

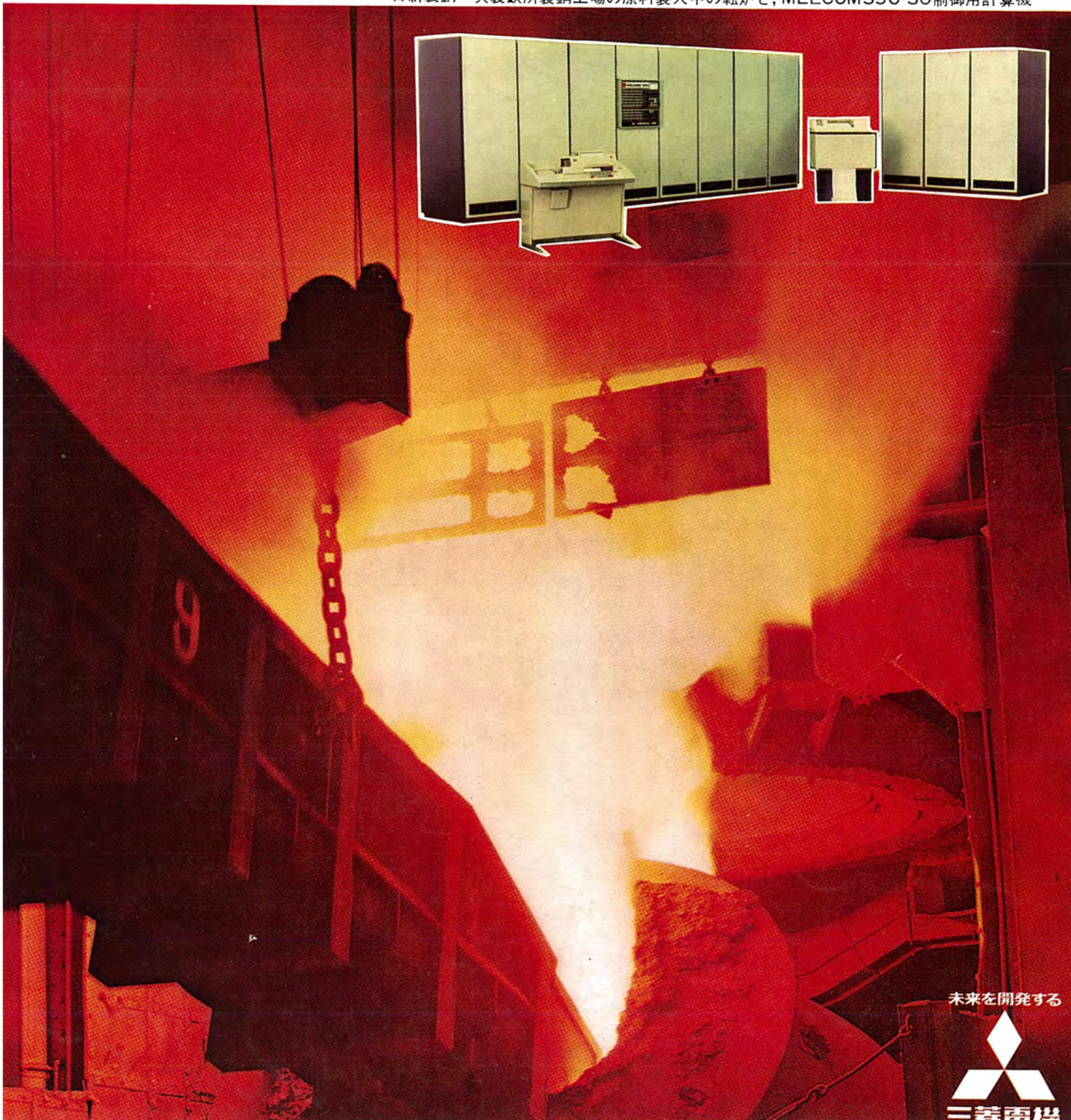
MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.43 November 1969

計算機制御特集

11

日新製鋼・呉製鉄所製鋼工場の原料装入中の転炉と、MELCOM350-30制御用計算機



未来を開発する





計算機制御特集

目次

《特集論文》

- 自動車工業における生産管理システム……………植木 崇・服部昭雄・仁科迪哉・磯崎 真・菊田正雄…1437
- MELCOM-9100 ガスクロマトグラフデータ収集システム……………阿部寿夫・梶山 裕・望月純夫・岡 治樹…1442
- 電力系統状態監視システム……………林 重雄・石田 芳・山田郁夫…1447
- 電源開発(株)高砂火力発電所納め計算機システム……………中林恭之・田中慎一・渡辺 聡…1455
- 衛星追尾用指令制御システム……………山内信治・松村雅司・山本征二…1462
- MELCOM 350-5 制御用電子計算機システム
- ……………中尾勝丞・仁田周一・松本孝郎・龍田直紀・深尾忠一郎・蒲生容仁…1470
- 富士製鉄(株)名古屋製鉄所向け厚板圧延機計算機制御システム
- ……………鈴木輝義・岡本佳三・杉原弘章・穴戸隆介・新野修平…1480
- 日新製鋼(株)呉製鉄所における転炉製鋼工程の計算制御システム
- ……………平本武紀・沢野 清・井上信義・小野寺博志・外山守城…1486
- 火力発電所計算機制御の動向……………花村泰助・橋本健治…1491
- 大阪府水道部集中管理システム
- ……………江村利雄・坂口 功・石川欣央・田中 稔・安田宜弘・柳沢 忍・塚原昌恭…1495
- 小形計算機による電車総合回路試験装置……………中司修慈・湯浅倬史・竹内幸雄・小田橋正寿…1504
- 計算機(MELCOM 350-5)による位置制御装置……………川崎宗男・三浦 望…1511

《普通論文》

- 電力流通コンピュータ……………馬場準一・迎 久雄・山田郁夫…1519
- 国鉄向け EF71 形電力回生制動付き交流電気機関車……………永岡 栄・矢野昌雄・芦谷正裕…1524
- MELCOM-3100 ディスクオペレーティングシステム(1)—FOS(モデル40用基本システム)—
- ……………三井大三郎・魚田勝臣・武田浩良・峰崎秀生…1539
- 蒸発式冷却器の電力用変圧器への適用……………明石克寛・西山 槐・山内 敦・川中 進…1546
- パルス光ホール効果測定装置の試作……………香崎銀博・伊吹順章…1555

《技術講座》

- システム理論(4)—ダイナミカルシステムの理論—……………国方敏行…1563

《新製品紹介》

- 125 mm ハンディグラインダ・RR-603 形電子レンジ発売

《ニュースフラッシュ》

- 永久磁石励磁式ローラテーブル駆動用直流電動機の完成・西武鉄道向け直流電気機関車完成・タイ国 EGAT 向け 250 MVA ブラシ
レスターチン発電機完成・鹿島北共同発電(株)向けラジアルベントロータ冷却式 125,000 kW タービン発電機完成

《表紙》

日新製鋼・呉製鉄所製鋼工場の原料装入中の転炉と MELCOM 350-30 制御用計算機

L-D 転炉は、きわめて短時間で能率良く鉄鉄を鋼に変えることを可能とし、鉄鋼プラントの大型化・近代化に貢献している。その操業は、1 炉チャージの所要時間は 30~40 分で 3 炉につき 1 日 70~80 チャージが繰返され、しかも 1 チャージの中は同様のシーケンスで作業が行なわれるため、計算機制御の対象として考えやすい。

写真は、日新製鋼呉製鉄所の主原料投入中の転炉と、MELCOM 350-30 制御用計算機で、本計算機制御システムは、本年 10 月より増設工事も完了し、転炉製鋼工程のオンライン制御に威力を発揮している。





SPECIAL EDITION FOR COMPUTER CONTROL SYSTEM

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

| | | |
|---|---|------|
| Production Control System in Automobile Industry..... | T. Ueki • A. Hattori • M. Nishina • S. Isozaki..... | 1437 |
| M. Karita | | |
| MELCOM-9100 Gaschromatograph Data Gathering System..... | T. Abe • H. Kajiyama • S. Mochizuki • H. Oka..... | 1442 |
| Power System Security Assessing System..... | S. Hayashi • K. Ishida • I. Yamada..... | 1447 |
| A Computer System for Takasago Thermal Power Plant of Electric Power Development Company | Y. Nakabayashi • S. Tanaka • S. Watanabe..... | 1455 |
| Programme Control System for Satellite Tracking..... | N. Yamauchi • M. Matsumura • S. Yamamoto..... | 1462 |
| MELCOM 350-5 Process Control Computer System | M. Nakao • S. Nitta • T. Matsumoto • N. Tatsuta • C. Fukao • Y. Gamô..... | 1470 |
| Plate Mill Computer Control System for Nagoya Works, Fuji Iron and Steel Co., Ltd. | T. Suzuki • Y. Okamoto • H. Sugihara • R. Shishido • S. Niino..... | 1480 |
| Process Control Computer System for L/D OG Steel Making in Kure Plant, Nissin Steel Works Ltd. | T. Hiramoto • K. Sawano • N. Inoue • H. Onodera • M. Toyama..... | 1486 |
| Trend of Computer Control for Power System..... | T. Hanamura • K. Hashimoto..... | 1491 |
| Centralized Control System for Water Supply, Water Works Bureau of Osaka Prefecture | T. Emura • I. Sakaguchi • Y. Ishikawa • M. Tanaka • Y. Yasuda • S. Yanagisawa • M. Tsukahara..... | 1495 |
| Process Computer Application to Train Test Automation..... | S. Nakatsuka • Y. Yuasa • Y. Takeuchi • S. Odahashi..... | 1504 |
| Automatic Position Regulators Controlled by MELCOM 350-5 Digital Computers..... | M. Kawasaki • N. Miura..... | 1511 |

TECHNICAL PAPERS

| | | |
|---|---|------|
| Electric Flow Computers..... | J. Baba • H. Mukae • I. Yamada..... | 1519 |
| Type EF 71 AC Electric Locomotives with Regenerative Brakes for The Japanese National Railways | S. Nagaoka • M. Yano • M. Ashiya..... | 1524 |
| MELCOM-3100 Disk Operating System(Part 1)—Fundamental Operating System— | D. Mitsui • K. Uota • H. Takeda • H. Minezaki..... | 1539 |
| Fog Coolers for Power Transformers..... | K. Akashi • E. Nishiyama • A. Yamauchi • S. Kawanaka..... | 1546 |
| Trial Production of Apparatus on Pulse Photo Hall Effect Measurement..... | T. Kôzaki • S. Ibuki..... | 1555 |

TECHNICAL LECTURE

| | | |
|---|------------------|------|
| Mathematical System Theory(4)—Theory of Dynamical Systems—..... | T. Kunikata..... | 1563 |
|---|------------------|------|

| | |
|-------------------|------|
| NEW PRODUCTS..... | 1572 |
|-------------------|------|

| | |
|-----------------|------|
| NEWS FLASH..... | 1574 |
|-----------------|------|

COVER :

Operation of L-D Converters and MELCOM 350-30 Process Control at
Kure Plant of Nisshin Steel Works

A L-D converter is capable of changing pig iron into steel in a very short time, which contributes to enlarging the scale of the steel mills and modernizing them. In the operation of converter steel making, it takes 30-40 min. to blow one heat. With three converters seventy to eighty charges are repeated per day. During one heat the operation is repeated in a sequence. This makes the installation the object of computer control with ease.

Illustrated are converters in which principal raw materials are being charged in Nisshin Steel Works, Kure Plant and a MELCOM 350-30 control computer. Extension of the computer control system was completed in last October and since then it has been operating successfully in the on-line control of converter process.

UDC 681.142.004:658.5

自動車工業における生産管理システム

植木 崇・服部昭雄・仁科通哉・磯崎 真・菊田正雄

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P1437～1441

自動車工業の生産面における特質は製品の多様性と部品点数の膨大さである。近年この傾向はますますいじむしく、そのためより高度の生産管理システムが必要とされるようになってきた。

三菱重工業(株)では1968年9月よりMELCOM-1600電子計算機システムを用いたオンラインリアルタイム生産管理システムの運用を開始した。このシステムはアセンブリラインの工程管理と部品管理の二つから構成されている。本稿ではこのシステムの目的・機能・システム構成について記述する。



UDC 621.326:621.396.946

衛星追尾用指令制御システム

山内信治・松村雅司・山本征二

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P1462～1469

衛星通信用地球局アンテナを、衛星に追尾させるための制御方式の一つであるプログラム制御システムの標準化を図ったのでここに報告する。本装置は、専用装置でありながら融通性に富む構成にしたため、個々の地球局の特殊事情等にも容易に適合でき、また、システムの拡張・縮小も容易になった。さらに終夜連続運転を行なう必要上、信頼性や保守・運用性については特に考慮を払い、システムの簡素化・標準化による設計・工作・試験調整期間の大幅な短縮を実現できた。本装置は、今春、オーストラリアのCarnarvonおよびCeduna両地球局向けに製作・出荷され、現地で安定な動作状態にはいっている。



UDC 681.142.002:5/6 Others

MELCOM-9100ガスクロマトグラフデータ収集システム

阿部寿夫・梶山 裕・望月純夫・岡 治樹

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P1442～1446

電子計算機によるトータルラボラトリシステムの一環として、MELCOM-9100シリーズ電子計算機により、化学分析機器のうち、一般的に使用されているガスクロマトグラフのデータ自動収集・解析システムを完成した。このシステムは研究所用としてデータ収集と同時に端末からの技術計算を行なわせるもの、プラント用としてガスクロマトグラフ数十台のデータをオンライン同時処理するものなど、目的によりシステムを構成することができる。

ガスクロインターフェースを主としたハードウェア、アプリケーションを主としたソフトウェアについて記述したものである。



UDC 681.3.02

MELCOM350-5 制御用電子計算機システム

中尾勝丞・仁田周一・松本孝郎・龍田直紀・深尾忠一郎・蒲生容仁

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P1470～1479

MELCOM 350-5制御用計算機システムは、比較的小規模なプロセスを対象としたオンライン・リアルタイム制御、高速データ集取、さらに、先に発表されたMELCOM 350-30制御用計算機と連系し、階層構造の低レベル計算機としてのDDC用を意図して開発された、小形、高信頼度計算機である。メモリサイクルタイム、2.5μsの高速性能をもち、大形機能カードの採用、レジスタの多重使用によるハードウェアの最小化などの保守容易性も考慮されている。本文では、その中央処理装置、入出力制御装置などのハードウェアならびにソフトウェアの構成、特長を紹介する。



UDC 621.311.16

電力系統状態監視システム

林 重雄・石田 芳

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P1447～1454

本論文は電力系統の安全運用のための状態監視方式とその装置・構成について述べ、また系統状態監視の今後の方向についても考察を加えたものである。本論文に述べられている電力系統状態監視装置はオンラインリアルタイム用計算機MELCOM-9100/30およびその周辺機器とプロセス入出力チャネルに接続して直接外部より設定値をインプットできるプロセスコンソールからなっている。

系統状態監視プログラムはいくつかのサブルーチンからなっているが、そのうち特に重要な系統構成識別と電力系統シミュレーションをくわしく説明しモデル系統について



の計算結果を示した。

UDC 621.771.23.01.2-58:621-523:681.302

富士製鉄株式会社名古屋製鉄所向け 厚板圧延機計算機制御システム

鈴木輝義・岡本佳三・杉原弘章・穴戸隆介・新野修平

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P1480～1485

ここ数年、鉄鋼プラント特に圧延プロセスに対する制御用計算機システムの導入は、特にめざましいものがある。とりわけ厚板プラントにおいては、制御用計算機システムの導入なしでは、圧延精度、圧延能率の向上は望まれないとまで言われはじめている。本文ではその代表的な例として、富士製鉄名古屋製鉄所向け厚板圧延機制御用計算機システムを紹介する。計算機ハードウェア、ソフトウェアの構成を概説し、特に計算制御機能について詳細に述べ、関係方面に対するご参考に供した。



UDC 621.31:681.3

電源開発株式会社高砂火力発電所納め計算機システム

中林恭之・田中慎一・渡辺聰

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P1455～1461

電源開発株式会社高砂火力発電所向け計算機システムは、同発電所2号機建設時に計画され、将来1号機の定検時に1号機にも拡張することとし、基本的には当初より2ユニット1コンピュータとして計画した。計算機自体は当社にて新規開発のMELCOM-350/30の新鋭機種を採用し、その機能設計に当っては、電源開発株式会社、三菱重工業株式会社、当社の三者の協調、検討によって進められた。

44年7月、1号拡張分の調達も完了し、現在1,2号用計算機システムとして順調に実動中である。



UDC 669.1:681.3

日新製鋼株式会社呉製鉄所における転炉製鋼工程の 計算制御システム

平本武紀・沢野 清・井上信義・小野寺博志・外山守城

三菱電機技報 Vol. 43.No. 11・P. 1486～1490

日新製鋼株式会社呉製鉄所においては、生産性向上のため転炉製鋼工程に計算制御システムの採用を決定した。

本システムは、MELCOM350-30制御用計算機によるもので、転炉製鋼に関係のある分析より造塊に至る情報授受と転炉操業の予測制御に機能の重点をおいた。また、手動入力が多いので、それらをできるだけ自動入力にすることおよびそのバックアップと、計算機一操業者間の連絡を密にすることに努力した。現在生産向上のため増設工事中であるので、本報告はシステムの構成と機能の概要を述べたものである。



UDC 681.3.02:621.311.22

火力発電所計算機制御の動向

花村泰助・橋本健治

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1491～1494

ここ数年来、火力発電所の単機容量の増大により運転操作が複雑となったこと、火力発電の系統に占める割合が大きくなったことにより、深夜・週末停止の必要が生じ、自動化の要求される範囲が広がる一方、IC素子などの採用により、計算機の能力・信頼性が高まったなどの理由で、火力発電所でも計算機を閉ループ制御に使用されるようになった。本文では、火力発電所での計算機制御の適用について最近の動向を述べる。



UDC 621.311.11.4:681.33

電力流通コンピュータ

馬場準一・迎 久雄・山田郁夫

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1519～1523

電力会社における系統運用業務では電力の流通状況（有効電力・無効電力・電圧・位相角など）を所要の精度で容易かつ速やかに計算する必要があり、この目的に沿った新しい計算装置の誕生が望まれていたが、当社はこのたび東京電力株式会社との共同研究により、巨大な電力系統の流通状況を瞬時に計算し、その結果を直ちにだれにも見やすい方法で表示・記録できる画期的なコンピュータを開発した。この装置は新しい原理による直流アナログ方式の計算装置で、ほとんど瞬時に計算を行なうことができ、しかも計算結果はすべて系統を模擬表示した盤上の要所（図）に、数字管で瞬時に表示される。



UDC 628.1.14:681.3.02

大阪府水道部集中管理システム

江村利雄・坂口 功・石川欣央・田中 稔・安田宜弘・柳沢 忍
塚原昌恭

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1495～1503

水需要は年々増加している。このため水道設備への計算機制御適用上、今後話題が発生すると予想されるものに水道全システムの集中管理（送配水を主としたもの）があり、その具体例として大阪府水道部に送水系の集中管理システムが完成したので、ここにその内容を紹介する。

本システムでは、水の有効利用・経済的運用を目的としたもので12GHzマイクロ設備、データ処理装置（MELDAP-8000）、計算機（MELDAP-6000H）を有機的に結合し、送水系の監視・記録・制御を行なう、世界でも類の少ない、取水から送水までの集中管理システムである。



UDC 621.335.2.025:621.337.5

国鉄向けEF71形電力回生制動付交流電気機関車

永岡 栄・矢野昌雄・芦谷正裕

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1524～1538

奥羽本線の交流電化に伴い、33.3%の急こう配区間の長い、福島一米沢間専用の交流回生制動付機関車が必要になった。E D94形機関車を試作して、交流回生技術を研究し、さらに改良を加えて量産形EF71形交流機関車を製作した。この機関車は、全サイリスタ式整流器を採用し、主電動機2S-3P接続、主変圧器二次巻線を6分割し、さらにサイリスタを非対称制動して、誘導障害の軽減を計ると同時に整流器を小形にし得た。電圧制御に空転検出制御を加え、自動ノッチ戻し制御を行なって再粘着性を向上させている。所期の力行（図）能および回生性能も十分発揮できて昭和43年10月以降の営業（図）転に使用されている。



UDC 681.3.02:625.2

小形計算機による電車総合回路試験装置

中司修慈・湯浅悼史・竹内幸雄小田橋正寿

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1504～1510

電車の検修作業は従来単能測定器を用いて熟練した作業者の判断により行なわれていた。本試験装置は制御用小形計算機を導入し、人為的作業を機械化し作業の高能率化・試験精度の向上・データ処理の合理化を計っている。試験はユニット単位で実施されるが、3ユニットの車両の試験を並行して行なうことができ、全体の試験項目のうち約68%は簡単な準備作業だけで自動的に試験を行なう。



UDC 681.142:007.3

MELCOM-3100 ディスクオペレーティングシステム—FOS(モデル40用基本システム)—

三井大三郎・魚田勝臣・武田浩良・峰崎寿生

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1539～1545

MELCOM-3100システム シリーズはバッチ処理を中心としインライン処理（インクファイア）が利用できるように配慮されたシステムである。オペレーティングシステムとしてはハードウェアの規模に対応してMARK-I、MARK-IIおよびMARK-IIIが用意されている。ここで述べるMARK-IIIはディスクのランダムアクセス性を活用した高能率のディスクオペレーティングシステムである。システムが大きく新しい試みも多岐にわたるので全体を数編に分けて報告する。この論文は第1編でMARK-III全般とMARK-IIIの基本システムである（図）FOS(Fundamental Operating System)とについて特長的機能を中心に述べる。



UDC 681.3.06:669.1:621.771

計算機(MELCOM-350-5)による位置制御装置

川崎宗男・三浦 望

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1511～1515

最近の制御用計算機の応用として、DDC(Direct Digital Control)が注目されているが、本論文は、鉄鋼圧延プロセスに設備されている位置制御装置のDDC実用化について報告する。従来の位置制御装置は、各ループごとに、専用の位置制御が使用されてきたが、今回、MELCOM-350-5小形計算機の導入により、多数ループのオンライン時分割制御が、実際のプラントで実動にはいったので、そのシステム構成およびプログラムについて概説した。



UDC 621.314.22-71

蒸発式冷却器の電力用変圧器への適用

明石克寛・西山槐・山内 敦・川中 進

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1546～1554

電力用変圧器の大容量化、高電圧化、電力の都市集中化にともない、騒音、冷却水の制限が強くなってきた。この要求を満足する冷却器として、水の蒸発潜熱を利用した蒸発式冷却器を開発した。

蒸発式冷却器は変圧器油を冷却管に通し、冷却管外面に噴霧状に冷却水をかけ、冷却管表面から冷却水が蒸発するときの潜熱によって、油を冷却する方法で、冷却水は循環するために蒸発量だけ補給すればよく、約1.3t/hrkW、風量は蒸発を補助するためのもので、0.5m³/minkW程度である。このたび、200kW用程度の実物モデルを試作（図）試験したので、この結果とともに、原理、変圧器に適用した場合の問題（図）点、他冷却方式との比較について述べてある。




UDC 538.569:535.14:539.1.08.001

パルス光ホール効果測定装置の試作

香崎 銀博・伊吹 順章

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1555~1562

高抵抗物質の輸送現象を測定するとき、キャリア数の少ないこと空間電荷による測定の困難さに悩まされる。この解決策として、外部からの光励起により結晶中のキャリアを増加した上に、空間電荷を防ぐために試料にパルス電界を印加するというパルス光ホール効果測定装置を試作した。測定可能の範囲は、試料の抵抗が暗黒時に $10^9 \Omega \text{cm}$ 以上、光照射したときに $10^6 \Omega \text{cm}$ 以上で、ホール移動度として $30 \text{cm}^2/\text{Vsec}$ 以上であればよい。温度範囲は室温から液体ヘリウム温度までである。


この装置を用い光電子の  ホール移動度をZnSe単結晶について測定し、 100°K 迄の温度変化も得られる段階になったので、その結果も報告する。

UDC 515.91

システム理論－(Ⅳ)ダイナミカル・システムの理論－

国方 敏行

三菱電機技報 Vol. 43・No. 11・P1563~1570

システム理論連載講座の一環として本講ではダイナミカル システム理論について述べる。システムに状態という概念を導入して状態が時間とともに変化してゆく様子を微分方程式によって記述することによりシステムの定性的、定量的な特性を解析しようとするものである。システムの入力－出力方程式（伝達関数）によるアプローチに比較してシステムの動的な振舞いの運動学的、幾何学的イメージがはっきりつかみやすく、理論としての見通しがつけやすい。ダイナミカル・システムの問題としては1.安定問題、2.最適化の問題、3.制御可能性、観測可能性の問題、 があるが本文では特に1.と3.について解説を行なう。

自動車工業における生産管理システム

植木 崇*・服部 昭雄*・仁科 迪哉*・磯崎 真**・荻田 正雄**

Production Control System in Automobile Industry

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Takashi UEKI・Akio HATTORI・Michiya NISHINA

Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Shin ISOZAKI・Masao KARITA

Character of automobile industry in the aspect of production consists in the diversity of products and expansion of the number of component parts. This trend is becoming more and more conspicuous of late, which has made it necessary to require higher production control system.

The Mitsubishi Heavy Industries began to operate on-line real time production control system by the use of MELCOM-1600 electronic computer in September, 1968. This system is composed of assembly line control system and inventory control. This article describes the objective, function and system composition of it.

1. ま え が き

自動車業界においては徹底した企業の合理化、生産性の向上が要求されている。また一方では製品の多様化の傾向がますます著しくなり、一段と高度の管理が必要とされるようになってきた。このため自動車工業における電子計算機利用は質的にも高く、適用分野も設計・生産・販売その他広範囲にわたっている。三菱重工業(株)では、昭和40年3月より部品管理をも含めた生産管理のオンライン化を計画し、昭和43年9月よりMELCOM-1600電子計算機システムを用いたオンラインリアルタイム生産管理システムの運用を開始した。以下にその概要を記述する。

2. システムの目的

2.1 生産の概要

自動車工場における生産の流れを図2.1に示す。本社では受注販売予測をもとに月別生産計画が立てられ、工場ではそれをもとに工場負荷を考慮した日産計画が立てられるとともに、一方各部品メーカーに対する部品発注および納入指示がなされる。製作過程のうち部品加工およびプレス工程はロットで生産される。ホワイトボディ塗装・組立の工程は計画にしたがって流れ作業で生産される。部品は各部品メーカーから部品つり掛け場および倉庫に納入される。自動車の部品点数は膨大であるうえ、大物部品も数多いのでメインラインのそばに部品をストックすることは困難であり、たとえストックできたとしても作業者がそれらを選んでボディに組みつけることは著しく作業能率を低下させることになる。

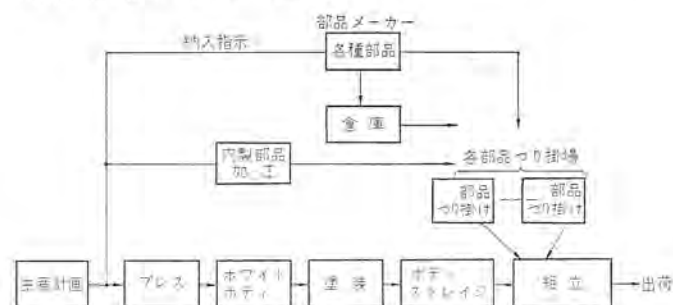


図 2.1 自動車生産の流れ図
Flow diagram of automobile production

そこで部品の多くは離れた場所にあるいくつかの部品つり掛け場でサブコンベヤにつり掛けられて、メインラインに供給される。サブコンベヤを流れてくる部品はメインラインを流れてくるボディに組みつけられていく。ところがいろいろな工程上の乱れがあって、ボディがメインライン上を計画どおりに流れることは必ずしも期待できない。そこで各部品つり掛け場にはラインの状況に応じて適確なつり掛け順序を指示する必要がある。

車名は同じであっても車型、塗色、エンジン、内装等の相違により数多くのバリエーションがあるのでつり掛け指示は正確になされなければならない。ホワイトボディ、塗装、組立の各ライン間には個々のラインの異常停止が全体のラインに影響をおよぼさないようストックがもたれる。塗装ラインと組立ラインの間にはボディストレイジと呼ばれるストック場がコンベヤシステムの中で設けられている。

自動車の部品点数は膨大であり、スペース、在庫金利、運搬管理上の問題などから部品のストックはできるだけ少なくし、ジャストインタイムに納入されることが理想的である。最低の在庫で生産するには在庫状況を厳密には握し、部品切れによる工程上の混乱をなくするようにしなければならない。本システムでは、ホワイトボディラインの積込みから組立ラインのラインオフまでの工程の管理と部品の管理を対象としている。われわれは前者を作業指示システム、後者を部品管理システムと呼び、両者を合わせてラインコントロールシステムと呼んでいる。

2.2 システムの目的

2.2.1 作業指示システムの目的

(1) 作業者への適確な指示

従来は各つり掛け場への指示は人手で行っていたが製品の多様化、生産台数の増加(コンベヤラインのスピードの増加)にともない刻々と変わる部品の状況、工程の状態などを握し、適確な作業指示を行なうことが必要となりリアルタイムコンピュータによる集中管理方式が要求されることとなった。コンピュータではラインへの積込み指示ホワイトボディラインの作業指示、塗色指示、ぎ(織)装組立部品つり掛け場へのつり掛け指示などを行なう。

(2) コンベヤラインのコントロール

従来は人手で行なわれていたコンベヤラインの分岐合流点におけるライン選択・切換制御を機械化し、製品の多様化に対処し得るようにする。また、コンベヤラインの速度の設定およびモニターも行ない、

設定値からのずれを補正するための指令をコンベヤ制御装置に出し、コンベヤの速度が一定に保たれるようにする。

(3) 生産状況のは握

工場内のボディの状況をリアルタイムにつかむことは、困難であるのでリアルタイムコンピュータにより各ラインの仕掛品の状況・完成車の統計、コンベヤラインの実動状況などをリアルタイムには握することにより、管理レベルの向上をはかる。

2. 2. 2 部品管理システムの目的

(1) 部品在庫のリアルタイムは握

各部品の検収・検査・受入・払出等に関するインフォメーションを即時に収集し、在庫ファイルに反映させることによって在庫状況を適確には握し、部品切れによるライン停止の防止をはかる。

(2) 納期管理水準(サイクル)の向上

納入遅延状況および検収・検査・受入時の不足数、不良数の情報を正確につかみ、納入管理部門の督促管理に短期間で即応できる体制を確立する。

(3) 事務作業の合理化

検収・検査・受入・払出に関する部品受払いの業務の機械化による事務作業の合理化をはかる。

3. システムの内容

本システムは作業指示システムと部品管理システムから構成され、経営管理用の他の計算機システムとの磁気テープを媒体とした結合により、トータルシステムの一環としての機能を遂行している。

3. 1 作業指示システム

このシステムの内容は次の3項目からなる。

- ・生産ラインをとりまく作業員への作業指示
- ・コンベヤラインの状態は握・切換制御・速度制御
- ・生産状況のは握

図3.2に作業指示システムの概要を示す。

(1) 作業指示

(a) 生産計画の投入

生産管理部門で作成された生産計画が計算機に投入される。

(b) 指示装置による作業指示

計画に従ってホワイトボディラインのフロアのアセンブリ指示から開始する。これは指示装置を介して現場作業員に伝えられる。ホワイトボ

ディラインから塗装ライン、ボディストレージ総組立ラインへと流れる。ラインの途中で計画とのずれが生じた場合、ダイナミックに指示を変更するが計算機はこのずれを記憶しておき、できるだけ計画どおりに生産するために可能な場合にはこのずれを少なくするような指示を行なう。

(c) 検査結果の通報

検査工程には通報装置が設置され、検査結果が通報される。これはライン状況および出来高は握、品質管理の資料として活用される。

(2) コンベヤラインコントロール

(a) ライン選択

コンベヤラインの分岐合流点におけるラインの選択・切換えの制御を行なう。たとえば塗装を完了したボディについて現場通報装置より検査情報が入力されるとプログラムは検査結果あるいは車種等にもとづいてボディストレージの適当なラインを選択して、コンベヤ制御装置に引入れ指令を出す。また計画とストックの状況をもとにラインバランスを考慮に入れて、キャビンストレージの適当なラインを選択してそこからキャビンを引き出すようコンベヤ制御装置に指令を出す。

(b) コンベヤラインの状態は握

各コンベヤの実動の状況がコンベヤ制御装置を通じて逐一計算機に入力される。

(c) キャビンおよび部品の流動状態のは握

ラインの所要所では、キャビンまたは部品の通過情報がリミットスイッチ等の検出装置により入力される。これは1本のラインから複数のラインへ分岐する場合、分岐後の確認としてまた、複数ラインから1本のラインへ流入するときは進入順序のは握のために使用される。

(d) 速度制御

コンベヤラインの速度の設定、監視および制御を行なう。

(3) 生産状況のは握

(a) ライン制御状況のは握

(1)、(2)の機能により生産ラインの状況すなわちライン上の車種情報および順序、各ストック場の内容、各生産指示時点での計画と実績のずれ、コンベヤの状態および速度すべてが計算機の主メモリーには握される。端末入力に対する一点一点の処理はこのラインの状況を参照してその時点に合致した判断を下していく。また各ラインの生産実績は部品管理システムに受けつがれ、部品在庫の引取りに使われる。

(b) 生産ラインの監視

ライン状況は各端末装置を介してリアルタイムには握され常に監視さ

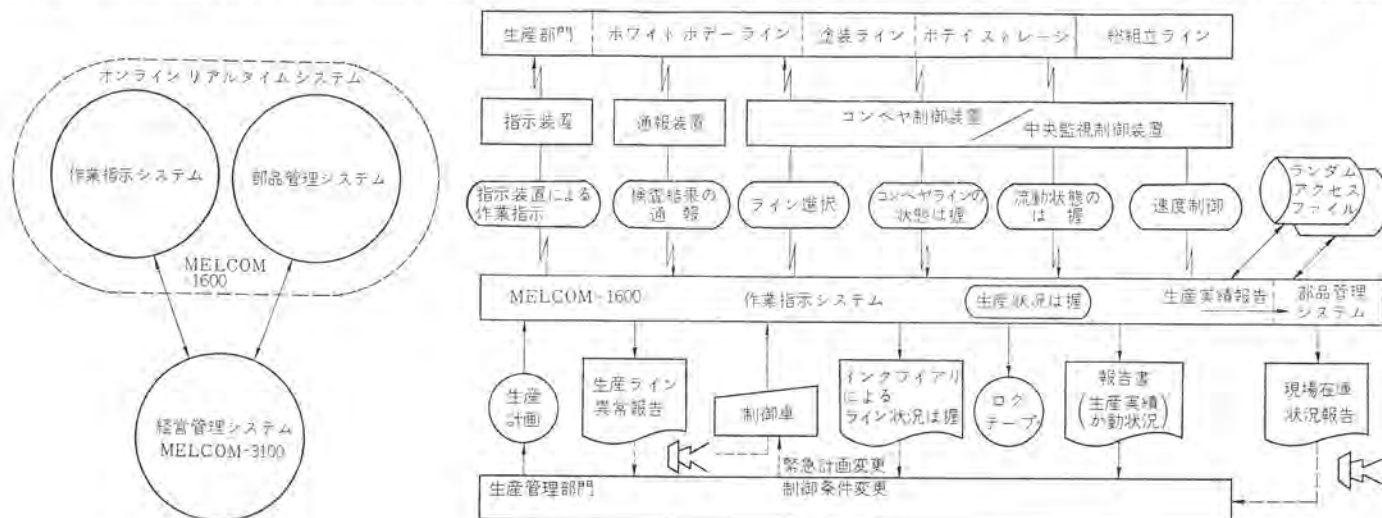


図 3. 1 関連機能図
Schematic function diagram

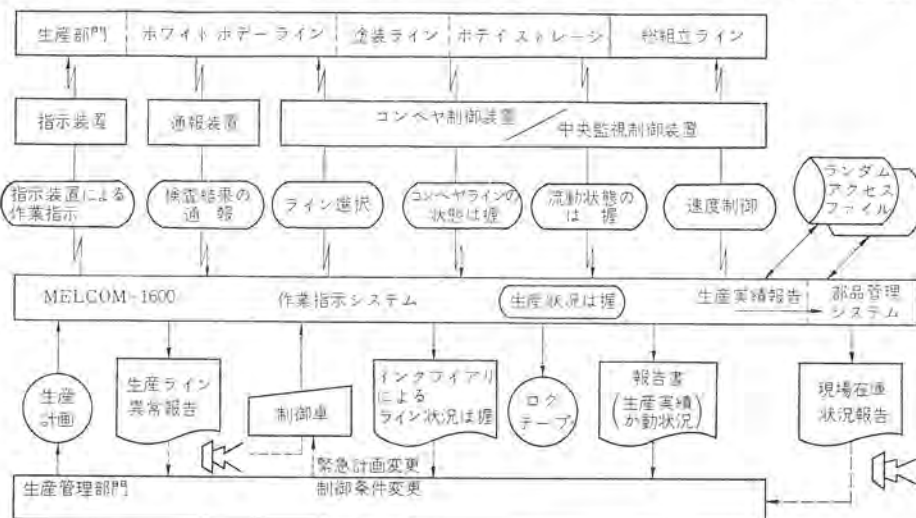


図 3. 2 作業指示システム
Assembly line control system

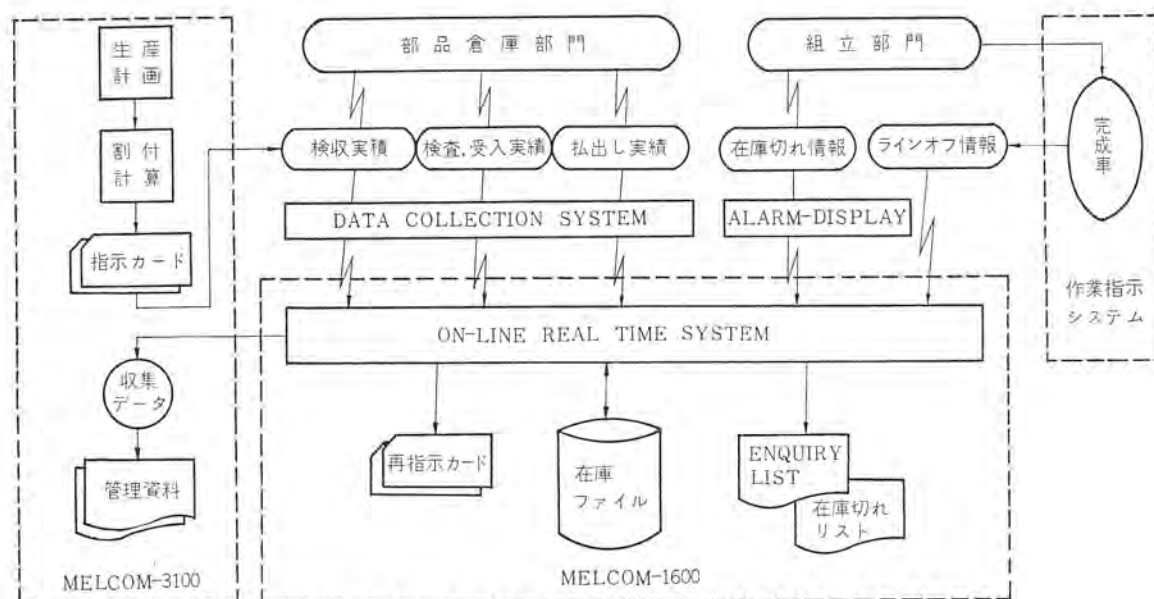


図 3.3 部品管理システム Inventory control system

れている。車種の配分によりラインバランスをくずすおそれがあるとき、ストックが異常に増減した場合などラインの流れに異常が発見されると、タイプライタにアラームがプリントされる。オペレータはその内容の程度により緊急処置を行なうと同時に管理部門へ連絡する。

(c) インクワイアリによるライン状況のは握

オペレータのインクワイアリにより任意の時点でライン状況をは握することができる。

(d) 報告書

作業終了後の各ラインのか(稼)動率、出来高、計画と実績のずれ等が報告される。

3.2 部品管理システム

膨大な点数にのぼる部品の中から選ばれた重要部品のあらゆる情報は、MELCOM-1600 計算機のドラムファイルに記憶されており部品納入に伴う検収、検査、受入、払出し、各車種の完成時の引取り等のオンラインリアルタイム処理はもちろん、定常時に流れるパッチ処理もすべてコンピュータを中心に運営されている。処理内容は

- (1) 検収から引取りに至る各ステップでの在庫量は握
- (2) 不足数、不良数に対する再納入指示と納入遅延は握
- (3) 在庫量のリアルタイム調査およびデータチェック
- (4) 部品の新設・変更・廃止に伴う登録業務および諸管理資料の作成

などが主要業務であり、図 3.3 はオンラインリアルタイム処理を主体に情報の流れの概略を示している。すなわち、部品メカに対する納入指示および倉庫部門に対する払出し指示は一括して割付計算を行ない、それぞれ指示カードを一品一葉に発行して部品メカおよび倉庫部門に対する指示伝票の代替を務める。部品の動きに伴って検収・検査・受入・払出のつどデータコレクターを介し各実績が入力され、部品在庫ファイルをメンテナンスする。

一方作業指示システムより各ラインの生産実績に関する情報が知られるごとに、構成している各部品単位に所要量を算出し引取りが行なわれ、部品在庫ファイルをふたたびメンテナンスすることになる。この際、最低保有量以下に達した部品は即刻アラームを表示する。なお部品倉庫部門、工場組立部門などのインクワイアリに対しては、随時に一連の在庫状況を関係部門に連絡できるシステムになっている。



図 3.4 ライン集中管理室 Central control room

4. システム構成

4.1 ハードウェア

本計算機システムは国鉄郡山 YAC システム、および神奈川県相模川水系計算制御システムに使用されているものと同じ機種である。システム構成を図 4.1 に示しその機能の概要について以下に記述する。

4.1.1 セントラルプロセッサ

多レベルの割込み処理機構、記憶保護機構および各種エラー検出機構等のオンラインリアルタイム処理に必要とされる各種機構のほか、入出力の同時動作を可能にするいくつかのデータチャネルを有し完全な互換性を備えている。主要性能を図 4.1 に示す。

4.1.2 TMC (ターミナル・コントローラ)

端末機器と CPU とのインターフェースに用いる。すなわち、現場コンペアからの各種入力信号および現場作業からの通報データの入力、コンペアへの信号および現場作業への指示データの出力は TMC を介して行なわれる。

4.1.3 入出力装置

- (1) 磁気ドラム (256 kW, 平均アクセス 33 ms)

オンラインプログラムのほか各種プログラム、作業指示用各種データ、部品ファイル、リカバリデータなどが格納される。

- (2) 磁気テープ (41.7kC/秒)

入力データおよび処理結果の記録のために使われる。

表 4.1 セントラルプロセッサの主要機能
Principal characteristics of central processor.

| 項 目 | 性 能 |
|---------------|------------|
| 語 の 構 成 | 18 ビット |
| 記 憶 容 量 | 16,000 語 |
| ク ロ ッ ク 周 波 数 | 333 kc |
| サ イ ク ル タ イ ム | 6 μ s |
| 間 接 番 地 指 定 | 可 能 |
| 命 令 の 種 類 | 約 200 |
| 加 減 算 | 6 μ s |
| 乗 算 | 54 μ s |
| 除 算 | 54 μ s |
| 記 憶 保 護 機 構 | 有 |

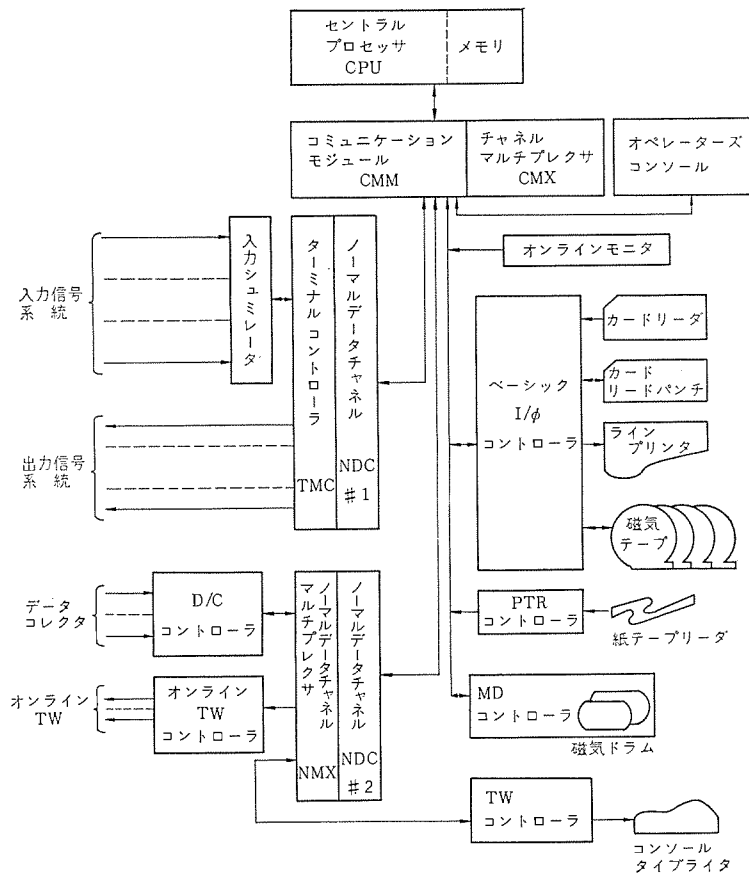


図 4.1 システム構成図 System configuration

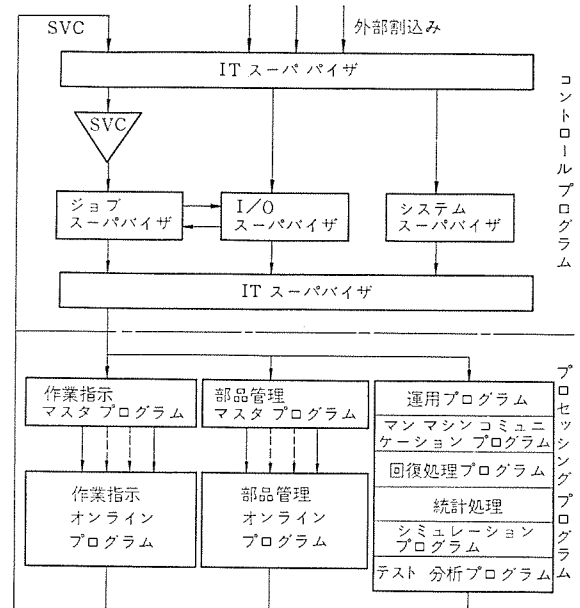


図 4.2 ソフトウェア構成図
Software configuration

- (3) カードリーダ (1650枚/分)
- (4) カードリードパンチ (300枚/分)
- (5) ラインプリンタ (132字/行, 750行/分)
- (6) タイプライタ (15.5字/秒)
- (7) 紙テープリーダ (200/400字/秒)

4.1.4 端末機器

- (1) 表示装置

ラインサイドに置き作業指示を行なう。

- (2) オンラインタイプライタ

ラインサイドに置き作業指示を行なう。

- (3) 通報装置

ラインサイドに置き作業者はこれによって検査情報を計算機に通報する。

- (4) データコレクタ

80欄カード、キーボードおよびマニュアル入力可能なデータ入力装置で部品の検収、検査、払出等のデータ投入に使用される。

- (5) その他各種プロセッサ入出力信号

コンベヤ制御装置から送られてくるコンベヤステータスその他の各種入力、コンベヤ制御装置へ送られるコンベヤライン制御指令である。

4.1.5 入カシミュレータ

端末入力をシミュレートすることができる。

4.2 ソフトウェアシステム

4.2.1 ソフトウェアの構成

本システムのソフトウェアの構成を図4.2に示す。(ただしアセンブラーなどの基本的なものは省略してある。)

プロセッシングプログラムは次の3系統に分けられる。

- (1) 作業指示 オンラインプログラム
- (2) 部品管理 オンラインプログラム
- (3) オフラインプログラム

- (a) 運用プログラム

- (b) マンマシンコミュニケーションプログラム

- (c) 回復処理プログラム

- (d) 統計処理プログラム

- (e) シミュレーションプログラム

- (f) テスト・分析プログラム

4.2.2 処理方式

(1) 作業指示 オンラインプログラムの特長は入力ひん度が各プログラムのサイズは小さく応答時間は短いことが要求されることである。

(2) 部品管理 オンラインプログラムの特長は、作業指示プログラムに比べて入力ひん度は少しゆるやかで各プログラムのサイズは比較的大きくファイルメンテナンスが主であるため処理時間が長いことである。

(3) オフラインプログラムは実行要求ひん度がさらに小で各プログラムによってサイズもまちまちで応答時間に対する要求も一般的にはきびしくない。

以上の理由からシステムの運転状態におけるプログラム実行の優先順位は次のように割付けてある。

優先順位 1 作業指示 オンラインプログラム

優先順位 2 部品管理 オンラインプログラム

優先順位 3 オフラインプログラムグループ 1

優先順位 4 オフラインプログラムグループ 2

メモリーは二つのエリアに分割して、第1のエリアを作業指示オンラインプログラム、第2のエリアをその他のプログラムに割当てている。第2のエリアでは優先順位の異なるものが実行されるのでロールイン・ロールアウトが行なわれる。以上のように本システムではパーティショニング(Partitioning)およびロールイン・ロールアウトによるマルチプログラミングを行なっている。

4.3 プログラムの機能

4.3.1 アプリケーションプログラム

アプリケーションプログラムは大きく次のように分類される。

(1) マスタープログラム(作業指示および部品管理)

作業指示、部品管理のオンラインプログラムを管理するプログラムであり、入力に対応した処理プログラムのロードおよび各オンラインプログラムに共通の処理を行なう。

(2) 作業指示プログラム

コンベアからの信号、現場作業者からの通報等に対し適切な処理を行ない、コンベアコントロール作業者への指示等をリアルタイムに行なう。

(3) 運用プログラム

作業の開始および終了時にそれに必要なすべての処理を行なう。すなわち、開始時には各種データのインシアライズ等を行ない終了時にはデータの退避や後処理を行なう。

(4) 部品管理オンラインプログラム

D/C(データコレクタ)からの入力による検収、受入れ、払出し等の処理や完成車がラインオフしたことによる部品の引去り処理をリアルタイムで行なう。

(5) マンマシンコミュニケーションプログラム

計算機とオペレータとのインターフェースを行なうもので、このプログラムの実行によってオペレータは現場ラインの状況や部品の在庫状況を知ることができる。

(6) 回復処理プログラム

障害発生後、計算機制御に回復する場合に使用される。

(7) 統計処理プログラム

(8) シミュレーションプログラム

人手で作成したデータまたは実際に収集したデータの記録された磁気テープを読んで、入力をシミュレートする。

(9) テスト分析プログラム

入出力データの分析を行なう。

4.3.2 コントロールプログラム

コントロールプログラムはその機能により次の四つのモジュールに分類される。

(1) ジョブスーパーバイザ……プログラムの多重並行処理

(2) I/Oスーパーバイザ……入出力処理

(3) ITスーパーバイザ……割込処理

(4) システムスーパーバイザ……障害処理

図4.2の構成図に示すようにコントロールプログラムは割込みレベルで働いている。割込みはすべてITスーパーバイザで受け付けられ、割込み原因に応じて対応したモジュールに行く。ITスーパーバイザでは割込みに伴いレジスタの退避、回復を行なう。ジョブスーパーバイザのおもな機能はプログラムのドラムからのローディング、優先度によるプログラムのスケジューリングである。優先度によりコアメモリー内のプログラムのドラムへの一時退避、およびその回復を行ない、またCPUのIO待ちによる空時間を利用して、複数のプログラムを同時に並行して処理を進めている。

I/OスーパーバイザはジョブスーパーバイザまたはIO割込によって呼ばれ、IO要求のスケジューリング、IO命令の実行、IO割込の処理、IOエラーの回復処置を行なう。システムスーパーバイザはハードウェアあるいはソフトウェア等システム上で異常を検出した場合に、割込みレベル1, 2のITで呼ばれ、できるだけシステム運転を続行できるような処置を施す。

5. む す び

このシステムは昭和43年9月以来本格的な動にはいっており、きめ細かいオンラインリアルタイム管理によって生産性の向上、管理レベルの・アップとともに車種多様化への対処を容易にした等の成果をあげている。これは既設工場における計算機制御の適用例であるが、工場の計画段階から計算機によるオンライン制御を前提としたシステムおよび工場レイアウト設計を行なったならば、さらに自動化の拡大や指示制御の効率化を計ることができ、作業の合理化の推進とさらに広範囲なトータルシステムへの展開が可能となるであろう。

終わりに要点についてご指導いただいた東大生研 沢井教授、効果的システムの設計に参画された三菱重工業(株)ライン制御機械化委員会の関係者および計算機ハードウェアの製造据付やその後の保守、ソフトウェアの作成、コンベア等の設備との接続等を担当された多くの関係者に厚く感謝の意を表する。

MELCOM-9100 ガスクロマトグラフ データ収集システム

阿部 寿夫*・梶 山 裕*・望月 純夫*・岡 治樹*

MELCOM-9100 Gaschromatograph Data Gathering System

Kamakura Works Toshio ABE・Hiroshi KAJIYAMA・Sumio MOCHIZUKI・Haruki OKA

As a part of total laboratory system by the use of electronic computers, MELCOM-9100 series units are applied to chemical analysis. Of them gaschromatograph automatic data gathering and analysing system has been completed for general use. This system operates to make scientific calculation from the terminal typewriter at the same time with gathering data for use in research laboratories. It is also capable to have on-line simultaneous processing of data from a number of gaschromatographs to be used in chemical plants, composing system according to objectives. This article describes mainly hardware of gaschromatograph-interface and software of applications.

1. ま え が き

最近、プラントや研究所などで使用される計測機器のデータを、電子計算機により複数台同時処理し、さらに端末よりの技術計算も、時分割(TSS)により行なわせるトータルラボラトリシステムが脚光をあびている。

MELCOM-9100 シリーズ電子計算機により、このトータルラボラトリシステムの一環として、化学分析機器のうち、一般的に使用されているガスクロマトグラフ(以下ガスクロと略記)のデータ自動収集・解析を行なわせるものが本システムである。とくにプラントの場合、連続運転となるので高い信頼度ならびにか(稼)動率が必要であり、オンラインリアルタイム用として設計された MELCOM-9100 シリーズによるシステムは最適と言える。

MELCOM-9100/30 による研究所システムは昭和44年10月三菱化成工業(株)中央研究所に納入され、さらにガスクロ専用システムとして昭和45年2月(株)化成水島・水島工場に納入の予定である。

ガスクロの出力波形の解析については、上記2社のほか(株)島津製作所、当社中央研究所の協力を得、さらに当社計算センターにガスクロを2台設置して実験を重ね、計算機処理の方式を独自に開発した。

今後質量分析装置(MS)・核磁気共鳴分析装置(NMR)・分光分析装置などのデータ処理についても逐次検討を進める予定である。

2. 概 要

ガスクロは、吸着性固体粉末あるいは多孔性粉末に不揮発性液体を浸透させたものを充てんした分離管(カラム)に、適当なキャリアーガス(He, Nなど)を流しておき、これにガス化した試料を導入して、試料中の各成分が被吸着能あるいは気-液相分配率の差によって、分離管中を通過する速度が異なるのを利用して、他端の検出器により各成分の時間に対する出力波形を記録するものである。検出器には熱伝導度形・水素炎イオン化形などがある。

この出力波形の各ピークが各成分に対応するので、ピーク点までの時間(リテンションタイム)により、成分の識別・ピーク面積により成分の濃度を知ることができる。ガスクロの構成を図2.1に示す。

この分析法は現在出力のチャートから手計算により解析されている。これを試料注入以降分析結果の報告まで、計算機により自動化したものが本システムである。

計算機による処理内容は、次のようになる。

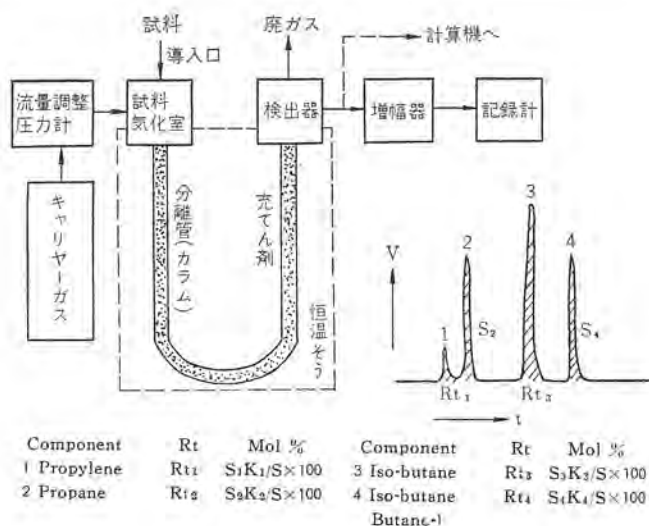


図 2.1 ガスクロマトグラフ 系統図ならびに記録例
Blockdiagram of gaschromatograph and example of gaschromatogram.

(1) データ自動収集

- (a) 指定されたサンプリングレートによるデータ取込み
- (b) 入力増幅器利得の自動切換(11段)

(2) 定量分析

- (a) ピークの判別と面積計算
- (b) 重なりピークの分離
- (c) ベースラインドリフトの補正

(3) 定性分析

- (a) 各ピークのリテンションタイムの決定と成分名の識別
- (b) 各ピークの補正係数の決定

(4) レポートの作成

- (a) 指定された濃度計算法による濃度計算
- (b) 結果の印字報告

このシステムでは、ガスクロよりのアナログ入力に10μVから10Vまでと広範囲であるため、入力増幅器の利得はソフトウェアにより自動切換を行なってA-D変換の精度を上げるほか、とくに低レベルの入力信号に対してのノイズの除去について 特別な処置がとられている。また同時処理台数を増すため入力点のスキャンには半導体による高速アナログスキャナを使用している。

本システムは使用目的により MELCOM-9100/30, あるいは MELC

OM-9100/5 の使用が可能である。

本システムの導入により、現在入力によって行なわれているこれらの手順が電子計算機によって自動的に処理されれば

- (1) 分析結果を得るまでの時間の短縮
- (2) マルチ処理を含めた省力化
- (3) 端末からの会話形 TSS 可能(M-9100/30 の場合)
- (4) 分析精度の向上(再現精度 0.02 %)

などの効果があり、応用範囲もきわめて広い。

以下 ガスクロインタフェース を主としたハードウェア、ガスクロアプリケーションを主としたソフトウェアについて記述する。

3. ハードウェア

ガスクロマトグラフから計算機への信号のとり出しは検出器からになるが、検出器にはその検出法により種々の方式がある。熱伝導率の差をブリッジ回路で検知する熱伝導度検出器 (Thermal conductivity detector 略して TCD) 水素ガスで燃焼した場合のイオン発生を検知する水素炎イオン化検出器 (Flame ion detector, FID), 放射線照射による発生電子の差を検出し増幅する (Electron capture detector, ECD), その他の特殊検出器等で、接続にはおのおのの異なる処理が必要である。基本構成は図 3.1 (a) (b) のようなシステムである。

各検出器にはすでにペン書き式の記録器やインテグレーターなどの負荷がある場合が多く、計算機への出力はこれ等への影響の少ないようにとらねばならず、各種の差とあわせて前処理装置はシステム上重要な点となる。

本システム上の前処理装置の機能は外来雑音、コモン電圧の除去、小信号の増幅等がおもなものである。

ガスクロであつた信号は $10\ \mu\text{V}$ から 10V と広い範囲にまたがるため、本システムは ADC 装置 (アナログディジタル変換装置) と前処理装

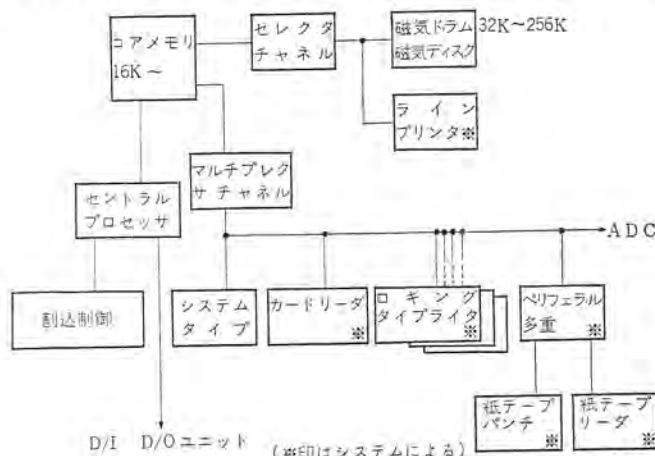


図 3.1 (a) MELCOM-9100 システム系統図
MELCOM-9100 system block diagram.

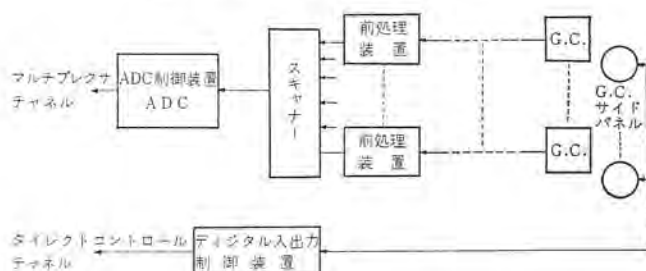


図 3.1 (b) データ収集システム系統図
Data gathering system block diagram.

置の組み合わせで11段の利得切換をもち、すべての信号域を一様にカバーしようと考えているので精度の高いデータの収集ができる。

データ収集部仕様

- (a) ADC 速度: 約 $30\ \mu\text{s}$ (ただしスキャナを含む)
- (b) ADC けた: 2進10けた (10 mV /ビット)
正負符号
オーバーフロー符号
- (c) ADC 精度: $\pm 0.1\%$ (± 1 ビット)
- (d) ゲイン 切換: 11段
- (e) コモン電圧: 100 V (オプション)
- (f) 点数: 最高 128 点
- (g) スキャナ: トランジスタ

ADC 制御装置は M9100 システム 中 マルチプレクサチャンネルにつながり、以下に述べる三つの機能の一つを使い所定のコア番地にガスクロの波形データを貯えることができる。

スキャナアドレスの出力専用のサブチャンネルと ADC 変換データの転送専用のサブチャンネルを 2 本同時に使ったランダムモードでのデータ収集がその一つであり、また、スタートのスキャナアドレスのみをチャンネルからうけ、その後は ADC 自身のカウンタアップ動作により逐次データを取り込むシーケンシャルモードがあり、その他に、最初のスキャナアドレスをうけると ADC はその点のみを変換し、指令されたサブチャンネルからデータを送るリポートモードがあり、その都度用途に応じたデータの取込み方ができる。

変換される波形データはハードウェア的前処理はされるが、後述のソフトウェアでの後処理 (デジタルフィルタをかける) も行ない、雑音信号分をとりのぞいて波形処理が行なわれる。

計算機とガスクロオペレータとのコミュニケーションはシステムタイプライタ (システムが小さい場合)、または、端末タイプライタで行なうことができるが、日常の工程分析などのガスクロシステムにおいてはコミュニケーション専用のコンソールを端末に配置することもできる。これらのタイプライタやコンソールは計算機へのガスクロ状況の報告や波形解析の指定がおもな仕事となり、ガスクロの起動・停止はおのおののガスクロにおかれるガスクロサイドパネルから行なわれる。サイドパネルには計算機の状況の表示をつける場合もある。

ガスクロ信号幅は数秒から数分に及び、サンプルレートは任意に選ぶ必要があるが、本システムにおいては最小幅はシステムクロックの整数倍をとっている。

4. ソフトウェア

4.1 ガスクロデータについて

ガスクロの分析波形を、図 4.1 に示す。各ピークは、分析される試料中の各成分に対応する。ピーク時間幅は最短で数秒、平均 3 分間程度である。分析開始時刻からピーク時点までの時間は、保持時間 (Retention Time) と呼ばれ、各成分に固有の値をとる。またベースラインを補正 (後述する) した各ピークの面積は、そのピークに対応する成分の濃度に比例する。

ガスクロシステムは、数十台のガスクロ出力波形を A/D 変換して収集する。1 台のガスクロに注目すると、図 4.2 のようになる。このようなデータから各ピークの保持時間・ピーク面積を求め、保持時間から試料中の成分名を識別し、ピーク面積からその成分の濃度を求める。

4.2 分析のために必要な操作

ガスクロシステムを使用して、試料を分析するときの操作はおおよそ次

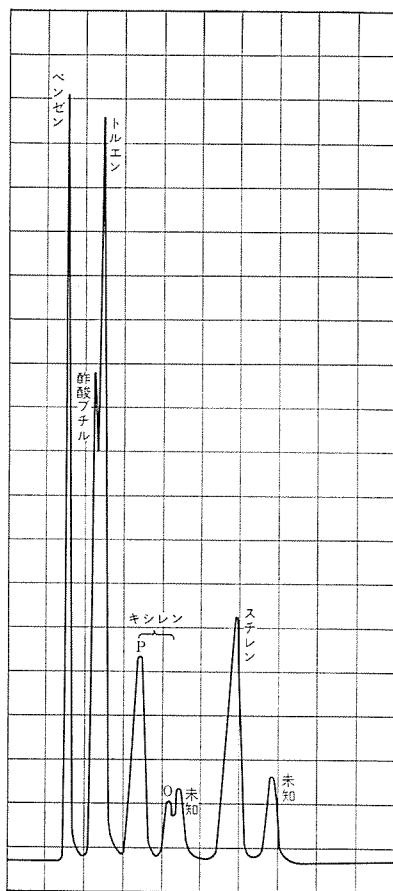


図 4.1 ガスクロ 出力波形例
Example of gaschromatogram.

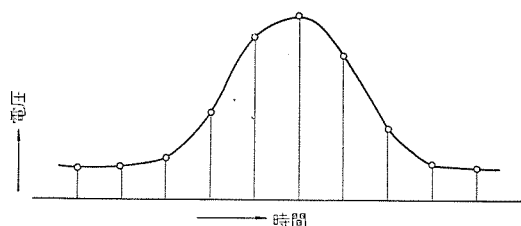


図 4.2 1台のガスクロ のデータ 収集状況
Data gathering of one gaschromatograph.

| | |
|----------------------|--------------|
| / (SLASH) | 入力の要求 |
| CHNO; 3 | ガスクロ番号 |
| COMT; 1969-7-20 No.5 | コメント |
| SCRT; 5 | データ収集速度(点/秒) |
| STOP; 10 | 分析時間(分) |
| END; OK | |

図 4.3 タイプライタからのパラメータ入力例
Example of parameter input from typewriter.

のとおりである。

(1) 分析パラメータの入力

分析に先立って、分析に必要な各種パラメータ(ガスクロ番号、データ収集時間々隔・分析終了時間等)を、タイプライタまたはキーボードから入力する。(図4.3参照)

(2) ガスクロに試料を注入し、同時にガスクロサイドパネルの分析開始ボタンを押し、電子計算機に分析が開始されたことを知らせる。

以上の操作により、あとは電子計算機が自動的に1)ガスクロ出力

波形を解析し、2)試料に含まれる成分の名称を識別し、濃度を計算する。結果はまとめてレポート形式にタイプアウトされる。

4.3 ガスクロ出力波形の解析

ガスクロの出力波形は、図4.2に示したような離散的なデータとして電子計算機に導入される。生データは次の順序に従って処理される。

- (a) 生データに含まれるノイズ除去のためのフィルタリング
- (d) 各ピークの保持時間検出
- (c) ベースラインの補正
- (d) 重畳したピークの分離
- (e) 各ピークのピーク面積計算

4.3.1 フィルタリング

ガスクロ生データにはデータ伝送、A/D変換等に起因する種々のノイズが含まれている。これらのノイズを除去するために、電子計算機のプログラミングにより構成されるデジタルフィルタリングを行なう。紙面の都合上この詳細については省略し、図4.4(a)~(d)に、このデジタルフィルタ効果のみを示す。

このデジタルフィルタにより次の結果を得ることができる。

- (1) ベースライン(フラット部分)と微小ピーク部分の判別が容易となる。
- (2) 大ピークのピーク付近はなめらかとなり、ピーク検出が容易かつ確実となる。
- (3) フィルタによる時間遅れ、波形のひずみは、ほとんど無視し得る程度である。

4.3.2 各ピークの保持時間検出およびピーク面積計算

ガスクロ出力波形の処理を述べるために、典型的な波形を図4.5に示す。

まず、波形内のチェックポイント(図中1~5)を検出する。

- (1) ピーク開始点
- (2) ピーク点
- (3) ピーク終了点
- (4) バリー点
- (5) 接点

チェックポイントをもとにして次のような処理をする。

(a) ベースラインの補正

ピーク開始点およびピーク終了点を直線で結び、ベースラインの変動を補正する。(図中成分1, 2, 4, 5)

(b) 重畳ピークの分離(その1)

大ピークに、小ピークが重畳したとき、バリー点より立下り部分に接線を引き、スキミング法により分離する。(成分2, 3)

(c) 重畳ピークの分離(その2)

ほぼ同程度のピークが重畳したとき、バリー点から垂線を下し、パーペンディキュラー法により分離する。(成分4, 5)

4.4 濃度計算

波形解析によって得られた各ピークの保持時間とピーク面積から成分を識別し、濃度を求める。濃度計算法は、基本的に次の四つの方法から成る。

- (a) 絶対検量線法
- (b) 内部標準法
- (c) 相対面積比較法
- (d) 添加法

さらに1台のガスクロだけでは完全に分離できない試料については、同一試料を複数台のガスクロで分析し、上記定量法により定量する方法もある。

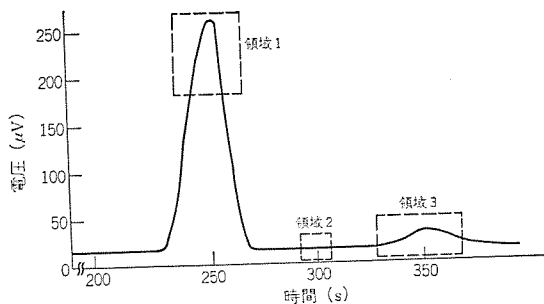


図 4.4 (a) 図 4.4 (b)～(d) のデジタルフィルタリング領域
Digital filtering area of Fig 4.4 (b)～(d)

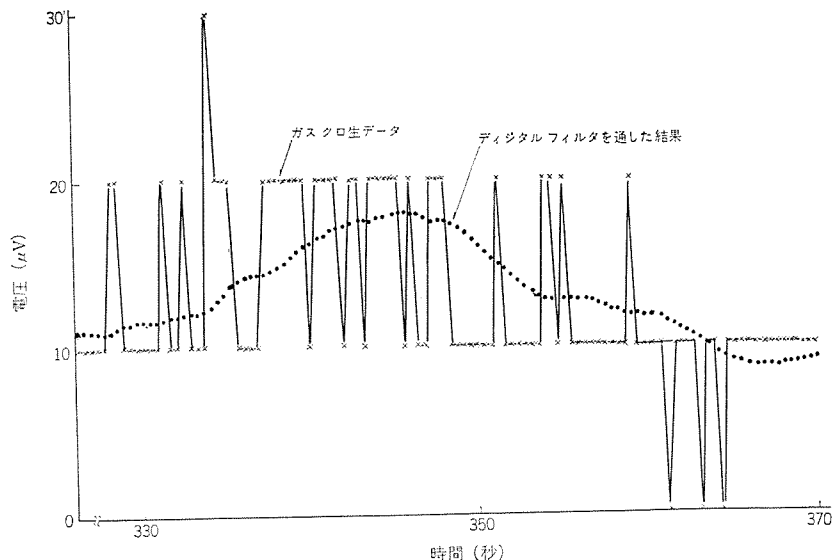


図 4.4 (d) 領域3のデジタルフィルタリング(微小ピーク)
Digital filtering of area 3 (Low level peak)

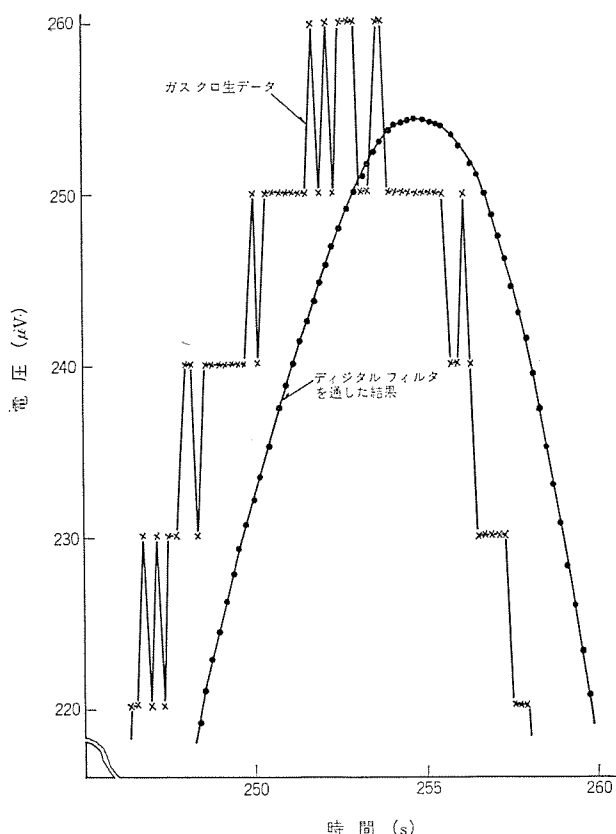


図 4.4 (b) 領域1のデジタルフィルタリング(ピーク)
Digital filtering of area 1 (peak).

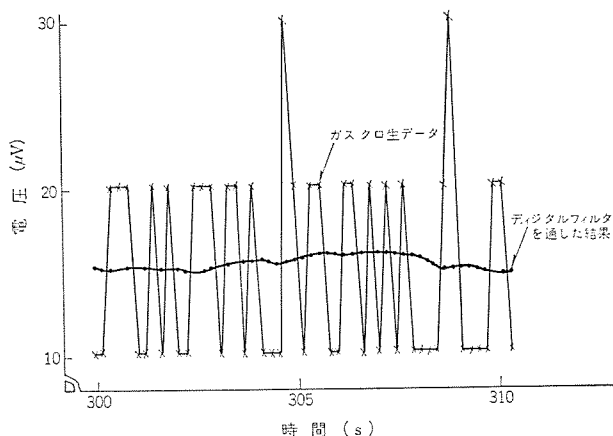


図 4.4 (c) 領域2のデジタルフィルタリング(ベースライン).
Digital filtering of area 2 (baseline).

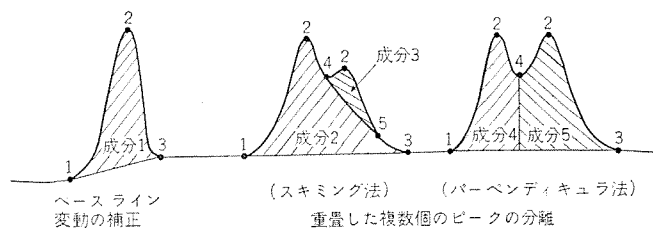


図 4.5 典型的なガスクロ出力波形
Typical gaschromatogram.

4.4.1 絶対検量線法

濃度既知の純粋試料を分析し、ピーク面積と濃度との間で検量線を作っておく。濃度未知の試料を検量線作成時と同一の条件で分析すると、そのピーク面積から濃度を知ることができる。

$$\text{計算式 } \text{SENSE} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i}{N \cdot C}$$

$$C_i = A_i / \text{SENSE}$$

$$N = \text{ピーク数}$$

$$A_i = \text{検量線作成時のピーク面積}$$

$$C = \text{既知濃度(重量比率)}$$

$$A_i = \text{分析時のピーク面積}$$

$$C_i = \text{分析時の濃度(重量比率)}$$

4.4.2 内部標準法

試料に濃度既知の物質(内部標準物質)を添加し、内部標準量との比較により成分の濃度を得る。あらかじめ内部標準量と試料との面積比と混合比の検量線を作っておく。

$$\text{計算式 } C_i = K \cdot \frac{W_s}{A_s} \cdot \frac{A_i}{W} \times 100$$

$$C_i = \text{試料中 } i \text{ 番目の成分の濃度(重量比率)}$$

$$K = \text{定数}$$

$$W_s = \text{内部標準物質の重量}$$

$$A_s = \text{基準ピークの面積}$$

$$A_i = i \text{ 番目の成分のピーク面積}$$

$$W = \text{試料の重量}$$

この方法による定量は、試料の注入量や分析条件などにあまり影響を受けないので有効な定量法である。

GC No. 1
 SAMPLE No. 15
 DATE 1968-11-5
 SCAN RATE 20 POINTS/SEC
 METHOD PERPENDICULAR
 CUT TIME 0 SEC.
 STOP TIME 10 MIN.
 IDEN. TAB. No. 2
 TITLE EXAMPLE

| COMPONENT | RET. TIME | RESP. FACTOR | PEAK AREA | MOL. % |
|---------------|-----------|--------------|--------------|--------|
| BENZENE | 1204 | 100 | 0.19912 E 03 | 16.5 |
| BUTYL-ACETATE | 2043 | 135 | 0.25382 E 03 | 16.4 |
| TOLUENE | 3318 | 116 | 0.38423 E 03 | 27.5 |
| P-XYLENE | 3538 | 131 | 0.21196 E 03 | 14.0 |
| O-XYLENE | 4382 | 130 | 0.38643 E 02 | 2.6 |
| UNKNOWN 1 | 4685 | 130 | 0.45532 E 02 | 2.8 |
| STYRENE | 6277 | 130 | 0.25241 E 03 | 16.1 |
| UNKNOWN 2 | 7560 | 130 | 0.65872 E 02 | 4.1 |

END

図 4.6 分析レポート例
 Example of analyzed report.

4.4.3 相対面積比較法

純物質がなくて検量線を作製できないとき、ピーク面積比のみで定量する方法である。全ピーク面積に対する各ピークの面積比を百分率で表わす。

$$\text{計算式 } C_i = \frac{f_i A_i}{\sum f_i A_i} \times 100$$

C_i = i 番目のピークの相対面積 (容量比率)

f_i = 面積補正係数

A_i = ピーク面積

4.4.4 添加法

最初に試料を分析し、次の試料中の一つの成分の純物質を少量試料に加えて分析する。添加後の分析での面積の増加分と最初の分析のピーク面積の比から成分の濃度を知る。

$$\text{計算式 } \text{BETA} = \frac{A_s}{A_0}$$

$$C_0 = \frac{\Delta W_0}{\left(\frac{A_0^*}{A_s^*} \times \text{BETA} - 1 \right) W} \times 100$$

C_0 = 目的成分の濃度 (重量比率)

A_s = 基準ピークの面積 (添加前)

A_0 = 目的成分のピーク面積 (添加前)

A_s^*, A_0^* = 基準ピークおよび目的成分の添加後の面積

W = 試料の重量

ΔW_0 = 添加量

4.5 レポート

試料中の成分の識別および濃度が求められるとレポートを作成する。レポートには次の項目を記入する。

- (a) コメント, サンプル番号, ガスクロ番号, 日付等
- (b) 成分名と保持時間, 濃度
- (c) 未知ピークの保持時間と面積比
- (d) 全ピーク的面積比
- (e) 各ピークの絶対面積

図 4.1 に対するレポートを図 4.6 に示す。

5. む す び

ガスクロは分析化学の分野では、非常に普及している分析装置であり、ラボラトリシステムとして、またプラント用として、本システムの導入は、単純作業からの解放、省力化の面で非常に有効である。また本システムで確立されたデータ収集、波形解析の手法は応用の広いものであり、今後多方面に利用されるであろう。

おわりに種々ご指導いただいた三菱化成工業(株)中央研究所、(株)化成水島・水島工場、(株)島津製作所の方々、ならびに当社中央研究所はじめ、社内関係者各位に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 工業計測技術大系: 機器分析
- (2) F. C. Mears: Hydrocarbon Processing, Computer Controls Chromatographs 46, No. 12(1967)
- (3) 機器分析実験法講座: 質量分析法 ガスクロマトグラフィー
- (4) R. S. Davis, W. Kipiniak: Computer Controlled Chromatograph System, 18th Annual Symposium, (April 5, 1966)

電力系統状態監視システム

林 重雄*・石田 芳*・山田 郁夫**

Power System Security Assessing System

Central Research Laboratory Shigeo HAYASHI・Kaoru ISHIDA

Head Office Ikuo YAMADA

This paper deals with the power system security assessing system and apparatus the authors developed recently. The future of the problem of power system security assessing is also discussed. The apparatus described in this paper consists of MELCOM 9100/30 system, an on-line real time digital computer and a special console connected with the computer through process I/O channels. One can set various kinds of data directly and read calculated data and states of switches on the console.

Power system security assessing program can be broken down into several subroutine programs. In this paper some important subprograms are described in detail. These are programs for system recognition, electric power system simulation and so on. Numerical examples are also shown.

1. ま え が き

わが国の経済成長にともなうその原動力としての電気エネルギーは需給両面で大きな伸びを示してきた。一国の経済や文化の水準が低く、したがって電力に対する需要も小さい場合には単に電気を送るだけでもよいが、経済が発達し国民の文化や生活の水準が向上するにしたがって、電力系統の運用者は良質の電気を絶え間なく必要な場所へ必要だけ送らなければならなくなる。

いまさらニューヨーク大停電の例を引くまでもなく電力の供給支障が社会に及ぼす影響ははかり知れないものがある。このような事態をさけるため、電力系統の計画、運用、保守などの面からの対策が各所で行なわれている。しかし従来のように運転者が経験と勘をたよりに操作していたのでは複雑な系統に対しては能力の限度がありまして緊急時のごとき錯乱状態では短時間に正確な判断を下すことは困難となる。しかし一方では、今までに予期しなかった事態になったときや非常に高度な判断を要するときは、人間による意志決定にゆだねなければならない。われわれはこのような考えにもとづいて、シミュレーションにもとづいて人間と機械（計算機）の協調による電力系統状態監視方式および装置を開発したのでその概略につきのべ、あわせて系統状態監視の将来について考察する。

2. 電力系統安全運用と系統状態監視装置

2.1 電力系統の安全運用

電力系統をその状態によって分類すると平常時、緊急時、復旧時の三つに分けることができる⁽¹⁾⁽²⁾。平常時とは供給支障がなく負荷の周波数および電圧が規定値に保たれている状態で、多少の外乱に対しては系統は安定である。平常時には経済的に電力を需要家に送ることが主目的となる。緊急時とは系統のある構成要素が定格をこえたり、負荷電圧が規定どおりに維持できなかつたり、系統周波数が規定値をこえたり、系統の安定度が破れる状態をさす。この状態では経済性より信頼度を優先して運用に当たらなければならない。

復旧時とは通常緊急時の後におこるもので、一部に供給支障のある状態をさす。最小時間で復旧を行なうのがこの状態における操作の目的となる。平常時、緊急時、復旧時の関係を図示すると図 2.1 のごとくなる。図 2.1 において実線は操作または制御を示し点線

は事故による状態の推移をあらわしている。このように系統は常に平常時の状態になるように制御される。

ところで緊急時や復旧時には事故を除去したり応急の操作を元にもどしたりする必要があるが、事故が起こる前、すなわち平常時においても系統の状態を常に監視し万一事故が生じても供給支障をおこさないか、起こしても最小限にとどめ、また事故の波及をくいとめるような方法を考えておけば系統はより安全となる。これがすなわち安全運用のための系統監視と予防制御である。図 2.1 の平常時から発生し、平常時にもどっているループ状の実線はこのような予防制御を示している。波及事故の形態としては（a）送電線過負荷の発生、（b）安定度崩壊、（c）需給アンバランスなどが考えられる。

安全運用自動化の段階は

- （1） 情報表示の改善
- （2） 故障の評価（リアルタイム シミュレーション）
- （3） 故障評価にもとづき故障解消のための表示と人間による操作
- （4） 計算機による自動予防制御

で以下にのべる系統監視方式は（2）の段階にある。

2.2 シミュレーションベース制御⁽³⁾⁽⁴⁾

上記の自動化の段階において（3）はシミュレーションの結果をもとに人間が操作を行なうものである。たとえば事故が起こった時、操作を行なった場合に系がいかなる振舞いをするか、それが安全にまた経済的に運用されるかどうか、もし安全でなければどうするかを

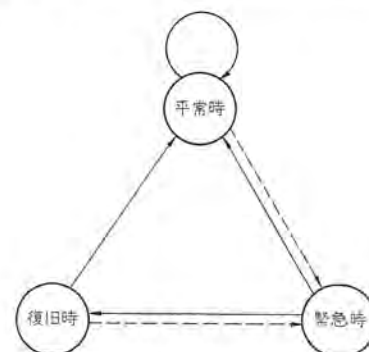


図 2.1 電力系統の状態
Operating states of electric power systems.

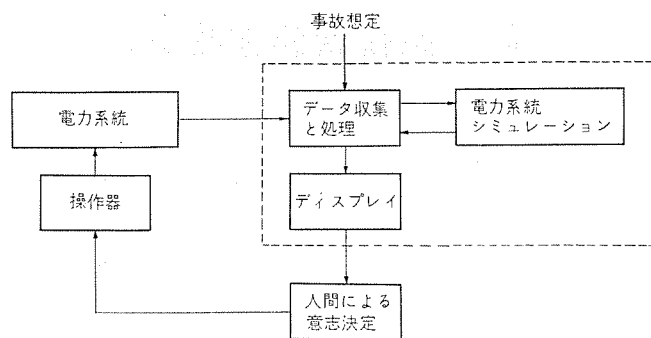


図 2.2 シミュレーションベース制御の概念
Concept of simulation-basis control.

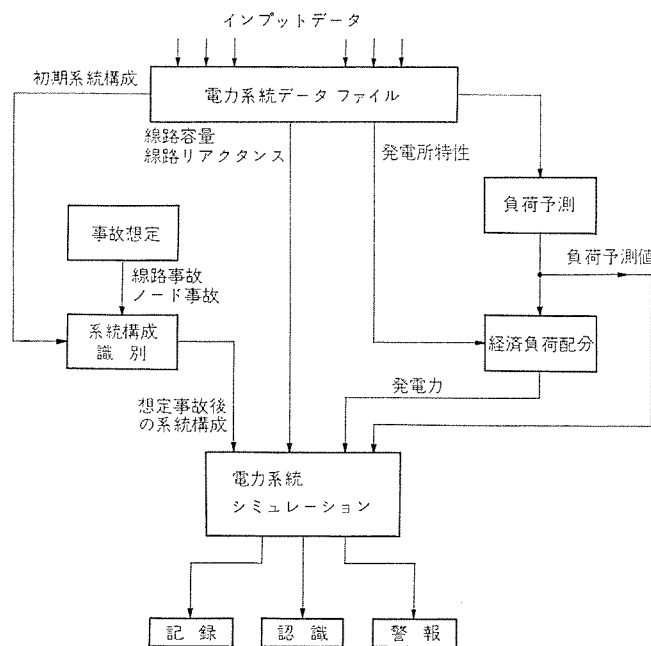


図 2.3 系統状態監視方式
Block diagram of security assessing system.

指示するために計算機が用いられる。図 2.2 にシミュレーションベース制御の概念図を示す。

将来系統規模が拡大した場合、意志決定のプロセスが自動化して上記(4)に進むことも考えられるが、電力系統およびその制御方式がますます複雑になることを考えれば人間の判断をまったく必要としない操作は考えられない。

一般に計算機は、あらかじめ定められた手順にしたがって高速かつ正確に情報を処理し定形的な判断を行なう能力にすぐれているのに対し、人間は不測の状態においてもたとえ制御理論が明確でなくても適宜判断、処理することができる。したがって何もかも無理に自動化しようとするよりも、人間と機械(計算機)の特質をよくわきまえ、人間-機械系の合理的設計にもとづいて全体として最も効率のよい運用を行なうことが必要であろう。この際操作要員には高度の技術が要求されることは当然であり、人間の数はなるべく減らして人件費の軽減をはかる反面、少数の有能な人材を集中的に配置することによって人員の有効利用をはからなければならない。したがって操作員が未知の状況に対処する方策を決定できるよう訓練するため、系統監視システムはオンライン監視のあき時間を利用することを考えなければならない。

シミュレーションベース制御による系統状態監視方式の構成および情報の流れを図 2.3 に示す。以下に各ブロックについて説明する。

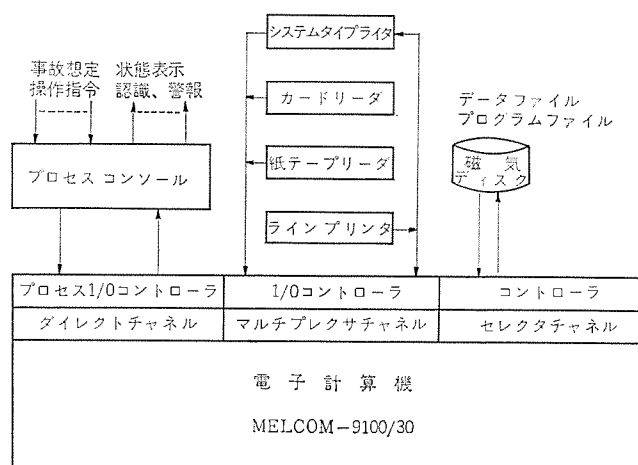


図 2.4 系統状態監視装置
Block diagram of security assessor.

(1) 電力系統データファイル⁽²⁾

電力系統のシミュレーションを行なうためには、系統にふくまれる各機器や要素に関するデータを能率よく格納しておき必要に応じて迅速にそれらのデータが引き出せるとともに必要なときに速やかに変更できなければならない。また一つのデータファイルを種々のプログラムが共用することにより計算機メモリの節約にもなる。データファイルにふくまれるデータには系統構成、線路の容量、インピーダンス、アドミタンス、発電機の最大・最小出力、ガバ調定率、燃料費特性や電力周波数特性定数、負荷のモード関数などがある。操作員は系統のいくつかの発電機出力、上下限やしゃ断器のオン・オフの状態を外部から認定することができる。

(2) 負荷予測

負荷予測プログラムはモード関数と指数平滑法⁽⁴⁾にもとづいており、サンプルされた時点から10~30分後の負荷の値を予測し分布係数を乗じることによって各ノードの負荷を推定する。

(3) 経済負荷配分

負荷予測値、発電所特性を用いて送電線損失を無視した簡略経済負荷配分プログラム⁽⁶⁾によって計算する。

(4) 事故想定

事故には線路事故とノード事故が考えられるが、これらは手動によってスイッチ操作またはリストをインプットすることにより計算機に入れることができる。

(5) 系統構成識別

このプログラムは想定事故のもとに想定事故後の系統接続状態を識別するものである。(3.1節参照)

(6) 電力系統シミュレーション

想定事故後の系統における需給不平衡を求め発電所調定率、負荷特性にしたがった新しい平衡状態を求める。(周波数偏差、各ノードの発電力、負荷)そしてこの新しい状態における潮流分布を求める。(3.2節参照)

(7) 認識

上項のシミュレーションで求められた値のうち周波数偏差、線路潮流、位相角を順次走査し、安全運用判定の基準と比較し正常、異常、緊急の三つの状態のいずれであるかを決定する。(3.3節参照)

(8) 警報

上項の判定で異常、緊急状態であるときは警報(ランプ、ブザー)を発して操作員に知らせる。

(9) 記 録

負荷の大きさ、発電力、線路潮流、周波数、位相角、事故条件などを記録しておく。

2.3 系統監視装置の構成

これまでの記述からも明らかなように、系統状態監視装置はデジタル計算機を中心に構成される。計算機は MELCOM 9100/30 システム⁶⁾を用いている。この他操作員とのインターフェイスのためのプロセスコンソールがある。プロセスコンソールを通してアナログおよびデジタル入力データを計算機に入れるとともに、線路やスイッチのオン・オフ状態をランプで示したり物理量をメータやデジタル電圧計によって読取ることができる。

全体の構成を図 2.4 に示す。

3. 系統状態監視方式

2.2 節に述べた各ブロックのサブプログラムのうち系統状態監視装置の骨子となる系統構成識別、電力系統シミュレーションにつきやや詳細にみることにしよう。

3.1 系統構成識別

電力系統は点(ノード)とノードを結ぶアークから構成されるリニアグラフであるとみなすことができる。すなわち発電機、負荷、開閉所などはノードに、送電線はアークに相当する。電力系統の事故はノードまたはアークの壊滅に帰着することができ、事故時に動作する保護継電器によって系統はいくつかの分断系(サブグラフ)に分割されることがある。このときどのノードがどのサブグラフに属するかを識別するのがこのプログラムの目的である。たとえば図 3.1 において×印の場所で系統(グラフ)が分断されたとするとノード1, 2が一つのサブグラフに、ノード3~9がいま一つのサブグラフになる。このような識別をデジタル計算機で行なうことは一般にかなりむずかしい問題である。ここでは次のようなアルゴリズムにしたがってこれを解決している。まず事故をノード事故とアーク事故にわけ次のような事故変数を定義する。

| | |
|----------------|---------------|
| ノード NN が壊滅したとき | IKIN (NN) = 0 |
| ノード NN が健全なとき | IKIN (NN) = 1 |
| アーク AA が壊滅したとき | IKIA (AA) = 0 |
| アーク AA が健全なとき | IKIA (AA) = 1 |

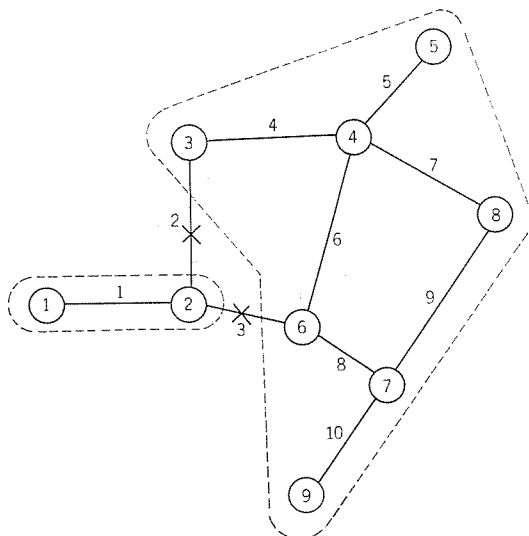


図 3.1 系統構成識別モデル
Model for recognition of system splitting

次に系統の接続状態を示す変数として FRN (AA) を用いる。いまアーク総数を A とするとき

$$AB = 2A + 1 - AA$$

なる対のアーク AB を導入する。このことはアークをたどっていきときにアークに方向性をもたせることを示している。たとえばノード I とノード K をアーク AA で結んでいるときアーク AA は I→K の方向にとり K→I の方向にたどる場合にはアーク AB をあてる。このときの FRN は次のごとく定める。

$$FRN (AA) = I$$

$$FRN (AB) = K$$

次に各ノード、アークがどの分断系に属するかを示すために、構成識別変数として SUBSYS (NN), SUBSA (AA) を次のように定義する。

ノード NN が分断系 ISUB に属するとき

$$SUBSYS (NN) = ISUB$$

アーク AA が分断系 ISUB に属するとき

$$SUBSA (AA) = ISUB$$

これらの変数を使って次のごとく識別する。まずノード総数 N, アーク総数 A, FRN, IKIA, IKIN を読み込み各ノードから枝別れしているアークを調べる。次に SUBSYS (NN), SUBSA (AA) をすべてゼロにセットし、分断系数 (SUBN) だけのサブグラフのノード、アークの探索を行ない最後に各分断系ごとにノード、アークの番号づけ(オーダリング)を行ない整理しなおす。これらは三つのサブルーチン PREP, SUBRN, SUBRAR からなっておりそれぞれ分断前のつながり、分断系内でのつながり、分断系内でのノード、アークのオーダリングを

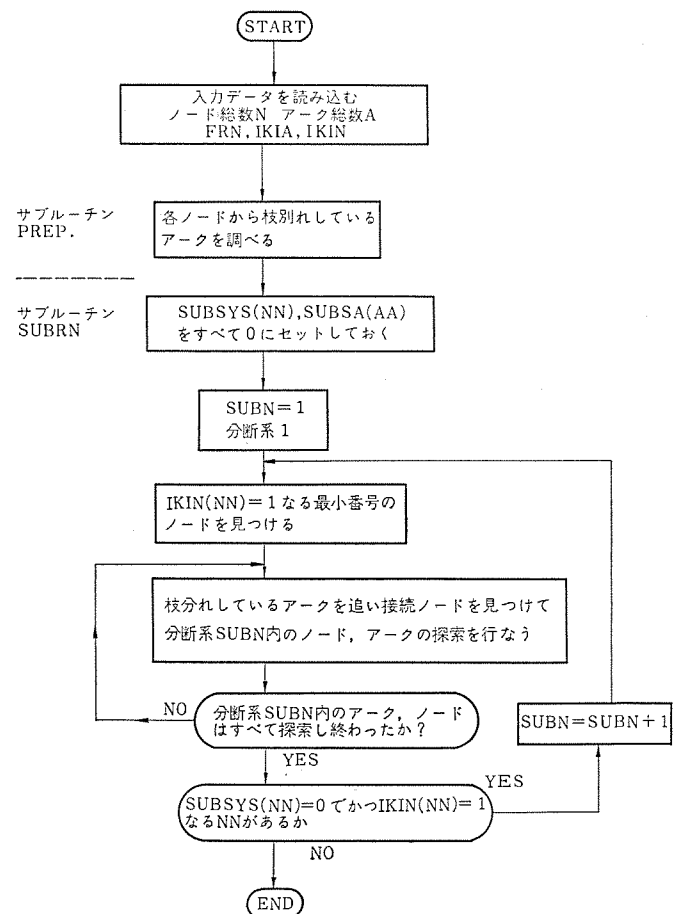


図 3.2 系統構成識別のフローチャート
Flow chart of system recognition algorithm.

受持っている。

図 3.2 に系統構成識別のフローチャートを示す。

3.2 電力系統シミュレーション

3.2.1 事故後の周波数変化と需給バランス

電力系統において線路事故（アーク事故に相当）、変電所破壊事故（ノード事故に相当）が発生したとき事故点除去の結果、発電機、負荷の脱落、系統分離のために需給の不均衡を生じ周波数偏差をともなして新たな需給平衡点に達する。ここでは各発電機出力の上下限、ガバナ調定率、負荷の周波数特性を考慮して新たな需給平衡点における周波数偏差と発電機出力および負荷の大きさを与える方法をのべる。

系統が正常な状態で運用されているときは発電量と負荷量が平衡し周波数偏差（定常値）もない。事故が発生し事故を除去したときは需給バランスはくずれるが、発電機の慣性によって周波数は直ちに变化しない。これを事故直後状態と称し次に述べる事故後（定常）状態と区別する。系統は直ちに発電機のガバナ調定率と負荷の周波数特性で決定される新しい平衡点に達する。これを事故後（定常）状態という。

以上のことを式であらわせば初期状態では

$$\sum_{i \in I} G_i - \sum_{i \in I} L_i = 0 \quad (3.1)$$

$$\Delta f = 0 \quad (3.2)$$

ただし G_i : ノード i における発電機（所）出力

L_i : ノード i における負荷の大きさ

I : 初期状態のノードの集合

送電損は無視する。（以下同じ）

事故直後状態では

$$\sum_{i \in P} G_i - \sum_{i \in P} L_i = \Delta P \quad (3.3)$$

$$\Delta f = 0 \quad (3.4)$$

ただし ΔP : 不平衡電力

P : 事故後状態のノードの集合

事故後（定常）状態では

$$\sum_{i \in P} G_i^* - \sum_{i \in P} L_i^* = 0 \quad (3.5)$$

$$K \cdot \Delta f = \Delta P \quad (3.6)$$

$$K = \sum_{i \in P} K_{Gi} + K_L \frac{\sum_{i \in P} L_i}{\sum_{i \in P} L_i} \quad (3.7)$$

$$G_i^* = G_i - K_{Gi} \Delta f \quad (i \in P) \quad (3.8)$$

$$L_i^* = L_i + K_L \left(\frac{L_i}{\sum_{i \in P} L_i} \right) \Delta f \quad (3.9)$$

ただし G_i^* : 事故後（定常）状態でのノード i の発電機出力

L_i^* : 事故後（定常）状態でのノード i の負荷の値

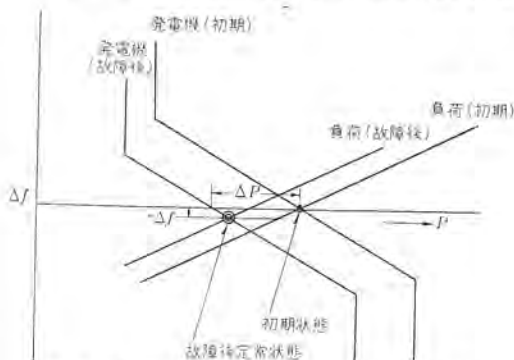


図 3.3 発電量と負荷の新しい平衡への遷移
Transition to a new balanced condition.

K_L : 負荷の周波数特性

図 3.3 は初期状態から事故直後状態を経て事故後（定常）状態への遷移を示している。

3.2.2 簡略潮流計算

事故後の系統状態を決めるために潮流計算を行なわねばならない。通常の潮流計算方法では計算時間、使用メモリともに多くなりすぎ制御用計算機ではきわめて困難となる。ここではフロー直流法による方法⁽⁸⁾を用いている。

フロー直流法では次の仮定を設ける。

(1) 潮流計算は有効電力のみを考えしかも各アークのインピーダンスはリアクタンス成分のみからなる。すなわち送電損失は無視する。

(2) 各ノードの電圧は常に規準電圧 1.00 p.u. に保持されており、各アークを流れる有効電力はそのアークの両端のノードの電圧相角の差に比例する。

(3) 電圧相角は $\pi/6$ 以下である。

このとき次式はよい近似を与える。

$$P_{ij} = \frac{\theta_i - \theta_j}{x_{ij}} \quad (3.10)$$

ただし P_{ij} : ノード i と ノード j の間を流れる電力

θ_i, θ_j : ノード i, j における電圧位相角

x_{ij} : ノード i と ノード j の間のリアクタンス

フロー直流法の計算は次の二つの手順からなる。

(1) 発電ノード群から負荷ノード群への一連アークのつながり（経路）を通し、発電ノードから負荷ノードへインピーダンスを考えずに電力を流す操作をすべてのノードの電力バランスが満たされるまで続ける。

(2) 系統にふくまれる独立したループ群を選び出し、ここではじめてブランチのインピーダンス（リアクタンス）を考慮にとり、これらのループを巡順する電力の流れによって生ずるループの電圧相角のずれを算出し、このずれを打消すようにおのおのの独立ループにループ電力を順次重ね合わせる。これをすべての独立ループの電圧相角のずれによるループ電力修正分があらかじめ与えられた許容範囲内になるまでくりかえす。このときの修正のために式 (3.10) が用いられる。以上の過程でもっとも困難なのは、独立ループを見出すことであるがくわしいことは省略する。図 3.4 に簡略潮流計算のフローチャートを示す。

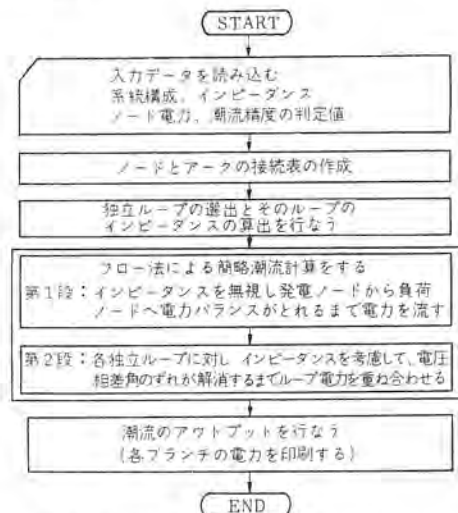


図 3.4 簡略潮流計算フローチャート
Flow chart of simplified load flow study.

3.3 安全基準

以上のごとく事故後の電力系統を模擬したとき各アークの潮流や全系の周波数が安全運用の基準を満たしているかどうかを判定することが重要である。安全運用の基準は系統にふくまれる発電機、負荷、送電線等の熱的、機械的な安全性を総合的に考えなければならないが、一応の目安として「正常」、「異常」、「緊急」の三つの状態を次のように定める。さらに異常、緊急はそれぞれ二つのレベルにわけらる。

まず線路（アーク）潮流に関しては線路潮流／線路容量を I とするとき

- $|I| < 0.55$ ならば 正常
- $0.55 \leq |I| < 0.75$ ならば 異常（レベル 1）
- $0.75 \leq |I| < 1.10$ ならば 異常（レベル 2）
- $1.10 \leq |I| < 1.50$ ならば 緊急（レベル 1）
- $|I| \geq 1.50$ ならば 緊急（レベル 2）

次に周波数変化についてはこれを Δf とすれば

- $|\Delta f| < 0.025$ ならば 正常
- $0.025 \leq |\Delta f| < 0.05$ ならば 異常
- $|\Delta f| \geq 0.05$ ならば 緊急

とする。ただし単位はヘルツ (Hz) である。

4. 計算例

計算例として図 2.3 の左側の事故想定から記録、系統識別、電力系統シミュレーション、認識、警報、記録への流れをとって種々のケースにつき試みてみた。使われたプログラムは、各ブロックごとにサブルーチン化されており、おのおののサブルーチンはさらにいくつかのサブルーチンからなりたっている。使用サブルーチンの一覧表を表 4.1 に示す。

本系統状態監視装置であつかえる系統の大きさはノード数 50、アーク数 70 であるが、近い将来ノード数 100、アーク数 200 に拡張される。計算例で用いたモデル系統は図 4.1 に示すごとくノード数 39、アーク数 45 の系統であり主要ノードの壊滅事故、アークに関して 1 ルート事故 2 ケース、2 ルート同時事故 3 ケースにつき計算した。それらの計算ケースと結果を表 4.2 に示す。なお図 4.1 において各ノード

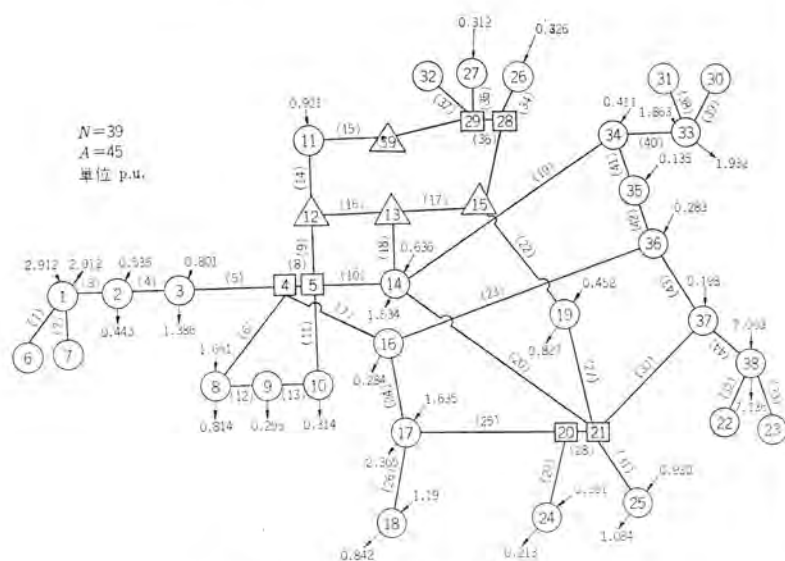


図 4.1 計算例モデル系統
Model system.

表 4.1 使用サブルーチン一覧表
Used subroutine programs.

| サブルーチン名 | 機 能 | 構成サブルーチン |
|--------------------|------------------|--|
| RECOG | 系統状態識別 | PREP SUBRN SUBRAR |
| TRANS 1 TRANS 2 | 分断系ごとの計算のための変数変換 | TRANS 1 TRANS 2 |
| GFLEQ | 周波数偏差算出 | |
| PFLOW | 潮流計算 | CONLOP CONTRE CONNOD STAGE 1 STAGE 2 |
| INVERS | 分断系より母系への変数変換 | INV 1 INV 2 |

表 4.2 計算ケースと結果
Computation cases and results.

| ノード事故 壊滅ノード番号 | 潮 流 | 容量超過アーク番号 | 周 波 数 変 化 |
|------------------|--------------------------|----------------------|-----------|
| なし | N | | N |
| 1 | N | | N |
| 2 | A 1 | 19 | N |
| 3 | A 1 A 1 | 31 44 | N |
| 4 | A 1 A 1 A 1 A 1 | 3 25 31 44 | N |
| 5 | A 1 | 25 | N |
| 8 | A 1 A 1 | 17 30 | N |
| 9 | A 1 | 31 | N |
| 10 | A 1 | 31 | N |
| 11 | A 1 | 19 | N |
| 12 | A 1 A 1 | 19 21 | N |
| 13 | A 1 | 19 | N |
| 14 | A 1 A 1 A 2 | 5 31 44 | N |
| 15 | A 2 | 14 | N |
| 16 | A 2 A 2 | 19 31 | N |
| 17 | A 1 | 31 | N |
| 18 | A 1 | 19 | N |
| 19 | A 1 | 31 | N |
| 20 | A 1 | 19 | N |
| 21 | A 1 A 1 | 17 23 | N |
| 24 | A 1 | 19 | N |
| 25 | N | | N |
| 26 | A 1 | 19 | N |
| 27 | A 1 | 19 | N |
| 28 | A 1 A 1 | 17 24 | N |
| 29 | A 1 | 19 | N |
| 32 | N | | N |
| 33 | A 1 A 1 | 19 31 | N |
| 34 | N | | N |
| 35 | A 1 | 19 | N |
| 36 | A 2 | 19 | N |
| 37 | A 1 A 1 | 19 23 | N |
| 38 | N | | N |
| 39 | N | | N |
| アーク事故 壊滅アーク番号 | 潮 流 | 容量超過アーク番号 | 周 波 数 変 化 |
| 14 | A 1 A 1 | 19 21 | N |
| 21 | A 2 | 14 | N |
| 20, 24 | N | | N |
| 4, 6 | A 1 | 19 | N |
| 19, 21 | A 2 A 1 A 1 A 1 | 14 19 23 30 | N |

N 正 常
A 1 異 常（レベル 1）
A 2 異 常（レベル 2）
アーク番号記入なきものはすべて正常

(丸印)にはいっている矢印は発電機(所)を、ノードから出て行く矢印は負荷を示しており数字はそれぞれの大きさである。他社連けい場合は流入または流出に応じて矢印の方向がつけてある。アークの近傍にカッコをつけた数字が付してあるのはアーク番号である。

表 4.2 からわかるようにアークの容量オーバーは多数発生したが、周波数異常によって危険と判定されるケースはなかった。ここでは線路容量と周波数のみを考えているが将来は電圧、無効電力をも考慮する必要がある。

計算時間は1ケース約2〜3秒(インプット、アウトプット時間をのぞく)である。

5. 系統状態監視の将来

安全性の監視、すなわち系統状態の評価の問題は以上にのべた方法によって解くことができる。しかしながら、この考えは系統状態に関する情報が正確であるという前提にたっている。系統の状態を正確に評価し正しく運転するためにはまず系統の状態を正確に知らなければならない。

系統状態を適確に認識するには二つの問題点がある。

(a) すべての状態量(電圧、電流、電力、位相角等)を必要に応じて知ることができるようにする。

(b) 計測量には誤りが存在する。

(a)の問題を計測のみに頼るのは経済的な負担が大きい。計測は必要十分な数にとどめ計算によって他の状態量を求めることが考えられる。 n 母線の系統においては、一次独立な状態変数は $2n$ であるから、計測すべき状態量の数は $2n$ で必要十分である。しかしながら(b)の問題、計測誤差、データ伝送路の故障等、計測量の誤りの問題を考慮すれば m の冗長度を必要とする。 $2n+m$ の計測量により系統状態を正確に推定する。いかにいえば、 m の冗長度をもちいて計測の誤りを修正し、正確なデータにもとづいて系統の他の状態量を算出することが要求されてくる。

冗長度 m なる場合の電力潮流方程式は

$$\begin{matrix} 2n+m \\ \left\{ \begin{array}{c} \Delta \bar{P}_i \\ \Delta \bar{Q}_i \\ \Delta \bar{P}_{pq} \\ \Delta \bar{Q}_{pq} \end{array} \right\} \end{matrix} = \begin{matrix} 2n \\ \left[\begin{array}{c} J_{ij} \\ J_{pq-i} \end{array} \right] \end{matrix} \begin{matrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta \delta_j \\ \Delta |E|_j \end{array} \right\} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

$$J_{ij} = \left[\frac{\partial (P, Q)}{\partial (\delta, |E|)} \right]_{ij} : \text{Jacobian}$$

基本的には P_i, Q_i を計測する

冗長度 m ……主要幹線の潮流 P_{pq}, Q_{pq}

となる。方程式の数は $2n+m$ 未知数の数は $2n$ である。この解き方として二つの考え方があある。

(1) 2乗平均誤差最小による方法 (Least Square Error Method)

推定精度の評価基準として

$$R = \sum_{i=1}^N [M_i - C_i]^2 / w_i \rightarrow \text{Min} \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

M_i : 計測値

C_i : 計算値

w_i : 重み係数

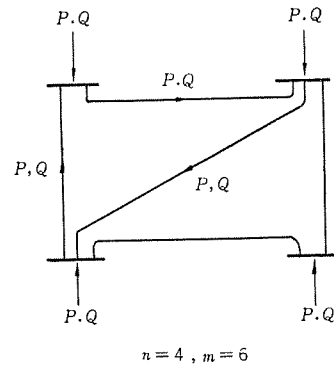


図 5.1 系統状態量の測定
Measurement of state variables.

N : 計測量の数 ($2n+m$)

なる量を取り、 R を最小とする解を求める。式(5.2)の条件のもとで解かれた式(5.1)の解は、

$$\begin{matrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta \delta_j \\ \Delta |E|_j \end{array} \right\} \end{matrix} = \begin{matrix} (J^T W^{-1} J)^{-1} J^T W^{-1} \end{matrix} \begin{matrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta \bar{P}_i \\ \Delta \bar{Q}_i \\ \Delta \bar{P}_{pq} \\ \Delta \bar{Q}_{pq} \end{array} \right\} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

$$J = \begin{matrix} \left[\begin{array}{c} J_{ij} \\ J_{pq-i} \end{array} \right] \end{matrix}$$

W : 重み係数の行列

として考えられる⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

この方法は、重み行列 W を与えることによって一意的に解き得られる利点を有している。しかしながら電力系統における誤差の性質を考察してみると、これを二つに分けることができる。

(a) 計測器の精度によるもの この誤差の大きさは1%程度であって、正規分布にしたがうとみてよい。

(b) 計測器、伝送路の故障によるもの この誤差の大きさは(a)にくらべはるかに大きく、その発生はまれである。

(a)の誤差は信頼度監視という目的のためには十分許容され得る大きさである。(b)の誤差が発生した場合、誤差の値が大きいため式(5.3)による推定は一般には良い結果を与えない。誤り個所に対する重みを小さく(w_i を大きく)することによって計測誤差の影響を除去すれば良い結果を得ることができる。

(2) 独立な方程式による方法 (Independent Equations)

$2n$ の独立な量を正しく計測できたとすれば、これをもとにして得られた計算値は正しいと考えられる。各母線での P, Q の値が正しければ

$$\begin{matrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta \delta_j \\ \Delta |E|_j \end{array} \right\} \end{matrix} = \begin{matrix} J_{ij}^{-1} \end{matrix} \begin{matrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta \bar{P}_i \\ \Delta \bar{Q}_i \end{array} \right\} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

より系統のすべての状態量を正確に知ることができる。

主要幹線の線路潮流は

$$\begin{matrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta \bar{P}_{pq} \\ \Delta \bar{Q}_{pq} \end{array} \right\} \end{matrix} = \begin{matrix} \left[\begin{array}{c} J_{pq-i} \\ S_{pq-i} \end{array} \right] \end{matrix} \begin{matrix} J_{ij}^{-1} \end{matrix} \begin{matrix} \left\{ \begin{array}{c} \Delta \bar{P}_i \\ \Delta \bar{Q}_i \end{array} \right\} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

で与えられる。 μ 番目の母線の計測量に誤りがあったとする。

P_μ, Q_μ を含む方程式を除去し、かわりに同じ個数の P_{pq}, Q_{pq} に対応する方程式をもちいて系統状態を確定しなければならない。

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{P}_{pq} \\ \Delta \bar{Q}_{pq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{pq \cdot \mu} \\ S_{pq \cdot i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{P}_\mu \\ \Delta \bar{Q}_\mu \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_{pq \cdot i} \\ S_{pq \cdot i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{P}_i \\ \Delta \bar{Q}_i \end{bmatrix}$$

ただし $i \neq \mu$

$S_{pq \cdot \mu}$: 正方行列

この式より

$$\begin{bmatrix} \Delta \bar{P}_\mu \\ \Delta \bar{Q}_\mu \end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} S_{pq \cdot \mu} \\ S_{pq \cdot i} \end{bmatrix} \right)^{-1} \left(\begin{bmatrix} \Delta \bar{P}_{pq} \\ \Delta \bar{Q}_{pq} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} S_{pq \cdot i} \\ S_{pq \cdot i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \bar{P}_i \\ \Delta \bar{Q}_i \end{bmatrix} \right) \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

として P_μ, Q_μ に対する修正がなされる⁽¹³⁾。

この方法の特長は計測誤差の問題を決定論的にあつかい、誤りデータを除去して独立な方程式を解く問題に帰着させたことにある。計算法としては従来の潮流計算法をそのままもちいることができる。この方法における問題点は誤り個所の発見法である。誤りの存在は

$$R = \sum_{i=1}^m [M_i - C_i]^2 / w_i > \varepsilon \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

m : 冗長度

ε : 許容誤差

なる評価問題によって知ることができるが、どの量が誤りであるかを知ることが問題である。誤り個所は、伝送回路における誤りチェック等式 (5.7) とは別の原理によって知り得ることが多い。このとき、(2)の方法が有効である。個別の機器の誤りチェックでは判明しない誤りに対しては、2乗平均誤差を最小とする推定結果によって誤り個所を発見することができる。推定値 C_i と計測値 M_i の差が許容値を越える個所に誤りが存在すると判断する。誤り修正を含む系統状態監視の手順を図 5.2 に示す。

状態量の計測点に冗長度 m をもたせることはすでにのべたが、データ伝送路の停止に備えて主要データに対しては伝送路を2重化することも必要であろう。データ伝送路が停止した場合には広い地域にわたってデータが欠除するが、距離の離れた地域のデータとの関連度が小さく、データの修正精度が悪くなる。したがってデータ収集に対する冗長度としては

計測点……計測不良に対して他のデータに切り換える

伝送路……伝送路幹線事故に対して別ルートで伝送

の2面に対して考えることが必要である。

系統状態監視と従来の経済運用制御との関連を図 5.4 に示す。制御プログラムの構成としては一応独立している。図において制御ループ中に運転員が介在している。このことは非常に重要なことである。この制御系の考え方は、計算機は系統の状態を測定する一種の計測装置とみて、本質的には手動制御である。複雑なシステムにおいて制御論理が明確でないとき、不測の状態においてもなおかつ安全性を確保したいときは、最後に頼り得るものは人間である。しかしながらこの人間(運転員)には高度の技術が要求される。今後システムの安全性が強調されるとき高度の制御技術、計算機の活用と同時に人間の訓練、教育が重要な課題となってくるであろう。この種の監視制御システムにおいては、オンライン監視をおこなうと同時に系

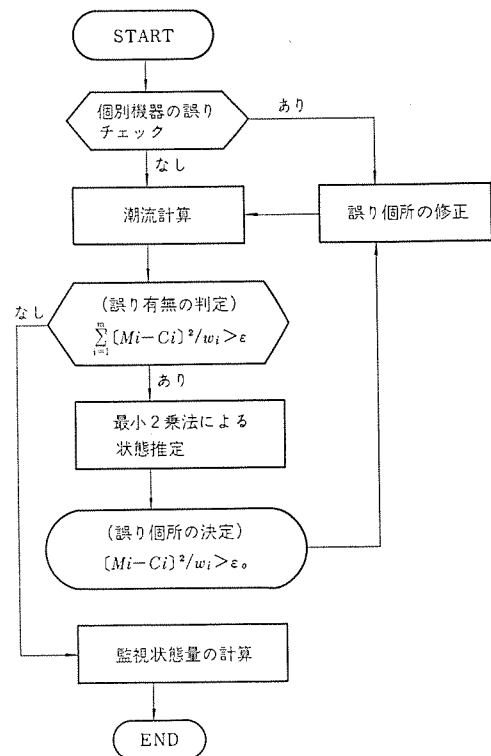


図 5.2 系統状態認識の手順
Flow chart of system state estimation.

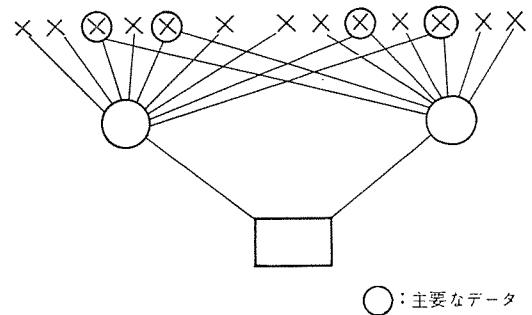


図 5.3 計測点および伝送路
Redundant data measurement and transmission.

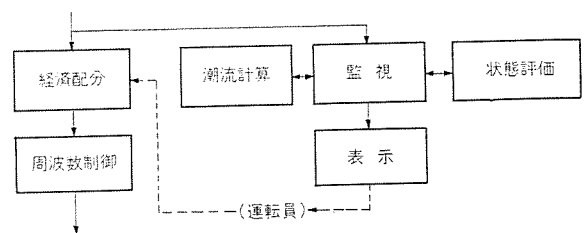


図 5.4 制御プログラムの構成
Block diagram of electric power system control diagram.

統のシミュレータとして訓練用としての機能を兼ねることが要求される。

6. む す び

電力系統はますます複雑となり、また系統の安全運用は電力の使用人からも運用者からも強く要求されている。このような状況では系統運転者が従来のように勤にたっていたのでは能力に限界が生じることが考えられる。本文ではこのような事態に対処し、しかも人間と計算機がよくその特長を活かせるような制御方式、すなわちシミュレーションベースにもとづく系統状態監視方式とその装置、計算例

などについて述べた。また系統状態監視が今後進むべき方向についての考察を行なっている。

今後ますます電力系統の安全運用が重要視されることは明らかであり、本文にのべた系統状態監視装置が実系統の運用に用いられるのも遠くはないことと思う。終わりにこの研究に多大のご指導を賜わった東京大学関根泰次助教授とその研究室の方々、有益な助言、ご協力をいただいた関西電力株式会社の方々および研究遂行に協力された当社の諸関係者に心から感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) T. E. Dy Liacco : The Adaptive Reliability Control System, IEEE Trans. PAS-89, 5 (1967)
- (2) 馬場, 林, 石田, 羽根田, 三菱電機技報 41, 9 (昭 42)
- (3) S. Hayashi, K. Ishida et al. : Power System Security Assessing by Digital Computer Simulation-Basis Control, Proc. PICA (1969)
- (4) 林, 石田ほか : 電気関係学会関西支部連合大会論文集 (昭 43)
- (5) 山田, 外山 : 三菱電機技報 41, 9 (昭 42)
- (6) 林, 芝滝, 関根 : 電気学会東京支部大会論文集 (昭 40)
- (7) 松本ほか : MELCOM 9100 シリーズ (1)~(3), 三菱電機技報 42, 6~8 (昭 43)
- (8) 高橋 : 電力系統の開発計画の計算手法におけるフロー理論の適用 (第 2 報) フロー直流法 電力中央研究所 技術研究所報告 No. 66058
- (9) Schweppe et al. : Power System Static State Estimation, Part I, II, III, Proc. PICA (1969)
- (10) Larson et al. : State Estimation in Power Systems, Part I, II, Proc. Summer Power Meeting (1969)
- (11) Smith : Power. System Estimation, *ibid*
- (12) Stagg, Dopazo : Techniques for the Real-Time Monitoring of Power System Operations, *ibid*.

電源開発(株)高砂火力発電所納め計算機システム

中林 恭之*・田中 慎一**・渡辺 聡**

A Computer System for Takasago Thermal Power Plant of Electric Power Development Company

Electric Power Development Co., Ltd. Yasuyuki NAKABAYASHI
Mitsubishi Electric Corp., Head Office Sinichi TANAKA・Satoshi WATANABE

A computer system for Takasago Thermal Power Plant of the Electric Power Development Company was planned at beginning of No. 2 unit construction. It was taken into consideration that this system was also to be applied to No. 1 unit at the time of its periodic inspection. That means the computer used for this system was planned basically good for two units. The computer itself is MELCOM -350/30 which is a newly developed as powerful Mitsubishi machine. The design of its function was proceeded by joint study in the coordination of the Power Development Co., Mitsubishi Heavy Industries and Mitsubishi Electric Corporation. In July, 1969 extended application to No. 1 unit was made and the system is now operating successfully in connection with two units.

1. ま え が き

電源開発株式会社高砂火力発電所の1号、2号ユニットは共に定格出力 250 MW、ボイラは三菱 CE 水管式放射再熱強制循環屋内式の定格蒸発量 825 t/h であり、タービンは三菱 ウェスチングハウス くし形 3 車室 4 分排気屋内型再熱再生復水式の定格出力 250 MW であり、発電機は三菱 ウェスチングハウス 内部水素冷却式三相交流発電機の定格容量 280 MVA の組み合わせである。従来実績の多い 250 MW のユニットであるが、電源開発(株)の性格上、燃料が石炭ないしは重油混焼という条件が他のユニットに比べ特殊である。

計測制御装置として、ボイラはリパブリックの ABC、タービンでは DACA ガバナ、自動同期装置、電気関係では AVR、ALR、AQR などを装備している。

上記のようなユニットの特性を考慮し、プラント計装と協調のとれた計算機システムにするため、その基本構想として次のことを前提とした。

- (1) 効率向上の手段となりうるシステムとすること
- (2) 起動停止時の操作に対し運転員の補助手段となりうること
- (3) 事故の早期検出に役立つシステムとして計画すること

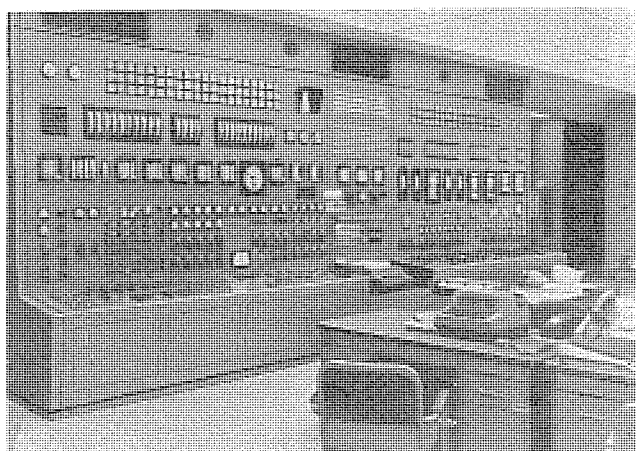


図 1.1 中央制御室 BTG 盤
BTG panel in control room

(4) プラント運転に必ず必要なものは二重計装とするが、記録計などは計算機の記録機能に置換すること。

2. 計算機システムの機能

前記の基本構想の線に沿い、計算機システムの機能としては、自動データ処理関係およびタービンシーケンスモニタが含まれている。

2.1 自動データ処理機能

2.1.1 走査警報

この計算機システムの警報機能は、大別して下記の3項に分類される。

(1) 従来計装と重複した警報

プラントからのデータそのものを読み込み、上下限または上々限、下々限の設定値と比較し、設定値を越えた場合警報ブザーおよび警報リセットのランプ付押しボタンを点灯するものであり、従来警報のアナシエータの機能と重複している。この二重計装は、計算機導入にあたって論議される点であるが、重複警報の意義としては、計算機警報をアラーム的なものにする目的と、アナシエータと同一設定値を採用し、アナシエータのバックアップ的なもの、かつ記録を残す目的がある。このシステムでは後者の目的で採用し、したがって警報記録は単に入力点番号とデータのみを印字するのではなく、入力の略称を27文字の英数字で印字し、点番号と内容の索引を調べることなく簡単に判読できる形となっている。

(2) 計算機特有の警報

どのシステムにも採用される警報であるが、従来警報では困難な差、変化率、その他の計算値警報約30項目を設定し、ボイラ盤・タービン盤の中間に幅1mで設けられた計算機パネル上部に従来アナシエータと同様の窓をそれぞれについて設置した。警報時は、警報ブザーと同時に点灯し、リセット押しボタンによりブザー停止、平常復帰で消灯となる。そのほかにマスタ電圧、節炭器出口 O₂% については、発電機出力の変化により警報設定値が自動的に変更する機能を有している。

また、この計算値警報の中には、通常のメタル、蒸気温度の変化率や差のほかに、事故の早期発見を目的として、ミル給炭系統の異常や、ミル内詰りを、ミル出入口の温度、ミル電流、テンパリングダンパ制御電圧、排炭機ドラフト等により算出し、警報するなどが含まれている。

事故早期発見の試みは初めてであり、警報の設定にはプラント特性の把握が必要とされるので、運転の経験の中で、さらに有効利用を計っていきたい。

(3) 計算機自体の警報

計算機自体の異常などについても計算値警報と同一の形体を採用しており、内容としては下記4項目である。

- (a) 計算機異常
- (b) 計算機電源異常
- (c) 内部ドリフト大 (DC アンプの精度確認のため)
- (d) 計算機室温高
- (4) その他

前述のほか、このシステムでは警報原因グループ印字という特殊の機能を採用し、真空低下、伸差大、振動大などの警報が発生した場合、その原因追究を迅速容易にするため、関連する諸データを同時に印字し運転員に判断データを提供するしくみになっている。

一方、入力 of 走査については、次の条件下に計画した。

(1) 警報走査は、警報後の処置がとれる余裕を残した走査速度を有すること。

(2) 日誌の瞬時データは、データの同時性を確保すること。

(3) 性能計算のための平均データは、性能計算の目標、総合精度、1%以内を満足するサンプル誤差に押える走査速度を確保すること。

(4) トレンド印字、経過値印字 (それぞれ20点/ユニット) は30秒周期、トレンド記録 (8点/ユニット) は10秒周期、トレンド表示 (1点/ユニット) は2秒周期を確保すること。

(5) T. S. M 関係は10秒周期のデータサンプルをベースとすること。

(6) ハードウェア上の制約は、アナログ、デジタル共用の制御装置を用いたため、アナログ専用の場合は、50点/秒の走査速度を有するが、デジタル関係の専有率約20%で、40点/秒の能力として計画する。この結果、警報関係のデータサンプル周期は次のように決定した。

(a) 高速走査 (10秒周期) ドラム水位、ボイラマスタ、ミル関係、タービン温度、振動関係など、比較的变化の速いデータ、約60点/ユニットを含む。

(b) 中速走査 (60秒周期) 蒸気温度、流量、ダンパ関係など比較的、緩慢な変化をするデータ、約60点/ユニットを含む。

(c) 低速走査 (180秒周期) パンカーレベル、ボイラメタル温度、ガス温度など特に速い周期の警報を要しないもの約50点/ユニットを含む。

2.1.2 日誌作表

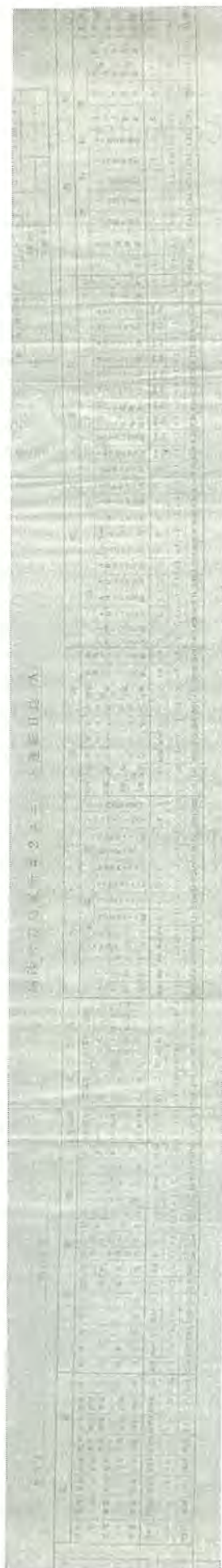
日誌作表機能も、計算機システムの自動データ処理の基本的な項目の一つでありほとんどの計算機システムに採用されているが、その内容はかなり考え方により幅がある。この計算機システムでは、

(1) 従来の運転員のデータ記録にかわるものとし、運転員による記録は行なわない。

(2) 運転記録として主要なデータは1日集計整理として、1日の合計値、平均値、最大値または最小値の記録をとどめる。

以上を目的としたため、印字項目数はかなり多く1ユニット当たり約190項目の記録を毎回行なう。このため1ユニット当たり30インチのタイプライタ2台を設置している。

印字の時期は、30分、60分の選択されたいずれかの周期で印字するほか、運転員による要求時のダイヤモンド印字と、ボイラ点火、通



Log format.

図 2.1 日誌フォーマット



Log format.

図 2.2 日誌フォーマット

る特定の時点では異常データの集約が不明となる。これをカバーするものであり直交替時など有効である。

(12) 警報設定値印字

スイッチで指定された所定入力警報設定値を印字する。

(13) 補機運転時間印字

各主要補機の総合運転時間集計値を印字し予備機のある場合など各補機の運転時間の均一化を計る。

(14) 補機運転時間修正

上記の時間集計に修正を加える必要がある場合使用する。

(15) 計算グループ印字

薬品注入量、ユニット起動時間および停止時のクーリングダウン開始時間などを計算印字する。

(16) 時刻修正

計算機の実時間に誤差が生じた場合に修正する。

(17) 日誌、性能計算周期選択

日誌作表、性能計算ログの周期を30分または60分に選択する。ユニットごとに独立に選択可能である。

(18) 表示灯テスト

BTG盤同様のランプテストの機能である。

(19) 性能計算グループ印字

性能計算、偏差解析の計算データを印字し、性能値に疑問がある場合に計算の前提である入力データの値、中間計算結果などがチェック可能である。

(20) 予備

2.2 タービンシーケンスモニタ (TSM)

最近の火力発電所向け計算機システムは、計算機を使用した自動化の傾向が強く、また計画実施されているケースも多いが、このシステムではすでに1号機が計算機なしのプラントとして設計が進んでおり、2号機は1号機のリピートということで進み、運転員の操作の面では1、2号機共統一を取ることとの制約があり、計算機システムによる自動化は見送りとなった。

しかし将来簡単な改造による自動化が期待できる点については、モニタリングシステムを付加して将来自動化の基礎データ収集をすることを目的としてタービンのシーケンスモニタを採用した。

タービンの場合、プラントのサブグループコントローラとして、DACAガバナ(広帯域タービン速度制御装置)、自動同期装置が設置されることになっていたため、これらのサブグループの計算機とのインターフェースを改修することにより、タービン起動準備から初期負荷保持まではかなり自動化できる見込みがある。

一方このシーケンスモニタは、将来の自動化のためのみでなく、当然これ自体として運転員にとって有効な運転補助の道具になる必要があり、このためTSM操作パネルは操作の簡略化に重点を置いた。従来当社ではモニタリングシステムの場合、運転員-計算機システムの情報交換としてチャートディスプレイ装置を設置し、操作内容、チェック内容を迅速詳細に表示する方式を取ったが、今回はタービンまわりのモニタリングに限定され操作指示、警報の情報量も比較的少なかったのでランプ表示およびタイプライタの併用により処理する方式を採用した。

2.2.1 TSMの概要

(1) 起動停止のモード

起動停止のモードとしては下記の3種に限定した。

(a) 起動

冷起動、暖起動、熱起動共に一つの起動モードで処理し、タービン

の昇速、初期負荷保持のヒートソーク時間を計算指示することで同一処理可能としている。

(b) クーリングダウン(冷却停止)

(c) 停止(通常停止)

停止の場合は、クーリングダウンと通常停止では負荷降下率、主蒸気温度、圧力の変化率設定など大幅に異なるため二つのモードを選択指示することとした。

(2) ブレークポイント

モニタリングシステムであるためブレークポイント自体それほど重大な意味を持たないが運転状況の指標、プラントとのシンクロナイズの区分などの目的として設定した。ブレークポイントの内容は次のとおり。

(a) 起動準備

(b) 最小速度

(c) 通常加速(1)

(d) 危険速度

(e) 通常加速(2)

(f) 最終速度

(g) 並列

(h) 初期負荷

(i) 負荷上昇

(j) 目標負荷

(k) 停止準備

(l) 負荷減少

(m) 解列

(n) タービントリップ

(o) ターニング起動

2.2.2 TSM警報および操作指示

TSMの警報に関しては、警報表示窓24個を設け、タービン監視計器関係、メタルマッチ関係、蒸気温度変化率、復水器真空などの監視、警報を行なっている。

また操作指示関係としては、ドレン弁、抽気弁の操作、DACA操作、励磁系操作、本塞止弁、ガバナ弁操作など36個の操作指示窓により表示する形になっている。

3. ハードウェアシステム構成

この計算機システムのハードウェア機種はMELCOM 350/30を選定した。この機種は計画時、当社にて、MELCOM 350シリーズの一環として開発中のものであり、実績のない点が危ぐ(惧)されたが、20ミルコアで0.8μsのサイクルタイム、クロック周波数3MHzの高速性、IC化されたCPUの高信頼度を期待して採用に踏み切った。

ハードウェアシステムの構成としては、図3.1の計算機システム構成図に示すとおり、計算機本体12面(6面2列対向)、計算機パネル2式、日誌タイプライタ4台、性能計算タイプライタ1台、雑記録タイプライタ2台、TSMタイプライタ1台から構成され、電源はMGおよび非常用電源のバッテリーによる無停電電源装置を設置しMG定検などのためにAVRのバックアップ電源を付加している。

計算機本体は中央制御室隣接の継電器室内に設置し、計算機パネルはボイラ盤、タービン盤の中間に組み込み、タイプライタは、目的に応じて中央制御室内に適宜配置した。TSMタイプライタは、ユニットの起動停止の機会が少ないという理由により可搬式とし、接続のコネクタは計算機パネルに設置した。また主としてドラフトなどの空気信号の入力については、計算機本体設置の継電器室内にコンバータラックを

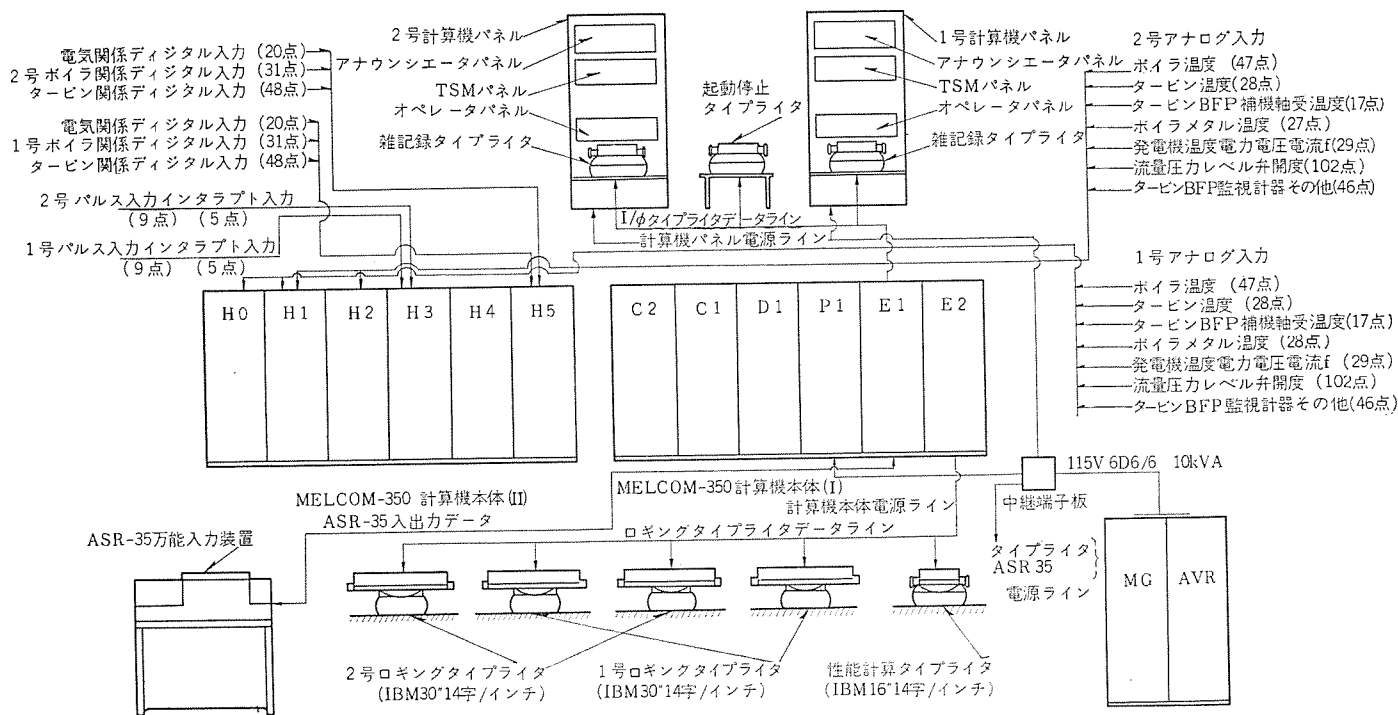


図 3.1 計算機 システム 構成

Computer system configuration block diagram.

設け空電変換器類をまとめて収納した。

ハードウェアシステムの概略仕様は下記のとおりである。

3.1 計算機本体 (2 ユニットに対する数量)

(1) CPU 仕様

| | |
|------|--|
| コア | 32K 語 |
| ドラム | 262K 語 |
| 語 長 | 16 ビット/語 |
| 演算速度 | 加減算 2.4 μ s, 乗算 9 μ s, 除算 10 μ s |
| 命令数 | 93 |

| | | |
|---------------|--------|-----|
| システムタイプライタ | ASR 35 | 1 台 |
| 紙テープリーダー (仮設) | | 1 台 |
| 紙テープパンチ (仮設) | | 1 台 |

(2) プロセス 入出力仕様

| | |
|---------|----------------|
| アナログ 入力 | 630 点 |
| デジタル 入力 | 240 点 |
| アナログ 出力 | (プロセス 用としてはなし) |
| デジタル 出力 | (同 上) |
| パルス 入力 | 24 点 |
| 割込入力 | 9 点 |

3.2 周辺機器

- (1) 日誌 タイプライタ IBM Model B 30" 4 台
- (2) 性能計算 タイプライタ IBM Model B 16" 1 台
- (3) 雑記録 タイプライタ IBM Model 735 2 台
- (4) TSM タイプライタ IBM Model 735 1 台
- (5) 計算機 パネル 2 式
 - (a) アナウンシェータパネル (1 式)
 - (b) TSM パネル (1 式)
 - (c) オペレータリクエストパネル (1 式)
 - (d) トレンド 記録計 (3 ペン 2 台, 2 ペン 1 台) (1 式)
- (6) コンバータラック 2 式
- (7) 電源装置 (MG, AVR 各 10 kVA) 1 式

図 3.2 の計算機 パネル 図, および上記のごとく計算機 パネル は三

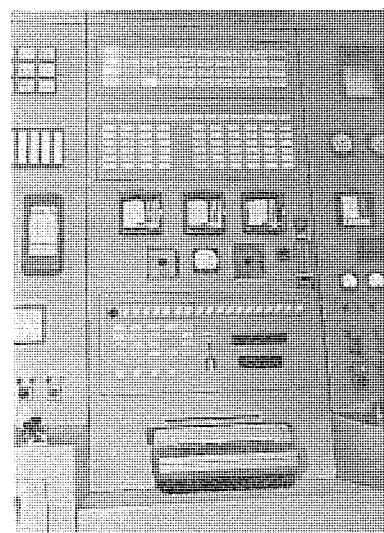


図 3.2 計算機 パネル
Computer panel.

つのパネルおよびトレンド記録計より構成され、さらに計算機関係のものとして DACA ガバナの速度、加速度設定器、速度計、ならびに手/自動切替スイッチが装備されている。

アナウンシェータパネルは警報機能の節で説明したように 40 個の窓の警報表示灯より構成される。

TSM パネルは 15 個のブレイクポイント表示灯, 24 個の警報窓, 36 個の操作指示窓より構成される。

オペレータリクエストパネルは 20 個の機能表示灯, 6 けたのデジタル数値表示器, 点番号, データ設定および機能選択のための合計 14 けたの 10 進スイッチ, リクエスト, キャンセル, 警報リセットのランプ付押しボタンスイッチを装置するほか, TSM 操作のランプ付押しボタンスイッチ 18 個と起動停止モード選択のスイッチ 1 個が設けられている。これは BTG 盤組み込みのベンチボード形盤のため, 操作の必要なものの設置位置の制約があり TSM 関係を一つのパネルに納め得なかった。

3.3 検出器, 変換器

検出器, 変換器類は, 原則として一般計器と共用の形をとり, ABC 関係等特に制御に関係する入力および前述のとおり性能計算精度上, 必要な入力は共用を避けた点と, ボイラメタル温度など検出器側に余裕があるものは分離した点が例外である。

アナログの入力の配線は, 対のより線, シールドケーブルを使用し検出器または変換器において1線接地の原則で行なった。据付調整途上, 先端接地が行なわれていなかったため, コモンモードノイズの影響で入力精度に問題が生じたことはあったが, 改修接地の結果最終的に問題はなくなった。

なお, 輸入分析計の内回路不詳で接地できないもの数点, 熱電対の配線で一括シールドしたものなどの例外はあるが, 実用上問題になっていない。

4. プログラムシステム

プログラムシステムは計算機主体のベーシックプログラムとプラント主体のアプリケーションプログラムにより構成される。

4.1 ベーシックプログラム

MELCOM 350/30 のオペレーティングシステムとしてはオンライン処理, バッチ処理の専用および両者の併行処理を行なうタイムシェアリングオペレーティングシステムがあるが, このシステムは, 現地におけるプログラムディバグの容易さ, ドラム内プログラムの管理の簡略化を期待して併行処理システムを採用した。

このオペレーティングシステムのスーパーバイザにより, オンライン処理実行時においても, バッチ処理のジョブコントローラを呼びだしてメモリの読み出し, 書き込みまたはプログラムの管理, 整理などが可能になりディバグにその効果を発揮した。またこのスーパーバイザの持つダイナミックリローテーションの機能によりマルチプログラミングを可能にし処理最繁時のプ

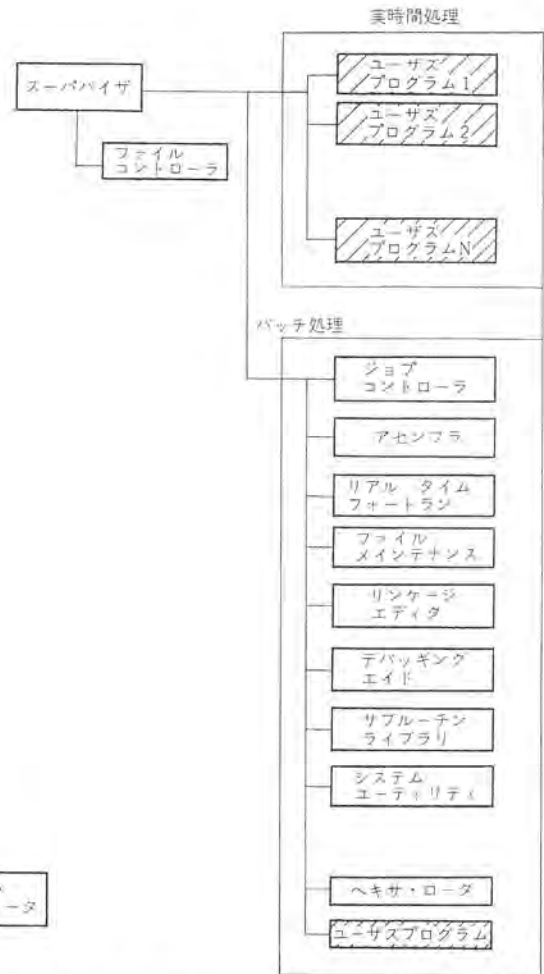


図 4.1 併行処理オペレーティングシステム構成
Configuration of operating system.

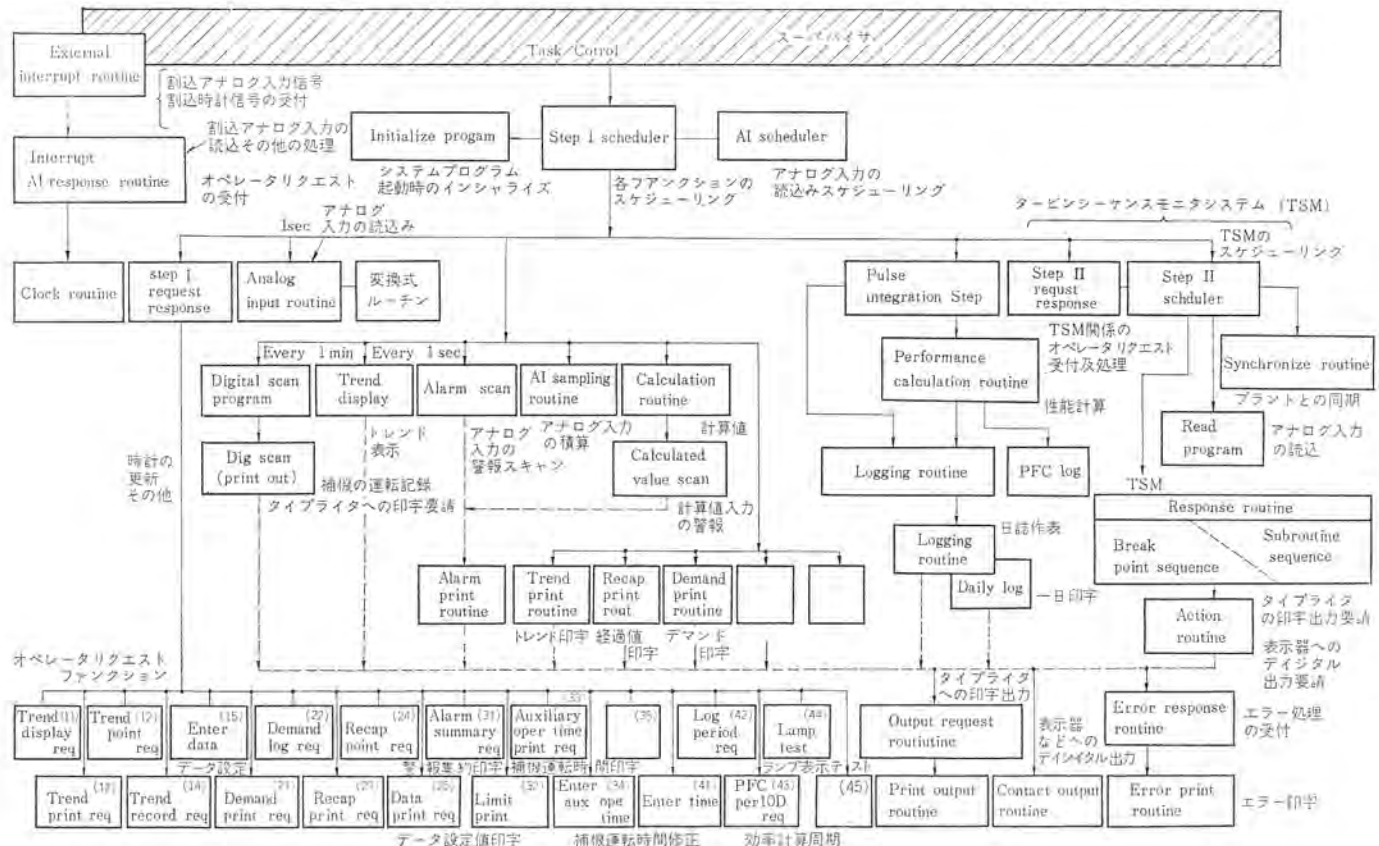


図 4.2 アプリケーションプログラム構成

Configuration of application programs.

プログラム優先処理にすぐれた機能として働いた。

4.2 アプリケーションプログラム

アプリケーションプログラムはすべてスーパーバイザの管理下にあり、割込入力の処理を除いてはベーシックレベルに置かれ、ベーシックレベル内にて優先順位が決められている。そのプログラム構成は、図4.2に示すとおりである。

ベーシックレベルの各プログラムは、同レベルのスケジューラ：プログラム（毎秒動作）により運営される。周期的に動作するプログラムは計算機内部のタイマによりその周期をカウントしスケジューラにより駆動され、日誌作表など実時刻動作を必要とするものは毎分割込信号ではいる実時刻信号をカウントして定時を検出し、同じくスケジューラにより駆動される。

ほとんどのプログラムがプラントのアナログデータに関連するものであり、また入力の読み込みが50点/秒の制約を受けるため、プログラムの動作と、それに必要な入力の読み込み完了との同期の問題があり、過去のデータによる演算の不都合が生じないように特に留意がほどこされている。

またアプリケーションプログラムについても、それぞれ単一プログラムが小さくなるように分割作成している。これは同時に多くのプログラムをコアメモリ上に乗せ見かけ上同時に多くのプログラムが実行され運転員

が計算機を使う場合に待つ必要がなくなる。性能計算のようにどうしても大きくなるプログラムは、取扱上は一つのプログラムであるが、実際はいくつもの小さなプログラムに分割されていて、それをスーパーバイザのリンク、チェイニング機能により逐次処理し一つの大きなプログラムと同じ働きをしている。

5. む す び

ユーザ、プラントメカ、計算機メカ三者協力によるこの計算機システムは、当初2号機建設時に2号機用システムとして、また本年5、6月の1号機定検時に1号機に拡張し1、2号機用システムとして2段階の調整を経て現在良好に実動中である。

調整途上において多少のトラブルのため調整完了が遅れる事態を招く不本意なこともあったが最終的に本年7月末完全に調整が終わり、今後1カ年99%の実動率試験にはいる。また一方電源開発(株)高砂火力発電所としては、運転員による記録を全面的に排除し計算機による記録に切替える予定となっている。

おわりに当たり、財団法人電力中央研究所堀主査、電源開発(株)本店ならびに高砂発電所、三菱重工業(株)長崎造船所ならびに高砂製作所、当社関係者各位のご指導、ご協力に対し深く感謝の意を表して筆を置きたい。

衛星追尾用指令制御システム

山内 信治*・松村 雅司*・山本 征二*

Programme Control System for Satellite Tracking

Communication Equipment Works

Nobuharu YAMAUCHI・Masaji MATSUMURA・Seiji YAMAMOTO

It has been attempted to standardize the program control system which is one of the control methods of satellite tracking antennas at earth stations. The system, worked out by Mitsubishi, is used for special purpose, but because of flexibility of its construction it can be suitably adapted to particular conditions included in individual earth stations. Furthermore, this system is able to extend or to reduce easily. Special attentions are paid to the reliability, and easiness of maintenance and of operation for the device from the viewpoint of necessity for all night continuous operation of it. The curtailing of the period needed for its design, manufacture, test and adjustment has been realized by simplification and standardization. Two sets of the devices were built last spring and shipped to Carnarvon and Ceduna earth stations in Australia respectively and are now operating successfully.

1. ま え が き

過去数十年間、国際通信の分野で活躍してきた短波通信や海底ケーブルによる有線通信は、通信容量の点では限界に達し、また、通信品質や信頼性の点でも必ずしも満足すべき状態ではないため、他方宇宙開発技術の著しい発達とあいまって、衛星通信による世界通信網の建設が提唱されてすでに久しい。

この間、ICSC (Interim Communication Satellite Committee ; 暫定通信衛星委員会) により、衛星通信用標準地球局の具備すべき条件が示され、一方、米国の衛星通信会社 (COMSAT ; Communication Satellite Corporation) により推進されてきた世界商用衛星通信系構想に基づき、一連の実用通信衛星 INTELSAT 衛星が打ち上げられ、また、各国では、標準地球局の建設が強力に推し進められるなど、世界商業衛星通信組織の確立を目指した動きが顕著になってきた。

通信系の以上のような変化に伴い衛星通信の一つの特質として、地上から約 36,000 km もの遠方にある衛星との送受信を能率良く行なうため、直径 30 m 前後にもおよぶ大形アンテナをきわめて高い追尾精度でしかも安定に、衛星に指向させる必要が生じてきた。

衛星の軌道も、中高度衛星から同期衛星が実用化されるにしたがい、その変化の割合も少なくなり、アンテナ制御の目的としては、できうるかぎり単純化し、信頼度が高く安定で保守運用の容易な制御装置が要求され、一方、各機器の状態および性能の監視・管制の機能を具備した新しいデジタル処理システムとしての色彩が強めてくるものと思われる。

以上のような大勢を背景として、当社では、昭和 38 年、国際電信電話株式会社に納入した衛星通信アンテナ用指令制御装置以来、数々の納入実績で蓄積した技術を基にして、大形アンテナ制御用の指令制御装置を標準化したのでここに報告する。

2. 衛星通信アンテナと指令制御システム

当社では、以上のような大形アンテナの指令制御の重要性にいち早く着目し、昭和 38 年、国際電信電話株式会社茨城衛星通信実験所に納入した装置を初めとして、現在製作中のものを含め、計 6 組の指令制御装置と、7 台の角度変換装置を製作し、当社製高性能大形



図 2.1 衛星通信用アンテナ (メキシコ 通信運輸省納)
Earth station antenna for satellite communication (la
secretaría de comunicaciones y transportes ; Mexico)

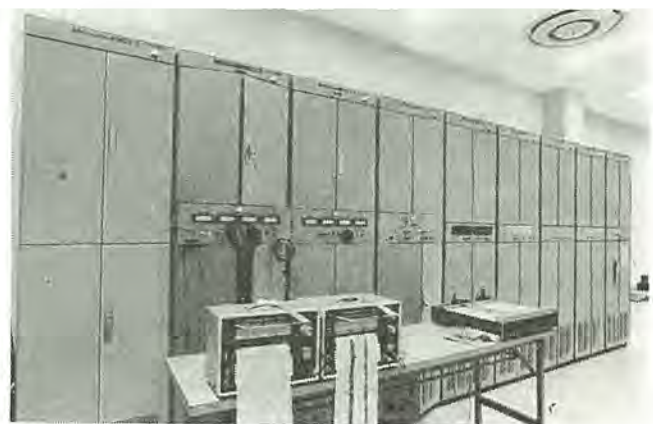


図 2.2 指令制御システム
Programme control system for satellite communication
antenna of earth station.

表 2.1 指令制御システム納入受注実績一覧
Programme control system manufactured by Mitsubishi Electric Corp.

| 装置名 | 納入先 | 主 要 性 能 | 納 入 | 備 考 |
|--|---|--|-------|---------------------------|
| 1 指令制御装置 指令制御装置 時刻装置 | 国際電々(株) 茨城衛星通信実験所 | 衛星通信実験用(後、商用) パラメトロン素子使用 角度誤差出力間隔 100 ms 電動タイプライタ2台、磁気テープ装置2台、フोटリーダー1台 角度検出精度 0.005° 時刻安定度 1×10^{-7} /日 | 昭和38年 | アンテナ径 20 m のち 22 m に拡張 |
| 2 プログラム指令装置 | 東京大学 宇宙航空研究所 | ロケット追尾用 トランジスタ使用、十進演算、角度誤差信号飽和レベル $\pm 1^\circ$ 角度誤差出力間隔 30 ms および 60 ms 角度オフセット可能範囲 $\pm 9.90^\circ$ 電動タイプライタ1台、紙テープリーダー1台 | 昭和41年 | アンテナ径 18 m |
| 3 プログラム装置 デジタル角度装置 演算装置 超小形電子計算機 時刻装置 | 国際電々(株) 茨城衛星通信所 | 商用衛星通信用 トランジスタ使用、二進直列演算方式 角度誤差出力間隔 62.5 ms、角度誤差信号飽和レベル約 $\pm 0.35^\circ$ 角度オフセット可能範囲約 $\pm 2.81^\circ$ 角度計数分解能 $360^\circ \times 2^{-17}$ 、角度検出精度 $\pm 0.01^\circ$ 以下 電動タイプライタ2台、紙テープリーダー2台、紙テープパンチャ1台 時刻安定度 1×10^{-7} /日 | 昭和43年 | アンテナ径 27.5 m |
| 4 角度変換装置 | Mexico ; La Secretaria de Com- unicaciones y Tran- sportes (Turancingo) | 商用衛星通信用 トランジスタ使用、サンプリング周期 62.5 ms 角度計数分解能 $360^\circ \times 2^{-17}$ | 昭和43年 | アンテナ径 32 m |
| 5 プログラム装置 デジタル角度装置 演算装置 超小形電子計算機 時刻装置 | 国際電々(株) 山口衛星通信所 | 商用衛星通信用 主要性能は、3項に同じ | 昭和44年 | アンテナ径 27.5 m |
| 6 指令制御装置 角度変換装置 プログラム制御装置 | Australia ; The Overseas Tele- communications Com- mission(Carnarvon) | 商用衛星通信用 集積回路使用 角度誤差出力間隔 100 ms、角度誤差飽和レベル $\pm 0.4^\circ$ 角度オフセット可能範囲 $\pm 1^\circ$ 紙テープリーダー1台 角度計数分解能 0.005° | 昭和44年 | アンテナ径 29.6 m |
| 7 指令制御装置 角度変換装置 プログラム制御装置 | Australia ; The Overseas Tele- communications Com- mission (Ceduna) | 商用衛星通信用 主要性能は、6項に同じ | 昭和44年 | アンテナ径 29.6 m |
| 8 角度変換装置 | Malaysia ; Telecommunication Department, Govern- ment of Malaysia (Kuantan) | 商用衛星通信用 集積回路使用、サンプリング周期 100 ms 角度計数分解能 0.005° | 昭和45年 | アンテナ径 29.6 m |
| 9 角度変換装置 | Colombia ; Empresa Nacional de Telecomunicaciones (Chocontá) | 商用衛星通信用 主要性能は8項に同じ | 昭和45年 | アンテナ径 29.6 m |

アンテナおよびその駆動装置と一体となって、国内をはじめ、メキシコ、オーストラリア等の海外各地でも活躍している。

この中には、衛星通信の即時性をまざまざと国内に伝えたケネディ大統領事件のテレビ中継、通信品質のすばらしさと迫力で人々の目を奪ったメキシコオリンピックのカラーテレビ中継、人類はじめて月に立つ情景を、国内および欧州に伝えたアポロ11号の月面着陸場面のテレビ中継など、常に時代の最先端をゆく歴史的な報道に貢献してきた幾つかの装置が含まれている。

表 2.1 に、大形アンテナ指令制御装置の納入受注実績を示す。

図 2.1 に、制御対象としての衛星通信用アンテナ図 2.2 に指令制御装置の全景を示す。

3. 指令制御システム

3.1 概要

衛星通信アンテナのように高エネルギー、低雑音温度特性を必要とするアンテナは、必然的に大口径になり、そのビームはきわめて先鋭になら

ざるを得ない。4～6 GHz 用の開口径 30 m にもおよぶ大形アンテナのビーム幅は、 $0.1^\circ \sim 0.2^\circ$ 程度となり、品質のよい通信を行なうためには、駆動制御系の駆動精度を、その主ビーム幅の 1/10 以下に押える必要がある。

駆動制御系の動的な特性は、主として、追尾される衛星の軌道とアンテナのマウント方式とにより規定される。AZ-EL マウントの場合、天頂近くを通る低高度衛星を追尾するには早い AZ 角速度が必要となり、低仰角になるにつれて AZ 角速度は小さくなる。

アンテナに要求される最大追尾角速度は、おもに、EL 軸の追尾可能最大仰角によってきまり、高度約 10,000 km 以上の中高度衛星から同期衛星までのあらゆる軌道の衛星を追尾できるよう全天空指向性をもたせた場合にも、なめらかでかつ正確な追尾を行ないうするためには、最大追尾角速度は $0.5^\circ/\text{s}$ 程度で良いが、ここでは特に、低速における駆動特性および精度の改善に留意されたアンテナ制御系を対象として、指令制御装置の設計を行なった。

指令制御装置のおもな機能は、あらかじめ算定された衛星軌道予

測データ、または、軌道パラメータを処理し算出された軌道予測データを基にして、現在のアンテナ指向角度と、実時刻に対応づけて比較し、その誤差を零にするようアンテナを平滑駆動することである。

このような機能をもつ指令制御方式としては、時々刻々の軌道データを計算し、適当なフォーマットに変換し、平滑化し、これを目標値として実際のアンテナ指向角度との偏差を算出し、その偏差を操作量として駆動サーボ系に印加し、制御対象であるアンテナを制御する過程を、プログラム内蔵式の電子計算機によって、実時間で行なう、いわゆる計算機オンライン方式と、軌道データの算出や、軌道情報の処理等をオフラインで行ない、平滑化、誤差計算などの単純な繰返し計算のみを実時刻に対応づけて簡単な演算装置により、オンラインで行なう、いわゆる計算機オフライン方式との二つの方式があるが、信頼性の向上、フレキシブルなシステム構成等によりオンライン方式の短所改善に努めた結果、信頼性が高く柔軟性に富むシステム構成が実現できたので、本システムにおいて特に重視される運用・操作の面で便利なオンライン方式を採用した。また、現在、大多数の地球局に対しては、その局における衛星軌道予測データがCOMSATから与えられるという点から、入力データのコード変換用にごくわずかな専用回路を設け、この回路部分の交換によりあらゆる入力コードに適應できるようふうしたため、運用上も非常に取り扱いやすくなり、かつ柔軟性に富むシステムを実現できた。このほか、コントロールシーケンスをソフトウェアで構成し、固定メモリで実現する方法を採用したため、はん(汎)用計算機のもつ柔軟性と、専用装置のもつ高信頼性・保守運用性などの長所を併せもち、個々の地球局の実情に即した演算処理が可能となり、一方、運用性・信頼性の面でも、十分満足できる装置となった。

上述のように、指令制御システムは、終日運転を行なう公的通信機関としての衛星通信用地上施設のアンテナ制御装置を構成する必要上、きわめて高い安定性と信頼性が要求される。

そのため、本システムを設計するに当たって、その機能の主要部分を構成する論理素子として、小形・小電力・高信頼度・高速・経済的といった数多くの長所を有する集積回路を全面的に使用したことをはじめとして、装置全体を完全固体化し、チェックシステムの完備、フェイルセーフ機能の採用、簡素化された方式選定などと相まって、高性能なシステムの実現を図った。

また、集積回路により高密度実装を行なった結果、回路接続点の減少、機械化された自動生産による素子品質の均一化、小形化によ

る設置スペースの節減、信頼度の向上による保守の簡易化、予備品の減少による経済的効果の向上などにも寄与している。

実装面においては、電源ユニット、パネルおよびカードフレームはすべて、コネクタによりきょう(筐)体とプラグイン接続するなど、故障の場合の修理の容易さの点にも配慮した。

また、万が一、装置に異常が生じた場合には、直ちにその異常を検出し、誤った信号によりアンテナが駆動されて通信回線に障害を与えることのないよう、事前に異常の生じた部分をアンテナ制御系から切り離すなど、フェイルセーフに留意した構成としている。

衛星通信用アンテナ指令制御システムの構成を図3.1に示す。

大別して、角度変換装置、プログラム制御装置、時刻装置、入出力装置からなり、これらはさらに、ユニットに分割され、標準キャビネット、幅570mm、奥行510mm、高さ2,000mm内に実装される。各ユニットは、保守・点検を容易にするため、すべてカードフレーム単位でキャビネットから着脱できるようプラグイン式の実装を採用し、また、カード前面にテストポイントを設けるとともに、主要なチェックポイントはカードフレームの両端のテストポイントでチェックできるよう配慮されている。

3.2 角度変換装置

角度変換装置は、アンテナの指向角度をシンクロレゾルバにより位相差として検出し、この位相差をカウンタによって計数し、アンテナのデジタル角度を得るための装置である。

角度変換装置の構成を図3.2に示す。

アンテナを指向させる衛星としては、中高度衛星または同期衛星を対象としているので速度は比較的遅く、励振するシンクロレゾルバを精粗2系列用いれば、十分な分解能(0.01°以下)が得られる。

アンテナ指向角度は、指令制御のためのフィードバック値として用いら

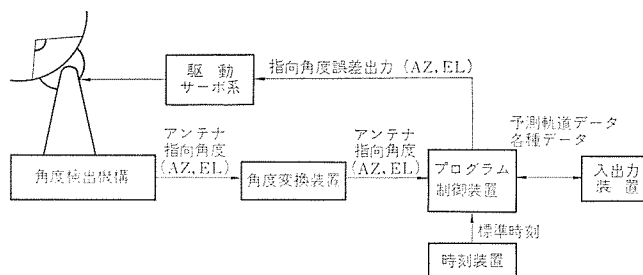


図 3.1 アンテナ指令制御システム構成図
Configuration of programme control system for satellite communication antenna of earth station.

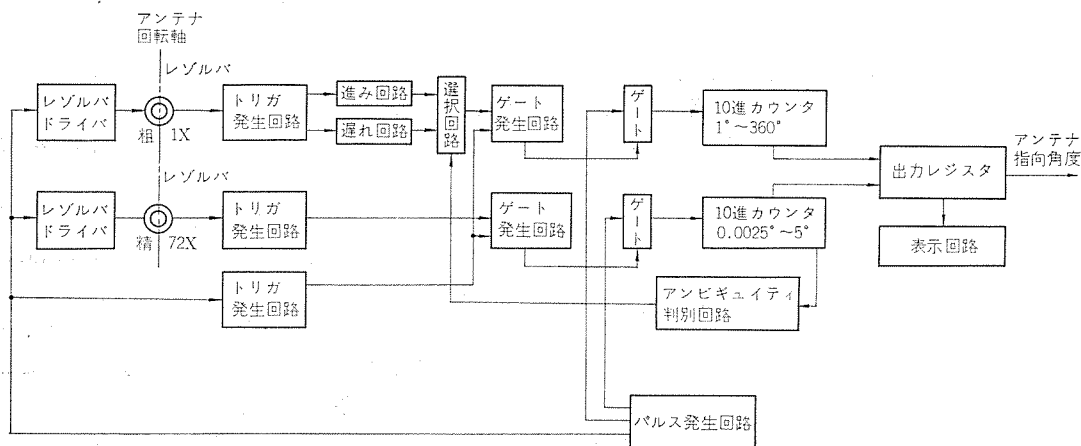


図 3.2 角度変換装置構成図

Block diagram of angle encoding equipment.

れると同時に、中央管制卓などに表示する必要があるため、直接十進カウンタで計数し、十進デジタル出力を得ている。精粗2系列の合成時におけるアンビギュイティの補正は、精粗パルスの位置により適当に位相偏移させたパルス粗系を用いることによって行なっている。

十進計数方式を採用している関係上、精粗シンクロレゾバの回転比率を1:72とし、粗系列の十進カウンタにより5度単位で360度まで、精系列の十進カウンタにより0.005度単位で5度まで計数する。これらの動作は100ms周期で繰り返され、新しく検出計数された値が表示・出力される。なお、AZおよびELの2軸に関して、原発振回路を除いて全く独立に検出計数を行なう。

角度変換装置を図3.3および図3.4に示す。この1きょう体内にAZおよびEL、2チャンネルが実装されている。

3.3 プログラム制御装置

プログラム制御装置は、指令制御システムの中心部をなし、基本的に次の機能をもつ：

(1) 時刻装置から供給される標準時刻に対応づけて、ある時間間隔で制御指令テープを介して、予測軌道データを読みとる。

(2) 読み込んだ予測軌道データをプログラム制御装置の処理に適したフォーマットおよびコードに変換する。

(3) 制御指令テープからの情報に対して、100ms間隔で内そう(挿)計算を行ない平滑化する。

(4) 必要な場合、内そうされた衛星予測軌道データに対して、角度オフセットを行なう。角度オフセット量は、最大 $\pm 0.995^\circ$ まで可能である。

(5) 現在のアンテナ指向角度を角度変換装置から読みとり、衛星予測軌道データと比較し偏差(指向角度誤差)を算出する。

(6) 上述のようにして得た角度誤差を駆動サーボ系に供給し、アンテナを衛星に追尾させる。

(7) 制御指令テープの入力および算出した指令角度の合理性などをチェックし、アンテナに異常な制御信号を与えないよう監視する。

指令制御装置の意図された用途から考えて、方式設計上特に考慮した問題は、本装置に要求される演算速度と高信頼性、および運用・保守の容易さを、その使用目的に配慮しつつどのような形で実現するかということである。

以下に本装置で採用したおもな特長を列挙する。

(1) 並列演算方式

制御タイミングの容易さ、およびクロック周波数として余裕のある周波数を選び得るという観点から、構成回路の素子数は若干増加するが、並列演算方式を採用した。その結果、演算速度の面で高速の演算処理能力をもたせることができた。

(2) マイクロプログラミング

並列演算方式を採用してなお、素子数を減ずるためには、制御回路の簡素化・単純化が必要であるため、演算および制御の命令語は十分整理して基本的なものに限り、マイクロプログラミング技術を徹底的に採用して素子数を極力少なくした。そのため、信頼性および経済性の面で有利となり、また、命令にフレキシビリティをもたせることができ、目的に応じた効果的な命令体系を構成できると同時に、拡張性のある融通性に富んだ装置を実現できた。

(3) 固定ブロックバッファ方式による入出力制御

プログラム制御装置に接続される入出力装置および外部装置は、相互に独立な時間関係で動作し、また、各装置からのデータ量が固定長でバッファ容量が既知であるので、主演算と入出力動作間を独立に制御するバッファ方式を採用した。さらに、各外部装置よりのデータを記憶するバッファは、同時に、主演算のレジスタとして直接アクセスできるようにしたため、入出力動作実行の命令が、主演算のデータストア/ロードと全く同一の取扱いができ、命令体系が整理統一された。

(4) ユニット分割およびプラグイン実装

保守の容易さの点から本装置は機能別にユニットに分割され、各ユニットはまた幾つかのブロックに分割して、これらをできるだけ独立に取扱い、システムとして融通性に富んだ拡張性のある構成とした。また、カードフレームはすべてプラグイン実装され、きょう体と簡単に分離できるように設計した。

(5) COMMON BUS方式による論理回路構成

プログラム制御装置は、各ブロック間を共通母線で結びいわゆるBUS方式を採用したため、論理設計が単純化されるばかりでなく動作機能の理解がやさしくなるので操作および保守点検が容易になった。

(6) ICおよび固定メモリーの採用

全面的に当社製モノリシック集積回路(IC)を使用し、また、多層基

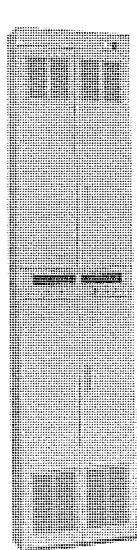


図 3.3 角度変換装置外観
Exterior view of angle encoding equipment.

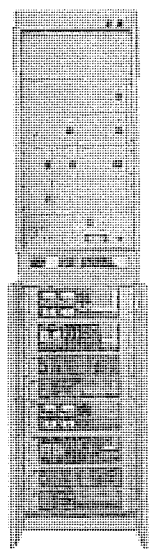


図 3.4 角度変換装置実装図
Interior view of angle encoding equipment.

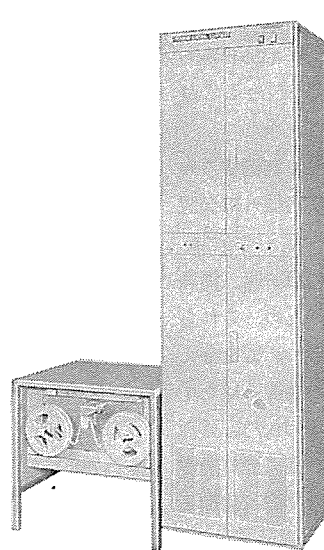


図 3.5 プログラム制御装置外観
Exterior view of programme control equipment.

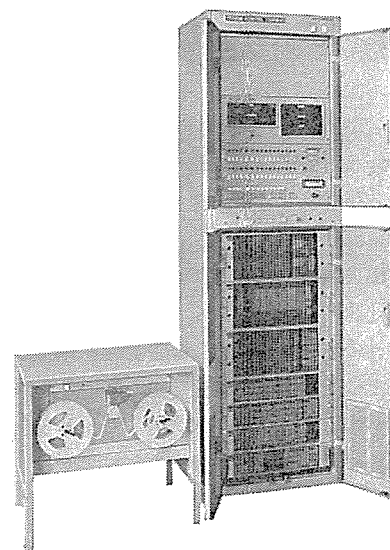


図 3.6 プログラム制御装置実装図
Interior view of programme control equipment.

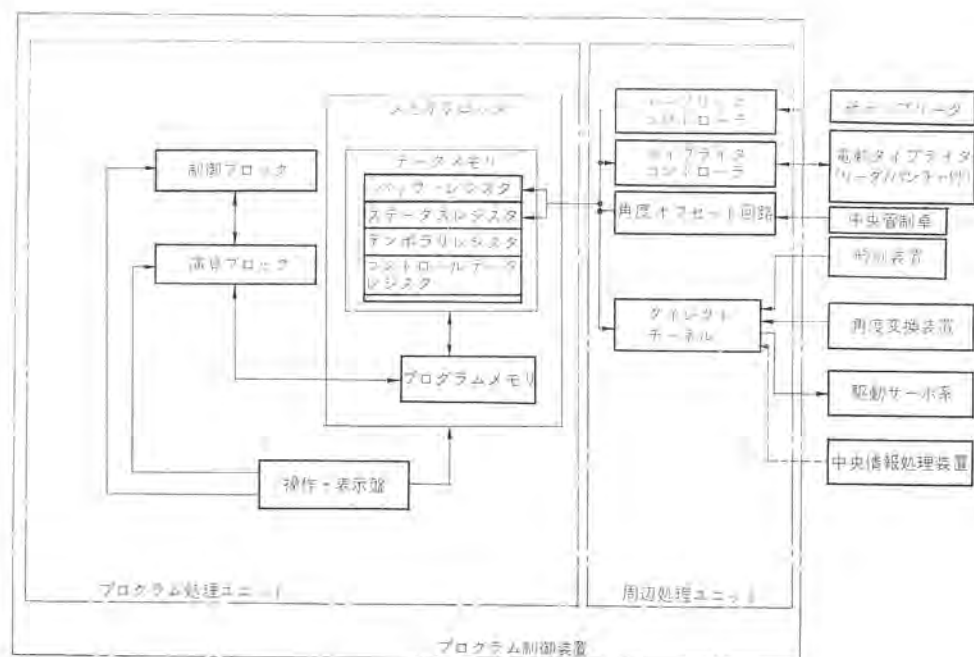


図 3.7 プログラム 制御装置構成図
Block diagram of Programme control equipment.

板による IC 実装を採用したため、高信頼性・小形化・耐環境性など、種々の長所が得られた。

また、オンラインリアルタイムの制御装置という点から、運用時の操作にわずらわされることのないよう、コントロールシーケンスはすべて固定メモリに記憶された手順に従って実行され、また、運転開始時の操作も非常に単純化された。

(7) チェックシステム

本システムの使命の重要性にかんがみ、動作状態の異常検出機能には特に留意し、また、万一故障した場合にも、アンテナを異常駆動することのないようフェイルセーフ機能をもたせているとともに、故障箇所の発見を容易にするため、テストパネルから種々の故障診断ができるように配慮した。

プログラム制御装置を図 3.5 および図 3.6 に、その構成を図 3.7 に示す。

プログラム制御装置は、プログラム処理ユニットと周辺処理ユニットから成り、プログラム処理ユニットはさらに制御ブロック、演算ブロックおよびメモリーブロックより構成される。

プログラム処理ユニットは、衛星通信用アンテナをプログラム制御するための各種計算および処理を行ない、入出力装置および各種外部装置との接続は周辺処理ユニットを介して行なう。

入出力装置および外部装置は、その特性（情報の電圧レベル、情報の変化速度、制御方法など）が各装置によって異なるため、これらの特性の違いがプログラム処理ユニットでの統一的な処理に影響を与えることのないよう正規化し標準化してバッファとしての機能を果たすものが周辺処理ユニットである。このような構成によりプログラム処理ユニットは、外部装置の動作に左右されず、まったく独立に演算動作を行なうことができ、しかも、将来予想される入出力装置の付加・接続にも適応性をもたせることができる。

3.3.1 プログラム処理ユニット

プログラム処理ユニットは、プログラム制御装置の機能の主要部分を、ほとんどすべてつかさどる。

プログラム処理ユニットは、本質的には汎用デジタル電子計算機と同一の動作をするが、汎用電子計算機と異なる最も大きな点は、本装置は制御用として使用しプログラムの変更がほとんど必要でないこと、および、装置の操作が容易で高い信頼性を必要とすることであり、このためプログラムは固定とし、ダイオードマトリクスによる読み出し専用メモリで構成していることである。

プログラム処理ユニットの諸機能を実現するプログラムは、25種の命令の組み合わせにより構成され、各命令はマイクロ命令と呼ばれる最小単位の命令要素が組み合わされたマイクロプログラムで構成されている。本ユニットは、上述のようにマイクロプログラム制御方式を採用し、情報の伝達には Common Bus 方式を採用しているため、構成が簡単で理解しやすく保守性および信頼性の点でも有利な方式となっている。

プログラム処理ユニットで取り扱う情報の基本構成単位は、32ビット単位の語で、各ブロック間の情報の転送は、32ビット並列に行なわれる。

プログラム処理ユニットは、演算ブロック、制御ブロック、メモリーブロックから成り、メモリーブロックから情報をアクセスしたり、命令を解釈・実行して演算処理を行なうほか、命令の進行シーケンスを制御する。

(a) 演算ブロック

演算ブロックは、演算回路と8個のレジスタとから成り、制御ブロックで指令された命令に従って種々の演算処理を実行するためのブロックである。

演算回路は、次の七つの基本機能をもつ。

Normal/Complement
Add
AND
OR
Exclusive OR
Shift left
Shift right

演算数は、基本的には符号をもった32ビットの二進数で、負の数は2の補数形式で表現される。演算にあたっては、オーバーフローのほ

か最上位からのけた(桁)上げを検出している。

レジスタは次の8種があり、それぞれ専用で使用される。

| | |
|--------------|-----------------------------------|
| U-アキュムレータ | 四則演算・論理演算等の結果を一時記憶する。 |
| L-アキュムレータ | 乗除算の際に中間結果を記憶する。 |
| C-アキュムレータ | 乗除算の際に中間結果を記憶する。 |
| 定数レジスタ | 命令の実行時などに必要な定数を制御メモリーから読み出して記憶する。 |
| プログラムカウンタ | 次に実行すべき命令のアドレスを保持する。 |
| 命令レジスタ | 実行されるべき命令とオペランドを保持する。 |
| メモリーアドレスレジスタ | 命令のアドレス部、すなわちオペランドを保持する。 |
| メモリーデータレジスタ | メモリー中のデータを保持する。 |

このほか、演算回路で検出されたオーバーフローおよびけた上げを保持するためのフリップフロップおよびテストパネルで指定できるビットスイッチが、Common Busで演算回路に接続される。

(b) メモリーブロック

プログラム制御装置で用いる指令制御プログラム、マイクロプログラム、定数値、各種データ等を記憶するためのメモリーで、本装置では記憶内容の性質に応じて、ICレジスタおよびダイオードマトリクスによる固定メモリーという2種類のメモリーを採用している。すなわち、指令制御プログラム、マイクロプログラムおよび定数値は、その内容を変更する必要がないこと、保守運用の容易なことなどの観点からこれらを固定メモリーに記憶させ、一方、各種データ、テンポラリデータ等の記憶には、他回路との結合性の良いこと、保守性・信頼性の良好なこと、および、本装置の場合必要とする記憶容量が少ないことなどの点から他の論理素子と同じ集積回路によるICメモリーを採用した。

メモリーブロックは大別すると、プログラムメモリーとデータメモリーとから成り、データメモリーはさらに、バッファレジスタ、ステータスレジスタ、テンポラリレジスタ、および、定数データレジスタに分かれる。

プログラムメモリーは、制御手順を記述したプログラムを記憶しているもので、1語16ビットの固定メモリーで構成されている。

バッファレジスタは、プログラム処理ユニットを外部の装置またはユニットとの間で、データの授受を行なうためのバッファとしての機能をもち、ICメモリーで構成される。

ステータスレジスタは、外部からのパルストリガやテストパネルからの操作あるいはプログラムにより設定された状態を記憶するためのレジスタで、1語1ビットのフリップフロップから成る。

テンポラリレジスタは、演算途中の一時記憶用に用いられ、定数データレジスタは、定数を記憶するためのメモリーで、それぞれ、ICメモリーおよびダイオードマトリクスにより構成される。

プログラム制御装置では、プログラムメモリーとデータメモリーとが誤って混乱して実行された場合、異常として検出し警報を出すとともに、指令制御システムとしては、フォールバック運転にはいるようプログラム実行監視の機能を設けている。

(c) 制御ブロック

制御ブロックは、マイクロプログラムを実行するブロックで、プログラムメモリーから命令レジスタに読み出された命令を解釈し、演算ブロックおよびメモリーブロックの演算処理機構の動作を制御する。

マイクロプログラムによる制御は

(i) マイクロコマンドを実行するだけのハードウェアがあればよいので部品数が少なく済み、小形で信頼度の高い構成ができる。

(ii) 基本的なハードウェアのみで構成されるので、いかなる用途の演算処理にも能率よく適合し融通性に富む構成、すなわち、システムに適合したプロブレムオリエンテッドな構成が可能となる。

マイクロプログラムは、制御ブロックのコントロールメモリーに記憶されており、マイクロコマンド語とマイクロデータ語とに分類される。マイクロコマンド語は、1語40ビットで構成され、演算ブロックを制御するための各種ゲート制御信号を発生するための命令語で、固定メモリーに記憶されている。マイクロデータ語は、1語40ビット(実際にデータがはいるのは32ビット)で構成され、マイクロプログラムを実行する際の定数値で、必要に応じてマイクロコマンドにより定数レジスタにセットされる。

3.3.2 周辺処理ユニット

周辺処理ユニットは、つぎの四つのブロックからなる。

テーブリーダコントローラ

タイプライタコントローラ

角度オフセット回路

ダイレクトチャネル

テーブリーダコントローラは、プログラム処理ユニットからのトリガパルスによって起動される。このパルスによって、テーブリーダに駆動パルスが供給され、制御指令テープに記録された予測軌道データがキャラクタごとに読み込まれ、読み込まれたデータは符号変換回路でBCDコードに変換される。符号変換回路は、プリント基板1枚に構成されているため、将来、制御指令テープの符号が変更された場合でも、このプリント基板を交換するだけで済むよう配慮されている。読み込まれたデータは、解釈され、指定されたレジスタに記憶される。このデータに対して、エラーチェックが行なわれ、異常が発見されれば、新たにデータ読み込みをはじめ、警報を発する。異常としては、連続してエラーが検出された場合、テープが無い場合、長時間テープが読み込まれない場合などを検出している。

タイプライタコントローラは、必要な場合、時刻、アンテナ指向角度、オフセット量、指向角度誤差等を記録するための電動タイプライタを制御する回路で、実験用施設以外ではあまり用いられない。

角度オフセット回路は、AZおよびEL用として独立な2回路が設けられ、符号十進3けたのカウントで構成される。オフセット量の可能範囲は、 $-0.995^{\circ} \sim +0.995^{\circ}$ で 0.005° の間隔でオフセットされる。

ダイレクトチャネルは、時刻装置・角度変換装置・駆動サーボ系等と、直接データの授受を行なうためのチャネルである。制御指令テープを介さずに、直接、中央情報処理装置などから指令値を供給される場合には、このチャネルを通して情報の授受が行なわれる。

3.3.3 指令制御プログラム

(1) 命令

プログラム制御装置では、指令制御プログラムを記述するために、25種の基本的な命令をもち、これらは、演算・論理演算・シフト・判別・転送・制御の六つのグループに分類される。各命令は、制御ブロックで制御されたマイクロオペレーションにより実行される。各命令およびその内容、実行時間を表3.1に示す。

(2) 指令制御プログラム

指令制御プログラムは、与えられた予測軌道データを基にして、平滑化し、アンテナを衛星に指向させるための指向角度誤差を、実時間で駆動サーボ系に供給するための演算処理手順を規定するもので、プログラムメモリーに収容されている。

指令制御プログラムのフローチャートを図3.8に示す。

指令制御プログラムは、大別すると、角度演算処理ルーチンと時刻一

表 3.1 命令一覧表
Instructions table.

| 分類 | 命 令 | 内 容 |
|------|-------|---|
| 演算 | ADD m | $(U-Acc)+(m) \rightarrow (U-Acc)$ |
| | SUB m | $(U-Acc)-(m) \rightarrow (U-Acc)$ |
| | MPY m | $(U-Acc) \times (m) \rightarrow (U-Acc), (L-Acc)$ |
| | DIV m | $(U-Acc) \div (m) \rightarrow (U-Acc), \text{余りは } (L-Acc)$ |
| | DTBT | 十進で表わされた時間を二進に変換せよ. |
| | DTBA | 十進で表わされた角度を二進に変換せよ. |
| | BTDT | 二進で表わされた時間を十進に変換せよ. |
| 論理演算 | AND m | $(U-Acc) \cap (m) \rightarrow (U-Acc)$ |
| | OR m | $(U-Acc) \cup (m) \rightarrow (U-Acc)$ |
| シフト | ALS n | $(U-Acc)$ の内容を, 符号を除いて, 左に n ビットシフトせよ. |
| | ARS n | $(U-Acc)$ の内容を, 符号を除いて, 右に n ビットシフトせよ. |
| 判 断 | BUN m | 無条件に m 番地へとべ. |
| | BPO m | $(U-Acc) > 0$ ならば, m 番地へとべ. |
| | BZE m | $(U-Acc) = 0$ ならば, m 番地へとべ. |
| | BNE m | $(U-Acc) < 0$ ならば, m 番地へとべ. |
| | BRG m | $(m) \neq 0$ ならば, 次の命令をスキップせよ. $(m) = 0$ ならば, 次の命令を実行せよ. |
| 転送 | LDA m | $(m) \rightarrow (U-Acc)$ |
| | STA m | $(U-Acc) \rightarrow (m)$ |
| | SCL m | $(U-Acc) \rightarrow (m), 0 \rightarrow (U-Acc)$ |
| | SRG m | m 番地の内容の全ビットを 1 にせよ. |
| | RRG m | $0 \rightarrow (m)$ |
| | RPA | $(U-Acc) \div (L-Acc)$ |
| 制 御 | HTB m | m 番地にとぶ準備をしてストップせよ. |
| | NOP | 次の命令を実行せよ. |

致検出処理ルーチンとから成る。

(a) 角度演算処理ルーチン

時刻装置からの 100 ms のトリガパルスを検出してこのルーチンにはいる。このルーチンでは、内そう(揮)計算され平滑化された角度指令値にオフセット角度を重畳し(これをプログラム角度と呼ぶ)、アンテナ指向角度との差を求めて指向角度誤差を算出し、駆動サーボ系に供給する。異常に大きな駆動力がアンテナに作用するのを避けるため、角度誤差は、 $\pm 0.395^\circ$ で飽和させる。また、算出された角度誤差が正常な運用状態で予想される角度誤差の限界 ε (外部からセットされる)を越えないよう監視し、この限界を越えた場合、警報を発する。以上の角度誤差の算出は、AZ および EL の各軸に対して時分割で行なわれる。

時刻装置からの 1 s のトリガパルスが検出された場合、時刻一致検出処理ルーチンにはいる。

(b) 時刻一致検出処理ルーチン

このルーチンは、まず、実時刻とプログラム時刻(制御指令テープに記録されている時刻)とを比較することからはじまる。実時刻がプログラム時刻より進んでいる場合、テープリーダーを駆動し、新しい予測軌道データを読み込み、逆に、プログラム時刻が実時刻より進んでいる場合には、角度演算処理ルーチンに戻って時刻装置からの 100 ms トリ

ガパルス待つ。実時刻がプログラム時刻に等しくなったとき(すなわち、時刻一致の場合)には、AZ および EL について、それぞれ角速度を計算したあと、周辺処理ユニットにトリガパルスを与え、角度演算処理ルーチンに戻って時刻装置からの 100 ms トリガパルス待つ。

なお、制御指令テープ読み込みの際、異常が検出された場合には、引続き外そう計算を行ない、異常の原因が取り除かれ、時刻一致の状態になったときに正常な予測軌道データが読み込まれる。

また、プログラム処理ユニットに異常が発見された場合には、直前の角度誤差を保持し、異常な出力を駆動サーボ系に与えないよう考慮されている。

3.4 時刻装置

時刻装置は、正確な標準時刻信号および基準パルスを発生し、指令制御のための基準時刻として用いるとともに、局舎内の各所に設けた子時計を駆動し、標準時刻を表示する装置である。標準時刻の校正は、JJY 等の標準電波を受信し、時刻装置で発生した時刻と比較することによって行なう。

時刻装置の構成を図 3.9 に示す。

3.5 入出力装置

入出力装置は、指令制御テープ読み込み用の紙テープリーダー(読み取り速度: 60 字/秒)と、データ記録用の電動タイプライタ(読取り部、さん孔部付)とからなる。

4. 指令制御システムの運用

衛星通信用アンテナを衛星に自動追尾させる方式としては、衛星の発射するビーコン信号を受信してアンテナを追尾させる自己追尾方式と、衛星の予測軌道情報に基づいてアンテナを駆動するプログラム制御方式

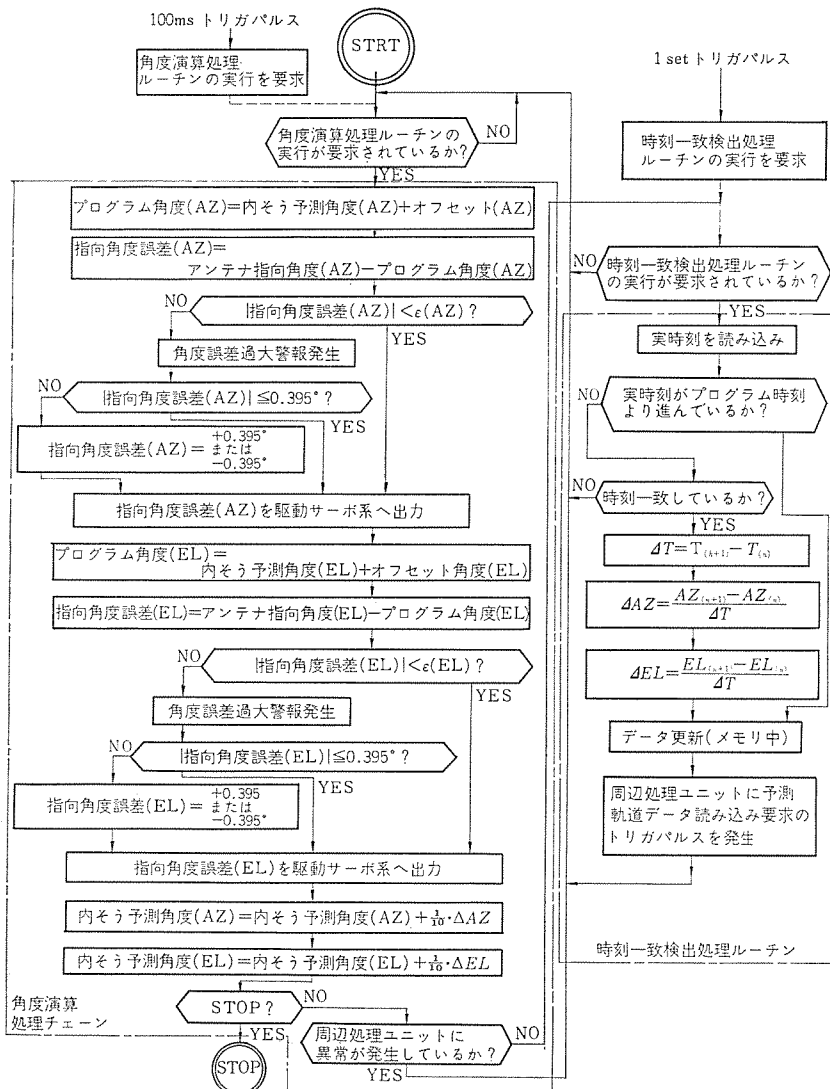


図 3.8 指令制御プログラムのフローチャート
Flow chart of programme control sequence.

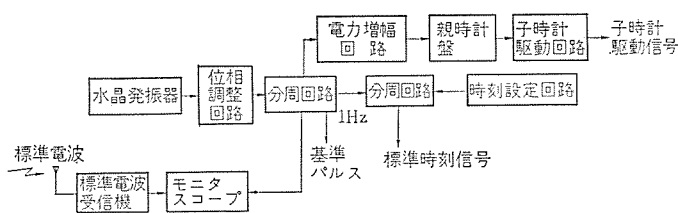


図 3.9 時刻装置構成図
Block diagram of time standard equipment.

とがある。

指令制御システムは、プログラム制御方式を実現するための制御システムで、移動衛星系においては、追尾する衛星の切換え、予測制御が可能なこと等のため不可欠のものであるが、同期衛星系では、運用上の点から自己追尾方式が多く用いられるようになってきた。しかし、追尾系の信頼性向上を図るため、方式のまったく異なるプログラム制御方式を自己追尾方式のバックアップとして用いたり、衛星捕捉の手段として用いたり、さらに、アンテナの利得やシステム G/T 比、あるいはオーバーオールなアンテナポインティングの測定のために電波星追尾の手段として用いる等、ビーコン周波数に左右されないことおよび任意の方向にアンテナを指向できる等の長所を有するプログラム制御方式は、重要な制御方式として現在なお注目を集めている。

自己追尾方式に比べ、運用上わずらわしいと思われる制御指令テープの作成については、現在大多数の地球局では COMSAT からテレックス回線を通じて予測軌道データが送られているので、本装置では、ここで作成される紙テープをそのまま指令制御装置に装てん(填)できるようにし、コード変換はプリント基板1枚に構成された符号変換回路で行なうようにしたため、テープコードが変更された場合にも、それに対する適合は容易になり、かつ運用上のあい(隘)路も避けることができた。

プログラム制御方式において発生するポインティングエラーとしては、つぎのような原因が考えられる。

- (1) 予測軌道データの計算誤差
- (2) アンテナ系の据付精度に起因する誤差
- (3) アンテナの電氣的軸および機械的軸のひずみ(歪)による誤差
- (4) アンテナ角度検出精度に起因する誤差
- (5) アンテナ駆動サーボ系の追尾特性による誤差
- (6) 大気による電波屈折による誤差

このうち、据付精度に起因する誤差と、アンテナの電氣的軸および機械的軸のひずみによる誤差は、製作者の建設据付技術、アンテナ系の精密工作技術にまっぴかなく、電波星を用いて測定した当社によるこれまでの工事の例では、いずれも、全天空に対して、 0.01° 以下であり、また、駆動サーボ系の追尾特性による誤差は 0.003° 以下であった。また、アンテナ角度検出精度に起因する誤差は、 0.003° 以下で、一方、大気の電波屈折による誤差は低仰角では大きくなるが、 $EL \geq 20^\circ$ では、 0.005° 以下になる。以上のような誤差を補正した総合追尾精度は、全天空に対してもたかだか 0.02° 以下となり、十分な精度で衛星を追尾できることが確認されている。

5. む す び

以上、衛星通信用アンテナの指令制御装置として当社で開発し、標準化したものを紹介した。

本装置は、当初の目的の一つであった設計・工作期間および試験調整期間の短縮にも満足すべき結果を得て、今春、すでにオーストラリアの Carnarvon および Ceduna 両局向けに2台輸出され、現地での調整を終えて安定な動作状態にはいっている。

予想される個々の地球局の特殊な要求に対しても、そのシステムフレキシビリティにより十分適応できるものと思われ、今後の活躍が期待されている。

また、本装置は単に衛星追尾用だけでなく、ロケットの追尾等のアンテナ制御用、レーダデータのプレプロセッシング用、シーケンス制御用、簡単な数値制御用等にも利用することができ、その応用範囲はきわめて大きい。

終わりに、数多くの衛星通信用アンテナ指令制御装置の製作にあたり、終始懇切なるご指導を賜った国際電信電話(株)のかたがたに深く謝意を表するとともに、装置の設計・製作に際し、日夜ご協力をいただいた通信機製作所の関係各位に厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 西田、喜連川ほか：茨城衛星通信所第二アンテナ、三菱電機技報、43, No. 2 (昭44)
- (2) 丸浜、森川ほか：メキシコ 納め衛星通信用大口径アンテナ、三菱電機技報、43, No. 2 (昭44)

MELCOM 350-5 制御用電子計算機システム

中尾 勝丞*・仁田 周一*・松本 孝郎*
 龍田 直紀**・深尾忠一郎**・蒲生 容仁**

MELCOM 350-5 Process Control Computer System

Head Office Masatsugu NAKAO・Shûichi NITTA・Takao MATSUMOTO
 Kamakura Works Naonori TATSUTA・Chûichiro FUKAO・Yoshimi GAMÔ

MELCOM 350-5 control computer system is a compact and highly reliable unit, it aims at on-line real-time control and high speed data collection, and further, interconnected with MELCOM 350-30 control computer made public previously, it works for DDC as a low level computer of hierarchy system. It has a high speed function of $2.5\mu\text{s}$ memory cycle time. Consideration is given to facility of its maintainability by minimizing hardware through the employment of large sized functional cards and multiple use of registers.

This article describes composition and features of such hardware as central processors and input and output control equipment and also of software.

1. ま え が き

最近の集積回路技術、高速記憶装置技術等を中心とする電子計算機の質的向上、なかでも飛躍的な信頼度の向上は、オンラインプロセス制御への計算機適用をあらゆる産業分野に拡大し、科学技術計算、事務データ処理と並んで、計算機制御の適用面は急速に発展しつつある。

こうした動向は握のもとに当社では先に MELCOM 350-30 制御用計算機システム⁽¹⁾を開発し、比較的規模の大きいプロセスへの適用をはかってきたが、引続き 350 シリーズの第 2 弾として、昨年 6 月 MELCOM 350-5 小形制御用計算機システムを発表し、すでに数多くのシステムが本格的使用に供せられている。

MELCOM 350-5 の開発思想は、(1) 高信頼度、(2) 低価格、(3) コンパクトを基本条件とし、比較的小規模のプロセスに対して複雑、高級な計算制御を適用する際、それが経済的に十分引き合うものであることを主眼としており、さらにもう一つのねらいは、上位の計算機システムと連系して階層的構成によるトータルシステムを容易に実現できる直接制御用計算機の提供にある。

2. 構成と仕様

MELCOM 350-5 の機器構成を図 2.1 に仕様を表 2.1 に示す。構造的にはシステムの中核となる CUP キャビネット(高さ 1,800, 横幅 900, 奥行 600 mm) 1 架とアプリケーションごとに適宜設置される入出力キャビネット(高さ 1,800, 横幅 600, 奥行 600 mm) 複数架から構成され、図 2.1 で示した各モジュールが直列バス方式でビルディングブロック式に拡張接続できるようになっている。中核部分を収容する CUP キャビネットの外観を図 2.2 に示す。この中には図 2.1 に 1 点鎖線で示した各モジュール、すなわち基本構成としての

- (1) セントラルプロセッサ
- (2) コアメモリ(最大 16 k 語)
- (3) 割込ユニット(最大 64 アドレス 64 点)
- (4) ダイレクトコントロールチャンネル
- (5) システムタイプライタ制御装置
- (6) 上記(1)~(5)へ供給する直流電源装置

表 2.1 MELCOM 350-5 仕様一覧
 Specification of MELCOM 350-5.

| 分 類 | 項 目 | 仕 様 |
|--|-------------------|---|
| | 回 路 素 子 | TTL, DTL 集積回路およびシリコンランジスタ |
| コ ア メ モ リ | 容 量 | 2k, 4k, 8k, 12k, 16k |
| | サイクルタイム メモリー保護 | 16ビット+1パリティビット 2.5 μs /語(リードモディファイライト) ページブロック単位保護方式、プログラム制御可能 |
| セ ン ト ラ ル プ ロ セ ッ サ | 演 算 方 式 | 2進並列演算 |
| | 命 令 数 | 基本 27 種 |
| | ア ド レ ス 方 式 | ページアドレス、間接アドレス、インデックス |
| | 加 減 算 | 10 μs |
| | 乗 算 | 10 μs |
| 入 出 力 チ ャ ン ネ ル | 割込 | 2 レベル 24 アドレス |
| | 内 部 | 2 レベル 40 アドレス |
| | 外 部 | 2 レベル 40 アドレス |
| | ダイレクトコントロールチャンネル | 基本 4 チャンネル 100kB~200kB/秒 |
| | 高速データチャンネル | 最大 4 チャンネル 100kB~200kB/秒 |
| 入 出 力 周 辺 機 器 | 容 量 | 1 台当たり 32k/64k |
| | 平均アクセスタイム | 8.3ms/16.7ms |
| プ ロ セ ッ サ 入 出 力 | システムタイプライタ | 10 字/秒(印字、打鍵、読取、せん孔) ASCII コード |
| | 紙テープリーダー | 200 字/秒 |
| | 紙テープパンチ | 35 字/秒 |
| | カードリーダー | 100 枚/分 |
| | ログキャリッジタイプライタ | 10 字/秒 |
| プ ロ セ ッ サ 入 出 力 | アナログ入力 | 最大 1,008 点 速度 100,000 点/秒 |
| | 高速アナログ入力 | 最大 128 点 速度 3,200 点/秒 |
| | アナログ出力 | 最大 1,024 点 速度 10,000 点/秒 |
| | デジタル出力 | 最大 896 点 速度 30~120 点/秒 |
| | デジタル入力 | 最大 128 点 速度 20,000 点/秒 |
| プ ロ セ ッ サ 入 出 力 | デジタル出力 | 最大 896 点 速度 30~120 点/秒 |
| | デジタル入力 | 最大 128 点 速度 20,000 点/秒 |
| | アナログ出力 | 最大 1,024 点 速度 10,000 点/秒 |
| | アナログ入力 | 最大 1,008 点 速度 100,000 点/秒 |
| | デジタル出力 | 最大 896 点 速度 3,200 点/秒 |

とオプションとして設置可能な

(7) チャンネルマルチプレクサ

(8) 高速演算機構

が収容され、図 2.2 に示すようにシステムタイプライタを接続すること

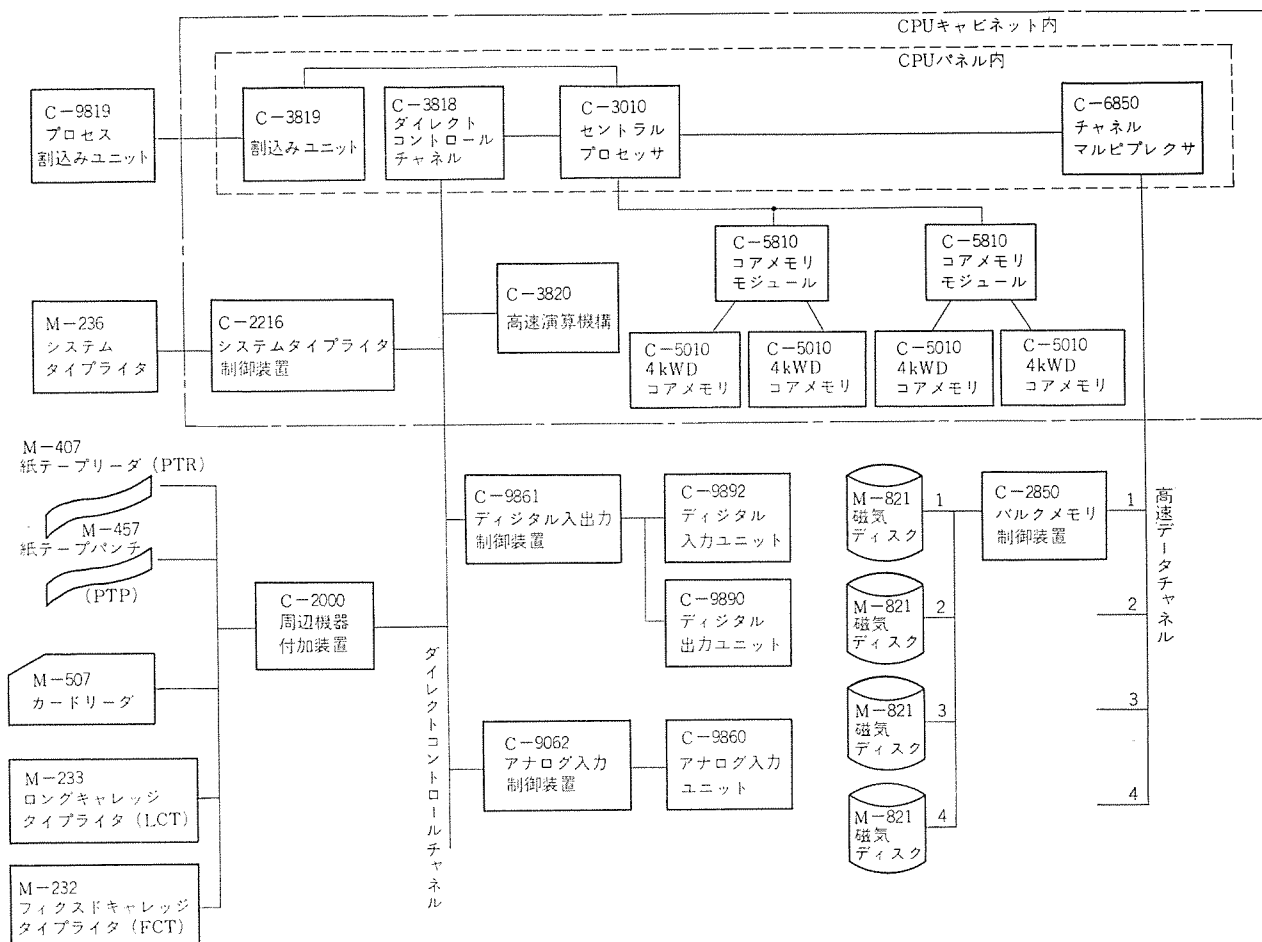


図 2.1 MELCOM 350-5 システム 構成図

System configuration of MELCOM 350-5.

力装置のバスネクタにおいて tied OR されるよう考慮している。

3. セントラルプロセッサ

3.1 設計思想

MELCOM 350-5 のセントラルプロセッサは高信頼度、低価格の実現を基本的な設計思想とし、主として次のような点に留意して設計が進められた。

- (1) 使用する論理素子、とくにフリップフロップの数に注目しこれを極小に押えること
- (2) セントラルプロセッサの価格構成の上に比較的大きなウエートを占めるメンテナンスパネルをできるだけ簡素化すること
- (3) 大形機能カード方式の採用によりバック配線を最小にすること

具体的にとった方法としては、アキュムレータ (AR)、プログラムレジスタ (PR) および インデックスレジスタをコアメモリーの特番地に持ち込んで、アクティブレジスタの数を最小にすることによりセントラルプロセッサ内部のフリップフロップ数を100個余りに押えている。メンテナンスパネルの簡素化については、図 3.1 に示すように機能カード上に直接 IC で駆動できる小形ランプを取付けることによってレジスタ類の表示を行ない、かつレジスタ類のセトリセット機能については、アースプローブを用いてフリップフロップのセトリセット端子を直接操作するという思い切った方式の採用により大幅なコストダウンを計っている。

大形機能カード方式の採用については集積回路の使用と表裏一体をなす性質のもので、集積回路使用の効果を最大限に発揮させるための必要条件と思われるが、一方でカード設計の負荷が重くなると、カード試験が複雑になること、保守備品費の増大を招くこと等、

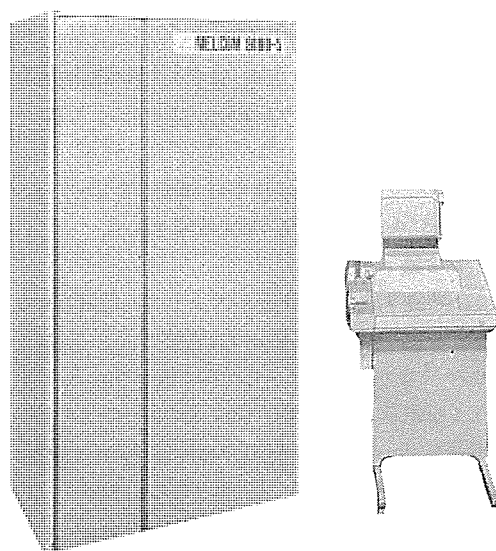


図 2.2 CPU キャビネット
CPU cabinet.

により基本的な計算機システムとしての使用が可能である。

CPU キャビネットと入出力キャビネットとのインターフェース、すなわち入出力チャネルの構成については5章で説明するが、物理的にはCPUキャビネットにダイレクトコントロールチャネル用のバスネクタ1組と高速データチャネル用のバスネクタ1組が用意されており、38心および56心のケーブルを用いて各入出力制御装置へ導かれる。バス接続にはすべてラインドライバー、リシーバーが使用され、雑音に対するSN比を十分に高く保つとともに各入出力装置からCPUへ送られる信号が、各入出

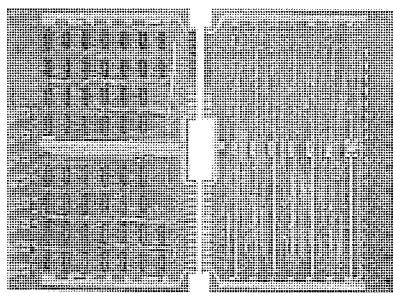


図 3.1 大形IC機能カード
Large Scale Function card.

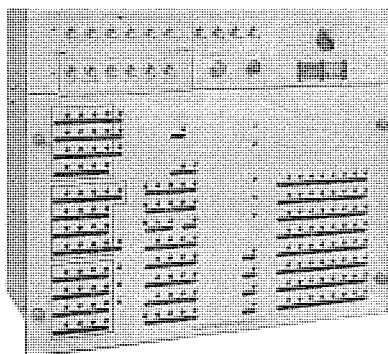


図 3.2 CPU パネル
CPU Panel.

不利な面も多い。この点に関してはできるだけ同一種類のカードが複数枚使用できるような論理構成に留意するとともに、大形機能カードの自動診断システムの開発に着手する等積極的に難点の解消に取り組んできた。バック配線の本数はセントラルプロセッサ内部で約1,000本である。

3.2 構成

セントラルプロセッサには当社製 M 5300 P シリーズ TTL 形集積回路 (IC) が全面的に採用されており、図 3.1 に示すように 280 mm×190 mm のカード基板に IC を最大 54 個積載した機能カード 13 枚から構成されている。図 3.2 に示すのが CPU パネルと称するもので、この中には図 2.1 の点線内の各モジュール、すなわち機能カード 13 枚で構成されたセントラルプロセッサのほか、ダイレクトコントロールチャンネル、チャンネルマルチプレクサおよび割込ユニットがそれぞれ機能カードとして収容される。

図 3.3 にセントラルプロセッサのレジスタ構成図を示す。3.1 節でも触れたように、MELCOM 350-5 では AR と PR をコアメモリーの特番地でシミュレートさせ、IC で構成するアクティブレジスタを ZR, YR, DR, FR, SR の五つに押えている。

ZR はメモリーデータレジスタでメモリーから読み出された 16 ビットデータを保持するとともに、論理加算器 (LA) への並列入力源となる。ZR はまた入出力制御装置との間のデータ授受の機能も持っている。

YR は ZR から並列転送される 16 ビットデータを保持するもので、ZR とともに LA への入力を与える。

DR はメモリーアドレスレジスタ、FR は命令コードを保持する 8 ビットレジスタ、SR は演算結果の正、負、零、オーバフロー等を記憶する 8 ビットのステータスレジスタである。

LA は 16 ビットの並列論理加算器で加算機能のほか論理積 (AND)、排他的論理和 (EOR) をとる機能も兼ねている。

機能カードの能率化を計るため ZR, YR, DR, LA およびこれら

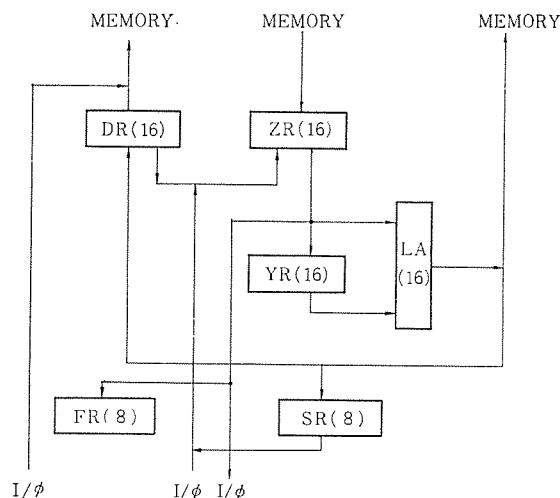
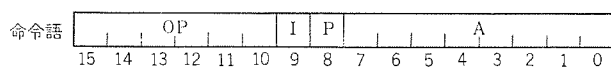
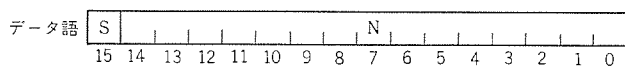


図 3.3 セントラルプロセッサレジスタ構成図
Register block of central processor.



OP: 命令コード I: 間接アドレス指定タグ
P: ページタグ A: ページ内アドレス指定



S: 符号 N: 数値

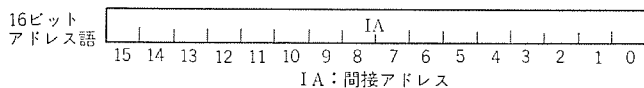


図 3.4 語の形式
Word format.

を相互接続するゲート類は各 4 ビット分ずつ 1 枚の機能カードに収容されており、このカード 4 枚で大半のレジスタブロックを吸収している。

3.3 語の形式と命令

MELCOM 350-5 では 1 語が 16 ビット構成になっているが、この 16 ビット語が図 3.4 に示す 3 種で使用する。

3.3.1 命令語

命令語ではビット 15~10 が命令コードとしての役割を持ち、27 種の基本命令コードを発生する。ビット 9 は間接アドレス指定のタグ、ビット 8 はページタグとなり、ビット 7~0 は 256 語をブロックとするページ内の各アドレスを指示する。MELCOM 350-5 ではコアメモリーの全アドレスが 256 語をブロックとするページ単位に分割されていて、0 番地から始まる最初の 256 語が 0 ページ、以下順に 1~63 ページと呼ばれる。

3.3.2 アドレス方式

ビット 9 とビット 8 のタグ組合せにより表 3.1 に示す 4 種の有効なアドレス方式をとることができるが、これは少ないハードウェアで以下に述べるようなすぐれたアドレッシングを可能にするものである。

(1) 0 ページ指定……0 ページを全部のプログラムに共通なスクラッチパッド領域として使用でき、共通データの集中管理に便利である。

(2) ページアドレス方式……大部分の制御プログラムは、256 語以下のルーチンから構成されることが経験上示されている。ページアドレスは命令の長さを節減しメモリーの利用を効率のよいものにする。

(3) 間接アドレス方式……プログラムがページブロック構成に従わないとき、プログラムが他のページに分岐するとき、サブルーチン等での

表 3.1 アドレス方式
Addressing.

| ビット 9 | ビット 8 | 実効オペランドアドレス |
|-------|-------|----------------------|
| 0 | 0 | A (0 ページ指定) |
| 0 | 1 | (PR)13~8+A (相対ページ指定) |
| 1 | 0 | A による間接アドレス |
| 1 | 1 | (PR)13~8+A による間接アドレス |

プログラムからも自由に使用される プログラム 等を指示する場合に 間接
アドレス 指定が使用される。間接 アドレス 指定により コアメモリ の有す
る 16,384 個の アドレス 全部を指定することができる。

3.3.3 インデックス修飾

MELCOM 350-5 では コアメモリ の特定番地 (10 番地からはじま
る 16 アドレス) を インデックスカウンタ として使用することができる。各命
令の オペランドアドレス としてこの特定番地が間接 アドレス 方式で指定さ
れたとき (つまり ビット 9 が “1”, ビット 8 が “0” で ビット 7 ~ 0 で
特定番地が指定されたとき) その内容が読み出されて “1” 加算され、
ふたたびその番地に書き込まれる、同時に “1” 加算された値
がそのまま実効 オペランドアドレス として使用される。この方式は ハード
ウェア からみると間接 アドレス 修飾の処理 サイクルに “+1” の機能を
持たせるだけで済ませて容易に実現できるものであり、カウンタ として
コアメモリ を使用することにより、多重の インデックス 修飾が価格の
増加なしに達成できるので、小形機に適用する場合非常に有利な方式
といえる。

3.3.4 命 令

表 3.2 に MELCOM 350-5 の命令表を示す。

命令は加減算、ロード/ストア、9 種類の分岐命令、2 種類の論理演算、
右および左シフト、最上位ビットのセット/リセット命令、2 種類の入出力
命令等 27 種類の基本命令から構成される。右および左シフト、セ
ットおよびリセットビット、デCREMENT 命令等はいずれも オペランドアドレス
として任意のコアメモリアドレスを指定することが可能であり、論理的
な操作の多い制御用プログラムの構成を行なう際の有用性を考慮して、
命令レパートリーを選定してある。

3.4 エラーチェック機能

セントラルプロセッサを設計する際に、高信頼度設計と並行して重要な
ポイントとなる、エラーチェックの機能とそれに関連するフェイルセーフ機構
につき説明する。

MELCOM 350-5 で検知しているエラー項目は大きく分類すると

- (1) 瞬停を含む一次側交流電源の異常とか、計算機キャビネット内
温度の異常上昇等のように主として外部条件に起因するもの。
- (2) コアメモリパリティエラーとか計算機内直流電源装置の故障、も
しくは入出力関係の故障のようないわゆるマシンエラーに属するもの。
- (3) 不正命令、不正アドレス、メモリ保護領域侵害のような主と
してプログラムエラーに起因するもの。
- (4) その他原因が判然とせず、結果的にプログラムの暴走とかイ
ンループとなって表われる種類のエラー。

に分けられる。以下各項目ごとにエラー発生の際のハードウェア処理
の概要を説明する。

(a) 一次側交流電源異常……Non-Inhibitable Interrupt (NIT)
を発生させて、プログラムに知らせるとともに、一定時間後メモリフリ
ーズ信号をコアメモリに送出して電源シャ断時の Transient によ
って記憶内容が破壊されないよう保護する。また交流電圧のゆるやか
な降下が計算機負荷に与える悪影響を防ぐために電源シーケンスをト

表 3.2 MELCOM 350-5 命令表
Instruction repertoire of MELCOM 350-5.

| マ シ ン コ ー ド | シンボ リッ ク コ ー ド | 内 容 | 実行時間 |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|
| 04 | EWT | ENTER WAIT | 12.5 μ s |
| 08 | DCR | DECREMENT WITHOUT ECHO | 7.5 μ s |
| 0C | DCE | DECREMENT WITH ECHO | 7.5 μ s |
| 10 | RB | RESET MOST SIGNIFICANT BIT | 7.5 μ s |
| 14 | SB | SET MOST SIGNIFICANT BIT | 7.5 μ s |
| 18 | LS | LOAD STATUS | 7.5 μ s |
| 1C | STS | STORE STATUS | 7.5 μ s |
| 20 | A | ADD | 10.0 μ s |
| 24 | S | SUBTRACT | 10.0 μ s |
| 28 | N | LOGICAL AND | 10.0 μ s |
| 2C | EO | EXCLUSIVE OR | 10.0 μ s |
| 30, 34 | SLL | SHIFT LEFT LOGICAL | 10.0 μ s |
| 38, 3C | SRA | SHIFT RIGHT ARITHMETIC | 10.0 μ s |
| 40 | BZ | BRANCH IF ZERO | 7.5/5.0 μ s |
| 44 | BEV | BRANCH IF EVEN | 7.5/5.0 μ s |
| 48 | BSL | BRANCH AND SET LOCK-OUT | 7.5 μ s |
| 4C | BRL | BRANCH AND RESET LOCK-OUT | 7.5 μ s |
| 50 | BR | BRANCH | 7.5 μ s |
| 54 | BC | BRANCH IF END AROUND CARRY | 7.5/5.0 μ s |
| 58 | BO | BRANCH IF OVERFLOW | 7.5/5.0 μ s |
| 5C | BP | BRANCH IF POSITIVE | 7.5/5.0 μ s |
| 60, 64 | RDD | READ DIRECT | 15.0 μ s |
| 68, 6C | WRD | WRITE DIRECT | 15.0 μ s |
| 70 | L | LOAD A-REGISTER | 10.0 μ s |
| 74 | LR | LOAD IMMEDIATE SHORT | 10.0 μ s |
| 78 | BAL | BRANCH AND LINK | 12.5 μ s |
| 7C | ST | STORE A-REGISTER | 10.0 μ s |

リガーしてシステム電源の自動シャ断をはかり、同時に外部に警報接点
を送出しフェイルセーフ機構を駆動する。

(b) キャビネット内温度異常上昇……警報接点を外部に送出する。
この接点は必要に応じてフェイルセーフ機構と接続される。

(c) コアパリティ……インストラクションパリティとオペランドパリティに分類
して検知し、NIT を発生させてプログラム処理にゆだねると同時に外
部に警報接点を送出する。警報接点は必要に応じて、フェイルセーフ機
構と接続される。

(d) 計算機直流電源の故障……電源シーケンスをトリガーしてシ
ステム電源の自動シャ断をはかるとともに、外部に警報接点を送出し
てフェイルセーフ機構を駆動する。

(e) プログラムエラー……不正命令、不正アドレス、メモリ保護領域
侵害のような主としてプログラムエラーに起因するものについては該当
命令を No-operation に還元して強制終了させ、同時に NIT を発
生してプログラムに知らせる。

(f) 入出力関係の故障……主として入出力制御装置において故
障検知し、入出力動作の強制終了を計るとともに入出力ステータスの
一部としてセントラルプロセッサに読み込まれる。

(g) WDT のオーバフローチェック……以上のエラー検知手段で検知
できないような種々のエラーを Watch Dog Timer (WDT) を用い
て、プログラムシーケンスの監視という手段で検知し、NIT を発生させ
るとともに、外部に警報接点を送出してフェイルセーフ機構を駆動す
る。

3.5 割込み

MELCOM 350-5 の割込み機構には、プログラムによりロックアウトの
できる Inhibitable Interrupt (IIT) とロックアウトのできない Non-
Inhibitable Interrupt (NIT) の2レベルが用意されており、合計 64
個の応答アドレスをコアメモリ内部に発生させることができる。

IIT と NIT のいかににかかわらず発生した割込信号はいったん
すべて CPU パネル内部の割込ユニットで記憶されてペンディングする。
割込信号がペンディングし、セントラルプロセッサが割込み受付可能な状態に

なると自動的に割込み入力の走査が開始されるが、この走査にはセントラルプロセッサ内部のDRが使用されて、1点走査ごとにDRの内容が“+1”されるようになっており、割込みがセンスされた時点でDRが保持している値がそのままコアメモリの応答アドレスを指示する。

64アドレスの中、24アドレスは計算機内部で発生する割込信号すなわち電源異常、ハードウェアエラー、プログラムエラー、入出力終了割込み等に割当てられており、残りの40アドレスが外部割込信号用として使用できる。なお外部割込みに対しては、1アドレスについて最大16点まで割込点数が拡張可能で、この拡張機構によりすべての用途に対する適用能力を持たせている。

4. コアメモリー

4.1 メモリーモジュールの構成

基本構成単位は4k語(16ビット+1パリティ)で16k語まで増設可能である。機能的には8k語が一つのモジュールに実装される形となっており、したがって4k語を8k語に増設する場合は4k語分のコアスタックと周辺回路カードをそう入すればよい。サイクルタイムは2.5 μ sでRead-Modify-Writeを行なっている。このメモリーもシステムの基本設計思想にのっとり第1に高信頼度、第2に低価格、第3にコンパクトを目標として設計されている。コアとしてはS/Nを高くとるため比較的低駆動電流で高い出力が得られ、かつコストも安い30ミル中温度範囲用コア(UR 01 R3: 当社製)を用い、周囲温度0~60°Cに耐えうるため駆動電流の温度補償を行なっている。

X, Y 駆動系は、XYそれぞれに1回路の電流パルス源を8+8組のマトリックススイッチから独立させマトリックススイッチでの消費電力を小さくし、回路を簡単化している。すなわちアドレス信号とタイミング信号とのANDゲートとしてTTL-ICを用い、この出力でトランスを介して直接最終段トランジスタを駆動している。電流パルス源にはL, C, Rより成る波形整形回路を設け駆動電流波形を調整しS/Nを向上している。インヒビット駆動回路も基本回路はXYのマトリックススイッチと同じであるが、ターンオフ時に対するピーク電力吸収回路を設けトランジスタの信頼度を向上している。

タイミング発生回路にはタップ付集中定数形遅延線を用いタイミングの安定をはかっているが、CPUより送られるタイミング信号の幅を利用することにより400ns、20タップの遅延線1本ですべてのタイミング信号を発生している。

4.2 エラーチェックとメモリー保護

コアメモリーに関するエラーチェックおよびメモリー保護として次の事項に留意している。

(1) パリティチェック

CPUプログラムによりアクセスされたときのパリティエラーについては、3.4節でふれたとおり、インストラクションパリティとオペランドパリティに分けてNITを発生させ、チャネルからアクセスされたときのパリティエラーについては、その旨チャネル側に知らせるようになっている。

(2) アドレスチェック

コアメモリーは4k語単位で最大16k語まで増設可能であるが、プログラムミス等により、そのシステムに実装されていないアドレスが呼び出されたときこれをアドレスエラーとして検知する。

(3) メモリー保護

3.3.1項で説明したように、MELCOM 350-5ではコアメモリーの全アドレスが256語を単位とするページに分割されているが、メモリー保護はこのページブロックを単位として行なう。すなわちスクラッチパッド

領域としての0ページを除き1ページからスイッチで指定する任意のページまでを連続して書込拒否し、かつこの機能をプログラムにより任意にコントロールできる方式である。

(4) モジュールシフト

4k語単位のコアメモリーに万一故障が生じたとき、一時的に故障したメモリーを切離して、他のメモリーを割当てるためのスイッチ機構である。全メモリー容量は故障した分だけ減少するが、あらかじめ機能を縮小したプログラムを用意しておくことによりMTTRの短縮を計ることができる。

(5) メモリーフリーズ

システム電源の投入・シャ断に伴うTransientによって記憶内容が破壊されるのを防止するもので、-30Vの駆動電源を金物的に直接シャ断している。

5. 入出力チャネル

入出力制御の様式の一つは入出力命令により直接情報転送の制御までを行なうもので、他の一つは入出力の開始・終了時にのみ入出力命令が介入し、情報転送は入出力装置からのサービス要求により、プロセッサの処理サイクルに割込んでコアメモリーと入出力装置の間で情報の授受を行なうものである。MELCOM 350-5では前者のためのインターフェースをダイレクトコントロールチャネルと称し、後者のためのインターフェースを高速データチャネルと称している。

5.1 ダイレクトコントロールチャネル

2種類の入出力命令(RDDおよびWRD)を用いてCPUプログラムの直接的な制御により、セントラルプロセッサのARと入出力装置の間で1ワード単位の情報転送を行なう。このチャネルは、高速データチャネルを介した高速情報転送においてもその開始・終了時の制御および状態情報交換のために使用される。

5.2 高速データチャネル

磁気ディスク/ドラム記憶装置、ラインプリンタ、高速プロセス入出力のような高速入出力装置との情報転送を行なうためのチャネルである。MELCOM 350-5の高速データチャネルは、コアメモリーとのインターフェースに必要なハードウェアの一部をセントラルプロセッサと共用してハードウェアの節減をはかり、同時に優先度判定回路等一部の回路をチャネルマルチプレクサという形で、オプションとしてCPUパネル内に実装するのみで、大判のチャネルハードウェアは、各入出力制御装置の中に一体としてBuild inする方式を基本としている。たとえば磁気ディスク/ドラムを制御するバルクメモリー制御装置にはチャネルハードウェアの大半が包含されており、直接CPUパネルのチャネルマルチプレクサに接続される。

この方式は一方でチャネルのはん用性・拡張性をそこなうという弱点を持つことになるが、本機の性格から考えて小規模構成における経済性をより重視したものである。チャネルマルチプレクサには、最大4個のチャネル機構を接続することが可能で最大転送速度は、通常100kB/秒、バースト転送で200kB/秒である。

5.3 入出力命令

入出力命令はRDD, WRDの2種類あり、命令語のアドレス部を使用することによって命令の分類、装置番号の指定を行なう。入出力命令はコントロール命令とキャラクタ命令に大別され、コントロール命令は、各装置の状態、エラー情報をARへ読込むステータス入力命令と装置の動作モード指定をARのビットパターンにより行なうコントロール出力命令があり、キャラクタ命令には、入力装置からのデータをARへ読込むデータ入力命令とARのデータを出力装置へ与えるデータ出

力命令がある。表 5.1 に入出力命令の装置とアドレスの対応を示す。

表 5.1 入出力装置アドレスの一例
Example of input/output devices' address.

| 命令区分 | | ビット位置 | | | | | | | |
|--------------------|----|-------------------------|---|--|---|---|--|---|---|
| | | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 機器 | | X | | Y | | | Z | | |
| 周辺機器 | 入力 | 3 | | 1=システム タイプライタ 2=LCT 3=FCT 4=PTP 5=PTR 6=カードリ ーダ | | | 0 | | |
| | | | | | | | 1 | | |
| | 出力 | | | | | | 0 | | |
| | | | | | | | 1 | | |
| アナログ入 力 | 入力 | 2 | | 1 | | | 1=AD コンバ ータ No. 1 2=AD コンバ ータ No. 2 3=AD コンバ ータ No. 3 4=AD コンバ ータ No. 4 | | |
| | | | | | | | 0 | | |
| | 出力 | | | | | | 1=AD コンバ ータ No. 1 2=AD コンバ ータ No. 2 3=AD コンバ ータ No. 3 4=AD コンバ ータ No. 4 | | |
| | | | | | | | 7 | | |
| デジタル入力 | 入力 | データ入力 | | 0または1 | | | グループ番号 | | |
| デジタル出力 | 出力 | データ出力 (ON) | | 1 | | | グループ番号 | | |
| | | データ出力 (OFF) | | 0 | | | | | |
| | | コントロール出力 (エラー・リセット) | | 3 | | | 0 | | |
| ウォッチ ドッグ タイマ | 出力 | コントロール出力 (カウンタ・リセット) | | 3 | | | 0 | | |
| | | | | | | | 1 | | |

数値は、各区域 (X, Y, Z) 内のビットパターンを数値として読取ったものである。

6. 磁気ディスク

MELCOM 350-5 ではランダムアクセスの外部記憶装置として、浮動ヘッド形式の M-821 形磁気ディスクを使用している。このディスクは主として制御用計算機の外部記憶装置として当社において開発されたもので、コンパクトにまとまった経済的な記憶装置である。図 6.1 にディスク本体に読出し書き込み用のディスクドライブを付加した外観図、表 6.1 に磁気ディスク記憶装置の主要諸元を示す。

MELCOM 350-5 では高速データチャネルを介して接続されるバルクメモリー制御装置 1 ユニット当たりこのディスクが最大 4 台まで接続可能であり、経済的な小容量システム (32k) から大規模なシステム (256k) まで幅広い範囲がカバーできる。制御用計算機の外部記憶装置としてオンラインでの連続高信頼度動作を保障するために、特に設計上考慮された点につき以下に説明する。

(1) ヘッド選択マトリックスをディスク本体内部に実装し、ディスクからの引出し線を少なくしている。

(2) FD 変調方式による書き込みとセルフクロックゼロクロス検出による読出し方式を使用して信頼度を上げている。

(3) タイミングパルスの検出に多数決論理を採用し、タイミングの安定化をはかっている。(特許出願中)

(4) データの書き込み、読出しに際し、ビットシフト検出およびビット計数値照合の二重検知方式をパリティチェックとともに併用することにより、回転形メモリー特有のバーストエラー発生の危険性に対して実用上十分な確率でこれを検知できるよう考慮している。



図 6.1 磁気ディスク
Magnetic disk memory

表 6.1 磁気ディスク記憶装置の主要諸元
Specification of magnetic disk memory.

| | |
|-----------|---------------------|
| 記憶容量 | 32kWD/64kWD |
| 回転数 | 1,800 rpm/3,600 rpm |
| 平均アクセスタイム | 8.3 ms/16.7 ms |
| トラック数 | 64 |
| セクタ数 | 4または8 SECTOR/TK |
| 書き込み方式 | FD (周波数変調) 方式 |
| 読出し方式 | セルフクロック・ゼロクロス検出方式 |
| 外形寸法 | 直径 400×高さ 400 |

(5) アドレス変換の機構が用意されており、万一の場合に備えて用意されているスペアトラックと任意の実用トラックアドレスとを論理的に交換することができる。(特許出願中)

(6) 全 64 トラックを 8 トラック単位に書き込み拒否する、ガードスイッチが取り付けられていて記憶内容を完全に保護するとともに、書き込みが拒否されたことを自動的にプログラムに知らせるようにしている。この保護機構は、(5) によってアドレス変換されたトラックに対しても適用されるようになっている。

7. 周辺機器

図 2.1 に示すように、周辺機器はダイレクトコントロールチャネルに直接接続されているシステムタイプライタと周辺機器付加装置を経由して接続されるものとに分けられている。

システムタイプライタは(図 2.2 参照)、CPU を動かすために基本的に必要なもので、印字、テープパンチ、テープリード、キーボード入力の機能をもっている。これらの機能と電源オン・オフを表 7.1 に示す AR とのビット対応で対応するビットを 1 にし、コントロール出力命令を実行することによって選択する。

表 7.2 に示す AR とのビット対応でシステムタイプライタのステータスがステータス入力命令によって読込まれる。このうち、ビット 4 の“オンラインモード”、ビット 7 の“KT モード”はシステムタイプライタに付けられたスイッチによって指定されるもので、計算機と接続されている場合はこのモードで使用される。Ⓡ印をつけたビットはステータス入力命令によってリセットされるエラー情報で、‘Excessive Busy’ は予定時間内に出力動作が完了しなかった場合のエラー、‘オーバーラン’ は必要時間内に CPU が入力動作を実行せず、入力情報が消失した場合に立てられるエラーである。

なお、表 7.1 のステータスのうち少なくとも 1 ビットが 1 であれば、対象となる装置に関する入出力命令実行時、ステータスレジスタにステータスフラグがたてられる。このステータスフラグと先述したビジーフラグによ

て CPU と入出力との同期をとり、入出力命令実行時のダイレクトコントロールチャンネル、入出力制御装置、入出力装置の状態を知ることができる。

図 2. 1 に示す周辺機器付加装置は、各周辺機器制御装置をまとめてダイレクトコントロールチャンネルに接続する役目をしており、各制御装置に対するインターフェイスを統一し、出力制御装置ごと、入力制御装置ごとに互換性を有しているの、たとえば FCT、PTP がつかない場合に LCT 制御装置を 3 台まで設けることができ、LCT を 9 台制御できる。また、各周辺機器制御装置がパツアレジをもっているの、5. 3 節に述べたレディ割込みの機能と合わせて制御装置間での同時動作ができる。表 7. 2 に周辺機器のステータスワードの内容を表 7. 3 に LCT、FCT のコントロールパターンを示す。

8. プロセス入出力

8. 1 デジタル入力

デジタル入力は 1 グループ 16 点に分割されており、1 個の入力命令

表 7. 1 システムタイプライタのコントロールビット
Control bit of system typewriter.

| ビット位置 | 機能 |
|-------|---------|
| 0 | 電源 |
| 1 | パンチ |
| 2 | 印字 |
| 3 | リード |
| 4 | キーボード入力 |

表 7. 2 周辺機器のステータスワード
Status word of peripheral equipment.

| 機種名 ビット位置 | システム タイプライタ | FCT | LCT | PTP | PTR | カード・ リーダー |
|--------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | 電源 OFF | 電源 OFF | 電源 OFF | テープがない | 電源 OFF | 電源 OFF |
| 1 | パンチ OFF | ⑩ Excessive Busy | ⑩ Excessive Busy | ⑩ Excessive Busy | ⑩ Excessive Busy | ⑩ Excessive Busy |
| 2 | プリント OFF | ⑩ データが 0 | ⑩ データが 0 | AUTO でない | AUTO でない | AUTO でない |
| 3 | リード OFF | ⑩ 文字とファンクションを同時に出力 | ⑩ コードの誤り | | | |
| 4 | オンラインでない | | | | | |
| 5 | ⑩ Excessive Busy | | | | | |
| 6 | ⑩ オーバラン | | | | | |
| 7 | KT モードでない | | | | | |

表 7. 3 LCT・FCT のコントロールビット
Control bit of LCT and FCT.

| ビット 0 | ビット 1 | |
|-------|-------|----------------|
| 0 | 0 | どのタイプライタも選択しない |
| 0 | 1 | タイプライタ 1 を選択 |
| 1 | 0 | タイプライタ 2 を選択 |
| 1 | 1 | タイプライタ 3 を選択 |

によって指定された 1 グループのデジタル入力が AR に読込まれる。接点入力の場合には、プラント接点に -48 V が与えられ、インプットフィルタによりレベル変換され、グループ選択信号によって選択され、ドライバを經由してセントラルプロセッサに転送される。なお、インプットフィルタは接点のチャタリング、伝送線の雑音の影響を除去する役目もしている。

8. 2 デジタル出力

デジタル出力も 1 グループ 16 点に分割されており、デジタル出力制御装置がレディであれば、出力命令によって AR のパターンによって指定された接点出力、電圧レベル出力が得られる。接点出力の制御方式には下記の 2 種類があり、高速であること、高信頼度であること、チャタリングがないことから水銀リレーを利用している。

・マルチビット出力

1 グループの出力をまとめてオンオフする出力

・シングルビット出力

1 グループのうち指定したビットのみをオンまたはオフにする出力
さらに上記のものそれぞれに自己保持形と瞬時動作形があり、瞬時動作形にはタイミングの短いものと長いものがある。なおレベル出力は上記マルチビット出力の形態をとっている。

8. 3 アナログ入力

MELCOM 350-5 のアナログ入力には、雑音除去特性のよい電圧一周波数変換形 (V/F 変換器) の積分形 AD 変換器を利用している。

図 8. 1 (a) に示すように V/F 変換器は入力電圧に比例した周波数のパルス列を出力するもので、入力フルスケールに対して出力 100 kHz のものを使用し、200 % のオーバレンジが可能であり、フルスケールとして、10 mV、20 mV、50 mV、100 mV、200 mV、500 mV、1,000 mV、2,000 mV の 8 種類があり、さらに、これに 2.5 倍のパー

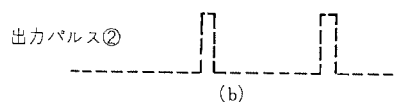
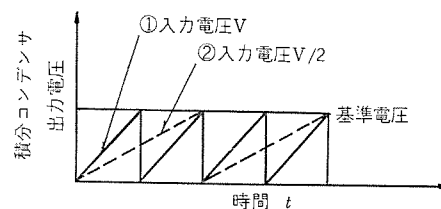
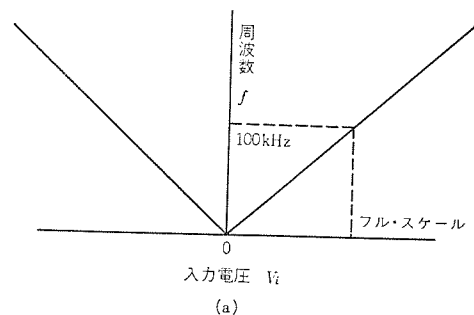


図 8. 1 V/F 変換器原理図
Principle of V/F converter.

ニヤが可能である。フルスケールの選択は AR にビットパターンを設定し、ゲイン/スパン設定命令を実行することによって行なわれる。

図 8.1 (b) に V/F 変換器の原理図を示す。

この方式は、信号線にのった電源周波数 f_p の $1/f_p$ の整数倍周期で積分することによって除去できることが大きな長所である。MELCOM 350-5 では $1/f_p$ を 60 Hz 地域では 17.7 ms, 50 Hz 地域では 20 ms にしている。このためスキニング速度はリレー駆動に $1/f_p$ を要し、雑音を積分するのに $1/f_p$ を要するので $2/f_p$ となり、60 Hz 地域で 30 点/秒、50 Hz 地域で 25 点/秒である。

さらに高速のスキニングが要求される場合には、図 2.1 に示すように V/F 変換器を 2～4 台設置し、1 個の入力点番号選択のデータ出力命令でアナログ入力を 2～4 点同時に選択し、V/F 変換とパルス列出力の計数を並行して実施することによって 60～120 (50～100) 点/秒のスキニング速度を得ることができる。

V/F 変換器の欠点はドリフト補正が装置単体で困難なことであるが制御用計算機に使用する場合には、アナログ入力の 1 点に零電圧を入れてこの V/F 変換値を読込んでドリフトを検出し、必要な補正量を表 8.1 に示す AR とのビット対応で、表 5.1 に示すゲイン/スパン設定、ドリフト補正用のデータ出力命令を実行することによってデジタル補正が可能になっている、表 8.1、表 5.1 に示すスパン設定は図 8.1 (a) に示す入力電圧と出力周波数の関係を調整するもので、アナログ入力の 1 点に基準電圧を入れ、所要の関係になっているかどうかを調べてスパン設定命令によりデジタル補正している。これは +、- 独立に調整される。

8.4 アナログ出力

パルス幅出力、パルス列出力、はしご形 DA 変換回路の 3 種類をもっている。

8.5 パルス入力

低速の場合はデジタル入力を利用し、高速の場合は割込みと DC R 命令の組合わせによって実施される。

表 8.1 ゲイン/スパン/ドリフトの設定パターン
Setting pattern of gain/span/drift.

| ビ ッ ト | 機 能 | 補 正 量 |
|-------|------------------|--------|
| 0 | 零 調 (ド リ フ ト) | 0.025% |
| 1 | | 0.05% |
| 2 | | 0.1% |
| 3 | | ± |
| 4 | - ス パ ン | 0.05% |
| 5 | | 0.1% |
| 6 | | 0.2% |
| 7 | | ± |
| 8 | + ス パ ン | 0.05% |
| 9 | | 0.1% |
| 10 | | 0.2% |
| 11 | | ± |
| 12 | ゲ イ ン | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | |



図 8.2 I/O 試験器
I/O Tester.

8.6 I/O 試験器

図 8.2 に示す I/O 試験器は入出力制御装置、入出力ユニットの試験調整をセントラルプロセッサを使用せずに実施し、さらに各制御装置、ユニットの誤動作、故障を自動的に検出し、さらにトラブルシュートがセントラルプロセッサを使うよりも容易に実施にできるようにした装置である。これによって、試験時間の短縮が実現される。

9. ソフトウェア

9.1 MELCOM 350-5 ソフトウェアの特長

MELCOM 350-5 のソフトウェアは、小形計算機として効率のよい動作をすること、プログラミングが能率よく行なえることの二つに重点をおいて設計した。具体的には、次のような事項を前提条件としてとり入れた。

(1) 専門化した豊富なソフトウェアレパートリーを準備すること：あれもできる、これもできるというソフトウェアは便利ではあるが、メモリーの制約から使いにくいことが多く一部の機能がむだになりやすい。それよりも要求にぴったり合った機能のみを備えたコンパクトなソフトウェアとする。

(2) 上位の計算機によってプログラムのアセンブル、デバッグが効率よく行なえること：MELCOM 350-30 および MELCOM 335 でもアセンブルが行なえるよう、アセンブラシミュレータを製作する。また MELCOM 350-30 でデバッグを行なうためのマシンシミュレータを作成する。

(3) ソフトウェアのモディフィケーションを容易にすること：システムごとに機能の小規模な変更や使用メモリーの増減を伴うようなプログラムでは、ソースプログラムの中の段階でパラメータを変更することにより、プログラムのその部分に直接手を触れることなく変更や削除ができる方式とする。そのため、アセンブラにくふうをこらす。

(4) プログラム製作過程では小回りのきく体系とすること：アセンブラのオブジェクトテープを手動さん孔や切り張りなどによって修正できること。また小規模なプログラムならアセンブラを使わず機械語でも容易に作成でき、そのために特別なプログラムを必要としないこと。したがってアセンブラのオブジェクトテープはバイナリ形式とせず機械語形式とする。

(5) 浮動小数点演算プログラムが容易に書け、かつメモリーの使用効率を下げないこと：浮動小数点演算用のネモニックコードを設け、これを機械語命令と同様にソースプログラムに書けるようにする。アセンブラはこれを 1 命令 1 語の疑似機械語に翻訳し、これを解釈するルーチンを製作する。

9.2 ソフトウェアの体系

MELCOM 350-5 のソフトウェアは次のように分類される。

アセンブラ
ユーティリティプログラム
スーパーバイザ
関数サブルーチン
サポートプログラム
診断ルーチン

(1) アセンブラ

アセンブラ言語で書かれたソースプログラムを機械語形式のオブジェクトプログラムに翻訳する。4 k 語と ASR セットの最小構成で使用できるよう、2 バス 2 フェーズ方式とした。ソースプログラムの媒体としては、80 欄カードおよび紙テープのいずれも使用できる。オブジェクトプログラムは、紙テープにさん孔される。MELCOM 350-30 および MELCOM 335

で動作するアセンブラシミュレータは、1パスでも使用できるようにし作業能率の向上をはかっている。各アセンブラの文法はすべて同一としソースプログラム の完全な互換性をもたせてある。

(2) ユーティリティプログラム

プログラムの作成、デバッグの道具となるプログラムである。プログラムの読みみやテープとメモリー内容との照合、メモリー内容の印字、さん孔、変更を行なう標準のパッケージは、通常スーパーバイザと組合わせオンラインで使用される。オフライン用のプログラム読みみ用プログラムは、完全なエラーチェックとアナウンスを行なう Machine Language Loader/Verifier のほかに、機能とメモリーを最少にした Minimum Loader を用意し、メモリーの余裕の少ないシステムでの便宜をはかっている。

(3) スーパーバイザ

システムプログラムの中心となるソフトウェアで、すべての処理プログラムを管理するほか、入出力動作、割込みの受けつけ、エラー処理とアナウンス等を行なう。標準の周辺機器出力プログラムであるメッセージプリンタを含んでいるが、出力機器の種類が少なく、印字フォーマットの簡単なシステムでは取りはずすこともできる。それとプログラム優先順位の構造、補助メモリーの有無とによって、種々の標準タイプがある。

(4) 関数サブルーチン

三角関数、指数関数、対数関数、平方根などのサブルーチンである。これらは単精度固定小数点形式のデータのほか倍精度固定小数点、浮動小数点のデータも取り扱う。倍長演算に関しては四則演算を行なう倍精度パッケージがある。ほかに浮動小数点演算パッケージがあり、これはアセンブラで翻訳された1語1命令の浮動小数点疑似機械命令を逐次解釈しながら実行していくインタープリタである。これを使用することにより、表9.1に示すような浮動小数点命令を機械語とまったく同じように扱ってコーディングすることができる。

(5) サポートプログラム

オンラインの処理プログラムとして使用される種々の標準プログラムとスーパーバイザの補助プログラムで、アナログ信号の入出力、チェック、警報、単位変換、トレンド、データリンク、スケジューラ ほかがある。

(6) 診断ルーチン

個々のハードウェアユニットを診断するルーチンと、総合動作をチェックするルーチンがあり、ハードウェアの調整とトラブルの発見に使われる。

9.3 アセンブラ

ソフトウェアのモディファイケーションを容易にするために、アセンブラの設計上配慮した事項について説明する。プログラミングの省力化の手段の一つは作業の機械化であり、もう一つは標準プログラムの活用である。標準プログラムの中でも三角関数のような関数ルーチンは、一度作ってしまえばすべてのシステムにそのまま適用できるが、サポートプログラムやアプリケーションプログラムではシステムごとに定数やテーブルの大きさが異なる。またプログラムの内容を部分的に削除、追加することにより既製のプログラムを手数をあまりかけずに利用できることが多い。このようなことを考慮し、アセンブラの疑似命令のレパートリーに Delete と Repeat の二つの機能を加えた。

Delete 疑似命令は、オペランドで指定された個数のソースプログラムステートメントを読捨てる機能を持ち、Repeat 疑似命令は、それに続く命令または定数を指定された回数だけくり返し、オブジェクトに生成する。オペランドに書かれるシンボルをプログラムの最初に定義しておくことにより、ソースプログラムカードの入れ換えと同じ効果を簡単に実現することができ、プログラムのモディファイケーションが容易となる。オペランドには四則演算を含むエクスプレッションが書けるので、定義したシンボル

表 9.1 MELCOM 350-5 浮動小数点演算命令一覧
Instruction repertoire of floating operations.

| ネモニック コード | マ シ ン ド | 名 称 |
|--------------|------------------|------------------------------|
| LF | 70 | Load Floating Accumulator |
| LAF | 74 | Load Absolute |
| LNf | 78 | Load Negative |
| STF | 40 | Store Floating Accumulator |
| AF | 6 C | Add |
| SF | 68 | Subtract |
| MF | 64 | Multiply |
| DF | 5 C | Divide |
| IDF | 58 | Inverse Divide |
| ICR | 38 | Increment Memory |
| DCRT | 34 | Decrement Memory and Test |
| CF | 7 C | Compare |
| LB | 4 C | Load Base Register |
| STB | 3 C | Store Base Register |
| AB | 48 | Add Base Register |
| BRF | 10 | Branch Unconditional |
| BPE | 14 | Branch if Positive |
| BZF | 18 | Branch if Zero |
| BNF | 1 C | Branch if Negative |
| BALF | 0 C | Branch and Link |
| NOPF | 08 | No Operation |
| STPF | 04 | Stop |
| EXTF | 24 | Exit to Fixed Point |
| XTF | 50 | Convert Fix to Floating |
| FTX | 44 | Convert Floating to Fix |
| MOVf | 30 | Move Floating Data |
| RDDf | 28 | Read Floating or Fixed Data |
| WRDf | 2 C | Write Floating or Fixed Data |
| CALL | 20 | Call Subroutine |
| TSC | 54 | Store C Register |
| OPT | 60 | Optional Function |
| — | 00 | (Illegal Code) |

の値と読捨てやくり返しの個数との間に関数関係を持たせることができる。この方法によれば、カードの入れ換えに伴って起こりがちな誤りを避けることができるだけでなく、プログラムの内容に立ち入らなくてすむので作業が単純化され能率向上に役立つ。

9.4 スーパーバイザ

スーパーバイザの構造概念図を図9.1に示す。プログラムはすべてインタラプトレベルまたはベーシックレベルのいずれかに属している。外部からの割込み信号、または内部割込みに応答するプログラムはインタラプトレベルに属し、ベーシックレベルに優先して実行される。高速の応答を必要とするものは、インタラプトレベル内で処理され、そうでないものはベーシックレベルにあるプログラムの起動のみを行なう。

ベーシックレベルはさらに幾つかの主レベルと各主レベル内でのサブレベルに分かれる。主レベル相互間では優先処理が行なわれ、あるレベルのプログラムの実行中に、より高いレベルのプログラムの実行要求が出ると実行中のプログラムはいったん中断され、高いレベルプログラム制御が移る。もしもそのプログラムが時間おくれの機能をスーパーバイザに要請すると、その待ち時間は低レベルのプログラムの続きが実行される。

入出力はその動作完了の割込信号に応答して行なわれ、次の完了信号を待つ時間は他のプログラムの実行に振り向けられる。したがって低速入出力機器の動作中でも、他のプログラムの処理速度はわずかに低下するにすぎない。スーパーバイザはシステム構成に応じて最適の機能を発揮するように基本形として次のタイプのものが準備されている。

- (1) 補助メモリー付きのシステムに適用するもの。
- (2) コアメモリーのみのシステムに適用し、プログラムの主レベルが複数のもの。
- (3) コアメモリーのみのシステムに適用し、プログラムの主レベルが一

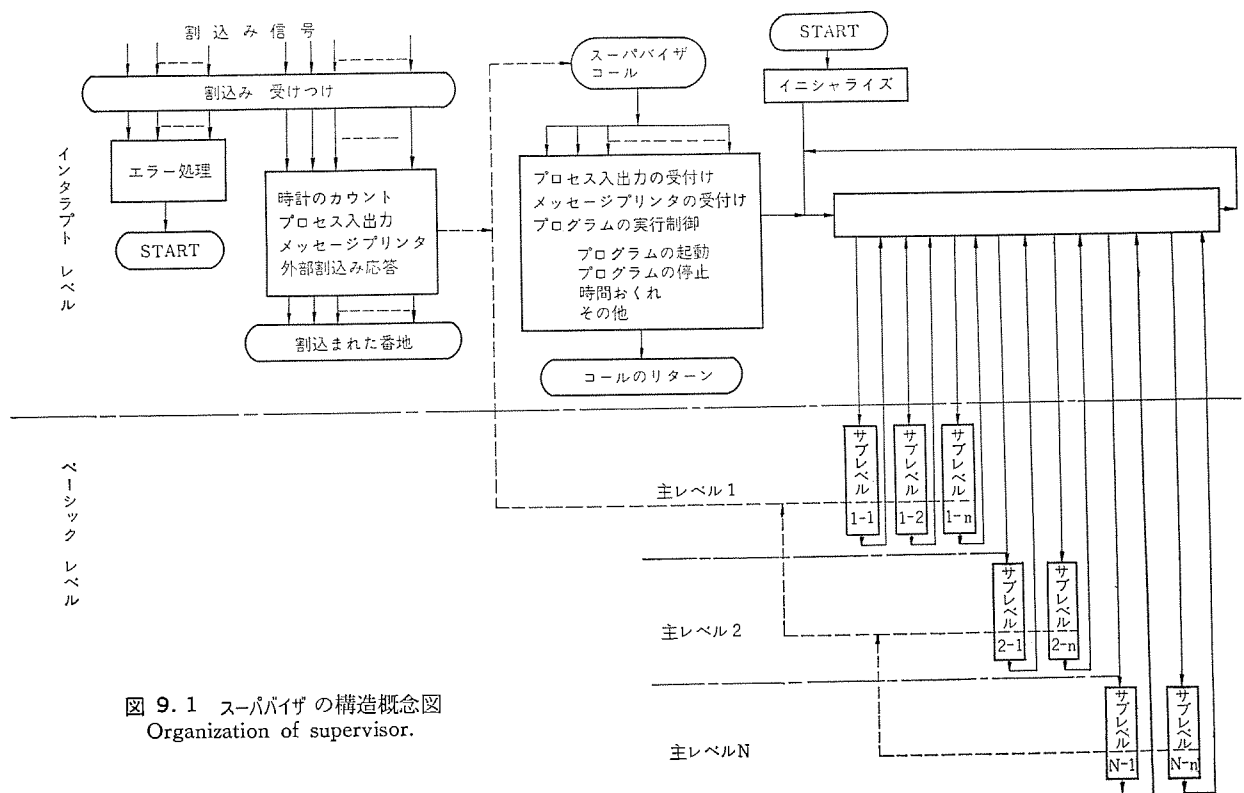


図 9.1 スーパーバイザの構造概念図
Organization of supervisor.

つのもの。

上記(2)と(3)には、それぞれメッセージプリンタ機能のあるものとないもの、および制御するタイプライタが複数台のものと1台のものがある。

これらの適用にあたっては、プログラムの主レベル数、周辺機器の種類や台数、入出力点数その他をパラメータとして与えアセンブルすることにより、プログラムの不要な部分が省かれたりテーブルの大きさが伸縮され、最適化が行なわれるようになっている。

10. む す び

MELCOM 350-5 制御用計算機システムのハードウェア、ソフトウェアの構成、特性について紹介した。今後、小形制御用計算機の適用分野は飛躍的に拡大するものと期待される。

参 考 文 献

- (1) 中尾・松本・的場：制御用電子計算機 MELCOM-350 システム，三菱電機技報 41, No. 9, 1,169～pp1,174 (昭42)

富士製鉄(株) 名古屋製鉄所向け厚板圧延機計算機制御システム

鈴木 輝義*・岡本 佳三**・杉原 弘章**・宍戸 隆介**・新野 修平**

Plate Mill Computer Control System for Nagoya Works, Fuji Iron & Steel Co., Ltd.

Fuji Iron & Steel Co., Ltd. Teruyoshi SUZUKI

Mitsubishi Electric Corp., Head Office

Yoshizo OKAMOTO・Hiroaki SUGIHARA

Ryusuke SHISHIDO・Shuhei NIINO

Recently remarkable is the introduction of process computer control systems to iron and steel industry particularly to rolling process. It is becoming that the further improvement in accuracy and efficiency in rolling can no longer be expected without control computers.

As a representative case this article deals with plate mill computer control system for Nagoya Works of Fuji Iron and Steel Co.. In this are outlined the composition of hardware and software of the system. A detailed explanation is also made especially in connection with the computer control functions for the reference to those having interest in this field.

1. ま え が き

鉄鋼プラント特に圧延プロセスに対する制御用計算機システムの導入は、最近では常識化した感さがある。かくも制御用計算機が注目をあびるようになったのはほんのここ数年のことであり、その根本原因は計算機ハードウェア技術の著しい進歩による信頼性の向上と、その利用技術(ソフトウェア)の開発・発展に負うものと考えられる。さらにそれに加えてシステム導入サイドの制御用計算機に対する認識の向上と、労働力不足対策といった社会情勢も一役買っている。

このたび富士製鉄(株)名古屋製鉄所の厚板圧延設備に導入された厚板圧延機制御用計算機システムは、そのようなシステムの代表的なもので、昭和42年末に設置され翌年後半より完全オンライン自動化に活躍している本邦でも数少ない本格的オンライン制御システムの一つである。現在トラブルもほとんどなく快調に運転中であり、成品精度の大幅な向上に加えて生産ピッチも熟練運転員なみと、初期の予想以上の成果を上げつつある本システムの概要をここに紹介した。

2. プロセス概要

厚板圧延機いわゆるプレートミルと呼ばれる圧延設備のレイアウトのうち計算機制御システムに直接関連する部分を示したのが図2.1である。この設備は加熱炉で1,200°C程度に熱せられたスラブを成品であるプレートに圧延するための設備であり、スラブおよびプレートの寸法を次に記す⁽¹⁾。

スラブ寸法(連続加熱炉用)

| | |
|----|----------------|
| 厚さ | 80~300 mm |
| 幅 | 1,200~2,300 mm |
| 長さ | 1,900~4,000 mm |
| 重量 | 3~21 t |

プレート寸法

| | |
|--------|------------------------------|
| 厚さ | 4.5~200 mm (平均 15 mm) |
| 幅 | 1,400~4,500 mm (平均 2,500 mm) |
| 長さ | 2,000~30,000 mm |
| 圧延後の長さ | 45,000 mm (最大) |



図 2.1 厚板圧延設備
Layout of plate mill.

成品は一般構造用鋼板、高張力鋼板、その他となっており、船体材料などとしてその用途は多岐にわたっている。

圧延プロセスでは原材料となるスラブは分塊ミルで製造されたものが、炉入側のスラブヤードに積まれていて、炉に装入する順序で炉入側テーブルに移し炉入側まで移送されてからブッシャーによって押込まれる。炉内では約数時間かかって炉出側に達する間に高温に熱せられたスラブが、ほぼ一定ピッチで炉前テーブル上にエキストラクターによって抽出される。その時スラブ表面はスケールと称される堅い酸化物が付着していて、そのまま圧延すると成品表面の傷となるのでまずデスケラーという装置を通過する際に高圧水によりそれを吹飛ばす。その後スラブはテーブル上を移送されてエッジャーという垂直ロールを通過し、主ミルである水平ロールに達する。エッジャーの使用可否は材料の寸法によって決まっているが、主ミルでは必ず正逆転を行なうようにいわゆる可逆圧延が行なわれる。

このようにして圧延パスごとにスラブの厚さが小となり、ちょうど成品寸法となったところで主ミル後方に移送されるが、圧延終了時の仕上温度を一定の値に保つ必要から、場合によっては途中でミル入側テーブル上にスラブを運んでシャワーにより冷却される場合がある。

この圧延機によるスラブ圧延の特長として、圧延途中でスラブを主ミル前後テーブル上で90度転回を行なうやり方があり、これを1回、2回または全然やらない場合によって、圧延スケジュールが異なることになる。炉から抽出されたスラブはライン方向がスラブ長さの方向に一致しているが、転回いわゆるスピターンをやらない場合も

含めて偶数回の場合には、成品プレート の長さ方向がスラブ の長さ方向と一致するわけで、縦目成品と呼ばれる。また偶数回のターンでは成品 プレート の幅方向がスラブ の長さ方向となるので横目成品などとも称せられているが、これらは成品用途と密接な関連を有している。

圧延終了後 プレート は主ミル 後方に配置された板厚計測装置により プレート の長さ方向の板厚分布が連続的に計測される。その後さらに移送されたスラブ はレバラー という装置を通過させて、表面を平坦にすれば成品 プレート が得られる。なお成品の種類・用途に応じてレバラー 前でシャワー をかけることが行なわれる。レバラー を通過したプレート は冷却床を移送される間に空冷され、その後せん断ラインを経て最終製品となるが、計算機 システム の制御範囲は加熱炉からレバラー までとなっているので、このあたりの設備の機能については省略する。

3. 計算機システム概要

本 システム は、PRODAC-550 制御用計算機(以下簡単に P-550 と呼ぶ)を中心に、各種表示盤、設定盤および位置制御装置、AGC を有機的に結合したもので、以下にシステム 構成と機能について、その概要を述べる。

3.1 計算機ハードウェア構成

P-550 は、アメリカでプロセス制御用として数多く使用されている計算機のひとつで、国内でもすでに実動の実績をもつ計算機である。CPU (中央演算装置)と各周辺機器は入出力チャンネルで結ばれ、今回のシステムでは、磁気ドラム、ロギングタイプライタ、カードリーダ、および入出力制御機構が接続されている。計算機および周辺機器の概略仕様は次のとおりである。

(1) 中央演算部

| | |
|----------|----------------|
| 演算方式 | 2 進固定小数点並列演算 |
| メモリーサイクル | 2 μ s |
| コア 容量 | 16 k 語 |
| 語 長 | 18 ビット |
| 補助 メモリ | 65 k 語 (磁気ドラム) |
| 加算時間 | 4 μ s |

(2) 入出力

| | |
|------------|---------|
| 外部割込 | 約 100 点 |
| アナログ 入力 | 約 20 点 |
| デジタル 入力 | 約 100 点 |
| マルチプレクス 入力 | 約 200 点 |
| デジタル 出力 | 約 600 点 |

(3) 周辺機器

| | |
|----------------|-----|
| プログラマーズ コンソール | 1 台 |
| (万能入出力 タイプライタ) | |
| ロギングタイプライタ | 2 台 |
| カードリーダ | 1 台 |
| 高速 テープパンチ | 1 台 |
| フレクソライタ | 1 台 |
| (オフライン 専用) | |

(4) 表示盤、設定盤

| | |
|------------|-----|
| 仕上運転室設定表示盤 | 1 面 |
| 仕上運転室表示盤 | 1 面 |

その他各運転台に、押し ボタンランプ が組込まれている。

3.2 計算機ソフトウェア構成⁽²⁾

圧延の制御は、きわめて短い時間間隔で多くの信号の処理が要求される。このため、プログラム 体系も能率的な処理時間の少ないものが望まれる。本計算機 システム のソフトウェア としての特長は次の 3 点である。

- (1) デジタル 入出力のイメージ方式化
- (2) ビットオペレーションの有効利用
- (3) ユーティリティの完備

具体的なソフトウェアシステムを次に述べる。

3.2.1 エクゼクティブプログラム

オンライン制御用計算機のハードウェア能力を十分生かすための中核となるモニターは、P-550 では EXECUTIVE と呼ばれている。この EXEC、では 18 個のプログラムが時分割同時併行処理が行なえるように設計され、構造が単純なため内部でのオーバーヘッドが少ないのが特長である。また入出力に関してプログラミングに負担をかけないように、デジタル入出力はタイマーによる起動でコアイメージをスキャンする方式を EXEC、内部でもっているため、ユーザーはイメージ書込み、および読取りで容易に入出力プログラミングすることができる。タイプライター、テープパンチに対する出力の処理も EXEC、に内蔵されているため、ほぼコンパイラーのレベルでプログラムすることができるよう考えられている。

3.2.2 プログラマーズコンソールエクゼクティブ

万能入出力タイプライターには高速紙テープリーダと高速紙テープパンチが付いているが、このプログラムはこれら全体をコントロールするためのユーティリティプログラムである。機能として次のものを備えている。

| | |
|-----------|-------------------|
| プログラムロード | (Program load) |
| プログラムダンプ | (Program dump) |
| ニーモニックロード | (Mnemonic load) |
| ニーモニックダンプ | (Mnemonic dump) |
| デシマルダンプ | (Decimal dump) |
| ドラムリードライト | (Drum read write) |
| チェックテープ | (Check tape) |
| トレース | (Trace) |

その他アセンブル、コアクリア、プログラム実行等の機能があり、デバッグを容易にしている。このプログラムの実行エリアは 256 語で、EXEC、内部にとられているため、オンラインでも上記の機能のほとんどを制御プログラムに支障なく実行させることができる。

3.2.3 補助プログラム

(1) シンクロナイザー

100 ms ごとに各アプリケーションプログラムに起動をかけている。したがってソフト的には 0.1 秒で本システムはコントロールされていると言える。これによって実行起動されるプログラムは

| |
|-----------------|
| アクションプロセッサ (後述) |
| アラームロギング |
| タイムディレイコントロール |
| アナログ入力 スキャン |

などがある。

(2) アクションプロセッサ

HMD (熱金属検出器)によるスラブ検出のタイミングが制御の中心となるが、プログラムの的には HMD 信号は割込みとしてこのプロセッサが処理を行なう。圧延におけるシーケンス制御では多くのタイミングがあって、それに対する小さな多数の処理プログラムがあり EXEC、で

の18レベルのコントロール方式をさらに細分化してこの補助プログラムが統括している。

3.3 システム機能

本システムは最終的には

(1) ミルライン自動化による生産性の向上

(2) 板厚、形状の制御による品質の向上

を目的としている。これらの目的を達成するために以下のような機能を有している。

3.3.1 情報処理機能

(1) データ入力

計算機に対するスラブの情報は一直ごとにカードリーダーより圧延順に読みこまれる。カードには1枚ごとにスラブ寸法、成品寸法、鋼種等がパンチされていて計算機内部に記憶される。

(2) オペレータガイド

スラブの圧延状況はロードセルオン時、一定時間間隔でアナログ入力され、各パス圧延ごとに仕上運転室の表示盤にデータが表示更新される。表示項目は仕上目標寸法、現在圧延寸法、現在パス回数で自動運転時にはさらに全パス回数、スピントーン回数、圧下設定値等を表示して運転員の監視、チェックを容易にしている。

(3) ロギング

ロギング機能はプロセスの解析上欠かせないものである。このシステムでは次の3種類のロギングをおこなっている。

解析用ロギング

アラームロギング(後述)

生産管理用ロギング

スラブが圧延終了するとそのスラブの寸法と各パスごとの圧延データが計算機室のプリンタ(および紙テープパンチ)にロギングされる。これらのデータはプラントの解析に供されるとともに自動運転の制御モデルに反映されて、より高度の制御を可能としている。またロール交換時、オペレータ交代時、プラント故障時には仕上運転室の設定器、設定盤より情報が与えられると仕上運転室のプリンターに時刻と関係するデータをアウトプットして生産、工程管理の参考に供している。

(4) 警報機能と安全対策

仕上運転室のプリンターはアラームロギングにも用いられて、シーケンス制御その他の異常時にメッセージをプリントさせ運転員に知らせる。自動運転時には表示盤とは別にスピントーンパス、エッジパス時に運転員に注意を促すためにチャイムを鳴らしランプ点灯する機能がある。

3.3.2 シーケンス制御機能

本制御システムの制御範囲は、連続加熱炉出側からデスクーラ、エッジャ、メインミルを経てレバラ完了までである。理想的にはラインのすべてを自動運転することによってはじめて真の意味での無人運転が可能となるわけであるが、運転上、部分的にどうしても手動介入が必要になることがある。このような場合でも、他の部分はひきつづき自動運転を続けられるように制御対象を次のようなゾーンに区切り、各ゾーンそれぞれ単独に運転モードの指定を行なえるようにしている。

ゾーン1 連続加熱炉出側、デスクーラ

(ゾーン2 粗ミル……将来)

ゾーン3 メインミル、エッジャ

ゾーン4 レバラ

各ゾーンのおもなシーケンス制御機能は次のとおりである。

ゾーン1

エキストラクタによるスラブ自動抽出

スラブとスラブデータの照合

デスクーラの設定

テーブル連動範囲の指定および起動停止

etc.

ゾーン3

水平ロールのスクリュウ位置設定

前後面サイドガイド、垂直ロール開度の設定

水平ロール速度、垂直ロール速度の指定および起動停止

ドラフト補償指定

テーブル、フィードローラの速度指定および起動停止

テーブル連動範囲の指定および起動停止

ミルスプレー

温度制御シャワー

板厚計測

etc.

ゾーン4

レバラスクリュー位置設定

テーブル連動範囲の指定および起動停止

制御対象の各設定値は、スラブデータおよびそれにもとづくパススケジュール計算の結果によって決定される。

この計算機システムにはシミュレータ盤が設けられ、シーケンス制御プログラムはシミュレータ盤により容易に調整される。この盤は試験モードと運転モードに使われ、試験モードでは計算機は完全にラインと切りはなされ、ラインにかわってシミュレータ盤上の押しボタン等によって模擬的に計算機に種々のラインの信号を与えることができる。また計算機の出力はシミュレータ盤上のランプ等により表示され、出力が正常であるかどうかをチェックすることができる。また、運転モードではラインから計算機への信号、計算機からラインへの信号がすべてこの盤上に表示され、集中的に計算機を監視することができる。

3.3.3 計算制御機能⁽³⁾⁽⁴⁾

この制御システムの中心的な機能は、主として次の三つより成り立っている。

○パススケジュール計算

○圧下適応制御(板厚制御)

○形状制御

このほかにも

○板幅制御

○仕上げ温度制御

等があるが、板幅制御は究極的には板厚制御となるので、ここでは省略する。また仕上げ温度制御については、別の機会に報告する。

(a) パススケジュール計算

パススケジュール計算は、スラブデータとして与えられる次のデータ

スラブ寸法

仕上げ目標寸法

鋼種

圧延方式など

をもとに各パスの圧下量を算出するが、与えられた制約条件を満たしつつ、かつ最小のパス回数で所定の寸法、形状、品質の成品を得るような圧下スケジュールを算出する。制約条件としては主として次の四つがあげられる。

圧延荷重上限

トルク上限

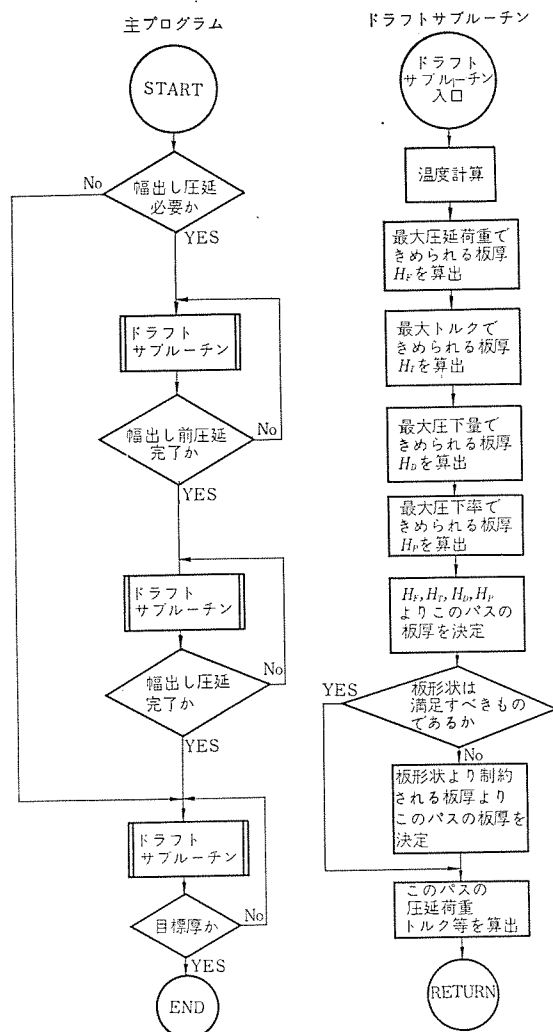


図 3.1 スケジュール 計算 フローチャート
Flow chart of schedule calculation.

圧下量上限

圧下率上限

最終パス付近では、これらの条件以外に板形状から制約される条件も加わってくる。パススケジュール計算のフローチャートは、図 3.1 に示されるとおりであり、各パスの圧下量はドラフトサブルーチンで算出される。このサブルーチンは温度に関する数式モデルや圧下量と圧延荷重、トルク等を互いにむすびつける数式モデルなどを含んでいる。これらの数式モデルは、パススケジュール計算プログラムだけでなく随時必要なプログラムで用いられ、これらの良否はシステムの制御能力を大きく左右する。

圧延荷重、トルク等に影響を与える要因のひとつに、温度がある。スラブの温度降下は、伝熱、対流、ふく射によって起こるが、これらのうち伝熱、対流によって失なわれる熱エネルギーは熱ふく射によるものに比べて小さいことが知られている。そこでふく射係数を若干修正することにより、すべてふく射によるものとして取扱うと温度降下の式は次式であらわすことができる⁽³⁾。

$$\sigma \epsilon A_s (T_P^4 - T_A^4) = -C_p V_s \frac{dT_P}{d\theta} \quad (3.1)$$

ただし

σ : ステファンボルツマン 定数

ϵ : 実効ふく射係数

A_s : 表面積

T_P : スラブ 平均温度

T_A : 周囲温度

C : 平均比熱

ρ : 密 度

V_s : スラブ 体積

θ : 時 間

このほか圧延中ワークロールから受け取る機械的エネルギーによる温度上昇も考えあわせると、温度降下の式として次式を得る。ここに T_A^4 は T_P^4 に比べ無視できるものとする。

$$\Delta T_P = \frac{\sigma \epsilon (T_P^4) A_s \Delta \theta}{K_K} - \frac{E_W}{K_K} \quad (3.2)$$

$$E_W = V I K_M \Delta \theta_d \quad (3.3)$$

ただし

E_W : スラブに加えられる機械的 エネルギー

V : ドライブモータ 電圧

I : ドライブモータ 電流

K_M : 効 率

K_V : 変換係数

$\Delta \theta_d$: 時 間

K_K : $C_p V_s$

このようにして求められた温度をもとに圧延荷重およびトルクが算出される。圧延荷重の算出式は Sims⁽⁵⁾ によるものをはじめいろいろ発表されているが、ほとんど圧延荷重が圧下量の陰関数となっているため用いるにはあまりふさわしくない。用いやすい形をしているものに、たとえば圧延荷重と圧下量を互いに線形表示できるような形をとっている Schulz⁽³⁾ 等による数式モデルがある。

$$Y = \ln P = b_0 + b_1 \ln \left(\frac{R}{h_1} \right) + b_2 \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) + b_3 \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) \ln \left(\frac{R}{h_1} \right) + b_4 T + b_5 T \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) + b_6 \ln \left(\frac{\Delta h}{h_1} \right) \ln \left(\frac{R}{h_2} \right) + b_7 T^2 \quad (3.4)$$

$$F = [\text{antilog } Y] \times W \times \sqrt{R \times \Delta h} \quad (3.5)$$

ただし

$b_0 \sim b_7$: 回帰係数

P : 圧延圧力

F : 圧延荷重

$\Delta h = h_1 - h_2$: 圧下量

h_1 : 入側厚

h_2 : 出側厚

T : 板の平均温度

R : ワークロール 半径

これらの数式モデルを用いて、圧延パススケジュールが算出される。このパススケジュール計算はスラブがミルにかみ込むまでにおこなわれており、計算結果を記憶しそれをもとに圧延をすすめるのであるが、圧延がはじまるとたえず必要なデータを実測し、予測と実測を比較する。これが大きくいちがった場合、そのパスの実測結果をもとに途中から再スケジュール計算を行ない、精度の高い圧延を実現している。

(b) 圧下適応制御

パススケジュール計算で算出した結果を順次実測値と比較検討しながら最小パス回数で目標寸法に圧延できるようにするのが圧下適応制御であり、オンラインリアルタイム計算機の特質が十分に発揮される。ロール開度と板厚の間には、一般にゲージメータ式として知られている次

の関係がある。

$$H = S + \frac{F}{M} + C \dots\dots\dots (3.6)$$

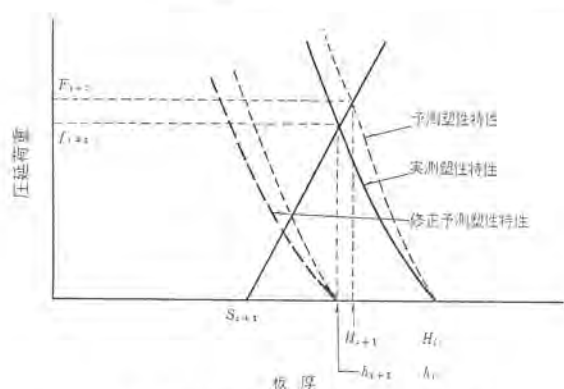


図 3.2 塑性特性とゲージメータ式の相互関係
Relation between the mill spring characteristic and the plastic curves.

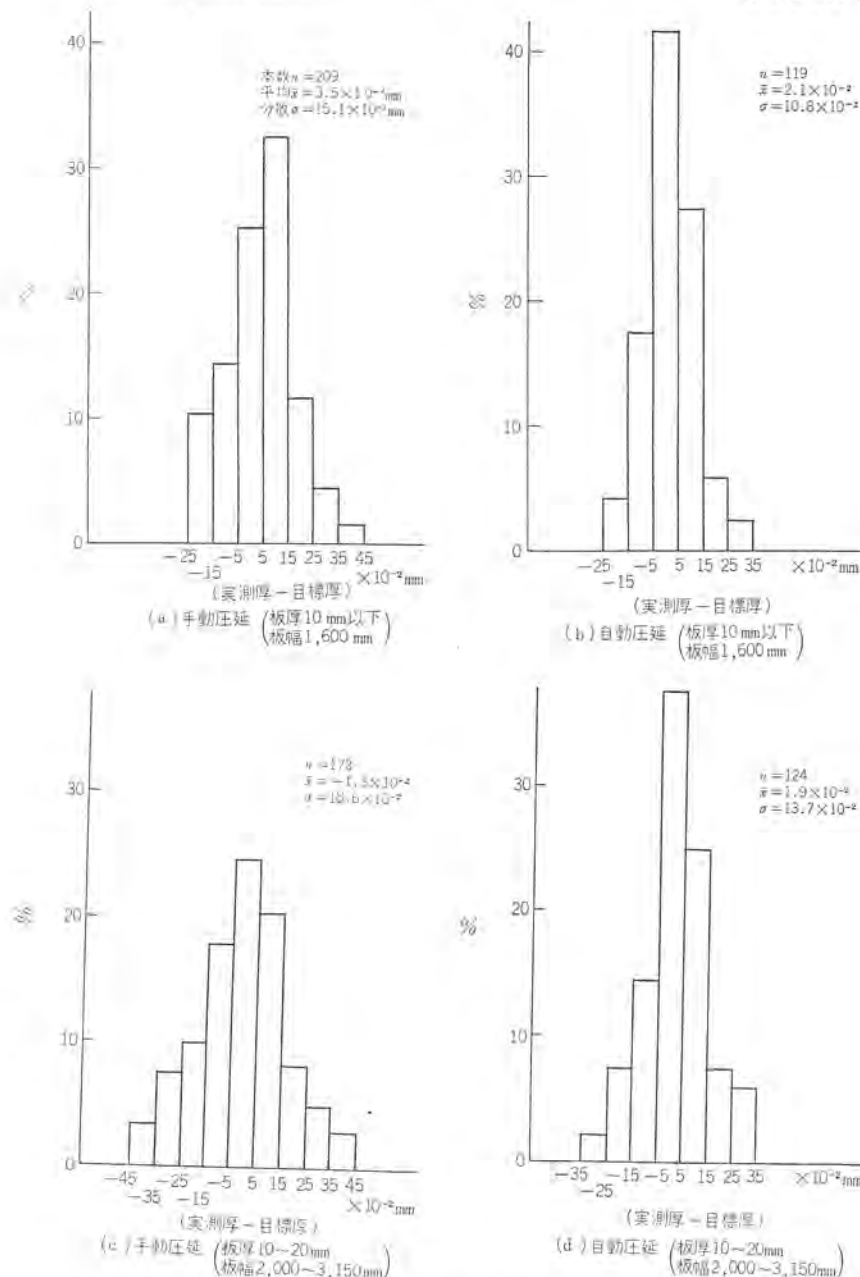


図 3.3 圧延結果分布例
Sample of rolling accuracy distribution.

ただし

S : スクリュー 開度

M : ミルスプリング 定数

F : 圧延荷重

C : 定 数

実際には、 M, C は非線形であって、単なる定数として取り扱うことはできない。またこの式より圧延荷重の予測は精度の高いものでなければならないことがわかる。

前項でも述べたように、圧延荷重の予測には板の温度を正確に知る必要がある。ところが板のまわりには、蒸気がとりまいていたり板にスケールが付着している場合があるため、板の温度の実測はかなり困難である。また最良の状態でも温度が実測できてそれは板の表面温度であって、内部温度あるいは平均温度というもののはつかめない。さらに板厚が異なったり、ミルスプレーのかけかた、加熱炉での焼きぐあいなどにより、内部温度と表面温度の傾斜が異なり、表面温度だけでは平均温度をつかむことはむずかしい。そこで、パススケ

ール計算で用いた温度降下予測式を用い、逐次温度をは握するという方式をとる。

この温度を用い、圧延荷重を予測する様子は図 3.2 に示される⁽⁴⁾。 H_i, H_{i+1} はパススケジュール計算の算出厚とし、この板厚を実現するためのスクリュー開度を算出する場合を考える。簡単にするため、現在の板厚 h_i はパススケジュール計算厚 H_i と一致しているとする。次パスの圧延荷重は、板厚 H_{i+1} を実現するために、 F_{i+1} と予測され、スクリュー開度 S_{i+1} は式(3.6)を用い次のように決定される。

$$S_{i+1} = H_{i+1} - \frac{F_{i+1}}{M} - C \dots\dots\dots (3.7)$$

実際に圧延を行なうと圧延力は f_{i+1} となり、したがって板厚はこのパスの目標厚より

$$\Delta h = H_{i+1} - h_{i+1} = \frac{F_{i+1} - f_{i+1}}{M} \dots\dots\dots (3.8)$$

の誤差を生じる。これは予測塑性特性がずれていたためであり、次パスの圧延荷重予測にはこのパスの情報(実際には数パス前の情報も含めて)を加味し、修正して予測する。この修正に

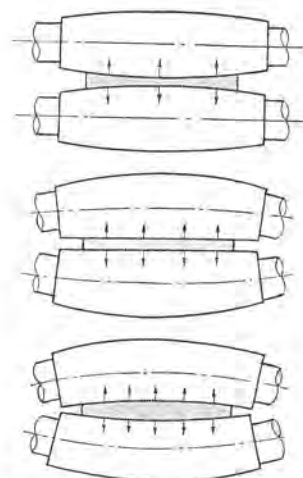


図 3.4 圧延荷重の板形状におよぼす影響
Effect of roll separating force

より次パスの圧延荷重予測は精度が飛躍的に向上する。

圧延はたえず一定のピッチで行なわれるとはかぎらないため、ロールの温度は時間とともに変動する。この温度変化はロールの熱膨張量を変化させる。このほか、ロール摩耗によってもロールの状態は変化するので式(3.6)も修正される。このような時々刻々の学習制御により、きわめて精度の高い圧延を実現している。調整開始当時の自動圧延結果の一例は、図3.3に示される。これらは各種の鋼種を含めた結果であり、その後鋼種をも考慮して圧延することにより、精度はさらに向上した。

(c) 形状制御⁽⁶⁾

圧延をおこなうと図3.4に示されるように圧延荷重によりロールがたわみ、そのたわみ量により出側の板形状は異なる。ある程度の圧延荷重をかけても平たんな板を圧延できるよう、あらかじめロールにはロールクラウン(ロールキャンバ)がつけられている。最終パス付近では、このロールクラウンを打消す程度の圧延荷重をかけるようなパススケジュールが算出される。しかし、ロールクラウンはロールの摩耗により変化するため、ロール組換え直後と直前ではかなり様子が異なってくる。またロール温度によっても大きく変化する。

このため、運転員が圧延の状況を見てパススケジュール計算のパラメータを自由に変化できる装置がとりつけられており、ロール組換え前後でもほとんど同じような形状の板を圧延することができる。このミルには、このほかロールベンディング装置が備えられていて、見かけ上のロールクラウンを制御できる。

4. む す び

厚板ミルの特長のひとつはスラブサイズ、成品サイズのばらつきが大きいことであり、同じサイズのスラブが続けて圧延されることはむしろめずらしい。このような状況のもとで人間が従来のように“カン”にたよって圧延していたのでは、現在以上に圧延精度、圧延能率を

向上させることはほとんど不可能に近い。

制御用計算機の導入によってまず圧延精度が大幅に改善され、現在、熟練した運転員以上の成績をあげている。また、圧延能率に関しては人間ほど早くならないであろうという従来の予想に反し運転員なみにすることができ、スラブによってはそれをもうわまわる成績もあげている。このように第1段階としての目標は完全に達成された。第2段階としての目標である板の形状制御、温度制御もほとんど実用化の域に達し、良好な結果を得つつある。現在、ロールベンディングをも含めた形状制御および種々の温度制御をはじめ、圧延精度、圧延能率のいっそう高い高度な圧延を実現するための研究が意欲的に進められている。

最後に本システムの設計、製作、調整にあたって、終始好意的にご協力、ご指導して下さいた富士製鉄名古屋製鉄所の各位、ならびに社内関係者に謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) 圧延機設計部：富士製鉄(株)名古屋製鉄所 4,700 mm 厚板圧延設備の概要、石川島播磨技報、8, 42号, 458 (昭43)
- (2) J. S. Deleyannides : Computer Program Organization for an Automatically Controlled Rolling Mill, Iron and Steel Eng. 129 (April 1966)
- (3) R. G. Schultz : Determination of a Mathematical Model for Rolling Mill Control, Iron and Steel Eng. 127 (May 1965)
- (4) 特許公報, 昭40-9604
- (5) R. B. Sims : Calculation of Roll Force and Torque in Hot Rolling Mills, Proc. Inst. Mech. Eng., 168, 191 (1954)
- (6) E. C. Larke (鈴木ら訳) : 板材の圧延 (昭36) コロナ社

日新製鋼(株)呉製鉄所における転炉製鋼工程の計算制御システム

平本 武紀*・沢野 清**・井上 信義**・小野寺博志**・外山 守城**

Process Control Computer System for L/D OG Steel Making in Kure Plant, Nisshin Steel Works, Ltd.

Nissin Steel Works Ltd. Kure Works Takenori HIRAMOTO
Mitsubishi Electric Corp., Head Office Kiyoshi SAWANO・Nobuyoshi INOUE
Hiroshi ONODERA・Moriki TOYAMA

It has been decided to employ process control computer system in Kure Plant of the Nisshin Steel Works, Ltd. for the purpose of improving productivity in steel making with converters.

This system consists in the operation of a MELCOM 350-30 process control computer and emphasis is laid in acquiring information from chemical analysis to ingot making relative to steel manufacturing with converters and in the function of estimated control in converter operation. Also efforts are made in it to change manual inputs abounding in the process into automatic inputs as much as possible and further to make close communication between the backup and computer operators. Extension work is now going on to increase the production. This article outlines the system composition and its function.

1. ま え が き

転炉製鋼工程の計算制御は、昭和37年(1961)米国ナショナルスチールのグレートレーク製鉄所において初めて適用⁽¹⁾されて以来、急速に普及し、現在ではほとんど常識的となっている。

このすう勢に対応して、日新製鋼株式会社呉製鉄所においても生産性の向上を目的としてその適用を決定し、昭和42年春より本システムの設計を開始した。

一般に転炉製鋼は、短時間に急激な化学反応を起こさせて終了する工程であり、反応進行中の計測が困難であることおよび同じような順序作業の繰返しであるため、典型的な予測制御が適用される上その効果も大きく、その数式モデルの発展⁽²⁾も著しいものがある。

本システムにおいても、従来のデータに解析検討を加え、予測制御モデルの形と適用手法とに特に留意した。またシステム据付実動後も、データ収集によるモデルの更新あるいは修正に心がけ、現在、設備増強に伴う増設工事中であるが、その完了時点には相当な成果が期待できる。

本工事は、昭和42年4月よりシステム設計開始、昭和43年6月システム据付調整を開始、昭和43年12月データ収集を開始、昭和44年4月より増設工事にはいつているが、工事完了は9月の予定となっている。

本報告は、呉製鉄所における転炉製鋼工程を中心とした計算制御システムの構成および機能についてその概要を述べるものである。

2. プロセス概要

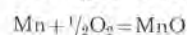
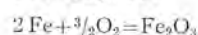
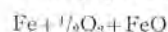
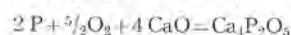
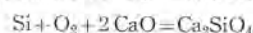
本システムの対象プロセスは転炉製鋼工程および造塊工程であるが、それぞれの工程の概要を次に述べることとする。

2.1 転炉製鋼工程

製鋼工程は、鉄液中の不純分を酸化除去し、目標としての成分規格および鋳込温度範囲の溶鋼を適量生産するものである。転炉は、その製造法として従来の平炉に代わって、高い生産性と経済性の故に普及したものであるが、外形は円筒形のつぼ(壺)のような回転炉

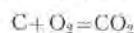
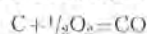
で、内部に耐火レンガ(煉瓦)ライニングを施して高温のバッチ処理を繰返し行なえるようにしたものである。これに全装入量の10~20%に相当するくず(屑)鉄および80~90%に相当する溶銑を装入して、若干の副原料としての生石灰、鉄鉱石、ミルスケールおよびぼたろ石を前装入しつつ炉上部よりランスをそう入し、純酸素を強く吹き込んで製鋼反応を起こさせるものである。

この酸素吹によって、不純分としてのシリコンおよび磷が酸化されて前装生石灰と反応してスラグを生成し、これに鉄およびマンガンの酸化物が混入する。これらの反応は一般的に



の式にて表わされる。

スラグの生成と同時に、溶銑中の炭素は燃焼し Boudouard⁽³⁾の平衡式に従い、ほとんどCOガスとなって排出するが一部はCO₂ガスに酸化されて炉外に出る。この反応は



の式にて表わされる。

炉内では吹製された溶銑スラグおよび溶鋼が、酸素ジェットおよび生成COガスにより激しくかくはん(攪拌)されて反応を促進し、所定量、所定温度および成分の溶鋼が生成される。

本プロセスはOG法⁽⁴⁾を採用しているため、前述のCOガスを主とする排ガスは冷却脱じん(塵)して、回収ガス装置に送られ貯ガスされる。

図2.1は溶銑装入中の転炉を示すが、図に見るとおり排ガス回収のためのスカートが炉口上部にあるため、吹錬終点を外部より観測することは困難であり、前記諸反応を進行させて、

(a) 終点溶鋼温度

(b) 終点溶鋼炭素成分



図 2.1 転炉溶銑装入状況
Charging hot metal in converter.

(c) 終点溶鋼量

の3目標に適中させることは容易ではない。

特に検出端も少なく、吹錬も15~20分で終了させるため、上記の3目標を満足させるためには、綿密な装入計算と標準的作業に加え、操業者の熟練と経験が必要である。

吹錬が終了すると、ランスは炉上にひきあげられ炉は前方に傾斜されて溶鋼成分分析試料採取と鋼溶温度測定が行なわれ、両者ともに目標に合致した場合は炉を反対側に倒して出鋼する。これは数分の作業であるが、もし目標に適中しないときは当然再吹錬が行なわれるので、その時間損失と生産量低下は大きなものとなる。

さらに出鋼中の成分調整が行なわれるが、これは成品規格に合致するよう溶鋼に脱酸剤、合金鉄あるいは加炭剤を適量添加する作業である。これにも前述の吹錬工程と同様の添加物の効率計算による添加量の決定が重要である。

2.2 造塊工程

溶鋼を造塊用の取りなべ(鍋)に出鋼し、造塊デッキに準備した鋳型に注入して、所定量の鋼塊製造を行なう、これを造塊工程と呼ぶが、ここで問題となるのは

- (a) 注入温度
- (b) 注入時間
- (c) 静止時間

であり、これらが良塊生成条件となる。

3. システム構成

本システムに使用した計算機は、三菱電機が第三世代の制御用計算機として開発した MELCOM 350-30⁽⁵⁾ で、システム全体の配置は図 3.1 に示すように計算機を中心として、各運転室・操作室に設定盤・表示盤およびロギングタイプライタを設置している。

それぞれの仕様は下記のとおりである。

3.1 計算機本体 MELCOM 350-30

| | |
|---------------|------------------------|
| 前後面とびら式キャビネット | 11 面 |
| 外形寸法 | W 700×D 800×H 2,000 mm |

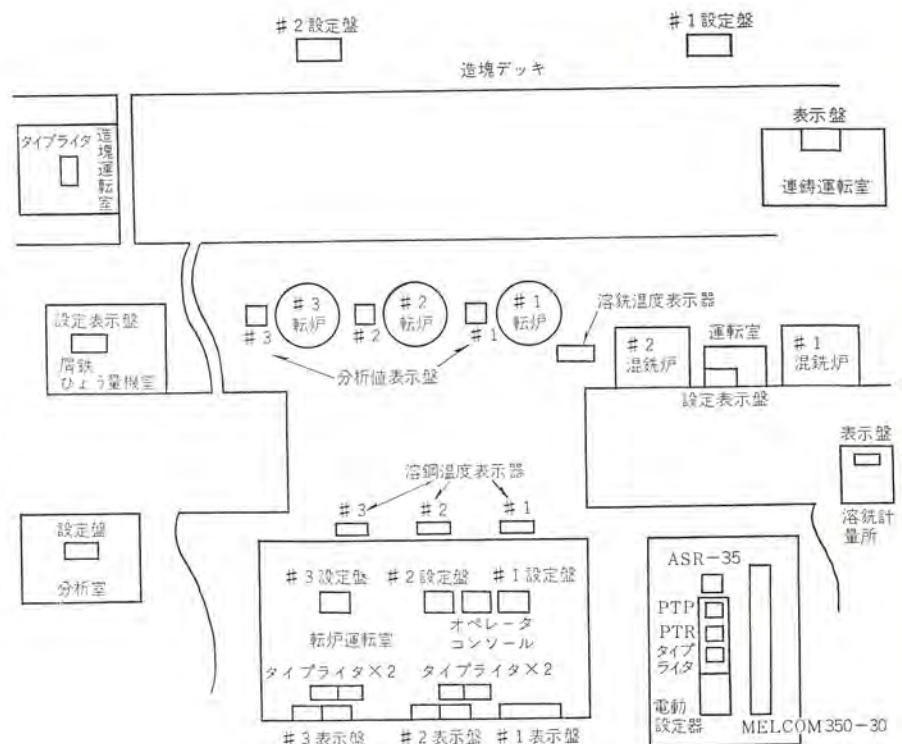


図 3.1 システム配置 System layout.

| | |
|---|---------------------------|
| (a) 中央演算処理装置 | 1 式 |
| クロック 周波数 | 3 MHz |
| 語 長 | 16 ビット+パリティビット |
| 命令数 | 114 種 |
| 回路素子 | 集積回路 (TTL 方式) およびシリコン 半導体 |
| (b) 記憶装置 | 1 式 |
| (1) 主記憶装置 (磁気コア) | 1 式 |
| サイクルタイム | 0.8 μ s |
| 容 量 | 16K 語 |
| メモリアクセス方式 | 512 語キイ方式 |
| (2) 補助記憶装置 (磁気ドラム) | 1 台 |
| 平均 アクセスタイム | 8.3 ms |
| 容 量 | 262K 語 |
| ヘッド方式 | 浮動ヘッド方式 |
| 回転数 | 3,600 rpm |
| (c) 周辺機器制御装置 | 1 式 |
| ペリフェラル多重制御装置 | 1 式 |
| ペリフェラル付加バッファ装置 | 1 式 |
| デバイスコントローラ (9 台分) | 1 式 |
| システムタイプライタ, 紙テープリーダー, 紙テープパンチ, ロギングタイプライタ | |
| (d) プロセス入出力制御装置 | 1 式 |
| プロセスインタラプトユニット | 3 式 |
| デジタル入力ユニット | 2 式 |
| デジタル入力マルチプレクサ | 7 式 |
| デジタル出力ユニット | 7 式 |
| デジタル出力マトリックス | 4 式 |
| パルス入出力ユニット | 2 式 |
| アナログ入力ユニット | 1 式 |

3.2 プロセス入出力

| | |
|-------------------|--------|
| プロセスインタラクト 入力 | 60 点 |
| デジタル 入力 | 496 点 |
| (マルチプレクサ 入力) | 240 点) |
| デジタル 出力 | 304 点 |
| (マトリックス 出力) | 208 点) |
| アナログ 入力 | 48 点 |
| アナログ 出力 (パルス 幅出力) | 18 点 |

3.3 周辺機器

| | |
|------------------|-----|
| オペレータコンソル | 1 台 |
| 万能入出力装置 (ASR-35) | 1 台 |
| 高速紙 テーブリーダー | 1 台 |
| 高速紙 テープパンチ | 1 台 |
| ロギングタイプライタ | 7 台 |
| 予 備 | 1 台 |

3.4 設定盤表示盤

| | |
|---------------------|-----|
| 転炉運転室設定盤 | 3 台 |
| 転炉運転室表示盤 | 6 面 |
| くず鉄ひょう (秤) 量機室設定表示盤 | 1 台 |
| 混鉄炉運転室設定表示盤 | 1 台 |
| 造塊 デッキ 設定盤 | 2 面 |



図 3.2 計算機室
Computer room.

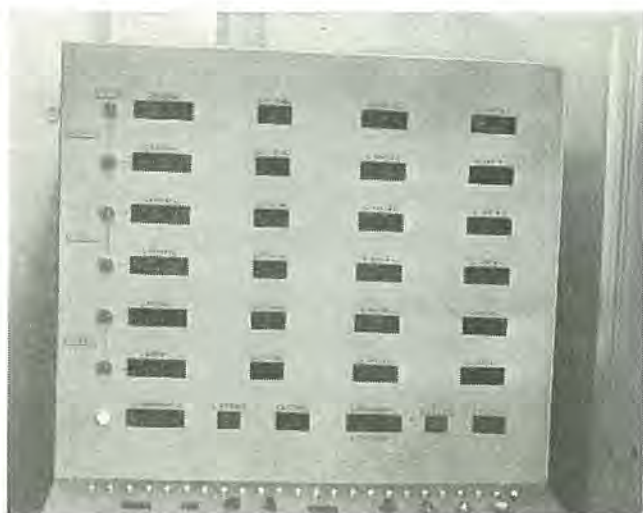


図 3.3 くず鉄ひょう量機室設定表示盤
Operator's panel of scrap weighing room.

| | |
|----------|------|
| 連銑運転室表示盤 | 1 面 |
| 溶銑計量所表示盤 | 1 面 |
| 分析室設定盤 | 1 台 |
| 電動設定器 | 12 台 |
| 温度表示器 | 4 面 |
| 分析値表示盤 | 3 面 |

図 3.2 は MELCOM 350-30 の計算機室配置状況を示すものであり、図 3.3 はくず鉄しょう量機室設定表示盤の設置状況を示すものである。

4. システム機能

本システムの制御対象である転炉製鋼工程は、前述したようにバッチプロセスであり、時系列的な順序操作が行なわれる。図 4.1 はその一サイクルの作業順序を示したものである。

このサイクルを炉ごとに繰返し、3 炉中 2 の炉が常時実動しているが、このサイクルに同期して直接関係のある混鉄炉および屑鉄のしょう量室はもとより、関連作業場としての造塊および分析室に至るまで、本システムは情報処理機能をベースとした計算制御により、操業の円滑化、能率化および自動化によって生産性の向上を図るものである。

4.1 情報処理機能

4.1.1 データ収集

操業データは転炉吹錬の 1 サイクルごとに収集記憶し、所定の時期に転炉運転室および造塊運転室のロギングタイプライタに約 200 項目の操工表、約 50 項目の作業日誌および約 20 項目の造塊表を印字し、計算機室の高速紙 テープパンチに解析用データ約 200 項目をテープ出力する。

また重要なシーケンス入力、プロセスデータ入力および計算機出力データは、計算機室アナウンスメントタイプライタに印字し、入力時期、入力値、出力時期および出力値の確認に役立たせている。

さらにシステムタイプライタ ASR-35 に、制御モデルを解くごとに計算結果を印字し、結果の確認を行なえるようにしている。

これらのデータは、いわゆるノンコントロール機能として処理した後、データテーブルを作成してコントロール機能に役立つよう考慮した。

4.1.2 情報授受

本システムの全体配置を図 3.1 に示しているが、これらの設定盤・表示盤は計算機を仲介として次の情報授受を行なっている。おもな機能として

設定盤：次の吹錬チャージに対する目標入力と現吹錬チャージの実績データ入力

表示盤：次の吹錬チャージの操業変数目標値を定めた時点でデータ表示することと現吹錬チャージの実績値のデータ表示

があり、これより現場操業者は操業に必要な主要データ、目標データ

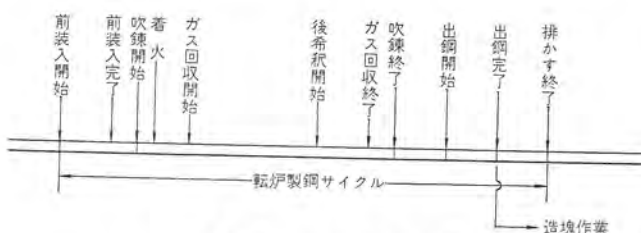


図 4.1 転炉製鋼作業順序
Sequence of converter steelmaking process.

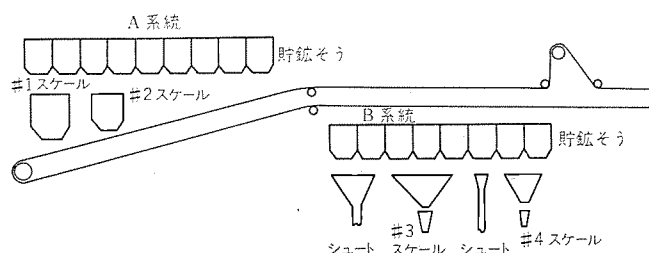


図 4.2 副原料装入系統
Charging system of sub-materials.

および表示値の修正によって転炉操業の進行状況と必要な操作を知ることができ、操業の円滑化が可能となる。

また、この機能によって分析室よりの分析結果の連絡が、従来他の機器をもって行なわれていたのが廃止されることとなり、自動化が一步進んだものとなった。

4.1.3 副原料の自動装入

転炉の吹錬工程においては、副原料として生石灰・ミルスケール・鉄鉱石・石灰石およびぼたる石を前装入、中間投入および後装入する必要がある。その装入装置は図 4.2 に概略を示した 2 系統であるが、これに対して計算機は図中の A 系統に対し指定銘柄を指定量自動輸送することおよび B 系統に対し指定銘柄をホップスケールに対する分割投入量と回数設定することをデジタル出力およびアナログ出力（パルス幅出力）により行なって自動化している。

以上の情報処理機能は、計算制御の基盤を形成しているうえ現場操業者にとってきわめて具体的にシステムの効果が理解できるので、この機能の確立は大きな意義をもつものである。

4.2 計算制御機能

本機能は、転炉吹錬工程と成品成分の予測制御を行なうことであり、生産性の向上を目的とするものである。

転炉の吹錬工程においては、

(1) 造塊工程に対し、良塊を得るため適正な終点溶鋼温度と適正な終点溶鋼量

(2) 成品規格に対し、不良品とならぬよう適正な終点溶鋼成分を満足するための配合原料および吹錬条件の制御を必要とし、吹錬終了後出鋼時に成品規格にはいるための合金鉄差物量の制御を必要とする。

この場合、目標値に適中するよう操作すべき諸変数を制御できるようにするのが計算制御機能のすべてである。したがって数式モデルの精度の良いことはもちろん、その計算結果を前述の情報処理機能により表示、または直接自動設定出力して、適中率の向上を図るわけである。

4.2.1 終点予測制御

吹錬終点の目標はしばしば述べたが、「溶鋼温度、成分および量」であるが、そのために吹錬鋼種ごとにそれぞれ終点目標値が定められている。

本システムでは、あらかじめ設定された次チャージに関する鋼種や目標出鋼量などを、現チャージ吹錬中の所定の時期に読出し、終点予測制御計算を開始する。

計算は 3 系統より成り、

(a) 次チャージ鋼種情報より、その目標値および規格値を記憶された鋼種テーブルより求め、所定の計算に対する準備を行なう

(b) 求められた目標値および規格値に対し、主原料および副原

料の装入すべき量を求める

(c) 主原料および副原料の実績値入力に対し、終点目標値および規格値に適中するよう操業変数を計算する

以上の計算を吹錬の進行に伴い実行するが、(c)については重要な変数の実績値入力があるたびに再計算を行なって、精度の向上を図っている。

これらの解は、計算するたびに現場に表示されて操業指針となるか直接自動出力となる。

4.2.2 成品成分予測制御

吹錬終点の目標値および規格値に対する予測制御に引続き、出鋼時に成品規格に適合するよう合金鉄差物の装入量を求めるための成品成分予測制御を行なう。

これは、

(a) 終点成分の予測値をもとにした合金鉄差物量を求める

(b) 終点成分の実績値をもとにした合金鉄差物量を再計算して求める

方式で、計算結果は吹錬中に現場に表示され、吹止後終点成分入力により再計算して修正表示されて操業指針となる。

4.2.3 制御モデルの更新

前述の予測制御モデルによる操作変数の解に対し、結果としての目標変数の実績値が入力されると、予測値と実績値との差に対応して予測制御モデルの修正を行ない、精度向上を図るためのモデル更新プログラムがある。

これは、溶鋼温度・成分・量および成品成分のモデルに関して、それぞれ更新する機能を持ち、以後の吹錬に対する適中率の向上に寄与している。

このプログラムの実行結果およびモデルの更新結果は、すべてシステムタイプライタに印字され、その検討または確認が可能となるようにしている。

4.2.4 制御モデルについて

転炉製鋼工程の予測制御モデルに関しては、前述のように多くの報告⁽²⁾があるが、現在では統計的手法の適用が常識であり、本システムに適用したモデルとして特筆すべきことはない。

ただし、約 10,000 チャージ以上のデータを解析して理論モデルを基本とした統計手法⁽⁶⁾より、統計解析に若干の工夫を採り入れたことにより、精度の高いモデルを組上げることができた。

その詳細は、現在生産向上のための増設工事を実施中であるので、さらに多くのデータをもとにして後日報告することとしたい。

5. む す び

本報告は日新製鋼株式会社呉製鉄所における転炉製鋼工程の計算制御システムに関し、MELCOM 350-30 制御用計算機によるシステム構成と機能の概要を述べたものである。

システムとしては、分析より造塊までを含めた情報授受と転炉製鋼の予測制御に機能の重点をおいた。したがって、大きな特長といえるものはないが、従来のこの種のシステムにありがちな多くの手動入力を自動入力にする努力およびそのための入力欠損に対するバックアップや、表示および設定に関して操業者に注意を喚起するための努力を払った。

プロセスの計算制御はいよいよ進歩して DDC より Hierarchy システムに至るまで多種多様の適用が可能となっているが、本システムのような手動入力の多い場合の実施上の問題として、簡単にみすごしが

ちな入力の自動化およびバックアップすなわち人間が介在しなくともよいプロセス—計算機間の情報交換が問題であると考えたのである。

またバッチプロセス特有の順序作業に伴い、データ入力を所定の時期までに行なったり、操業指針の変更があっても見逃してしまうことのないような警告を確実に行なうことも重要な方式と考えたのである。

現在本システムは、前述のように増設工事にはいっているので現時点までの概要を述べたが、本報告作成に当たり多大の援助と協力を賜った日新製鋼株式会社関係者および三菱電機の担当者に対し、深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

(1) J. E. Clough, F. L. Johnston, T. M. Stout : Computer

Control and Data Handling System for Oxygen Steelmaking at Great Lake Steel, ISA 17th Annual Instrument Automation Conference, (1962)

(2) 坪井ほか：計測と制御，2，12，997（昭38）

北之園：日立評論，46，8，119（昭39）

今井ほか：日本鋼管技報，39，19（昭42）

(3) 金属工学講座：2，58（昭35）

(4) 湯川ほか：鉄と鋼，49，12，1829（1963）

(5) 中尾ほか：三菱電機技報，41，9，1169（昭42）

(6) 沢野ほか：三菱電機技報，41，9，1093（昭42）

火力発電所 計算機制御の動向

花村 泰助*・橋本 健治*

Trend of Computer Control for Power System

Head Office Taisuke HANAMURA・Kenji HASHIMOTO

Owing to the complication of operation of thermal power plants which resulted from the increase of a single unit capacity for these years and also owing to the enlargement of the proportion of thermal power generation accounted for in the system, necessity of stopping the machines at midnight or weekend has arisen and requirement of automatization has expanded in its range. On the other hand, for reason of elevated ability and reliability of computers through the employment of integrated circuits, thermal power plants have come to employ the computer for closed loop control.

The article describes the latest trend on the application of computer control to thermal power plant operation.

1. ま え が き

昭和 37 年、火力発電所に制御用計算機が導入されて早や 7 年余経過した。導入の初期は運転日誌作表・性能計算などのデータ処理機能が中心であったが、ここ数年来、発電所の単機容量の増大によって運転操作が複雑となったこと、火力発電の系統に占める割合が大きくなり週末・深夜停止の要求が生じたこと、計算機自体も IC 素子の採用などによってその信頼性が向上し、その能力も格段の進歩をとげたことなどが相まって、計算機による閉ループ制御の機運が一段と高まってきた。現状では、これらの計算機制御はおもに起動停止の自動化を目的とした補機のシーケンスコントロール、あるいはアナログ、ワイアードロジックシステムの設定制御が中心であるが、最近になって、広範囲にわたる自動化と同時に制御精度の向上、制御システムの経済性の追求から在来のアナログシステム、ワイアードロジックシステムの制御範囲まで計算機で行なおうとする、いわゆる DDC が採用されはじめた。本文では制御用計算機を中心とした新しい火力発電所の制御システムの概念を述べる。

2. デジタルコントロールの適用範囲の拡大

火力発電所への計算機の適用を考えると、ソフトウェア、ワイアードロジック、アナログシステムのそれぞれの長所を生かし、欠点を補い、プラント機器を含めて、それらを有機的に結合し、初期の制御目標を達成するとともに、制御システム全体の経済的な正当性を満足しなければならない。最近の火力発電所の制御に要求される技術として、次のようなものがある。

(a) 制御レンジの拡大

在来のアナログコントロールは、0~100% の全レンジにわたるプロセスの非線形な特性の変化に対して、1 台でカバーできず、制御レンジの拡大に対数的に比例して装置が複雑化してきた。ソフトウェアでは素子の増加によるコストアップ、精度の低下、信頼度の低下などの制約のために、制御ロジックを簡略せざるを得ないといった制約を克服することができる。一例としてタービンの制御装置の場合の経済性の比較を図 2.1 に示す。

(b) 先行制御要素の適用

おもにボイラの制御精度を今まで以上に向上するには、温度・圧力・流量といった制御変数の相互の干渉を、先行制御要素として各制御ループに組み入れ、さらにそれらの要素の自動校正を行なう必

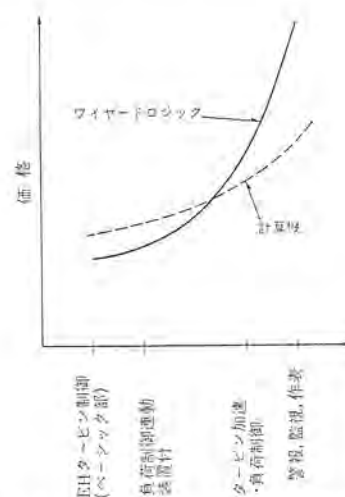


図 2.1 ワイアードロジックと計算機の経済比較
Economic analysis of wired logic as digital approach.

要がある。このような非線形な演算はアナログシステムでは計算の複雑さ・精度に限界があり、ソフトウェアのほうが有利である。

(c) プログラム制御

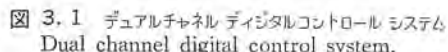
ボイラの昇温・昇圧過程、タービン昇速、負荷上昇過程ではランブ状に変化する目標値に対して追従させる、いわゆるプログラム制御が行なわれる。このようなプログラム制御は補機の起動停止や、プラントの主要変数の制限値や、制御モードの切換などと密接な関係があり、総括的な制御が要求されソフトウェアで行なうほうが有利である。

(d) 手動操作によるバックアップとバンプレストランスファ (Bumpless Transfer)

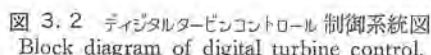
万一の制御システムの故障にそなえ、あるいは運転操作にフレキシビリティをもたせるという意味でも、手動操作によるバックアップを欠くことができない。その程度も少なくとも現在の負荷を手動で保持できなければならない。このため自動/手動切換ステーションが各制御ループの適当な位置に設置される。通常その位置はサーボアクチュエータの直前になる。手動の場合、運転員はステーションの増・減押しボタンによって設定値を変更でき、あとはマイコンترلープによって設定値に保たれる。このマイコンترلープは系の時定数も早く、また単なるフィードバックコントロールであるのでアナログのほうが有利である。手動操作を容易にするために、特定の制御系、たとえば燃料、空気制御の場合には、その比率を一定に保つ比例制御装置はアナログ

在来、計算機制御のほとんどがアナログコントローラやワイードロジックシステムの設定制御、あるいはそれらの制御装置でカバーできない部分のDDCに限られていた。このような区分は制御ロジックの重複を招き、また一度通常運転にはいるとアナログコントローラ、ワイードロジックシステムの影にかくれて、実際の運転にはほとんど寄与しないという批判もある。最近の計算機の性能の向上、信頼度の向上、プログラミタの容易化などその実用性が飛躍的に増大してくるにつれ、在来の制御システムにこだわらず、上述のようなソフトウェアのほうが有利なものについては、積極的に置き換えを計っていくとする方向がうまれ具体的な計画を進める段階にきている。

という制御目標に対し、最も経済的で信頼性あるシステム構成は、という問に対する解として、図 3.1 のようなシステムを示すことができる。主要な制御は完全に デュプリケート化された 2 台の小形、高速、高信頼度計算機によって行なわれる。このように計算機の機能を制御およびそれに関連する保護インタロックに限定することによって、入出力点は少なくてすみ、補助記憶装置も不要となり、データチャネルも大幅に簡略化できるので、高信頼度な安価な装置を構成できる。また オールコアにすることによって、その実質処理能力は飛躍的に向上し、サイクルタイムに対する要求もゆるいものになる。起動停止のモニタコントロールや自動データ処理は大記憶容量の計算機によって行なうが制御を担当する時間が限られていること、常時はプラントの運転に決定的な影響を及ぼさないことの理由でデュプリケート化の必要は



これには ELD 要求負荷信号をうけて、出力変化率を計算し、周波数偏差を補償するユニットマスタ制御、給水制御、燃料制御、空気量制御、SH 温度制御、水冷壁出口温度制御、スプレ制御、タービン入口、ボイラ出口の圧力の定圧、変圧制御、RH 温度制御、起動バイパスシステムの制御、およびこれらの制御ループのインタロックプログラムが含まれる。図 3.3 は給水制御のソフトウェアアルゴリズムである。図の中で太線で表わされているのは要求負荷信号で、左の部分はスロットル圧力エラーの補償部である。プラントデマンドを補正する先行要素としてこのほかに、水冷壁出口圧力、温度のエラーがある。これらの各エラー信号はリセットコントローラに通ってプラントデマンド信号を補償し、その結果、最終的な給水デマンド出力は良好な応答特性をうることができる。



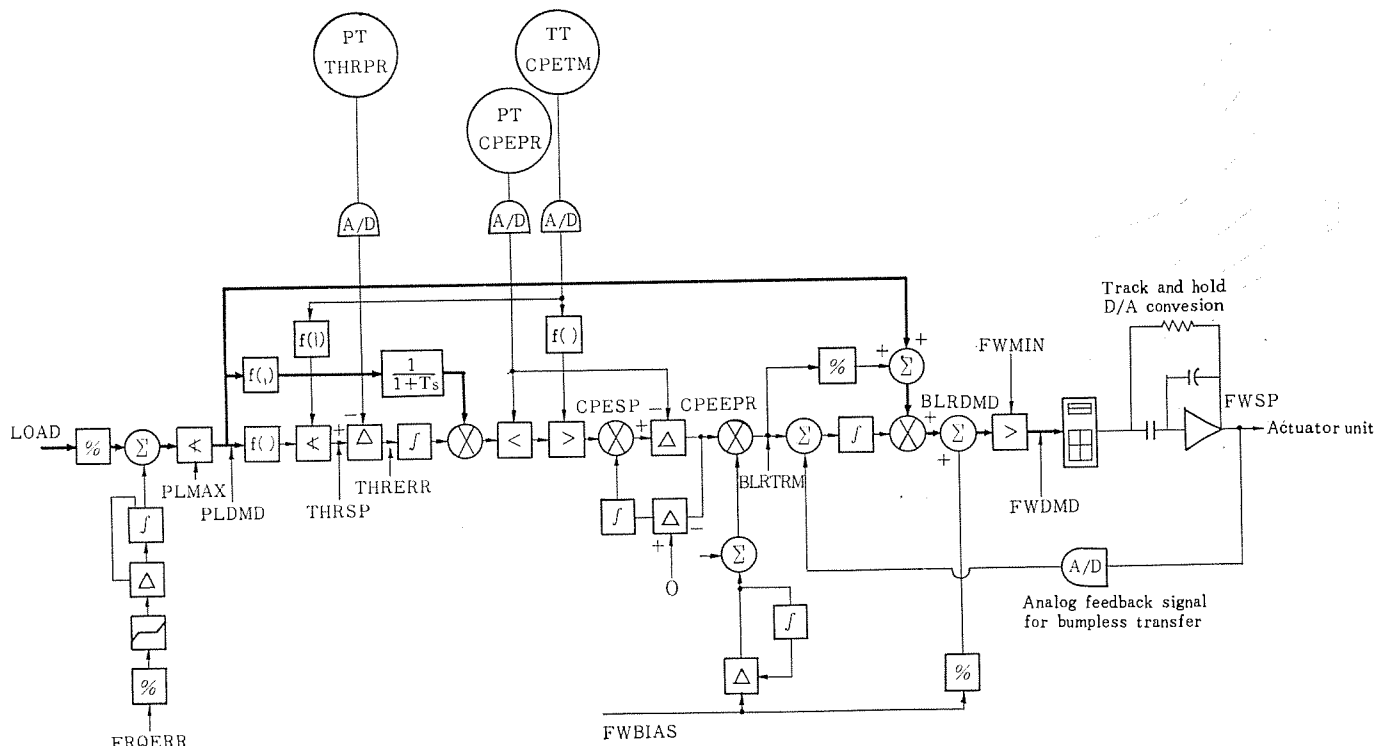


図 3.3 給水制御システム
Steam power plant feedwater demand control system.

図3.4 は給水 デマンドセットポイント を10% 突変させたときの応答特性を シミュレーション した結果である。図に示すようにこれらの コントロールアルゴリズム はアナログの制御装置と同じシンボルで表現されており、各要素はモジュール 化された サブルーチン になっている。またその制御パラメータは オンラインで修正 することができる。たとえば図 3.5 に示すような PID コントローラ はリミッタの範囲内では図式で計算されるが、これを、CALL PID (X, Y, YARRAY) という ステートメントで書くことができる。YARRAY で指定される制御パラメータの最適設定は サンプル 周期、制御対象の時定数、むだ時間によって変わるが、ITAE (Integral Time Absolute Error) を評価基準とすると図 3.6 から求めることができる。実際に適用する過程では操作量に許される上下制限、オーバーシュート量の制限等を考慮にいれる必要があり、シミュレーションテスト、あるいは実機テストによって チューニング することになるが、その変更はきわめて容易で、アナログシステムで約 6 個月ほど要したボイラコントロールシステムの調整が、ディジタルコントローラではわずか 4 週間で完了したと報告された例がある。

3.3 補機操作

火力発電所の起動停止時には、FDF、BFP などの補機の起動停止、スチームエアヒータ、スチームコンバータなどの起動・停止の弁操作など個々の操作自体は複雑な論理を要しない数多くの操作がある。これらの操作のタイミングにはフレキシビリティがあり、その操作シーケンスを計算機制御により決めつけることには問題が多い。またこれらの操作を完全に自動化するには、まずインタロックシステム、ワイアードロジックサブシステムによるシーケンシャルコントロールを活用して補機操作の簡略化、場合によっては補機系統の構成自体の簡略化を計る必要がある。単に電動化・遠方操作化して計算機に操作せしめようとしても、いたずらに計算機の負担が増大するばかりでその成功の望みは薄いといえよう。

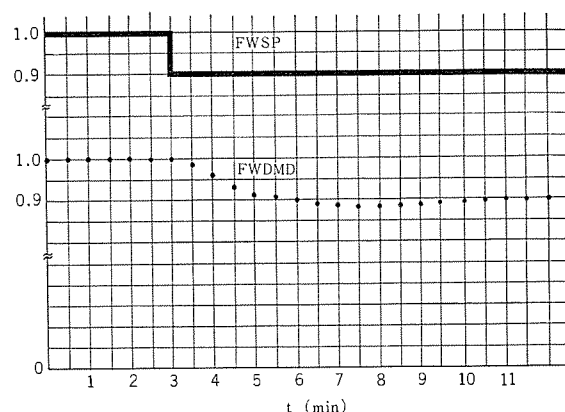


図 3.4 給水制御系の応答
Feed water demand response.

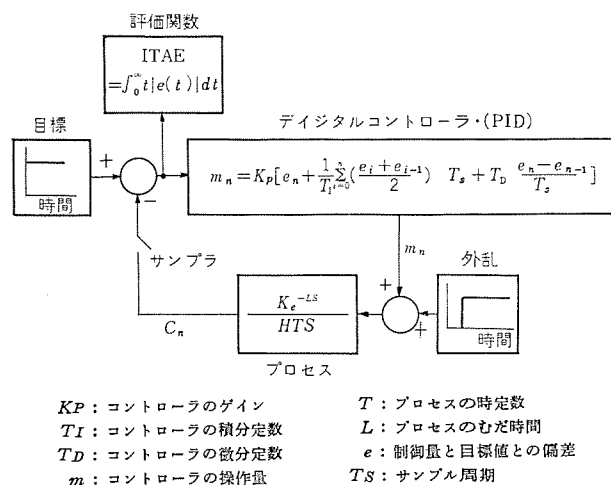


図 3.5 デジタルコントロールシステムの一例
Example of digital control system.

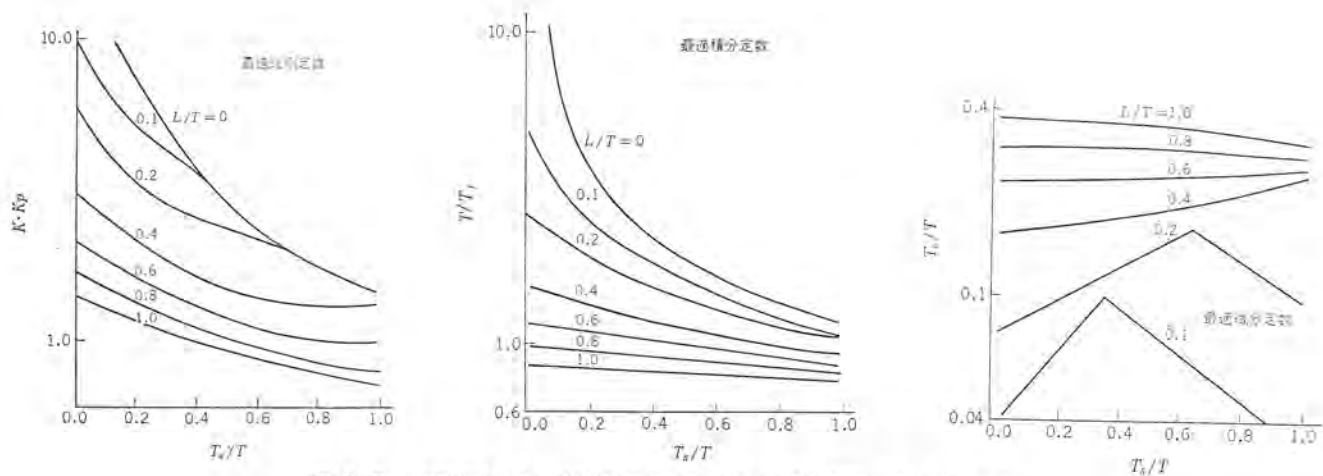


図 3.6 評価関数として ITAE を用いたときの PID 制御の最適パラメータ
Minimum ITAE criterion, PID control.

4. む す び

わが国の火力発電所の計算機制御もまだやっとその入口にさしかかった段階であり、アメリカの例からみるとその前途も必ずしも楽観できるものではなく、今後数多くの解決を要する問題がある。これは、在来の計画が計算機制御そのものが目的であり、必ずしもプラントの運用に適合したプロセスからの要求によるものでなかったことも一つの原因となっているのではなかろうか。ソフトウェア、アナログ、ワイアードロジックのいずれかに固執することなく、プロセスからの機能的な要求に、技術的に、経済的に最も適合した制御システムを作りあげようとする体制の中で、計算機制御というものを見直す時期にきてお

り、本文はその一つの考え方をまとめたものである。

参 考 文 献

- (1) T. C. Giras ほか : Digital Control for Large Steam Turbine-Generators, APC, (April 1968)
- (2) A. M. Lopez ほか : Tuning PI and PID Digital Controllers, Instruments & Control Systems, (Feb., 1969)
- (3) C. Strohmeyer, T. C. Giras : Combined Digital-Analog Control Approach for Sibley Station, Unit No. 3, ASME-IEEE Joint Power Generation Conference, (Sept., 1967)

大阪府水道部集中管理システム

江村 利雄*・坂口 功*
 石川 欣央**・田中 稔**・安田 宜弘**
 柳 沢 忍+
 塚原 昌恭**

Centralized Control System for Water Supply,
Water Works Bureau of Osaka Prefecture

Osaka Prefecture, Water Works Bureau Toshio EMURA・Isao SAKAGUCHI
 Mitsubishi Electric Corp., Head Office Yoshiteru ISHIKAWA・Minoru TANAKA・Yoshihiro YASUDA
 Mitsubishi Electric Corp., Communication Equip. Works Shinobu YANAGISAWA
 Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works Masayasu TSUKAHARA

Demand for water is ever on the increase year after year. Among problems expected to arise in future in connection with the application of control computers, that of centralized control of the whole system (chiefly on the supply and distribution of water) has come to stand out. For a practical example the Osaka Prefectural Waterworks Bureau has recently completed a control system in question, which is outlined below.

This system, aiming at effective utilization of water and economical management of water supply administration, monitors, records and controls the water supply system by combining a 12 GHz micro device, data processing equipment (MELDAP-8000) and a computer (MELDAP-6000 H). This is a rare installation even in the world to take care of centralized control from intake to supply of water.

1. ま え が き

大阪府下における水（浄水）需要は年々急激な伸びを示しており、人口の都市集中化・文化水準の高度化に伴い、給水域は拡大し、さらに水需要は増加の一途をたどると考えられる。

大阪府水道部では、このような水需要に対処するために庭窪浄水場(203,000 m³/d)・村野浄水場(最終計画達成時の処理能力1,247,000 m³/d)を設置し、現在第5次拡張事業を行っており、これが完成すると近郊都市25市9町への送水日量は1,450,000 m³に達する。この2浄水場はいずれも淀川の近くに位置しているため、北へ、また南へと約300 kmにおよぶ送水管路がはりめぐらされている。またその送水管路には、加圧を目的とした中間ポンプ所が9カ所設置されており、さらに数カ所の増設を行なって大阪府の南端にまで給水される予定である。

このような送水系に、まず第1次計画として今回村野浄水場を中心とした1取水場・6ポンプ場の集中管理システムを導入し、世界でも類の少ない取水から浄水処理、送水までを一環した思想のもとに計算機制御を行なわせようとするものである。

村野浄水場には、すでに浄水場制御を目的とした計算機 MELDAP-6000 H が導入されている。本集中管理システムでは、この計算機に一部機能を追加し、さらに12 GHz マイクロ 設備、データ処理装置 MELDAP-8000 を導入して所定の機能を満足させることができた。ここに、大阪府水道部の送水系に導入した集中管理システムの紹介を行なう。

2. 集中管理システムの概要

2.1 水道設備概要

大阪府水道部は「府営用水供給事業」を目的とし、大阪市周辺の



図 2.1 大阪府水道送水系概要図
 Water supply system of Water Works Bureau, Osaka prefecture.

近郊都市への給水に備え、図 2.1 に示すように、琵琶湖に源を発し大阪平野を貫流している淀川を唯一の水源とし、淀川の近くに設置された庭窪浄水場・村野浄水場で水処理を行ない、南北に延びる送水管路へ送水されている。

庭窪浄水場は浄水場構内で取水し、水処理を行なって、沈でん水、および浄水の送水を行ない、また野村浄水場は淀川河畔に設置された礫島取水場で取水し、約 4 km の導水管を通して送られてくる原水の処理をして、浄水の送水を行なっている。

両浄水場より南北に延びる送水管路には中間ポンプ場が設けられ、次ポンプ場への送水、および浄水池への揚水を目的として、ポンプによる加圧を行なっている。

表 2.1 送水系設備一覧
System of water supply plants.

| | 主 設 備 | 補 助 設 備 |
|---------|-----------|---|
| 村野浄水場系統 | 礫島取水場 | 千里浄水池 高槻浄水池 四条吸浄水池、大東浄水池 ループ送水管路 西浦浄水池 堺浄水池、富田林浄水池 和泉浄水池 泉南浄水池 |
| | 村野浄水場 | |
| | 小野原中間ポンプ場 | |
| | 郡家中間ポンプ場 | |
| | 四条吸中間ポンプ場 | |
| | 枚岡中間ポンプ場 | |
| | 美陵中間ポンプ場 | |
| | 狭山中間ポンプ場 | |
| | 泉佐野中間ポンプ場 | |
| | 南海中間ポンプ場 | |
| 庭窪浄水場系統 | 庭窪浄水場 | |
| | 山田中間ポンプ場 | |
| | 布施中間ポンプ場 | |
| | 堺中間ポンプ場 | |
| | 岸和田中間ポンプ場 | |

また、大阪府は摂津・河内・和泉の各平野を合わせた、いわゆる大阪平野に位置しており、三方が北摂連山・生駒・金剛・和泉の山脈に囲まれた地形である。大阪府水道部ではこの地形を利用し、丘陵地帯に停電時の対策、および合理的な送水を目的として 8 個の浄水池を設置する予定である。この浄水池の 1 池である千里浄水池は 44 年夏に一部完成し、来年早々開幕される万国博の会場への送水にも利用される予定である。

本送水系に含まれる主要設備の構成は、表 2.1 に示すとおりである。

給水を受ける各衛星都市は、送水管路および浄水池から分水して一般需要家へ配水を行なっている。

2.2 村野浄水場系統設備

村野浄水場系統とは、村野浄水場で処理する原水、および処理した浄水に係る水道設備をさし、今回のシステムの対象設備は、礫島取水場、および小野原・郡家・四条吸・枚岡・美陵・狭山の各ポンプ場の 1 取水場・6 ポンプ場とした。これらの設備の容量は、図 2.2 に示すとおりである。

3. 集中管理システム導入

3.1 導入目的

大阪府下の各衛星都市の府水道部への浄水の依存度は年々大きくなり、今後もこれはますます延びる傾向にあるが、このように水量の増大および給水地域の拡大に伴い、一般に

- (a) 制御指令の不徹底
- (b) 事故発生時等における指令もれ
- (c) 誤確認による混乱

等の発生が予想される。

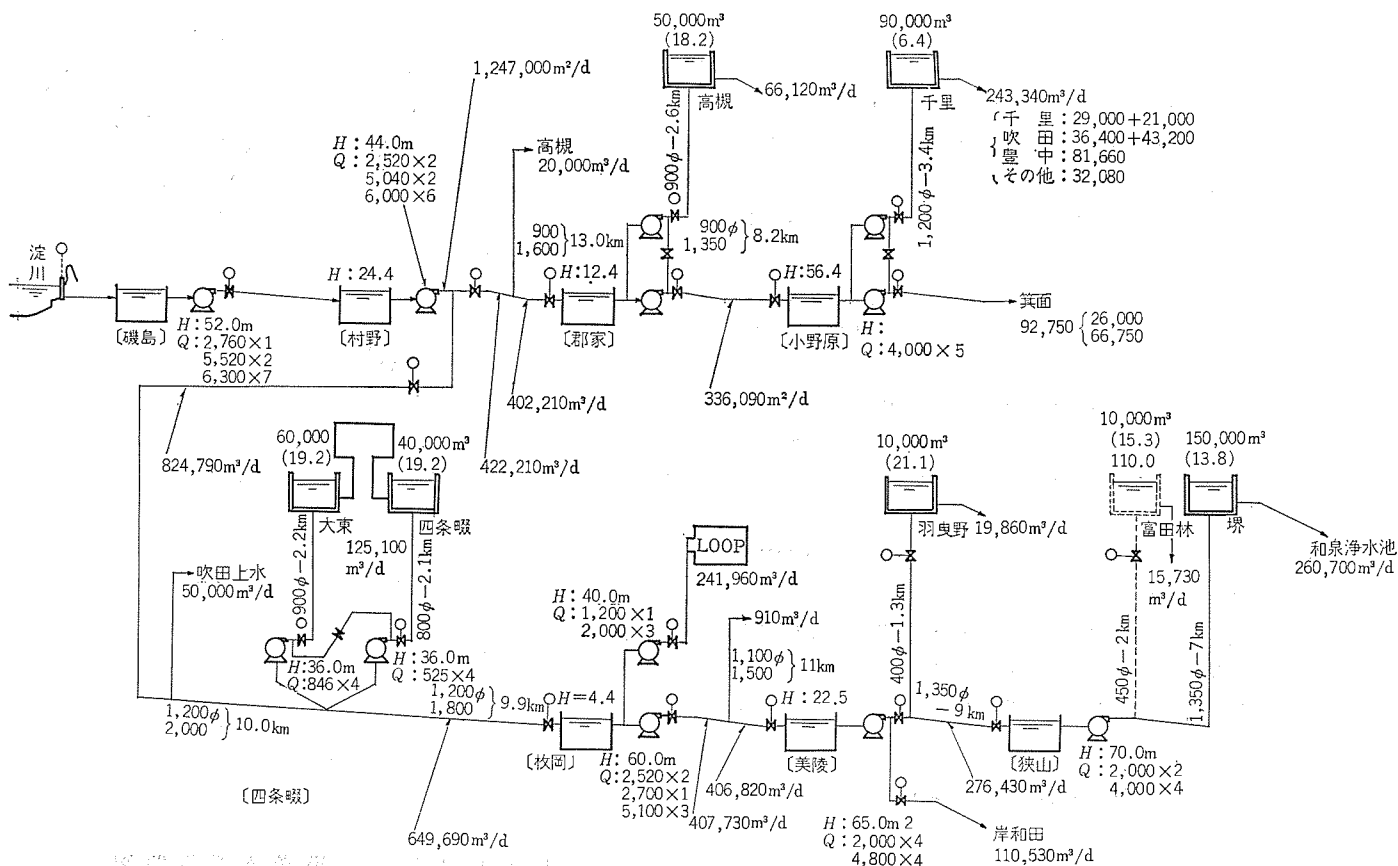


図 2.2 送水プラント容量図

Capacities of water supply plants.

本府では、設備の複雑・拡大化にさきがけ、各設備の運転状態を1個所に集中して、

- (a) 送水プロセスの円滑運転
- (b) 設備の保護と危険防止
- (c) データ収集

を行ない、統一的な考えのもとに操作を行なうとともに水の有効利用、および経済的運用を目的として送水系の集中管理システムの導入計画を行ない、今回は、水量および規模上から本施設の中心となる村野浄水場系統に導入することにして、そのセンタを村野浄水場に置くことになった。

3.2 システムの設計

3.2.1 専用常時回線の導入

現在大阪府水道部においては60MHzの固定回線および移動回線

を設備し、水道の業務連絡および管路巡視に利用するかたわら、管理面についても単独で操作運転している各浄水場および各ポンプ場の連絡に、公衆電話とともに利用している。

水道事業は、その管理および操作に適確性が必要とされるため、どのような事態にあっても確実に動作状況をは(把)握し、指示を与えることが要求される。特に、万一の非常災害時における処置の迅速かつ正確な処置が必要となる。このため、データ量は多くなり、またデータは局別かつ独立に収集・処理できねばならない。

これらの問題点を解決するために、自営の専用常時回線を設置することにより、水道の重要性・公共性が満たしうるものと考え、専用常時回線には無線回線12GHz(マイクロ回線と略称する)を導入した。

表 3.1 伝送項目一覧
Transmission data items.

| 局名 | 項目名 | 信号種類 | 流量 | | 圧力 | | 水位 | 水質 | | | 積算電力 | 無効電力 | 力率 | 受電電圧 | バルブ開度 | 制御モード | ポンプ | | バルブ | | | しゃ断器 | 故障表示 | 無線機 | 回線障害 | その他 | 合計 |
|-----|----------|------|----|-----|----|----|----|------|-----|----|------|------|----|------|-------|-------|-----|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----------|--------|
| | | | 本管 | 浄水池 | 受水 | 送水 | | ポンプ場 | 浄水池 | 濁度 | | | | | | | pH | 残留塩素 | 運転 | 準備完了 | 本管用 | | | | | | |
| 磯島 | 計測項目 | 2 | 4 | | | 1 | 4 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | (1) | (1) | | | | | | | | | 23 |
| | M-8000 | 2 | 4 | | | 1 | 4 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 17 |
| | M-6000 H | 2 | 1 | | | 1 | 4 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 14 |
| | 表示項目 | | | | | | | | | | | | | | | | 5 | 10 | 10 | 7 | | 15 | 16 | 16 | | 3 | 89 |
| | 制御項目 | | 1* | | | | 1* | | | | | | | | | | 2 | 10 | 10 | | | 15 | | 4 | | | 2*, 68 |
| 小野原 | 計測項目 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 6 | (1) | (1) | | | | | | | | | 25 |
| | M-8000 | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 18 |
| | M-6000 H | 3 | 4 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | 7 | 7 | 7 | 5 | 1 | 1 | 1 | 8 | 1 | | 13 |
| | 表示項目 | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 3 | 7 | 5 | 1 | 7 | 17 | (8) | | | 68+(8) |
| | 制御項目 | | 1* | | | 1* | 1* | | | | | | | | | | 3 | 7 | 5 | 5 | 1 | 7 | | 4 | | | 3*, 52 |
| 郡家 | 計測項目 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 7 | (1) | (1) | | | | | | | | | 25 |
| | M-8000 | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 19 |
| | M-6000 H | 3 | 3 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | 7 | 9 | 6 | 1 | (9) | 17 | 16 | | 1 | 12 | |
| | 表示項目 | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 3 | 6 | 1 | (9) | | (8) | | | 75+(17) | |
| | 制御項目 | | 1* | | | 1* | 1* | | | | | | | | | | 3 | 9 | 6 | 1 | (9) | | 6 | | | 3*, 46+18 | |
| 四条畷 | 計測項目 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | | 2 | | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 2 | (1) | (1) | | | | | | | | | 21 |
| | M-8000 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | | 2 | | 2 | 2 | 1 | | | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 18 |
| | M-6000 H | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | | 2 | | | | | | | | | 5 | 8 | 1 | 2 | 2 | 9 | 24 | | 2 | 81+(16) | |
| | 表示項目 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 8 | 1 | 2 | 2 | 9 | (16) | | | | |
| | 制御項目 | | 2* | | | | | | | | | | | | | | 2 | 8 | 1 | 2 | 2 | 9 | 6 | | | 2*, 54+4 | |
| 牧岡 | 計測項目 | 3 | 4 | | 1 | 2 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 5 | (1) | (1) | | | | | | | | | 23 |
| | M-8000 | 3 | 4 | | 1 | 2 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 17 |
| | M-6000 H | 3 | 4 | | 1 | 2 | 1 | | | | | | | | | | 7 | 10 | 4 | 1 | | 16 | 24 | | | 11 | |
| | 表示項目 | | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 3 | 4 | 4 | | 16 | | | | 93 | |
| | 制御項目 | | | | | 2* | 1* | | | | | | | | | | 3 | 10 | 4 | 4 | | 16 | 6 | | | 3*, 74 | |
| 美陵 | 計測項目 | 4 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 7 | (1) | (1) | | | | | | | | | 28 |
| | M-8000 | 4 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 20 |
| | M-6000 H | 4 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | | | | | | | | | 9 | 6 | 6 | 1 | 1 | 17 | 16 | | 1 | 14 | |
| | 表示項目 | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 6 | 6 | 1 | 1 | 17 | (8) | | | 88+(8) | |
| | 制御項目 | | 1* | | | 2* | 1* | | | | | | | | | | 4 | 6 | 6 | 1 | 1 | 17 | 4 | (2) | | 4*, 74+2 | |
| 狭山 | 計測項目 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 5 | (1) | (1) | | | | | | | | | 21 |
| | M-8000 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | | (1) | (1) | | | | | | | | | 15 |
| | M-6000 H | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 5 | 6 | 4 | 1 | 1 | 9 | 16 | | (2) | 70+(26) | |
| | 表示項目 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 6 | 4 | 1 | 1 | 9 | (24) | | | | |
| | 制御項目 | | 1* | | | | 1* | | | | | | | | | | 2 | 6 | 4 | 1 | 1 | 9 | 6 | (4) | | 2*, 52+4 | |

3. 2. 2 データ処理装置の導入

マイクロ回線で送られてくる各子局のデータに対しデータ収集、データ処理、および日報作表を目的としてデータ処理装置 MELDAP-8000 を導入した。このデータ処理では、現在1取水場6ポンプ場の計7局に対し処理を行なっているが、将来の給水地域の拡張に伴うシステムの拡張を考慮して15局までのデータ処理の追加が容易に行なえるように考慮されている。また、水の有効利用等を考慮した制御計算 (MELDAP-6000 H にて実行) にもとづく6ポンプ場の制御信号の設定と、プラントの動作状態の確認を行なうて、プラントの安全運転の役割を果している。なおデータ処理装置のソフトウェアの詳細については、5. 1 節に述べる。

3. 2. 3 計算機制御

計算機 MELDAP-6000 H は、村野浄水場のデータ収集・日報作成・制御等を目的としてすでに導入されている。

この計算機は、集中管理システムにおける水の有効利用、および経済的運用を目的とした制御計算も行なうことにし、この計算に必要なデータをデータ処理装置とは独立にデータ収集・データ処理ののち制御計算を行なう。この制御計算結果は、磯島取水場用制御項目に対しては、MELDAP-6000 H より制御信号を送出し (村野浄水場の1部として取水場を運転する必要があるため)、また6ポンプ場用制御項目に対しては、データ処理装置を経由して制御信号を送出する。

3. 2. 4 安全性への配慮

本集中管理システムの運営上、特に安全性については十分に配慮する必要がある。

配慮の主対象につき次に説明する。

(1) 無線機の子備機

伝送回線は、いかなる状態においても確保されねばならないため、無線機は100%予備で常に電源を入れたホットスタンバイシステムを採用した。

(2) プラントの運転状態確認

操作員がプラントの運転状態を把握するために、中央管理室にプラントを模したグラフィックパネルを設置した。このグラフィックパネルでは

現場機器運転表示：ポンプの運転表示

受電状態表示

子局の停電表示、重故障・軽故障表示、
火災等

伝送回線表示：伝送異常表示

制御系関係表示：制御モード表示
自動運転故障

データ関係表示：呼出し表示

データ異常 (データ処理装置における警報
監視結果の表示)

等のほかに、各局とも2組の数値表示器 (データ番号2けた、データ3けた、指数1けた、単位1けたより構成) を有している。

現場機器運転、および制御系関係表示は、監視データ (表3. 1の表示項目を参照) とし伝送されてきた内容をリレーで記憶して表示している。

また、データ関係表示における呼出し表示は、操作卓に設置された

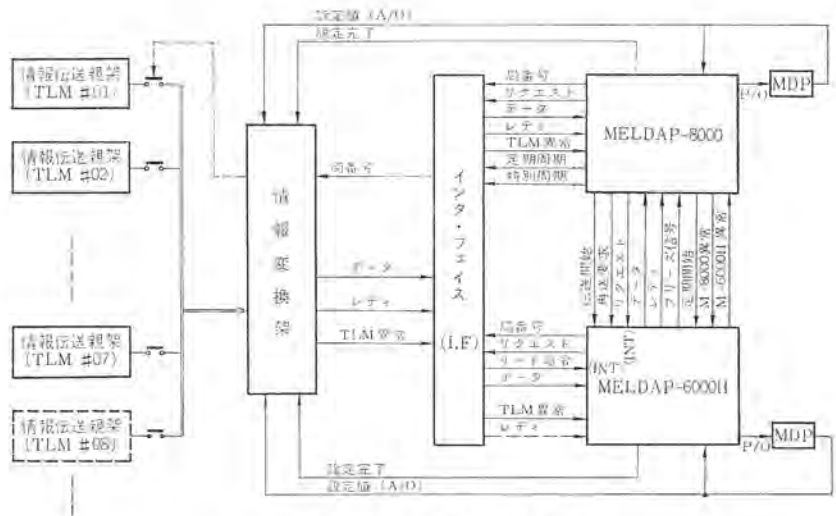


図 3. 1 機器間結線図
Block diagram of computer system.

データ番号選択スイッチへの設定により、データ処理装置、および計算機とは関係なく、単独にスイッチに対応した数値表示器にデータ表示を行ない、またプラントとの関係を示す意味でグラフィックパネル上に呼出し個所表示を行なう。この数値データは約6~7秒周期で更新されるため、現場の運転状態の連続確認などに役立つ。

(3) 操作の容易化

現場の操作は、グラフィックパネル前方に設置された操作卓より行ない、その容易化を考慮して

(a) 主操作盤

(b) サボ設定器盤

(c) 通信機盤

に分類されている。

主操作盤は制御モードの切換、バルブの開閉、ポンプの起動停止、しゃ断機の入切、設定値制御指令、無線機の制御等の操作に使われ、サボ設定器盤は計算機より設定する設定器 MDP (Motor Driven Potentiometer) を手動で設定する場合の操作盤で、主操作盤の操作により現場のメモリサボへ設定させることができる。

また、通信機盤は無線機の切換操作に使われる。

(4) データ収集

データ処理装置、および計算機へのデータ収集等の目的のため、各機器間には図3. 1に示すような信号が用意してある。

データ収集は、通常はデータ処理装置から5分ごとのデータ要求によりなされて、データはデータ処理装置および計算機に読込まれる (定周期データ収集)。

しかし、計算機における制御計算には一部予測計算が含まれており、万一データ処理装置からのデータ要求不可能時においてもシステムの動作上から考えるならば、制御計算を続行できるよう準備せねばならない。このために、計算機ではデータ処理装置の動作状態を周期的に確認し、異常を検出すると計算機自らデータ要求が行なえるようにして、制御計算用データは常に整備されているよう考慮してある。

このため、データ処理装置が正常に復帰したときに計算機制御に移行させることになる。

(5) データ転送

計算機で行なった制御計算の結果は、データ処理装置へデータ転送を行なっている。計算機・データ処理装置ともまったく異質の計算

機で、前者は主メモリに磁気コアを使用した高速の計算機、また後者は主メモリに磁気ドラムを使用した低速の計算機で、これらは使用面から見ても差がある。

プラントの計算機制御を行なうためには、この両者間のデータ転送は重要なもので、かつ正確に行なう必要がある。このため、このシステムにおいては両者でデータの転送状態を確認しながら行なうことにした。

(6) 送水系の操作

送水系の操作は、安全かつ正確に行なわれなければならない。また、操作対象プラントは広範囲に分散されるため安全性については特に考慮する必要がある。このため操作モードには

- (a) 現場操作：
 - 機器単独操作
 - 設定値制御
- (b) 中央操作：
 - 機器単独操作
 - 設定値制御
 - 操作卓からの手動設定
 - 計算機制御

の5種類が用意され、万一の自動制御系異常に対しても適切な処置が講じられるよう考慮してある。

また、現場の制御系異常に対しては、本項の(2)に示したごとく、グラフィックパネル上にその旨の表示がなしうよう考慮されている。

4. 集中管理システムの紹介

4.1 システムの構成

上記3.2節にしたがってシステムを構成した結果を、図4.1に示す。

本集中管理システムに含まれる機器は、
中央管理室

- (a) データ処理装置 MELDAP-8000
- (b) プログラマーズ コンソール

- (c) アナウンスメント タイプライタ
- (d) ロギング タイプライタ
- (e) オペレータ コンソール
- (f) グラフィック パネル
- (g) 操作卓
- (h) MELDAP-6000 H 計算機 システム

親局無線機室

- (a) パラボラ アンテナ
- (b) 無線機
- (c) 情報伝送装置

子局無線機室

- (a) パラボラ アンテナ
- (b) 無線機
- (c) 情報伝送装置

現場機器

- (a) メモリ サーボ 盤、アイソレータ 盤
- (b) 各種計測器
- (c) 各種制御器

等より構成される。

また、中央管理室に設置された各機器の配置は、図4.2に示すとおりである。

4.2 マイクロ設備

水道部管轄下の送水系を村野浄水場において集中監視を行ない、送水系の効率を上げるとともに連係運転をさらに有機的に行なうに必要な回線構成・伝送方式につき次に説明を行なう。

4.2.1 回線構成

本システムを構成するに当たり重要なポイントとなる伝送回線は

- (a) 伝送装置が安定なこと
- (b) 回線安定度が高いこと
- (c) 保守が簡便であること

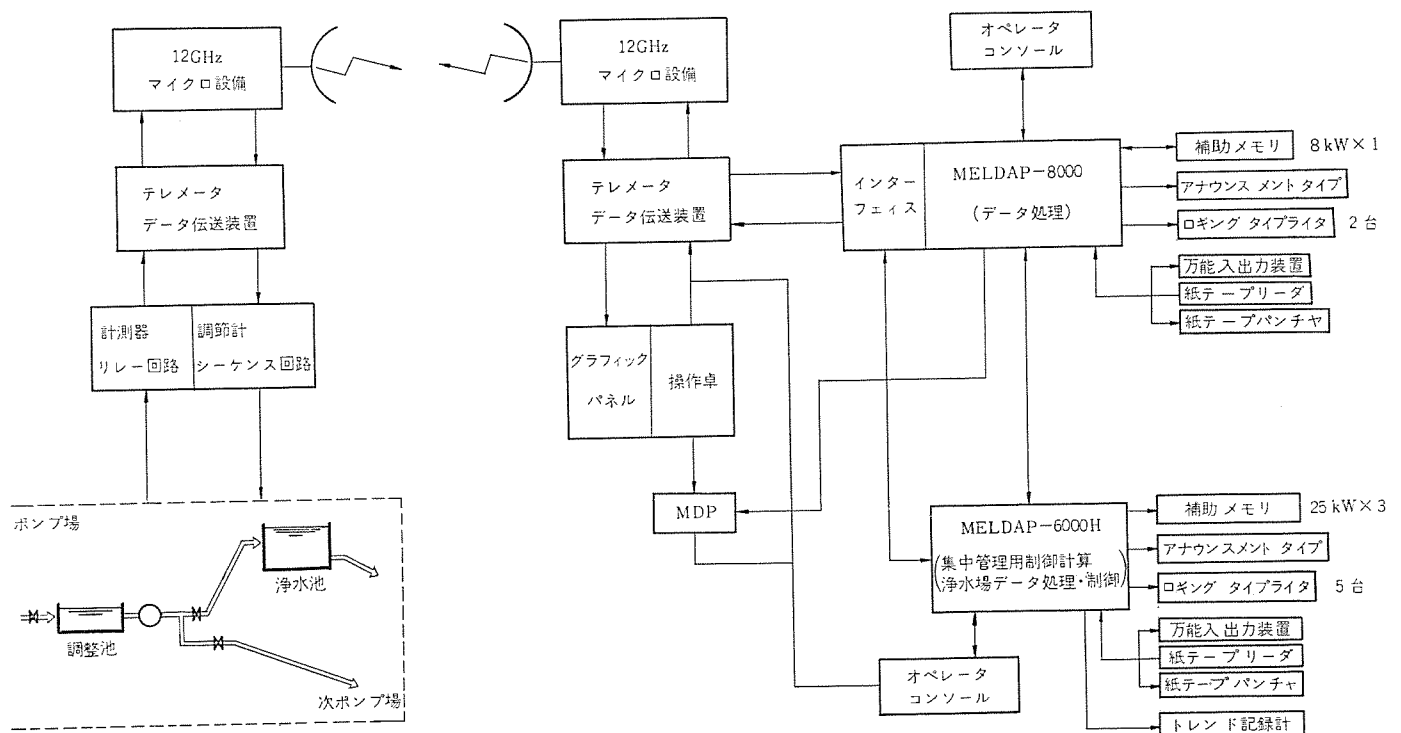


図 4.1 集中管理システム構成ブロック図
System configuration of centralized control system.

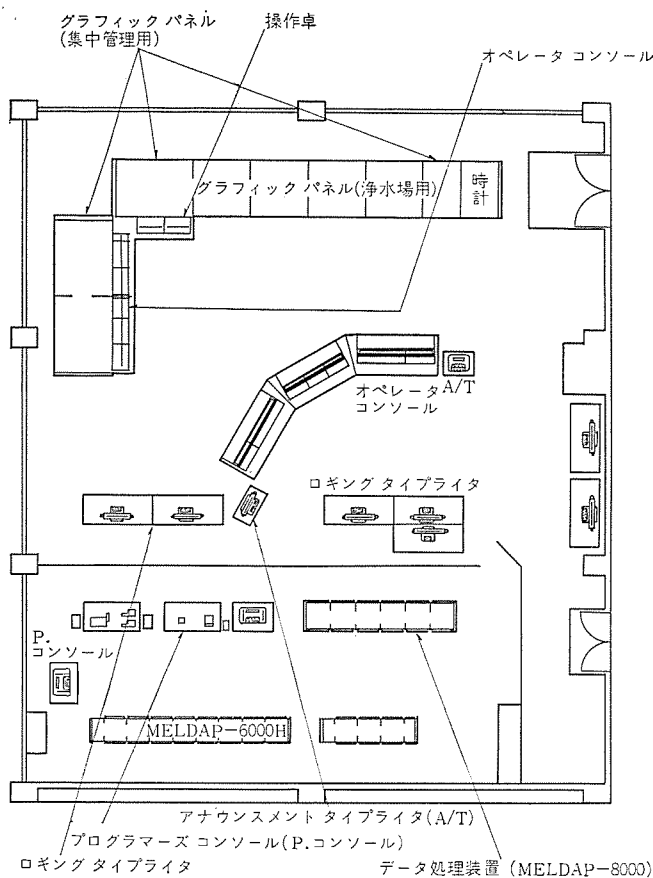


図 4.2 中央管理室機器配室図
Floor plan of central control room.

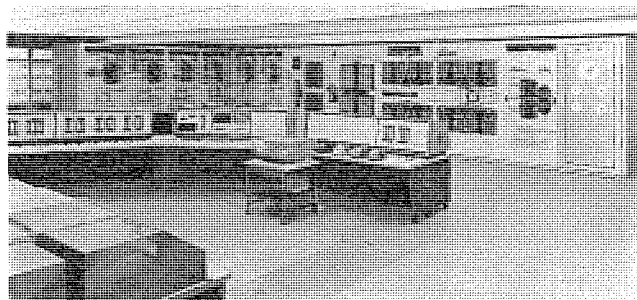


図 4.3 中央管理室
Central control room.

(d) 電波の利用効率が良いこと

を条件に

- (a) 周波数帯は 12 GHz 2 波を使用
- (b) 親局から子局に 3 ボイスチャネルの常時使用可能なこと
(データ伝送回線・電話回線・予備回線)
- (c) 予備機の設置

とした。これにより、各局間の無線伝送路は共用となるが、親局から各子局を見た場合常時並列に回線が確保されており、伝送系の融通性・処理系結合時間効率が高くとれる。

4.2.2 伝送方式

(1) 無線伝送方式

4.2.1 項で述べたように、12 GHz 多重通信機を使用し、将来の回線増設を考慮して最大 60 通話路とした。

各局での中継は伝送容量が少なく、分岐そう入を行なうため検波中継方式による リーク中継とした。また、各局内の電話は トールダイ

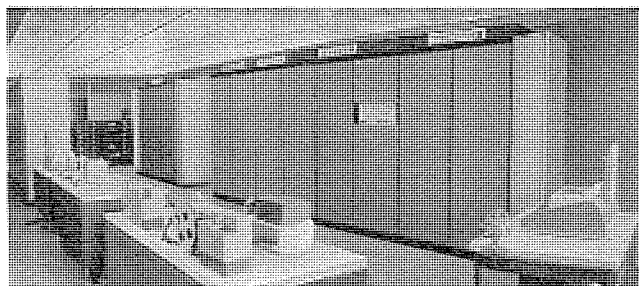


図 4.4 計算機室
Computer room.

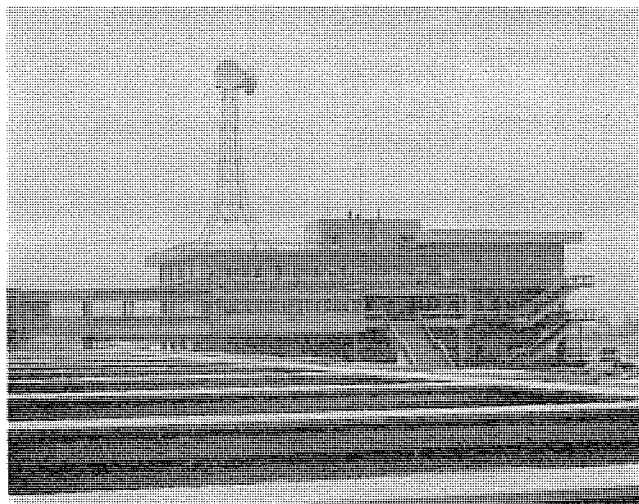


図 4.5 村野浄水場設置アンテナ
Antenna instituted at Murano water purification plant.

ヤルにて 30 回線自動交換機を通じて接続するよう考慮してある。

(2) 情報伝送方式

情報伝送の本システムにおける機能は、計測、状態表示信号の伝送、制御信号の伝送とデータ処理の一部であるグラフィック表示を行なっている。計測・表示はそれぞれ別チャネルとして並列伝送し、各局についても同時常時伝送を行なう回線監視を容易にし、情報処理の時間的融通を持たせ、機器の故障による影響をその部分のみの最小限にとどめるなどの特長を持たせている。

伝送速度は項目数・時間により 200 ボーとした。

また、情報伝送架内構成は標準ブロック化を行ない、配線もフレームブロックで行なって、運営・保守を容易にし、また機器の信頼性を向上するために回路素子には IC を使用している。

4.3 計算機 MELDAP-6000 H

本システムの計算機制御において中心となる MELDAP-6000 H のおもな仕様は

| | |
|--------|-----------------------------------|
| 語構成 | : 2 進化 10 進コード 6 けた + 符号 (25 ビット) |
| 命令 | : 基本 32 種 |
| 番地方式 | : 直接・間接・インデックス 修飾 |
| 主記憶装置 | : 磁気 コア 16,000 語 |
| 補助記憶装置 | : 磁気 ディスク 25,000 語 × 3 台 |

である。なお、MELDAP-6000 H の詳細仕様は、参考文献 (3) を参照されたい。

4.4 データ処理装置 MELDAP-8000

このシステムに使用されているデジタル計算機 MELDAP-8000 は、2 台の磁気ドラム (約 8000 語) をおのおの、主記憶装置・補助記憶

装置とする小形制御用計算機であり、中央演算制御部のおもな仕様は次のとおりである。

| | |
|-------|---|
| 回路素子 | ：トランジスタスタティック回路 |
| 語構成 | ：数値語 2進21ビット 命令語 操作部8ビット 番地部13ビット |
| 命令 | ：変形1 $\frac{1}{2}$ 番地方式 基本23種 |
| 演算モード | ：ノルマル、ディレイド、オペランド |
| 記憶装置 | ：磁気ドラム 8,000語 3,600回転 2台 |
| 演算速度 | ：加減算 260 μ s 乗除算、開平算 3,200 μ s |

上記の主制御部に対し、各入力、出力部および電源装置が付加されて、下記の計算機システムを構成する。

| | |
|------------------------------|-----------------------|
| (a) 中央演算制御装置 | 1式 |
| (記憶装置、デジタル入力・出力装置を含む) | |
| (b) タイプライタ | アナウンスメント用 1台 |
| | ロギング用 2台 |
| (c) 万能入出力装置 | Teletype ASR-33 TC 1台 |
| (d) 紙テープリーダー | 25字/秒 1台 |
| (e) 紙テープパンチャ | 20字/秒 1台 |
| (f) オペレーターコンソール | 1台 |
| (g) アナログ出力用設定器(MDP) | 17台 |
| (h) M-G式電源装置 出力 AC 100V 5kVA | 1台 |
| (制御用計算機 MELDAP-6000H と共用) | |
| (i) テレメータインターフェース | 1式 |
| (制御用計算機 MELDAP-6000H と共用) | |

4.4.1 デジタル入力装置 240点

リレー、スイッチ等の接点状態を読み取る装置であり、本システムにおいてはオペレーターコンソール上からの各種データ設定、各種リクエストなどの接点、MDPの状態指示接点などである。

4.4.2 デジタル出力装置 180点

計算機からリレー接点のON状態、OFF状態にて外部に信号を送り出すものであり、本システムにおいてはオペレーターコンソール上の数値表示器への出力データ信号、グラフィックパネル上への警報信号、テレメータコントロールユニットに対するMDPの設定完了信号などに用いている。

4.4.3 アナログ出力装置 40点(実使用数17点)

この装置は計算機本体内部に含まれているパルス幅出力装置と、外部に取付けられているMDPが組み合わされて、2~10mAの直流電流信号を出すものである。

すなわち、パルス幅出力装置から接点出力にてMDPのサーボモーターを順方向または逆方向に任意の時間、回転させる。

サーボモーターの回転はギヤダウンされて、ポテンシオメーターを回し、その抵抗値信号が変換器を通して上記の直流電流信号になる。MDPには手動操作により設定値を変更できる機構、設定出力指示メーターもついており、また、この出力はテレメータ装置を介しているが、各ポンプ場の制御に使用されるために、計算機の動作停止、計算機側の電源断などによっても出力状態は変化を受けない(現状維持、通称アウトプットフリーズ)ように配慮している。

4.4.4 テレメータインターフェース

この装置は本集中管理システムにおいて、情報処理の中心となる情報伝送装置(テレメータ装置)、デジタル計算機 MELDAP-6000H MELDAP-8000 相互間の情報交換を中継するものである。

中継の主目的は上記各機器の情報取扱い速度の相異に対するタイミング合わせ、情報交換ルートの優先順位づけを行なうことである。

MELDAP-6000H または MELDAP-8000 からデータ収集を必要とする子局の局番指定、およびデータ送出リクエストを行なうと、その局に関する一連の各種データがサイクリックに送られてくる。

インターフェース部は2台の計算機に対し、読取りデータ準備完了信号を各データごとに送り出す。リクエストの取消しがあるまでデータ送出はサイクリックに続いてゆく。

上記リクエストは MELDAP-6000H、MELDAP-8000 のいずれからでもできるが、MELDAP-8000 からのリクエストが優先する。

4.4.5 オペレーターコンソール

計算機と保守員との情報交換の場であり、下記要素を含んでいる。

| | |
|-------------|----------------|
| 投影式数値表示器 | ：数値5けた 工学単位1けた |
| 数値設定用スイッチ | ：10進12けた |
| リクエスト選択スイッチ | ：8進2けた |
| リクエスト選択表示器 | ：20種 |
| その他操作スイッチ | ：4個 |

4.4.6 電源装置

無停電給電を目的とした電源装置は、直流モーター・交流発電機を組み合わせたM-G電動発電機を採用し、通常時は商用電源を整流し、また停電時にはバッテリー電源を使用して駆動させている。

また、長時間停電の考慮として自家発電設備の設置を計画中であり、これが完成した時点では商用電源が正常のときと同様に駆動され、バッテリー電源はバックアップとして使用することになる。

5. ソフトウェア

本集中管理システムを安全かつ円滑に運転・制御を行なうために導入したソフトウェアについて説明する。(図5.1参照)

5.1 MELDAP-8000のソフトウェア

データ処理装置 MELDAP-8000(以下M-8000と略称する)は、各子局より送られてくる各種データの収集と監視・日報作成・制御信号送出等の動作を行ない、集中管理システム自動化に大きな役割を果たしている。このソフトウェアの概要を次に述べる。

(1) データ収集

M-8000は一定周期(5分)ごとに磯島局より順々に局を指定して、一連のデータを収集する。収集データはデータ部(BCD3けた)^一・データ番号部(BCD2けた)・通信制御装置(Tele-meter Control Unit:TCUと略す)の状態指示部より構成され、M-8000ではこのデータを2進データに変換して以後のデータ処理を行なっている。

データの収集時にTCU故障、または通信回線異常(回線異常・渋滞・子局異常・電源異常等)を検出すると、異常局のデータ収集は異常復帰するまで停止し、その旨をアナウンスメントタイプライタに印字する。また雑音などの理由で欠測データ(パリティチェックエラーによる)が生じると、再度同一局番指定を行ないデータを収集する。再度のデータ収集においても欠測があれば全局データ収集後、局別にそのデータ番号をアナウンスメントタイプライタに印字する。

(2) 警報監視

収集されたデータが警報監視項目と指定されていると、許容上下限值との比較を行なう。この結果、上下限値を逸脱して異常と判定されたデータに対しては、アナウンスメントタイプライタにその旨の印字を行ない、ブザーの鳴動、ランプのフリッカを行なって、関連する制御出力信号をフリーズする。

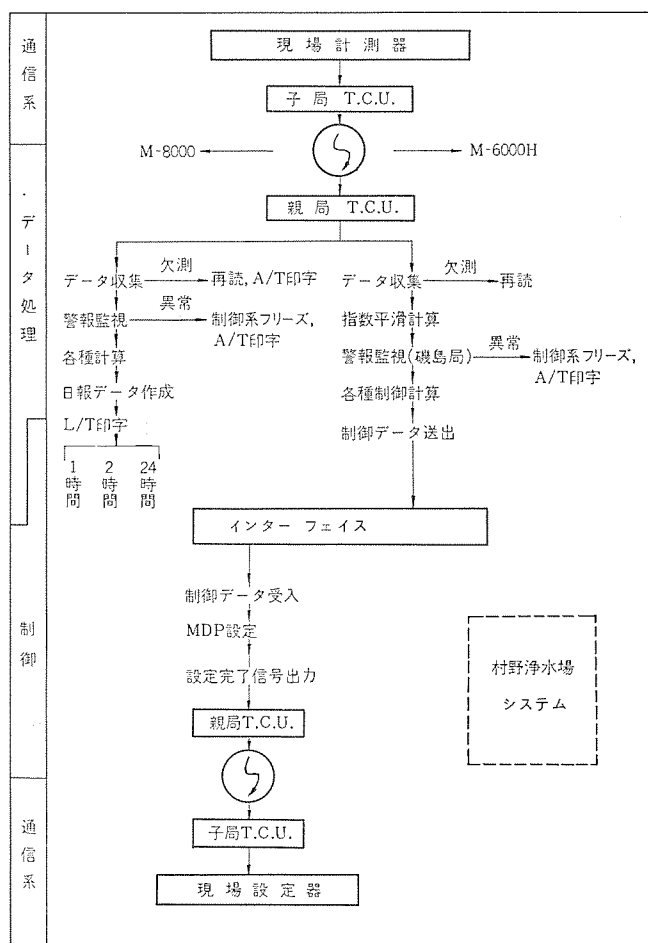


図 5.1 データ処理系統図
Functional flow chart of data treatment.

上下限設定値には、制御系の運転状態により変化する可変設定値と、あらかじめ外部より与えられた固定設定値とがあり、前者は制御精度確保のためのもので設定値関係データに使用し、後者はそれ以外の計測データに対して使用する。

(3) 制御データの読み込み

M-8000 は MELDAP-6000 H (以下 M-6000 H と略称する) に対し一定周期 (30 分) ごとに制御データの要請を行ない、M-6000 H で計算された制御データを読込む。制御データにはデータ、データ番号のほかに、M-6000 H における計算結果で判定されたデータ交換不可、またはフリーズを示す信号も含まれる。M-8000 でフリーズ指令信号を検出するとアナウンスメントタイプライタにその旨の印字をし、制御信号のフリーズも行なう。

また、M-6000 H、M-8000 間のデータ転送誤りを防ぐため、読み込みデータごとに確認をする。確認時に、万一異常と判定されると M-6000 H に対し同一データの要求 (再読要請) を行なう。

(4) MDP の設定とその確認

M-6000 H より読込んだ制御データに基づきパルス幅出力信号を用いて MDP (村野浄水場中央管理室に設置) に設定し、設定完了後は各 MDP ごとに TCU に対し設定完了を知らせる。これより各 MDP の設定値はマイクロ回線を通して各子局へ伝送され現場のメモリサーバに設定されて計算機制御が行なわれる。

MDP への設定完了確認は、MDP 出力信号を読み込み、設定目標値との差が許容誤差範囲内にあるかを調べ、1 分ごとに 5 回までの修正動作を繰返す。また、この修正動作を行なっても設定不能の場

合には、その旨をアナウンスメントタイプライタに印字する。

(5) 日報作成

5 分周期で収集したデータは、水位・流量・圧力・電力等約 150 項目 (将来は 350 項目に増設予定) である。その内 100 項目 (将来は 250 項目の予定) のデータを 1 時間・12 時間・24 時間ごとに集計し、磯島取水場・北部送水系日報、および南部送水系日報作成用タイプライタに印字する。印字内容は次のとおりである。

1 時間: 瞬時値 (水位・圧力・水質等)

積算値 (流量・電力量)

12 時間: 合計値 (流量・電力量)

24 時間: 合計値 (流量・電力量)

平均値 (流量)

最大値/最小値 (水位・流量)

(6) リクエスト機能

操作員は、オペレータコンソールを操作することにより M-8000 に所定の機能

| | |
|------------------------|-----------------|
| TIME DISPLAY | : 数値表示器への時刻表示 |
| PROCESS MEMORY DISPLAY | : 数値表示器へ合計流量値表示 |
| DEMAND LOG | : 任意時刻における日報作成 |
| ENTER DATA | : 警報監視用上下限値の設定 |
| ON LINE INITIALIZE | : 計算機制御の開始指示 |
| ENTER TIME | : 時刻修正 |
| MEMORY PRINT | : メモリ記憶内容の印字 |
| LAMP TEST | : 表示ランプの断線テスト |

をリクエストすることができる。

5.2 MELDAP-6000 H のソフトウェア

MELDAP-6000 H は村野浄水場計算機システムおよび集中管理システムを中心になる計算機で、ここでは集中管理システム用ソフトウェアとしてのデータ収集、監視、および各種制御プログラム (5.3 節に述べる) 等につき説明を行なう。

(1) データ収集

M-8000 から定期周期のデータ収集要求がなされると、M-6000 H では“リード命令”の割込信号を受けて M-8000 と同様にデータを収集することができ、収集データは主として制御計算に関連するデータ (1 局最大 19 データ) である。

収集したデータに対しては、計測器その他で発生するノイズを除去し、より安定な制御を続行させるために指数平滑計算を行なっている。

M-6000 H の多忙、雑音などの理由でデータに欠測が生じると、全局のデータ収集完了後、M-6000 H 自身で欠測データ発生局の局番指定を行なってデータを収集する。また、M-8000 の動作状態監視を行ない異常を検出すると、以後のデータ収集用局指定は M-6000 H より全局に対して行なう。

(2) 警報監視

浄水場の運用面から考えると取水場は浄水場の一部として扱うことが望ましいため、M-6000 H では磯島局のデータに対してのみ警報監視を行なっている。これらの警報監視に用いられている上下限設定値は、M-8000 と同様可変設定値・固定設定値の 2 種類がある。

また、警報監視の際異常が検出されると、アナウンスメントタイプライタにその旨の印字をし、ブザーの鳴動、ランプのフリッカを行なって、計算機自動運転中の制御系に対し制御出力信号をフリーズする。

(3) 制御データの転送

各制御プログラムで計算された制御データを、M-8000からの要求指令にもとづいて送出するものである。

この転送は円滑、かつ能率的になされねばならないため、M-8000からの要求指令内容の指示として

- (a) 伝送開始：最初のデータに対する転送要請
- (b) 再読要請：受信データに異常発生、同一データ転送要請
- (c) 正規伝送：正常にデータ受信、次データの転送要請

の3種類を用意し、M-8000のデータ受信状態を確認しながら転送が行なえるよう考慮してある。

5.3 制御プログラム

送水系内に含まれる水の有効利用を目的として、取水・送水に対し制御計算を行ない、送水系が安定、かつ円滑に運転されるよう制御することを目的としたものである。

(1) 取水制御

取水場の制御には、沈砂池の水位、取水流量とが考えられる。前者は制水とびらを駆動して沈砂池の水位を制御するものであるが、沈砂効果を考慮すると、要求水量に従って水位制御を行なうことは得策であるとは考えられないため、定水位制御を行なうことにし、計算機制御の対象から除いた。

後者は水処理を行なう村野浄水場へ送る原水に対し流量制御を行なうもので、浄水場・送水系を運転するうえで重要な項目である。

この制御は、浄水場プロセスの運転状態を調べ、水処理への弊害(たとえば過池水位低下によるろ過効果への影響)を発生せずに一定運転が持続されるよう流量計算をし、制御を行なっている。この結果、先に述べた沈砂効果も向上することが予想される。

(2) 調整池水位制御

図4.1に示すごとく、各ポンプ場の入口にある調整池の水量を有効に利用するために、調整池の水位を制御するものである。

この制御は、各ポンプ場の送水特性曲線を考慮して、時間と水位の目標関係式を折線近似して設定し、調整池水位が目標水位を維持するとともに、プラントの運転ができるだけ一定に保たれうよう制御している。

これにより、送水流量が少ないときでは送水管路に発生する時間最大の吸収に役立ち、また送水流量が多くなる将来でも管路に発生する外乱の一部吸収の役目を果たして、送水系の一定運転に大きな役割りを果たすことになる。

(3) 送水圧力制御

送水圧力制御は、1送水管路の端末である次ポンプ場の受水圧力が、希望受水圧力になるように制御するものである。

送水管路では、管路周辺にある各衛星都市で分水しており、分水状態変化にともなう受水圧力の変動を考慮して、計算機を介したフィードバック方式を採用した。

この制御は、計算機で読込んだ各ポンプ場における送・受水圧力

データをもとに管路の流水抵抗を求め、要求水量送水時における管路内での損失水頭を計算して、受水圧力が希望受水圧力に保たれるよう行なっている。

(4) 送水流量制御

図4.1に示すごとく、各ポンプ場では次ポンプ場への送水と、浄水池への揚水を行なっており、このためポンプ場より送出している流量の制御は送水系の浄水配分上大きな役割を果たしている。(浄水池への揚水を含まないポンプ場もあるが、これらは特殊ケースとして扱った)

大阪平野周辺の丘陵地帯に設置された浄水池は、一般に容量が大きく、この容量を有効に利用して、昼間は主として給水用として使用し、貯水は水需要の少ない夜間に行なって、送水管路に発生する時間最大を吸収できれば、各ポンプ場は一定運転が望め、ひいては村野浄水場・磯島取水場の一定運転、および有効な水処理が望め、水の有効利用がなしうことになる。

このため、各ポンプ場、および各浄水池における流出流量データをもとに翌日の送水流量を予測し、また浄水池の貯水量を目標水量に補正するための水量を計算し、ポンプ場流出流量目標値を計算して、流出流量を一定に保持されうよう考慮してある。

6. む す び

水の有効利用、および経済的運用を目的として、大阪府水道部送水系に導入した集中管理システムの概略説明を行なった。このシステムは昭和44年3月に搬入し、5月の電波監理局検査後、昭和44年5月16日より実際に使用を開始し、プラントの最終調整、プラントの解析を行なって、昭和45年初期より計算機制御を行なう予定である。

また大阪府では、このシステムの導入により

- (a) 送水に要する電力の節減
- (b) 適切な人員配置による省力化
- (c) 水の有効利用

等の利点があり、現在までの第一次分が完成した段階でも、人件費・電力費が相当節減できると試算している。

最後に、このシステムの計画・設計・工事にあたってご指導ご協力をいただいた関係各位、および設計・工事にご協力をいただいた関係会社各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 江村：水道協会雑誌，No. 394, 56 (昭42-7)
- (2) 大阪府編：大阪府営水道企業概要
- (3) 江村ほか：大阪府村野浄水場計算機システム，三菱電機技報43, No. 10 (昭和44)

小形計算機による電車総合回路試験装置

中司 修慈*・湯浅 倬史**・竹内 幸雄***・小田橋正寿***

Process Computer Application to Train Test Automation

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Shuji NAKATSUKA

Mitsubishi Electric Corp., Itami Works Takuji YUASA

Mitsubishi Electric Corp., Head Office Yukio TAKEUCHI・Shoju ODAHASHI

Inspection work of electric trains has been resorted to the judgement of skilled engineers through the use of apparatus designed for exclusive purpose. The device given herein is to aim at higher efficiency of work, elevation of test accuracy and rationalization of data processing by introducing small sized process control computers and mechanizing human power. Though tests are conducted based on unit, cars can be tested in three units together with this arrangement and among total test items sixty per-cents can be accomplished automatically by simple preparatory operation.

1. ま え が き

東海道新幹線が(隊)動して早くも5年を経過し、旅行人口の増加とともに車両数も増加しつつあり、検修工場においても検修両数が必然的に増加している。従来車両の検査は人為的なミス防止するため、多数の熟練者による繊細な注意力によって行なわれていた。

ここに紹介する新幹線電車総合回路試験装置は小形計算機を導入し、この人為的な作業を機械化し、作業の高能率化・試験精度の向上・データ処理の合理化を計るものである。

国鉄における車両保守は、列車の安全と旅客に対するサービス低下を防止するため、故障または機能低下をきたす以前に処置を施すいわゆる予防保守体制を主体としている。すなわち一定期間ごとに実施する定期検査が主体であり、東海道新幹線の場合は仕業検査・交番検査・台車検査・全般検査より構成されている。本装置はこの全般検査の出場検査工程に適用されたものであり、車両に積載されている機器単体の性能試験は、その前の工程で完了しているので二義的なものとし、これら機器が正常に接続されているか否かの試験すなわち回路試験を目的としている。

電子計算機は電気試験器、空気ブレーキ試験器、車両一試験器連絡装置(リレーステーション)を自動制御することによって、3ユニットの車両の試験を並行に行なうことができるようになっている。すなわち電子計算機に内蔵されたプログラムによって、

- (1) 試験対象および測定器の選択
- (2) 車両に対する試験条件の設定
- (3) 測定器の条件設定
- (4) 測定値の記憶および合否判定
- (5) 測定値および合否判定結果の記録

が能率よく行なわれる。

本試験装置は最近国鉄浜松工場へ試作納入したものでその概要をここに紹介する。

2. 試験項目と機器構成

新幹線電車総合回路試験装置の機器構成は表2.1に示すとおりであり、図2.1に信号系統をブロック図で示す。この装置によって実行される試験項目は表2.2に示す。同表で○印は準備作業が済めば自動的に試験の行なわれる項目(68.0%)を、△印は手動操作

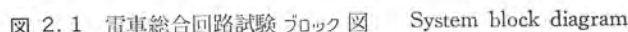
表 2.1 構成機器 System components

| 構 成 機 器 | 備 考 |
|--------------|---------------|
| 1. 計算機電源装置 | MELCOM-350/5 |
| 2. 電子計算機 | |
| 3. タイプライタ | ASR-33 |
| 4. 中央操作盤 | 3セット |
| 5. 移動操作盤 | |
| 6. 電気試験器 | 計算機以外の電源装置を含む |
| 7. リレーステーション | 3セット |
| 8. つなぎ箱 | 3セット |
| 9. ブレーキ試験器 | |

表 2.2 試験項目 Test items

| 試 験 項 目 | 項目数 | 分 類 |
|---------------------------------|-----|-----|
| 1. 絶縁耐圧試験 | | |
| 低圧回路 | 31 | △ |
| 二重絶縁 | 3 | △ |
| 系統別総合 | 4 | △ |
| 引通し線 (KE 200) | 98 | ○ |
| 引通し線 (無線用連結器) | 65 | ○ |
| 2. 引通し線導通試験 | | |
| KE 200 | 98 | ○ |
| 無線用連結器 | 65 | ○ |
| 3. 引通し線立上り試験 | | |
| ブレーキハンドル | 2 | △ |
| 主幹制御器 | 12 | △ |
| 運転台各種スイッチ | 15 | △ |
| 4. 動作試験 | | |
| 1) タップチェンジャ | | |
| 動作時間 | 2 | ○ |
| 電圧比 | 25 | ○ |
| 進め・戻し | 18 | ○ |
| 制御開放器開放 | 6 | ○ |
| RkRR | 4 | × |
| 2) PB 転換器 | 8 | △ |
| 3) L スイッチ | 9 | △ |
| 4) ブレーキ抵抗 | | |
| BRd 動作時間 | 2 | ○ |
| 抵抗値 | 36 | ○ |
| 5) その他 | 43 | △ |
| 5. 空気ブレーキ試験 | | |
| 1) ACM 蓄積時分および安全弁・ACM・AB 調圧器の調圧 | 11 | △ |
| 2) CM 蓄積時分および安全弁・調圧器の調圧 | 5 | ○ |
| 3) ATC 常用ブレーキ | 7 | ○ |
| 4) ブレーキハンドルによる非常ブレーキ | 4 | ○ |
| 5) 各位置における手動ブレーキ | 11 | △ |
| 6) 純直通ブレーキ | 4 | ○ |
| 7) 電気ブレーキ中の空気ブレーキ | 9 | ○ |
| 8) 緊急ブレーキ調圧 | 3 | ○ |
| 9) SAPR 動作 | 2 | ○ |
| 10) 緊急ブレーキ回路動作 | 21 | △ |
| 11) C-39 改造に伴う試験 | 12 | △ |
| 12) 各管漏えいおよび CR 調圧 | 3 | △ |
| 13) ABLPR 動作 | 3 | △ |
| 14) 滑走回溜装置動作 | 3 | △ |
| 15) TyCIV 動作 | 1 | △ |
| 16) TthR 動作 | 1 | △ |
| (輪箱温度検出リレー) | | |

注) ○印：自動試験 △印：半自動試験 ×印：手動試験



以下構成機器についてその概要を述べる。

(1) 外部機器に対する デジタル 出力はすべて リレーマトリクス を通



(2) アナログ-デジタル 変換装置は デジタル 電圧計を用いており、
計算機の中央処理装置とは デジタル 入力、 割込入力、 デジタル 出力
によって結合されている。さらに入力点の選択も デジタル 出力によ

表 2.3 電気試験器構成機器
Components of electrical testing apparatus

| No. | 測定器などの名称 | 各測定器の行なう試験項目 |
|-----|------------------|---|
| 1 | 自動絶縁測定器 | 低圧回路絶縁試験、二重絶縁機器絶縁試験、系統別総合絶縁試験、引通し線 (KE 200, 無線用連結器) 絶縁試験 |
| 2 | 自動耐圧試験器 | 二重絶縁機器耐圧試験、系統別総合耐圧試験 |
| 3 | 定電流装置 (抵抗測定器) | L スイッチ動作試験、ブレーキ抵抗値測定 |
| 4 | 電圧比測定器 | TCg 電圧比測定、TCg 進め・戻し試験、制御開放器開放 TCg 試験 |
| 5 | 電圧検出リレー群 | TCg 動作時間測定、PB 転換器試験、L スイッチ動作試験、BReD 動作時間測定 |
| 6 | ジャンパ線選択リレー群 | 引通し線 (KE 200, 無線用連結器) 絶縁試験、引通し線 (KE 200, 無線用連結器) 導通試験、引通し線立上り試験 |

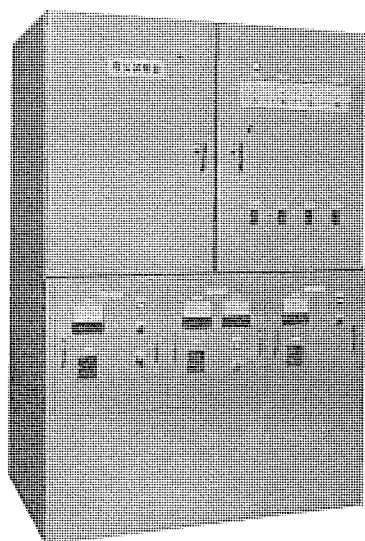


図 2.4 電気試験器 Electrical Testing apparatus.



図 2.5 中央操作盤 Central operator's panel

って行なわれる。

2.2 電気試験器

電気試験器は表 2.3 に示すように全く独立に動作する測定器または検出器、制御リレーおよび電源部より構成されている。表 2.3 には各測定器または検出器が使用される試験項目が示されており、二つ以上のリリーステーションで同じ測定器を使用するようになれば最初に要求を出したリリーステーションが、優先使用し他のリリーステーションは待機するように計算機が移動操作盤の表示によって指示する。外観を図 2.4 に示す。

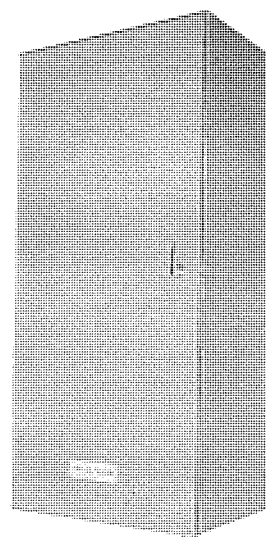


図 2.6 リリーステーション Relay station.

2.3 タイプライタ

ASR-33 電動タイプライタは MELCOM-350/5 のシステムタイプライタとして使用されるほかに、試験結果の印字作表にも使用される。試験結果は移動操作盤にその都度表示されるのでタイプライタの印字作業は常時は必要でない。計算機は各リリーステーションごとに試験結果を記憶しておき、中央操作盤からリクエストを受けたとき指定されたリリーステーションの試験結果を指定された試験項目より所定の形式で印字作表する。

2.4 中央操作盤

中央操作盤は計算機室に設置されており、タイプライタとともに計算機と試験員の間における比較的多量の情報交換を行なう。計算機と試験員の間の情報交換はすべてリクエストという形式で中央操作盤から計算機に働きかけるが、これについては後述する。図 2.5 に中央操作盤の外観を示す。

2.5 リリーステーション

電気試験器 1 台で 3 ユニットの試験をする場合、車両と試験器が直接接続されていると回り込み回路が生じ試験ができなくなる。リリーステーションは車両につなぎ込んだ各種測定線を電気試験器に接続するかどうかを計算機の指令によって制御している。そのほかに車両の操作は比較的長い時間を要することになるのでこれも各ユニットごとに機器を別個にもつ必要がありリリーステーションの中に納められている。

図 2.6 はリリーステーションの外観である。

2.6 移動操作盤

図 2.7 に移動操作盤の外観を示す。移動操作盤はリリーステーションに対応したつなぎ箱にケーブルで接続して使用する。あるリリーステーションでの試験は中央操作盤からのリクエストによって開始されるが、以後そのリリーステーションでの試験進行に必要な試験員—計算機間の情報交換はすべて移動操作盤によって行なう。計算機から定められた試験項目順序に従って試験項目が表示され、必要な準備作業を終わって進段スイッチを押す。計算機は所定の試験条件を設定して測定を行ない合否判定をし、合格ならば次の試験項目に自動的に進み、不合格のときはいったん停止し試験員の判断を待つ。すなわち再試験が必要であれば繰返しスイッチを押し、必要なければ進段スイッチを押すことになる。ブレーキ関係の試験では不合格のとき機器調整の

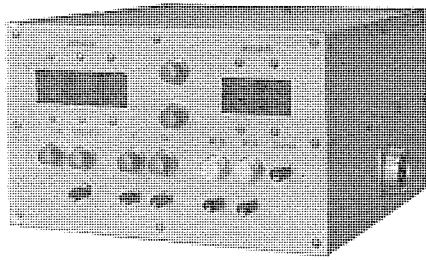


図 2.7 移動操作盤
Portable operator's panel.

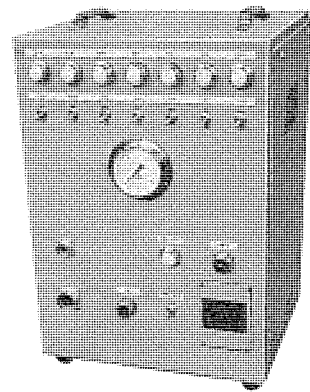


図 2.10 先頭車用リレー箱
Relay box for leading car air brake test.

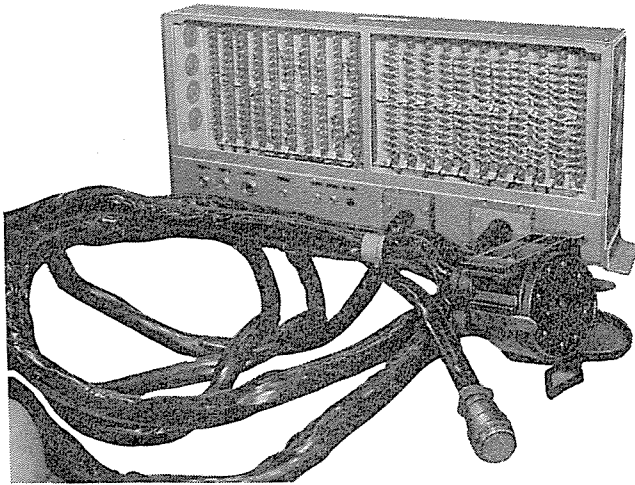


図 2.8 つなぎ箱 Terminal box

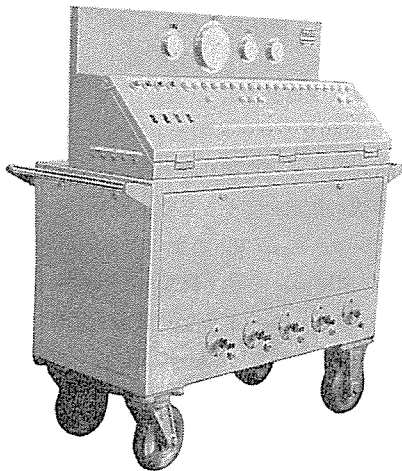


図 2.9 ブレーキ試験器本体
Air brake testing apparatus.

ため測定値を必要とするので不合格ランプと同時に測定値も表示する。

2.7 つなぎ箱

車両への測定線などのつなぎ込みは、車端の連結器を利用するが数本の測定線は直接クリップなどでつなぎ込む。つなぎ箱はリレーステーション一つに対しA、B、Cとあり、A、Bはユニットの両端に配置され主として車端連結器へのつなぎ込み用とし、Cはユニットの中央に配置されクリップなどの直接のつなぎ込み用である。移動操作盤はどのつなぎ箱に接続してもよい。

図 2.8 につなぎ箱の外観を示す。

2.8 ブレーキ試験器

ブレーキ関係の試験は情報伝達の媒体が空気であり測定器（空一電変換器）は車両にできるかぎり接近していなければならない。また測定器を複数のユニットで時分割的に使用することは切換装置が複雑になることから望ましくない。このような理由からブレーキ試験器は移動式とし、試験を行なうリレーステーションに属するつなぎ箱にケーブルで接続して使用する形とした。ブレーキ試験器は四つの機器に分割されており図 2.9、図 2.10 に本体および先頭車用リレー箱の外観を示す。なおブレーキ試験器は本体および先頭車リレー箱に備えられたスイッチを操作し、ランプおよびメータの指示を確認しながら車両の試験を計算機からの指令なしで行なうことも可能となっている。

3. 電車総合試験装置のプログラミング

試験装置のプログラミングとして要求されることは次のように要約することができる。

- (1) 計算機の時分割利用だけでなく、電気試験器本体をも時分割で利用すること
- (2) 各リレーステーションごとにプログラムを別個に置かず、一つのプログラムでデータストレッチおよび入出力を異にして所要メモリーを極小にすること
- (3) 試験は任意箇所ですぐに停止することができ、かつできるかぎり任意の項目より試験開始を可能とすること
- (4) 必要なら試験の繰返しが自由にできること
- (5) 計算機、試験器について詳細な知識がなくても試験装置を取扱えること

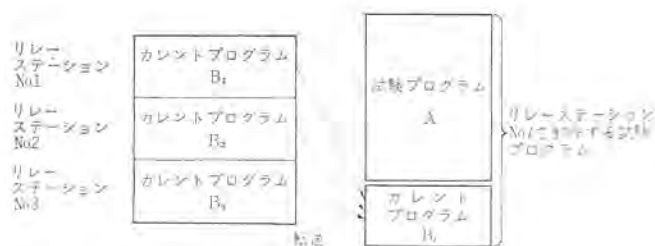
本装置のプログラムは大きく分けてスーパーバイザ、試験プログラム、リクエストプログラムの三つの部分より構成されている。以下これらの概要を述べる。

3.1 スーパーバイザ

試験プログラムの実行を制御するもので、各リレーステーションにおいて一様に試験が行なえるように、また二つ以上のリレーステーションで同時に試験を行なえるように（ただし、使用する測定器が同一でないような試験項目に限る）プログラムの実行、停止および時間遅れの制御を行なう。

3.1.1 実行制御ルーチン

一つの試験プログラムがどのリレーステーションで実行されてもそれぞれのリレーステーションに適応した動作がとれるようにプログラムを制御し、かつ優先順位の決定を行なう。たとえば中央操作盤から試験項



ただし、A：リレーステーション NO. に関係なく動作するプログラム
B：リレーステーション NO. に対応して動作するプログラム

図 3.1 試験プログラムの構成
Test program constitution.

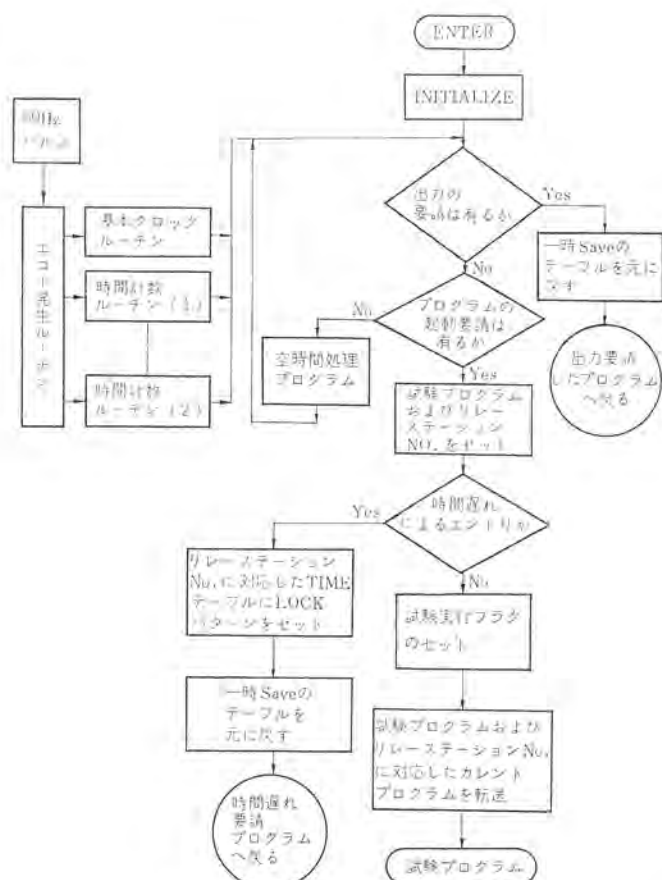


図 3.2 実行制御 ルーチンフローチャート
Executive control program flowchart.

目とリレーステーションが設定されるとスーパーバイザはリレーステーションに対応したカレントプログラムを転送し、その試験プログラムを実行する。

試験プログラムの構成および実行制御ルーチンのフローチャートを図 3.1 および図 3.2 に示す。

3.1.2 基本クロックルーチン

60Hz のクロックパルスによって Echo Generator ルーチンを起動させ周期的なパルスを発生させる。このパルスによって実時間、時間遅れおよび周期的に実行するプログラムの時間の計数を行なう。

3.1.3 入出力制御ルーチン

アナログ入力およびデジタル出力（マトリクスリレー出力）を制御するルーチンでそれぞれの Ready 信号によって起動する。アナログ入力装置は積分形デジタル電圧計を用いているため入力リレーの切換え、A/D 変換開始指令はデジタル出力で行ない、さらに A/D 変換完了信号によって 0～10V の入力値をデジタル入力で読み取る。アナログ入力制

表 3.1 リクエスト機能 Request functions

| リクエスト 名 称 | リクエスト No. | リクエスト受付 可能モード | | KEY 要 否 | キャンセル 有 無 |
|--------------|--------------|------------------|-------------|------------|--------------|
| | | 試験実行 モード | 試験停止 モード | | |
| 年 設 定 | 15 | ○ | ○ | YES | NO |
| 月 日 設 定 | 1 | ○ | ○ | YES | NO |
| 時 刻 設 定 | 2 | | ○ | YES | NO |
| 車 種 設 定 | 3 | | ○ | YES | NO |
| 車両条件設定 | 4 | | ○ | YES | NO |
| 試験項目設定 | 5 | | ○ | NO | NO |
| 試験項目表示 | 6 | ○ | | NO | NO |
| 試験結果表示 | 7 | ○ | ○ | NO | NO |
| 試験結果作表 | 8 | ○ | ○ | NO | YES |

注) 試験実行モードには試験項目設定によりなり、試験終了または停止により試験停止モードとなる。

御に使用している デジタル 出力以外はマトリクス出力（リレーによるマトリクスで X・Y の一対になった デジタル 出力命令を 2 度実行して格子点のリレーを駆動する）であり、一つのマトリクス出力が完了するまで次の出力要請はできず Busy 状態となる。アナログ入力と デジタル出力は共に一つの入出力制御プログラムとして構成され、次のような要請方法がある。

(1) マトリクス出力 (1)

以前の接点状態に関係なく新たに与えられた出力パターンを出力する

(2) マトリクス出力 (2)

以前の接点状態を保持し指定された接点についてのみ ON-OFF の制御をする。

3.1.4 印字ルーチン

操作員に対する アナウンス や試験成績書作成のための印字を行なうプログラムで試験の実行を妨げることなくタイプライタへのプリントを行なう。

3.2 リクエストプログラム

あるユニットの試験をこれから開始する場合に①どのリレーステーションで②どのようなユニット（車種）の試験を③どの試験項目から開始すべきかを計算機に指定してやる必要がある。また計算機室に居ながらにして各リレーステーションでどこまで試験が進行しているか、あるリレーステーションの試験項目何番の結果はどうであったかを知ることができれば便利である。このような計算機と試験員の間における情報交換は中央操作盤からのリクエストにより行なわれ、その処理プログラムがリクエストプログラムである。リクエストプログラムを表 3.1 にまとめて示す。

3.2.1 年設定

現在が昭和何年であるかを計算機に読み込ませる。これは試験結果作表のときに使われる数値となる。

3.2.2 月日設定

現在が何月何日であるかを計算機に読み込ませる。これは試験結果作表のときに使われる数値となる。

3.2.3 時刻設定

現在の時刻を計算機に読み込ませる。時刻はオンラインで自動的に更新され各リレーステーションに対し試験開始時刻、終了時刻を記憶しておき試験結果作表のとき年月日とともに印字される。

3.2.4 車種設定

何番のリレーステーションでどのようなユニット（何号車と何号車のユニットであるということに等しい）の試験をするかを計算機に知らせる。このリクエストによりそのリレーステーションに対応する試験結果のデ

表 3.2 試験プログラム電気関係 Test programs(electrical)

| 試験項目 | プログラム名 | 試 験 名 |
|---------|-----------------|--|
| 100～114 | メグ耐圧試験 | M' 車低圧回路 (GS) 絶縁試験 |
| 120～137 | メグ耐圧試験 | M 車低圧回路 (GS) 絶縁試験 |
| 140～143 | メグ耐圧試験 | M 車メグ耐圧試験 (二重絶縁) |
| 150～154 | メグ耐圧試験 | 総合メグ耐圧試験 (系統別) |
| 160～162 | 引通し線メグ測定 | KE 200 連結器メグ試験 |
| 170～172 | 引通し線導通試験 | KE 200 連結器導通試験 |
| 180～182 | 引通し線メグ測定 | 無線用65心連結器メグ試験 |
| 190～192 | 引通し線導通試験 | 無線用65心連結器導通試験 |
| 200～219 | 目視試験 | M' 車動作試験 (EGS パンタ, ABB, ABB 保ズ役人, ABB 保安) |
| 230～232 | TCg・BReD 動作時間測定 | M' 車動作試験 (TCg 動作時間) |
| 240～242 | TCg 電圧比測定 | M' 車動作試験 (TCg 電圧比) |
| 250～252 | TCg 進め戻しおよび開放試験 | M' 車動作試験 (TCg 進め戻し試験) |
| 260～262 | TCg 進め戻しおよび開放試験 | M' 車動作試験 (TCg 開放試験) M' 車開放 |
| 270～272 | TCg 進め戻しおよび開放試験 | M' 車動作試験 (TCg 開放試験) M 車開放 |
| 280～284 | 目視試験 | M' 車動作試験 (TCg 戻し試験) SkRR 動作 |
| 300～308 | PB 転換, 不転換試験 | M 車動作試験 (PB 転換試験) |
| 310～315 | L スイッチ動作試験 | M 車動作試験 (L スイッチ動作試験) M 車 |
| 320～325 | L スイッチ動作試験 | M 車動作試験 (L スイッチ動作試験) M' 車 |
| 330～331 | 全車開放 L スイッチ動作試験 | M 車動作試験 (全車開放 L スイッチ不動作) |
| 340～342 | TCg・BReD 動作時間測定 | M 車動作試験 (BReD 動作時間) |
| 350～352 | BRe 抵抗値測定 | M 車動作試験 (MRe 1 抵抗測定) M 車 |
| 360～362 | BRe 抵抗値測定 | M 車動作試験 (MRe 2 抵抗測定) M' 車 |
| 400～418 | 目視試験 | M 車動作試験 (GR _{2a1} ² , MMOCR ₂ ¹ , SkRR ₂ ¹ , CR ₂ ¹ , ブレーキ表示灯, 力行中スポッティングブレーキ) |
| 420～426 | 目視試験 | M 車動作試験 (GR _{2a1} ² , MMOCR ₂ ¹ , SkRR ₂ ¹ , CR ₂ ¹ , ブレーキ表示灯, 力行中スポッティングブレーキ) |
| 500～503 | 引通し線立上り試験 | Mc, M'c 車立上り試験 (ブレーキ弁) |
| 510～522 | 引通し線立上り試験 | Mc, M'c 車立上り試験 (マスコン) |
| 530～545 | 引通し線立上り試験 | Mc, M'c 車立上り試験 (ブレーキ弁短絡, パンタ, ABB, ZGS, ベビコン速度リレー常用ブレーキリレー, 戸棚) |

ータはクリアされ、その時刻を試験開始時刻とする。

3.2.5 車両条件設定

同一車種でも何次車かにより試験方法(プログラム)が多少異なる。これを計算機に知らせるためのものである。

3.2.6 試験開始項目設定

試験は定められた順序で進行するが、どの試験項目から試験を開始するかはこのリクエストによって任意に選択可能である。

3.2.7 試験項目表示

リレーステーション NO. を指定し、そのリレーステーションでどこまで試験が進行しているか表示して見られる。いったんこのリクエストがされると他の表示リクエストがあるまで指定されたリレーステーションの試験項目が進段されるにつれて表示も更新されつづける。

3.2.8 試験結果表示

リレーステーション NO. と試験項目を指定してその試験結果を表示させることができる。

3.2.9 試験結果作表

リレーステーション NO. を指定し試験結果を作表させる。このとき試験項目も指定すればその試験項目以降を印字作表する。印字の途中でそれ以降の印字が不要であればキャンセルリクエストにより印字は停止する。この印字は車種リクエストによりデータがクリアされないかぎり任意時刻にリクエスト可能であり、その時刻をもって試験終了時刻とされる。

3.3 試験プログラム

試験プログラムはスーパーバイザの援助のもとに電気試験器、リレーステーション、ブレーキ試験器、移動操作盤などを一定のシーケンスに従って自動制御することにより車両の試験を実行するプログラムであり、どのリレーステーションでそのプログラムが動作してもさしつかえないように作られている。試験プログラムは12個のプログラムと18個のサブルーチンにより構成されている。表3.2は12個のプログラムによって行なわれる試験項目を示す。2, 3のプログラムの概要を以下に述べる。

3.3.1 試験項目探索サブルーチン

このサブルーチンは、いま終了した試験項目と車種 NO. により次に実行すべき試験項目を探し出し、かつ測定値および可否判定結果を記憶すべき番地を決定して新しい試験プログラムの起動をスーパーバイザに要求する。

3.3.2 TCg (Tap Changer) 電圧比測定プログラム

TCg 電圧比測定は図 3.3 に示すシーケンスにより行なわれる。すなわち試験員は準備作業を終了して進段スイッチを押せば不合格でないかぎり一切作業は不要である。かりに途中のステップで不合格となればシーケンスはそこでいったん停止し、車両の状態を確認した後再測定も可能である。そしてすべてのステップが合格の場合は車両の状態を元に戻した後自動的に試験項目は次へ進み、不合格のステップがあれば車両の状態を確認して再試験(再測定でなく改めて1ステップより試験を実行)もできる。各ステップの可否の判定は計算機にあらかじめ記憶されている上下限值と比較して行なわれる。

3.3.3 BRe (Breake Resistance) 抵抗値測定プログラム

BRe 抵抗値測定のシーケンスは上記の TCg 電圧比測定と同一であるが、可否の判定方法が異なり次のようになっている。

1 ステップ

与えられた上下限值以内にあること

2～17 ステップ

一つ前のステップの抵抗値の96～80%の間にあること

18 ステップ

17ステップの抵抗値に等しいこと

4. む す び

検修作業は従来単能測定器を用いて熟練した作業者の判断によって行なわれてきたが、電子計算機を導入して自動化された測定器群を制御し可否の判定を行なうことによって、各作業による判定のばらつき、検査もれが防止でき、データ処理も確実に行なえる。

さらに車両の製作段階において自動試験のための準備作業を極小

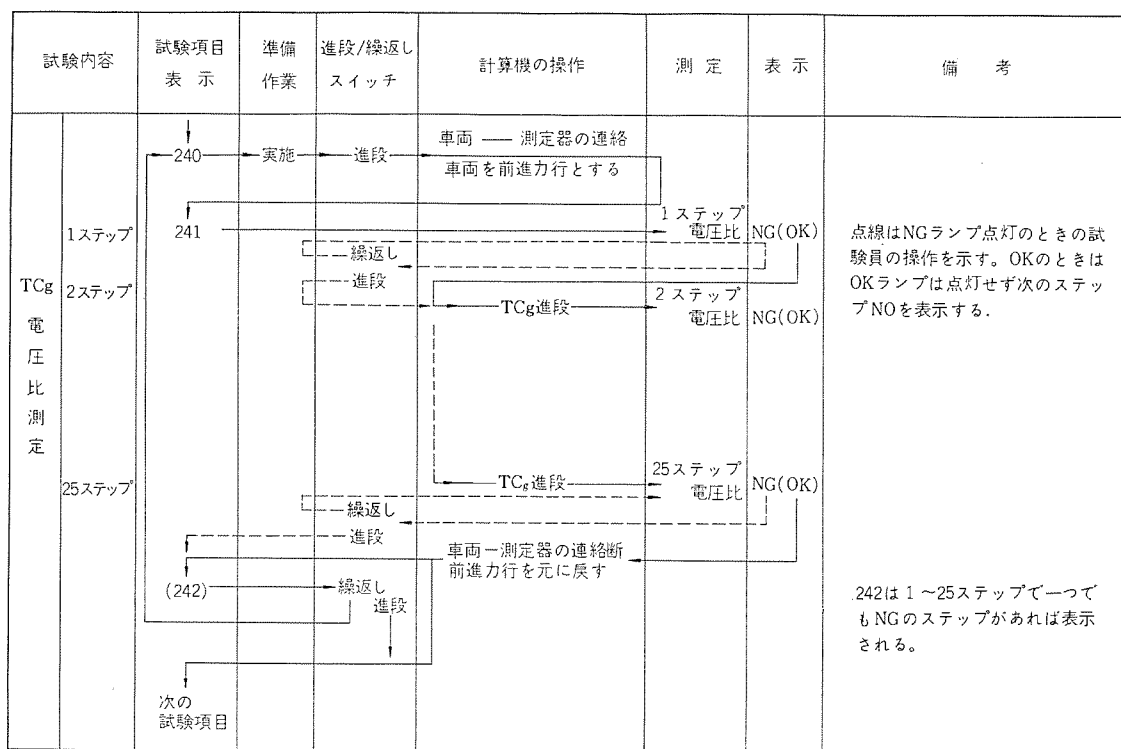


図 3.3 TCg 電圧比測定 シーケンス Sequence of tap changer voltage ratio test.

化することができれば、試験に要する時間を短縮することにとどまらず、これを一定とすることも可能となる。またデータ処理に関しても検査データを磁気テープに記録することにより、検査データの保存方式の改良が可能であり、また統計的処理によって車両の信頼性に応じた効果的保守方式が確立されていくのではないだろうか。

終わりに今回試験装置の製作に関し適切なるご指導を下さった日

本国有鉄道本社ならびに浜松工場のかたがたに厚くお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 三橋ほか：三菱電機技報，42，NO. 11，1,468（昭43）

計算機 (MELCOM 350-5) による位置制御装置

川崎 宗男*・三浦 望*

Automatic Position Regulators Controlled by MELCOM 350-5 Digital Computers

Head Office Muneo KAWASAKI・Nozomu MIURA

DDC (Direct Digital Control) has been drawing attention as application of a recent control computer. This article is a report on the DDC turned to practical use for automatic position regulators arranged in the iron and steel rolling process. The position regulator has been used exclusively for each loop so far, but introduction of a small computer MELCOM 350-5 has made it practicable to have on-line time sharing control of many loops in actual working plants.

The system composition and program of it are briefly given herein.

1. ま え が き

鉄鋼圧延プロセスにおいて、ロール開度、サイドガイド、プッシャー、エキストラクター等の機械部分を、所定の位置に正しく設定するために、従来からそれぞれのループに専用の自動位置制御装置が使用されてきた。この制御装置には、アナログまたはデジタル方式によるフィードバック制御を応用していたが、今回、MELCOM 350-5 (以後 M-5 と略記) 小形計算機により、On line Time Sharing 方式で多数ループの直接制御の実用化に成功したので、その概要を紹介する。

位置制御装置を、DDC (Digital Direct Control) に置き換えることにより、多数ループ併置の経済性、装置床面積の減少、配線工事の節減と、将来の運転方法の変化に対して、容易に、追加・修正が可能である等の利点があるばかりでなく、プログラムが各ループ共通であるため、現地における調整作業が短縮される。また、位置制御に伴うシーケンス制御もオンラインで処理可能となり、設定タイミングの自動化も容易になる。

位置制御系を計算機化したのは、わが国で最初であり、鉄鋼プロセスの自動化、省力化に大きな役割を果たすものと期待されている。

2. 従来の位置制御装置と、M-5 方式

当社における従来の位置制御装置は、デジタル偏差検出器による固定ロジック方式で、その構成は図 2.1 に示されるとおりで、点線に囲まれた部分が一つのキャビネットに内蔵されている。概略の動作要領は次のとおりである。

すなわち電動機駆動装置の位置情報は、セルシンを介してパルス発信器でデジタル変換され、可逆カウンタに読み取られる。デジタル偏差検出器は、目標値である基準値入力と可逆カウンタとの差を論理回路により計算すると同時に、偏差の方向を弁別し、速度制御装置に速度出力を行なう。電動機が目標値に向かって駆動すると、その位置は連続して可逆カウンタに読み取られ、偏差が小さくなるに従い減速を行ない、所定の位置に停止させる方式である。今回の M-5 による直接制御では、点線に囲まれた部分をスタートロジック方式にし、多ループの時分割制御を実現したもので、そのシステム構成を図 2.2 に示した。

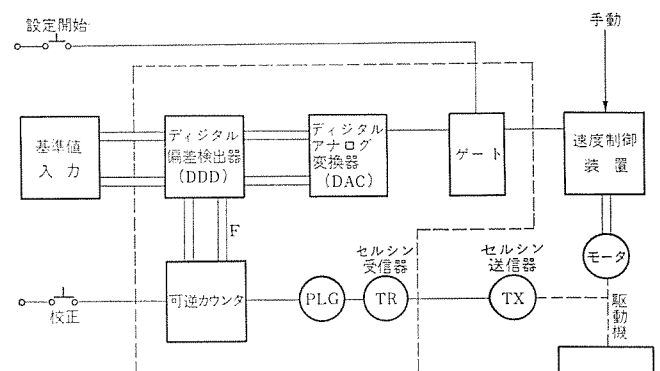


図 2.1 固定ロジック方式による位置制御装置のブロック図
Block diagram of position regulator system by hardware logic.

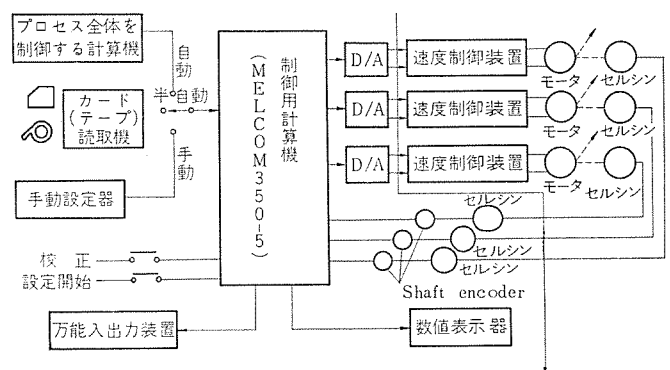


図 2.2 計算機による位置制御装置のブロック図
Block diagram of position regulator system by digital computer.

3. 経済性の比較

従来の固定ロジック方式の位置制御装置は、各制御ループごとに個別に装置を設置するから、ループ数が少ない場合は、従来の方式の方が経済的である。

一方、小形計算機による場合、インシャルコストが高いためループ数の少ない場合は割高となるが、ループの付加コストが安価であり、ループ数が多くなると経済的となる。この関係を図 3.1 に示す。

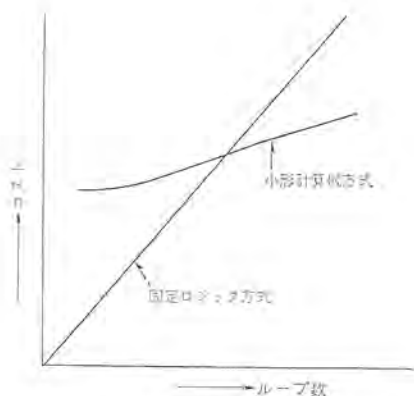


図 3.1 固定ロジック方式と計算機による場合のコストの比較
Comparison of cost of hardware logic with cost of digital computer (MELCOM 350-5).

4. M-5 位置制御装置のシステム構成

M-5 位置制御装置は、M-5 計算機、DAC 変換器、シャフトエンコーダの三つのサブシステムより構成される。その構成図は、図 2.2 に示す。

4.1 M-5 計算機

M-5 は回路素子として集積回路を使用し、レジスタの多重使用により、ハードウェアの最小化を実現した高信頼度の小形計算機である。またビットカード構成を採用し、保守の点でも容易になっている。制御用計算機の概略の仕様を表 4.1 に示したが、詳細については別に記載した“MELCOM 350-5 制御用電子計算機システム”を参照されたい。

4.2 DAC, ADC

DAC とは、Digital Analog Converter の意味で、外部レギュレータを制御するために M-5 計算機から出力されたデジタル信号をアナログ信号に変換するための装置で、計算機キャビネットと同一列盤に納められている。

さて、M-5 計算機出力は、電圧レベル信号でコード化されており、計算機内のハードロジックで変換され、DAC の入力信号となる。計算機出力信号にレベル信号を使用することは、接点による DAC 内での時間遅れを少なくするためである。DAC の出力は、電流値（または電圧値）に変換され、スピードレギュレータへの基準信号となる。この方式で可変電圧制御系の位置制御が行なわれるが、このアナログ出力値は、5 章でのべる停止時のスローダウンカーブにより決定され、その計算過程において、M-5 のポジションループに対するスキニング時間およびドライブのフリクションなどが決定される。DAC の出力は、その系に応じた最適段階の可変調整のスローダウンステップがとれる。これは、計算機システムのみならず多くのシステムに使用されているので、ここでの説明は省略する。

位置検出は、回転角でおこなわれ、ADC (Analog Digital Con-

表 4.1 M-5 計算機の中央演算装置の仕様
Specification of central processor unit (MELCOM 350-5).

| | |
|------------|---------------|
| 回路素子 | IC およびシリコン半導体 |
| 演算方式 | 2 進並列、固定小数点 |
| 語長 | 16 ビット |
| 命令数 | 27 個 |
| アドレス方式 | 相対、間接アドレス |
| インデックスレジスタ | 16 個 |
| 加減算 | 10 μ s |
| コアメモリ | 8 k 語 |
| 万能入出力装置 | 1 台 |
| プロセス入出力 | 1 式 |

verter) に使用されるシャフトエンコーダは、M-5 計算機に位置制御系の位置をフィードバックするもので、DDC を行なううえで特長のあるものの一つである。機械にはセルシ送受信器で接続され、受信器とは減速ギヤを通してシャフトエンコーダと接続される。シャフトエンコーダは 256 ビット/回転数を標準としているので、受信器とエンコーダ間には、適当な減速ギヤを選択しなければならない。

シャフトエンコーダの符号は、2 進 10 進法のコードが使用されている。このコードは、動作中に生ずる符号の“あいまいさ”はなく、補助回路をまったく必要としない。また、2 進 10 進であることから、計算機内への入力および処理が容易になっている。なお 256 カウント以上の値に対しては、2 枚の符号板を使用する。

エンコーダは、セルシ受信器・減速ギヤとともに計算機と列盤に納められる。したがって、計算機 D/I ユニットとは最短距離で配線され、外乱に対して安定である。シャフトエンコーダの寿命は、回転数および走行距離で決められるので、符号板の大きさは、なるべく小形化することが望ましく、現在、 2^8 (256 ビット) が最大となっている。なおすでに実動中のものについては、寿命試験を行なった結果から、十分な寿命が確認されている。

5. 動作原理

4 章で述べた図 2.2 のシステム構成で、その動作を説明する。すなわち、設定開始と同時に位置フィードバック値は、そのシステムで決められたスキャンタイム（たとえば 33ms）で読み取られ、計算機内のメモリは順次更新されてゆく。フィードバック値のスキャンの割合は、位置制御系の応答性および同時に駆動される位置制御系のループ数によって決まる DUTY などによって決められる。

その動作を可変電圧制御ループを例に考えれば、

(a) 与えられた設定目標値の読み込みおよび現在の位置に対して正方向か、逆方向かを判断する。

(b) 目標設定値データより計算した速度 V は、M-5 からコード化されて出力され正・逆 n 段階の位置速度基準指令になおされ、DAC の入力信号となる。

(c) DAC は、上記入力信号をアナログ信号に変換して位置制御系のスピードレギュレータの基準値とする。

(d) 電動機駆動装置の位置変化を、エンコーダを経由して計算機に読み込み、設定目標値 REF に対して偏差 ε を計算し、それに対応する新しい速度基準を与える。

(e) これを繰返し、設定目標値 REF に対して偏差 ε が決められた小さな値になったとき、合致予測信号 (Start-Anticipate) を出力する。

(f) 予測信号後、設定目標値に一致したとき、設定完了、モータ停止信号 (Zero Error) を出力する。

(g) 精度をあげるために、設定方向は常に一方方向に行なわれ、逆方向設定に対しては目標値を Over-Shoot させて、設定方向を常に一方方向にしている。これにより、機械のバックラッシュは完全に除くことができる。

以上、簡単に動作を説明したが、最も注意しなければならないものは、駆動系のスローダウンカーブの決定である。その文献に示された計算例を次に示す。

(1) 電動機: 55/110 kW 515/1030 rpm 220/440 V

(2) 慣性: 電動機 22kg·m²
プレーキ 15.2kg·m²

機 械 4.6 kg·m²
(電動機軸換算 GD²) 42. kg·m²

- (3) 機 械: 減速ギヤ 50/1 (GR)
ラックギヤ 0.458M (PD)
(4) 最小単位 (Min. Increment) 3 mm

[計算]

1. 電動機・定格トルク

$$\frac{\text{kW} \times 975}{\text{rpm}} = \frac{55 \times 975}{515} = 104 \text{ kg·m}^2$$

2. 機械駆動速度

$$V = \frac{N}{60} \times \frac{1}{GR} \times P. D$$

$$= \frac{N}{60} \times \frac{1}{50} \times 0.458$$

3. 15 % フリクション・トルクで 1/2 インCREMENT から停止できる最大速度。

$$N = \sqrt{\frac{T \times REV}{GD^2}} = 29.6 \text{ rpm}$$

$$\frac{29.6}{1030} \times 100 = 2.88 \% \approx 2.5 \%$$

4. 110 % フリクション および モータトルク で、最高速度から停止までの INCREMENT

$$NK = \frac{GD^2 \times \text{rpm}}{375 \times T} \times \frac{\text{rpm}}{2 \times 60} \times \frac{1}{MN} = 82 \text{ INCREMENT}$$

5. 50 % フリクション および モータトルク で、3 INCREMENT の オーバershoot をとるための最小速度

$$V_0 = \sqrt{\frac{T \times REV}{GD^2}} = 133 \text{ rpm}$$

$$\frac{133}{1030} \times 100 = 12.7 \text{ 全速度の } 15 \%$$

6. モータトルク 110 % 使用可能としたとき、15 % 速度から停止するまでの INCREMENT 数

$$b_0 = \frac{WK^2 \times \text{rpm}}{375 \times T} \times \frac{\text{rpm}}{2 \times 60} \times \frac{1}{MN}$$

$$= 1.85 \approx 2 \text{ INCREMENT}$$

7. 1030rpm で、40MA の出力のある DAC からスピードレギュレータ への速度基準は

$$REF = 40 \sqrt{\frac{INC + b}{NK}}$$

(a) 位置設定中

$$REF = 40 \sqrt{\frac{INC + 0}{82}}$$

(b) オーバershoot

$$REF = 40 \sqrt{\frac{INC + 2}{82}}$$

例として、8 段階の減速点をもつ場合について考えれば減速点は、表 5.1 に表すとおりになり、さらに図 5.1 に図示する。

このようにして決定された理論的なスローダウンカーブにしたがって、機械は減速、目標位置に停止する。計算機は、このフィードバック値を常にスキャンしながら、決められた点で速度基準値を変えている。そして最終停止ゾーンでその出力をゼロにし、機械はフリクションで停止する。実動中のループをみても、経験的に減速中にモータトルクを最

表 5.1 スローダウン値
Characteristic of slowdown.

| INCREMENT | (正)位置制御基準 | (逆)位置制御基準 |
|-----------|-----------|-----------|
| | MA | MA |
| 82 | 40.0 | 40.0 |
| 80 | 39.4 | 40.0 |
| 64 | 35.3 | 35.9 |
| 50 | 31.4 | 31.8 |
| 36 | 26.4 | 26.9 |
| 24 | 21.6 | 23.0 |
| 12 | 15.3 | 16.6 |
| 6 | 10.9 | 12.5 |
| 2 | 6.3 | 8.8 |
| 0 | 0 | 6.2 |

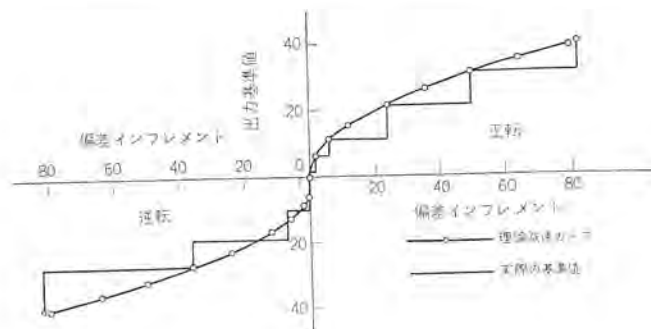


図 5.1 スローダウンカーブ
Slow down curve of position regulator.

大 250 % まで使用することは、位置制御系の応答性および計算機のスキャン時間を考慮すると精度を十分だしえないことが多い。また、この理論的なスローダウンカーブは、計算機によって最適なものに修正することができるのも、このシステムの最大の利点である。

6. 運転モード

M-5 位置制御システムにおいて、次の四つのモードが準備されている。

(1) 自動モード

位置制御まわりのシーケンス制御およびスケジュール計算は、親計算機によって行なわれるので、目標値および設定タイミングは、親計算機より与えられる。M-5 は、位置設定動作終了後、合致信号(ゼロエラー)を送信し、親計算機のシーケンスを進める。

(2) プリセットモード

設定タイミングは運転員の押しボタン操作により、目標値は運転室のディジタリクススイッチに設定される。

(3) 手動モード

M-5 と位置制御系は完全に切り離され、位置制御装置は手動操作により設定される。

(4) 校正モード

シャフトエンコーダの位置と機械の絶対位置とのオフセット量を計算するモードで、運転員のリクエストにより随時計算される。

7. M-5位置制御装置のプログラム

M-5 計算機による位置制御システムのプログラム構成を図 7.1 に示す。各プログラムは、スーパーバイザーの制御のもとに、開始・終了・時間遅延が行なわれ、プログラム間のインタフェースはフラグで行なわれ、位置制御系の必要なデータは共通データエリアに設定される。

概略のプログラムの流れを、プリセットモードの場合について説明する。

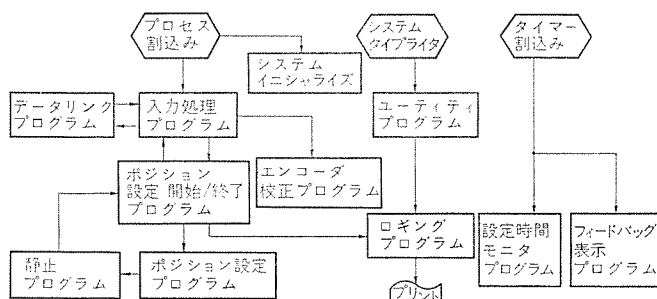


図 7.1 プログラム構成図

Software system diagram of position regulator.

7.1 入力処理プログラム

運転員からの設定開始信号が、プロセス割込みとなって、このプログラムが開始される。最初に位置制御駆動系が M-5 出力を受け入れる準備が整っているかを調べる。次に、ディジタリンスイッチに設定された目標値を工学単位で入力し、エンコーダ単位に変換し、同時に上、下限チェックを行なう。読み取った目標値は運転盤に表示され、ポジション設定開始/終了プログラムに移る。

7.2 ポジション設定 開始/終了プログラム

このプログラムは開始部と終了部からなり、どちらのパスにはいるかは、次の式 (7.1) で計算された偏差が、その系の精度範囲内であるか否かによる。

$$E = |FB - REF| \dots\dots\dots (7.1)$$

FB: 現在位置のフィードバック値

REF: 設定目標値

E: 偏差

7.2.1 開始部

式 (7.1) の E が、精度範囲よりも大きいときこのパスにはいり、E の符号を判別する。正の場合は、機械のゼロ位置に近づく方向であり、負の場合は、逆に離れる方向に電動機を制御することになり、表 7.1 に示すスローダウンカーブの開始番地を決める。次に、閉ループ接点出力をオンにし機械系のブレーキを開放し、位置制御系が、プログラムコントロールにはいったことを運転員に知らせるため、設定中ランプを点灯し、ポジション設定プログラムを開始する。

7.2.2 終了部

E が精度範囲内のときに、このパスに入り、位置制御動作が終了したことを判断し、閉ループ接点出力をオフして機械系のブレーキを閉じ、設定中ランプを消灯し、合致信号を出力する。

その後の終了処理は、入力処理プログラムに受け渡される。

7.3 ポジション設定プログラム

このプログラムは、制御系の現在位置をサンプリングしながら、偏差の大きさに応じた速度出力を行なうため、制御系の応答速度に十分に合う周期的時間遅延で、周期的に動くプログラムである。

制御系を目標の位置に停止させる場合の速度出力と偏差の関係は、図 5.1 に示されるとおりで、カーブ上の○印で示される点が減速点である。偏差位置および出力電流値は、5 節の計算式により算出され、表 5.1 の如く、正方向、逆方向について決定される。このスローダウンカーブは、減速点の偏差、その時点の速度出力パターンと交互に、表 7.1 の如く格納されている。このプログラムでは、シャフトエンコーダからのフィードバックを高速スキャンして、順次、電動機の減速制御を行なう。

表 7.1 スローダウンプロフィール
Slowdown profile.

| 正方向スローダウン | 停止出力 | 停止出力 | 逆方向スローダウン | 速度ダウン |
|-----------|-------------|-------------|-----------|-------|
| | $E_{f,n}$ | $E_{r,n}$ | | |
| | $V_{f,n-1}$ | $V_{r,n-1}$ | | |
| | $E_{f,n-1}$ | $E_{r,n-1}$ | | |
| | ... | ... | | |
| | $V_{f,2}$ | $V_{r,2}$ | | |
| | $E_{f,2}$ | $E_{r,2}$ | | |
| | $V_{f,1}$ | $V_{r,1}$ | | |
| | $E_{f,1}$ | $E_{r,1}$ | | |
| | 最大速度 | 最大速度 | | |
| | エンコーダ最大値 | エンコーダ最大値 | | |

7.4 静止プログラム

制御系が、停止出力を M-5 より受けとり、実際に静止するまでの時間遅れを設定するプログラムで、ポジション開始/終了プログラムは、完了時の式 (7.1) の偏差を、電動機の静止状態で読取ことを保証する。

7.5 エンコーダ校正プログラム

運転員のリクエストにより開始されるプログラムで、実際の値とシャフトエンコーダよりのフィードバックの値とのオフセット量を算出する。計算されたオフセット量により、シャフトエンコーダの読みが補正される。

7.6 設定時間モニタープログラム

このプログラムは、システムタイマーの割込信号により周期的に動くプログラムで、位置制御系が M-5 による制御にはいつてから所定の時間内に、設定動作が完了するか否かを監視する。所定の時間内に完了しない場合は異常状態と判定し、そのループに対する M-5 出力を、シャットダウンする。

7.7 フィードバック表示プログラム

システムタイマーの割込信号により、周期的に動くプログラムで、各ループのフィードバックをスキャンし、表示を行なうとともにフィードバック値が正常であるか否かをチェックする。異常の場合、そのループに対する位置制御動作を停止する。

7.8 ロギングプログラム

システムタイプライターからのリクエストにより開始されるプログラムで、位置設定動作の経過を、表 7.2 のようにシステムタイプライター上に印字する。ORGPOS は開始時の位置、REF は目標値、TIME は設定時間(秒)である。表 7.2 の左 2 列は表 7.1 の内容であり、右 2 列は、実際の M-5 動作をポジション設定プログラムで記憶した内容である。

7.9 システムイニシャライズプログラム

運転員のリクエストがプロセス割込みとなって開始されるプログラムで、M-5 出力およびフラグを初期状態にする。このためこのプログラムが、プラント側で異常状態が生じた場合の M-5 に対する非常停止にも使用される。

7.10 データリンクプログラム

オペレーションモードが自動のとき M-5 は親計算機とリンクし、目標値

表 7.2 ロギングのプリントフォーマット
Printed format of logging.

| | | | |
|-------------|---------|-----------|-----------|
| DRIVE 05 | | | |
| ORGPOS 3000 | | REF. 2850 | TIME 1.53 |
| ERRTBL | ACTTBL | ERROR | ACTION |
| 20 | F 01000 | 20 | F 01000 |
| 15 | F 00111 | 14 | F 00111 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 1 | F 00000 | 1 | F 00000 |

および設定 タイミング が指示される。M-5 は、設定終了信号と フィードバック 値を親計算機に送信する。この間の伝送速度は、最大1,000 キャラクタ/秒である。

8. む す び

M-5 位置制御装置は、多数 ループ の時分割制御を実現したが、同

時に付加機能としてシーケンス 制御、工程管理用計算機との情報交換も容易となり、鉄鋼圧延プロセスの省力化に大いに貢献するものである。

最後に、このプロジェクトの遂行にあたって、種々ご指導、ご協力いただいた関係各位に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 齊藤：プロダック 制御装置，三菱電機 36, NO. 5, P. 40 (昭37)
- (2) 齊藤・小川：最新の自動制御装置，三菱電機技報 40, NO. 8 P. 1236~1246 (昭41)
- (3) C. F. Alsop, Position Regulators, Journal of the Iron and Steel Institute, 378 (April, 1967)

| 名 | 称 | 登 録 日 | 登 録 番 号 | 考 案 者 | 関 係 場 所 |
|--------------------------|---|----------|---------|--------------------------|---------|
| 冷暖房装置 | | 43- 7- 5 | 849773 | 釣 巻 英 久・牛 越 諒 | 中津川製作所 |
| 扇風機の俯仰角調節装置 | | 43- 7- 5 | 849774 | 糸魚川佐富 | 中津川製作所 |
| 扇風機の俯仰角調節装置 | | 43- 7- 5 | 849775 | 糸魚川佐富 | 中津川製作所 |
| 扇風機の俯仰角調節装置 | | 43- 7- 5 | 849776 | 糸魚川佐富 | 中津川製作所 |
| 冷暖房装置 | | 43- 7- 5 | 849777 | 丹羽 久 司 | 中津川製作所 |
| 気体の除湿清浄化装置 | | 43- 7- 5 | 849778 | 長 沢 進・丹羽 久 司 | 中津川製作所 |
| 空調和装置 | | 43- 7- 5 | 849779 | 井上 信 吾・長 沢 進 | 中津川製作所 |
| 端子盤の固定装置 | | 43- 7- 5 | 849780 | 小 沢 永 一 | 群馬製作所 |
| 冷蔵庫の パターケース | | 43- 7- 5 | 849781 | 加 藤 栄 一 | 静岡製作所 |
| 保温庫 | | 43- 7- 5 | 849782 | 岡 上 廉 | 群馬製作所 |
| コード 止め装置 | | 43- 7- 5 | 849783 | 馬淵 公作・慶野 長 治 | 群馬製作所 |
| 電気 コント | | 43- 7- 5 | 849784 | {町原義太郎・森本 敏夫 鳥山 建 夫 | 群馬製作所 |
| 小型直流機 | | 43- 7- 5 | 849785 | 武井 久 夫・長 嶺 元 | 群馬製作所 |
| コードリール | | 43- 7- 5 | 849786 | 市 岡 洋 | 中津川製作所 |
| 電気煮炊具の温度調節装置 | | 43- 7- 5 | 849787 | {高橋 正 晨・野畑 昭 夫 大沢 和 夫 | 群馬製作所 |
| コード 収納装置 | | 43- 7- 5 | 849788 | 日比野好伸・川合 輝 一 | 群馬製作所 |
| 吸収式冷暖房機の吸収器 | | 43- 7-15 | 850541 | 笠 置 紘・湯 山 苧 | 商品研究所 |
| テープレコーダ | | 43- 7-27 | 851463 | 進 藤 武 男・和田 庄 次 | 郡山製作所 |
| 伸縮自在パイプの緊締装置 | | 43- 7-27 | 851466 | 武井 久 夫 | 群馬製作所 |
| オートスライドプロジェクタ 用信号定時間録音装置 | | 43- 7-27 | 851468 | 寺 田 武・成木 利 正 | 郡山製作所 |
| 吸収式冷暖房機の吸収器 | | 43- 7-27 | 851472 | 山崎 起 助 | 商品研究所 |
| 吸収式冷暖房機の発生器 | | 43- 7-27 | 851473 | 山崎 起 助 | 商品研究所 |
| 吸収式冷暖房機の発生器 | | 43- 7-27 | 851474 | 笠 置 紘・山崎 起 助 | 商品研究所 |
| 吸収式冷暖房機の発生器 | | 43- 7-27 | 851475 | 山崎 起 助 | 商品研究所 |
| 冷蔵庫扉の把手装置 | | 43- 7-27 | 851476 | 加 藤 栄 一 | 静岡製作所 |
| 強制通風式冷凍冷蔵庫の冷却器 | | 43- 7-27 | 851477 | 山越 明 秀・高 木 昇 | 日本建鉄 |
| 冷暖房装置 | | 43- 7-27 | 851478 | 牛 越 諒 | 中津川製作所 |
| ルーバーの風向用回動羽根の取付け装置 | | 43- 7-27 | 851479 | 池田 日 登 志 | 静岡製作所 |
| デジタル 論理回路実験装置 | | 43- 7-27 | 851481 | 今 出 昭 彦・西 健 一 | 鎌倉製作所 |
| 母線支持装置 | | 43- 8-16 | 852243 | 長谷川 利 夫 | 名古屋製作所 |
| 二次電子放出面 | | 43- 8-16 | 852244 | 西 岡 直・豊 島 一 男 | 中央研究所 |
| 自動式 インバータの通弧検出装置 | | 43- 8-16 | 852245 | 細 野 勇 | 伊丹製作所 |
| 曲管支持装置 | | 43- 8-16 | 852246 | 松 尾 昇 | 神戸製作所 |
| 送電線保護装置 | | 43- 8-16 | 852247 | 北 浦 孝 一 | 神戸製作所 |
| 電子管用 ソケット | | 43- 8-16 | 852248 | {吉光 康 良・竹内 宏 一 藤田 雅 弘 | 通信機製作所 |
| タイムスイッチ 装置 | | 43- 8-16 | 852249 | 武田 克 巳・佐藤 安 俊 | 福山製作所 |
| 電気車制御装置 | | 43- 8-16 | 852250 | 三 橋 英 一 | 伊丹製作所 |
| 回路保護装置 | | 43- 8-16 | 852251 | 梁 川 美 孝 | 神戸製作所 |
| モールド 形変流器 | | 43- 8-16 | 852252 | 福 田 清 司 | 伊丹製作所 |
| 電気機器の鉄心 | | 43- 8-16 | 852253 | 忍 正 寿 | 伊丹製作所 |
| 発電機の制御装置 | | 43- 8-16 | 852254 | 長 沢 保 明 | 神戸製作所 |
| パルス 符号受信装置 | | 43- 8-16 | 852255 | 小 林 茂 | 通信機製作所 |
| 電気掃除機 | | 43- 8-19 | 852482 | 武井 久 夫・加 藤 悟 | 群馬製作所 |
| ジェーサーの フィルタータンク | | 43- 8-19 | 852483 | 服 部 信 道・岩田 尚 之 | 群馬製作所 |
| 電線接続装置 | | 43- 8-19 | 852484 | 高 田 弘 | 大船製作所 |
| 換気扇 | | 43- 8-19 | 852485 | 田 口 幹 雄 | 中津川製作所 |
| 扇風機首振角度調節装置 | | 43- 8-19 | 852486 | 増 田 元 昭 | 中津川製作所 |
| 油圧式 タイムスイッチ | | 43- 8-19 | 852487 | 伊 藤 一 夫 | 商品研究所 |
| 電気機器のコード 巻取装置 | | 43- 8-19 | 852488 | {加 藤 悟・飯塚 保 角野 英 雄 | 群馬製作所 |
| 換気扇 | | 43- 8-19 | 852489 | 吉 村 宏 | 中津川製作所 |
| ガス 煮炊具 | | 43- 8-19 | 852490 | 長谷川 清・近藤 政 喜 | 群馬製作所 |
| スイッチ 装置 | | 43- 8-19 | 852491 | 長瀬 卯三郎 | 中津川製作所 |
| スイッチの取り付け装置 | | 43- 8-19 | 852492 | 長瀬 卯三郎 | 中津川製作所 |
| 洗濯機の タイムスイッチ 装置 | | 43- 8-19 | 852493 | 伊 藤 一 夫 | 商品研究所 |

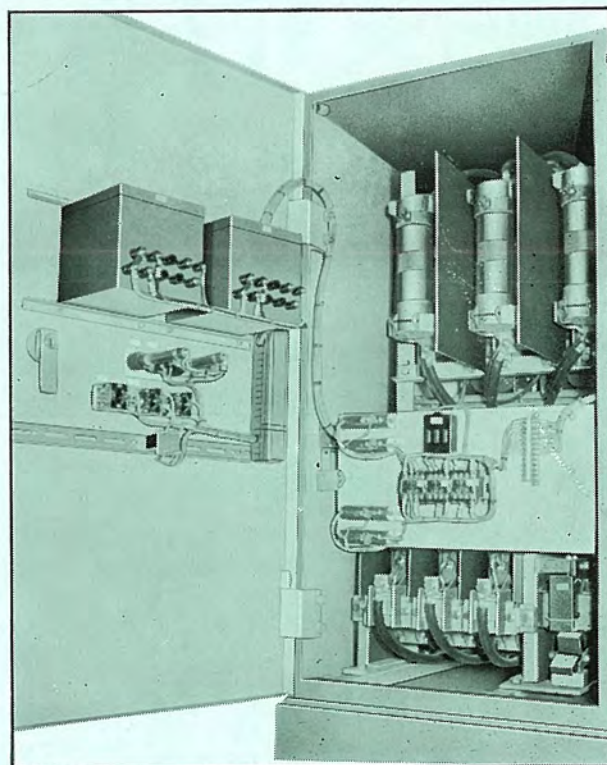
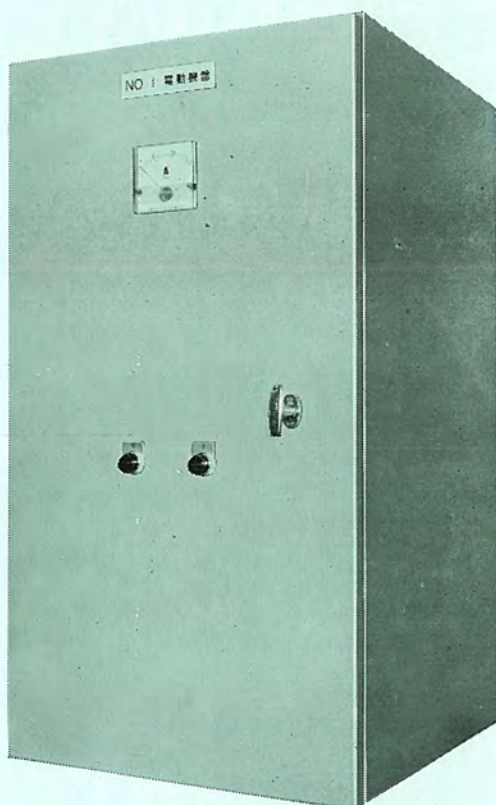
三菱HCパネル

あなたの工場の設備合理化に小形の配電盤を!!

- 小形軽量で2段積配電盤ですから据付面積がわずかで済みます
- 標準化されていますので極めて短い納期にお答へできます

- 限流形電力ヒューズの使用で短絡電流を限流しますので経済的なケーブル選定ができます
- 保守点検が容易な設計にしています
- 気中式・真空式コンタクトいずれも収納可能です

3kVコービネーションパネル(JEM-1114-Aクラス)



定 格 表

| 定 格 電 圧 | | 3kV | | |
|--------------------|------------|---|--------|---------|
| 定 格 電 流 | | 50A | 100A | 200A |
| 適 用 容 量 (最 大) | 電 動 機 | 180kW | 375kW | 750kW |
| | 変圧器・コンデンサー | 250kVA | 500kVA | 1000kVA |
| 電磁接触器 (真空式・気中式) | しゃ断容量 | 33kV 25MVA | | |
| | 規 格 | JEM-1167(開閉容量—定格電流×10 開閉ひん度—600回/時, 寿命25万回) | | |
| 電力ヒューズ(限流形) | しゃ断容量 | 36kV 250MVA (対称値) | | |
| 盤 寸 法 | 幅 | 600mm | | |
| | 高 さ | 1150mm 2300mm (2段積) | | |
| | 奥 行 | 700mm 1000mm (ケーブルボックス付の時) | | |
| カ タ ロ グ 番 号 | | L-32649 | | |

起動・停止 送り速度 送り方向

未来を開発する



駆動系の自動制御に幅広い用途を開拓しました



豊富なシリーズから用途に合わせてお選びください。

1. 三菱〈乾式〉電磁クラッチ・ブレーキ

- 用途
工作機械…旋盤 フライス盤 自動盤 専用機
運搬機械…コンベヤ フィーダ 昇降装置 ホイスト クレーン
設備機械…巻取機 巻線機 伸線機 回転炉 加熱炉 各種
変速装置
などの起動・停止用 送り速度 送り方向の変換用
- 機種
V K形電磁クラッチ R K A形マイクロ電磁クラッチ
J K A-K形電磁クラッチ E B A形電磁ブレーキ
R K B形マイクロ電磁ブレーキ

3. 三菱電磁クラッチ・ブレーキユニット《マグパック》

- 用途
三菱〈乾式〉クラッチ・ブレーキと同じです
- 機種
N U K形マグパック N U R形マグパック
- 乾式単板形のV K・R K A形クラッチとE B A・R K B形
ブレーキをそれぞれ一体に組み込んだものです

2. 三菱〈湿式〉電磁クラッチ・ブレーキ

- 用途
工作機械…旋盤 フライス盤 専用機
などのクラッチ・ブレーキ(起動・停止)用 多速度用
各種送り切替用 正逆転用
- 機種
H K形クラッチ H B形ブレーキ

4. 三菱パウダクラッチ・ブレーキ

- 用途
設備機械…大形ファン ブロワ 遠心分離機 製紙機 圧延
機 巻取機 巻戻機 伸線機 撚線機
運搬機械…大形コンベヤ 走行用クレーン
などの緩衝起動用 巻取装置の定張力・定トルク制御用
過負荷安全装置用
- 機種
Z K A形〈通し軸形〉 Z K B形〈突合せ軸形〉
- トルクの伝達にパウダ(磁性鉄粉)を使うもので 英国スミ
ス社 西独A・E・G社と技術提携

三菱電磁クラッチ・ブレーキ

●お問合せはもよりの三菱電機株式会社機器営業所または商品営業所へ…東京03<218>2111/大阪06<344>1231/名古屋052<561>5311/福岡
092<75>6231/札幌0122<26>9111/仙台0222<21>1211/富山0764<31>8211/広島0822<47>5111/高松0878<51>0001/新潟0252<45>2151

電力流通コンピュータ

馬場 準一*・迎 久雄**・山田 郁夫**

Electric Flow Computers

Head Office Jun-ichi BABA・Hisao MUKAE・Ikuo YAMADA

In the business of system operation in electric power companies, it is essential to have easy and speedy calculation yet with desired accuracy of the power flow condition (active power, reactive power, voltage and phase angle). Advent of new computing devices to meet the requirement has been wanted for years. Now by joint study of the Tokyo Electric Power Company and the Mitsubishi Electric Corporation a new computer has been developed to calculate the electric flow of huge power system instantly and to indicate and record the result readily in method easily understood. This epochal device is a computer of DC analog system based on a new principle, being capable of calculating instantly and indicating the results in numeric figures on a desired point of a panel simulating the system.

1. ま え が き

多数の発電所・送電線などで構成されている電力系統は、近年ますます大規模化し、人手による運用が不可能となってきたため、AFC, ELD などの オンライン 自動給電装置による機械化がすすめられているが、この オンライン 自動化を円滑に行なうためには、あらかじめその前日に需要や系統構成の変化に応じて、電力系統を安定かつ経済的に運用するための発電、ならびに流通計画を確立しておくことが必要である。

そのため給電指令所では、常時系統各部の有効・無効電力、位相角、電圧、短絡電力を所要の精度で容易、かつ速やかに計算する必要があり、この目的に沿った新しい計算装置の誕生が望まれていた。

当社は、かねてからこの問題にとり組んで研究を進めてこられた東京電力株式会社との共同研究により、これを解決する新しい装置開発を進めてきたが、今回その実用装置「電力流通コンピュータ」を東京電力株式会社 浜松町系統給電指令所に納入した。

この装置は直流アナログ方式による計算装置で後述のように数々の特長をもっており、巨大な電力系統を運用されている電力会社の要望におこたえできるものと考えている。

2. 新技術の特長と効果

この計算装置を開発するに当たって採用した新技術とその特長、効果はつぎのとおりである。

(1) 新しい原理による直流計算方式である

電力系統を直流の抵抗回路網で模擬し、直流電流源を用いて有効・無効電力、電圧、位相角ならびに短絡電力を計算する新しい直流アナログ計算方式を開発した。電力潮流の計算には、従来からデジタル計算機や状況によっては交流計算盤が用いられている。しかしデジタル計算機では、一般に入力条件の設定や計算結果の処理に時間を要し、とくに巨大系統を扱う場合、系統条件変更のさいに大きなマトリックスの変更と多数回のくり返し計算を要するため演算時間がかかるので、日常の給電運用には不適である。

また交流計算盤でもその規模が膨大となり、しかも調整がむずかしく、同じく日常の運用には利用しがたい。今回の新しい直流アナログ計算方式は、装置全体が簡素化され、調整、操作がきわめて容易で、しかも計算速度が飛躍的に向上し、ほとんど瞬時的に所要の精度で計算を行なうことができる。

(2) 計算結果の表示と記録が見やすい

系統を模擬表示した盤上の要所に計算結果をすべて数字管で瞬時に表示する方式を採用し、系統構成と計算結果が一目でわかるようにした。さらにこれらの計算条件と計算結果とは、高解像力カメラによってミニコピーフィルムに自動撮影され、数分内に現像処理まで行なわれるとともに、ただちにプリントもできるので計算結果の記録の手間もいらないし記録まちがいのない。

(3) 設定・演算および表示回路のユニット化

一般に計算装置に条件を設定したり結果を求めたりする場合には、入出力を順次選択する走査器(スキャナ)方式などを使用しているが、本装置では条件の設定、演算、結果の表示用の各回路に IC を使用して超小形化し、発電機、負荷などの構成単位および計算結果を表示する計測器をすべてユニット化した。これにより接続・配線が簡素化され、装置の一部が故障しても全体の機能が停止することもなく、故障の修理も容易であると同時に走査器が不要となり、系統条件を変更すると全系統の計算結果が瞬時的に表示される。

(4) 設備の新增設など系統変更が簡単

ルミブロック盤を使用して、模擬母線やユニットの新增設、変更が簡



図 1.1 電力流通コンピュータ
Electric flow computer.

単に行なえるような構造とした。

3. 直流計算方式の原理

この方式は電力系統を直流抵抗回路網の組み合わせにより、また発電機、負荷などを直流電源により模擬して、直流回路網の電流・電圧から、有効・無効電力、電圧、位相角さらには短絡電力を計算するものである。

(1) 電力系統の特性

電力系統は多数の発電所、変電所および送電線などからなり、非常に複雑な構成となっているが、基本的には一つの岐路に注目して、ここに流れる潮流特性について考察すればよい。

図 3.1 に示すように、ノード i, j が直列インピーダンス z_{ij} で結ばれており、 i, j の電圧を \dot{v}_i, \dot{v}_j 、位相角を θ_i, θ_j とし、有効電力、無効電力をそれぞれ P_{ij}, Q_{ij} とすれば、ノードから流出する電力 \dot{P} は次式で与えられる。

$$\dot{P} = P_{ij} + jQ_{ij} = \dot{v}_i \frac{(\dot{v}_i - \dot{v}_j)^*}{z_{ij}^*} \quad (3.1)$$

ただし、*は共役複素量を表わす。

ここで、

$$\left. \begin{aligned} \dot{v}_i &= V_i e^{j\theta_i} \\ \dot{v}_j &= V_j e^{j\theta_j} \\ z_{ij} &= Z_{ij} e^{j\theta_z} \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

とすれば、式 (3.1) は次式で表わされる。

$$P = P_{ij} + jQ_{ij} = \frac{V_i^2}{Z_{ij}} e^{j\theta_z} - \frac{V_i V_j}{Z_{ij}} e^{j(\theta_i - \theta_j + \theta_z)} \quad (3.3)$$

したがって、

$$\left. \begin{aligned} P_{ij} &= \frac{V_i^2}{Z_{ij}} \cos \theta_z - \frac{V_i V_j}{Z_{ij}} \cos (\theta_i - \theta_j + \theta_z) \\ Q_{ij} &= \frac{V_i^2}{Z_{ij}} \sin \theta_z - \frac{V_i V_j}{Z_{ij}} \sin (\theta_i - \theta_j + \theta_z) \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

ここで、図 3.2 に示すような角 α_{ij} を考えると、

$$\theta_z = \frac{\pi}{2} - \alpha_{ij} \quad (3.5)$$

式 (3.5) を式 (3.4) に代入すると、ノード i, j についての潮流特性の基本式として次式が得られる。

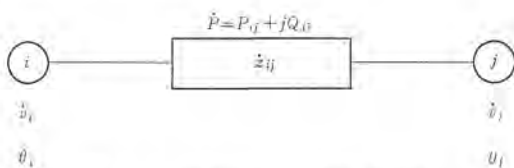


図 3.1 基本回路 Basic circuit.

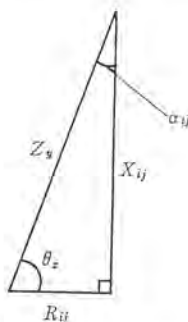


図 3.2 位相角 Phase angle.

$$P_{ij} = \frac{V_i V_j}{Z_{ij}} \cos \alpha_{ij} \sin (\theta_i - \theta_j) + \frac{V_i V_j}{Z_{ij}} \sin \alpha_{ij} \left\{ \frac{V_i}{V_j} - \cos (\theta_i - \theta_j) \right\} \quad (3.6)$$

$$Q_{ij} = \frac{V_i V_j}{Z_{ij}} \cos \alpha_{ij} \left\{ \frac{V_i}{V_j} - \cos (\theta_i - \theta_j) \right\} - \frac{V_i V_j}{Z_{ij}} \sin \alpha_{ij} \sin (\theta_i - \theta_j) \quad (3.7)$$

(2) 有効電力・位相角計算

式 (3.6) において、

(a) $\theta_i - \theta_j$ があまり大きくない範囲では、

$$\left. \begin{aligned} \sin (\theta_i - \theta_j) &\simeq \theta_i - \theta_j \\ \cos (\theta_i - \theta_j) &\simeq 1 - \frac{(\theta_i - \theta_j)^2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3.8)$$

(b) 各点の電圧はほぼ等しいので、

$$\left. \begin{aligned} V_i &= 1 + \Delta V_i \\ \Delta j &= 1 + \Delta V_j \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

(c) 線路の抵抗分はリアクタンス分比べて十分小さいので

$$\left. \begin{aligned} Z_{ij} &\simeq X_{ij} \\ \sin \alpha_{ij} &\simeq \tan \alpha_{ij} = R_{ij}/X_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

式 (3.8) ~ 式 (3.10) までの条件を入れて展開すると、 P_{ij} は近似的に式 (3.11) で表わされる。

$$P_{ij} \simeq \frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} + \frac{1}{2} R_{ij} \left(\frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} \right)^2 + \frac{R_{ij}}{X_{ij}} \left(\frac{\Delta V_i - \Delta V_j}{X_{ij}} \right) - \frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} + \Delta P_{ij} \quad (3.11)$$

ここで、

$\frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}}$ は、ノード i, j 間を流れる有効電力 P_{ij} の近似値

$\frac{1}{2} R_{ij} \left(\frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} \right)^2$ は、線路の $P^2 R$ 損失による補正項

$\frac{R_{ij}}{X_{ij}} \left(\frac{\Delta V_i - \Delta V_j}{X_{ij}} \right)$ は、端子間の電位差による補正項

すなわち、ノード i, j 間の有効電力は近似的に i, j 間の位相差であらわすことができる。

(3) 無効電力・電圧計算

式 (3.7) の Q_{ij} に、有効電力・位相角計算と同じ条件を入れて展開すると、 Q_{ij} は近似的に式 (3.12) で表わされる。

$$\begin{aligned} Q_{ij} &\simeq \frac{\Delta V_i - \Delta V_j}{X_{ij}} + \frac{1}{2} X_{ij} \left(\frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} \right)^2 - \frac{R_{ij}}{X_{ij}} \left(\frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} \right) + \frac{\Delta V_j}{X_{ij}} (\Delta V_i - \Delta V_j) \\ &= \frac{\Delta V_i - \Delta V_j}{X_{ij}} + \Delta Q_{ij} \end{aligned} \quad (3.12)$$

ここで、

$\frac{\Delta V_i - \Delta V_j}{X_{ij}}$ はノード i, j 間を流れる無効電力 Q_{ij} の近似値

$\frac{1}{2} X_{ij} \left(\frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} \right)^2$ は、線路の $P^2 X$ 損失による補正項

$\frac{R_{ij}}{X_{ij}} \left(\frac{\theta_i - \theta_j}{X_{ij}} \right)$ は、線路の抵抗分による電圧降下補正項

$\frac{\Delta V_j}{X_{ij}} (\Delta V_i - \Delta V_j)$ は、端子間の電位差による補正項

すなわち、ノード i, j 間の無効電力は近似的に i, j 間の電圧差であらわすことができる。

(4) 直流抵抗回路網による計算法

式 (3.11) および式 (3.12) からわかるようにリアクタンス X_{ij} を抵抗に、 θ または ΔV を直流電圧に対応させれば、有効電力 P_{ij} または

4. 計算装置の概要

4.1 構成の概要

本装置は、機能的には計算のための系統条件を設定する設定部、与えられた条件のもとで所要の計算を行なう演算部、計算結果を表示する表示部、設定条件および計算結果を記録する記録装置ならびにこれらに所要の指示を与える制御部より構成され、これらの機能を実現するために、装置は計算機本体(設定部、演算部および表示部)、制御卓、記録装置、電源部および付属機器よりなっている。

設定部および演算部は系統構成単位ごとにより一体化したユニット構造になっており、計算結果を表示する表示部もユニット構造になっている。装置の構成を図4.1に示す。

4.1.1 計算機本体

本体の表面は、計算条件の設定と計算結果を表示する設定表示盤からなっており、発電機、変圧器、母線、送電線ならびに系統構成を変えるしゃ断器などが、実際の系統と同じように配置され、必要な個所には電源、負荷、変圧器タップ、調相設備、送電線など電力系統諸設備の状態を条件として与えるための設定ダイヤルおよびジャックが配置されている。発電機、負荷、調相設備などは、設定部および演算部が一体となったユニット構造となっているため、設定表示盤裏側には必要な計算を行なう演算部になっている。

計算結果は、模擬系統の各所に配置された数字管によって表示され、それぞれの場所の求める数値が直接読みとれるようになっている。計算機本体の構成は図4.3に示すように、左右2面の設定表示盤とその中間の共通端子部からなり、設定表示盤は各種のユニットを実装するルミブロック架と、通路を隔てて裏側のリレー架とに分れている。

ルミブロック架に実装されるユニットには次のものがある。

- (1) 発電機ユニット
- (2) 負荷ユニット
- (3) 調相設備ユニット
- (4) 変圧器ユニット
- (5) 補正ユニット
- (6) 計測表示ユニット

電圧(電圧、位相角)計測表示ユニット

潮流計測表示ユニット

共通計測表示ユニット

- (7) その他

線路インピーダンスを模擬する抵抗は、リレー架に実装されている。

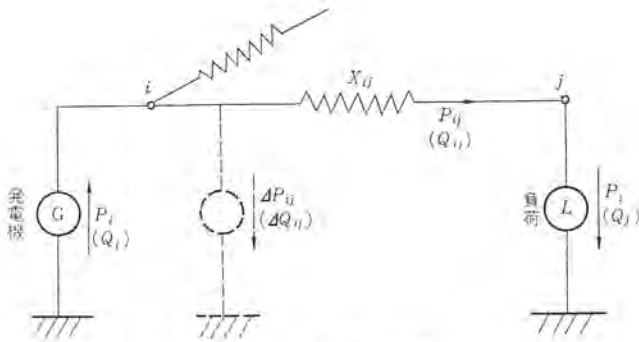


図 3.3 模擬回路
Simulation circuit.

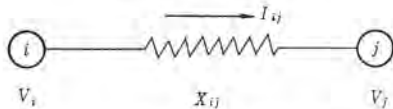


図 3.4 短絡電力計算基本回路
Basic circuit for short-circuit power calculation.

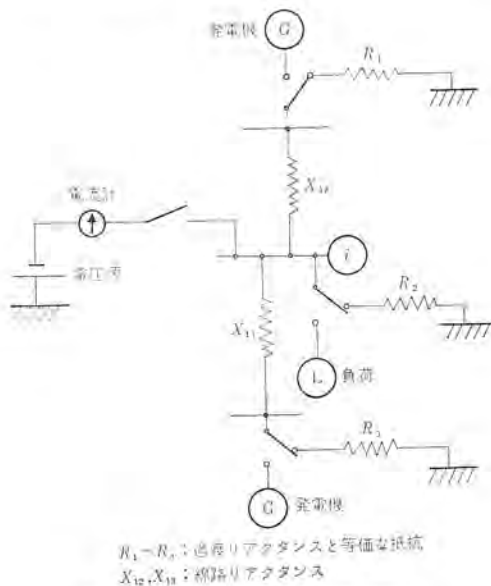


図 3.5 短絡電力計算用模擬回路
Simulation circuit for short-circuit power calculation.

無効電力 Q_{ij} は、直流抵抗回路網上のノード i, j 間を流れる直流電流に対応させることができる。したがって、図3.3に示すように、回路網上の各ノードに対応する点 (i, j, \dots) に有効電力 P_i または無効電力 Q_i に相当する直流電流源をおき、ノード i, j 間の抵抗を X_{ij} とすれば、ノード間に流れる直流電流がそのまま P_{ij} または Q_{ij} に相当する値を示し、ノードの直流電圧が θ_i または ΔV_i に対応した値を示す。

また、短絡電力もインピーダンスをすべてリアクタンス X_{ij} だけとみなし、図3.4のような直流回路で模擬すれば、短絡電力 I_{ij} は、

$$I_{ij} = (V_i - V_j) / X_{ij} \quad (3.13)$$

で求めることができる。

たとえば、図3.5のようにノード i で短絡を生じた場合には有効電力、無効電力計算と同様の抵抗回路網を使用し、発電機、負荷をそれぞれの過渡リアクタンスと等価な抵抗で接地してノード i に電圧源を接続し、そのとき流れる電流を測定すればよい。

なお、式(3.11)および式(3.12)での ΔP_{ij} , ΔQ_{ij} は補正項であり、必要により容易に付加することができる。



図 4.1 装置の構成
Construction diagram of system.

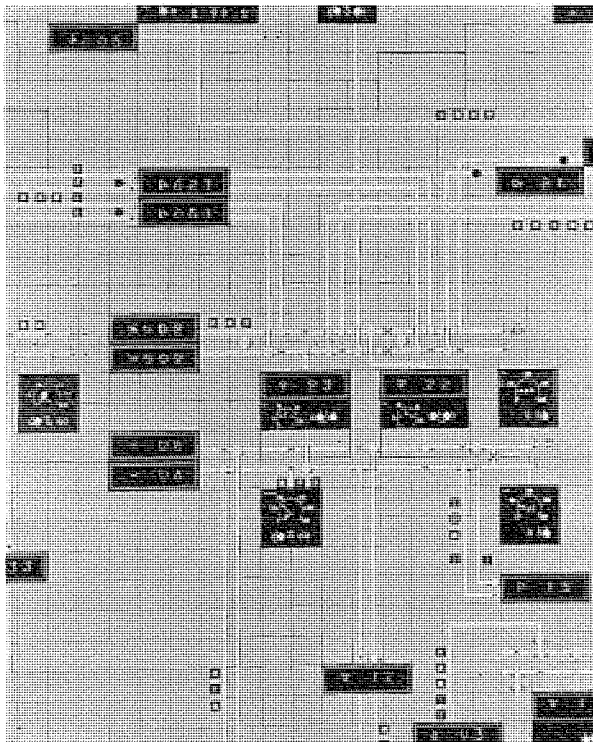


図 4.2 計算機本体表面
Example of computing unit surface

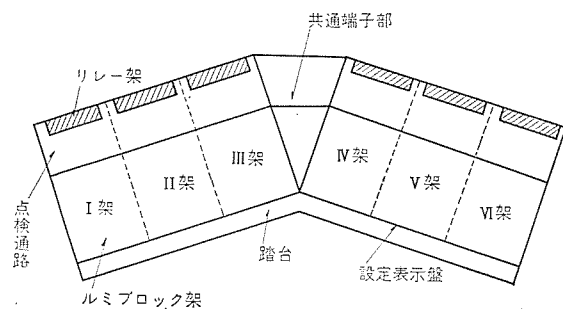


図 4.3 計算機本体の構成
Construction of computing unit.

4.1.2 制御卓

制御卓には、演算制御の機能(演算制御部)と記録制御の機能(記録制御部)とがある。演算制御部は計算機を制御するためのもので、電源のオン・オフ、計算種類の指定、各種の警報表示などがある。計算種類の指定には次の三つがあり、これらのうち必要な計算種別を選択し、押しボタンで本体に計算指令を与える。

(1) 有効電力・位相角

有効電力(P)および位相角(θ)の計算と表示を行なう。

(2) 無効電力・電圧

無効電力(Q)および電圧(V)の計算と表示を行なう。

(3) 短絡電力

短絡電力の計算と表示を行なう。

計算結果の記録のためのカメラの自動撮影操作は、記録制御部からの指令により行なわれる。

4.1.3 記録装置

設定表示盤には、計算条件および計算結果がすべて表示されているので、本記録装置により設定表示盤をそのままカメラで撮影し、フィルムで記録保存するものである。

カメラは高解像力のミニコピー用カメラを使用し、撮影から以後の処

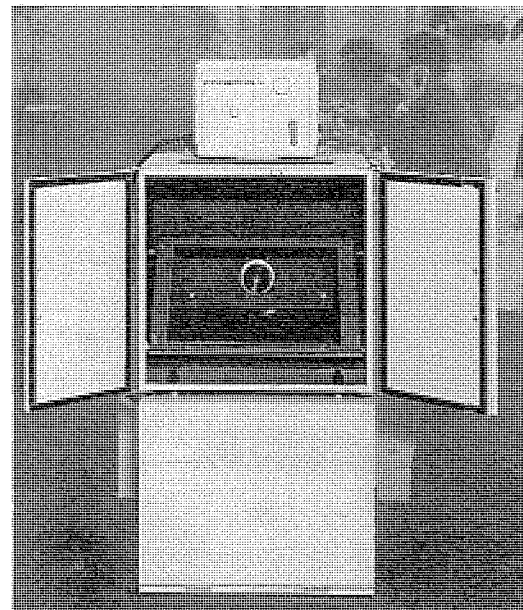


図 4.4 記録装置
Recording unit.

理は、非常に手軽に行なえる自動処理装置による。

4.1.4 電源部

電源部は、計算機本体、制御卓、および記録装置を働かせるために各種の電力を供給するものであり、AVRと電源架とで構成されている。電源架には各種の直流安定化電源、各種の直流電源、計算装置全体に制御信号を送るリレー盤、電源チェックのための操作盤などがある。電源の直流出力は電圧降下を考慮して、十分太いケーブルで計算機本体へ供給されている。

4.2 演算要素の機能の概要

この装置の演算要素はすべてユニット化され、ユニットの前面は設定表示盤面の一部を構成して計算条件の設定表示機能をもっており、ユニットの内部には、演算に必要なすべての演算回路が収容されている。

計算条件の設定はピンジャック方式で、同時に表示も兼ねている。アナログ量の設定はダイヤルで行ない、その値は記録装置で撮影して十分判読できるよう考慮されている。計算結果は計測表示ユニットによりデジタルで表示され、これも撮影時には表示がすべてホールドされて正確に記録されるよう考慮されている。

4.2.1 発電機ユニット

系統中の発電機を模擬するためのユニットである。

一般に潮流計算時の発電機の設定条件は、 P 、 Q 指定、または P 、 V 指定である。さらに無効電力の進み遅れを区別する+、-の指定や運転している発電機ナンバーの指定などがある。この計算装置では、有効電力 P もしくは無効電力 Q は直流電流に対応しているから、発電機の P 、 Q 指定時にはダイヤルの設定値 P 、 Q に対応した電流を流す。一方、 V 指定時にはダイヤルの設定値 V に対応した電圧を発生する。

この2とおりの機能を演算増幅器の組み合わせで実現させている。このほか発電機ユニットには火力発電所の変圧器も含まれており、また、短絡電力計算用の過渡リアクタンスの模擬抵抗も考慮されている。

4.2.2 負荷ユニット

負荷の設定条件は、有効電力 P 、無効電力 Q を指定することである。負荷ユニットは、設定する P 、 Q に対応した電流を発生させる定

電流回路を備えている。

短絡電力計算用のインピーダンスを備えたユニットもある。

4.2.3 調相設備ユニット

調相設備を模擬するためのユニットで、負荷ユニットとほぼ同じ構成である。調相設備ユニットの設定条件は、無効電力 Q を指定するのみであるから、有効電力 P を設定するポテンシオメータを除いた負荷ユニットと同じ演算回路である。

4.2.4 変圧器ユニット

系統中の変電所の変圧器バンクを模擬するユニットである。ユニット前面には並列運転バンク台数を指定するジャックとタップ付き変圧器においては、タップ切換機能が模擬されている。

4.2.5 補正ユニット

式(3.11)および式(3.12)における補正項に関し、特に補正の効果の著しい下記補正ユニットを設けた。

(1) 長距離線路補正ユニット

線路の P^2R 損失の補正、 P^2X 損失の補正、抵抗分による PR 電圧降下の補正および充電容量 Y_c の補正機能をもったユニットである。

(2) 充電容量ユニット

地中ケーブルなどの充電容量の大きい線路に適用するもので、 Y_c の補正機能をもったユニットである。

4.2.6 計測表示ユニット

線路やバンクの潮流を計測表示する潮流計測表示ユニットと、母線や発電機の電圧または位相角を計測する電圧計測表示ユニットとがある。いずれも計測結果は3けたの数字管と方向あるいは符号を示す表示管により表示される。

これらのユニットは、デジタル表示された結果のちらつきがなく、

また入力信号の変化に追従して結果が直ちに計測表示されるなどの特色をもっている。潮流計測表示ユニットには出力の一部を使用し、潮流が警報レベルに達すると警報ランプを点灯させる潮流警報回路がある。

5. む す び

以上、電力流通コンピュータの特長と装置の概要について述べたが、この装置は日常の流通状況の算定にきわめて便利であるばかりでなく、つぎのような応用用途にも効果を発揮することができると考えられる。

(1) 保守のための設備の停止要求に対し、短時間に可否の判断を下す必要のある場合

(2) 年末年始、ゴールデンウィークなど、平常と大幅に異なる条件下における系統運用計画を立てる場合

(3) 事故時の系統状況や現象が簡単に模擬再現できるので、停電事故などの原因検討を行なう必要のある場合

(4) 大事故を未然に防止するため、各種の想定事故を模擬してこれに対応する短絡容量などの事前対策を立てる必要のある場合

(5) 平常時の系統操作あるいは事故時の対応制御など、電力系統の状態変化に即応できるための給電所員の訓練用の装置としての利用

電力流通コンピュータが給電運用業務円滑化に貢献できれば幸いである。終わりに、本装置開発に当たり種々ご指導をたまわった東京電力株式会社 技術開発本部 高木副本部長、三井開発計画課長はじめ関係の方々に対し、深甚なる謝意を表する次第である。

国鉄向け EF71 形 電力回生制動付き交流電気機関車

永岡 栄*・矢野 昌雄*・芦谷 正裕*

Type EF 71 AC Electric Locomotives with Regenerative Brakes for The Japanese National Railways

Itami Works Sakae NAGAOKA・Masao YANO・Masahiro ASHIYA

With the electrification of the northern trunk line of the J. N. R. it has become necessary to build AC electric locomotives with regenerative brakes for exclusive use on a long section of 33.3% sharp gradient between Fukushima and Yonezawa. Manufacturing a thyristor type rectifiers for trial, Mitsubishi has made extensive study on AC regenerative technique and, with further improvement worked on it, the Company has constructed type EF 71 AC locomotives for quantity production. The locomotive is fully provided with thyristor type rectifiers; the traction motors are of 2S-3P connection, the main transformer has secondary windings divided into six sections, and the thyristors are asymmetrically controlled to make the rectifiers small sized as well as to reduce the inductive interference. To voltage control is added slip detection control; automatic notch return control is employed to improve the re-adhesive character. Initial power run performance and regenerative performance being fully displayed, the locomotive entered into commercial operation in October, 1968.

1. ま え が き

奥羽本線の交流電化に伴い、福島―米沢間に専用の交流電気機関車が必要になった。この区間には $+33.3\%$ 22 km, -33.3% 13 km の所があるので、直流架線のときは発電制動付きの EF 64 形電気機関車が用いられていた。空気制動式ではこの下りの急こう配区間の運転に耐えられないために、今回製作する交流機関車も電気制動付き機関車にしなければならなかった。

電気制動式には発電制動式と交流回生制動式がある。現在の交流機関車には、タップ切換器+シリコン整流器式 (ED 75, ED 76 形) とサイリスタ整流器式 (ED 75501, ED 77) がある。発電制動式の場合は、力行制御部はこのうちどちらかになり、これには抵抗器とその制御器が加算されることになる。この方式は従来の技術を積み上げて行なうために確実であるが、機関車が非常に大形になってしまう。回生制動式の場合は、全サイリスタ整流装置によって力行時は整流運転を行ない、回生時はインバータ運転を行なうことができるので、力行回生とも主要部分が共用できて、機関車が小形になる。このために交流回生制御の技術を開発して、交流回生制動付き機関車を製作することになった。



図 1. 1 EF 71 形交流電気機関車
Type EF 71 AC electric locomotive.

交流回生制御を行なう場合は、機関車側における交流回生制御の確立、および電源への回生を行なうことによって生ずる不具合点を検討する必要が生じた。交流回生制御はサイリスタのインバータ制御技術に依存しているので、その技術を開発するために、工場でいろいろ試験を行なった。また、現車での予想される障害についても検討を加えて、この機関車を完成した。ここにこの機関車の内容と回生およびインバータ運転技術について紹介する。

2. 特 長

この機関車は、現在の交流電気機関車の最高技術を駆使して製作されたものであり、最大の特長は交流回生制動を行なっているところにある。交流回生を行なうために数々の新技術が開発されて、この機関車にも採用された。いろいろな特長を持っているが、おもなものは以下のとおりである。

(1) 交流回生を行なうために、全サイリスタ式整流装置を使用している。力行時はサイリスタの移相制御による定電圧制御を行なっている。回生時はインバータ運転を行ない、インバータによる定電圧制御と、別のサイリスタ整流装置による界磁電流制御とによって、広範囲な回生制動を行なっている。

(2) この機関車は、F形機関車で、主変圧器二次巻線は6等分割にして、主電動機を2S-3P接続することによって主整流装置が小形になっている。またサイリスタを非対称制御することによって、主変圧器が6分割になっていることを有効に利用し、誘導障害の軽減を計っている。

(3) 6個のサイリスタブリッジで12段積み重ね制御を行なっているが、電圧上昇および下降特性はきわめて円滑である。

(4) サイリスタの移相制御回路には、レーミー形磁気式移相器を用い、最終段のゲートアンプにはGTOを使用している。

(5) 空転時に再粘着しやすいように、定電圧制御に空転検出制御を加味して、自動ノッチ戻し制御を行なっている。

(6) 回生時に異常現象によってサイリスタが転流失敗したときに、サイリスタおよび電動機を保護するために直流回路に高速度しゃ断器がはいっている。

(7) 急こう配区間に長く止め置く場合に、自然に転動しないように、機械的転動防止装置が付いている。また万一転動したときに、過大速度にならないように電動機回路を短絡してブレーキが作用するように、短絡ブレーキ用スイッチが付いている。

(8) 過電流・過電圧・過速度および回生中の界磁率等の検出は、すべて半導体を利用した無接点回路で行なっている。

3. 交流回生

3.1 交流回生の原理

電力回生とは車両の位置エネルギーおよび速度エネルギーを架線側に返還するものである。電力の授受について図 3.1 について説明する。図で直流電圧 E_d とダイオード D_d が整流器の等価回路、 E_M が電動機または発電機の端子電圧である。(a) のように $E_d > E_M$ の場合には回路電流 I_d は E_d の極性と一致しているため E_d は電力を与えていることになり、 E_M の極性は反対であるため E_M は電力を受けている。すなわち E_M は電動機として作用する力行運転を示す。

(b) のように $E_d < E_M$ の場合は電流 I_d の方向と E_d の極性は反対であるため E_d は電力を受けとり、 E_M の極性は一致するため E_M は電力を与えていることになる。すなわち E_M は発電機として作用し電源 E_d は電力を受けとり架線に返還する電力回生となっている。

この場合注意すべきことはダイオード(D_d) の存在である。このダイオードは電源が整流装置であるため電流は一方方向にしか流れないことを示すものである。たとえば(a)において $E_d < E_M$ としても D_d のブロック作用により回路に電流は流れず回生運転はできない。回生を行なうには、(b) のように整流器の電圧を D_d の極性と反対にする必要がある。このためにはすべての素子が順方向に電圧阻止能力を持つ全アームサイリスタの回路が必要となる。

これらは直流電圧について説明したが、実際の場合は整流器出力は脈動し、回生時には γ_{min} により正負に変化する。これを図 3.2 について説明する。図は素子 C_1, C_2, C_3, C_4 すべて γ_{min} にある場合を示している。I のモードでは C_2, C_4 が導通し、電流は主変圧器の端子電圧に反して流れるため、電力は主変圧器を通して電源側に回生されている。II のモードでは C_1, C_3 が転流し、電流は主変圧器の端子電圧と同一方向に流れるため、電力は電源より電動機に与えられる力行運転である。半サイクル後でも同様でIIIは回生、IVは力行である。このようにある状態でも回生、力行の両モードが存在するが、直流電流が連続している場合は、直流電圧の脈動分は主回路の直流リアクトルにより吸収されるので、直流電圧の平均値が正となると力行運転が可能であり、負となると回生運転が可能となるものと考えてよい。

3.2 対称制御と非対称制御

主回路は6個のサイリスタブリッジが直列接続されているが、今回は非対称制御方式が採用された。対称および非対称制御について図 3.3, 3.4, 3.5 により2ブリッジ直列接続された場合を説明する。

(1) 対称制御方式

一つのブリッジ内で対边上のサイリスタは同一位相角にて点弧させ、他の1組を 180° 位相をずらして点弧される方式である。この場合の第2ユニットにおける制御角は、 $\alpha_{21} = \alpha_{23}$ 、 $\alpha_{22} = \alpha_{24}$ 、 $\alpha_{22} = \alpha_{21} + \pi$ である。

(2) 非対称制御方式

一つのブリッジ内で対边上のサイリスタを別の位相角にて制御する方式である。この場合の2ユニットにおける制御角は、 $\alpha_{21} \neq \alpha_{23}$ 、 $\alpha_{22} =$

$\alpha_{21} + \pi$ 、 $\alpha_{24} = \alpha_{23} + \pi$ である。回路動作で対称制御と異なるところは22と23が同時に点弧するモードおよび21と24が同時に点弧するモードが存在し、サイリスタに直流電流を主変圧器を通さないでバイパスさせるフリースホイールダイオードの役目をさせていることである。制御角の設定にはいろいろな方式が考えられるが、今回は力行では α_{23}

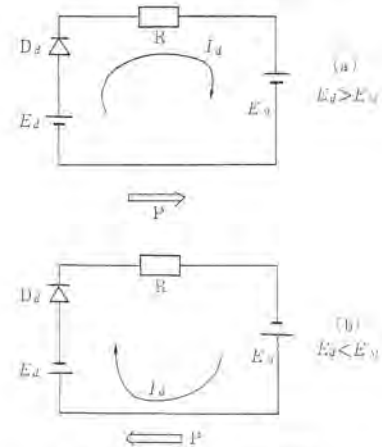


図 3.1 電力授受の説明
Diagram of power transferring.

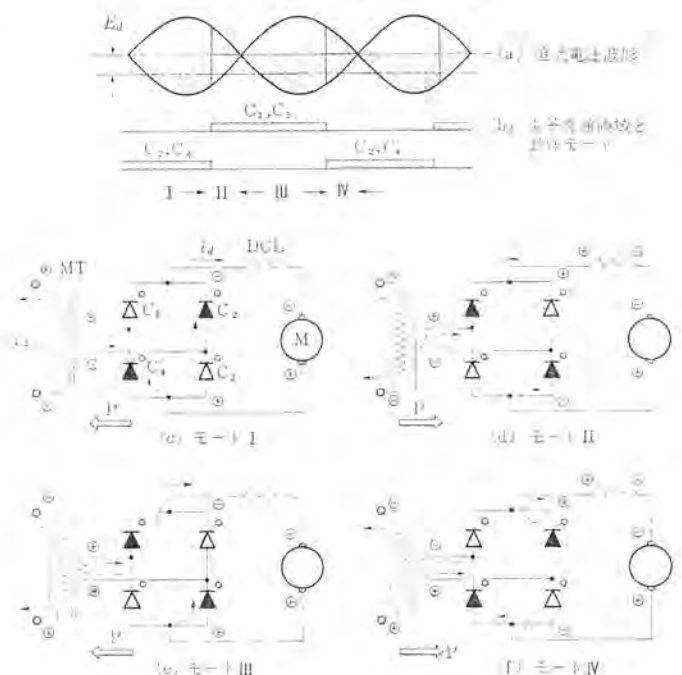


図 3.2 交流回生の原理
Diagram showing the principle of AC regenerative braking.

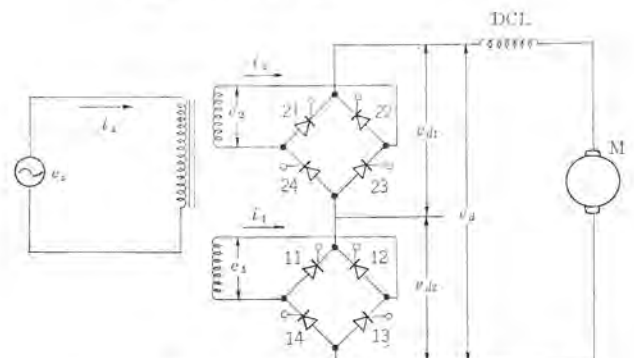


図 3.3 2ブリッジ直列主回路図
Main circuit diagram of 2 units.

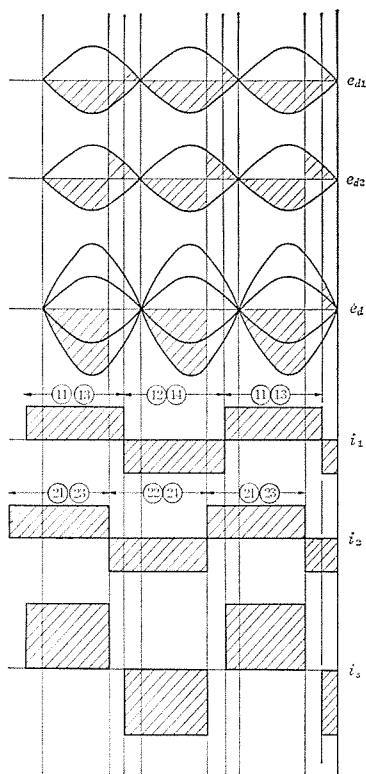


図 3.4 対称制御の電圧電流波形
Voltage and current wave forms when symmetrically controlled.

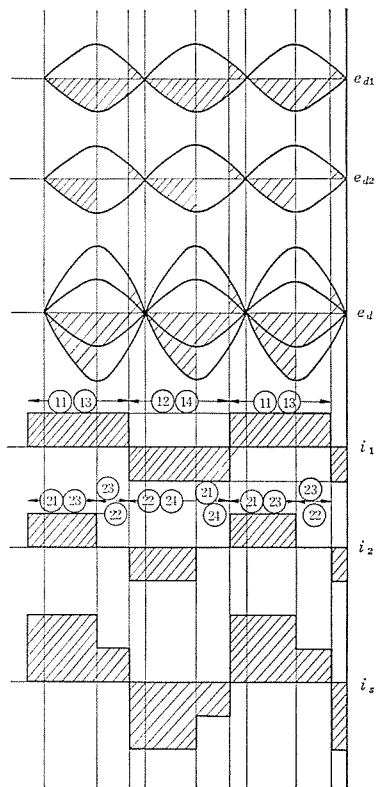


図 3.5 非対称制御の電圧電流波形
Voltage and current wave forms when asymmetrically controlled.

α_{24} を零度とし (23, 24 素子をダイオードとし) α_{21} , α_{22} を変えて直流正電圧を可変とし、回生では α_{21} , α_{22} を γ_{\min} に固定し α_{23} , α_{24} を変えて直流負電圧を可変とする方式が採用されている。

非対称制御の特長を次に記す。

(1) 架線に流れる交流電流の高調波分が少なく誘導障害が減少する。両方式の一次側電流を i_s として示しているが、対称制御では 1 巻線の位相角を変えることによって 2 巻線相当の電流高さで変化する。非対称制御では 1 巻線相当の電流高さのみ変化する。

(2) 無効電力が減り力率が向上する。制御されている第 2 巻線の電流を i_2 に示しているが、バイパス領域では交流電流は流れず無効電力が必要でないで力率は向上する。しかしながら力行の最高ノッチおよび回生の最低ノッチでは、対称・非対称制御とも同一波形となり力率は等しい。

(3) 直流側脈流率が改善される。直流電圧を e_d で示しているが、対称制御では 2 巻線相当の電圧高さで変化するが、非対称制御では 1 巻線相当の電圧高さで変化する。したがって電圧の脈動分は中間領域では低く脈流率は低い。力行の最高ノッチ、回生の最低ノッチでは両者は同一となる。

以上よりこれらの諸条件は 6 段直列の場合、対称制御では混合ブリッジの 3 巻線分割制御と同程度となり、非対称制御では混合ブリッジ 6 巻線分割制御と同程度と考えてよい。

非対称制御の問題点を次に記す。

(1) 移相回路は対称制御の倍必要となる。

(2) 上側グループ (21, 22) と下側グループ (23, 24) の転流が別々に行なわれるため、上側グループが γ_{\min} 、下側グループが 90° 近辺で転流する場合、上側サイリスタの順方向電圧は電源電圧より一度零になってまた復帰するため、 dv/dt が高くなる。下側サイリスタにも同様の現象が生ずるが、下側サイリスタの転流を上側サイリスタの転流よりも前の位相で行なわせることにすれば、上側サイリスタの転流は下側サイリスタの逆電圧期間に行なわれるため、 dv/dt の高い素子が必要でない。実測では上側サイリスタ 30 V/ μ s 以上、下側サイリスタ 10 V/ μ s 以上の素子が必要となった。

(3) 上側サイリスタと下側サイリスタの転流が別々に行なわれるため、下側サイリスタ転流時のノイズが、上側サイリスタに与えられる危険性がある。

(4) 転流が分けて行なわれるため、交流側 C-R フィルタ素子並列 C-R の損失が大となる。

4. 性能

この機関車は、次の性能条件を満足するように設計された。

- (1) 単機で貨車 1,100 t を 13.3 % のこう配で引き出せる。
- (2) 単機で貨車 500 t を 33.3 % のこう配で引き出せる。
- (3) こう配起動後の加速引張力は 26 t とする。
- (4) 単機で貨車 500 t で 33.3 % の上りこう配におけるつり合い目標速度は 45 km/h 以上とする。
- (5) 単機で貨車 500 t で 33.3 % の下りこう配における抑速目標速度は 40 km/h とする。
- (6) EF 71 形と ED 78 形は重連可能なこと。

(1) と (2) の条件を満足するためには、起動時の引張力は 26.7 t あればよい。(出発抵抗を 9 kg/t とする) (4) の条件を満足するためには、33.3 % のこう配区間が長いので、22 t の連続引張力が必要になる。主電動機を機関車用標準形の MT 52 形にすると、連続引張力 22 t を出すために、温度上昇の点から F 形機関車になる。主電動機回路は、1 S-6 P と 2 S-3 P が考えられる。誘導障害を軽減しようとするれば、主変圧器の二次巻線の分割数が多いほどよいが、主変圧器の複雑さ、主整流装置の大きさ、ED 75501, ED 77, ED 94

の経験等から考えて、少なくとも4分割まではしたほうがよいと考えられた。

主変圧器の二次巻線を4分割にして、主電動機を1S-6Pの接続にすると、電流量が大きいために主整流装置が非常に大きくなる。これゆえに主電動機の回路は、2S-3P接続にすることになった。

主電動機回路が2S-3P接続になると、主変圧器の二次巻線の分割は、誘導障害を軽減しようとすれば多いほどよいが、ユニット数が増して主整流装置が大きくなること、および使用するサイリスタの許容電圧値とを勘案して、主整流装置が小さくなるように6分割に選んだ。6分割を有効に利用するために、サイリスタの非対称制御方式が用いられた。

F形機関車となると、重量は約96tになる。こう配起動時の引張力は、(1)・(2)の条件から26.7tあればよいことになる。このときの粘着係数は27.9%である。この程度の粘着では少し余裕があるので、機器側は、最大引張力が30t出せるように計画した。このときの粘着係数は31.1%であり、電流は750A×3である。

主電動機が2Sで31.1%の粘着は、主電動機が1Sの交流機関車と比べて、それほど楽であるとは考えられないので、定電圧制御を行ない、さらに、空転したときにできるかぎり再粘着が行なわれるように、定電圧制御に空転検出制御を加味して、等価的な自動ノッチ戻し制御を行なうことにした。もちろん同時に砂もまくことにしている。

(3)の条件から貨車1,100tで13.3%のときの加速度は0.2km/h/s、貨車500tで33.3%のときの加速度は0.25km/h/sである。整流器の負荷条件は図4.1のようにした。

主変圧器のリアクタンス分を大きくすれば、転流重り角が大きくなって、一次電流の高調波分が少なくなり誘導障害が軽減されるが、電圧変動率が大きくなって力率も悪くなるので、この機関車はED77と同じ程度の電圧変動率で設計した。

直流側のリアクタンス分を小さくすれば、脈流分が増えて第三次高調波分が少なくなるものと期待されているが、逆に粘着性が悪くなるといわれている。また主電動機の整流面から考えても脈流率を上げることは好ましくないで、リアクタンス分は従来並みで設計した。

ED78形機関車との重連運転を考慮して、主変圧器のインピーダンス分、主平滑リアクトルの抵抗分および安定抵抗値等は、できるかぎり互いに合うように設計してある。

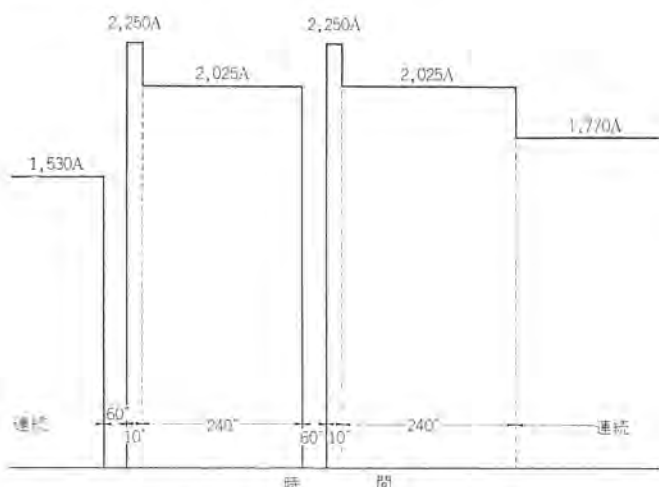


図 4.1 サイリスタ整流器に対する電流条件
Current duty for thyristor rectifier.

4.1 力行時の性能

力行時の性能曲線は図4.2である。

単機で貨車500tの33.3%のこう配における、全界磁でのつり合い速度は47km/hである。これは上述の性能条件(4)を満足しているもので、弱め界磁制御は行なわないことにした。

1ノッチから27ノッチまでは定電圧制御が行なわれているが、28ノッチから30ノッチは主変圧器の電圧変動率に制限される。

4.2 回生時の性能

回生時は他励磁制御になる。

全サイリスタ式整流器であるので、サイリスタを確実に消弧するために、最小制御角 γ が存在し、 $\gamma > u$ にしなければならない。 u は転流重り角である。この機関車では $\gamma = 50^\circ$ に選んだ。インバータ電圧 E_d と、電動機誘起電圧 E_M との関係は次のようになる。

$$E_d = \sqrt{2} \cdot E_s \cdot \{ (n-m) \cdot (\cos \gamma - \cos \alpha) + m \cdot 2 \cdot \cos \gamma \} / (n \cdot \pi) \quad (4.1)$$

$$\gamma \leq \alpha \leq (\pi - \gamma), 0 \leq m \leq n \quad (4.2)$$

$$E_M = (E_d - I \cdot R) / 2 \quad (4.3)$$

$$(E_d)_{\max} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot \cos \gamma / \pi \quad (\alpha = \pi - \gamma, m = n)$$

架線電圧が16kVのときの $(E_d)_{\max}$ 以下に、インバータ電圧を制御すれば架線変動に対してもインバータ運転は安定である。また電動機電圧が式(4.3)で決まる値以下の速度範囲で運転しなければならない。

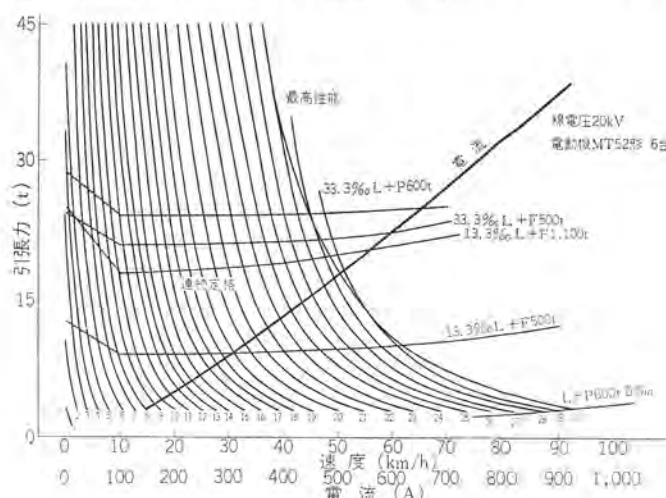


図 4.2 性能曲線(力行)
Performance curves for powering.

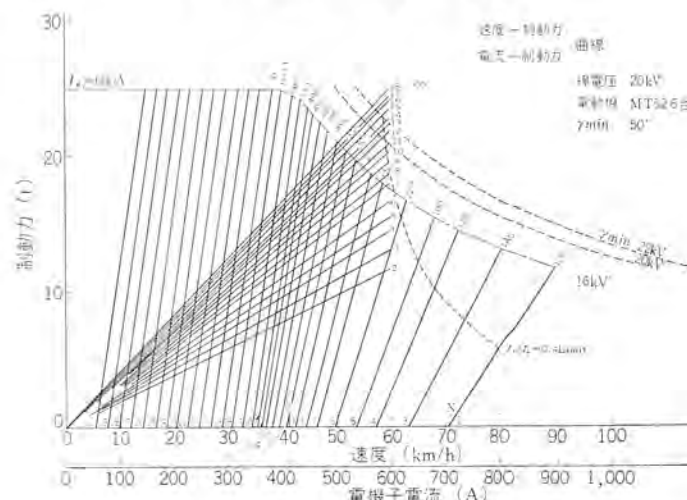


図 4.3 性能曲線(回生)
Performance curves for regenerating braking.

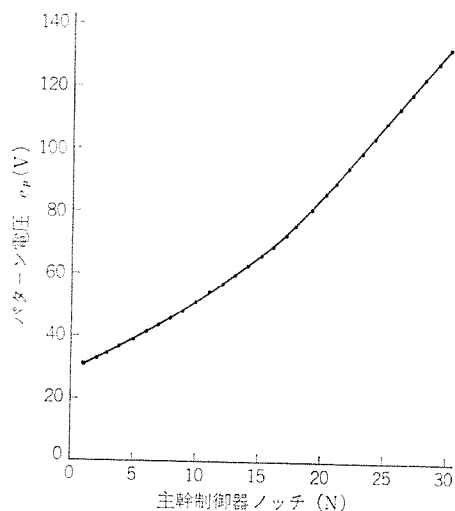


図 4.4 パターン電圧
Pattern voltage of master controller.

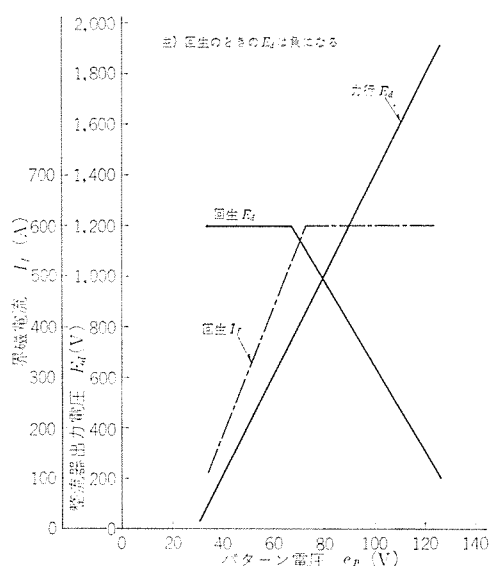


図 4.5 直流電圧と界磁電流
DC voltage and field current for pattern voltage

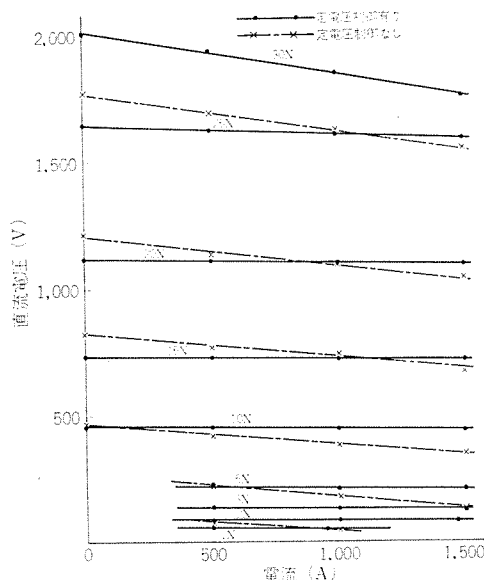


図 4.6 電圧制御系がある場合とない場合の
直流電圧変動曲線 (測定値)

DC voltage regulation curves with closed loop control system and open loop control system (measured value)

表 4.1 EF 71 形交流電気機関車主要要目表
Principle items of type EF 71 AC electric locomotives.

| | |
|------------------------|--|
| 1. 機関車一般項目 | |
| 車 両 限 界 | 第1級小限界 |
| 機 関 車 方 式 | シリコン整流器式交流電気機関車 |
| 用 途 | 客貨両用 |
| 運 転 整 備 重 量 | 96.0 t |
| 軸 配 置 | B ₀ -B ₀ -B ₀ |
| 機 関 車 形 状 | 箱形両運転台 |
| 機関車寸法(長さ×幅×高さ) | 17,700×2,800×3,600 mm |
| パンタ折りたたみ高さ | 4,270 mm |
| 台車中心間距離 | 11,600 mm |
| 連結面間長さ | 18,500 mm |
| 台 車 形 式 | DT 129 M, N 中間台車 DT 137 |
| 両 端 台 車 | DT 129 M, N 中間台車 DT 137 |
| 固 定 軸 距 離 | 2,500 mm 2,800 mm |
| 動 輪 径 | 1,120 mm (計算用 1,080 mm) |
| 動 力 伝 達 方 式 | 1段歯車減速 つかかけ式 弾性歯車使用 |
| 歯 車 比 | 16 : 71 = 1 : 4.44 |
| モ ジ ュ ー ル | 12 |
| 電 気 方 式 | 単相交流 50 Hz 20 kV (変動範囲 22-16 kV) (23 kV まで設計保証) |
| 機 関 車 性 能 | |
| 1 時 間 定 格 引 張 力 | 21.0 t |
| 1 時 間 定 格 速 度 | 46.0 km/h |
| 1 時 間 定 格 出 力 | 2,850 kW |
| 最 高 運 転 速 度 | 100 km/h |
| 制 御 方 式 | 重連、主サイリスタゲート制御による直流電圧連 続、制御回生ブレーキ付き |
| 制 御 装 置 | 主サイリスタ |
| 制 御 回 路 電 圧 | 直流 100 V, 24 V および交流 50 Hz 100 V 2φ |
| 灯 回 路 電 圧 | 直流 100 V 交流 50 Hz 100 V および直流 24 V |
| 相 変 換 方 式 | 相変換機 (分相抵抗起動) 電源電圧 単相交流 50 Hz 400 V (60 Hz 440 V) |
| 補 機 駆 動 方 式 | 三相かご形誘導電動機 電源電圧 三相 50 Hz 400 V (60 Hz 440 V) |
| ブ レ ー キ 装 置 | EL 14 AS 空気ブレーキおよびねじ平ブレーキ |
| 2. 主要電気品要目 | |
| (1) 主電動機 (6 台/両) | |
| 形 式 | MT 52 形 |
| 極 数 | 4 |
| 絶 縁 種 | F 種 |
| 通 風 方 式 | 開放他力通風形 |
| 定 格 | |
| 出 力 (kW) | 475 |
| 電 圧 (V) | 500 |
| 電 流 (A) | 570 (脈流) |
| (2) 主サイリスタ整流装置 (1 組/両) | |
| 形 式 | RS 32 |
| 連 続 定 格 | 容量 3,000 kW 直流電圧 2,000 V 直流電流 1,500 A |
| 結 線 方 式 | 単相サイリスタブリッジ結線 |
| 素 子 構 成 | サイリスタ 1S×8P×4A×6U |
| 素 子 形 式 | SI 300 |
| (3) 主変圧器 (1 台/両) | |
| 形 式 | TM 15 |
| 方 式 | 外鉄形送油風冷式 フォームフィット形 低圧 6 分調式 |
| 連 続 定 格 | |
| 容 量 | 3,122(3,502 冬期) kVA 2,920/130/380 (冬期)/72 kVA |
| 電 圧 | 20 kV/368×6/400 V/1,500 V/334 (中間タップ付) |
| (4) 主平滑リアクトル (3 台/両) | |
| 形 式 | IC 40 |
| 連 続 定 格 | |
| インダクタンス | 20 mH |
| 電 流 | 540 A |

| 記号 | 名称 |
|----------|-------------|
| Pan1.2 | パンタグラフ |
| DS1.2 | 断器 |
| ABB | 空気しゃ断器 |
| ACArr | 交流避雷器 |
| MF5 | 主ヒューズ |
| MT | 主変圧器 |
| CRf1.2 | 主整流装置 |
| DiRel-6 | 放電抵抗器 |
| HB | 高速しゃ断器 |
| Li.2.3 | 断流器 |
| DCCT1~3 | 直流変流器 |
| MSL1~3 | 主平滑リアクトル |
| A1~6 | 主電動機電機子 |
| PB | 力行制動転換器 |
| MMCOS | 主電動機開閉器 |
| RV | 逆転装置 |
| MF1~6 | 主電動機界磁 |
| BRot-3 | 安定抵抗器 |
| MMOCD1~3 | 過電流検出器 |
| CRrOCD | 整流器過電流検出器 |
| CD | 無電流検出器 |
| GD | 接地検出器 |
| ACOD | 交流過電流検出器 |
| BCRf | 界磁用整流装置 |
| BRot1-54 | 界磁用抵抗器 |
| DCCT6~7 | 直流変流器 |
| BL | 所流 |
| BOCD | 界磁用交流過電流検出器 |
| MFOCD | 界磁過電流検出器 |

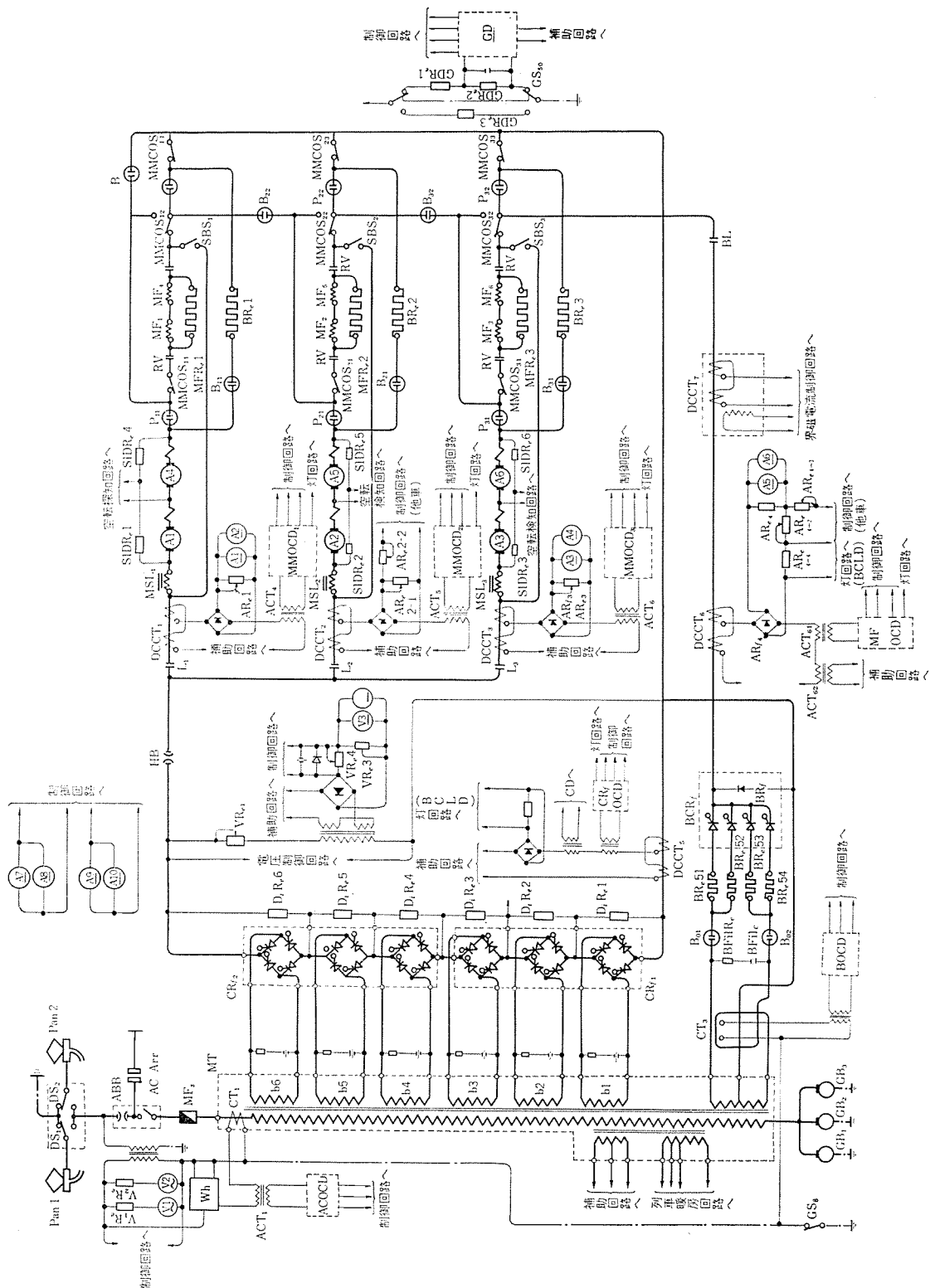


図 4.7 主回路つなぎ Main circuit diagram.

この機関車では、インバータ電圧の最高値を1,200 Vに選んだ。全界磁の範囲では高速からの回生ができないので、界磁電流の制御を行なうことにした。主幹制御のパターン電圧とインバータ電圧および界磁電流との関係は図4.5のようにになっている。すなわち低ノッチで界磁電流制御を行ない、高ノッチで電圧制御を行なっている。

以上の考えを基に、設計した回生時の性能曲線が図4.3である。回生時間が長いので、電動機電流は600 A/M以下に抑えている。界磁率が40%以下になると警報が鳴る。

図4.3をみると、60 km/h以上では、40%の界磁率の制限を受けるが、60 km/h以下では、電機子電流600 Aの制限を受ける。しかし16 kVにおける γ_{\min} の制限からはずれている。

5. 電圧制御と電流制御

この機関車は、主幹制御器でハンドル角度に比例したパターン電圧を発生して、このパターン電圧に応じた主整流器の電圧制御および界磁電流制御を行なっている。力行のときは電圧制御のみ行ない、回生のときは界磁電流制御と電圧制御を行なっている。

主幹制御器のノッチ対パターン電圧の関係図は図4.4である。

パターン電圧対主整流器出力電圧および界磁電流の関係は図4.5である。

電圧制御および電流制御のブロック図は図5.1である。パターン発生器は誘導電圧調整器形のもので、比較器は可飽和変圧器形のもの、電圧検出器はバイアス巻線付き直流変圧器で、電流検出器はバイアス巻線付き直流変流器である。

5.1 電圧制御系の静特性

図5.2は電圧制御系の静特性および整流装置の移相入力電圧対出力電圧特性である。

図5.3は電圧制御系の原理図である。以下図5.3について説明する。

力行時、可飽和変圧器 (SaT) において次の式が成り立つ。

$$\left(\frac{n_c}{n_a} \cdot \frac{E_d}{R} + \frac{n_b}{n_a} \cdot i_b + \frac{n_d}{n_a} \cdot \frac{e_s}{R_s} \right) \cdot N_c - \frac{e_p}{R_a} \cdot N_b = \frac{e_a}{R_a} \cdot N_a \dots (5.1)$$

E_d : 整流器出力電圧

e_p : パターン電圧

e_s : 空転速度電圧

e_a : 移相器入力電圧

i_b : DCPT のバイアス電流

N_a, N_b, N_c : 可飽和変圧器の出力、バイアス、制御の各巻線の巻回数

n_a, n_b, n_c : DCPT の出力、バイアス、制御の各巻線の巻回数

式(5.1)において、移相器入力電圧 e_a 対整流器出力電圧 E_d が図5.2のような整流器特性を示すときに、パターン電圧 e_p 対整流器出力電圧 E_d が図4.5になるように、 i_b および R_p を調整して、 e_p/R_p を変数にして E_d 対 e_a の関数を測定した図が図5.2である。図の特性はDCPT, SaTの鉄心特性およびおのおのの巻線の巻回数で決まる。式(5.1)および図5.2からわかるように、パターン電圧 e_p が増すと e_a は減って E_d は増してバランスする。

空転が生じたときは、空転検出器より空転速度電圧 e_s がDCPTにはいる。 e_s が大きくなると e_a が増して E_d が減少してバランスする。 e_s の大きさに比例して E_d は減少する。すなわち整流器出力電圧が低下して電流が減少するので再粘着する。電圧戻し量を大きくすると配引き出しがむずかしくなるので、空転速度に対して e_s が飽和するようになっている。

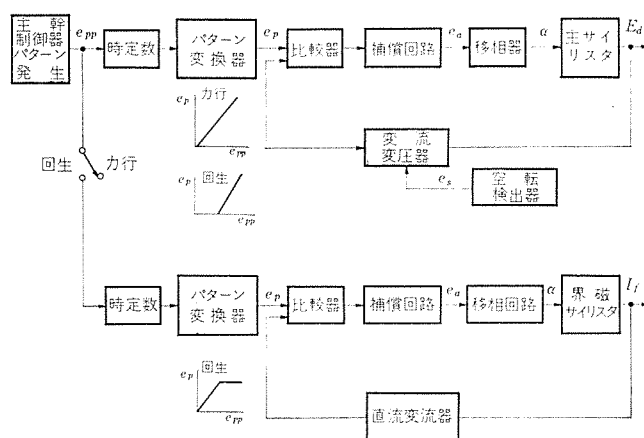


図 5.1 電圧制御と電流制御のブロック図
Block diagram of DC voltage and field current control system.

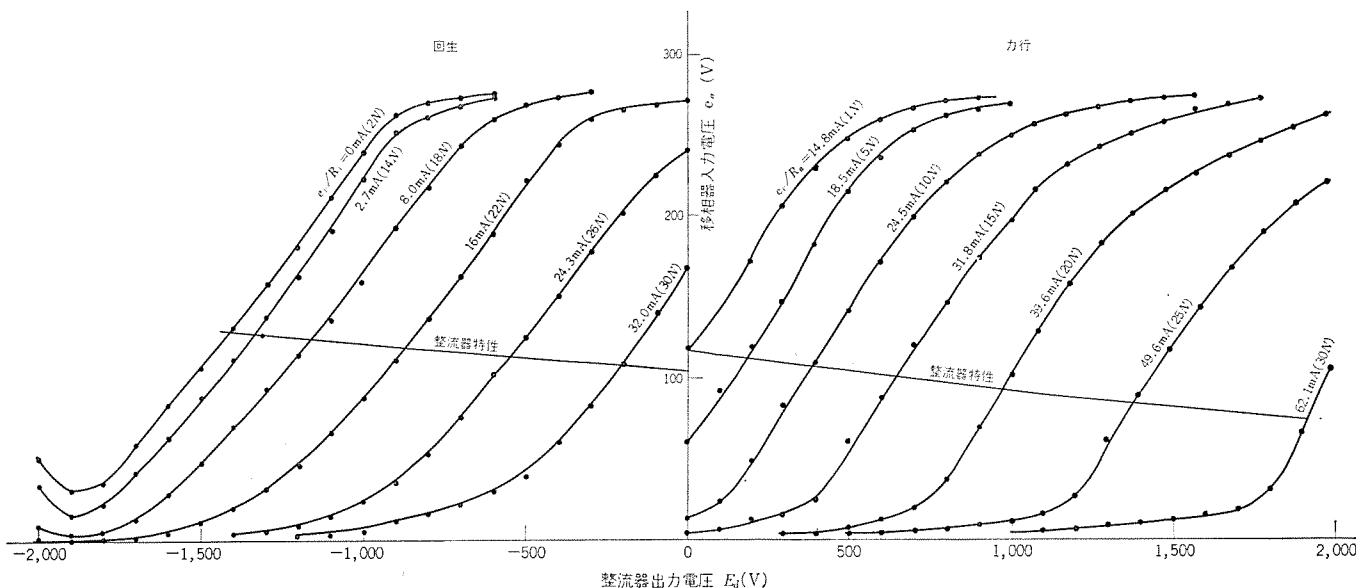


図 5.2 直流電圧制御系の静特性
Static characteristic curves of DC voltage control system.

回生時、可飽和変圧器において次の式が成り立つ。

$$\left(-\frac{n_c}{n_a} \cdot \frac{E_d}{R} + \frac{n_b}{n_a} \cdot i_b + \frac{n_d}{n_a} \cdot \frac{e_s}{R_a}\right) \cdot N - \frac{e_p - e_{DZ}}{R_p} \cdot N_b = \frac{e_a}{R_a} \cdot N_a \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

e_{DZ} : ゼナ- D_Z の電圧

式 (5.2) において、 e_a 対 E_d が図 5.2 のような整流器特性を示すときに、 e_p 対 E_d が図 4.5 になるように、 i_b および R_p を調整して、 e_p/R_p を変数にして E_d 対 e_a の関数を測定したのが図 5.2

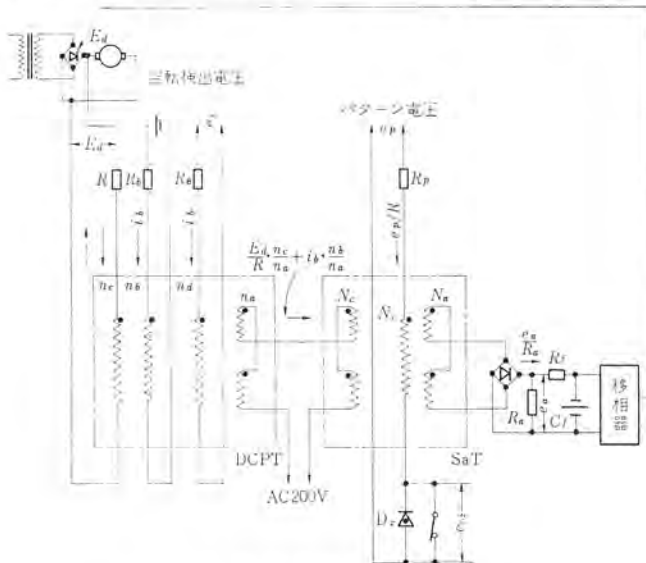


図 5.3 直流電圧制御系の原理図
Principle of DC voltage control system.

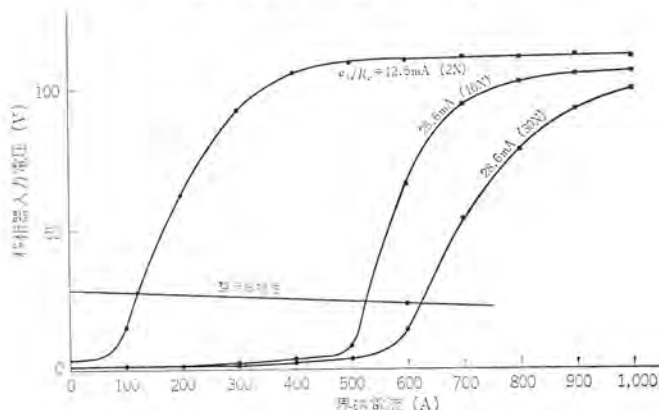


図 5.4 界磁電流制御系の静特性
Static characteristic curves of field current control system.

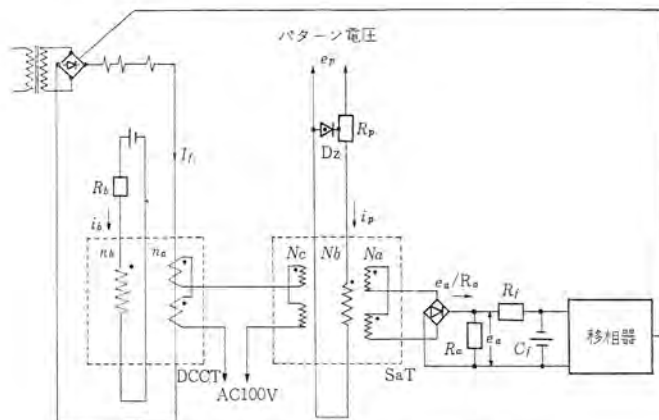


図 5.5 界磁電流制御系の原理図
Principle of field current control system

である。式 (5.1) および図 5.2 からわかるように、パターン電圧 e_p が増すと e_a が減って E_d の絶対値は減少してバランスする。

パターン電圧 e_p が $e_p \leq e_{DZ}$ のときは、 e_p の値に無関係に、 $(e_p - e_{DZ})/R_p$ は 0 A であるから、整流器出力電圧は一定である。図 4.5 のようにあるパターン電圧から制御が始まるように E_{DZ} を選んでいる。

滑走が生じたときは、 e_s が大きくなるので e_a が大きくなり整流器出力電圧値の絶対値が大きくなるので、電動機電流が減少して滑走がやむ。

5.2 電流制御系の静特性

図 5.4 は電流制御系の静特性および整流器特性である。

図 5.5 は電流制御系の原理図である。

可飽和変圧器において次の関係が成り立つ。

$$\left(\frac{1}{n_a} \cdot I_f + \frac{n_b}{n_a} \cdot i_b\right) \cdot N_c - \frac{e_p}{R_p} \cdot N_b = \frac{e_a}{R_a} \cdot N_a \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

I_f : 界磁電流

式 (5.3) において、移相器入力電圧 e_a 対界磁電流 I_f の関係が図 5.3 の整流器特性であるとき、パターン電圧 e_p 対界磁電流 I_f の関係が図 4.5 になるように、 i_b および R_p を調整して、 e_p/R_p を変数にして e_a 対 I_f の関係を測定した図が図 5.3 である。

e_p と I_f との関係が図 4.5 のように、 e_p が大きいところで I_f が一定にするのは、ゼナ- D_Z の値と R_p の調整で行なう。式 (5.3) または図 5.3 からわかるように、パターン電圧 e_p が大きくなると e_a が減少して、界磁電流 I_f が増してバランスする。

5.3 電圧制御系および電流制御系の安定性

電圧制御および電流制御の外乱には、パターン電圧の急変と架線電圧の急変がある。前者に対してはパターン電圧に時定数を持たせることによって、また後者に対しては補償回路の抵抗 R_f とコンデンサ C_f によって、系が安定になるようにしている。定数は実際に運転した状態で決めた。

6. 主要機器

6.1 主整流装置

装置の仕様は次のとおりである。

形式: RS 32 形

方式: 主サイリスタブリッジ 6 直列非対称制御方式

素子構成: 主サイリスタ 1S×8P×4A×6U

周囲温度: -25℃~40℃

冷却風量: 50 m³/min×4

風圧損失: 20 mmAq

負荷条件: 100 % 連続 140 % 10 分間

定格:

(a) 定格直流電流 (A) 1,500

(b) 定格直流電圧 (V) 2,000

(c) 定格出力 (kW) 3,000

(d) 定格周波数 (Hz) 50

効率: 98 (%)

直流過電流耐量 (50 Hz 5 サイクル) 13,000 (A)

使用素子の仕様は次のとおりである。

形式: CSI 250-12 (CR 250 A-24)

定格平均順電流 (A) : 250

定格動作逆電圧 (V) : 1,200

定格最大非くり返し逆電圧 (V) : 1,450

定格動作順阻止電圧 (V) : 1,200

順電圧降下 (V) : 1.25~1.65

ターンオン 時間 (μ s) : 1~6

周囲温度 : $-40^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

構造 : 圧接構造および センターゲート 方式

保護装置は次のものを備えている。

(1) フィン 温度継電器

冷却 フィン の温度により異常を知り、運転を停止する。

(2) 速動 ヒューズ

主 サイリスタ に直列に接続され、故障素子を回路より切り離す。運転は続行できるがしゃ断ヒューズに並列の表示ヒューズの動作により「整流器異常の表示灯」が点灯する。

(3) 故障検出回路

主 サイリスタ の順電圧期間を 180° 位相の異なる半波で比較し(上側サイリスタ 間または下側 サイリスタ 間の比較), 主 サイリスタ の故障および

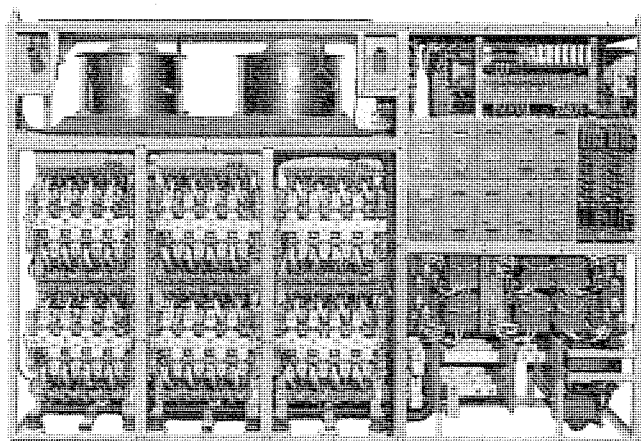


図 6.1 主整流装置
Main thyristors with control equipment.

ゲート 制御装置の故障を検出し ABB をトリップ させる。

6.1.1 ゲート制御回路

ゲート 制御装置の構成図を図 6.2 に示すが、おもな特長を記す。

(1) 移相回路

レーミ 形磁気増幅器を用いている。転流失敗を避けるため $\gamma_{\min} = 50^{\circ}$ におさえる γ リミッタ の回路がある。これは バイアス 回路を通った MVR 制御信号と、 γ リミッタ 回路の電圧をダイオード (Dd 301, Dd 302) によりつき合わせる OR 回路である。

(2) 同期回路

主変圧器の三次電圧を同期信号としているが、転流時には電圧波形がひずむため、オットフィルタ (L-C フィルタ) を使い、基本波を取り出している。

(3) パルス 形成回路

6 ユニットの サイリスタブリッジが直列であるので、しゃ断領域を考えると主 サイリスタ C 11 か C 12 が必ず点弧できる状態にならなければならない。どちらも点弧できないと他ユニット 電圧が加算されて印加され過電圧となるからである。したがってパルス幅は 180° としている。このパルス幅は自己のレーミ 形磁気増幅器が飽和している幅と逆相のレーミ 形磁気増幅器の飽和するまでのゲート期間を、ダイオード (Dd 308, Dd 309) にてつき合わせる OR 回路で作られている。ゲートパルスが 180° の幅を持つと、電流断続で主 サイリスタ に負電圧が印加されている場合にも、ゲートパルス が与えられるため、主 サイリスタ の逆漏れ電流が増し、ゲート 近傍にホットスポットが生じ主 サイリスタ が損傷する場合がある。これを避けるため主 サイリスタ の逆電圧を絶縁トランスにて検出し、逆電圧が 100 V を越えるとゲートパルス を殺す回路を設けている。パルス は 180° 幅の定常電流値の広幅 パルス に、波高値3 倍の電流値をもつ立ち上り急しゅん (峻) な狭幅 パルスを重畳した、いわゆる ハイゲートドライブ 波形である。このゲートパルスはゲートターンオフ サイリスタ の点弧により、広幅トランスに発生した広幅パルス、および狭幅トランスに発生した狭幅パルスを、ダイオード (GDd 111, GDd 112)

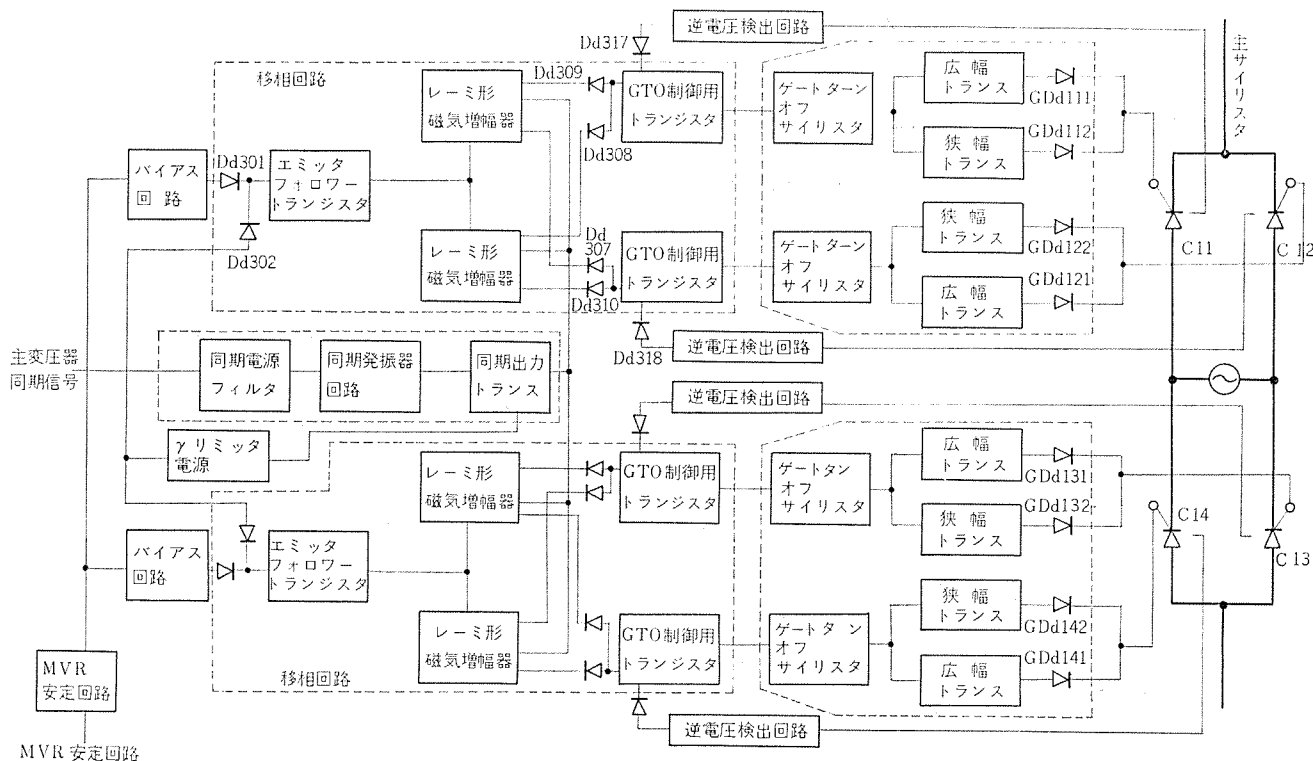


図 6.2 ゲート制御装置構成図 Block diagram of gate circuit

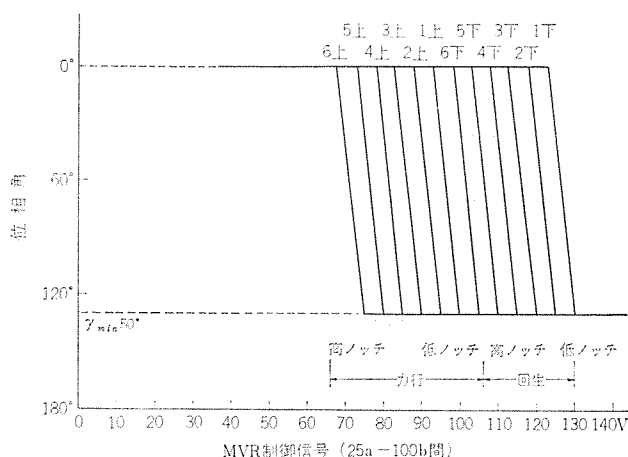


図 6.3 各ユニット位相特性
Characteristics of unit phases.

によりつき合わされて合成される。

(4) バイアス 回路

MVR 出力信号電圧に対して、各移相回路に異なった直流 バイアス電圧を与え、各主サイリスタ点弧位相の順序づけを行なう回路である。各ユニットの位相特性を図 6.3 に示す。MVR 制御信号が減少するにつれて、各ユニット下側グループが1→6の順序に $\alpha=0^\circ$ になり、その後各ユニットの上側が1→6で $\alpha=0^\circ$ になる。したがって力行ノッチでは下側サイリスタが $\alpha=0^\circ$ で上側サイリスタの位相制御が行なわれ、回生ノッチでは上側サイリスタが γ_{\min} にあり、下側サイリスタの位相制御が行なわれている。

6.1.2 サイリスタ直列接続使用時の過電圧印加の防止

力行専用電気車の場合は、整流器のインバータ運転を行なう必要がないので、整流器はサイリスタとダイオードの混合ブリッジ回路を使用している。この場合は、各ユニットのサイリスタの点弧にばらつきがあっても、早く点弧したユニットの電圧はダイオード側を通して負荷に加わるので、基本的にサイリスタにはユニットの電圧のみが加わり、他のユニットの電圧が加算することはない。

これに対して、交流回生を行なう場合は全サイリスタブリッジ回路の整流器でインバータ運転を行なうために、回路技術上でサイリスタの点弧にばらつきが生じた場合は、一つのサイリスタに他のユニットの電圧が加算されて全ユニット電圧が加わることが、回路状態によって起こりうる。この回路状態は、サイリスタからみて負荷条件と負荷電流によって、次の三つに分けられる。

- (1) 負荷側が接続していて、負荷電流が断続している場合。
- (2) 負荷側が接続していて、負荷電流が連続している場合。
- (3) 負荷側が開放している場合。

サイリスタに過電圧が印加する可能性があるのは、(1)の場合である。(2)、(3)の場合はない。

(3)の場合

負荷が開放しているので、整流器の各ユニットの負荷は各ユニット分の放電抵抗器のみで、しかもユニットの出力はリング状に結ばれていないので、他のユニットの電圧が加算することがない。

(2)の場合

整流器は次の状態のいずれかにある。

力行時：整流器状態の場合、フライホイールダイオード状態の場合

回生時：整流器状態の場合、インバータ状態の場合、フライホイールダイオード状態の場合

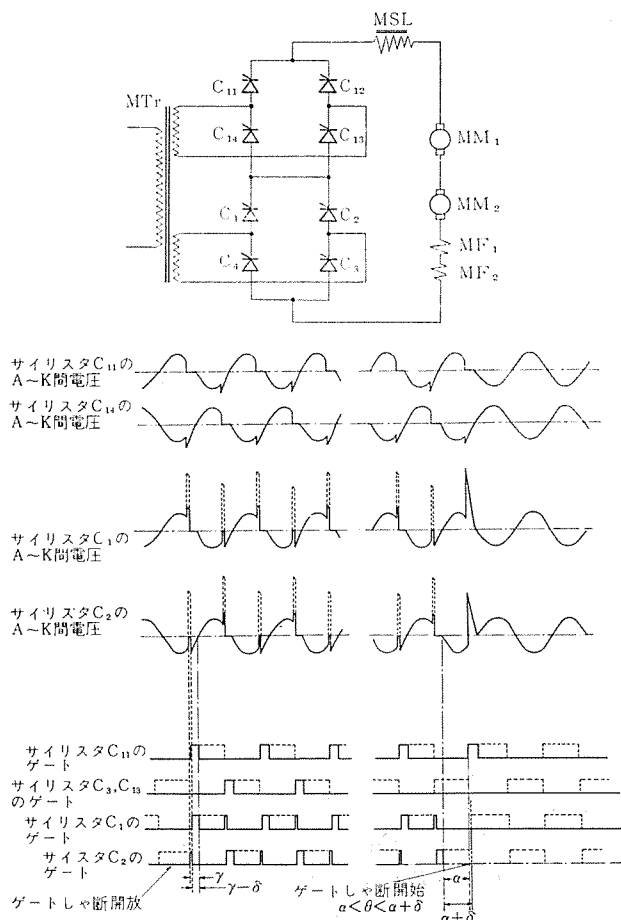


図 6.4 各サイリスタ電圧波形と点弧位相
Voltage wave form of each thyristor and firing phase.

サイリスタが点弧するときは、上記の一つのモードから他のモードに移るときである。負荷電流が連続しているので、点弧しようとするサイリスタの他対アームのサイリスタはいつでも導通状態(ダイオード状態)にあるので、サイリスタの点弧にばらつきがあっても、早く点弧したユニットの電圧は、他対アームのダイオード状態のサイリスタを通して負荷側に加わるので、一番遅れて点弧するサイリスタにも自分のユニットの電圧のみしか加わらない。

(1)の場合

この場合に遅れたユニットのサイリスタに他のユニットの電圧が加わるときの動作状態図は図 6.4 である。この図について説明する。

(a) 主変圧器の位相が $0 \sim \pi$ を順電圧期間、 $\pi \sim 2\pi$ を逆電圧期間とすると、点弧角が α のときは、 $\alpha \sim \alpha + \pi$ が通弧期間で、このうちの $\pi \sim \alpha + \pi$ は逆電圧期間であるので、サイリスタに逆電圧が加わっているときは、ゲートパルスはカットされている。(逆電圧印加中にゲートパルスがはいっていることはサイリスタにとっても好ましいことではないので、逆電圧を検出してゲートパルスカットを行なっている。)対辺アームのサイリスタに対しては、 $\alpha + \pi \sim \alpha + 2\pi$ が通弧期間で、このうち $2\pi \sim \alpha + 2\pi$ が逆電圧期間である。

(b) 主幹制御器がオフしているときは、全ユニットのサイリスタにゲートシャ断がかかっている。このときサイリスタ C_{11} には $E/2$ が、 C_{12} には $-E/2$ の電圧が加わっている。主幹制御器をノッチインするとゲートシャ断がいつせいに開放される。このとき他のユニットの点弧角が γ で、一つのユニットのみ点弧角が δ 遅れたとすると(各ユニットの γ_{\min} は回路技術上ばらつき)、 C_{11} には $\gamma \sim \gamma - \delta$ の間、 $E/2 + (n-1) \cdot E/n$ の電圧が、 C_{12} には $-E/2 + (n-1) \cdot E/n$ の電圧が加わる

うとする。このときは C_{12} は逆電圧期間にあるので、正常時は $\gamma \sim \gamma - \delta$ の期間は ゲートパルス が カット されているが、上記の順電圧が加わると、逆電圧から順電圧に転換する過程でカットされていたパルスが開放されるので、 C_{12} には点弧する。 C_{12} が点弧すれば、 C_{11} は E の電圧が加わる。すなわち逆電圧印加中に他のユニットから強制的に順電圧が加わるとき、順電圧になったことを検知してカットしていたパルスを速く開放すれば、他のユニットの電圧は加わらない。ただし C_{11} のゲートパルスと C_{12} のゲートパルスはいつもラップしていなければならない。(実際はそうになっている)

(c) 主幹制御器をノッチオフしたとき、負荷電流が流れているときは、ゲートパルスがカットされても、

(i) フライホイール状態で起こったとき電流が減衰して自然消弧する。

(ii) 順電圧期間中に起こったとき力行状態が継続するが、逆電圧期間にはいると、フライホイールダイオードになるべきサイリスタが点弧しないので、回生状態になる。このように力行・回生状態をくり返して、電流は直流分に交流分が乗った状態で減衰し、電流が零のところでサイリスタはいっせいに消弧するので、他のユニットの電圧は加わらない。

(d) 主幹制御器をノッチオフしたとき、負荷電流が断続している場合。

他のユニットの点弧角が α で、一つのユニットの点弧角が δ だけ遅れたとき、 $\alpha < \beta < \alpha + \beta$ なる位相 β でゲートパルスがカットされたときは、 $\alpha \sim \beta$ の期間サイリスタ C_{11} には $E/2 + (n-1) \cdot E/n$ の電圧が、 C_{12} には $-E/2 + (n-1) \cdot E/n$ の電圧がおのおの加わる。このとき C_{12} は逆電圧から順電圧に切換わって、カットされていたパルスを復帰させようとするが、ノッチオフによるパルスカットが行なわれているので、再点弧が行なわれない。すなわちこのときはサイリスタに他のユニットの電圧分が加算されうる。

(d)の現象を避けるためには、次の方式が考えられる。

(i) ノッチオフするとき、負荷電流が通流している期間でのみ、パルスカットを行なう。

(ii) ノッチオフするとき、負荷回路を開放した後でノッチオフする。EF 71 は、後者の(ii)方法を用いている。

6.2 界磁用整流装置

装置の仕様は次のとおりである。

- 形式： RS 31 A
方式： フライホイールダイオード付き
サイリスタ 単相 センタタップ方式
素子形式： 主 シリコン 整流素子 SI 300-12
主 サイリスタ CSI 250-12
素子構成： 主 シリコン 整流素子 1 S×3 P
主 サイリスタ 1 S×2 P×2 A
周囲温度： $-20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$
冷却風量： $25 \text{ m}^3/\text{min}$
風圧損失： 5 mmAq
負荷条件： 100 % 連続
定格： (a) 定格直流電流 (A) 600
(d) 定格直流電圧 (V) 166
(c) 定格出力 (kW) 100
(d) 定格周波数 (Hz) 50
効率： 98 (%)
直流過電流耐量 (50 Hz 5 サイクル)： 3,700(A)

装置の特長は次のとおりである。

- (1) フライホイールダイオードにより転流が確実にに行なわれる回路とし、脈流率を下げ力率を上げた。
(2) 移相回路は π 形増幅器の標準回路である。
(3) ゲートパルスは $\pi - \alpha$ の幅を持ちハイゲート波形である。
(4) 直流出力電圧を半波ごとに比較し主サイリスタのブレイクオーバー、ブレイクダウンを検出するとともに、並列サイリスタのアノード間電圧を取り出し素子失弧を検出可能とした。

6.3 TM 15 形 主変圧器

TM 15 形主変圧器は二次巻線が6分割されている。従来の車両用変圧器と同じく、外鉄形構造になっている。仕様は表 6.3 のとおりである。

6.4 MT 52 形 主電動機

MT 52 形機関車標準主電動機が採用されている。仕様は表 6.4 のとおりである。

6.5 無接点制御装置および制御機器

この機関車では、故障検出はすべて標準化している無接点回路で行ない、保護機器を直接動作させるようにしている。故障検出器の

表 6.3 主変圧器の仕様
Specification of main transformers.

| 形 名 | TM 15 | | | | |
|---------------------------|---|-------------------------|---------|-------------------------|---------|
| 形 式 | 屋内用油入 (鉱油) 送油風冷式 呼吸形、外鉄形 | | | | |
| 相 数 | 単 相 | | | | |
| 周 波 数 | 50 Hz | | | | |
| 架 線 電 圧 | 20 kV (22 kV \sim 16 kV) | | | | |
| 容 量 定 格 容 量 各 期 容 量 | 一 次 | 二 次 | 三 次 | 四 次 | 五 次 |
| | 3,120 kVA | 2,920 kVA | 130 kVA | — | 100 kVA |
| 電 圧 | 20 kV | 368 \times 6 =2208 | 402 V | 1,510-1,270 -1,040 V | 335 V |
| 絶 縁 階 級 | 線路側車両用 20号 接地側 1号 | 3 号 | 1 号 | 3 号 | 3 号 |
| 定 格 | 連 続 | | | | |
| 周 囲 温 度 | 25 $^{\circ}\text{C}$ 、各期 10 $^{\circ}\text{C}$ | | | | |
| 温度上昇限度 | 巻線 85 $^{\circ}$ (抵抗値)、油 65 $^{\circ}$ (温度計法) | | | | |

表 6.4 主電動機仕様
Specification of traction motor.

| | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------|---------|-----------|-----------|----|---|--------------------------|
| 形 | 式 | MT 52 形 | | | | | | |
| 方 | 式 | 脈流および直流，直巻簡極付 | | | | | | |
| 極 | 数 | 4 | | | | | | |
| 絶 | 縁 | F 種 | | | | | | |
| 通 | 風 | 方 | 式 | | | | | |
| 定 | | 格 | | | | | | |
| | | 1 時間定格脈流 | 連続 定格脈流 | | | | | |
| 出 | 力 | (kW) | 475 | 425 | | | | |
| 電 | 圧 | (V) | 900 | 900 | | | | |
| 電 | 流 | (A) | 570 | 510 | | | | |
| 回 | 転 | 数 | (rpm) | 1,070 | 1,110 | | | |
| 界 | 磁 | 率 | (%) | 98 | 98 | | | |
| 周 | 波 | 数 | (Hz) | 50×2/60×2 | 50×2/60×2 | | | |
| 脈 | 流 | 率 | (%) | 24/20 | 24/20 | | | |
| 最 | 弱 | 界 | 磁 | (%) | 60 | 60 | | |
| 風 | 量 | (m ³ /min) | 70 | 70 | | | | |
| 最 | 大 | 許 | 容 | 端 | 子 | 電 | 圧 | 1,150 V (60 % F 1,100 V) |

記憶は併設している動作表示器で行なう。運転台の後ろにある第二制御箱には次の無接点トレイ類が格納されている。

- (1) 交流過電流検出器
- (2) 直流過電流検出器
- (3) 接地検出器
- (4) ゲートシャ断確認回路
- (5) 主電動機過電流検出器
- (6) ゲートオフ制御回路
- (7) 空気圧縮電動機制御回路
- (8) 相変換器制御回路
- (9) 制動抵抗送風器制御回路
- (10) 速度検出器
- (11) 界磁率検出器

主回路電圧制御装置 (MVR)、界磁電流制御装置 (ACR) および空転検出制御装置 (SCD) は、抵抗器、コンデンサ、制御用リアクトル、可飽和変圧器、磁気増幅器類を、点検および調整がしやすいように、おのおのの板面に組み込んで機械室に格納している。

空気シャ断器、高速度シャ断器、単位スイッチ、逆転器、力行一制動転換器、主電動機開放スイッチ、短絡ブレーキスイッチ、接触器類は従来と同じものを使用している。

主幹制御器は、ED 75 との重連がないので、ED 75 用のパターン発生器がなく少し小形になっている。

6.6 IC 40 形 主平滑リアクトル

IC 40 形 主平滑リアクトルは、1 台で主電動機 2 台分を負担できるように設計した。仕様要目は表 6.5 のとおり。主平滑リアクトル 3 台

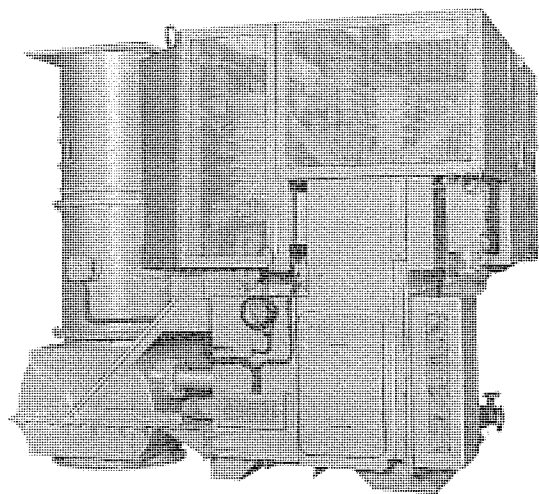


図 6.5 主変圧器と特高圧機器
Exterior view of transformer with high tension apparatus.

表 6.5 IC 40 形 主平滑リアクトル 要目
Essential items of main smoothing reactor.

| | |
|---------|------------------------|
| 形 式 | IC 40 |
| 方 式 | 内鉄形 F 種乾式 風冷式 オープンコア形 |
| 連 続 定 格 | |
| インダクタンス | 20 mH |
| 電 流 | 540 A |
| 回 路 電 圧 | 1,990 V |
| 周 波 数 | 50×2/60×2 Hz |
| 瞬 流 率 | 24 % |
| 風 量 | 50 m ³ /min |

の上に、おのおの界磁抵抗器を置いて共通に冷却している。リアクトルのインダクタンス分が大きいため、風胴の部分が過熱するのを防ぐために、風胴部に鉄板の 1 ターンができないように、風胴の部分を電氣的に分割している。

6.7 補助回転機類

補機方式は、従来と同じく、相変換器で単相一三相に変換して、送風機用電動機はすべて三相誘導電動機を使用している。

仕様要目は表 6.6 のとおりである。

6.8 その他

パンタグラフ、避雷器、安定抵抗器、界磁抵抗器、CR フィルタ配線用シャ断器、刃形スイッチ、蓄電池、空制御電機品類は、従来と同じものを使用している。

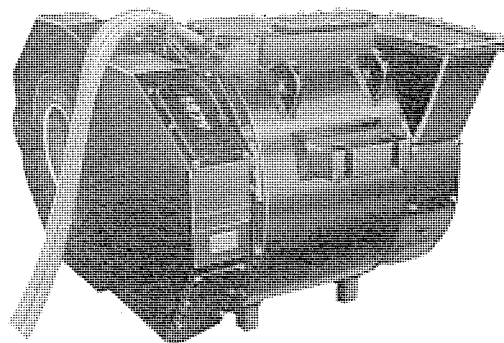


図 6.6 MT 52 形 主電動機
Type MT 52 main traction motor.

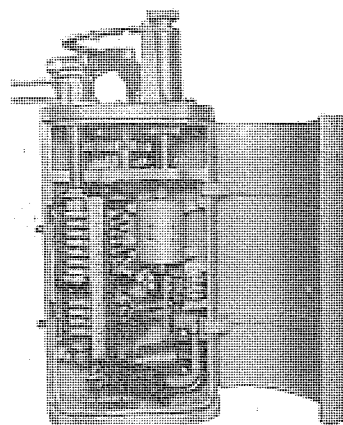


図 6.7 主幹制御器
Interior view of master controller.

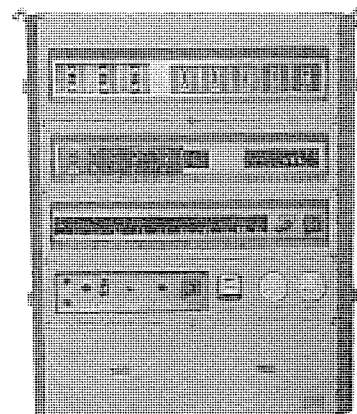


図 6.8 制御器箱
Exterior view of control cabinet.

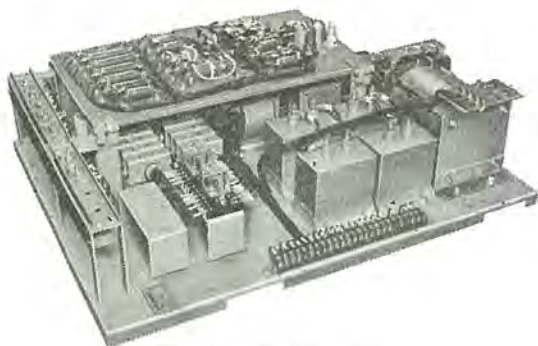


図 6.9 直流電圧制御板
DC voltage control panel.



図 6.13 IC 40 形 主平滑リアクトル
Type IC 40 smoothing reactor.

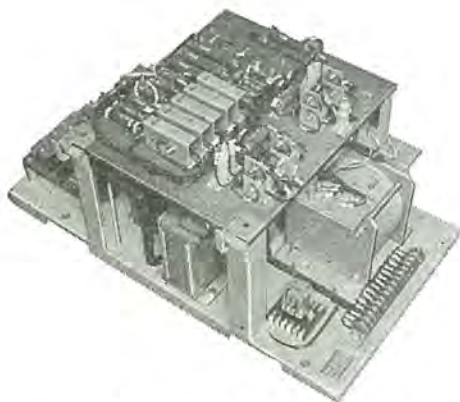


図 6.10 界磁電流制御板
Field current control panel.



図 6.11 空転検出制御板
Slip control panel.

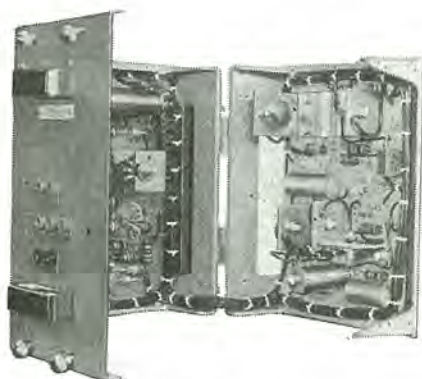


図 6.12 無接点トレイ
Interior view of solid state control.

表 6.6 補助回転機類仕様
Specification of auxiliary rotating machines.

| | |
|---|--|
| A | 主電動機用電動送風機 (2 台/両) |
| | 4 極 15 kW 175 mmAq 140 m ³ /min×21, 460 rpm |
| B | 電動空気圧縮機 (1 台/両) |
| | MH 3009 C-C 3000 形 4 極 15 kW 8 kg/cm ² 2,950 l/min |
| C | シリコン整流器用電動送風機 (4 台/両) |
| | MH 3034-FK 71 4 極 0.75 kW (25 mmAq 45 m ³ /min 1,415 rpm) |
| D | 主変圧器用電動送風機 (1 台/両) |
| E | 抵抗器用電動送風機 (2 台/両) |
| | MH 3054-FK 86 4 極 2 kW |
| F | 主変圧器用油ポンプ (1 台/両) |
| G | 相変換機 (1 台/両) |
| | DM 67 C 4 極 100 kVA 50/60 Hz 400/440V |
| H | 交流発電機 (1 台/両) |
| | DM 71 交流 50 Hz(60 Hz) 100 V 2φ 6 kVA |
| I | 回生整流器用電動送風機 |
| | MH 3056-FK 86 4 極 0.25 kW |
| J | 補助電動空気圧縮機 |
| | MH 99-FK 18 400 W 直流直巻 7 kg/cm ² 80 l/min |

7. 保護方式

この機関車は、回生制動を行なっているために、力行専用車よりも保護系統が複雑になっている。保護機器は、20 kV 側にある空気しゃ断器 (ABB) と直流回路側にある高速度しゃ断器 (HB) である。事故時の ABB と HB との動作順序は、HB で負荷回路を開放した後に ABB で全回路を開放する。これは、負荷回路を開放する前に交流側を開放すると、サイリスタの消弧用電源がなくなるので転流失敗が起きることがあるために、負荷回路を開放した後に交流側を開放する。この他に ABB および HB の単独動作もある。

表 7.1 は保護系統である。

8. 機器配置および通風系路

機関車の外形寸法および機器配置は図 8.1 のとおりである。

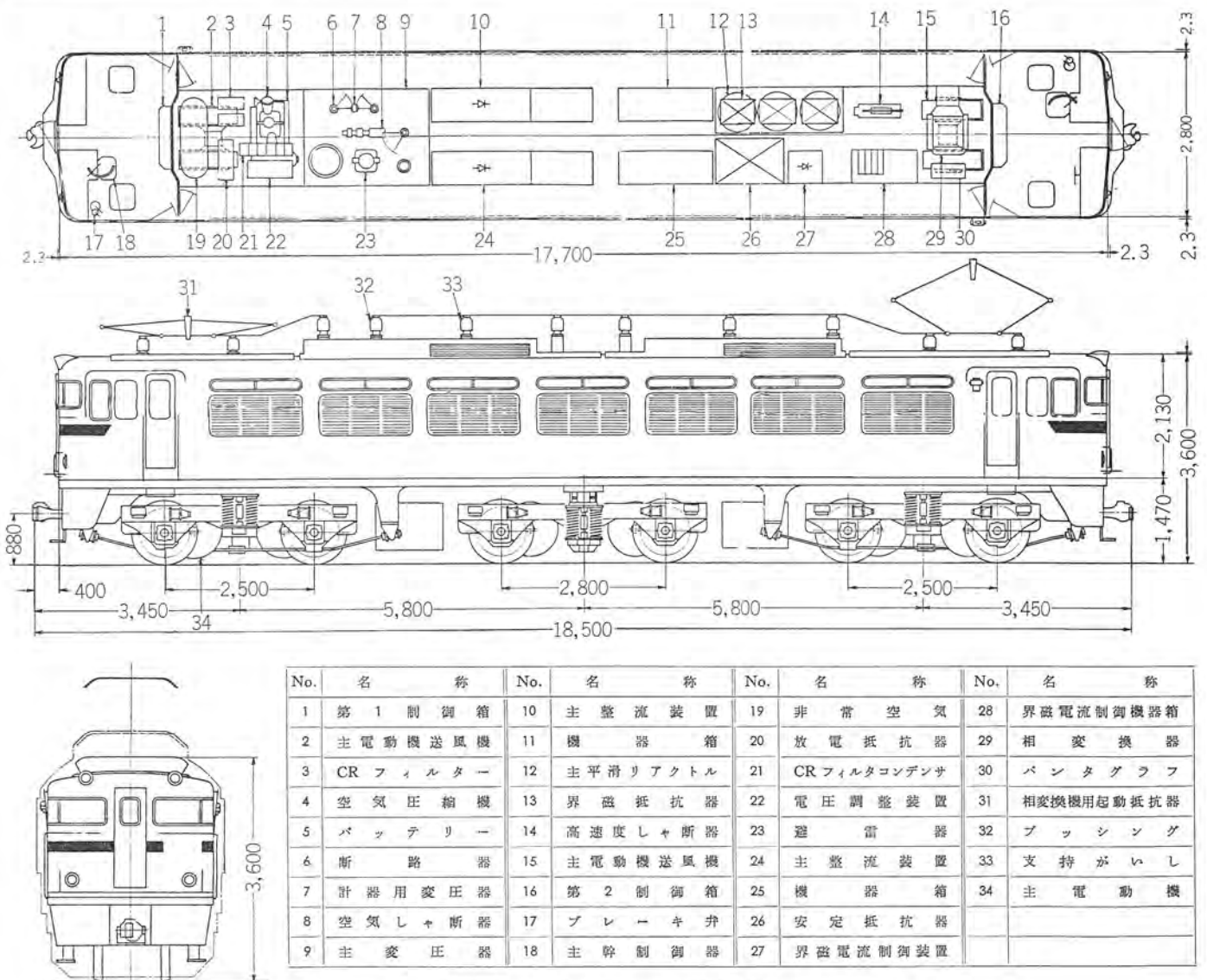
屋根上にはパンタグラフと導体およびその支持がいしがある。

機械室内は、第 1 補機室側に第 1, 2, 3, 4 主電動機用送風機・空気圧縮機・CR フィルタ・蓄電池等を、第 2 補機室側に第 5, 6 主電動機用送風機と相変換器を、中央部は、高圧機器類・主変圧器・主整流装置等のグループと界磁制御装置・安定抵抗器・高速度しゃ断器の回生用機器のグループと電圧制御板・制御機器のグループに分

表 7.1 保護系統

Protective system.

| 力行時 HB, ABB 動作する事故 | 回生時 HB, ABB が動作する事故 | 回生時界磁電流ゲートシャ断 |
|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| (1) 空 気 圧 低 下 | 同 左 | (1) 界磁サイリスタ装置温度上昇 |
| (2) 交 流 回 路 側 過 電 流 | 同 左 | |
| (3) 直 流 回 路 側 過 電 流 | 同 左 | HB 単 独 動 |
| (4) 接 地 事 故 | 同 左 | (1) 過 電 流 (直 流 側) |
| (5) 主 整 流 装 置 故 障 | 同 左 | (2) 非 常 ス イ ッ チ 操 作 |
| (6) ゲ ー ト シ ャ 断 失 敗 | 同 左 | (3) 一 次 電 圧 過 電 圧 |
| (7) 主 整 流 装 置 温 度 上 昇 | 同 左 | |
| — | (8) 界磁電源回路過電流 | 非 常 制 動 |
| — | (9) 界磁電流用整流装置故障 | |
| — | (10) 電動機回路過電流 | (1) 過 速 度 |
| — | (11) 界 磁 回 路 過 電 流 | (2) 界磁サイリスタ温度上昇 |
| | | (3) HB 動 作 |
| 力行時主整流器ゲートシャ断 | 回生時界磁電流ゲートシャ断と主整流器ゲートシャ断 | |
| (1) 電 動 機 過 電 流 | — | |
| (2) 電 動 送 風 器 停 止 | 同 左 | |
| (3) 相 変 再 起 動 | 同 左 | |
| (4) 架 線 電 圧 低 下 | 同 左 | |
| (5) HB 動 作 | 同 左 | |
| (7) 移 相 電 源 停 電 | 同 左 | |

図 8.1 外形寸法と機器配置
Outline dimensions and internal arrangement.

かれて、おのおの配置されている。

主変圧器の通風系路は床下から吸い込んで屋根上から排気する。

主電動機の通風系路は機械室内から吸い込んで床下から排気する。主平滑リアクトルの通風系路は、第5，6主電動機用送風機的一方を利用して、機械室内から吸い込んで屋根上から排気する。ただし冬期は機械室内に排気して室内循環を行なっている。

主整流装置・界磁制御装置および安定抵抗器の通風系路は、おのおの専用の送風機を使用して、機械室内から吸い込んで屋根上から排気する。ただし冬期は機械内に排気して室内循環を行なっている。

9. む す び

この機関車は、非常に高度な技術を用いて設計された、高性能な機関車であるうえに、実績が非常に少ない。このため設計製作頭初から、試験中にわたり、机上では予想もできなかったような問題が、種々生じたがその都度つぎのように解決していった。

主整流装置で、主回路の転流電流の誘導が、主回路の導体バーを通して、ゲート回路にはいる。これを防ぐためにゲート回路を一部変更した。

工場試験において、サイリスタに高い dv/dt が加わる回路現象があることがわかって、サイリスタに対して配慮した。また電圧制御系の特性がわかり一部改良した。

機関車試験中、主サイリスタのパンク事故が発生した。その原因はサイリスタの点弧のばらつきによるものであったことがわかって、回路変更を行なった。またサイリスタ故障検出器のノイズ対策、重連時の電流不平衡の是正も行なった。

以上のほかにも若干の問題が生じたが、機関車の運転に支障となる問題は、43年10月1日の営業開始運転までに、全部解決できて、無事に営業運転に使用できた。

誘導障害については、主変圧器の6分割と非対称制御さらには適当な地上設備とがあいまって、この機関車では問題なかった。しかしこの問題はサイリスタ位相制御をする電気車には必ずつきまとう問題であり、今後とも地上側設備とあわせ考えていかなばならぬと考えている。

最後に、種々ご指導いただいた国鉄車両設計事務所の方々およびこの電気機関車の製作に関与された三菱重工(株)の方々のご協力に深く感謝する次第である。

MELCOM-3100 ディスクオペレーティングシステム (1)

—FOS (モデル 40 用基本システム)—

三井大三郎*・魚田 勝臣*・武田 浩良*・峰崎 秀生*

MELCOM-3100 Disk Operating System Part I

—Fundamental Operating System—

Kamakura Works Daisaburo MITSUI・Katsuomi UOTA
Hiroyoshi TAKEDA・Hideo MINEZAKI

MELCOM-3100 system series is the one so arranged as to operate with batch processing as its principal function and to be applied to inline processing (inquiry). As operating system, MARK I, MARK II and MARK III are provided for it in response to the scale of hardware. MARK III described herein is disk operating system of high efficiency making use of random access function of the disk. The system being large with new diversified trials, the description shall be divided into several chapters in reporting. This is part I of the discussion, in which the whole of MARK-III and FOS, the fundamental system of MARK-III, are given with their characteristic function as the main topic.

1. ま え が き

電子計算機システムは、ハードウェアを中核とし、それをとりまくソフトウェアと有機的に結合してはじめてその機能を十分に発揮できる。ことに最近のように計算機のハードウェアが高速化、多様化されてくると、それを人間（プログラマーやオペレータ）の判断で動かすことは困難で、もし動かせたとしても計算機自体の効率を著しく低下させてしまう。したがって山積された仕事をつぎつぎと間断なく進行させてゆく道具が必要であり、これを実現するのがオペレーティングシステムの役割である。

従来のオペレーティングシステムは磁気テープを主体としたものが多く、情報の探索に長時間を要しかつ情報の更新ができないため満足な結果が得られず、オペレーティングシステムとして十分活用されているとは言えなかった。しかし、ディスクやドラムを主要2次記憶媒体とするとそのランダムアクセス性が活かされるので、前述の金物的な制限事項がなくなり性能の大幅な向上がはかられる。また処理するデータファイルも従来のシーケンシャルファイルのほかにインデックスのついたシーケンシャルファイルやダイレクトファイルが実現できるので新しいデータ処理方式への道が開ける。

MELCOM-3100 システムシリーズはバッチ処理を中心としインライン処理（問い合わせ）が利用できるように配慮されたシステムであり、ハードウェアの規模に対応して MARK-I, MARK-II および MARK-III の三つのオペレーティングシステムが供給されている。前の2者は磁気テープを主体としたシステムで、ここに報告する MARK-III がディスクを主体としたシステムである。MARK-III オペレーティングシステムの設計にあたって、われわれはつぎの4項目を指針とした。

- (1) 単位時間あたりに処理できる情報量を増大させる
- (2) 情報の管理機構の高度化をはかる
- (3) プログラムに対する便宜を多くもたせる
- (4) インライン処理を可能にする

この結果ディスクのランダム性を活用した高能率の使いやすいシステムが完成することができたので、システムが大きく新しい試みも多岐

にわたっているので全体を数編に分けて報告する。この論文は第一編で MARK-III 全般と MARK-III の基本システムである FOS (Fundamental Operating System) について、特長機能を中心に述べる。

2. MELCOM-3100 シリーズのソフトウェア

MELCOM-3100 システムシリーズのハードウェアとソフトウェアの関連を図 2.1 に示す。ハードウェアとソフトウェアとが実線で結ばれたものはそれぞれのハードウェアモデルでソフトウェアが実動することを示し、点線で結ばれたものは入出力装置の条件が満足されれば実動することを示している。要約すると、

MARK-I はモデル 10 T および 20 T 用のオペレーティングシステム

MARK-II はモデル 40 T 用のオペレーティングシステム

MARK-III はモデル 20 D および 40 D (いわゆるディスクモデル) 用のオペレーティングシステム

といえる。(MARK-I については文献(1), (4)および(5) MARK

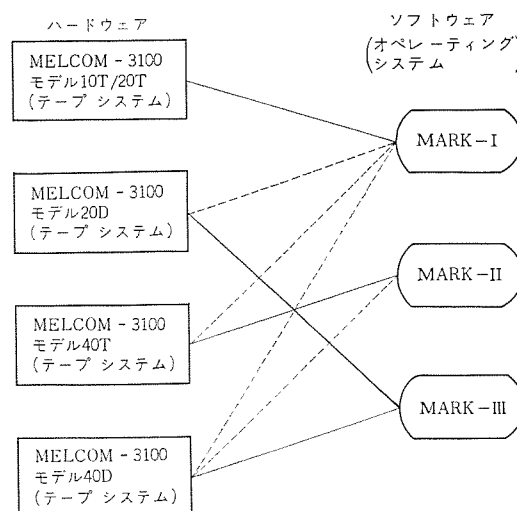


図 2.1 MELCOM-3100 システムシリーズ
MELCOM-3100 system series.

II については文献(2)および(3)で報告した。

MARK-III はまた三つの段階のものが用意されており、これを図 2.2 に示す。このように計算機の規模にマッチしたオペレーティングシステムを準備することによって、小構成から大構成に至るハードウェアシステムが十分能力を発揮できるようにしている。

注) COS, FOS および EOS のフルネーム
 COS : Compact Operating System
 FOS : Fundamental Operating System
 EOS : Extended Operating System

MARK-III オペレーティングシステムが実動する最小機器構成を図 2.3 に示し、大構成(最大ではない)を図 2.4 に示す。MARK-III の特長点の一つはハードウェアの小規模の変更(たとえばメモリ容量)にはシステム生成(System Generation)で対処し、大規模の変更にはオペレーティングシステム自体をかえて対処することによって各ハードウェアモデルの持てる力を十分発揮させることである。

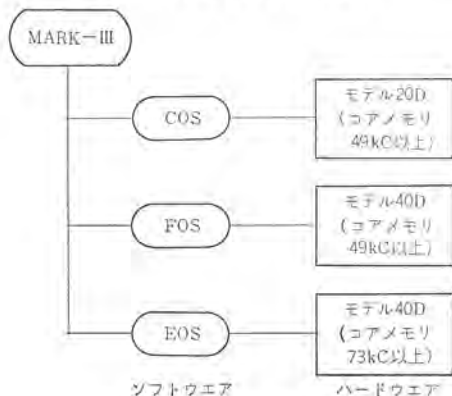


図 2.2 MARK-III の体系
 MARK-III operating systems.

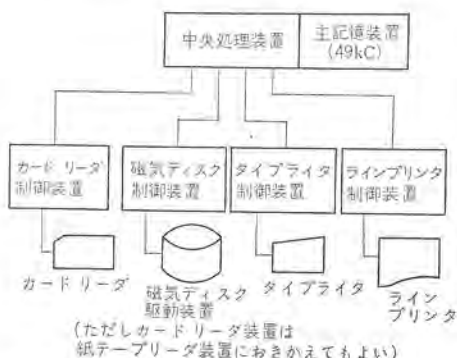


図 2.3 MARK-III のか動する最小機器構成
 Minimum machine configuration for MARK-III.

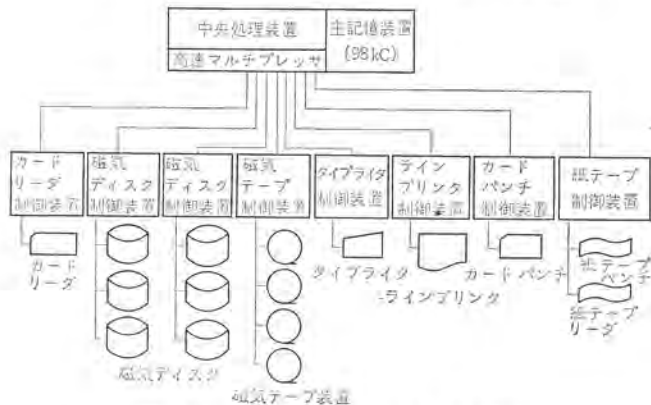


図 2.4 MARK-III のか動する大構成
 Typical machine configuration for MARK-III.

3. FOS の構成と特長的機能の概要

2 章までは MELCOM-3100 システムシリーズのソフトウェア全般について記述したが、以下の章では MARK-III の基本システムである FOS を中心に記述する。

3.1 オペレーティングシステムの構成

FOS のシステム構成を図 3.1 に示す。図からわかるようにオペレーティングシステムを構成する要素は管理プログラムと処理プログラムとに大別される。後者はそれぞれほぼ独立した機能を果たすプログラムでそれらを管理するのが前者である。

3.2 ディスクファイルの構造と用途

データを収容するディスクパックや磁気テープリールのような記憶媒体の物理的な単位をボリュームという。ディスクや磁気テープの場合 1 個のボリュームに複数個のファイルを収容すること(多ファイルボリューム)もできるし、逆に一つのファイルを複数個のボリュームにまたげておくこと(多ボリュームファイル)も可能である。FOS の場合には磁気テープの多ボリュームファイルは、ファイルの探索時間が長くなるので採用していないが他の形のファイルはすべてとり扱うことができる。

オペレーティングシステムの中核となるディスクボリュームについては、プログラムも狭義のデータと同居することになるので情報は巨視的にはすべてファイルとして統一的に管理される。しかし処理の形態は必ずしも同一でないで、それぞれの用途に適したファイル構造とし、システム定住ファイル、スクラッチファイルおよびデータファイルの 3 種に大別している。

(1) ディスクボリューム

ディスクボリュームの場合多ファイルボリュームは普通の使い方でありデータの更新も行なわれるので、磁気テープのファイル保護リングに相当するものはない。そのためディスクボリュームとボリュームの中での領域

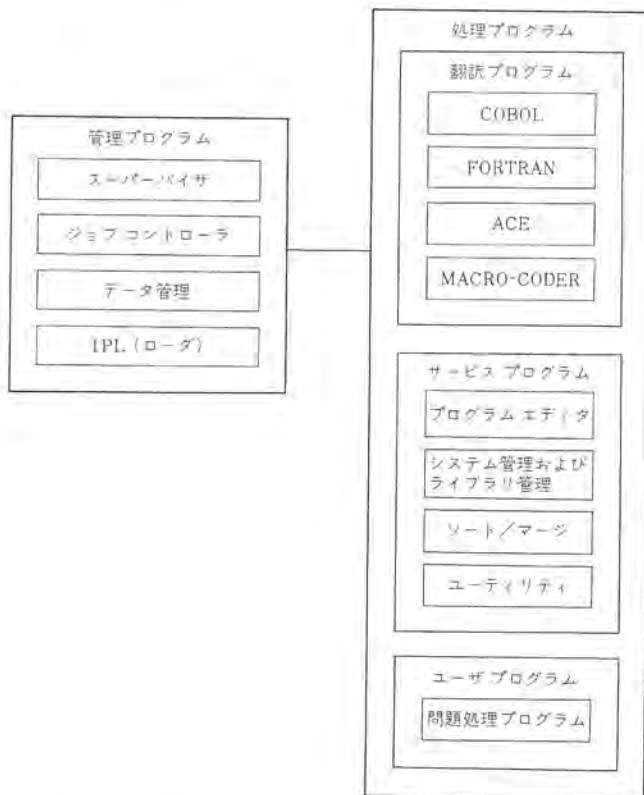


図 3.1 FOS の構成
 Organization of FOS (Fundamental operating system).

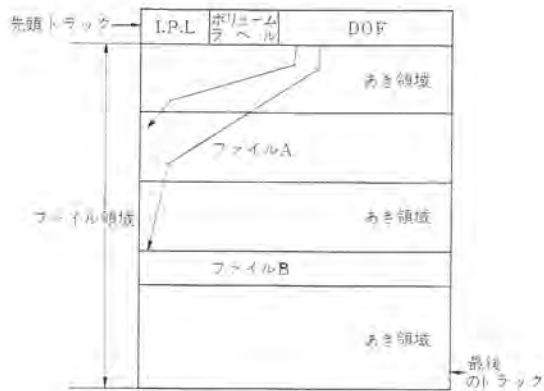


図 3.2 ディスク ボリューム
Disk volume.

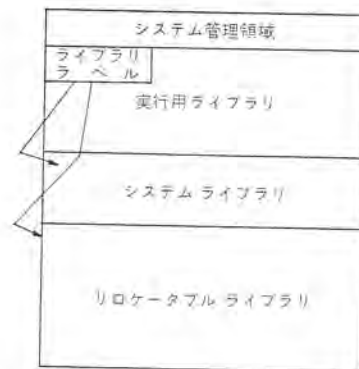


図 3.3 システム 定住 ファイル の構造
Structure of system resident file.

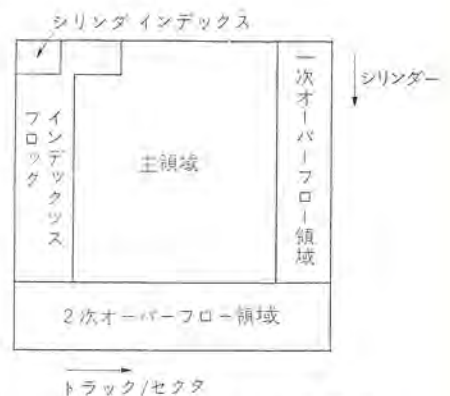


図 3.4 I-S ファイル の構造
Structure of indexed sequential file.

管理は最終的にはソフトウェアによって行なわれる。

この目的の情報、図 3.2 に示すように I.P.L. (イニシャル プログラム ロード) とともにすべてのディスクの最初の部分におかれる。

ボリュームラベルはボリュームの固有番号を収容しているものである。ファイルディレクトリ (DOF: Directory of Files) はそのボリュームに収容されているファイルの住所録であり各ファイルの領域、構造、処理方法などの情報を収容している。I.P.L., ボリュームラベルおよび DOF を除いた部分がファイル領域である。前述のシステム定住ファイル、スクラッチファイルおよびデータファイルはいずれもファイルとしてみるかぎりことで述べたボリュームラベルと DOF とで同じ方式で管理されるので、一つのボリュームに異なる形態のファイルがはいっていてもよい。

(2) システム定住ファイル

ディスクオペレーティングシステムがはいっているディスク領域をシステム定住ファイルといい、構造を図 3.3 に示す。

システム管理領域はシステム生成時に与えられたユーザのハードウェア構成を示す定数や、データ管理のためのコントロール情報の格納など、オペレーティングシステムが自身の機能を達成するためのデータを保管するのに使う領域である。ライブラリ領域では、メーカー供給のシステム要素もユーザが作成したプログラムや表 (変換テーブルなど) も同一の方法で管理される。しかしメーカー供給のものは不用意な破壊から守るために特別のマークが付けられている。

(3) スクラッチファイル

スクラッチファイルには翻訳プログラムが外部記憶装置として使うもの (SYSSC1~SYSSC3 と名付けられている) と、ユーザのプログラム実行中にチェックポイント時の情報をダンプするのに使うもの (SYSCKD) とがある。これらのファイルはきわめてひんぱんに使われるので、原則としてオペレーティングシステムが自動的に領域管理を行なう。

すなわち、メーカー供給の標準システムからユーザ用システムを生成する (いわゆるシステム生成) ときにスクラッチファイルの標準的な割り付けを設定し、以後のシステム使用時にはこの標準割り付けで使用するかぎり割り付けに関するコントロール情報は不要になっている。しかし、ときには標準的な割り付けの領域を拡大したい場合などもあるのでこのときには実行時にジョブコントロール情報によって変更できる。

(4) データファイル

データファイルには従来から使われているシーケンシャルファイルのほか、ダイレクトファイルとインデックス付きシーケンシャルファイル (I-S ファイルと略記する) がある。

(a) シーケンシャルファイル

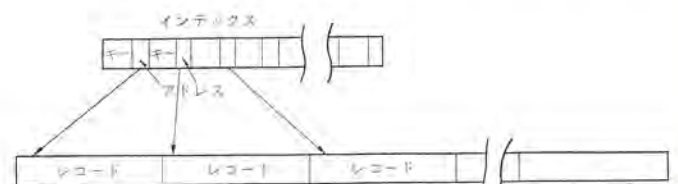


図 3.5 I-S ファイル の概念
Schema of indexed sequential file.

従来のテープファイルと同様の編成方法で、レコードをキーの順に処理するのに便利な方法であるが、ランダム処理はできない。

(b) ダイレクトファイル

レコードの番号を指定することによって直接レコードにアクセスできるファイルである。キーをレコード番号に変換する便利な手続きが見出される場合にはディスクの特長を生かせる最も効率のよい処理方法である。

(c) I-S ファイル

このファイルは本質的にはシーケンシャル編成である。すなわち図 3.5 に示すようにキーの順にレコードを並べておきレコードキーと該当レコードの位置とを対にしたレコードの索引 (インデックス) をつくる。レコードをキーの順に処理するときはレコードそのものをたどり、ランダムに処理するときはインデックスをたどってレコードの所在を知ってからレコードを読みとる。レコードよりキーのほうが通常情報量のはるかに小さいのでレコードを逐一走査してゆくよりも処理が速い。実際の I-S ファイルではインデックスを2段 (シリンダインデックスとブロックインデックス) にして探索時間を短くし、さらにデータの連鎖 (チェイン) 構造を採用してレコードの追加や削除ができるようにしている。

以上のようなデータファイルを便利に管理するシステムを MARK-III ではデータ管理と呼んでいる。これにはダイレクトファイルにおけるレコード番号指定や I-S ファイルにおけるブロックインデックスの採用などの新しい試みが盛り込まれているので、このシリーズで稿を改めて詳しく報告する。ここでは各ファイル編成の一般的特徴点を述べるにとどめた。

3.3 管理プログラム

管理プログラムはオペレーティングシステムの中核であり、すべての処理プログラムはこの管理下で動作する。管理プログラムはスーパーバイザ、ジョブコントローラ、データ管理および I.P.L からなる。ここではこれらのシステム要素の諸機能のうちプログラム処理の流れとディスクの領域管理について記述する。

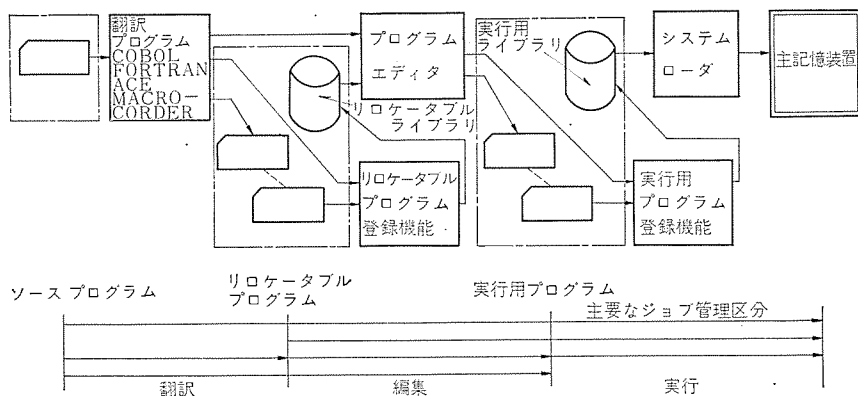


図 3.6 プログラム処理の流れ (主要部分)
General flow of program processing.

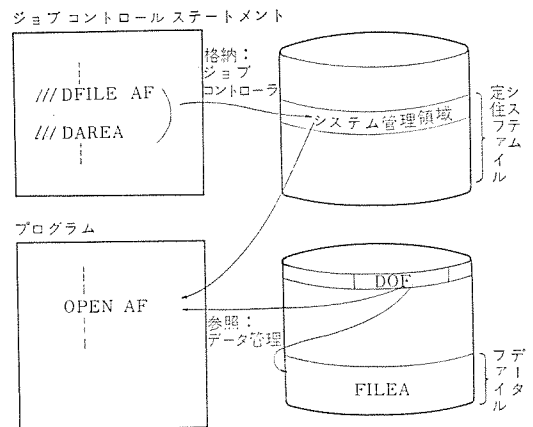


図 3.7 ディスク領域の管理
Management of disk area.

(1) プログラム処理の流れ

図 3.6 にプログラム処理の流れを示す。

ソースプログラムはプログラム単位 (一つのプログラムを分割作成し、編集によって最終的に一つにまとめることができるので、正確にはプログラムセグメント単位) に COBOL FOR TRAN などによって翻訳されリロケートブルオブジェクトプログラムが作られる。このプログラムはカードにパンチすることも、ライブラリ管理のリロケートブルプログラム登録機能によってライブラリに登録することも、あるいは編集のために直接プログラムエディタに送ることもできる。

プログラムエディタはリロケートブルオブジェクトプログラムを編集・結合し実行用オブジェクトプログラムをつくる。このときのリロケートブルプログラムは翻訳プログラムから直接受けとることもあるし、リロケートブルライブラリから、指定されたプログラムを呼び出すこともある。つくられた実行用プログラムはカードにパンチされるか、ライブラリ管理の実行用プログラム登録機能によって実行用ライブラリに登録される。

プログラム実行のためにはそのプログラムを必ず実行用ライブラリに登録しておかなければならない。システムローダは実行用ライブラリからプログラムを主記憶装置へロードする機能をもっている。

以上に記述した各過程における情報の入力源と出力先の選択はコントロールステートメントによって自由にできる。もちろん入力源、出力源ともに複数個あってもかまわない。

また図 3.6 の下に矢印で示したように翻訳、編集および実行過程を組み合わせたものを一つのジョブステップとすることもできる。ようにして、コントロールステートメントの単純化をはかっている。たとえば "A" という COBOL プログラムを翻訳して直ちに実行したいときには、次の 2 種のステートメントで行なえる。

```
/// PROG, @ COBOL, A, GO.
```

```
/// EXEC.
```

(2) ディスクの領域管理

ディスクの領域管理はボリュームやファイルのラベルを基にしてソフトウェア的に行なわれる。磁気テープリールを使用するときと同様に、プログラム実行のつどディスクのボリュームも変わるのが一般的な使い方である。ファイルの所在やラベルに関する情報をプログラムの中に保存しておくことにすると、ファイルの所在が変わるたびにプログラムを修正・翻訳しなければならない。これを避けるために領域の指定をプログラムから切り離し、ジョブコントロールステートメントを通じて与える方式にした。この模様を図 3.7 に示す。

プログラム実行に先立ってジョブコントローラがそのプログラムのジョブコ

ントロールステートメントを読みとる。プログラムの中でディスクファイルが使われていると、その領域指定をするコントロールステートメント

```
/// DFILE (Define FILE)
```

```
/// DAREA (Define AREA)
```

が各ディスクファイルごとに与えられている。このステートメントが読まれるとジョブコントローラはその情報を検定したうえでシステム管理領域に保存する。

プログラムが実行されディスクファイルを開く命令 (OPEN) にくるとデータ管理の OPEN 機能によってファイルが開かれる。このときにシステム管理領域に貯えられている DFILE, DAREA からの情報とディスクボリュームについているファイルディレクトリ (DOF) が参照される。

ディスクファイルの OPEN や CLOSE は、領域やラベルの計算およびチェックなど入出力処理の準備に関する多くの処理をしなければならない。したがってデータ管理のこの部分が占めるメモリ領域が大きくなるので、必要のたびにディスクから主メモリの一時領域に呼び込む、いわゆるトランジェントルーチンとしている。このようにすると処理時間は多少長くなるが、OPEN や CLOSE は実行回数が少ないから処理全体から見れば時間の増加の割合はわずかで、主メモリを節約することに重点を置いている。

3.4 翻訳プログラム

MARK-III では言語の翻訳プログラムとして

COBOL コンパイラ

FORTTRAN コンパイラ

ACE コンパイラ

MACRO-CODER アセンブラ

の 4 種を準備し、業務の内容に応じた言語でプログラムできるようにしている。COBOL は事務データ処理用、FORTRAN は技術計算用というように各言語にはそれぞれ得意とする守備範囲がある。ところが最近計算機の応用分野の拡大とともに、この守備範囲を越えた広はんな処理が要求される問題も多くなってきている。たとえば事務データ処理で複雑な計算をするといったような場合、主部分は COBOL で書き計算処理は FORTRAN で書いて編集によって一つにまとめるようにすると、それぞれの言語の欠点を相補えることになる。MARK-III の翻訳プログラムはプログラムエディタ機能を利用してプログラムの結合が行なえるようになっている。

言語翻訳プログラムでは処理の過程で多種類の表 (テーブル) を取り扱う。MARK-III オペレーティングシステムの実動するメモリ容量が 49 kC, 73 kC, および 98 kC の 3 種にわたっているため、翻訳プログラムは

メモリ容量に応じて表の大きさを自動的に変えるように作られている。ACE コンパイラと MACRO-CODER アセンブラでは、表の種類が比較的少ないので一般によく行なわれている主要テーブルのみを可変にする方法をとっている。

COBOL や FORTRAN コンパイラでは使用する表の種類が多く構造も複雑で、その上与えられるソースプログラムも条件ステートメントがやたらに多いプログラムなどというように、使用ステートメントのばらつきが大きい。そのため主要テーブルだけを可変にしておくとし、それ以外の表があふれ翻訳不能となるケースがでてくる。MARK-III の COBOL, FORTRAN コンパイラではこれを解決するためにダイナミックな表の割り付け方式を採用している。

これらのコンパイラではすべての表を1個所に集めその全体に対して一つのメモリ領域が割り付けられている。それぞれの表はこのメモリから必要の都度分配を受ける。分配はすでに存在する表の間に割り込む形にしている。この方式を例によって説明しよう。

いま、A, B および C の三つの表が図 3.8 (a) のような状態にあったとし、そこに新しく B₁ なるエントリを追加することを考える。このときは B₁ を入れる場所をつくるために A および B のすべての要素を1エントリ分左にずらし、その上で元の B₀ の位置に B₁ を入れるようにしている。このような方法をとると完全にダイナミックにはできるが処理時間がかかることはいふまでもない。MELCOM-3100 の場合、計算機にこのような処理のための便利な命令があることと、メモリをずらすタイミングを工夫するなどによって能率を上げている。

翻訳プログラムではディスクの活用、直接コンパイル方式（アセンブラ言語の過程を経由しないで直接オブジェクトプログラムに翻訳する方式）の採用などによって翻訳速度を大幅に向上させた。当社の MARK-I（テープオペレーティングシステム）と比較した場合、

COBOL コンパイラが5倍、

FORTRAN コンパイラが7倍、

ACE コンパイラが2倍、

MACRO-CODER アセンブラが2.5倍

である。（注：翻訳速度を上げるとオブジェクトプログラムの質が低下する傾向にあるため、純粋の翻訳時間で翻訳プログラムの良否を論じるのは危険であることを考慮してここでは相対的な数値だけを上げた。）

3.5 サービスプログラム

サービスプログラムには

○言語の結合・編集に関するものとしてプログラムエディタ

○オペレーティングシステムおよびプログラムライブラリを管理するものとしてシステム管理およびライブラリ管理

○分類と併合をするものとしてソート/マージプログラム

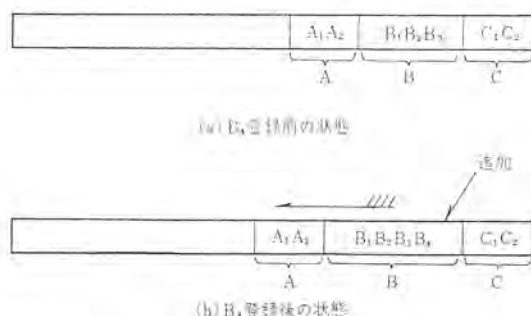


図 3.8 動的な表割付
Dynamic table allocation

○きまった処理をするつくりつけのプログラムとしてユーティリティプログラム

が準備されている。

(1) プログラムエディタ

図 3.6 からわかるようにすべての翻訳プログラムはソースプログラムをいったんリロケータブルオブジェクトプログラムに翻訳する。プログラムエディタはこれを入力として結合・編集を行ない実行用オブジェクトプログラムを作る。おもな機能は次のとおり。

(a) 複数個のプログラムセグメントを合成して一つにまとめる。

(b) ライブラリ（リロケータブルおよびシステムライブラリ）の呼び込みを行なう。

(c) オーバーレイ構造のプログラムを作り出す。

(d) プログラムの変更を行なう。

(e) コモン領域の編集をする。

(f) プログラムの割り付け場所を決定する。

(2) システム管理

MARK-III オペレーティングシステムは原則として磁気テープに入れてユーザに配布される。この原則はシステムの一部を改訂する場合でも同じである。システム管理はオペレーティングシステム入りのテープを読みディスク上にシステム定住ファイルを生成する機能と、テープを読みディスク上のシステム定住ファイルを更新する機能とからなる。このうちの生成機能を図 3.9 に示す。この図でカードから与えられているシステムコンスタントはユーザのハードウェア構成（メモリ容量、入出力装置の種類と転送速度など）、システムが使うスクラッチファイルの標準的な用法、入出力装置の記号名に対応する物理的な標準機器などを指定する。このコンスタントを適当に選択することによってメーカーから供給された標準のオペレーティングシステムがユーザのハードウェアシステムで最も効率良くかつ使いやすきものとなる。

(3) ライブラリ管理

プログラムやコード変換表をまとめてライブラリをつくり、これを管理する機能がライブラリ管理である。MARK-III では図 3.3 に示したように、つぎにあげる3形態のライブラリを管理する。

(a) 実行用ライブラリ

編集された実行用プログラムや、実行用プログラムによって処理される表の類が入れられるライブラリである。実行用ライブラリのディレクトリはプログラムの階層構造をそのまま適用し、プログラムディレクトリとフェーズディレクトリとからなる図 3.10 の構造とした。この方法によってプログラムを探索する時間を短縮し、かつプログラムの命名を容易にした。

(b) システムライブラリ

オペレーティングシステムがユーザのプログラムを編集するために管理するもので、ソースプログラムの形で管理されるもの、リロケータブルプログラムの形で管理されるものおよび表の形で管理されるものの3種類がある。

(c) リロケータブルライブラリ

翻訳プログラムによって翻訳された結果のリロケータブルプログラムが入れられるライブラリである。ディスクオペレーティングシステムの場合、ディスクのランダムアクセス性とデータ更新が可能なことを利用して高能率でかつ便利にプログラムが管理できる。ディスクボリュームを1本完全にシステム定住ファイルとした場合には、700本程度のリロケータブルプログラムと150本程度の実行用プログラムを同時に管理できるので、ほとんどの事業所ではオブジェクトプログラムをカードで管理する必要がなくなると思われる。（実行用とリロケータブルオブジェクトの比率は任意である。）

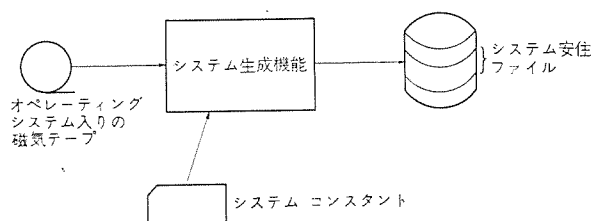


図 3.9 システム生成機能
System generation.

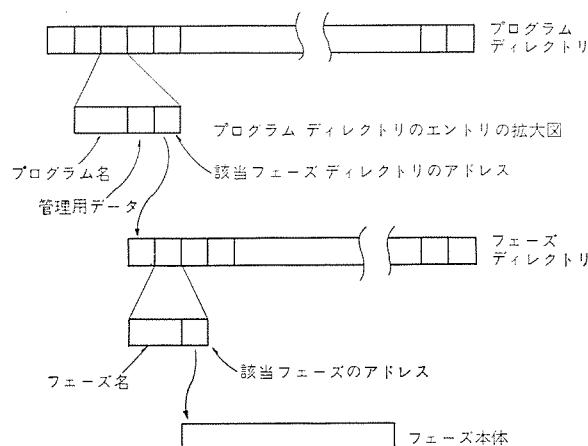


図 3.10 実行用ライブラリの構造
Structure of executable program library.

ライブラリ管理の機能を表 3.1 にまとめた。

(4) ソート/マージプログラム

MARK-III では機器構成に適する ソート/マージプログラムを準備したので、ハードウェア構成に最も適したプログラムを選ぶことができる。各ソート/マージプログラムは

分類されるレコードの長さ、

キー領域の個数、けた位置、

分類の順序の指定(代数的昇・降順、絶対値の昇・降順など)

などの指定ができる。

数個のディスクを保有したディスク主体のハードウェアシステムにはディスク用のソート/マージプログラムを活用するのが計算機の効率を高めるうえで有効である。ディスクソートは2〜7ウェイのソートプログラムが準備されていて、使用者が与えられたコントロール情報によって最適なウェイ数のものを選択してそれによってソートを行なうようになっている。入力ファイル、出力ファイルはともに磁気テープでもディスクでもよい。ディスクを利用したソートは30kCテープを使ったソートに比較して3〜5倍の処理スピードをもっている。

(5) ユーティリティプログラム

FOSでは30数本のユーティリティプログラムを準備した。これらは実行用ライブラリに登録されているので、ユーザはいつでも呼び出して使うことができる。メーカーからシステムが配布された時点では、メーカーが作成したつくりつけのユーティリティがはいっている。ユーザではライブラリ管理の機能を使って不要なものを削除したり、使用頻度の少ないものをカードにとったり、あるいは新しいユーティリティを追加したりすることができる。ディスクシステムではユーティリティはディスク上のライブラリとして管理され、しかもテープシステムに比べて呼び出し時間が非常に短いのでユーティリティプログラムの利用価値は格段に高くなる。

表 3.1 ライブラリ管理の機能
Function of program library control.

| 機能名 | 機能のあらまし |
|--------------|--|
| 登録 (カタログ) | プログラム、フェーズ、セグメントなどを各ライブラリに登録する |
| 削除 | すでに登録されているプログラム、フェーズ、セグメントをライブラリからまっ消する |
| プリント | ライブラリラベル、プログラムディレクトリ、フェーズディレクトリ、セグメントディレクトリをプリントする |
| パンチ | すでに登録されているプログラム、フェーズセグメントをライブラリからとり出しパンチする |
| 整理 | ライブラリの空き領域を整理する。このときライブラリ領域の大きさを変更できる。 |

4. FOS の特長点の要約

FOSを中心としたMARK-IIIオペレーティングシステムの特長機能を記述したが、全体を総合してシステムとしての特長点を列記しておく。

(1) ディスクランダムアクセスの機能を活用しているためオペレーティングシステムとしての能率が高い。とくにジョブを連続的に処理するとき個々のプログラムを短時間で呼び出せるためきめの細かいジョブ管理が行なえる。

(2) 各種のデータ管理機構が準備されているので、業務の性格に適したファイルが利用でき処理能率を向上できる。ファイルには

- (a) シーケンシャルファイル
- (b) ダイレクトファイル
- (c) インデックス付きシーケンシャルファイル

の3種があり、このうちの(b)および(c)はディスク専用のファイルである。

(3) プログラムをするときには入出力装置の使用条件を細かく考える必要がなく、ジョブの実行時にジョブコントロールステートメントとして与えればよい。したがって装置の使用条件が変わってもプログラムを書き換える必要がない。

(4) プログラムライブラリもすべてファイルの概念のもとに扱われ、システムプログラム、ユーザプログラムともプログラムライブラリとして統一的に管理する機能をもっている。そのためユーザは自由に自身の好むようにシステムを作りかえることができる。また実行用ライブラリとディスクスペースの占有度の小さいリロケータブルライブラリとを併用すると、1パックに900本程度のプログラムが収容できるので一般の事業所ではオブジェクトプログラムをカードで管理する必要がなくなる。

(5) 業務の性質に応じてコンパイラ言語—COBOLおよびFORTRAN—、表記入形式の言語—ACE—、アセンブラ言語—MACRO-CODER—を使い分けることができる。さらに言語間の得・不得手を相補なうために異なった言語でプログラムしたものをそれぞれの翻訳プログラムで翻訳し、それらを結合・編集して一つの実行単位にまとめることができる。

(6) プログラムの翻訳速度が飛躍的に速くなった。当社のMARK-Iと比較した場合COBOL、FORTRANコンパイラが5〜7倍、MACRO-CODERアセンブラが2.5倍などである。

(7) ディスクのランダムアクセス性を生かしかつセレクトイブプログラム方

式を採用したソートプログラムを作成したので MARK-I の 3 ～ 5 倍のスピードでソートできる。

(8) MARK-I および MARK-III との言語互換性を有しているので機種交代に有利である。

6. む す び

本文では MELCOM-3100 システムシリーズのディスクオペレーティングシステムに関する報告の第 1 編として、MARK-III 全般とモデル 40 用の基本システムである FOS について、特長的機能を中心に記述した。ディスクシステム、とくにディスクを利用したデータファイルの活用のために、データ処理の方式を従来のようなソートを中心としたものから脱皮させる必要があると思われる。ディスクシステムはわが国ではユーザ、メーカとも使用経験が浅く今後データ処理方式、ソフトウェアシステムともに実情に合わせて改良が加えられてゆくと思われる。その意味で今回開発したディスクオペレーティングシステムでの新しい試みをシリーズとして報告するので大方のご批判を賜りたい。

(昭和 44-6-11 受付)

参 考 文 献

- (1) 嶋村, 首藤, 藤井, 中山: MELCOM-3100 ソフトウェア (1) ——モデル 10 T プログラムの概要——三菱電機技報, 41, No. 4 (昭 42)
- (2) 首藤, 関本, 武田, 三光: MELCOM-3100 ソフトウェア (2) ——モデル 30 T オペレーティングシステムの概要——三菱電機技報, 41, No. 10 (昭 42)
- (3) 首藤, 中山, 東海林: MELCOM-3100 ソフトウェア (3) ——モデル 30 T におけるプログラムの処理——三菱電機技報, 42, No. 3 (昭 43)
- (4) 首藤, 野田, 石川, 長田: MELCOM-3100 ソフトウェア (4) ——10 PT システムの概要——三菱電機技報, 42, No. 4 (昭 43)
- (5) 国分, 有坂, 首藤, 魚田: MELCOM-3100 ソフトウェア (5) ——ACE コンパイラシステムの概要——三菱電機技報, 42, No. 10 (昭 43)
- (6) 首藤, 魚田, 斉藤: プログラム書きかえ問題への COBOL の応用, 三菱電機技報, 41, No.11 (昭 42)

蒸発式冷却器の電力用変圧器への適用

明石 克寛*・西山 槐**

山内 敦***・川中 進***

Fog Coolers for Power Transformers

Central Research Laboratory Katsuhiro AKASHI・Enju NISHIYAMA
Itami Works Atsushi YAMAUCHI・Susumu KAWANAKA

With the trend of power transformers becoming of large capacities and high voltages, and also of power being concentrated at cities, problems of limiting the noise and volume of cooling water of the apparatus are coming into serious consideration. Under the circumstances, Mitsubishi has developed fog coolers making use of latent heat of evaporation of water to help provide a countermeasure. In the fog cooler operation, transformer oil is led into cooling tubes, over the exterior surface of which is sprayed cooling water so that the latent heat of evaporation is removed from the oil to cool down. As the cooling water is circulated, it only needs water supplanting evaporated value, which is about 1.3 l/hr kW, and air of 0.5 m³/min kW is needed to help evaporation. An actual model for about 200 kW installation has been built for trial and tested. This article describes its various details.

1. ま え が き

近年、電力需要の増大から、電力用変圧器の高電圧化・大容量化は急速に進んでいるが、一方、電力需要の都市集中化に伴って、大容量変圧器の騒音・冷却方式が重要な問題としてもちあがってきた。変圧器本体の騒音については、防音壁、建屋、ビル地下に据付けることによって解決している。冷却器は送油風冷式では、防音きょう（筐）、ファン回転数の低減等の策を使っているが、冷却空気の入出口を設けなければならないため、騒音低減には限度があり、価格も増大する。送油水冷式は、騒音・価格の点では問題ないが、都市において十分な冷却水を得ることは不可能な場合が多い。最近、ビル・地下変電所では、冷却水の循環方式（冷却塔方式）を採用して、冷却水の低減を図っているが、間接冷却になるために冷却器が二重に必要となり、効率が悪く、冷却器のための占有面積が大きい等の

欠陥を持っている。これらの現状から、冷却水を最も少なくし、騒音を制限するために風量を減じるものとして、従来の冷却方式のごとく、冷却媒体のけん熱を利用するのではなく、効率の良い水の潜熱を利用し、その効果を上げるために、ファンでわずかに風を送る方法、すなわち、変圧器油を冷却管に通し、その冷却管に、ノズルで水を吹き付け、冷却管面で水が蒸発するときの潜熱で変圧器油を冷却する。また、その蒸発を促進するために、蒸気をファンで外気に逃がす。いわゆる蒸発冷却方式で、これを変圧器の直接の冷却器として応用した。本方式は小形モデルで十分検討した後、今度実物モデルを製作試験を行ない（図 1. 1 参照）、十分実用できる確信を得た。本文では、蒸発冷却方式の原理、モデルおよび試験結果、蒸発冷却方式を使った変圧器の温度特性、および従来の冷却方式との比較について述べる。

2. 蒸発冷却の原理

蒸発式冷却器の冷却機構を考えると、高温の変圧器油を中に流した水平冷却管群に散布された水が、管群表面を流下する際に、空気中に蒸発し、主として、その蒸発潜熱によって変圧器油が冷却される。すなわち、蒸発冷却器の伝熱機構には、図 2. 1 に示すように、変圧器油・冷却水・空気の 3 種の流体が関与し、伝熱管における熱移動は、変圧器油—冷却管壁、冷却管壁—冷却水、冷却水—空気間の三つの過程を経て行なわれている。

単位面積当たりの通過熱量を q とすると、変圧器油—冷却管、冷却管—冷却水間の熱移動は、それぞれ次式で定義される熱伝達率 h_L および h_W によって表わされる。

$$\left. \begin{aligned} q &= h_L(\theta_L - \theta_S) \\ &= h_W(\theta_S - \theta_W) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

ここに、 θ_L ：変圧器油の体積平均温度

θ_S ：冷却管温度

θ_W ：冷却水温度

また、両伝熱過程を合わせて、次の式で定義される総括熱伝達率 U を用いて表わすこともできる。

$$q = U(\theta_L - \theta_W) \dots\dots\dots (2.2)$$



図 1. 1 蒸発式冷却器外観図
Exterior view of fog cooler.

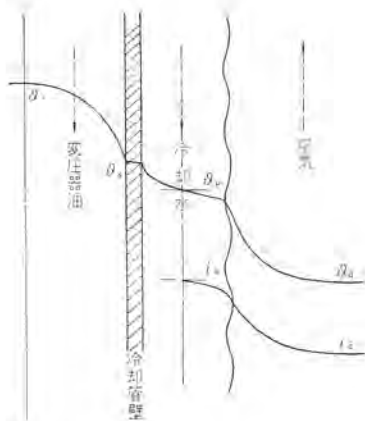


図 2.1 蒸発冷却の伝熱機構
Mechanism of heat transfer of the fog cooler.

冷却水から空気への熱移動は相変化を伴うので、単純に熱伝達率によって表わすことが困難である。そこで蒸発の機構自体を考えてみると、水はその温度と外気圧によって決まる飽和蒸気圧を持っており、外気中における水蒸気圧が飽和蒸気圧以下であれば、水は蒸発する。開いた系では絶えずこの非平衡状態にあるので蒸発が続ける。一般に、熱移動現象において、熱伝達を表わす無次元数であるヌセルト数 $Nu \equiv hL/k$ はレイノルズ数 $Re \equiv GL/\mu$ およびプラントル数 $Pr \equiv C_p\mu/k$ の関数である。

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (2.3)$$

ここに、 h : 空気への熱伝達率

L : 伝熱体の代表長さ

k : 空気の熱伝導率

G : 空気の質量流量

C_p : 空気の比熱

μ : 空気の粘性係数

また、物質移動現象（この場合は蒸発）について、物質移動を表わす無次元数であるシャーウッド数 $Sh \equiv KL/D$ はレイノルズ数およびシュミット数 $Sc \equiv \mu/\rho D$ の関数である。

$$Sh = f(Re, Sc) \quad (2.4)$$

ここに、 K : 空気への物質移動係数

D : 水分子の空気中への拡散率

ρ : 空気の密度

で、式(2.3)、(2.4)の関数形は等しいので、 $Pr = Sc$ のとき

$$K = h/\rho C_p \quad (2.5)$$

が成立する。物質移動係数 K は蒸発量 g 、モル濃度 C 、相対的な物質含有率 x に対して次の式で定義されている。

$$\left. \begin{aligned} g &= K(C_s - C_\infty) \\ &= K\rho(x_s - x_\infty) \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

ここに、サフィックス s, ∞ は、表面および無限遠における値を示す。以下、同様である。

水蒸気分圧を P_v 、外気圧を P_t 、分子量を M とすると、 $x = (M_w/M_a) \cdot P_v/(P_t - P_v)$ であるから、蒸発率 $\sigma \equiv K\rho$ を用いて

$$g = \sigma (M_w/M_a) (P_{v,s} - P_{v,\infty})/P_t \quad (2.7)$$

と表わされる。ここに、サフィックス w, a は、水および空気の値を示す。以下同様である。ただし、式(2.7)は $P_v \ll P_t$ が成立する場合に正しい。式(2.5)、(2.6)、(2.7)から、次の関係式が成立することがわかる。

$$\sigma = h/C_p \quad (2.8)$$

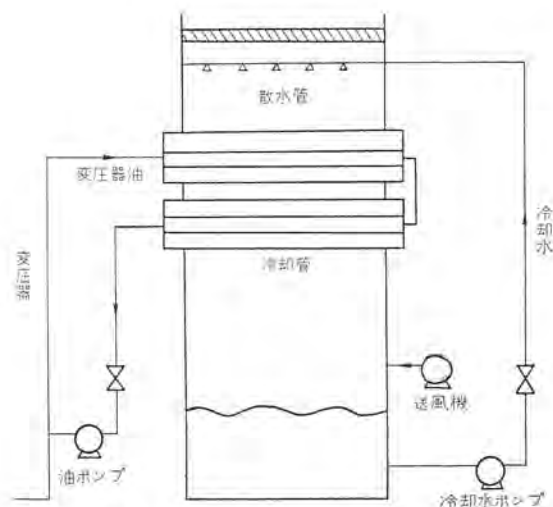


図 2.2 蒸発式冷却器の構成
Schematic diagram of the fog cooler.

水蒸気の濃度が小さいときには、 $P_v \ll P_t$ が成立するので、蒸発率は熱伝達率 h から算出することができる。また、絶対湿度 H を導入すると、次の式が成立する。

$$g = \sigma (H_s - H_\infty) \quad (2.9)$$

式(2.7)~(2.9)から、次のことが言える。蒸発量を大きくするには、冷却管に当たる風速を大きくし、蒸発率 σ (熱伝達率 h) を大きくするか、冷却水の飽和蒸気圧と外気中の蒸気圧の差を大きくするかのいずれかが必要である。このため、蒸発冷却の方法として、自然対流による上昇流を用いて含有水蒸気圧の低い空気を導入する方法と、ファンによって強制的に含有水蒸気圧の低い空気を導入する方法の2とおりが考えられる。自然対流による熱伝達率は強制対流に比べ数分の1であり、必要蒸発面積が相当大きくなること、後に述べるようにファンの補機損は小さく、騒音も十分小さく押さえることができるので、今回は強制対流方式のものを試作した。

装置の構成の概略は、図2.2に示すとおりである。冷却すべき変圧器油はポンプによって冷却管に送られる。このとき、冷却管内流速が適当になるようにせつ(載)流にすることもある。冷却水は別のポンプで冷却器上部の散水管に送られて冷却管上に散布され、冷却器下部より吹き込まれた空気と向流に接触しながら流下し、貯水そうから再びポンプによって散水管に送られ、循環使用される。なお、空気を送り込むファンは必ずしも冷却器下部に設置する必要はなく、上部に設置することも可能である。冷却水は蒸発により減少するが、下部に設けられた水面調節弁により自動的に補給される。

3. モデル機による特性試験

まず、冷却容量10kW程度の冷却器を作り、蒸発冷却を実際に変圧器油の冷却に適用できるか否かを検討した。

冷却管には外径20mm、内径17mmの銅管を用い、上下方向に8段配置した。段数は、空気の通過最小断面における風速を約5m/sにとり、空気の入口・出口における条件(入口・出口の湿度など)のほかに、ファンの騒音を低くすることを考慮して上記の値に選んだ。

循環油量は冷却管内の油速が約1.5m/sになるように選んだが、この値は現用の送油風冷式のものと同じである。また、送水量は冷却管表面が完全にぬれている最小量としたが、今回の試験では、蒸発量の約5倍であった。この値は散水ノズルの噴射角とも密接な関係がある。

変圧器油—冷却管間の熱伝達率 h_L は、管内流の熱伝達を表わす次式から計算することができる。

$$N_u = 0.023 R_e^{0.8} \times P_r^{0.4} \quad (3.1)$$

ただし、上式は $10^4 \leq R_e$ でだけ成立する。また、冷却管—冷却水間の熱伝達率 h_w は、トロンポン形熱交換器について、McAdams 等がまとめた次の実験式⁽¹⁾で計算した。

$$h_w = 187 (\Gamma/D_0)^{1/3} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

ここに、 $\Gamma \equiv w/2L$

w : 1 列の管への給水量 (kg/h)

L : 管 長 (m)

D_0 : 管外径 (m)

式 (3.1), (3.2) から、変圧器油—冷却水間の総括熱伝達率を試算すると、 $\sim 350 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ は期待できる。

冷却量を Q とすると、次の関係式が成立している。

$$Q = G_L \cdot C_L (\theta_{L1} - \theta_{L2}) \quad (3.3)$$

$$= UA \{ (\theta_{L1} + \theta_{L2})/2 - \theta_w \} \quad (3.4)$$

ここに、 G_L : 油の流量

C_L : 油の比熱

A : 管外面積

θ_L は油温度で、サフィックス 1, 2 は入口・出口を意味する。以後、同様である。

式 (3.4) の θ_w は任意に選ぶことはできない。温度 θ_w の水が空气中に必要量蒸発するという条件も合わせて満たす必要がある。最小断面における風速 5 m/s として、式 (2.8) を用いて蒸発率を試算して、 $\sim 160 \text{ kg/m}^2\text{h}$ を得る。 $\theta_{L1} = 65^\circ\text{C}$, 吸入空気湿度 30°C ($P_\infty = 31.83 \text{ mmHg}$) として、式 (2.7), (3.3), (3.4) を試行錯誤的に解いて必要管外面積 A を求め、最終的に次の冷却器を設計した。

送油量: $\sim 500 \text{ l/min}$ (管内最大油速 1.7 m/s)

送水量: $\sim 10 \text{ l/min}$

送風量: $\sim 8 \text{ m}^3/\text{min}$

冷却管外面積: $\sim 0.9 \text{ m}^2$

冷却水量は浮遊式流量計で、風量はピトー管およびサーミスタ風速計で測定した。油の入口・出口温度、空気の入口・出口温度のほか、冷却管壁温度・冷却水温度を数箇所測定した。これらの温度は熱電対で測定した。また、空気の入口・出口において、乾湿球湿度計を用いて湿度を測定した。

冷却管壁および冷却水の温度は、冷却器内部で高さ方向にある分布を持っているが、その代表例を図 3.1 に示す。管壁温度および冷却水温度は各段で異なるが、その温度差は各段でほぼ同一である。したがって、冷却管—冷却水間の熱伝達率は管壁平均温度と冷却水平均温度の差から求めることができる。また、本実験の範囲では、冷却水温度、冷却管温度の最高、最低の差は最大 4°C 、油の入口・出口温度差は最大 4.5°C であり、油平均温度と冷却管平均温度の差は約 20°C であるから、変圧器油—冷却管間の熱伝達率を平均温度差から求める。

以上の方法で得た熱伝達率 (h_L) を図 3.2 に示す。これから、実験式として次の式を得る。

$$N_u = 0.026 (R_{eL})^{0.8} (P_{rL})^{0.4} \quad (3.5)$$

式 (3.1) と比べると、約 15% 高めの値である。これは管内に二次流動が生じるためと考えられる。

h_w を図 3.3 に示す。これから実験式として次の式を得る。

$$h_w = 245 (\Gamma/D_0)^{1/3} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \quad (3.6)$$

式 (3.2) と比べると、約 30% 高めの値である。同様の実験について似た報告がある⁽²⁾。これは、空気による強制冷却のために管壁における流動状態が変わるためである。本実験では送風量を変えて実験を行なったが、風量による差はわずかである。

蒸発量を冷却水温度を横軸にとってプロットすると図 3.4 のようになる。図中の曲線は式 (2.7) において、 $P_{p\infty} \sim 0$ として計算したものである。

蒸発量は、冷却水の平均温度 $\langle T_w \rangle$ における飽和湿度 $\langle H_w \rangle$ と空気の入口・出口の湿度 H_1, H_2 との対数平均湿度差を推進力として定義された、冷却水—空気流間の物質移動総括容量係数 $\text{kog } a$ を

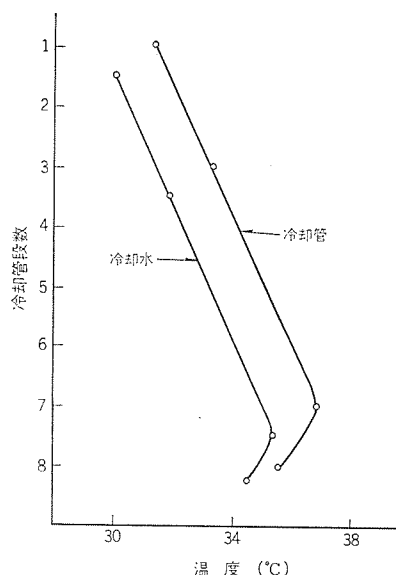


図 3.1 冷却水、冷却管温度分布例
Example of temperature distribution of cooling water and cooling tubes.

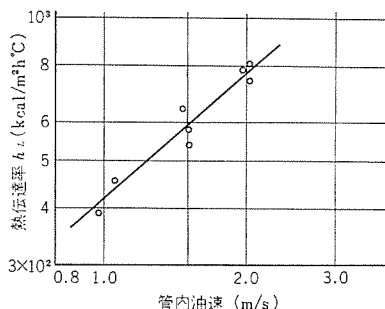


図 3.2 変圧器油—冷却管間熱伝達率
Heat transfer coefficients of oil in tubes.

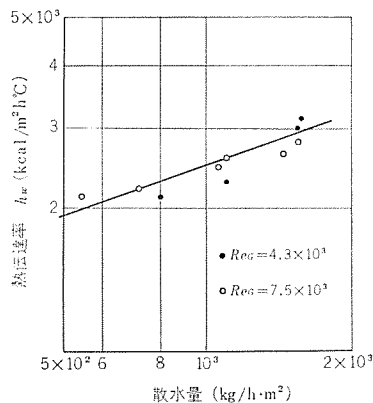


図 3.3 冷却管—冷却水間熱伝達率
Heat transfer coefficients for gravity flow of cooling water over horizontal tubes.

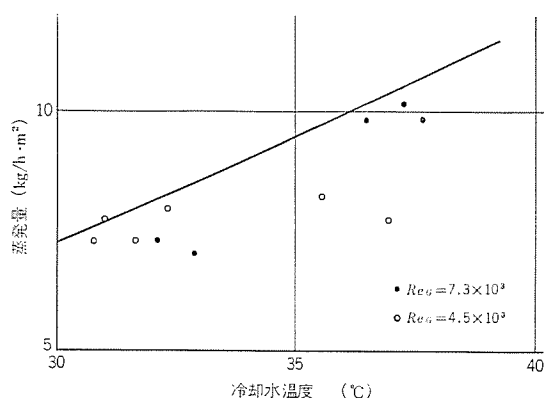


図 3.4 蒸発量
Mass of evaporation.

用いて次のように表わすこともできる。

$$G(H_2 - H_1) = \log a V (\Delta H) \text{em} \dots \dots \dots (3.7)$$

ここに、 $(\Delta H) \text{em} = (H_2 - H_1) / \ln \{ (\langle H_W \rangle - H_1) / (\langle H_W \rangle - H_2) \}$

また、式 (3.7) はエンタルピーを用いて次のように書き換えることができる。

$$G(i_2 - i_1) = \log a V (\Delta i) \text{em} \dots \dots \dots (3.8)$$

ここに、 $(\Delta i) \text{em} = (i_2 - i_1) / \ln \{ (\langle i_W \rangle - i_1) / (\langle i_W \rangle - i_2) \}$ 実験結果を式 (3.7), (3.8) にしたがって求めると、物質移動総括容量係数として、 $\log a \sim 3.0 \times 10^4 \text{ kg/m}^3\text{h}$ が得られた。上式において、 V は熱交換器の体積である。

4. 試作機

4.1 装置概要

モデル機によって実用化の見通しを得たので、冷却量 200 kW 程度の試作機を製作した。同一の冷却器で変圧器油の許容温度によって冷却能力が違うのは当然であるが、蒸発式冷却器においては、冷却水の蒸気圧が重要な因子となっており、温度と一次関係にないため、許容温度が高くなると急速に冷却能力が大きくなる。相変化を伴わない冷却器と違い、設計外気温度と試験外気温度の差をそのまま油温度にスライドさせることはできない。目標値として、油の許容温度 65°C で 170 kW、許容温度 75°C で 240 kW の冷却器とした。

設計にあたって、熱交換器は、その構成は変えないで大形化することとし、送風機は、その風量を小さく、騒音を低く押さえることを目標にした。油ポンプは、現用の送油水冷式に用いているものを選んだ。試作機の概略をつぎに示す。

送油量：2,000 l/min (モータ定格 2.0 kW)

送水量：50 l/min

送風量：100 m³/min (騒音 54 ホン、モータ定格 0.75 kW)

冷却管表面積：18.8 m²

冷却器外形寸法：1,570 × 1,080 × 4,500 (高さ) mm

送風機は定格で送風量 200 m³/min、133 m³/min の 2 種を用い、周波数変換によって風量を 200 ~ 95 m³/min の間で変換させて試験を行なった。

送水ポンプは、送水量 300 l/min、静圧 8 mAq のものを用いたが、実際には、送水量 25 ~ 100 l/min で特性試験をした。これは Γ/D_0 に換算すると、 $4.5 \times 10^2 \sim 2.0 \times 10^3 \text{ (kg/m} \cdot \text{h)}$ に対応する。

送油量は、1,500 ~ 3,000 l/min の間で変化させた。これは、冷却管内油速 1.0 ~ 2.0 m/s に対応する。

なお、温度・湿度・風量などの測定要領は、モデル機の場合と同様である。試作機の概略外形を図 4.1 に示した。

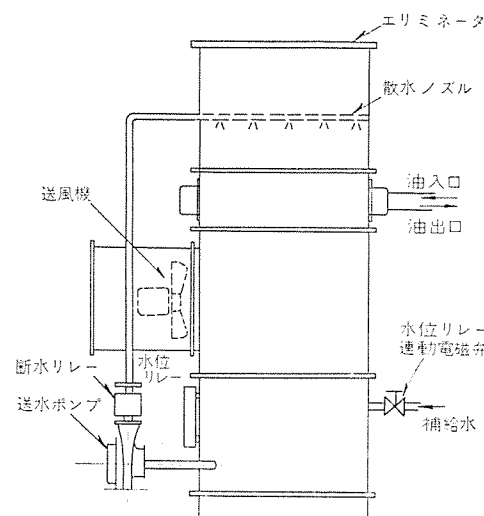


図 4.1 蒸発式冷却器外形図
Schematic diagram of fog cooler.

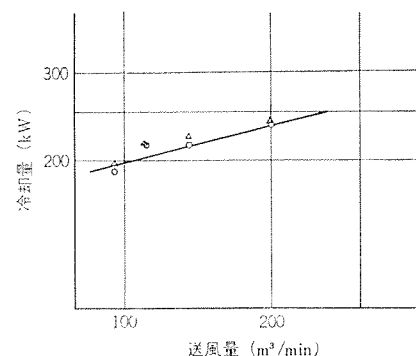


図 4.2 蒸発式冷却器の冷却量
Cooling capacity.

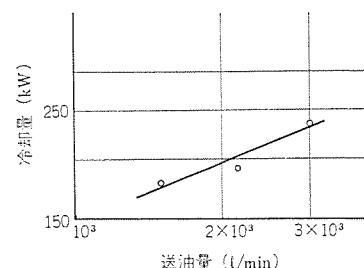


図 4.3 蒸発式冷却器の冷却量
Cooling capacity.

4.2 試験結果

試験結果は種々のパラメータに対してまとめることが可能であるが、図 4.2 に油の入口温度を 75°C に押えたとき、冷却能力が風量でどのように変わるかを示した。ただし、送油量 2,250 l/min で一定とし、空気入口湿球温度が 4.0 ~ 10.0°C の範囲で測定したものである。送水量による差はわずかである。

また、図 4.3 に油入口温度を 75°C としたとき、冷却能力が送油量に対しどのように変化するかを示した。ただし、送風量 95 m³/min、送水量 50 l/min で一定とし、空気入口湿球温度が 4.0 ~ 5.6°C の範囲で測定したものである。

4.3 設計法

以上述べてきたように、変圧器油—冷却水間の総括熱伝達率は、油のレイノルズ数 Re_L 、送水量を表わすパラメータ Γ/D_0 の関数として与えられることがわかった。一方、変圧器油から冷却水に伝えられた熱量は、湿り空気のエンタルピー増加という形で系外に運び去られ

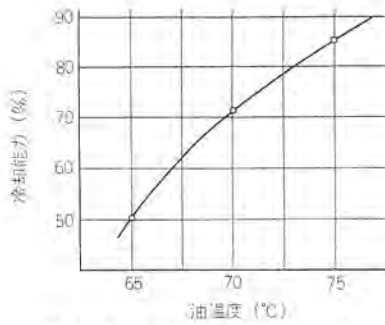


図 4.4 蒸発式冷却器の冷却量
Cooling capacity.

なければならない。したがって、空気の入・出口でのエンタルピーと物質移動容量係数を用いて、必要な $\langle i_{tr} \rangle$ 、すなわち冷却水平均温度 $\langle \theta_w \rangle$ が決められることになる。

冷却水温度 $\langle \theta_w \rangle$ が冷却器内で一定値にあるとして設計式をたててみよう。式 (3.4) を熱交換器単位体積当たりの伝熱面積 a' (m^2/m^3) を導入して書き換えるとつぎようになる。

$$Q = Ua' \{ (\theta_{L1} + \theta_{L2})/2 - \theta_w \} \cdot V \dots\dots\dots (4.1)$$

また、式 (3.8) の一変形として、湿り空気のエンタルピーに対してつぎの式が成立している。

$$G \ln \{ (i_{tr} - i_1) / (i_{tr} - i_2) \} = \text{kog } aV \dots\dots\dots (4.2)$$

式 (4.1)、(4.2) から、

$$\frac{i_{tr} - i_1}{i_{tr} - i_2} = \exp \left\{ \frac{\text{kog } a \cdot Q}{GUa' (\langle \theta \rangle - \theta_w)} \right\} \dots\dots\dots (4.3)$$

が導かれる。ここに、 $\langle \theta \rangle \equiv (\theta_{L1} + \theta_{L2})/2$ である。さらに、次の関係が成立していることは当然である。

$$Q = G(i_2 - i_1) \dots\dots\dots (4.4)$$

したがって、 Q 、 i_1 、 θ_{L1} 、 G 、 G_L が与えられたとき、式 (3.3) から θ_{L2} が、式 (4.4) から i_2 が得られる。 $\text{kog } a$ 、 U は空気・油・水流量がわかれば得られるので、式 (4.3) を試行錯誤的に解いて、 T_{waw} を得る。 $\langle T_{tr} \rangle$ を式 (4.1) に代入して、必要熱交換器の体積が求められる。図 4.4 に、油の許容温度を変えたときの冷却量を以上の手法にしたがって求めた結果を示した。ただし、縦軸の Q/V の単位は任意である。ちなみに、この方法で計算した結果と測定結果を比較してみると、実測冷却量 238 kW に対し、計算結果は 245 kW であった。

5. 蒸発式冷却器を適用した変圧器の温度特性

変圧器に蒸発冷却方式を採用した場合、従来の冷却方式の場合と比較して、温度特性とくに周囲温度・湿度、負荷変動による変圧器油温度の変化のようすが異なる。

冷却方式を冷却機構的に分類すると表 5.1 のようになる。

従来の冷却方式はいずれも冷却媒体のけん熱を利用したものであるから、変圧器油の温度は、冷却媒体の温度にほぼ比例して変わるが、蒸発冷却方式では冷却水の蒸発潜熱によるものであるから、外気の温度とともに湿度によって蒸発量が影響される。しかも、その外気条件による油温変化は外気条件に比例的でない。すなわち、油温度が高くなると水の蒸発量が急激に増加し、油温度が下がると急激に減じることから、外気条件の変化に比べて油温度の変化は少ないことになる。負荷変動による油温度変化も同様なことがいえる。これを数式で表わすことは種々の仮定を置かねばならず、複雑であるが、実験結果等より係数を定め、電算機により、外気条件・負荷

表 5.1 冷却機構による冷却方式の分類
Classification of cooling system by cooling mechanism.

| 冷却方式 | 冷却機構 | 冷却媒体 |
|------------------|--------|------|
| 自送油自冷式 風送油風冷式 | 空気のけん熱 | 空 気 |
| 水送油水冷式 | 水のけん熱 | 水 |
| 蒸発冷却器 | 水の潜熱 | 水・空気 |

条件による油温度の変化および変圧器の寿命を算出し、従来の冷却方法を採用した変圧器と比較してみる。

5.1 外気条件・負荷条件と変圧器油温の関係

外気条件・負荷条件の変動に対する油温の変化の様子を一部仮定を置いて数式化してみる。蒸発冷却の原理・機構については、1、3、4 章ですでに詳細記してあるが、まず、外気温度 θ_a 、湿度 p により外気入口のエンタルピー i_1 が決まる。次に負荷から発生熱量 Δi が決まるので、空気出口におけるエンタルピー i_2 が決まる。

$$i_2 = i_1 + \Delta i \dots\dots\dots (5.1)$$

空気の入口・出口のエンタルピー i_1 、 i_2 と冷却管壁の冷却水温 θ_w におけるエンタルピーの間には、式 (4.3) が成り立つ。今、式 (4.3) の右辺は冷却器およびその動作条件を決めれば定数となるので

$$\frac{i_w - i_1}{i_w - i_2} = c \dots\dots\dots (5.2)$$

$$i_w = i_1 + \frac{c}{c-1} \Delta i \dots\dots\dots (5.3)$$

また Δi は負荷によって変化するので次式となる。

$$i_w = i_1 + \frac{c}{c-1} (\Delta i)_R \frac{1+RP^2}{1+R} \dots\dots\dots (5.4)$$

ここに、 $(\Delta i)_R$: 定格負荷における変圧器の発生損失によるエンタルピー

R : 変圧器損失の銅損鉄損比

P : 負 荷

この i_w より管壁冷却水の温度 θ_w を得る。したがって、油温 θ_o は次式になる。

$$\theta_o = \theta_w + \Delta \theta_{ow} \frac{1+RP^2}{1+R} \dots\dots\dots (5.5)$$

ここに、 $\Delta \theta_{ow}$: 油温と管壁冷却水温との差

5.2 外気条件の設定

従来、変圧器の温度特性に対して外気条件は温度だけ関係するところから、周囲温度については、変圧器規格 JEC-168 に記載されているように、

$$\theta_a = \theta_{ay} + A \sin \frac{2\pi t}{365 \times 24} + B \sin \frac{2\pi t}{24} \dots\dots\dots (5.6)$$

ここに、 θ_{ay} : 年間平均気温 ($^{\circ}\text{C}$)

A : 日間平均気温の年間変動幅 (deg)

B : 気温の日間変動幅 (deg)

t : 時 間

と表わされ、わが国のすべての地方に適用してきしつかえない数値として、 $\theta_{ay} = 20^{\circ}\text{C}$ 、 $A = 15^{\circ}\text{deg}$ 、 $B = 5^{\circ}\text{deg}$ をとっている。

これに対して、周囲湿度は変圧器の規格としてはまだ取扱われていないが、従来の統計より、気温の高い地方を目標にして、周囲湿度の日間変動・月間変動を次式のように仮定した。

表 5.2 変圧器の基準特性
Temperature characteristics of transformer.

| | |
|----------------|----------|
| 冷却管壁水温と油温度差 | 20 deg°C |
| 最高巻線温度と平均巻線温度差 | 10 deg°C |
| 平均巻線温度と最高冷温度差 | 20 deg°C |

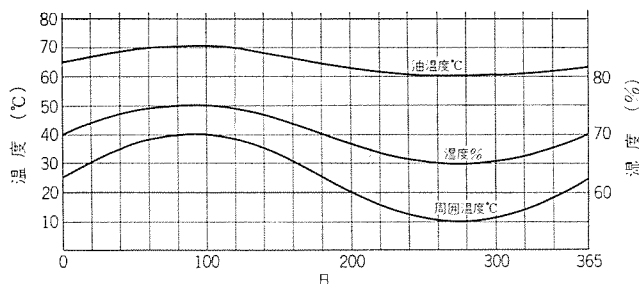


図 5.1 1年における周囲条件と油温度特性の変化
(ただし周囲温度の1日最高時点での変化)
Characteristic curve of oil temperature in a year.

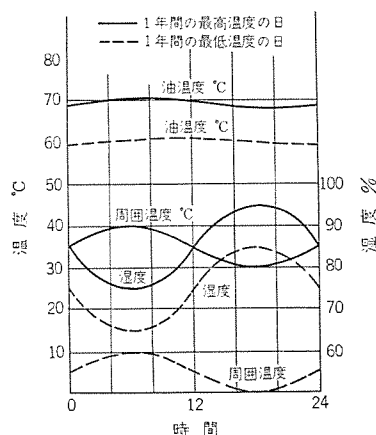


図 5.2 1日間の周囲条件と油温度特性の変化
Characteristic curve of oil temperature in a day.

$$\rho_a = \rho_{ay} + C \sin \frac{2\pi t}{365 \times 24} - D \sin \frac{2\pi t}{24} \quad (5.7)$$

ここに、 ρ_a ：周囲湿度（相対湿度 %）

ρ_{ay} ：年間平均湿度（%）

C ：日間平均湿度の年間変動幅（%）

D ：湿度の日間変動幅（%）

t ：時 間

地方によって湿度の変動はいろいろであるが、 $\rho_{ay}=80\%$ 、 $C=5\%$ 、 $D=10\%$ とすれば、わが国のいずれの地方でも適用できる。一般に、6、7、8月の気温の高い季節が湿度も高い。しかし、1日でみれば、温度の高い日中は湿度が低く、また、日間の変動幅は大きい。式(5.7)では、最高が95%、平均が80%、最低は65%となり、これを式(5.6)と合わせてみると、最悪条件では

最高温度 40°Cにおいて 湿度 75%

最高湿度 95%において 温度 30°C

となる。

5.3 周囲条件による油温度変化

以上のような仮定から、蒸発式冷却方式を採用した変圧器の油温度が、周囲条件によっていかに変わるかを調べてみる。まず、変圧器の基準特性を表5.2のように仮定し、周囲条件が次式によって表わされるとする。

$$\theta_a = 20 + 15 \sin \frac{2\pi t}{365} + 5 \sin \frac{2\pi t}{24}$$

$$\rho_a = 80 + 5 \sin \frac{2\pi t}{365} - 10 \sin \frac{2\pi t}{24}$$

変圧器の最高巻線温度は、次式によって与えられるから、

$$\theta_H = \theta_0 + \Delta\theta_{0H}$$

θ_0 を式(5.5)を使って計算すればよい。

また、変圧器の寿命は、変圧器規格(JEC-168)に示されているように、基準寿命損失は、最高温度95°C、連続運転で30年としているので、

$$\int_0^{365} e^{0.1154 \times 95} = \int_0^{365} e^{0.1154 \times \theta_H}$$

として、 θ_H から θ_0 を求めれば、基準寿命と同一寿命をもたせた場合の蒸発式冷却方式を採った変圧器の油温度を求めることができる。この方法で電算機を使って求めた1年における周囲条件と油温度特性の変化(周囲温度の1日最高時点)を図5.1に、同様に1日間における周囲条件と、油温度特性の変化(年間最高温度および最低温度の日)を図5.2に示す。図5.1、5.2からわかるように、1日の周囲温度変化は10°Cあっても油温度変化は3°C程度にあり、1年間の油温度変化も10°C程度と、従来の冷却方式の場合のように、油温度上昇が周囲温度と無関係に一定であるといえず、油温度を油温度上昇値で規定しにくく、ある周囲温度において油温度何度と規定せねばならない。すなわち、油温度は図5.1以下のような規定として温度試験を行なわねばならないが、周囲温度の影響は少ないので温度試験は問題ない。

しかし、巻線温度と油温度の差については、従来どおりの考え方でよい。

6. 蒸発式冷却器の電力用変圧器への適用

一般に、蒸発式冷却器は冷却効率が高く、したがって送油風冷式および送油水冷式変圧器のような大容量変圧器に適用される。とくに地下およびビル用変圧器の冷却方式としては使用水量および風量が少なく、また冷却塔方式に比べて水系統が簡略で補機損が少なく、すむなどの利点が多い。また、地上の発電所用変圧器に適用すれば、多少の冷却水は必要であるが、低騒音化に非常に有効で、送油風冷式では大容量変圧器の場合に60ホーンは技術的にむずかしく不経済になるが、蒸発式冷却器を使用すれば簡単に実現できる。以下、変圧器の仕様を想定して性能・寸法・価格を比較してみる。

6.1 地下およびビル内変電所用変圧器に適用した場合

地下およびビル内変電所用変圧器の冷却方式にも種々の方式が採用されているが、ここでは代表例として冷却塔方式(二重管形冷却器)と冷却性能諸元および価格などについて比較する。

変圧器を表6.1のごとく仮定して諸元を比較すると、表6.2のようになり、単器冷却容量500kWの蒸発式冷却器(図6.1参照)を使用した場合の据付平面図は図6.2のようになる。つぎに表6.1および図6.2について概略説明する。

(1) 冷却器単器容量については両方式とも比較的大きくすることが可能であり、同一容量の変圧器を仮定するため、循環油量は等しくなる。

冷却塔方式の場合、油から水へのけん熱による熱交換を行なうため、冷却器部の設計により循環水量が決定されるので、多くの循環水量が必要であり、冷却器本体の構造も冷却器内油圧より水圧が高

表 6.1 地下変電所用変圧器
Transformer for under ground substation.

| 冷却方式 比較諸元 | 冷却方式 (二重管形冷却器) | 蒸発式冷却器騒音値 (60 ホーン) |
|-------------------------|-------------------|-----------------------|
| 変圧器容量 MVA | 250 | |
| 一次側電圧 kV | 275 | |
| 発生熱損失 kW | 1,400 | |
| 冷却器単器容量 (油温 65°C) kW | 500 | 500 |
| 所要台数 台 | 3+1 (予備) | 3+1 (予備) |

表 6.2 冷却塔方式と蒸発式冷却器の比較
Comparison between cooling tower system and fog cooling system.

| 冷却方式 比較諸元 | 冷却方式 (二重管形冷却器) | 蒸発式冷却器騒音値 (60 ホーン) |
|--------------|-----------------------------|--|
| 性能諸元 | 循環油量 m ³ /min | 5×3=15 |
| | 循環水量 l/min | 1,450×3=4,350 |
| | 送風量 m ³ /min | 700×2=1,400 |
| | 補給水量 l/h | $(4,350 \times \frac{1.5}{100}) \times 60 = 3,900$ |
| | 油ポンプ入力 kW | 7.8×3=23.4 |
| | 水ポンプ入力 kW | 45 |
| | ファン入力 kW | 4.8×2=9.6 |
| | 補機損失合計 kW | 78.0 |
| 価 格 | 冷却器本体 (付属品を含む) | 100 % |
| | 油配管系統 (油ポンプ, その他を含む) | 100 % |
| | 水配管系統 (水ポンプ, その他を含む) | 100 % |
| | 冷却塔, 排気ダクト (ファン, その他を含む) | 20 % |
| | 合 計 | 100 % |

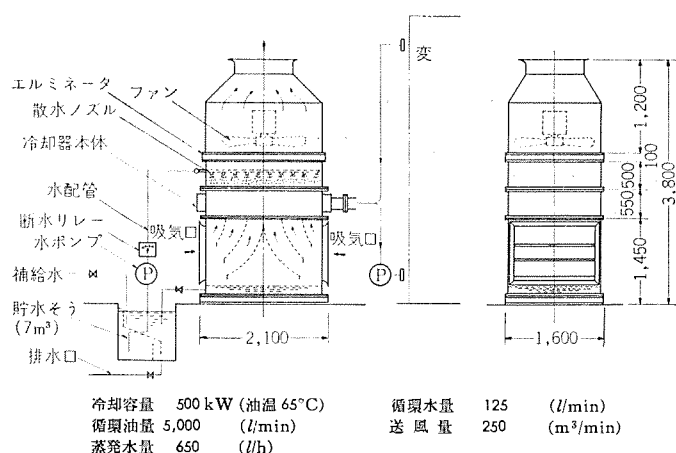


図 6.1 変圧器用蒸発式冷却器構造図
Structure of fog cooler for transformer.

くなるため、二重管方式を採用して万一の事故に対処しているが、このため構造が若干複雑になる。これに対して蒸発式冷却器では水の潜熱によって熱交換を行なうため水側熱伝達率が高く、かつ、万一冷却管が破れた場合でも油中に水がはいりおそれはないので、素管の使用が可能であり、工作的にもやさしく構造も簡単になるが、防しゅう(錆)・防食対策のために冷却器本体の価格は若干高くなる。

また、送風量については冷却塔方式では水から空気への熱交換のうち、けん熱による割合が相当あるのに対し、蒸発式冷却器では湿

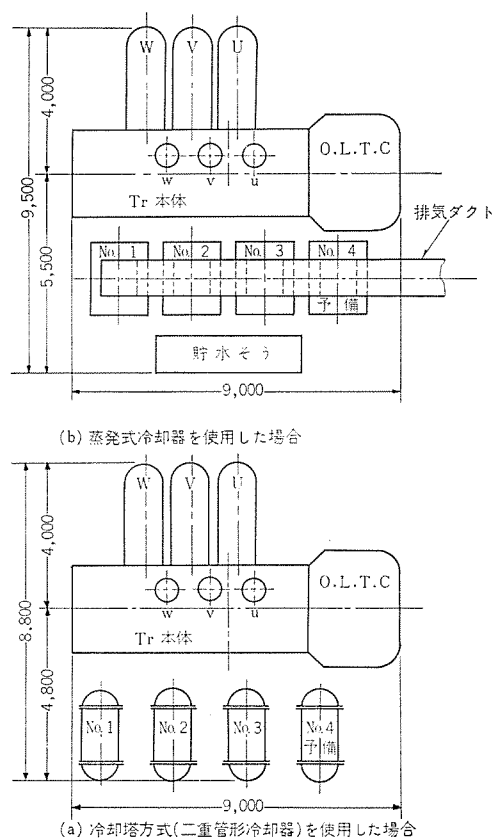


図 6.2 地下変電所用変圧器冷却方式別据付平面図
Difference of plan between some cooling system transformers set up at underground substation.

り空気を押しあげるだけでよいから、送風量は約 1/2 でよい。

(2) 両方式とも冷却媒体に水を使用しているため、順次補給する必要があるが、冷却塔方式では蒸発水量・飛散水量・損失水量等をあわせて循環水量の 1.5 % 程度であるのに対し、蒸発式冷却器では前述のとおり、水の潜熱を利用しているために蒸発水量が多くなるが、補給水量は表 6.2 のようにほぼ同程度となる。

(3) 油ポンプは同一でよいが、水ポンプは冷却塔方式の場合、循環水量が多いことと、管路損失を補うために大きくなるが、蒸発式冷却器は循環水量は約 1/10 以下となり、水管路も短いため非常に小さくてすむ。また、ファン入力は蒸発式冷却器の場合、冷却に必要な風量は少なくてすむが、排気口までの距離およびダクト寸法によっては風圧の大きいファンが必要となり、ファン入力も大きくなる。

補機入力を総合的にみると、蒸発式冷却器では、冷却塔方式に比べて約 1/2 以下にすることができる。

(4) 水配管系統については冷却塔方式の場合、冷却器と冷却管は必然的に相当離れた場所に設置されるため、相対位置により設備費も大幅に異なるが、蒸発式冷却器の場合は水そうと冷却器を同一レベルに設置することも可能であるために水配管は比較的簡単である。

(5) また、冷却塔方式の場合、冷却系統の設備費全体のうち冷却塔の占める割合は 60~70 % と非常に大きく、とくに低騒音を要求される場合には 80 % に達する場合もある。これに対して蒸発式冷却器の場合には必ず排気ダクトが必要であるが、ファンは地下に設置されるために騒音はほとんど問題にならない。

(6) 据付面積については、両方式とも地下における面積としてはほとんど変わらないが、蒸発式冷却器の場合、貯水そうの設置条件により若干据付面積が異なる。しかし、屋上に設置する冷却塔の面積は不要となる。以上のように、補機損、騒音、冷却系統総合価

格等において蒸発式冷却器に有利な点の多いことがわかる。

6.2 地上発電所用変圧器に適用した場合

地上発電所用大形変圧器の冷却方式として、代表的に採用されている送油風冷式の標準形を基準にして、同方式の低騒音形（60ホーン）送油水冷式（一重管形冷却器）と蒸発式冷却器の冷却性能諸元および価格等について比較する。

変圧器を表 6.3 のように仮定して諸元を比較すると、表 6.4 のようになり、据付平面図は図 6.3 のようになる。

つぎに表 6.3 および図 6.3 について概略説明する。

（1）送油風冷式では冷却器の単器容量に限界があり、所要台数が多くなるために循環油量も多くなる。標準形に比べて低騒音形の場合、少ない風量で所定の冷却容量を得るために空気側伝熱面積の大きい特殊冷却器を使用するので、冷却器本体は非常に高価になる。送油水冷式および蒸発式冷却器では、冷却器の単器容量を大きくすることは比較的容易であり、配管の都合上、循環油量を少なくしたが、多くすることは支障ない。蒸発式冷却器の場合、前述のとおり防しゅう・防食対策のために冷却器本体の価格は若干高くなる。

（2）送油風冷式の場合は空気が直接の冷却媒体であるために必然的に送風量が多くなるが、低騒音仕様の場合はファンの回転数を少なくし、少ない送風量で所定の冷却容量を得るために前述のように高性能の冷却器を用いるか、冷却器の台数を多くしなければなら

ない。これに対し、蒸発式冷却器では空気は直接の冷却媒体ではないため、表 6.4 に示すように風量は送油風冷式標準の数分の 1、低騒音形と比べても約 1/4 程度で十分である。

（3）水系統について送油水冷方式と比較すると、送油水冷式では油から水へのけん熱による熱交換を行なうため、冷却器部の設計により送水量が決定されるので、多くの送水量が必要であり、水側圧力を油側圧力より低くする必要があるために必ず水そうが必要となる。また、水を循環しない場合には大きな水源が必要である。これに対し、蒸発式冷却器では送水量は表 6.4 に示すように約 1/6 程度でよく、補給水量もわずかであるが、送油風冷式と比べると水系統の保守面で若干の負担となることはまぬがれない。しかし、前述のように冷却器と貯水そうを同一レベルに設置することによって水配管を簡略化し、保守を容易にすることもできる。

（4）補機入力について比較すると、油ポンプは概略循環油量に比例する。ファン入力については、送油風冷式標準に比べて低騒音形は回転数を標準の 60 % 以下まで低下させる必要があり、入力は非常に小さくなる。蒸発式冷却器では所要送風量が少ないため、騒音はほとんど問題にならず、屋外設置の場合には風圧も小さいので入力はきわめて小さくなる。また、水ポンプ入力について送油水冷式と比較すれば、表 6.4 に示すように 1/2 以下となる。

（5）送油風冷式で低騒音仕様の場合、冷却器本体と同様に防音のための風洞が非常に高価になり、表 6.4 に示すように標準形の約 3.6 倍となり、これは低騒音に対する仕様がきびしくなれば、ますます高価となるが、冷却性能との関係で技術的にも限界がある。これに対して蒸発式冷却器では送風量が少なくてもよく、かつファン台数も少ないために低騒音仕様に対して比較的容易に製作できる。

（6）各方式の据付面積について比較すると、送油水冷式が最も小さいが、これは付帯設備を含んでいない。蒸発式冷却器は送油風冷式標準形と比べると若干小さくなるが、低騒音形とほぼ同じになる。

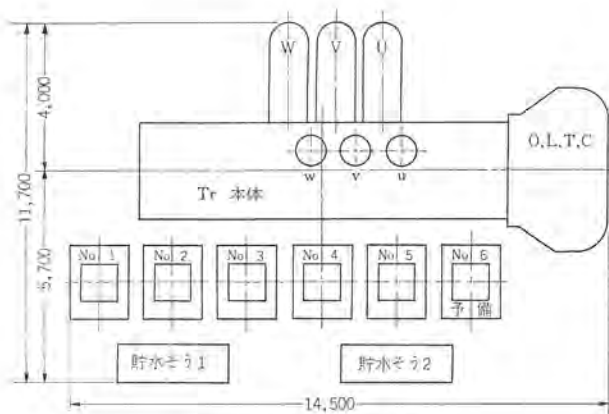
以上のように騒音規制および冷却水の制限を受けない場合には、送油風冷式あるいは送油水冷式が安価で、とくに保守面で有利なため、蒸発式冷却器と比べて有利となるが、騒音および冷却水に制限

表 6.3 地上発電所用変圧器
Transformer for power station or substation.

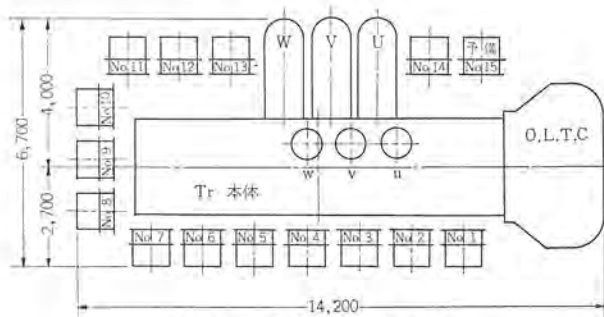
| 比較諸元 | 冷却方式 | 送 油 風 冷 式 | | 送油水冷式 (一重管形 冷却器) | 蒸発式冷却 器騒音値 (60ホーン) |
|---------------------------|----------|-----------|------------------|------------------------|--------------------------|
| | | 標 準 | 低 騒 音 (60ホーン) | | |
| 変 圧 器 容 量 MVA | 500 | | | | |
| 一 次 側 電 圧 kV | 275 | | | | |
| 発 生 熱 損 失 kW | 2,500 | | | | |
| 冷却器単器容量 (油温 65℃) kW | 175 | 175 | 500 | 500 | |
| 所 要 台 数 台 | 14+1(予備) | 14+1(予備) | 5+1(予備) | 5+1(予備) | |

表 6.4 送油風冷式および送油水冷式と蒸発式冷却器の比較
Comparison among FO/FA, FO/FW and fog cooling system.

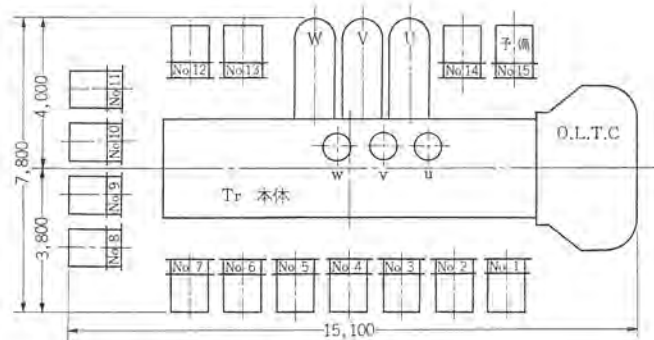
| 比較諸元 | | 冷却方式 | | 送油水冷式(一重管形冷却器) | 蒸発式冷却器騒音値(60ホーン) |
|------|--------------------------|--------------|--------------|----------------|------------------|
| | | 標準 | 低騒音 (60ホーン) | | |
| 性能諸元 | 循環油量 m ³ /min | 3×14=42 | 3×14=42 | 5×5=25 | 5×5=25 |
| | 循環水量 l/min | — | — | 750×5=3,750 | 125×5=625 |
| | 送風量 m ³ /min | 600×14=8,400 | 350×14=4,900 | — | 250×5=1,250 |
| | 補給水量 l/h | — | — | 225,000 | 650×5=3,250 |
| | 油ポンプ入力 kW | 4.7×14=66 | 4.7×14=66 | 7.8×5=39 | 7.8×5=39 |
| | 水ポンプ入力 kW | — | — | 15 | 1.3×5=6.5 |
| | ファン入力 kW | 2.8×14=39 | 0.6×14=8.4 | — | 1.2×5=6 |
| | 補機損合計 kW | 105 | 74.4 | 54 | 51.5 |
| 価格 | 冷却器を本体(付属品を含む) | 100 % | 250 % | 90 % | 130 % |
| | 油配管系統(油ポンプ、その他を含む) | 100 % | 150 % | 60 % | 60 % |
| | 水配管系統(水ポンプ、その他を含む) | 0 % | 0 % | 140 % | 100 % |
| | 防音風洞、ファン箱(ファン、その他を含む) | 100 % | 360 % | — | 80 % |
| | 合計 | 100 % | 230 % | 80 % | 120 % |



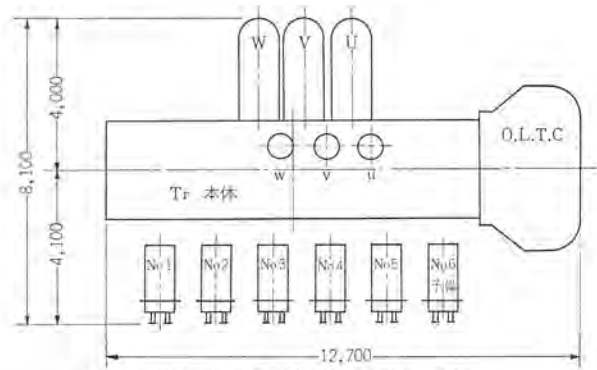
(u) 蒸発式冷却器を使用した場合



(v) 送風油冷式(標準)を使用した場合



(e) 送風油冷式(低騒音60ヘルツ)を使用した場合



(d) 送油水冷式(垂直管形冷却器)を使用した場合

図 6.3 地上発電電所用変圧器冷却方式別据付平面図

Difference of plan among some cooling system transformers set up at powerstation or substation.

のある場合、前述した冷却塔方式あるいは送油風冷式低騒音形と比べて蒸発式冷却器のほうが有利となる。

7. む す び

大容量変圧器に蒸発式冷却方式を採用することは、原理的にも、実物モデルの結果からも少ない水量・風量で大きな冷却効果を得ることがわかる。このことから、とくにビル、地下変電所用変圧器にとっては、冷却塔方式に比べて水系統の簡易さ、補機損の減少、廉価等、全面的にすぐれたものといえよう。また、地上変電所用変圧器に対しても、低騒音仕様で冷却水の少ない場合には非常に有効な冷却方法と考えられる。しかし、5.3節にも記したように、冷却機構は冷却水の蒸発潜熱と空気および冷却水のけん熱により、冷却媒体が一つでなく、冷却媒体の相変化をとまなうなど複雑であって、

油温度上昇値が規定しにくく、新しい考え方で規定する必要がある。

また、本文では腐食についてとくに触れていないが、冷却水が大気に開放された形で循環するので、冷却管はもちろん、冷却装置全体に対して十分な腐食対策が必要で、現在研究を続けている。

最後に、本開発に対して、多大の協力を賜った関係各位に対し深く感謝するしだいである。

参 考 文 献

- (1) Mc Adams : Heat Transmission (1958), Mc Grawhill Book Co.
- (2) 水科, 伊藤, 宮下 : 化学工学, 31, 67 (昭42)
- (3) 井上 : 空気調和ハンドブック

パルス光ホール効果測定装置の試作

香崎 銀博*・伊吹 順章**

Trial Production of Apparatus on Pulse Photo Hall Effect Measurement

Central Research Laboratory Toshihiro KÔZAKI・Sumiaki IBUKI

In measuring the transport phenomena of high resistance substance, difficulty is caused by a small carrier number and space charges. To cope with it, apparatus on pulse photo Hall effect measurement have been built for trial. The principle of operation is that the carrier number in a crystal is increased by light excitation and the space charges are prevented by application of a pulse field to the specimen. Practicable ranges of measurement is that resistance of specimen is above $10^9 \Omega\text{-cm}$ in the dark and above $10^6 \Omega\text{-cm}$ under irradiation of light; if the Hall mobility is above $30 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, it is good enough. The applicable temperature range is from the room temperature to liquified helium temperature. Measurement has been done on the Hall mobility of photo electrons in some single crystals of ZnSe by using this apparatus and the results are reported herein.

1. ま え が き

アルカリハライド (たとえば, KBr), 銀ハライド (たとえば, AgCl) 等のような, I-VII 族化合物, あるいは硫化カドミウム (CdS), セレン化亜鉛 (ZnSe) 等のような II-VI 族化合物では禁止帯の幅が広く, 純粋なこれらの物質では室温においてすら価電子帯の電子は導電帯にほとんど熱励起されず, 普通絶縁体とみなされているが, これらの物質に禁止帯の幅以上のエネルギーの光を照射することにより, 価電子帯の電子を導電帯に励起することができる。

金属あるいは半導体で普通行なわれている直流法⁽¹⁾⁽²⁾を用いて, 上記の絶縁性光電導体 (とくに低温に置かれた) のホール効果を測定することは困難である。その原因として, 絶縁性光電導体では, 半導体に比べキャリア数の少ないこと, 電極結晶間の接触が悪いことが考えられ (外部より与えた電場以外に, 内部にある程度の分極電場が生じる), 定性的な測定はできるが定量的な測定は非常にむずかしい。この困難を抜け出すためにホール電界を結晶外部より人工的に与え, 結晶内の電荷の運動を完全なブロッキング電極 (電気的接触がない電極) を通して外部回路に誘起される電荷の変化から観測する Redfield⁽³⁾の方法がある。

この方法をパルス回路で動作させる Kobayashi-Brown⁽⁴⁾の方法が, われわれの用いたホール効果の測定原理である。さらにパルス電界を上下両電極に同時に与えるように改良を加え, 結晶中に一様な電界を作ることができるようにしたものとして Ahrenkiel-Brown⁽⁵⁾の方法がある。われわれの方法と Kobayashi-Brown の方法の違いは 5 章に述べる。

われわれは ZnSe 単結晶の電気的性質を測定している⁽⁶⁾が, 上に述べた理由により直流法は高抵抗試料には適用できない。そこで, パルス光ホール効果で測定すべく新しい装置を開発し, 測定データが出る段階になったのでその詳細を報告する。

2. 絶縁物結晶のホール効果測定における諸問題⁽⁷⁾

2.1 キャリア数の少ないこと

半導体や金属で通常用いられているホール効果の測定方法を図 2.1 に示す。(a) のように電極を通して, 電場 E を x 方向にかけ

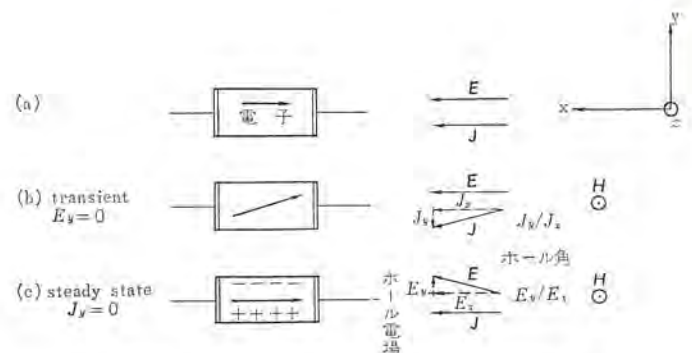


図 2.1 直流法を用いた普通のホール効果測定
DC Hall effect measurement.

ると電流密度 J は x 方向に流れる。これに (b) のように z 方向に磁場 H をかけると, その直後にはローレンツ力により J は回転する。さらに時間がたつと結晶の y 方向に垂直な面に電荷がたまり, その結果生ずる空間電荷分極電場 E_y によって, 遂には J はふたたび完全に x 方向を向き, (c) のような定常状態が実現する。この時には内部電場は初めの x 方向から回転し, その y 成分がホール電場と呼ばれ, ホール角 E_y/E_x の測定よりホール移動度 μ_H が計算される。

しかし, 低温での絶縁性光電導体のようなキャリア濃度の極端に低い場合には, 図 2.1 の (b) から (c) の状態になる時間は予想外に長い。実際問題としては, いつ定常状態になったかの判定は高入力抵抗の測定系の不安定性や回路の絶縁等を考えると, きわめて困難である。

たとえ (c) の状態が実現できたとしても, E_y の測定を始めると, 結晶表面から測定回路に供給される電荷の流れにより, ホール分極の大きさが減少して, 測定回路の入力抵抗が結晶の抵抗よりも十分に高くないかぎり (b) と (c) の中間に止まり (c) の状態に対応するものよりも小さい値として観測される。したがって, いずれにしても測定系の入力抵抗は非常に高くなければならないが, 測定器の長時間のドリフトや回路のリークが常に問題となり, 定量的な結果を得ることは非常にむずかしい。それで結晶中に外部から光励起により光キャリアを作ればよいのだが, その時々述べるような問題が

残る。

2.2 結晶と電極の接触

絶縁性光電導体中の（光キャリアに基づく）ホール効果を広い温度範囲で測定する場合には、電極結晶間の接触がブロッキング状態（電氣的接触のない状態）になる可能性がある。もし電極がブロッキングになれば結晶内に空間電荷分極が生じ、 x 方向の結晶電場は著しく減少するため、ホール効果は外部より電極間に与えた電位差から予期されるものよりも小さく測定される。電極結晶間の問題に関しては、初めからブロッキング電極を用いれば条件は常に一定になるので、この方法により接触の問題は解決される。

この場合には、 x 方向（初めに与えた電場の方向）の分極と y 方向のホール分極とはほとんど同じ時定数で増大するので⁽⁷⁾、測定期間中、結晶内の x 方向の電場が外部から与えられた値に保たれるよう、励起光の照射時間を十分に短かくして、光電流による x 方向の分極が無視できるようにした場合には、ホール分極もまた起らない。この状態は図2.1(b)のtransient（過渡）の状態になっており、結晶内のキャリアの y 方向の移動に基づくホール分極電場の発生は、ほとんどないから絶縁性光電導体の光キャリアのホール効果測定は、ブロッキング電極を用いた図2.1(b)のtransientの状態で行なうべきことがわかる。

次にtransientの状態(b)では、どのような量がホール効果として観測されるかを普通の直流測定で対象となるsteady state（定常）の状態図2.1(c)と対比して調べる。

3. パルス光ホール効果

3.1 過渡および定常状態のホール効果の原理⁽⁷⁾

一様な電場 E および磁場 H の存在の下で、結晶の単位体積当たり n 個の電荷 e を持ったキャリアの運動を考える。

仮定1 バンドは等方的な単一バレーであり、結晶中には一種類のキャリアしかないとする。

$$\varepsilon(k) = \frac{\hbar^2 k^2}{2m} \quad (3.1)$$

ただし、 ε ：キャリアのエネルギー

k ：波数

m ：有効質量

仮定2 散乱の緩和時間 τ が規定できるとし、 τ は等方的であるとする。

$$\tau = \tau_c \left(\frac{\varepsilon(k)}{k_0 T} \right)^p \equiv \tau_c x^p \quad (3.2)$$

ただし、 $x = \varepsilon(k)/k_0 T$

k_0 ：ボルツマン定数

p ：キャリア散乱の様式の違いによって変わる散乱の指数

τ_c ：比例定数

仮定3 キャリア分布は非縮退で、古典的ボルツマン分布に従うとする。

仮定4 外場による電子のドリフト速度が、その熱的速度より十分に小さい。

仮定5 電場は一次の項までしかとらない。

仮定6 $\omega\tau$ が1より小さい場合も考える。

ただし、 $\omega = eH/mc$ 、サイクロトロン周波数

仮定7 結晶は一様である。

このような仮定に立った場合、ボルツマン方程式

$$\left(\frac{df(\varepsilon)}{dt} \right)_{\text{drift}} + \left(\frac{df(\varepsilon)}{dt} \right)_{\text{scattering}} = 0$$

すなわち

$$\frac{e}{h} \left[\mathbf{E} + \frac{1}{c} (\mathbf{v} \times \mathbf{H}) \right] \cdot \mathbf{V}_k f + \frac{f - f_0}{\tau(k)} = 0 \quad (3.3)$$

ただし、 f ：電場と磁場が作用している時のキャリア分布

f_0 ：熱平衡時のキャリア分布

から得られる電流密度⁽⁸⁾⁽⁹⁾は

$$\mathbf{J} = \sigma(H) \mathbf{E} + \alpha(H) [\mathbf{E} \times \mathbf{H}] + \gamma(H) (\mathbf{H} \cdot \mathbf{E}) \mathbf{H} \quad (3.4)$$

であり、各係数は

$$\sigma(H) = \frac{ne^2}{m} \left\langle \frac{\tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \right\rangle \quad (3.5)$$

$$\alpha(H) = \frac{ne^2}{m} \frac{\omega}{H} \left\langle \frac{\tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \right\rangle \quad (3.6)$$

$$\gamma(H) = \frac{ne^2}{m} \frac{\omega^2}{H^2} \left\langle \frac{\tau^3}{1 + \omega^2 \tau^2} \right\rangle \quad (3.7)$$

である。低磁場極限での移動度の値は種々に表現され

（微視的）移動度：

$$\mu = \left(\frac{e}{m} \right) \langle \tau \rangle \quad (3.8)$$

ホール移動度：

$$\mu_H(0) = \left(\frac{e}{m} \right) \frac{\langle \tau^2 \rangle}{\langle \tau \rangle} \quad (3.9)$$

ただし、上式中に現われる平均記号 $\langle \rangle$ は、次の意味である。

$$\langle g \rangle = \frac{1}{\Gamma(5/2)} \int_0^\infty g x^{3/2} e^{-x} dx$$

ホール効果の測定は、通常 $E_x \perp H$ すなわち横方向(transverse)の条件で磁場によるキャリア移動方向の傾斜角測定が行なわれるので、次にこの条件の時について、過渡的な場合と定常状態の場合に分けて述べる。

3.1.1 過渡的な場合、すなわち $E_y = 0$ の場合

結晶内のキャリア移動による分極はまだまったく起こっていないから、 $\mathbf{E} = (E_x, 0, 0)$ で $\mathbf{J} = (J_x, J_y, 0)$ 、 $\mathbf{H} = (0, 0, H)$ として、式(3.4)は

$$J_x = \sigma(H) E_x$$

$$J_y = -\alpha(H) E_x H$$

となり、したがって電場のホール角 E_y/E_x は、

$$E_y/E_x = 0 \quad (3.10)$$

電流密度のホール角 J_y/J_x は

$$\frac{J_y}{J_x} = -\frac{\alpha(H)}{\sigma(H)} H \quad (3.11)$$

3.1.2 定常状態、すなわち $J_y = 0$ の場合

$\mathbf{J} = (J_x, 0, 0)$ で $\mathbf{E} = (E_x, E_y, 0)$ 、 $\mathbf{H} = (0, 0, H)$ であるから、式(3.4)は

$$E_y = \frac{\alpha(H)}{\sigma(H)} E_x H$$

となり、したがって電場のホール角 E_y/E_x は、

$$\frac{E_y}{E_x} = \frac{\alpha(H)}{\sigma(H)} H \quad (3.12)$$

電流密度のホール角 J_y/J_x は、

$$J_y/J_x = 0 \quad (3.13)$$

次に、式(3.5)、(3.6)より $\alpha(H)/\sigma(H)$ は次のようになり

$$\frac{\alpha(H)}{\sigma(H)} = \frac{e}{mc} \left\langle \frac{\tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \right\rangle \left\langle \frac{\tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \right\rangle$$

$H \rightarrow 0$ では、

$$\frac{\alpha(0)}{\sigma(0)} = \frac{e}{mc} \frac{\langle \tau^2 \rangle}{\langle \tau \rangle} = \frac{1}{c} \mu_H(0)$$

ホール移動度は一般に、

$$\mu_H = \frac{c\alpha(H)}{\sigma(H)} \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

と定義され、

過渡的な場合には、式 (3.11) より

$$\mu_H = -\frac{c}{H} \left(\frac{J_y}{J_x} \right), \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

定常状態の場合には、式 (3.12) より

$$\mu_H = \frac{c}{H} \left(\frac{E_y}{E_x} \right), \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

3.2 過渡的なホール効果測定を行なう従来の方法

上に述べたようにホール移動度の測定には、過渡的測定では J_y/J_x 、定常状態での測定では E_y/E_x の値が必要である。絶縁性光電導物質では、定常状態にするには種々な難点があるので、ブロッキング電極配置で過渡の状態、すなわち光でキャリアを結晶に注入した瞬間に J_y/J_x を測定する必要がある。しかし光電流は、結晶の履歴やトラップ（捕獲中心）の埋まり具合によって光を当てると、時間と共に大きく変化するので、必ず J_x と J_y の同時測定が必要である。

このためには、結晶の四つの面に電極を置かなければならないが、こうすると結晶内電場は主として結晶の角の小さな部分にかかるだけとなり、測定結果の解析は困難になる。それと同時に絶縁性光電導体の電流はトラップに非常に敏感であるから、もし結晶内の場所によりわずかも飛程 (schubweg $w = \mu dTE$, T : 平均生存時間) が異なる時には、測定される J_y , J_x のおのおのにはローレンツ力のほかに、不均一に分布する結晶の不完全性による効果が非常に大きく影響する。したがって、実際の測定ではこの結晶の四つの面に電極を置いて、 J_x と J_y を同時測定する方法はあまり適当ではない。この J_x と J_y を同時測定する方法の難点は、電流密度の絶対値を測定しなければならないことに由来している。

そこで結晶内を過渡に保ったままで、定常状態の条件 $J_y = 0$ で現われる電場の大きさを測定できればホール角測定の解決策となる。そこで、定常状態の条件 $J_y = 0$ を満足させるホール電場 E_y を外部より結晶に与えてやる。すなわち、あらかじめ結晶中に E_x のほかに一様な E_y が存在するように外部より E を xy 面内にある方向に、また H を z 方向に与え、それに光照射でキャリアを結晶内に注入し、ホール分極がまだ少しもできないような十分に早い時間内に J_y を測定し、 $J_y = 0$ という観測ができたとすれば、そのときの E の y 、および成分の比 E_y/E_x がホール角になり、これより式 (3.16) を用いてホール移動度が求められる。(図 3.1 参照)

したがって、この方法では結晶内の電荷の移動に基づく分極に関しては過渡状態が実現されており、電流の方向に関しては定常状態の条件 $J_y = 0$ が満足されている。この場合には、観測する量 E_x , E_y は外部より与えるので結晶のキャリア濃度や(時間や)光電的性質にわずらわされないし、 $J_y = 0$ の観測は零点法であるからその絶対値を知る必要もなく、光キャリアの飛程に無関係となる。ゆえに、この方法により絶縁性光電導体のホール効果の測定での問題点を解決できる。

実際の方法には三つがあり、そのおもな特長を表 3.1 に示しておく。物性研究では絶対値もたいせつだが、温度変化の測定のほうがよりたいせつなので、われわれは測定の比較的容易な Kobayashi-Brown 法の原理を採用した。

表 3.1 種々のパルス光ホール効果測定法
Various methods of pulse photo Hall effect measurement.

| | 上面電界 | 下面電界 | 問 題 点 | 利 点 |
|------------------------------------|------|------|-------------|-----------|
| Redfield 法 ⁽³⁾ | DC | DC | シールド、絶縁困難 | 平等電界が得やすい |
| Kobayashi & Brown 法 ⁽⁴⁾ | 等電位 | パルス | 電界の模様複雑 | 絶縁シールド容易 |
| Ahrenkiel & Brown 法 ⁽⁵⁾ | パルス | パルス | 上面と下面電界同期困難 | 平等電界が得やすい |

3.3 パルス光を用いて改良した過渡的測定方法

図 3.2 にパルス光ホール効果測定原理を示す⁽³⁾。 y 方向の厚さ D の結晶をはさむ 2 枚のブロッキング電極は、 x 方向の長さ L のネスコートした透明電極である。えれら二つの電極の x 方向に電位差を作り、この電位差に基づく電場を結晶中に作る。

今①の場合、ポテンシオメータのしゅう(摺)動点が抵抗の midpoint にあり、上面および下面電極の中心 $x = L/2$ の位置の電位はともにアース電位に等しくなる。また両電極上の x の等しい位置でのアース電位から計った電位は互いに等しく、両電極の一端 $x = 0$ ではともに $V_L/2$ 、他端 $x = L$ ではともに $-V_L/2$ の電位となる。したがって、もし電極が結晶に比べて十分長く、端の効果を無視できる場合には、結晶中には V_L/L の大きさをもつ x 方向の様な電場のみが存在し y 方向の電場はない。

次にポテンシオメータのしゅう動点を②に移したときには、上面電極のアース電位から計った電位は前と変わらないが、下面電極の電位は前の場合に比べて一様に ΔV_+ だけ上り、結晶中には V_L/L の大きさの x 方向の電場のほかに $\Delta V_+/D$ の大きさの y 方向の電場が生じ、電場 E は x 方向より回転する。

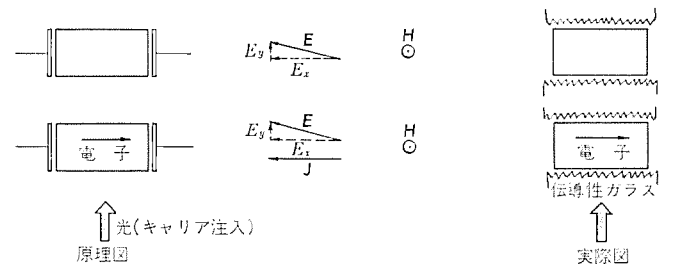


図 3.1 ブロッキング電極をつけた絶縁性光電導体のホール効果測定
General principle of pulse photo Hall effect measurement.

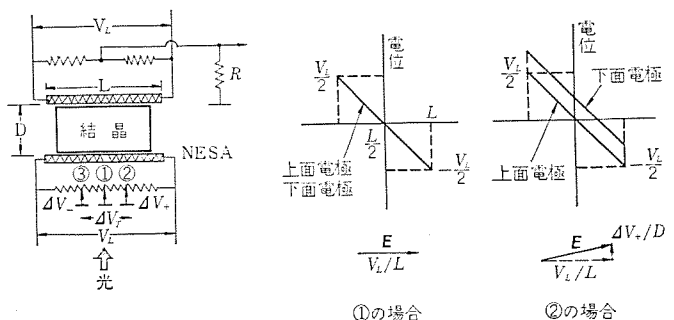


図 3.2 パルス光ホール効果測定原理
Measuring principle of pulse photo Hall effect.

ゆえに、式 (3.14) を使い

$$\mu_H = \frac{c\alpha(H)}{\sigma(H)} = \frac{c}{2H} \frac{\Delta V_H}{D} \frac{1}{E_g} \quad (3.25)$$

$E_x/E_0 = G$ とおけば、($E_0 = V_L/L$)

$$\mu_H = \frac{c}{2H} \frac{1}{G} \frac{L}{D} \frac{\Delta V_T}{V_L} = \frac{c}{2H} \frac{1}{G} \frac{L}{D} \frac{\Delta R_T}{R} \quad (3.26)$$

Redfield⁽³⁾ の計算によると、 G は 0.5 よりわずかに小さい値である。

4. 試作した測定装置

われわれの行なった実験装置のブロックダイアグラムを図 4.1 に、実験装置の前面を図 4.2、裏面を図 4.3 に示す。図 4.1 は結晶および電極の配置も示した図で、結晶上下面の電極は、NESA コートを施した抵抗 $1 \sim 2 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$ の石英板で、上面電極は同一電位である。結晶とこれらの電極板の間には、厚さ 10μ ほどのマイラー膜がそう入され、ブロッキング電極を作っている。ネサガラスと石英板の間の接触は I_n はんだを用いた。この下面抵抗電極に、数 ms 幅の電流を流し、それによって、結晶内に主として x 方向の電場を作る。 E_x と同調した E_y 方向の電場は、この電流と、 $5 \text{ k}\Omega$ のポテンシオメーターの接地点の移動によって、二つの電極間に作られる。結晶中のキャリアは、電場に同調した単一の数 μs 幅の光を下面抵抗透明電極を通して結晶に照射して作るが、この場合、光の波長は結晶の基礎吸収端より長く、したがってキャリアが結晶中にほとんど一様にできるようなにしてある。 J_y の測定は、これに基づく外部回路の誘起電荷の流れを前置増幅器とオシロスコープで観測する。このような測定を 1 秒間に 1 回行ない、 $J_y = 0$ になるまで E_y の大きさを変えて繰り返す。

前置増幅器は岩崎 プラグインユニット SP-OIDH-B (その仕様は、最高感度 $100 \mu\text{V}/\text{cm}$ 、周波数帯域 $\text{DC} \sim 1 \text{ MHz}$ 、入力インピーダンス $1 \text{ M}\Omega$ 、 40 pF 以下、雑音 $40 \mu\text{V}_{\text{P-P}}$ 以下) を使用し、遅延回路は Tektronix (Type 160 A Power Supply, Type 161 Pulse Generator, Type 162 Waveform Generator) を用い、 E_x パルスをかけた際の charging current が零になってから光パルスを与えて試料中にキャリアを作る。

図 4.1 の右上に動作順序を右下に電位分布を示す。

電界パルサー および赤色光セクターを図 4.4 に示す。2 個の水銀ウエッジッドコンタクトスイッチ Model HGX-1003 (C. P. Clare Co.) の組合せの所へ永久磁石を通過させると、きれいな長方形の電界パルスが出る (パルス幅の下限は $200 \mu\text{s}$ ほどである)。電界も、励起光もかかっていないときに赤色光が当たるようにセクターを設ける。電界パルサーのヘリポットの中点以外の所はアースから浮かす必要があるので、フェライトコアを用いて遅延用トリガを取り出している。

図 4.5 にサンプルホルダー (試料保持部) の断面図を、図 4.6 にサンプルホルダーの写真を示す。絶縁材料としてテフロンを用いた。結晶の両面から励起光 (Xe ランプからの光をフィルタを通してのち集光) と、赤色光 (W ランプからの光をフィルタを通してのち集光) を照射している。

図 4.7 にクライオスタットの断面図を、図 4.8 にクライオスタットの写真を示す。上述のように絶縁材料にテフロンを使っており熱伝導で冷却するのは困難なので、対流とふく射で冷却する。サンプルホルダー部へは He ガスを満たし、最中心のジュワーは真空または He ガスを導入することによって、He 温度までの低下を容易にするとともに温度可変にする。

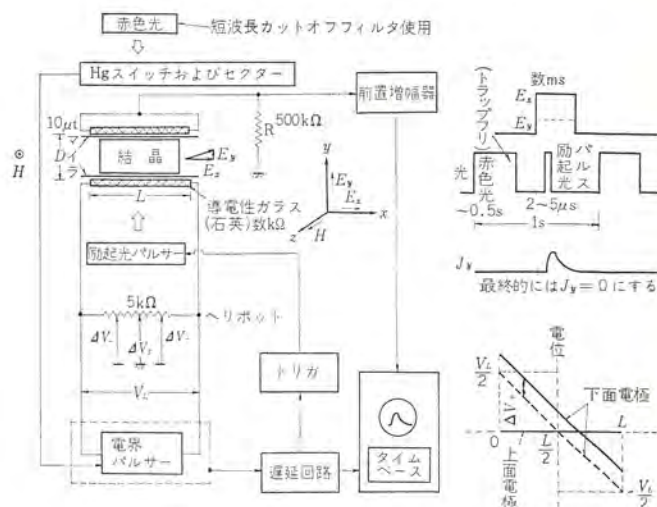


図 4.1 実験装置のブロックダイアグラム
Block diagram of experimental apparatus of ours.

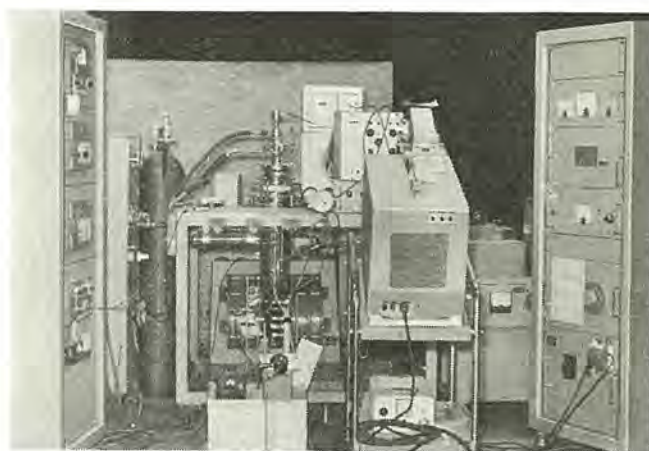


図 4.2 実験装置の前面
Front view of the experimental apparatus.

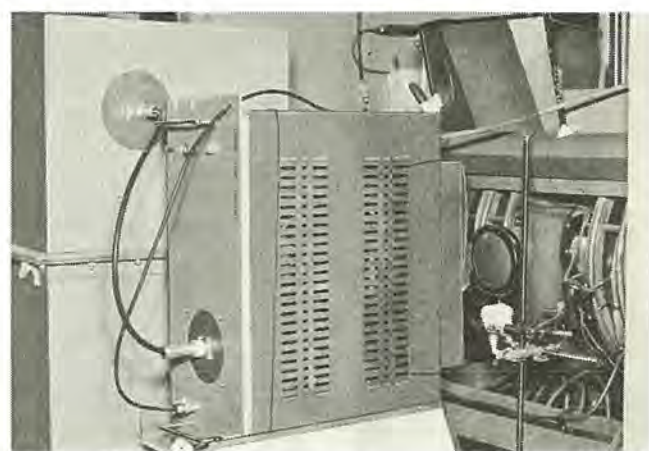


図 4.3 実験装置の裏面 (励起光源)
Back view of the experimental apparatus (exciting light source).

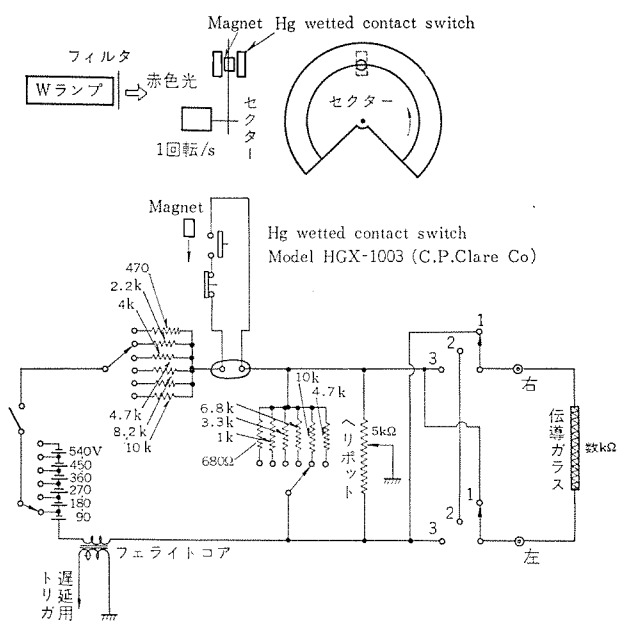


図 4.4 電界パルサーおよび赤色光セクター
Electric field pulser and red light sector.

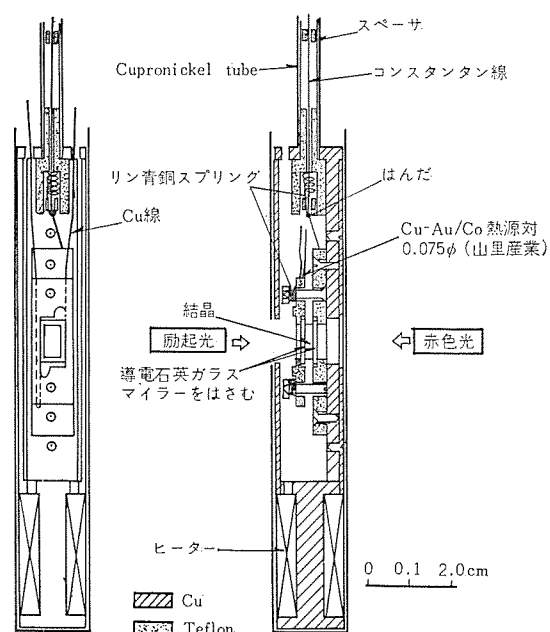


図 4.5 サンプルホルダー (試料保持部) の断面図
Sample holder (section).

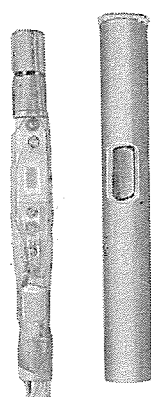


図 4.6 サンプルホルダー
Sample holder.

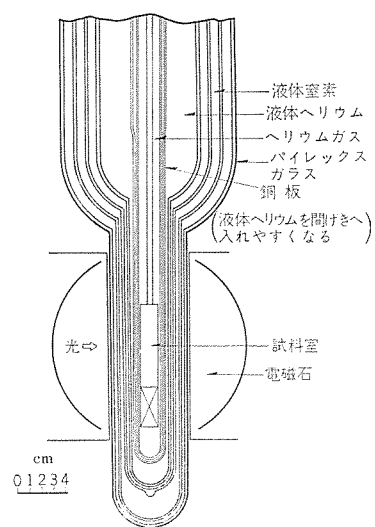


図 4.7(a) クライオスタットの断面図
Cryostat (section).

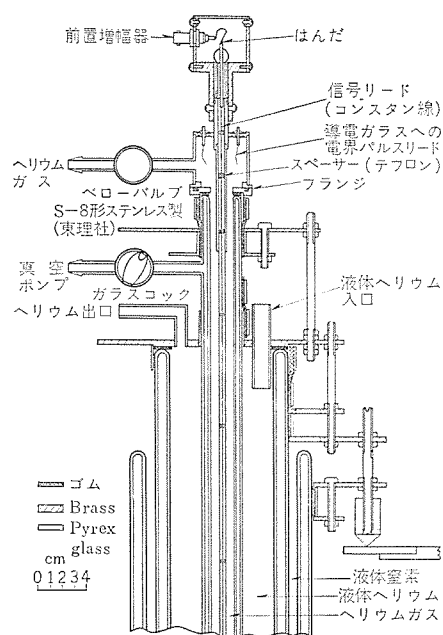


図 4.7(b) クライオスタット 断面図
Cryostat (section).

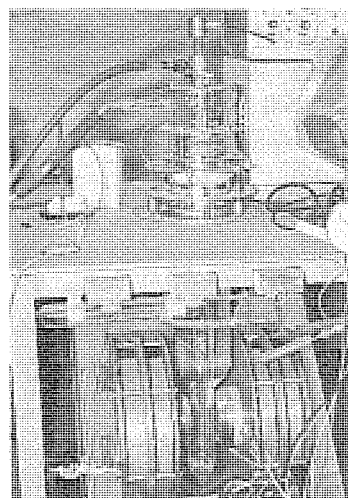


図 4.8 クライオスタット
Cryostat.

5. ZnSe 単結晶のパルス光ホール効果測定結果および考察

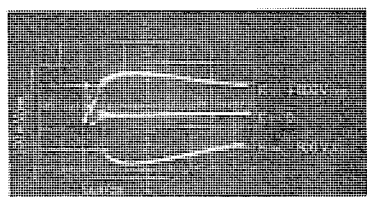
測定に先立って、小林浩一研（東大物性研）の CdS 単結晶および F. C. Brown 研（イリノイ大学）の KBr 単結晶を用いて装置の点検を行なった後、われわれの ZnSe 単結晶のパルス光ホール効果の測定をした。その結果として、図 5.1 にパルス光伝導のシンクロスコープ上でのトレースを、図 5.2 にパルス光伝導の波長特性を、図 5.3 にパルス光ホール効果のシンクロスコープ上でのトレースを示す。磁場は ± 6 kG, x 方向の平均電場 \bar{E}_x は 30 V/cm でおもに測定した。赤色光としては W ランプの前面に VR-69 フィルタを通し 6,900 Å 以下の短波長をカットしたものを使用した。

この測定に使用した ZnSe 単結晶は、当研究所の木村等⁽⁶⁾がタンマン法で製作した undoped の試料で不純物は 10 ppm, 以下である。励起光は結晶中様にキャリアを作るために、短波長カットフィルタ等を使用し、吸収端よりわずかに小さいエネルギーの光で励起する必要があるが、温度を下げると吸収端の波長が短かいほうに変わってくるので、この対策として試料前面にそれと同じ物質で多少厚めの結晶を配置するとよい。温度を下げたとき、液体窒素中の気泡による光の不均一照射の影響があると平衡点がとりにくく誤差が大きくなるので、ジュワーの表面にシリコングリスとシリコンオイルを薄く塗布して液体窒素中の気泡発生を防止した。

図 5.3 に見られるように光パルスがはいってからの時間に関係なく平衡点がとれないのは、結晶を抵抗とコンデンサの直並列接続とし光起電力との等価回路を考えたとき、結晶の不均一に基づき充放電が均一に行なわれず、時間的に平衡点が変わるためと思われる。しかし磁場による変化分を読み取るので、このことによる誤差はあまり問題にならない。

undoped ZnSe のホール移動度の温度変化は図 5.4 に示すように温度の低下とともにホール移動度が増大していくことがわかる。（ただし図 5.4 で 300°K での棒幅は誤差範囲を示す。）すなわち、この試料では比較的不純物が少なく、100°K までの温度ではおもに格子散乱がキャリアの散乱に関与していることを示す。また、他の実験データから励起光に、短波長成分の光がはいるとホール移動度が増大する傾向にあるが、原因を明らかにするためには、さらに単色光を使った実験データを得る必要がある。

小さなホール移動度を測定するためには、雑音以上の光レスポンスを観察し零に調節しなければならない。この零点を見つける精度は、空間電荷が印加電界を変化させるまでは解放されたキャリアの数で増大する。単一光パルスの間の空間電荷分極の開始が、測定精度と最小測定可能移動度の最も重大な限界である（一連の光パルス印加後の分極の形成は、強度の弱い赤色光を使って分極を小さくできる。）



励起光 508 mμ 室温 $E_x = \pm 800$ V/cm

図 5.1 パルス光伝導の誘起起電荷信号
Induced charge signal by pulse photo-conductivity
in ZnSe single crystal.

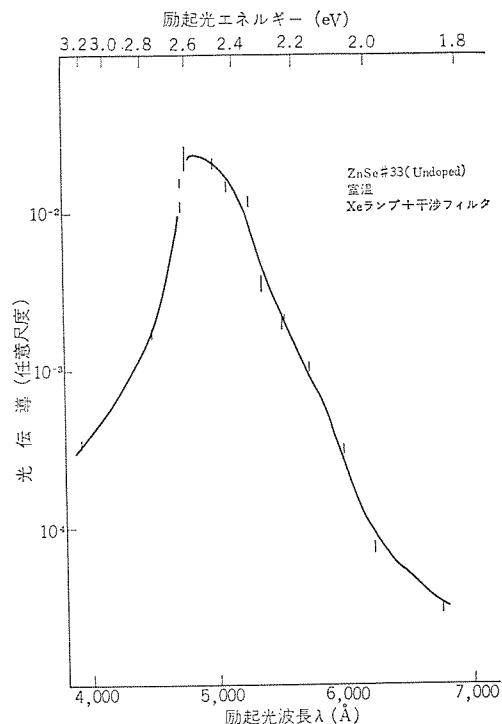
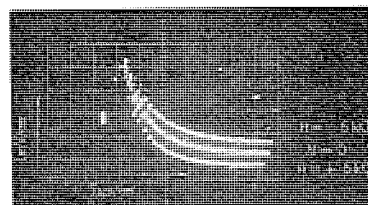


図 5.2 パルス光伝導の波長特性
Spectral response curve for photo-conductivity
in ZnSe single crystal.



ZnSe #33(undoped) Filter: 440 mμ 短波長カットフィルタ使用
 $E_x = 30$ V/cm 室温
 $H = \pm 6$ kG $\rightarrow n$ 形であることがわかる。

図 5.3 パルス光ホール効果の誘起電荷信号
Induced charge signal by pulse photo-Hall effect in
ZnSe single crystal.

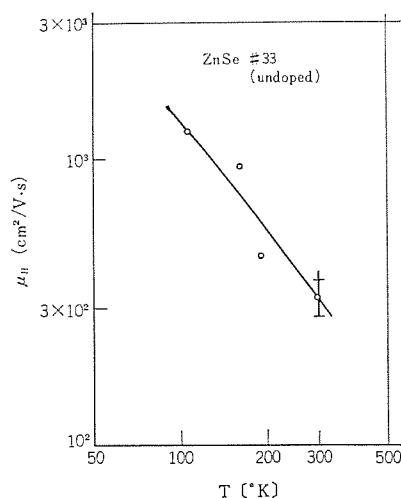


図 5.4 ZnSe 単結晶のホール移動度の温度特性
Temperature dependence of electron Hall mobilities
of ZnSe single crystal.

移動度の大きいときは分極効果为了避免のために Xe 放電の強度を減少させねばならぬ。しかし移動度が小さいときは強い照射が必要で、その結果かなりの分極が単一パルス間に起こる、これは零点をあいまいにし、バランスの精度を減ずる効果を持つ。最小分解可能の移動度は約 $30 \text{ cm}^2/\text{V sec}$ である。

従来の Kobayashi-Brown⁽⁴⁾の方法と異なっている点を述べる。

(1) K-B 法では電界パルスは CR 回路を使って半波正弦波に近い波形であるが、われわれのは Hg ウエッテッドコンタクトスイッチを 2 個使った長方形波である。そのため操作が非常に簡単で電界パルスも時間的に一定値である、しかし電界が加わったとき、比較的大きい charging current が流れるが、そのとき、前置増幅器を飽和させないようにすればよい。

(2) K-B 法では真空管を使った前置増幅器であるが、われわれは FET (電界効果トランジスタ) を使った高感度プラインユニットで岩崎通信機(株)に特注した 1 号器で、それ以前には外国製品にもなかった。これを使用したために操作が簡単であるとともに感度も良くなった。

(3) K-B 法では励起光と分極を減少させるための赤色光を同じ側から照射しているが、われわれは結晶の両側から照射するようにした。そのため均一な照射が容易に行なえる。

(4) K-B 法では液体窒素中の気泡になやまされ測定精度が出せず、その解決策に困っているが、シリコングリースとシリコンオイルを使用することによって気泡発生防止に成功した。

(5) K-B 法ではネガラスからのリードとの接触は Ag ペイントを使っているが、われわれは In はんだを使用した。Ag ペイントは冷却するとネガラスからはがれやすいが、In ではそういうことはない。

以上のような理由で、たとえば K-B 法では困難であった室温での CdS の小さなホール移動度の測定も容易に可能となった、すなわち K. Kobayashi⁽¹⁰⁾の測定値の最小は 280°K で $380 \pm 50 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ であるが、われわれのは 300°K で VY-50 短波長カットフィルタを用いて $260 \pm 25 \text{ cm}^2/\text{V-sec}$ となり誤差も小さくできた。絶対値は小林のデータを 300°K まで外そう(挿)したのとほぼ一致する。

6. む す び

最近、高抵抗物質の電気的性質を究明する手段として、パルス光ホール効果測定法でホール移動度を測定する装置を新しく試作した。そこで本文でその試作装置の概要とわれわれの製作した ZnSe 単結晶での測定結果の一例を報告した。この方法で測定可能の物質は、暗黒中ほぼ $10^9 \Omega\text{-cm}$ 以上で、光励起によりほぼ $10^8 \Omega\text{-cm}$ に比抵抗が下げられるようなものである。移動度が $100 \text{ cm}^2/\text{V-sec}$ 以上あれば、S/N がほぼ 3 以上で測定できる。

今後、ZnSe をはじめ II-VI 族化合物半導体ならびに SiC 等の高エネルギーギャップ半導体のキャリア輸送現象の究明を行なうとともに、さらにパルス励起光強度の安定化および感度の増大を計り、加圧実験を行なうことによってバンド構造究明については移動度の可変素子の開発も計画している。

(昭和 44-6-30 受付)

参 考 文 献

- (1) 岡田, 栗根, 香崎, 河野: 三菱電機技報, 40, 1311 (昭 41)
- (2) T. Okada, K. Awane, T. Kôzaki, K. Kono: Mitsubishi Denki Laboratory Reports, 7, 95 (1966)
- (3) A. G. Redfield: Phys. Rev. 94, 526 (1954)
- (4) K. Kobayashi, F. C. Brown: Phys. Rev. 113, 507 (1959)
- (5) R. K. Ahrenkiel, F. C. Brown: Phys. Rev. 136, A 223 (1964)
- (6) 木村, 小宮, 伊吹: 三菱電機技報, 41, 1,461 (1967)
- (7) 小林: 物理測定技術, 第 5 巻, 朝倉書店 P. 197 (1967)
- (8) D. C. Burnham, F. C. Brown, R. S. Knox: Phys. Rev. 136, A 223 (1964)
- (9) F. Seitz: Phys. Rev. 79, 372 (1950)
- (10) K. Kobayashi, H. Fujita, T. Kawai, K. Shiga: J. Phys. Soc. Japan, 19, 135 (1964)

技術講座

システム理論 (IV) —ダイナミカル システムの理論—

国 方 敏 行*

1. ま え が き

一口にシステムと言っても電力、通信、交通、宇宙、経営システムなど多種多様である。しかしながらそれらがシステムと呼ばれるためには、そこに共通した概念なり手法が存在するはずであってそれがシステム工学の基本理念となっている。すなわち、まずシステムとは、

“いろいろの構成要素から組み立てられ、それらの間の関係がさまざまであっても、それらが目的的に集積され全体として一つのまとまった機能を果たす”。

べきものであって、それを立案計画し、設計を行ない、製造に到るプロセスを扱うものがシステム工学であるといえることができる。

システム工学における統一された理論はまだ確立されてはいないが、主としてシステムアナリシスの数学的手段としてダイナミカルシステムの理論が Kalman, Zadeh などにより開発されており、現在のところこれがシステム工学の基礎理論とも言うべきものとなっている。ダイナミカルシステムとは古典力学における位置・速度の相空間での運動方程式による力学系の表現からそのヒントを得たものであって、その動特性が状態変数を用いた微分方程式によって記述されるようなシステムのことである。古典的な制御理論においてはシステムをブラックボックスと見てその入力—出力のみの因果関係からシステムの動特性を表現しようとする伝達関数法に比較して、システムの内部にまで立ち入りその状態の時間とともに変化する様子を記述することによりシステムの動的な振舞いの運動学的幾何学的イメージがはっきりして見通しがつけやすい。たとえば伝達関数法では見落されていたシステムの制御可能性あるいは観測可能性の問題、システムの安定性についての物理的なイメージ、多変数システムの取り扱いなどについて解説する。

2. ダイナミカル システムの記述

ダイナミカルシステムの数学的な定義については本講座のその(1)にくわしく述べてあるので、ここでは具体的な例に沿ってダイナミカルシステムの記述を試みる。図 2.1 に示すような簡単な電気回路を考える。キルヒホッフの法則を用いて回路方程式を立てると

$$L di/dt + R_1 i_1 = u \quad (2.1)$$

$$v + (R_2 C) dv/dt - R_1 i_1 = 0 \quad (2.2)$$

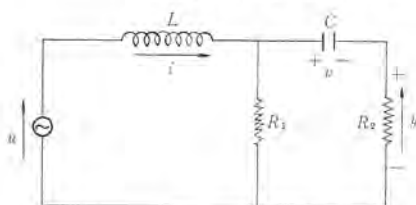


図 2.1 線形回路

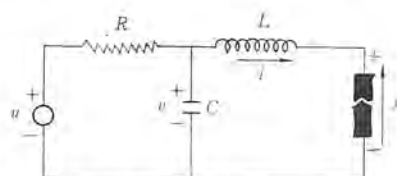


図 2.2 非線形回路

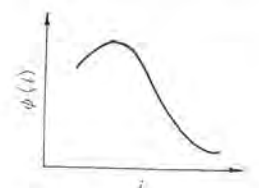


図 2.3 電流—電圧特性

$$i_1 = i - C dv/dt \quad (2.3)$$

i, v をこの回路の状態を規定するパラメーターと考えて

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i \\ v \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} i \\ v \end{pmatrix} + B \begin{pmatrix} u \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$y = H \begin{pmatrix} i \\ v \end{pmatrix} \quad (2.5)$$

ただし

$$A = \begin{pmatrix} R_1 R_2 / L (R_1 + R_2) & -R_1 / L (R_1 + R_2) \\ R_1 / C (R_1 + R_2) & -1 / C (R_1 / R_2) \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 & 1/L \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} R_1 R_2 / (R_1 + R_2) & 0 \\ 0 & -R_2 / (R_1 + R_2) \end{pmatrix}$$

なる形に表現される。回路のパラメーターは (i, v) 以外にもいろいろの選び方があるが、その方程式はやはり式 (2.4), (2.5) のような形になり係数行列の意味が変わるだけである。方程式 (2.4), (2.5) はシステムに加わる入力 u とシステムの入力 y とシステムの状態を規定するパラメーター (i, v) との関係が線形微分方程式にて表現されることを意味しており、これをシステムの状態方程式と呼ぶ。またパラメーター (i, v) をシステムの状態変数と呼ぶ。したがってもっと一般的に言えば、

定義 1

x をダイナミカルシステム (以後 DS と略記する) の n 次元状態変数ベクトル, y を m 次元出力ベクトル, u を r 次元入力ベクトルとすると、

$$dx/dt = A(t)x + B(t)u \quad (2.6)$$

$$y(t) = H(t)x(t) + D(t)u(t) \quad (2.7)$$

にて表現されるシステムを非定常線形ダイナミカルシステムという。とくに式 (2.6), (2.7) において係数行列がすべて時間に無関係に一定のとき、

$$dx/dt = Ax + Bu \quad (2.8)$$

$$y(t) = Hx(t) + Du(t) \quad (2.9)$$

を定常線形ダイナミカルシステムという。

次に図 2.2 に示される電気回路を考える。図中アーク燈の電流—電圧特性は図 2.3 にて与えられるものとする。キルヒホッフの法則により、

$$di/dt = [v - \psi(i)]/L \quad (2.11)$$

$$dv/dt = [u - v - R_1 i]/CR \quad (2.12)$$

$$y = \psi(i) \dots\dots\dots (2.12)$$

となる。式(2.12)は (i, v) を状態変数, u を入力, y を出力とするシステムが非線形微分方程式にて与えられることを示している。したがってもっと一般的に

定義 2

x を DS の n 次元状態ベクトル, y を m 次元出力ベクトル, u を r 次元入力ベクトル とするとき

$$dx/dt = f(x, u, t) \dots\dots\dots (2.13)$$

$$y(t) = h(x(t), u(t), t) \dots\dots\dots (2.14)$$

にて表現される DS を非線形ダイナミカルシステムという。

ダイナミカルシステムの問題として,

- (1) 安定性の問題
- (2) 最適化の問題
- (3) 制御可能性と観測可能性の問題

などがある。

本稿ではダイナミカルシステムの振舞いを定性的に調べることを目的として, 最適化の問題には触れないことにする。また不確定要素を含むような確率的ダイナミカルシステム, あるいは熱伝導系のような分布定数形のダイナミカルシステムに関する議論は, 別の機会に譲ることにする。

3. ダイナミカルシステムの安定問題

3.1 ダイナミカルシステムの安定性

システムの安定性を論ずる場合, 入力 $u(t)$ は本質的に無関係である。それは入力 $u(t)$ が加わっているシステムの安定問題は入力が存在しないシステムの安定問題に帰着できるからである。

定義 3

ダイナミカルシステム式 (2.6) あるいは式 (2.13) において入力を零とおいたものをフリーダイナミカルシステムという。すなわち

$$dx/dt = A(t)x \dots\dots\dots (3.1)$$

あるいは,

$$dx/dt = f(x, t) \dots\dots\dots (3.2)$$

特に式 (3.1), (3.2) の右辺に t を陽に含まないシステムをオートノマスダイナミカルシステムといい応用上重要である。

フリーダイナミカルシステム式 (3.2) において適当な初期状態

$$x(t_0) = x_0 \dots\dots\dots (3.3)$$

を設定すると, 式 (3.2) を解くことができ (もちろん $f(x, t)$ に関する適当な条件, たとえばリプシッツの条件が満たされているものとして), その解を

$$x(t) = \varphi(t, x_0, t_0) \dots\dots\dots (3.4)$$

によって表わすものとする。式 (3.4) 右辺の関数 φ は式 (3.2) の積分を意味し, 初期状態 x_0 と初期時刻 t_0 に depend する。式 (3.4) は t をパラメーターとして n 次元ベクトル空間 X において点 x_0 を出発する曲線を表わす。ベクトル空間 X のことを状態空間, 曲線のことを運動 (または軌道) という。ダイナミカルシステム式 (3.2) の運動 $\varphi(t,$

$x_0, t_0)$ は次の推移性の条件を満足する。

$$\varphi(t_2; x_0, t_0) = \varphi(t_2; \varphi(t_1; x_0, t_0), t_1) \dots\dots\dots (3.5)$$

特に線形システム式 (2.6) の場合はその遷移行列を $\Phi(t, t_0)$ とするとき条件式 (3.5) は

$$\Phi(t_2, t_0) = \Phi(t_2, t_1)\Phi(t_1, t_0) \dots\dots\dots (3.6)$$

と書ける。

定義 4

ダイナミカルシステム式 (3.2) において

$$f(x_e, t) = 0 \text{ for all } t, t_0 \dots\dots\dots (3.7)$$

を満足するような点 $x = x_e$ が存在するとき, x_e をダイナミカルシステムの平衡点 (または平衡状態) という。

たとえば図 3.2 に示す調和振動子の運動においては位相面の原点がそれに相当する。物理的に言えば平衡点とは運動がいったんその点に達すれば以後ずっとその状態に留まるような点のことである。この節のはじめのところで入力 $u(t)$ が加わっているシステムの安定性は, $u(t) \equiv 0$ といった場合の安定性に帰着できると述べたが, その理由を平衡点の定義を用いて説明する。今入力 $u(t)$ を一つ固定して

$$dx/dt = f(x, u(t), t) \dots\dots\dots (3.8)$$

の運動を

$$x_f(t) = \varphi_u(t; x_0, t_0) \dots\dots\dots (3.9)$$

とする。 $x_f(t)$ の近傍から出発して同じ入力 $u(t)$ によるシステムの運動を $x(t)$ とし, 両運動のずれを

$$\Delta x(t) = x(t) - x_f(t) \dots\dots\dots (3.10)$$

とする。このとき運動 $x(t)$ が $x_f(t)$ から時間とともに遠ざかってゆくかどうかを調べることが, 入力 $u(t)$ が存在する場合のシステムの運動 $x_f(t)$ の安定性を調べる問題である。したがって運動のずれ $\Delta x(t)$ の平衡点の安定性について調べればよい。ところが $\Delta x(t)$ は,

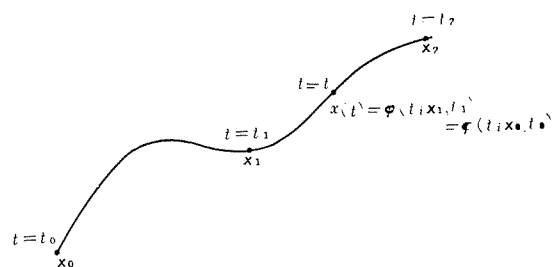


図 3.1 ダイナミカルシステムの運動

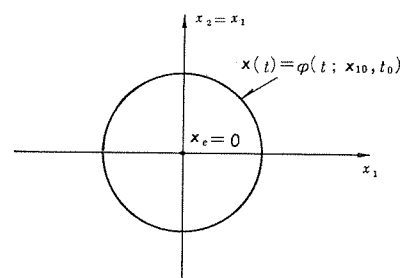


図 3.2 調和振動子の運動と平衡点

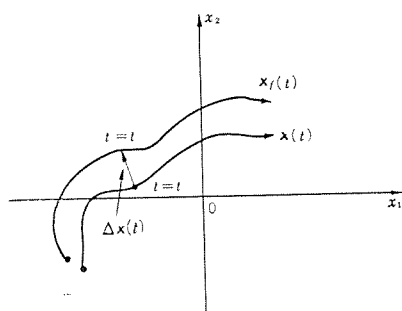


図 3.3 運動の摂動

$$d\Delta x/dt = \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{x=x_f(t)} \Delta x \dots \dots \dots (3.11)$$

なる方程式を満足するからフリー線形システム式(3.1)の平衡点 $x_e = 0$ についての安定性の問題に帰着された。フリー線形システム式(3.1)の平衡点は必ずしも原点だけではないが、ともかくフリーダイナミカルシステムの安定性の問題に帰着されることは明らかである。

次に安定性の定義に移ろう。直観的に言えば、ダイナミカルシステムが安定であるというのはシステムの運転条件が変化したり、システムに予期せぬ外乱などが加わったりしてシステムの状態(あるいは運動)が変化したとき、時間がたてばやがてその変化した状態が元の状態へ戻ってゆくような現象のことである。数学的に厳密な定義は Liapunov (1892) による。

定義 5 (安定性の定義)

x_e をフリーダイナミカルシステム式(3.2)の平衡点とする。 x_e が安定な平衡点であるとは、 x_0 を平衡点 x_e の近傍にある任意の状態点とするとき時刻 $t=t_0$ に x_0 を出発するダイナミカルシステムの運動 $\varphi(t; x_0, t_0)$ が $t \geq t_0$ なるすべての t に対して x_e の近傍に留まることである。すなわち

ε を任意の正数とするとき次の性質を満足する正数 $\delta(\varepsilon, x_0, t_0)$ が存在すること。

$$\|x_0 - x_e\| \leq \delta \dots \dots \dots (3.12)$$

なる任意の x_0 に対して

$$\|\varphi(t; x_0, t_0) - x_e\| \leq \varepsilon \text{ for all } t \geq t_0 \dots \dots \dots (3.13)$$

ただし式(3.12)、(3.13)における $\|\cdot\|$ はユークリッドノルムを示す。図3.4に式(3.12)、(3.13)の幾何学的説明を示す。定義5は x_0 を出発した運動 $\varphi(t; x_0, t_0)$ が平衡点 x_e の近傍から逃げ出さないということだけを要請するものであるが、現実的な問題としては、これでは物足りない感じである。すなわち安定性の直観的な説明のところでも述べたように、摂動を受けた運動 $\varphi(t; x_0, t_0)$ が平衡点の近傍から逃げ出さないだけでなく、さらに時間の経過とともに平衡点に近づいてゆくという安定性の概念のほうが工学的、実際の見地からは有用である。

定義 6 (漸近安定性の定義)

x_e をフリーダイナミカルシステム式(3.2)の平衡点とする。 x_e が漸近的に安定であるというのは

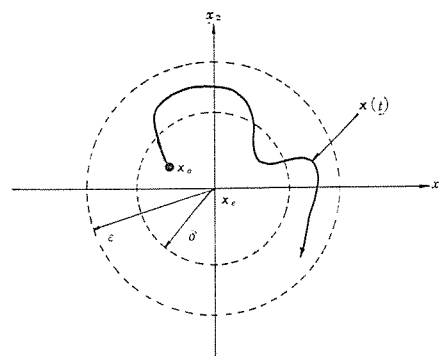


図 3.4 平衡点の幾何学的説明

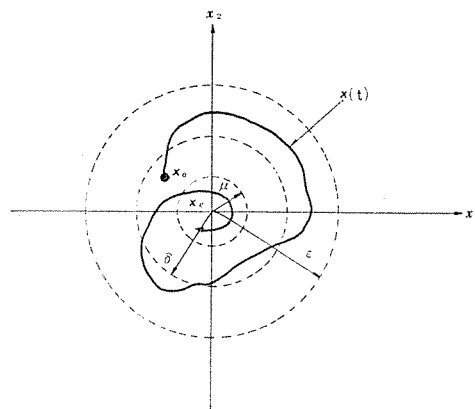


図 3.5 漸近平衡点の幾何学的説明

(a) x_e は安定である。

(b) x_0 を x_e の近傍にある任意の点とするとき、 x_0 を出発する運動 $\varphi(t; x_0, t_0)$ は $t \rightarrow \infty$ とともに x_e に収束する。すなわち μ を任意の正数とするとき、次の性質を満足する正数 $\delta(t_0)$ と $T(\mu, x_0, t_0)$ が存在する。

$$\|x_0 - x_e\| \leq \delta \text{ なる } x_0 \text{ に対して} \dots \dots \dots (3.14)$$

$$\|\varphi(t; x_0, t_0) - x_e\| \leq \mu \text{ for all } t \geq t_0 + T \dots \dots \dots (3.15)$$

図3.5は漸近的安定性の幾何学的な説明である。

次に具体的な例をあげて平衡点の安定性に関する説明を行なう。

実例1 (調和振動)

まさつのない振子の自由運動は、小さい振幅の範囲ではその変位の運動方程式は

$$\ddot{x} + x = 0 \dots \dots \dots (3.16)$$

とかける。変位 x とその速度 \dot{x} を状態変数と考えて、状態方程式を書く

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \dots \dots \dots (3.17)$$

ただし $x_1 = x$, $x_2 = \dot{x}$ である。 x_1-x_2 位相面に式(3.17)の運動を描くとそれは円になる。また式(3.17)の平衡点は位相面の原点 O である。定義5における δ としてたとえば $\delta = \varepsilon/2$ ととれば、式(3.17)の平衡点 O は安定であることが直ちにわかる。しかし平衡点

0 は漸近安定ではない。

実例2

実例1と同じモデルであるが、速度に比例するまさつを考慮に入れるとその運動方程式は

$$\ddot{x} + k\dot{x} + x = 0 \quad (3.18)$$

状態方程式の形に書くと

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

$0 < k < 1$ の場合、式(3.19)の運動はらせん状の曲線を描く。平衡点は実例1と同じく x_1-x_2 位相面の原点である。平衡点0が漸近安定であることを見るには、まず原点0は安定である。次に定義6の(b)の性質を調べるために、 $T > \log \mu^{-2/k}$ なるように T を選べば式(3.19)の運動 $\phi(t; x_0, t_0)$ は

$$\|\phi(t; x_0, t_0)\| < \mu \text{ for all } t \geq T + t_0 \quad (3.20)$$

となることからわかる。したがって平衡点0は漸近安定である。

3.2 リアプノフ関数による安定判別

リアプノフは1892年の彼の論文の中で微分方程式の解の安定性を調べるのに方程式を直接解くことなく、いわゆるリアプノフ関数なるものを導入して“第2の方法”と呼ばれる安定性に関する有力な方法を提案した。ダイナミカルシステムを式(3.1)あるいは式(3.2)で表現するものとすれば、その安定性に関する議論はリアプノフ関数を用いて統一に行なうことができる。古典的な制御理論における安定理論が計算技術を駆使した手法にとどまっていたのに対して、システムの状態を運動学的にとらえて、その振舞いを解析しようとする立場に立つほうが安定問題に対して直観的なイメージが得られやすく、したがって見とらしがきく。

リアプノフ関数の厳密な定義はしばらくおいておくとして、その物理的なイメージをもっていたほうが応用する際にも便利である。たとえば図3.2の振動子の運動を調べてみる。簡単な計算によりこのシステムの全エネルギー $E(x)$ は、振動子の運動エネルギーと弾性力による位置のエネルギーで

$$E(x) = x_1^2 + x_2^2 \quad (3.21)$$

エネルギー $E(x)$ の振動子の運動に沿っての時間的変化率は

$$\dot{E}(x) = \frac{1}{2}x_1\dot{x}_1 + \frac{1}{2}x_2\dot{x}_2 = 0 \quad (3.22)$$

すなわちエネルギー $E(x)$ は時間的に各運動に沿って一定で、その運動は図3.3にみるように原点から一定の距離のまわりをまわる円である。時間とともにその全エネルギーが増大することがなければその運動は安定といえる。リアプノフ関数はこの考え方の拡張であって、その性質として式(3.21)の正定性、式(3.22)の時間微分係数の非正定性を与えられているものである。

定義7 (リアプノフ関数の定義)

ダイナミカルシステム式(3.2)に対して次の性質を満足する関数 $V(x, t)$ が存在するとき、 $V(x, t)$ をダイナミカルシステムのリアプノフ関数という：

(a) $V(x_e, t) = 0$, for all $t \geq t_0$ ただし x_e はシステム式(3.2)の平衡点。

(b) $V(x, t)$ は平衡点 x_e を含む状態空間 X のある開領域 Ω において、その1階偏導関数とともに連続である。

(c) $V(x, t)$ は Ω においてすべての $t (\geq t_0)$ について正定である。すなわち

$$V(x, t) > 0 \text{ for } \forall x \in \Omega \text{ and all } t \geq t_0 \quad (3.24)$$

ただし $x = x_e$ は除く。

(d) $V(x, t)$ の時間に関する導関数は Ω においてすべての $t \geq t_0$ に対して非正定であるすなわち

$$\dot{V} = dV/dt = (\text{grad } V)^T \cdot \dot{x} + \partial V / \partial t \leq 0 \quad (3.25)$$

for $\forall x \in \Omega$ and all $t \geq t_0$

(e) $V(x, t)$ はスカラー関数である。

式(3.21)で作った $E(x)$ は上記五つの条件をすべて満足している。したがってこの $E(x)$ はリアプノフ関数である。また実例2のところであげた例題については

$$E(x) = x_1^2 + x_2^2$$

として $\dot{E}(x)$ を計算すると

$$\dot{E}(x) = -kx_2^2 < 0$$

でやはり $E(x)$ は実例2のシステムについてもリアプノフ関数となっている。 $\dot{E}(x) = 0$ あるいは $\dot{E}(x) < 0$ の違いは、あとででてくる安定と漸近安定に関係する。

さてリアプノフ関数を作っただけでシステムの安定判別ができるのかという疑問を持たれるかも知れないが、それに答えるのが次のリアプノフの安定定理である。

定理1 (リアプノフ)

x_e をダイナミカルシステム式(3.12)の平衡点とする。 Ω を x_e を含む状態空間 X の任意の開領域とする。 Ω において定義7で述べた性質を満足する関数 $V(x, t)$ が存在するとき、ダイナミカルシステム式(3.2)の平衡点 x_e は安定である。(証明は略す)

さらにこの定理の系として

系1

もし定理1における関数 $V(x, t)$ が

(f) $\dot{V}(x, t)$ は負定である。すなわち

$$\dot{V}(x, t) < 0 \text{ for } \forall x \in \Omega \text{ and all } t \geq t_0 \quad (3.26)$$

を満足するとき、平衡点 x_e は漸近的に安定である。

定理1あるいは系1によってわれわれはリアプノフ関数を作ることができれば、そのシステムの安定性あるいは漸近安定性を知ることができる。それではリアプノフ関数が作れないときはどうなるのか。この問いに対してはリアプノフの定理はわれわれに何も教えてくれない。すなわちリアプノフ関数を作ることができるかどうかということは、システムが安定であるための十分条件なのであって必要条件ではないのである。したがってリアプノフ関数が作れないからといってそのシステムが不安定であるとは断言できない。ここらあたりにリアプノフ関数によるシステムの安定問題の解析に不満足な点があるが、しかし

状態空間を用いることによる幾何学的・物理的イメージのはっきりした取り扱いができる点で、システム解析の道具として有用なものであると思われる。

リアプノフの定理から導かれる2, 3の有用な定理について述べておく。

定理 2 (漸近安定領域の確定)

\mathbf{x}_e をオートノマスダイナミカルシステム

$$d\mathbf{x}/dt = \mathbf{f}(\mathbf{x}) \quad (3.27)$$

の平衡点とする。 \mathbf{x}_e は安定であるとし、 $V(\mathbf{x})$ をそのリアプノフ関数とする。 Ω_e は $V(\mathbf{x}) \leq e$ なる状態空間 X の領域とする。このときもし、

$$\dot{V}(\mathbf{x}) < 0 \text{ for } \forall \mathbf{x} \in \Omega_e \quad (3.28)$$

が成立するとすれば、 Ω_e 内の任意の1点を出発する式(3.27)の任意の運動は Ω_e を出ることなく $t \rightarrow \infty$ とともに \mathbf{x}_e に近づく。定理2の意味は \mathbf{x}_e に関するリアプノフ関数 $V(\mathbf{x})$ を作っただけでは、 \mathbf{x}_e の近傍についての運動の安定性しか調べられないのに対して、 Ω_e という領域内のすべての状態点に対してその運動が漸近安定であることを保証してくれる点にあり、安定化装置などの設計データとして役立つ。また直接的な応用として separatrix があるがこれは後に触れることにする。

次に線形オートノマスなダイナミカルシステムについてはリアプノフ関数を構成するための一般的な手法が存在する。

定理 3

線形オートノマスダイナミカルシステム

$$d\mathbf{x}/dt = \mathbf{A}\mathbf{x} \quad (3.29)$$

において、そのリアプノフ関数を

$$V(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x}, \mathbf{P} \text{ は正定行列} \quad (3.30)$$

にて構成するとき、正定行列 \mathbf{P} は次の行列方程式を満たす

$$\mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A} = -\mathbf{Q} \quad (3.31)$$

ここに \mathbf{Q} は任意の半正定行列である。また式(3.30)において \mathbf{x}^T は \mathbf{x} の転置ベクトルを表わす。

定理3と同等なものとして次の定理がある。

定理 4

ダイナミカルシステム式(3.29)の係数行列 \mathbf{A} のすべての固有値が負の実数部をもつとき、式(3.31)の行列方程式は正定行列 \mathbf{P} を解としてもつ。定理4によって、一般に行なわれていた係数行列の固有値の符号判定がリアプノフの理論によって統一されたのを見ることができ

3.3 リアプノフ関数による安定度解析の実例

リアプノフ関数を用いて実際のシステムの安定度解析を行なう。例として電力系統における無限大母線に接続された同期発電機の安定度について考える。図3.6にシステムの構成図を示す。

発電機の動揺方程式は

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_i - \frac{E_1 E_2}{X} \sin \delta \quad (3.32)$$

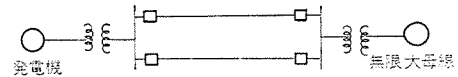


図 3.6 一機無限大母線系統

ここに、 δ : 位相差角, E_1, E_2 : 内部電圧 (一定),

X : 線路のリアクタンス, P_i : 機械入力

$M = H/\pi f$, $K = E_1 E_2 / X$ において状態方程式の形にかくと

$$d\delta/dt = \omega$$

$$d\omega/dt = (P_i - K \sin \delta) / M \quad (3.33)$$

システム(3.33)式の平衡点は無数に存在するが、実際上の問題として

$$\mathbf{x}_e = (\sin^{-1} P_i / K, 0) \quad (3.34)$$

をとる。 $\delta_e = \sin^{-1} P_i / K$ とおく。システム式(3.33)の平衡点式(3.34)に対するリアプノフ関数を次のように作る。

$$V(\delta, \omega) = 1/2 \omega^2 + (P_i / M) (\delta - \delta_e) + (K / M) (\cos \delta - \cos \delta_e) \quad (3.35)$$

式(3.35)で与えられるリアプノフ関数は、定義7の五つの条件を平衡点 \mathbf{x}_e の適当な近傍 Ω で満足している。したがって平衡点 \mathbf{x}_e は安定である。次に平衡点 $\mathbf{x}'_e = (\pi - \delta_e, 0)$ について考えてみる。この平衡点は \mathbf{x}_e のすぐ隣りにある平衡点であるが、これは実は不安定な平衡点である。

さてシステム式(3.33)の運動は $\delta - \omega$ 位相面においてどのような曲線になるかを調べてみる。式(3.33)において dt を消去して積分すると、それは

$$1/2 \omega^2 - 1/2 \omega_0^2 = (P_i / M) (\delta - \delta_0) + (K / M) (\cos \delta - \cos \delta_0) \quad (3.36)$$

と表わされる。ここに (δ_0, ω_0) は初期状態を示す。 (δ_0, ω_0) なる初期状態を与えてやると、システム式(3.33)は式(3.36)で表わされる曲線に沿って運動を行なう。この運動は初期状態の与え方によってまったく様子の異なる2通りの運動を行なう。これを図3.7に示す。図中軌道aが安定な運動に対応し、軌道bが不安定な運動に対応する。このとき separatrix とは安定な運動と不安定な運動を分ける軌道、すなわち安定な運動の内ぎりぎりの最大限界にあるもので図3.7では軌道cに対応する。

separatrix c は不安定平衡点 \mathbf{x}'_e を通るからその方程式は式(3.36)において $\delta_0 = \pi - \delta_e$, $\omega_0 = 0$ を代入して

$$1/2 \omega^2 = (P_i / M) (\delta - \pi + \delta_e) + (K / M) (\cos \delta + \cos \delta_e) \quad (3.37)$$

となる。一方、平衡点 \mathbf{x}'_e におけるリアプノフ関数 $V(\delta, \omega)$ を計算すると

$$V(\pi - \delta_e, 0) = (P_i / M) (\pi - 2\delta_e) + (K / M) (-2 \cos \delta_e) \quad (3.38)$$

したがって式(3.38)の V の値を V_e とし、 Ω_e として

$$\Omega_e = \{(\delta, \omega) | V \leq V_e\} \quad (3.39)$$

とすれば、 Ω_e において

$$V \geq 0 \text{ かつ } \dot{V} = 0$$

ゆえに定理2を用いれば Ω_e はシステム式(3.33)の安定領域である(漸近安定ではないが定理2はやはりこの場合にも用いることがで

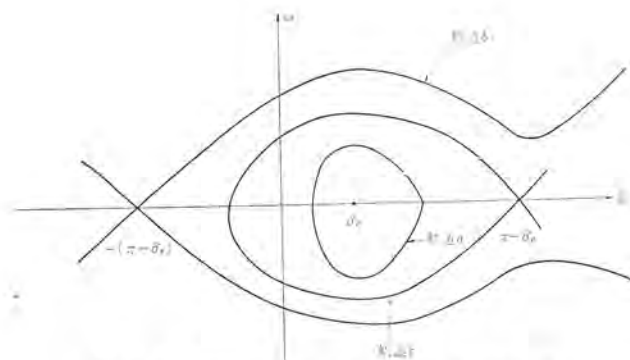


図 3.7 同期機の運動の位相空間における軌道

きる)。もし発電機に制動作用が働いているものとすれば、方程式 (3.33) は

$$d\omega/dt = -k\omega + (P_s - K \sin \delta)/M \quad k > 0 \quad (3.40)$$

となり、リアプノフ関数はやはり式 (3.35) で与えられ、このときの \dot{V} を計算すると

$$\dot{V} = -k\omega^2 < 0 \quad (3.41)$$

となり、 Ω_s は漸近安定領域となる。

4. 制御可能性と観測可能性

4.1 ダイナミカルシステムの制御可能性と観測可能性

直観的に言えば制御可能性とは、入力変数を操作することによってシステムの状態を任意の指定された状態にもってゆけるかどうかということであり、観測可能性とは、これと双対に出力変数を観測することによってシステムの状態の変化をすみずみまで知ることができるかということである。入力—出力のみの関係を調べている限りはこのような問題提起はできないのが当然であって、その意味でも状態空間における入力—出力—状態方程式によるシステム解析へのアプローチは有力であるといえる。

簡単な例題により可制御性と可観測性の概念の説明を行なう。図 4.1 に示す定抵抗回路を考える。定抵抗という仮定により

$$L/C = R^2$$

なる関係式が成立する。状態変数としてインダクター L を流れる電流 x_1 とキャパシター C の電位差 x_2 をとり回路方程式をたてると、

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= -(R/L)x_1 + (1/L)u(t) \\ \frac{dx_2}{dt} &= -(1/CR)x_2 + (1/CR)u(t) \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

出力 y として定抵抗回路へ流れ込む電流をとれば、

$$y(t) = x_1(t) - (1/R)x_2(t) + (1/R)u(t) \quad (4.2)$$

となる。簡単のため $R=1$ として

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= (x_1 + x_2)/2 \\ \xi_2 &= (x_1 - x_2)/2 \end{aligned} \right\} \quad (4.3)$$

なる変数変換を施すと

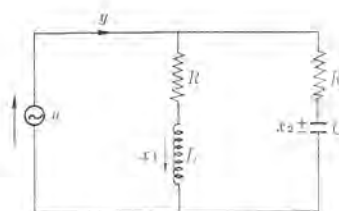


図 4.1 定抵抗回路

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\xi_1}{dt} &= -(1/L)\xi_1 + (1/L)u(t) \\ \frac{d\xi_2}{dt} &= -(1/L)\xi_2 \end{aligned} \right\} \quad (4.4)$$

$$y(t) = 2\xi_2(t) + u(t) \quad (4.5)$$

ダイナミカルシステム式 (4.4) における状態 ξ_2 は入力電圧 $u(t)$ の影響を受けず、また出力 $y(t)$ を観測しても状態 ξ_1 の変化は調べようがない。すなわちこのシステムは状態 ξ_2 が可制御でなく、状態 ξ_1 が可観測でない。これはシステムの方程式 (4.1) あるいは入力 u と出力 y の関係式 (伝達関数) である

$$y(s) = [LCS^2 + 2CS + 1]/(LS + 1)(CS + 1)u(s) \quad (4.6)$$

をながめただけではわからない。

一般に線形ダイナミカルシステムを

$$\frac{dx}{dt} = A(t)x + B(t)u \quad (4.7)$$

$$y(t) = H(t)x(t) \quad (4.8)$$

と表わしたとき、状態変数ベクトル x をお互いにまざり合わない四つの部分

$$x = [x_1, x_2, x_3, x_4]$$

に分けて、適当に座標系を変換すると式 (4.7) および式 (4.8) は

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} A_{11}(t) & A_{12}(t) & A_{13}(t) & A_{14}(t) \\ 0 & A_{22}(t) & 0 & A_{24}(t) \\ 0 & 0 & A_{33}(t) & A_{34}(t) \\ 0 & 0 & 0 & A_{44}(t) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1(t) \\ B_2(t) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} u \quad (4.9)$$

$$y(t) = [0 \ H_2(t) \ 0 \ H_4(t)] \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

なる形に変換される。このとき

- (a) サブシステム 1 は可制御であるが可観測ではない
- (b) サブシステム 2 は可制御でありかつ可観測である
- (c) サブシステム 3 は可制御でもなく、可観測でもない
- (d) サブシステム 4 は可制御ではないが、可観測である

の四つのサブシステムに分割できる。これを図示すれば図 4.2 のようになる。サブシステム 2 はそのすべての状態変数を入力 $u(t)$ によって制御でき、かつ制御した効果をすべて出力 $y(t)$ によって観測することができる。したがってサブシステム 2 については状態変数を用い

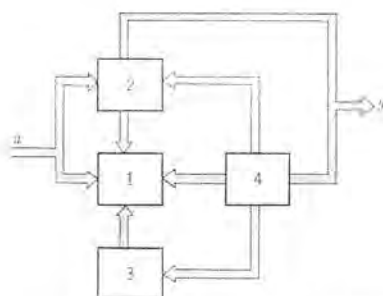


図 4.2 ダイナミカルシステムの標準構造

くとも入力—出力のみの関係式で表現してもシステムに関する情報は失われない。これは次の定理によって一般的に保証される。

定理 5 (実現性の定理)

$S(t, \tau)$ をダイナミカルシステム式 (4.7), (4.8) のインパルス応答行列とする。すなわち $S(t, \tau) = (S_{ij}(t, \tau))$ とするとき、入力 u_i として時刻 $t = \tau$ にインパルスを加えたときの出力 $y_j(t)$ が $S_{ij}(t, \tau)$ である。もしダイナミカルシステムが可制御かつ可観測なら $S(t, \tau)$ はシステム式 (4.7) の既約な表現となる。ここに既約な表現とは $S(t, \tau)$ を与えれば、状態変数の最小次数をもって $A(t), B(t), H(t)$ を決めることができるという意味である。

4.2 可制御および可観測のための一般的条件

可制御および可観測の意味は前節で明らかになったがではどのような条件の下で可制御性あるいは可観測性が言えるのかを調べる。一般的な条件の下で可制御性、可観測性が言えるのは線形定常ダイナミカルシステムの場合のみで、非定常になると計算が極端に困難になり実際問題として不可能に近くなる。また非線形ダイナミカルシステムの場合には、2変数システムについて位相面を用いた Lee & Markus の論文がある程度で、一般的にはほとんど未解決である。以下に定常線形ダイナミカルシステムの可制御および可観測のための一般的条件を導く。

簡単にするため—入力—出力の2次元定常線形ダイナミカルシステムを考える。

$$\frac{dx}{dt} = Ax + bu \quad (4.11)$$

$$y(t) = C^T \cdot x(t) \quad (4.12)$$

定常システムであるから、時間の原点はどこにとってもよいので $t_0 = 0$ としておく。システム式 (4.11) が可制御であるということは、システムの状態 $x(t)$ を入力 $u(t)$ により原点から指定された任意の状態点へ移動させることができるということである。したがって最初原点 O にあった状態点を Δt 時間だけ入力 u_1 を加えて状態を移したとき、状態点は

$$\Delta x_1 = A \cdot O \Delta t + bu_1 \Delta t \quad (4.13)$$

に移動する。さらに引き続いて Δt 時間だけ入力 u_2 を加えたとき、状態点は

$$\Delta x_2 = A \cdot \Delta x_1 \Delta t + bu_2 \Delta t \quad (4.14)$$

に移動する。したがってこれらの和 $\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2$ が原点から移動した状態点である。 Δx を計算すると

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta x_1 + \Delta x_2 \\ &= (b + A \cdot b \Delta t) u_1 \Delta t + bu_2 \Delta t \\ &= [b + A \cdot b \Delta t, b] \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix} \Delta t \quad (4.15) \end{aligned}$$

システムが可制御であるということから、任意の Δx を与えたときそれに対する入力系列 (u_1, u_2) が存在しなければならない。すなわち式 (4.15) は任意の Δx について常に (u_1, u_2) に関して解なければならない。式 (4.15) が常に解をもつための必要十分条件は、行列 $[b + A \cdot b \Delta t, b]$ の逆行列が存在すること、いいかえれば

$$\det [b + A \cdot b \Delta t, b] \neq 0 \quad (4.16)$$

行列式の性質より式 (4.16) は次式と等価である。

$$\det [b, A \cdot b] \neq 0 \quad (4.17)$$

上記の推論は原点の近傍のみについてであるが、状態空間 X が線形ベクトル空間であることにより、式 (4.17) は全空間に対しても成立する。一般に n 次元の場合は式 (4.17) の拡張として

定理 6 (可制御性の条件)

定常線形ダイナミカルシステム

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu \quad (4.18)$$

$$y(t) = Hx(t) \quad (4.19)$$

が可制御であるための必要十分条件は

$$\text{rank} [B, AB, \dots, A^{n-1}B] = n \quad (4.20)$$

ただし n は状態ベクトル $x(t)$ の次元である。

次に可観測性の問題は制御可能性の問題の双対として条件式 (4.20) と似た形にかけられる。ダイナミカルシステム式 (4.11), (4.12) において次の双対変換を行なう：

$$\begin{aligned} (a) \quad & t \rightarrow -t' \\ (b) \quad & A \rightarrow A^T \\ (c) \quad & b \rightarrow C^T \\ (d) \quad & C \rightarrow b^T \end{aligned} \quad T \text{ は転置を示す} \quad (4.21)$$

変換式 (4.21) によって元のシステムは

$$\frac{dx}{dt'} = -A^T x - C^T y \quad (4.22)$$

$$u(t) = b^T x(t) \quad (4.23)$$

となる。元のシステム式 (4.11), (4.12) において入力 $u(t)$ を加えたときシステムの状態がどのように変化したかを出力 $y(t)$ によって完全に知ることができるかどうかという問題は、時間の流れを逆向きにして考えた場合、 $y(t)$ をシステムに加えたときシステムの状態を望みうる任意の状態にもってゆけるかどうかという問題と等価である。すなわちシステム式 (4.22), (4.23) の可制御性の条件がシステム式 (4.11), (4.12) の可観測性の条件と等価になる。したがって式 (4.17) と同様に可観測性の条件は

$$\det [-C^T \ A^T C^T] \neq 0 \quad (4.24)$$

である。一般に n 次元の場合は

定理 7 (可観測性の条件)

定常線形ダイナミカルシステム式 (4.18), (4.19) が可観測であるための必要十分条件は

$$\text{rank}[H^T, A^T H^T, \dots, (A^T)^{n-1} H^T] = n \quad (4.25)$$

5. む す び

本講座ではシステムの状態を規定するパラメータを状態変数としてとらえ、入力-出力-状態方程式を用いてシステムの動特性を表現し、システムアナリシスあるいはシンセシスを行なおうとするダイナミカルシステムの理論について解説した。数学的に厳密な議論はなるべく避けて、定理などの具体的・直観的説明に重点を置いて説明したつもりである。定理の数学的に厳密な証明も大事であるがそれにもまして定理の内容の直観的イメージが実際的な問題を解く上での洞察力を与えてくれることが多いことを考慮した結果である。

参 考 文 献

ダイナミカルシステム理論全般として

- (1) A. V. Balakrishnan : Foundations of the state-space Theory of continuous system, I, Jour. of Computer and System Science, 1, No. 1 (April 1967)
- (2) A. V. Balakrishnan : Linear Systems with Infinite Dimensional State Space, Symposium on System Theory, Politechnic Institute of Brooklyn, April 20~22 (1965)
- (3) R. E. Kalman : Mathematical Description of Linear Dynamical System, SIAM Control Ser. A, 1, No. 2 (1963)
- (4) R. E. Kalman : Algebraic Structure of Linear Dynamical Systems, The Module of Σ , Proc. Nat. Acad. Sci., (USA) 53 (1965)
- (5) R. E. Kalman, P. L. Falb, M. A. Arbib : Topics in Mathematical System Theory, McGraw-Hill (1969)
- (6) 高橋安人 : システムと制御, 岩波書店 (昭43)
- (7) L. A. Zadeh, C. A. Desoer : Linear System Theory, McGraw-Hill (1963)

安定理論関係の文献は非常に多いので代表的なものだけを紹介する。

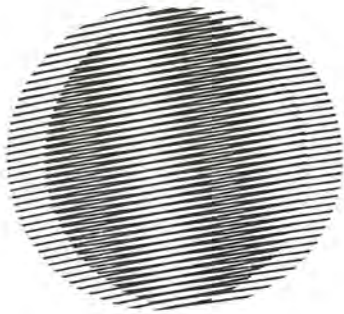
- (8) J. P. La Salle, S. Lefschetz : Stability by Liapunov's Direct Method, Academic Press (1961)
- (9) R. E. Kalman, J. E. Bertram : Control System Design Via the Second Method of Liapunov, Part I, Continuous-Time System, Part II, Discrete Time Systems, ASME, Jour. of Basic Eng., 82, (1960)
- (10) N. Minorsky : Nonlinear Oscillations, D. Van Nostrand (1962)
- (11) R. Bellman, R. Kalaba : Mathematical Trends in Control Theory, Dover (1964)
- (12) T. Yoshizawa : Stability Theory by Liapunov's Second Method, The Mathematical Society of Japan (1966)
- (13) I. W. Sandberg : A Stability Criterion for Linear Networks Containing Time-Varying Capacitors, IEEE Trans. on Circuit Theory, CT-12, No. 1 (1965)
- (14) A. H. El-Abiad, K. Nagappan : Transient Stability Regions of Multimachine Power Systems, IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, PAS-85, No. 2 (1966)
- (15) G. P. Szegő : A Contribution to Liapunov's second Method, Nonlinear autonomous systems, ASME, Jour. of Basic Eng. (Dec. 1962)

制御可能性・観測可能性に関する文献として

- (16) E. G. Gillbert : Controllability and Observability in Multivariable Control Systems, SIAM, Control, Ser. A, 1, No. 2 (1963)
- (17) K. Kreindler, P. E. Sarachik : On the Concepts of Controllability and Observability of Linear Systems, IEEE Trans. on AC (April 1964)
- (18) R. E. Kalman, Y. C. HO, K. S. Narendra : Controllability of Linear Dynamical System, Contributions to Differential Equations, 1, No. 2
- (19) A. V. Balakrishnan : On the Controllability of a Nonlinear Systems. Proc. Nat. Acad. Sci., 55, No. 3 (March 1966)

最近登録された当社の実用新案

| 名 称 | 登 録 日 | 登 録 番 号 | 考 案 者 | 関 係 場 所 |
|---------------------|----------|---------|------------|---------|
| テーブルコードの自動制御装置 | 43- 8-19 | 852494 | 中村元男 | 郡山製作所 |
| 蓄熱暖房器 | 43- 8-19 | 852495 | 赤羽根正夫・桜井信捷 | 群馬製作所 |
| 操作杆の位置表示装置 | 43- 8-19 | 852496 | 植田喜一郎 | 鎌倉製作所 |
| 熱陰極放電管 | 43- 8-19 | 852497 | 竹田俊幸 | 大船製作所 |
| 植物育成用水銀灯 | 43- 8-19 | 842498 | 土井貞春・山崎 均 | 大船製作所 |
| 毛掃除具付電気かみそり | 43- 8-19 | 852499 | 小川 昇・福田興司 | 群馬製作所 |
| 調整つまみ | 43- 8-27 | 852823 | 岩村清志郎 | 京都製作所 |
| 電磁駆動装置 | 43- 8-27 | 852824 | 岸田公治・入子輝夫 | 伊丹製作所 |
| 投写形 カラーテレビ 受像機 | 43- 8-27 | 852825 | 鷹野 泰・小林弘男 | 中央研究所 |
| 過電流継電装置 | 43- 8-27 | 852826 | 三上一郎 | 神戸製作所 |
| トンネルカソード | 43- 8-27 | 852827 | 杉本 賢 | 商品研究所 |
| 卓上用小形角のみ機 | 43- 8-28 | 853064 | 入江 厚・神信昭仁 | 福岡製作所 |
| テスカレータ 照明装置 | 43- 8-28 | 853082 | 楨本己敏 | 稲沢製作所 |
| 機関始動用電動機のピニオン移行装置 | 43- 8-28 | 853083 | 釘本範雄 | 姫路製作所 |
| 機関始動用電動機のピニオン移行装置 | 43- 8-28 | 853084 | 高見 昭 | 姫路製作所 |
| 電気鉋の削屑排出装置 | 43- 8-28 | 853085 | 入江 厚 | 福岡製作所 |
| 真空弁 | 43- 8-28 | 853086 | 有村洋海・松本信男 | 中央研究所 |
| 記録装置 | 43- 8-28 | 853087 | 小野達男・寄森正樹 | 福山製作所 |
| 回転電機の冷却装置 | 43- 9- 4 | 853483 | 宮野正和・東覚里志 | 長崎製作所 |
| 換気装置 | 43- 9- 6 | 853501 | 牛越 諒・竹中正恭 | 中津川製作所 |
| 小形電動機の支持板及び給油管の固定装置 | 43- 9- 6 | 853502 | 牛越 諒・斎藤辰夫 | 中津川製作所 |
| 液体冷却装置 | 43- 9- 6 | 853503 | 志波東一 | 本 冷 機 |
| 冷房機の冷風機 | 43- 9- 6 | 853504 | 木の内達夫 | 静岡製作所 |
| 振動式電気かみそり | 43- 9- 6 | 853505 | 福田興司・熊田泰治 | 群馬製作所 |
| 電気かみそり | 43- 9- 6 | 853506 | 日比野好伸・福田興司 | 群馬製作所 |
| 鏡付電気かみそり | 43- 9- 6 | 853507 | 小川 昇・福田興司 | 群馬製作所 |
| 自動車用電気部品取付装置 | 43- 9- 9 | 853736 | 三木隆雄 | 姫路製作所 |
| 質量分析用 イオン 発生装置 | 43- 9- 9 | 853736 | 甲斐潤二郎・尾形喜弘 | 中央研究所 |
| 電磁石形湿式除鉄装置 | 43- 9-10 | 853893 | 諏訪 寧・柳下儀兵衛 | 大船製作所 |
| コード止めバンド | 43- 9-10 | 853894 | 長沢重雄 | 郡山製作所 |
| 水銀放電灯 | 43- 9-10 | 853895 | 土橋理博・若林正雄 | 大船製作所 |
| トランジスタ増幅回路装置 | 43- 9-10 | 853896 | 佐藤 毅・岡田康則 | 鎌倉製作所 |
| コード巻付具 | 43- 9-10 | 853897 | 日比野好伸・川合輝一 | 群馬製作所 |
| 電極コイル巻線機 | 43- 9-10 | 853898 | 市川忠夫・丸本晃司 | 大船製作所 |
| 水銀放電灯 | 43- 9-10 | 853899 | 土橋理博・若林正雄 | 大船製作所 |
| テレビジョン受像機の偏向歪補正装置 | 43- 9-17 | 854144 | 植谷勝人・岩村清志郎 | 京都製作所 |
| 開閉装置 | 43- 9-17 | 854145 | 中沢俊郎 | 名古屋製作所 |
| 電磁操作装置 | 43- 9-17 | 854146 | 茂手木良夫・渋谷弘一 | 名古屋製作所 |
| 照光式表示装置 | 43- 9-17 | 854147 | 鷺津 勝 | 稲沢製作所 |
| エレベータ乗場の到着予報灯 | 43- 9-17 | 854148 | 伊藤隆夫・工藤 剛 | 稲沢製作所 |
| パルス量低減装置 | 43- 9-17 | 854149 | 佐藤安俊 | 福山製作所 |
| 乗物の進行方向指示装置 | 43- 9-17 | 854150 | 牧野克己 | 稲沢製作所 |
| 搬送保護継電装置 | 43- 9-17 | 854151 | 北浦孝一 | 神戸製作所 |
| トロリバスタクトの導体支持装置 | 43- 9-17 | 854152 | 堀田滋矩 | 名古屋製作所 |
| 導電性伸縮リング | 43- 9-17 | 854153 | 忍足 博・茂木 充 | 北伊丹製作所 |
| 直流変成器 | 43- 9-17 | 854154 | 河本晴夫 | 神戸製作所 |
| ガス電量計 | 43- 9-17 | 854155 | 奏 卓也・松岡宏昌 | 中央研究所 |
| 押ボタン装置 | 43- 9-17 | 854156 | 柳川 滋 | 京都製作所 |
| ガス電量計 | 43- 9-17 | 854157 | 奏 卓也・松岡宏昌 | 中央研究所 |
| 緊索装置 | 43- 9-24 | 854536 | 宇川 彰 | 相模製作所 |
| 電機掃除機用フィルタの塵落し装置 | 43- 9-24 | 854537 | 武井久夫・加藤 悟 | 群馬製作所 |



新製品紹介

125 mm ハンディグラインダ

外径 125 mm のといしを開発し、卓上用としても、持ち運びも容易な、あらゆる研削に使用できる ハンディグラインダ を製作した。

■ 用途

いままで使用されている手回しグラインダに代わり、小物研削用として、家内工業・町工場・自動車修理工場・鉄工所・自転車販売店・製缶工業・大工工具・農機具刃物の研削などに使用できる万能形である。

■ 仕様

| 形名 | 出力 (W) | 容 量 (mm) | 電 源 | | | 全負荷電 流 (A) | 無 負 荷 回転速度 (rpm) | 重 量 (kg) | 付 属 品 |
|------------|-----------|----------------------|------------|------------|-----------|---------------|------------------------|-------------|---------|
| | | | 種 類 | 電 圧 (V) | 周波数 Hz | | | | |
| SG-125 A-1 | 100 | といし寸法 125×13×12.7 | 単 相 交 流 | 100 | 50/60 | 1.9/1.6 | 3,000/3,600 | 6.3 | スパナ 1 個 |



125 mm ハンディグラインダ (SG-125 A-1)

■ 特 長

(1) 持ち運びが容易

重量がわずか 6.3 kg で、いままでの卓上グラインダに比べ非常に軽く、しかもハンドルを設けているので持ち運びが容易にできる。

(2) 卓上グラインダとして使用できる

作業台・机の上に置くだけで、ボルトで固定する必要もなく、手軽に卓上グラインダとして使用できる。

(3) 安全な保護カバー付

鋼板製のじょうぶな保護カバーを設けているので、安全な作業ができる。

[福岡製作所]

RR-603 形 三菱電子レンジ発売

当社では、家庭用電子レンジの需要の急上昇に伴い、すでに発売中である RR-550 形三菱電子レンジのデザイン面を一新し、高周波出力を高める一方、部品の原価低減化を計ることにより、業界の最低価格である 98,500 円の新機種 RR-603 形三菱電子レンジを発売した。

形名： RR-603 形 三菱電子レンジ

価格： 現金正価 ￥98,500

月賦正価 ￥107,000 (12 回)

■ 特 長

(1) 高周波出力を部品の改良により 580 W と効率を良くした。

(2) デザインをシルバー系統に統一して豪華にした。

以下の特長は従来の RR-550 形に引き続き採用したものである。

(3) 定出力回路を採用して、電源電圧が変動しても出力は一定になるようにしてある

ので使いやすい。

(4) 永久磁石付きマグネトロンを採用し、オープンへ直結して導波管をやめ、外形を小形化し重量も 38 kg と軽い。

(5) 使用者が手を触れるハンドル、タイマーのつまみ、押しボタン類、化粧板をプラスチックにして電気絶縁を良くし安全性が高い。

(6) 操作を押しボタンと逆回しできるタイマーにして使いやすくし、料理の出来上がり報知はチャイムとなっている。

(7) マグネトロンの冷却フィン、ブローを改良し運転時の騒音が小さい。

(8) ドアスイッチ2個、タイマー、料理スイッチで4重安全装置になっている。

■仕様

電源：電圧 AC 100 V, 50/60 Hz, 入力 1.1 kW (12 A)

マイクロ波：出力 580 W, 周波数 2,450 MHz, 発振管 2 M 67-SR

タイマー：モータ式(チャイム付) 10分(60 Hz)

12分(50 Hz)

寸法：外形 幅 41×奥行 45×高さ 50 cm

オープン 幅 33×奥行 25.3×高さ 20 cm

重量：38 kg



RR-603 形 三菱電子レンジ

〔静岡製作所〕

訂正のおわび

43 巻 10 号に掲載の特集論文「水ポンプ用電動機と制御装置」における 1296 ページの図 2. 12 は、グラフが下記のものと同違っていました。

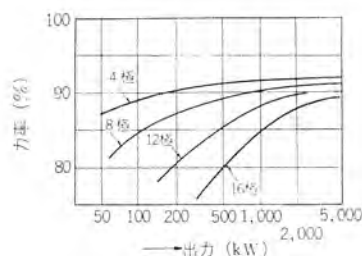
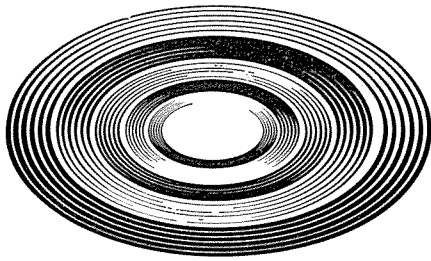


図 2. 12 出力と力率
Relation of output with power factor.

また、同じ論文の中で 1298 ページの図 3. 2 {直結レクチフロードライブ(クレーマ)} と、1299 ページの図 3. 3 {変形レクチフロードライブ(M-G セルビウス)} は図面が入れかわっていますので、つつしんで訂正いたします。



NEWS FLASH

永久磁石励磁式ローラテーブル駆動用直流電動機の完成

川崎製鉄（水島）向け 90" 連続熱間仕上圧延ラインのホットランテーブル用として、永久磁石励磁の直流電動機約 470 台を製作した。

仕様は下記のとおりである。

5.5/11 kW 220/415 V 825/1,650 rpm, 永久磁石励磁, F 種 90 deg°C, 連続定格, 全閉防水形。

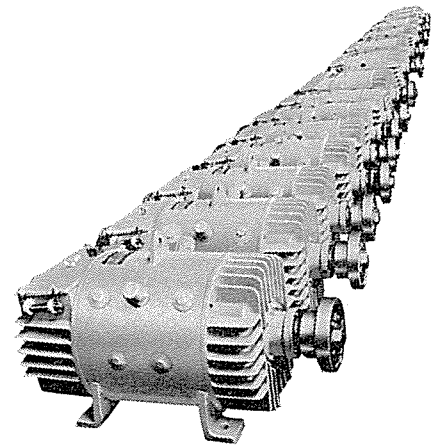
本機はきびしい過負荷耐量を要求される特殊電動機で、悪環境下に設置されるが、豊富な経験に基づき電氣的・機械的に十分考慮を払ってある。

界磁に永久磁石を用いた新方式電動機は

- (1) 励磁電源が不要
 - (2) 界磁用の配線 ケーブル が不要
 - (3) 各ロール間のスピードマッチングをより正確に行なうことができる。(このため当社独特の界磁調整を装着し速度調整を容易ならしめた。)
- などの長所を有する。

その他、各磁石に着脱用小コイルの取付け、ドレン抜き、軸貫通部のシール、点検カバー、ターミナルコネクタの使用など各部に種々のくふうをこらしてある。

[神戸製作所]



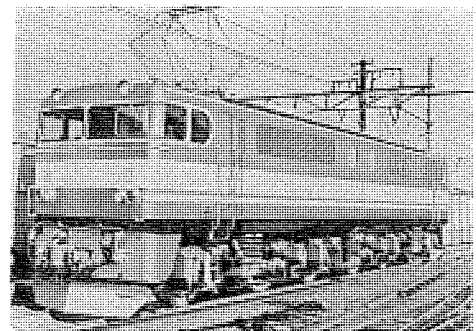
【図】ホットランテーブル用 5.5/11 kW 直流電動機群

西武鉄道向け直流電気機関車完成

西武鉄道より秩父線用として直流電気機関車 4 両を受注し、鋭意製作中であつたが、このほど完成した。秩父線は秩父地方の産業・観光開発を目的として新たに建設されたもので、当面の主要目標は沿線にある天然資源の山、武甲山の石灰を採掘して京浜・京葉工業地帯に直送供給するとともに、付近に建設されるセメント工場の製品を、関東・東北・信越方面に輸送することであり、あわせて木材の輸送を行なうものである。電気機関車は 96 t という大形で、性能面を重視した設計が採用され、カムスイッチ式自動進段でパーニア制御つきとなっている。そして、こう配区間でも重連運転によって十分な荷重をけん引できるように総括制御方式となっている。

この機関車の主要要目はつぎのとおりである。

| | |
|----------------|------------------------|
| 電気方式： | 直流 1,500 V |
| 運転整備重量： | 96 t |
| 軸配置： | B-B-B |
| 車 体 | |
| 形 式： | 箱形両運転台式 |
| 主要寸法 | |
| 連結面間寸法： | 16,500 mm |
| 車体長さ | 15,700 mm |
| 心皿間距離： | (4,760 × 2) = 9,520 mm |
| パンタグラフ折りたたみ高さ： | 4,110 mm |
| 車体高さ： | 3,510 mm |
| 車体幅： | 2,800 mm |



西武鉄道向け直流電気機関車

機関車性能

| | |
|------------|---|
| 1 時間定格出力： | 2,550 kW |
| 1 時間定格引張力： | 23,220 kg |
| 1 時間定格速度： | 38.8 km/h |
| 最高許容速度： | 115 km/h |
| 軌 間： | 1,067 mm |
| 車輪直径： | 1,120 mm |
| 歯車比： | 71/16(4.44) |
| 主電動機： | MB-428-AVR 425 kW×6 台，直流直巻補極つき，強制通風，つりかけ式 |
| 制御方式： | 抵抗制御，直並列組合せ制御，界磁制御，バーニア制御，無接点限流制御装置による自動ノッチ進め，短絡渡り，重連総括制御 |

〔伊丹製作所〕

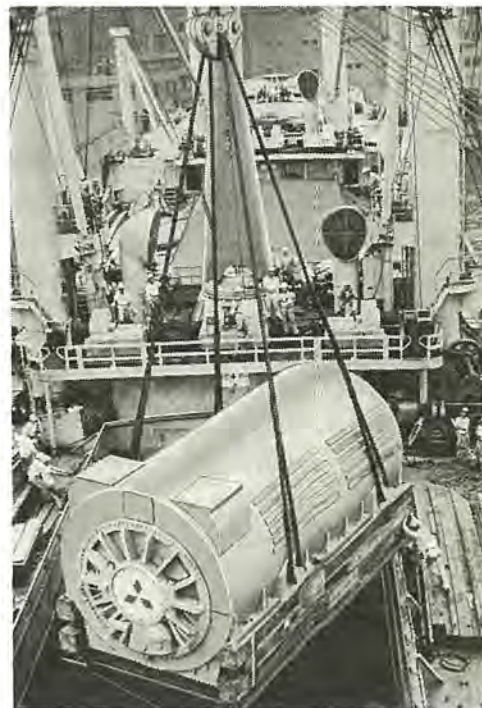
タイ国 EGAT 向け 250 MVA ブラシレスタービン発電機完成

タイ国 EGAT 向け 200 MW 火力プラントは，三菱商事を窓口として三菱重工業株式会社と当社が共同で受注し，鋭意製作を進めてきたが，このほど神戸製作所でその主要機器である 250 MVA ブラシレスタービン発電機の 1 号機を完成し，神戸港より船積出荷した。本機は当社の海外向けタービン発電機としては，韓国電力向け 300 MVA 機につぐもので，もっとも実績の多い内部冷却方式を採用している。励磁方式は最近国内でも急増しつつあるブラシレス方式であり，本方式に対する当社技術が国際的にも認められたものである。

発電機のおもな仕様は次のとおりである。

| | |
|-------------------|----------------------|
| タービン出力： | 200,000 kW |
| 形 式： | 横置円筒回転界磁形 |
| 皮相出力： | 250,000 kVA |
| 実効出力： | 225,000 kW |
| 端子電圧： | 17,000 V |
| 電機子電流： | 8,490 A |
| 力 率： | 90 %遅れ |
| 水素ガス圧： | 3 kg/cm ² |
| 周波数： | 50 Hz |
| 回転数： | 3,000 rpm |
| 短絡比（定格 kVA において）： | 0.58 |
| 冷却方式： | 水素内部冷却 |
| 励磁方式： | ブラシレス 励磁方式 |
| 励磁機容量： | 1,100 kW |
| 励磁機電圧： | 375 V |

本機は新設の South Bangkok 火力発電所の第 1 号機として据付けられ，1971 年よりタイ国最大の発電機として運転を始める予定である。なお，同一定格の 2 号発電機も，現在鋭意製作中である。



船積中の発電機固定子

ブラシス励磁方式については、国際的にもその信頼性が認められ、海外向けとして本機のほかにも Dominica Falconbridge 向け 3×66 MW 機など数台製作中で、今後、ますます増加するものと思われる。

[神戸製作所]

鹿島北共同発電(株)向けラジアルベントロータ冷却式 125,000 kW タービン発電機完成

従来当社の水素冷却タービン発電機には、75,000 kW 級以下の普通水素冷却方式と、156,000 kW 級以上の水素内部冷却方式の2種類の方式を採用してきたが、今回 100,000 kW 級のタービン発電機を対象として、新たにラジアルベントロータ冷却方式を開発し、その第1号機である鹿島北共同発電(株)向け2号機 125,000 kW 発電機の工場試験を、無事好成績裏に終了した。

当社のラジアルベント冷却式ロータの原理は、スロット下部に設けた通風用のチャネルからコイル内のラジアル方向通風穴に冷却ガスを供給するもので、冷却ガスがコイルを直接に冷却するので、対地絶縁の外側から間接的に冷却する普通水素冷却方式より冷却効果がすぐれている。

ラジアルベントロータ冷却方式は、古くより主としてヨーロッパ系メーカーのにより採用されていたが、それらはすべてスロット底のサブスロットから対地絶縁を通してコイルに冷却ガスを供給するため、対地絶縁に開口部を設ける必要があり、それが構造上の弱点となっていた。これに対し当社の方式では、対地絶縁の内部に通風用チャネルを配置するため、対地絶縁には開口部が全く無く、絶縁物の信頼性が高い(特許申請中)。

経済の発展に伴い、自家用発電あるいは共同発電の発電機単機容量も増大する傾向にあり、単機 100,000 kW 程度の計画が増加するものと予想されているが、当社ではラジアルベントロータ冷却方式をこの容量範囲に適用する予定である。なお現在、本方式の第2号機として、某社向け 125,000 kW 発電機を製作中である。

鹿島北共同発電(株)向け2号機の定格は以下のとおりである。

| | |
|-------|------------------------------|
| 形 式： | 回転界磁全閉自己通風三相同期交流発電機 |
| 容 量： | 147,059 kVA |
| 電 圧： | 12,500 V |
| 周波数： | 50 Hz |
| 回転数： | 3,000 rpm |
| 力 率： | 85 % |
| 短絡比： | 0.58 |
| 冷却方式： | 固定子普通水素冷却 回転子ラジアルベント式水素冷却 |
| 励磁方式： | ブラシス励磁機 |

[神戸製作所]



図 1 工場試験中の鹿島北共同発電(株)向け
125,000 kW タービン 発電機



図 2 通風用 チャネル

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

| 本 社 | 東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル) | (電) 100 | (電) 東京 (03) 218局 2111番 |
|----------|------------------------------|------------|--------------------------|
| 大阪営業所 | 大阪市北区梅田町8番地(西阪神ビル) | (電) 530 | (電) 大阪 (06) 312局1231番 |
| 名古屋営業所 | 名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) | (電) 450 | (電) 名古屋 (052) 561局5311番 |
| 静岡出張所 | 静岡市伝馬町16の3番地(明治生命静岡支社) | (電) 420 | (電) 静岡 (0542) 54局4681番 |
| 福岡営業所 | 福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル) | (電) 810 | (電) 福岡 (092) 75局6231番 |
| 長崎出張所 | 長崎市丸尾町6番14号 | (電) 850-91 | (電) 長崎 (0958) 23局6101番 |
| 札幌営業所 | 札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル) | (電) 060-91 | (電) 札幌 (0122) 26局9111番 |
| 仙台営業所 | 仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル) | (電) 980 | (電) 仙台 (0222) 21局1211番 |
| 富山営業所 | 富山市桜木町1番29号 | (電) 930 | (電) 富山 (0764) 31局8211番 |
| 広島営業所 | 広島市中町7番32号(日本生命ビル) | (電) 730 | (電) 広島 (0822) 47局5111番 |
| 岡山出張所 | 岡山市駅前町1丁目9番地(明治生命館) | (電) 700 | (電) 岡山 (0862) 41局0331番 |
| 高松営業所 | 高松市鶴屋町2番1号 | (電) 760 | (電) 高松 (0878) 51局0001番 |
| 東京商品営業所 | 東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル) | (電) 100 | (電) 東京 (03) 218局2111番 |
| 城北家電営業所 | 東京都文京区大塚3丁目3番1号(新茗溪ビル) | (電) 112 | (電) 東京 (03) 944局6311番 |
| 城南家電営業所 | 東京都世田谷区池尻3丁目10番3号(三菱電機世田谷ビル) | (電) 154 | (電) 東京 (03) 411局8181番 |
| 城西家電営業所 | 国分寺市南町2丁目16番14号(秀美ビル) | (電) 185 | (電) 国分寺 (0423) 22局1881番 |
| 横浜家電営業所 | 横浜市中区富士見町3番地4 | (電) 232 | (電) 横浜 (045) 251局2226番 |
| 千葉家電営業所 | 千葉市新宿町2丁目49番地(三菱電機千葉ビル) | (電) 280 | (電) 千葉 (0472) 42局5486番 |
| 大阪商品営業所 | 大阪市北区堂島北町8番地の1 | (電) 530 | (電) 大阪 (06) 344局1231番 |
| 洲本出張所 | 洲本市上物部2丁目6番33号 | (電) 656 | (電) 洲本 (07992) 2局0631番 |
| 名古屋商品営業所 | 名古屋市中村区広井町3丁目88番地(大名古屋ビル) | (電) 450 | (電) 名古屋 (052) 561局5311番 |
| 静岡出張所 | 静岡市小島162番地 | (電) 420 | (電) 静岡 (0542) 85局6141番 |
| 福岡商品営業所 | 福岡市天神2丁目12番1号(天神ビル) | (電) 810 | (電) 福岡 (092) 75局6231番 |
| 札幌商品営業所 | 札幌市北2条西4丁目1番地(北海道ビル) | (電) 060-91 | (電) 札幌 (0122) 26局9111番 |
| 仙台商品営業所 | 仙台市大町4丁目175番地(新仙台ビル) | (電) 980 | (電) 仙台 (0222) 21局1211番 |
| 富山商品営業所 | 富山市桜木町1番29号 | (電) 930 | (電) 富山 (0764) 31局8211番 |
| 広島商品営業所 | 広島市中町7番32号(日本生命ビル) | (電) 730 | (電) 広島 (0822) 47局5111番 |
| 高松商品営業所 | 高松市鶴屋町2番1号 | (電) 760 | (電) 高松 (0878) 51局0001番 |
| 新潟営業所 | 新潟市東大通1丁目12番地(北陸ビル) | (電) 950 | (電) 新潟 (0252) 45局2151番 |
| 関東商品営業所 | 与野市上落合後原842番地 | (電) 338 | (電) 与野 (0488) 33局3181番 |
| 東京機器営業所 | 東京都千代田区丸の内2丁目12番地(三菱電機ビル) | (電) 100 | (電) 東京 (03) 218局2111番 |
| 大阪機器営業所 | 大阪市北区堂島北町8番地の1 | (電) 530 | (電) 大阪 (06) 344局1231番 |
| 中央研究所 | 尼崎市南清水字中野80番地 | (電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 商品研究所 | 鎌倉市大船2丁目14番40号 | (電) 247 | (電) 鎌倉 (0467) 46局6111番 |
| 神戸製作所 | 神戸市兵庫区和田崎町3丁目10番地の1 | (電) 652 | (電) 神戸 (078) 67局5041番 |
| 伊丹製作所 | 尼崎市南清水字中野80番地 | (電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 三田工場 | 三田市三輪町父々部85番地 | (電) 669-13 | (電) 三田 (07956) 局 4371番 |
| 長崎製作所 | 長崎市丸尾町6番14号 | (電) 852 | (電) 長崎 (0958) 23局6211番 |
| 稲沢製作所 | 稲沢市菱町1番地 | (電) 492 | (電) 稲沢 (0587) 32局8111番 |
| 和歌山製作所 | 和歌山市岡町91番地 | (電) 640-91 | (電) 和歌山 (0734) 23局7231番 |
| 鎌倉製作所 | 鎌倉市上町屋325番地 | (電) 247 | (電) 鎌倉 (0467) 46局1111番 |
| 通信機製作所 | 尼崎市南清水字中野80番地 | (電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 北伊丹製作所 | 伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 | (電) 664 | (電) 伊丹 (0727) 82局5131番 |
| 熊本工場 | 熊本市竜田町弓削720番地 | (電) 862 | (電) 熊本 (0963) 62局7211番 |
| 名古屋製作所 | 名古屋市中区矢田町18丁目1番地 | (電) 461 | (電) 名古屋 (052) 721局2111番 |
| 福岡製作所 | 福岡市今宿青木690番地 | (電) 819-01 | (電) 福岡今宿 (09295) 6局0431番 |
| 福山製作所 | 福山市緑町1番8号 | (電) 720 | (電) 福山 (0849) 21局3211番 |
| 姫路製作所 | 姫路市千代田町840番地 | (電) 670 | (電) 姫路 (0792) 23局1251番 |
| 相模製作所 | 相模原市宮下1丁目1番57号 | (電) 229 | (電) 相模原 (0427) 72局5131番 |
| 世田谷工場 | 東京都世田谷区池尻3丁目1番15号 | (電) 154 | (電) 東京 (03) 414局8111番 |
| 静岡製作所 | 静岡市小島110番地 | (電) 420 | (電) 静岡 (0542) 85局1111番 |
| 中津川製作所 | 中津川市駒場町1番3号 | (電) 508 | (電) 中津川 (05736) 5局7151番 |
| 大船製作所 | 鎌倉市大船5丁目1番1号 | (電) 247 | (電) 鎌倉 (0467) 46局6111番 |
| 郡山製作所 | 郡山市栄町2番25号 | (電) 963 | (電) 郡山 (02492) 2局1220番 |
| 群馬製作所 | 群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 | (電) 370-04 | (電) 尾島 (02765) 2局1111番 |
| 藤岡工場 | 藤岡市本郷字別所1173番地 | (電) 375 | (電) 藤岡 (02742) 2局1185番 |
| 京都製作所 | 京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字図所1番地 | (電) 617 | (電) 京都西山 (075) 921局4111番 |
| 長野工場 | 長野市大字南長池字村前 | (電) 380 | |
| ラジオ工場 | 尼崎市南清水字中野80番地 | (電) 661 | (電) 大阪 (06) 491局8021番 |
| 札幌工場 | 札幌市北2条東12丁目98番地 | (電) 060 | (電) 札幌 (0122) 23局5544番 |

次 号 予 定

三菱電機技報 Vol. 43. No. 12

MHD 発 電 特 集

《特集論文》

- MHD 発電の現状
- MHD 発電用超電導磁界装置
- 70kG 超電導ケーブルの開発研究
- 70kG 大形高磁界超電導電磁石(I)
—その設計と製作—
- 70kG 大形高磁界超電導電磁石(II)
—運転・試験—
- 45kG 超電導電磁石冷却系(I)
—計画・設計および製作—
- 45kG 超電導電磁石冷却系(II)
—掘付および運転試験—
- セミホット壁 MHD 発電ダクトに関する研究

- Ti-Nb-Ta 合金の高磁界超電導特性

《普通論文》

- MELCOM-3100 ディスクオペレーティングシステム(2)
 - 電鍍電極による放電加工
 - MELDAS-120 形 A 制御弁自動試験装置
 - 当社における電力機器の耐震強度の研究状況
 - モールド 絶縁材料
 - 自動検針システム
- #### 《技術講座》
- システム理論—(V) 数理計画と制御—
- #### 《技術解説》
- パネルディスプレイの各種方式

三 菱 電 機 技 報 編 集 委 員 会

| | | | |
|------|-----------|------|------------|
| 委員長 | 仙 石 廉 | 常任委員 | 祖 父 江 晴 秋 |
| 副委員長 | 神 崎 邇 | " | 湊 武 雄 |
| 常任委員 | 明 石 精 | " | 山 田 栄 一 |
| " | 石 川 理 一 | 委 員 | 尾 畑 喜 行 |
| " | 上 田 重 夫 | " | 北 垣 成 一 |
| " | 宇 佐 見 重 夫 | " | 南 日 達 郎 |
| " | 大 野 寛 孝 | " | 林 昇 寿 |
| " | 北 川 和 人 | " | 松 元 雄 蔵 |
| " | 小 堀 富 次 雄 | " | 和 田 義 勝 |
| " | 鈴 木 正 材 | | (以上 50 音順) |

昭和 44 年 11 月 22 日印刷 昭和 44 年 11 月 25 日発行「禁無断転載」定価 1 部金 100 円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地

仙 石 廉

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地
(郵便番号 162)

大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 12 番地

高 橋 武 夫

発行所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 12 番地(郵便番号 100)

三菱電機株式会社内

「三菱電機技報社」

(電) (03) 218 局 2323 番

発売元

東京都千代田区神田錦町 3 の 1 (郵便番号 151)

株式会社 オーム社書店

(電) (03) 291 局 0912 番 振替東京 20018