140 V
- (8) 操作方式：2 挙動式（選択スイッチ…押しボタン式）
- (9) 制御出力：入・切制御各 1a 接点、通電 1 A
しゃ断 0.2 A

5.2 信号伝送装置

(1) 信号伝送は音声帯域内の 2 トーンチャネルを使用した周波数偏移変調方式（FS 变調方式）

(2) 信号伝送速度

50 ポーまたは 200 ポー

(3) シンボル

"1" : $f_0 - \Delta f$

"0" : $f_0 + \Delta f$

ただし f_0 は搬送波中心周波数, Δf は 35 c/s (50 ポー) または 100 c/s (200 ポー)

(4) 信号伝送装置と遠制装置間の信号受渡

"1" : -4 V

"0" : 0 V

(5) 使用条件：温度 $-5^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$

6. 特 長

以上述べてきた本装置の特長をつぎに列挙する。

(1) この装置は機器の選択・制御・状態表示などの各種の情報を 2 進化符号に変換して伝送する符号方式であり、とくに当社独特

の 2 重誤り検出可能の自己照合符号を採用している。したがって動作が確実であるとともに、装置が簡単で、機器の操作、状態表示に要する時間はきわめて短かい。

(2) この装置では、符号送受信部など動作ひん度のきわめて高く、かつ操作時間に関連する部分はすべて無接点化しているので、装置動作が高速であるとともに、消耗部分がないので長寿命である。

(3) この装置の論理回路に使用する半導体は、すべてシリコン化しているので使用温度範囲は $-10 \sim +15^{\circ}\text{C}$ ときわめて広く、かつ温度変化に対して安定している。（Si トランジスタは当社製 2SC 形）。

(4) この装置では、(a) 微分回路を使用しない、(b) トランジスタ回路のサージによる破壊防止あるいは誤動作防止を完全にするよう考慮しているなどの処置により、装置内外に生ずる雑音に対し非常に安定しており、動作はきわめて確実である。

(5) 制御装置と表示装置が独立しているので、装置が簡単で理解しやすく保守が容易である。

7. む す び

以上、このたび開発したトランジスタ形自己照合符号式（SCPT）遠方監視制御装置について概略説明したが、本装置はすでに発電所用として下記 4 セットが納入され、問題なく運転中である。

電力会社 発電所遠方監視制御用 41-11 納入

県企業庁 発電所遠方監視制御用 41-12 納入

化学会社 変電所遠方監視制御用 42-12 納入

電力会社 発電所遠方監視制御用 42-12 納入

本装置は信頼度向上のため半導体をシリコン化していること、および符号検定方式に 2 重誤り検出符号を使用し、装置を簡単化したことが最も大きな特長であるが、納入品の運転実績によってそれが明らかになっている。

おわりに本装置開発に際して尽力していただいた機器開発課、制御盤品管課の諸氏に厚くお礼を申し上げる次第である。

150 Mc/FM 50 W 全シリコン固体化 ニュースカー連絡用無線装置

加藤 治*・片山 泰一*・山本 俊夫*
白幡 邦彦*・来村 俊*

All Silicon Solid-State 150 Mc/FM 50 W Mobile Radio Telephone Equipment

Communication Equipment Works

Osamu KATO・Yasuichi KATAYAMA・Toshio YAMAMOTO
Kunihiko SHIRAHATA・Suguru KITAMURA

All silicon solid-state 60 Mc and 150 Mc band 25 W radio telephone equipment is among developments in the past of the Company. Recently, however, building of much larger output and high frequency units of solid state has been endeavoured, and as a result 150 Mc band 50 W mobile radio telephone equipment of the kind has been brought to completion and a type 47 VM-71 unit has been delivered to NHK. This achievement is based on excellent semi-conductor and circuit technology of Mitsubishi. As a mobile use, the 150 Mc 50 W set has been transistorized up to the last stage of the transmitter, to be unprecedented by any other manufacturers. It is carried on a news car for use in the communication of collecting news and making contact with the head office.

1. まえがき

移動用無線機の固体化は、受信回路、電源コンバータにはじまり送信回路の前段から後段の電力増幅へと、遂次行なわれてきた。

初期はおもにゲルマニウムトランジスタを使用していたが、温度特性のすぐれたシリコントランジスタに置き換わるようになった。

ついでさらに大出力固体化へと進むのであるが、高周波大出力トランジスタの製造技術は近年いちじるしい発展をとげ日進月歩の感がある。

当社でも、すでに 60 Mc および 150 Mc 帯 25 W 出力の全シリコン固体化無線機を開発して⁽¹⁾以来、さらに高出力へと開発を進めた結果、このほど 150 Mc 帯 50 W 出力の全シリコン固体化移動用無線機として、47 VM-71 形連絡用無線装置を日本放送協会へ納入した⁽²⁾。この 47 VM-71 形連絡用無線装置は、40 WV-11 形ニュースカーにと載され、日本放送協会において報道取材、連絡業務などの通信に使用される。

また、この無線機は移動用として、周波数 146~169 Mc 出力 50 W の送信最終段までトランジスタ化されており、業界にさきがけ製品化し、当社のすぐれた半導体および回路技術を駆使している。

そこで以下に、その送信出力段を中心に回路技術上くふうをこらした点などについて述べるとともに、装置の概要について紹介する。

2. 装置の概要

2.1 設計の条件

この無線機は、報道取材の場において非常に重要な役割をはたすものであり、過酷な条件でも安定な性能と強じんさが求められた。そのため、ユーザーの要求仕様をはじめとして過去の経験実績を考慮し、次の諸条件を基本設計条件とした。

(1) 環境条件

- (a) 使用周囲温度: -10~+50°C
(b) 振動: 500~18,000 回/分

全振幅 1 mm

(2) 使用半導体

すべてシリコン化し、温度、耐圧、信頼性に十分な余裕をもたせる。

(3) 機能単位

プラグイン方式のユニットに各機能単位を収容し、保守点検およびユニットの交換が容易となるようとする。

(4) 電源関係

電源電圧は 12 V ± 10 % であるが、自動車の電池電圧がそれより高くなつたとしても異常を生じないよう考慮する。送受信各部の電圧は、ユニットの互換、基地用との共通化等のため、次の電圧とする。

- +25 V……送信電力増幅ユニット (50 W 出力)
+13 V……送信ユニット後段部 (10 W 出力)
+ 8 V……送信ユニット前段部、受信ユニット

(5) 保護対策

電源電圧の変動とか、アンテナ異常時の負荷インピーダンスの変動に対して、送信回路のトランジスタを保護するため、出力トランジスタに十分余裕をもたせるとともに、自動出力制御および出力トランジスタ保護回路を付加する。

(6) 放熱

この装置は送信出力が 50 W と大きく、また写真電送等で連続送信状態になることをも考慮してプロワで強制空冷する。

(7) 狹帯域化

将来の狭帯域移行に対して、簡単な部品の交換と調整で可能となるよう考慮する。

(8) 構造

各機能部分を実装したユニットで構成し、可能な限り小形化するとともに、自動車走行による振動に対して異常を生じないよう十分考慮する。

2.2 構造と構成

この装置は図 2.1 (a), (b) に示すように、高さ 235 mm、幅 442 mm、奥行 290 mm、のきょう体に送信ユニット、電力増幅ユニット

ト、受信ユニット、電源コンバータ、電源インバータおよび制御ユニットの各ユニットを実装している。



図 2.1(a) 47 VM-71形 連絡用無線装置外観
 Exterior view of type 47 VM-71 mobile radio telephone equipment.

1 UU-11 形 電源インバータ (2H 幅)	MU-71 形 制御ユニット (4H 幅)	20 KU-11 形 電源コンバータ (6H 幅)
VN-71 形 受信ユニット (2H 幅)	40 VN-71 形 送信ユニット (4H 幅)	47 VN-71 形 電力增幅ユニット (6H 幅)

図 2.1(b) ユニット実装
Unit assembly of type 47 VM-71.

表 2.1 F 形 ユニット 外形寸法
Dimensions of type F unit harness.

形 名	外 形	幅 mm	高 さ mm	奥 行 mm
F 20 形	2 H 幅	69	99	200
F 40 形	4 H 幅	139	99	200
F 60 形	6 H 幅	209	99	200



図 2.2 ユニットの耐振構造
Vibration-proof structure for unit

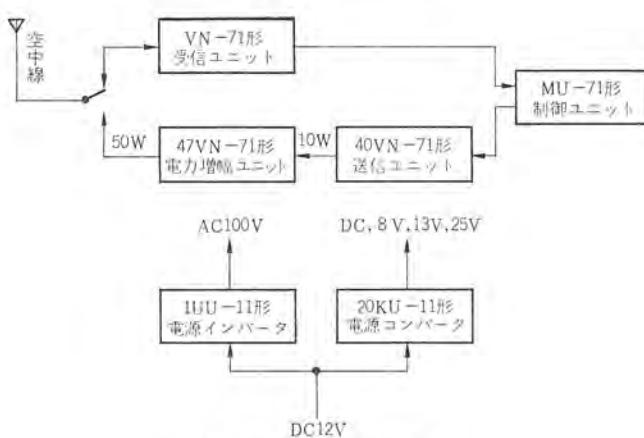


図 2.3 総合系統
System diagram of type 47 VM-71.

ユニットは、仕様書により規格化された F 形 ユニットを使用しており、プラグイン方式で着脱できるのでユニットの交換、保守点検が便利な構造になっている。F 形 ユニットの仕様の概略は、表 2.1 に示すとおりである。なお送受信の各ユニットは、同軸を含んだコネクタで、プラグインされる構造になっている。保守点検に際しては、付属品の延長ケーブルでユニットを接続し、点検調整が容易となるようにしている。

自動車の振動に対しては、きょう体に山形のゴム防振座を取付けて、振動を吸収している。なお機器にかかる重量加速度は、大きくても2倍程度に押えるよう選定した。また各ユニットについても、図2.2に示すように押えねを使用して、振動に対してがたつきが生じないよう考慮している。この押えねは、ユニットのコネクタが完全にかん合する少し手前から押圧力が加わりはじめて、完全にそう入された位置で自重量のおよそ2倍の押圧力が加わるようになっている。この装置の総合系統を図2.3に示す。

送信回路は、送信ユニットと電力増幅ユニットにわけられ、送信ユニットは 10 W 出力であり、電力増幅ユニットでさらに 50 W 出力まで増幅している。電力増幅ユニットには、強制空冷をするためのプロワを装備している。電源インバータは、そのプロワを動作させるもので、DC 12 V を AC 100 V に変換している。

ブロウの風の流れは、きょう体下部より吸込み、電力増幅ユニットのトランジスタを冷却した後、さらに上部にある電源コンバータを冷却するようになっている。この装置だけを動作させる場合は、制御ユニットを内部に実装して操作するが、自動車にとう載した状態では、別の操作箱に制御ユニットをそう入り延長した所から操作できるようになっている。この場合、制御ユニットのスペースには、ブランクユニットを実装する。

2.3 40 WV-11 形 ニュースター

ニュースカーは、三菱重工業株式会社製 J30 形ジープに 47 VM-71 形連絡用無線装置をとう載し、伸縮八木空中線・ホイップ空中線・操作箱・充電用発電機・蓄電池・写真電送設備・屋根上荷台など、ニュースカーとして必要な装備を施したものである。ニュースカーの外観を図 2.3 に、総合系統を図 2.5 に示す。ニュースカー内部の機器配置は、図 2.6 に示すとおりである。

無線装置は、自動車後部床上に設けられた取付台の上に設置されている。また無線装置は、自動車後部とびらより点検しやすい配置になっている。蓄電池は無線装置取付台の下に装備され、充電用発電機とともに、車両用とは別に機器用として使用される。

空中線は、ホイップ空中線と八木空中線の2種類装備して、切換使用するようになっている。移動走行時にはホイップ空中線を使用し、遠距離で通話しにくい場合は停車して八木空中線を使用する。八木空中線は3要素垂直偏波であり、モータで自動昇降し約6mの



図 2.4 40 WV-11 形 ニュースカー 外観
Exterior view of type 40 WV-11 news car.

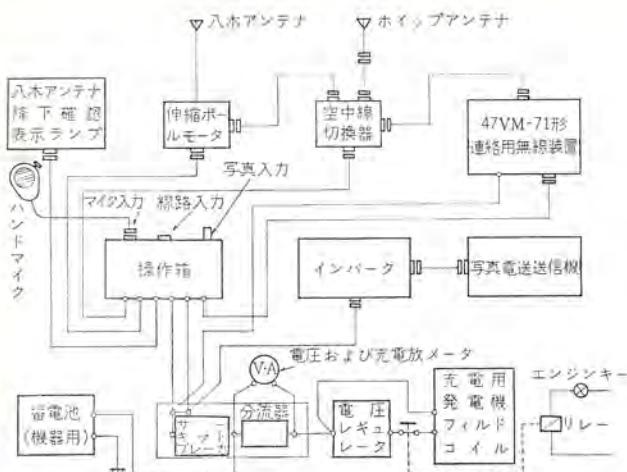


図 2.5 ニュースカー 総合系統
System diagram of type 40 WV-11 news car.

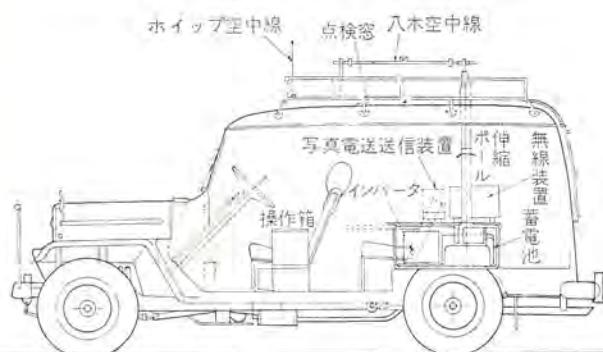


図 2.6 ニュースカー 機器配置
Equipment arrangement of type 40 WV-11 news car.

表 2.2 47 VM-71 形 連絡用無線装置主要性能
Principal items of type 47 VM-71 mobil radio telephone equipment.

項目		性能
共	周波数範囲	146~169 Mc
	通信方式	單信方式
	電源電圧	DC 12 V
	高周波インピーダンス	50 Ω 不平衡
	伝送周波数	0.3~3 kc
通	環境条件	温度: -10~+50°C 湿度: 45~95% 振動: 500~1,800 回分, 全振幅 1 mm
送	送信出力	50 W
回	変調方式	可変リニアタス位相変調方式
性	最大周波数偏移差	±12 kc
能	周波数許容偏差	±10×10 ⁻⁶ 以内
	周波数てい倍数	6
	S/N	1 kc 70%変調にて <0 dB 以上
	スプリアス発射強度	146~162 Mc -50 dB 以下 その他 -60 dB 以下
受	受信方式	水晶制御シングルスレーブヘテロダイン方式
信	中間周波数	10.7 Mc
能	局発周波数許容偏差	±10×10 ⁻⁶ 以内
	20 dB 雑音抑圧度	6 dB(μV) 以下
	S/N	1 kc 70%変調 40 dB(μV) 入力で 40 dB 以上
	帯域幅	6 dB 低下で 20 kc 以上
	選択度	70 dB 低下で 50 c 以内
	スプリアス感度	-80 dB 以下
	感度抑圧効果	20 dB(μV) 以上
	相位変調感度	65 dB(μV) 以上
	低周波拒力	+30 dB(mW) 以上

高さまで上昇させることができる。また八木空中線は、水平状態に収納されて走行するが、使用時は素子が垂直になるような機構になっている。

2種類の空中線の切換操作および八木空中線の昇降は、自動車より外に出ることなく、車内の前部座席にある操作箱のスイッチで行なうことができる。また操作箱には、無線装置の制御ユニットをそう入し、無線装置を遠隔操作する。

また写真電送送信装置を使用できるよう、取付台およびインバータ電源を装備している。

そのほかニュースカーの機能をはたすために、必要な改装ならびに設備の取付を行なっている。

2.4 主要性能

この装置の主要性能は、表 2.2 に示すとおりである。

3. 送信回路

3.1 概要

この送信回路のおもな特長は、次のものがあげられる。

(1) 40 VN-71 形送信ユニットと 47 VN-71 形電力増幅ユニットの 2 ユニットで構成される。送信ユニットは 10 W 出力であり、単体で 150 Mc/10 W の送信機としても使用できる。また電力増幅ユニットは、その出力をさらに 50 W まで増幅するためのものである。

(2) 使用状態は、50 W 連続送信である。

(3) 電力増幅ユニットは、周波数帯域が広く、約 5 Mc を無調整でカバーできる。

(4) 負荷インピーダンスの変動によって、出力トランジスタが破損しないように保護回路が設けてある。

3.2 40 VN-71 形送信ユニット

(1) 系統図

40 VN-71 形送信ユニットの系統図を図 3.1 に示す。送信ユニットは 10 W 出力であり、電力増幅ユニットのドライバとして使用するが、系統図に示すように出力フィルタ、自動出力制御回路、出力トランジスタ保護回路などを内蔵しており、送信スプリアスその他 150 Mc 10 W の送信機として、単独でも使用可能なようすべての性能を満足している。

(2) 出力トランジスタ

送信ユニット後段部の電源電圧は 13 V であり、出力段トランジスタには、当社がコンバータレス機低電圧用に開発した 2SC 702, 2SC 703 および 2SC 704 を使用して、150 Mc 10 W~14 W の出力を得ている。

(3) 変調回路

低周波の出力と変調回路との間に、3 kc 以上の周波数に対して $40 \log_{10} f/3(\text{dB})$ 以上減衰させるスプラッタフィルタを備え、狭帯域化の場合の周波数偏移の広がりを防止している。

変調回路は 4 段のバリキヤップ位相変調回路で広角度変調し、周波

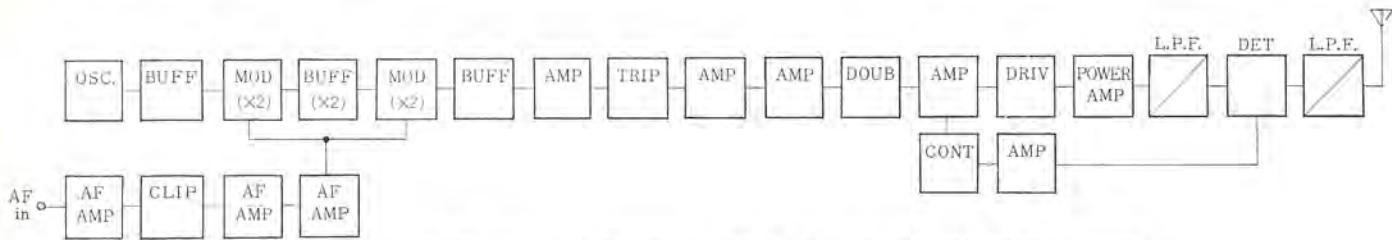


図 3.1 150 Mc/10 W 送信ユニット系統図
Block diagram of 150 Mc/10 W transmitter.

数てい(過)倍数を6てい倍とした。また4段の変調回路を2段ずつにわけ、間に緩衝増幅器をそう入して調整を容易にした。

(4) 自動出力制御回路および出力トランジスタ保護回路

送信ユニットには、自動出力制御回路(以下APC回路という)および出力トランジスタ保護回路を内蔵している。APC回路は、電源電圧の変動による送信出力の変動をおさえ、かつ電力増幅ユニットの增幅利得のばらつきを補正するために、送信ユニットの出力電力レベルを容易に可変、調整する回路である。

出力トランジスタ保護回路は、高周波出力インピーダンス(通常は50Ω)が接続ケーブル等の断線、短絡事故によって大きく変動した場合に、出力トランジスタのコレクタ損失が増加してトランジスタが破損するのを防止するための回路である。

APC回路および出力トランジスタ保護回路は、図3.3に示すように出力フィルタの内部に設けた方向性結合器で、進行電力、反射電力をそれぞれ検出し、その検出出力で高周波増幅トランジスタの増幅利得を制御するものである。

3.3 47VN-71形電力増幅ユニット

(1) 使用トランジスタとその回路

47VN-71形電力増幅ユニットは、50W出力であり、電源電圧25V、入力電力10Wという条件があるために、当社製VHF用高出力トランジスタ2SC690を使用した。トランジスタ2SC690の性能を表3.1に、増幅特性を図3.3に示す。

一般に大電力をとり出すためには、数本のトランジスタを並列に使用することがあるが、この装置では安定性、信頼性に余裕をもたせるために、2SC690を4本並列に接続することとし、増幅段数は1段とした。この場合とくに問題となるのは、各トランジスタ間の電気的、熱的なバランスをとることと、各トランジスタ間の相互干渉を少なくし、万一1本が破損した場合にもその影響を受けて他のトランジスタが次々に破損することである。

バランスについては、一般にベース回路に設けたバランス調整回路でコレクタ電流が同一になるようにする方法が行なわれているが、入力レベルや出力インピーダンスが調整時点からずれるとバランスがくずれやすいというおそれがある。そこでこの装置では、外部回路でバランスを調整する方法はとらず、電力増幅率およびコレクタ効率の比較的バランスのとれた4本のトランジスタを組にして2並列接続し、各トランジスタは電気的にも熱的にも4本が対称な位置になるように配置した。その結果、入出力の同調回路を極端に離調した場合でも、各トランジ

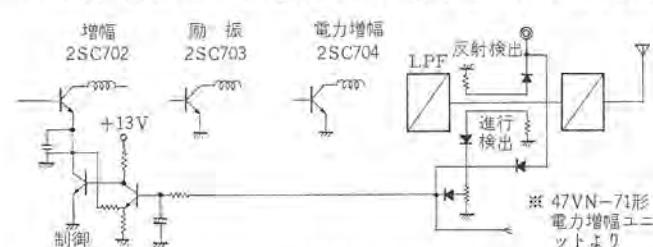


図3.2 自動出力制御および出力トランジスタ保護回路
Automatic power control and load-mismatch protection circuit.

表3.1 2SC690の性能
Characteristics of 2SC690.

品名	V_{CEO} V	V_{CEO} V	V_{CEO} V	C_{ob} pF	T_{jmax} °C	P_{o} W	V_{RE} , P_{in} , f	η	θ_{j-e} °C/W	P_C W	I_C A
2SC690	>60	>40	>4 (25V)	>50 (25V)	200	>20 25V, 5W, 150Mc	>60	5	45	3	

スタのコレクタ電流のばらつきは10%以内にとどまった。

また各トランジスタ間の相互干渉については、エミッタ接地回路のベース側、コレクタ側とともに直列同調形の整合回路を使用し、入出力の整合に必要な直列インダクタンスを各トランジスタに等しく分散してもたせることにより、相互干渉を少なくした。その結果、4本のトランジスタのうち1本のベース、コレクタ、エミッタのリードをおののおの故意に短絡、開放した場合にも、他の正常なトランジスタの P_C の変化はわざかであった。

以上の考慮に加えて、約5Mcの周波数帯域を無調整でカバーする必要があったので、回路のQを低くしなければならない。

ベース回路を例にとれば、図3.4に示すように(a), (b), (c)等の直列形の整合回路が考えられるが、回路のQが低く、したがってバリコン等による不必要的ロスを軽減できる点で、(c)の回路が都合よい。コレクタ回路もまったく同様の考え方から可変インダクタンスで整合をとり、その可変範囲は約15Mcの周波数範囲をカバーできるよう設計した。

実際の回路を図3.5に示す。

(2) 熱設計

(a) トランジスタの熱設計

トランジスタ2SC690を実際に4本並列に接続し、出力を正規に50

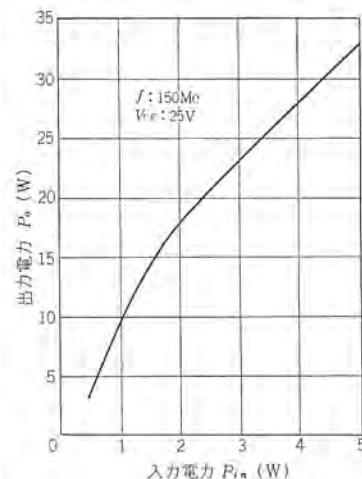


図3.3 2SC690の入出力特性
Typical power output vs. power input.

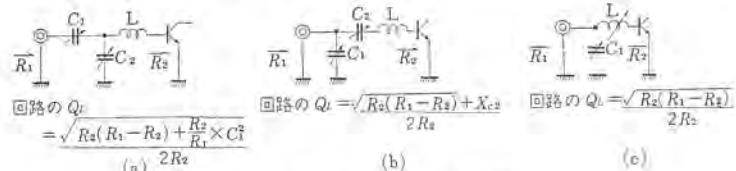


図3.4 ベース整合回路
Base matching networks for transistor power amplifier.

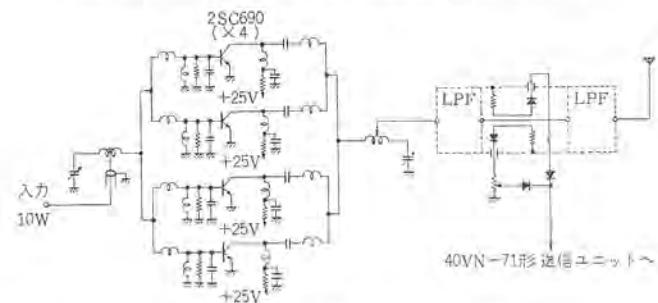


図3.5 150Mc 50W電力増幅回路
150Mc transistor power amplifier delivering 50 watts.

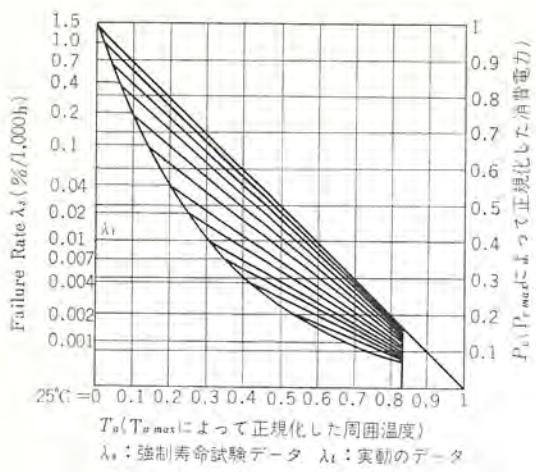


図 3.6 ゴールドスマスチャート
Goldsmith chart.

W 出した場合、その使用周囲温度および実際のトランジスタの損失とから、図 3.6 のゴールドスマスチャート⁽³⁾を用いて求めたトランジスタの failure rate 予測値は、

コレクタ出力 : 58 W (50 W + 出力回路の損失)

電源入力 : 24 V × 3.65 A

トランジスタ損失/本 : 9.4 W (ただしベース入力 2 W を含む)

周囲温度 : 50°C, 放熱板温度上昇 : 15°C (仮定)

ジャンクション温度 : 50°C + 15°C + 5°C/W × 9.4 W = 112°C

$$\text{正規化 } P_c = \frac{\text{実際のトランジスタ損失}}{\text{トランジスタの } P_{c,\max}} = \frac{9.4 \text{ W}}{35 \text{ W}} = 0.268$$

$$\text{正規化 } T_a = \frac{T_a - 25^\circ\text{C}}{T_{j,\max} - 25^\circ\text{C}} = \frac{65 - 25}{200 - 25} = 0.229$$

failure rate : 0.003% / 1,000 hrs

となる。ただし上記の値は、負荷の VSWR=1 の場合である。

VSWR=2 の状態では、上記の値よりもジャンクション温度は高く failure rate も悪くなるが、2SC690 は $T_{j,\max}=200^\circ\text{C}$ であるため、NHK のトランジスタ使用基準「 $T_{j,\max}=175^\circ\text{C}$ のトランジスタの許容ジャンクション温度は 110°C 以下」と同程度の信頼度は得られている。なお連続使用状態でも、上記のジャンクション温度程度に保つ必要があるので、この装置では強制空冷を採用した。

(b) 放熱器の設計

空冷のためのプロワは、電力増幅ユニットの中に組み込む必要から

入力 : AC 100 V, 50 c/s, 0.15 A

風量 : 580 l/min

風圧 : 5 mmH₂O

の小形のプロワを使用した。

放熱器の構造は放熱面積が広くとれ、かつ空冷に都合のよい図 3.7 に示すような構造とした。すなわちトランジスタで発生した熱は、トランジスタ取付板から 7 本の丸棒に伝達され、さらにこの丸棒に垂直に取付けられた 6 枚の放熱板に伝達される構造になっている。また熱の伝達を良くするために、放熱器の材料としてとくに銅を使用した。

(c) 放熱板の温度上昇

放熱板の温度上昇の大体のめやすをうるために、次の近似計算を行なった。すなわち放熱器の構造を図 3.7 に示すように、水平に積み重ねる放熱板は 6 枚、板の大きさ 200 cm^2 、空気の流量 $W=400 \text{ l/min}$ 、空気の流路断面積 $A=33 \text{ cm}^2$ とし、空気の流れは乱流であると仮定すれば、放熱板の平均熱伝達率 α は次式⁽⁴⁾により計算でき

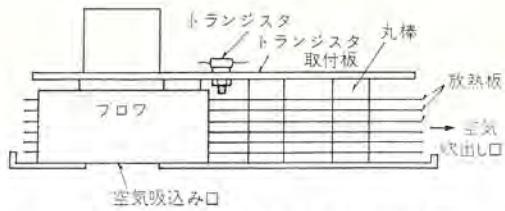


図 3.7 50 W 電力増幅ユニットの放熱板
Heat sink for 50 W transistor power amplifier.

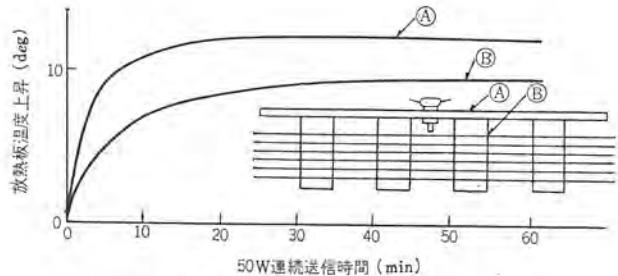


図 3.8 放熱板の温度上昇
Temperature rise of heat sink.

る。

$$\alpha = 0.037 \times \frac{\lambda}{l} \left(\frac{v \times l}{v} \right)^{0.8} \times Pr^{\frac{1}{3}}$$

ここに λ : 空気の熱伝導率 $0.0216 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C}$
(at 20°C)

l : 放熱板の流れの方向の長さ 0.2 m

v : 空気の流速 $W/A = 2 \text{ m/s}$

Pr : プラントル数 0.7

したがって

$$\alpha = 11.3 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C}$$

トランジスタ取付板も含めて強制空冷される放熱面積 S は、

$$S = 200 \text{ cm}^2 \times 13$$

またトランジスタ 4 本の損失総量を 50 W とすれば、空気流の平均温度 (t_0) と、放熱板の温度 (t_a) との差 ΔT は

$$\Delta T = t_a - t_0 = \frac{Q}{\alpha \cdot S} \quad Q : \frac{50(\text{W})}{4.18} \text{ cal/S} \\ = 14.6^\circ\text{C}$$

となる。 t_0 は計算では約 3°C であり、周囲温度からの放熱板の温度上昇は、

$$\Delta T + t_0 = 17.6^\circ\text{C}$$

となる。

実際に送信出力 50 W で連続送信したときの放熱板の温度上昇のデータを図 3.8 に示す。万一プロワが故障して放熱板の温度が上昇した場合には、放熱板に取付けたサーモスイッチで、電力増幅ユニットの直流電源を切るようにした。

(3) 自動出力制御回路および出力トランジスタ保護回路

電力増幅ユニットは送信ユニットと同様、出力フィルタに出力レベル制御のための進行電力検出方向性結合器および負荷変動によるトランジスタ破損防止のための反射電力検出方向性結合器を内蔵し、それらの検出出力を送信ユニットに戻して（図 3.2 の※印に戻す）、10 W 出力レベルを制御することにより、電力増幅ユニットの出力制御とトランジスタ保護を行なっている。

すなわち送信ユニットの制御トランジスタには、送信ユニットの進行・

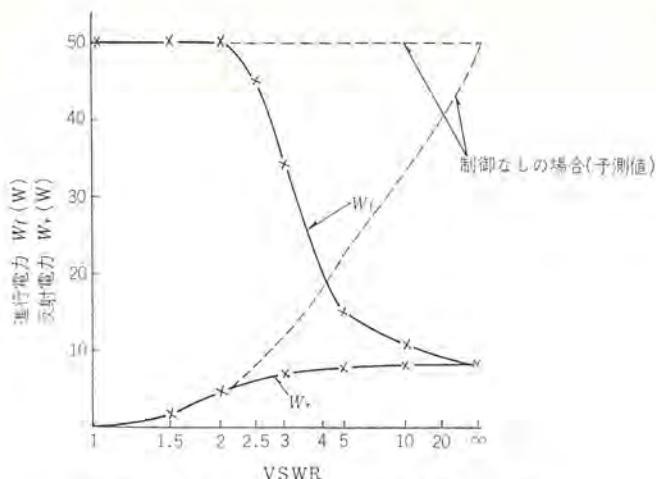


図 3.9 反射電力による出力電力制御特性
Power output vs. VSWR.

反射検出出力および電力増幅ユニットの進行・反射検出出力の合計四つの検出出力が、OR動作するように接続されている。とくに電力増幅ユニットについては、負荷のVSWR=2までは保護回路が動作せず、VSWRが2をこえはじめて動作するように調整した。図3.9に、負荷のVSWRに対する進行電力、反射電力の変化の測定データを示す。

4. 受信回路

4.1 VN-71形受信ユニット

VN-71形受信ユニットの系統図を、図4.1に示す。受信方式は、スプリアス感度の少ないシングルスパーーヘテロダイン方式を採用した。受信ユニットは構造上、高周波部と局部発振部を一つのキャビティに、混合部以降を別のシールドされたケースに納め、回路の安定化を計るとともに小形にした。

最近移動無線機の増加に伴い混信問題が生じてきているが、この受信ユニットは受信感度を良くする一方、2信号特性（相互変調特性、感度抑圧特性）、スプリアス感度といった諸特性の向上を計るよう留意した。すなわち高周波増幅器、混合器および中間周波部の初段増幅器に雑音指数の小さいトランジスタを使用し、高周波部の利得、混合器の動作点を考慮して受信感度および2信号特性の向上を計った。

図4.2に、受信入力に対するS/Nを表わす信号対雑音抑圧特性を示す。図4.3は実効選択性特性で、受信搬送波入力がそれぞれ10, 20, 40 dB(μV)のとき、規定の低周波出力から20 dB減衰する近接妨害波（図の場合、変調周波数3kc, 50%変調）レベルを表わしている。

一方スプリアス感度の改善としては、高周波部に多段結合同調回路を設け、イメージスプリアスに対しては十分な減衰を与えるように考慮したが、希望周波数近傍のスプリアスを改善するため、次のような理由で局発で1倍出力の同調回路をキャビティに収容した。すなわち一般に近接スプリアスの発生原因として、混合器の非直線性により受信入力周波数のn倍の高調波が生じ、これに局発の第m次高調波とが混合されて中間周波数に変換されることが多い。

図4.4は、150 Mc帯受信機の局発周波数を（希望周波数-10.7 Mc）/3に選んだ場合の上記スプリアス周波数を示したものである。なかでも次数の小さいn=3, m=10などが比較的の発生しやすく、これを除去するためには、局部発振出力から局発基本波または局発の

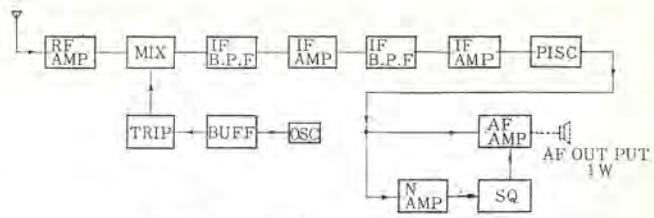


図 4.1 150 Mc 受信ユニット系統図
Block diagram of 150 Mc receiver.

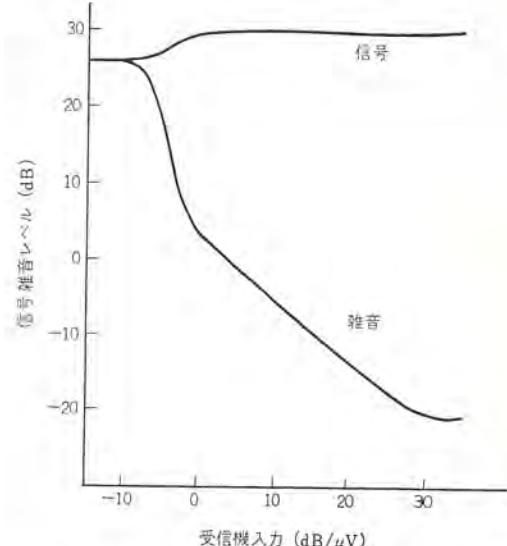


図 4.2 信号対雑音抑圧特性
Signal and noise quieting characteristics.

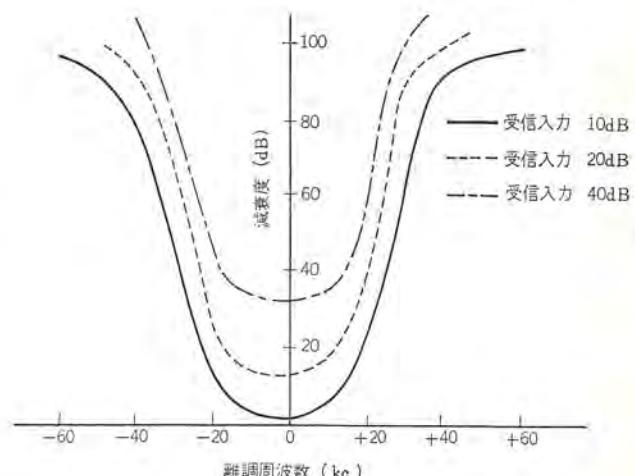


図 4.3 実効選択性特性
Selectivity and de-sensitization characteristics.

三次高調波以外の高調波をできるだけ除いて注入してやる必要がある。

すなわち局発で1倍出力の同調回路は、一般に複同調回路を採用するなどして効果を上げているが、プリント配線回路ではシールド効果が不完全で高次の高調波は十分除去しがたい。そこでこの受信ユニットでは、高いQの同調回路を高周波部同調回路と同様2個のキャビティに納め、複同調回路とすることによって十分なスプリアスの除去を行なった。

中間周波増幅器は小形、無調整で、また約120 dBの利得に対して安定度のよいRC結合増幅器を使用している。スケルチ回路は、雑音により制御する雑音スケルチ回路とし、雑音増幅器にフォワードAGC用のトランジスタを使用して直流による雑音増幅利得の調整を行なっている。

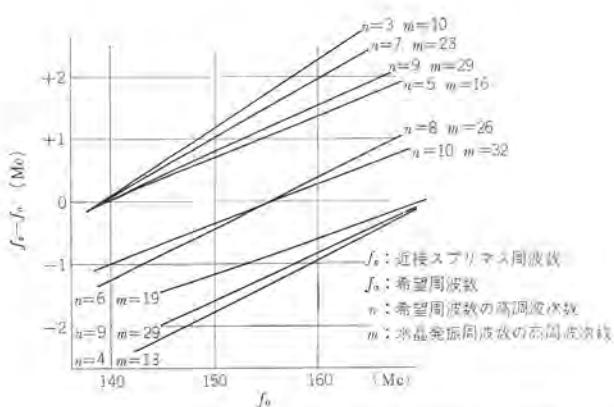


図 4.4 希望周波数と近接スブリマス周波数との関係
Relation between the desired signal frequency and the near-by spurious frequency.

5. 電源および制御回路

5.1 電源回路

この装置の電源回路は、送信・電力増幅・受信・制御の各ユニットに直流電圧を供給する 20 KU-11 形電源コンバータと、電力増幅ユニットの冷却用 ブロワに AC 100 V を供給する 1UU-11 形電源インバータの 2 ユニットで構成されている。

(1) 20 KU-11 形電源コンバータ

この電源コンバータは、送信時に送信ユニット用として 13 V 2 A 以上、電力増幅ユニット用として 25 V 4 A 以上の電力を供給する大容量の電源であるうえに、標準化されたユニット構造であるために寸法上の制約がある。

そこで電源方式としては、ロスを少なくすることを目的としたチョップ方式を採用し、図 5.1 に示すように 2 組のロイヤ発振回路とトランジスタチョップ回路、およびゼナダイオード安定化回路により電源回路を構成している。すなわち、直流入力 (DC 12 V) をロイヤ発振回路にて交流長方形波に変換後昇圧整流し、8 V 出力はゼナダイオードで安定化しているが、13 V 出力および 25 V 出力については、ロイヤ発振周期に同期したトランジスタチョップで直流をチョップし、チョップ波形の幅 (パルス幅) を出力電圧の変動にもとづき制御することにより、出力電圧の安定化を行なっている。

(2) 1UU-11 形電源インバータ

直流入力 (DC 12 V) をロイヤ発振回路で交流長方形波に変換後昇圧して 2 AC 100 V の出力を得ている。

5.2 制御回路

この装置の制御回路は、無線装置の操作を行なう MU-71 形制御ユニットと、その制御ユニットをそな入してニュースカー全体の操作を行なう操作箱とで構成されている。

(1) MU-71 形制御ユニット

この制御ユニットの操作項目は、次のとおりである。

- (a) 電源の接続
- (b) 送信変調入力切換……マイク、線路、写真電送
(マイクはブレーストック、線路と写真電送は連続送信)
- (c) 線路入力インピーダンス切換……10 kΩ, 600 Ω
- (d) 受信音量調整
- (e) 受信スケルチ調整

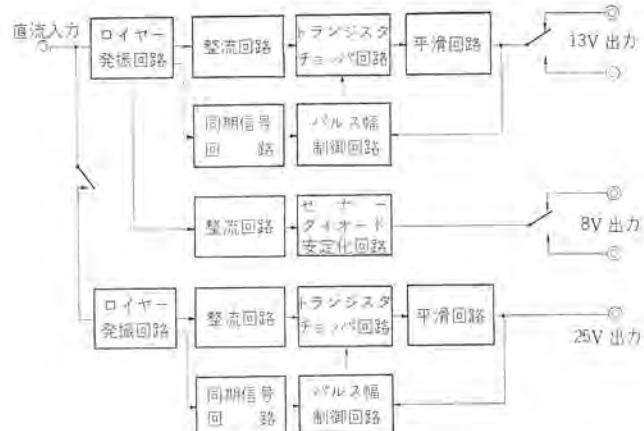


図 5.1 電源コンバータ系統図
Block diagram of DC power supply.

(2) 操作箱

操作箱は制御ユニットをそな入して使用するが、制御ユニットの操作項目以外に次の操作を行なうことができる。

- (a) 空中線の切換……ホイップ、八木
- (b) 伸縮八木空中線の上昇下降

6. 関連装置の説明

6.1 40 VS-71 形連絡用無線装置

先にも述べたように、各機能部分はユニット化されているので、それらのユニットを使用して基地用無線機として構成することも可能である。

日本放送協会へは、移動機のほかに基地用無線機である 40 VS-71 形連絡用無線装置を納入したので、あわせてその概要を紹介する。この装置は 150 MHz 帯 10 W 出力であり、先に述べた 40 VN-71 形送信ユニットおよび VN-71 形受信ユニットのほかに、エリミネータ電源である 15 KU-11 形電源ユニットならびに基地用のための SU-71 形制御ユニットで構成されている。この装置は、BTS 規格の 4 号ラック内に収容されている。

7. む す び

以上で 150 MHz/FM 50 W 全シリコン 固体化ニュースカー用 47 VM-71 形連絡用無線装置の概要紹介を終わる。

全シリコン固体化無線機の高出力化の発展途上にある現在、150 MHz 帯 50 W 出力段までトランジスタ化なし得たことに意義深いものがあり、今後は半導体技術の進歩と相まって、利得・出力の向上によるステージの簡素化、さらに高い周波数の高出力トランジスタ化に努力したい所存である。

終わりに本装置完成にあたって、ご指導を賜わった日本放送協会技術本部一般設備部をはじめ ご協力いただいた関係各位に心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 奥村ほか：三菱電機技報、41, No.4, 546 (昭 42)
- (2) 三菱電機技報、42, No. 1, 176 (昭 43)
- (3) NHK 半導体ハンドブック、日本放送協会編
- (4) 機械工学便覧：熱および熱力学、(昭 38) 日本機械学会編

技術講座

メーザ、レーザで代表される新しい技術分野 量子エレクトロニクス (2) —メーザ、レーザとその応用—

安 東 滋*

1. まえがき

量子エレクトロニクスの主役が、メーザ、レーザであることは疑いない。とりわけ最近のレーザの発展は著しく、科学・工業・通信・医療・軍事その他あらゆる分野へ応用されようとしている。試みに抄録誌として有名な Physics Abstract でレーザ関係の論文数をしらべると、1961年の20以下に対し1966年は約1,000となっている。これを見てもレーザの分野がここ数年間急速に発展しつつあることがわかる。いろいろな立場で書かれたメーザ、レーザについての解説書も現在ではかなりよくそろっており、その豊富な内容をこののような小文で完全に説明しようとするのはおろかといわねばならない。しかし、レーザを何か実際面に応用するとき、必ずしも詳細な専門的知識が必要なわけではない。レーザおよびレーザ光の重要な特性に対する単純ではあるが正確な知識さえあれば十分である。この小文ではこのような必要最低限の説明にとどめ、それ以上の専門的なことについての資料を紹介した。レーザによる長所が明らかに認められるような応用が次々と成功して欲しいものである。

表1.1のようにメーザ、レーザの重要な年代的発展を整理してみた。メーザ (maser)、レーザ (laser) の語源になった，“電磁波の誘導放出によるマイクロ波または光の增幅” (microwave or light amplification

by stimulated emission of radiation) という単純明快なアイディアの発展、およびその応用の歴史と言えよう。各種のメーザ、レーザおよびその派生的技術が生れた中で、とりわけ光のてい (遙) 倍、パラメトリック発振という画期的な新技術がきわたっている。

図1.1の各種電磁波の周波数・波長分布のうえでメーザ、レーザの発展を考えてみると興味ある事実が浮んでくる。ここで前編の“オプティカル パンピング”において説明した自然ふく(幅)射の確率 A と、誘導ふく射の確率 B の関係を思い出していただきたい。誘導ふく射を利用するメーザ、レーザにとって、自然ふく射は一種の漏えい(洩)現象(または緩和現象)であって、周波数 ν の高い光領域ではこの効果は大きく、したがって μ_{ab} の小さい遷移を探さなければならない。 ν の低いマイクロ波領域では自然ふく射の確率は一般に小さいから遷移の選択は容易であり、このためまずメーザが成功し、6年おくれてレーザが成功したものと思われる。しかし細部においては必ずしもこのような方向をとどらず、最初のルビーレーザが可視光線と赤外線の境界付近に相当し、それから周波数が高いほうの紫外線と低いほうの赤外線にのびてゆき、発振可能な周波数範囲は電子管によるものとレーザによるものがサブミリ波領域で重なり合うようになった。

表1.1 メーザ、レーザ関係年表

年	研究者	項目
1952~4	Townes (Columbia Univ.) Basov and Prokhorov (USSR)	誘導放出によるメーザの萌芽
1954	Gordon, Zeiger and Townes (Columbia Univ.)	アンモニアビームメーザの成功 (23.9 Gc)
1956	Bloomberg (Harvard Univ.)	3準位固体メーザの提案
1956~7	Scovil, Fehler and Seidel (Bell TL)	3準位固体メーザの成功 (9 Gc, 6 Gc)
1958	Schawlow and Townes (Bell TL)	レーザの提案
1960	Maiman (Hughes Aircraft)	ルビーレーザの成功 (0.6943 μ)
	Goldenberg, Kleppner, Rcmsey (Harvard Univ.)	水素原子ビームメーザの成功 (1,420 Mc)
1961	Javan, Bennett, Jr., Herriott (Bell TL)	He-Ne ガスレーザ (1.15 μ) の成功
	Franken, Hill, Peters, Weinreich (Michigan Univ.)	ルビーレーザ光のてい(遙)倍の成功
	Hellwarth, McClung (Hughes Aircraft)	Qスイッチによるジャイアントパルスレーザの成功
1962	Woodbury (G. E.)	ラマンレーザの成功
	Leith, Upatnieks (Michigan Univ.)	ホログラフィーの発展
	Nathan et al (IBM)	半導体レーザの成功
1963	Macek, Davis (Sperry Gyro, Co.)	リシングレーザの成功
	Bridges, Bell (Bell TL)	イオンレーザ (Ar^+ , Hg^+ , Kr^+ , Xe^+) の成功
1964	Hargrove, Fork, Pollack, Crowell (Bell TL)	レーザのモードロック法の成功
	Kasper, Pimentel (Calif. Univ.)	化学的レーザの成功
1965	Giordmaine, Miller (Bell TL)	光パラメトリック発振の成功
	Patel (Bell TL)	CO_2 レーザの高出力化成功
1966	Heller, Lempicki (GTE Labs.)	液体レーザ (SeOCl_3 ; Nd^{3+}) の成功
1967	DeMaria et al (United Aircraft Res. Labs.)	ビコセカンド光パルス発振の成功

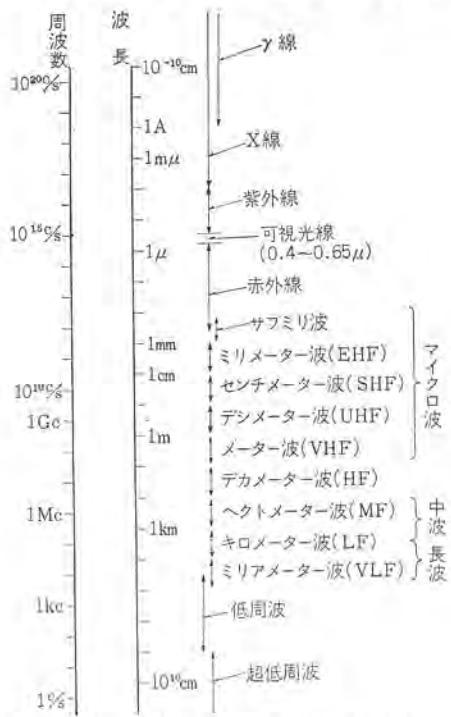


図 1.1 各種電磁波の周波数・波長分布

2. メーザ、レーザの原理、構造

電磁波のコヒーレントの度合がはっきりわかる一つの例として、図 2.1 の干渉計の実験がある。(a) はスペクトルランプと呼ばれる一種の放電管を光源としたマイケルソン干渉計を示す。エーテルの存在をたしかめ電磁波の本質を究明しようとした有名なマイケルソン・モーレー (Michelson-Morley) の実験もこの干渉計によって行なわれた。スペクトルランプからの光を半透鏡によって二つに分け、それぞれの反射鏡からの光を重ね合わせて干渉させ光検知に入れる。両方の光路差 ($l_1 - l_2$) が波長 λ に対し $\lambda/4$ の偶数倍のときには重ね合わせた光は強め合い、奇数倍のときには弱め合う。一方の反射鏡を固定し、他方を光軸にそって平行に移動させ光検知器の出力を観測すると (c)

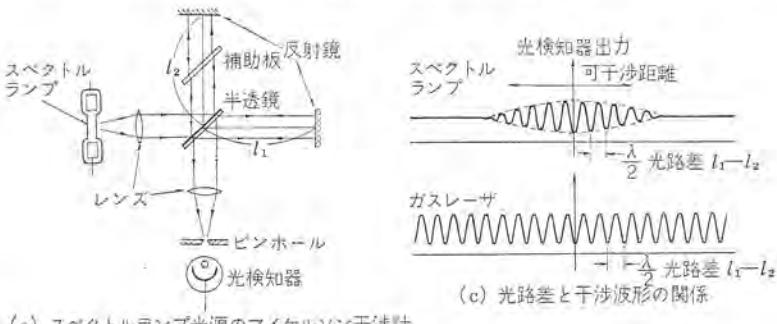


図 2.1 スペクトルランプ光と He-Ne ガスレーザ光の可干渉距離の比較

のような干渉波形が得られ、一方の反射鏡の $\lambda/2$ の移動が一周期に相当する。干渉波形はある一定値以下の $|l_1 - l_2|$ に対して得られ、それ以上になると消える。干渉波形が得られる範囲の長さを可干渉距離と呼ぶが、スペクトルランプの場合最大数 10 cm に過ぎない。これに対して He-Ne ガスレーザを光源とした (b) の場合には、 $|l_1 - l_2|$ が 10 m 程度まで干渉波形は観測できる。それ以上では気流の乱れによって実際には観測が困難であるが、もし真空中に干渉計がおかれていたとしたら $|l_1 - l_2|$ が数十 km に達しても干渉波形は観測できるであろう。このことは実際に精密工作機械の数値制御などに応用されている。

スペクトルランプ光のような普通の光と He-Ne ガスレーザ光の可干渉距離の大きな違いは図 2.2 (a) (b) に示したような波連の違いである。普通の光の波連は短かく、ときれときれのものが不規則に重なり合っているが、He-Ne ガスレーザ光の場合は、無限に近い波連が進行方向と直角にも規則正しく並んでいる。このような状態を指してコヒーレントの度合が非常に高いといふ。

単色光と呼ばれるものでも、スペクトルランプからのものは図 2.2 (c) のように周波数分布の半値幅が大きい。He-Ne ガスレーザの半値幅は非常に小さくて 10 kc 以下、または数 c/s 以下と言われることもある。このことは時間変数の正弦波の周波数へのコリエ変換を考えれば容易に理解できる。無限に長い正弦波の周波数半値幅は無限小であり、有限の長さにきれた正弦波の半値幅は長さが短いほど大きくなるからである。

最近、長さの標準には、メートル原器の代わりに可干渉距離の長いスペクトル線の波長が用いられるようになった。Kr⁸⁶ の $\lambda = 0.6057 \mu$ 光はこのような目的に用いられるが半値幅は 360 Mc もあり、可干渉距離が記録的に長い Hg¹⁹⁸ 原子線ランプの $\lambda = 0.2537 \mu$ 光 (可干渉距離約 6 m) でも半値幅は 48 Mc である。したがって He-Ne ガスレーザの光は、如何にコヒーレントの度合が高いかが理解される。

レーザにおいてコヒーレントな光がどのように生成されるかを説明するため、図 2.3 のようにレーザの遷移に相当する上下の準位 (エネルギー E_1, E_2 , 原子数 N_1, N_2) を考える。 A_{21}, B_{21} はそれぞれ自然

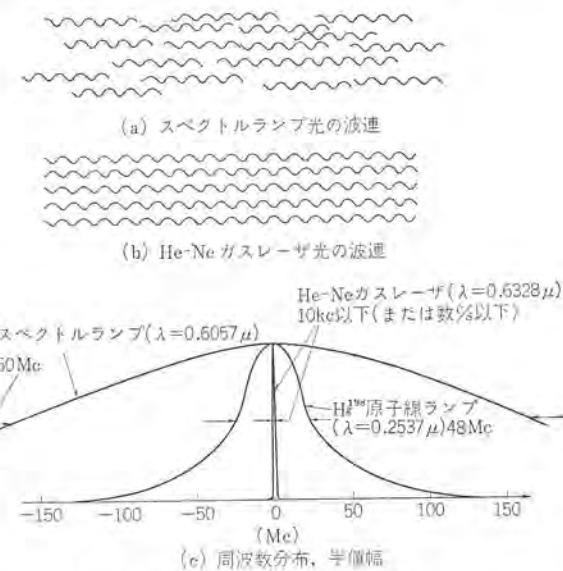


図 2.2 光の波連と周波数分布の関係

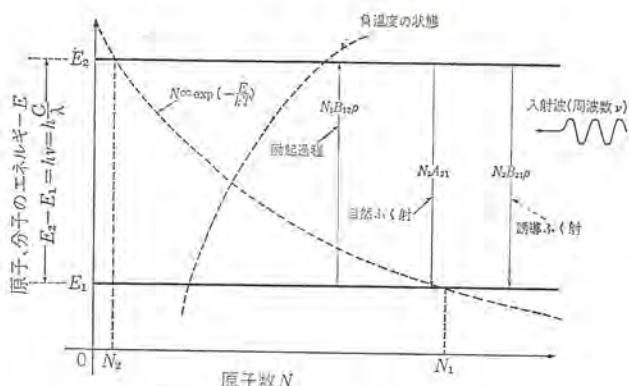


図 2.3 レーザの基礎原理

ふく射、誘導ふく射の確率、 B_{12} は吸収の確率、 $(B_{12}=B_{21})p$ は原子系がさらされている周波数 $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$ のふく射密度で、原子系は考えている状態では E_1, E_2 以外の単位へは遷移しないとする。ふく射を吸収して E_2 へ励起される過程と、 E_2 から自然ふく射・誘導ふく射によって E_1 へ遷移する過程とが、平衡に達していれば次式が成立する。

$$N_2(A_{21} + B_{21}p) = N_1B_{12}p$$

E_1, E_2 間の遷移周波数 ν が大きい（たとえば紫外・可視・近赤外線など）場合は A_{21} が大きく、通常は $N_2 \ll N_1$ であるから左辺は第1項が主になる。すなわち原子はふく射を吸収して E_2 に励起され、平均 $1/A_{21}$ の時間 E_2 にとどまりすぐに自然ふく射によって E_1 へもどる。 ν が小さい場合は $1/A_{21}$ が大きくなり、たとえばマイクロ波では数時間～数日になる。したがって誘導ふく射に対して自然ふく射は無視できる。

メーザ、レーザが誘導ふく射を利用する理由は、誘導されたものとふく射と同じ位相をもつてることによる。したがってあるふく射（たとえば自然ふく射）が誘導ふく射をさそい、それがさらに第2、第3の誘導ふく射をさそって位相のずれないコヒーレントな電磁波が生成される。これが可能なためには原子系から放出されるパワー

$$P = (N_2B_{21}p - N_1B_{12}p)h\nu = (N_2 - N_1)B_{12}ph\nu$$

が正でなければならず、そのためには $N_2 > N_1$ のような逆転分布が必要である。逆転分布を維持しておくためには、誘導ふく射で E_2 から E_1 へ遷移すると同じ時間的割合で、別の経路をへて E_1 から E_2 へ原子を送りこんでやらねばならない。周波数 ν のふく射を外から原子系へ送り込めば、 $B_{21}=B_{12}$ であるから E_2 から E_1 への誘導ふく射も誘起されて、けっこう N_2 を増加させることにならない。したがって別の経路が必要である。

図 2.4 に実際のメーザ、レーザにおける励起法（逆転分布に維持する方法）を示す。（a）（b）のメーザの例では E_0, E_0', E_1, E_2 の間隔はいずれもマイクロ波に相当し、 E_0, E_0' から E_2 への遷移のような“とび越し”も可能であることが要求される。この条件をみたすため物質としてはルビ（ $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}^{3+}$ ）、ルチル（ $\text{TiO}_2 : \text{Cr}^{3+}$ または Fe^{3+} ）などが用いられ数千ガウスの磁場をかけてゼーマン効果により分岐した準位を利用する。前編の“オプティカルパンピング”で説明したボルツマンの法則を用い、たとえば E_0E_1 間が 10 Gc で温度が 300 K（常温）とすると $(N_0 - N_1)/N_0 = 0.0016$ となり、各準位の原子の数にほとんど差がないことがわかる。何かの原因で差ができたとして

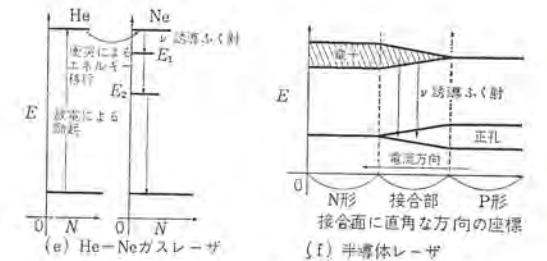
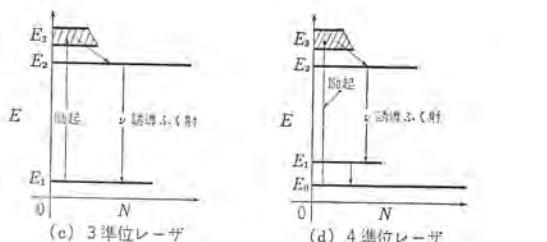
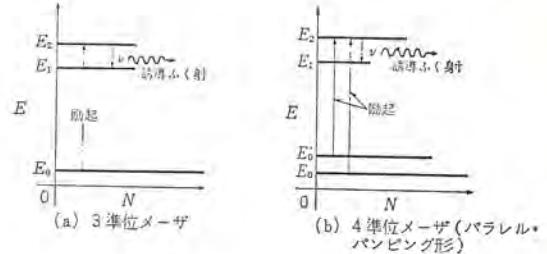


図 2.4 各種メーザ、レーザの励起法

も熱的な緩和（漏えい）によってすぐに差がなくなってしまう。 $N_2 > N_1$ の状態が実現されるためにはもともと $N_1 < N_0, N_1 < N_0'$ (N_0, N_0' は E_0, E_0' の原子数) の状態にあることが必要で、たとえば $N_1 = 0.8 N_0$ を実現するためには温度は 2.5 K と計算される。このような状態で $E_0E_2, E_0'E_2'$ に相当するマイクロ波を印加すると、 N_0 と N_2 または N_0' と N_2 の原子数が平均化され $N_2 > N_1$ の状態が実現する。実際には空どう共振器の中にルビ、ルチル等の動物体質を入れ、磁場をかけて極低温に冷却し、励起用のマイクロ波を印加する。内部で逆転分布 ($N_2 > N_1$) が起こっている空どう共振器に E_1E_2 相当の周波数の電磁波を入れると増幅することができ、最近では宇宙通信・電波天文の分野で実用されている。このほかメーザには気体の分子線・原子線によるマイクロ波の発振器があり、前編で述べたオプティカルパンピングによるものとともに、超高安定期周波数標準として国際的な時間標準に用いられている（相互比較が行なわれている）。

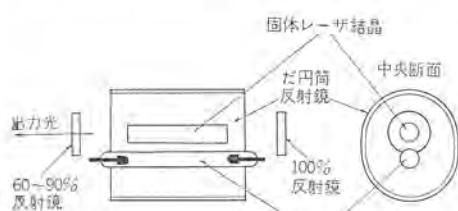
図 2.4 (c)～(f) はレーザの励起方法を示したもので、 E_1E_2 遷移の周波数はメーザの場合にくらべてかなり高い。波長 1μ とすると $\nu = 3 \times 10^{14} \text{ c/s}$ であり、300 K（常温）においては $N_2/N_1 < 10^{-23}$ と計算され、自然の状態では N_2, N_3 などはほとんどゼロに等しく、いったん E_2 に励起された原子は通常（レーザ発振以外）はほとんど自然ふく射によって E_1 へもどる。前述のように自然ふく射はレーザにとっては緩和（漏えい）現象であるから、 E_2E_1 としては禁制遷移のように A_{21} の小さいものをえらぶ。ここで3準位レーザと4準位レーザを比較すると、3準位では E_1 が基底準位（最もエネルギーの低い

$$Re^{L(\alpha-a)}=1, \text{ または } g=a+\frac{\ln R^{-1}}{L}$$

一般に $(g-\alpha)$ は動作物質の濃度が大きいほど大きく、図 2.5 では一般にガス、固体中の遷移元素イオン、半導体の順に濃度が大きいから発振に必要な L は上の順に小さくなる。 L の一例をあげると He-Ne ガスレーザでは $0.1 \sim 3$ m, ルビーレーザでは $1 \sim 30$ cm, GaAs レーザでは $0.1 \sim 1$ mm である。したがってレーザの大きさも例外はあるが一般にこの順に従い、半導体レーザはトランジスタと同じ大きさと考えてよい。ガスレーザでは $(g-\alpha)$ が小さいので、少しでも反射損失を少なくするため、ガスレーザ管の端面を光軸に対してブリュースター角 θ ($n = \tan \theta$, n は端面透過材料の屈折率) をなすようにしてある。このようにすると入射面（この場合紙面）に平行な偏光成分の光の反射損失がゼロになり、レーザ光もこの偏光となる。3 種のレーザの電源の大きさは必ずしもこの順に従わず、固体レーザでは、通常大容量のコンデンサに高電圧で充電してクセノンフラッシュランプを点灯するため相当の大きさになる。通常ガスレーザの電源は高圧の

準位) で N_1 が比較的大きいのに対し、4 準位で E_1 が基底の E_0 から 10^{13} c/s 以上もはなれていれば N_1 は N_0 より 1 けたまたはそれ以上小さい。したがって 4 準位レーザのほうが比較的低い励起入力で容易に逆転分布 ($N_2 > N_1$) を実現できる。前述のようにレーザ周波数 ν の光で励起するわけにはいかないので、さらに高い周波数の光をあてる必要がある。放電の電子衝撃で励起する際にも励起エネルギーは一般にレーザ光のエネルギー $h\nu$ より高く、He-Ne ガスレーザのように原子間の衝突によって間接に励起される過程も少なくない。以上の例では励起エネルギーがレーザ光の $h\nu$ より相当高く、励起方法としても間接的なものが多いが、半導体レーザの場合は、電流を流すことが導電帯に電子を送って直持遷移の EL (エレクトロルミネッセンス) を生じさせることになるから励起効率は非常によい。

レーザで必要なことは、ふく射と原子系が十分相互作用をして次々に誘導ふく射が誘起されることである。図 2.5 に示す 3 種のレーザはすべて一次元共振器の反射面の間に動作原子系がはさまれた構造になっている。反射面の反射率を R 、反射面の間隔を L 、動作物質単位長当たりの利得を g 、損失を α とすると発振条件は



(a) 固体レーザ



(b) 気体レーザ



(c) 半導体レーザ

表 2.1 レーザ一覧

分類	動作物質	濃度圧力	励起方法、入力	発振波長(μ)	発スペクトル幅	温度(°K)	出力	出力光の広がり	共振器長	たてモード数	摘要
固体 レ ザ	ルビー $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}^{3+}$, $6.3 \text{ mm} \phi \times 76 \text{ mm}$	0.05% (mol)	波長 $0.32 \sim 0.44 \mu$, $0.5 \sim 0.6 \mu$, 入力 150 J	0.6943			100~200 mJ				
	$\text{CaWO}_4 : \text{Nd}^{3+}$, $6.3 \text{ mm} \phi \times 76 \text{ mm}$	0.3~2.0% (mol)	タニセイノルン光励起 入力 50 J	波長 $0.57 \sim 0.6 \mu$, $0.7 \sim 0.9 \mu$ 付近で 数本 ~数十本	1.06 1,000 Mc ~100 Gc	300	約 100 mJ	150~200 mm			
	$\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_12 : \text{Nd}^{3+}$, $3 \text{ mm} \phi \times 50 \text{ mm}$	1.5% (mol)									
	バリウムクリップ ウニガラス : Nd^{3+} , $5 \text{ mm} \phi \times 50 \text{ mm}$	1~4% (mol)									
	$\text{CaF}_2 : \text{Dy}^{2+}$, $3 \text{ mm} \phi \times 25 \text{ mm}$	0.02~0.05% (mol)	波長 $0.3 \sim 1.0 \mu$, 入力 50 J	2.36		77	10~20 mJ	25 mm			
	$\text{CaF}_2 : \text{U}^{3+}$, $3 \text{ mm} \phi \times 25 \text{ mm}$	0.1% (mol)	波長 $0.5 \sim 0.6 \mu$, $0.88 \sim 0.92 \mu$, 入力 50 J	2.61		90 以下					
ガス レ ザ	He, Ne (管長 900 mm)	全圧力 0.9 Torr (He, Ne 6:1)	放電による電子衝撃	1.5~1.8 kV 10~40 mA	1.15 約 1,500 Mc 0.6328		最大 20 mW 約 1,500 Mc	3~5 mrad	1 m	10 以下	多モードの発振
	CO_2 , He, Ne	CO_2 0.5 Torr Ne 1.5 Torr He 8.0 Torr		AC 10 kV 90 mA	10.6 約 60 Mc	300	90 W 最大 1 W	2 mrad 3~5 mrad	3 m	4 本のスペクトル線が同時発振	連続発振
	Ar (管長 800 mm)	0.5 Torr		300 V, 5~15 A	0.4545 ~0.5287		約 5,000 Mc		1 m	30 以下	磁場印加
	(シニアレーザ) アセトニトリル	1 Torr		50 kV, 50 mA	337				2 m	1	
半導 体 レ ザ	GaAs		バルス電流	せん頭値 $100 \sim 300 \text{ A}$	0.9	14 Å 以下	300	1~2 W 約 10 ⁹			$\lambda = 1 \mu = 10^4 \text{ Å}$ $n = 4$ $L = 0.1 \text{ cm}$ するとモード間隔は 1.2 Å. EL のスペクトル幅が 50 Å とする と最大 40 くらいありうる
	GaAs			せん頭値 $0.5 \sim 100 \text{ A}$	0.84	0.001 Å 以下	4	10 W 約 10 ⁹			バルス幅 $1 \mu \text{s}$ で くり返し 1 kc の出力
	GaAsP			せん頭値 $90 \sim 100 \text{ A}$	0.655 ~0.84	0.01 Å 以下	77	0.1 W 約 15 ⁹	0.1~1 mm		バルス幅 $1 \mu \text{s}$ で くり返し 100 c/s の出力
	InAs			せん頭値 $40 \sim 150 \text{ A}$	3.15	1~100 Å	77	0.05 W 約 15 ⁹			バルス幅最小 2 ns で くり返し 1 kc の出力
	InSb			せん頭値 $30 \sim 200 \text{ A}$	5.2	10~200 Å	30	0.02 W 約 5 ⁹			バルス幅 100 ns で くり返し 2 kc の出力

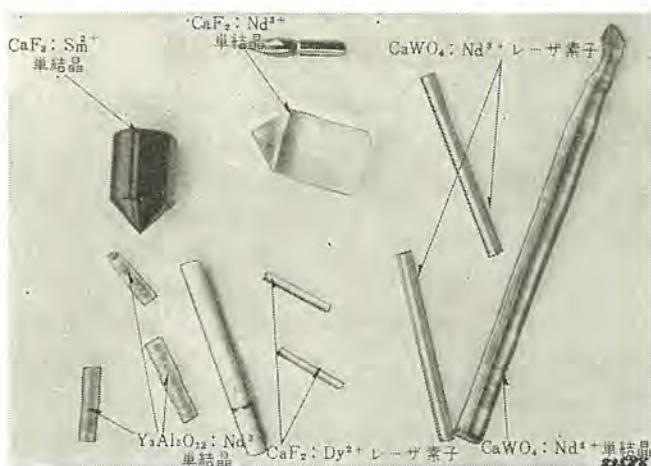
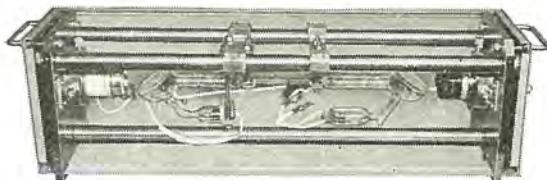
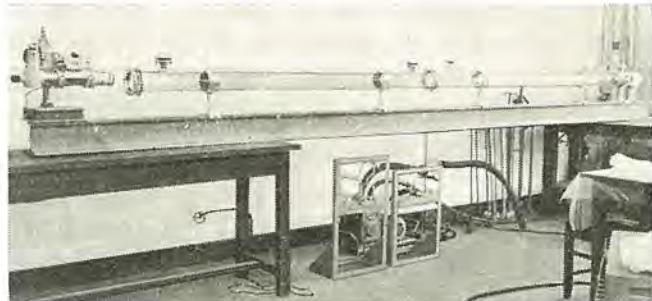


図 2.6 各種レーザ結晶(三菱電機中央研究所)



(a) He-Neガスレーザ



(b) CN基ガスレーザ

図 2.7 各種ガスレーザ(三菱電機中央研究所)

直流電源、半導体レーザの電源は大電流のパルス発振器である。

現在までに報告されているレーザは固体数十種、ガス数百種、半導体約10種にのぼるが、重要と考えられるもの少数を抜き出して表2.1に示した。応用上表2.1のもので波長・出力その他の必要がみたされない場合は参考文献(1)を参照されたい。表中に記した特性は標準的なもので、実際には大小さまざまである。たとえばガラスレーザで直径6cm、長さ1mの素子により1パルス1,000Jの出力の出るものもあり、CO₂ガスレーザで60mという長いレーザ管により出力が20~30kWも出るようなものもある。

固体レーザの場合にはレーザ発振器の特性を左右するものは第一にレーザ結晶の品質である。活性イオンの濃度が適当であることはいうまでもないが、完全な単結晶で脈理のないこと、あわ、不純物等を含まないこと、結晶軸が適当な向きにとられていること、両端面の平面度、平行度がよいことなどが必要条件である。結晶製作の専門家はペルスイ法(ルビー)、チョコラルスキー法(CaWO₄; Nd³⁺)、ブリッジマン法(Y₃Al₅O₁₂; Nd³⁺)など種々その方法を駆使して良質の結晶をうることに努力している。価格も比較的高価で最低数万円からルビー、Y₃Al₅O₁₂; Nd³⁺などでは大きなもの、品質のとくによいもの

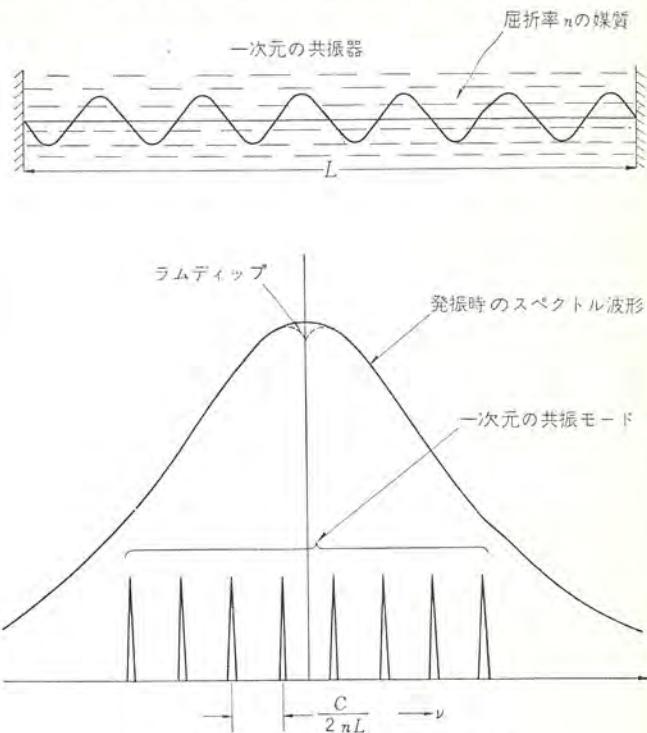


図 2.8 レーザ発振時の共振モード

で50万円をこす場合もある。

ガスレーザの場合特性上重要なのはレーザ管製作技術である。レーザ動作に最適のガス組成、管径になっていっていることはいうまでもないが、前述のように共振器内部の損失を極度に小さくする必要があり、このためブリュスター角窓板は光の散乱の原因になる不純物が混入しておらず、平面度がよく、製作時のじんあいの内面付着、電極からのスパッタ等を十分防止しなければならない。

レーザの共振器は光軸方向の一次元共振器と考えてよい(厳密には光軸と直角方向のモードも考える必要がある)。共振器の長さをL、内部の媒質の屈折率をn、レーザ光の波長をλとするとき共振条件は

$$m\lambda = 2nL, \text{ または } \nu = m \cdot \frac{C}{2nL}$$

ここでCは光の速度、mは整数であるが一般にレーザではm>>1である。したがって共振モードの周波数間隔はC/2nLとなり、図2.8に示すように発振時のスペクトル波形(上下のエネルギー準位幅、発振出力によっててきまる。)の中央部に含まれるとびとびの共振モードで同時にレーザ発振が起こる。He-Neガスレーザの例では、L=100cm、n=1とすると周波数間隔150Mcおきに数か所の発振が共存している。ここで前述の図2.1(b)の説明を補足すると、マイケルソン干渉計の光源にこのような数個のモードの共存したレーザを用いるとモード間の干渉により干涉波形にうなりを生じ、光路差(l₁-l₂)が1m変わることで干涉波形の振幅がゼロになる。これを防ぐためL=10cm程度のガスレーザを用いてモード間隔をひろげるとともに、発振スペクトルのピーク付近にあるラムディップを利用して、周波数を安定化したものを利用すれば長さの精密測定が支障なく行なえる。

半導体レーザの場合にも共振モードの共存が認められる。表2.1に示した例ではモード間隔が1.2Å、スペクトル半値幅が50Åとすると40位のモードが共存しうる。励起電流が比較的低いとき、数十の

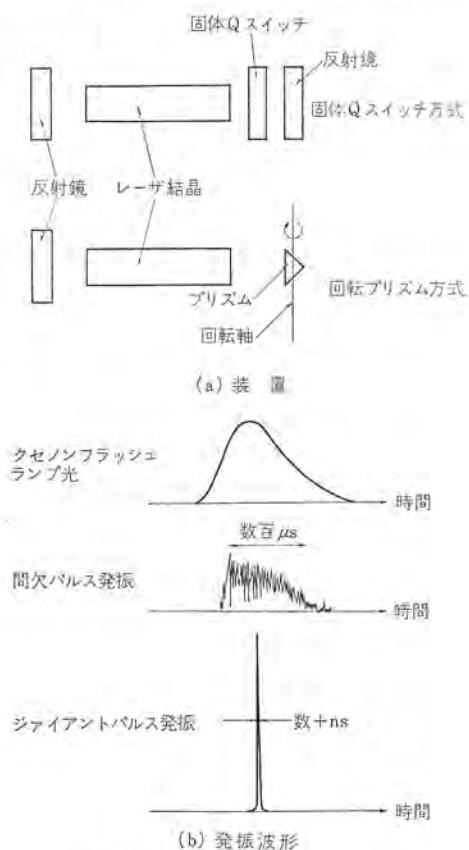


図 2.9 ジャイアントパルスレーザ

モードが共存することが実際に分光器でたしかめられている。電流を大きくしてゆくと発振出力の増加により発振スペクトル幅が小さくなる（雑音が一定ならばスペクトル幅は発振出力に反比例する）ため、中央の1, 2のモードのみに集中して発振するようになる。

とくに固体レーザに関連した重要な技術としてジャイアントパルスレーザがある。ガスレーザについても可能であるが、固体レーザの間欠パルス発振をピーク値が高く、幅のせまい単一パルスにまとめて発振させることができ、このため固体レーザの利用価値は非常に高まった。後に述べる測距装置、レーザ、レーダのような応用面を開拓したほか、 $10^8\sim10^9\text{ W}$ というような今までにない高いふく射エネルギーの光が実現されたために、いわゆる高次のふく射過程が問題となり非線形光学が生まれた。弱い電磁波と物質の相互作用は線形的（分極が電場に比例する）で光のてい倍、パラメトリック発振などはほとんど考えられなかつたが、ジャイアントパルスレーザ光によって実際に行なわれるようになった。

図 2.9 によってジャイアントパルスレーザの動作原理を説明する。光励起によって生じる逆転分布を一定時間発振を抑制することによって十分成長させ、抑制を取り除くと単一のジャイアントパルスを生じる。発振抑制の具体的手段としてはフォトクロミックな物質（光が弱いときは不透明で強いときは透明なもの）のそう入とか、反射鏡の代わりにプリズムを回転する方法が用いられる。フォトクロミックな物質をプラスチックスに拡散した板状の固体 Q スイッチは出力 10^7 W くらいまでの動作では寿命も永く、とくに測距装置などのような可搬式の装置には非常に便利である（三菱電機鎌倉製作所にて製作）。

3. レーザの応用上重要な事項

レーザを応用するにはまずその特長を理解することが重要であるとの立場から、レーザの特長を次のようにまとめた。

（本質的な特長）

コヒーレントな電磁波である。

完全な平面波、球面波に近い。

（現象的な特長）

- (1) 可干涉距離が長い。
- (2) スペクトル純度が高い。
- (3) 光束の発散が少ない。
- (4) 光学系で收れん（収）させると高いふく射密度が得られる。
- (5) 非常にエネルギーが高く時間幅の短い光パルスが得られる。

電磁波に固有な回折現象は昔からよく知られており、レーザ光でも回折による限界をまぬがれるわけにはいかない。図 3.1 に示すように、直径 D の円形開口からの光は完全な平面波の場合、半頂角が $1.2\lambda/D$ 程度の発散を示す。したがって遠方へレーザ光を送る場合は、(b) のように光束の直径を大きくすることが必要となる。またレンズで光を收れんする場合も光のスポットの径は $2.4\lambda \cdot f/D$ 以下にはならない。実際には (b), (c) の場合ともレンズの収差、レーザ光の不完全さによって制限されるのが実状である。(b) の場合、He-Ne ガスレーザで発散の角度を 10^{-5} rad 以下にするのはかなり困難である。また (c) の一例として、 $\lambda=0.6328\text{ μ}$, $f/D=3$ の場合最小スポット径は 4 μ 弱と計算できるが、実際には 10 μ 以下にすることは困難である。

レーザの応用上光学材料の透過波長特性が重要であるので表 3.1 に掲げた。さらに詳細な内容は参考文献 (2) を参照されたい。またレーザ光の大気中または水中伝送を利用するものが多いので、図 3.2 に大気・水による吸収の特性を示した⁽³⁾。

レーザ光を変調して信号を伝送する必要があることも多いので、レーザ光の変調方法について述べる。最も簡単な方法としては励起電

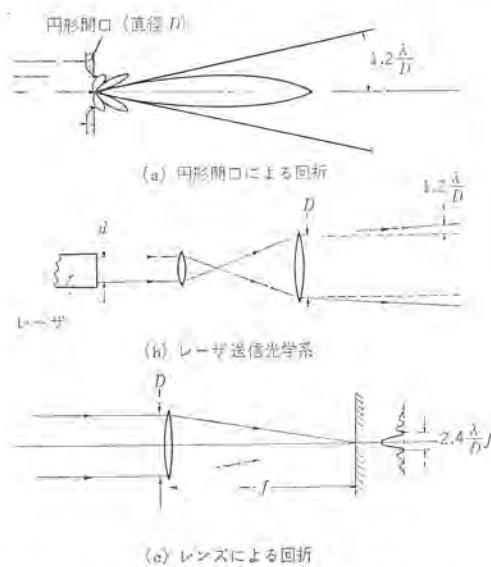
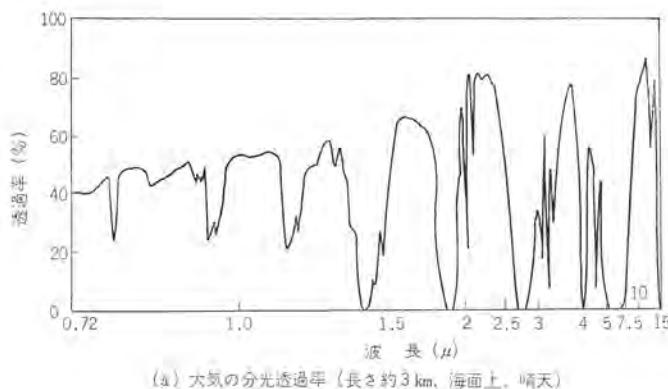


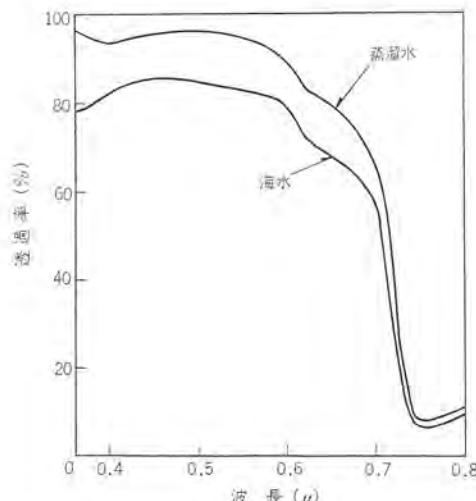
図 3.1 電磁波の回折

表 3.1 レーザと関係のある光学材料一覧

光学材料	厚さ(mm)	透過波長範囲(μ)	(%)透過率	摘要
水晶	1	0.23(60)	2.75(60)	
溶融石英	10	0.2(60)	3.5(60)	
LiF	30	0.12	5.7(60)	
Si	5	1.2(20)	(60) 10(46)	25°C
Ge	2	2(40)	(50~40) 22(20)	30Ωcm
KRS-5	4	0.6(20)	(60) 37(40)	
GaF ₆	10	0.15	8(60)	
KCl	10	0.21	19(60)	やや潮解性
ガラス(BK7)	2	0.29(60)	2.7(60)	
ガラス(BaK4)	2	0.32(60)	2.8(60)	
ガラス(SF4)	2	0.35(60)	2.8(60)	ただし 3.5~4.5μ で 約40%透過
ポリメチルメタ アクリレート (ブレシグラス)	3.2	0.3(60)	2.1(40)	1.2μ, 1.4μ, 1.7μ, 1.9μ に吸収あり



(a) 大気の分光透過率(長さ約3km、海面上、晴天)



(b) 水の分光透過率(長さ1m)

図 3.2 大気、水による吸収

源に変調波を重畳する方法である。He-Neガスレーザではこの方法により 100kc までは変調できることが報告されている。また半導体レーザではこの方法が最も有効で、GaAs の場合 100~1,000 Mc まで変調可能で、比較的近距離のビデオ伝送、簡易通信コマンドの伝送、秘話通信などに利用される。ガスレーザ光に MF、HF、VHF の変調を行なうような場合には、別に光の変調器が必要である。このような変調器には KDP(KH₂PO₄)、ADP(NH₄H₂PO₄)、CuCl、LiNbO₃、

LTN (KTa_{0.65} Nb_{0.35} O₃) などの電気光学係数の大きな結晶が用いられ、ポッケルス効果による振幅変調器、マイクロ波の共振器形変調器、進行波形変調器などが報告されている⁽⁴⁾。

4. レーザの応用

筆者はレーザの応用について相談を受けることがある、そのときは必ず次の質問を向けることにしている。「なぜレーザを使いたいのですが、ほかの手段ではどういうところがむずかしいのですか。それはレーザよりもっと簡単なふれた手段によってできませんか。レーザのどういうところを利用したいのですか。コストの点はどうなのですか?」その結果大部分の場合はそれにレーザを応用するという考えが雲散霧消してしまう。ほんの一部が将来レーザの性能が改善されたら、レーザのコストが下ったら、一般的な技術水準が向上したら等々の仮定のもとに可能性を考えられる。本格的な多重通信へのレーザの応用もおそらくこれに属するであろう。あらゆる角度から検討して、たしかにレーザを応用することによるメリットが明確であるという場合は非常に少ない。しかもわれわれがこのような応用を見出したとしても、それが企業化されて製品化が成功するまでは幾多の危険が待ち受けていて、必ずしも努力が報いられるとは限らない。ここに企業の新技術開発に対する態度のきびしさを要求される理由があり、「企業では pay するもののみが技術である」とことを認めないわけにはいかない。

最近企業間で新技術を誇示して企業イメージの PR を行なう傾向が見られる。見本市・展覧会などにレーザを持ち出して珍しいディスプレーを行なうなどはその例である。このことは本講座のテーマとは何の関係もないが、とくに強調したいことは広く新技術を一応マスターしておくことと、「pay する技術」を開発することとはまったく別だということである。「pay する技術」への道はじみで遠く、しかも危険に満ちているがわれわれはあえて歩まねばならない。レーザの寿命、再現性などは大学の研究室では第一の関心事ではない場合が多いが、企業では製品化の第一の前提である。企業における製品化の前提にもいろいろあり、その企業の技術的・営業的・経済的な特殊性、特許保有の状況等がすべて問題となる。とくにレーザの場合、基本特許の大部分はアメリカが保有しているので、企業としては実用装置に関する有力な特許を保有することが第一の前提条件となる。

レーザ応用の実例として以下に 8 例をあげるが、これらはいずれもレーザによるメリットが明確なものである。以下順を追って説明した。

前述のように図 2.1 の装置の光源に单一モードの波長安定化ガスレーザを用いると、精密工作機械の位置決め、精密寸法検査などが可能である。室内で 5m の距離を $\pm 1\mu$ の精度で測定することは容易である。また干渉波形の周波数を正確に測定することにより、機械的な送り速度の検出、送り速度のむらの測定なども可能である。

図 4.1 に筆者の考案したレーザ検出部による無接触ならい計測装置⁽⁵⁾を示す。機械的な触針を利用するならい装置、表面あらさ計などがあるが、高い精度を得るために触針の先端の直径をかりに 10μ とすると、接触全圧力を 1g にしてもその圧力の強さは数百 kg/

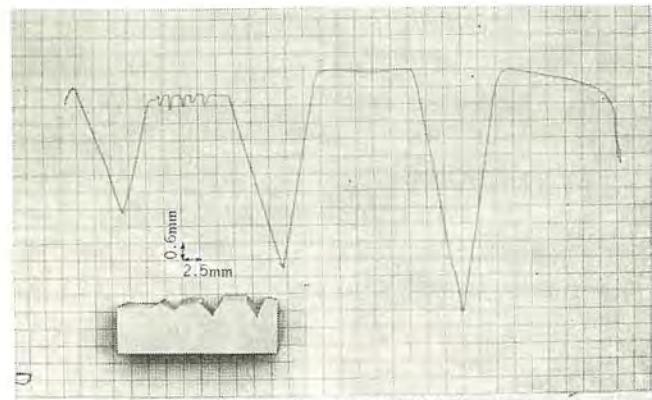
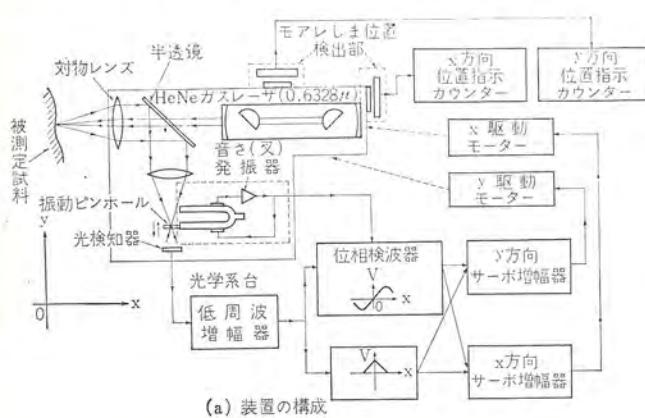


図 4.1 レーザを応用した無接触ならい計測装置
(三菱電機中央研究所, 鎌倉製作所)

cm^2 になり, かなりかたい材料でも表面を傷付けたり, ひっかかりを生じたりする。したがってレーザ光束が触針の代わりになる無接触ならい計測装置は精度の高さ, 測定能率のよさ(測定時間が短縮される)というメリットがあり応用面が広い。自動車のクレーモデルの形状計測金型, 精密部品の形状表面あらさの検査などのほか, たとえば旋盤などで加工しながら寸法を測定し, 指定寸法まで加工するのに機械を止めずに行なうなど種々の応用が予想される。

タンタル, モリブデン, ウォルfram, ダイアモンドなど超硬, 高融点物質の溶接, 穴あけ, 微小部品の加工などに固体レーザ光が有効であることは知られている。これは固体レーザによれば直径 $10\ \mu$ 程度のところに $1\ \text{ms}$ 以内に数~数十 J のエネルギーを注入することができるからである。図 4.2 (a) の装置は被加工物の表面に常にレーザ光が收れんするような自動制御系(前述のならいに用いたレーザ検出系を含む)を結合して加工の高能率化をはかったものである。 CO_2 ガスレーザの出力はかなり大きいものであるが, その出力は連続的であるため固体レーザのように短時間にエネルギーを注入するわけには行かない。このため金属などの表面では反射されて加工の能率は悪いが硬質ガラス・石英などの加工には適している。図 4.2 (b) は出力 $100\ \text{W}$ に近い CO_2 ガスレーザの光をおう(凹)面鏡で收れんして石英管を加工しているところである。

前に述べたようにジャイアントパルスレーザは測距装置, レーザ, レーダへの応用に適している。図 4.3 はルビのジャイアントパルスレーザを利用した可搬式の測距装置である。ジャイアントパルス光を発射すると同時に, ゲートを開いて $30\ \text{Mc}$ クロックパルスの計数を開始し, 目標物に光があ

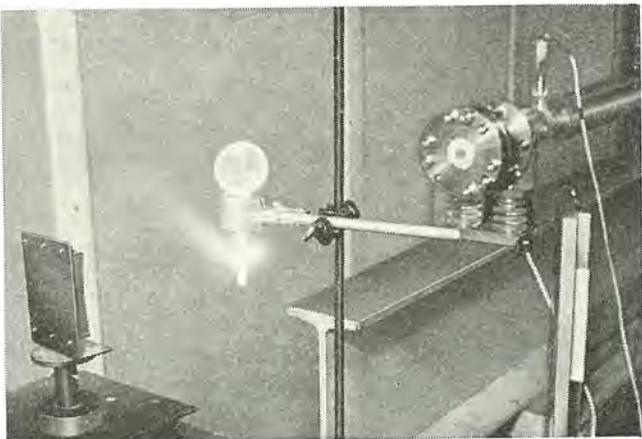
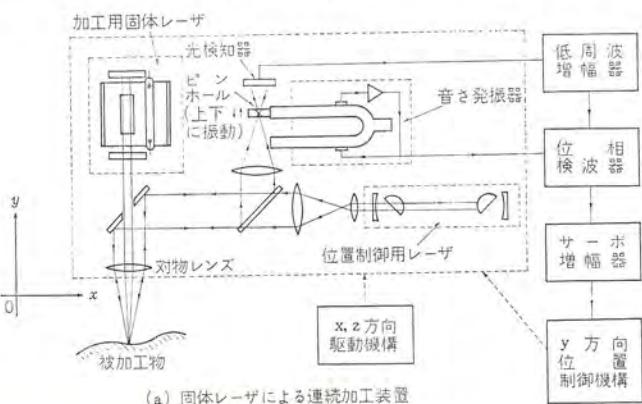


図 4.2 レーザを応用した加工装置(三菱電機中央研究所)



図 4.3 ジャイアントパルスレーザを応用した測距装置
(三菱電機鎌倉製作所)

たって反射波がかえってきたとき, ゲートを閉じその間の計数値(光の往復時間に比例)によって距離を知るものである。ピーカ出力数 MW のジャイアントパルスを用い, $150\ \text{m} \sim 10\ \text{km}$ の距離を $\pm 5\ \text{m}$ の分

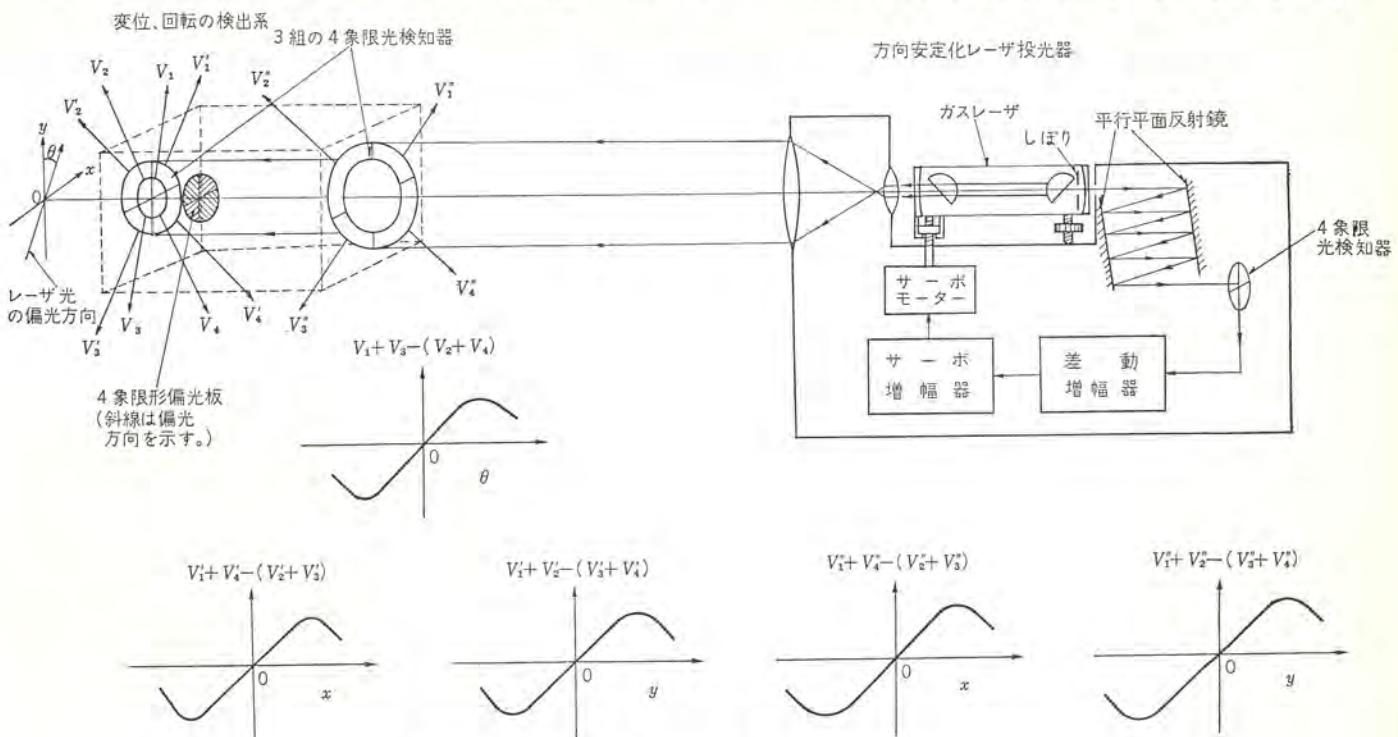


図 4.4 レーザを応用したアライナー（三菱電機中央研究所）

解能で測定できる⁽⁶⁾。

He-Ne ガスレーザはとくに光束の発散が少ないのでアライナーとして用いられる。図 4.4 に筆者の考案した一方式を示す。球面反射鏡を用いたガスレーザは光束の方向が時間とともにずれることがありうるので、これを自動的に補償する機構を附加してある。レーザ共振器の中にしづりを設け、一方の光束を平行平面鏡間で多重反射させたあと 4 象限光検知器にあてる。レーザ光束の方向が変わると多重反射でスポットの変位が増幅され、上下左右の変位は 4 象限光検知器の 2 組の差動出力に変換され、サーボモーターを駆動する。ガスレーザのケースは、しづりの穴を中心として 2 個のサーボモーターで上下左右に駆動されるので、投光器から射出されるガスレーザ光束を一定の方向に維持することができる。この光束を基準線とし、変位・回転を検出する検出系は 3 組の 4 象限光検知器と 1 組の 4 象限形偏光板を組合せたもので、回転角の基準はガスレーザの偏光面である。合計 12 個の光検知器の出力を組合せて図の 5 とおりの合成出力をとり、それらを全部ゼロにするように制御すれば検出系のたてゆれ、よこゆれ、だ（蛇）行、基準線のまわりの回転をなくすることができる。応用面としてはトンネル掘さく機、航空機、船舶の誘導、土木建設工事の基準線等が考えられる。

ガスレーザを数個 リング状に並べ、光束が多角形をなして一巡するような装置を通称 リングレーザと呼んでいる。図 4.5 はその一例で右回り左回りの光のビート周波数が回転速度に比例する。また光路の一部に沿って気体を流すとその速度はやはりビート周波数に比例する。非常におそい流速および回転速度の絶対測定が高い精度で行なえるのが利点である⁽⁷⁾。

He-Ne ガスレーザの 0.6328μ の赤い光を拡散反射面にあてて反射光をスクリーン上で見ると、干渉によって生じた不規則な粒状の模様が見られる。拡散面が一方向に移動するとこの模様も移動するが、

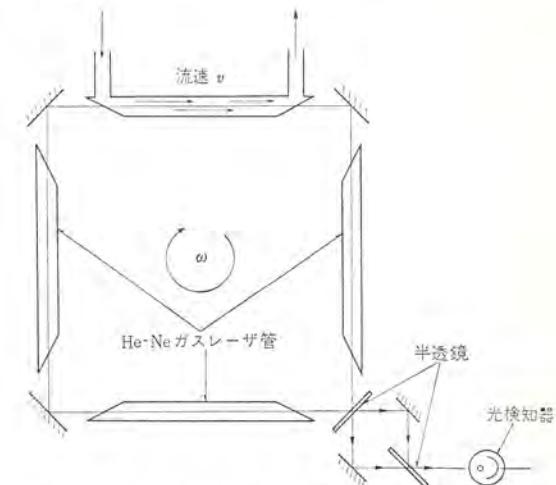


図 4.5 レーザを応用した回転、流速の絶対測定法

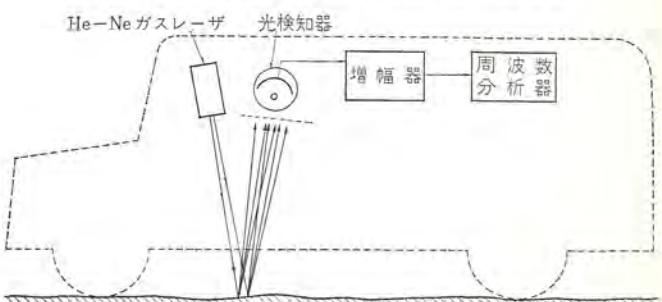


図 4.6 レーザを応用した速度計

これはもちろんレーザ光に共通した現象である。図 4.6 のように反射光を適当な間隔の格子を通して光検知器に入れると、拡散面の移動速度に比例した周波数の成分が得られ、たとえば自動車・電車などで対地速度を非常に正確に検出できる⁽⁸⁾。

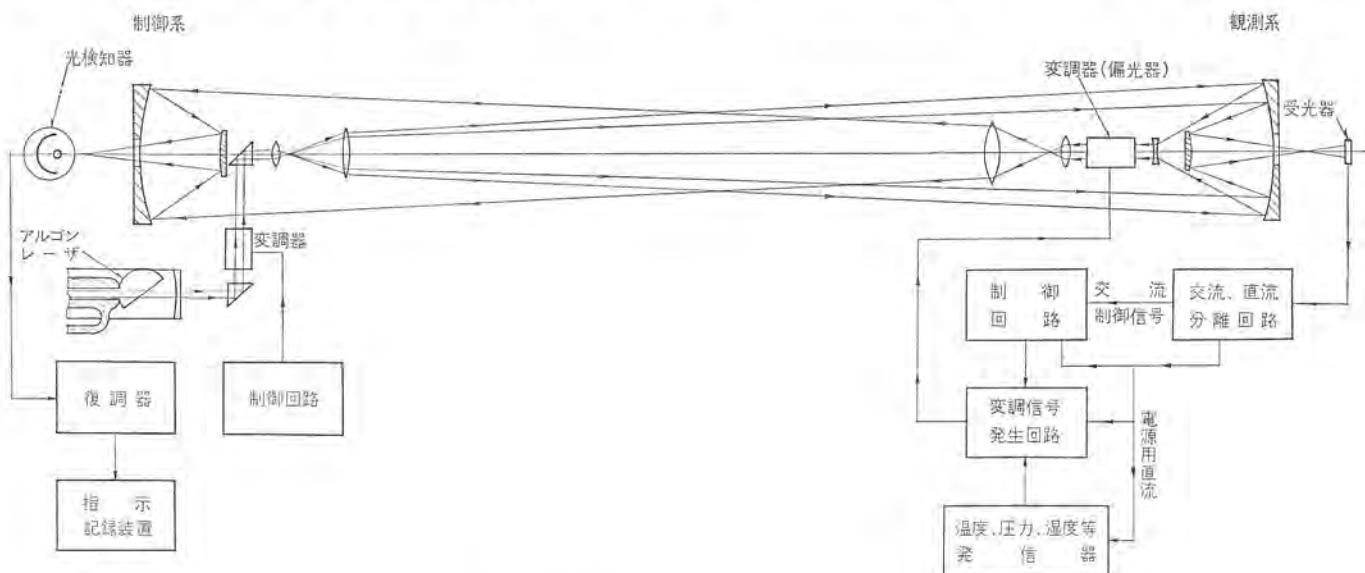


図 4.7 電力、信号の同時伝送系の一例 (三菱電機中央研究所)

Ar, CO₂ガスレーザのようにかなり高い連続出力が得られるものが出現すると、信号ばかりでなく電力の伝送も実現の可能性が出てくる。図 4.7 は遠方の離島、高い山の頂上などに設置された無人の観測所を遠隔的に操作し、観測データをうるシステムの一例である。レーザとしては光電変換効率の高い波長をもつアルゴンレーザを用い、この光によって観測系の電力を供給するとともに、観測スケジュールの制御信号を送る。観測系ではこの光の大部分を受光器に入れて交流・直流の分離を行ない、直流は各回路の電源用に、交流は観測動作の制御にそれぞれ用いる。観測データは変調器に加えられ、光の一部はそのまま観測データによる変調信号をのせて送り返される。観測系の変調器としては、大きな電力を必要とする前節の変調器よりもむしろ、電流計の指針の代わりに偏光板を回転させるような単純なものほうが実用的であろうし、制御系側の変調器もレーザ電源を変調する方式で十分であろう。

5. む す び

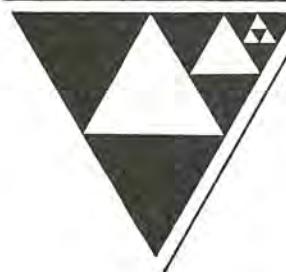
応用の立場から説明を行なったが、メーザについては原理のあらすじを示したにとどまり、ほとんどはレーザの応用であった。これはメーザの用途がかなり特殊なものに限られているのに対し、レーザはそれ自身の種類もきわめて多く、応用も非常に広範囲にわたっていることによる。レーザの応用として発表されているものは非常に多く、ここに説明されていないものが重要でないというわけでもない。専門外の技術者に必要最低限の知識を供給してどしどし応用してもらおうという意図があるが、説明のつどうで省略されたものも多い。この点、後に続く 2 編で大いに補足したいと念じている。

参 考 文 献

- (1) 日本物理学会編、量子エレクトロニクス、朝倉書店(昭 40 年版)
H. A. Elion : *Laser Systems & Applications*, Pergamon Press, Oxford. (1967)
- (2) Landolt-Börnstein : *Eigenschaften der Materie in ihren Aggregatzuständen*, 8 Teil, *Optische Konstanten*, Springer-Verlag, Berlin (1962)
William Elmer Forsythe : *Smithsonian Physical Tables*, Smithsonian Institution, City of Washington (1954)
- (3) Howard J. Okoomian : *Appl. Optics*, 5, 1,441 (1966)
S. E. Miller and L. C. Tillotson : *Appl. Optics*, 5, 1,538 (1966)
G. L. Clarke and H. R. James : *JOSA*, 29, 2 (1939)
- (4) M. Dore : *IEEE Jour. QE*, QE-3, 555 (1967)
C. J. Peters : *Proc. IEEE*, 53, 455 (1965)
I. P. Kaminov and E. H. Turner : *Appl. Optics*, 5, 1,612 (1966)
- (5) S. Ando et al. : *Appl. Optics*, 5, 1,961 (1966)
S. Ando et al. : *IEEE Jour. QE*, QE-3, 576 (1967)
- (6) 田村ほか : 三菱電機技報, 40, 1,765 (昭 41)
- (7) W. M. Macek and D. T. M. Davis : *Sperry Report*, No. AB-1108-0016-1 (Sept., 1963)
A. H. Rosenthal : *JOSA*, 52, 1,143 (1962)
- (8) R. A. Flower : *Proceedings of 1965 National Aerospace Electronics Conference*, Dayton, Ohio

==== 最近登録された当社の特許 =====

名 称	登録日	特許番号	発明者	関係場所
磁心 アナログ 記憶装置	42- 9- 6	500650	阪尾正義	鎌倉製作所
無端 ベルト	42- 9-18	501169	宇川 彰・今村 元 伊藤公男・阿部安雄	中央研究所
避雷装置	42- 9-30	501982	新田東平・川根 清 山田直也	中央研究所
光 ドップラーレーダ	42- 9-30	501970	喜連川 隆・伊東克能	中央研究所
往復型圧縮機	42- 9-30	501976	高田 宏	静岡製作所
直流出力電圧調整装置	42- 9-30	501969	佐野喜之助	伊丹製作所
2進符号化 10進数の直列加(減)算回路	42- 9-30	501971	倉橋浩一郎	中央研究所
チャンネル 切換装置	42- 9-30	501972	村山 昇・関沢英男	通信機製作所
圧力測定装置	42- 9-30	501973	吉山裕二・前川善六 野田昌宏	中央研究所
立体 レーダ 装置	42- 9-30	501974	渡辺 優・山内信治	通信機製作所
リアクタンス 繼電装置	42- 9-30	501975	三上一郎	神戸製作所
電動機	42- 9-30	501977	水田和幸	姫路製作所
荷電粒子集束装置	42- 9-30	501978	柳沢 武	中央研究所
車両用直流発電装置	42- 9-30	501979	石橋光雄	姫路製作所
電解積分器	42- 9-30	501980	松岡宏昌	中央研究所
冷却装置付 ターゲット	42- 9-30	501981	藤永 敦・柳沢 武	中央研究所
電気毛布の保護装置	42-10- 6	502281	小原英一・中村新一 中村富家	商品研究所 (群馬製作所)
型彫り方法	42-10- 6	502332	津枝正介・斎藤長男	名古屋製作所
直流出力電圧調整装置	42-10- 6	502348	佐野善之助	伊丹製作所
線形 イオン 加速器用加速空洞体	42-10-13	502722	中田省三・永井昭夫 藤田彪太	中央研究所
溶接機用自動電擊防止装置	42-10-13	502867	吉田太郎・宮 幸助	名古屋製作所
燃料電池の電極の製造方法	42-10-13	502868	泰卓也・松岡宏昌	中央研究所
溶接機用自動半自動共用電擊防止装置	42-10-13	502869	吉田太郎・宮 幸助	名古屋製作所
溶接機用半自動電擊防止装置	42-10-13	502870	吉田太郎・宮 幸助	名古屋製作所
保護継電装置	42-10-25	503542	北浦孝一	神戸製作所
パイロット 繼電装置	42-10-25	503543	亀川 勇	神戸製作所
搬送保護継電装置	42-10-25	503544	北浦孝一	神戸製作所
電気車制御方式	42-10-25	503545	久山研一	伊丹製作所
揚水発電所の低周波同期起動装置	42-10-25	503546	石井清隆・安藤錠治	神戸製作所
揚水発電所のポンプ 起動法	42-10-25	503547	横田 浩	神戸製作所
線形 イオン 加速器用加速空洞体壁の冷却方法	42-10-25	503311	大槻敏弘・藤田彪太	中央研究所
線形 イオン 加速器用筒電極の製造法	42-10-25	503312	永井昭夫・藤田彪太	中央研究所
線形 イオン 加速器用円筒電極	42-10-25	503313	上田和宏・藤田彪太	中央研究所
洪水計算用 アナログ 計算機	42-10-25	503157	桑田 博	鎌倉製作所
除鉄装置	42-11- 8	504354	諫訪 寧・加藤康夫 (柳下儀兵衛)	大船製作所
高速道路 インターチェンジ 部分での信号方式	42-11-17	504834	森川 洋	通信機製作所
電圧降下補償器	42-11-17	504944	森 健	神戸製作所
電気機器巻線の製造方法	42-11-22	505194	蓬来 勝・野崎恵章	神戸製作所
電力用しゃ断器	42-12-11	506152	亀山三平・伊藤利朗 大倉敏幹	伊丹製作所
噛合い クラッチ 同期検出装置	42-12-11	506153	浅野哲正	姫路製作所
磁化器	42-12-11	506154	浅見辰巳・八代睦穂	中央研究所
エレベータ 制御装置	42-12-11	506155	宮城 晃・高村 明 安西伸夫	稻沢製作所
長短 パルス 荷号の受信装置	42-12-11	506156	今泉 異	通信機製作所
電波方向探知装置	42-12-11	506157	渡辺 優・山内信治	通信機製作所
電波による速度測定法	42-12-11	506161	佐藤一成・菅野 勉	鎌倉製作所
放電灯用顔料層形成方法	42-12-15	506735	大田重吉	大船製作所
電圧比較回路	42-12-15	506739	桑田 博	鎌倉製作所
機関点火用信号発生装置	42-12-15	506736	浅山嘉明	姫路製作所
点火信号発電装置	42-12-15	506737	浅山嘉明	姫路製作所
通電装置	42-12-15	506738	五十嵐睦男	伊丹製作所



新製品紹介

新形エポキシレジンモールド計器用変成器Kシリーズ発売

このほど当社では6kV盤用計器用変成器PD-50K形・PD-50KF形計器用変圧器およびCD-40K形変流器を完成した。

当社ではこれをKシリーズと呼んでいるが、このKシリーズは小形軽量・価格低廉・取付簡単の三つの目標をもって開発しており、各方面からの好評をうるものと確信している。

■特長

(1) すぐれた絶縁信頼性

エポキシレジンによりモールドしているので、高度な絶縁信頼性すなわち機械的・電気的諸特性がすぐれており、また耐薬品性も良好である。

(2) 小形軽量

CD-40K形変流器は、磁気特性の良好な方向性けい素鋼帯によるカットコアを使用しており、またPD-50KF形ヒューズ付計器用変圧器は、ヒューズ台をエポキシレジンにして一体化しているので、大幅に小形軽量化に成功した。

(3) 計量法普通検定の受検が可能

受検可能な使用負担範囲は、PTが5~15VA、CTが5~10VAである。(ただしその力率はPTが約0.2、CTが約0.8)

(4) 価格低廉

(5) 配線作業が簡単

CD-40K形変流器の仕様および定格

形名	仕様							定価 円
	変成比(A)	定格 負担 VA	階級 級	周波数 c/s	最高 電圧 V	絶縁 階級	過電流 度	
CD-40K	100/5Aまで	40	1.0M	50/60	6,900	6号A	40	3.3 5,700
	200/5Aまで							3.5 6,100
	400/5Aまで							3.5 6,400
	600/5Aまで							3.5 6,800



図1 PD-50KF形計器用変圧器
一次ヒューズ付



図2 PD-50K形計器用変圧器



図3 CD-40K形変流器
〔福山製作所〕

従来のPD-50K形、CD-40形を次のように変更した。

(a) PD-50KF形ヒューズ付PTの場合、一次端子UVの相互の位置を下図のように変更したので、V結線の場合など結線が容易になった。

(b) CD-40K形CTの場合、一次端子の位置は両サイドにあり、また方向はストレートになっているので配線作業が容易である。

■仕様と定格

CD-40K形変流器

(a) 40VAを標準とするが15VA、25VAも製作している。その場合形名はCD-15K(15VA)およびCD-25K(25VA)となる。

(b) 電気計器検定所で受検可能で検定品として使用できる。

(c) 750/5A以上の定格については、従来のCD-40形(40VA)およびCD-15K(15VA)で注文を受ける。

PD-50K・PD-50KF形計器用変圧器

(a) 50VAを標準とするが15VA、25VAも製作している。その場合形名はPD-15K、PD-15KF(15VA)およびPD-25K、PD-25KF(25VA)である。

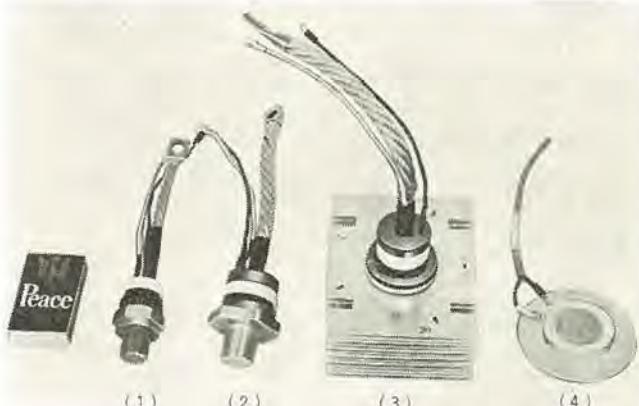
(b) 電気計器検定所で受検可能で検定品として使用できる。

PD-50K形、PD-50KF形計器用変圧器の仕様および定価

形名	仕様							備考	定価 円
	変成比V	定格 負担 VA	階級 級	周波数 c/s	絶縁階級	重量 kg			
PD-50K	3,300/110	50	1.0M	50/60	3号A	7.6	—	9,200	
PD-50K	6,600/110	—	—	—	6号A	7.6	—	9,900	
PD-50KF	3,300/110	50	1.0M	50/60	3号A	8.2	一次ヒューズ付	9,800	
PD-50KF	6,600/110	—	—	—	6号A	8.5	一次ヒューズ付	10,600	

三菱インバータ用大電力サイリスタ

インバータ用、チョッパ用 サイリスタとしてすぐれた、スイッチング特性を有する一連のインバータ用大電力サイリスタが開発され、量産にはいった。電流容量は 100 A から 400 A まであり、ターンオフ時間によって、Wシリーズ（ターンオフ時間 50 μ s 以下、順阻止および逆耐電圧 100～1,200 V）、Xシリーズ（ターンオフ時間 30 μ s 以下、順阻止および逆耐電圧 100～1,000 V）、Yシリーズ（ターンオフ時間 15 μ s 以下、順阻止および逆耐電圧 100～600 V）にわかれている。このうち Yシリーズは、大電力用サイリスタとしてはかつてみられない短かいターンオフ時間に有している。また、いずれも全接合を拡散法によって形成した全拡散形サイリスタであり、当社独特のセーターポート構造とあいまって、 $dV/dt \geq 100 \text{ V}/\mu\text{s}$ ($T_j = 125^\circ\text{C}$)、 $di/dt > 100 \text{ A}/\mu\text{s}$ (FT 500 AWのみ $dV/dt \geq 200 \text{ V}/\mu\text{s}$ 、 $di/dt > 200 \text{ A}/\mu\text{s}$) というすぐれた電気的特性をもっている。いずれも圧接形構造であり、ろう材を用いていない。



三菱 12Vバッテリ用大電力サイリスタ

めに熱疲労による劣化が生じない。CR 100 B, CR 150 B (写真の(1)), CR 250 A(写真の(2))はスタッド形, CR 300 A(写真の(3))はフィン付構造, FT 500 AW(写真の(4))は平形構造である。

■ 仕様

項目 電流シリーズ	平均駆電流 IT (A V)(A)	dV/dt (V/μS)	di/dt (A/μs)	機種名
CR 100 B	100	100	100	CR 100 BW, CR 100 BX CR 100 BY
CR 150 B	150	100	100	CR 150 BW, CR 150 BX CR 150 BY
CR 250 A	250	100	100	CR 250 AW, CR 250 AY CR 250 AY
CR 300 A	300	100	100	CR 300 AW, CR 300 AX CR 300 AY
FT 500 A	400	200	200	FT 500 AW, FT 500 AX FT 500 AY

W, X, Y のサフィックスはターンオフ時間を示す。

ターンオフ時間(シリーズ)	ターンオフ時間(μs) t _{OFF}	最高阻止電圧 (V) V _{BRM} , V _{DRM}
W	50	1,200
X	30	1,000
Y	15	600

〔北伊丹製作所〕

シリコン整流素子 SR 1 EM, SR 400 A, ED 1000 A およびサイリスタ ET 500 A

■ 三菱小電力モールド形シリコン整流素子 SR1EM

1 A クラスのシリコン整流素子としては、従来キャンシールで高信頼性の SR1C を量産してきをが、今回一般用としてモリに封止の SR1C

(1) 最大定格

項目	単位	SRITEM -1 -2 -4 -6 -8 -10 -12 -16 -20
せん頭逆電圧	V	50 100 200 300 400 500 600 800 1,000
過渡せん頭逆電圧	V	60 120 240 360 480 600 720 960 1,200
平均駆電流	A	0.8 (単相半波抵抗負荷周囲温度 50°C)
サーボ電流	A	50 (商用周波単相半波 1 サイクル波高値非繰返し)
動作接合部温度	°C	-40 ~ 130

1 EM を開発し発売した。SR 1 EM は三菱独自のシリコン表面不活性技術により、テレビ、ラジオ用ばかりでなく、一般工業用としての十分な信頼性を有している。また、合理的な内部構造により、小形ながら比較的大きな電流定格値を有している。

(2) 動作特性 (最大値)

項目	単位	SR1EM-1~20
平均逆電流	mA	0.01 (単相半波平均値定格せん頭逆電圧にて 25°C)
順電圧降下	V	1.2 (順電流 3A 周囲温度 25°C 時刻測定)
熱抵抗	°C/W	100 (接合部-周囲間自冷)

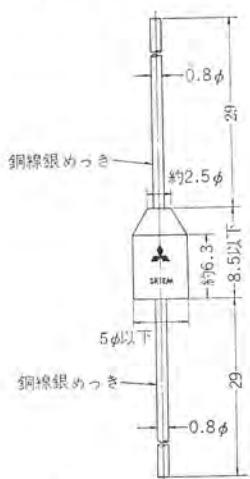


図 1 小電力用 モールド形 SR 1 EM 外形寸法

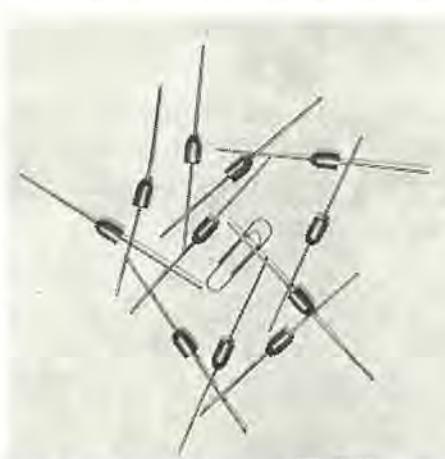


図 2 小電力用 モールド形 SR 1 EM 外観

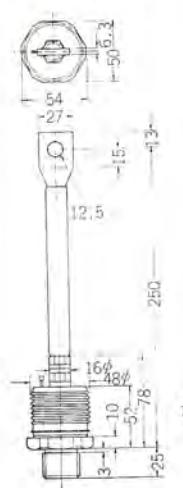


図 3 大電力用シリコン整流素子 SR 400 A 外形寸法



図 4 大電力用シリコン整流素子 SR 400 A 外観

■ 三菱大電力シリコン整流素子 SR 400 A

高耐圧大電力用のシリコン整流素子として、スタッド形の SR 400 A を開発、発売した。SR 400 A は拡散接合形シリコン整流素子であって、均一な接合部と三菱独自のシリコン表面処理により、4,000 V もの高耐圧を得ている。また、シリコン基体は圧接方式で組立てられており、フルダをいっさい使用していないので、フルダ(ハンダ)の熱疲労による劣化は完全に除去されている。さらに長い絶縁距離を有するセラミックと、完全気密封止により長期間安心して使用できる。

■ 三菱大電力シリコン整流素子 FD 1000 A

(フラップダイオード)

高耐圧大電力用シリコン整流素子として、平形素子(フラップダイオード)の FD 1000 A を開発し発売した。FD 1000 A は、その形状が平形となっており、アノードおよびカソードの両面にフィン(放熱板)を圧接させて使用する構造となっている。風冷あるいは油冷で使用し、800 A の電流を流すことができる。フルダを一切使用しない圧接構造であるから断続負荷に強く、セラミックによる完全気密封止とあいま

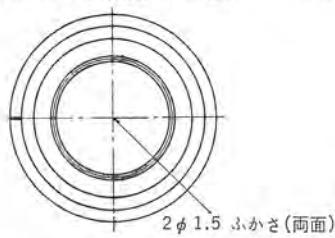


図 5 高耐圧大電力用 フラップダイオード FD 1000 A 外形寸法

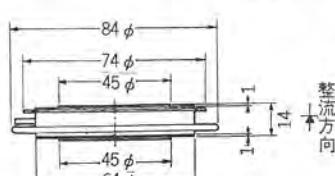


図 6 高耐圧大電力用 フラップダイオード FD 1000 A 外観

(1) 最大定格

項目	単位	SR 400 A -40	-50	-60	-70	-80
せん頭逆電圧	V	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000
過渡せん頭逆電圧	V	2,300	2,800	3,300	3,800	4,300
平均順電流	A	400	(単相半波抵抗負荷ケース温度 75°C)			
サージ電流	A	8,000	(商用周波单相半波1サイクル波高値) (非繰返し)			
動作接合部温度	°C	-40~150				

(2) 動作特性(最大値)

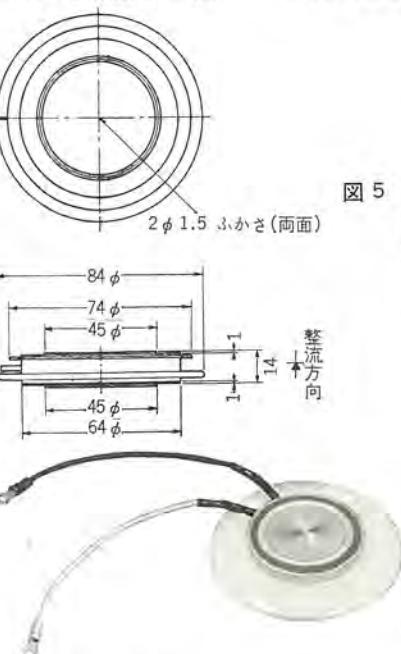
項目	単位	SR 400 A -40~80
平均逆電流	mA	40 (単相半波平均値、定格せん頭逆電圧にて)
順電圧降下	V	1.80 (順電流 1,200 A ケース温度 25°C) (瞬時測定値)
熱抵抗	°C/W	0.11 (合部ケース間)

(1) 最大定格

項目	単位	FD 1000 A -40	-50
せん頭逆電圧	V	2,000	2,500
過渡せん頭逆電圧	V	2,300	2,800
平均順電流	A	800 (単相半波抵抗負荷ケース温度 95°C)	
サージ電流	A	14,000 (商用周波单相半波1サイクル (波高値非繰返し))	
動作接合部温度	°C	-40~150	

(2) 動作特性(最大値)

項目	単位	FD 1000 A-40, -50
平均逆電流	mA	30 (単相半波平均値、定格せん頭逆電圧にて)
順電圧降下	V	1.60 (順電流 2,500 A ケース温度 25°C) (瞬時測定)
熱抵抗	°C/W	0.04 (接合部-フィン間)



新製品紹介

って、長期間安心して使用できる。

■ 高耐圧大電力キリスタ FT 500 A (フラパックサイリスタ)

高耐圧大電力用サイリスタとして、平形素子(フラパックサイリスタ)のFT 500 Aを開発し発売した。FT 500 Aは、その形状が平形となっており、アノードおよびカソードの両面にフィン(放熱板)を圧接させて使用する構造となっている。定格電流は400 Aで、耐圧は2,500 Vまである。また臨界順電流上昇率(di/dt)、臨界順阻止電圧上昇率(dV/dt)およびゲート非トリガ電圧が大きく、素子応用上非常に有利なものとなっている。さらに素子の構造は、ソルダをいっさい使用しない圧接構造であるため、断続負荷に強く、絶縁距離の長い(40mm)セラミックによる完全気密封止とあいまって、長期間安心して使用できる。

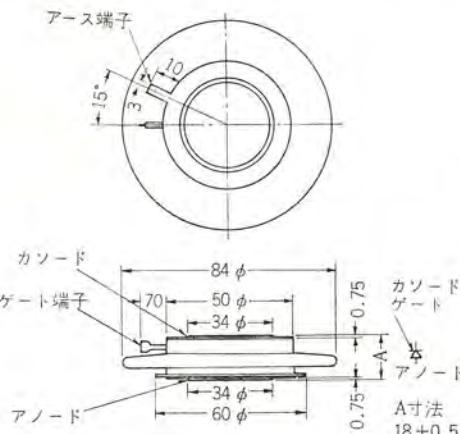


図7 高耐圧大電力用サイリスタFT 500 A外形寸法



図8 高耐圧大電力用サイリスタFT 500 A外観

(1) 最大定格

項目	単位	FT 500 A -16 -20 -24 -28 -32 -36 -40 -50 (2SF)(2SF)(2SF)(2SF)(2SF)(2SF)(2SF)(2SF) (932)(933)(934)(935)(936)(937)(938)(939)
せん頭順・逆電圧	V	800 1,000 1,200 1,400 1,600 1,800 2,000 2,500
過渡せん頭順・逆電圧	V	960 1,200 1,350 1,550 1,700 1,900 2,100 2,500
平均順電流	A	400 (商用周波 単相半波 180度通電) 抵抗負荷 フィン温度 71°C
サーチ電流	A	7,000 (60 Hz 半波 1サイクル 波高値非繰返し)
臨界順電流上昇率	A/μs	200 (定格順阻止電圧の1/2を印加し、ハイゲート) ドライブ、接合部温度 25°C
動作接合部温度	°C	-40~125

(2) 動作特性(最大値)

項目	単位	FT 500 A-16~50 (2SF 932~939)
平均逆電流	mA	30 (単相半波平均値)
平均順漏れ電流	mA	30 (単相半波平均値)
順電圧降下	V	2.2 (順電流 1,250 A, 接合部温度 125°C) 瞬時測定
ゲートトリガ電圧/電流	V mA	4.0 350 (接合部温度 25°C)
ゲート非トリガ電圧	V	0.2 (定格順阻止電圧の1/2を印加、接合部温度 125°C)
臨界順阻止電圧上昇率	V/μs	200 (指數関数波形、定格順阻止電圧の1/2を印加、接合部温度 125°C)
熱抵抗	°C/W	0.06 (接合部フィン間)

[北伊丹製作所]

三菱高周波制御ダイオード MI 7000 シリーズ

三菱高周波制御ダイオード MI 7000 シリーズは、ますます要求される通信機器の高信頼性に対し、従来の機械的なアンテナ切換器を全固体化することを可能にしたものである。とくにそう入損失が少なく逆方向インピーダンスが高いこと、また容量値が小さく高周波機器に適しているなどの特長をもつため、大電力のマイクロ波スイッチのほか、リミッタ・減衰器・振幅調変器等に広く利用できる。



図1 MI 7001, MI 7002

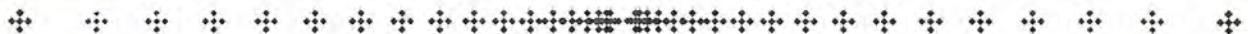
■ 特長

(1) 接合部に高抵抗層をもつために、順方向バイアス時には、電導度調変により電流が流れ低インピーダンスを示し、逆方向バイアス時には、一定の高リアクタンス状態を示す。

(2) 容量の変化がほとんどなく、ライタイムが長いので、高調波



図2 MI 7002



新製品紹介

の発生を伴わず、ひずみのない速いマイクロ波スイッチが行なえる。

(3) 高いアイソレーションと低い入損失を容易に実現できる。

仕様

応用回路

図5、図6にMI7001、MI7002をそれぞれVHF帯、UHF帯のスイッチングに応用した回路および特性例を示す。

表1 絶対最大定格および電気的特性

形名	絶対最大定格			電気的特性			
	許容温度 (°C)	接合部度 (°C)	最大熱抵抗 (°C/W)	最小降伏電圧 V _{BR} (V)	最大容量 G (PF) @ V _R = 50	最大直列抵抗 R _S (Ω) @ I _F = 100mA	最小順方向電流 I _F (mA) @ V _F = 1V
MI7001 ^①	-65~175	175	15	100	1.4	2.0	100
MI7002 ^②	-65~175	175	15	80	1.2	1.5	100
MI7022 ^③	-65~175	175	300	80	1.2	1.5	100

*1 外形は①

*2 外形は②

*3 パッケージ容量 0.6 PF (MI7001, 7002), 0.75 PF (MI7022) を含む。

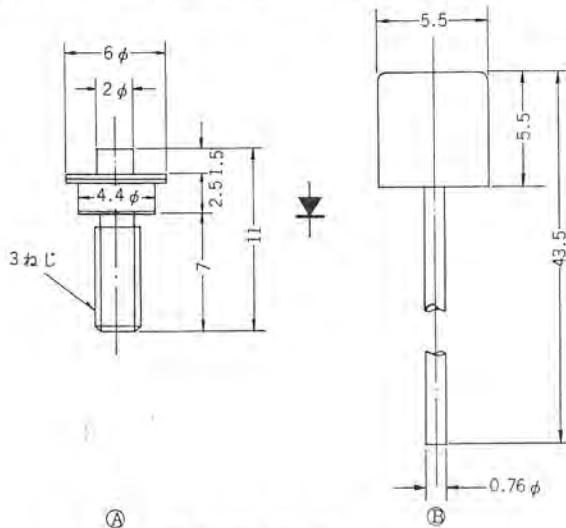


図3 外形図

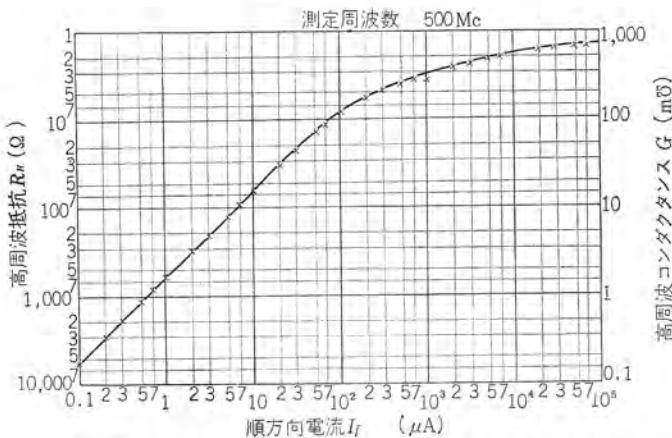


図4 高周波コンダクタンス、高周波抵抗-順方向電流特性

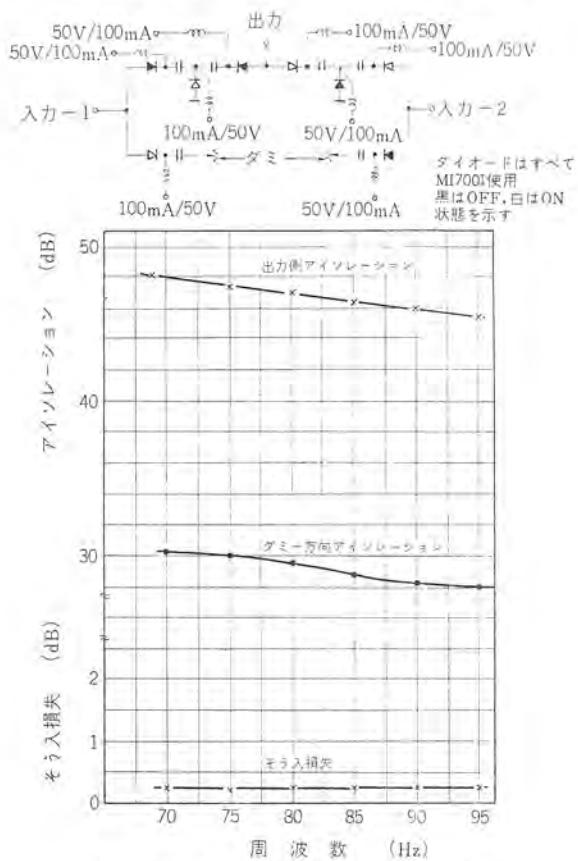


図5 VHF帯スイッチング回路および特性例

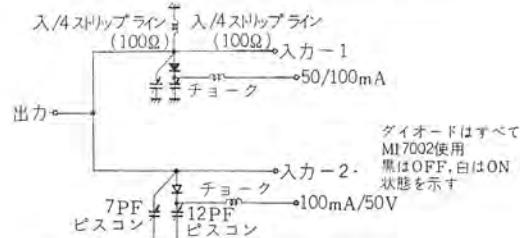


図6 VHFスイッチング回路および特性例 [北伊丹製作所]

三菱ステップリカバリダイオード (MS 7100 シリーズ)

三菱ステップリカバリダイオード MS 7100 シリーズは、逆方向電流のライフトイム制御と、その急激な立ち上りによる鋭いパルス発生の二つの特長をもち、一段で高次周波数てい(通)倍が可能で、また、各種のパルス回路に多くの用途をもつダイオードである。

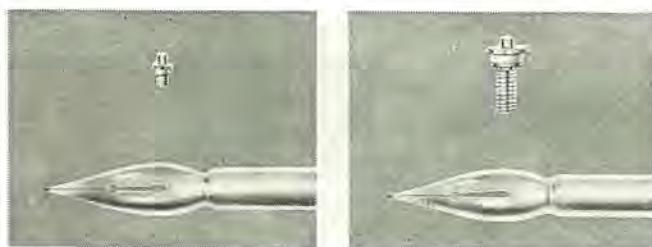


図 1 三菱ステップリカバリダイオード (MS 7100 シリーズ)

■ 特長

(1) 従来のパラクタダイオードでは不可能であった、30~40倍の高次周波数てい(通)倍をアイドーレスの簡単な回路で行なうことができ、調整も容易である。

(2) S バンドから Ku バンドまでの安定な信号発生源として信頼性も高く、効率は $1/n$ 以上うことができる (n はてい倍次数)。

(3) ピコセカンドのパルスを発生し、また位相制御も容易なので、パルス波形整形・遅延・変調・増幅等の回路に使用できる。

■ 仕様

形名	絶対最大定格		電気的特性					
	許容温度		最大熱抵抗	標準容量 C(PF)	最小降伏電圧 VBR(V)	最小順電流 IF(mA)	最小生存時間 τ (ns)	最大遷移時間 t_f (ns)
	保存温度 (°C)	接合部温度 (°C)						
MS 7111*1	-65 ~175	150	60	2	35	50	30	0.3
MS 7101*2	-65 ~175	150	15	2	35	50	30	0.3

注 *1 外形は (a), *2 外形は (b)

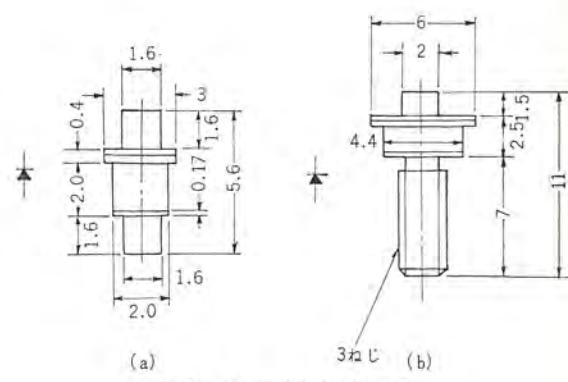


図 2 外形図 (単位 mm)

■ 応用例

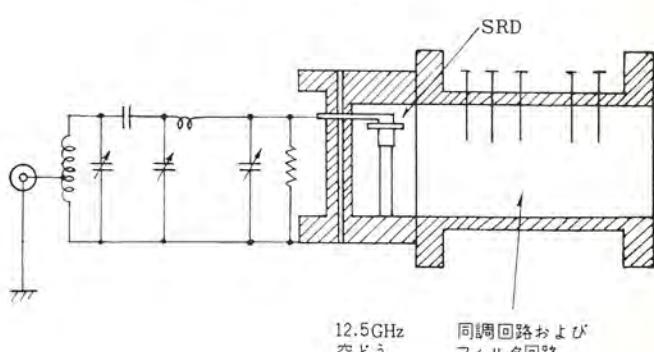
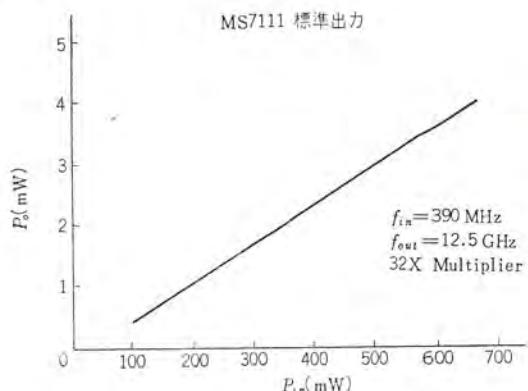


図 3 入出力特性

[北伊丹製作所]

GaAs パラグタ

MV 8000 A, B, C, D シリーズは、マイクロ波およびミリ波領域で高性能を発揮する高しゃ断周波数 GaAs (ガリウムひ(砒)素) パラグタである。これらはいずれも、MIL 規格に準じた環境試験に合格した高い信頼性を保証されている。

■ 特長

(1) MV 8000 A は宇宙通信、レーダその他の低雑音パラメトリック増幅器用で、特別に設計されたものについては、液体ヘリウム温度でも安定した動作が保証されている。

(2) MV 8000 B, C, D シリーズは、高耐圧で熱抵抗が低くなるよう設計され、高出力ミリ波周波数てい(通)倍器、マイクロ波リミタ、



新製品紹介

位相器およびバラクタチューニング等に応用される。

■仕様

(1) MV 8000 A シリーズ (パラメトリック増幅器用)

(a) 最大定格

消費電力(25°C) 300 mW

動作温度 +200°C ただし特別のものについては 4°C 保証

(b) 電気特性 (25°C)

Type	BV(V) min	F _{ce} (-6V) min(GHz)	C _{je} (PF)	
			min	max
MV 8303 A	6	150	0.2	0.7
MV 8203 A	6	200	0.3	0.7
MV 8253 A	6	250	0.3	0.7
MV 8303 A	6	300	0.3	0.7
MV 8353 A	6	350	0.3	0.7
MV 840 A	6	400	0.3	0.7

(2) MV 8000 B, C, D シリーズ

(a) 最大定格

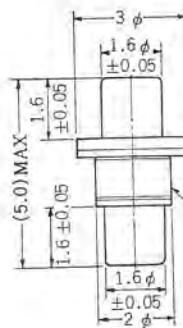
消費電力(25°C) 1.4 W

最大動作温度 +200°C

(b) 電気特性 (25°C)

F _{ce} (-6V) GHz	min	6 V		18 V		30 V	
		C _{je} min	0.3-0.7 (PF)	0.7-1.0 (PF)	0.3-0.7 (PF)	0.7-1.0 (PF)	0.3-0.7 (PF)
150	MV 8153 B	MV 8157 B	MV 8153 C	MV 8157 C	MV 8153 D		
200	MV 8203 B	MV 8207 B	MV 8203 C	MV 8207 C	MV 8203 D		
250	MV 8253 B		MV 8253 C		MV 8253 D		
300	MV 8303 B		MV 8303 C		MV 8303 D		
350	MV 8353 B		MV 8353 C		MV 8353 D		
400	MV 8403 B		MV 8403 C				

(3) パッケージ



備考 1/2 級セラミック
1/2 金属部 Copper またはモリブデン



[北伊丹製作所]

三菱モレクトロン DTL M 5930 P シリーズに新品種追加

モレクトロン DTL M 5930 P シリーズは、米国の主流半導体集積回路メーカーが売り出している、DTL 930 シリーズと同一のピン接続と電気的特性を有している。

当社ではこのシリーズの中から、これまでに 5 品種のゲート回路を選び、独自に開発されたプラスチックモールド技術により、デュアルインライン形として製造していたが、このたび新たにフリップフロップ、ヘックスイシバータ高速ナンド回路など 8 品種を加えた。その結果 DTL M 5930 P シリーズは 13 品種となり、顧客の品種選択はますます自由になり、膨脹を続ける日本の IC 市場における当社の地位をより有利なもの

とするだろう。

■定格

絶対最大定格

電源電圧 : 8 V

入力電圧 : 6 V

動作周囲温度 : 0 ~ +75°C

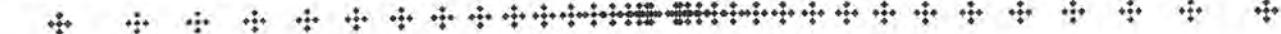
保存周囲温度 : -20 ~ +100°C

推奨使用電源電圧 5.0V ± 10%

DTL M 5930 P シリーズ一覧表

品種名	回路機能	標準電気的特性			T _θ =+25°C	V _{ce} =5.0 V
		平均伝ば遅延時間 (ns) †繰返し周波数 (MHz)	ファンアウト	平均消費電力 (mW/ゲート) † (mW)		
基本 シリーズ	M 5930 P	Dual 4-Input Expandable NAND Gate	25	8	8.5	
	M 5932 P	Dual 4-Input Expandable Buffer	35	25	26	
	M 5933 P	Dual 4-Input Expander				
	M 5936 P*	Hex Inverter	25	8	8.5	
	M 5944 P	Dual 4-Input Expandable NAND Power Gate	40	27	20	
	M 5945 P	Single R-S/J-K Clocked Flip Flop	50	10	481	
	M 5946 P	Quadruple 2-Input NAND Gate	25	8	8.5	
	M 5962 P	Triple 3-Input NAND Gate	25	8	8.5	
高 速 シ リ ー ズ	M 5937 P*	Fast Hex Inverter	20	7	12.5	
	M 5948 P*	Fast Single R-S/J-K Clocked Flip Flop	40	9	52†	
	M 5949 P*	Fast Quadruple 2-Input NAND Gate	20	7	12.5	
	M 5961 P*	Fast Dual 4-Input Expandable NAND Gate	20	7	12.5	
	M 5963 P*	Fast Triple 3-Input NAND Gate	20	7	12.5	

太字は新品種、* は受注生産品種



新製品紹介

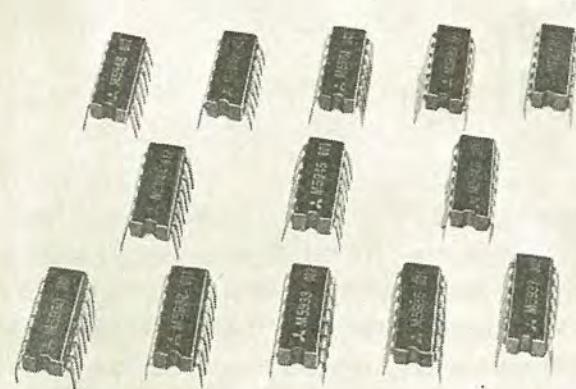
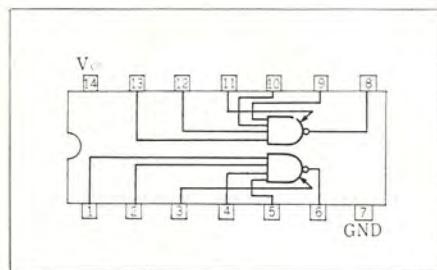
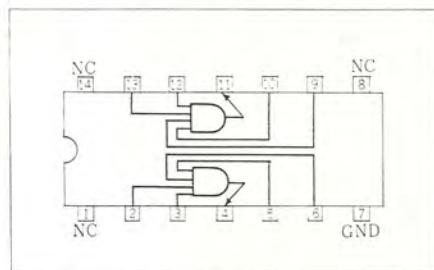


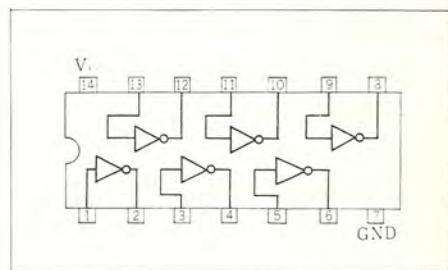
図 1 三菱 モレクトロン DTL M 5930 P シリーズ



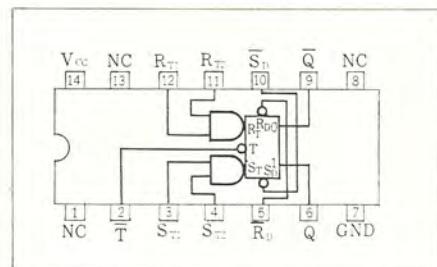
M5930P Dual 4-Input Expandable NAND Gate
 M5932P Dual 4-Input Expandable Buffer
 M5944P Dual 4-Input Expandable NAND Power Gate
 M5961P Fast Dual 4-Input Expandable NAND Gate



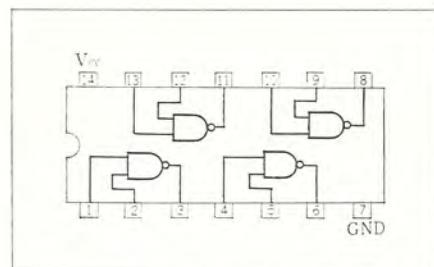
M5933P Dual 4-Input Expander



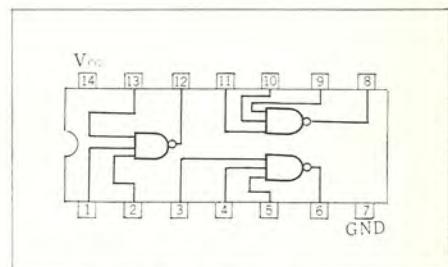
M5936P Hex Inverter
 M5937P Fast Hex Inverter



M5945P Single R-S/J-K Clocked Flip Flop
 M5948P Fast Single R-S/J-K Clocked Flip Flop



M5946P Quadruple 2-Input NAND Gate
 M5949P Fast Quadruple 2-Input NAND Gate



M5962P Triple 3-Input NAND Gate
 M5963P Fast Triple 3-Input NAND Gate

図 2 DTL M 5930 P シリーズのブロック図（上面図）

[北伊丹製作所]

NEWS FLASH

■ 鉄鋼プロセスライン用 WT-125 M 形 シングルシームウェルダー完成

当社の最近の鉄鋼プロセスライン用ウェルダーには注目すべきものが多いが、かねてより製作中であった八幡製鉄（君津）向けWT-125 M形シングルシームウェルダーが、このほど伊丹製作所で完成した。

この溶接機は、鉄鋼プロセスラインの電解洗浄ラインにはいるもので、先行ストリップの後端と、後続ストリップの先端を、自動的に重ねシーム溶接をするものである。被溶接材は、最大板幅2,100mm、最大板厚3.5mm、材質は未焼鈍軟鋼板であり、最大短絡電流は50,000Aである。この種の溶接機においては、板幅・最大短絡電流ともわが国最大級のものである。

その構造は、溶接装置のほかに、サイドガイド、シャー、スイングクランプ、電極整形装置、板幅検出装置等を内蔵して、溶接のためにラインの停止する時間を短くし、保守を容易にするための幾多の工夫がなされている。

つぎにその特長を述べる。

（1）溶接電流の通電方式をダイレクト通電方式とした。

従来のものはインダイレクト通電方式で、重ね溶接部の下板において、溶接電流が分散するために、上板に比較して下板を溶接温度まであげることがむずかしかった。この傾向はとくに板厚2mm以上のものに対して顕著であったが、ダイレクト通電方式を採用することによって、これらの欠点を除去した（特許出願中）。

（2）三相低周波溶接機とした。

三相電源を使用することによって、電源入力が小さくなり、三相平衡負荷となり、力率が改善され、溶接速度が増した。鉄鋼プロセスラインにおける三相低周波溶接機の試みは、わが国最初のものである。

（3）一次側電源の開閉器としてサイリスタを使用した。

従来イグナイトロンを使用していたが、最近の半導体関係の進歩に従って、イグナイトロンからサイリスタに置き換えられる傾向にある。

サイリスタを使用することにより、小型・軽量となり、制御盤関係はウェルダー本体にのせられている。

（4）動作表示灯を取り付けることによって、動作を表示し保守を容易にした。

（5）バックバー高さ調整装置を付属することによって、使用中になんだん磨耗するバックバーの高さを、いちいち取りはずさなくても調整ができるようにした。

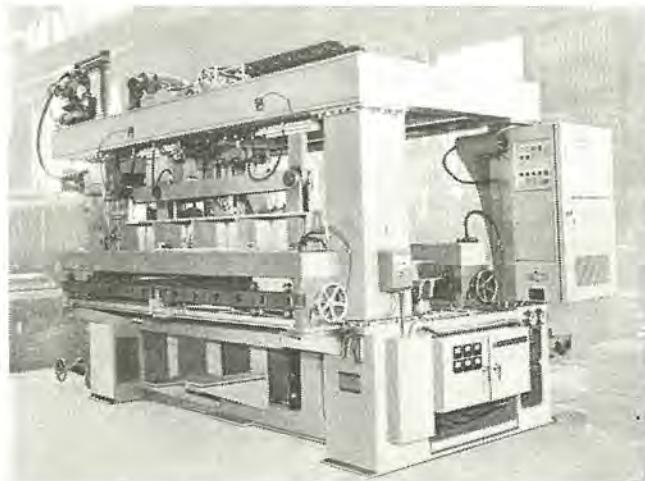
（6）溶接円板整形装置を付属することによって、溶接円板の表面が荒れてきたとき、それを取りはずさなくても簡単に再整形ができるようになった。

（7）シーム溶接・ロールスポット溶接の両方を行なうことができる。

薄板のシーム溶接は、溶接速度が速く時間的に有利であり、強度的にも問題はないが、厚板のシーム溶接は、薄板に比較して溶接速

度が急激に遅くなる。そこで溶接を行なわない場所では、電極速度を速くし、溶接を行なう位置では、溶接円板を停止して溶接を行なうロールスポット溶接が時間的に有利となり、強度的にも安定する。

この二つの溶接法の到用によって、0.2mmから3.5mmの板厚の範囲のものを効率よく、抵抗溶接を行なうことができる。



WT-125 M形シングルシームウェルダー
125 kVA (50% 使用率) 50,000 A.

【伊丹製作所】

■ 厚板圧延用新鋭電気品実動開始

国内経済の大形化と、国際競争力強化に対処して、鉄鋼業界の圧延設備新設が続いたが、その代表的な厚板圧延設備について、最近の2年有余の間に、当社は国内においてその80%を占める下記の電気品の製作を担当し、現在いずれも運転開始中である。

単電機子形双子形の主圧延用直流電動機、サイリスタ電源、計算機制御など当社の最新の技術が結集されている。



厚板圧延用新鋭電気品



納 入 先	直 流 電 動 機 仕 様	
川 鉄 (水島)	2-3,750 kW	40.80 rpm
八幡製鉄 (君津)	2-5,000 kW	50.100 rpm
富士鉄 (名古屋)	2-4,500 kW 1-2,000 kW	40.100 rpm 150.450 rpm
神 鋼 (加古川)	2-4,500 kW 1-2,500 kW	40.100 rpm 150.350 rpm

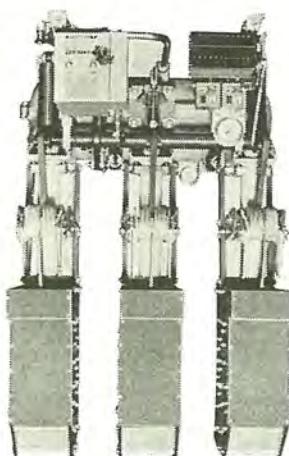
[神戸製作所]

■ 12 kV 1,500 MVA 4,000 A

C形空気しゃ断器

近年、電力需要の増大にともない、大容量の発電所または変電所に使用されるしゃ断器の要求が強まり、先に12/24 kV 2,000/2,500 MVA 5,000/6,000 A の大容量C形空気しゃ断器を開発したが、今回、需要の多い12 kV 1,500 MVA 4,000 A のC形空気しゃ断器を開発した。

このしゃ断器は、従来のものに対し、重量で50%，占有空間で35%に縮小され、当所大容量短絡設備において、十分な性能をもっていることが検討された。



12 kV, 1,500 MVA, 4,000 A C形空気しゃ断器

そのおもな仕様はつぎのとおりである。

定格電圧 :	12 kV
定格しゃ断容量 :	1,500 MVA
定格電流 :	4,000 A
定格しゃ断電流 :	72.2 kA
定格投入電流 :	196.8 kA
操作気圧 :	15 kg/cm ² -g

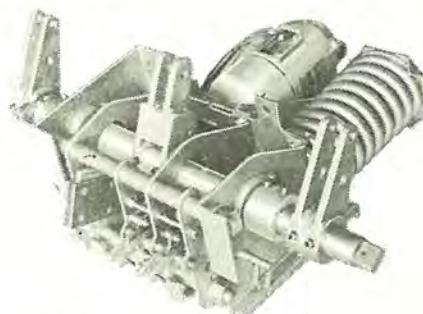
[伊丹製作所]

■ 縮少形DHEライン磁気しゃ断器の電動ばね操作機構

先に発表した対地絶縁にエポキシレジンをもちいた縮少形DHEライン磁気しゃ断器は現在量産を続いているが、この操作機構は、電磁投入、ばね引きはずしである。最近の新鋭火力発電所は、母線切換時間短縮するため、所内補機回路用しゃ断器に高速投入機構を必要としている。これにこたえて、このたびDHE形用電動ばね操作機構を開発した。この操作機構は電動機または手動で投入用ばねを蓄勢しておく、制御用の小形電磁石でラッチをはずして投入し、投入行程中に引きはずし用ばねを蓄勢し、従来と同じ方法で引きはずし動作を行なわせるもので、特長としては、

- (1) 手動投入操作でも投入容量が保証される。
- (2) 操作電流が小さい。
- (3) 高速再投入ができる。
- (4) 投入時間0.1秒
- (5) 標準の電磁石投入機構付のDHE形磁気しゃ断器に操作機構のみ取りかえてそのまま取りつけられる。

この操作機構付の6-DHE-15形を中米エルサルバドルへ輸出のため現在10台製作中である。



DHE形磁気しゃ断器用電動ばね操作機構

[伊丹製作所]

次号予定

三菱電機技報 Vol. 42, No. 8

光源と照明特集

《特集論文》

- 電離放射線照射によりけい酸塩ガラスに生じた着色中心のESRの研究—可視領域の光吸収バンド—
- Ca F₂ : Dy³⁺ のルミネンス
- 諸構成要素を比率であらわした照明経済
- 三菱BOCランプ—新しいメタルハイドランプ—
- 三菱高演色性けい光ランプ
 - ハイデラックスけい光ランプおよびハイデラックス印刷用けい光ランプ—
- けい光水銀ランプの演色性の改善
 - ニューデラックスけい光水銀ランプ—
- 高圧水銀ランプの効率特性
- 空調けい光器具の概要
- 空港照明と滑走路照明器具
- 三菱BOCランプによる照明施設
- 最近の各種光源および照明器具による照明施設の概要

《普通論文》

- 三菱電子検診装置 AN-1201 A形
- マイクロ波帯スペースダイバーシティ用位相合成器
- MELCOM-8100システムシリーズ(3)
 - タイムシェアリングオペレーティングシステム—
- 方向弁別レーダースピードメータ
- 高精度直流計器用変圧器
- 400チャネル高分析器(ND-1667形)
- Uライン三相誘導電動機
- 技術講座
- 量子エレクトロニクス(3)一ポログラフィーとその応用—

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 重一
"	上田 重夫
"	宇佐美 重夫
"	大野 寛孝
"	神崎 遼人
"	北川 和人
"	小堀 富次
"	鈴木 正村
"	祖父江 晴秋
"	山田 栄一
"	横山 茂
"	尾畠 喜行
"	黒田 忠行
"	南日 達郎
"	林 昇寿
"	松元 雄藏
"	和田 義勝

(以上50音順)

昭和43年7月22日印刷 昭和43年7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
(電) 03-212-6111

大阪営業所	大阪市北区梅田町8・西阪神ビル (電) 06-312-1231
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2-12-1・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌営業所	札幌市北二条西4-1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台営業所	仙台市大町4-175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山営業所	富山市桜木町1-29・明治生命館 (電) 0764-31-8211
広島営業所	広島市中町7-32・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松営業所	高松市鶴屋町5-1 (電) 0878-51-0001
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2-12・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8-1 (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2-12-1・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌商品営業所	札幌市北二条西4-1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台商品営業所	仙台市大町4-175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山商品営業所	富山市桜木町1-29・明治生命館 (電) 0764-31-8211
広島商品営業所	広島市中町7-32・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松商品営業所	高松市鶴屋町5-1 (電) 0878-51-0001
新潟営業所	新潟市東大通1-12・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2-12・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3-3-1・新若狭ビル (電) 03-944-6311
城南家電営業所	東京都世田谷区池尻3-10-3 (電) 03-411-8181
三菱電機世田谷ビル	三菱電機世田谷ビル (電) 03-392-6823
城西家電営業所	横浜市中区富士見町3-4 (電) 045-251-2226
横浜家電営業所	大宮家電営業所 (電) 0486-41-5324 43-4116-0156
大宮家電営業所	千葉市新宿町2-49・三菱電機千葉ビル (電) 0472-27-5486~8
千葉家電営業所	静岡市七間町9-10・池田ビル (電) 0542-53-9186
静岡出張所	長崎市大黒町3-1・長崎産業交通ビル (電) 0958-23-6101
長崎崎出張所	岡山出張所 (電) 0862-24-0331
岡山出張所	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 (電) 06-491-8021
商品研究所	鎌倉市大船2-14-40 (電) 0467-6-6111
神戸製作所	神戸市和田崎町3-10-1 (電) 078-67-5041
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80 (電) 06-491-8021
三田工場	三田市三輪輪町字父々部85 (電) 07956-4371
長崎製作所	長崎市丸尾町6-14 (電) 09582-23-6211
稻沢製作所	稻沢市井之口1100 (電) 0587-32-8111
和歌山製作所	和歌山市岡崎町91 (電) 0734-23-7231
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325 (電) 0467-6-1111
通信機製作所	通信用崎市南清水字中野80 (電) 06-491-8021
北伊丹製作所	北伊丹市南大鹿字主ヶ池1 (電) 0727-72-5131
熊本工場	熊本工場 (電) 0963-62-7211~3
名古屋製作所	名古屋市東区矢田町18-1 (電) 052-721-2111
福岡製作所	福岡市今宿青木690 (電) 092-88-0431
福山製作所	福山市緑町1-8 (電) 0849-21-3211
姫路製作所	姫路市千代田町810 (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	世田谷区池尻3-1-15 (電) 03-414-8111
静岡製作所	静岡市小鹿110 (電) 0542-85-1111
中津川製作所	中津川市南駒場町1-3 (電) 05736-5-2121
大船製作所	鎌倉市大船5-1-1 (電) 0467-6-6111
郡山製作所	郡山市栄町2-25 (電) 02492-2-1220
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800 (電) 0276-22-4311
藤岡工場	藤岡市本郷字別町1173 (電) 02742-2-1185
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所1 (電) 075-921-4111
ラジオ工場	尼崎市南清水字中野80 (電) 06-491-8021
札幌営業所	札幌市北二条東12-98 (電) 0122-22-3976