

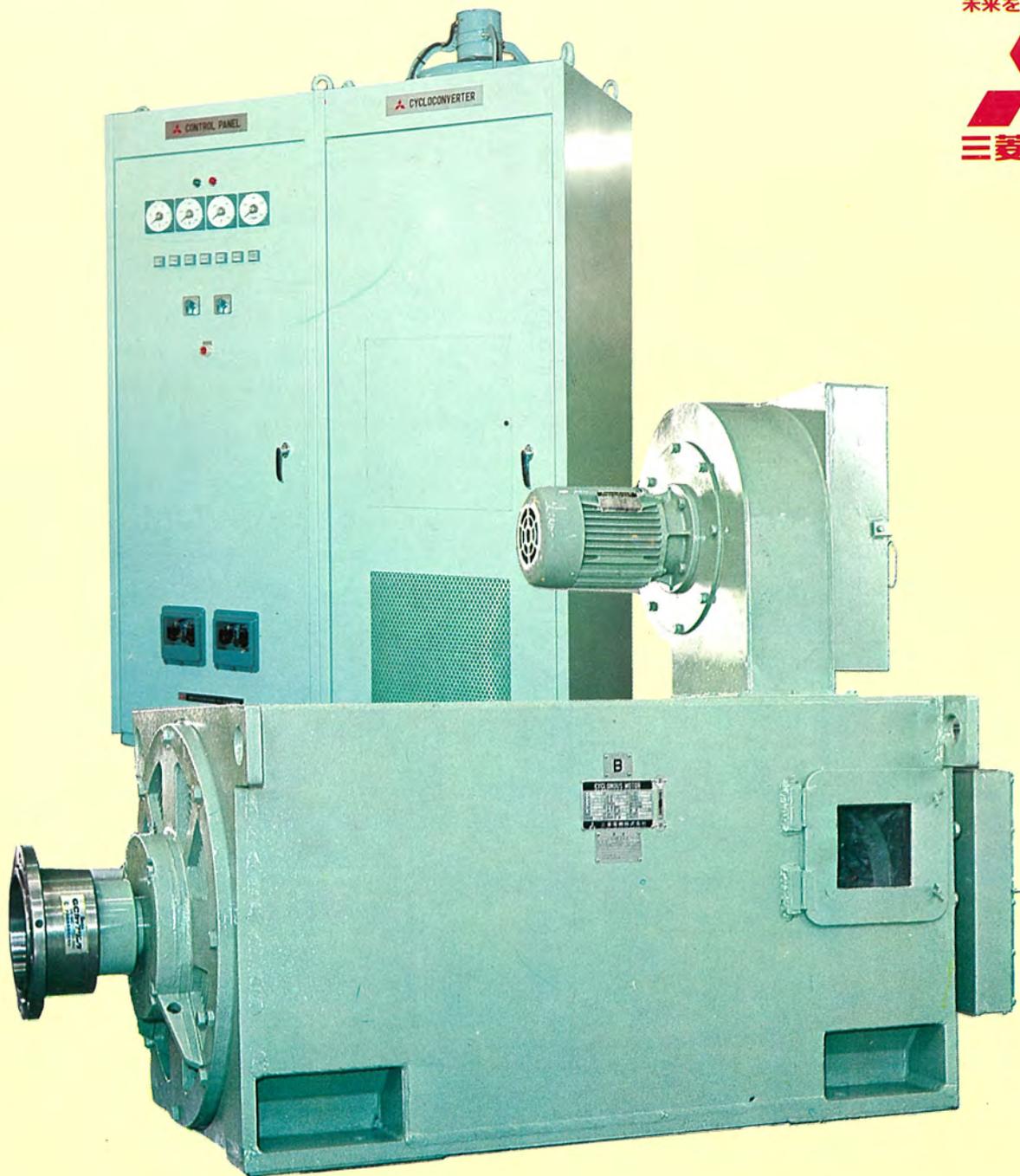
MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.45 May 1971
可変速電動機・クラッチ特集

5

三菱CS形サイリスタモータ

未来を開発する





可変速電動機・クラッチ特集

目次

《特集論文》

可変速電動機の選定法	新良由幸・山下隆三郎	561
サイリスタレオナード (ダイヤロール)	和田義彦・杉山昌司・田原武・中沢俊郎	564
一般工業用サイリスタレオナード装置	杉本弘・長谷川雅言・浜崎晏行	569
交流無整流子電動機 (三菱 CS 形サイリスタモータ)	山下隆三郎・永石勝之	572
超同期静止セルビウス (三菱 SS 形サイリスタモータ)	栗田静夫・片岡正博・二村 紘	578
サイリスタインバータによる交流電動機の世界制御	梶野幸男・中村久仁輔・長南克彦	587
サイクロコンバータによるかご形誘導電動機の世界制御 (三菱 CI 形・SV 形サイクロコンバータ)	片岡正博・栗田静夫・坪井克剛	593
三相誘導電動機の一次電圧制御 AS モータ	篠原芳男・梶野幸男・川合 弘・原田浩治	600
	中尾 憲・川上照夫	606
新系列湿式電磁クラッチ	西野 廣・吉田公一・田村 茂	613
乾式電磁クラッチ・ブレーキとその応用品	村田俊哉・浅野哲正・植田雅晴・井上 馨・小林良治	619
ヒステリシスクラッチ・ブレーキ	車戸秀男・井上 馨・岡本清秀・浜田富美雄	626
歯形電磁クラッチ	西野 廣・西井勝巳	631
微偏位張力制御装置	村田俊哉・浅野哲正・柏原正信	635

《普通論文》

ブレーキモートル	三富 孜	643
MELDAS-5230 L 旋盤専用輪郭制御数値制御装置	黒田泰次・篠田東吾・飯田秀正・菅井宗一	648
人工衛星の受動型熱制御系の設計法	平井正一・下地貞夫・芦田恭子・植田剛夫	653
医療用 ML-15MII 形ライナックの実用性能	藤田彪太・鈴木敏允・上富 勇・町田賢二・金沢 照・入江浩一・美濃和芳文	660

《新製品紹介》

新形 ZS-E 形ゼロスピードスイッチ・三菱ビデオコピー・カラーキャラクタディスプレイ装置	674
---	-----

《ニュースフラッシュ》

デジタルカセット磁気テープ装置開発・低圧真空コンタクタシリーズ拡充	677
-----------------------------------	-----

《特許と新案》

ガスシャ断器・熱動安全器付き電動機を用いる装置の保護装置・空気調和機吹出口の風向き調節装置・美粧器具の駆動電源装置	641
---	-----

《表紙》

表紙 1 三菱 CS 形サイリスタモータ

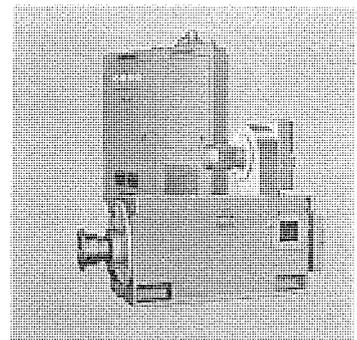
このたび、新日本製鉄(株)に納入された三菱 CS 形サイリスタモータの全景である。本機は「圧延機およびクレーン用 800 番直流電動機」相当のすぐれた性能をもち、しかも保安点検のむづかしい整流子をもたないサイクロコンバータ方式交流無整流子電動機である。なお、きびしい使用条件 (duty cycle) を満足するよう、低慣性でしかも 250% の過負荷にも十分耐えるよう設計製作された画期的性能を有している。

今後さらに、製鉄・繊維・製紙・石油・化学・セメント・水道および船舶等の各産業界の省力化機運とあいまって、広く使用されるものと期待されている。本文に原理・構造等の詳細が述べられている。

表紙 2 三菱トライアック

表紙 3 三菱トランジスタ

表紙 4 三菱 NKA 形 湿式電磁クラッチ





SPECIAL EDITION FOR VARIABLE SPEED MOTORS AND ELECTROMAGNETIC CLUTCHES

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

How to Select Variable Speed Motors.....Y. Shinryo • R. Yamashita...561

Thyristor Leonard (DIAROL).....Y. Wada • M. Sugiyama • T. Tahara • T. Nakazawa...564

Thyristor Leonard System for General Industrial Purposes.....H. Sugimoto • M. Hasegawa • Y. Hamasaki...569

Mitsubishi AC Commutator-less Motors (Type CS Thyristor Motors).....R. Yamashita • K. Nagaishi...572

Super Synchronous Static Scherbius Apparatus (Type SS Thyristor Motors).....S. Kurita • M. Kataoka • H. Nimura...578

Speed Control of AC Motors with Thyristor Inverters.....Y. Kajino • K. Nakamura • K. Choonan...587

Speed Control of Squirrel Cage Induction Motors with Cycloconverters.....M. Kataoka • S. Kurita • K. Tsuboi...593
(Type CI and type SV Cycloconverters)

Primary Voltage Control of Three Phase Induction Motors.....Y. Shinohara • Y. Kajino • H. Kawai • K. Harada...600

AS Motors.....S. Nakao • T. Kawakami...606

New Series of Electromagnetic Clutches (Wet type).....H. Nishino • K. Yoshida • S. Tamura...613

Dry Type Electromagnetic Clutches • Brakes and their Application
.....T. Murata • T. Asano • M. Ueda • K. Inoue • Y. Kobayashi...619

Hysteresis Clutches and Brakes.....H. Kurumado • K. Inoue • K. Okamoto • H. Hamada...626

Tooth Electromagnetic Clutches.....H. Nishino • K. Nishii...631

Tension Control Devices Detecting Tension by Minute Deflections.....T. Murata • T. Asano • M. Kashihara...635

TECHNICAL PAPERS

Brake Motors.....T. Mitomi...643

MELDAS-5230 L Numerical Contouring Controller for Lathes.....Y. Kuroda • T. Shinoda • H. Iida • S. Sugai...648

Design Method of Passive Temperature Control System of Artificial Satellite
.....S. Hirai • S. Shimoji • Y. Ashida • T. Ueda...653

Performance of Clinical Linear Accelerator
.....H. Fujita • T. Suzuki • I. Uetomi • K. Machida • H. Kanazawa • K. Irie • Y. Minowa...660

NEW PRODUCTS.....674

NEWS FLASH.....677

PATENT AND UTILITY MODEL.....641

COVER :

Mitsubishi Type CS Thyristor Motor

Illustrated is a full view of a Mitsubishi type CS thyristor motor delivered to the Shin-Nippon Seitetsu K. K. (New Japanese Iron & Steel Manufacturing Co.). This is a cyclo-converter type AC commutator-less motor with excellent performance tantamount to a DC motor No. 800 operating a rolling mill and a crane, being freed from the trouble in the maintenance and inspection of the commutator. It has been designed and built to have epochal performance such as a low moment of inertia and yet withstanding 250% overload so as to meet a severe duty cycle.

This type of machine is expected to have a wide field of application meeting the requirements of labor saving in the industries of steel, textile, paper, oil, chemical, cement, waterworks and shipbuilding. The text in this issue describes in details the principle and construction of the apparatus.

UDC 621.313.2.077.3:621.313.323:
621.313.333:621.316.718.5.076.7

可変速電動機の選定法

新良由幸・山下隆三郎

三菱電機技報Vol.45.No.5・P561～563

最近是可変速電動機の種類も増え、これら可変速電動機が、各種産業の分野で広く用いられる傾向にある。これは主として最近の半導体の発達により、割合に手軽に可変速装置が入手できるようになり、一方機械の性能の向上と相伴って、従来はやむを得ず定速運転をしていた分野や、機械的可変速装置の使用されていた分野にも、積極的に使用されるようになったためと考えられる。

ここでは可変速電動機の使用される背景、可変速電動機の分類並びに選定法について記している。



UDC 621.313.333.1:621.314.63:621.382

超同期静止セルビウス(三菱SS形サイリスタモータ)

栗田静夫・片岡正博・二村 紘

三菱電機技報Vol.45.No.5・P578～586

巻線形誘導電動機の二次側にサイクロコンバータを接続し、二次すべり電力を正逆いずれの方向にも制御しうるようにして、同期速度の上下にわたって円滑な速度制御を行なうことができるSS形サイリスタモータの実用化に成功した。

本装置によれば、電動運転のみならず回生制動がかかり、したがって制御性もよく、しかも二次すべり電力を回収するサイクロコンバータの容量も小さくなり経済的である。

本稿では、押出機用750kW 1セットのSS形サイリスタモータを製作納入し、好結果を得たので、ここにSS形サイリスタモータの概要を説明する。



UDC 621.316.718 [621.313.2]

サイリスタレオナード(ダイヤロール)

和田義彦・杉山昌司・田原 武・中沢俊郎

三菱電機技報Vol.45.No.5・P564～568

直流電動機の電機子電圧制御を行なうサイリスタレオナード方式はその原理上広い変速範囲が得られ、かつ定トルク特性であるため変速を必要とするほとんどあらゆる用途に応用できる、このように用途の広いサイリスタレオナードを電磁開閉器とモートルを取扱う手軽さで使用できるようにしたものが三菱ダイヤロールである。



UDC 621.316.718 [621.313.3]:621.314.5

サイリスタインバータによる交流電動機の世界制御

梶野幸男・中村久仁輔・長南克彦

三菱電機技報Vol.45.No.5・P587～592

近年機械装置を自動化、高速化するなどして、装置のか(稼)動効率を高める傾向にあり、変速できる動力源の要求が増加してきている。

なかでも、繊維工業分野(高精度の速度制御を必要とする装置が数多く使用される)では、保守の面でも有利な、サイリスタインバータによる交流電動機の変速装置を採用している。この傾向は、今後、鉄鋼、工作機械の分野などにおいても高まるものと考えられる。ここに現在実用化、開発されているサイリスタインバータを中心に、その概要を報告する。



UDC 621.316.718.5:621.382

一般工業用サイリスタレオナード装置

杉本 弘・長谷川雅信・浜崎晏行

三菱電機技報Vol.45.No.5・P569～571

最近、著しく需要家が増加している、中小容量サイリスタレオナード装置は、需要家の要求にこたえて、ますます小形化され、安価になり、その採用が、手軽に行なえるようになった。これら最近の様子について、その概要を説明する。



UDC 621.313.333.2:621.314.63:621.382

サイクロコンバータによるかご形誘導電動機の世界制御方式(三菱CI形サイクロコンバータ・SV形サイクロコンバータ)

片岡正博・栗田静夫・坪井克剛

三菱電機技報Vol.45.No.5・P593～599

かご形誘導電動機は堅ろうさと保守の容易さのため、従来より電動力応用分野に一定速電動機として広く使用されてきたが、可変速を必要とする用途に対しては、他の電動機に一步ゆざらざるを得なかった。しかしながら最近の電力用半導体の発達と制御技術の急速な進歩により静止形可変電圧可変周波数電源として、インバータおよびサイクロコンバータが開発され、すでに実用化の段階に入り、これらの変換装置とかご形誘導電動機の組合せによる速度制御方式が脚光を浴びるに至った。本稿ではサイクロコンバータを電源とするかご形誘導電動機の世界制御方式について述べる。



UDC 621.313.323.621.314.63:621.382

交流無整流子電動機(三菱CS形サイリスタモータ)

山下隆三郎・永石勝之

三菱電機技報Vol.45.No.5・P572～577

可変速電動機としては、すぐれた制御性と容易な保守が要求される。直流機は制御性にすぐれているが、保守の点では、整流子が存在するためにめんどろである。当社では、直流機のもつ制御性の優秀さを保ちつつ、保守のめんどろな整流子・ブラシのない可変速電動機として、サイクロコンバータと同期機による、CS形サイリスタモータ(交流無整流子電動機)を開発中であつたが、昨年来市場の要求もあつて、数10台納入するに至つたのでここにその内容を紹介する。



UDC 621.316.722 [621.313.3]

三相誘導電動機の一次電圧制御

篠原芳男・梶野幸男・川合 弘・原田浩治

三菱電機技報Vol.45.No.5・P600～605

誘導電動機の一次電圧制御は、半導体技術を中心とした制御方式の発展とともに普及し、その制御性能は直流機のワードレオナード方式に匹敵するまでになり、さらに保守点検の容易さという誘導機本来の特長を加えると、今後中小容量直流機に代って使用されるケースは著しく増加すると考えられる。本文は、このような姿勢を考慮し、当社の一次電圧制御について7.5kW以下の小容量かご形方式、11kW以上の中容量巻線形方式の全域にわたって、制御方式・動作原理、回路設計上の留意点、電動機(かご形)の構造、総合特性、使用上の留意点など解説した。



UDC 621.313.333.2-585.3

ASモータ

中尾 憲・川上照夫

三菱電機技報Vol.45. No.5・P606～612

ASモータとはかご形三相誘導電動機と過電流継手（ASカップリング）とを組合わせた可変速電動機の当社商品名で、Adjustable Speed Motorの略称である。価格、性能の両面において可変速電動機としては最高級の部類に属する直流電動機、サイリスタモータ等と、従来から多く使われてきた機械的変速装置との中間に属するものであり、安価でしかも制御性が良いという特長を買われて、近年その需要は増大の一途をたどっている。以下にそのモータ本体および制御装置について概要を説明する。



UDC 621.838.3

歯形電磁クラッチ

西野 廣・西井勝己

三菱電機技報Vol.45. No.5・P631～634

歯形電磁クラッチは、歯と歯のかみ合いによってトルクを伝達するクラッチである。これは従来の摩擦式と異なっており、小形で大きなトルクが伝達でき、また空転トルクとか連結による摩擦熱が発生しないという特長がある。

当社では、今回新たに取扱いの簡便さと広範囲な条件で使用できることに重点をおいたNYA形歯形電磁クラッチを開発した。

本文では、その構造・動作と伝達トルク・動作時間・連結条件などの性能、さらに使用に際しての注意事項について述べた。



UDC 621.838.3

新系列湿式電磁クラッチ

西野 廣・吉田公一・田村 茂

三菱電機技報Vol.45. No.5・P613～618

湿式多板形電磁クラッチは、おもに工作機械用に使用されているが技術テンポの進展につれて、クラッチに対する要求はますますシビアになってきている。またクラッチ標準化のための規格も制定された。これらを考慮し今回新たな構想のもとに、NKA形電磁クラッチを開発した。この製品は(1)コンパクト化、(2)過酷な使用にも十分耐えるもの、(3)機械への組込みの簡略化、(4)性能の向上による駆動系の経済化、などを特長とする。本文では、クラッチの構造、動作と摩擦トルク、動作時間熱容量などの性能、さらに選定、使用上の問題点などについて述べ、ユーザー諸賢 に対する参考にした。



UDC 62-523

微偏位張力制御装置

村田俊哉・浅野哲正・柏原正信

三菱電機技報Vol.45. No.5・P635～639

従来パウダクラッチ、ブレーキを用いた張力制御装置は、ダンサーローラ方式のものであった。しかし高精度、高スピード化の要求がしだいにきびしくなってきた今日、この種の装置では機械の制御に届けられなくなりつつあり、新規な制御装置の開発が望まれていた。この要求にこたえてサンプリング制御の新しいアイデアを導入した、ロードセル検出方式の微偏位張力制御装置を開発したので、以下にこの装置の動作原理、制御特性、実験データ等を照合し、各種巻き取り、巻き出し張力制御の参考に供したい。



UDC 621.838.3:62-59

乾式電磁クラッチ・ブレーキとその応用品

村田俊哉・浅野哲正・植田雅晴・井上 馨・小林良治

三菱電機技報Vol.45. No.5・P619～625

乾式電磁クラッチ・ブレーキは、取扱いが簡単でかつ経済的に使用できるので、各種産業機械用として多方面に使用されている。

当社では、このたび従来品をモデルチェンジした新製品をシリーズ化した。これらは、NEY形乾式単板電磁クラッチ、NEY形乾式単板電磁ブレーキ、LBH形無励磁動作形電磁ブレーキならびにその応用品からなり、多様化する需要にこたえるようにした。

本文では、これらの構造、動作、性能などについて述べ、さらにLBH形ブレーキについては、セットとして同時に開発したその電源装置についても述べた。



UDC 621.313.3

ブレーキモートル

三富 孜

三菱電機技報Vol.45. No.5・P643～647

生産性の向上、自動化などの観点から最近の機械は、ますます高速化、高能率化の傾向にあるが、これら高速化、高能率化が進むにつれて、機械の急停止、寸動などの動作を確実にしない、しかも高ひん度、高エネルギーに耐え、かつ信頼性の高いブレーキモートルの要求がしだいに多くなってきている。

本文は当社が製作している、各種ブレーキモートルの構造、特長、特性、選定法について述べるものである。



UDC 621.838:62-59

ヒステリシスクラッチ・ブレーキ

車戸秀男・井上 馨・岡本清秀・浜田富美雄

三菱電機技報Vol.45. No.5・P626～630

電磁クラッチの応用分野が広がるにともなって、従来の主流である摩擦式クラッチでは精度、耐久性などでどうしても満足できない分野が出てきた。これを解決するため、純電磁的にトルクを伝達するヒステリシスクラッチを開発した。このクラッチは非接触形のため、正確な動作が行なえるばかりか、寿命が半永久的であるという従来の摩擦式クラッチに対し画期的なものである。今後の電磁クラッチの非接触形への第一歩というべき製品である。



UDC 681.323:621.9-52

MELDAS-5230L 旋盤専用輪郭制御数値制御装置

黒田泰次・篠田・東吾・飯田秀正・菅井宗一

三菱電機技報Vol.45. No.5・P648～652

MELDAS5230Lは連続制御輪郭切削形MELDAS5200シリーズの旋盤専用機として開発されたものである。2軸、直線および円弧補間方式とし、入力設定単位はX軸5ミクロン、Z軸10ミクロンである。検出器には切削面精度向上のため多極ブラシレスレゾルバを用いた。また外部との信号の授受にはリレーを介することになりノイズに対する安定性を著しく向上している。

オプション機能の拡張に対してはビルディングブロック方式をとり、直径指定、絶対値/増分1ブロック内併用、合成工具位置補正、ねじ切り、固定サイクルなどの機能を付加できる。



UDC 629.783-524.001.2

人工衛星の受動型熱制御系の設計法

平井正一・下地貞夫・芦田恭子・植田剛夫

三菱電機技報Vol.45. No.5・P653～659

人工衛星の積載機器を宇宙環境から保護し、要求温度範囲内に保つことはミッション達成を左右する項目の一つである。ここでは、中高度の軌道を飛行する実用衛星に用いられ、また、半能動型熱制御法の基礎となる受動型熱制御系のCADおよびプログラム・システムについて述べる。基礎とした手法は多ノード解析法で、また、放射エネルギー交換は放射形態係数および放射交換係数を用いて解析した。各プログラムの基礎式、計算精度および適用範囲につき、例をあげて、検討結果を詳述してある。



UDC 621.384.63:616-073

医療用ML-15M II形ライナックの実用性能

藤田彪太・鈴木敏充・上富勇・町田賢二・金沢熙・入江浩一・美濃和芳文

三菱電機技報Vol.45. No.5・P660～672

高エネルギー放射線治療装置として、従来テレコバルト、ベータトロンおよび電子ライナックが普及しているが、電子ライナックはエネルギーが低く電子線治療にはもっぱらベータトロンが用いられてきた。このたび、製品化された医療用ML-15M II形ライナックは、電子線エネルギーを15MeVと大幅に高くし、X線治療はもちろんのこと、電子線治療も可能にし、医療用ライナックの適用範囲を大きく広げることができた。通常のライナックの高周波源としてはマグネトロンが使用されているが、この装置では三菱電機製クライストロンPV-2012Wを使用したため、エネルギーの多段切換えが容易となり、また出力線量が非常に安定になったことが特色としてあげられる。



可変速電動機の選定法

新良 由幸*・山下 隆三郎*

How to Select Variable Speed Motors

Nagasaki Works Yuko SHINRYO・Ryuzaburo YAMASHITA

Variable speed motors have increased in kind recently and found their extensive application in all sorts of industry. This trend is considered chiefly due to the latest development of semiconductors which have made it relatively easy to work out speed changing devices. On the other hand, with the improvement of performance of machines, constant speed operation under unavoidable circumstances of presentday techniques or that relying on mechanical speed changers has come to use positively variable speed practice.

In this article are described background where variable speed motors are preferable and the classification and the selection of those motors referred to.

1. ま え が き

最近は可変速電動機の種類も増え、これら可変速電動機が、各種産業の分野で広く用いられる傾向にある。これは主として、最近の半導体の発達により、割合に手軽に可変速装置が入手できるようになり、一方機械の性能向上と相伴って、従来は止むを得ず定速運転をしていた分野や、機械的可変速装置の使用されていた分野にも積極的に使用されるようになったためと考えられる。

ここでは、可変速電動機の使用される背景、可変速電動機の種類ならびに選定法について記し、需要家の方々のご参考に供したいと思う。

2. 可変速電動機の使用される背景

可変速装置として電動機が要求されるのは、次のような場合と考えられる。

(a) 従来は、定速運転が行なわれていた分野

従来は、機械的もしくは電気的な定速、もしくは段階的速度制御運転を行なっていたものが、生産効率、品質向上のために可変速運転が必要となる場合で、この例としては、繊維機械、かくはん機等が考えられる。また従来は、定速電動機によって一定の出力を供給しておきながら、出力端において、機械的出力制御装置によって最終出力量を制御していたもので、経済性ならびに制御性の向上の点から、可変速電動機が必要となる場合で、この例としてはポンプ・ブロワ・コンプレッサのように出力量を制御するものや、機械的無段減速機のように、回転数を制御するものがある。

(b) 従来は、機械的可変速装置が用いられていた分野

タービン、ディーゼルエンジン、油圧駆動装置、空気圧駆動装置のように、純粋に機械的可変速装置が用いられた分野では、運転の容易さ・速度応答性・保守の面から、電動式可変速装置の採用を検討する余地があるものと考えられる。

また可変速装置ではないが、機械に減速装置が組み合わされる例は多い。たとえば、鉄鋼プラントのテーブル、セメントプラントのミルやキルンをはじめとして、各種産業において減速装置の使用されている分野は広い。このように減速装置の使用されている分野のうち、特に台数の多い場合、容量の大きな場合には、最近の電動機制御方式の発達により、直接低速電動機を使用することによって、保守・経

済性の面から有利さが出てくるとも考えられる。

(c) 従来から可変速電動機の使用されている分野

制御性・保守・経済性の面から、従来より可変速電動機が使用されている分野では、将来共可変速電動機が使用されていくであろうが、使用される方式は変遷があるものと考えられる。

将来の方向としては、高性能化、保守不要化の方向に向かうものと考えられるが、これは、このような要求を満たし得る装置が、従来より経済的に、より安価に入手し得るようになってきつつあるためである。

3. 可変速電動機の種類

可変速電動機としては、表 3.1 に示すような種々の方法がある。これらは大きく分けて、直流電動機と交流電動機とに分けることができる。

直流電動機は、本来可変速電動機として発達してきたものであるのでその制御方式も発達し、その応用分野は可変速電動機のうちで

表 3.1 可変速電動機の種類
Classification of variable speed motors.

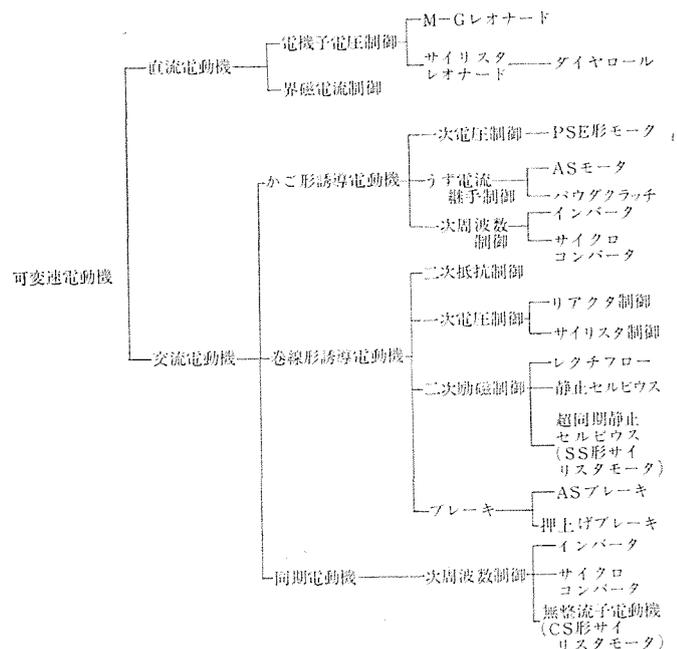


表 3.2 各種可変速電動機一覧表

List of variable speed motors.

方 式	サイリスタレオナード装置 (ダイヤロール)	一次電圧制御 (RS-正形モータ)	うず電流接手制御 (ASモータ)	パウダクラッチモータ
主電動機形式	直流他励磁分巻電動機	かご形 誘導電動機	かご形 誘導電動機	
機器構成 SM : 同期電動機 DM : 直流電動機 IM : 誘導電動機 SCR : サイリスタ SR : シリコン整流器 INV : インバータ CONV : コンバータ REC : サイリスタ整流器 RS : 速度設定器 TG : 指差発電機 DCL : 直流リアクトル R/G : 減速機 SX : 可聴相リアクトル				
制御方法	サイリスタにより直流電動機電圧を制御して速度制御する。 通常200W以下単相半流制御、2kWまで単相全流、これ以上は3相全流とする。正逆、2組のサイリスタを設ければ回生制御が可能である。	かご形 誘導電動機を高抵抗形とし、サイリスタの点弧角を制御することにより、電動機的一次電圧を制御し、トルクをかえて速度制御する。	サイリスタにより、ASカップリング(うず電流接手)のボールに与える励磁電流を調整することにより速度制御する。	パウダクラッチの励磁電流を調整することにより、伝達トルクを制御し、トルク、速度制御する。
用 途	広範囲の速度制御の必要なもの、特に高精度、高効率、可逆制御、高効率の要求されるもの。 工作機械、各種圧延機およびその補機、大容量巻上機、大容量押出機、抄紙機、定周波定電圧装置	小容量で、広範囲の速度制御の必要なもの、加減速制御の必要なもの。 ファン、コンベア、巻取機、クッションスタート用	広範囲の速度制御が必要な負荷で加減速制御でよいもの。 ファン、コンベア、押出機、コンベア、巻取機、クッションスタート	定トルク、定電圧制御の必要なもの、加減速制御の必要なもの。 巻取、巻出機、クッションスタート用、各種機械のインテック操作
方 式		一次周波数制御方式		二次抵抗制御
主電動機形式	かご形 誘導電動機	かご形 誘導電動機 (C形サイリスタモータ)	回転進相コンデンサかご形誘導電動機 (SV形サイクロコンバータ)	巻線形 誘導電動機
機器構成 SM : 同期電動機 DM : 直流電動機 IM : 誘導電動機 SCR : サイリスタ SR : シリコン整流器 INV : インバータ CONV : コンバータ REC : サイリスタ整流器 RS : 速度設定器 TG : 指差発電機 DCL : 直流リアクトル R/G : 減速機 SX : 可聴相リアクトル				
制御方法	可変周波数サイリスタインバータの点弧角を制御し、出力周波数を調整して速度制御する。同時に、可変電圧サイリスタ整流器の出力電圧を制御し、周波数と電圧比がほぼ一定となるよう制御する。	インバータの代りに、サイリスタコンバータを用いる点を除いては左記に同じ。	回転進相コンデンサと、サイリスタコンバータによってVVVF電源を作り、多数のかご形誘導電動機をいっせいに一括制御する。	巻線形誘導電動機の二次抵抗値を調整して、速度制御する。 制御器の操作には、手動ハンドレ、電動機の2種類がある。 自動速度制御装置付きは、液体抵抗器のときのみ。
用 途	広範囲の速度制御、多数の電動機の同時速度制御、高精度、高効率の要求されるもの。 紡績工場、ボルトモータ、圧延工程、ローラモータ、工作機械	多数の電動機の同時速度制御大容量のもの、ローラモータ、圧延工程	広範囲の速度制御、多数の電動機の同時速度制御、高精度、高効率の要求されるもの。 紡績工場、ローラモータ、圧延工程、コンベア	あまり精度を問題にしないもの、負荷トルク変動の少ないもの。 ポンプ、ファン 簡単な巻上機、クレーン
方 式	サイリスタ一次電圧制御方式	リアクター一次電圧制御方式	レクチフロードライブ (クレーマ方式)	静止セルピウス装置
主電動機形式	巻線形 誘導電動機	巻線形 誘導電動機	巻線形 誘導電動機 直流電動機	巻線形 誘導電動機
機器構成 SM : 同期電動機 DM : 直流電動機 IM : 誘導電動機 SCR : サイリスタ SR : シリコン整流器 INV : インバータ CONV : コンバータ REC : サイリスタ整流器 RS : 速度設定器 TG : 指差発電機 DCL : 直流リアクトル R/G : 減速機 SX : 可聴相リアクトル				
制御方法	サイリスタの点弧角を制御することにより、電動機一次電圧を制御して、トルクをかえ、速度制御する。広範囲の速度制御を可能とするため、通常、二次抵抗制御を併用する。リアクタ4台をブリッジ接続し、三相中の二相を切換えれば、制御トルク制御ができる。	可聴相リアクトルの励磁電流を調整することにより、電動機的一次電圧を制御して、速度制御する。通常、広範囲の速度制御を可能とするため、二次抵抗制御を併用する。リアクタ4台をブリッジ接続し、三相中の二相を切換えることにより制御トルク制御ができる。	直流電動機を励磁電流を調整し、遠起電力を制御することにより速度制御する。 誘導電動機は二次出力を直流電動機により、機械的出力として回収する。	サイリスタインバータの点弧角を制御し、直流電圧を制御して速度制御する。 誘導電動機は二次出力を、サイリスタインバータにより電流周波の交流に変換し回収する。
用 途	広範囲の速度制御が要求されるもの、特に可逆制御、加減速制御の要求されるもの。 荷役機械、クレーン、巻上機、押出機、巻取機	広範囲の速度制御が要求されるもの、特に可逆制御、加減速制御の要求されるもの。 荷役機械、(クレーン、巻上機) 押出機	定出力負荷、速度制御範囲のせまいもの、高精度、高効率、大起動トルクの要求されるもの。 セメントキルン 押出機、巻取機、定周波定電圧装置	速度制御範囲のあまり広くないもの、高精度、高効率運転の要求されるもの。 周囲のふん開きの悪いもの。 ポンプ、ファン、コンプレッサ、プロブ、押出機などの大容量高速機
方 式	超同期静止セルピウス装置 (SS形サイリスタモータ)	ブレーキ制御	交流無整流子電動機 (CS形サイリスタモータ)	
主電動機形式	巻線形 誘導電動機	巻線形 誘導電動機	同期電動機	
機器構成 SM : 同期電動機 DM : 直流電動機 IM : 誘導電動機 SCR : サイリスタ SR : シリコン整流器 INV : インバータ CONV : コンバータ REC : サイリスタ整流器 RS : 速度設定器 TG : 指差発電機 DCL : 直流リアクトル R/G : 減速機 SX : 可聴相リアクトル				
制御方法	サイリスタコンバータの点弧角を制御し、二次励磁電圧を調整し速度制御する。サイリスタコンバータによりIM二次出力を電源に充てたり、電源より二次電力を送り同期速度の上下の速度域で運転する。	ブレーキのブレーキトルクを制御し、電動機トルクとバランスした速度で運転する。	サイリスタコンバータの点弧角を分配器(D)よりの信号と速度設定信号により制御し、速度制御する。	
用 途	速度制御範囲の比較的に広いもの、高精度、高効率、可逆制御の要求されるもの。 ポンプ、ファン、コンプレッサ、押出機、試験設備	あまり精度を問題にしないもの。 クレーン、巻上機	広範囲の速度制御、可逆制御、高効率、高効率運転の要求されるもの。 圧延機、巻上機、抄紙機	

サイリスタレオナード (ダイヤロール)

和田 義彦*・杉山 昌司*・田原 武*・中沢 俊郎*

Thyristor Leonard (DIAROL)

Nagoya Works Yoshihiko WADA・Masashi SUGIYAMA・Takeshi TAHARA・Toshio NAKAZAWA

Thyristor Leonard system is very effecting, because of its design principle, to control a DC voltage of armature in the operation of a DC motor so as to have a wide range of speed control with constant torque characteristics. In consequence, it is applicable to almost all kinds of work.

Mitsubishi DIAROL is a device to have aimed at light handling of the thyristor Leonard in operating magnetic switches and motors. It has been developed based on conventional TH type Leonard to meet the requirements of small and medium capacity speed changers for DC use; its series covers a type ranging from 0.2kW to 7.5 kW through a single phase full wave control system.

1. ま え が き

ダイヤロールは、中・小容量の直流式可変速装置として従来のTH形サイリスタレオナードをベースとして開発したものである。ダイヤロールシリーズは0.2kW~7.5kWまでを標準機種としてそろえ、すべて単相全波制御方式を採用している。もちろん電源は手軽に使用できる単相200V商用電源である。またオプションとして可逆運転・クッションスタートなどのできる5種類の操作箱と、ダイナミックブレーキ用抵抗器・400V~200V降圧用トランスなどを用意しており、工作機械はもとより

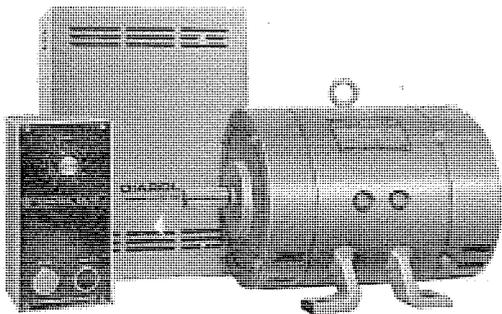


図 1.1 三菱ダイヤロール(操作箱・制御箱・モートル)
Exterior view of Mitsubishi DIAROL.

表 1.1 標準機種一覧

形 式	DL-200	DL-400	DL-750	DL-1500	DL-2200	DL-3700	DL-5500	DL-7500					
定 格 出 力 kW	0.2	0.4	0.75	1.5	2.2	3.7	5.5	7.5					
定 格 ト ル ク kg·cm	11.1	22.3	41.8	83.6	123	206	306	418					
変速範囲	80~1,750 (1:20)												
短時間定格 rpm	550~1,750 (1:3)												
連続定格 rpm	定格速度の3%以下												
速度変動率 %	単相 交流 200 V 50/60 Hz 220 V 60 Hz ±10%												
電 源	3.6	5.6	9.5	17	24	39	57	78					
交流入力電流 rms A	使用温度 -5°~50°C 湿度 35~85%												
周 閉 条 件	開 放 形												
保 護 形 式	サイリスタレオナード方式による単相全波制御												
制 御 方 式	定格電流~200%電流まで可調整												
電 流 制 限	S D N 形												
電 動 機	形 式	標準脚取付形 図 2.4, 図 2.5											
	電 機 子 電 圧/電 流	150 V/1.5 A	150 V/3.5 A	150 V/6.2 A	150 V/12 A	150 V/18 A	150 V/30 A	150 V/44 A	150 V/58 A				
	界 磁 電 圧/電 流	140 V/0.26 A	140 V/0.22 A	140 V/0.49 A	140 V/0.45 A	140 V/0.58 A	140 V/0.92 A	140 V/1.1 A	140 V/1.24 A				
	GD ² kg·m ²	0.011	0.016	0.07	0.11	0.16	0.23	0.43	0.55				
重 量 kg	16.4	19	60	74	115	125	170	185					
外 形 寸 法	標準脚取付形 図 2.4, 図 2.5												
制 御 箱	形 式	D L 形											
	電 機 子 用 最 大 出 力 電 圧/電 流	150 V/3.5 A		150 V/6.5 A		150 V/20 A		150 V/33 A		150 V/49 A		150 V/67 A	
	界 磁 用 最 大 出 力 電 圧/電 流	140 V/0.35 A		140 V/0.5 A		140 V/0.6 A		140 V/1.4 A		140 V/1.4 A		140 V/1.4 A	
	比 例 制 御 信 号	DC 0.2~5 V (入力抵抗 10 kΩ)											
重 量 kg	8.5			9.5			30		33				

注) 電機子, 界磁, 電流は直流平均値である。GD²重量は1,750回転用モートルの場合である。

溶接機・コンペア・巻取機・各種試験機など幅広い用途がある。

2. ダイヤロール用直流電動機

ダイヤロール用直流電動機は IEC 寸法系列を適用し、単相全波サイリスタレオナード電源用として特に設計されたもので、つぎの特長をもっている。

(1) 整流が良好で、定格電流以上の過電流に対しても整流が安定している。

(2) 保守が容易な構造を採用している。

(3) F種絶縁を採用し、耐熱特性の向上をはかっており、そのため連続定格変速範囲が広い。

(4) 小形で GD² が小さく応答特性がよい。

ダイヤロール用直流電動機は、表 2.1 に示すような出力と定格回転速度との組み合わせを用意しているが、そのうち1,750 rpmの定格回転速度を標準として製作している。つぎにその仕様を示す。

形 式 : SDN-B (閉鎖防滴形)

標準出力 : 0.2, 0.4, 0.75, 1.5, 2.2, 3.7, 5.5, 7.5 kW の 8 機種

速度制御範囲 : 1 : 20, 定格回転速度 1,750 rpm のものでは 80~1,750 rpm

定 格 : 1 : 3 まで定格トルクにて連続定格

Standard specification of DIAROL.

1 : 20 まで定格トルクにて 30 分定格

ただし図 2. 1 に示すように、低減トルクにて連続定格可能 (1/20 の速度にて、定格トルクの約 60% にて連続定格)

励磁方式 : 他励

電源方式 : 単相全波サイリスタレオナード電源

定格電圧 電機子 150 V, 界磁 140 V

絶縁 : F 種絶縁

表 2. 1 標準定格とわく番号
Ratings and framesize of standard series.

(kW) 標準出力	標準回転速度 (rpm)	3,500	2,500	1,750	1,150
0.2		63	90 S	90 S	90 L
0.4		90 S	90 L	90 L	112 L
0.75		112 M	112 L	112 L	132 L
1.5		132 M	132 M	132 L	160 M
2.2		132 L	132 L	160 M	160 L
3.7		132 L	160 M	160 L	180 M
5.5		160 M	160 L	180 M	180 L
7.5		160 L	180 M	180 L	200 M

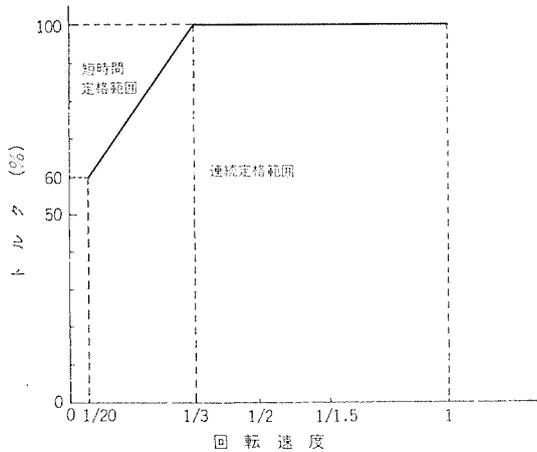
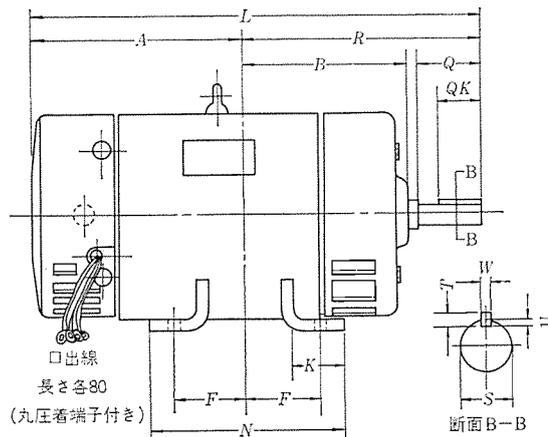


図 2. 1 ダイアロール用直流電動機連続定格適用の場合の
回転速度とトルクとの関係
Relation between speed and torque with continuous ratings.



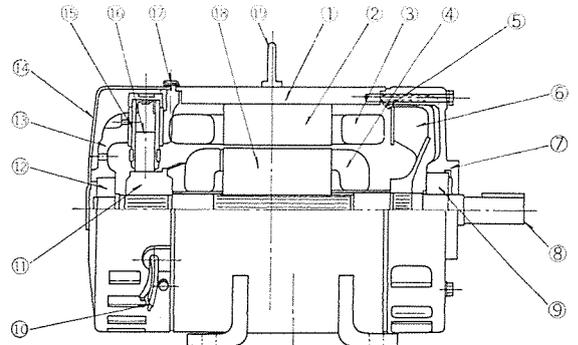
わく番号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Z	Q	QK	R	S	T	U	W
90 S	149	101	90	160	70	50	10	170	—	35	38	295	170	130	10	40	28	146	16	5	3	5
90 L	173.5	113.5	90	160	70	62.5	10	170	—	35	38	332	170	155	10	40	28	158.5	16	5	3	5
112 M	190	135	112	215	95	70	10	219.5	252.8	40	41	380	220	176	12	50	35.5	190	22	7	4	7
112 L	242.5	144.5	112	215	95	79.5	10	219.5	252.8	40	41	442	220	195	12	50	35.5	199.5	22	7	4	7

備考 (1) 軸中心高さの上下寸法差は ± 0.500 である。
(2) 軸径の上下寸法差は JIS BO 401 はめあい方式 h6 による。

図 2. 4 ダイアロール用 直流電動機外形寸法 (90 S~112 L フレーム)

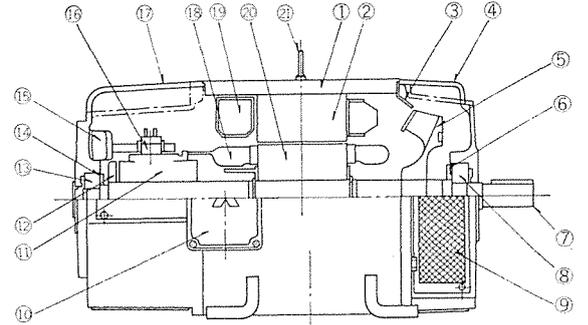
準拠規格 : JEM-1170

図 2. 2 および図 2. 3 にダイアロール用直流電動機の構造を示す。
定格回転速度 1,750 rpm で 1.5 kW 以下の直流電動機は、カートリッジ



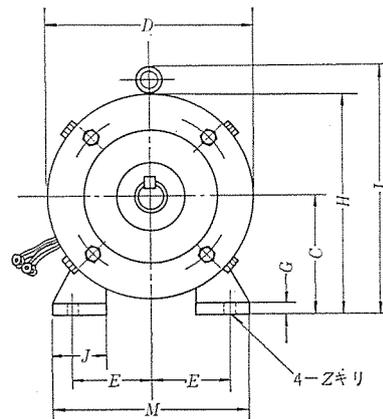
- ①ヨーク
- ②界磁鉄心
- ③界磁コイル
- ④電機子コイル
- ⑤風受
- ⑥ファン
- ⑦ブラケット(負荷側)
- ⑧シャフト
- ⑨ベアリング
- ⑩口出線
- ⑪整流子
- ⑫ベアリング
- ⑬ブラケット(遊び側)
- ⑭カバー
- ⑮ブラシホルダ
- ⑯ブラシ
- ⑰つまみボルト
- ⑱電機子鉄心
- ⑲アイボルト

図 2. 2 ダイアロール用 直流電動機構造図 (90 S~112 L フレーム)
Constructional drawing of DC motor for DIAROL.

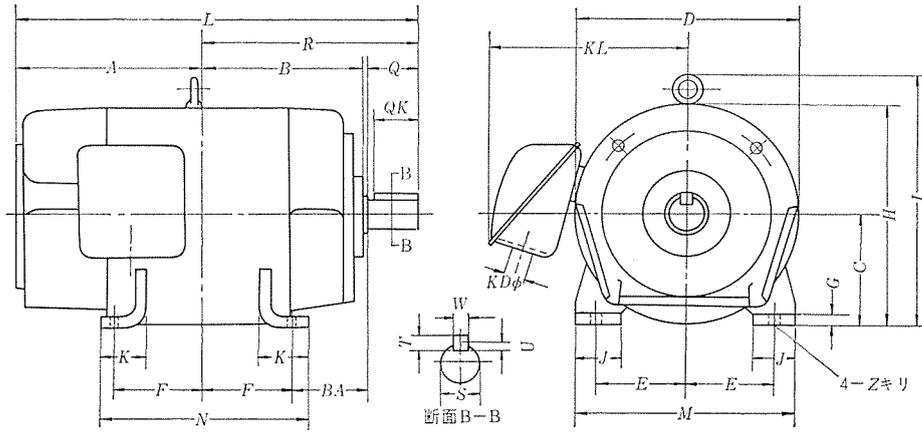


- ①ヨーク
- ②界磁鉄心
- ③風受
- ④ブラケット(負荷側)
- ⑤ファン
- ⑥シールリング
- ⑦シャフト
- ⑧ベアリング
- ⑨保護カバー
- ⑩整流子
- ⑪ベアリング
- ⑫シールリング
- ⑬ベアリング
- ⑭端子箱
- ⑮ロッキング
- ⑯電機子鉄心
- ⑰アイボルト
- ⑱ブラシ
- ⑲ブラケット(遊び側)
- ⑳電機子コイル

図 2. 3 ダイアロール用 直流電動機構造図 (132 M~200 L フレーム)
Dimensions of DC motor with DIAROL.



Dimensions of DC motor with DIAROL.



わく番号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	KD	KL	L	M	N	Z	Q	QK	R	S	T	U	W
132 M	251.5	173.5	132	260	108	89	14	262	304	44	65	44	210	489.5	260	222	12	60	48	238	28	7	4	7
132 L	264	186	132	260	108	101.5	14	262	304	44	65	44	210	514.5	260	247	12	60	48	250.5	28	7	4	7
160 M	293.5	207.5	160	312	127	105	16	316	358	58	75	62	256	586.5	312	260	14	80	67	293	38	8	4.5	10
160 L	315.5	229.5	160	312	127	127	16	316	358	58	75	62	256	630.5	312	304	14	80	67	315	38	8	4.5	10
180 M	306	236	180	350	139.5	120.5	19	355	406	71	85	62	297	657.5	350	300	14	110	95	351.5	42	8	4.5	12
180 L	325	255	180	350	139.5	139.5	19	355	406	71	85	62	297	695.5	350	338	14	110	95	370.5	42	8	4.5	12
200 M	361	261	200	394	159	133.5	19	397	457	76	92	62	318	737.5	394	338	18	110	95	376.5	42	8	4.5	12
200 L	380	280	200	394	159	152.5	19	397	457	76	92	62	318	775.5	394	370	18	110	95	395.5	42	8	4.5	12

備考 (1) 軸中心高さの上下寸法差は -0.500 である。
 (2) 軸径の上下寸法差は JIS B0401 はめあい方式 P6 による。

図 2.5 ダイアロール用 直流電動機外形寸法 (132 M~200 L フレーム)

Outline dimensions of DC motor for DIAROL.

形の刷子保持器をもってあり、刷子の交換がきわめて容易に行なえる構造を特長としている(図 2.2)。2.2 kW 以上は機械的に強固で、絶縁性・耐熱性にすぐれた樹脂製のロッキングにより刷子保持器を確実に保持する構造で、ブラケット上面の広い点検窓より内部が容易に点検でき、刷子の交換も容易にしている(図 2.3)。いずれも整流特性が良好で定格運転状態では火花の発生はなく、刷子の適正な寿命を保証できるように製作されている。

図 2.4 および図 2.5 にダイアロール用直流電動機の標準外形寸法図を示す。横軸脚取り付けを標準とするが、フランジ形・立形および特殊仕様は要望に応じ製作している。

3. 制御箱

ダイアロール制御箱(DL形)は、サイリスタとダイオードを用いた単相全波混合ブリッジと、ダイオードスタックを用いた界磁回路、サイリスタ制御用の直流増幅回路、点弧回路および電圧・電流帰還回路、電流制限回路、同期信号回路から構成されている。

回路の特長は次のとおりである。

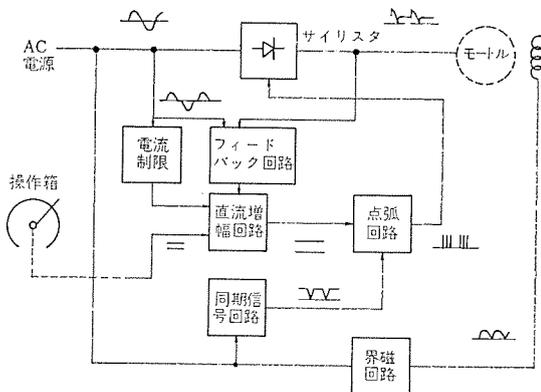


図 3.1 制御箱ブロック図
Block diagram of control circuit

(1) 電圧(速度)帰還を直流側から採り、電流(トルク)帰還を交流側から採る方式としたため、主回路の直列抵抗がなくなり装置が小形化された。また電流帰還は波高値整流をすることにより速度変動率は3%以下とすることができる。(図 3.2)

(2) 定格電流からその200%までの範囲で調整できる電流制限回路を設け過電流を防止するとともに、主回路と制御回路を同時投入しても、瞬間過電流によるヒューズ溶断などの起こらない電流抑制回路を設けてある。

(3) 電源変動補償回路を設け、180~240 Vの電源変動に対して速度変動は5%以下である。

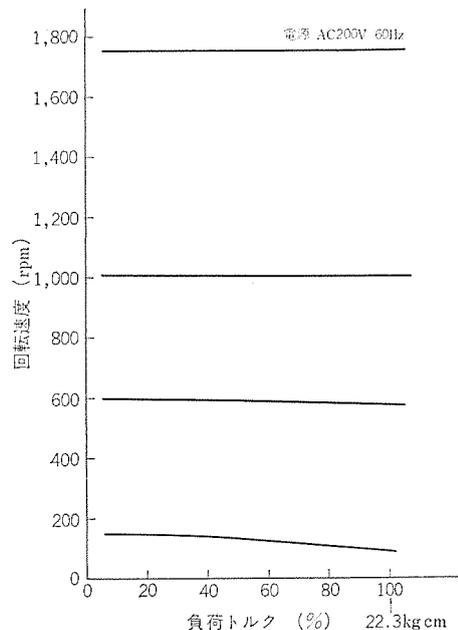


図 3.2 400 W 負荷特性
400 W speed torque characteristics curve.

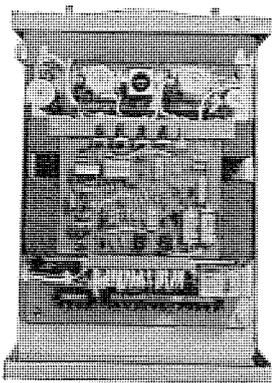


図 3.3 制御箱
Interior view of control panel.

(4) 増幅回路に IC(M51709 T) を用いているため、周囲温度が変化しても速度は一定である。

(5) 入力信号は DC 0.2~5 V (入力抵抗 10 kΩ) を与えるだけでよい。他の制御系から信号を受けて動作させることも容易である。

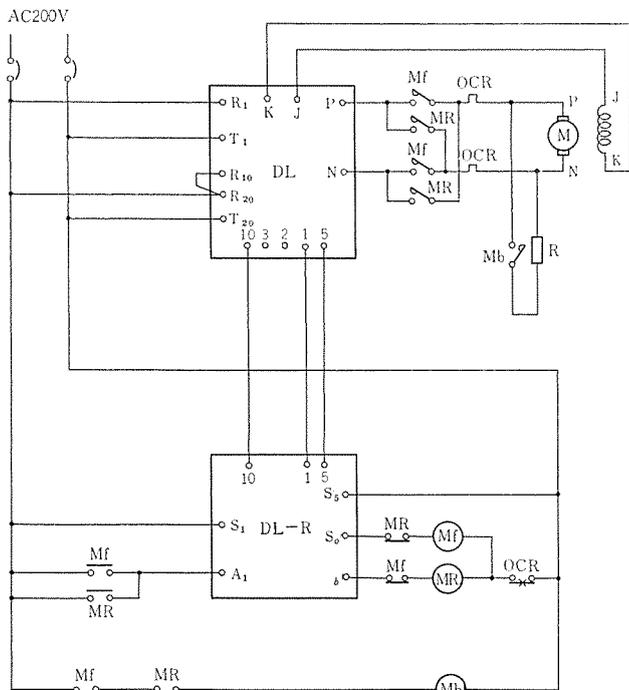
制御箱内部は図 3.3 に示すようにサイリスタ、プリント板等の部品がパネル上にコンパクトにまとめている。プリントカードは 0.2~7.5 kW まで共通にし、ヒューズ・サイリスタ等の保守・点検も容易にできるように考慮してある。

4. 操作箱

ダイヤロールは電磁開閉器と同じように取り扱えるように専用の操作箱を標準化して、用途によって客先で選定できる 5 種類の オプション

表 4.1 操作箱一覧
List of operating boxes.

形式	名称	仕様および用途
DL-S	操作箱	起動・停止押しボタン、速度設定器を備えている。一般単独運転用
DL-M	電圧計付操作箱	DL-S形に電圧計を追加したもの
DL-T	3 速選択操作箱	DL-S形に速度選択スイッチおよび外部信号により選択可能なリレーを追加したもの
DL-R	寸動可逆操作箱	DL-S形に寸動・可逆運転用リレーを追加したもの
DL-C	クッションスタート箱	クッション(ソフト)スタート時間調整用つまみを備えている。他の操作箱とともに使用する



注) 1. PG の出力電圧は $30 \pm 10/0$ V/1,000 rpm (GTT 形) を使用。
2. 制御箱 DL 内部の変速抵抗器 VR1 (プリントカード向かって右端) を時計方向いっぱい回しておく (0 に set)。

図 4.1 可逆運転回路
Control circuit for reversible operation.

を用意している。図 4.1 に DL-R 形操作箱を使用した可逆運転回路例を示す。

5. ダイヤロールの応用

「電磁開閉器なみの手軽さで使えるサイリスタレオナードを顧客へ」を旗印として開発されたダイヤロールは、電気式可変速はむずかしいという従来の観念を一掃して、誰にでも使えるものを実現した。これで半導体部品を使った取り扱にくいものではなく、電源と電動機の端子さえ接続すれば運転できる箱に生まれ変わった。

ここではダイヤロールが今後各方面のユーザに使用されるよう応用例について述べ、参考に供したい。

5.1 直流電動機の選定

まず、ダイヤロールを使用した場合、機械式変速装置に比べて次のような利点がある。

- (1) 変速比が大きい (1:10~1:20)
- (2) 高効率である (低速時 80%, 高速時 90%)
- (3) 変速操作容易で、自動化しやすい (つまみ一つで変速可能)

直流電動機の回転数 N を示す次式から明らかとなり、回転数を変えるには端子電圧 V を変える方法と、界磁磁束 Φ を変える (実際には界磁電流を変える) 方法とがあり、おのおのの得失は表 5.1 のとおりである。

表 5.1 直流電動機速度制御方式
Control system of DC motor.

方式	特性	可能な変速比	装置の価格
電機子電圧制御	一定トルク	1:30	中
界磁制御	一定出力	1:3	小

$$N = \frac{V - I_a R_a}{K\Phi}$$

もちろん、ダイヤロールは電機子電圧制御方式であるから、ほとんどの負荷に適用できるが、表 5.1 の点と負荷特性を吟味して、電動機容量を決定すればよい。

一方、特に経済性をねらって界磁制御をおこなうときは、高速にて低トルクとなること、および、同一容量でも電動機寸法が大きくなること、などに留意せねばならない。

5.2 シーケンス制御への組み込み

0.4~1.5 kW 程度では一部の電動機を変速して使うため、リレーシーケンスによる制御盤にダイヤロールを組み込んで使用する例が多い。

たとえば、ギヤ切り換えにより変速していたものをギヤボックスを廃止し、代わりに速度設定抵抗器 (ポリューム) を数個設け プリセットしておき、リレー回路で切り換え使用すればよい。

ただし、この回路では DC 5 V 2 mA 以下の微小信号を扱うので、

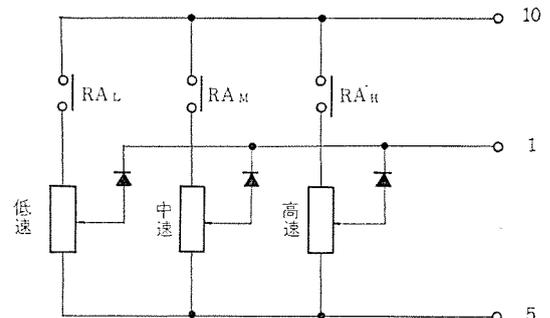


図 5.1 速度切換え回路
Speed changing over circuit.

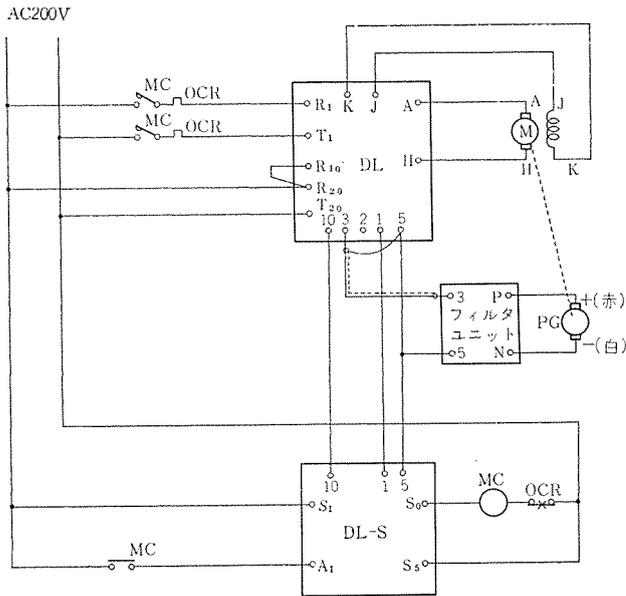


図 5.2 PG フィードバック方式
PG feed back control.

リードリレーを使うとか、プラグインリレーなら2接点並列にするなどの配慮により接触不良を防ぐ必要がある(図5.1参照)。

かつ、信号回路の配線はノイズの影響を受けないようシールド線を使用する。なお、シールド線の網は必ず指定された端子へ接続すべきで、絶対にきょう(筐)体へつなぐとか、大地接地してはならない。

5.3 PG フィードバックの使用

前述のごとく、ダイヤロールはフィードバックする速度信号として、電機子電圧を修正してとり出しているが、さらに高精度(速度変動率を小さくする)とするには、パイロット発電機付き直流電動機を使用し、このPG電圧をフィードバックすればよい。

この場合の構成を図5.2に示す、ダイヤロール内の電圧帰還ボリウムを0目盛として、端子3と5のみ追加配線すれば、PGフィードバック方式としても使用できる。

5.4 可逆運転

ダイヤロールは一方方向運転であるが、可逆が必要なときは電機子電圧を可逆コンタクトにより切り換え、正転・逆転をおこなう。

一方方向回転で起動する場合も同じであるが、正転から逆転へ切り

換えるときも、必ずコンタクトがはいつてから入力信号がはいるよう時間の関係に配慮が必要である(同時投入でもよい)。

これは入力信号の投入が時間的に先行するといわゆるじか入れ投入となり、クッションスタートの効果がなくなるためである。

5.5 その他の応用

ダイヤロールは一つの閉ループを有する自動制御系であるから、この特性を生かし直流電動機以外の対象でも制御できる。

たとえばヒータ制御とか、自動弱め界磁をおこなう場合の界磁用制御装置としても使用できる。

これらの場合何をフィードバックするかについて十分な検討が必要となるが、特殊な応用例については今後さらに広くなると思われるが、ユーザ各位のご意見など賜りたい。

5.6 使用上の注意事項

ダイヤロールは電機子電圧フィードバックによるサイリスタレオナードであるので、これに起因するおもな注意事項をまとめると次の諸点である。

- (1) 入力信号回路はシールド線を使うこと。
- (2) シールド線の網はきょう体へついでり、大地接地してはならない。必ず指定された端子につなぐこと。
- (3) 入力信号を入れる前に必ずコンタクトを投入させること(同時投入でもよい)。
- (4) 電動機に直列に直流リアクトルを入れるほうがよい(トルクの脈動が減少するし整流も改善される)。
- (5) 停止時、回転数0のときは入力信号を0とするためB接点で入力を短絡する回路を入れておく。
- (6) 電機子回路端子Aと入力回路端子5が同電位(絶縁されていない)ため、2台以上使用する場合の入力信号はおのの単独に絶縁された信号源を使用すること。

6. む す び

動力源として使用されていたモートルは、省力化・自動化が進むにつれてその主要素としての役割、すなわち変速を必要とするに至った。近年ますますこの傾向が強まり軽工業の分野まで広がってきている。これらの要求に対して安価で使いやすさを主目標としたサイリスタレオナード方式のダイヤロールを使用し、実用に供したい。また今後はその実用範囲を広げるため、操作オプションの拡充、モートルの小形化、用途の開拓を進めてゆきたい。

一般工業用サイリスタレオナード装置

杉本 弘*・長谷川雅言*・浜崎 晏行*

Thyristor Leonard System for General Industrial Purposes

Kobe Works Hiroshi SUGIMOTO・Masakoto HASEGAWA・Yasuyuki HAMASAKI

Small and medium capacity thyristor Leonard systems are now on the increase in response to the demands of a variety of industries. They are now built more and more compact and inexpensive to facilitate the operation. The capacity of the unit now available ranges from a few kW to 200 kW and is adaptable to stepless speed changers and to automatic control of plants with ease.

Herein are described a series of type THL-A (2 kW~200 kW) and that of type THL-D (0.37 kW~7.5 kW). They are now produced in quantities. The explanation covers the recent trend of the operation and details of the system in brief.

1. ま え が き

無段変速機等の簡単な用途から、プラント自動制御にいたる広範な用途に使用できる、数kWから200kWのサイリスタレオナード装置は当社神戸製作所で製作している。従来このクラスには、THL-C形シリーズ（数個のブロックにより構成される）と呼ぶ装置を製作してきたが、製作台数の飛躍的增加にともない、より量産に適した新形シリーズに統一した。

これらは容量および方式により、THL-A形シリーズ（2~200kW）とTHL-D形シリーズ（0.37~7.5kW）に分けられている。

2. THL-A形シリーズ

THL-A形サイリスタレオナード装置は、THL-AU形ユニット（図2.2）を、スイッチギヤ類（コンタクタ・ノーヒューズブレーカ回路等）とともに標準の小形ケース（図2.1）に収納したものである。小形ケースは、従来の盤の概念とは異なる簡単な構造になっており、短時間でバラバラに分解したり、組み立てたりできる。またユニット部は次のような特長を持っている。

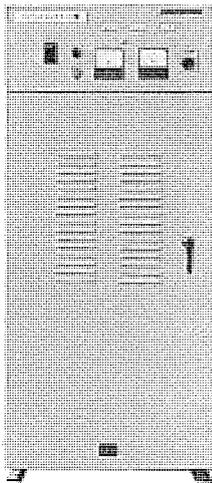


図 2.1 THL-AS 322 F 形、
220 V 45 kW サイリスタ
レオナード装置
Type THL-AS 322 F, 220 V
45 kW thyristor Leonard
panel.

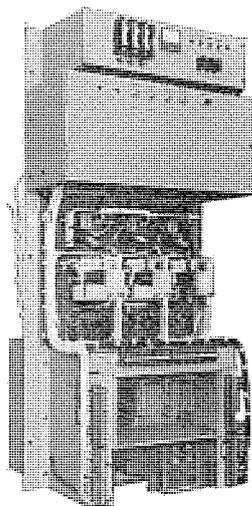


図 2.2 THL-AUS 643 F 形、
440 V 180 kW サイリス
タレオナードユニット
Type THL-AUS 643 F 440 V
180 kW thyristor Leonard
unit.

(1) Compactである

サイリスタレオナードの全主要部が、1ブロックに組み込まれており、パワパッケージとして手軽に使用できる。220 V なら 37.5 kW、440 V なら 75 kW のものが、2,300 mmH の盤に2段重ねで2台収納できる大きさである。

(2) 制御精度が良い

制御回路には高増幅度のハイブリッドトランジスタ増幅器を使用しており、高精度の制御が可能である。

(3) 制御方式

電流制御マイナーループを持っているので、動作が安定しており、また簡単に電流制御装置として使用することができる。特殊な制御方式の要求に対して、演算AMP 2回路を簡単に追加することができる。

(4) 点検しやすい構造

制御回路はプリント化されており、動作させたまま、引出して点検できる構造になっており、また簡単に交換することができる。

3. THL-D形シリーズ

THL-D形サイリスタレオナード装置は、サイリスタ変換部・スイッチギヤ・制御回路を一体として、壁掛形の制御箱（図3.1）に収納されている。制御回路はA形シリーズと同様電流制御マイナーループを持っており、IC演算増幅器を使用している。大容量のサイリスタレオナード装置と同一電源で使用されても、電源波形ひずみによる動作不良を起こさないように、点弧回路には特殊なノイズフィルタが使用されている。

図3.2は速度制御特性を、図3.3は電流制御特性の一例を示すも

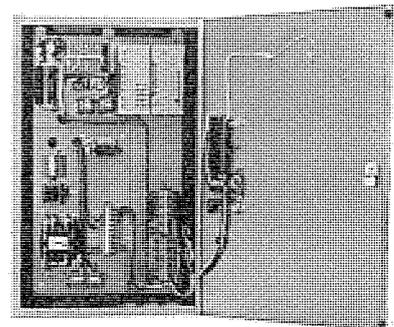


図 3.1 THL-Dサイリスタレオナード装置
Type THL-D thyristor Leonard panel.

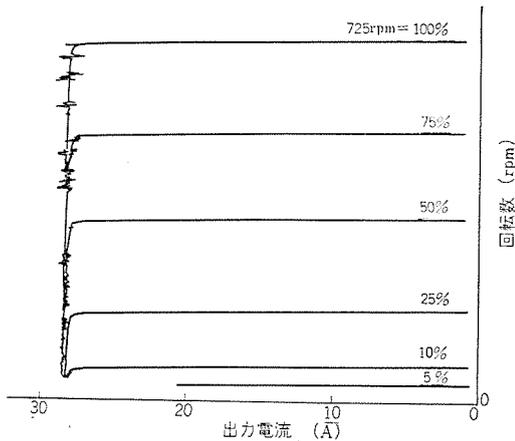


図 3.2 THL-D-S 320 速度制御特性
Characteristics of speed control of type THL-D thyristor Leonard.

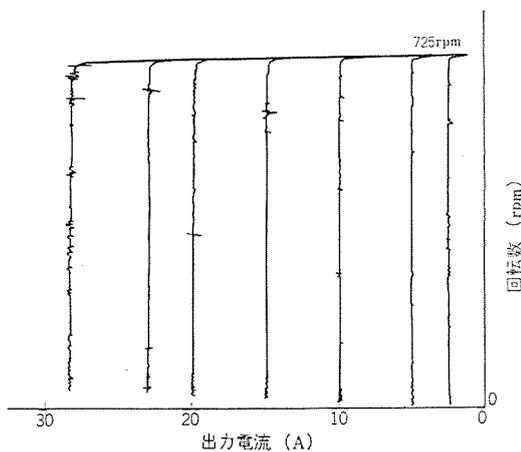


図 3.3 THL-D-S 320 電流制御特性
Characteristics of current regulation of type THL-D thyristor Leonard.

ので、この二つの特性を利用して種々の直流電動機の制御に応用することができる。これらの基本的な構成のほか、オプションとしてクッションスタート・ダイナミックブレーキ・電機子切換えによる可逆運転等の構成が可能である。

4. 性能

A形シリーズ・Dシリーズの標準定格、性能の概要を表 4.1 に単線構成図を図 4.1 にそれぞれ示す。

5. サイリスタレオナードと直流電動機

サイリスタの発達に伴い、容易に可変電圧直流電源を得られるようになり、直流電動機の特長、制御性能の良さを利用して、各種の設備を効率よく運転することが容易にできるようになった。このような傾向とあわせて、直流機も小形軽量化・標準化が進められた。

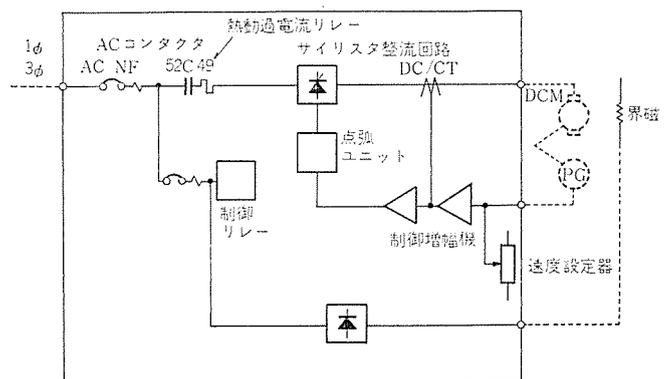
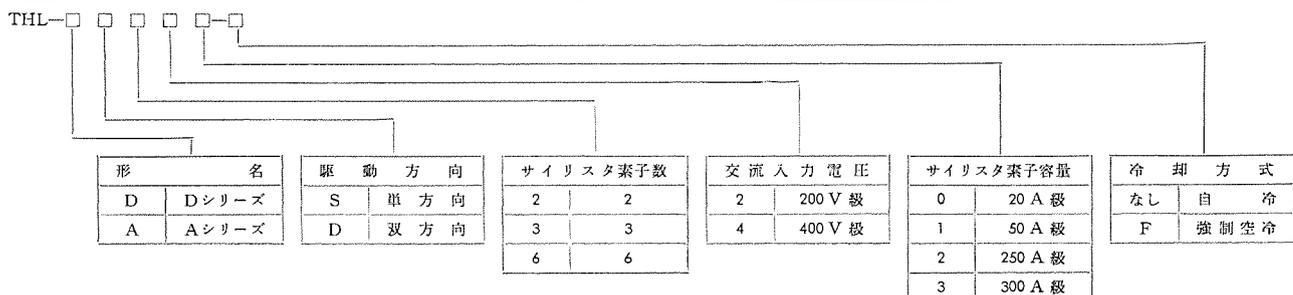


図 4.1 サイリスタレオナード単線図
Block diagram of thyristor Leonard.

表 4.1 THL-A, D サイリスタレオナード装置性能表
Specifications of type THL-A and THL-D thyristor Leonards.

駆動方向	形名	AC入力電圧/ DC出力電圧 V	最大 DCM 容量 kW	盤構造	整流回路の成 構	用途	電源変動 許容範囲	速度制御範囲	速度制御精度	
単方向	THL-DS 220	200, 220/140	2.2	壁掛形	1φ混合ブリッジ	電圧制御 速度制御 電流制御	電圧 ±10% 周波数 ±1Hz	1 : 10	±2% (PG 不要)	
	THL-DS 320		3.7							
	THL-DS 321		7.5							
	THL-AS 322	200, 220/220	22	据置形	3φ混合ブリッジ			1 : 100	±1%	
	THL-AS 322-F									45
	THL-AS 342									45
	THL-AS 342-F	400, 440/440	90	据置形	3φ均一ブリッジ			1 : 100	±1%	
	THL-AS 323-F	200, 220/220	90							
	THL-AS 643-F	400, 440/440	180							
双方向	THL-AD 320	200, 220/140	2.2	据置形	3φ半波	1 : 100	±1%			
	THL-AD 322		15							
	THL-AD 322-F		30							



(1) 標準化・系列化⁽¹⁾

0.37 kW から 110 kW までの一般工業用直流電動機について当社は業界をリードして、三菱スーパーライン D (略称 SD 形) の系列を完成し、日本電機工業会規格 JEM 1170 の母体とした。その後研究を続け、7.5 kW 以下の小容量直流電動機を、より広い用途に適したダイヤロールシステム (電動機略称 SDN 形) 用としてモデルチェンジした。JEM 1170 に定められた軸中心高さ 315 mm をこえる中容量 (150 kW~600 kW) のものについても、標準化した三菱スーパーライン M (略称 SM 形) が用意されている。

圧延補機用として親しまれてきた 600 番系列直流電動機は、最近の技術の進歩を加味した新系列・800 番系列直流電動機として制定されたが (ただし #802~818 まで) サイスタレオナードとの組み合わせを考慮した系列として整備されている。

(2) 絶縁の進歩

絶縁種別は B 種が全面的に普及し、次第に F 種 H 種に進みつつある。最近のポリエステル、エポキシ系統の材料の進歩はめざましく、また、マイカに代わる新材料の出現もあって、直流電動機の内部スペースの利用率が高くなり、小形軽量化が行なわれたが、通風冷却方法などの設計技術の進歩も著しい。

(3)

直流電動機の整流器運転に際しての一般的な注意事項は、つぎのとおりである。

(a) 整流

サイスタ電源のときには、脈動電圧電流により、従来の M-G 電源のときよりも整流条件が苦しくなるので、主回路に平滑リアクトル

を入れるのが普通であるが、必要以上に入れることは速応性を悪くするので、直流電動機自体として整流能力を上げておく必要がある。磁気回路を積層構造にすることにより、リップル電源に対する整流能力を向上するとともに、速応性を増し制御性能を向上させることがある。

(b) 軸電圧

M-G 電源の場合よりも軸電圧は、高くなるのが一般的な傾向であるが、これは水銀整流器の時代より経験しているように、軸受の絶縁・接地ブラシを考慮しておけばよい。

(c) 温度上昇・騒音など

温度上昇・騒音は電源相数を多くしたり、平滑リアクトルを入れることにより中・大形機では問題ないが、小形機でとくに電圧制御で低速の冷却効果の悪い状態で運転するときには、注意が必要である。また超低速度運転中のトルク変動にも注意が必要である。

6. む す び

以上、最近の中小容量サイスタレオナード装置について、その概要を説明したが、これらは需要の急速な伸びとともに、価格・納期等に対する要求がさらにきびしいものとなっている。われわれはさらに研究を進め、よりいっそうすぐれた装置により、需要家各位のご期待にそうつもりである。

参 考 文 献

- (1) 大川：工業用直流電動機，三菱電機技報，43，No. 7，914~916 (昭 44)

交流無整流子電動機(三菱CS形サイリスタモータ)

山下 隆三郎*・永石 勝之*

Mitsubishi AC Commutator-Less Motors (Type CS Thyristor Motors)

Nagasaki Works Ryuzaburo YAMASHITA・Katsuyuki NAGAISHI

Excellent controllability and easy maintenance are requisites for variable speed motors. Though DC motors are superior to AC ones in the point of controllability, the presence of commutators poses problems in their maintenance.

Under the circumstances, Mitsubishi has worked for the development of type CS thyristor motors, which are combination of cyclo-converters and synchronous machines to operate as brushless variable speed motors having controllability as excellent as DC machines yet no trouble in maintenance. Several tens of these new apparatus have been delivered to meet crucial need of market since last year. The article sets forth the details of the motor.

1. ま え が き

可変速電動機に対して要求される事項としては、すぐれた性能、特性、さらに容易な保守であろう。

すぐれた性能、特性という点では直流機が最もすぐれており、これまで製鉄、製紙、化学工業などいろいろな産業分野で広く用いられてきている。

一方、容易な保守という面では、可変速電動機分野は非常に遅れていると言わねばならない。すなわち同期発電機、同期電動機分野では、すでに古くからブラシレス化が進められ、今やブラシレスが常識化される段階にまで達しているのに対し、これら同期機よりもはるかに保守のめんどろな整流子が、直流機の場合には依然として存在している。

直流機に代わる保守の容易な可変速電動機として、交流機を用いた誘導電動機、交流整流子電動機等の制御方式も考えられてきたが、性能の面で直流機に及ばず、その使用される分野も直流機に比べて限られていた。われわれは、直流機のもつこれらの悩みを解決する方法として、サイクロコンバータと同期電動機の組み合わせによる、CS形サイリスタモータの研究を数年来続けてきており、当誌上においても発表したが⁽¹⁾、昨年来市場の要求も増大し、昨年中に数十台の納入実績を有するに至ったのでここにその内容を紹介する。

2. 動作原理

電動機として同期電動機を用い、その電機子巻線に、直接周波数変換装置(サイクロコンバータ)によって商用周波数の電源から直接、可変周波可変電圧の電力を供給する、いわゆる交流無整流子電動機の歴史は古く、1934年には水銀整流器を用いて実際に運転されたことがある。

無整流子電動機の方式としては、この他に(インバータ+同期電動機)によって構成される、いわゆる直流無整流子電動機もあるが、われわれは前者の方式を採用している。

2.1 動作原理

無整流子電動機の場合、使用される電動機は同期電動機であるため、界磁に直流励磁を与え、電機子巻線に三相交流電圧を供給すれば、電機子巻線に流れる電流によって電機子に回転磁界が生じ、これと界磁との間に力が働らくことによって電動機は回転する。

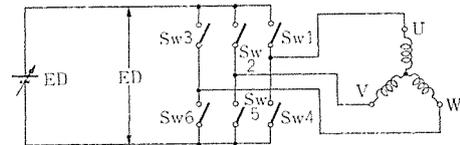


図 2.1 基本回路
Fundamental circuit.

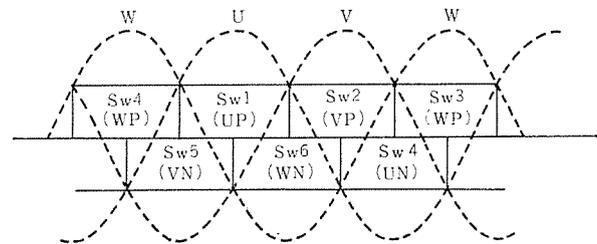


図 2.2 基本動作
Fundamental operation.

図 2.1 において、直流電源 (E_D) と同期機の電機子巻線 U, V, W の間に 6 個のスイッチ ($SW_1 \sim SW_6$) がつながれており、これら 6 個のスイッチを図 2.2 に示すような順序で、各相の正負側とも、電気角にして 120° ずつ導通せしめていけば、電動機には図のような台形波電圧が加えられることになる。この台形波は図中破線で示す正弦波と等価と考えることができるので、結局、スイッチを図 2.2 に示す順序で開閉することによって、電動機には三相の交流電圧を加えたことになり電動機は回転する。

このとき、スイッチを速く切換えていけば、電動機の周波数は高くなり回転数は上昇する。すなわち、これらスイッチが電動機に与えられる周波数を決定するのである。一方、直流電源電圧 (E_D) の大きさを変えることによって、台形波の高さが変わり、電源電圧の大きさが変わる。

図 2.3 は CS 形サイリスタモータの主回路構成図である。図 2.2 のスイッチに相当するものとして、3 個のサイリスタより構成されるサイリスタスイッチが電動機の電機子巻線 U, V, W につながれている。

これらサイリスタスイッチを図 2.2 のスイッチと同じ要領で切換えていくと、図 2.4 に示すように六つのモードができる。各モードの回路は、図 2.5 に示すような三相均ブリッジの回路となるため、結局、電機子巻線には図 2.2 と同じように直流台形波電圧が加えられることになる。そして、このサイリスタの位相制御を行なうことに

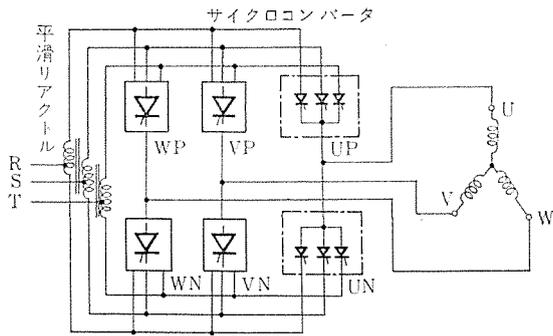


図 2.3 CS 形サイリスタモータの主回路
Main circuit of type CS thyristor motor.

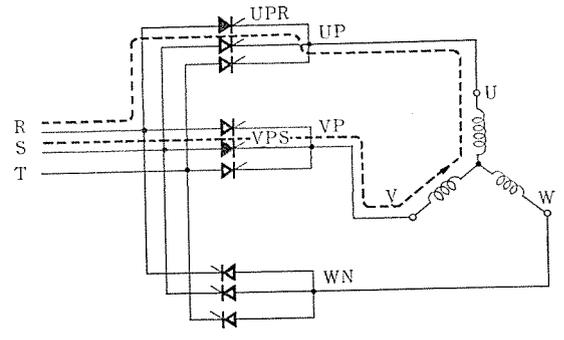


図 2.6 電源転流
AC source commutation.

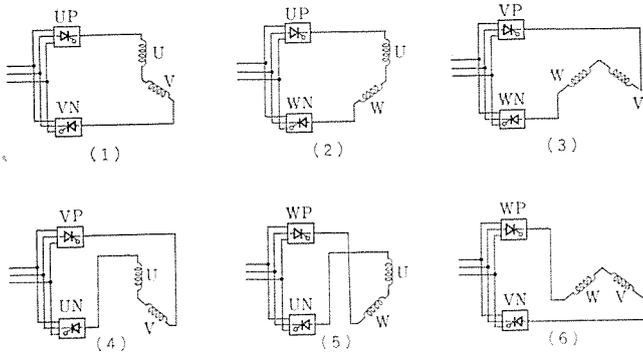


図 2.4 6モード動作
Six modes operation.

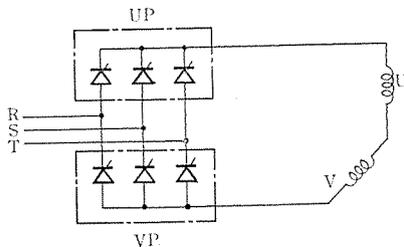


図 2.5 三相均一ブリッジ
3 phase full wave bridge.

よって直流電圧の大きさ、すなわち、電動機の電圧の大きさを変えることができるのである。

2.2 転流

インバータ、サイクロコンバータ等の周波数変換装置で最も問題となるのは、それらを構成しているサイリスタ中に流れている電流を順次他のサイリスタに移していく、いわゆる転流である。サイリスタはいったん導通してしまると、そのままでは非導通になりにくいので、転流を行なわせるために特別のくふうを必要とする。

サイクロコンバータの場合には、下記の2種の転流を利用する。

(1) 電源転流

(2) 負荷転流

低速では、電源電圧によってサイリスタの転流を行なわせる電源転流を、また電動機の回転数が上昇し、誘起電圧が高くなった場合には、電動機の誘起電圧を利用する負荷転流を行なわせる。

図 2.6 はサイリスタ群 UP から VP へ切替える場合で、UPR のサイリスタが導通している場合に、VP 群のサイリスタ VPS を点弧せしめることによって、UPR に電源電圧により逆電圧が印加されて不導通となる電源転流の様子を示している。

図 2.7 (a) は、同じくサイリスタ群 UP から VP へ切替える場合に UPR のサイリスタが導通している場合に、VP 群のサイリスタ VPR

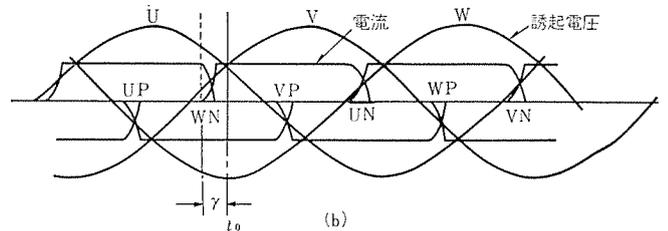
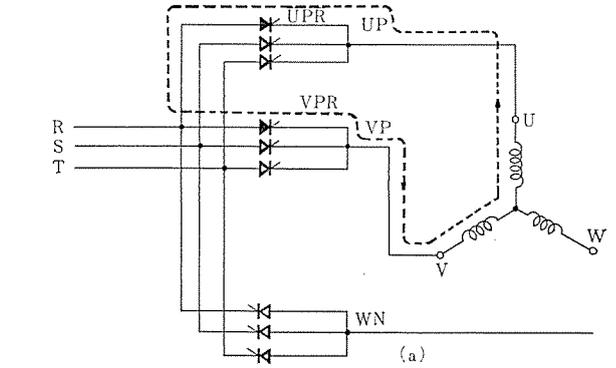


図 2.7 負荷転流
Induced EMF commutation.

を導通せしめることによって、UPR に電動機の誘起電圧によって逆電圧が印加されて不導通となる負荷転流の様子を示している。

この場合に、転流がうまくいくためには、図 2.7 (b) に示す t_0 の点より前の時点で UP 群のサイリスタが不導通となる必要がある。このため、 t_0 より γ (転流余裕角) だけ前の時点で VP 群のサイリスタに信号を与えてやる必要がある。これは回転子と同軸上に取り付けられた分配器によって行なわれる。このようにサイクロコンバータの場合には、低速、高速時共、外部の電圧によって転流を行なわせるため、自分自身の中には特別な転流回路を必要とせず、簡明な制御装置によって速度の全域にわたって安定した運転が可能である。

3. 理論と特性

3.1 理論

前記の CS 形サイリスタモータの原理的動作を量的には握るために、平滑リアクトルを有する電流形サイリスタモータについて、電圧、電流、トルク、回転数および転流特性などについて述べる。

図 3.1 は CS 形サイリスタモータの電圧、電流などの基本波成分についてベクトル関係を表わしたものである。

ここに

V_t : 電動機の端子電圧 (線間電圧実効値)

E_i : 電動機の内部電圧 (線間電圧実効値)

E_0 : 電動機の公称誘起電力 (線間電圧実効値)

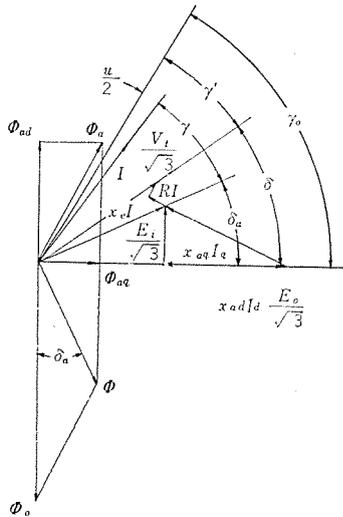


図 3.1 ベクトル図
Vector diagram.

I : 電機子電流 (基本波実効値) $= I_d + jI_q$

Φ_0 : 界磁磁束

Φ_a : 電機子反作用磁束

Φ : Φ_0 と Φ_a の合成磁束

x_d : 直軸同期リアクタンス $= \omega L_d = \omega(L_{ad} + L_l)$

x_q : 横軸同期リアクタンス $= \omega L_q = \omega(L_{aq} + L_l)$

x_l : 電機子漏れリアクタンス $= \omega L_l$

R : 電機子抵抗

γ_0 : 分配器の設定制御進み角

γ : 実効制御進み角

δ_a : 電機子反作用角

u : 負荷転流の重なり角

X : 転流リアクタンス (負荷転流時)

ベクトル図より、電流 I に対する電機子反作用角 δ_a 、実効制御進み角 γ および重なり角 u は次の式 (3.1)~(3.3) より求められる。

$$\delta_a = \tan^{-1} \frac{L_{aq} I \cos(\gamma_0 - \frac{u}{2})}{\Phi_0 - L_{ad} I \sin(\gamma_0 - \frac{u}{2})} \dots (3.1)$$

$$\gamma = \gamma_0 - \frac{u}{2} - \delta_a \dots (3.2)$$

$$\cos(\gamma - u) = \cos \gamma + \frac{\pi}{\sqrt{3}} \frac{XI}{E_i} \dots (3.3)$$

電圧バランス式

電源電圧を V_s 、電源電圧の点弧位相制御角を α 、電源側転流の重なり角を U_s 、電源側の抵抗を R_s とすれば、CS 形サイリスタモータの電圧バランス式は式 (3.4) で与えられる。

$$E_i \cos(\gamma - \frac{u}{2}) \cos \frac{u}{2} + \frac{\pi^2}{3\sqrt{3}} RI = V_s \cos(\alpha + \frac{u_s}{2}) \cos \frac{u_s}{2} - \frac{\pi^2}{3\sqrt{3}} R_s I \dots (3.4)$$

回転数

CS 形サイリスタモータの内部電圧 E_i は、合成磁束 Φ と回転数 N に比例するので式 (3.4) を用いれば

$$N = \frac{E_i}{k\Phi} = \frac{V_s \cos(\alpha + \frac{u_s}{2}) \cos \frac{u_s}{2} - \frac{\pi^2}{3\sqrt{3}} R_s I - \frac{\pi^2}{3\sqrt{3}} RI}{k\Phi \cos(\gamma - \frac{u}{2}) \cos \frac{u}{2}} \dots (3.5)$$

である。

また、トルクは次式で求めることができる

$$\text{トルク } T = \frac{975 \times \sqrt{3} E_i I \cos(\gamma - \frac{u}{2}) \cos \frac{u}{2}}{N} \times 10^3 \text{ [kg} \cdot \text{m]} \dots (3.6)$$

E_i と E_0 の間の角度 δ は式 (3.7) を用いて求められる。

$$\delta = \tan^{-1} \frac{I_q X_q + IR \sin(\gamma_0 - \frac{u}{2})}{\frac{E_0}{\sqrt{3}} - I_d X_d + IR \cos(\gamma_0 - \frac{u}{2})} \dots (3.7)$$

負荷転流が開始される瞬間から、電動機端子電圧 V_t が 0 になるまでの間の電流進み角 γ' は式 (3.8) で与えられる。

$$\gamma' = \gamma_0 - \delta \dots (3.8)$$

γ' と u は、電動機の端子電圧と電流の波形より容易に測定することができる。

式 (3.5) より明らかに、CS 形サイリスタモータの回転数制御は直流電動機の場合と同様に電源電圧制御 (α 制御) および界磁電流制御により行なうことができる。さらに、回転数は γ と u にも関係することが注目される。

3.2 特性

サイリスタの転流を負荷転流によって実現している CR 形サイリスタモータでは、転流が可能であるか否かを決定する、いわゆる転流余裕角 ($\gamma' - u$) が負の値になってはならない。一般に、負荷トルクの増加に伴い転流余裕角は小さくなり、CS 形サイリスタモータの最大トルク

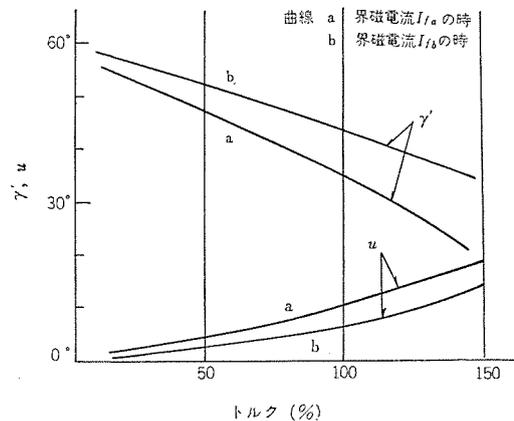


図 3.2 γ' および u とトルクの関係
Relation between γ' , u and torque.

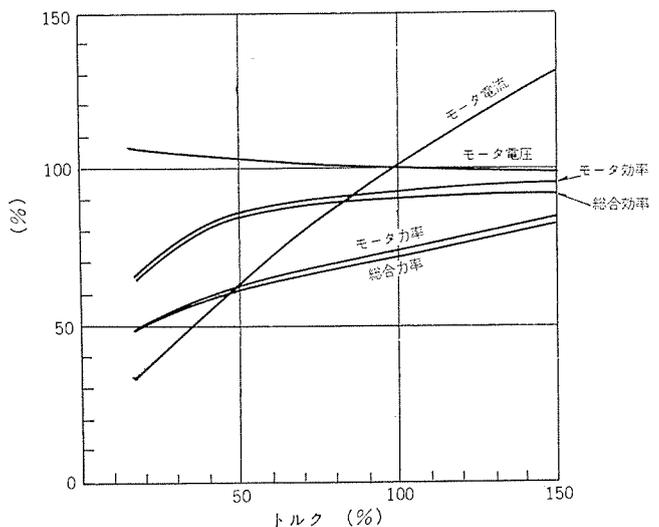


図 3.3 CS 形サイリスタモータの負荷特性 (225 kW 4 P 1,500 rpm)
Load characteristics of type CS thyristor motor.

は転流の点から制限を受ける。過負荷トルクに対する転流余裕角の値としては、過渡的挙動も考慮に入れば約 20° くらいが必要である。

転流余裕角とトルク、界磁電流および設定制御進み角 γ_0 との関係は上記の 3.1 節の計算式から求められる。図 3.2 は電流進み角 γ' および重なり角 u とトルクとの関係を表わしたものである。界磁電流を強めれば γ' と u の変化は同図の曲線 b のような傾向を示す。すなわち、トルクの増加に伴う転流余裕角の減少を緩和するためには、強め界磁や複巻励磁によって電機子反作用を小さくすればよい。特に大きい過負荷耐量が必要で、軽負荷時でも良好な力率および効率をもたせ、軽量小形化を実現する必要がある場合には、複巻励磁方式の採用が有効である。

図 3.3 は CS 形サイリスタモータの効率、力率、電流および電圧の負荷特性の試験値の一例を示したものである。

4. 機器構成

4.1 電動機

CS 形サイリスタモータ本体には同期電動機を用いているが、その構造形式については特にその回転子構造に特長があり、回転子の標準形式として次の二つの形式を採用している。

- (1) ランデル形回転子……ブラシレス形
- (2) 円筒形回転子……
 - { ブラシレス形
 - { スリップリング付形

ランデル形回転子電動機の場合は、固定子側に設置した界磁巻線によってソリッドポール回転子を励磁するように構成したもので、

- (a) ブラシレス励磁が可能である
- (b) 回転子に巻線がないため機械的に強固である
- (c) 界磁巻線が静止しているため、複巻励磁方式が容易に実現される

などの特長を有している。

ランデル形回転子は、磁極の形状および磁路の形成法などによって次のような種類がある。

- (a) ランデル形
 - { 単一ランデル形
 - { マルチランデル形
- (b) インダクタ形
- (c) インダクタランデル形

図 4.1 と図 4.2 はそれぞれ上記 (a) と (b) の外観を示したものである。

図 4.3 はランデル形電動機の構造図を単一ランデル形について例示したものである。この場合には、主磁束の磁路として図中の破線で示すように、N 磁極→主空げき(隙)→電機子鉄心→主空げき→S 磁極→界磁コイル ささえ→ブラケット→フレーム側板→ブラケット→界磁コイル ささえ→補助空げき→N 磁極を利用している。ランデル形回転子のタイプを選定する場合には、電動機の用途、負荷の性質、 GD^2 、外形寸法の制限および冷却方式などを総合的に考慮して最も良いタイプを選んでいる。

次に、円筒形回転子電動機はブラシレス形とスリップリング付き形のいずれをも製作しており、顧客の要求および用途に応じて形式の選定を行なっている。円筒形回転子電動機の回転子は巻線形誘導電動機と同様の積層鉄心に界磁巻線とダンパ巻線を施しており、機械的強度は巻線形誘導電動機と同様である。円筒形回転子電動機は、回転子が積層鉄心であるため大容量機の製作が容易に行なえる。

図 4.4 はブラシレス円筒形回転子電動機の構造の一例を示したも

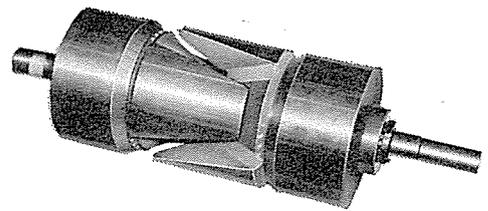


図 4.1 ランデル形回転子
Lundell type rotor

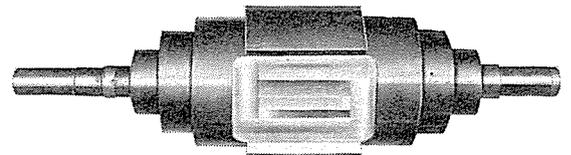


図 4.2 インダクタ形回転子
Inductor type rotor.

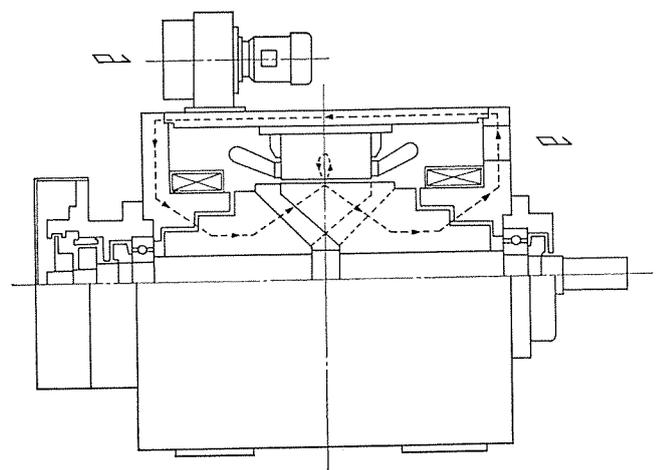


図 4.3 ランデル形回転子電動機の構造図
Cross section of Lundell rotor type motor.

ので、すでに多数の製作納入実績をもつブラシレス交流発電機および電動機と同様に、交流励磁機と回転整流器が付加されている。交流励磁機の一次巻線には、交流電圧が印加され、交流励磁機は一種の回転変圧器として動作する。スリップリング付き形のものには、上記の交流励磁機と回転整流器がなく、ブラシレス形に比べ同一わく番では軸方向寸法が短縮される。

4.2 分配器

分配器は、図 4.5 に示すように、回転子と同一軸上に取り付けられているおうとつ(凹凸)のある円板と 3 個の近接スイッチより構成されている。分配器の役目は、2.1 節で説明したように電動機の各相に電気角にして 120° の間、2.2 節で説明したように転流に必要なタイミングで電流を流すことである。われわれは分配器の近接スイッチとしては、モールドされた発振停止式のものを用いており、またこれを動作させるためには円板を用いているため、ふん困気の悪い所でも問題なく使用することができる。

4.3 制御装置

制御装置としては、主回路機器、サイクロコンバータおよびその制御装置から成る。制御系は直流機の場合と同様、図 4.6 に示すように速度制御ループの内側に電流制御ループがある方式を採用している。制御装置の主要部分はユニット化されており、保守がしやすいように配慮されている。

また指速発電機としては、交流高周波発電機を使用しているため、

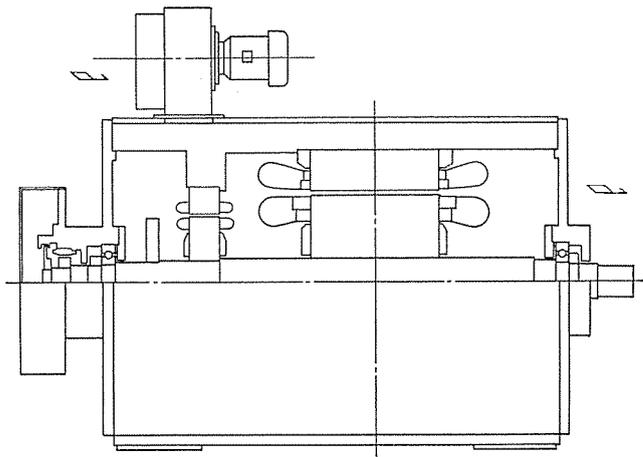


図 4.4 ブラシレス円筒形回転子電動機の構造図
Cross section of brushless cylindrical rotor type motor.

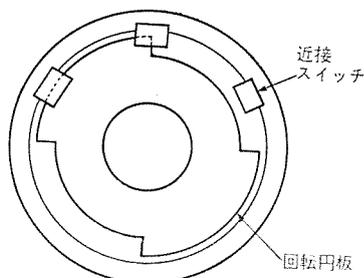


図 4.5 分配器
Distributor.

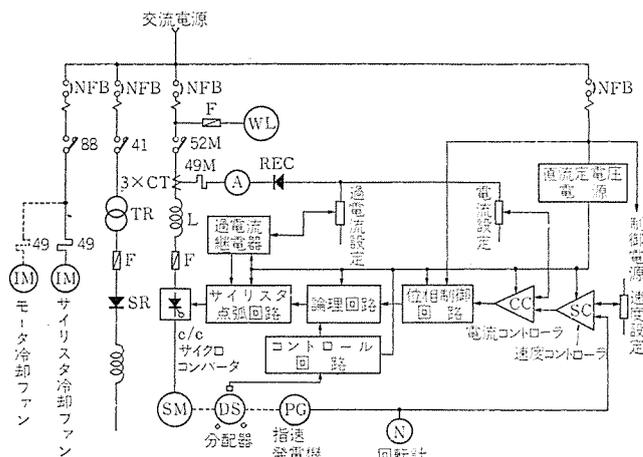
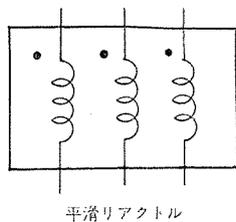


図 4.6 制御系
Control circuit block diagram.

保守も容易で応答性もすぐれている。

4.4 平滑リアクトル

平滑リアクトルとしては、右図に示すように同一鉄心上に三巻線を施したものを使用する。定常的には平滑リアクトルとして働け、大きなインダクタンスを有するが、サイリスタの転流期間中は、転流回路中のインダクタンスがほとんどゼロになるようになっている。



5. 納入例

CS形サイリスタモータが使用されている分野の数例を納入例の一部をもって紹介する。

5.1 石油化学工業(精密流量計)用

石油ヤードのように爆発の危険性があるような場所で使用される流量計の駆動を目的としたものであるため、電動機の構造としては、全閉屋外耐圧防爆形を採用している。これはブラシレスであるために本質的に火花が発生する危険性がないという特長と、ブラシレスであるため保守が不要である特長を最も効果的に実現した例である。

仕様

定格出力	6.5 kW
定格回転数	1,200 rpm
電源電圧	200/220 V, 50/60 Hz
速度制御範囲	1,500~120 rpm
形式	全閉屋外耐圧防爆形 他力通風形

図 5.1 に本機の外観を示す。

5.2 繊維工業(燃糸機械)用

繊維機械のように多数の可変速電動機を高速回転で使用する場合には、従来は直流機や交流整流子電動機が使用されていたため、ブラシの保守が大変めんどろであった。このように多様の高速機を使用する分野ではブラシのない電動機が望まれている。

仕様

定格出力	22 kW
定格回転数	3,000 rpm
電源電圧	440 V 60 Hz
速度制御範囲	3,000~750 rpm
形式	開放防滴保護形 自己通風形

図 5.2 は本機の外観である。

5.3 製紙工業(ワインダー)用

製紙工業の分野も直流機が多数使用されているが、本件は速度発電機として保守の容易な交流発電機を用い、しかも 1/125 という通紙のための微速を実現した点に特長がある。

仕様

定格出力	110 kW
定格回転数	1,500 rpm
電源電圧	400 V 50 Hz
速度制御範囲	1,500~12 rpm
形式	開放防滴保護形 他力通風形

図 5.3 に制御盤の外観を示す。

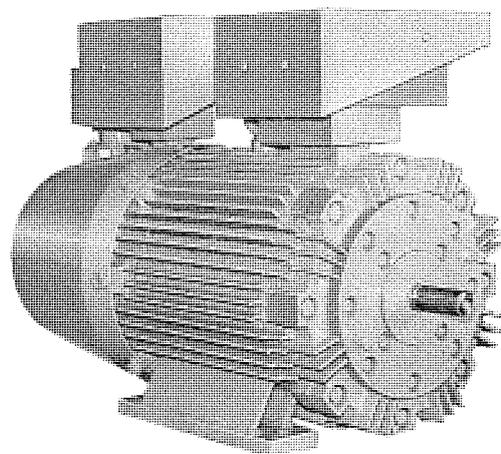


図 5.1 6.5 kW 全閉屋外耐圧防爆形
6.5 kW totally-enclosed, weather protected, flameproof type.

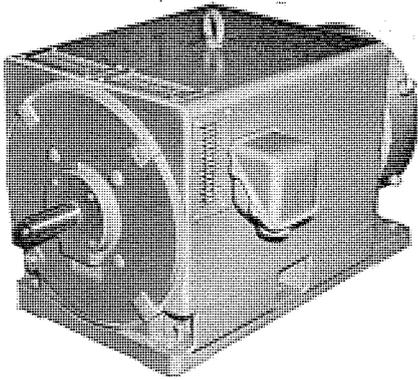


図 5.2 22 kW 開放防滴保護形
22 kW dripproof type.

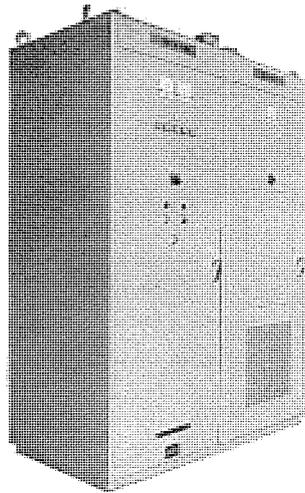


図 5.3 110 kW CS 形 サイリスタモータ
制御盤
110 kW type CS thyristor motor
control panel

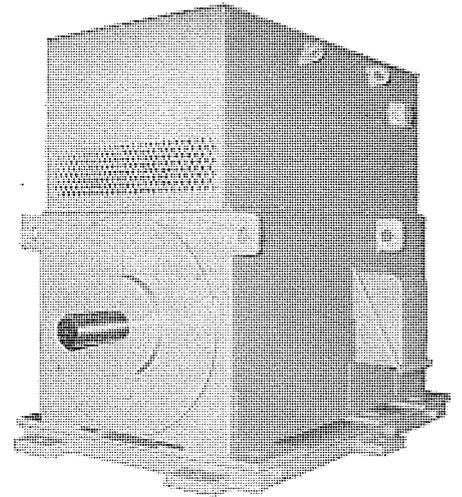


図 5.4 225 kW 全閉外扇 他力通風形
225 kW totally-enclosed, external-fan-cooled
type.

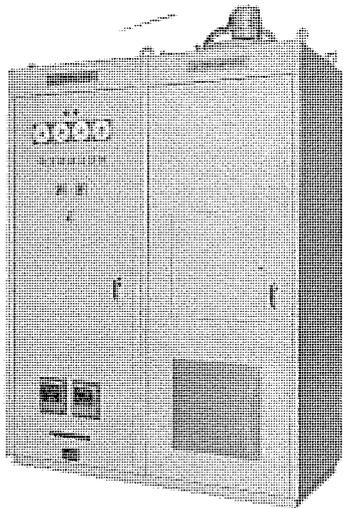


図 5.5 62 kW CS 形 サイリ
スタモータ 制御盤
62 kW type CS thyristor
motor control panel.

仕 様

定格出力	62 kW
定格回転数	650 rpm
電源電圧	440 V 50 Hz
速度制御範囲	650~0 rpm
過負荷耐量	250 % 1分間
形 式	開放防滴保護形 他力通風形

図 5.5 に外観を示す。

5.4 化学工業 (混捏機) 用

本機は電動機の形式が全閉外扇他力通風形であり、当社の記録品である。

仕 様

定格出力	225 kW
定格回転数	1,500 rpm
電源電圧	440 V 60 Hz
速度制御範囲	1,500~500 rpm
形 式	全閉外扇形 他力通風形

外観を図 5.4 に示す。

5.5 製鉄工業 (パイリングクレーン) 用

本機は従来の 800 番 シリーズの直流機に相当する性能を有するもので GD^2 を小さくし、複巻特性を有する。

6. む す び

無整流子電動機は数々のすぐれた特長を有しているが、今後解決すべき問題も多々ある。たとえば、現状では、電動機の GD^2 は直流機に比べてやや大きくなる傾向にあるが、これを解消するためには、複巻特性の電動機とするのも一つの案であろう。また電力変換装置としても、インバータ、サイクロコンバータの両案が考えられ、用途に応じてその使い分けも必要となるであろう。これらの解決すべき問題はあっても、将来の傾向として無整流子電動機の応用分野が広がっていくことは、大いに期待できる。

参 考 文 献

- (1) 林, 大野ほか: サイクロコンバータ式サイリスタ電動機, 三菱電機技報, 40, No. 6, 933 (昭 41)

超同期静止セルビウス (三菱 SS 形サイリスタモータ)

栗田 静夫*・片岡 正博*・二村 紘*

Super-Synchronous Static Scherbius Apparatus (Type SS Thyristor Motors)

Nagasaki Works Shizuo KURITA・Masahiro KATAOKA・Hiroshi NIMURA

It has been made successful in putting into practical use type SS thyristor motors which enable wound rotor type induction motors to have smooth speed control under and over the synchronous speed by controlling the secondary slip power in an either direction of forward or backward through the connection of a cyclo-converter on its secondary side. Provided with this new device, the motor improves its controlability as well as motor operation with regenerative brake applied on, and moreover a cyclo-converter collecting the slip power becomes smaller in capacity to result in economy.

This article describes a set of 750 kW type SS thyristor motor which has been manufactured for use with an extruding machine and now is operation successfully.

1. ま え が き

電力制御用半導体素子サイリスタは、その急速な進歩にともない電動機分野へますます深く浸透しつつある。サイリスタで構成された静止周波数変換装置の実現により、保守・点検の容易な交流電動機（誘導電動機および同期電動機）が、従来直流電動機しか使われなかった可変速電動機の分野にも次第に進出しはじめている。

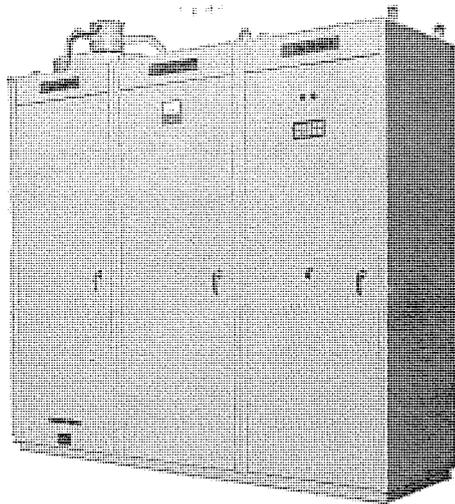


図 1.1 750 kW SS 形サイリスタモータ用サイクロコンバータ盤
750 kW type SS cycloconverter panel.

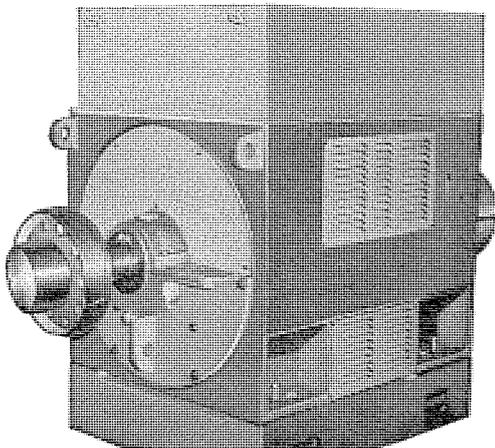


図 1.2 750 kW SS 形サイリスタモータ
750 kW type SS thyristor motor.

当社では、巻線形誘導電動機の二次側にサイリスタインバータを接続して、二次側に発生するすべり電力を回収するサイリスタ静止セルビウス装置を開発し、以来各方面に多数納入し好評を博してきた。

しかし、このサイリスタ静止セルビウス装置は、同期速度以下では電動運転のみで回生制動がかからないため、直流電動機に比べて制御性が劣り、しかも二次すべり電力を回収するサイリスタインバータの容量が比較的大きく高価であるという難点がある。このため当社は、数年前から巻線形誘導電動機の二次側にサイクロコンバータを接続し、二次すべり電力を正逆いずれの方向にも制御しうるようにして、同期速度の上下にわたって円滑な速度制御を行なうことができる SS 形サイリスタモータ、すなわち超同期静止セルビウス装置の実用化に成功した。

本装置によれば、いかなる速度においても電動運転のみならず回生制動がかかりしたがって制御性もよく、しかも二次すべり電力を回収するサイクロコンバータの容量も小さくなり経済的となる（2.3 節参照）。

すでに、押し出し機用 750 kW 1 セットの超同期静止セルビウス装置を製作納入し、好結果を得た。

なお現在引きつづき船用 200 kW 1 セット、MG 用 500 kW 1 セット、200 kW 1 セットおよびファンポンプ用 750 kW 1 セット等を製作中である。

2. 原 理

2.1 速度制御の原理

誘導電動機の一次巻線から二次側へ流入する二次入力、機械的出力、二次すべり電力、すべりをそれぞれ P_0 、 P_m 、 P_2 、 S とすれば、

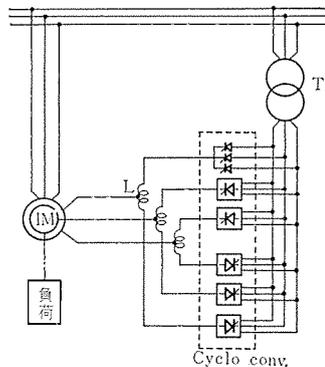


図 2.1 SS 形サイリスタモータ基本構成
Main circuit of type SS thyristor motor.

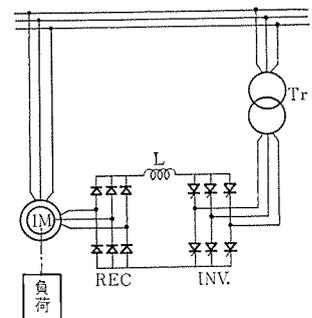


図 2.2 静止セルビウス基本構成
Main circuit of static Scherbius.

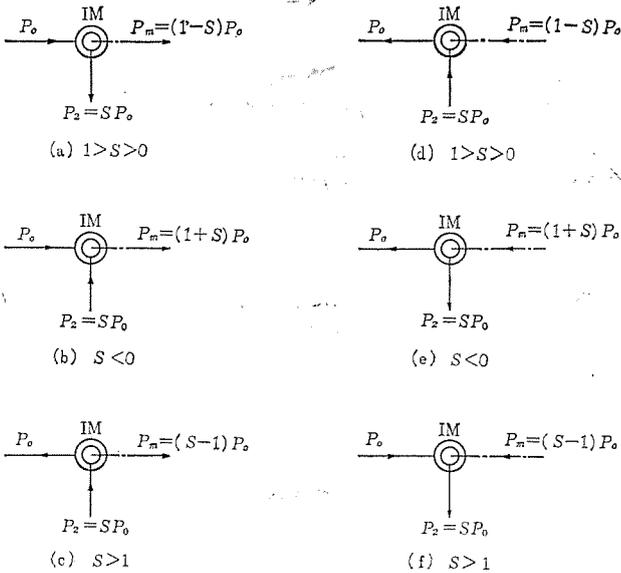


図 2.3 各運転モードのエネルギーの流れ
Energy flow diagram.

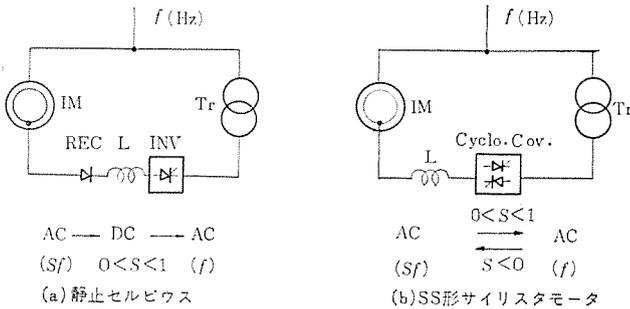


図 2.4 二次回路の電力の流れ
Power flow of secondary circuit.

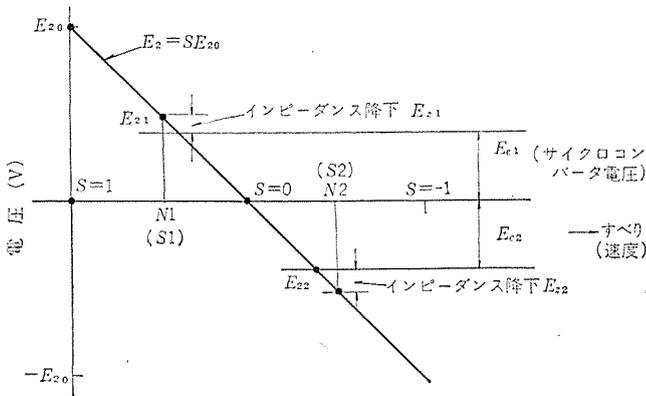


図 2.5 二次電圧-速度関係
Secondary voltage-speed characteristics

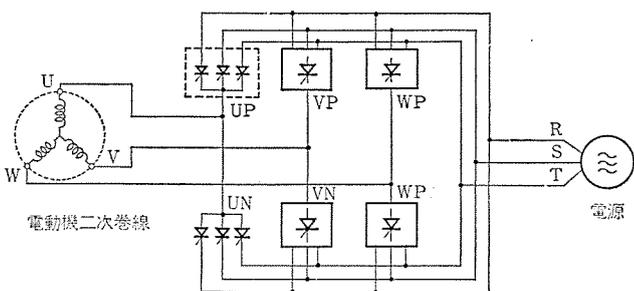


図 2.6 サイクロコンバータ主回路
Cycloconverter circuit.

次の関係式が成り立つ

$$P_0 = P_m + P_2$$

$$P_2 = SP_0$$

$$P_m = (1-S)P_0$$

今、誘導電動機を電気エネルギーと機械エネルギーを結ぶエネルギー変換機と見ると、誘導電動機のすべての運転モードについてエネルギーの流れを表わすと図 2.3 が得られる。図 2.3 (a) は同期速度以下 ($1 > S > 0$) での電動運転のモードであり、従来の静止セルビウスはこのモードで運転を行なう。図 2.3 (b) は同期速度以上 ($S < 0$) での電動運転のモードである。図 2.3 (c) は逆相運転 ($S > 1$) のモードである。図 2.3 (d) は同期速度以下 ($1 > S > 0$) での回生制動のモードである。図 2.3 (e) は同期速度以上 ($S < 0$) での回生制動で誘導発電のモードである。図 2.3 (f) は逆相制動 ($S > 1$) のモードである。以上(a)~(f)までの6モードのうち、(a)~(c)は電動運転モード、(c)~(f)は制動運転モードである。従来の静止セルビウスで可能なのは、(a)、(e)、(f)の3モードに限られるが、SS形サイリスタモータの場合は6モードすべて可能である。

従来の静止セルビウスは図 2.2 に示すごとく、負荷を駆動する巻線形誘導電動機と、誘導電動機の二次すべり電力をいったん直流に変換した後、再び電源周波数の交流電力に変換して電源に帰還するための変換装置として、シリコン整流器・平滑リアクトル・サイリスタ他励インバータおよびインバータ変圧器より構成され、サイリスタの点弧位相角制御により直流二次励磁電圧を調整して同期速度以下での速度制御を行なう(図 2.3 (a) のモード)。

これに対して SS 形サイリスタモータの場合は、静止セルビウスの二次変換装置(シリコン整流器・サイリスタインバータ)をサイクロコンバータに置き換える。サイクロコンバータは後述のごとく、交流電力の可逆周波数変換が可能であるから、二次電力の流れを正逆両方向に制御して同期速度の上下において速度制御を行なうことができる。すなわち $0 < S < 1$ においては、図 2.3 (a) のモードであり、 $S < 0$ において図 2.3 (b) のモードである。図 2.4 は SS 形サイリスタモータと静止セルビウスの二次電力変換とその方向を示している。

誘導電動機の二次誘起電圧はすべりに比例して変化し、同期速度で零となり、同期速度以上では相回転は逆転するがやはりすべりに比例して変化する。

二次励磁による速度制御では、二次すべり電圧と二次励磁装置の電圧とが平衡する点で運転される。図 2.5 は二次すべり電圧 (E_2) と二次励磁電圧 (E_c) の関係を表わしている。SS 形サイリスタモータの同期速度以下 ($0 < S < 1$) の運転において、今速度 N_1 で運転している場合は、サイクロコンバータ電圧(二次励磁電圧) E_{c1} は、二次すべり電圧 E_{21} より、二次回路インピーダンス降下分 E_{21} だけ低く、電力の流れは、電動機二次→サイクロコンバータ→電源となり、サイクロコンバータは二次すべり周波数電力を直接電源周波数電力に変換している。同期速度以上 ($S < 0$) の速度 N_2 で運転している場合は、サイクロコンバータ電圧 E_{c2} は、二次すべり電圧 E_{22} より、二次回路インピーダンス降下分 E_{22} だけ高く電力の流れは、電源→サイクロコンバータ→電動機二次となっていて、サイクロコンバータは電源周波数電力を直接二次すべり周波数電力に変換して、電動機へ与えている。

2.2 サイクロコンバータの動作

図 2.6 はサイクロコンバータの主回路結線である。サイリスタは UP, VP, WP, UN, VN, WN の 6 群に分けられ、おのおのの群は 3 個のサイリスタによって構成され電動機二次に接続されている。

各群は電動機二次誘起電圧の周波数、相回転を検出して群の選択信号を作る分配器によって制御されている。

分配器の選択信号によって、電動機二次巻線とサイリスタ群の接続は図 2.7 に示すように、六つの接続モードがある。

各群間の転流時を除けば、必ず二つの群のサイリスタが動作している。各状態は 3 相均一ブリッジ結線のサイリスタが電動機二次巻線に図

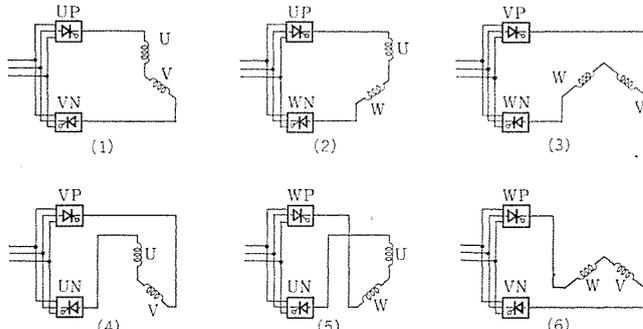


図 2.7 サイクロコンバータと電動機の二次巻線の接続モード
Connection mode of cycloconverter-secondary winding.

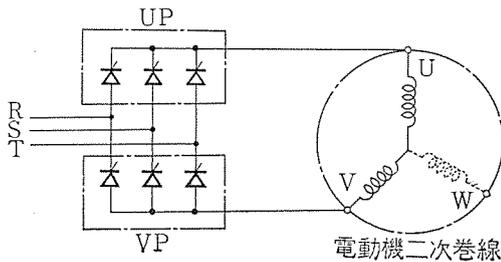


図 2.8 3 相均一ブリッジ結果
Three phase full wave connection.

表 2.1 速度とサイクロコンバータの動作
Operation of cycloconverter against motor speed.

	電動運転	制動運転
	サイクロコンバータ動作	
$S < 0$	整流動作 モード 図 2.3 (b)	回生動作 モード 図 2.3 (e)
$1 > S > 0$	回生動作 モード 図 2.3 (a)	整流動作 モード 図 2.3 (d)
$S > 1$	整流動作 モード 図 2.3 (c)	回生動作 モード 図 2.3 (f)

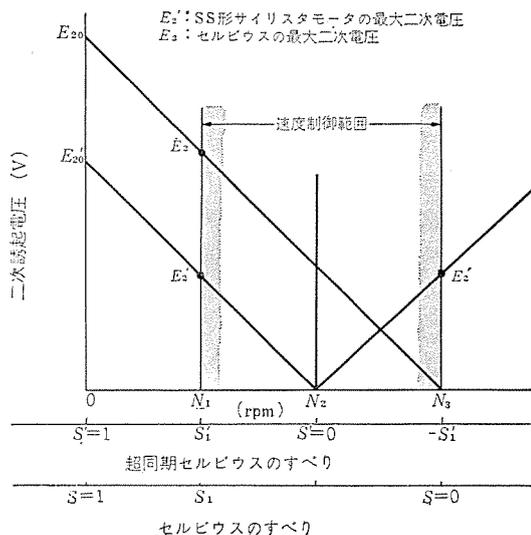


図 2.9 二次変換装置容量の比較
Comparison figure of secondary converter capacity

2.8のごとく接続されたのと全く等価であって、各モードにおいて二次誘起電圧と均一ブリッジの直流出力電圧が互いに逆極性となるように制御されている。

図 2.8 の 3 相均一ブリッジは周知のごとくサイリスタを位相制御することにより、整流動作 (位相制御角 $0 \sim 90^\circ$) と回生動作 (位相制御角 $90 \sim 180^\circ$) となり、さらに位相制御角によってその出力電圧の大きさを調整することができる。したがって SS 形サイリスタモータの速度制御は位相制御角を調整することにより二次励磁電圧を変化させて行なうことができる。また整流動作と回生動作の使い分けは表 2.1 に示すごとく行なうのである。

2.3 SS 形サイリスタモータと静止セルビウスの比較

セルビウス方式の二次変換装置の容量は速度制御範囲によって決まる。容量はサイリスタに印加される最大電圧とサイリスタを流れる最大電流の積で表わされる、サイリスタの電流を一定とすると、電圧を下げることによって容量低減ができる。図 2.9 に示すごとく、SS 形サイリスタモータにおいては、同期速度を中心にして対称に上下に速度制御範囲を選べば、サイリスタに印加される電圧は静止セルビウスの場合の $1/2$ となる。したがって二次変換装置の容量は静止セルビウスの場合の $1/2$ で、同一速度制御範囲を得ることができて経済的である。

一般に静止セルビウス方式は無効電力を多く必要とし、力率が悪いことが一つの欠点であり、無効電力量は二次変換装置の容量に比例する。同一速度制御範囲の静止セルビウスに比べて、二次変換装置の容量が小さい SS 形サイリスタモータの場合は力率が良く、したがって力率改善用コンデンサも小さくてすむ利点がある。

また前述のごとく、電動と回生制動の切り換えが制御回路の簡単な操作により自由に行なうことができるので、静止セルビウスよりも制御性が良く、直流電動機のレオナード制御に匹敵する速応性をもたせることができる。

3. 特性

3.1 総合効率

SS 形サイリスタモータは通常の静止セルビウスと同様、二次出力 (入力) の回収効率がよいので、全速度域を通じて、高効率の運転を行なうことができる。図 3.1, 3.2 に総合効率の実測値を示す。なお、総合効率 η_t 、回収効率 η_r は下式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \eta_t &= P_m / (P_1 - P_r) \doteq \eta_0 (1 - S) / \{1 - (1 + \eta_0 \eta_r) S\} \quad (0 < S \leq 1) \\ \eta_t &= P_m / (P_1 + P_r) \doteq \eta_0 (1 + S) / \{1 - (1 + \eta_0 \eta_r) S\} \quad (S \leq 0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

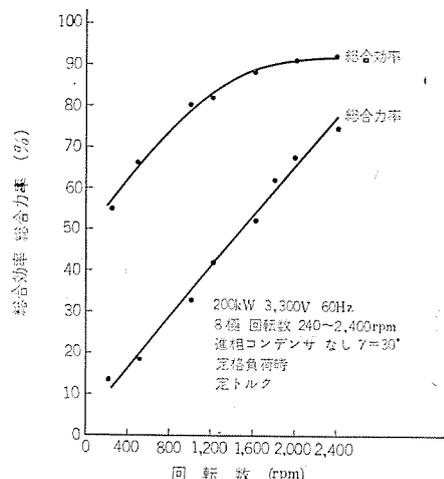


図 3.1 回転数-効率、力率特性 (実測値)
Speed-efficiency, power factor characteristics (measured)

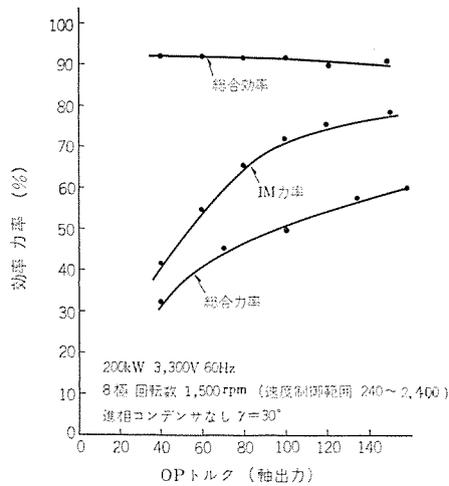


図 3.2 軸出力効率, 力率特性 (実測値)
Torque-efficiency, power factor characteristics (measured)

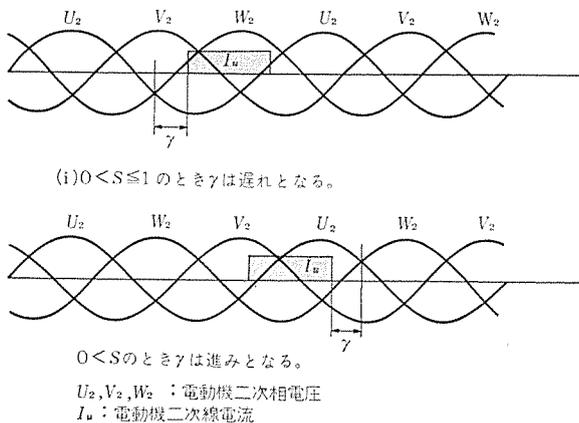


図 3.3 電動機二次相電圧と転流余裕角 γ の関係
Relation between secondary voltage and commutation margins angle γ .

$$\eta_r = P_r / (P_2 - P_{ic2}) \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

ただし P_1 : 電動機一次入力
 P_{ic2} : 電動機二次銅損
 P_r : 回収電力
 η_0 : 二次抵抗制御時の効率 ($= P_m / P_1$)

3.2 総合力率

サイロコンバータは、電源側交流電圧一定で点弧位相により二次逆電圧を制御するため、サイロコンバータ装置からも無効電力を生ずる。サイロコンバータの電流余裕角 γ (図 3.3 参照) を一定とすれば、無効電力はほぼ $\sin \alpha$ (α : 制御おくれ角) に比例し、 $\alpha = 90^\circ$ の逆電圧最小時 (同期速度時) に最大となり、その値はほぼ変圧器容量と同一となる。誘導電動機および変圧器は理想的なものとし、転流重なり角を無視すれば、電源から流入する無効電流 I_Q は

$$I_Q = \sqrt{6} I_d (a_m \sin \gamma + a_t \sin \alpha) / \pi \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

ただし a_m : 電動機の巻線比
 a_t : 変圧器の巻線比
 I_d : 電動機二次電流がサイロコンバータにより整流された直流電流値

したがって、これに対する無効電力 Q は下式で与えられる。

$$Q = 3 V_S I_Q = 3 \sqrt{6} I_d V_S (a_m \sin \gamma + a_t \sin \alpha) / \pi \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

ただし V_S : 電源電圧

また、すべり S は次式で与えられる。

$$S = -(a_t \cos \alpha - \xi x) / (a_m \cos \gamma - \eta x) \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

ただし $\xi x, \eta x$: 変圧器および電動機のインピー降下

$$x = I_d / I_{d0}$$

I_{d0} : I_d の定格値

ここで、転流余裕角 γ を一定であるとし、 $\xi x, \eta x$ は a_m, a_t に対して 10% 以下であるので省略すると、

$$\{a_m (\sin \gamma) S / a_t\}^2 + (Q / Q_0 x - Q_m / Q_0)^2 = 1$$

となる。ただし

$$Q_0 = 3 \sqrt{6} a_t V_S I_{d0} / \pi \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

$$Q_m = 3 \sqrt{6} a_m V_S I_{d0} \sin \gamma / \pi \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

すなわち、 $S = 0$ で最大無効電力 $Q_{max} = x(Q_0 + Q_m)$ となり、運転範囲の両端である $S = a_t \sqrt{1 - (Q_m / Q_0)^2} / a_m \sin \gamma$ および $S = -a_t \sqrt{1 - (Q_m / Q_0)^2} / a_m \sin \gamma$ で 0 となることがわかる。

また、総合力率 $\cos \phi_t$ は下式であらわされる。

$$\left. \begin{aligned} \cos \phi_t &= (P_1 - P_r) / \sqrt{(P_1 - P_r)^2 + Q^2} \quad (0 < S \leq 1) \\ \cos \phi_t &= (P_1 - P_r) / \sqrt{(P_1 + P_r)^2 + Q^2} \quad (0 \geq S) \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

2.3 節で述べたように SS 形サイリスタモータは、静止セルビウスと比較して、同じ速度制御範囲で、無効電力 Q は約 1/2 程度でよいため式 (3.8) から総合力率はよくなることが分かる。また、

$$Q_{max} = x(Q_0 + Q_m) = 3 \sqrt{6} I_{d0} V_S (a_t + a_m \sin \gamma) / \pi \quad \dots \dots \dots (3.9)$$

より、転流余裕角 γ は小さいときほど無効電力 Q が小さく、したがって力率は良くなることがわかる。当社 SS 形サイリスタモータはこの転流余裕角 γ を小さくなるようくふうされている。

図 3.1, 3.2 に総合力率の実測値を示す。

3.3 高調波の影響

電動機二次に整流器を接続すると、二次電流波形は図 3.3 のようなてい形波状となり、高調波を含む。電動機が定常の有効トルクを発生するのは、基本波電流成分 (実効値) のみである。図 3.4 の電流波形で転流重なり角 $u = 0$ のときこの実効値を I_2 とすると

$$I_2 = \sqrt{2} I_d / \sqrt{3} \quad \dots \dots \dots (3.10)$$

$$I_{21} = \sqrt{6} I_d / \pi \quad \dots \dots \dots (3.11)$$

$$I_{21} / I_2 = 3 / \pi \quad \dots \dots \dots (3.12)$$

となる。

また転流重なり角 u を有すると、基本波電流成分の力率角 ϕ_{21} は、 $\phi_{21} = \tan^{-1} (2u - \sin 2u) / (1 - \cos 2u) \quad \dots \dots \dots (3.13)$

となり、電動機単体の場合より力率は低下する。またサイロコンバータを使用することにより転流余裕角 γ による力率の低下を考慮する必要があり、さらに電動機単体より低下する。

二次電流に高調波が含まれると、電動機は高調波トルクを発生したり、一次電流の脈動 (とくに第 5 高調波により、同期速度の $\pm 2/3$ 速度付近で顕著となる) をおこすことが、これらはとくに実用上問題とならない。

SS 形サイリスタモータでは、前述のように静止セルビウス方式に比べコンバータ容量が半減するため、電源に対する高調波の影響もまた半減する。この点も本方式の大きな特長である。

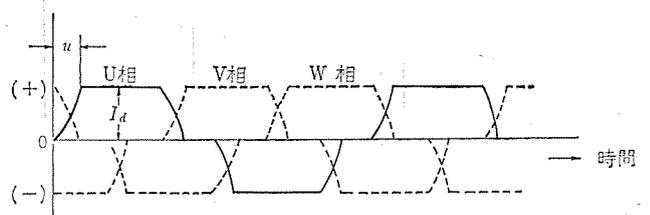


図 3.4 誘導電動機二次電流波形
Current waveform in secondary winding of induction motors.

4. 制御方式

4.1 起動

電動機二次にサイクロコンバータ等の変換装置を接続したまま起動することもできるが、このためには変換装置の定格電圧は、すべり1.0のときの電動機二次電圧に耐えるものとする必要があり、装置の容量が増大し、不経済となるため、通常変換装置は所要速度制御範囲の最大速度に耐えるものとする。このため、起動時にサイクロコンバータからの逆電圧が不足し、大きな突入電流が流れようとするから、起動時は通常の電動機と同様電動機二次に起動抵抗をそり入れ、適

当な速度に加速したとき変換装置を電動機二次に接続し、セルピウス運転に切りかえる。

図4.1にこの方式の回路図、図4.2に起動のフローチャートを、図4.4にこの方式の起動・停止（国生制御による）のオシログラムを示す。

4.2 停止

普通停止、故障発生時の非常停止のいずれも図4.3のような順序で停止する。

4.3 速度制御

図4.5に自動速度制御を行なう場合のブロック図を示す。

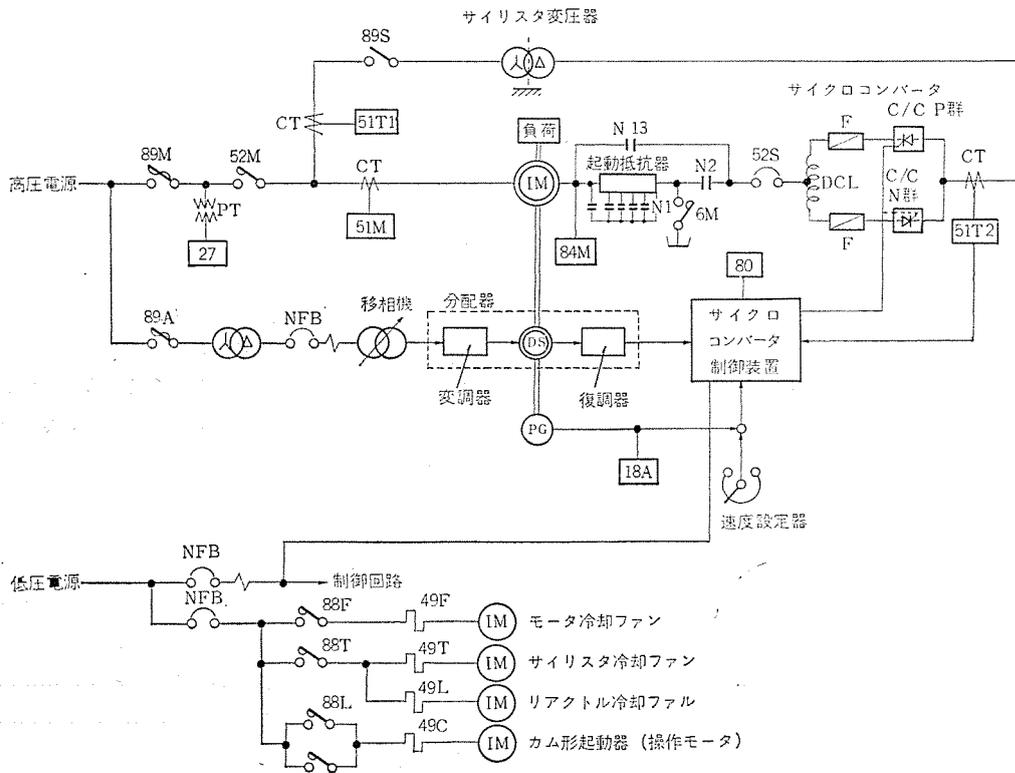


図 4.1 SS形サイリスタモータ装置の単線結線図
Skeleton diagram of type SS thyristor motor.

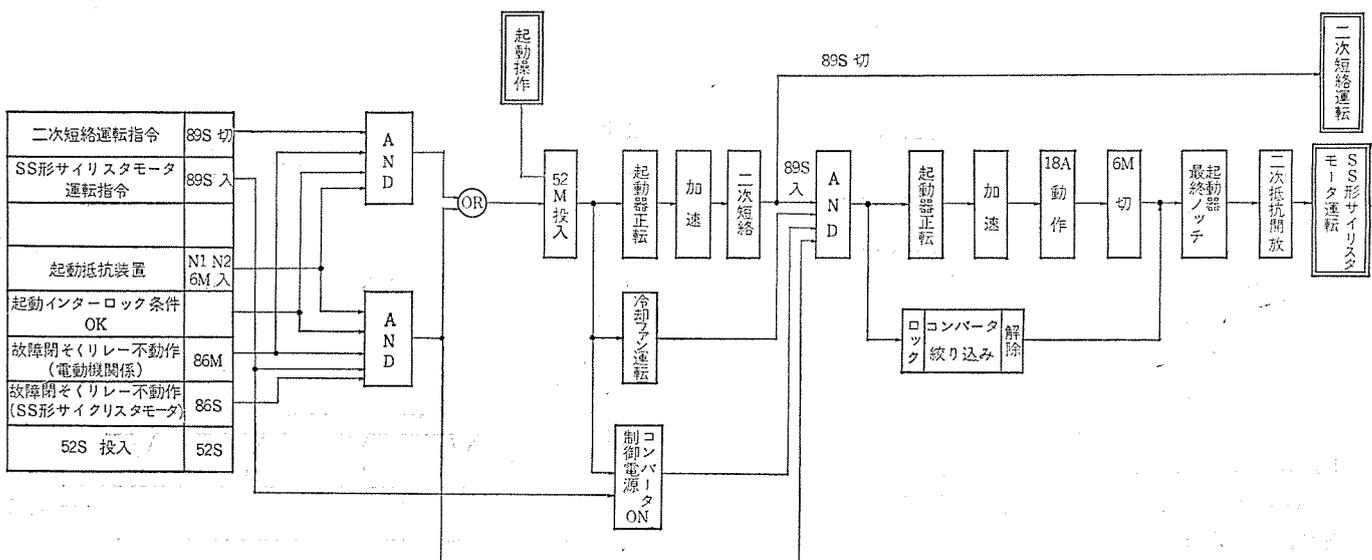


図 4.2 SS形サイリスタモータの起動フローチャート
Starting flow chart of type SS thyristor motor

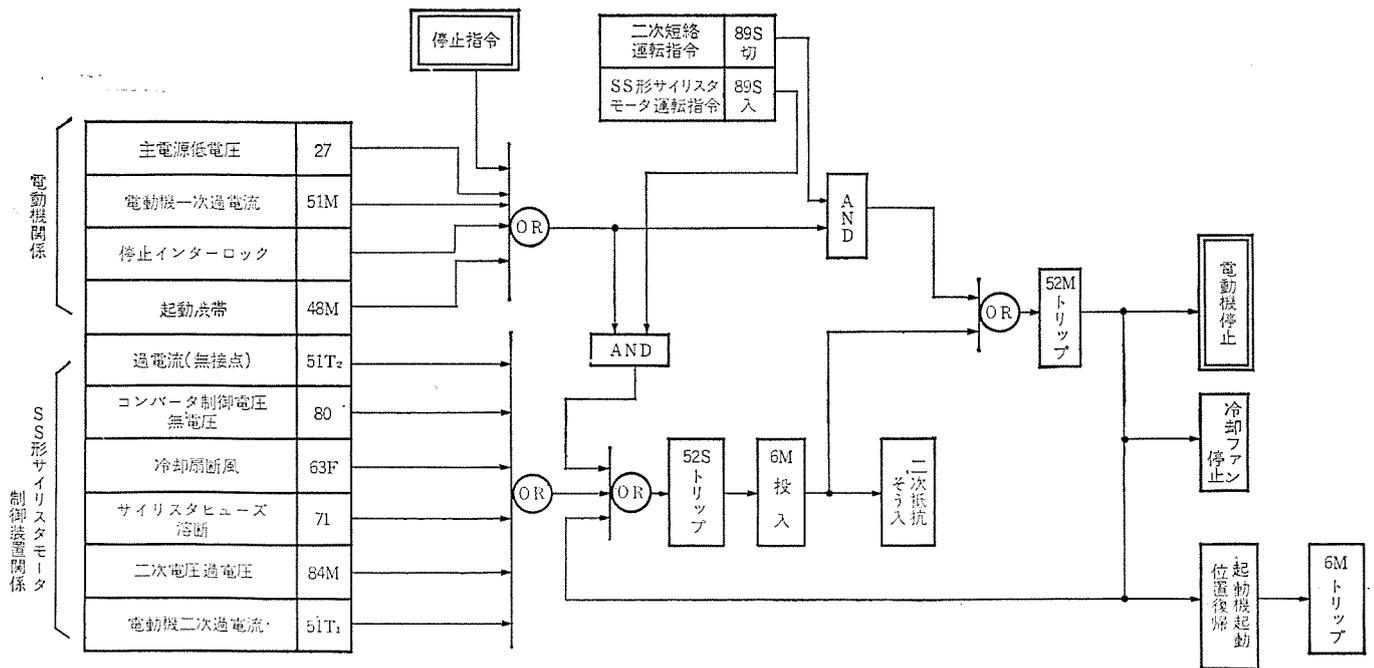


図 4.3 SS形サイリスタモータの停止フローチャート
Stopping flow chart of type SS thyristor motor.

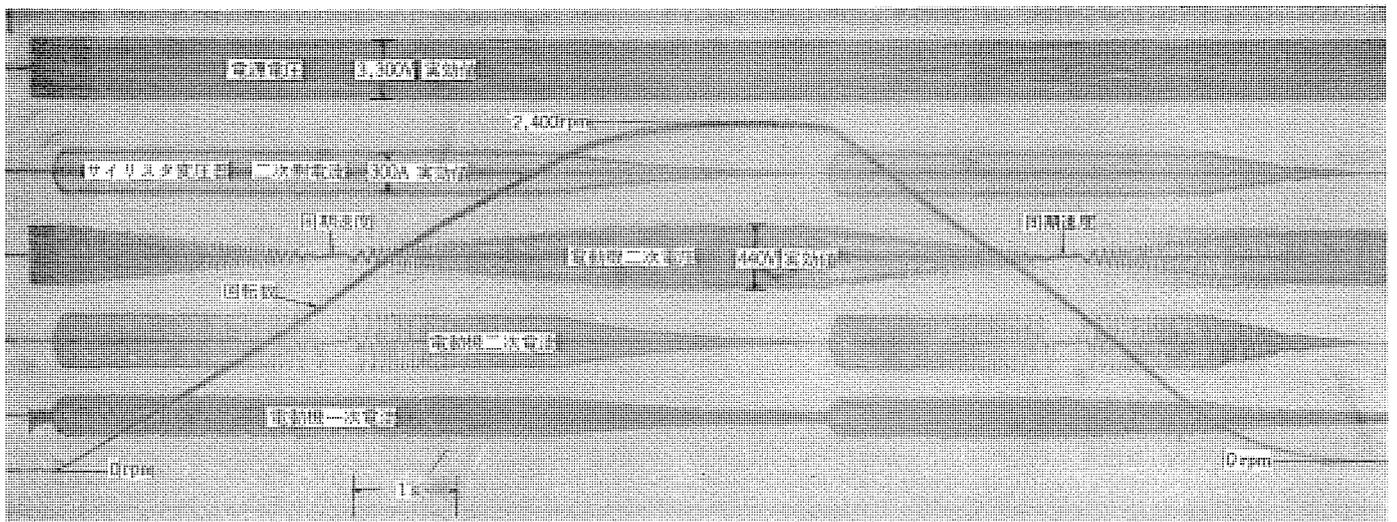


図 4.4 起動・停止(回生制動による)のオシログラム
Oscillogram of starting and stopping (by regenerative braking) characteristics.

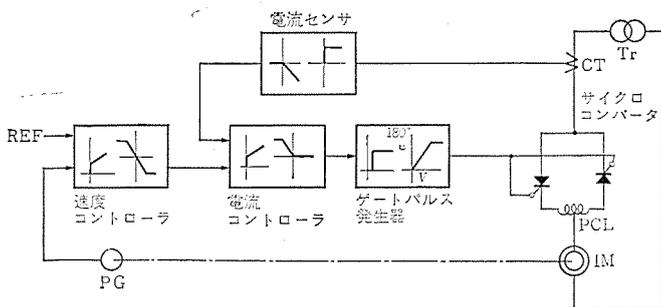


図 4.5 SS形サイリスタの速度制御系
Type SS thyristor motor speed control system.

指速発電機からの実速度信号と設定器からの基準信号を比較し、その偏差を演算増幅器(速度コントローラ)で増幅する。またサイクロコンバータの位相おくれ角 α を制御し、二次電圧を調整し、電動機速度を制御する電流制御回路を主ループとする。これに電動機の二次電流を制御する電流制御回路をマイナループとして付属している。速度

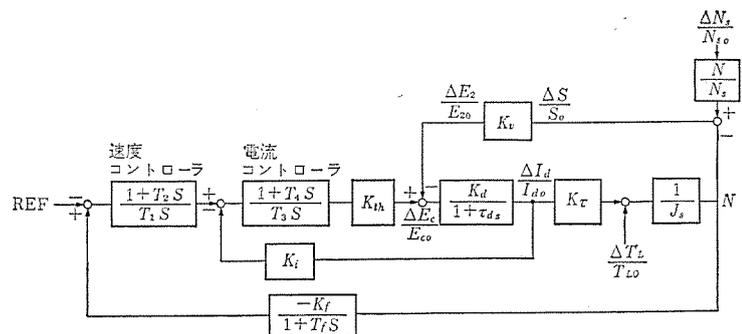


図 4.6 SS形サイリスタモータのブロックダイアグラム
Block diagram of type SS thyristor motor.

制御回路の出力信号が電流制御回路の電流基準値を与えるよう構成し、リミッタを設け速度制御回路の出力電圧を制限し、設定速度、または負荷が急変しても、過大な電流基準を与えないようにして、過電流が流れるのを防止する。

電流制御回路は、主回路電流に比例した電圧信号と速度制御回路からの電流基準を比較し、偏差を増幅し、その出力をゲート位相制御回路に与え、サイリスタの点弧パルス位相 α を制御し、サイクロコンバータ逆電圧を調整し、電動機二次電流を所定値以下に抑制しながら一定速度で運転するよう自動制御する。

図 4. 6 に自動制御系のブロックダイアグラムを示す。

制御系の伝達関数は自由にかえられ、種々の制御性能をもたせることができるので、速応性に富んだ制御が可能である。

5. 保 護

5.1 過電流保護

前述のように速度制御系には、マイナーループとして電流制御回路を設け、過電流が流れるのを防止する。万一過電流が流れるような事故が発生した場合は、電動機一次および変換装置回路に図 4. 3 の非常停止条件に示すような過電流保護装置を設け、機器を保護する。

サイクロコンバータ回路の過電流の原因としては、転流失敗・通弧・失弧・短絡事故・制御回路の不調等がある。サイリスタはこのような事故時の過電流に対して、速動ヒューズおよび二次側交流シャ断器で保護される。回路の誤動作による過電流によって、速動ヒューズが溶断することは保守上好ましくないので、遅れの少ない静止形過電流検出装置で検出し、半サイクル以内でシャ断器をトリップするようにする。

ほかに電磁式過電流継電器をバックアップとして併用し、過電流保護に万全を期している。

5.2 サージ電圧の保護、過電圧保護

サージ電圧として考えられるものは、系統および装置内部の開閉サージ、雷による誘導サージ、サイリスタのキャリア蓄積効果等がある。サイリスタ変圧器・制御電源変圧器は、シャへい板付きとし一次側からサイクロコンバータ回路へのサージ移行を防止するとともに、サイクロコンバータの電動機側、変圧器側の両側にサージ吸収装置を設け保護する。

速度低下による電動機二次すべり電圧の上昇による過電圧に対しては、過電圧継電器、あるいは速度継電器により保護している。

5.3 ノイズ防止および保護

サイリスタのゲート制御に影響するノイズは大別して電磁ノイズと静電ノイズがある。電磁ノイズにはサイリスタ自身から発生するノイズがあって、サイリスタの転流時に生ずる di/dt によって生ずるものが最も大きい。静電ノイズで最大のものは、リレー開閉時に生ずる高調波振動が変圧器、配線の浮遊容量を通じて侵入する場合である。ノイズ対策としては、

- (1) 同軸またはシールド線を使用する。
- (2) 制御回路用の配線ダクトを別に設けて分離して配線する。
- (3) 制御回路用変圧器を別に設け、リレー回路を区別する。場合によってはシールド変圧器を使用する。
- (4) 制御回路電源にフィルタを設ける。
- (5) サイクロコンバータ制御回路の近傍にあるリレーはすべて火花消去回路を設ける。

等の考慮を払い万全を期している。

5.4 その他

以上のような保護のほか、冷却ファンの異常を検出する断風リレー、制御用直流電源が故障すると速度制御動作が正常な動作をしなくなるので、無電圧リレーを設けこれを検出する。

6. 主要構成機器

SS 形サイリスタモータを構成する各機器のうち、主要なものについて以下説明する。

6.1 主電動機

SS 形サイリスタモータでは、主電動機として巻線形誘導電動機を使用している。この主電動機は、構造的には図 6. 1 に示すように従来の巻線形誘導電動機と同じである。運転時には、3 個のスリップリングを通して巻線形誘導電動機の二次巻線にサイクロコンバータが接続され、サイクロコンバータによって二次電力を制御して速度制御を行なう。また起動抵抗器を用いる起動方式では、起動時にこのスリップリングを通して二次巻線に起動抵抗が接続される。

主電動機の極数および二次電圧は、装置全体の経済性を十分考慮した上で慎重に決定する必要がある(3. 2 節参照)。

今主電動機の極対数を P とすると

$$P = \left\lceil \frac{120}{RPM_U + RPM_L} f_s \right\rceil$$

ここに

f_s = 電源周波数

RPM_U = 速度制御範囲の上限

RPM_L = 速度制御範囲の下限

【 $\lceil \rceil$ 】 = 四捨五入を表わす記号

また、SS 形サイリスタモータとしての特殊性より、次のような配慮が払われている。

- (1) 速度制御範囲に応じすべり周波数の増加にともなう等価二次抵抗の増加を極力少なくする。
- (2) γ 制御にもとづく力率の低下を十分考慮する。
- (3) ひずみ波電流にもとづく力率の低下を十分考慮する。
- (4) 転流リアクタンスを小さくする。
- (5) 同期速度以上の速度でも運転されるため、機械的強度、危険速度および振動等速度制御範囲での機械的諸問題に十分考慮する。
- (6) 速度制御範囲や負荷のトルク特性に応じて、自己通風方式か他力通風方式かのいずれかを選択する必要がある。

6.2 分配器

分配器は、巻線形誘導電動機と同様な構造をもつ検出用小形回転機で、その極数は主電動機の極数と同一であり、主電動機と回転子同志が互いに機械的に直結されている。

分配器は、サイクロコンバータを構成するサイリスタのゲート制御を、主

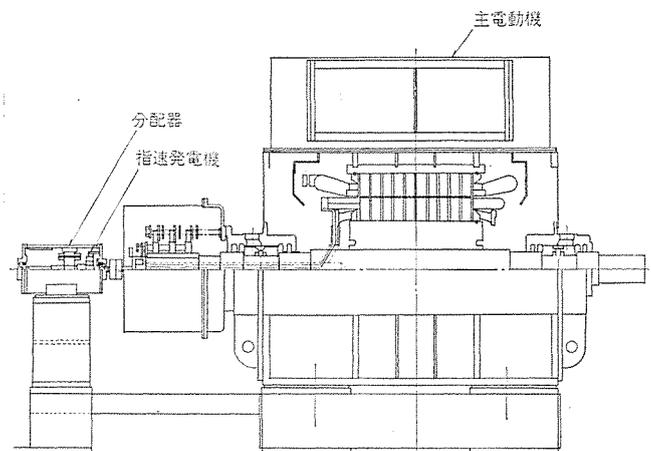


図 6. 1 SS 形サイリスタモータ
Type SS thyristor motor.

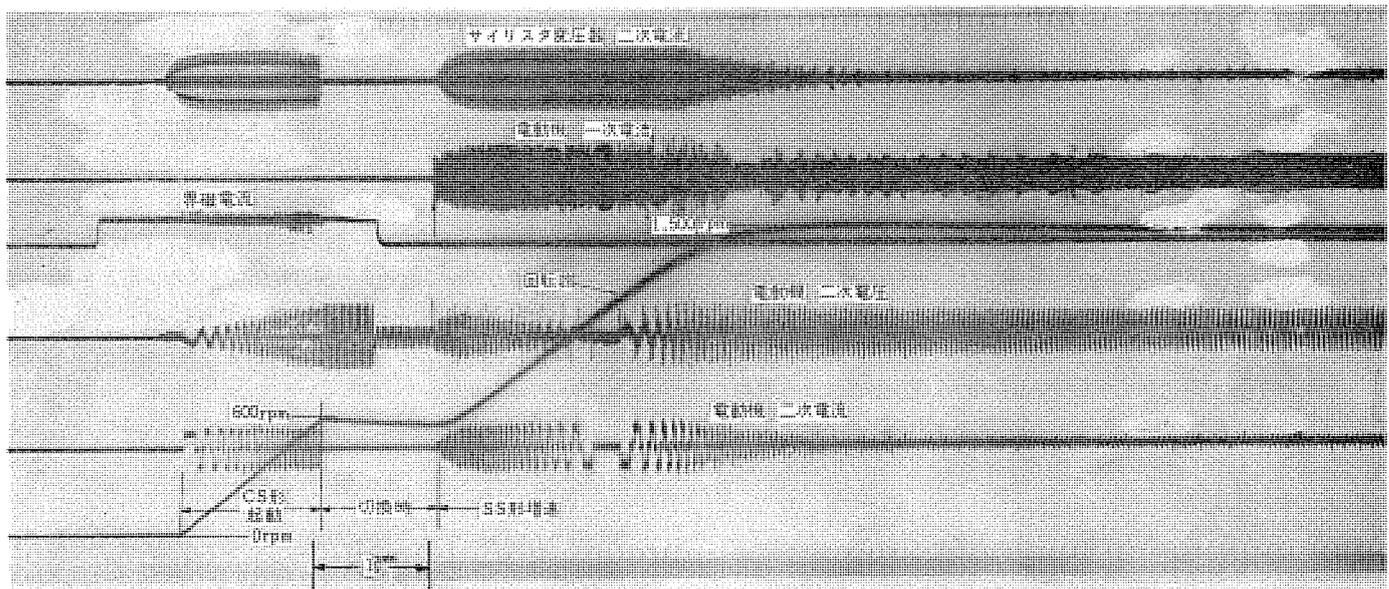


図 7.2 CS 形サイリスタモータ起動-SS 形サイリスタモータ増速オシログラム
Oscillogram of type CS thyristor motor starting characteristics.

ので、インシャルコストの低減という面からも効果的である。

従来ポンプ、ブロワ、コンプレッサ等に静止セルビウスが多く使用されてきたが、このような静止セルビウスに適する用途はもちろんのこと、回生制動が自由にかかるといふ静止セルビウスにない特長を生かして、今までなんの疑いもなく直流機が使用されていた分野にも広く使用されるようになるであろう。

参 考 文 献

- (1) 大野ほか：自制式インバータによる誘導電動機の二次励磁，電学誌，88，P. 1911
- (2) 中野ほか：サイリスタ静止セルビウス装置，三菱電機技報，42，No. 4，603（昭43）
- (3) 林ほか：サイクロコンバータ式サイリスタ電動機，三菱電機技報，40，No. 6，933（昭41）

サイリスタインバータによる交流電動機速度制御

梶野 幸男*・中村久仁輔*・長南 克彦*

Speed Control of AC Motors with Thyristor Inverters

Nagoya Works Yukio KAJINO・Kunisuke NAKAMURA・Katsuhiko CHOONAN

Recent trend in industry is to improve work efficiencies of installations by turning the mechanical apparatus into of automatic and higher speed operation. Power sources permitting speed control are increasingly coming in demand in consequence. Of various fields of productive work textile industry employing a good number of apparatus with speed control of high accuracy is the one appreciates thyristor inverters of their performance of changing AC motor speed. Advantages even in the aspect of the maintenance are another talking points of the device. The trend is considered spreading into the field of steel manufacturing and machine tool industry.

The paper makes a brief report on the thyristor inverters now developed and put into practical use at present.

1. ま え が き

サイリスタが実用化されて以来10年余になるが、電動機の可変速装置への応用は、そのおもなものの一つであり、今後もこの傾向は続くであろう。数ある可変速装置のなかで、最近特に注目されているものに、サイリスタインバータによる交流電動機速度制御がある。これは、インバータに必要な、大容量高速サイリスタの開発、および量産化による価格低下と、インバータ回路技術の飛躍的な発展によるものである。

交流電動機は、構造が簡単かつ堅固であり、ブラシ、スリップリングを持たない構造にすることもできるので、保守が容易であること、さらに、サイリスタインバータも信頼性の高い、小形・高性能なものが製作できるようになったので、両者を組み合わせた可変速装置は、省力化時代に欠かせない製品になりつつある。

ここに当社で、現在実用化および開発されている、サイリスタインバータの概要を紹介する。

2. 特 長

(1) 駆動電動機として、ブラシのない誘導機、または同期機を利用できるので、保守が不要である。

(2) 広範囲の、しかも効率のよい連続可変速度運転を行なうことができる。

方式によっては、出力周波数の上限を、約1.5kHzまでとることができる。したがって、電動機の可変速運転は、低速度から超高速まで、連続して変えることができる。

(3) 高精度の速度制御が可能である。

出力周波数精度は、それを制御する発振器の精度により決められるので、駆動電動機として、同期電動機を使用すれば、その速度変動率は発振器の精度によって決まるため、高精度の発振器を使用することにより、高精度の可変速運転が可能である。

(4) グループ運転、プログラム運転を行なうことができる。

回転数を直接検出する必要がなく、オープンループ制御であるので、多数の電動機のせん(揃)速運転・比例運転、そして、いろいろな関数運転を行なうことができる。また、それをプログラム化して行なうことができる。

(5) 遠隔制御が容易に行なえる。

高温の場所や耐化学薬品、あるいは防爆を要求される場所に設置される電動機の遠隔制御を行なうことができる。

(6) 設置にさいし基礎工事を必要としない。

装置が静止構造であるため、設置にさいし特別な基礎工事を必要としない。

3. 主 回 路

インバータ装置は、交流から直流に変換する整流器と、直流から可変周波数の交流に変換するインバータにより構成されている。インバータには、電圧形インバータと電流形インバータがある。現在実用機として使用されている、ほとんどのインバータは電圧形インバータである。電流形インバータは実用機として使用されている例は少ないが、電圧形インバータに比べて、重負荷起動・可逆転運転・再生制動等の特性ですぐれている。

3.1 インバータの原理

三相インバータの基本回路は、図3.1に示すように、ブリッジに結線された、6個のスイッチで構成されている。各スイッチは周期的に閉開し、U、Z、V、X、W、Yの順に180°の期間、閉じるものとすると、図3.2に示すように、U、V、Wの電位の変化を合成することにより、同図に示す相順序で、かつ同図に示す線間電圧波形

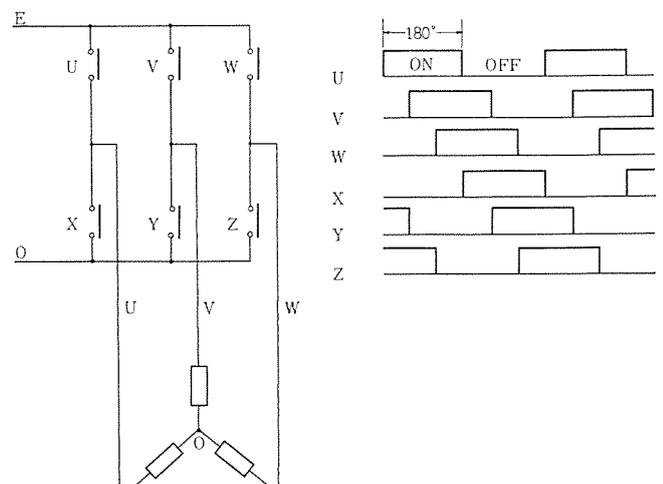


図 3.1 三相インバータ基本回路とスイッチングシーケンス
Basic 3-phase inverter and switching sequence.

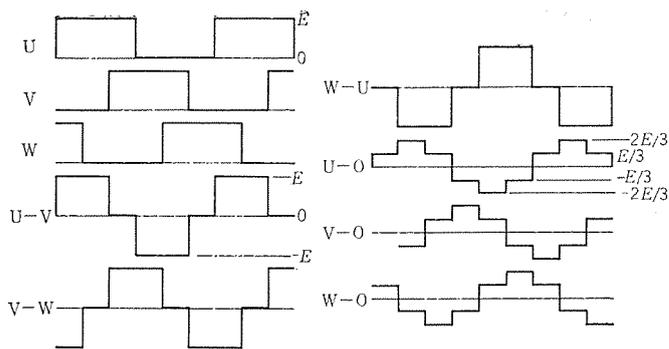


図 3.2 図 3.1 の波形
Waveforms for Fig. 3.1.

と相間電圧波形をもった、交流電圧が生じることが明らかである。この機械スイッチを、サイリスタに置きかえたものが、サイリスタインバータである。しかし、サイリスタは機械スイッチと違い、(1)一方向にしか通電しない、(2)通電を阻止するには、サイリスタに流れる電流を零にするか、または、逆電圧を印加する必要があるので、サイリスタを機械スイッチと同じように動作させるには、一度通電したサイリスタを、上記(2)の手段によりターンオフさせ、今までその素子に流れていた負荷電流を、別のサイリスタに移す(これを転流という)必要がある。このようにして、サイリスタを転流させ、その機能を補う素子が、転流コンデンサ、転流リアクトル、および帰還ダイオードである。

3.2 電圧形インバータと電流形インバータ

電圧形インバータは、負荷のいかんに関係なく、出力電圧がサイリスタの切換えによって発生する方形波となるもので、電源インピーダンスは非常に小さく、負荷インピーダンスが大きい場合に相当する。したがって、図 3.3 (a) に示すように、直流電源端子間に並列に平滑コンデンサが接続されており、さらに帰還ダイオードも付加されて、常に方形波電圧を発生する。この方式では、回生作用を円滑に行なわせるためには、回生専用の変換器を別に設ける必要がある。

これに対して、電流形インバータは、図 3.3 (b) に示すように、直流電源のインピーダンスは高く、定電流源となるようにし、これをサイリスタで切換え、方形波電流出力をえるものである。したがって、インバータの主サイリスタには、逆並列の帰還ダイオードは不必要となり、直流側には平滑コンデンサの代わりに平滑リアクトルを必要とする。ここで、出力電圧は電動機の発生する誘起電圧により決まり、脈動分は平滑リアクトルにより吸収されて正弦波となる。この方式では、力行時は直流電圧と直流電流は同一方向となり、回生時には、直流電圧は電流と逆方向になり、電力が電動機から電源へ返還され、回生制動となる。従来、この種のインバータとして、駆動電動機を同期電動機として分配器を使用した自制式電流形インバータが考えられているが、最近では、誘導電動機を用いた他制式電流形インバータも考えられている。表 3.1 に電圧形インバータと電流形インバータの基本的な比較を示す。

3.3 120° 通電形と 180° 通電形

サイリスタを転流させるには、別のサイリスタをオンさせるが、この場合、特に補助のサイリスタを使わずに、主回路を構成するサイリスタで兼用する場合がある。その場合、図 3.4 において、U、Z、V、X、W、Y の順で通電するものとする、転流のタイミングによって、120° 通電形と 180° 通電形に分類される。たとえば、U 相のサイリスタをターンオフさせるために、V 相か X 相のどちらかのサイリスタをオンさせる。前者の場合は、サイリスタの通電期間が 120° であり、後者

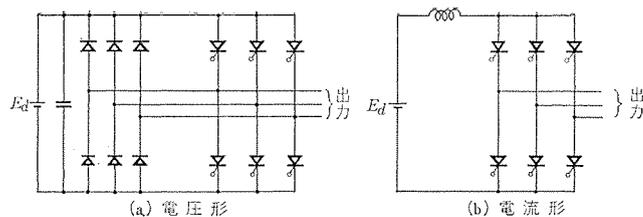


図 3.3 電圧形インバータと電流形インバータ
Voltage type inverter and current type inverter.

表 3.1 電圧形インバータと電流形インバータの比較
Comparison between voltage type inverter and current type inverter.

	電圧形インバータ	電流形インバータ
主回路		
波形		
	(1) 回生用コンバータが必要である (2) 平滑用フィルタが大きい。	(1) 1組のコンバータで力行、回生が可能である。 (2) 平滑コンデンサ不要 (3) 小形軽量化できる。

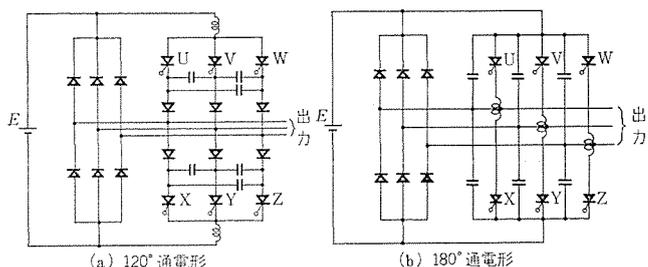


図 3.4 120° 通電形と 180° 通電形の代表的な回路
Representative circuits of 120° and 180° conducting type.

の場合の通電期間は 180° になる。図 3.4 (a) は 120° 通電形、図 3.4 (b) は 180° 通電形の代表的な回路例を示している。表 3.2 は、120° 通電形と 180° 通電形の波形上の比較表であるが、交流電動機を運転するインバータとして、どちらの形が適当であるかを比較すると、180° 通電形は、電圧波形が負荷力率に関係なく一定である。それに対して、120° 通電形は、力率によって波形が変化し、基本波分についてみると、大きさだけでなく、位相も力率の影響を受ける。したがって、電動機のように、力率が大幅に変化する負荷の電源としては、定電圧源である 180° 通電形の方が好ましいといえる。また同期電動機の場合、大きさおよび位相の変化は乱調現象の原因となると考えられ、このような点からも 180° 通電形が望ましい。しかし、通常電流形インバータとしては 120° 通電形が用いられる。

3.4 電圧調整

交流電動機を可変周波数電源で制御する場合、負荷特性に応じて周波数と電圧の比を制御する必要がある。たとえば、最大トルク一

表 3.2 120° 通電形と 180° 通電形の比較
Comparison between 120° and 180° conducting type.

インバータ 項目	120° 通電形	180° 通電形
波形 (相電圧)		
基本波 (相電圧)	PF=0 (進み) $\frac{\sqrt{2}}{\pi} E$ -30° PF=1 $\frac{\sqrt{6}}{2\pi} E$ 0° PF=0 (遅れ) $\frac{\sqrt{2}}{\pi} E$ 30°	$\frac{\sqrt{2}}{\pi} E$
サイリスタ 最大電圧	$1.5E$	E

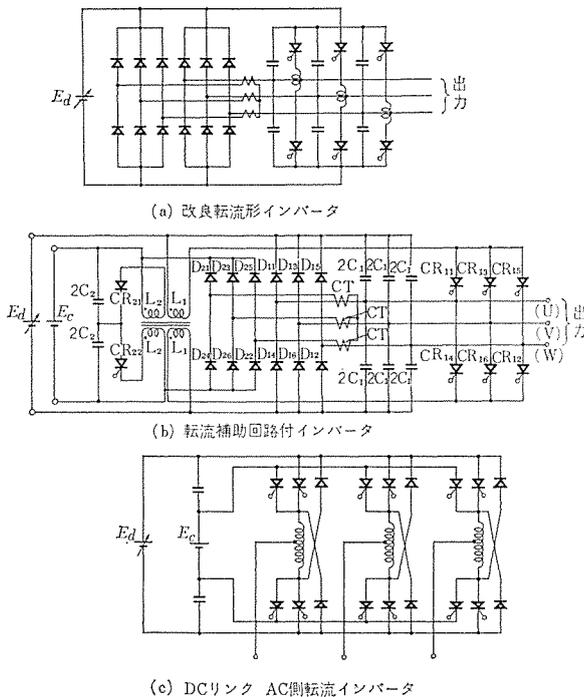


図 3.6 インバータの各種方式
Various methods of inverter circuit.

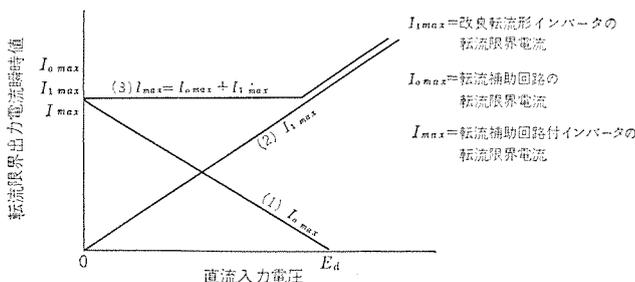


図 3.7 転流補助回路付 インバータの転流限界電流
Maximum output current characteristics of the improved inverter with an auxiliary commutation circuit.

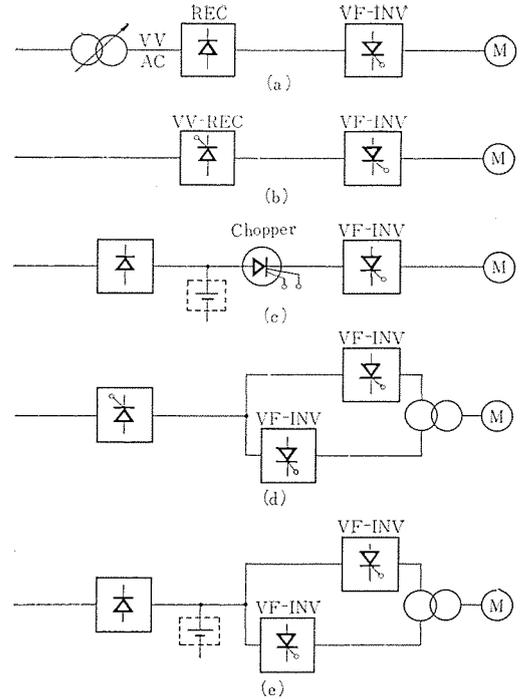


図 3.5 各種電圧制御方式
Various methods of voltage control.

定制御，誘起電圧一周波数比一定制御，出力一定制御などがあるが，端子電圧一周波数比一定の制御の場合が多い。電圧を変える方法には，図 3.5 に示すような各種の方法がある。

(1) 図 3.5 (a) は，スライダックにより入力電圧を調整する方法で，おもに小容量のものに用いられる簡易形である。

(2) 図 3.5 (b) は，サイリスタを使用した整流器で，交流電源から可変電圧の直流に変換する方式で，全波ともサイリスタを使用する場合と，半波のみサイリスタを使用する場合がある。現在ほとんどの装置は，この方式を使用している。

(3) 図 3.5 (c) は，DC チョッパを使い，交流を単に整流した電源あるいは電池から制御可能な直流に変換する方法である。特に無停電が要求される場合，あるいは直流電源を一括する場合に適する。

(4) 図 3.5 (d) は，二組のインバータの出力電圧の位相をある角度だけ変位するようにゲート回路を構成し，出力を変圧器で結合するもので，電圧の調整は整流器で行なう。この方式では，インバータの容量が増すばかりでなく，出力電圧に含まれる特定の高調波が減じられる。

(5) 図 3.5 (e) に示す構成を用いる場合には，二組のインバータの出力電圧の相差角も調整して，二組の電圧を変圧器でベクトル的に加算する方式と，二組のインバータの出力電圧をある値に固定し，各インバータの位相を調整し，二組の電圧を変圧器にてベクトル的に加算する方式の二つの方式がある。いずれの方式においても，ユニットインバータの個数が少ないときには，電圧を下げると高調波電圧の占める割合が多くなるので，電圧調整範囲をあまり広くすることができない。電圧調整範囲を広くする場合は，ユニットインバータの個数を増加させる必要がある。

3.5 インバータ回路

短いターンオフタイムをもったサイリスタの出現と，図 3.6 (a) に示す McMurray 氏らの考案による改良転流形回路の出現は，帰還ダイオードの導入により，負荷の力率のいかんに関係なく安定なインバータ運

転を可能にし、インバータの安定度を格段に向上させることにより、インバータの実用を可能にした。そして今日でも広く用いられているが、改良転流形回路単独では、通常電源電圧が低下すれば転流コンデンサの充電電圧も低くなり、図3.7の(2)の特性に示すごとく、転流限界電流が比例的に減少する特性をもっている。このことは可変周波数インバータによって交流電動機を周波数制御する場合、出力電圧—出力周波数比一定の制御を行ない、その制御範囲において一定のトルクを必要とする制御が多い。この場合、全制御範囲にわたって、一定の電流が電動機に流れるため、低周波数、低電圧領域では十分な出力電流がえられず、起動トルクや低速運転トルクが不足することになる。また、このことを補うため低電圧領域で十分な転流限界電流をもつように転流コンデンサ容量を決定すると、転流コンデンサ容量が過大となり、高周波・高電圧領域では転流回路損失のため、効率が低下することになるので、電圧を変化させる途中で転流コンデンサ容量を切換えるなどの不都合を生じる。

上記の欠点を除去するため、図3.6(b)に示す一定電圧の補助電源から転流コンデンサを補助充電する転流補助回路付インバータがある。この回路は、図3.7の(1)に示す転流限界特性をもち、一定電圧の補助電源と補助転流コンデンサおよびそれを制御する補助サイリスタよりなる転流補助回路の作用と、図3.7の(2)に示す転流限界特性をもった改良転流形回路の主回路の作用を相加させて、全体として、図3.7の(3)に示す転流限界特性をもたせることができる。したがって主直流電圧の変化に関係なく、常に一定の転流能力をもっている。この回路は1:20程度の広範囲の制御特性をもった可変周波数インバータとして実用され、すぐれた性能を發揮している。

上記、図3.6(a)(b)に示す改良転流回路インバータおよび改良転流回路インバータに転流補助回路を付加した転流補助回路付インバータは、転流リアクトル蓄積エネルギー帰還時間の制約のため、図3.6(b)に示す転流補助回路を一括した方式での最高使用周波数は、ほぼ150 Hz程度であり、また、図3.6(b)に示す転流補助回路を各相に分割した方式または、図3.6(a)に示す改良転流方式での最高使用周波数は、前記の約3倍のほぼ450 Hz程度である。

最近では転流回路損失を少なくして効率の向上をはかり、かつ使用周波数上限の向上をはかる改良がなされ、そのような回路として、図3.6(c)に示すBradley氏等の考案によるDC Link方式のうち、AC側転流インバータが実用化されようとしている。この方式を使用すれば、図3.6(c)に示す転流補助回路付三相一括転流方式で最高使用周波数は約500 Hz、各相に分割すれば約1.5 kHzとなる。したがって低速から超高速まで連続可変速運転が可能になる。

3.6 波形

インバータの出力電圧波形は基本的には、図3.2のようになり第3高調波およびその倍数波は含まないが、第5, 7, 11, 13……高調波を含み、そのひずみ率はそれぞれ1/5, 1/7, 1/11……である。このような波形を誘導電動機に加えた場合、正弦波電源に比べて全負荷時に力率が7.5%、効率が2%程度低下するため同一の定格電流(実効値)において出力は約10%低下する。またトルクは約7%減少し、スベリは0.4%増加するとの報告がある。誘導電動機を駆動する場合、普通、電動機を特殊設計し、インバータ⁽¹⁾の出力を方形波のままの状態で使用しているが特に問題はない。インバータの出力波形の改善をはかるには多重接続する必要がある。

3.7 電動機とその起動法

電動機の起動電流とインバータの経済設計の関係により、負荷電動

機の起動方法として普通次の方法を行なっている。

(1) 順次起動

多数の電動機を1台ごとまたはグループに分けて順次起動を行なうもので、機械の操作上可能ならばグループの数は多いほど効果的である。起動停止が少なく運転時間の長い生産機械では、起動操作の手間は無視することができ、運転コストの低減の目的にかなっている。

(2) いっせい起動

一連の機械を同時に起動停止する用途、あるいはインバータの負荷電動機が1台の場合は、始動電流が少なく、大きなトルクがえられる低速領域で起動を完了させ、その後目的の回転数までスリップを常に一定値以内に保ちつつ、徐々に回転数を増加させるソフトスタート方式をとっている。

4. ゲート回路

ゲート回路は、インバータ装置の信頼性を左右する重要な部分であるので、実績のある回路を使用すると同時に、ノイズに対して慎重に考慮した配線を行なっている。図4.1に代表的なゲート回路の構成を示す。ゲート回路は電圧と周波数を制御する二つの系統からなる。可変抵抗器で設定した電圧は、ソフトスタート回路を経て一つは出力電圧の基準とし、一つはV-F変換器でパルスに変換して、インバータの周波数の基準にしている。電圧の制御回路は、インバータの出力電圧を整流した平均値と比較して、その誤差が0になるように整流器のサ

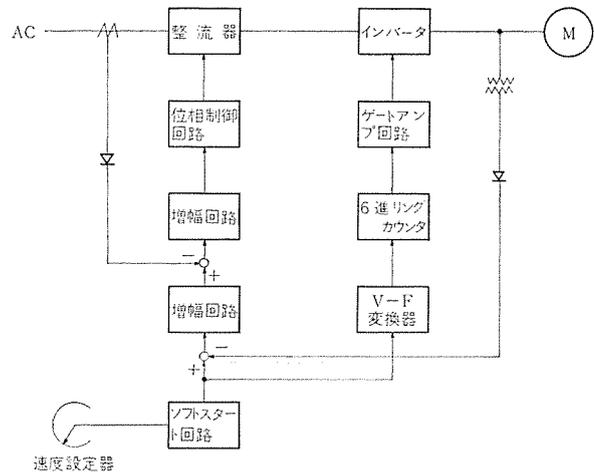


図4.1 ゲート回路構成図
Block diagram of gate circuit.

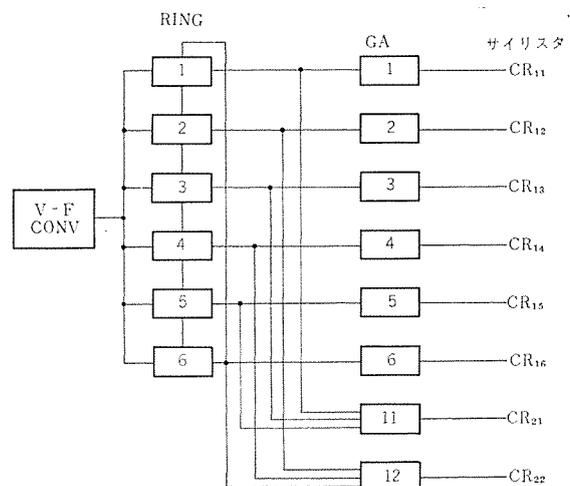


図4.2 インバータのゲート回路
Gate circuit of inverter.

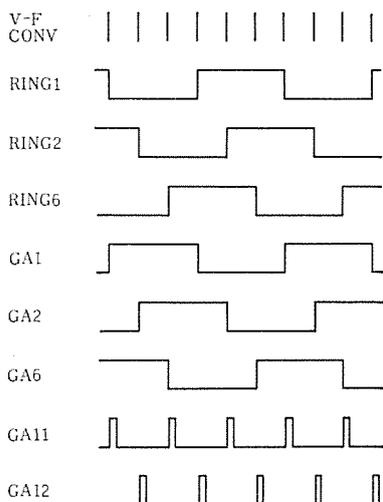


図 4.3 図 4.2 の波形 Waveforms for Fig. 4.2.

サイリスタの点弧位相を制御する。また電流帰還ループを付加することにより、装置の安定性の向上をはかっている。図 4.2 に周波数制御回路の基本構成図を示す。V-F 変換器は、インバータ出力周波数の 6 倍の周波数のパルス基準電圧に比例して発生する。V-F 発振器の出力パルスをリングカウンタで、たがい 60° 位相のずれた 180° 幅のパルスに変換し、終段でこのパルスを増幅してサイリスタのゲートに加えている。ゲートアンブ回路として、小容量のサイリスタを使用するものは変調式ゲート回路を使用しているが、大容量のサイリスタを使用するものは出力にパルストランスを使用しないハイゲートドライブ方式を採用している。ゲートパルスの立上りは約 1 μs であり、サイリスタの di/dt 耐量の改善ができ、信頼性の向上をはかっている。転流補助回路付インバータを使用する場合は、GA11、GA12 を必要とする。図 4.3 は、図 4.2 における周波数制御系の各ユニットのパルスの関係を図示したものである。

5. 保護回路

過負荷、負荷の短絡事故、転流失敗、転流サージ、開閉サージ、外来サージなどに対して次のような保護を考慮している。

(1) 整流器の過電圧保護

整流器のサイリスタまたはダイオードに加わる過電圧には、転流サージ、開閉サージおよび外来サージがある。これらは、交流側リアクトルと直流側に平滑用の大きなコンデンサがあるので、各素子間に CR アブソーバを入れれば十分抑制することができる。

(2) 整流器の過電流と短絡保護

整流器の素子不良による線間短絡、整流器の欠相、インバータの転流失敗による直流短絡および過負荷などで、整流器に過電流または短絡電流が流れたときは、交流電源側の開閉器のサーマルおよび交流側にそう入しているリアクトルと速断ヒューズの協調により整流器を保護する。

(3) インバータの過電圧保護

電源側よりの外来サージ、開閉サージなどは、直流回路の平滑コンデンサと転流コンデンサにより吸収されるので、インバータの過電圧としては、転流サージとインバータ負荷の開閉サージを考えれば十分である。このエネルギーは小さく、また帰還ダイオードの回路により DC 電圧にクランプされるので、素子と並列にコンデンサと抵抗を入れて抑制している。

(4) インバータの転流失敗に対する素子の保護

インバータが素子の劣化、ゲート回路の誤動作、過負荷、負荷の短絡などで転流失敗を起こした場合は、転流失敗したアームのサイリスタに大きな直流短絡電流が流れる。この短絡電流の保護として、大容量のサイリスタを使用したものは、サイリスタの各アームに速断ヒューズを入れる方法と直流回路の過電流を検出して整流器のサイリスタのゲートパルスをシャ断し、同時にノーヒューズブレーカをトリップさせる方法を併用している。中小容量のサイリスタを使用したものは、ヒューズを使用することなく、後者のみにより保護しているため、ヒューズ取換えのわずらわしさがなく好評である。

6. インバータ用電動機

駆動電動機としては、かご形誘導機、リラクタンスモータ、永久磁石同期電動機などがあるが、特に精密な速度制御をしない場合は、かご形誘導電動機が用いられる。この場合、一般のかご形誘導電動機そのままの仕様でも十分運転可能であるが、インバータ容量を小さくし、経済的な装置とするため始動電流の小さい特性を持たせている。この種の電動機を使用するとき、負荷変動に対する速度変動率は、高速域にて約 3% になる。しかし、始動電流は大きくなるが、同期速度付近のトルクのこうばいを高くすることによって、速度変動を 1% 以内（同期速度に対し）にすることもできる。

精密な速度制御を必要とする場合は、従来リラクタンスモータが使用されていたが、突極磁極によるリラクタンストルクによって同期運転を行っており、固定子巻線の遅れ電流で磁束を作るので効率・効率が悪くなる。しかも誘導電動機に比べると、必要なトルクを出すために多くの磁束を必要とし、始動電流も多くなる。したがって、電動機容量に比して大容量のインバータを必要とするためコスト的に不利である。そこでリラクタンスモータの長所を失わないで高性能の同期電動機として、永久磁石同期電動機が開発され、最近では精密速度制御用としての電動機は、ほとんどが永久磁石同期電動機を使用している。永久磁石同期電動機は、リラクタンスモータと同様に、かご形誘導電動機の原理で始動、加速し同期運転に入るのであるが、同期電動機の直流励磁の代わりに、かご形誘導電動機の回転子に高性能永久磁石を内蔵し、必要な磁束のほとんどを磁石より供給するので、固定子巻線に流れる励磁電流が少なく高効率である。また必要なトルクを出すためにリラクタンスモータのように多くの磁束を必要としないため、効率も向上し始動電流も少なくなるのでリラクタンスモータを駆動する場合に比べるとインバータ容量が格段に小さくなる。

7. 応用

現在繊維工業関係からの要求が活発であり、ワインダ、トラバース、テイクアップ、ドローツイスタおよび精紡機用などがある。また研削盤主軸、遠心分離機、リニアモータ用などの超高速運転用として 400 Hz のインバータも製作中である。

以下に最近の代表例を紹介するが、上記例にかぎらず一般産業機械の変速装置としての用途が、今後ますます期待される。

(1) ワインダ用

紡績工場で使う自動ワインダのドラムモータを可変速駆動するもので、国内需要ばかりでなく東南アジアに輸出されている。

図 7.1 にその外観を示すが、定格 65 W 2P 127 V 50 Hz 全閉の三相かご形誘導電動機 48 台を周波数範囲 24~69 Hz で運転する。

(1) 風綿の多い環境で、多数の電動機を制御するという条件で、

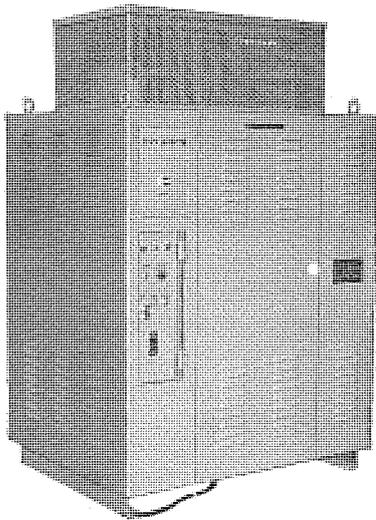


図 7.1 ウィンダー用インバータ装置の外観
Exterior view of inverter device for winders.

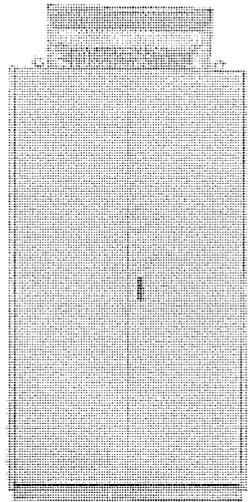


図 7.2 トラバース用インバータ装置の外観
Exterior view of inverter device for traverses.

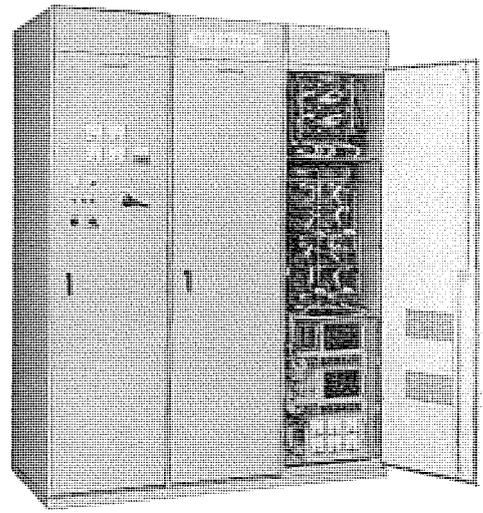


図 7.3 50 kVA インバータ装置の外観
Exterior view of 50 kVA inverter device.

表 7.1 標準系列の仕様
Specification of standard series.

交流入力	三相 200/220 V $\pm 10\%$ (50/60 Hz) (200/220 V 以上の場合には入力変圧器を付属する)				
装置容量 kVA	12.5	25	50	75	100
出力周波数 (最高)	200 Hz				
出力電圧 (最高)	三相 200 V (200 V 以上の場合には出力変圧器を付属する)				
過負荷耐量	200%, 30 秒				
使用温度範囲	0~40°C				
出力周波数精度	$\pm 0.1\%$ (30°C $\pm 10^\circ\text{C}$)				
可変速範囲	1 : 10				

注) 特殊仕様も製作可能

全閉構造のかご形誘導電動機が利用でき、省力化につながる。(2) 商用周波数以上の周波数まで連続的に可変できるので、能率の向上につながる。(3) せん速制御が容易である。(4) 設置場所の拘束がない、などの利点を買われたものである。起動方法はドラムユニットがノッタの位置にくるごとに起動する順次起動を行なっている。

(2) トラバース用

トラバース用電動機の変速駆動用であり、図 7.2 にその外観を示す。定格 2.2 kW 6 P 100 V 50 Hz 三相かご形誘導電動機 2 台を、トルク一定制御で 10~100 Hz の周波数範囲で運転する。電動機はインバータと同時に始動している。

(3) 標準系列

製品の性能向上、応用範囲の拡大、低価格、短納期および部品の標準化などをはかるため、現在、表 7.1 に示す標準系列を用意している。図 7.3 は、そのうちの 50 kVA インバータ装置の外観を示す。表 7.1 に示されていない 100 kVA 以上の大容量サイリスタインバータも、別に製作している。

8. む す び

以上、交流電動機用サイリスタインバータを中心に、その概要を述べたが、性能、価格などにおいて、ユーザの要求を十分満たすに至っていない点もあると思う。しかし、サイリスタインバータの回路方式およびインバータ用サイリスタの性能の改善に、日夜努力しており、ユーザとメーカーの目標である、安価・小形化・性能向上に対しあまり遠くない日に、この目標に到達できるものと確信している。

今回は、当社のサイリスタインバータについて、その一部しか紹介できなかったが、次の機会に新方式のインバータも合わせ、詳細を報告したいと思う。終わりに、サイリスタインバータに関し、日ごろご指導、ご援助いただいている当社中央研究所第 5 研究部の関係各位に対し、厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 大野, 赤松: SCR 可変周波数インバータによる交流電動機の変速制御, 三菱電機技報, 38, No. 6, (昭 39)
- (2) 大野: 転流補助回路付サイリスタインバータの転流特性, 電学誌, 86, No. 8, (昭 41)
- (3) 大野, 赤松: SCR インバータとその応用(その 5), 三菱電機技報, 40, No. 8, (昭 41)
- (4) 上山, 関, 石沢: サイリスタインバータによる交流電動機制御, 東芝レビュー, 22, No. 9, (昭 42)
- (5) 上妻, 田沢: サイフック——静止形可変周波数変換装置——, 明電舎時報, 82, (昭 43)
- (6) 川上, 吉沢, 田辺, 渡辺, 坪井: 交流電動機のサイリスタ制御, 日立評論, 52, No. 3, (昭 45)

サイクロコンバータによるかご形誘導電動機 の速度制御 (三菱 CI 形, SV 形サイクロコンバータ)

片岡 正博*・栗田 静夫*・坪井 克剛*

Speed Control of Squirrel Cage Induction Motors with Cycloconverters (Type CI and Type SV Cycloconverters)

Nagasaki Works Masahiro KATAOKA・Shizuo KURITA・Katsutaka TSUBOI

On account of sturdy construction and easy maintenance squirrel cage induction motors have been in broad use as constant speed machines for electric power application. Nevertheless they concede a point to other motors when variable speed is called for. Recent development of semiconductors for power use and rapid progress of control technology have brought about the development of inverters and cycloconverters working as static variable voltage power sources and put them in practical operation. By the combination of these apparatus with the squirrel cage induction motors, a speed control system has now come in the limelight. The paper describes this speed control system of the induction motors operating from the power source of the cycloconverter.

1. ま え が き

最近の電力用半導体の発達と制御技術の急速な進歩により、かご形誘導電動機の静止形可変電圧可変周波数電源として、インバータやサイクロコンバータが各方面で注目され、すでに実用化の段階に入っている。本稿ではサイクロコンバータにより直接かご形誘導電動機を駆動する方式(CI形サイクロコンバータ 当社名)と、サイクロコンバータと同期電動機(回転進相機)の組合せにより、可変電圧可変周波数電源を作りかご形誘導電動機を駆動する方式(SV形サイクロコンバータ 当社名)についてその概要を説明する。

サイクロコンバータは、中間に直流を介在させることなく、ある周波数の交流から別の周波数の交流に変える直接周波数変換装置であり、その制御方式から分類すると、後述のごとく他制他励式および自制他励式と呼ばれるものがある。

直接かご形誘導電動機を直接駆動する場合は、他制他励式サイクロコンバータ(CI形)であるが、これは周波数低減動作のみであり、最高出力周波数は電源周波数の1/2~1/3以下が実用的な範囲である。

これに対してSV形サイクロコンバータ方式の場合のサイクロコンバータは自制他励式(SV形)で、これはサイクロコンバータ式交流無整流子電動機のもと同じで、出力周波数は電源周波数とは無関係で零から電源周波数以上にも上げることができる。

かご形誘導電動機を速度制御する場合、この二方式はサイクロコンバータの制御方式で相異はあるにしても、次のような共通の特長を持っている。

- (1) 負荷力率に関係なく安定した運転ができる。
- (2) 転流は電源電圧によって行なわせることができるので、回路動作が安定である。
- (3) 交流の直接交換であるから、変換効率が非常に高い。
- (4) 完全ブラリス化が可能で保守点検が容易である。
- (5) 1台のサイクロコンバータにより、複数台のかご形誘導電動機を同時に速度制御できる。

2. CI形サイクロコンバータ方式

2.1 一次周波数制御されたかご形誘導電動機 の特性

一次周波数を制御して、かご形誘導電動機を速度制御する場合、かご形誘導電動機の周波数に対するトルク特性を十分に握しておく必要がある。図2.2にかご形誘導電動機の最も簡単な等価回路を示す。この等価回路を使って、かご形誘導電動機の発生するトルクを求めると

$$T = \frac{3PE_0^2 \left(\frac{r_2'}{S}\right)}{4\pi f_1 \times 9.8 \cdot \left\{ \left(\frac{r_2'}{S}\right)^2 + x_2'^2 \right\}} \approx \frac{3PE_1^2 \left(\frac{r_2'}{S}\right)}{4\pi f_1 \times 9.8 \cdot \left\{ \left(r_1 + \frac{r_2'}{S}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right\}} \quad (\text{kg}\cdot\text{m}) \dots (2.1)$$

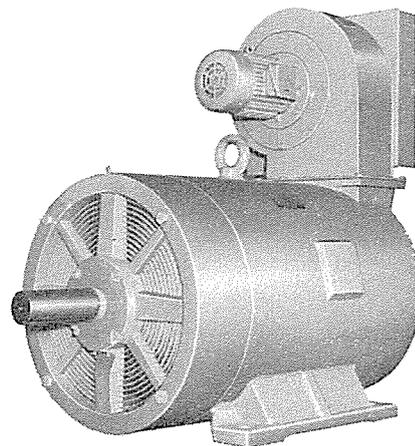


図 2.1 速度制御用かご形誘導電動機
Squirrel cage induction motor for speed control.

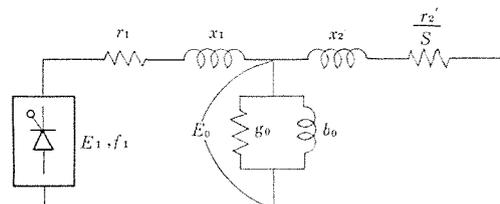


図 2.2 かご形誘導電動機の等価回路
Equivalent circuit squirrel cage induction motor.

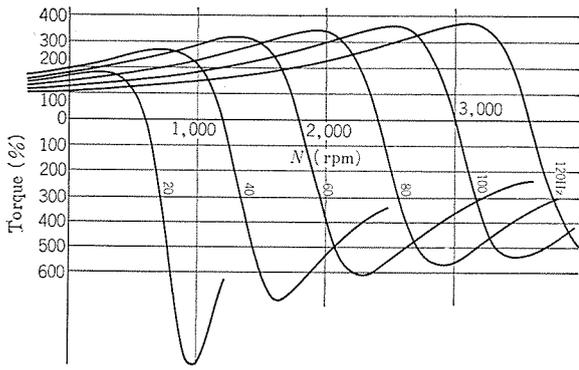
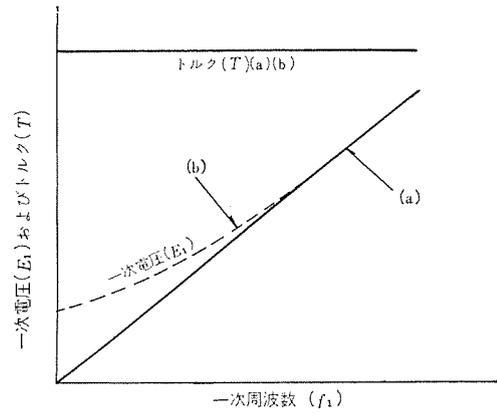


図 2.3 かご形誘導電動機のトルク特性
Torque characteristics of squirrel cage induction motor



(a) 抵抗降下を考慮しない場合 (b) 抵抗降下を考慮した場合
図 2.5 f_1-E_1 特性 f_1-E_1 characteristics.

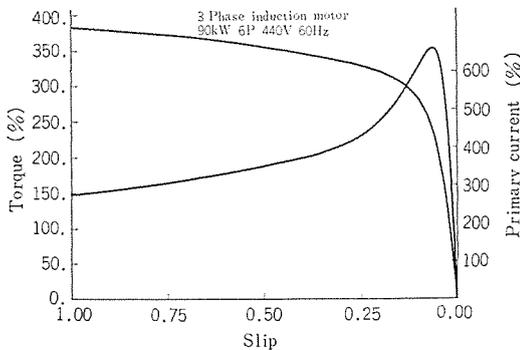


図 2.4 (a) 速度特性 Speed characteristic curves.

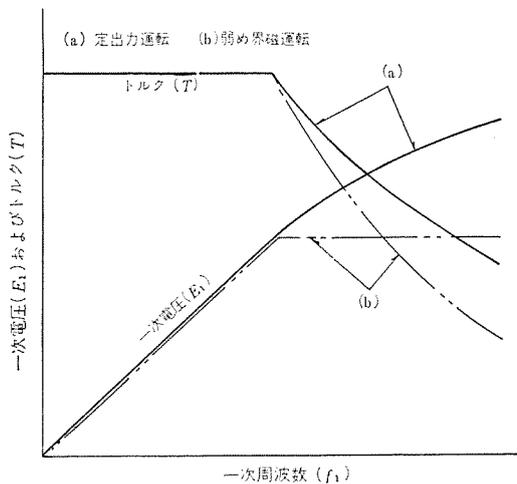


図 2.6 f_1-E_1 特性 (特殊運転)
 f_1-E_1 characteristics of special operation.

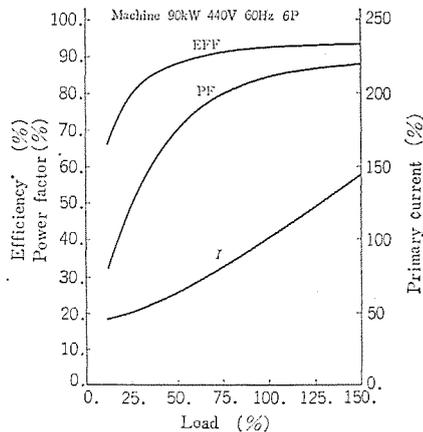


図 2.4 (b) 負荷特性 Load characteristic curves.

したがって、トルク一定の負荷を駆動するためには

$$\left. \begin{aligned} Sf_1 &= \text{一定} \\ \frac{E_1}{f_1} &= \text{一定} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

で運転すれば近似的によいことがわかる。しかし低速（低周波）領域での特性を考察するときには、上記の近似は成立せず、 E_1/f_1 一定の運転を行なえば、図 2.3 からわかるようにリアクタンスに対して抵抗分が無視できなくなり、最大トルクは周波数の低下とともに著しく低下し、 Sf_1 一定の運転ができなくなる。このように低速（低周波）領域での抵抗分による電圧降下を補償するため図 2.5 に示すような E_1-f_1 の関係で運転する必要がある。

さらに高速領域のみ出力一定の運転を必要とする場合について考察すると

$$kW = \frac{4\pi f_1 T}{P} \approx \frac{3E_1^2 \left(\frac{r_2'}{S}\right)}{9.8 \left\{ \left(r_1 + \frac{r_2'}{S}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right\}} \dots\dots\dots (2.4)$$

今 $S=0$ の近傍のみについて考えてみると式 (2.4) は

$$kW \approx \frac{3}{9.8 r_2'} (Sf_1) \left(\frac{E_1}{\sqrt{f_1}}\right)^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

したがって出力一定の負荷を駆動するためには

$$\left. \begin{aligned} Sf_1 &= \text{一定} \\ \frac{E_1}{\sqrt{f_1}} &= \text{一定} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

で運転すればよいことがわかる。一般に直流電動機の弱め界磁制御

ここに P = 極数

E_0 = 一次 1 相の誘起電圧

f_1 = 一次周波数

E_1 = 一次 1 相の端子電圧

S = すべり

r_1 = 一次 1 相の抵抗

x_1 = 一次 1 相の漏れリアクタンス

r_2' = 二次 1 相の抵抗 (一次換算値)

x_2' = 二次 1 相の漏れリアクタンス (一次換算値)

周波数をパラメータとしてトルク特性を表わすと図 2.3 のようになる。また定格周波数でのトルク特性および負荷特性を示すと図 2.4 のようになる。

今 $S=0$ の近傍のみについて考えると式 (2.1) は

$$T \approx \left(\frac{3P}{4\pi \times 9.8 r_2'}\right) (Sf_1) \left(\frac{E_1}{f_1}\right)^2 \quad (\text{kg}\cdot\text{m}) \dots\dots\dots (2.2)$$

に相当する運転の場合、出力一定よりもさらに低い出力なので

$$\left. \begin{aligned} Sf_1 &= \text{一定} \\ E_1 &= \text{一定} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.7)$$

の運転を行なったほうが、静止周波数変換装置の容量も小さくなり経済的な場合が多い。以上のことをまとめて図示すると図 2.6 のようになる。

静止周波数変換装置として、サイリスタで構成されたサイクロコンバータを用いた場合について以下詳述するが、この場合当然のことながら、高調波によるかご形誘導電動機の特長劣化も十分考慮しておく必要がある。

2.2 サイクロコンバータの回路方式と制御方式

サイクロコンバータは、出力周波数の制御方式と転流方式の相異により大別して表 2.1 のごとく分類できる。

他制他励式は、サイクロコンバータを構成するサイリスタの転流を電源電

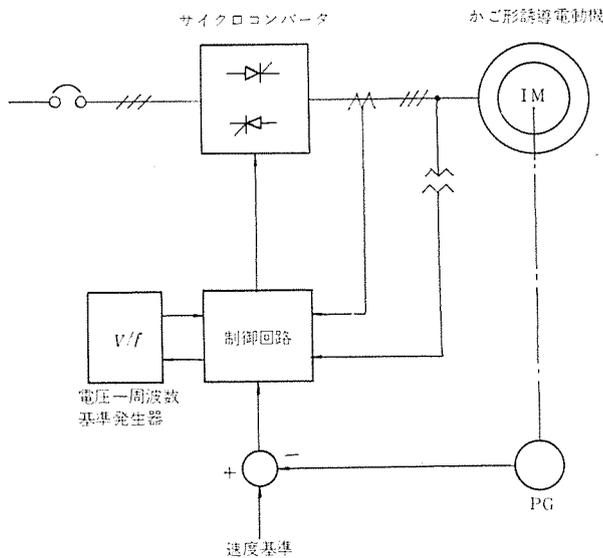


図 2.7 基本回路構成
Fundamental block diagram.

表 2.1 サイクロコンバータの分類
Classification of cycloconverter.

	他制他励式	自制他励式
転流	電源転流	電源転流+負荷転流
周波数制御	可変周波数発信器により制御	負荷が自動的に周波数を制御する

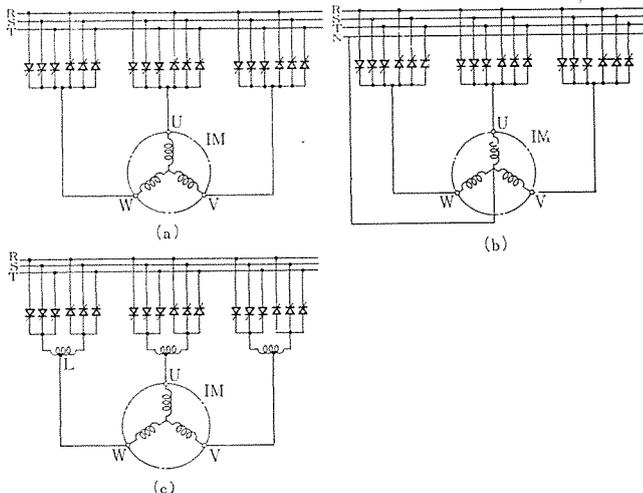


図 2.8 三相半波方式
Main circuit connection of 3 phase halfwave cycloconverter.

圧によって行なういわゆる電源転流にのみ依存するものであって、出力周波数は、別に設けられた可変周波数発信器の周波数をその基準として制御される。出力周波数は電源周波数の高々 1/3~1/2 という制約がある。

一方、自制他励式は、主として交流無整流子電動機に用いられ、低周波では電源転流を行ない、周波数の比較的高いところでは電動機の逆誘起電圧によって負荷転流を行なうもので、出力周波数は電動機の回転数によって自動的に決まる。

サイクロコンバータにより直接かご形誘導電動機を駆動する場合のサイクロコンバータ (CI 形) は、他制他励式である。

サイクロコンバータ主回路の回路方式には半波形式と全波形式がある。図 2.8 は半波形式の回路構成を示している。三相出力の場合は 18 個のサイリスタによって構成され (a) は三相 3 線式、(b) は中性線を設けた三相 4 線式であるが、動作の安定性という点から見れば、三相 4 線式がまさるが、中性線に高周波電流が流れるため装置容量の増大、効率の低下等の好ましくない面がある。

(a)(b)の両方式とも、サイリスタの (+) 群か (-) 群かのいずれか片方のみしか導通させない方式で、もし何らかの原因により (+) (-) 群のサイリスタが同時に導通することがあれば、電源線間短絡となり、正常な運転は続けられない。したがって、必ず片方の群のサイリスタが不導通になった後、他方の群のサイリスタにゲート信号を与える必要がある。この方式は非循環電流方式と呼ばれる。

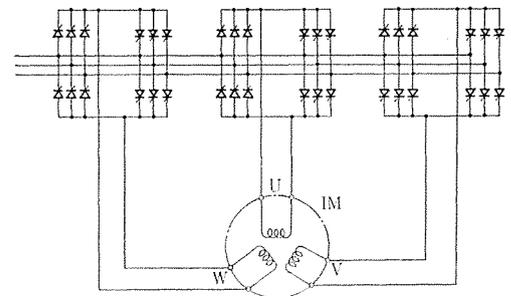


図 2.9 三相全波方式
Main circuit of 3 phase fullwave cycloconverter

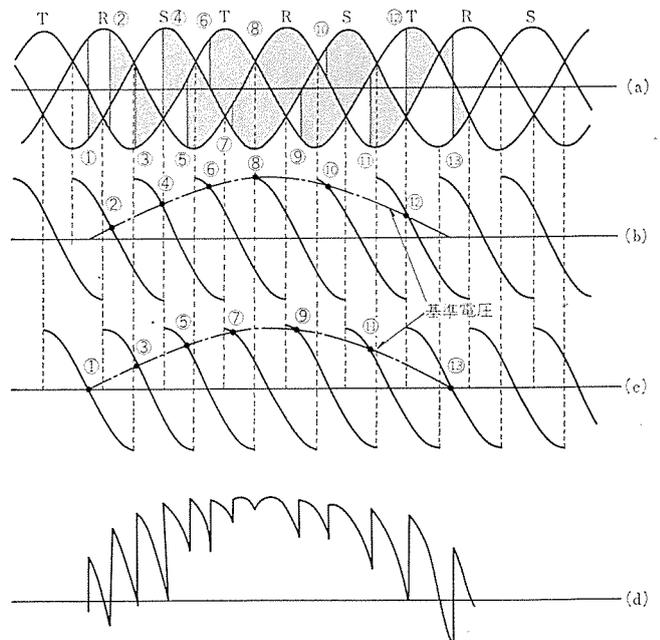


図 2.10 正弦波出力制御方式
Control method of sinusoidal output voltage

図 2.8 (c)は(+)群サイリスタと(-)群サイリスタとの間に限流リアクトルを接続し(+)群と(-)群間に循環電流を流しつつ制御するもので、動作は安定であるが、効率は低下する。

図 2.9 は全波形の回路構成であるが、この方式は 36 個のサイリスタによってサイクロコンバータが構成され、半波形の場合と同様循環電流方式と非循環電流方式とがある。

サイクロコンバータの出力電圧波形の制御方式には、出力電圧が正弦波となるように制御する方式と、く(矩)形波となるように制御する方式とがある。各種の回路方式、制御方式のうちで、電動機の運転特性が良好で、効率・力率ともすぐれているのは、3相全波正弦波出力形形の制御方式であって、この方式がかご形誘導電動機の電源として最も適しているようである。

図 2.10 はサイクロコンバータの出力電圧を正弦波にするための制御方法を示すものである。

図の(a)は電源電圧波形、(b)(c)は電圧比較形ゲート位相制御回路の制御電圧と基準正弦波電圧が比較され、基準正弦波の半サイクルの瞬時値に対して位相制御角が決定される様子を示している。その結果(d)に示すようなほぼ正弦波に近い出力電圧波形が得られる。

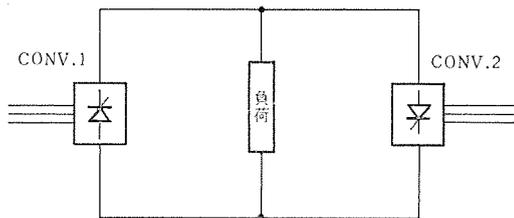


図 2.11 サイクロコンバータ (一相分)
Diagram of cycloconverter (1φ).

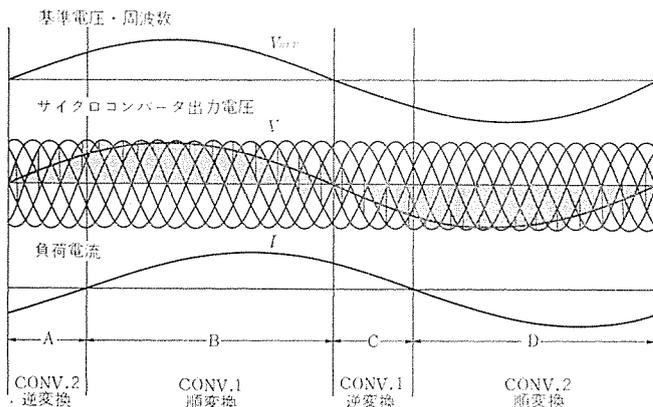


図 2.12 サイクロコンバータの運転モード
Operating mode of cycloconverter

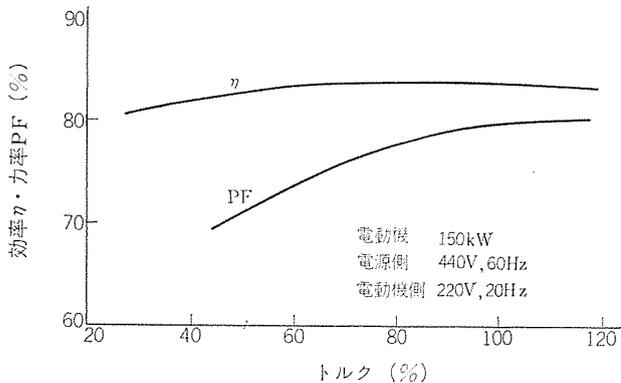


図 2.13 効率, 力率曲線

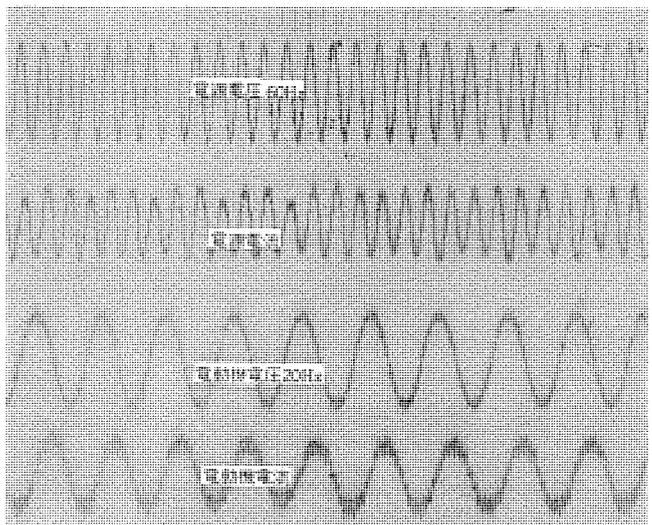
Efficiency and power factor curves of induction motor controlled by cycloconverter

図 2.11 の CONV. 1 によって、図 2.10 に示す正の半サイクルが終わったあと CONV. 1 から CONV. 2 へ切換えられ、負の半サイクルは CONV. 2 によって、図 2.10 と同じ出力電圧が得られるように制御される。

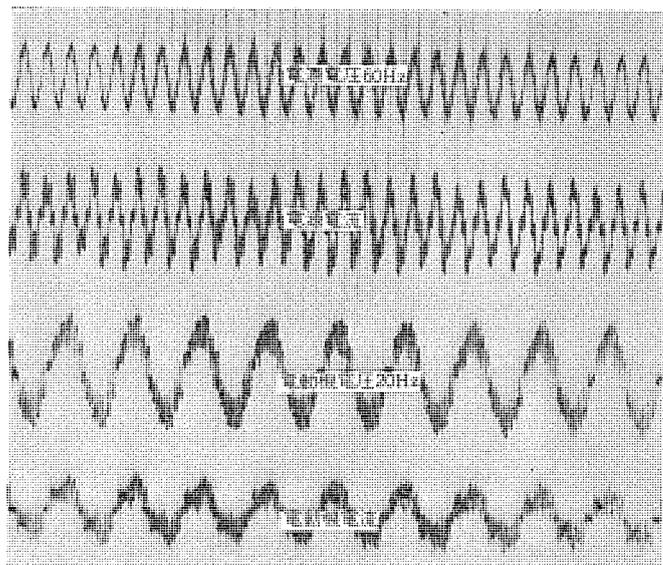
図 2.9 は抵抗負荷の場合の出力電圧波形であるが、誘導電動機を駆動する場合は遅れ力率であり、サイクロコンバータの制御モードも抵抗負荷の場合とは異なってくる。

図 2.12 は出力電圧と電流の関係を表わしているが、電流が正の期間(B+C)においては、CONV. 1 を使用し、CONV. 2 は使用しない。期間Bでは電圧、電流とも正であり CONV. 1 は順変換器(整流動作)として運転される。期間Cにおいては電圧は負、電流は正で CONV. 1 は逆変換器(インバータ動作)として運転される。電流が零点を通過する点で、CONV. 1 から CONV. 2 へ切換えられる。期間Dにおいては、CONV. 2 は順変換器として運転され、期間Aでは CONV. 2 は逆変換器として運転される。

前述のように電動機に与える電圧と周波数は、電動機の磁束が一定となるようにある定まった相互関係を持たせることが必要であるから、速度基準を与えるとその速度に対応する周波数と電圧の基準を発生する V-f 基準発生装置を必要とする。V-f 基準発生装置はあ

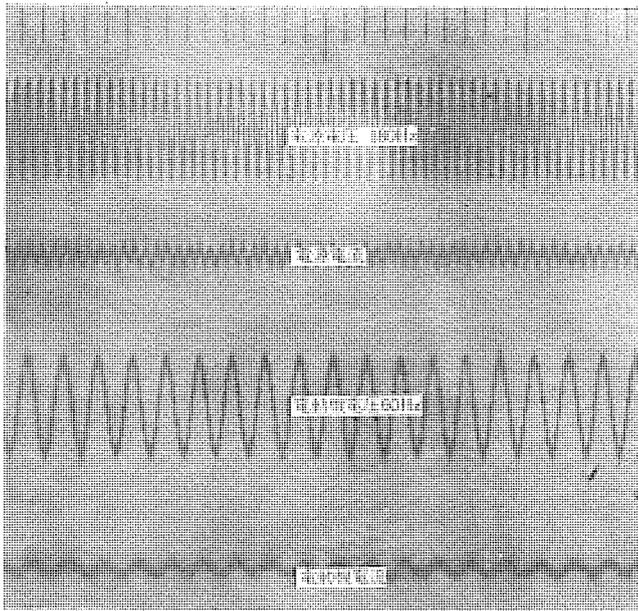


(a) 無負荷時

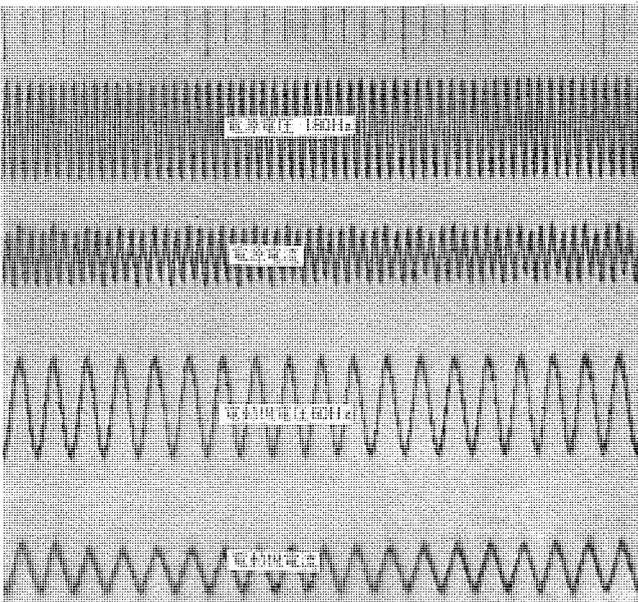


(b) 負荷時

図 2.14 電圧電流波形 (60 Hz→20 Hz)
Voltage and current wave forms (60 Hz→20 Hz)



(a) 無負荷時



(b) 負荷時

図 2.15 電圧・電流波形 (180 Hz→60 Hz)
Voltage and current wave forms (180 Hz→60 Hz).

らかじめ計算され決定された電圧と周波数の相関パターンを発生する。制御系は速度制御のメインループのほかに、電流・電圧・すべり制御のマイナーループを設けるのが普通である。

2.3 正弦波出力電圧形により駆動されたかご形誘導電動機の特徴

かご形誘導電動機を正弦波出力電圧形サイクロコンバータにより駆動した場合の特性は、サイクロコンバータの出力電圧に高調波成分を含むため、力率・効率に多少の低下は見られるが、普通の正弦波電源で駆動する場合とほとんど類似の特性が得られる。

図 2.13 は 150 kW かご形誘導電動機を、正弦波出力電圧形サイクロコンバータ形で駆動した場合の特性である。

図 2.14, 2.15 は 60 Hz 商用電源と 180 Hz 高周

波発電機電源により駆動した場合の電圧・電流波形である。

3. SV 形サイクロコンバータ方式

CI 形サイクロコンバータによりかご形誘導電動機を直接駆動する方式のほかに、かご形誘導電動機を CS 形サイリスタモータの同期機と並列に接続し運転する方法も実用化されている。この場合、同期機は無負荷で同期進相機として運転される。この同期進相機は負荷力率を改善してサイクロコンバータの容量を低減するとともに、サイクロコンバータの負荷転流源としても動作するため、CI 形サイクロコンバータ方式より高い出力周波数を発生することができる。また、CS 形サイリスタモータのサイクロコンバータ自身は、く形波出力電圧形であるが、同期進相機の付加によりほぼ正弦波電圧に整形される。この方式は当社独自のもので、サイクロコンバータおよびそれと有機的に接続された同期進相機を一括して、SV 形サイクロコンバータと称し、単に誘導電動機駆動に限らず、広く可変電圧可変周波数電源として使用することができる。

SV 形サイクロコンバータによりかご形誘導電動機を駆動する場合、特殊な用途を除いては、誘導電動機を 1 台だけ接続することはあまり行なわれない。負荷駆動源が一つだけでよいときには、誘導電動機を追加しなくとも、同期機を電動機として運転するほうが経済的である。したがって、この方式は複数台のかご形誘導電動機を揃速運転する場合に最も実力を発揮する。この種のせん(揃)速運転は自動式インバータによっても広く行なわれているが、価格・容量等の点でまだ難点があるため、SV 形サイクロコンバータの今後の進出が期待されている。

3.1 原理

図 3.1 に SV 形サイクロコンバータによるかご形誘導電動機駆動方式の回路図を示す。同期機 SC と並列に誘導電動機 IM が接続されている点を除けば、主回路・制御回路とも CS 形サイリスタモータとまったく同一である。したがって CS 形サイリスタモータの持っているラシス・回生制動トルクの発生、容易な正逆転、広い速度制御範囲等の長所は、そのまま本方式にもあてはめることができる。CS 形サイリスタモータとして使用される場合にかぎったことではないが、同期機の励磁量が一定であれば、同期機の誘起電圧およびその周波数は同期機の回転速度に比例する。それゆえ、この電圧を誘導電動機に印加し、同期機を速度を種々に変化させれば図 2.3 の特性が得られる。本方式では図 2.3 のパラメータは同期進相機の回転速度に置き換えることができる。同期進相機の回転速度がきまれば、それに対応する

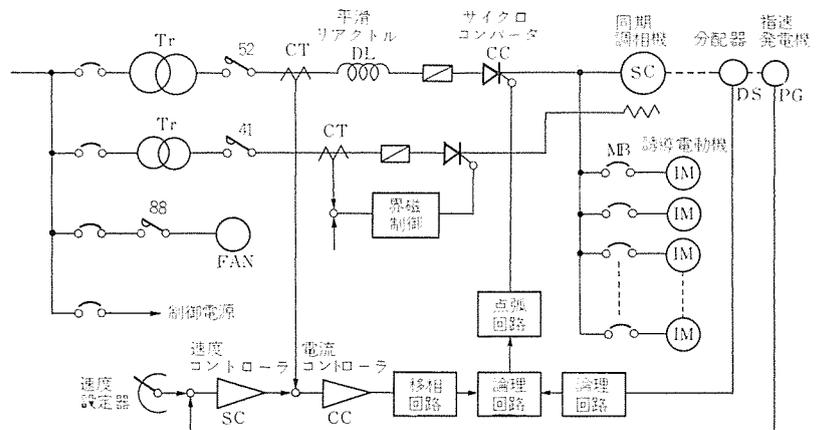


図 3.1 SV 形サイクロコンバータによるかご形誘導電動機駆動の回路
Skeleton diagram of type SV cycloconverter-induction motor system.

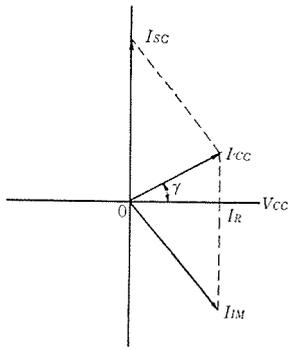


図 3.2 (電動運転時) ベクトル図
Vector diagram (motoring).

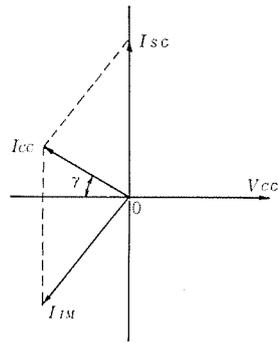


図 3.3 (回生運転時) ベクトル図
Vector diagram (Regenerating).

誘導電動機は速度-トルク曲線と負荷の速度-トルク曲線の交点が誘導電動機の運転点となる。しかし、図 2.3 にもみられるように、印加電圧の周波数が低くなるほど、誘導電動機のトルクは低下する傾向にある。これは比例トルク負荷・二乗トルク負荷等に対してはそれほど問題とならないが、低速においても大きなトルクを要求する定トルク負荷に対しては対策が必要である。このような場合は、低速運転時に同期進相機の界磁を強め、誘導電動機の印加電圧をある程度大きくしてトルクを補償する方法がとられる。

図 3.2 は本方式の各部電圧・電流の関係を表わすベクトル図である。サイクロコンバータの出力電流 I_{cc} は、サイクロコンバータ出力電圧 V_{cc} に対し γ だけ進んでいる。これは CS 形サイリスタモータと同様、負荷転流させるために必要な転流余裕角であり、誘導電動機の負荷の大小にかかわらずほぼ一定の角度が保たれている。 I_{sc} は同期進相機電流であり、サイクロコンバータ出力電圧 V_{cc} に対し約 90° 進んでいる。 I_{LM} は誘導電動機電流であり、サイクロコンバータ出力電圧 V_{cc} に対する遅れは、一般に γ より大きい。自励インバータ駆動方式では、サイリスタ変換装置の電流容量は I_{LM} を流すだけ必要であるが、本方式では同期進相機により力率が改善されるため、サイクロコンバータの電流容量は I_{cc} に低減される。誘導電動機の最高速度が、電源周波数に対する同期速度の $1/3 \sim 1/2$ 程度でよいときには、負荷転流は不要となるため $\gamma = 0^\circ$ とすることができ、サイクロコンバータの電流容量はさらに I_{LR} まで低減することができる。とくに、小容量の誘導電動機の力率はかなり悪いので、これらを複数台せん速運転する場合には、力率改善のできる SV 形サイクロコンバータによる方式が非常に有利となる。

本方式では電動運転のみでなく、同期進相機の回転速度を下げて周波数を低くした場合や、誘導電動機が負荷により強制的に増速されようとする場合には、回生制動トルクを発生する。回生制動中は誘導電動機の運転点は図 3.2 の負トルク領域にあり、電圧・電流ベクトルは図 3.3 のようになる。回生制動中の γ は 0° でも運転可能であるが、回生制動用分配器を逆転用と兼用することや、電動・回生両特性の同一化などの点から、電動時の γ と同じ値にとるのが普通である。

3.2 特性

本方式の同期進相機は速度精度は CS 形サイリスタモータと同程度であり、きわめて良好であるが、負荷駆動源に誘導電動機を使用しているため、負荷の増減によりすべりが変化するのは避けられない。また誘導電動機のトルクは印加電圧の 2 乗に比例するため、同期進相機は速度精度が良好でも、誘起電圧が負荷の大小により大きく変

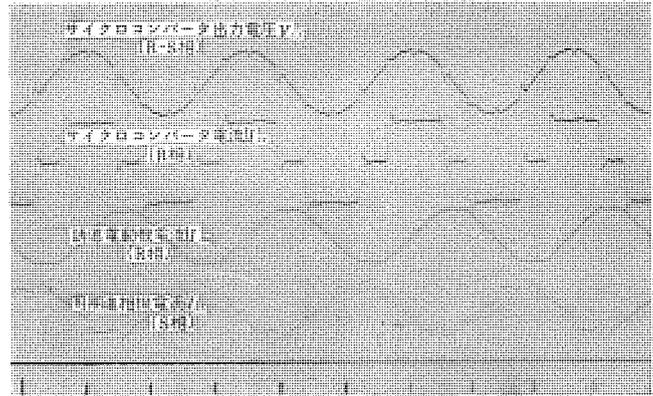


図 3.4 電圧・電流波形
Current and voltage wave forms.

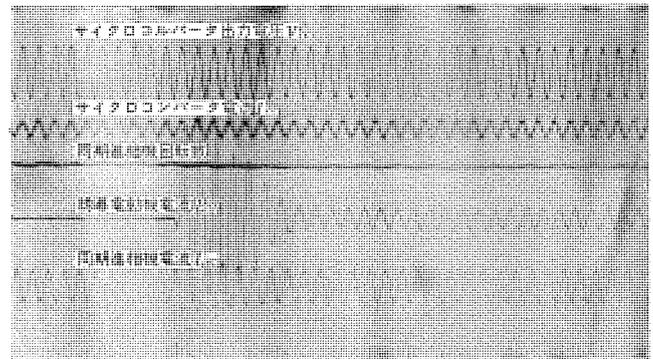


図 3.5 誘導電動機を 1 台直入したときの電流・電圧波形
Induction motor rush current.

化することがあれば、誘導電動機は速度変動率が悪化する。これを避けるため同期進相機の無負荷飽和曲線がかなり飽和する部分を選択し、同期進相機の電機子反作用を軽減させる必要がある。また、図 3.1 では指速発電機が同期進相機にとりつけられているが、これを誘導電動機群中のある 1 台に移しかえれば、全誘導電動機の負荷がバランスしている場合は精度が向上する。しかし本方式のねらいは、サイクロコンバータ・同期進相機よりなる可変電圧・可変周波電源により、標準のかご形誘導電動機を気軽に運転できるという点にあるので、指速発電機は同期進相機にとりつけるのが普通である。高精度を必要とする場合は誘導電動機の代わりにリアクタンスモータ等の同期機を使用すれば満足できる性能が得られる。

図 3.4 にサイクロコンバータ出力電圧、電流波形、同期進相機の電流波形、誘導電動機の電流波形の一例を示す。誘導電動機の印加電圧(サイクロコンバータ出力電圧)および電流には高調波が少なく、かなりきれいな正弦波になるのが特長である。

本方式では誘導電動機を低周波起動できるので起動時の突入電流は皆無である。しかし同期進相機の運転中に誘導電動機を投入する場合は突入電流は避けられない。図 3.5 に 9 台の誘導電動機が運転中に別の 1 台の誘導電動機を投入したときの波形を示す。この図からも明らかなように、誘導電動機の突入電流はほとんど同期進相機より供給され、サイクロコンバータ電流はそれほど大きくならない。これは誘導電動機の突入電流がほとんど無効分によって占められていることによるものである。サイリスタ装置と回転機器を比較すると、回転機器のほうが過電流に強いのが普通である。したがって誘導電動機の突入電流が同期進相機より供給されることは、装置容量の点からみて非常に都合がよい。

誘導電動機は速度を変える場合には、周波数を変えるために先ず

同期進相機の回転速度を変えねばならない。同期進相機を加減速する期間は、誘導電動機・進相機の双方に有効電流を流さねばならないため、回転速度増減の応答時間を短くするためには、サイクロコンバータにはそれなりの過負荷耐量を持たせる必要がある。しかし誘導電動機の負荷の GD^2 が過大な場合は、同期進相機を急加減速す

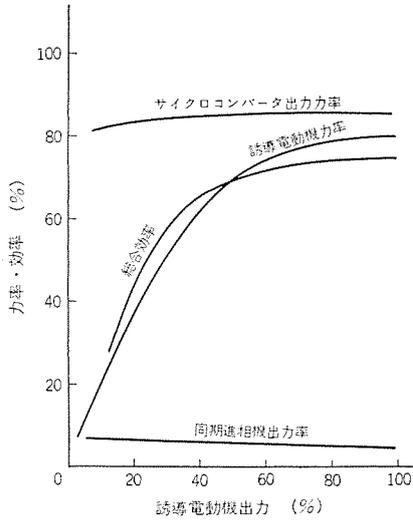


図 3.6 力率・効率特性
Efficiency and power factor characteristics

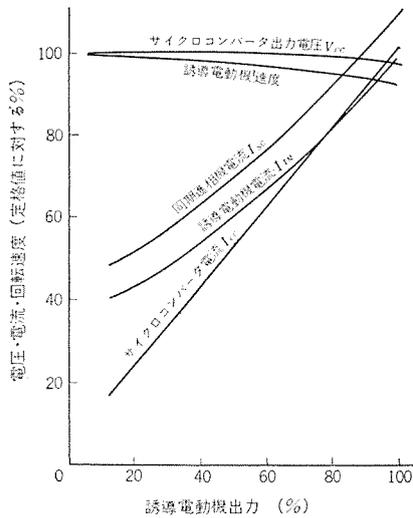


図 3.7 回転数・電圧・電流特性
Speed, voltage and current characteristics.

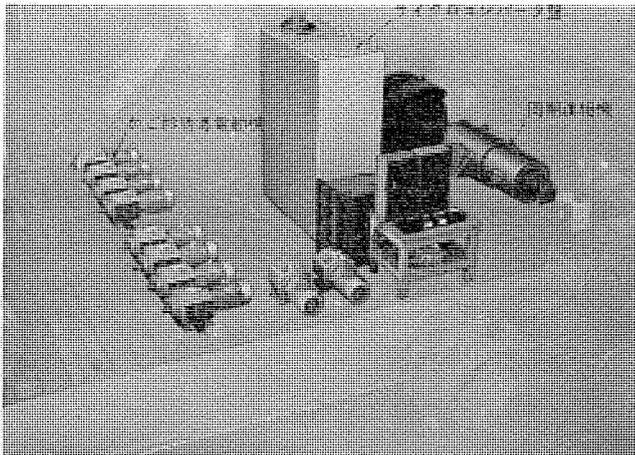


図 3.8 機器構成 Construction of apparatus.

ば、すべての誘導電動機を同時に直入したのと同じ結果となり、大きな突入電流が流れるため、負荷の GD^2 と協調した加減速トルクを発生するのが望ましい。

図 3.6 に、同期進相機を定格回転数で運転した場合の総合効率および各部力率を示す。図 3.7 には誘導電動機回転数および各部の電圧・電流値を示す。

3.3 機器構成

図 3.8 は本方式の工場試験中の様子である。本装置はサイクロコンバータ盤・同期進相機・かご形誘導電動機より構成される。前二者は CS 形サイリスタモータとほとんど同一であることはすでに述べた。本方式に使用されるかご形誘導電動機は一般に小容量で台数も多いため標準品を使用するのが得策である。幸い図 3.4 にみられるように誘導電動機の印加電圧・電流とも高調波が少ないため、特別の場合を除いては標準品の使用が可能となる。ただし標準のかご形誘導電動機は同期速度付近で運転するのを建前としているため、定トルク負荷のような用途では、低速時に冷却効果が不足する。この場合は強制冷却装置を付加しなければならない。

4 む す び

かご形誘導電動機用の可変周波可変電圧電源としてサイクロコンバータを用いる 2 方式 (CI 形サイクロコンバータ, SV 形サイクロコンバータ) について説明した。両方式とも、完全ブラシレス、効率が高い、再生制動可能で制御性がよい。さらに複数台の電動機を同時に速度制御できるといった長を有している。

CI 形サイクロコンバータ方式は周波数低減サイクロコンバータであるということ、正弦波出力形はサイリスタの使用個数も多く比較的高価となるということより低速大容量に適しているということが出来る。大形圧延機・セメントボールミル・ロータリウム等の駆動用に好適なものである。少々特殊な用途として、ディーゼル発電機積載の電気機関車の電源として、また電気推進船の駆動モータの電源として検討されている。

SV 形サイクロコンバータは出力周波数を電源周波数以上まで制御できるという長により用途はさらに広く、コンベア・ローモータ・ポットモータ等多数の電動機をせん速制御する用途にも適している。

さらに最近注目を浴びているリニアモータの電源として、両方式とも好適のものであることはいうまでもない。

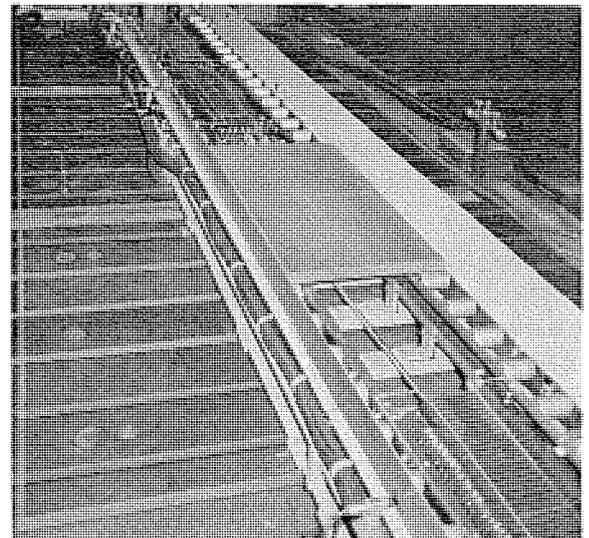


図 4.1 リニアモータ
Cycloconverter fed linear motor.

三相誘導電動機の一次電圧制御

篠原 芳男*・梶野 幸男*・川合 弘*・原田 浩治*

Primary Voltage Control of Three Phase Induction Motors

Nagoya Works Yoshio SHINOHARA・Yukio KAJINO・Hiroshi KAWAI・Kôji HARADA

Control of the primary voltage of induction motors has been made popular through the technology concerning semiconductors. The control performance is well compared with that of the Ward Leonard system of DC machines. In addition, this control method has the features of easy maintenance and inspection of induction machines, it will be more available than DC motors at small and medium capacities.

Under the circumstances, description is made in this article about Mitsubishi primary control system of small squirrel cage machines below 7.5 kW and of all the range of medium capacity wound rotor motors above 11 kW. The details cover control system, operation principle, remarks on circuit design, construction of squirrel cage motors, combined characteristics and caution in operation.

1. ま え が き

誘導電動機は構造が簡単であること、安価であること等のため産業機械の駆動源として最も広く使用されてきた。しかし、近年、駆動速度を可変し、機械を最適駆動条件で運転させる傾向が強くなり、従来からの誘導電動機の特長の外に、速度制御ができる電動機への要望が著しく高まってきている。ただ、誘導電動機は本質的に同期速度付近での一定速度運転には、きわめて優秀な性能を有しているものの、可変速度運転に対しては制御のしやすさ、効率の問題などで直流機に一步ゆずらざるを得ないが、サイリスタを中心とした半導体技術の進歩にもとづく制御方式の急速な発達により、誘導電動機は速度特性は直流のワードレナード方式に匹敵するまでに高められ、クレーン用・ウィンダ用・自動倉庫用と広い範囲で使用され、数多くの実績を積み重ねてきている。

本文は誘導電動機の特長を備えながら、応答性が非常によく、サーボ特性としてもすぐれた性能を持つ誘導電動機の一次電圧制御の近況を報告したいと思う。

2. 一次電圧制御の概説

誘導電動機の一次電圧制御の基本原理解は、印加電圧を変化させると速度に対応する発生トルクは、ほぼ、印加電圧の二乗に比例して変化し、図 2.1 に示すように、電圧 V_1 では速度 n_1 で負荷トルクと平衡していたものが、電圧が V_2 に減ぜられると、速度が n_2 に減少してはじめて平衡状態が得られる。これが誘導電動機の一次電圧制御による可変速度運転の基本原理解である。ただし、実際には負荷トルクは一定不変のものでなく、絶えず変動することが予測されるので、電動機の回転数を常時監視し負荷変動に対し印加電圧を変え、所定の回転数で安定な運転が得られるように制御しなければならない。

2.1. 主回路結線

上記基本原理解では電圧の変化で説明したが、実際の制御回路ではサイリスタまたは可飽和リアクトルといった制御素子が、電動機への電流を制限する形で制御され、その制御方式も図 2.2 に示すように種々のものがある。

(a)は一相制御である。この方式では、極端な場合一線開放になるが、この場合でも電動機には単相電圧が印加され、図 2.1 に示

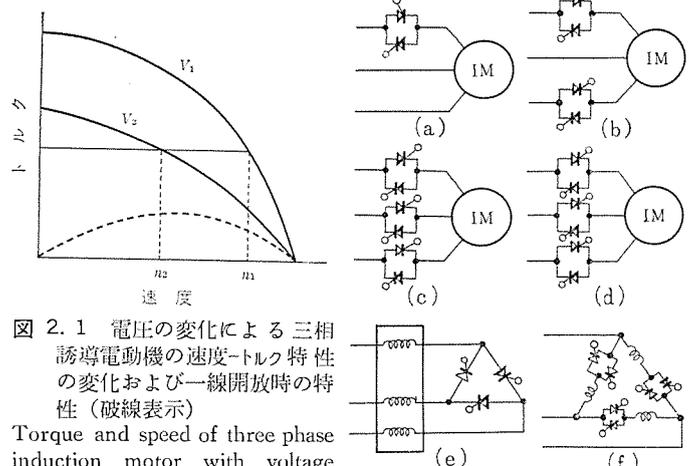


図 2.1 電圧の変化による三相誘導電動機は速度-トルク特性の変化および一線開放時の特性(破線表示)

Torque and speed of three phase induction motor with voltage variation. Dotted line shows performance at single phase voltage.

図 2.2 主回路結線
Connection of main circuit.

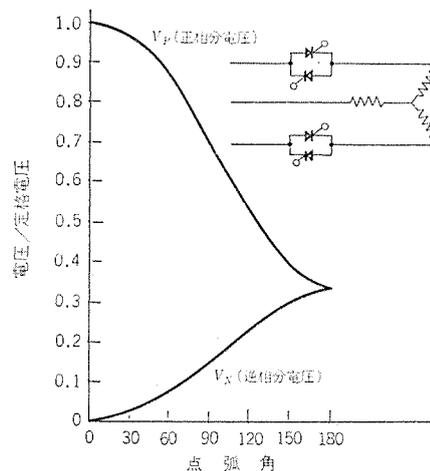


図 2.3 点弧角による正相電圧、逆相電圧の変化
Positive and negative sequence symmetrical components of above circuit as firing angle varies.

すような単相トルクを発生している。したがって、(b)のトルク零の点まで制御できる二相制御、(c)~(f)の三相制御と比較すると速度制御範囲も狭く、ベース負荷として単相トルク以上のトルクを必要とする場合でないと制御不能となる。(b)は二相制御でトルクは零

表 2.1 一次電圧制御の一般仕様
General specification of primary voltage control.

容 量	電動機種類	制 御 方 式	制 御 方 式	電 源 電 圧 V	周 波 数 Hz	変 速 範 囲	定 格	速 度 変 動 率
7.5 kW 以下 (PS-E モータ)	かご形電動機	3 CR 3 ダイオードによる 三相制御	直 流 制 動	200/220	50/60	135~1,350/160~1,600	(トルク一定) 連 続	2%
11 kW 以上	巻線形電動機	可飽和リアクタまたは サイリスタによる 二相制御	逆 相 制 動	200/220, 400/440 リアクトルは 3,000 V も可能	50/60	0~1,350/0~1,600	(トルク一定) 連 続	1%

トルク一定 $T = \frac{974P(\text{kW})}{N(\text{rpm})}$ (kg·m) 変動率計算式 $n_r = \frac{N_{10} - N_{100}}{N} \times 100$
 N_{10} : 10% 負荷時回転数
 N_{100} : 100% 負荷時回転数
 N : 最高定格回転数

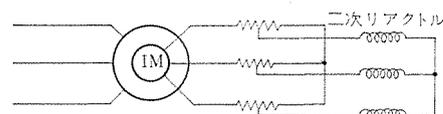


図 2.4 巻線形電動機とリアクトル、抵抗の接続
Wound rotor type motor with reactor and resistance.

まで制御できるが、(a)の一相制御の場合と同様、電流をアンバランスさせ、等価的に正相分電圧を制御して速度制御させるため、図 2.3 に示すように正相分電圧の減少と同時に逆相分電圧が増加し逆相トルクが発生し、さらにまた逆相電流が正相電流に重畳されるので各相電流は全般的に増加し、またアンバランスになる。このアンバランスの程度は、電動機のインピーダンスおよびすべりにより変わるが、最悪の場合一相の電流が他の二相の電流より著しく増加し、電動機の局部的過熱を来す傾向がある。しかし、制御回路は三相制御の場合より簡単になるメリットがあり、当社では、小容量の場合とか、電動機が巻線形で発生する損失を外部に出すことができ、さらに、運転中の二次側インピーダンスが変化できる場合には二相制御方式を使用している。(c)~(f)はいずれも三相制御になるが、(c)では制御素子の逆並列のペアで帰路電流も制御するため、負荷電流値は正弦波電圧の大きさを変えて速度制御させた場合の電流値に最も近いが、(d)は帰路回路がダイオードのみの無制御のため電流はやや増加する。(d)と(e)では、いずれも一方向制御であり、性能的にほとんど変わらない。ただし、回路の簡素化の点では(e)はすぐれているものの、制御素子1個の容量が1.5倍になること、偶数高調波電流が流れること、peak電流は(d)よりわずかに多いこと等で(d)に劣る。このように、主回路結線方式にもそれぞれ長短があるので総合的に検討し、最適なものを決める必要がある。

2.2 制動回路

位置制御、精密巻き取り等の場合のように急激に回転数を変える必要がある場合は、指令値の変化に対し回転数が速やかに追従する必要がある。指令値が急に下って電動機の回転数がまだ指令値以上にある場合、制動トルクが働いて速やかに指令値に到達させることが必要である。通常使用される方法として、

- (i) 直流制動
- (ii) 逆相制動

の二つが使われる。

直流制動は、電動機巻線に制御素子を介して電源より直流を流らせる。ただし、後述するように単に直流回路を形成するのみでは電動機のリアクタンスのために、わずかな直流しか流れないので、リアクタンス効果を抑制する特別な考慮を払う必要がある。逆相制動は文字どおり三相巻線の二線を切り換えて、相順を逆転させ、制動をかけ、指令値に達して再度相順を正規に戻す方式である。

直流制動と逆相制動を比較すると、直流制動では回転数零で制動トルクが発生しないこと、また一般に逆相制動のほうが制動力が全速度域において平均化されたものが得やすい等の差異が認められる。経済的面で考えれば、直流制動方式のほうが逆相制動方式よりやや

有利である。

2.3 電動機

電動機としては、小容量機種はかご形、容量の大きい範囲では巻線形が使用される。原則的にいえば、一次電圧制御をすればどの誘導電動機でも速度制御が可能であるが、一次電圧制御では原理上(三相平衡電圧において)二次入力 P_2 とすべり S の積 SP_2 (ここで $P_2 = 3I_2^2 R_2 / S (=kT)$, I_2 : 二次電流, R_2 : 二次抵抗, S : 滑り, T : トルク) に比例した損失が回転子回路に発生する。回転子入力発生トルクに比例するから、所要トルクが決まれば二次損失 SP_2 は避けられない。しかし、入力 P_2 は同一にしても二次抵抗 R_2 が大きければ電流は少なく、それだけ一次損失は小さくなり、電動機の温度上昇、制御素子の選定容量で有利になる。しかし、二次抵抗が高くなると高速度ではトルクが出なくなり、定格トルクの最高速度が下がり効率的にも不利である。理想的には R_2/S が一定になるように速度とともに二次抵抗が変化することである。図 2.4 はこれに近い状態を具体化した一例である。巻線形電動機の二次側に抵抗とリアクトルを並列に接続し、低速時はすべり周波数が高いのでリアクタンスが増加し、抵抗分の大きな回路となり、一方高速時はすべり周波数が低くなるので抵抗分の少ない回路となり、 R_2/S 一定の状態に比較的近くなる。巻線形電動機では二次回路定数を任意に変える利点があるが、かご形電動機の場合は回転子を特殊にし上記性能を持たせ、さらに低速時はすべりに比例した損失 SP_2 が発生するので、有効な冷却がきわめて重要な要素になる。

2.4 標準仕様

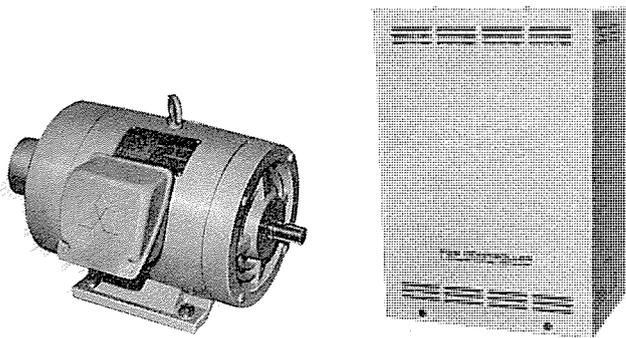
表 2.1 は当社における誘導電動機の一次電圧制御方式の内容、および代表特性の標準仕様をまとめたものである。

以上で一次電圧制御の一般事項を述べたので、次章以下で当社の製品につき具体的に紹介することにする。

3. 小容量かご形誘導電動機の一次電圧制御

3.1 電動機構造

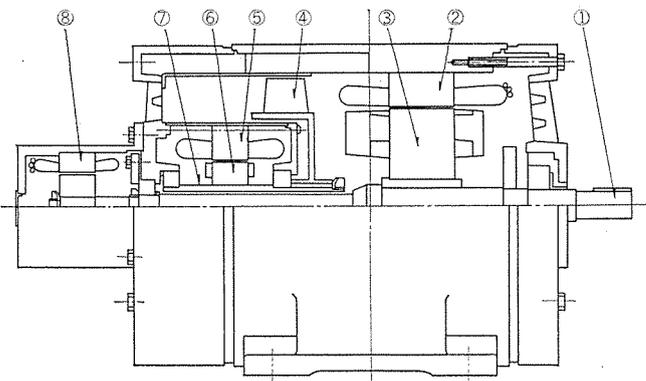
図 3.1 に電動機外観を、また図 3.2 はその構造断面を示す。これは本体部分(ステータ、ロータ)、速度を指示する発電機(PG)、ファンおよび駆動電動機より成立っている。ファンを駆動する電動機の軸は中空になっており、その穴の中を電動機本体の軸を貫通する構造になっている。したがって冷却ファンおよび駆動電動機は、本体電動機の反負荷側ブラケットに取り付けられ、オーバハングの状態でも電動機内部に設置される。したがって電動機内部空間が有効に利用され、ま



(a) PSE形電動機 (b) 制御装置

図 3.1 一次電圧制御かご形誘導電動機および制御装置 PS-E 0.75 kW 4P

Primary voltage control induction motor (squirrel cage rotor type) and control device PS-E 0.75 kW 4P



① 出力軸 ④ ファン ⑦ 中空軸
 ② ステータ ⑤ ファン電動機ステータ ⑧ 指速発電機 (PG)
 ③ ロータ ⑥ ファン電動機ロータ

図 3.2 電動機の断面図
 Sectional view of PS-E motor.

たファンとステータ、ロータの間に冷却風を阻害する障害物や、冷却風のはね返りもなく、有効に冷却するのでこの種の電動機としては、コンパクトにしかも騒音も低く収めることができた。また電動機本体の特性も特殊な回転子に設計がなされ、速度-トルク特性もきわめてフラットな特性を有し、定格速度が一般誘導電動機に近い高い速度にでき、それだけ効率のよい電動機になっている。指速発電機は回轉界磁形磁石式であり、装置全体としてスリップリング、ブラシなどはまったく含まれず、それだけ保守・点検が容易になっている。

3.2 制御回路

図 3.4 に制御回路のブロック図を示す。主回路は、3個のサイリスタと3個のダイオードを用いる三相平衡制御方式(当社特許)を採用している。本回路の特長は、6個のサイリスタを用いるものに比べ安価になること、また、サイリスタとダイオードが逆並列接続されるので、サイリスタには、逆電圧が印加されることがなく、信頼性が高いなどあげられる。電動機のW相とU相間にそう入しているサイリスタ(CRb)は、制動トルクを効果的に増大ならしめるためのもので、特に本制御方式では欠くことのできないものである。

図 3.3 の動作について簡単に説明する。速度指令値と速度帰還値の差が正(加速または力行)であるとき、演算増幅器OAの出力は⊕側に作動し、この出力はR、S、T各相のサイリスタを点弧させるゲートアンプ(GAr, GAS, GAt)を制御する。一方、速度指令値と速度帰還値の差が負(制動)のとき、演算増幅器OAの出力は⊖側

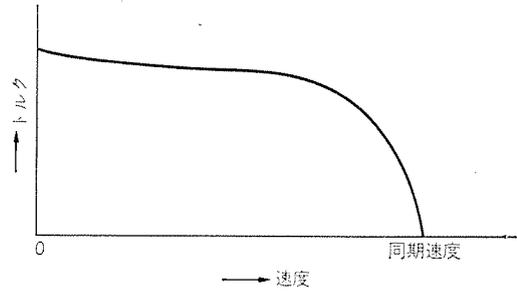


図 3.3 電動機の単体特性
 Performance of motor without control device.

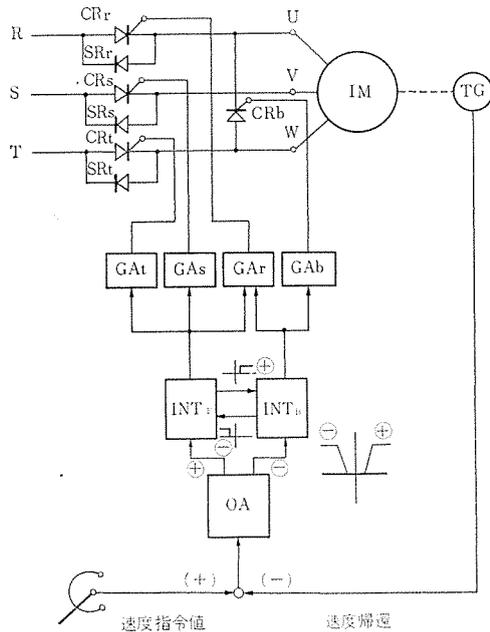


図 3.4 制御ブロック図
 Block diagram of control circuit.

に作動し、R相および制動用サイリスタ(CRr, CRb)を点弧させる。さらに、演算増幅器の出力が⊕側か⊖側であるかを検出し、加速側グループのサイリスタと制動側グループのサイリスタとが、同時に点弧することのないよう、約40msのタイミングを持って互いにインタロックする回路(INT_R, INT_B)を設けている。これにより、高ひん度の可速・減速に対しても安定なる性能を発揮し、誤点弧するようなことはまったく起こらない。

図 3.5 は力行(加速)時と制動時における、サイリスタとダイオードの動作状態を表わすものである。力行時の動作は特に必要ないと思われるので説明は割愛する。制動時の動作は、図 3.6 に示すとおり、R相電位がT相電位より高い位相において、サイリスタCRrに点弧パルスが印加されると、R相電源より、電動機の巻線を経て、T相電源に单相半波の直流電流が流れる。しかし、この状態では、電動機巻線のインダクタンスが大きいので、十分な制動力を出すに至る電流が流れない、さらに、S相に対しても直流電流がわずかであるが流れるので、低速域で正相トルクを生ずる。このままでは、実用的な制動特性が得られないのであるが、サイリスタCRrが不導通となる期間にサイリスタCRbを点弧させ、電動機巻線にたくわえられたエネルギーを放出し、電流を平滑する働きを行なわせることにより、図 3.6 の(c)のごとく、電動機巻線に流れる直流電流の脈動は非常に小さくなる。制動トルクは、電流の平均値に比例するのであるが、サイリスタCRbの追加により10倍以上の値になり、図 3.7 に示すと

おり、300%以上の制動トルクを容易に得ることもできる。なお、制動領域においても、自動制御されているので常に速度が一定に保たれる。以上述べたとおり、本装置は、ブラシのないかご形誘導電動機とサイリスタを主とする半導体部品で構成された制御装置からなり、性能はもちろんのこと、保守点検の手間が不用であるので、直流電動機のサイリスタレオードとは異なった面で重要な装置となろう。

3.3 用途

本装置の最も特長とする点は、比較的安価に制動トルクを持つ可

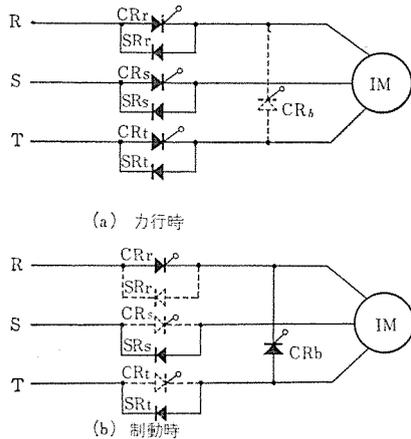


図 3.5 力行時と制動時におけるサイリスタの作動状態
Operating principle of thyristor circuit during power running and braking.

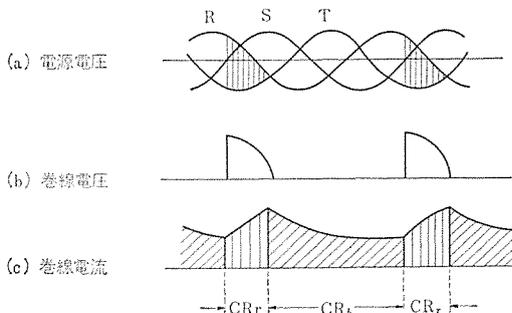


図 3.6 制動時における動作波形
Wave form of voltage and current in braking.

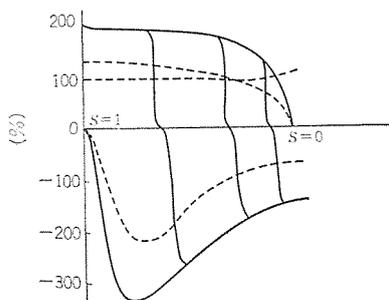


図 3.7 速度-トルク曲線
Speed-torque characteristic curve.

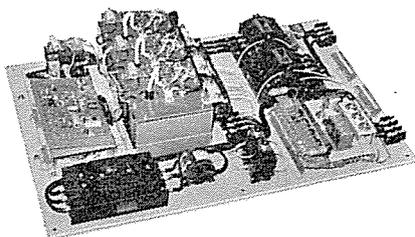


図 3.8 ワインダ制御用制御装置
Control device for winder.

変速装置を提供できることである。したがって、外部条件が比較的良好に変化するワインダの制御とか、常時に高速運転をし、位置決め停止するときのみ一時的に低速運転を行なう、自動倉庫などのクレーン横行制御などへの応用が圧倒的に多い。

しかし、小容量機では効率など問題となることが少なく、ポンプ、ブロー、コンベア、工作機などにも十分使用できるものである。図 3.8 は 7.5 kW 用制御盤の外観であり、ワインダ制御に使用されているものである。

4. 中容量巻線形誘導電動機の一次電圧制御

4.1 リアクトル制御

当社で実施しているリアクトル制御の方式として、ブリッジ式・移相式・三相平衡式の 3 種類があるが、特にブリッジ式は最も良好な特性を有するために、クレーン等の荷役機械用をはじめ、広い分野に活用されている。

図 4.1 はブリッジ式リアクトル制御のブロック図である。この図で 2 対のリアクトル SX1, 2 および SX3, 4 は可逆接続されているために、一方の 1 対のリアクトルを励磁すれば正相トルクを発生し、他の 1 対を励磁すれば逆相トルクを発生する。この制御電流の移行をすみやかに行なうことによって速応性に富んだ制御特性を得ることができ、主回路無接点化を可能ならしめている。

当社は今日まで制御特性の向上のため種々の改善を積み重ねてきたが、そのおもなものを記述し、次に採用上の問題点を指摘する。

4.1.1 可飽和リアクトル

当社の可飽和リアクトルは巻鉄心の M コアを用いているために、鉄心の接合面での損失が小さく、したがって効率のよい可飽和リアクトルができ、あわせてうなりも非常に小さい。また主回路の接続法によって、直列形と並列形とがあるが前者のほうが時定数は 1/4 以下になるので直列形を採用している。しかしこの方法では偶数調波の環流回路を制御巻線側に設けなければならない。

4.1.2 制御特性

リアクトル制御においては可飽和リアクトルが高次遅れをもっているため速応性・安定性が直流のワードレオードに比べてやや劣る点がある。これらの欠点を克服するために、おもに次の三つの方法がとられている。

- (1) リアクトル制御回路の時定数 T_1 を小さくする。
- (2) 制御系のループゲイン k_a を大きくする。
- (3) 強性消磁法により正側リアクトルから逆側リアクトルへの制御電流の移行をすみやかに行なわせる。

これらのことは図 4.2 のリアクトル自動制御系のブロック線図を見ると明らかである。次におのおのについての説明を加える。

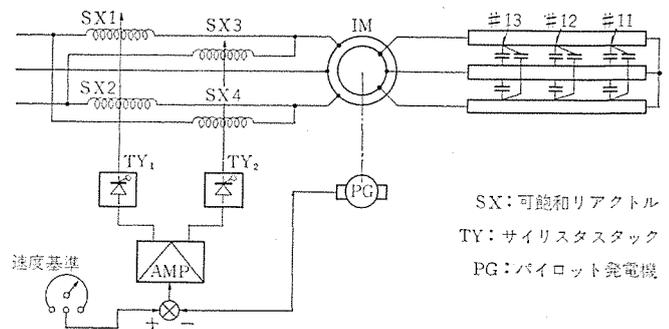
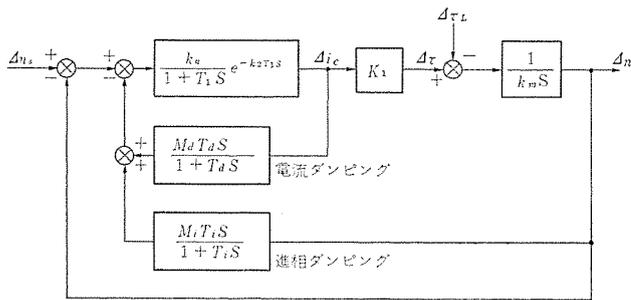


図 4.1 ブリッジ式リアクトル制御ブロック図
Circuit diagram of bridge connected reactor control.



Δn_s : 基準速度 $\Delta \tau$: 電動機トルク
 Δn : 電動機速度 $\Delta \tau_L$: 負荷トルク
 Δi_c : リアクトル制御電流

図 4.2 ブロック線図
Block diagram.

(1) 時定数 T_1 を小さくする。

リアクトル制御回路の時定数 T_1 は次式により与えられる。

$$T_1 = \frac{1}{4f_0} \cdot \left(\frac{N_C}{N_L}\right)^2 \cdot \frac{R_L}{R_C}$$

T_1 : 時定数 (s)

f_0 : 電源周波数 (Hz)

N_C : 可飽和リアクトルの制御巻線の巻数 (回数)

N_L : 可飽和リアクトルの主巻線の巻数 (回数)

R_L : 負荷の抵抗 (Ω)

R_C : 可飽和リアクトル制御回路の抵抗 (Ω)

この式において時定数 T_1 をより小さくするには N_C/N_L を小さくすれば最も有効であるが、可飽和リアクトルの増幅度である N_C/N_L をあまり小さくすることは望ましくない。そこで制御回路の抵抗 R_C を大きくすることが時定数 T_1 を小さくする実質的な方法となっている。しかし等アンペアマンの法則を満たすために、制御回路の抵抗 R_C が大きいと高い電源電圧を必要とし、耐圧の高いサイリスタを使うことになるのでおのずから限度がある。約 0.2s 程度が特性上および経済的に妥当な値である。

(2) ループレイン k_a を大きくする

k_a を大きくすることは、速応性を高めると同時に速度変動率を小さくする結果となって望ましいが、制御系の安定性をそこなうためあまり大きくすることはできない。クレーン等の荷役機械用としては $k_a=30$ 以下が適当な値である。

(3) 強性消磁法の採用

制御電流の立上りは時定数によって短くできるが、逆に減衰もすみやかに行なわなければならない。一方の可飽和リアクトルから他方へ制御電流 I_c が移行するとき、可飽和リアクトルのリアクタンス L により I_c の残留が流れ続ける。その間に他方の I_c が立ち上がると、過渡的に大きなクロス電流が流れる。そのうえ電動機端子からみると、回転位相の変化が敏感に現われないうえに、速応性がそこなわれる。そこで図 4.3 に示すような単相ブリッジ形のサイリスタスタックに図のような I_c を制御する制御パルスと、常に各サイクルの終わり近くで発生する消磁パルスとから成るゲートパルスを与える。このことは制御電流 I_c の残留が常に逆バイアスされたサイリスタに流してやることになる。つまり電源への回生が行なわれて、自然減衰よりもはるかに速く I_c を消滅させることができ、 I_c の他方の可飽和リアクトルへの移行は著しくすみやかに行なわれる。

4.1.3 採用上の問題点

ブリッジ式リアクトル制御を採用するにあたって最も注意を要するこ

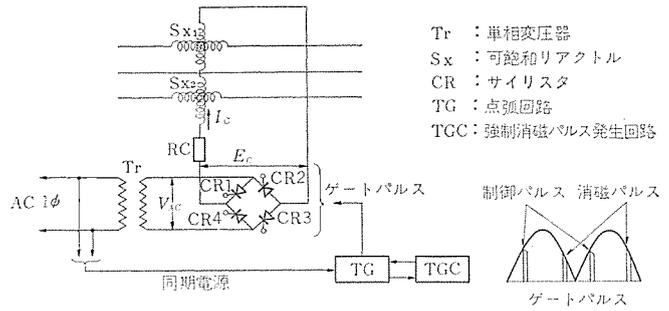


図 4.3 強制消磁法の結線図
Circuit diagram of forcedly demagnetising control current.

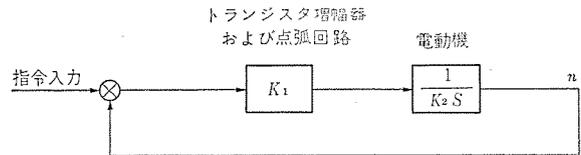


図 4.4 サイリスタ制御のブロック図
Block diagram of thyristor control.

とは、高速領域において安定な制御を行なうために、約 10% 程度の二次抵抗を残しておくことである。したがって定格速度が 90% 同期速度で機械設計を行なわなければならないと同時に電動機容量は機械的計算出力の 10% 増として決定しなければならない。しかし高速領域での速度制御が必要ない場合は、二次抵抗を全部短絡してリアクトルを過励磁してやることにより定格速度はほぼ全負荷すべりまで近づけられる。

4.2 サイリスタ制御

一般にクレーンをはじめとする荷役機械用としては、制動トルクが得られることが制御方式を決定する条件と考えてきつつかえない。サイリスタ制御はその意味でブリッジ式リアクトル制御における 4 台の可飽和リアクトルを、逆並列に接続されたサイリスタ (または 1 個のトライアック) 4 組で置き換えたものである。このサイリスタへの移行は主に次の点をねらったものである。

4.2.1 サイリスタにする目的

(1) 制御特性の改善

制御内容そのものは前項のリアクトル制御と同じであるが、特性上に大きな利点がある。サイリスタ制御の場合の制御系のブロック線図は図 4.4 に示すようになる。この図からも明らかのように、時間遅れがほとんど電動機の慣性だけで一次遅れである。このことは系が本質的に安定であることを意味していると同時に速応性についてもさらにすぐれているものであるといえる。また安定性が良いために制御系のループレインを大きくすることにより速度変動率を小さく抑えられ、あるいは系内のダンピング回路は特に設けなくてもよくなり調整の容易なものとなることができる。

(2) 電動機トルクの有効利用

リアクトル制御の場合、可飽和リアクトル飽和時の電圧降下が約 10% あるのに対して、サイリスタの場合は順電圧降下がわずかであるので、全点弧の時の電動機端子電圧はほぼ電源電圧と一致し、十分な電動機トルクを発生させることができる。

以上(1)、(2)で述べたようにサイリスタ制御のすぐれた点があるが、自動制御回路の一部には次のような考慮が払われている。

4.2.2 制御回路

(1) 点弧回路

交流の誘導負荷である電動機一次回路のサイリスタは、そのゲートに

供給されるパルス信号の幅が十分大きくなければならない。これはサイリスタを流れる電流が力率相当分だけ遅れて流れるので、電流を続けて流し得るまで上昇する以前にパルス信号がなくなると、サイリスタは再びカットオフの状態に戻るからである。またサイリスタを逆並列に接続してあるので、一方のサイリスタの電流が遅れて流れていると、逆側サイリスタにパルス信号が与えられても、先に流れている電流のために点弧することができないためである。このような点弧の不確実さをなくするために、パルス信号として零度から180度までの幅をもつものをゲートに供給し、電流が遅れて流れても、電流がゼロになったら直ちに点弧できるようにしてある。

(2) 相間短絡の防止

点弧指令入力は全く任意のときに与えられるので、正方向で点弧した直後に指令信号が変わったときは、正方向電流はその電圧サイクルの終わりまで流れ続けるのに対して、逆方向も点弧して相間短絡を起こす。リアクトル制御の場合は両点弧による過渡的なクロス電流はある程度許されても、サイリスタの場合は両点弧はヒューズの溶断ないし素子のパンクをひき起こすので絶対にさげなければならない。したがって指令信号が変わってから最低半サイクルの間は逆方向サイリスタには点弧パルス信号を与えてはならない。このような目的のために、抵抗とコンデンサを用いて、ある時間だけ点弧パルスの発生をロックする点弧インターロック回路を備えている。

5. む す び

以上当社における誘導電動機の一次電圧制御についての概要を報告した。広い速度制御範囲、有効な制動力によるすぐれた速応性のほかに、取扱い・保守・点検が容易であること、装置全体として安価にまとめられるといった直流機をしのぐ性能を有するため、今後、各方面で利用願えると思う。特に低速運転の短いDutyサイクル運転、ファン用等のように速度の低下とともに所要トルクの小さな用途では、低速時の効率の問題も軽減され最適である。

当社では本文中で紹介した三相方式のみでなく、単相方式で安価で、手軽に使用していただくことを目的に小容量範囲での系列を整備中である。いずれにしろ、今後のすう勢として可変速電動機の利用はますます増加していくことは異論のないところであり、その時期に当たりこの小文が需要家各位のご参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 川合ほか：クレーンにおける交流電動機の制御と最近の実例，三菱電機技報，41，No. 7（昭42）
- (2) William Shepherd：Unbalanced Voltage Control of 3-Phase Loads by the Triggering of Silicon Controlled Rectifiers，I. E. E. E. Trans.，May/June（1965）

AS モータ

中尾 憲*・川上 照夫*

AS Motor

Nagasaki Works Satoshi NAKAO・Teruo KAWAKAMI

AS Motor is a Mitsubishi trade name of a variable speed motor which is a combination of a squirrel cage induction motor and an eddy current coupling (AS coupling). It is an abbreviation of "Adjustable Speed Motor". In the point of the cost and performance, it is to be situated between a variable speed motor such as a DC machine or a thyristor motor of the highest degree and a conventional mechanical speed changing device. In appreciation of its inexpensiveness and good controllability on the part of the users, its demand is ever on the increase for these years. The article gives an account of the motor main assembly and the control device of the apparatus in brief.

1. 原理と構造

AS カップリングは図 1. 1 に示すように、駆動用かご形誘導電動機に直結されたドラム、出力軸につながるインダクタおよび環状励磁コイルを内蔵する固定磁極から成っており、これらはそれぞれ微小な空けき(隙)を介して配置されている。この励磁コイルを直流励磁すると、発生した磁束は図中点線で示すように、磁極→インダクタ→ドラム→インダクタ→磁極、の磁気回路を形成する。このときインダクタ、ドラム間の空けきでは、インダクタのおうとつ(凹凸)によって磁束密度の粗密を生じる。

いまインダクタとドラムとの間に速度差があるとドラムはこの磁束の波をよぎることになり、その内周面に渦電流を誘起する。この渦電流と磁束によって電磁力が発生し、これがトルクとなってインダクタ

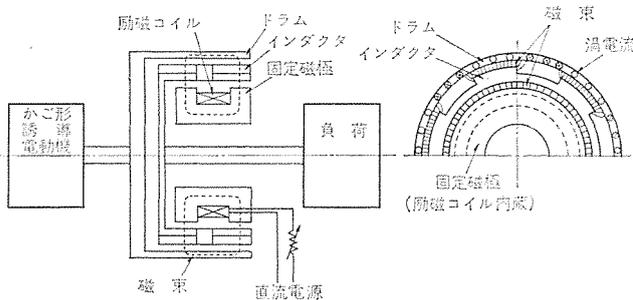


図 1. 1 AS モータの原理図
Drawing of principle of AS motor.

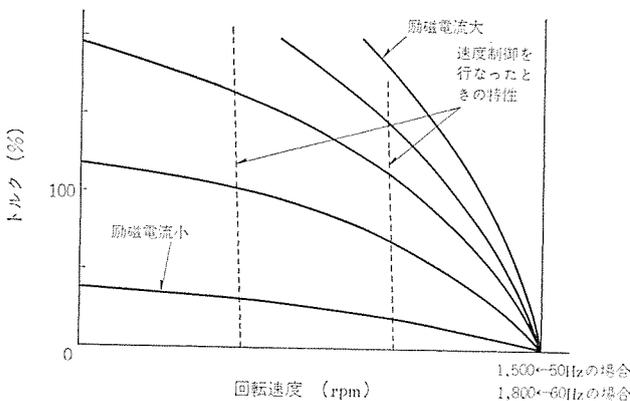


図 1. 2 AS モータのトルク特性
Torque characteristic curve of AS motor.

はドラムと同一方向に引っぱられるように回転する。このトルクの大きさは、図 1. 2 の実線で示すようにドラムとインダクタの相対速度(実際はドラムの回転速度はほぼ一定ゆえ、インダクタの回転速度といってもよい)と励磁電流の大きさによって変化するので、励磁電流の調整によって任意の回転速度を得ることができる。さらに 7 章に後述する制御盤と組み合わせることにより、図 1. 2 の点線で示すような垂下特性を持たせることができるので、負荷の増減や電源電圧、周波数の変化等に対しても安定した速度制御を行なうことができる。

2. 出力と損失

上述のように AS カップリングでトルクを伝達するためには、ドラムとインダクタの速度差(すべり)が必要なので、AS モータの出力軸回転速度は、必ず駆動用電動機の回転速度より低くなる。

一方、駆動用電動機軸と AS モータ出力軸でのトルクの大きさは変わらないので、出力軸での出力はすべりの分だけ小さくなっていく。この差はすべて渦電流損としてドラム内に発生し、ドラムの温度を高める。これらの関係を式で表わすと次のようになる。

$$P_{AS} = P_{IM} \times \frac{RPM_{AS}}{RPM_{IM}} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$P_L = P_{IM} - P_{AS} = P_{IM} \times \frac{RPM_{IM} - RPM_{AS}}{RPM_{IM}} \dots \dots \dots (2.2)$$

ここに P_{AS} : AS モータ出力

P_{IM} : 駆動用電動機出力

P_L : すべり損失

RPM_{AS} : AS モータ回転数

RPM_{IM} : 駆動用電動機回転数

定トルク負荷の場合、 P_{IM} は一定となり、 P_{AS} は RPM_{AS} に比例するので低速になるほどすべり損失は大きくなっていく。すなわち AS モータは、できるだけ最高速度に近い回転数で運転するのが効率の良い使い方と言える。

また、式 (2.1) で示されるように、AS モータの出力は出力軸の回転数によって異なるので、混乱を避けるために駆動用電動機の出力で定格出力を呼称している。

3. 特 長

母体となるかご形誘導電動機と渦電流継手の特長が、そのまま

AS モータの特長となっており、次のような点があげられる。

(1) 丈夫で保守が容易である

かご形誘導電動機の堅固さは、いまさらここに述べるまでもないが、AS カップリングも構造が簡単で、非接触でトルク伝達を行なうため摩擦部分がない。また励磁コイルは固定されているため信頼性が高く、ブラシやスリップリングがないので保守はほとんど不要である。

(2) 速度制御が容易で正確にできる

速度制御はきわめて小さな電流の調整によって行なうため、つまみ一つで簡単にでき、自動制御を行なっているため速度は安定している。

(3) 安価である

かご形誘導電動機の特長をそのまま受け継いだものと言える。

(4) 電源が得やすい

AS カップリングの励磁には直流電流が必要であるが、制御盤内に整流装置を内蔵しているため、直接三相交流電源に接続するだけでよい。

(5) 広い応用制御ができる

7.4 節に述べる ASPAC シリーズ 応用制御盤と組み合わせることによって、種々の応用制御が容易にできる。

4. 用途

(1) 可変速装置としての用途

コンベヤ・フィーダ・抄紙機・スリッタ等のライン速度制御、ファン・ポンプの流量制御、その他押出機・工作機・キルン・印刷機等の単独速度制御。

(2) トルク（張力）制御用としての用途

紙・布などの巻取機、伸線機等。

(3) 一定速度を必要とする用途

周波数変換機としての M-G セット用。

(4) 始動用としての用途

遠心分離機等の重慣性回転体の始動用に使用すれば、始動電流の流れる時間をごく短くすることができる。また始動時、負荷側に衝撃を与えないように、クッションスタート用としても使用される。

5. 標準 AS モータ

表 5.1 に示すように、0.75 kW ~ 37 kW の範囲を標準形として仕込み生産を行なっており、即納態勢を整えている。図 5.1 に外観、図 5.2 に構造、図 5.3 に外形寸法を示す。表 5.1 の標準仕様において、電源電圧については、駆動用電動機の簡単な結線変更によ

り 400 V 級にも使用可能となる。速度制御範囲は定格トルクで連続使用可能な範囲を示しており、短時間定格または軽負荷の場合はこれを越えて使用することが可能である。

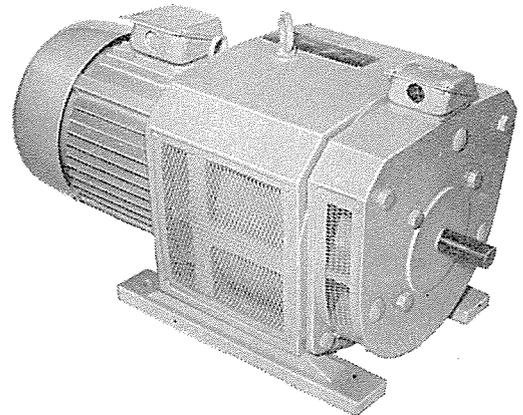
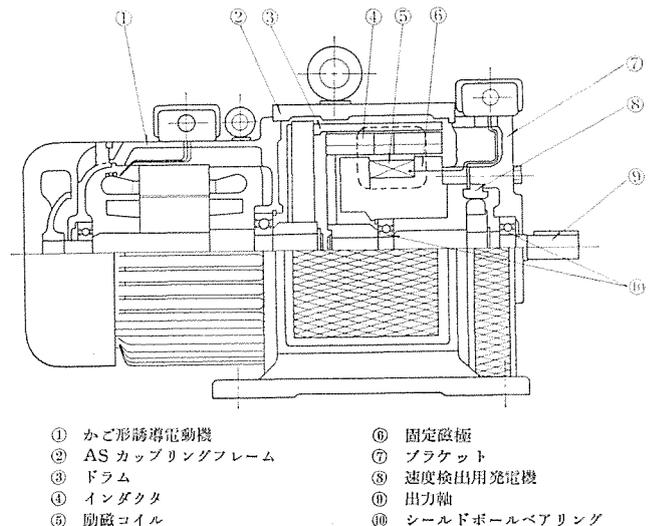


図 5.1 標準 AS モータの外観
Appearance of standard AS motor.



- ① かご形誘導電動機
- ② AS カップリングフレーム
- ③ ドラム
- ④ インダクタ
- ⑤ 励磁コイル
- ⑥ 固定磁極
- ⑦ ブラケット
- ⑧ 速度検出用発電機
- ⑨ 出力軸
- ⑩ シールドボールベアリング

図 5.2 標準 AS モータの構造図
Structural drawing of standard AS motor.

6. 特殊 AS モータ

6.1 大容量開放形 AS モータ

一般に渦電流継手モータは 37 kW を越えるような大容量になると、式 (2.2) に示されるすべり損失も大きく、冷却能力の面から水冷式にしないと製作できないと言われてきたが、当社では独自

表 5.1 標準 AS モータ仕様一覧表
Specification of standard AS motors.

AS モータ容量 kW	駆 動 電 動 機							渦電流継手 (AS カップリング)				
	出 力 kW	極 数	電 圧 V	周 波 数 Hz	外 被 絶 縁	絶 縁 種	出力トルク kgm		速度制御範囲		外 被 絶 縁	絶 縁 種
							50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz		
0.75	0.75						0.50	0.42				
1.5	1.5						1.02	0.84				
2.2	2.2						1.5	1.2				
3.7	3.7						2.5	2.1				
5.5	5.5						3.7	3.1				
7.5	7.5	4	200	50/60	全開外扇形	E 種	5.0	4.2	1,200~120	1,500~150	開放形	B 種
11	11						7.3	6.1				
15	15						10.0	8.3				
22	22						14.7	12.1				
30	30						20.1	16.6				
37	37						24.8	20.4				

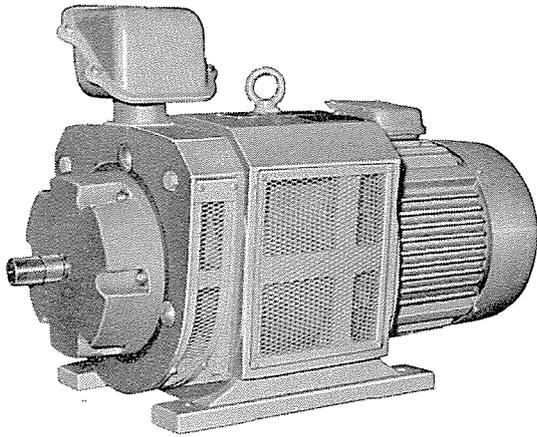


図 6.1 NEYブレーキ付き AS モーター
Appearance of AS motor with NEY brake.

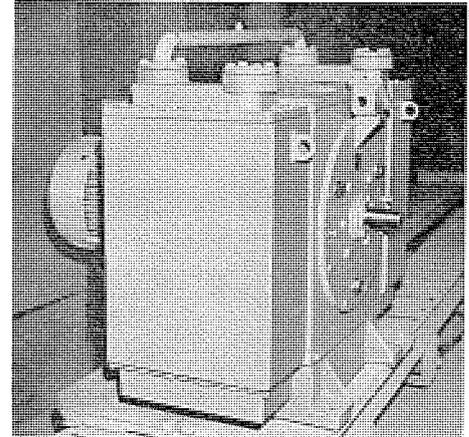
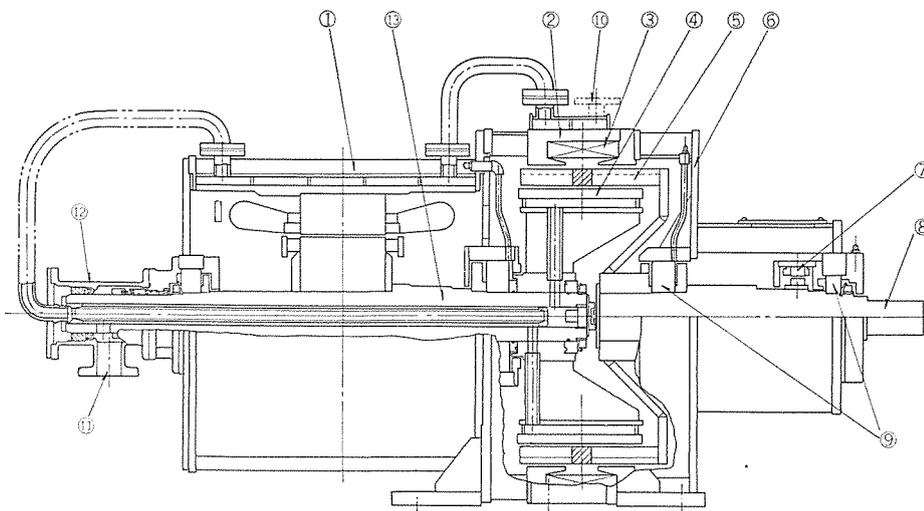


図 6.2 全閉内冷形 AS モーター
Appearance of totally-enclosed water-air cooled type AS motor.



- | | |
|------------|------------|
| ① 駆動用誘導電動機 | ⑧ 出力軸 |
| ② 固定磁極 | ⑨ ボールベアリング |
| ③ 励磁コイル | ⑩ 給水口 |
| ④ ドラム | ⑪ 排水口 |
| ⑤ インダクタ | ⑫ 水室 |
| ⑥ ブラケット | ⑬ 入力軸 |
| ⑦ 速度検出用発電機 | |

図 6.3 全閉水冷形 AS モーター構造図
Constructional drawing of totally enclosed water cooled AS motor.

される。空気冷却器は水質に応じた冷却管を選択しており、腐食等に対する信頼性は高い。その冷却方式の原理から言って、開放形（空冷式）で製作可能な容量の範囲は、本方式にても製作可能である。図 6.2 にその外観を示す。

6.5 防じん形 AS モーター

開放形の一つであるが、じんあいの多い場所に使われるもので、吸・排気口にフィルタを設け、ASカップリング内部への悪影響を防ぐことを目的としたものである。標準形に比較し、フィルタでの空気抵抗により風量が減少し、冷却能力が低下するため、ASカップリングのわく番を大きくしなければならないが、速度制御範囲が狭い場合や短時間定格の場合はその必要はない。

6.6 ギヤ付き AS モーター

1 章に述べたように、AS モーターはできるだけ最高速度に近い範囲で使用すれば効率がよく、しかも不必要に容量が大きくなることを避けることができる。このために、負荷の所要回転数に応じたギヤを選定し、共通ベッド上にて標準 AS モーターと直結したものである。

6.7 全閉水冷形 AS モーター

冷却能力の点から、空冷式では製作できないような大容量機や全閉形を要求される場合に本方式とする。その構造は図 6.3 に示すように当社独自の dry-gap 方式で、冷却水は中空ドラム内と固定磁極背に設けられた水室内のみを通り、ドラムに直接水をかける wet-gap 方式に比べ種々の利点を有する。なお本方式は、当社のパウダークラッチブレーキに採用されているものと同方式である。冷却水質に関

しては十分な考慮を払う必要があり、水質の悪い場所においては清水を循環させ、その途中に熱交換器を設ける閉水路方式とせねばならない。

7. AS モーター制御装置 (ASPAC シリーズ)

ASPAC シリーズ 制御装置は、AS モーターの単独運転はもちろん、2 台以上の AS モーターの関連自動制御が必要なときに、これを簡単に組み合わせることができる制御ユニットで、つぎのような制御ができる。単独運転、比率運転、せん(揃)速発停、クッションスタート、連動運転などの広範な制御ができる。

7.1 特長

(1) 小形、軽量

制御素子に半導体を使用し、コンパクトで軽量の壁取り付け形。

(2) 高信頼性

厳選された部品と十分な保護回路で、信頼性が高く長寿命。

(3) 正確な速度制御と広い応用制御

標準化された制御ユニットの組み合わせで、広範囲の制御が可能。

(4) 保守点検が容易

シンプルな構造で点検も簡単。

(5) 埋込取り付けが可能

操作盤類は、表面の器具がすべて 1 枚のステンレス名板上に取り付けられ、そのままパネル埋込形として使用できる。

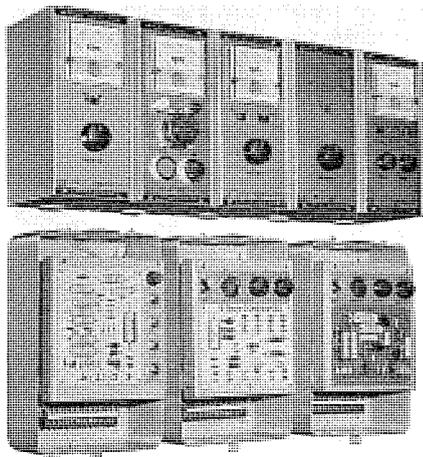


図 7.1 AS モータ制御装置
Control panel of AS motor.

表 7.1 ASPAC シリーズ 一覧 その 1 (制御盤)
List of ASPAC series 1 (control panel).

形名	ASC-U 1	ASC-U 2
電源	※ 200/220 V (+10, -10%) 50/60 Hz	
出力電圧	DC-80 V	
出力電流 A	5	10
出力回路	サイリスタ制御方式 単相半波整流	
速度設定入力	DC 12 V 4 mA	
速度設定電源	DC 12 V 18 mA 内蔵	
指速発電機入力	50 V 720 Hz (1,800 rpm において)	
速度変動率	※※ 最高速度に対して 2~10% (可調整)	
AS モータ容量 kW	0.75~15	19~37

注 (1) ※ 電源電圧が 400/440 V のときは、トランスで 200/220 V にする必要がある。

(2) ※※ 負荷トルクが 100%~10% に変化したときの値を示す。

表 7.2 ASPAC シリーズ 一覧 その 2 (入力装置)
List of ASPAC series 2 (input device).

名称	形名	入出力特性	備考
操作盤	ASO-1B		単独運転用、一般用
	ASO-2		単独運転用、寸動回路付き
	ASO-3		電動設定盤と組み合わせて用いる
	ASO-11B		バーニアダイヤル、駆動モータ ON, OFF スイッチおよび運転表示灯付き
連動操作盤	ASO-12B	連動信号 DC 0~12 V 指速発電機電圧 AC 50~70 V 交流電圧 AC 100 V	他の回転機と連動運転、遠方制御、調節計との連動にも使用できる
主速設定盤	ASM-1C	0~24 V バイアス 6 V (0~12 V)	多数 AS モータの速度設定用、比率運転の主速設定用
比率設定盤	ASP-1B	感度調整、零点調整	主速設定盤と組み合わせて比率運転する場合に用いる
変位検出盤	ASD-1	変位検出器の出力を直流電圧に変換する $\pm 1.5 \text{ V} / \pm 60^\circ \sim \pm 7.5 \text{ V} / \pm 20^\circ$	ダンサー・ロールなどの機械的変位を検出して修正信号を出すせん速運転、同期運転用
傾斜信号盤	AST-1B	急変する入力電圧をゆるやかな配の電圧に変換する 出力 0~12 V 変化率 0.4 V/秒~12 V/秒	クッションスタート、せん速発停
電動設定盤	ASS-1	0~12 V (標準) 変化率 0.6 V/秒 (0.24 V/秒)	押しボタン操作により速度設定できる遠方操作用、ASO-3 と組み合わせて用いる
電流制限盤	ASL-1	CT 二次回路 最大 5 A CT 負担 3 VA 以下 出力 0~1.5 V 出力インピーダンス 3 k Ω	トルクリミッター、負荷分担用として使う

注) 制御電源は 200/220 V 50/60 Hz とする。

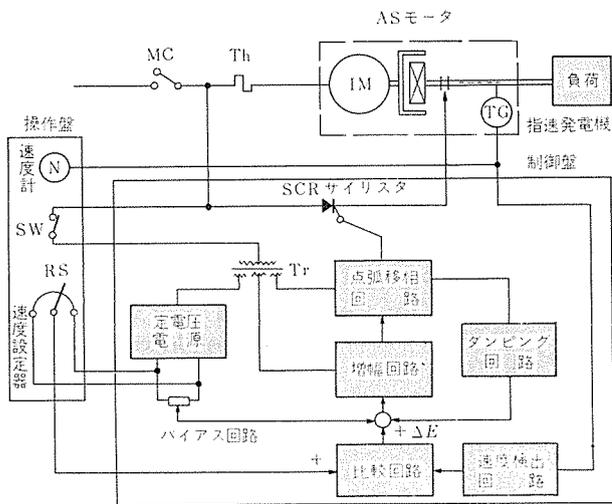


図 7.2 AS モータの速度制御
Block diagram of AS motor control device.

7.2 制御方式

AS モータの速度やトルクを安定して制御するには、AS カップリングの励磁電流を自動制御する必要がある。図 7.2 は AS モータ自動速度制御のブロック図で、つぎのような制御をして自動的に入力信号に比例した速度に保つ。

指速発電機は速度、すなわち回転数に比例した交流電圧を発生するが、これは速度検出回路で適当なレベルの直流電圧に変換される。この電圧は比較回路で速度設定入力信号と比較され、両電圧の差が偏差電圧となって比較回路の出力に現われる。この偏差電圧は増幅回路で増幅され、点弧移相回路を経てサイリスタの点弧位相角を制御して AS カップリングの励磁電流を自動制御する。

たとえば速度設定値よりも回転数が上昇すれば励磁電流(サイリスタ出力)を減らし、回転速度を設定値まで低下させる。逆に回転数が低下すれば励磁電流を増して伝達トルクを増し、回転速度を上昇させる。

制御系を安定させるためにダンピング回路によって偏差電圧の増減と逆極性のダンピング信号を与える。また内蔵の定電圧電源で速度設定信号の変動をなくし、バイアス回路により増幅回路の動作点を調整する。

7.3 制御装置

AS モータ制御装置は、AS カップリングの励磁電流を制御する制御盤

と、制御盤に種々の入力信号を与える入力装置に大別される。

7.4 AS モータの制御例

ASPAC シリーズ 制御装置を組み合わせることによって広範な応用制御ができるが、代表的な制御について説明する。

(1) 単独運転

AS モータを単独に速度制御するもので、操作盤の速度設定つまみを回すことにより簡単に任意の速度設定できる。遠方から速度設定する場合は、電動設定盤 ASS-1 形と操作盤 ASO-3 形を組み合わせ使用する。

(2) 並列運転

制御盤内蔵の速度指令電源は、3 台までの制御盤に接続できるので、一つの操作盤で 3 台までの AS モータをほぼ同一速度で運転する

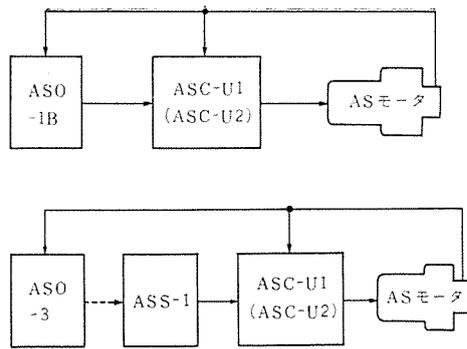


図 7.3 単独運転
Single running.

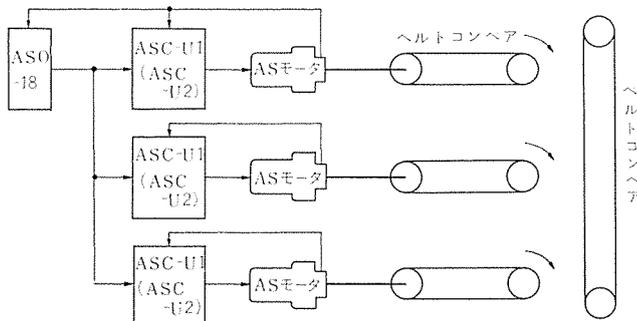


図 7.4 並列運転
Parallel running.

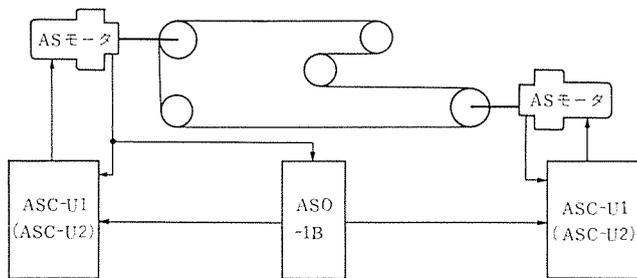


図 7.5 マルチドライブ
Multi-drive.

ことができる。

(3) マルチドライブ

長いベルトコンベアや屈曲の多いチェーンコンベアは、駆動電動機を分散することによって張力のかたよりを防ぎチェーンやベルトを経済的に設計することができる。この際、ASモータにかかる負荷をバランスさせるために適当な速度変動率を持たせる必要があるが、速度変動率は、制御盤の“SPEED REG”のつまみで簡単に調整できる。また駆動モータの主回路より電流を検出し、ASL-1形電流制御盤を使用することにより各ASモータの負荷分担を行なわせることができる。

(4) 連動運転

ベルトコンベアに対するフィーダのように、主機の回転数と関連してASモータの回転数を変える運転で、主機に指速発電機を設けその電圧を適当な直流電圧にしてASモータの速度指令とする。

(5) せん(揃)速運転

圧延機・伸線機・織維機械などの連続加工機では、多数のモータで各セクションを駆動するが、セクション間のたるみや引っ張りをなくすため、各電動機の回転数をそろえることが必要である。各セクション間のライン速度差をダンサーロールに設けたシンクロで検出し、ASD-1形変位検出盤を通して制御盤に入れて、常に同じライン速度で運

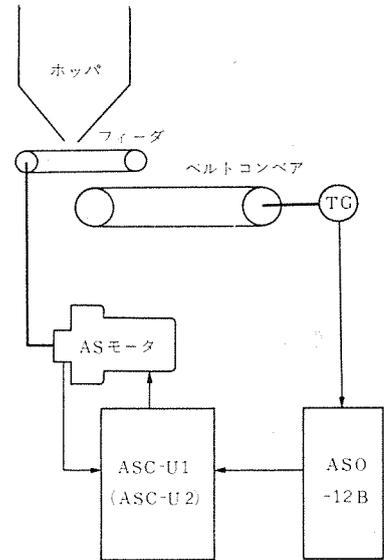


図 7.6 連動運転
Geared running.

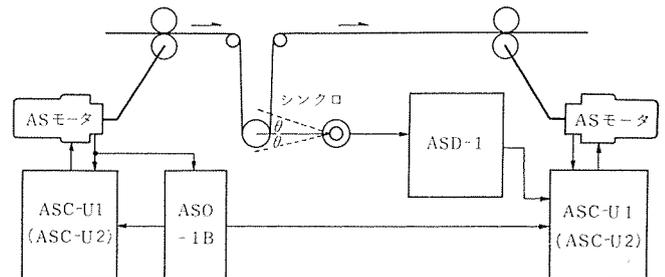


図 7.7 せん速運転
Synchronized running.

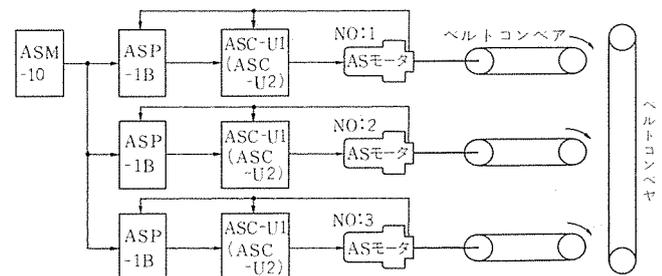


図 7.8 比率運転
Ratio running.

転するよう自動制御する。

またラインにダンサーロールが取り付けられない場合は各機に回転シンクロを取り付け、その回転数差を差動シンクロを介して検出し、変位検出盤により速度補正し自動せん速する方式とする。

(6) 比率運転

コークス・焼結・食品工場など、数種の原材料を一定の割合を保ちながら全体の速度を変えたいとき、この運転方法が用いられる。比率設定盤で各ASモータの主速設定盤の出力電圧との関係を設定すると、あとは主速設定盤のつまみだけで全体の速度を変えることができる。

(7) クッションスタート

起動時のショックが機械や制動系に悪影響を及ぼす場合や、慣性の大きい負荷を起動するとき、起動時のラッシュ電流を押さえたい場合には傾斜信号盤を用いる。

(8) 同期起動・停止

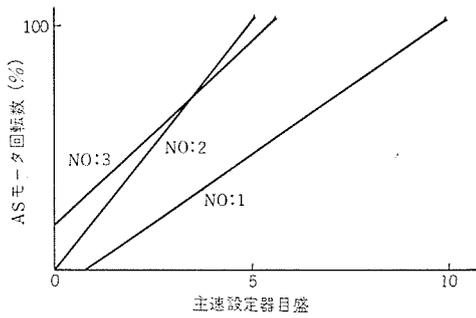


図 7.9 比率運転の設定例
Example of ratio running.

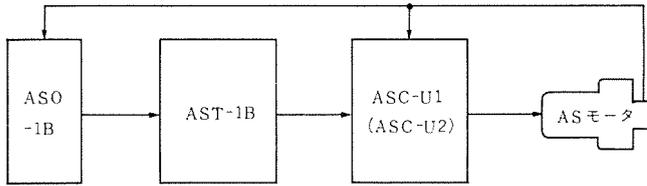


図 7.10 クッションスタート
Cushion start.

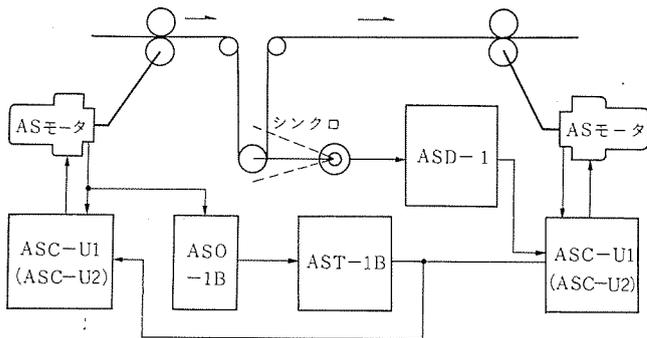


図 7.11 同期起動・運転・停止
Synchronous start, running, stop.

圧延機・伸線機などのせん速運転で、起動・停止時に慣性の違いによる引っ張り、たるみを避けたい場合にも傾斜信号盤を使って慣性の一番大きい機械に合わせて加速減速する。

(9) 圧力制御

ポンプ・ブロワなどの調節計と組み合わせて圧力信号を制御盤にフィードバックして、圧力が常に一定になるように自動制御する。調節計の出力レベルが低く制御信号が適合しない場合は、ブリアンラ盤 ASA-1 形を使って増幅してから制御盤に接続する。

(10) 輸送量制御

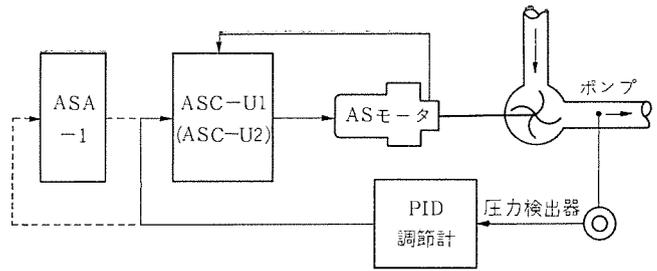


図 7.12 圧力制御
Pressure control.

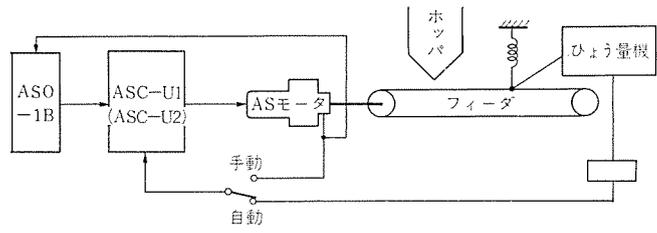


図 7.13 輸送量制御
Feeder control.

フィーダに設けたひょう(秤)量機の出力を、適当なレベルの直流電圧に変換して制御盤に加えることによって瞬間輸送量を一定に保つことができる。

8. む す び

従来 AS モータは回転磁極によるブラシ付きであったが、前述のようにブラシレスとし、0.75 kW~37 kW までをシリーズ化、量産化し、即納体制を整えた。最近の産業オートメーションの発達は、自動制御に対する需要を拡大し、各種産業機械には可変速運転あるいは2台以上の速度を関係づけて自動運転を行なう方式が増加している。

この自動制御方式にマッチすべく制作したのが ASPAC シリーズ制御装置で、各種産業の合理化、省力化、製品の品質向上に大きく貢献するものである。

参 考 文 献

- (1) H. M. Mc Connell : T. AIEE., 73, 226 (1954)
- (2) R. A. Jamieson : PROC. IEE., 115, (1968)
- (3) H. M. Mc Connell : AIEE Trans., 343 (1955)
- (4) R. Pohl : Journal IEE, 91, 239 (1944)
- (5) 三富 : 電磁クラッチ・ブレーキ, 153 (1967)

新系列湿式電磁クラッチ

西野 廣*・吉田 公一*・田村 茂*

New Series of Electromagnetic Clutches (Wet Type)

Himeji Works Hiroshi NISHINO・Kôichi YOSHIDA・Shigeru TAMURA

Wet type multiple-disk electromagnetic clutches have been chiefly in use for machine tools. Requirements on them, however, are getting severer day after day with the fast tempo of technical progress. Standards on them are now under establishment. In consideration of the situation, type NKA electromagnetic clutches have been developed based on a new concept. The product has features of : (1) compactness, (2) durability against severe operation, (3) ease setting up to machines, and (4) economy to the driving system through the improvement of performance.

The article gives description on the construction of clutches, operation and frictional torque characteristic such as operating time and thermal capacity. Further it gives remarks on their selection and use for the guidance to users.

1. ま え が き

当社では、昭和33年に他社に先がけて国内で最初に工作機械用電磁クラッチを完成し、多方面で非常に好評を博したが、それ以降も常にユーザの立場にたつて製品の開発・改良に努力し、わが国クラッチ技術水準の向上の一翼をになつてきた。

しかし、今日の技術テンポの進展は急速で、かつ電磁クラッチに対する要求もますますシビアになってきている。一方、工作用機器工業会では、電磁クラッチの寸法・性能などを標準化し、クラッチのいっそうの普遍化を計っている。当社では、これらを考慮し今回、まったく新たな構想のもとに、次のような特長を折り込んだ新製品、NKA形湿式多板電磁クラッチシリーズを開発した。

(1) 外形寸法は、同種製品のものでは最も小さく、また軸径は最大としている。

(2) 独特のクラッチ構造により、過酷な使用にも十分耐える信頼性の高い製品としている。

(3) 多くのユニークな設計により、機械への組込みが簡単にできる。

(4) 空転トルクとか、減衰トルクなどのクラッチ性能がよく、駆動系全体の経済的な設計ができる。

(5) メンテナンスフリーで使用できる。

2. 構造と仕様

NKA形電磁クラッチの開発は、下記方針のもとに行なつたが、その基本構造は、コイル静止形、かつクラッチ作動時に摩擦板が磁化状態になるいわゆる摩擦板磁化形としている(図2.1参照)。

開発方針

- (1) 寸法的には極力小さくするが、軸径は大きくとる。
- (2) 機械への取付けは、市場にあるどの製品よりも簡便にする。
- (3) 性能的には、従来のHK形クラッチと同等以上とする。
- (4) 工作用機器工業会(TES)の規格を満足する。

なお、クラッチ構造としては、このほかにコイル回転形があるが、寸法的なメリットを除けば性能・取付け性など多くの点で、コイル静止形に分があり、現在ではコイル静止形が、湿式電磁クラッチの主流と考えられている。

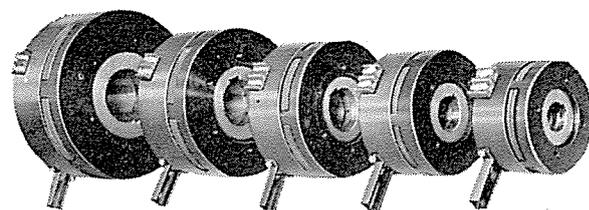
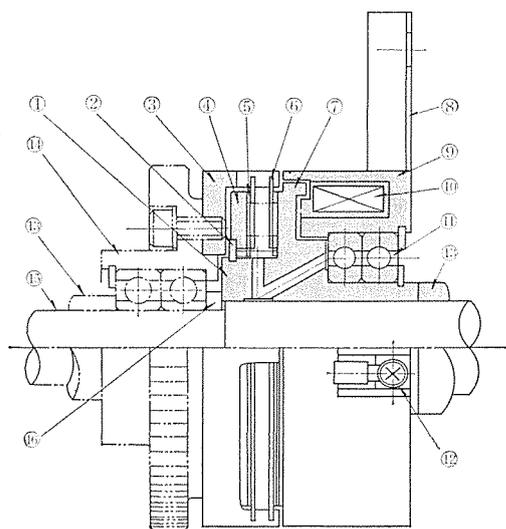


図 2.1 NKA形電磁クラッチ
Type NKA electromagnetic clutch.



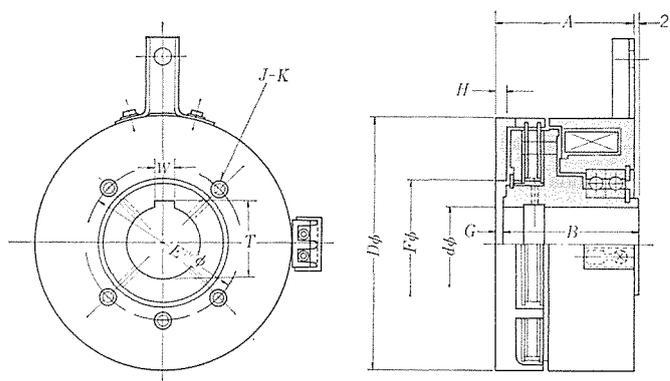
品番	品名	品番	品名
1	インナドライバ	9	ヨーク
2	ストップバ	10	コイル
3	アウトドライバ	11	ボールベアリング
4	アマチュア	12	端子
5	インナディスク	13	カラー(付属せず)
6	アウトディスク	14	従動ギヤ(付属せず)
7	ロータ	15	シャフト(付属せず)
8	ホルダ	16	カラー(付属せず)

図 2.2 NKA形電磁クラッチ構造
Construction of type NKA electromagnetic clutch.

表 2.1 NKA 形 電 磁 ク ラ ッ チ 性 能
List of characteristics of type NKA electromagnetic clutch.

(電 圧 DC 24 V)

形 名	動摩擦トルク kgm	静摩擦トルク kgm	コ イ ル (75°C)			トルク立上り 時間 s	トルク消滅時間 s	許容回転数 rpm	GD ² (kgm ²)		重 量 kg
			電 流 A	電 力 W	時 定 数 s				ロータ側	アウト ドライブ側	
NKA-2.5	2.5	5	0.8	19	0.04	0.09	0.08	3,600	2.8×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2.2
NKA-5	5	10	1.3	30	0.07	0.12	0.12	3,100	7.5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	3.4
NKA-10	10	20	1.7	40	0.10	0.16	0.16	2,600	1.6×10 ⁻²	1×10 ⁻²	5.4
NKA-20	20	40	2.0	47	0.13	0.23	0.22	2,200	3.2×10 ⁻²	2.2×10 ⁻²	8.6
NKA-40	40	80	2.2	52	0.18	0.32	0.28	2,200	9×10 ⁻²	5.2×10 ⁻²	15.5



形 名	A	B	D	d (H7)	E	F (H7)	G	H	J	K	$\frac{T}{0}$ (+0.1)	W (F7)
NKA-2.5	55	52	95	25	64	50	5	6	4	M6	26.7	8
NKA-5	63	60	112	30	72	58	5	6	4	M6	32	8
NKA-10	70	67	133	40	80	65	5	6	6	M6	42	12
NKA-20	81	78	157	50	100	80	5	8	6	M8	52.5	14
NKA-40	94	90	195	60	125	102	6	9	6	M10	63	18

図 2.3 NKA 形 電 磁 ク ラ ッ チ 外 形 寸 法
Dimensions of type NKA electromagnetic clutch.

2.1 構造

NKA 形 電 磁 ク ラ ッ チ の 詳 細 構 造 を 図 2.2 に 示 す。

クラッチは、主として機械側のシャフトに取付けるインナドライブ部分と、ギヤなどに取付けるアウトドライブ部分、ならびに磁気回路の主要部となる、コイルを内蔵したヨーク部分から構成されている。以下その概要について説明する。

(1) インナドライブには、自己 GD² を最少にしたロータを固着するとともに、外周の一部にインボリュートスプラインをもうけて、アウトディスクと交互に組込んだインナディスクと、アマチュアを取付け、その動きを端部のストップで制限することによって、この部分の組込上のわずらわしさをなくしている。インナドライブは、機械側との磁気しゃへいのために非磁性材料にし、ディスクとボールベアリングへ給油するための油穴をもうけており、これを同一個所から給油できるように、使用上の便宜を計っている。

(2) すぐれたクラッチ性能を得るために、インナディスクには、特殊化学処理を施して理想的な表面状態とし、アウトディスクには、波打ち加工をしている。

また、その枚数は寸法・トルク・性能など考慮して、最適性能になるようにしている。

(3) アウトドライブは、各種サイズのギヤなどが容易に取付けできるように、取付けピッチを極力小さくするとともに、耐久性向上のための十分な熱処理を行なっている。

(4) コイルは、耐油性を考慮し特殊電線を使用するとともに、エ

ポキシ樹脂にてモールドし、ヨークと一体にしている。なお、ヨークをささえるボールベアリングには、スラスト荷重が働かないように考慮するとともに、インナドライブとの間にストップをもうけて、その脱落を防止している。

(5) コイルへの給電には脱着可能な端子を取付け、リード線方式で起こりがちな断線を防止し、かつ配線を容易にした。

(6) ホルダは、クラッチ外周から取付け可能な構造としたので、クラッチ組み込み後も取付けできるようになった。

NKA 形電磁クラッチはこのような構造にした結果、全体としてきわめてコンパクトに設計でき、また取付け上の多くのメリットを折込むことができた。

2.2 動作原理

トルクは、シャフトにキーで固定されたインナドライブから、両ディスクを経て一般にギヤに連がるアウトドライブへ、あるいはこの逆の経路で伝達される。

コイルを励磁すると、その吸引力によって両ディスク部分が圧着されて摩擦トルクを発生し、従動側とのマッチングが行なわれる。

励磁電流を断てば、ディスク自体の springs 力により、直ちに開放され伝達トルクが断たれる。

2.3 仕様

図 2.3 に外形寸法図を、また表 2.1 に性能表を示す。

3. 性能

3.1 摩擦トルク

一般に、電磁クラッチの入力側は連続回転とし、クラッチの ON・OFF により機械側を制御するような使用が多い。このときのクラッチ

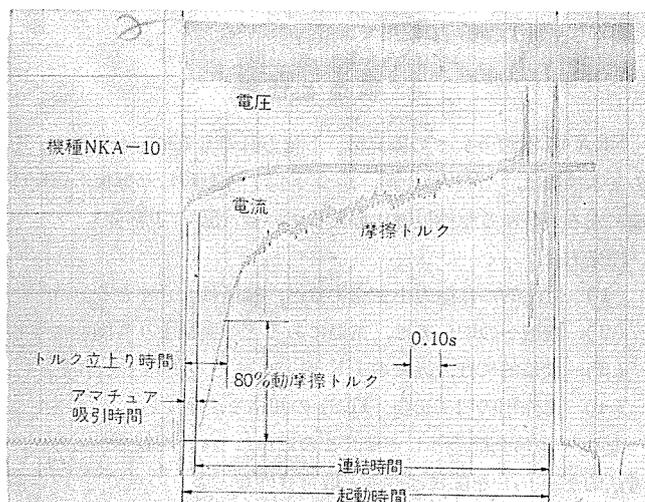


図 3.1 トルク特性オシロ
Torque characteristic oscillogram.

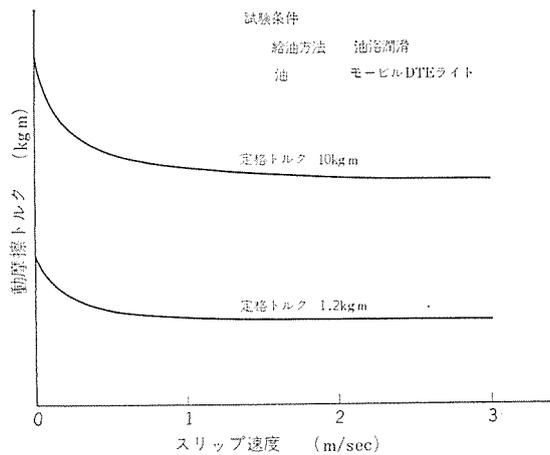


図 3.2 動摩擦トルクの変化
Changes of dynamic friction torque.

表 3.1 油の粘度による性能変化
Change of characteristics due to the viscosity of oil.

油の粘度 cst	アマチュア吸引時間 s	トルク立上り時間 s	7.5%トルク消滅時間 s	2.5%トルク消滅時間 s
32.0	0.12	0.22	0.05	0.09
63.6	0.13	0.22	0.06	0.11
129.5	0.13	0.26	0.07	0.14

トルクの状況をオシロでとると、図 3.1 のようになる。

電磁摩擦クラッチの性質として、摩擦トルクは電氣的・機械的おくれがあるので、図のようにコイルを励磁したあと、やや遅れてから、なめらかに増加する。

物理的には、この全過程が動摩擦の状態であるが、実用的見地から工作用機器工業会では、摩擦面が 0.5~3 m/s で連続スリップしているときの値を、「動摩擦トルク」と定義している。

湿式多板電磁クラッチでは、周速が前記以上になっても摩擦トルクがあまり変化しないこと(図 3.2 参照)から、このように決定している。

したがって、低回転では、呼称値以上の大きな動摩擦トルクを有しており、このような使用条件では大きなショックが掛かるので注意を要する。

連結が完了した点におけるトルクは「静摩擦トルク」で、これは物理的な定義と一致する。

ところで図 3.1 は、ある試験条件のもとに取ったデータであるが、クラッチ選定に重要なこの動摩擦トルクは、境界潤滑という複雑な状況下での特性であるので、多くの変動要素をもっている。

たとえば

- (1) ディスクの表面状態
- (2) 寸法精度のばらつきによる、磁気抵抗の変化
- (3) 電圧変動
- (4) 潤滑油の温度変化
- (5) 潤滑油の粘度および油性など、グレードの差
- (6) 潤滑油の汚染

などが考えられる。

これらの詳細について論ずることは割愛するが、一例を上げればディスクの表面は特別の管理を行っており、摩擦係数のばらつきは±10%程度以内である。

また、潤滑油の粘度による影響を表 3.1 に示すが、このばあい動摩擦の状態はクーロンの法則がおおむね成立しているか、または実

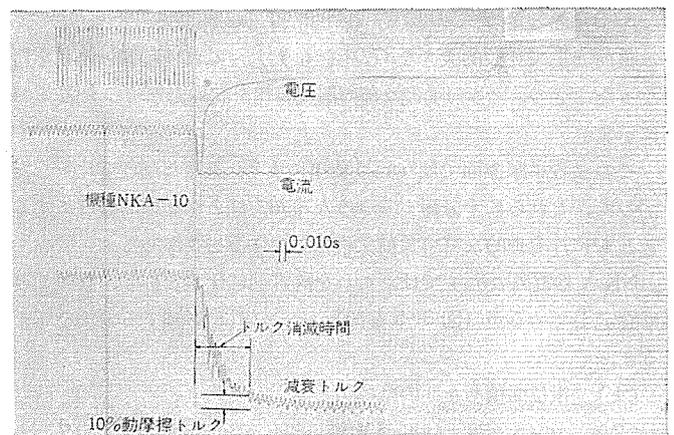


図 3.3 減衰トルクオシロ
Decreasing torque oscillogram.

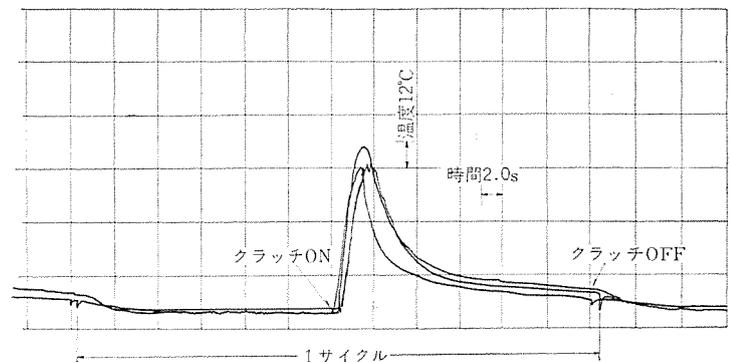


図 3.4 動作状況と摩擦面温度
Operating state and temperature of friction face.

際の摩擦面の油膜温度が相当高温化しているため、動摩擦トルクがあまり差がないものと考えられる。静摩擦の状態については、流体潤滑の影響を受けているものと考えられる。

3.2 動作時間

電磁クラッチの機能として制御要素の役割は大きいですが、このばあいクラッチの動作に要する時間はシビアに規制されることが多く、したがって1サイクルにおける摩擦トルクの時間的変化を正確には握る必要がある。

NKA 形電磁クラッチでは、これらの実用上の便宜を考えて下記のように定義している。

(i) アマチュア吸引時間

コイル励磁後、摩擦トルクが発生しはじめるまでのデッドタイム。

(ii) トルク立上り時間

コイル励磁後、トルクが定格動摩擦トルクの80%に達するまでの時間。

(iii) トルク消滅時間

電流シャ断後、減衰トルクが定格動摩擦トルクの10%に低下するまでの時間。

機種ごとに与えられた試験条件のもとでの測定結果は、表 2.1 のとおりである。また、代表的な減衰トルクの変化状況を図 3.3 に示す。

これら動作時間は、回転数などの負荷条件によっても相当異なるが、さらに給油方法とか油の粘度にも影響される。

油の粘度を変えたばいの実例を表 3.1 に示すが、前述の摩擦トルクの場合と同様で減衰トルク特性は相当悪くなる。

3.3 熱容量

負荷として比較的大きな GD^2 をもうけ、これの起動・停止を行なったときの、クラッチディスク部の温度変化を記録したものを図 3.4 に示す。

このように摩擦面ではスリップ仕事により、急激な温度変化をきたすので、これらに十分耐えるような冷却方法とか機械的強度にするとともに、合理的な許容負荷条件を設定する必要がある。

NKA 形電磁クラッチでは、これを許容連結仕事と称し、機種ごとに設定しているが(図 3.5 参照)、今、これに影響する要因を考えると、

- (1) 単位面積あたりの摩擦力
 - (2) スリップ速度とスリップ距離
 - (3) 給油方法
 - (4) 1 サイクルの時間
 - (5) 通電率(1 サイクル中での、クラッチ ON と OFF の時間割合)
- などがあげられるが、このうち、(1) 項は寸法制限あるいは経験的に機種ごとに決まり、 $4 \sim 8 \text{ kg/cm}^2$ としている。

また、(4) 項は各機種の大さきによって決まる冷却時定数に左右されるが、これにより各連結仕事での、許容動作回数が設定される。

(5) 項は図 3.5 からわかるとおり、クラッチ OFF により急速に冷却が促進されるので、特に通電率の高いときには、許容仕事の低

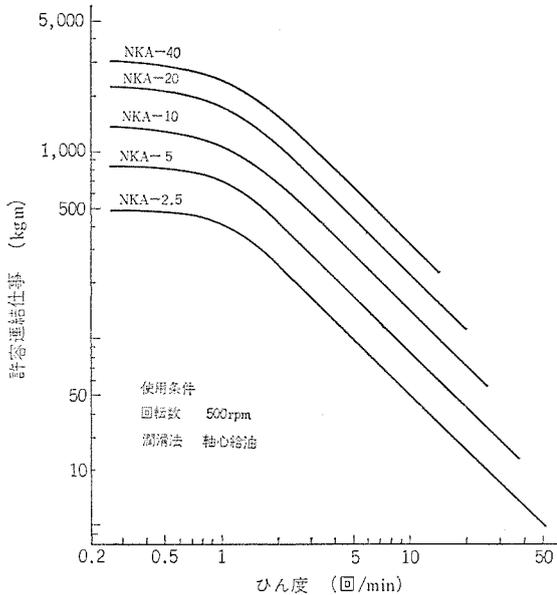


図 3.5 NKA 形電磁クラッチ許容連結仕事
Allowable engaging energy diagram of type NKA electromagnetic clutch.

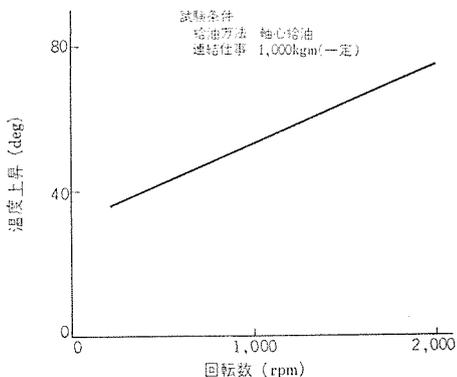


図 3.6 回転数と摩擦面温度
Slip revolution and temperature of friction face.

減を考慮する必要がある。

以上により、これらは固定的で変動するファクタは比較的少ない。

一方スリップ速度が大きくなると、図 3.6 に示すように同一仕事すなわちスリップ距離が同一でも、熱放散の関係で温度が高くなる。すなわち低回転では潤滑油による熱伝達、あるいはクラッチボディなどからの熱伝達が考えられ、温度が上がらないものと思われる。

また、同一負荷条件で給油方法のみ変えれば、軸心給油に対し他の方法では 2 倍以上の温度差を生じた。これは軸心給油では特殊な摩擦板構造であるため、連結中でもある程度の熱放散が行なわれているのに対し、強制給油などの方法ではほとんど冷却効果が期待できないためと考えられる。

3.4 温度上昇

湿式電磁クラッチを使用すると、下記要因によりある程度温度上昇をきたす。

- (1) コイルのジュール熱
- (2) 空転トルクによるもの
- (3) ボールベアリングなどの機械損
- (4) 連結時のスリップ仕事によるもの

このうち(1)、(3)項はたいした値でなく、また(2)項は潤滑油を供給する結果として二次的に発生するものである。

したがって(4)項を中心に考えればよいが、経験的には(2)項が

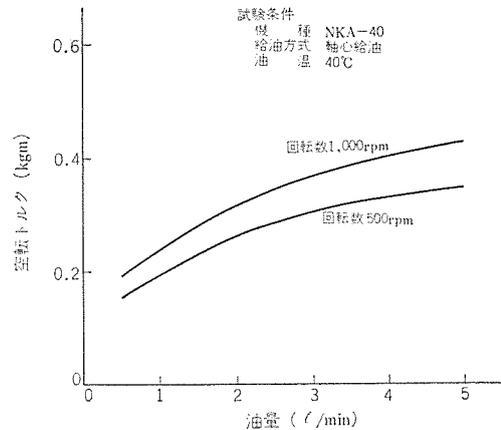


図 3.7 油量による空転トルクの変化
Changes of drag torque due to the quantity of oil.

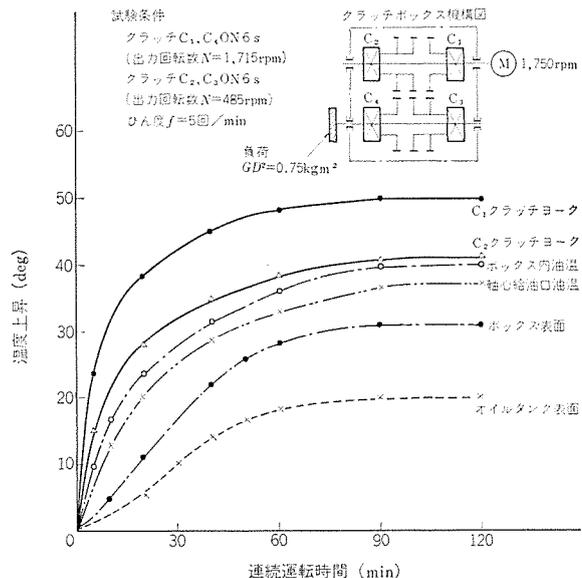


図 3.8 潤滑油の温度上昇
Temperature rise characteristics of lubricating oil.

50%以上になるばあいが多く問題になりやすい。

空転トルクの原因は、すでに油の粘性抵抗が主因であることが認められているし、またそのために油の粘度によって、空転トルクが大幅に変化することも確認している。

したがってこれらは、クラッチ使用上の問題として注意すればある程度解決できる。

それよりも電磁クラッチの最適潤滑のためには、油量の最適なことが必要であり、そのため油量と空転トルク性能、クラッチボックス全体の温度上昇性能などが必要である。

図 3. 7 に軸心給油での油量・回転数と空転トルクの関係を示す。また図 3. 8 に実用状態で使用したときの温度上昇結果を示す。当社ではこのような豊富なデータをもとに、各種仕様に最もマッチした技術サービスを行なっている。

4. 使 用

電磁クラッチは、1 機械要素として機械内部に組込まれる関係で、その性能を十分に発揮するためには機械側との協調が完全でなければならない。

また機械駆動系の中心になる関係で、クラッチの選定には十分なチェックが必要で、さらにクラッチ性能は、給油方法によって大幅に左右されることに注意しなければならない。

4. 1 選 定

電磁クラッチの選定には、最小限、下記事項を検討する必要がある。

- (1) 摩擦トルクと負荷トルクの関係
- (2) 動作時間
- (3) 連結仕事、すなわち熱容量
- (4) クラッチボックス全体の温度上昇
- (5) 耐久性

これらの詳細は、ページ数の関係で割愛するが、基本的な考えについて以下 2, 3 述べる。

(1) クラッチのトルク表示は、出しうる最大能力で行なっている。したがって負荷トルクの性質を見きわめ、ピークトルクが働くものには十分安全を見込まなければならない。もちろん摩擦トルクには設計的なマージンがあるが、電磁クラッチはトルクのばらつきが大きいので、わずかの実績のみで良否を判定することは慎まなければならない。

(2) 工作機械の送り用などに使用するときには、摩擦抵抗負荷に対してだけでも相当の起動トルクを要するが、クラッチは図 3. 1 のように規定トルクに達するまでに、表 2. 1 のような時間を要するので、その間スリップする。その後はさらに要求速度にするための加速トルクが必要で、電磁クラッチとしては、これらを満足する動摩擦トルクを備えたものが必要である。この動摩擦トルクが負荷条件によって変化するところに、選定のむずかしさがある。

(3) スピンドルの変速用にクラッチを使用することは、NC 機では常識化している。このばあい高速で切削中にクラッチの切換えを行なうと、スリップ仕事が大いだけでなく、 μ 値も高く、かつクラッチ間の二重結合損も無規できなくなる。したがってこれらのファクタを折り込むとともに、さらに図 3. 5 に示す許容連結仕事に対し相当の安全を見込む必要がある。

4. 2 給油法

湿式電磁クラッチの潤滑方法としては、

- (1) クラッチ取付け軸から給油する軸心給油
- (2) クラッチの外周から摩擦面に給油する強制給油

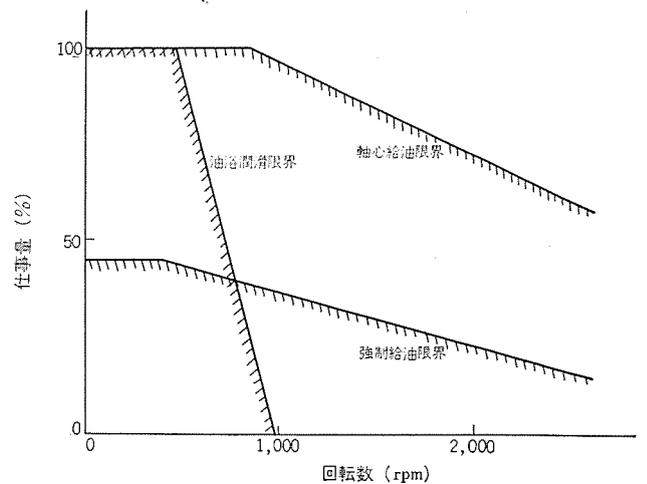


図 4. 1 NKA-10 形電磁クラッチ使用限界図
Adaptability diagram of type NKA-10 electromagnetic clutch.

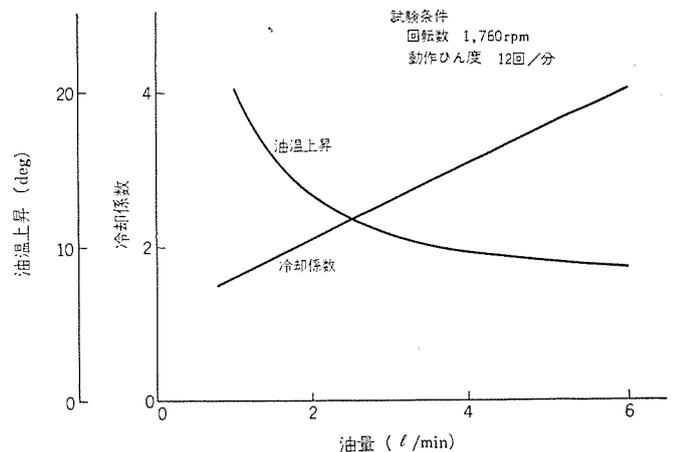


図 4. 2 潤滑特性
Lubrication characteristics.

(3) クラッチの一部分を油づけする油浴潤滑

(4) 羽根・ギヤなどを利用したはねかけ給油

などがある。上記各給油法については回転数・負荷 GD^2 ・給油量などを基準に、クラッチ各部ならびに給・排油の温度を測定し、さらに耐久性も考慮し適正な給油方法を規定している。その一例を図 4. 1 に示す。

湿式電磁クラッチでは、給油方法とともに最適給油量を決定する必要がある。すなわち油量が少なければ、温度上昇により油の劣化を促し、また多ければ空転トルクが大きくなって無用の温度上昇をきたす。

そこで、最適値を求めめるために、種々油量を変えて試験した結果を図 4. 2 に示す。連結時の発熱をすべて潤滑油で奪うとすると、必要な油量は、

$$Q = 0.033K \frac{W}{t}$$

ここで Q : 油量 (l/min)

K : 冷却係数

W : 発熱 (W)

t : 潤滑油の温度上昇 (deg)

となる。この冷却係数は図 4. 2 のように、油量の増大とともに大きくなって潤滑効果が低下する。したがって油温が限界値以上にならない範囲で、機種ごとに最適油量を決定している。

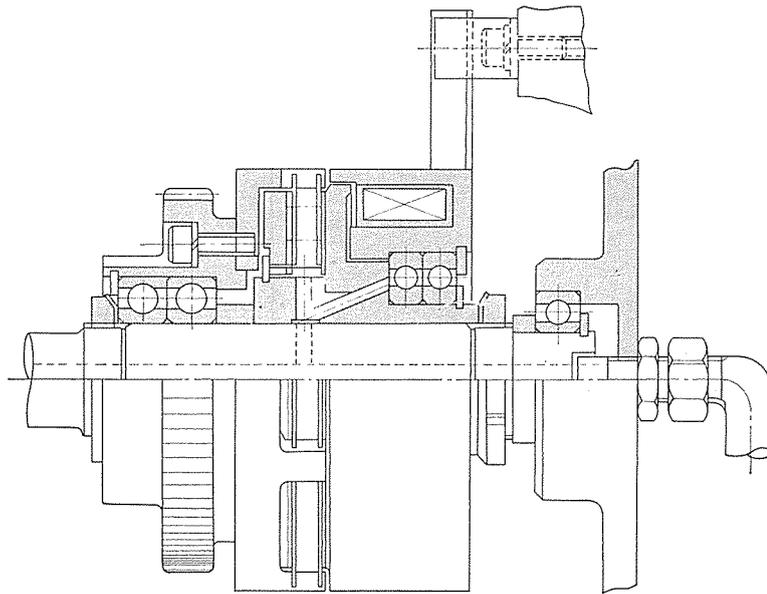


図 4.3 NKA 形 電磁 クラッチ 取付 (コースター 連結形)
Mounting of type NKA electromagnetic clutch.

なお上記からもわかるように、連結仕事が小さければ当然油量も少なくてよく、また回転数の影響も同様な試験でさして影響ないことを確認している。

4.3 組込み

図 4.3 は軸心給油を行なうときの取付け例である。このように組込み時に調整するとか、高い組立精度を要する個所がなく、またラグ式 アウトドライバ、配線のターミナル方式などとあいまって、市場に出ている製品のうちでは最も簡便に組込みができる。

なおアウトドライバは図 2.2 に示したものの以外に、さらにギヤ取付けピッチの異なるものを数種類標準化しているので、この点いっそうの便宜が計られている。

5. む す び

以上 NKA 形電磁クラッチについて概略紹介したが、前述したように多くの特長を持っており、従来この種クラッチでの問題点はほとんど解決されている。

電磁クラッチを各種機械に使用するばあい、寸法的な制約もあり、ユーザからまちまちな寸法を要求されている。しかし工作用機器工業会の規格ができたのを機会に、また標準化・量産化の見地からもユーザ諸賢におかれては NKA 形電磁クラッチを使用され、生産性の高い機械を設計されることを願っている。なおわれわれも多様化する機械の諸要求にマッチした電磁クラッチを製作すべく努力していきたい。

乾式電磁クラッチ・ブレーキとその応用品

村田 俊哉*・浅野 哲正*・植田 雅晴*
井上 馨*・小林 良治*

Dry Type Electromagnetic Clutches, Brakes and their Application

Himeji Works Toshiya MURATA・Tetsumasa ASANO・Masaharu UEDA
Kaoru INOUE・Yoshiharu KOBAYASHI

Dry type electromagnetic clutches and brakes have been in use for a variety of industrial machines because of their ease in handling and economy of operation. Mitsubishi has worked out serieses of new products of these lines referred to by changing old models. They are made up of type NEA dry type single disk electromagnetic clutches, type NEY dry type single disk electromagnetic brakes, type LBH spring closed electromagnetic brakes and other devices of their application, all being designed to meet diversified requirements. The article describes their construction, operation and characteristic and further touches upon the power sources specially built for them.

1. ま え が き

乾式電磁クラッチ・ブレーキは、取扱いが簡単でかつ経済的に使用できる。またオートギャップ装置の採用によって、従来の乾式クラッチ・ブレーキのイメージを一変させ、各種産業機械をはじめ、一般工業用として多方面に使用されている。

当社では、従来から乾式電磁クラッチ・ブレーキとして、VK形クラッチ、EBA形ブレーキを製作してきたが、このたび多様化する需要にこたえるため、さらに信頼度の高い電磁クラッチ・ブレーキをシリーズ化した。これらはNEA形電磁クラッチ、NEY形およびLBH形電磁ブレーキ、ならびにこれらの応用品からなっている。以下にこれらの概要について紹介する。

なお応用例については、各種電磁クラッチの組み合わせによるシステマ的なものが多く、その内容・範囲は複雑多岐にわたるため、今回は紙面の都合上割愛することにする。

2. 種 類

今回シリーズ化した電磁クラッチ・ブレーキをまとめると、下記のようなになる。

電磁クラッチ	— 単板	— NEA(T)形, 静摩擦トルク 1.2~20 kgm
	— 多板	— VK(T)形, 静摩擦トルク 40~100 kgm
電磁ブレーキ		— JKA-K形, 動摩擦トルク 0.6~10 kgm
	— 単板	— NEY形, 静摩擦トルク 1.2~20 kgm
	— 複板	— EBA形, 静摩擦トルク 40~100 kgm
		— LBH形, 定格トルク 0.6~20 kgm

さらにこれらの応用品としてつぎのようなものがある。

- (a) NUK形クラッチ・ブレーキユニット(マグバック)
- (b) モートル付きクラッチ・ブレーキユニット
- (c) 正逆転ユニット
- (d) フーリ付き電磁クラッチ
- (e) ベアリング付き電磁ブレーキ

最近の電磁クラッチ・ブレーキは、単(複)板形の使用がほとんどであり、多板形は寸法的な制約があるときのみ例外的に使われている。しかしこれはいずれもギャップ設定とか、ベアリング取付などの取扱上のわずらわしさがあるので、最近ではこれをケースに組込んだ応用品が重宝がられている。

品が重宝がられている。

3. NEA(T)形電磁クラッチおよびNEY形電磁ブレーキ

3.1 概要

最近のクラッチ・ブレーキは耐久性の長いもの、あるいは経済性を重視したものが要求されている。当社ではこれらにこたえるべくつぎのような特長を折り込んだ新製品を開発した。

(1) 摩擦面が摩耗しても自動的にギャップが調整される、オートギャップ付きとした。(トルク1.2kg・mを除く)。

(2) 熱放散・摩擦材料・クラッチ構造などの点で、耐久性のあるものとした。

(3) 従来のVK形クラッチ・EBA形ブレーキと、寸法的に完全な互換性をもたせ取付の便宜をはかった。

(4) ボールベアリングを内蔵したコイル静止形とし、据付・保守を容易にした。

なお電磁クラッチは取付上の便宜をはかって、通し軸形で使用するNEA形と、突合せ軸形で使用するNET形の2種類をシリーズ化している(図3.1参照)。

またNEY形電磁ブレーキの設計内容は、電磁クラッチとほとんど同一としている。

3.2 構造と仕様

3.2.1 電磁クラッチ

(1) 通し軸形の構造を図3.2に示す。クラッチの中心になるロータの摩擦面には、特殊なライニングを使用し、またこれに相対するアマチュアは、スプライン駆動方式にすることによって、耐久性の向上を

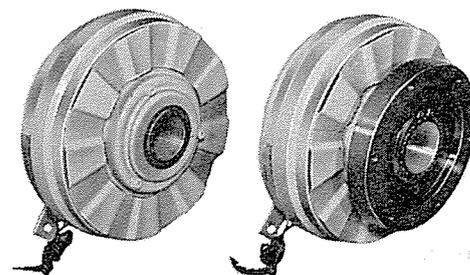


図 3.1 電磁クラッチ(左 NEA-5, 右 NET-5)
Electromagnetic clutch.

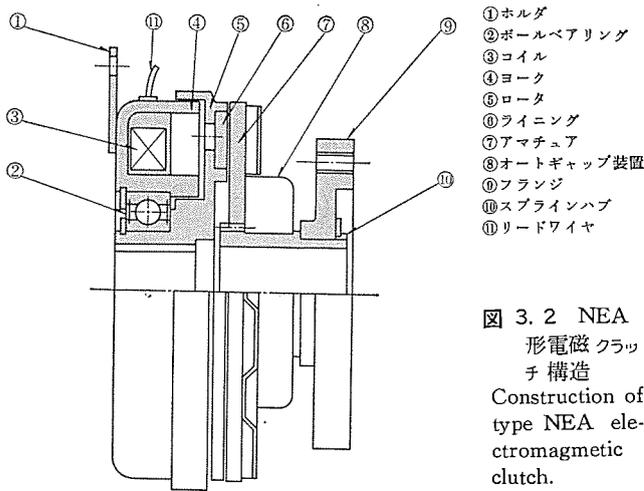
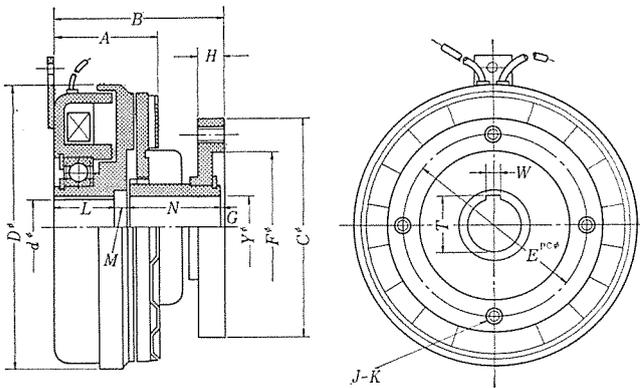


図 3.2 NEA 形電磁クラッチ構造
Construction of type NEA electromagnetic clutch.



形名	外形寸法 mm								
	A	B	C (H7)	D	d (H7)	E	F (F7)	G	H
NEA-1.2	40	56	71	96	15	63	50	3	8
NEA-2.5	50	61	90	120	20	80	63	3	8
NEA-5	54	89	118	152	30	100	80	2	14
NEA-10	64	98	150	190	35	132	112	2	20
NEA-20	74	110	160	220	40	140	112	2	20

形名	外形寸法 mm								従来品の形名
	J	K	L	M	N	T (+0.1/0)	W (F7)	H (H7)	
NEA-1.2	4	M 6	28	2	23	17	5	22	VK-1.2
NEA-2.5	4	M 6	31	5	22	22	5	28	VK-2.5
NEA-5	4	M 8	30	9	48	33	7	35	VK-5
NEA-10	4	M 8	34	12	50	38.5	10	45	VK-10
NEA-20	6	M 8	38	12	58	43.5	10	47	VK-20

図 3.3 NEA 形電磁クラッチ外形寸法
Dimensions of type NEA electromagnetic clutch.

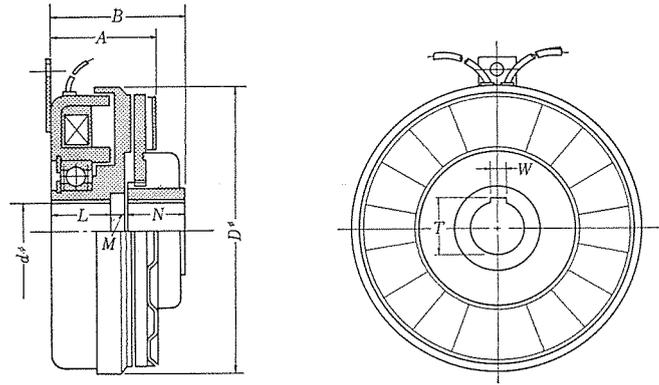
はかっている。

磁気回路になるヨーク部分は、ボールベアリングを介してロータに装着し、また給電はリード線方式としてこれらの取付を簡単にしている。

オートギャップ装置は、トルク 2.5 kgm 以上の形式のものに取付け、トルク 1.2 kgm には、リターンスプリングを設けている。

(2) 突合せ軸形はスプラインハブを直接機械に取付ける構造で、この点がフランジ板を介して機械に取付ける通し軸形と異なっている。

(3) クラッチの操作電圧は DC 24 V で、この励磁電流でアマチュアをロータ側に吸引し、トルクを伝達させる構造である。電流を断てば、オートギャップ装置内部に設けてあるスプリングによって、所定の位置に戻る。



形名	外形寸法 mm								従来品の形名	
	A	B	D	d (H7)	L	M	N	T (+0.1/0)		W (F7)
NET-1.2	40	55	96	15	28	5	22	17	5	VK-1.2 T
NET-2.5	50	58	120	20	31	5	22	22	5	VK-2.5 T
NET-5	54	72	152	30	30	12	30	33	7	VK-5 T
NET-10	64	80	190	35	34	12	34	38.5	10	VK-10 T
NET-20	74	90	220	40	38	14	38	43.5	10	VK-20 T

図 3.4 NET 形電磁クラッチ外形寸法
Dimensions of type NET electromagnetic clutch.

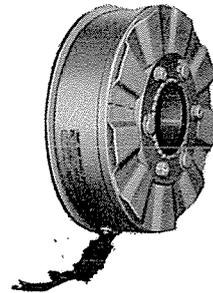


図 3.5 NEY-5 形電磁ブレーキ
Type NEY-5 electromagnetic brake.

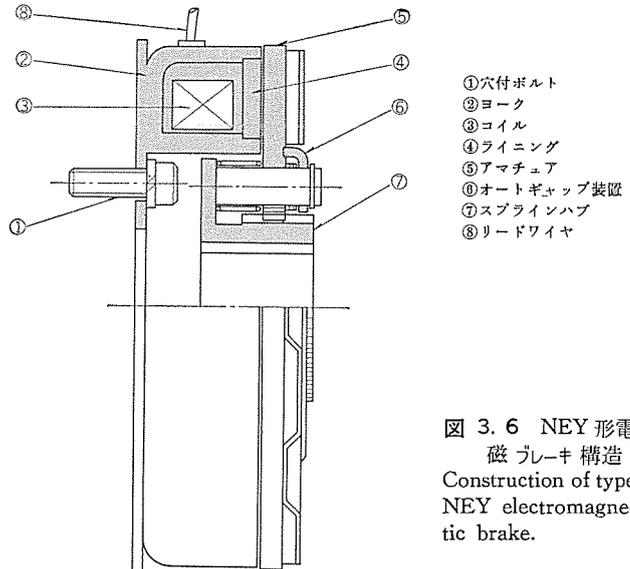
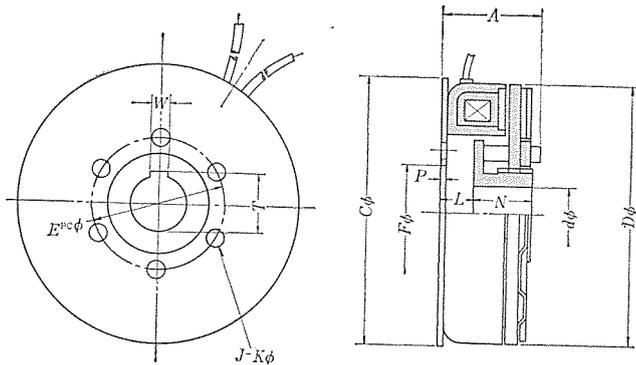


図 3.6 NEY 形電磁ブレーキ構造
Construction of type NEY electromagnetic brake.

(4) 各機種の外形寸法図を図 3.3, 図 3.4 に示す。

3.2.2 電磁ブレーキ

一般にブレーキは機械の制動あるいは保持用として、クラッチとともに使われている。NEY 形電磁ブレーキ(図 3.5 参照)は、NEA 形電磁クラッチの姉妹品として製作した励磁作動形ブレーキで、構造図を図 3.6 に示す。このブレーキはつぎのもの以外は、NEA 形クラッチとほとんど同一内容であるため詳細は省略する。すなわち機械ケース



形名	外径寸法 mm										従来品の形名			
	A	C (h7)	D	d (H7)	E	F (H7)	J	K	L	N		P	T (+0.1/0)	W (F7)
NEY-1.2	39	125	90.5	15	112	50	4	7	32	22	3	17	5	EBA-1.2
NEY-2.5	48	150	112.5	20	138	72	4	7	34	22	3	22	5	EBA-2.5
NEY-5	51	147	144.5	30	68	52	6	9	18	30	3	33	7	EBA-5
NEY-10	56	187	180.5	35	85	66	6	9	21	30	4	38.5	10	EBA-10
NEY-20	65	217	211	40	100	80	6	11	24	40	4	43.5	10	EBA-20

図 3.7 NEY 形電磁ブレーキ外形寸法
Dimensions of type NEY electromagnetic brake.

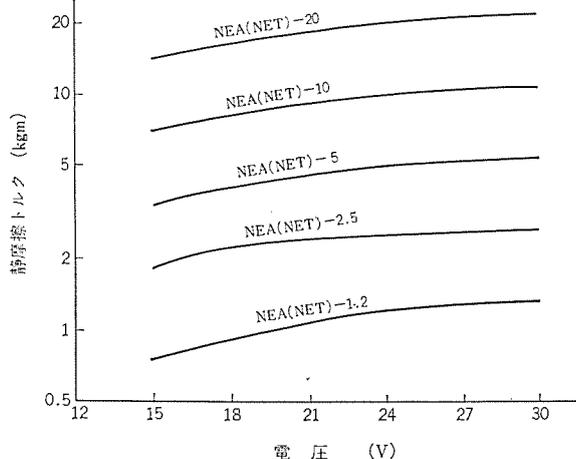


図 3.8 NEA 形電磁クラッチ 静摩擦トルク特性
Static friction torque characteristics of type NEA electromagnetic clutch.

の側壁などに取付けるヨークにはコイルを内蔵し、かつ摩擦面にはライニングを一体にして固定している。ライニングはコイルを固定しているレジンに接着しているが、このレジンには当社が開発した耐熱性のあるものを使用している。電磁ブレーキの外形寸法を図 3.7 に示す。

3.3 性能

電磁クラッチと、電磁ブレーキの性能はほとんど同一であるため特に区別しないで述べる。

3.3.1 摩擦トルク

摩擦トルクはクラッチ選定の際に、もっとも基本となる特性で、このトルクは次式で表わされる。

$$T = \mu PR$$

ここで T : 摩擦トルク (kgm)

μ : 摩擦係数

P : 軸方向の圧力 (kg)

R : 摩擦面の有効平均半径 (m)

上式で P 値は励磁 AT によってきまるので、コイルへの通電電流によってある範囲の間のみ、加減することができ、摩擦トルクを制

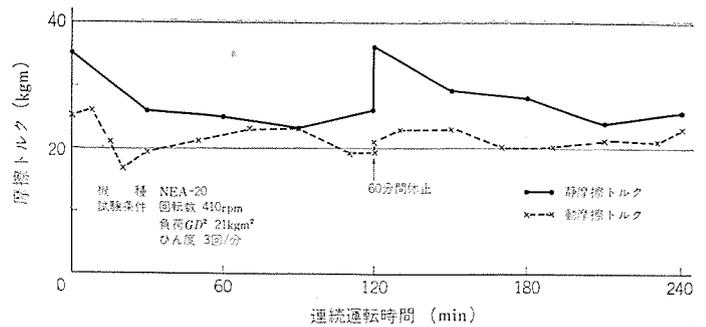


図 3.9 連続運転特性
Continuous duty characteristics.

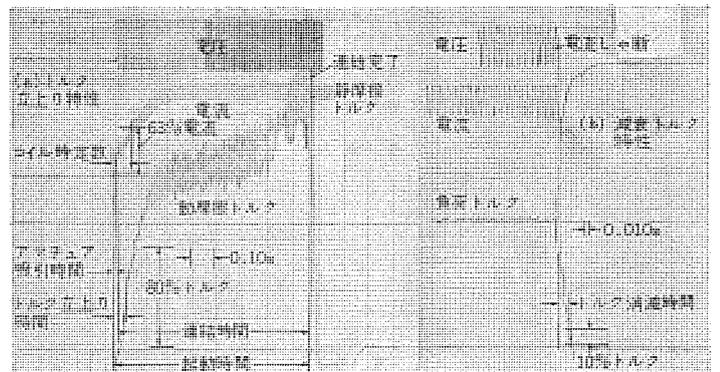


図 3.10 電磁クラッチ動作特性オシロ
Response characteristic oscillogram of electromagnetic clutch.

御することができる。各機種のトルク特性を図 3.8 に示すが、電流とともに静摩擦トルクは増加し、定格トルク近辺ではだいたい電流に比例する。しかし一定値以上ではトルクは飽和する。なお摩擦トルクは面圧・すべり速度・面荒さ・相手材質・温度などの条件により変化する。図 3.9 に連続運転したときの動摩擦トルク、静摩擦トルクの変化の一例を示すが、これらが相当変動していることがわかる。

またすべり速度が早くなるにつれて動摩擦トルクが低下するが、これも前記要因が複雑にからみあうためである。NEA 形電磁クラッチは、耐久性を考慮した摩擦面温度の制限、あるいは特殊ライニングを使用しているなどから、動摩擦トルクの回転数による低下は比較的少なく、クラッチ選定に際し有利な特性となっている。

3.3.2 動作特性

電磁クラッチを励磁してから開放するまでの動作特性を、図 3.10 に示す。

このように図 3.11 (a) に示す回路においてスイッチを ON すると、しばらくしてトルクを発生するが、このデッドタイムをアマチュア吸引時間と呼ぶ。その後トルクは急激に増加し、前述の動摩擦の状態になるが、このトルクが規定の静摩擦トルクの 80% に達する時間を、トルク立上り時間と呼んでいる。

動摩擦トルクが負荷トルクを越えると、機械側は回転を始め、トルクの増大とともに回転速度を増し、ついにスリップは零となり、連結を完了する。連結状態においては静摩擦トルクに達している。

つぎにスイッチを OFF にしたときも同様の現象となるが、電流を切ってから摩擦トルクが規定の静摩擦トルクの 10% に低下するまでの時間を、トルク消滅時間と呼ぶ。代表的な使用状態におけるこれら動作時間の一例を表 3.1 に示す。一般に乾式では動作時間が早いですが、さらに早いレスポンスを要求されるときには、電源操作による急速励磁方式 (図 3.11 (b)) や、過励磁方式 (図 3.11 (c)) にす

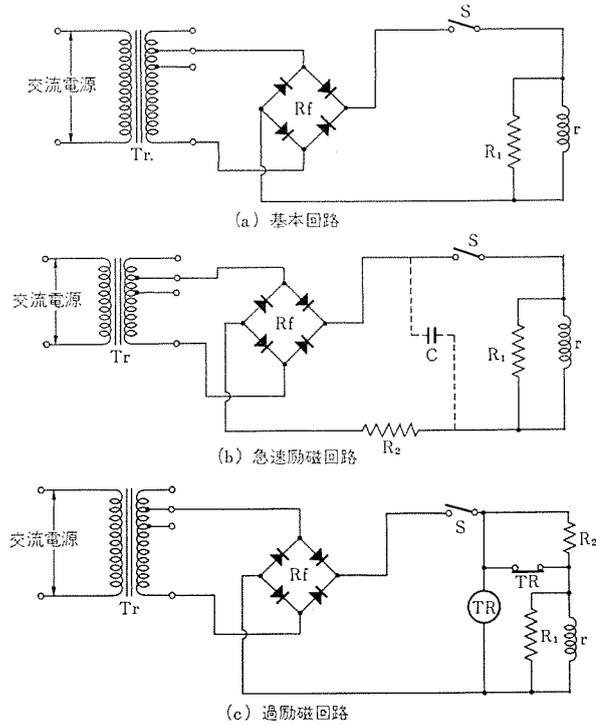
ることがある。急速励磁方式はクラッチに直列抵抗を入れて、電圧印加時の電流時定数を短くする方法である。普通この値はクラッチ抵抗の2~3倍に選定する。さらにコンデンサを入れると直列抵抗を入れたばあいより、コンデンサの放電電流がクラッチコイルに流れるためさらに吸引を早めることができる。過励磁方式は、この直列抵抗を最初

短絡しておいて過電圧でコイルを励磁し、一定時間後この抵抗を入れて定格電圧に切替える方式である。図3.12にはNEA-20形電磁クラッチについての実測例を示すが、大幅にトルク立上り時間が短くなっていることがわかる。これら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。

3.3.3 熱容量

電磁クラッチで機械を操作するとき、摩擦面でのスリップによるエネルギー損失は摩擦熱に変換される。この発生熱が過大なときは焼付き、あるいは異常摩耗などを生ずる。

乾式クラッチではこの摩擦熱は大気中に放散されるが、一例としてNEA-10形電磁クラッチの連続運転による摩擦面の温度特性を、図3.13に示す。これは連結仕事を一定値とし回転数、ひん度を変え



S:スイッチ Tr:トランス Rf:整流器
r:クラッチコイル R1:保護抵抗器
R2:直列抵抗器 TR:タイマ C:コンデンサ

図 3.11 励磁回路
Excitation circuit

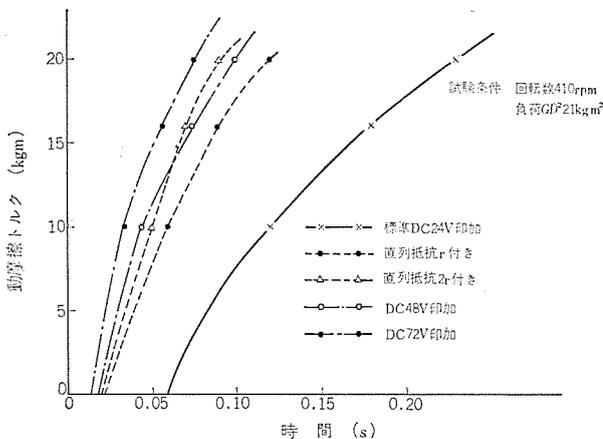


図 3.12 NEA-20形電磁クラッチトルク立上り特性
Torque build up characteristics (Type NEA-20).

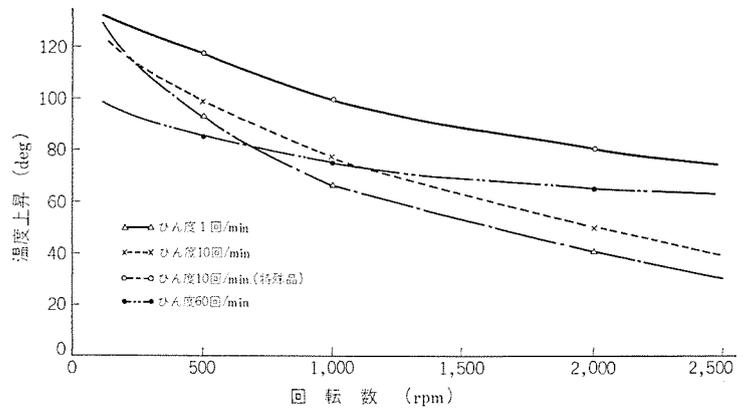


図 3.13 摩擦面の温度上昇特性
Temperature rise characteristics of friction face.

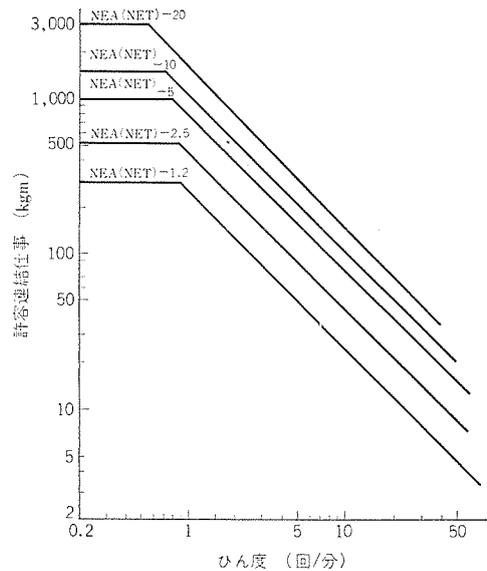


図 3.14 許容連結仕事 (NEA形)
Allowable engaging energy diagram (Type NEA)

表 3.1 NEA形電磁クラッチ性能
List of characteristics of type NEA electromagnetic clutch.

形名	静摩擦トルク kg·m	コイル (75°C)			アマチュア吸引時間 S	トルク立上り時間 S	トルク消滅時間 S	GD ² (kg·m ²)		重量 kg	許容摩耗体積 cm ³
		電流 A	電力 W	時定数 S				ロータ側			
								アマチュア側	アマチュア側		
NEA(T)-1.2	1.2	0.55	13	0.04	0.02	0.04	0.04	1.7×10^{-3}	1.8×10^{-3}	2.0	6.0
NEA(T)-2.5	2.5	0.60	15	0.06	0.02	0.07	0.05	6.6×10^{-3}	5.4×10^{-3}	3.2	22
NEA(T)-5	5	0.90	22	0.08	0.04	0.09	0.06	1.9×10^{-2}	2.1×10^{-2}	5.5	53
NEA(T)-10	10	1.3	32	0.10	0.05	0.12	0.09	5.6×10^{-2}	5.1×10^{-2}	11	70
NEA(T)-20	20	1.6	39	0.16	0.06	0.18	0.11	1.1×10^{-1}	1.1×10^{-1}	17	110

(電圧 DC 24 V)

(注) ※動端形 (NET) はこの値の6%です

たものであるが、当然これら使用条件により温度は種々変化する。NEA 形電磁クラッチの摩擦面での許容温度は、このような各種実用状態における試験とか、実績により 100°C としている。

なおこの種の乾式クラッチでは、連結作動することによりある程度の摩耗は避けられない。しかも温度以外に周速・スリップ距離などにより摩耗量は変化するので、当社はこのような条件を考慮して、許容連結仕事を定めている (図 3. 14 参照)。

3. 3. 4 寿命

前述のとおり乾式クラッチの摩擦面は、使用により摩耗が進行する。したがって使用にあたっては、許容連結回数を検討し適正な使用状態かどうか検討する必要がある。この連結回数についての計算式は下記のようになる。

$$N = \frac{V}{E \cdot W}$$

ここで N : 総連結回数

V : 許容摩耗体積 (cm³)

E : 1 回の連結仕事 (kgm)

W : 摩擦面の摩耗率

このうち V 値は機種ごとに設定され、また E 値は負荷条件によって異なる。しかし W 値は、サイズ・面圧・すべり速度などにより異なるので、各種耐久試験で確認している。たとえば NET-5 形電磁クラッチでは、動作回数 500 万回で摩耗は 2.6 mm であった。

その他に NET-2.5 形電磁クラッチ、NET-20 形電磁クラッチなどでも、耐久試験を行ない良好な結果を得ている。

当社ではこれらの結果に基づき摩耗率は $4 \sim 8 \times 10^{-7}$ cm³/kgm とし、使用条件によって使いわけている。なお許容摩耗体積は、表 3. 1 に示している。

4. LBH 形電磁ブレーキ

4. 1 概要

各種機械で停電時の急停止、あるいは機械休止時の保持用として、無励磁作動形電磁ブレーキの使用が多くなってきている。この LBH 形電磁ブレーキは通電によってブレーキを開放し、通電を断つとスプリング力で制動がかかるいわゆるスプリング作動形で、機械の安全性を高めるためには不可欠なものである (図 4. 1 参照)。

当社ではこれらにこたえるべくつぎのような特長を折り込んだ、乾式・複板形の新しい電磁ブレーキとその電源装置を開発した。

(1) 応答性を高めるため電磁コイルの AT と、スプリング力の最適設計をおこなうとともに、サイリスタを使用した自動 2 段電圧切換方式の新しい電源装置をセットとして開発した。

(2) 耐久性を高めかつ保守を容易にするため、ライニング材料を十分吟味し、かつ電源装置でキャップの増大による吸引力低下をカバーしている。また万一使用中で調整が必要になったときは、容易

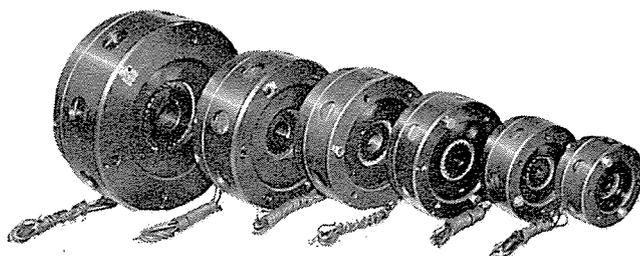


図 4. 1 LBH 形電磁ブレーキ
Type LBH electromagnetic brake.

に行なえる構造とした。

(3) 基本構造を複板形として熱放散をよくし、かつスプラインとピン構造を組み合わせて確実な動作を行なうようにした。

(4) 電源装置は LBH 全機種に共用でき、また小形・安価なトランスレスサイリスタ制御方式を採用し、各種の安全設計を施した。

4. 2 構造と仕様

LBH 形電磁ブレーキの構造図を図 4. 2 に示す。

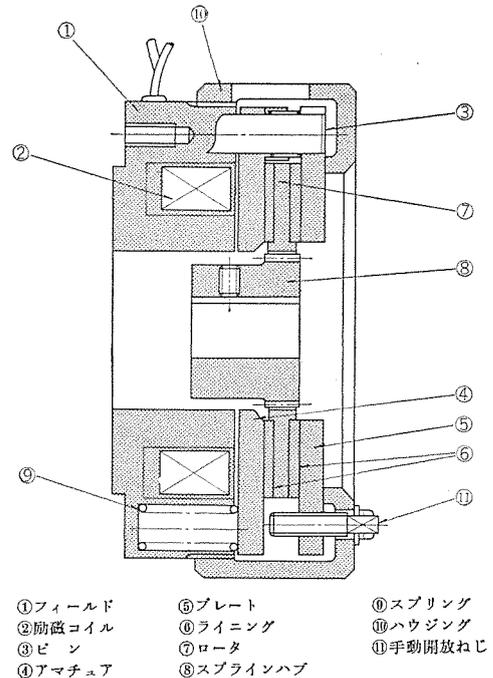
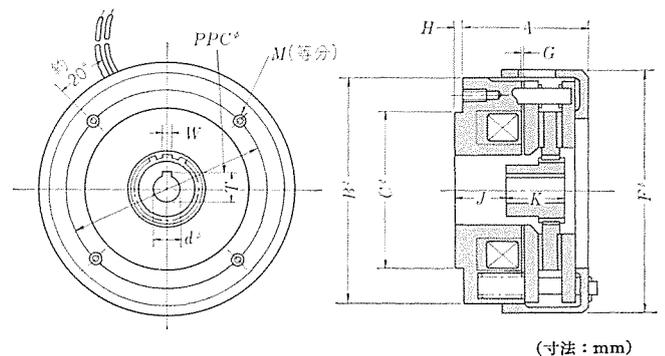


図 4. 2 LBH 形電磁ブレーキ構造
Construction of type LBH electromagnetic brake.



形名	A	B	C (H7)	d (H7)	F	G	H	J
LBH-0.6	55	102	70	12	110	0.2	3	22
LBH-1.2	59	118	85	15	128	0.2	3	20
LBH-2.5	65	146	105	20	156	0.3	4	25
LBH-5	75	166	120	25	173	0.3	4	30
LBH-10	85	186	140	30	200	0.4	5	28
LBH-20	97	234	170	40	250	0.4	5	26
LBH-40	113	272	200	50	295	0.5	5	26

形名	K	M			P	T (+0.2 0)	W (F7)	重量
		ねじ径	本数	深さ				
LBH-0.6	25	6	4	10	85	13.5	4	2.5
LBH-1.2	28	6	4	10	100	17	5	4
LBH-2.5	30	8	4	15	125	22	5	6
LBH-5	35	8	4	15	146	28	7	10
LBH-10	43	10	4	18	165	33	7	20
LBH-20	55	12	4	25	202	43.5	10	30
LBH-40	68	12	4	25	235	53.5	12	45

図 4. 3 LBH 形電磁ブレーキ外形寸法
Dimensions of type LBH electromagnetic brake.

表 4.1 LBH 形 電 磁 ブ レ ー キ 性 能
List of characteristics of type LBH electromagnetic brake.

(電 圧 DC 24 V)

形 名	定格トルク kg·m	コイル仕様 (75°C)		トルク立上り時間 (sec)		トルク消滅時間 (sec)		摩 耗 特 性				回転部 GD ² kg·m ²
		電 流 A	電 力 W	定 格 励 磁 直 流 切	ZKL 電 源	定 格 励 磁	ZKL 電 源	最 大 吸 引 ギ ャ ッ プ mm	調 整 1 回 当 り 摩 耗 量 mm	調 整 1 回 当 り 仕 事 量 kg·m	ロ ー タ 寿 命 摩 耗 量 mm	
LBH-0.6	0.6	0.69	14	0.055	0.085	0.050	0.013	0.5	0.3	3.0×10 ⁶	2	0.00045
LBH-1.2	1.2	0.75	18	0.055	0.083	0.080	0.020	0.5	0.3	4.5×10 ⁶	2	0.00111
LBH-2.5	2.5	0.97	23	0.058	0.080	0.130	0.030	0.6	0.3	6×10 ⁶	2	0.00307
LBH-5	5	1.33	32	0.060	0.080	0.200	0.048	0.6	0.3	8.0×10 ⁶	2	0.00576
LBH-10	10	1.62	39	0.068	0.100	0.250	0.065	0.8	0.4	1.1×10 ⁷	2.5	0.01082
LBH-20	20	2.18	50	0.080	0.110	0.340	0.085	0.8	0.4	1.5×10 ⁷	2.5	0.02852
LBH-40	40	3.13	75	0.100	—	0.420	—	1.0	0.5	2.0×10 ⁷	3	0.06226

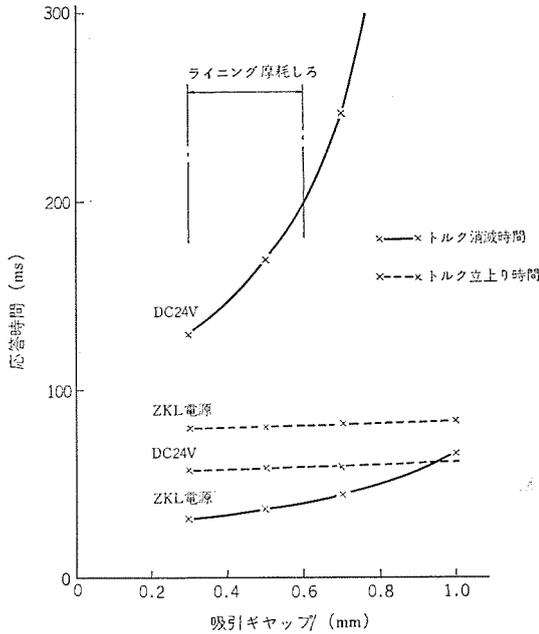


図 4.4 LBH-2.5 形 電 磁 ブ レ ー キ 応 答 特 性
Response characteristics of type LBH-2.5
electromagnetic brake.

(1) 励磁コイルを内蔵したフィールドには数個の Springs がそう入され、アマチュア、プレート、ハウジングとともに静止部を構成している。また両面にライニングをはったロータと、スプラインハブで回転部を構成している。

(2) コイルに通電しない状態では Springs の力でロータをアマチュアプレート間に圧着し、その摩擦力で制動力が発生する。コイルに通電すると、吸引力が Springs 力に打ち勝ってアマチュアをフィールドに引きつけ、アマチュアプレート間にわずかの間げきが生じブレーキが開放される。LBH 形電磁ブレーキを開放するためには強力な吸引力が必要で、さらにライニングが一定量摩耗しても十分動作するよう設計的に考慮している。

(3) ライニングの摩耗が進行し、ある値以上になると、フィールドアマチュア間の空げきを調整する必要があり、このためフィールドにねじかん合したハウジングが設けてある。また通電しないときでもブレーキが開放できるように、手動開放用のねじを設けている。この外形寸法を図 4.3 にまた性能を表 4.1 に示す。

4.3 性 能

4.3.1 トルク特性

LBH 形電磁ブレーキの制動トルクは、Springs の力によって決まり励磁電流によって制御することはできない。このブレーキのトルク表示は静摩擦トルクで行なっている。動摩擦トルクは NEY 形電磁ブレ

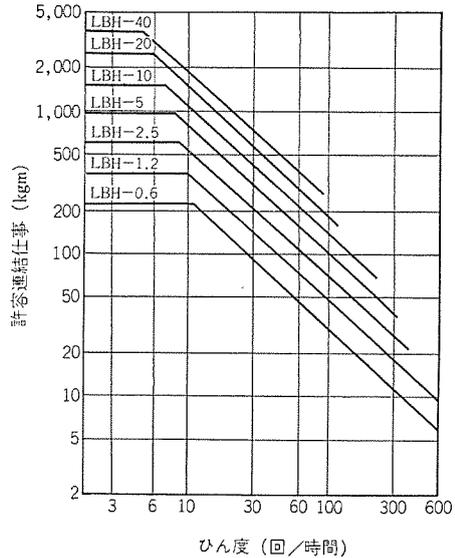


図 4.5 許 容 連 結 仕 事 (LBH 形)
Allowable engaging energy diagram (type LBH).

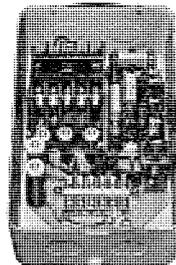


図 4.6 ZKL 形 電 源 装 置
Type ZKL control box.

ーキと同じ傾向を示す。

4.3.2 動作特性

図 4.4 に LBH-2.5 形の動作特性を示す。図から明らかなようにトルク立上り時間は、吸引ギャップによってほとんど変化しないが、トルク消滅時間は吸引ギャップが大きくなるほど大きく変化する。ある値以上になると動作しなくなる。後で説明する ZKL 形電源装置は、LBH 形電磁ブレーキのこのような欠点をカバーするために開発されたものである。

4.3.3 熱容量と寿命

図 4.5 に許容連結仕事を、また表 4.1 に標準電圧 DC 24 V で使用したときのライニング摩耗量および仕事量を示す。

許容連結仕事はライニング摩耗を基準にとり、摩耗調整時間が 1,000 時間となるよう設定している。したがって実際の負荷に対して摩耗調整期間を推定するときは次式で計算できる。

$$T = 1,000 \times \frac{E_0}{E}$$

ここで E_0 : 許容連結仕事

E : 負荷連結仕事

4.4 ZKL 形 電源装置

この装置は AC 200 V 50/60 Hz の電源から、サイリスタ・整流器・リレーを通して LBH 形 ブレーキの励磁コイルの通電制御を行なうようにしたものである (図 4.6 参照)。

サイリスタはその点弧位相制御を行なうことによって、通電初期の 0.2~0.3 秒間だけ励磁コイルに約 3 倍定格の過電圧を与え、その後 1/2 定格電圧に自動切換えするようになっている。

このため LBH は確実に動作するとともに励磁コイルの過熱が防止され、またリレーも弱励磁電流をしゃ断すればよいので接点寿命が長くなる利点がある。

このように AC 200 V 系電源から降圧トランスを介さずに DC 12 V 程度の微小電圧を得るばあい、電源電圧の変動や周波数の相違による出力変化を少なくすることが重要であり、ここでは独自の安価な点弧回路方式を考案することによりこの問題を解決している。

そのほか、誤配線によるサイリスタの絡短防止回路、通電しゃ断時に電源と励磁コイルの間の絶縁を計るなどの安全設計が施され、LBH 形以外のクラッチ・ブレーキに対しても効果的な使用が行なわれている。

5. 応 用 品

前述の電磁クラッチ・ブレーキを利用した応用機種は、つぎの 5 機種を標準化している。

5.1 クラッチ・ブレーキユニット

商品名を「マグパック」と称し、フレーム内にクラッチ・ブレーキを内蔵したものである。クラッチ・ブレーキを単体で使用する際よく問題になる心出し、ギャップ調整はいっさい不要である。図 5.1 のように入力・出力側ともシャフトが出ており、相手機械または原動機側とは弾性カップリングまたはプーリなどで連結できる。したがって、取付け・取扱いはモートルと同様であると考えればよい。

5.2 モートル付きクラッチ・ブレーキユニット

上記「マグパック」とフランジモートルを組み合わせたもので、マグパックでの入力側シャフトはモートルシャフトで代用している。軸方向寸法が非常にコンパクトにまとまるとともに、取扱いがいつも楽になる。高ひん度動作の用途を対象にしたものである。

5.3 正逆転ユニット

これはコンパクトなケースに、正転用クラッチとタイミングプーリ、逆転用クラッチにはギヤをそれぞれ組み合わせたものである。このクラッチには、相互に切換えることによって入力軸は一方に回転したまま、出力軸回転方向を正転・逆転とくり返すことができるユニット品である。このように非常にシンプルな機構を採用しているので部品数が少なく、またギヤ音についてはプラスチック製ギヤと鉄製ギヤを組み合わせることによってきわめて小さくなっている (図 5.2 参照)。

5.4 プーリ付き電磁クラッチ

これはクラッチとプーリを一体とし、プーリ下にはベアリングを内蔵し

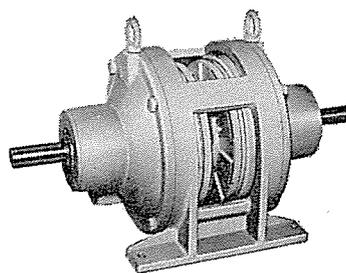


図 5.1 NUK-20 形 マグパック
Type NUK-20 MAGPAC.

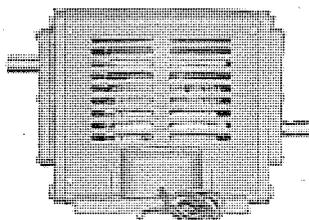


図 5.2 正逆転ユニット
Reversing unit.

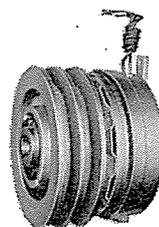


図 5.3 プーリ付き電磁クラッチ
Electromagnetic clutch with pulley.

取付けを簡素化したユニット品である。シャフト径は標準モートルの大きさに合わせてあるので、モートルと組み合わせれば簡単にクラッチモートルとなり、インチャング操作や高ひん度の連結用に適している。また L 形スパナが 1 本あれば負荷軸・中間軸に簡単に取付けることができる (図 5.3 参照)。

5.5 ベアリング付き電磁ブレーキ

これはベアリングを内蔵してブレーキ全体をあらかじめ組み立ててあるため、取付けに手間がいらず、ヨーク固定用フレームの心出しも不要な簡易取付けタイプである。負荷軸の任意の位置にキー止めした後、機械側フレームの適当な位置にアングル材などを橋渡しとしてブレーキを固定すればよい。

6. む す び

以上当社の最新の乾式電磁クラッチ・ブレーキおよびその応用品について述べた。これらの電磁クラッチ・ブレーキは機械構造の簡単化、性能の向上に役立つものであるが、その応用範囲が広く多岐にわたっており、ますます機械系システムの要素として機械と融合化してきている。

また今後はクラッチ・ブレーキを用いた応用品が望まれるようになり、制御器と組み合わせたソフトウェア技術の開発が進むことが考えられる。

ヒステリシスクラッチ・ブレーキ

車戸 秀男*・井上 馨*・岡本 清秀*・浜田富美雄*

Hysteresis Clutches and Brakes

Himeji Works Hideo KURUMADO・Kaoru INOUE・Kiyohide OKAMOTO・Humio HAMADA

As the field of application of electromagnet clutches expands, the friction type used as main products in the past can hardly meet the requirements in the point of precision and durability in a certain sphere of work. Solution to this problem has been sought by the development of hysteresis clutches transmitting torques by purely electromagnetic operation. As this new device is of no-contacting type, it has not only accurate operation but also semi-permanent life, the features being epochal compared with the conventional friction type. It may be claimed that this new product is advancement of a step toward the goal of contactless electromagnetic clutches.

1. ま え が き

電磁クラッチの応用分野が広がるにもなると、その使用条件が高速化、高ひん(頻)度化され、かつ精度の高い動作が要求されるようになってきた。これらの要求にこたえるために、従来の機械的な摩擦力でなく純電磁的にトルクを伝達するヒステリシスクラッチ・ブレーキを開発した。

このクラッチ・ブレーキは非接触形であるが、動力伝達の媒体にパウダ(磁性粒子)を使用したパウダクラッチとほぼ同じ特性をもっている。しかし非接触形であるため、パウダクラッチ、摩擦式電磁クラッチなどに対し数多くの特長をもっている。とくに、摩耗する部分がなく寿命が半永久的であるということは、従来の摩擦式電磁クラッチではどうしても実現できなかったことである。今後ますますきびしい条件が要求されると考えられる電磁クラッチの応用分野での活躍が大いに期待できる。

ここでは特長、原理、構造、特性、応用例について説明する。

2. 特 長

ヒステリシスクラッチは、従来の摩擦式電磁クラッチに対して次のような特長をもっている。

- (1) 非接触方式のための半永久的寿命。
- (2) スリップ回転数に関係なく、励磁電流に比例したトルク特性と制御性の良さ。
- (3) トルクの安定性、反復性の良さ。
- (4) 動作面周速の無制限使用の可能(ただしベアリングの許容値で制限される)。
- (5) 大きい熱容量と広範囲なトルク制御性

また以上の他に、非接触形電磁クラッチの一種として従来から使用されている渦電流式と比べると、次のような特長がある。

- (1) スリップ回転なしでトルク伝達が可能。
- (2) 連続スリップで使用したとき回転子の温度上昇にもなう伝達トルクの低下がない。

3. 構造と動作原理

図 3.1 にしめすようにヒステリシスクラッチはステータ、第1回転子および第2回転子の三つの部分からなっている。ステータはその内部に励磁コイルをもち、第1回転子は内外二つの磁極をもっている。そ

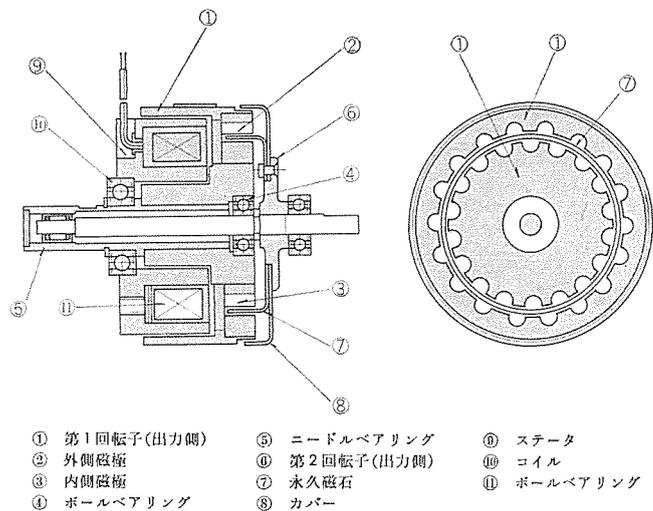


図 3.1 ZHA 形 ヒステリシスクラッチ 構造図
Construction of type ZHA hysteresis clutch.

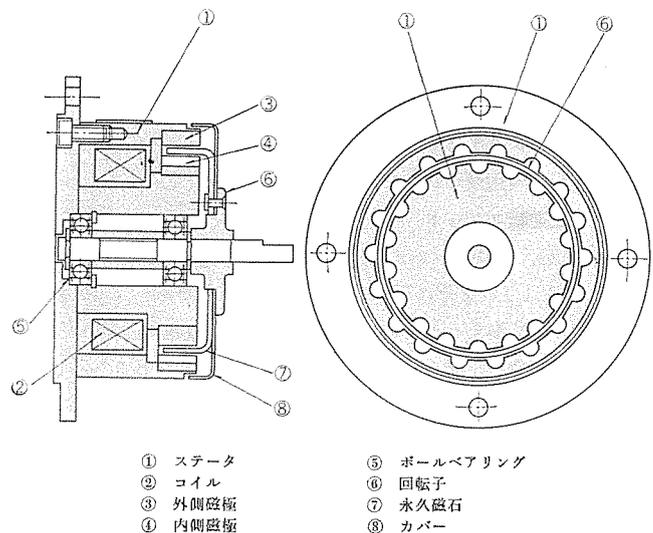


図 3.2 ZHY 形 ヒステリシスブレーキ 構造図
Construction of type ZHY hysteresis brake.

これらの磁極の間にカップ状永久磁石(着磁されていない)の第2回転子はいっている。

いま、第1回転子を回転して励磁コイルを励磁すると、第1回転子の内外の磁極で構成される空けき(隙)に回転する磁場が発生し、その空けきにおかれた第2回転子の永久磁石は磁化されるが、永久

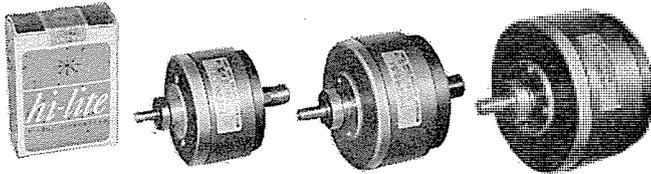


図 3.3 ZHA 1.2 A, ZHA 2.5 A および ZHA 5.0 A 形ヒステリシスクラッチ
Type ZHA 1.2 A, ZHA 2.5 A, and ZHA 5.0 A hysteresis clutches.

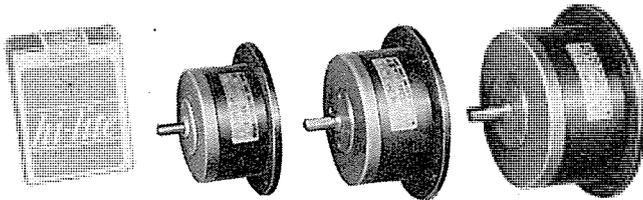


図 3.4 ZHY 1.2 A, ZHY 2.5 A 形および ZHY 5.0 A 形ヒステリシスブレーキ
Type ZHY 1.2 A, ZHY 2.5 A, ZHY 5.0 A hysteresis brakes.

磁石にはヒステリシス特性があり、永久磁石の極性の変化は磁極のそれよりも遅れ、その結果、第1回転子と第2回転子が磁的に連結する。ヒステリシスブレーキはステータと第1回転子を固定したものであり、図 3.2 にその構造をしめす。

図 3.3, 3.4 はヒステリシスクラッチおよびブレーキの外観である。

4. 外形寸法とその仕様

表 4.1, 4.2 はヒステリシスクラッチブレーキの標準機種の外形寸法である。また表 4.3 はそのおもな仕様である。

5. 特性

5.1 励磁電流対トルク特性

ヒステリシスクラッチの伝達トルクを解析すると次のようになる。

第2回転子の永久磁石が第1回転子の内外の磁極によって磁化される体積を $V(\text{cm}^3)$ 、永久磁石をつくっている材料によってえがかれる B-H 曲線（ヒステリシス曲線）の面積、すなわちヒステリシス損を W 、第1回転子の極数を N とすると、クラッチが一回転スリップすることによって失われる仕事は、スリッピングトルク $T(\text{kgcm})$ と 2π の積となるので

$$2\pi T = N \cdot W \cdot V \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

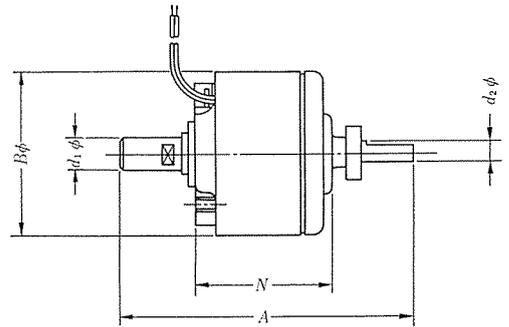
となり、伝達トルク T は

$$T = \frac{N \cdot W \cdot V}{2\pi} (\text{kgcm}) \quad \dots\dots\dots(5.2)$$

となる。式 (5.2) から明らかなように励磁電流を変化させれば、第2回転子の永久磁石の B-H 曲線の面積が変化するので、伝達トルクの値は励磁電流によって簡単に制御できる。

図 5.1 は励磁電流対トルク特性である。定格電流 100% に対しトルクは定格の 120~130% まで得られ、定格電流の 5% から 100% までの範囲ではトルクは励磁電流にほぼ比例し、制御性のよい特性が得られる。またトルクの伝達力が摩擦力でなく純電磁的な原理であるため、励磁電流に対するトルクの安定性、電流変化に対するトルクの反復性は非常に良好である。なお励磁電流の増減時におけるトルクのヒステリシスの幅は、定格トルクの数%以下であり実用上無視できる値である。

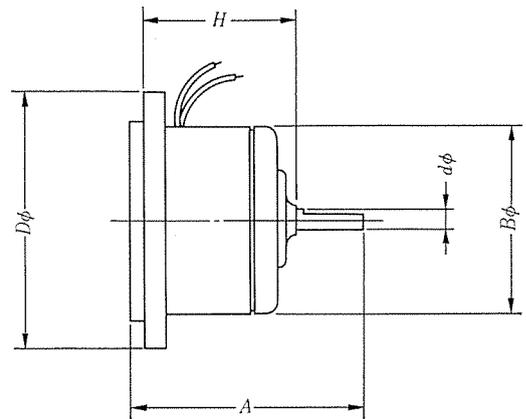
表 4.1 ZHA 形ヒステリシスクラッチ外形寸法
List of dimensions of type ZHA hysteresis clutches.



単位 (mm)

形名	A	B	d ₁ (h7)	d ₂ (g6)	N
ZHA-1.2 A	92	63	12	6	45
ZHA-2.5 A	103	74	14	7	50
ZHA-5 A	117	88	16	8	57

表 4.2 ZHY 形ヒステリシスブレーキ外形寸法
List of dimensions of type ZHY hysteresis brakes.



単位 (mm)

形名	A	B	D	d (g6)	H
ZHY-1.2 A	58	63	86	6	42
ZHY-2.5 A	65	74	98	7	47
ZHY-5 A	76	88	110	8	55

表 4.3 ヒステリシスクラッチブレーキのおもな仕様
List of rated value of hysteresis clutches and brakes.

電圧 DC 24 V

形名	定格トルク kgcm	定格電流 A	消費電力 W	第1回転子 GD ² kgm ²	第2回転子 GD ² kgm ²	重量 kg	
ク ラ ッ チ	ZHA-1.2 A	1.2	0.36	9	6.0×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻⁴	0.8
	ZHA-2.5 A	2.5	0.52	12.5	14.0×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻⁴	1.2
	ZHA-5 A	5	0.62	15	33.1×10 ⁻⁴	6.0×10 ⁻⁴	1.8
ブ レ ー キ	ZHY-1.2 A	1.2	0.27	6.5	—	1.2×10 ⁻⁴	0.7
	ZHY-2.5 A	2.5	0.30	8	—	2.6×10 ⁻⁴	1.1
	ZHY-5 A	5	0.46	11	—	6.0×10 ⁻⁴	1.6

5.2 スリップ回転数対トルク特性

図 5.2 は ZHA-2.5 A 形クラッチのスリップ回転数対トルク特性である。この図からも明らかなように、励磁電流が一定であればスリップ回転数に関係なく一定なトルクが得られる。しかし、正確にいえば定格電流の近辺では、スリップ回転数の増加によってスリッピングトルクは多少増加する。これは渦電流損の影響によるものである。この影響を最小限にとどめるため電気抵抗の大きい永久磁石材料を使用する必要がある。

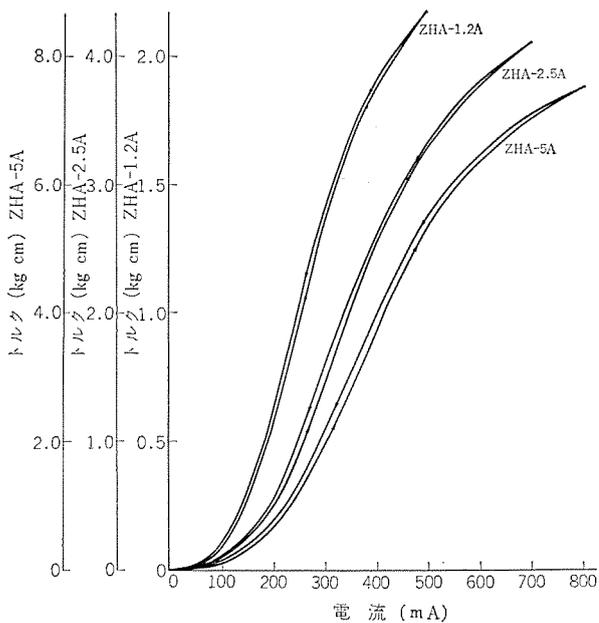


図 5.1 ZHA 形 ヒステリシスクラッチ 励磁電流対トルク特性
Characteristics of exciting current and torque of type ZHA hysteresis clutch.

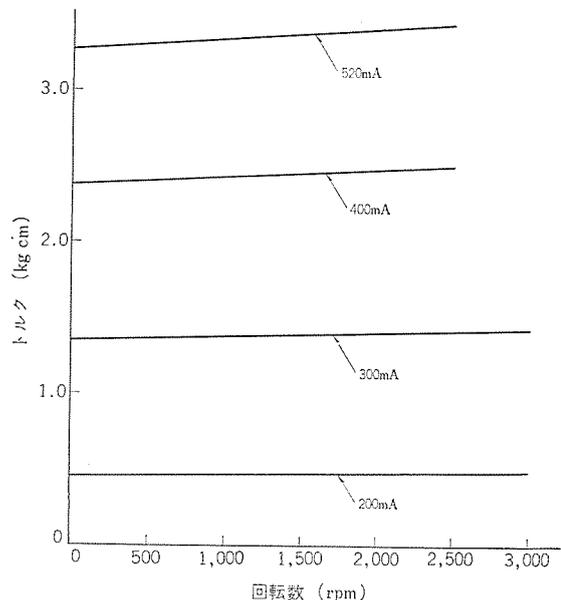


図 5.2 ZHA 2.5 A 形 クラッチ のスリップ回転数対トルク特性
Characteristics of slip speed and torque of type ZHA 2.5 A hysteresis clutch.

このようにスリップ回転数に関係なく一定のトルク特性がえられるが、これはパウダクラッチのばあいと同じであり、この特性は張力制御用としては、理想的なものである。また摩擦式クラッチと同じように、スリップ回転が零でもトルクが伝達できるので負荷との完全連結も可能である。

5.3 温度上昇特性と許容スリップ工率

ヒステリシスクラッチを張力制御や速度制御用として連続スリップ状態で使用したとき、永久磁石中にヒステリシス損による熱が発生する。いま、ヒステリシスクラッチを発熱体と考えると周囲温度に対する温度上昇 $\theta(^{\circ}\text{C})$ と時間 $t(\text{s})$ との間には

$$\rho dt = Cd\theta + Hdt \dots\dots\dots (5.3)$$

または

$$C \frac{d\theta}{dt} + H\theta = Q \dots\dots\dots (5.4)$$

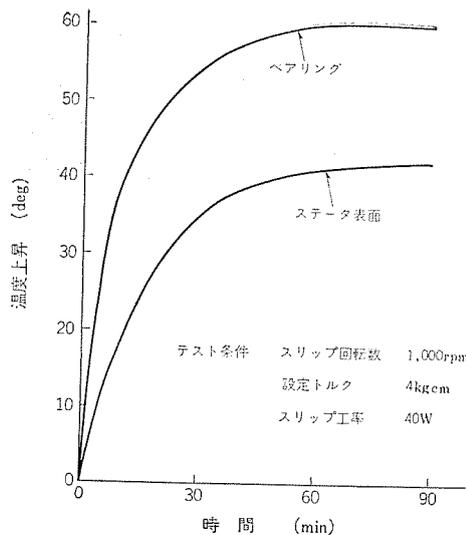


図 5.3 ZHA 2.5 A 形 クラッチ の温度上昇特性
Characteristics of temperature of type ZHA 2.5 A hysteresis clutch.

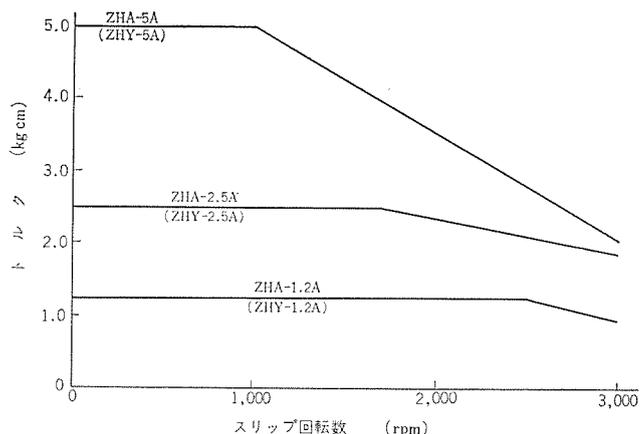


図 5.4 ZHA 形 ヒステリシスクラッチ の許容連結スリップ工率範囲
Type ZHA hysteresis clutch allowable continuous slipping power.

の関係が成立する。

ここに

Q : スリップ損失による毎秒の発熱量 (W/s)

C : 熱容量で各部の比熱と重量の積 (W·s/ $^{\circ}\text{C/g}$)

H : 全体の放熱係数(各部の放熱係数と表面積の積) (W/ $^{\circ}\text{C}$)

最初の温度を $Q(^{\circ}\text{C})$ 、最終温度上昇を $\theta_{\infty}=Q/H$ 、 $\tau=C/H$ とすると、任意時間 t における温度上昇は

$$\theta = (\theta_{\infty} - \theta_0)(1 - e^{-t/\tau}) + \theta_0 \dots\dots\dots (5.5)$$

となる。すなわち最終温度はスリップ仕事 Q に比例し、クラッチの放熱係数 H に反比例する。

図 5.3 は ZHA-5 A 形 クラッチ のトルクを 4 kgcm に設定し、スリップ回転数 1,000 rpm で連続スリップさせたときの温度上昇特性である。

ヒステリシスクラッチは非接触形のため、動作面の最終温度上昇を制限する必要はないが、ベアリングのグリースの耐久性によって最終温度上昇を制限している。グリースの連続使用可能温度は 120 $^{\circ}\text{C}$ であるので、グリースの温度上昇値は 80 $^{\circ}\text{C}$ を限界としている。このときのステータの温度上昇値は 60 $^{\circ}\text{C}$ 程度である。なお、永久磁石の温度上昇にともなう磁気特性の変化はないので、電流を制御すれば正確なトルク制御が可能である。

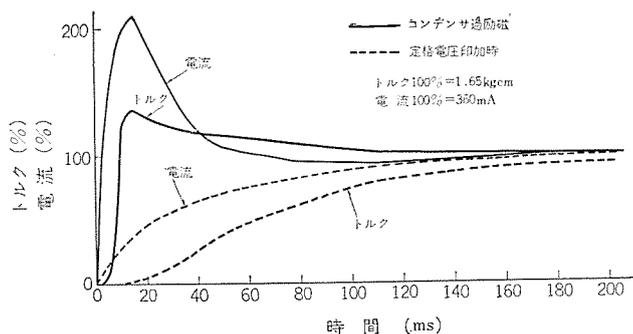


図 5.5 ZHA 2.5 A 形 ヒステリシスクラッチの立ち上り特性
Characteristic of torque pick up time of type ZHA 2.5 A hysteresis clutch.

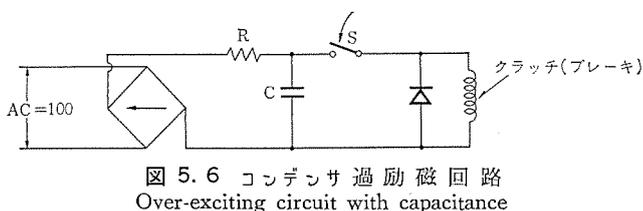


図 5.6 コンデンサ過励磁回路
Over-exciting circuit with capacitance

表 5.1 ヒステリシスクラッチのトルク立ち上り時間
List of torque pick up time of hysteresis clutch.

	単位 ms			
	定格電圧印加時のトルク立ち上り時間		コンデンサ過励磁時のトルク立ち上り時間	
	63%	100%	63%	100%
ZHA-1.2 A	80	325	9	10.5
ZHA-2.5 A	92	400	10	18
ZHA-5.0 A	124	500	14	22

注) コンデンサは ZHA-1.2, 2.5 は 100 μ , ZHA-5 は 300 μ である

図 5.4 は、許容スリップ工率をスリップ回転数とトルクで表示したものである。たとえば ZHA-1.2 A 形では定格トルク 1.2 kgcm のときは、2,500 rpm まで連続スリップで使用できる。なお冷却フィンをつけ熱放散を大きくすれば、もっと許容範囲を大きくすることが可能である。

5.4 トルクの応答性

ヒステリシスクラッチは非接触形のため、摩擦式に対しトルクの応答性は遅いが、過励磁制御をすることによって摩擦式のそれとほとんど変わらない応答性にすることができる。

図 5.5 は ZHA-2.5 A 形クラッチのトルク立ち上り特性である。定格電圧を印加したときは、定格トルクの 63% に達する時間、すなわちトルク時定数が 92 ms である。これに対し図 5.6 でしめすコンデンサによる過励磁をおこなえば、10 ms 程度にすることができる。表 5.1 は各機種のトルク応答性である。定格励磁に対し、コンデンサによる過励磁制御をおこなえば応答時間は 1/8~1/10 まで速めることができる。

5.5 空転トルク

ヒステリシスクラッチは、数十回転以上のスリップ状態で励磁電流を切れば空転トルクは残らないが、第 1 回転子と第 2 回転子とのスリップがない状態で励磁を切ると、切る前のトルク値の約数%の空転トルクがリップル状態で残る。この空転トルクを除去するためには、次の方法がある。

(1) 停止させるばあいなどのように回転数が漸減しているときには、第 1 回転子と第 2 回転子（ブレーキのときはステータ）のスリップ回転数が 40~50 rpm 以上の状態の間に電流をシャ断する必要がある。また相対回転数がさらに低ければ電流を漸減させる。

(2) シャ断する前の電流値の 20~30% の電流を逆方向に流す。このばあい、第 1 回転子、第 2 回転子が互いにフリーであれば極がずれて逆励磁による消磁の効果がなくなるため、両回転体がずれないように固定する必要がある。

6. 応用例

ヒステリシスクラッチブレーキの用途を大別すると、張力制御、速度制御、動力吸収、高ひん度起動停止用となる。ここではこれらの例をあげて説明する。

6.1 張力制御

図 6.1 は、厚みが数ミクロンという金属はく(箔)のスリッティングマシン of 巻き取りに使用した例である。材料が非常に薄いので、高速で巻きとるには正確な微小張力が要求される。

ここでは、ヒステリシスクラッチの正確で安定したトルク特性が十分生かされている。また非接触のため従来のものより高速でのスリップ運転が可能となるので、巻きはじめと巻き終わりとの巻き比を大きくとれるなど機械の効率向上に役立っている。なおこの機械では制御器と組み合わせて、巻き径に反比例した張力になるようにしており、巻き上り製品の仕上りが最上となるようにはかっている。

この他、伸び縮みが大きいため高い張力精度が要求される化学繊維、0.06 ϕ ~0.1 ϕ という極細電線などの微小張力の制御にとくに適している。

図 6.2 はねん(撚)線機の張力制御にヒステリシブレーキを使用した例である。巻径に応じて励磁電流を漸減させて、巻き出し張力を一定に制御している。従来はパウダブレーキも使用されていたが、ブレーキ自身も回転体についていて遊星運動をするので、遠心力の影響を受け、回転数を制限する必要があったヒステリシブレーキでは、この影響を受けないので高速化できた例である。この他に電線加工機関係では、ガラステープのテーピング機に同じ理由で数多く採用され好評を得ている。

6.2 速度制御

図 6.3 は速度制御にヒステリシスクラッチとブレーキを使用した例である。ヒステリシスクラッチ自身には、ブレーキ作用がないのでヒステリシブレ

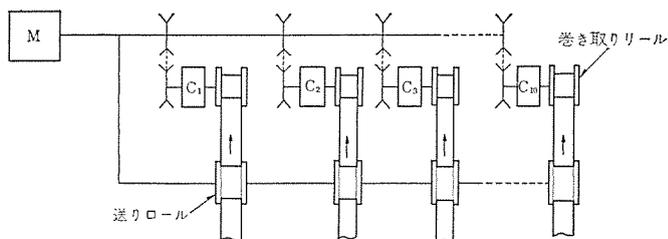


図 6.1 金属はくのスリッタの巻き取りの張力制御に使用した例
Example of application of slitting machine.

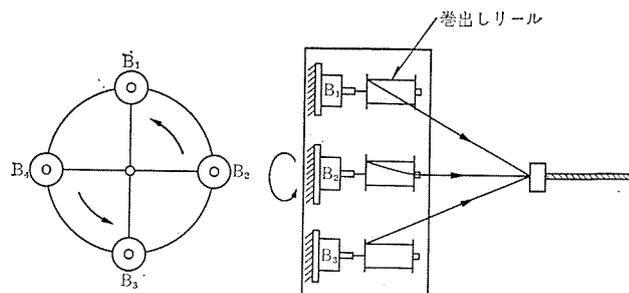


図 6.2 ねん(撚)線機の巻き出しの張力制御に使用した例
Example of application of twisting machine.

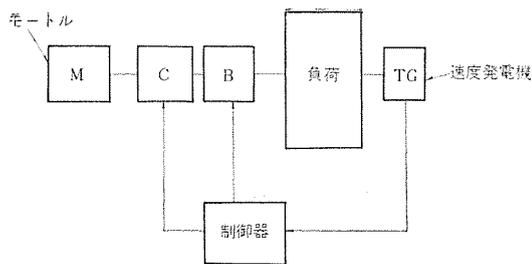


図 6.3 ヒステリシスクラッチ・ブレーキによる速度制御の原理図
Block diagram of speed control by hysteresis clutch and brake.

ブレーキを併用したものである。負荷側には速度発電機をとりつけ、その信号をフィードバックすることにより負荷の変動に対して速度変化率を最小限にしている。

またモータルの出力軸に取りつけたことにより、モータルの整流子やスロットの影響で発生する回転むらを完全にカットすることができる。したがって、低速から高速までの全域にわたってトルクむらのない回転数の制御が可能である。電子計算機をはじめとしたきびしい精度の要求される情報機器での応用が期待できる。

6.3 シミュレーションの負荷の動力吸収

ヒステリシスブレーキは、回転数に関係ない状態でトルク簡単にできるので、プログラム制御によってシミュレーション負荷をつくり出すことができる。またこのブレーキは摩耗する部分がないので、長時間にわたって安定した負荷をつくり出すことも可能である。したがって小形回転機器はもちろん、ギヤ、ベルトなどの動力伝達要素の耐久テストに簡単に応用できる。

6.4 高ひん度起動停止

6.3節までは連続スリップで使用するものであったが、クラッチブレーキ本来の機能である高ひん度の起動停止用としてはつぎのような応用がある。

2個のクラッチを正逆転用に使用した高精度な位置制御、クラッチとブレーキを組み合わせた高ひん度の間欠送り装置などがある。これらは従来摩擦式電磁クラッチが使用されてきたが、動作面の摩耗という

耐久性上の欠点があり、正確な動作を持続することが困難であった。しかし、ヒステリシスクラッチブレーキを過励磁することによってトルクの応答性を高め、摩擦式と同等にまで改良しおきかえうようになった。これによって機械の高速化とともにメンテナンスフリー化が可能となった。

以上簡単に応用例についてのべたが、ヒステリシスクラッチブレーキを使用することによって得られる利点をまとめるとつぎのようになる。

(1) 精度の高い製品が生産できる。とくに微小張力制御の分野で有効である。

(2) 機械の高速化が可能となり作業能率の向上に役立つ。

(3) 遠心力の働く場所、高真空中などの特殊な環境でも使用可能である。

(4) クラッチブレーキの保守がメンテナンスフリーであり、機械のかかる率があがる。

(5) 電子計算機などのように高精度が要求される情報機器では、回転部の機構が簡単となる。

7. む す び

このクラッチブレーキの問題点を要約してみるとつぎのようになる。

(1) 非接触形であるため、摩擦式クラッチに比較し寸法が大きくなる。先にのべた標準品のほかに特殊品としてトルク50kgcmのクラッチを製作したが、現在のところ経済性も考えるとこのへんが一応限界と考えられる。

(2) 第二回転子に使用している永久磁石は特殊な材料であり、かつ加工のむずかしいものである。

今後、このクラッチが発展するためには、画期的な性能をもち、かつ加工性のすぐれた永久磁石材料の開発による外形寸法の小形化が必要である。電気回路は半導体の出現によって急速に無接点化が進行したが、電磁クラッチについてもヒステリシスクラッチの開発をきっかけに今後の需要は非接触化の方面にも指向されるようになるであろう。

歯形電磁クラッチ

西野 廣*・西井勝巳*

Tooth Electromagnetic Clutches

Himeji Works Hiroshi NISHINO・Katsumi NISHII

Tooth electromagnetic clutches are the ones to transmit torques through the engaging of teeth to teeth. Differing from conventional type working with friction, they can transmit large torques with small sized devices and free from the trouble of drag torque and generation of heat by friction, which are distinctive features of the apparatus.

Mitsubishi has newly developed type NYA tooth electromagnetic clutches which are designed with ease of operation and adaptability to work in a wide range as a principal aim.

The article describes their construction, operation and transmissible torque, operating time, condition of coupling and other characteristic. Remarks in operation are also explained as well.

1. ま え が き

歯形電磁クラッチは、最も簡単で確実なクラッチとして古くから賞用されてきたジョークラッチを、遠隔・自動操作するようにした歯形かみ合い式クラッチである。

各種湿式・乾式電磁クラッチに加えて、今回新たにこの歯形電磁クラッチの新シリーズを開発した。このクラッチは従来の摩擦式電磁クラッチと異なり、つぎのような特長を折り込んで開発したので、機械のコンパクト化あるいは高精度化に大きな役割をはたすものと思われる。

- (1) 小形で大きなトルクが伝達できる。
 - (2) 湿式クラッチにみられる空転トルク、あるいは連結時のスリップ熱がないので発熱がほとんどない。
 - (3) コイル 静止形でかつベアリング付きとし、さらにギヤ取り付けなどの点で取扱いを容易にした。
 - (4) 回転中でも極力連結できるようにし、またクラッチ開放はどんな状態でもできる。
 - (5) 湿式・乾式いずれにも使用できる。
- 以下にこの NYA 形歯形電磁クラッチについて紹介する。

2. 構造と仕様

NYA 形歯形電磁クラッチの外観を図 2. 1 に、また構造を図 2. 2 に示す。

- (1) このクラッチの重要部分であるトルク伝達用の歯は、ドライブとアマチュアの外端面に設けている。これらは極力大きな台形かみ合い歯とし、しかも熱処理によって耐久性の向上を計っている。
- (2) コイルを備えたヨークは、シールドボールベアリングを介してドライブ部と一体構造にしている。またコイルの給電用端子を設けて、この部分の取付構造を簡単にしている。
- (3) アマチュアとアダプタとは、ネジとスプリングで一体構造にしている。クラッチの吸引ギャップは、このアダプタを機械側に取り付け、付属したカラーなどで寸法調整することによって確保するようになっている。

以上の構成において、直流 24 V を通電するとアマチュアがドライブ側に吸引され、その両体それぞれに切った歯がかみ合うことによってトルクを伝達する。通電を断つとアマチュアはスプリングによって、

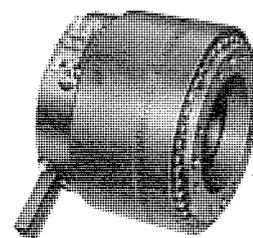
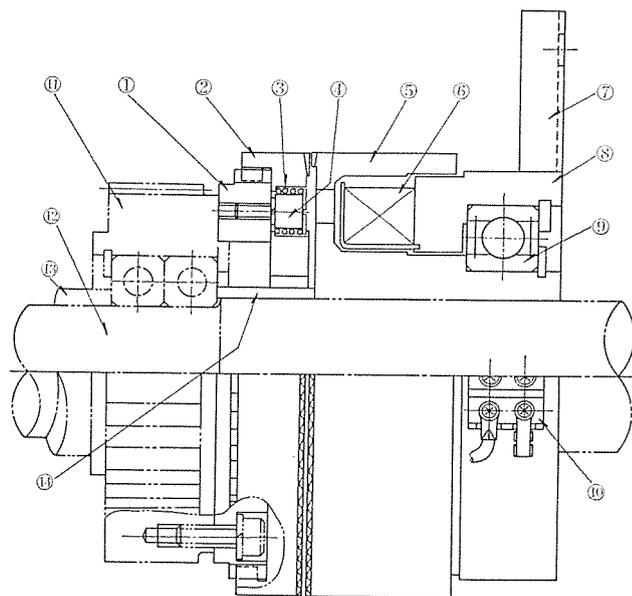


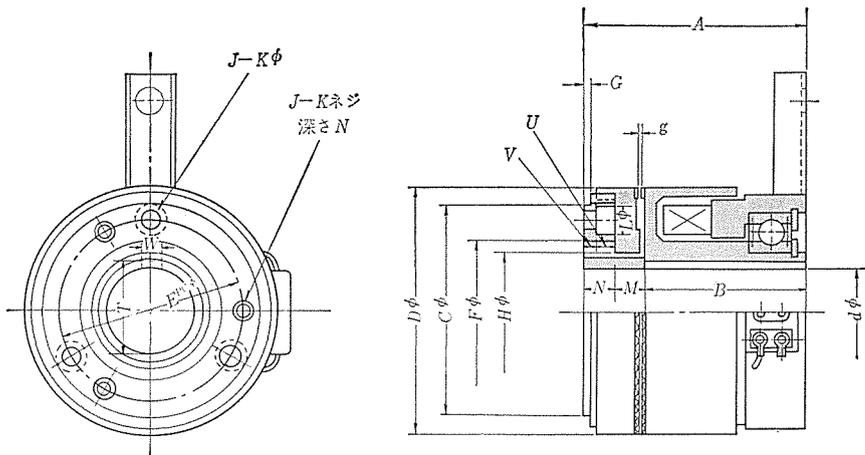
図 2. 1 NYA-10 形 歯形電磁クラッチ
Type NYA-10 tooth magnetic clutch.



品番	品名	品番	品名
1	アダプタ	8	ヨーク
2	アマチュア	9	ボールベアリング
3	スプリング	10	端子
4	ねじ	11	従動ギヤ (付属せず)
5	ドライブ	12	駆動軸 (付属せず)
6	コイル	13	カラー (付属せず)
7	ホルダ	14	カラー (付属する)

図 2. 2 NYA 形 歯形電磁クラッチ構造図
Construction of type NYA tooth magnetic clutch.

もとの位置に保持される。図 2. 3 に歯形電磁クラッチの外形寸法図を示す。



形名	A	B	C (h7)	D	d (H7)	E	F (H7)	G	g	H	J	K	k	L	M	N	$\frac{T}{(+0.1/0)}$	U	V	W (F7)
NYA-5	67	48	64	76	25	54	40	2	0.4	35	3	5.5	M5	10	9	10	28	7	3	7
NYA-10	75	55	72	86	30	62	48	3	0.4	40	3	5.5	M5	10	9	11	33	7	4	7
NYA-20	90	64	100	117	40	86	70	4	0.4	52	4	6.5	M6	13	12	14	43.5	9	5	12
NYA-40	110	78	116	138	50	100	80	5	0.4	64	4	8.8	M8	16	14	18	55	11	7	15
NYA-80	127	91	140	162	65	122	102	5	0.4	80	6	8.8	M8	16	16	20	71	12	8	18

図 2.3 NYA 形 歯形電磁 クラッチ 外形寸法図
Dimensions of type NYA tooth magnetic clutch

3. 性能

3.1 伝達トルク

歯形電磁クラッチのトルクは、クラッチを静止状態で定格励磁し、歯面が完全にかみ合ったとき伝達することができる最大トルクで表わし、伝達トルクと称する。

これは、近似的に次式で表わされる。

$$T = RP \tan(\alpha + \rho)$$

ここで T : 伝達トルク (kgm)

R : かみ合い部の平均半径 (m)

P : 電磁吸引力と リターンスプリング 力との差 (kg)

α : 歯面角度 (歯の底面と側面との鋭角) ($^{\circ}$)

ρ : 歯面の摩擦角 ($^{\circ}$)

ただし摩擦係数 $\mu = \tan \rho$

上式において限られた寸法範囲で大きなトルクをうるためには、 P あるいは α を最大にする必要があるが、 P は磁気回路上限界がある。また α はすぐれた動作特性を得るために台形とし、一般に $60 \sim 70^{\circ}$ の角度としている。

また ρ は α との関係で、わずかの变化でも大きく伝達トルクに影響するが、工作精度を十分確保して安定したトルクが得られるよう

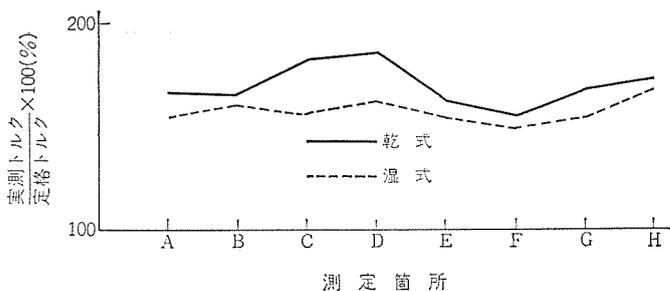


図 3.1 歯形電磁クラッチトルク特性
Torque characteristics of tooth clutch.

考慮している。したがってたとえば、同一クラッチを湿式と乾式とで使用しても、図 3.1 のようにほとんど差がない性能を得ているとともに、定格トルクに対しても十分余裕のある設計になっている。

3.2 動作特性

クラッチの歯面がわずかに相対回転する状態でコイルを励磁すると、

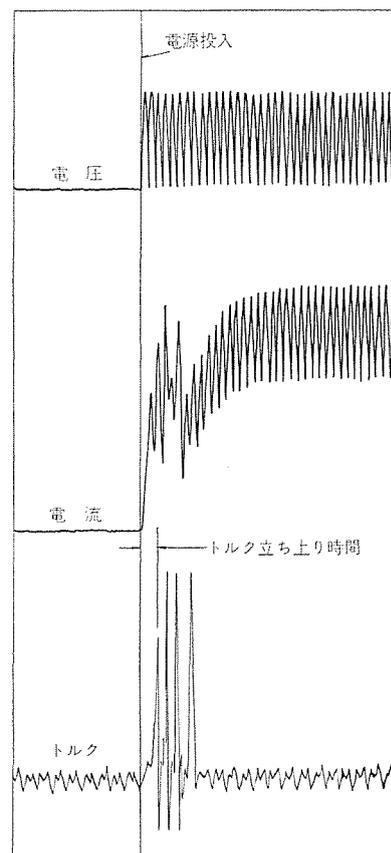


図 3.2 トルク立ち上がり特性
Torque build up characteristics.

表 3.1 NYA 形 齒 形 電 磁 ク ラ ッ チ 性 能 表
List of characteristics of type NYA tooth magnetic clutches

(電圧 DC 24 V)

形 名	伝 達 ト ル ク kg m	コ イ ル (75°C)			ト ル ク 立 上 り 時 間 s	ト ル ク 消 滅 時 間 s	GD ² (kg m ²)		重 量 kg
		電 流 A	電 力 W	時 定 数 s			ド ラ イ バ 側	ア ウ タ ド ラ イ バ 側	
NYA-5	5	0.8	19	0.015	0.020	0.030	1.3×10 ⁻³	1.5×10 ⁻³	1.6
NYA-10	10	1.0	23	0.020	0.025	0.040	2.8×10 ⁻³	2.6×10 ⁻³	2.1
NYA-20	20	1.5	35	0.040	0.050	0.070	1.1×10 ⁻²	1.1×10 ⁻²	4.7
NYA-40	40	1.8	42	0.060	0.070	0.090	3.0×10 ⁻²	2.6×10 ⁻²	8.0
NYA-80	80	2.1	51	0.085	0.100	0.110	7.0×10 ⁻²	5.7×10 ⁻²	12.4

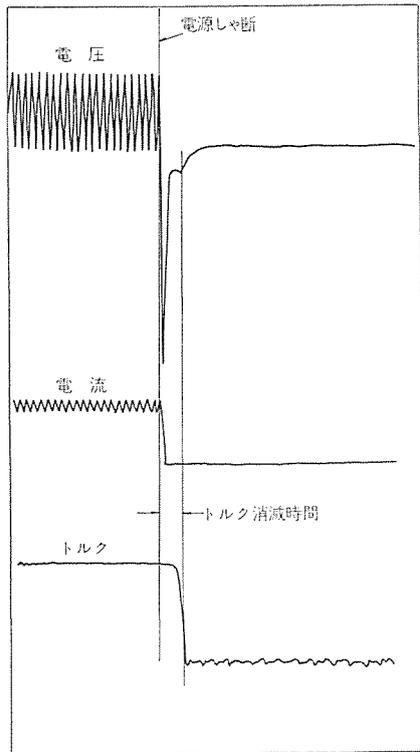


図 3.3 トルク消滅特性
Torque decaying characteristics.

クラッチ 電流・トルク とともに複雑な変化を示すが、その一例を 図 3. 2 に示す。

図中の電流の落ち込みは、回路のインダクタンスの変化、すなわちアマチュア吸引ギャップの変化を示し、またトルクの変化は歯面でのスリップを示す。このピークトルクの数だけ歯の山がスリップしたことになる。この試験では負荷トルクを零としているので、連結完了後のクラッチトルクは表われていない。

これらは連結時の条件、すなわち相対回転数・負荷 GD²・負荷トルクなど、さらに動作時のドライバとアマチュアの歯の相対位置によって変化する。表 3. 1 は一定の試験条件のもとでの測定結果を示す。トルク立上り時間は、定格トルクの 80% に達するまでの時間としているが、初期のピークトルクを基準にして決めている。

一方クラッチの切れすなわち開放は、回転中しかも負荷トルクがかかっている状態で行なわれることを考慮して、試験条件を設定し測定している。この基準は励磁電流しゃ断後、歯のかみ合いが解かれトルクが完全なくなるまでの時間としており、トルク消滅時間と称す。図 3. 3 にその一例を示す。

これらは、磁気回路である歯面の形状とかリターンスプリングの設計、さらにはアマチュアスライド面の精度・材質などに影響するので、十分に検討を加えずぐれた特性を得ている。

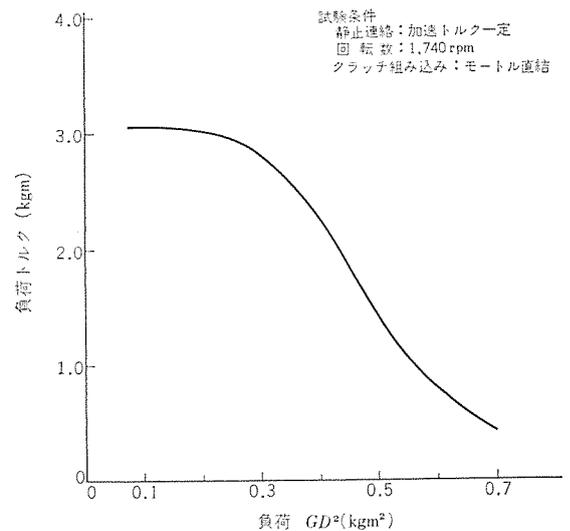


図 3.4 許容連結条件 (I)
Adaptability diagram of tooth clutch (I).

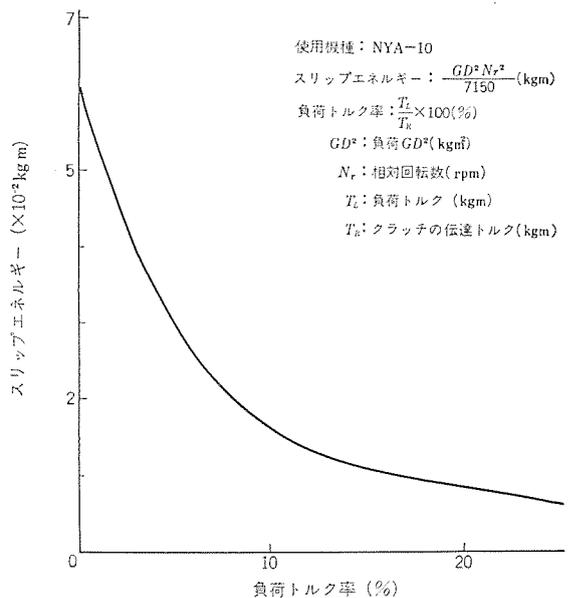


図 3.5 許容連結条件 (II)
Adaptability diagram of tooth clutch (II)

3. 3 連結条件

歯形電磁クラッチの連結方法としては、

- (1) 静止状態あるいは相対回転数ゼロでのクラッチ連結
- (2) ある相対回転でのクラッチ連結

の二つがある。

前者では歯が完全にかみ合うとき、歯の山と山が当たってかみ合わないときとがあり、これは構造上避けることができない。したが

って歯は常にかみ合わないものとして考える必要がある。歯がかみ合わないときでも、駆動側の加速トルクによりつぎの歯で確実に噛み合えば問題ないが、加速条件と負荷条件によってはつぎの歯で噛み合わずスリップが連続し、完全な噛み合いは不可能となることがある。この一例を図 3.4 に示す。

後者では、負荷 GD^2 とか負荷トルクが小さければ数百回転までは連結可能である。しかし連結時の異音・耐久性などを考慮した実用上の許容回転は 100 回転程度である。さらに、この程度の回転でも駆動側と負荷側の連結条件あるいは駆動系の構成内容、さらには歯面の潤滑条件などによって制限をうける。負荷条件による実験によって求めた連結限界の一例を図 3.5 に示す。

4. 選定と使用例

4.1 選定

歯形クラッチが使用される機械とその使用条件は、千差万別で一義的に選定することはむずかしく、またその条件も不明確なばあいが多い。したがってクラッチの選定に際しては、メーカとユーザ間において十分な打合わせを行ない、機械に最もマッチしたクラッチとしなければならない。

とくに下記事項に注意する必要がある。

- (1) モータルの起動方法とクラッチ容量との経済性の検討。
- (2) クラッチ投入時、回転していないことの確認方法、なお回転連結では投入時の耐久性・ショックの確認。
- (3) 歯先トルク(歯の山と山で伝達するトルク)で回転した時の弊害。
- (4) 過負荷時の保護装置。
- (5) クラッチ開放時の遅れによる他クラッチに及ぼす影響。

4.2 使用上の注意

- (1) 歯形電磁クラッチは湿式にも乾式にも使用できる。

なお湿式で使用する時は NKA 形クラッチと同一要領でよいが、給油方法は滴下、あるいははねかけ給油で十分である。

- (2) 立形で使用することも可能で、アマチュアの取付位置は、上下どちらでもよい。

しかし、具体的に確認するようにしたほうがよい。

- (3) 取り付けは、トルク安定性の点より通し軸で使用するのが望ましい。このクラッチは、歯面ギャップを確実に出す必要があるので、

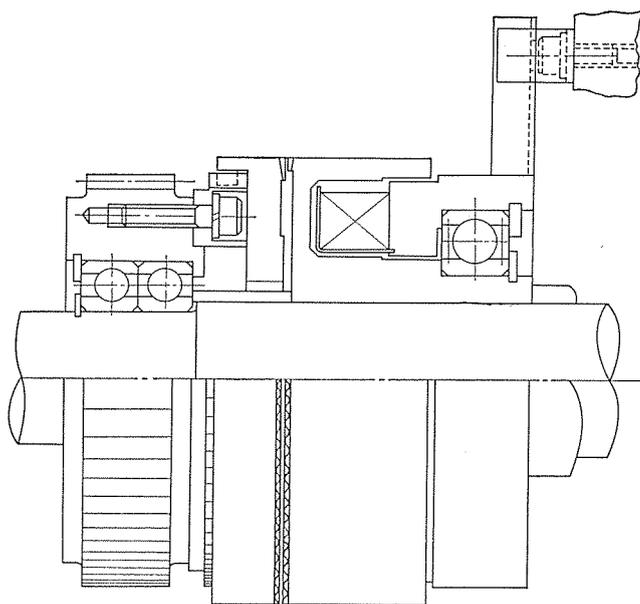


図 4.1 NYA 形 歯形電磁クラッチ取付図
Mounting of type NYA tooth magnetic clutch.

ドライバ、アダプタともに軸方向に固定しなければならない。

図 4.1 に NYA 形歯形電磁クラッチの取付図を示す。

4.3 使用例

歯形電磁クラッチは工作機械の主軸変速装置に使用し、多くのメリットを得ているが、さらに最近ではボール盤、フライス盤などの送り関係とか、補助モータルの駆動切放し用としても多く使用されている。また、印刷機、包装机、繊維機械、一般産業機械用など、歯形クラッチの特長を生かして多方面に使用されている。

5. むすび

摩擦式の NKA 形あるいは NEA 形電磁クラッチと、この小形の歯形電磁クラッチとを巧みに組み合わせて使用することにより、新しい応用分野が広がることが期待できる。

なお歯形電磁クラッチの使用に際しては、とくに駆動側、機械側との協調設計が重要であるので、今後ともユーザ諸賢におかれてはこのクラッチを十分理解していただき、有効なしかも経済的なクラッチ利用をはかられるよう望んでいる。

微偏位張力制御装置

村田 俊哉*・浅野 哲正*・柏原 正信*

Tension Control Devices Detecting Tension by Minute Deflections

Himeji Works Toshiya MURATA・Tetsumasa ASANO・Masanobu KASHIHARA

Tension control devices using the powder clutch brake have been of dancing roller system for these years. However, the present demand of turning machines into higher accuracy and higher speed makes the devices of this kind unsuitable for the control and the development of new control apparatus is vigorously called for. To cope with it Mitsubishi has worked out, based on a new idea of sampling control, tension control devices operating by minute deflections of load cell detection system. The article makes the introduction of the operation principle of the device, its control characteristic and experiment data for the purpose of reference to winding and unwinding tension control of various kinds.

1. ま え が き

パウダクラッチ、またはブレーキを用いた張力制御は価格の割合いに高精度な性能がえられるので、最近はその需要が拡大の一途をたどっている。しかも省力化の波に乗り、制御操作そのものも自動化する傾向が強くなり、その要求に対し従来からダンサーロール式のZKE形張力制御装置を発売していた。しかしグラビア印刷機などにみられるように、ライン速度の向上からくる制御系の高追従性、紙の蛇行防止のためにはダンサーロール式には限界がある。

これら市場の要望を十分に取り入れて開発したのが、微偏位式(ロードセル方式)張力制御装置である。この制御装置の特長はデジタルサンプリング制御方式を採用したことである。すなわち負荷の状態に応じて、発振パルス周期とゲート開放時間を変化させ、このパルスを計数することにより制御量、制御速度が最適になるようにしたことである。これによって、安定した追従性の高い性能がえられた。

最近の各種産業機器の巻き取り、巻き出し機は高速、高精度を要求するため、比較的小形小容量の機械には安価でその目的を達成するこの装置が好んで使用されるようになってきており、パウダクラッチ、ブレーキによる新しい張力制御の分野が開けつつある。以下にこの装置の概要を紹介する。

2. 装置の構成

一例として、巻き出し張力制御装置の機構を図2.1に示す。

この装置は張力検出器、制御装置、パウダブレーキより構成される。巻き取り張力制御のばあいは、パウダクラッチが使用される。

2.1 張力検出器 LX-8050 TA 形

張力検出器は抵抗線ひずみ計を使用しており、図2.2にその外観を示す。張力は図2.3に示すように張力のベクトル和を圧力に換算することにより検出される。張力検出器は張力検出ローラをとりつける軸径15φまたは20φの標準ピロブロックを使用し、これからひずみ計に圧力を与える構造となっている。これはローラの両端に各1台ずつ取り付けられる。なお、検出器に加わる荷重は材料とローラとの角度より、次式のとおりとなる。

$$P_1 = 1/2[F(\sin \theta_1 + \sin \theta_2) + W] \dots \dots \dots (2.1)$$

$$P_2 = 1/2[F(\sin \theta_1 + \sin \theta_2) + 1.8W] \dots \dots \dots (2.2)$$

ただし

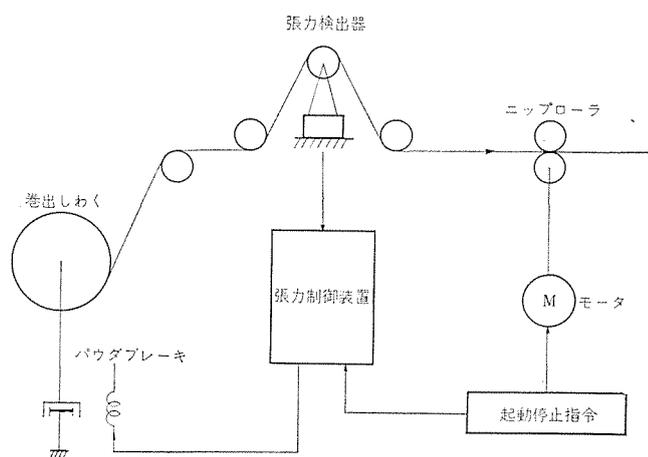


図 2.1 巻き出し張力制御の原理機構
Fundamental mechanism of unwinding tension control

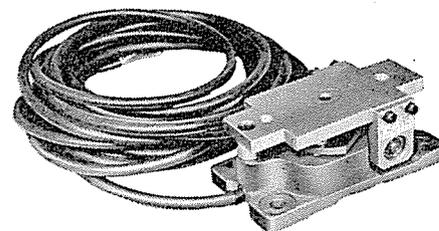


図 2.2 張力検出器
Tension detector.

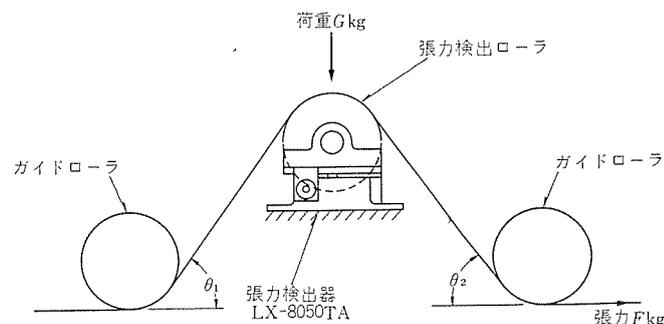


図 2.3 張力検出機構
Tension detecting mechanism

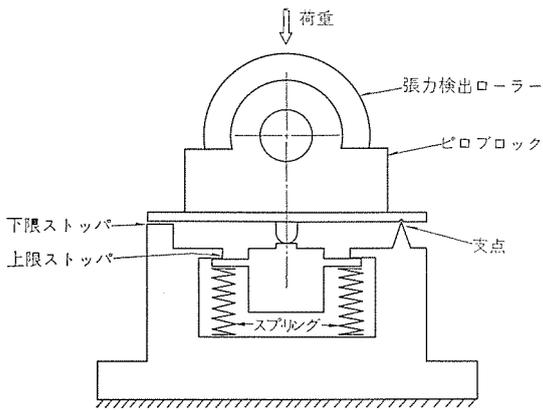


図 2.4 張力検出器の保護機構
Protective mechanism of tension detector.

- P_1 : 水平面取り付けの検出荷重 (kg)
- P_2 : 垂直面取り付けの検出荷重 (kg)
- F : 材料の張力 (kg)
- W : 検出ローラ重量 (kg)

運転中の誤動作などにより異常張力が発生し、張力検出器に過大荷重が加わることがある。この張力検出器は、過大張力に対する保護機構を内蔵しており、静荷重では 200 kg 以上、また衝撃荷重では 20 kg の荷重が 30 cm 上から自然落下しても破損しないようになっている。図 2.4 に保護機構の原理を示す。荷重検出センサーは、スプリングにより 50 kg の力で上限ストッパに圧着されているため、検出器に 50 kg 以上の荷重が加わると、スプリングがたわみ下限ストッパに接触する。上限、下限ストッパの間げき(隙)は 1 mm 以内に製作しており、過大荷重が加わってもスプリングがたわむのみでセンサーには 50 kg 程度の荷重しか加わらず、また衝撃荷重についても間げきがわずかであるのでエネルギーとしては大きなものにならず、実用上さしつかえない。

張力検出器の概略仕様は次のとおりである。

張力検出器の仕様 (1 台あたり)

定格荷重	50 kg ただし圧縮荷重
偏位	定格荷重で 40 μ 以下
取り付け方向	水平または垂直
抵抗値	350 Ω

2.2 制御装置 LE-2050 WB 形

張力制御装置を製作するうえでの問題点は、制御対象が不特定多数であり、巻きわく慣性、材料の伸縮程度等、機械側の伝達関数を定めにくいことである。この制御装置の特長は、サンプリング制御方式を採用し、機械側の応答時間に合わせてサンプリング周期を調整することにより上述の難点を解決し、量産性のある制御装置としたことにある。

制御装置はテンションメータ、コントロールユニット、パワーアンプ(出力切換回路内蔵)の三部分から構成されており、図 2.5 にその外形を示す。

テンションメータは張力検出器の出力信号を増幅し、張力指示をする部分である。

コントロールユニットは、前述のテンションメータの張力信号と内蔵の張力設定信号を比較、増幅しパウダクラッチ、ブレーキの励磁電流値を指令するものであり、IC 約 50 個を使用したデジタル方式の制御回路である。このコントロールユニットは、一般的に採用されているサーボモータの代わりに、電子カウンタを使用した最新の回路構成になっている。

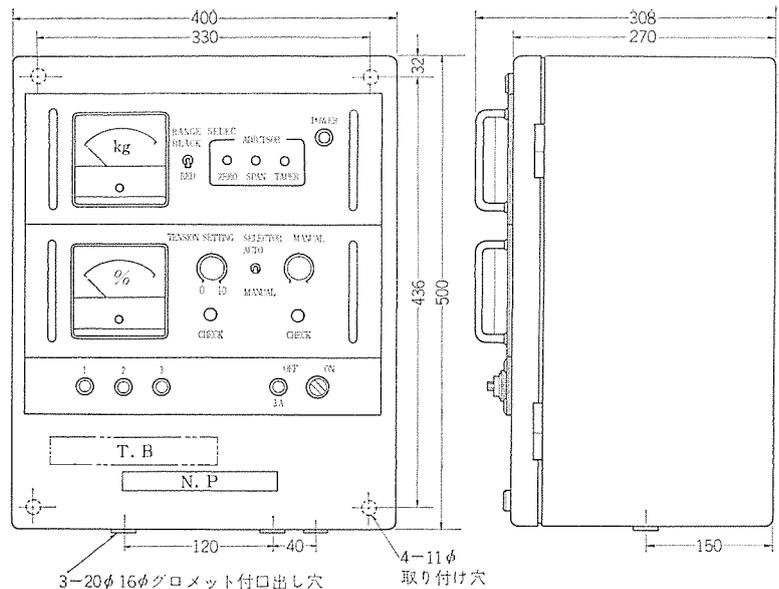


図 2.5 張力制御装置の外形
Exterior view of tension control device.

パワーアンプは、コントロールユニットの出力信号を電力増幅してパウダクラッチ、ブレーキを励磁するユニットであり、外部指令により 3 台のパウダクラッチ、ブレーキを切換使用できるように出力切換回路を内蔵している。

制御装置の回路部品は、インタフェース用リードリレー、出力切換用パワリレー以外を完全無接点化して、メンテナンスフリーを計っている。それぞれの電子部品は、小形のカードエッジタイプのプリント板 16 枚に機能別に分類配置されており、万一の故障に対してもプリント板単位で部品交換をし、サービスを簡単に行なえるようふうしている。また、装置の動作チェック、出荷時の調整はすべて外部のチェック端子を利用すればできるようになっている。

制御装置の取り付けについては、パネル面取り付け、壁面取り付け、操作パネルのみを操作部に取り付け内部部品は別置きにする、など各種の客先要求に応じられる構造となっている。

制御装置の概略仕様は次のとおりである。

電源電圧	AC 200 V 50/60 Hz
最大出力	DC 30 V 5 A
静止制御精度	$\pm 2\%$
サンプリング周期	0.4~4 s 可変
併用張力検出器	LX-8050 TA 形 2 台
併用負荷	DC 24 V 系パウダクラッチ、ブレーキ

2.3 パウダクラッチ、ブレーキ

パウダクラッチ、ブレーキは伝達トルク 0.06~45 kgm、許容スリップ損失 30 W~4 kW のものが広く使用されているが、選定方法については参考文献(1)、(2)、(3)を参照願いたい。

3. 張力制御装置の動作説明

3.1 テンションメータ

テンションメータは運転張力の指示、および張力検出信号をフィードバックするためのユニットであり、張力検出器 LX-8050 TA 形と併用される。

式(2.1)、(2.2)からも明らかとなり、張力検出器の出力信号は張力と検出ローラ重量との和の値であるため、テンションメータの ZERO 調整用可変抵抗器により検出ローラ重量をキャンセルする必要

がある。また実際の張力とメータ指示値とを合わせるため、図 3. 1 のようにパネはかりで張力を与えておき、テンションメータの SPAN 調

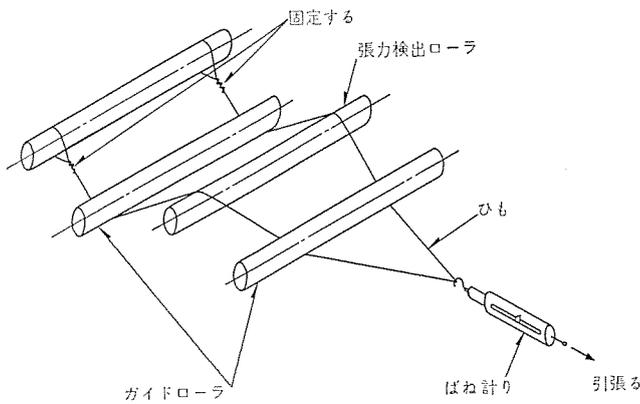


図 3. 1 張力計の校正方法
Correcting method of tension meter.

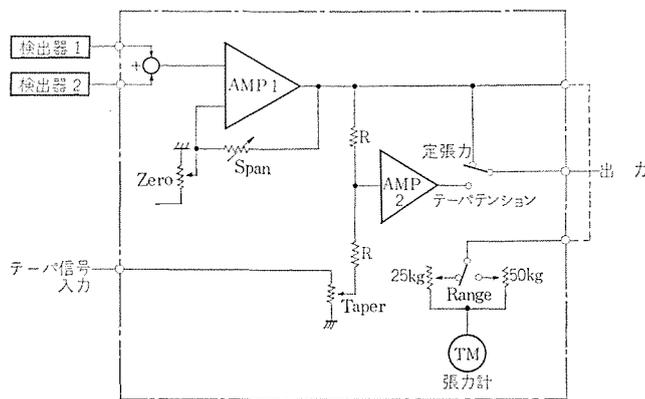


図 3. 2 テンションメータのブロックダイアグラム
Block diagram of tension meter.

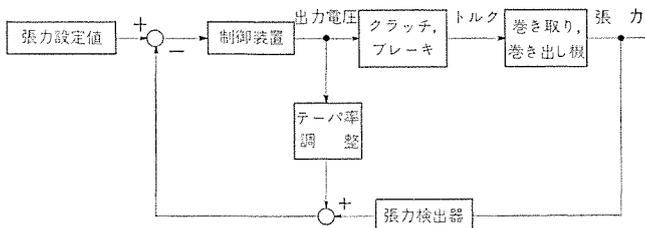


図 3. 3 テーパーテンション制御のブロックダイアグラム
Block diagram of taper tension control.

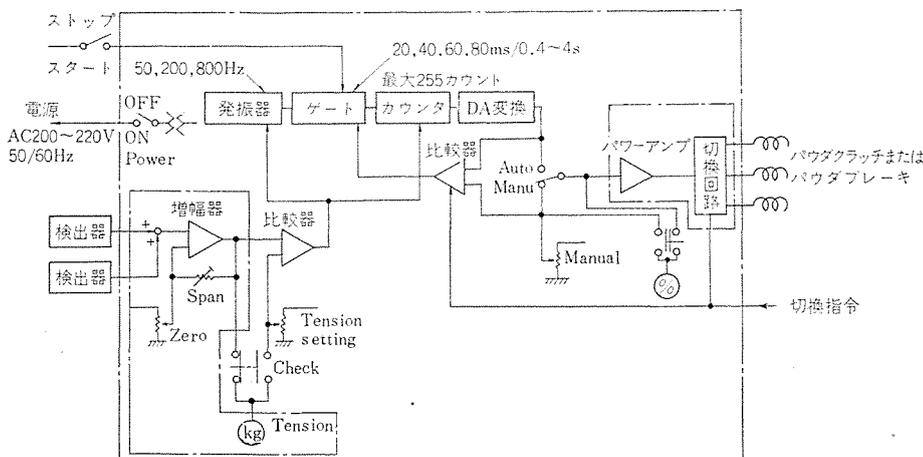


図 3. 4 張力制御装置のブロックダイアグラム
Block diagram of tension control device

整可変抵抗器で調整する。これらの調整要素は、図 2. 5 のとおりテンションメータのパネル前面に設けられている。図 3. 2 にテンションメータのブロック図を示す。

張力検出器の感度は 1.5 mV/VFS と低感度なので、初段の増幅器で所要レベルまで増幅する。この増幅器には、ZERO 調整、SPAN 調整が設けられている。

ZERO 調整幅は、荷重に換算すると約 50 kg となっているので、張力検出ローラ重量は水平取り付けの場合 50 kg 以下、垂直取り付けの場合 27 kg 以下に製作する必要がある。また、SPAN 調整については、調整幅の関係上材料角度 θ_1, θ_2 (図 2. 4 参照) は、 $30^\circ \sim 90^\circ$ の範囲内に選択する必要がある。

ところで、巻き出しのばあいは定張力制御が一般的であるが、巻き取りのばあにはテーパテンション制御のほうが好まれる。テーパテンション制御では、巻き径検出器で巻き取り径を検出し、その巻き取り径の増加にともない張力を漸減させることが理想的であるが、ここでは巻き取り径を検出しなくてもテーパテンション制御のできる方法を採用しており、図 3. 3 にその原理図を示す。この方法でテーパテンション制御を行えば、張力は次式にしたがって漸減する。

$$F = \frac{F_0}{1 + \alpha \left(\frac{D}{D_m} \right)} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ただし

F = 張力 (kg)

F_0 = ゼロ巻径における仮想張力 (kg)

D = 巻き径 (mφ)

D_m = 最大巻き径 (mφ)

α = テーパー率調整によって決定される定数

式 (3.1) において、 α の値を希望するテーパテンションの割合に応じて調整すれば、巻き取り径 D の増加にともなって張力 F が設定値 F_0 に対して漸減することがわかる。このテンションメータは、内部スイッチの切換えにより前述のテーパテンション制御、および定張力制御の 2 種の張力制御信号を取り出せるようになっている。

3. 2 コントロールユニット

コントロールユニットは、すでに述べたテンションメータの出力信号を受け、これを内部の張力設定信号と比較してパウダクラッチ、ブレーキの励磁電流を制御する主要回路である。

図 3. 4 にコントロールユニットとパワーアンプ、切換回路のブロック図を示す。

3. 2. 1 手動運転

手動可変抵抗器の出力信号がパワーアンプにより電力増幅され、切換回路を通してパウダクラッチ、ブレーキに流れる。手動ダイヤルは、目盛 0~10 の調整に対して励磁電流を 0~定格電流まで可変できるものであるが、自動運転時のプリセット指令としても利用できるようになっている。

3. 2. 2 自動運転

テンションメータの出力信号 (検出値) と張力設定値を比較する比較器は、誤差の大小正負に応じて表 3. 1 のとおりの出力信号を発生する。ただし、張力誤差がサンプリング周期の 1/4 以上継続しているば

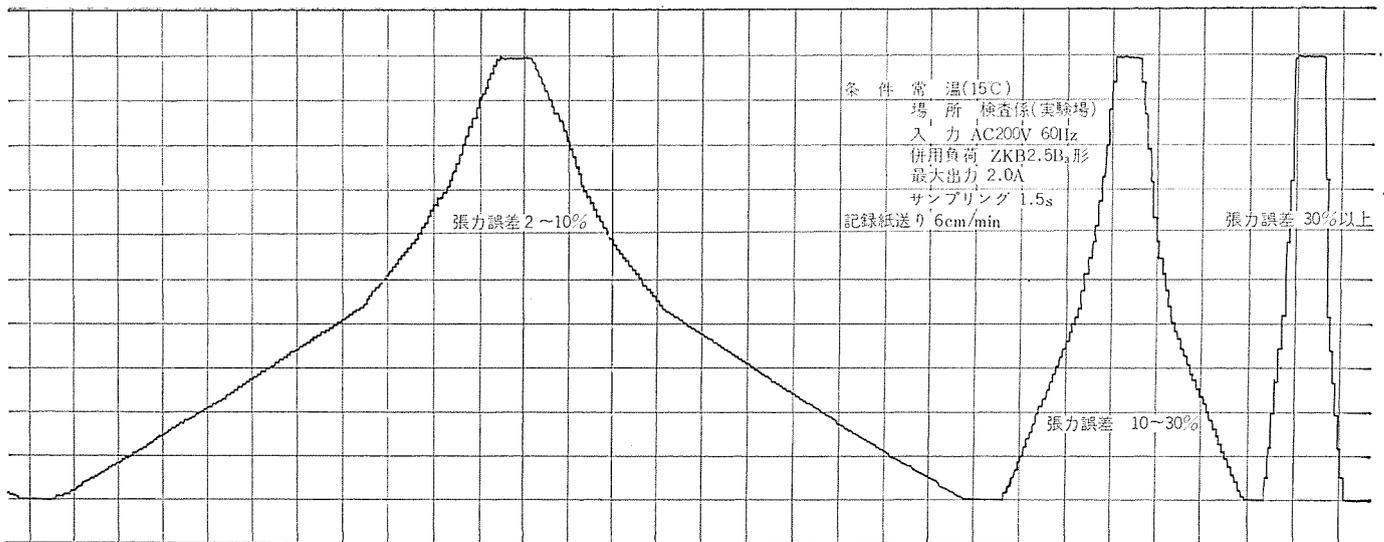


図 3.5 閉ループ制御特性

Closed loop characteristic.

表 3.1 比較器出力特性
Comparator output characteristic.

	カウントアップ	カウントダウン	発振周波数指令		
			50 Hz	200 Hz	800 Hz
張力誤差	+32%以上	○			○
	+8~+32%	○		○	
	+2~+8%	○	○		
張力誤差	±2%				
	-2~-8%	○	○		
	-8~-32%	○		○	
	-32%以上	○			○

あいにもその値を判別するようになっており、これは瞬間的な外乱に対するコントロール回路の誤動作防止に役立つものである。比較器は、アナログ入力信号を受けてデジタル出力信号を発生し、発振器およびカウンタを駆動する。

発振器は、張力誤差の大中小(±32%以上, ±8~32%, ±2~8%)に応じて発振周波数を可変(800, 200, 50 Hz)することができる。

カウンタは、誤差の極性に応じて加算、減算し、発振器の発生パルスをゲート回路を通して0~255個まで計数することができる。

ゲート回路は、開放時間をカウンタの出力信号値に応じて調整し、張力誤差に応じたパルスを通すようになっている。カウンタの出力信号は、D-A変換器でDC 0~0.3 Vのアナログ信号に変換され、パワーアンプ、切換回路を通してパウダクラッチ、ブレーキの励磁電流を調整する。

以上のような回路を構成することにより、パウダクラッチ、ブレーキの

励磁電流を理想的に補正することができる。図 3.5 は開ループ状態で強制的に各種レベルの正負の張力誤差信号を与え、パウダブレーキ励磁電流の上昇特性(負側誤差)、下降特性(正側誤差)を測定したものである。このコントロール回路は、ターレット方式による連続巻き取り、巻き出しを行なうばあいにも便利のようにプリセット回路を内蔵している。

このプリセットの効果は、新旧巻きわくの切換時、あらかじめ新巻きわく側ブレーキの励磁電流をその巻き径に応じた値に設定しておけば、切換えと同時にブレーキの励磁電流をこの値まで急増させて、安定した張力制御を行なうことができることである。

3.3 パワーアンプ

これは誘導負荷に適したパワートランジスタのON-OFF制御方式を採用している。このパワーアンプは、ターレット方式の巻き取り、巻き出しを行なうばあいの出力切換回路を内蔵しており、外部切換指令により内蔵のリレーが作動して、順次パウダクラッチまたはブレーキを切換使用できるようになっている。また出力切換と同時にコントロール回路のリセット信号を発生し、自動運転出力をプリセット出力に切換える働きもするようになっている。

4. 制御特性

図 4.1~図 4.3 はグラビア印刷機における定張力巻き出し制御特性を示したものである。定常運転状態での定張力制御特性を図 4.1 に示す。

巻き出し材料に、偏心、片張り等のないばあいにはさらに好結果が得られるものと考えられる。今回の実験では、半径 105 mmφ に

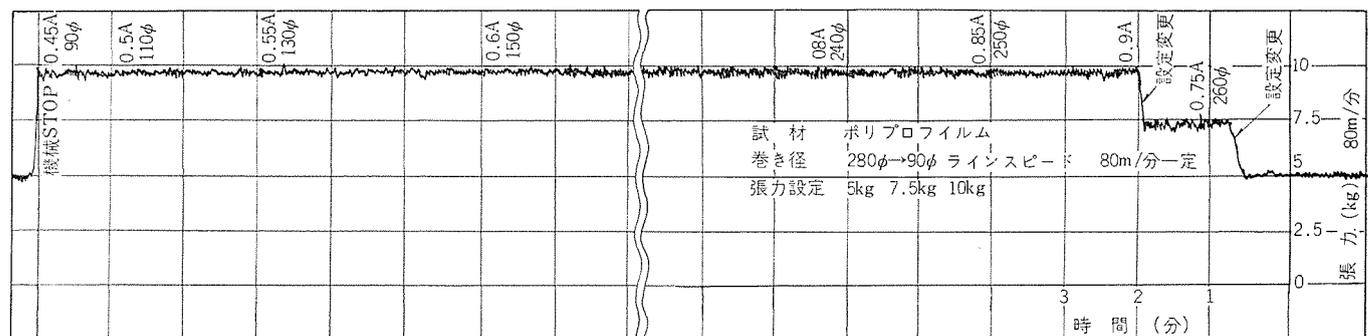


図 4.1 定常運転時張力制御特性

Tension control characteristic of normal running.

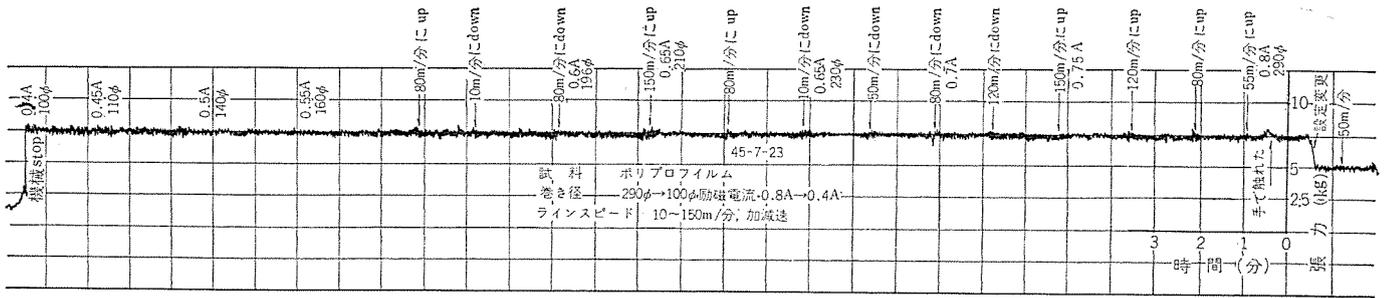
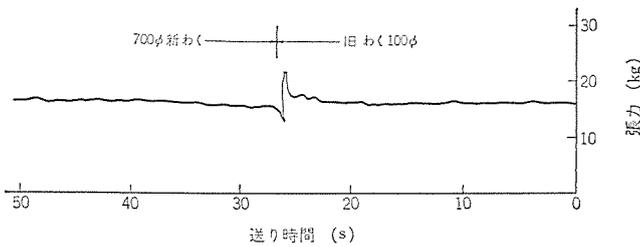


図 4.2 加減速運転時 張力制御特性 Tension control characteristic of accelerating or decelerating running.



テスト条件

ラインスピード	200 m/min
材料印刷紙	旧わく 100φ → 新わく 700φ
オートペースタ周面駆動	周期標示違付
併用ブレーキ	ZKB-10 W 形 (1.3倍増速)

制御器

張力設定	16 kg
サンプリングタイム	1.5 s
プリセット	0.9 A

図 4.3 紙継時 張力制御特性 Tension control characteristic of pasting up papers.

対し 5 mm (比率 5%) の偏心があり、張力制御装置でこの偏心量を補正制御することは不可能なため、図 4.1 のとおり張力設定 10 kg に対し ± 0.25 kg (比率 5%) の張力誤差が発生した。平均値で考えると、張力制御オフセットは判別しにくいほどの高精度なものであった。運転中にラインスピードを故意に加減速したばあいの制御装置の追従特性を、図 4.2 に示す。

巻き出しわくの巻き径が大きいと慣性効果による加減速時の張力変動が大きい (約 $\pm 5\%$) が、巻き径が 200 φ 以下では、ほとんどその影響はあらわれない。オートペースタ方式で、巻き比が 7 倍ある材料の連続紙継ぎを行なったばあいの張力制御特性を図 4.3 に示す。

材料切換え時 (新材料を継ぎ足し、旧材料切断のカッタ作動時)

約 30% 程度の張力増加があり、ブレーキ切換時に、約 20% 程度張力減少が生じて定常張力に復帰する。この間にブラシローも作動するが、われわれの実験ではこの張力の変動時間は 3 ~ 4 秒間であった。

従来から使用しているダンスロー方式の制御装置で、同様に紙継ぎを行なったばあいの張力変動時間が、約 6 秒間程度であったことから考え、この制御装置の追従性能はより向上していることがわかる。

5. むすび

以上のべた微偏位張力制御装置は、その追従性、定常時の精度などについて大むね当初の目的を満足するものがえられた。各種巻き取り、巻き出し機のライン速度は向上の一途をたどっており、これらの機械に十分高精度で追従できる装置が、割合安価なパウダクラッチ方式の張力制御装置でできるようになったのは大きな成果であると考えられる。しかし、ターレット方式でローの慣性の大きいばあいの紙継時には、完全な同期助勢が必要であり、この装置のみでは十分でない面もあり、パウダクラッチを使用したオートペースタ機構の自動化が今後の研究課題であろうと思われる。

最後に、この張力制御装置の開発にあたり、協力いただいた社内内外の関係各位に深く謝意を表する次第である。

参考文献

- (1) 宮崎ほか：三菱電機技報，38 (昭 39)
- (2) 村田ほか：三菱電機技報，42 (昭 43)
- (3) 三富：電磁クラッチ，ブレーキ，日刊工業新聞社 (昭 42)

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
増巾回路	44- 7-23	879661	吉 富 正 夫	北伊丹製作所
表示灯装置	44- 7-23	879664	立 石 俊 夫	神戸製作所
表示灯装置	44- 7-23	879665	立 石 俊 夫	神戸製作所
表示灯装置	44- 7-23	879666	立 石 俊 夫	神戸製作所
積算量記録装置	44- 7-23	879667	林 正 之	福山製作所
積算量記録装置	44- 7-23	879668	林 正 之	福山製作所
機関の点火時期調整装置	44- 7-23	879669	柏 木 義 民・多田靖夫	姫路製作所
ビーム太さ検出装置	44- 7-23	879670	秋 葉 稔 光・柳 沢 武	中央研究所
継電器の動作値整定装置	44- 7-23	879671	原 邦 芳	神戸製作所
機関点火用断続装置	44- 7-23	879672	大 西 正 義	姫路製作所
タッチ 釘	44- 7-23	879674	山 岡 宏 司	稲沢製作所
回転電機のヒューズ 溶断検出装置	44- 7-23	879678	高 谷 僚 二	神戸製作所
発振装置	44- 7-23	879680	佐 藤 安 俊	福山製作所
ヒューズ 着脱器	44- 7-23	879681	岡 戸 弘 行・中 村 隆	名古屋製作所
冷凍機の配管装置	44- 7-23	879673	佐 藤 喜 一	静岡製作所
炊飯器	44- 7-23	879675	{高橋正晨・大沢和夫 鶴谷嘉正	群馬製作所
炊飯器	44- 7-23	879676	{高橋正晨・大沢和夫 鶴谷嘉正	群馬製作所
炊飯器	44- 7-23	879677	{高橋昌晨・大沢和夫 鶴谷嘉正	群馬製作所
分相起動形单相誘導電動機の起動装置	44- 7-23	879679	遠 藤 吉 隆	商品研究所
電動噴霧器の電動機制御装置	44- 7-23	879682	服 部 信 道・森田清司	群馬製作所
蒸気 アイロン	44- 7-30	880591	{野畑昭夫・高橋 洋 小野村寅雄	群馬製作所
エアータオル	44- 7-30	880593	武 井 久 夫・服 部 信 道	群馬製作所
回転電機の回転子	44- 7-30	880592	藤 山 辰 之・古 川 俊 幸	長崎製作所
位相制御装置	44- 7-30	880594	飯 田 隆 彦	北伊丹製作所
拡散 ポンプ 用冷却 パツフル	44- 7-30	880597	杉 岡 八 十 一・三 木 秀 二 郎	北伊丹製作所
扇風機	44- 7-30	880595	糸 魚 川 佐 富	中津川製作所
電気 アイロン	44- 7-30	880596	{東 邦 弘・荒 木 勲 鳥 山 建 夫	群馬製作所
船舶用 コンテナ の装着装置	44- 7-30	880598	藤 田 良 二	相模製作所
膨張形救命具の投下装置	44- 7-30	880599	宇 川 彰	中央研究所
負 イオン 発生器付冷暖房装置	44- 7-30	880600	早 崎 実	中津川製作所
電気掃除機の前蓋締付装置	44- 7-31	880602	加 藤 悟・南 日 国 伸	群馬製作所
衣類乾燥機	44- 7-31	880607	阪 本 正	静岡製作所
衣類乾燥機	44- 7-31	880608	馬 淵 公 作・鶴 谷 嘉 正	群馬製作所
衣類乾燥機	44- 7-31	880609	奥 田 文 一・東 邦 弘	群馬製作所
回転軸の回転検出装置	44- 7-31	880601	梅 名 茂 男・長 沢 保 明	神戸製作所
並行 2 回線保護継電装置	44- 7-31	880603	藤 井 重 夫・寺 田 真	神戸製作所
電路保護装置	44- 7-31	880604	長 町 恒 資	神戸製作所
操作盤保持装置	44- 7-31	880605	貴 志 之 保・矢 倉 朗	神戸製作所
搬送保護継電装置	44- 7-31	880606	{北 浦 孝 一・古 谷 昭 雄 前 田 耕 二	神戸製作所
電気車の強制進段装置	44- 7-31	880610	山 田 健 司	伊丹製作所
放圧装置	44- 7-31	880611	篠 原 資 直・西 山 喜 順	伊丹製作所
バックラッシ 除去装置	44- 7-31	880612	西 村 昭 三	通信機製作所
包装箱	44- 7-31	880613	高 田 進・遠 藤 正 和	京都製作所
自吸水 ポンプ	44- 7-31	880614	佐々 静 男	福岡製作所
渦巻 ポンプ	44- 7-31	880631	奥 村 親 弘	日本建鉄
定電圧変圧器	44- 8- 4	881183	竹 内 友 彦・野 口 昌 介	名古屋製作所
制御装置	44- 8- 4	881202	久 保 田 伸 夫	神戸製作所
冷却器	44- 8- 4	881203	三 津 沢 武 夫	和歌山製作所
電熱布類の温度調節器取付装置	44- 8- 4	881182	大 竹 操・慶 野 長 治	群馬製作所
放電灯器具	44- 8- 9	881649	佐々 木 武 敏	本 社
焼結合金製含油軸受	44- 8-26	882306	竹 中 正 恭	中津川製作所
ジュサー	44- 9- 3	882869	{武 井 久 夫・服 部 信 道 岩 田 尚 之	群馬製作所



特許と新案

ガスしゃ断器

考案者 森岡 昭二

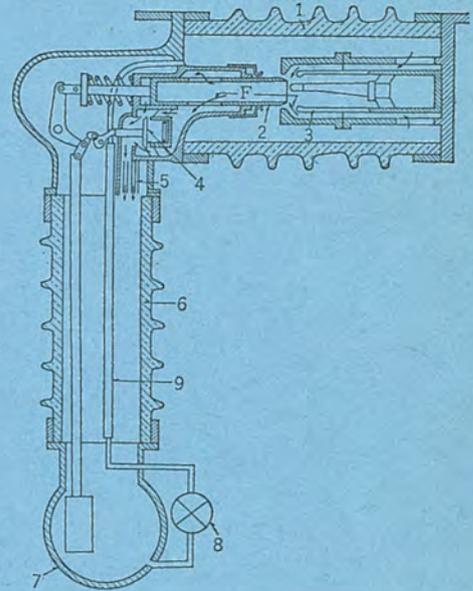
この考案は高圧 SF₆ ガスを充てんした消弧室から、しゃ断時に高圧ガスを排出して消弧作用を行なわせ、かつこのガスを消弧室へ送りかえして循環使用する充てん式 SF₆ しゃ断器に関するものである。

図において、消弧室(1)には高圧 SF₆ ガスが充てんされ、しゃ断動作に際して接触子(2)(3)の開放とともに吹付弁(4)が開放されると、消弧室(1)内の高圧ガスの一部が排出されてガス流 F が形成される。接触子(2)(3)間に発生したアークはこのガス流 F によって吹消され、消弧動作完了後に吹付弁(4)は閉合される。吹付弁(4)を通じて排出されたガスは、冷却室(5)を通り支持がい管(6)の内部を通して大地電位部分に設けられた低圧ガスタンク(7)へ流入する。この低圧ガスタンク(7)のガスは、コンプレッサ(8)によって支持がい管(6)の内部に設けられた絶縁パイプ(9)を介して消弧室(1)へ送りかえされ、循環使用される。

この考案によれば、しゃ断時の排出ガスを受容する低圧ガスタンク(7)を大地電位部分に設け、この低圧ガスタンク(7)に支持がい管(6)を介してガスを排出するようにしているので、低圧ガスタンクを高電位部分に設けた従来の装置のように、高電位部分の重量が大きくなって支持がい管の機械的強度を増す必要が生じたり、高電位部分の大きさが増して電氣的対地絶縁距離を確保するのにむずかしくなったりすることがなく、低圧ガスタンク(7)の内容積を大きくとる

ことができ、高圧ガスの排出による消弧作用を効果的に行なうことができる。また、しゃ断器全体の構成も比較的簡潔となる。

(実用新案 第 879644 号) (竹中記)



空気調和機吹出口の風向き調節装置

考案者 牛田 善和・池田 日登志

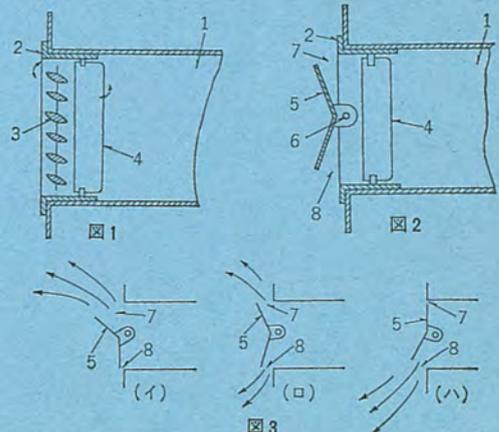
この考案は、空気調和機等に設けられる冷暖風吹出口の風向き調節装置に関するものである。

従来の冷暖風吹出口は、図 1 に示すように、風道 1 の出口に固定したわく縁に多数の横ルーバー 3 および縦ルーバー 4 を前後して格子状に取り付けていた。このため風向きの調整、すなわちそれが調整方向における風量の分配には多数のルーバーを個々に調節せねばならず、したがって所望方向に所望風量を得んとすれば煩わしいルーバーの調整操作を必要とするものであった。しかも多数のルーバーを取り付けるため構造的にも複雑となるばかりでなく、工作上からも望ましいものとはいえないものであった。

この考案はこのような欠点を除くためになされたもので、図 2 に示すように、従来の横ルーバー 3 に代えて風道 1 の出口前面にその全部をおおうよう側断面 V 字状を呈する単一の風向き板 5 を取り付け、この風向き板 5 を上下方向に揺動させることにより、それと風道出口の上下縁部との間に形成される隙間 7、8 を調節し、もって簡単な操作で風向きの調節が図 3 に示す各態様に行なえるようにした

ものである。またこのようにすることによって、冷暖風を吹出口の上方部の隙間 7 のみから最遠距離に届くように、あるいは反対に下方部の隙間 5 のみから吹出口の至近距離に直接送ることも可能となるものである。

(実用新案 第 873080 号) (足立記)



特許と新案

熱動安全器付き電動機を用いる装置の保護装置

考案者 高橋克巳

この考案は熱動安全器を保護装置として備えた電動機を用いる機器、たとえば冷房機の電氣的な保護装置に関するものである。

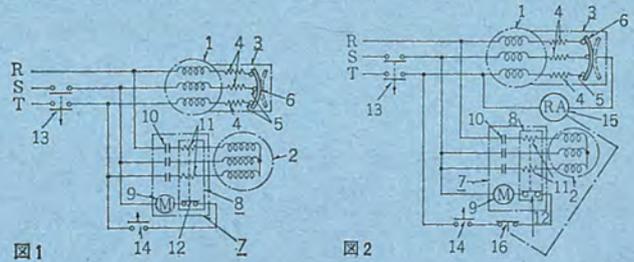
従来の冷房機における保護装置は図1のように構成されており、冷房機の実動中において送風機の電動機1が過負荷あるいは過電流にさらされ過熱した場合、熱動安全器3が作動してそのバイメタルを変形させ、電動機1の運転をいったん停止させるように働く。また圧縮機の電動機2の危険な状態に対しては、過電流継電器8が働き電磁開閉器7のコイル9への通電を断つてその接点10を開放させるので、電動機2の運転はやはり止まる。

しかしながらこの従来のものは、電動機1が停止されても電動機2は停止されないため、冷房機においては、蒸発しきれない液冷媒が多量に圧縮機に戻り、圧縮機の弁を破損したり、蒸発圧力の著しい低下により蒸発器が氷結したりする不都合を起こす欠点があった。

この考案はかかる欠点を除くためになされたもので、図2に示すように、補助継電機15を設け、この補助継電器の励磁巻線を熱動

安全器3のバイメタル6と送風機の電動機1の電源回路R、S、Tのうちの一相たとえば回路Tにそり入接続し、かつその接点16を圧縮機の電動機2のスイッチ14と過電流継電器8の接点12との間へ直列に接続したものである。

したがってこの考案によれば、熱動安全器付き電動機すなわち送風機の電動機1が危険な状態にさらされ停止したときには、他の電動機2も停止させ、冷房機自体の実動を同時に停止させることが可能となるものである。
(実用新案第860825号) (足立記)



美粧器具の駆動電源装置

考案者 川合輝一・福田興司・熊田泰治

ヘアドライヤ、電気かみそり、電動歯ブラシ、マッサージ等の美粧器具は、すべての器具に共通な要素として駆動装置が存在する。

この考案は、この共通な要素である駆動装置およびその電源端子を一つの本体ケースに納め、これに対してアタッチメントを選択的に着脱することにより、種々の用途に本体ケースを共通に使用でき、かつヘアドライヤにおけるヒータのようにアタッチメント側に電気要素のあるものにも使用でき、さらに電氣的制御は本体ケース側ですべて行なえるように、くふうしたものである。以下、ヘアドライヤとかみそりとに使い分ける例について説明する。

図1は、ヘアドライヤとして使うために、そのアタッチメントを本体ケースに装着する前の状態を示す斜視図である。図中、Aは本体ケースで、これは駆動装置とその電源端子とを内蔵し、駆動装置の出力を外部に伝える接手Dを備えている。25はヘアドライヤ用アタッチメントケースで、本体ケースと着脱自在に結合しうるよう構成され、その結合時に上記接手Dを介して回されるファンと空気加熱用ヒータを有する。30はこのアタッチメントケースに突設したヒータ通電用プラグで、上記本体ケース内には、両ケースA、25の結合時に本体ケースの穴16から差し込まれる上記プラグ30と接触し電氣的結合をなすプラグ受けが設けられており、本体ケース側の電気回路は図2のように構成されている。図中、17は電源端子、Cは駆動装置、Bはその降圧整流装置、18はプラグ受け、21は駆動装置Cへの給電回路とプラグ受け18への給電回路とを同時に開閉するスイッチである。

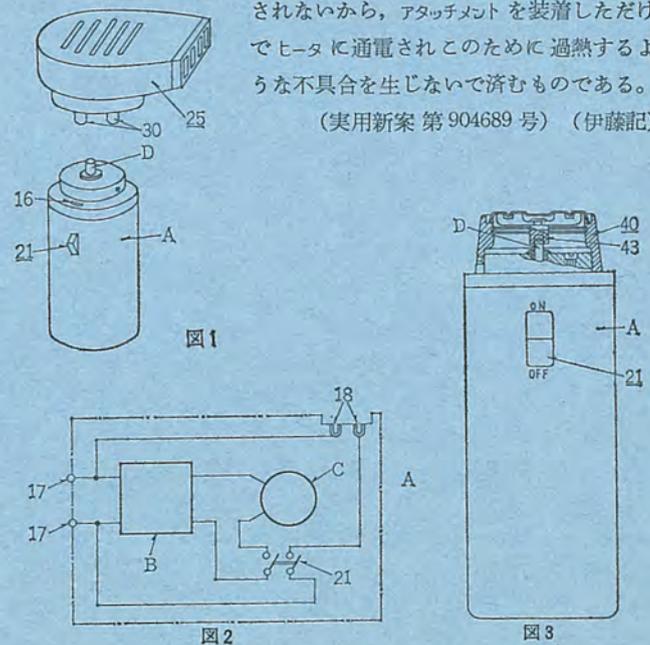
したがって、本体ケースにヘアドライヤ用アタッチメントケースを装着すれば、駆動装置の接手Dとファンとが機械的に結合され、同時にプラグ30とプラグ受け18とが接触して電氣的にも結合され、ヘアドライヤとし

て使える状態になるものである。

また、ヘアドライヤ用アタッチメントをはずして、図3のようにかみそり用アタッチメントケース40を本体ケースAに装着するときは、接手Dがかみそりの内刃回転軸43に結合され、本体ケース側のスイッチ21の操作でひげそりを行なえる状態になる。

そしてヘアドライヤ用アタッチメントケースを本体ケースに装着した状態でも、スイッチ21を操作し駆動装置を動かさなければヒータにも通電されないから、アタッチメントを装着しただけでヒータに通電されこのために過熱するような不具合を生じないで済むものである。

(実用新案第904689号) (伊藤記)



ブレーキモートル

三 富 孜*

Brake Motors

Nagoya Works Tsutomu MITOMI

From the viewpoint of improving the productivity, it is an increasing trend to raise the speed and elevate the efficiency of machines of late. Along with it there is high demand on brake motors capable of working for rapid stop and inching operation of machines with high accuracy together with endurance for highly frequent use and against high energy yet being highly reliable.

This article describes a variety of brake motors manufactured by Mitsubishi of their construction, distinctive features, characteristics and selection of proper application.

1. ま え が き

生産性の向上、自動化などの観点から最近の機械はますます高速化・高能率化の傾向にあるが、これらの高速化・高能率化が進むにつれて、負荷の急停止、アイドル時間の短縮、定位置停止、安全性の向上などの目的のために、高ひん度・高エネルギーの使用に耐えかつ信頼性の高いブレーキの需要がますます増加の傾向を示している。

負荷の駆動にモートルを使用する場合は負荷側にブレーキを設置するよりも、モートルに電磁ブレーキを内蔵し一体構造としたブレーキモートルを取付け、取扱いの容易さ、外観のよさなどの点が有利であるため今日広く使用されている。

当社では従来からNBブレーキモートル（交流・スプリング制動式）、EBAブレーキモートル（直流・励磁制動式）を製作し各種機械に多数採用され好評を博しているが、今回さらに信頼性を考慮した高ひん度・長寿命用のNBSブレーキモートルシリーズを開発し、各種用途に対処できるようになった。以下各種のブレーキモートル構造・特長・特性・選定について述べる。

2. NB ブレーキモートル

2.1 構造と動作

図2.1に外観、図2.2に構造を示す。この図に示すようにモートルの反負荷側に三相交流電磁ブレーキを取付けたもので、このブレーキはスプリング力により制動し、電磁力により解放するスプリング制動式のブレーキで、モートル停止中は常時ブレーキがかかるため安全ブレーキとなる。

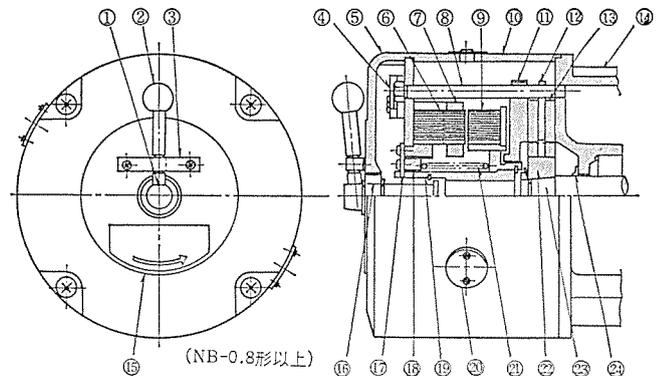
交流電磁石は一般にストロークの長いブラジヤ形が多く使用されているが、モートルに内蔵する場合は、寸法が大きくなる欠点があるためNB形は図2.3に示すような巻鉄心形の三相交流電磁石を使用



図 2.1 NB ブレーキモートル
Exterior view of type NB brake motor.

し直引構造としている。リンク機構式のブレーキに比較して構造が簡単であり、軸方向寸法が小さい特長がある。

ブレーキに電源を入れると、電磁石に吸引力が発生し、スプリング圧力に打勝って可動鉄心が吸引される。可動鉄心にはブレーキ板が一体となってねじで固定されており、ブレーキ板に押し付けられていたライニングは自由になり、モートル軸は回転する。制動動作はブレーキ電源を切ると電磁石の吸引力が急激に消滅し、制動用スプリング圧力によってブレーキ板がライニングを押しつけ、ブレーキトルクを発生する。



(NB-0.8形以上)

- | | | | |
|----------|--------|--------|-------------|
| ①手動解放ロッド | ⑦コイル | ⑮ライニング | ⑳調整軸(摩擦調整用) |
| ②解放ハンドル | ⑧特殊ボルト | ⑭ブラケット | ㉑ふた |
| ③バインド | ⑨可動鉄心 | ⑯注意名板 | ㉒スプリング |
| ④端子板 | ⑩ブレーキ箱 | ⑰特殊ナット | ㉓ハブ |
| ⑤ブレーキカバー | ⑪ブレーキ板 | ⑱回り止め板 | ㉔モートル軸 |
| ⑥固定鉄心 | ⑫停止円板 | ⑲調整ナット | ㉕フリッジヤ |

図 2.2 NBブレーキ構造
Construction of type NB brake.

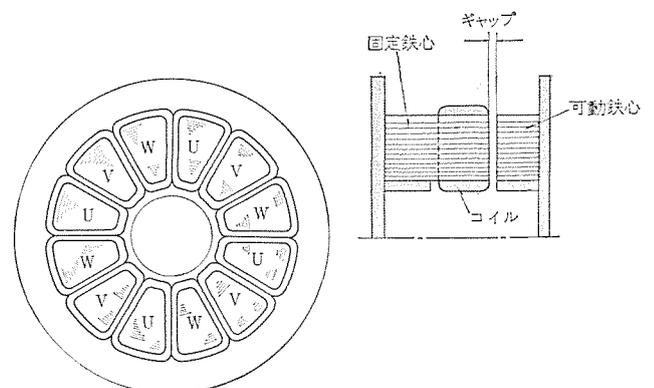


図 2.3 三相交流電磁石構造
Construction of 3 phase electromagnet.

2.2 仕様

NBブレーキモータの仕様を表2.1に示すが、0.2~15kWまでのあらゆる形式のモータ（全閉外扇形・防滴保護形・足取付形・フランジ取付形・フラット形）に適用可能である。

2.3 特長

(1) モータ部分はIEC寸法に準拠した小形・軽量の、はん用E種モータを採用し、ブレーキ部分も小形で全体にコンパクトになっている。

(2) 小形でありながらブレーキトルクはモータ定格トルクの150%以上、モータは連続定格である。

(3) 従来困難とされていた全閉外扇フランジ形も標準と同一わく番、連続定格でシリーズ化した。

(4) ブレーキ部分は独自の方式による強力な三相交流電磁石と簡単な制動機構になっているため、惰行時間がきわめて小さく迅速で正確な急停止が得られる。

(5) ブレーキライニングは、耐摩耗性のすぐれた材料を使用し、多板式にして制動面積を大きく取り、さらに冷却効果のよい構造を採用しているため、大きな制動仕事量に耐えることができ、摩耗も少ない。

(6) 手で位置調整をしたり、停電時に軸を回転させる場合のブレーキ解放は、外部に設けられた手動解放ハンドルを1回転させるだけ

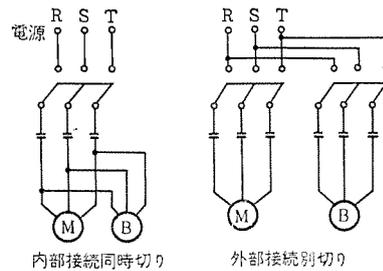
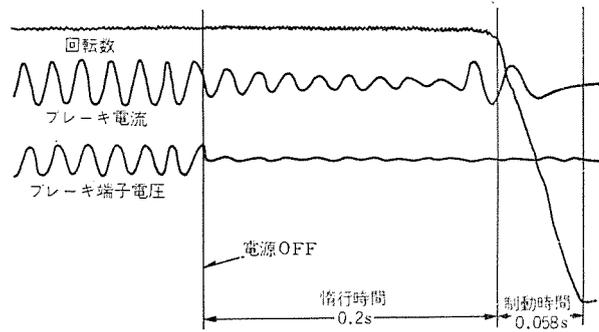
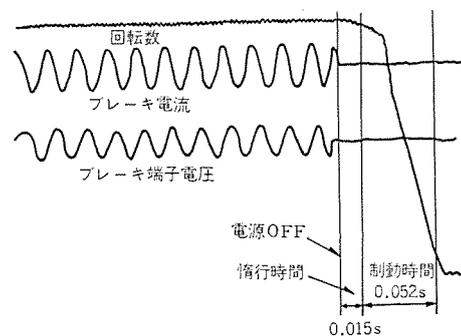


図2.4 内部接続同時切りおよび外部接続別切り
Internal connection and external connection.



(a) 同時切り



(b) 別切り

図2.5 同時切り、別切りの特性オシロ (NB-2.2, 200V, 50Hz)
Internal connection and external connection.

だけで容易にできる。

(7) ブレーキ部分はモータの保護形式にもかかわらず、完全な全

閉構造となっているので、ライニング摩耗粉が外部に出たり、逆に外部の異物が侵入してブレーキ動作に異常を起したり、ライニングが外気にふれて悪影響を受けることがない。

2.4 特性

NBブレーキの一般的特性を表2.2に示す。

(1) 動作特性

電源を切ってから停止に至るまでの動作特性としては、可動鉄心がブレーキライニングに接触するまでの時間、電磁開閉器の動作遅れ時間およびブレーキライニングに接触しはじめてから完全に停止に至る時間に分けられる。全停止時間はその和で与えられ、可動鉄心がライニングに接触するまでの時間と電磁開閉器の動作遅れを合計した時間を惰行時間とよび停止時間算出の際に必要な特性である。

電源OFFよりブレーキ動作開始までの惰行

表2.1 NB・NBSブレーキモータ仕様
Specification of type NB and NBS brake motor.

モータ			ブレーキ			
モータ出力 kW	わく番号		ブレーキ形番			
4P	6P	SF-E, SF-EF SB-E, SB-EF	150%トルク		80%トルク	
0.2	—	63	NB-0.2	—	NB-0.2	—
0.4	0.2	71	NB-0.4	—	NB-0.2	—
0.75	0.4	80	NB-0.8	NBS-0.8	NB-0.8	NBS-0.8
1.5	0.75	90 L	NB-1.5A	NBS-1.5	NB-0.8	NBS-0.8
2.2	1.5	100 L	NB-2.2	NBS-2.2	NB-1.5	NBS-2.2
3.7	2.2	112 M	NB-4	NBS-4	NB-2.2	NBS-4
5.5	3.7	132 S	NB-7.5	NBS-7.5	NB-4	NBS-7.5
7.5	5.5	132 M	NB-7.5	NBS-7.5	NB-4	NBS-7.5
11	7.5	160 M	NB-15	NBS-15	NB-7.5	NBS-15
15	11	160 L	NB-15	NBS-15	NB-7.5	NBS-15

表2.2 NB・NBSブレーキ特性
Characteristics of type NB and NBS brake.

形名	制動トルク kg·m	ライニング許容制動仕事量 kg m/min	許容摩耗量 mm	電磁石特性		吸引ギャップ		惰行時間		電源	
				入力 W	電流 A	初回 mm	調整限界 mm	同時切り s	別切り s		
NB-0.2	—	0.2	80	2	9.5	0.32	0.6	1.5	0.06	0.025	単相
					7.5	0.25			0.06	0.025	
NB-0.4	—	0.4	80	2	10	0.55	0.6	1.5	0.05	0.025	単相
					8.5	0.40			0.05	0.025	
NB-0.8	NBS-0.8	0.8	170	2 (4)	25	0.7	0.5	1.5	0.09	0.013	三相
					17	0.3			0.09	0.013	
NB-1.5A	NBS-1.5	1.5	340	2 (4)	25	0.7	0.5	1.5	0.12	0.014	三相
					17	0.3			0.12	0.016	
NB-2.2	NBS-2.2	2.2	420	3 (6)	45	1.2	0.5	2.0	0.19	0.008	三相
					35	0.8			0.18	0.008	
NB-4	NBS-4	4	550	3 (6)	90	1.7	0.5	2.0	0.20	0.02	三相
					80	1.2			0.19	0.02	
NB-7.5	NBS-7.5	7.5	750	3 (6)	90	2.3	0.5	2.0	0.23	0.02	三相
					75	1.6			0.21	0.02	
NB-15	NBS-15	15	1,050	3 (6)	160	2.5	0.5	2.0	0.38	0.03	三相
					130	1.4			0.25	0.02	

注1. ()内はNBSブレーキ特性値

注2. 上段は200V, 50Hz, 下段は200V, 60Hz

時間はブレーキ電磁石の接続方法によって変化する。接続方法には図 2. 4 に示すように、内部接続同時切りと外部接続別切りがあり、その特性オシロの一例を図 2. 5 に示す。同時切りの場合は電源を OFF にしてもモータの残留電圧により電磁石部分の電流減衰が遅くなるため惰行時間は長くなっている。惰行時間の終わりに振幅が大きくなっているのは電磁石ギャップの変化によるインダクタンスの変化および電磁石のコイルインダクタンスとモータ回路のインダクタンスの間に、磁気エネルギーが授受されているためである。

(2) 制動トルク

定格ブレーキトルクは静摩擦トルクで表わし、ブレーキ形番は定格トルクで表わしている。標準品はモータ定格トルクの 150% 以上に設定してある。また 80% トルクのものも標準として準備されている。ブレーキトルクは定格電圧の -15% 電圧で支障なく動作するよう十分な余裕をもっている。

(3) ひん度特性

起動ひん度特性はライニングの許容制動仕事量およびモータ特性によって決まってくる。ブレーキライニングの制動仕事量は、ライニング許容制動仕事量を越えないように選定する必要がある、NB ブレーキの許容制動仕事量を表 2. 2 に示す。

(3) 摩耗特性

長期間使用するとライニングが摩耗し、電磁石のギャップが大きくなるが、ギャップがあまり大きくなると吸引不能になりコイル焼損の危険性があるので、ギャップが表 2. 2 に示す調整限界に達したらギャップ調整を行なう必要がある。またライニングの摩耗量が許容値に達したらライニングの交換が必要となる。

3. NBS ブレーキモータ

各種産業における高速化・能率化・か動率向上に伴い、高ひん度・長時間運転 (24 時間) する機械がますます増加する傾向にあり、従来のブレーキよりもさらに高ひん度・長寿命に耐え、かつ信頼性の高いブレーキの要求がしだいに多くなってきている。NBS ブレーキモータはこれらの要求を満たすために今回新しく開発した、信頼性の高い、高ひん度、長寿命用のブレーキモータである。

3.1 構造

図 3. 1 に外観、図 3. 2 にその構造を示す。基本的構造は NB 形と同じであるが、信頼性を大幅に向上させるため、部品一つ一つに信頼性をおりこんだ考慮が払われている。端子箱はモータとブレーキ側のおおの別に設けている。

3.2 仕様

仕様は NB ブレーキモータと同一であり、表 2. 1 にその仕様を示す。

3.3 特長

NB ブレーキモータの特長をそのまま生かし、さらに次の特長がプラスされる。

(1) ブレーキ動作時の激しい衝撃力にも十分耐えるよう各部の材料・形状・熱処理などに改良・研究を積重ね、さらに信頼性をおりこんで製作されているため寿命がきわめて長い。

(2) 高ひん度の起動・停止ができ、負荷の GD^2 が小さい場合には 8~10 回/min のひん度まで可能である。

3.4 特性

特性はライニングの許容摩耗量、許容ひん度以外は NB 形と同じであり、表 2. 2 にその特性を示す。

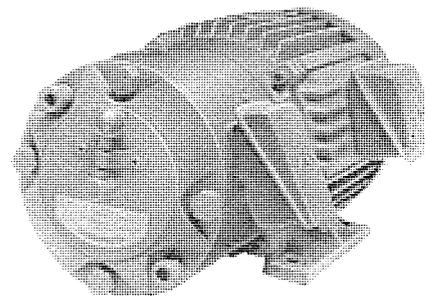
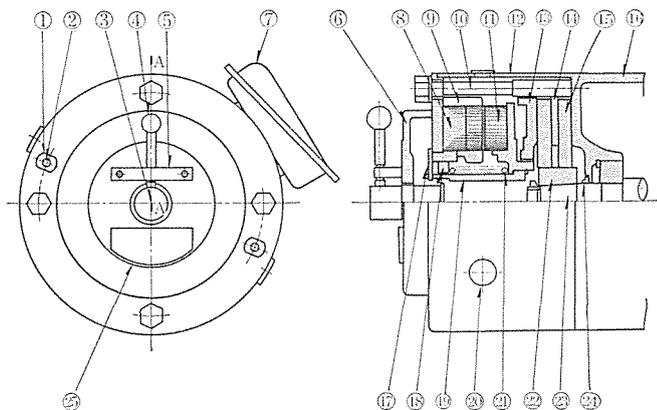


図 3. 1 NBS ブレーキモータ
Exterior view of type NBS brake motor.



① 特殊ナット	⑧ 固定鉄心	⑮ ライニング	⑳ ハブ
② ガイドボルト	⑨ コイル	⑯ ブラケット	㉑ モータ軸
③ 手動解放ロッド	⑩ 特殊ボルト	⑰ 回り止め板	㉒ フリンジ
④ 手動解放ハンドル	⑪ 可動鉄心	⑱ 調整ナット	㉓ 注意名板
⑤ バインド	⑫ ブレーキ胴	⑲ 調整軸	
⑥ ブレーキカバー	⑬ ブレーキ板	㉔ キャップ	
⑦ 端子箱	⑭ 停止円板	㉕ スプリング	

図 3. 2 NBS ブレーキ構造
Construction of type NBC brake.

4. EBA ブレーキモータ

4.1 構造と動作

図 4. 1 に外観、図 4. 2 にその構造を示す。EBA 形ブレーキをそのままモータの反負荷側に取付けた、直流、乾式、単板、励磁制動式のブレーキモータである。図に示すように他の形式のブレーキと比較して部品数が少なく、構造が簡単であるため、故障の可能性も少なく、取扱いが簡単であるなどの特長があり、また軸方向寸法が小さく、高ひん度用に適することから単なる停止だけを目的とした用途に対しては最適であり、最近各方面で多数採用されるようになってきている。

モータの電源を切り、ブレーキの電源を入れるとブレーキコイルが励磁

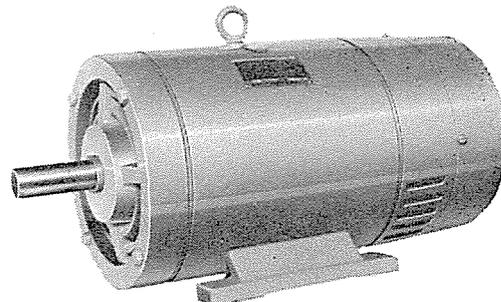


図 4. 1 EBA ブレーキモータ
Exterior view of type EBA brake motor

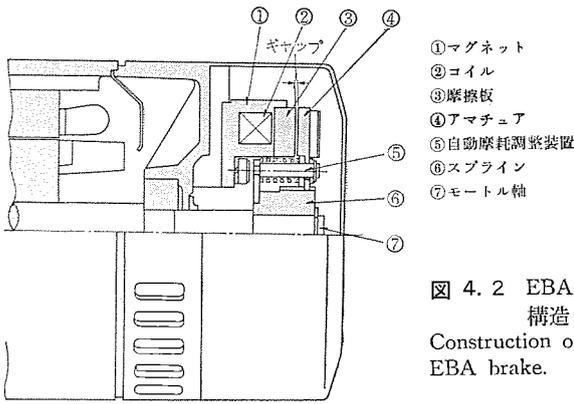


図 4.2 EBA ブレーキ構造
Construction of type EBA brake.

表 4.1 EBA ブレーキモートル仕様
Specification of type EBA brake motor.

モートル		わく番号 SF-E, SF-EF SB-E, SB-EF	ブレーキ形番 (ブレーキトルク 150%以上)
モートル出力 kW	4 P		
0.2	—	63	EBA-0.25 M
0.4	0.2	71	EBA-0.5 M
0.75	0.4	80	EBA-1.2 M
1.5	0.75	90 L	EBA-2.5 M
2.2	1.5	100 L	EBA-5 M
3.7	2.2	112 M	EBA-5 M
5.5	3.7	132 S	EBA-10 M
7.5	5.5	132 M	EBA-10 M
11	7.5	160 M	EBA-20 M
15	11	160 L	EBA-20 M

されて、モートル軸とともに回転しているアマチュアが摩擦板に吸引され、摩擦力を発生しモートルは停止する。

ブレーキの電源を切るとスプリングの力によりアマチュアは元の位置にもどり、ブレーキは解放され、モートルは自由となる。

4.2 仕様

EBA ブレーキモートルの仕様を表 4.1 に示すが、NB ブレーキと同様あらゆるモートルに適用可能である。

4.3 特長

(1) 軸方向寸法がきわめて小さく、ブレーキ部分のみ比較すると NB 形の約 1/2 と小さいため、寸法制限のある用途に適している。

(2) 励磁制動式であるから励磁電流の調整により制動トルクを変え停止時間を容易に変更できる。

(3) ライニングが摩耗しても常に一定のギャップを保つオートギャップ調整付きであるから、摩耗調整の必要がなく、保守が簡単である。(EBA-5 M 以上)。

(4) 単板式で放熱効果が良いため、高ひん度の使用に耐える。

(5) トルクの伝達はスプリング駆動方式であるから、動作が確実である。

(6) 消費電力は 13~40 W と少ないためブレーキ用の直流電源は簡単なものでよく、またブレーキ停止時のみ通電されるので、消費電力は少ない。

4.4 特性

EBA ブレーキの一般的特性を表 4.2 に示す。

(1) トルク特性

励磁制動式のブレーキでは、スプリング制動式ブレーキが機械的にトルクを調整するのに対して、電圧調整により電氣的に制御できる特長がある。図 4.3 に電圧—トルク特性を示すが、トルクは電圧の増加に伴

表 4.2 EBA ブレーキ特性
Characteristics of type EBA brake.

形名	制動トルク kg·m	許容制動仕事量 kg·m/min	吸込ギャップ mm		アマチュア 吸引時間 s	トルク立 上り時間 s
			初回	調整限界		
EBA-0.25 M	0.25	180	0.8	1.5	0.02	0.04
EBA-0.5 M	0.5	200	0.8	2.0	0.02	0.04
EBA-1.2 M	1.2	255	0.8	2.0	0.02	0.04
EBA-2.5 M	2.5	420	0.8	2.0	0.02	0.07
EBA-5 M	5	690	1.2	自動調整	0.04	0.09
EBA-10 M	10	900	1.2	自動調整	0.05	0.13
EBA-20 M	20	1,500	1.2	自動調整	0.06	0.18

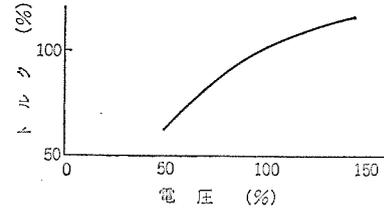


図 4.3 トルク—電圧特性
Torque-voltage curve.

って定格電圧付近までは、ほぼ直線的に変化し、しだいに飽和する。この特性を利用して停止時間を任意に調整することができる。

ただし電圧が定格電圧より低くなるにしたがって、アマチュア吸引時間が長くなるので注意を要する。

また動摩擦トルクは制動時間を算出するうえで最も重要であるが、乾式単板式の特質としてライニング摩擦面のすべり速度により変化し、回転数の増加とともに低下する傾向を有しているためブレーキ選定の際十分考慮しなければならない。

(2) 動作特性

動作特性としては電源を ON してから摩擦トルクが発生するまでのアマチュア吸引時間、電源を ON してからトルクが定格トルクの 80% になるまでのトルク立上り時間が重要である。これらの値は表 4.2 に示したように非常に小さく、一般の使用の場合には問題ないが、とくに高精度を要求される定位置停止・位置決めなどの用途に対してはアマチュア吸引時間、トルク立上り時間をさらに早くし停止時間を短くしその変動を小さくすることもできる。

この方法としてはコイルに直列抵抗あるいはランプを入れ、コイルの時定数を小さくし、電流の立上りを早くする方法、コンデンサをそう入する方法、過電圧励磁の方法などがある。

5. 選定

ブレーキモートルは構造・取扱が簡単で高性能であるため、あらゆる分野で広く使用されているが、前述のように各種ブレーキモートルがあるので、選定に際してはその特長・性能を十分には握し、負荷特性・使用条件・使用環境に適したブレーキモートルを合理的に選定する必要がある。

5.1 機種を選定

機種を選定に際しては、下記項目について検討する必要がある。

- (1) 目的・用途
- (2) 制動方式 (安全ブレーキか、励磁ブレーキか)
- (3) 寸法的な制限
- (4) 寿命
- (5) 経済性

各種ブレーキモートルの一般的比較を表 5.1 に示す。

表 5.1 各種ブレーキモーターの比較
Comparison table of brake motors.

形名	NBブレーキモーター	NBSブレーキモーター	EBAブレーキモーター
形式	交流多相式	交流多相式	直流単相式
制動方式	スプリング制動式 (安全ブレーキ)	スプリング制動式 (安全ブレーキ)	励磁制動式
電源	三相交流 (NB-0.2, NB-0.4) は単相	三相交流 (NB-0.2, NB-0.4) は単相	直流 24V
ブレーキトルク (適用モーター定格トルクに対する%)	150 (標準) 80 (RONS)	150 (標準) 80 (特殊)	MAX 200 (可変)
軸方向寸法	やや大きい	やや大きい	きわめて小さい
トルク調整	機械的(手動)	機械的(手動)	電気的
軸貫通	不可能	不可能	可能
経済性	A	C	B
ブレーキひん度 (MAX回/min)	5~6 (負荷GD ² が 小さい場合)	8~10 (負荷GD ² が 小さい場合)	10~15 (負荷GD ² が 小さい場合)
ライニングの寿命	C	A (NB形の2倍)	B
寿命	C	B (NB形の3倍)	A
特長	<ul style="list-style-type: none"> 交流電源のため簡単に使用 安全ブレーキとなる 一般用 	<ul style="list-style-type: none"> 高ひん度用 長寿命用 	<ul style="list-style-type: none"> 単相式のため高ひん度高エネルギー用に適する 直流電源を要す ライニング摩耗調整不要

(注) 最適な機種から順に A, B, C とした。

5.2 ブレーキモーター容量選定の仕様

容量選定に際しては下記仕様が必要である。

- 回転数
- 負荷 GD²
- 負荷の反抗トルク
- Duty cycle
- ブレーキ特性(ブレーキトルク・停止時間・荷重保持など)
- 取付方向, 負荷の連結方法
- 周囲の環境(屋内外の区別, じんあいの有無など)

5.3 モーター出力の選定

上記仕様に基づきモーターの形式・出力・極数を選定する。具体的選定法については本項では割愛する。

5.4 ブレーキトルクの選定

モーターで駆動している機械を急停止する場合, 停止中の荷重を保持する場合と異なって, ブレーキトルクはかならずしも大きいほどよいとはいえない。必要以上大きなトルクで制動すると, その衝撃により機械の寿命・精度に好ましくない影響をおよぼすこともある。一般に次式により算出するのが望ましい。

- 必要停止時間に対するブレーキトルク

$$t = t_0 + t_b = t_0 + \frac{(GD_M^2 + GD_L^2) \times N}{375} \times \frac{T_B}{T_B + T_R} \text{ (s)} \quad \dots \dots (5.1)$$

ここに t : 停止時間 (s)

t_b : 制動時間 (s)

t_0 : 惰行時間またはアマチュア吸引時間 (s)

GD_M^2 : モーター(ブレーキを含む)の GD^2 (kg・m²)

GD_L^2 : 負荷のモーター軸換算 GD^2 (kg・m²)

T_B : ブレーキの動摩擦トルク (kg・m) [定格トルクの 0.8]

T_R : 負荷の反抗トルク (kg・m)

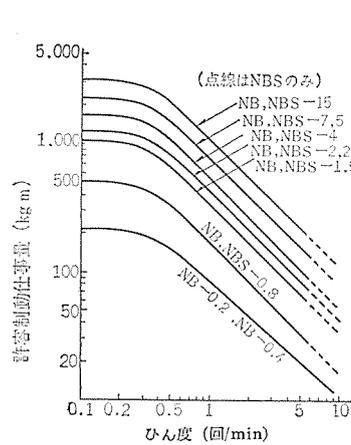


図 5.1 NB・NBS ブレーキ許容制動仕事量
Maximum allowable braking energy of type NB, NBS brake.

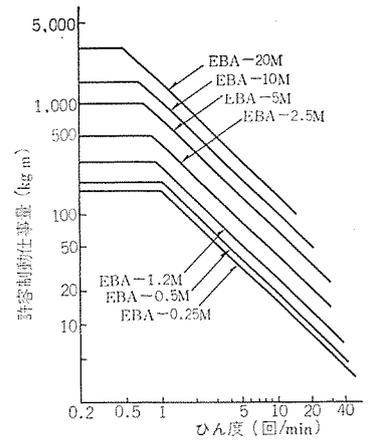


図 5.2 EBS ブレーキ許容制動仕事量
Maximum allowable braking energy of type EBA brake.

N : モーターの定格回転数 (rpm)

式 (5.1) より算出した停止時間と必要停止時間と比較検討する。もし停止時間が短すぎる場合にはブレーキトルク 80% のものを使用するとよい。

- 負荷保持に対するブレーキトルク

$$T_S = K \cdot T_L \text{ (kg} \cdot \text{m)} \quad \dots \dots (5.2)$$

ここに T_S : ブレーキ静摩擦トルク (kg・m)

T_L : 最大負荷トルク (kg・m)

K : 安全係数 (ただし $K \geq 1.5$ とする)

5.5 起動ひん度に対する制動仕事量の検討

ブレーキは摩擦抵抗を利用して, 熱エネルギーに変換するものであるから, ブレーキ面の単位面積当たりの仕事量には各摩擦材料によりおのおの限度がある。この仕事量をブレーキ容量といい, 各形式のブレーキにはこのブレーキ容量より決定した許容制動仕事量が決めているので, この許容値以内で使用する必要がある。

図 5.1, 図 5.2 に NB 形・NBS 形・EBA 形 ブレーキの制動仕事量—ひん度特性を示す。

式 (5.3) で表わされるブレーキ制動仕事量が, 許容仕事量を越えるとライニングの異常摩耗・過熱・焼付きの原因となる。

$$E = \frac{(GD_M^2 + GD_L^2) \times N^2}{7150} \times \frac{T_B}{T_B + T_R} \cdot n \text{ (kg} \cdot \text{m/min)} \quad \dots \dots (5.3)$$

ここに E : 毎分当たりの制動仕事量 (kg・m/min)

n : 毎分当たりの起動ひん度 (回/min)

なお起動ひん度はモーター側よりも制限されるので, その点も考慮する必要がある。

6. む す び

以上ブレーキモーターの種類・特長・特性・選定について述べたが, 最近では汎用機から専用機へ, 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り, その応用範囲はきわめて広く, ブレーキモーターの需要はますます増大するものと思われるが, 本文が各種機械の合理化, 生産性の向上の一助になれば幸である。

なおこのほか大容量ブレーキとして別置形のシユ-形電磁ブレーキ, 油圧押し上げブレーキなどがあるがこれらについては別の機会に述べることにしたい。

MELDAS 5230L 旋盤専用輪郭制御数値制御装置

黒田 泰次*・篠田 東吾*・飯田 秀正*・菅井 宗一*

MELDAS 5230L Numerical Contouring Controller for Lathes

Kamakura Works Yasutsugu KURODA・Togo SHINODA・Hidemasa IIDA・Soichi SUGAI

MELDAS 5230L has been developed for exclusive use with lathes among a series of MELDAS 5200. It is of two axes, linear and circular interpolation system. Its least input increment is 0.005 mm at X axis and 0.010 mm at Z axis. A multi-pole brushless resolver is used for a position detector to elevate the accuracy of surfaces. Relays are provided in sending and receiving signals from outside to improve the stability against noises. Expansion of optional functions is attained through a building block system. Further added to it are such functions as diameter designation, mixed use of absolute dimensions and incremental dimensions within the same block, compound tool offset, screw cutting and fixed cycle.

1. ま え が き

輪郭切削用数値制御装置として従来 MELDAS 5200 シリーズを製作し、多数の納入実績を誇ってきたが、需要の約 1/3 は旋盤用であることから、旋盤用として機能が標準化された NC の要求が高まり、その結果旋盤専用 NC として MELDAS 5230L の開発を行なった。制御軸数は 2 軸とし、直線および円弧補間方式である。オプション機能の拡張に対してはいわゆるビルディングブロック方式をとり、また外部との信号の授受にはリレーを介することによりノイズに対する安定性を著しく向上している。

図 1. 1 に本装置の外観図を示す。

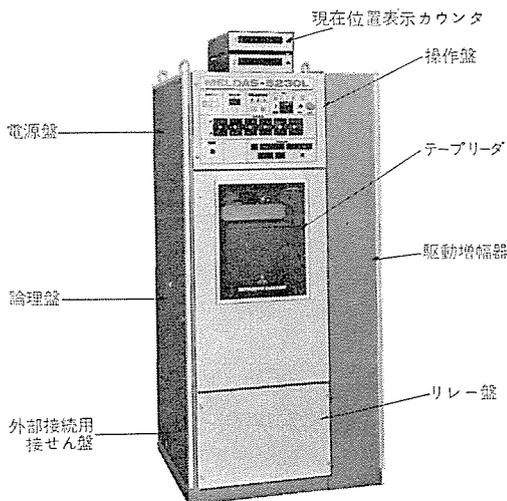


図 1. 1 MELDAS-5230L 外観
Appearance of MELDAS-5230L.

2. 特 長

おもな特長は次のとおりである。

- (1) 直径指定・半径指定のいずれでも可能である。
- (2) ワードアドレスにより絶対値指令・増分指令のいずれでも可能である。また 1 ブロック内の絶対値指令・増分指令併用も可能である。
- (3) フィードコードロック機能をもつ。
- (4) 合成工具位置補正機能をもつ。すなわち新しいオフセット量が指定されるとキャンセル量（前回のオフセット量）を差し引いた差だけ移動する。また G 指令を同一ブロック内に入れると、上記の差に

合成されて移動する。

- (5) 各軸方向直線切削およびねじ切りの固定サイクル機能をもつ。
- (6) 各種警報機能を有する。

3. 構 成

MELDAS 5230L 本体の構成は次のとおりである。

(1) テープリーダー

集光レンズ付き光電式テープリーダーで、読取速度は 200 キャラクタ/秒である。テープ収容箱は 15 m 収容可能である。図 3. 1 にテープリーダーの外観図を示す。

(2) 操作盤

標準ユニットとして警報・運転モードユニットおよび起動・停止ユニットが実装されている。

オプションユニットとしては、絶対値レジスタリセットユニット・テープサーチユニット・シーケンス番号表示ユニット・工具オフセットユニット・手動データ入力ユニットが実装可能である。図 3. 2 に操作盤の外観図を示す。

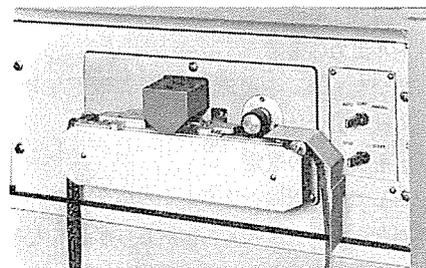


図 3. 1 テープリーダー
Tape reader.

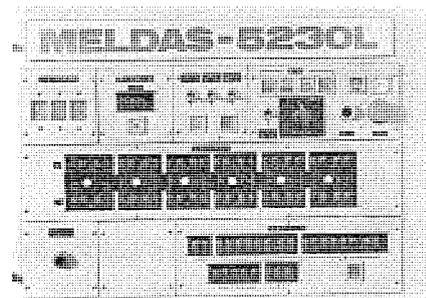


図 3. 2 操作盤
Operation panel.

(3) 論理盤

3 段のカードフレームには集積回路を使用した大形機能カードが実装されている。図 3.3 に論理盤の外観図を示す。

(4) リレー盤

機械、機械操作盤、強電制御盤との信号のインターフェイス用のリ

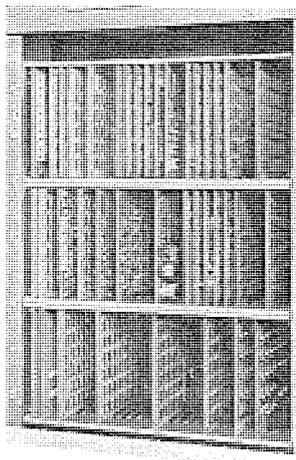


図 3.3 論理盤
Logic stack.

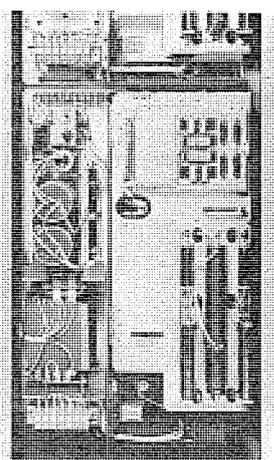


図 3.4 800 W トランジスタ増幅器
800 W transistor amplifier.

ー、および NC の電源投入・切断時に必要な制御シーケンスのためのタイムリレーが実装されている。

(5) 外部接続用接せん(栓)盤

機械、機械操作盤、強電制御盤、現在位置表示カウンタとの信号のインターフェイス用接せんである。

(6) 電源盤

(7) 駆動増幅器

400 W、800 W のトランジスタ増幅器 2 台を本体架内に実装可能である。1.5 kW、3 kW のサイリスタ増幅器を使用する場合には別きょう(筐)体の実装する。

図 3.4 は 800 W トランジスタ増幅器の外観図である。

4. 仕様

表 4.1 に標準仕様、表 4.2 に選択仕様を示す。

5. 機能

5.1 動作概要

図 5.1 に制御ブロック図を示す。テープ情報は光電式リーダにより読みこまれバッファレジスタにはいる。バッファレジスタは、テープリーダの読みこみ時に指令がとぎれて機械が停止しないように 1 ブロック先の指令を読みこんでおくためのものである。バッファレジスタの情報は計算

表 4.1 標準仕様

Standard Specification.

項目	仕様	備考
1. 補間方式	2軸直線円弧補間	
2. 入力指令	8単位紙テープ(EIA標準コード)	ワードアドレス方式
3. 位置指令方式	増分方式(X, Zで指定)	移動の目標を示すのに、直前の位置からの座標値の増分で示す方式
4. テープ読取	200キャラクタ/秒	光電式テープリーダ、テープ収容箱つき(15m収容可能)
5. 制御指令軸	2軸同時2軸	X, Z軸
6. 入力設定単位	X軸0.005mm(半径指定) Z軸0.010mm (I, Kは0.005mm単位)	テープまたは手動データ入力で与えうる移動量の最小単位
7. 最大指令値	300,000mm	直線移動量および円弧半径の各軸成分に該当
8. 位置決め速度	4,800mm/分(X, Z軸とも)	NCとして指令できる最大速度
9. 送り速度	0.1~990mm/分 送り指定機能はmm/分単位マジック3けたで指定	オーバーライド機能は、外部可変抵抗器により、停止および指令値の10~150%まで可能
10. 手動送り	早送り、切削送り、1パルス送り	
11. 手動送り速度設定	切換スイッチと可変抵抗器の併用	切削送り速度は、外部切換スイッチ(1, 10, 100, 1,000mm/分)と外部可変抵抗器(0~120%連続可変)の併用により指定できる
12. 位置検出	レゾルバ検出(多極ブラシレス)	各軸ともレゾルバによるアナログフィードバック
13. 補助機能	M00~M99 100種	M00はプログラム停止, M01はオプション停止, M02はプログラム終了(NC自動リセット) 外部シーケンスは、M03~M99の2進化10進リレー接点出力
14. バッファレジスタ	1ブロック分	
15. ブロックデリート	ON-OFFスイッチ付き	切換スイッチによりテープの情報の一部(頭文字が/記号のブロック)を読み飛ばしたり、実行したりできる
16. 1ブロック制御	選択スイッチ付き	1ブロック制御スイッチと起動ボタンをONにすることにより、テープの情報を1ブロックずつ実行できる
17. 自動加減速	位置決めは常に作動 切削送りは準備語(G)で指定	工作機械の起動・停止時のショックをさけるため、なめらかな加減速を自動的にこなわせる機能
18. フィードコードロック	選択スイッチ付き	スイッチをONにしている間だけ、ONにした時点におけるF値が継続され、この間にテープより新しいF値が読まれても無視される
19. リファレンスブロック	プログラム名パンチ	最初「O」の文字をもつブロックで、プログラム名などを入れるのに用いられ、動作に無関係
20. フィードホールド(一時停止)	押しボタンスイッチ付き	機械の移動中にこのボタンを押すことにより、機械を一時停止できる
21. ブロック停止	押しボタンスイッチ付き	機械の移動中にこのボタンを押すと、続行中の指令終了後停止する
22. 警報信号	表示または押しボタンスイッチによる接点出力	パリティH, V, NC電源警報, レジスタ異常, ストロークエンド, 誤差過大, 直流モータ過速度過電流, プログラムエラー表示, 電源故障, 直流モータ過速度・過電流, 誤差過大により外部にブレーク接点出力
23. 電源	100V/110V±10% 60VA 50/60Hz	
24. 周囲温度	0~45°C	
25. 演算回路	IC	集積回路を主体としたプリント基板で構成
26. 外部接続	キャンオン接せん(栓)	ただし電源, DCモータ駆動は除く

処理を要する場合には計算部を経由し、それ以外は直接 アクティブレジスタにはいる。計算部は円弧指令を多くの直線指令に変換する直線内そう(挿)近似計算を行なう部分である。アクティブレジスタにはいった情報は、直線指令の場合パルス分配回路により各軸に指令パルスを与える。パルス分配回路は与えられた指令にしたがって、直線的に機械が移動するように各軸に指令パルスを分配する部分でパルス数が移動量、周波数が各軸の分速度に対応する。この指令パルスは1種のD-A変換器であるデジタル位相変調回路に与えられパルス数を位相の変化に変換する。この出力位相と位置検出器(レゾルバ)出力位相との差を位相弁別回路で弁別し誤差信号として駆動増幅器に与えモータを駆動し機械を移動させる。上記二つの位相が等しくなったとき停止する。

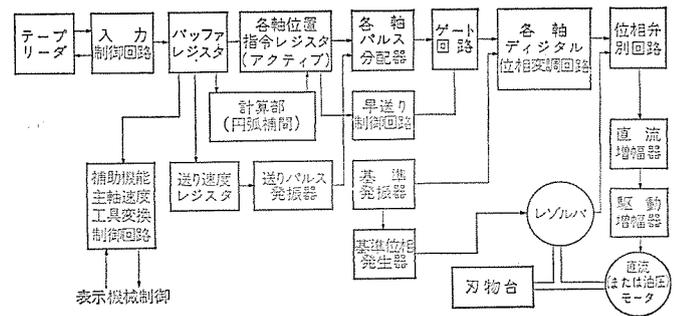


図 5.1 制御ブロック図
Block diagram of controller.

表 5.1 アドレス
Address.

アドレス	意味	アドレス	意味
N	シーケンス番号	I	円弧中心 X 軸座標
G	準備機能	K	円弧中心 Z 軸座標またはねじのリード
X	X 軸座標	F	送り速度機能またはドゥエル時間
Z	Z 軸座標	S	主軸機能
U	X 軸座標	T	工具機能
W	Z 軸座標	M	補助機能

表 5.2 準備機能
Preparatory functions.

	機能		機能
G 00	高速位置決め	G 33	ねじ切り
G 01	直線補間	G 80	固定サイクルキャンセル
G 02	円弧補間 CW	G 92	Z 軸直線切削サイクル
G 03	円弧補間 CCW	G 93	X 軸直線切削サイクル
G 04	ドゥエル	G 94	ねじ切りサイクル
G 08	自動加速	G 98	手動データ入力(符号正)
G 09	自動減速	G 99	手動データ入力(符号逆)
G 25	原点設定		

また高速位置決め指令の場合には、上記サーボループをクローズとしたまま、高速送り用指令パルスを上記デジタル位相変調回路に入れて位相をずらし、誤差が出るとこれが DC 電圧に変換されて、サーボモータを駆動して機械を移動させ検出器の位相をずらし誤差を零にしていく。この間デジタル位相変調回路に指令パルスを入れるとともにレジスタより減算していくことにより、レジスタの内容は目標点までの残り距離となる。レジスタの内容がある設定点以下になると指令パルスの周波数をレジスタの内容に従って下げ、しだいに減速しながら最終位置決めを行なう。レジスタの内容が零になると完了する。

駆動部は機械により低慣性モータによる電気式あるいはサーボ弁、油圧モータによる油圧式とがある。また高速送りの方式としてクラッチによるギヤ切換えの併用を行なう場合もある。

5.2 テープフォーマット

MELDAS 5230 L で使用されるアドレスは、表 5.1 に示すように 12 種ある。

表記アドレスとこれに続く 10 進数値とにより語が構成される。いくつかの語より一つのブロックが構成され、ブロックの終端には EB マークがはいる。同一ブロック内に含まれる指令は同時に実行され、作業シーケンスはブロックの順序にしたがって決定される。

(1) シーケンス番号

ブロック番号をつけるときに用いる。

(2) 準備機能(G-機能)

制御動作の準備を指定するもので、MELDAS 5230 L で使用する準備機能を表 5.2 に示す。

(3) 座標語

一般的には機械の移動量を示す語で、アドレスに続いて符号と変位量を示す数値がはいる。アドレスとしては X, Z, U, W がある。それ以外に円弧の中心座標、ねじ切りのリードなどを指定するため I, K のアドレスがある。

(4) 送り速度(F-機能)

一般的には機械の送り速度を指定するものであるが、ドゥエル指令の時間指定にも用いる。

(5) 補助機能(M-機能)

主軸の起動停止、冷却水のオン・オフなど補助的な機能を指定し動作させるものである。

(6) 主軸回転速度(S-機能)

主軸の回転数を指定する。

(7) 工具選択(T-機能)

工具の交換において、工具の指定ならびに工具位置補正ダイヤルの指定を行なう。

5.3 半径指定と直径指定

旋盤で加工される加工物の断面は円であり、X 軸方向の座標値は円の半径値または直径値を用いることになる。MELDAS 5230 L では仕様によりどちらかを選択するようになっている。

工具は半径指定の場合は、指定された量だけ移動するが直径指定の場合は指定された量の 1/2 を移動することになる。

たとえば図 5.2 において工具が P₁ から P₂ へ移動する場合指定する数値は次のようになる。

半径指定	インクレメンタル	: r ₂ - r ₁
	アブソリュート	: r ₂
直径指定	インクレメンタル	: d ₂ - d ₁
	アブソリュート	: d ₂

なお Z 軸方向の座標値の指定は、半径指定でも直径指定でも同じで工具は指定された数値だけ移動する。

5.4 合成工具位置補正

T d₁d₂EOB

により d₁ で選択すべき工具番号を指定し d₂ で工具位置補正ダイヤル番号を指定する。

T 指令が読みとられると d₁ で指定された番号の工具が選択されると同時に d₂ で指定された工具位置補正ダイヤルに設定されている数値だけ移動する。この移動は早送りで行なわれる。一度補正が行

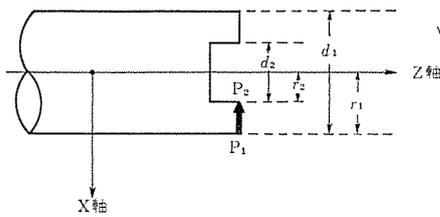


図 5.2 半径指定と直径指定
Radius designation and diameter designation.

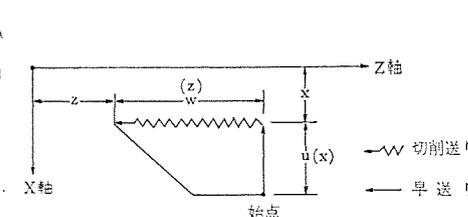


図 5.3 Z軸直線切削サイクル
Z-Axis straight cutting cycle.

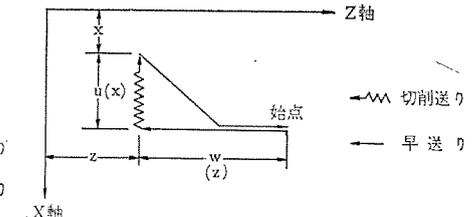


図 5.4 X軸直線切削サイクル
X-Axis straight cutting cycle.

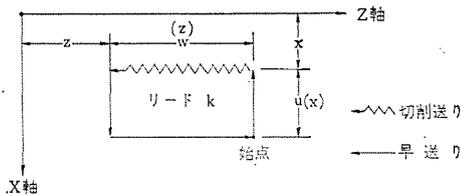


図 5.5 ねじ切りサイクル
Thread cutting cycle.

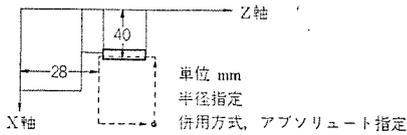


図 5.6 ねじ切りサイクルの一例
Example of thread cutting cycle.

なわれると、他のT指令が与えられるまで工具は補正されたままで移動する。すなわちテーク指令の座標値よりダイヤルで設定されている量だけ離れた点を移動することになる。

工具位置補正が行なわれている状態で他のT指令が読みこまれると前の補正量と新たに指定されたダイヤルの補正量の差だけ移動する。 d_2 を0にすると現在の補正量だけキャンセルされる。

移動指令(ただしG00, G01に限る)と工具機能を同一ブロック内で指令した場合座標値に補正量が合成されて移動する。

5.5 固定サイクル

固定サイクル指令は、普通の指令では数ブロックの指令を必要とするあらかじめ定められた一連の作業シーケンスの指令を1ブロックで指令できるようにしたもので、プログラマーの負担を軽くするものである。

MELDAS 5230 Lには固定サイクルとして次の3種のものがある。

- (1) Z軸直線切削サイクル
- (2) X軸直線切削サイクル
- (3) ねじ切りサイクル

この固定サイクルは、固定サイクルキャンセルG80が指令されるまで保持される(G指令、座標値とも)。このためある固定サイクルから他の固定サイクルへ、または他の制御モードへ移る場合にはG80を指令して一度固定サイクルモードを打ち消してから新しいモードを指令する。

5.5.1 Z軸直線切削サイクル G92

テーク指令

G92 X(U)±dd...d Z(W)±dd...dFdddEOBにより図5.3のような作業シーケンスを指定する。

5.5.2 X軸直線切削サイクル G93

テーク指令

G93 X(U)±dd...d Z(W)±dd...dFdddEOBにより、図5.4のような作業シーケンスを指定する。

5.5.3 ねじ切りサイクル G94

テーク指令

G94 X(U)±dd...d Z(W)±dd...dKdddEOBにより、図5.5のようなねじ切りシーケンスを指定する。

また図5.6のようにリード2mm、切込み量0.5mm、4回繰返しの場合のテーク指令は次のようになる。

G94 X39500 Z28000 K200EOB

X39000 EOB

X38500 EOB

X38000 EOB

G80 EOB

5.6 プログラムエラー警報

テークのプログラムもしくは手動データ入力のダイヤル設定に誤りがあると、プログラムエラーとして警報ランプを表示させると同時にテークリデータを停止させる。

プログラムエラーの内容は次のとおりである。

- (1) 円弧指令とT機能を同時に指定した場合
- (2) 指定した送り速度が指定可能範囲を越えた場合
- (3) 移動指令値が最大指令値を越えた場合
- (4) 絶対座標系において現在点の座標が最大指令値を越えた場合

合

6. む す び

以上 MELDAS 5230 Lの仕様および特長について紹介した。省力化機械の一つとしてNC装置の需要はますます増大し、国内のみならず輸出機種としても有望であり、飛躍的に拡大するものと期待される。(昭和46-2-17受付)

人工衛星の受動型熱制御系の設計法

平井正一*

下地貞夫**・芦田恭子+

植田剛夫**

Design Method of Passive Temperature Control System of Artificial Satellite

National Space Development Agency Shōichi HIRAI

Mitsubishi Electric Co., Central Research Laboratory Sadao SHIMOJI・Yasuko ASHIDA

Mitsubishi Electric Co., Kamakura Works Takao UEDA

To protect the apparatus loaded on the artificial satellite from the space environment and keep the apparatus in a required temperature range is one of the important items to attain the fulfillment of the objective in the orbiting spacecraft.

In this article is described a CAD of passive temperature control system used on a satellite flying in the space on the orbit for practical purposes. This system also gives a foundation of a semi-active temperature control system and a programming system. A technique used as a basis is a multi-node analysis. The energy interchange is analyzed by using a radiation configuration factor and a radiation interchange factor. About the basic equation, calculation accuracy and application range, explanation is made in full on the result of study by quoting examples.

1. ま え が き

人工衛星のように、広範囲の技術を総合した複雑なシステムを設計するに際しては、電子計算機を駆使した解析法の確立が必要である。各サブシステムにおいても事情は同様であり、全システムの設計過程におけるインタフェース規格の設定と平行して解析を繰返し、効率良く設計を進める必要がある。ここでは、中・低高度の軌道飛行を行なう人工衛星の熱制御系の設計法および解析プログラムに要求される機能について述べる。

熱制御系の役割は、過酷な宇宙環境から積載機器を保護し、これらが正常に動作する温度環境を生成することである。この場合、熱エネルギー伝達のモードは放射および伝導であり、解析技術においては、放射エネルギー交換を定量的に取扱可能なこと、およびこれと調和した熱伝達の解析法を確立することが、まず必要である。

積載機器が、宇宙空間においても地上テストの結果から期待されるように動作するためには、上記のように熱制御系が決定的な役割を演じるので、この設計法および性能確認法に関しては、諸外国においても研究開発の蓄積は膨大である^{(1)~(4)}。われわれもこれらの結果を活用し、若干のくふうを加えて解析法を開発した。

以下、2章には宇宙空間における熱入力と出力、熱制御の問題点および熱制御法の概観を述べる。3章に定常軌道を飛行する人工衛星の受動型熱制御系の解析プログラムの構成、4章に各プログラムにおける基本の方程式、プログラムの機能および計算精度、5章に設計のサンプルなどについて述べる。

2. 熱制御法の概要

人工衛星の熱制御系への入力条件は、中・低高度の軌道の場合、太陽直射 Q_s 、地球のアルビド Q_a 、および地球の赤外ふく射 Q_R の3種のエネルギー入射、および積載機器の発熱量によって定まる^{(5)~(7)}。

通常のように Q_a は Q_s と同じスペクトル分布をもつものと近似する。熱溜は絶対零度に近い宇宙であり、これに対して人工衛星の温度および対応するふく射率で熱エネルギーの放散が行なわれる。入出力の状況を図2.1に示す。

軌道面の回転、姿勢の変化を考慮して、人工衛星がふく射の形で外部と授受するエネルギー伝達に対する抵抗を、積載機器の温度要求について最適に定めることは設計上の一つの問題である。また、軌道が地球の影に入る部分においては、入射エネルギーの大部分である太陽直射がシャ断されるので、熱入力は急減する。人工衛星の温度制御の技術的問題は次のように要約されよう。すなわち、(1)熱源および熱溜の温度差が地上のいかなる場合よりも大きい、(2)積載機器からの許容温度範囲の要求のきびしさにもかかわらず、熱入力の変動が大きい。

温度制御の方法は放射率・吸収率などの値の選択による受動型、これにルーバ・ヒートパイプなどを併用した半能動型、およびヒータ・サーマルスイッチなどを用いる高レベルの能動型、と3種に分類することができる。

電源に太陽電池を用いるとすれば、変換効率はいずれも10%程度であるから、人工衛星への入射エネルギーの90%以上は、図2.1に示した経路で、熱エネルギーとして宇宙空間に放出される。受動型

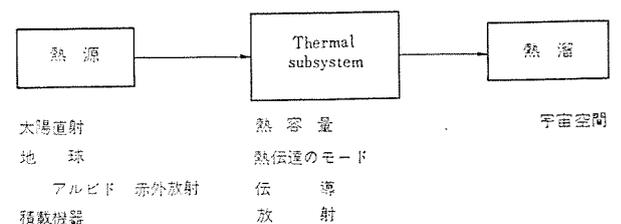


図 2.1 人工衛星熱制御系の入出力
Input/output conditions of thermal subsystem of artificial satellite.

* 宇宙開発事業団(工博) ** 三菱電機(株)中央研究所(理博)
+ 三菱電機(株)中央研究所 ** 三菱電機(株)鎌倉製作所

熱制御法は、外部と授受するエネルギー伝達に対するコンダクタンス、および内部における伝導と放射に対するコンダクタンスを、人工衛星の飛行条件および積載機器からの温度範囲の要求に最もよく適合するように選定し、所要の温度環境を生成しようとする方法である。したがって受動型の制御法は、それ自身、一つの方法であるが、同時に能動型の制御法に対する最適設計の一部をなすといえる。

太陽直射は、地球の近傍の宇宙空間において 1.4 kW/m^2 の強度がある。また、この入射強度に平衡する黒体の温度は常温になる。太陽光吸収率 α 、および赤外ふく射率 ε はいずれも、 $0.9 \sim 0.1$ の範囲の値がコーティングの選定によって実現できるから、受動型の制御法によって、かなりの範囲のエネルギー授受を変化させうる。

3. 受動型熱制御系設計のプログラムシステム

定常軌道を飛行する受動型熱制御の人工衛星を対象とする。解析によって人工衛星の熱的応答の予測、スペースシミュレータにおける熱モデル実験の結果の検討、および各積載機器に対する要求仕様を確立したい。複雑な構造の人工衛星について放射を含む熱伝導問題を解くために、解析プログラムは、現象が十分な精度で計算機内に再現され、かつ、所要の応答をアウトプットできるものが必要である。

われわれは解析プログラムの機能を分けて、次の五つとした。すなわち軌道熱入力・熱解析・放射形態係数・放射交換係数および誤差評価の計算プログラムである。これらを、それぞれ XORB(Heat Flux Orbital)・TAP(Thermal Analyzer Program)・COFAC(Configuration Factor)・RIF(Radiation Interexchange Factor) および STEP(Steady Temperature Error Analyzer Program) と名付けた。名前の示すように、最後の誤差評価は、現時点で定常温度のみを扱っているにとまっているが、対象に過度応答をも含むよう拡張を行なっている。

五つのプログラムの相互関係およびこれらが CAD の過程でどのように用いられるかを、図 3.1 に示してある⁽⁸⁾。図における四角い丸はプログラムを表わし、丸みをつけた四角は技術的判断を指示している。また、人工衛星の軌道・形状・姿勢・構造・熱的性質および積載機器の寸法・配置・許容温度などが、解析および設計のどのステップに入るかを示してある。すなわち、多ノード解析法を根幹とし、熱制御系はラップ化された形で TAP によって解析される。入力条件は XORB および電子機器の Power Profile を内そう(挿)し

て得られ、内部の放射熱交換は COFAC および RIF によって係数が計算され、TAP に入る。得られた熱的応答は STEP によって製作公差、材料および処理公差、スペースシミュレータにおける光源変動などを考慮して上限および下限を評価し、積載機器からの許容温度の要求と比較される。十分な計算結果が得られるよう、放射熱特性、機器の取付条件および配置を検討し、上記の計算を反復して設計が進められる。

4. 各プログラムの概要

4.1 放射形態係数 (COFAC)

有限温度のいくつかの物体間の放射エネルギー交換は表面の radio-sity に対する第 2 種 Fredholm 型積分方程式によって表わされる^{(9)~(11)}。放射が一定とみなされる程度の範囲の大きさに物体表面を分割して考えると、このエネルギー交換は放射交換係数 (RIF) を係数とする、各面要素の温度の 4 次の連立方程式で近似される。また、放射交換係数は放射率、反射率および放射形態係数を係数とする連立一次方程式の解として表わされる⁽⁹⁾。

図 4.1 に示すように、二つの面要素の一方を emitter, 他方を receiver と名づけると、この 2 面間の放射形態係数 F_{r-e} , あるいは F_{e-r} は次式で定義される。

$$A_r \cdot F_{r-e} = A_e \cdot F_{e-r} = \int_{A_r} \int_{A_e} \frac{\cos \theta_e \cdot \cos \theta_r}{\pi s^2} \dots \dots (4.1)$$

放射形態係数を求める方法としては、基本的ないくつかの場合に求められている解析解を利用する方法、光学的測定法、および計算機による数値積分法などがある。

計算機による方法は、一般にいくつかの基本的形状のものを対象とし、種々の組合せおよび相互関係に対して、座標変換を行なって式 (4.1) を積分する。emitter と receiver の間に shadower の介在する場合には計算時間が長くなる。実際の設計にあたっては、光学的測定法を併用して一定の立体角以下の放射面は省略し、また、複雑な形状のものは等価で簡単な形状のものに置換して計算する、などのくふうが有効である。

図 4.2, 4.3 および図 4.4 に計算例を示す。2 枚の正方形の板

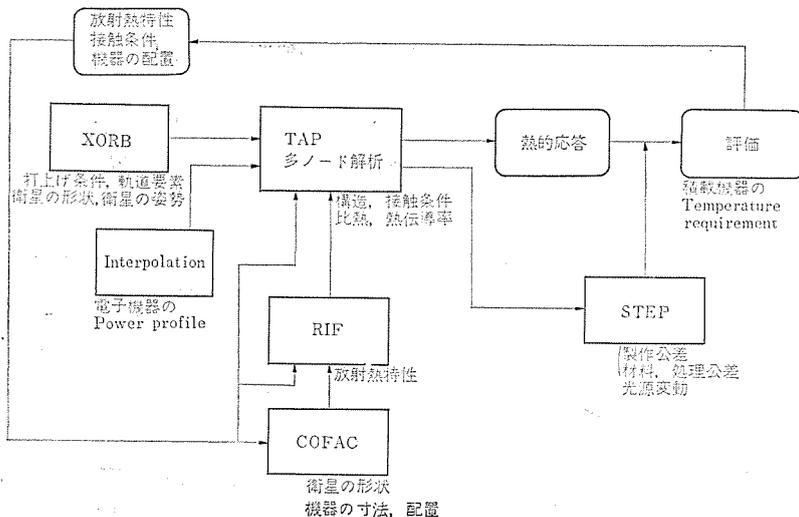


図 3.1 受動型熱制御系の CAD のフロー
Flow diagram of CAD of passive temperature control system.

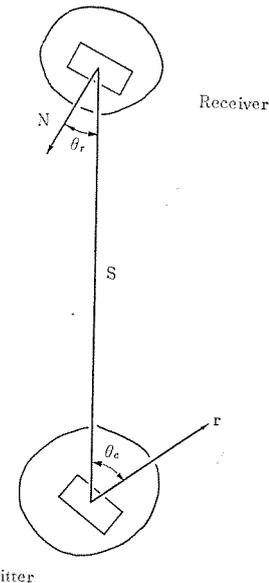


図 4.1 放射面と受熱面間の幾何学的関係
Geometrical relation between emitter and receiver.

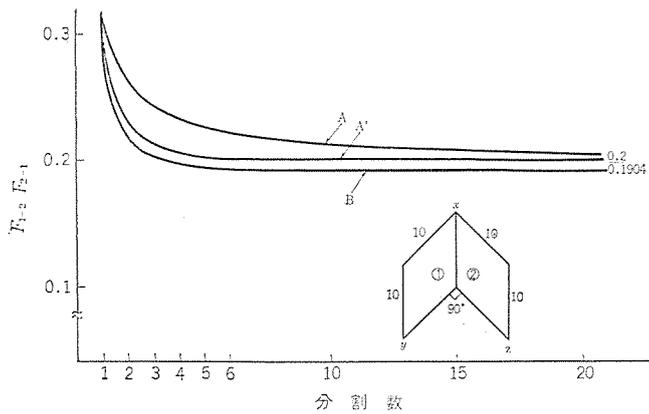


図 4.2 放射形態係数の収束, 直交平面
Convergence of radiation configuration factor planes intersecting at right angle.

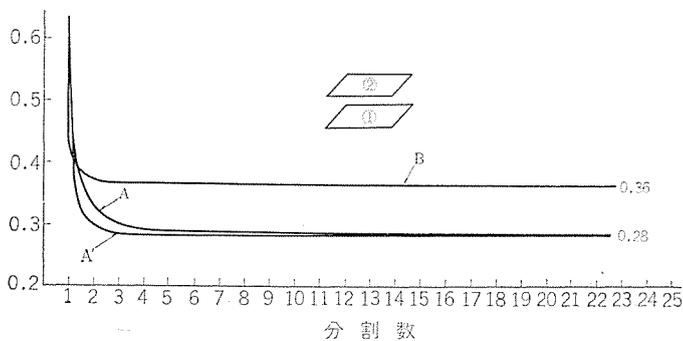


図 4.3 放射形態係数の収束, 平行平面
Convergence of radiation configuration factor, parallel planes.

が一辺を共有し、 90° の開き角で相対している場合、分割数に対して、式(4.1)は図4.2のように収束した。曲線Aは emitter および receiver とともに分割して計算した結果、曲線Bは emitter のみを分割し、receiver は中心点に凝縮したと考慮して計算した結果である。曲線A'は、横軸を分割数の平方根に比例して縮小し、曲線Aをプロットしたものである。曲線Aは分割数 25×25 で収束し、そのときの値は十分な精度で解析解に一致している。曲線Bは光学的測定と同等な近似に基づくものである。収束は厳密なAより速い。最終値に -5% 程度の偏差が見られる。2枚の平行く(矩)形板についての計算結果は図4.3のごとくである。曲線A、A'およびBは図4.2と同意である。曲線AとBの収束速度の関係は図4.2と同様に分割数の1乗だけの差がある。最終値はこの場合、簡略な曲線Bが+側に 10% 強偏っている。図4.3の configuration において、shadower をそう入した場合の放射形態係数は図4.4のように変化した。shadower の位置は完全シャへの場合を1として表わし、おのおの位置における放射形態係数は、十分な収束値が得られるように分割数を定めて計算した。計算時間は shadower の形を認識する分だけ余計に必要とする。

放射形態係数の計算における実際的な規準を、次のように述べる事ができる。(1) emitter および receiver の距離がそれぞれの代表長さと同程度になった場合、一方向について25程度の分割数とすれば十分な精度がえられる。(2)それぞれの面が、く形的な場合には刻んだ面要素は正方形に近いほうが、少ない分割数で精度がえられる。(3)一方の面が、面間距離に比べて小さい場合、他方の面のみを細分すればよい。

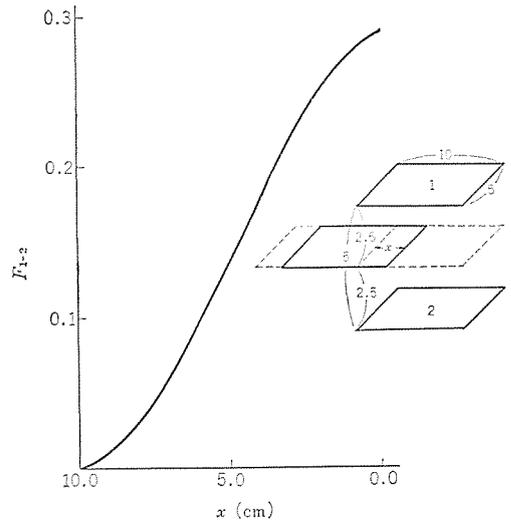


図 4.4 シャへの面による放射形態係数の変化, 平行平面
Variation of radiation configuration factor by shadower, parallel planes.

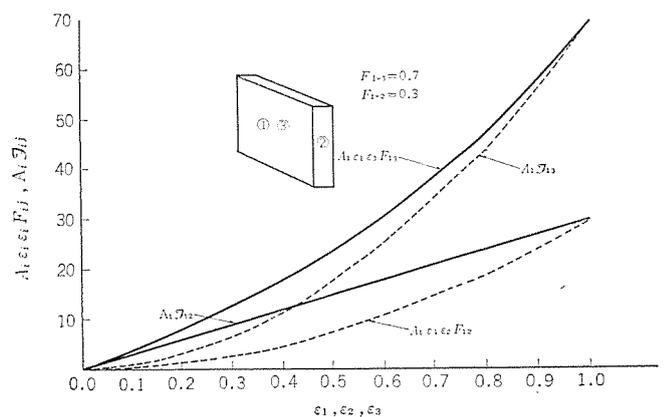


図 4.5 放射交換係数の変化, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$
Variation of radiation interchange factor vs. emissivity, $\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3$.

4.2 放射交換係数

放射形態係数の概念の由来と関連して述べたように、放射エネルギー交換は放射交換係数 F を係数として温度についての四次の連立方程式で近似される。すなわち、分割した放射の一定な面要素 i 、および j の間の正味のエネルギー流 q_{ij} は、他の面を媒介しての多重反射も含めて、

$$q_{ij} = \sigma F_{ij} \cdot (T_i^4 - T_j^4) \quad (4.2)$$

と表わすことができる。 i に関連したノードについて加え合わせた $\sum_{j=1}^n \sigma F_{ij} (T_i^4 - T_j^4)$ を連立させて、各表面の温度を求め、放射エネルギー交換 q_{ij} を定めることができる。

放射交換係数はいろいろな形のものが与えられているが、いずれも同等なものである⁽⁹⁾。放射および反射面で閉じた空間内における放射交換係数は、放射率と反射率は灰色、および拡散反射の近似を行なった場合、一例として次式があげられる。すなわち、

$$F_{ij} = A_i \frac{\epsilon_i \epsilon_j}{\rho_i} \frac{D_{ji}}{D} \quad (4.3)$$

$$D = \begin{vmatrix} 1 - \rho_1 F_{11} & -\rho_1 F_{12} & \cdots & -\rho_1 F_{1n} \\ -\rho_2 F_{21} & 1 - \rho_2 F_{22} & \cdots & -\rho_2 F_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -\rho_n F_{n1} & -\rho_n F_{n2} & \cdots & 1 - \rho_n F_{nn} \end{vmatrix}$$

と与えられる⁽⁹⁾。ただし、 D_{ji} は D の (j, i) 要素に対する余因子

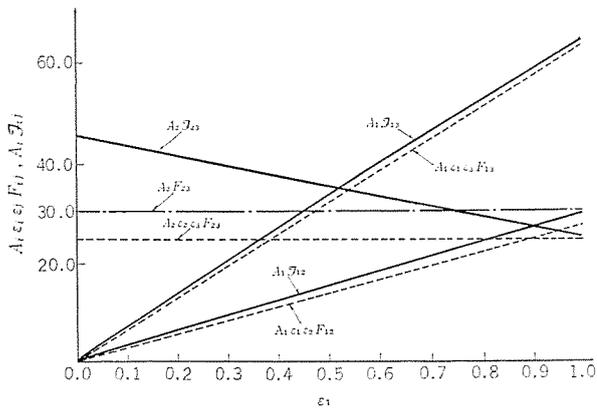


図 4.6 放射交換係数の変化, $\epsilon_2 = \epsilon_3 = \text{一定}$
Variation of radiation interchange factor vs. emissivity, $\epsilon_2 = \epsilon_3 = \text{const.}$

である。また、この式は、しばしば誤解されるように $\rho_i \rightarrow 0$ にて $F_{ij} \rightarrow \infty$ と発散はせず、

$$A_i F_{ij} \rightarrow \epsilon_i \epsilon_j A_i F_{ij} \dots \dots \dots (4.4)$$

に収束する。すなわち、式(4.4)は黒色塗料、 $\epsilon_i \epsilon_j \sim 1$ 、に対して良い近似になっている。

実際に式(4.3)を計算する場合、中間の過程でけた落ちして精度をそこなわぬようにくふうしてある。図4.5に、相対する2面が正方形の浅い箱の内部における放射交換係数が、放射率および反射率によって変化する様子を示した。反射率 ρ は、灰色の近似に基づき、放射率 ϵ と $\rho = 1 - \epsilon$ の関係にあるとした。また、各内面の放射率はすべて等しく取ってある。 $\epsilon \sim 1$ の近傍では、 $\epsilon = 1.0, 0.99$ および 0.95 とし、他は 0.1 間隔で変化させたが、 $\epsilon = 1.0$ では式(4.4)の関係式が正確に成立し、おのおのの ϵ についても合理的な F_{ij} の値が得られている。 ϵ の小さい場合には多重反射がきいて、 F_{ij} は、1回の吸収のみを考慮した $\epsilon_i \epsilon_j A_i F_{ij}$ よりも大きな値を示す。面①の内面のみを $0 \leq \epsilon \leq 1$ と変化させ、他の五つの面の内側を $\epsilon = 0.9$ と 1 に近い値に固定した場合には、図4.6に示すように ϵ_1 のいろいろな値に対して式(4.4)の両辺はほとんど等しい。しかし、面①以外の面相互の間の放射交換係数には多重反射の影響が現われ、実効放射率 ϵ' を $\sigma \epsilon_2' \epsilon_3' F_{23} = F_{23}$ などと定義すると、 ϵ_1 の小さくなるに従って ϵ_2', ϵ_3' は大きくなる。 $\epsilon_1 \sim 0$ の近傍においては、実に $\epsilon_2', \epsilon_3' \sim 1.2$ にも達する。

放射エネルギー交換を表わす積分方程式から、放射形態係数および放射交換係数の概念を導き、計算法の開発およびプログラム化を行なって、上述のように計算機によるこれらの概念の精度および計算法を検討しつつ、放射エネルギー交換を解析的に調べることは、今後に関わった研究課題といえよう。

4.3 軌道熱入力 (XORB)

太陽からの直射 Q_s 、地球のアルビド Q_a および赤外照射 Q_R を計算する。人工衛星の姿勢によっては Q_a および Q_R の寄与が大きくなるノードも生じるので、日陰率のほかに軌道上の各点における Q_a および Q_R を求めることが重要である^{(12)~(14)}。外部に面しているノード i への軌道熱入力は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} Q_i &= Q_{s,i} + Q_{a,i} + Q_{R,i} \\ &= (\alpha E_s F_s + \alpha E_a F_a + \epsilon E_R F_R) \cdot A_i \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.5)$$

E は添字で指定されるふく射の入射強度である。 F は対応する放射形態係数で、軌道上の位置の関数と考える。

放射形態係数の計算には、次のような計算速度と適用性の高い方

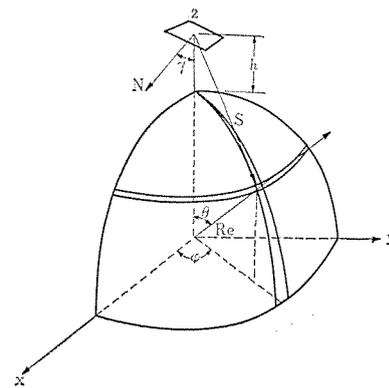


図 4.7 地球と人工衛星の面要素間の幾何学的関係
Geometrical relation between earth and surface element of artificial satellite.

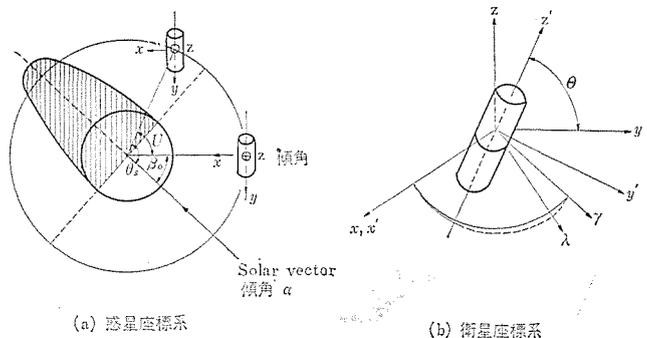


図 4.8 軌道加熱計算に必要な座標系
Coordinate system necessary to calculate orbital heating.

法を用いた。人工衛星の表面を平面とみなしうる程度の微小面要素 dA_R に分割すると、 dA_R に対する地球の赤外放射の形態係数 dF_R は、図4.7のように座標系を定めて、

$$\begin{aligned} dF_R &= 2dA_R \int_0^{\cos^{-1} \frac{R_e}{h+R_e}} \int_0^{\rho_0 \cos \theta_e \cdot \cos \theta_r} \frac{R_e^2}{S^2} \sin \theta d\theta d\rho \\ &= dF_R(h, \gamma) \dots \dots \dots (4.6) \end{aligned}$$

と表わされる。 R_e は地球の半径である。人工衛星の高度 h 、および表面要素の外向きの法線ベクトル N と地球中心→人工衛星を結ぶベクトル S_0 のなす角 γ を指定すれば、 dA_R に対する dF_R が定まるようにできる⁽¹²⁾。式(4.6)における積分領域の制限 ρ_0 は h および γ によって定まる。 dF_R を人工衛星の表面全体について積分することにより、 F_R が求められる。人工衛星の形状が球形の場合には、実効受光断面積が姿勢に無関係に一定なることから、 F_R, F_a に対する解析式は非常に簡単なものになる。しかし、形状が円柱形の場合には、解析式を数値計算するより、式(4.6)を直接数値積分するほうが少ない計算時間で同等の精度をうることができる。

アルビドの放射形態係数 dF_a は、 h および γ のほかに、 S_0 ベクトルと太陽ベクトルのなす角 θ_s からも積分領域が制限される。われわれは F_a と F_R を結ぶ Bannister の近似関係式を用い、 F_R の計算結果から F_a を求めた。

計算例として円軌道を飛行する円柱形の人工衛星についての結果を示す。パラメータおよび座標系は次のごとく選定する。地球の中心を原点とし、軌道面を座標面に一致させた惑星系と呼ばれる座標系⁽¹⁴⁾によって人工衛星の位置を表わす。また、人工衛星に固定し、軌道上を動く衛星系と呼ばれる座標系⁽¹⁴⁾によって表面要素 dA_R の位置を表わす。これらの状況および座標を指定する角度は図4.8(a)および(b)に示した。軌道上の位置を示す ν は、円柱の軸と S_0 ベクトルが直角になる点において 0 とした。太陽ベクトルは仰角 α およ

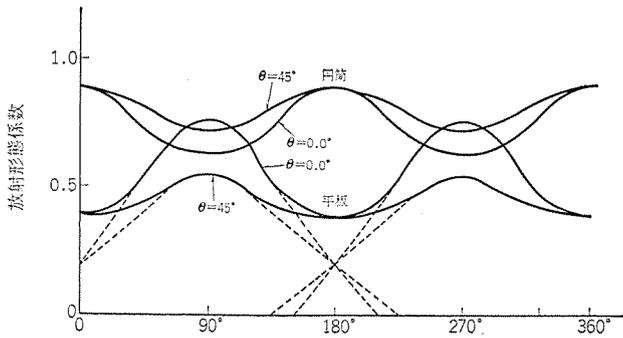


図 4.9 赤外放射に対する形態係数の変化, 円軌道
Variation of configuration factor for infrared radiation vs. true anomaly, circular orbit.

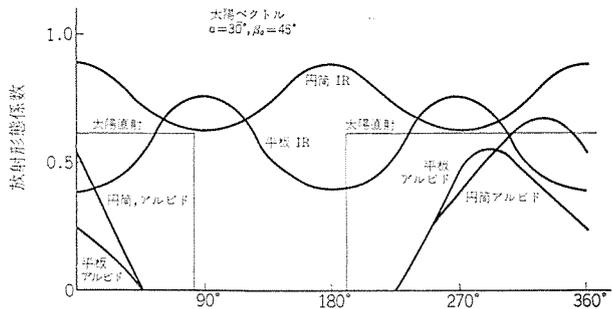


図 4.10 3種の放射入力に対する形態係数の変化, 円軌道
Variation of configuration factors for three kinds of irradiation vs. true anomaly, circular orbit.

び偏角 β_0 によって定められる。太陽直射に対する放射形態係数は、表面要素の法線ベクトル N と太陽ベクトルのなす角 δ の余弦で、日照中は一定である。 $\cos \delta$ に対して

$$F_S = \cos \delta = -\cos \lambda \cdot \cos \beta_0 \cdot \cos \alpha + \sin \lambda \cdot \sin \Theta \cdot \sin \beta_0 \cdot \sin \alpha + \sin \lambda \cdot \cos \Theta \cdot \sin \alpha \quad (4.7)$$

が得られる。地球の赤外放射に対しては $\cos \gamma$ が必要で、円柱の側面を帯状に分割したおのおのの要素に対し、

$$\cos \gamma = \cos \lambda \cdot \cos \nu + \sin \lambda \cdot \sin \Theta \cdot \sin \nu \quad (4.8)$$

が得られる。 λ および ν は $\cos \gamma > 0$ となる範囲に制限する。それぞれの λ に対する式 (4.6) の積分を加え合わせて、軌道上の各点での円柱側面に対する赤外放射の形態係数 F_R がえられる。

高度を 1,000 とし、軌道面に対する円柱軸の傾角 θ を 0° および 45° とした場合について、上面、側面および底面に対する F_R を図 4.9 に示した。それぞれの F_R の変化は ν について 90° づつ位相が異なっている。また、 F_R は $\theta=0$ において、側面に対しては最大値、上面および底面に対しては最小値となり、それぞれの値は ν に無関係である。 $\theta=90^\circ$ において、それぞれの F_R の変化の幅は最も大きい。

アルビドに対する放射形態係数 F_a は

$$F_a(\cos \theta_S, \cos \gamma, h) = \cos \theta_S \cdot F_R(\cos \theta, h) \quad (4.9)$$

と近似する。 $\cos \theta_S$ は次式によって求められる。

$$\begin{aligned} \cos \theta_S &= \cos \beta_0 \cdot \cos \alpha \cdot \cos \nu - \sin \beta_0 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \nu \\ &= \cos \alpha \cdot \cos(\nu + \beta_0) \end{aligned} \quad (4.10)$$

高度 1,000 km, $\alpha=30^\circ$ および $\beta_0=45^\circ$ とし、 $\theta=0^\circ$ および 45° とした場合の、 F_S , F_a および E_R を図 4.10 に示す。 F_S は日照時において、もちろん一定である。 ν の変化によって F_a は、1 周期中に最大値が一つであるような変化を示し、側面と端面で位相差は少ない。軌道熱入力は、これらの 3 種の放射形態係数を式 (4.5) に代入し、軌道および姿勢条件の変化に対して、 Q_i の変化が最も少なくなるように α および ε を選び、決定される。

4.4 熱解析 (TAP)

XORB および RIF の計算結果を入力として、人工衛星の外部とのふく射エネルギー交換、および内部における熱伝達を計算する。多ノード解析法に基づくこととし、現象を熱伝導方程式および境界条件、初期条件によっては表現せず、熱伝導の行なわれる領域を等温ノードに分割し、各ノードに対する熱平衡方程式の形で表現する。すなわち分割された領域の熱容量は設定したノードの位置に集中したものとし、各ノード間の放射および伝導によるエネルギー交換を評価して熱平衡方程式を構成する。各ノードの温度に対する方程式はよく知られるように⁽⁹⁾、

$$\left. \begin{aligned} q_{i, \text{stored}} &= q_{i, \text{rad}} + q_{i, \text{cond}} + q_{i, \text{gen}} \\ C_i \frac{dT_i}{dt} &= -\varepsilon_i \sigma A_i T_i^4 + \sum_{j=1}^N \sigma F_{ij} \cdot (T_j^4 - T_i^4) \\ &+ \sum_{j=1}^N G_{ij} \cdot (T_j - T_i) + Q_i(t) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4.11)$$

$$i=1, \dots, N$$

と表わされる。ここに、添字 i および j はノード番号、 q は流入する熱量、 ε は放射率、 A は表面積、 F は放射交換係数、 G は伝導による熱伝達係数を表わす。

ノードの数は 30~300 が実用的である。複雑な人工衛星における連続的な温度分布を、この程度の数の代表点の温度に対する方程式の解によって推定するためには、方程式 (4.11) が現象を精度良く表現するものでなければいけない。すなわち、ノードの位置の設定、分割法、エネルギー交換に対する放射および伝導抵抗が、熱制御系を正しくシミュレートするように定められ、式 (4.11) の係数が構成されねばならない。すでに報告したように、われわれの経験では、小型衛星の熱モデルについて 20 ノード解析を行ない、予測値は実測値と 5°C 程度の一致が得られている。

数値解析的には、式 (4.11) は、係数行列 $\{G_{ij}\}$ および $-\varepsilon_i A_i$ を含めて $\{F_{ij}\}$ が定値対称なるため、四次の非線型性にもかかわらず、きわめて安定であった。安定条件は、放物型偏微分方程式の数値積分におけるものと等価な、

$$\Delta t < \min_i [C_i \cdot \{\varepsilon_i \sigma A_i + \sum_{j=1}^N \sigma F_{ij} \cdot (T_j^2 + T_i^2) \cdot (T_j + T_i) + \sum_{j=1}^N G_{ij}\}^{-1}] \quad (4.12)$$

である。われわれは Runge-Kutta-Gill の公式を用いて式 (4.11) を積分したが、多少、複雑化したかと思われる。諸外国においては、初め Adams-Moulton の公式など四次の予測子・修正子法が使用された後、次第に Implicit-Euler 法に簡単化され、現在ではほとんど Explicit-Euler 法が用いられているようである⁽¹⁵⁾。これは計算時間を増加させずに、ノード数を増しラップ化による打切り誤差の減小を計ったものと思われる。

すでに述べたように、TAP には各種のプログラムの出力データおよび、熱制御系のデータが入力され、その数は N 個のノード数に対して、 $3N + N(N-1)$ の程度にも及ぶので、データシート作成の労力の減小、および見やすい出力データ表作成のためのくふうが必要である。

安定性および精度を調べるために、図 4.11 に示すような 3 回対称を C-R 回路において、放射抵抗のみを考慮したモデル、

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & -0.5 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & -0.5 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.1 & -0.5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1^4 \\ T_2^4 \\ T_3^4 \\ T_4^4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Q_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \dots \dots \dots (4.13)$$

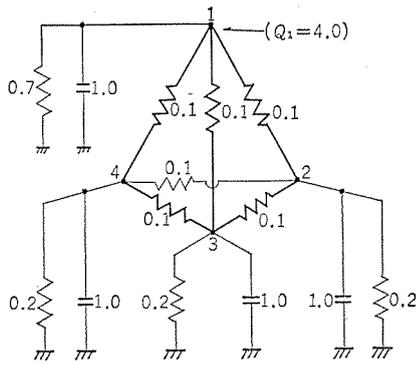


図 4.11 3 回対称な 4 ノード系
4-node system of three-fold axial symmetry.

表 4.1 数値積分の安定性と精度のチェック
Check calculation on stability and precision of numerical integration.

(a) 冷却条件

t	刻み h	ステップ数	T_1	$T_2 T_3 T_4$
1.6	0.02	80	0.77209	0.91338
	0.04	40	0.77210	0.91340
	0.08	20	0.77206	0.91334
	0.16	10	0.77081	0.91209
	0.32	5	0.77077	0.91176
3.2	0.02	160	0.62218	0.73609
	0.04	80	0.62219	0.73609
	0.08	40	0.62217	0.73607
	0.16	20	0.62170	0.73554
	0.32	10	0.62161	0.73541

(b) 加熱条件

t	刻み h	ステップ数	T_1	$T_2 T_3 T_4$
1.6	0.02	80	0.14154	0.49436
	0.04	40	0.14154	0.49437
	0.08	20	0.14154	0.49437
	0.16	10	0.14154	0.49437
	0.32	5	発散	発散
3.2	0.02	160	0.14351	0.96197
	0.04	80	0.14351	0.96198
	0.08	40	0.14351	0.96199
	0.16	20	0.14351	0.96199
	0.32	10	発散	発散

について、 $\Delta t=0.02, 0.04, \dots, 0.32$ と変えて数値積分を行なった。冷却条件、 $Q_1=0$ で、 $T_1=T_2=T_3=T_4=2.0$ とした場合の結果を表 4.1 (a) に示す。加熱条件、 $Q_1=4.0$ で、 $T_1=T_2=T_3=T_4=0.0$ とした場合の結果を表 4.1 (b) に示す。計算された温度は、 Δt のそれぞれの値に対し、同じ時刻、 $t=1.6$ および 3.2 においてよく一致した値を示し、計算精度は十分といえる。

4.5 誤差評価 (STEP)

TAP への入力データは、材料、処理および工作公差によって、規定値のまわりに統計的に分布している。したがって、温度予測を行なうにあたっては、TAP の計算結果に対し、これらの分布による統計的変動を考慮に入れることが必要である。計算を簡単化するために、定常温度について統計的変動を調べることとし、軌道熱入力は平均値を用いる。定められた軌道および姿勢条件における人工衛星の、1 周期中の最大および最小温度の平均値は、この平均熱入力に対応する定常温度と等しくなるので、解析結果には相当な適用性が期待される。

各ノードの定常温度を定める因子は、式 (4.5) および (4.11) から、伝導 (接触) 抵抗、太陽光吸収率および赤外放射率である。それぞれについて、統計的変動は独立なものとするれば、ノード i の温度 T_i

の分散は、

$$(\Delta T_i)^2 = \sum_j^N \left(\frac{\partial T_i}{\partial D_{ij}} \cdot \Delta D_{ij} \right)^2 + \sum_j^N \left(\frac{\partial T_i}{\partial \alpha_j} \cdot \Delta \alpha_j \right)^2 + \sum_j^N \left(\frac{\partial T_i}{\partial \varepsilon_j} \cdot \Delta \varepsilon_j \right)^2 \dots \dots \dots (4.14)$$

$$i=1, \dots, N$$

と表わされる。ここで、感度係数 $\partial T_i / \partial D_{ij}$ などの計算は次のように行なうことができる。たとえば、式 (4.11) を D_{ij} について微分して、

$$(B) = \begin{pmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial D_{ij}} \\ \frac{\partial T_2}{\partial D_{ij}} \\ \vdots \\ \frac{\partial T_N}{\partial D_{ij}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ T_i - T_j \\ 0 \\ \vdots \\ T_j - T_i \\ 0 \\ \vdots \end{pmatrix} \dots \dots \dots (4.15)$$

を得る。ただし、

$$(B) = \begin{pmatrix} \sum_{j=2}^N (D_{ij} + 4\sigma F_{ij} T_j^3), & -(D_{12} + 4\sigma F_{12} T_2^3), & \dots, & -(D_{1N} + 4\sigma F_{1N} T_N^3) \\ -(D_{21} + 4\sigma F_{21} T_1^3), & \sum_{j=2}^N (D_{2j} + 4\sigma F_{2j} T_j^3), & \dots, & -(D_{2N} + 4\sigma F_{2N} T_N^3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -(D_{N1} + 4\sigma F_{N1} T_1^3), & -(D_{N2} + 4\sigma F_{N2} T_2^3), & \dots, & \sum_{j=N}^{N-1} (D_{Nj} + 4\sigma F_{Nj} T_j^3) \end{pmatrix}$$

である。ここで、すべての D_{ij} 、 α_i および ε_i に対して行列 (B) は共通なものであることを強調したい。すなわち、TAP によって計算した温度から、1 周期中の最大と最小の平均を求めて、逆行列 $(B)^{-1}$ を作れば、式 (4.14) の右辺の変更のみで、感度係数は容易に求められる。

数値例は、人工衛星の設計の評価と直ちに結びつくので、ここでは詳細に立入ることは避け、上記の方法が、温度制御用コーティングの α_i および ε_i の最適選択技術の一部をなすことを指適するにとどめたい。この最適化については、近く、研究結果を公表する予定である。

5. 設計結果の一例

設計条件は人工衛星の軌道・形状・姿勢および構造、積載機器の配置および許容温度範囲などである⁽¹⁰⁾。設計計算の一例として、高度 1,000 km の円軌道を飛行する円柱形の人工衛星に関するものを示す。円柱の高さ~90 cm、直径~80 cm 程度で、側面には太陽電池をちょう (貼) 布する。中央円筒カラムおよび 2 枚のプラットフォームを主構造として構成され、電子機器はすべてこのプラットフォームに取付けられる。円筒カラムの底部はロケットとの分離機構取付けのため円すい (錐) 台となっている。姿勢はスピン安定化されるものとする。

受動型熱制御系の設計にあたっては、まず、軌道の摂動とスピン軸のドリフト解析から、寿命期間中における軌道熱入力の最大値および最小値を推定し、XORB への入力を準備する。人工衛星の温度は、放射の形で外部と授受するエネルギー および対応する伝達抵抗、内部における熱容量、伝達抵抗によってきまるから、積載機器を入力条件の変化範囲において要求温度範囲に保つためには、これらの伝達抵抗の選定が問題の焦点となる。すなわち、外被における太陽光吸収率および赤外放射率の選定、内部における接触抵抗および赤外放

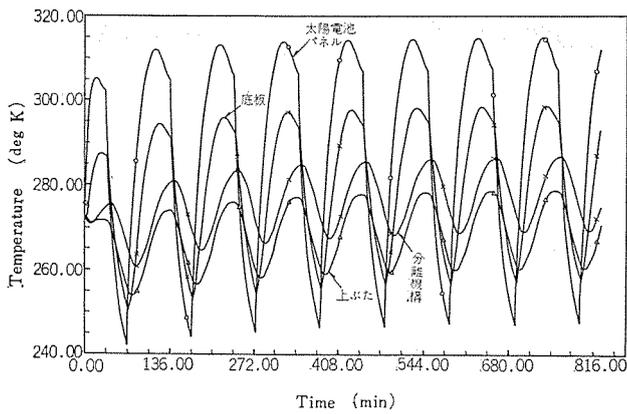


図 5.1 予測温度, 構体部
Predicted temperatures, structural parts.

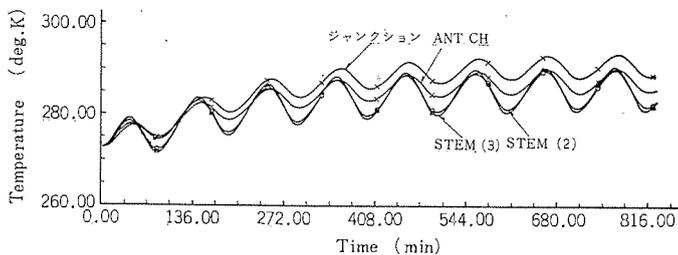


図 5.2 予測温度, 積載機器
Predicted temperatures, loaded equipment.

射率の選定によって目的を達しようと言うわけである。外被, すなわち側板, 上ぶた(蓋)および底板は, セパレータを介して主構造部に取付け, 接触熱抵抗を可減しうるものとする。

構体部分を 11 のノード, 積載機器のすべてを 25 のノードで表わし, 設計を行なった結果の一部を図 5.1 および図 5.2 に示す。入力用最悪条件は, 人工衛星表面各部への入射エネルギーの最大値・最小値, 太陽光吸収率および赤外放射率によってきまる。また, 円柱側面の大部分には太陽電池がちょうど布されており, 熱放射特性は大体定まっている。したがって, われわれが選定しうるものは上ぶたおよび底面の熱放射特性である。これを定めることによって入力エネルギーの最大値・最小値が決定される。同時に人工衛星から外部に放出されるエネルギーも定まる。すなわち, 熱制御系の設計にあたっては, 入出力条件の設定と, 積載機器からの温度要求を満たすように, 人工衛星の外部との熱抵抗および内部における熱抵抗の設定が同時に行なわれる。これらの設定は, 前にも述べたように, 受動型熱制御系の場合には, 一種の最適化であり, その立場からの計算法も案出されているが⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾, 実際の設計にあたっては十分なものではなく, われわれは図 3.1 のプロセスに従って設計を進めている。

図 5.1 および図 5.2 に示した各部の温度変化の予測値は, 日照と日陰の繰返しに応じて周期的に変化している。1 周期は 105.16 分である。太陽直射のみであれば, 外部の温度はほとんど充電の繰返しと同様な指数関数型の加熱・冷却の繰返しとなるが, 図 4.10 に示したアルビドおよび赤外放射の影響を受け指数関数型から変わい(歪)された形で変化している。また, 内部積載機器の温度は変化の幅も小さく, なめらかであり, 外被の温度変化に対して十分に保護された温度環境下にあると言えよう。いずれの温度も, 初期から, 大体周期以後は定常的な周期変化に達しているようである。

6. む す び

人工衛星の受動型熱制御系の設計を行なうプログラムシステムおよび

人工衛星の受動型熱制御系の設計法・平井・下地・芦田・植田

設計結果の一例について報告した。この制御法は主として, 中高度の軌道を飛行する人工衛星に適用したものである。それぞれのプログラムの基礎式, 計算精度および適用範囲を述べた。人工衛星のように過酷な環境下において使用され, しかも複雑な構造を持った機器の熱制御系の設計を行なうにあたっては必要な, 現象の詳細なシミュレーションおよび予測の技術の一端を, われわれは持つことができたと考える。

今後, 認定試験法, 試験データによる設計の改良, 静止軌道を飛行する人工衛星を対象とした半能動型制御設計法, および人工衛星全体の CAD の開発などへの発展が必要であろう。

なお, この報告は当社における人工衛星開発の一環として行なわれたものであり, 設計の根本思想とした CAD のフローおよび多ノード解析法の開発, 設計への適用は, 当社 鎌倉製作所の担当者と共同で行なったものである。 (昭和 46-2-26 受付)

参 考 文 献

- (1) J. B. Werner et al. : AIAA Paper No. 67-157
- (2) J. D. Solby : AF 04 (647)-478, Communication Satellite Project Advent, Section I Vehicle Thermal Analysis
- (3) B. Hartel : TFS Technology Report (1968), Vol. III Thermal Analysis and Test
- (4) M. Toussaint et al. : ESRO TN-29 (ESTEC), Spacecraft Technology, Vol. V Space Environment
- (5) F. S. Johnson : J. Meteorology, 2, p. 431 (1959)
- (6) J. London : AFCRC-TR-57-287, A Study of the Atmospheric Heat Balance
- (7) P. R. Gasi : Insolation of the Upper Atmosphere and of a Satellite, ed. J. A. Van Allen (1956)
- (8) 大島耕一ほか : 第 13 回宇宙科学技術講演会, 人工衛星の熱制御系の CAD
- (9) E. R. G. Eckert and R. Drake Heat and Mass Transfer, McGraw-Hill Co. N. Y. (1959)
- (10) E. M. Sparrow and R. D. Cess : Radiation Heat, Transfer, Brooks/Cole (1966)
- (11) R. P. Bobco : NASA CR-99683, Analytical Determination of Radiation Interchange Factors
- (12) F. G. Cunningham : NASA TN D-1347, Calculation of the Eclipse Factor for Elliptical Orbit
- (13) B. A. Nevelli : NASA CR-65583, Computer Program for Calculation of Incident Orbital Radiant Heat Flux
- (14) H. L. Finch et al. : NASA TR R-278, A Computer Program for Calculating External Thermal-Radiation Heat Loads and Temperatures of Spacecraft Orbiting the Planet or the Moon
- (15) J. L. Gaddis : NASA CR-65740, Explicit Finit Difference Heat Transfer Program
- (16) 下地 : 航空宇宙学会誌 18 卷, 281 (昭 45)
- (17) F. A. Costello et al. : ASME Paper 63-HT-41
- (18) F. A. Costello et al. : NASA CR-1041, Coating Selection Program
- (19) 下地 : 宇宙航行の力学シンポジウム (昭和 45 年度), 受動型熱制御系の最適設計

医療用 ML-15M II 形ライナックの実用性能

藤田 彪太*・鈴木 敏允*・上 富 勇*
 町田 賢二*・金 沢 照*
 入 江 浩一**・美濃和芳文**

Performance of Clinical Linear Accelerator

Communication Equipment Works Hyota FUJITA・Toshimitsu SUZUKI・Isamu UETOMI
 Kenji MACHIDA・Hiroshi KANAZAWA
 Central Research Laboratory Kôichi IRIE・Yoshifumi MINOWA

Telecobalt, Betatron and Linac have been in prevalent use as high energy radiation apparatus for medical treatment. Of them Linac is of a rather low energy device and Betatron has been mostly adopted to the electron beam therapy.

Type ML-15 M II Linac put on the market recently has high electron beam energy of 15 MeV and is capable of being used for electron beam treatment as well as X-ray treatment, thus the scope of application being enlarged a great deal. Magnetron is usually used for a high frequency source, but the new apparatus is provided with Mitsubishi klystron PV-2012 W so as to facilitate multi-step changeover of energy. In addition output dose has been stabilized with it to be counted as one of features.

1. ま え が き

高エネルギー放射線治療装置として、従来テレコバルト、ベータトロン、さらに最近ではライナック（線形電子加速器）が普及しているが、いずれも一長一短があり、したがってX線治療にはライナック、電子線治療にはベータトロンというように医学界でも使いわけがなされてきた。

三菱グループでも先にいちやく6 MeVライナック^{(1)~(8)}を国産化し、X線治療装置として、愛知がんセンタをはじめ各地の病院でご使用いただいているが、このたび、新しく製品化された医療用ML-15 M II形ライナック（図1.1）はX線治療はもちろんのこと、電子線治療も実用化できることを目的とし、最高エネルギーを15 MeVと大幅に高くし、かつ、装置全体のコンパクト化に成功した⁽⁹⁾。このため、ベータトロンと同様に電子線治療にも使えることとなり、大線量X線治療と相まって、医療用ライナックの適用範囲を大きく広げることが

できた。現在、徳島大学医学部・信州大学医学部に納入され、順調に運転され、がん治療に大きく貢献している。

以下に医療用ML-15 M II形ライナックの構成、性能ならびに医用データについて報告する。

2. 装置の構成

この装置は、電子を最高15 MeVまで加速し、その後、電子ビームを偏向してX線に変換、または電子線を直接取出す機構を有する加速器本体部、ついで加速器本体部に5 MWの高周波電力および各種の電源を供給する電源部、その他冷却装置、制御部、ならびに治療台、付属品等から構成されている。全体の構成を図2.1に示す。

2.1 加速器本体部

加速器本体部は、電子銃・磁場レンズ・加速管・ビーム誘導偏向系・コリメータ・真空ポンプ・導波管回路などから構成されており、これらは±210度回転可能な回転駆動部にマウントされている。

2.1.1 電子銃

電子銃は含浸形カソードを用いた傍熱形3極管で、グリッドに印加される電圧パルスのパルス幅でエミッション電流の平均値を制御し、バイアス電圧でエミッション電流せん（尖）頭値を制御する。カソード電圧は最高約-90 kVで、ヒータ加熱電力60 Wでせん頭値1 A以上のエミッション電流が得られる。なお、グリッドに印加されるパルス電圧は約800 Vで一定である。電子銃の構造を図2.2に示す。

2.1.2 加速管

加速管はマイクロ波伝送線路としては遅波回路であり、いわゆるdisk loaded circular waveguideである。この中で2,856 MHzの電波がTM₀₁モードの2π/3モードで伝ば（播）する。全長は約1.8 mで、両端の結合器空洞を含めて50空洞より構成され、最初の6空洞が高位相速度形のBunching Sectionである。このBunching Sectionは高電界形でもあり、入口から約10 cmの位置で、電子はすでに1 MeVに加速される。そのため集束磁場をなしで、実用上十分な透過率が得られている。電子のエネルギーは実用上6 MeVから15 MeV

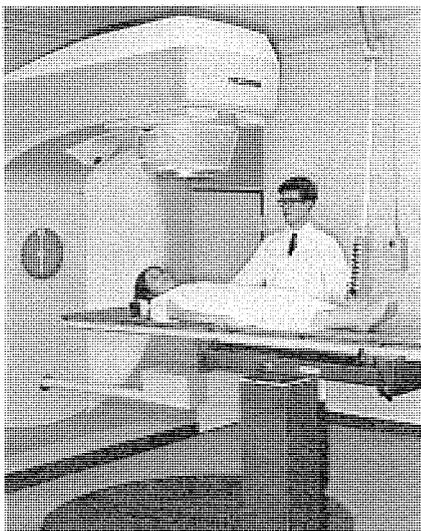


図 1.1 医療用 ML-15 M II 形ライナック
 General view of clinical Linac model ML-15 M II.

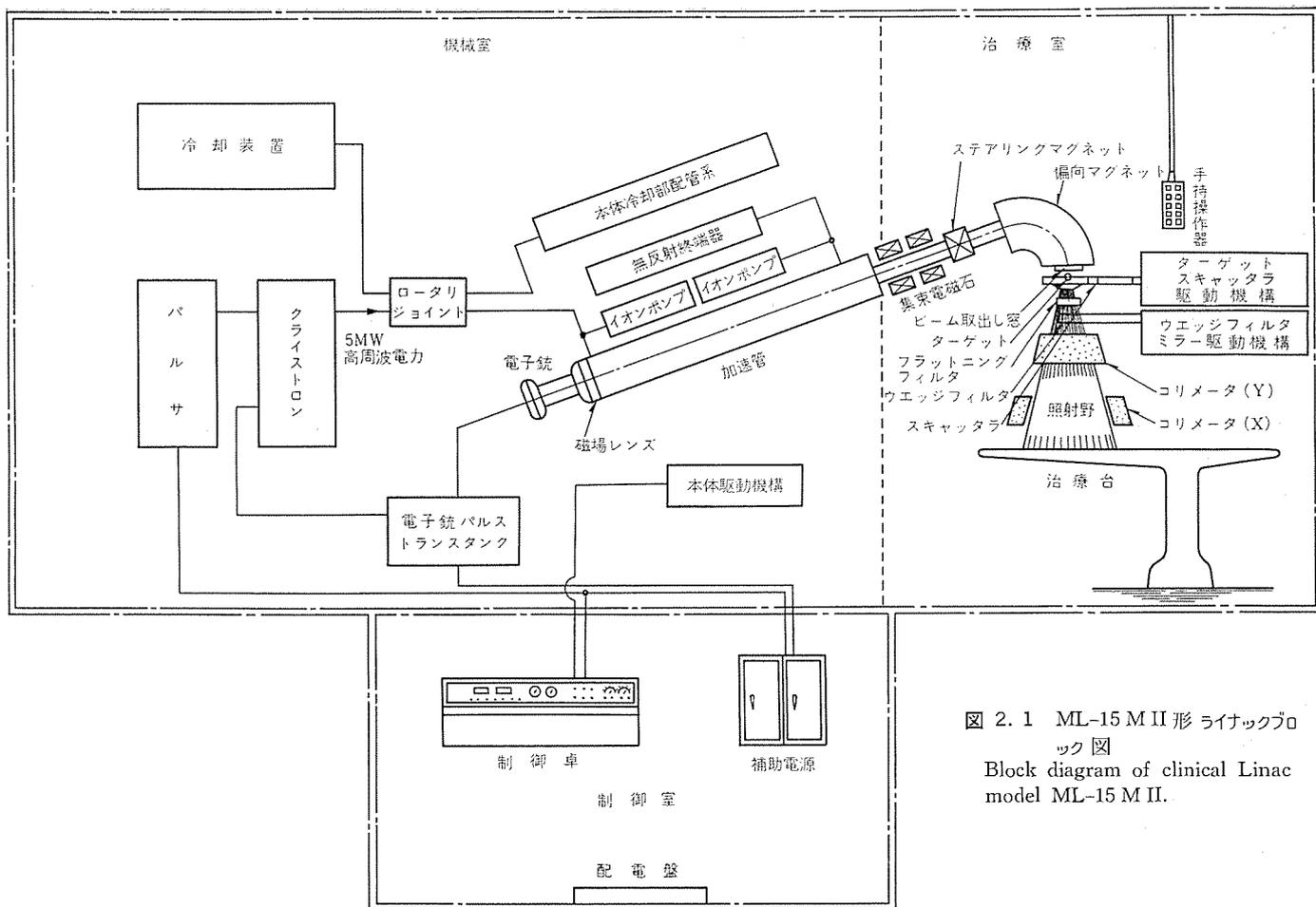


図 2.1 ML-15 M II 形 ライナックブロック図
Block diagram of clinical Linac model ML-15 M II.

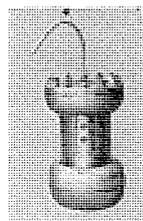


図 2.2 電子銃外観
General view of electron gun.

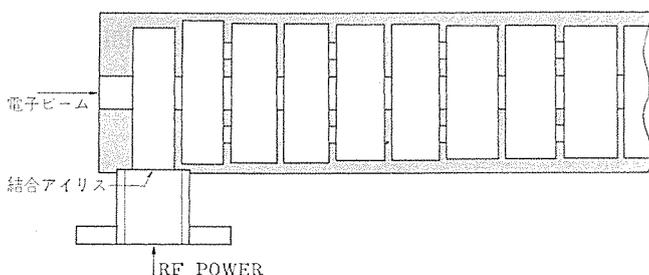


図 2.3 加速管断面図
Cross section of accelerating structure.

まで可変できる。これはせん頭マイクロ波入力、マイクロ波周波数、および入射ビーム電流せん頭値の組合わせを変えて達成している。加速管は電鍍法により製作される。周囲の冷却水ジャケットにはスパイラルなフィンを設けて、熱伝達係数を高め、温度こうばいをすくなくするとともに、Beam Loading の変化にもとづく過渡的な加速管温度変化の時定数を小さくするよう配慮されている。冷却水の温度制御は、マイクロ波発振器の発振周波数を加速管の温度変化に自動的に追従させることによって、制御精度は従来のものよりゆるくなっている。加速管のディスクおよびスペーサの工作精度は $\pm 2\mu$ と高精度であり、各空洞の共振周波数のばらつきは無調整で ± 150 kHz、位相

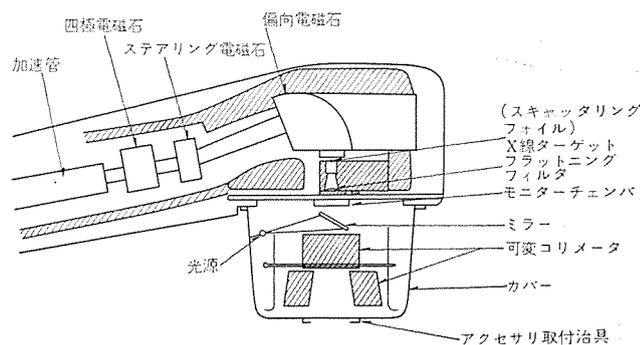


図 2.4 ビーム誘導偏向系
Beam extracting system.

差では ± 0.5 以下となっている。ディスクには、せん頭値 200 mA 以上のビーム電流が 3μ s 以上のパルス幅で安定に加速されるよう suppressor hole が設けられている。加速管断面図を図 2.3 に示す。

2.1.3 ビーム誘導偏向系

ビーム誘導偏向系は 1 対の 4 極電磁石、一つのステアリング電磁石、偏向電磁石、X線発生部、モニター線量計およびコリメータ部から成っている。ゲーム誘導偏向系の説明図を図 2.4 に示した。

加速管で加速されて加速管から出た電子線は 1 対の 4 極電磁石で集束 (電子線照射の場合は発散) され、ステアリング電磁石で偏向電磁石に導びかれる。偏向電磁石に導びかれた電子線は偏向電磁石で偏向集束されビーム取り出し窓から大気中にとり出される。電子線照射の場合は、大気中にとり出された電子線はスキャタリングフォイルで散乱されモニター線量計およびツールスを通して患部に照射される。X線照射の場合は、ビーム取り出し窓からとり出された電子線は X

線ターゲットでX線に変換される。X線ターゲットで生じたX線は、フラットニングフィルタで平坦化されモニター線量計およびコリメータを通して患部に照射される。

1対の4極電磁石、一つのステアリング電磁石および偏向電磁石から成るビーム偏向系は、加速管から出た電子線のエネルギー幅10% (FWHMで)のビームを偏向集束し、X線ターゲット上に2mmφ以下のビームスポットを形成し加速管から出た電子線を効率よくX線発生に利用できるようにした。

X線発生部は電子線をX線に変換するX線ターゲット、ターゲットを透過した電子線を取り除くための吸収体、X線を平坦化するフラットニングフィルタおよび電子線散乱用スキッターリングフォイルから成っている。X線発生部は8MV (または6MV)と10MV X線の2段切換、エネルギー8MeVと10MeVの電子線の組およびエネルギー12MeVと15MeVの電子線の組の計4段切換えができる。

モニター線量計は平行平板透過形イオンチェンバーで線量率のほか照射野内のX線線量率の平坦度も連続的にモニターできる。このモニター線量計はX線モニターと電子線モニターとを兼用しているため電子線照射の場合の高線量率に対し飽和しないようにした。

コリメータはX線の照射野を設定する2対のタングステン合金のシャベリ体から成る絞り装置、X線の照射野を合わせる照射野ランプ、X線のウエッジフィルタを取りつけるための機構、治療上必要な付属品をつける機構から成っている。コリメータはターゲットとアイソセンタとを結ぶ線を中心に+90°〜-180°まで連続に回転できる。照射野設定用絞り装置は、焦点から1mの回転中心において0cm×0cmから30cm×30cmの任意の正方形または(矩)形の照射野が遠隔または治療室操作によって得られる。

2.1.4 回転駆動系

回転駆動部は図2.5に示すような構造であり、塔部には電子銃・加速管・ビーム誘導偏向系コリメータが、きょう(筐)体には電子銃パルストランスが収容されており、軸受部にあるケーブル巻取りおよびロータリジョイントを通して電力・冷却水の供給を行なっている。この駆動系の特長は、回転リングと2個のローラの組合わせでラジアル軸受としての機能をもたせるとともに、一方のローラ内部に減速機を組込み、回転リングとローラ間の摩擦力を利用したフリクションドライブを行なっていることである。駆動はサイリスタレオードにより速度制御された直流電動機で、停止は電磁ブレーキにより行なっているが、定速性・起動・停止とも満足すべき結果を得ている。

2.2 電源部

電源部は、パルサ、クライストロン部、電子銃パルストランスおよび補助電源から構成されており、ライナックに必要なすべての高性能電源をコンパクトにまとめ上げている。

ライナック全体の電源設備容量としては、200V 3φ 40kVA および100V 1φ 5kVAである。

2.2.1 パルサ

このパルサは、クライストロンPV-20 12W およびグリッド付き電子銃のカソードに、おのおの-130kV および-90kVのパルス電力を供給するためのもので、スイッチチューブの木素入りサイクロンVC-1257 および3C45を除いてすべて半導体化されている。さらにライナック出力の安定動作を保障するために、出力電圧をIVRに帰還して、電源電圧の変動による出力電圧の変動を1%以下におさえている。

2.2.2 クライストロン部

クライストロン部はクライストロンPV-20 12Wを動作させるに必要な電源装置をまとめて配置しており、クライストロンパルストランス、クライストロン集束コイル電源およびマイクロ波発振器から構成されている。マイクロ波発振器は、板極管3CPX 100 A5に空洞共振器を通して正帰還をかけたもので、この空洞の共振周波数の温度係数を加速管のそれと同じに作り、加速管の冷却水とこの空洞の冷却水をシリーズに流すことによって、冷却水温度変化に際して自動的に最適周波数に発振周波数を追従させているので、冷却水温度変化に対してライナック出力の変動はほとんどない。クライストロンパルストランスは直流バイアス方式を採用した非常に小形高性能である。またクライストロン集束コイル電源は150Aという大電流にもかかわらず、サイリスタ制御方式を採用しているため非常に安定である。

2.2.3 補助電源

この補助電源は、磁場レンズ、偏向電磁石、集束電磁石の励磁電源と電子銃グリッドパルサ、イオンポンプ電源などから構成されている。特に電子銃グリッドパルサは、電子銃のグリッドに800Vのパルス電圧を供給するハードチューブパルサと-600Vグリッドバイアスを供給する電源を含んでおり、制御卓の項で述べるように線量率調整はグリッドパルス幅を変えて、電子銃エミッション電流の自動制御はグリッドバイアスを変えて行なっている。

2.2.4 電子銃パルストランス

電子銃パルストランスには、電子銃カソード電圧印加用のパルストランスと電子銃のグリッドパルスおよびバイアスを送るための同軸ケーブルチョークが内蔵されており、いずれも直流バイアス方式を採用しているため小形高性能のものである。

2.3 冷却装置

パルサ、クライストロン、発振器、加速管、パルストランス、無反射終端器、ターゲット等を冷却するための装置で、設定温度25°C±2°Cとなっている。一次系・二次系の冷却水を分離するための熱交換器、その他循環ポンプ、リザーバタンク、ヒータ等から構成されている。

2.4 制御部

ライナックの運転は、患者の位置合わせを除いて、すべて制御卓から集中制御できるようになっている。制御卓には、通常の操作に必要な指示計・スイッチ類が配置され、制御卓架台下部に、各エネルギーのパラメータ設定部、リレー回路、制御回路が組み込まれている。

ガントリ回転・コリメータ関係の操作は、治療室に設けられた操作用ペンダントで行なうが、一部の操作は、制御卓から遠隔操作することができる。

2.4.1 制御卓

制御卓は機能的に分類した配置がなされており、以下のものに分けられる。

(a) インタロック表示部

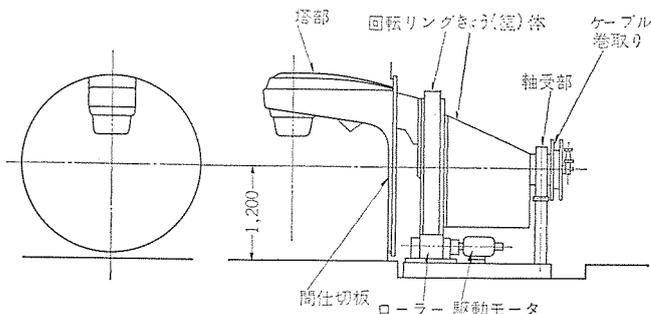


図 2.5 本体回転駆動部
Treatment unit drive system.

インタロックの状態を、ランプ表示している部分であり、ランプ点灯時、インタロックが解除されている。インタロックの表示は、真空・パルサ・クライストロン系・電子銃・冷却系・とびらであり、別にウエッジフィルタそう入指示ランプも備えている。

(b) 線種、エネルギー 選択部

切換スイッチにより、X線の場合、ライナックグラフィ、8、10 MeV、電子線の場合、8、10、12、15 MeVの計7種を設定している。任意の線種、エネルギーを選択すると、表示スクリーン上に、選択された線種と、エネルギーが表示され、またX線・電子線別に、キースwitchが設けられ、安全を期している。この選択スイッチにより、ライナックのパラメータは自動的に設定される。

(c) 線量率表示および設定部

線量率設定つまみで、ビームの脉冲幅を変えて、出力線量率を可変としている。パルス の繰り返しは、後に述べる自動線量率制御回路を動作させる範囲内で変化し、線量率制御を動作させないときは各エネルギーにより一定値となっている。

モニター線量計は、コリメータ内に納められたイオンチェンバの電離電流

を表示し、アイソセンタでの線量率で校正されており、電子線・X線ともに同一のチェンバから信号を採っている。

(d) 積算線量設定部

積算線量を設定するカウンタで、モニター線量計のR/minをカウント/minに変換することにより、設定カウントが零になったとき照射が自動的に終了する。また途中で照射を止めると、そのまま残りの照射線量は保持されている。

(e) ガントリ回転表示および操作部

ガントリの回転角度を表示する回転角度計と、回転の遠隔操作を行なう押しボタンがあり、この押しボタンで、固定・回転・振り照射を選択することができる。振り照射等の角度設定指針も、回転角度指示計に内蔵されている。なお自動零復帰の押しボタンも設けられている。

(f) 照射野表示および操作部

(矩)形照射野のたて・よこの大きさを表示する部分で、遠隔操作でこの照射野の大きさを任意に調整することができるようになっている。

図 2.6 に制御卓外観図、図 2.7 に盤面説明図を示す。

2.4.2 ペンダント

患者の位置合わせを、治療室で行なうには、天井からつり下げられたペンダントのスイッチ群ですることができる。これで操作できるものは、ガントリ回転(高速・低速の二段切換)、ガントリ自動零復帰、照射野の大きさ調整、照準用ライトの点灯(サイドポイント・光学的距離計)、治療台上下移動および緊急停止で、ペンダントを引き下げて操作するようになっている。治療室でペンダント操作中は、制御卓からの操作は不可能となり、またビーム加速もできないようにインタロックされている。

2.4.3 自動制御回路

ライナックの出力安定化のために、種々の自動制御回路が設けられているが、特に重要なものは、線量率安定化回路、エミッション制御回路および平坦度制御回路である。

(a) 線量率安定化回路

線量率安定化回路のブロック図を、図 2.8 に示す。線量率の可変

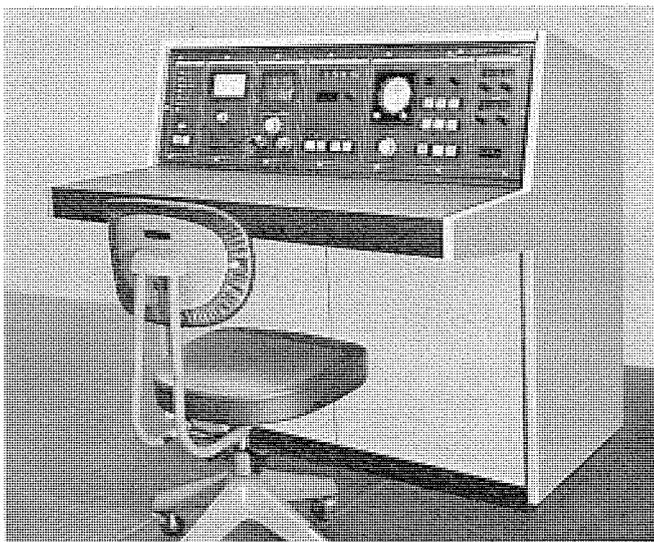


図 2.6 制御卓外観 External view of control console.

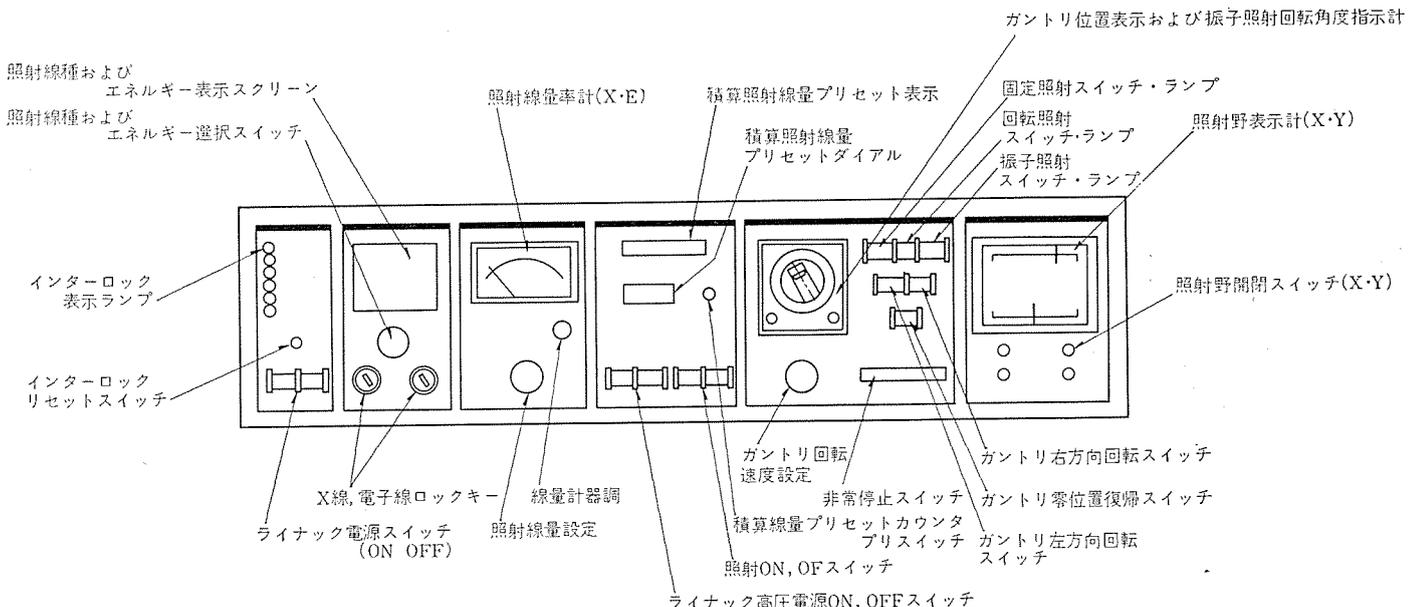


図 2.7 制御卓盤面 Control panel layout.

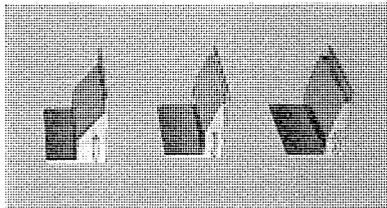
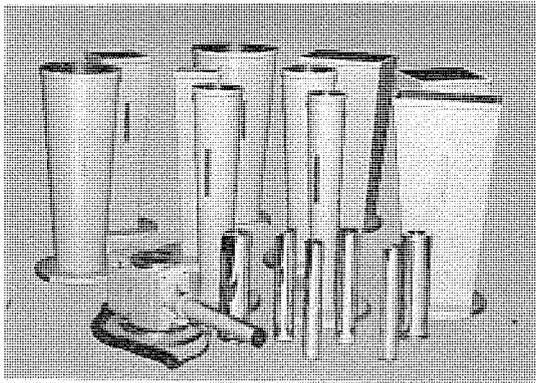


図 2.12 付属品の一例
Example of accessories.

2分割されたイオンチェンバの電流を比較回路に入れて行っている。比較回路の出力で、マイクロ波の周波数を決めている標準空洞の、周波数決定用プランジャを動かすことにより、常に平たん度が保たれるように、周波数を変えている。X線の発生前は、周波数設定機構により、最適周波数の近傍に設定されている。

2.5 治療台

治療台は、1本脚方式のものと、支持脚およびアイソセンタ軸中心の2軸回転方式のものが用意されている。例として後者のものは上下移動130 cm、天板左右移動±25 cm、天板前後移動115 cm 支持脚での回転360°以上自由となっている。

2.6 建家

ML-15 M II 形医療用電子ライナックの建家は各機器の大きさ、配置、放射線しゃへいおよび人(特に患者)の出入などの点と考慮して構造が決められた。放射線しゃへいについては「医療用高エネルギー加速器使用室に対するしゃへい計算指針」にもとづいて設計した。図 2.15 はこの装置に対する建家の平面図である。

2.7 付属品

ライナックによる X 線・電子線治療の効果を上げるためには、ウエッジフィルタ、X 線シャドウトレイ、ツープス等が数多くそろっていることが望ましい。また治療前の患部の照準を速やかにするためフロントポイント、バックポイント、テプスポイント、サイドポイントがぜひ必要である。医療用 ML-15 M II 形ライナックでは、上記のごとき小道具的品物を付属品として十分にとりそろえた。図 2.12 にこれら付属品の一部を示している。

3. 装置の性能

3.1 X 線

3.1.1 X 線線量率

X 線線量率は焦点から 1 m の位置で直径 30 cm の照射野内を平たん化した場合、8 MV (6 MV) および 10 MV の X 線に対し、それぞれ最高 250 R/min (170 R/min) および 500 R/min が得られた。X 線の線量率の変は加速管に入る電子流のパルス幅を変えて行っている。X 線の線量率設定に対する焦点より 1 m での X 線の線量率は、図 3.1 に示した。X 線線量率の測定には Radocon 線量計を

用い、プローブは Radocon 607 である。プローブには各エネルギーに対し、二次電子平衡が成立つようなアクリルキャップをかぶせた。測定に使用した Radocon 線量計は Co-60 照射装置で校正した。

3.1.2 X 線エネルギー

X 線のエネルギー (X 線の最高エネルギーをさすものとする) は、X 線ターゲットをたたく電子線のエネルギーで決めた。ターゲットをたたく電子線のエネルギーの測定はアルミニウムの飛程から求めた。電子線のエネルギーを E とすればアルミニウム中の電子の飛程 $R_p(\text{g/cm}^2)$ は、 E を MeV 単位で表せば

$$R_p = 0.53 E - 0.106$$

で表わされる。この式から求めた 8 MV (6 MV) および 10 MV X 線発生の際の X 線ターゲットをたたく電子線のエネルギーは、それぞれ 8.2 MeV, 10.3 MeV であった。

3.1.3 X 線線量率の安定度

X 線線量率の安定度は焦点より 1 m のアイソセンタに Radocon 607 プローブをおき測定した。図 3.2 は 6 MV および 10 MV X 線の ADC (自動線量率安定化回路) を働かせたときの X 線線量率の時間安定度で、いずれも 30 分間運転で ±2.5% 以内にはいっている。図 3.3 はガントリを回転したときのアイソセンタでの X 線線量率を示したもので、ガントリの回転速度は 0.3 rpm のときのデータである。

3.1.4 X 線の照射野内の線量率の平たん度

X 線の照射野内の線量率の平たん度は、焦点より 1 m のアイソセンタを含むビームと直角の面の空中の線量率分布を Radocon 線量計で測って求めた。図 3.4 は照射野を 30 cm × 30 cm に設定したときの Gun-Head 方向の X 線の空中の線量率分布である。AFC (自動平たん度制御回路) を働かせているため X 線の平たん度は時間的にほ

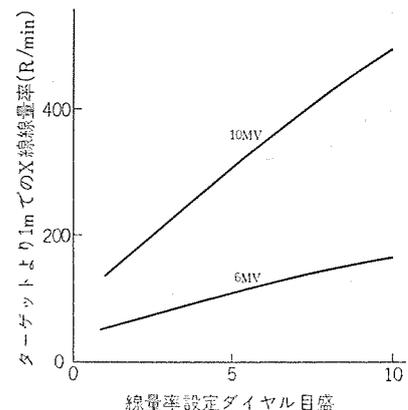


図 3.1 線量率設定ダイヤルに対するターゲットより 1 m での X 線線量率
X-ray output vs. dial setting.

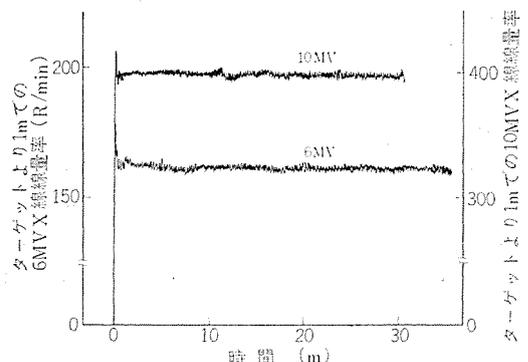


図 3.2 ターゲットより 1 m での X 線線量率の時間安定度
Stability of X-ray output.

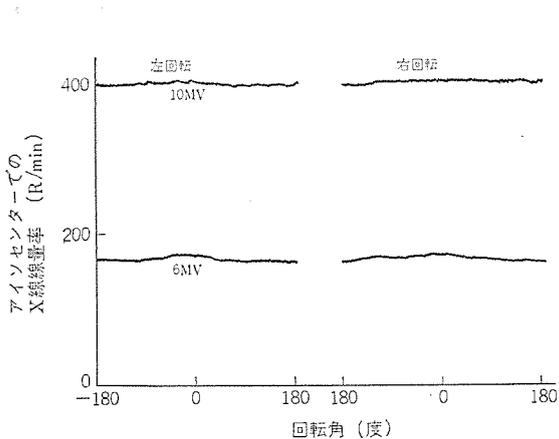


図 3.3 ガントリ回転に対するアイソセンタでの X 線線量率
Stability of X-ray dose rate under rotation.

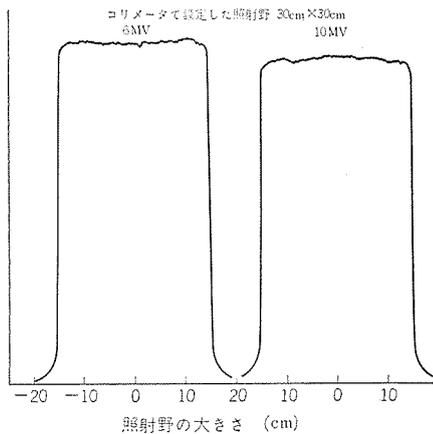


図 3.4 X 線照射野内の線量率の平たん度
Special distribution of X-ray intensity.

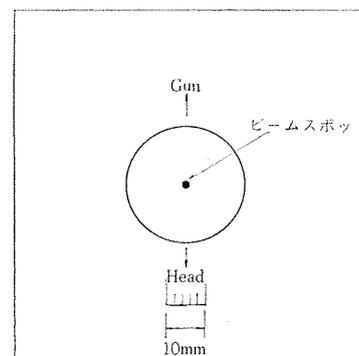


図 3.5 10 MV X 線 ビームスポット
Beam spot of 10 MV X-ray.

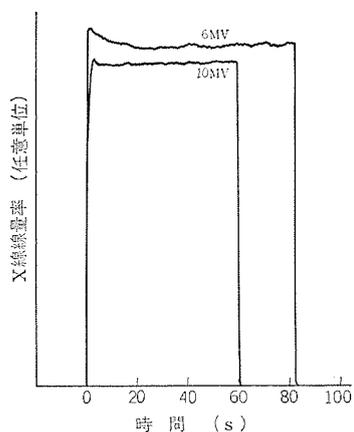


図 3.6 X 線線量率の立上り特性
Stability of dose rate of X-ray,
transient.

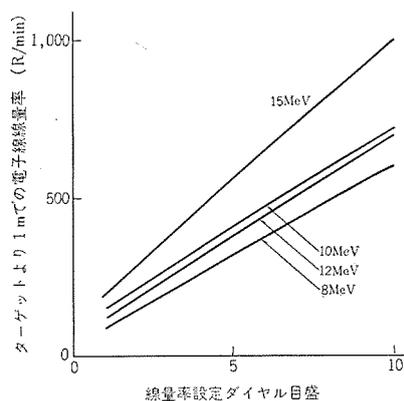


図 3.7 線量率設定ダイヤルに対するターゲットより 1 m での電子線線量率
Electron output vs. dialsetting.

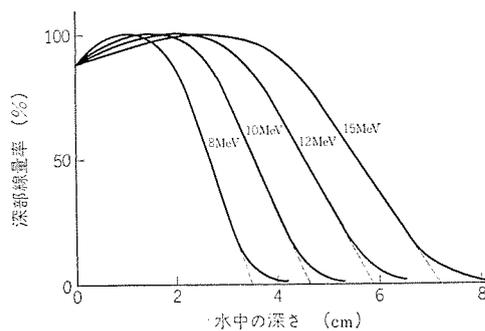


図 3.8 電子線の水中の深部線量率
Depth dose for electron in water.

とんど変化しない。

3.1.5 X 線焦点の大きさ

X 線の焦点の大きさは X 線ターゲットをたたく電子線の広がりから求めた。図 3.5 は 10 MV X 線の場合の X 線ターゲットをたたく電子線の広がりである。X 線ターゲットの大きさで焦点の大きさを規定する場合は、X 線ターゲット以外からも X 線の発生が考えられるが、電子線を絞る電子線の広がりによって焦点の大きさを規定する場合は、電子線の広がり以外からの X 線の発生は考えられない。図からみると X 線の焦点の大きさは約 1.5 mm x 2 mm である。他のエネルギーの X 線の焦点の大きさもほぼ同じ値が得られた。

3.1.6 X 線線量率の立上り特性

図 3.6 は X 線線量率の立上り特性である。この装置では X 線線量率の立上り特性を良くするため、先にマイクロ波電力を加速管に投入しておき、加速管が熱的に平衡になったとき電子銃から電子線を加速管に入れる方法を採用した。その結果 X 線の線量率の立上り特性はかなり良くなった。また線量率を変えても X 線の線量率の立上り特性が変化しないようにビームのパルスの繰り返しを一定に保ち、電子線のパルス幅を変えると X 線の線量率を変えている。電子ライナックで X 線の線量率が良いのはライナックグラフィにとって非常に有利である。

3.2 電子線

3.2.1 電子線線量率

電子線線量率は X 線ターゲットより 1 m の位置に Radocon 607 ヲ

ろーブを置いて測定した。ターゲットの位置には 0.3 mm 厚の鉛スクエータを入れた。電子線の線量率はエネルギー 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV および 15 MeV の電子線に対し、それぞれ最高 600 R/min, 750 R/min, 700 R/min および 1,000 R/min を得た。電子線線量率の可変は X 線の場合と同様加速管にはいる電子線のパルス幅を変えて行なった。電子線の線量率設定に対する電子線線量率は図 3.7 に示した。

3.2.2 電子線のエネルギー

電子線のエネルギーは FSD を 100 cm としたときの水中の深部線量率から求めた。図 3.8 は 14 cmφ のチューブをつけたときのエネルギー 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV および 15 MeV の電子線の水ファントム中の水中深部線量率を求めたものである。この図からエネルギー 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV および 15 MeV の電子線の外そう(挿)飛程を求めるとそれぞれ 3.5 cm, 4.6 cm, 5.8 cm および 7.2 cm となった。

3.2.3 電子線線量率の安定度

電子線線量率の安定度は Radocon 607 ヲろーブをアイソセンタにおいて測定した。図 3.9 は ADC を働かせたときの電子線線量率の時間安定度である。各エネルギーの電子線の線量率変動は 30 分間でいずれも 2% 以内に入っている。図 3.10 はガントリを回転したときのアイソセンタでの電子線線量率の安定度である。

3.2.4 電子線の照射野内の線量率の平たん度

電子線の照射野内の線量率の平たん度は、焦点より 1 m でのアイ

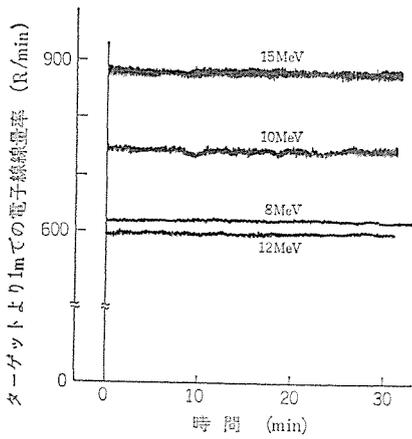


図 3.9 ターゲットより 1 m での電子線線量率の時間安定度
Stability of electron output.

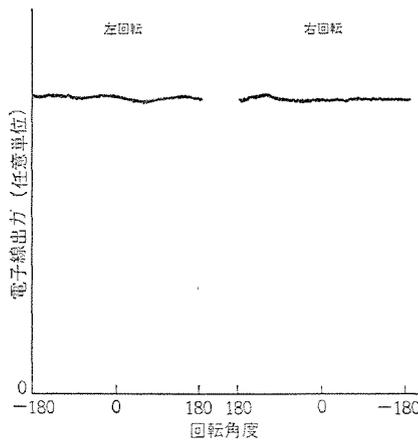


図 3.10 15 MeV 電子線のガンジー回転に対する出力の変動
Fluctuation of 15 MeV electron beam output under rotation.

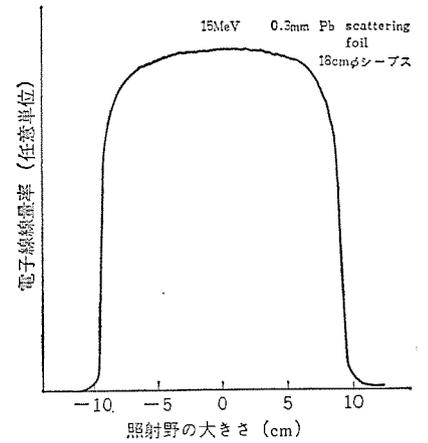


図 3.11 電子線照射野内の線量率の平たん度
Special distribution of electron intensity.

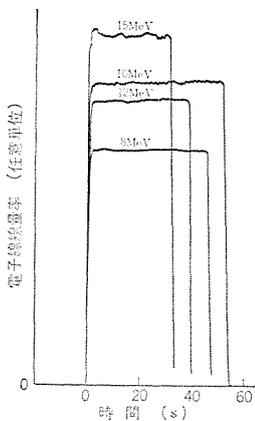


図 3.12 電子線線量率の立上り特性
Stability of dose rate of electron beam, transient.



図 3.13 ライナックグラフィ
Linac graphy.

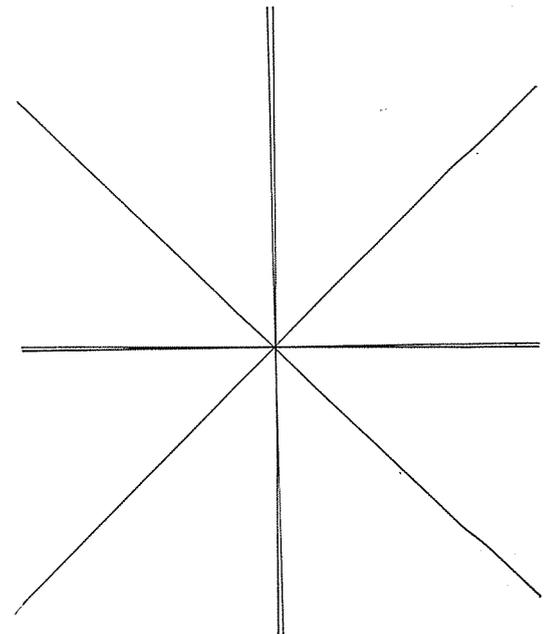


図 3.14 機械的精度 (アイソセンタの一一致)
Radiograph showing isocenter.

ンセンタを含む電子線方向と直角の面内の空中の線量率分布 Radocon 607 フローラで測って求めた。図 3.11 は 15 MeV 電子線の 18 cmφ ツープスをつけたときの空中線量分布である。Radocon フローラの大きさを考慮すると、18 cmφ のツープスをつけたときの照射野 15 cmφ の電子線線量率の平たん度は 90% 以上である。

3.2.5 電子線線量率の立上り特性

図 3.12 は電子線の線量率の立上り特性を示したものである。立上りの最初の部分は ADC の働かない所で ADC OFF のときに設定した線量率である。したがって、ADC OFF のときの設定した線量率と、ADC ON で設定される線量率に差があると線量率の立上りの部分が階段状になる。

3.2.6 X 線含有率

電子線照射の場合の X 線含有率は電子線の水中深部線量率で外そう(挿)挿程以上の深さで、深部線量率が深さによってあまり変わらない所の線量率から求めた。その結果は X 線の含有率は電子線の 1~2% 程度となった。

3.3 ライナックグラフィ

ライナックグラフィは電子ライナックの X 線線量率が多いため、ライナックのビームパルスを数えて X 線撮影の可能な線量を得ることにした。図 3.13 は SAKURA NY タイプの X 線フィルムに 0.5 mm 厚の鉛スクリーンを用いた場合のライナックグラフィである。パルス数は 60 個でフィルム面での推定線量は 1.5 R である。

3.4 機械的精度

回転照射や多門照射の場合の回転中心のずれはライナックの線量率が高いため治療上正常組織に重大な影響を与える。図 3.14 は X 線をコリメタで細く絞って 45° おきに 180° 回転させてフィルムに照射したものである。回転中心のずれは ± 0.5 mm 以内にはいっている。

3.5 モニター線量計

この装置のモニター線量計は、X 線電子線兼用であるが線量計の増幅器のみ X 線と電子線とで増幅率を切換えて使っている。モニター線量計のチェンバーはターゲットの位置から約 15 cm の位置にあり、電子線で約 4.5×10^4 R/min の線量率となる。図 3.15 は 6 MV と 10

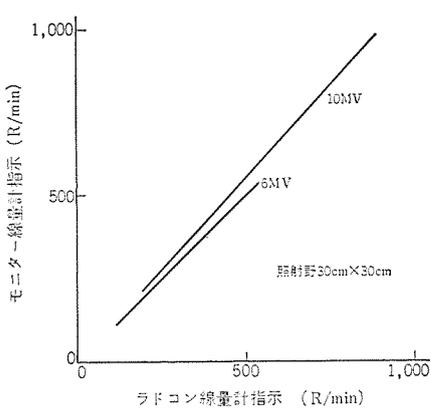


図 3.15 X線におけるラドコン線量計指示に対するモニター線量計指示
Calibration curve of monitor for X-ray.

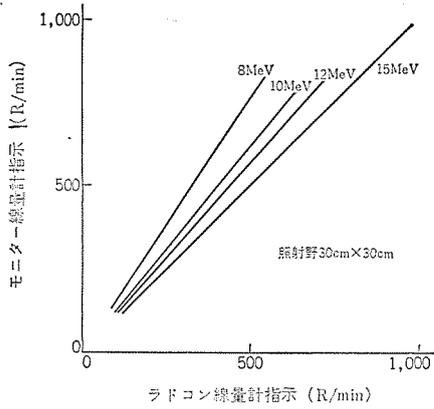


図 3.16 電子線におけるラドコン線量計指示に対するモニター線量計指示
Calibration curve of monitor for electron beam.

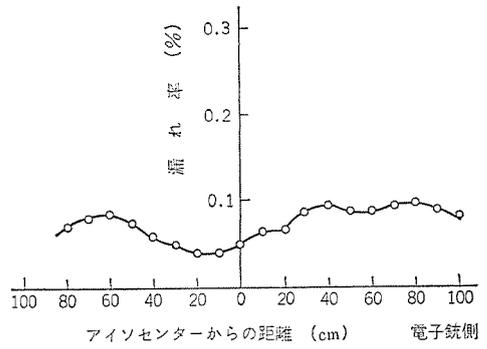


図 3.17 治療台の上での漏れ率
Distribution of leakage X-ray on treatment couch.

MVのX線、および図 3.16 はエネルギー 8 MeV, 10 MeV, 12 MeV, 15 MeV の電子線のそれぞれの線量率に対するモニター線量計の指示を示したもので、電子線の線量率が焦点から 1 m の点で 1,000 R/min 程度になってもあまり飽和はみられない。

3.6 漏えい (洩) 線量

漏えい率はアイソセンターでの照射線量率の 1/1,000 以下にするように法律で規定されているので、漏えいX線の強いところは、その強さに応じて十分な厚さの鉛でしゃへいした。特にターゲット付近など最も強いところは、鉛よりX線のしゃへい効果のある (単位長当たりのしゃへい率が大きい) ヘビメタル (タングステンと鉛の合金で比重が 17 g/cm³) を用いた。その結果、図 3.17 に示すように、治療台の上での漏えい率はコリメータを全閉したとき、1/1,000 以下になった。

4. 医用データ

4.1 測定方法

治療に必要な医用データのうちここでは深部線量率、等線量分布および Tissue Air Ratio について述べる。

深部線量率は Radocon 線量計で Radocon 607 フローブを水ファントム (大きさ 40 cm × 40 cm × 40 cm) の中をビーム方向に走査することによって求めた。表面付近はシャローチェンバでポリスチレン (比重 1.00) を積み重ねて求めた。

等線量分布は、Mix Dp ファントムにフィルムをはさみフィルムの黒化度と深部線量率とから求めた。フィルムの等濃度分布は SAKURA 自動等濃度プロットを使って求めた。

Tissue Air Ratio は Tissue に水ファントムを用い水ファントム中の線量率は Radocon 線量計 (フローブは 607) で測定し、Air 中の線量率は別にモニター線量計と Air 中の線量率との比を求めておき Tissue 中の線量率を測定中に Air の線量率をモニター線量計から逆算して求めた。

4.2 医用データ

6 MV, 8 MV および 10 MV の X 線の各照射野に対する水中深部線量率はそれぞれ図 4.1 の (a) ~ (c) までに、8 MeV, 10 MeV, 12 MeV および 15 MeV の電子線の各照射野に対する水中深部線量率は図 4.2 の (a) ~ (d) に示した。

X 線の水中の等線量分布は図 4.3 の (a) ~ (j) に、電子線の水中の等線量分布は図 4.4 の (a) ~ (p) までに示した。

Tissue Air Ratio は 6 MV に対し表 4.1 に、10 MeV に対し表

4.2 に示した。

5. むすび

医療用ライナック ML-15 M II の構成、性能、ならびに医用データの一部について報告した。X線出力は 10 MV のとき 500 R/min-m 以上の性能をもち、しかも安定度はすぐれている。一方、電子線出力は 15 MeV のとき 1,000 R/min-m であり、8, 10, 12, 15 MeV の

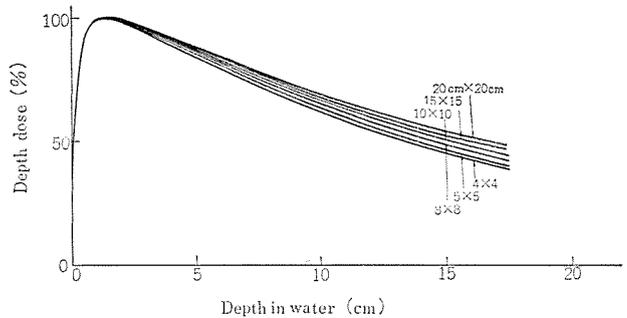


図 4.1 (a) 6 MV X-ray depth dose.

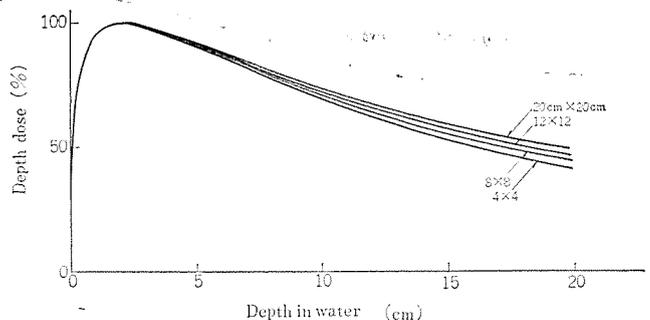


図 4.1 (b) 8 MV X-ray depth dose.

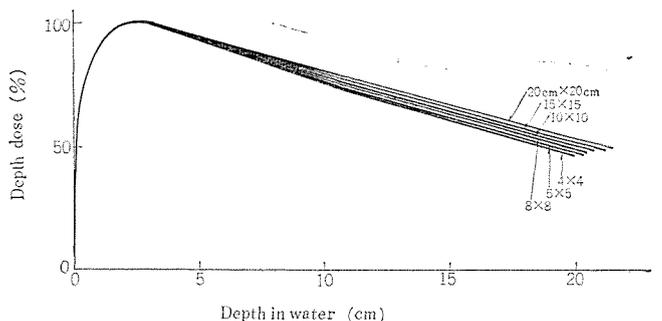
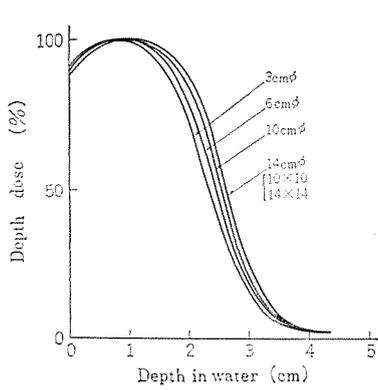
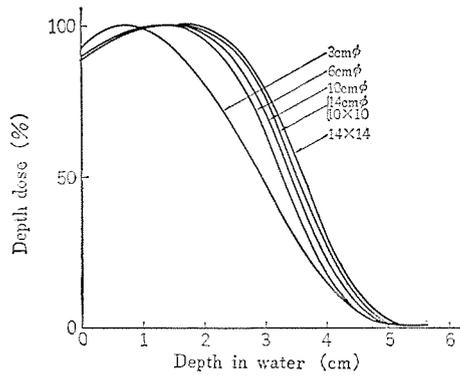


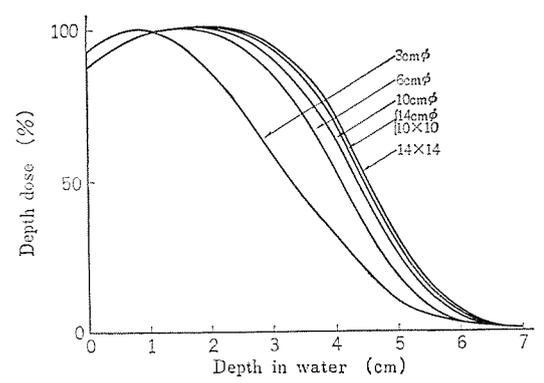
図 4.1 (c) 10 MV X-ray depth dose.



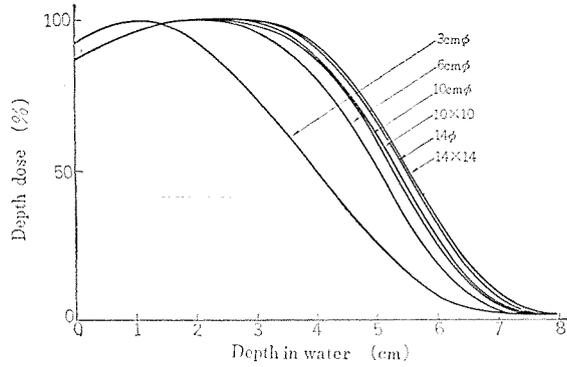
☒ 4. 2 (a) 8 MeV electron depth dose.



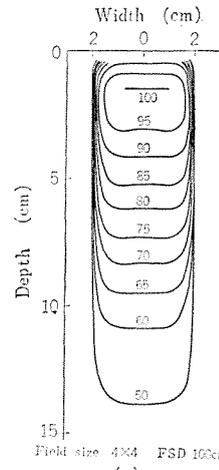
☒ 4. 2 (b) 10 MeV electron depth dose.



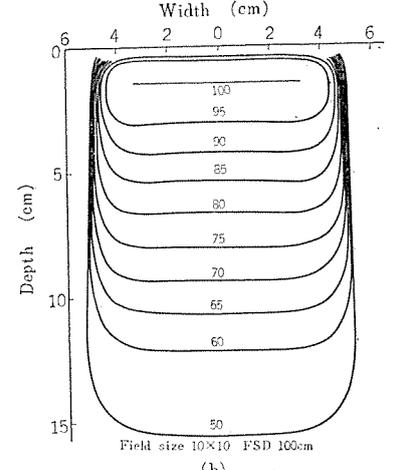
☒ 4. 2 (c) 12 MeV electron depth dose.



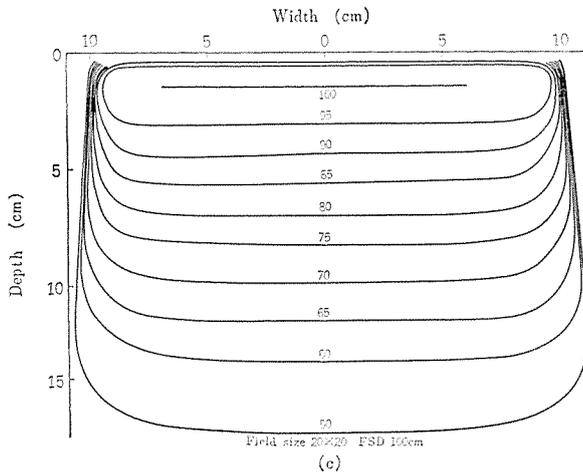
☒ 4. 2 (d) 15 MeV electron depth dose.



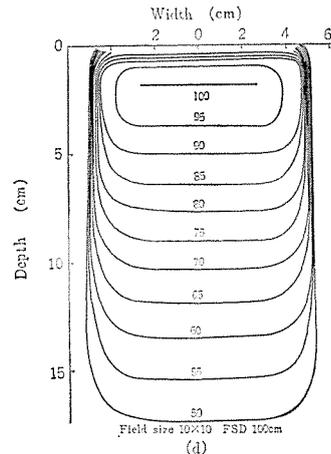
☒ 4. 3 (a) 6 MV X-ray iso dose curve.



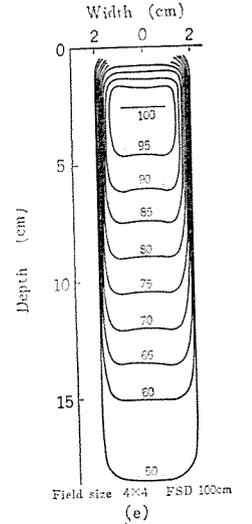
☒ 4. 3 (b) 6 MV X-ray iso dose curve.



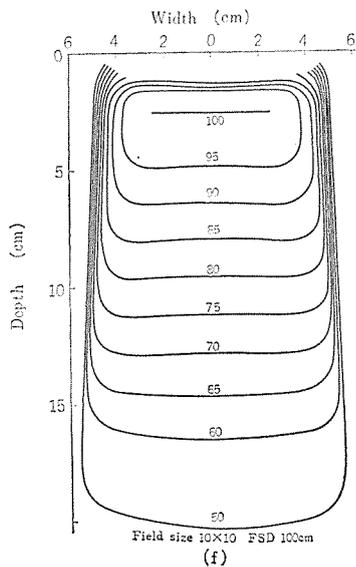
☒ 4. 3 (c) 6 MV X-ray iso dose curve.



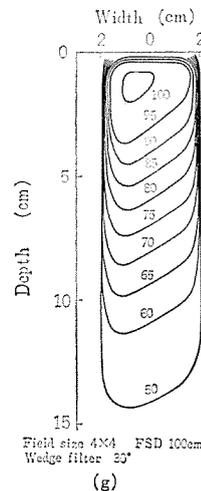
☒ 4. 3 (d) 8 MV X-ray iso dose curve.



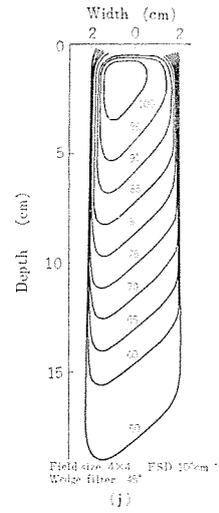
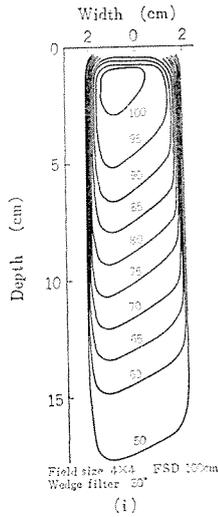
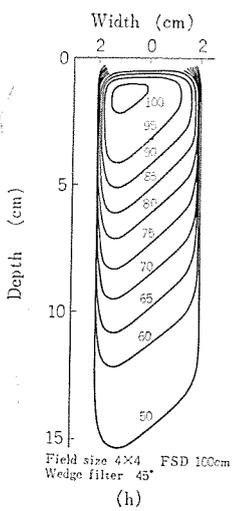
☒ 4. 3 (e) 10 MV X-ray iso dose curve.



☒ 4. 3 (f) 10 MV X-ray iso dose curve.



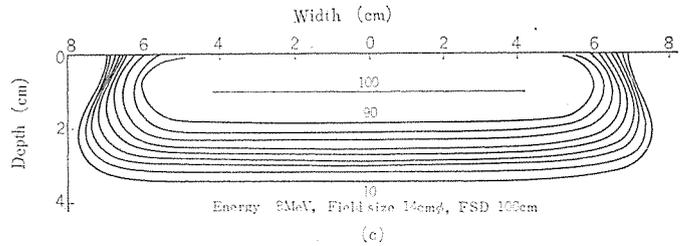
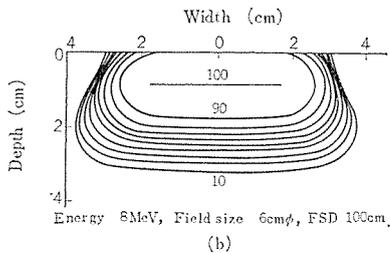
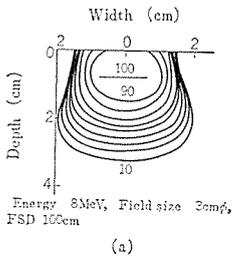
☒ 4. 3 (g) 6 MV X-ray iso dose curve.



☒ 4.3 (h) 6 MV X-Ray iso dose curve.

☒ 4.3 (i) 10 MV X-ray iso dose curve.

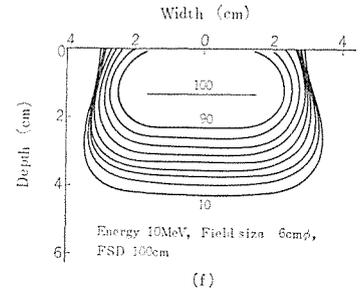
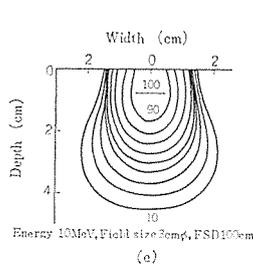
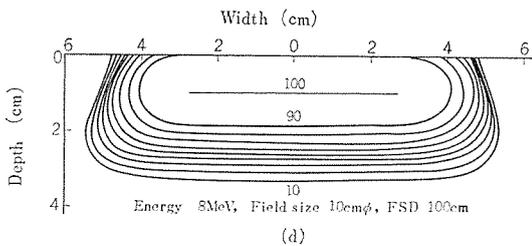
☒ 4.3 (j) 10 MV X-ray iso dose curve



☒ 4.4 (a) Electron iso dose curve.

☒ 4.4 (b) Electron iso dose curve.

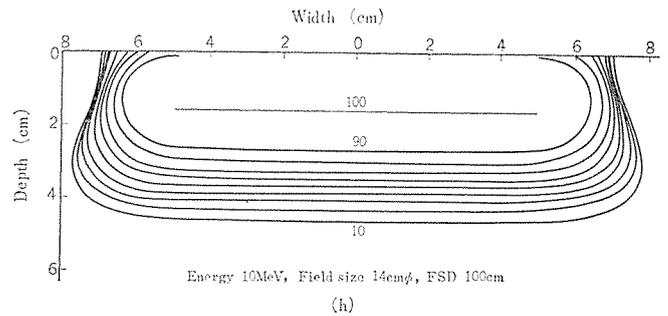
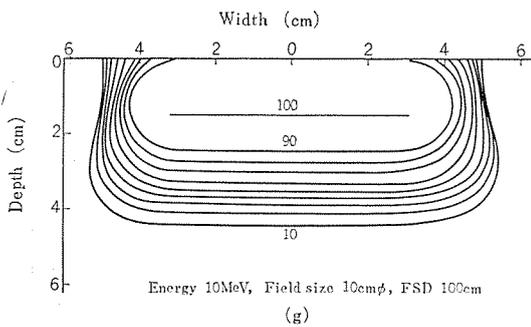
☒ 4.4 (c) Electron iso dose curve.



☒ 4.4 (d) Electron iso dose curve.

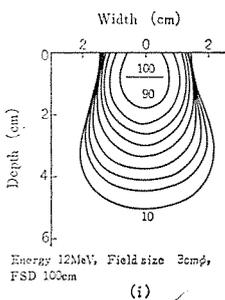
☒ 4.4 (e) Electron iso dose curve.

☒ 4.4 (f) Electron iso dose curve.

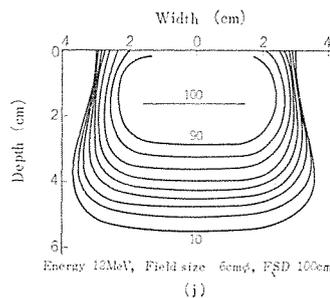


☒ 4.4 (g) Electron iso dose curve.

☒ 4.4 (h) Electron iso dose curve.



☒ 4.4 (i) Electron iso dose curve.



☒ 4.4 (j) Electron iso dose curve.

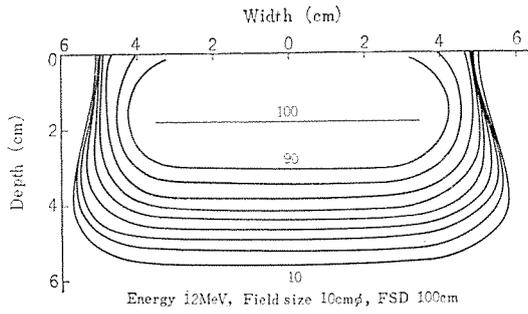


図 4.4 (k) Electron iso dose curve.

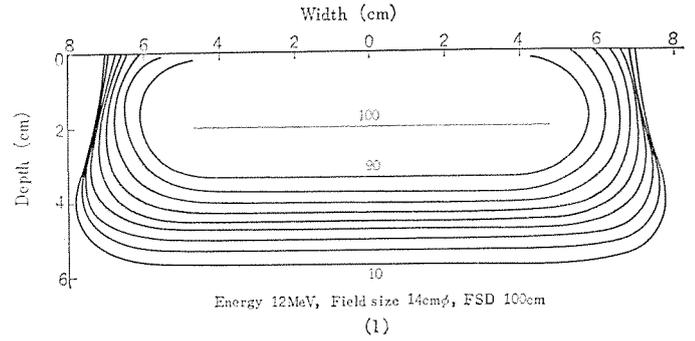


図 4.4 (l) Electron iso dose curve.

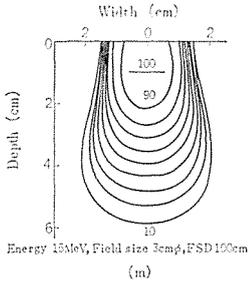


図 4.4 (m) Electron iso dose curve.

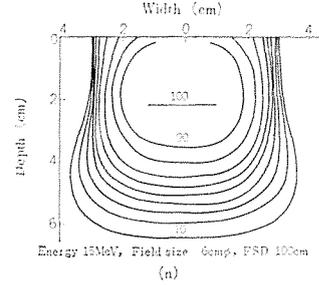


図 4.4 (n) Electron iso dose curve.

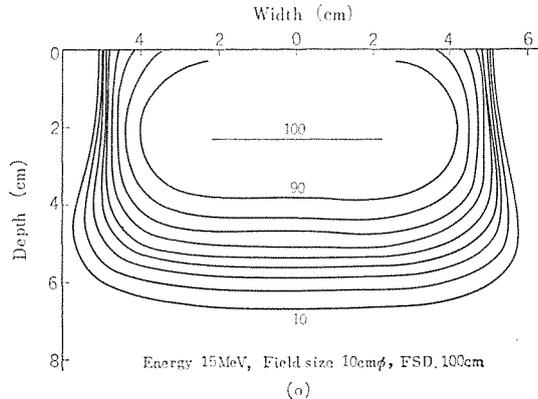


図 4.4 (o) Electron iso dose curve.

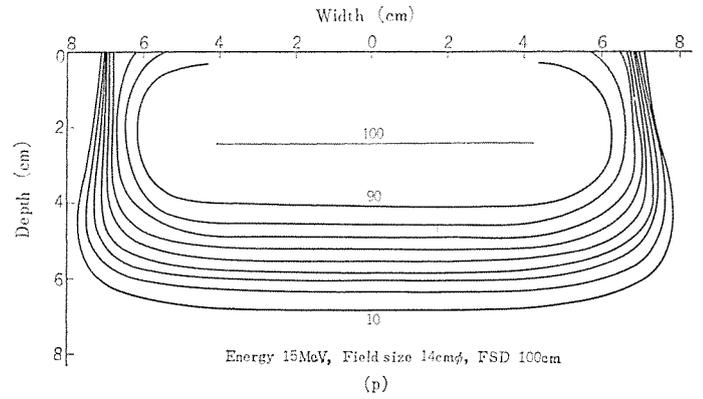


図 4.4 (p) Electron iso dose curve.

表 4.1 6 MV X-ray T. A. R.

深さ	照射野																					
	4×4	4×6	4×8	4×10	4×12	4×15	5×5	5×6	5×8	5×10	5×12	5×15	6×6	6×8	6×10	6×12	6×15	6×20	7×8	7×10	7×12	7×15
1.5	1.017	1.019	1.021	1.023	1.025	1.027	1.019	1.022	1.025	1.028	1.030	1.032	1.022	1.025	1.027	1.029	1.031	1.033	1.023	1.027	1.031	1.035
2	1.012	1.014	1.016	1.019	1.011	1.013	1.017	1.020	1.023	1.026	1.028	1.031	1.018	1.021	1.024	1.027	1.029	1.032	1.020	1.024	1.028	1.032
3	.991	.995	.999	1.002	1.005	1.008	1.002	1.005	1.008	1.011	1.013	1.016	1.000	1.003	1.006	1.010	1.013	1.017	1.005	1.010	1.014	1.018
4	.960	.963	.967	.970	.974	.977	.971	.975	.978	.981	.984	.987	.974	.977	.980	.983	.986	.990	.980	.985	.989	.993
5	.927	.931	.935	.939	.943	.947	.939	.942	.946	.949	.952	.955	.945	.949	.952	.955	.959	.963	.949	.955	.960	.965
6	.890	.895	.899	.904	.908	.912	.904	.908	.911	.915	.918	.921	.912	.915	.919	.924	.927	.930	.917	.923	.928	.934
7	.854	.858	.863	.868	.872	.876	.872	.875	.878	.882	.885	.889	.879	.884	.888	.891	.895	.900	.885	.893	.898	.903
8	.820	.824	.828	.832	.836	.840	.840	.844	.848	.851	.854	.858	.845	.850	.855	.860	.865	.870	.854	.861	.868	.873
9	.785	.790	.794	.798	.802	.806	.807	.811	.815	.818	.821	.825	.810	.817	.825	.830	.834	.837	.823	.830	.837	.842
10	.752	.757	.762	.766	.770	.774	.774	.779	.782	.786	.790	.794	.776	.783	.790	.796	.801	.807	.791	.798	.804	.810
11	.722	.727	.732	.736	.740	.743	.743	.747	.750	.754	.759	.763	.746	.751	.758	.765	.771	.776	.760	.768	.774	.780
12	.693	.698	.702	.707	.711	.715	.715	.717	.721	.724	.728	.733	.713	.727	.732	.736	.742	.746	.733	.740	.746	.751
13	.664	.669	.674	.678	.682	.686	.686	.688	.690	.695	.699	.704	.685	.694	.701	.707	.713	.719	.702	.710	.717	.724
14	.636	.648	.645	.650	.655	.660	.655	.659	.663	.667	.671	.675	.658	.667	.675	.680	.685	.691	.673	.680	.687	.695
15	.610	.616	.621	.626	.630	.634	.626	.630	.634	.637	.641	.646	.630	.639	.646	.652	.659	.664	.645	.653	.660	.667
16	.583	.588	.594	.599	.605	.610	.599	.604	.608	.612	.616	.620	.603	.613	.620	.626	.631	.637	.620	.627	.634	.640
17	.560	.565	.570	.575	.580	.585	.574	.578	.582	.586	.591	.596	.577	.585	.594	.600	.606	.602	.594	.602	.609	.616
18	.537	.544	.549	.554	.558	.563	.551	.555	.559	.563	.567	.571	.555	.563	.570	.575	.580	.586	.569	.577	.584	.592
19	.514	.520	.526	.530	.535	.541	.528	.532	.536	.540	.544	.548	.531	.539	.547	.552	.557	.562	.546	.555	.561	.568
20	.494	.499	.504	.508	.514	.519	.506	.510	.514	.518	.521	.525	.508	.516	.523	.528	.534	.539	.525	.533	.540	.547
深さ	照射野																					
	7×20	8×8	8×10	8×12	8×15	8×20	10×10	10×12	10×15	10×20	10×25	12×12	12×15	12×20	12×25	15×15	15×20	15×25	20×20	20×25	25×25	30×30
1.5	1.039	1.026	1.029	1.033	1.036	1.039	1.034	1.036	1.038	1.041	1.043	1.036	1.038	1.041	1.044	1.039	1.042	1.047	1.043	1.048	1.052	1.056
2	1.036	1.023	1.027	1.030	1.033	1.037	1.030	1.033	1.036	1.038	1.041	1.031	1.033	1.036	1.039	1.035	1.040	1.045	1.040	1.044	1.048	1.053
3	1.022	1.010	1.014	1.018	1.021	1.024	1.015	1.019	1.022	1.025	1.028	1.017	1.020	1.024	1.028	1.022	1.028	1.023	1.027	1.033	1.038	1.042
4	.997	.986	.989	.992	.996	1.000	.988	.993	.997	1.001	1.005	.994	.998	1.002	1.006	1.000	1.006	1.012	1.006	1.012	1.018	1.023
5	.969	.956	.960	.964	.968	.972	.961	.966	.970	.974	.978	.968	.973	.977	.981	.973	.980	.987	.982	.989	.994	1.000
6	.938	.924	.928	.931	.936	.942	.930	.934	.939	.944	.946	.940	.945	.950	.955	.945	.953	.960	.956	.963	.968	.974
7	.908	.893	.898	.902	.906	.911	.900	.904	.909	.913	.918	.912	.917	.921	.926	.917	.924	.932	.929	.936	.942	.949
8	.878	.862	.868	.871	.876	.881	.869	.874	.878	.883	.888	.881	.887	.893	.898	.890	.897	.904	.903	.910	.917	.923
9	.846	.830	.836	.841	.846	.850	.840	.845	.850	.855	.861	.853	.859	.864	.869	.864	.871	.878	.878	.885	.892	.898
10	.815	.797	.802	.809	.815	.820	.810	.815	.820	.825	.831	.825	.831	.837	.842	.837	.844	.850	.852	.859	.867	.873
11	.786	.766	.772	.779	.785	.790	.780	.786	.791	.797	.802	.797	.802	.808	.814	.810	.817	.825	.828	.835	.842	.848
12	.757	.738	.744	.750	.755	.760	.751	.757	.763	.768	.775	.769	.774	.779	.785	.783	.790	.797	.800	.808	.817	.824
13	.730	.709	.715	.721	.727	.733	.724	.730	.735	.740	.746	.742	.747	.752	.758	.757	.764	.772	.776	.784	.792	.799
14	.702	.680	.686	.692	.698	.704	.697	.703	.709	.715	.721	.714	.721	.727	.733	.733	.740	.747	.752	.760	.768	.776
15	.674	.653	.658	.665	.672	.678	.669	.675	.681	.687	.694	.687	.694	.701	.707	.707	.715	.723	.729	.737	.745	.752
16	.646	.625	.631	.637	.644	.650	.644	.650	.656	.662	.669	.660	.668	.675	.682	.680	.689	.697	.705	.714	.722	.730
17	.623	.600	.606	.613	.619	.625	.620	.626	.632	.638	.645	.636	.644	.651	.658	.655	.664	.673	.681	.700	.708	.716
18	.599	.576	.582	.588	.595	.602	.592	.603	.609	.615	.622	.614	.621	.629	.635	.631	.640	.650	.660	.668	.679	.687
19	.575	.554	.559	.565	.571	.577	.573	.579	.586	.593	.600	.590	.598	.607	.614	.609	.617	.628	.637	.645	.655	.663
20	.554	.531	.537	.543	.549	.555	.553	.558	.565	.572	.577	.576	.585	.592	.592	.583	.595	.608	.615	.625	.634	.643

表 4. 2 10 MV X-ray T. A. R

照射野	深さ																					
	4×4	4×6	4×8	4×10	4×12	4×15	5×5	5×6	5×8	5×10	5×12	5×15	6×6	6×8	6×10	6×12	6×15	6×20	7×8	7×10	7×12	7×15
2	.994	.997	1.000	1.002	1.004	1.006	.999	1.001	1.003	1.005	1.008	1.009	1.003	1.006	1.009	1.011	1.013	1.014	1.009	1.011	1.013	1.014
3	1.007	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.011	1.012	1.014	1.016	1.018	1.019	1.015	1.017	1.019	1.021	1.022	1.023	1.019	1.020	1.021	1.022
4	1.000	1.002	1.004	1.006	1.008	1.010	1.004	1.004	1.006	1.009	1.011	1.012	1.008	1.010	1.012	1.013	1.014	1.015	1.011	1.012	1.013	1.014
5	.979	.981	.984	.987	.989	.991	.984	.986	.988	.991	.993	.995	.989	.992	.994	.996	.998	.999	.993	.995	.996	.998
6	.951	.954	.957	.960	.964	.968	.958	.961	.965	.967	.970	.973	.964	.968	.970	.973	.975	.977	.969	.972	.974	.976
7	.922	.925	.929	.934	.938	.942	.930	.931	.937	.940	.943	.947	.938	.942	.945	.948	.951	.953	.943	.947	.949	.952
8	.893	.898	.903	.908	.912	.916	.902	.905	.909	.914	.917	.920	.911	.915	.919	.923	.926	.928	.916	.920	.923	.926
9	.865	.870	.876	.881	.885	.889	.874	.877	.881	.886	.889	.893	.882	.888	.892	.897	.900	.903	.890	.894	.898	.901
10	.836	.842	.848	.854	.859	.864	.846	.849	.855	.859	.863	.867	.857	.862	.865	.870	.874	.878	.863	.867	.872	.875
11	.810	.816	.822	.828	.833	.838	.820	.823	.828	.834	.838	.842	.830	.836	.839	.844	.849	.853	.838	.842	.847	.851
12	.785	.792	.799	.805	.809	.813	.795	.798	.804	.810	.814	.818	.805	.810	.814	.819	.825	.830	.813	.818	.823	.827
13	.761	.769	.776	.782	.787	.791	.773	.776	.781	.788	.794	.795	.781	.787	.791	.795	.801	.807	.790	.795	.801	.806
14	.739	.747	.755	.760	.764	.768	.751	.753	.759	.765	.769	.774	.758	.764	.767	.773	.779	.786	.769	.773	.780	.785
15	.716	.725	.733	.738	.742	.747	.728	.732	.737	.743	.748	.753	.737	.743	.746	.752	.759	.766	.747	.752	.759	.765
16	.694	.703	.711	.717	.721	.726	.707	.712	.716	.722	.727	.733	.717	.723	.726	.732	.739	.746	.727	.732	.739	.745
17	.674	.683	.692	.697	.702	.707	.688	.692	.696	.702	.708	.714	.697	.702	.707	.712	.719	.726	.707	.713	.720	.726
18	.655	.664	.672	.677	.682	.688	.667	.672	.677	.683	.689	.695	.677	.683	.688	.693	.701	.708	.688	.693	.701	.708
19	.635	.644	.652	.657	.663	.670	.648	.652	.658	.665	.671	.677	.657	.663	.669	.675	.683	.691	.669	.676	.684	.691
20	.616	.625	.634	.640	.645	.651	.633	.639	.646	.652	.659	.665	.643	.649	.655	.662	.670	.678	.651	.658	.666	.673

照射野	深さ																						
	7×20	8×8	8×10	8×12	8×15	8×20	10×10	10×12	10×15	10×20	10×25	12×12	12×15	12×20	12×25	15×15	15×20	15×25	18×18	18×20	20×20	20×25	25×25
2	1.015	1.011	1.013	1.015	1.016	1.017	1.014	1.015	1.016	1.018	1.019	1.016	1.018	1.020	1.021	1.020	1.021	1.022	1.021	1.022	1.023	1.024	1.025
3	1.023	1.019	1.020	1.021	1.022	1.023	1.021	1.022	1.024	1.025	1.026	1.024	1.026	1.027	1.028	1.027	1.029	1.030	1.030	1.031	1.032	1.033	1.034
4	1.015	1.010	1.011	1.012	1.013	1.014	1.014	1.015	1.016	1.018	1.019	1.016	1.018	1.019	1.021	1.021	1.021	1.023	1.022	1.023	1.024	1.025	1.026
5	.999	.993	.994	.995	.997	.998	.997	.999	1.000	1.002	1.004	1.000	1.002	1.004	1.006	1.005	1.006	1.008	1.007	1.009	1.011	1.013	1.015
6	.979	.969	.971	.973	.975	.977	.975	.977	.980	.982	.984	.979	.981	.984	.986	.984	.986	.988	.987	.990	.992	.994	.996
7	.954	.945	.948	.950	.952	.954	.952	.955	.958	.960	.962	.957	.959	.962	.965	.963	.965	.967	.966	.969	.971	.973	.975
8	.930	.918	.922	.925	.928	.931	.928	.931	.934	.937	.940	.933	.936	.939	.942	.941	.943	.945	.944	.947	.949	.951	.954
9	.905	.892	.896	.900	.903	.906	.904	.907	.911	.914	.917	.910	.913	.917	.920	.918	.920	.923	.921	.925	.927	.930	.933
10	.879	.867	.871	.876	.879	.882	.879	.884	.887	.891	.895	.886	.890	.895	.898	.895	.898	.901	.900	.903	.905	.908	.911
11	.855	.841	.845	.850	.854	.859	.855	.860	.864	.868	.872	.863	.867	.871	.875	.872	.875	.878	.877	.880	.883	.886	.889
12	.832	.817	.821	.826	.830	.836	.832	.837	.841	.846	.850	.840	.844	.849	.853	.850	.853	.857	.855	.859	.862	.865	.868
13	.810	.795	.800	.804	.808	.814	.810	.815	.819	.824	.829	.818	.823	.828	.833	.828	.833	.836	.834	.838	.841	.844	.847
14	.789	.773	.778	.783	.788	.793	.790	.795	.799	.804	.809	.798	.803	.808	.812	.808	.812	.816	.814	.818	.821	.824	.827
15	.770	.752	.757	.762	.768	.774	.768	.773	.778	.783	.789	.778	.783	.788	.793	.788	.793	.797	.795	.799	.802	.805	.808
16	.751	.731	.737	.742	.748	.754	.749	.754	.759	.764	.769	.758	.764	.769	.774	.769	.774	.779	.777	.781	.784	.787	.790
17	.733	.712	.718	.723	.729	.736	.729	.735	.740	.745	.750	.739	.745	.750	.756	.750	.756	.760	.759	.763	.766	.770	.773
18	.714	.693	.699	.705	.711	.718	.710	.716	.721	.727	.732	.720	.726	.732	.738	.732	.738	.743	.742	.746	.749	.753	.757
19	.697	.674	.680	.686	.693	.700	.691	.697	.703	.709	.714	.702	.709	.714	.720	.714	.720	.725	.724	.728	.731	.735	.740
20	.680	.656	.662	.669	.675	.681	.673	.680	.686	.691	.697	.685	.691	.697	.703	.697	.703	.708	.707	.711	.715	.719	.724

4段切換は非常に簡単である。このことは三菱電機がライナックの心臓部ともいえる高周波源に大電力クライストロンを採用したことに起因しているといっても過言ではない。このように医療用ライナックの実用機にクライストロンを採用している例は他にはなく、これが本装置の最大の特長であろう。その他、駆動機構に回転リングを設け、フリクションドライブによって、装置の回転をスムーズにしたが、これによって、機械的精度が1段と上がり、また、機械的寿命を長くした。このような機構も他社にはみられない。

本装置の製品化にあたり、種々協力をいただいた高津製作所・三条工場の関係者の皆様に深く感謝するとともに、医用データの作成にあたり、種々のご助言ならびにご協力を賜りました徳島大学医学部放射線科河村文夫教授・天羽一夫部長、および信州大学医学部放射線科小林敏雄教授・鈴木茂雄副部長に深く感謝の意を表す。

参 考 文 献

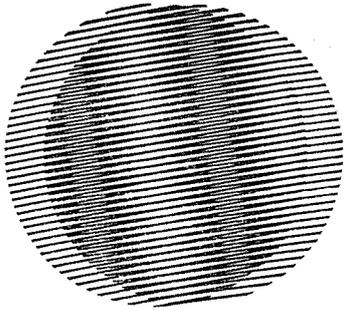
- (1) 佐野ほか：三菱医療用ライナック LAS-M, 三菱重工技報, 3, No. 5 (昭41)
- (2) 高橋ほか：国産医療用ライナックの性能, Medical Apparatus

Culture, 3, No. 7 (1966)

- (3) 立野ほか：三菱医療用ライナック LAS-M の実用性能, 三菱重工技報, 4, No. 6 (昭42)
- (4) 北島ほか：国産(三菱重工製)6 MeV 医療用直線加速器, 日本医学放射線学会誌, 27, No. 10 (昭43)
- (5) 浅川ほか：三菱重工製 6 MeV 医用直線加速器, 日本医学放射線学会誌, 27, No. 11 (昭43)
- (6) 浅川ほか：三菱医用直線加速器, 日本医学放射線学会誌, 28, No. 8 (昭43)
- (7) 立野ほか：6 MeV ライナック 電子線治療の基礎的研究, 日本医学放射線学会誌, 29, No. 9 (昭44)
- (8) T. Kitabatake et al: Medical 6 MeV Linear Accelerator Made in Japan, Nagoya Journal of Medical Science, 32, No. 3 (1970)
- (9) H. Fujita et al: Design features of 15 MeV Electron Linac for Nondestructive Inspection "Model ML-15 R" and for Medical Therapy "Model ML-15 M" Mitsubishi Denki Lab. Rep., 9, No. 3 (1968)

最近登録された当社の実用新案

名 称	登 録 日	登 録 番 号	考 案 者	関 係 場 所
蛍光灯器具	44- 9- 3	882870	諏訪 寧・柳下儀兵衛	大船製作所
計算機のプログラム設定用プラグ装置	44- 9- 3	882874	嶋田 弘	鎌倉製作所
空気弁	44- 9- 3	882875	織井勝雄	相模製作所
電動機の緩衝支持装置	44- 9- 3	882876	石橋 進	中津川製作所
電気調理器	44- 9- 3	882877	{鶴谷嘉正・大沢和夫 村岡和典	群馬製作所
回転電気のブラシ保持装置	44- 9- 3	882879	武井久夫・加藤 悟	群馬製作所
空気調理器	44- 9- 3	882880	高橋正晨・鶴谷嘉正	群馬製作所
電動機の保護装置	44- 9- 3	882881	高橋克己・丸山 忍	静岡製作所
信号系点検装置	44- 9- 3	882871	高田信治	神戸製作所
信号系点検装置	44- 9- 3	882872	高田信治	神戸製作所
直接形周波数変換装置	44- 9- 3	882873	赤松昌彦	中央研究所
制御極付半導体整流素子を用いたしゃ断器	44- 9- 3	882878	太田幹雄・高上弘之	伊丹製作所
内燃機関点火装置	44- 9- 3	882883	大西正義	姫路製作所
水銀電量計	44- 9- 3	882886	吉光康良・片山康平	通信機製作所
電気車の弱界磁制御装置	44- 9- 3	882887	小原太郎	伊丹製作所
位相制御回路	44- 9- 3	882888	民井精三	通信機製作所
積算記録計	44- 9- 3	882889	林 正之・山根満徳	福山製作所
可変抵抗器	44- 9- 3	882891	沢樋通弘	神戸製作所
通信或は電子機器などの架配線装置	44- 9- 3	882882	白川善信・塚越久男	鎌倉製作所
アイロン箱	44- 9- 3	882885	奥田文一・中川 清	群馬製作所
水循環式製氷機	44- 9- 3	882890	{林久美雄・吉田明彦 二本益行・市原輝彦	商品研究所
接続端子	44- 9- 3	882893	日比野浩一・市村伸男	群馬製作所
リード線保持装置	44- 9- 3	882894	近藤正司・日比野浩一	群馬製作所
音質の周波数特性表示装置	44- 9- 3	882898	五十嵐 進	郡山製作所
コントローラ用つまみ調整装置	44- 9- 3	882899	中村富家・大竹 操	群馬製作所
コントローラ用つまみ調整装置	44- 9- 3	882900	中村富家・大竹 操	群馬製作所
真空スイッチ装置	44- 3- 3	882892	勝田久登	神戸製作所
制動磁石	44- 9- 3	882895	織田利之・加藤 清	福山製作所
AGC回路	44- 9- 3	882896	吉富正夫	北伊丹製作所
操作つまみの取付装置	44- 9- 3	882897	岩本康雄・神野秀城	京都製作所
プッシュング	44- 9- 4	882902	魚住幸男	名古屋製作所
開閉器の操作装置	44- 9- 4	882903	米崎増雄	長崎製作所
電磁接触器	44- 9- 4	882905	有本智美	名古屋製作所
電磁接触器	44- 9- 4	882906	有本智美	名古屋製作所
電磁接触器	44- 9- 4	882907	有本智美	名古屋製作所
ホール素子装置	44- 9- 4	882908	杉岡八十一・梶原康也	中央研究所
可搬形毛糸編機	44- 9- 4	882901	奥田文一・服部信道	群馬製作所
炊飯器	44- 9- 4	882904	野畑昭夫・大沢和夫	群馬製作所
扇風機	44- 9-12	883466	糸魚川佐富	中津川製作所
冷蔵庫	44- 9-29	884563	海野 賢	静岡製作所
電気ふとん類の温度調節装置	44- 9-29	884566	鈴木 洵・中村富家	群馬製作所
電気ふとん類の温度制御装置	44- 9-29	884567	福田 稔・中村富家	群馬製作所
救命浮体の収納装置	44- 9-29	884568	藤田良二	相模製作所
掃除機の前蓋取付装置	44- 9-29	884570	加藤 悟・南日国伸	群馬製作所
電気掃除機の吸込ノズル	44- 9-29	884571	加藤 悟・奥田文一	群馬製作所
熱動安全器の取付装置	44- 9-29	884572	三ヶ田文彦・小林雅和	群馬製作所
電熱布の過熱保護装置	44- 9-29	884573	小原英一・中村富家	群馬製作所
電気掃除機	44- 9-29	884574	加藤 悟・相河富雄	群馬製作所
冷凍装置	44- 9-29	884575	織田隆嗣	静岡製作所
冷凍装置の蒸発装置	44- 9-29	884577	織田隆嗣・大槻哲也	静岡製作所
冷蔵庫の扉	44- 9-29	884578	柴田 実	静岡製作所
冷蔵庫の扉	44- 9-29	884579	柴田 実	静岡製作所



新製品紹介

新形 Zs-E 形ゼロスピードスイッチ

Zs-A 形ゼロスピードスイッチは主として逆相制御用として好評を博しているが、今回動作回転数調整範囲の拡大、性能向上を目的としてモデルチェンジし、新形ゼロスピードスイッチ Zs-E 形を開発した。

■ 用途

(1) 逆相制御用

モータの逆相制御により、三相モータを機械ブレーキを使用しないで瞬間停止させるためのラッキングリレーとして使用できる。

(2) 低速度検出用

所定の速度に低下してから、つぎのプロセスに移る場合、速度検出用として利用できる。

■ 特長

(1) 最高級の性能

速度検出機構とスイッチ機構は最高級の性能で、ひん繁過酷な開閉動作にもすぐれた性能を持っている。

(2) 広範囲な使用

(a) 最高使用回転数が 3,600 rpm で、商用周波数の電源で使用するすべての誘導電動機に使用できる。

(b) 接点は常時開および閉の接点をそなえているから、余分なリレーを追加することなく広い範囲に応用できる。

(c) 調整ねじにより 50~800 rpm の広範囲の動作回転数を検出設定できる。

(3) 小形軽量

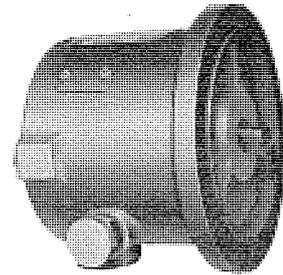
速度検出機構とスイッチ機構がコンパクトにまとめられているから、小形軽量で取付面積も小さくなる。

(4) 調整は容易

(a) 検出回転数は左右の調整ねじを調整するだけで変更できる。

(b) 左右の調整は独立しており正回転と逆回転に異なる回転数の検出、設定もできる。

[名古屋製作所]



Zs-E 形ゼロスピードスイッチ

■ 仕様

(1) 接点構成と容量

接点構成	正回転用	常時開・常時閉各1
	逆回転用	常時開・常時閉各1
電圧	AC 250 V	DC 30 V
誘導負荷 A	4	4
抵抗負荷 A	5	5
最大ピーク負荷 A	15	15

(2) 標準仕様

形式	クレンジ形
最高使用回転数	3,600 rpm
動作回転数(速度降下検出用)	50~800 rpm
設定回転数	用途に合わせて調整

(3) 低動作回転数仕様(準標準)

最高使用回転数	1,800 rpm
動作回転数(速度降下検出用)	30~300 rpm

三菱 VP-101 形ビデオコピー

“テレビジョン信号から直接画面の複写をとる装置”

当社では、このほど、テレビジョン信号から直接画面の複写をとる装置を完成し、“三菱ビデオコピー”という名前で製品化した。

この装置はテレビジョンの映像信号から、A4大の紙に直接テレビジョン画面を複写することのできる装置で、情報伝送用テレビジョン・産業用テレビジョン・教育用テレビジョンなどの受像機と並列に本機を接続して、受像画面の像を即時に記録として残すものである。

従来テレビジョン信号の中に特殊なファクシミリ信号を重畳または混入して送信し、印刷するものは試作されていたが、本機はテレビジョンの画面をそのまま複写するもので、一般のファクシミリと異なり、送像側がテレビジョンカメラであるため、ファクシミリのように原面を円筒に巻きつける必要がなく、白と黒の線画のほか、中間調のある画像や実物の複写も可能であるなどの特長を有するもので、わが国でも最初のものである。

特長

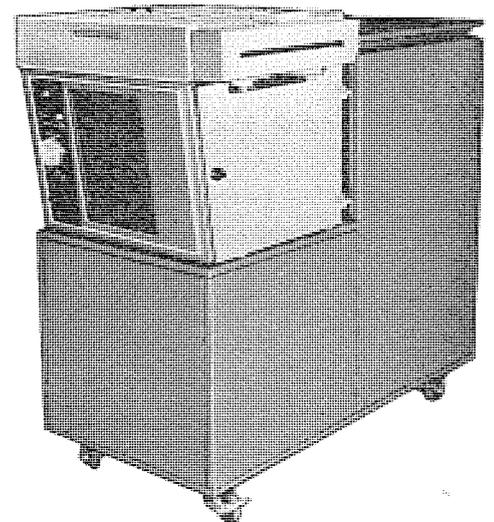
- (1) テレビジョンの映像信号(V・S複合信号)を入れるだけで、簡単にテレビジョン画面を複写することができる。
- (2) 操作が容易で、専門的知識を必要としない。
- (3) 高解像度で図面・書類などの精細な画面でも、明確な複写を得ることができる。
- (4) 図面伝送用テレビジョン装置と併用することにより、工作部門と設計部門との間などで、図面による打合わせをテレビジョンで行ない、直ちに、複写を残すことができるので、工場・事務所などの合理化率向上に役立つ。
- (5) 中間調のあるものも複写として残すことができるので、白と黒の線画以外の実物や写真も可能である。すなわちテレビジョンカメラで写せるものはなんでも複写できる。
- (6) 複写のランニングコストが安価である。
- (7) 本機により得られた複写からさらに、リコピー・ゼロックスなどによりコピーを作ることができる。

概略仕様

プリント方式:	CRT—レンズ方式
使用紙:	クイックコピー紙、幅210mm 30mロール、カット長180mm 固定
現像方式:	安定化処理方式
プリント速度:	露光5~10秒、仕上り10~15秒
プリント画面大きさ:	約240mm×180mm
	1巻の紙より得られる
コピー枚数:	約150枚
複写:	リコピーにて複写できる原紙も作成可
中間調:	7段階以上
信号入力:	75Ω 1.4V _{P-P} (V・S) 標準テレビジョン信号

用途別

- (I) 産業用テレビジョンに接続して
 - (a) 図面・書類などを伝送し、受像側で直接画面の記録を残す。
伝票、黒板に書いた手配書等
 - (b) 門の出入口の自動化と遠隔監視を併用し、重要人物の入出門証のコピーによる事務処理を行なう。
 - (c) 大病院等においてカルテ・処方式などテレビジョンを像として必要個所に送り、受像側では必要に応じてコピーとして使用
- (II) 電算機の端末機器として
テレビジョン方式の電算機用キャラクタディスプレイ信号からも、直ちにそのデータを紙に記録として残すことができる。



三菱 VP-101 ビデオコピー

[通信機製作所]

カラーキャラクタ ディスプレイ装置

スタンドアロン型カラーキャラクタディスプレイ装置の開発を完了、生産販売を開始する。

本装置は、回線との接続部、キーボード、ブラウン管および制御部を一体化したコンパクトな装置で、電子計算機に接続して即時の入力ができ、端末機器として最適な装置である。

表示文字は7色のカラーで表示できるので、色別表示によりオペレータの視覚による判断が容易であり、また豊富な編集機能、カナ文字を含む114種の表示字種と備えているので、だれでも手軽に電子計算機と会話することができる。

当社では、すでにマルチステーションタイプのカラーディスプレイ装置を開発、既販のプロセス制御用電算機 MELCOM-350 シリーズに接続して販売してきたが、通信回線の開放に伴うオンラインリアルタイム処理、タイムシェアリング利用に対処するための有力な入出力端末機器として今回のディスプレイ装置の製品化を行なったものである。

本装置は、MELCOM-7000 および MELCOM-350 などの MELCOM 各計算機シリーズの端末機器として販売してゆくほか、業務提携先である日本ユニパックを通じ、ユニパック電算機・OUK 電算機シリーズ用としても販売する予定である。

本装置の適用分野として

(1) タイムシェアリング

科学技術計算・プログラム作成・シミュレーションなど

(2) 問合わせ業務

MIS・銀行・証券・保険・座席予約等の問合わせ業務

(3) プログラム学習

(4) ダイレクトデータインプット

など幅広い利用が期待されている。

販売価格は、コントローラ・電源・標準インタフェース・標準キーボード込みで約200万円の子定で、出荷開始は本年の8月である。

主要性能は次のとおり

画面寸法： たて160 mm×よこ200 mm

表示文字数： 640字(40字×16行)

表示字種： カナ文字(46)、英字(26)、数字(10)、記号(32)計114種

表示色： 赤・緑・黄・青・白・シアン・マゼンタの7色

使用コード： JIS-C-6200, ISO(カナ入り)に準拠

表示方式： ラスタスキャン方式

文字表示方式： ドット方式(7点×5点)

通信速度： 200 BPS, 1,200 BPS または 2,400 BPS

通信方式： 半二重・ポーリング方式

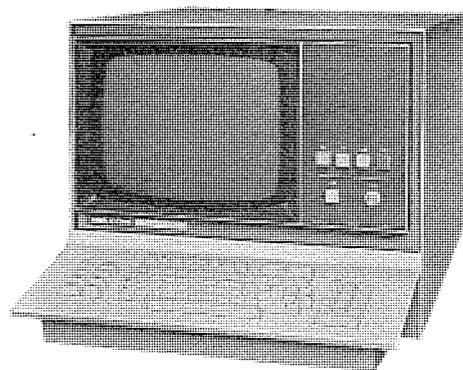
インタフェース： CCITT 規格に準拠

コントロール機能： スキャン(右・左, 上・下), ホーム, ニューライン

編集機能： ラインイレイズ, ディスプレイイレイズ, クリア

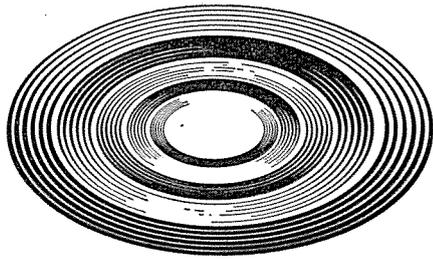
外形寸法： 幅500 mm×高さ410 mm×奥行670 mm

重量： 45 kg



カラーキャラクタディスプレイ装置

[鎌倉製作所]



NEWS FLASH

“低圧真空コンタクタ” シリーズ拡充

当社では、45年4月に、わが国初の低圧真空コンタクタ VC-600形（交流 600V 600A）の開発に成功し、発売したが、このたびさらに機種拡充をはかり、交流 600V 300A の VC-300形および可逆式の VC-2×300形、VC-2×600形、機械ラッチ付きの VCL-300形、VCL-600形の5機種を開発し、4月中旬より発売することになった。

本品は、しゃ断性能がすぐれており、また高ひん度の開閉に耐えうるため、鉄鋼・化学等の設備用を中心に需要が期待でき、当初月産 300台を計画している。

形名および価格

形名	定価 (円)	仕様
VC-300	114,000	非可逆式 300A
VC-2×300	240,000	可逆式 300A
VCL-300	126,000	機械ラッチ付き 300A
VC-2×600	355,000	可逆式 600A
VCL-600	182,000	機械ラッチ付き 600A

■ VC-300形のおもな特長

(1) しゃ断性能がすぐれている

高真空は、絶縁耐力・絶縁回復特性が非常に優秀で、アーク時間はほとんど半サイクル以下である。

(2) 長寿命で高ひん繁度開閉が可能

気中形に比べ、アーク電圧が低く、アーク時間も短いため接点消耗が少なく長寿命で、また、アークによる発熱が少ないため、高ひん繁度開閉が可能である。

(3) 安全性が高い

開閉部が真空スイッチ管内に密封されているため、アークが外部に吹き出さず、腐食性ガスなどのふんい気での使用も可能である。

(4) 保守・点検取扱いが容易

主接点部が完全密封のため、有毒ガス・ちりなどの影響を受けず、保守点検が簡単である。

(5) 無騒音

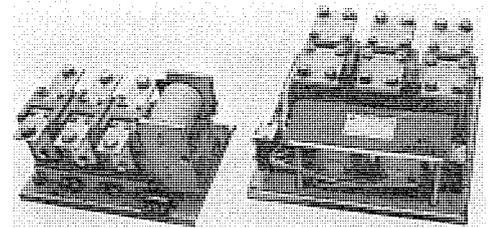
電流しゃ断が真空中のため、しゃ断音がない。

■ VC-300形のおもな仕様

定格電圧： 交流 600V
 定格電流： 300A
 定格通電電流： 330A
 しゃ断電流容量： 交流 600V 3,000A
 開閉ひん繁度： 1,200回/時（最大適用負荷）
 機械的寿命： 500万回以上
 電氣的寿命： 50万回以上
 外形寸法： (横)222×(縦)300×(奥行)179mm

(なお、取り付け寸法は、S-300形気中コンタクタに合わせてある)

[名古屋製作所]



今回発売の VC-300形
低圧真空コンタクタ

従来から販売している
VC-600形コンタクタ

デジタルカセット磁気テープ装置開発

当社では、小形計算機および端末機器の入出力装置として、デジタルカセット磁気テープ装置の開発を完了した。

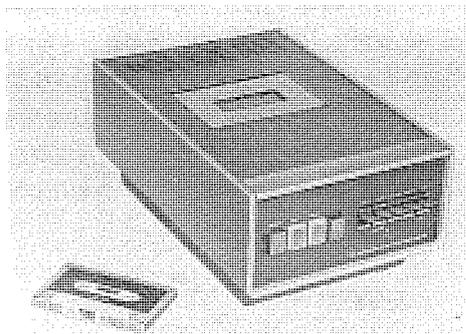
この装置は新しい入出力装置として注目されているものであり、今まで使用されていた紙テープ機器の代換え、および新しい使用分野の可能性があるので今後期待される機器である。この装置は現在国際標準化機構 (ISO) で規格化が進められており、45年11月 ISO TC 97/SC 4/WG 1 で作成された、1st DRAFT PROPOSAL に準拠して設計されている。この装置に使用されるテープは、音響用カセットテープと外形はほとんど同一であるが、デジタル用としてA面・B面判別孔および走行安定化を目標とし、内部構造が異なっていることと、テープがデジタル用となっていることが異なっている。

この装置の概略仕様は下記のとおりである。

テープ速度：	15 cm/s (6 IPS)
速度変動：	± 5 % 以下
スタート/ストップ時間：	30 ms/30 ms 以下
巻戻し時間：	1 min 以内 (86 m テープにて)
記録密度：	32 bits/mm (800 BPI)
転送速度：	4,800 bits/s
テープ駆動系：	3 モータ (ブラシレス) キャプスタン 駆動方式
テープ検知：	貫通形 (BOT, EOT 独立検知)
カセットアップ：	自動 (手動スイッチ可)
電源：	外部より供給, AC 100 V, DC + 5 V ± 12 V
外形寸法：	190(W) × 130(H) × 290(D)mm
重量：	5.4 kg

この装置の特長は、前述したように ISO 原案に準拠していること、信頼性向上を目標とし、使用モータのブラシレス化を実施したこと、および新しい装置として多大な技術開発がなされたことである。

[鎌倉製作所・郡山製作所]



デジタルカセット磁気テープ装置とテープ

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2番3号(三菱電機ビル) (電) 100 (電) 東京 (03) 218局2111番

大阪営業所	大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル)	(電) 530	(電) 大阪 (06) 343局1231番
名古屋営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)	(電) 450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
静岡出張所	静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社)	(電) 420	(電) 静岡 (0542) 54局4681番
福岡営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	(電) 810	(電) 福岡 (092) 75局6231番
長崎出張所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館)	(電) 852	(電) 長崎 (0958) 23局6101番
札幌営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)	(電) 060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)	(電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
富山営業所	富山市桜木町1番29号	(電) 930	(電) 富山 (0764) 31局8211番
広島営業所	広島市中町7番32号(日本生命ビル)	(電) 730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
岡山出張所	岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館)	(電) 700	(電) 岡山 (0862) 25局5171番
高松営業所	高松市鶴屋町2番1号	(電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
新潟営業所	新潟市東大通1丁目12番地(北陸ビル)	(電) 950	(電) 新潟 (0252) 45局2151番
東京商品営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)	(電) 100	(電) 東京 (03) 218局2111番
関東商品営業所	与野市上落合後原842番地	(電) 338	(電) 与野 (0488) 33局3181番
大阪商品営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(電) 530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
名古屋商品営業所	名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル)	(電) 450	(電) 名古屋 (052) 561局5311番
福岡商品営業所	福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル)	(電) 810	(電) 福岡 (092) 75局6231番
札幌商品営業所	札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル)	(電) 060-91	(電) 札幌 (011) 261局9111番
仙台商品営業所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル)	(電) 980	(電) 仙台 (0222) 21局1211番
北陸商品営業所	金沢市小坂町西97番地	(電) 920	(電) 金沢 (0762) 52局1151番
広島商品営業所	広島市中町7番23号(日本生命ビル)	(電) 730	(電) 広島 (0822) 47局5111番
高松商品営業所	高松市鶴屋町2番1号	(電) 760	(電) 高松 (0878) 51局0001番
東京機器営業所	東京都千代田区丸の内2丁目2番3号(三菱電機ビル)	(電) 100	(電) 東京 (03) 218局2111番
大阪機器営業所	大阪市北区堂島北町8番地の1	(電) 530	(電) 大阪 (06) 344局1231番
静岡機器営業所	静岡市小島2丁目1番22号	(電) 420	(電) 静岡 (0542) 82局2061番
浜松機器営業所	浜松市上西町42の5	(電) 430	(電) 浜松 (0534) 63局6121番
中央研究所	尼崎市南清水字中野80番地	(電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
生産技術研究所	尼崎市南清水字中野80番地	(電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
商品研究所	鎌倉市大船2丁目14番40号	(電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1	(電) 652	(電) 神戸 (078) 67局5041番
伊丹製作所	尼崎市南清水字中野80番地	(電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
三田工場	三田市三輪町父々部85番地	(電) 669-13	(電) 三田 (07956) 4371番
長崎製作所	長崎市丸尾町6番14号	(電) 850-91	(電) 長崎 (0958) 23局6211番
稲沢製作所	稲沢市菱町1番地	(電) 492	(電) 稲沢 (0587) 32局8111番
和歌山製作所	和歌山市岡町91番地	(電) 640-91	(電) 和歌山 (0734) 23局7231番
鎌倉製作所	鎌倉市上町屋325番地	(電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 46局1111番
通信機製作所	尼崎市南清水字中野80番地	(電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
北伊丹製作所	伊丹市瑞原4丁目1番地	(電) 664	(電) 伊丹 (0727) 82局5131番
熊本第一工場	熊本市竜田町弓削720番地	(電) 862	(電) 熊本 (0963) 62局7211番
熊本第二工場	熊本県菊池郡西合志町御代志997	(電) 861-11	(電) 熊本 (0963) 54局0951番
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町18丁目1番地	(電) 461	(電) 名古屋 (052) 721局2111番
旭工場	尾張旭市下井町下井	(電) 488	(電) 尾張旭 (05615) 3局5101番
福岡製作所	福岡市今宿青木690番地	(電) 819-01	(電) 福岡今宿(09295) 6局0431番
福山製作所	福山市緑町1番8号	(電) 720	(電) 福山 (0849) 21局3211番
相模製作所	相模原市宮下1丁目1番57号	(電) 229	(電) 相模原 (0427) 72局5131番
姫路製作所	姫路市千代田町840番地	(電) 670	(電) 姫路 (0792) 23局1251番
静岡製作所	静岡市小島3丁目18番1号	(電) 420	(電) 静岡 (0542) 85局1111番
中津川製作所	中津川市駒場町1番3号	(電) 508	(電) 中津川 (05736) 6局2111番
大船製作所	鎌倉市大船5丁目1番1号	(電) 247	(電) 鎌倉 (0467) 46局6111番
郡山製作所	郡山市栄町2番25号	(電) 963	(電) 郡山 (0249) 32局1220番
群馬製作所	群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地	(電) 370-04	(電) 尾島 (02765) 2局1111番
藤岡工場	藤岡市本郷字別所1173番地	(電) 375	(電) 藤岡 (02742) 2局1185番
京都製作所	京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地	(電) 617	(電) 京都 (075) 921局4111番
長野工場	長野市大字南長池字村前	(電) 380	(電) 長野 (0262) 27局1101番
ラジオ工場	尼崎市南清水字中野80番地	(電) 661	(電) 大阪 (06) 491局8021番
札幌営業所	札幌市北2条東12丁目98番地	(電) 060	(電) 札幌 (011) 231局5544番

次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 45 No. 6 研究およびノーヒューズしゃ断器特集

《研究特集論文》

- 油冷・油浸構造による屋外形サイリスタ高圧バルブ
- 人工衛星熱制御系のQT法
- FSM形磁性薄膜記憶装置
- 半硬質磁性合金 FNC (Fe-Ni-Cu)
- 差動増幅形半導体磁気センタ
- 小形玉軸受の高域騒音
- 薄壁形冷蔵庫の現場発泡硬質ウレタンフォーム断熱材
- 減圧気中における TIG 溶接アークの金属加工への応用
- エポキシ樹脂の力学的性質とガラス転移現象
- 半導体集積回路の製造におけるガスプラズマ技術の応用

《ノーヒューズしゃ断器特集》

- ノーヒューズしゃ断器の技術動向
 - NF 3200 形ノーヒューズしゃ断器
 - 限流形ノーヒューズしゃ断器 R シリーズ
 - ノーヒューズしゃ断器の付属装置
 - ノーヒューズしゃ断器と電磁開閉器の協調
 - 永久フェーズ付しゃ断器 NFU 形
 - 永久フェーズ—自己復旧形限流素子—
 - 永久フェーズ用金属材料の耐アルカリ金属性
 - システムサーキットブレーカとその応用
 - AB 形低圧気中しゃ断器
 - 高速高感度形漏電しゃ断器の実用上の 2, 3 の問題点
- 《普通論文》
- 特殊連系装置の方式開発
 - 東京電力(株)駿河変電所向け 66 kV 特殊連系装置

三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

委員長	正 木 茂 雄	常任委員	湊 武 雄
副委員長	神 崎 邇	"	武 藤 正
常任委員	石 川 理 一	"	依 田 功
"	上 田 重 夫	委 員	大 西 信 治
"	宇 佐 見 重 夫	"	北 垣 成 一
"	北 川 和 人	"	田 附 和 夫
"	古 賀 亨	"	南 日 達 郎
"	小 堀 富 次 雄	"	秦 卓 也
"	鈴 木 正 材	"	林 昇 寿
"	牧 野 六 彦	"	松 元 雄 蔵

(以上 50 音順)

昭和 46 年 5 月 22 日印刷 昭和 46 年 5 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 2 番 3 号

正 木 茂 雄

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
(郵便番号 162)

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 12 番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 2 番 3 号(郵便番号 100)

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」
(電) (03) 218 局 2323 番

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151) 株式会社 オーム社書店
(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 20018