

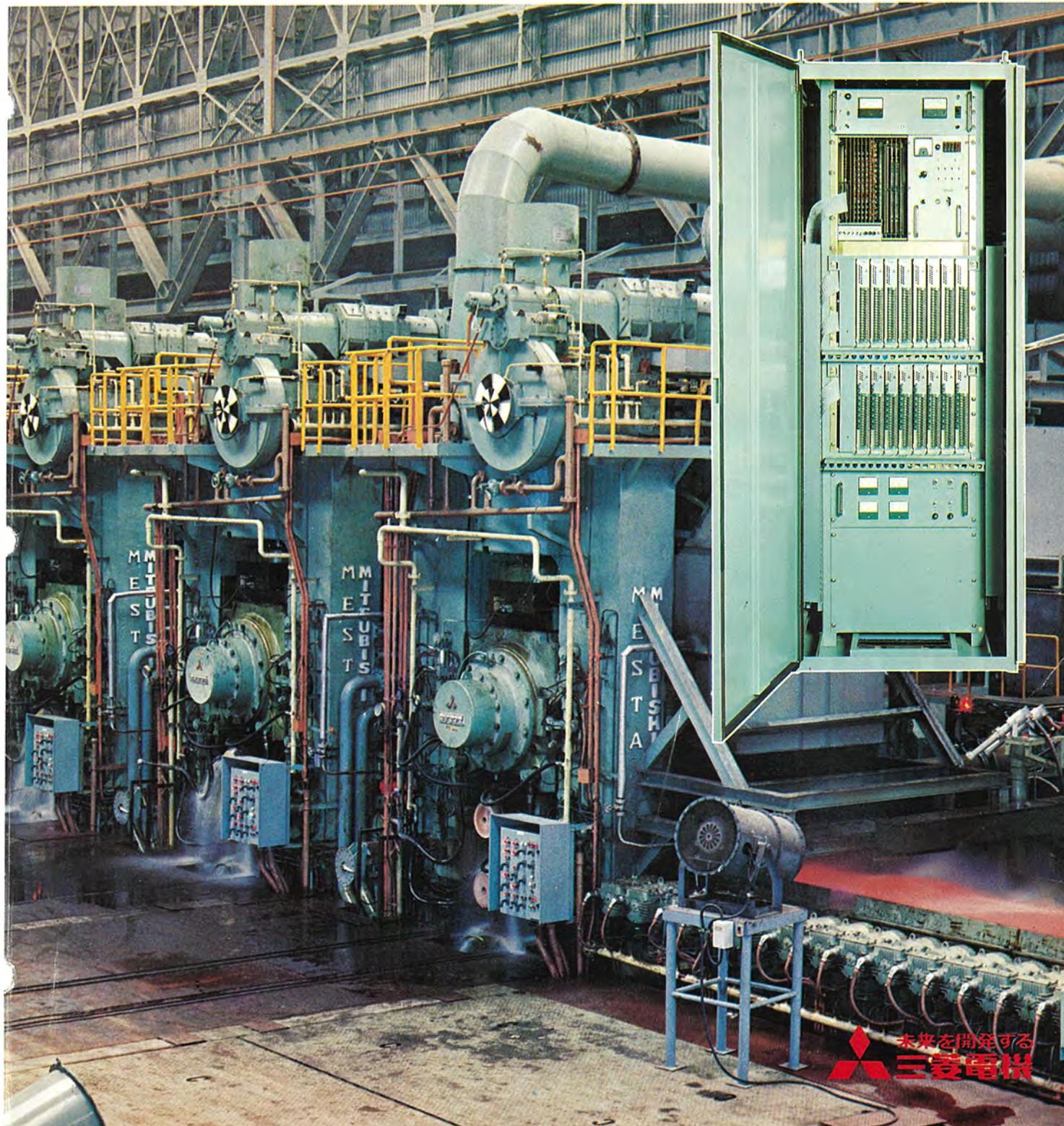
MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol. 48 February 1974

鉄鋼プラント電機品特集

2

三菱シーケンサ MELSEC-310



未来を開拓する
三菱電機



鉄鋼プラント電機品特集

目次

《特集論文》

熱間圧延機用電機品	辻 順一・錢場 敏・新野修平・浜崎晏行	129
冷間圧延機用電機品	兵頭太郎・大場宏一・上住好章・浜崎晏行	141
鉄鋼プロセスライン用電機品	兵頭太郎・佐藤寿一・松尾元幸・河本晴夫・松山功武	148
鉄鋼プラントの DDC システム	山下弘雄・山本 修・川崎宗男	163
サイリスタレオナード装置	平山博朗・石塚敏彦・安達邦雄・開高 徹・池見克二・轟 幸男	173
鉄鋼プラント用制御盤と操作盤	平山博朗・柴田謙司・田中睦宥・貴志之保	180
鉄鋼プラントへのシーケンサ MELSEC-310 の適用	山下弘雄・大野宣男	191
アナログ制御標準モジュール	三品英二・大藪 黙・神河達夫・河本晴夫	197
鉄鋼プラントにおける検出器および計測装置	松谷勝巳・大藪 黙・西岡忠臣	202
圧延機駆動系におけるねじり振動に関する諸問題	小山建次・久保田伸夫	209
塊状磁極形同期電動機の始動特性	吉田俊一・野村達衛	213
新日本製鉄(株)大分製鉄所納め スラブ精整設備用電機品	石 雅彦・白石和男・春川康彦	220

《普通論文》

沸騰冷却方式による大容量半導体変換装置の開発	小林 規・鹿野義郎・田中 修・福島 満・光本誠一	229
火力発電所向け 全電子式バーナ制御装置	松本直己・戸倉武彦・相良辰雄	240
電子計算機用コアメモリ装置 PM-865	蒲生容仁・松本典明	255
鋳造プラントの自動化	酒井靖夫・山崎宣典・清水良之輔・青木正夫・杉田一男	261
重負荷多端子系用 新形搬送保護継電装置		
.....岡村正巳・杉浦 昭・大浦好文・松田高幸・三上一郎・鈴木健治・中村勝巳・東 信一		270

《技術解説》

最近における強力 CO ₂ レーザの開発	宇田新太郎	276
《ニュースフラッシュ》		282

《特許と新案》

電気式空気清浄装置・空調形灯具のダクト接続装置・プッシュボタン装置		227
-----------------------------------	--	-----

《表紙》

表紙 1 三菱シーケンサ MELSEC-310

従来シーケンス制御は、電磁リレー、半導体リレーによるワイヤードロジックによって実現されていたが、近年プログラマブルなソフトウエアによるシーケンス制御が注目され、広く適用されてきている。

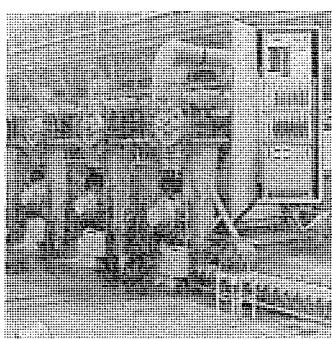
表紙の写真は三菱シーケンサ MELSEC-310 であり、シーケンス制御について豊かな知識と経験を有する当社が、電力・工業をはじめ各分野でのシーケンスコントローラに対する要求を満足させるものとして開発したシーケンスコントローラである。

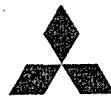
従来のワイヤードロジックによるシーケンス制御装置に比べ、すぐれた信頼性・保守性・シーケンス制御回路の組みやすさという多くのメリットをもち、プログラマによってシーケンス制御が実行されるはん(汎)用のシーケンスコントローラである。

表紙 2 三菱半導体

表紙 3 三菱小形電子計算機 MELCOM 86

表紙 4 三菱ダイアックスダイヤカット放電加工機



**ELECTRICAL EQUIPMENT FOR IRON AND STEEL PLANT****CONTENTS****SPECIALLY COLLECTED PAPERS**

Electrical Equipment for Hot Rolling Mills.....	J. Tsuji • T. Senba • S. Niino • Y. Hamazaki...129
Electrical Equipment for Cold Rolling Mills.....	T. Hyôdô • K. Ôba • Y. Uezumi • Y. Hamazaki...141
Electrical Equipment for Metal Process Lines.....	T. Hyôdô • J. Sato • M. Matsuo • H. Kômoto • I. Matsuyama...148
DDC System for Iron and Steel Plants.....	H. Yamashita • O. Yamamoto • M. Kawasaki...163
New Thyristor Power Supply Systems for Motor Drives	
.....	H. Hirayama • T. Ishizuka • K. Adachi • A. Kaikô • K. Ikemi • Y. Todoroki...173
Control Panel Boards and Operation Desks for Steel Plants.....	H. Hirayama • K. Shibata • N. Tanaka • Y. Kishi...180
Application of Mitsubishi Sequencer MELSEC-310 to Iron and Steel Plants.....	H. Yamashita • N. Ôno...191
Mitsubishi Analogue Control Module.....	E. Mishina • I. Ôyabu • T. Kamikawa • H. Kômoto...197
Sensors and Instrumentation Equipment in Iron and Steel Works.....	K. Matsuya • I. Ôyabu • T. Nishioka...202
Problems of Torsional Vibration in Mill Drive System.....	K. Koyama • N. Kubota...209
Starting Performance of Solid Pole Synchronous Motors.....	S. Yoshida • T. Nomura...213
Electric Equipment for Slab Refining Lines Delivered to Oita Steel Works, Nippon Steel Corp.	
.....	M. Ishi • K. shiraishi • Y. Harukawa...220

TECHNICAL PAPERS

Development of High Power Semiconductor Equipment by Means of Boiling and Condensing Heat Transfer	
.....	G. Kobayashi • Y. Shikano • O. Tanaka • M. Fukushima • S. Mitsumoto...229
Solid-State Automatic Burner Control System for Thermal Power Plants.....	N. Matsumoto • T. Tokura • T. Sagara...240
PM-865 Core Memory Module for Computers.....	Y. Gamou • N. Matsumoto...255
Automatization of Foundries.....	Y. Sakai • N. Yamazaki • R. Shimizu • M. Aoki • K. Sugita...261
New Carrier Protective Relaying Scheme for A Multi-terminal System with Heavy Load	
.....	M. Okamura • A. Sugiura • Y. Ôura • T. Matsuda • I. Mikami • K. Suzuki • K. Nakamura • S. Azuma...270

TECHNICAL EXPLANATION

Recent Developments of High Power CO ₂ Lasers.....	S. Uda...276
---	--------------

NEWS FLASH	282
-------------------	-----

PATENT AND UTILITY MODEL	227
---------------------------------	-----

COVER :**Mitsubishi Sequencer MELSEC-310**

The sequence control has been embodied by the wired logic with electro-magnetic relays and semiconductor relays. However, sequence control through the programmed software has been drawing attention recently and put into wide application. The picture on the cover illustrates a Mitsubishi sequencer MELSEC that has been developed by Mitsubishi based on rich know-how and experience in the sequence control as the one meeting successfully the requirement in every field including electric power and productive industry. In comparison with the sequence control by the use of old wired logic, this device has merits of higher reliability, maintenance and ease in the composition of sequence control circuits. Thus it operates as a general purpose unit to be capable of carrying out the sequence control according to programs.

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.771:621.316.7

熱間圧延機用電機品

辻 順一・錢場 敬・新野修平・浜崎晏行

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P129~140

圧延設備は生産性向上の見地から、年ごとに大型化、高速化されており、熱間圧延設備もその例にもれない、直流機およびサイリスタ装置の大形化は、絶えず記録品に挑戦しこれを更新する結果となり、また計算機制御を中心として各種マイクロ コントローラによる自動化、省力化さらには製品の信頼性向上、故障監視システムの強化による保守省力化等、ユーザの要求も高度のものになってきている。

本文では熱間圧延設備のうち独占的な製作実績を誇る、厚板ミルおよび連続圧延に関して名実ともにト  ップレベルにある形鋼ミルについて、最近の設備の特長と当社電機品

の最新技術を紹介する。

UDC 621.771:621.316.7

冷間圧延機用電機品

兵頭太郎・大場宏一・上住好章・浜崎晏行

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P141~147

最近の冷間圧延機の製品精度はますます高度化し、さらに省力化、高速度化などの要求も止まるところを知らない。これに伴い技術の進歩は著しく、AGC (Automatic Gauge Control) の完成、計算機システム導入による完全自動化、自動シーケンスコントロールによる省力化、油圧圧下システムの採用、加えて完全連続化圧延機の登場、ストリップ断面形状制御の採用など、次々に新技術が開発され採用されている。

本文では、最近の冷間圧延機の全体制御システムの傾向を述べると共に、当社におけるこれらの新技術  について述べるものである。

UDC 669.16-1/-9:621.313.2.077.3:621.316.7

鉄鋼プロセスライン用電機品

兵頭太郎・佐藤寿一・松尾元幸・河本晴夫・松山功武

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P148~162

鉄鋼あるいは非鉄金属の製造には、多数のプロセスラインがあるが、最近、高速化・大型化・省力化が盛んに行われ、とくにラインのコンビネーション化が目立ってきた。このため、システムは高度に、そして複雑になってきており、システムとしてのノウハウの重要性と、ハードウェアとしての故障率の低下と保守の省力化が強く要望される。

本文は、当社のプロセスライン用電機品のシステム構成、共通的な一般概論、使用電機品の概略を紹介し、主にこれら電機品のシステム計画の参考に供するようまとめである。



UDC 669.16-1/-9:621.316.7:681.326

鉄鋼プラントのDDCシステム

山下弘雄・山本 修・川崎宗男

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P163~172

近年、鉄鋼プラントの大形化、ラインの高速化、製品品質の高級化は著しく、これに伴い設備の制御は高速、高精度、複雑高級なものとなっている。三菱電機は、鉄鋼プラント電機品の製作には永年の経験と実績を有し、これらにもとづいた技術力によって最新鋭鉄鋼プラントの運転に適した自動制御装置を多数納入している。

ここでは、特にDDC (Direct Digital Control) システムの占める位置を述べ、いかにそのシステムが自動制御装置として寄与しているかを適用例を挙げて述べる。



UDC 621.314.58:621.316.71

サイリスタ レオナード装置

平山博朗・石塚敏彦・安達邦雄・開高 徹・池見克二・轟 幸男

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P173~179

各種製鉄プラント用の直流電動機駆動用電源として、数多くのサイリスタ・レオナード装置を製作・納入してきたが、これら大容量用C F-E形、中容量用C F-D、E D形および中小容量用C F-G形サイリスタ レオナード装置につき、その構成・回路方式・特長等について述べる。



UDC 669.16-1/-9:621.316.3

鉄鋼プラント用制御盤と操作盤

平山博朗・柴田謙司・田中睦宥・貴志之保

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P180~190

大形化する製鉄プラントにおいて、制御装置は制御技術面についても、設備の合理化の面においても、その重要性が増すと共に複雑化、多様化している。メーカー側の責務としては、これらの要求にいかに安く、早く、信頼性の高い装置をユーザーに供給するかにある。

本文では、圧延プラント・プロセスラインプラントに使われる制御盤と操作盤について、これまであまり紹介されなかったものにスポットを当て、当社の標準シリーズの概要を述べるものである。



UDC 669.16-1/-9:621.316.71:681.326

鉄鋼プラントへのシーケンサMELSEC-310の適用

山下弘雄・大野宣男

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P191~196

近年、鉄鋼プラントにおける設備のシーケンス制御は複雑・高級化が著しく、従来のリレー盤とは異なる新しい考え方のプログラマブルなシーケンス コントローラの出現が待されていた。三菱電機はこのためにシーケンサMELSEC-310を開発し、この概要を本誌47巻11月号で紹介した。現在MELSEC-310を鉄鋼プラントへ積極的に導入を進め、順調な(株)倒を得たので、ここではその適用事例を紹介して、MELSEC導入プラントの特長を述べる。



UDC 681.335:621.316.728

アナログ制御標準モジュール

三品英二・大藪 熱・神河達夫・河本晴夫

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P197~201

当社のアナログ制御装置は、従来より鉄鋼プラント制御に数多くの納入実績を有するが、半導体製造技術の進歩による高信頼性 IC 素子の出現と共に、この数年は、全面的な IC 化を進めてきた。すでに、全 IC 化したアナログ制御装置を鉄鋼プラントに数多く納入し、その高性能、高信頼性、使い易さにより各方面の好評を得ている。

本文では、最近の当社アナログ制御装置から、IC 化アナログ制御カードとコンパクト化された界磁制御サイリスタ増幅器を主として、アナログ制御の概要を紹介する。



「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 669.16-1/-9:681.2-79

鉄鋼プラントにおける検出器および計測装置

松谷勝巳・大蔵 眞・西岡忠臣

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P202~208

鉄鋼の生産プロセスにおける検出器および計測装置は、自動化・省力化あるいは歩どまり向上等を目的としており、生産性向上にいちじるしく寄与するものである。

ここでは、鉄鋼プラントの中で圧延・プロセスラインおよび連続鋳造設備に適用される検出器および計測装置につき、光・電磁作用・温度を検出・計測手段とした製品のうちから、多数の実績を有する製品および当社のユニークな製品を紹介する。



UDC 621.771-83:621.3.018.6:621.3.013.62

圧延機駆動系におけるねじり振動に関する諸問題

小山健次・久保田伸夫

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P209~212

最近鉄鋼圧延機駆動系が大容量化するにつれ、軸系が長くなり機械的ねじり共振周波数が低下する傾向にあり、一方電気制御系は半導体などを駆使して応答周波数を上げる傾向にある。この両者の間に干渉を生じ、圧延機の制御応答を上げられないという問題が出てきた。

本文ではねじり振動の共振周波数 ω と制御系の Cross over 周波数 ω_c の関係はいかなるべきか、又ねじり振動により特に up 気味の TAF. (Torque Amplification Factor) についてもその概要を述べることとした。



UDC 621.313.323.012-57

塊状磁極形 同期電動機の始動特性

吉田俊一・野村達衛

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P213~219

高い始動トルク特性を有する塊状磁極形同期電動機は、重慣性負荷の始動に適し、また堅ろうな回転子構造は過酷な運転条件に適する。このため鉄鋼一貫プロセスなどによく用いられ、ますますその大容量化が要請されている。この機械の問題点として、鉄体の非線形磁気特性にもとづく始動特性算定法の困難性と磁極表面の熱応力があった。

当社ではこの問題について多数の実機製作経験によって解決する一方、実験機械の実測によって設計上の問題と安全性の問題を検討した。本文は始動特性算定法を主に述べる。



UDC 621.746.27:621.316.7

新日本製鉄㈱大分製鉄所納めスラブ精整設備用電機品

石 雅彦・白石和男・春川康彦

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P220~226

本設備は、世界で初めて分塊設備を省略したスラブ連鉄設備につながる、一次クーラ、二次クーラ、手入、コールドスカーファ、払出の各設備およびこれらの各設備の間をつなぐローラテーブル、反転機、スキッド及び移載機などにより構成されている。

本文では、それらの設備を紹介すると共に、制御装置の概要及び特徴ある運転方式に関して概略説明した。



UDC 621.314.6:536.423

沸騰冷却方式による大容量半導体変換装置の開発

小林 凱・鹿野義郎・田中 修・福島 満・光本誠一

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P229~239

電力用半導体素子の容量の増加はめざましく、1600 Aの電流値をもつものが実用化されるに至った。このような大容量素子においては、従来の冷却方式を採用した場合、その規模が大きくなりすぎる。相変化利用の沸騰冷却方式は、完全密封にしうる電気機器の冷却に適しており、その冷却能力は従来のものに比べてけた違いに大きい。

ここでは沸騰冷却方式の整流器が商業ベースにのるまでの開発過程を、いくつかの機種について述べ、その基礎となった基礎研究の実施内容についてもじめに触ることにする。



UDC 621.311.22:621.43.04:681.326

火力発電所向け全電子式バーナ制御装置

松本直己・戸倉武彦・相良辰雄

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P240~254

火力発電所におけるバーナコントロール装置は、ボイラの安全確保と、ボイラ回りに種々散在している操作端機器を、遠方集中制御することによる省力化を目的として進歩発展してきている。

本装置は一つのまとまったシーケンス ブロックとしては発電所内でも最も大きな規模のものに属し、また発電所の全入力エネルギーの制御をつかさどるものであるだけに、その信頼度の要求は非常に厳しいものがある。当社は昭和44年、三菱重工㈱との共同開発により本邦最初の全ソリッドステート式バーナコントロール装置を完成して以来、すでに二十数セットの実績をもつに至ったので、ここにその技術の概要を報告する次第である。

UDC 681.142.04:159.953

電子計算機用コアメモリ装置 PM-865

蒲生容仁・松本典明

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P255~260

電子計算機の主記憶装置は高速・大容量・小形・低価格・高信頼度でかつ生産性・保守性が優れていることが必要である。PM-865は、このような要求にこたえるために開発された8kW×18bの8kセンス3D3W方式のコアメモリモジュールで、アクセス／サイクルタイムは240/700nsである。コアスタック、XY系、S/Z系の3枚の288×160(mm)カードで構成されており、実装法は計算機内の他の部分とはほぼ同様である。このモジュールを多数用いることにより任意の容量のメモリユニットが構成できる。周辺回路をIC化し、XYおよびZ駆動回路には瞬時故障も検出できる検知回路を設けている。

UDC 621.73:658.5.012.7

鋳造プラントの自動化

酒井靖夫・山崎宣典・清水良之輔・青木正夫・杉田一男

三菱電機技報 Vol.48-No.2-P261~269

自動化の進れていた鋳物業界においても、自動化・省力化と同時に、労働環境の改善もねらって新しい鋳造設備が製作されている。そこで使用される制御装置は、プラント自動化の段階にそって、低級なものから高級なものまで、種々な方式が採用されている。

当社においても、これらに最適な制御システムの開発にとり組んできた。最近、鋳造プラントにおける造型ラインの制御装置として、ミニコンピュータ方式のシーケンサを導入した制御装置を開発したので、本文にてその概要を紹介し、併せて鋳造プラントにおける制御方式の現状と将来について述べる。

「三菱電機技報」アブストラクト

UDC 621.316.925.2

重負荷多端子系用 新形搬送保護継電装置

大浦好文・松田高幸・岡村正巳・杉浦 昭

三上一郎・鈴木健治・中村勝己・東 信一

三菱電機技報 Vol.48・No.2・P270～275

東京電力株式会社と当社との共同研究により、重負荷多端子系用新形搬送保護継電装置を開発し試作完成した。

本装置は、3端子重負荷長距離送電線の保護を目的にしたもので、潮流の影響を受けずに故障検出するため、2線故障用として逆相電流、逆相電圧を使用した逆相方向リレーおよび逆相距離リレー、3線故障用として正相電流正相電圧を使用した正相方向リレーおよび正相距離リレーから構成されている。また入力一括方式による全静止化により、自動監視機能を備えて、高信頼度保守省力化をはかると共に、1回線1面に収納して盤面スペースの縮小化にも大きな成果があつた。

UDC 535.12.03

最近における強力CO₂レーザの開発

宇田新太郎

三菱電機技報 Vol.48・No.2・P276～281

バテルがはじめてCO₂レーザを発見して以来、本年でわずかに9年になるが、その間の発展はめざましいものがある。特にここ数年の進歩は実に驚異的である。励起法そのものが新しく、強大な熱エネルギーを利用する画期的なものである。すなわち高温高圧の多量のCO₂, N₂, H₂Oの混合ガスを超音速ノズルより数マッハの速度で噴射させる。この噴射に伴って断熱膨張が起り温度が急降下し、これが原因となってCO₂の001と100の単位間に反転分布を生じ、その遷移によって10.6μmのレーザ光を得るのである。

この種のレーザをガスダイナミックレーザと呼んでいる。本文ではその原理、特性、構造などについて簡単に解説する。

熱間圧延機用電機品

辻 順一*・錢場 敬*・新野 修平*
浜崎 晏行**

Electrical Equipment for Hot Rolling Mills

Head Office Junichi Tsuji・Takashi Senba・Shuhei Niino
Kobe Works Yasuyuki Hamazaki

Rolling mill equipment has been getting large sized and higher speed year after year from the viewpoint of improving the productivity. The case of hot rolling mill equipment is no exception. DC machines and thyristors have been challenging record products continuously with ever enlarging sizes and resulting in the renewal of the highest capacity mark. On the other hand, with computer control taken up as a central function, automatic operation and labor saving by means of a variety of micro-controllers, and further elevation of reliability of the products and maintenance free operation through elaborate fault supervisory — system have come in the demand of the users.

This article introduces plate mills and section mills among the hot rolling mills, the formers are second to none in the experience and number of supplies and the latters are literally on the top level in the field of continuous rolling, about the advantages of the latest equipment and the newest technique of Mitsubishi Electric.

1. まえがき

圧延設備は生産性向上の見地から設備の大形化、高速化がはかられており、なかでも熱間圧延設備に関連するものは、その設備が大規模であるため、品質、歩どまり向上、実働生産率向上等は目ざましいものがある。電機品としてもこの分野における進歩は驚くばかりで常に技術の先端を切って進んでおり、大形で高度に自動化された設備を供給している。

直流機およびサイリスタ装置の大形化は、絶えず記録品に挑戦しこれを更新する結果となり、また計算機制御を中心として各種マイクロコントローラの応用による自動化、省力化さらには製品の信頼性向上、故障監視診断システムの強化による保守省力化等ユーザの要求も高くなものになってきている。

最近5年間の熱間圧延電機品に関する当社の実績は、現在製作中のものを含め、分塊ミル3ライン、ホットストリッピングミル3ライン、厚板ミル6ライン、形鋼ミル4ライン、ビレットミル1ライン、棒線材ミル4ラインの多きにのぼっている。

熱間圧延設備は可逆および非可逆（連続）圧延設備に大別されるが、本稿では前者に、業界に独占的な製作実績を誇る厚板ミル、後者に、連続圧延方式に対して名実ともにトップレベルにある形鋼ミルにスポットをあて、当社の電機品を紹介するものである。

2. 厚板圧延機用電機品

2.1 設備の概要

最近の厚板の需要の著しい増加に応じて、各社が新鋭厚板圧延設備を設置した。

各設備における主要な特色は、設備の大型化・高速化に応じて、駆動用電動機の大容量化、大容量サイリスタの全面的採用、コンピュータによる完全自動化の推進であり、品質の向上、生産性の増大に大きく寄与している。

最近の厚板圧延設備において、当社はほとんど独占的な製作実績

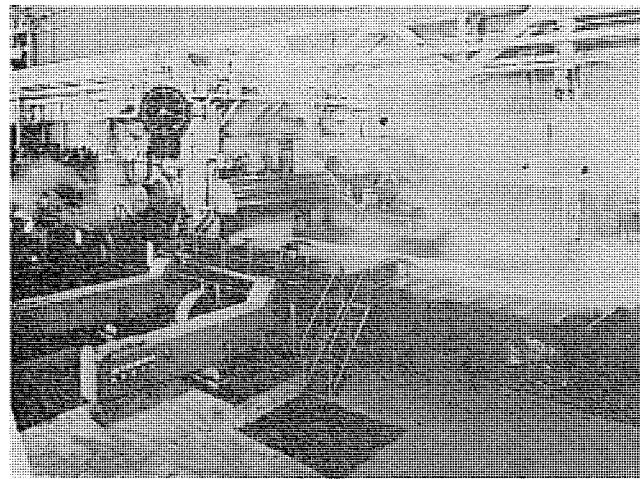


図 1. 最近のプレートミル
New plate mill.

をほこり、電機品には当社の最新技術が駆使されている。

次に最近の厚板圧延設備の概要を示す。

2.2 電動機

可逆圧延用電動機には、特に過酷な運転条件に耐えることが、要求される。当社では、多年にわたる豊富な経験（表1.）と、最新の技術により、性能が高く、信頼性の高い可逆圧延用直流機を製作している。

(1) GD^2 の低減と整流

可逆圧延用の主電動機は、ひんぱんに急速な逆転を行なうため、電動機の GD^2 をできるだけ小さくする必要がある。電機子の GD^2 を小さくすると必然的に整流が苦しくなるが、整流技術の向上によりこの問題を克服することができた。良好な整流を確保するため、電機子巻線方式を十分吟味して、リアクタンス電圧を可能なかぎり低く抑え、トレッパン巻線の採用、均圧巻線の設計、補極鉄心形状、補償巻線の設計などについて、十分考慮を払うことはもちろん、電機

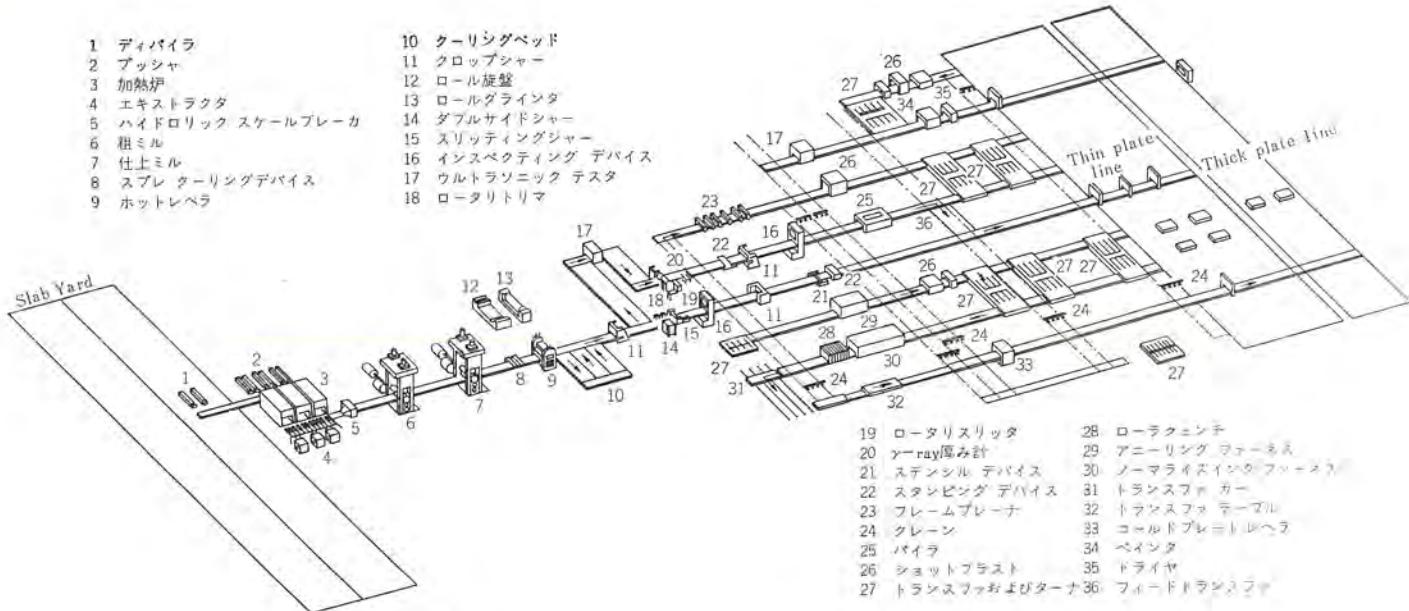


図 2. プレートミルのレイアウト General layout of plate mill.

表 1. 厚板圧延設備の主要諸元
Principal details of plate mill apparatus.

注文元	ミル種類	機械仕様	ミルの種類	主電動機定格			モータ配置	電源	しゃんて年月
				構成容量	rpm	絶縁温度上昇			
川崎製鉄 (水島)	プレートミル (仕上)	4H (162") 1,000φ & 1,900φ×4,100L	H	2-3,750 kW SA-TWD	40/100	B 50°C	TOP Forward	レクチフロー式 イルガナ	1967 4
富士製鉄 (名古屋)	プレートミル (仕上)	4H (185") 1,020φ & 1,830φ×4,700L	H	2-4,500 kW SA-TWD	40/100	B 50°C	New Bottom Forward	サイリスタ 逆並列 Tr: 2×7,300 kVA 組合せ 12相	1967 12
八幡製鉄 (君津)	プレートミル (仕上)	4H (186") 1,000φ & 2,000φ×4,724L	H	2-5,000 kW SA-TWD	50/100	F 50°C	NBF	イルガナ	1968 1
神戸製鋼 (加古川)	プレートミル (粗)	4H (186") 1,000φ & 2,000φ×4,724L	H	2-4,500 kW SA-TWD	40/100	F 50°C	NBF	サイリスタ 逆並列 Tr: 2×7,300 kVA 組合せ 12相	1968 3
川崎製鉄 (水島)	プレートミル (粗)	4H (162") 1,000φ & 2,000φ×4,700L	H	2-3,750 kW SA-TWD	40/100	B 50°C	TP	サイリスタ 逆並列 Tr: 2×6,000 kVA 24相	1970 10
住友金属 (鹿島)	プレートミル (仕上)	4H (186") 1,000φ & 2,000φ×4,724L	H	2-5,000 kW SA-TWD	50/100	F 60°C	NBF	サイリスタ 逆並列 4×4,050 kVA 24相	1970
神戸製鋼 (加古川)	プレートミル (仕上)	4H (186") 1,000φ & 2,000φ×4,724L	H	2-5,000 kW SA-TWD	50/100	F 70°C	NBF	サイリスタ 逆並列 2×(2×4,100) kVA 24相	1972
住友金属 (鹿島)	プレートミル (粗)	4H (186") 1,000φ & 2,000φ×5,334L	H	2-4,500 kW SA-TWD	40/80	F 60°C	NBF	サイリスタ 逆並列 2×(2×4,000) kVA 24相	1974
新日鐵 (名古屋)	プレートミル (粗)	4H (186") 1,200φ & 1,900φ×4,700L	H	2-3,200 kW SA-TWD	20/50	F 70°C	NBF	サイリスタ 逆並列 2×5,600 kVA 12相	1974
USIMINAS (Brazil)	プレートミル (仕上)	4H (162") 1,100φ & 2,000φ×4,100L	H	2-4,500 kW SA-TWD	40/100	F 50°C	NBF	サイリスタ 逆並列 2×(2×3,750) kVA 24相	1974
川崎製鉄 (水島)	プレートミル (仕上)	4H 1,200φ & 2,400φ×5,490L	H	2-2×4,000 kW DA-TWD	50/120	F 70°C	NBF	サイリスタ 逆並列 4×6,600 kVA 24相	1975

子各回路の電流不平衡をおさえる当社独特の特殊バランス結線についても、整流の難易に応じて適宜採用している。

(2) 双電動機駆動

双電動機駆動方式の場合、上下ロール駆動軸の軸間中心距離は、機械メーカーからの指示によるが、この値によって電動機は外径の制限を受ける。双電動機駆動では、電動機とロールとの間のユニバーサルカッピングの両側面の面圧が、完全にバランスしていない場合、一回転に2回のスラストが電動機軸に作用し、軸方向に振動を起すので、振動を吸収するため反負荷側軸端に、当社独特の油ダンパを取り付けている。ダッシュボットの原理を応用したものの、軸端に設けた円板とダンピング室内の油とで構成されている。さらにこの円板は、ミル側に引かれる力に耐えるスラスト軸受のしゅう動面をも兼ねている。なおミル側から電動機側に押されるスラストは負荷側に設けたスラスト軸受が受持つ。

(3) サイリスタ電源

最近の大形圧延設備のほとんどは、特殊な場合を除き、サイリスタ電源で運転されている。直流電動機としては、整流に対する考慮、軸電圧の問題、温度上昇、騒音などについて、十分注意検討して製作されている。

(4) 通風方式

一般に直流機の強制通風冷却には電動機の発生熱損失を処理するのみではなく、機械内部を清浄にして熱放散効果を一定に保ち、デリケートな整流子、ブラシについて異常ないよう注意する。従来よく使用される方式は、アップドラフト、ダウンドラフトであったが、土木建築費、プラントのスペースファクタの向上、機器の信頼性向上などの条件と要求から、循環冷却方式を採用する例が多い。循環式は、共通式とユニット式に分類され、ユニット式には、トップマウントと、サイドマウント別置がある。トップマウントが最もコンパクトにまとまるが、容量が大きくなると別置になる。取付スペースの都合もあり、それぞれの事情を勘案してどの方式を探るかを検討する必要がある。

(5) ねじり振動

高速化・大容量化に伴う、軸のねじり振動についても、各種の測定データと電子計算機による種々の解析により、機械的強度に十分の配慮を行なっている。また最近の制御装置の応答速度の向上に伴う制御系との共振についても、同様の解析を行ない、十分の信頼性を有している（別稿「トーションバイブレーション」参照）。

2.3 電源方式

(1) 制御性能の優秀さ、効率の良さおよび電源系統の容量増大とともに最近ではすべてサイリスタ方式が採用されている。

その際にはサイリスタの電源に与える影響について電圧変動、力率、および高調波成分の検討を十分に行う必要がある。

(2) サイリスタ負荷の電源に及ぼす影響

サイリスタ負荷の電源側に及ぼす影響および対策は、次に示すとおりである。

(3) 無効電力による電圧変動率

プレートミルのような、可逆圧延機では無効電力の変動が速いため同期コンデンサを設置し、サイリスタによって同期投入することにより、無効電力を吸収する。

(4) 高調波対策

高調波発生による問題点は、通信線に及ぼす誘導障害と他の電気機器の温度上昇が大きなものであり、高調波成分を抑制するために通常はサイリスタ変圧器結線の組合せにより、多相整流方式を採用し

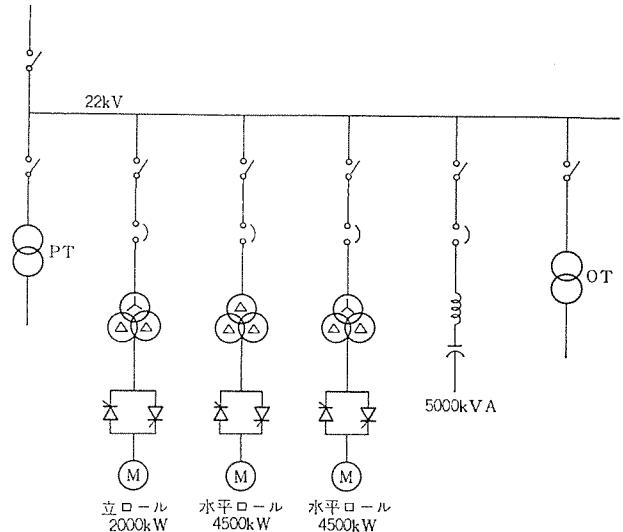


図 3. プレートミル電源系統
Plate mill power system.

表 2. 多相整流電源の高調波成分
High harmonic current in polyphase thyristor equipment.

組合せ相数	負荷率 (%)	基本波 $n=1$	高調波成分						
			$n=5$	$n=7$	$n=11$	$n=13$	$n=17$	$n=19$	$n=23$
6 相	225	100 %	19.3	13.1	7.2	5.8	3.3	2.3	1.2
12 相	225	100 %	—	—	7.2	5.8	—	—	1.2
24 相	225	100 %	—	—	—	—	—	—	1.2

(1) 12相、24相についてはミル上下ロールの負荷バランス時の値である。

(2) 定常電源電圧100%負荷で運転した場合サイリスタしづり角は $\cos \alpha = 0.75$ である。

表 3. 電圧ひずみ率の計算値と実測値
Calculation value and actual value of voltage distortion.

調波実数	系統インピーダンス Ω	計算値		実測値	
		高調波電圧 V	電圧ひずみ率 %	電圧ひずみ率 %	高調波電流 %
5	1.14	36	0.284	0.53	5.25
7	1.56	51	0.4	0.22	5.43
11	2.46	74	0.58	0.94	5.01
13	2.91	76.2	0.6	0.68	4.37
17	3.91	42.2	0.332	0.2	1.55
19	4.26	14.0	0.11	0.18	0.56
23	5.15	16.0	0.125	—	0.51
25	5.60	14.0	0.11	0.21	0.42

100%電流: 600 A 基準電圧 = $22\text{kV}/\sqrt{3} = 12.7\text{kV}$

ている。

すなわち、主モータについては従来ロール当たり6相とし上下ロール組合せ12相としているが、最近の大容量機に対してはロール当たり12相、上下ロール組合せ24相としている。また補機に対しても可能な限り組合せ12相の形がとられている。

通常の電源系統においては、以上の対策を施すことにより、問題のないことが確認されているが、更に過酷な条件が求められる場合は、系統にフィルタをそう入する。これはLCにより系統で共振条件を作り、特定の周波数成分を吸収するものである。

多相整流の場合の高調波成分（基本波に対する高調波電流の割合）は次表のとおりである。

プレートミルのサイリスタ電源採用時、電源側の高調波電流・高調波電圧の検討例を以下に示す。

ミル電源が組合せ12相のときは、上下ロールがバランスしているとき理論上第5、第7は0となるが、実際は上下ロールは10%程度アンバランスしているため、高調波が発生している。電圧ひずみ率は、

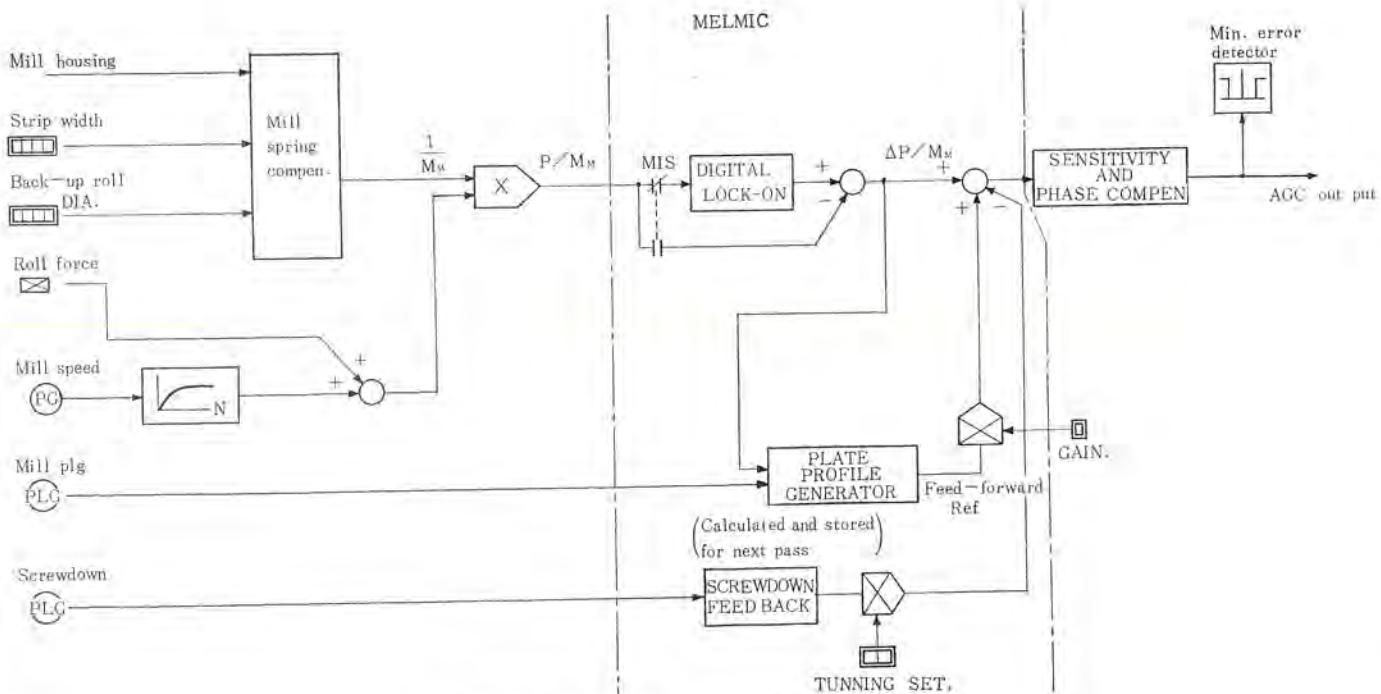


図 4. AGC ブロック 図
AGC block diagram.

22 kV ラインで 1 % 以下であり、電圧波形のひずみはほとんど認められない。計算値と実測値の違いが、特に大きいものは他の負荷の影響によるものと考えられる。

2.4 AGC (Automatic Gauge Control)

(1) 電動 AGC

AGC のブロック図を図 4. に示す。

AGC の基本はいわゆる BISRA. AGC を基本としているが、高い製品精度が要求されるため ブロック図のごときシステムが計画されている。

ある圧延バスで板全長にわたる板厚変動を記憶し、次の圧延バスではこの記憶された板厚変動に基づいて圧下の制御を行うフィードフォワード AGC がその第一の特長である。

次にミルスプリング補償回路では、プレート幅およびワーカロール径補正を行ない、また圧延圧力は普通 500 トン以下では直線性が悪くなるため、これを補正する回路およびオイルフィルム補償回路が含まれている。

さらにテーパーコントロールを行なう場合は、BISRA. AGC における板厚目標値を自動的に修正し、均一なテーパープレートをえることが可能である。

図 5. に AGC 効果の一例を示すが、AGC をかけた場合の長さ方向の板厚変動は 97 % 以上が、0.2 mm (peak to peak) 以内に制御され、また歩どまりも AGC を使用しない場合に比較して、1 % 向上することが示されている。

(2) 油圧 AGC

プレートミルの AGC は従来の電動方式と比較して、格段に応答の速い油圧方式が採用される傾向にある。これに伴い電気的には板厚精度に悪影響を及ぼすロール偏心補償が有効となり、また AGC バスにおいても高速圧延が可能となっている。

2.5 自動化装置

プレートミルの分野において、最近の自動化は大きな発展をみせている。特に顕著な事項としては

(1) プロセス計算機 (MELCOM-350-5) と DDC 用小形計算機

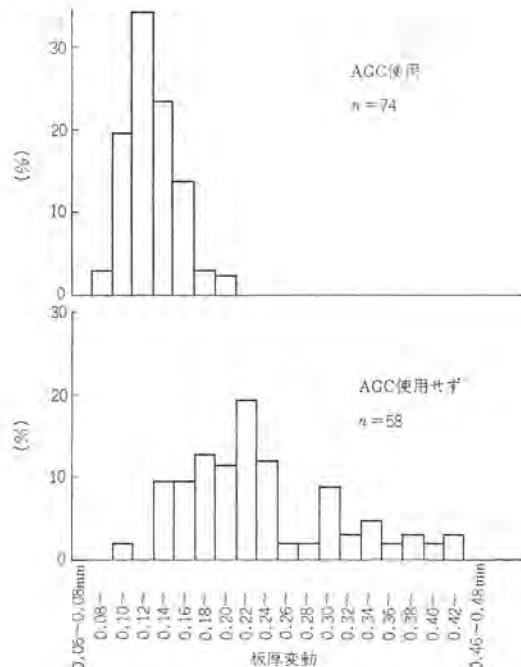


図 5. AGC の効果
Effect of AGC.

(MELCOM-350-5) とのハイアラキーシステムによる完全自動化。

(2) ミニコン(MELMIC-100)の小規模シーケンス、小ループ DDC 位置制御、デジタル位置表示、故障監視装置、圧延番号表示装置のごときコミュニケーションシステム。

(3) シーケンスコントローラ (MELSEC-310) によるシーケンスプログラム化。

ここでは、プレートミルにおけるプロセスコンピュータ (M-30)、DDC 用小形計算機 (M-5) とのハイアラキーシステムについて詳細に述べる。

(a) ミルラインおよび精整ライン自動化による生産性の向上

(b) 板厚、形状の制御による品質の向上

を目的として最近のプレートミルには、ほとんど計算機システムが導入されている。

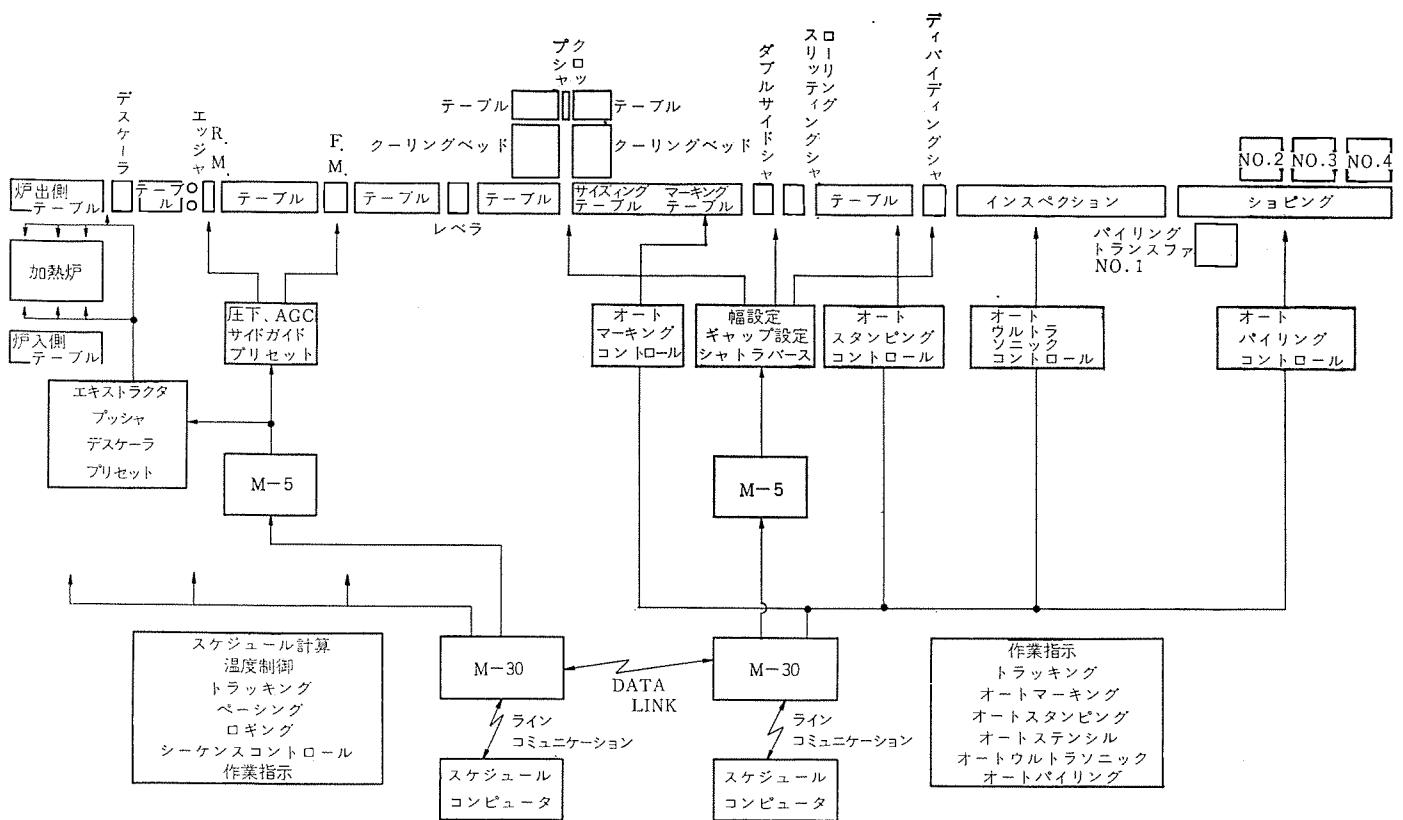


図 6. プレートミル自動システム

Plate mill automation system.

M-30 の計算機制御の範囲は

- (i) 工程管理用計算機とのデータリンク
- (ii) スラブトラッキング
- (iii) データロギング
- (iv) 粗、仕上負荷配分とギャップタイムの計算
- (v) 粗、および仕上スケジュール計算
- (vi) ロールベンディング制御
- (vii) 仕上温度制御および作業指示
- (viii) 加熱炉出側からミルまでのテーブル等自動運転
- (ix) 加熱炉内装入スラブセンタリング
- (x) スラブピッシャーストローク制御
- (xi) ウォーキングビーム移行量制御
- (xii) 炉内温度設定
- (xiii) レベル、クリーニングベッドシーケンス自動運転

M-5 の計算機制御の範囲は

- (i) エキストラクタ、デスケヘッダ位置制御
- (ii) 粗圧下、サイドガイド位置制御
- (iii) 仕上圧下、サイドガイド位置制御
- (iv) 仕上AGC
- (v) 精整設備の位置制御(シヤ幅設定、ナイフギャップ設定、シヤゲージ設定等)

次にプレートミルの自動システムを示す。

2.6 精整設備

(1) サイドシヤ

プレートの両サイドを切断するものであるが、機械メーカーによって構造が異なっており、従ってその構造により電気制御も異なる。

最も異なる点は両サイドの刃が、機械的に結合された機構のものと結合されない機械のものがあり、後者は電気運動装置(エレタ)を必要とし、きびしい精度が要求される。

表 4. サイドシヤ
Side shear.

項目	モーター	制御方式	カット数
1	2×370 kW 600/900 rpm MG レオナード (2×410 kW)	左右の刃： メカタイ 速度制御	4.5~15 mm : 24 cut/min 15~30 mm : 20 cut/min 30~40 mm : 16 cut/min
2	2×375 kW 480/960 rpm MG レオナード (2×420 kW)	左右の刃： デジタルエレタイ 精度モータ軸 ±10°	7 mm : 23.4 cut/min 40 mm : 16 cut/min
3	2×205/410 kW 390/780 rpm サイリスタレオナード	左右の刃： メカタイ (ロータリタイプ) 速度制御	カットスピード 120-(2×h)m/min h : 板厚 (4~26 mm)
4	2×410 kW 390/780/1,120 rpm サイリスタレオナード	左右の刃： デジタルエレタイ 精度モータ軸 ±15°	5 mm : 27 cut/min 40 mm : 20 cut/min

サイドシヤの概要を表 4. に示す。

尚通常サイドシヤの制御は、刃は連続的に回転しており、刃が上部に上ったとき、ピンチロールによって板送りが開始され、完了する必要がある。従ってピンチロールは常に急速な加速・減速をくり返すため、デューティサイクルは非常に過酷であり、モータの GD^2 はできるだけ小さいことが要求される。

(2) ディバイディングシヤ

プレートを製品長さに切断するものであるが、せん断サイクルごとに急速な加速・減速・停止をくり返す必要があり、材料せん断後に原点に自動停止するよう制御される。

製品長さ測定方式にはメジャリングロール方式とシヤゲージ方式がある。

メジャリングロール方式は、機械的構造が簡単であり、切断スケジュールの変更が容易であるが、プレート表面状態およびメジャリングロールとプレート間のスリップ等、機械的な条件および保守に留意する必要がある。

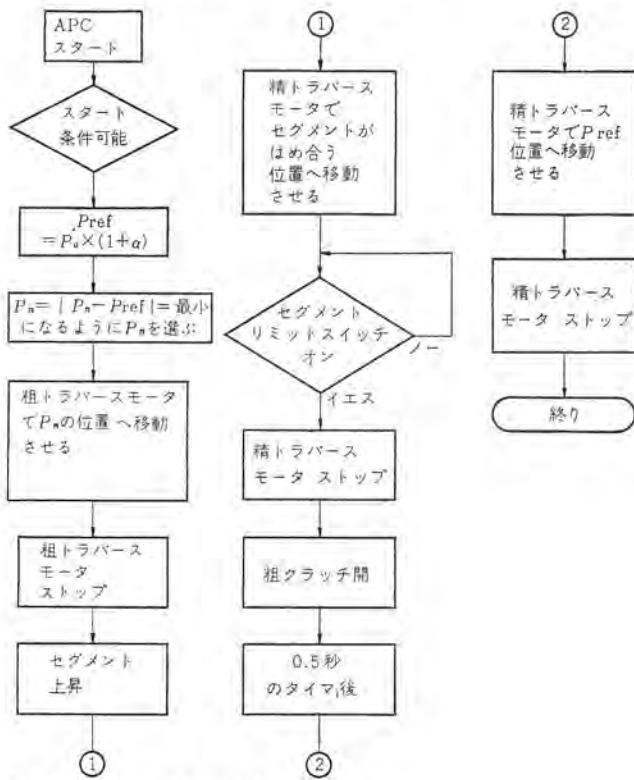
シヤゲージ方式は、高い精度が得られるが機械的構造は複雑であり、切断スケジュールの変更に対して設定時間が長くかかる等の欠点がある。

シヤゲージ方式は、通常粗設定である範囲に設定し、その後は、精設定で精度を出す方式が用いられる。

シヤゲージ設定方式を図7.に、ブロックダイヤグラムを図8.に示す。

(3) 幅計

有効幅計は、クロップシヤ前面に設置され、プレートの幅がプリセット



Pref: ポジションリファレンス
 P_s : 設定長さ
 P_a : 実際位置
 P_n : $N \times$ (ラックピッチ)
 α : 温度係数

図7. シヤゲージ設定方式
Shear gage setting method.

された有効幅をこえているかどうかを判定する。

幅計はローラの下に下部光源をもち、上部に光電検出ヘッドをもつておらず、オペレータによって検出ヘッドが一定幅にプリセットされる。これらの検出器がプレートの両端を測定し、プリセット値からの偏差を検出する。有効幅信号はプレート幅が有効幅をこえたときに出される。

他の方法として、テレビジョンを使用し幅を検出することも可能である。この方式は光を媒体として、電気信号処理を行うものであるが、映像モニタにプレートの状況が表示されるので動作の確認にも役立つ。

(4) 厚板用自動打刻機

厚板工場の省力化の一環として、当社の打刻機はますます好評を博しているが、いずれもスリッタ材を扱うため、打刻ヘッドを2台ずつもち、20ヶタ余りの文字および記号を選択して、瞬時に打刻を行うものである。打刻ヘッドの位置決め、選字・打刻のすべての動作は計算機からの指令によって完全に自動化されており、文字の打ち込み深さも一定できわめて鮮明である。最近の傾向としてディバイディングシヤより上流側に、打刻機を設置して、せん断される前の板に打刻するようになっており、特にせん断作業と打刻作業を同時にを行うために、打刻機に走行機構をそなえ、生産量の増大をはかっている。

2.7 コミュニケーションシステム

上位ビジネスコンピュータとリンクして次に示すようなコミュニケーションシステムが導入され、厚板工場全体の情報システムを形成している。

(1) アンシェータシステム

スラブ運転室、ミル運転室、クーリングベッド、DSS運転室等各運転室から、光電式アンシェータやフラップタイプアンシェータによって運転に必要な情報を伝達するシステムである。(例えば、ミル故障、スタンドロール組換、再スタート時刻等)

(2) 圧延番号表示装置

進行中のプレートの圧延番号を各運転室に表示するシステムである。特にクーリングベッドにおいてはデータ数が多いため、M-5Fコンピュータによって、CRTに表示される。

(3) シッピングヤード表示システム

計算機によって指示されたパイリング位置にパイルするための表示装置である。

2.8 今後の傾向

厚板圧延設備の大容量化、高速化はさらに進み、また人件費の増加と歩どまりの向上のため自動化は一層高度なものが必要される。

現在でも、リニモータ、フライングシヤの適用が検討されており、特に精整ラインにおいて自動刻印装置、自動超音波探傷設備等を採用した計算機による全自動化が急務であるが、ユーザ、機械メーカー共、協力して達成するよう努力したい。

3. 形鋼圧延機用電機品

3.1 設備の概要

近年、土木建築用鋼材、なかでもH形鋼の需要増加はいちぢるしいものがあるが、それに応じて各社が新鋭形鋼圧延設備を設置した。

各設備において最新な方式が採用されてきたが、特に大きな技術革新としては、従来の可逆式形鋼圧延機に代り、連続式ないし半連続式圧延機が採用され、品質の向上および生産性の増大に大きく寄与した。この連続式形鋼ミルの電機品の製作は当社にのみ実績があり、さらに高性能化を目指して努力を続けている。

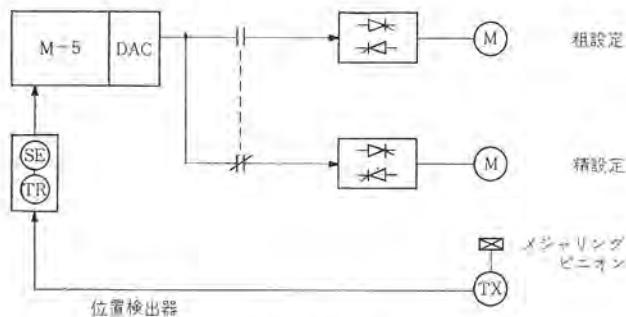


図8. シヤゲージ制御ブロックダイヤグラム
Block diagram of shear gage control.

3.2 電動機

形鋼圧延設備特有の複雑な機械構造および広範なレイアウト等により、形鋼用補機モータには特殊な仕様が要求されるが、その主な点をまとめると下記のごとくである。

(1) ユニバーサル圧延機においては、パスラインよりも下に電動機を設置する必要があり、これを満足させるため完全密封式防水モータが採用される。

(2) 広範なレイアウトのため、通風用エアダクトの工事費の軽減のため、Air to Air のユニットクリーニング方式補機モータが採用され

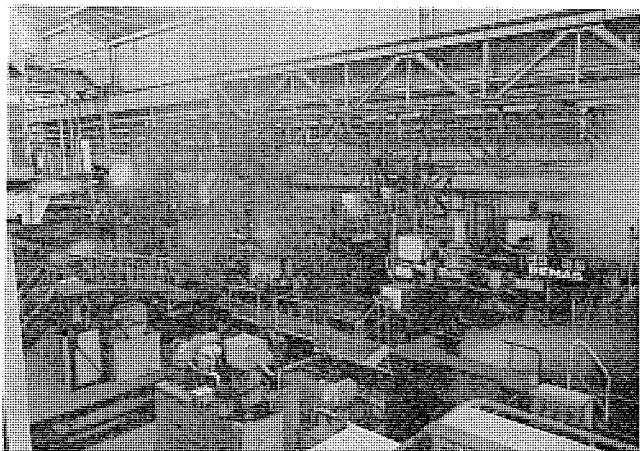


図 9. 中形条鋼圧延設備
Medium section mill.

表 5. (a) 中形条鋼設備の配置図

る。

(3) 上記レイアウトの問題と共に、圧延機がスタンダードエンジ方式を取るため、通風用エアダクトが技術上設備不可能であり、多数の全閉形連続定格電動機が使用される。そのため、800番系列の使用定格と温度上昇の関係を明確にし、適用を誤まらぬよう細心の注意が払われる。

3.3 電源方式

連続式圧延設備の圧延用電動機のサイリスタ電源の単線結線図を図 10., 11. に示す。

(1) 高調波対策

設備の大容量化により、サイリスタ電源特有の高調波成分が非常に大きくなってくるが、この高調波成分を抑制するため、主機主回路のトランジスト結線の組合せによる方法が広く取られている。特に連続式圧延機の場合は主機サイリスタ数が多いため、容易に多相組合せが実施できる。たとえば、ホットストリップミル仕上スタンドではスタンダード当り 12 相となり、3 スタンドで組合せ 36 相としている。また連続式形鋼ミルでは、スタンダード単機容量が小さいため、スタンダード当り 6 相とし、多スタンダード組合せにより 12 相ないし 24 相としている。

ここに、ホットストリップミルにて実測した高調波電流の多相化による抑制効果を図 12. に示す。本例では、F1, F2, F3 がおのおの組合せ 12 相で、 I_0 が組合せ 36 相の総合電流である。この図から組合せ効果により高調波電流が顕著に抑制されていることが明らかである。

General arrangement of medium section mill.

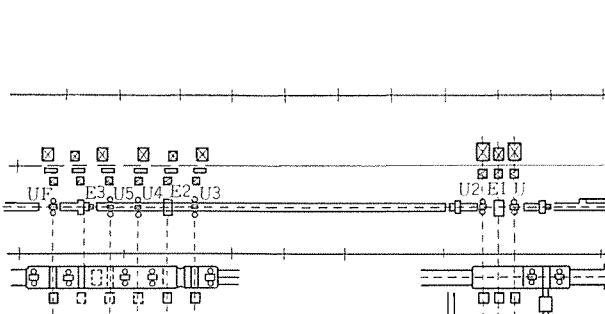
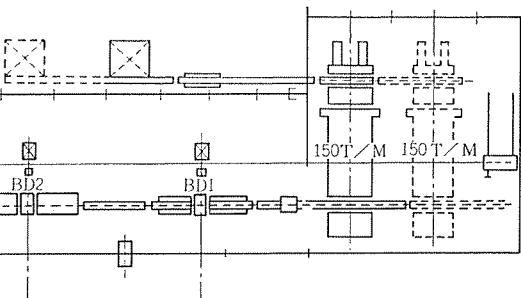


表 5. (b) 中形条鋼設備の概要

General specification of medium section mill.



No. AND KIND OF MILL STAND	ROLL DIA × BARREL LENGTH (mm)	MAX. ROLLING SPEED (m/min)	OUTPUT					ARMATURE SUPPLY
			STAND NAME	No. OF DRIVE	PER MOTOR (kW)	SPEED (REV/min)	VOLTAGE (V)	
II TWO-HIGH STAND	1,000 × 2,400	378	BD1	1	4,500	60/120	750	THYRISTOR 2-2,540 kW
	1,000 × 2,400	378	BD2	1	3,500	60/120	750	THYRISTOR 2-1,970 kW
	1,130 φ × 400	640	U1	1	4,500	85/180	750	THYRISTOR 2-2,540 kW
	750 φ × 400	755	E1	1	1,000	150/320	600	THYRISTOR 1,150 kW
	1,130 φ × 400	640	U2	1	4,500	85/180	750	THYRISTOR 2-2,540 kW
	1,060 φ × 400	361	U3	1	3,200	130/275	750	THYRISTOR 3,580 kW
	650 φ × 400	658	E2	1	500	650/1,400	440	THYRISTOR 585 kW
	1,060 φ × 400	472	U4	1	3,200	130/275	750	THYRISTOR 3,580 kW
	1,060 φ × 400	635	U5	1	3,200	130/275	750	THYRISTOR 3,580 kW
	650 φ × 400	658	E3	1	500	650/1,400	440	THYRISTOR 585 kW
	1,060 φ × 400	635	UF	1	1,600	240/510	750	THYRISTOR 1,770 kW

表 6. (a) 大形条鋼設備の配置図

General arrangement of medium section mill.

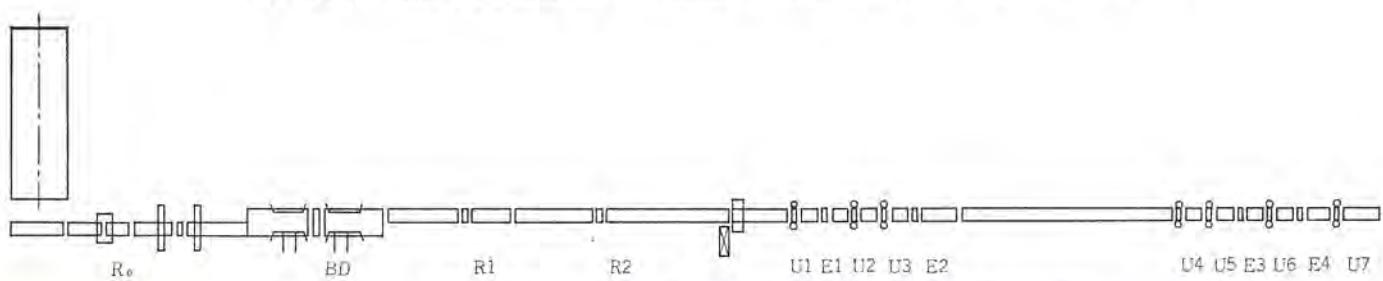
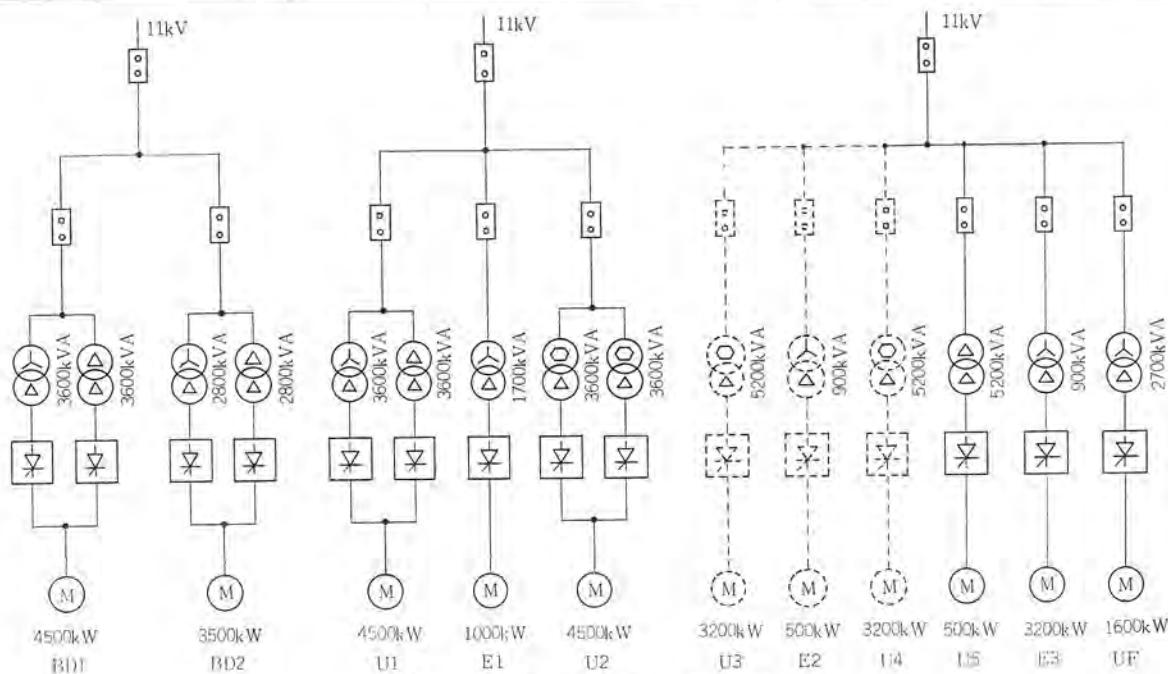


表 6. (b) 大形条鋼設備の概要

General specification of large section mill.

No. AND KIND OF MILL STAND	ROLL DIA × BARREL LENGTH (mm)	MAX. ROLLING SPEED (m/min.)	OUTPUT					ARMATURE SUPPLY
			STAND NAME	No. OF DRIVE	PER MOTOR (kW)	SPEED (REV/min)	VOLTAGE (V)	
15 TWO-HIGH STAND	850 φ×1,200 (739)	60	R0	1	1,500	500	11,000	AC (SIM)
	1,150 φ×2,500	300	BD	1	4,000	40/100	750	THYRISTOR LEONARD 4,560 kW
	850 φ×1,200	90	R1	1	2,300	500	11,000	AC (SYM)
	850 φ×1,200	120	R2	1	1,750	500	11,000	AC (SYM)
	1,200 φ×470	117	U1	1	1,500	200/500	750	THYRISTOR 1,710 kW
	750 φ×700	146	E1	1	500	200/500	600	THYRISTOR 583 kW
	1,200 φ×470	168	U2	1	2,200	200/500	750	THYRISTOR 2,510 kW
	1,200 φ×470	226	U3	1	2,200	200/500	750	THYRISTOR 2,510 kW
	750 φ×700	278	E2	1	500	200/500	600	THYRISTOR 583 kW
	1,200 φ×470	353	U4	1	2,500	140/420	750	THYRISTOR 2,850 kW
	1,200 φ×470	427	U5	1	2,500	140/420	750	THYRISTOR 2,850 kW
	750 φ×700	450	E3	1	500	200/500	600	THYRISTOR 583 kW
	1,200 φ×470	522	U6	1	2,500	140/420	750	THYRISTOR 2,850 kW
	750 φ×700	530	E4	1	500	200/500	600	THYRISTOR 583 kW
	1,200 φ×470	586	U7	1	1,500	165/495	750	THYRISTOR 1,710 kW

図 10. 中形条鋼主機単線結線図
Medium section mill main drive power system.

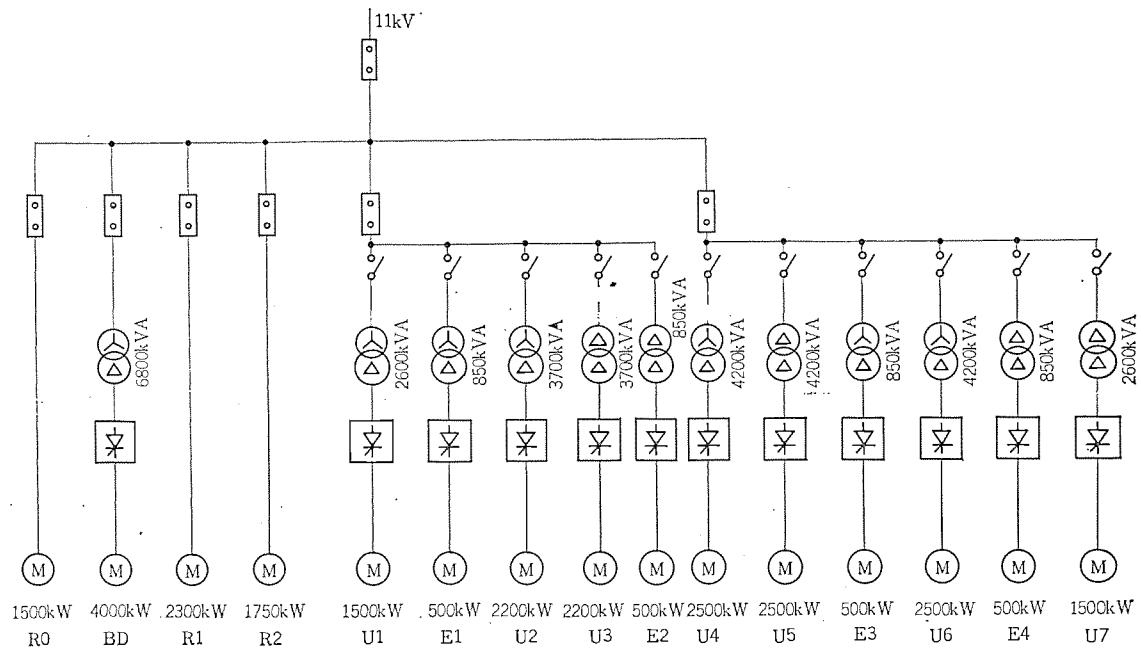


図 11. 大形条鋼主機単線結線図
Large section mill main drive power system

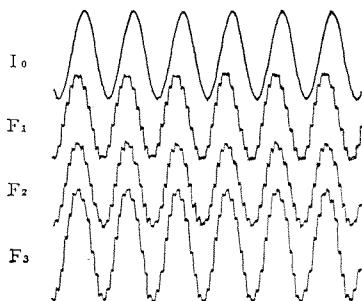


図 12. 高調波電流波形
Waveform of harmonic current.

(2) VVVF (Variable Voltage Variable Frequency)

形鋼ミル精整ラインでは、搬送テーブル用モータが1,500～2,000本にもなるため、保守の容易さのために交流モータが使用される。特に速度制御の必要なところでは従来は(直流モータ)+(サイリスタレオナード)の形式であったが、ACモータ化の要求が強く、最近では(ACモータ)+(サイリスタVVVF装置)が広く使われるようになった。

交流電動機の速度制御に用いられるこのサイリスタ式可変電圧、可変周波数電源装置(以下VVVF装置と略す)は電動機のAC化のない手として、サイリスタレオナードによる直流モータの速度制御とほぼ同じように各種産業機器駆動用電源として使用されている。当社では、サイリスタそのものの能力の向上およびレオナード装置やCVCF装置によるサイリスタ応用技術の確立によって数年前よりVVVF装置のシリーズ化を行なってFV型VVVF装置を製作している。原理図を図13に示す。当社のVVVFは下記特長を有している。

- (a) ユニットインバータ方式であり、単位容量200kVAのインバータを並列に接続することにより任意に容量増大が可能である。
- (b) 独特の安定化回路を用いており、応答性の速い運転が可能である。実績では加減速時間1秒以内が安定に得られる。
- (c) 商用電源停電時は不足電圧検出でただちにインバータを停止して転流失敗を防いでいる。
- (d) 転流失敗・素子破損等の内部事故に対しては、平滑フィルタに直列に1本のヒューズを使うだけで保護できるようにしている。

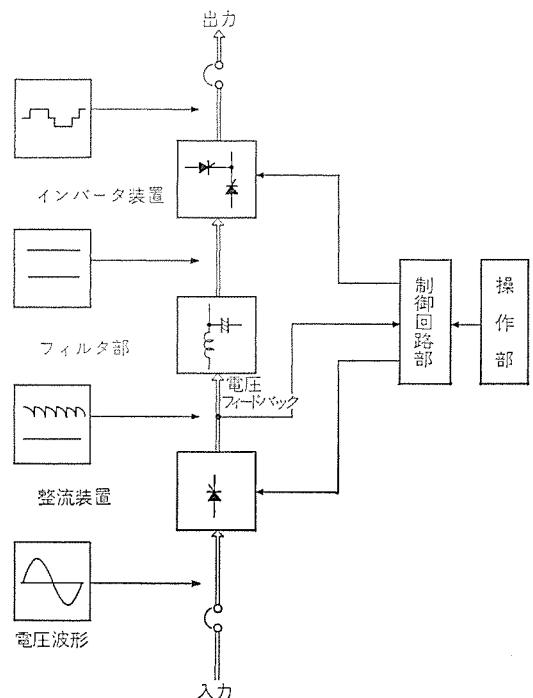


図 13. 可変電圧可変周波数電源装置 原理図
Diagram showing principle of VVVF system.

(このヒューズも将来永久ヒューズにおきかえられる予定である)。

3.4 AMTCシステム

連続形鋼ミルでは、スタンド間では無張力状態おくことが製品精度の点より要求されるが、ルーパを設ける方式とルーパを設げず張力電流により圧延速度を制御するAMTC法(Automatic Minimum Tension Control)がある。ルーパ方式はH形鋼のフランジ幅が大きいと、フランジ部のひずみが大きくなり形状がそこなわれる。従ってサイズの大きいものに対してはAMTC方式によらざるを得ないが、本方式の原理は、圧延電流を監視することにより、張力電流を検出し、材料および圧延機の影響係数に応じた速度修正を各スタンド速度制御系に加え、張力電流を零に抑えようとするものである。本方式

を開発するにあたっては、IBM 360-75 システムにより圧延機、鋼材、電気制御系のダイナミックシミュレーションを長期にわたり展開し、スタンド間張力影響係数、張力、圧縮力の過渡状態、スキッドマーク、電流リップル影響、先進率、後進率の算定など実際の適用のための解析を完成させた。AMTC の圧延状態と電流の関係、および速度制御系のブロック図を図 14., 15. に示す。AMTC の効果としては、無張力状態達成による成品精度の向上はもちろんあるが、材料の寸法変化、温度変化、ロール摩耗等のためにマスフローが変化しても、ロール周速を逐一操作調整する必要がなく、オペレータは厚みおよび形状の制御

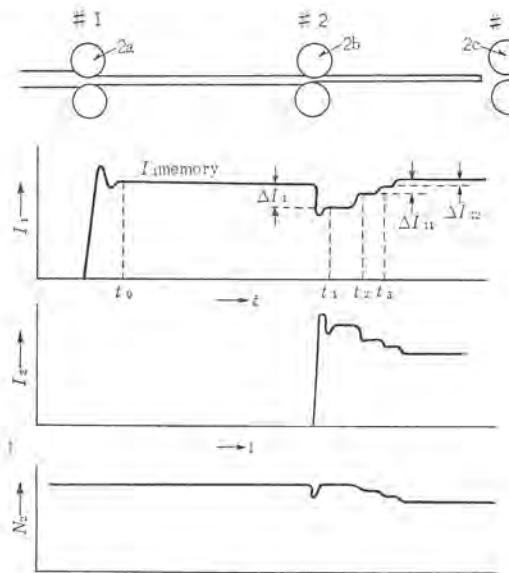


図 14. プロセスへの AMTC の適用
Application of AMTC to control process.

に専念することが可能となる点も見逃せない。

3.5 自動化装置

操作の単純化、省力化、および高速化のために工場全体にわたり小形コンピュータ利用による自動化が進められ、下記の項目が自動化されている。

- (1) 加熱炉周辺
 - (i) ローディングスキッドより加熱炉までの搬送
 - (ii) 装入量の決定および位置制御
 - (iii) 炉内トラッキングによる抽出の無人化
- (2) BD ミル
 - (i) 圧下・マニプレーター位置制御
 - (ii) テーブルミル速度の設定
 - (iii) テーブル自動運転
- (3) 連続ミル
 - (i) ミル速度の設定
 - (ii) 圧下およびガイドの位置制御
 - (iii) AMTC
 - (iv) テーブル自動運転
- (4) 精整ライン
 - (i) ソーゲージの温度補償および設定
 - (ii) 冷却床の自動取込および自動搬送
 - (iii) 検査台の自動取込および自動搬送
 - (iv) 自動バイリング
 - (v) 仕分け制御

上記のごとく、自動運転は加熱炉入側よりバイリング、仕分けまで全ラインにわたって完全に自動運転が行なわれている。そのため操作員が従来形のミルに比較し、約 1/2 に削減されていることが報

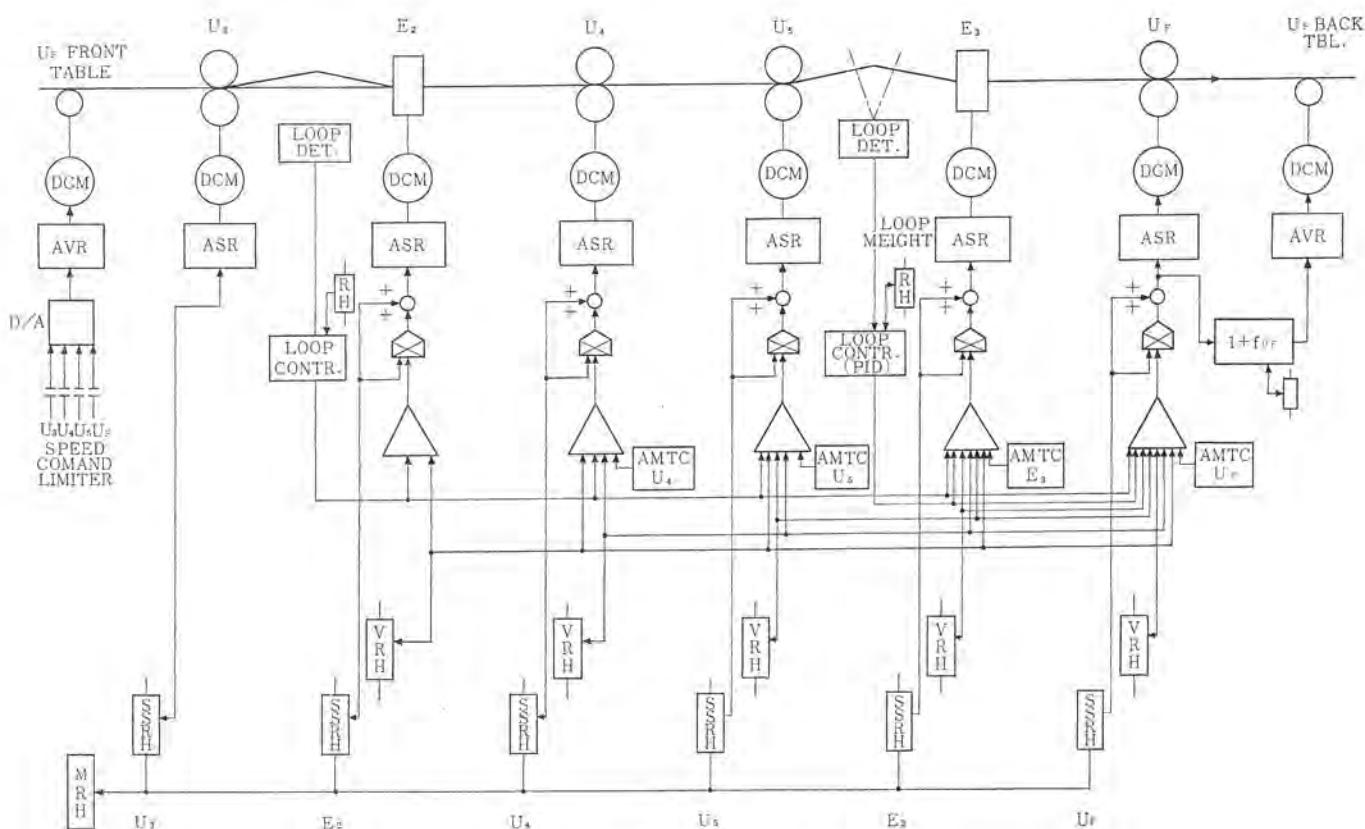


図 15. 速度制御ブロック図
Block diagram of speed control system.

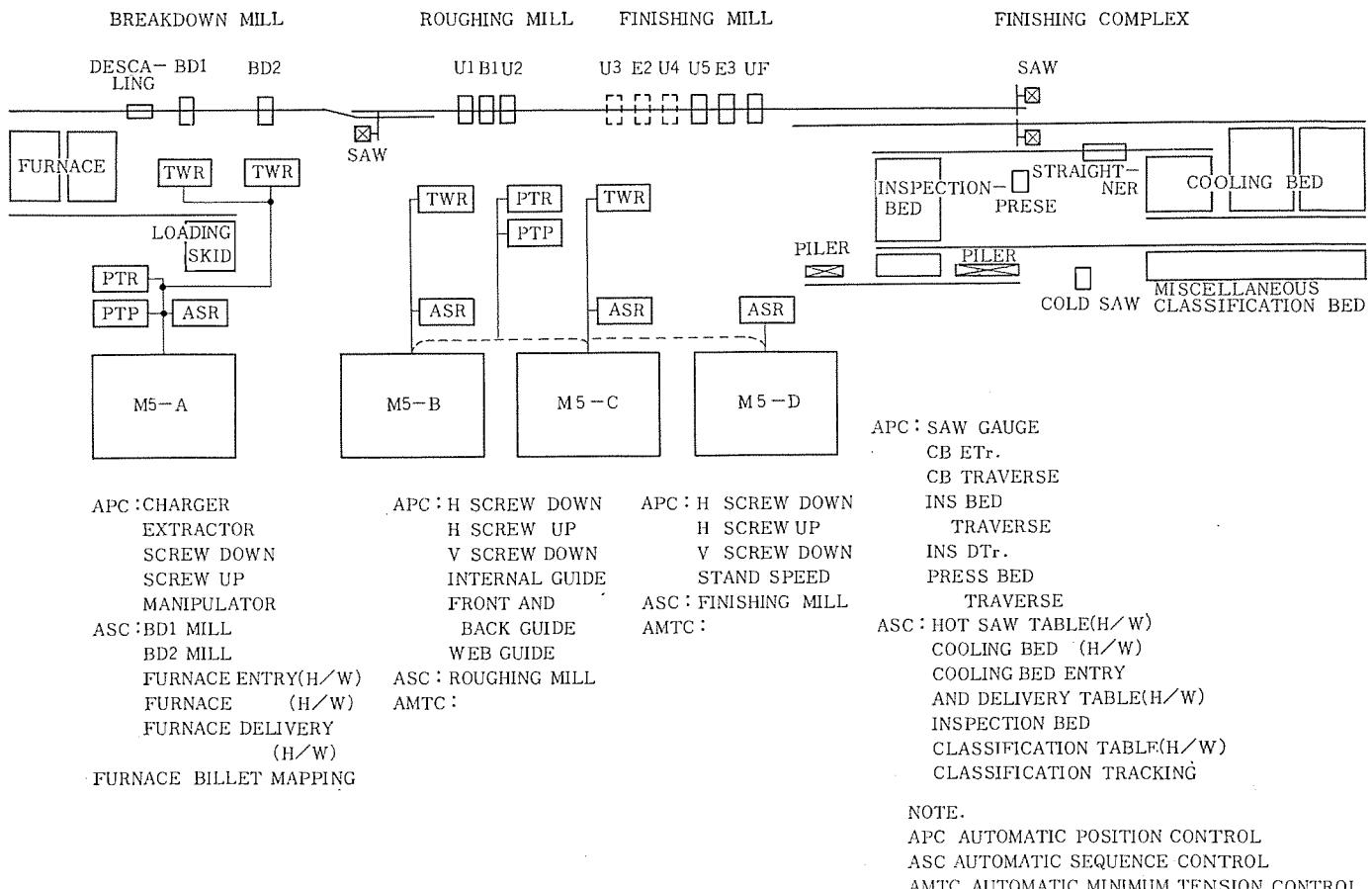


図 16. 代用的形鋼ミルの自動制御
Automatic control of medium beam mill.

告されている⁽¹⁾。また形鋼ミルの特長として位置制御ループが非常に多く、小形コンピュータによるDDC位置制御方式がきわめて効果を発揮している。一例としては代表的な形鋼ミルの自動化概要を図16.に示す。

3.6 オートカップラ

ロール交換は従来より種々の方式があるが、最近の新鋭ミルでは、交換の迅速性およびロール、ガイド等の精密なセットアップの要求によりスタンド交換方式が採用されている。スタンド交換方式の欠点としてスタンドにつながる多数の配線、配管を交換の都度着脱する必要があるが、これをカバーするために当社は150~200本の配線を一気に着脱可能としたオートカップラを開発した(特許申請中)。本装置を図17.に示すが、主に電気連結部、駆動部、レベル調節部、端子台よりなるが、駆動部は保守の点よりエアシリンダを用いている。特に注意を払ったのはレベル調節部でスタンド高さの誤差、スタンド停止位置の誤差をガイドピンにより修正可能とした。本オートカップラのもう一つの特長は、電気連結部着脱の動作時に自動的にカバーが開閉することで、スタンドカップラより離れているときは電気連結部の接点が外気に直接さらされることがない。

3.7 特殊制御装置

形鋼ミルは、製品形状の複雑さにより複雑な機械構造をしているため、種々の特殊な制御装置が必要となってくる。

(1) 検出器用ギヤボックス(JACK BOX)

ユニバーサル圧延機、およびその周辺は非常に機械的に複雑で、電気品取付のスペースに余裕が余りない。しかも検出器は位置制御・位置指示・速度制御等のために多数設置する必要がある。また防水形

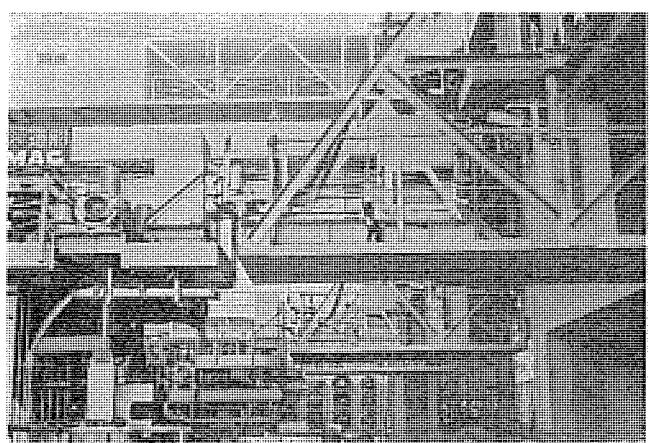


図 17. オートカップラ
Auto-coupler.

も要求される点より、コンパクトな非防水形リミットスイッチ、シンクロ発信機、パイロットジェネレータを一つのケース内に納め、ギヤ部と共にそのケース自体を防水タイプとすることによりこの問題を解決した。当社にてはこの検出器ギヤボックスをJACK BOXと称し、多数製作してきた。

(2) 電気運動装置(エレタイ)

ユニバーサルスタンドの上下ロール、垂直ロール、ないしガイドは手動運転時は1個のスイッチにより連動運転する場合がある。この連動運転は任意の位置に零調整する必要があるため、電気運動装置が使われる。この装置の概略を図18.に示す。また最近形鋼ミルでは、アズ

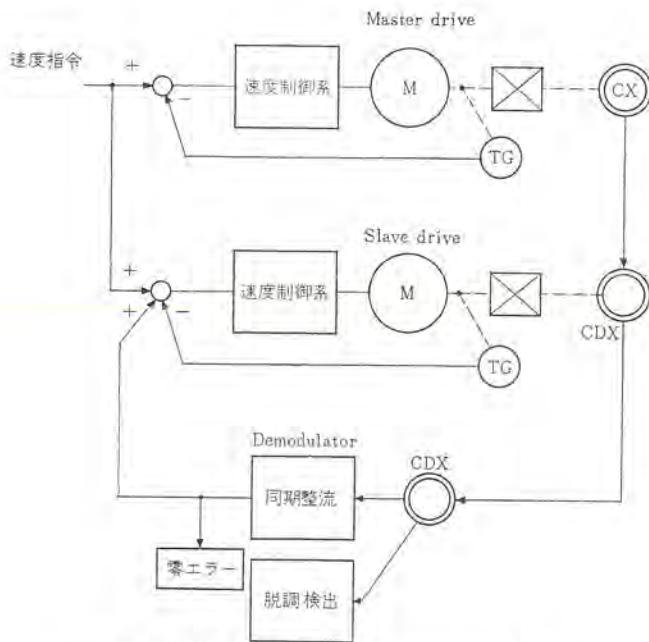


図 18. 電気連動制御ブロック図
Block diagram of electrically synchronized system.

ロール長が非常に長くなり、冷却床等では機械的連結だけでは連結軸の軸振動発生の懼れがあり、この防止のための機械的連結と同時に電気的連結が必要とされる場合もあり、この装置が適用される。

(3) ロール締切防止装置

形鋼ミルでは他の圧延機と異なり、上ロール、下ロール共にモータ駆

動となるものが多い。そのため、ロール間げき(隙)の監視がオペレーターには難かしく、自動的にロール間げきがある距離以下となれば減速、停止させる装置が必要となる。この減速・停止点はオペレーターにより任意に設定可能となるよう調節器を備えている。

3.8 最近の傾向

連続式形鋼圧延機はこの数年の間に開発が開始され、一応安定に操業可能であることが実証されたわけであるが今後ともに各分野にて改良、発達が期待されている。特に電気制御面では、成品サイズの小さい場合の温度補償の問題、自動寸法制御、材料寸法および形状の測定器等が望まれている。

4. むすび

プラントの大形化、高速化に関連して製品精度の一層の向上、製品サイズの多様化に伴い電機品に対する要求度はハードウェア、ソフトウェア両面でさらにきびしくなるものと考えられる。

自動化、省力化のため計算機の応用範囲は今後ますます拡大するものと考えられ、関連機械設備、検出器の問題も含めて鉄鋼メーカー、機械メーカーと協力して最適の設備を製作する所存である。

本稿では厚板ミルおよび形鋼ミル電機品について主要点を述べたが、他の熱間圧延用電機品についても項をあらためて述べたい。

参考文献

- (1) 森川、吉原：水島製鉄所中形条鋼の概要、川崎製鉄技術 (昭47-10)

冷間圧延機用電機品

兵頭 太郎*・大場 宏一*・上住 好章*
浜崎 晏行**

Electrical Equipment for Cold Rolling Mills

Head Office Tarō Hyōdō・Kōichi Ōba・Yoshiaki Uezumi
Kobe Works Yasuyuki Hamazaki

The accuracy of products by cold rolling is getting increasingly higher recently. Labor saving and speeding up are also demanded for the operation of the mill, thus manifesting no ceiling in the improvement. In line with the trend, new technical development is coming into use such as: completion of AGC (Automatic Gage Control), complete automatic operation through the introduction of computer system, labor saving by automatic sequence control, employment of hydraulic push-up control system, debut of automatic full continuous rolling and application of strip cross sectional-shape control. This article describes the latest trend of overall control of cold rolling and also new technique contrived by Mitsubishi in this field.

1. まえがき

冷間圧延機用電機品として、最近当社が製作納入した電機品の数は著しく、その主なものを記すと、多スタンド冷間圧延機6基、シングルスタンド冷間圧延機3基、調質圧延機7基にのぼる。特にその内の1基は、世界初の完全連続式冷間圧延機であり、当社が世界に誇る設備である。これらの電機品には、当社の誇りとする最新技術が数多く導入されており、いずれも現在好調に稼動中である。

多スタンド冷間圧延機を中心当社電機品の特長の一部を紹介すると、

(a) 機械系共振周波数の検討による、圧延ロールから主電動機までの機械的寸法の決定。(本誌別文「トーションバイブレーション」を参照。)

(b) 補機用可変電圧駆動電動機における、サイリスタと制御盤の一体化。(本誌別文「サイリスタレオナード」装置を参照。)

(c) プログラマブルシーケンスコントローラ(MELSEC)の導入による、シーケンスロジックの完全静止器化。(本誌別文「シーケンサMELSECの応用」を参照。)

(d) プロセス計算機(MELCOM 350-30 F)とDDC用計算機(MELCOM 350-5 F)とマイクロコントローラ(MELMIC-100)とを適宜組合せた、ハイアラキーシステムによる完全自動化。

(e) フィードフォワードを含む計算機AGCシステムの完成。

(f) マンドレル径の自動補正による、精度の高い入側自動減速装置。

(g) 最大トルクリール制御方式の完成と導入。

(h) 油圧圧下制御装置の完成。

などがあげられる。本誌別文に記載されている項目を除き、上記の各特長を中心に、本文では

(i) 全体制御システム

(ii) AGC制御方式

(iii) 油圧圧下制御方式

(iv) ロール偏心制御方式

(v) 主幹制御方式

(vi) 連続式圧延機

(vii) 形状制御方式

(viii) 主機直流電動機

について述べる。

2. 全体制御システム

一例として、図1.に6スタンド冷間圧延機の場合の全体システムを記した。コイル準備ヤードより運ばれたコイルは、バンドカット、幅合せ、高さセンタリング等のハンドリングによりマンドレルにそう入される。前コイルの圧延終了により、マンドレルで待期していたコイルの先端は、前コイルの尾端との間隔を最短に維持しつつ圧延スタンドに通板される。圧延の終了した前コイルは、ストリップ尾端を定位停止された後、テーションリールマンドレルからのコイル抜き出し検査台への移送等一連の出側ハンドリングが行なわれる。この間の入側ハンドリング、自動通板ロジック、出側ハンドリング等のシーケンス制御は、プログラマブルシーケンスコントローラMELSECに担当されるため、シーケンス制御はすべて静止化される。特に機械側の電磁弁は、MELSECに内蔵したサイリスタイッチにより直接駆動される。前述したシーケンス制御に含まれる、コイル高さセンタリングや、コイル換えによるミルエンタリングガイドの幅設定のように自動的に位置決めを行なう場合は、DDC計算機MELCOM 350-5 F(M-5 F)がAPC制御をつかさどる。また、圧延電動機の速度設定、加速、減速等の主幹ロジックは、マイクロコントローラ MELMICおよび自動盤にて行なう。圧延中の板の長手方向の板厚制御は、AGC制御、ロール偏心制御で行なうが、AGC内のBISRA制御は油圧圧下制御盤にて行なう例を除き、他の制御はM-5 Fにて制御する。AGCについては、すべてをアナログ自動盤にて行なう場合もあるが、高速A/Dコンバータの開発により計算機AGCが可能となった。他にM-5 Fは、入側自動減速制御、尾端定位停止制御等演算を必要とする機能と、形状検出器の信号をロールベンディングとロールクランプに帰還するストリップ形状制御を担当する。以上のほかに、図1.に示すように、ロール組換シーケンス制御、オイルセラーおよび電気室関係のシーケンス制御もMELSECが担当する。

きわめて簡単に機能ごとの全体説明を行なったが、これらの機能はシステム計算機MELCOM 350-30 F(M-30 F)で統括する。M-30 Fは、圧延される全コイルに対する情報を上位計算機、またカードリーダ

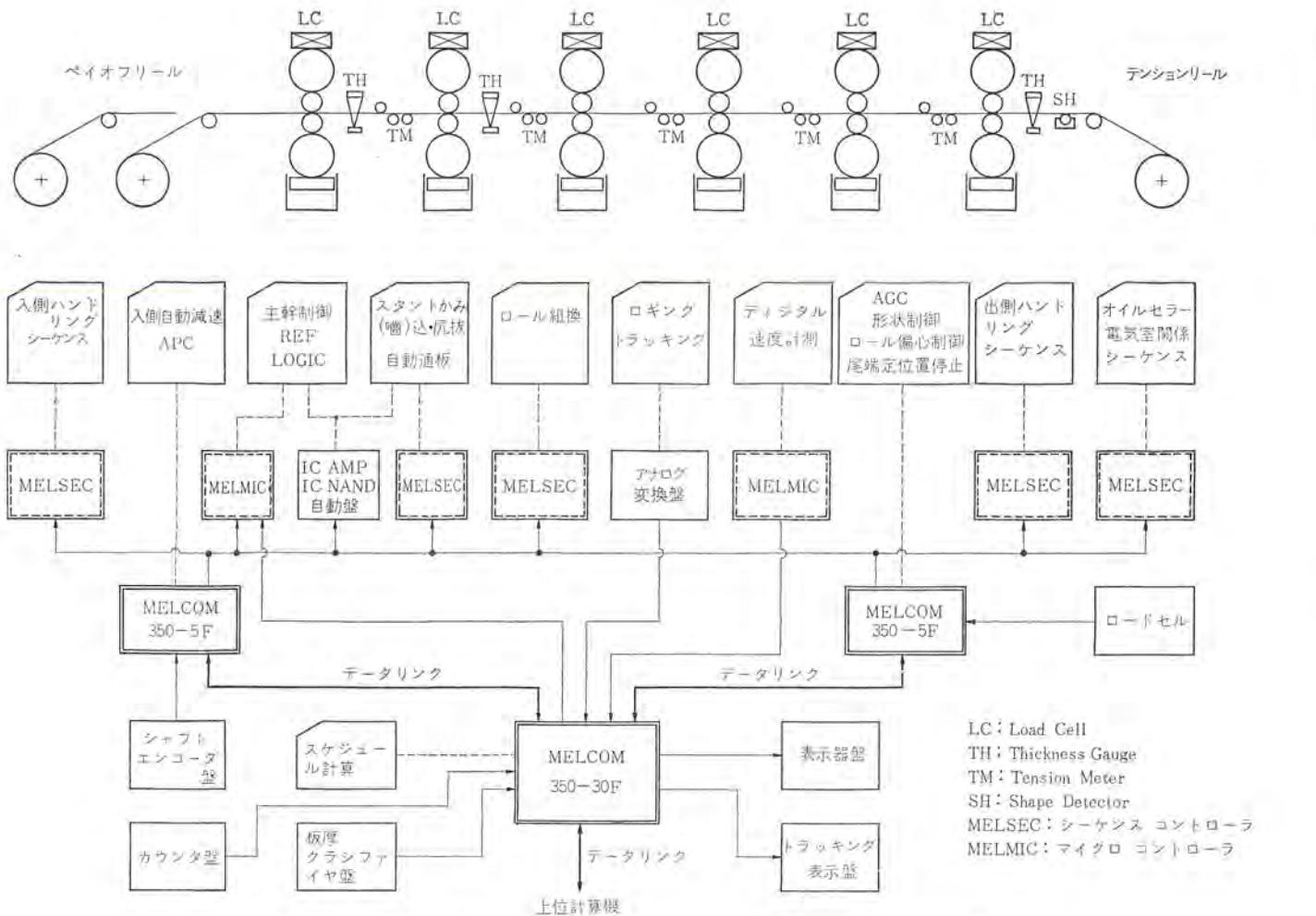


図 1. 冷間圧延機全体システム Total control system for tandem cold mill.

等によって与えられ、当該コイルに圧延の順序がくると、コイル情報から各スタンドの圧延スケジュールを計算し、その計算結果(ロールギャップ、圧延速度)および板幅等を、M-5 F, MELMIC にデータ伝達する。M-30 Fより情報を入手した M-5 F, MELMIC はそれぞれの担当機能に応じて、APC 主機の設定等を行なう。M-30 F は、それらのコイル情報や圧延情報等を表示盤に表示しながら圧延の実データを監視しており、自分の持つ圧延モデル式の係数の最適値を追跡して圧延スケジュールモデル式を修正する。

このように、冷間圧延機用制御システムは、M-30 Fを中心、M-5 F, MELMIC, MELSECなどにより、ハイアラキーシステムを構成して、全体を機能的に制御する。

シングルスタンド、または、2スタンドのようにスタンドの構成が簡単な場合はシステムの構成も単純化し、図2のように、M-5 Fを中心としたハイアラキーシステムを構成する。

このように、冷間圧延機用電機品として、従来シーケンスロジックを担当していたリレーによる有接点回路は姿を消し、MELSECがこれに代って無接点化すると同時に、主幹ロジックに含まれているアナログの演算も、MELMICによるデジタル演算に置換されつつあるのが大きな特長である。

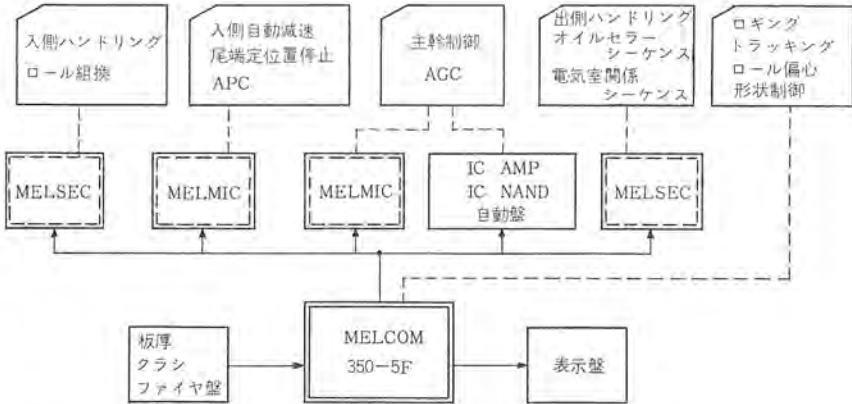


図 2. シングルスタンド 冷間圧延機全体システム Total control system of single stand cold mill.

3. AGC システム

最近、AGCに対する精度要求が年々高まり、それに対応して、AGCシステムは従来と比較して、下記のように急速な進歩を遂げている。

- (1) AGC の最適なシステムの確立
- (2) AGC における応答性の飛躍的向上
- (3) フィードフォワード制御の採用
- (4) ミニコンピュータの採用

AGCシステムの各機能は、表1に示す通り多々あり、いかに有機的にシステムを構成するかを、ダイナミックシミュレーションにて考察し、定

量的検討を行なった。

その結果、図3.に示す通り上流スタンドでは圧下、下流スタンドでは張力制御を原則とするAGCを確立した。

AGCの応答性向上の要因として油圧圧下方式の採用がある。従来、圧下方式は電動式であったが、電動機の性質上応答時間が限定されてAGCのネックになったが、油圧圧下方式により応答性を数倍以上向上させている。

一般に油圧圧下装置には定位制御およびBISRA、AGCが含まれているが、BISRA・AGCは、圧延機の内部要因に弱く、例えば、ロール偏心において無制御時に出側板厚への影響は、数十%程度であるのに対してBISRA・AGCは、100%の伝達作用をするので、精度的に悪く、また、絶対値制御を行なうモニタAGCも各スタンドの出側にX-RAY板厚偏差検出器を取付ける関係上、むだ時間のため、制御精度が抑えられていたが、フィードフォワード制御方式の採用により飛躍的に向上した。

フィードフォワード制御は図3.または図4.のAGCに見られるように、ミルスタンドの前で板厚偏差を検出し、ミル真下までの移送時間後、圧下および張力により偏差が零になるよう制御する方式でフィードフォワードで予期していない外乱によるオフセットは、モニタの積分制御で修正するというフィードフォワードとフィードバックが結合した最適なシステムを形成している。

フィードフォワードAGCは更に単純フィードフォワードと、マスフローAGCに分れ、単純フィードフォワードは主にタンデムコールドミル、マスフローAGCはシングルスタンドに応用している。

ミニコンピュータの採用においては、フィードフォワードの演算精度の向上、移送時間シミュレートの精度向上、ドリフト除去および圧延中の状態変数の変動、例えば圧延材の塑性特性の変動により制御系の最適化が失われるためそれを補償すべき演算等に使用され、AGCシステムのこれからの方針を示唆している。

なお、表1.にAGCシステムの各機能、図5.に実績チャートを示した。

4. 油圧圧下

近年のコールドミルの高速および速応化の要求は、圧下装置に対しては従来の電動圧下方式から油圧圧下方式への転換をうながした。

当社にて手がけている油圧圧下装置は、三菱重工業(株)との共同開発になるもので、コールドミル関係では、タンデムコールドミル3ライン、スキンパスミル、3ラインの納入実績を有する。

表1. AGCシステムの機能
Control functions of AGC system.

機能	特長
フィードフォワードAGC	○高周波変動に有効 ○主にタンデムに使用 ○フィードバックAGC必要
マスフローAGC	○高周波変動に有効 ○主にシングルに使用 ○フィードバックAGC不要
圧下モニタAGC	○低周波変動のみ ○制御量が大
張力モニタAGC	○低周波変動のみ ○形状良好 ○制御量が大
速度補償	○加減速時必要
自動ゲイン補正	○圧延材の塑性変動に関する補正
テンションコントロール	○タンデムにおいてスタンド間テンションをある一定範囲にコントロールする
尾端補償	○テンション喪失によるオフゲージの補償

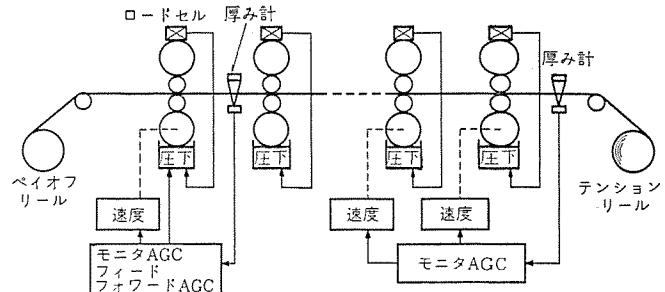


図3. 冷間圧延機 AGC システム
AGC system of tandem cold mill.

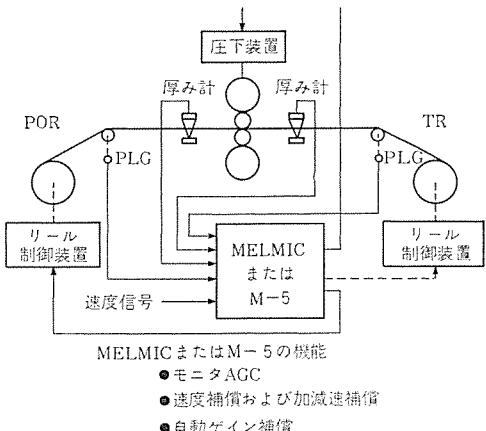


図4. 可逆圧延機 AGC システム
AGC system of reverse cold mill.

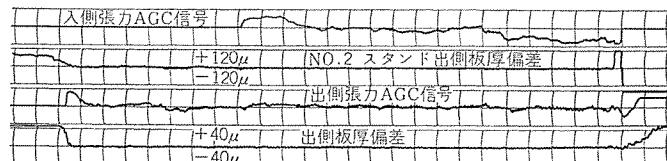


図5. AGC 実績データ
AGC data.

ゲージメータの構成については、大別して、ロードセル—テンションバー方式とロードセル—電気スケール方式とがあり、従来は前者が冷間圧延機に、後者が調質圧延機等に用いられたが、検出器の性能向上により、冷間圧延機に対しても後者を用いる方向にある。

また、ハードウェアとしては、演算増幅器とMRHとリレーロジックによる構成から、すべて固体化したものとなり、さらに主幹制御に準じた直列制御が図られている。

なお、油圧圧下と電動圧下との比較を表2.に示す。

4.1 装置の構成

テンションバー方式の油圧圧下ミルのブロック図を図6.に示す(表示回路は省略)。

回路は、テンションバー張力 P_B の変分 ΔP_B によりサーボ弁を駆動する閉ループと、圧延圧力 P_R をロックオンし、変分 ΔP_R を出力してBISRA制御を行なうループとが主要部分となる。この他に、ギャップ調整、レベルリング、平衡圧下調整回路、サーボ弁ディザイ回路が付属する。

油圧圧下制御の主要モードには、周知のように定位制御とBISRA制御の二つがあり、その他定圧モード等を用いることもある。

定位制御においては、COMPARATORへの入力は $\Delta P_B/K_B$ であり(ギャップ修正信号を除く、また K_B はテンションバーのばね定数)、サーボ弁、ミルスタンドおよび P_B 検出ロードセルを経由して閉ループを構成する。

$\Delta P_B/K_B = 0$ なる制御を行なうことになるから、バーの長さは不

表 2. 油圧圧下と電動圧下との比較
Specifications of hydraulic push up system & motorized screw down system.

項目	油圧圧下	電動圧下
最高応答周波数	15 Hz	1.5 Hz
圧下ひん度による障害	無	有(モータ過熱)
同時圧下方法	間接的 (平衡圧下制御)	直接的 (クラッチ)
圧下微調整	可	可
装置故障時の安全への留意	必要	ほとんど不要

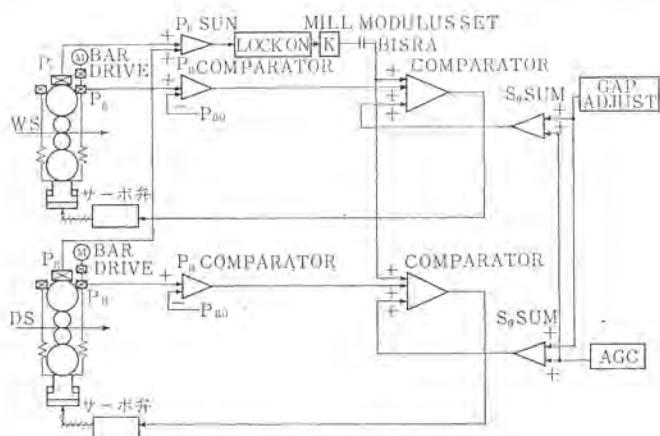


図 6. 油圧圧下制御 ブロック
Hydraulic push-up control system.

変であり、ミルハウジングの伸びの影響は除かれる。従って、ミル定数は、ロール系のみによって定まり、電動圧下より硬くなる。

次に、BISRA 制御においては、COMPARATOR への入力は、 K_R をロール系のばね定数として

$$\frac{\Delta P_B}{K_B} + k \cdot \frac{\Delta P_R}{K_R} (=0)$$

となり、これを 0 とするような制御を行なう。一方、

$$(\text{バーの伸び量}) = (\text{ロールギャップの広がり量}) - (\text{ロール系のちぢみ量})$$

の関係から

$$\frac{\Delta P_B}{K_B} = \Delta S - \frac{\Delta P_R}{K_R}$$

が成立するので、うえの 2 式より等価ミル定数は

$$M \equiv \frac{\Delta P_R}{\Delta S} = \frac{K_R}{1-k}$$

となり、 k の値に応じてミル定数が可変になる。

圧延圧力 P_R をロックオンするタイミングは、一般に、材料のスタンドかみ込みタイミング後とし、それまでの期間および材料尻抜後は定位制御を行なう。また、希望の出側板厚を得るために、材料がスタンドにかみ込んだときのロールギャップの増加を予測して、材料のないときのギャップ値の設定を行なう。この予測精度向上のためにはデータロギングを行なうこともある。予測を誤った場合は、その後処理のために定位制御に戻し、さらに BISRA 制御での再ロックオンを行なうが、このモード変更に際して、材料に悪影響を与えないように考慮している。

以上の主要部分のほかに、作業側(WS)と駆動側(DS)との同時に圧下の際にバランスをとる平衡圧下制御回路があり、これは電動圧下方式におけるクラッチに相当する。また、ロールギャップ修正のための入力として、ギャップ調整、レベリング、AGC 等の信号を受信し、COM-

PARATOR へ送る S_0 SUMMER がある。最後に、サーボ弁駆動回路には、高速微振動を与えて動摩擦が減るようにディザイナが付属している。

4.2 影響係数の修正

油圧圧下制御を円滑に行なうには、閉ループのループゲインを適正にする必要がある。ところが、油圧圧下の制御ループには圧延機が介在するため、ループゲインは圧下シリンダの変位に対する材料板厚の変化、すなわち影響係数の関数となることは周知の通りである。

図 7. (a)において、圧下シリンダの移動量を ΔS 、これに対応する出側板厚の変化量を Δh_1 、ミルのばね定数を M 、圧延圧力 P_R 付近での塑性係数を Q とすれば、圧下影響係数 K_1 は、

$$K_1 = \frac{\Delta h_1}{\Delta S} = \frac{M}{M+Q} \quad (1)$$

となる。実際の圧延では、入側板厚変動 ΔH があるため出側板厚変化 Δh は、 ΔH に対応する Δh_2 の合計となる。

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 \quad (2)$$

図 7. (b)により明らかなどおり、

$$\Delta h_1 = \frac{M}{M+Q} \cdot \Delta S = K_1 \cdot \Delta S$$

$$\Delta h_2 = \frac{M}{M+Q} \cdot \Delta H = (1-K_1) \cdot \Delta H$$

したがって、

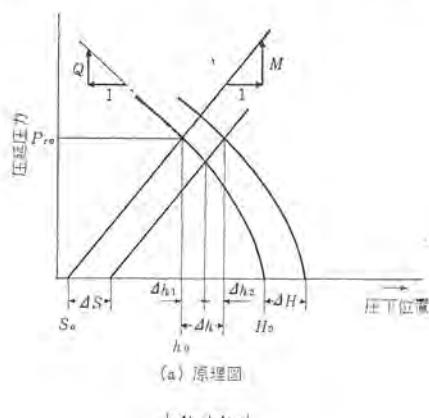
$$K_1 = \frac{\Delta h - \Delta H}{\Delta S - \Delta H} \quad (3)$$

となり、 ΔH 、 Δh 、 ΔS を実測することにより K_1 を求めることができます。

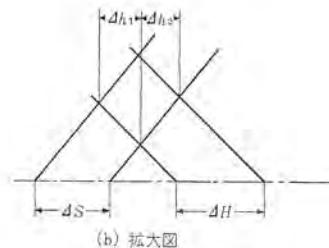
当社では以上に述べた原理の通り、特定スタンドの入・出側板厚偏差と圧下シリンダの移動量から影響係数を求め、制御系に記憶させている影響係数をオンラインで修正し、最適制御を行なっている。

5. ロール偏心制御

油圧圧下における BISRA 制御は、ミル内部において発生した圧



(a) 原理図



(b) 放大図

図 7. 圧下影響係数
Roll gap transfer function.

延圧力を増幅する方向に働くため、特にロール偏心に対して弱い欠点がある。

周知の通り ロール 傾心の影響は、 庄延圧力の変化として知ることができ、 主に バックアップロール の傾心が大きく現われる。この傾心の影響は複雑な波形を示すが基本部分は、上下 ロール の ロール 径と、偏心量による正弦波同志の和から成り立っている。したがって当社の方式は、この正弦波部分を除去することに主眼を置いている。

今、上ロールの最大偏心量を δ_U 、下ロールのそれを δ_D 、上下ロールの回転周期を wt 、その位相差を ϕ とすれば、上下ロールの偏心量の和 ΔF は

$$\Delta F = \delta_U \sin(\omega t) + \delta_D \sin(\omega t + \phi) \dots \dots \dots (4)$$

ここで

$$\delta = \{(\delta_U + \delta_D \cos \phi)^2 + (\sin \phi)^2\}^{1/2} \dots \dots \dots (6)$$

$$A = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \phi}{\delta_U + \delta_D \cos \phi} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

となる。厳密には、上下ロールの径差により、周期は同一とならないが、その差は微少であり、同一と見なしても問題ない。したがって、短時間の間であれば、 δ, A とも一定値と見なすことができる。しかしながら長時間的には、上下ロールの微少な径差により ϕ が変化し、 δ, A 共徐々に変化するので ϕ を周期的に修正している。

図 8.において、偏心量検出器で、偏心量とその物理的位置を検出し、初期状態における δ_U , δ_D , ϕ を読み取る。圧延を開始してロールを回転させると、上下ロールのわずかな径差によりロール偏心位置の相対的関係が徐々にずれ ϕ の値が変化する。そこで上下ロールに直結されたパルス発信器により、各々のロールの絶対位置を監視し、その差がある程度以上になると制御装置の ϕ を修正する。したがって δ_U , δ_D , ϕ の値は厳密に測定する必要はなくなり、偏心量検出器に要求される検出精度と取付精度は緩和されるため、これを圧延スタンド内部に設置している。

6. 主幹制御

コールドミルの主幹制御は、シングルスタンドと多スタンドにより様相が異なるが、いずれの場合にも問題となるのは、最終製品となるための制御系への厳しい要求にこたえるということである。このために細かい点にまで注意を払った技術が必要となる。制御的には、加減乗除の入り組んだ複雑なアナログ制御を、どのように扱うかという問題もあり、この処理方法によって主幹制御の価値が決定される。

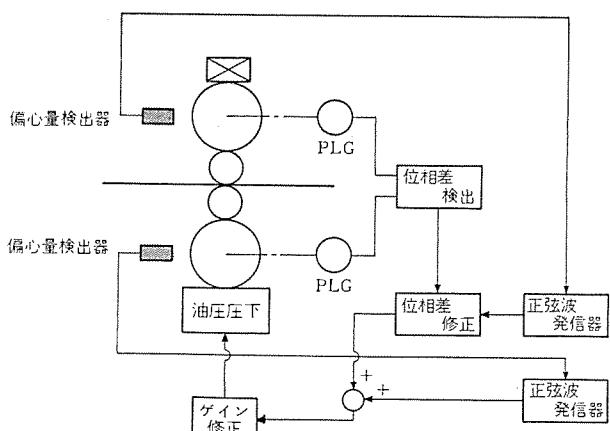


図 8. ロール偏心制御原理
Roll eccentricity control

ここでは、コールドミル主幹制御の最近の方向および数個の特質について述べ、計画の際の参考に供したい。なお、コイルハンダリングの自動化についてはプロセスライン用電機品の項で述べているので参照されたい。

6.1 直列制御への展望

従来のミルス tand の制御は、並列制御、すなわち、アナログ量に関するものを IC 演算増幅器で行ない、デジタル的なものは、制御リレーによるロジック、または、IC-NAND ロジックとインターフェースリレーにより行なうのが標準的な形であった。

しかし、最近のミニコンおよびシーケンサの発達により、従来IC-NAND等のワイヤードロジックで行なっていたコイルハンドリング等の制御は、完全にシーケンサに移行し、次の段階として、主幹制御をもこれに置換し、すべて直列化する方向にある。

当社は、想定される種々の問題点を検討し、現状において最善と考えられる次のようなシステムを完成した。

- (1) サイリスタ装置は、速度または電流制御を行なう標準レギュレータとして、アナログ制御系で確立させる。

レギュレータにおいて、速度または電流の基準信号を外部より受けた後は演算増幅器による並列的な制御を行う。したがってこの部分は従来との連続性がある。

- (2) サイリスタ装置に基準信号を渡すまでのアナログ制御部分は、マイクロコントローラ MELMIC-100 により直列化する。

MELMIC-100 は、調整途上のプログラム変更の可能性のあるときは、ICによる RAM メモリを、プログラム固定後はダイオードによる ROM メモリを装着できるようになっており、ROM メモリ装着後は、非破壊読み出しとなるので信頼度はきわめて高い。

また、応答速度が問題となるサイリスタ制御部分を担当しないため、Busy度が急上昇することがなく、このためシステム的に無理がない。

- (3) ディジタル制御部分については、シーケンサ MELSEC を適用し直列化する。また、重要回路にはバッファリレーを併用する。

MELSEC は、ワイヤメモリを使用しており、プログラミングの際は RAM メモリとして、またオンライン動作中はモード切換スイッチにより非破壊式の ROM メモリとして使用する。したがって、MELMIC-100と同じく、読み出しの失敗がなく、信頼度はきわめて高い。

また、万一の誤動作の際にも安全性を保つための現実的な方策として、誤動作が人命または機器の損傷をまねく恐れのある少数個の重要回路については、バッファリレーを併用する。したがって、信頼性はきわめて高く、さらにフェールセーフなシステムとなっている。

なお、機器システム構成の変遷については、図9.を参照されたい。

6.2 二重 MRH 方式

タンデムコールドミルの通板尻抜け作業の能率化のために、先行材の尻抜けと後行材の通板とをラップさせる、いわゆる尻抜け通板同時制御を行なうことがある。この場合、先行材と後行材との速度設定をそれぞれ独立に行なうように、ミルの全体速度を決める MRH を 2 台設ける。そして、それぞれの MRH の出力を切換えて、スピードコン設定用の SSRH を経由し、各スタンドの速度制御系に加えると共に、それぞれ比較器に帰還して、設定基準信号との比較を行なう。各スタンドの帰還信号があるのは、通板時に材料の先端の速度が

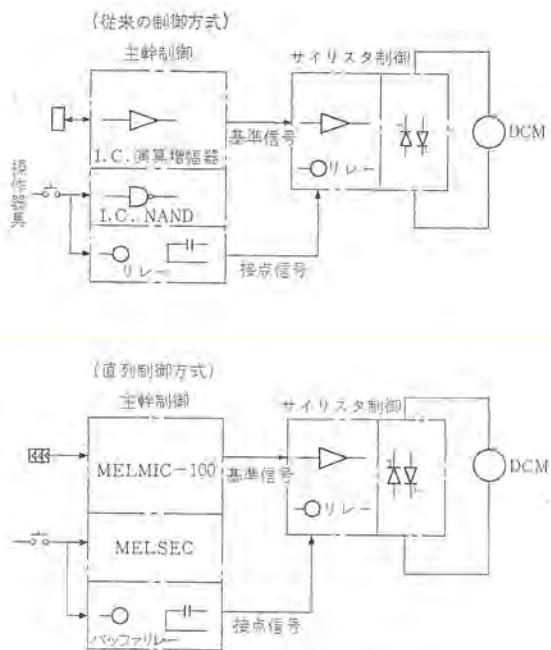


図 9. 並列制御および直列制御の機器システム
Parallel and series control system.

一定になるように制御を行なうため、当該スタンダードがみ込みと同時に帰還信号をそのスタンダードに切換える、MRHを動作させる。したがって、スタンダード数の多いミルほど通板時間を短縮できる。また、尻抜け時にはこのような切換えは行なわず、最初のスタンダードが最終スタンダードの速度を設定してMRHを固定させる。

尻抜け作業と通板作業がラップする場合は、1スタンダード以上間隔をあけ、先行材の尻抜けしたスタンダードを旧MRH信号より新MRH信号に切換える方式によっている。

この場合、新旧MRH信号は一般に不連続であり、これをそのまま切換えたのでは機械的なショックも大きく、また、ワーカーロールとバックアップロールとの間のロールスリップの原因となるので、ショックレスに切換えるような緩和回路を用いている。

6.3 可変加減速率制御

ミルを直線加速（加速率一定）すなわち一定加速トルクで加速すると、駆動電動機の界磁が弱めになったときに、基底速度のときと同じ加速トルクを確保するために加速電流が増加し、電動機の過負荷耐量をこえるおそれがある。

したがって、電動機の過負荷耐量を大きくすることなく、加減速時間を減少する方策として、基底速度以下では加速率を高め、弱め界磁範囲では漸減し、加速電流をほぼ一定に保ちつつ加減速を行なう。いわゆる可変加減速率制御を開発した。

この場合、自動減速の方法も、従来の直線加減速方式にのっとったものからは大幅に変更させる必要がある。

また、可変加減速率制御を用いる場合は、電動機の基底速度における加減速率の上限は、リール駆動用電動機の弱め界磁時の過負荷耐量により決定されることが多いので、一般にはリールに対して最大トルクリール制御方式を併用して、加減速率の上限を引き上げることを通してしている。

6.4 最大トルクリール制御方式（当社特許）

巻取、巻戻機の張力 F は、電動機の電機子電流を I 、界磁を Φ 、コイル径を D とすると

$$F \propto \frac{\Phi}{D} \times I$$

で示される。従来の制御では I を一定とし、 Φ を D に比例させる制御を行なってきた。

したがって、最小コイル径の場合は、ライン速度の高低にかかわらず界磁は最も弱められており、加速電流が多くなる欠点があった。それに対して、電流 I を D/Φ に比例させるならば、ライン速度が低く、電動機の回転数が基底速度以下である場合は、界磁は強めにおくことが可能であり、従来の方法による欠点は除かれることになる。

最大トルクリール制御においては、電動機の界磁は自動界磁弱めとし、回転数が基底速度を越えたときにはじめて界磁を弱めるようしている。したがって、常にリールモータの出しうる最大トルクが利用できるようになっており、 D/Φ を検出するサーボ機構によって、電流 I が D/Φ に比例するように制御して必要な一定張力 F を得るのを特長とする。したがって、スタンダードの可変加減速率制御と併せて、同一の電動機および電源容量に対して、従来の直線加減速方式に比べて、加減速時間の減少を図ることができる。

6.5 自動伸び率制御装置

テンパー・ミルにおいて、使用目的に合致した最適な機械的性質を与えるため、また、圧延中、伸び率および形状等の修正に意を注ぐオペレータの繁雑さを除くためにも自動伸び率制御は必要不可欠となっている。

一般にストリッピングの伸び率は、次式で計算される。

$$\varepsilon = \frac{N_2 - N_1}{N_1} \times 100 (\%)$$

ここで

ε : 伸び率

N_1 : 入側における材料速度 (PLG のパルス数等)

N_2 : 出側における材料速度 (PLG のパルス数等)

上式で計算された伸び率とオペレータの設定基準とを比較し、積分制御して圧下を修正するが、操作変数としては、電動圧下方式においてはポジション、油圧圧下方式においては圧延圧力またはポジションを選ぶ。また、ストリッピングの材質およびスケジュールによって塑性特性が大幅に変化するので、最適なゲインの選択を可能にしている。

コールドミルでは、低速時、摩擦係数およびオイルフィルム等の影響により、出側板厚は減少する方向、すなわち、伸び率の増大する方向に作用するが、テンパー・ミルにおいては、圧下率が小さいため、一般に、低速時の伸び率は減少する方向に作用する。したがって、低速時の伸び率の変動を補償するために、実験式による補正項をオープンループ的に付加することによって、速度によって変動する種々の要因に対する補償の問題を解決している。

7. 連続化圧延機

図10.は、一般的な連続化圧延機のレイアウトである。第一例、第二例とも基本的には類似の方式であるが、ループの位置が異なっている。第一例は、ループを建屋の上方に上げているため、床面積の節約に寄与しているが、反面重量物を高所に上げているための危険があり、機械的にも電気的にも保護方式に最善の注意を必要とする。第二例は、前者のような危険は少ないが、大きな床面積を必要とする欠点がある。連続化の適用により、

(a) コイル1本ごとの通板尻抜け作業がなくなるため、オフゲートが少なくなり歩どまりの向上。

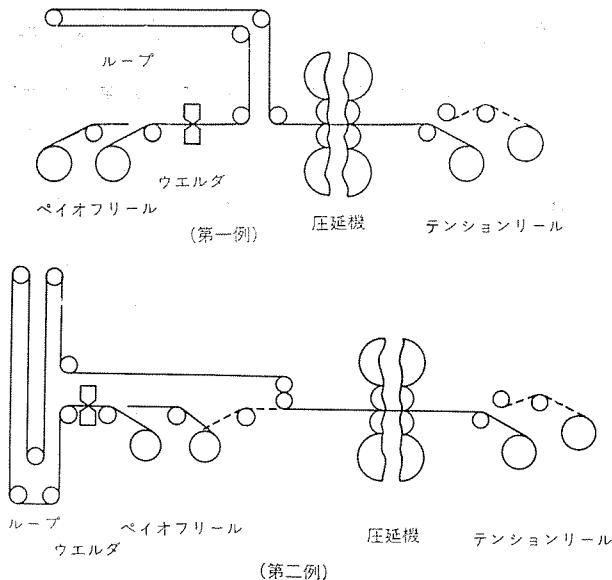


図 10. 連続式圧延機 レイアウト 第一例、第二例
Full continuous tandem cold mill layout.

(b) コイル間の停止時間が無くなるため、生産性の向上。

(c) 通板尻抜け作業が無くなるための省力化。

などの利点があり、更に生産量のバランスさえとれば、他のプロセスラインとの連続化も可能であり、将来連続化の傾向は内外を問わず高まるものと考えられる。しかしながら連続化を実現するには、

(i) テンションリール前での走間ストリップ切断。

(ii) テンションリールの走間切換え。

(iii) ストリップをスタンドに通したまでのロール組換え。

(iv) 走間圧延スケジュール変更。

等々の難問を完全に解決することが課題である。当社が製作納入した連続ミルにおいては、これらの諸問題を克服し、電気的制御の優秀性とも合せて、現在好調に運転中である。

8. 形状制御

形状検出器としては、ストリップのうねりをテレビカメラで検出するもの、張力分布を磁気トランジスタで検出するもの、張力分布を荷重計で検出するものなど種々製作されている。しかし、

(a) 冷間圧延では、ストリップには常に張力が働いており、張力がある程度以上になると、ストリップに発生しているうねりは伸びにより、肉眼では見えなくなる。

(b) 非鉄金属圧延にも応用できるもの。

以上の条件から、張力分布を荷重計にて検出し、かつ板幅方向の分布を細かく検出できるものを当社は採用している。

形状制御方式としては、

(i) ストリップに現れる形状不良は単純な「中伸び」「耳伸び」のほかに「複合伸び」も存在する。

(ii) ロールベンディング制御を行なっても、ワクロールの間げき(隙)プロファイルは単純なクラウン形状とならない。

以上の2点から、ロールベンディング制御に多くを期待する制御方式には限界があるため、当社では、検出された形状不良信号を、ロールベンディング制御で修正可能な部分と、不可能な部分とに分割し、前者をロールベンディング制御で、後者をクラント制御で修正するという独自の制御を採用している。

9. 圧延用直流電動機

9.1 過負荷温度上昇

本用途の電動機は日本電機工業会規格 圧延用直流電動機 (JEM-1157-2, 1969) によっている。規格では温度上昇について 100% 連続と、引続き 125% 2 時間を規定している。

最近の技術の進歩により、この種の電動機の熱時定数は 15~20 分程度であり、2 時間で温度は最終値の 95~99% に達する。したがって電動機の体格は 2 時間の過負荷定格で決まる。

規格では「125% 2 時間の温度上昇を規定するが、125% 2 時間は 115% 連続とほぼ等価だが 115% 連続の方が温度は高いようだと述べている。

また、125% 2 時間という定格は実際問題として、顧客側にとっては利用する機会の少ない定格であり、115% 連続の方が多く利用される。このような諸条件により、最近納入する設備に対し、当社では

100% 連続 : 60°C 上昇

115% 連続 : 75°C 上昇

125% 2 時間 : 温度上昇規定せず (現規定は 75°C 上昇) を保証するようしている。

なお、国外でも上記のような動きが出ており、E. P. Smith 他著 : Iron & Steel Eng. (March, 1968) 等にも同様のことを発表している。

9.2 通風方式

直流電動機の通風方式は、立地条件・経済性を考慮し選定されるが、複数スタンドの場合はクーラ付循環冷却方式 (ユニットクール), レパーシングコールド等の単スタンドの場合は非循環式のアップドラフトまたはダウンドラフト方式を探ることが多い。

10. むすび

以上のように冷間圧延機用電機品は高精度の制御を要するので、図 1. に示すとく個々には最先端の技術を駆使し、それらをデジタル計算機で機能的に組合せて制御している。

それらの個々の制御方式は最新技術のものが多くあり、技術的に完成しているものと完成中のものがあるが、最近の技術の進歩はめざましく、既存の技術は改良され、現在の技術は高度に完成され、更に将来の技術は発展すると考える。特に新しい形式の圧延方式として注目されている「連続化圧延機」は数多くの長所を有しており、種々の形式に発展しながら増加するものと考える。

最後に各設備の電機品の納入にあたって、これらのシステムの採用と御指導を賜った客先関係者に深く感謝するものである。

鉄鋼プロセスライン用電機品

兵頭 太郎*・佐藤 寿一*・松尾 元幸*
河本 晴夫*・松山 功武*

Electrical Equipment for Metal Process Lines

Head Office Taro Hyodo・Juichi Sato・Motoyuki Matsuo
Haruo Kōmoto・Isamu Matsuyama

Modern metal strip process lines have been enlarged in scale and elevated in speed. Recently, the layouts of the lines are varied and they require a lot of electrical equipment and apparatuses.

Knowhow of the electrical control system, and, high accuracy and maintenance free of the hardware are required strongly, because the electrical control system needs high function and it is composed complicatedly.

This requirement, in turn has spurred the development of static apparatus and the application of software control for control devices, such as integrated-circuited control equipment, programmable micro controller (MELMIC) and programmable sequence controller (MELSEC).

This article introduces the electrical control system of MELCO for the process line, general description of the control component and the standardized hardwares, so that it will serve for the planning of the electrical control system.

1. まえがき

鉄鋼あるいは非鉄金属の生産を合理化するために、その製造工程を連続作業化することが必要である。ことに薄板の仕上げ工程においては、種々の処理作業をコイルのまま連続処理することが多い。

一般に、この連続処理工程をプロセスラインと称し、ここ数年間にわたり、設備の高速化・大型化と単発的な省力化が実施されてきた。最近はライン構成そのものをコンピューション化のごとく多彩に変化して、根本的な製品の品質向上、生産性の向上、総合的な省力化をはかる傾向が強くなり、その結果、総合的な省力化を含む多彩なシステムとしてのノウハウの重要性はますます増大し、また一方、複雑化してきたシステムに対応して、ハードウェアとしては故障率の低下と保守の省力化が強く要望される。

当社はこれらの諸要求にこたえるべく、種々の新システムを採用して好評を博している。なかでも、マイクロコントローラ MELMIC-100 とプログラマブルシーケンスコントローラ MELSEC-310 の出現は、制御をつかさどる頭脳ともいえる演算制御とシーケンス制御をソフトウェアで構成するという点において、制御システムに一大革命をもたらしたと言っても過言ではない。

当社は、プロセスライン用電機品の分野においては、その技術と経験を認められ最大のシェアを誇っている。その特長を列挙すれば、

(1) サイリスタと交直流スイッチギヤとの一体化の成功によるコンパクトな制御盤を採用した完全静止化されたドライブシステム。

(2) 各電動機界磁には、超小形サイリスタ励磁装置を全面的に探し、温度補償を完全にした操作の省力化と、休止後のクイックスタートアップによる製品の歩どまりの向上。

(3) マイクロコントローラとシーケンスコントローラの採用による主幹制御のソフトウェア化、およびそれに伴う部品の減少と無接点化による信頼性の増大、故障率の低下ならびに精度の向上。

(4) 制御の集中化による盤外線ケーブルの多心化と配線工事費用の低減。

(5) 張力制御に対し、シミュレーションによる最適制御の採用。などがある。

以下、当社のプロセスライン用電機品のシステム構成、主な制御要素の概要、使用電機品の概要を紹介し、ラインを計画されるときの参考に供したい。最後に将来の方向について簡単に述べた。

2. 制御システム構成

2.1 電機品の構成

プロセスラインが電動機によって駆動される場合、直流電動機が使用されていることは衆知のことである。これは、直流電動機がおよそ、その端子電圧に比例して速度が変わり、また、電機子電流が一定ならば、その界磁磁束に比例してトルクが変わることの特性を有しており、ストップに一定張力を付与しながら、せん（揃）速運転を行なう用途に適しているからである。

一方、直流電動機を制御するには、これら直流電動機の特性を生かすよう、レオナードによる可変電圧直流電源と、一部電動機については、可変界磁電源とが使用される。これらの可変電源は、ほとんどがサイリスタを用いた静止化電源となった。電機子用のレオナード電源については、おののの電動機がストップを介して結合されているため動力は張力の授受に使用される場合が多く、本来共通母線方式にむいている設備といわれてきた。そのため、サイリスタを適用すると、各個電源方式とせざるを得ないので、MG方式にくらべて制御性能が格段にすぐれているにもかかわらず、設備容量が大きくなつて経済的でないと考えられていた。

当社は、この問題を解決すべく、サイリスタレオナード装置を鉄鋼用として採用した先駆者であるという自負のもとに、たゆまぬ研究・開発の結果、今までの圧延機用としての性能を保持しつつ、小型化構造そして交直流側スイッチギヤとの一体化構造に成功し、その標準化を100%完成した。

このため、プロセスラインに対しても、圧延機などの制御性能が決して不経済とならぬ価格で望めることになり、最近は MG 方式は姿を

消した。

「サイリスタレオナード」の詳細については、別項「サイリスタレオナード装置」を御参照頂くものとしてここでは省略する。

さらに、油圧ユニット・潤滑油類のポンプ、送風機、通板用のピンチロール、サイドガイドなど、特にせん速運転の必要のない機械部分には三相誘導電動機が多く使用され、コントロールセンタで制御されている。

ラインの電機品はこれら交直流電動機とその制御装置のほかに、電動機群に給電するための変圧器、高低圧配電盤と、オペレータが種々の設定や操作を行なう操作盤、非常に数多く用いられる電磁弁を制御する電磁弁制御盤、そしてこれらの各制御盤を有機的に組合せてラインを総合的にコントロールする主制御盤、総括制御盤、および自動運転のために用いられる各種自動シーケンス・演算制御盤、さらには、機械や制御対象物の動きや移動量を検出する各種センサなどで構成されている。

これらの電機品は、ラインが複雑化するにつれて大規模でかつ複雑なシステムとなる。これに対応するためには、極力標準化、保守の省力化をはからなければならず、また一方では、ラインの多様化に備えて、ユーザの要求を受け入れることのできる柔軟性も要求される。

当社はこの相反する二つのニーズにこたえられるよう、機械構造や操作方法により影響をうけない機器、すなわち電動機、サイリスタレオナードと可変電圧制御盤、定電圧制御盤、高低圧配電盤、変圧器、コントロールセンタなどは、システムの構成要素として標準化し、機械構造や操作方法により仕様が決定される部分を、操作盤、電磁弁制御盤、主制御盤、総括制御盤、および自動制御盤に集約している。

2.2 主幹制御のソフトウェア化

以上、当社のシステム構成の基本的考え方を述べた。ところが最近の大規模なプロセスラインでは、電気制御上非常に複雑な回路構成となり、そのうえ、ラインのコンピネーション化が進むにつれ、世界で初めてのライン構成となるものさえ出現して、ユーザ側においても、どれが最適制御であるかということが設計段階で判明しないことも多くなってきている。このため、ライン制御の主幹部分、すなわち、主制御盤や総括制御盤、ひいては、電磁弁制御盤や自動制御盤は、ぼう大な面数を必要とし、それらに使用されるリレーや半導体素子の数はことに大型のラインでは数千個となるので故障率が増大し、保守性が著しくそこなわれる。さらに、現地で実際に機械とカップルした時点での新しい問題点の解決に時間と手間がかかり、回路の変更には非常なはん雑さが伴ってくる。

こういった問題を解決するために、当社ではこれらの制御をソフトウェア化し、部品の減少と回路変更の柔軟性をはかるべく、四則演算を含んだ制御にはマイクロコントローラ MELMIC-100 を、シーケンス制御にはシーケンスコントローラ MELSEC-310 を採用し、主幹部分をすべてプログラマブルにしてシステムを構成している。

MELMIC、MELSECともいわゆる中央演算処理装置をもった一種の計算機ではあるが、一般に制御用計算機と呼ばれ、特別の環境や電源を必要とする装置とは異なり、従来の IC による論理素子や演算器などを装備した半導体制御盤と何ら変わらないセンサで用いることができるという大きな特長を有している。もちろん、IC レベルであるので、ノイズに対しての考慮は、十分払わなければならないが、この点も従来の半導体制御盤と同じく、単独接地とダクトの区分さえ完全にすれば問題はない。

一方、配線工事の面からは、制御の集中化により、ケーブルの多心化が可能となり、ユーザ側の工事費の総投資額に占める割合が減少し、

コストダウンにつながる。

また、従来はラインの自動化はオフラインコントロール（自動制御盤がダウンした場合でも手動で運転可能）であるという考え方が普通であった。ところが近来、自動化はすなわち省力化であるという考え方とオペレータの人員配置の面から、自動モードがオンラインとなってきた。このため、自動制御盤のみハードウェアを分割する理由はなくなっている、ラインの主制御と自動制御とで同じデータを別々に設定したり、計算したりしていた不合理をなくする意味においても、集中化のメリットは大きい。

当社は、こういった点をかんがみ、これら MELMIC、MELSEC を今までのハードと全く同じ考え方で採用する方向でシステムを構成しているので、ユーザ側の御理解を得たいと考える。

図 1. と図 2. に従来のシステム構成と MELMIC、MELSEC 適用のシステム構成の比較を示す。

2.3 制御信号の経路

以上述べたように、プロセスラインの主幹部分に MELMIC、MELSEC を適用した制御システムの信号経路を図 3. に示す。この図をもとに、制御信号の流れを説明する。

ラインの操作はオペレータによって操作盤から行なわれる。ライン速度設定、張力設定、コイル径・コイル幅設定などの設定は、操作盤上の設定器（デジスイッチや可変抵抗器など）によって設定され、MELMIC に与えられる。MELMIC では、これら設定値を読み取り、所定の演算を行ない、その結果を D/A 変換して、MELSEC からのタイミング信号と組合わされて、各サイリスタレオナードに制御量の基準信号として供給している。押しボタンやコントロールスイッチによる操作信

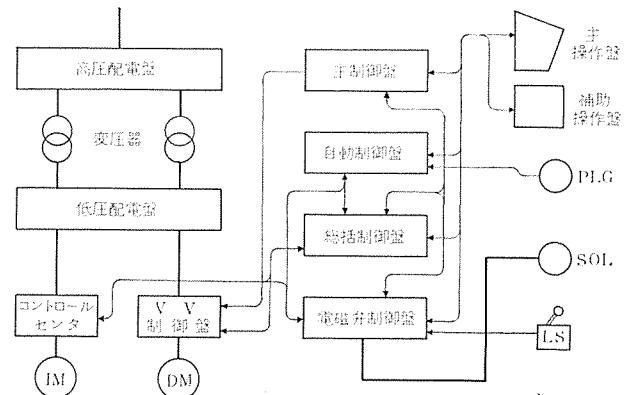


図 1. 従来のシステム構成
Conventional electrical system for process line.

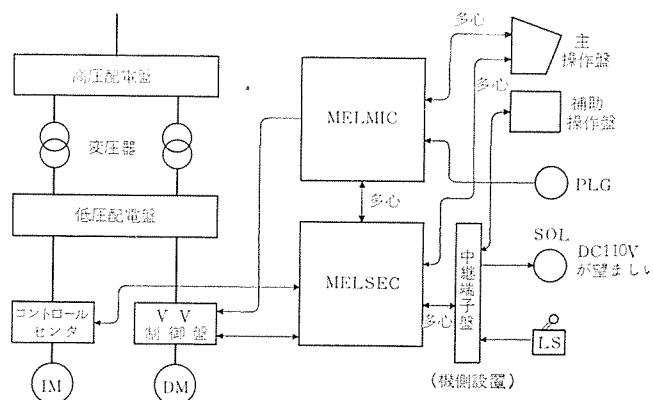


図 2. MELMIC, MELSEC 適用のシステム構成
Electrical system applying MELMIC and MELSEC to process line.

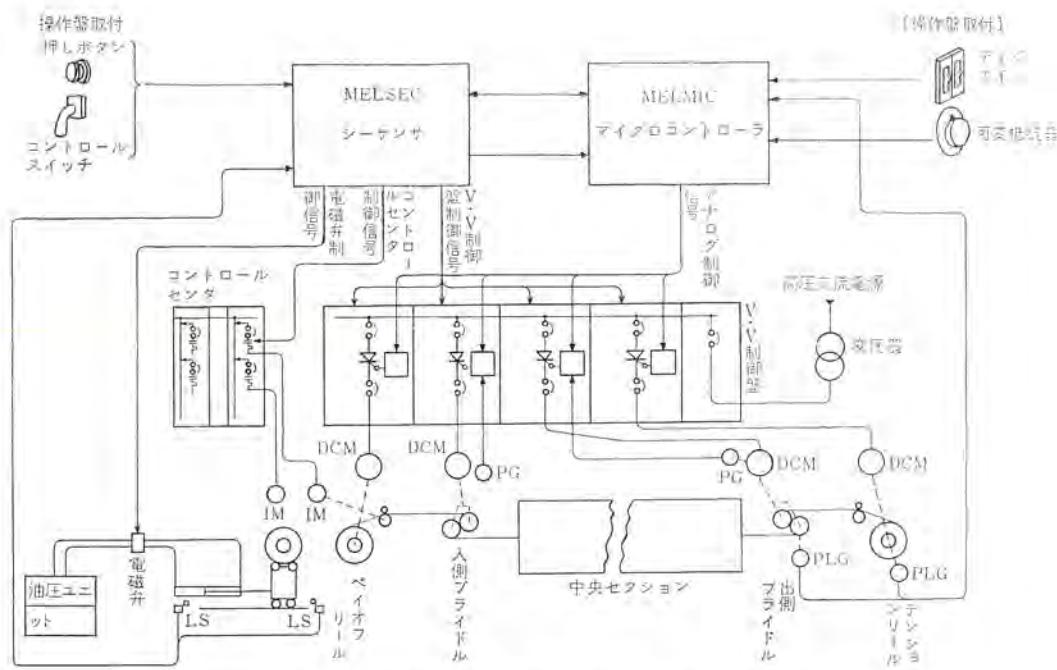


図 3. MELMIC, MELSEC 適用システムの信号経路
Signal flow of MELMIC and MELSEC system.

号は、MELSEC に与えられ、ここでロジック演算を行なって、サイリスタレオナード、各制御盤、コントロールセンタおよび電磁弁に与えられ、直流電動機、交流電動機および電磁弁を制御している。リミットスイッチ、光電リレーなどの検出器の信号は、ロジック信号として MELSEC に与えられる。

ラインの自動運転については、コイルカーナー、ペイオフリール、ブライドルおよびテンションリールなどの機械軸にパルス発信器(PLG)を取りつけ、移動量をデジタルで検出し、これを MELMIC へライドバックすることにより、コイル径、ストップ長さ、機械の移動距離などを計測演算し、ラインの制御たとえば、リールの巻戻し、巻取りのためのコイル径検出や慣性補償量の計算などに使用するとともに、制御対象の減速あるいは停止信号を供給し、MELSEC を通して制御対象物を制御する。

3. 基本的制御要素の概要

プロセスラインにおける基本的な制御要素はおおむねつきの各制御である。

- (1) ラインの速度設定
- (2) 自動速度制御
- (3) 定張力巻取制御
- (4) 直接張力制御
- (5) ループ制御
- (6) ヘルパドライブ
- (7) 自動化

以上の各制御が主なものであるが、ラインの種々の条件によっては、上記の制御を全部必要とするとは限らない。

以下にこれらの基本的考え方を説明する。

3.1 ラインの速度設定

ライン速度は作業条件に応じて、任意に設定が可能であり、かつ加減速中にも張力を一定に保ちつつせん速運転が可能なように、一定の加減速率に従って変化できなければならない。このため、従来は電動操作のポテンショメータ(以後 MRH と略す)を一定電圧にて回

転させ速度基準を作っていた。その一例を図 4. に示す。最近は、V/F コンバータとカウンタの組合せにより完全静止化し、さらに、2. 2 節で述べたように MELMIC 内部で遂行している。図 5. にスタティックレオスタートの回路ブロック図を示す。

3.2 自動速度制御

任意に設定されたライン速度は、作業能率や品質管理の面から、運転中速度を一定に保つ必要がある。したがって、いかなるラインにおいても、各セクションの速度の基準となるものが必要である。

この基準は、ライン中の適切な位置にあるピンチロールやブライドルを対象とし、そのピンチロールやブライドルを駆動する直流電動機に対し何らかの速度調整を施さねばならない。

3.2.1 速度調整方法

直流電動機の基本方程式は、

$$V = K_e \phi N + I_a R_a \quad \dots \dots \dots (1)$$

V : 端子電圧, I_a : 電機子電流, N : 回転速度

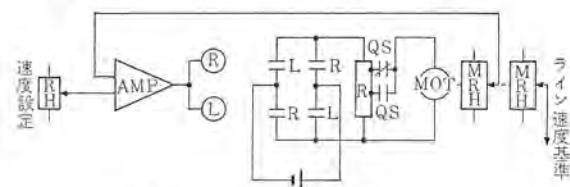


図 4. MRH を用いた速度設定方式
Speed preset circuit with MRH.

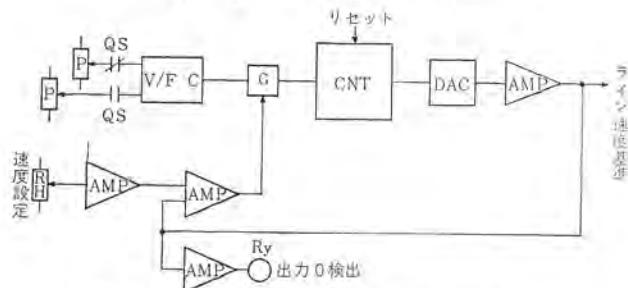


図 5. スタティックレオスタートを用いた速度設定方式
Speed preset circuit with static rheostat.

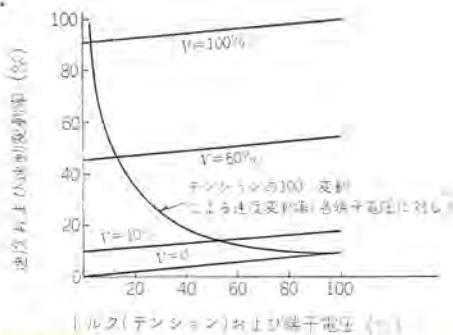


図 7. 発電機モード時の速度とテンションの関係
Characteristics between speed and torque when a motor is operated as a generator.

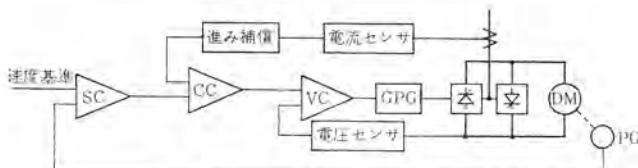


図 8. 速度制御系ブロック図
Block diagram of speed regulating system.

起動の瞬間に速度の立上りによるストリップへの影響が問題となる。これはとりもなおさず、IR降下の影響である。

したがって、発電機運転となる電動機もしくは、ライン定常運転範囲が1:10をこえるライン、そしてとくに精密な速度で運転しなければならない電動機に対しては、何らかの方法でIR降下を補償しなければならない。

古くは、MG方式であったがため、主に経済的な理由からベースタによるIR補償制御を行なっていた。これは、電動機の安定運転のため、電動機自体のしり上り特性を補償する必要から100%補償は不可能で、せいぜい80%程度が限界であった。この不便さを取り除くために、電動機の回転数を直接検出する指速発電機(PG)を設けて速度制御を行なうことが必要となる。最近は、サイリスタドライバとなっているので、当社は、これらの電動機には速度制御を行なって操作性の向上をはかっている。

図8に代表的な速度制御系のブロック図を示す。図からわかるように、当社では、速度制御に電流制御、電圧制御のマイナーループを加えたマルチマイナーループ方式を採用し、高性能の制御を可能としている。その特長を簡単に列挙すると下記の通りである。

(1) 超高速電圧マイナーループ(本方式は当社独自の方式である)の採用による、サイリスタ固有の非直線性の線形化と応答性の改善。

(2) 電流マイナーループによる完璧(壁)な電流制限。

(3) 電流マイナーループ内の進み補償回路による電動機の di/dt の制限、および速度応答への機械の GD^2 の影響の除去。

(4) 速度コントローラにPID増幅器を採用し、II形、I形の制御モードの選択がボテンショメータ一個で可能。さらにI形の場合の垂下特性の調整が任意。

3.3 定張力巻取り制御

一般にプロセスラインでは、コイルを処理する関係上、巻き戻しおよび巻取りの作業は必要不可欠のものとなる。また、作業性その他の理由から巻き戻しも巻き取りもその張力を一定にすることが要求される。巻き戻しも巻き取りも制御原理は同一である。ただ巻き戻し側では駆動電動機は発電機として働き、制動トルクを出し、巻き取り側では電動トルクを出す違いがあるだけである。したがって以

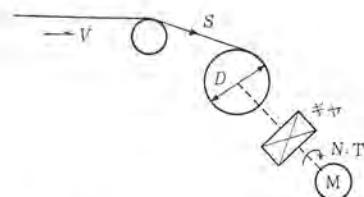


図9. 巻取りの概念図
Conception of strip winding reel.

下巻き取りの場合について説明する。

3.3.1 定張力制御の原理

いま図9において、ストリップが一定速度Vのもとに、張力Sで巻き取り運動を行なっているものとする。定張力巻取りの条件から $S=$ 一定である。したがってリールの出力 $V \times S$ も一定となる。機械の効率ηを考え、電動機出力をPとすれば、

$$V \times S \propto P \times \eta \quad (\text{巻き取りの場合})$$

$$V \times S \propto P \times \frac{1}{\eta} \quad (\text{巻き戻しの場合})$$

が成立する。

ここで、巻き取りの場合に、電動機トルクをT、コイル径をD、リールと電動機間のギヤ比で決まる定数をKとすると次の各式が成立する。

$$P = \frac{N \times T}{974} \quad (\text{単位は } P(\text{kW}), T(\text{kg} \cdot \text{m}), N(\text{rpm}) \text{ とする})$$

$$V = K \cdot \pi \cdot ND \quad (\text{単位は } V(\text{rpm}), N(\text{rpm}), D(\text{m}) \text{ とする})$$

$$S = \frac{2}{K} \cdot \frac{T}{D} \cdot \eta \quad (\text{単位は } T(\text{kg} \cdot \text{m}), S(\text{kg}), D(\text{m}) \text{ とする})$$

したがって、

$$V \times S = 2\pi \times NT \times \eta$$

$$P = \frac{V \times S}{2\pi \times 974 \times \eta}$$

$$= \frac{V \times S}{6120} \times \frac{1}{\eta} \quad \dots \dots \dots (9)$$

但し、V: mpm, S: kg, P: kW である。

式(9)が張力とラインスピードが与えられた場合、電動機容量を計算するのに使われる式である。

また、

$$T = K_T \phi I$$

$$V \times S = 2\pi \times N \times T \times \eta$$

但し、 K_T は定数、 ϕ は界磁磁束、Iは電機子電流の二つの式から

$$S = (2\pi \times \eta \times K_T \times N \phi \times I) / V$$

$$= K \times \frac{K_C N \phi}{V} \times I \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (10)$$

$$\text{ただし, } K = \frac{K_T \times 2\pi}{K_C} \times \eta$$

式(10)の結果から、張力Sを一定にして巻き取るには、電流Iを一定にし、かつ逆起電力 $V_C = K_C N \phi$ とライン速度Vとの比を一定にすればよい。

ここでコイル径Dと ϕ との関係を考える。式(10)を変形すると、

$$S = K \times \left(\frac{ND}{V} \right) \left(\frac{\phi}{D} \right) \times K_C \times I$$

しかるに $V = KD$ であるから、 $K' = K \times K_C \left(\frac{ND}{V} \right)$ なる定数を導入

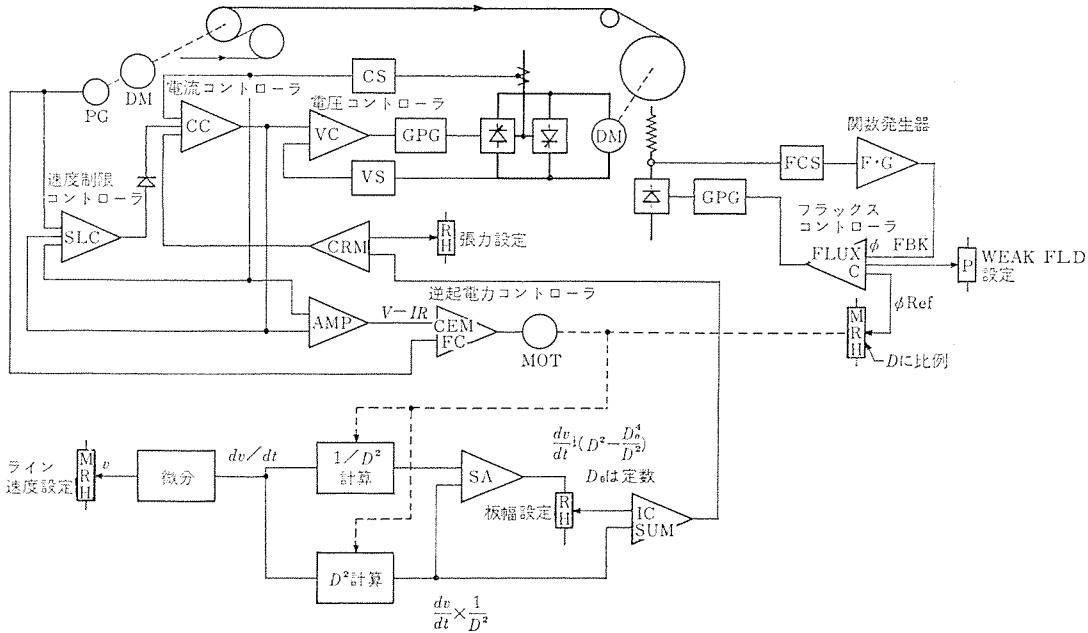


図 10. テンションリール 定張力制御 ブロック 図
 Block diagram of controlling constant tension for tension reel.

すると、

となる。式(11)から、定張力巻取りにおいて、定電流制御と逆起電力制御を行なうということは、定電流制御と $\phi \propto D$ 制御を行なうということであり、 ϕ を検出すれば D を知ることができる。

なお、式(11)を用いて $I \propto \frac{D}{\phi}$ なる制御を行なう方法もあるが複雑で高価となるので省略する。

3. 3. 2 定張力制御の実際

図 10. に張力制御のブロック図の代表的な例を示す。図からわかるように、定電流制御は、レオナード電源で端子電圧を調整することにより、また逆起電力制御は、電動機界磁を調整することにより達成する。逆起電力制御は、前に述べたごとく、ライン速度を基準として、逆起電力をライン速度に比例させるよう制御するが、電動機の逆起電力を直接検出することは不可能であるから、式(1)からわかるように、電動機の端子電圧と電機子回路のIR降下に比例する信号を取り出して間接的に逆起電力を得ている。逆起電力の基準信号としては、ライン速度が必要となるので、ライン速度を決定するブライドルや、ピンチロールを駆動する電動機に指速発電機を取り付けて、その回転数を検出し使用している。

通常、逆起電力制御器はその出力により、電動操作界磁調整器を操作することが多い。これは、電流制御器への慣性補償量を連続的なコイル径の関数とすることができ（詳しくは後述の慣性補償の項を参照のこと）、また、サーボ機構の積分要素により、オフセットエラーを少なくすることができる。最近では、逆起電力制御とは別に、コイル径サーボと称するサーボ機構を用いる方がコイル径を正しく検出できるので、この方法が使用されることが多くなってきている。

定張力制御は定電流制御と逆起電力制御で達成できることは前に説明した。が、ここで注意すべきことは、一つの電動機に二つの制御を組合せて適用する場合、それら二つの制御が相互に干渉をおこして、制御が不安定になるのを防ぐことである。その方法は二つの制御の応答をなるべく遠く離して設計することである。

(電動機の方程式が、式(1)で表わされるように、その端子電圧 V 、逆起電力 $V_C = K_C N \phi$ 、電機子電流 I_a にはある一定の関係があるので二つの制御の応答が近いと、相互に干渉をおこす可能性が大きくなる)。

張力制御の場合、本質的に逆起電力制御器の応答は、電流制御器のそれよりも遅い値に設計される。

3. 3. 3 慣性補償

前々項で、定張力制御は、電流制御と逆起電力制御を行なえば、できることを述べた。しかし、これは電動機が定常運転のことであり、加減速中など過渡的な場合には成立しない。

回転体の運動方程式は

J : 惯性能率($\text{kg} \cdot \text{m}^2$), ω : 角速度(rad/s), t : 時間(s),

T_M : 電動機 トルク(N-m), T_L : 負荷 トルク(N-m)

負荷トルク T_L は、摩擦トルクと張力に対応するトルクの和であり、一般には摩擦トルクは無視しうる値である。前項では、 $\frac{dw}{dt} = 0$ すなわち定常運転中という仮定のもとに $T_M = T_L$ とするための制御原理を述べた。加減速中は $\frac{dw}{dt} \neq 0$ であり、その加減速率に応じ、式(12)が、 $T_L = \text{一定}$ の条件のもとで成立するよう T_M を制御する必要がある。今、 $T_M - T_L = T_a$ とおき、式(12)を変形すると、

$$\frac{GD^2}{4q} \times \frac{d}{dt} \left(\frac{2\pi}{60} \times N \right) = T_a$$

$$T_a = \frac{GD^2}{375} \times \frac{dN}{dt} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

但し、 N : 回転数(rpm), GD^2 : はずみ重効果($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)

プロセスラインでは、操業性の面から直線加減速を行なうが、この場合、電動機の定格回転数を N 、加減速時間を t_0 秒とすれば、

となり、 t_a の間だけ $T_M = T_L + T_a$ としてやれば、 T_L は加減速中も一定となることがわかる。この T_a を補償することを慣性補償と

いう。

GD^2 はコイル径により変化するので、それについて考える。コイルのはずみ車効果を GD_C^2 、電動機と機械部分を合わせたはずみ車効果を GD_M^2 とすると、

$$GD_M^2 = \text{一定}$$

$$GD_C^2 \approx (D^4 - D_0^4)$$

但し、 D ：コイル外径、 D_0 ：コイル内径
となる。ここで電動機の式

$$T_M \times N = 974 \times P$$

T_M ：トルク(kg・m)、 P ：出力(kW)

を式(14)に代入して次式を得る。

$$\frac{T_a}{T_M} = \frac{GD^2 \times N^2}{7.32 \times 10^5 \times P} \times \frac{2}{t_a} \quad (15)$$

これが、その時の界磁すなわち回転数における電動機トルクと加減速トルクの比で慣性補償量となる。

式(15)に $GD^2 = GD_M^2 + GD_C^2$ 、 $N \propto 1/D$ を代入して整理すれば、

$$\frac{T_a}{T_M} = K_1 \times \frac{1}{D^2} + K_2 \times \left(D^2 - \frac{D_0^4}{D^2} \right) \quad (16)$$

但し、 K_1 、 K_2 は定数
となる。

式(16)より、コイル径 D がわかれば、慣性補償量が求められる。前に述べたように、式(11)から $\phi \propto D$ が成立するので逆起電力制御器によって操作される電動操作界磁調整器のノッチがコイル径 D に比例する。したがって、この電動操作界磁調整器で式(16)を実現している(図 10. 参照)。

最近では、コイル径 サーボと称して、

$$V \propto ND \quad (V: \text{ライン速度})$$

の関係を利用して、ライン速度とリール回転数を直接検出し、 D を求めて、それにより式(16)を実現する方法を探っている。

図 11. にアナログ式のコイル径 サーボを示す。図において、MRH のしづく(摺)動子の位置を x とすれば、MRH-DRIVER AMP の利得が十分高ければ、

$$N \times x = V$$

となり、 x はコイル径 D に比例する。しかし、 V が小さいとき、もしくは x が大きいときは誤差が増える欠点がある。これを除去するため、図 5. と同様なステイックレオスタットを用いる。

3.3.4 速度制限御

巻取機でストリップを巻取中にストリップが破断すると、式(12)において $T_L = 0$ となるため、電動機トルク T_M はすべて電動機自身を加速するのに使われ、その回転数は無限に大きくなってしまう、電動機や機械の破損につながる。このような事故を防ぐため、速度がある限

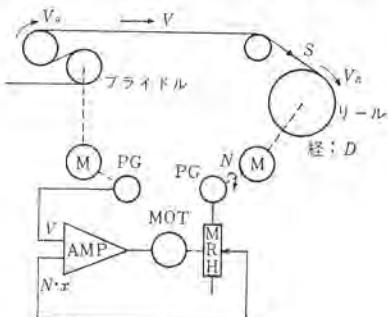


図 11. アナログ式コイル径 サーボ
Analogue coil-dia. servo

度以上上昇しないような速度制限御を設ける必要がある。これは、ライン速度とリール周速を比較して

リール周速 > ライン速度

とならぬように電流基準を減ずればよいが、このためにはリール周速を検出する必要が生じる。

前に述べたように、張力制御のもとでは $\phi \propto D$ であるから、リール周速 $N \cdot D$ は逆起電力 $N \cdot \phi$ に比例する。このことを利用して、逆起電力 ($V - IR$) とライン速度とを比較して、逆起電力がライン速度より大きくなったときに出力する速度制限御器を設けている(図 10. 参照)。この出力が出た時点で、逆起電力制御またはコイル径 サーボをロックしないと、界磁が弱まり、電動機のスピードアップに相乗して働くので注意を要する。

3.4 直接張力制御

3.3 節で張力制御について述べた。この方法では機械損を一定とした場合に限り制御が可能となる欠点がある。しかも、もし機械損が一定としても、電流と張力の関係は、とくに電流が小さい範囲については、比例とはならない。この欠点を除去するためには、機械損を補償すればよいが、機械損はふつう非線形となり、これを完全に補償することは不可能である。

張力の変動がとくに問題となる場合には、張力計などを設けて、ストリップの張力を直接検出して、張力を制御する。

一例として、図 11. のように巻取機とブライドルの間を制御する場合を考える。

フック(Hook)の法則により次式が成立する。

$$E = \frac{S/A}{\varepsilon/L} \quad (17)$$

ここで、

E ：弾性係数 (kg/mm²)

S ：張力 (kg)

A ：ストリップ断面積 (mm²)

ε ：ストリップの伸び (mm)

L ：巻取機とブライドルの距離 (mm)

ところが、ストリップの伸び ε は、ブライドルを通過するストリップ長さとリールで巻取っているストリップ長さの差であるから、

$$\varepsilon = \int (V_R - V_B) dt$$

であり、本式を式(17)に代入して

$$S = \frac{AE}{L} \int (V_R - V_B) dt \quad (18)$$

を得る。

したがって、直接張力制御のブロック図は、図 12. の通りとなる。

3.5 ループ制御

プロセスラインでは、ラインの途中にループを設けることが多い。ループは、その使用目的によって、ループ量やその制御方法が異なってくる。大きくわけてフリーループ(ストリップはカタリを形成する)とテンションループに区別されるが、主なものは次の通りである。

(1) フリーループ

(a) テンションカットループ

サイドリリムやスリッタの前後間に、他からの張力がかからないようフリーループが設けられる。このループはまた、ストリップを機械の中心に合わせるという重要な役目も果している。

この場合、ループは、ループ位置を一定に保つように制御する。

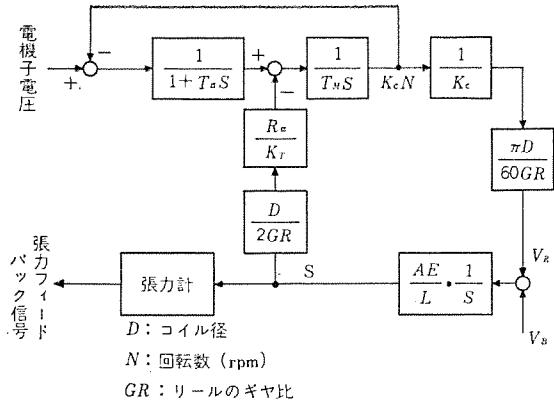


図 12. 直接張力制御ブロック図
Block diagram of direct tension control.

(b) 貯蔵ループ

プロセスラインでは作業を連続的にするために、つぎのコイル先端を前のストリップ尾端に溶接する。このため、切断・溶接などの作業があり、ラインを止める必要が生じる。したがって、適当なループをライン途中に設けて、供給側が止まっている間、このループに蓄えたストリップにより、後の主作業を連続可能とする。(最近では、フリーループのトラッキングの悪さから、ほとんど用いられず後述のテンションループに変わっている)。このループも、運転中はその位置を一定に保つよう制御する。

(c) 液タンク内ループ

ピックリングラインの酸タンク中にカーテナリを作るような場合のループで、カーテナリの深さは、タンクの寸法で可能な限り深くする方が生産能率が向上するが、底づりを防ぐ必要がある。したがって、カーテナリは、その深さを一定にするように制御する。

(2) テンションループ

これは、ループカーとかルーパとか呼ばれるもので、その目的は、(1)の(b)項に述べたことと全く同一である。図13.にループカーの機構の概念図を示す。

3.5.1 フリーループ制御

フリーループの制御には、空中のものには光電式、液中のものには電磁式のループコントローラが用いられるが、どちらもループの位置を電気信号に変換する装置である。フリーループの制御は、そのループの入側または出側のロールの速度を調整して行なわれる。したがって、ループの長さに対する深さの比が問題となる。カーテナリのスパンと深さとループ内ストリップ長さの間には一定の関係がある。深さのスパンに対する比が0.4以下の場合はループ長さの変化分に対するループ深さの変化分の比(ループの物理的に決まるゲイン)が大きくなり系の安定度を保てなくなるので注意を要する。

ループ制御としては、前に述べたように、ループがある位置で一定に保たれ、その変動は、ループコントローラの検出範囲で安定に動作しなければならない。そのため、ループの入側あるいは出側のロールの制御系(これは、ループ制御のマイナループとなる)と、ループコントローラの検出範囲を、ライン速度などから決定しなければならない。

3.5.2 テンションループの制御

図13.において、ループ内のストリップは、トラッキングその他の理由により、張力をかけることが要求される。このことから、従来ループカー(またはルーパ)ウインチドラムを駆動する電動機には定電流制御が施されている。ところが、カー自体とウインチは、ロープでつながれているのみで、カーがストリップにひっぱられる場合、すなわち電動機

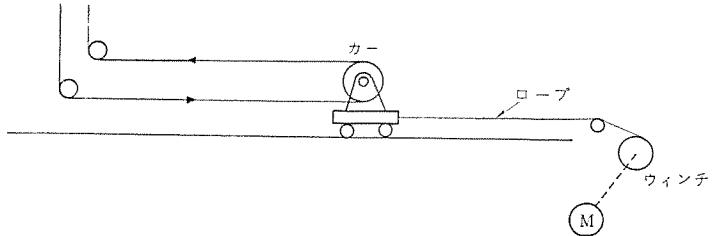


図 13. ループカー機構概念図
Conception of loop car mechanism.

が発電機運転となる場合は、ウインチドラム駆動電動機では、カーの移動に対する補償は不可能であり、また、負荷外乱に対し、電動機の速度に遅れを生じ、カーの移動時、張力変動があった。

当社は、この不都合状態を解決するため、種々検討を重ねており、特にループカーの張力変動が製品の歩どまりに影響するようなラインでは、次のような対策をして著しい効果を上げている。

(1) ループカー制御に新方式を採用

過渡的には速度制御、定常時には電流制御となるようなシステムを構成している。

(2) 入、出側の電動機にクッションスタート・ストップの採用

運転速度基準、寸法基準に遅れ要素をそなえて実現している。

なお、直接張力制御の適用についてもシミュレーションにより解析を行なっている。

3.6 ヘルパドライブ

プロセスラインのライン構成が複雑化、高速化するにともない、ヘルパが数多く用いられるようになり、その制御についてもますます重要性を帯びてきた。

ヘルパドライブとは、ラインのうち、ストリップの駆動に直接作用しない補助ロールを駆動する方式で、補助ロール部分のフリクションロスおよびストリップのベンディングロスを補償する目的で使用される。(一部テンションに作用するものもある)。

ヘルパドライブでの最大の問題点は、終局的にヘルパロールとストリップとの間で生じるスリップきずの発生である。このスリップは、負荷トルクが変動し、ストリップとロール間の摩擦係数では、この負荷変動によるトルク変動を持ちこたえることができなくなったりの場合に生ずる。

いま、電動機の基本方程式(3)において、速度変動を ΔN 、電圧 V 、磁束 ϕ 一定とすれば、

$$V = K_c \phi (N - \Delta N) + (I_a + \Delta I_a) R_a$$

変形し、式(3)を代入して次式を得る。

$$K_c \phi \Delta N = \Delta I_a R_a \quad \dots \dots \dots \quad (19)$$

ここで、定格値をそれぞれ V_0 , I_0 , N_0 とすれば、

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{I_0 R_a}{V_0 - I_0 R_a} \times \frac{\Delta I}{I_0} \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

式(20)の意味は、ヘルパ電動機の垂下特性により、速度変化に対して負荷変動が決まるということである。すなわち、ヘルパ電動機のレギュレーション(Droop)が小さいと、ストリップのわずかの速度変動で大きな負荷変動を生ずるので、ヘルパのDroopは大きいことが望ましい。しかし、むやみにDroopを大きくすることは、ラインのマスターとなるブライドルやピンチロールに負荷が移ることになり望ましくない。

また、高速ラインにおいては、ヘルパの負荷特性により、電圧基準をラインスピード基準に対して非直線性とするなどの特別の考慮が必要な場合がある。

一方、式(20)から考えると、ヘルパに速度制御を施し、速度変動をなくすことが浮んでくる。しかし、ヘルパは、先にも述べた通り、テンションをうけもつようにはできていないし、もしできている場合でも、そのような目的はもっていない。そのうえ容量的にも、そのような用途としては算出されていない。したがって、かえってスリップを増大させたり、過大な負荷を負う（これは式(18)より速度の誤差を時間的に常に0としないと張力は安定しないことから明らか）ことになって不都合である。

電動機の側から考えてみると、ヘルパ電動機は、小形全閉となる（開放防滴の場合でも低速運転を要求される）ので一般に、普通の電動機より Droop は小さくなる。また、同一定格のものでも、その特性のばらつきはさけられない。そのうえ、機械側のロールの特性もロールごとに異なる個性をもっている。

これに対しては、主回路に可変直列抵抗をそう入して、上記ばらつきを個々に調整可能とする。

以上のことから、ヘルパ電動機の制御方法としては、下記の通りとして、今まで多数を納入し、いずれも好調に運転されている。

(1) グループ分けを、ロールの GD^a、ロールの性質などにより行ない、加減速時のばらつきをおさえ、慣性補償を行なう。

(2) 電源は負荷調整付の電圧制御とし、IR 降下補償回路を付加して、垂下特性を任意に設定可能とする。

(3) 各電動機には、界磁温度補償を完全に行なうべく、各個にサイリスタ励磁電源を設ける。

(4) 各電動機の主回路に可変直列抵抗をそう入し、グループ内の電動機のばらつきを調整可能とする。

3.7 自動化

前にも述べたが、最近省力化ということが盛んに呼ばれ、ラインの自動運転も、今までのように、オフラインではなく、オンラインで制御することが必要不可欠となってきており、電機品に対しても、高信頼度と良好な精度が要求されるようになった。これに対し当社は、従来より、IC を用いたデジタル制御により、この問題の解決に対処すべく努力してきたが、マイクロコントローラの出現により、一段と要求に近づいたと自負している。

これら自動化の詳細については、別項「鉄鋼プラントの DDC」を御参照頂きたい。

以下に、自動化としての項目を列挙する。

- (1) 入側コイル幅、高さ調心
- (2) 入側自動減速停止
- (3) 入側ストリップ先・尾端処理
- (4) サイドガイドなどの自動幅設定
- (5) 溶接点追跡
- (6) 出側溶接点自動減速停止
- (7) 出側コイル長さ自動減速停止
- (8) 出側コイル重量自動減速停止
- (9) テンションリールコイル尾端定位停止
- (10) シングルシートクラシファイヤ
- (11) シヤーラインバイラ自動高さ制御
- (12) その他

これらの自動化項目は、それが使用されるラインの板厚、板幅、ラインスピード、ラインレイアウトを十分考慮し、そのラインに最適な自動化装置を提供すべく、数多くの経験を生かして、ソフトウェアを開発して、省力化に貢献している。

4. プロセスライン用電気機器の概要

プロセスラインでは、直流電動機をはじめ種々の電気機器を使用している。

ここでは、標準品が適用できる直流電動機、交流電動機、高低圧配電盤、直流制御盤とサイリスタレオナード、コントロールセンタなどのライン駆動用電機品、および溶接機、誘導加熱装置、低圧大電流整流電源などの処理用電機品、さらには計算機について、その概要を簡単に説明する。

4.1 直流電動機

プロセスライン駆動用電動機は、一般に高精度のせん速運転と広範囲の速度制御が要求され、これに適した電動機として優れた制御性を有する直流電動機を適用している。

このプロセスライン用直流電動機として、当社では JEM-1170 の規格に準拠して、NEMA 規格を参考に広範囲の標準仕様を作成し、一般工業用直流電動機 スーパーライン D(SD 形) 系列とスーパーライン M(SM 形) 系列を製作している。

4.1.1 基本仕様

(1) 適用規格

JEC 146・JEC 54 (一般事項)、JEM 1170 (定格・特性) に準拠する。

(2) 定格電圧

定格電圧としては、JEM 1170 表 1 に準拠しているが、サイリスタレオナード装置との関連で、440 V を標準定格電圧としている。

(3) 定格出力

プロセスラインにおける電動機の定格出力は、一般に処理される材料の必要とする張力とライン速度によって決定する。サイリスタレオナード方式では、従来の MG 方式のような過電圧使用ができないので、ラインの最高速度で定格出力を決定する。

直流電動機の定格出力の標準は JEM 1170 の規格によっている。

(4) 過負荷耐量

定格値は連続とし、過負荷耐量は定格電流の 150 % 電流で 1 分間を標準とするが、ラインの必要な加減速時間により、150 % 以上も製作している。

(5) 定格回転速度 (基底速度と界磁範囲)

プロセスラインでは、可変電圧制御方式による速度制御方式を探っており、界磁制御方式は巻太り制御などを除けば使用していない。したがって定格回転速度の範囲は、ロール径の摩擦範囲、トリマ等の刃替寸法範囲、負荷調整範囲および温度補償の範囲などが可能の範囲にする必要があり、当社ではその範囲は 1:1.5 を標準としている。

基底速度は JEM 1170 の規格の系列を用いているが、プロセスラインでは次の値を標準としている。

ロール駆動用： 基底速度は 850 rpm または 1,150 rpm とし、界磁範囲は 850/1,275 rpm または 1,150/1,725 rpm とする。

リール駆動用： 基底速度は 300・400・500 rpm とし、コイル径の比によって界磁範囲を決定する。

(6) 保護形式と通風方式

保護形式の選定は、使用場所のふん団気、使用条件、ラインの配置を考慮して行なうが、一般に電動送風機装置の他力通風形が多い。しかしふん団気の悪いラインではダクト通風方式 (アップドラフ方式) の防滴保護管通風形を採用している。

小容量のものは、ふん団気の良い場合は防滴保護自己通風形とし、

ふん団気の悪い場合は全閉形としている。

(7) 絶縁の種類と温度上昇限度

絶縁の種類はB種を標準としているがF種も製作している。温度上昇限度は連続定格負荷時における電機子巻線において温度計法にて、防滴保護自己通風形はB種60deg、防滴保護他力通風形はB種70deg、全閉自冷形および全閉外扇形はB種75degを標準としている。しかし周囲温度が40°C以上の場所で使用する場合は、その超過温度分を前記温度上昇限度より低減して適用する。

4.1.2 特殊仕様

トロセスライン用直流電動機は、ライン設定速度に対して運転中一定速度に保つ一般用のものと、特殊な使用法をするものがある。前者には標準仕様の直流電動機を適用するが、後者にはその使用法によって標準外仕様のものを適用しなければならない。

リール用電動機は広界磁範囲のため基底回転数は低くなり、 GD^2 は大きくなる。したがって加減速時間を特に短縮する必要がある場合は、過負荷耐量を標準値以上に大きく採るとともに、慣性を小さくするために電動機を2分割してカップリングで結合することもある。また制御上から張力範囲が非常に広い場合も同様に電動機を2分割してクラッチで結合する。

ループカーパー用電動機は運転中ほとんど静止状態で定格電流を連続して通電するため、整流子面と刷子間に局部加熱をおこして焼付現象および電解現象が発生するので刷子の電流密度を低くした電動機を使用する。

ヘルパ用、コンベア用などの小容量電動機では減速電動機として減速機付のものも使用するが、メッキラインのコンダクターロール用には立形特殊減速電動機を使用している。

電動機のふん団気条件の悪い場合は耐酸・耐アルカリ塗装を採用したり、また耐圧防爆形を使用する場合もある。

4.1.3 付属品

(1) 電磁ブレーキ

プロセスライン用にはSB形(ドラム形)直流電磁ブレーキが多いが、小容量機ではDD形およびLB形(円板形)直流電磁ブレーキを使用しており、いずれも安全ブレーキである。電磁ブレーキは電動機の反負荷側に装架することを標準としている。

電磁ブレーキの所要ブレーキトルクは

$$\text{所要ブレーキトルク (kg·m)} = \alpha \cdot \frac{974 \times \text{電動機定格出力 (kW)}}{\text{電動機基底速度 (rpm)}} \quad \dots (21)$$

α : 制動係数

によって求めるが、プロセスラインでは、ライン停止時の機械の停止保持が主目的であるから、表1の制動係数 α を標準として電磁ブレーキを決定している。

(2) その他の付属品

電動機の付属品の一般的なものとして、次のものがある。

ライン速度を検出して速度制御または速度基準として用いるFK形指速発電機、ライン速度または電動機の回転数表示用として用いるAD形回転計用発電機、ライン自動化用としてデジタル演算するため用いるMP形またはEW形パルス発信機、電動機の過速度運転防止のバックアップ用として用いる過速度検出器(OSD)などがある。

4.2 交流電動機

プロセスラインで使用される交流電動機は、油圧ポンプやファン等を駆動する全閉外扇カゴ形三相誘導電動機、通板用のピンチロール、サイドガイドなどせん速の必要のない機械部分を駆動する全閉(または全閉

表1. ブレーキ選定基準表
Ratio of brake torque to motor torque.

電動機用途	制動係数 α	備考
一般用	0.5	
リール用	0.3	GD^2 を小さくするために0.2~0.3とすることがある。
ループカーパー用	0.5	
ループカーパー前後のプライドル用	1.0	但し、電動機定格出力はループカーパー用電動機を適用のこと。

外扇)形カゴ形減速誘導電動機、コンベアなど停止精度を必要とする機械の駆動や、シャー、大形ファンなど負荷条件によりカゴ形を適用できない場合に使用する全閉外扇形巻線形三相誘導電動機、可変速を必要とする機械を駆動する渦電流カップリング付カゴ形誘導電動機に大別できる。

当然、その周囲条件によっては、安全増防爆、耐圧防爆、防水の各構造や耐化(耐酸、耐アルカリなど)塗装を適用する。

以下、各形式の標準シリーズと、各用途別の適用上の注意事項を簡単に説明する。

4.2.1 各形式の標準シリーズ

表2. に当社の標準誘導電動機の一覧を示す。プロセスラインに使用する交流電動機は、ほとんどこの中から選定する。絶縁は、高圧B種、低圧E種を標準とする。

なお、減速電動機と渦電流付電動機の容量呼称は、軸出力ではなく、電動機出力となるので注意を要する。

4.2.2 適用上の注意事項

(1) 油圧・潤滑油ポンプ類

普通は、全閉外扇カゴ形を適用するが、ふん団気条件によって、安増防爆構造としたり、耐化塗装の必要がある。技術的な検討を必要とする点はほとんどなく、全くの標準はん(汎)用モータを適用してさしつかえない。

(2) ファン類

通常のファンは(1)項と同様はん用モータでさしつかえないが、一般にファンは電動機出力のわりに負荷条件がきびしくなる場合が多く(インペラの GD^2 によって起動時間が長くなるほど)、負荷 GD^2 による起動時間のチェック、インペラの重量(直結の場合)またはベルト張力(ベルト駆動の場合)によるラジアル荷重のチェック、ファンの回転時の推力によるスラスト荷重のチェックなどを行なってモータのわく(枠)番を決定しなければならない。起動時間が長い場合は、カゴ形の適用は無理となる。

(3) 通板用ピンチロール、クレードルロール類

せん速の必要がないとはいうものの、普通のカゴ形を適用すると、他の、ストリップやコイルで結合された電動機との関係で、ストリップや過負荷の不都合状態になりやすくなる。したがってこれらの電動機には高抵抗カゴ形回転子(一般にハイスリップロータと呼ばれている)の適用が必要となる。

なお、特にひん度の高い用途や連続定格が必要な場合には、出力をてい減するか巻線形回転子を適用することにしなければならない。

一般にこれらは減速電動機となることが多く、当社は30分定格を推奨する。なお、安全を期すため、この用途(寸動ひん度の大きいもの)の電動機に対しては起動回数を(Sw/Hr)指定されるようお願いする。

表 2. 三相誘導電動機の標準系列
Standards of MELCO's induction motors.

No.	区別	形名	準規格	備考
1	全閉外扇カゴ形	SF-E FKT MKT	JIS C 4210 JEC 37 JEM 1180	小形 中形 大形
2	防滴保護カゴ形	SF-B FKB MKB	JIS C 4210 JEC 37 JEM 1180	小形 中形(特に御指定のある場合に限り適用する) 大形
3	全閉(全閉外扇)カゴ形減速電動機	GM-A GM-D	MOT は 1.2 同一 ギヤ部は規格なし	AGMA Class II 程度の強度を有する ギヤ比 1/30 以上は製作しない
4	全閉外扇巻線形	KF-E	JEM 1202	巻線形の御指定の場合はほとんど本形式(クレーン用)とする。ファンなどについては、この他の形式を適用する場合がある
5	渦電流繼手付き電動機	AS MOTOR	JIS C 4210 JEC 37 JEM 1180	電動機は全閉外扇、カップリシダは防滴保護形となる。容量呼称は電動機出力で行う
6	カゴ形安全増防爆構造	AF-E SF-EX	労働省安研指針 JIS C 0903 JIS C 0905	
7	カゴ形耐圧防爆構造	XF-E	労働省安研指針 JIS C 0903 JIS C 0905	

(4) サイドガイド、圧下類

単独に、機械を移動させる用途のもので、標準はん用モータあるいは、標準ギヤードモータを適用することが多いが、(3)項と同様の理由から、Sw/Hr の御指定をお願いしたい。

また、この用途のものは、自動位置制御(APC)を行なうものも多い。この場合は、その必要精度により、回転子形式(カゴ形、巻線形、直流電動機など)を決定しなければならない。

(5) コンペア、シャー類

コンペアについては、従来直流電動機が使用されることが多かった。これは、他の機械とのインターフェースのために停止精度を必要とするという理由からであったが、当社は、この用途としては、巻線形誘導電動機と渦電流ブレーキ(可変トルクブレーキ)の組合せで、直流定電圧制御(CP)のみの精度を出している。のことから、コンペア駆動にはすべて誘導電動機を適用し、その回転子形式は停止精度により決定する。

また、シャーなどのように、切断時エネルギー放出により速度が下がる必要のあるものは、停動トルクとそのトルクを出すときのすべりとの関係から、カゴ形の適用には注意を要する。(場合によっては、巻線形の適用が必要となる)。

(6) 可变速モータの必要な場合

可变速ファンやスクラップボーラ、スクラップチョッパなどは、ライン速度などと同期の必要がある場合が多い。しかし、直流電動機にするほどのせん速運転の必要もない。このような用途には、AS モータ(当社商品名、渦電流繼手付電動機)を推奨する。これは、標準のカゴ形電動機に渦電流繼手を付属させたもので、渦電流繼手の励磁電流を調整することによりすべり回転数を変化させて、出力軸回転数を変化させるものである。この繼手はトルク変換装置ではないので必然的にすべり回転数によるすべり損失が発生し、負荷のトルク特性によつては、損失が大きくなり継手を水冷とせねばならなくなる。このため、このモータを適用する場合は、負荷のトルク特性が必要となる。

また、このモータはその原理から減速トルクを出すことはできない

ので、減速度は負荷の摩擦トルクで決まるから適用に際しては注意を要する。

4.2.3 特殊電動機

以上、標準シリーズとその適用について簡単に述べた。これ以外の特殊用途の交流誘導電動機も製作している。これらの特殊電動機は使用することも多いのでその特長を簡単に説明するにとどめたい。

(1) トルクモータ

常に一定の力を必要とする用途で、その力のばらつきがある程度は許される場合は、直流電動機を定電流制御するよりはるかに経済的となるので AC トルクモータの適用を推奨する。トルクの調整は電圧で簡単に行なえる。

通常、トルクモータの容量は拘束時のトルク(kg·m)で呼ぶ。一般に 3 kg·m をこえると巻線形回転子となる。保護形式は拘束時の使用を原則としているので、防滴保護他力通風形(送風機装荷形)となることが多い。

(2) 極数変換モータ

一台のモータで何種類かの速度を必要とする用途に適用する。この多段速度モータはその目的や利点から、巻線の方法には單一巻線と二重、三重巻線の二つがあるがプロセスラインでは後者とすることが多い。極数比は 4:1、段数は 3 段以下が標準であるが、負荷条件で左右されることが多い。

極数変換モータの製作上最も問題となるのは、負荷がトルク一定か出力一定かということであるから、この区別は必ず御指示いただきたい。

4.3 変圧機

プロセスラインに用いられる変圧器は大別して、油入自冷形と乾式自冷形である。いずれも、溶接機や電解電源などの大電流を必要とする特殊変圧器を除いてほとんどのものに標準変圧器を適用している。(レオナードサイリスタ用も標準変圧器を適用して問題はない)。

表 3. に変圧器の標準系列、一覧表を示す。(いずれも 2,000 kV·A 以下を対象とする)。

仕様決定上は、標準変圧器については特に問題なく、電圧降下、短絡容量の問題や並行運転する場合のインピーダンスの検討だけを必要とする場合があるだけである。しかし、溶接機用などの特殊な用途のものについては、

(1) 容量および % ED

(2) 二次電圧の許容範囲

(3) 負荷の力率

などで熱的、インピーダンス的に十分な検討が必要となる。

当社では、インターフェース上のトラブルを防ぐためにも、溶接機用の変圧器は溶接機側で手配された方がベターと考える。

4.4 高圧配電盤

プロセスラインでは普通電圧は 11 kV 以下である。当社では、鉄鋼および非鉄プラントを対象に標準シリーズを完成している。それらは、JEM-1153-F 2 級以上の性能を有する屋内形のメタルクラッド(FN 形メタルクラッド)とコンビネーションスイッチ(FH 形キューピックル)である。なお、適用規格はつぎの通りである。

FN 形 メタルクラッド …… JEM 1153-F 2

FH 形 キューピックル …… JEM 1153-F 2 および

(三段積) …… JEM 1225-M-5 に準ずる

これらの配電盤の諸元を表 4. に示す。

また、特別の御要求がある場合には、この他A級からG級までの各種配電盤も製作可能である。

4.5 低圧配電盤

低圧配電盤は、各種設備の大形化に伴って低圧配電系統の信頼性の確保がさけられている今日ではその必要性は大きい。当社では、この要求を満足する低圧配電盤を標準として、プロセスラインに適用している。これにはしゃ断器としてACBを用いたFS形パワーセンタとNFBを用いたCNF-E形分電盤がある。

いずれも系統の短絡容量とき電線の容量からしゃ断器の形名を決定する必要があり、多種多様となるので諸元などは省略する。

表5. FS形パワーセンタとCNF-E形分電盤の比較を示す。

4.6 サイリスタレオナードと直流制御盤

前にも述べたように、当社は圧延機用と同様なシステムを採用し、サイリスタレオナードCFシリーズとして100%標準化している。標準系列を表6.に示す。

サイリスタと組合す直流可変電圧制御盤も、完全に標準化して、システムの複雑化に備えている。なお、中小容量のものはCF-Gシリーズとして、直流制御盤内にサイリスタユニットを組込みコンパクト構造となっている。また、制御回路は全面的にIC化して、性能を高めているとともに信頼性の向上もはかっている。そのうえ、当社独自の超高速電圧マイカループの採用により、圧延機と全く同等の性能を有している。

一方、保護の面では、二方向の制御を行なうサイリスタ装置に、循環電流なし逆並列結線を採用し、インバータ、コンバータのモードが混在せず、停電時の転流失敗のチャンスの少ない構成をとともに、限流リクトルを必要とせず、スペース的、経済的にも有利なシステムをとっている。万一、インバータ中に停電しても、直流しゃ断器(NF形サイリスタブレーカ、HSCBなど)のしゃ断特性とヒューズの溶断 I^2t 特性で協調をとっており、その他の故障も含めて故障時のヒューズ溶断や素子破損を防ぐよう考慮している。

直流電動機の整流性能の低下に対しては、経済性などを考慮して

表3. 変圧器の標準系列
Standards of MELCO's transformers.

No.	区別	範囲	温度上昇	形名	様式
1	油入自冷屋外形	A	55°C	SFI	200 kVA以下単相巻鉄心変圧器
				RA	50 kVA以下三相積鉄心変圧器
				RAT	75 kVA以上三相積鉄心変圧器
2	乾式自冷屋内形	H	120°C	AV	2,000 kVA以下通風形自冷式変圧器
				AV-B	500 kVA以上通風形風冷式変圧器
				AV-D	500 kVA以下密封形自冷配電用変圧器

表4. プロセスライン用高圧配電盤

形名	電圧kV	範囲階級	主回路開閉器					最大負荷容量			外形寸法		
			種別	形式	定格電圧kV	定格電流A	しゃ断容量	モータ	変圧器	コンデンサ	幅	高さ	奥行
FH	3.6	3号B	コンタクタヒューズ	SH形気中式CLS形	3.3 3.6	100, 200, 400 50, 100, 200, 400	25 MVA 250 MVA	1,500 kW	2,000 kVA	750 kVA	600	(33) 2,300	1,300
			コンタクタヒューズ	6NCH形気中式CLS形	6.6 7.2	100, 200 20, 50, 100, 200	25 MVA 500 MVA	1,500 kW	2,000 kVA	—	600	(33) 2,300	1,300
FN	3.6	6号A	磁気しゃ断器	3-DHE-16(P)形	3.6	600, 1,200	16 kA	MBBの電流容量の範囲内	1,000 kVA 2,000 kVA	—	700	2,300	1,700
			磁気しゃ断器	3-DHE-40(P)形	3.6	600, 1,200, 2,000	40 kA				700	2,300	1,700
	7.2	6号A	磁気しゃ断器	6-DHE-13(P)形	3.6	600, 1,200, 2,000	25 kA				700	2,300	1,700
			磁気しゃ断器	6-DHE-13(P)形	7.2	600, 1,200, 2,000	13 kA				700	2,300	1,700
	12	10号B	磁気しゃ断器	6-DHE-20(P)形	7.2	1,200, 2,000	20 kA				700	2,300	1,700
			磁気しゃ断器	6-DHE-40(P)形	7.2	1,200, 2,000	40 kA				900	2,300	2,000
	12	10号B	磁気しゃ断器	10-DHE-25(P)形	12	1,200, 2,000	25 kA				—	900	2,300

※ 共通母線のあるときは高さ2,550となる。(いずれも1面3き電収納可能)

ある条件(直流電動機の容量、回転数、過負荷耐量、サイリスタ素子の接続方式など)のもとでは、直流側に平滑リクトルをそう入し、その対策を行なっている。また、この平滑リクトルは、直流母線短絡、直流電動機のラッシュオーバなどの事故時に、その故障電流の立ち上がりを抑制する役目をも果している。

4.7 コントロールセンタ

当社は、わが国で初めてコントロールセンタを実用化し、現在まで国内最大のシエアを保有している。この間、コントロールセンタ充電の命題とも言える負荷の連続性を徹底的に追究し、国際性も兼ね備えた三菱E形コントロールセンタを完成した。とくに、用途別に標準化体系をつくり、制御が中央からの指令で行なわれるいわゆる相互インターフェースよりも中央との情報授受が中心となる鉄鋼用コントロールセンタとして、標準化している。

鉄鋼用コントロールセンタとしての特長は次の通りである。

(1) ユニットは極力標準化し、シケンスをコード化する。

(2) ユニット内結線はブロック配線方式とし、ユニットをできる限り互換可能とする。

(3) JEM 1195タイプB配線と縦用配線Cダクトの採用により、負荷の連続性を保有する。

(4) CLN形限流装置を引込ユニットに組込むことにより、単器容量2,000 kVAクラスまでは二次しゃ断器を省略できる。

(5) 漏電しゃ断器の適用が容易な構造とする。

なお、今般電気設備技術基準が改定され、低圧電路にも地絡検出保護を行なうことが義務づけられた。これに関する解釈は種々可能であるが、当社では、特に御指定のない限り、変圧器の二次盤にて地絡検出および選択しゃ断を行ない、各モータのスタータは屋外設置のもの以外には漏電しゃ断器をとりつけない方針である。

表5. 低圧配電盤比較
Comparison of low tension switchgears.

項目	FS形パワーセンタ	CNF-E形分電盤
しゃ断器最大定格電圧(V)	600	460
しゃ断器最大定格電流(A)	3,000	1,200 (1,200 Aをこえるものはコントロールセンタ形で製作可能)
主回路連結方式	プラグ式自動連結	225 A以下は自動連結 225 Aをこえるものは固定
制御回路連結方式	プラグ式自動連結	ファストン端子
盤外ケーブル接続方式	(JEMタイプC)	JEM 1195タイプB
ユニット引出方法	運転・試験一切の3位置	—
フロアスペース	大	小
価格	高	安

High tension switchgear for process lines.

表 6. CF シリーズ サイリスタ レオナード Model CF thyristor leonard.

(1) 定格電流	定格電圧	受電方式	交流しゃ断器 52	直流しゃ断器 72	サイリスタ整 形名	直流制御盤の要否	備考(エカルト例)
40~200A	DC 230V, 460V	低圧 3φ 50/60Hz AC 230V, 460V (共通トランシス方式 とする)	NFB + コンタクタ NFB (電動操作式)	サイリスタ ブレーカ	CF-GA	(3) DCM保護回路 FLD回路 BRAKE回路 等をサイリスタ盤内 に含み、直流制御盤 は不要 (一体構造の盤を VT形と称す 但しGDを除く)	
201~360A					CF-GB		
361~540A					CF-GC		
541~660A					CF-GD1		
(2) 661~720A					CF-GD2		
721~1780A	DC 230V, 460V, 620V, 770V	高圧 3φ 50/60Hz AC 3000/3300V 6000/6600V	高圧コンタクタ または 高圧しゃ断器 (OCB)	ACB または HSCB	CF-D	VV形 直流制御盤 を要す	
1781A以上	DC 230V, 460V, 620V, 770V	高圧または特高 3φ 50/60Hz AC 3000/3300V 6000/6600V 10000/11000V	高圧コンタクタ または 高圧しゃ断器 (MBB) (OCB) (ACB)	ACB または HSCB	CF-E		

注: (1)過負荷耐量150%1分の場合を示す

(2)過負荷耐量250%1分まで適用可能

(3)直流電動機複数台並列または3台以上直列および特殊仕様(例:主回路切換方式による上巻、下巻を必要とする場合、
主コンタクタを必要とする場合等)のものは直流制御盤を必要とする場合がある

4.8 溶接機

プロセスラインにとって、連続作業を行なうためには溶接は必要不可欠となる。したがって、ライン全体システムを完成するためには溶接機を除いては考えられない。このため、当社では各種溶接機を作製して、ライン駆動用電機品との協調をはかっている。これら溶接機も、使用されるラインに合致するよう、ストリップの鋼種、板厚などにより、その種類を決定しなければならない。

当社は、シームウェルダからフラッシュバットウェルダに至るまで各種溶接機を作製しているが、近年溶接技術の進歩と共にエネルギー密度の高い熱源を実用化し、溶接時間の短縮をはかる研究を進めた結果、ステンレス鋼の高速溶接機としてプラズマアーク溶接機を製品化し、順調に稼動している。

また、これら各機種とも、総合メーカーの利点を生かし、他社に先がけて静止器化を完成し、整流器はサイリスタに、シーケンスは半導体論理素子にしている。

4.9 誘導加熱装置

プロセスラインにおいて、加熱という作業は、焼鉈、メッキ設備では必ず生じてくる。今まででは、特殊なものを除いて、経済性からガスなどが用いられてきた。ところが、最近は電気による加熱は無公害であることから、盛んに採用されるようになった。当社は、誘導加熱装置として、ストリップヒータ(焼鉈ラインなどで使用)、インダクションリフロー(電気すずメッキライン用)、セラミックボット(溶融亜鉛メッキライン 亜鉛溶融ボット用)を始め、各種の装置を製作しているが、いずれも

- (1) 精密な電力もしくは温度制御ができる。
- (2) 自動化が容易である。
- (3) コンパクト構造となる。
- (4) 加熱対象物と電源の電気的絶縁ができる。
- (5) 加熱時間が短縮できる。

などの特長を十分発揮して順調に運転されている。

ここでは、インダクションリフローとセラミックボットに例をとって、誘導加熱を簡単に説明する。

4.9.1 インダクションリフロー

電気すずメッキラインでは、ストリップにすずメッキを施した後、そのストリップを加熱することにより、付着しているすずを溶かし、適度な合金層の形成と、表面を光沢のある電気ブリキに仕上げる必要がある。この種用途には、一般にコンダクターロールを用いた抵抗加熱を行なっていたのであるが、ラインの高速化に伴って、非接触加熱急速加熱、リフロー・ポイントの制御などが要求されて誘導加熱が必要となる。

誘導加熱装置は、原理的にはすべて渦電流損を利用するもので、加熱の目的、被加熱物の形状、寸法、材質により、出力周波数と出力容量を決定する。インダクションリフローには、ラジオ周波数を使用するので真空管式発振装置を採用している。また、用途から、ライン速度の変化に対応して出力を高精度で、応答の速い制御装置が必要となるので、高圧のサイリスタ制御装置により、発振器のブレード電圧を制御している。

図 14. IC インダクションリフローの系統図を示す。

4.9.2 セラミックボット(低周波誘導炉)

溶融亜鉛メッキラインの亜鉛溶融用のボットに、従来、鉄ボットを抵抗加熱をしたものを使用していたが、ドロスの発生、効率の悪さなどの欠点があった。

このため、ボットを磁器製として、亜鉛を誘導加熱する方法としてセラミックボットを採用する。

一般に周波数は商用周波を用い、一次コイルの入力をサイリスタで制御している。インダクタ自身は単相負荷であるために、設備としては、三相平衡装置を設けるかインダクタを三相の各相間に接続して、三相電力がバランスするようにする。さらに各インダクタには並列に

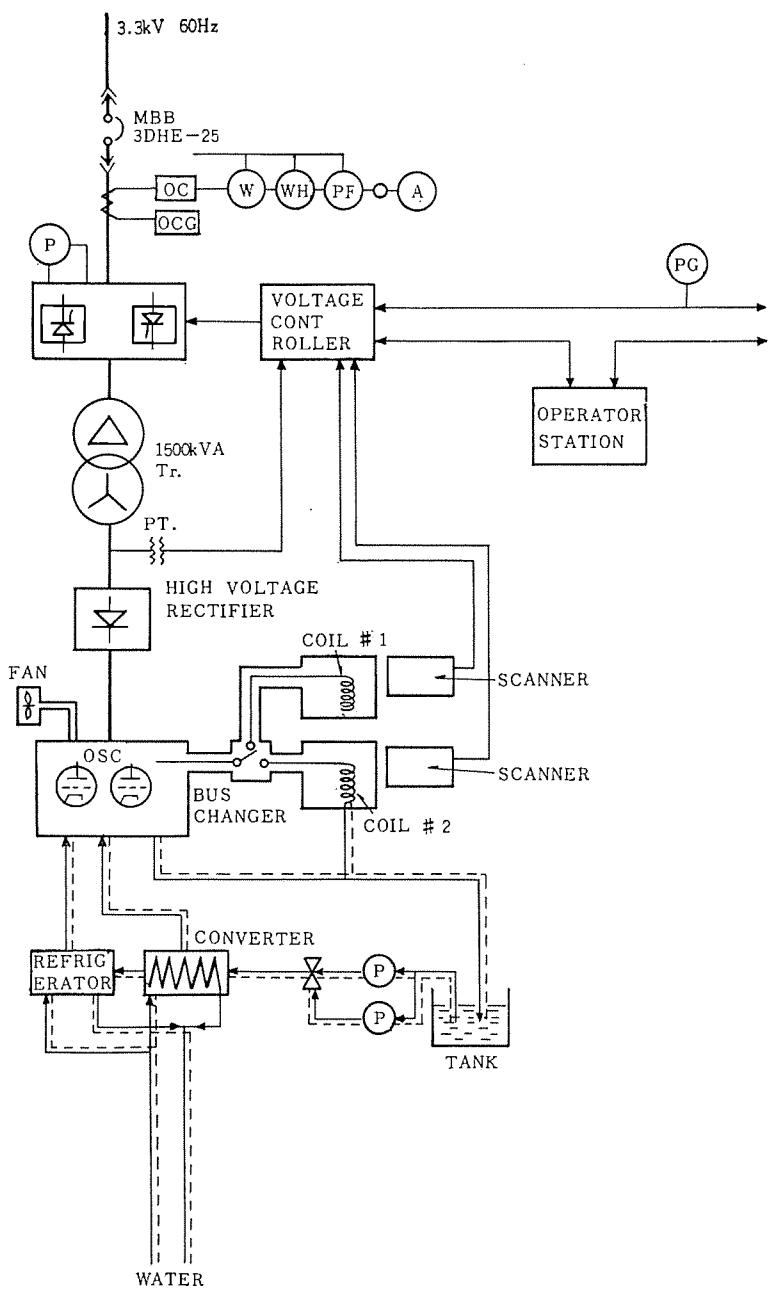


図 14. インダクションリフロー系統図
Schematic diagram of induction riflow.

コンデンサを入れて、力率改善も行なっている。

図 15. に系統図を示す。

4. 10 低圧大電流整流装置

プロセスラインでは、電解、メッキなどに低圧大電流の直流電源を多く使用するが、これには従来のように可飽和リアクトルにより交流電圧を制御するシリコン整流器、サイリスタ整流器が用いられるが最近は後者が多い。

当社はこれら電解、メッキ用のサイリスタ整流器をシリーズ化している。その特長は

(1) 回路方式と定格

定格は A_0 種 (100 % 連続) とし保護は短絡保護のみとして回路を簡略化する。回路方式は交流制御と直流制御の 2 方式とし、直流制御は両方向も可能である。

入力は、交流制御は 400V 級、直流制御は 3kV または 6kV 級を標準とし、高圧受電のものは別に二重星形相間リアクトル付変圧器

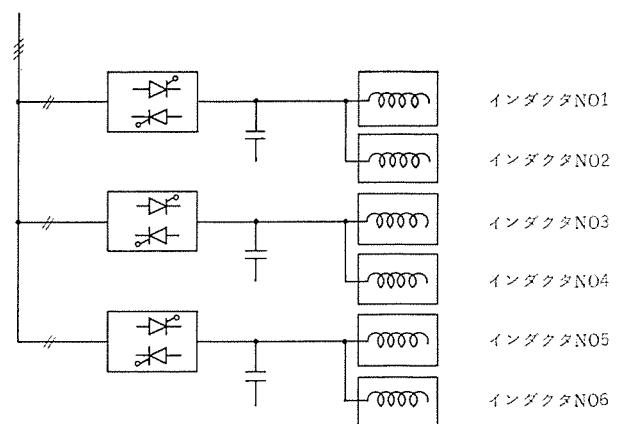


図 15. 低周波誘導炉系統図
Schematic diagram of induction furnace system.

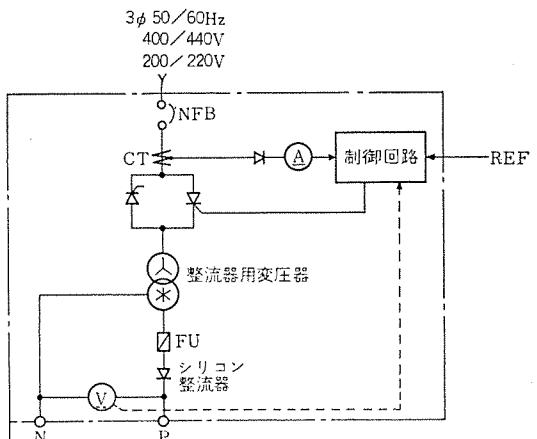


図 16. AC 制御単線結線図
Single line diagram of AC control rectifier.

を設ける。

(2) 冷却

水冷を標準とするが小容量のものは自冷も用意している。

(3) 電流定格

各種 16 kA まである。

図 16., 17. に交流制御と直流制御の一例の系統図を示す。

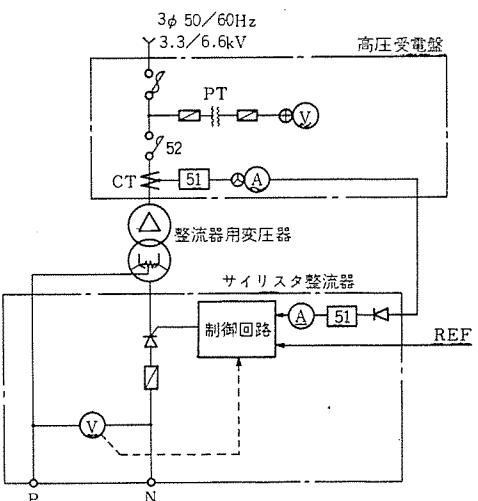


図 17. DC 制御単線結線図
Single line diagram of DC control rectifier.

4.11 計算機

プロセスラインにおける計算機の役割としては次のものがある。

- (1) 溶接部などのトラッキング
- (2) ライン運転のスケジュール化
- (3) 各種データの収集
- (4) 品質管理と記録
- (5) プロセスコントロール(圧力、温度、濃度など)
- (6) 在庫管理

当社としては MELCOM 350-7 の小形計算機システムを完成して、計算機導入の態勢は確立している。メッキライン用としてすでに実績もある。また、さらに大型の計算機 MELCOM 350-30 F を上位計算機として使用すれば、工場全体の計算機システムも可能である。

5. 将来への展望

鉄鋼の生産過程において、プロセスラインの占める地位は、ここ数年の間に飛躍的に上昇し、その設備が大型化、高速化されるにしたがい、プロセスライン電機品のシステム構成は高度化、複雑化の一途をたどっている。そのうえ、省力化がさけばれ、オペレータと保守員の削減は、絶対条件とさえなってきている。

当社のこの問題に対するアプローチは、すでに述べてきたが、システムを高度化すれば、電機品の構成は複雑になり、故障率は増大の傾向をとどり、従来問題とされなかつた点が改めて問題点としてクローズアップされることが十分考えられる。当社はこの点についても絶えず研究を続けているが、近い将来、実現せねばならぬこととしては、次のものを考えている。

(1) 溶接機や電熱応用加熱装置などを含めたライン全体の電気制御システムの確立。

(2) 外線ケーブルの減少できる機器の開発とそのシステム。

この他にも、問題が山積しているのではあるが、紙面の都合により、別の機会にゆることとし、ここでは、上述の2点について、当社の考え方を述べることとする。

5.1 ライン全体の制御システム

従来、溶接機や加熱装置の分野は、機械メーカーの範囲であつたり、電気を用いていなかつたり(主に経済的理由による)していたがために、他の電機品にくらべて、その進歩が遅れていることは否めなかつた。ところが最近は、公害防止の観点から、電気による加熱装置(誘導加熱装置や抵抗加熱装置など)の導入が盛んに行なわれてきている。したがつて、ライン全体のシステムを考える際にこれら溶

接機や電気加熱装置などの電熱応用機器も含めないと、効率のよい省力化システムを構成することが不可能となってきた。

当社は、これらのすべての電機品を製作している総合メーカーとしての利点を最大限に發揮し、計算機をも含めたライン全体の電気制御システムの確立に日夜努力を続けている。

5.2 外線ケーブルの減少

プロセスラインは、その設備の性質から、設備全体が細長いレイアウトとなり、一方その電機品は、ストリップで結合された種々の機械を制御するため、各個の機器相互の関連性が非常に大きいので、電機品はできる限り集中化して設置する傾向が強い。

このため、外線ケーブルのこう(亘)長は非常に長くなつて、システムの高度化による心数の増加と相まって、配線工事費の全投資額に占める割合はどんどん高くなってきた。

当社は、電機品を「電源機器」、「駆動用制御機器」、「主幹制御機器」、「操作機器」、「検出機器」に大別し、電源および主幹制御部分以外は電気室外に設置してケーブルの減少をはかる考えを進めている。その具体的方策は次の通りである。

(1) 駆動用制御部分(直流電動機用のサイリスタと制御盤およびコントロールセンタ)はその制御対象の近辺に設置する。このため、直流制御盤に熱交換器を用いたユニットクール方式の採用。

(2) 操作部分と主幹制御部分の間の外線ケーブルを多重に使用する伝送システムの適用。

(3) 電機品が分散設置となるので、(2)項と同様のシステムを用いた集中故障監視システムの適用。

今後、人件費の高騰が続く限り、上記システムが配線工事の減少とのコストの競争に勝つことはそう遠くはないと言える。

6. むすび

以上プロセスラインの電機品システムの構成、制御の概要、使用電機品の概要について述べた。プロセスラインは、その地位がどんどん上昇の途上にあり、今後も大型化、高速化が進められ、さらには、完全自動のラインの出現も近い将来必ずなされるであろう。

当社は、溶接・加熱・駆動・計算機と、ラインの心臓となるすべての電機品を製作している総合電機メーカーとしての使命を十分認識して、この命題に前向きに取組み、ユーザ各位のご期待にそいたいと念願している次第である。

おわりに、種々御指導を賜わった客先関係者に深く感謝するものである。

鉄鋼プラントの DDC システム

山下 弘雄*・山本 修*
川崎 宗男**

DDC System for Iron and Steel Plants

Kobe Works Hiroo Yamashita・Osamu Yamamoto
Head Office Muneo Kawasaki

It is a conspicuous recent trend to enlarge the iron and steel plants, to speed up the lines and to produce high quality products. In line with it, the control of the installations is becoming higher speed, higher accuracy and more complicated. Mitsubishi has long experience in the manufacture of electric machines for the iron and steel mills, and by the technical skill based on it, the Company has delivered many sets of automatic control equipment which suits best for the operation of the newest powerful plants. Herein is described particularly the position occupied by DDC (Direct Digital Control) system and examples of its application contributing to the automatic controls.

1. まえがき

近年、鉄鋼 プラントの大形化、ラインの高速化、製品品質の高級化は著しく、これに伴い設備の制御は、高速・高精度・複雑高級なものになっている。

三菱電機は、鉄鋼 プラント 電機品の製作には、永年の経験と実績を有し、これらにもとづいた技術力によって最新鋭鉄鋼 プラントの運転に適した自動制御装置を多数納入している。ここでは、特に DDC (Direct Digital Control) システムの占める位置を論じ、いかにそのシステムが自動制御装置として寄与しているかを適用例を挙げて述べる。

2. D.D.C システム

計算機制御の目的が多種・多様にわたるにもかかわらず、当初システムの一元化を計るために、一つの万能なデジタル計算機で処理することが計画されたが、ハードウェアから考えたシステムの信頼度、および広範囲に及ぶ末端機能までをも収納せざるを得ない事実などから、制御システム全体を制御対象の大きさ・目的などにより、いくつかのレベルに分割し、それぞれに計算機を導入しようとするハイエラキーシステム (Hierarchy Control System) がとられるようになった。

そして、最近では、プロセスに対し最もマイカループであり、従来アナログ技術が使用されていた分野に対し、デジタル技術を適用しようとする Direct Digital Control の適用が盛んである。

DDC とは、本来デジタル計算機のはん(汎)用性・高速性を利用し、適用範囲をアナログ制御器、PID の領域までに拡張するというものである。

当社は、1969 年に、計算機による DDC 位置制御、12 ループを納入して以来、各分野に適用を拡張してきた。

現在この DDC 用として開発または、使用されている計算機は、MELCOM-350-5 F, MELMIC-100, および MELCOM-350-7 である。

さて、図 1. に位置制御を DDC で行なった場合とワイヤードロジックで行なった場合の比較を示しているが、あるループ数をこえれば、DDC の方がはるかに経済的であり、さらにこれにシーケンス制御を

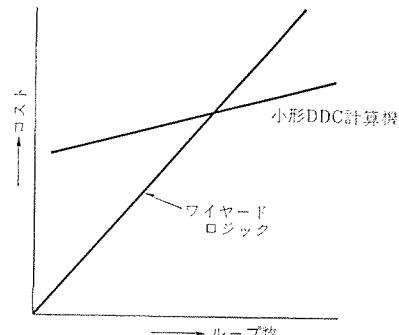


図 1. ワイヤードロジック方式と計算機による位置制御装置のコスト比較
Comparison of cost of hard-wired logic with cost of digital computer.

付加するような場合は DDC の経済性が大きくクローズアップされるのである。ワイヤードロジックをソフトウェア化することによって得られる利点には、次のようなものがある。

(1) 過去一品料理的に作ってきた自動運転装置を、コンピュータ化することによって製品が単一化される。

(2) 計算機制御の一般化に伴い、ローカルなコントロールも、小形計算機の方が、情報の取扱いが容易である。しかもデータリンクを行なうことによって配線ケーブルが少なくなる。

(3) 部品の多重使用による経済性、装置床面積の減少、配線工事の節減。

(4) 将来の運転方法の変化に対して、容易に追加・修正が可能である。

(5) 共通プログラムの利用による調整時間の短縮。

DDC システムを含んだ、ハイエラキーシステムを参考までに図 2. および図 3. に示す。

3. DDC 装置と機能

鉄鋼 プラントのように大形で高速な プラントの DDC を実行する制御装置はいさまでなく、高速・高信頼度・高性能・保守性の良さが要求される。当社では鉄鋼 プラントの DDC には多くの実績を有しており DDC 装置の高性能を証明している。DDC システムに適用さ

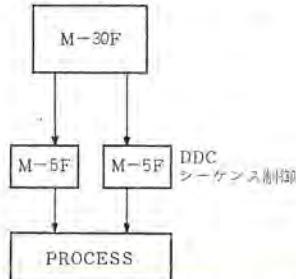


図 2. 親子コンピュータによるプラントの制御
Satellite computer control system.

表 1. M-5 F CPU 仕様一覧
Specification of M-5 F CPU.

分類	項目	仕様
記憶装置	素子 語長 容量 (1 k=1,024)	ブレードドライヤ (構成) 16 ビット+1 パリティビット 4 k 語, 8 k 語 (グループ 1) 8 k 語, 16 k 語 (グループ 2) 8 k 語, 16 k 語, 24 k 語, 32 k 語 (グループ 3) 同一グループ内でのみ拡張可能 500 ns (モード: READ/RE-STORER, CLEAR/WRITE)
	不正アドレスチェック メモリ保護	あり プログラムコントロール (スイッチにより上限 ページ指定) 電源異常時保護
演算制御	回路素子 クロック周波数 演算方式 命令数 命令形式 アドレス方式	TTL-IC 8 MHz 2 進並列, 負数は 2 の補数演算 基本命令 32 1 語 1 命令, 単一アドレス 直接アドレス 相対アドレス 間接アドレス 相対間接アドレス インデックス修飾 加減算 演算速度 全けた送り 間接アドレス
	インデックスレジスタ 16 個 (メモリ内部) 2 μs 4 μs 500 ns	
優先割り込み	レベル 点数 種数 内部割り込み 外部割り込み	71 レベル 71 点, 付加ユニット追加で最大 239 点 Inhibitible/Non-inhibitible 23 レベル 23 点 48 レベル 48 点 付加ユニット追加で最大 48 レベル 216 点
ファイルセイフ (エラー) 処理	ハードウェア プログラム システム	パリティチェック メモリ保護 不正命令コードチェック 不正アドレスチェック ウォッチャドッグタイマー 電源異常 温度異常
ワンプッシュスタート	有 (標準)	
実時間時計	1/60 s, 1/50 s	
入出力制御	入出力モード 入出力チャネル マルチブレクサチャネル	プログラム制御モード ダイレクト・メモリアクセスモード 標準入出力チャネル プログラム制御モード マルチブレクサチャネル (オプション) ダイレクト・メモリ・アクセスモード 最大 8 チャネル, ワード幅転送 200 k 語/秒
オプション機能	乗除算機構 (ハードウェア) オートリストート 隔離パネル制御・表示 マルチブレクサチャネル	
設置条件	温度範囲 相対湿度 電源 消費電力 大きさ (16 kW 以下) 重量 (16 kW 以下)	10~40°C 35~85% AC 100 V ±10%, 50/60 Hz 1 kVA 以下 800×800×1,230 (幅×奥行×高さ) 170 kg
システムタイプ	機能 動作速度 使用コード	印字, 紙テープパンチリード, キーボード 19.4 字/秒 ISO コード

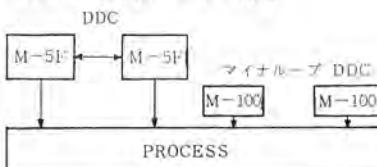


図 3. 並列コンピュータによるプラント制御
Parallel computer control system.

れる計算機システムのうち、下記の 2 機種の概略機能を述べる。

3.1 制御用小形計算機 MELCOM-350-5 F

MELCOM-350-5 F (以下 M-5 F) は、一般にはん用小形計算機が制御用計算機として使用される現状において、DDC を専用的に実行する目的で開発された制御用小形計算機システムである。

表 1. に M-5 F システムの主仕様を示す。M-5 F は表 1. に示すごとく主メモリとしてワイドメモリの採用による中央演算機能の高速化、充実した割込機能、ワンプッシュスタートの採用、完備されたフェールセーフ機能等を有したすぐれた制御用計算機システムを実現している。

3.2 マイクロコントローラ MELMIC

MELMIC は計算機のもつ「はん用性」と従来のワイヤドロジックのもつ「専用性」という長所をかねそなえ、さらに「演算」能力を持った DDC 装置として開発された。表 2. に MELMIC の主仕様を示す。MELMIC の一つの特長として使用するメモリとその容量が挙げられる。メモリ容量は最大 1 k 語であるため小規模システムへの経済的適用が可能であり、また、メモリ素子として IC-ROM (Read Only Memory) を基本として使用しているため、制御方式がかかるまでは IC-RAM (Random Access Memory) を使用することによりシステムの専用性と融通性を持たせている。

この他、当社では大形制御用計算機 MELCOM-350-30 F および中形制御用計算機 MELCOM-350-7 などの計算機システムを有し、上記 M-5 F, MELMIC によってハイアラキーシステムを実現している。

3.3 適用範囲

計算機制御システムは図 2., 3. に示すごとくいくつかのシステム構

表 2. MELMIC の構成と仕様
Specifications of MELMIC.

演算制御ユニット	語長: 1 語=16 ビット 制御メモリ: 256 語 (最大 1 k 語まで拡張可能) スクランチバッドメモリ: 224 語内蔵可能 インターフェース用バッファレジスタ 29 語接続可能 (外部) アクチュレータ: 2 語 ステイタスレジスタ: 1 語 命令: 基本 27 種、間接命令機能付加可能 命令実行時間: 4 μs/1 命令 タイマ内蔵可能 割込み: 1 レベル 6 原因内蔵 (外部に増設可能)
入出力ユニット	入力: 32 点、リレー接点 出力: 16 点、リレー接点
ディジタルスキャナ	32 点単位で最大 8192 点 接点または、論理レベルインターフェース
データメモリ	256 語単位で最大 8192 語 読み出し専用メモリまたはリードライトメモリ
インターフェースレジスタ	1 語単位で最大 29 語 論理レベルインターフェース
紙テープリーダ	読み取り速度 1,000 字/分
紙テープパンチ	きん孔速度 1,000 字/分
ディジタルプリンタ	1 行当り 8 けた、12 けた、または 20 けた 印字速度 最大 3 行/秒
出力タイプライタ	印字種類 16, 32, 46, 92 印字速度 最大 10 字/秒
R OM 書込み装置	読み出し専用メモリへのプログラム書込み
R AM 書込み装置	リードライトメモリへのプログラム書込み、またはシステムメインテンナンス用

成があるが、DDC の適用にはおのずから適用範囲の制限が生じ、システムとして最も効果が期待できる方式および計算機をプラントに応じて採用する。計算機の選択に際し考慮する要因は

- (a) 制御方案
- (b) 制御範囲
- (c) 制御機能
- (d) システム構成
- (e) 経済性

などが挙げられ、それぞれ下記のような特長ある DDC システムが実現されている。

- (1) M-5F による DDC システム
 - (a) 広範囲の制御をカバーできる DDC
 - (b) 機能を十分に生じた高度な制御を有する DDC
 - (c) モループ機能の集中 DDC
 - (d) 上位計算機との高速データリンクを有する DDC
- (2) MELMIC による DDC システム
 - (a) 制御範囲の比較的せまい DDC
 - (b) 単機能の DDC
 - (c) 速応性を要する制御の DDC
 - (d) 制御範囲ごとに Localize された DDC

4. DDC システムの適用

前述した DDC システムの考え方、および DDC を実行する制御装置に基づいた適用例について主な機能を述べる。

4.1 自動位置制御システムの DDC

計算機による DDC システムの適用が最も多く実行されている制御システムの一つが自動位置制御 (Automatic Position Control) であり、各種の制御対象へそれぞれの特長を生かした制御方式が採用されている。

4.1.1 自動位置制御システム (APC)

図 4. は、APC システムの概略ブロック図である。DDC を実行する計算機としては、M-5F や MELMIC を主として採用しており、制御規模・制御機能によって適用が決められる。制御方式は、制御対象によって異なるが、圧下ロール、サイドガイド、加熱炉ブッシー、エキストラクタのように高精度を要求される位置決めの駆動系には可変電圧制御方式 (V・V 方式) が採用され、偏差に応じた減速制御が連続的に出力される。減速出力と位置偏差の関係 (Slow Down Profile) は、あらかじめモータデータおよび機械系 GD^2 や制御系の応答を考慮して決定されるが、制御用計算機による APC システムでは自動的に減速特性をオフラインで計測算出できるプログラムが用意されている。

APC システムにおいて重要なことは、いうまでもなく、制御精度

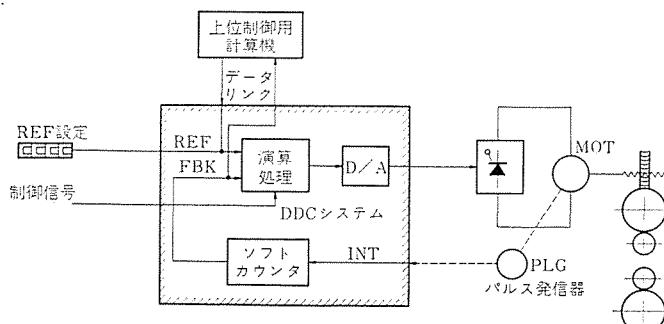


図 4. 自動位置制御システム
Automatic position control system.

と制御時間の向上である。特に可逆圧延機における圧下ロールおよびサイドガイド類の制御は高速・高精度が要求されている。

これらの解決には、

- (a) Slow Down Profile の最適化
- (b) 位置制御完了の予測制御
- (c) 制御プログラムの実行時間の短縮化

をはかっている。この場合、駆動系の応答特性の改善も同時に実行されている。一方、精度がそれほど厳しくない位置制御に対しては、駆動系として定電圧制御方式や AC モータ方式を採用し、Slow Down Profile を用いずノッチ方式による減速・停止制御が実行されている。

MELMIC-APC では、ベーシックプログラムを必要としないため、制御プログラム実行時間が各位置制御実行処理時間となっているので、速応性のある APC システムを実現している。

4.1.2 位置制御の応用

位置制御は、各方面に応用されるが、ここに搬送ラインでの応用についてその 2 例をあげる。図 5. (a) は、トランスマリンの鋼材の移送で、目標材料を精度よく受けとるための位置制御の応用であり、図 5. (b) は、コンペアラインのコイルの位置センタリングで、いずれもシャフトエンコーダを使用して、フローティングに位置を記憶し、材料幅を測定して、定位位置に停止させる制御装置である。

この他、プロセスラインでは、シャー、ウェルダ位置における、ストリップ先端、後端の位置制御が実行されている。

4.2 自動板厚制御 (AGC) システム

圧延プラントにおける製品の品質向上はめざましく、とくに板厚の

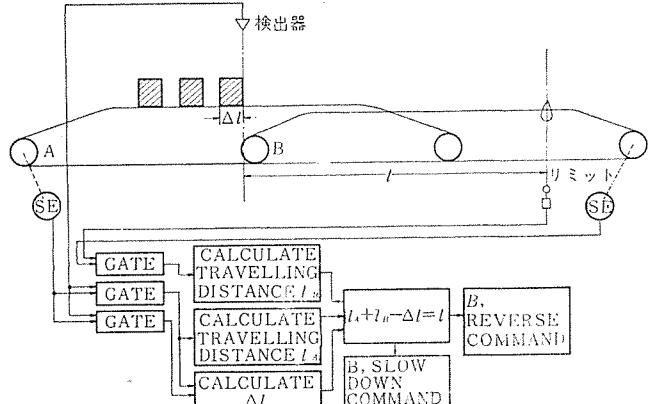


図 5. (a) 搬送位置制御システム
Diagram of transportation system.

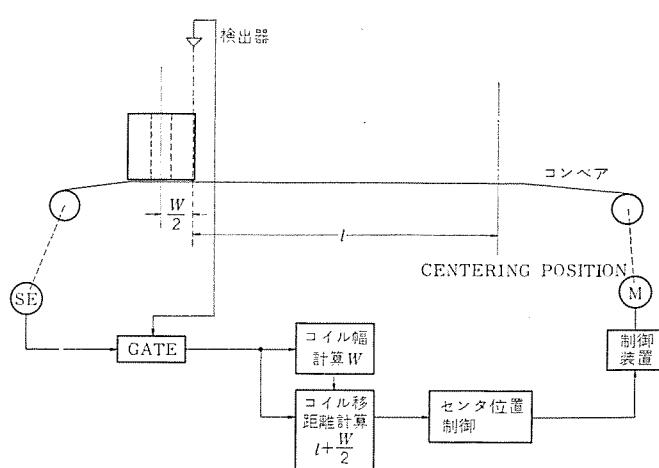


図 5. (b) コイル搬送位置停止制御システム
Diagram of coil transportation control.

仕上り精度は、高い精度を要求される。AGC システムは、従来アナログ方式で実施されていたが、最新の圧延設備では、それぞれの設備に適した計算機による DDC-AGC が実行されており、それぞれ圧延プラントに応じて、システム構成および最適の計算機が選択され、高精度・高信頼性を有する AGC システムが実現されている。

4. 2. 1 ホットストリップミル AGC

本 DDC には、M-5 F 計算機を使用している。その機能は、基本的な 2 手段により、板厚を一定に保とうとしている。

(1) 圧延力の変化から出側ゲージの変動を知り、スクリュウ位置を制御する。(ロールフォース AGC)

(2) 最終スタンド出側の厚み計から、出側ゲージの絶対厚を知り、目標とする板厚になるようスクリュウ位置を制御する。(X 線モニタ AGC)

以下この二つの機能とそれに付随する機能について述べる。

(a) 運転モードと運転条件の成立

(b) ロールフォース AGC

ロックオンまたはホールドをしたときの板厚を目標値として記憶し、ロールフォースと現在のスクリュウ位置から、ミル定数カーブを用いて計算した現板厚をこの目標板厚に近づけるように制御する。制御量は、板厚の塑性変形抵抗を考慮し計算するが、この点が BISRA 型 AGC と相違する。サンプリング制御の周期は、アログの入力速度によって制約される。

(c) X 線モニタ、X 線 AGC

全スタンドに対し、X 線モニタをかけることができる。また F3, 4, 5, 6, 7 スタンド X 線 AGC をかけることができる。X 線モニタは、実測板厚から目標値との差を出し、その分だけ各スタンドのロックオン板厚を修正する。そして次の修正は、スタンドから X 線計までの移送遅れ時間経過後になるように、サンプリング時間を定める。したがって X 線モニタは、ロールフォース AGC と同時に用いられる。X 線 AGC は、連続的に X 線偏差信号により、比例+積分制御を行なうもので、この場合 ロールフォース AGC に動作しない。

(d) X 線テンションバーニヤ

F7 スタンドだけに X 線テンションバーニヤの機能を選択したときは、ロールフォース AGC および X 線モニタ、X 線 AGC の機能は動作しない。テンションバーニヤが動作する条件は、F6, F7 間ループがロックオンしていること、F7 速度制御可能であることである。

(e) フィードフォワード制御

F3, F4 スタンドでは、フィードフォワード制御を行なうことができる。フィードフォワードスイッチがオンになっており、かつ F3, F4 スタンドの AGC スイッチがオフとなっているとき動作する。この場合 F3 スタンドではスクリュウ位置を変化させず、圧延力を読み取るだけとする。F4 スタンドでは、この第 3 スタンドでの圧延力変化からスクリュウ修正量を計算する。この出力は第 3 スタンドから第 4 スタンドの間の移送遅れ時間だけ出す。

(f) ロックオンおよびホールド機能

AGC スイッチは、ホールド/ロック/切の 3 位置で、AGC を動作させるとときは、ホールドかロックを選択する。板がかみ込む前からロックにしておくと、板がスタンドに入つてから一定時間後にそのときの圧延力とスクリュウ位置を記憶する。ホールドになっているときは、ロックオンと同じであるが、記憶が次の別の板に対しても保持されるという点が異なる。

(g) スクリュウリターン

板がスタンドを抜けたとき、スクリュウ位置を、板がかみ込む前の位置に戻す。

(h) 加速補償

(i) 尾端補償

(j) 圧下補償

4. 2. 2 AGC プログラムの構成

AGC プログラムは

(a) AGC コントローラプログラム

(b) X 線モニタプログラム

(c) 加速補償プログラム

(d) テンションバーニヤ AGC プログラム

(e) フィードフォワードプログラム

(f) アログインピットスキャンプログラム

(g) AGC イニシャライゼーションプログラム

(h) アラームメッセージプログラム

で構成される。

また、AGC ブロックダイヤグラムを図 6. に示す。

4. 2. 3 シングルスタンドコールドミル AGC

ここでは、シングルスタンドコールドミルにおける圧下フィードフォワード AGC について述べる。本 DDC は MELMIC で実施されている。図 7. は圧下フィードフォワード AGC の概略ブロック図を示す。フィードフォワード AGC の動作原理は、マスフロー一定の原理より、式(1)で示される。

$$\Delta S = K \cdot \frac{G_1 + \Delta L_1 + \Delta G_1 \cdot L_1 e^{-TS}}{L_2} \quad (1)$$

ここで ΔS : AGC 出力

G_1 : 入側板厚

L_1 : 入側板長

L_2 : 出側板長

K : ハードネス (鋼板のかたさの係数)

e^{-TS} : 可変むだ時間

式(1)は、出側板長を計測単位としたときの微少変化を考え、厚み計からミルまでの鋼板搬送時間および、ハードネスを考慮した AGC 出力を示している。AGC の効果を向上させるうえで、上式の可変むだ時間の制御が重要となる。むだ時間 (搬送時間) は、圧延速度によって変化するため、本システムではデジタル的にむだ時間制御を実行し、式(1)で算出された AGC 出力が確実に出力されるので、従来のアログ制御に比べ著しく精度は向上し、さらに、加速時や急激な板厚変化時における精度の低下をまねくことなく十分な AGC の効果をあげている。本 AGC では、圧下フィードフォワード AGC のほかに

(a) 圧下サンプリング AGC (MELMIC)

(b) テンションフィードフォワード AGC (MELMIC)

(c) 圧下モニタ AGC (ハードウェア)

(d) テンションモニタ AGC (ハードウェア)

などが組合せられたハイブリッド AGC システムを構成している。

4. 2. 4 油圧圧下制御システム

圧延プラントがますます高速化され、圧下方式も高速性を有した油圧圧下方式が採用されている。図 8. は、油圧圧下制御を MELMIC-DDC で実行する場合の簡略ブロック図である。テンションバー方式の油圧圧下制御の基本式は次式で示される。

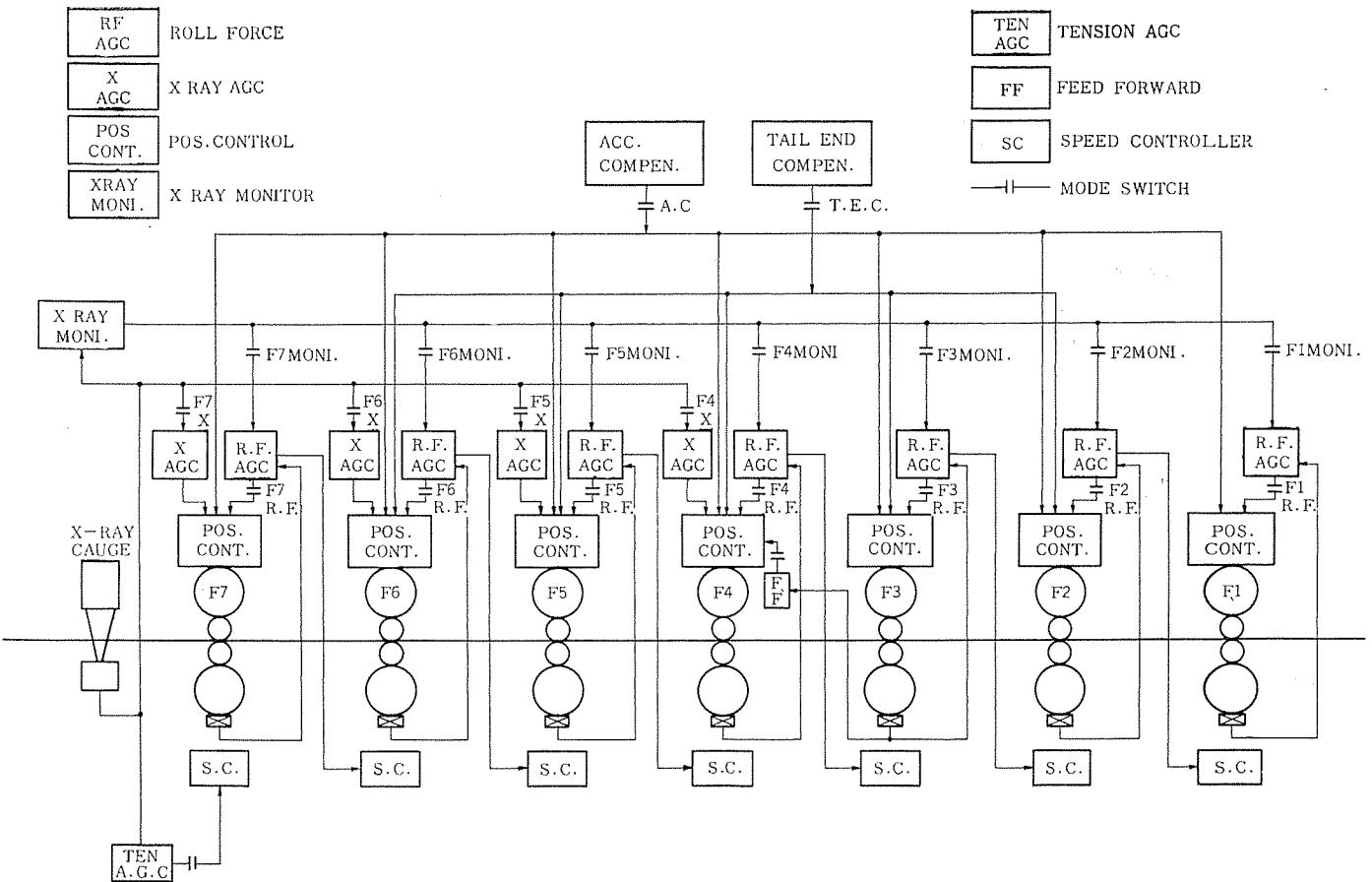


図 6. コンピュータ AGC システム

Computer AGC system.

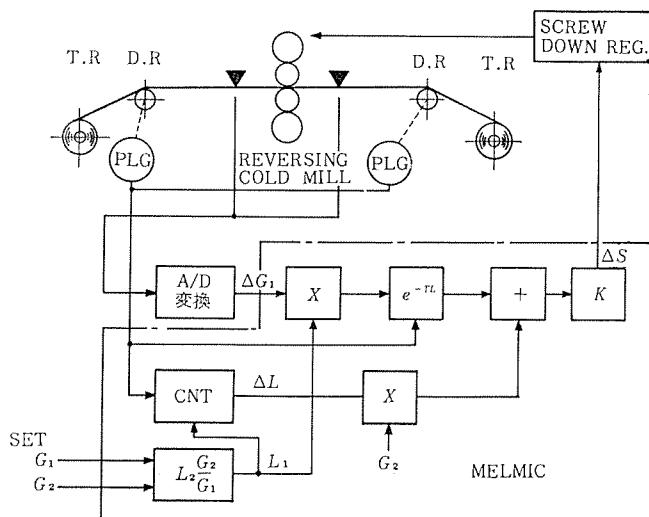


図 7. MELMIC フィードフォワード AGC システム
MELMIC-feed forward AGC system.

$$\frac{\Delta P_B}{K_B} + h \frac{\Delta P_R}{K_R} = 0 \dots \dots \dots (2)$$

ここで, P_B : テンションバー 荷重

P_R : 压延荷重

K_B : テンションバー 系のばね定数

K_R : 压延機のばね定数

k : 定 数

油圧圧下制御には定位制御と BISRA 制御の二つがある。定位制御はテンションバーの荷重を一定に保つ制御であるから式(2)において $k=0$ となる。一方、BISRA 制御では式(2)を満足する制御が実行される。この場合、定数 K を適当に選択することにより等価ミ

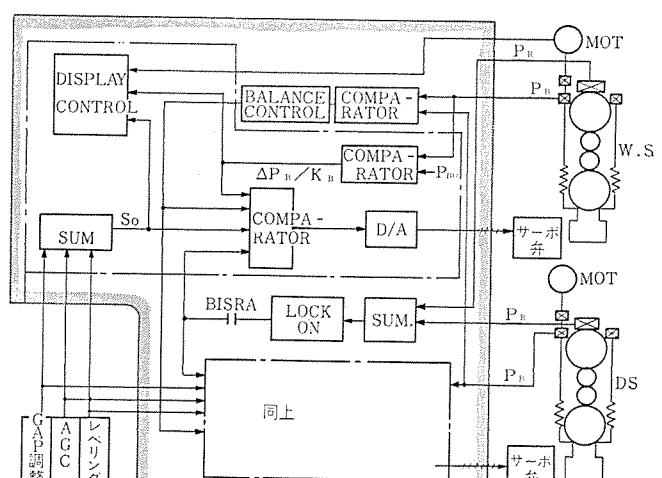


図 8. 油圧圧下制御の DDC システム
DDC system of hydraulic push-up control.

ル定数を変化させ圧延条件に最適なミル定数で圧延するため、その制御効果を向上させることができる。本 DDC では、ロックオン回路をはじめ主演算部がプログラム化されているほか、ロールギャップ設定値、ロールギャップ現在値($S_0 + \Delta P_B / K_B$)の外部表示のための演算機能も有している。油圧圧下 AGC のように高速応答を要求される制御の DDC システムでは、A/D 変換器の高速化が必要であるとともに、効率の良く、実行時間の小さい制御プログラムが必要であり、MELMIC 油圧圧下制御ではベーシックプログラムをいっさい持たず、さらに、割込入力の点数を極力減少させて速応性を実現している。

4.3 コイルハンドリングシステム

コールドミルや各プロセスラインのようにコイル状鋼板(コイル)を取扱う

プラントでは、種々の制御機能が DDC で実現されている。とくに、プロセスラインでは、小規模の制御機能が多数存在しているが、これらの機能は 1 台の DDC システムによって集中制御されることにより、システムの信頼性向上、保守の集中化などの特長を有している。ここでは各制御機能について述べる。

4. 3. 1 入側自動減速制御システム

図9.は入側自動減速制御の一例を示すブロック図である。ペイオフリールから放出されたストリップ尾端が所定の位置を通過するときのライン速度を、規定の速度まで減速させる制御である。制御方式にはコイル円周計測方式、コイル径計測方式、ラップカウト方式などがあり、プラントの取扱うストリップ板厚、最高ライン速度などを考慮してそれぞれの特長を生かした適用がなされている。図9.は、コイル円周計測方式を示しており、コイル円周の計測を行ないつつその変化率から算出される残コイルのストリップ長(L_n)と、減速に要するストリップ長(L_a)を比較し、両者が一致したときの理論円周値 C_n と計測されたコイル円周 C_a が一致したときに減速指令を出力する。減速指令出力後も上記諸演算は常時実行されており、ラインの減速特性に応じて減速指令は修正されるので高精度の減速および停止制御が実行される。

多スタンドミルにおける入側自動減速制御では、各圧延スタンドの圧下率や速度設定により入側の加減速特性が一義的に決定されないため加減速特性を算出する機能がS/Wとして付加されている。

4. 3. 2 出側自動減速・停止制御

テンショニールでコイルに巻取るとき、入側セクションで溶接されたストリップの溶接点を出側シャー前で減速停止する溶接点自動減速停止制御と、テンショニールに巻取られるストリップ長が、あらかじめ設定された長さになるようシャー前にて減速停止する長さ自動減速制御がある。図10.は、溶接点およびストリップ長さ自動減速・停止制御のブロック図である。入側セクションで溶接されたストリップの溶接点は、パルス発信機によりトラッキングされる。溶接機と出側シャーの間にループカーやワリーループのある場合には、コイル全長の計測が実行され、出側セクションで再度払出量を計測することにより溶接点の正確な位置を算出する。溶接点の位置が減速に必要な距離(L_a)に達したときに減速指令が output され、減速後ストリップを一定距離走行させて停止指令を output する。長さ自動減速は巻取長があらかじめ与えられるもので、制御方式は溶接点の場合と全く同様である。MELMIC-DCD でこれらの制御を実行する場合、長さ情報となるパルス信号は直

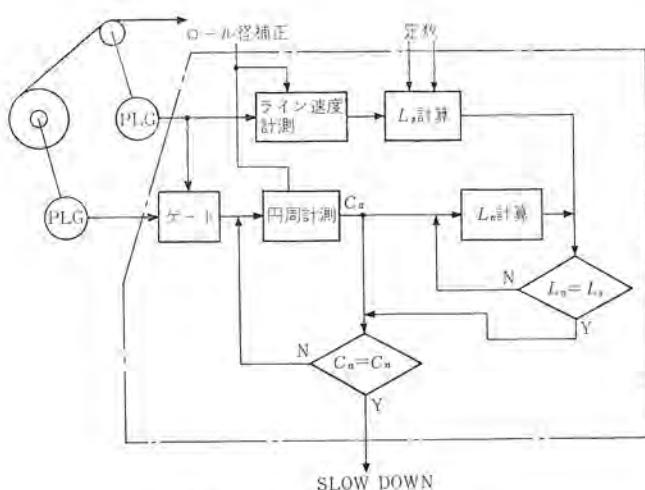


図 9. 入側自動減速制御 システム
Entry automatic slow down control system.

接、割込入力で受信し、ソフトカウンタでパルスカウントされる。さらにロール径直読方式によりパルスのロール径補正を実行し正確な長さ情報(L_n)とし、ライン速度から前述の L_α を算出して減速停止制御を実現している。

4. 3. 3 尾端定位置停止制御

テンショニリールで巻取ったストリップ尾端を一定の位置で停止させる制御である。制御方式は パラメータとして停止角度や停止位置など種々あるが、プラントの機械構成に応じて適用される。ストリップ尾端の停止が角度を パラメータとした場合の基本式は次式で示される。(図 10. 参照)

ここで、 θ_R ：テンションリール 全回転量

θ_2 : シャーからコイル頂点までのテンショシリール回転量

α : 停止角度範圍

$\Delta\theta_h$: 卷太りによる修正量

$\Delta\theta_d$: 卷太りによる パスライン 修正量

ϕ : 停止出力後のすべり角

DDC システムでは、テンションリールに取付けられたパルス発信機からのパルス信号により巻取コイル径を算出しながら、上記各修正量の演算を実行し、式(3)を満足したとき減速および停止指令を出力する。コイル・機械系の慣性の変化により α の範囲に停止しなかった場合は、すばり量から再度修正制御を実行することも可能である。

4.3.4 コイル調心制御

(a) コイル高さ センタリング制御

コイルをペイオフリールマンドレルにそう入する際、コイル高さ方向センタをマンドレルセンタに一致させる制御である。コイル径の計測方式は機械構成によって異なるが、いずれもコイルカーリーに取付けられたパルス発信機のパルス信号を基本としてコイル径を求め、これを基にして減速・停止指令を出力する。

(b) コイル幅センタリング制御

コイル幅方向のセンタをラインセンタに一致させる制御であり、コイル検出器とパルス発信機のパルスより減速・停止制御を実行する。

以上のようなコイルハンドリング制御の各機能は、MELMIC-DDCで集中制御される。図11.は、酸洗ライン(CPL)におけるDDCシステムのブロック図を示す。

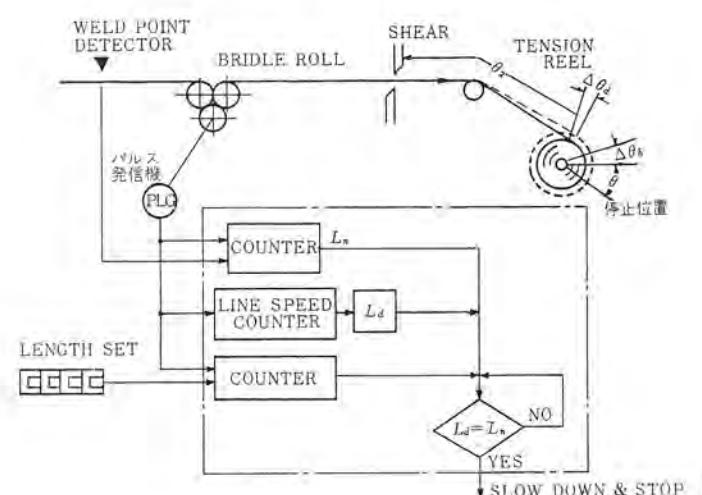


図 10. 出側自動減速停止制御 システム
Delivery automatic slow down-stop control system.

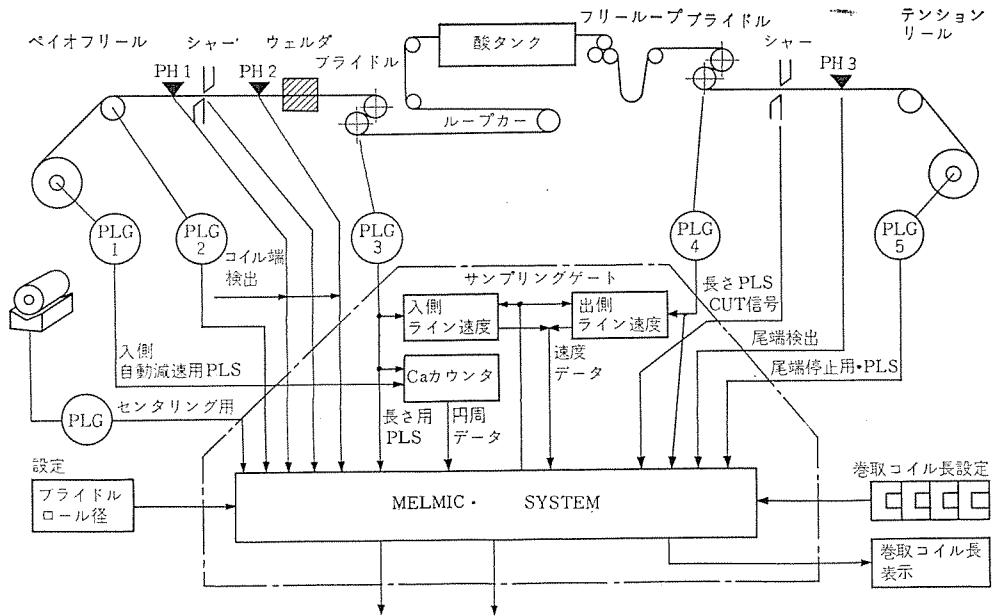


図 11. 酸洗 ラインの DDC システム
DDC system for CPL.

4. AMTC システム (特許申請中)

連続スタンドをもつ圧延機のスタンド間の張力を制御するためにルーパを使用する例が多いが、ルーパがない、しかも、材料に対して張力許容限界があるときには、この張力制御を使用しなければならない。これを AMTC(Automatic Minimum Tension Control)と称す。最近、AMTC システムも DDC 計算機にて制御されるが、それを図 12. に示す。

本例として適用された連続形鋼圧延においては、スタンド間の無張力制御を行なうために、複雑な圧延機間の影響係数を知り、温度変化・寸法変化・速度変化・スキットマーク・先進率・後進率などの変化等をすべて考慮し、DDC のパラメータの設定値をストアードプログラムとして持つ。一般に制御対象とするプロセスの伝達関数は、下式のようにむだ時間と一次遅れで表わされる。

$$\text{制御対象 } G_p(s) = \frac{k_p e^{-Ls}}{1 + T_s s}$$

また制御用の演算式は、出力装置の作動方式で異なるが、一般的には

$$y_n = k_c (\varepsilon_n + \alpha \sum_{i=0}^n \varepsilon_i)$$

で示される。

ここに、 ε_n : 計算機に入る制御偏差のサンプル 値

y_n : 計算機から出力される操作信号

k_c : 比例ゲイン, α : 積分係数

また、AMTC の制御ブロックは図 13. に示す通りである。連続するスタンド間には、張力・圧縮力が生じても完全な制御が可能なよう考慮されている。先にも述べた、PI 制御定数は、圧延の条件により異なるため、そのゲイン決定には、当社の多年の経験によるところが多い。その制御時の圧延状態と電流との関係は、図 14. に示す通りである。

本装置は、すでに材料の全範囲にわたせる張力モニタ装置を付加し、材料全長にわたる無張力制御が可能となった。

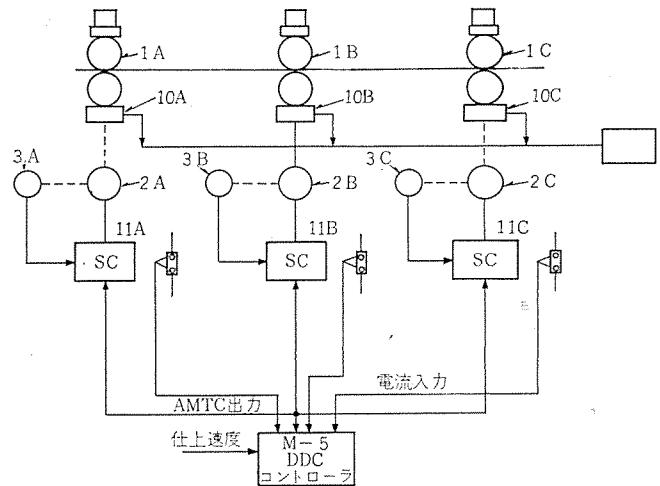


図 12. AMTC 制御コンピュータ
Computer for AMTC.

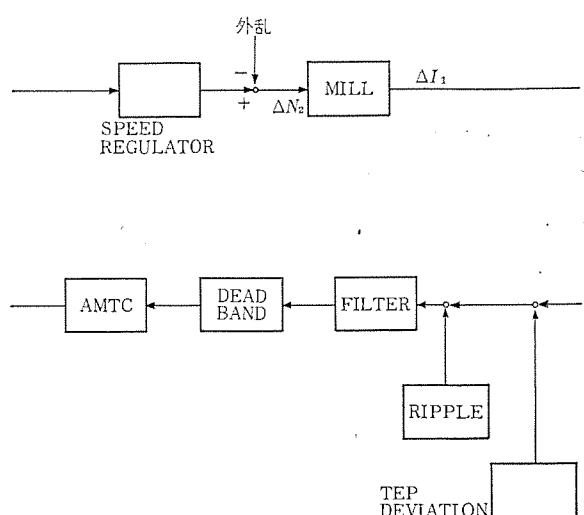


図 13. 制御ブロック
Diagram of control system.

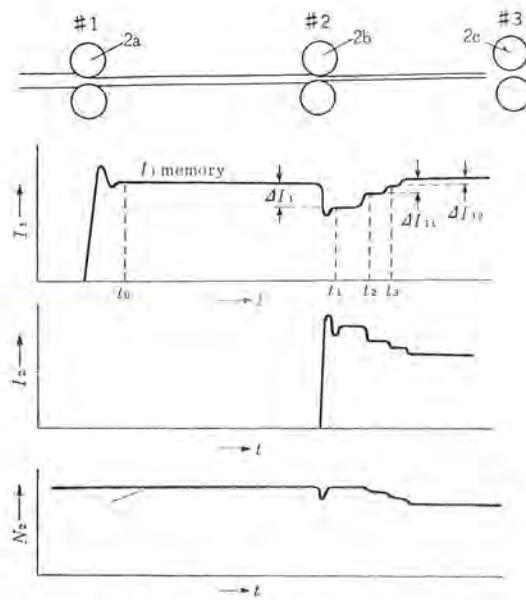


図 14. プロセスへの AMTC の適用
Application of AMTC to control process.

4.5 主制御システム

最近の DDC システムの制御対象の範囲はますます拡大されており、省力化のための自動制御の DDC が広く実現されるにつれて、プラント全体を考慮した DDC システムへ移行している。従来、圧延プラントやプロセスラインにおける駆動システムの主制御（マスタコントロール）は、アナログ演算器を中心としたワイヤードロジックで構成されていたが、最新のプラントでは、各自動制御の DDC システムと主制御とを有機的に結合することによってシステムの信頼性、精度、保守の向上を実現する主制御システムの DDC 化が実現されている。

以下、主制御 DDC システムの一例について述べる。

4.5.1 デジタル主幹制御

ここでは、圧延機メインモータの速度設定について述べる。そのループ構成は図 15. に示す通りである。計算機への入力は、回転数のデジタルフィードバック信号と SSRH の位置を示すアナログ信号からなっている。回転数のデジタル信号は、モータ軸の PLG から外部カウンタを経由 600 ms ごとに計算機に入力されるものである。計算機からの出力は各ループについて SSRH 上／下の 2 点のみである。本機能は、ストリップが仕上圧延機の各スタンドを抜け、メインモータが減速中において次のスタンドに対する設定を行なうことができ、しかも精度のよい設定を実現するために、粗プリセットとデジタル設定の二つの機能を備えている。

(a) 粗プリセット

ストリップがスタンドを抜けてミルが減速中には、SSRH の位置と実際の回転数とが対応しない状態にある。このために、粗プリセットでは、実際の回転数は無視して、次の設定値に対する SSRH を予測的にプリセットする。そして回転数のデジタル信号と設定値とを比較して ±5 % にはいったところで粗プリセットは完了する。

(b) デジタル設定

前述のようなシーケンスで粗プリセットが完了すると計算機は、デジタル設定を開始する。ここでは、600 ms ごとにデジタルの回転数と設定値とを比較し、設定範囲内にはいっておれば設定完了する。誤差が設定範囲を出ておれば、SSRH を上／下げるべき時間を設定し、上／下げる信号を出力する。ただし、デジタル設定では、細かい制御を行なうため、出力の時間幅は 500 ms 以下におさえた。



図 15. 回転数設定 ループブロック ダイヤグラム
Diagram of speed setting loop.

(c) SSRH のデジタル化

このような、速度設定に対して、連続多スタンド圧延機の場合は DDC の利用価値が出てくる。また最近は、SSRH 自身が、デジタル SSRH に変わり、粗設定機能は、DDC 計算機から分離され計算機出力は、目標値のリファレンス設定となり、デジタル SSRH のマイケループのカウンタが、粗セットを行なうようになって、計算機は、精設定ループのみを担当する場合が多い。

4.5.2 プロセスライン主制御システム

プロセスラインでは 4.3 節で述べたように各種の自動制御の DDC が実行されていて、それぞれ各種のデータ計測や演算処理が行なわれ、一方、主制御においても同一のデータを別の手段によって計測演算されていた。最新の設備ではラインの自動化が複雑・拡大されるにつれて、自動制御システムの考えは、個々の自動制御からライン全体を考慮した自動制御システムへ移行している。このような理由と DDC 技術の進歩により、各自動制御 DDC と主制御を分ける必要はなくなり、主制御システムの DDC が実現されている。

図 16. は、プロセスラインにおける入側セクションの主制御システムのブロック図を示す。主な機能と内容を下記に述べる。

(a) 速度基準設定……入側セクションの速度基準を決める回路である。加減速特性はデジタルスイッチで加減速時間の設定を行ない、速度基準クロックを決めるこにより可変の加減速率を得ている。このプログラムではループカーネー同期位置制御が含まれており、ループカーネーの同期ポイントは外部デジタルスイッチで設定し、また現在位置はデジタル計測する。入側速度と中央速度から減速制御演算を実行して、設定された同期位置でループカーネーが停止するように入側速度の減速制御を行なう。この場合、中央速度は上位計算機またはデジタルスイッチで与えている。

(b) コイル径サーボ機能……リール主制御におけるコイル径データが慣性補償 (I・C) や逆起電力制御などに重要な要素となっていることはよく知られている。ここでは、従来のアナログ方式のコイル径サーボを完全にソフトウェア化したコイル径検出回路である。入側主制御と出側主制御ではコイル径サーボ機能は検出方式および制御内容を異にしている。入側主制御においては、コイル調心制御、自動減速制御で算出されたコイル径をそのまま利用しており、さらにコイル周速信号とライン速度から板破断、ライン停止を検出してコイル径保持を行なっている。出側主制御ではコイル径検出はすべてコイル円周信号およびコイル周速信号とライン速度より刻々と変化するコイル径の計測を行ない、かつストリップ破断が生じた場合には速度が上昇しないよ

うな速度制限御を実行する。ここで計測されたコイル径は、TR 尾端位置停止制御にも使用される。

(c) 慣性補償機能……上記コイル径サーボ機能により算出されたコイル径を用いて慣性補償量の計算を次式によって実行する。

$$I \cdot C = k_1 \cdot \frac{1}{D^2} + k_2 \left(D^2 - \frac{D_0^4}{D^2} \right) \quad \dots \dots \dots (4)$$

k_1, k_2 : 定数

D_0 : コイル内径

D : コイル外径

以上おもな機能を示したが、この他各種張力設定機能を有し、特にテンションリール張力設定ではメカニカルロール補償演算を含めた張力設定を実行している。このようにプロセス主制御の DDC を行なうことによつて、

- (1) 各制御に同一データの有効使用ができるため、高精度な制御が経済的に実現できる。
- (2) すべてスタティック化され機械的回転要素を除去できるので、高信頼性のシステムが実現できる。
- (3) ドリフト等の精度を低下させる要素が減少する。
- (4) 機器が小形化される。
- (5) 保守が容易。
- (6) 工事費も含めた経済性の向上。

などの特長を有したシステムを実現している。

4.5.3 デジタル速度計測制御

各種自動制御が DDC 化されることによってライン速度の高精度の計測は当然要求され、特に多くの圧延群を有するプラントでは各圧延速度は重要であり、集中速度計測を実行する DDC システムがある。

図 17. に MELMIC によるデジタルスタンダード速度計測制御システムのブロック図を、また速度算出式を下記に示す。

$$\Delta t = \frac{60 \pi \cdot D}{n_t \beta \cdot p} \quad \dots \dots \dots (5-a)$$

$$v = k \cdot \Delta t \cdot p \quad \dots \dots \dots (5-b)$$

ここで、 D はロール径、 p はパルス発信機の 1 回転当たりのパルス数、 n_t 、 β 、 k は機械系で決まる定数、 Δt はサンプリング時間、 v がライン速度である。式(5-b)が示すように、ライン速度 v はパルス信号をサンプリングすることによって求めており、サンプリング時間 (Δt) は式(5-a)で示されるごとくロール径の補正を絶対値で実行している。計測された速度データは DDC を実行する上位計算機へ伝送されて他の DDC の基本データとするほか、運転室へ表示してオペレータに運転状況を知らせる。ここで示した速度計測方式は各減速制御、主制御などの DDC システムにおいても全く同様に実行されている。

4.6 その他

DDC システムは前述の制御以外に各プラント、各設備に応じて種々の制御に適用されている。ここでは二つの例について述べるが、それ以外に下記のような制御機能に DDC が適用されている。

- (1) 伸び率制御
- (2) めっき電流制御
- (3) スリップ検出制御
- (4) クラシファイア
- (5) ほか

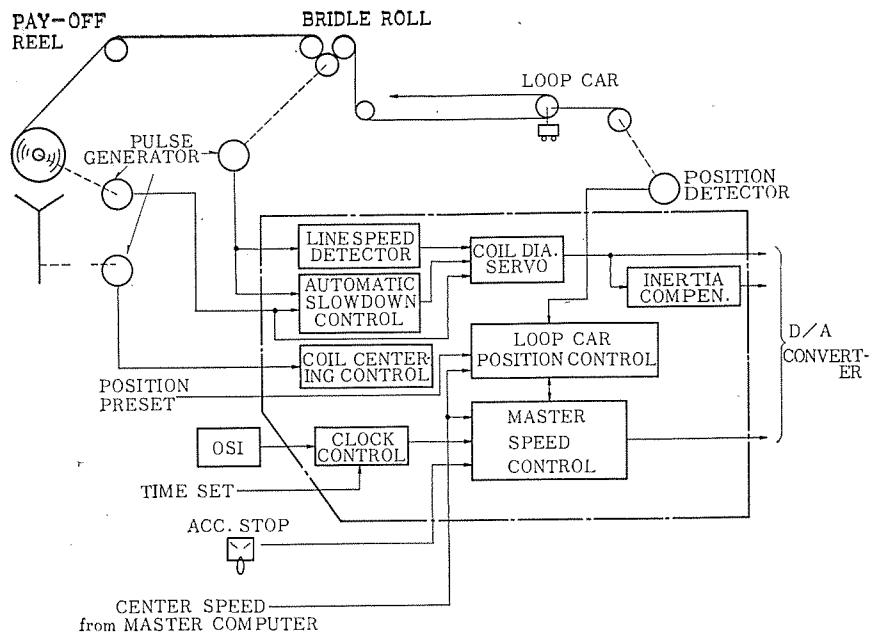


図 16. 入側主制御の DDC システム
DDC system diagram of entry master control.

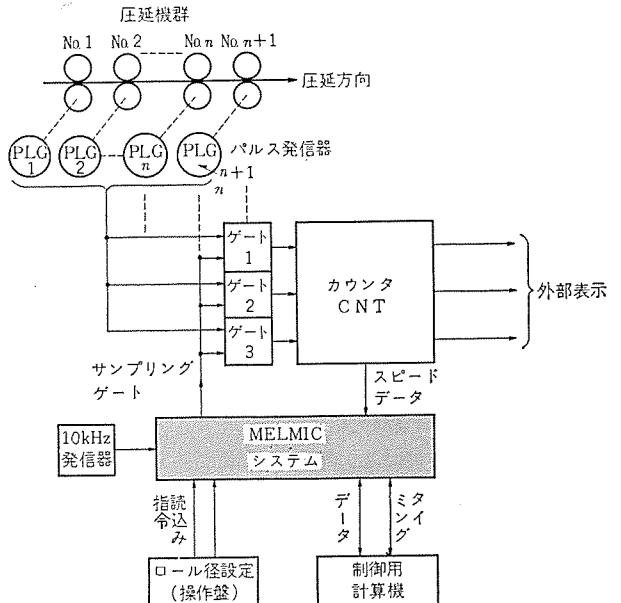


図 17. デジタルスタンダード速度計測制御
Digital stand speed measuring control system.

4.6.1 圧下率制御

スキンパスミルにおける圧下率制御は、圧下率計として、独立した機能を持ち、さらに別に圧下率制御系をかねそなえていた。本設備は、圧下率制御（位置制御も含めて）圧下率計、およびその他のシーケンス、外部設定回路を一つの計算機にまとめた例であり、その制御原理は次のとおりである。

動作原理

ミル 静的特性は

$$\Delta \gamma = \sim \frac{1}{n_t} \cdot \frac{\partial h_0}{\partial S} \cdot \Delta S = -\frac{1}{n_t} \cdot \frac{M}{M+Q} \Delta S$$

すなわち、圧下率偏差 $\Delta \gamma$ を検出し、上式より算出される、圧下位置 ΔS を補正すればよい。

ただし、 n_t =入側板厚

n_0 =出側板厚

γ =圧下率

S=スクリュウ位置

また含まれる機能は次のようなものがある。

- (1) 圧下率の計算
- (2) ΔS の計算
- (3) 位置制御
- (4) ミルゲインの補正
- (5) 圧下率制御のロジック回路

その制御プロック図を図 18. に示す。

4. 6. 2 ロール偏心補償制御

圧延中の圧延ロールには多少のロール偏心が存在し、AGC や油圧圧下制御のような応答の速い制御では板厚ゲージ精度に悪影響を及ぼすためロール偏心補償が行なわれている。ロール偏心補償制御方式は、連続圧延機が可逆圧延機かによって異なる方式がとられる。

図 19. は連続圧延機におけるロール偏心補償制御の DDC システムプロック図である。ロール偏心補償制御の効果を上げるためにには圧下力変動を正確に計測する必要がある。従来、圧下変動をは(把)握する手段として OFF-LINE で前もって偏心量を計測し、これを ON-LINE で偏心量の模擬信号として与える方式などがとられたが、圧延中の種々の要素が変化するため効果的な制御が困難であった。本方式はプロック図に示すとくロール偏心量を圧延中に自動計測を実行しながら、圧延中の圧下変動量からロール偏心量を抽出して補償制御を実行している。すなわち、ロール回転角度と圧下力変動との位相検出機能、圧下力ロックオン機能、補償量算出および出力位同期機能から構成され、AGC や油圧圧下制御機能と合成されて出力する。このような DDC によるロール偏心補償制御は

- (1) ロール偏心量の自動計測によりロール偏心制御のオンライン化が実現できる。
- (2) DDC 化による演算精度の向上。
- (3) 位同期方式により高精度・高信頼性を有した制御が全圧延期間実行される。
- (4) 各圧延ごとのロール偏心量の修正が可能である等の特長ある制御を実現している。

5. む す び

鉄鋼プラントの圧延、プロセスラインを中心に DDC の適用例について記したが、今後ますます適用される制御範囲の拡大、および制御機能の増加が予想される。

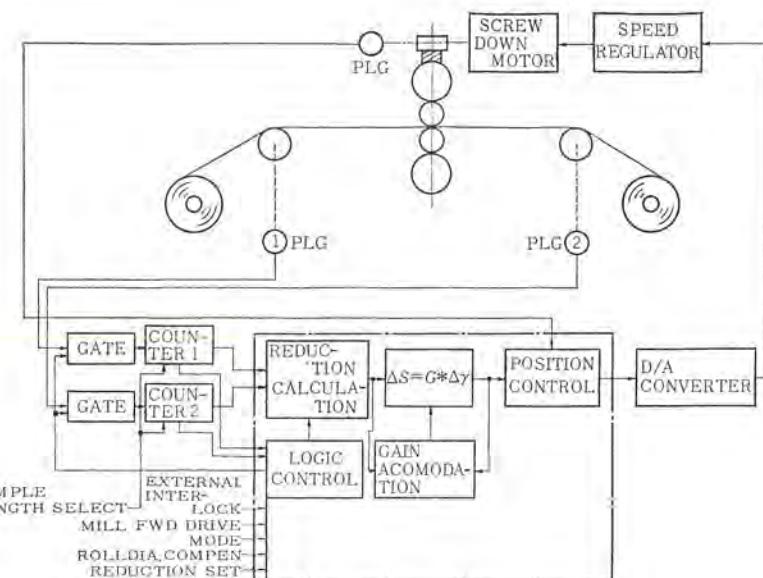


図 18. 圧下率制御プロックダイヤグラム
Diagram of reduction control.

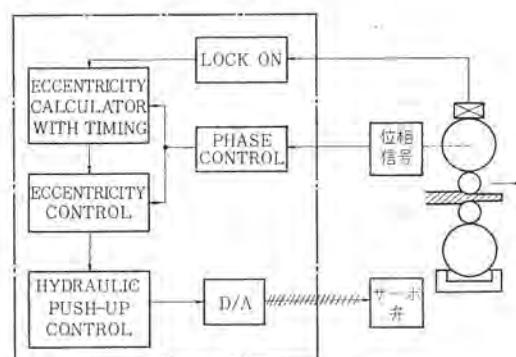


図 19. ロール偏心補償制御システム
Compensating system Diagram of roll eccentricity.

DDC については、従来からその制御性能的なメリットは十分認識されていたので、今日実際の適用に当っては、経済性・信頼性の検討が最重要項目になっている。これらは互いに、相反する要因を多く含んでいるが、最近の生産設備の変ぼう(貌)から DDC の導入は不可欠なものになっており、メリットをいっそう生かす努力がなされている。

今後は、個々の DDC ループに着眼した深い検討に加えて、プラント全体としてとらえた計算機制御システムの点からの、S/W システム、H/W システムの検討が重要である。

最後に、各製鉄会社には、DDC に関して種々御検討を頂き、ここに深甚の謝意を表する。

サイリスタ レオナード装置

平山 博朗*・石塚 敏彦*・安達 邦雄*
開高 徹**・池見 克二**・轟 幸男**

New Thyristor Power Supply Systems for Motor Drives

Kobe Works Hiroo Hirayama・Toshihiko Ishizuka・Kunio Adachi
Itami Works Akira Kaikō・Katsuji Ikemi・Yukio Todoroki

Since the advent of thyristors, marked progress has been made for these ten years with them and their applied technique. Of application made of them in various fields, that to the variable speed control of DC motors is the most contributory to industries and has a considerably long history.

This article describes the thyristor power supply systems for motor drives built and delivered to the iron and steel plants in particular reference to the composition, the circuit system and the distinctive features of type CF-E for large capacity use, types CF-D and ED for medium power application and type CF-G for small and medium ratings.

1. まえがき

サイリスタが出現して以来10年余、サイリスタおよびその応用技術の発展は著しく、その生産実績も高度の成長を記録している。特に直流電動機可変速制御への歴史は古く、その生産容量も圧倒的に大きい。1967年に当社が新日本製鉄(株)堺製鉄所に納入した、わが国最初の大容量4,500 kW サイリスタレオナードが好調に稼働することにより、大容量サイリスタレオナード装置の実用性が実証されそれをきっかけとして以後、ホットストリップミル、コールドストリップミル、プレートミル用等の圧延設備に採用され、多くの実績を重ねている。一方、ピックリングライン、ガルバライン、メッキライン等各種プロセスラインにも幅広く進出し今や鉄鋼プラントにおいてはほとんどすべての直流電動機駆動用電源は、サイリスタレオナード装置であるといつても過言ではない現状である。

本文においては、当社が豊富な経験と最初の技術を駆使して開発した中小容量用CF-G形(VT形)と従来より実績の多い大容量用CF-E形、中容量用CF-D、ED形サイリスタレオナード装置の概要について紹介する。

2. CF-E形サイリスタ レオナード装置

2.1 概要と構成

CF-E形サイリスタレオナード装置は、1,800 kW(過負荷耐量150%1分間)以上の大容量駆動電源としてシリーズ化されたものである。サイリスタ素子、サーボソーバ、ゲート回路、ゲートアンプ回路、演算制御回路などがキューピックルに収納されている。外観を図1に示す。電流バランスを考慮して中央に制御回路、両端にサイリスタ素子を収納した盤を配している。

サイリスタキューピックルは、一般に変圧器を介して高圧メタクラあるいはキューピックルより電源の供給を受け、その出力は直流電動機へ供給される。直流主回路の開閉制御機能は、MB形制御盤(しゃ断器、コンタクタ収納)が受持ち、保護監視制御はMV形制御盤(保護リレー、制御リレー収納)がその役割を負っている。(別稿「鉄鋼プラントの制御盤と操作盤」参照)したがってCF-E形サイリスタキューピックルはこれら2つの制御盤と一体となり、大形直流機の可変電圧制御回路を形成

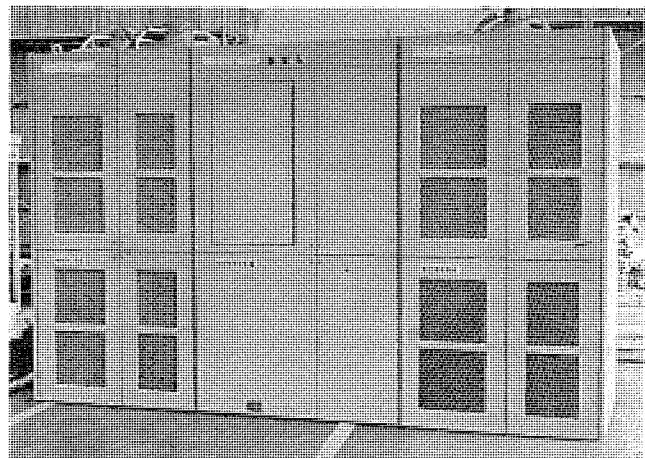


図1. CF-E形サイリスタ装置
Exterior view of type CF-E thyristor cubicle.

している。

サイリスタキューピックルの形状は、サイリスタ素子の冷却および組立においてどのような方法を採用するかにより決定される。大容量サイリスタ装置では、一部に水冷式もしくは油冷式が採用されているが、CF-E形サイリスタ装置では、保守面・価格面でまさる風冷式を採用しており、この方式が現在のところ主流になっている。一方、サイリスタ素子の組立方法は従来のトレイ式にかわって、経済的でしかも扱いの簡単なスタック式を採用している。

サイリスタ盤は、平形大電力用サイリスタ素子FT 500 Aを6個または3個組み込んだスタックを上下2段に収納して、すべて正面側より点検できる。スタックは、とくに耐環境性に強く、ほこりの堆積の少ない構造になっている。冷却風は、盤正面よりエアフィルタを通して取り入れ、スタックの冷却フィンを通して盤後面より上部へ排出している。このとき、冷却風はサイリスタ素子冷却フィンを一段だけ冷却するので、多段冷却の場合と異なり、風の温度上昇を考慮して素子定格を下げる必要がなく、すべての素子が均一な条件で使用できる。冷却フィンは、逆並列接続で使用されるサイリスタ素子の間では共用して有効に利用されている。サイリスタ素子の取換えは、冷却フィンとサイリスタ素子とをさらばねを介して圧接しているボルトをゆるめる

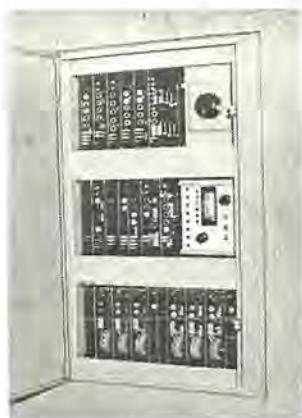


図 2. CF-E 形 サイリスタ 装置制御 ユニットフレーム
Control unit frame of type CF-E thyristor equipment.

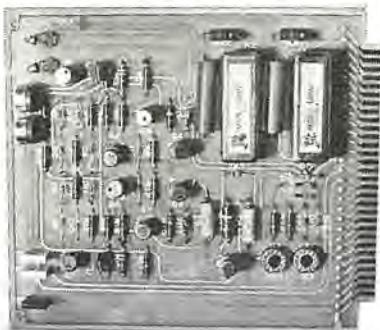


図 3. 制御ユニット
Control unit.

表 1. CF-E 形 サイリスタ 装置定格表
List of ratings of type CF-E thyristor equipment.

定格容量 kW	出力直流電圧 V	外形寸法 mm				重量 kg
		幅	奥行	高さ	ファンを含む高さ	
1,800	770	2,664	1,120	2,300	2,600	1,650
2,230	770	3,568	1,120	2,300	2,600	2,300
2,660	770	3,568	1,120	2,300	2,600	2,450
3,100	770	3,768	1,120	2,300	2,600	2,650
3,530	770	3,968	1,120	2,300	2,600	2,850
3,960	770	4,872	1,120	2,300	2,600	3,550
4,390	770	4,872	1,120	2,300	2,600	3,750
4,820	770	5,776	1,120	2,300	2,600	4,250
5,260	770	5,776	1,120	2,300	2,600	4,450
5,690	770	5,976	1,120	2,300	2,600	4,650
6,120	770	6,176	1,120	2,300	2,600	4,850
6,550	770	6,376	1,120	2,300	2,600	5,050
6,980	770	6,576	1,120	2,300	2,600	5,250

(1) 三相ブリッジおよび三相ブリッジ逆並列接続とも同じである

(2) 定格容量は上表では 770 V について記したが、他に 230 V, 460 V, 620 V がある

(3) 定格容量の過負荷条件は 100% 連続、150% 1 分間である

ことにより、数分で完了することができる。

制御盤は、正面側にはゲートアンプ・ゲート回路・制御回路・保護リレー回路・補助回路端子が収納され、すべて正面とびらを開くことによって簡単に点検できる。ゲート回路および制御回路は、プラグインタイプのユニット化を図っている。

制御ユニットは図 2. に示すように、調整用ボリュームおよび定数切換用スイッチを持ち、各直流電動機および機械の定数に応じた任意の伝達関数を作ることができる。したがって、ユニットの種類は非常に少なく、一つのユニットがどのセットにも共通に使用できる。また、各ユニットには高性能な IC 演算増幅器を導入して小形化されている。これらのユニットは、図 3. に示すように制御ユニットに組み込まれており、ユニット間相互の配線は、その大部分がプリント配線となって

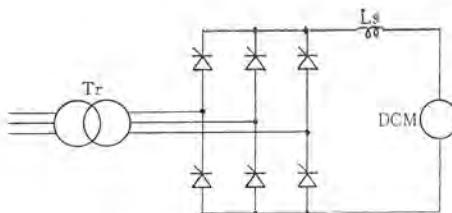


図 4. 均一三相ブリッジ(単変換装置回路)
Three phase bridge (single converter).

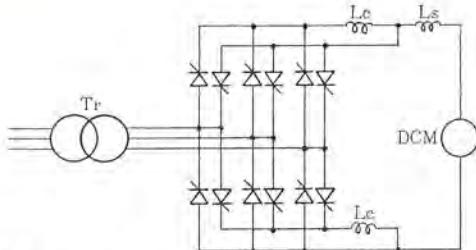


図 5. 均一三相ブリッジ逆並列接続(複変換装置回路)
Anti-parallel three phase bridge (dual converter).

いる。これによって保守の容易さ、信頼性の向上を計っている。サイリスタ装置の運転および故障表示灯は正面とびらに取り付けられている。

制御回路のノイズ対策は、主回路バーと制御回路部品の間のシールドのほかに、制御盤に対する耐ノイズ 3 原則 (Separation, Twisting および Shielding) が守られている。

表 1. は CF-E 形 DC 770 V 用 サイリスタ 装置 (主機電動機用) の定格表である。容量が単機 7,000 kW を越えるときは、7,000 kW 以下の複数台のサイリスタ装置を直流側で並列接続し、使用する。

2.2 回路方式

2.2.1 6 相整流回路

直流電動機一方向駆動用として、均一三相ブリッジ回路が使用されている。(図 4.) また、可逆駆動用(回生制動付き一方向駆動を含め)として、均一三相ブリッジ逆並列接続が使用されている。(図 5.)

サイリスタ盤外の回路構成機器として、整流器用変圧器(Tr)・平滑リアクトル(Ls)などは、変換装置仕様・直流電動機許容 リップル電流・直流短絡電流に対する限流効果などによって設計される。また、逆並列接続回路の場合は循環電流抑止方式を採用しており、逆並列接続された二つの変換装置間の短絡電流に対する限流効果のために、限流リアクトル(Lc)が設けられている。

2.2.2 組合せ 12 相整流回路

大容量 サイリスタ 装置で、前述のように単機 7,000 kW をこえる場合、または電源側へ流れ出る第 5, 第 7 高調波が問題になるとき、2 組のサイリスタ 装置を設け、これを直流側で並列接続して使用する。

図 6. に可逆駆動用として、6 相整流回路二つを組み合せた場合を示す。このとき整流器用変圧器は、2 台のうちの 1 台が他の 1 台に対して二次側で 30° 進み(または遅れ) になるように設けられ(たとえば、 Δ/Δ と Δ/Δ) この 2 台の変圧器は 1 タンクに収納される。この位相差により、両方のサイリスタ 装置で発生する第 5・第 7 高調波は変圧器一次側で互いに打ち消しあって、電源に流れる高調波分を小さくする。各サイリスタ 装置ごとに設けられている平滑リアクトルは、前述の設計条件などのほかに、二つの回路の出力電圧が各瞬間ににおいて異なるために、電流が不平衡になるのを防ぐ効果も考慮されている。

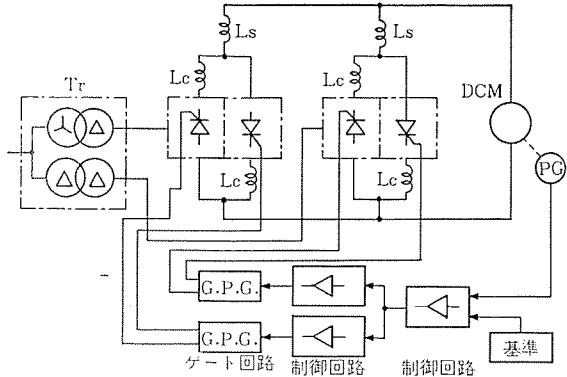


図 6. 可逆駆動
Reversible drive (twelve phase dual converter)

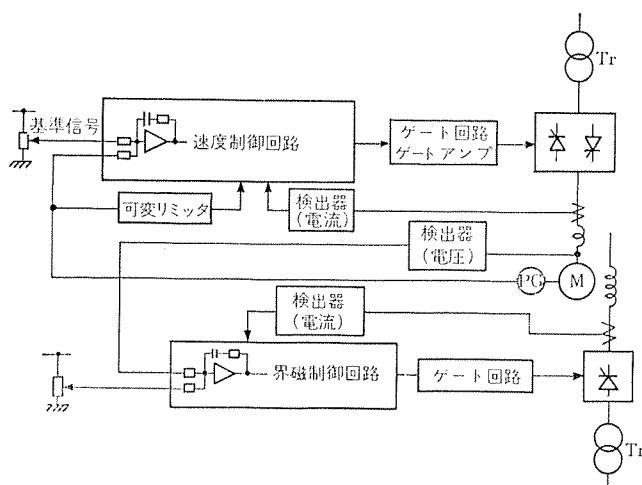


図 7. 速度制御回路
Speed control circuit

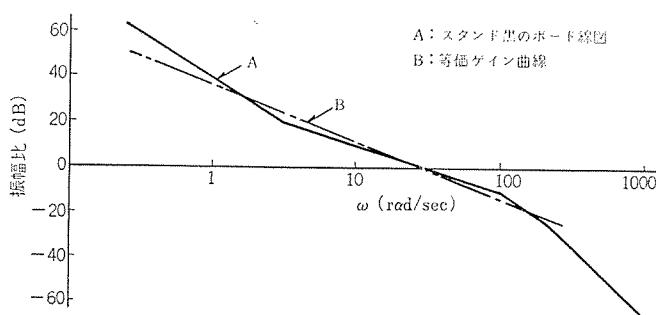


図 8. ボード線図
Bode diagram.

図 6. には組み合せ 12 相回路の制御ループも示されている。この制御では速度 フィードバックと基準信号とをつき合わせたあとで、各サイリスタ装置に信号を分けるのが標準になっている。また 2 台のサイリスタ装置間に流れる循環電流を抑えるために、制御回路に循環電流防止回路が設けられている。

2.3 制御方式

サイリスタレオナード装置の速度制御回路の一例を図 7. に示す。電動機電圧を制御する速度制御回路と電動機界磁を制御する回路より構成されている。速度制御回路はその中に電圧マイナーループと電流マイナーループを有しており、電圧マイナーループはサイリスタ装置の非直線性を直線化し系の安定を計るためのものであり、電流マイナーループは電流制

限機能を有し、サイリスタ装置に過負荷耐量以上の電流が流れないよう制限すると共に、機械の GD^2 に関係なく速度の立上りを等しくし応答を一定に制御するものである。

速度制御回路は、パイロット発電機 (PG) で検出し、基準値との偏差を増幅器によって増幅し、電流ループを通してゲート回路の入力信号にする。この入力信号によりゲートパルスの位相制御を行ない、サイリスタ装置の出力信号を制御して直流電動機の速度を制御する。同時に界磁 サイリスタにおいて、電動機の速度がベース速度をこえると界磁電流を減少させていき、トップ速度において最小電流になるように磁束制御回路が働く。弱め界磁領域で、電流制限値を下げるための可変リミッタ回路およびゲイン低下を補償する回路、またロール間の負荷アンバランスを補償する回路が必要に応じて設けられる。

制御系の解析には、計算方法が簡単で、計算値と実測値とが完全に一致する非整数階積分理論を使用している。これによれば、どのような形の制御系の伝達関数も、次式の等価ゲイン直線で表わすことができる。

$$G(s) = \left(\frac{\omega_c}{s}\right)^K e^{-\tau s}$$

ω_c : クロスオーバ 周波数

τ : 等価むだ時間

K : 定数 (1 ~ 2 の数値)

図 8. に速度制御系のボード線図を示す。

3. CF-D, ED 形サイリスタ レオナード装置

3.1 概要と構成

CF-D, ED 形サイリスタレオナード装置は、500 kW ~ 1,380 kW (過負荷耐量 150 % 1 分間) の中容量用として設計製作されている。交流電源は変圧器を介して高圧盤より供給され、直流出力は主回路の開閉、保護、制御をつかさどる VV 形制御盤を経て電動機に供給される。サイリスタ素子としては、CF-E 形と同様 FT-500 A 平形サイリスタを使用している。

CF-D, および CF-ED 形は、定格容量、外形寸法、重量、制御精度等すべて同一であるが、サイリスタ装置のコンバータからインバータの切り換え時間に大きな相違を有している。CF-ED 形は、直流機の正転から逆転の切り換え時間に高速応答を要求されるミル関係のスクリューダウン等に多く使用され、他方 CF-D 形は高速応答を要求されない一般直流機用として、幅広く使用されている。

制御ユニットは、カードエッジ形のプリント基板を使用し、CF-E 形と互換性を有している。演算増幅器として、IC (集積回路) を使用し、信頼性および制御精度の向上を図っている。

CF-D, ED 形装置の定格容量、外形寸法、重量を表 2. に示し、その外観を図 9. に示す。

表 2. CF-D, ED 形サイリスタ装置定格表
List of ratings of type CF-D, ED thyristor equipment.

定格容量 kW	出力直流電圧 V	外形寸法 mm				重量 kg
		幅 mm	奥行 mm	高さ mm	フランジ含む高さ mm	
507	770	860	1,120	2,300	2,600	700
940	770	1,360	1,120	2,300	2,600	850
1,380	770	1,960	1,120	2,300	2,600	1,000

(1) 三相ブリッジ及び三相ブリッジ対称逆並列結線とも同じである

(2) 定格容量は上表では 770 V について記したが、他に 230 V, 460 V, 520 V, 620 V がある

(3) 定格容量の過負荷条件は 100 % 逆続、150 % 1 分間である



図 9. CF-D, ED 形サイリスター装置
Exterior view of type CF-D, ED thyristor cubicle.

4. CF-G 形サイリスター レオナード装置 (TV 形制御盤)

4.1 概要と特長

CF-G 形サイリスター レオナード装置 (VT 形制御盤) は、サイリスター部と交流主回路開閉制御部を一体化し、信頼性と保守性の向上を目指して、当社が豊富な経験と最新の技術を駆使して開発したシリーズである。CF-G 形サイリスター レオナード装置は、容量により 0~200 A (過負荷耐量 150 % 1 分間) を CF-GA 形、201 A~360 A (過負荷耐量 150 % 1 分間) を CF-GB 形、361 A~540 A (過負荷耐量 150 % 1 分間) を CF-GC 形、541 A~660 A (過負荷耐量 150 % 1 分間) を CF-GD1 形、661 A~720 A (過負荷耐量 250 % 1 分間) を CF-GD2 形と称している。

CF-G 形の主な特長は次のとおりである。

(1) 低圧受電領域を 720 A (過負荷耐量 250 % 1 分間) まで上げると共に、交流側コンタクタの盤内収納をはかりコンパクト化した。

(2) サイリスター保護用直流しゃ断器に新開発のサイリスター ブレーカ (800 A フレームまで 5 種類) を使用することにより、コンパクト化に成功した。

(3) サイリスター制御回路は全面的に IC 化し、装置の小形化、保守性と信頼性の向上を計った。

(4) シーケンスリレー回路、電磁ブレーキ回路の交流化を計り、また新たに開発した界磁サイリスター装置を使用することにより、直流制御電源を不要とする機種の開発に成功した。

(5) 保護リレーを電磁式より半導体化することにより、信頼性の向上を計った。

(6) サイリスター部と交流・直流側保護開閉部を一体化することにより、据付面積は従来設備の約 1/2(当社比)に減少したので、電気室の面積を大幅に減少することができた。

4.2 標準仕様

CF-G 形シリーズの一般仕様を表 3 に示す。標準シリーズの種類としてはサイリスター接続方式により 2 種類、直流出力電圧により 2 種類、負荷側の状態により 4 種類、直流出力電流により 8 種類、電動機界磁電源方式により 2 種類、その他ダイナミックブレーキ、電磁ブレーキの有無により約 582 種類、その他オプションを加えるとその数は膨大なものとなるが回路の標準化、ユニット化により互換性を持たせ小種類のユニットの組合せで構成を可能とした。

表 3. CF-G 形サイリスター一般仕様
General specifications of type CF-G thyristor.

項目	標準仕様	オプション	備考	
周開条件	使用場所 標高 湿度 ふん開気	屋内 1,000 m 以下 -10 ~ 40°C 30 ~ 90% 有害ガス、蒸気、じんあいのないこと	保存温度 -20 ~ 50°C	
主回路交流電源	相数 周波数 電圧 電源容量	三相 50/60 Hz ± 5% 230 V ± 10% 460 V ± 10% $\sqrt{2} \times$ 電源電圧 × 定格直流電流	1. 電圧と周波数が同時に変動するときはその和が ± 10% 以内 2. 230 V は電動機端子電圧 220 V を保証 3. 460 V は電動機端子電圧 440 V を保証 4. オプション電圧は出力電圧を低減することを要す	
制御回路電源	相数 周波数 電圧 電源容量	三相 50/60 Hz ± 5% 210 V ± 10% 400-440-460 V 3 kVA	1. 電源電圧 400-440-460 V は、界磁、ブレーキ操作回路のない場合に適用界磁、ブレーキ回路は単相 200-210-220-230 V を必要とする 2. 電源容量には界磁、ブレーキ回路容量は含まない	
しゃ断容量	しゃ断容量	200-220-230 V 500 kVA 50 kA 400-440-460 V 1,000 kVA 35 kA	1. しゃ断容量をこえる電源に接続する場合は電源側に十分なしゃ断容量を持つパックアップしゃ断器を設ける	
サイリスター変換部	整流方式 接続方式 出力電圧 出力電流	三相均一ブリッジ回路 單方向 逆並列 230 V 460 V 0~200 A 150% CF-GA 201~360 A 150% CF-GB 361~540 A 150% CF-GC 541~660 A 150% CF-GD1 661~720 A 250% CF-GD2	1. 出力電圧は電源電圧に対応する 2. 出力電流は過負荷定格により変化する ※1 150% 1 min ※2 250% 1 min	
制御方式	速度制御方式 電圧制御方式 電流制御方式 速度限界付電流制御方式 速度調整範囲 制御精度	可調整電流制限 加減速慣性保償付ブリセッット回路		
運転方式	寸動運転 非可逆運転 可逆運転	緩加減速運転		
保護回路	AC 側短絡保護 DC 側短絡保護 負荷保護 電流制限 ゲートしゃ断 過電圧保護 起動保護	AC 側ノーヒューズ ブレーカ (52) 逆時ヒューズ サイリスター ブレーカ (72) + DCL サーマルリレー 過負荷定格値 過負荷定格値 × 160% IC 過電圧リレー IC 零電圧リレー	1. 過動ヒューズは素子故障時保護 2. ゲートしゃ断は單方向 DC 側短絡保護 3. 零電圧リレーは電圧基準零の時、出力電圧を検出する	
スイッチギヤ	A C 側 (52+52 M) (OR 52 M) D C 側 (72 OR 89) 制御側	0~200 A ノーヒューズ ブレーカ (52) + コンタクタ (52 C) 201~720 A 電動操作 ノーヒューズブレーカ (52 M) サイリスター ブレーカ (72) ナイフスイッチ (89) ノーヒューズブレーカ (8 A) + ヒューズ	1. 89 は單方向で回生運転を行わない場合 72 と置換える 2. 72 M は信号により DC 回路を開放する必要があるとき	
界磁	入力交流電圧 定格出力電圧 定格出力電流 制御方式	200-220-230 V, 50/60 Hz DC 140 V 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75 A 定電流制御	分流直巻界磁 (恒性切換) 外部可変抵抗による定電流制御 外部開閉器による磁束制御 自動弱め界磁制御 リール用逆起電力制御 界磁極性切換回路	1. 定格出力電圧は入力交流電圧 AC 200 V の場合 2. 入力交流電圧を UP することにより出力電圧の増加が可能 3. 分流直巻界磁の定格は 15 A 以下であること
制動	制動方式	回生制動 (サイリスターインバータ運転) 発電制動 (ダイナミックブレーキ) 電磁ブレーキ		

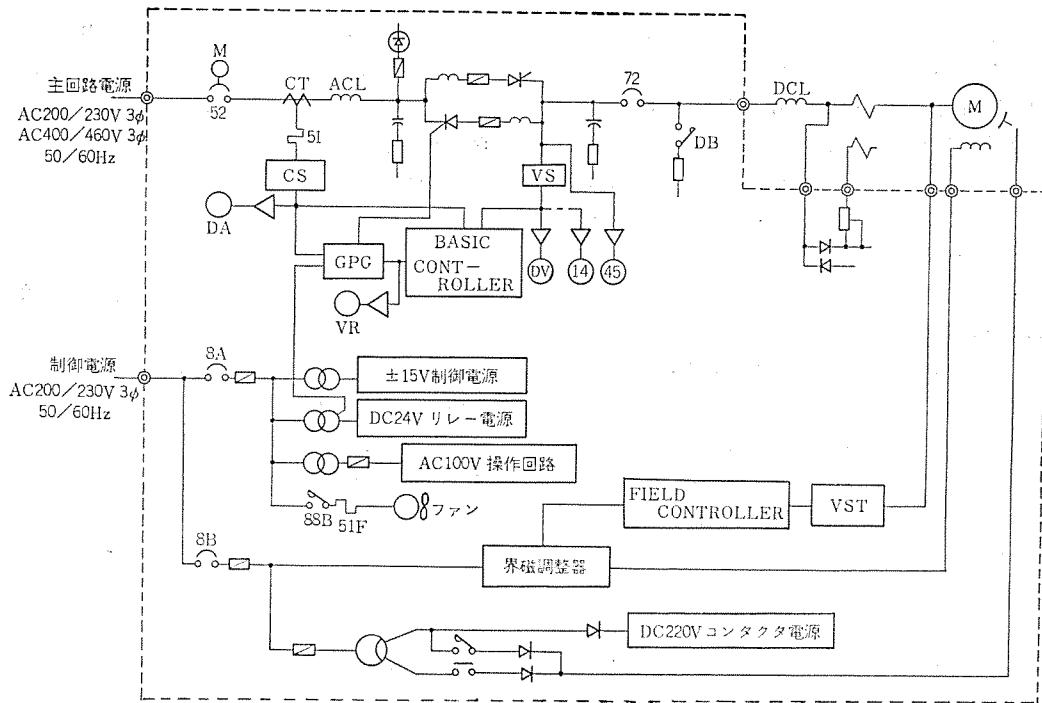


図 10. CF-G 形サイリスタブロック図
Block diagram of type CF-G thyristor.

4.3 回路方式

図 10. は、サイリスタ 逆並列、直流側出力電流 201 A 以上、ダイナミックブレーキ、電磁ブレーキ付きの場合の CF-G 形サイリスタレオナード ブロック図を示す。

4.4 構成

CF-G 形サイリスタ装置を図 11. に、盤内部を図 12. に示す。サイリスタ部は、サイリスタ素子保護用異常電圧吸収装置、ゲートパルス変圧器、サイリスタ素子保護用ヒューズを含んだ 2 個の同じサイリスタスタックより構成されている。一方向駆動のサイリスタスタックは 3 個、両方向駆動サイリスタスタックは 6 個のフラット形サイリスタ素子とゲートパルス変圧器より構成されており、異常電圧吸収装置は抵抗とコンデンサにより、サイリスタスタックに装備されている。サイリスタスタックに装備されているゲートパルス変圧器は、サイリスタ変換部の制御部に含まれており、ゲートパルスゼネレータからサイリスタ素子にゲート点弧信号を与えると共に、主回路と制御回路を絶縁分離している。

サイリスタ素子保護用速断ヒューズは、サイリスタスタックの前面に配置されており、表示用ヒューズもまたサイリスタ変換部に含まれている。異常電流によって速断ヒューズ溶断後、過電流は表示ヒューズに含まれている電流制限抵抗によって減衰し表示ヒューズを通して流れ、表示ヒューズが溶断すると表示ヒューズから棒が突出しマイクロスイッチを動作させる。このマイクロスイッチは、表示パネル取付の故障表示ランプを点灯させると共に、交流側ブレーカ (52) と直流側ブレーカ (72) をトリップさせる。

サイリスタスタックの裏面には、3 個の交流リクトルが収納されており、リクトルの上に設置されている冷却ファンは、サイリスタ素子からの熱を吸収している。冷却エアは、キューピクル前面下部よりエアフィルタを通して装置上方へ必要な風を送り、サイリスタ素子、交流リクトルを冷却して盤外へ排出される。制御部はコントロール部分、保護とシーケンスリレーにより構成されている。コントローラ部分はプラグインカード類と制御トランジスタにより構成されており、キューピクル前面パネルの後部の中間位置に設置されている。中間部分の前面パネルを開けると、

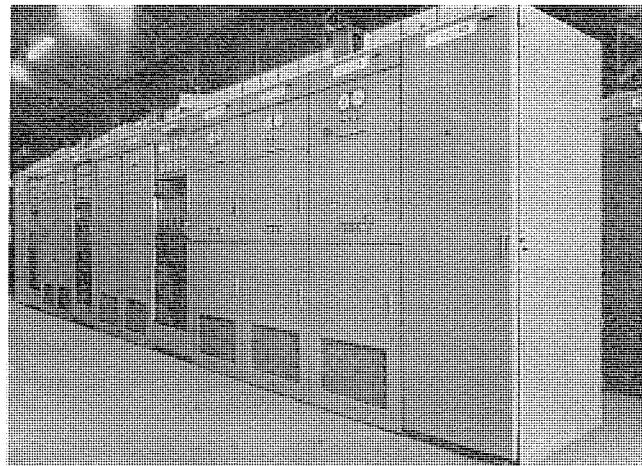


図 11. CF-G 形サイリスタ装置
Exterior view of type CF-G thyristor cubicle.

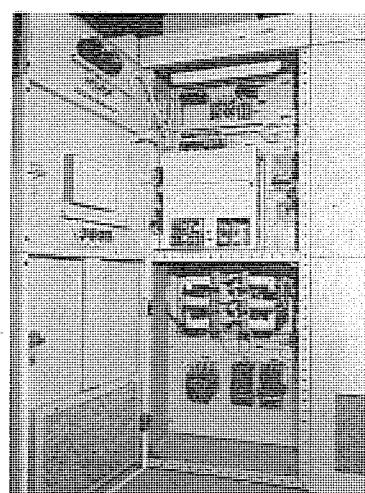


図 12. CF-G 形サイリスタ盤内部
Interior view of type CF-G thyristor cubicle.

コントローラ部分の調整、試験が容易にできるようになっている。

プラグインカードは、2個の「ゲートパルスゼネレータカード」、「ゲートトリガ」ための電源と同期化カード、電圧・電流・速度制御カード、メータパネル付き直流安定化電源、各種基準カードより構成されている。これらのカードは、前面にポテンショメータを取付けているため容易に調整することができる。メータパネルはロータリスイッチによって選択されたコントローラ出力電圧を指示し、調整をいっそう容易にしている。

4.5 制御装置

制御装置は被制御機器の必要とする制御性能にマッチした制御方式が採用されねばならない。本シリーズの制御系では回路を機能別に分類し、プラグインカード方式でモジュール化されたものの組合せにより標準制御回路の標準化を完成した。これにより制御性能および信頼性の向上、保守の容易化を計っている。

制御回路は主制御回路（速度制御回路・電流制御回路・電圧制御回路等）、制御信号をそれに合った位相に変換するゲート回路等より構成される。

4.5.1 主制御回路

速度制御回路は図13.に示すように、第1に標準として、電圧マイナーピーク、電流マイナーピークが付加されている。第2に計測回路が付加されている。第3に起動条件用電圧リレー（VR）が付加されていることで、それらは次のようないくつかの特長をもっている。

(1) 電圧マイナーピークは、主回路電流が断続している場合と連続している場合とで主回路特性が異なるのを線形化するためのもので、このループの応答はきわめて速く、2～3 msである。

(2) 電圧マイナーピークの出力極性信号は、IC Logic回路によって判別し、ゲート回路1組で可逆駆動を可能にしている。なお可逆切換は主回路電流が零になってから切換えられる無循環電流方式となっている。

(3) 電流マイナーピークは、主回路電流制御用であり、電流応答は任意に調整できることで、直流電動機の整流を良好に保つことができる。また電流制限回路をも構成している。帰還電流信号は交流変流器によって行なわれ、可逆駆動の場合には、IC Logic回路で帰還信号の極性を判別している。

(4) 計測回路は、帰還電圧信号および帰還電流信号がおのおの主回路電圧および主回路電流に比例していることに着目し、これらの帰還信号に電圧フォローアンプを付加して主回路電圧、主回路電流を計測している。これにより計測回路を主回路電位より完全に絶縁し、制御電位回路として取扱うことができる。

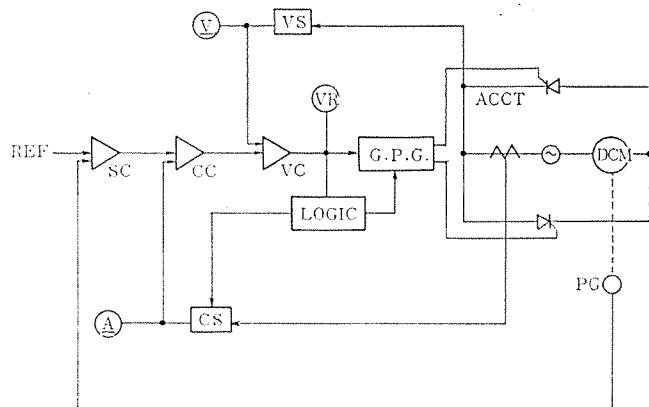


図13. 速度制御回路
Speed control circuit.

(5) 起動条件用電圧リレー（VR）は、電圧マイナーピークの開路伝達関数が非常に高いことを利用し、この出力信号により動作する電圧リレーを付加し、レオナード装置の起動条件に入れることにより、起動時の直流電動機のフラッシオーバを防止している。また起動前の主制御回路全体の安定判別をも兼ねることができる。

これらの附加回路により制御性能の向上はもとより、従来主回路側で取り扱われてきた機器が制御回路側に組み込んだため、取扱いが非常に安全な装置となった。なお主制御回路は、メジャーピークをもつカード、およびマイナーピークをもつカードの2枚で構成され、各種の制御方式に互換性のあるように考慮した。

4.5.2 ゲート回路

ゲート回路は過去種々の方式が考案されてきたが、本シリーズでは電源電圧が自動的に保障され、応答速度が速く、移相特性に直線性のある等の数々の特長をもつ電圧コンペレータ型ゲート回路を使用している。図14.に1相分のゲートパルス発生回路を示す。このゲート回路は、電圧コンペレータ部分に精度の高い部品の組合せにより、従来設けられていた位相保障用ボリウムの使用なしで6相分の各パルスの位相ずれを規定値以内に入れることができるようになった。出力ゲートパルスは当社製双方方向サイリスタを使用することにより、1μsの急しゅん（峻）な立ち上りをもったハイゲートドライブ波形であり、ゲートしゃ断信号によってゲートパルスは1サイクル以内に完全にしゃ断される。ゲート回路は2枚のゲートパルス発生回路（3相分収容）と1枚のゲートパルス抑制回路により構成され、ゲートパルス発生回路は単相回路にも使用できるよう考慮した。

4.5.3 制御ユニット

制御ユニットは図15.に示すように、プリントカード方式であり、カード前面側に調整用ボリウム、テスト端子を設け、各直流電動機および機械側定数に応じた任意の伝達関数を作ることができ、調整・保守が容易なように考慮されている。また主要演算部は、メータ制御モジュールにより、ロッタリスイッチおよび直流電圧計の組合せにより容易にチェックすることができる。このモジュールには、制御直流電源および試験電圧発生回路も内蔵されている。図16.にメータ制御モジュールの前面パネルを示す。本シリーズの制御回路は全面的に高性能アナログICを使用しており、各ICの零調整は前段のICに関係なく零調整がとれるよう考慮されている。

当社では制御回路部品は、認定部品制度を設け各部品メーカーの技術管理状況を把握し、制御回路部品には認定試験により、全項目の認定試験に合格した部品が、当社で使用できる部品として認められ

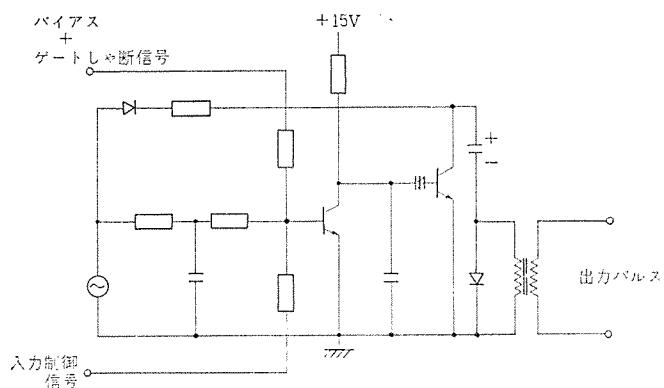


図14. ゲート回路
Gate pulse generating circuit.

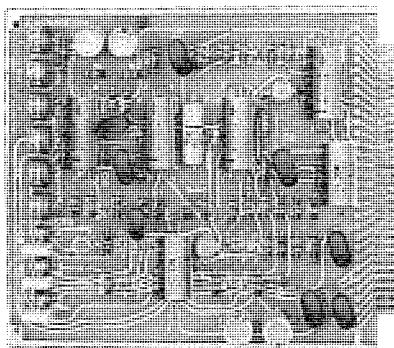


図 15. 制御ユニット
Control unit.

制御 モジュール に組込まれる。制御 モジュール は、制御 モジュール 認定制度をもうけ、制御 モジュール 認定のための試験があり、その試験に合格した制御 モジュール のみが製品として出荷される品質管理体制をとっている。

5. む す び

以上、各種鉄鋼 プラント 用 サイリスタ レオナード 装置の概要について紹介した。最近では冷却法の研究とともにさらに大容量のものの開発が進められ、最近では 1,000 A 級の平形 サイリスタ も出現しつつある。これら半導体技術、制御技術等の急速な進歩と共に我々はさらに研

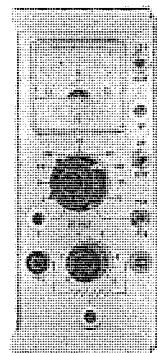


図 16. メータ制御モジュール 前面パネル
Front panel of meter module.

究を重ね、信頼性の高いすぐれた装置を開発、製作してゆくつもりである。

最後に CF-G 形 サイリスタ レオナード 装置の開発に、また積極的にこれら サイリスタ レオナード 装置を採用され、その発展にご指導いただいた各位に厚くお礼申しあげる次第である。

参 考 文 献

- (1) 大谷、塙本：三菱電機技報, 45, No. 11, 1447 (昭 46)
- (2) 上林、有賀、開高：三菱電機技報, 45, No. 11, 1456 (昭 46)

鉄鋼プラント用制御盤と操作盤

平山 博朗*・柴田 謙司*・田中 瞳宥*・貴志 之保*

Control Panel Boards and Operation Desks for Steel Plants

Kobe Works Hiroo Hirayama · Kenji Shibata · Nobuhiro Tanaka · Yukiyasu Kishi

As for the iron and steel plant which is enlarging the scale, its control equipment becomes more important, more complicated and more diversified in the viewpoint of rationalization of installation as well as of the technique of control. It is the manufacturer's duty to build it how inexpensively and how soon by meeting the desire of high reliability.

In this article description is made on the control boards and operation desks used for the rolling mills and the process lines of steel plants in reference to the outlines of Mitsubishi standard series which are not much made known up to now.

1. まえがき

我が国の鉄鋼生産高は年間1億トンの大台を越えたが、これらは最近、各製鉄メーカーに設置された新鋭設備により生産されている。

これらの設備に使用される電機品、特に制御装置には、幾多の新技術が導入され、設備の性能の向上と、合理化、自動化に大きな役割を果している。

制御システム全体が大形となり構成が複雑となって来るに従い、装置を構成する制御盤、操作盤等におけるハード面においても、多種多様のものが製作され、納入されている。

本文では、メタルクラッドスイッチギヤ、コンピューションスター、パワーセンタや、コントロールセンタなど、従来よく本誌でも紹介された機種を除き、主に圧延プラント、プロセスラインプラント等に適用される制御盤、操作盤の当社の標準シリーズについてその概要を紹介するものである。

2. 制御盤

2.1 標準制御盤の種類と構造

2.1.1 標準制御盤の種類

製鉄プラントに適用される電機品は、多種、多様で配電盤、制御盤についてもメタルクラッドスイッチギヤや、コンピューションスターのような高圧制御盤、パワーセンタ、コントロールセンタなどの低圧交流制御盤、サイリスタレオナード装置、直流定電圧制御盤などの直流電動機制御盤、それに最近急速に発達したトランジスタや、ICを使用した電子制御盤などさまざまな機能、形態の盤が存在する。

我々は製鉄プラント用電機品を多年にわたり製作、納入した経験をもとにして、これらの制御盤類を、制御対象、制御方式などの項目により、分類、整理して、新技術をも折り込んで、標準機種を設定し、シリーズ化してきた。

このような機種ごとの標準シリーズの完備により、我々製作側としては、見積り、計画の正確、容易性、製作期間の短縮などのメリットがあるだけでなく、顧客にとっても、品質ならびに価格の安定、あるいは同一パターンの標準盤により保守の単純化、統一化など大きなメリットが考えられる。

製鉄プラントに使用される制御盤は、前記のごとく多くの機種があるが、本文では、これまであまり紹介されなかった、次のような直流電動機制御を対象とした、制御盤について述べる。

- (1) M形 主機可変電圧制御盤
- (2) DK形 直流定電圧制御盤
- (3) VP形 電動機補助制御盤
- (4) VH形 ヘルパ電動機制御盤
- (5) DS形 電磁弁制御盤
- (6) DR形 総括制御盤

なお、最初にこれら制御盤のほとんどの機種のハードを構成するFF形制御盤フレームについてふれたい。

2.1.2 FF形制御盤フレーム

制御盤のハード面について定義すると、「電気回路に使用される制御器具類を取り付け、その相互間を電気的に接続したものを、システムを構成する単位ごとにまとめたもの」と言えよう。

最近の製鉄プラントのごとく、規模が拡大し、省力化、自動化が進むと、制御盤の種類が増えるとともに、制御盤のしめる重要な性も増してきた。

我々メーカーの使命としては、要求仕様の多様性に応じつつ、制御盤製造の標準化、合理化を行ない、厳重なる品質管理のもとに、良い製品を安く、早く、製作納入することにある。

そこで我々は、制御盤のハード面で要求される仕様や、機能について見直しを行ない新しい観点のもとに、設計方針を立て、また製作方法についても標準化の検討を加えて、新しい制御盤フレームとして、FF形制御盤フレームを開発した。これは後述する種々の制御盤の共通フレームとして使用される重要なものである。

(1) 設計方針

新しい制御盤フレームの開発にあたり、機能、仕様、製作方法を検討した結果、次のような設計方針で進めることにした。

(a) 対象機種

製鉄プラント、製紙プラント、一般工業向けの低圧電動機制御盤を対象とする。

(b) 各機種とも、共通のフレームを使用することとし、共通フレームはまとめ生産を行なう。またフレームは、開放形・閉鎖形どちらにも使えるものとする。

(c) 器具の取付部分は、可能な限りユニット化する。

(d) とびらを有するものでは、制御リレー等をとびらに取付け、盤に取付ける器具数を増やすようにする。

(e) 外観を統一し、列盤とした場合の統一美を強調する。

(f) 外線ケーブルの接続用スペースを十分広くとる。

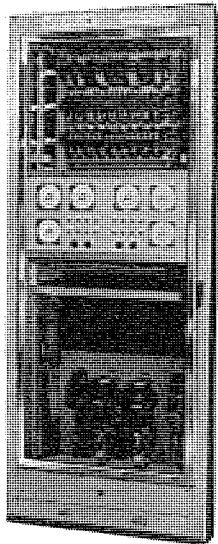


図 1. FF 形制御盤外観図
Type FF control panel external view.

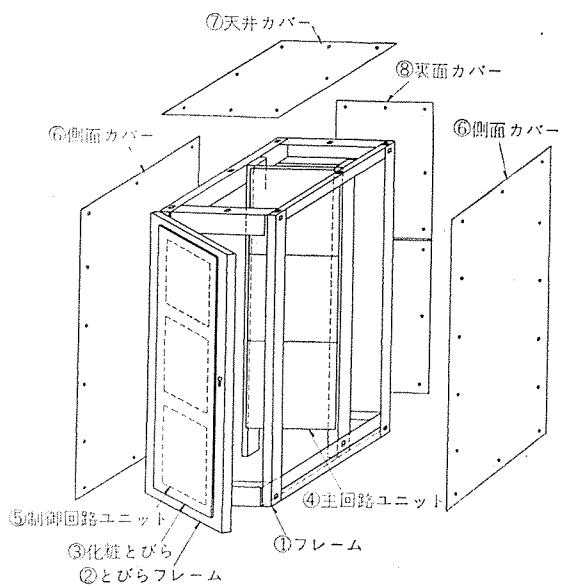


図 2. FF 形制御盤
Type FF control panel.

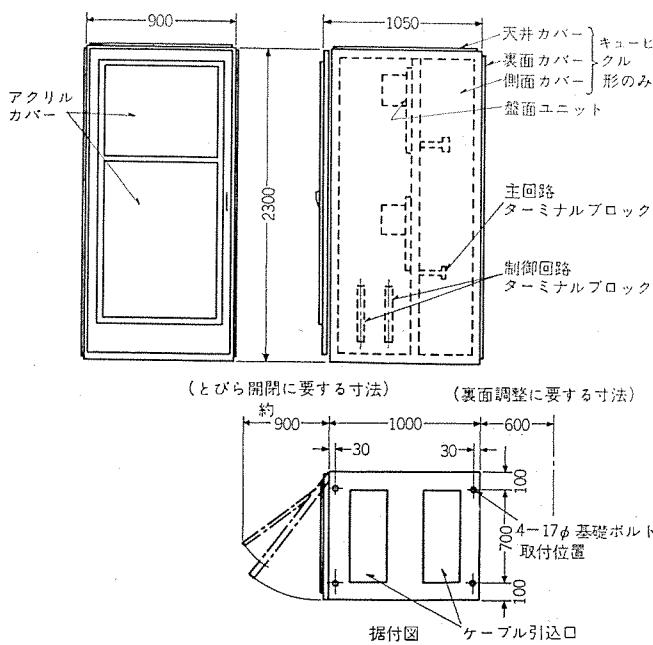


図 3. 外形寸法図
Outline dimensions.

(g) 保守、点検のしやすい構造に重点を置く。

(2) FF 形制御盤フレームの構造と特長

図 1. に電動機主回路盤に本フレームを適用した場合の外観を図 2. に構造概念図を示す。

(a) 主フレーム

主フレームは「コ」字形に成形し、等ピッチで多数の角穴をあけたチャネルを額縁状に溶接したもの側面わくに使用し、前後面わくには同じく「コ」字形のチャネルを別途製作し、組合せる構造とした。各々のわくは量産され、保管されている。

フレームの組立要請があると、保管庫より、側わく 2 個、前後面わく用チャネル 4 個を取り出し、各々を組合せて、各隅を 8 個のボルトで締め、組上げるプレハブ構造である。

(b) 器具取付板

器具は、制御回路の機能ごとにまとめて、一つの取付板に配置し、結線するユニット方式をとっている。ユニット方式のメリットは、制御回路の固定仕様部分と、変動仕様部分とを分けることができ、固定仕様部分の標準化が促進されると共に、いくつかの組合せによる仕様の多様化にも応じることができ、ユーザ側にとってもメーカー側にとってもメリットが大きい。

(c) とびら部分

盤内部収納器具に対する、じんあい等に対する保護、および人畜に対する保護の観点から、盤形式として閉鎖形の要求が多くなっている。また収容能力の点からもとびら部分に器具を取付けることとしたため、内部の点検も容易であること、外観も美しいこと、等の条件よりとびらは二重とびらとし、表面とびらには、アルミサッシにアクリル板をはめ込む構造とした。

とびらが従来のように一体構造であると、表面取付器具の種類や、個数が設計の都度異なるため、完全なオーダーメードとなるが、二重構造とすることにより、とびらわく部と、器具取付部とは個々に製作できるため、とびらわく部の標準化とまとめ生産が可能となった。

(d) 寸法

図 3. に FF 形制御盤の標準外形と寸法を示す。図示の標準寸法製品の他に、準標準として次の寸法の製品を用意している。

高さ (1,900) 2,300

幅 (700) 900

奥行 1,050

()内は準標準

ただし、奥行寸法は特に一種類に限定して、列盤とした場合の配置計画の容易さ、据付工事の容易さを意図している。

2.2 M 形主機可変電圧制御盤

ホットストリップミルや、プレートミル、あるいはタンデムコールドミルなどのプラントにおいては主圧延機群を、そのプラントの主機と呼ぶが、M 形主機可変電圧制御盤は、これらの主機を駆動する 600 V, 1,000 A 以上の大形直流電動機(サイリスタ可変電圧電源方式)の制御、保護、監視を目的とする制御盤群を総称し、つぎのものより構成されている。

(1) MB 形主機しゃ断器、コンタクタ盤(以下 MB 盤)

(2) MV 形主機電動機制御盤(以下 MV 盤)

(3) MF 形主機界磁制御盤(以下 MF 盤)

主機はプラントにおける役割がきわめて重要であり、保護装置類も、二重三重となっている。電動機主回路においては、高速度しゃ断器、気中しゃ断器、コンタクタ、制動抵抗、限流抵抗など各種の器具類にて保護するが、これらは、プラントごとに詳細な検討を加えて選択組合せを決定している。構成例のスケルトンを図 4. に示す。ま

表 1. MB 盤の標準形名 Standard type name of MB panel.

電流区分	電流	MB-O 形 (BH 形 HSCB)			MB-1 形 (DF 形コシタクタ)※1			MB-2 形 (DB 形 ACB)		
		標準		HSCB 名	標準	D付	コシタクタ名	標準	D付	ACB 名
1	0~1,300 A	MB-01		BH F _B -20 MF	MB-110	MB-11 D	1×(DF-910)			
2	(~2,500) 2,000	MB-02		BH F _B -30 MF	MB-120	MB-12 D	1×(DF-930)			
3	3,000	MB-03			MB-130	MB-13 D	2×(DF-930)	MB-230	MB-24 D	DBS-40(D)
4	4,000	MB-04		BH F _B -50 MF	MB-140	MB-14 D		MB-240	MB-25 D	
5	5,000	MB-05						MB-250	MB-25 D	DBS-60(D)
6	6,000	MB-06		BH F _B -80 MF				MB-260	MB-26 D	
7	7,000	MB-07						MB-270	MB-27 D	
8	8,000	MB-08						MB-280	MB-28 D	DBS-80(D)

た MB 盤の標準形名を表 1. に示す。

大形直流機では、直流機本体の他に、潤滑油装置、冷却装置、火花監視装置など、各種の付属装置を備えて、直流機の運転、保護をより完璧なものとしている。

これら保護装置からの信号などをとりまとめ、主電動機の起動条件、トリップ条件などを組み、他に電気室での主機監視用にメータ、運転表示灯、操作スイッチ、故障表示器などを取付けたものを、MV 盤としている。MV 盤の外形図を図 5. に示す。

大形直流機の励磁容量は大きく、一般に界磁制御と組合せた制御方式がとられるので、励磁装置としては単独のサイリスタ装置が多く採用される。

MF 盤も、容量、制御方式に応じた三菱標準サイリスタ装置の各シリーズと組合せた標準シリーズを準備している。

2.3 DK 形 直流定電圧制御盤

DK 形 直流定電圧制御盤(以下 DK 盤)は、主として、三菱 KM 形 压延補機用 直流電動機を直流定電圧電源で制御する制御盤で、負荷の変動が激しく、ひんぱんな起動・停止・逆転を繰り返す過酷な条件に適合するよう設計、製作し、その応用分野は、ブッシャーテブル、圧下、サイドガイド調整などをはじめ広範囲にわたっている。

電源電圧は DC 220 V を標準としているが、DC 440 V のものも製作可能である。ただしこの場合は制御電源として DC 220 V を別に用意する必要がある。

DK 盤の標準形名構成を表 2. に示す。電流容量は 8 区分としているが、適用電動機容量は 3.7 kW~370 kW である。起動段数は電流コード 0~3 までが 3 段、4~5 までが 4 段、6 が 5 段、7 が 6 段とするのを標準としている。

制御方式は図 6. のスケルトンに示す 5 形式を標準として用意し、定電圧制御での広い守備範囲をもっている。この制御方式と次のコードのモータ巻線形式との組合せは、NEMA 規格 ICS, 3-441, 21 の内容より少なくなっているが、実際に適用される範囲ではこの標準で十分実用的であると考えている。

制御盤のフレームには、前節で紹介した FF 形制御盤フレームを採用し、器具は主回路部と制御回路部とに分けて、各々をユニットとしている。したがって小容量モータの場合、1 面の中にモータ数台分のユニットを組むことができ、外形寸法を従来にくらべて平均 70 % と小さくすることができた。また標準寸法が 1 種類であるため、据付計

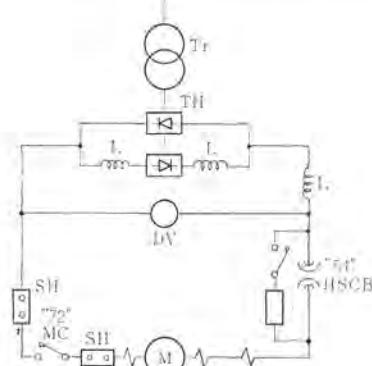


図 4. 主機主回路 スケルトン例
Example of main machine main circuit skeleton.

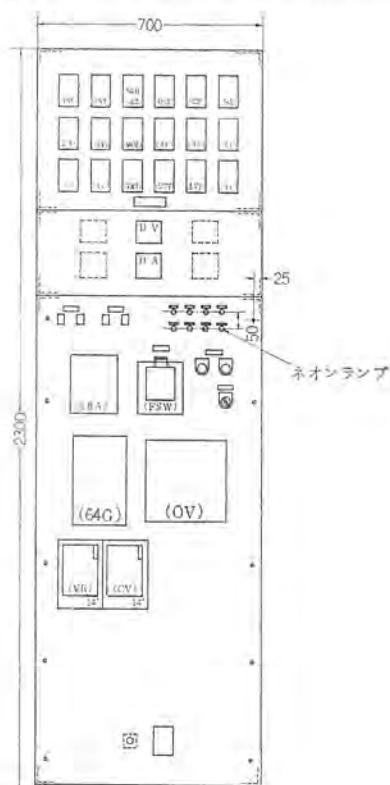
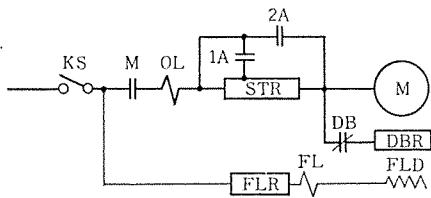
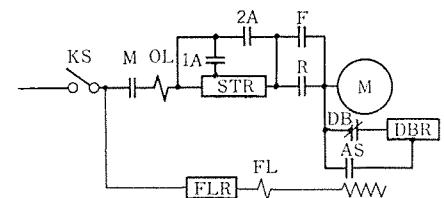


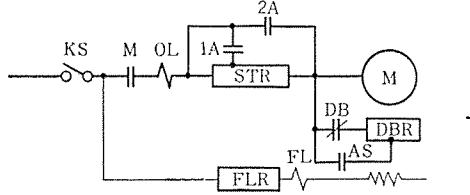
図 5. MV 盤の外形図
Outline of MV panel.



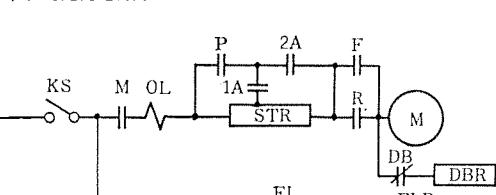
(a) 非可逆発電制動



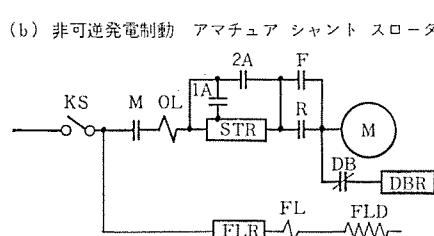
(d) 可逆発電制動、アマチュア シャント スローダウン



(b) 非可逆発電制動 アマチュア シャント スローダウン



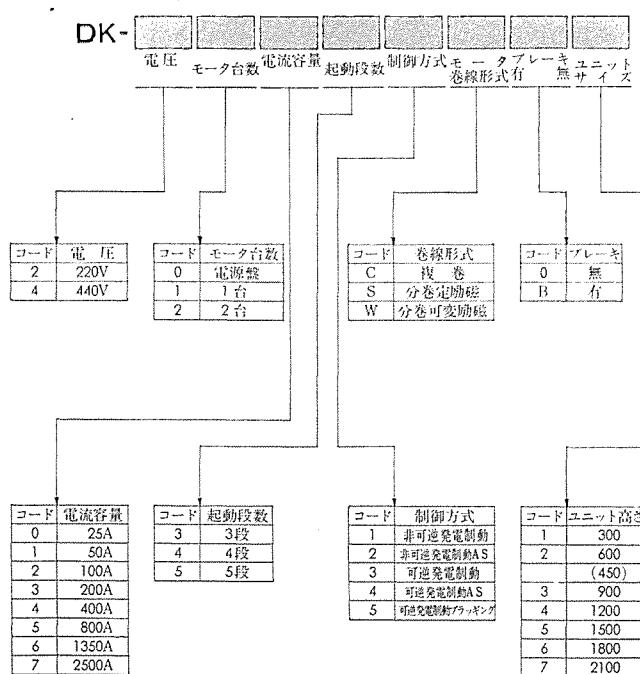
(e) 可逆発電制動 ブラッギング



(c) 可逆発電制動

図 6. DK 盤の標準スケルトン Standard skeleton of DK panel.

表 2. DK 盤の形名
Type name of DK panel.



画が簡単にできるようにもなった。主回路ユニットの写真を図 7. に示す。

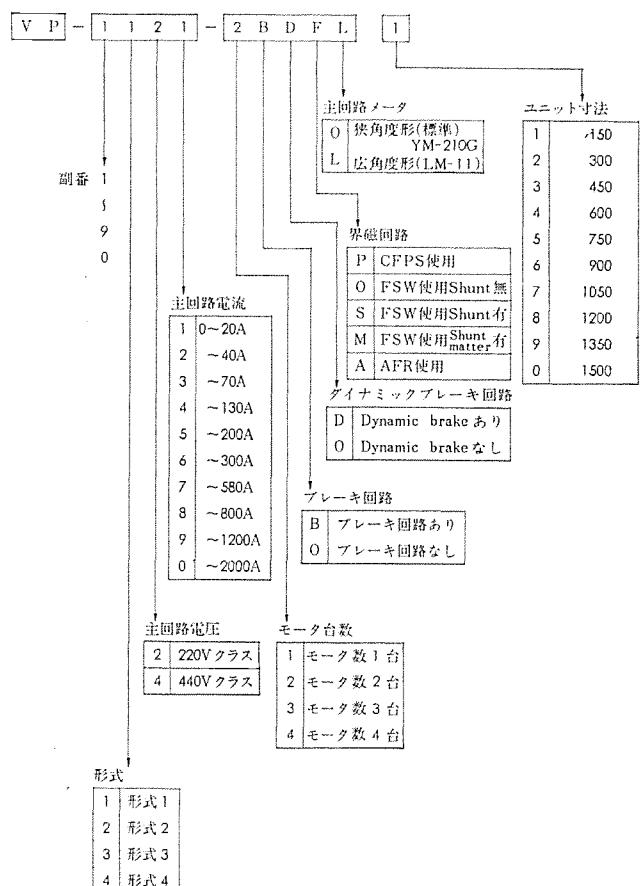
付属品の界磁抵抗、電磁ブレーキ抵抗は、盤内に収納しているが、起動抵抗および制動抵抗などの主回路抵抗は別置としている。

2.4 VP 形 電動機補助制御盤

VP 形 電動機補助制御盤(以下 VP 盤)は、本誌別文のサイリスタレオナード装置や、前項で紹介した DK 盤などを電源盤として使用し、2 台以上の電動機をこれらの電源で駆動する場合に、電動機の保護と制御を目的として標準化したものである。

VP 盤の標準形名は表 3. のように構成している。

表 3. VP 盤の標準形名
Standard type name of VP panel.



電源電圧は、DC 220 V, DC 440 V の 2 種類であるが、制御電源は別に DC 220 V を用意する必要がある。

VP 盤はまず、主回路の構成方法によって分類され、これを形式 1 ~ 4 としている。ただ現在標準として準備しているのは形式 1, 2, 4 の 3 種類であり、これらのスケルトンを図 8. に示す。

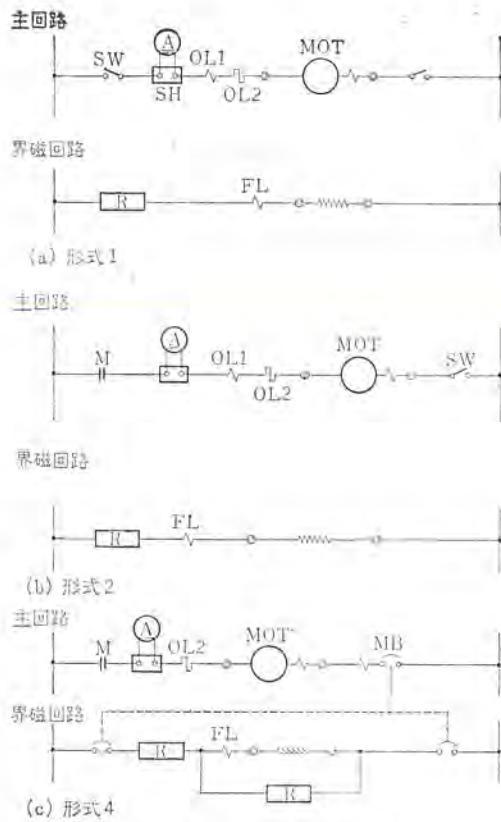


図 8. VP 盤の標準スケルトン
Standard skeleton of VP panel.

電動機 1 台分として VP 盤に収納される器具の数は少ないので、1 面に数台分を収納することになるが、これをユニット化し、効率的な組合せができるようにしている。すなわち、大容量のものは 1 ユニットに電動機 1 台分であるが、小容量のものでは 1 ユニットに電動機 2 台分をとり付け、制御盤フレームには、FF 形制御盤フレームを採用して、1 面当たり 1 ~ 8 台の電動機分を収納できるようにしている。図 9 に 8 台分を収納した場合の組立図例を示す。

電動機界磁回路としては、定電圧励磁電源により励磁する場合の他に、三菱 CFPS 形 定電流励磁装置および三菱 AFR 形 自動界磁制御装置のいずれをも収納することができる。ただしこれらを使用する場合は、AC 200/220 V または AC 100/110 V の電源を準備する必要がある。

2.5 VH 形ヘルパ電動機制御盤

VH 形ヘルパ電動機制御盤（以下 VH 盤）は、主としてプロセスラインにおいて、ラインのリンクロールあるいはスクラバロールなどの補助ロールを駆動する電動機の制御に適用する盤である。

プロセスラインのヘルパ駆動は、補助ロールのフリクションロスと、ストリップのペンディングロスなどを補償し、補助ロール前後のストリップ張力を等しくする目的に使用される。

VH 盤の標準形名は表 4 のように構成している。

駆動電源としては、別の可変電圧制御盤が設けられ、DC 220 V または DC 440 V である。

適用電動機の容量は、1.1 ~ 7.5 kW の範囲である。電動機界磁の励磁方法としては、直流定電圧励磁電源を別に用意し、可変抵抗形界磁調整器を使用する方法と、三菱 CFPS 形 定電流励磁装置を使用する方法とがあるが、後者を使用すると、運転調整が非常に容易である。この場合のスケルトンを図 10 に示す。

ライン中に使用されるヘルパモータの台数は、十数台～数十台と非常

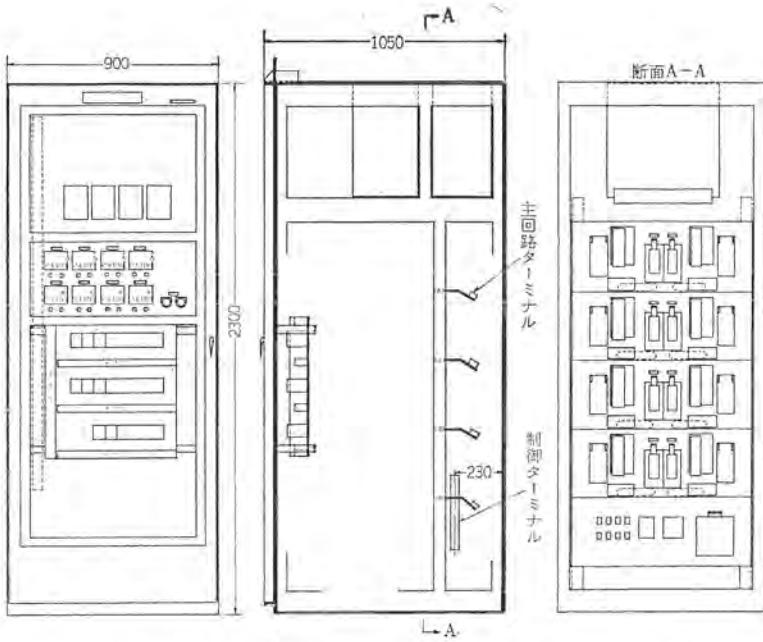


図 9. VP 盤組立図例
Example of VP panel assembled.

に多いため、制御盤-電動機間の外線ケーブルを節約する意味から、VH 盤は機械ヤードの現場に設置されることが非常に多い。したがって盤構造も現場設置に適したキューピカル形とし、奥行もできるだけ小さな寸法とし、標準的には 1 面に 5 台分のユニットを収納できるようにしている。外形図の 1 例を図 11 に示す。

2.6 電磁弁盤

製鉄プラントにおいて、電磁弁は直流電動機・交流電動機などと共に機械の駆動源の一つとして数多く用いられているものである。

表 4. VH 盤の標準形名
Standard type name of VH panel.

VH-	□	□	□
	主回路電圧	MOT容量	励磁方式
コード	主回路電圧	コード MOT容量(kW)	コード 励磁方式
2	220V	1.1	A CP電源
4	440V	2.2	B CFPS
		3.7	
		5.5	
		7.5	

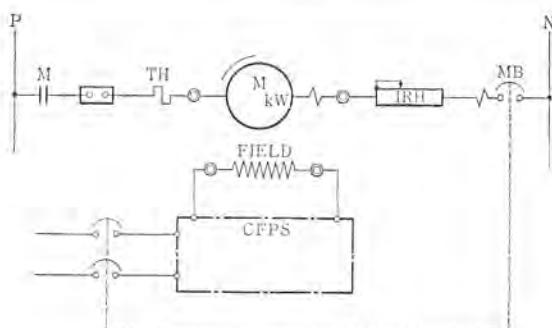


図 10. VH 盤のスケルトン例
Example of VH panel skeleton.

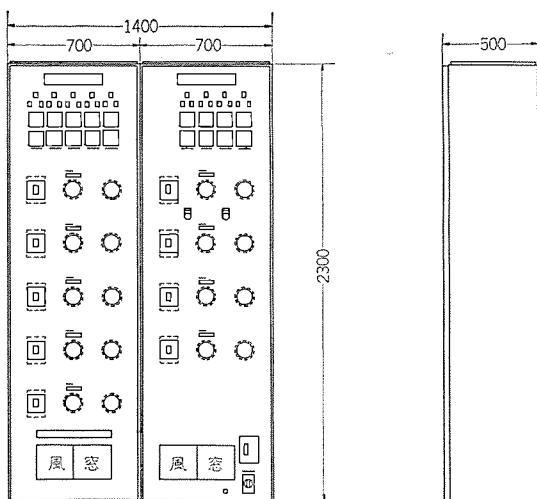


図 11. VH 形 ヘルパ 電動機制御盤
Control panel of VH helper motor.

電磁弁の駆動電源には、直流用と交流用があり、回路の開閉はリレーによるもの、サイリスタスイッチによるものがある。最近では、サイリスタスイッチを使う傾向にあるが、直流・交流いずれの場合にもリレー駆動が多い。以下リレーを用いた交流用電磁弁盤について述べる。

電磁弁の回路は図 12. に示すとおりシングルソレノイドとダブルソレノイドの場合に分類される。また、各々の回路保護として、ヒューズによるものとノーヒューズブレーカによるものがある。

電磁弁回路を構成する器具の主な仕様を表 5. に示す。

電磁弁盤の構造は図 13. に示すとおり盤内正面および右側面に電磁弁ユニットを、左側面には端子を取り付け、前面保守に重点を置いている。ケーブル引込に関しては図 14. に示すとおり、盤裏面全体の空間を利用し、点検を容易ならしめている。論理リレー回路が必要な場合にはミニチュアリレーを使って、盤表面とびらに装架することもできる。なお、この部分はアクリル補助とびらで覆われ、保守性向上・信頼性向上に寄与している。主フレームはFF形を採用し、他の制御盤との統一を図っている。

電磁弁盤器具最大収容能力を表 6. に示す。

2.7 総括盤

総括盤は、複雑なロジックを集中的に組み、これらの出力で電動機制御盤の起動・停止指令、電磁弁の開閉等を行なうものである。最近では、シーケンサ等の適用が増加の傾向にあるがリレーによるものも多い。以下リレーによるものについて述べる。

内蔵リレーは、論理回路構成のための「ミニチュアリレー」と外部回路駆動の「パワーリレー」の2種類であり、その仕様を表 5. に示す。特にミニチュアリレーは、プラグイン方式防じんカバー付き・動作表示ランプ

表 5. 電磁弁盤、総括盤収納機器の定格

Electro-magnetic panels and ratings of apparatus mounted on the totalizing panel.

名 称	形 名	コイル電圧	接 点 容 量	タイマ動作時間	電気的寿命
ミニチュアリレー	MY 4ZN-CB-M	AC 100 V 50/60 Hz AC 110 V 60 Hz	AC 100 V 0.5 A (抵抗負荷) AC 100 V 0.225 A (SRリレー3個)		80万回
ミニチュアタイマ	MY 2V-ZC-{-1S -5S}	AC 100 V 50/60 Hz	AC 100 V 0.5 A (抵抗負荷) AC 100 V 0.225 A (SRリレー3個)	0.1秒～1.3秒 0.3秒～7秒	
パワーリレー	SR-4	AC 100 V 50/60 Hz AC 110 V 60 Hz	AC 110 V 6 A (コイル負荷) AC 220 V 5 A (コイル負荷) DC 220 V 0.2 A (コイル負荷)		100万回 100万回 100万回
タ イ マ	SRT	AC 100 V 50/60 Hz AC 110 V 60 Hz	AC 110 V 6 A (コイル負荷) AC 220 V 5 A (コイル負荷) AC 220 V 0.2 A (コイル負荷)	0.2～60秒	
名 称	形 名	定 格	定格しゃ断電流		
ノーヒューズブレーカ	BH	110 V/220 V 10 A	5,000 A		
ヒ ュ ー ズ	ANS	250 V 3 A			

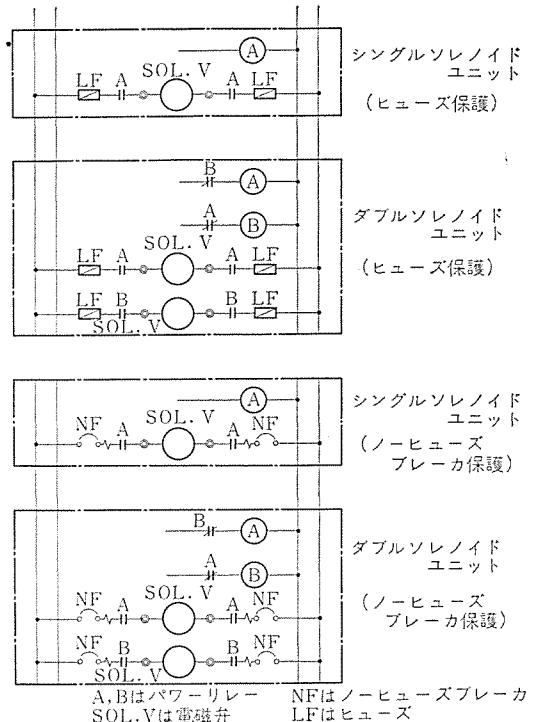


図 12. 電磁弁の励磁回路
Excitation circuit of electro-magnet valve.

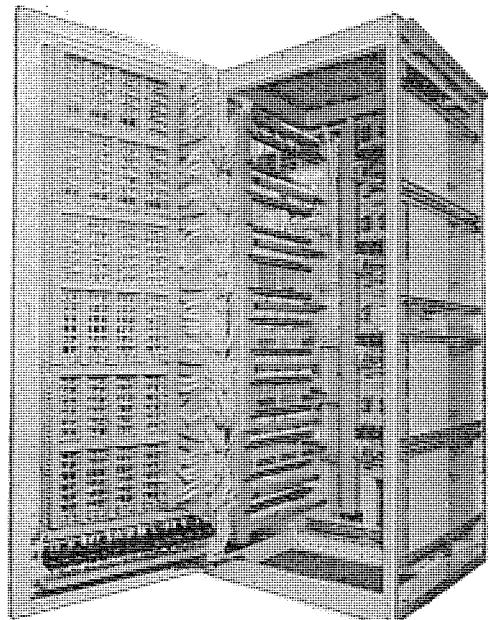


図 13. 電磁弁制御盤内部
Control panel of solenoid valve.

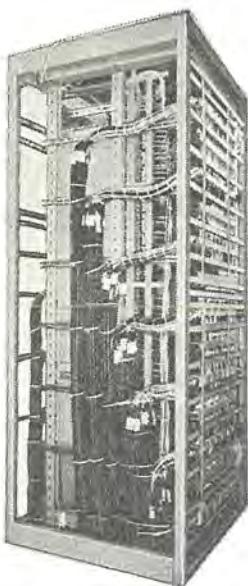


図 14. ケーブル引入例
Example of cable inlet.

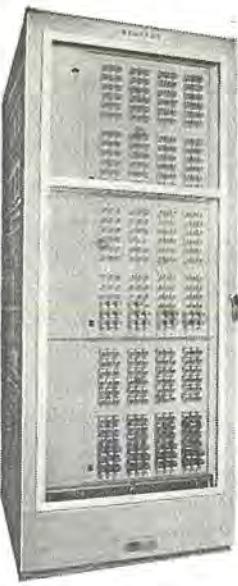


図 15. 電磁弁制御盤外観
Control panel of solenoid valve.

表 6. 電磁弁盤、総括盤の機器最大収容能力
Maximum accommodating capacity of electro-magnet valve and totalizing panel.

	総括盤	電磁弁盤
表面取付器具	ミニチュアリレー 315 個 ミニチュアタイマ 45 個	左に同一
盤内取付器具	パワリレー及びタイマ 168 個	電磁弁ユニット シングル 56 台又はダブル 28 台
外部端子数	720 点	720 点 但し電磁弁用端子は含まれない
その他の	電源引込み及び分岐用 ノーヒューズブレーカ 7 台 電源トランジス 1 台	左に同一

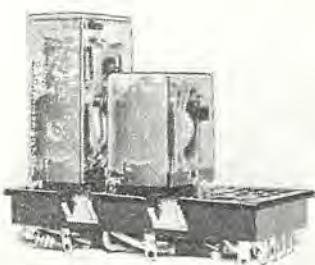


図 16. ミニチュアリレー 外観
Minature relay.

付きで、そのソケットにはチェック用端子を備え(図 16.)保守性向上している。

構造は、電磁弁盤の電磁弁ユニット取付けの代りに、SRリレーユニットを収容している他は全く同一構造である。リレーの符号は配置を示すX-Y座標と、シーケンスページを組合せたものとし、ワイヤマークについてもシーケンスページを含めることにより、保守性向上を図っている。

総括盤器具最大収容能力を表 6. に示す。

3. 操作盤

操作盤は、鋼板製の箱体に操作器具および、監視器具を取付けた盤であるが、使用場所および目的によりいろいろな形態がある。電気室に設置して、総合的に監視、制御するものには、垂直自立形や、

机形のものが多く使用され、現場で、あるセクションの操作を総合的に行なう主操作盤としては、机形が多く使用され、また単独の機械の操作のみを行なうものには、壁掛形、スタンド形および、傾斜スタンド形が多く使用されている。

3.1 操作盤の人間工学

操作盤の重要な機能は監視機能と制御機能である。

監視機能とは、被制御装置の状態を表示したり、制御の状態を人間の感知できるものに変換して表示する機能である。たとえば機械の位置を検出器で検出して、表示灯で表示したり、電流や、電圧を計器で表示するなどはその代表的なものである。

監視機能を十分に發揮させるには、まず人間のその方面的特性を十分に知ることが大切である。人間の感覚には視覚、聴覚、触覚、味覚および嗅覚の五つがある。このうち監視として、使用される感覚は視覚と聴覚である。視覚については、その能力には局限性があり、それを現わしたのが図 18. の視野である。この図において監視に最も適しているのは、左右両眼の重複した所で、中心より左右に各々 60 度である。また上下については、上に約 20 度、下に約 30 度である。これらの数値は首を静止した状態の値であるが、首は胴体を静止した状態で左右に各々約 40 度回転でき、上下については、頭の真上から爪先まで見えるように動かすことができる。また胴体も足を動かさずに左右に各々約 30 度動かすことができる。視覚が識別する要素には色彩、明るさ、遠近、位置、運動、長さ、大きさ、形がある。これらの要素は単独または数種の組合せにより監視に利用されている。

次に聴覚について述べると、その能力には、方向性はあるが、局限性がなく、識別する要素は音の強さ、音の高さ、音色、音の太さ、音の密度、音の時間的間隔等がある。これらの要素は視覚の要素と同様に監視をするために使用されている。これら視覚、聴覚の識別



図 17. CD 形 標準機操作盤
Type CD standard desk operation board.

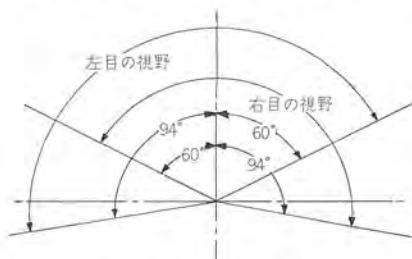


図 18. 両眼の視野
The field of vision of both eyes.

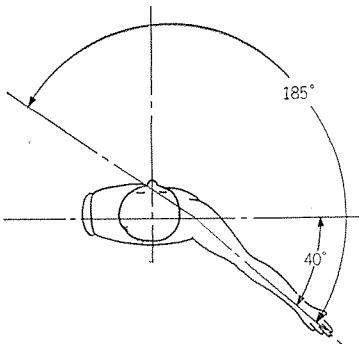


図 19. 手の運動
Movement of hand.

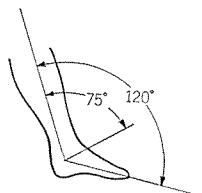


図 20. 足首の運動
Movement of ankle.

する要素を数種組合せると、監視機能とすると、効果がいっそう高められる。そのよい例が緑色とともに回る赤色の回転灯である。

一方、制御機能とは人間の制御意志を機器に伝達することである。たとえば、機器の起動停止や電圧調整が、その代表的なものである。操作盤の制御機能は制御盤と違って、盤内機器による自動制御機能がほとんどないので、人間の手足による操作が大部分となる。制御機能を十分に発揮させるには手足の動きの限界を知ることである。図 19. は手の運動である。これは右手の運動であるが、左手はこれに対称と考える。また手首は上下方向に最大約 140 度曲る。肘は最大約 140 度曲る。次に足の運動について調べてみると足は軸を中心前後に約 130 度、後に約 50 度動かすことができる。また膝を中心左右に各々約 30 度動かすことができる。また膝を中心前後方向に約 160 度曲げられる。図 20. は足首の運動である。

3.2 工業用操作盤 “C シリーズ”

今回、工業用操作盤 “C シリーズ” の開発を行なったが、開発に当っては前項の人間工学的アプローチの他に種々の事前調査を実施した。例えば、客先購入基準の調査、客先アンケートによる操作者の意向調査、関連規格の調査、人間工学の調査、取付器具の調査、製作実績の調査などである。(図 21. 参照)

特に客先購入基準の調査、客先アンケートによる操作者の意向調査は鉄鋼メーカー、製紙メーカーを主として調査したが、これによると各社とも保守、点検に関する事項が多く、いかに保守、点検を重要視しているかがわかる。関連規格では特に関連の深いものには JEM 1155 の「鋼板製デスク形、コントロールデスク形、およびベンチ形配電盤の寸法」があるが、これは電力用に適する規格で、一部工業用としては使用しにくい面もある。また保護構造については盤としての規格はないが、JEM 1030 「制御器具の保護構造」がある。

前記の調査をもとに次のことを開発の基本方針とした。

- (1) 基本盤の組合せ、変化により多種の操作盤を製作する。
- (2) 盤の外形寸法は基本盤を基準にして、操作盤の主な取付器具であるコントロールスイッチ、110 角メータ、押しボタンの標準配列ピッチをもとにして決定する。
- (3) 保守、点検に容易なように主な操作面は、すべてとびら式にして開閉可能にする。
- (4) 操作盤のすべての形式、構造、寸法に対しコード化を行なう。

こうして完成したのが三菱工業用操作盤 “C シリーズ” である。

3.3 CD 形機操作盤

CD 形機操作盤は JEM 1155 のデスク形、コントロールデスク形、およびベンチ形に相当するもので、鉄鋼プラント等の電気室での遠方操作

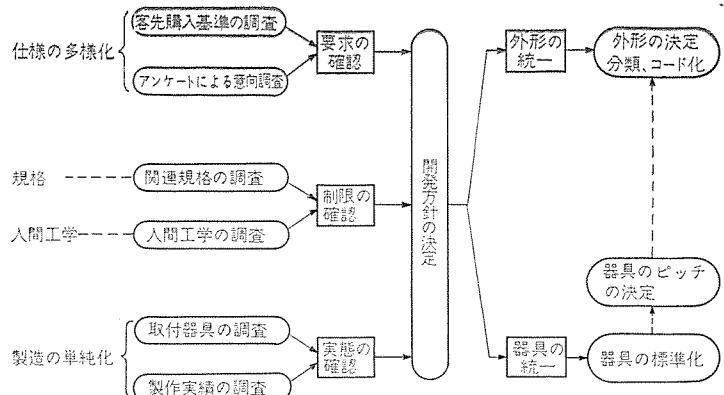


図 21. 操作盤開発の概略フロー
General flow of operation board development.

監視用に使用される操作盤、または運転室、機械サイドの操作、監視に使用される操作盤である。操作姿勢は立ったまま操作できるものと、椅子に座って、操作するものがある。

表 7. は CD 形機操作盤の製品コードであり、図 22. は CD 形標準機操作盤の外形の一例を示す。

3.4 CB 形現場操作盤

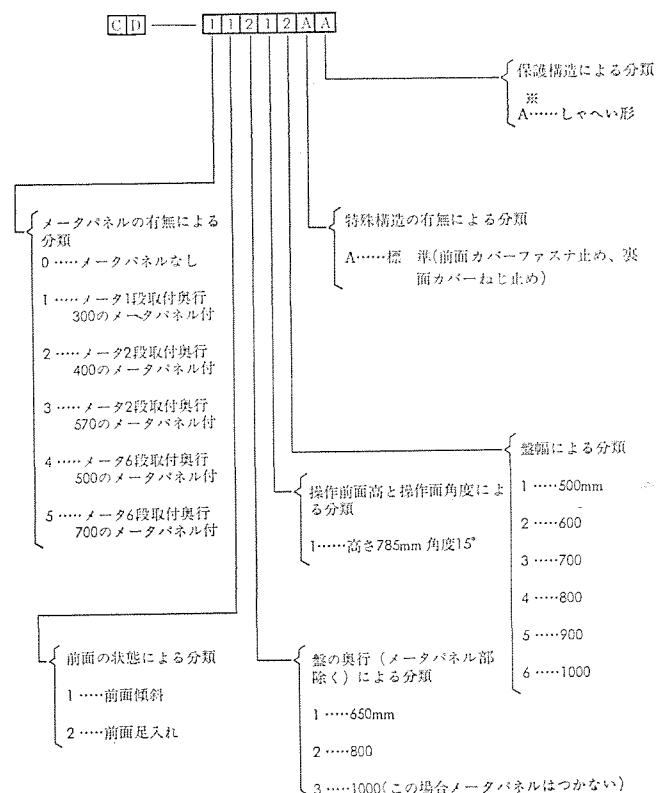
CB 形現場操作盤の足無しは、JEM 1121 の分類による壁掛け形に相当するもので、足付きのものはスタンド形に相当する。これらは一般的に機械サイドや運転室に設置して使用される。

表 8. は CB 形現場操作盤の製品コードであり、図 23. は CB 形標準現場操作盤の足付きの外形である。足無しは本図より足を除いたものである。

3.5 CS 形 現場操作盤

CS 形 現場操作盤の足無しは監視器具を取付けて頂上盤として使用されるものであり、足付きのものは一般的に傾斜スタンドと言われる。

表 7. CD 形 標準機操作盤の コード
Code of type CD standard desk operation board



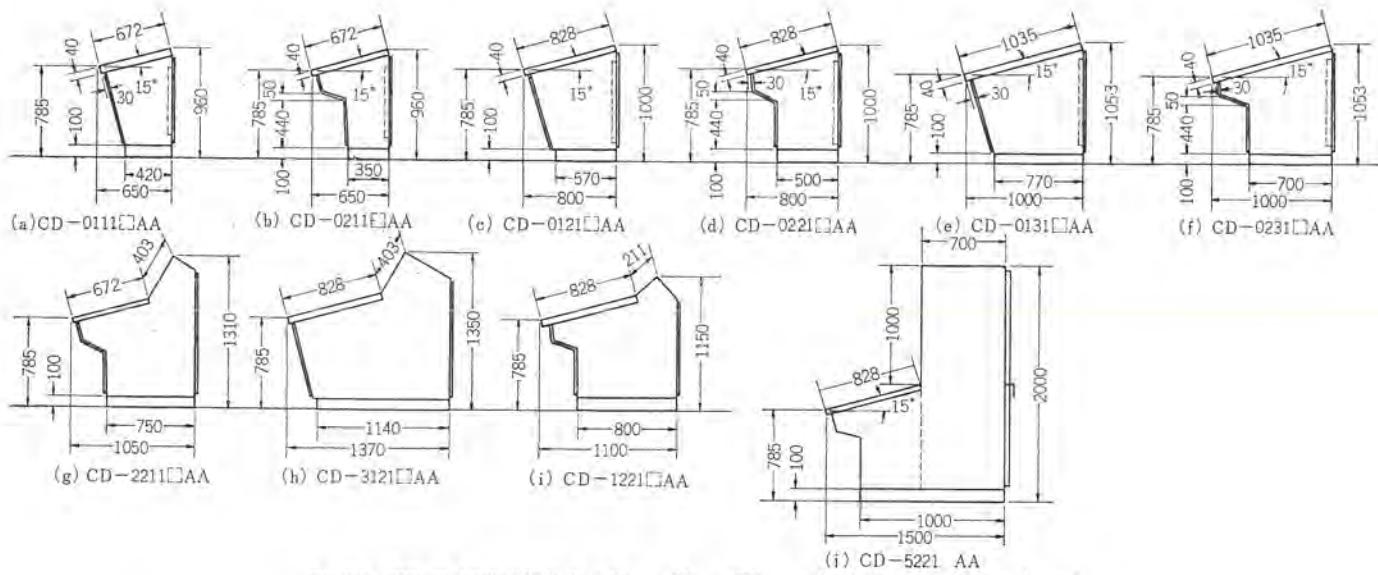


図 22. CD 形 標準機操作盤の例
Type CD standard desk operation board.

るもので、スタンド形の操作面が傾斜したものである。

表 9. は CS 形現場操作盤の製品コードであり、図 24. は CS 形標準現場操作盤の外形である。

3.6 CH 形パイプヒンジ操作盤

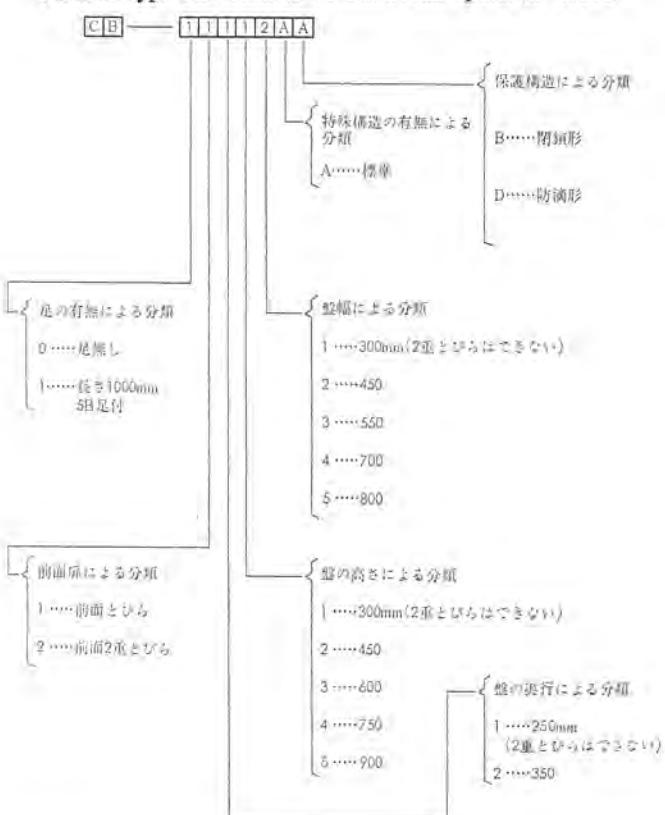
CH 形 パイプヒンジ 操作盤は ミルスタンド の ハウジング に取付けて操作するもので、操作盤全体が パイプヒンジ を中心に動かせるものである。

表 10. は CH 形 パイプヒンジ 操作盤の製品コードであり、図 25. は CH 形 標準 パイプヒンジ 操作盤の右ヒンジの外形である。左ヒンジのものは本図と左右対称となる。

3.7 CV 形 垂直自立操作盤

CV 形 垂直自立操作盤は 電気室、運転室に設置され、監視を主と

表 8. CB 形 標準現場操作盤のコード
Code of type CB standard machine side operation board.



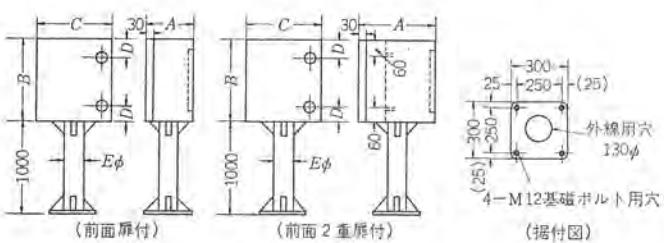
する操作盤である。

表 11. は CV 形 垂直自立操作盤の製品コードであり、図 26. は CV 形 標準操作盤の外形である。

4. むすび

以上 製鉄 プラント の主として圧延 プラント、プロセスライン プラント に使用される、電動機制御装置の制御盤、操作盤の標準機種について、その概略を紹介した。

プラントにおける制御装置の役割は今後とも重要さの度合を高めてゆくものと思われるが、ユーザ側にとって保守の合理化、省力化に役立つ制御装置を開発、製作してゆきたいと考えている。ユーザならびに関係各位の御指摘、御教示をお願いしたい。



(前面とびら付)-閉鎖形

コード	A	B/D	C	E
CB111□□AA	250	300/150	300, 450, 550	5B(139.8)
		450/225		
		600/150		
		750/150	700, 900	
		900/150		
CB112□□AA	350	300/150	450, 550	5B(139.8)
		450/225		
		600/150	450, 550, 700, 800	
		750/150	700, 800	
		900/150		

(前面2重とびら)-防滴形

コード	A	B/D	C	E
CB122□□AA	350	450/225 600/150 750/150	450, 550, 700	5B(139.8)

図 23. CB 形 標準現場操作盤
Type CB standard machine side operation board.

表 9. CS 形 標準現場操作盤の コード
Code of type CS standard machine side operation board.

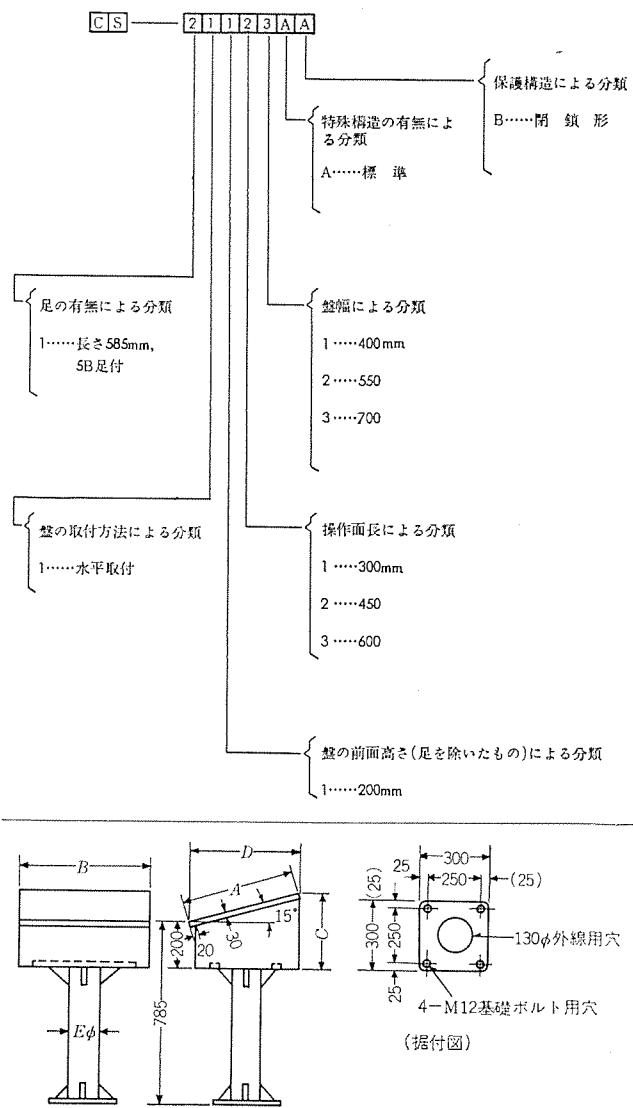


図 24. CS 形 標準現場操作盤
Type CS standard machine side operation board

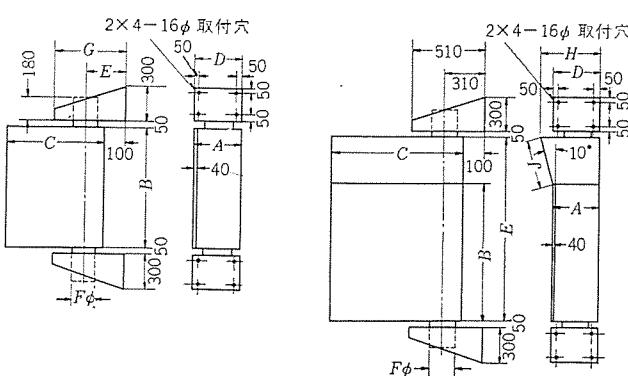


図 25. CH 形 標準 パイプヒンジ 操作盤
Type "CH" standard pipe hinge operation board.

表 10. CH 形標準パイプヒンジ操作盤のコード
 Code of type "CH" standard pipe hinge operation board.

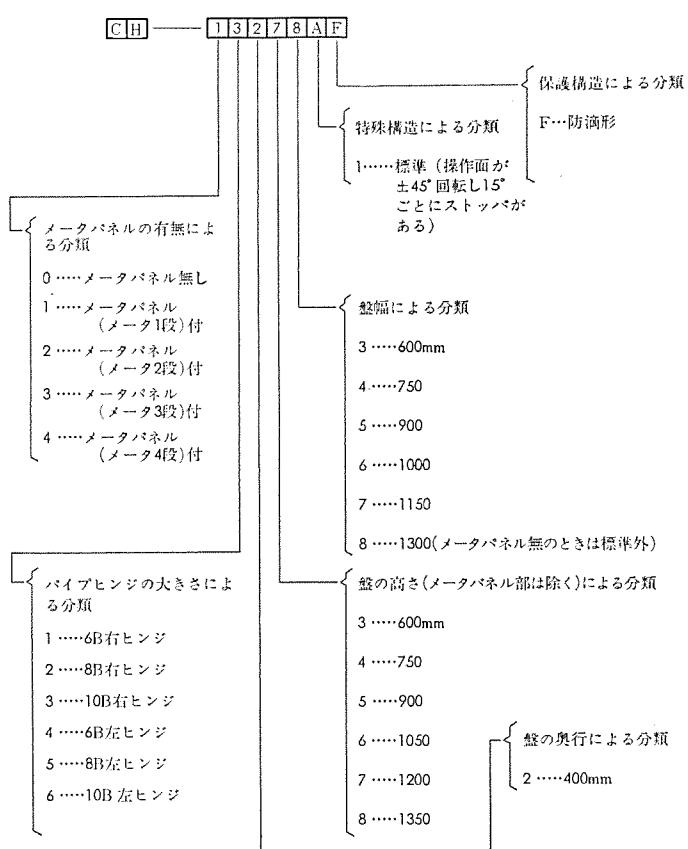
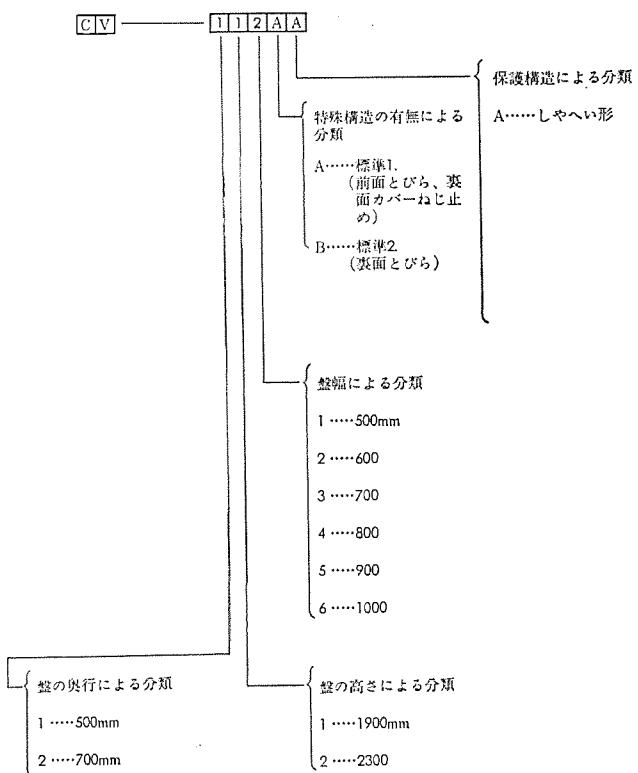
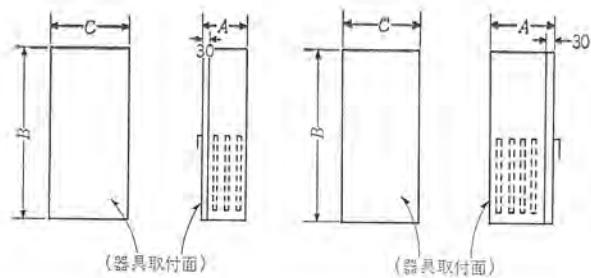


表 11. CV 形 標準垂直自立操作盤の コード
 Code of type "CV" standard vertical self-stand operation board.





ヨーF	A	B	C
CV 1□□AA	500	1900/2300	500, 600, 700 800, 900, 1000
CV 2□□AA	700	1900/2300	500, 600, 700 800, 900, 1000

図 26. CV 形 標準垂直自立操作盤
Type "CV" standard vertical self stand operation board.

参考文献

- (1) 宮脇：人間工学，オーム社，(昭 40)
- (2) ウドソン，青木，野本(訳)：人間工学=装置設計者のための＝コロナ社，(昭 30)
- (3) 石川，宇野：OHM 臨時増刊，=監視制御と配電盤号＝(昭 38)
- (4) 若林：OHM，=特集人間工学の電気技術への応用＝(昭 38-10)

鉄鋼プラントへのシーケンサ MELSEC-310 の適用

山下 弘雄・大野 宣男*

Application of Mitsubishi Sequencer MELSEC-310 to Iron and Steel Plants

Kobe Works Hiroo Yamashita・Nobuo Ôno

The sequence control of the equipment in iron and steel plants nowadays has become remarkably complicated and higher functional. To cope with the situation the advent of programmable sequence controller based on a new concept differing from the old relay panel has been waited for. This was met by the development of Mitsubishi sequencer MELSEC-310 and its outlines were introduced in the November No. Vol. 47 of this magazine. At present MELSEC-310 introduced to iron and steel plants positively has been operating with success. This article introduces the examples of this sequencer applied and describes the advantages of the plants with this device.

1. まえがき

近年、鉄鋼プラントにおける設備のシーケンス制御は複雑かつ高級化が著しく、従来のリレー盤でそのシーケンスを実現しようとすると、膨大な装置となつた。制御が複雑で高級になることは運転方案の最終決定も遅れ、機械の運転を行なうながらシーケンス制御回路が決まるという例もまれではない。このためシーケンス変更[リレー盤の改造]が多く工期に影響を与える等の問題があつた。さらにそのような複雑なシーケンスを実現するためにはリレー回路も複雑となり、使用するリレー個数も多く、信頼性の面からも保守の面からも問題が生じてきた。

このような背景のもとに、変更が容易で、簡単にシーケンスが組め、信頼性も高く、保守が容易な小形のシーケンスコントローラの出現が待たれていたが、三菱電機では先に本誌47巻11月号で紹介のあつたMELSEC-310をその要求に応えるものとして開発し、現在鉄鋼プラントへ積極的に導入を進めている。

ここでは、MELSEC-310の適用事例を紹介し、MELSEC導入プラントの特長を述べる。図1.はMELSEC制御盤の写真である。

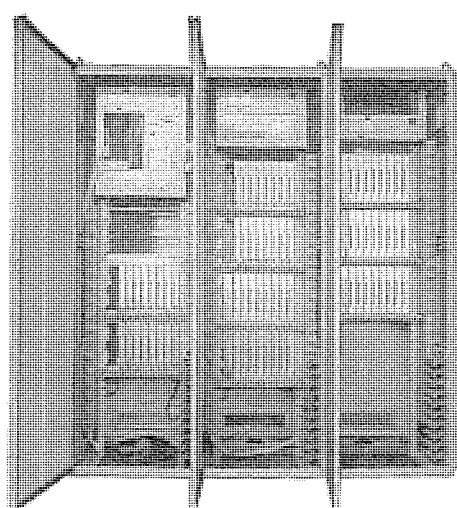


図1. シーケンサ MELSEC-310 制御盤
Sequencer MELSEC-310 control panel.

2. 適用事例の紹介

シーケンサ MELSEC は発表以来各界に好評を博し、受注も好調で特に鉄鋼プラントに多数製作納入し順調にか動している。製作実績中の数例とその制御機能は次のとおりである。

(a) 形鋼ラインの仕分 パイリング制御

(b) 大径溶接管ラインのパイプ搬送設備の制御、メカニカルエキスパンダの制御

(c) タンデムコールドミルラインのミル入出側のコイルハンドリング制御、自動通板制御、ロール組換制御

(d) プロセスラインのコイルハンドリング、主幹制御シーケンス以上数例を掲げたが、(b)についてその適用例を詳細に述べる。

2.1 大径溶接管ラインの概要

大径溶接管ラインはエネルギー資源の輸送、特に石油・天然ガスなどを生産地から需要地まで運ぶためのラインパイプを製造するための設備で、図2.に示される設備配置になっている。この各設備へ矢印に従い、コンペアやキックイン(以下Kiと書く)装置キックアウト(以下Koと書く)装置などにより、パイプを搬送してパイプを製造する。MELSECはコンペアや、Ki装置・Ko装置などの搬送設備を制御している。

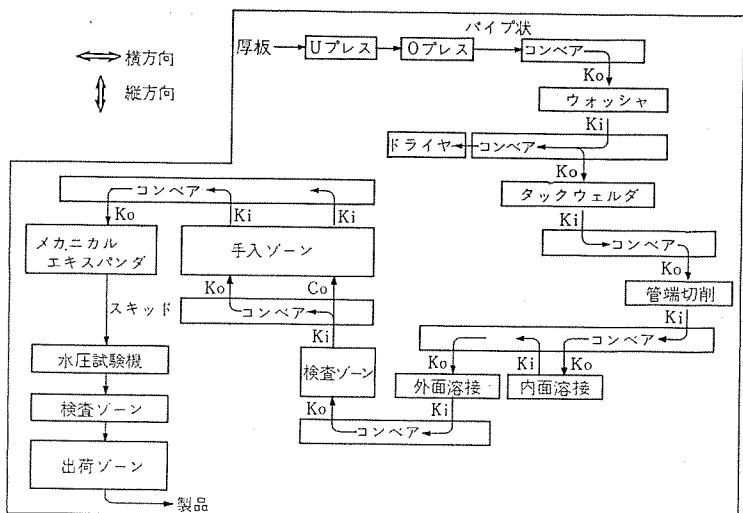


図2. 大径溶接管ライン 設備配置図
Layout of pipe forming mill.

ここで大径溶接管ラインの理解のために MELSEC で制御する搬送設備以外の設備の概要を説明する。

(1) Uプレス・Oプレス：板の全長にわたり、1ストロークで厚板をU字形に成形するものをUプレス、O字形に成形するものをOプレスと呼ぶ。

(2) ウオッシュドライヤ：溶接工程で問題となる油脂分や、スケールおよび水分を完全に除去するためのものである。ウォッシュは高圧水をパイプの内外面に噴出させ洗浄する設備であり、ドライヤは熱風を送り乾燥させる設備である。

(3) タックウェルダ（仮溶接機）：熱変形に対する適切な拘束など、本溶接を容易にするために、O字形の接ぎ合わせ目を薄く仮溶接するものである。

(4) 管端切削：仮溶接により完全にパイプ状にできあがるが、その管端が不ぞろいで後の作業に支障がある場合に、管端5mm程度を切削して端面を整える。

(5) 内面溶接機：O字形の接合部をパイプの内側から溶接する設備である。

(6) 外面溶接機：O字形の接合部をパイプの外側から溶接する設備である。これにより完全なパイプになる。

(7) スラグ洗浄機：内面溶接機で発生するスラグをここで取り除く設備である。

(8) メカニカルエキスパンダ：溶接されたパイプを外径で約1%程度拡張加工する設備で、これにより内部応力のひずみをとり寸法精度を向上させる。

(9) 水圧試験機：高い水圧をパイプの内面から与えて、母材部や溶接部の良否を判定する設備である。

(10) 端面仕上機：需要家に渡すための管端形状の最終加工を行なう設備である。

(11) 検査設備：超音波探傷装置、X線透過装置、X線透視装置などの検査設備が工程上の各所に設置されて品質の管理を行なう。

2.2 搬送設備の機能

搬送設備にはパイプをその長手方向（図2において横方向）に移動させるコンベア、またパイプを長手方向と直角（縦方向）に移動させるKi装置、Ko装置、クロスオーバー（以下Coと書く）装置ならびにスキッドストップ（以下Ssと書く）装置などがあり、それらの装置の機能は次のとおりであり、これらをMELSECが制御している。

(1) コンベア：コンベアはパイプをその長手方向に搬送する装置である。コンベアの所には他の搬送装置（Ki, Ko, Coなど）が入り組み、それらの装置が所定の位置にないと、コンベアは前進不可のインタロックが働く。

(2) キックイン装置：Ki装置は、パイプをその長手方向と直角の方向に方向を変えするもので、スキッドからコンベアに乗せる装置である。スキッドとはパイプが転がって搬送されるヤードである。

(3) キックアウト装置：Ko装置もKi装置と同様パイプをその長手方向と直角の方向に方向変えするもので、コンベアからスキッドへ乗せる装置である。

(4) クロスオーバー装置：Co装置はパイプを一方のスキッドから他方のスキッドへ、コンベアをこえてコンベアに乗ることなく移動させる装置である。

(5) スキッドストップ装置：Ss装置はスキッドの途中に位置し、スキッド上のパイプ転がり速度制限と、スキッド上で手入や検査をするときに、その場所にパイプが1本しか入ってこないように、後続パイプを

止めておくための装置である。

2.3 搬送装置の機構とMELSECのシーケンス

MELSECが制御している搬送装置の中の一つのKi装置を例にとり、機械の動作とシーケンスとの関係を説明する。

Ki装置の機構を図3に示す。動作は次のとおりである。

(1) 上昇

ソレノイドバルブがU側を励磁すると、レバーAが矢印の方向に上昇し、パイプP₁が同時にKiされるのを防ぐ。同時にレバーBが矢印の方向に下降し、キックインレバーCが上昇する。これにより今までレバーBにて止められていたパイプP₁が自重で転がりはじめ、キックインレバーCの所まできて止まる。

(2) 下降

次にソレノイドバルブのD側を励磁すると、KiレバーCの下降に従いパイプP₁'はコンベア上にKiされると同時に、今までレバーAで止められていたP₂はP₁の位置まで自重で転がって、次の動作まで待機する。

検出器は下限検出リミットスイッチと、Ki装置の前面にパイプがあることを検出するpKi-Fと、Kiによるパイプ転がりを検出するpKi-Pとがあり、これらを使用してサイクル動作を制御する。通常、上昇→下降の1サイクル動作を行なう。

この動作をMELSECのシーケンスに具体化したものが図4である。

手動モード時にKiのコントロールスイッチを操作するか、自動シーケンスからの自動キックイン指令により出力O1がセットされ、上昇の動作が開始する。このときコンベア上にパイプのないことと、コンベアが停止していることがインタロックとなる。パイプが転がって、pKi-PがONするとM2がセットされ、それによりO1がリセットされて上昇が停止する。M2がセットされたことによりタイマT1が働き10秒間のタイマを数える。この間にパイプP₁'のレバーC上でのおどりが終了する。タイマT1がタイムアップするとO2がセットされ下降を開始する。

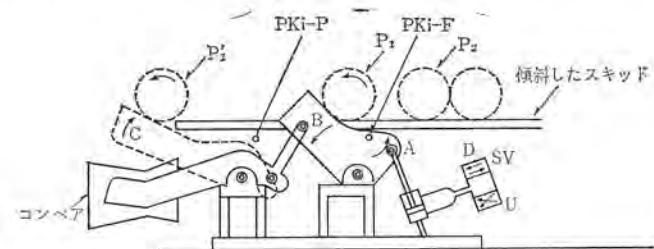


図3. キックイン装置の機構図
Mechanism of kick-in machine.

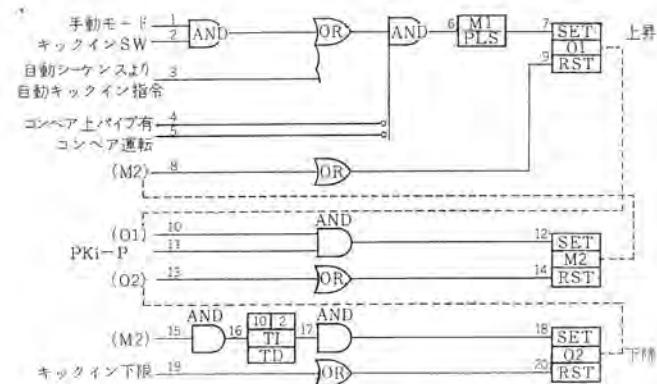


図4. キックイン装置のMELSECによるシーケンス
Program of MELSEC for kick-in machine.

O_2 がセットされたことにより M_2 はリセットされ、タイマ T_1 は動作しなくなっている。Ki 装置が下限まで下降すると O_2 がリセットされて、一連のサイクル動作が終了するものである。

3. MELSEC 応用の特長

多くの鉄鋼プラントへ MELSEC を適用した例から、MELSEC 導入事例の概要と、MELSEC 導入による、メーカの設計、工作、試験段階でのメリットおよびユーザでのメリット等を述べる。

3.1 シーケンス制御の計画

ユーザの計画に従い運転方案を作成、検討する。MELSEC が従来のリレー盤に比して、H/W 面では大きく変化しているがその用途は全く同じであるので、この段階での作業内容は MELSEC を適用する場合も従来の場合と大きくは変わらないが、MELSEC は H/W が標準であり、その入出力点数が決定すれば製作が進められるから、時間的余裕をもって運転方案を検討できるメリットがある。

3.2 シーケンス制御回路及びシーケンサの設計

従来は、運転方案→フローチャート→回路図→結線図という設計段階を経なければ設計が終了せず、S/W の設計と H/W の設計とがシリーズになっており、リレー盤の製作期間が長かった。

これに対し MELSEC では、S/W の設計と H/W の設計とが分離でき、並列に設計業務を進めることができるので製作期間が短縮した。しかも図面の種類も少なく簡単で、設計および保守の省力化に役立っている。

(1) H/W の設計

H/W は標準でビルディングブロック方式の構造なので、設計の標準化が実現できこれにともなうメリットは多くある。

(2) S/W の設計

元来シーケンス制御回路を検討するに当っては、次に示すような方法があって、それぞれ特長を持っている。

(a) タイミングチャート

(b) フローチャート

(c) ディジションテーブル

鉄鋼プラントの設計部門においては、従来よりフローチャートによりシ

ーケンスを検討し、回路を具体化してきた。前述の大径溶接管ラインにおけるキックイン装置のフローチャートを具体化すると、図 5. のようになる。これから図 4. の形にすることは容易であって、シーケンス回路図に一時記憶の使用等の簡単な記入、およびワイヤメモリの中の番地に相当するラインナンバの記入、あるいは入出力番号の割付等を行なえばよく、フローチャートとシーケンスの一体化が実現され、このシーケンス回路図は従来からのそれと変わることはない。図 6. は MELSEC 入力回路、図 7. は MELSEC プログラム、図 8. はプリンタ出力のそれぞれ実例を示す。

3.3 試験（品質管理）

MELSEC は H/W が標準化されているので、H/W の試験と S/W の試験を完全に分離することができる。

(1) S/W 試験

現地における調整時間を短縮するために、そのシーケンス制御プログラムで運転方案どおりの運転が行なえるか、運転方案にもとづくシミュレーションテストを実施してシーケンス制御プログラムをチェックする。

(2) H/W 試験

MELSEC はその使用されるフィールドから考慮して、H/W が正常に動作するだけでなく、信頼性と耐ノイズ性について厳しく管理されて出荷されねばならない。信頼性と耐ノイズ性に対しては次のように考慮されている。

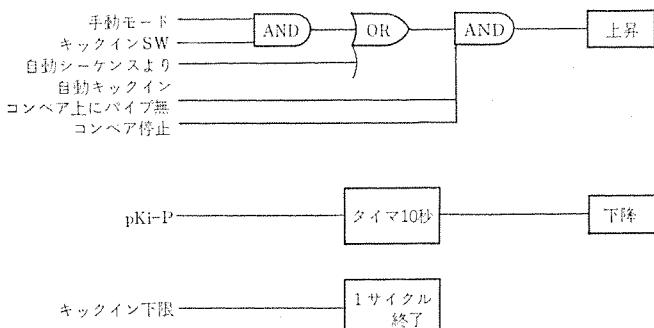


図 5. キックイン装置のフローチャート
Flow chart of kick-in machine.

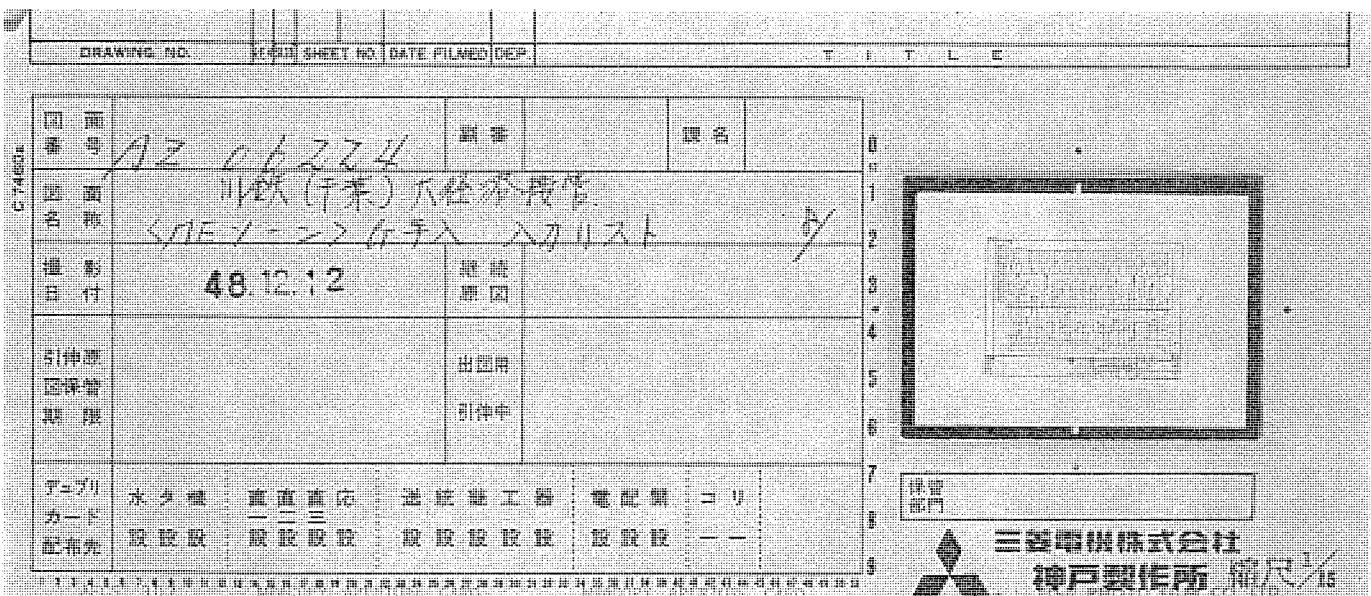


図 6. MELSEC 入力回路
MELSEC input circuit.

ITEM NO.	SEARCH NO.	DATE FILED	REF.
圖面番号	AZ 06224	圖番	A
圖面名	展開接続図	規格	129
提出日	46.12.12	著者	
引付用 國民管 類別		出圖用	
		引付申	
テープリ カート 配布地	水戸機 販賣部 販賣部	通氣機工場 販賣部 販賣部	電配調 販賣部 販賣部
			ヨリ 一一
			保管 貯門

図-7. MELSEC プログラム
MELSEC program.

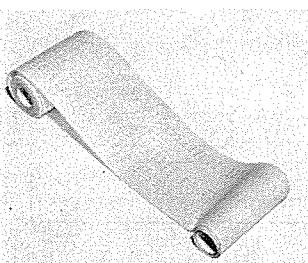


図 8. MELSEC プリンタ出力
Output of MELSEC printer.

(a) 信賴性

MELSEC を構成している部品の段階から品質管理を厳しく行ない、制御盤として十分 エージング を行ない、初期不良を取り除いた後に出荷することにより高い信頼性を確保する。

(b) 耐ノイズ性

一般にノイズ対策としては、ノイズ源を除去する方法と、ノイズを受けても誤動作しないように回路を構成する方法がある。ノイズ源が限定されていてノイズ源の数が少ない場合には、前者の方法も可能であるが、一般には種々雑多な電機品があり、ノイズ源を完全に除去することは困難な場合が多くあり、MELSECの場合、その適用のはん(汎)用性から考えて、外部のノイズ源を除去することなく、MELSEC自身がノイズを発生しないように、また外部からのノイズがCPUに侵入しないように入口で防ぐ設計が行なわれている。

ノイズの侵入経路としては

- AC 電源よりの侵入
 - 入力信号に重畠しての侵入
 - 出力側よりの侵入
 - 配線による誘導

が考えられ、これらに対して MELSEC は次の対策が講じられている。

(i) AC 電源よりの侵入に対する

AC電源の入口にラインフィルタを設けており、AC電源からのノイズを除去している。

(ii) 入力信号に重畳しての侵入に対する

入力回路には厳重な フィルタ を設け ノイズ の侵入を防止している。
また外部信号に 100 V という高い電圧を使用して S/N 比を向上させている。

(iii) 出力側よりの侵入に対し

最適な フィルタ により、ノイズ の発生を防止している。

(iv) 配線による誘導に対し

MELSECでは、ノイズ源となるプロセス信号線を盤表面側に、ノイズを受ける論理レベルの信号線を盤裏面側に、それぞれ配線することでより混触による誘導を防いでいる。

PI/Oカードの中も、回路が前から後へ整然と展開されるので、パッケージ上でも混触誘導が起こらない設計が行なわれている。

以上のような考慮のもとに、MELSEC は次の各試験を経て出荷される。

- (i) 部品の機能試験、エージング、ヒートショック 試験
 - (ii) カード 状態での機能試験、振動試験、ヒートショック 試験
 - (iii) 制御盤 として、耐圧試験、機能試験、エージング、温度サイクル
試験、電源変動試験、耐 ノイズ 試験

3.4 配線工具

MELSEC の PI/O カードは プロセスとの接続に多心ケーブルを採用し、
PI/O + "前面からの直接外線ポート" 接続を特長としている。

一般に電流容量を必要としない信号回路の外線ケーブルは、その強度上の問題がなければ細くすることができるので、特定盤間のケーブル本数が多い場合は多心化が計られる。

MELSEC 導入工事では、従来の 3.5², 2² の 1 ~ 7 心ケーブルの混用に比べ、35 心程度の多心ケーブルを使用することで、高騰の一途をたどるケーブル材料費および工事費の低減を実現している。MELSEC 導入工事の各機器、各盤の配置は図 9-1 に示される。

また前述のごとく MELSEC は強度の耐ノイズ性を有しているので、シールド線や特別のケーブルの必要はない。

3.5 保 守

MELSEC のように CPU を持っている装置は、CPU がダウンするとシステム全体がダウンするので、その信頼性はなおいっそう高い

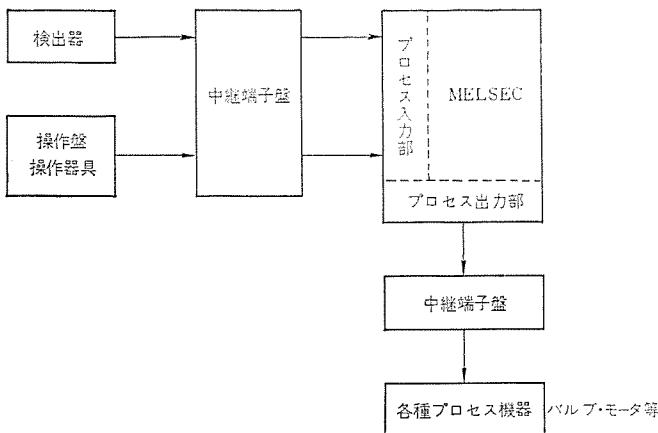


図 9. MELSEC とプロセス機器との構成
Construction of MELSEC control panel and process device.

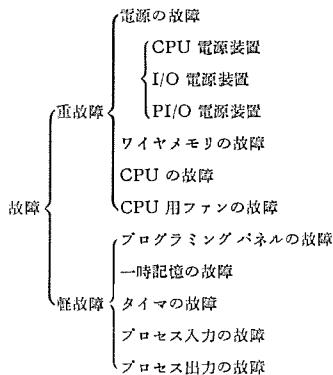


図 10. 故障の分類
Classification of faults.

ことが要求され、それを実現するために、部品の選定、回路の吟味、充実した品質管理を行なっているが、依然として故障の可能性は残る。万一故障が生じた場合は、復旧が速やかに行なえる必要があり、このため MELSEC は高信頼性と同時に保守の容易性を目的として設計製作されている。

ここでは MELSEC の保守についてどのように考慮されているかを、故障検出、故障修理、定期点検の各項目について述べる。

(1) 故障検出

前述のとおり故障の少ない装置が要求されると同時に、故障復旧が容易でなければならない。故障を復旧させるには故障箇所を速やかに発見する必要があるので、MELSEC では以下に述べる故障検出システムが用意されている。

(a) 故障の分類

MELSEC の予想される故障を分類すると図 10 のようになる。故障が発生した場合、いずれも制御対象に影響を与えるが、その中で全体に影響するものを重故障、局部的に影響するものを軽故障として分類している。

(b) 故障検出の方法

(i) 重故障の検出

重故障の各項目に対しては、ハードウェア的並びにソフトウェア的に監視しており、異常信号によりプロセス出力を断として無用の出力を出さないようにしている。

(ア) 電源の故障検出

各電源装置の出力がすべて正常であることを監視しており、一つの出力でも異常となると故障検出する。

(イ) ワイヤメモリの故障検出

シーケンス制御プログラムを実行しているとき、すなわちオンライン時は、ワイヤメモリは ROM として使用され、このときの故障は読み出した内容のパリティエラーという形で、パリティエラー検出回路がハードウェア的に検出する。ここでワイヤメモリ自体の信頼性は非常に高いので、パリティエラーが生じたときはパリティエラー検出回路の誤動作も考えられるので、再度メモリを読み出してなおパリティエラーとなる場合にパリティエラーと判断して外部に出力するようになっている。

オフラインでの読み出し時のエラーもパリティエラーと判断して外部に出力する。一方書き込み時のエラーは書き込んだ内容と表示された内容との不一致により人間が判断する。

(ウ) CPU の故障

MELSEC はサイクリックに演算を続行しているが、この演算の続行をハードウェア的にウォッチドッグタイマにより監視検出して外部へ出力する。

また数点の PI, PO, 一時記憶およびタイマを使用して、各命令動作が正常に遂行されるかどうかをソフトウェア的にチェックするオンライン診断プログラムもあり、異常を PO 経由で出力することもできる。このプログラムは制御プログラムと一緒に書かれ、オンライン時も CPU の動作を監視し続ける。

(エ) CPU 用ファン故障

CPU に温度スイッチが装備されており、このファンが故障して異常に高温になると、故障を検出する。

(ii) 軽故障の検出

軽故障は制御対象の局部的な誤動作の形で検出される。動作異常から、故障箇所の検出はプログラミングパネルを使用したオンラインモニタにより、シーケンス制御プログラムとを照合して判断する。この場合のシーケンス制御プログラムは実プラント制御のプログラムの場合と、オフラインのテストプログラムの場合がある。

(2) 故障修理

MELSEC の故障修理は、故障箇所を判定した後故障箇所を交換することにより MELSEC を復旧させる。このため MELSEC の各ユニットは交換容易な構造となっている。故障箇所は前項の各検出回路ならびに検出方法と、別に用意される保守点検要領書により容易に判定される。交換品は予備品を用意する。予備品の種類と数量は許容される復旧時間により考慮される。

(3) 定期点検

MELSEC にはファンを除いて機械的摩耗部分がないので、特に定期的に保修交換をしなければならない部分ではなくメンテナンスフリーであるが、なおいっそう好ましい状態で運転を行ない、安心して運転を行なうための定期点検として、次のような種類と方法がある。

(a) 清掃

制御回路を構成しているカード部分や盤内各部の汚れがひどいときは盤内の清掃を行なう。

(b) 機械部分の確認

ファンについて、その音に異常がないか確認する。

また各カードがコネクタにしっかりと差し込まれているか確認し、カード押さえほか各種締め付けねじが確実に締め付けられていることを確認する。

(c) エアフィルタの交換

盤内の空気は室内の空気と盤後部下部のエアフィルタを介して吸引し、天井から排出することにより循環させ、盤内の温度を周囲温度と同一にさせることにより温度上昇を押さえている。このとき室内

空気のほこりはエアフィルタに吸い取られるので、エアフィルタを適宜洗浄する。

(d) 回路動作チェック

MELSEC の制御回路を構成する半導体には寿命がないので、この回路動作チェックによって破壊しそうであるという予防発見は不能であるが、使用ひん度の少ない回路の故障（たとえば非常停止の回路などめったに使わない回路で、故障が起こっていても外部に表われない重要な故障）が発見され未然に修復することが可能である。このチェック方法には次の三つの範囲方法が考えられる。

(i) プログラムメモリのチェック

シーケンス制御プログラムの内容が正しいかどうかをチェックするもので、プログラミングパネルにより1ワードずつ読み出してチェックするか、カセットMTの照合の機能を利用してあらかじめ正しいメモリを収納してあるMTとの内容を照合することにより、プログラムメモリが正常であることを確認するものである。

(ii) シーケンスチェック

あらかじめ重要な回路に着目して、その回路動作が確認できる入力条件と出力を組み合わせ、その動作が正常であることを実際に確認する方法である。

(iii) オフラインテストプログラムチェック

MELSEC のH/W試験に使用される方法を用いて、CPUの全動作、タイマ、一時記憶ならびにI/Oの全点をチェックする。この場合入出力接続装置が必要であり、またシーケンス制御プログラムとオフラインテストプログラムの交換にはカセットMTが便利である。

3.6 ユーザ側のメリット

すでに述べたように、MELSECは従来からのリレー回路技術者が容易に使える、保守が容易である、信頼性が高いの3点を特長としたシーケンスコントローラである。ユーザサイドからみた大きなメリットをまとめると次のとおりである。

(1) 保守が容易

リレー盤に比して、高いメンテナンス性を有しているので保守が容易になる。

(a) プログラミングパネルを使用することにより、オフラインでのシーケンスチェックはもちろんのこと、プログラミングパネルのオンラインモニタの機能を使用してオンラインでのシーケンスチェックが、プログラミングパネルを操作するだけで容易に行なえる。

(b) MELSECを構成している回路はプリント基板上に実装されたユニット構造になっているので、故障時にはユニットを取り換えることにより容易に早急に復旧できる。

(c) プロセスに直結される入出力ユニットには、回路動作が正常で

あることを表示するランプがついているので、数多いプロセス機器の状態がMELSEC盤だけでは握ることができる。

(2) 信頼性の向上

回路の無接点化と繰り返し演算による回路の簡素化ならびにハードウェアが標準であることにより、リレーでシーケンスを実現した場合に比べ飛躍的に信頼性が向上する。

(a) 回路は半導体技術の最先端にある集積回路を全面的に採用し、またプロセス入出力部も接点を排除して無接点化を図っている。

(b) 演算回路が一ヵ所しかなく、その演算回路を繰り返し使用する繰り返し演算方式となっているので、回路が簡素化され使用部品点数がきわめて少なくなっている。

(c) ハードウェアが標準なので、ワイヤードロジックの場合のようにシーケンス回路を構成するための配線がなく、はんだ付けやワイヤラッピングのような接合部が減少している。

(3) シーケンス変更が容易

プログラミングパネル上から容易にだれでも速やかにシーケンスの組み換えが可能である。

(4) 運転方案の決定に時間的余裕ができる

MELSECのハードウェアは標準なので、運転方案の決定とは別に製作が進められ、この製作工程とは無関係にユーザと運転方案を決定する時間的余裕ができる。

4. MELSECの適用範囲

すでに数多くの鉄鋼プラントへMELSECを適用しているが、特に次のような場合にMELSECの適用が有利であると考えている。

(1) 制御対象が多く複雑で、リレーによるシーケンスでは、おおがかりなリレー盤になる場合

(2) シーケンス変更が多い場合

(3) スケジュール変更にともなうシーケンス変更が多い場合

(4) シーケンスが複雑で、ユーザ自身でシーケンスを組む場合等。

制御の多様化、複雑化、高級化を考慮すると、今後適用範囲はますます拡大されていくことと思われる。

5. むすび

以上、MELSECを適用した工事の概要とその特長を述べたが、MELSECが使いやすく、信頼性が高く保守が容易なシーケンスコントローラであることから、MELSECの適用が大きなメリットを生みだすことはご理解いただけるものと思う。

最後に各製鉄会社には、MELSEC採用に当たり格別のご配慮を賜ったので深甚の謝意を表する。

アナログ制御標準モジュール

三品 英二*・大藪 勲*・神河 達夫*・河本 晴夫**

Mitsubishi Analogue Control Module

Kobe Works Eiji Mishina・Isao Ôyabu・Tatsuo Kamikawa
Head Office Haruo Kômoto

A quite a number of Mitsubishi analogue control apparatus have been delivered to iron and steel manufacturing plants to verify their excellent operation. Advent of highly reliable IC elements owing to the progress in the production of semiconductors has expedited the full use of integrated circuits for the device these years. Mitsubishi has built many units of thus innovated analogue controllers for the mills, where they are well commented of their high performance, high reliability and ease in operation.

This article introduces the outlines of the Mitsubishi analogue control cards with IC, and their applications, and field thyristor controllers built compact, as the main topic.

1. まえがき

当社の鉄鋼用電機品におけるアナログ制御技術は、パワーエレクトロニクス化の先駆的役割を果し、デジタル制御、計算機制御、ストアードプログラミングコントローラ等の出現にもかかわらず、制御精度、応答性、信頼性、保守調整の容易さ、経済性等の多くのメリットにより、依然として、数多くのプラントに適用されて、広く活躍している。

近年、半導体製造技術の著しい進歩により、IC素子の量産化、信頼性の向上が果され、計算機、デジタル制御のIC化につづいて、アナログ制御の分野にも、従来のトランジスタに代ってリニヤICが導入されている。すでに、当社では、すべてIC化した制御装置を数多くのプラント制御に納入し、高性能・高信頼性について好評を得ている。

IC化と共に、多年の鉄鋼電機品製作の経験、実績をベースにして、アナログ制御回路の標準化を行ない、制御モジュールの高密度実装を実現し、制御装置の小形化、据付面積の縮少、工事費の低減に寄与すると共に、制御装置の高信頼性化、高性能化等の大きな利点も得られた。

IC化アナログ制御モジュールの製品系列はすでに、鉄鋼プラント制御に必要な基本機能をほとんど含んでいるが、デジタル制御技術との適所適用によるハイブリッド化、あるいは計算機、マイクロコントローラ入出力装置としてのアナログ制御装置等の新しい適用に対して、なお一層、製品系列の充実化が行なわれつつある。

本文では、最近のアナログ制御モジュールとして、IC化リニヤカードおよび小形高密度実装化サイリスタ増幅装置を紹介し、関係各位の御参考に供するものである。

2. IC化アナログ制御カードの特長

2.1 高い信頼性

演算増幅器のDCアンプにリニヤIC素子を採用し、回路はすべて1枚のプリント基板上で構成されているため電線による接続部分は著しく低減され、信頼性を向上させている。

さらにIC素子単体は、一定のヒートサイクルによる十分な時間のヒートエージングを行ない、またIC素子実装カードにおける全数温度試験を行なっており、温度に対する低ドリフト性能を保証すると共に信

頼性を向上させている。

また、カードコネクタはカードエッジ式のコネクタで接栓部は金めっきが施されており、さらにアナログ信号用はすべてピンを並列接続しており、接触抵抗は非常に低く接触信頼性も高くなっている。

カードを収納するカードフレームのコネクタ結線には、ワイヤラッピング方式を採用しており、工具を使用して結線するため、安定した作業レベルが維持でき、高い品質と信頼性が確保されている。

回路設計、プリント基板設計では、電源の分離、絶縁、共通インピーダンスの排除等の配慮により、高い耐ノイズ性を有している。

さらに耐湿のために、部品実装後コーティング処理を行ない、防せいで(錆)および絶縁抵抗を保証している。

2.2 高性能

基本性能は表2.に示すとく、ドリフト、入出力直線性、周波数応答等いずれも、従来のトランジスタ式に比べて、高性能となっている。

ドリフトに対しては、素子をエージング、ヒートサイクルにより選択すると共に、回路構成においても、試験データに基づき最適なインピーダンスを選択している。

周波数応答に対しては、自励発振を排除すると共に、制御上必要な応答性を有するよう回路解析・試験を行ない、5kHz(-3dB下り)以上の応答を有すると共に、安定に動作するよう回路構成・インピーダンスが決定されている。

直線性に対しては、入出力非直線領域を出力制限するリミッタを付加し、1%以下の高精度を有している。

使用温度は、素子エージング、ヒートサイクルテスト、部品実装後の製品カードにおける全数温度テストにより、0~50°Cの条件を保証している。

2.3 容易な保守・調整

IC化アナログ制御カードのチェック用として用いられる、メータモジュールMMBFは、付属のコードにより任意のカードの出力信号のオンラインモニタが容易に行なえる。また表示灯によるリレーの動作表示等オンラインメンテナンスの容易さが十分に配慮されている。メータモジュールMMBFは信号電圧のモニタのほかに、内蔵のポテンショメータにより任意の模擬信号の設定が可能であり、この信号を利用することにより、ポテンショメータの設定や増幅器利得の調整が容易に行なえる。ま

表 1. カード一覧表
Standard family of control modules.

機能	カード名	回路カード	制御リレー	供給電源	出力	備考
はん用演算器	MSBF	2	◎注	±15V	±10V 2mA	はん用比両加算アンプ
	MPBF	2	◎	±15V	±12V 50mA	はん用パワーアンプ
	MCCF	2	◎	±15V	±10V 2mA	PID 制御用 (ゲイン 1~11, 時定数 0.136~0.94s)
	MCDF	2	◎	±15V	±10V 2mA	PID 制御用 (ゲイン 1~11, 時定数 0.022~0.44s)
ランプ関数発生器	MLBF	1		±15V	±12V 50mA	Non Inverting アンプ付
可変リミッタ	MVDF	1	○	±15V	±10V 2mA	可変制御リミッタ付
比較器	MVBF	2		±15V	接点出力	検出精度 ±10mV
定距離タイマ	MLCF	2	○	±15V	接点出力	時定数 約 3.4s
除算器	MQDF	1		±15V	±10V 5mA	Out=X, Y/10
乗算器	MQEF	1		±15V	±10V 5mA	Out=10Z/X
アナログメモリ	MHBF	1	○	±15V	±10V 2mA	超低ドリフト IC 使用
絶縁アンプ	MZAF	2		±15V	±10V 2mA	絶縁インピーダンス 500kΩ
	MZCF	2		±15V AC 100/110V	±10V 2mA	絶縁インピーダンス 500kΩ 電源内蔵
補助カード	MRAF	—	◎	リレー 24V	—	ノッチ設定用 高インピーダンス
	MREF	—	◎	リレー 24V	—	ノッチ設定用 低インピーダンス
	MUAF	—	◎	リレー 24V	—	水銀接点リレー、リードリレー、ポテンショ
	MUBF	—	◎	リレー 24V	—	水銀接点リレー 6個
メータモジュール	MMBF	1	—	±15V		演算器比較器のチェック用
専用演算器	MABF	1	○	±15V	±10V 2mA	プロセスラインセンタ速度設定用
	MADF	1	○	±15V	±10V 2mA	プロセスライン入出測速度設定用
	MEBF	1	○	±15V	±12V 50mA	電動機起電力制御用
	MEDF	1	○	±15V	±10V 2mA	電動機起電力制御用
	MIBF	1		±15V	±12V 50mA	電動機慣性補償用
	MIDF	1		±15V	±10V 2mA	電動機慣性補償用
	MRFF	1	○	±15V	±10V 2mA	電動機電流設定用
	MRGF	1	○	±15V	±10V 2mA	電動機電圧、速度設定用
静止形レオスタット	MHFF	1		±15V +5V	パルス出力	STATIC RHEOSTAT 用
	MHGF	1		±15V +5V	パルス出力	STATIC RHEOSTAT 用
	MHHF	1		±15V +5V	±10V 2mA	STATIC RHEOSTAT 用 } デジタルハイブリッドカード
D/A 変換器	AHDF	2		リレー 24V		BCD コード高抵抗ラダ回路
	AHNF	2		リレー 24V		BCD コード低抵抗ラダ回路

注 ◎印は接点が独立しているリレーを示す。 ○印はファンクションの一部として用いられているリレーを示す。

表 2. 基本特性表
Control module characteristics.

特性	カード名	MSBF	MPBF	条件
供給電源	±15V 15mA	±15V 180mA		
最大出力電圧	±10V	±12V	直線部分	
最大出力電流	2mA	50mA		
出力インピーダンス	約 50Ω	約 7Ω	利得=1	
最大入力電圧	±15V	±15V		
直線性	1%	1%		
常温ドリフト	1mV/8h	2mV/8h	Rf/Ri=100k/10k	
温度ドリフト	40μV/°C	40μV/°C	Rf/Ri=100k/10k 0~50°C	
周波数応答	5kHz 以上	5kHz 以上	–3dB	
出力短絡保護	有	無		
使用温度	0~50°C	0~50°C		

たこの機能は演算増幅器のみでなく比較器や絶縁アンプに對しても適用でき、かつオンラインにおいても容易に適用できるため、何時でも迅速な保守・調整が可能である。

本シリーズの各カードはプリント基板により完全にモジュール化されており、制御盤への着脱は容易に行なえるため故障時には、新しいカードと差し換えることにより簡単に復旧させることができる。また故障カードや予備カードのチェックのために専用のデスク形カードチェックカーボンも用意されており、これら一連の機器を用いることにより常に余裕を持ったラインの運転を行なえる。

2.4 小形、標準化された構成、外形

IC 素子の採用、回路の標準化により、回路の高密度実装が可能になり、システムの構成が小形化されている。さらにカードを収納するフレームは 15.5 mm ピッチの 28 スロットからなりデジタル IC カードと

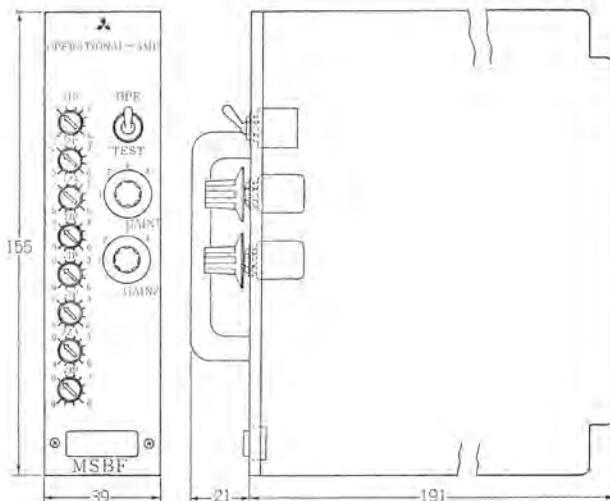


図 1. はん(汎)用演算器 MSBF 外形図
Operational amplifier type MSBF.

の混用も可能であり、システムとしてのアナログ回路デジタル回路のハイブリッドが容易に可能である。アナログカードの場合、1フレームに 8~10 枚のカードが収納できる。またカードフレーム寸法も標準化されており、制御盤への取付けも容易に行なえるためビルトアップ方式による増設が簡単に行なえる。

各々のカードにはフレーム着脱を容易にするためのハンドルを有していることも特長の一つである。

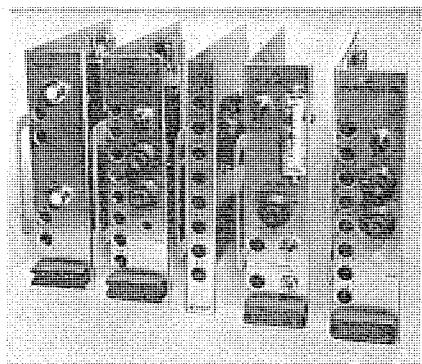


図 2. リニア IC カード群
Outer view of control modules.

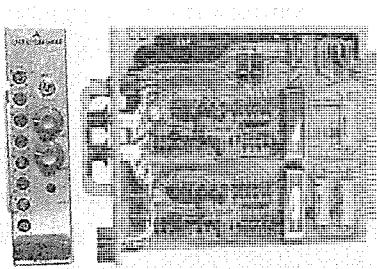


図 3. はん用カード例
Outer view of a control module.

3. 制御機能

3.1 演算増幅器 (MSBF, MPBF, MCCF, MCDF)

基本的なアナログ演算増幅器として、表 1. に示すように 4 種類のはん用演算器が製品化されている。

- (1) はん用比例加算カード (MSBF)
- (2) はん用パワーアンプカード (MPBF)
- (3) はん用 PID 制御用カード (MCCF, MCDF)

はん用比例加算カードには、演算インピーダンス、および選択 SW がリニア IC 演算素子と共に、2 回路分実装されている。

高レベル大出力負荷に対しては、出力段をトランジスタ増幅したはん用パワーアンプカードが製品化されている。

さらに、ゲイン調整領域がいずれも 1~10 で、積分時定数調整領域が異なる 2 種の PID 制御用カードが用意されている。(MCCF; 0.136 s~0.94 s, MCDF; 0.022 s~0.44 s)

3.2 乗算器、除算器 (MQEF, MQDF)

乗算器・除算器は表 1. に示す。表以外に、1 枚のカードで乗除算両方の機能を有するものや、1 枚のカードに乗算または除算回路を複数個含むカードも製品化されている。

3.3 関数発生器 (MLBF)

本発生器は、加算 AMP・積分 AMP・ポテンショメータ・ダイオードより構成されている。時間設定は 3~30 秒の範囲で、上昇用と下降用を別個のポテンショメータで独立に調整できる。図 5. に回路図および入出力特性を示した。

3.4 絶縁アンプ (MZAF, MZCF)

電動機、発電機等の強電回路における電圧・電流信号等を帰還量としてアナログ制御回路へ入力する場合に用いられる。

IC 演算素子を差動増幅器として用い、入力として DC 10 V 程度の低電圧レベルにおける信号絶縁として用い、温度ドリフト等による演算誤差のないよう考慮した絶縁アンプである。またアナログとデ

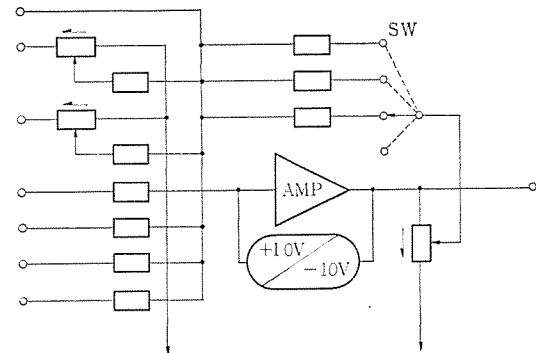


図 4. はん用演算器簡略回路
Circuit diagram of operational amplifier.

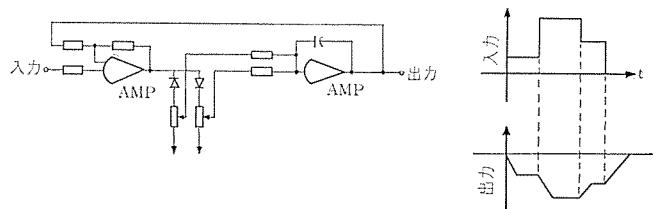


図 5. 傾斜信号発生回路
Ramp function generator.

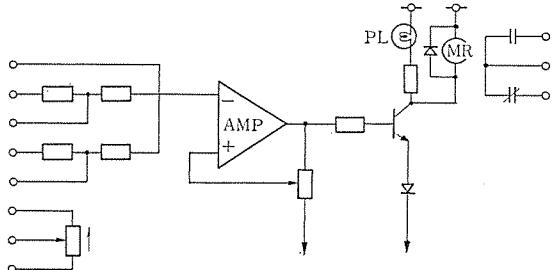


図 6. 比較器簡略回路
Circuit diagram of comparator.

ジタル信号のハイブリッド回路におけるアナログ、デジタルの電源絶縁にも適用される。

3.5 比較器 (MVBF)

電圧リレー用として設計された IC 素子を使用しており、検出感度は特に優れている。また適度なヒステリシス幅をもたすことによって動作点近辺における不安定を除き、温度ドリフトやノイズ等による誤動作を防止している。図 6. に比較器の簡略回路を示す。

3.6 D/A 変換器 (AHDF, AHNF)

水銀接点リレーと精密抵抗とから成る抵抗ラダー回路式 D/A 変換器が最も一般的に用いられており、任意のアナログ量とデジタル量の乗算が変換と同時に実行可能であり、またデジタル回路とアナログ回路が完全に絶縁されているのも特長である。抵抗には温度係数の非常に小さい、精密金属膜抵抗が使用されており、温度変化による変換誤差は小さく、直線性も非常によい。

また、特に高速の D/A 変換を要求される場合には、半導体スイッチを利用した D/A 変換回路を用いる。

3.7 定距離タイマー (MLCF)

本タイマーは、移動物体の速度を積分して基準点からの定距離を求めており、積分 AMP と電圧検出リレーの組合せにより構成され、特長として機械の動作時間を考慮し、積分 AMP を PI 効果としている。時間は 5~35 秒の範囲で調整可能で回路図を、図 7. に示す。

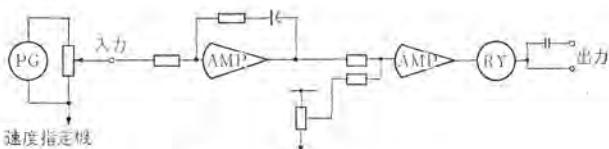


図 7. 定距離タイマ
Speed inverse timer.

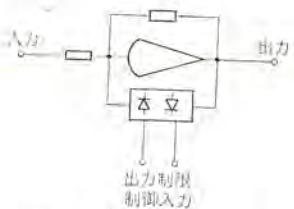


図 8. 可変リミッタ
Controllable limiter.

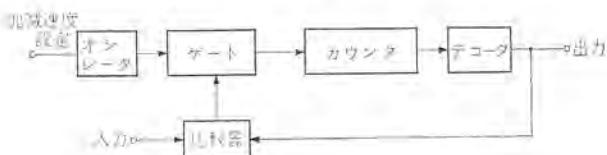


図 9. 静止形レオスタット(スタレオ)
Block diagram of static rheostat.

3.8 可変リミッタ (MVDF)

本リミッタは、AMPの出力電圧制限値をアナログ信号で制御できるものであり、また正負の出力電圧を独立に制御可能である。図8.に簡略図を示した。

3.9 静止形レオスタット(スタレオ) (MHHF, MHFF, MHGF)

本スタレオは、電動操作形レオスタットを静止化したものである。回路構成はアナログ、デジタルのハイブリッドであり、メモリ機能をデジタルで行なっている。加減速限設定は3~30秒の範囲で調整できる。標準機能は、傾斜信号発生器(MLBF)と同じで、図9.に簡略図を示した。カード構成は本機能専用カードMHHF, MHFF, MHGF, の3種で1機能を構成する。

本回路と先に3.3節で述べた、傾斜信号発生回路(MLBF)を比較して下記の特長が挙げられる。

- (1) 加減速度がアナログ信号でコントロールできる。
- (2) デジタルホールドのため保持特性が優れている。

3.10 メータモジュール (MMBF)

リニヤICカードでは、演算機能を有するカードにはすべてカード表面にチェック用コネクタが設けてあり、各カードはカードフレームに収納したままの状態で簡単に保守できるように工夫されている。付属のカードにより、メータモジュールと被チェックカードとを接続することによって各々のカードの出力電圧の測定、TESTモード、OPEモードにおける擬似入力の印加、閉ループ利得のチェック等がメータモジュールで容易に行なえる。

3.11 演算補助器 (MRAF, MREF, MUAF, MUBF)

補助器として、ポテンショメータ、水銀接点リレー、リードリレー等をカードに配列したもので、アナログシーケンス作成時、必要に応じて使用するもので下記の2種類が代表的なものである。

形名	MUAF	MUBF
ポテンショメータ	6	—
リードリレー	2	—
水銀接点リレー	1	6

3.12 専用機能カード

主にDC電動機の制御用に下記の専用カードを用意している。

(1) ライン速度プリセット制御カード (MABF, MADF)

ラインの速度基準信号を発生させる回路で傾斜信号発生、アナログホールドまたはデジタルホールド、ループカーやルーパの位置コントロール機能をもっている。

(2) 電動機逆起電力制御カード (MEBF, MEDF)

リール電動機の逆起電力をコントロールするものであり、コイル径に比例した、電動機界磁束量をメモリする機能をもっている。主な機能は、関数発生器、電動機界磁束コントローラ、電動機逆起電力コントローラより構成される。

(3) 慣性補償制御カード (MIBF, MIDF)

電流制御を行なう電動機の加減速時に必要な慣性補償信号を発生させるもので、主にリール電動機のコントロールに使用される。主な機能は、ライン速度微分回路、 $1/D^2$ および $D^2 - 1/D^2$ の演算回路、加算回路より構成されている。

(4) 基準信号制御カード (MRFF, MRGF)

本カードは、直流可変電源用サイリスタ装置に渡すアナログ信号をコントロールするもので、電動機制御方式により速度、電圧および電流制御カードを用意している。

4. 適用

次に専用機能カードを使用した制御システムの2, 3の例について述べる。

4.1 ライン速度基準回路

プロセスラインの入側セクションの速度基準回路を図10.に示す。ライン速度のプリセット機能として、運転速度設定、通板速度設定、自動減速速度設定およびループカーリ位置制御機能として、入側セクション減速および中央速度同期回路をもっている。従来は専用カードの組合せによりシーケンスを構成していたが、回路標準化により専用機能カードの適用が可能になった。

4.2 リール電動機逆起電力制御回路

図11.にプロセスラインで使用されるテンションリール電動機の逆起電力制御回路を示した。本システムは、コイル径と電動機界磁束量を比例させる場合であり、コイル径メモリとして静止形スタティックレオスタット(スタレオ)を使用している。

4.3 リール電動機慣性補償回路

次にプロセスラインで使用されるテンションリール電動機の慣性補償回路を図12.に示す。本慣性補償回路の出力信号は電流基準信号制御回路で加算され、リール電動機の電流をコントロールする。

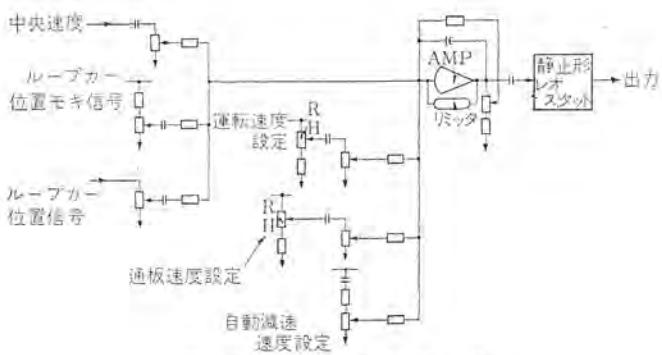


図 10. ライン速度基準回路
Line speed reference circuit.

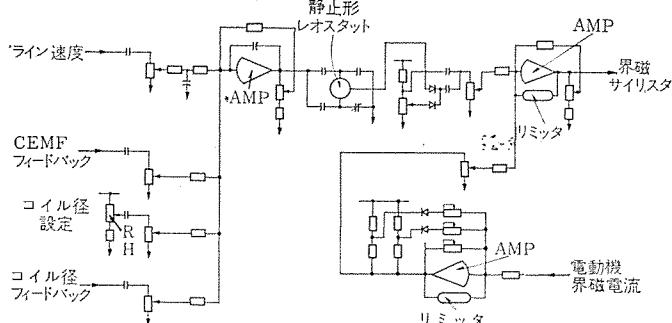


図 11. リール電動機逆起電力制御回路
CEMF control circuit of reel motor.

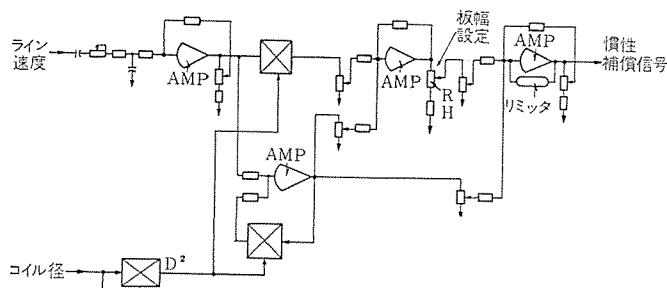


図 12. リール電動機慣性補償回路
Inertia compensation circuit of reel motor.

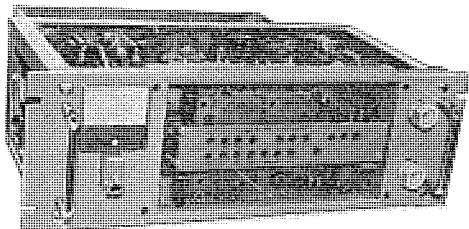


図 13. AFR 形界磁サイリスタユニット
Outer view of type AFR field controller.

5. AFR 形界磁サイリスタ増幅器

電動機または発電機の界磁制御用に、基準設定回路、フィードバック制御回路、検出回路、サイリスタパワー増幅回路をコンパクトにまとめた界磁制御装置が製品化され、すでに多くのプラントに納入され、好評を得ている。

表 3. AFR 形界磁制御装置製品定格
Specification for type AFR field controller.

定 格	仕 様
1. 定格電流 A	5, 10, 20, 25, 30, 45, 50, 75
2. 定格電圧 V	DC 145, 160, 220
3. サイリスタ主回路方式	(1) 単相全波 2アーム サイリスタ方式 (2) 単相全波 4アーム サイリスタ方式
4. 制御方式	1. 電動機界磁用 (1) CFC 形 (電流設定器ユニット取付形界磁) (2) FCR 形 (外部アナログ信号設定による界磁) (3) CEM 形 (逆起電力制御) (4) AFW 形 (自動界磁弱め制御) 2. 発電機界磁用 (1) G 形 (速度制御) (2) GALC 形 (ランプ状関数基準信号発生器付速度制御)

本装置の主な特長は、

(1) 界磁電流制御の 6 種の標準回路パターンが用意されており、出力電流、電圧の適用領域が広い等、製品系列が豊富である。

(2) 基準入力設定回路、フィードバック制御回路はすべてリニヤ IC 化され、フィードバック検出回路、サイリスタパワー増幅回路、界磁電流喪失検出部と共に同一ユニット内に収納されているため、システムとしてコンパクトになり、据付・工事費の低減が期待される。

(3) 制御回路の調整は、すべてユニット前面から行なうことができるので保守・調整が容易である。

(4) 基準設定回路、フィードバック制御回路、サイリスタ点弧回路がすべてプリント基板に実装されているため、結線による接続点が少なく、さらに全面的にリニヤ IC 素子が使用されているため、制御系全体として信頼性が従来品より大幅に向上している。

主な製品定格事項を表 3. に示す。

6. む す び

リニヤ IC を導入したアナログ制御モジュール、小形化された界磁制御装置の概要について紹介したが、アナログ制御技術の鉄鋼プラットへの導入は、今後共、種々改良されて統くと予想され、新しい制御素子の出現、デジタル技術とのハイブリッド化による新しい制御機能の製品化等に今後大きな展開が行なわれるであろう。

鉄鋼プラントにおける検出器および計測装置

松谷 勝巳*・大藪 熊*・西岡 忠臣*

Sensors and Instrumentation Equipment in Iron and Steel Works

Kobe Works Katsumi Matsuya・Isao Ôyabu・Tadaomi Nishioka

Sensors and instrumentation equipment in the manufacturing process of iron and steel are used with the objectives of automatic operation, labor saving and improvement of yield, thus contributing a great deal to the elevation of production. In this article are presented, among the sensors and instrumentation equipment using the technique of sensing light, magnetic action and temperature in reference to what are applied to the rolling, the process line and continuous casting machine, the apparatus produced and with many successful results and also unique products built by Mitsubishi.

1. まえがき

鉄鋼の生産プロセスにおける検出器および計測装置は、自動化・省力化あるいは歩どまり向上等を目的としており、生産性向上にいちじるしく寄与するものである。したがってその性能はもちろんのこと、特に高い信頼性が要求されるのであるが、これを鉄鋼プラント特有の過酷な使用条件・悪ふん回路の中で発揮しなければならないという宿命を持っている。

当社では、永年の実績を有する鉄鋼プラント電機品へ重要な計測・制御信号を供給するものとして、安定した性能を有する検出器および計測装置を多数納入してきた。

ここでは、鉄鋼プラントの中で圧延・プロセスラインおよび連続铸造設備に適用される検出器および計測装置につき、光・電磁作用・温度を検出・計測手段とした製品のうちから、多数の実績を有する製品および当社のユニークな製品を紹介する。

2. ホットメタル デテクタ (HMD)

主に、鉄鋼・プラントの圧延ラインに使用される HMD は、物体からのふく(幅)射光を利用し、その物体の存在の有無を検出するもので、用途に応じて次の 3 種の HMD をシリーズ化している。これらの HMD はいずれも受光器と増幅器からなり、受光器はホットメタルからのふく射光をレンズにて集光し光電変換素子により電気信号に変換する。増幅器はこの信号を増幅しホットメタルの存在の有無に応じてリレーを ON, OFF させるもので、その接点出力はいろいろの制御信号または計数信号として用いることができる。

納入実績は非常に多く、ホットメタルの検出には、なくてはならない存在になっている。

2.1 中高温用 HMD

光電変換素子に、可視(主に赤)部に高い感度をもつシリコン光電

素子(太陽電池)を用いているので比較的高温の物体の検出に用いて有利である。

(1) 検出温度 700°C~1,300°C

(2) 設置距離 2 m~6 m

(3) 検出物体の大きさ 334 mm×84 mm 以上(設置距離 2 m として)

2.2 低温用 HMD

光電変換素子に、赤外線に非常に高い感度を有する赤外線半導体セル(pbs)を用いているので、比較的低温の物体の検出に用いて有利である。

(1) 検出温度 400°C~1,000°C

(2) 設置距離 1 m~6 m

(3) 検出物体の大きさ 100 mm×10 mm 以上(設置距離 2.4 m として)

2.3 光導形 HMD

光導形 HMD は低温用 HMD の受光器を集光部と光電変換部に分離し、その間を長さ約 3 m のフレキシブルなファイバーオプティクスで光導するようにした全く新しいタイプの HMD である。

圧延機まわりのごとくスタンド壁その他に防げられて通常の HMD ではライン側面から光学的に見通せない所や、耐熱性・耐食性等に問題のある所に用いて有利である。

(1) 検出温度 700°C~1,300°C

(2) 設置距離 0.25 m~1 m

(3) 検出物体の大きさ 150 mmφ 以上(設置距離 0.9 m として)

以上の HMD の仕様をまとめたのが表 1 である。

図 4. は各種光源の放射強度特性および受光素子の分光特性である。いずれの受光素子も太陽光等の光源体とラップする波長域があるので、外光の影響については特に注意する必要がある。



図 1. 中高温用 HMD 受光器
HMD detector for high temperature use.



図 2. 低温用 HMD 受光器
HMD detector for low temperature use.



図 3. 光導形 HMD 受光器
Light guide HMD detector.

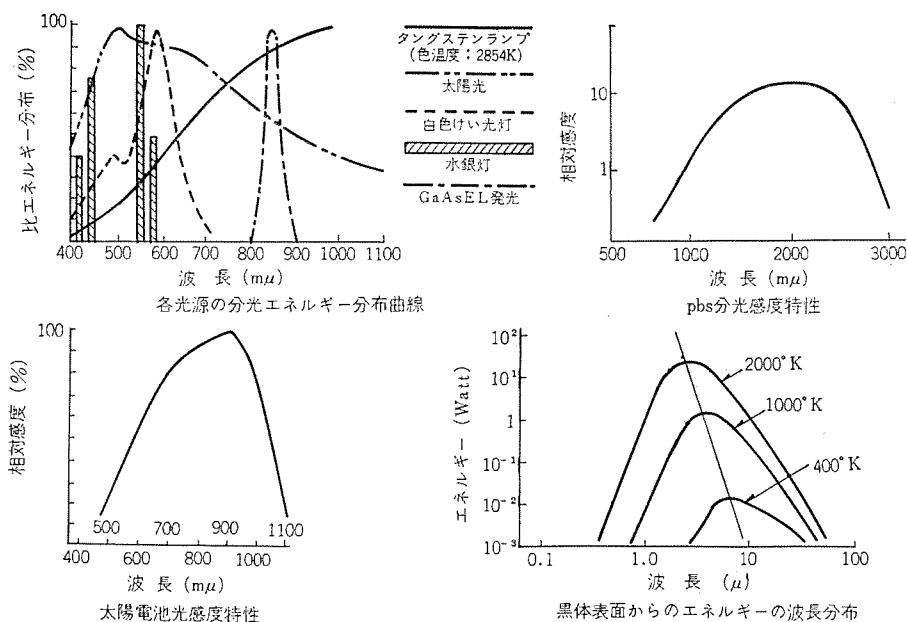


図 4. 光源放射強度特性および受光素子分光特性
Spectral distribution of radiant flux from light sources and spectral sensitivity of photo cells.

表 1. HMD 仕様
Specifications of HMD.

受光器形名	中高温 HMD	低温用 HMD	光導形 HMD
増幅器形名	MP-111	MP-123	MP-123 F
光電変換素子	MP-111	MP-123	MP-123
検出温度 °C	700~1,300	400~1,000	700~1,300
設置距離 m	2~6	1~6	0.25~1
用 途	比較的高温のインゴットやプレートの検出	線材および比較的低温のインゴットやプレート	取付場所がせまく光学的に見通せない所でのホットメタルの検出

図 5. は中高温用 HMD の ヒステリシス 特性である。ホットメタルの表面に付着しているスケール等の影響でチャタリングをおこさないように電子回路にヒステリシス 特性をもたせており、HMD の動作を安定化している。ヒステリシス 幅は温度に換算して 0~100°C 可変で一般的には、50°C ぐらいの幅に設定される。

3. 热材位置検出器 (HMPD)

一般に線材や鋼材工場においては、製品の均一化を図るために製造工程のある部分にループ（1種のたわみ）をもたせ、このループが常に一定になるように自動制御されている。最近の高速制御のラインにおいては特にハイレスポンスで、リップルの小さい熱材位置検出器が要求されている。

当社の熱材位置検出器はこれらの要求を十分満たすとともに悪い

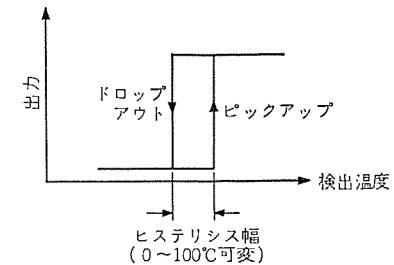


図 5. 中高温 HMD の ヒステリシス 特性
Hysteresis characteristics of HMD for high temperature use.

ふん開き、過酷な使用条件にも耐えうる十分な設計を行ない信頼性を高めている。この熱材位置検出器は受光器と増幅器からなり、熱材からのふく射光（主に赤外線）を回転ミラーで光電変換素子（pbs）に集光照射し、ループ位置に対応したアナログ信号を出すものである。（この信号によりループ位置が常に一定になるよう制御される）。

- (1) 热材温度 400°C~1,300°C
- (2) 視野 基準位置 (0°)~±25°、热材温度が 500°C 以上のときは ±30° までとれる。
- (3) 出力電圧 基準位置 (0 V)~±10 V, (±20 mA)
- (4) 出力リップル フルスケールの ±3 %以下
- (5) 応答 30 ms 以下 (63 % 応答)
- (6) 直線性 フルスケールの ±1.5 %以下
- (7) 設置距離 1 m~2 m (熱材と検出器間)
- (8) 热材の大きさ 線材径にして 5.5 mmφ 以上~300 mmφ 以下 (設置距離を 2 m として)。

4. 赤熱鋼板形状認識装置

製鉄所のホットストリッピングにおいては、仕上げスタンドにおける通板性を良好にするとともに、後工程における作業能率や歩どまりを向上させるため、クロップシャーにより鋼板の先端と尾端の不整部分をせん断する必要がある。

本装置は粗圧延の最終パスまたは最終スタンドを出て仕上げ圧延に入る前の赤熱鋼板の先端と尾端を観測し、せん断を行なうべき最適点を検出する装置である。

この装置をクロップシャー制御装置と組み合せて使用することにより、クロップシャーの自動せん断が可能になり、さらに正確なせん断精度をうることが可能になる。

- 特長
- (1) むだのないせん断が可能で、歩どまりを向上させることができる。
 - (2) 鋼板の走行を停止させることなく先端部・尾端部をせん断することができる。
 - (3) 広範囲に板温度・板速度・板幅が変わっても動作は正確で

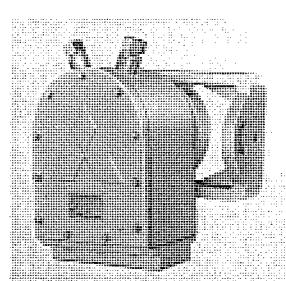


図 6. 热材位置検出器受光器
HMPD detector.



(a) 検出部

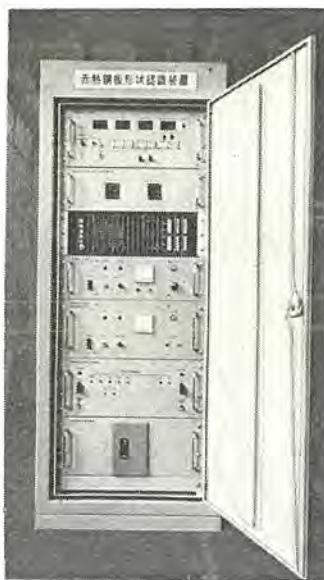


図 7. 赤熱鋼板形状認識装置
Automatic crop equipment.

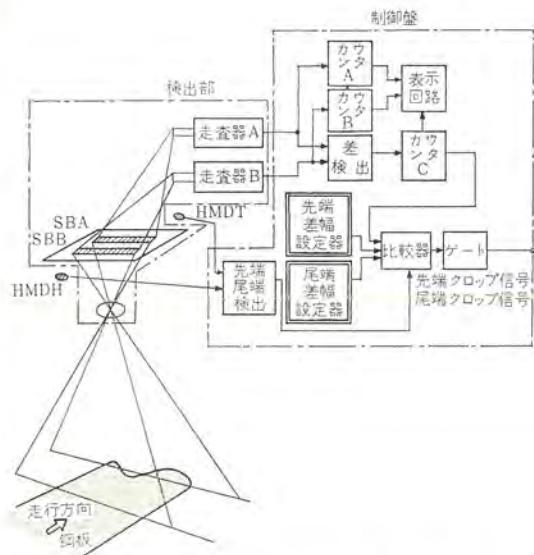


図 8. 赤熱鋼板形状認識装置 ブロック図
Block diagram of automatic crop equipment.

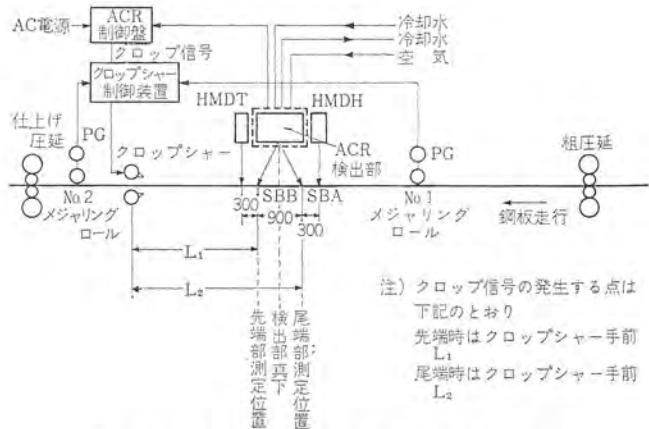


図 9. 赤熱鋼板形状認識 (ACR) 装置各部配置図
Configuration of physical components for automatic crop system.

ある。

(4) 高温多湿の惡ふんい氣での使用に十分耐える。

(5) 電子回路はすべて IC (集積回路) 化され、しかも プラグイン方式を採用しているので、信頼性が高く保守が容易である。

図 8. にこの装置のブロックダイヤグラムを、図 9. に自動クロップシャー装置各部配列図を示す。この装置の検出部は、仕上げ圧延機の入側に設置されたクロップシャーの数メートル手前、走行赤熱鋼板から3.5メートルの高さに取り付けられる。

赤熱鋼板から発した光はレンズ系で集められ、せん断点検出用SBモジュールに像を結ぶ。SBモジュールは太陽電池群2列(SBA, SBB)でできていて、赤熱鋼板の像を2箇所で検出するが、この間隔は変形部分の像の長さに比べて十分長くなるようにしているので、両検出器が受光しているときは、一方はすでに完全幅に達している。この2列の像は、それぞれ走査器A, Bによりパルス列信号として取り出され、差検出回路およびカウンタCで減算を行ない、像の差幅を検出する。(各パルス列はカウンタAおよびBで計数され、また差幅計数値も表示回路で表示される)。

この像の差幅は差幅設定値と比較され、先端部の場合は、差幅計数値が先端差幅設定値より小さくなったときにせん断信号を出し、



図 10. せん断片
Cropped pieces.

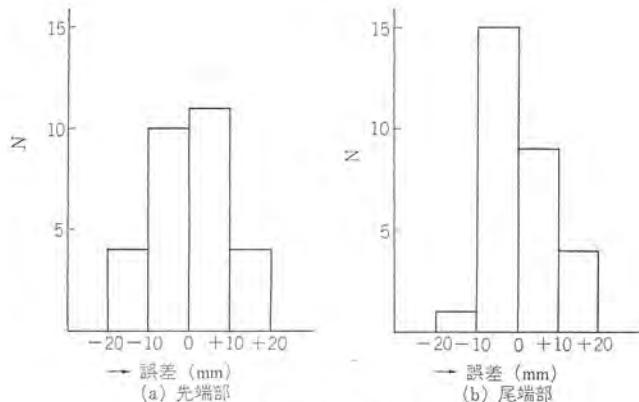


図 11. せん断片誤差の度数分布
Histogram of the cropping error.

尾端部の場合は、差幅計数値が尾端差幅設定値より大きくなったときに、せん断点検出信号を出す。差幅設定値は、先端・尾端それぞれの設定値により所望の値にあらかじめ設定しておくことができる。

ホットメタル検出器(HMDH, HMDT)は、鋼板の先端部および尾端部を検出し、比較器に対し先端差幅設定値、尾端差幅設定値の読み出しを行ない、また、この装置の動作区間を先端部および尾端部に限定して、鋼板の中央で誤って動作するのを防止している。

なおクロップシャー制御装置では、せん断点検出信号を使用して、あ

らかじめ設定した位置で、せん断するようクロップシャーを起動する。

仕様

- | | |
|--------------|--|
| (1) 測定板温度 | 850~1,100°C |
| (2) 測定板幅検出範囲 | 2,376 mm |
| (3) 走査速度 | 2,376 mm/6 ms |
| (4) 検出感度 | 33 mm |
| (5) 差幅設定範囲 | 0~627 mm, 33 mm ステップで 19 段階 |
| (6) 検出器設置距離 | 3,500 mm |
| (7) 使用冷却水 | 2 kg/cm ² , 30 l/min, 32°C 以下 |
| (8) 使用空気 | 5 kg/cm ² , 2 m ³ /min |

図 10. は実際にせん断して得られた結果の写真である。

図 11. はそのせん断位置誤差の度数分布を示している。これは、赤熱鋼板形状認識装置、クロップシャー制御装置およびクロップシャーを含めた全システムの性能を示すものであり

先端部の標準偏差 ±9.3 mm

尾端部の標準偏差 ±8.2 mm

となっており、本装置を設置することによる効果は非常に大きい。

5. 光電式ループ コントロール装置

プロセスラインにおいては、入側・センタ・出側セクション間のテンションを絶縁するため、それぞれの間にフリーループを作り、そのフリーリープの高さを調整するためにこの光電式ループコントロール装置が用いられ

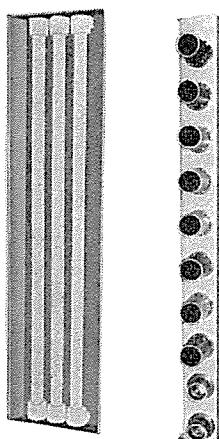


図 12. 投光器と検出器
Light source and detector.

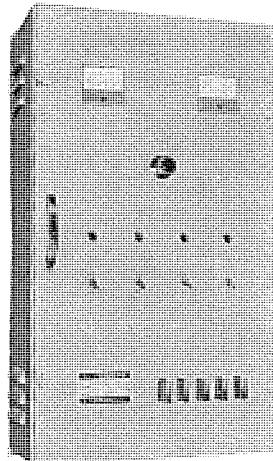


図 13. 増幅器
Amplifier.

る。すなわち投光器と検出器を対向させて置き、鋼帯ループがその光をさえ切るように配置されている。検出器は 5 個または 10 個の受光素子からなっており、出力信号は投光器からの光がさえ切られた受光素子の数に比例する。この信号により鋼帯の送りロール速度を制御し、鋼帯ループの高さが調整される。

特長

(1) 受光素子回路は半導体スイッチ回路を使用しており、その出力は ON-OFF 信号のため、光源の明るさの変動による影響を受けにくい回路となっている。

(2) 検出器の出力信号は電流信号のため、ノイズによる影響を受けにくい回路となっている。

(3) 鋼帯に対し無接触である。

(4) 光源としてけい光灯を使用しているので、保守が容易である。

6. 電磁式ループ コントロール装置

ピックリングライン酸タンク内鋼帯ループが底ずりをすることなく、しかも最も効率よく酸処理を行なうためには、タンク底面より鋼帯ループまでの距離をできるだけ近づけ、タンク内の鋼帯量を最大にする

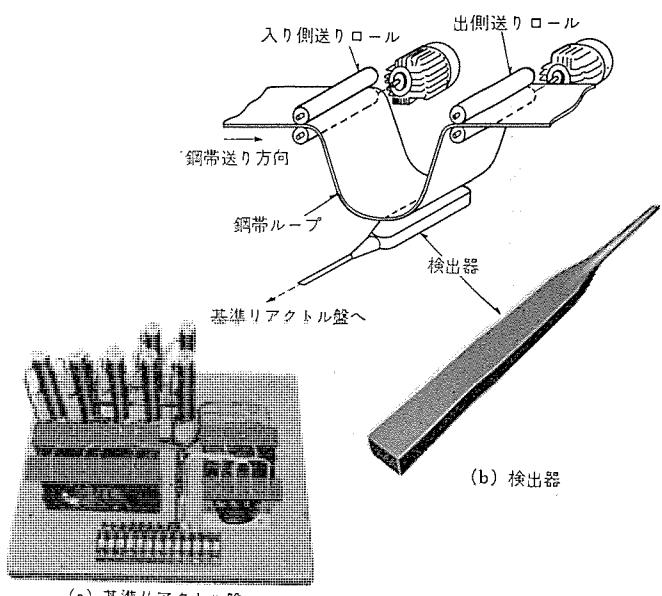


図 14. 電磁式ループコントロール装置
Magnetic loop regulator.

表 2. 仕様と構成表
Specifications.

形名	受光素子数 個	出力信号 (素子全部) (受光時)~(素子全部) (しゃへい時)	構成						電源電圧
			1.2 m 検出器 投光器	0.6 m 検出器 投光器	増幅器			スイッチ ボックス	
					±50 V 用	0~160 V 用	0~220 V 用		
LR 101	10	-50 V ~ +50 V (0.5 A) (負荷は 100 Ω とする)	○		○				AC 100, 110, 200, 220 V
LR 102	10	0~160 V (4 A max) (または 160~0 V)	○			○			AC 200, 220 V
LR 103	10	0~220 V (4 A max) (または 220~0 V)	○				○		AC 200, 220 V
LR 104	10	0~20 mA (200 Ω max)	○					○	AC 100, 110, 200, 220 V
LR 201	5	-50 V ~ +50 V (0.5 A) (負荷は 100 Ω とする)		○	○				AC 100, 110, 200, 220 V
LR 202	5	0~160 V (4 A max) (または 160~0 V)		○		○			AC 200, 220 V
LR 203	5	0~220 V (4 A max) (または 220~0 V)		○			○		AC 200, 220 V
LR 204	5	0~10 mA (200 Ω max)		○				○	AC 100, 110, 200, 220 V

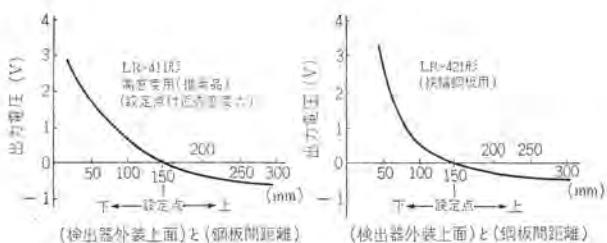


図 15. 電磁式ループコントロール装置の特性
Characteristics of magnetic loop regulator.

ことである。この電磁式ループコントロール装置は検出器を鋼帯ループの最低部の直下に設置し、検出器と鋼帯ループとの距離の変動を検出器内コイルのインピーダンス変化として取り出し、その出力で鋼帯の送りロール速度を制御し、鋼帯ループの高さを調整する。

特長

- (1) 無接触でループ高さが検出できるので鋼帯に傷をつけない。
- (2) 検出器は鉛製外皮、水密構造である。
- (3) 鋼帯が検出器に近づくほど感度が高くなるので、検出器をタンク底部に据付けた場合、鋼帯がタンクの底ずりをしにくい方向の特性である。

仕様

LR-411形……高感度用(推奨品) 鋼帯幅マイナス鋼帯の横振れが600 mm 以上の場合に使用する。

LR-412形……狭幅鋼帶用 鋼帯幅マイナス鋼帯の横振れが450 mm 以上の場合に使用する。

電 源……AC 200 V または 220 V ($\pm 10\%$), DC 220 V (変動土 $\pm 1\%$ 以内に安定化されたもの)

周囲温度……検出器部 100°C max, 基準リクトル部 0~60°C

鋼帯一検出器間距離……150 mm 標準

7. 無接触形鋼板長さ計・スリップ計

この無接触形鋼板長さ計・スリップ計は走行中の鋼板に磁気マークを施し、一定距離後に設置された磁気検出器によりその磁気マークを検出する。この検出信号により再度着磁を行ない、以後この着磁、



図 16. 無接触形鋼板長さ計
Non-contact length meter

検出動作を繰り返し行なう。前記着磁信号または検出信号を計数することにより、鋼板長さを計測できる。

スリップを測定したいロールにパルス発信器を取り付け、着磁信号から検出信号までのパルス数を計数することにより、ロールに対する鋼板のスリップ量を算出することができる。

ヘルパロールを多数使うライン例えばETL等においては、鋼板とロール間のスリップの管理が大変である。このような場合無接触形鋼板スリップ計を使用し集中管理することにより容易に管理をすることができる。

外販に提供する最終工程のライン例えばRCL、ホットスキンパスライン等において、無接触形鋼板長さ計を使用することによりロールスリップ、ロール径変化の影響を受けない直接高精度測定が可能である。この着磁検出方式は圧下率計・速度計等にも応用が可能である。

特長

- (1) 無接触測定が可能

着磁検出法の採用により、鋼板に無接触で鋼板長さ、鋼板一ロール間スリップ量の測定ができる。

- (2) 鮮明な磁気マーク

交流着磁方式(交流電流を流しておき、着磁したいときに電流を切ることにより着磁する方式)のため磁気マークの広がりが少なく、正確な検出ができる。

- (3) 検出誤差が少ない

2個の磁気検出器を用い、差分方式にて信号処理をしているので検出信号の大きさによる検出誤差が非常に少ない。

- (4) 自動起動および自動再起動

自動起動装置を有している。また、板づれなどにより検出ミスを行なった場合でも強制着磁による自動再起動を行なう。

- (5) 鋼板速度に無関係な計測

鋼板速度に無関係に鋼板長さ、スリップ量を測定することができる。

- (6) 鋼板の測定基準を“長さ”にすることができる

この無接触形鋼板長さ計により、高精度の長さ測定ができるため、鋼板の測定基準を従来の“重さ”から“長さ”にすることができる。

仕様

鋼板板厚 0.1~3.2 mm

鋼板速度 600 m/min 以下

着磁装置 検出装置間距離 1 m

総合精度 $\pm 0.3\%$

動作原理

鋼板への着磁は、着磁ヘッド(コイル)に交流電流を流しておき、電

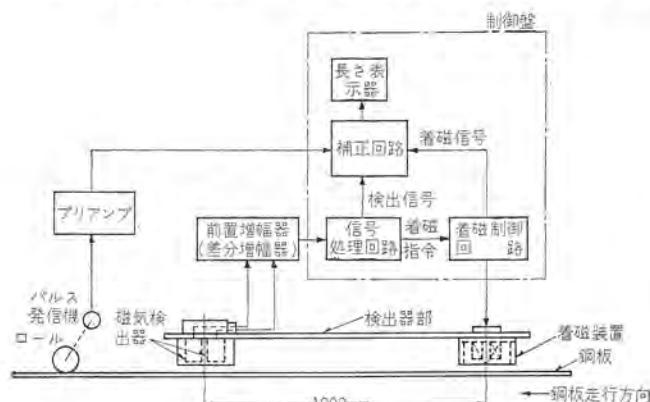


図 17. 無接触形鋼板長さ計構成図
Block diagram of non-contact length meter.

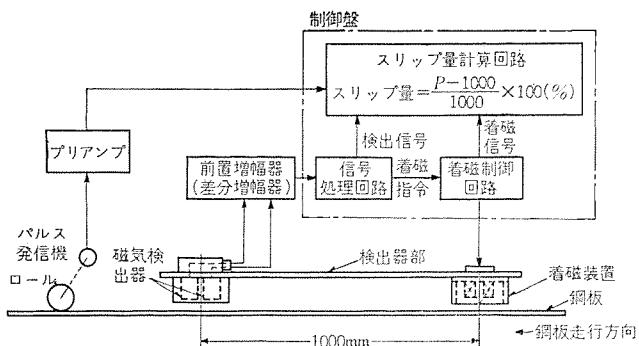


図 18. 無接触形鋼板スリップ計構成図
Block diagram of non-contact slip meter.

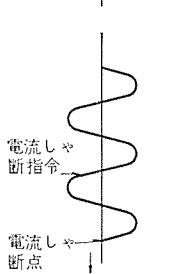
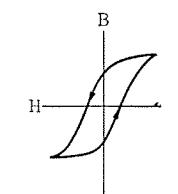


図 19. 着磁動作原理図
Principle of magnetization.

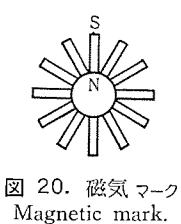


図 20. 磁気マーク
Magnetic mark.

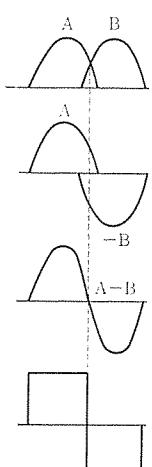


図 21. 差分増幅器動作原理図
Wave formation of difference-calculus amplifier.

流しや断指令信号により、サイリスタゲート信号をしゃ断することにより行なう。すなわち図 19. 着磁動作原理図において電流しゃ断指令信号が出た後、コイル電流が正方向から零になった点で電流がしゃ断され、その位置で鋼板に磁気マークが付けられる。磁気マークは図 20. 磁気マークに示すとおり、小さな棒磁石を円形にならべた時の磁束分布と類似した形状となる。

鋼板に付けられた磁気マークは2個の磁気検出器により検出され、図 21. 差分増幅器動作原理図に示すとおり、一方の信号から他方の信号を引き去り、波形整形され、外部へ検出信号として送出されると同時に、次の着磁指令信号となる。図 22. 着磁検出部ブロック図において鋼板に接触して回転するロールに鋼板長さ約1mmにつき1パルスを発信するパルス発信機を取り付け、そのパルス信号をカウントで計数し、カウントの値が500で着磁コイルの電流を開始させる。

着磁ヘッドと磁気検出器間の距離は1,000mmにつきその直前、すなわちカウントの値が800で検出信号のゲートを開き0~約800mm間で磁気検出器または差分増幅回路に外乱が入っても誤動作しない構成となっている。またカウントの値が1,300で電流しゃ断指令信号を出し、最初の自動スタートを行ない、また運転中止等により検出ミスを行なった場合でも強制的に着磁を行なう自動再起動を行なう。

無接触形鋼板長さ部は検出信号の回数に始動時の自動スタートによる補正、測定中の強制着磁による補正を加えてカウントに計数することにより長さを測定することができる。

無接触形鋼板スリップ計はスリップを測定したいロールにパルス発信機(スリップのない時鋼板1mmにつき1パルス発信するように調整されている)を取り付け、そのパルスを着磁信号から検出信号までの間計数し、その値をPとするときスリップ量は

$$\frac{P-1000}{1000} \times 100\%$$

となる。(着磁ヘッド—磁気検出器間距離1m)

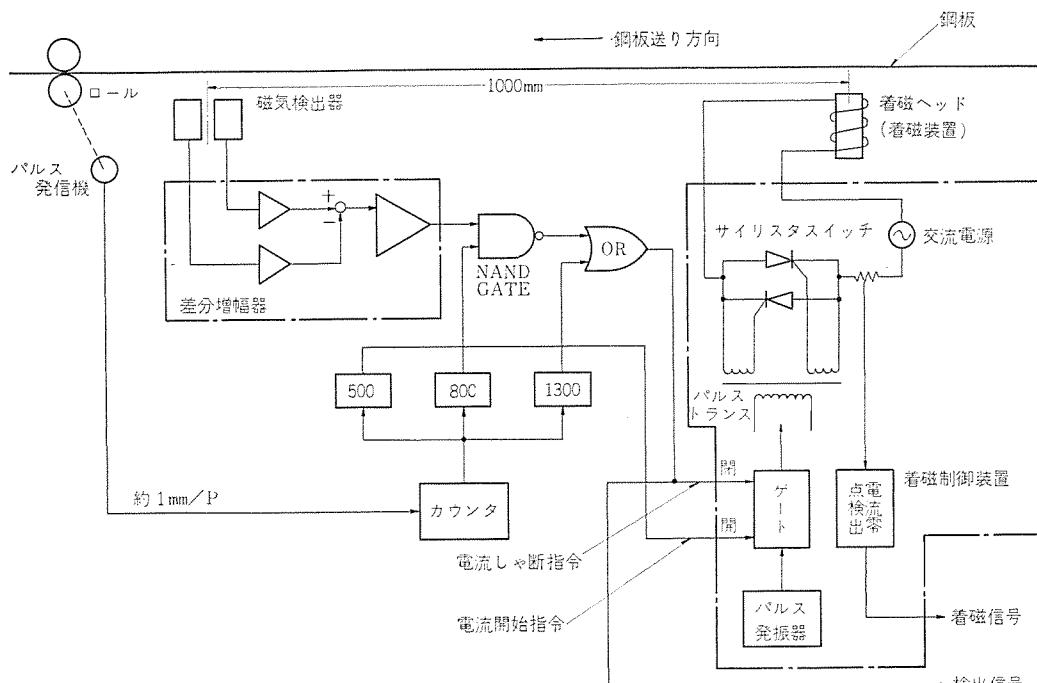


図 22. 着磁検出部ブロック図
Block diagram of magnetizing and detecting part.

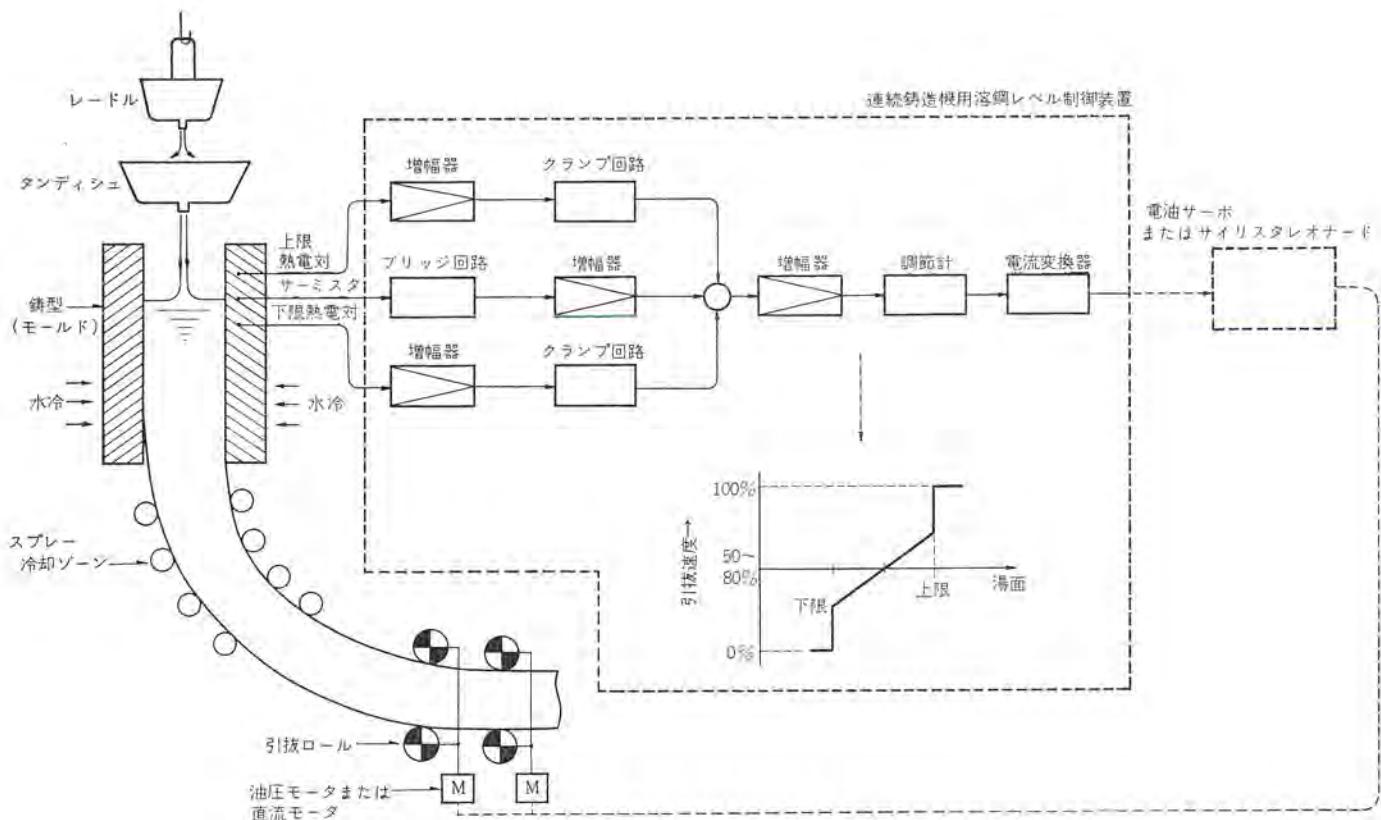


図 23. 連鉄レベル制御システム
Continuous casting level control system.

8. 連続铸造機用溶鋼レベル制御装置

連続铸造法は従来の造塊工程を一新する画期的な技術として近年鉄鋼界に急速に導入されている。

現行の連続铸造(以下連鉄といふ)法においては、モールド内の溶鋼レベルを一定範囲内に保持することが操業上、不可欠であるからこの操作を自動制御することは、製品の品質向上、生産量の増大および作業性の簡略化などの点できわめて有益である。現在、主として用いられているこの種の制御方式としては、鋳型内の溶鋼レベルの変化を、感温素子(サーミスタ、熱電対等)で検出する方法と、放射線(γ線)で検出する方法があり、この信号の変化に応じて铸片の引抜速度を変えたり、レールドあるいはタンディッシュからの鋳型への溶鋼の注入量を変化させ、溶鋼レベルを制御している。

感温素子による方法と、放射線による方法とはそれぞれ特長があるが、当社では安全性を特に考慮して感温素子による方法を、三菱重工業(株)の指導のもとに製品化してきている。現在まで、ビレットの連鉄に多くの実績を持ち、連鉄設備の自動制御に大いに貢献している。

図 23. は連鉄レベル制御装置を採用した制御システムを示す。鋳型内に埋込まれた3本の感温素子には、上下限の検出に熱電対を、

レベル制御域の検出にサーミスタを用いている。これらの信号をそれぞれ増幅し、加算したのち PID 調節計を通し、サイリスタレオナードまたは電油サーボの速度系の入力にインプットし、引抜速度を制御する。湯面はサーミスタ埋込み位置付近で制御されるが、オーバフロー、ブレイクアウトを防ぐため上下限を熱電対で検出し、湯面がその位置にきたとき、引抜速度を 100% または 0% にする。

9. むすび

鉄鋼プラントの圧延・プロセスラインおよび連続铸造設備に適用される検出器および計測装置のうち、多数の実績を有する製品および当社のユニークな製品を紹介したが、このほか、最新の電子技術を駆使したデジタル応用計測装置も多數納入してきている。

今日、鉄鋼ラインにおいて、既存の検出器および計測装置だけでは、特別な対象・目的に対し十分なシステムの構成と制御・自動化は困難になってきていることは我々メーカーとしても十分認識している。しかるに鉄鋼用検出器・計測装置はその原理・原則は非常に広い分野にわたり、対象も目的も非常に広いため、他の制御装置と性格も異なり、むずかしい面を有している。したがって、これから的新機種開発はメーカーだけの力だけでは困難であるので、今後共にユーザの一層の御指導をお願いしたい。

圧延機駆動系におけるねじり振動に関する諸問題

小山 建次*・久保田 伸夫*

Problems of Torsional Vibration in Mill Drive System

Head Office Kenji Koyama・Nobuo Kubota

With the latest tendency of the steel mill drive system becoming of great capacity, the shafting of it tends to become so long as to lower the mechanical torsional resonance frequency. On the other hand the electric control system tends to raise the response frequency through the employment of semiconductors. Between these two phenomena is produced interference and this poses the problem of hampering the raise of control response of the rolling mill. This article describes what relation exists between the resonant frequency of torsional vibration ω and the cross over frequency of electric system ω_C , and also states briefly the torque amplification factor that is apt to rise by the torsional vibration.

1. まえがき

一般に圧延機を電動機で駆動する場合、電動機出力軸より、カップリング・中間軸・ギヤ装置・ピニオンスタンドなどを介して、ロールを駆動する方式を採用している。この駆動系を機械的に見ればあたかも剛体のように感ぜられるが、力学的に見れば慣性体 (Inertia I) とばね (Spring) のつなぎ合せた駆動系と考えられる。従ってばねと I の値により必ず機械的共振現象がある周波数において発生し、この共振現象のうち特に軸のねじり方向に対する振動を Torsional Vibration と称し、各種の共振周波数を有する。共振周波数の数は理論上は駆動系につながれた I の数より一つ少い値となる。このうち最も低い周波数を第一次共振周波数と称し、最近のミルではこの値が 10~20 Hz 程度の低いものも現れると共に、一方電気制御系の応答周波数がサイリスタなど半導体機器の発達によりアップし、そのための電気制御系との干渉の問題、更には、圧延が過酷になったための TAF (トルク増幅系数) 増大によるトルク増幅の機械的問題などがクローズアップしてきた、当社では数年前より本問題に取組み、既に既設ミルにおける基礎実験も一部完了したので本機会にその概要を述べることとした。

2. 圧延機の大形化と電動機駆動方式

鉄鋼生産の合理化のため最近の圧延機は大形化の一途をたどり、圧延機の駆動は従来は電動機一台単電機子 (SA) 方式で十分であったものが、駆動容量の増大と、駆動系 GD^2 の減少のため二電機子 (DA) 三電機子 (TA) 方式と逐次分割駆動化され、最近のタンデムホットストリップミルの仕上最終スタンドでは四電機子 (QA) 方式のものも設置されるようになった。電動機は制御性より直流電動機が用いられるが、直流電動機は誘導電動機などの交流電動機に比し、整流能力の問題などにより単機大容量のものは製作に限界があり、普通 M 常数と称する。 $M = kW \times Top speed \times \frac{Top speed}{Base speed}$ kW rpm の値で製作限界を決めている。製鉄圧延に使用される DCM は厚板・分塊のように回転速度の低い (30~100 rpm 程度) ものからタンデムホット、コールドミルなどに使用される回転速度の比較的高いもの (100~1000 rpm 程度) まであり、この値は一概に決められないが、現在では厚板・分塊用では約 1.5×10^6 、ホットコールド用では 4.0×10^6 程

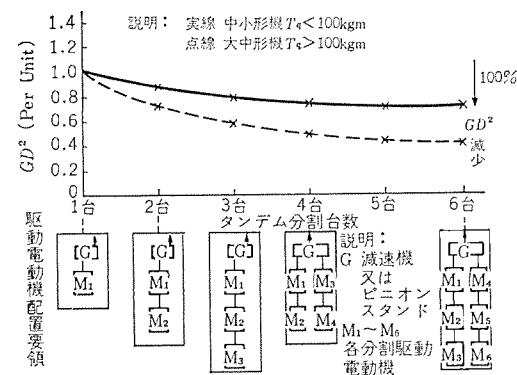


図 1. 直流電動機のタンデム駆動(分割)による GD^2 の減少率
Decreasing rate of GD^2 of direct current motors when divided rotor (tandems drive).

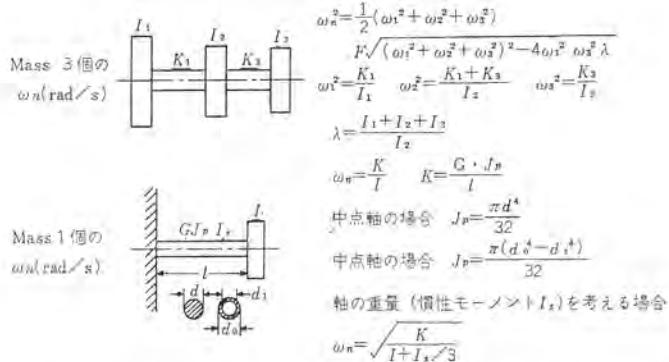
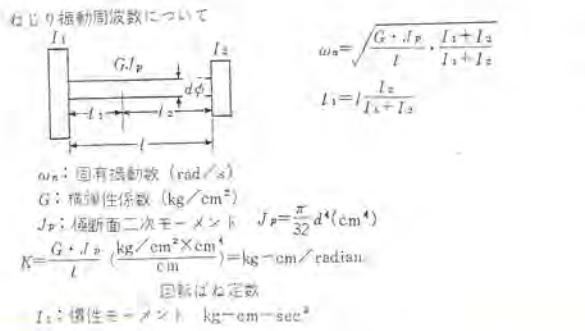
度とされており、従って単機大容量機の製作は相当大容量まで可能であるが、 GD^2 の減少の目的で分割される場合が多い。直流電動機を分割駆動した場合の分割台数と、 GD^2 の減少の割合は概略図 1. のとおりである。分割の方法としては、ホットストリップミルでは 3~4 タンデム直列駆動方式が、コールドストリップミルでは上下ワーカロールを別駆動するような並列駆動方式、または図 1. の 4 台、6 台分割方式 (上下ワーカロールメカタイ方式) を採用するものが多い。単機容量としては、1,000 kW~4,000 kW 程度の大きさに分割される場合が多い。

3. 駆動系とねじり振動周波数の関係

前章で述べたようにタンデムドライブすることにより駆動軸系が長くなるにつれ共振周波数は低下する。軸径 d 、軸長 l と共振周波数の関係は

$$\left. \begin{aligned} \text{共振周波数} &\propto d^2 \\ \text{共振周波数} &\propto \frac{1}{\sqrt{l}} \end{aligned} \right\} \text{の関係となる。}$$

従って GD^2 の定まっている駆動系では軸径 d または軸長 l を加減することにより、ある程度第一次共振周波数の増大に努めている。慣性体 I が 1, 2, 3 箇を有する簡単な駆動系の固有振動周波数は、御承知のとおり次式にて計算する。



ねじり振動周波数の計算は通常 Mass I が 10 個以上となる場合が多いので電子計算機を用い計算することが多い。

4. ミル駆動系の機械方式の種類

ミルの機械的駆動系としてはできる限り共振周波数を上げるような短長駆動方式が好ましいが、最近のミルでは製品の仕上精度を上げるために AGC (Automatic Gauge Control) を行うことは常識化

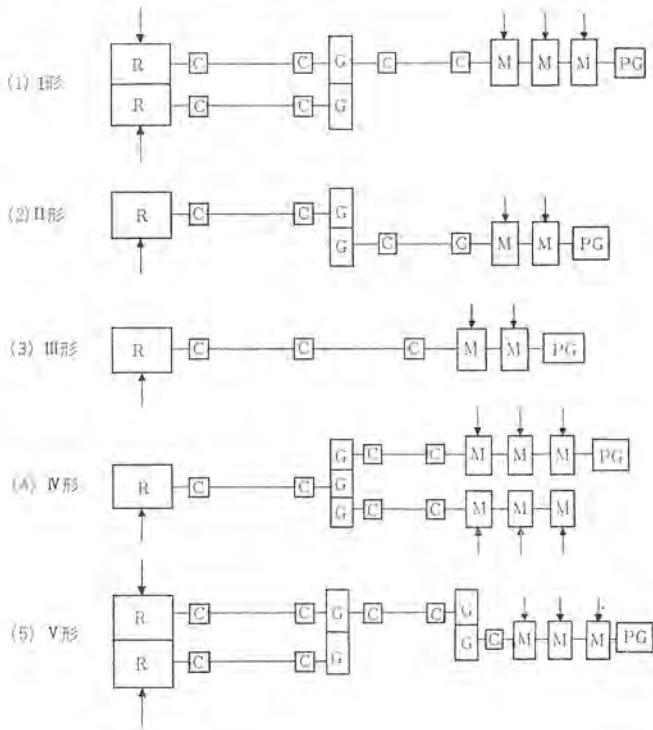


図 2. Torsional Vibration 検討上の最近の標準形 Mill 駆動系一覧表
 Typical mode of mill drive system for torsional vibration study.

されており、これがため電気制御応答性能を上げるために、駆動電動機の GD^2 の減少、機械的時常数の減少を計っている。最近のミル駆動系を大別するとだいたい 図 2. のとおり 5 種類程度に集約できる。タンデムホットでは I 形、V 形、タンデムコールドでは I 形などが多い。当社では I 形から V 形までを標準とし、ねじり振動解析用プログラムを完成した。

5. TAF (トルク増幅率) とねじり振動の関係

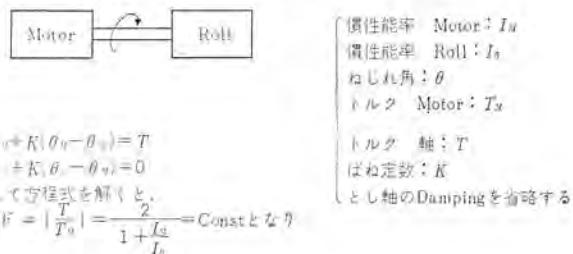
最近ミル駆動系の TAF が問題視されるようになってきた。TAF とは圧延中の最大トルクと平均トルクの比をいい、普通次式で示す値を称している。

$$\text{TAF} = \frac{\text{Peak Torque}}{\text{Average Torque}}$$

特に Back rush のあるような非直線機械駆動系において、加えられたトルクと最大トルクの比を ITAF と称しており、数式的には次式の値をいっているようである。

$$\text{ITAF} = \frac{\text{Peak Torque}}{\text{Applied Torque}}$$

TAF 発生の原因については種々の要因が考えられるが、主として軸駆動系のねじり振動に原因するものが多い。TAF については簡単なる単電機子 Motor と単ロールについて解析すると、



Motor の Inertia より Roll の Inertia が極端に大きい場合
 $I \gg I_R$ のときは TAF=2.0 となる

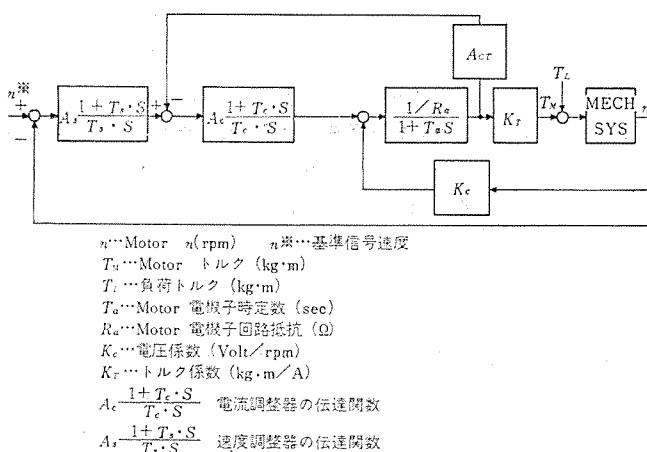
TAF についてはこのような簡単な省略式で実際の値を計算することは無理で、実際には質量系の数も多くなり、ダンピングなどの数値も問題となると共にピークトルクの加わり方によっても変ってくるものであり、当社が某製鉄所にて実際圧延中に測定した TAF の値は圧延トルクが小さいとき (100 % トルク以下では) 2.0 を超え、3.0 度まで達する場合もあるが、圧延トルクがモータの常用最大トルク程度 (200~225 % 程度) の場合は 2.0 またはそれ以下の値が多くなる傾向にある。TAF の値については圧延鋼種、圧延方法 (タンデムローリングがどうか) などによっても違った値が出るようであり、今後研究すべき課題と考えている。

6. 電気制御系とねじり振動の関係

最近の電動機の速度制御系は高速応答化されている。機械系と総合した主電動機の速度制御ブロック図を図 3. に示す。図に示すような制御系で最近は高速応答となり cross over $\omega_c = 30$ 以上のものが多く作られるようになってきた。一方前述のとおりねじり振動周波数も従来より低下し、この周波数の接近が制御上問題にされることが生じてきた。

(1) ねじり振動数と制御系 ω_c に関する考察

今まで考えられていた速度制御系においてはトルク外乱 (T_d) と DC Motor の回転数 (n_1) との関係は図 4. のように考えられた。



一般に機械共振系が問題になる領域では $G_S(S) = \frac{K}{(1+T_cS)^2}$ で近似でき、機械系は $1/J_S$ の代りに $G_{M1}(S)/J_S$ となるので開路伝達関数 $G(S)$ は前式より

$$G(S) = \frac{1}{J_1 S} \cdot \frac{S^2 + 2\zeta_1 \omega_1 + \omega_1^2}{S^2 + 2\zeta_2 \omega_2 + \omega_2^2} \cdot \frac{K_C}{(1+T_c S)^2}$$

となる。

前式において $T_c \ll \frac{1}{\omega_2}$ および $T_c \gg \frac{1}{\omega_2}$ についてボーダー線図を描けば図7., 8. のようになる。

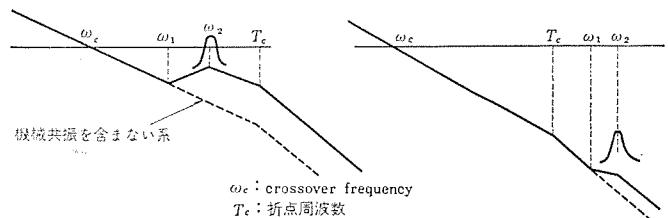
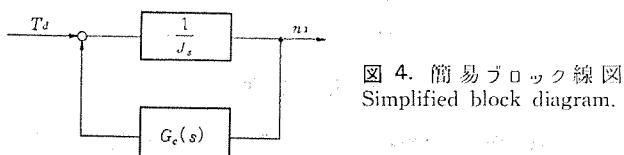


図7. および図8. はそれぞれ位相安定形・振幅安定形の制御系で、図7. では $\omega = \omega_2$ で 0 dB をこえているが位相余裕が十分であるので安定となり、図8. では $\omega = \omega_2$ で位相は大幅に遅れているが gain 余裕が十分なので安定系となる。

従来のミルでは ω_c と ω_2 が相当離れていて制御上はほとんど問題がなかったが、前述のように ω_c が高くなり ω_2 が低下してきたのでこの種ミルでは必ず検討する必要が生じてきた。従来の考え方では $\omega_2 > 2\omega_c$ 程度で十分と考えられたことでもあったが、 ω_c の高いタンデムコールド、ホットなどでは $\omega_2 \geq 3 \sim 3.5\omega_c$ がぜひ必要条件と考えている。電気系ばかりでは解決できない場合も多く、機械メカ側にお願いして機械系の軸の太さなど太くするようしている場合もある。



T_d : 扭矩外乱
 n_1 : DC Motor 回転数
 J_S : 機械系の時定数

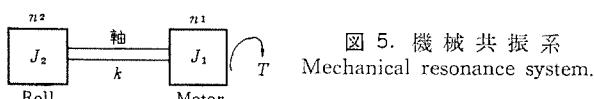
$G_c(S)$: 速度制御系のトルク対速度の伝達関数
この系における開路伝達関数 $G(S)$ は

$$G(S) = \frac{1}{J_S} G_c(S)$$

となるので T_d から n_1 に到る伝達関数 $H_1(S)$ は

$$H_1(S) = \frac{n_1}{T_d} = \frac{1}{J_S + G_c(S)}$$

となる。ところが制御系が図5. のような共振系では、制御系に悪影響を及ぼし

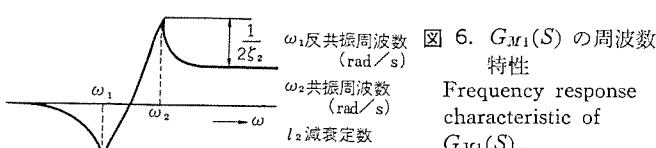


Motor の駆動トルク T が加わった場合の T から n_1 への伝達関数は

$$\frac{n_1}{T} = \frac{1}{J_S} G_{M1}(S) = \frac{1}{J_S} \cdot \frac{J}{J_1} \cdot \frac{S^2 + 2\zeta_1 \omega_1 S + \omega_1^2}{S^2 + 2\zeta_2 \omega_2 S + \omega_2^2}$$

$$J = J_1 + J_2 \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{k}{J_2}} \quad \omega_2 = \sqrt{k \left(\frac{1}{J_1} + \frac{1}{J_2} \right)}$$

G_{M1} : Motor 側で検出した場合の機械共振系の伝達関数
この $G_{M1}(S)$ の周波数特性は図6. のようになる。



ω_1 : 反共振周波数 (rad/s)
 ω_2 : 共振周波数 (rad/s)
 ζ : 減衰定数

7. 軸ねじり振動の実測例

圧延機駆動軸系ねじり振動と電気制御系の関係を、実際運転中のミルについて客先の御好意によりその概要を測定することができた。詳細結果については日本機械学会関西支部第48回定期大会にて発表されているがその概要について述べる。

(1) 圧延機駆動システム

圧延機駆動システムは図9. のとおりで、4 H ロール圧延機に圧延材がかみ込んだ瞬間のねじり振動についてⒶⒷⒸⒹⒺの5点について測定することができた。ねじり振動固有周波数は実測値 11.4 Hz,

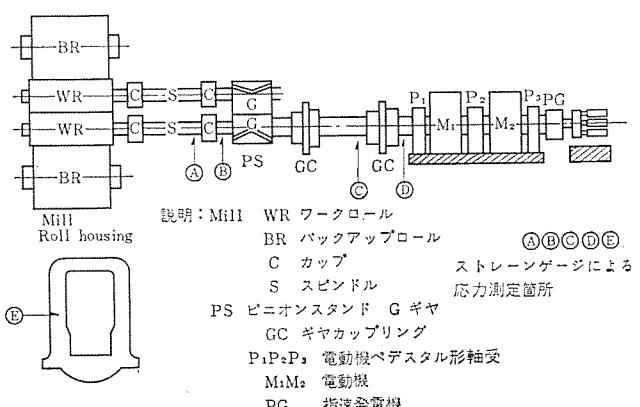


図9. ホットストリップミル 圧延機駆動系簡略図
Simplified figure of rolling mill drive system for hot strip mill.

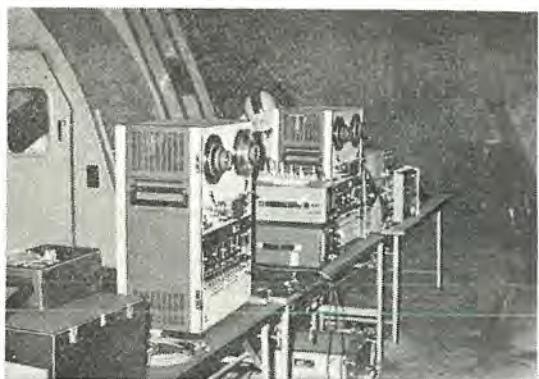


図 10. ねじり振動計測
Photograph of torsional vibration measurement.

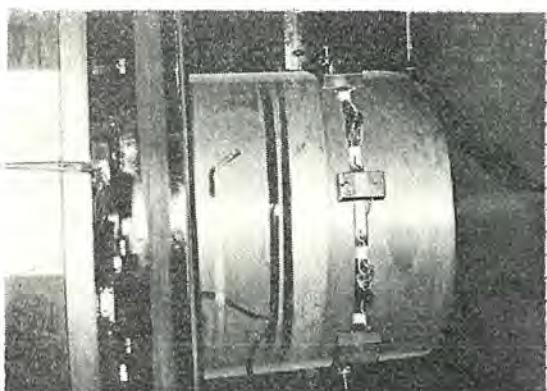


図 11. ねじりトルク測定のための FM テレメータ取付け
Photograph of FM telemeter in measuring torsional vibrations.

計算値 10.96 Hz とほとんど一致し、測定値の方がやや大きい値を示している。概略計算では実測値の方が約 1.0 Hz 程度上回るようである。また鋼材かみ込み時の圧延トルクの Built up の波形の立ち上りは 5 ms 以内で、代表的な固有振動周波数の周期より十分小さいのでほぼステップ応答と見なせる結果となったが、実験の際の圧延負荷が比較的軽く、重負荷のときの実測も懶しかったが、生産上やむを得なかった。図 10., 11. に計測中の写真を示す。

8. む　す　び

最近のように鉄鋼圧延プラントの大形化と高速化が進んでくると、従来のように電気系のみの制御系で制御性は論ぜられなくなってきた。特に高速のタンデムコールドミル、タンデムホットミルなどではねじり振動を考慮したシステムとすべきと考える。またねじり振動による TAF の上昇の問題もあり、機械的にもねじり振動は十分注意すべき時代となった。本文では単にねじり振動について定性的に説明を加へたにとどまったが、今後ますます本問題につき掘りさげ、製作に反映せしめ、よりよい製品の開発に努める覚悟である。

参 考 文 献

- (1) 松倉ほか：圧延機ねじり振動の解析、機械学会関西支部第48回講演会論文原稿
- (2) Torque Amplification and Torsional Vibration in Large Reversing Mill Drive, Iron and Steel Engineer (May, 1969)
- (3) 武田ほか：風洞電動設備用制御装置、三菱電機技報、35, No. 6 (昭36)

塊状磁極形 同期電動機の始動特性

吉田俊一*・野村達衛**

Starting Performance of Solid Pole Synchronous Motors

Nagasaki Works Shunichi Yoshida
Central Research Laboratory Tatsuei Nomura

Solid pole synchronous motors having a high starting torque are available for starting machines with heavy inertia, and their sturdy rotor construction is good for severe operating conditions. Because of these features, they are well employed for a continuous process in the steel plant and demanded to be built increasingly larger capacities. Problems posed with these machines involve difficulty in the calculation of starting characteristics due to the non-linear magnetic characteristic of solid iron and thermal stress on the surfaces of poles. Mitsubishi has solved these problems through the experience of manufacturing a good number of these motors on one hand, and has studied questions in the design and of the safety by the measurement of experimented machines on the other hand. This article describes the calculation method of starting characteristics as the chief topic.

1. まえがき

最近の産業規模の拡大と生産合理化のすう(趨)勢に伴い、回転電機に対する大容量化、高速化および信頼性の要求が高まっている。

塊状磁極形同期電動機は誘導電動機とは異なる特長を有し、その高い始動トルク特性と堅ろうな回転子構造は重慣性負荷のひん(頻)繁な始動に適し、また同期運転時には力率改善に役立つ利点を有している。

この機械の問題点の一つは、高い始動トルクの特長を最大限に生かすために正確には(把)握しておく必要のある始動トルク特性が、その計算の経過において非線形磁気特性を有する鉄体のうず電流問題を含むため、高精度で計算できない点にあった。また大容量化に際し磁極表面の熱応力をに関する安全性を設計段階で確認しておく必要があるが、この熱応力は磁極表面の発熱量と始動時間および構造にかかるものであり、根本的には始動特性に依存し、この点でも始動特性の正確な算定が重要なものである。

始動特性の算定に関しては、従来から多くの人達により研究されているが⁽³⁾⁽⁴⁾、前述の理由で十分精度を有する決定的方法は見当たらない。本文では多数の実機に対し十分の精度を有することが確認できた手法について述べる。

2. 塊状磁極形同期電動機の特長とその適用

鉄鋼一貫プロセスで鉄鉱石の焼結排風機や酸素製鋼に活躍している空気分離装置用空気圧縮機などの駆動用電動機に必要な特性は、主に次のようなものである。

(1) 始動トルク特性

始動時の負荷のトルク-速度特性は図1.に示すように速度零の点において、30~50%，始動しあじめると静止摩擦トルクが減少してやや低下し、次第にはば速度の2乗に比例して増加する。定格速度近くのトルク(引入トルク)はファンブロウでは40~60%，圧縮機では40~50%に達する。

したがって負荷を円滑に始動でき、大きなGD²をもった負荷を直流励磁によって同期に引入れるには、加速トルクによる到達滑りがきわめて小さくなるようにトルク特性を確認しておかなければな

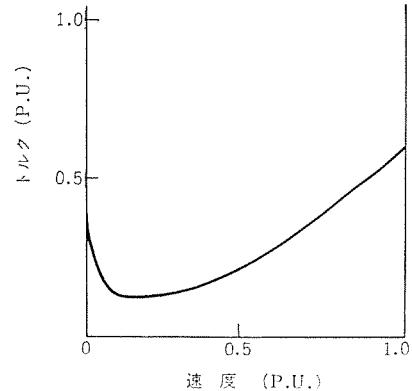


図1. 遠心、軸流形送風機、圧縮機のトルク特性
Torque characteristic of blowers and compressors.

らない。

(2) 負荷のGD²

送風機・排風機は取り扱う風量が大きく、風圧が低く、非常に大きな羽根車を使用し、そのGD²は非常に大きいものとなる。

軸流およびターボ圧縮機は增速ギヤを介して6,000~20,000 rpmで高速回転しているので、電動機軸換算のGD²は大きくなる。始動時に負荷トルクに打ちかってこれを加速するエネルギーに等しい渦電流損が回転子に発生する。すなわちこの損失Wは次式で表わされる。

$$W = \int_0^{\omega_0} T_m(\omega_0 - \omega) dt \frac{GD^2}{4} \int_0^{\omega_0} \frac{T_m}{T_m - T_l} \cdot (\omega_0 - \omega) dt \dots \dots \dots (1)$$

かかるに

$$dt = \frac{GD^2}{4} \frac{d\omega}{(T_m - T_l)}$$

となる。T_m, T_lは平均的に一定と仮定すると上式は

$$W \simeq \frac{T_m}{T_m - T_l} \cdot \frac{GD^2}{8} \omega_0^2 \dots \dots \dots (2)$$

となり、始動時にはGD²に比例した損失が回転子に発生することになり、大きなGD²を回転させる場合に発生する熱損失の吸収が必要である。この許容されるGD²の限界の目安として、この回転子に発生する熱損失の電動機定格出力に対する比で表わされる単位

表 1. 排風機と圧縮機の GD^2 と単位慣性定数
 GD^2 & H constant of typical blowers and compressors.

項目	出力	負荷の GD^2 (kg·m ²)	単位慣性定数 (kg)	モータの GD^2 (kg·m ²)
排風機	5,000 kW 級	60,000	16.5	6,400
	7,000 kW 級	90,000	17.6	8,000
	9,000 kW 級	150,000	18.5	18,000
	11,000 kW 級	190,000	19.0	31,000
	13,000 kW 級	230,000	19.6	40,000
	15,000 kW 級	300,000	22.2	50,000
圧縮機	軸流形	10~15~	—	—
	ターボ形	~5~10~	—	—

* この値は焼結排風機駆動用モータの場合を例示した

表 2. 塊状磁極形同期電動機納入実績表 (1,000 kW 以上)
List of solid pole synchronous motors built by MELCO.

納入先	同期電動機仕様						納入年	備考
	出力 kW	電圧 V	力率 %	極数	回転数 rpm	台数		
当社名古屋製作所	1,500	3,300	80	8	900	1	1960	
住友金(和歌山)	9,200	11,000	100	2	3,600	1	1964	ターボタイプ, 始動モータ付, 高周送風機
住友金(和歌山)	7,000	11,000	100	2	3,600	1	1965	ターボタイプ, 始動モータ付, 高周送風機
新日鉄(広島)	4,500	11,000	100	8	900	1	1965	焼結排風機
日新製鋼(東京)	4,200	6,600	90	6	1,200	1	1968	焼結排風機
新日鉄(横浜)	5,300	11,000	100	6	1,000	1	1968	焼結排風機
神戸船(神戸)	4,000	6,000	100	4	1,500	1	1969	ターボ圧縮機
日本钢管(福井)	8,700	11,000	90	8	900	1	1969	焼結排風機, ブラシレス
新日鉄(広島)	2,300	11,000	100	4	1,800	1	1969	ターボ圧縮機
新日鉄(君津)	7,000	11,000	100	6	1,000	1	1969	焼結排風機
日本钢管(福井)	13,000	11,000	90	8	900	1	1970	焼結排風機, ブラシレス
新日鉄(君津)	14,500	11,000	80	6	1,000	1	1970	ターボ圧縮機
新日鉄(堺)	14,500	11,000	80	6	1,200	1	1971	ターボ圧縮機
A I S (オーストリア)	1,700	6,600	80	4	1,500	2	1971	焼結排風機, ブラシレス
新日鉄(大分)	60,000	11,000	70	2	3,600	2	1971	ターボタイプ, 低周波始動, 高周送風機
COSIPA (ブラジル)	6,000	13,200	80	10	720	1	1972	焼結排風機
英社	9,500	11,000	90	8	900	2	1973	焼結排風機, ブラシレス
A I S (オーストリア)	7,500	6,600	80	6	1,000	2	製作中	焼結排風機
英社	15,500	11,000	90	6	1,000	1	製作中	ターボ圧縮機

慣性定数 H が用いられる。

$$H = \frac{\frac{1}{8} GD^2 \omega_0^2}{\text{定格出力(W)}} = 1.37 \times \frac{GD^2 \times (N/1000)^2}{\text{定格出力(kW)}} \quad (3)$$

表 1. に焼結排風機・各種圧縮機の GD^2 の大きさと単位慣性定数の代表値を示す。ちなみにかご形始動巻線付きの場合 5 秒前後である。

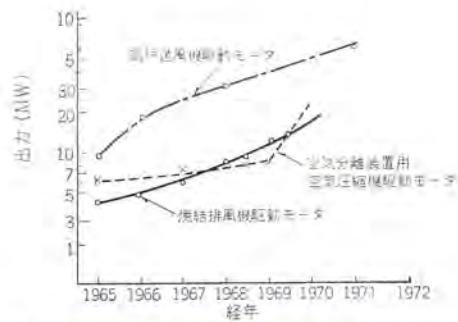


図 2. 最近の塊状磁極形同期電動機の容量増加の傾向
Trend of increased capacity of solid pole synchronous motors.



図 3. 塊状磁極形同期電動機回転子
Rotor of solid pole synchronous motor.

(3) 過酷な環境および運転条件に耐えうること

これは設備の大容量化に伴い、事故の与える影響がますます大きくなっています。最も基本的な条件である。

このような電動機としてかご形始動巻線付電動機が採用されたこともあるが、かご形始動巻線は材料によって許容される温度上界値は若干異なるが、だいたい 200°C 前後であるため、 GD^2 の大きな負荷あるいは回転数の高い電動機ではかご形始動巻線の温度上界値を上記値に押えることが困難な場合があり、最近のような大容量になると塊状磁極形同期電動機が採用されている。このことはその磁極が単一鋼塊または複数個の厚鋼板で構成され、始動時磁極表面に生ずる渦電流によってトルクを発生する同期電動機であるから、始動時の熱容量が普通のかご形始動巻線の熱容量よりもはるかに大きく、さらに磁極表面に発生した熱は、すみやかに磁極全体に伝達されるので最も温度が高くなる磁極表面温度を十分に低い温度に抑えることができ、熱的、機械的に信頼性が高く、大きな GD^2 の負荷を自己始動するのに最適だからである⁽¹⁾。

この大容量塊状磁極形同期電動機の製作状況について、鉄鋼関係の最近の記録品の出力をプロットしてみると図 2 のようになり、当社では表 2 に示すように多くの実績を有している。図 3 に塊状磁極形回転子の実例を示す。

3. 特性解析

この塊状磁極形同期電動機を電源に投入して自己始動を行なう場合、トルクは回転子の磁極に流れる渦電流によって発生する。したがって解析はこの渦電流現象のはじめから始める。

3.1 塊状磁極片における渦電流

解の計算において次の仮定をする。

(1) 磁極鉄体の透磁率は表面接線方向磁界強度に対応する値とする。

(2) 固定子巻線は空けき(隙)の固定子内面において正弦波起磁力分布を形成し、高調波は無視する。

(3) 固定子の透磁率は無限大である。

- (4) 磁極および固定子表面の曲率は空げき長に比べて小さい。
(5) 磁極表面の電流は機械有効長の範囲では軸方向成分のみとする。

Maxwell の式から磁極鉄体内のうず電流に関する微分方程式として次式を得る。

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{U} = \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで図 4. に示している直交座標を用い、 z 軸方向を z 軸、深さを y 座標で表わすと、次式の解を得る。

$$U_z = U_m e^{-\alpha y} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{\lambda} x - \alpha y\right) \quad \dots \dots \dots (5)$$

3.2 二次抵抗の算定と等価回路⁽²⁾

磁極の有効な部分の単位面積当たりの損失密度は次式で表わせる。

$$W = \rho |U_m|^2 \quad \dots \dots \dots (6)$$

この式は以下のとく鉄体の透磁率を忠実に考慮してベクトルポテンシャルによって表現できる。磁極表面上の任意の位置の軸方向のベクトルポテンシャル A_m は、

$$A_m = (\rho/\omega) \cdot U_m \quad \dots \dots \dots (7)$$

であり、磁界の強さの最大値 H_m の関係を級数式⁽³⁾に表示すると

$$H_m = l \left(\frac{\omega}{\mu_0 \rho} \right)^{1/2} \cdot A_m + m \left(\frac{\omega}{\mu_0 \rho} \right) \cdot A_m^2 \quad \dots \dots \dots (8)$$

ここに l および m は鉄体の磁気飽和特性により決定される定数、したがって磁極面のある位置 θ における損失密度は次のようにベクトルポテンシャルによって表わせる。

$$W = C \cdot \omega A_m^2 \cdot \left[l \left(\frac{\omega}{\mu_0 \rho} \right)^{1/2} + m \left(\frac{\omega}{\mu_0 \rho} \right) \cdot A_m \right] \quad \dots \dots \dots (9)$$

全損失を二軸成分で表わすと次のようになる。

$$P_{d,q} = L \cdot D \int_{-\frac{\gamma\pi}{2}}^{\frac{\gamma\pi}{2}} W \cdot d\theta \quad \dots \dots \dots (10)$$

ここに θ は電気角

上式中の W は磁束分布の関数であり適切な磁束分布を仮定する必要がある。著者らはこの分布に関する実測および計算による検討により適切な分布を見出している。この分布の仮定により二軸法における二次抵抗 R_{2d} , R_{2q} は

$$R_{2d} = \frac{3\beta^3 \rho_d L^2}{D^2 f (1+\alpha^2) \cdot [A \cdot \beta L \rho_d^{1/2} \cdot (sf)^{-1/2} \cdot K_{d1} + B \cdot E_d \cdot K_{d2}]} \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$R_{2q} = \frac{3\beta^3 \rho_q L^2}{D^2 f (1+\alpha^2) \cdot [A \cdot \beta L \rho_q^{1/2} \cdot (sf)^{-1/2} \cdot K_{q1} + B \cdot E_q \cdot K_{q2}]} \quad \dots \dots \dots (12)$$

これらの式中で先の磁束分布に従う係数として $K_{d(q)1}$, $K_{d(q)2}$ が導入され、それぞれ A_m^2 および A_m^3 の分布によるものである。この二軸の損失係数と極弧比との関係を図 5. に示す⁽²⁾。さらに直軸においては、図 6. に示すように磁極端におけるうず電流がかなり

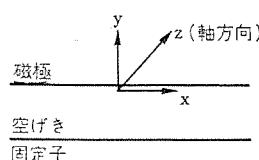


図 4. 直交座標系
Rectangular coordinates x , y , z .

の値になると考えられる。したがってうず電流損もそれだけ増加することになり、その増加分を式 (11) の直軸損失係数に加えて補正する必要がある。図 6. に示すように磁極端の高さを h_p とすると磁極端におけるうず電流損は

$$P_{tip} = P \cdot L \cdot 2W_{\theta=\frac{\gamma\pi}{2}} \cdot h_p \quad \dots \dots \dots (13)$$

となり、式 (10) と式 (13) を対比すると直軸損失係数 K_{d1} , K_{d2} に対してそれぞれ $4Ph_p/\pi D$ だけ補正してやればよい。すなわち磁極端のうず電流集中による損失増加を考慮した直軸損失係数 K'_{d1} , K'_{d2} は次のようになる。

$$K'_{d1} = K_{d1} + 4Ph_p/\pi D \quad \dots \dots \dots (14)$$

$$K'_{d2} = K_{d2} + 4Ph_p/\pi D \quad \dots \dots \dots (15)$$

式 (11) による二次抵抗の計算で分母はほとんど第 2 項の値であり、第 1 項を無視でき

$$R_{2d} = \frac{\pi \alpha}{2K_{d2}(1+\alpha^2)} \cdot \frac{\lambda}{E_d} \quad \dots \dots \dots (16)$$

となり、この式は Widger⁽¹⁾ によって与えられた式と同じ形で、 λ は文献 (2) の値と同じ式である。

以上によって塊状磁極体の等価抵抗が計算される。等価リアクタンスについては、線形うず電流計算においては等価抵抗に等しく、Mcconell らの Limiting theory では等価抵抗の 1/2 である。この点に関しては鉄体のうず電流の研究の結果、塊状磁極のごとく磁界強度の大きい場合は Limiting theory の適用が適している。

直軸磁束は分布した状態で空げきを横切り磁極片に入るが、その

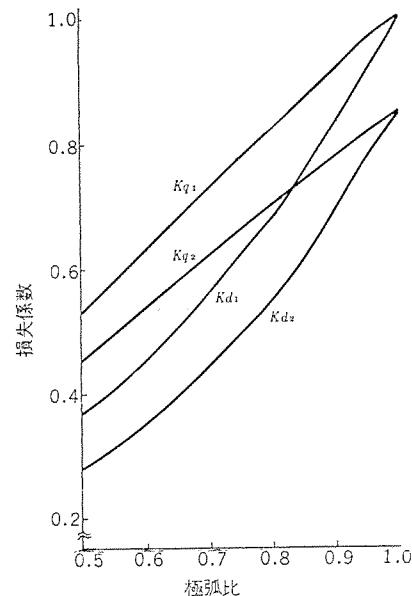


図 5. 損失係数と極弧比の関係
Loss distribution factor related to the ratio of pole arc to the pole pitch.

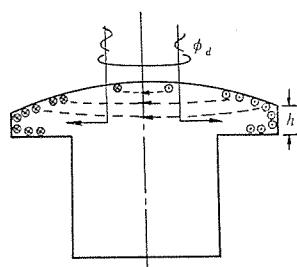


図 6. 磁極端のうず電流
Eddy current in solid pole shoe.

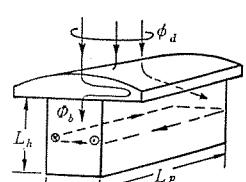


図 7. 磁極体のうず電流
Eddy current in solid pole body.

一部が磁極端を通って図7に示すように磁極体へ侵入する。この侵入磁束によって磁極体および励磁巻線に電流が流れる。

これらは滑りの小さい領域では無視するわけにはいかない。特に励磁巻線が閉回路されるかまたは放電抵抗に接続される場合、励磁巻線の電流のトルクに及ぼす影響が大きい。磁極体の等価回路定数は以下のように求める。

磁極表面の磁気的ペクトルポテンシャルを A_b とすると、その損失は式(9)を用いて次式で表わされる。

$$W_b = C\omega A_b^2 \left[l \left(\frac{\omega}{\mu_0 p_b} \right)^{1/2} + m \left(\frac{\omega}{\mu_0 p_b} \right) A_b \right] \quad \dots \dots \dots (17)$$

したがって磁極体のインピーダンス $Z_b = R_b(1+ja)$ もこの発生損失より計算することができ、次式で表わされる。

$$R_b = \frac{3\beta^2 p_b L^2}{(1+a^2) L h f^2 [A_b \beta L p_b^{1/2} (s_f)^{-1/2} + B \cdot E_b]} \quad \dots \dots \dots (18)$$

この磁極への侵入磁束が界磁抵抗 R_f と磁極体のインピーダンス Z_b に印加される電圧に相当する。以上のように二軸における鉄塊インピーダンスを計算することができ、滑り周波数と磁束で変化する單一の抵抗-リアクタス回路を用いることができる。したがって塊状磁極形同期電動機オペレーションインピーダンスに対し、図8のような等価回路を得る。

3.3 塊状磁極片のみぞおよび端部の影響

塊状磁極表面の損失(発熱)分布は式(9)と式(10)より計算することができ、図9に示しているような分布をしている。この損失が大きい場合、磁極を過熱するおそれがあり、効率へ望ましくない影響を与えることが考えられる。一般に空げき長を増すことによって、それを減少させることができない場合には、磁極表面にみぞを切ることがしばしば行われる。

このことはうず電流損失を減少させること、冷却空気との接触面の増大および空気の流れを乱すことによって、磁極表面から通風空気への熱の伝達をよくすることなどに有効な影響を与える。みぞを切った表面における有効な空げき長については、みぞの幅とみぞ間隔との比が0.25より小さければ磁束密度の分布は大きく乱れない。そしてこの比で深いみぞの場合、空げき長はみぞの幅の0.04倍が加えられる。

またみぞの深さが幅より大きい場合には、空げき長には余り影響を与えない⁽³⁾。このみぞの影響を考慮する場合には、前述の損失や

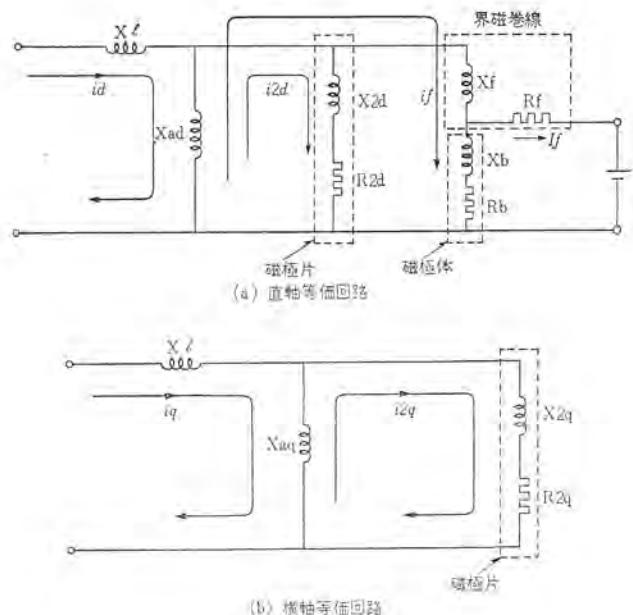


図8. 二軸等価回路
Two-axes equivalent circuits

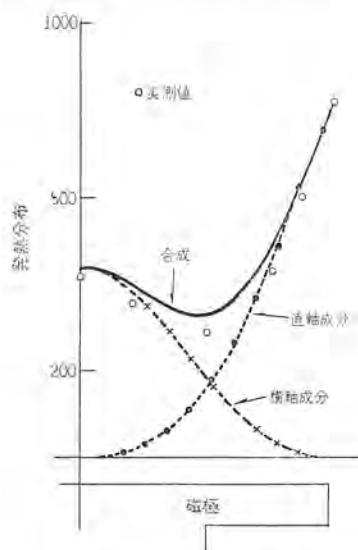


図9. 磁極表面の発熱分布
Loss distribution on solid pole surface.

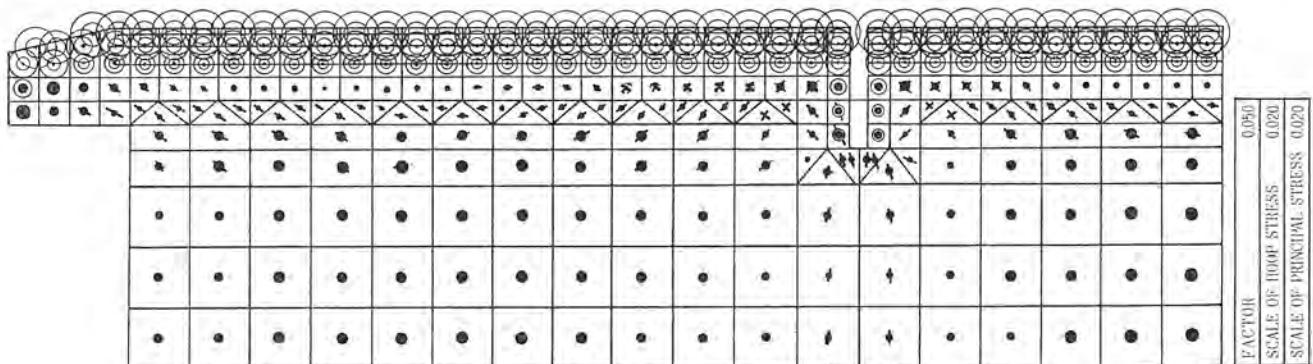


図10. 有限要素に分割された磁極断面とその応力図(矢印は主応力を示す)
Solid pole section and stress distribution calculated by an infinite element method.

インピーダンスの計算式の中の固有抵抗をその増加として補正しなければならない。またこのみぞを切ることによって、そのみぞ部、特にみぞの底部における熱応力問題も重要となってくる。当社ではこの応力を解析するため、図10.に示しているように磁極を有限個の要素に分割し、各節点における現象を解析して、各要素に働く応力、伸縮量を計算し、全体としての現象をも計算する有限要素法を使用して磁極材の変形による悪影響がなく、許容応力以下になるようにそのみぞの形状や有無を決定している。また磁極材質の決定についてもこの応力計算結果より決めている。この応力解析の結果は図10.に示している応力図として表わされる。応力の大きさは主応力は矢印直線部の長さに、周方向応力は外周円の直径に比例している。

一方磁極片に流れるうず電流は軸方向だけの成分であるとしてきたが、実際には軸に垂直な電流成分が磁極端部で集中し、磁極の有効鉄心長の外側で接線方向に流れると考えられる。すなわちうず電流は、図11.に示すように直軸に対して同一磁極片上で閉路を形成しているように分布し、一方横軸に対してはうず電流の電圧は一つおきの磁極片において同一方向となり、うず電流は磁極から磁極へと回路をつくって流れ、かなり長い回路となる。

このようにうず電流の回路が完全に連続しているとすると、前述した鉄塊インピーダンスに余分のインピーダンスを直列に接続することと等価である。したがって端部におけるうず電流通路の影響は固有抵抗の増加によって考慮することで十分である。これは文献(4)などにも述べられている。

さらに磁極端部にエンドリングがあれば磁極表面における接線方向の磁界の強さの値がエンドリングがない場合の値よりも減少する。しかも磁極片のうず電流密度が変化する。したがってエンドリングは回路にあるインピーダンスを付加するだけでなく、磁極片のインピーダンス自身をも変化させる。しかしエンドリングには一般に銅系材料が使用されるため、その固有抵抗は磁極材に比べて相当小さいからエンドリング部分と磁極片のうず電流密度がほぼ等しくなり、磁極片における渦電流密度のひずみは小さく、エンドリングと磁極片のインピーダンスは直接に加え合わせてよい⁽⁶⁾。

したがって図12.に示すように、極間に低抵抗の並列回路を設けたことになり横軸インピーダンスが減少する。このためこのエンドリングを取り付けければ、図13.に示されているように脈動トルクを減少させる効果がある。

しかし高速機に使用される場合、遠心力による応力や熱応力に対処するため、材質の選択や構造について十分検討しなければならない。

3.4 始動特性計算

非同期運転時の電圧成分を複素ベクトル表示をすると、Parkの一般式より次のようになる⁽⁷⁾。

$$\begin{bmatrix} -e \\ je \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a + jsX_d(j\omega) & -(1-s)X_q(j\omega) \\ (1-s)X_d(j\omega) & R_a + jsX_q(j\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (19)$$

この複素表現において各々の成分の瞬時値は、その関係ベクトルの実数部で表わされる。たとえば $i_d = R_e(i_d)$ となる。

鎖交磁束ベクトルは電流 i_d, i_q より次式で表わされる。

$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_d(j\omega) & 0 \\ 0 & X_q(j\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \quad \dots \dots \dots (20)$$

この鎖交磁束の瞬時値 ψ_d, ψ_q は ψ_d, ψ_q の実数部として表わされ

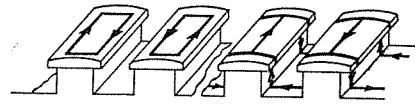


図11. エンドリングのない電動機の二軸平均うず電流通路
Eddy current path in solid poles without end rings.

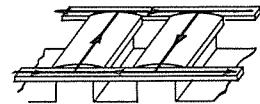


図12. エンドリング付き電動機の平均うず電流通路
Eddy current path in solid poles with end rings.

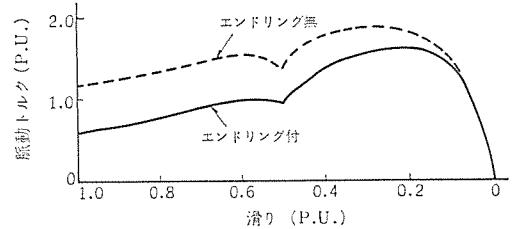


図13. 滑り-脈動トルク特性
Slip-oscillatory torque performance.

る。したがって電動機の発生トルクは次の一般式で表わされる。

$$T = \psi_q i_d - \psi_d i_q \quad \dots \dots \dots (21)$$

式(19)～(21)よりトルクは

$$T = T_a + T_p(t) \quad \dots \dots \dots (22)$$

と表わされる。ただし

$$T_a = \frac{1}{2} R_e [\psi_q i_d^* - \psi_d i_q^*] \quad \dots \dots \dots (23)$$

$$T_p(t) = \frac{1}{2} R_e [\psi_q i_d - \psi_d i_q] \\ = T_{p2s} \cos(2\omega t + \alpha_p) \quad \dots \dots \dots (24)$$

このように非同期運転時のトルクは、非同期トルクとして知られている時間的に一定トルク T_a と 2倍の滑り周波数で脈動するトルク T_{p2s} から成っている。

一方始動電流 i_d は

$$i_d = (i_d + j i_q) e^{j(1-s)\omega t} \quad \dots \dots \dots (25)$$

で表わされる。

4. 解析結果と試験結果の比較

排風機駆動用高速大容量同期電動機として記録品である 13,000 kW および酸素工場空気分離装置用遠心圧縮機駆動用として画期的な高速大容量機である 14,500 kW の塊状磁極形同期電動機の試験結果を紹介する。

これらの機械は塊状磁極形同期電動機として記録品であるとともに、その始動方式に減電圧・ゴンドルファ始動方式による自己始動を採用しており、今後の設計資料を得るために、標準試験のほか、始動時の磁極各部温度、振動や軸系のねじり共振時の軸応力の測定など詳細な試験を実施した。その結果、予想どおりの特性をもち、機械としての信頼性が確認された。

4.1 13,000 kW 塊状磁極形 同期電動機

排風機と直結した実負荷での始動試験結果を図14.に示す。図15.に連続2回始動時の磁極各部の温度上昇の時間的経過を示している。

図15.に示されているように連続2回始動時の温度上昇は、各点

表 3. トルク特性 (14,500 kW 6 極塊状磁極形同期電動機)
Torque characteristics (14,500 kW 6 pole solid pole synchronous motor).

項目	計算値	実測値
始動トルク	0.483 PU	0.487 PU
共振トルク	$\pm 0.925 \text{ PU} \times 80 \text{ 回}$	$\pm 0.688 \text{ PU} \times 40 \text{ 回}$

のベース温度が若干上昇するのみである。なおこの測定は、1回目の始動で定格速度まで加速しているので最も厳しい条件の下でなされており、連続2回始動の仕様条件を十分満足していることが確認された。また前述した解析に基づく始動特性の計算値と実測値の比較を、滑りをパラメータとして図16に示す。この結果、前述した特性解析の妥当性が確かめられた。この機械の工場試験時の風景を図17に示す。

4.2 14,500 kW 塊状磁極形 同期電動機

この機械を遠心圧縮機と直結した実負荷で、始動補償器を用いて始動した場合のオシログラムを図18に示す。始動時の平均トルクおよび共振トルクの計算値との比較を表3に示す。

この他表2に示す当社実機についても比較検討し、よい結果を得ている。

5. むすび

塊状磁極形同期電動機は、最近のプラントの大形化に伴う回転機の単機大容量化・高速化、それに大きな始動トルクを必要とする重慣性負荷を自己始動する場合や、使用条件が厳しいような場合に適した電動機として大いに採用されているが、当社では長年の経験・実績およびこの電動機に対する諸特性の設計理論の確立により信頼性

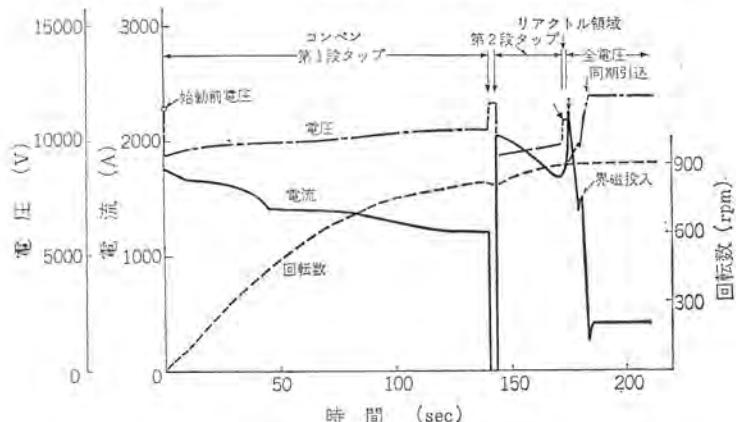


図 14. 13,000 kW 8 極塊状磁極形同期電動機負荷始動特性
Starting characteristics of 13,000 kW 8 pole solid pole synchronous motor on loading.

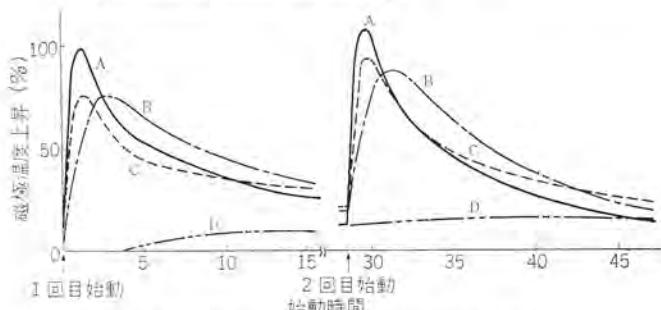


図 15. 連続2回始動時の磁極各部温度上昇
(13,000 kW 8 極塊状磁極形同期電動機)

Temperature rise at some certain points of solid pole surface
(13,000 kW 8 pole solid pole synchronous motor).

のある精度の高い設計データが蓄積され、また本文では詳細を述べなかったが、熱応力の問題に関しても研究を行っており、使用者側の要求に十分こたえられるものをいつでも製作しうる体制にある。さらに今後とも注意深く諸特性を把握するための研究・検討を行い、よりよい製品への努力を続ける所存である。また最近の省エネルギーの観点から、効率がよく、さらに進み効率を採用すれば工場全体の効率改善が可能であり、効率もよく、空けきも大きいなどの特長をもっているこの同期電動機の利用をおすすめしたい。

終りに現地実測においてご助言、ご指導いただいた日本钢管(株)、新日本製鉄(株)および機械メーカーの方々に深く謝意を表わします。なお本文が多少なりとも塊状磁極形同期電動機を理解する上にお

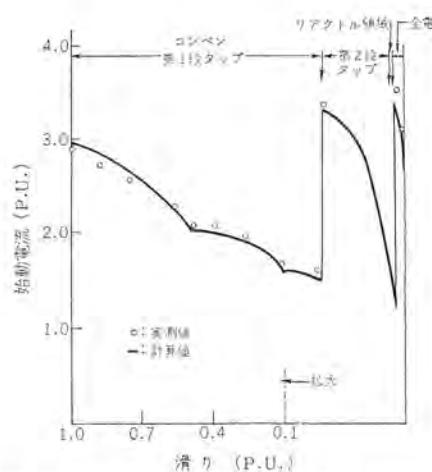


図 16. (a) 滑り - 始動電流特性 (13,000 kW 8 極塊状磁極形同期電動機)
Slip-starting current recording (13,000 kW 8 pole).

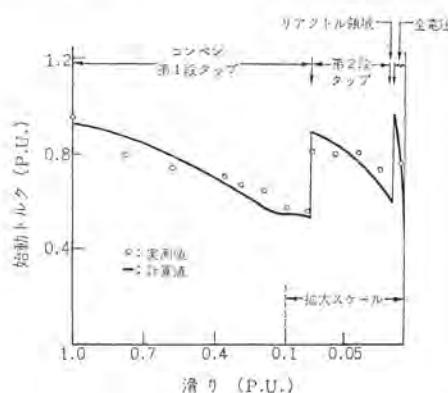


図 16. (b) 滑り - 始動トルク特性 (13,000 kW 8 極塊状磁極形同期電動機)
Slip-starting torque recording (13,000 kW 8 pole).



図 17. 13,000 kW 8 極塊状磁極形同期電動機
13,000 kW 8 pole solid pole synchronous motor on test.

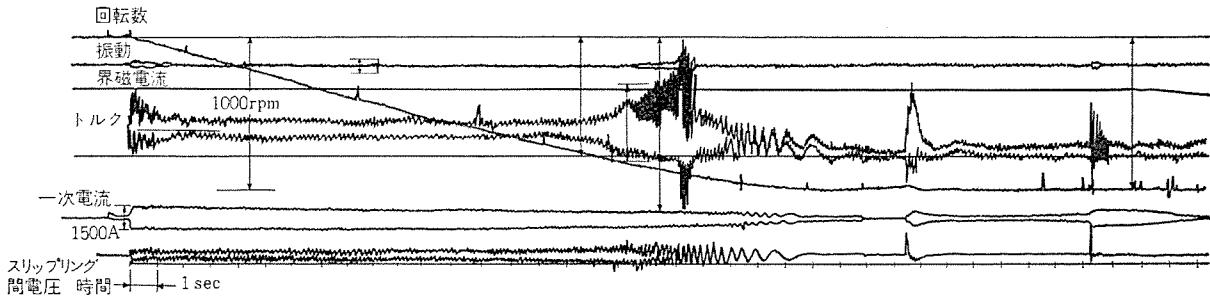


図 18. 14,500 kW 6 極 塊状磁極形 同期電動機 負荷始動特性
Oscillograms of runup of 14,500 kW 6 pole solid pole on loading synchronous motor.

いてご参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) 山口, 成清, 福本: 三菱電機技報, 43, 901 (昭 44)
- (2) 吉田, 野村: 昭 47 電気学会全国大会 No. 474
- (3) W. J. Gibbs: J. IEE, 95 pt. II, 411 (1948)

(4) G. F. T. Widger, B. Adkins: P. IEE, 115, No. 10, 1471 (1968)

(5) W. J. Gibbs: J. IEE, 94 pt. II, 2 (1947)

(6) H. M. McConnell: IEEE, Trans., 343 (June, 1955)

(7) C. Concordia: Synchronous Machines (Book) (1951)

記号の説明

A, B, C : 定 数	U_m : 磁極表面のうず電流密度
$a : \tan \phi_2$	(最大値)
ϕ_2 : 二次における電流の おくれ角	d, q : 直軸, 横軸成分を示す
L : 鉄心長	s : 滑り
D : 回転子外径	ω : 角速度
P : 極 数	f : 周波数
N : 回転数 (rpm)	$\alpha : 1/(しん透深さ)$
E : 誘起電圧	β : 誘起電圧/磁束
T : トルク	γ : 極弧比
U : 磁極鉄体中のうず電 流密度 ベクトル	ρ : 二次側磁極材料の固有抵 抗
$ie\psi$: 電流, 電圧, 磁束ベ クトル	

新日本製鉄(株) 大分製鉄所納めスラブ精整設備用電機品

石 雅彦*・白石 和男*・春川 康彦*

Electric Equipment for Slab Refining Lines Delivered to Oita Steel Works, Nippon Steel Corporation

Nagasaki Works

Masahiko Ishi・Kazuo Shiraishi・Yasuhiko Harukawa

The equipment described herein is connected with a continuous casting equipment of slab, the first attempt made in the world, by omitting the slabbing mills. It consists of equipment for primary cooling, secondary cooling, repairing, cold scarfing and sending out, and of provision for connecting them such as roller tables, reversers, skids and transferers.

This article introduces these apparatus and also describes briefly the control equipment and an operating system with a notable feature.

1. まえがき

本設備は世界で初めて分塊設備を省略して設置された、6ストランド公称能力月間300,000tの能力を持つスラブ連鉄設備につながる、一次クーラ・二次クーラ・手入・コールドスカーファ・払出の各設備と、これら各設備の間をつなぐローラーテーブル、反転機、スキッドおよび移載機などにより構成されている。

本設備用電機品は完全自動化による効率のよい運転、および制御装置故障時の最低輸送の確保を主眼点に設計製作されている。これらの目的を満足させるために、ローラーテーブルはじめ各設備に、多数の無接触形検出器を取り付け計算機からの指令信号と、これら検出器による計算機自動運転回路を中心とし、その他計算機故障時用として電気自動、手動連動および手動の各回路が、無接点繼電器盤(MEL MAC-100)により構成されている。また、検出器をはじめ各機器の故障検出装置および表示装置を完備している。

図1. 施工スラブ精整設備機器配置図を示す。

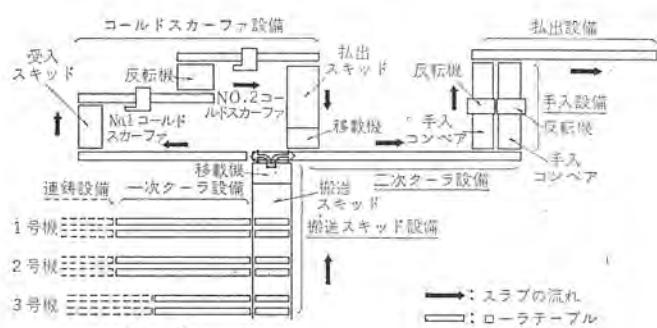


図1. スラブ精整設備機器配置図
Arrangement of machines for slab refining.

2. 設備の概要

本スラブ精整設備の基本仕様をつぎに示す。

(1) 連鉄機能

- (a) 生産公称能力：3基(6ストランド)で300,000t/月
- (b) 鋳造速度：スラブ厚250mmに対し、最大2m/分

(2) 連鉄スラブの仕様

- (a) 幅：700~2,200 mm
- (b) 厚さ：200~300 mm
- (c) 長さ：6,000~13,500 mm
- (d) 重量：6.7~45.0 t

次にスラブ精整設備を大きく分けると、次の各設備から成り立っている。

- (i) 一次クーラ設備
- (ii) 搬送スキッド設備
- (iii) コールドスカーファ設備
- (iv) 二次クーラ設備
- (v) 手入設備
- (vi) 扉出設備

2.1 一次クーラ設備

本設備は連鉄設備側のカッタにより切断されたスラブを、連鉄設備側より受取り一次クーラで300°C以下まで冷却する設備である。

図2. に一次クーラより出口部のローラーテーブル群を示す。図3. に一次クーラ設備の機器配置図を、表1. に機器一覧表を示す。

2.2 搬送スキッド設備

本設備は一次クーラ設備を通過して出てくる6系列のスラブを集め、二次クーラまたはコールドスカーファ設備へ搬送する設備である。

図4. に搬送スキッド設備の機器配置図を、表2. に機器一覧表を示す。



図2. 一次クーラより出口部のローラーテーブル群
Roller tables of primary cooler outlet.

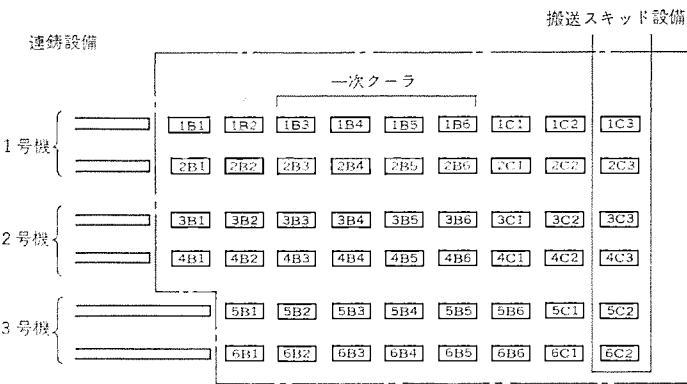


図 3. 一次クーラ設備機器配置図

Arrangement of machines for primary cooler equipment.

表 1. 一次クーラ設備機器一覧表（但し 1ストランド分のみ）
Table of machines for primary cooler equipment.

機器名	電動機	備考
1B1 テーブル	直流電動機×2台	各個駆動方式
1B2 テーブル	直流電動機×5台	各個駆動方式
1B3 テーブル	うず電流継手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1B4 テーブル	うず電流継手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1B5 テーブル	うず電流継手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1B6 テーブル	うず電流継手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1C1 テーブル	直流電動機×3台	各個駆動方式
1C2 テーブル	直流電動機×7台	各個駆動方式
1C3 テーブル	直流電動機×7台	各個駆動方式、昇降式

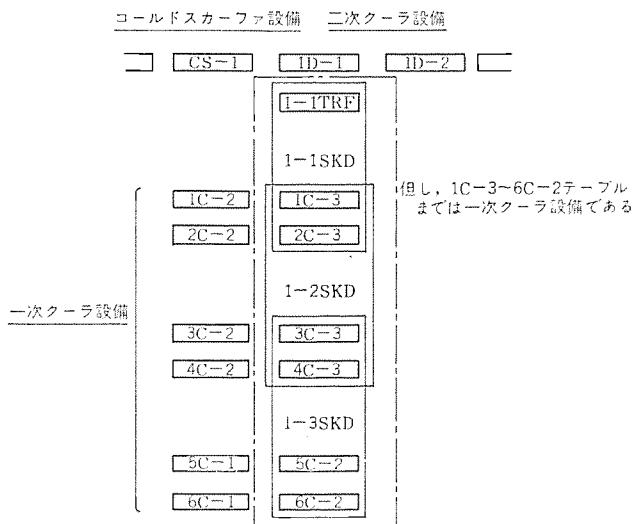


図 4. 搬送スキッド設備機器配置図

Arrangement of machines for transfer skid equipment.

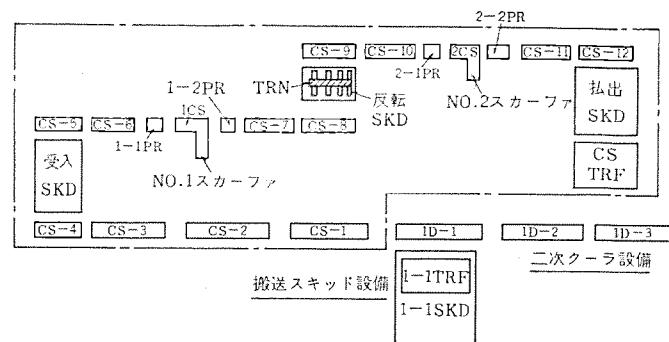
表 2. 搬送スキッド設備機器一覧表
Table of machines for transfer skid equipment.

機器名	電動機	備考
1-1 SKD スキッド	直流電動機×1台	チーンコンベア
1-2 SKD スキッド	直流電動機×1台	チーンコンベア
1-3 SKD スキッド	直流電動機×1台	チーンコンベア
1-1 TRF 移載機	直流電動機×1台	台車方式

2.3 コールドスカーファ設備

本設備はスラブ精整設備一次クーラより冷却され、送り出されたスラブのうち、全面スカーフを目的とするスラブでは二次クーラ設備の1D1テーブル上より二次クーラと逆方向のCS1テーブル側へ搬送し、スカーフィングするための設備である。

図5.に機器配置図を、表3.に機器一覧表を示す。



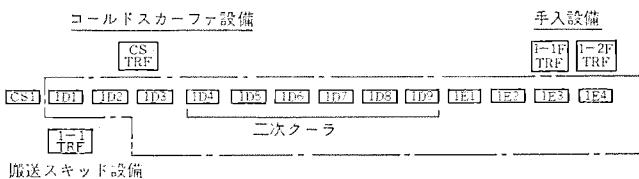


図 6. 二次クーラ設備機器配置図
Arrangement of machines for secondary cooler equipment.

表 4. 二次クーラ設備機器一覧表
Table of machines for secondary cooler equipment.

機器名	電動機	備考
1D1 テーブル	直流電動機×8台	各個駆動方式
1D2 テーブル	直流電動機×4台	各個駆動方式
1D3 テーブル	直流電動機×4台	各個駆動方式
1D4 テーブル	うず電流離手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1D5 テーブル	うず電流離手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1D6 テーブル	うず電流離手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1D7 テーブル	うず電流離手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1D8 テーブル	うず電流離手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1D9 テーブル	うず電流離手付電動機×1台	ラインシャフト駆動方式
1E1 テーブル	直流電動機×4台	各個駆動方式
1E2 テーブル	直流電動機×5台	各個駆動方式
1E3 テーブル	直流電動機×8台	各個駆動方式
1E4 テーブル	直流電動機×9台	各個駆動方式

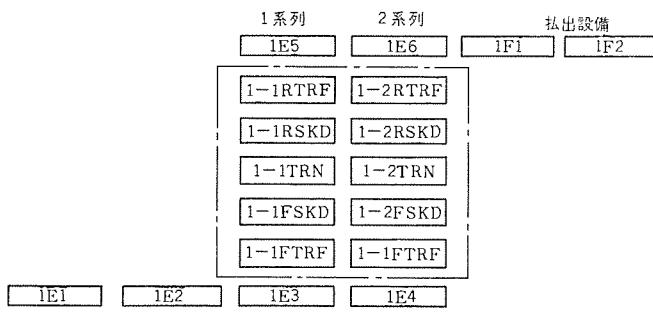


図 7. 手入設備機器配置図
Arrangement of machines for repairing equipment.

表 5. 手入設備機器一覧表（但し1系列のみ）
Table of machines for repairing equipment.

機器名	電動機	備考
1-1 FTRF 移載機	直流電動機×1台	台車方式
1-1 FSKD 手入コンベア	直流電動機×1台	チューインコンベア
1-1 TRN 反転機	誘導電動機×1台 うず電流ブレーキ付	十字アーム式
1-1 RSKD 手入コンベア	直流電動機×1台	チューインコンベア
1-1 RTRF 移載機	直流電動機×1台	台車方式

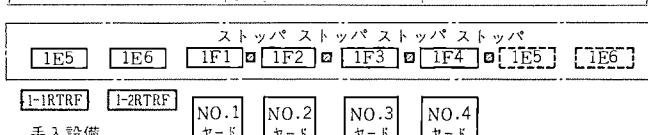


図 8. 払出設備機器配置図
Arrangement of machines for sending out installations.

表 6. 扯出設備機器一覧表
Table of machines for sending out equipment.

機器名	電動機	備考
1E5 テーブル	直流電動機×9台	各個駆動方式
1E6 テーブル	直流電動機×9台	各個駆動方式
1F1 テーブル	直流電動機×9台	各個駆動方式
1F2 テーブル	直流電動機×8台	各個駆動方式
1F3 テーブル	直流電動機×9台	各個駆動方式
1F4 テーブル	直流電動機×7台	各個駆動方式

3. 制御装置の概要

3.1 機器の構成

- (1) 高圧配電盤——1式
- (2) 低圧配電盤——1式
- (3) 操作盤——1式
- (4) 照光盤——1式
- (5) 故障表示盤——1式
- (6) 無接点繼電器盤 (MELMAC-100)——1式
- (7) 補助繼電器盤——1式
- (8) サイリスタレオナード盤——1式
- (9) 直流制御盤——1式
- (10) コントロールセンタ——1式
- (11) 検出器——1式

運転制御に必要な制御装置の関連は、図 9. に示す。また、図 10. に操作盤を、図 11. にループ式検出器を示す。

ここでは特長ある制御装置として、以下「MELMAC-100」について概略説明する。

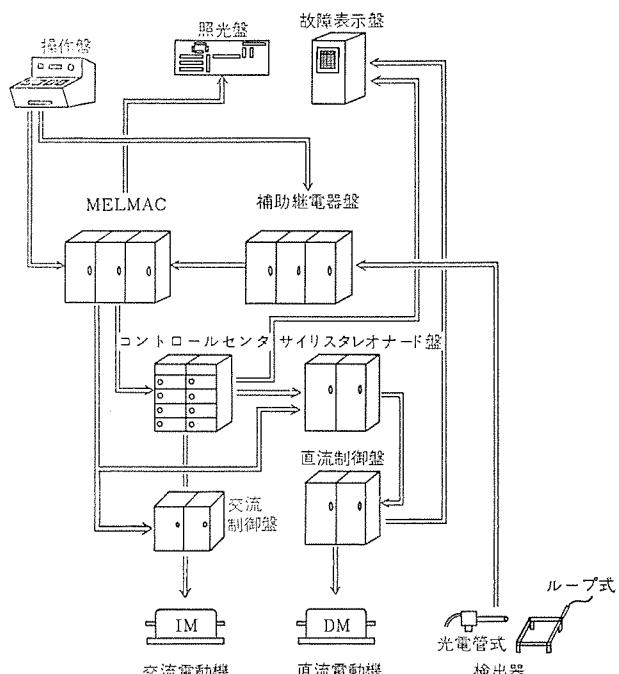


図 9. 制御装置関連図
Connection diagram of control devices.

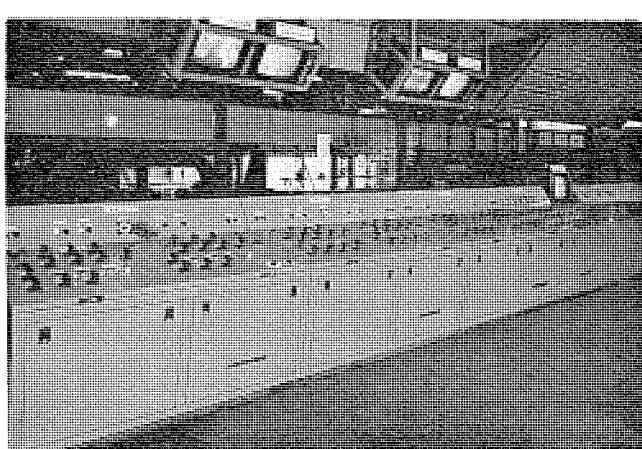


図 10. 操作盤
Operating desk.



図 11. ループ検出器
Loop type detector.

3. 2 MELMAC-100

3. 2. 1 「MELMAC-100」の特長

「MELMAC-100」は従来の無接点式総括制御装置のワイヤードロジック方式を一新し、最新のデジタル技術を取り入れ、ソフトウェアに対して柔軟性を有する総括制御装置であり、次のような特長を有する。

(1) スレッジホールドレベルの高いICを用いているため、コンパクトであると同時に、信頼性が非常に高い。

(2) 接点入力信号回路には DC 100V を用い、入力接点の接触不良を防ぐと共に、誘導による障害を防止する。

(3) ソフトウエア技術とハードウエア技術との融合により、簡単に制御方式の変更ができる可変プログラム方式を採用した。従って設備の増設、改造時における停止時間を短縮することができる。

(4) 特殊な プログラム 教育を必要とせず、容易に プログラム するこ
とができる。

(5) 標準化された ユニット の ビルディング ブロック 方式であり、需要

家の概略仕様により仕様打合せと並行して、ハードウエアの製作に着手できる。

(7) カードユニットは別途に準備されたカードチェックで容易に点検可能であるため、点検が容易である。

能である。

3. 2. 2 プログラミング手法
「MELMAC-100」のプログラムは、マトリクス論理ボード(U-LG 1),
タイマユニット(U-TD 3), メモリユニット(U-FF 1)の3種のカードで構成
され、マトリクス論理ボード(U-LG 1)のプログラムはダイオードピンのそろ
(挿)入によってなされ、またカード間の接続は、ターミポイント方式を
使用しているため、接続変更も容易である。

ここでは「MELMAC-100」の主幹回路を構成する マトリクス 論理 ボード (U-LG1) の機能について説明する。

図 12. にマトリクス論理ボード基本原理説明図を、図 13. にマトリクス論理ボード本体図を、図 14. に基本操作例を示す。

図12.において、入力線L5～L9と出力線L1～L4から構成されているのがマトリクスで、このマトリクスの入力線、出力線にQ1～Q6のようにトランジスタNOR要素をつけることにより、マトリクス論理ボードが形成される。ここで、トランジスタNOR要素はすべて「バイリードIC」を使用している。

今、図12において、入力11と12に入力信号があり、土の電圧

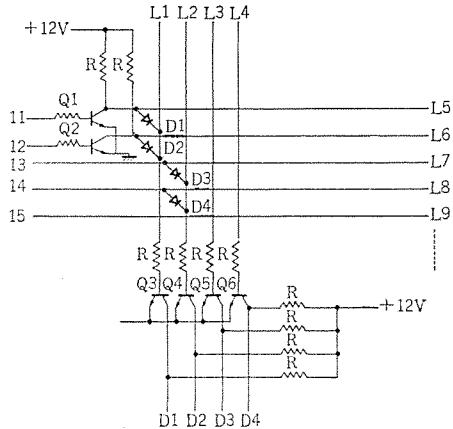


図 12. マトリクス論理ボード基本原理説明図
 Diagram showing the basic principle of matrix logic board.

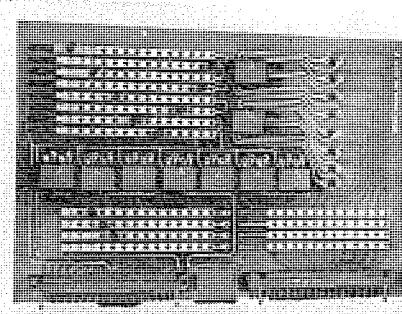


図 13. マトリクス論理ボード本体図
Matrix logic board.

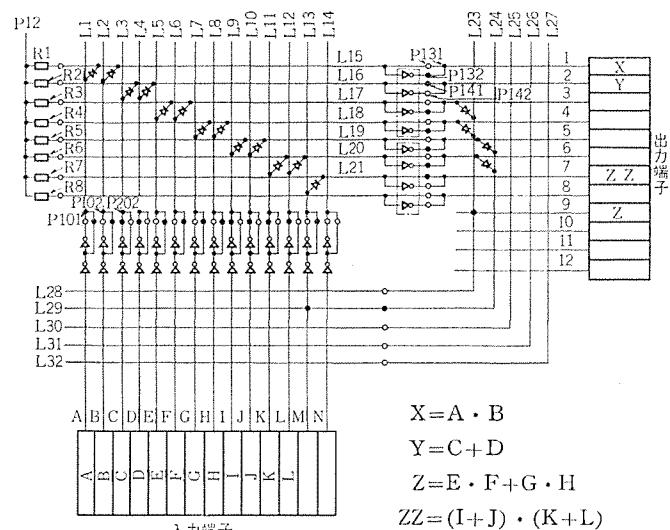


図 14. 基本プログラム例 Example of basic program

(Hレベル) が加えられると、トランジスタ Q1, Q2 は共に導通し Q1, Q2 のコレクタ電圧が 0V に近くなる (Lレベル) ので、ダイオード D1, D2 を通るトランジスタ Q3 のベース電流は流れず、Q3 はカットオフ状態となり、出力線 O1 は電圧が Hレベルになる。

もし入力 11 または 12 のどちらかの電圧が L レベルであれば、Q1 または、Q2 の出力が H レベルとなり、D1 または、D2 を通って Q3 のベース電流が流れ、従って Q3 が導通し、出力 01 は L レベルとなる。

すなわち入力11, 12と出力01の関係は論理的ANDであり。

01-11 • 12

で示される。

これに対し、入力 13, 14 と出力 02 の関係は、論理的 NOR になっている。入力 13 または、14 のどちらかが H レベルであれば Q4 のベース電流が流れ、Q4 は L レベル、従って 02 に L レベルの出力ができる。

このように入力線、出力線の端に NOR 要素を接続したり、しなかつたりすることにより、種々の論理演算をすることができる。この NOR 要素を短絡ピン等で接続自由な パーツとしたものが、図 13. のマトリクス論理ポート本体図で、更に図 13. をプログラミング用に書きかえたものが図 14. のプログラムシートである。

図 14. でプログラムされている例は、同図に論理式で示されているよう、AND (積)、OR (和)、SUM OF PRODUCTS (積和)、PRODUCT OF SUMS (和積) の 4 種である。入力信号は、入力端子 A ~ L に与えられ、出力端子には論理演算結果 X, Y, Z, ZZ が与えられている。

4. 運転制御方式

本設備の運転方式を大きく分けると、次の各運転から成り立っている。

- (1) 単独運転
- (2) 手動連動運転
- (3) 電気自動運転
- (4) 計算機自動運転

スラブ搬送ラインでは、特に連続操業が要求されるので、ハイブリッド IC の使用により信頼性を計ると共に、たとえ一部の自動運転回路が故障しても、そのブロックの自動運転回路を切り放して運転を継続できるように、単独運転回路、手動連動運転回路および自動運転回路は全く別々に設け、運転モード切換用スイッチにより、運転モード切換が可能となるように設計した。図 15. に制御ブロック図を示す。

4.1 単独運転（各設備共通）

運転モード切換用スイッチを「単独」に選択して、単独運転用操作スイッチを操作することにより、各機器は他の機器と関係なく運転が可能である試運転、調整および点検などを行なうことができる。

4.2 手動連動運転（各設備共通）

運転モード切換用スイッチを「連動」に選択して、単独運転用操作スイッチを操作することにより、各機器はブロックごとに他の機器やインターロックに関係なく運転可能となり、手動でスラブを搬送することができる。

図 16. に手動連動運転の一例を示す。同図に示すとく、A 4 テーブルの単独運転用操作スイッチを「前進」に操作することにより、A 1 テーブル～A 4 テーブルまでいっせいに運転開始する。次に A 3 テーブルの単独運転用操作スイッチ「前進」に操作することにより、A 1 テーブル～A 3 テーブルまでいっせいに運転開始する。A 1 テーブル、A 2 テーブルに関しても同様である。

4.3 電気自動運転（各設備共通）

運転モード切換用スイッチを「電気自動」に選択することにより、電気自動運転が可能となる。電気自動運転とは、各機器の前後にあるスラブの有無状態を検出器により確認して、計算機信号とは無関係に、電気回路のみによるインターロック 各条件をとりながら、各機器を駆動する運転方式である。

ここでは、特に本設備の主要機器であるローラーテーブルの電気自動運転について、以下概略説明する。

図 17. にローラーテーブルによるスラブの移送状態を、図 18. にその

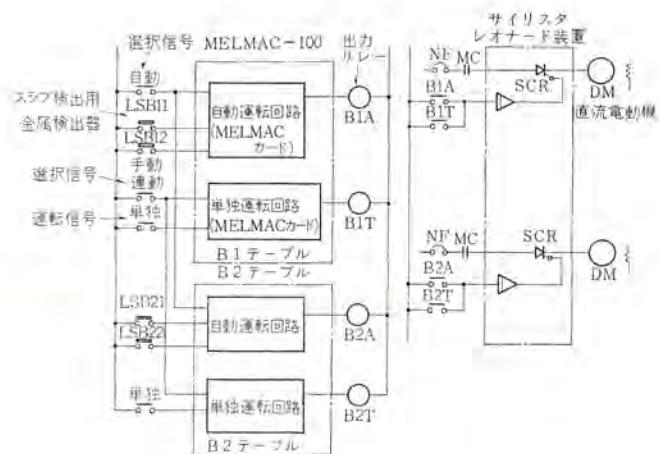


図 15. 制御ブロック図
Control block diagram.

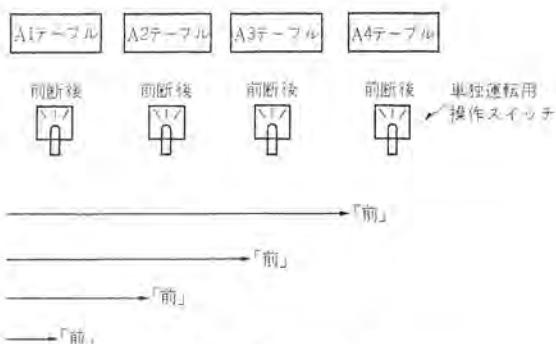


図 16. 手動連動運転
Sequential operation by manual handling.

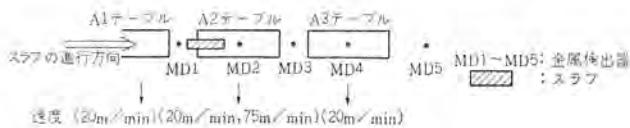


図 17. スラブ移送状態図
Slab transfer diagram.

場合のフローチャートを示す。

図 17. に示すとく、A 1 テーブルより A 3 テーブルへスラブを移送する場合、A 2 テーブルは図 18. のようなフローチャートに従って運転する。

(1) MD 2 上、MD 3 上にスラブがなくて、A 1 テーブルより送出されたスラブが MD 1 上にくると、A 2 テーブルは A 1 テーブルと同期速度の 20 m/min で運転開始する。

$$(MD1 \cdot \overline{MD2} \cdot \overline{MD3}) = 1 \\ \text{yes} \rightarrow [A2=20 \text{ m/min}]$$

(2) A 2 テーブルが 20 m/min で運転開始後、MD 1 がスラブの後端を検出すると、A 2 テーブルは早送り速度の 75 m/min で運転する。
(MD1 後端検出) = 1 → [A2=75 m/min]

(3) 次にスラブの先端が MD 3 に達し、A 3 テーブル上にスラブがない場合、A 2 テーブルは A 3 テーブルと同期速度の 20 m/min で運転する。また、スラブがある場合、A 2 テーブルは停止する。

$$(MD3=1) \xrightarrow{\text{yes}} (MD4 \cdot \overline{MD5}=1) \\ \text{yes} \rightarrow [A2=20 \text{ m/min}] \\ \text{no} \rightarrow [A2=0]$$

(4) A 3 テーブル上にスラブがあるために、A 2 テーブルが停止している状態で、A 3 テーブル上のスラブが搬送され MD 5 を通過完了

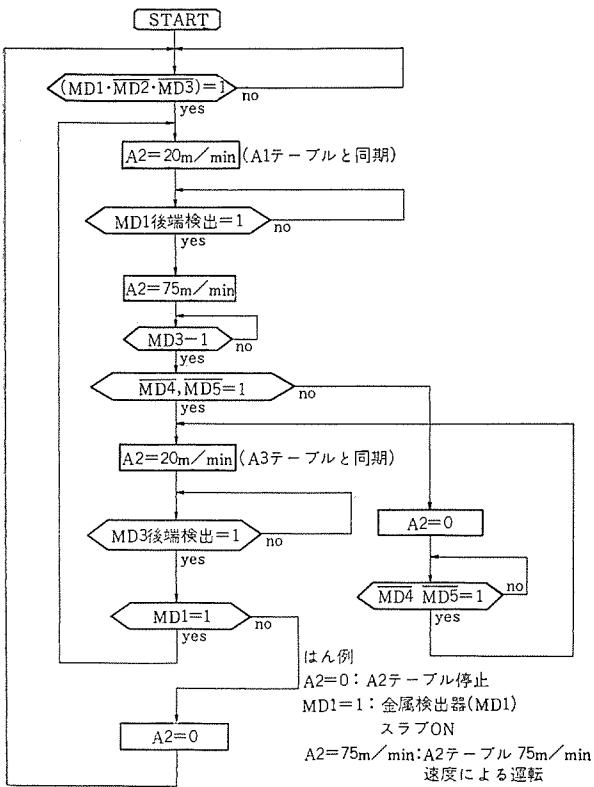


図 18. ローラーテーブル 自動運転用 フローチャート
Flow chart for automatic operation of roller table.

すると、待機中の A 2 テーブルは、A 3 テーブルと同期速度の 20 m/min で運転開始する。

$$\begin{array}{l} [A2=0] \xrightarrow{\text{yes}} (MD4 \cdot MD5=1) \\ \xrightarrow{\quad} [A2=20\text{m}/\text{min}] \end{array}$$

(5) A 2 テーブルが 20 m/min の速度でスラブを搬送中、MD 3 がスラブの後端を検出した時点に、A 1 テーブル上に次のスラブが待機している場合、A 2 テーブルは 20 m/min の速度をそのまま継続して再度搬送開始となる。また、次のスラブが A 1 テーブル上に待機していない場合は、A 2 テーブルは停止して、最初のスタート状態で待機する。

$$\begin{array}{l} [A2=20\text{m}/\text{min}] \xrightarrow{\text{yes}} (MD3 \text{ 後端検出}=1) \\ \xrightarrow{\quad} (MD1=1) \xrightarrow{\text{yes}} [A2=20\text{m}/\text{min}] \\ \xrightarrow{\quad} [A2=0] \end{array}$$

図 19. は、図 18. のフローチャートに基づいて作成した、A 2 テーブルの自動運転用ロジックシーケンスを示す。

4.4 計算機自動運転（各設備共通）

運転モード切換用スイッチを「計算機自動」に選択することにより、設備全体として最も効率よいスラブ搬送を目的とした自動運転が可能となる。計算機自動運転とは、必要最少限なるインタロック条件をとりながら、総合管理用計算機信号により各機器の起動、停止を行なわせる運転方式である。また、計算機故障の場合にはバックアップ用押しボタンを操作することにより、操作員の判断に基づいた計算機バックアップ運転が可能となる。

4.5 一次クーラ設備の特長ある自動運転

(1) B 1～B 6 テーブルは、通常、連鉄速度（2 m/min 以下）に同期して運転しているが、切断完了後一定のスラブ間隔を得るために、切断完了によるスラブ早送り速度（6 m/min）指令信号により、ある一定時間だけ早送りを行なう。このスラブ間隔により C 1～C 2 テーブルより搬送スキッドへのスラブ早送りが可能となる。

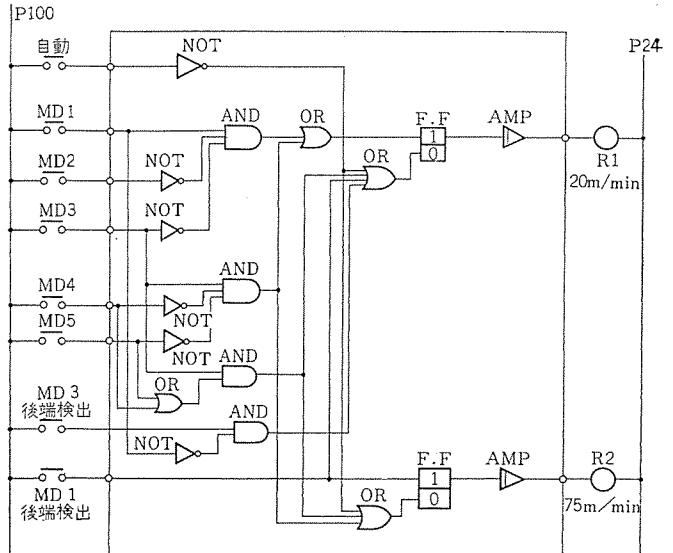


図 19. ローラーテーブル 自動運転用 ロジックシーケンス
Logic sequence for automatic operation of roller table.

(2) C 1～C 2 テーブルは、一次クーラより冷却されたスラブを受け取る場合の連鉄速度（最低速度 0.6 m/min）および、早送りする場合の早送り速度（75 m/min）と、広範囲の速度制御特性を持った運転を行なう。

(3) 各ストランドの一次クーラにより冷却され、C 2 テーブル（5, 6 ストランドは C 1 テーブル）上でスキッド搬入を待機しているスラブは、計算機信号による送り込み優先順位に従って、搬送スキッドへ送り込まれる。

(4) C 3 テーブル（5, 6 ストランドは C 2 テーブル）は、一次クーラよりのスラブを搬送スキッドへ受け渡すためのローラーテーブルで、スラブが C 3 テーブル上に搬送されると下降開始し、受け渡し完了すると、最初の待機位置まで下降する。

4.6 搬送スキッド設備の自動運転

搬送スキッドは、連続的に各ストランドの一次クーラよりスラブが送り込まれるために、常に連続運転を行なっている。但し、スラブ衝突防止対策として、搬送スキッド上に一定間隔で多数の検出器を取り付け、スラブ同志が衝突しそうになると、搬送スキッドは非常停止する。

4.7 コールドスカーファ設備の自動運転

本設備では、2台のスカーファのうちどちらか一方のスカーファが故障停止しても、残りのスカーファにより、スラブ両面の、全自动スカーフィングが可能である。

スカーフィングされたスラブは、二次クーラ設備とのインタロックをとりながら、移載機により 1 D 2 テーブル、1 D 3 テーブル上に移送され、二次クーラにより冷却されて、手入設備、払出設備へと搬送される。

スカーフィングを行なう場合に一番重要な点は、スカーフィング開始時、火口とスラブの先端が ±3 mm 以下の誤差でもって一致しなければいけない。よって本設備では、タッピロール、パルス発信器およびカウンタ回路により、各動作点をアウトプットすると共に、サイリスタレオナード装置による速度制御でもって停止精度を確保する設計を行なった。

図 20. IC スカーフィング時のスラブ移送状態を、図 21. IC スカーフィング時の各動作点をアウトプットするための制御ブロック図を示す。

ここでは、特長ある運転方式として、スカーフィング時の移送状態を図 20. および図 21. により概略説明する。

(1) パルス発信器 2 台のうち、いずれか 1 台駆動状態になるよう、外部入力（MD 615 先端検出、または MD 615 後端検出）により選

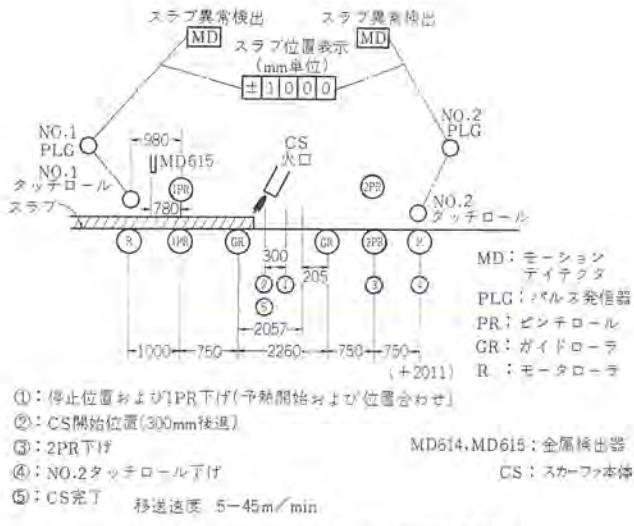


図 20. スカーフィング時のスラブ移送状態図
Slab transfer diagram for scarfing.

扱われる。

(2) MD 615で先端検出を行なうと、No. 1 パルス発信器による発生パルスをカウンタがカウント開始する。

(3) まず、停止位置までスラブが搬送されると、停止位置出力(①)が出て、スラブは停止すると共に位置合わせが行なわれ、予熱開始となる。

(4) 次に逆転開始して 300 mm の位置までスラブが搬送されると、300 mm 停止出力(②)が出て、スラブは 0 点停止となる。この時、表示管による 0 点表示が行なわれるわけであるが、表示管が 0 点を示さない場合は、手動インチング運転を行ないスラブが 0 点にくるよう修正する。

(5) スカーフィング開始すると共にスラブは前進し、2PR下げ位置までくると、2PR下げ出力(③)が出て、2PRは下げの動作を開始する。

(6) 次にそのまま前進々行し、No. 2 タッチロール下げの位置までくると、No. 2 タッチロール下げ出力(④)が出て、No. 2 タッチロールは下げ動作を開始する。

(7) MD 615 の後端検出信号により、No. 2 パルス発信器による発生パルスをカウンタがカウント開始して、スカーフィング完了位置で、スカーフィング完了出力(5)が出て、カランはリセットされる。

4.8 三次クラ設備の特長ある自動運転

(1) 搬送スキッド設備より 1D1 テーブル上に送り込まれたスラブは、その キズの程度により、二次クラ側または、コールドスカーフ側へ送り込まれる。この場合の振り分け信号として、計算機信号または、計算機バックアップ用押しボタン信号がある。

(2) 二次クラより送り出されたスラブは、総合管理用計算機よりの手入系列選択信号により、手入1系列側または、手入2系列側

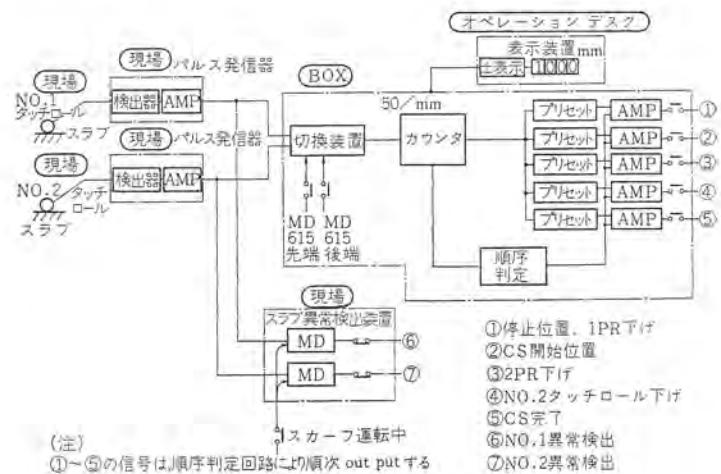


図 21. スカーフィング自動運転用制御ブロック図
Control block diagram for automatic operation of scarfing.

へ送り込まれる。

4.9 手入設備の特長ある自動運転

(1) 手入コンペアは、各ピッチ選択を行なうことにより、各ピッチの距離だけ0~8mmの速度で運転する。また、連続運転の場合は、移載機より、または反転機へのスラブ受け渡しをランニングキャッチにより行なうことができる。

(2) 反転機は、角度選択を行なうことにより、 90° 回転または、 180° 回転が可能である。また、停止精度を必要とするため、うず電流維手付ブレーキにより、クリーピング速度を保ちながら、カム式リミットスイッチにより停止する方式を採用している。

4. 10 払出設備の特長ある自動運転

(1) 手入設備より 1E5 または、1E6 テーブル上に送り込まれたスラブは、各スラブヤード前の払出 テーブル（1F1～1F4 テーブル）まで搬送される。

(2) 通常、各スラブヤードの選択は、計算機よりの払出テーブル選択停止信号により行なうが、計算機故障の場合は、計算機バックアップ押しボタンにより、希望する払出テーブルまでスラブを搬送することができる。但し、スラブヤード選択回路による払出テーブル上の追跡可能なるスラブ枚数は4枚である。

4.11 検出器バックアップ運転（各設備共通）

検出器故障時、検出器 バックアップ用押しボタンを操作して、検出器と全く同様な模擬信号を作ることにより、自動運転が可能となる。

5. む す び

以上、スラブ精整設備の特長、運転方式および制御方式などについて述べたが、今後、分塊設備を省略したスラブ連鉄および精整設備は広く採用されると思われる所以、その際の参考になれば幸いである。終わりに、種々ご指導、ご教授いただいた新日本製鐵(株)大分製鐵所および社内各位に厚くお礼申し上げる。



特許と新案

電気式空気清浄装置 (実用新案第937491号)

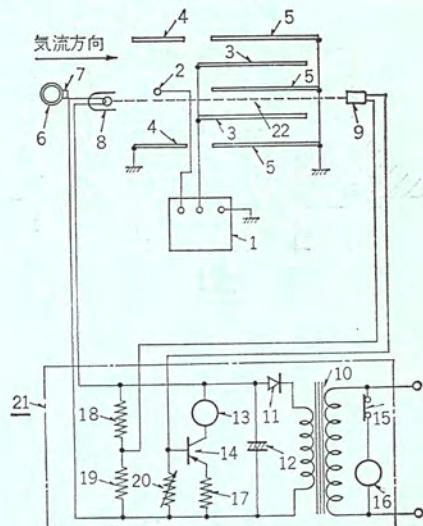
考案者 平山建一

この考案は、一般に換気空気の浄化用として使用される電気式空気清浄装置に関するものである。

図はこの考案を示すもので、接地集じん(塵)板(5)にじんあい(塵埃)がたいて(堆)積していない状態では、光照射用電球(8)から図示のように、集じん板に反射させることなく照射された光は光電素子(9)に十分な照度を与えるため、光電子(9)の抵抗が小さくなり、トランジスタ(14)に大電流が流れて繼電器(13)を付勢した接点(15)を開放したままの状態に保持するため報知装置(16)は作動しない。しかし接地集じん板(5)に次第にじんあいがたいて積し、じんあいのたいたい積が厚くなるに従い空気流通路(22)面積が小さくなるので光電量が次第に減少し始める。しかして上記接地集じん板(5)のじんあいのたいたい積量が洗浄を要する状態になり、光電素子(9)の抵抗が所定値まで増大すると、上記繼電器(13)に流れる電流が減少して上記接点(15)を閉合し報知装置(16)を作動させて、洗浄の時機を自動的に報知させるものである。

以上のごとくこの考案は高電位集じん板と接地集じん板との間に形成された空気流通路を介して、上記集じん板に反射させることなく光を照射する光射器とこの光射器からの照射光を受け、かつ報知装置を有する制御装置を動作させる光電素子を配設して、上記両集

じん板(3)(5)にたいたい積したじんあいの量を自動的に報知させるようにしたもので、その構成が簡単かつ安価に実施し得られる効果がある。



空調形灯具のダクト接続装置 (実用新案第955048号)

考案者 石井重行

この考案は、照明灯具と空気調和機の空気吹出口とをかねそなえた空調形灯具において、その設置工事を容易にするため、天井内のダクトとの接続装置の改良に関するものである。

図を参照して説明すると、図1はこの考案の実施例を示す断面図、図2はその分解斜視図、図3は従来例の分解斜視図で、(1)は天井、(2)は天井内ダクト、(3)はそのダクトカラー、(4)はダクトカラー(3)に接続されるフレキシブルダクト、(5)は、フレキシブルダクト(4)にはめ込まれる円筒部(6)と、この円筒部の下端外側に形成されたつば部(7)とからなる接続金具、(8)はこの金具(5)のつば部(7)に所定のピッチで固定した取付ねじ(9)、(10)は灯具本体、(11)は灯具本体(9)に着脱自在に取り付けられる反射板、(12)(13)はソケットおよびランプ、(14)は上記取付金具のつば部(7)と灯具本体(9)の背面との間に介在される

弾性パッキング、(15)は上記取付ねじ(8)にねじ込まれるナットである。

従来は、図3に示すように、灯具本体(9)の空気流通用孔(10)の周囲に上記取付ねじ(8)と同ピッチで小孔(16)を形成し、この小孔(16)に取付ねじ(8)を貫通させ、ナット(15)によりしめつけて取り付けていた。しかしこの構造では、フレキシブルダクト(4)に接続金具(5)を固定する空調工事の段階で、これより後の別途の電気工事段階で取り付けられる灯具本体(9)の小孔(16)との関連に注意しながら工事する必要があり、さらに電気工事の段階でも取付ねじ(8)が、灯具本体(9)の下側からは見ることができない天井内にあるため、作業性が悪かった。

これに対し、この考案は図1、2に示すように、空気流通用孔(10)の径を、取付ねじ(8)を一括的にそう(挿)通し得る大きさに形成すると共に、灯具本体(9)とは別体の座板(17)を用意し、かつこの座

特許と新案

板(17)に上記取付ねじ(8)に見合う貫通孔(18)を形成し、この座板(17)と接続金具(5)のつば部(7)との間で灯具本体(9)をはさみ込むようにして灯具本体(9)とダクト(2)とを接続するように構成したものである。

このような構成によれば、取付ねじ(8)が空気流通用孔(10)の内周に沿ってどのような位置にきても灯具本体(9)には関係がなく、したがって接続金具(5)をフレキシブルダクト(4)に取り付ける際に、

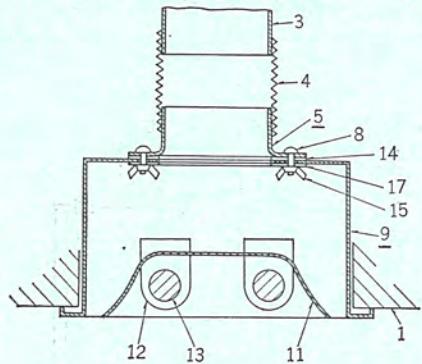


図1

金具(5)上の取付ねじ(8)の向きについて神経を使わずに済み、また灯具本体(9)に取付ねじ(8)をさし込む際も一つの大きな空気流通用孔(10)に通すのであるから作業性がよくなるものである。

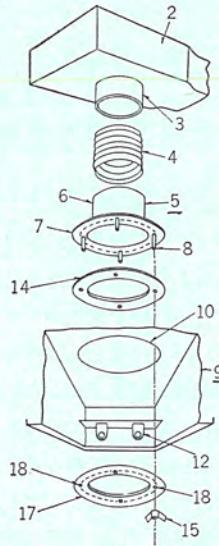


図2

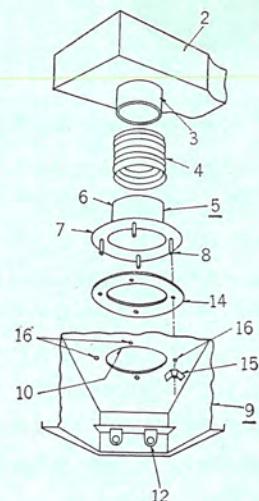


図3

プッシュボタン装置 (実用新案第941044号)

考案者 上村達雄・尾崎周次

この考案は、録音機、プレーヤ等の音響機器に使用するのに好適なプッシュボタン装置に関するものである。

図を参照して説明すると、図1は平面図、図2、3はその動作態様を示す側面図で、この考案は、基板(1)に設けた支持板(2)、(2)に主軸(3)を固定し、この主軸(3)に複数個のプッシュボタン(4)、(5)の各基部を取り付け、これら各プッシュボタンの先端部に各々支軸(8)(9)を用いてレバー(6)(7)の一端を回動自在に取り付け、かつ、これらレバー(6)(7)の各先端作動部(6')(7')を、上記主軸を中心とする各支軸(8)(9)の揺動軌跡の内側または外側において基板面に位置させ、プッシュボタンの圧下作動により、レバー先端作動部を基板面上で滑動作動させ、この作動部に連絡させた操作機構(13)(14)などを作動させるよう構成したものである。

図2はレバー(6)をその作動部(6')が支軸(8)の揺動軌跡より内側に位置するよう設けた例を示しており、プッシュボタン(4)の矢印イ方向の押圧により、ボタン(4)、レバー(6)が鎖線で示すように移動し、これにより操作機構(13)が矢印ロ方向に距離Aだけ引張られる。図3はこれとは逆の押し方向の構成例を示す。なお、(10)(11)は復帰用のばね、(13)はストップである。

この考案のプッシュボタン装置は、以上のように部品点数が少なく構成が簡単である、同一部品をもってレバーの向きを変えるだけで押し方向、引き方向いずれの方向にも使用可能である、主軸(2)を支

点とするプッシュボタン(4)(5)の軽い押圧動作で済むから、操作が軽快である、等の効果が得られる。

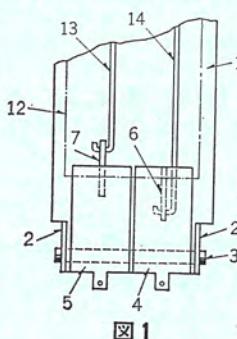


図1

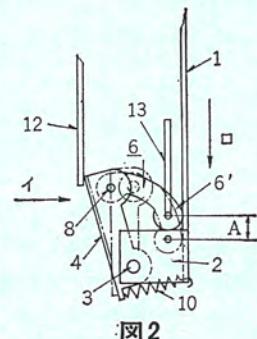


図2

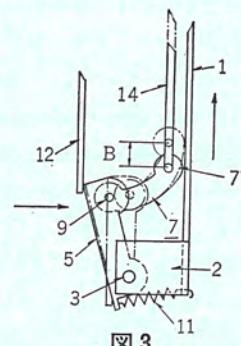


図3

沸騰冷却方式による大容量半導体変換装置の開発

小林 凱*・鹿野 義郎*
田中 修**・福島 満+
光本 誠一++

Development of High Power Semiconductor Equipment by means of Boiling and Condensing Heat Transfer

Itami Works Gai Kobayashi・Yoshirô Shikano
Central Research Laboratory Osamu Tanaka・Mitsuru Fukushima
Manufacturing Development Laboratory Seichi Mitsumoto

Remarkable is the increase in the capacity of semiconductor elements for power use. It has come to produce those having a current value of 1,600 A for practical operation. If the conventional cooling method is applied to such high capacity units, the scale becomes too large to be justified. A boiling and condensing heat transfer method by making use of the change of phase is considered very suitable for the cooling of electric apparatus completely sealed off, its cooling ability being so large as to be beyond comparison with the old method. Herein are described with several types of them the processes of development of the rectifiers working by this boiling and condensing heat transfer until they are produced on a commercial base. The reference is also made on the contents of the basic studies on the devices.

1. まえがき

電力用半導体素子は近年大容量化が急速に進んでいる。素子の通電電流の増大とともに、高耐圧化が推し進められ、定格容量 2,500 V, 1,600 A のダイオード（形名 FD 1,600 A）が実用に供されるようになった。このような大容量素子においては、電極面から発生する単位面積あたりの熱量（熱密度）は過負荷状態で 15 W/cm^2 にも達する。大容量素子を用いて半導体装置を構成する場合、シリコン温度を許容以下に押えて、非常に熱密度の高い熱量を短時間のうちに除去する必要があり、冷却方式の選定は重要な問題となってくる。

比較的小容量の素子については、従来より空気冷却方式あるいは油冷却方式が採用されている。空気冷却方式は、素子に装着した銅の冷却フィンに発生熱量を導き、フィンを空気の自然対流あるいはファンによる強制対流によって冷却する方式である。また油冷却方式は、フィンを絶縁油で冷却し、熱量を除去した絶縁油を熱交換器に通してふたたび空気または水で冷却する方式である。これらの冷却方式を大容量素子に適用しようとする場合、種々の問題が生ずる。空気冷却方式は、空気の熱伝達率が小さいためにフィンの形状が大きくなり、また空気を強制的に送るためのファンの動力が増して騒音が問題となるなどの理由によって、大容量素子の冷却方式としては限界がある。また油冷却方式は、油を高流速で循環させるためのポンプがいること、油の熱伝達率が水の数分の一程度であるために、高速で流してもフィンの形状を小さくできないことなどから、やはり冷却能力に限界がある。熱伝達率の高い水を絶縁油のかわりに用いればよいが、水の絶縁性を良好に維持するためには高価な純水装置を必要とするので、この方式も好ましくない。

従来から用いられている上記のような冷却方式とは別に、冷却媒体の相変化を利用した新しい冷却方式が、ここ数年来急速に発展している。この方式は沸騰冷却方式と呼ばれ、大容量素子の冷却にきわめて適している。冷却媒体として有機液体を用いるのであるが、

そのなかでも絶縁性がトランジスタなどに良好で、蒸気圧の低いフロン 113 が最適である。

半導体装置を一つの容器内に収納し、フロンを注入してその飽和液中に素子および冷却フィンを浸漬させる。素子が発熱してフィンに熱量が流入すると、フィンの表面でフロンの飽和沸騰が起り、そのときの相変化によって発熱量に見合だけの潜熱をもった蒸気ができる。このような沸騰状態での熱伝達率は一般に相変化のない場合に比べてきわめて大きく、フロン 113 の場合、油の強制対流熱伝達率の数倍、空気の強制対流熱伝達率の数十倍にもなる。このことは半導体素子の冷却に沸騰冷却を採用する場合、冷却フィンの伝熱面面積を油冷却方式に比べて大幅に縮小できることを示している。

このような高い冷却能力とあいまって、半導体装置の冷却に利用しようとしている沸騰冷却方式のいま一つの特長は、重力を利用した自然循環による熱輸送である。気化した蒸気の低圧部への流動と凝縮した液の重力落下によってフロンの自然循環が起こる。このことによって膨大な量の熱量の輸送をポンプを用いずに行なうことができ、装置の信頼性を格段に向上させることが可能になる。上にあげたような利点のために、大容量のものに限らず、従来の小容量の半導体装置についても、信頼性の向上や無保守化を目指して沸騰冷却方式が採用されるようになってきている。

フロン等を冷却媒体とした沸騰冷却方式は、電気機器の冷却機構として理想形態と思われ、今後多方面に応用される可能性をもつてゐる。

ここでは凝縮器を共通にし、数個から十数個の素子よりなる整流器 スタックを一つの容器内に収納した半導体装置の沸騰冷却方式について述べる。現在までにいくつかの機種が開発されたが、そのうちで電鉄変電所用整流器および 961 形試作電車用主シリコン制御整流器を中心にして、沸騰冷却方式の基礎的事項およびそれを実用化するにあたっての、ハードウェアの開発過程を概略的に紹介する。

2. 沸騰冷却方式

沸騰冷却方式における熱伝達特性、自然循環の原理、およびこの方式を整流器の冷却に適用する場合の熱計算手法についてその概略を述べる。

2.1 沸騰熱伝達

ここでは、密閉された容器内における冷却媒体、すなわちフロン113の飽和沸騰熱伝達について述べる。このような場合は飽和プール沸騰と呼ばれる。伝熱面は液中に浸漬されており、伝熱面積 A を有する。伝熱面が加熱されると、その面でフロンの気化が起こり、それに伴って伝熱面とフロンとの間に温度差が生ずる。発熱量を Q とし、そのときの温度差を ΔT とする。沸騰熱伝達における冷却特性は一般に図1.に示すような $\log(Q/A)$ と $\log(\Delta T)$ との相関曲線を用いて表わされる。この曲線は沸騰曲線と呼ばれる。

熱密度 Q/A が比較的低い領域図1.のA点では、伝熱面とフロンとの温度差 ΔT も小さく、熱量はフロンの自然対流によって除去される。この場合に熱伝達率

$$h = \frac{Q/A}{\Delta T} \quad \dots \dots \dots (1)$$

は、よく知られた自然対流熱伝達の実験式によって与えられる。熱密度を増してゆくと、B点を境にして伝熱面で気泡(泡)の発生が起こる。すなわち熱量はフロンの自然対流のみによっては除去されず、相変化を伴った沸騰熱伝達によって除去されるようになる。このような伝熱面で気泡の発生が観測される沸騰熱伝達の領域は核沸騰領域と呼ばれる。この領域では、図1.に示すように熱密度を増加しても伝熱面とフロンとの温度差はあまり増加せず、次式に従って変化する。

$$\frac{Q}{A} = K(\Delta T)^n, \quad n=3 \sim 4 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに K : 定数

熱密度をさらに増してゆくと、B'の点から気泡の発生が一層ひん(頻)繁になり、熱密度の増加に伴う温度差の増加の割合も、式(2)の場合に比べて大きくなる。この領域を特に高熱密度核沸騰領域と呼ぶこともある。

気泡が伝熱面の大部分をおおいつくすところで、発生させうる熱密度は極大に達する。この極大点、図1.のC点を越えて熱密度を上げようすると、温度差が大きく飛躍して伝熱面の状態はC'点に移行する。C'点の温度差 $\Delta T_{c'}$ は数百度の値をもち、このときの伝熱面は完全にフロンの蒸気膜におおわれている。このように伝熱面が蒸気膜におおわれ、気泡が蒸気・液の境界面から発生する

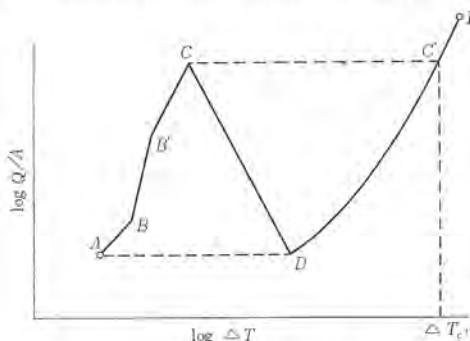


図1. 鮑和沸騰曲線(温度差・熱密度曲線)
Typical saturated pool boiling curve, heat flux versus temperature difference.

ような領域は膜沸騰領域と呼ばれる。その後、熱密度を減らしていくと、伝熱面は膜沸騰熱伝達によって冷却され続け、温度差はD点まで減少する。さらに熱密度を減らそうとすると、極小熱密度点、D点で再び温度差の飛躍が起こり、伝熱面の状態はもとの自然対流領域のA点に復帰する。逆にC'点よりさらに熱密度を上げてゆくと、伝熱面は溶融点E点にまで達する。また図1.のCD領域は遷移沸騰領域と呼ばれ、熱的に安定な領域ではない。

うえに述べたように、沸騰熱伝達は周期的に繰返すいくつかの沸騰のパターンをもっているが、半導体装置の冷却には特に核沸騰領域が利用される。そこで話を領域BB'に限定する。この領域では熱密度の変化とともに温度差は式(2)によって変わり、熱伝達率は式(1)より次式で温度差と関係づけられる。

$$h_B = K(\Delta T)^{n-1}, \quad n=3 \sim 4 \quad \dots \dots \dots (3)$$

この熱伝達率 h_B の値はきわめて大きく、飽和温度68°Cのフロン113中で、 $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$ に対し $h_B=7,000 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ にも達している。絶縁油の強制対流熱伝達率が $1,000 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 、空気の強制対流熱伝達率が $50 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 前後であることを考慮すると、沸騰熱伝達における冷却能力が著しく大きいことがわかる。

沸騰熱伝達率 h_B は、飽和温度が高くなるほど大きくなることが知られている。この特性は沸騰熱伝達に特有のものである。さらに h_B は伝熱面の表面状態によっても変化し、一般に粗面が円滑面よりも熱伝達率が高いことが実験的に確かめられている。その他、伝熱面の形状や配置等によっても変化するが、これらによる効果は副次的である。

2.2 自然循環の原理

重力を利用したフロンの自然循環の原理について述べる。図2.に自然循環系の一般的な概念図を示す。容器内にフロンが封入されており、発熱体は液中に浸漬されている。系は飽和状態にあるとし、発熱体での加熱が始まって伝熱面の熱密度が、図1.のB点を越えると伝熱面でフロンが気化する。定常な発熱量 Q によって生ずる蒸気量 W は、次式で与えられる。

$$W = \frac{Q}{\lambda} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 λ : フロンの蒸発潜熱

このフロン蒸気が容器内の気相部に集まるとその部分の蒸気密度が増し、凝縮器との間に圧力差が生ずる。したがって W の

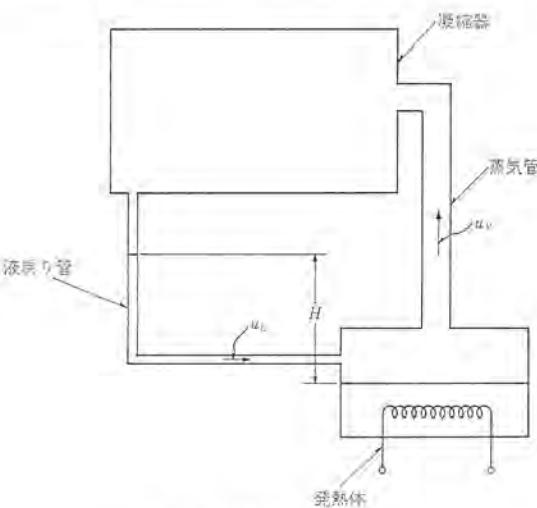


図2. 自然循環の原理
Principle of natural circulation.

量の蒸気は蒸気管に流入し、蒸気管中を流速

$$u_V = \frac{W}{\rho_V s_V} \quad (5)$$

ここで、 s_V ：蒸気管断面積

ρ_V ：蒸気密度

で上昇する。凝縮器に流入した蒸気はそこで冷却され、等温の凝縮過程を経て再び完全な液状に戻る。液化したフロンは凝縮器が発熱体を収納した容器より上方に配置されているから、重力の作用を受けて、元の容器内に還流する。かくして閉じた自然循環のループが形成され、全体としての円滑な熱輸送が実現される。

蒸気が蒸気管内を流速 u_V で流れる結果、蒸気管部分で

$$\Delta p_V = \zeta_V \frac{\rho_V u_V^2}{2g} \quad (6)$$

ここで、 ζ_V ：蒸気管の抵抗係数

g ：重力加速度

だけの圧力損失が生ずる。また凝縮器では蒸気が漸次液化していく結果、相変化時の圧力損失 Δp_{TP} が生ずる⁽¹⁾。さらに液戻り管内を液化したフロンが、流速 u_L で流下する結果、液戻り管部分で

$$\Delta p_L = \zeta_L \frac{\rho_L u_L^2}{2g} \quad (7)$$

ここで、 ζ_L ：液戻り管の抵抗係数

ρ_L ：液密度

の圧力損失が生ずる。フロンが自然循環をするためには、これらの圧力損失が凝縮液の重力落差と平衡しなければならず、容器内の液面に対する液戻り管の液面上昇度 H は、次式

$$(\rho_L - \rho_V) \cdot H = \zeta_V \frac{\rho_V u_V^2}{2g} + \zeta_L \frac{\rho_L u_L^2}{2g} + \Delta p_{TP} \quad (8)$$

で与えられる。式(8)が二相流における自然循環の基礎方程式であり、凝縮器と容器との位置関係、蒸気管および液管の形状寸法を定める。

2.3 整流器の冷却への適用

整流器をパル沸騰によって冷却する場合、重要なことはシリコン温度を過負荷時においても、許容温度以内に抑え得るような冷却系を設計することである。図3.に整流器の冷却系の概念図を示す。

素子および冷却フィンはフロン113中に浸漬されている。素子の数を n 、素子1個当たりの定常発熱量を Q_0 とすれば、整流器の全発熱量 Q は次式で表わされる。

$$Q = n Q_0 \quad (9)$$

素子1個当たりのフィンの伝熱面積を A とすれば、フィンでの熱密度は Q_0/A で与えられる。

一般に電気機器の熱設計を行なう場合、熱量の流れを電流に対応させて、電気回路網と等価な熱回路網を用いることが多い。この場合も整流器の素子から発生する熱量の流れを、熱回路網を用いては(把)握するのが便利である。図4.に整流器の冷却系の熱回路網を示す。図4.に示した熱回路網の各定数について簡単に考察する。

R_3 は凝縮器における素子1個当たりの熱抵抗で

$$R_3 = R_C + R_W + R_A \quad (10)$$

で表わされる。式(10)において、 R_C は蒸気側の熱抵抗、 R_W は凝縮器の伝熱管の熱抵抗、 R_A は空気あるいは水側の熱抵抗である。定常状態では、次式

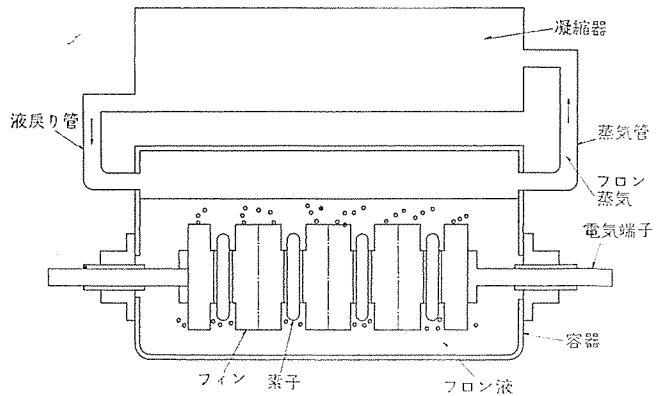


図3. 整流器の沸騰冷却方式の概念図
Schematic drawing of boiling and condensing heat transfer system applied to rectifier equipment.

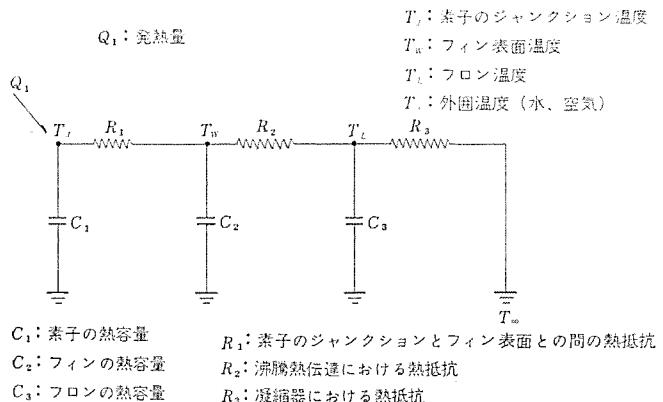


図4. 整流器の熱回路網 (素子1個当たり)
Thermal network of rectifier (for one element).

$$Q_0 R_3 = T_L - T_\infty \quad (11)$$

ここで、 T_∞ ：外囲温度

T_L ：フロン113温度

によってフロンの動作温度 T_L が定まり、フロンはこの飽和温度のもとにほとんど等温で沸騰・凝縮過程を繰返すことになる。

R_2 が素子1個当たりのフィン表面とフロンとの間の熱抵抗で、2.1節に述べた伝熱面とフロンとの温度差 AT と、次式

$$Q_0 \cdot R_2 = AT = T_W - T_L \quad (12)$$

ここで、 T_W ：フィン表面温度

で関係づけられる。熱抵抗 R_2 は飽和温度 T_L と熱密度 Q_0/A から定まる沸騰熱伝達率 h_B を用いて、次式

$$R_2 = \frac{1}{h_B A} \quad (13)$$

で与えられる。式(12)によってフィンの表面温度 T_W が求められる。

最後に R_1 は素子1個当たりのフィン表面からシリコンに至る固体の熱抵抗であり、これは素子固有の熱抵抗、フィンの熱抵抗および素子・フィン間の接触熱抵抗の和となる。かくして次式

$$R_1 Q_0 = T_J - T_W \quad (14)$$

によってシリコン温度 T_J が求められる。

定常状態から他の定常状態に移行する場合の過渡熱計算においては、各部分の熱容量を考えなければならない。図4.における C_1 は素子1個の熱容量、 C_2 は素子1個当たりのフィンの熱容量、 C_3 は素子1個当たりのフロンの熱容量である。この場合には連立一次線型微分方程式

$$\left. \begin{aligned} C_1 \frac{dT_J}{dt} &= -\frac{1}{R_1} (T_J - T_W) + Q_1 \\ C_2 \frac{dT_W}{dt} &= \frac{1}{R_1} (T_J - T_W) - \frac{1}{R_2} (T_W - T_L) \\ C_3 \frac{dT_L}{dt} &= \frac{1}{R_2} (T_W - T_L) - \frac{1}{R_3} (T_L - T_\infty) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \quad (15)$$

ここに Q_1 : 素子 1 個当たりの発熱量

を解くことによって各部分の温度が推定される。その際系の飽和温度 T_L および温度差 $\Delta T = T_W - T_L$ によって、式(13)の沸騰熱伝達率 h_B が刻々変化することに注意しなければならない。

3. 基礎実験

沸騰冷却方式における基本的な問題として、フロン 113 の沸騰熱伝達率を実験的に求めておかなければならぬ。また 2.2 節に述べた自然循環の原理が、実際の電気機器の冷却の場合に、当てはまるか否かを実験的に確認しなければならない。

3.1 フロン 113 の沸騰熱伝達率

図 5. に写真を示す実験装置を用いて、フロン 113 の沸騰熱伝達率の測定を行なった。実験に供した伝熱面は 1 mm^2 のニッケル線で、これに直接に直流電流を流して発熱させた。ニッケル線の温度は電流印加時の抵抗値を、あらかじめ校正しておいたニッケル線の抵抗・温度曲線に照らし合わせることによって求め、そのときのフロンの飽和温度との温度差を求めた。このようにして印加熱密度、すなわち

$$Q/A = \frac{(\text{直交流}) \times (\text{直交流})}{(\text{伝熱面の面積})} \dots \dots \dots \quad (16)$$

の変化に対する伝熱面とフロンとの温度差の変化の関係を、飽和温度を一定値に保つたまま測定した。フロンの飽和温度を一定に保つためには、液中に浸漬した補助ヒータを用いた。また気化した蒸気の凝縮には、装置内に設けたコイル状の水冷凝縮器を用いた。

図 6. IC, 得られた実験データの一部を示す。2.1 節に述べたように、沸騰熱伝達率は飽和温度の上昇とともに増大している。どの飽和温度においても、ほぼ $1.5 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ の熱密度を境にして自然対流熱伝達から沸騰熱伝達に移行している。図 6. の B 点がその移行点であるが、移行が急激に起こるために、B 点は沸騰曲線からいくぶんずれていることがわかる。ここでは、2.1 節で触れた高熱密度領域と低熱密度領域とを区別していないが、その傾向はフロン 113 の実験においても認められた。また C 点は極大熱密度点に相当し、これを越えた熱密度になると、膜沸騰領域に移行することも確かめられた。図 7. に水平ニッケル線でのフロン 113 の飽和プール沸騰状態の写真を示す。沸騰はフロン温度 46°C 、熱密度 $10^5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ のものである。

図 6. IC 示すように飽和温度によって異なるいくつかの沸騰曲線は無次元の変数

$$\left. \begin{aligned} Re &= \frac{\rho L}{\mu L} \left(\frac{\Delta T}{\lambda \rho \nu} \frac{C_L \rho L \sqrt{\pi a_L}}{\lambda \rho \nu} \right)^2 S^2 \\ Pr &= \frac{c_L \mu L}{k_L} \\ Nu &= \frac{1}{\lambda \rho \nu} \sqrt{\frac{\pi}{a_L}} \left(\frac{T_L}{\Delta T \lambda \rho \nu} \right)^{0.75} \sqrt{2\sigma \rho_L^{0.25} S^{-0.75}} \cdot \frac{Q}{A} \\ S &= 1 - \exp \left(- \frac{Q/A}{0.0032 \rho_L^{0.75} (g\sigma)^{0.25} \lambda} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \quad (17)$$

を導入すると、次式

$$Nu Pr^{-\frac{1}{3}} = 0.027 Re^{0.41} \dots \dots \dots \quad (18)$$

で表わされる⁽¹⁾。式(17)において ρ_L , $\rho \nu$ は液および蒸気の密度、



図 5. 沸騰熱伝達実験装置の外観
View of pool boiling experimental apparatus.

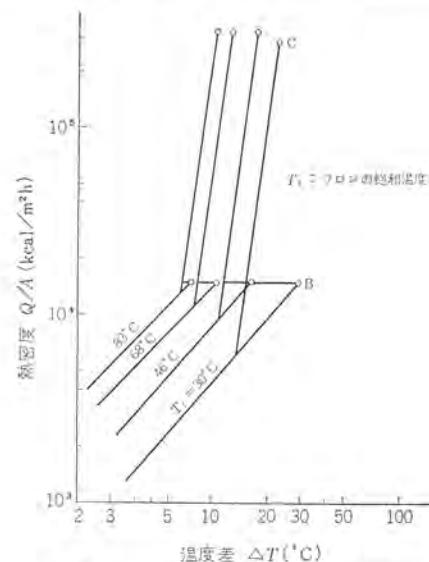


図 6. フロン 113 の飽和プール沸騰特性
Saturated pool boiling characteristics of fron 113.



図 7. 飽和温度 46°C 热密度 $10^5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ における水平ニッケル線でのフロン 113 のプール沸騰
Nucleate boiling of a pool of fron 113 at 46°C with a horizontal wire of Nickel, at a density of heat flux $10^5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$.

λ は蒸発の潜熱、 σ は表面張力、 c_L , k_L , μ_L , a_L はそれぞれ液の比熱、熱伝導率、粘性係数および温度伝導率である。また図 17. の各曲線を式(2)に照らし合わせた場合、指数 n はほぼ 4 になっており、熱伝達率 h_B は温度差の 3 乗に比例して大きくなっている。

3.2 自然循環

図 2. に示した自然循環の概念図に基づいたモデル装置により、2.2 節の原理の確認実験を行なった。容量 4.5 kW の電気ヒータを浸漬した円筒状の容器内でフロン 113 を沸騰させ、14 本のフィン付管で構成された凝縮器を採用した。この凝縮器は空気の強制対流により冷却した。

2.3節で述べた凝縮器における熱抵抗 R_3 をこの場合について計算した。凝縮熱伝達率 h_C は水平管内の凝縮の場合、次式

$$h_C = 0.651 \left(\frac{k L^3 \rho_L^2 g A c \lambda}{2 \mu_L d_0 Q} \right)^{1/3} \quad (19)$$

ここに、
A_c : 凝縮面積

d₀ : 伝熱管内径

で与えられる⁽³⁾。記号は3.1節に記したものと同じである。よって蒸気側の熱抵抗は、次式

$$R_C = \frac{1}{h_C A_c} \quad (20)$$

で与えられる。つぎに管壁における熱抵抗は、次式

$$R_W = \frac{\ln(d_1/d_0)}{2\pi k_W L N} \quad (21)$$

ここに、L, N, d₁ : 伝熱管の長さ、本数、外径

k_W : 伝熱管の熱伝導率

で与えられる。

一方空気の熱伝達率 h_A は強制対流の場合を考えると、この実験で用いたようなフィン付管に対しては、次式

$$\frac{h_A d_A}{k_A} = 0.0084 \left(\frac{\rho_A u_A d_A}{\mu_A} \right)^{0.73} \left(\frac{c_A \mu_A}{k_A} \right)^{1/3} \quad (22)$$

で与えられる⁽⁴⁾。ただし上式における d_A はフィン付管群の当量直径

$$d_A = \frac{2[(\text{フィン面積}) + (\text{裸管部分面積})]}{\pi \times (\text{フィン付管の投影周囲長})} = \frac{2(A_f + A_b)}{\pi \cdot P} \quad (23)$$

であり、u_A は最小風路断面における空気の流速である。他の記号は空気を表わす添字 A がついているだけでフロンの場合と同じである。よって空気側の熱抵抗は、次式

$$R_A = \frac{1}{(A_b + \phi A_f) h} \quad (24)$$

で与えられる。φ はフィン効率で、h_A およびフィンの形状から定まる。以上によって各熱抵抗 R_C, R_W, R_A の和として凝縮器における熱抵抗 R₃ が求められる。凝縮部温度 T_L は加熱量 Q が与えられれば、次式

$$T_L - T_\infty = Q \cdot R_3 \quad (25)$$

ここに、T_∞ : 空気の平均温度

によって計算される。

図8. に実験データの一部を示してある。予期されたように循環はきわめて安定に生じた。沸騰・凝縮過程がどの程度等温で行なわれたかをみると、4 kW の熱量で 3°C の温度変化が観測された。凝縮部温度の計算値はほぼ実験値と一致した。また式(8)を用いて計算したこの場合の液面上昇度は 4 kW で 20 cm であり、装置の沸騰部と凝縮部の高差 1 m より小さくなかった。

4. 製品化への開発過程

4.1 開発の流れ

フロン 113 の沸騰熱伝達を冷却に利用すると、最高数万 kcal/m²·h · °C に及ぶ。従来の強制冷却方式とはけた違いに大きな熱伝達率が得られるため、電気機器の冷却方式に新しい革命をもたらす可能性を有している。とくに半導体変換装置では素子自体がハーメックシールされているため、この新技術を受け入れ易い体質をもっている。

我々は 1968 年、この冷却特性を大容量整流器に適用するための基本的特性の研究はじめた。

これと並行して材料・構造の調査が開始されたが、これは比較的

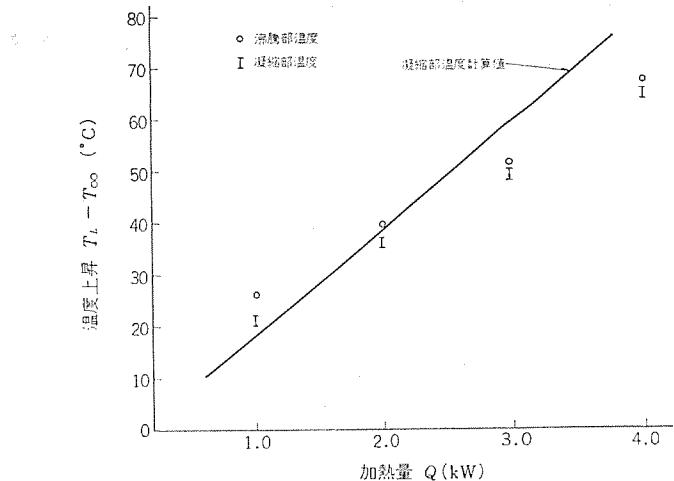


図 8. モデル装置による自然循環の実験データ
Experimental results of natural circulation with a model apparatus.

短期の第一次研究のあと、長時間の加速試験を タイムカプセル 計画と称して実施した。

これも年月を要するものであるので、実用化の時期を 1972 年～73 年におき、計画的に第一次・第二次 タイムカプセル 調査として、多数のサンプルを供試して長期にわたり安定な構成材料の確立を図った。

この段階で製作された X-2 形 モデル は沸騰冷却方式の能力に関し、非常に確実な情報を提供し、かつ基本 ハードウェア の見通しがついたことにより、実用化への大きな足がかりとなった。

この段階において、すぐれた冷却特性に加えて不燃性・無公害性が改めて認識された。

ここで、その本質的特性を考えてみたとき電気鉄道用、中でも車両用整流装置において最もよくその メリット が発揮されるとの結論が得られ、次の実用化計画はこの電鉄用途に焦点を合わせて実行された。

この段階で 1971 年に製作された X-4 形 モデル は、1,000 kW 車両用主整流器と同等品を想定したものであるが、車両用整流装置として従来の油浸式などに比べ数十% の大幅な重量軽減と、この用途に十分耐える強固な ハードウェア を実現した。

しかし、同時に車両用などのようにごく限られた スペース、重量制限下に装置として完成するため、ポンプ等を使用しない理想形な熱輸送形態として、ブル 沸騰における冷媒の自然循環系の採用をめざし、各種の基礎研究が行なわれた。

この結果が X-4 B 形 モデル となり、その試験結果はすぐれた自然循環特性と熱特性、すなわち熱輸送特性が全システムに対して得られたものである。

X-4 形 は従来の 油浸送油式整流器 と同等の素子構成 および定格 (1,000 kW 1,500 V 667 A 連続、1,200 A 10 分定格) のものとして試作されたものであるが、X-4 B 形 の試験においては直流 1,600 A 連続通電を実現した。また凝縮器用 ファン を停止しても 1,000 kW 相当の電流を通すことができた。このことは、ポンプ も ファン もない全くの静止機器を大幅な重量軽減のうえに実現する可能性を示したものであった。

X-4 B 形 は、その後さらにすぐれた装置を作るための データ をとする用途に用いられている。

これと並行して X-2 形 モデル は長期連続運転を行なってきたが、

一定期間の運転後、内部を開封調査した。その結果、内部が新品同様に保たれていた事実は、材料のタイムカプセル計画とあわせて安定なハードウェアの実現に対する大きなささえとなった。

実用装置として必要な各種構成部品の開発、生産技術の確立が並行して行なわれた。これは広範な関連技術を必要とするものであるが、当社研究部門の全面的な協力体制のもとに、すべての要素についての基本的仕様・特性より押えて実用技術への完成を行なった。

1972年に入り、961形試作電車用の主シリコン制御整流装置の開発が行なわれた。このためにまずX-5形モデルが開発され、X-4形に比して3倍近い熱量を軽量小形な冷却装置で処理するためのあらゆる基礎実験が行なわれた。

これと並行して各部の詳細構造検討が行なわれ、その成果が集められて同年秋には他に先がけてこの主シリコン制御整流器が完成し、これは当初の設計目標を余裕分も含めて実現した。

したがって、過去数年間にわたる開発技術により実用化への完全な見通しが得られた。

次に車両用を軸に確立された技術をもって、電鉄変電所用整流器へも沸騰冷却方式を応用する検討が進められ、これがX-6形モデルの開発として短期間のうちに成功した。X-6形モデルは標準ユニット(1,000 kW 単位円筒バルブ)を形成し、内部のフロンが自然循環することはもちろんのこと、内部発生熱量を大気へ放散する凝縮器も小形・軽量な自冷方式が開発され、ここに完全な静止形大容量整流装置が実現した。

図9. は上に述べたような開発の流れをまとめたものである。

4.2 冷却媒体と部品

4.2.1 冷却媒体の選択

沸騰・凝縮性の冷却媒体には水・エーテルなど多数あるが、絶縁性・不燃性・動作温度・蒸気圧などの特性から電気機器にはフロン113が適する。これは $C_2Cl_3F_3$ の分子構造をもつ透明で安定な液体である。沸点は大気圧下で47°C、潜熱は2気圧70°Cで、33 kcal/kgである。装置の動作温度は整流素子の接合部温度から決まる場合が多いが、60°C~90°Cの割合広い範囲での選択が可能である。

フロンは不燃性であり毒性指数も炭酸ガスと似た位置にある。空調関係に長年使用されているが、PCB 番積のような問題は生じていない。フロン沸騰冷却整流装置においては、完全密封系で使用するからさらに環境に対し安全である。

電気絶縁耐力は40 kV/2.5 mm以上で、選択された材料との組合せで長年月にわたりその機能を保つ。

電気部品で液中に浸されるものは材料選択に注意を要するが、整流素子は元来適した構造であり他の部分も一般に入手する材料で構成することが可能である。

フロン113の諸特性を表1に示す。

4.2.2 絶縁気密端子

主回路用・補助回路用の2種類の絶縁気密端子が使用されている

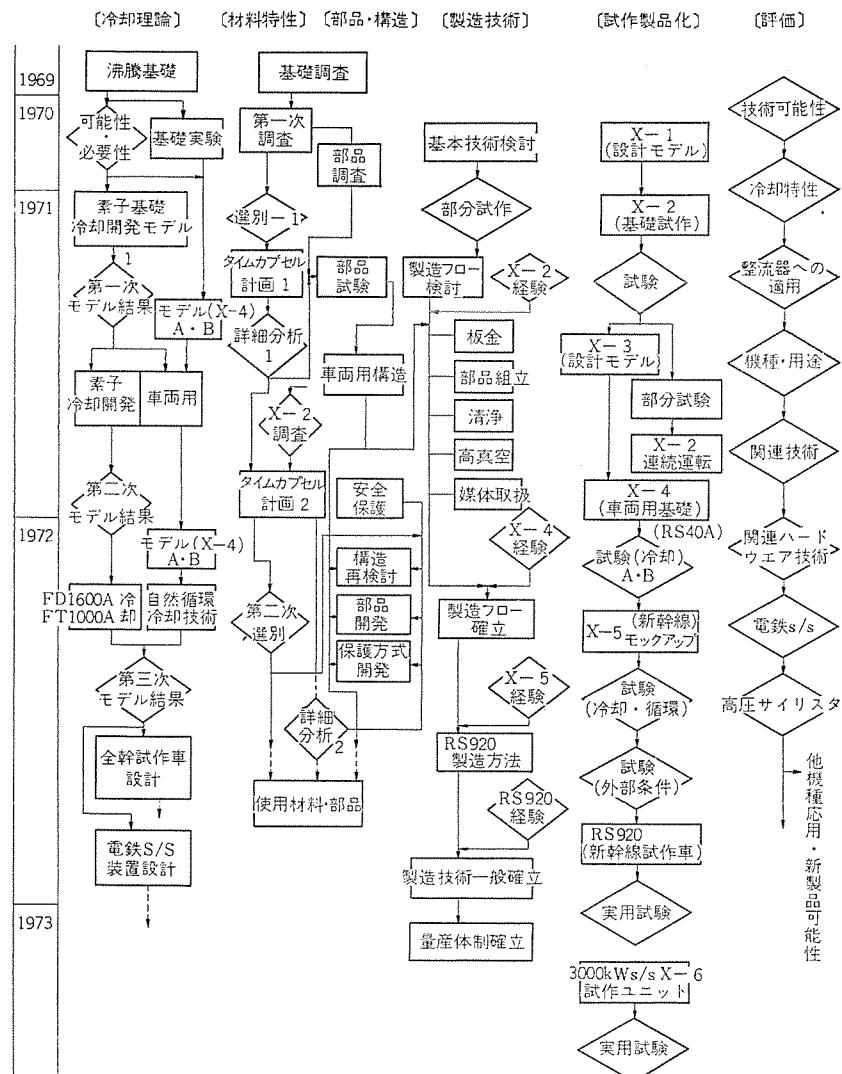


図9. 沸騰冷却整流器開発の流れ
Developments flow of rectifier equipment by boiling heat transfer.

表1. フロン113の諸特性
Various properties of frion 113.

項目	条件(単位)	項目	条件(単位)
化 学 式		CCl_2F_2 $CClF_2$	(30°C) C·P 0.619
分 子 量		粘 度	187.39 (1.5 atm) C·P 0.01040
沸 点	(1 atm) °C	表面張力	(25°C) dyne/cm 19
凝 固 点	°C	屈 折 率	液 : $nD^{20.5}$ 1.355
臨 界 温 度	°C	蒸気相対絶縁耐力	($N_2=1$, 23°C, 1 atm) (0.4 atm) 2.6
臨 界 正 力	kg/cm²·abs	誘電率	液 (30°C) 2.44 蒸気 (0.5 atm) 1.010
臨 界 容 積	cc/mol	本に対する溶解度	(25°C, 1 atm) Wt% 0.017
臨 界 密 度	g/cc	フロンに対する水の溶解度	(30°C) Wt% (0°C) Wt% 0.013 0.0036
密 度	液 (30°C) g/cc 蒸気 (1 atm) g/l	可燃性	なし
比 热	液 (30°C) cal/g·°C (1.5 atm) cal/g·°C		
比 热 比	(1 atm)		
蒸 发 潜 热	(1 atm) cal/g		
熱導 伝 率	液 (30°C) kcal/m·h·°C 蒸気 (1.5 atm) kcal/m·h·°C		

が、回路構成に応じてその数は上下するが数本～20本とその数も多く、高い信頼性が要求される。

絶縁気密端子は、ともに絶縁物として無機物を用い、溶接接続で取付けられる構造となっている。

単体において定まった漏えい(洩)量以下であることが規定されており、この値は溶接・振動・ヒートショック試験においてなんら影響を受けないことが確認された。

4. 2. 3 温度継電器

フロン液温あるいは冷却 フィン 温度などを監視するために、温度継電器が使用されている。

この温度継電器は直径 15 mm 高さ 10 mm 以下の小さなものであるが、感温素子は小形金属容器に入れられ、しかも電気端子はガラス ハーメチックシール を経て外部に接続されており、完全気密形となっているため フロン 冷媒系の中に直接設置されている。

4. 2. 4 圧力継電器

ダイヤルゲージ 形の連成計が使用されている。冷媒に内接する部分はすべて完全に耐 フロン 性の材料を使用しており、気密漏えい係数は絶縁気密端子と同程度に小さい。

4. 2. 5 放圧装置

温度継電器および圧力継電器の バックアップ として、放圧装置がフロン冷媒系に取付けられている。完全気密形の放圧装置は直径 数十 mm と小さいながらも正確な破壊圧力を与えるように、材料および形状に工夫が凝らされている。

4. 2. 6 整流タンク内部品

フロン 113 は安定性の高い物質であるが、整流タンク 内部品の選択に当っては、別項のような短期腐食試験・長期腐食試験を通じて異常の認められないもののみを選択し使用した。

4. 3 部品および構成材料の耐フロン性

フロンは 120°C 以下では安定な化合物であるが、これに含まれる微量の水分・空気などの不純物により、また、炭化水素・金属などと共に存することにより、この分解開始温度が低下することがあるといわれている。フロンが分解すると腐食性の強いハロゲン化水素などが生成し、構成材料が腐食したり、劣化することについて、配慮する必要がある。このため、部品および構成材料について、耐 フロン 性の実験を行なった。

実験方法はステンレス鋼製容器に、フロンと部品または テストピース を封入して、電気炉中で 1～1.5 年連続試験した。

フロンの封入量は容器の 1/2 の容積として、部品または テストピース を、いずれも フロン の気中と液中に置いた状態で試験した。

部品および テストピース としては、次のようなものについて行なった。

[部品]： コンデンサ、固定抵抗器、サイリスタエレメント

[金属材料]： 銅一はんだ付、鉄、アルミニウムダイカスト、亜鉛ダイカスト、アルミフィンチューブ、コバルト、銀一鉛一アンチモンはく(箔)、アルミはく、モリブデン、銀めっき、スズめっき、カドミウムめっき、亜鉛めっき、ばね材化成処理品

[絶縁材料]： フォルステライト、マイカ板、がいし、テフロン電線、テフロンチューブ

[半導体材料]： シリコンウエーハ、被覆シリコンウエーハ

[有機材料]： ニトリルゴム、ゴムホース、ぶつちゴム(O-リング)

耐 フロン 性は材料に応じて、肉眼観察、顕微鏡観察、重量測定、X 線マイクロアナライザによる分析、各種特性値の測定を行なうこと

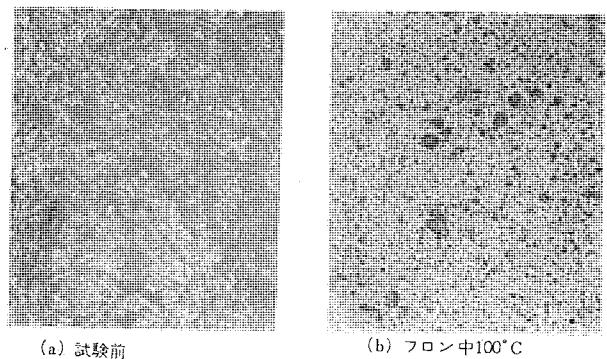


図 10. ニトリルゴム 表面の顕微鏡写真 ($\times 50 \times 1/2$)
Microscopic photograph of synthetic rubber surface ($\times 50 \times 1/2$).

よって判定した。また、フロン中に含まれる分解生成物および テストピース からの溶出物についても、化学分析により調べ、フロンの劣化と材料の腐食・劣化との関連性を調べて、耐 フロン 性を確認した。図 10. はこの結果の一例である。

4. 4 モデル試作品

ここでは試作モデルとして製作された X-2 形、X-4 形、X-5 形および X-6 形につき説明する。

4. 4. 1 X-2 形モデル

X-2 形モデルは、フロン 113 を冷却媒体とする最初の試作モデルであり、仕様は次のようなものである。

定格： 1,000 kW 1,500 V

100 % 連続、150 % 2 時間、300 % 1 分

ユニット数： 3 (ただしこのうち 1 ユニットのみ試作)

ユニット当たり素子構成： 3 S × 1 P × 2 A

使用素子： FD 1,000 A

素子冷却： フロン 113 による沸騰冷却

二次冷却： 強制水冷

X-2 形モデルの外観は図 11. に示すようなもので、ステンレス鋼製丸胴に整流スタックを完全に組立てた後そう(挿)入され、溶接により気密を保っている。

内部状態の測定用として多数の熱電対がハーメチックシール を経て内部に取付けられており、整流素子の圧接面、冷却 フィン および液温を外部より観察できるようになっている。また連成計により内部圧力を測定することもできる。

X-2 形の通電試験の結果次のような事実が確認された。

(1) 内圧と液温の関係は、フロン 113 の飽和蒸気圧曲線と完全に一致した。

(2) 定常熱抵抗は $0.02^{\circ}\text{C}/\text{W}$ と小さいが、熱抵抗の値には負荷依存性があり、負荷の増加に従いその値は小さくなる。

(3) 冷媒と フィン 間の温度差は、フロン液温が高くなると小さくなる。すなわち熱抵抗の値が小さくなる。

X-2 形モデルは長期連続運転を行ないその特性の変化を監視したが、連続運転の前後において熱特性の変化はなんら認められなかった。また長期連続運転後において開封した後、内部を観察試験しているが構成部品の変化は認められないばかりか、フロン 113 の電気的特性、すなわち絶縁破壊電圧・誘電正接・誘電率・体積固有抵抗などにおいて劣化は検出されなかった。

4. 4. 2 X-4 形モデル

X-4 形モデルの仕様は次のようなものである。

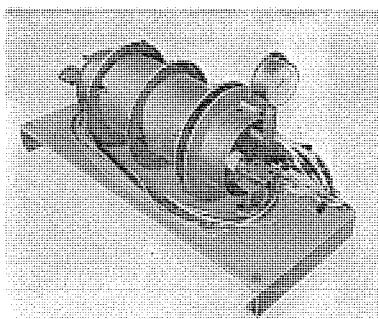


図 11. X-2 形 沸騰冷却整流器
X-2 Rectifier equipment by boiling and condensing heat transfer.

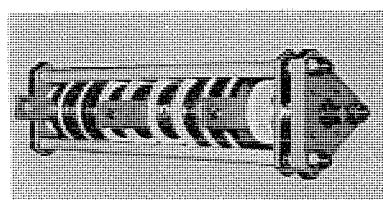


図 12. X-4 形 沸騰冷却整流スタック
Silicon diode stack of type X-4 rectifier equipment.

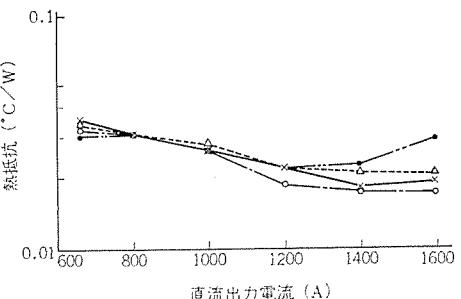


図 13. 冷却 フィンの熱抵抗特性:
Thermal resistance characteristics of
cooling fin.

定格: 1,000 kW 1,500 V 666 A 連続, 1,200 A 10 分間

結線方式: 単相 ブリッジ

使用素子: FD 1,000 A

素子構成: 4S1P4A

素子冷却: フロン 113 による沸騰冷却

二次冷却: 強制水冷

X-4形モデルにはX-4A形とX-4B形がある。X-4A形では各種形状の冷却フィンを組合せた整流スタックを試作し、車両用整流器用としての目的にかなうように、小形・軽量でしかも熱特性のすぐれた冷却フィンの開発を目的としている。整流スタックは図12.に示すような構造で、直列に接続された8個の整流素子が各種形状の冷却フィンにはさまられている。このときの各種フィンの熱抵抗については図13.のようなデータが得られた。ここでもやはり負荷が増大するにつれ低い熱抵抗が得られているが、形状により極端に大きな負荷においては熱抵抗の増大するフィンもあることは注意を要する。

X-4A形ではまた絶縁気密端子をはじめとして、溶接構造において強固なハードウェア技術の確立が得られた。

X-4B形モデルにおいては、フロンによる効率の良い熱輸送系、すなわち凝縮系のすぐれた設計手法の確立を目的とした。整流素子内部で通電により発生した熱量は、冷却フィン表面においてフロン113の液相から気相への相変化により奪われ、このとき発生したフロン蒸気は、ポンプなどの駆動装置を使用することなく凝縮器に導かれ、ここにおいて気相から液相へ再び相変化したフロンは、整流素子を内蔵した整流タンク内に戻る。2.2節に述べたフロンの自然循環の原理を始めて実機に応用して成功した。

フロンの沸騰冷却においては、その熱特性は周囲温度に対して大きな依存性をもつて、試験に際しては図14.に示すように整流装置自身をビニールハウスに納め周囲温度の調節を行なっている。

4.4.3 X-5形モデル

X-5形モデルは、X-4B形モデルの3倍もの熱を処理する自然循環システムの確立のために試作された。仕様は次に示す。

定格発生熱量: 23 kW 連続, 30 kW 8分間

熱発生源: ホーロ 抵抗

一次冷却: フロン 113 による沸騰冷却

二次冷却: 強制風冷

X-5形モデルにおいては過負荷である30 kWの熱量を連続運転において、十分低いフロン温度で処理することができ、これにより大量の発生熱量も自然循環システムにおいて問題なく処理できることが証明された。

本装置を用いて各種試験が行なわれたが、その一例としてX-5

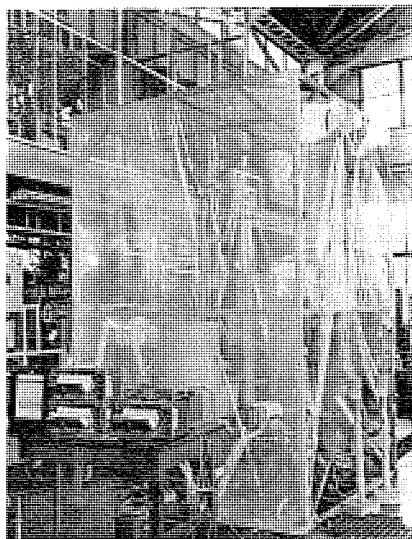


図 14. X-4 形 沸騰冷却整流器の試験
Test of type X-4 rectifier equipment by boiling cooling system

形モデルを加振機上に乘せ、通電しながら振動試験を行なった際の良い試験結果は、車両用整流器へのフロン沸騰冷却の応用に対して大きな自信を与えた。

4.4.4 X-6形モデル

X-6形モデルの仕様は下記のようなものである。

定格: 3,000 kW 1,500 V

100%連続, 150% 2時間, 300% 1分

ユニット数: 3 (ただしこのうち1ユニットのみを試作)

ユニット当たり素子構成: 3S×2P×2A

使用素子: FD 1,000 A

素子冷却: フロン 113 による沸騰冷却

二次冷却: 空気自冷

X-6形においては、いかにして自冷式凝縮器の能力を増大するかに開発の主眼を置き、エアダクトの形状に新しい考え方を導入することにより小形軽量の整流ユニットの完成をみた。

5. 実用機製作の基本技術

5.1 フロン沸騰による大容量素子の冷却

図6.のフロン113の沸騰熱伝達特性に示すように、熱密度が $1.5 \times 10^4 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$ 以上では熱伝達のモードは核沸騰に移り、この領域では急激な熱密度の増加にもかかわらず、温度差がわずかしか増加しないという良好な冷却特性が得られている。

このようにすぐれた冷却特性を応用して、FD 1600 A 形ダイオードや、FT 1000 A 形サイリスタのような大容量平形整流素子をフロン 113 液中で冷却するために、大容量スタックにおいては、整流素子 1 個に対して最小個数の冷却フィンのみを対応させるようにして構成がなされているが、この場合冷却フィンは、従来のものに比べて大幅に小形化することができた。

沸騰冷却方式ではその熱特性がきわめて良いため、金属性フィンの内部を通過する熱の伝導による温度降下が大きいので、このスタックにおいては、フロンの沸騰ができるだけ素子の表面近傍で起るような設計がなされている。ここで得られた冷却フィンの熱抵抗は $0.02^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 以下であり、表面を通過する熱密度は数万 $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ にも達する。

図 15. は素子内部での発生熱量と冷却フィンの熱抵抗の関係を示したもので、発生熱量が大きくなるにつれて熱抵抗が小さくなるが、これは図 6. における沸騰熱伝達特性とも合致する特性である。この大容量スタックに使用されている冷却フィンの設計は、図 6. の実験データをもとにしてなされており、計算値と実測値の良い一致を得た。

このように素子の大容量化に対して、表面積の増大で対処してきた冷却フィンの製作は、フロン沸騰冷却方式の出現により、その寸法・重量を逆に小さくすることにより、今まで以上に良い冷却特性が得られている。

5.2 整流ユニットの構造

整流ユニットは、整流タンク部と凝縮部とからできており、凝縮部は整流タンク部の上方に位置している。整流タンク内には大容量スタック・AK 間抵抗・放電抵抗・高圧ゲート部品および温度继電器が納められており、これらの部品はフロン 113 中に完全に浸されている。凝縮部と整流タンクは配管によって結ばれている。大容量整流スタックは整流タンク内に納められており、数個～十数個の大容量整流素子が圧接されて一つのスタックを構成している。温度继電器は冷却フィンに取り付けられているものと、フロン液温を監視するものとがあるが後者は圧力继電器と置き換えることが可能である。

整流タンク壁面には、主回路用絶縁端子ならびに補助回路用絶縁端子が取り付けられており、外部との電気的接続をなしている。また、整流タンク上面には放圧装置が設けられている。整流タンク部ならびに凝縮部はすべて溶接接続により気密が保たれている。

5.3 整流タンク

整流タンク内圧力は、運転状態に応じて負から正に変化し、最高の圧力は素子接合部温度・整流タンク内容積などから決まるが一般に $1 \sim 2 \text{ kg}/\text{cm}^2$ である。整流タンクは内容積も比較的小さく、内部エネルギーも小さく選ぶことができる所以圧力容器の種類としては、法規的には小形圧力容器に属する場合が多い。関連法規を基準として

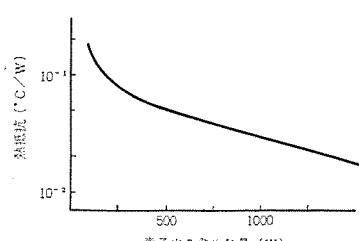


図 15. 発生熱量と冷却フィン熱抵抗(実測)
Relationship between dissipated heat and thermal resistance of cooling fin.

設計・製造がなされる整流タンク容器は、ステンレス鋼製で溶接により気密が保たれている。パッキン類は全然使用されていないが、オーバホールやその他中身を修理しなければならない時には、簡単に分解できるような構造が開発適用された。

6. 実用機の紹介

6.1 961 形試作電車用主シリコン制御整流器

フロン沸騰冷却整流器の有する大きな特長、すなわち静止機器・密閉形・無保守・不燃性・小形軽量化などを最大限に生かすことのできる応用面として、車両用整流器が考えられたのはごく自然な成行きであり、まず 961 形試作電車用電機品としてフロン沸騰冷却整流器の第一歩が踏み出された。1973 年 3 月にその第 1 号機が出荷され現在快調運転中であるが、これについて説明する。

6.1.1 仕様

方 式：	単相混合 ブリッジ 5 段直列方式
定格容量：	2,440 kW
定格直流電圧：	1,400 V
定格直流電流：	1,740 A 連続, 2,160 A 8 分
定格周波数：	50/60 Hz
主サイリスタ：	FT 1000-50
主ダイオード：	FD 1600-50
主サイリスタ 素子構成：	1S × 2P × 2A × 5 ユニット
主ダイオード 素子構成：	1S × 2P × 2A × 5 ユニット
周囲温度：	-20°C ~ 40°C
冷却媒体：	フロン 113

なお、主回路接続は図 16. で示すようなものである。

6.1.2 主ダイオードおよび主サイリスタ

本シリコン制御整流器においては、定格電流 1,000 A のサイリスタおよび定格電流 1,600 A のダイオードが使用されている。これら大容量素子の仕様は表 2. および表 3. のとおりである。

6.1.3 主整流器の構造

図 17. に示すように、つり下げ式のベースの上に整流ユニット・送風機・制御装置・故障検出装置・AC フィルタおよび直列リクトルが積載されている。列車ボディに設けられた空気取入口から取り入れられた冷却風は、列車進行方向と直角方向に整流ユニット・送風機・直列リクトルを経て、反対側のボディに設けられた排風口から排風される。制御装置・故障検出装置および AC フィルタなどは、送風機・直列リクトルの両側に配置されており、整流ユニットの両側のヒューズ箱を経て、交流ならびに直流端子が外部ケーブルと接続される。

6.1.4 大容量整流スタック

大容量整流スタックは、前述のように基礎実験ならびに応用実験を経て熱的特性を確認した後、やはり単体で締付圧力の測定・振動試験・熱応力試験・電気特性の測定ならびに局部応力解析を行なった。

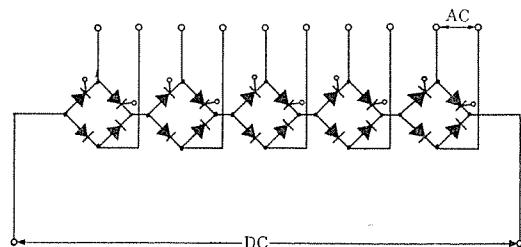


図 16. 主回路接続
Sequence diagram of main silicon controlled rectifier.

表 2. ダイオード仕様
Specification of diode.

形 式		FD 1600-50
定 格	平 均 電 流 A	1600
	繰返しピーク逆電圧 V	2500
	非繰返し逆電圧 V	2800
	最高許容接合温度 °C	150

表 3. サイリスタ仕様
Specification of thyristor.

形 式		FT 1000-50
定 格	平 均 順 電 流 A	1000
	動 作 逆 電 圧 V	2500
	非 繰 返 し 逆 電 圧 V	2750
	動 作 順 阻 止 電 圧 V	2500
	離 境 阻 止 電 圧 上界率 V/ μ s	200
	離 境 電 流 上 升 率 A/ μ s	200
	ゲート電圧 V	順 方 向
		逆 方 向
	ゲート電流 A	6
	ゲート電力 W	瞬 時 平 均
最 高 許 容 接 合 温 度 °C		125

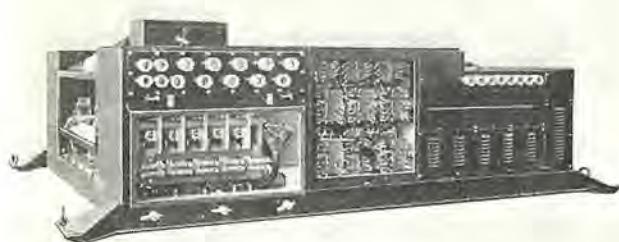


図 17. 961 形試作電車用主シリコン制御整流器
Main Silicon controlled rectifier of type 961 electric train.

FD 1600-50 および FD 1000-50 を冷却ファンと交互に重ね、約 3,000 kg で圧接した今までにない大形スタックは、電気的・機械的・熱的にその特性が確められた。

4 個の大容量スタックは付属品とともに 5 段混合ブリッジに組立てられた後、順電圧降下測定・漏れ電流測定・無負荷試験・電流バランス測定を行ない、さらに振動試験を行なった。振動試験後には、順電圧降下・漏れ電流を測定して、振動試験前後の特性の変化のないことを確認している。

このように数々の性能確認試験を経た後、大容量整流スタックは整流タンク内に納められた。

6.1.5 温度上昇試験結果

整流ユニットに実電流を流した場合の結果を図 18. に示す。

1,740 A 連続運転時には、フロン温度上昇は約 25°C、2,160 A 8 分間通電後には約 30°C の温度上昇である。

図 18. の(b)は周囲温度 20°C の時の測定結果であり、(a)は周囲温度を 40°C にした時の結果である。主ダイオードおよび主サイリスタ接面温度とフロン温度の差は、周囲温度 40°C の時の方が周囲温度 20°C のときのものより小さい。これは沸騰熱伝達の特性に起因するものであり、図 6. の特性とよく合致するものである。

6.2 電鉄変電所用フロン沸騰冷却整流器

地上変電所設備においては、静止機器・密閉形・無保守・不燃性・小形化・無騒音等の要求が大きい。R-113 を冷媒とした沸騰冷却

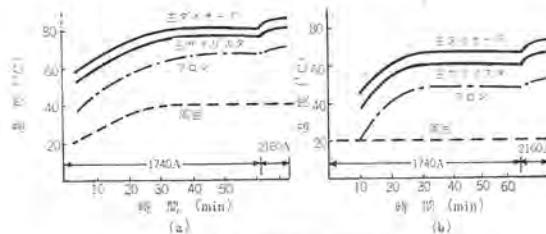


図 18. 温度試験結果
Results of temperature rise test.

整流器は、これら重要な問題点をすべて矛盾なく解決しているので、この方面への急速な発展が予想される。X-6 形モデルで開発された完全自冷式整流ユニットの技術は、FLOREC と名付けられた電鉄変電所フロン沸騰冷却整流器において十分に生かされている。

6.2.1 大容量素子

フローレック整流器においては、定格容量に対応して大容量平形素子を使用している。たとえば 3,000 kW 1,500 V D/E 種定格の整流器においては、わずか 36 個の FD 1,600 A 形素子が 3S × 2P × 6 A の素子構成で 3 相ブリッジ回路を構成している。大容量素子を用いることにより部品数を減らし、かつ余裕ある使い方ができるのが特長であるが、ただこのような大容量素子だけでは定格のステップがあまりに大きくなり過ぎるので、定格と結線方式の対応幅を広げるため、これより低い電流定格の素子も含めて整流バルブの系列構成を考えている。

6.2.2 バルブシステムの機器構成

フローレック整流器の機器構成の特長はバルブシステムを用いていることである。これは標準化されたバルブが構成単位となり整流回路アームを形成している。三相ブリッジ結線の装置では、1 相 2 アーム分を収納したバルブ 3 本を並べ、6 相 2 重星形結線では、3 相バルブを 2 本並べて一つの変換単位を構成する。

大容量の設備には、このバルブが 2 本並列の形で使用される。たとえばブリッジ結線では、3,000 kW 装置には 3 本のバルブ、6,000 kW 装置には 6 本のバルブが使用されることになる。各バルブには 1 組の凝縮器が組み合わされており、整流装置の標準化された系列を構成する。このように従来のスタックに代ってバルブが一つの回路構成要素として扱われるが、このために標準バルブ系列が完備されている。

シリコン整流器の信頼性は非常に向上して、数年前から油タンクに密封することがごく普通に行なわれているが、フローレック整流器ではバルブユニット構造をとっているので、保守性はさらに向上し、万一の場合のバルブ取替え、工場でのバルブ修理も容易になっており、たとえば素子の状況その他は密閉タンクの外部から容易にチェックすることが可能であり、従来の油浸式よりもさらに確実な保守点検が行なえるようになっている。

フローレック整流器は、屋内屋外を問わざどのような周囲条件にも適合するよう作られており、定格・仕様のはっきりしているバルブシステムと相まって各種の変電設備・変圧器との自由な組合せを考えることができよう。

6.2.3 静止機器

バルブ沸騰冷却方式を採用しているので、また整流器自身が静止機器であり、外気としゃ断されているので長年月にわたって内部が保護されることとなる。

沸騰したフロンの蒸気部分の熱の放散は大気に対して行なわれる事になるが、このために X-6 形モデルにおいて、自冷式の凝縮器

の開発に成功したことが完全静止形のフローレック整流器を可能とした。この自冷式凝縮器を用いてもなお3,000 kW 装置のスペースが $1,200 \times 2,000$ mm程度の小形のものに納っており、このように全く回転する補機を含まない装置が高い性能とともに得ることができた。

6.2.4 小田急電鉄 生田変電所向け 3,000 kW フローレック整流器

1973年6月小田急電鉄生田変電所に、フローレック整流器としては第1号および第2号機である3,000 kW フロン沸騰冷却整流器が納入された。本整流器の仕様を次に示す。

定格:	3,000 kW 1,500 V
	100%連続, 120%2時間, 300%1分間
整流素子:	FD 1600-50
結線方式:	三相ブリッジ結線
素子構成:	3S×2P×6A
バルブ数:	3
バルブ当たり素子構成:	3S×2P×2A
周囲温度:	最高40°C
素子冷却:	フロン113による沸騰冷却
二次冷却:	空気自冷

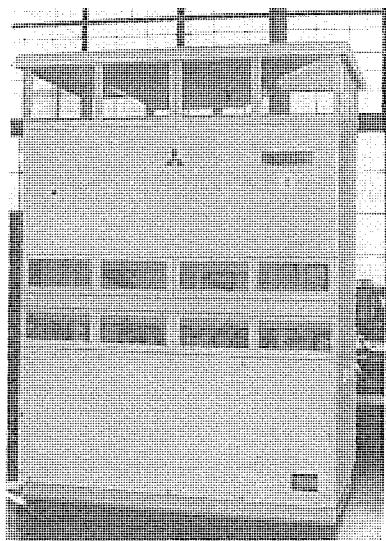


図 19. 3000 kW フローレック 整流器
3000 kW type FLOREC rectifier equipment.

外形は図19.に示すように、整流バルブは屋外キュービクル中に充電部を約め、凝縮部は通気性のよい半屋外となっている。

本整流器は耐圧試験・無負荷試験・通電試験など各種試験完了後出荷され現在運転中である。

7. む す び

数年前、フロン沸騰冷却整流器の開発に着手したとき、それがいかなる可能性をもたらすかは不明であったが、そのような段階から大量の技術力と試作、試験費を投入して今に至るまで集中的に開発を継続することができたのは、実用化の第一目標を電鉄用に選択したことが重要な要素であったと考えられる。この間に、ダイオード、サイリスタなどの電力用半導体素子も急速に大容量化したが、これは961形試作電車用主シリコン制御整流器の製作を契機として進歩したもので、ダイオードで1,600 A、サイリスタで1,000 Aの単一容量が達成され、またその量産体制も確立されるに至っている。ごく低電圧用の水冷却方式を除き、このような大容量素子の有効な冷却は沸騰冷却方式を除いては得られないところにきており、整流素子数の大幅な低減による合理化、信頼性向上がこの新しい冷却方式によって初めて具体的になったと言えよう。

これと並行して、ますます重要になってきた不燃化・無公害化の要求に対しても、フロン沸騰冷却方式は十分な解決を与えることができた。

開発を通じて得られた数々の重要な技術は、さらに新しい分野における新形整流装置、また他の分野の電気機器に対する沸騰冷却方式の開発、実用化に大いに貢献するであろう。

最後に本開発に対し絶大なご尽力をいたいた当社生産技術研究所をはじめとし、中央研究所・伊丹製作所の関連部門の方々に、誌上を借りて感謝の意を表したいと思う。(昭和48-9-17受付)

参 考 文 献

- (1) R. W. Lockhart et al.: Chem. Engng Prog., 45, p 39 (1944)
- (2) 機械学会講演論文集(関西支部 第47期 定時総会講演会) p 69
- (3) D. O. Kern : Process Heat Transfer, p 265
- (4) ibid, p 555

火力発電所向け全電子式バーナ制御装置

松本直己*・戸倉武彦*・相良辰雄*

Solid-State Automatic Burner Control System for Thermal Power Plants

Head Office Naomi Matsumoto・Takehiko Tokura・Tatsuo Sagara

A burner control apparatus in a thermal power station has been developed with progress for the purpose of securing the safety of boilers and of saving the labor through the central control of machines at the operating ends scattering around the boilers under various conditions. This apparatus is one of the largest scale units in the station as a sequence block set together and also is the one controls the total input energies of the station. This makes it necessary to ask for very severe reliability on the device. Through the cooperative development with the Mitsubishi Heavy Industries, the apparatus referred to of fully solid state, the first achievement in the country, was completed by Mitsubishi Electric in 1969. Since then, twenty sets have been put into practical operation. This article is a report of the outlines of the technique applied to the devices.

I. まえがき

火力発電所とは、今さらいうまでもなく熱エネルギーを電気エネルギーに変換することを全目的とする工場である。そこにおけるバーナコントロールとは、その大もとの入力たる熱エネルギーを制御する装置である。その事実のみでもバーナコントロール装置は火力発電の死活を制する重要な制御装置であると同時に、いかにその信頼度を要求される装置であるかは説明の要を待たないところであろう。

また、近年の新鋭大容量発電所におけるボイラは、五階建てのビルに匹敵する大きさを誇っている。そこに散在して据付けられているバーナを、遠方操作及び自動操作するためのバーナコントロール装置が発電所運転操作の省力化に寄与するところは、正に甚大といわねばならない。

当社は、三菱重工(株)との共同研究により、九州電力(株)大分火力発電所 #1 ユニット向けコントロール装置として、昭和44年国産第1号のソリッドステート方式のバーナコントロール装置を開発して以来、ほぼ20ユニットに余るコントロール装置を世に送り出してきたが、その間信頼度の確保を第一目標にトランジスタによるソリッドステート方式から、IC化されたストアードプログラム方式であるMELCAPシステムへと、その努力を積み重ねてきた。ここで、その技術と実績の集大成をしてみたいと考えた次第である。

2. バーナ制御の概要

(1) バーナ制御の概要

火力発電所における制御および保護は、発電機およびそれを駆動する蒸気タービン、およびタービンに供給する蒸気を発生するボイラのいずれかに属するか、またはそれらの補機の制御として間接的にそれらに属しているが、バーナコントロールはこれらのうちボイラ制御および保護に属すると言える。すなわちバーナコントロールは、図1.に示すような地位にあり、保護面においてはバーナ火災保護、ボイラ火炉火災喪失保護のみでなく、ユニットの全停回路(MFT; Master Fuel Tripといふ全燃料しゃ断の意)および、ユニット起動準備回路(燃料系統リーケテストおよび炉内バージ等)などまで含む場合もある。ボイラの運転制御を行うためには、ボイラに供給する燃料・燃焼用空気・給

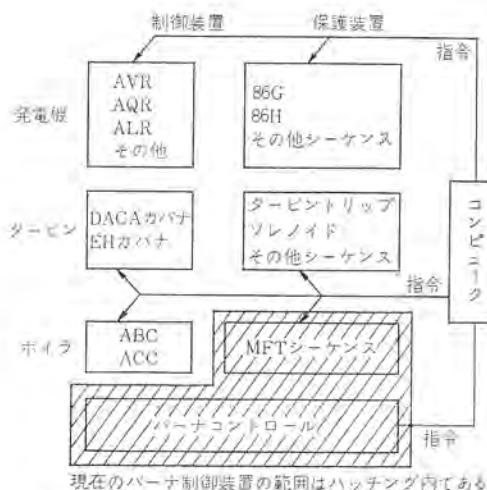


図1. バーナ制御のプラント制御における地位
Situation of burner control system in plant control.

表1. ボイラ制御系の分類
Boiler control system.

自動ボイラ制御装置 (ABC)	一 自動燃焼制御 (ACC) —給水制御 (FWC) —蒸気温度制御 (STC) —炉内バージ —燃料しゃ断弁制御 —過隔点消化制御
ボイラ保安回路シーケンス装置 (MFT, Reset)	—燃料カットバック (FCB) —バーナ本数制御 —給水ポンプ (FWP) —強圧通風機 (FDF) —かん水循環ポンプ (BWCP) —燃料ポンプ (FOP) —各種バルブ類
バーナ制御装置	
ボイラ補機制御	

水・発生蒸気などの諸量をその負荷状態での最適値に保つためのボイラ自動制御系と、燃料・空気・給水などを供給するための補機類の制御、すなわち、燃料ポンプ・強圧通風機・給水ポンプ・かん水循環ポンプなどの始動停止制御、さらにボイラの安全運転のための前述の始動時の炉内バージインタロック、危急時のMFT回路などのいわゆるシーケンス制御の制御装置が必要となる。以上を表にすると表1のごとくなろう。この中で自動燃焼制御ACCは、その負荷に見合

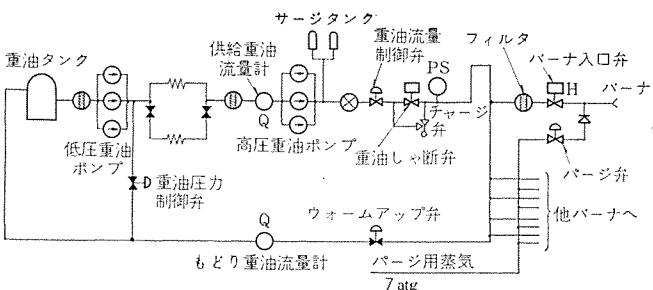


図 2. 概略重油系統の例
Example of fuel oil system.

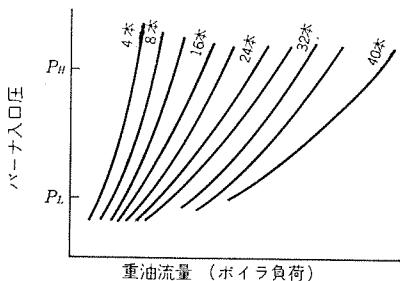


図 3. バーナ特性の 1 例
Example of straight mechanical burner characteristics.

った燃料を炉内に供給し、その燃料を安定に燃焼するための制御であり、図 2. にあるようなストレートメカニカルバーナを例にとった燃料重油系統図においても、その燃料流量制御弁により、燃料流量をアナログ的に調整することにより、負荷に追従制御させている。しかるに広範囲な燃料の制御は、図 3. により判るように、1 本のバーナでは不可能であるため、多数(例えは 20~40 本)のバーナの点消火を伴わざるを得ない。すなわち負荷変動が通常の ACC 制御範囲を越えるようなボイラの起動、停止あるいは大きな負荷変化時にはバーナ圧力が規定範囲内に納まるよう運転バーナの本数を自動、または、遠隔手動にてできるようにしたのが、自動バーナ制御装置である。これら自動化の要求は、古くから火力発電所省力化を目的として始まっており、運転の安全性向上、人為的誤操作防止、燃焼効率の向上の面から、火力発電所制御のマイループの一つとして、この自動化の要求は一段と強まつたと考えられ、自動化的実現は、バーナ火炎検出技術の向上により一気に可能になったとも言われている。

すなわち、これまでの火力発電所ボイラのバーナ制御は、

- (a) 現場における手動抜差
- (b) 現場エアコック操作による手動抜差
- (c) リレーシーケンスによる現場操作
- (d) 中央からの遠隔手動
- (e) 自動バーナコントロール

のように大略変遷してきており、現在は中央からの遠隔制御、およびボイラ負荷による自動点消火機能を持ったバーナ制御装置が数多く設置され始めている。制御装置も信頼度、スペースファクタ、およびコンピュータ化の諸点から従来のリレー式よりソリッドステート式に移行しつつある現状である。したがってこのような背景より、信頼度の高い MASC-10 カードシリーズが開発され、同時にこれらを組み込んだバーナ自動制御装置 MELBACS (Mitsubishi Electric Burner Automatic Control System) が開発され現在に至っており、また更に IC 化されたストアドプログラム方式(時系列方式)である MELCAP 方式に移行しつつある。MASC-10 方式によるものだけでも、これまでに納

入したプラントは調整中のものも含め二十数プラントの多きに達している。

最近の自動バーナ制御装置の持っている制御および保護機能は、

- (i) バーナの自動起動、停止(自動本数制御)
- (ii) 各バーナの遠隔起動、停止
- (iii) 現場起動、停止
- (iv) 各バーナトリップ(エレベーション個別)
- (v) 燃料空気ダンパの制御
- (vi) 補助空気ダンパの制御
- (vii) トーチ制御
- (viii) パージ弁制御(ノルマルシーケンスパージおよび自動パージガン引抜)
- (ix) 火炎喪失保護(全火炎喪失となれば MFT とするなど)
- (x) 燃料急速しゃ断(FCB=Fuel Cut Back)
- (xi) 計算機によるバーナの自動起動、停止

などであるが、それぞれはペアエレベーションあるいは個別に制御され、また表示される。

また、バーナ制御、保護に直接関係しないものとして

- (xii) 警報回路
- (xiii) プラントへのインタロック出力回路
- などが含まれ、更に電力会社によっては、
- (xiv) ボイラ起動準備(リーグテスト、炉内パージ、ウォーミング、ベント弁制御、しゃ断弁制御等)
- (xv) MFT(全燃料しゃ断:ユニット停止)

まで含む場合もある。

(2) バーナ制御装置の条件

バーナの制御システムは通常図 4. のごとく火炉の回りのバーナ、例えは火力発電所におけるいわゆるタンゼンシャルファイアリングといわれるコーンファイアリングにおいては、平面的に 4 コーンあるいは分割炉では 8 コーンに分散され、炉心に向ったバーナが、高さ方向に通常 5 段あるいは数段設けられており、それらが同一平面でペアで制御されるのが普通である。なお、個々のバーナに注目すれば通常の点消火の場合の単純化された一例は、図 5. に示されるように比較的単純なシーケンスから成る。

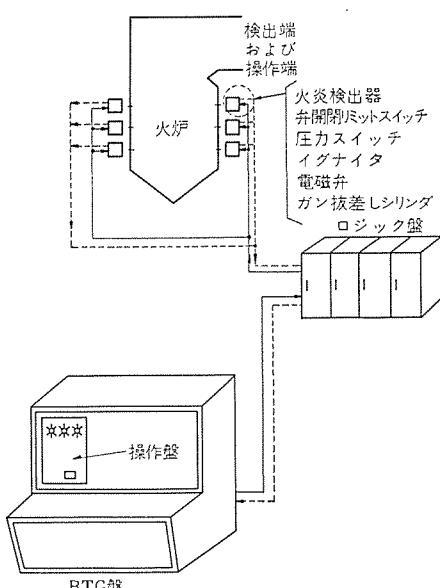


図 4. バーナ制御システム
Burner control system.



図 5. 個別バーナ点消火概要
Example of individual burner start stop sequence.

これらバーナ、トーチ等操作端はロジック盤から直接に制御され、検出信号等フィードバック信号が現場からロジック盤に与えられる。遠隔操作指令は、中央BTG盤に取付けられた操作表示盤よりロジック盤に与えられるが、本数制御に必要なバーナヘーメー圧力検出信号等はABC装置より与えられる。この他現場操作がある場合は各コナに設けられたコナ現場盤より直接行われる。

(a) 信頼性

前述のごとくバーナコントロールは火力発電所の燃焼システムにおけるマイケループの一つであると考えられるため、十分なる信頼度を持つ必要がある事がわかる。

(b) 入出力点数

制御ロジックも決して単純ではないが、ランプ表示を含めた入出力点数が非常に多い(40本バーナにて入出力合わせて1,200~1,500点程度)ため、制御装置仕様面のみでなく装置試験にもかなりのマンパワーを必要とすることには注意せねばならない。

(c) 環境条件

被制御対象がバーナであるため、制御装置の動作スピードはさほど早くなくてよいが、その代りに装置入力となる信号ランインは、現場機器リミットスイッチ等より長いケーブルにてとるため、所内パワー回路等の干渉がないとも言えず、ノイズ的に決してよい環境とも言えない。例えばバーナ点火用のトーチスパーク用イグニタ等は小エネルギーながらも8,000V~10,000V程度のかなりの高圧を発生させている。従って動作スピード等はむしろ犠牲にして安定動作に主眼を置くべきであろう。

(d) 保守性

保守点検が容易である事はどの装置にも必要なことであるが、同時に発電所ユニット容量の増大化により、部分メンテナンスの際は特に全バーナあるいはメンテナンスする段の他バーナに対してさえ、その運転状態に影響を与えないようそれが行える事が常識的となり、従ってその段の現状維持ロックを実現すべく操作端にあっては複式ソレノイド化等を行い、一方においてメンテナンス時の操作端制御電源のバーナ段ごとのロックを行う等の方法が必要とされている。

(e) 電源システム

しかし一方電源ロックシステムにおいては非常時のフェイルセーフ機能が失われないよう、バックアップシステムも同時に必要であり、非常回路を別電源にて構成し、燃料母管しゃ断弁の閉操作用とする等の方式が通常採られている。

また、バーナ制御は先にも述べたごとく数多くのユニットの保護機能を持たされている関係上、電源喪失等により安易に制御不能に陥るようではそれら機能を十分に遂行し得ないため、所内バッテリある

いは非常用AC電源等によるバックアップ方式が通常とられている。これらは半導体ロジックシステムが電源の瞬断を嫌う意味からも言えることである。

3. 全電子式バーナ制御装置

3.1 MASC-10 カードシステムによるワイヤードロジック方式(通称 MELBACS)

3.1.1 特長

火力発電所向けバーナ制御装置用に特に開発された半導体カードシステム“MASC-10”(Mitsubishi Advanced Sequence Control Card System)によるもので、これまでに二十数プラントを納入してきた実績のある非同期式ワイヤードロジック(DTL NAND)方式のことである。この方式の持つ特長を挙げると次のとくとなる。

(1) 信頼性の高いシステムである

すなわち、極力電磁リレーなど摩耗を伴う接点部を無くし、接点化を計っており、その半導体部品である高信頼性シリコントランジスタ、シリコンダイオード、サイリスタ(SCR)およびコンデンサー、抵抗など使用部品は選択の上十分にディレーティングして使用しているためである。また、これら半導体は、その持つ半永久的寿命なる特長を生かすべくシステム的にもサージからの素子の保護、対ノイズ対策等後述するように万全を期している。

(2) 耐ノイズ性の高いシステムである

すなわち入力カードにおいてはフィールドからのノイズから信号を守るべく高S/N比としている。入力インターフェース電圧はDC 110Vであり十分に高くとっており、かつ入力カードのスレッショルド電圧は電磁リレーみなみのヒステリシス特性を持たせ、かつ100ms~150ms程度の遅延特性を同時に持たせているため、フィールドノイズに対してロジックはきわめて安定である。

(3) システムサイズに関係なく安定である

回路方式がDTL NAND(図6. 参照)であるため、入力ゲートのダイオードにより前段回路のインピーダンスが後段スレッショルドに影響を与えないようになっているため、システム規模の大きさにほとんど無関係に安定したロジック素子のスレッショルドレベルが確保できるためである。

(4) 使い易いシステムである

この事は次の事から言える。すなわち、

(a) 論理要素単位(後述)のファミリカードであるため、回路構成が自在である。

すなわちこのファミリ内カードですべての論理回路はむだなく組めると言ってよく、そのために多種のカード、すなわちOne Shot Pulse発生カード、バイアリカウンタ(多数決選択)カード等特殊カードもそろえられている。

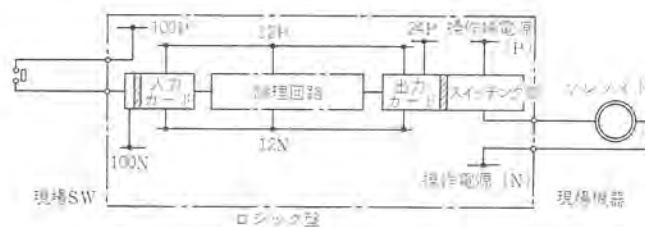


図 6. MASC-10 ロジックカードシステム(入力絶縁方式の場合)
MASC-10 logic card system.

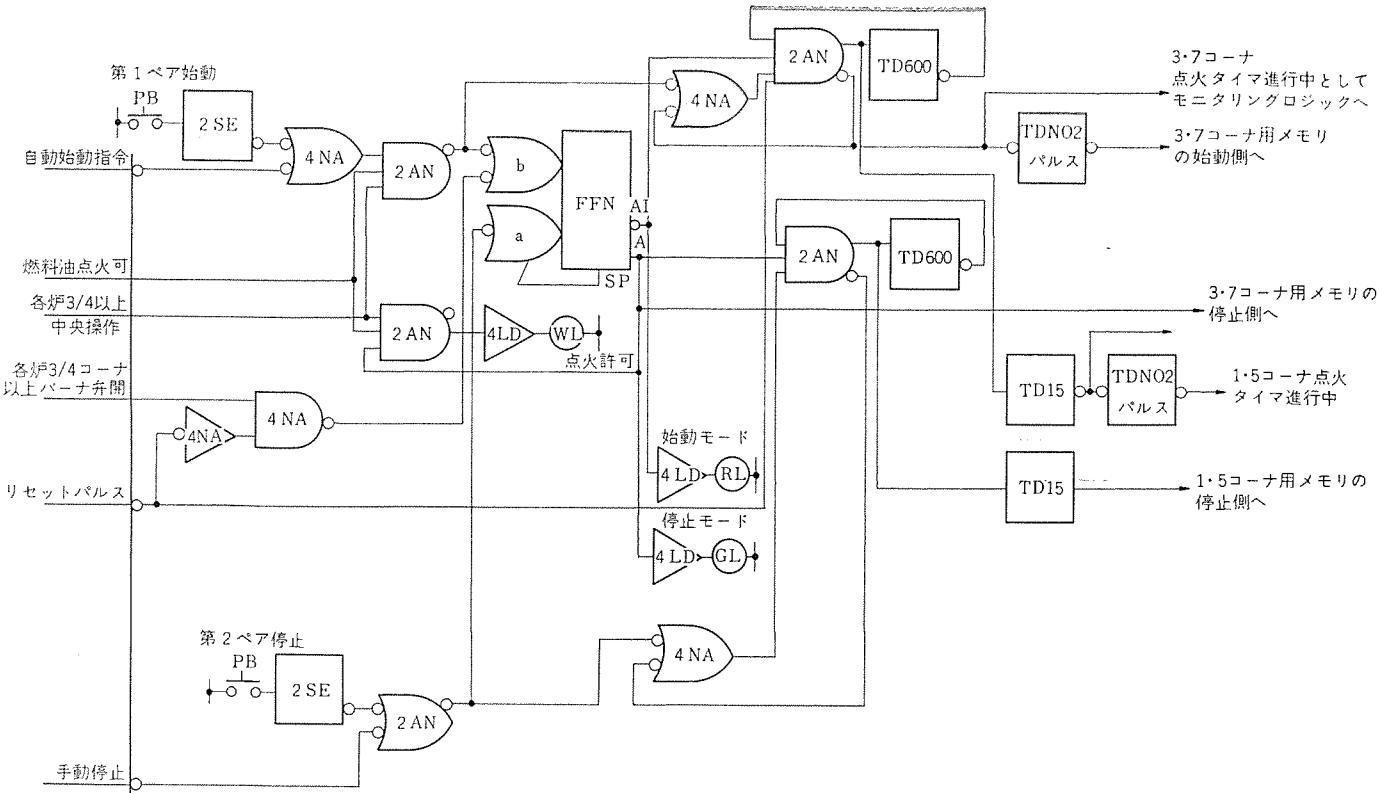


図 7. バーナ制御ロジックの概要例（ペアコントロール部）
Brief example of burner control logic diagrams (pair control).

(b) 時限回路は 0.1 s～600 s まで可変である。

短時限用にはカード TD 15、長時限用には TD 600 が用意されており、外部接続により設定範囲を選択すれば 0.1 s～600 s までの時限は 1 カードでカバーでき、通常のシーケンス制御に必要とされる時限はほとんど網羅（羅）されるといってよい。

(c) オンラインですべてのロジック状態をチェックすることが容易である。

ロジックカードごとに設けられたチェック端子をロジックチェックペンにて当たることにより、容易にロジック状態を知ることができる。

(d) ロジック回路が理解しやすい

米国 MIL 規格 (MIL-STD-806 B) によるロジックシンボルを採り入れ、一見してそのロジックの能動性及びその時の出力状態を表現するようになっているため、ロジック回路が非常に明解なものとなっている。図 7. にその一例を示す。

(5) トラブルの限定化が計れる

(a) 制御方式が並列制御である

すなわち制御対象に対してロジック回路が 1：1 に対応して設けられている非同期ロジック方式であるため、部分トラブルの他への波及が防止されている。

(b) ロジック電源は制御出力電源とは電気的に絶縁されている

すなわち操作出力カードにおいて AC 用はパルストラns、DC 用は水銀接点リレーにてそれぞれロジック回路と制御出力回路が電気的絶縁されているため、プラント側電源トラブルからロジックを守っている。また、入力カードにおいてもリードリレー絶縁タイプも開発されたためトータルロジックのフィールドトラブルからの保護も可能である。

(c) ロジック電源の段ロジックごとの分岐は速断ヒューズにより行っている。

ロジック回路での過負荷および短絡トラブルより他段ロジック回路を保護する目的から、速断ヒューズによるトラブル段の完全切離しを行

っている。これらは高速であるため、これと低電圧および過電圧の高速検出切離し回路（実新申請中）との組合せにより、切離し過渡時にも誤出力を操作端に与えずにスムーズな部分ロジック電源ロックが行われ得る。

(6) メインテナンスが容易である

(a) 個々のロジック状態を容易にチェックすることができる
前述のごとく各カードごとに出力チェック用端子が設けられているため、それらをチェックペン（手元のランプがロジックシグナル状態に応じ点灯する）にて当ることにより、ロジック状態を容易に知ることができますようになっている。操作端電源の単独切離しを行ったうえでチェックを行える機能は、オンラインチェックに適している。

(7) 占有面積が非常に少い

出力回路は通常の負荷の場合、カードから直接負荷端に接続できるようになっているため、中継用の電磁リレー等を置いたりする必要がなく、大幅なコンパクト化が図れる。

(8) その他

ロジック回路の入力信号線にはシールド線が不要であるため、据付工事を容易にしている。

3.1.2 システム構成

並列 2 系統定電圧ロジック電源より成る電源盤と共通ロジック盤および各段ロジック盤が制御ロジック装置を構成し、これらへの指令、選択指令が中央操作パネルあるいは ABC 装置 (Automatic Boiler Control Apparatus) から与えられ、ロジック盤での論理判断の結果が制御出力として操作端に与えられ、操作結果が位置・圧力・温度・流量としてそれぞれ検出され、ON/OFF あるいはアナログ信号としてロジック盤にフィードバックされる仕組みである。（図 4. 参照）

ロジック回路部のシステム構成は図 6. のごとく入出力インターフェース部と論理部に分かれており、入力部においてフィールドのスイッチ状態を DC 110 V or 0 V にて受け、それをロジック信号 “1” “0” (ま

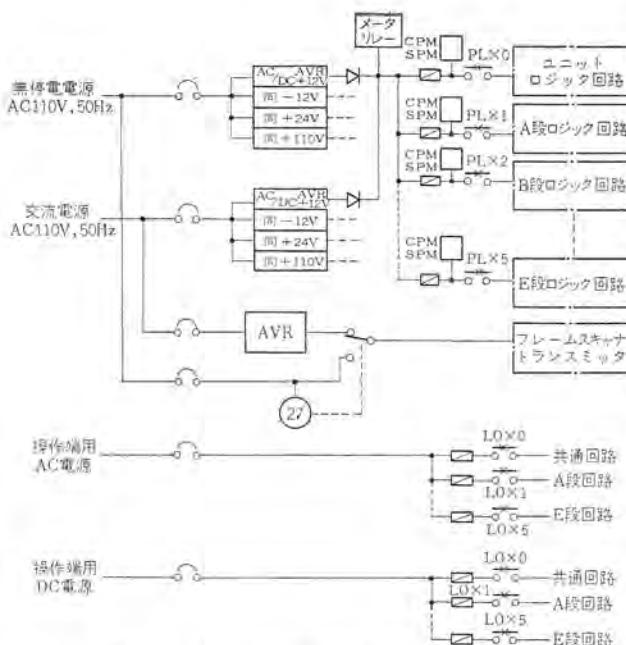


図 8. ロジックおよび操作端制御電源系統概略
(ロジック電源分岐は+12Vの場合を例にとっているが、他電源についても同様となる)

Outlines of control source system of logic and controlled devices,

たは、 12 V or 0 V)に変換している。ロジック部はバーナロジックにおいては前述の三菱-CE タンゼンシャル コーナ ファイアリングの思想より、バーナ段ごとのファイアボール監視、ペアごとの点消火、コーナの個別トリップおよび制御等がある関係上、段単位にロジック盤を設け、その中は段制御、ペア制御、コーナ制御に分かれ構成されている。一方全火炎喪失の判定回路、全バーナ弁閉判定回路、アラーム回路など全体にわたる共通回路あるいは MFT、FCB 等ユニット保護操作回路等は共通ロジック(あるいはユニットロジック)盤として、段ロジック盤とは分けている。

ロジック電源および操作端制御電源系統は図 8 のごとくであり、バーナ段ごとに分岐されている。ロジック電源は非接地方式をとっている。この場合供給電源である無停電電源側は CVCF によるものと、所内バッテリをインバータにて交流化したものとがある。

各ロジック電源はロジック電圧が規定範囲を逸脱した時は、ラッチリレー PLX によりロックアウトされ、同時に操作端電源もラッチリレー LOX によりロックアウトされる。また各段のロジック電源にあっては、その段の電圧喪失、ヒューズ断等により電源モニタカード CPM および SPM が動作し、その段のロジック電源および操作端電源の自動切離しを行う。段ごとのロジック電源ロックアウトが可能であるため、ロックアウト段がユニット制御に対し目的に応じてフェイルセーフとせねばならず、その点段間の信号伝送には考慮を施している。

電源操作は非常に簡単であり、次のごとくなっている。すなわち、ロックアウトおよび投入は共にマニュアルで可能であるが、投入はマニュアルのみで行うようになっている。電源盤上のロジック電源操作ボタンにより、ユニットロジックより投入してゆき、次に操作端電源をロジック盤上操作ボタンにて投入すればよい。ロジック電源の投入により操作端の状態が呼び込まれ、メモリ等の正しいセットが行われロジックとして安定となった事の確認に、ロジック盤上チェックバルス上の主要モードの表示を一応目視するという事を安全上必要とするが、操作端投入をロジックが定期的に入るまでの一時期ロックする電気的インターフ

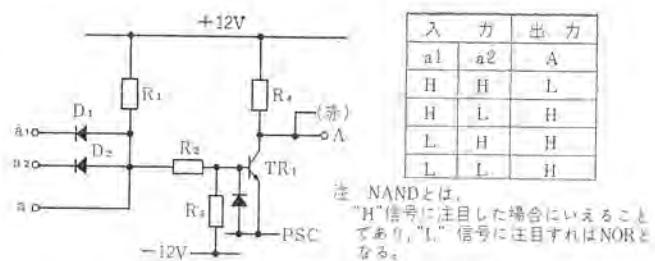


図 9. DTL NAND 回路とその真理値表
DTL NAND circuit and one's truth table.

クもバックアップとして設けられている。

3.1.3 仕様

(1) 論理カード 方式……DTL NAND

基本回路は図 9 のごとくで a_1 , a_2 は入力、 a は入力拡張のための付加ゲート(expansion gate)で、ダイオードゲートカード“4 DG”を接続すれば、少くとも通常のロジック回路を構成するに十分な入力個数にまで拡張できる。A は出力ゲート、(赤)と書いてあるのは出力チェック端子とその色である。

プリント基板…… $85 \times 125\text{ mm}$ ガラス 布基材 エポキシ樹脂

カードコネクタ……アンブレード／7 ピンライト アングルコネクタ

主要素子……三菱 2SC306, 2SC307 形シリコトランジスタ、三

菱シリコンダイオード、タンタルコンデンサ、炭素皮膜固定抵抗

カード種類……約 25 種類あり、表 2 のとおり

電源……信号電源……DC 12V

バイアス電源……DC -12V

接点入力電源……DC 110V

ランプ出力電源……DC 24V

それぞれのプリントカードの許容電源変動は、 $+15\% \sim -15\%$ (非対称)である。これらの電源はシステムとして組みあわされたソリッドステートロジックを安定なものとする必要から、電源システムとしては、安定化電源の並列運転方式、あるいはフローティングバッテリ方式などにより瞬断のないものとする必要がある。

(2) 論理カード動作原理

(a) 入力カード

非絶縁形の場合を図 10. (a) に示すが、入力コンデンサ、およびゼナーダイオード等により遅延およびヒステリシス特性を持たせているのが特長である。絶縁形はリードリレーを使用している。

(b) インバータカード

4NA, 2AN 等は同図 (b) のごときインバータ回路から成っている。

(c) タイマカード

図 10. (c) および (d) のタイプがあるが、前者は TDN 02 カードに使用されている原理で、ユニジャングショントランジスタ UJT の発振およびその出力の微分回路とメモリ回路が特長で、タイマとして使用する場合には、 a_1 のレベルが “L” となってから、UJT が最初のパルスを出すまでの時間の設定時間となる。また、One Shot Pulse 発生器として使用する場合には、 a_2 が入力となり、入力に “L” 信号が入ったことにより出力を反転しておき、同時にメモリをリセットしておけば、ワンショット回路として使用の場合は、メモリ出力により a_2 を “L” にするよう外部回路が組まれているため、セット時間後にメモリが反転され、結果的には一つのパルスを出したことになる。また、

後者の場合は、TD 15 および TD 600 に使用されている回路の原理図で、入力インピーダンスがきわめて高いトランジスタである電界効果トランジスタ(FET)を使用して、長時間用に使用されている。シリコンPNPトランジスタT₁がOFFになるまでコンデンサは充電されており、T₁がOFFとなってからCの電荷はR₁→R₂およびR₃→R₁の回路で放電を始め、電圧Vが規定電圧以下になった時、後段回路がそ

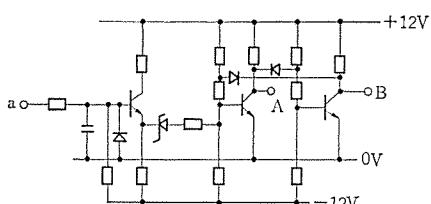
れを判別するようになっている。この場合、電圧Vの下降の影響がFETのゲート(G)にフィードバックされることにより、ドレイン(D)～ソース(S)間インピーダンスを上昇させ、結果的には負帰還がかかったことになり長時間を示すことになる。

(d) DC パワードライバ

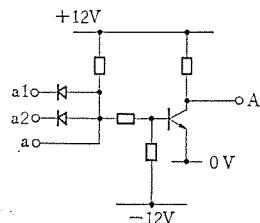
図 10. (e)のごとくエミッタフォロワ回路と水銀接点リレーとの組合

表 2. MASC-10 カードの機能と種類
Functions of MASC-10 series cards.

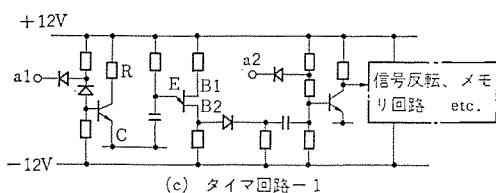
	カード名称	形名	回路数	機能
入力カード	SIGNAL ELEMENT	2SE	2	プラント AC, DC 入力をロジックシグナルに変換する 9出力 1入力
論理カード	AND GATE	2AN	2	4入力 AND GATE 付加端子付 9出力
	NAND GATE	4NA	4	2入力 NAND GATE 4個中2個は付加端子付 10出力
	NAND GATE LARGE	4NAL	4	2入力 NAND GATE 4個中2個は付加端子付 20出力
	DIODE GATE	4DG	4	付加端子用 GATE 2入力-2個 3入力-2個
	2/4 BINARY COUNTER	2/4BC	1	4入力中の2入力がHとなれば出力が反転する。9出力
	3/4 BINARY COUNTER	3/4BC	1	4入力中の3入力がHとなれば出力が反転する。9出力
	2/5 BINARY COUNTER	2/5BC	1	5入力中の2入力がHとなれば出力が反転する。9出力
	3/5 BINARY COUNTER	3/5BC	1	5入力中の3入力がHとなれば出力が反転する。9出力
	4/5 BINARY COUNTER	4/5BC	2	5入力中の4入力がHとなれば出力が反転する。9出力
メモリカード	FLIP FLOP	FFN	1	4セット入力、4リセット入力のフリップフロップメモリ 9出力
	REENTRANT MEMORY	RFF	1	4セット入力、4リセット入力のフリップフロップメモリ、停電中でもリセットされない
時限カード	TIME DELAY	TD600	1	4sから600sまで設定は連続可変、入力がHとなってからある設定時間後に出力が反転する。瞬時復帰
	TIME DELAY	TD15	1	0.1sから15sまで設定は連続可変。機能はTD600と同様
	TIME DELAY	TDN02	1	外部接続によりTD機能とOne Shot Pulse機能のいずれをも発揮できる。時限およびパルス幅は0.1s～100s半固定(多部コンデンサによる)。いずれも入力がLとなって機能する
出力カード	POTENTIOMETER	4P	4	TD600, TD15カードと組合わせる時限設定用カード
	POWER DRIVER	2PD03	2	DCまたはACのPOWER STAGEのDRIVER 2入力 1出力 100V 0.5A以下
	POWER DRIVER	2PDL	2	DCまたはACのPOWER STAGEのDRIVER 2入力 1出力 100V 1A以下
	AC POWER DRIVER	APD03	1	ACのPOWER STAGEのDRIVER 2入力付加端子付 1出力
	RELAY CARD	CPM02	1	DC 24V, DC+12V, DC-12Vの電圧ロス検出用 出力b接点のみ
	RELAY CARD	SFM03	1	DC 110V 電圧ロス検出用 出力b接点のみ
	RELAY CARD	2R2A	2	24Vリレー2個 出力 各2a/COIL
	RELAY CARD	4R1A	4	24Vリレー2個 出力 各1a/COIL
	VOLTAGE CLAMPER	2VC02	2	2PD03により駆動されるL負荷のサージ吸収用カード



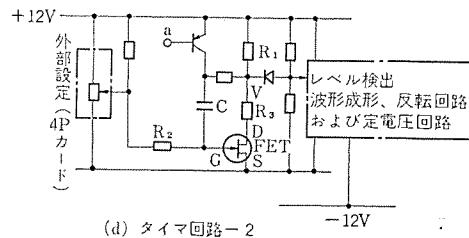
(a) 入力回路



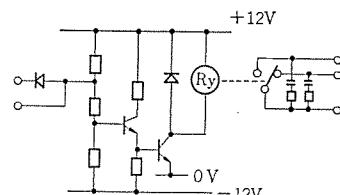
(b) インバータ回路



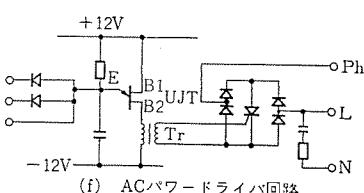
(c) タイマ回路-1



(d) タイマ回路-2



(e) DCパワードライバ回路



(f) ACパワードライバ回路

図 10. MASC-10 主要カード回路概要
Examples of "MASC-10" printed cards circuits.

せであり、接点にはスパークキラーを取付けてある。2PDカードに使用されており、水銀接点リレーの代りにランプを置くべくオーブンコレクタとして出力を出してあるのが4LDカードである。

(e) AC パワードライバ

図10.(f)のごとくユニジャニクショントランジスタ(UJT)による発振パルスにて、サイリスタを点弧させるようにしたものがAPD02カードであり、負荷回路は交流を全波整流しており、点弧パルスがなくなりかつサイリスタ電流が保持電流値以下になった時、負荷電流はしゃ断される。この場合ロジック回路はパルストラns(Tr)により負荷回路より絶縁されている。

(3) 使用環境

温 度……10~50°C

湿 度……90% 以下

震 動……0.2G (JEC 準拠)

ち り……導電性のちりがないこと

(4) ラックアップ 形式

以下は主としてバーナ制御装置用に便利であるが、他用途にも十分使用できると考えられる。(図11参照)

(a) 収納盤

高さ 2,300、幅 700、奥行 1,200 (1面当り)。

前後面片開きとびら構造

とびら内前後部にヒンジ式カードラック 装備

外部引出し端子 ブロックは、カードラックを開いた内側に設けられている。

なお、耐ノイズ対策として盤内構造は配線をクリーンワイヤ(信号線およびロジック電源線)とダーティワイヤ(操作出力等)とに分け、それぞれ金属ダクト内に収納しクリーンワイヤを保護している。また盤内リレーおよび操作出力においてはサージ発生源でのサージ発生抑止の立て前からサージキラーを取付けている。

(b) カードラック

標準バスケット数 18段 (1ラック当り)

1段当りのカード収納は最大 20枚まで可能

各段カードラックと盤間の接続は、多心コネクタによる接続となって



(a) 扉を開けたところ

(b) 外観

図11. MASC-10 カードシステムによる火力発電所向け

バーナ制御装置適用の例

Burner control apparatus (MASC-10).

いる。

(c) チェックパネル

上記カードバスケット段のいずれをも、チェックパネルとすることができる構造となっている。

3.1.4 バーナコントロール装置としての配慮点

(a) これまでにも述べてきたように、ロジック電源は瞬断のないものとするべく、直流側でのダイオードによる並列運転を行なうようしているが、これにより

(i) 供給電源喪失時も、バーナ制御装置はダウンせずに必要な処置を行える。

(ii) 2系統中1系統の電源装置が故障しても、片側がバックアップするため予備量が100%となる。

等のメリットも同時に出てきている。また、ロジック電源が異常となった場合には、それが全段にわたるような場合はただちに全段の電源をロックし、部分的異常の場合は、その部分を他段に影響を与えることなくロックし、その間操作端を現状維持させ、再投入時は操作端に対しショックレスとし、バーナの現状維持運転をさせるという方式が常識となってきている。

(b) 如何なる場合にも現状維持運転が良いとは限らないが、ユニット容量の増大により、他への影響を考慮すればいたし方のない事かも知れない。従って前述したごとく、操作端ロック状態での保護としてしゃ断弁のトリップが別電源にてできるようになっている。

(c) 操作端の現場メインテナス用に現場盤による現場操作回路が設けられることもあるが、その場合はロジック回路からの操作出力は通常はロックされ、バーナトリップ等緊急制御の場合にはロジック回路からの指令が入るように考慮されている。

(d) 耐サージ対策はその発生の防止から盤内リレーおよび各操作端(この場合は盤出力端子)にサージキラーを取り付け、サージおよびノイズからのロジックの保護としては各メモリに1ms程度の遅れを持たせ、また、入力回路には前述の遅延およびヒステリシスを持たせる事により、ロジック回路そのものの耐性を増している。また、一方ロジック回路への直接のノイズ等の侵入もないよう盤内配線中クリーンワイヤとダーティワイヤは互いに金属ダクトに入れる事も近時行っている。

(e) バーナ制御装置に課せられる信頼度はユニット容量が増大化すればする程、また、ユニット保護回路など、重要回路を含めば含む程増すことが期待されてくる。従って、素子の万一の偶発故障等を考えると最重要回路の多重化等、システム的な冗長設計も必要となる事もある。但しこの場合素子数の増加により、全体の素子の故障確率は増加することはいなめない。

3.2 時分割シーケンス コントローラ "MELCAP" によるストアドプログラム方式

前述したMASC-10カードシステムによるワイヤードロジック方式は、設計者の描いた論理図が、そのままの形で装置の結線となる点や、クロック等の速い信号がないため雑音に対する防護策が容易であるなど、いろいろな特長があり、その信頼性はすでに実績はあるが、ワイヤードロジック方式であるため、制御対象ごとに、毎回、設計をやらねばならない、また、バーナ制御のごとき複雑、かつ大規模なロジックにおいては、制御内容が少し変化しただけでも、装置全体のシステム協調をとるのに、手間がかかり、均一製品の製作・試験にも、苦労を重ねてきた。このような状況において、製品の信頼性をさら

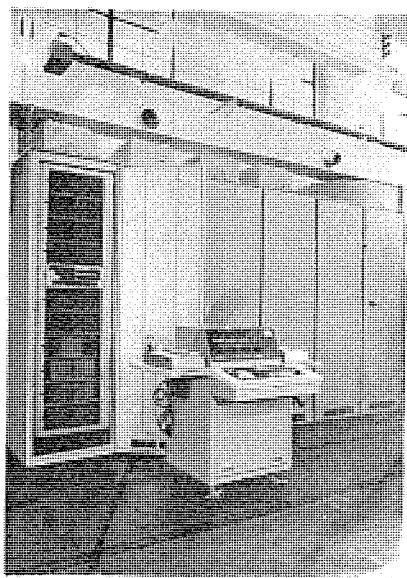


図 12. MELCAP による火力発電所向け バーナーコントロール 装置
Burner control apparatus (MELCAP).

に向上させるには、ハードウェアの固定化が必要となると考え、ストアドプログラム方式 (Stored Program) によるシーケンス制御装置 MELCAP が開発された。

この MELCAP 開発時の基本設計方針は、次の通りであった。

- (a) 工事ごとのハードウェアの変更を、必要としないこと
- ストアドプログラム方式を採用し、制御対象によるロジックをプログラムに集約する。
- (b) 従来のワイヤードロジック方式と同等以上の信頼性を有すること
- プログラムメモリは、ダイオードリードオンリメモリ (ROM) とし、回路構成に当っても信頼性を第一とする。
- (c) 占有スペース、取り扱いについても、現状システムより小さく、また容易であること
- 機能を、シーケンス制御専用にしほる。
- (d) いろいろなシーケンス制御に、容易に適用できること
- 従来、ワイヤードロジック方式の装置を設計していたものでも、容易にプログラムできるように、簡単で、しかも、プログラムのワード数が少なく、プログラムの労力が少なくてよいものとする。また、入出力ユニットには、プラントの制御回路と直接接続できる物を用意し、中継リレー盤等を考えるわざわしさをなくす。
- (e) 運転・保守が容易であること

従来の装置と同様、運転に際してタブレット等の操作は、まったく不要で、環境条件も同等とする。

以上より、開発設計された MELCAP は、三菱重工業(株)香焼実験工場内、超臨界圧テストボイラ用バーナ制御装置として、フィールドテストを行い、信頼性の確認を行った。

図 12. は、九州電力唐津 3号ボイラ用バーナ制御装置として、適用した MELCAP 装置である。

3.2.1 特長

先に述べたように、MELCAP は、従来のワイヤードロジック装置に変わるオンライン制御機器として、適用するために、高信頼性および運転・操作の簡便さ等に、十分考慮をはらって設計製作している。それらが MELCAP の特長となるわけだが、詳しく以下に述べてみる。

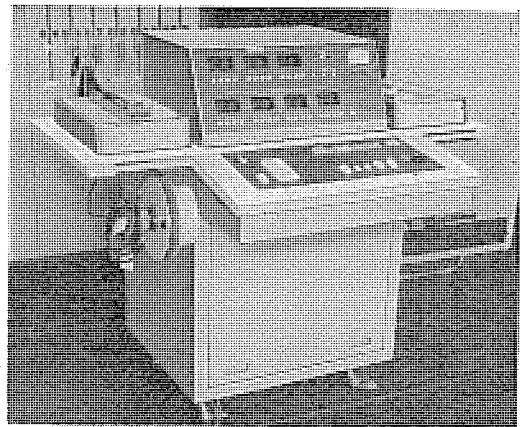


図 13. リードライトメモリ 装置
Read/write memory device.

(1) 制御論理の組み立てがフレキシブルである

これは、従来の機械式リレーシステム、または、MASC-10 等のはん(汎)用論理カードシステムが、その論理構成をワイヤリングで行うのに対し、MELCAPにおいては、プログラムで行なうところにある。すなわち、機械的リレーシステムや、はん用論理カードシステムにおいては、制御対象によって、そのハードウェアそのものが変化するのに対し、MELCAPにおいては、ハードウェアはいつも固定で、変化するのはプログラムの内容のみである。これによって、ハードウェアの標準化が推進され、品質の均一化が期待できる。試験調整段階でのプログラム変更は、MELCAP の試験装置として置かれるリードライトメモリ装置によって容易に行なえる。リードライトメモリ装置は、最終的には ROM (リードオンリメモリ) により、プログラムが、固定されるまでの中间段階で使用されるもので、プログラムは、紙テープおよびそのコンソール上の 16 進 KEY スイッチによって、自由に変更することができる。もちろん、このリードライトメモリに書かれたプログラムにより、実機を制御することも可能である。図 13. はこのリードライトメモリ装置を示す。

(2) オンライン制御機器として絶対の信頼性を有している

先に述べたように、MELCAP はオンラインで使用される機器であるので、信頼度には十分な配慮をほどこしている。

(a) 主要回路は IC を全面的に使用し、部品点数を少なくすると共に、入出力回路においても、極力、無接点化しているため、高い信頼性をもっている。

(b) ダイオードリードオンリメモリを使用するため、メモリ破壊の懼れがなく、動作電圧レベルも高く高信頼度である。(もちろんプログラムの内容を、容易に変更できるリードライトメモリを使用することも可能である)。

(c) 制御出力メモリについては、ハイスレッシュホールドレベルの素子を使用すると共に、2重照合システムを採用しているため、万一ノイズがあつても誤動作を防ぐことができる。

(d) プログラムメモリおよび盤間アドレス信号におけるパリティチェック、並びにチェックプログラムにより装置の常時監視を行ない、万一異常があれば、出力をロックして現状を維持すると共に、表示・警報を行なう。

(3) 構成が簡明である

(a) シーケンス制御専用機であるため、回路構成が簡明である。

(b) プログラムメモリ、入力ゲート、内部メモリ、タイマ、出力メモリなどは、一定数ずつカードに収納し、これをさらに、ユニットブロックとしているため、規模に応じて要素数の増減を行なうことができる。

表 3. シンボリック命令一覧表
Symbolic code instruction table.

命令				オペランド内容	動作内容
シンボリックコード	名称	バイナリマシンコード	HEX DEC		
L	Load	0110	6	入力指定番地	指定された入力ゲートを開きインプットレジスタに入力情報を記憶する
LM	Load Modified	0111	7	入力指定番地	指定された番地から入力番地修飾レジスタに記憶された番地だけ移動した入力ゲートを開きインプットレジスタに入力情報を記憶する
D	Discriminate	1010	A	入力が「1」であるべき要求パターン	インプットレジスタの入力情報が、「1」であるべき要求パターンを満足するか否かを判別し補助判別回路にその結果をしまう
DI	Discriminate Inverse	1000	B	入力が「0」であるべき要求パターン	インプットレジスタの入力情報が、「0」であるべき要求パターンを満足するか否かを判別し補助判別回路にその結果をしまう
DO	Discriminate Or	1011	B	入力が「1」であるべき要求パターン	D命令と同じ動作をするが、この命令で判別された結果はそれまで判別された結果に対し Or 条件として取扱われる
OIO	Discriminate Inverse Or	1001	9	入力が「0」であるべき要求パターン	DI命令と同じ動作をするが、この命令で判別された結果は、それまでに判別された結果に対し Or 条件として取扱われる
S	Store	1110	E	出力指定番地	補助判別器に蓄積された判別結果がOKなら指定された番地から番地修飾レジスタに記憶された番地だけ移動した出力番地にセット信号を送る
SI	Store Inverse	1100	C	出力指定番地	補助判別器に蓄積された判別結果がOKなら指定された番地から番地修飾レジスタに記憶された番地だけ移動した出力番地にリセット信号を送る
SR	Store Reset	1111	F	出力指定番地	S命令と同じ動作をするが、出力信号を出した後、次の判別にそなえて補助判別器の内容をリセットしておく
SIR	Store Inverse Reset	1101	D	出力指定番地	SI命令と同じ動作をするが出力信号を出した後、次の判別にそなえて補助判別器の内容をリセットしておく
J	Jump	0101	5	(飛び先番地-1) 番地	無条件に飛び先番地に飛ぶ
JD	Jump Discriminate	0100	4	(飛び先番地-1) 番地	補助判別器に蓄積された判別結果がOKなら飛び先番地に飛ぶ
RN	Repeat Number	0011	3	繰返し回数	複数の操作対象を同じプログラムを繰り返して使用して制御する場合、その繰返し回数をレピートカウンタにセットする
XRG				(1) + 外部入力修飾番地数	外部入力番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする
XRL	Set Index Register	0010	2	(1)(10) 0 1 + ラッチメモリ修飾番地数	ラッチメモリ番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする
XRT				(1)(10)(9) 0 0 1 + タイマ修飾番地数	タイマ番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする
XRM				(1)(10)(9) 0 0 0 + 内部メモリ修飾番地数	内部メモリ番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする
XRO	Set Index Register (output)	0001	1	外部出力修飾番地数	外部出力番地修飾レジスタに修飾番地数をセットする レピートカウンタの内容を1減する

(4) 適用が容易である

(a) 従来のリレーシーケンスにかわって、使用されるものという立場から、その命令体系も単純化し、必要な入力条件の読み込み、論理判別、その結果の出力というような基本的には3種類の命令で、プログラムが構成できるようになっている。また、さらにプログラムを容易にするために、マクロ命令が用意されている。マクロ命令は、シーケンス論理をブール代数式で表現するもので、シーケンスを純粹に、論理式として取り扱う事ができる。

表3.にシンボリック命令一覧表、表4.にマクロ命令一覧表を示す。

(b) 同一制御内容の複数台の機器について、プログラムメモリの同一部分を、繰り返し使用する事ができるため、少ないワード数のプログラムメモリでも、多数の機器の制御監視ができる。

特にパナ制御の場合、この機能を使って16回、あるいは32回の繰り返しを行なって、延べワード数10kワード程度のシーケンスを4kワード程度にまとめている。

(c) 将来、制御対象の拡張が必要となった場合、ビルディング方式を採用しているため、プログラムメモリ、内部要素メモリ、タイマの増加が簡単にできる。

表4. マクロ命令一覧表
Macro Instruction table.

命令・記号	命令の意味
*	論理積
+	論理和
=	出力
/	否定
GO TO A A:プログラム番地(記号番地)	無条件飛越し 無条件にプログラムA番地に飛ぶ
IF (A) B A:論理式 B:プログラム番地(記号番地)	条件付飛越し 条件Aが満足されればプログラムB番地へ飛越し、条件Aが満足されなければプログラム番地はこの命令の次の番地へ移行。
LOOP A, N, (a ₁ , a ₂ , a ₃ , a ₄ , a ₅) A:ループをかける最後の論理式の 記号番地 N:繰返し数 a ₁ :内部メモリ番地の番地修飾数 a ₂ :タイマ番地の番地修飾数 a ₃ :ラッチメモリ番地の番地修飾数 a ₄ :外部入力番地の番地修飾数 a ₅ :外部出力番地の番地修飾数	繰返し命令 この命令の次のプログラム番地から、Aという記号番地についているプログラム番地までのプログラムを内部メモリ、タイマ、ラッチメモリ、外部入力、外部出力の各番地を繰り返すことには、それぞれ a ₁ , a ₂ , a ₃ , a ₄ , a ₅ 番地づつさせながらN回繰り返す。

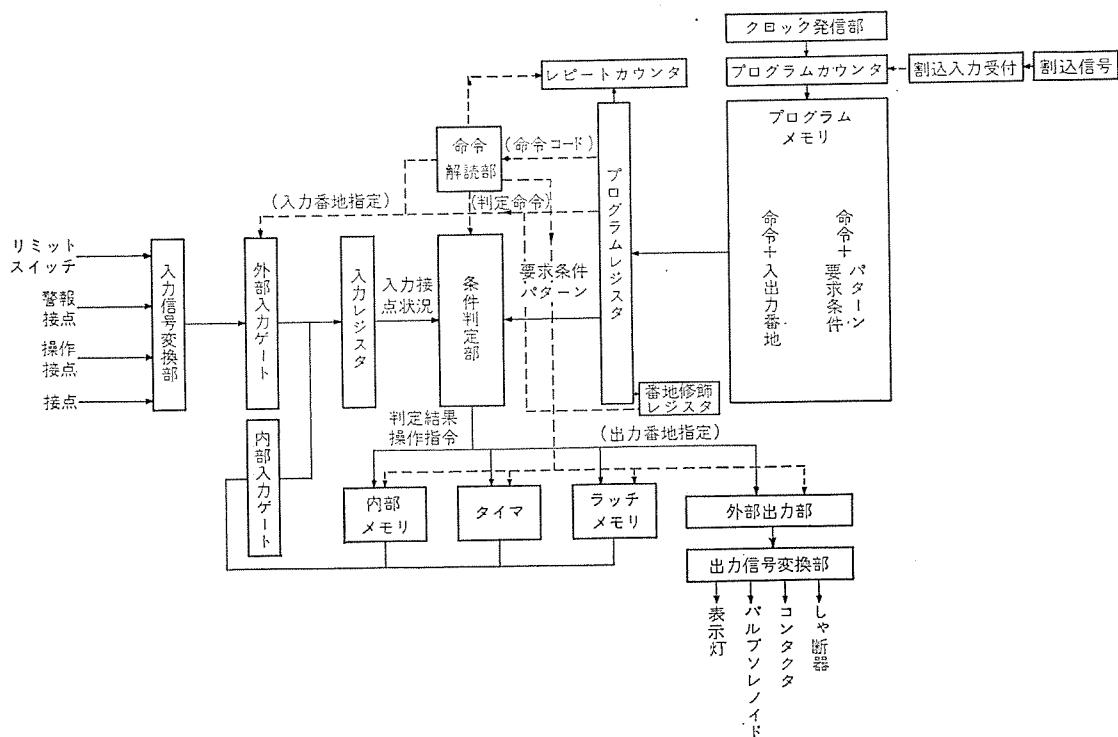


図 14. MELCAP システム ブロックダイヤグラム
Schematic MELCAP system.

(d) 入力回路は耐雑音性を上げるため、約 30 ms の遅れをもたせてあるので、重電機器との直接 インタフェース が可能である。

(e) 出力回路は AC 用・DC 用の各ユニットが用意され、中間リレーを介さず、はん用コンタクタを直接駆動できる。

また、ランプ点灯などのための小勢力出力ユニットもある。

(5) 保守が容易である

(a) 外部的にみれば、従来のワイヤードロジック、リレーロジックと同じで、スタートスイッチ一つで作動でき、タイプライタの操作などは不要である。

(b) メインテナンスパネルは通常監視・操作の必要はないが、ステップモードの操作を行なえば、論理制御動作の各段階における装置各部の信号状態を見ることができる。また、ONLINE運転中にも、各要素のセット、リセット状態、および論理判別結果を監視できるONLINE MAINTENANCE機能を備えている。

(c) 緊急用 RAM カードを用意しているため、万一ダイオードリードオンリメモリカードが故障した場合、この RAM カードとの差しかえにより運転が継続できる。なお、ROM カードのプログラム内容を RAM カードへ書き込む場合は、備えつけの RAM 書込装置を使用して容易にできる。

3. 2. 2 システム構成

(1) MELCAP システム

MELCAP システムブロック 図は図 14 に、各 ブロック の説明は表 5. に示すとおりである。

なお、MELCAP における基本動作は、下記のとおりである。

(a) 入力呼び込み動作： 所定の入力情報を入力レジスタに呼び込む。

(b) 条件判別動作： 入力レジスタの情報と、プログラムに書かれた要求条件とを比較照合判定を行なう

(c) 出力動作： 条件判別の結果により、所定の出力番地に出力信号を出す

表 5. 各 ブロッ ク 機能 説明
Description of each block of MELCAP.

名 称	機 能 説 明
プロ グラム カウンタ	プログラム番地を指定するカウンタ
プロ グラム メモリ	本装置でいかなる制御を行なわせるかというプログラムを収納するメモリ最大4kW ダイオードリードオンシリメモリである(ROM)
命 令 解 説 部	プログラムメモリの1 word ずつの内容を読み出すためのレジスタ
プロ グラム レジスタ	プログラムレジスタに読み出された内容がいかなる命令であるかを解説する回路
外 部 入 力 ゲート	プラント接点の状態を選択して読み込むためのゲート
内 部 入 力 ゲート	ラッチメモリ、内部メモリ、タイマの出力を選択して読み込むためのゲート
入 力 レ ジ ス タ	外部入力ゲート、内部入力ゲートで選択された入力状態を1時記憶しておくレジスタ
条 件 判 定 器	入力レジスタにあるプラントの状態がプログラムメモリに書かれた条件を満足するか否かを判別する回路 判別器による判別結果を蓄積し出力信号を出すべきか否かを決定する回路
番 地 修 饣 レ ジ ス タ	番地修飾用のレジスタで、例えば同じ種類の操作対象が複数台あるとき、プログラムの内容を同じにして入力番地および出力番地を移動してやるだけで、1号機、2号機の制御ができる場合がある。そのような場合外部入力番地、外部出力番地、ラッチメモリ番地、内部メモリ番地、タイマ番地をそれぞれ何番地移動させるべきかを記憶するレジスタ
レ ピ ト カ ウ ン タ	上記番地修飾レジスタで述べた説明のごとき繰返し操作を行なう場合、繰返し回数を規定する減算カウンタ
外 部 出 力 部	外部出力ドライバ駆動用メモリ、二重照合機能あり
ラ ッ チ メ モ リ	条件成立でセット、条件不成立でリセットするメモリ
内 部 メ モ リ	セット条件成立でセットされ、リセット条件成立でリセットするメモリ
タ イ マ	1秒～640秒セット可能タイマ

(d) 制御動作： プログラム番地をある番地にジャンプさせたり、 入出力番地を修飾したり、 あるプログラムを繰り返させたりする動作

(2) パーナ制御装置 MELCAP システム構成

パーナ制御装置としての MELCAP は、 下記 4 種類のパネルより構成される。

(a) COP : Central Operating Panel (1 システム 1 面)

盤構造

大きさ……H 2,300 × W 700 × D 800

形 式……垂直自立前後面左ヒンジとびら、 前面にカードバスケットを収納し、 後面に 5V, 15V のロジック電源装置を収納している。

COP は、 次のユニットよりなる。

(i) プログラムメモリユニット

ダイオードリードオンリメモリで、 1 語 16 bits + 1 parity bit の計 17 bits からなる語が、 max 1,024 語／バスケットまで収納され、 4 バスケットまで収納可能となる。

(ii) 中央処理ユニット

MELCAP の心臓部で、 プログラムに従って論理処理を行なうユニットと、 他ユニット、 他盤との信号送受信をつかさどる部分、 およびメインテナンスパネル用カードを実装し、 前面にメインテナンスパネルが、 実装されているユニットよりなる。

(iii) 内部メモリ・ラッチメモリユニット

MSI を使用し、 256 bits 2 枚のカードで 1 ブロックを構成し、 1 バスケット当たり内部メモリ 512 点、 ラッチメモリ 1,024 点実装できる。

(iv) タイマユニット

カウント方式のタイマであり、 時限の設定は 1 秒から 640 秒までの設定ができる。 1 バスケット当たり 64 点実装し、 COP 盤には 4 バスケット収納できる。タイマ点数が 256 点を越える場合は、 IOP 盤へ収納する。IOP 盤へ収納されるタイマバスケットは、 Noise 対策の意味から完全に鉄板によりシールドされたものとなる。

(b) IOP : Input Output Panel (装置容量によって、 面数決定)

盤構造

大きさ……H 2,300 × W 700 × D 800

形 式……垂直自立前後面左ヒンジとびら、 前面にカードバスケットを収納し、 後面に 5V, 15V のロジック電源装置を収納している。

IOP は、 次のユニットよりなる。

(i) 盤間信号伝送入力ゲートユニット

COP からの信号を受信し、 盤内のアドレス指定を行なう。更に入力命令に対しては、 指定された入力ゲートを開き、 その 16 bits の信号を COP へ送信する。

(ii) 出力メモリユニット

外部出力用メモリユニットで、 2 重照合機能をもっている。またこの出力メモリカード内部で、 耐ノイズ性を考慮して 15V 電圧レベルに変換している。このカード出力信号は、 出力変換ユニットの入力信号となる。

(iii) 入力変換ユニット

外部の接点入力信号 DC 110V を、 15V のロジックレベル信号に変換するものである。耐ノイズ性を向上させるため、 この変換ユニットで約 30 ms 程度遅れをもたせている。各入力点ごとに、 外部接点状態を示す表示灯が設けてある。 1 バスケット 128 点実装可能となる。

(iv) 出力変換ユニット

15V のロジックレベルの信号を、 外部機器駆動信号に変換するもの

で、 駆動対象により各種変換カードが用意されている。AC 駆動用にトライアック、 DC 駆動用に水銀接点出力等がある。 1 バスケット当たり 64 点実装できる。

(v) ランプドライブユニット

出力メモリとオーブンコレクタ出力を備えており、 ランプドライブ用として使用する。 1 バスケット当たり 256 点実装できる。

(vi) 特殊カードユニット

一部、 定形的なロジックを、 ウィヤドロジックで組む。(1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 1/4, 2/4, 3/4 バイナリカウンタ) および、 8 bits のバイナリカウンタを備えている。

(c) PSP : Power Source Panel (装置容量によって、 面数を決定する)。

盤構造

大きさ……H 2,300 × W 700 × D 800

形 式……垂直自立前後面左ヒンジとびら

PSP は、 操作端電源の電源分岐および低電圧監視、 入力電源 DC 110V 電源装置、 ランプ電源 DC 24V 電源装置を内蔵している。

(d) TP : Terminal Panel (装置容量によって、 面数を決定する)。

盤構造

大きさ……H 2,300 × W 1,400 × D 800

形 式……垂直自立前後面左ヒンジとびら

TP は、 MELCAP 外部との接続専用のパネルで、 5.5 sq の外部ケーブルまで接続が可能となっている。

3.2.3 仕様

MELCAP の仕様は、 表 6. にまとめる通りである。 1 命令の実行時間が 10 μs であるというは、 現在制御用コンピュータのサイクルタイムが、 数分の 1 μs から数 μs であるのに比べて、 非常に遅いという印象を与えるかもしれないが、 命令を論理演算専用という立場からその効率をあげているので、 実質的には問題にならない。そして内部使用素子の能力としては、 この実行時間を数倍にあげる能力をもっているが、 設計指針としては、 スピードは実用上さしつかえない程度におさえて、 動作の安定性を重視した回路構成としている。

動作ステップが、 5 ステップというのは一つの命令を実行するのにも、

表 6. MELCAP の仕様
Specification of MELCAP.

1 命令実行時間	……10 μs
1 動作ステップ数	……5 ステップ (したがって 1 ステップ 2 μs)
プログラムメモリ	……最大 4k words
	1 word 16 bits + 1 bit (parity)
ダイオードリードオンリメモリ	(リードライトメモリも接続可)
装置容量	
入力点数	最大 2,048 点
出力点数	最大 2,048 点
ラッチメモリ	最大 1,024 点 (32 点は特殊番地)
内部メモリ	最大 512 点
タイマ	最大 512 点 (時限 1~640 s)
カウンタ	8 bit カウンタ 2 台 (オプション)
割込機能	2 レベル 8 点 標準 (オプションで 4 点ずつ増設可)
入力仕様	DC 110V 10 mA
出力仕様	AC 出力用 AC 220V 2A 以下 DC 出力用 DC 100V 2A 以下 100 VA
電源	AC 100V 50/60 Hz または DC 110V
環境条件	温度 -10~+50°C 湿度 30~90%
主要素子	DTL, TTL, MSI, HTL 集積回路 シリコントランジスタ、 シリコンダイオード

まずプログラム番地を1進め、プログラムを読み出し、パリティチェックを行ない、必要な情報を必要な場所に転送するというような数段階の過程を踏まえるわけであるが、それらの段階を、五つのタイミングにわけて制御しているということである。

プログラムメモリは、ダイオードマトリックスで組んだメモリで読み出し専用の、ダイオードリードオンリーメモリである。しかし、プログラムを固定するまでのプログラムデバック時は、書き込み読み出しが簡単にできるリードライタメモリ装置を接続して、運転することもできる。

装置容量で、内部メモリといふのは、リレーシーケンスの場合の自己保持リレーに相当するもので、いったん、このメモリがセットされると、リセット命令がくるまで、セット状態を保持する。だから、プログラムにおいては、セット命令と、リセット命令が別個に必要となる。ラッチメモリは、普通の補助リレーに相当するもので、セット命令がかかった時、論理判別結果がOKならセットされ、論理判別結果がNOであれば、リセットする。だから、プログラムにおいては、セット命令のみでよい。リレーシーケンスの補助リレーは、ある論理判別を行なうためと、ある論理判別結果を伝送するために使用されるが、前者の機能はMELCAPにおいては、プログラムが行なうため、ラッチメモリの機能は、リレーシーケンスにおける補助リレーの後者の機能を行なうことになる。

入力仕様におけるDC110Vの電源は、MELCAP側より供給されるもので、プラント側で用意する入力は無電圧接点である。出力は、AC, DC出力とも、小形のコンタクト程度は直接付勢できる能力をもち、パワー増幅のための補助リレーは置く必要がないように考慮している。

電源に関しては、普通の商用電源が使用できる。電源重畠雑音についても、ラインフィルタを設けて特に考慮している。

割込機能は、標準では2レベルで各レベル4点ずつの8点である。2レベルとは、ある種の割込要因が2種類同時に（または、一方が処理中に他方の要因が入った）生じた場合、そのどちらを優先させるかの順位を2段階までつけ得るという事である。同一レベル内の4点の割込要因の処理順序は到達順に行なわれる。

3.2.4 バーナコントロール装置としての配慮点

(a) 電源システム

バーナコントロール装置の電源系統は、図15.に示すようになっている。瞬断防止の理由により、ロジック電源装置の一次側においては、AC, DC両系統電源のつきあわせを行なっている。また、電源装置も、常用、予備機を備えており、常用機が1台、DOWNしても、予備機でバックアップできるような電源システムとしている。

次に、電源喪失時の機能について述べると、

(i) 一次供給電源AC、またはDCのいずれか一方の電源が喪失した場合：MELCAPの電源はAC, DC両系統により互いにバックアップされているため、MELCAP動作には異常はない。

(ii) AC, DC両系統とも、同時喪失した場合：MELCAPは、制御機能を喪失し、出力はすべてOPENとなる。ただし、バーナの操作端は、ダブルソレノイド方式であるため、現状維持運転を継続する。

(iii) MELCAP内、ロジック電源故障

ロジック用電源DC5V, 15Vは、すべて常用、予備の2重化システムのため、いずれか1台の故障では、装置動作には異常はない。ただし、電源故障の警報は行なう。常用、予備とも故障した場合、MELCAPの制御機能は失なわれるが、操作端電源はロックアウトされ、操作端は現状維持運転を継続する。

(iv) 入力回路用DC110V電源喪失

電源装置内部で、AC, DC両系統電源で互いにバックアップされて

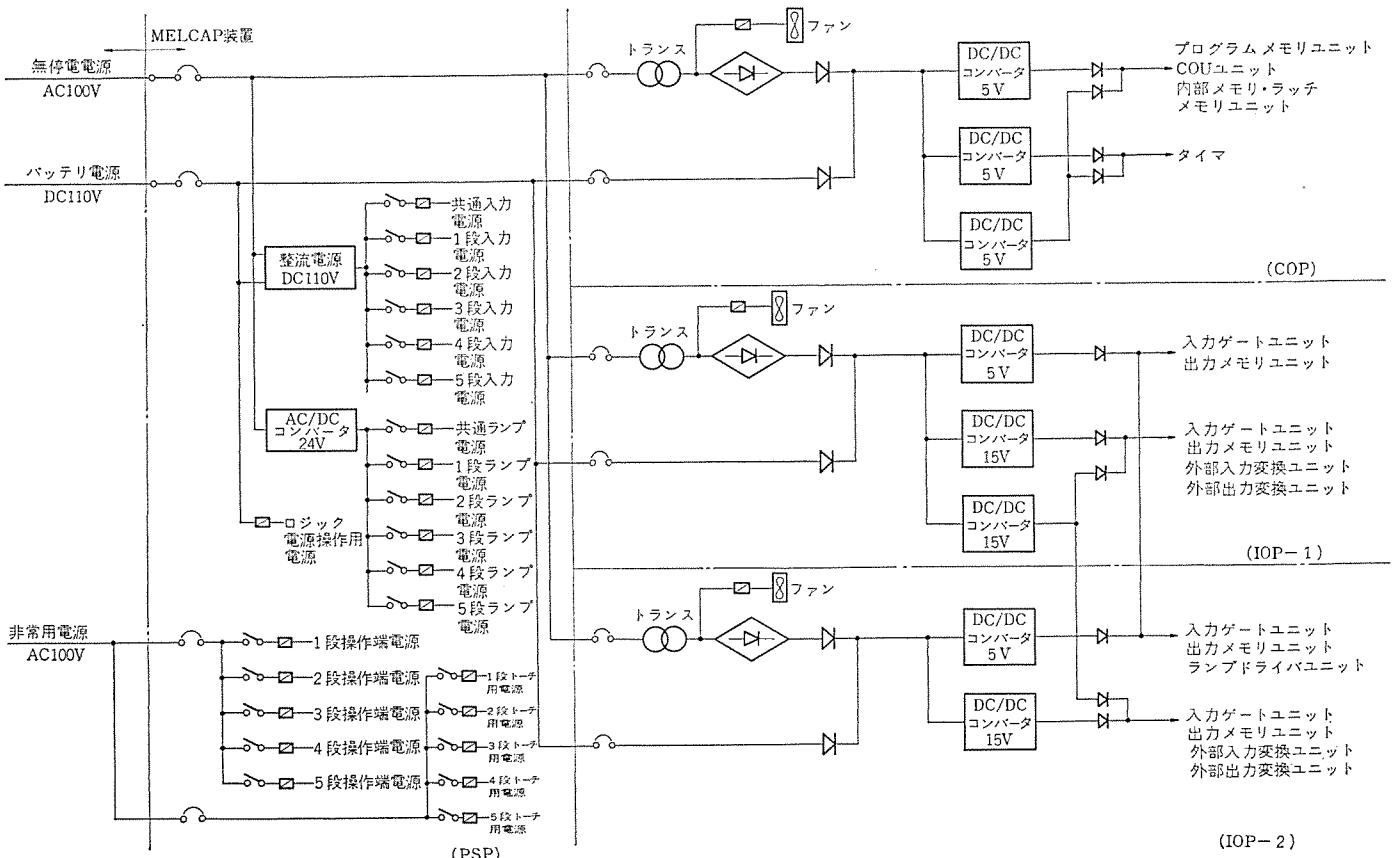


図15. 電源系統図

Power supply system.

いる。また、電源は、各段ごとにヒューズにより分岐されていて、各段電源喪失では、その段のみロックアウトとなり、ユニット回路電源喪失では、全段ロックアウトとなる。

(v) 表示用ランプ電源 DC 24 V 喪失

電源喪失により、MELCAP 内部ロジック機能に、支障をきたすことがないため、電源喪失の警報のみ発する。

(vi) 操作端電源喪失

各段操作端電源喪失により、警報を発する。

(vii) 電源復帰時

内部要素を Autoclear 信号で、1度すべてリセットし、その後初期セットプログラムにより内部要素をプラントの状態に合わせる。

但し、この場合セット可能なのは、外部入力状態を読み込んで判

表 7. (a) パーナコントロール MASC-10 方式と MELCAP 方式の比較
Comparison between MASC-10 system and MELCAP system.

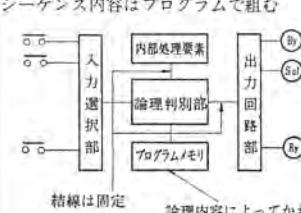
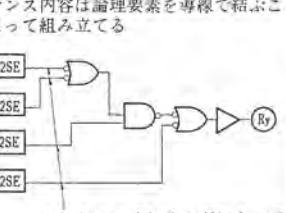
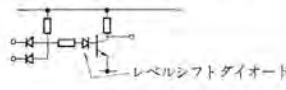
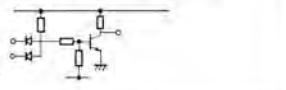
大項目	小項目	MELCAP	MASC-10	備考
制御方式	制御方式	プログラムロジック 時間的直列制御	ワイヤードロジック 時間的並列制御	MELCAPは時間的直列制御で1瞬時動作であるが、1命令実行時間が10μsecであるので、マクロ的には並列動作と同じ。
ハードウェア	論理構成	<p>シーケンス内容はプログラムで組む  結線は固定 論理内容によってかわるのはこの内容だけ</p>	<p>シーケンス内容は論理要素を導線で結ぶことによって組み立てる  これらのワイヤリングによって論理が組まれる</p>	MELCAPは論理内容の変更によりハードウェアがかわらない MASC-10は論理内容の変更によってハードウェアそのものが変更となる
	プリントカード	機能カード(180×155)	論理要素カード(125×85)	
	機能単位のモジュール化	プリントカード・バスケットごとに機能モジュールとしてあつかえる	論理部・入出力部程度の区分となる	バスケット単位の機能モジュールとは、プログラムメモリ、COU、タイマバスケット、入力選択ゲートバスケット、出力メモリバスケット、入力変換バスケット、出力変換バスケット等
	主要論理素子部品	5V IC(DTL TTL) 15V IC(DTL)	シリコントランジスタ(DTL)	
	一次供給電源	所内バッテリ DC110V 所内 AC110V 2系列供給	CVCF AC110V, 所内AC110V 2系列供給	MELCAPの場合ロジック盤用 CVCFは不用となる
	電源システム	各盤単位に電源装置をもつ 各電源とも常用予備2重電源システム 電源区分はI/O電源につき各段ごとにヒューズとセクションスイッチにて区分	全盤に対し共通電源装置をもつ 各電源とも常用予備2重電源システム 電源区分はI/O電源、ロジック電源につき、各段ごとにヒューズとセクションスイッチにて区分	
ハードウェア	ロジック回路電源	バイアス電源のない電源システム  → レベルシフトダイオード	バイアス電源ありの2電源システム 	MELCAPではバイアス電源をなくするかわりに、レベルシフトダイオードでノイズマージンをあげている
	使用カード枚数	約600枚	約2200枚	40本バーナの場合
	普通の論理カードの部品点検	約40個	約30個	MELCAP 約24000 部品点数 MASC-10 約66000
信頼性	盤構成	中央演算処理盤+I/O盤+ターミナルパネル パネル構成は機能単位 1面当り W700×D800×H2300 前面ロジック、裏面電源実装	電源盤+電源補助盤+ロジック盤 ロジック盤パネル構成はバーナ段単位 電源盤 W1200×D1200×H2300 その他 W700×D1200×H2300 ロジック盤は前後面ロジックカード実装	40本バーナの場合で列盤幅合計でMASC-10よりMELCAPのほうが1面分程度小さくなる
	品質の安定化	オーダごとにハードウェア(特にバックワイヤリング)が固定であり、工作試験の標準化がはかれ、品質の安定化がはかりやすい。	オーダごとに異なった回路による製作となり、品質の安定化に多大の努力を要す	ワイヤラッピングにおけるたび重なる結線変更は結線信頼性の低下にもつながる
	部品点数	MASC-10の約1/3	MELCAPの約3倍	
	故障の波及範囲	I/O、内部処理要素での故障は個別部であるので部分故障となる。 共通論理演算部の故障はシステムダウンにつながるが、自己検診プログラムによりチェックされ、チェックアウトとなつたときは、全段ロックアウトし、システムは現状維持となる。	並列回路動作があるのでハードウェアが個別にあり、故障は部分故障にとどまる。しかし、ロジック的には全段にまたがる論理信号を作っているユニットロジック部があり、これの故障は全段に影響を与える。	MELCAP COUカード枚数 36枚 そのうち1bitでも故障すればシステムダウンするカード 18枚 MASC-10におけるユニットロジックカード 100~200枚
信頼性	ロジックのハードウェア的信頼度向上対策	<ul style="list-style-type: none"> ○論理演算機能のみの単一機能とすることにより、ハードウェアの減少、回路の簡素化をねらった ○ICの採用により部品点数を減少 ○5Vの微信号回路をI/Oのdirty信号から守るため15V HTLによるバッファ段を設けている ○COU-メモリ間、COU-I/O間のパリティチェックを実施 	<ul style="list-style-type: none"> ○12Vロジックによる高雑音マージン回路 ○論理スピードをおさえることによる誤動作防止 ○入力耐雑音フィルタ 	

表 7. (b) バーナコントロール MASC-10 方式と MELCAP 方式の比較
Comparison between MASC-10 system and MELCAP system.

大項目	小項目	MELCAP	MASC-10	備考
信頼性	ロジックのハードウェア的信頼度向上策	○2重照合方式による誤操作防止 ○自己検証プログラムによるCOUの常時監視 ○ROMの採用によりプログラム破壊防止 ○プログラムの渋滞常時監視 ○入出力の耐離音設計はMASC-10と同程度		○2重照合とは論理条件を2度確認して操作出力を出す方式をいう ○ROM=Read Only Memory (非破壊読出専用メモリ)
保守性	内部ロジック状態の監視	COU前面のメインテナンスパネルに保守機能を集約した メインテナンスパネル上でのチェック機能は下記の2種類ある (1) オンラインチェック機能 (2) オフラインチェック機能 オンラインチェックとは、 (イ) メインテナンスパネル上のスイッチで設定した任意の論理要素番地につき、その番地をプログラムで読み出し命令をかけているかぎり、その要素のセッタリセット状態が発光ダイオードで表示される (ロ) メインテナンスパネル上のスイッチで設定した任意の論理要素番地につき、その番地にプログラムで出力命令をかけているかぎり、その要素に出力信号をあたえる論理条件が満足されているかどうかが発光ダイオードで表示される オフラインチェックとは、プログラムを止めてチェックする機能をいい、下記のごときものがある (イ) プログラムをRUNしているとき、任意の出力番地に出力命令をかけた所でプログラムが止まるようセットできる (ロ) 一命令ずつ命令を実行してプログラムを止め、その結果を表示ランプで確かめることができる	状態監視はロジック盤内のテストパネルで表示可能なるも、表示にあらわれていないロジック状態は、チャック端子をロジックテストあたらなければならない	MELCAPでOFF LINE時メインテナンスパネル上で確認できる表示は下記のとおり (1) 現在のプログラム番地(12 bits) (2) プログラムの内容 (16bits+1 bit) (3) オペランド修飾状態(12 bits) (4) 入力状態(8 bits) (5) AND判別OK(DS) (6) OR判別OK(DO) (7) インクリメントループなし(BCO) (8) 出力フリーズ(FPZ) (9) パリティエラーあり(PE) (10) プログラム渋滞(ABN) (11) 電源故障(PWF)
調整テスト	論理変更	現地試験調整中はワイヤメモリによるRAM装置を使用してテストするので、この間の論理変更はRAMコンソール上のキー打により変更できる	論理変更はバックワイヤリングの変更作業をともなう	
	制御タイミング調整	水晶発振器により制御されたディジタルカウンタ式タイマであり、絶対時間セットであるためセットしやすく、確度も高い	CRによるアナログタイマであるので正確なセッタ時間は一度動作させないとつかめない	
	機器調整	定期時または据付後の現地調整時テスト用ラム装置にアブリケーションプログラムとは関係のないテストプログラムを入れて自由に調整テストすることができる	機器調整は組み上がったロジックに制約され、現場盤、テストスイッチ等、付加ペードにたよることになる	

断可能なものののみとなる。

(b) 割込機能

設定された割込入力信号が入ると、MELCAP 内 プログラムカウントを強制的に、割込処理プログラムの書かれているプログラム番地にセットし、割込処理動作を優先的に行なう機能で、2レベル8点標準となっている。

バーナ制御における割込は、プログラムの1スキニギングサイクルタイプ 約100 ms と、入力回路の遅れ約30 ms と プラスした時間約130 ms が問題となるものについて、割込入力としている。

なお、バーナ制御における割込は、次の通りである。

第1優先レベル

MFT (Master Fuel Trip)

FCB (Fast Cut Back)

第2優先レベル

各段入力電源復帰

3.3 MASC-10 方式と MELCAP 方式の比較

今まで、述べてきた事で、MASC-10 方式と MELCAP 方式との違いについて、理解できると思うが、表 7. に再度まとめてみる。

4. 全電子式バーナ制御装置の将来への展望

近年のごとくボイラの単機容量が非常に大きくなり、加えて電力事情が窮迫し、夏期ピーク時には系統予備力がほぼ“0”に等しいような状態であれば、バーナコントロール装置における事故は、その発電所のみならず系統全体に影響を及ぼすようになってきている。その意味で過去もそうであったように、将来も制御装置の信頼性の確保に最大の努力がはらわれることはまちがいない。

火力発電所におけるシーケンス制御装置の中で、いちはやくバーナコントロール装置が、ソリッドステート化されてきたのもそのためである。

この信頼度の確保という問題に関し、その細かなテクニックは前記各論の項で述べた通りであるが、我々が過去の実績から得た信頼度向上のための教訓は下記の2点に集約される。

(1) 本質的に回路が簡素化され画一化されること。

(2) テスト方法が画一化され、データの集積と技術の積み重ねが容易でなければならない。

これらの要求は、一見コントロールの質も範囲も急速に進展する今日にあって矛盾するようにも思われる。バーナコントロールにおける制御思想はすでに円熟期に入り、かなりその考え方も標準化されてき

たとはいゝ、各ユーザの特殊要求、操作端機器の進歩、最近の諸種公害対策の反映から流動的な部分も残している。

このような状態の中で、前記(1)、(2)をまゝとうしていくためには、制御思想すなわちコントロールシーケンスの内容と、ハードウェアが直結するような装置ではもはや不可能である。

当社において、従来ワイヤードロジックシステムであったMASC-10方式からストアードプログラム方式のMELCAPに推移してきたのも、このソフトウェアとハードウェアの分離を目的とし、少なくともハードウェアの画一化をはかろうとしたのが第一目的であった。

従来はともすると、バーナコントロールを含めて各種重電機器の制御装置については、オーダ生産という立前から、ユーザにもメーカーにも目的別専用機を目指す傾向が強かった。これはコントロールスパンが狭く、少數の設計者・品質管理者の目の届く範囲である内は品質も保証できた訳であるが、コントロールスパンが非常に広がった今日、品質保証の面から厳にいましめなければならない思想であろう。

このように今後のバーナコントロール装置は、ソフトウェアとハードウェア切離しと同時に、下記の事項に関して発展していくものと思われる。

(1) 回路機能ごとのブロック化

(2) メインテナンス機能および運転操作員に与える情報の充実化

将来かなりの制御装置がDDC化された場合でも、バーナコントロールそのものはシステムの冗長度をとるためにも、サブシステムとして残

る装置であろうことは予想できる。

現在はハードウェア、ソフトウェアの簡素さ、取扱いの容易さからMELCAPのようなシーケンサタイプの制御装置に優位性があるが、上記(1)に示した回路機能のブロック化、分化が進歩充実し、ハイアラーキーシステムの構成が確固たるものとなり、現在以上にユーザオリエンティッドなベーシックソフトウェアがどんどん開発されてくれれば、CPUの能力に融通性を持つだけに、上記(2)項を充実されるに有利なミニコンピュータの適用も大いに考えられるところである。

5. む す び

以上当社のバーナコントロール技術の概要を述べてきたが、この間ににおいて機電一体の立前から、常にソフトウェア面から三菱重工(株)の計装グループ関係者より、また、運用面においては各電力会社関係各位より、常に適切な指導と助言を賜わったおかげであり、末筆ながら深く感謝致します。

参 考 文 献

- (1) 田口：火力発電，22，No. 1，82（昭46）
- (2) 森、小島：火力発電，21，No. 11，38（昭45）
- (3) 石橋、戸倉：電気計算，38，No. 1，45（昭45）
- (4) 松本、戸倉：電気計算，39，No. 12，27（昭46）

電子計算機用コアメモリ装置 PM-865

蒲生容仁*・松本典明*

PM-865 Core Memory Module for Computers

Kamakura Works Yoshimi Gamou・Noriaki Matsumoto

The main core memory system of electronic computers is required to be not only of high speed, large capacity, small size and high reliability but also to have excellent productivity and maintainability. The PM-865 is a core memory module of $8\text{ kW} \times 18\text{ b}$, 8 k sense in 3D3W type developed to meet these requirements, having an access/cycle time of 240/700 ns. It is composed of three cards of a core stack, an XY group and a S/Z group, each card being $288 \times 160\text{ mm}$ in size. The way of equipping it is almost the same as the other parts in the computer. By using many of this module a memory unit of any desired capacity can be set up. The peripheral circuits are made out of integrated circuits, and the X, Y and Z drive circuits are provided with detecting circuits to find even instantaneous failures.

1. まえがき

電子計算機の主記憶装置に関しては、従来より大容量化・高速化・低価格化の要求が強いが、最近ではさらに高信頼度であること、保守性が良いこと等が重要となってきている。また大容量で高速のメモリを実現するためには、体積が小さいことも重要である。さらに低価格化のためには単に材料費を下げるだけでなく、検査を含む生産性の向上が重要であり、この点からも標準化が必要となる。

このような要求にこたえる記憶装置を実現するため、先に開発したミニコン用の3D3W方式コアメモリの技術を基礎とし、当社中形計算機の実装方式に合せた16キロバイト(16 kB)のコアメモリ、基本モジュール：PM-865を開発した。

本文では、PM-865の特長および構成法、コアス택、周辺回路、試作試験結果、信頼度と保守性、メモリシステムの構成法などについて順次説明する。

2. 特長と構成法

2.1 仕様

PM-865の仕様は概略次のとおりである。

記憶容量： 16 kB ($8\text{ kW} \times 18\text{ b}$)

アクセスタイム/サイクルタイム： 240/700 ns

使用温度： 10~50°C

使用電源： +20 V (温度補償付), +5 V, -5 V

カード寸法と枚数： $288 \times 160 \times 12.7$, 3枚

メモリシステムを構成するにはこの基本モジュールのほかに、コントロールカードとインヒビット電流制限抵抗カード2枚の計3枚が必要である。しかしこれらのカードは64~128 kBに対して1組でよい。

2.2 特長

(1) 16 kBごとにほぼ独立したモジュール構成である。PM-865はすなわちその基本モジュールであり、小形から大形に至る各種計算機に使用可能であり、従って標準化が可能である。また各周辺回路カードに設けられている故障検知回路の機能とあいまって、保守が著しく容易となっている。

従来コアメモリは大容量、たとえば32 kBまたは64 kB程度のコアメモリス택を使用し、X, Y駆動系その他を共通化することにより

表 1. スタック方式とモジュール構成における部品数と故障率の比較 ($16\text{ kW} \times 17\text{ b}$ の場合)

Comparison between "stack" and "module" structure.

モジュール スタック	部品数		はんだ点数	故障率 ($10^{-6}/\text{h}$)
	IC	その他		
コア ス택部	—	1,792	3,856	8.0
	64	—	2,320	6.8
XY駆動系	48	416	2,136	26.4
	100	216	1,880	21.6
その他	107	702	5,352	72.0
	107	702	5,352	72.0
計	155	2,910	11,353	106.4
	271	918	9,552	100.4

部品数の減少、小形化、低価格化を行なってきた。上記モジュール構成はこの傾向に逆行しており、部品数の増大による種々のデメリットを考えられるが、実際には直接周辺回路のIC化および3D3W方式によるプレナータイプコアメモリス택の開発によりモジュール構成にした方がかえって部品数が減少し、故障率も低下している。

表 1. は $16\text{ kW} \times 17\text{ b}$ のメモリ装置を従来のスタック方式で構成した場合と、 $4\text{ kW} \times 17\text{ b}$ 単位のモジュール構成とした場合について、部品数と故障率を比較したものである。 8 kW 単位のモジュール構成とした場合は、さらに部品数、故障率とも大幅に改善される。

(2) 基本モジュールがさらに3枚の独立したカード(後述)で構成されている。このカードの形状寸法と実装方式は、当社中形計算機の標準方式に合わせてあるため、従来のようにコアメモリ部だけ特別の実装を行なう必要がなく、生産性・保守性に優れている。

(3) 3D3W方式で $8\text{ kW}/\text{センス線}$ としているため、 $4\text{ kW}/\text{センス線}$ の場合に比して大きさが約1/2、コストが約70%，信頼度が約1.7倍と改善されている。

(4) $8\text{ kW}/\text{センス線}$ とするとインヒビット電流によるコアマット部の発熱が問題となる。これに対し低電流駆動のコアを使用し、さらにコアピッチをつめることにより線長を短くして発熱量を押えている。

(5) XY駆動系カードおよびセンス/インヒビット系カードに故障検

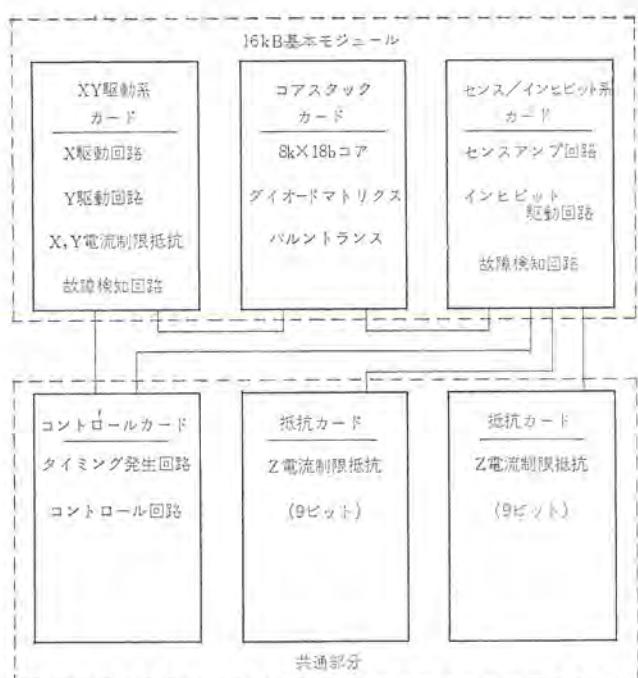


図 1. 8kW × 18b メモリ装置の構成法
Block diagram of 8kW by 18 b : on memory system.

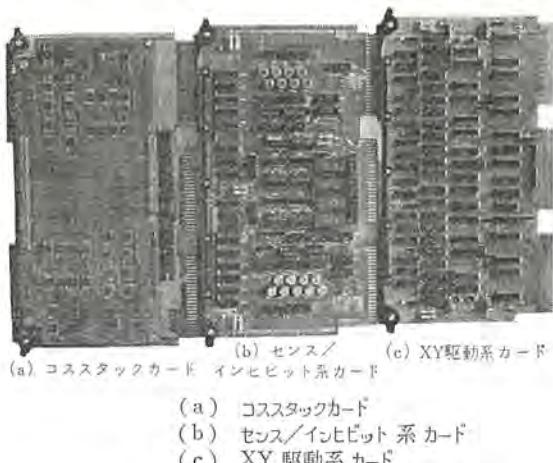


図 2. 16 kB モジュールを構成する 3 枚のカード
Three PCB's of basic 16 kB module.

知回路を設け、駆動回路の誤動作を検出している。

2.3 構成法

前述のごとく PM-865 は 3 枚の独立したカード、すなわち、コアス택トカード、XY 駆動系カード、センス／インヒビット系カードから成っている。これを用いた 8kW × 18b メモリ装置のブロック図を図 1. に示す。また図 2. に上記 3 枚のカードの外観写真を示す。

3. コア スタック

3.1 スタック構成

PM-865 は、8k 語 × 17 ビット (18 ビット) の記憶容量を持つコアメモリモジュールである。コアスタックは 2 枚のガラスエポキシプリント基板により構成されており、2 枚の基板はマザーボード方式で接続されている。また、コア実装面の反対側にはダイオードマトリックスを実装しており、マザーボードにはインヒビット／センス系の回路の一部を実装している。PM-865 の編組方式は、3D-3W 方式である。

3D-3W 方式とは、従来より多く利用されている 3D-4W 方式のインヒビット線とセンス線とを共用する方式である。各コアには、X,

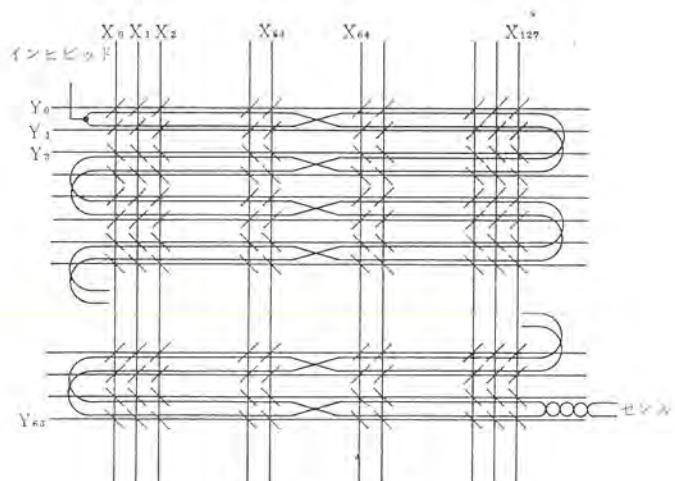


図 3. 編組図
Wiring diagram.

Y, Z/S の 3 本の編組線が通っている。8k 語のコアは、128 本の X 線、64 本の Y 線によって編組されている。Z/S 線の編組の方法は図 3. に示す。

ダイオードマトリックスは駆動線 1 本当に 4 個のダイオードから成っており、スペースの減少のためにフラットパック形 IC ダイオードを使用した。

スタック開発に当り、スピード、S/N など基本的性能以外に重要視したことがらは次のとおりである。

- (1) コアの実装面積、コアピッチの極小化
 - (2) 直接周辺回路との接続の簡単化
 - (3) 動作中の温度上昇を小さくすること
 - (4) 編組および組立作業が簡単であること
- 以下これらの点を中心に、詳細に説明する。

3.2 コアの特性

コアは、スピード (サイクルタイム $\leq 0.7 \mu s$)、太い線材が使用できること、温度特性の良いもの、低駆動電流 ($I_f < 800 \text{ mA}$) で駆動ができるなど等の観点より選定を行ない、下記仕様のコアを使用した。

- (1) 外径／内径 16/10 ミル
- (2) T_p/T_s 100/150 ns
- (3) 温度係数 2.0 mA/°C
- (4) 他の特性は、表 2. に示す。

3.3 コアピッチ

コアピッチ、コアマット図は、図 4., 5. に示す。図中の寸法で編組すると、X, Y 駆動線は、従来の 3D-3W 4k 語 スタックと同程度の線長になる。

3.4 編組線の電気的特性

PM-865 に使用した編組線の電気的特性を表 3. に示す。PM-865 に要求されているスピードを満たすためには、駆動電圧は約 20 V 程

表 2. コア電気的特性
Electrical characteristics of the core.

温 度	コア出力値		
	0°C	25°C	50°C
“1”出力 (aV_1)	48.5 mV	54 mV	59.5 mV
“0”出力 (dV_0)	5.0 mV	5.0 mV	5.0 mV
ピーキングタイム	105 ns	100 ns	95 ns
スイッチングタイム	154 ns	150 ns	146 ns

注) 駆動条件: $I_f = 650 \text{ mA}$ 一定
電流の立ち上り時間／立ち下り時間: 40/40 ns
電流のパルス幅: 120 ns

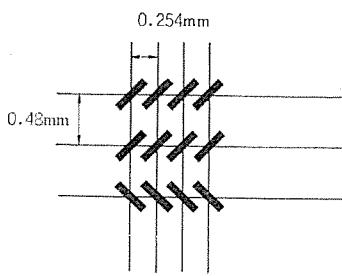


図 4. コアピッチ
Core arrangement.

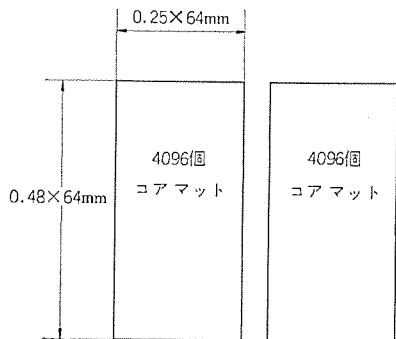


図 5. コアマット
Core mat.

表 3. 編組線の電気的特性
Electrical characteristics of the winding.

	インピーダンス Ω	遅延時間 ns	インダクタンス μH	容量 pF	抵抗 Ω	長さ mm
X ライン	125	16	1.9	127	7.4	820
Y ライン	146	16	2.3	109	7.8	870
Z/S ライン	100*	21	4.2	200	31.4	3,500

* アースに対するインピーダンス

** 半選択電流によるインダクタンス

*** 遅延時間、インダクタンスの測定はマトリックスの外側より行なったものである。

度が必要となり、これは当初予定していた駆動器 (IC 形 ドライバ) の仕様にも合致する。

4. 直接周辺回路

4.1 X/Y 駆動系

PM-865 では、X、Y 駆動系を 1 枚のプリント基板に実装している。ダイオードマトリックスは、スタックカード上に実装されている。ダイオードマトリックスと X、Y 駆動系、および Z/S 回路系とはバックパネルのパターンで接続している。ダイオードマトリックスは、1 パッケージ当たり 16 個のダイオード内蔵の IC 形ダイオードを 48 個使用している。個々のダイオードは、図 6. に示すように、コモンバスで結線されている。

PM-865 の X/Y 駆動系の設計上留意した点は、下記のことがある。

- (1) アクセス／サイクルタイムが、240/700 ns を満足すること。
- (2) 集積化を進め、実装密度を上げること。
- (3) X、Y 駆動系を 160×288 mm のプリント基板に実装すること。
- (4) ダイオードマトリックスの浮遊容量、インダクタンスによる電流波形への悪影響を小さくすること。

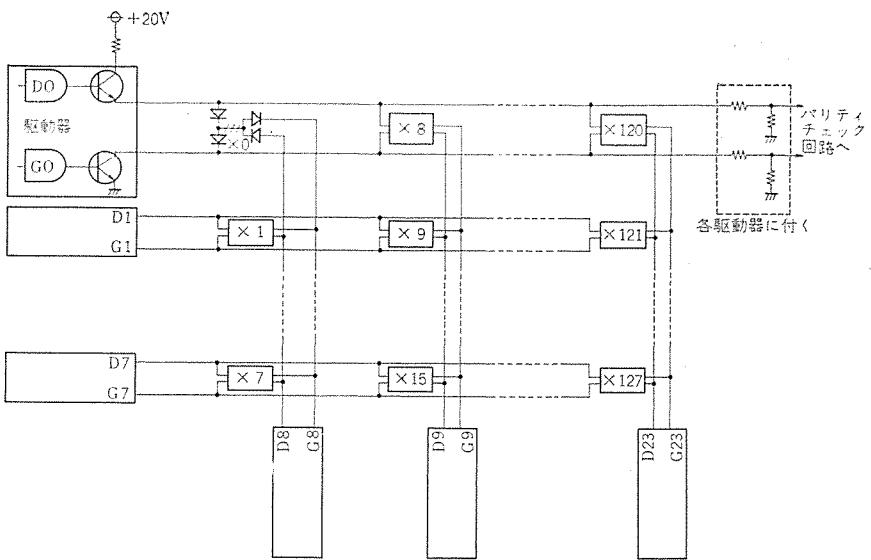


図 6. X 駆動系略図
X drive circuit.

これらのことから以下に説明する。

4.2 ダイオードマトリックス

ダイオードマトリックス (DM) には 2 ダイオード／1 ライン DM から、4 ダイオード／1 ライン DM まで各種の方式がある。PM-865 には、スピード、工作性 (ディスクリートダイオードを使用しない)、およびコストより 4 ダイオード／1 ライン 方式を採用した。

4.3 動作タイミング

駆動系の動作タイミングの、メモリの動作マージンへの影響は大きい。電流駆動器がバランス型でないものについては、特に動作タイミングに注意しなければならない。PM-865 の開発にあたっては、次に示す四つのケースについて考察を行なった。読み出し電流の駆動タイミングについて図 6. に従って説明する。

- (1) 行側ドライバ (D0) を動作させて後、ゲート (G8) を開く。
- (2) 列側ゲート (G8) を開いて後、行側ドライバ (D0) を動作させる。
- (3) 列側ドライバ (D8) を動作させて後、行側ゲート (G0) を開く。
- (4) 行側ゲート (G0) を開いて後、列側ドライバ (D8) を動作させる。

PM-865 にどの方法を採用するかは、メモリの動作マージンとアクセスタイムより検討した。標準動作マージンの窓が 20 mV × 30 ns (センサアンプリフランス電圧 × ストローブ変動幅) 取れて、アクセスタイムが 240 ns 以下である方式を採用した。表 4. に各方式とアクセスタイムを示す。表 4. の各方式では、動作マージンはすべて上の条件を満足している。なお、PM-865 では、動作マージンに直接影響しない各種の駆動電流の動作タイミングについては簡略化のために、同一タイミングでドライバ、ゲートを動作させている。

4.4 駆動器

PM-865 に使用する駆動器は、次の基準で選定した。

- (1) 最大 400 mA の電流が駆動できること。
- (2) 耐圧 25 V 以上かつ高速であること。
- (3) IC 化が可能で、かつ高密度実装が可能のこと。

上記の条件に合致するものとして、TI 社製 SN 75325 N コアメモリ用 IC ドライバを使用した。このドライバを使用することによって、従来のディスクリート部品で製造したものより実装密度は倍に上がった。

表 4. 駆動タイミングとアクセスタイム
Drive timing and access time.

駆動タイミング	ドライバゲートのタイミング差 ns	Y電流立上り時間 ns	X電流立上り時間 ns	アクセスタイム ns	判定
(1)	70	90	65	230	良
(2)	45	90	90	250	不
(3)	35	90	65	250	不
(4)	45	90	80	240	不

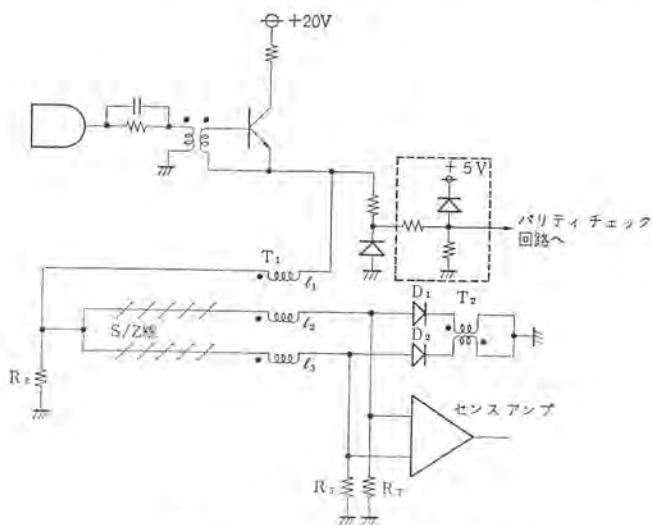


図 7. センス／インヒビット回路概略図
Sense/inhibit circuit.

4.5 センス回路

3D-3W 方式のコアメモリでは、インヒビット／センス (Z/S) 線を信号の時間、およびモードの差異によってインヒビット線、センス線に使いわけている。コアの出力信号は、差相でリード期間中に現われる。インヒビット電流はライト期間中に流れ、そして信号は同相である。PM-865 に使用した回路は図 7. に示す。

図 7.において、コア出力電圧は 3巻線バルントランスク T_1 の I_2 , I_3 卷線間に差相で発生する。トランスク T_1 は、差相信号に対しては低インピーダンスであるから、コア出力電圧は、センスアンプ入力端に印加される。抵抗 R_T は、センスアンプの終端抵抗である。PM-865 には特性・コスト・信頼性より TI 社製 SN 7524 N コアメモリ用 IC センスアンプを使用している。

4.6 インヒビット回路

PM-865 のインヒビット回路には、バランス型駆動回路を使用している。バランス駆動を行なう理由は下記のとおりである。

X, Y 駆動系に使用している駆動器は、直結エミッタフォロア回路であり、出力端が負電位になると瞬間に動作状態になる。インヒビット電流の立下り時においてインヒビット駆動器の出力端に、インヒビット線のインダクタンスによる負電圧が発生する。この負電圧により X, Y 線には Z/S 線との結合容量によって負の電圧が誘起される。

誘起された負電圧によって、X, Y 系の駆動器は瞬間に動作状態になり、X, Y 線に電荷が充電されることになる。これは、インヒビット電流が流れた場合と、そうでない場合とで、X, Y 線の電位が変化することを示し、これは次のメモリサイクル時のリード電流の波形に影響する。前サイクルが“0”ストアを行なうと、次のサイクルのリード電流の波形の立上り時間が速くなり、振幅も大きくなる。こ

れは上記誘起電流によりマトリクスの非選択駆動線の電位が高くなるため、駆動時の充電電流が少なくなるので、その分だけリード電流の波形が変化するためである。

このような電流波形の変動を除くためには、インヒビット電流をバランス駆動で流さねばならない。図 7. 中の 3巻線バルントランスク T_1 は、バランス駆動用のトランスクである。巻線 I_1 に $2I_2$ の電流が流れると、巻線 I_2 , I_3 には各々 I_2 の電流が流れ。また、トランスク T_1 は、コア出力電圧に対してはコモンモードチョークとして動作する。抵抗 R_2 は、Z/S 線の共振防止用のダンピング抵抗である。トランスク T_2 は、巻線 I_2 , I_3 を流れる電流を等しくするためのアンティバルントランスクである。

5. 試験結果

5.1 試験条件

(1) X, Y 電流 $10^\circ\text{C} \dots 340 \pm 15 \text{ mA}$

$25^\circ\text{C} \dots 325 \pm 15 \text{ mA}$

$50^\circ\text{C} \dots 300 \pm 15 \text{ mA}$

(2) Z 電流 $I_{X,Y} 80\%$

(3) X 電流の立上り、パルス幅、立下り時間 (リード時)

$t_r = 65$, $t_w = 150$, $t_f = 30 \text{ (ns)}$

5.2 試験結果

PM-865 の動作マージンを図 8. に示す。動作マージン測定用の情報パターンは、最悪情報ビットコンプリメントパターン (WCP BC) である。また、使用センス回路のセンスアンプのスレッシュホールド電圧のバラツキは、 $\pm 2 \text{ mV}$ であった。センス出力電圧の波形を図 9. に示す。動作条件は標準電圧、電流値である。PM-865 の開発にあたり、駆動電流値、パルス幅、タイミング、温度補償、回路部品の諸元等の設計の基準としたものは、図 8. に示した動作マージンである。

PM-865 に必要な動作マージンの規格は、ストロークタイミング余裕が $\pm 10 \text{ ns}$ 、センスアンプリファラム電圧が $\pm 3 \text{ mV}$ のマージンの窓である。この窓は、周囲温度 $10^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ において満足しなければならない。PM-865 の試験結果は、図 8. に示すように $14 \text{ mV} \times 30 \text{ ns}$ ある。この値より量産時の最悪マージンを計算すると、約 $8 \text{ mV} \times 20 \text{ ns}$ の窓

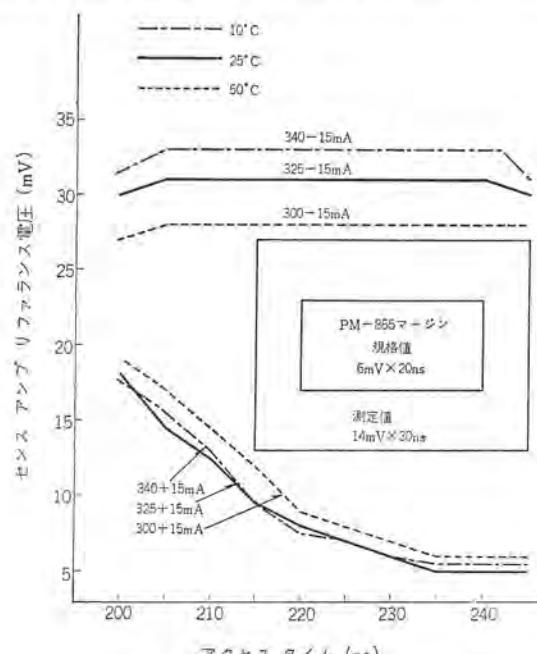


図 8. 動作マージン
Operational margin.

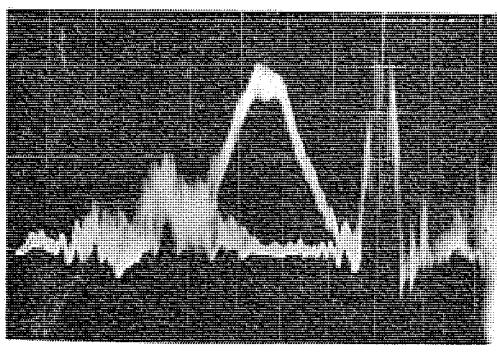


図 9. センス出力電圧波形
Sence output waveform.

が確保できると推定される。

6. R A S

6.1 信頼度予測

PM-865 に使用している部品は、IC、トランジスタ、ダイオード、複合部品（抵抗・コンデンサ等の集積部品）、その他であり、信頼性向上をはかるために部品の集積化を進めている。表 5. に使用部品点数と、信頼度データを示す。計算によると、PM-865 の故障率は、 $31.558 \times 10^{-6}/\text{h}$ であり、MTBF は、約 31,000 時間となる。

6.2 故障検知回路

計算機のメインメモリを複数の PM-865 で構成する場合、各 PM-865 の故障を独立に検知できることは、計算機の MTTR の改善、メモリの縮退運動、不良解釈等に有益である。この観点より、PM-865 には X/Y 駆動系、Z 駆動系に故障検知回路が付加されている。故障検知回路は、図 6., 8. の各点線で囲まれた部分である。

この回路は駆動器の動作時、休止時の各電圧レベルを TTL レベルに変換する。正常の場合には、X, Y, Z 駆動系の駆動器のうち、動作する個数はすべて偶数であるから、各駆動器より出る TTL レベルの信号のパリティを調べると、故障の有無が判明する。信号に異常が生じた場合には、各駆動系ごと（各カードに対応する）に付いている発光ダイオードを点燈させて、メインテナスを容易にする。また、この回路はオンラインチェックであるので、インタミッテント故障の有無をも判定する。このことは、システムの早期故障発見にも役立つ。この故障検知回路は、全故障の 80% 近くを検知する。

回路に使用する部品数は、IC 21 個、ダイオード 128 個、複合部品 28 個であり、この部分の故障率は、 $8.24 \times 10^{-6}/\text{h}$ である。

上記のような故障検知回路をメモリシステムとして採用するか採用しないかは、各メモリシステムの設計方針による。保全性、保守体制、診断プログラムのバックアップ等の計算機システムの種々の仕様に対応できるように設計されている。もちろん、検知回路の除去も可能である。

7. メモリシステム

7.1 128 kB システムの構成例

PM-865 を 8 モジュール組合せると、128 kB システムが構成できる。

図 10. に実装例を示す。この実装例では、32 kW × 36 ビットシステムである。PM-865 は、3 枚のカードより構成されているが、各カード間隔は 12.7 mm である。

システムの共通部分として、インヒビット電流の電流制限抵抗がとう

表 5. PM-865 の信頼度予測
Calculated failure rates of PM-865.

部品	個数	ストレス比	故障率 $\times 10^{-6}/\text{h}$	故障率×部品数 $\times 10^{-6}/\text{h}$
IC (Power)	20	0.25	0.076	1.520
IC (TTL)	67	0.5	0.076	5.092
トランジスタ	17	0.6	0.09	1.53
ダイオード	145	0.04	0.03	4.35
複合部品	48	0.3	0.1	4.8
抵抗（金皮）	8	0.3	0.03	0.24
コンデンサ（セラミック）	62	0.5	0.075	4.65
コンデンサ（タントル）	13	0.4	0.085	1.105
はんだ点	2,160		0.001	2.16
コネクタ接点	288		0.001	0.288
メモリスタック				5.823
合計				31.558

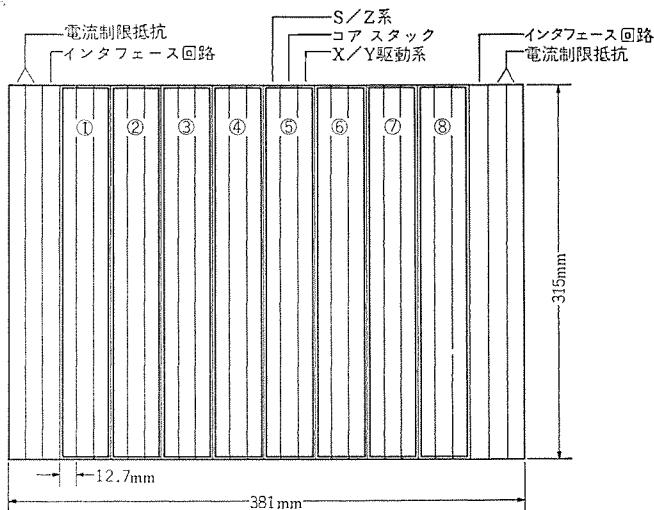


図 10. 128 kW × 36 ビット実装図
128 kW by 36 bit memory unit.

表 6. 電源容量 (8 kW × 17 ビット)
DC power requirements.

電源	スタンバイ	情報 all "1"	情報 all "0"
+ 5 V	1.4 A	1.4 A	2.0 A
- 5 V	0.14 A	0.14 A	0.14 A
20 V	0.3 A	0.6 A	3.5 A

表 7. 消費電力
Power dissipation.

情報 容 量	スタンバイ時	all "1"	all "0"
8 kW × 17 b	13 W	21 W	80 W
32 kW × 34 b	100 W	120 W	240 W

(搭) 載されているカードが 4 枚（1枚／1 バイト）必要である。メモリコントロール部分としての回路、各種タイミング発生回路、レジスタ等も必要である。

7.2 電源、消費電力、空冷

PM-865 に使用する電源の種類と電流を表 6. に示す。また、表 7. には消費電力を示す。通常のメモリシステムでは 128 kB システムで約 200 W の消費電力となると推定される。

PM-865 で構成されるメモリシステムでは強制空冷を行なうことが望ましい。空冷の条件は、128 kB システム例で $8.5 \text{m}^3/\text{分}$ 以上の流量が必要である。

8. む す び

以上、電子計算機用の新しいタイプのコアメモリ装置として開発された、モジュール構成、8 k センス 3 D 3 W 方式の PM-865 について、その特長と概要を述べた。コアメモリは長年にわたる技術的実績と不揮発性という特長を持ち、さらに現時点では性能コスト比においても IC メモリに十分対抗しうるものと考えられる。今後は IC メモリとの競合の過程において、小型化・高信頼度化・低価格化等の技術がさらに進歩することが期待される。

最後に、本記憶装置の開発にご協力下さいました各種部品メーカー各位、および当社の関係各位に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 蒲生、南部、松本、加茂：コアメモリのモジュール構成、信学全大、1,334 (昭47)
- (2) 蒲生、南部、松本、加茂、上坂、杉江：ミニコン用コアメモリ装置、信学全大、1,336 (昭47)
- (3) 蒲生、南部、松本、加茂、田中、水上：MELCOM 70 の主記憶装置、三菱電機技報、46, No. 12, 1,411 (昭47)
- (4) 松本、蒲生：8 k センス 3 D 3 W コアメモリ、昭47電気関係関西連大
- (5) 蒲生、布施、松本：MELCOM 350-30 F のコアメモリ故障検知、信学全大、1,179 (昭46)
- (6) 布施、大羽、松本：MELCOM 350-30 F コアメモリの故障診断法、信学全大、1,326 (昭47)

铸造プラントの自動化

酒井 靖夫*・山崎 宣典*・清水良之輔*
青木正夫*・杉田 一男*

Automatization of Foundries

Nagoya Works Yasuo Sakai・Nobuyoshi Yamazaki・Ryonosuke Shimizu
Masao Aoki・Kazuo Sugita

In the cast metal industry where automatic operation is less developed, new foundry equipment is now being manufactured for the improvement of working conditions as well as the automatization and the labor saving. Control apparatus used in this industry include various types ranging from not very elaborate ones to those of high classes depending on the steps of plant automation. Mitsubishi has been endeavoring the development of the most appropriate control system. Recently control apparatus, to which a sequencer of a minicomputer type is introduced, has been developed for use on the molding line in the foundry. This article introduces the outlines of the device and also describes the present state and a future outlook of casting plants.

1. まえがき

铸造業界においては、近来铸造素材の改良、製造技術に著しい進歩があるが、一方、最近では铸造部品の品不足が関連業界の大きな悩みとなっているのも現実である。

铸造部品はその調達形態としては、従来は中小铸造専門メーカーへの外注依存度の高いものであったが、近來の設備費、人件費等の慢性的高騰、環境規制に対する設備投資の増大が生産・販売コストにはねかえり、又铸造部品の需要増大もあって、铸造部品の品不足となっている。

铸造部品を多量に使用する大手自動車メーカー、各種機械メーカー、電機メーカーにとって、この問題を看過できず、最近は铸造部品の外注依存より、自社設備による供給方式へと脱皮を計り、大手メーカーにおける铸造プラント部門の新設、拡充が盛んである。铸造工場は一般に、労働集約的な生産工程が多く、合理化が難しいうえに、工場環境も高温、じんあいも多く、労働力確保の難しい業種であった。

そのため生産設備の自動化・省力化が強く望まれていたが、最近の機械装置、電気御御装置の技術進歩により、近代的な設備を誇る铸造工場が数多く誕生しており、コンピュータによるトータルシステムを適用した工場の実現も近いと予想される。

当社では従来より铸造プラントの制御装置として、リレー制御方式のもの、ICカードによるワイヤードロジック方式のものの製作実績をもつが、今回コンピュータ制御方式を応用したN形シーケンサを採用した铸造プラントにおける造型ライン自動化システムを開発したので、ここにその概要を紹介し、併せて铸造プラントにおける制御装置の現状と将来について述べる。

2. 铸造プラントの概要

高度に自動化され、連続か(稼)動を行う铸造プラントにおいては、プラントの構成体である各ラインが、完全同期化し、ラインの性能も信頼性が高く、耐久力のあるものでなければ、プラントとして優れた性能を保証できない。

铸造プラントの構成ラインにつきその概要を説明する。図1. は、铸造プラントの図を示している。

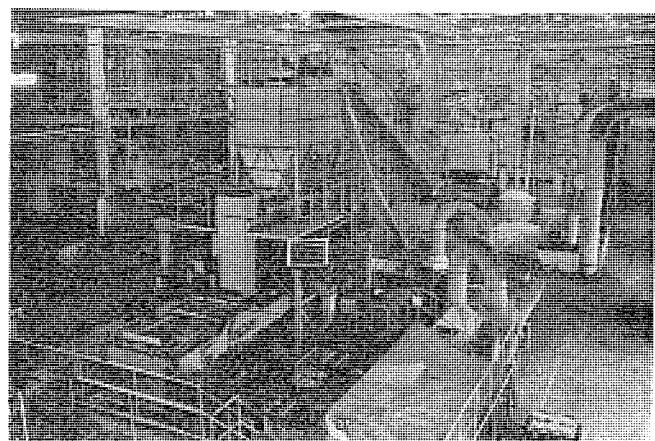


図 1. 铸造 プラント
Foundry.

2.1 砂処理ライン

古砂の回収、マグネットセパレータによる鉄片除去、団粒の除去、新砂や添加物の添加、それに水分を加えての混練など、造型ラインへの造型砂の供給、あるいは造型ラインからの古砂の回収を行う。

2.2 造型ライン

铸造プラントの中心的なラインであり、铸造プラントの自動化は、造型ラインの自動化より始まり、又、プラントの生産能力は造型ラインの生産能力に支配される。

鋳わくと模型を重ねたものに、砂処理ラインから造型砂の供給を行い、造型機にて造型した鋳型を反転装置・搬送装置等を経て、注湯ラインへと搬出する。本文で述べる制御装置の対象は、造型ラインであり、機械は西独 キンケルワグナー 社製の高圧高速造型ラインである。

2.3 注湯ライン

溶解設備と注湯設備を包括したラインを言い、原材料の溶解と、造型ラインより搬送された鋳型への溶湯の注湯作業を行うラインである。铸造プラントでも特に労働環境の悪い作業ということもあり、自動化の必要性が高く、コンピュータ制御方式を取り入れた例もある。

2.4 冷却ライン

注湯された鋳型製品の一次冷却を行うラインで、鋳型から発生する高温の蒸気やじんあい等は集じん装置により排出される。冷却さ

れた鋳型は、パンチアウト装置で鋳わくと製品に分離され、製品は後処理ラインへ、又、鋳わくは造型ラインに運ばれ、再び造型サイクルに入る。

2.5 後処理ライン

造型ラインより分離、搬出された製品は、砂落し工程を経て、製品冷却コンペアにて二次冷却された後、最後の工程である仕上工程へと搬入される。仕上工程としては、せき折りと鋳肌清潔等の作業がある。

3. 造型ラインの構成

今回の制御対象となった造型ラインの構成を図2.にて説明する。

鉄造プラントとしては前章にて説明したごとく、造型ラインの他、砂処理ライン、注湯ライン、冷却ライン、それに後処理ラインより構成される。造型ラインについては、図2.に示した英文字の機械にて構成され、まず造型機(F)にて鋳わくと模型を合せ、ホッパ(BU)より造型砂の供給を受けた後、ジョルト、スクイズ等の造型動作が行なわれる。その後、鋳わくと模型を分離し、鋳型が完成する。鋳型は連続的に上型用と下型用で交互に造型される。

(F)にて造型された鋳型は、わく送り装置(TZ1)にて、ローラコンペア上を矢印の方向に送り出され、反転機(WE1)にて180度反転された後、下型鋳型は搬送装置(US2)にて外周コンペア上に、又上型鋳型は反転機(WE2)にて再度180度反転された後、湯口切り装置(TF)内に送り込まれる。上型鋳型は(TF)にて注湯用の穴明け作業を受けた後、搬送装置(US3)にて外周コンペアまで搬送され、外周コンペア上で、下型鋳型とわく合わせされ、注湯ラインに向け搬出される。

注湯ラインにて注湯され、冷却ラインにて冷却された鋳型群が、順次、外周コンペア上をほぼ一周して、搬送装置(US1)内に到ると、(US1)にて鋳型は、パンチアウト装置(AS)まで搬送され、パンチアウト作業を受ける。パンチアウトとは鋳型から、鋳わく、造型砂、製品を分離する動作を言い、分離された造型砂と製品は、後処理ラインへ向け搬出される。

一方、分離された鋳わくは、US1にてさらに上わく下わく分離装置(ZE)まで搬送され、上わく一下わくと交互にZEとTZ1にて、Fに向け送り出され、Fにて再び造型作業を行う。

以上説明したごとく、造型ラインの動作は、基本的には、造型一反転一搬送一わく合せ一注湯一冷却一搬送一パンチアウト一わくばらし一造型という、サイクリックな動作より構成される。

その他、造型ラインの構成機械としては、パンチアウト後の鋳わくの内壁に付着している砂を落とす、わく清掃装置(FKR)、TZ1にて鋳わくを送る際の機械的衝撃を緩和させるクッション装置(DZ1, DZ2)、又、ZE-FKR-F-WE1-US2-WE2-TF-US3に沿

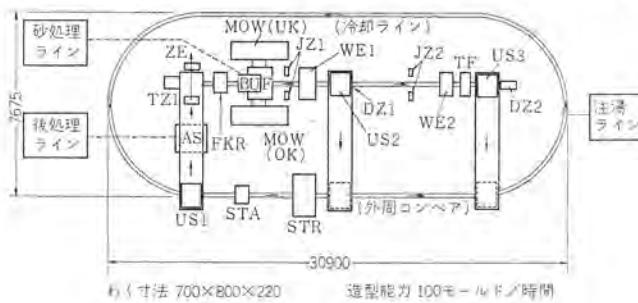


図2. 造型ライン構成
Automatic molding line.

ったローラコンペア上の鋳わく群の位置決めを行うための位置決め装置(JZ1, JZ2)が設けられている。

外周コンペアは、外周コンペア駆動装置(STA)にて、1ピッチごと運転され、又US1-US2間外周コンペア表面の清掃作業を行う外周コンペア清掃装置(STR)が設置されている。

MOWは、Fにて上型と下型の鋳型を交互に造型する際、使用する模型を、自動的に交換することが可能な自動模型交換装置で、OKは上型、UKは下型を示している。図2.に示した矢印は、鋳型あるいは鋳わくの流れを示している。

4. N形シーケンサ

4.1 概要

N形シーケンサは、シーケンス制御の分野において、従来の専用ハードウェアに代り、はん(汎)用のハードウェアとプログラムによる制御を目的として製作されたものである。

本システムは記憶装置・中央処理装置・入出力制御装置などから構成されている。

入出力装置としては、プロセス入出力装置、テレタイプ、紙テープリーダ、デジタルプリンタなどがあり、これらはシステムの大小により、ビルディングブロック式に増減できる。

中央処理装置での処理は、16ビット並列で行ない、命令数は64以上ある。命令には、シーケンス制御に便利なビット処理も多く含まれている。

シーケンス制御においては、本システムのようなはん用の制御装置を採用しても、対象とする機械に対しては専用の制御装置となり、プログラムの変更は、ほとんど行なわれない。そのため記憶装置には読み出し専用のROMと小容量のRAMを採用できるようにもしている。もちろんコアメモリも使用できる。

本システムは計数・演算・比較などのデータ処理を含むシーケンス制御と、又、複数の機械やシーケンスの内容を、たびたび変更するシーケンス制御の分野において有効である。

図3.は本システムの外観図であり、内部には次に示すような装置が収納されている。

- (1) 記憶装置
- (2) 中央処理装置
- (3) 入出力制御装置
- (4) プロセス入出力装置
- (5) 周辺装置用制御装置



図3. N形シーケンサの外観
Appearance of type N sequencer.

- (6) 紙 テープリーダ
- (7) ディジタルプリンタ
- (8) 電源装置

4.2 システム構成

本システムの構成を図4.に示す。記憶装置は制御プログラムとデータを記憶しておくもので、コアメモリ、又は、RAM, ROMの半導体メモリを最大32kWまで使用できる。ROMには電気書込み一紫外線消去のMOS形ROMを採用し、プログラムの変更を容易に行なえる。1ワードの長さは16ビットで、1ビットのパリティビットをつけてある。

中央処理装置は、データの処理を16ビット並列で行ない、加減算・論理演算・比較判定などの処理を行なう各種レジスタ、および演算回路から構成される演算部と、システム全体を制御し、演算部とともに、データの流れを制御する制御部とから構成されている。

中央処理装置での処理時間は、1命令当たり $4\mu s \sim 10\mu s$ で、アドレス指定の方法により異なる。実際の演算時間は $1\mu s$ で、入出力命令のときは $4\mu s$ である。

入出力インターフェース機構は、中央処理装置と入出力装置間のデータと制御信号の授受を行なうもので、バス構成となっている。

各入出力装置は、このバスに「いもずる式」に接続され、 $4\mu s$ の時間で、中央処理装置のアキュムレータとデータの授受を行なう。

入出力装置には、制御される機械のリミットスイッチやバルブ・モータが、又、機械の操作を行なう操作盤と制御盤の押しボタンスイッチ、リレー、コンタクタなどがあり、それぞれ接続される。入出力には、接点、レベル(無接点)があり、次のようにになっている。

- (1) 接点入力 DC 48 V 15 mA
- (2) レベル入力 DC 24 V 11 mA
- (3) 接点出力 AC 100 V 1 A
- (4) レベル出力 DC 24 V 300 mA

出力には、ラッチ出力と、モメンタリ出力がある。

これらのプロセス入出力装置は、16点単位で、入出力とも最大256点まで設置でき、ビルディングブロック式に増減できる。

プロセス入出力装置には、割込みユニットも含まれ、プログラムを優先的に実行する割込み制御が可能である。プロセス用の外部割込みには、

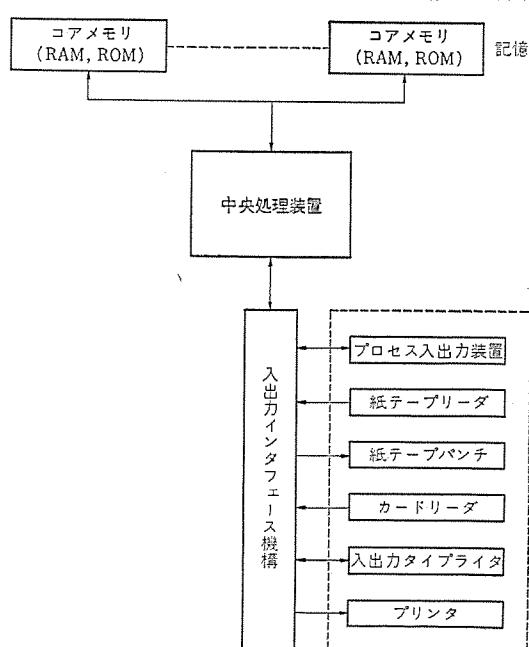


図4. N形シーケンサのシステム構成
System of type N sequencer.

二つのレベルがあり、1レベル当たり8点単位で、最大64点まで設置できる。ユニットはバスの根元に近いほど優先度が高くなるようにしてあり、外部割込み入力にも、8点単位で優先度をもたせることができる。外部割込みとは別に、周辺装置用と操作パネルの手動割込みの2レベルがある。

紙テープリーダなどの周辺装置は、最大16種、各16台まで接続でき、システムの規模に応じて設置する。

以上の各装置には、十分な雑音対策が行なわれており、工場などの現場で、支障なく使用できるようにしてある。

4.3 仕様

表1.に、本システムの仕様を示す。

4.4 命令

表2.に、中央処理装置の命令の一覧表を示す。

5. 制御装置ハードの構成

造型ラインの自動化を考える場合、自動ラインの信頼度は、機械部分の確実な動作が要求されるとともに、機械を制御する制御システムや、その構成ユニット、部品の信頼度が問題となる。特に、最近の制

表1. N形シーケンサの仕様
Specification of type N sequencer.

メモリ	コアメモリ	ICメモリ (RAM, ROM)
種類	2μs	2μs
サイクルタイム	16ビット+1パリティ	16ビット
語長	32kW	32kW
最大容量	1kW	1kW
最小容量	1または4kW	RAM 256W ROM 1kW
増設単位		
中央処理装置		
演算レジスタ数	1	
インデックス レジスタ数	4	
命令数	基本16、合計64以上	
アドレス指定	直接 相対 間接 相対間接	
演算方式	インデックス修飾 固定小数点方式	
演算速度	2進、並列演算(16ビット) $4\mu s \sim 10\mu s$	
割込み制御	アドレス指定方式による	
内部	4レベル 停電 メモリ パリティ エラ オーバ フロー リアル タイム クロック	
外部	4レベル 1レベル当たり64点 内部、外部とも可	
マスク		16点単位、最大256点
入出力制御		16点単位、最大256点
入力点数		接点DC 48V 15mA レベルDC 24V 11mA
出力点数		接点DC 48V 15mA レベルDC 24V 11mA
入力状態入力		接点AC 100V 1A レベルDC 24V 300mA
制込入力		接点AC 100V 1A レベルDC 24V 300mA
出力	ラッチ出力 モメンタリ出力	バス方式 $143kW/s$
方式		最大16種 256台
転送速度		テレタイプ MODEL 33 ASR
入出力機器		キーボード/プリント/パンチ
入出力タイプライタ		紙テープ/プリント/パンチ
テープリーダ		ASCIIコード
ディジタルプリンタ		10字/s
電源		-400字/s 光電式
環境条件	温 度 湿 度	660ms/行
寸法、重量		AC 100V ±10% 50/60Hz
		1kVA
		0°C ~ 40°C
		10 ~ 90%
		H W D
		1900 × 1200 600 約 550 kg
		(2面の盤の場合)

表 2. N 形 シーケンサ の命令
Instructions of type N sequencer.

NOP	NO OPERATION
HLT	HALT
SRL	SHIFT RIGHT LOGICAL
SLL	SHIFT LEFT LOGICAL
SRA	SHIFT RIGHT ARITHMETIC
SLA	SHIFT LEFT ARITHMETIC
SRC	SHIFT RIGHT CIRCULAR
SLC	SHIFT LEFT CIRCULAR
TC	2'S COMPLEMENT
REB	RESET BIT
SEB	SET BIT
AND	AND
ANI	AND IMMEDIATE
RIA	READ DI & AND
RIAI	READ DI & AND INVERSE
ROA	READ DO & AND
ROAI	READ DO & AND INVERSE
OR	OR
ORI	OR IMMEDIATE
RIO	READ DI & OR
RIOI	READ DI & OR INVERSE
ROO	READ DO & OR
ROOI	READ DO & INVERSE
EOR	EXCLUSIVE OR
EOI	EOI IMMEDIATE
RIE	READ DI & EOR
RIC	READ DI & COINCIDENCE
ROE	READ DO & EOR
ROC	READ DO & COINCIDENCE
SUB	SUBTRACT
SUI	SUBTRACT IMMEDIATE
ADD	ADD
ADI	ADD IMMEDIATE
LOD	LOAD
LOI	LOAD IMMEDIATE
STO	STORE
STA	STORE ADDRESS
BR	BRANCH
BAR	BRANCH & RESET
STX	STORE INDEX
STS	STORE STATUS
LOX	LOAD INDEX
LOS	LOAD STATUS
INX	INCREMENT INDEX
SPO	SKIP IF ACC POSITIVE
SNE	SKIP IF ACC NEGATIVE
SZE	SKIP IF ACC ZERO
SBZ	SKIP IF ACC N=0
SBO	SKIP IF ACC N=1
SXZ	SKIP IF XR=0
RIW	READ DI WORD
RPW	READ PI WORD
ROW	READ DO WORD
RIB	READ DI BIT N
RIBI	READ DI BIT N INVERSE
ROB	READ DO BIT N
ROBI	READ DO BIT N INVERSE
AKI	ACKNOWLEDGE PI
WW	WRITE WORD
WDW	WRITE DELAY WORD
WB	WRITE BIT N
WBI	WRITE BIT N INVERSE
WTB	WRITE TRANSFER BIT
WDB	WRITE DELAY BIT

御方式のすう(趨)勢として、ワンマンコントロール すなわち、集中制御方式への移行の傾向が強く、この観点からも、システムの高い信頼度の要求が強い。

造型ラインを構成する各機械装置については、そのライン全体の規模が割合大きく、入出力器具の点数が多いにもかかわらず、機械動作は、比較的単純な 2 位置動作的なものが多く、個々の機械の動作が、一定サイクル内に並行的に進む形態が典型的であり、回路的に評価すれば、造型ライン制御回路は、入力と出力間の信号経路の短いのが大きな特長の一つである。入力器具としては、リミットスイッチ、操作スイッチ、また、出力器具としては、油圧ソレノイドバルブ、モータ、ランプ等、入出力点数合せると、数百点に及び、制御機能は言うに及ばず、入出力機能の信頼性が、制御装置全体の性能に対し、大きなウエイトを占めることになる。

又鉄物工場の環境条件に対する考慮が必要で、特にじんあいに対する保護対策が望まれ、制御装置の構造と配置に十分な検討が必要である。次に、今回の制御装置ハーディの設計に際し、特に留意した点を述べ、造型ライン制御装置ハーディの構成ユニットについて説明する。

(1) 集中制御方式

中央制御室より、1人の操作員にて運転指令の操作、運転状況の監視が行なわれるため、制御ユニットの有効的な割付け、配置を考慮し、また、主操作盤には運転状況が適確、かつ即刻は握できるよう表示器具を主体とした器具を設置した。

(2) 高信頼性及び高耐久性器具の選定

高ひん度、及び、連続か動(約 20 時間/日)という過酷な運転条件に対し、信頼性を裏付けるに十分な使用実績があり、かつ耐久性のある制御器具の選定をした。

(3) 安全性の考慮

集中制御方式のため、中央操作者と現物作業者間の運転、および、安全情報のしゃ断があってはならず、現場には、必要最小限の運転状況表示器具を設置した。

(4) ダウンタイムの縮減

従来の経験より、造型ラインにおいては、特に入力装置の故障による機械ダウンタイムが大のため、入力器具を主体とした故障検出、および表示装置を設け、又、シーケンサの周辺入出力器具として、保守の容易な プラグイン 取付方式、あるいはカード取付方式の器具を採用した。

(5) 環境条件に対する考慮

制御装置の設置環境がじんあいが多いという悪条件に対処するため、制御ユニットを空調付の中央操作室に配置、あるいは完全な耐じん効果を有する箱体を採用した。

図 5. は、中央操作室収納の制御装置を示しており、図 6. は、造型ライン制御装置の構成図である。N 形 シーケンサ、制御盤、および主操作盤が中央操作室に、各副操作盤、電動発電機が現場に、また、コントロールセンタが地下室にそれぞれ設置されている。

5.1 N 形 シーケンサ

造型ライン制御システムの中核機能体であり、ラインのシーケンス制御、各種計数、および判断制御の処理を行う。詳細については、4 章にて説明してある。

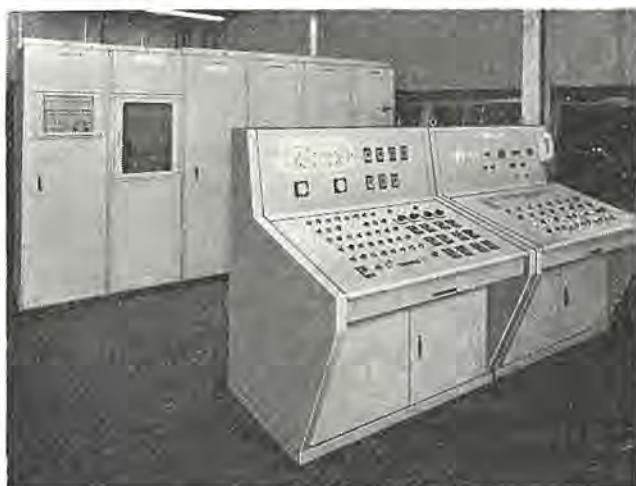


図 5. 中央操作室の制御装置
Control apparatus.

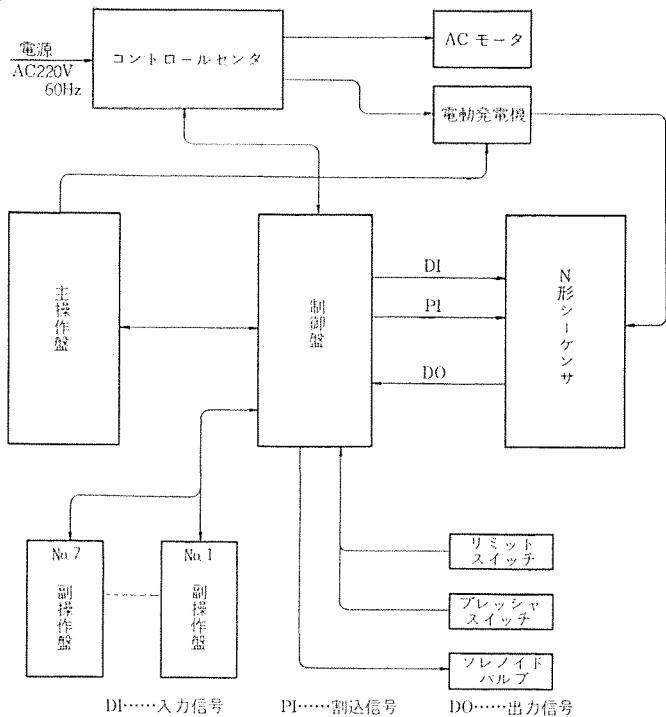


図 6. 造型ライン制御装置の構成図
Block diagram of control apparatus system.

5.2 制御盤

制御盤には、N形シーケンサの入出力インターフェース回路のほか、アクチュエータ制御回路、油冷却回路、油加熱回路、循滑油制御回路の構成器具、および直流12V、100Vの定電圧電源装置が組込まれている。入力インターフェース器具としては、信頼性の向上、保守性の容易化、実装度の向上を計るために、三菱RD形ミニチュアリレーを実装したリレーカードを、また、出力インターフェースの器具としては、高信頼性の三菱RP形プラグインリレーを採用している。

5.3 コントロールセンタ

電動機の駆動用電磁接触器を収納した集中制御装置として、コンパクトな三変E形コントロールセンタをこれにあてている。コントロールセンタには、その他、ランプ、およびリレーの制御電源として、直流24Vの電源装置が組込まれている。

5.4 操作盤

中央操作室には、各種運転操作スイッチ、表示器具を収納した主操作盤が、現場には、主に手動運転用操作スイッチを収納した複数台の副操作盤が設置されている。主操作盤の主な収納器具は次のとおりである。

- (1) 各種電源の入一切スイッチ
- (2) 運転方式（自動一手動）の選択スイッチ
- (3) 自動運転方式（半自動一全自動）の選択スイッチ、および半自動運転の起動スイッチ
- (4) 造型数、造型砂量の設定デジスイッチ
- (5) 各種造型時間の設定タイム群
- (6) ポンプ運転操作スイッチ
- (7) 油冷却、油加熱操作スイッチ
- (8) クーリングタワー操作スイッチ
- (9) 循滑油制御操作スイッチ
- (10) 各機械の運転表示ランプ
- (11) 造型数、造型砂量の光点表示器
- (12) 不良検出器の名称と不良の状態表示器

- (13) 非常停止スイッチ群（現場取付）の操作位置確認用表示器
- (14) 直流定電圧電源装置異常、およびクーリングタワー異常の表示ブザー

5.5 入出力装置

造型ラインの入力装置としては、5.4節にて説明した、各種操作スイッチのほか、機械の位置検出器として、西独AEG社製の高周波発振型で、高感度・高信頼性の無接点式リミットスイッチ（NJ6-A-G型）が多数個使用されている。また、出力装置としては、油圧ソレノイドバルブが主体となっている。

（入力装置）

- 操作スイッチ 約160点
- 無接点リミットスイッチ 約130点
- プレッシャスイッチ 4点

（出力装置）

- ランプ（含む光点表示器） 約110点
- モーター 15点
- ソレノイドバルブ 約90点

5.6 電動発電機

N形シーケンサの単独電源供給体であり、下記機能を有している。交流発電機の容量は3kVA、発生電圧はAC100V、60Hzである。

(1) 強電回路電源とは完全絶縁され、雑音を含まない安定した電源をシーケンサに供給する。

(2) 入力電源断後も寸時、出力電圧をフロートさせ、電源断時のシーケンサ処理用電源を供給する。フロート特性として、入力電源断後、2秒以上は、電圧-5%，周波数-10%以内の特性を有する。

6. 制御装置ソフトの構成

造型ラインの制御機能としては、大別すると、シーケンス制御機能、運転条件切換機能、監視機能、それに記録機能に分類されるが、今回のラインは、従来のものに比べ、特に動作サイクルの高速性、安全性、保守性、それに造型サイクルのはん用性の要求が強く、これをいかに、プログラミングするかという点に苦心した。以下ソフトウェアの構成につき説明する。

本ラインに使用したN形シーケンサの入出力は次のようにになっている。

接点入力 DI 176点

検出器入力 132点
ダイヤル入力 16点
指令入力 28点

接点割込入力 PI 16点

検出器入力 2点
指令入力 14点

接点出力 DΦ 160点

ソレノイド用出力 96点
表示、その他 54点

上記入出力点数と、コアメモリ4kWで次に示す機能をもたせて、造型ラインを運転している。

6.1 シーケンス制御機能

本ラインは、図2.に示す各個機械装置の集合体より構成されているが、これらの機械装置を、図7.のごとく一連の動作をさせる事により造型するのであるが、これら機械の動作させる方式に、大きく分けて手動運転モードと自動運転モードがある。

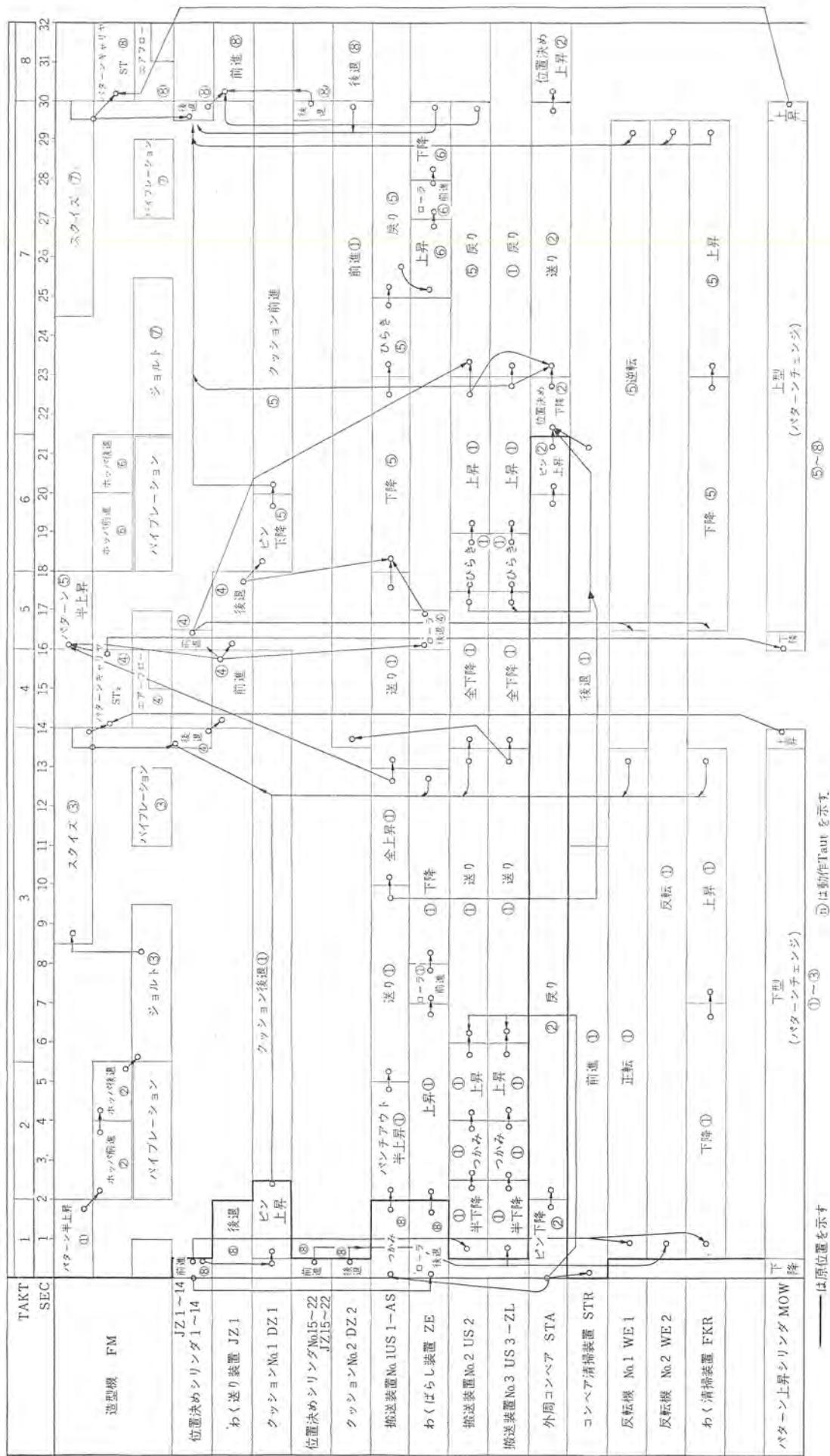


図 7. 造型ライツの動作表
Timing chart of molding line.

6.1.1 手動運転モード

このモードは、N形シーケンサを介さずに、現場設置の各副操作盤により、必要最低限のインタロックをもって、操作者が、機械を作動させるモードである。

6.1.2 自動運転モード

N形シーケンサを動作させ、自動砂量調整（詳細は6.2.2項）、造型枠数の演算、自動模型交換（詳細は6.2.4項）を行ないながら全機械装置をシーケンシャルに作動させる運転モードで、1サイクルを8分割した各タクトごとに、起動指令を与え、与えられた1タクトのみを作動させる半自動運転、造型機の動きに従って、各インタロックをとりながら、連続してサイクリックにシーケンスを進める全自动運転とがある。

図7に示しているように、1タクトは造型機の動きにより規制されており、造型機に付随する搬送装置については、その装置の作動開始点は、造型機の各タクトと同時にあるが、終了点は特に規制されていない。これはサイクルタイムを極力短縮するためであるが、このため造型機用シーケンスマリと、他機用シーケンスマリとの2種をソフトウェアで作り、これにより各機器を作動させている。この手法をハードウェア的に図示したのが図8である。また、プログラム構成を図9で示している。

6.2 運転条件切換機能

各機器の作動について、特に特長のある個所を説明すると、次のような機能をもっている。

6.2.1 造型モードの選択

鉄物部品の品質は、造型の方法に左右される要素が大であり、造型に関しては、模型の形状、大きさ、造型砂質により、造型方式を上型、下型につき個々に、次のような方式が任意に選択できる。

- (1) スクイズのみによる造型方式
- (2) ジョルト＋スクイズによる造型方式
- (3) ジョルト・スクイズによる造型方式
- (4) ジョルト＋ジョルト・スクイズによる造型方式

上記(1)～(4)は、切換スイッチにて簡単に選択でき、これらの作

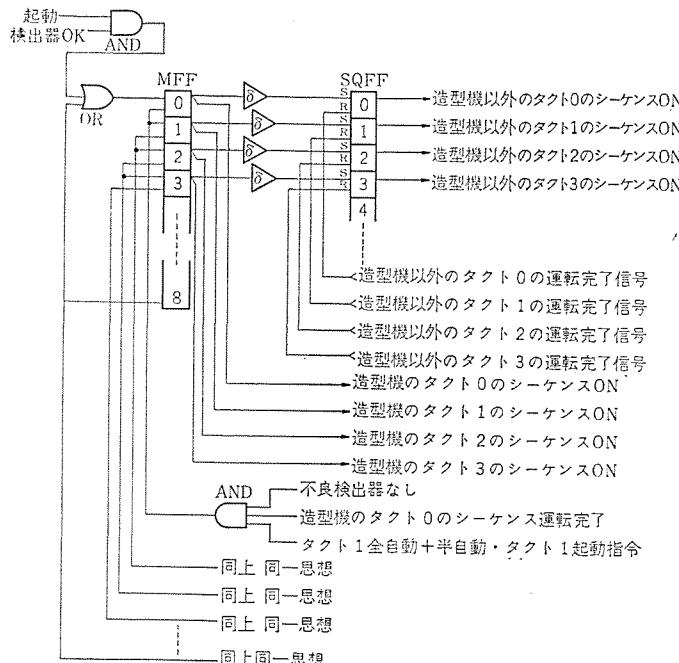


図 8. シーケンス フリップフロップ
Sequence flip flop.

動時間も、上型、下型各々に、単独でセットできるようになっている。上記各方式による造型パターンを図10に示す。

6.2.2 造型砂量調整

造型模型の形状、大きさにより、造型方式とともに、造型砂量も最適量を選択する必要がある。このため、造型砂量も任意に変えられるよう、砂量指示の設定ダイヤルを設け、砂を鋤わくに投入する前に、毎回そのダイヤル値を読み込み、絶対値式数値制御方式で、砂量の調整ができるようになっている。

造型砂の状態は、刻々変化することもあり、砂投入前に、毎回そのレベルを調整できるようになっている。調整可能範囲は、絶対必要最低レベルを基準に、0～40mmの範囲で、任意のレベルにセットできる。

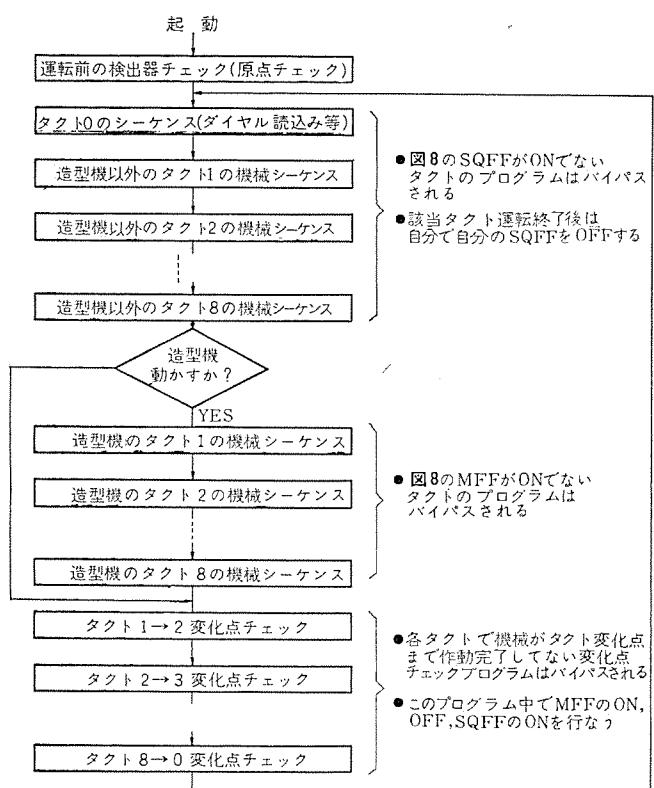


図 9. プログラム ダイヤグラム
Program diagram.

①スクイズのみの造型モード

スクイズバルブ \rightarrow T_s

②ジョルト＋スクイズの造型モード

ジョルトバルブ \rightarrow T_j
スクイズバルブ \rightarrow T_s

③ジョルト・スクイズの造型モード

ジョルトバルブ \rightarrow T_j
スクイズバルブ \rightarrow T_s

④ジョルト＋ジョルト・スクイズの造型モード

ジョルトバルブ \rightarrow T_j
スクイズバルブ \rightarrow T_s

T_j : ジョルト時間設定タイム

T_s : スクイズ時間設定タイム

T_{sw} : ジョルト・スクイズ待時間設定タイム

T_{js} : ジョルト・スクイズ時間設定タイム

図 10. 造型パターンの種類
Classification of molding.

6.2.3 造型圧力の切換

6.2.1項、6.2.2項に加えて、造型圧力も、高一中一低と、3段階に変えられるように、専用スイッチを設けてあり、任意の圧力にピットできる。

6.2.4 自動模型交換

多種少量造型では、模型交換に要する時間が問題となる。その都度、ラインを停止させ、交換完了後、再スタートさせるのでは、ロスタイルが多く、機械のか動率が著しく低下する。自動模型交換はこのロスタイルを見かけ上、“零”にするよう、あらかじめ、次に使用する模型を準備しておき、最終下型の造型中に次に使用する上型模型を自動的に送り込むと同時に、今まで使用していた上型模型を払出す。この後、新しい上型模型の造型中に、下型模型も次の新しい模型へと自動的に交換する。従って造型機を休止させることなく、模型を自動的に交換することができる。

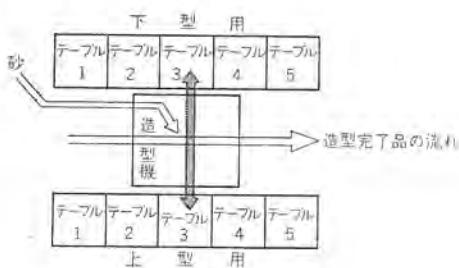
造型機、および模型交換部の機械配置は、図11.に示すとおりであり、テーブル1～5は上型模型、下型模型用とも、電動機駆動により、左右両方向へ模型を搬送できる。従って模型の交換指令も、テーブル1→5方向、5→1方向のどちらの方向へも可能なよう、現場に、模型交換方向指令スイッチを設けてあり、その指令に従って模型交換が行なわれる。

6.3 監視機能

ラインの休止時間を、少しでも減らし、か動率を向上させるためのプログラムも組込まれており、その一つに、検出器の監視機能がある。本ラインで、N形シーケンサにより制御している機械の位置検出器としてリミットスイッチ、圧力スイッチがあるが、この両者の合計が130個以上にもなる。これらの中の1個でも故障すると、運転に支障をきたし、ラインは運転できなくなる。従来の方式では、この1個の不良検出器を探り当て、修復するのには、かなりの時間を費し、この時間がダウントIMEとして、機械のか動率を低下させていた。

この対策として、本制御装置では、これら130個以上の検出器を監視し、不良検出器が発生すると、即刻、不良発生の情報を報告できるプログラムを有している。

具体的には、ラインの起動時(1回)、および各タクトの変化点のタイミング(8回)の計9回、すべての検出器の作動が正常であるか否かをチェックさせているのである。ライン起動時は、機械はすべて原位置状態にあるから全数を、各タクトの変化点は、造型機用検出器は、タクトが造型機のステップにより規制されているのであるから、必ずある決った位置で停止状態にあり、全数を、また、造型機以外の機



テーブル1(5)：模型搬入または搬出用
テーブル2(4)：模型交換待機または交換搬出用
テーブル3：模型する模型設置用
このテーブルにある模型が造型機の中に入れられ造型され、造型が完了すると造型機から出されると同時に反対側の模型が造型機に入れられる

図11. 造型機と模型ストック用テーブルの配置
Layout of molding machine and pattern table.

械の検出器は、タクトの変化点では、動作途中のものもあるので、その後のタクトで作動する機械用検出器のみをチェックするものである。このチェックにより、1個でも不良の検出器が発見されると、その検出器の名称と、不良の状態、例えば、“ON していなければならないのにONしていない”とか、“OFF していなければならないのにOFFしていない”というところまで調べて記憶すると同時に、エラーアラートを出し、また、不良検出器の名称と不良の状態を表示させている。もちろん不良検出器が複数個の場合でも、そのすべてを記憶しているので、1回の呼出指令ですべての不良検出器を知ることができる。不良検出器が発見されると、シーケンスは次のタクトへは進めず、そのタクトでの作動をすべて完了すると、ラインは、待機状態となる。

不良検出器の不良内容は“条件不備 サーチ”押しボタンを押すだけで、記憶している内容を順次表示器で表示すると同時に、オンラインでプリントを作動させ、不良検出器の名称と不良内容を、プリントアウトさせることができる。この機能は、本ラインの制御装置の中でも、大きな特長の一つで、不良検出器の即時発見、即時修復が可能となり、ダウントIMEの縮減と、か動率向上が計れる。また、プリントアウトデータを集積して、PMの検討資料としても利用できる。図12.に検出器監視のプログラムを示す。

6.4 記録機能

ラインの運転に関した、データの集計記憶機能としては、次の2機能を有している。

6.4.1 不良検出器の記録集計

詳細については、6.3節にて述べた。

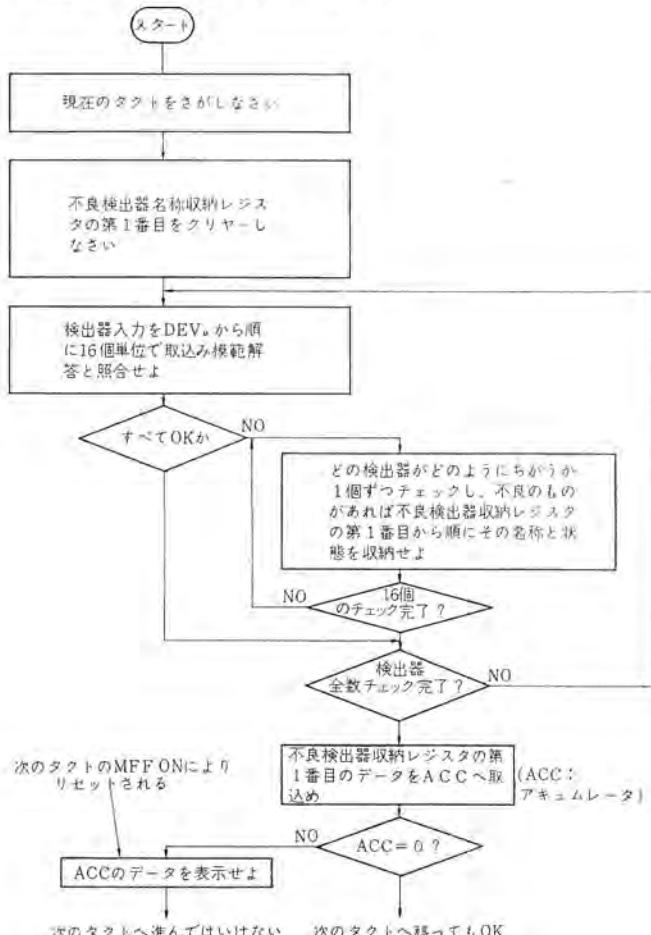


図12. 検出器監視プログラム (サブルーチン)
Monitoring program for limit switch.

		製造年月日
CORD	TOTAL	
0256	100	
2312	80	
0075	45	
4521	70	
TOTAL	1317	総造型わく数

図 13. 日報の一例
Example of daily report.

6. 4. 2 日報の作成

1 目の作業終了時に，“運転日報作成” 指令を与えることにより、その日の造型製品名コード、造型数をプリンタにより、プリントアウトする機能である。これは造型用模型が交換されるごとに、コードにより与えられた模型コードと、その造型個数を、シーケンサに読み込み、もし同じ模型が多数回に別けて造型されても、同一コードであれば、同一模型に対する造型数は、累計した結果が記憶、プリントアウトされる。記憶容量としては、1 日分にして、9999 種類のコード、造型数は 9999 まで、データを記憶し、日報の作成が可能である。

日報は、専用フォームにて、年、月、日もプリントアウトされる。プリントアウトの一例を図 13. に示す。

7. 鋳造プラントにおける制御方式の現状と将来

鋳造プラントの制御については、他 プラントと同様、大別して、リレー制御方式、ワイヤードロジック方式、それにデジタルコントローラ方式があり、同じ方式の中でも、低レベルから高レベルの制御方式とその範囲は広く、プラントにおける各ラインの制御装置の適用についても、制御対象となる各機械の性能、プロセスの制御機能等を、個々に検討し、最適の制御方式が選ばれている。

注湯 ライン、砂処理 ラインについては、その処理過程がきわめて複雑であり、また、多数の要因が、からんでいるため、熟練工の経験と勘にたよることも多く、完全な自動化は困難なのが現状で、制御方式も、リレー制御方式で十分機能を満たしている例が多い。

造型 ラインについては、鋳造 プラント 中で、最も機械化の進んだう

イ ンであり、制御方式もあらゆる方式が採用されており、高速高圧自動造型 ライン の制御装置として、コンピュータ技術を駆使したデジタルコントローラ方式の例が多くなってきている。

後処理 ライン については、製品の形状が複雑なこと、製品の種類が多いことが原因して、自動化の困難が多く、手動操作的な作業も多く、制御方式も、リレー制御方式の適用が主である。

このように現状の鋳造 プラント においては、各 ライン の プロセスは多種多様であり、制御装置の選定に際しては、制御の目的、制御の期待される メリット、制御機能と性能の概要、経済性等、客先のニーズを十分知ったうえで、制御方式の選択が必要となる。

鋳物工場は、他工場に比べ、労働条件と環境条件がきわめて悪く、自動化・省力化の要求が強く望まれており、造型 ライン のみならず、他の ライン についても、完全自動化の実現も近い。制御 システム についても将来は、各 ライン の コンピュータ による ライン の制御、監視、自動資料作成から出発し、鋳造 プラント 全体の総括制御、さらに、鋳物工場と組立工場を結ぶ、オンライン 制御と、発展分野は広い。

8. む す び

以上、鋳造 プラント の自動化につき、その現況と造型 ライン の制御実施例につき、説明してきた。鋳造 プラント においては、原材料の投入から、製品の積出しまで、個々の ライン が有機的に結合され、一環した連続作業が行なわれている。そのため部分的な故障が、工場全体の休止へと波及するため、制御装置についても、その信頼性が強く問われる。今回の造型 ライン 制御装置については、この対策として、高信頼性器具の使用のほか、特に監視装置の充実化を計って、ダウンタイムの縮減をねらっており、その成果が期待されている。環境の悪い鋳物工場では、特に、リミットスイッチ 等の検出器の故障が多く、従来より問題になっていた。

今後は、検出器を初めとして、故障した器具の監視、発見装置の優れたハード、およびソフトの研究開発が、特に、鋳造 システム の制御装置にとって必要と思われる。

鋳造 プラント の自動化制御 システム の開発、実用化は、国内でもようやくスタートしたばかりであり、将来の高度な制御 システム 導入に至るまでには、多くの問題を解決してゆかねばならないが、今回の経験と、当社の計算機制御技術、システム 技術を集結して、新しい鋳造 プラント の制御 システム の開発にまい(邁)進したい。

重負荷多端子系用 新形搬送保護継電装置

岡村 正巳*・杉浦 昭*・大浦 好文*・松田 高幸*
三上 一郎**・鈴木 健治***・中村 勝巳***・東 信一***

New Carrier Protective Relaying Scheme for A Multi-terminal System with Heavy Load

Tokyo Electric Power Co., Inc. Masami Okamura・Akira Sugiura
Yoshifumi Ôura・Takayuki Matsuda
Mitsubishi Electric Corp., Head Office Ichiro Mikami
Kenji Suzuki・Katsumi Nakamura・Shinichi Azuma
Mitsubishi Electric Corp., Kobe Works

By cooperative studies of the Tokyo Electric power Co. and the Mitsubishi Electric Corporation, a new carrier protective relaying scheme for a multi-terminal system has been developed and a trial set has been completed. The system aims at the protection of three terminal heavy load long distance transmission lines. To detect the fault with no effect of power current the scheme for two line faults is composed of negative phase sequence relays working with negative phase sequence currents and negative phase sequence voltages; the scheme for three line faults consists of positive phase sequence relays functioning with positive phase sequence currents and positive phase sequence voltages. It provides an automatic supervisory function by turning the devices to all static through summing up of inputs for the purpose of high reliability and maintenance free. Saving of spaces has been also made effectively by arranging one circuit on one panel.

1. まえがき

電力系統の信頼度向上、保守運用の省力化を目的として、昭和45年、東京電力株式会社と当社は「高信頼度保護リレー開発共同研究会」を企画し、各種继電方式の研究開発を進めてきた。その成果のひとつとして、「重負荷多端子系用新形搬送保護継電装置」(以下新形キャリヤリレーと略す)を開発し試作完成したのでその概要を紹介する。

本装置は、3端子重負荷長距離送電線の保護を目的にしたもので、潮流の影響を受けずに故障検出するため、2線故障用として逆相電流逆相電圧を使用した逆相方向リレーおよび逆相距離リレー、3線故障用として正相電流正相電圧を使用した正相方向リレーおよび正相距離リレーから構成されている。主保護(短絡)を正相逆相方向比較方式とし、2線故障については潮流の影響を受けない故障検出が可能であり、また正相方向リレーと逆相方向リレーの協調により多重故障時の動作も確実なものとした。後備保護(短絡)は、正相逆相距離リレー(リアクタンス)を採用し、アーカ抵抗検出能力に優れ潮流の影響を受けない遠方後備保護が可能となった。

また、入力一括方式による全静止化により、自動監視機能も備えて、高信頼度化保守省力化をはかるとともに、一回線一面に収納して盤面スペースの縮小化にも大きな成果があった。

なお、本装置は現在実系(橋本線、154 kV 港北 s/s～橋本 s/s)においてフィールドテスト実施中である。

2. 新形キャリヤリレーの概要

2.1 新形キャリヤリレーの特長

新形キャリヤリレーの特長について、従来方式との比較を表1に示す。故障検出能力の向上を目的として逆相分リレーを活用し、2線故障については潮流の影響を受けない逆相方向リレー、3線故障に対

表1. 新形キャリヤリレーの特長
Merits of new carrier protective scheme.

No.	項目	従来方式	新方式	対策
1	3端子重負荷長距離系	キャリヤトリップ不能 (故障検出不能)	2線故障についてはキャリヤトリップ可能	逆相方向比較
2	遠方後備保護	潮流 I_L 大の時 後備保護不能	2線故障については潮流に関係なく 後備保護可能	逆相距離リレー
3	内部～外部多重故障	キャリヤトリップ不能	重故障区間から 先行しゃ断可能	正相・逆相方 向比較の協調
4	外部～外部多重故障	キャリヤ誤動作	誤動作なし	正相・逆相方 向比較の協調
5	非電源対策 地絡内部 $\times 27H$ $\times 64$ $\times 27L$ $\times 44SO$	キャリヤ誤動作	誤動作なし	非電源トリッ プ回路の除外
6	脱調～内部への移行	トリップ時間延滞	2線故障についてはトリップ時間の延滞なし(多重故障時のシリーズトリップなし)	正相リレーに よる誤調査出
7	常時潮流の増大	過電流リレーでは 距離リレーのスト ップ効果なし	故障電流<潮流 でもストップ効果 あり	電流変化幅検 出リレー
8	PDヒューズ断対策	人為ミスによる非 電源ミストリップ あり	絶無	
9	自動監視	なし	あり	
10	盤面数	2面	1面	人力一括 全静止化

しては正相方向リレーを使用した正相逆相方向比較方式を採用している。また逆相距離リレーにより、2線故障については潮流の影響を受けない遠方後備保護を可能としている。多重故障対策に関しては、正相方向リレーと逆相方向リレーの協調により、あらゆる誤動作

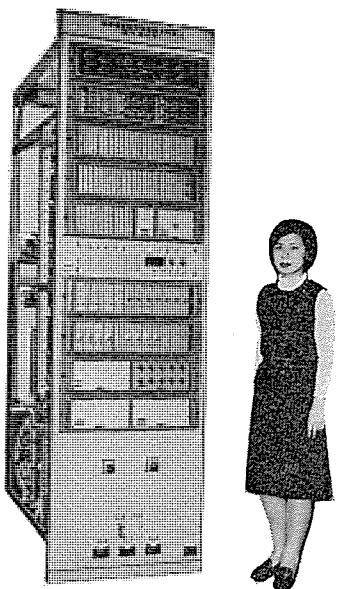


図 1. 重負荷多端子系用新形搬送保護継電装置
New carrier protective relaying scheme for multi-terminal system with heavy load.

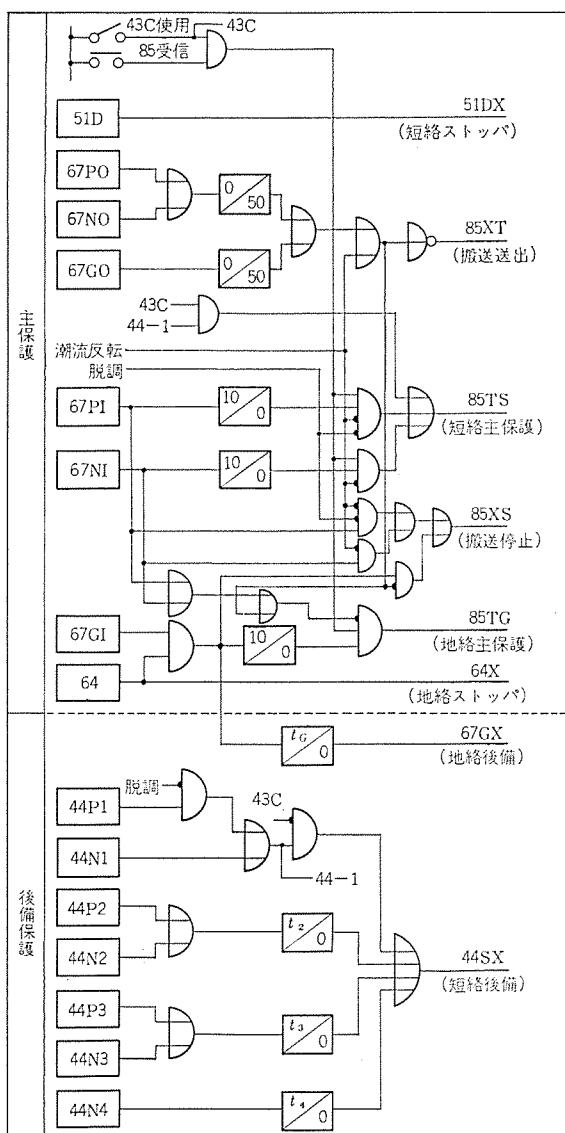


図 2. 新形キャリヤリレーのブロック図
Block diagram of new carrier protective relaying scheme.

誤不動作を防止した。

2.2 新形キャリヤリレーの構成

新形キャリヤリレーの外観図を図 1. に示す。本装置の主保護器は、対称分を利用した三相形リレーであり、対称分フィルタを共用した入力一括方式の採用により、入力部と判定部を分離して盤面スペースの有効活用をはかり、自動監視を含めて盤一面に収納した。

図 2. に本装置のブロック図を示す。主保護は、短絡が正相逆相方向比較方式とし、正相(67 PI, 67 PO)と逆相(67 NI, 67 N ϕ)を OR で構成し、フェールセーフには常時潮流で誤動作しない電流変化幅検出リレー(51 D)を採用した。また地絡は電力方向比較方式とし、フェールセーフには地絡過電圧リレー(64)を使用した。一方後備保護は、短絡が 3 線故障用に正相距離リレー(44 P 1 ~ 3), 2 線故障用に逆相距離リレー(44 N 1 ~ 4)を使用し各段 OR とした。また地絡は方向地絡方式とした。

2.3 新形キャリヤリレーの性能

(1) 動作スピード

リレー単体の動作スピードは 40 ms (2 Hz) 以下であり、搬送トリップは 50 ms 以内に行なわれる。模擬送電線における動作オシロ例を図 3. および図 4. に示す。図 3. は B 端至近端における 3 線故障時の動作オシロで、A 端は 67 PI によるキャリヤトリップ、B 端は 44 P 1 による 1 段トリップである。また図 4. は B 端至近端における 2 線故障時の動作オシロで、A 端は 67 NI によるキャリヤトリップ、B 端は 44 N 1 による 1 段トリップである。動作スピードは、34~45 ms でトリップしている。

(2) 消費 VA

入力一括方式の採用により、低負担とすることことができた。

CT 負担……各相 5 VA 以下 (5 A 定格時)

PT 負担……各相 17 VA 以下 (100 V 定格時)

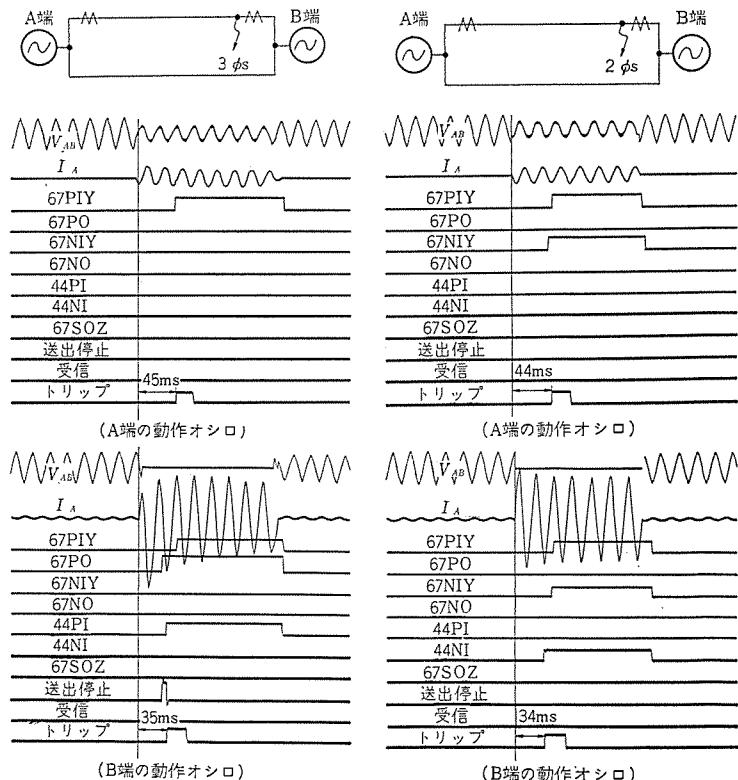


図 3. 3 線故障時の動作オシロ
Oscillogram during three phase faults.

図 4. 2 線故障時の動作オシロ
Oscillogram during two phase faults.

(3) その他

盤一括でのサージテストを実施し、AC 10 A×10 t 入切によるサージでも誤動作のないことを確認した。また変圧器の励磁突入電流テストにおいてもミストリップのないことを確認した。

3. 主継電器の構成と特性

3.1 動作原理と特性

(1) 対称分 フィルタの原理

主継電器は対称分を使用した三相形リレーで、入力部がすべて対称分 フィルタより成り、その原理は対称座標法から次式のように求めた。

$$3 V_0 = V_A + V_B + V_C \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$3 V_1 = V_{AB} + V_{BC} \angle 60^\circ \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$3 V_2 = -a(V_{AB} \angle 60^\circ + V_{BC}) \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$3 I_0 = I_A + I_B + I_C \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$3 I_1 = (I_A - I_B) + (I_B - I_C) \angle 60^\circ \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$3 I_2 = -a(I_A - I_B) \angle 60^\circ + (I_B - I_C) \quad \dots \dots \dots (6)$$

(2) 正相距離リレーの動作式

正相距離リレーは、方向要素(メモリ付き)、ブランダ要素、リアクタンス要素の3要素より構成される。いずれも2ベクトルの位相比較方式とし、その動作式は次式で表わされる。

(a) 方向要素

$$V_X = V_1 \angle 15^\circ, \quad V_Y = -ZI_1 \quad \dots \dots \dots (7)$$

(b) ブランダ要素

$$V_X = ZI_1, \quad V_Y = ZI_1 + kV_1 \angle 110^\circ \quad \dots \dots \dots (8)$$

(c) リアクタンス要素

$$V_X = -j \times I_1, \quad V_Y = +ZI_1 - kV_1 \quad \dots \dots \dots (9)$$

(3) 逆相距離リレーの動作式

逆相距離リレーは、方向要素とリアクタンス要素の2要素より構成される。方向要素は V_2 と I_2 の位相比較であり、リアクタンス要素の動作式は次式で表わされる。詳しくは、5章で述べる。

$$|V_2 - 2Z_2 I_2| \sin \beta > |V_1| \sin \alpha \quad \dots \dots \dots (10)$$

(4) 位相特性

図5に主継電器の位相特性を示す。正相リレーに関しては3線故障入力、逆相リレーに関しては2線故障入力に対する特性を、 $R-X$ 座標上に表わしている。

(5) 整定範囲

主継電器の整定範囲を表2に示す。

3.2 主継電器の構成

(1) 入力一括方式

入力一括方式により、入力部と判定部を分離し、入力部は対称分 フィルタを共用している。図6は主継電器のブロック図で、対称分 フィルタよりなる入力部と、トランジスタ回路よりなる判定部に大別できる。

(2) 距離継電器の整定

判定部は、プリントカード形継電器で構成される。整定はすべて判定部で行なうため、カード正面に整定用可変抵抗器を取付ける。距離リレーについては多回転ポテンショメータを採用して、整定範囲の0~100%を連続的に整定することが可能である。図7に、多回転ポテンシオメータをカード正面に取付けたプリントカード形継電器を示す。

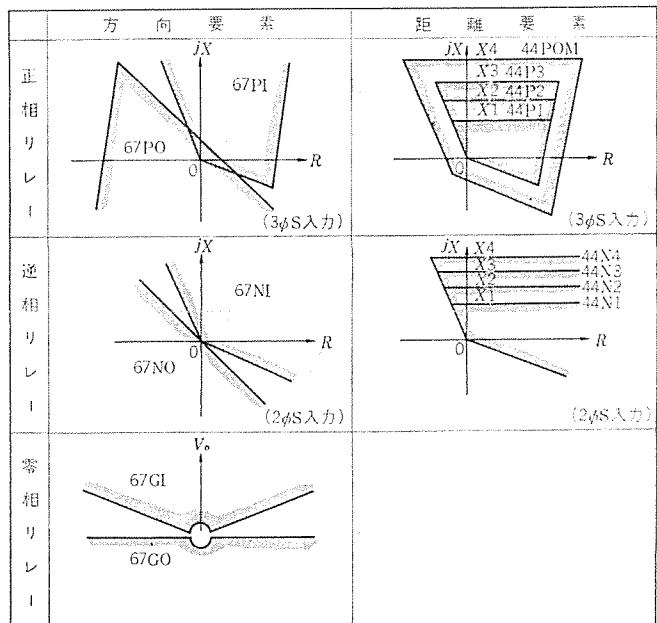


図5. 主継電器の位相特性
Phase characteristics of main relays.

表2. 主継電器の整定範囲
Setting range of main relays.

項目		器具番号	整定範囲
短絡距離	1段	44P1, 44N1	$X_1 = 0.5 \sim 2.5 \Omega$
	2段	44P2, 44N2	$X_2 = 1 \sim 5 \Omega$
	3段	44P3, 44N3	$X_3 = 2 \sim 10 \Omega$
	4段	44POM, 44N4	$X_4 = 5 \sim 25 \Omega$
地絡方向		67GI, 67GO	$I_0 = 0.1 \sim 1 A$
スイ	短絡	51D	$\Delta I = 0.5 A, HOC = 5 A$
トバ	地絡	64	$V_0 = 20 \sim 40 V$

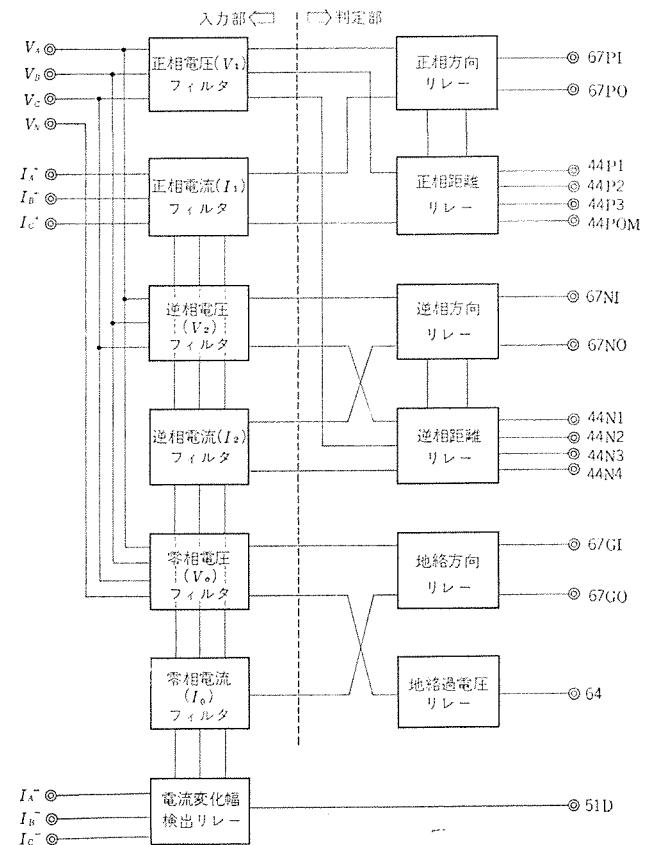


図6. 主継電器 ブロック図
Block diagram of main relay circuit.

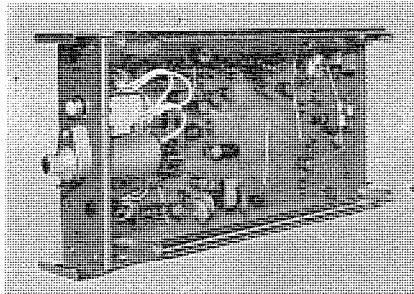


図 7. 多回転 ポテンショメータを取付けた プリントカード形継電器
Print card relay with multi-rotating potentiometer.

4. 正相逆相方向比較方式

4.1 重負荷長距離対策

3 端子重負荷長距離系のモデルを図 8. に示す。A 端から B 端へ重潮流 P があり、その中間から分岐して遠方の小負荷端 C へ送電している系統で、C 端至近端で内部 2 線故障が発生した場合、A 端および B 端における電圧降下が小さく、従来の故障検出リレーでは故障検出できずキャリヤトリップ不能となる。そこで、逆相方向リレーによって故障検出能力を向上させ、上記のようなケースでもキャリヤトリップ可能とした。また、正相方向リレーは常時潮流の影響を考慮して向き外向きともブランダ要素を含めた。

4.2 多重故障対策

多重故障時の応動は、正相方向リレーと逆相方向リレーの協調により、あらゆる誤動作誤不動作を防止した。ただし、一部重故障回線側の先行しや断、軽故障回線側のシリーズトリップを許容した。

正相逆相方向比較の多重故障に対する応動の例を表 3. に示す。シーケンスを内部優先とすると、内部～外部多重故障(No 1～3)は、△印がシリーズトリップとなることを許容すれば、すべてトリップ可能である。一方、外部～外部多重故障(No 4～6)では、No 4 のケースで、B 端 67 PI が動作するため、ミストリップする。この対策として、逆相内部検出(67 NI 効果)に対して、正相外部検出(67 PO 効果)を優先させる、正相外部優先方式とするところのミストリップを防止することができる。ただし、No 1 のケースで 1 L 側 B 端で正相外部優先となるため、1 L シリーズトリップとなる。内部優先と正相外部優先の比較を表 4. に示す。

なお、単純故障に対しては 67 PO と 67 NI が同時に動作することはないため、正相外部優先は通常の動作には悪影響を与えることはない。また、表 3. に記した以外の多重故障も含めて、あらゆるケースで、正動作および正不動作となることを模擬送電線におけるテスト

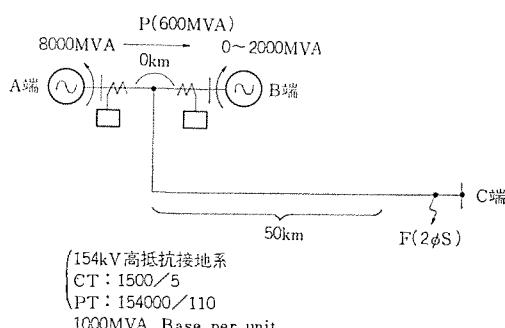


図 8. 3 端子重負荷長距離モデル系統
Model case of three terminal system (heavy load, long distance).

で実証した。

4.3 脱調ロック

シーケンスにおいて、44 POM と 44 P3 の動作時間差を測定して脱調検出して、正相トリップルートをロックする。(図 2. 参照) 正相距離リレーで脱調検出を行なうため、脱調から内部 2 線故障へ移行した場合にもトリップ時間の遅延はなく、多重故障時のシリーズトリップの遅延もない。

4.4 低圧系故障対策

送電線の中間から分岐して、高圧需要家にも電力供給している系統において、その低圧系で短絡故障発生した場合、正相逆相方向リレーが動作すれば、低圧系故障時にキャリヤトリップする。この対策と

表 3. 正相逆相方向比較の多重故障に対する応動
Operation of positive-negative phase-sequence directional comparison method in multi-faults.

No	故 障	相 回 線	ベクトル図		A 端			B 端			トリップ	
			F ₁	F ₂	A 端	B 端	P1	P0	NI	N0		
1	A ①	B C	1 L	V ₁ V ₂ I ₁ I ₂	V ₁ =V ₂ I ₁ -I ₂	○ × ○ × ○ × × ○ ○ ○ ○ ○ ○						
			2 L	V ₁ V ₂ -I ₂ I ₁	V ₁ =V ₂ -I ₂ I ₁	○ × ○ × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○						
2	A ②	BC B	1 L	V ₁ V ₂ I ₁ -I ₂	V ₁ =V ₂ -I ₂ I ₁	○ × ○ × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○						
			2 L	V ₁ V ₂ I ₁ -I ₂	V ₁ =V ₂ I ₁ -I ₂	○ × ○ × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ △						
3	A ③	ABC B C	1 L	V ₁ V ₂ I ₁	V ₁ V ₂ I ₁	○ × × × ○ ○ ○ × × ○ ○ ○ ○						
			2 L	V ₁ V ₂ I ₁	V ₁ V ₂ I ₁	○ × × × × ○ ○ ○ ○ ○ ○ △						
4	A ④	B C		V ₁ V ₂ I ₁ I ₂	V ₁ V ₂ I ₁ I ₂	×	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○					
5	A ⑤	AB C		V ₁ I ₁ I ₂ V ₂	V ₁ I ₁ I ₂ V ₂	×	○ × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ×					
6	A ⑥	ABC C		V ₁ I ₁ I ₂ V ₂ =0	V ₁ I ₁ I ₂ V ₂ =0	×	○ × × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ×					

表 4. 内部優先と正相外部優先の比較
Comparison of internal fault-detect precedence with positive phase-sequence external fault-detect precedence.

	シーケンス	外部～外部に対する応動	内部～外部に対する応動
内 部 優 先		B～Cでミストリップ ただし I_1 が小さい場合にはミストリップなし	1. ABC～C、ABC～BC、 BC～B、BC～C で軽故障回路側がシリーズトリップまたは同時しや断 2. B～C は同時しや断
正 相 外 部 優 先		ミストリップなし	1. ABC～C、ABC～BC、 BC～B、BC～C で軽故障回路側がシリーズトリップまたは同時しや断 2. C～B はシリーズトリップ

して、内部検出に距離リレー3段(44P3および44N3)を使用した。

5. 逆相距離リレー

5.1 動作原理

2線故障時の等価回路を図9.に示す。トランスTの変成比は故障相により 120° ずつ変化する。BC相故障時は変成比 $1:1$ であるから、故障点電圧が正相回路と逆相回路で等しい。

ここで、 $I_1 = -I_2$ を考慮すると次式が成立する。

$$V_2 - 2Z_t I_2 = V_1 \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

整定インピーダンス Z_S を導入し、両辺の絶対値をとると動作式として次式を得る。

$$|V_2 - 2Z_S I_2| > |V_1| \dots \dots \dots \quad (13)$$

さらにアーカー抵抗を考慮して両辺のリアクタンス電圧をとる。

$$|V_2 - 2Z_S I_2| \sin \beta > |V_1| \sin \alpha \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

ここで、 α は V_1 と $(-I_2)$ の相差角、 β は $(V_2 - 2Z_S I_2)$ と $(-I_2)$ の相差角である。 α を V_1 と $(-I_2)$ の相差角としたのは、潮流の影響を回避するためである。なお、図 9. より明らかのように、故障相によって 120° ずつ異なるため、故障相によって式(14)の右辺を選択する必要がある。

図10. にブロック図を示す。 V_1 と I_2 の位相比較により故障相を検出し、その故障相に対応する抑制力 $|V_1| \sin \alpha$ を得、一方、動作力 $|V_2 - 2Z_s I_2| \sin \beta$ は故障相に関係なく得られる。さらに、動作力と抑制力の大小比較を行なう。

5.2 潮流とアーク抵抗の影響

4章で検討したモデル系統(図8.)に逆相距離リレーを適用した場合を考える。従来形の、線間電流と線間電圧の比によって故障点までの距離を算出する。

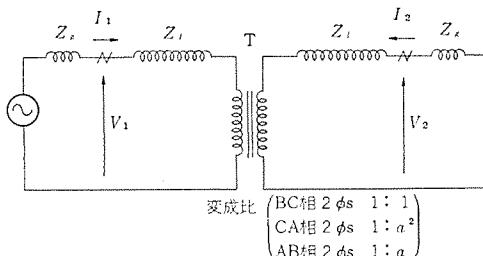


図 9. 2線故障時の等価回路
Equivalent circuit of two-phase fault.

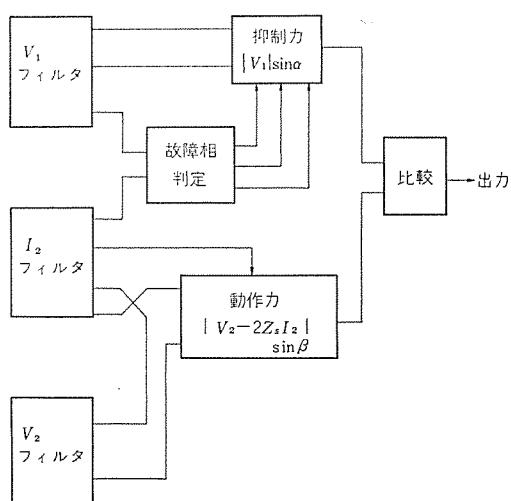


図 10. 逆相距離リレーのブロック図
 Block diagram of negative phase-sequence distance relay.

でのインピーダンスを求める距離リレーでは、潮流送り端でオーバーリーチし、潮流受け端ではアンダーリーチとなる。逆相距離リレーでは、 I_1 を使用しないため潮流の影響が小さく、また式(14)で両辺のリアクタンス分電圧を求めているため、アーカ抵抗発生時にも正しいリーチが得られる。

5.3 断線時の応動

送電線の断線故障時の逆相距離リレーの応動を検討する。1回線送電線の1線断線時の等価回路とベクトル図を図11.に示す。P端において、 V_{2P} と $(-I_2)$ はほぼ 90° の相差角となるため、式(14)の左辺の動作式は正規のものが得られるが、 V_{1P} と $(-I_2)$ の相差角 α が小さくなるため、式(14)右辺の抑制力が低下して逆相距離リレーが誤動作することが考えられる。この対策として、式(13)を動作式とするものを適用すれば、両辺絶対値としているため、抑制力が低下することなく正常な動作が得られる。そこで、44N4の動作式を式(14)とし、44N1~3は44N4とアンドにすることによって、断線時の誤動作が防止できる。この時のシーケンスと位相特性を図12.に示す。また、2回線送電線における曲線故障に対しても、この対策は有効である。

5.4 正相非電源対策

逆相距離リレーを非電源端に適用した場合について検討する。電

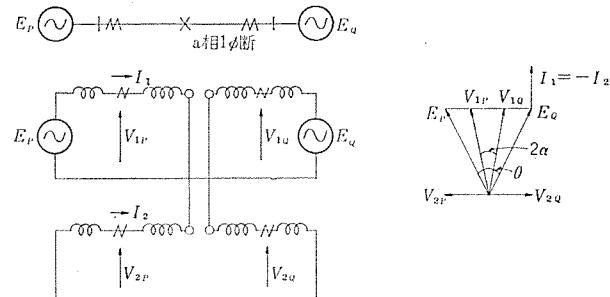


図 11. 1回線1線断線時の等価回路とベクトル図
 Equivalent circuit and vector diagram in one phase
 broken-wire, fault in single transmission line system.

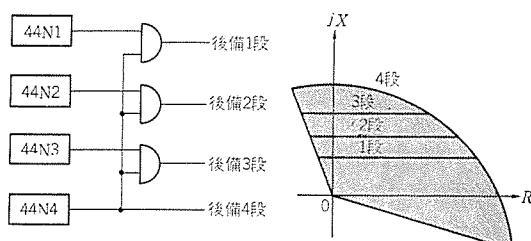


図 12. 断線対策 シーケンスと位相特性
 Sequence and phase-characteristics on the circuit of
 broker-wire faults scheme.

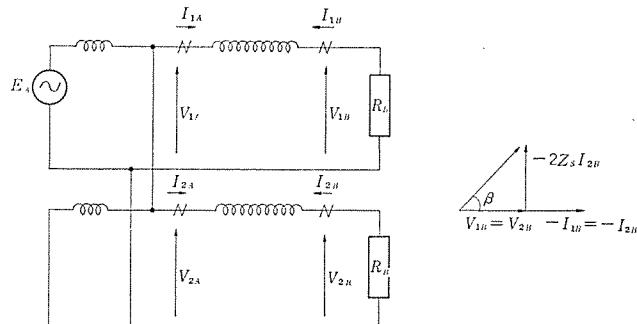


図 13. 正相非電源時の等価回路とベクトル図
 Equivalent-circuit and vector diagram in one source system.

源端外部2線故障時の等価回路とB端のベクトル図を図13に示す。すなわち $V_1 = V_2$, $I_1 = I_2$ で、電圧と電流が逆位相となるため式(14)で、 $\alpha = 0$ となり抑制力がなくなつてリレーは誤動作する。この対策として、正相非電時には V_2 と $(-I_2)$ が同相になることに着目して、方向要素の位相特性において、 V_2 と $(-I_2)$ の同相付近をロックした。

6. その他考慮した事項

6.1 外部故障時送出方式

搬送方式を外部故障時送出方式とした。これは故障検出のできない端子があつても電源端トリップを可能とするためである。ただし、流入のない端子のトリップは割り切ることとした。

6.2 非電源トリップ回路の除外

非電源トリップ回路の除外により、PD回路の人為ミスによるミストリップおよび両端の判定が短絡地絡不一致の場合のミストリップを完全に防止した。

6.3 常時潮流の増大

常時潮流の増大により、過電流ストップがその役目を果し得なくなつた。

表5. 常時監視方式
Outlines of automatic supervision.

監視箇所	内 容		点数
リレー判定部	出力が動作側に継続		16
シーケンス	主要点が健全時と逆の状態に継続		9
入力トランジ	三相間のアンバランス		6
トリップ回路	トリップコイル断線とリレートリップ回路		3
トリップロック	点検時以外のトリップロック		1
キャリヤ受信	系統故障ないのに受信を継続		1
C T P T	入力トランジの監視による		—
電 源	出力電圧監視		—

表6. 点検方式ステップ表
Steps of automatic inspection on new carrier protective relaying scheme.

大別	ステップ	点検内容	判定条件														事故対応	
			自端キャリヤ		11 T C B	論理信号						タイマー						
			送出	停止		85 TS	85 TG	51 DX	64 X	44 -1	44 -2	44 -3	44 -4	56 X	44 ST 2	44 ST 3	44 ST 4	67 GT
保護	1	正相 内部	○	○														51 D
	2	正相 貫通外部	○			×												64
	3	正相 背後外部	○		×													
	4	逆相 内部	○			○												
	5	逆相 貫通外部	○			×												
	6	逆相 背後外部	○	×														
	7	零相 内部	○	○														51 D
	8	零相 貫通外部	○				×											64
	9	零相 背後外部	○	×														
後備保護	10	電流変化幅検出第1相							○									67 SIX
	11	電流変化幅検出第2相							○									67 SOX
	12	電流変化幅検出第3相							○									64
	13	地絡検出								○								51 D, 67 GI
	14	正相 第1段事故			○					○								
	15	正相 第2段事故								×	○							
	16	正相 第3段事故								×	○							
	17	正相 脱調											○					
	18	正相 遺方事故										×						
	19	逆相 第1段事故							○									51 D, 64
	20	逆相 第2段事故							×	○				○				
	21	逆相 第3段事故							×	○				○				
	22	逆相 第4段事故							×	○				○				
	23	逆相 遺方事故									×							
	24	地絡後備			○										○			51 D, 64

っているので、電流変化幅検出リレーを使用した。また正相方向リレーには、内外ともブラインダ要素を含ませた。

6.4 サイリスタトリップリレーの採用

トリップ回路の静止化を実施し、主継電器出力およびシーケンスの論理信号をそのままトリップ指令としている。またトリップ指令は完全2重化とし、サイリスタトリップリレーによって、高速かつ高信頼度のトリップを可能とした。

6.5 自動監視方式

(1) 常時監視方式

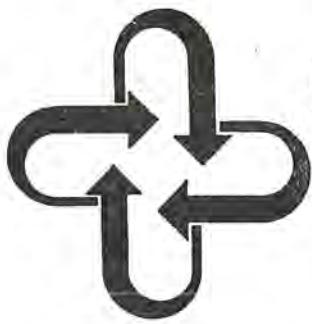
常時監視方式を表5に示す。リレー入力部判定部、シーケンス主要点およびトリップ回路の異常にについて、36点の監視を行なっている。電源に関しては、独立して監視している。

(2) 自動点検方式

点検方式ステップを表6に示す。○印は動作を、×印は不動作を確認して判定している。主継電器は点検用模擬入力を印加して点検し、トリップ回路は点検用CB(11 TCB)を動作させて点検する。なお、点検中の系統事故発生に備えて、事故対応を実施している。

7. むすび

正相逆相方向比較方式と逆相距離リレーによる後備保護を骨子とする新形キャリヤリレーの概要を紹介し、各種故障に対する応動を検討し、その対策を述べた。この装置は重負荷送電線の保護が可能で多端子システムにもそのまま適用できるものであり、自動監視機能を備えて盤一面に収納して盤面スペースの縮小化、装置の高信頼度化保守省力化にも効果が大きいため、今後、実用機としての活躍が期待できる。



技術解說 ++ + + + + + + + + + +

UDC 535. 12. 03

最近における強力 CO₂ レーザの開発

宇田新太郎*

1. まえがき

CO_2 レーザは 1964 年 パテル (Patel) によってはじめて発見された⁽¹⁾。その後、今日に至るまでめざましい発展をつづけてきたが特に近年の進歩は驚異的で、ヨーロッパやアメリカで進められている。出力 6 連続 200 kW の CO_2 レーザがあるといわれている。このような画期的レーザの出現は、励起に高温高圧の熱エネルギーを利用するに至った点にあると思う。これをガスダイナミックレーザと呼んでいる (GDL)。

本文は上記のガスダイナミックレーザの原理、動作、構造のあらましを解説したものである。その前に、これまでの進歩の歴史的背景に少しあれておきたい。

CO_2 分子は周知のように O-C-O の分子構造をもち、炭素原子 C を中心とし、酸素原子 O が左右対称に振動するものと、非対称に振動するものがある。図 1. は CO_2 分子のエネルギー-バンド 図を示したもので、前者の対称振動は 200, 100 で示され、後者は 001 で示されている。このほかに CO_2 は中央の炭素原子 C が O, O を結ぶ線の上下に運動する振動がある。これを ベンディング 振動といい、その準位は 020, 010 と示してある。000 は CO_2 の基底準位である。

CO₂レーザは普通100と001の準位間に起こる反転分布を利用するもので、波長10.6μmを放射する。

N₂混合の役割

パテルは最初 CO_2 のみを使用した。その出力はきわめて少なく 1 mW 程度にすぎなかつたが、その後間もなくパテル自身およびフランスのレーベやゾンメールによって N_2 ガスを混合することによって出力が著しく増大した⁽²⁾⁽³⁾。この理由は図 1. をみるとわかるが、 N_2 分子は対称振動のみで準位が 1 である。この準位のエネルギーの値は CO_2 の上位レベル 001 の値に非常に近い。それゆえ N_2 分子が CO_2 分子に衝突すると容易にそのエネルギーを CO_2 分子に与える。この

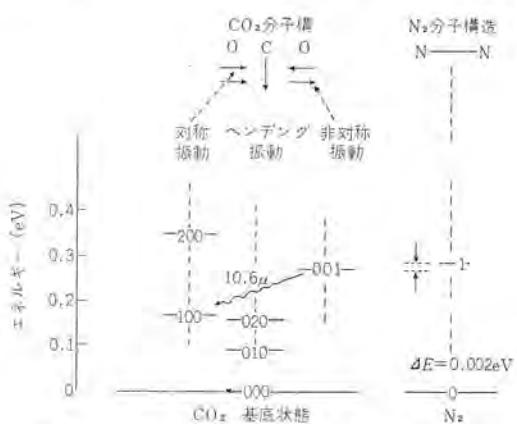


図 1. CO_2 と N_2 分子のエネルギー準位とその遷移

ため 001 準位の CO_2 分子の数が著しく増し下位 100 準位の分子数より多くなり、負温度すなわち反転分布を生じる。つまり励起の容易な多量の N_2 分子がまずエネルギーを受けて励起し、これを CO_2 分子に伝えることになる。

He ガスの混合の役割

次の進歩は He ガスを混合したことである⁽⁴⁾。バテルは CO_2 と N_2 と He の混合気体の割合を実験的に決め $\text{CO}_2 = 5\%$, $\text{N}_2 = 15\%$, $\text{He} = 80\%$ とした⁽⁵⁾。ここで He の役割は冷却作用にある。温度が下がると CO_2 の 010 (図 1. 参照) にある分子数が減り、このため準位 100 の CO_2 分子の緩和時間 (relaxation time) が短くなり、容易に 010 をへて基底におちる。ひいては CO_2 の 001 から 100 への遷移が一層活発になり放射をうながすことになる。

その後、同じ目的に He の代りに H₂O が使われるようになった。量が少なくてすみ、わずかに 1 % 程度でたり。このように He や水蒸気による冷却は気体の拡散 (diffusion) によるもので、出力の比較的小さいものにはよいが、後述大出力のレーザでは高速度フローによるいわゆる convection cooling がよい。次章に冷却の問題をとりあげまし説明しよう。

2. CO₂ レーザの冷却の問題

冷却には拡散冷却とコンベクション冷却のあることはすでに述べたが、外から冷却するということは CO₂レーザでももちろん古くからなされていたことで、例えば放電管 ジャケットを水流で低温に保つとか、強制空冷にするとかした。その後前述のように、冷却の目的だけで He などの気体を加えるようになった。この方法を分けると低速ガスフローによるものと、高速ガスフローによるものとがある。

低速ガスフローによる拡散冷却 (diffusion cooling)

ガスフローが低速で、かつ構成する気体分子が管壁に拡散する時間 τ_{diff} が気流の走行時間がより大きいと、熱のはけ方が悪く冷却しない。このため温度が高まり、レーザ出力に飽和がきてしまう。

いま CO_2 分子の平均自由行程 (mean free path) を l_m とする。 D を放電コラムの直径とすれば、管壁まで熱が拡散する間に通る距離 D は平均自由行程で測って D/l_m になる。そしてガス分子の衝突から衝突までの平均時間は l_m/\bar{v} になる。ここで \bar{v} はガス分子の平均速度、拡散の現象はランダムな現象であるので、実際は管壁に至るまでの距離は D/l_m でなく $(D/l_m)^2$ をとる。それゆえ、分子が D までに至る拡散時間は

$$\tau_{diff} = \left(\frac{D}{l_m}\right)^2 \left(\frac{l_m}{\bar{v}}\right) = \frac{D^2}{l_m \bar{v}} \quad (1)$$

また、レーザ出力は近似的に冷却時間に逆比例するから、単位体積あたりの出力を P_{Ld} とすると

$$P_{La} \propto \frac{\rho l_m \bar{v}}{D^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

ここで、 ρ はガス分子の密度である。上式からわかるようにレーザの出力はガスの密度 ρ と平均自由行程 l_m の積に比例する。そして平均自由行程 l_m はガスの密度に逆比例するから、両者の影響は逆にきき圧力をあげて ρ を増しても出力に効果はない。

また、出力をあげるべく管の直径を増したとしても体積自身が増すから単位体積あたりの出力の利用率はかえって減ることになる。単位長について、出力は変わらないから出力を増す方法は管の長さを増すことになる。例えば数 kWを得るために、長さ 220 ft の CO₂ レーザが必要となる。こんな長さではコンパクトなレーザを得るのに適当ではない。

高速ガスフロー対流冷却 (convection cooling)

上に述べたように拡散冷却は、小出力レーザにはよいが、大出力レーザには適当でない。それには高速フローによる対流冷却を用いる。図 2. は拡散の場合とコンベクション冷却における場合の熱排除時間を比較した図である。同図(a)は拡散冷却の場合で拡散時間 τ_{diff} はすでに式(1)で与えてあるが、この時間熱がとり去られるのであるから、言葉を換えていえば熱排除時間である。

図(b)はコンベクションによる冷却の場合で、ガスフローカラムの速度を U とすると不用になった熱を排除する時間 τ_{flow} は

$$\tau_{flow} = \frac{D}{U} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

になる。ガス密度が等しく、また体積も等しいとすれば、拡散レーザ出力 P_{La} と対流冷却レーザの出力 P_{Lc} との比は

$$\begin{aligned} P_{Ld} &\propto \frac{\tau_{flow}}{\tau_{diff}} \\ &\propto \frac{l_m \bar{v}}{DU} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

となる。この式よりわかるように、対流冷却レーザの出力は拡散冷却の場合の出力より非常に大きくなる。10³ 倍から 10⁵ 倍にもなる。

次に図 3. に示すような長さ x 、面積 A の直六面体をとる。フローの方向は A に垂直な矢の方向とする。この体積中で失われるパワーを P_H ワットとし、そのうち P_L ワットはレーザの出力、 P_H ワットは対流によって運ばれる熱である。レーザパワーの能率を η とすれば

$$P_L = \eta P_E \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

そして

$$P_H = P_E - P_L = (1 - \eta) P_E = \left(\frac{1 - \eta}{\eta}\right) P_L \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

となる。そして

$$P_H = \rho C_P U \frac{\Delta T}{\Delta x} V \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

ここで、 ρ はガスの密度、 C_P は比熱、 U はガスフローの速度、 V は体積、 ΔT は Δx 進む間ににおける温度上昇である。式(7)を式

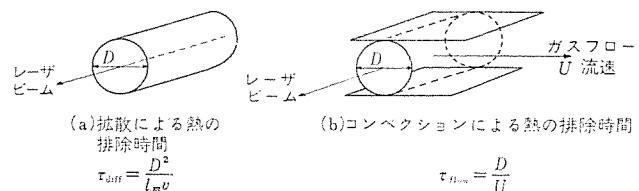


図 2. 拡散とコンベクション冷却における熱排除時間の比較

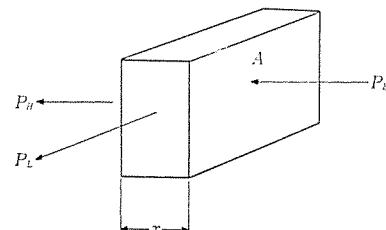


図 3. 長さ x 面積 A のガス柱における熱の配分

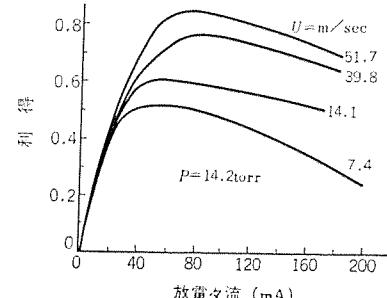


図 4. ガスフロー速度をパラメータとしたときの放電電流と利得の関係

(6) に代入すれば

$$P_L = \rho C_P U A \Delta T \left(\frac{\eta}{1 - \eta} \right) \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

温度上昇 300°K、 η を 15 %、圧力を 100 torr とすれば毎分 1 立方フィートのガスフローからとれるレーザパワー P_L は

$$P_L \approx 2.5 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{torr}^{-1} (\text{cfm})^{-1}$$

で数ワット程度になる。この値が対流冷却による放電形 CO₂ レーザから得られるパワーである。

図 4., 5., 6. にコンベクション冷却レーザの小信号動作特性が示してある。図 4. はガスフロー速度をパラメータとし、放電電流と利得の関係が与えている。一般に小信号利得は与えられたフロー速度のもとでは利得が放電電流と共に直線的に増加するが、やがてある値で飽和し、それより放電電流を増加するとかえって減少するにいたる。この減少はその放電電流に対するガスフロー速度が十分大でなく、余分の熱をとりきる能力がないことから起こる。それゆえフロー速度をあげれば飽和点が上昇し、比較的大きい放電電流のところまで利得をあげることができる。

図 5. は縦軸に利得の変わりにレーザ出力(比較値)をとってある。図 4. と同じ傾向の曲線となる。図 6. はパラメータにガス圧

技術解説

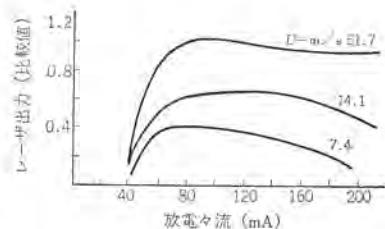


図 5. ガスフロー速度、出力、放電電流の関係

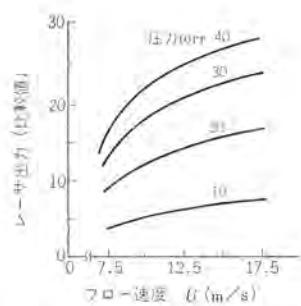


図 6. レーザ出力と圧力、ガスフロー速度との関係

をとったもので、フロー速度とレーザ出力との関係が示してある。

3. CO₂ レーザの電圧のかけかたの問題(高圧横方向放電)

CO₂ レーザの電界と気圧の比 E/P が普通 10~50 V/cm·torr の範囲が最もよいとされている。レーザの出力を増すには管を長くすることが一つの方法であるが、 E/P を上記の値に保つには管の両端の電圧が高くなりすぎる。例えば圧力 800 torr、長さ 1 m の放電管を用いると E/P が 8×10^5 V から 4×10^6 V を必要とする。この欠点をさけるために近年になって電圧をフローに対して横方向からかけるようになってきた。電界が横方向になると電極間の距離が短縮し比較的低い電圧で高電界が得られる。圧力も気圧程度に増すことができ、コンパクトなレーザが得られる。この種のレーザを普通 TEA レーザ (Transversely Excited Atmospheric Pressure Laser) と呼んでいる。数 メガワット以上のパルスが得られている。

また、この場合パルスエネルギーをあげ放電を容易にするため放電を二重にすることがある。すなわち、主放電を起こす前に補助放電 (predischarge) が起こるようにする。最もよいといわれるプレ放電の方法は前もって電子ビームで電離を与えておくのである。この方法で約 2,000 J のレーザエネルギーが得られ、パルス幅も 10 μs にできる。

4. 超高速フローとガスダイナミック レーザの原理

最後に述べる大出力レーザは原理的にも従来になかった新しいもので、励起に熱と超高速気流の動力学的エネルギーを利用する。すな

わち、混合ガスを高温高圧に熱し、これを超音速ノズルを通し噴射させ、断熱膨張 (adiabatic expansion) を起こさせて急冷すると、CO₂ 分子のエネルギー準位に反転分布が起こる。このアイデアをはじめて出したのがソ連の科学者ベーソフとオレブスキイ (Basov and Oraevskii)⁽⁸⁾ である。同じくソ連のコニホフとプロクホロフ (Konyukhov and Prokhorov)⁽⁹⁾ は一步を進めて混合ガスをマッハ以上での超音速で噴射させ、このレーザの実現に成功した。

アメリカにおいても間もなくゲリー (Gerry) が類似の方法で大出力の CO₂ レーザを得ることに成功した⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。このレーザを普通ガスダイナミックレーザ (GDL) と呼んでいる。

ガスダイナミックレーザに使われる混合気体は普通の CO₂ レーザの場合と同様に CO₂ (9%), N₂ (90%), H₂O (1%) の混合気体で、これを数マッハの超音速でノズルより噴出させる。レーザ出力のもととなるエネルギーの大部分は N₂ 分子に蓄えられる。このエネルギーは分子間の衝突によって CO₂ 分子の 001 準位に供給され、CO₂ の下の準位 100 との間に反転分布を起こす。これにはノズルより出る速度が非常に速く、コンベクションによる熱の排除時間が 001 準位の緩和時間より短いことが必要である。この条件のもとでは CO₂ の 001 準位の分子数がいよいよ増す。他方 CO₂ のひくい準位 100 の分子数は H₂O の存在で緩和が早く進み基底状態にもどる。このようなメカニズムで、CO₂ の 001 から 100 に遷移する分子の数が著しく増大し、ついで CO₂ レーザ ($\lambda=10.6 \mu\text{m}$) が得られるのである。次に超音速ノズルについていま少しだけ検討してみよう。

超高速ノズルのはたらき

図 7. はノズルのはたらきを示した図⁽¹⁰⁾である。同図の (a) はノズルを通るフローのみちじを描いてある。ノズルに入る前の部分はスタグネーションの範囲といわれ、ガスの温度気圧は一応一定で $T=1,400^\circ\text{K}$, $P=17 \text{ atm}$ で、ここでは熱平衡状態にあり、反転分布は

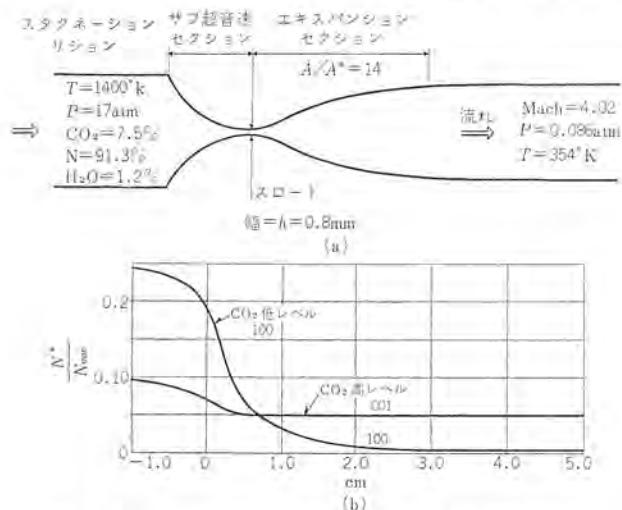


図 7. CO₂ ダイナミックレーザの各場所における 001 および 100 準位の分子密度の分布

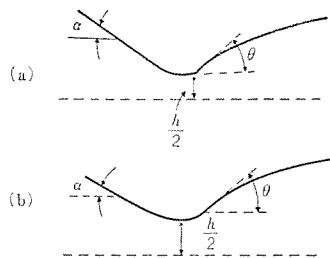


図 8. ノズルの代表的な輪郭図、(a)はスロートが鋭い角をなすもの(b)はわん曲をしたもの

起っていない。混合気体は図示のように CO_2 , N_2 , H_2O である。高温高圧のこれらの気体がサブ超音速セクションをへてノズルのスロートから噴射し、次のエキスパンションセクションに入る。スロートの幅は 0.8 mm, 噴出後のフローの面積比 $A/A^*=14$ になっている。 A^* はノズルのスロートの部分の面積、 A は膨張後の面積、ノズルを出るときの流速はマッハ数 (Mach number) は約 4 である。圧力は約 0.1 atm にさがり、温度はほぼ周囲の温度 $T=354^\circ\text{K}$ までさがる。

図 7 の (b) で N^* はスロートにおける CO_2 の分子数、 N_{000} は基底状態の分子数で縦軸にその比がとっている。図よりわかるように CO_2 分子の低い方の準位 100 の分子数はノズルに入る前にはその数が多いが、噴出に伴い急に減少しある最小値に達する。これに反して CO_2 分子の高い準位 001 はノズルの入口の方で少し減るが、のちほどとんど一定の準位に保たれ、この部分では低ベル 100 の分子数よりも多くなり、反転分布が起っていることがわかる。

ノズルの形をどう決めるかは簡単ではない。図 8. は代表的な輪郭図 (contour) を描いたもので、流れのストリームラインをどうとるかによってダイナミックレーザとしての性能が変わってくる。窒素分子 N_2 に蓄えられたエネルギーをできるだけ有効に使うようにしなければならない。スロートのところでは N_2 分子の振動のエネルギーが事実上ストップするいわゆる凍結の状態にあることが望ましい。図 8 の (a) は、スロートの曲り角を鋭くしてあり、 N_2 分子の振動のエネルギーがほとんどない凍結状態にあってよい結果を与える。これに反して同図 (b) は、スロートのところがややゆるく彎曲している。この場合は製作が都合よく、また多数のノズルを一列に並べるのに容易という利点はあるが、一面 N_2 分子の振動のエネルギーの凍結がある程度犠牲になる欠点がある。一般にノズルの最適曲線を計算によって決めるとは必ずしもやさしくないが、ソロモン (solomon) などがやっている⁽¹²⁾。

5. 放電形励起法

ガスダイナミックレーザの原理はすでに述べたが、この形も高速フローレーザであることは同じだが、励起に放電を使ったものである。構造は図 9. に示すようにガスダイナミックレーザによく似ている。 CO_2 , N_2 , He の混合ガスを高圧タンク内で熱しノズルを通してマッハ 3 の高速で噴出させる。電圧は熱せられた混合気体の流れに直角に、す

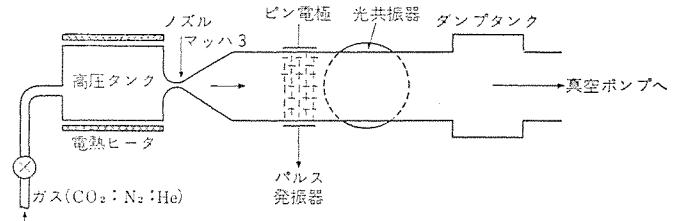


図 9. 放電形高速フロー CO_2 レーザの例

なむち横方向にかけられパルス放電を起こす。このときは前に述べたと同様に、分子間衝突によって N_2 のエネルギーが CO_2 分子に移り 001 準位の分子数が増し反転分布を生じる。

電極はピン形で、光共振器も横方向におかれ。電極に加えられるパルスのくり返しは 17 kHz 以上である。その大きさはくり返し周波数に比例し、また圧力にも関係する。小形のものは 160 torr で、最大平均出力 340 W が得られている。放電容積から電力密度を求めるとき 34 W/cm^3 となる。また、この形で大形のものも研究されているが、最高の連続出力はいくらか確かなことはわからないが、100 kW は得ているだろうという。

6. ガスダイナミックレーザ

原理については、4 章で述べた。ここでは構造と性能について簡単に述べておきたい。ガスダイナミックレーザの大形のものはノズルは多数並列にした、いわゆるマルチノズル形である。図 10. は縦に並べたいいくつかのノズルを 1 列に配列したものである。横にもしきりがあり 2 列以上に配列したものもある。図 11. は大形ガスダイナミック CO_2 レーザの概念図である。 CO_2 は CO と O_2 を炉で燃焼させてつくり、それに N_2 と H_2O を加える。得られた混合ガスは長いタンクに導かれ、側面に設けたマルチノズルより噴出させる。この部分だけをとれば構造は小ロケットのごときものである。

タンクの温度 $1,500^\circ\text{K}$, 17 気圧に加圧してある。連続出力 60 kW, 能率約 30 % である。エネルギーは約 2,000 J, パルス幅は 1 ns 以下にでき、ピークパワーは 10^9 W 程度になる。この結果はアメリカにおいてな

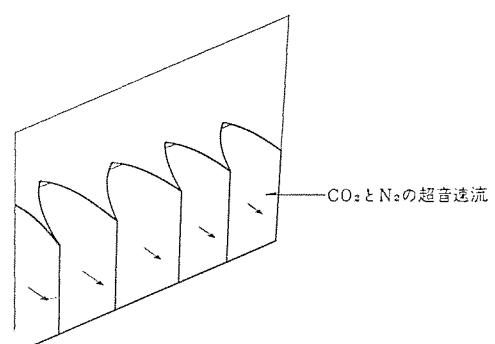


図 10. 左右に排列されたマルチノズル、図は 1 段であるがさらに上下にいく段か設けることもある

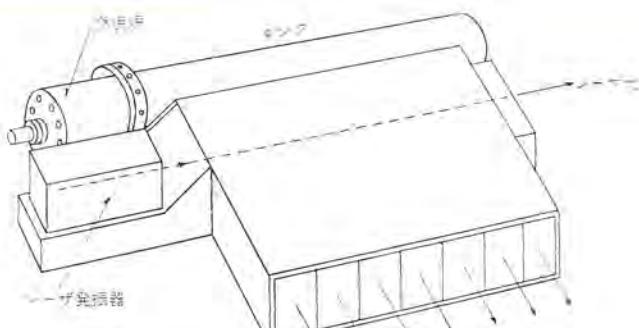


図 11. 大形ガスダイナミック CO_2 レーザの概念図

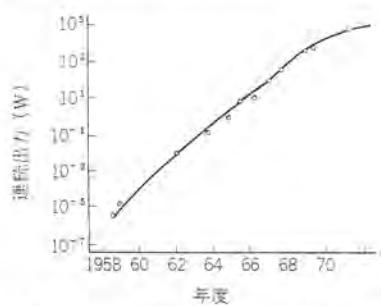


図 12. レーザ出力(連続)の各年の増加

された実験結果で、第2段階では温度圧力をさらに増して、それぞれ $1,800^\circ\text{K}$, 30気圧にあげ水分 610%にして実験した。さらに第3段階の実験では温度 $2,400^\circ\text{K}$ にあげるという。現に得ている連続出力の最大はおそらく 200 kW に達するといわれている。これまでの実験結果によるとレーザの出力は毎年 10 倍ずつ大きくなってきている(図 12.)。この傾向はいつまでもつづくものではなく、やがては減ると思うがとにかくこのような大出力が CO_2 ガスレーザで得られているという事実は注目すべきである。

7. ケミカルレーザ

ケミカルレーザは一般に励起に化学反応を利用するものというべきであろう。ここに大出力レーザとしてあげるのは、たやすくはスーパー・ニッポン・トランシーファ・ケミカルレーザ(Supersonic Transfer Chemical Laser(略して TCL))と呼んでいるもののことである。

普通化学反応によって励起されるものは水素とハロゲン元素⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾の化合物、すなわち HCl , HBr , HF また、重水素 D とふ(弗)素 F の化合物 DF がある。これらの励起物質はいまのところそのもの直接の励起を利用してレーザ波を得るのではなく CO_2 気流と混合して使う。したがって構造は CO_2 のガスダイナミックレーザと同じく、混合気体を超高速でノズルより噴出させるのである。ただしこの場合には N_2 分子は混ぜず、その変わり励起された DF を使う。励起された DF を CO_2 分子に反応させると DF のエネルギーが CO_2 分子に移る。すなわち自分は下の準位におち、 CO_2 分子を 001 の準位にあげ

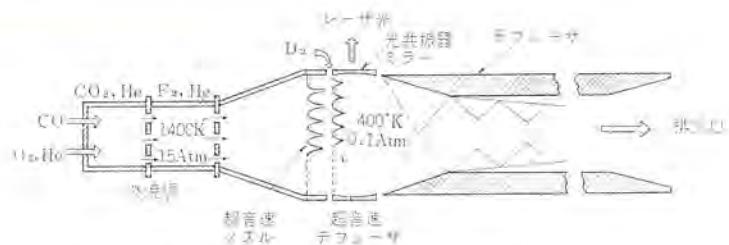


図 13. スーパー・ニッポン・トランシーファ・ケミカルレーザの例

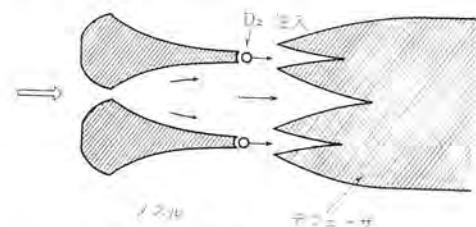
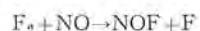


図 14. 超音速ノズルとデフューザ

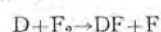
る。コーネル大学のクール(T. A. Cool)やステフェンス(R. R. Stephens)⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾によれば、まず次の反応を利用して遊離状態の F をつくる。



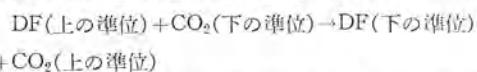
生じたふ(弗)素、原子 F が重水素の分子 D_2 と急速に結びつき DF を生じて同時に D を生じる。



また、この D が F_2 分子に作用してここでも DF をつくり、再び遊離の F をはなつ。



このようにし連鎖反応的に DF がつくられる。上のようにしてつくられた励起物質 DF は CO_2 と混合すると、みずからは下の準位におち、 CO_2 を上の準位にあげる。すなわち、



になる。このようなメカニズムで CO_2 の 001 準位の分子数が増し反転分布が起こるのである。

図 13. に構造の一例が示してある。まず、燃焼炉で He でうすめられた気体中で一酸化炭素 CO を燃焼させ CO_2 をつくる。第1の燃焼炉を出した CO_2 と He の混合気体は第2の燃焼炉に入り、ここにあらかじめ注入されてあった F_2 と He (1:9) と混合し、温度 $1,400^\circ\text{K}$ 圧力 15 気圧になる。 F_2 は熱解離をし混合気体を加速し、やがて超音速ノズルから噴出する。図に示すように、この噴流中に必要な量の重水素分子 D_2 を注入する。このノズルのさきに超音速デフューザがおかれていて、図 14. はこの部分を拡大して描いてある。

出力は目下のところまだガスダイナミックレーザに及ばない。最大連続出力 10 kW 程度といわれている。ダイナミックガスレーザは出力が大きいが装置がかさばる欠点がある。それに対してケミカルレーザは機構

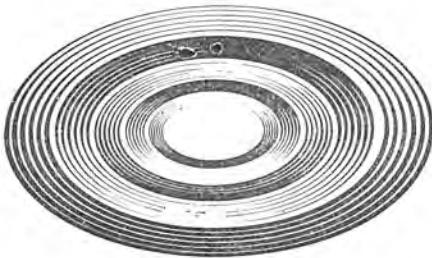
は幾分か簡単にでき、ポンプとブロアを省略できる可能性もあるから小形化するのに便利である。

参考文献

- (1) C. K. N. Patel : Continuous Wave Laser Action on Vibrational-Rotational Transitions of CO₂, Phys. Rev. Lett., 336 A, pp 1187~1193 (Nov. 30, 1964)
- (2) F. Legay and N. Legay-Sommaire : Sur les Possibilities de Réalisation d'un Maser Optique Utilisant l'Énergie de Vibration des Gases Excités par l'Azote Actif, C. R. Acad. Sci., 259, pp 99~102 (July 6, 1964)
- (3) C. K. N. Patel : Selective Excitation Through Vibrational Energy Transfer and Optical Maser Action in N₂-CO₂, Phys. Rev. Lett., 13, pp 617~619 (Nov. 23, 1964)
- (4) G. Moeller and J. D. Rigden : High Power Laser Action in CO₂-He Mixtures, Appl. Phys. Lett., 7, pp 274~279 (Nov., 1965)
- (5) C. K. N. Patel, P. K. Tien and J. H. Mc Fee : CW High Power CO₂-N₂-He Laser, Appl. Phys. Lett., 7, pp 290~292 (Dec., 1965)
- (6) A. E. Hill : Multijoule Pulses from CO₂ Lasers, Appl. Phys. Lett., 12, pp 324~327 (May, 1968)
- (7) A. E. Hill : Role of Thermal Effects and Fast Flow Power Scaling Techniques, Appl. Phys. Lett., 16, pp 423~426 (June, 1970)
- (8) N. G. Basov and A. N. Oraevskii : Attainment of Negative Temperatures by heating and Cooling a System, Sov. Phys.-JETP, 17, pp 1,171~1,174 (Nov., 1973)
- (9) V. K. Konyukhov and A. M. Prokhorov : Population Inversion in Adiabatic Expansion of a Gas Mixture, Sov. Phys.-JETP Lett., 3, pp 386~388 (June, 1966)
- (10) E. T. Gerry : Gasdynamic Lasers, IEEE Spectrum, 7, pp 51~58 (Nov., 1970)
- (11) E. T. Gerry : The Gasdynamic Laser, Laser Focus, pp 27~31 (Dec., 1970)
- (12) J. D. Anderson Jr and F. L. Harris : Gasdynamic Laser 2 Years Later, Laser Focus, pp 32 (May, 1972)
- (13) J. V. V. Kasper and G. C. Pimentel : HCl Chemical Laser, Phys. Rev. Lett., 14, pp 352~354 (1965)
- (14) H. Mirels and D. J. Spencer : Power and Efficiency of a Continuous HF Chemical Laser, IEEE Journal QE, QE-7, pp 501~507 (Nov., 1971)
- (15) T. A. Cool, R. R. Stephense and T. J. Falk : A Continuous Wave Chemically Excited CO₂ Laser, Inst. J. Chem. Kinetics, 1, pp 495~497 (Sept., 1969)
- (16) T. A. Cool and R. R. Stephens : Efficient Purely Chemical CW Laser Operation, Appl. Phys. Lett., 16, pp 55~58 (Jan., 1970)
- (17) T. A. Cool MDI : The Transfer Chemical Laser ; A Review of Recent Research, Quantum Electronics, IEEE, QE-9, No. 1 (Jan., 1973)
- (18) A. J. Demaria : Review of CW High Power CO₂ Lasers, Proc. IEEE, 61, No. 6, pp 731~748 (June, 1973)

(昭和48-11-9受付)

NEWS FLASH



ブライン式ショーケース冷却システム

食品売場のオープンショーケース冷却に三菱ブライン式ショーケースシステムを全面的に採用した、ビッグスーパー「ニイチ 大分店」が昨年9月28日オープンした。

本システムは当社がスーパーマーケットのオープンショーケース冷却システムの省力化、性能・信頼性向上および省電力を目的にかねてより開発を進めていたもので、今後業界に多大の反響をまき起すことになる。

従来の冷却方式はショーケースに直接冷媒を送り込むいわゆる直膨式であったのに対し、本システムではブライン冷却機で冷却したブライン(不凍液)をケースに送り込む間接式で、次のような基本的メリットを有する。

(1) 数十本のケースを数台のブライン冷却機で冷却するセントラル方式のためメンテナンスを大幅に軽減できる。

(2) 据付に際しめんどうな冷媒配管工事がなく、水(ブライン)配管のみ行えばよい。

(3) 負荷の変動による冷凍機運転の不安定がない。

(4) デフロストは被冷却物より奪った熱でホットブラインを作り、これをケースに送り込んでやる方式なので、デフロスト時間が短く(従来の1/3~1~5)それだけ品温上昇も少ない。

また、デフロストのための特別の電力を必要としない。

(5) 冷ブライントンを設けることにより夜間蓄熱ができ、昼間の電力ピークカットに対処できる。

なお、当社のブライン冷却機シリーズにはBCR形(中高温ケース用)7機種およびBCS形(低温ケース用)4機種がある。



図1 ブライン式ショーケース(ニイチ 大分)



図2 ブライン冷却機 BCS形(低温ケース用)

三菱軌道バス“MAT”システム完成

最近の都市交通は、渋滞による機能低下や大気汚染・騒音・振動などが社会問題として、大きくクローズアップされてきている。

このような交通事情を救う新しい交通機関として、当社は、三菱重工業(株)と共同で、三菱軌道バス・MATシステムの開発を進めてきたが、このほど三菱重工業三原製作所内に試験線が完成し、さる昭和48年12月4日、5日の両日、官公庁ならびに各方面の関係者約400名を招待して、試験線の披露を行ない、非常な好評を得た。

試験線は、全長710mの軌道と分岐器、各種設備を有する駅2カ所、中央制御所ならびに車両2両を含む大規模なもので、高速走行、無人運転など実用時とまったく同じ条件で各種試験を行なうことができる。

三菱軌道バスは、専用軌道上を走行する車両を無人で完全自動運転するシステムで、つぎのような特長をもっている。

(1) 1時間片道5,000~16,000人の輸送量をもち、ニュータウンと鉄道駅間の連絡、都市内ならびにニュータウン内の交通などに最適である。

(2) 運転間隔90秒の高密度スケジュール運行のほか、深夜・早朝の閑散時にはデマンド運行も可能である。

(3) 輸送量に応じて車両数を増減させるために、自動連結解放が可能である。

(4) 車両には、ゴムタイヤを使用しているので、騒音・振動もなく、また、冷暖房装置を完備しているので、快適な乗りごこちとなっている。

(5) 車両、駅、軌道のデザイン、彩色は、周囲の景観との調和にポイントをおいている。

(6) 最小回転半径10mが可能なため、軌道の設定が容易で、軌道けた(桁)の簡素化、車両の小型軽量化により、建設費が安価である。

三菱軌道バス試験線の主要諸元は、つぎのとおりである。

(1) 路線全長： 710m 単線(1部ループ)

(2) 軌道構造： H形鋼、中央案内レール式

(3) 曲率半径： 200m, 100m, 10m

(4) こう配： 25.5‰

(5) 運行モード： スケジュール運行、デマンド運行

(6) 運行管理システム： 全地上集中制御、符号伝送(漏えい(洩)同軸ケーブル)、車両の運行モニタ、ITVモニタ

(7) 保安方式： 固定閉塞ATC

(8) 駅設備： プラットホームドア(車両ドアと連動)、デマンド押しボタン、ITVカ

メラ

(9) 最高速度： 60~70km/h/s

(10) 加速度： 3km/h/s

(11) 減速度： 4km/h/s(常用)、6km/h/s(非常)

(12) 車両寸法： 5.7m(長さ)×2.2m(幅)×2.9m(高さ)

(13) 車両重量(空車)： 5トン

(14) 車両乗車人員： 32人(定員)、46人(満員)

(15) 集電方式： 交流三相3線

(16) 主電動機と制御： 65kW 直流電動機1台、サイリスタ位相制御

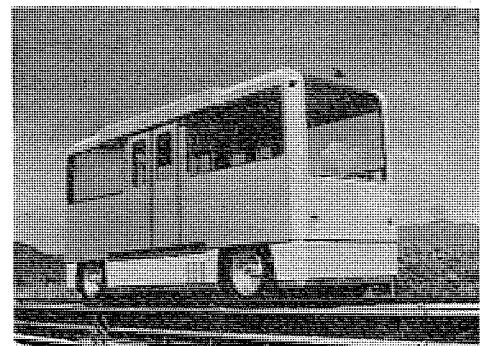


図1 車両外観



図2 中央制御所

[本社重電計画部]

当社の特許

登録番号	名 称	発 明 者	登録番号	名 称	発 明 者
659087	二段圧縮冷凍装置	菊池照弘	663891	内燃機関の燃料噴射制御装置	佐々木武夫
659487	タイムスイッチ	武田克己・元木義明	663892	封着用合金複合板	中島陽三・田中次雄
659488	タイムスイッチ	武田克己・神本明輝	664720	放電加工装置	齊藤長男・荒井伸治
659489	美粧器具の駆動電源装置	福田興司・川合輝一			小林和彦
659490	長短パルス発生回路	島田政代士	664721	電気絶縁油	白井万次郎・石井敏次
659491	パルス発生装置	高田信治	664723	遠方監視装置	草川英昭
659492	エレベータ用制御ケーブル	滝平七・金森和弘	664725	ディスプレイ走査装置	島田政代士
659493	遠隔測定装置	岩井 優	664726	走査回路同期装置	壇井芳昭・梅田義明
659494	超電導装置	明石克寛・荻野 治 森口哲雄	664727	軸受装置	池端重樹・新居宏王
659495	パルス発生装置	佐藤安俊	664728	直流電動機の制御装置	壇井芳昭・池端重樹
659496	避雷器	荒畑吉邦・安田 勝 永井信夫・但田昭司	664729	内燃機関	倉藤 康
659497	避雷器	新田東平・岡田昌治 渡辺次男・但田昭司	664730	内燃機関	小川裕三
659498	中性点接地スコット結線変圧器	林 重雄	664731	冷房装置	三木隆雄・野間口 有
659499	自動点滅器	元木義明	664732	燃焼装置	山本 勇
659484	無接触探針装置	菅野 勉・菊地 誠	664733	電子管用ガラス	藤原通雄・野間口 有
659485	電子調理器	高橋広光・高瀬明生	664722	交流絶対値比較装置	甲斐潤三郎・渡部勤二
659486	簡易水垢除去装置	祖父江晴秋	664724	列車自動運転制御方式	森広喜之
661265	交流直流間可逆電力変換装置	赤松昌彦	666008	自動開閉扉装置	三上一郎
661266	論理素子接続方式	織田博靖	666009	絶縁線輪	山崎英蔵
661267	薄板移動装置	蘿原 智・田中曉務 沢永 寧	666011	ネットワーク配電方式	小林須美
661268	冷温水装置	岩崎善彦	666013	赤外線波長変換装置	伊藤公男
661585	搬送保護継電方式	生田 忠・菅井英介	666014	照明用ルーバ	芝瀧寿宏・福田信夫
661586	半導体装置の拡散前処理方法	中田仗祐・福西常夫	666015	リードアウトカウンタ	稻荷隆彦
661587	ステップモータ駆動装置	佐藤安俊	666016	表示線保護継電装置	金闇 勇・石井重行
661588	半導体装置	中田仗祐	666018	半導体装置	佐藤安俊
661589	放電間隙装置	新田東平・渋谷義一 坂本和男	666019	自動列車制御装置	古谷昭雄・中島安広
661590	半導体装置	出水清史	666020	選別装置	菅井英介
661591	光磁気共鳴磁力計	久保高啓・大川清人	666021	熱硬化性樹脂の製造法	中田仗祐
661592	光磁気共鳴磁力計	久保高啓・大川清人	666023	インバータ	鳥居健太・石本正明
661593	光磁気共鳴磁力計	久保高啓・西川 啓	666024	2段変速クラッチモーター	永井信夫・但田昭司
661594	光磁気共鳴磁力計	久保高啓・渡辺勢夫	666025	溶接装置	西崎俊一郎・不可三晃
661595	きょう体	桂川 弘・久我見二 山根 忠	666010	インバータ装置	古橋 靖夫
663883	パルスマータ駆動装置	武田克己・三好明好	666012	擬似ランダム符号列の同期方式	高橋一智・多田靖夫
663884	電動機の並列運転装置	赤松昌彦	666017	エンジン過回転防止装置	横山昌弘
663885	パルス幅変換装置	佐藤安俊	666022	冷暖房装置	齊藤長男・荒井伸治
663886	パルス発生回路	壇井芳明・松原 要	667598	記憶装置	宮澤生行
663887	避雷器の放電間隙装置	新田東平・山田直也 藤原幸雄	667600	回路しゃ断器	赤松昌彦
663888	消弧装置	新田東平・渋谷義一 坂本和男	667602	インバータ装置	太田高久
663889	燃料噴射制御方式	辰巳 巧	667603	静止形継電器	才田敏和
663890	電子管用陰極およびその製造方法	小坂橋正康・佐野金治郎	667604	日付時刻表示装置	岩崎善彦
			667605	半導体直接発振器	山地正城
			667606	電圧無効電力制御方式	河野教人
					赤松昌彦
					松本忠士
					神本明輝
					白幡 潔・室坂達雄
					宮田泰之・石田 芳

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) (西 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) (西 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) (西 450)	(電)	名 古 屋 (052)	565局3111番
静 岡 営 業 所	静岡市伝馬町16の3番地 (西 420)	(電)	静 岡 (0542)	54局4681番
福 岡 営 業 所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天 神 ビ ル) (西 810)	(電)	福 岡 (092)	721局2111番
長 崎 営 業 所	長崎市丸尾町7番8号(長崎底曳会館) (西 852)	(電)	長 崎 (0958)	61局6101番
札 幌 営 業 所	札幌市中央区北2条西4丁目(北海道ビル) (西 060-91)	(電)	札 幌 (011)	212局3711番
仙 台 営 業 所	仙台市大町1丁目1番30号(新仙台ビル) (西 980)	(電)	仙 台 (0222)	64局5611番
富 山 営 業 所	富山市桜木町1番29号(明治生命館) (西 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) (西 730)	(電)	広 島 (0822)	48局5311番
岡 山 営 業 所	岡山市駅前町1丁目9番地15号(明治生命ビル) (西 700)	(電)	岡 山 (0862)	25局5171番
高 松 営 業 所	高松市鶴屋町2番1号 (西 760)	(電)	高 松 (0878)	51局0001番
新 潟 営 業 所	新潟市東大通2丁目4番地10号(日本生命ビル) (西 950)	(電)	新 潟 (0252)	41局7212番
東 京 商 品 営 業 所	東京都港区赤坂2丁目5番1号(東邦ビル) (西 107)	(電)	東 京 (03)	588局6811番
関 東 商 品 営 業 所	大宮市大成町4丁目298番地 (西 330)	(電)	大 宮 (0486)	65局3211番
大 阪 商 品 営 業 所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (西 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) (西 450)	(電)	名 古 屋 (052)	565局3111番
福 岡 商 品 営 業 所	福岡市中央区天神2丁目12番1号(天 神 ビ ル) (西 810)	(電)	福 岡 (092)	721局2111番
札 幌 商 品 営 業 所	札幌市中央区北2条西4丁目(北海道ビル) (西 060-91)	(電)	札 幌 (011)	212局3777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) (西 980)	(電)	仙 台 (0222)	64局5611番
北 陸 商 品 営 業 所	金沢市小坂町西97番地 (西 920)	(電)	金 沢 (0762)	52局1151番
広 島 商 品 営 業 所	広島市中町7番32号(日本生命ビル) (西 730)	(電)	広 島 (0822)	48局5311番
高 松 商 品 営 業 所	高松市鶴屋町2番1号 (西 760)	(電)	高 松 (0878)	51局0001番
東 京 機 器 営 業 所	東京都港区北青山1丁目2番3号(青山ビル) (西 107)	(電)	東 京 (03)	404局0336番
大 阪 機 器 営 業 所	大阪市北区堂島北町8番地の1 (西 530)	(電)	大 阪 (06)	344局1231番
名 古 屋 機 器 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) (西 450)	(電)	名 古 屋 (052)	565局3111番
静 岡 機 器 営 業 所	静岡市小鹿2丁目1番22号 (西 420)	(電)	静 岡 (0542)	82局2061番
浜 松 機 器 営 業 所	浜松市海老塚町479の1 (西 430)	(電)	浜 松 (0534)	54局4121番
中 央 研 究 所	尼崎市南清水字中野80番地 (西 661)	(電)	大 阪 (06)	491局8021番
生 产 技 术 研 究 所	尼崎市南清水字中野80番地 (西 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 (西 247)	(電)	鎌 倉 (0467)	44局6111番
神 戸 製 作 所	神戸市兵庫区和田崎町1丁目1番2号 (西 652)	(電)	神 戸 (078)	652局2121番
伊 丹 製 作 所	尼崎市南清水字中野80番地 (西 661)	(電)	大 阪 (06)	491局8021番
三 田 工 場	三田市三輪字父々部85番地 (西 669-13)	(電)	三 田 (07956)	3局4371番
赤 稔 工 場	赤穂市天和651番地 (西 678-02)	(電)	赤 稔 (07914)	3局2221番
長 崎 製 作 所	長崎市丸尾町6番14号 (西 850-91)	(電)	長 崎 (0958)	61局6211番
時 津 工 場	長崎県西彼杵郡時津町浜田郷字神崎浦517 (西 851-21)	(電)	時 津 (09588)	2局2461番
稻 沢 製 作 所	稻沢市菱町1番地 (西 492)	(電)	稻 沢 (0587)	32局8111番
和 歌 山 製 作 所	和歌山市岡町91番地 (西 640-91)	(電)	和 歌 山 (0734)	36局2111番
鎌 倉 製 作 所	鎌倉市上町屋325番地 (西 247)	(電)	鎌 倉 (0467)	44局1111番
通 信 機 製 作 所	尼崎市南清水字中野80番地 (西 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 (西 664)	(電)	伊 丹 (0727)	82局5131番
熊 本 工 場	熊本市竜田町弓削720番地 (西 862)	(電)	熊 本 (0936)	38局7211番
名 古 屋 製 作 所	名古屋市東区矢田町18丁目1番地 (西 461)	(電)	名 古 屋 (052)	721局2111番
旭 工 場	尾張旭市下井町字下井 (西 488)	(電)	尾 張 旭 (05615)	3局5101番
福 岡 製 作 所	福岡市西区今宿青木690番地 (西 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 (西 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 (西 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 (西 670)	(電)	姫 路 (0792)	23局1251番
静 岡 製 作 所	静岡市小鹿3丁目18番1号 (西 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 (西 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 (西 247)	(電)	鎌 倉 (0467)	44局6111番
郡 山 製 作 所	郡山市栄町2番25号 (西 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 (西 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 (西 375)	(電)	藤 岡 (02742)	2局1185番
京 都 製 作 所	京都府長岡京市馬場園所1番地 (西 617)	(電)	京 都 (075)	921局4111番
長 野 工 場	長野市大字南長池字村前 (西 380)	(電)	長 野 (0262)	43局1101番
札幌 営 業 所	札幌市中央区北2条東12丁目98番地(新川ビル) (西 060)	(電)	札幌 (011)	231局5544番

次号予定

三菱電機技報 Vol. 48 No. 3

回転機絶縁技術 特集

《特集論文》

- 回転機絶縁技術の展望(巻頭言)
- 新高圧発電機エポキシ絶縁
- 最近の高圧電動機絶縁
- 高圧電動機レジンリッチ絶縁
- 高電圧回転機用エポキシ含浸樹脂と集成マイカ
材料の開発
- 回転機巻線の機械的諸問題の検討
- 回転機絶縁開発における信頼性解析システム
- 低圧誘導電動機のF種絶縁
- 電動機絶縁の耐環境性評価

○ハーメチックモータ絶縁の評価

- 高圧水中モートルの絶縁
- 《普通論文》
- 原子力プラント用電気機器の耐震試験
- リング精紡機用電機品
- 静止衛星の姿勢制御試験装置
- M345M形カラーキャラクタディスプレイ装置
- 固定ヘッド型磁気ディスク記憶装置
- 無人海洋計測ロボットの計算機制御
- 磁気浮上走行車制御装置

三菱電機技報編集委員会

委員長

正木茂雄

常任委員

藤永 敦

副委員長

神崎 邇

湊 武雄

常任委員

伊藤 一夫

武藤 正

"

上田 重夫

吉松 誠一

"

宇佐見 重吉

委員

柏谷 一雄

"

大田 重吉

坂田 邦寿

"

北川 和人

武田 忠夫

"

古賀 享

待鳥 正

"

外野 範吾

吉武 正彦

"

塚本 信雄

若宮 佐三

"

久松 章三

(以上 50 音順)

三菱電機技報 48 卷 2 号

昭和 49 年 2 月 22 日印刷 昭和 49 年 2 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部 金 200 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

發 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」

(電話) (03) 218 局 2323 番

發 売 元

東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地 (郵便番号 101) 株式会社 オーム社書店

(電話) (03) 291 局 0912 番 振替口座 東京 20018 番