

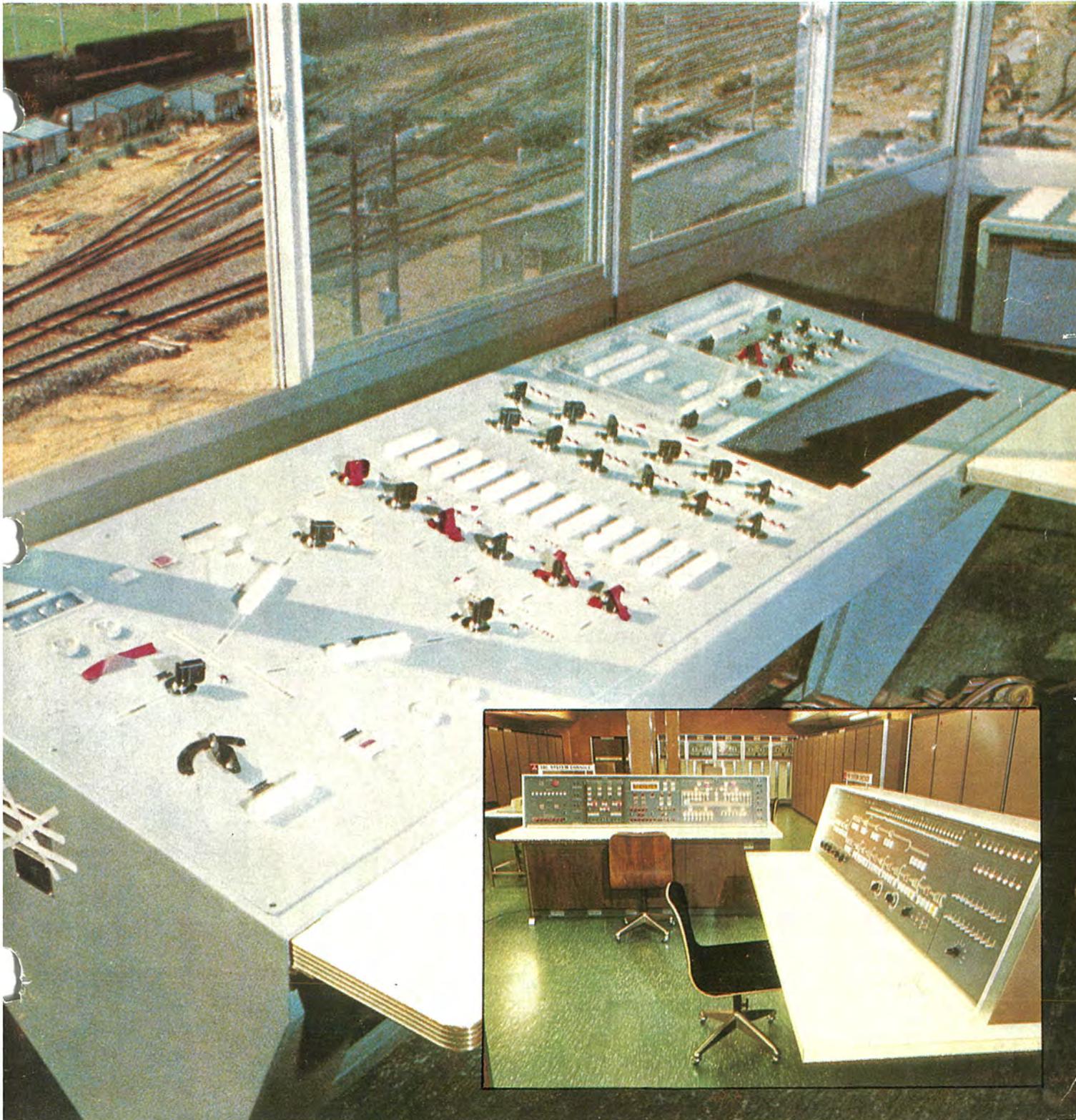
MITSUBISHI DENKI GIHO 三菱電機技報

Vol.41 September 1967

計算機制御特集

9

国鉄郡山操車場自動化システム





計算機制御特集

目次

《特集論文》

(株)神戸製鋼所における転炉製鋼工程の計算機制御システム
 ……沢野 清・岡本佳三・的場 徹・五十嵐 真・松本弘志…1093

(株)神戸製鋼所ペレット製造プラント向け MELDAP-8000 制御用計算機システム
 ……岡本佳三・荒牧 勲・湯川健二・塚原昌彦…1097

関西電力(株)堺港発電所3, 4号機向け MELCOM-330 制御用計算システム
 ……内田義久・布野定一・新宅三喜男・橋本健治・高島修男…1101

関西電力(株)大阪火力発電所2号機向け火力発電所起動停止シーケンスモニタシステム
 ……山崎 勇・内田義久・渡辺 聡・花村泰助・篠原光一…1109

火力発電所運転訓練用シュミレータ……柴谷浩二・桑田 博・石橋賢悟・持田雅夫・三田村真次…1117

MELCOM-1600 による相模川水系計算機制御システムの方式設計
 ……城所義幸・鳥海則冒・村上才一・曾我正和・井上幸美・岡 治樹…1124

国鉄郡山操車場自動化システム
 ……遊佐 滉・佐々木 敏・東 昭・稲田伸一・岩村 衛・曾我正和・遠藤 堯・坂和 磨…1131

パワーステートメント……千葉 正・松本孝郎・武藤達也・立花康夫…1143

電力系統の計算機制御……馬場準一・林 重雄・石田 芳・羽根田博正…1147

日間電力負荷予測方式……山田敬吾・外山守城…1160

制御用電子計算機 MELCOM-350 システム ……中尾勝丞・松本大四・的場 徹…1169

《普通論文》

7.2kV CL 形限流ヒューズ……岩崎行夫・太田 忍…1177

Gunn ダイオードのマイクロ波発振特性……奥 泰二・三井 茂…1185

空気調和用誘電体フィルタ……田畑則一・森 貢・酒井正侃・平山建一…1190

電子計算機の自動設計……小島一男・三上晃一・山下陽司・蒲原捷行・溝口徹夫…1197

《新製品紹介》

SH-205 C 形高圧気中電磁接触器を開発・パウダカップリング・全 IC 式自動誤字訂正時分割多重端局 (TZ-5 形 ARQ) の完成・シリコントランジスタ化 デジタル式 船用スキャンニングモニタ MELDAP-1100 完成・三菱 MVA 形バルブアクチュエータ

《ニュースフラッシュ》

タイ国より変圧器2台受注・メキシコ CFE 向け 4×14,000 kW “エコノバック形” タービン発電機完成・ラッチ付きアンブガー ド (3kV コンビネーションスタータ) 発売開始

《特許と新案》

選択呼出装置・建築物特性解析装置・日の出, 日没を利用した自動点滅装置

《表紙》

国鉄郡山操車場自動化システム

国鉄郡山操車場自動化システムは、4セットの MELCOM-1600 からなる計算機複合体を中心にレーダスピード・メータ 電磁トレッドル、フルネス検知器、軸重測定装置、軌道回路などの検出装置と、カーリターダ、ポイント転換装置などの制御装置から構成されており、貨物列車の分解・仕分け・編成などの実作業を自動化し、作業計画の最適化、作業報告の作成など各種情報の処理を行なうトータル オンライン リアルタイム システムである。





SPECIAL EDITION OF ELECTRONIC COMPUTER CONTROL SYSTEM

CONTENTS

SPECIALLY COLLECTED PAPERS

- Process Computer Control System L/D Steel Making in Kobe Steel Works Ltd.
K. Sawano • Y. Okamoto • T. Matoba • M. Igarashi • H. Matsumoto...1093
- Computer Control System for Pelletizing Plant of the Kobe Steel Works Ltd.
Y. Okamoto • I. Aramaki • K. Yukawa • M. Tsukahara...1097
- MELCOM-330 Process Computer System for Sakaiko Power Station,
 Unit No. 3 and No. 4 of the Kansai Electric Power Co.
Y. Uchida • T. Funo • M. Shintaku • K. Hashimoto • O. Takashima...1101
- Sequence Monitor System of Start-up and Shut-down for Osaka Power Station of the Kansai Electric Power Co.
I. Yamazaki • Y. Uchida • S. Watanabe • T. Hanamura • K. Shinohara...1109
- Thermal Power Plants Training Simulators.....K. Shibatani • H. Kuwata • K. Ishibashi • M. Mochida • S. Mitamura...1117
- Form Design of the Sagami-river On-Line Computer System
Y. Kidokoro • N. Toriumi • S. Murakami • M. Soga • Y. Inouye • H. Oka...1124
- The Japanese National Railway's Kōriyama Yard Automatic Computer Control System
A. Yusa • T. Sasaki • A. Higashi • S. Inada • M. Iwamura • M. Soga • T. Endo • K. Ban...1131
- Power Statement.....A. Chiba • T. Matsumoto • T. Mutō • Y. Tachibana...1143
- Computer Control of Electric Power Systems.....J. Baba • S. Hayashi • K. Ishida • H. Haneda...1147
- Study on Power Load Prediction based on Farmer's Method.....K. Yamada • M. Toyama...1160
- Process Control Computer MELCOM-350 Systems.....M. Nakao • H. Matsumoto • T. Matoba...1169

TECHNICAL PAPERS

- New Current Limiting Fuses, Type CL.....Y. Iwasaki • S. Ōta...1177
- Characteristics of Gunn Effect Microwave Oscillators.....T. Oku • S. Mitsui...1185
- Dielectric Filters for Air Conditioning.....N. Tabata • M. Mori • M. Sakai • K. Hirayama...1190
- Automatic Design of Digital Computers.....K. Kojima • K. Mikami • Y. Yamashita • T. Kamohara • T. Mizoguchi...1197

NEW PRODUCT1208

NEWS FLASH1212

PATENT AND UTILITY MODEL1175

COVER :

The Japanese National Railways' Kōriyama Yard automatic operation-system

An automatic operation system of the Japanese Railways' Kōriyama Yard consists of computer complex comprising four sets of MELCOM-1600 as its nucleus, detecting equipment composed of axle detectors, fullness measuring apparatus, waying rails, track circuits, and rader speedmeters, and control equipment for car retarders, points and switching machines.

This is total on-line real time system, which automatizes the implementation of the train sorting and make-up operation, optimizes the working plan and treats all the information needed for the preparation of the operation reports.

UDC 681.142:669.184

神戸製鋼所における転炉製鋼工程の計算機制御システム

沢野 清・岡山佳三・的場 徹・五十嵐 真・松本弘志

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1093~1096

転炉製鋼工程の計算機制御は、内外を問わず普及し常識的になっているが、その機能としての焦点は吹練終点の予測制御に集約されている。

本文では、その計算機制御システムとして広範な情報処理機能を基礎とした操業の標準化、円滑化および自動化を考慮し、さらに計算機制御機能による吹練終点の適中率向上とむだ時間排除による生産性向上を目的としたシステムの概要および特長を主体として述べ、今後の計算機制御システムのあり方について方向について結論づけた。



UDC 681.142:669-492

神戸製鋼所ペレット製造プラント向け MELDAP-8000制御用計算機システム

岡本佳三・荒牧 勲・湯川健二・塚原昌恭

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1097~1100

近年鉄鋼製造技術の進歩により、高炉原料として安価な微粉鉱石およびし(崙)下粉を粉碎したものを混合し、造粒、焼成した塊成物、いわゆるペレットが盛んに利用されている。従来需要のほとんどが輸入に依存していたが、昨年(神)神戸製鋼所では3000t/dの本格的ペレット製造プラントを建設し、その制御のためにMELDAP-8000制御用計算機システムを導入して、運転コストの低減や操業度の向上をめざしている。本文ではこの計算機システムの概要および特長を主体として述べたものである。



UDC 681.31:621.311.22

関西電力堺港発電所3,4号機向けMELCOM-330計算機システム

内田義久・布野定一・新宅三喜男・橋本健治・高島修男

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1101~1108

関西電力株式会社堺港発電所3,4号機(250MW×2)には1,2号機についてMELCOM-330計算機システムが導入された。この計算機システムは1,2号の実績をもとに、直接計算機を操作する運転・調査・計測の関電担当者各員とメーカーの間で計画されたもので、今後の火力発電所の高度なデータ処理として標準的な機能を有するものである。この文ではこの計算機システム導入の経緯、計算機の構成と機能、据付調整について述べている。



UDC 681.142:621.311.22

関西電力大阪発電所2号機向け 火力発電所起動停止シーケンスモニタシステム

山崎 勇・内田義久・渡辺 聡・花村泰助・篠原光一

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1109~1116

近年、電力需要の拡大とともに、大容量火力発電所が建設され、従来ベースロード運転していた156MWクラス火力発電所も、毎日または週末停止しなければならぬ事態となった。発電所起動停止時の運転員の負担の軽減、機器寿命低下の減少、重大事故の防止、起動停止損失の軽減を図るため156MW級起動停止自動化研究会が設置され、その一環として関西電力大阪発電所2号機に火力発電所起動停止シーケンスモニタシステムを設置し、都合4回にわたり起動停止試験を行ない、起動停止自動化の実用性を検討した。ここではシステムの機能、構成、運転操作フローチャート導入、据付、試験経過の概要を説明する。



UDC 681.142A.004.Others

火力発電所運転訓練用シミュレータ

柴谷浩二・桑田 博・石橋賢悟・持田雅夫・三田村真次

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1117~1123

近年電力需要の増大とともに大容量の火力発電所が次々と建設されているが、これらの設備はますます複雑化し、これに要請される発電信頼度のきびきびとあいまって、運転勤務員にはより高度の技能が要求され、運転員の訓練は非常に重要な問題となっている。これに対処するものとして、火力発電所の全システムを電子計算機技術を応用して構成した大規模な火力発電所運転訓練用シミュレータが東京電力㈱で企画されていたが、今回三菱電機がこれを製品化し、東京電力㈱品川技能訓練所に納入した。シミュレータは去る昭和41年4月より運用され連日好調に動作している。以下にアナログ電子計算機の応用例としてシミュレータの概要を説明する。



UDC 681.142D.004 Others

MELCOM1600による相模川水系計算機制御システムの方式設計

城所義幸・鳥海則昌・村上才一・曾我正和・井上幸美・岡 治樹

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1124~1130

水系の集中管理を目的として電子計算機、データ通信、およびテレメータの各システムからなる相模川水系計算制御システムが、神奈川県企業庁総合開発局城山事務所を設置され、昭和42年4月から本実動にはいっている。

このシステムの概要については、先に本誌5月号(第41巻)に紹介されているが、本文ではとくにオンライン・データプロセッシングのためのハードウェアソフトウェア両面にわたる設計上の検討事項を中心にシステムの記述をおこなったものである。



UDC 681.142.004:656,212.542.41

国鉄郡山操車場自動化システム

遊佐洗・佐々木敬・東昭・稲田伸一・岩村衛・曾我正和・遠藤堯・坂和磨

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1131~1142

国鉄郡山操車場自動化システムは全国的な貨物輸送の重要拠点である操車場での作業を、貨車の分類仕分けの実作業から管理的な計画業務である情報処理作業に至るまで一括して計算機により自動化するトータル・オンライン・リアルタイム・システムである。

自動化システムの中核となる計算機システムにはMELCOM-1600システムが使用されており、多重処理(MULTI-PROCESSING)と複合計算機(MULTI-SYSTEM)を併用した計算機複合体(COMPUTER COM-PLEX)の構成をとっている。本文では操車場自動化システムの目的と自動化のためのシステム分析、システム設計を説明し、自動化システムの概要を紹介する。



UDC 681.142:007.3

パワー・ステートメント

千葉 正・松本孝郎・武藤達也・立花康夫

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1143~1146

プロセス制御に対する計算機の適用がすすむにつれて、この方面のソフトウェア開発が望まれている。パワー・ステートメントは、火力発電所の自動起動・停止システムのプログラム用に開発された制御用コンパイラ言語の一つで、本文ではパワー・ステートメントの動作原理、特長、火力発電プラントへの適用例等について述べた。



UDC 621.311:621.316.7:681.142

電力系統の計算機制御

馬場準一・林 重雄・石田 芳・羽根田博正

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1147~1159

最近の電力系統は需要の伸びにともなっていますますます複雑多岐な様相を呈してきている。電力系統の運用に当っては必要な場所に必要だけの電力を完全かつ経済的にしかも瞬時に供給しなければならない。これを実現するためには多量の情報を収集してしん速に意志決定を下す必要がある。一方近代における自動制御および計算機技術の発展はめざましいものがあり電力をはじめあらゆる産業に浸透している。三菱電機では計算機および系統制御機器よりなる階級制御の思想のもとに電力系統制御システムを開発研究している。本文ではその基本的な考え方、計算機制御システム、および具体的制御方式についてくわしく述べている。

UDC 621.311.1:519.283

日間電力負荷予測方式

山田敬吾・外山守城

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1160~1168

本文はFarmer 氏の方法による電力負荷予測について、実データによりその誤差について考察をおこない、さらに使用上の問題点について検討した結果を報告するものである。検討事項は、

- (1)Farmer 氏の方法を実データに適用して、採用する特性モード関数の個数やその他のパラメータと予測誤差との関係についての考察。(2)とくに自動給電システムの一環として使用するに必要な事柄として、負荷パターンの変化の自動検出。(3)負荷系列に傾向がある場合への適用。(4)計算時間短縮のためのパラメータ固定高速化等である。

UDC 681.142

制御用電子計算機 MELCOM-350 I/Oシステム

中尾勝丞・松本大四・的場 徹

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1169~1174

最近の計算機制御の発展、応用面の拡大により、高性能の制御用の電子計算機が要求されている。このたび、時代の要求にマッチした新しい制御用計算機 MELCOM-350システムを開発した。これは集積回路を使用し、高速、高信頼性を実現している。まず設計の段階において、新しい時代の制御用計算機として、要求される基本的事項、

- (1)多重処理要求の実時間処理、(2)プロセスとのオンライン結合、(3)効果的利用のフリータイムオペレーション、(4)将来への発展性と経済性、
- について分析し、そのため必要な機能を列挙し、この目標が具体的にどのように実現されているか、各部にわたって、概要説明とともに述べられている。

UDC 621.316.923

7.2kV CL形限流ヒューズ

岩崎行夫・太田 忍

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1177~1184

新しく開発された銀線けい砂限流ヒューズについての報告である。定格7.2kV(3.6kV) 5~100Aで、500MVA(250MVA)と最大級のしゃ断容量を持ちながら従来になく小形のを完成した。過電圧の低い刻み入りヒューズエレメントを星形磁器棒に巻いたことを特長とするヒューズで、その構造、準拠規格について述べ、しゃ断試験、とくに最大アークエネルギーの電流しゃ断についても、豊富な試験結果を報告する。ことに定格7.2kVヒューズの試験電圧3.6kVおよび7.2kVにおける過電圧、あるいは発弧位相と過電圧の関係の資料は従来取扱われたことがなかったので詳細に示した。最後に応用上の要点についても触れた。

UDC 546.681'19+537.31+621.372+621.373

Gunnダイオードのマイクロ波発振特性

奥 泰二・三井 茂

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1185~1189

当社におけるGunnダイオードの試作・研究の成果について報告した。Gunnダイオードの動作原理と製作上の問題点について簡単に述べた後、当社において試作されたGunnダイオードの諸特性について述べた。試作されたGunnダイオードではS-band連続発振で200mW以上、パルス発振で10Wの出力が得られている。連続発振Gunnダイオードでは周波数スペクトルの半値幅は4kc以下で、共振器による同調発振範囲は1Ge以上である。ダイオードの負性抵抗による低周波寄生振動の発生と、これのマイクロ波特性の影響を調べた。

UDC 621.928.9:621.359.4

空気調和用誘電体フィルタ

田畑則一・森 貢・酒井正侃・平山建一

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1190~1196

最近、大気汚染の増大に伴って環境衛生の面から、サブミクロン径の微細じんあいに対して高性能な除じん器の必要度がまってきた。この状況にかんがみ当社では電気集じん器と同様に微細じんあいに対しても高性能で、操作、保守がロールフィルタなみに簡単であり、自動運転が可能な三菱FD形静電式誘電体フィルタを開発した。この報告では静電式誘電体フィルタの集じん機構、集じん特性に対する理論的な解析と基礎試験について述べ、三菱FD形静電式誘電体フィルタの構造、特長、仕様について紹介している。本フィルタはビル・事務所の環境衛生的な空調はもちろんのこと、電気的雑音を発生しない特長を生かして通信関係室の空調にも適している。

UDC 681.31.02:65.011.5:681.3

電子計算機の自動設計

小島一男・三上晃一・山下陽司・蒲原捷行・溝口徹夫

三菱電機技報 Vol.41・No.9・P1197~1206

電子計算機を使って電子計算機を設計する手法には、デザイン・オートメーションとシミュレーションとがある。前者は設計そのものを電子計算機によって行なうもので、設計過程が明確に体系化されていて、標準的な設計手順が確立している場合に可能である。

設計作業の中には、現時点では人間の頭脳で行なわざるを得ないものも少なくない。設計結果を製品化する前に計算機を使って模擬動作を行なわせてみて、設計誤りをあらかじめ摘出しておこうというのが、シミュレーションである。本論文では、デザイン・オートメーションの一例として布線設計の自動化、シミュレーションの例として論理シミュレーションの実際的方法について報告する。

*このアブストラクトカードは、資料カード(A7または76×127mm)へ切りばりしてご利用いただけるサイズになっております。

(株) 神戸製鋼所神戸工場における 転炉製鋼工程の計算機制御システム

沢野 清*・岡本佳三*・的場 徹*・五十嵐 真*・松本 弘志*

Process Computer Control System about L/D Steel Making in Kôbe Steel Work

Head Office Kiyoshi SAWANO・Yoshizo OKAMOTO・Tôru MATOBA
Makoto IGARASHI・Hiroshi MATSUMOTO

Computer control of converter steel making process has been in popular operation domestic and overseas. Important function in making steel lies in predictive control of the period of oxygen blow-in during the refining.

The article describes the matter concerning steel making under the computer control, such as for the standization of the operation based on information processing function in a wide range, and likewise for the smoothing up and automatization; also for the improvement of the rate of the prediction coming true at the termination of oxygen blow-in, and elevation of working efficiency by eliminating waste of time. From the above viewpoint the system is explained briefly together with its feature. As a conclusion ideal computer control system in the future is touched upon.

1. ま え が き

株式会社神戸製鋼所では第三次設備強化の一環として、同社神戸工場の公称60t転炉1基増設による3基設置2基実動の態勢がととのえられることとなり、同時にその計算機制御システムの採用が決定した。この実施のために神戸製鋼所と三菱電機(当時三菱TRW)とによる共同研究チームを設け、研究を開始した。

転炉製鋼工程の計算機制御は、1961年米国ナショナルスチールのプレートレーク製鉄所において初めて適用⁽¹⁾されて以来、内外を問わず急速に普及化し、わが国でも適用例が数件⁽²⁾あり、その制御モデルの発展も著しいものがある。

一般に低炭素リムド鋼に対してはその制御が比較的容易であり、その他の鋼種に対しては制御が困難であるというのが常識とされているが、このシステムでは圧延成品の特殊性から吹錬鋼種が多岐にわたり、計算機の制御範囲の広さとともにその複雑性は他にその類をみないものとなっている。

本報告は、転炉製鋼工程および造塊工程にわたる広範な情報授受・データ収集を基礎として、転炉吹錬の予測制御と吹止成分制御および造塊工程をもととした出鋼順序の制御により、生産性の向上、プロセスの自動化を目的とした計算機制御システムの概要を述べるものである。

2. プロセス概要

このプロセスは転炉製鋼工程と造塊工程とであるが、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

高炉より産出する鉄銑は炭素4%内外で不純分としてのけい素、マンガ、磷および硫黄を若干含有し、1,400°C内外の温度で溶融状態である。これを溶銑と呼ぶが、この溶銑は転炉製鋼工場で一時的に貯えられる。

鋼は衆知のように鉄銑を脱炭し、低炭素低不純分にしたりえ用途に従い若干の金属添加を行なったものであるが、その製造法として従来の平炉に対し、高い生産性と経済性をもつ転炉製鋼が普遍化し

たわけである。

転炉は円筒形の回転炉で、これにあらかじめ全装入量の10~20%にあたる屑鉄を装入し、この上に前述の混銑より全装入量の80~90%にあたる溶銑を払出し注入する。次に若干の副原料としての焼石灰、鉄銑石およびスチール類を炉の上部より前装入しつつラッスを炉内にそう入し、純酸素を強い圧力により吹き込む。

この酸素吹によって、不純分としてのけい素および磷が酸化されて前装入焼石灰と反応してスラグを生成し、炭素は燃焼してほとんどがCOガスとなって炉口より排出し、炉内では吹錬された溶鋼と溶融スラグが酸素ジェット、および生成COガスにより激しくかくはん(攪拌)されて反応が促進し、所定の温度、成分および量の鋼が生産されるのである。

炉内での反応は

$C + 1/2 O_2 = CO$	2,615 kcal/kgC
$C + O_2 = CO_2$	8,250 kcal/kgC
$Si + O_2 + 2 CaO = Ca_2SiO_4$	7,849 kcal/kgSi
$2 P + 5/2 O_2 + 4 CaO = Ca_4P_2O_9$	7,182 kcal/kgP
$Mn + 1/2 O_2 = MnO$	1,675 kcal/kgMn
$Fe + 1/2 O_2 = FeO$	898 kcal/kgFe
$2 Fe + 3/2 O_2 = Fe_3O_4$	1,220 kcal/kgFe

などが推定されるが、これらの反応が同時または逐次進行して吹錬の終点に達し

- (a) 終点溶鋼温度
- (b) 終点溶鋼成分、とくに炭素品位
- (c) 終点溶鋼量

の3目標に適中するわけである。

しかしながら検出端も少なく吹錬が約20分間で終了するため、吹錬終点における前記の3目標を満足することは容易ではなく、精密な装入計算と標準的作業の繰返しの上に、操業者の熟練と経験的な勘によって適中率の向上が果されるのである。

図2.1は転炉吹錬の吹錬中の状況であり、炉内温度は約1,600°Cである。

吹錬終了とともにラッスを上方に巻きあげ、炉を傾斜して鋼沿温

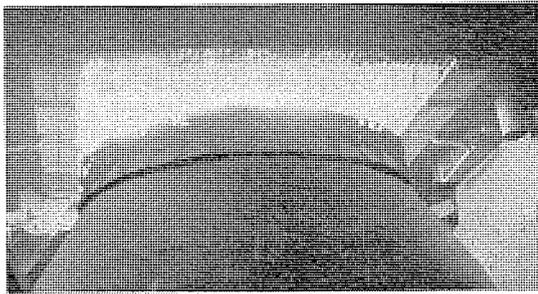


図 2.1 転炉吹錬状況
Fig. 2.1 Air blow-in a converter.

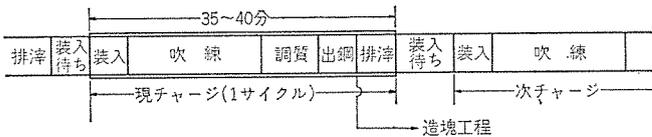


図 2.2 転炉製鋼作業工程
Fig. 2.2 Converter steel manufacturing process.

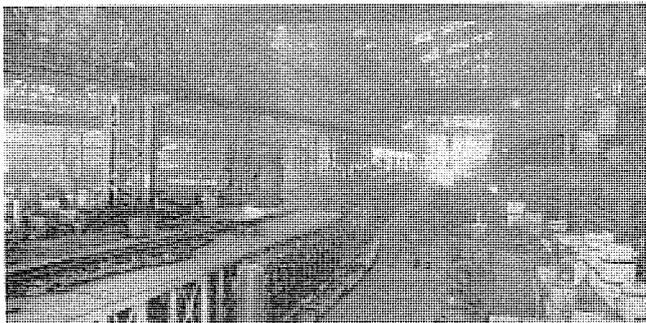


図 2.3 造塊作業状況
Fig. 2.3 Ingot manufacturing.

度測定および溶鋼成分分析のための試料採取が行なわれ、両者とも目標に適中した場合は炉を反対側に倒して出鋼する。これは10分以内の作業であるが、目標からはずれている場合は当然再吹錬を行なわねばならず、再吹錬そのものは1~2分であっても、その後また前記の測定作業がはいるため、時間損失とそれによる生産低下はきわめて大きなものとなる。

次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出鋼中の溶鋼に脱酸剤、加炭剤および合金鉄を適量添加する作業である。

ここでも前記の吹錬と同様に添加物の効率計算による添加量と添加順序および時期とが重要である。

図 2.2 は転炉製鋼工程の一連の作業順序を示したものであるが、1チャージの製鋼時間は約35~40分であり、1基あたり1日36~40チャージ程度の吹錬が可能で、転炉が公称能力60tを生産するものとするれば1基1日で2,200~2,400tの生産量となるが、実際には1チャージあたり130%くらいの生産を行なっているので、1基1日で3,000t程度の生産量となる。

2.2 造塊工程

溶鋼を造塊用取りなべに移し、造塊デッキに準備された鑄型に注入して所定の大きさの鋼塊製造工程にはいる。これを造塊作業と呼ぶが、ここでは、

- (a) 注入温度
- (b) 注入時間
- (c) 静置時間

が良塊造製の要点であり、さらに

(d) 吹製鋼種と造塊デッキの配置

(e) 注入クレーンの相互干渉

などにより、造塊時間の関係による造塊待ちを転炉製鋼工程に与える結果もひきおこす。そのための計画性と迅速性とが必要である。

図 2.3 は造塊作業状況を示すものである。

3. システム概要

本計算機制御システムの制御対象は、前述の転炉製鋼工程および造塊工程であるが、その全体的配置を図 3.1 に示す。図に示すようにこのシステムは MELCOM-330 制御用計算機を中心におき、設定盤、表示盤、ロギングタイプライタおよび自動設定盤を各操作室に配置した。

3.1 制御用計算機および周辺機器

本システムに使用した計算機は、現在世界的に最も広く使用されている MELCOM-330 制御用計算機であるが、図 3.2 は計算機室に配置した状況を示すものであり、その仕様は下記のとおりである。

(1) 中央演算制御装置

クロック周波数	245 kc
加減算 (固定)	266 μ s
アクセスタイム	8.5 ms (平均)
語長	28 ビット
割込	8 レベル

(2) 記憶容量

ドラム	40,000 語
-----	----------

(3) 入出力装置

アナログ入力	40 点
--------	------

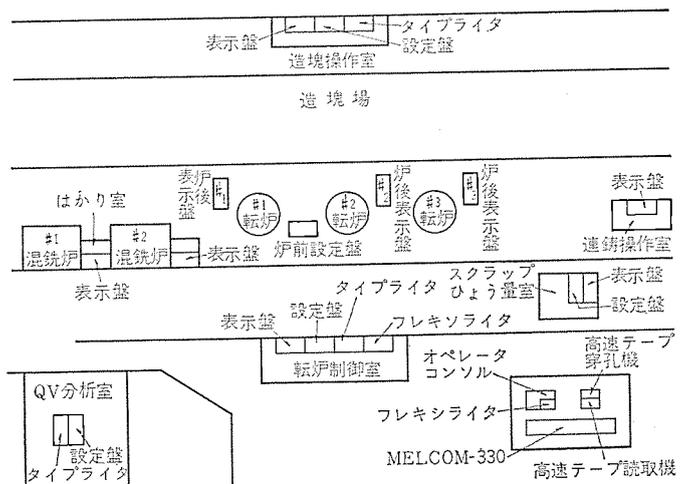


図 3.1 システム機器配置
Fig. 3.1 System machines layout.

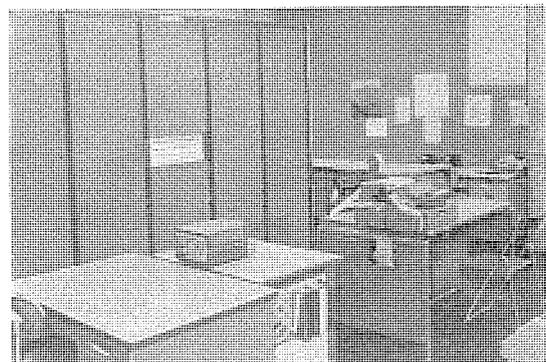


図 3.2 計算機室内状況
Fig. 3.2 Computer room.

デジタル 入力	224 点 (8 グループ)
パルス 入力	2 点
デジタル 出力	84 点 (3 グループ)
プロセス 割込入力	18 点
入力 マルチプレクサ	1 式
出力 マトリックス	1 式
(4) 周辺機器	
オペレーターコントロール	1 台
フレクソライタ	1 台
ロッキングタイプライタ	5 台 (30 インチ)
高速 テープ 読取機	1 台
高速 テープ 穿孔機	1 台
(5) 表示盤	
転炉制御室	3 面
混鉄炉操作室	2 面
スクラップ ひょう量室	1 面
造塊操作室	2 面
連鑄操作室	2 面
転炉炉後作業場	3 面
(6) 設定盤	
転炉制御室	3 面
スクラップ ひょう量室	1 面
炉前作業室	1 面
造塊操作室	1 面
QV 分析室	1 面
(7) 自動設定盤	
副原料 ホッパー 切出用	1 式

3.2 システムの機能

前記した MELCOM-330 制御用計算機および周辺装置により、このシステムは情報処理機能および計算制御機能を行なって操業の標準化、円滑化および自動化による生産向上を図っている。

3.2.1 情報処理機能

(1) データ収集

操業データは転炉吹錬の 1 サイクルごとに出力され、計算機室の高速テープせん(穿)孔機によるテープ出力と、転炉制御室、造塊操作室および QV 分析室のロッキングタイプライタによる作表として記録される。その内容は主として操業管理用の原料、成品および時間的なデータと、解析用となる操業データとであり、これらはまた操業中の入力値の確認にも役立つものである。

図 2.2 に示した転炉の 1 サイクルは 35~40 分であるが、転炉 2 基が交互にこのサイクルを繰返し、同時に相当量のデータを出力するため、このシステムは計算機に出力パルファ装置を装備しているにもかかわらず、データ出力の時間は転炉 1 サイクルの約 50% にあたる時間を占有している。

(2) 情報授受

前記の図 3.1 にこのシステムの設定盤と表示盤との配置を示したが、これらは計算機を仲介として次の情報授受を行なっている。

設定盤：主として次チャージ目標値と現チャージ結果のデータ入力を行なう。

表示盤：主として次チャージの目標値として、装入物および時刻情報の表示を行なう。

以上により現場操業者は、操業に必要な主要データと転炉操業の

進行状況を知ることができ、むだ時間の減少となる。

(3) 自動設定盤

転炉副原料ホッパーの切出しは、設定と切出し開始を手動で行なえば設定値どおりの副原料が順次に装入されるようになっている。これを切出し開始を手動で行なうだけで、自動設定盤により計算機の設定出力が副原料ホッパーに連結して、計算機の設定した出力値どおりの副原料が順次に装入されることになる。

この装置によって操業の自動化が促進され、作業能率の向上が図られる。

以上の情報収集機能は、計算機制御の基礎となるものであって、いかに精度の良い数式モデルを作ってもこの機能が不十分ならば、実際の制御は不可能となる。

一般に計算機制御といえは、はなやかな数式モデルのみが注目されがちであるけれども、そのためには緑の下の力持ち的な上記機能の確立が先決である。

3.2.2 計算制御機能

計算制御機能はプロセスとの関係をまとめて後章にとりあげることとし、ここではその概要を述べるにとどめたい。

(1) 出鋼鋼種スケジュール制御

設備上の制約によって、成品になるまでに要する時間の長い鋼種や短い鋼種の出鋼順序を、むだ時間のないよう最適に近い形にオフラインで求めておき、これを計算機によりオンラインで実行させる方法である。

その要点は、

(a) オフラインで求めた出鋼順序を計算機に記憶させておき、自動的に次チャージの鋼種と目標値を表示により出力する。

(b) 標準時間幅によって 1 サイクルの時間を定めて表示しておき、これを実時刻により修正して現場に知らせ、むだ時間をはぶく。ことであり、実動率向上による生産の増加を図る。

(2) 予測制御

予測制御の目的はプロセス概要において述べたように、吹錬終点における溶鋼の温度、成分および量を目標に合致させることであり、さらに成品成分を規格に合致させることである。従来この種の数式モデルは数多発表されているけれども、このシステムでは作業標準に従って、

(a) 主原料、副原料装入計算と結果の表示

(b) 終点に対する予測計算と結果の表示

(c) 実測値入力による修正計算と結果の表示値修正を基本としたオープンループ制御である。

また成品成分に対しても同様な方式に従って

(a) 終点成分の予測値をもとにした取りなべ差物重量の計算と結果の表示

(b) 実測分析値による修正計算と結果の表示値修正によるオープンループ制御である。

以上の計算を図 2.2 の転炉工程の作業順序に従って行ない、その結果の実測値をフィードバックしてモデルの一部更新を行なうことにしている。

3.2.3 システムの特長

現在、内外を問わず転炉の計算機制御が常識となっていることは前述したが、これらを計算機制御システムとしての機能的にみると、ほとんどが終点予測制御に集約されている感が深い。

このシステムは予測制御機能に重点をおいていることはもちろんそ

の他下記の諸点に関して他のシステムと異なる機能を備えている。

(1) QV の検量計算

QV 分析装置は衆知のように分析試料の分光分析計であり、アナログ計器である。一般にはこれを記録計のふれにより分析値をグラフで求めるか、QV 専用の計算機で求めるかのいずれかで、この値を制御用計算機にデジタル信号として入力するシステム設計が行なわれている。

このシステムでは、このアナログ信号を記録計と共用にとり、約 500 m の距離より入力し、オンラインで分析値の計算を行なって印字および表示出力するとともに、制御モデルに使用している。

これにより、QV 分析者は単に装置の操作と分析試料の種類を設定盤により入力するだけで、あとは計算機による計算分析値のタイプ印字を確認し、正しければ確認入力を計算機に送り、データが不良ならば再度分析操作を行なうのみでよいことになる。

(2) 情報テープ出力による他の計算機への情報伝達

前述の管理用データおよび解析用データのテープは、在庫管理、資材管理、工程管理およびプロセス解析用のデータ源として毎チャージ出力されるが、これらは事務用、技術計算用計算機に入力できるようにカードに変換され、使用されている。

したがって、その経済的および技術的価値はきわめて大きなものとなる。

(3) 出鋼順序の選択

前述の出鋼鋼種スケジュール制御である。

(4) 副原料の自動設定

前述の副原料ホッパ切出量の自動設定機能である。

4. 転炉操業と制御計算

前述の図 2. 1 は転炉工程の順序であるが、このシーケンスと計算制御機能との対応づけがこのシステムの骨組となるため、きわめて慎重な検討を加えた。図 2. 2 において、二重わくをしたチャージは現チャージであり、予測計算は現チャージ吹錬中に次チャージについて行なうものである。

計算機は、出鋼鋼種スケジュール制御機能により、現チャージ吹錬後半に次チャージの吹錬鋼種を抽出し、目標値とともに表示出力を行なう。同時に主原料装入計算にはいり、直ちに解を表示する。このとき同時にその装入予定時刻を実時間で表示する。

計算値をもとに吹錬終点成分の予測計算を行なうが、そのとき使用する副原料値はその鋼種に対する標準的な値である。これより終点成分予測値が規格外になったときは副原料値を補正して表示するよう考慮している。

次チャージの装入開始信号入力とともに、それまでに入力した主原料の重量、温度および成分実測値と副原料の実測値から、終点温度および炭素品位に対する操作変数を計算して結果を表示する。吹錬が後半にはいると、その次のチャージの主・副原料計算がはじまるが、これは前述したの吹錬中のものにつき述べることにする。この時点では出鋼鋼種スケジュール制御機能により、そのチャージの出鋼開始予定時刻を計算し表示する。同時に終点成分の予測値より出鋼に際する取りなべ差物量予測計算にはいり、成品規格にはいるよう差物添加量を表示出力する。

吹錬が終了し、温度および成分の実測が行なわれ、分析値入力とともに前記の差物に対する修正計算を行ない表示値を修正する。

以上転炉操業のシーケンスに従った制御計算の 1 サイクルが終了する。

この制御方法、制御モデル作成にあたっては、10,000 チャージ以上のデータを解析したが、ここではその詳細を述べることはできないので結論的にいうならば、理論モデルを基本とした統計的手法による数式モデルが最もよいといえよう。

5. 工事経過

このシステム設置工事経過は、従来設置され実動中であったリレー式データローガーの使用に支障なく計算機に切替えてゆく方法を採用したため、準備期間およびプロセス信号改造期間が長く、下記のように変則的であった。

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| (1) 計算機システム搬入据付 | 昭和 41 年 7 月 11 日 |
| (2) 計算機単体調整完了 | 昭和 41 年 7 月 25 日 |
| (3) 既設信号回路改良結線工事 | 昭和 41 年 8 月 1 日～10 月 15 日 |
| (4) 情報処理機能調整 | 昭和 41 年 10 月 15 日 |
| (5) 情報処理機能実用化 | 昭和 42 年 1 月 1 日 |
| (6) 計算制御機能調整 | 昭和 41 年 12 月 15 日 |
| (7) 計算制御機能 オンラインテスト開始 | 昭和 42 年 3 月 1 日 |

常識的には、計算機単体調整後 2～3 か月で情報処理機能が正常に実動すべきであるが、本工事では約 2 か月のブランクが生じたが、これは前述のデータローガーが昭和 41 年 9 月 15 日まで実動したこと起因している。

6. む す び

この報告は(株)神戸製鋼所神戸工場における転炉製鋼工程の計算機制御システムに関して、システムとしての構成および機能につき述べたものである。たびたび述べてきたことであるが、このシステムは転炉製鋼の計算機制御の機能として、分析より造塊に至るまでの工程の情報管理と、テープによる他計算機への情報伝達とにシステムとしての重点をおいた。

また、吹錬終点の予測制御はもちろんであるが、さらにプロセスの制限条件よりの出鋼鋼種スケジュール制御に関しても、実時間の観念をとりいれてむだ時間の排除を考慮した。

近年、転炉のみならず均熱炉、圧延へと計算機制御の適用はきわめて急激に発展しつつあるが、この報告で述べたシステムとしての特長および考え方は、バッチプロセスに共通の問題と考えられ、いわゆるデータトラックあるいはオンラインスケジューリングの思想は、今後ますます計算機制御の分野において発展してゆくことであろう。

この報告は、制約条件のため、詳細にわたり述べることができなかったが、本工事に際して多大の援助と協力を賜った神戸製鋼所のかたがた、また本工事に従事した三菱電機のかたがたに対して深甚の謝意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) J. E. Clough, F. L. Johnston, T. M. S. Tout : Computer Control and Data Handling System for Oxygen Steelmaking at Great Lakes Steel (ISA 17th Annual Instrument Automation Conference), 1962
- (2) 坪井ほか：計測と制御, 2, No. 12, 997 (昭 38)
田中ほか：情報処理, 4, No. 4, 203 (昭 38)
北之園：日立評論, 46, No. 8, 119 (昭 39)
渡辺ほか：富士製鉄技報, 13, No. 2, 199 (昭 39)
林ほか：鉄と鋼, 50, No. 11, 1744 (昭 39)

(株)神戸製鋼所ペレット製造プラント向け MELDAP-8000 制御用計算機システム

岡本 佳三*・荒牧 勲*・湯川 健二*
塚原 昌恭**

Computer Control System for Pelletizing Plant of the Kôbe Steel Works, Ltd.

Head Office Yoshizo OKAMOTO・Isao ARAMAKI・Kenji YUKAWA
Kamakura Works Masayasu TSUKAHARA

Through the recent progress of steel production technique inexpensive low quality ore and sieved dust of ore have been in extensive use for blast furnace materials as pellets after these raw materials being milled blended and burned.

Heretofore most of the pellets have been imported, but last year the large scale pelletizing plant having production capacity of 3,000 tons per day went into operation at Kôbe Steel Works, Ltd.

For the on-line control of this plant, MELDAP8,000 control computer system was introduced for the cutting down of operating cost and improvement of production efficiency. The article deals with brief explanation and features of this system as a principal subject.

1. ま え が き

株式会社神戸製鋼所のペレット製造プラントは3,000t/日の生産能力を持っていて、昨年8月から営業運転にはいっている。このプラントの目的は、原料事前処理の合理化すなわち微粉原料の性状に応じて、既焼結工場とペレタイジング工場でそれぞれ処理することによって事前処理の範囲を拡大せしめるとともに、安価な微粉原料の使用を可能ならしめ、さらにはペレット使用による高炉の生産性向上を計るためである。

MELDAP-8000 制御用計算機の導入は、このようにして生産されるペレットの品質をできる限り一定にし、かつプラント運転費用の低減および稼働率の向上を計るために計画されたものである。

2. プラントの概要

図2.1はこのペレットプラントの配置図であって、つぎのように区分することができる。

(1) 原料系統

原料系統には二系統あり、一系統(10そう)は主原料であるハムスレーOBなどの貯鉄そうであり、他の系統はマグネタイトの貯鉄そうが設置されている。

(2) 粉砕系統

上記の主原料系統から送られる原料はミルホップに投入され、ここで混合粉砕される。ミルホップから切り出された原料は、エアセパレータとボールミルの中を循環し、一定粒度になるまで粉砕がくり返される。図2.2を参照のこと。

(3) 調整系統

エアセパレータからの粉砕原料はいったんサイロに投入され、ここで既述の別系統の原料と混合される。

(4) 造粒系統

調整系統から送られるペレット原料は造粒サージビンに投入される。つぎにサージビンから切り出された原料はパンペタイザで水分を添加され、ここで生ペレットになる。生ペレットの粒度が一定範囲内には

いるまで繰返し造粒される。図2.3参照のこと。

(5) 焼成系統

焼成系統は大別して生ペレットの乾燥部分、脱水を行なう離水部分および予熱部分と、生ペレットを回転キルンの中で高温で焼いて成品ペレットを製造するための焼成系統から成り立っている。

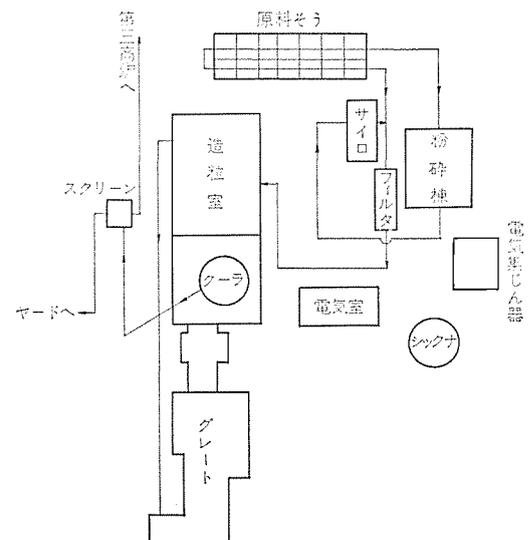


図 2.1 ペレット工場配置図
Fig. 2.1 Layout of pelletizing plant.

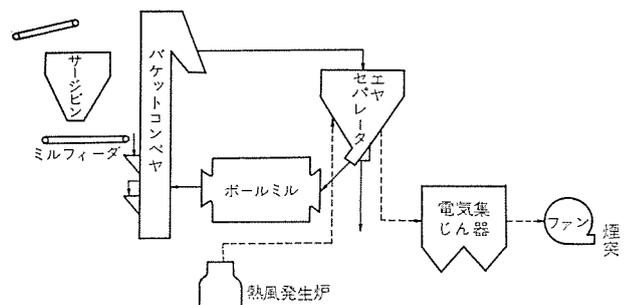


図 2.2 粉砕系統
Fig. 2.2 Milling process.

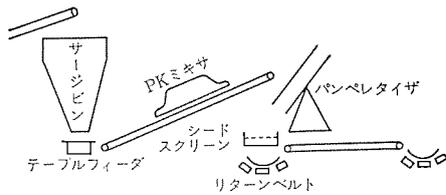


図 2.3 造粒系統
Fig. 2.3 Pelletizing process.

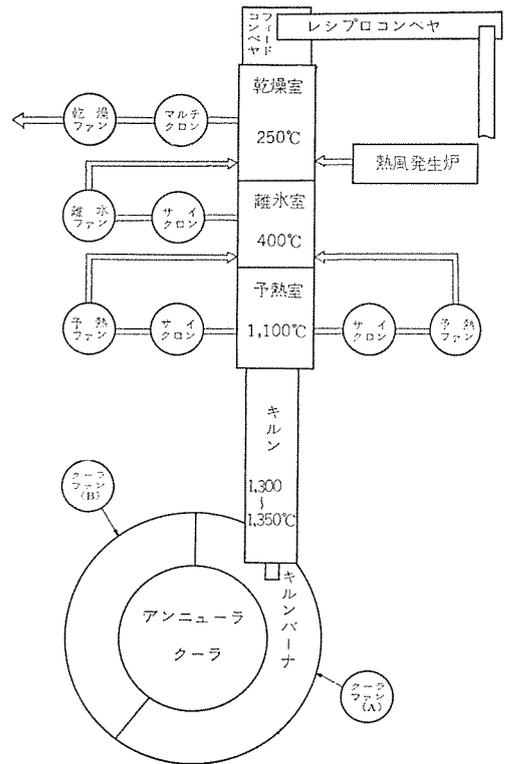


図 2.4 焼成系統 (平面図)
Fig. 2.4 Baking process.

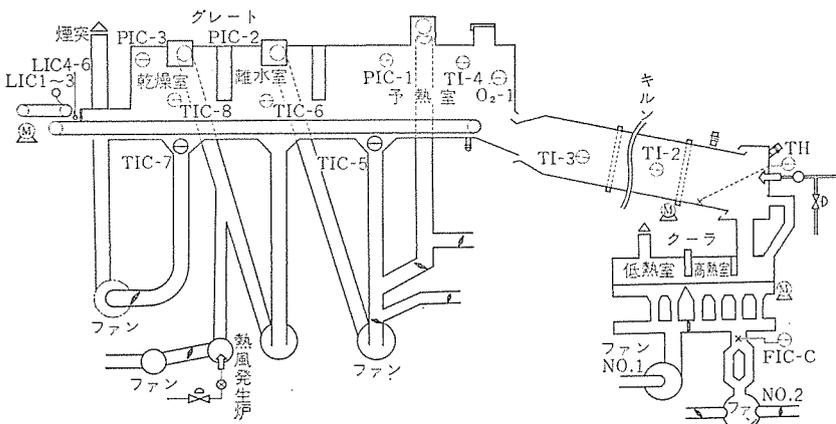


図 2.5 焼成系統 (側面図)
Fig. 2.5 Baking process.

図 2.4 および図 2.5 参照のこと。

(6) 成品系統

回転キルンで焼成されて一定の強度および粒度をもって出てきた成品ペレットは、冷却された後ベルトコンベアによって第3高炉用の貯鉱そうに運ばれ、そこで高炉原料として使用される。

3. 計算機制御システム

3.1 計算機ハードウェア

ペレットプラントの制御のために使用されている MELDAP-8000 計算機ハードウェア・システムを示す。

MELDAP-8000 計算機本体および

入出力制御装置 (メモリー容量 16 K 語)	1 式
オペレータ コンソール	1 式
ロギング タイプライタ	1 式
万能入出力装置	1 式
紙テープパンチ	1 式

計算機の入出力信号点数は、計算機内部用とプロセス用を含めてつぎのような構成になっている。

アナログ入力	180 点
コンタクト入力	80 点
カウンタ入力	32 点
コンタクト出力 (シングル)	80 点
コンタクト出力 (コード)	80 点
アナログ出力 (パルスモータ駆動)	32 点
インタラプト入力	8 点

図 3.1 に MELDAP-8000 計算機の写真を示した。

3.2 計算機の機能

制御用計算機の機能は大別してノンコントロール機能と、コントロール機

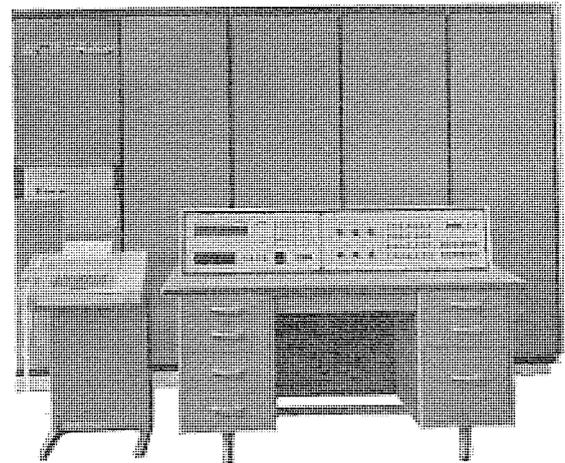


図 3.1 MELDAP-8000 制御用計算機システム
Fig. 3.1 Computer control system for pelletizing plant.

能になる。ノンコントロール機能は、いわゆるスキミング、モニタリング、データロギングおよびアラームなどで、コントロールはいわゆるオンラインの制御機能を意味している。

(1) データ収集

原料系統から始まって、粉砕・調整・造粒・焼成の各工程および第3高炉への成品輸送に至るプロセスの情報を計算機が定期的スキミングによって自動収集するか、または運転員によってオペレータコンソールによって手動入力する方法がとられている。

データの種別を目的によって分類すると下記のようなになる。

(a) 原料管理、成品管理、エネルギー管理に必要なデータ

原料管理用データとしては、かくそう原料切出し量や原料切出し率などがあり、成品管理用データにはペレットの圧壊強度・変形率・落下強度・水分含有率・成分・粒度などがある。またエネルギー管

理用データとしては、重油使用量や原単位および重油使用量や工業用水使用量などがあげられる。

(b) プロセス 操業に必要なデータ

造粒歩どまり、か働時間およびプラントか働率などである。

(c) プロセスの解析に必要なデータ

温度、圧力および流量などの工学データが主である。

一方データの発生源によって分類すれば、つぎに示すようになる。

(d) プロセス工業計器またはプロセス装置から直接計算機にはいるデータ

アナログ入力、カウンタ入力およびコンタクト入力がある。

(e) 運転員によってオペレータコンソールから手動入手されるデータ
たとえば、成品ペレットの回転強度、粒度などがある。

(2) データロギング

データ収集機能によって採集されたデータは、適当な処理が施されるからロギングタイプライタや万能入出力装置に情報として打ち出される。印字方法によって3種類の方法を設けている。

(a) 定刻印字

1時間、1勤、2勤、3勤および1日ごとに定められたフォーマットにしたがって、ロギングタイプライタ上にデータを印字する。オペレータコンソールからの手動入力データは瞬時値や平均値として打ち出している。

(b) トレンド印字

オペレータリクエストにより選択されたアナログ入力点に対してスキャン周期ごとに瞬時値を一定期間打ち出すことができる。

(c) 警報印字

入力点に対して一定リミットを越したときに、万能入出力装置の上に打ち出してプラントの異常を運転員に知らせる。

(3) 警報監視

プロセス入力値が一定値を越した場合に、その事実を迅速に運転員に知らせて適当な処置をとりうるようにする必要がある。そのために MELDAP-8000 計算機システムは、計器スキャンおよび警報スキャンの機能を備えている。

(a) 計器スキャン

アナログ入力点に対して実行されているもので、10~50 mADC のレンジを有するアナログ入力に対しては電圧信号に変換されてから、また1~5 VDC の電圧信号はそのまま計算機に導入されデジタル値に変換されてからおのおのの上下限デジタル値と比較される。この動作はスキャンごとに行なわれ、入力値が上下限値の範囲外に出ている場合には、計器の故障や調整ずれなどが生じた証拠で、万能入出力装置上に警報メッセージが出る。

(b) 警報スキャン

警報スキャンは特定のアナログ入力に対して運転条件から定められた上限値のみ、下限値のみあるいは上下限値に対して入力値がそれらの値を越しているか否かをスキャン周期よりも短い周期ごとに監視するもので、スキャンが成功した場合および1度リミットを越した入力点が正常に復帰した場合にのみ、警報スキャンと同様万能入出力装置上にメッセージの打出しが行なわれる。計器スキャンに成功した入力点は、当然警報スキャンでも検出されることになる。

(4) テープ出力

MELDAP-8000 の一機能として、データロギングのほかにもテープ出力によってデータを採集し、プラントの操業管理やオフラインの計算機でプラントの動作を解析できるように考慮がなされている。

テープ出力されるデータをその打ち出し時期からながめると定時テープ出力と随時テープ出力の2種類になる。

(a) 定時テープ出力

ロギング時期と同一のタイミングで、データ出力を行なうもので1時間・1勤・2勤・3勤および1日ごとに定められたフォーマットで管理用または解析用データが採集できる。オペレータコンソールから手動入力されたデータもこの中に含まれているが、収集機能によって計算機に入力されたデータに適当な演算処理を施した結果を出力する項目もある。

(b) 随時テープ出力

運転員が希望する時刻にリクエストを実行することにより、その時点からスキャン周期ごとにテープ出力が行なわれ、これを中止する時期も同じくリクエストによって制御される。

以上が現在 MELDAP-8000 が実行しているノンコントロール機能であるが、つぎにコントロールで計画されている事項について説明する。

まず成品ペレットの品質を一定値に制御するためにブレンド制御が行なわれる。すなわち変動する原料成分の含有量がある周期で分析し、計算機はその成分値にもとづいて成品の塩基度、SiO₂ 量を一定範囲内に保つとともに最も安価な原料配合方法を実現するのが目的である。

プラントは半連続的な特性を有して非常に時間おくれの大きいのが特長である。一方ホッパーやサージビンなど系の外乱を吸収する要素はあっても、プラント故障などの大きい外乱に対する対策として原料さうの切出し量や途中にあるかくさうへの投入量および送り出し量を調整する必要から、かくさうの投入切換えや切出し量制御を行なえるようになってきている。MELDAP-8000 計算機は、切出し量制御の場合にも原料が正常に流れている場合と同様、原料の成分比を変えないように切出し量を調整することができる。

ペレット製造のための最終工程である焼成系統は、このプラントの中でも最も重要かつ動作の複雑な工程で、一定強度と成分のペレットをいかにして最小燃費で製造するかが問題となる。計算機はオンラインでこのような制御を行なうよう計画が進められている。

その他乾燥室に送り込まれる生ペレットの層厚を一定値に制御を行なう機能も計算機に組込むよう準備している。

3.3 異常動作時の処置

一般に計算機がオンライン出力でプラントを制御する場合には、計算機の異常動作によってプラントに外乱を与えたり危険を防止するための、フェイルセーフ機能を具備する必要がある。

MELDAP-8000 制御用計算機もそのために特別な考慮が払われている。基本的な思想としては、ある異常が検出された場合にそのプログラムを最初から繰返して見て、成功した場合は一時的異常で問題なしとしてオンライン制御を続行するが、もし不成功の場合には出力を現在の値にホールドすることによって、プラントへの異常出力の危険性を未然に防止している。

以上の処置はアナログ出力の場合であるが、コンタクト出力の場合にもリレーの故障が検出されれば出力を停止するための処置が講ぜられている。

異常チェック項目のおもなものをあげてみる。

(a) 時刻信号による異常検出

(b) パリティ・エラーの検出

(c) カウンタの異常検出

(d) アナログアンプの異常検出

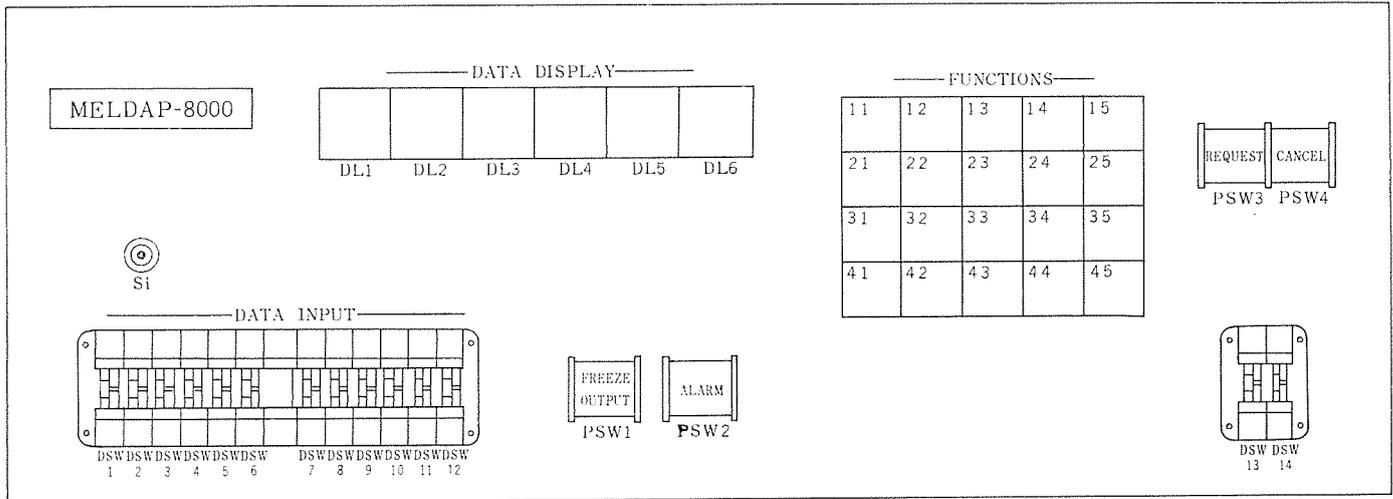


図 3.2 オペレータ コンソール パネル

Fig. 3.2 MELDAP-8000 operator console panel.

- (e) プログラムの異常検出
- (f) 診断プログラムによる異常検出
- (g) その他ハードウェアの異常検出

これらの項目は当社が従来の経験から必要と考えられる項目のみを選択し実施しているもので、フェイルセーフ機能の一部として役だっている。

3.4 オペレータ・リクエスト

制御用計算機においては運転員と計算機のオンラインでの情報交換手段がとくに重視される。すなわち運転員と計算機は一体であるという観念を常に運転員に抱かせるようなシステム制御でなければならない。

MELDAP-8000 計算機は、主として図 3.2 に示すオペレータコンソールパネルを通して容易に情報交換が行なわれる。すなわちつぎに示すようなオペレータリクエストを行なえるように設計されている。オペレータが必要なリクエストを要求すると、それに応じて計算機は表示を行なったり万能入出力装置やロギングタイプライタ上に所要のメッセージを打出したり、また指定された計算機メモリーに簡単にデータを入力

させることが可能である。

- (a) データ入力リクエスト
- (b) トレンド印字リクエスト
- (c) メモリー印字および表示リクエスト
- (d) アラーム印字リクエスト
- (e) 時刻入力リクエスト
- (f) 日時入力リクエスト
- (g) 随時テープ出力リクエスト

4. むすび

ペレットプラントへの制御用計算機の導入はわが国では最初のことであり、ノンコントロールの機能によって得られたデータをモデルの作成に利用することによって、所期の目的である生産コストの低減とプラントか働率の向上に寄与したい。

最後にこのプロジェクトの遂行のためにご指導およびご協力いただいた神戸製鋼所と社内関係者に謝意を表します。

関西電力(株)堺港発電所 3, 4 号機向け MELCOM-330 計算機システム

内田 義久*・布野 定一*
新宅三喜男**・橋本 健治**・高島 修男**

MELCOM-330 Process Computer System for Sakaikô Power Station, Units No. 3 and No. 4 of the Kansai Electric Power Company

Kansai Electric Power Co., Inc.

Yoshihisa UCHIDA・Teiichi FUNO

Mitsubishi Electric Corp., Head Office

Mikio SHINTAKU・Kenji HASHIMOTO・Osao TAKASHIMA

To units No. 3 and No. 4 (each rated 250 MW) in Sakaikô Power Station of the Kansai Electric Power Company has been installed a MELCOM-330 process computer system similar to units No. 1 and No. 2 before installed in the same site. The computer system has been planned based on the experience in the existing machines with cooperative efforts of the manufacturer's engineers and the power company's staff. The system has a standard function for high grade data processing of thermal power plant hereafter. This article describes the planning, the configuration and the installation of the system.

1. ま え が き

関西電力株式会社堺港発電所は最終目標出力 200 万 kW の構想をもつ最新鋭火力発電所で、昭和 39 年 12 月に 1 号機が営業運転を開始して以来、現在まで 4 号機が営業運転にはいっており、引き続き 5, 6 号機も建設中である。1, 2 号機 (250 MW×2) には BR-330 計算機システムが設置され、1 号機の営業運転開始とともに本格的な運用にはいり、以来順調な実動を続け、オペレータから高い利用度と信頼を得て、安全で高効率な運転に寄与している。その実績により、3, 4 号機 (250 MW×2) にも同形の MELCOM-330 計算機システムが導入されることになり、本年 1 月に堺港発電所に搬入され、6 月現在、最終調整の段階にある。この計算機システムの導入にあたっては、1, 2 号機の計算機システムの運用実績にもとづいて、各機能がくわしく検討された結果、数々の新しい試みが採用されている。ここでは、これらを中心に導入の経緯、システムの構成と機能、掘付調整などを紹介する。

2. 導入の経緯

1, 2 号機の計算機システムの運用にあたって、堺港発電所と建設所の間で計算機運用委員会が設置され、約 1 年半の運用実績について、実動率・データの信頼度・経済性・改良点・今後研究すべき点などについて検討された。その結論は概略、次のようなものであった。

(1) 計算機の実動率、データの信頼度は高く、発電日報、旬報のデータとして採用するのに十分満足できるものである。ただ、全面的な統計業務の自動化へ移行するためには、日誌の項目の追加、形式の改良が必要である。

(2) ユニット効率の改善に計算機の寄与するところは大きい、さらに改善するためには、解析を積み重ねて、利用範囲の拡大をはかる。このために性能計算は、たんに、各機器の実績効率のみではなく、自然条件に対して修正された目標効率に対する実際のユニット効率の偏差のうちわけを効率に影響を与える要因ごとに印字させ、オペレータへのより直接的な高効率運転の指針とすることををはかる。

(3) 事故防止の強化のために、警報機能の強化、事故解析データの収集の機能が必要である。このために在来のアナログ計器による警

報との協調をはかり、警報表示装置を統一するとともに、警報印字の内容を充実させる。また、ユニットトリップ時などの事故時にその直前の主要データの傾向を記憶する経過値印字の機能を加える。

(4) 利用度の高かった、トレンド記録・トレンドプリント・トレンド表示の機能をさらに拡張する。

(5) 計算機に関連する工業計器類の精度向上をはかる必要がある。また、実動率の実績からみて、二重計装の必要性はきわめて薄い。

(6) 現在の 250 MW 級プラントの起動停止のひん度は少なく、自動データ処理の段階でも採算性はあるので、当面、自動データ処理機能の充実をはかり、将来ショーケンスモニタリングの機能を拡張する。

以上のような結論をもとに、計算機のハードウェア構成、機能の詳細について堺港発電所の計器担当者と三菱電機のシステムエンジニアの間で検討を重ね、同時に性能計算については、上記の構想のもとに、3 号ボイラのメーカーである石川島播磨重工株式会社、4 号、ボイラ、および 3・4 号タービンのメーカーである三菱重工株式会社に協力をお願いし、貴重なデータを入手した。これらの結果をまとめたシステム計画書が作成され、その後約 6 カ月間の検討期間をおいて昨年 8 月正式に導入が決定した。

3. システムの構成

図 3. 1 はこの計算機システムの構成である。図 3. 2 は計算機本体の外観である。計算機本体は 1・2 号システムと同様、10 面のキャビネットから構成されている。オペレータコンソールは図 3. 3 に示すようなデスクタイプでオペレータリクエストパネルとオペレータコントロールパネルの 2 面が取付けられるが、後者は将来ショーケンスモニタへ拡張する場合に設置予定のもので、現在はブラックパネルが取付けられている。オペレータコンソールの右側に、デスクを設け、警報タイプライタとアナウンスメントタイプライタを設置している。さらに、その右側にはトレンド記録計コンソールを設け 4 台の 3 ペン式トレンド記録計を取付けている。日誌タイプライタ 4 台および性能計算タイプライタは、同じ中央制御室に設置されている。これらのタイプライタはすべて 1, 2 号システムと互換性を持っている。図 3. 4 は中央制御室の配置図である。以下これらの機器について説明する。

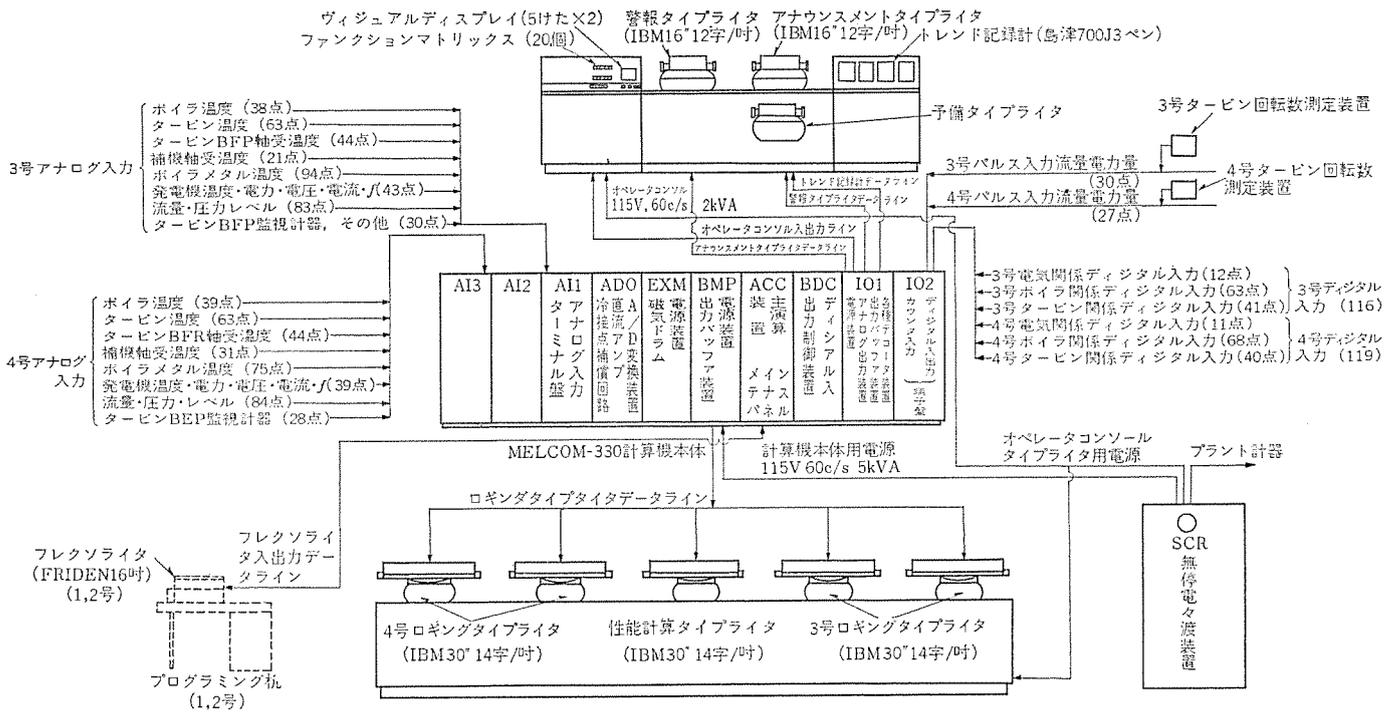


図 3.1 計算機システム構成図

Fig. 3.1 System configuration of computer.

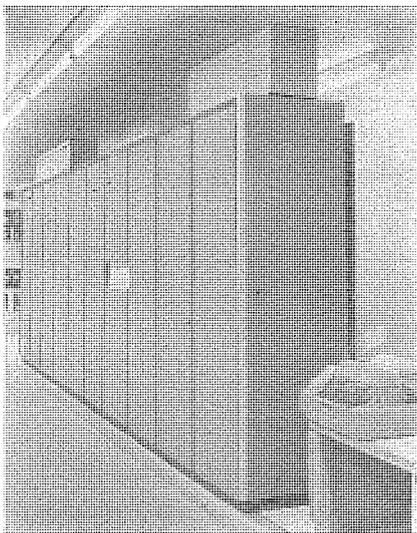


図 3.2 計算機本体外観
Fig. 3.2 Computer cabinet.

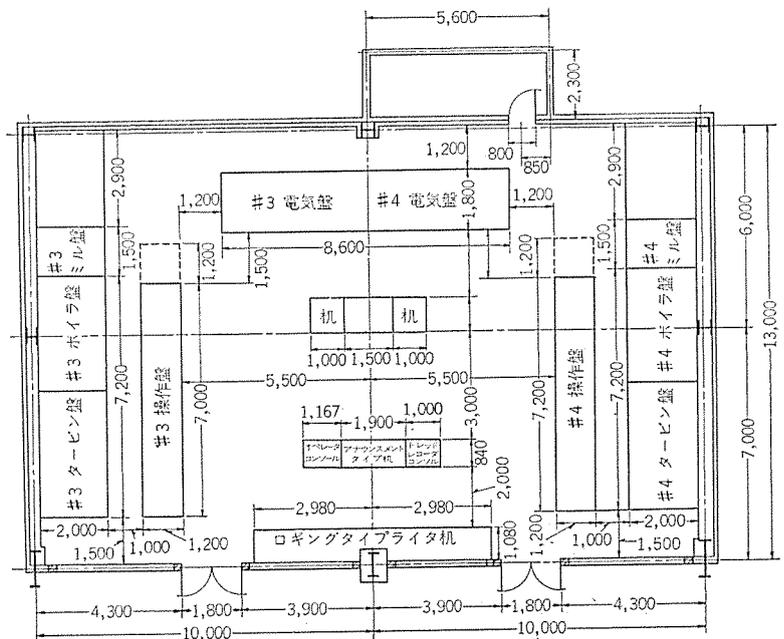


図 3.4 中央制御室配置図
Fig. 3.4 Arrangement of control center.

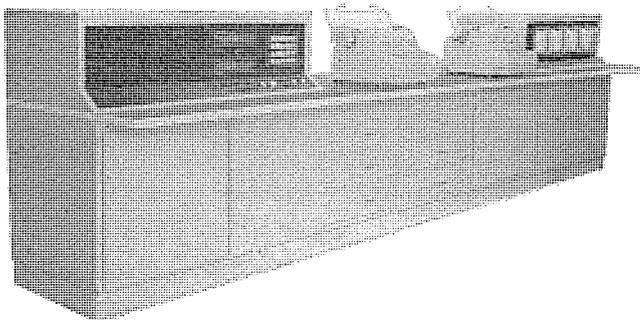


図 3.3 オペレータコンソール外観
Fig. 3.3 Operator's console.

(1) オペレータリクエストパネル

(a) ファンクション選択スイッチおよび表示灯

ファンクション選択スイッチは2けたの8進スイッチからなり、表示灯は20個の長方形表示灯から構成されている。ファンクション選択スイッチによって、あるオペレータリクエストファンクションを選択すると、そのコードに相当する表示灯が点灯し、リクエストの内容を表示し、オペレータが自分の要求した機能を確認できる。

(b) オペレータ押しボタンスイッチ

オペレータ押しボタンスイッチには次の4個の押しボタンスイッチがある。

「起動」 このスイッチはファンクション選択スイッチといっしょに用いられる。この押しボタンを押すことにより計算機は指定されたファンクションを実行する。

「停止」 このスイッチにより実行中のファンクションを停止するこ

とができる。

「警報確認」 警報発生時、このスイッチを押すことにより、BT 盤のアウンシェータをリセットすることができる。

「計算機故障」 計算機のフェイルセーフ機能によって計算機内部の故障が発見されると、このスイッチが点灯し、オペレータに故障を明示する。オペレータが故障の状況を確認後このスイッチを押すことにより、BT 盤のアウンシェータ「計算機故障」をリセットすることができる。

(c) データ入力スイッチ

12 個のデータ入力スイッチがあり、6 けたずつにわけられて、点番号指定とデータ設定に用いられる。点番号スイッチの1けただけは A~J までの英字表示スイッチであるが、他はすべて10進スイッチである。

(d) ヴィジュアルディスプレイ

5 けたのディスプレイ装置が2組取り付けられている。ディスプレイのうち一組は、リクエストがない場合には時刻を表示するようになっている。

(2) トレンド記録計

3 ペン式記録計を4台設置し、任意の12点を選択して記録することができる。記録計は島津製700J型平衡式記録計を使用し、チャート速度は標準25mm/hであるが、試験時などには150mm/hさらに25mm/minに切換えることができる。

(3) アナウンスメントタイプライタ

アナウンスメントタイプライタはIBM16", 12字/inchで、オペレータリクエストの印字に用いられる。

(4) 警報タイプライタ

警報タイプライタはアナウンスメントタイプライタと同じ、IBM16", 12字/inchで、警報印字、補機の運転記録に用いられる。

(5) 日誌タイプライタ

日誌ログのために4台のIBM30", 14字/inchを使用している。

(6) 性能計算タイプライタ

性能計算データの印字のために3, 4号共用のIBM30", 14字/inchのタイプライタを使用している。

以上のように7台のタイプライタがオンラインとして用いられるわけで、これらのタイプライタは優先度、所要印字時間から2グループ、すなわち警報タイプライタと性能計算タイプライタ、4台の日誌タイプライタとアナウンスメントタイプライタの組合せで個々のグループに専用の出力バッファを設けている。

4. 計算機の機能

計算機の機能として次のものがある。

(1) 警報スキャン

アナログ入力のうち約650点および70項目の計算値を平均20点/秒の速度で警報スキャンする。警報はBT盤のアウンシェータに表示し、同時に警報タイプライタに発生時刻・点番号・異常値・上下限の区別および入力点の名称を印字する。入力点の名称は24文字の英数字で表わされている。プラントの安全運転のために重要な約50点の入力については、一次・二次の2段階の警報を行なう。また休転中の機器に対して無意味な警報を極力さけるために、デジタル入力をスキャンすることにより休転中の機器に対する警報スキャンを自動的に停止するようにしている。また、節炭器出口O₂量・火炉ドラフト・重油流量については、負荷によって警報リミットを自動的に変更できる。表4.1は3号ユニットの計算値の項目で、点番号に※印の

表 4.1 3号ユニット計算値スキャン項目
Table 4.1 Calculated scanning items of unit 3.

点 番 号	項 目	計算周期(秒)
3J01	ボイラドラムメタル温度差 No. 1~No. 6	180
3J02	ボイラドラムメタル温度差 No. 2~No. 7	180
3J03	ボイラドラムメタル温度差 No. 3~No. 8	180
3J04	ボイラドラムメタル温度差 No. 4~No. 9	180
3J05	ボイラドラムメタル温度差 No. 5~No. 10	180
3J06	蒸気室内壁メタル、蒸気温度差	60
3J07	高圧外部車室ボルト、メタル温度差	60
3J08	高圧外部車室フランジ、ボルト温度差	60
3J09	高圧内部車室フランジ、ボルト温度差	60
3J10	主蒸気、再熱蒸気温度差	60
3J11	ドラムメタル、飽和温度差 No. 3	180
3J12	ドラムメタル、飽和温度差 No. 6	180
3J13	復水器ターミナル温度差 A	180
3J14	復水器ターミナル温度差 B	180
3J15 ※	主さい弁後蒸気温度変化率	30
3J16 ※	蒸気室内壁温度変化率	60
3J17 ※	高圧内部車室メタル温度変化率	60
3J18 ※	カーチス段蒸気温度変化率	60
3J19 ※	スラストシュ(前側)メタル温度変化率 A	10
3J20 ※	スラストシュ(前側)メタル温度変化率 B	10
3J21 ※	スラストシュ(後側)メタル温度変化率 A	10
3J22 ※	スラストシュ(後側)メタル温度変化率 B	10
3J23 ※	主さい弁前蒸気温度変化率	30
3J24 ※	ドラムダウンカムメタル温度変化率	180
3J25 ※	ドラムアップライザメタル温度変化率	180
3J26 ※	タービン回転数	2
3J27 ※	タービン加速率	2
3J28 ※	A-AH 入口、出口差圧	60
3J29 ※	B-AH 入口、出口差圧	60
3J30 ※	ドラム圧変化率	60
3J31	ボイラブロー量	180
3J32 ※	ユニット効率	10
3J33	重油流量	10

表 4.2 運転時間を集計する機器
Table 4.2 Equipment of which loading time is calculated.

分 類	機 器
電 気 関 係	主変圧器レハ断器 主励磁器
ボ イ ラ 関 係	A, B 押込ファン A, B ガス再循環ファン A, B, C, D カル水循環ポンプ A, B, C 高圧重油ポンプ A, B, C 低圧重油ポンプ A, B, AH モータ
タービン関係	A, B 循環水ポンプ A, B, C 復水ポンプ A, B ボイラ給水タービン 電動給水ポンプ A, B 冷却水ポンプ 低圧ドレンポンプ
そ の 他	A, B 制御用空気圧縮機 雑用空気圧縮機

あるものはデジタルフィルタと呼ぶスムージングテクニックを用い、入力のみわずかなふらつきによる警報の発生を防止している。

(2) 補機の運転記録と運転時間の集計

デジタル入力約240点を10秒ごとにスキャンし、接点状態の変化を時刻・点番号・入力点の名称とともに警報タイプライタに印字する。主要補機(表4.2)についてはある基準時間、たとえば定検完了時からの運転時間の集計を自動的に行なう。現在までの運転時間はオペレータリクエストによって知ることができる。

(3) 日誌作表

約330項目のアナログ入力値・パルス積算値および計算値を15分・30分・60分のいずれかの周期によって、所定のフォーマットに作表する。このほかにオペレータリクエストによって任意の時刻に作表するデマ

ンドログの機能、ボイラの点火・消火時、発電機の併列・解列時、そしてユニットトリップ時には自動的に全日誌データを印字する自動印字の機能がある。1日の最後には66項目の合計値・48項目の平均値・18項目の最大値・最小値を印字する。

(4) 経過値印字 (RECAP)

計算機は常時20点/ユニットのアナログ入力の過去5分間の30秒間隔のデータを記憶していて、ユニットトリップが発生すると同時にデータの更新を停止し、トリップ前5分間とその後5分間のデータを自動的にアナウンスメントタイプライタに印字する。入力点はオペレタリクエストにより任意に設定できるようになっており、またトリップ時以外でもリクエストにより過去のデータを印字させることもできるよう考慮されている。

(5) オペレタリクエスト

オペレタリクエストはオペレタがユニットの状態に応じて必要な機能を計算機に要求するために使用するもので、すべてオペレタリクエストパネルから操作される。オペレタがリクエストを要求したとき、データ入力スイッチの設定等に誤りがあると誤操作の内容をエラーコードによって現わしアナウンスメントタイプライタに印字する。また次の機能はオペレタリクエストパネルにあるキースイッチによりインタロックされているので、リクエストに際してキースイッチをオンにしなければならない。

時間修正

補機運転時間修正

経過値印字点選択

データ設定

計算機 オフライン

(a) トレンド表示

全アナログ入力点と計算値の中から2点を選択してトレンド表示する。データの更新は最高1秒ごとに行なわれ、入力点を選択されていないときには時刻を表示する。表示の方法は2種のモードがあり、入力値の電圧値、あるいは工学単位のいずれかの形式で表示できる。

(b) トレンドプリント

全アナログ入力点と計算値の中から20点までを選択して、アナウンスメントタイプライタに30秒周期でトレンド印字する。

このとき、警報リミットを越えた入力点の値は赤字で印字するようになっている。

(c) トレンド記録

全アナログ入力点と計算値の中から、12点までを選択して、トレンド記録計に記録する。記録幅、すなわち下限値と上限値は任意に指定でき、測定範囲の一部を拡大記録できるようになっている。チャート速度は紙の交換によって、25mm/h・150mm/h・25mm/minのいずれかに設定することができる。上記の入力値以外にボギー値も記録できるようになっている。

(d) デマンドプリント(一点)

全アナログ入力点と計算値の中から、1点を選択して、アナウンスメントタイプライタに入力値を印字する。

(e) デマンドログ

任意の時刻に全日誌データを印字する。

(f) デマンドプリント(グループ)

全アナログ入力点と計算値の中から、任意のグループを選択して、アナウンスメントタイプライタにグループ内の全点を印字する。またユニットの全入力点、あるいは、3、4両ユニットの全入力点を一

度に印字することもできる。

(g) 時刻修正

計算機の時刻を正しい時刻に修正する。この機能は通常、キーロックされている。

(h) 補機運転時間印字

主要補機の基準時間からの運転時間を印字する。特定の一点だけを選択して印字することもできるし、ユニットに含まれる全項目を一度に印字することもできる。

(i) ログ周期選択

日誌の印字周期を15分・30分・60分のいずれかに選択できる。30分・60分に選択された場合、性能計算もログに同期して行なわれる。

(j) トレンドプリント点選択

トレンドプリントする点を20点を越えない範囲で追加したり、不用になった入力点を除去することができる。

(k) 警報設定値プリント

アナログ入力点と計算値の警報リミットを印字する。

(l) 経過値印字

任意の時刻にリクエストした時点より5分前のデータから以後、10分間のデータをアナウンスメントタイプライタに印字する。データのサンプル周期は30秒である。

(m) 補機運転時間修正

計算機に記憶され、積算されている運転時間を修正することができる。この機能は通常キーロックされている。

(n) データ設定

性能計算に必要な分析値を設定する。この機能は通常キーロックされている。

(o) アラームサマリ

任意の時刻に警報状態にある入力点のリストをアナウンスメントタイプライタに印字する。

(p) メモリ印字

計算機のメモリに記憶されている情報を、命令語・ディシマル定数・オクタル定数のいずれかのフォーマットで印字する。

(q) 経過値印字点選択

全アナログ入力点のうちから20点までを選択して、経過値印字をさせる入力点のリストを構成する。この機能は通常、キーロックされている。

(r) 性能計算点印字

性能計算で計算された中間データをグループ別に印字する。

(s) 計算機 オフライン

部分的なプログラムの修正やハードウェアのテストのとき、1日の積算値や、平均値を保存した状態で計算機をオフラインにおくことができる。パルス入力の積算値はオフラインで使用中でも更新される。この機能は通常、キーロックされている。

(t) 統計ログ

前日の統計データを所定のフォーマットに印字する。

(6) 性能計算

図4.1は定時の性能計算の項目と印字フォーマットである。高、中、低圧タービン内部効率や、AHガス温度効率などは別の日誌フォーマットに印字される。また1日の最後には12項目の性能を計算する。性能計算は概略、図4.2に示すような構成になっており、計算に必要な入力点は毎分読みこまれ平均される。水および蒸気の状態量

項目 時刻	ログ コード	# 3 ユ ニ ッ ト																	
		効 率							制 御 不 可 能 な 効 率 偏 差					制 御 可 能 な 効 率 偏 差					
		送 電 電 力 量	送 電 効 率 (基 準)	送 電 効 率 (実 績)	送 電 効 率 偏 差	発 電 効 率	ボ イ ラ 効 率 (損 失 法)	タ ー ビ ン 効 率 (損 失 法)	制 御 不 可 能 な 偏 差	大 気 温 度	海 水 温 度	燃 料 温 度	発 電 機 力 率	燃 料 中 の 水 分 、 泥 分 、 水 素 分	R H 圧 力 降 下	制 御 可 能 な 偏 差	タ ー ビ ン サ イ ク ル 差	効 率 偏 差	汽 機 主 圧 力 ・ 温 度
単 位		MWH	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
倍 数		×1/10	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100
略 号			ER	EA	ED			UD	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	CD	CTD	CT1	CT2	

項目 時刻	ログ コード	# 3 ユ ニ ッ ト																					
		制 御 可 能 な 効 率 偏 差																					
		汽 機							ボ 効			汽 缶				起 効			所 効		不 効		
		H P ・ タ ー ビ ン 率	内 部 効 率	イ タ P ・ L P 率	内 部 効 率	B F P タ ー ビ ン 率	内 部 効 率	給 水 加 熱 器 率	復 水 清 浄 器 度	復 水 器 量	冷 却 水 量	ス プ レ 水 量	補 給 水 量	ボ イ ラ サ イ ク ル 差	排 割 ガ ス 空 気	A H 漏 え の 空 気	ボ イ ラ ブ ロ ー 量	コ ン パ ー タ 蒸 気	S A H 蒸 気	ス ト ー ブ ロ ウ 気	起 効 損 失 差	所 効 電 力 差	不 効 損 失 差
単 位		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
倍 数		×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100	×1/100
略 号		CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9	CT10	CB0	CB1	CB2	CB3	CB4	CB5	CB6	CS	CH	EU				

図 4.1 性能計算印字フォーマット

Fig. 4.1 Performance log format.

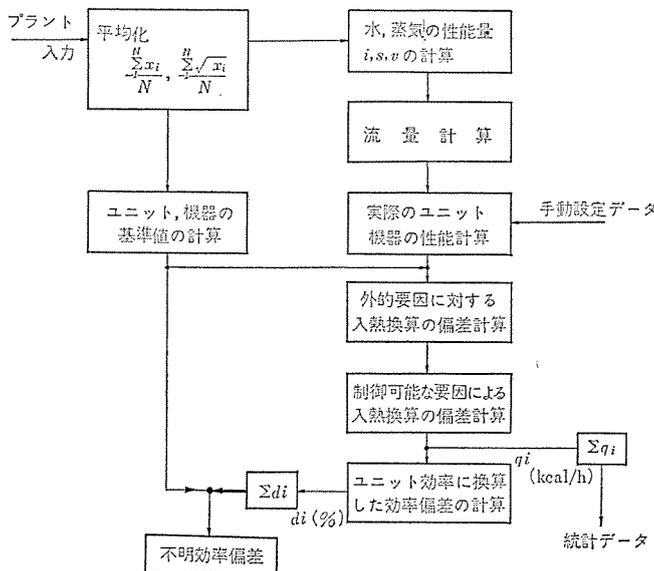


図 4.2 性能計算の構成

Fig. 4.2 Process of performance calculation programs.

を計算するために次のようなサブルーチンが用意されている。

- (a) 過熱蒸気および飽和乾き蒸気のエンタルピー、エントロピー、比容積を求める式
- (b) 飽和水のエンタルピー、比容積を求める式
- (c) 圧縮水のエンタルピー、比容積を求める式
- (d) エントロピーと圧力から過熱蒸気、しめり蒸気のエンタルピーを求める式
- (e) 圧力から飽和温度を求める式
- (f) 温度から飽和圧力を求める式

これらの各式は 200 kg/cm² 以上の臨界点の近傍を除く全領域で 0.05% 以上の精度がある。流量の計算は ASME, PTC. の校正されていないノズル、オリフィスの流量計算に準じて、比容積の補正、ノズルまたはオリフィスの熱膨張係数、レイノルズ数に対する流出係数の修正、そして蒸気については圧縮係数の補正を行なっている。各変数の基

準値は原則として、ユニットの受取試験時のデータから最小自乗法によって近似された多項式の形で記憶されているが、大気温度、海水温度等自然条件の変数についてはメーカーの設計値を採用し、受取試験時、これらの自然条件が設計条件と異なるときには、必要な項目についてその分を修正する。その項目とは、発電端効率・ボイラ効率・スチームヒータ蒸気量・スチームコンバータ蒸気量・真空度などがおもなものである。この基準値と実測値との偏差は、その性質により、プラントの入熱としての偏差、ボイラ損失としての偏差、タービンサイクルの熱消費率としての偏差、プラント出熱としての偏差のいずれかの形で表わされるが、これはいったん、プラントの入熱偏差 (kcal/h) に換算され、統計データとして1日分が積算される。この入熱偏差はさらにユニット効率の偏差 (%) に換算され性能計算タイプライタに印字される。この計算結果の確かさは不明損失偏差の大きさによって判断できる。性能計算には以上のような定時計算のほか、10秒ごとに計算する瞬時ユニット効率がある。瞬時ユニット効率は計算結果に次式のデジタルフィルタをかけてスムージングを行なっている。

$$\eta_N = \frac{N-1}{N} \eta_\phi + \frac{1}{N} \eta_R$$

ここで η_N はフィルタを通した効率であり、 η_ϕ は 1 サンプル前の効率である。 η_R は現在の入力、出力により計算した効率である。 N はシャ断周波数をきめる定数で、現在は 0.4 に設定しているが十分なスムージング効果が得られている。

(7) 統計ログ

1日の最後には、性能計算で計算された各要因に対する入熱偏差合計のほか、発電日報、旬報に必要な表 4.3 のデータを所定のフォーマットに印字する。このデータは在来の定期報告書となるもので、中央の計算センターに送り、機械によって全面的に統計処理するよう計画が進められている。

(8) 計算機のセルフチェックとフェイルセーフ

計算機システムが本格的な運用にはいり、運転日誌が全面的に計算機データによるようになると、システムプログラムの運転を停止してメイン

表 4.3 統計ログ項目 Table 4.3 Item of statistic Log.

コードNo.	項目	単位	けた数	タイプ	備考
501	発電電力量	MWh	3	×××	本項目は毎時間記録
504	発電機	電圧	kV	4	×××.×
505		電力率	%	5	×.×××.×
506		スロットル弁入口	kg/cm ² g	4	×.×××
507	圧力	高圧排気	kg/cm ² g	5	×.×××.×
508		レヒートストップ弁入口	kg/cm ² g	5	×.×××.×
509	温度	スロットル弁入口	°C	5	××.×××
510		高圧排気	°C	5	××.×××
511		レヒートストップ弁入口	°C	5	××.×××
513	計測値	復水器真空度(大気圧修正)	mmHg	6	××.×××.×
514		給水温度(最終ヒータ)	°C	5	××.×××
515		冷却水温度(海水温度)	°C	4	×××.×
516	ボイラ	煙道ガス温度(AH出口)	°C	4	×.×××
517		O ₂ 含有率	%	4	×××.×
519		FDF入口空気温度	°C	4	×××.×
520	一段	再排気	kg/cm ² g	4	×××.×
521		再熱	kg/cm ² g	4	×××.×
522	再熱	再排気	°C	5	××.×××
523		再熱	°C	5	××.×××
530	測定回数	回	2	××	
950	ボイラ出熱量	kcal×10 ³	8	××.×××.×	
527	発電時間数	h	3	×.××	

メンテナンスを行なうことはほとんど不可能になる。この計算機システムでは次の各装置がオンラインでテストできるようになっている。

- (a) ディスプレイ装置
- (b) トレンド記録計
- (c) タイプライタ
- (d) 直流アンプとA/D変換器
- (e) RTD用定電圧電源
- (f) 熱電対冷接点補償回路
- (g) 主演算制御装置
- (h) パルスカウンタ

またこのシステムには、計算機の故障にたいして図4.3に示すフェイルセーフシステムがある。計算機かなんらかの原因により通常のシークェスからはずれると、毎秒のWDTのプログラムリセットが行なわれなくなり、その状態で1分経過すると自動再起動(ASA)信号によりシステムプログラムが再起動される。インストラクションパリティエラーの発生時には、この動作は瞬時に行なわれる。計算機自体のチェックによって発見された故障は、オペレータリクエストパネルの計算機故障表示灯に表示し、警報タイプライタにその内容を印字する。計算機がフェイルセーフシステムによって再起動された場合にも、警報タイプライタに時刻、レジスタの内容、プログラムシークェスの次番地、故障発生時に実行していたプログラム番号、インタラプトの状態などの情報を印字し故障原因の究明に役立っている。

図4.4はシステムプログラムの構成図で、このような構成のプログラムをサイクリック、インタラプティッドシステムと呼んでいる。

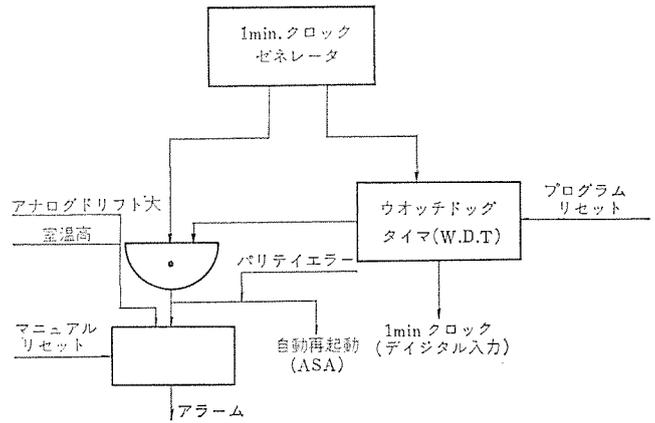


図 4.3 フェイルセーフシステム Fig. 4.3 Fail safe system.

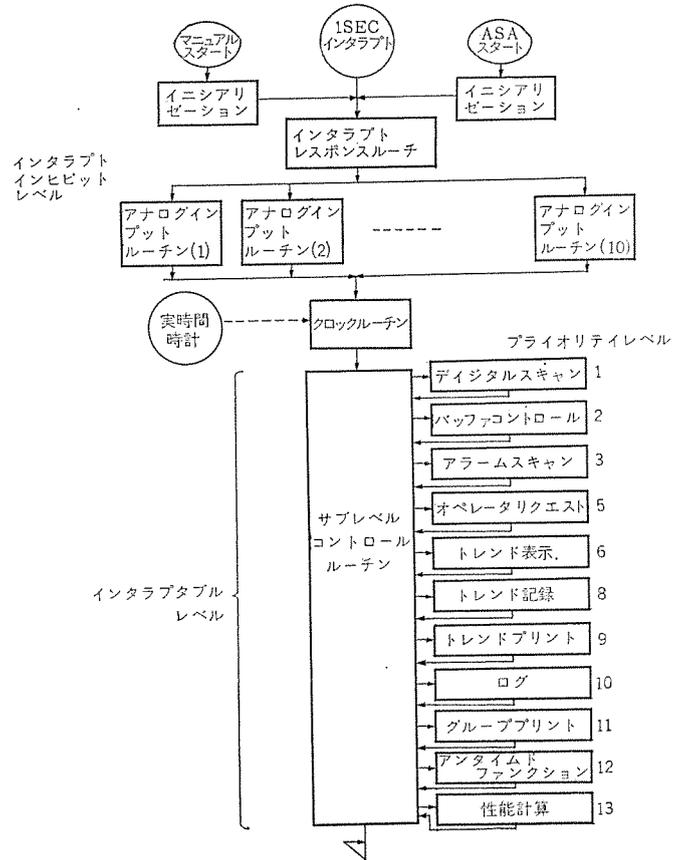


図 4.4 運転プログラムの構成 Fig. 4.4 Flow chart of system program.

5. 据付調整

表5.1はこの計算機システムの工程である。当初この計算機システムは、小形ドラム(最大記憶容量、48K語)で計画されていたので、大形ドラムの到着が搬入時点に間に合わず、現在実施されているドラムの交換、メモリの増設作業の完了をまって、性能計算の一部と統計ログのプログラムを設定することになるが、これまでの据付調整は順調に進み、本年6月末には全機能が完成する予定である。以下現在までの据付調整の概要を紹介する。

(1) 計算機ハードウェア

昨年12月下旬、現地搬入に先だって工場試験、すなわち各部の動作試験、アナログ入力装置の精度試験・電圧マージン試験・フェイズマージン試験・温度マージン試験等が実施され、いずれの項目も好成績

表 5.1 工 程 表

Table 5.1 Installation schedule.

プロジェクト明細		担 当 責 任	プロジェクト実施期間 (年, 月)																	
項目番号	工 事 項 目 名	会 社 名	41	8	9	10	11	12	42	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	発電所工程	関西電力			4号火入れ			4号通気			4号運開		3号定修							
2	入力データリスト(警報仕様・略称を含む)	関西電力						最終リスト												
3	オペレータリクエスト仕様	関西電力																		
4	性能計算仕様	関西電力					1次仕様		印字フォーマット											
5	日誌フォーマット	関西電力					印字項目		最終計算式											
6	その他のプログラム仕様	関西電力						最終フォーマット												
7	機器仕様	関西電力(一部三電)																		
8	端子配列リスト	三菱電機																		
9	プログラミング	三菱電機			コーディング		工場デバック		現地デバック(4号)			現地デバック(3号)		(予定)						
10	機器製作	三菱電機			組立		調整		システムチェック					(4号警報設定)						
11	据付調整	三菱電機(一部関電)							結果				大形ドラム交換							
12					アナログ入力キャビネット搬入			本体搬入		4号調整		3号調整		2,4号調整完了(予定)						
13																				
14																				
プロジェクト実施所要期間 (月)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

な結果が得られ、本年1月初旬、堺港発電所に搬入され約2週間のテストの後、プログラマに引き渡された。現地でのテストは所定の場所に設置した場合の誘導ノイズの影響の調査がおもなものであり、このテストによって最適なグラウンドラインとアース点の選択が行なわれる。このグラウンドシステムをおろそかにすると、長時間の連続運転中、しばしば原因不明の誤動作に悩まされることになり、事実このシステムでもシステムプログラムの運転を開始した直後から、自動リスタートの発生、時計の遅れなどの現象が1日おきぐらいに発生し、調査の結果、オペレータコンソールと計算機間のアースのとりかたに問題があることがわかり、アース点の変更、ラインの引き直しによって解決した。

(2) アナログ入力

アナログ入力キャビネットは昨年11月、計算機本体に先だてて搬入され、4号ユニットの通気前のユニット停止期間にケーブル布設・つなぎ込み・配線チェックなど一連の配線作業が行なわれた。3号ユニットの入力は本年3月、定検時に約2週間の日程で実施された。計算機の入力点のケーブルは、原則として、銅・鉄の二重編組シールドの2心ケーブルであるが、発電機関係の熱電対の補償導線は多心ケーブルで一括シールドのものである。

アース点は熱電対については素子・シールドとも先端1点アース、先端アースのできないものについてはできるだけ先端近くでアースし、トランスデューサからのものはトランスデューサ側、RTDについては計算機側というように信号源側(電源側)で1点アースをとるようにしている。アナログ入力のノイズチェックは、250 MW 運転中を選んで行なわれたが、信号形式・配線仕様ともに1、2号システムと大きな違いはなかったので、各信号のノイズレベルもほとんど同じであり最終的に決定されたフィルタも1、2号の場合と同じであった。図5.1はMELOM-330標準フィルタで、4号ユニットに適用されたフィルタは次のとおりである。

- (a) 熱電対以外の入力 LRC フィルタ
- (b) ボイラ 蒸気, メタル 温度 FAKE フィルタ
- (c) ボイラガス 温度 RC フィルタ
- (d) タービン 蒸気, 給水温度 RC フィルタ
- (e) タービン, BFP 軸受温度 RC フィルタ

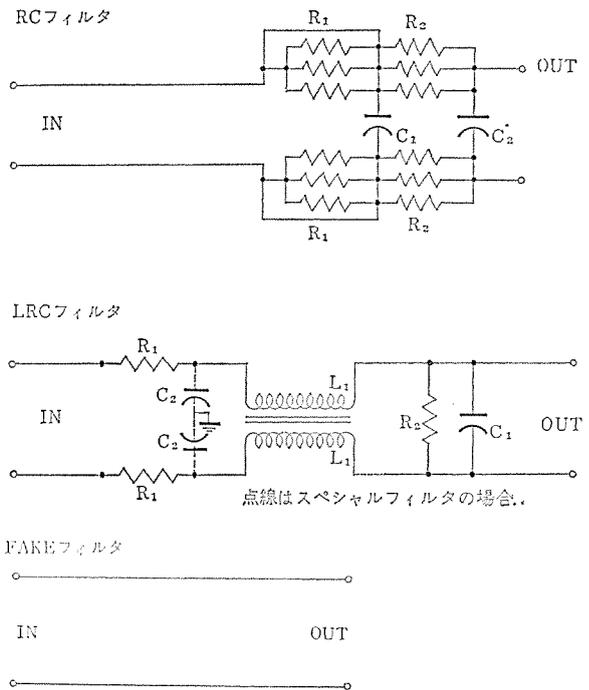


図 5.1 MELCOM-330 標準フィルタ
Fig. 5.1 Standard filter of MELCOM-330

- (f) 補機軸受温度 RC フィルタ
- (g) 励磁機温度 SPLRC フィルタ
- (h) 発電機 コア 温度 SPLRC フィルタ
- (i) 発電機軸受温度 SPLRC フィルタ

ここで SPLRC フィルタ というのは LRC の標準フィルタに共通モードノイズフィルタを付加したものである。直流アンプの共通モードリレクション(CMR)が120 dB と高いにもかかわらず SPLRC フィルタを用いねばならなかった理由は、熱電対の補償導線に平行ワイヤを用いているため共通モードノイズレベルが1~5 V に達し、それが約900点にのぼる入力端子・カードホルダ・水銀リレーなどの浮遊容量による計算機の実効入力インピーダンスの低下と相まって、CMR が約80 dB くらいに低下し、出力に100~400 μV のノイズとなって現われるためである。

る。FAKE, RC フィルタを付加することによる誤差は $10 \mu\text{V}$ を越えないが、それ以上の減衰率のフィルタでは、信号インピーダンスにもよるが、 $20 \sim 30 \mu\text{V}$ の誤差が生ずる。したがって、さらに正確な温度計測のためには線が太くなる欠点はあるがより線を採用すべきで、また計算機のほうも入力点のグループ切換えなどの方法により、実効入力インピーダンスの低下を防ぐ必要がある。

(3) 変換器の精度

このシステムではプラント全体にわたり詳細な性能計算を行なうので変換器の精度はとくに重要な問題であり、このため計算機を標準計器として変換器の調整が行なわれたが、5月下旬に実施された性能試験のデータにみるかぎり、まだ精度に疑問のある入力点がある。とくに流量計は性能計算の結果に大きな影響を与えるにもかかわらず、もっとも精度が得られにくく、かつ校正のしにくいものである。これらを特別な試験装置をつかって実流校正を行なうことはすでに不可能であるので校正方法としては、性能試験で実測したエネルギーバランスとマテリアルバランスと各計測器に予想される誤差の標準偏差から、未定係数法によって校正曲線を推定する方法を適用するつもりである。

(4) 性能試験における基準データの収集

このシステムの性能計算の基準値はプラントの受取試験の性能試験の値を採用することを原則としているので、基準データの収集は据付調整の大きな目的の一つである。4号ユニットの性能試験は5月27日より3日間、各負荷について4時間実施された。このときの計算機の調査項目は次のとおりである。

- (a) 主蒸気流量計と主給水流量計の校正曲線
- (b) 各負荷の基準状態における発電端効率
- (c) 各負荷の所内電力
- (d) 各負荷および入口、出口の圧力比に対する高圧タービン内部効率
- (e) 各負荷および低圧排気体積流量に対する中低圧タービンの内部効率
- (f) 各負荷におけるRH圧力降下
- (g) 各負荷における主蒸気温度、再熱温度
- (h) 各負荷におけるBFPタービン内部効率
- (i) 各負荷における真空度、冷却水量
- (j) 各負荷におけるスプレ水量
- (k) 各負荷における排ガス温度

- (l) 各負荷におけるECO出口 O_2 量
- (m) 各負荷におけるAHろうえい空気量
- (n) 各負荷におけるスチームコンバータ、スチームエアヒータ蒸気量
- (o) 各負荷におけるボイラ効率とボイラ損失
- (p) 各負荷における重油消費量
- (q) 各負荷における給水加熱器のターミナル温度差とドレン温度差

これらの調査のうちほとんどは目的を達したが、e項については給水流量計・低圧ドレン流量計の精度に問題があって妥当と思われる値は得られなかった。またh項も抽気点の切り換わりによって低負荷では正しい値が得られなかった。この性能試験で同一負荷における計算機の計算結果は非常にばらつき(結果のパーセント標準偏差)が小さいことが確認された。たとえば、

発電端効率(外的条件補正)	0.084 %
ボイラ効率(入出力法)	0.072 %
高圧タービン効率	0.23 %
中低圧タービン効率	0.45 %
BFPタービン効率	0.60 %
復水器冷却水量	0.42 %
主蒸気流量	0.036 %
主給水流量	0.104 %

これは現在、絶対精度の点では不満な点が残るが、再現性という相対的な精度は十分であり、一般の工業計器でこのような性能計算が十分実用になるといえる。とくに、従来の測定では正確な量のかみ得なかった復水器の冷却水量でも復水器の放熱量と海水の入口、出口温度から正確につかみ得たということは、従来、精度の点から敬遠されていたエネルギーバランスによる算出法を見直す必要があろう。

6. む す び

堺港3、4号機計算機システムの導入の経緯、システムの構成・機能・据付調整について述べた。6月現在、据付調整中であり、その実績について論ずることはできなかったが、この一文が計算機システムの計画の参考になれば幸いである。われわれが計画当初、意図していた成果が得られることを確信し、そのためにシステムを早急に完成させるように努力している。このシステムで新たに導入された性能計算の詳細や実績については、後日あらためて報告したい。

(昭42-7-3受付)

関西電力(株)大阪発電所2号機向け 火力発電所起動停止シーケンスモニタシステム

山崎 勇*・内田 義久*
渡辺 聡**・花村 泰助**・篠原 光一**

Sequence Monitor System of Start-up and Shut-down for Osaka Power Station of the Kansai Electric Power Company

Kansai Electric Co., Ltd. Isamu YAMASAKI・Yoshihisa UCHIDA
Mitsubishi Electric Corp. Head Office Satoshi WATANABE・Taisuke HANAMURA・Kôichi SHINOHARA

Recent expansion of power demand has made it necessary to construct thermal power stations of huge capacities. This has changed circumstances such that thermal power stations of 156 MW class which were used to operate for the supply of base load have come to stop every day or every week end. For the purpose of relieving the operators' duty in the start-up and shut-down of the plants, reduction of lowering the life of machines, prevention of serious accidents and decrease of losses caused by start and stop, society for studying automatization of start and stop of 156 MW class plants has been set up. As one of the activities, a sequence monitor system of start and stop has been installed for the unit No. 2 of Osaka Power Station of the Kansai Electric Power Co. There have been four start and stop tests to look into the practicability of automatic operation. This article describes the function : of the system, its configuration, operation control flow charts and other numbers of information related to the system.

1. ま え が き

従来水主火従といわれていたわが国の電力系統も、年々大容量火力発電所が建設され、火主水従のすう勢となったが、深夜の需要が、そのわりに伸びないために、火力出力を最低にしても豊水期には水力の水を捨てるような不経済な結果となる。したがって従来新鋭火力発電所として、ペーロード運転していた156 MWクラス火力発電所も毎日停止または週末停止しなければならないことになる。

火力発電所における、現在の運転操作および制御方式を顧みると、起動停止時のバーナ操作、ドレン弁操作などの操作に費やす運転員の労力負担は大きく、また起動停止により機器におよぼす熱的、機械的影響も少なくない。

これらの諸問題を解決し、運転員の負担軽減、起動停止による機器寿命低下の減少、重大事故の防止、起動停止損失の軽減をはかるため、このたび関西電力の起動停止研究会の下部機構として、関西電力、電力中研、三菱重工、三菱電機、三菱商事の各社共同156 MWユニット起動停止自動化研究会が設置され、その一環として大阪発電所2号ユニットにシーケンスモニタシステムを設置し、都合4回にわたる起動停止試験を行なった。ここではシーケンスモニタシステムの機能、構成、運転操作フローチャート導入、据付、試験経過の概要を紹介する。

2. 機 能

このシステムは大阪発電所2号ユニットの定常運転から8時間停止、または30時間停止を行なうための停止操作、および8時間または30時間停止後定常運転までの起動操作時に、機器の安全性の向上、起動停止時間の短縮、運転員の労力の軽減、運転特性、データ収集を目的として設置されたものである。

このシステムの特長として、Man-Manchine Interfaceの部分すなわち計算機と運転員との間の情報交換の媒体としてチャートディスプレ

イ装置を使用した点にある。これは起動停止操作のシーケンスをフローチャートで表わし、チャートスクリーン上に現在進行中のフローチャートを投写し、これによって現在プラントがどのような進行位置にあるのか、起動停止操作のシーケンス中で現在問題となっている部分がどのような点にあるのか、次にいかなる操作を行なえばよいのかを判断できるようになっている。以下にシステムの機能の概要を記す。

2.1 走 査

計算機はアナログ入力点を前もって定められた順序で平均45点/秒の割合で走査し、計算機内部でデジタル符号に変換し記憶装置に記憶する。

2.2 監 視

(1) 異常監視

アナログ入力、計算値を読み込み制限値と比較する。比較方法として上限、下限、上上限、下下限比較が、制限値として固定値、可変値がある。

(2) 運転監視

補機、弁などの機器が前もって定められた順序に従って運転操作されているかどうか監視する。

(3) 偏差監視

プラント主要変数が前もって定められた基準値に従って運転されているかどうか監視する。基準値はプラント運転実績に基づいて作成され、そのときのプラント状態に応じ自動的に修正される。なお必要なときは基準値との偏差量を数値表示できる。

2.3 表 示

(1) 警報表示

監視の結果、異常が認められると、直ちにルーチン表示灯を赤白色点滅し、同時に警報ゴングを鳴らし、異常点発生を知らせる。警報を確認することにより、異常点のロック番号が数値表示され、その点を含むフローチャートがスクリーンに投影される。

(2) 警報点表示

ブレークポイント停止点のブロック番号を数値表示し、その点を含むフローチャートをスクリーンに投影する。

(4) 運転進行位置表示

起動停止過程で現在の運転操作の進行位置、および到達予定位置をブレークポイント番号で数値表示する。

(5) 運転進行方向表示

二つの運転進行方向が考えられるブランチブロック、手動シーケンスモニターモードにおいてはすべてのブロック、または入力点がない入力のブロックにくると、ルーチン表示灯をとう(橙)緑点滅する。確認操作によりその点のブロック番号を数値表示し、その点を含むフローチャートをスクリーンに投影し、同時にプラント状態を判定した結果により進行方向を指示する。

2.4 計算

(1) 差計算

フランジボルト温度差などの差の計算をする。

(2) 変化率計算

蒸気温度変化率などの変化率の計算をする。

(3) 条件計算

タービン通気時の希望蒸気温度などの運転指針となる項目の計算をする。

(4) 蒸気状態計算

エンタルピなど蒸気状態に関係する項目の計算をする。

2.5 印字

(1) 計算値印字

差・変化率などの計算結果を印字する。

(2) 操作指示印字

運転操作指示項目を印字する。

2.6 オペレータリクエスト

運転員が任意の時刻にプラントの状態をつかむため、必要なデータを収集したり、シーケンスモニター機能を行なうためにある。

(1) トレンド表示

全アナログ入力点のうち任意の一点をデジタル表示器にトレンド表示する。数値は最高2秒ごとに自動的に更新される。

(2) 時刻修正

正しい時刻を設定してデジタル表示器に表示する。時刻は1分ごとに自動的に更新される。

(3) トレンド印字

全アナログ入力のうち任意に20点までを選択して数値を印字する。数値は30秒ごとに自動的に更新される。

(4) トレンド点選択

トレンド印字する入力点を選択する。

(5) アナロググループ印字

全アナログ入力点のうち任意のグループの全点の値を印字する。

(6) デジタルグループ印字

全デジタル入力点のうち任意のグループの全接点の開閉状態を印字する。

(7) メモリ印字

記憶装置に記憶されている内容を10進数、8進数、命令形式の3種類の形式で印字する。

(8) データそう入

フローチャート上で使用する諸定数を設定する。

(9) ブレークポイント停止点の設定

特定のブレークポイントで、シーケンスの進行を一時停止したいときその停止点を設定する。

(10) ディスプレイ

データおよびブレークポイント停止点の設定された値を数値表示する。

(11) 速度・負荷保持

タービン加速、発電機出力上昇・降下の運転シーケンスで、一時シーケンスの進行を保持できる。

(12) 運転モード選択

定常運転、自動シーケンスモニター、手動シーケンスモニターの三つの運転モードのうちいずれか一つを任意に選択できる。

(13) 運転経路選択

運転シーケンスで、二つの進行方向が考えられるとき、そのうち一方へ運転シーケンスを進行させたいとき設定する。運転経路として、8時間停止・30時間停止、スロットル並列・ガバナ並列の二つがある。

(14) 運転進行方向選択

運転フローチャートのブランチブロックで二つの進行方向が考えられる場合、そのうちいずれか一方へ運転シーケンスを進めることができる。

(15) 警報確認

運転操作フローチャート中で、あるルーチンで警報状態が発生したとき、その発生個所を確認できる。

(16) 警報点表示

運転操作フローチャートで警報確認した後、警報状態にある個所をふたたび表示できる。

(17) リジューム操作

運転操作フローチャートで一時停止しているブロックの場合、運転員の判断により強制的にシーケンスを進めることができる。

2.7 補機運転記録

ユニット起動・停止時、主要補機を運転するため、補機の起動または停止時刻、入力点番号および運転状態(ON-OFF)を印字する。

2.8 誤操作印字

運転員がオペレータリクエストの操作を誤ったとき、その誤操作の内容を印字する。

2.9 フェイルセーフおよび計算機故障表示

計算機は次の装置の動作を常時監視し、異常発生と同時に計算機故障表示灯を点灯する。

- 増幅器ゲイン
- 各種電源
- W. D. T
- パリチエラ
- 計算機室温度

3. 構成

図3.1にシーケンスモニターシステムの構成を示す。システムは、MEL-COM-330 計算機、オペレータコンソール、周辺装置および電源装置から構成される。オペレータコンソールを中心に機器構成を説明する。

3.1 オペレータコンソール

図3.2にオペレータコンソールの外観を示す。オペレータコンソールは運転員と計算機間の情報交換の媒体をなすもので、リクエストパネル、コントロールパネルおよびチャートディスプレイパネルより構成される。

3.1.1 オペレータリクエストパネル

図3.3にリクエストパネルの外観を示す。このパネルはおもにデータ処理機能を行なうためにある。

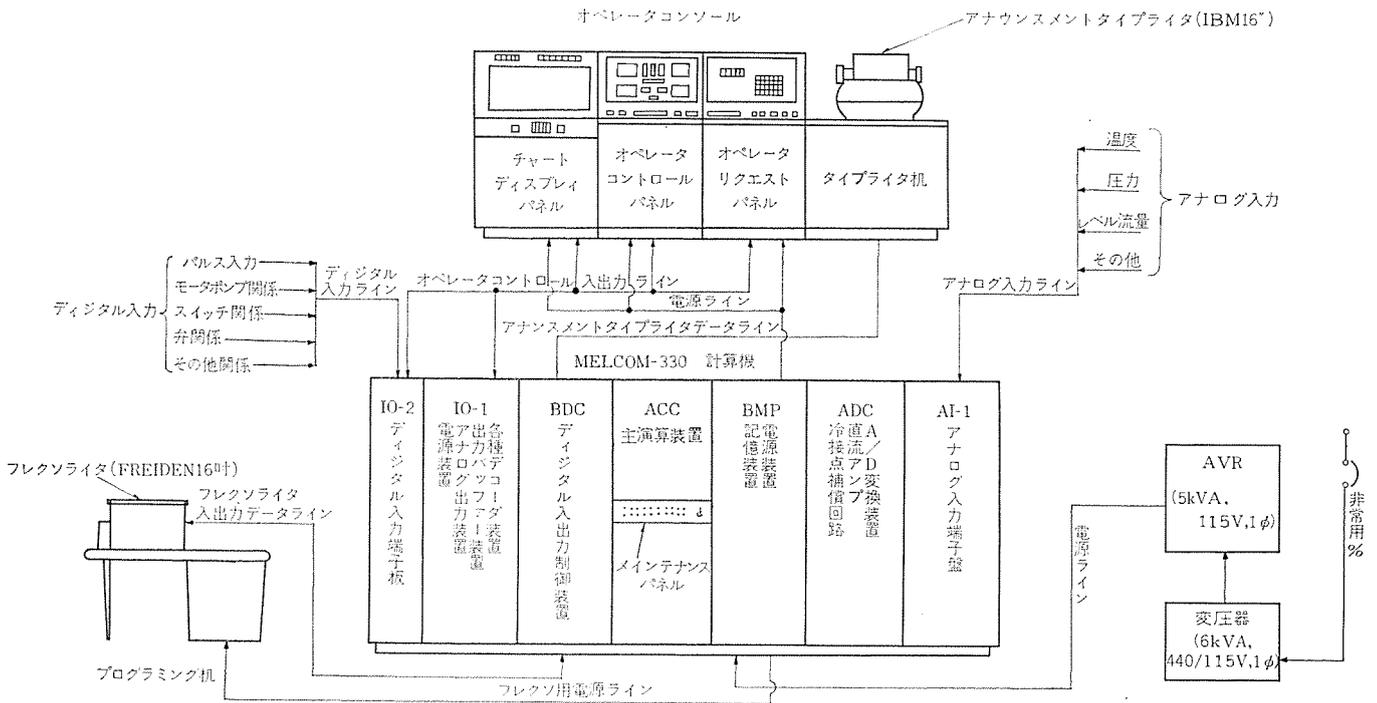


図 3.1 火力発電所起動停止シーケンスモニタシステム構成
Fig. 3.1 Composition of start and stop sequence monitor system of thermal power station.

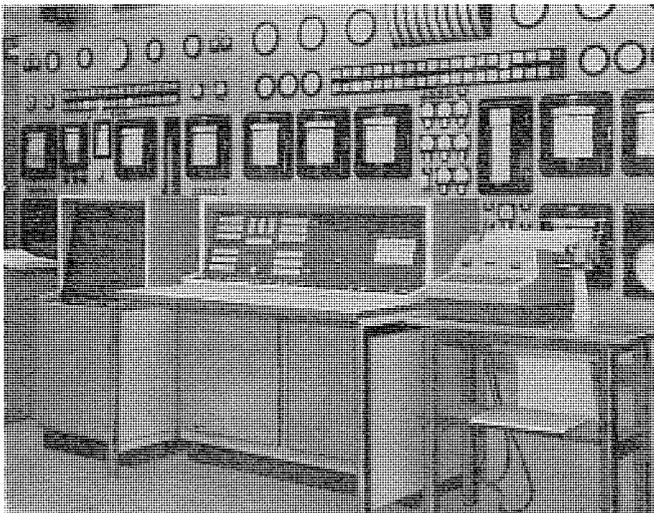


図 3.2 オペレータコンソール外観
Fig. 3.2 Exterior view of operator console.

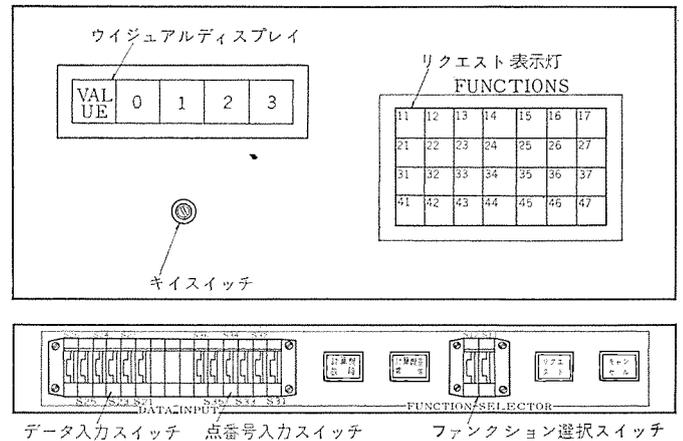


図 3.3 オペレータリクエストパネル構成
Fig. 3.3 Composition of operator.

- (1) リクエスト表示灯, 選択スイッチ
オペレータリクエストを選択してその内容を表示する。
- (2) ウィジュアルディスプレイ
時刻またはアナログ入力を数値表示する。
- (3) 点番号・データ入力スイッチ
入力点番号, データを設定する。
- (4) リクエスト・キャンセル押しボタンスイッチ
リクエストを要求またはキャンセルする。
- (5) 計算機故障・計算機室温高表示灯
計算機故障および計算機室温高の表示を行なう。

3. 1. 2 オペレータコントロールパネル

図 3. 4 にコントロールパネルの外観を示す。このパネルはおもにシーケンスモニタ機能を行なうためにある。

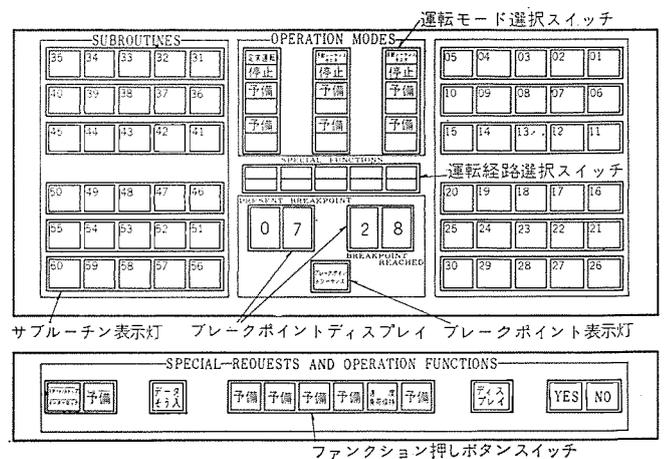


図 3. 4 オペレータコントロールパネル構成
Fig. 3.4 Composition of operator control panel.

(1) サブルーチン表示灯
合計 60 個の押しボタンスイッチからなり、フローチャートを構成する各サブルーチンに、1対1に対応し、各サブルーチンの動作状態により次の7種類の表示をする。

- 緑色点灯—動作していないことを示す。
- だいたい色点灯—ルーチン停止点で停止していることを示す。
- 赤色点灯—正常に動作中であることを示す。
- 緑だいたい点滅—ランチブロックで一時停止していることを示す。
- 赤白点滅—異常点が発生したことを示す。
- 白色点灯—異常点が発生中であることを示す。
- 消灯—そのルーチンに対しリクエストがなされたことを示す。

(2) ブレークポイント表示灯
1 個の押しボタンスイッチからなり、ブレークポイントルーチンに対応する。その動作状態によりサブルーチン表示灯と同様の表示を行なう。

(3) ブレークポイントディスプレイ
現在実行中および到達予定のブレークポイント番号を、数値表示するための実行ブレークポイントおよび到達ブレークポイントディスプレイの2組のディスプレイ装置が設けられている。

- (4) 運転モード選択スイッチ
計算機の運転モード選択するためにある。
- (5) 運転経路選択スイッチ
運転シーケンス中の運転経路を設定する。
- (6) ファンクション押しボタンスイッチ
オペレータリクエストを行なうために使用する。
- a. スタート/ストップインターロック
誤操作の防止のため
 - b. データそう入、ディスプレイ
データ、ブレークポイント停止点の設定およびディスプレイするのに用いる。
 - c. 速度・負荷保持
タービン加速、発電機出力上昇・降下の運転シーケンスで一時そのシーケンスの進行を保持するのに用いる。
 - d. YES および NO

ランチブロック、および手動シーケンスモニタモードで、全ブロックにおいて運転シーケンスの進行方向を指示し、進行方向を指定するのに用いる。

3. 1. 3 チャートディスプレイパネル

図 3. 5 にチャートディスプレイパネルの外観を示す。

(1) チャートスクリーン

実行中の運転シーケンスを投影し、運転員に現在の運転位置を明示する。チャートプロジェクタは、80 枚のスライド中から任意の1枚を2.5秒以内で、計算機からの指令または手動で選択し投影する。

(2) ヴィジュアルディスプレイ

a. ブロック番号ディスプレイ

チャートスクリーンに投影されている運転シーケンスのブレークポイント番号、サブルーチン番号およびブロック番号を数値表示する。

b. 偏差量ディスプレイ

プラント主変数のその基準値からの偏差を工学単位で表示する。

(3) 選択スイッチおよび押しボタンスイッチ

手動でチャートを選択し、投影するのに用いる。

3. 2 周辺装置

3. 2. 1 アナンスメントタイプライタ

16 インチの IBM 製タイプライタで、トレンド印字、グループ印字、計算

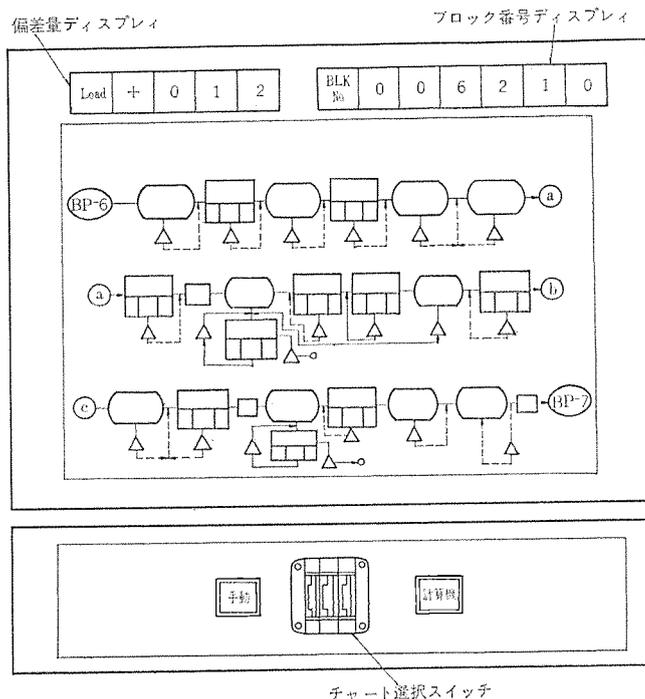


図 3. 5 チャートディスプレイパネル構成
Fig. 3. 5 Composition of chart display panel.

値印字など諸印字を行なう。

3. 2. 2 万能入出力装置

フリーデン製でテープのさん孔、読込、印字などのプログラム作業のために用いる。

3. 3 電源装置

計算機の電源としてプラント起動停止時には、所内電源が使用可能であるという前提で無停電電源でなく、飽和鉄心形定電圧電源装置を設置した。

4. 運転操作フローチャート

運転操作フローチャートは機能的にみてシーケンスモニタシステムの骨格をなすものでプラントの起動停止特性、従来の運転操作手順に基づいて作成した。フローチャートはブレークポイントルーチン、サブルーチン、シンクロナイズルーチンから構成される。図 4. 1 にプラント起動停止曲線と各ルーチンの動作状態との関係を示す。

4. 1 ブレークポイントルーチン

フローチャートの骨格をなすもので、プラントの主要操作を1本の時系列上に表示したもので、運転シーケンスでただ一度しか実行されないルーチンまたは制御ルーチンからなっており、またサブルーチンの始動・停止を行なう。このルーチンは一連のブレークポイントに分割され、そのおのにおに番号を付し、運転員がプラントの運転状態を確認したり運転シーケンスを選択するのに使用する。このシステムでは起動操作をBP-1からBP-10まで、停止操作をBP-11からBP-15までに分割した。以下にブレークポイントルーチンの内容を記す。

BP-1 ボイラ起動準備

ボイラを起動するにあたって必要な補機が起動されているかどうか、空気系統、潤滑油系統、所内用水系統、給水系統、補助蒸気系統、灰処理系統などが使用可能かどうかのチェックを行ない、これらの条件が満たされると、発電機まわりの各種インターロックリレーのリセット、重油シャ断弁のリセット、給水ポンプ、キャンドポンプ、空気予熱器、誘引

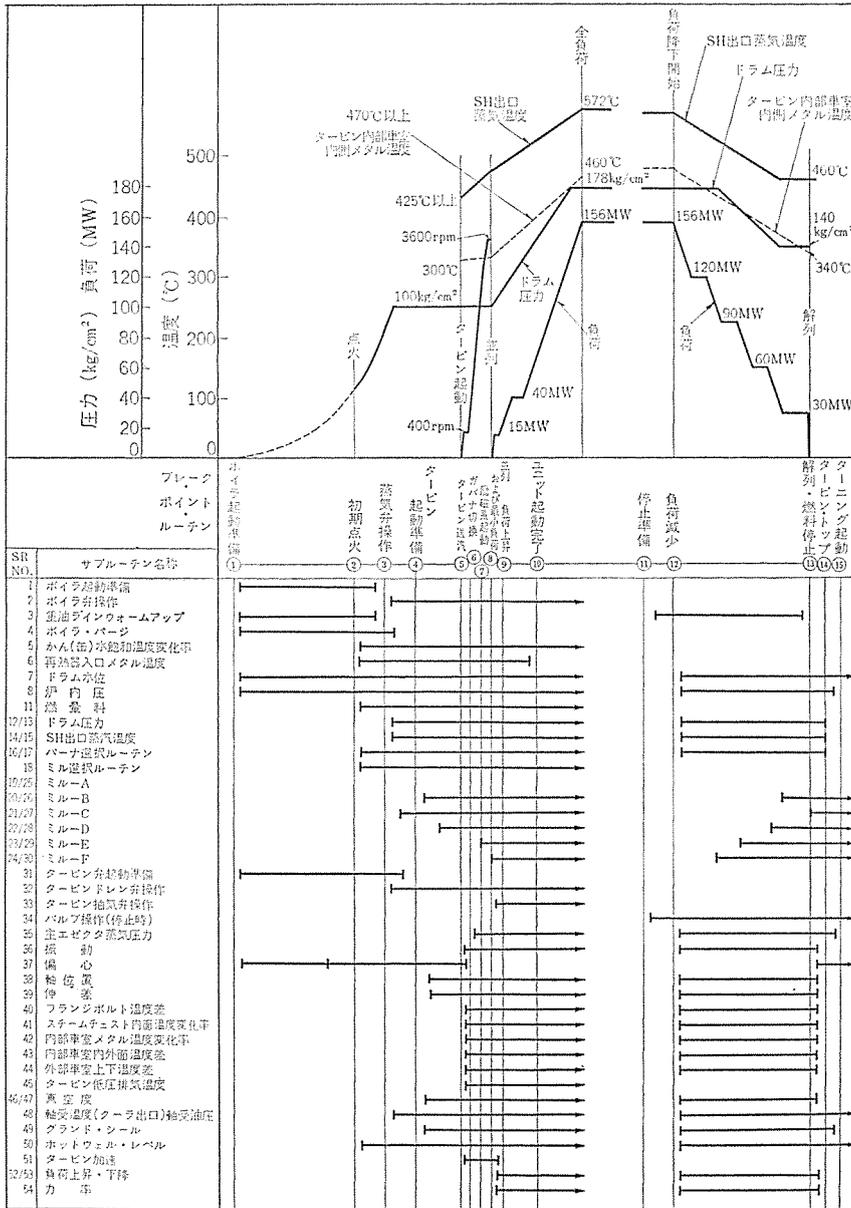


図 4.1 大阪発電所 156 MW ユニット起動停止曲線 (8時間停止) と サブルーチンの動作

Fig. 4.1 Start and stop curves of 156 MW unit in Osaka Power Station and sub-routine operation.

通風機, 強圧通風機の各補機の起動を チェック し, ボイラパージが完了までモニタする。

BP-2 初期点火

ウォームアップバーナの点火準備を行ない, ボイラのドレン弁, ベント弁などの開閉が満足されるとパイロットーチ, ウォームアップバーナ点火の操作指示を出す。バーナ点火が完了すると二次空気タンバの開度のモニタを開始し, バーナ選択, 燃料量監視ルーチンを始動する。

BP-3 蒸気弁操作

重油ラインのウォームアップ完了にともない重油バーナ点火準備条件をモニタし操作指示を出す。重油バーナ点火後高圧給水加熱器を生かし, タービンのドレン弁などの起動準備が完了すると, ドラム圧力, 過熱器出口蒸気温度のモニタを開始し, タービン本体ドレン弁操作ルーチンを始動する。

BP-4 タービン起動準備

スロットル弁, ガバナ弁, 左右インタセプタ弁などの開閉操作, タービン潤滑油系統, 発電機密封油系統, グランドシール系統, 発電機励磁系統の

起動操作のモニタを行ない, タービン通気時の希望蒸気温度をタービンメタル温度より計算する。次にタービン送気条件を チェック する。

タービン送気条件としては, 下記事項を満足させる必要がある。

- (1) 軸受油圧, 油温が適当であること。
- (2) タービン軸偏心, 伸差が規定値内であること。
- (3) スロットル入口圧力が十分であること。
- (4) スロットル入口蒸気温度がタービンメタル温度から求めた希望蒸気温度以上で, かつ飽和蒸気温度より 56°C 以上過熱されていること。
- (5) 復水器真空度が適当であること。
- (6) ターニングちゅうであること。

BP-5 タービン送気

ローリング時間, タービン加速率, ローリング終了, ウォーミング終了, 同期投入, 20% 負荷到達予定時刻を計算し印字する。ターニングギヤ切離し後, タービン加速状態, 振動, メタル温度変化率などの諸制限値のモニタを開始する。

回転数が 600 rpm に達すると偏心のモニタを停止する。

BP-6 タービン加速

回転数が 2,400 rpm に達するとメインエベクタの起動操作を チェック する。ガバナ並列のときには, ここでスロットル弁からガバナ弁の切替完了のチェックを行なう。回転数が 3,350 rpm に達すると最低負荷でのウォーミング必要時間を計算する。

BP-7 励磁系起動

界磁しゃ断器が入か, 発電機電圧が適当かをチェックする。

BP-8 併入および最小負荷

主しゃ断器が投入されると負荷上昇, 力率監視ルーチンの始動を行ない負荷上昇率などの計算を行なう。スロットル並列のときは, ここでスロットル弁からガバナ弁への切替操作を監視する。

BP-9 負荷上昇

発電機出力が 30 MW 以上になると再熱器入口メタル温度のモニタを停止し, 節炭器再循環弁が閉になったかチェックする。40 MW 以上になると 2 台目の給水ポンプの起動操作を監視する。

BP-10

発電機出力 60 MW 以上になると所内切替操作, 2 台目の復水ポンプの起動操作を監視し, 140 MW 以上で 3 台目の給水ポンプの起動操作を チェック する。希望負荷に達すると起動完了の印字を行ない運転員が定常運転モードに切替えるまで待機する。

BP-11 停止準備

化学処理が終了したかチェックし, バルブ操作, 重油ラインウォーミングルーチンを始動する。

BP-12 負荷減少

負荷降下監視ルーチンを始動し, 負荷降下状態を監視する。負荷 80 MW 以下で復水ポンプが 1 台運転となったか, 負荷 60 MW 以下で所内切替完了か, 負荷 50 MW 以下で給水ポンプ 1 台運転か, などをチェックする。

BP-13 併解および燃料停止

主シャ断器切換後の諸操作をチェックし、タービンまわりの諸監視ルーチンを停止する。

BP-14 タービントリップ

タービントリップ後、ボイラ消火、パージ操作、諸補機停止操作を監視する。

BP-15 ターニング始動

タービンが零速度に達するとターニングを開始し、各補機の停止をチェックした後、停止完了の印字を行なう。

4.2 サブルーチン

運転シーケンスにおいて、2度以上繰り返し実行される操作項目、必ずしも時間系列とならない操作項目、一定時間々隔でチェックしなければならない監視項目、刻々変化する目標値やその他運転データの計算項目は、プログラム作成面からサブルーチンとして別個に作成した。各サブルーチンは、必要に応じブレイクポイントルーチンまたは、サブルーチンにより始動され、ブレイクポイントルーチンまたは、それ以外のサブルーチンが停止を命ずるか、または、そのサブルーチン内部で停止点に達するまで、それぞれのプラント特性に応じた周期で繰り返し実行する。このようにサブルーチンを採用することにより計算機による運転操作・監視の並列化が可能となる。以下にサブルーチンの内容を記す。

SR-1 ボイラ弁起動準備ルーチン

ボイラ起動時に操作するボイラまわりの弁の開閉状態をチェックする。

SR-2 ボイラ弁操作ルーチン

一次過熱器、二次過熱器ドレン弁、再熱器ベント弁、水胴ブロー調整弁、連続ブロー弁などのボイラまわりの弁の起動時全般にわたって、開閉状態をチェックする。

SR-3 重油ラインウォーミングアップ

重油ラインウォーミングに必要な諸条件・操作を監視し、重油温度(送り)がある値以上でかつ送り、戻りの重油温度差が一定値内にはいなかったかでウォーミング完了時点を判定する。

SR-4 ボイラパージ監視ルーチン

FDFタンパ開度、二次空気タンパ開度が適当かチェックし、条件が満たされ、かつ5分間経過するとパージ完了と判定する。

SR-5 かん(罐)水飽和温度変化率監視ルーチン

ドラム圧力よりかん水飽和温度を計算で求めその1分間・5分間開げきの変化率が $\pm 120^{\circ}\text{C/h}$ 内であるか監視する。なお変化率計算値は必要なとき印字できる。

SR-6 再熱器入口メタル温度監視ルーチン

再熱器入口メタル温度が 510°C 以下か監視する。

SR-7 ドラム水位監視ルーチン

プラントの状態により決められる制限値内にドラム水位があるか監視する。

SR-8 炉内圧監視ルーチン

炉内圧が、 $5\sim 25\text{ mmHg}$ 内にあるか監視する。

SR-11 燃料量監視ルーチン

かん水飽和温度変化率、再熱器入口メタル温度の条件から燃料量をふやすか、減らすかを判定する。

SR-12, 13 ドラム圧力監視ルーチン(起動、停止時)

ドラム圧力、上昇・下降基準曲線に従って圧力が変化しているかどうか、偏差監視する。この基準曲線はプラント状態に応じ自動的に修正され、運転のフレキシビリティに応じられる。なお必要なときは基準値との偏差量を数値表示できる。

SR-16, 17 バーナ選択ルーチン(起動・停止時)

プラント状態に応じて使用する、重油・軽油バーナ本数、ミル台数を指示する。

SR-18 ミル選択ルーチン

並列予定時刻をパラメータとしてミル起動時期・順序を判定しAからFまでのミル起動操作ルーチンを始動する。

SR-19~24 ミル起動操作ルーチン A~F

ミル選択ルーチンにより始動され、ミル起動準備操作、ミル起動、ミルのウォーミング完了の判定、フィーダ操作、フィーダ起動の諸操作などを監視する。AからFまでの6台のミルに対し、同様な監視を行なう。

SR-25~30 ミル停止操作ルーチン A~F

バーナ選択ルーチン(停止時)により始動され、フィーダ停止準備操作、フィーダ停止、ミル停止、ミル停止後の諸操作を監視する、AからFまでの6台のミルに対し同様な監視を行なう。

SR-31 タービン弁起動準備ルーチン

タービン起動時に操作するドレン弁、抽気弁などのタービンまわりの弁の開閉状態をチェックする。

SR-32 タービンドレン弁操作ルーチン

タービンまわりドレン弁、エ젝タまわりの弁の開閉状態を起動時全般にわたって監視する。

SR-33 タービン抽気弁操作ルーチン

No. 1からNo. 7までの抽気元弁、デアレータ抽気弁、抽気管ドレン弁の開閉状態および低圧、高圧ドレンポンプの運転状態を起動時全般にわたって監視する。

SR-34 バルブ操作ルーチン(停止時)

抽気元弁、スプレ元弁、ボイラまわりのドレン弁、ベント弁、タービンまわりのドレン弁、デアレータまわりの弁の開閉状態を停止時全般にわたって監視する。

SR-35 メインエ젝タ蒸気圧力監視ルーチン

メインエ젝タ蒸気圧力が $18\sim 22\text{ kg/cm}^2$ 内にあるかどうか監視する。

SR-36 タービン振動監視ルーチン

4点の振動の入力を読み、その最大値と制限値とを比較する。制限値はタービン回転数に変更され、またタービン振動大・過大の2種類がある。

SR-37 偏心監視ルーチン

偏心が 0.05 mm 以内にあるかどうか監視する。

SR-38 軸位置監視ルーチン

軸位置が制限値内にあるかどうか監視する。

SR-39 伸差監視ルーチン

伸差が制限値内にあるかどうか監視する。

SR-40 フランジボルト温度差監視ルーチン

フランジ、ボルト温度からフランジ、ボルト温度差を求めその値が制限値内にあるかどうか監視する。この値は必要ならば印字できる。

SR-41 スチームチェスト内面メタル温度差監視ルーチン

スチームチェスト内面メタル温度より5分間々隔の温度変化率を求め、その値が制限値にあるかどうか監視する。この値は必要ならば印字できる。

SR-42 内部車室メタル温度変化率監視ルーチン

内部車室メタル温度より5分間開げきの温度変化率を求め、その値が制限内にあるかどうか監視する。この値は必要ならば印字できる。

SR-43 内部車室内外面 メタル 温度差監視 ルーチン
内部車室内面・外面 メタル 温度より内外面 メタル 温度差を求め、その値が制限値内にあるかどうか監視する。この値は必要ならば印字できる。

SR-44 外部車室上下 メタル 温度差監視 ルーチン
外部車室上部・下部 メタル 温度より上下 メタル 温度差を求め、その値が制限値内にあるかどうか監視する。この値は必要ならば印字できる。

SR-45 タービン 低圧排気温度監視 ルーチン
タービン 低圧排気温度が制限値内にあるかどうか監視する。

SR-46, 47 真空度監視 ルーチン (起動・停止時)
復水器真空度が発電機出力をパラメータとして決められる制限値内にあるかどうか監視し、また2台目の循環水ポンプの起動・停止の操作指示を出す。

SR-48 軸受温度 (クーラ出口) 軸受油圧監視 ルーチン、軸受油圧 (クーラ出口)、軸受油圧が制限値内にあるかどうか監視する。軸受油圧が低いとき補助油ポンプを起動するよう操作指示を出す。

SR-49 グランドシール 監視 ルーチン
グランドシール 蒸気・水圧力がタービン回転数・発電機出力をパラメータとして決められる制限値内にあるかどうか監視する。

SR-50 ホットウェルレベル 監視 ルーチン
ホットウェルレベルが制限値内にあるかどうか監視する。

SR-51 タービン加速監視 ルーチン
タービン回転数が基準値に従って加速されているかどうか偏差監視する。この基準曲線は振動・軸位置・メタル温度変化率などのプラントの状態に応じて自動的に修正される。タービン回転数とその基準値との偏差量を必要に応じ数値表示できる。

SR-51, 52 発電機出力上昇・降下監視 ルーチン
発電機出力が基準値に従って変化しているかどうか偏差監視する。この基準曲線はプラント状態に応じて自動的に修正される。発電出力とその基準値との偏差量を必要に応じ数値表示できる。

SR-53 力率監視 ルーチン
発電機力率が制限値内にあるかどうか監視する。

4.3 シンクロナイズルーチン

計算機内の運転操作フローチャートの実行シーケンスとプラントの運転操作シーケンスとの間の同期をとるため設けられ、どのようなプラント状態から監視を開始しても、自動的に、そのときのプラント状態に適した監視を行なうことができる。

4.4 パワーステートメント

運転操作フローチャートはパワーステートメントによりプログラムした、パワーステートメントは、プログラムの簡略化、フローチャートの変更・追加の容易性、デバッグの容易性、記憶容量の節約を意図して火力発電所の起動停止システムのプログラムのために開発されたプログラムシステムである。なお詳細は本計算機特集号に掲載の“パワーステートメント”を参照されたい。

5. システム導入、据付および試験経過

5.1 システム導入経過

当初、40年々末年始のプラント停止時を利用して据付工事を行なう予定で40年10月末までに、システム設計、運転操作フローチャート作成を完了したが、電力需給上、年末年始の停止が不可能となり、41年10月の定検時を利用して工事を行なうよう計画が遅延した。41

年4月から機器製作、プログラム作成を再開し8月に関係者立会のもとに工場試験に成功を納めた。

5.2 システム据付経過

42年10月に行なわれた約1か月間のプラント定検期間中に検出器取付、ケーブル布設、結線、システム据付作業を終わるため、10月中旬に現地搬入され、定検完了時にはプラント側と関連ある諸作業はすべて完了した。その後約1か月間ハードウェア調整・入力キャリブレーション・プログラムデバッグ作業を行なったが、アナログ入力リレー選択回路に故障があった以外大きなトラブルもなく調整作業を完了した。

5.3 試験経過

シーケンスモニタシステムが実際の起動停止時に運転員の負担の軽減、事故の減少、起動停止時間の短縮に役立つかどうか、当初の目標としていた機能を果たすかどうか、フローチャートが実際の運転操作と適応しているかどうか、などの検討を行なうため、また、起動停止時の諸データ収集のため41年12月9・10日、16・17日、42年2月3・4日、3月10・11日の都合、4回にわたって起動停止試験を行なった。前3回の試験では、運転員が従来実施していたのと同じ運転方法で起動停止操作を行ない、これが計算機で表示されるフローチャートと合致するかどうかを検討し、最終試験では、計算機により表示されたフローチャートおよび操作指示にしたがって、運転員が起動停止操作を行なった。

この結果、このシステムおよびフローチャートを起動停止を安全、かつ、確実にこなすのに有効であることが認められ、また起動停止時の諸データを収集することができた。図5.1、5.2に運転実績を示す。以上のように、このシステムの有用性が立証されたのであるが、次に述べるような種々の問題点が生じた。

(1) 弁の開閉を検出するデジタル入力の動作が不安定であった。これは既設の弁にリミットスイッチを取付けたため、機構的に無理な点があったため今後検討の余地がある。

(2) チャートディスプレイ装置で、スクリーン上に投影される像が見づらかったが、レンズの絞り調整、反射面の調整などの光学上の改良、およびフローチャートを見やすい形に書き換えることにより改善された。

(3) 当初、ガバナ並列を行なうとしてフローチャート作成したが、その後運転方式が変わり、スロットル並列を標準とするようになったため、それに適応するようフローチャートを追加修正した。

(4) 機器の運転操作順序が、そのときのプラント状態により前後することがあったため、プラント状態をパラメータとして機器の運転順序を変更できるよう考慮した。

(5) フローチャート内の諸条件値を厳密に守ろうとした場合、シーケンスの進行が遅れることがあった。これはプラントの個々の機器のみの最適条件を求めたため、プラント全体からみてそれら相互間の協調をとる必要がある。

(6) 検出器の不良、運転方法の相違などでシーケンスが前に進まないことがあった。このとき運転員の判断で強制的に前に進めるための操作が、やや複雑で、今後改良の余地がある。

(7) 起動停止時の運転員の操作と計算機内のプログラムの進行とは、それぞれ独立に行なわれるため、その相互間にずれを生じた。このような事態を防止するため、シンクロナイズルーチンを付加した。

(8) ミルの起動停止順序は一定のパターンで、シーケンスシリアルに操作するものとしてフローチャートを作成したが、機器の状態でその順序が変わるため、任意にその順序を変更できるよう変更した。

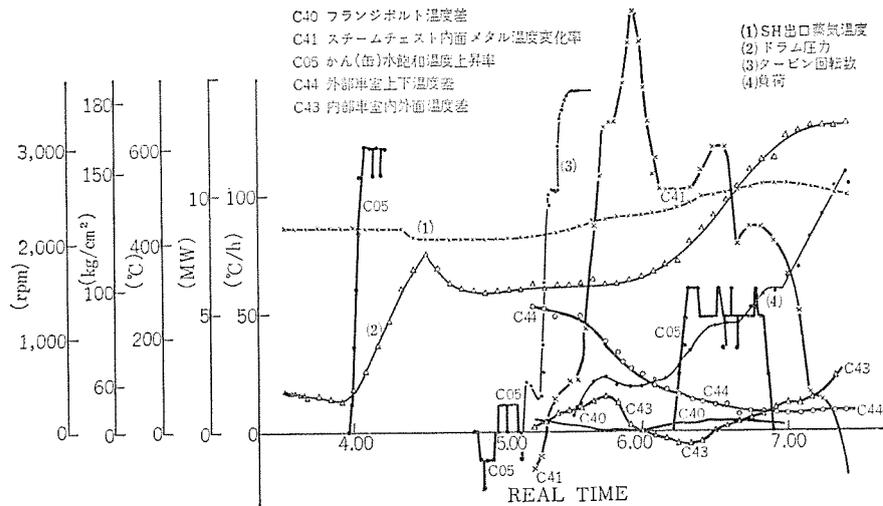


図 5.1 運転実績-起動時
Fig. 5.1 Result of operation-stating.

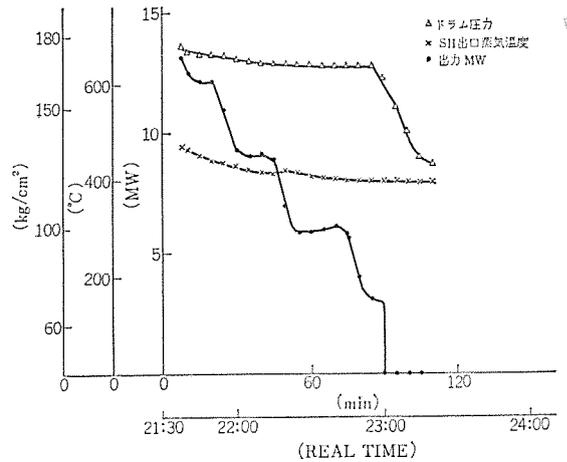


図 5.2 運転実績-停止時
Fig. 5.2 Result of operation-stopping.

(9) 警報確認などで、フローチャート中の異常項目を確認するとき、まずブロック番号ディスプレイに表示されるブロック番号を見て、フローチャート上でそのブロックを捜し、その内容をチェックする。このように2回のチェック操作が必要であるため、わずらわしさがああり、将来はこれを1回のチェックですむように、異常点をスクリーン上でRed Spotなどで明示するよう改良の必要がある。

6. む す び

156 MW 級ユニットの起動停止時における安全性の向上、運転員の労働負担の軽減、起動停止時間の短縮を計ることを目的として設置された自動化研究会の一環として、モニタシステムを設置し検討を進めてきた。その結果次のことが明らかとなった。

(1) 計算機による運転監視方式としてフローチャートを表示する方式が、異常点・運転操作項目の迅速な表示・確認を行なうのに効果があることが確められた。

(2) 起動停止時の運転操作基準を計算機に内蔵できることが判明した。

(3) 起動停止方法にも種々の方法があるが、最良と思われる方法に統一できる。

(4) 計算機により起動停止運転の自動化の可能性に見通しがついた。

(5) 起動停止のモニタを行なうに必要な入力点があつた。

などを知ることができた。以上シーケンスモニタシステムの概要を述べたのである。全ユニットのシーケンスモニタはわが国で最初の試みであり、運転操作フローチャート、人間と機械間の情報交換方式、検出器等今後とも検討余地があるが、このシステムは156 MW 級火力発電所に限らず、その運転操作が複雑多岐である臨界圧発電プラントに導入することにより、十分その目的をはたし、また、将来の完全自動化プラントの実現のための一里塚になるものと信ずる。

最後に、このシステムの設計、製作、試験にあたってご指導、ごべんたつをいただいた関西電力(株)、山崎大阪発電所所長、電力中央研究所竹内火力制御研究室室長をはじめ156 MW ユニット起動停止自動化研究会の数多くの方々のご協力を得た。ここに記して感謝の意を表したい。

火力発電所運転訓練用シミュレータ

柴谷 浩二*・桑田 博*・持田 雅夫*・三田村真次*
石橋 賢悟**

Thermal Power Plant Training Simulator

Kamakura Works Kôji SHIBATANI・Hiroshi KUWATA・Masao MOCHIDA・Shinji MITAMURA
Kôbe Works Kengo ISHIBASHI

Recently with the increase in power demand, thermal power plants of large capacity have been built one after another. The equipments for these plants have become more complicated, and together with the demand for severe reliability on power generation, this has become to require high grade of technical skill on the part of the operators. Now it becomes very important to train the operators. Under the circumstances, Tokyo Electric Power Company has made a plan of building a simulator for the training of thermal power plant operators and Mitsubishi Electric Cooperation has materialized the project by completing the equipment for commercial use, which has been delivered to the technical training center of Tokyo Electric Power Company at Shinagawa. The simulator has been in use successfully since the first of April 1966. The article describes the outline of the simulator as an application of an electronic analog computer.

1. ま え が き

電子計算機技術を応用した訓練用シミュレータとして、当社は原子炉シミュレータをはじめ、フライトシミュレータなど種々のシミュレータを製作しているが、今度新たに火力発電所の全システムをアナログ計算機を応用して模擬した火力発電所運転訓練用シミュレータを製品化して東京電力(株)品川技能訓練所に納入したのでここにその概要を説明する。

近年火力発電設備が大容量化し複雑になる反面、ますますきびしい発電信頼度が要求され、これの運転により高度な技能が要求されている。このため火力発電所の運転員に対する技能訓練は非常に重要な問題となっているが、これに対処する有効な方法として東京電力(株)において火力発電所訓練用シミュレータが企画され、システムの設計と開発がなされた⁽¹⁾。今回完成した製品は東京電力(株)において開発されたシステムを三菱電機が製品化したものである。

本シミュレータシステムは、東京電力(株)の最新鋭プラントの一つである横須賀火力発電所の第3号ユニットをモデルとして構成されたもので、モデルプラントの主機は出力350 MWのクロスコンパウンド形タービン発電機(GE製)と重油専焼、強制循環形ボイラ(CE製)よりなっている。

訓練用シミュレータによる訓練の特長としては、一般に

- (1) 組織的訓練を集中して実施することができ、各人の能力に応じた効果的教育が可能である。
 - (2) したがって訓練期間も短かくて済み、経済的である。
 - (3) また訓練中誤った操作をした場合でも、危険性はまったくないため、安全な訓練が実施できる。
 - (4) 簡単に事故現象が模擬できるため、実機による訓練では不可能な事故時の操作訓練ができる。
- などの項目をあげることができるが、本シミュレータではプログラムのうえて、とくに下記の性能が考慮されている。

- (1) 起動、停止操作などの実プラントにおける運転操作要項がそのまま実現でき、任意の状態から操作訓練がはじめられること。
- (2) 実プラントに予想されるさまざまな事故現象が容易に実現

できること。

なお製品化にあたってのハードウェアについては、とくに下記の性能について考慮した。

- (1) 操作盤についてはメータ形状、配置、盤面塗装色、操作スイッチなどすべて実プラントの感覚が出るようにモデルプラントにならつてある。
- (2) 動特性はすべて実時間で模擬しているが、時定数が通常の計算に比べ非常に長く、数分のオーダーであるため回路上特別なくふうをほどこした。
- (3) とくに機器の信頼度と保守性能の向上に注意を払い、最大限の実動率で訓練が実施できるように考慮した。
- (4) ボイラ点火後の圧力上昇のように、訓練中特別な操作項目がなく、待ち時間となるところは指導員盤より時間短縮の操作ができるようにしてある。
- (5) シミュレータ全体のいっさいの制御はすべて指導員盤より指令できるようになっている。

以下本文においてシミュレータ設備、とくに計算機についてその概要を説明する。

2. 設 備 概 要

このシミュレータシステムは下記の主要機器により構成されている。

(1) BTG 盤	1 台
(空気式ボイラ自動制御装置を含む)	
(2) 運転操作表示盤	1 台
(3) タービン起動盤	1 台
(4) アナログ電子計算機	1 台
(5) リレー論理回路盤	1 台
(6) 指導員盤	1 台
(7) 付属機器	1 式

インターフォン装置
制御空気源装置
定電圧装置
ルームクーラ

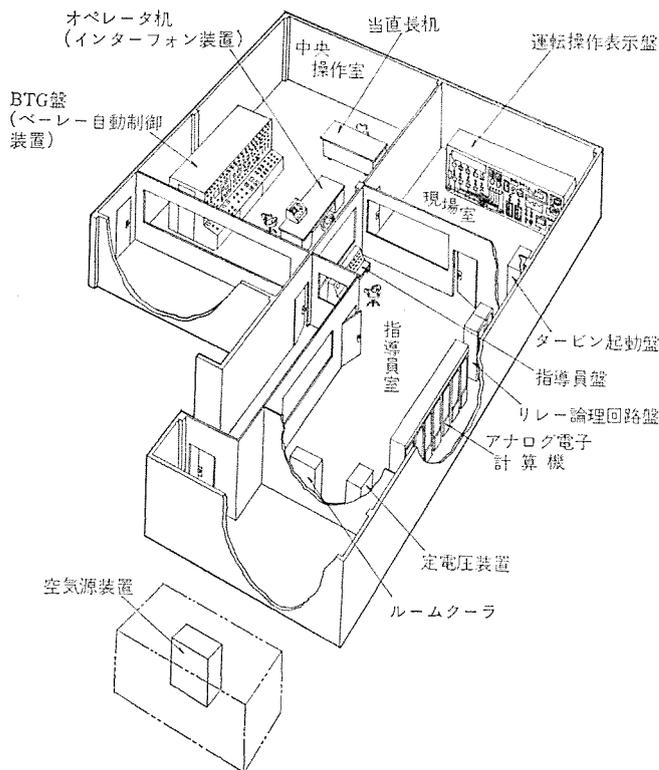


図 2.1 シミュレータ機器配置図
Fig. 2.1 Apparatus arrangement of the simulator.

これらの機器は中央操作室、現場室、指導員室にわけて設置されているが、空気源装置関係は騒音を遠ざけるためすこし離して設置されている。図 2.1 に各部屋および機器の配置を示す。

中央操作室は訓練の中心となるところで、中央に BTG 盤が設置されていて、部屋のふんい気なども実プラントの中央操作室に似せて作られている。盤前の当直机には現場室との連絡をとるためのインターフォン装置が設けられていて、これには給電指令所からの発電指令を受ける指示計 (D. P. I.) も取付けてある。

現場室は実プラントの現場を模擬した部屋で、火力発電所の全系統をグラフィック表示して、現場操作の補機やバルブなどの模擬操作部を取付けた運転操作表示盤とタービン起動盤が設置されている。

指導員室にはプラントの特性を連続的に模擬するアナログ電子計算機、シーケンス関係を模擬するリレー論理回路盤、指導員がシミュレータシステムを制御するのに使用する指導員盤などが設置されている。指導員はこの部屋からガラス窓を通して中央操作室および現場室を見ることができ、インターフォン装置を利用して訓練生に指示を与えることができる。

2.1 BTG 盤

ボイラ、タービン、発電機の制御を行なうに必要な操作器具および運転状況をつかむに必要な監視計器を一つの制御盤にまとめたもので、パネル 2 重形のグラフィック制御盤である。取付品の形状、色、配列などすべてモデルとした横須賀 3 号機の BTG 盤を模して作っている。図 2.2 に指導員室より見た BTG 盤の外観を示す。

外観は実プラントに似たものとなっているが、シミュレータにおいては、信号はすべて計算機との間で授受されるため、メータおよびレコーダの入力信号は計算機の演算電圧 (0~±100 V) で与えられる。したがってメータやレコーダは普通の直流用計器であって、スケールのみが必要に応じて圧力・温度・流量など物理的な意味に目盛られている。

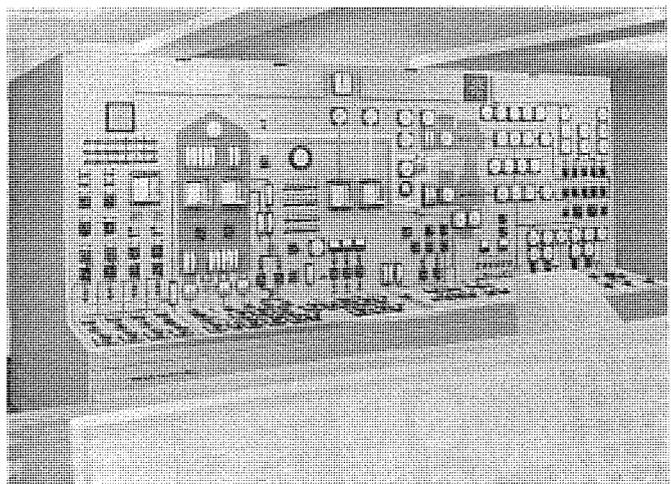


図 2.2 BTG 盤 (指導員室から見る)
Fig. 2.2 View of boiler turbine generator boards.
(from instructors room)

表 2.1 空電・電空変換器性能一覧
Table 2.1 Performance of P/E & E/P converter.

番号	名 称	性 能	台 数
1	空電変換器 (三菱電機製 AV-152 形)	力平衡方式 入力信号 3~27 PSI 出力信号 -2.4~-12V DC 精 度 ±0.5% 以内	11
2	電空変換器 (三菱電機製 AV-632 形)	力平衡方式 入力信号 -1~-9V DC 出力信号 3~27 PSI 精 度 ±0.5% 以内	8

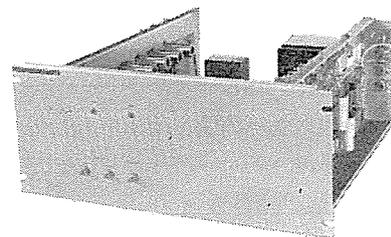


図 2.3 同期検定模擬回路
Fig. 2.3 Synchronizer simulator.

BTG 盤のボイラ関係制御部分には、空気式ボイラ自動制御装置の操作器具が取付けられているが、これは操作感覚の点から、モデルプラントのものと同じペーレー社製のものを輸入して使用している。これらと組合せて使用される空気式演算器、および空気式演算回路と電気式演算回路の間で信号の変換を行なう空電変換器、電空変換器は BTG 盤内に取付けてある。表 2.1 に空電および電空変換器の概略仕様を示す。

発電機の同期検定器は、実プラントに用いられるものと同じのものを使用しており、系統側は実系統の AC 110 V, 50 c/s をそのまま使い、発電機側はタービン回転数を示す計算機の信号電圧を同期検定模擬回路で、これに比例した交流に変換して使用している。図 2.3 に同期検定模擬回路の外観を示す。

2.2 運転操作表示盤

火力発電所のほとんどの機器、およびこれらを接続するパイプ、バルブなどを色わけしてグラフィックに表示したパネルで、本シミュレータに特有のものである。大きさは縦 2m、横 5.5m で図 2.4 に示す外観を有し、各系統は図 2.5 のように配置されている。

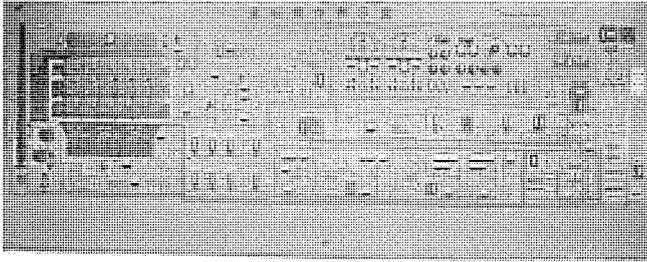


図 2.4 運転操作表示盤
Fig. 2.4 View of local board.

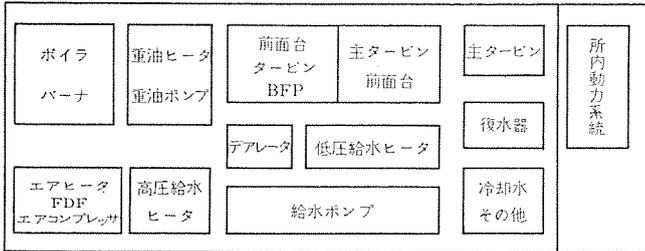


図 2.5 運転操作表示盤の系統配置図
Fig. 2.5 Arrangement of symbols on local board.

盤面には現場操作補機の制御スイッチ、バルブやダンパを模擬したスイッチやランプが取付けられていて、これらの操作信号は BTG 盤の場合と同じく計算機に接続されている。また計算された結果は圧力・温度・レベルなどの信号となり、盤面のメータに表示される。その他バーナ操作を模擬した部、実物大に作られたタービン前面台の操作部分、給水ポンプタービンの制御盤などが表示され、操作器具が取付けられている。

盤側面には所内の電気系統が模擬されており、メタルクラッド、パワーセンタのしゃ断器のそう入、引出しを模擬するスイッチが設けられていて、各補機の操作電源の ON-OFF ができるようになっている。

2.3 タービン起動盤

ペンチ形裏面両開きとびらの盤で、前面の垂直部分にはモデルプラントと同様な形状にスイッチ、メータが配列してある。前面デスク部分にはタービンバルブのシート前後のドレン弁用ハンドルが取付けてある。スイッチの操作信号は計算機に送られ、計算結果は圧力・流量・回転数などとしてメータに表示される。

図 2.6 に外観を示す。

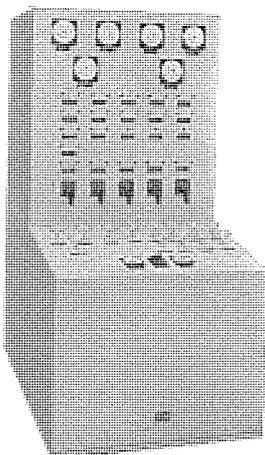


図 2.6 タービン起動盤
Fig. 2.6 Turbine start up board.

2.4 アナログ電子計算機

火力発電所のあらゆる特性を実時間で連続的に模擬する部分で、訓練生の操作する BTG 盤、運転操作表示盤、タービン起動盤からの操作信号および指導教官の操作する指導員盤よりの操作信号を入力として計算を行ない、この結果をこれらの操作盤に送りメータ、ランプ、アナッチェータなどに表示している。

計算機は大形の専用アナログ電子計算機 MELCOM EA-9103 形を使用している。これは電子管式低速度形のもので、とくに ON-

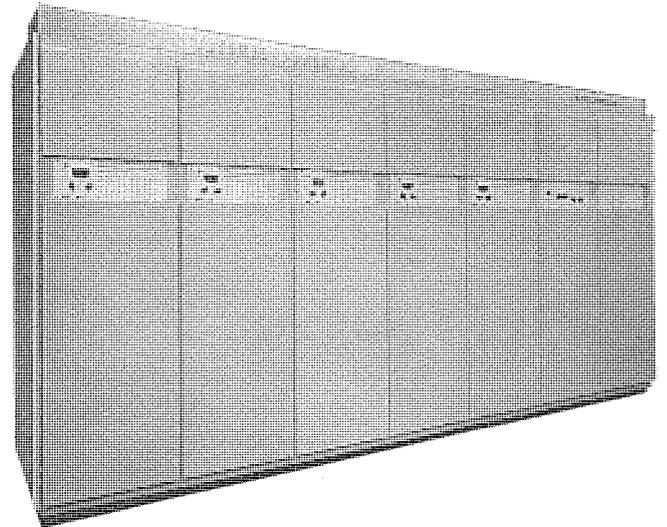


図 2.7 専用アナログ計算機 (MELCOM EA-9103)
Fig. 2.7 Electronic analog computer for simulator.
(Type MELCOM EA-9103)

THERMAL POWER PLANT TRAINING SIMULATOR						J. MITSUBISHI ELECTRIC	
演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	電源 A	ブランク	
演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	電源 A	同期検定模擬回路	
副演算制御盤	副演算増幅器	副演算増幅器	副演算制御盤	副演算制御盤	電源表示盤	主演算制御盤	
演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	ブランク	電源 R1	
演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	電源 E	電源 R3	
演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	ブランク		
演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	電源 B	ブランク	
ブランク	ブランク	ブランク	ブランク	ブランク	電源 BM	ブランク	
電源 H	電源 H	電源 H	電源 H	電源 H	電源 F	ブランク	

(a) 前面

ブランク	ブランク	ブランク	ブランク	演算要素
演算要素	演算要素	演算要素	演算要素	演算要素
演算要素	演算要素	演算要素	演算要素	演算要素
ポテンシヨメータ(I)	ポテンシヨメータ(I)	ポテンシヨメータ(I)	ポテンシヨメータ(I)	ポテンシヨメータ(I)
制御用リレー	制御用リレー	制御用リレー	制御用リレー	制御用リレー
演算要素	演算要素	演算要素	演算要素	SRI 模擬回路
ブランク	ブランク	ブランク	ブランク	ポテンシヨメータ(II)
連結盤	連結盤	連結盤	連結盤	連結盤
換気扇	換気扇	換気扇	換気扇	換気扇

(b) 後面

図 2.8 演算要素実装図
Fig. 2.8 Arrangement of computing elements.

LINE 計算機として信頼性に重点をおいて設計されていて、演算要素はすべてプリント配線されたカードとして作られ、プログラムも固定結線となっている。図 2.7 に外観を示す。

大きさは高さ 2.2m、横幅 4.2m、奥行 0.8m で、自立形の鉄製キャブ(筐)体 7 ラックより構成されている。正面から見て左側の 5 ラックは演算要素を収納している計算架で、前面より発熱体となる演算増幅器を実装し、後面から演算インピーダンスを実装する両面実装構造となっている。右側の 2 ラックは、シミュレータ全体に電源を供給している電源架となっている。図 2.8 に演算要素実装図を示す。

各演算要素はすでに紹介されている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾はん用の計算機のものと同様であり、ここでは概略仕様を一覧表として表 2.2 に示す。

表 2.2 演算要素仕様一覧
Table 2.2 Performance of computing elements.

番号	演算要素名	性能	要素数	備考
1	演算増幅器 (A)	出力 ± 100 V, 10 mA 直流利得 140 dB 以上 ドリフト 100 μ V/8h 以内	42	基準演算インピーダンス {抵抗 1 M Ω コンデンサ 1 μ F
2	演算増幅器 (B)	出力 ± 100 V, 10 mA 直流利得 80 dB 以上 ドリフト 10 mA/8h 以内	138	インピーダンス精度 0.5% 直線性 0.1%
3	演算増幅器 (C)	出力 ± 100 V, 20 mA 直流利得 80 dB 以上 ドリフト 10 mV/8h 以内	46	
4	演算増幅器 (D)	出力 ± 100 V, 5 mA ドリフト 50 mV/8h 以内	5	
5	加算要素 (I)	入力数 6、精度 0.5%	30	
6	加算要素 (II)	入力数 4、精度 0.5%	34	
7	積分要素 (I)	入力数 3、精度 0.5%	18	長時定数
8	積分要素 (II)	入力数 3、精度 0.5%	10	短時定数
9	ポテンショメータ (I)	50 k Ω	260	半固定設定
10	ポテンショメータ (II)	50 k Ω	5	モータ駆動
11	乗除算要素	精度 0.5% 周波数特性 10kc -3dB	17	1/4 自乗差方式
12	関数発生要素	折線数 最大 5 折線 設定精度 0.5% 周波数特性 10kc -3dB	11	折線近似方式
13	電圧比較要素	比較基準電圧 0 \sim ± 100 V 感動電圧 50 mV	29	
14	リミッタ	設定電圧範囲 0 \sim ± 100 V	29	
15	リレー	接点 2a	112	
16	最大最小要素	動作範囲 0 \sim ± 100 V	16	
17	空電変換要素	入力 -12 \sim -2.4 V 出力 +100 \sim 0 V	11	バッファ回路
18	電空変換要素	入力 0 \sim +100 V 出力 -1 \sim -9 V	8	バッファ回路
19	SRI 模擬回路		2	
20	同期検定模擬回路		1	
21	主演算制御盤	基本演算制御 { AMP CHECK SYSTEM CHECK READY OPERATE FREEZE	1	
22	副演算制御盤	出力監視、過負荷警報 バランス調整	5	
23	電源表示盤	電源監視	1	
24	電源 (A.B.E.F.H.R.T.)	基準電源、高圧電源、ヒータ電源、リレー電源、トランジスタ電源	1 式	
25	連結盤	他の機器との相互接続機構	5	

また要素の一例として図 2.9 に演算増幅器(B)を、図 2.10 に (I)加算要素を示す。

ただ、SRI 模擬回路および同期検定模擬回路 (いずれも特許出願中) は火力プラントシミュレータに特有の特殊要素であるため少々説明を補足する。

SRI (Shaft Rotation Indicator) はクロスコンパウンド形の発電機に特有の計器で、2重円形に配列された各 9 個のランプで作られている。各ランプの点灯位置は発電機の位相を示し、内側は 1 次側に、外側は 2 次側にそれぞれ対応している。この計器はタービンに通気する前のターニングの段階で、1 次および 2 次の発電機の位相を一致させるときに使われるもので、回転の非常に低いときのみ使用される。

実プラントではタービンのシャフトに刻まれたギヤをピックアップコイルで検出し、ランプを点灯しているが、このシミュレータでは図 2.11 に示すように、SRI 模擬回路によりタービン回転数に比例した信号電圧をこの電圧に比例したパルス列に変換し、これをリングカウンタでカウントし、デコードすることによりランプを点灯し、タービン回転数に一致した速さでランプの点灯位置が移動するように制御している。なお点灯しているランプの両側のランプも薄く光るように制御して実物の感覚を出している。初期の位相状態は指導員盤より任意に制御できるようにしてあり、指導員はこれにより種々の訓練状態を実現することができる。

同期検定模擬回路は発電機を系統に併入する際に、使用する同期

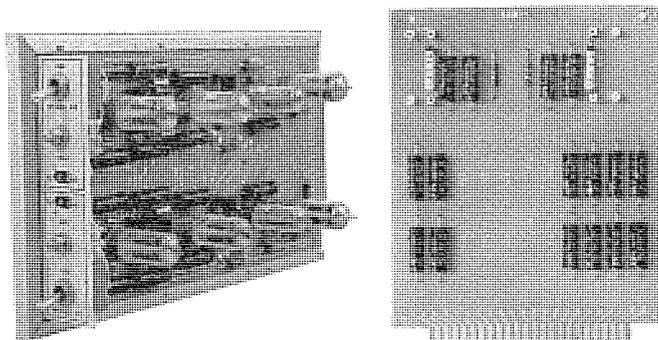


図 2.9 演算増幅器 (B) 図 2.10 加算要素 (I)
Fig. 2.9 Operational amplifier. Fig. 2.10 Summing element.
(Type B) (Type I)

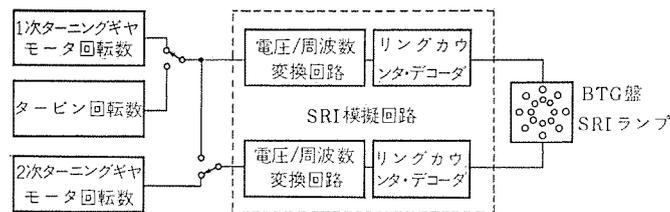


図 2.11 シミュレータにおける SRI 回路
Fig. 2.11 SRI simulating diagram.

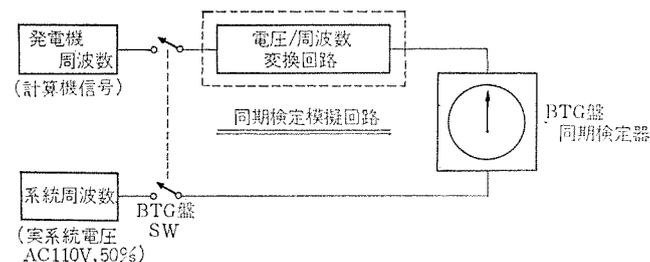


図 2.12 シミュレータにおける同期検定回路
Fig. 2.12 Synchronizer simulating diagram.

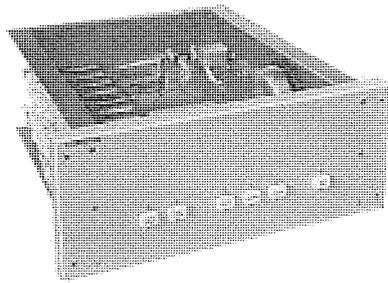


図 2.13 主演算制御盤
Fig. 2.13 Operating mode control switch panel.

検定器の駆動信号を作るもので、図 2.12 に示すように発電機の周波数に比例した信号電圧を、この電圧に比例した周波数の正弦波に変換している。先にも記したようにこの計器は実プラントに用いられているものと同じものを使っていて、系統側は実系統の信号を使っているが、周波数および位相など併入時に満足されるべき条件は、この模擬回路で判断しインタロックがかかるように作ってある。なおこの回路は 50 c/s 付近でのみ動作するようになっている。

演算制御は主演算制御盤もしくは指導員盤より一括して指令するが、各要素はラックごとに独立にチェックできる。制御モードははん用の計算機と同様であるが、模擬対象の都合上部分的に操作盤からの操作信号により独立に制御されるものもある。また相当多くの演算器が固定結線でプログラムされているため、保守を容易にするためのチェック法として、システムを適当なブロックに分割してブロックごとの動作がチェックできる SYSTEM CHECK モードが設けてある。図 2.13 に主演算制御盤の外観を示す。

2.5 指導員盤

訓練用シミュレータ特有の装置で、指導教官が訓練計画に従って訓練生に各種訓練課題を与えるための事故プログラムスイッチ、各種運転条件を設定するためのポテンシオメータおよびシミュレータの運転状況をつかむためのメータ、操作状態を監視するための誤操作表示灯などが取付けられたデスク形の操作盤である。

指導員盤の幅は 1.5 m で 1 人で全部の操作がカバーできる。また高さは約 1 m で、指導員はいすにすわったまま前方が見渡せるようになっている。この盤は指導員室の一段高くなったところに据付けられていて、指導員はこの盤の前にすわったままでガラス窓越しに中央操作室や現場室を見ることができ、BTG 盤、運転操作表示盤

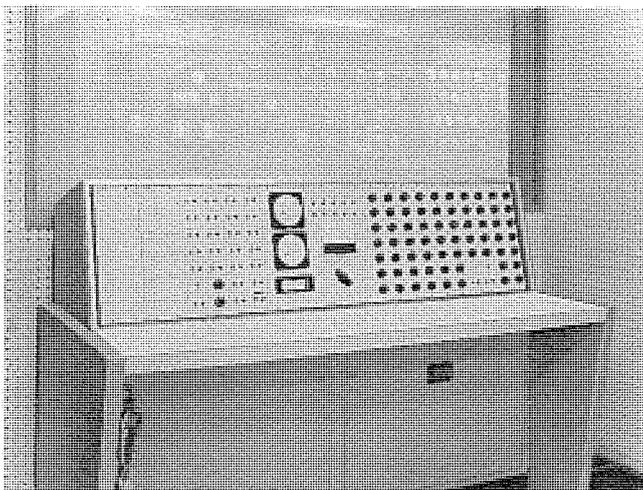


図 2.14 指導員盤
Fig. 2.14 Instructor's desk.

表 2.3 指導員盤機能一覧
Table 2.3 Functions from instructor's desk.

番号	名称	機能
1	制御部	電源制御、演算制御、故障表示
2	事故プログラム部	FDF、GRF など主要補機モータのトリップ指令 水管破裂などのじょう(擾)乱そう入 4 kV ブスなどの所内電気事故発生 送電線トリップなどの系統じょう乱のそう入 など約 25 種のプログラムを内蔵
3	監視量表示部	主蒸気圧力温度、タービン回転数、発電機出力 などの主要運転値 17 個の指示 風磁機切換失敗などの誤操作表示灯 10 個
4	定数設定部	排ガス温度、ドラム水位初期値などボイラ関係定数 復水器真空初期値などタービン関係定数 本系圧力など発電機関係定数 系統負荷など系統関係定数 など約 60 種の定数設定 ドラム圧力制御スイッチなど 5 個の時間短縮用制御 スイッチ 給電指令ポテンシオメータなど中央給電指令所の機 能を代行するダイヤル

などを操作する訓練生の動作、およびこれらの盤に取付けられたメータなどを見ながら手もとのインターフォン装置により適切な指導ができるようになっている。図 2.14 に外観を示す。盤面取付品は適当なブロックに分割して取付けて、使用上の便宜を計っている。各ブロックの機能概略を表 2.3 に示す。

2.6 リレー論理回路盤

発電所の高・低圧しゃ断器、実プラントの場合に匹敵する規模の各種インタロック、その他油圧および機械的な動作をシミュレートするためのリレー約 300 個を取納している。模擬対象に応じて一般の補助リレーの他にタイマリレー、メータリレー、キーリレーなど各種リレーが使われている。高さ 2 m、横幅 1.2 m、奥行 0.8 m の大きさで、前後面は両開きとびらとなっていて保守点検が容易なように考慮してある。

なおアナシエータ関係のフリッカリレーなどは BTG 盤内に取付けられている。図 2.15 にリレー回路の一例として、コンデンサ真空ポンプ A を模擬した回路を示す。88 VPA とあるのが真空ポンプモータ A の ON-OFF 動作を模擬したリレーで、BTG 盤のコントロールスイッチ SW-30 A、SW-30 B、および真空条件を模擬したリレー RE-531 などで制御されている。RE-534 はトリップ条件で、指導員盤からのトリップ指令により動作する。また A 463 は 460 V 母線を模擬したものである。

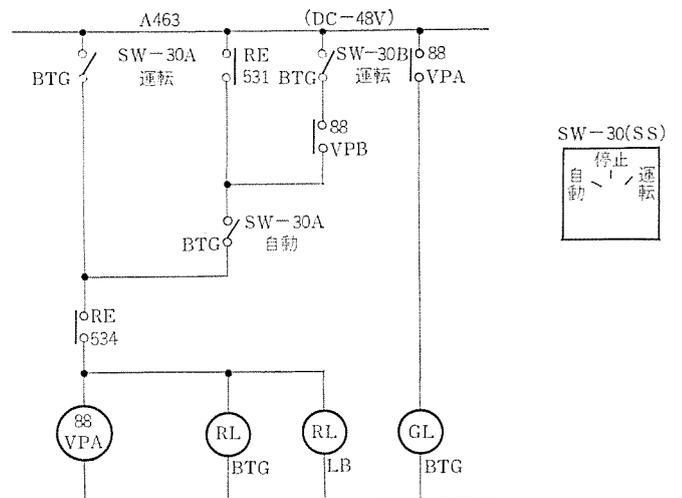


図 2.15 リレー回路の一例
Fig. 2.15 Example of relay circuit.

2.7 付属機器

2.7.1 インターフォン装置

実プラントにおける運転指令装置を模擬した電話装置で、中央操作室と現場室の相互連絡、および指導員室からの指示の伝達のために使われる。なお指導員室にいて中央操作室と現場室の間での通話内容を聞くことができ、訓練の様子を監視できるようになっている。

2.7.2 空気源装置

空気式ボイラ自動制御装置の空気源を作っているもので、実プラントに使われているものと同じ機器を使っているが、シミュレータであるため操作は不要であり、制御用の30 PSIのみを作っている。空気源装置（コンプレッサ）は騒音を避けるため訓練室から離して据え付けてある。なお指導員盤の事故プログラムにはこのコンプレッサモータのトリップ指令も含まれていて、コンプレッサモータのトリップは訓練項目の一つとなっている。

2.7.3 定電圧装置

シミュレータシステムに安定化した交流電源を供給するための機器で、出力はAC 200V ± 1%、容量20kVAである。

2.7.4 ルームクーラ

計算機の性能を維持するための計算機室冷却用である。

3. 演算回路の一例

このシミュレータではモデルとした横須賀3号ユニットの起動から停止にいたる主要な操作は、すべて実現できるように考慮されていて、このために必要な特性は計算機のプログラム、およびリレーのシーケンスに翻訳してハードウェアとし組み立てられている。これらのうちいくつかの例について以下に説明を行なう。

3.1 主蒸気温度計算回路

図3.1に火力プラントの主要なパラメータの一つである主蒸気温度の計算回路を示す。図からわかるように主蒸気温度は過熱器による吸収熱量、スプレイによる吸収熱量、主蒸気流量、主蒸気圧力を入力信号として計算されている。主蒸気温度系には約5分の時定数があり、これは通常のアナコンで模擬できる時間に比べ非常に大きいため、ここでは特殊な時間遅れ要素を用いている。

またこれにより燃料がトリップしたときの長時間にわたる温度保持特性も模擬している。図には示されていないが、このままではタービン通気前の主蒸気流量のない時点で割算器の出力は飽和し、正しい主蒸気温度が計算されないため、主蒸気流量に特別な値を入力として与え、温度上昇が実プラントの場合に合うような補正を行なっている。この主蒸気温度の計算結果を用いてBTG盤などの対応するメータ、レコーダの指示を変化させている。空気式ボイラ自動制御装置の温度検出点も、この主蒸気温度信号よりとっていて、E/P変換器

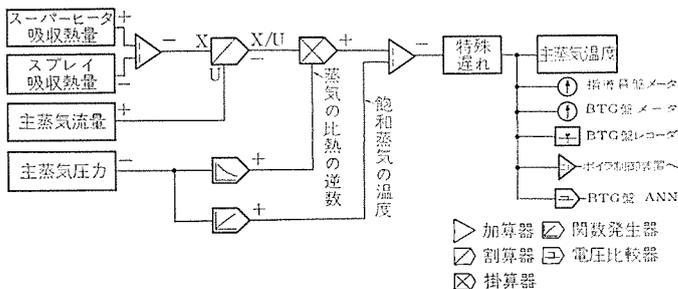


図 3.1 主蒸気温度計算回路

Fig. 3.1 Simulation diagram of main steam temperature computing circuit.

により空気信号に変換された値が使われている。BTG 盤の温度警報アナライザの検出信号もこの点に接続された電圧比較器により作られている。

3.2 主蒸気流量計算回路

図3.2に主蒸気流量の計算回路を示す。この回路で計算された主蒸気流量が図3.1の回路で入力信号として使われている。図からわかるように主蒸気流量は、タービンの機械的出力または系統周波数およびガバナモータの位置により計算されている。主蒸気流量を計算する過程には、タービン発電機の回転体を模擬した回路およびガバナバルブを模擬した回路があり、タービン加速度、タービン回転数、加減弁開度などの変数もこの回路で計算されている。

ロードリミッタ位置は、運転操作表示盤のロードリミッタハンドルを操作することにより決められ、計算回路にとり入れられて加減弁開度の上限を規定している。リレー RY1304 は、系統併入用シャ断器を模擬したもので、BTG 盤の制御スイッチにより制御される。ガバナモータは、モータ駆動ポテンシオメータで模擬して同じく BTG 盤の制御スイッチにより制御することができる。図には示されていないが、モデルプラントの主そく（塞）止弁にはバイパス小弁がついていて、フルーク通気による起動ができるが、この部分は、バイパス弁開度により第1段圧力およびスチームチェスト圧力を制御することにより模擬するようにしている。

またタービン発電機の回転体の部分は系統併入により計算ループより切り離されるが、ダンテストが可能ないように系統併入後も回転数が一定に保たれるようにくふうされている。系統併入前のタービンの回転数上昇は、ガバナモータにより制御された主蒸気流量が、他の計算ループを通してタービン出力にフィードバックされることにより制御されている。すなわち、この回路によりタービンの回転上昇の訓練ができ

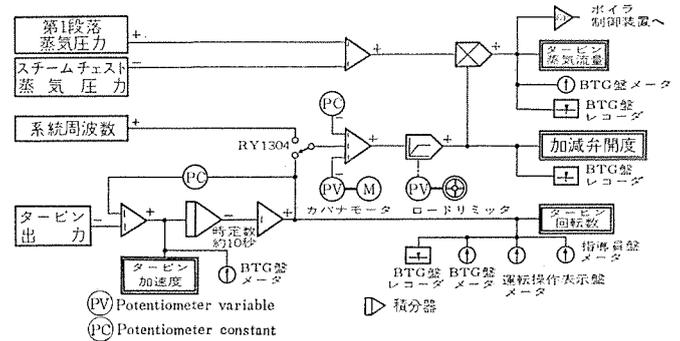


図 3.2 主蒸気流量計算回路

Fig. 3.2 Simulation diagram of main steam flow computing circuit.

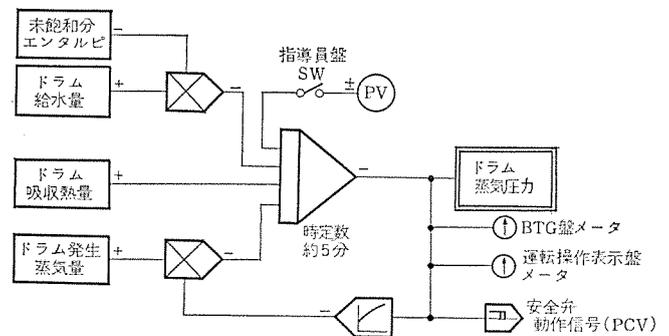


図 3.3 ドラム蒸気圧力計算回路

Fig. 3.3 Simulation diagram of drum pressure computing circuit.

指導員盤 SW: 指導員盤よりドラム蒸気圧力を制御するためのスイッチ

ることになる。

3.3 ドラム圧力計算回路

図 3.3 にドラム圧力の計算回路を示す。この回路はドラム吸収熱としてはいつくくるエネルギーと、ドラムにはいつくた水が蒸気となって出ていくときに持去るエネルギーのエネルギーバランスにより、ドラム圧力が計算されるように組まれている。ドラム圧力の点のヒステリシスをもった電圧比較器は、安全弁(PCV)の吹出し圧力と吹止め圧力を設定したもので、この出力でリレー論理回路の中にある安全弁を模擬したり、リレーが駆動されてドラム圧力が制御される。図には示されていないが、指導員盤の気管事故スイッチは気管の蒸気もれ事故を模擬したもので、指導員がこれを操作することにより一定信号がドラム発生蒸気量の信号に加えられ、圧力上昇速度が遅くなるようになっている。

図中指導員盤SWとあるのは、これと同じ原理でドラム圧力の上昇下降を任意に制御できるものであるが、指導員はこれを操作することにより、ボイラ点火後の圧力上昇の待ち時間を短縮し、訓練を能率良く進行させることができる。なおこの時間短縮制御スイッチは圧力以外に温度計などにも設けられている。

ドラム圧力よりボイラタービン間の蒸気管の管路抵抗による圧力降下分を差し引いた値は、マスタ圧力としてボイラ自動燃焼制御回路(ACC)の圧力検出点として使われているが、実プラントに使われているのと同じ部品で構成されたボイラ自動制御装置は、このマスタ圧力信号をE/P変換器で空気信号としてとり入れ、重油圧力の制御信号を作り出すことにより、マスタ圧力を設定値に制御するフィードバックループを形成している。このループの操作部分はBTG盤に取付けられていて、訓練生は実プラントの運転と同じようにこの模擬プラントでドラム圧力の制御操作が実施できる。

4. 運 転 例

先にも述べたとおり、本シミュレータでは実プラントにおける運転操作要項が、ほとんどそのまま実施できるように考慮されている。これら運転操作の中より、このシミュレータを使用した運転記録の一例として、発電機出力の記録チャートを図 4.1 に示す。シミュレータを用いた運転訓練では事故現象の模擬、運転時間の短縮など運転の自由度が非常に大きいことが理解いただけると思う。

5. む す び

東京電力(株)品川技能訓練所に設置された火力発電所運転訓練用シミュレータについて、設備の概要とその計算回路などの2, 3の例についてのべた。近年エレクトロニクスの技術の発展とともに電子計算機の進歩も著しく、かかる計算機を応用した訓練用シミュレータが数多く製作されているが、本シミュレータもアナログ電子計算機を中心とした実用的な訓練用シミュレータの一応用例として見る事ができる。とくにアナログ電子計算機と空気式ボイラ自動制御装置を連動したシステムであるため、電気式と空気式の一種のハイブリッド(混合)計算機ともいえる。

火力関係のシミュレータとしては、ボイラのみに関するものは国外でいくつかの例が報告されているが、全システムを電子的に構成したか

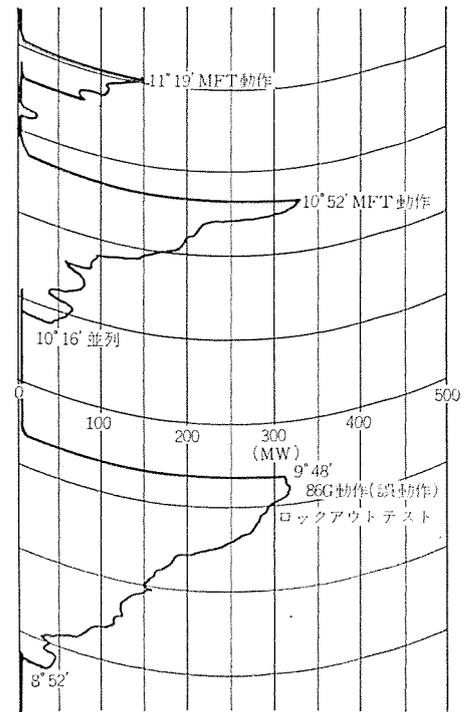


図 4.1 記録チャートの一例(発電機出力)

Fig. 4.1 Example of recorder chart. (Generator output)

かる大規模なものは、おそらく世界でも最初のもので、実用化第1号として画期的なものといえる。

とくに訓練用シミュレータは機械装置と運転員とが情報をやりとりする、いわゆる人間機械系(マン・マシン・システム)であり、両者のよき調和と能率をあげることが望まれるが、火力発電所のような高度の自動化された複雑な設備と供給信頼度を維持するために、高い技能を有する運転員を必要とするためには、本シミュレータの今後の運用に期待するところ大きいといえる。

最後に本シミュレータの製作にあたって、種々ご指導、ご激励をいただいた東京電力(株)竹内常務、宮原課長をはじめ関係者各位、とくにシステム設計を担当された船橋副長(当時)、溝口主任には製品化ならびに据付時の調整に際して多大のご教示ご援助を受けたことを付記して謝意を表したい。また製品の設計につき種々ご指示願った当社大鳥羽次長はじめ製作に努力された関係者各位に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 船橋：火力発電所運転訓練用シミュレータ，火力発電，18，No. 2 (昭42)
- (2) 大鳥羽・柴谷・桑田・持田：アナログ計算機の最近の進歩(その1)，三菱電機技報，38，No. 5 (昭39)
- (3) 柴谷・持田・井塚：アナログ計算機の最近の進歩(その2)，三菱電機技報，38，No. 6 (昭39)
- (4) 大鳥羽・柴谷・桑田・持田・井塚：三菱大形高性能アナログ電子計算機(MELCOM EA-7150形)，三菱電機技報，38，No. 12 (昭38)

MELCOM 1600 による相模川水系計算制御システムの方式設計

城所 義幸*・鳥海 則昌*・村上 才一*
曾我 正和**・井上 幸美**・岡 治樹**

Form Design of the Sagami-River
On-Line Computer System

The Kanagawa Prefectural Enterprise Agency
Mitsubishi Electric Corp., Kamakura Works

Yoshiyuki KIDOKORO・Norimasa TORIUMI・Saiichi MURAKAMI
Masakazu SOGA・Yukiyoshi INOUE・Haruki OKA

An on-line computer system of the Sagami-river has been installed in Shiroyama Office of Integrated Development Bureau of the Kanagawa Prefectural Enterprise Agency and in operation since April, 1967. The system, consisting of electronic computers, data communication and telemeters, has its objective to effect the central control of water system.

Brief description of the project has been made public in May issue of this Journal (Vol. 41); this article describes the design features of both hardwares and softwares for the purpose of On-line data processing as the chief subject.

1. ま え が き

相模川水系の集中管理を目的として、電子計算機を中心とした水系計算制御システムが、神奈川県企業庁総合開発局城山事務所に設置され、昭和42年4月1日から本実動にはいっている。

この相模川水系計算制御システムの概要については、本紙5月号(第41巻第5号)「相模川水系計算制御システム」に一部紹介したが、本号では、オンラインデータ収集を含む本システムのハードウェアおよびソフトウェアの設計において、オンライン・データ・プロセッシングのためにどのような考慮がなされているかを記述し、現実の実動状況とも合せて、オンライン、オフライン時分割利用の諸問題、ならびにテレメータを中心とするデータ収集システムの問題等を検討する。

2. システムの概要

相模川水系計算制御システムは、神奈川県相模川水系の相模ダム、城山ダムを中心として、水道用水の確保、発電の増強および洪水時の下流災害の軽減をはかることを目的に、相模川総合開発事業の一環として導入されたものであり、テレメータシステム・データ通信システムならびに中央電子計算機システムからなっている。

このシステムの構成は図2.1に示すとおりである。

中央電子計算機としてMELCOM-1600システムが用いられており、

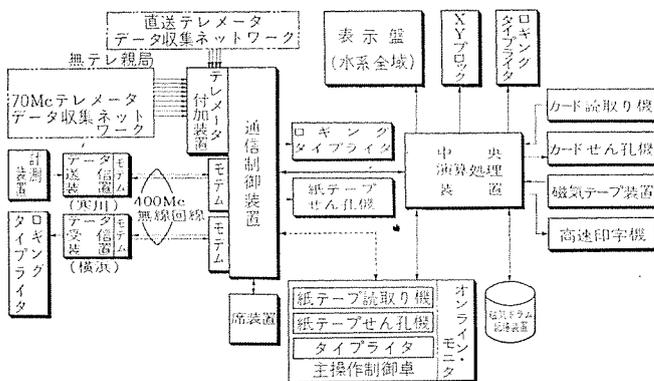


図 2.1 相模川水系計算制御システム構成ブロック図
Fig. 2.1 The Sagami-river on-line computer system block-diagram.

オンラインデータ収集とそれにもとづく計算処理ならびに端末へのデータアウトプットを行なっている。それと同時に多数の計算機利用者の自由な計算機使用も可能なように設計がされている。

計算機へのインプットとして、水系各地に配置されたロケット雨量計(約14量)・水位計(約15量)・ゲート開度計(約13量)・積算電力計(2量)等のデータが、70 Mc帯無線テレメータ・並列多線式直送テレメータおよび400 Mc多重回線を利用して収集され、伝送誤り制御機能をもつ通信制御装置を介して直接計算機に読込まれる。

計算機のアウトプットとしては、ラインプリンタ・タイプライタのほか、ロギングタイプライタ、表示装置がある。さらに、端末タイプライタへのデータ伝送も可能である。(現在は、横浜本庁に設置されたロギングタイプライタにデータ伝送されている。将来は、さらに関係事務所に伝送される機能を有している)

この報告は、これらのシステムの一般的記述が目的ではなく、はじめに述べたように、このシステムの設計において、とくにオンラインデータ処理のためのハードウェア・ソフトウェア上の工夫について記述したものである。

3. システムに対する要求事項

このシステムは、前節で述べたように

(1) 水系全域に点在する各種計測装置のデータを一定時間ごと

に収集すること。
(2) 収集したデータにもとづき流入量・放流量計算・時間雨量・累計雨量・流域平均雨量計算などデータロギングのためのデータ処理をおこない、さらにこれらの処理されたデータにもとづいてダム流入量の予測と放流制御のためのゲート開度設定等、一連の水系制御計算をおこなうこと。

(3) その結果をただちに、ロギングタイプライタと表示装置にアウトプットし、さらにデータ伝送回線を通じて、遠隔地へこれらの結果を伝送すること。また、ゲート開度指令・流入量予測等は、ラインプリンタ・XYプロットにそれぞれアウトプットする。

が、第一の要求機能となっている。この一連の計算処理は、最小間隔15分、通常1時間ごとにタイマによって起動される実時間処理であり、計算機をはじめ全システムは、常にこれを受入れる態勢にな

なければならない。

このような要求は、(2)項の計算処理内容が、かなり高度で膨大であることを除くと、通常のデータロガーないしは、制御用計算機の利用と本質的には同じである。しかしこのシステムでは、さらに

(4) これらの実時間処理とは無関係に、電子計算機は各種技術計算、事務データ処理などのいわゆるオフライン計算のために、自由に利用できること。

を条件としている。

しかも計算機は、平常時はともかく、洪水時には24時間実動を前提とし、オペレータの介入なしに、できるかぎりノンストップ・ランニングを行なわせることが要求されている。

以上の要求を中央電子計算機の機能に対する要求としてまとめると次のようになる。

(1) ハードウェアに対する要求

(a) 2進・10進・固定・浮動小数点演算・ビット単位の論理演算がすべて可能であること。(総合情報処理能力を有すること)

(b) 計算機の内部、外部から発生する各種処理要求を受付ける多重割込み処理機構を有すること。(計算機は決して停止することなく、各種の仕事の要求はすべて割込み信号によって処理される)

(c) メモリ保護機能を有すること。(時分割処理されるプログラム相互の干渉や、プログラムの暴走によるシステムダウンの防止)

(d) 計算機の故障、停電等異常事態に対する検出機構と、それに対して十分な処置がとれること。

(e) オンライン・データの収集、分配のための通信制御機能を有すること。

(f) 多数の入出力機器の同時処理および内部演算との併列処理ができること。

ここで、(a)項は、このシステムが単にデータ・ロガーとして利用されるものではなく、多目的に利用しようとするところからくるものであり、総合情報処理能力の要求である。(b)~(e)項はオンライン・システムに要求される機能であり、とくに(f)項は、オンライン・モニタ(オプション)として、後述するように種々の工夫が必要とされる。

このほか、計算処理速度、記憶装置に対する要求等がシステム運用上、当然与えられるが、いうまでもなく、これらは基本的な要求仕様であって、ここでは問題にしない。

(2) ソフトウェアに対する要求

(a) FORTRAN, COBOL 等のコンパイラが利用できること。

(b) 優先度の高いプログラムの割込みができ、かつ割込まれたプログラムは、優先度の高いプログラムの終了後自動的に継続されること。

(c) 入出力動作と内部演算処理とは独立に行なわれ、同時にいくつもの入出力機器を制御すると同時に内部演算処理との並列動作が可能であること。

(d) システムの異常検出とそれに対する処置がとれること。

この中で(a)項は、計算機が多数の一般利用者に利用されるための要求であり、(b)項以下は、このシステムがオンラインで使用されることによって生ずる要求である。このほか、プログラムの連続処理ができること、プログラムの分割処理(実行段階での結合が可能)ができること等、計算機を能率よく利用するための工夫がされるべきである。これらについては本誌8月号(第41巻第8号)「MELCOM-1600オペレーティング・システム」に詳述してあるので、ここでは割愛する

ことにしたい。

以上は、計算機に対する要求をまとめたものであるが、実際に、これらがどのように実現されているかについて記述することが本文の目的である。とくに、ハードウェアでは、オンライン・モニタ、ソフトウェアでは、スーパーバイザ・プログラムにその中心を置いている。

4. スーパーバイザ・プログラム (Supervisor Program) の設計

オンライン計算機システムは、先に述べたように常に何らかのプログラムが走っている状態にあり、実行中のプログラム内部あるいは外部から割込み信号によって、それに応じた処理をおこなうことを前提としている。

スーパーバイザプログラムは、この割込みに対してどのような処置をすべきかを記述したプログラムであって、常にその大部分はコア・メモリの中におさめられている。

スーパーバイザプログラムが、どのような仕事を分担しているか、あるいはすべきであるかを考えるために、まず何もしていない状態から考える。計算機は停止していることは許されないから、外部からどのような仕事要求がきてもよいように、たとえば同じところをぐるぐるまわるといような意味のないプログラムを、機械的に最も低いレベルで実行している。この状態から出発して考えられることは、まず

(1) プログラム実行要求を受けつけることである。プログラム要求の手段としては、

(a) コミュニケーション・タイプライタ

(b) 外部インタラプト・キー(コントロール・パネル)

(c) リアルタイム・タイマ

などが考えられ、相模システムではこれ等すべてが認められている。(a)は通常のオペレータからのプログラム実行要求であり、(b)は緊急用、(c)は実時間時計である。

プログラムの要求は、これら要因ごとに割当てられた割込み信号によってスーパーバイザに知らされ、スーパーバイザはもしこのほかに仕事が無ければ、その要求を受け付け、指示されたプログラムを磁気ドラムから磁気コアに読込んで、制御をそのプログラムに移すことになる。実際には、プログラム要求は多重に発生し、しかもすでに先に要求されたプログラムを実行中であることもある。このためスーパーバイザは、

(2) プログラムの優先度に応じた仕事の割付け(Job Scheduling)をおこなわなければならない。

相模システムではこの優先度について、以下にのべる四つの段階を認めている。

(a) 緊急割込み(コントロール・パネルのキー-#1およびタイプライタから)

(b) 実時間割込みによるオンラインプログラム実行要求(リアルタイムクロックから)

(c) オペレータからの割込み(タイプライタおよびコントロール・パネルのキー-#2から)

(d) 通常のプログラム実行要求(タイプライタから)

プログラムの優先度は(a)>(b)>(c)>(d)の順である。優先度の低いプログラムの実行中に高いプログラムの要求があると、低いプログラムは実行途中で磁気ドラムに退避され(Roll-out)、高いプログラムが代わりにはいってくる。高いレベルのプログラムがおわると、ふたたび退避されていたプログラムが呼び戻され(Roll-in)、前の低いレベ

ルのプログラムの実行が継続される。

プログラムの要求があったとき、すでにそれより高いか、あるいは同じレベルのプログラムを実行中であれば、その要求はプログラムの待機行列 (Program-Queue) に登録され、実行中のプログラムの終了によって、順次優先度にしたがって処理されてゆく。

このような過程を経てあるプログラムが実行を開始すると、スーパーバイザの状態 (Supervisor-State) からプログラムの実行状態 (Program-State) に移行する。プログラムの実行が完了すると、終わったことをスーパーバイザに知らせる必要がある。これは次に終わるのを待っているプログラムがあるかもしれないからである。実行中のプログラムからスーパーバイザを呼ぶこと、すなわちスーパーバイザコール (Supervisor-Call) は内部から発生する割り込み要求であり、プログラムの終了を告げるマクロ命令がこの呼びを内蔵しているしくみになっている。

次にプログラム実行中にスーパーバイザを呼出すことの一つとして入出力制御要求がある。すなわち入出力機器の同時制御、内部演算との併列処理を実現するために、スーパーバイザは常に、

(3) 入出力機器の状態を握し、かつ制御することが重要な仕事となる。

実行中のプログラムから入出力の要求がされると、スーパーバイザは入出力命令を作るとともにコマンドジェネレーション (Command-Generation)、入出力動作に必要な情報の目録を作成する。続いて使用しようとする入出力機器、厳密にはチャネル、コントローラ (制御装置)、入出力装置がそれぞれ使用可能であるかどうかをテストし、可能であれば実行命令をだす。スーパーバイザは入出力機器を起動させるだけで直ちに入出力要求を出したプログラムにその制御をゆだねる。従って内部演算は入出力動作の完了を待つことなく続行される。一方、入出力機器との情報授受はメモリとチャネルとの間でハードウェアが自主的 (Autonomous) に行ない、所定の長さの情報授受が完了したという割り込み信号によって、その動作完了がスーパーバイザに知らされる。このような入出力制御方式は、おもに比較的高速のデータ転送ができる入出力機器に対して採用されているが、ロギングタイプライタや収集データ入力機器といった低速の入出力機器に対しては、1文字の情報が発生するたびに割り込みをかけ、スーパーバイザの内部でデータを読み込む方式が採られている。いずれにしても実行中のプログラムからみると、自分自身は入出力要求をだすだけで、以下の処理を続けていくことには変わりはない。

スーパーバイザは、入出力制御が完了したことを、自分自身で、あるいは、チャネルからの割り込み信号で検出すると、その入出力に関するすべての情報を消去する。さらに入出力要求の待ち行列があるかどうかを調べ、あればそれを実行する。実行中のプログラムが、入出力の完了がないと先に進めないようなプログラムでは、“入出力待ち”という命令を実行しており、スーパーバイザは、入出力動作完了検出により、その待ちを解く。

さらに、入出力動作時に、入出力の誤りが発生すると、ただちに入出力機器から割り込みがかかり、スーパーバイザは、どのチャネルのどの入出力装置が誤りを起こしたかを判別する。入出力機器が動作不能 (たとえば電源が“断”) であったときは、その旨をオペレータに知らせ実行中のプログラムに制御を帰す。オペレータは入出力機器の動作の回復をはかり、コミュニケーションタイプライタから指示すれば、動作不能で待っていた入出力動作が開始される。一方、入出力動作中に生じた入出力誤り、たとえば、磁気テープ書き込みの誤り (パリティチェックにより検出される) のような場合には、何度か書き込みを繰返し、

それでも誤りがあるときには、実行中のプログラムにその旨を知らせる。実行中のプログラムは、その入出力動作の完了を必要とする時点でこれを知り、自由な処置ができるようになっている。

最後に、スーパーバイザ・プログラムの重要な仕事として、

(4) システム・エラー (System Error) の検出と処置

がある。いうまでもなく、システムの各コンポーネントが高い信頼度を持っていることが必要であるが、それと同時に、エラーの検出と検出後の処置に万全の手当がなされていることが必要となる。エラー検出の方法は、大別して

(a) オンライン モニタ 機構 (ハードウェア) によって検出されるもの。

(b) スーパーバイザが (a) の モニタ 機構と対話しながら、エラーと判定してゆくもの
の二つが考えられる。

前者に対しては、次節“オンライン モニタ 機構”で詳しくふれるが、後者、すなわちスーパーバイザが検出するエラーとしては、

(1) プログラムの時間監視

(2) 自己診断ルーチンの実行

が考えられる。

時間監視は完成されたオンラインプログラムに対しては、システムの異常検出となり、デバッグちゅうのプログラムに対しては、プログラムミスの検出となる。時間監視のために、ハードウェアから一定の時間間隔ごとの割り込み (500 ms パルス) がスーパーバイザに常に与えられており、スーパーバイザは、これをカウントする。このほか、プログラムでセット、リセットができるタイマがオンラインモニタに用意されており、一定時間経てもリセットがないと、オンラインモニタ側でシステムダウンを検出する機構が設けられている。

自己診断ルーチンは計算機がほかに何もすることのないときに、一定のチェックプログラムを走らせ、そのプログラムによる検定がすべて合格かどうかをチェックする考え方である。具体的には

(a) 機械語命令がすべて正しく実行できるかどうか。

(b) コア・メモリの読み書きは正しくおこなわれるか。

(c) 磁気ドラムの読み書きは正しくおこなわれるか。

(d) 磁気ドラムにはいつているオンライン用のプログラムがこわれていないか。

(e) オンライン用入出力機器の動作は正常か。

等々が検定されている。

このようにして検出されたエラーに対する処置としては、

(1) オペレータに通報 (メッセージ) を出して知らせるもの。

(2) 運転続行不能と判断して、バックアップシステムに切換えるものの。

の二つの方策がある。

(1)の中には実行中のプログラムの暴走など、そのプログラムを除去すればあとは正常に動作するものと、たとえば入出力機器の電源の入れ忘れなどのように、操作員の介入で回復するものがある。前者の場合には通報と同時にプログラムを強制的に終了させ、後者では入出力機器の回復を計算機の内部演算とは独立に待つことになる。

(2)のバックアップ・システムへの切換えは、たとえば計算機が2台ある二重システム (Dual-System) 系のような場合には、ただちに他の1台への切換指令となる。しかし相模システムでは、その要求仕様、運用条件と経済性との間のトレードオフ (Trade-Off) により単一システム構成としているので、いったん計算機を停止させると直ちにデータ収集システムの単独運用と、収集したデータを紙テープにせん孔す

るモードにはいる。計算機故障が回復すると、紙テープにせん孔されていた収集データが読取られるようになっていく。

表 4.1 はスーパーバイザのおこなう誤り処理の内容をリストアップしたものである。先にも述べたように、システム・エラーの検出と処置は計算機のハードウェアと後述する通信制御装置に負うところが多い。これらについては次節以下に説明する。

以上のべてきたようにスーパーバイザ・プログラムは計算機の内外部からの割込み信号を受付け、それに対する処理をする常駐のプログラムであるということができる。その過程において

(5) 操作員 (オペレータ) との対話を受け持っていることはいうまでもない。操作員との対話の代表的なものとして、相模システムでは次のようなものがある。

表 4.1 スーパーバイザのエラー処理一覧
Table 4.1 Error handling list of the supervisor.

a. 運転続行可能なエラー

エラーの種類	処 理
1 メモリプロテクトエラー	プログラムを強制的に終了させる
2 メモリパリティエラー 注1	プログラムを強制的に終了させる
3 コマンド・リジェクト	メッセージをタイプアウトしてオペレータに処理をまかせる
4 オペレータのタイブインエラー	メッセージをタイプアウトする
5 インターバルタイマーのタイムアウト	プログラムを強制的に終了させる
6 インバリッドコードの検出	プログラムを強制的に終了させる
7 二重 TCU* IN	TCU をストップさせる
8 オーバーロード	メッセージをアウトプットする

b. 運転続行不可能なエラー

エラーの種類	処 理
1 メモリパリティエラー 注2	オンラインモニタに計算機が動作不能であることを知らせる ストップする
2 ハングアップ	
3 電源異常	
4 二重 500 msec. IT.**	

注 1 プロセッシングプログラムによるパリティ・エラー

注 2 スーパーバイザによるパリティ・エラー

* TCU: Tele-Control Unit

** IT: Interrupt (割込み)

(1) 操作員 (オペレータ) から計算機への指示
注) 対話の先頭に必ず「:」印の「入力割込みキー」をたたく。

(a) [:JOB] :

一般のプログラムの実行を要求する指示。この指示があると仕事 (ジョブ) を受け取るジョブコントロールプログラムが磁気ドラムから読出され、このプログラムがその仕事は何かということを書き記したコントロールカードを解釈して実行を開始する。たとえば「FORTRAN のコンパイルと実行 (COMPILE & GO)」といった仕事の要求はこういった方法でなされる。

(b) [:RQ 1, NAME] :

NAME で指定されたプログラムが第 1 位の優先度で実行される。注) RQ=REQUEST

(c) [:RQ 2, NAME] :

NAME で指定されたプログラムが第 3 位の優先度で実行される。注) RQ 1 と RQ 2 の間に第 2 位の優先度のもの (制御計算) がすでに割当ててある。

(d) [:SKIP] :

実行中のプログラムを強制的に終了させる。現在のプログラムが実行中であるかは、タイプライタで打出されているので、そのプログラム名を指定する必要はない。

(e) [GO, N] :

入出力機器が動作不能であったような場合、それが回復したことを知らせる。N はチャンネル番号を示す。

(2) 操作員 (オペレータ) への通報

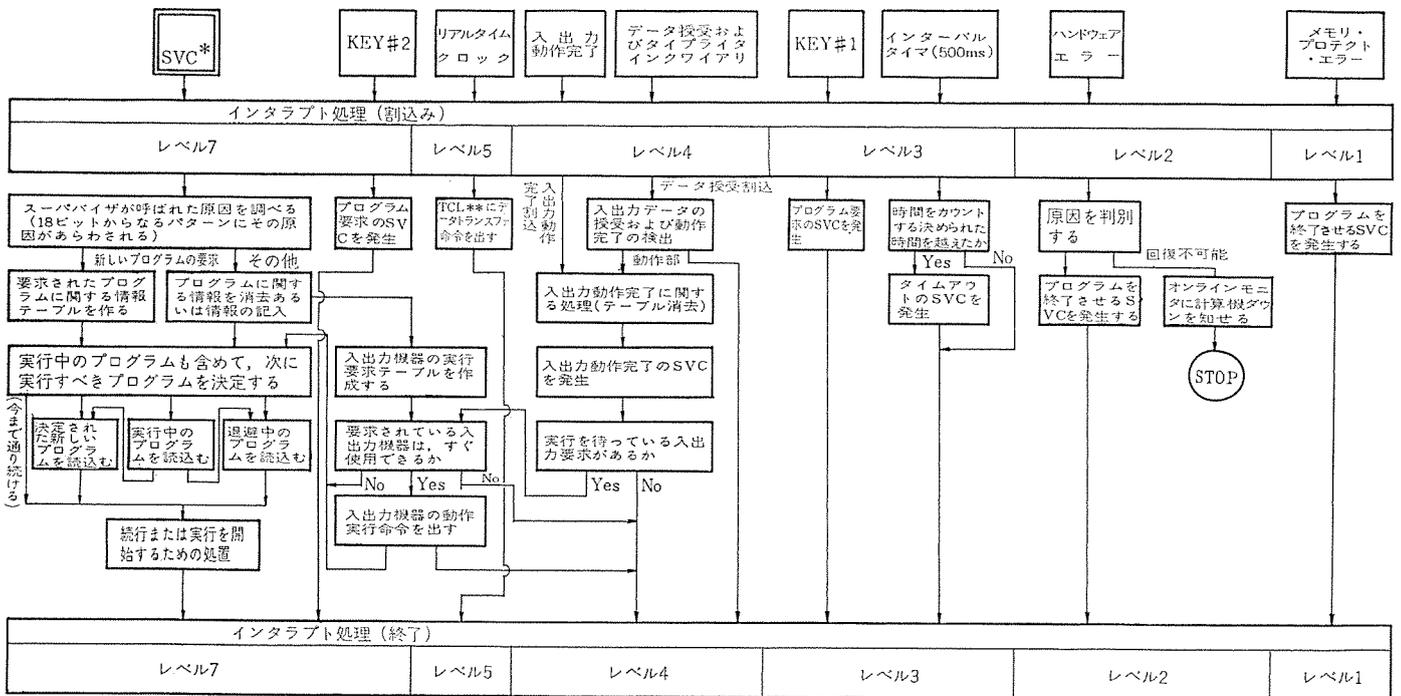
注) 通報に際し、他のものと区別する / (スラッシュ) 印がはいる。

(a) [/NAME, START] :

NAME で指定したプログラムが実行を開始したことを示す。

(b) [/NAME, END] :

NAME で指定したプログラムの実行が終了したことを示す。



* SVC: Supervisor Call
** TCU: Tele-Control Unit (通信制御装置)
注 レベル6は実装していない

図 4.1 スーパーバイザの機能ブロック Fig. 4.1 Functional block diagram of the supervisor.

(c) **TCB OVERFLOW** :

プログラム キュー (待ち行列) がオーバー フロー したことを示す。

注) TCB=TASK CONTROL BLOCK

(d) **OH NO** : 注) 「オオ、ノー!!」と読む

操作員の通報が受けられないことを示す。たとえば実行中のプログラムがないときに、SKIP 命令を打込んだ場合など。

(e) **NO NAME** :

要求されたプログラムが磁気ドラムに登録されていないことを示す。

図 4. 1 は、スーパーバイザプログラムを機能ブロックごととわけてフローチャートの形で示したものである。

5. オンラインモニタ機構

相模川水系計算制御システムの中央電子計算機として採用された MELCOM-1600 システムは、オンラインデータプロセッシングのための種々の配慮がなされているが、これをオンラインモニタ機構と名づけている。以下にその機能を説明する。

(1) メモリ パリティ チェック

コアメモリの読出し時にパリティ・チェックがなされ、パリティ検定による誤りが検出されると割込みが発生する。

(2) 入出力機器の動作不能 (Inoperative) の検出。

検出される項目は各機器によって異なるが、動作不能の場合にはその入出力機器が使用されるときにチェックされる。たとえば、ラインプリンタの用紙不足、カードパンチのカード送り枚数不足、磁気テープの準備不良など、検出可能な種々の場合が動作不能の信号として検出される。

(3) 電源異常検出

このシステムでは、定周波定電圧電源が用いられているが、その一次側断、二次側断ならびに二次側電圧、周波数異常に対して高いレベルの割込み信号を発生させる。

(4) 記憶保護 (Memory Protection)

スーパーバイザがはいっている磁気コアの領域は、他のプログラムによって誤って犯されないように保護されている。もしその領域にとび込もうとするプログラムがあると割込みが発生して拒否される。

(5) 磁気ドラム領域内の保護

磁気ドラムにも書込みが禁止されている領域が設けられており、その内容が誤って破壊されることを防止している。

(6) 不正命令 (Invalid Code) の検出

誤った命令の実行によるプログラムの暴走がさけられるように、不正命令コードの有無が絶えずチェックされている。

(7) 多レベルの割込み機能と割込み制御機能

7 個のレベル (優先処理順位) と 16 個の割込み原因からなる多重割込みを許すとともに、プログラムにより割込みを受けけないようにする機能 (Interrupt-Masking) をもっている。

(8) 構成機器故障時の離脱 (Isolation)

故障している入出力機器、コントローラ、チャネルを離脱させ、他の正常な部分のみで動作が続けられるような手当てがなされており、システム全体として動作不能になることを極力防止している。

(9) 各種タイマによる時間監視

500 ms. ごとに発生する刻時パルス割込みのほかに、プログラムでセット、リセットが制御できる監視時計 (タイマ) を持っている。

(10) 刻時パルスの二重発生検出によるスーパーバイザ自体の監視

表 5. 1 割込みレベルとソースの一覧
Table 5. 1 Interrupt level and source list.

レベル (優先処理順位)	ソ ス (割 込 み 原 因)
1	記憶保護領域への侵入 (メモリ・プロテクト・エラー)
2	ハードウェアの誤動作 <ul style="list-style-type: none"> メモリ パリティ アウト ハング アップ コマンド リジェクト 電源異常 停電 2重 TCU IN 2重 500 ms. 割込発生
3	KEY #1 500 ms. のインターバル タイマ
4	データの授受 入出力動作完了
5	リアルタイム クロック
7	プログラム インタラプト (SVC) KEY #2 その他の割込み メモントリ トレース

注) レベル6は実装されていない。

前述の 500 ms. ごと刻時パルスによる割込みは、正常な状態では、次の刻時パルスが発生する前に処理されているはずである。もしその処理が 500 ms. を越え、その間に次の刻時パルスが発生しているならば、それはクロックを処理するスーパーバイザが正常でないことを示している。これを利用してシステム異常検出の一助としている。

(11) スーパーバイザ側からのシステム異常警報の解読

スーパーバイザがプログラムの時間監視、診断プログラムなどで検出したシステム異常の警報はモニタ側に知らされ、ここで解読される。

(12) システム異常検出によるバックアップ機能への切換指示

(13) 電源異常時における各種入出力機器の段階的切断

停電、その他の電源異常に対して各種構成機器の保護の目的である決められた順序で電源を自動的に切断してゆくようになっている。また停電があった場合には定周波定電圧電源のフライホイールのイナーシャにより約 3 秒間電圧が維持され、その間に必要な退避手順を完了する。

(14) システム動作状況の表示

構成機器の動作状態、スーパーバイザの状態、ならびにオンラインデータの収集状態などが、コンソールパネルの一部に表示する。

以上 14 項目にわたり、オンラインモニタ機構の概要を述べたが、この中には通常の計算機が標準的に具備している機構 ((1), (2) など) ももちろん含まれている。オンラインモニタの真のねらいは、計算機システムのそれとは独立のモニタ機構があって、文字どおり計算機の状態をモニタし、異常事態の検出とそれに対する処置を自動的にとってゆくことにある。

システムの異常を完全にチェックすることは決して容易なことではなく、かつ低い確率でおこる現象に対しては二重、三重のチェックをすることは極力避けなければならない。しかし、システムの診断のために独立の機構を設け、それが何らかの刺激を与えることによって反応をみるという考え方が、このシステムのオンラインモニタの設

計に十分生かされている。

6. データ通信システム

遠隔地の計測装置のデータを中央に収集し、計算機からのデータを端末に伝送するデータ通信システムは、計算機と直結する通信制御装置と、端末データ送受信装置から構成されている。構成ブロックを図6.1に示す。

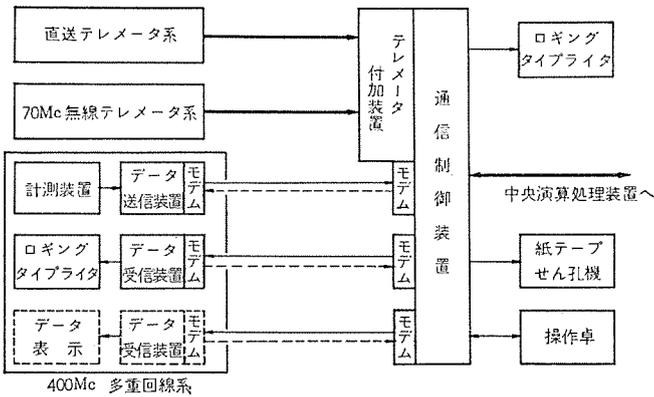


図 6.1 データ通信システム構成
Fig. 6.1 Data communication system block-diagram.

6.1 データ収集

(1) 方式

データ収集系は、

- (a) 並列多線式の直送テレメータ系 (直送グループ)
- (b) 70 Mc 帯無線テレメータ系 (水位グループ、雨量グループ)
- (c) 400 Mc 多重回線系 (寒川グループ)

の3系統から構成されている。

データ収集指令は、計算機からの命令、通信制御装置内蔵タイマー、オペレータによる手動操作指令の3種の方法のいずれかによっておこなわれる。

計算機による命令には、全局いっせい指令、および70 Mc 帯無線テレメータ系を除く全局いっせい指令が、システム運用上の必要性から設けられているが、原理的には、任意局の収集が独立に開始される。計算機側から見ると、他の入出力装置、たとえば何台かの紙テープリーダーの一つまたはいくつかを動作させるのとまったく同等である。

普段は通信制御装置内蔵のタイマーが、通信制御装置のオペレータコンソールにセットされたデータ収集サンプリング時間間隔と一致すると、計算機に対しデータ収集の開始を要求する割込み信号を送り、計算機がそれに応じて収集指令を発する確認方式をとっている。万一計算機側から一定時間内に応答がない場合には、「計算機渋滞」と判断して通信制御装置側で収集を独自に開始する。

オペレータによる手動指令は、任意時間に任意グループの収集が可能であり、単体動作試験などの目的に使用される。

これらのいずれかの方法により収集指令が通信制御装置に発せられると、通信制御装置は収集を必要とするそれぞれの収集系に対して収集指令を出す。

先にのべた三つのテレメータ系は独立に動作可能であり、各系統の親局はそれに属する子局に対して、後述する伝送誤り制御を行ないながら順次、収集をおこなっていく。

収集されたデータは、どの系統からのデータであるかという情報とともに計算機に転送してしまうことのみでも良いが、収集データの保存ということが非常に重要であり、かつ計算機の渋滞時のデータ消失を防ぐ意味もあって、収集データのロギング印字と紙テープへのせん孔をも併せ行なっている。このため各系統独立に収集したデータをランダムにタイプライタアウトすることは好ましくなく、かつ、各系統を順次スキッピングすることも収集時間を長くするので、収集に時間を最も要する70 Mc 帯無線テレメータ系のデータに対しては、通信制御装置側で付加メモリ(リレー)を用意し、データの並列収集、ならびにデータロギング、データパンチの順序制御を可能にしている。なお、各系統を同一に説明したが、並列多線式の直送テレメータ系は、常時付加メモリ内でアップデイトされており、計算機への転送時(ロギングタイプライタ、紙テープパンチも同時)にスキッピングされる。

したがって、計算機へのデータインプットは、各グループごとに、順次転送されるが、一つのグループが終わるとにエンドコードを送り、計算機側からの再送要求に対しても応じられるようになっている。

すなわち、計算機はエンドコードがくると、そのグループのデータが正しくはいったかどうか(パリティチェック、データ・カウント・チェック)を判定し、通信制御装置に対して再送要求を出すことができる。

データのインプットは、先にスーパーバイザの項でふれたように、内部演算とは独立におこなわれ、1文字ごとに割込みによってインプットされる。

計算機は、データ収集が完了したことを通信制御装置側からの信号で知らされると、収集されたデータにもとづくデータ処理をおこなうプログラムを高い優先度で開始する。図6.2はデータインプットのフォーマットを示したものである。

(2) 伝送誤り制御とシステム異常監視

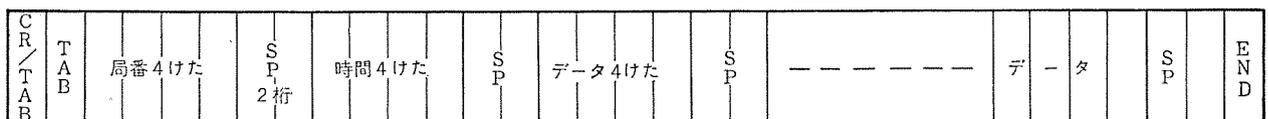
収集データの正確さを期すために、通信制御装置と計算機スーパーバイザプログラムで種々のデータチェックがおこなわれる。

通信制御装置では

- (a) 無線テレメータ系では垂直パリティ、パルス総数検定
- (b) 寒川系では水平垂直パリティ検定

をおこない、いずれの場合にもチェックにかかるとそのデータに対して、3回までの再送要求を出す。それでもエラーの場合には、無線テレメータ系ではエラーコードをそのデータと置きかえて、次の局に移り、寒川系では回線不良とみて収集を打ち切る。

通信制御装置と計算機の間では、データのパリティチェックをおこな



CR : キャリッジ リターン
TAB : タブ
SP : スペース
END : エンド コード

図 6.2 オンラインインプットデータのフォーマット
Fig. 6.2 Input data format of the on-line data collection.

い、スーパーバイザは前述したデータ長さのチェックと合わせて再送要求を出す。

計算機システムの異常を監視する目的で、通信制御装置は、計算機の応答時間を常に監視しており、チェックにひっかかると独自で収集をつづけると同時に、紙テープせん孔機でパンチされたデータを打ち出す。

6.2 データの分配 (Data Distribution)

データ分配系は、400 Mc 多重回線を使用した2系統から構成されている。1系統は、ロギングデータを横浜本庁に転送するために用い、他の1系統は指令信号を寒川に送るよう設計されているが、現段階では実用されていない。

通信制御装置と各端末には、それぞれ6文字分のバッファ・レジスタをもちブロックチェックをおこなっている。これは、指令信号のような制御データに対しても高い信頼性を保証するためである。ブロックチェックに対する再送制御は3回までおこなわれ、それ以上のエラーに対しては回線不良とみなしてデータの分配を打ち切る。

なお、各端末からのリクエスト信号の受け付けが考慮されており、この信号の性質によって、それに応じた応答を計算機はおこなうことができる。

7. システムの運用

このシステムはすでに実動にはいっている。所期の目的どおり、定時データ収集とロギングはもとより、出水時のダム流入量の予測、最適ダム放流量制御指令の出力印字等のオンライン計算がなされている。それと同時に貯水池運用曲線の算出、日間発電スケジュールの作成などといった貯水池運用上のプログラムをはじめとして、水文解析や日報・年報の作成といったオフライン計算もはいて、フル運転の状態

にある。

構成機器が万一故障した場合の責任分界点を明確にすることと、障害個所の発見を容易にするために、次にのべる二つの照合方式がとられており、データ収集に関するかぎり、問題点は皆無であると考えられる。

(a) 無線テレメータ親局(既設)と通信制御装置間

おのおのにロギング・タイプライタを設け、運用室でその両方のデータを比較、照合する。

(b) 通信制御装置と計算機間

収集データについては、通信制御装置側と計算機側にロギング・タイプライタを設け、運用室でその両者を比較、照合する。

完全に補修(デバッグ)が完了したシステム・プログラムおよびオンライン・プログラムは磁気ドラムに収納されるが、これらが完全である限りハードウェアのようにWear-Outすることはない。ただ、これらのプログラムが磁気コアに読出されたときに破壊されていないことをチェックする意味で、プログラムのチェックサム方式が考えられている。これはハードウェアとソフトウェア間での責任分界点の明確化への配慮によるものである。ただソフトウェアは、たとえこわれていなくとも、一般に非常に複雑なロジック(調理)であり、予期しないタイミングに、いわゆる「虫」(欠陥)のでてくるのが皆無であるとはいいがたい。このような場合、その虫の出所を明確化する方法を設計段階から十分考慮しておく必要がある。相模システムについても、それへの考慮と努力は当然のことながらなされているが、さらに今後のソフトウェア設計上の問題点として得るところ大なるものがある。

最後に本システムの設計にあたり、終始ご検討いただいた関係各位に謝意を表します。

国鉄郡山操車場自動化システム

遊佐 滉*・佐々木 敬*・東 昭**・稲田 伸一***
岩村 衛****・曾我 正和****・遠藤 堯****・坂 和磨****

The Japanese National Railways' Kōriyama Yard Automatic Computer Control System

Japanese National Railways, Electrical Engineering Dept. Akira YUSA・Takashi SASAKI

Japanese National Railways, Railway Technical Inst. Akira HIGASHI・Shinichi INADA

Mitsubishi Elec. Corp.,
Kamakura Works

Mamoru IWAMURA・Masakazu SOGA・Takashi ENDO・Kazuma BAN

In Kōriyama Yard of the National Railways has been set up an automatic computer control system. Having a feature of automatic operation of the total system, it responds to the real-time freight car sorting automatic control and performs integrated data processing of the on-line yard managing information.

The system employs twin-doubler MELCOM-1600 system configuration, which represents the so called computer complex embodied by the co-operative multi-processing and multi-computing system. The text describes the objective of automated system and the analysis of the contemplated system together with its design, emphasizing that it will meet the severe requirements in every respect.

1. ま え が き

国鉄郡山操車場自動化システムは、貨物輸送近代化の一端をになうわが国最初の試みとして、貨物輸送の重要拠点である操車場での作業を、貨車の行先別分類仕分けの実作業から、この実作業を管理する計画業務である情報処理に至るまでを一括して計算機により自動化することを目標としている。これは従来の計算機制御の概念をはるかに上回るきわめて大規模な実時間計算機制御であり、しかも人間と計算機との密接な結びつきによるオンライン情報処理を必要とするトータルオンラインリアルタイムシステムである。

自動化システムの中核となる計算機システムは多岐にわたる仕事を総括して実時間で処理でき、しかもつねに運転を継続できるきわめて高い信頼性を実現することが絶対的な条件として要求される。このため計算機システムはマルチプロセッシング、マルチシステムによる並列運転(Duplex Operation)を併用した計算機複合体(コンピュータコンプレックス)の機構をとっており、ハードウェアとソフトウェアの統一的な働きによってシステムの要求を満たしている。計算機システムには MELCOM-1600 システムが使用されている。本文では操車場自動化システムの目的と自動化のためのシステム分析、これに基づくハードウェア、ソフトウェアにまたがる計算機システムのシステム設計を説明し、計算機システムの概要を紹介する。

2. 自動化システムの目的⁽¹⁾⁽²⁾

2.1 操車場の役割

国鉄の貨物輸送はわが国の経済・国民生活をささえる根幹の一つであり、全国にまたがって貨物輸送網がはりめぐらされている。操車場はこの貨物輸送網の重要な拠点に設置され、貨物列車によって各方面から乗ってくる貨車群をその行先に応じて分類仕分けした後、にふたたび新しい貨物列車を編成し各方面に送り出すところである。

すなわち操車場では、まず他の操車場または周辺駅からやってくる貨物列車が到着貨車群としてプールされる。貨物列車の到着に先立って列車の編成内容が組成通報として通信回線により伝送されて

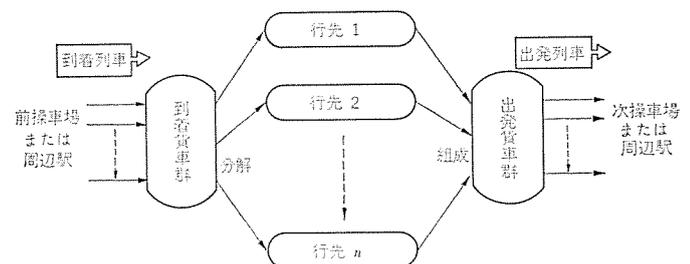


図 2.1 簡略化した操車場の機能
Fig. 2.1 Simplified function of yard.

くる。

操車場では組成通報をもとに作業計画を立て、列車の受入れ準備が開始される。

列車の到着によってプールされた到着貨車群は、操車場内で仕分線と呼ぶ貨車の分類仕分けのためにとくに用意されている線路網を使用して、行先に従って仕分けられる。仕分けがされた貨車群からふたたび新しい貨物列車が出発列車として組成され、次の操車場または周辺駅に送り出される。同時に新しい組成通報が通信回線を通して送達される。

このほか貨車の動きを中央で全体的には握るための各種の情報を中央に伝達する。図 2.1 に操車場の機能を簡略化して図示する。

2.2 操車場での作業

このような役割を果たしている操車場で行なわれる作業は、大別して次の二つの系統になると考えられる。

(1) 到着した貨車群を分類仕分けし、ふたたび出発貨車群として組成するという貨車そのものを扱う作業。

(2) 貨車に付随する情報を処理し、操車場内の貨車の動きを常に追いかけて作業計画をたてること、および実作業の結果を整理し、報告を行なうという貨車データを扱う作業。

2.3 自動化の目的

操車場自動化の目的は貨物輸送量の増大に対処するため、迅速な貨車輸送を確保して輸送サービスの質を向上させることにある。このため操車場設備を合理的に使用し、貨車の分類仕分け、および組成

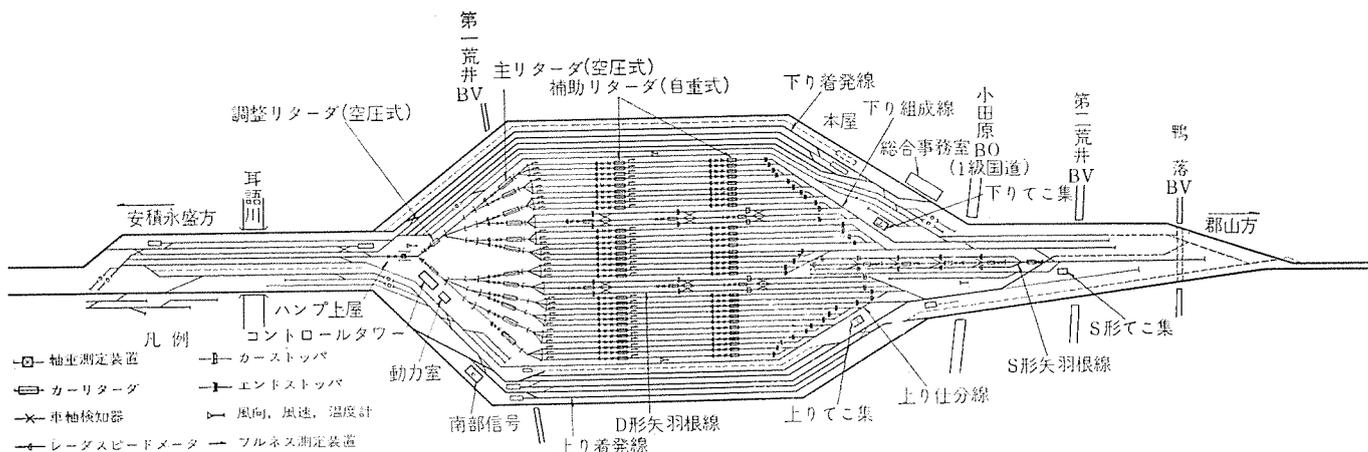


図 2.2 郡山操車場のレイアウト

Fig. 2.2 Lay-out of Kōriyama yard.

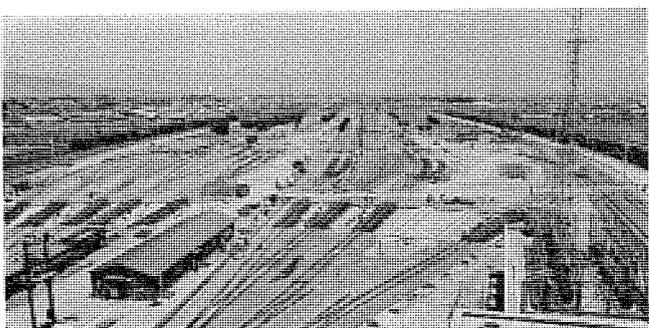


図 2.3 コントロールセンタから見た建設途上の郡山操車場
Fig. 2.3 Kōriyama yard under construction viewed from control center. (As of May, 1967).

作業の能率向上を計ることが必要である。またきわめて多くの人手を要し、しかも危険を伴うことが大きい操車場での作業に対して、作業環境の改善と人員の削減を計ることが要求される。

このため郡山操車場自動化システムでは、貨車そのものを扱う実作業と貨車データを扱う作業の両面について自動化を行なうこととし、トータルシステムへの大きなステップを踏み出している。

郡山操車場で自動化される作業の内容と、そのねらいとしているところの概要を次に述べる。

2. 3. 1 貨車そのものを扱う作業の自動化

郡山操車場はハンブヤードといわれるもので、ハンブと呼ぶ小山の上から下りこう配をもった多数の仕分線に貨車を次々に転走させて貨車の分類仕分けを行なう。多数の貨車からなる貨物列車は、押上機関車によってハンブの頂上に押し上げられる。ここで貨車は行先別にブロックに切斷され、ハンブの頂上から仕分線に向けて散転される。これを分解作業という。

仕分線には方向別仕分線のほかに「D形矢羽根線」「S形矢羽根線」が設けられている。前者は急送貨物、列車指定貨車を特別扱いするためのものであり、後者は方向別のみならず駅別の細かさで列車を編成するため、ハンブとは独立に分解・組成ができるようにするためのものである。図 2.2 に郡山操車場の配置を、図 2.3 にコントロールセンタからみた建設途上の郡山操車場を示す。

(1) 貨車の速度制御

分解作業では、まずハンブ頂上から散転された貨車が4段のポイント(分岐器)を通過して定められた仕分線にはいる。この貨車が仕分線内にすでに滞留している貨車群に連結されるときには、その速度が安全連結速度になっている必要がある。この速度制御は従来ま

で人手による乗込制動によって行なわれていた。しかし乗込制動は危険な作業であり傷害事故も多いうえ、近年は構内作業人員の確保が困難になってきているので、この作業をすべて自動化し合理化を計る。

(2) ポイントの制御

ハンブ頂上から散転される貨車を、目的とする仕分線に導入するためには4段のポイントを適切なタイミングで順次転換しなければならない。この作業も従来は人手によっていたが、取扱う貨車の両数が多い操車場では非常に熟練を要し、誤って途中転換を行なうと貨車の脱線、積荷の破損を招くことにもなる。したがってこの作業も完全に自動化して合理化をはかる。

(3) 押上機関車の速度制御

分解する貨物列車をハンブ頂上まで押上げるために押上機関車という動力車が使用される。この押上機関車の速度を細かく制御すると分解作業の能率が上がる。現在までは人手によっていたので、正確な速度制御ができず定速押上げを行なっていたが、これを自動化し能率を向上させる。

3. 3. 2 貨車データを扱う作業の自動化

(1) 貨車の動きに沿って行なわれる情報処理

貨物列車の到着と出発、分解仕分け作業の進展に伴う操車場内での貨車の移動状況を集中的に刻々とトレイスし、この集中化された貨車情報をもとに操車場での作業計画を総合的に立案し、作業指示を構内各部門に迅速に伝達することが、操車場の円滑な運行に何よりも重要である。

従来は人手により紙と鉛筆を用いて集中化が困難な条件のもとで行なわれていたため、誤りが避けがたく時間もかかりがちであった。この点を合理化し能率の向上を計る。

この種の作業には次のようなものがある。

(a) 構内貨車状況のは握

操車場内の貨車在线状況の現状を常に正確には握し、一定時間後の在线状況の予測を合理化し、作業計画の企画、立案に役立てる。

(b) 仕分線の自動決定

在线状況と行先・着駅の別に従って、分解作業に使用する仕分線を自動的に決定し、仕分線という操車場設備を能率的に使用する。

(c) D形矢羽根線の自動割当て

ダブルクロッシング(二重交差)線路をたくみに利用し、指定貨車(急送、列車指定)の分解組成を能率的に行なうD形矢羽根線については、セクションへの最適割当てが人手ではきわめて困難であるので

これを自動化し、効果的使用を計る。

(d) 分解表の自動作成

分解仕分け作業のために分解の手順を指示する分解表を自動的に作成し、分解作業の能率を上げる。

(e) 組成指示表の自動作成

作業員のため組成計画に従って、組成作業に使用する組成指示表を自動的に作成し、組成計画を合理化する。あわせてS形矢羽根線を使用して編成する貨車については、S形矢羽根線での分解表を作成する。

(f) 組成通報の自動化

列車の編成の完了と同時に組成通報を自動作成し、迅速に周辺駅、他の操車場に伝送できるようにする。

(2) 貨車の動きを全体的には握するための情報処理

操車場への到着貨車群、操車場からの出発列車、操車場内の在線貨車状況などを中央で貨車の動きを全体的には握するための管理資料にまとめ、報告書・統計類を自動的に作成し、正確かつ適切なタイミングで中央に伝達する。

3. システムの分析⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

3.1 操車場システムのオペレーション

操車場における作業の進行は図 3.1 に示すようなオペレーションのルーチを描いている。すなわち周辺線、他の操車場、中央と結びついている情報処理を外側のルーチとし、操車場内の貨車と結びついている貨車制御を内側のルーチとしている。

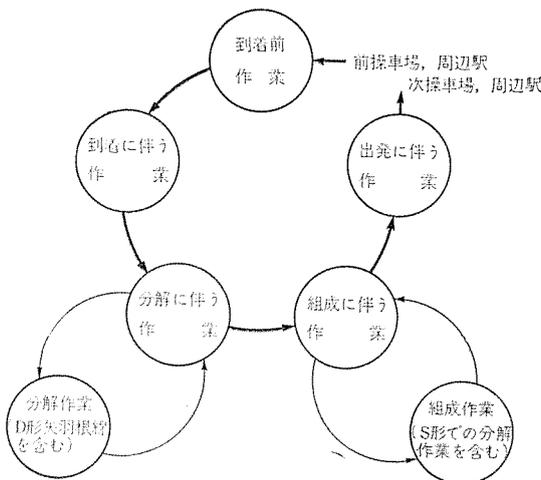


図 3.1 操車場における作業の流れ
Fig. 3.1 Flow of work process at yard.

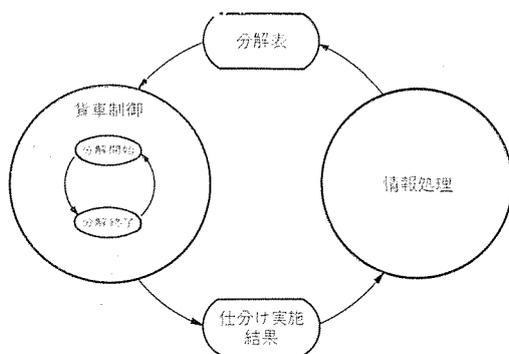


図 3.2 貨車制御と情報処理の接続
Fig. 3.2 Interconnection between freight car sorting and information processing.

したがってシステムの分析はまず操車場を情報処理システムと貨車制御システムという二つのサブシステムにわけて進められた。

この二つのサブシステムは図 3.2 に示すように分解表と仕分け実施結果とを直接的なインタフェイスとして接続され、全体的なトータルシステムを構成している。次に各サブシステムを自動化するためのシステム分析結果の概要を述べる。

3.2 貨車制御システム

3.2.1 速度制御方式

ハンパ頂上から散転された貨車を仕分線内に滞留している貨車群に衝突して連結するときの速度を適正速度にする速度制御には、各種の方式が考えられるが、郡山操車場では制御点を地上に固定したターゲットシューティング (Target Shooting) 方式が採られている。すなわちねらい打ちを行なう。このために地上の制御点には貨車のハンパ頂上からの下りこう配による自由転送を減速できるものが必要であり、カーリターダと呼ぶエアブレーキ装置が使用される。郡山操車場では制動量を6段にわたってノッチ制御できる空圧式リターダと、制動量が貨車の重量によって定められる、自重力リターダの2種のリターダが使用されている。図 3.3 に空圧式リターダを示す。図 3.4 は自重力リターダである。

ターゲットシューティングでは貨車の走行抵抗・走行距離などを与えて運動方程式を解き、カーリターダの脱出目標速度を計算し、カーリターダ内で減速される貨車の速度がこの目標値に達したら、カーリターダを開放するというオープンルーチ制御となる。リターダから連結すべき地点までの距離、貨車の走行抵抗、線路こう配などが正確にわかっているならば、1段のリターダで所要の精度を保って制御できるが、実際には貨車の走行抵抗の測定誤差 (場所的, 時間的), カーリターダ制動係数のばらつき (場所的, 時間的) およびカーリターダ開放時間の遅れによって制御誤差が大きくなる。したがって郡山操車場では4段

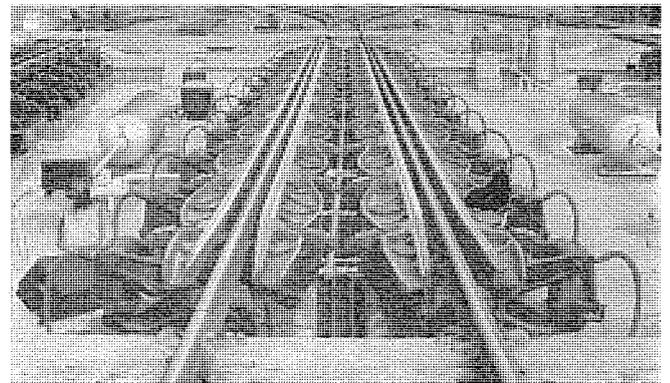


図 3.3 空圧式カーリターダ
Fig. 3.3 Airpressure type car retarder.

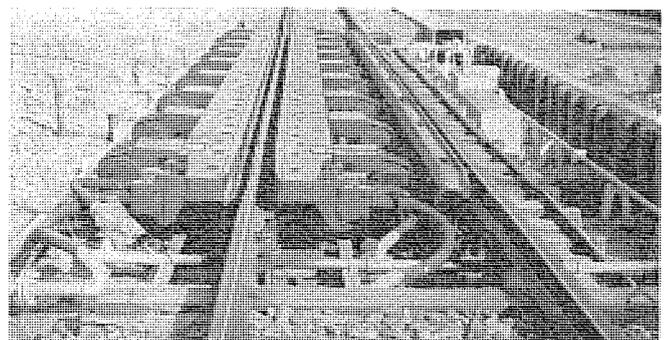


図 3.4 自重力カーリターダ
Fig. 3.4 Weight type car retarder.

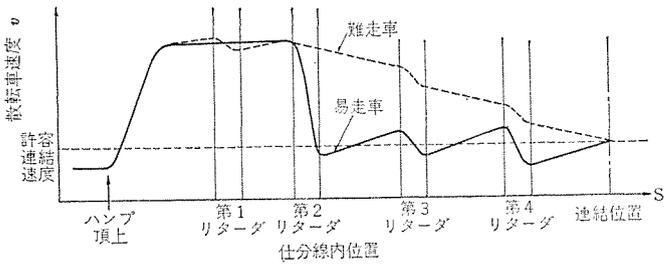


図 3.5 多段制御による貨車の走行曲線
Fig. 3.5 Freight car running curves under multi-stage control.

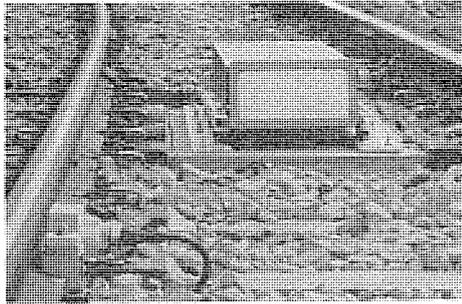


図 3.6 レーダスピードメーター (手前に見えるのは電磁トレッドル)
Fig. 3.6 Radar speed meter.

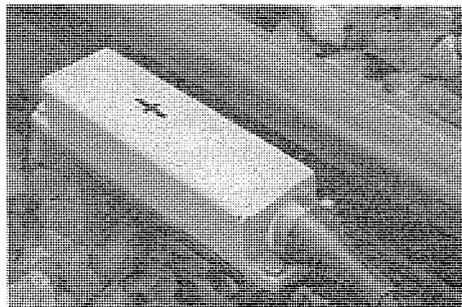


図 3.7 電磁トレッドル
Fig. 3.7 Electro-magnetic treadle.

のリターダを使い、クローズドループに近い多段制御を行なっている。最初の2段が空圧式リターダであり、後の2段が自動式リターダを使用している。

図 3.5 にハンプよりの貨車の転送をリターダにより多段にわたって制御したときの走行曲線を、易走車（走行抵抗が少ないとき）難走車（走行抵抗が大きいとき）について示す。

なお貨車の速度監視にはレーダスピードメーター、貨車の位置検知には差動トランス形の電磁トレッドル、貨車の滞留状況の測定には電気回路を使用したフルネス検知器が設置されているほか、貨車の重量を測定する軸重測定装置がハンプ上に設けられている。また操車場内の風向・風速・温度の測定が行なわれて制御に使用される。図 3.6 に操車場に設置されたレーダスピードメーターを示す。図 2.7 は電磁トレッドルである。

3.2.2 同時制御台数

貨車はハンプ頂上から適当な時間間隔をおいて逐次分散され、転送を開始するが、走行抵抗の差、リターダの制御誤差、リターダ制動のばらつきなどの原因によって貨車間隔は大きなばらつきをみせる。このため操車場全体をみると多数の貨車が散転していることになり、同時点に各所のリターダで制御を受けている貨車数は、ある確率的な分布をもつことになる。制御中のリターダの台数が多いと、制御シス

テムの負担が大きくなる。とくにリターダを開放すべきか否かの判断を行なうための制御過程中の速度監視が大きな負担となる。

したがってシステム分析に際しては、同時にリターダにはいる可能性のある分解中の貨車数評価がきわめて重要となる。郡山操車場に対しては計算機によるシミュレーション、解析的手法の両方により評価した結果、平均制御台数7台、最大制御台数13台と評価された。

3.2.3 ポイント制御

ポイント制御は分解貨車ごとに目的とする仕分線が定まっているので、4段またはそれ以上のポイントについておのおのの転換方向をあらかじめ記憶しておき、実際に貨車が散転されたら貨車の転走を追跡し、順序に従って次々とポイントを制御してゆく。このため各ポイントには軌道回路が設置され、ポイント通過中の貨車を検出している。

3.2.4 押上機関車速度制御

貨車の種別・行先・走行抵抗などの諸特性に応じて、押上機関車の押上速度を制御し分解間隔の調整を計ることが望ましい。このため地上と押上機関車との間に、無線によるデータ伝送回線が用意され制御指令の授受を行なう。

3.3 貨車制御の計算機プログラム

貨車制御は計算機を中心にして操車場全域に展開している500個所におよぶきわめて多数の現場機器と、操作員が作業の指示、介入を行なう操作卓（コンソール）から構成されている。これは操車場との直接的結合と操作員との密接な連絡により行なわれる大規模な実時間計算機制御システムである。

現場機器にはカーリターダ、ポイントなどの貨車を制御するものほか、レーダスピードメーター、トレッドル、軌道回路などの各種の検出装置が含まれている。ハンプ、S形矢羽根線、D形矢羽根線、コントロールセンタには制御卓が設置されている。図 3.8 にハンプに設置されるハンプ制御卓のパネル面を、図 3.9 にコントロールセンタの制御卓を示す。

貨車制御プログラムはこれらの現場機器、およびコンソールからの割込みによって呼び出され、実行される。きびしい実時間制御の要求を満たすため、優先順位に従って処理するマルチプログラム方式がとられている。優先順位の決定は各プログラムの応答時間の緊急度をシミュレーションの手法により解析してなされた。これらのプログラムの種類には次のようなものがある。

(1) 速度監視プログラム

リターダ内を走行しているすべての貨車の速度監視をレーダスピードメーターによって行なう。

(2) 操車場監視プログラム

風向・風速・温度などの気象条件、環境条件のほか、フルネスの測

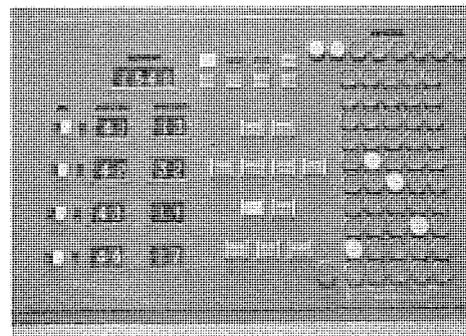


図 3.8 ハンプ制御卓のパネル
Fig. 3.8 Control panel of hump console.

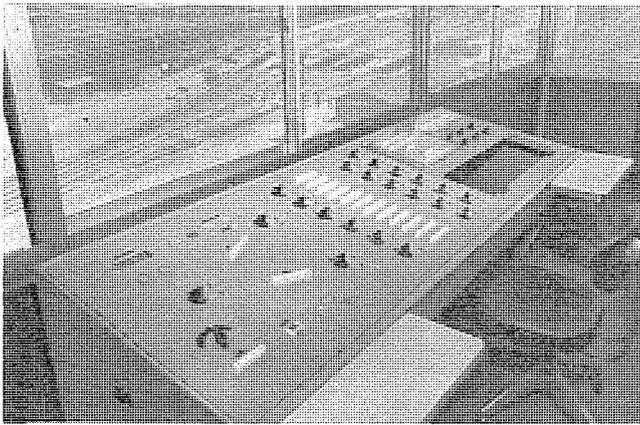


図 3.9 コントロール センタ 制御卓
Fig. 3.9 Control center console.

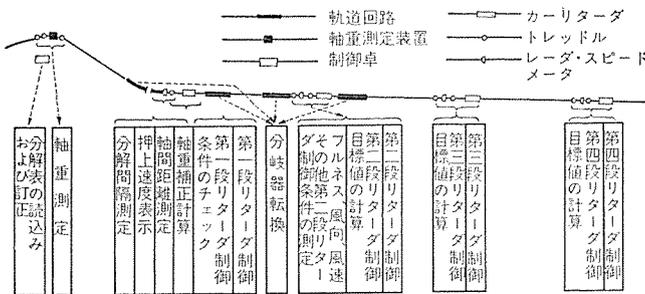


図 3.10 貨車制御プログラムの実行シーケンス
Fig. 3.10 Execution sequence of freight car control programs.

定を行ない、操車場仕分線内の貨車の滞留状態を調べる。

(3) リターダ制御プログラム

貨車が操車場内のどこを走っているかをトレッドルからの信号により追跡し、リターダの制御を行なう。

(4) ポイント転換プログラム

軌道回路からの信号により、貨車の行先に従ってポイントの転換を行なう。

(5) 目標速度計算プログラム

貨車の連結速度・走行抵抗・重量のほか、操車場内の貨車の分布状態をもとに、貨車速度を最適制御するためのリターダからの脱出目標速度を計算する。

(6) オペレータコミュニケーション

コンソールを介して操作員と計算機の間で情報の授受を行ない、分解作業の開始、終了時、作業の変更、異常発生時の作業などを円滑に進行させる。

図 3.10 に貨車制御プログラムが貨車の散転にもなっており、どのようなシーケンスで進行するかをハンブよりの仕分線こう配断面によって示す。

貨車制御プログラムの設計にあたっては、対象となるシステムが大規模であり、所要プログラムの本数も多いため、徹底してプログラムのモジュール化を推し進め、プログラムのデバッグ、システムの変更にもなるプログラムのメンテナンスが容易であるような配慮がなされている。

3.4 情報処理システム

情報処理システムは図 3.1 に示したメインループに沿って貨車の動きを貨車データ情報の流れによっては握し、必要ときに必要な情報を抽出して処理を施すことになる。

すなわち郡山操車場を情報ファイルによってシミュレートし、これら

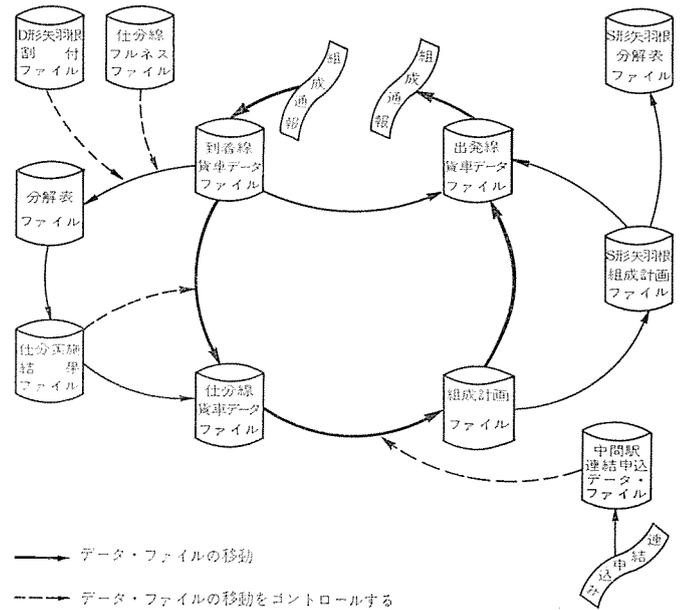


図 3.11 データファイルの移動
Fig. 3.11 Flow of data files.

のファイルを手元の指示に従ってメンテナンスしてゆく。

情報処理システムでの各作業に応じて必要なファイル、ならびにファイルからファイルへの情報の移動を図 3.11 に示す。

3.4.1 到着に伴う作業

データ伝送回線を通して送られてきた組成通報から到着線貨車データファイルが作成される。実際に列車が到着すると、さらに確認ファイルがつくられ、以後の処理では必ずこの確認ファイルが参照され、重複処理、未処理などがないようにしている。

3.4.2 分解に伴う作業

到着列車は貨車制御システムでの分解作業に先だて、分解計画としての分解表がつくられ分解表ファイルに入れられる。分解表の作成時には仕分線内の貨車在线状況を示す仕分線フルネスファイル、D形矢羽根線への割付け計画を示すD形矢羽根線ファイルが参照される。

貨車制御システムで一つの列車の分解仕分けが終了すると、仕分け実施結果ファイルがつくられ、あわせて仕分線貨車データファイルが作成される。

3.4.3 組成に伴う作業

分解が終了し、仕分線内に収容された貨車は、この時点で到着列車との関連が消失し、新たに出発列車との関連で処理される。

組成計画は計画者が立案し、これの延長・換算重量などの制限条件のチェックが自動的に行なわれ、計画員にフィードバックされる。正しい計画が得られたときは仕分線貨車データファイルから該当貨車データが組成計画ファイルに移される。駅別に組成を行なう必要があるものはS形矢羽根線を使用してふたたび分解組成を行なうのでS形矢羽根線用の分解表を作成する。

組成が終了すれば組成計画ファイルの内容が出発線貨車データファイルに移され、出発線貨車データファイルがつくられる。

3.4.4 出発に伴う作業

出発列車に対する組成画面報が出発線貨車データファイルからデータを抽出して作成され、データ伝送回線により周辺駅や他の操車場に送られる。

3.4.5 管理的作業

このほか各貨車データファイルをもとにして、全体的貨車データを

中央では握するために、貨車データの分類 (SORT)、集計などを行ない、報告書や各種統計資料が作成される。

3.5 情報処理の計算機プログラム

以上の作業はランダムアクセスファイルを中心とした計算機システムと、離れた端末機器から操作するオペレータとのマンマシンシステム (Man-Machine System) とが実時間のうえで密接に結びついて円滑に行なえるよう考慮されている。すなわち計算機室と離れたコントロールセンタ内に設置された端末機器によって、オペレータが計算機に処理要求を出し、計算機システムが実時間で要求に対応しつつ処理が進められる。遠隔の端末機器としてはオンライン問合せタイプライタのほか紙テープリーダー、紙テープパンチ、ラインプリンタが用意されている。図 3.12 にオンライン問合せタイプライタを示す。

オペレータはオンライン問合せタイプライタを用いてコマンド (Command) を打ち込み、計算機に処理要求をだす。コマンドは計算機で解釈され対応する処理プログラムの実行が開始される。このときデータはオンライン問合せタイプライタまたは紙テープリーダーより与えられる。計算機からオペレータへの情報 (処理結果など) はオンライン問合せタイプライタの印字部、紙テープパンチ、ラインプリンタに与えられる。

遠隔のオンライン問合せタイプライタは4セットあり、4人のオペレータが併行して同時に計算機へ処理要求を出すことができる。

情報処理プログラムはランダムアクセスファイル (磁気ドラム) 中のファイルを更新する。このようにファイルのメンテナンスがオンラインで行なわれるため、ファイルの動きはきわめてダイナミックである。したがってファイルはリスト構造と階層構造を混じえたファイル構造を採用しており、ランダムかつダイナミックなファイルの更新と磁気ドラム中のフ



図 3.12 オンライン問合せタイプライタ
Fig. 3.12 On-line inquiry typewriter.

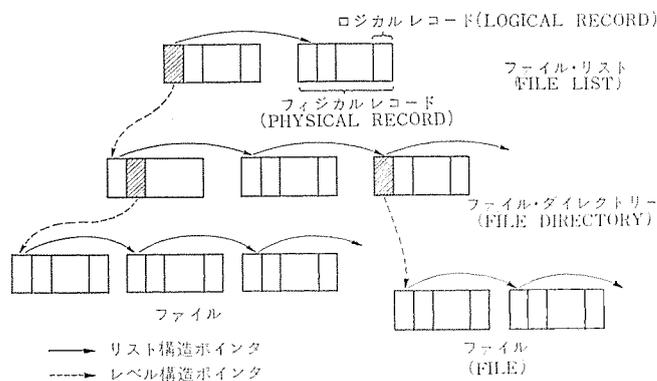


図 3.13 ファイルの構造 Fig. 3.13 File structure.

イルエリアの有効利用を可能にしている。図 3.13 にファイルの構造を示す。

これらのプログラムは処理の緊急度に応じて三つのレベルにわかれており、優先度の高いプログラムは、優先度の低いプログラムをコアメモリーから磁気ドラムに一時退避して実行するプライオリティスケジューリング方式を採用している。

4. 計算機システムのシステム設計⁽⁶⁾⁽⁷⁾

4.1 概要

郡山操車場自動化システムでは上述したような貨車制御システムおよび情報処理システムという性格の異なったサブシステムを一括して自動化し、しかもこれらのサブシステムの間密接な結合を実現してトータルシステムを構成することが要求される。

このために MELCOM-1600 計算機システムが自動化の中核として導入され、すべての処理を総括して集中処理する。

このようなトータルシステムにおけるシステム構成ユニットとしての計算機システムには、従来に見られなかった高い信頼性と実時間応答処理能力、および柔軟な拡張性が要求されることになり、計算機システムのシステム設計にも多くの新しい概念・技術が採用されている。

4.2 システム構成

詳細なシステム分析から抽出された計算機システムへの要求をもとに、郡山操車場自動化計算機システムは MELCOM-1600 システム 4 セットからなる計算機複合体 (Computer Complex) が設計された。

すなわち貨車制御システム、情報処理システムの両者を一括して扱い、実時間処理を行なうために MELCOM-1600 システム 2 セットにより、両システムが密接に結合されたマルチプロセッシングシステムを採用している。

また1日じゅうほぼ休みなく連続運転され、しかも運転中の計算機故障は貨車の衝突・脱線などの重大事故を招くおそれもあり、きわめて高いシステム信頼性が要求されるため、上のマルチプロセッシングシステムをさらに二重構成とし並列運転させるマルチシステムとしている。このとき一方のシステムが Active 系であり、他方が Stand-By 系となる。

図 4.1 に郡山操車場自動化計算機システムのシステム構成ブロック図を示す。

4.3 システムの運転形態

計算機システムで処理する業務は大別すると次の4種になる。

- (1) 貨車の分解仕分け制御 (貨車制御)
- (2) 貨車の動きに沿った情報処理 (データ処理)
- (3) 貨車の動きを全体的には握する情報処理 (貨報処理)
- (4) プログラムの開発・修正等の処理 (パッチ処理)

各処理が計算機複合体 (Computer Complex) でいかに進行するかという運転形態を次に述べる。

4.3.1 貨車制御

図 4.2 の構成で処理される。この処理はきわめて高い信頼度と運転の停止時間を極度に減らす要求が課せられているので、つねに Active 系と Stand-By 系の両系で同一の処理を併用して行なわせる並列運転方式をとっている。

操車場内に設置されている現場機器からの入力情報は、入出力分岐器を通して両系に入れられる。出力は Active 系から出されている。Active 系でエラーが検出されたときは後述するシステムコントロールに警報信号 (Malfunction Alert Signal) が与えられ、スイッチングが

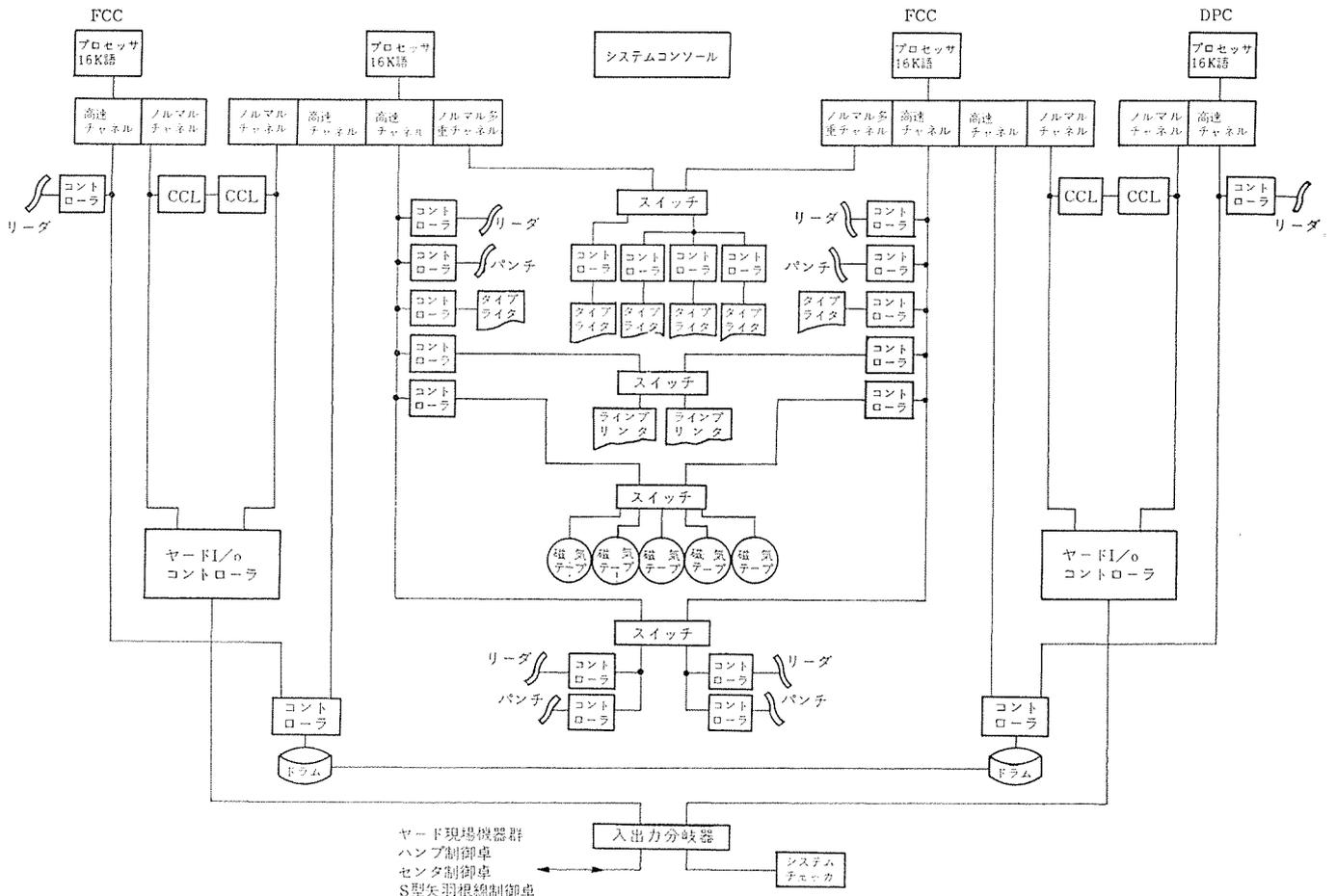


図 4.1 操車場自動化計算機システムの構成ブロック図

Fig. 4.1 Block diagram of YAC computer system.

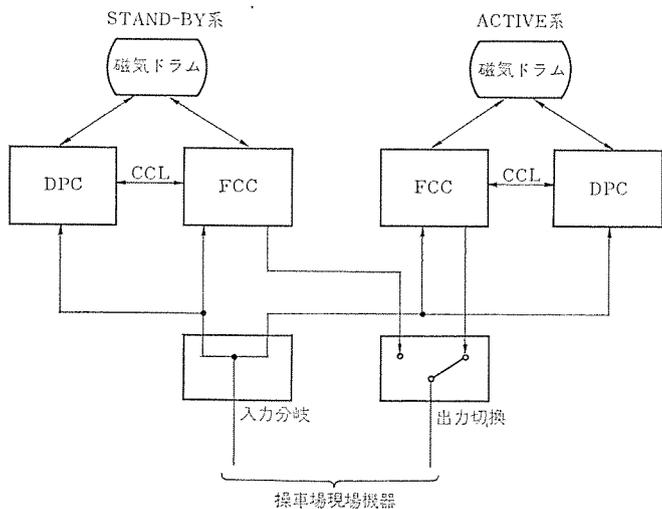


図 4.2 貨車制御面からみた接続図
Fig. 4.2 System structure of freight car control.

自動的に行なわれ運転はそのまま続行する。

並列運転を行なう二重構成の各系はその主要な役割に従って FCC (Freight-car Control Computer), DPC (Data Processing Computer) と称する 2 セットの計算機よりなるマルチプロセッシングシステムであり、普通は FCC 処理を行なっているが、同時制御台数が増大したときは DPC でも併行して処理を行ない、FCC, DPC で貨車制御を行なう。

このため FCC, DPC は CCL (Computer Communication Link)

を通して直接メモリーとメモリーとの間で情報を交換できるようにしている。リターダ制御の処理以外でも FCC は必要に応じて DPC に貨車制御に必要な処理を依頼し、マルチプロセッシングを行なうようにしている。

4.3.2 データ処理

図 4.3 の構成で処理される。並列運転を行なっている場合データ処理は Active 系で処理される。したがってオンラインのターミナル機器であるタイプライタ、紙テープリーダー、パンチなどのほか、運転状態を記録し故障時にもファイル内容を確保する目的で磁気テープ装置が用いられている。磁気テープ装置は入出力装置のスイッチにより Active 系に切換えられて接続される。

しかし情報処理システムの処理結果のうち貨車制御に必要な情報は並列運転時には両系に存在していなければならないので、Active 系からシステムコンソール、磁気ドラム装置を介して Stand-By 系に転送される。Stand-By 系ではこの情報をうけとり、磁気ドラムに格納しておく。

データ処理に使用される各種ファイルはランダムアクセスファイルである磁気ドラム中にあり、オンラインターミナルからオペレータによって指示されることによってファイルメンテナンスがほどこされる。

次に述べる貨報処理の 1 部もこの運転形態で処理される。

4.3.3 貨報処理

図 4.4 の構成で処理される。並列運転時には Stand-By 系で行なわれる。したがって貨報処理に必要なオンラインターミナル機器、および磁気テープ装置はスイッチにより Stand-By 系に切換えて接続され

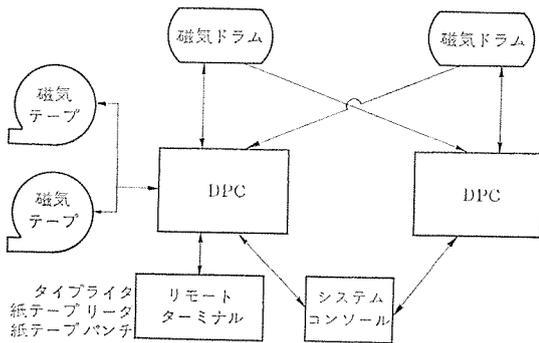


図 4.3 データ処理面からみた接続図
Fig. 4.3 System structure of data processing.

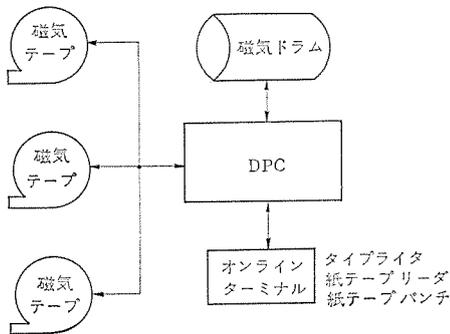


図 4.4 貨報処理面からみた接続図
Fig. 4.4 System structure of freight car report processing.

表 4.1 処理の割付け
Table 4.1 Assignment of processings.

	ACTIVE		STAND-BY	
	FCC	DPC	FCC	DPC
DUPLEX	貨車制御	貨車制御 データ処理 情報の転送 貨報処理の一部	貨車制御	貨車制御 貨報処理 情報の受取り
SIMPLEX	貨車制御	貨車制御 データ処理 貨報処理の一部	—	—

る。

単独運転時には Active 系を使用し、データ処理と併行して時分割で処理される。

4.3.4 パッチ処理

上述した貨報処理と同じ構成で処理されるほか、システムから切り離されたオフラインの系で処理する。端末機器・磁気テープ装置などは必要に応じてスイッチで切換えて使用する。

4.4 処理の割付け

マルチシステムの並列運転・単独運転のおのおのにおいて Active 系・Stand-By 系への処理の割付け、および FCC、DPC のマルチプロセスシステムへの処理の割付けを表 4.1 にまとめて示す。DPC においては各処理が次のような優先度をつけられている。

優先レベル 1 : 貨車制御

優先レベル 2 : 貨車制御以外の FCC から依頼された処理およびデータ処理

優先レベル 3 : 貨報処理およびパッチ処理

4.5 運転状態の動的遷移

4.5.1 動作状態

計算機システムと対象となるシステムとの結びつきによって次の三つに分けられる。

(1) Operation の状態

計算機システムと対象となるシステムが接続され、処理を行なっている状態。

(2) Recovery の状態

計算機システムと対象となるシステムが接続されているが、まだ処理を行わず、処理を始める準備を行なっている状態。

(3) Down の状態

計算機システムと対象となるシステムが切り離されていて、処理を行えない状態。

計算機システムの故障、復旧回復を考えると計算機システムはこの三つの状態を動的に遷移している。各状態とその遷移の順序を図 4.5 に示す。

4.5.2 郡山操車場自動化計算機システムの運転状態

郡山操車場自動化計算機システムは計算機複合体となっており、対象となるシステムも貨車制御システム、情報処理システムという性格の異なる二つのサブシステムから構成されている。したがってこれらの

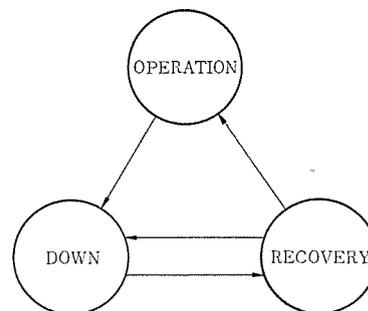


図 4.5 動作状態の遷移
Fig. 4.5 Transition of operating state.

組合せによりさらに細分された運転状態が存在する。これらの運転状態を次に示す。

(1) Operation の状態

(a) 単独運転の状態 (Simplex State)

二重構成の片系のみが対象となるシステムに接続されている状態。

(b) 並列運転の状態 (Duplex State)

二重構成の両系が対象となるシステムに接続されている状態。

(c) 切換運転の状態 (Switching State)

運転形態の項で述べたように並列運転時において貨車制御は両系で併行して処理されているが、データ処理は Active 系でのみ処理されている。したがって Active 系が故障して切換えが行なわれても、貨車制御はそのまま処理が進められるが、データ処理は処理の再開のための準備状態となる。すなわち貨車制御システムに対しては Operation の状態にあり、情報処理システムに対しては Recovery の状態であることが過渡的に存在する。これを切換運転の状態という。

(2) Recovery の状態

(a) 単独回復の状態 (Simplex Recovery State)

単独運転の状態にはいる準備がされている状態。

(b) 並列回復の状態 (Duplex Recovery State)

単独運転から並列運転にはいる準備がされている状態。

(3) Down の状態

二重構成の両系とも対象となるシステムから切り離されている状態。

以上の各状態で Down の状態を除いては二重構成の二つの計算機システムのいずれが Active 系になっているかによりおのおの二つの状態があり、Down の状態を含めて全部で 11 の運転状態がある。

4. 5. 3 運転状態の動的遷移

郡山操車場自動化計算機システムはうゑに述べた 11 の運転状態の間を動的に遷移している。遷移は自動、手動の両方で行なわれる。

5. 計算機システムのシステム設計上のポイント

計算機システムのシステム設計上のポイントのうちとくに重要なものを次に述べる。

(1) マルチプロセッシング (Multi-Processing)

貨車制御は FCC、DPC という二つのプロセッサにより、並列に処理を進めるマルチプロセッシングを行なっている。すなわち貨車制御におけるリターダ同時制御台数が少ないときは FCC のみで処理され、制御台数が増大したときは FCC より DPC に処理依頼を出して DPC にも処理を担当させ完全な並列処理を行なう。

このため FCC、DPC は CCL (コンピュータコミュニケーションリンク) で結合しており、CCL を介して処理依頼を伝達し、必要に応じて直接コアメモリー間で情報転送を行なう。

またリターダ制御以外の処理も FCC から DPC に依頼することができ、DPC に接続されているすべての入出力装置を DPC を介して FCC でアクセスすることができるようにしている。

(2) 貨車制御とデータ処理間のコミュニケーション

貨車制御は FCC、DPC のマルチプロセッシングにより処理されるが、データ処理は DPC で処理される。一方貨車制御とデータ処理は互いに分解表ファイル・仕分実施結果ファイル・操車場構内の状態情報(仕分線のつまり具合を示すフルネス情報など)という各種のデータの交換により、また各サブシステム運行のタイミング信号の伝達などにより密接に結合されている必要がある。

このため CCL による結合以外にランダムアクセスファイルとしての磁気ドラム装置を FCC、DPC の両システムからデュアルアクセスできるようにしている。一方が磁気ドラムにデータを書き込んだとき、これを CCL を介して相手に伝達する。

(3) 並列運転を行なうマルチシステム間のコミュニケーション

並列運転時に貨車制御はマルチシステムの両系で同時に進められている。このためにはデータ処理から貨車制御に必要な情報がつねに両系に与えられること、および貨車制御結果の情報が両系で受けとられることが必要となる。また単独運転から並列運転への回復に際しても運転の準備が両系になされなければならない。

すなわち並列運転を円滑に行なえるようにするため、両系間のコミュニケーションがきわめて重要となる。このコミュニケーションとしては情報の交換・処理要求の伝達があり、このために両系おのおのから相手系の磁気ドラム装置をアクセスすることが可能になっているほか、各種タイミング信号の伝達、簡単な指令情報の交換のためのレジスタが用意されている。

(4) 回復とファイルの確保

信頼性の高いシステムとなるためには、故障修理時間の短縮のみならず、回復時間の短いことも要求される。データ処理系、制御系を含めて、大量のファイルがあるのでファイルの確保が回復のために必

須となり、機械の故障その他でファイルの内容が破壊された場合、できるかぎり早く、正しい状態に復旧することが要求される。

このため、あるルールの下に磁気ドラム中のファイルをバックアップファイルとして磁気テープへコピーするほか、ファイルメンテナンスのためにファイルをアップデータ(更新)した場合、そのアップデータに用いた入力データその他も磁気テープへ記録することが行なわれている。誤ってファイルが破壊された場合、その磁気テープへ残されているデータをもとに、磁気ドラム中のファイルの状態が、自動的に復旧されるようになっている。

(5) フェイルセーフの配慮

貨車の制御中に、計算機が故障した場合、重大事故に至るおそれもある。そのため、並列運転系の一方の計算機が故障した場合には、自動的に正常である系から出力が取られるようになっている。また万一、両系とも故障した場合には、リターダへ一定の指令を出したり、ポイントが誤って転換されないよう、固定される指令が出るなど、固定指令装置が設けられ、常にフェイルセーフとなるよう考慮されている。

6. 計算機システム⁽⁶⁾⁽⁷⁾

6.1 概要

計算機システムにはオンラインリアルタイムシステム用に開発・設計された MELCOM-1600 システムが使用されており、貨車制御でのマルチプロセッシング、二重構成によって並列運転を行なうマルチシステムのため 4 セットから構成されている。

計算機システムはコントロールセンタ内に設置されている。図 6.1 に計算機室内に据付けられた計算機システムを示す。

6.2 仕様

表 6.1 に計算機システムの機能のめやすとなる主要性能をまとめて示した。

6.3 特長

郡山操車場自動化システムに使用されている MELCOM-1600 システムはトータルオンラインリアルタイムシステム用としてすぐれた性能を発揮する計算機システムであるが、さらに郡山操車場自動化システムのためにハードウェア、ソフトウェア両面にわたって細心の考慮がはらわれており、次に述べるような特長を有している。

6.3.1 入出力データ

郡山操車場自動化システムは貨車制御・情報処理を一括して自動化するトータルシステムであるため、計算機システムと外部ターミナルとの間で授受されるデータの種類・形式が、表 6.2 に示すようにきわ



図 6.1 コントロールセンタ内に設置された操車場自動化計算機システム

Fig. 6.1 YAC computer system installed in control center.

表 6.1 操車場自動化計算機システムの主要性能
Table 6.1 Specification of YAC computer system.

プロセッサ	サイクルタイム：6μs 加算時間：12μs メモリ容量：16k語 1語：18ビットまたは3字 アドレス指定：1番地式レジスタ指定 キャラクタアドレス：可 間接アドレス：可 メモリ保護：可	
チャンネル	DPC	サイクル・スチール・チャンネル：2 ノルマル・チャンネル：1 ノルマル多重(4)チャンネル：1 最大転送速度： 66.7kW/s (200 kch/s) チャンネル中止指令可
	FCC	サイクル・スチール・チャンネル：1 ノルマル・チャンネル：1
インタラプト	レベル：7 ソース識別アドレス：32 プログラムによる発生：可 プログラムによる制御：可(ENABLE, DISABLE, LEVEL, LOCK) 命令サイクル中断送：可(レベル1, 2.)	
タイマ	50ms インターバル, 500ms インターバル リアルタイムクロック	
周辺機器	紙テープリーダー：200, 400字/秒 紙テープパンチ：120字/秒, および25字/秒 タイプライタ：2段15字/秒, および3段8字/秒 ラインプリンタ：96文字 132けた 285行分 磁気テープ：41.7k字/秒 磁気ドラム：260k語(780k字) 33ms	

表 6.2 入出力データの一覧
Table 6.2 Input-output data.

分類	信号種類	端 末 装 置	内部信号形状	点 数
ヤード現場機器とのインタラプフェイス	アナログ入力	貨車軸重計	8ビット	1
		仕分線フルネス計	8ビット	60
		風向風速計	8ビット	4
		温度計	8ビット	1
	デジタル入力	トレッドル	インタラプト	180
		軌道回路	インタラプト	72
		転換器バック接点	2ビット	34
パルス入力	レーダ・スピード・メーター	7ビット	85	
デジタル出力	転換器	2ビット 1ビット	24/10	
	空圧式リターダ	7ビット	14	
	自重式リターダ	1ビット	71	
オペレータとのインタラプフェイス	キー入力	ハンパ制御卓	インタラプト BCD 1ビット	25
		コントロールセンタ制御卓		5
		D形矢羽根線制御卓		13
		S形矢羽根線制御卓		
	鍵盤入力	インクワイアリ・タイプライタ	テレタイプ コード	4台
	テープ入力	コントロール・センタ・紙テープリーダー	テレタイプ コード	2台
	テープ出力	コントロール・センタ・紙テープパンチ	テレタイプ コード	2台
	表示警報出力	ハンパ制御卓	BCD 1ビット	24
		コントロール・センタ制御卓		14
		D形矢羽根線制御卓		
S形矢羽根線制御卓				
印字出力	インクワイアリ・タイプライタ	テレタイプ コード	4台	
	コントロール・センタ・ラインプリンタ	計算機キャラクタ・コード	1台	

めて多様である。

また表に示したものの以外にもランダムアクセスファイルとしての磁気ドラム装置、回復を迅速に行なうためのバックアップファイル、貨報処理、プログラムライブラリの開発保管のシケンシナルデータファイルとしての磁気テープ装置などを含め各種の周辺装置がある。したがって計算機システムは制御用計算機としての性格と、事務データ処理計算機としての性格を併わせもつ総合処理能力が必要とされる。MELCOM-1600システムはとくにこのような総合処理が高く、機械語レベルで2進データ、キャラクタデータの両者についてアドレス指定・演算処理を行なう

ことができるようになっている。

6.3.2 入出力チャンネル

計算機システムは上述のような多岐にわたるデータをその転送速度・同時性・処理ひん度に応じて最適な取扱いができる柔軟な入出力チャンネルの機能が必要である。

MELCOM-1600システムは次の3種のチャンネルを備えている。

(1) 高速データチャンネル

サイクルスチール方式によって、プロセッサの演算処理と併行して直接メモリーとデータをやりとりする。

(2) ノーマルチャンネルおよびノーマル多重チャンネル

データごとに、あるいは一定時間ごとに割込みを起こし、割込みプログラムでデータをやりとりする。

磁気ドラム・磁気テープ等の外部記憶装置はデータ転送のくり返し速度が大きく、また処理ひん度も高いので(1)の高速データチャンネルに接続し、プロセッサの演算処理および(2)のチャンネルのデータ授受と完全に並行動作するようになっている。図6.2に磁気ドラム装置を、図6.3に磁気テープ装置を示す。

とくに磁気ドラムについては、磁気テープ、ラインプリンタ等の動作中でもデータ授受ができる必要があるので独立した高速データチャンネルに接続されている。

操車場内の現場機器、およびオペレータとのデータのやりとりについてはその発生ひん度がランダムであるから、できるだけデータの出入口の幅を広くして同時受けが可能にしておく必要があるが、データの転送くり返し速度が低いので割込処理で十分であるため、ノーマルチャンネル、ノーマル多重チャンネルに接続する。

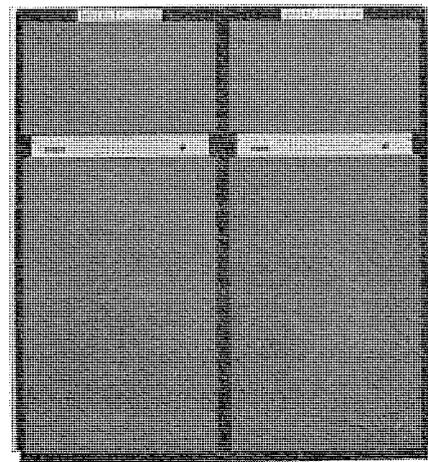


図 6.2 磁気ドラム装置
Fig. 6.2 Magnetic drum units.

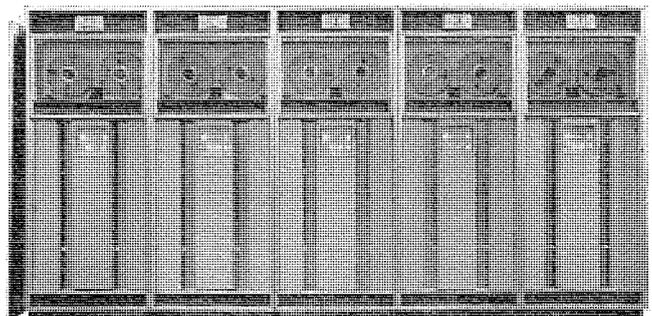


図 6.3 磁気テープ装置
Fig. 6.5 Magnetic tape units.

表 6.3 システムコンソールの機能
Table 6.3 System console function list.

分類	機能
運転表示	計算機システムの動作状態表示
時間表示	リアル・タイム・クロックの表示
系統制御	計算機システムの運転状態変更および表示 運転保守プログラムの要求 リアルタイム・クロックの整時
接続表示	計算機システム・ユニットの接続状態表示
端末切替	オンライン・ターミナル、周辺装置の切替
貨車制御出力切替	貨車制御出力のシステム・チェッカーへの切替その他
故障表示	計算機システムの故障箇所および原因の表示
貨車制御現場機器故障表示	貨車制御現場機器の故障表示

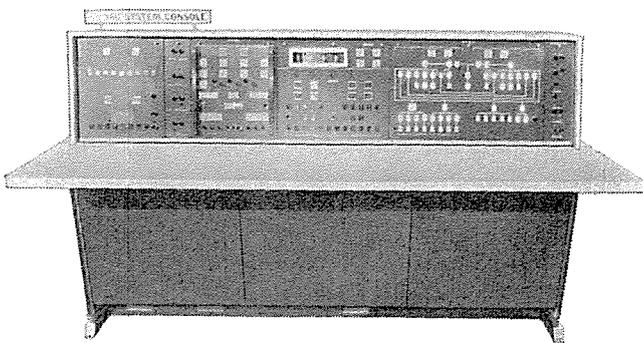


図 6.4 システムコンソール
Fig. 6.4 System console.

6.3.3 二重構成

計算機システムはマルチシステムによる並列運転を行なうため二重構成をとっている。これはきびしい運転の継続の要求を満たすため、このため操車場構内からの入力データはつねに両方の系にはいり貨車制御は両系で同時に並列に走行している。出力はこのうち的一方から与えられる。その系が故障したときは、瞬時に他の系に切替えられ、運転がそのまま続けられる。切替えの動作は両系から独立して存在するシステムコンソールが行なう。システムコンソールはこのような運転状態の動的な遷移の状態を管理する系統制御機能のほか、計算機システムと現場機器、コンソールなどの自動化システム全体を監視・制御できる機能を有している。

システムコンソールはこのようにシステム全体の核となっており、システムの運転上きわめて重要であるため、フェイルセーフ回路方式を採用しており、それ自身の故障が事故をひきおこす切替えとならないよう細心の考慮がなされている。

表 6.3 にシステムコンソールの機能をまとめて示す。図 6.4 にはシステムコンソールの外観を示す。

6.3.4 両系の情報交換

両系間の情報交換は磁気ドラムおよびシステムコンソールを介して行なう。磁気ドラムは主としてデータの交換に使用し、システムコンソールは指令の授受に用いる。

磁気ドラムによる情報交換は磁気ドラム上に特別のトラックを設け、普通の読み書きヘッドのほか、読み出し専用のヘッドを設け、このヘッドを互いに相手系へ接続する方式を採用している。またデータの交換は自由に行なえ、しかも一方の系が故障しても、その影響が相手系および相手系のフェイルを破壊するような事故が起こらないように考慮されている。

これと同様の考慮は入力分岐回路においてもなされており、一方の系が故障しても他の系への入力データはなんらじょう乱をうけないようになっている。

6.3.5 フォールバック (Fall Back) 運転

計算機システムに二重構成をとっても、操車場自体およびオペレータが一重系である以上、これらに直結する現場機器、コンソール、オンライン、ターミナルはどうしても一重構成となる。

これらの機器が故障を起こした場合の対策として、システムの構成を考慮したうえでシステムユニットの「切り落とし (Partitioning)」ができるようにしている。すなわち故障したシステムユニットを切り離すことによってシステムの機能を一部分犠牲にする (Degrade) だけで運転を続行できるフォールバック運転を考慮している。

たとえばオンラインタイプライタ4台のうち、1台が故障し3台になっても主要作業は続行できる。このため故障した部分を論理的にはもちろん、機械的に分離しても、ハードウェア的、ソフトウェア的に支障のないよう設計されている。

6.3.6 マルチプロセッサ

二重構成の片系内部は2台のプロセッサを持つマルチプロセッサシステムであり、2台のプロセッサによるマルチプロセッシングが行なうようになっている。両者の間はチャンネルを通してCCL (Computer Communication Link) により直結されているほか、磁気ドラムのデュアルアクセスで結ばれている。

マルチプロセッサシステムはコアメモリーの利用度とプロセッサの利用度をバランスさせ、メモリーリミテッド (Memory-Limited) な演算処理能力のわくを越えて、プロセッサの能力をフルに発揮させることができる。さらにプロセッシングは、二重構成において、片系中の2台のプロセッサのうち、FCCは完全な並列予備機として働くが、DPCは予備機としてともに貨報処理などの仕事に効果的に使用できるようにしており、片系全体を予備系とする場合に比べて計算機システムの利用度を大幅に向上させている。

とくにMELCOM-1600システムは高度なマイクロプログラム手法を駆使したスタッドロジック方式で設計されているため、演算制御部のハードウェアが少なく、マルチプロセッサシステムを実現するときコスト/パフォーマンス上有利となっている。

6.3.7 故障の検出

システムの安全確実な運転を確保するためのハードウェア、ソフトウェア両面にわたって多くのエラー検出を行なっており、故障の早期検知を可能にしている。

エラーの検出は二重構成の片系ごとに独立に行なわれ、エラーが検出されるとただちにシステムコンソールに通報され、系の切替えなどの計算機システムの再構成により運転状態の遷移を行い、運転を継続する。

エラーの検出には次のものがあり、検出方法により大きく4種に分類される。

- (1) ハードウェアによるハードウェアエラーの検出
 - (a) メモリーパリティエラー
 - (b) データパリティエラー
 - (c) AC, DC電源のレベルモニタ
 - (d) 入出力命令の時間監視
 - (e) その他
- (2) ハードウェアによるソフトウェアエラーの検出
 - (a) メモリープロテクション

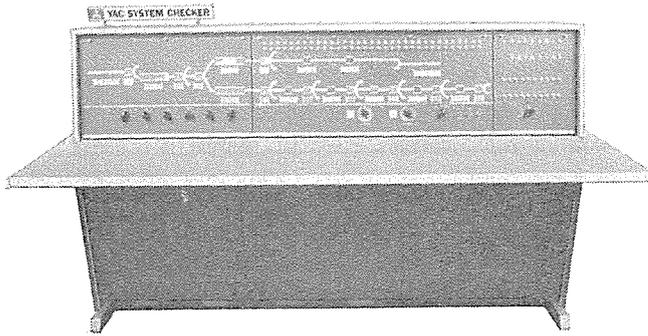


図 6.5 システムチェッカ Fig. 6.5 System checker.

- (b) 不正命令の検出
- (c) タイマ割込みの重じよう発生
- (3) ソフトウェアによるハードウェアエラーの検出
 - (a) データ限界チェック
 - (b) データ連続性チェック
 - (c) レスポンスチェック
 - (d) ヘルスチェック
 - (e) その他
- (4) ソフトウェアによるソフトウェアエラーの検出
 - (a) タイマカウントのオーパフォー(ウォッチドッグタイマ)
 - (b) その他

6.3.8 保守

操車場自動化計算機システムは24時間ほぼ休みなく運転されるので、毎日の定期的予防保守点検時間がきわめて短く、これを能率よく迅速に遂行する必要がある。とくにこの際問題となるのは、操車場のきわめて多数の現場機器と直結するヤード入出力制御装置の保守点検であり、保守点検のために貨車の転送を試みることは不可能であるので、操車場内の貨車の転送状況をシミュレートできるヤードシミュレータを用意して容易に行なえるようにしている。

ヤードシミュレータのことをシステムチェッカと呼んでいる。図6.5にシステムチェッカを示す。

また二重構成の片系が故障復旧作業中においても他の系は運転を続行しているので、このオンライン運転を妨げずに復旧作業を行なわねばならない。このときにもシステムチェッカを使用し能率的に行なうようにしている。

さらにオンラインタイプライタ等の周辺装置の故障はシステムユニットの切り落とし(Partioning)を行なった後でも二重構成の両系ともに並列運転を続行している間に復旧しなければならないので、テスト用入出力チャンネルシミュレータを用意しており、計算機システムを使用しなくても復旧作業が行なえるようにしている。

7. む す び

郡山操車場自動化システムは貨物輸送の重要拠点である操車場を

一括して自動化するというわが国最初の試みである。そこでは大規模な実時間計算機制御と人間と計算機とがオンライン結合する、マンマシンコミュニケーションとが一体となったトータルオンラインリアルタイムシステムの形成が要求されている。このような自動化システムの中核となる計算機システムは、多重処理(マルチプロセッシング)と複合計算組織(マルチシステム)の両機能が並列運転する計算機複合体(Computer Complex)となっている。

このようなシステムの実現に至るまでにはシステム分析、システム設計、システムの製作、および試験の各段階で、高度のシステム技術、計算機技術の開発、修得を必要としたが、国鉄関係各位のかたがたの並々ならぬご指導・ごべん達により、昭和39年度に着手して以来、幸いにして順調に工事を進めることができ、昭和42年3月成功裏に貨車制御システムの試験を完了することができた⁽⁸⁾。

現在最終的なシステム構成機器の搬入を完了し、ハードウェア、ソフトウェア両面にわたる実用試験のための試験が鋭意進められており、昭和43年1月からの試み使用期間を経て昭和43年7月より完全自動化システムの実用運転にはいることになっている。さらにいままでに得られた貴重な経験と技術の積み上げを生かし、今後もよりいっそうの努力を傾注し全力をあげて事にあたる所存である。

終わりにのぞみ、終始ご指導・ご激励をいただいた日本国有鉄道本社電気局・鉄道技術研究所・仙台電気工事局の関係各位のかたがた、および三菱電機関係者に厚くお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 遊佐, 東: 郡山ヤードの自動化について, 第3回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム予稿集(昭42-2)
- (2) 渡辺, 佐藤, 東: 郡山ヤードにおける情報処理システム, 同上
- (3) 東, 遠藤, 坂本: 自動操車場の設計に関連して行なった貨車転走状況のシミュレーション, 同上
- (4) 山津, 橋野, 小川, 早坂: 郡山ヤードにおける情報処理, 第4回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム予稿集(昭42-2)
- (5) 東, 稲田, 石井, 塩谷, 桑折: D形矢羽根線使用方についてのシミュレーション, 同上
- (6) 遊佐, 山津, 東, 稲田, 曾我, 沓沢: 郡山ヤード自動化計算機システム, 同上
- (7) 遊佐, 山津, 東, 稲田, 曾我, 沓沢: 国鉄郡山操車場自動化計算機システム, 昭42電気四学会連合大会, No. 2856
- (8) 松沼, 東, 長沢: 速度制御の面からみた郡山ヤードの仕分線設備, 第4回鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム予稿集(昭42-2)

パワー・ステートメント

千葉 正*・松本 孝郎*・武藤 達也*・立花 康夫*

Power Statement

Head Office Akira CHIBA・Takao MATSUMOTO
Tatsuya MUTO・Yasuo TACHIBANA

As the computer softwares have made marked progress recently, it has become practicable to operate the computer without knowledge of specific machine language instructions. However, in the process control computer, the softwares have not yet been satisfactorily developed and much effort has been tried by those concerned.

Power statement is one of the control compiler languages developed used for automatic start and stop sequence program of power stations. If a little improvement is made on them, they can be used for sequence control in general, Mitsubishi engineers have been endeavouring to make them easier in employment and more adaptable for general purposes. In the text are described operation principle, features and application examples to thermal power plants.

1. ま え が き

近年、計算機ソフトウェアの進歩により ALGOL, FORTRAN, COBOL などのコンパイラが開発され、科学用、事務用計算機では特定の計算機の機械語命令をまったく知らなくても、思うままに希望する計算をさせることができるようになってきている。

これに比してプロセス制御用計算機のソフトウェアは、コンパイラの開発に種々試みがなされているが、また機械語命令に近いレベルの言語でプログラムの読み書きがなされている部分の多いのが現状である。これは、プロセス制御用プログラムのもつ特殊性、すなわち個々の対象プロセスに応じた入出力の方式や点数の違い、あるいは計算機にもたせる機能の仕様上の違いが、直接プログラムに影響を及ぼし画一的なソフトウェアシステムの作成が困難な点によるところも少なくないが、まだ開発の日の浅いことが大きな原因であろう。

機械語に近い言語を使用するために、プログラムを書き上げるまでに時間がかかり、また論理的な誤りの発見と訂正、完成したプログラムに対する変更などが容易でない。まして、ユーザーがプログラムを、自分自身の手で自由に変更できるようにするには、担当者に対する相当のトレーニングを必要としている。

この点を改善するために、制御用プログラムが、コンパイラレベルの言語で書けるようになることが望まれている。入出力処理を含めてプロセス制御用プログラムがすべて、コンパイラ言語で書けるようになるまでは、まだ多くの月日を要するであろうが、制御のために直接プロセスの特性に応じてひんぱんに変更を必要とする部分、システム実動後もしばしば改訂を必要とするコントロールプログラムの分野だけでも、コンパイラ言語で読み書きできるようにすることが必要であろう。

ここに述べるパワーステートメントは、プロセス制御用コンパイラ言語の一種であり、火力発電所の自動起動、停止システムのプログラムのために開発されたもので、数回の改良が加えられ、関西電力大阪火力発電所向け、MELCOM-330 自動起動・停止シーケンスモニタシステムに実際に使用された実績を持っている。

本文では、この動作の概要を実験の経験をもとにして紹介する。

2. パワーステートメントの概要

電力プロセスにおける起動停止時の操作は、一種のシーケンス制御で

あり、これはアナログ入力のある基準値との大小比較、デジタル入力のオン、オフ状態等の判定によって次の操作が逐次きまってゆく性質のもので、その判定の一つ一つ、またはその判定によって行なわねばならない操作を、ブロック線図で表わすことが比較的容易である。

起動・停止時における運転操作手順や、起動特性から、計算機に行なわせる動作をブロック線図で書かれたものが、図 2. 1 に示す運転操作フローチャートで、判定ブロックや操作ブロック、その間のシーケンスを示す実線部等から成立っている。パワーステートメントとは、この各ブロックの動作を計算機の言葉として書き表わすためのコンパイラ言語であって、原則として各ブロックと 1 対 1 に対応するように必要なステートメントが考案されている。

パワーステートメントコンパイラは MELCOM-330 Assembler をベースとして作られており、パワーステートメントと並行して、機械語に近いシンボリック命令、アセンブラレベルのステートメントも随所にはさんでプログラムすることが可能である。図 2. 2 に基本的なパワーステートメントをとりあげ動作の簡単な説明を行なった。表 2. 1 は、大阪火力発電所に使用したステートメントの一覧表である。

これらの“DQ-GB”、“AQ-GF”などのステートメントは、コーディングの際いずれも命令部分に書かれ、オペラド部分には、そのブロックの動作に必要なパラメータ、すなわちアナログ入力点やデジタル入力点の指定、変換式番号などの情報が書かれ、さらにロケーション部分には対応ブロック番号を書いて一つのステートメントが構成される。図 2. 1

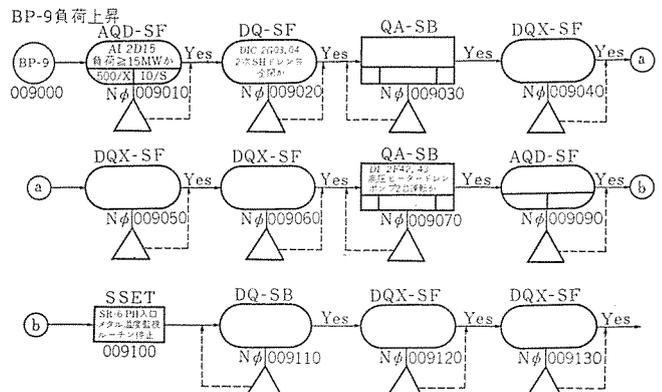


図 2. 1 運転操作フローチャート(例)
Fig. 2.1 Flow chart of operation.

* 本社

表 2.1 パワーステートメント一覧表
Table 2.1 Example of power statement.

ステートメント	名 称
DQ-XX	Digital Question
AQ-XX	Analog Question
QA-XX	Question Action
AQB	Analog Question Branch
DQB	Digital Question Branch
RSET	Routine Set
SSET	Subroutine Set
BSET	Bit Set
CNTQ	Counter Question
ZCNT	Counter Zero
DA	Digital Action
DLAY	Delay
ALRM	Alarm
DQD-XX	Digital Question Delay
AQD-XX	Analog Question Delay
DQX-SF	Digital Question-No input
AQX-SF	Analog Question-No input
DQBX	Digital Question Branch-Non Stop
AQBX	Analog Question Branch-Non Stop

-XX : -GF, -GB, -SF, -SB

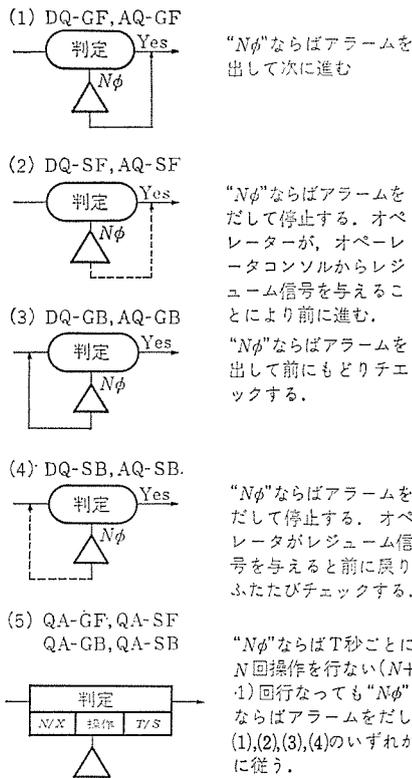


図 2.2 パワーステートメントの動作 (例)
Fig. 2.2 Action of power statement.

結果, すなわち オブジェクトプログラム である。

この例で, 第 11 行に書かれた ステートメント “AQD-SF” の オペランド部分の情報, [AQD-SF] の動作を行なう レスポンスルーチン を呼び出す命令に続く四つの データワード に盛込まれている。オブジェクトプログラムは, このような Calling Sequence のつながりであって, 実際の動作は, この レスポンスルーチン の中で行なわれる。この レスポンスルーチン の動作については, 4 章以下で詳細に説明する。

3. パワーステートメントの特長

プロセス制御用 コンパイラ として, パワーステートメント を使用した結果下記 の五つの特長があることが認められた。

- (1) プログラムの簡略化
- (2) 運転フローチャートの変更, 追加の容易性
- (3) プログラムデバックの容易性
- (4) 記憶容量の節約
- (5) プログラムドキュメンテーション作成の容易性

ばり大な運転操作フローチャートをプログラムすることが, パワーステートメントをもちいれば容易であり, 関西電力大阪火力発電所における自動起動停止シーケンスモニタにおいては, 運転操作フローチャートのプログラムを能率的に行なうことができた。また, 後日比較的容易に, システム変更作業ができる点は, ソフトウェアメンテナンスのためにも大きな魅力である。

4. システムの構成

パワーステートメントで書かれたプログラムの動作を説明する前に, システムの概要を説明する。これは関西電力大阪火力発電所で実動中の実際例である。

プログラムシステム全体の構成は, 図 4.1 に示したように, データ処理の機能を行なう step (I) と, パワーステートメントを主体とするシーケンスモニタ部分の step (II) から成り立っている。この step (I) は 1 秒ごと発生するクロックインタラプトをシステムの基本周期とし, 最優先 1 秒シーケンス(割込不可能なルーチン)でアナログ入力, デジタル入力の読み込み, システム時計の更新などの処置をしたのち, 実行すべき機能プログラム(割込可能)を優先順位にしたがって処理する部分を総称する。

step (II) は計算機に運転操作フローチャートを記憶させることにより, 計算機によるプラント監視を行ない, 運転員がオペレータコンソルそ

0001	-	TITLE	BP-9
0002	-	PLIM	316-30,337-177
0003	-	BEG	-
0004	-	SLIM	316-30,337-177
0005	-	DEF	+SR06,115-12
0006	-	DEF	+BEX9,216-46
0007	-	HALT	-
0010	-	BLK	00
0011	+B9010	AQD-SF	241-101,L,500,10,15,43
A0316-030	0056	0213-012	
A0316-031	0000	0241-101	
A0316-032	0000	110020	
A0316-033	0000	076412	
A0316-034	0000	020113	
A0316-035	0056	0164-173	0012 +B9020 DQ-SF φ,15,12,33
A0316-036	0000	152441	
A0316-037	0000	110040	
A0316-040	0056	0211-175	0013 +B9030 QA-SB C,0,10,13,41,10,5
A0316-041	1000	002015	
A0316-042	0000	110060	
A0316-043	0004	101205	
A0316-044	0056	0213-034	0014 +B9040 DQX-SF -
A0316-045	0000	110100	
A0316-046	0056	0213-034	0015 +B9050 DQX-SF -
A0316-047	0000	110120	
A0316-050	0056	0213-034	0016 +B9060 DQX-SF -
A0316-051	0000	110140	
A0316-052	0056	0211-175	0017 +B9070 QA-SB C,15,10,55,43,10,5
A0316-053	1000	152067	
A0316-054	0000	110160	
A0316-055	0004	301205	
A0316-056	0056	0213-012	0020 +B9090 AQD-SF 241-101,L,500,10,30,43
A0316-057	0000	0241-101	
A0316-060	0000	110220	
A0316-061	0000	076412	
A0316-062	0000	020226	
A0316-063	0056	0144-155	0021 +B9100 SSET 1E,+SR06
A0316-064	0400	0115-012	
A0316-065	0056	0165-001	0022 +B9110 DQ-SB φ,0,12,13
A0316-066	0000	0002415	
A0316-067	0000	110420	
A0316-070	0056	0213-034	0023 +B9120 DQX-SF -
A0316-071	0000	110440	
A0316-072	0056	0213-034	0024 +B9130 DQX-SF -
A0316-073	0000	110460	
A0316-074	0056	0213-012	0025 +B9140 AQD-SF 241-101,L,500,10,40,43
A0316-075	0000	0241-101	
A0316-076	0000	110500	
A0316-077	0000	076412	
A0316-100	0000	020310	

図 2.3 パワーステートメントのリスタイング (例)
Fig. 2.3 Listing of power statement.

の運転操作フローチャートをコーディングして, コンパイルした結果が, 図 2.3 のリスタイング例である。このリスタイングの右半分はソースプログラムで, 左半分は, パワーステートメントコンパイラをもちいてコンパイルした

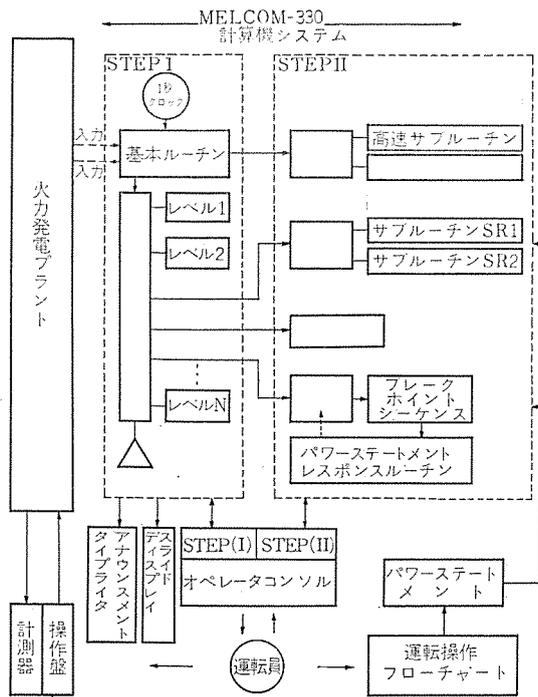


図 4.1 自動起動停止シーケンスモニタシステム
Fig. 4.1 Automatic start and stop sequence monitor system.

他の周辺機器を通じて安全かつ確実に起動停止時の運転ができるようにするものである。step (II) は、図 4.1 のブロック図で示したように

- (1) 運転操作フローチャートを、パワーステートメントを使用してプログラムしたブレークポイントシーケンス、およびサブルーチンシーケンス。
 - (2) パワーステートメントを使用せず、運転操作フローチャートを直接プログラムしたサブルーチンシーケンス。
 - (3) それらを実時間でコントロールするスケジューラ。
 - (4) オペレータコンソールとの間の入出力を扱うプログラム。
- 等から構成され step (I) の 1 秒シーケンス、サブレベルコントロールルーチンを経て実行に移される。

5. パワーステートメントの適用例

関西電力大阪火力発電所 2 号ユニットに設置された、シーケンスモニタリングシステムを使用して、数回にわたって起動停止実験が行なわれたが、このシステムの運転フローチャートのコーディングには、パワーステートメントが使用され、何回かの修正改良により十分実用に適し、前述の長所が発揮された。

客先から提出された運転操作要領は、計算機システムに適するように運転操作フローチャートに変換された。これは大別して二つの部分に分けられる。

- a, ブレークポイントシーケンス
- b, サブルーチン

5.1 ブレークポイントシーケンス

ボイラ、タービン、発電機の主要操作項目を順番に並べて、15 個のブレークポイントに分割し、計算機フローはこれに沿って流れる。このルーチンは、運転操作監視の主ルーチンであって、操作、機器操作順序、プロセスの主要変数の変化、操作時間等が詳細克明に調べられている。

5.2 サブルーチン

監視を周期的に何回も繰り返して行なわなければならない場合には、サブルーチンとして独立させ、これらはブレークポイントと並行して実行さ

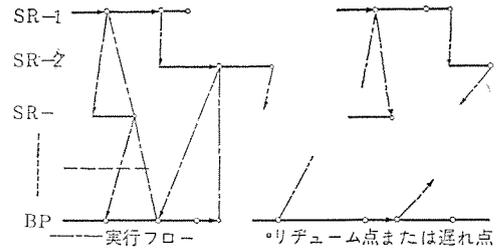


図 5.1 各ルーチンの実行過程
Fig. 5.1 Operation process of each routin.

れる。大阪発電所におけるシステムでは、55 個のサブルーチンがあるが、60 個まで、増設可能である。

5.3 スケジューラ

ブレークポイントは、周期が無限に大きなサブルーチンとみなせるので、このシステムにおいては、総計 61 個のルーチンが並行に進行していると考えることができる。このために各ルーチンの実行の手配を行なうスケジューラが必要である。

各ルーチンを形成するパワーステートメントの中には、一度進行を停止して、操作者の押しボタン操作（リデューム動作という）によりふたたび進行を開始するもの、あるいは、シーケンスの中間で適当な長さの時間遅れを生ずる場合には、各ルーチンからスケジューラにもどり、別のルーチンの実行を開始する。各ルーチンの実行は、それぞれに属する時間表の値 t_i と、システムに内蔵された、1 秒ごとに更新する時計値 t とが、

$$t > t_i \dots\dots\dots (5.1)$$

なる条件を満たした場合に、ルーチン i に属するとび先表に指示された場所へとぶことにより開始される。すなわち時間表とび先表をいろいろ変化させることで、各ルーチンの実行、停止、遅れを行なうことが可能となる。たとえば、ルーチン i を停止させる場合には、 $t = \infty$ とおけばよいし、現時点より α だけ遅らせるためには $t_i = t + \alpha$ とし、とび先表に再入口のとび先番地を書いておけばよい。リデューム動作点または遅れ点までの長さ単位にして、61 個のルーチンがあたかも並行に進行するかのように見えるようにすることが、このスケジューラのおもなる目的である。

(1) の形の判別を 61 個の時間表について行なうには、MELCOM-330 の比較命令を使用すれば、容易に達成することができる。

5.4 運転フローチャートのコーディング例

図 2.1 は、大阪発電所 2 号ユニットのブレークポイント 9 の例である。図 2.1 を、パワーステートメントを使用してコーディングすると、図 2.3 の右側に示されたようになり、コンパイラにより左側のように、機械語に翻訳される。使用された例のうちいくつかを、詳しく説明することにして。

図 2.1 に示された各ブロックには、右下方にそれぞれ示されたような 6 けたのブロック番号がつけられて、コーディングするときのブロックを示す番号に使用される。図 2.3 に示されたステートメント BLOC により、+B が、ブロック番号の上位 2 けたに割り当てられる。各ステートメントのオペランド部分には、インプットに割り当てられた点番号、限界、開閉等の情報が書かれる。

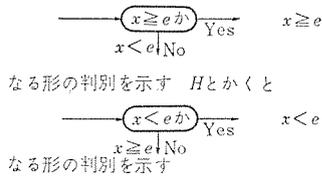
5.4.1 AQD-SF

図 2.1 の“009010”の AQD では、負荷が 15 MW 以上かどうか調べて、15 MW 以上なら次のブロックへ、15 MW よりも小ならば、10 秒ごとに 500 回同じ判別を繰返す。その間に負荷が変化して、15 MW 以上になれば、Yes の方向へ、それでも 15 MW より小なら

警報を発生して停止し、リジューム動作により次のブロックへ進む。一般的には、AQD, AQ, AQB, ABBX等のオペランドは、次のような形になる。

AQD-SF 241-101, L, 500, 10, 15, 43
 (1) (2) (3) (4) (5) (6)

- (1) 必要とするアナログ入力値のはいった番地を示す。
- (2) 入力 x , 限界値 e として, L は,



- (3) 繰返し回数を示す。
 - (4) 繰返し周期を示す。
 - (5) 下限値 l を示す。
 - (6) 読込入力を, 工学単位に変換するための式の番号
- (1)~(6) に示された情報は, レスポンスルーチンで使用するのに適するように一つの呼出し命令と, 四つのデータ語に翻訳される。

5.4.2 DQ-SF

図 2.1 の“009020”のDQでは, 二つある二次過熱器ドレン弁が両方とも閉じているかどうかを調べ, 両方閉なら次のブロックへ, 一つでも開であれば, 警報を発生して停止し, リジューム動作により次のブロックへゆく。一般的にDQ, DQD, DQB, OQB, QA等のオペランドは, 次のようになる。指定した三つまでの入力の希望状態を $(\xi_1^{(0)}, \xi_2^{(0)}, \xi_3^{(0)})$ と表わすことにする。ここで, $\xi_i^{(0)}$ は, ON OFF または X (ON OFF どちらでもよい) を表わす。今, 実際の入力 (ξ_1, ξ_2, ξ_3) で $\xi_i = \xi_i^{(0)}$ を満す数を N として, No を指定して

- (a) 等数判別 $N = No$ か
- (b) 増数判別 $N \geq No$ か
- (c) 減数判別 $N \leq No$ か

の三つを判別することができる。実際には, (N, No) と等, 増, 減との組合せに番号をつけて, 判別パターン番号 M としてある。DQ-SF では (a) (b) (c) のうちのいずれかを判別して, Yes なら次のブロックへ, No なら警報を発生して停止し, リジューム動作により, 次のブロックへいく。

DQ-SF 0, 15, 12, 33
 (1) (2) (3)

- (1) 0 は, 入力 0 を, C は入力 1 を示す。(弁では, 開のとき入力=1)
- (2) デジタル入力信号を読み取るためのインデックス
- (3) 判別パターン番号

これは, 一つの呼出し命令と二つのデータワードに翻訳される。

5.4.3 SSET

図 2.1 の“009100”のSSETで今まで動作していた, 再熱器入口メタル温度監視ルーチンが停止する。一般的にSSETにより, 指定したサブルーチンを, 始動, 停止することができる。始動するには, 指定したサブルーチンに対応する時間表に現時時刻を, 並び先表にサブルーチンの入口番地を入れる。停止するには時間表に大きな正数を入れておけばよい。SSETのオペランドは, 次のようになる。

SSET 1, E, +SRO6
 (1) (2) (3)

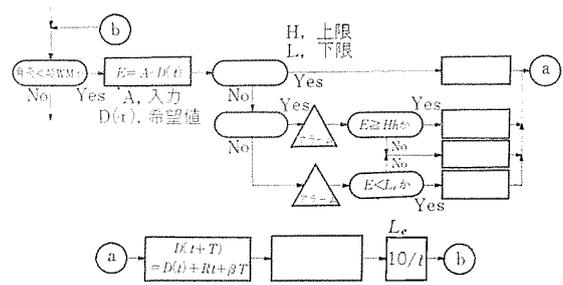


図 5.2 集積ステートメントの例
 Fig. 5.2 Example of integrated statement.

- (1) 始動, 停止するサブルーチンの個数。
 - (2) E は停止を, S は始動を示す。
 - (3) サブルーチンの種類を示す。
- SSET は, 一つの呼び先命令と, 一つのデータワードに翻訳される。

5.5 インテグレートド・ステートメント

図 5.2 のフローチャートは負荷が, 40 MW になるまで, 実際の負荷と希望負荷とのずれを監視するルーチンを示す。負荷は, 一定の割合, すなわち時間 T の間に β だけ上昇させるのが理想であるから, T をサブルーチンの監視周期にとれば, 希望曲線は, 現実点の負荷を, $D(t)$ とすると次周期では, $D(t+T)$ となるが, これらの間に

$$D(t+T) = D(t) + \beta T \dots \dots \dots (5.2)$$

なる関係がある。 t での実測負荷を $A(t)$ として, $D(t)$ との差を $E(t)$ とする。

$$E(t) = A(t) - D(t) \dots \dots \dots (5.3)$$

$|E(t)|$ が H の越えれば, 警報を発生し, しかるべき負荷の調整を行なうよう指示し, $|E(t)|$ が H よりさらに, Hh, Le を超過した場合には, 超過分

$$Rt = \begin{cases} E - Hh & (E \geq Hh) \\ E + Le & (E < Le) \end{cases} \dots \dots \dots (5.4)$$

だけ, 希望曲線を修正する。すなわち

$$D(t+T) = \begin{cases} D(t) + (E - Hh) + \beta T & (E \geq Hh) \\ D(t) + \beta T & (Hh > E \geq Le) \\ D(t) + (E + Le) + \beta T & (E < Le) \end{cases}$$

この種類のルーチンは, 運転フローチャートの中に数多く出現する。そこで, これらのルーチンを, パワーステートメントとして呼び出せるようにして, インテグレートドステートメントと名付け, 現在試作研究中であり, 一部は大阪発電所において, 負荷の上昇降下, タービン加速等のルーチンに使用され良い結果を示している。

6. む す び

以上, パワーステートメントの動作原理, 特長, 適用例等について述べた。このコンパイラ言語は, 火力発電プロセスに適合した特殊性を持つものであるが, 多少の改良を加えれば, シーケンス制御一般にも十分実用に供することができる。われわれは, これを一つの踏み石として, より使いやすく, よりはん用性をもつコンパイラとするために努力を続けており, またシーケンス制御の分野のみならず, プロセス制御一般について, こうしたソフトウェアの標準化に対する積極的な開発研究を行なっている。

電力系統の計算機制御

馬場 準一*

林 重雄**・石田 芳***・羽根田博正***

Computer Control of Electric Power Systems

Head Office Junichi BABA

Central Research Laboratory Shigeo HAYASHI・Kaoru ISHIDA・Hiromasa HANEDA

With the increase in demands and supplies of electric power the electric power systems have become more and more complicated and sophisticated. In the operation of the systems, it is essential to supply required power instantly with safety and economy to loads. For this purpose, much information must be collected for making quick and exact decision. On the other hand remarkable progress has been done in the field of automatic control and computer technology. Nowadays, they are widely applied to every kind of industry. Under these circumstances, Mitsubishi has developed power system control schemes based on the concept of hierarchical control. The paper deals with the control systems in details.

1. ま え が き

近年におけるわが国の著しい経済成長は世界各国の注目するところであるが、その原動力としての電気事業がなす役割りは大きいものがある。昭和41年の全国需要実績は9電力合計約1,500億kWh、共同電力や自家用発電を加えると約1,900億kWhに達し総需要前年比は約10%増であり、今後も需要伸び率は平均年10%程度が予想されている。これに対して供給面でも昭和41年度末における前年比はピーク時供給能力で約6.5%増となり40年度末の前年比13%増には及ばないが着々と電源開発が行なわれつつある。今後、高温・高圧の大容量火力発電所や原子力・揚水等による発電所の建設はもとより、500kV送電線や変電設備等の新設、拡張もますます急ピッチで進められ、一方各電力会社を一体とした広域運用もさらに推し進められると思われる。直接発電・直流送電・管路気中送電等新しい技術が採り入れられるのも遠くはないであろう。かくして電力系統はますます複雑多岐な様相を呈してくる。

一方近代における自動制御技術や電子計算機技術の発展はめざましいものがあり、計算機制御はあらゆる産業に応用されつつある。とくに電力の発生および輸送面においてはこの感が強い。

筆者らは電力系統技術、システム工学、計算機技術などあらゆる面からこの問題に取組んでいるが、ここにわれわれの基本的な考え方と従来の成果の一端を紹介してご参考に供したい。

2. 電力系統と計算機制御

2.1 システムとしての電力系統

周知のとおり電力系統とは各地に散らばっている発電所で生産された電気エネルギーを送配電系統を通じて広域にまたがる負荷(需要家)に配分する機構のことをさしている。電力系統を最も特長づける性質は「製品たる電気エネルギーの生産と消費が同時に起る」ことであろう。しかも電気エネルギーは今日あらゆる産業をはじめ日常生活のすみずみに到るまで不可欠の存在となっており、これを供給する電気事業は公共性のゆえに良質の電気を需要に見合っただけ間断なく送りどける責務を負っている。各種各様の機器、要素からなる系統を需給バランスの上に立って、安全かつ経済的にしかも瞬時

に運用するためには迅速にして多量の情報を処理し、その結果に基づいていち早く適確な意志決定を下さなければならない。かかる能力を有するのが電子計算機であるとするれば、この意味において電気事業ほど計算機制御の必要性が正当化される企業はないであろう。さらに電力系統制御に電子計算機を適用することの正当さは

(1) プロセスが広域大規模かつ複雑であること。

(2) 製品のモデルチェンジがないこと。

(3) 製品の需要が十分にあること。

等によっても裏付けられるが、もちろんその採用にあたっては十分な経済的評価を忘れてはならない。

2.2 電気事業における流通革命

最近経済界やマスコミの間で流通革命なる言葉がしばしば聞かれるようになった。これは生産者と消費者とをつなぐチャネル⁽¹⁾を改革することにより、流通機構の合理化と商品の価格低下をはかろうとするものである。電気エネルギーを経済学でいう物財と考えれば発電はその生産に、送配電・変電は流通に、負荷は消費に対応することは明らかであろう。この観点からすれば電力需要の伸びに伴って電気事業においても流通革命を行ない、いつでも必要な場所に必要なだけの電力を安全かつ経済的に供給する体制を整えるべきである。

すなわち

(1) 送電系統の簡素化(たとえば運用が簡単をなすっきりした系統構成を作ったり変電所の中間的降圧レベルを省くなど)や変電所の自動化、無人化をはかること

(2) 市場(負荷状態)のは握を的確に行なうこと

(3) 運用のための情報網と意志決定機構を確立し、これを活用すること

が必要である。このうち(1)については系統計画の問題であり、(2)は営業面の課題である。系統の計算機制御は(3)の局面に関する事柄である。もちろんこれらの間には密接な関連がある。たとえば流通機構としての送電線や変電設備が完備していれば、系統全体の在庫投資(発電予備力)は少なく済むが予備力を有効にかつ経済的に利用するためには高速にして確実な情報収集と判断が要求されるし、逆に運用実績は系統計画や経営戦略にフィードバックされなければならない。また料金調整を含む計算機による需要家側の情

* 本社(工博) ** 中央研究所

表 2.1 システムの機構別に見た系統制御
Table. 2.1 List of system control in utilities.

生 産	生 産 管 理	経 済 運 用 制 御 火 力 プ ラ ン ト 制 御 水 系 運 用 制 御 揚 水 式 プ ラ ン ト 制 御 周 波 数 制 御
	資 源 管 理	
	品 質 管 理	
流 通	信 頼 度 管 理	安 全 運 用 制 御 電 圧 制 御
	品 質 管 理	
消 費	販 売 管 理	料 金 制 御

報処理も重要視される傾向にある。ここに計算機制御が電気事業における流通革命を推進すべき使命が存するのである。表 2.1 に電力系統の制御を機構面からながめた一覧表を示す⁽³⁾。表 2.1 に示された各種制御のうち生産部門に対しては、すでにオンラインまたはリアルタイムによる計算機応用はかなり実施されてきた。負荷-周波数制御、経済運用制御、発電機並列台数の決定、水系運用、火力プラント制御などがそれである。これに反して流通部門においては二、三の例を見るにすぎない*。わずかに生産部門と関連した連系運用、連系系統間の料金調定などがあるが、わが国ではまだ本格的に行なわれていないといえる。この面からも電力系統における計算機応用はいまや急務であるといえよう。

2.3 電力系統システムのとらえ方

これまでわれわれは電力系統システムを主として生産-流通-消費機構としてとらえてきた。しかし系統制御の立場から考えるとこれだけでは十分ではない。すなわちシステムをとらえるときに、われわれは一つの座標軸を提起したにすぎず、他にもいくつかの座標軸が存在するであろう。ここには系統制御の立場からシステム自身の状態と制御状態(機能)という2側面からながめて見よう。

2.3.1 システムの状態

システムの状態は平常時・緊急時・復旧時の3つにわけることができる⁽⁵⁾。平常時とは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。平常時には不常にしかも安価に電力を需要家に送ることが目的となる。緊急時とは系統のある構成要素が定格を越えたり、負荷電圧が規定値どりに維持できなかつたり、系統周波数が規定値を越えたり系統の安定度が破れる状態をさす。緊急時にはなるべく需要を満たしつつ系統のひずみを取り除くことが必要である。すなわちこの状態では経済性よりも信頼度が要求される。

復旧時とは通常緊急時の後に起こるものであるが、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復旧状態における目的である。平常時・緊急時・復旧時の関係を図示すると図 2.1 のようになる。系統は常に平常時の状態になるように制御されるのである。図 2.1 において実線は制御を示し、点線は事故による状態の推移を表わしている。

2.3.2 制御機能

電力系統の信頼度向上にあたってまず電力系統計画・運用計画の段階にて適切な設計・計画が行なわれていなくてはならない。しかし現実にはよい設計や計画のみにより電力系統の信頼度を高く保つことは困難であるのでフィードバック制御、最適制御、適応制御等の各レベルから電力系統を制御する必要がある⁽⁶⁾。これらの制御レベル

* CEGB (英国 Bristol) の例⁽⁴⁾などがある。

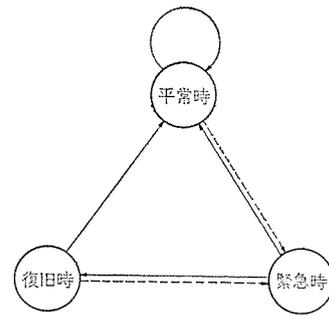


図 2.1 システムの状態とその遷移
Fig. 2.1 Operating state strategy.

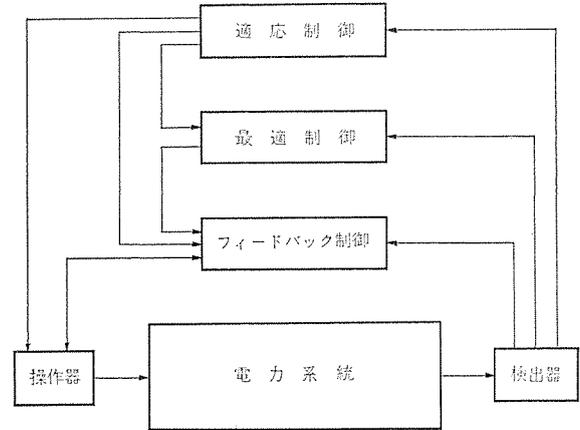


図 2.2 制御レベル
Fig. 2.2 Control levels.

の関係を図示したのが図 2.2 である。

一番下位にあるのがフィードバック制御でアナログや DDC (Direct Digital Controller) によるフィードバックループ、簡単な論理判断機構を有し高速意志決定が必要である。後述するようにフィードバック制御は一般に中央の制御所よりも系統の末端に近接して設置するのが望ましい。現用の保護継電器や機器に付属した制御器 (AVR など) をはじめ各種系統制御機器 (3.4 節参照) などはこれに属する。フィードバック制御の上位に属するのが最適制御で数学モデルを用いて評価関数を最大または最小にするいわゆる最適化を行なう。経済負荷配分はこの例である。

フィードバック制御が末端、高速であったのに対し、最適制御は中央で行なわれ、意志決定に多少の時間を必要としてもさしつかえない。最上位の適応制御はフィードバック制御・最適制御における設定値、パラメータを決めたり論理機構を変更したりする機能を持つもので、意志決定には、現状では一部人間が介入し人間-機械系を形成する。すなわちフィードバック制御、最適制御で処理できない外乱や不測の事態を補償する。

ここで制御手法についていちげんしておく。フィードバック制御は古典的自動制御理論およびスイッチング回路理論が適用される。最適制御には試行法 (たとえば OPCON)⁽⁹⁾、グラディエント法、線形計画法 (LP)、インティジャプログラミング・ダイナミックプログラミング (DP)、最大原理、古典的変分法その他オペレーションリサーチ (OR) の手法等が用いられる。ここでいう適応制御は従来いわれているそれよりかなり広い意味に用いており、人間-機械系による協調制御、パターン認識、自己学習機能、Heuristic 手法による制御なども含む sophisticated な制御をばくぜんとしてしているが、いずれもまだ直接的応用というにはほど遠く、今後の問題として残るものである。

2.4 制御方式

計算機を用いたシステム制御方式としては大別して集中制御と分散制御が考えられる。前者はシステム内のすべての情報を中央に集め、それを基に中央で計算・判断をして操作指示を行なうものであって、全系の最適制御には適している。しかし迅速な判断、操作を必要とする制御においては万一計算機や伝送設備が故障した場合あらゆる機能が停止すること、現状では技術的にかなりの困難を伴うこと、コスト高になることなどの難点がある。ただし防衛システムのごとく冗長度を多く取って経済性を犠牲にしても信頼性に重きを置く場合は別である。

これに反して分散方式は設備投資を徐々に進めることができ、現場での抵抗も少なく端末に信頼度の高い制御機器または小形計算機を置くことによって信頼性の向上、中央計算機の計算負荷の減少を可能ならしめる。ただし経済運用制御のように常に全体の情報を集めて最適策を決めたほうが自然であり、しかも事故時には本来の機能（経済性）が無視されてもさしつかえないような場合は中央制御が望ましい。（3章参照）

また局地のみの情報で判断する場合は、局地的最適解は求められても全域（グローバル）最適解を見出せぬ場合が往々にして起こる。これを解決するために考えられたのがマルチレベル法⁽⁷⁾である。マルチレベル法は局地での最適解をサブシステム内で求めつつ中央で全系の協調をとり、全域最適解を求めようとするものである。さらに2.3.2項に述べた能機上の上下レベルを設けるマルチレベル法とあいまって、いわゆる階級制御(hierarchical control system)を構成するのが現在のところ最もすぐれた方法ではないかと思われる。

3. 計算機制御システムの構成

3.1 計算機制御システム

当社の電力系統計算機制御システムは前章に述べられた基本思想のもとに設計されている。しかしながらハードウェア、ソフトウェア、アプリケーションウェアの急速な進歩、ユーザー側における系統運用の発達に伴う状況変化や特殊事情に対しては臨機に対処できるようたえず研究を重ねていることはいうまでもない。

計算機制御システムの構成にあたってはオンライン計算、予測運用計算、シミュレーションベース計算に大別して考える。これは前章における系統計画、運用計画、オンライン制御（適応制御・最適制御・フィードバック制御）のうちあとの2項に対応するものである。本文はオンライン制御の記述を中心としており、オンライン計算とそれに必要な予測運用計算をおもに述べているが、これらは系統計画によって与えられた大きな制約条件のもので、ある動作基準の最適化をはかり、同時にその実績は系統計画にフィードバックされて時間の長いループを構成していることは忘れてはならない。以上の観点から構成された計算機制御システムを図3.1のように示す。

図中オンライン計算とある部分の制御はフィードバック制御のほかには予測に基づく広い意味での適応制御を加味したものであり、シミュレーションベース計算とはシミュレーションに基づく適応ないしは自己学習の制御を意味する。すなわちある操作を施した

後、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否かを判定し、もしそれらの条件が満たされるならば給電用コンソールを通じて操作指示を行なう。

この際現段階では人間が介在しており、将来このプロセスが自動化されることも考えられるが、電力系統がますます大規模かつ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おそらく考えられない。逆に何もかも無理やりに自動化しようとするよりも、人間と機械の特質を良くわきまえ、人間-機械系の合理的設計に基づいて全体として最も効率のよい運用を行なうことが肝要であろう。この際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、少数の有能な操作要員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るように考慮しなければならない。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に訓練する必要があるが、シミュレーション計算により他の計算の空き時間を利用してこの目的を達成することができる。なおシミュレーションベースによる運用および訓練を目的とした専用の給電シミュレータも開発されている。

すでに前章において系統制御方式としてはマルチレベルによる分散方式が原則として望ましいと述べた。実際に電力系統を制御する際には、全系を監視しつつ操作量を決定しなければならないもの(ELD, AFC)と系統電圧無効電力制御(以下VQCと略す)や系統操作のように局地的解決が可能なものがある。また信頼性の面から見るとELDは緊急時に必ずしも所定の運用基準(最経済運用)を満たす必要はないが、系統操作による事故除去や事故波及防止は逆説的修辭を用いるならば、緊急時こそ本来の姿でなければならぬし、緊急時のAFCやVQCによる周波数電圧維持も系統の安全運用上欠くことができない。

これらの2局面を考察するときELD, AFCは中央集権によってDDC(Direct Digital Control)で行ない、AFCに関してはアナログのバックアップ装置を付加する。またVQCや変電所の緊急、復旧操作はなるべく局地的解決をはかり、場合によっては中央で、全体の協調をとるという方法が最もよいと考えられる。かくしてVQCおよび系統操作は計算機-系統制御機器による階級制御が行なわれる

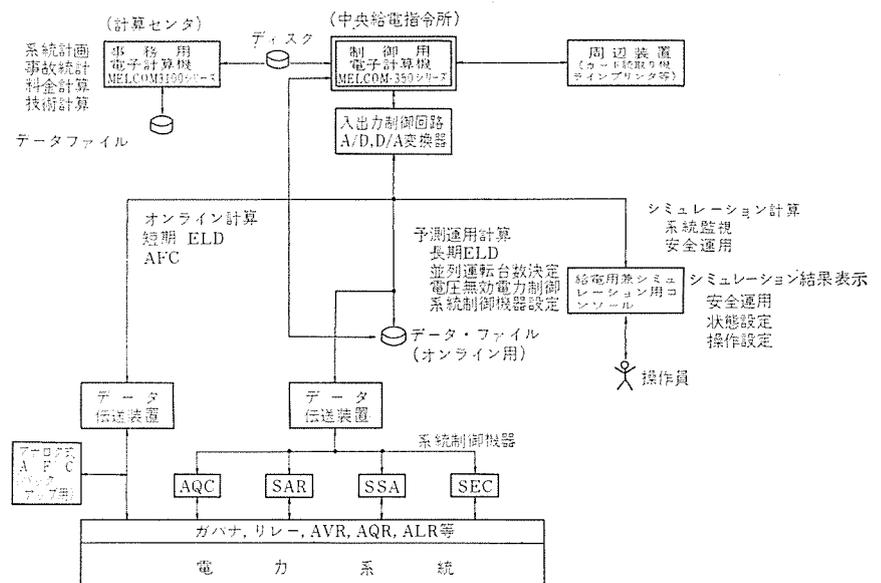


図 3.1 電力系統計算機制御システムのブロック図
Fig. 3.1 Block diagram of computers control system for electric utilities.

が、系統規模が拡大した場合、その中間にさらに計算機が介在することが考えられる。また現在中央制御方式をとっている ELD や AFC についても系統が大きくなり、かつ広域にまたがるときにはマルチレベルによる階級制御方式が採用されるようになると思われる。

3.2 データファイル・システム

電力系統の計算機制御には上記のとおりいろいろな計算や判断を必要とする。計算や判断に要するデータは時とともに変更しなければならない場合が多く、しかも対象とする系統は一つであり、異なった計算に同一のデータあるいは一部だけ変更したデータを用いることがしばしばあるのでデータを能率よく格納しておき、必要に応じていつでも取り出して用いる必要がある。データファイルの効用をいさ少し具体的にみると

(1) 線路や機器に関するデータを入れておけば他のデータは自動的に計算されてファイルされ、また値が変われば修正される。このため常に最新かつ正確なデータが得られる。

(2) 計算速度が上がる。

(3) 種類の異なる計算を行なうのに一つのファイルを用いることにより、能率よく次々に計算を行なえ、また共通データを使用するためメモリの節約が可能である。

などをあげることができる。とくに磁気ディスクのような安価なランダムアクセスメモリを用いることにより、十分にその効用を上げることができる。データファイルシステムは次の4段階にわけられる。

(1) 第1レベル 定数データファイル

制御計算・運用計算に必要なデータ、たとえば線路や変圧器インピーダンス、回転機インピーダンス、燃料費特性など主として機器や線路、系統に関する定数データ。

(2) 第2レベル プログラムデータファイル

第1レベルのデータのうち系統インピーダンス、アドミタンスなどマトリクス形式を取るものを各ファイルから検索するのは時間的ロスが多いので、マトリクスを格納するためのレベルを別に設け、このファイル中のマトリクスを引き出したときには記号化コードを指定することにより、全要素(または一部の要素)を短時間に取り出すことができる。

(3) 第3レベル 計算データファイル

計算結果の一時記憶データ、たとえば潮流、B定数、送電損など。

(4) 第4レベル 系統運用データファイル

系統運用制御のためのデータすなわち計算結果得られた運用スケジュール、系統運転条件(発電機出力上下限、回路構成)、予測先行制御を行なうための系統負荷の集計データなど。

各ファイルはさらにいくつかのサブファイル(たとえば第1レベルでは母線ファイル・負荷ファイル・線路ファイルなど約10のサブファイル)からなり立っており、すべてのデータは母線にあらかじめ割り当てられた記号(SP)、各発電ユニットに割り当てられた記号(UP)等を指定することによって引き出せる。たとえばSPは母線インデックス中のある個所を参照する。このインデックスによって特定の記号化母線コードが選び出され、さらにそれによって必要なすべてのデータが集められる。その他のインデックスについてもほぼ同じである。

データは発電所や送電線の増設にともない追加修正、また運転条件の変化に従って up-to-date に更新されなければならない。この更新はデータのレベルに応じてオンラインで、リアルタイムで自動的にあるいはオフラインで手動により行なう場合などがある。第1レベルのデータはコンソールよりもキーによってオフラインで修正するので十分である。第1・第3レベルのデータファイルは計算の結果得られるものであ

って、第2、第4レベルのデータの変更に引き続き人間の指示または自動的にプログラムを介して更新される。第4レベルのデータはリアルタイムにおいて自動的に更新されるものと系統安全監視の結果をコントロール通して人為的に変更されるものがある。

3.3 コンソール(ディスプレイコントロール)

系統制御技術や電子計算機の技術が急速に進んでも人間の介在は当分の間欠かすことはできないことはすでに述べたとおりである。したがって人間と機械の協調をはかるためには人間-機械系のすぐれた設計は必須となる。近時系統制御にもこの見地から人間工学やマンマシンシステム理論と呼ばれる一連の学問の成果がつきつきと取り入れられている⁽²⁰⁾。人間と機械の交渉が行なわれるのは、おもに次の二つの場合である。

(1) 系統の状態やそれに基づく計算結果等を機械が人間に示す。(表示ないしはディスプレイ)

(2) 表示された結果を判断しながら人間が機械に操作の指示を行なう。(操作設定)

ディスプレイとして実用的に使用されるものとしては系統表示盤、ブラウン管ディスプレイ装置、スライドプロジェクタ、ラインプリンタまたはタイプライタ、メータ、ランプなどであるが、いずれを用いる場合も直観的に系統全般の状況を適確に判断することが要求される。現在は系統表示盤とラインプリンタ(タイプライタ)およびワンタッチ式呼出しによるデジタル計器などの組合わせを用いているが、将来はブラウン管による表示が一般化すると考えられる。

系統表示盤は従来の体裁にこだわらず1人の操作員が一目で全体の状況をは握できるものを工夫すること⁽²¹⁾や盤に埋込む計器を従来の指針計器にかえてデジタル計数管を用いるなどして直観性を高めることがたいせつである。当社ではパネル上で送電線を示す線路上にしゃ断器や断路器の開閉状態をランプで表示するほか潮流状況を線路上に簡単に表示する方式を考案した。これは図3.2のように線路上に四つのセクションを作り潮流の方向を矢印で、また潮流の大きさを点灯しているセクションの数(1~4)で表わし、潮流オーバが生じた場合は赤で表示されるようになっている。これらはすべて計算機(またはデータロガ)によって制御される。なおこのほか指示・記録・デジタル表示計器なども必要に応じて埋込めることはもちろんである。

ラインプリンタやタイプライタは記録の面ですぐれている。またタイプライタは動作時間はおそいが必要な情報の読出し、シミュレーション計算の際の状態・操作設定一連指針の読出しなどというように人間と計算機の対話形式によりなるべく自然言語に近い言語を用いてやりとりができ、しかもその記録がとれるという点で当分重要な要素としてとどまるであろう。操作設定(コントロール)は従来から用いられている形式の操作盤、これに類したもまたはタイプライタが用いられる。動作の確実性からは前者がすぐれているが、操作機器が増してくれば操作を適当に符号化してボタンの組合わせによったりタイプライタを用いて記号または定められた言語により指示する。いずれにせよコンソールとしては、ディスプレイ装置-操作員-コントロール装置とい

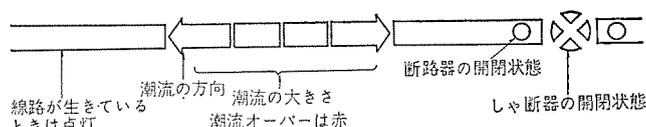


図 3.2 系統表示の一例
Fig. 3.2 Example of display element.

う人間一機械系の機構が最もスムーズに動作するよう、人間工学的な配慮により安全性、使いよさ、疲労の軽減、快適さ、経済性などが達せられなければならない。

3.4 系統制御機器とデータ伝送装置

三菱電機の電力系統制御システムの大きな特長は系統制御装置にある。すなわちこれらは階級制御における下位のフィードバック制御機能を果たすものであり、目標値・設定値の設定、変更はすべて上位にある計算機から指示される。三菱電力系統制御機器はいずれもこのような立場に立って統一的に考案、設計されたものでそのおもな特長は

- (1) 計算機制御システムの構成要素として用いられるばかりではなく、それぞれの機器を単独で用いてもそれなりの大きなメリットが得られる。したがって上位の計算機またはデータ伝送装置が故障した場合でもほとんど支障なく運転を継続できる。
- (2) 必要に応じて設置、拡張できるので制御システムの積み上げ(ビルディングブロック方式)が可能である。
- (3) 各機器は回路をできるだけ単純化し、また構成要素として高精度のアナログ式演算増幅器または高信頼度の論理素子を用いて

表 3.1 三菱電力系統制御機器シリーズ
Table 3.1 Mitsubishi power system controllers.

形名	製品名	概略
RC-101	低速度再閉路装置 (簡易自動復旧装置)	送電線が事故しゃ断したら所定のプログラムで復旧させる装置
ALR	自動負荷調整装置	発電機出力を希望する値に維持する装置
AVR	自動電圧調整装置	発電機端子電圧を一定値に維持する装置
AQR	自動無効電力調整装置	発電機無効電力を有効電力の関数として与えられる値に調整する装置
AQC	自動無効電力制御装置	変電所 Bus 電圧と Bank を通過する無効電力が所定値にはいるように LRC, Reactor, Static Con.などを制御する装置
SEC	系統緊急制御装置	系統事故時電源制限、負荷制限などにより需給バランスを保つ装置
SSA	系統分離装置	周波数異常低下時、需給バランスをとって基幹系統から分離して単独系統を構成させる装置
SAR	変電所自動復旧装置	変電所の停電事故を所定のプログラムで復旧させる装置
AFC	自動周波数制御装置	発電機出力を制御して系統周波数を一定に制御する装置
ELD	経済負荷配分装置	最も経済的になるように発電機出力を制御する装置

表 3.2 三菱データ伝送シリーズ
Table 3.2 Mitsubishi telemetering equipments.

形名	製品名	概略
RI-5	遠方監視装置	a 接点の開閉を伝送するもので、長短符号方式によっている。50 ボー、200 ボー
RI-6	遠方監視装置	a 接点の開閉を伝送するもので、ON/OFF 符号方式によっている。50 ボー、200 ボー
TM-45	アナログテレメータ	20~30 c/s の衝流に変換して伝送する装置。受信してメータ表示するもの
TM-46	アナログテレメータ	20~30 c/s の衝流に変換して伝送する装置。受信してポテンシヨメータ渡しのもの
TM-67	高速アナログテレメータ	50~100 c/s の衝流に変換して伝送する装置で、応答速度は 0.5 秒。200 ボー
TM-1100	デジタルテレメータ	2 進化 10 進符号形式で伝送するもので、デジタル表示、アナログ表示いずれもできる。50 ボー、200 ボー

いるので動作は確実で信頼度は高くしかも安価である。

このシリーズに含まれる系統制御機器の一覧を表 3.1 に示す。本文中で系統制御機器と称するのは主として系統電圧無効電力制御装置(ブロック AQC)、変電所自動復旧装置(SAR)、系統分離装置(SSA)、系統緊急操作装置(SEC)などであるが、シリーズにはさらに ELD、AFC 専用装置、下位階級の制御機器(たとえば AVR や AQR など)も含まれている。なお系統制御機器と中央計算機の関係は機能別に 5 章および 6 章に述べられている。

系統制御機器や DDC 信号の支配下にある制御機器が遺憾なくその機能を果たし、また電力系統における情報が正確にキャッチできるためにはすぐれたデータ伝送装置が必要なことはいうまでもない。表 3.2 に当社で製作されているデータ伝送装置、遠方制御装置の一覧を示す。今後のデータ伝送システムとしてはアナログよりデジタルへそして多重伝送へと重点が移ると思われる。また信号伝送の信頼性向上のためには、自動誤字訂正装置(三菱 ARQ)を用いるのがよい。データ伝送装置の詳細については文献⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾を参照されたい。

4. 経済運用(ELD)と負荷周波数制御(LFC)

4.1 制御システムの機能

すでに述べたとおり ELD や LFC は中央計算機に情報を集め DDC による制御を行ない LFC についてはアナログ方式によるバックアップを付加する。また予測、安全監視の機能を付加して適応性の大きなシステムを構成している。ELD-LFC システムの特長を列挙すれば

- (1) 周波数制御はデジタル方式でおこなう。このため経済運用制御との協調が容易にとれる。
- (2) 負荷急変時等の周波数制御は発電機の応答特性上フィードバック制御のみでは困難な点があるので負荷の変化を予測し、それにもとづいた先行制御(フィードフォワード制御)をおこなっている。
- (3) 1.5 時間先までの負荷の状態を予測し、その時点での系統運用状態の安全性(たとえば 1 回線しゃ断によって他回線が過負荷となり、つぎつぎに送電線がしゃ断されるというような波及事故が起こらないこと)が十分であるかどうかを検討する。検討は自動演算によっておこなわれるが、運用条件の修正は現時点では人間の判断による。これによって供給信頼度が保証された経済運用が可能となる。
- (4) 発電ユニットの起動停止時点は前日における日間運用スケジュール計算において、おこなわれているがリアルタイムにおいて 3 時間先の系統負荷を予測することによって経済的な起動停止時間を高い精度で修正決定することができる。

この制御システムの機能を大別するとリアルタイム制御と運用スケジュール計算(オフライン計算)の二つになる。おのおのはさらに下記のような部分から構成されているが詳細は次節以下および 4 章にのべる。

(1) リアルタイム制御

- a. 地域要求量の計算
- b. 周波数制御
- c. 負荷予測(3 分先)
- d. 経済負荷配分(ELD)
- e. 負荷予測(3 時間先)
- f. 系統安全監視
- g. 発電ユニット起動・停止時点の決定
- h. 周波数先行制御

(2) 運用スケジュール計算(オフライン計算)

- (i) 日間負荷予測
- (ii) 日間運用スケジュール計算
- (iii) 系統安全診断
- (iv) 潮流計算その他の解析計算

表 4.1 予測システム一覧

Table 4.1 List of load forecasting system.

名 称	予 測 点	周 期	周 波 成 分	目 的	プ ロ グ ラ ム 名
前日 ELD 予測	1. 2. 3. ... 24時間先	1 回/日	1 時間の平均電力	日間 ELD 演算	PEAK, LOAD
瞬時 ELD 予測	3 分先	1 回/3 分	3 分間の平均電力	瞬時 ELD 演算	FARM, EXPO
特定時予測	3. 3. 9. ... 30分先	1 回/指定時	3 分間の平均電力	先行制御	FARM
1.5 時間先予測	1.5 時間先	1 回/30 分	3 分間の平均電力	系統安全監視	FARM
起動時予測	3 時間先 30 分先までの各点	1 回/30 分	3 分間の平均電力	プラント起動時決定	FARM

4.2 負荷予測システム

前節でのべたように本システムでは種々の負荷予測が用いられている。そこで本節ではそれらの負荷予測をまとめて説明する。

このシステムで使われている負荷予測を分類すると表 4.1 のとおりになる。前日 ELD 予測は次の日の 1 時間間隔の平均電力を、0 ~ 24 時の各時点に対して 1 日 1 回行なう。これは日間 ELD 計算の負荷として利用される。瞬時 ELD 予測は 3 分ごとに 3 分後の平均電力 (3 分間の) を予測するものである。これは瞬時 ELD の入力として使う。特定時予測は特定時点 (1 日の中で前もっていくつか定められる) より 30 分程度

先までを 3 分間隔になされるもので、朝とか昼休み後の急しゅんな立上りに対するエネルギーバランスを目的とした先行制御のためのものである。1.5 時間先予測は 3 分間平均電力について 30 分ごとに行なわれ潮流の状態を監視する安全監視の機能の入力としてオンライン的に使われる。

表 4.1 にあげたプログラムについて簡単に説明する。

(1) PEAK (翌日ピークロード予測)

PEAK は翌日の負荷 (とくにピークロード) を予測するプログラムである。翌日の気象条件 (温度, 天候) を予測し, これを予測式に入れて予測値を得る。

(2) LOAD (翌日の 24 時間予測)

LOAD は翌日の負荷曲線を予測するプログラムである。PEAK プログラムを使って翌日のピークロードを予測し, 一方予測時点の標準負荷曲線を作成して, これを PEAK によって得た値で修正する方法をとっている。

(3) FARM (数分から数時間予測)

これは過去の負荷データのみを使って数分から数時間先きの負荷を予測するもので Farmer 氏の方法⁽¹⁰⁾を用いている。Farmer 氏の理論によれば, 日間における電力需要曲線を $x=x(t)$ (t は時間) とすると短期間において電力需要の構造に変化がないと思われるので数週間のデータから日間における電力需要のサンプル $x_m(t)$ ($m=1, \dots, M$) が得られる。そしてこれらのサンプル関数はある種の統計的過程の実現値とみなせ, しかもこの統計的過程はいくつかの特殊モード関数の線形結合と考えられる。計算としては固有値を求めることと最小 2 乗計算を含んでいるが, 前者は 1 月に数回程度の計算でよい。予測そのものはオンラインでおこなわれ, これには最小 2 乗計算を含んでいる。

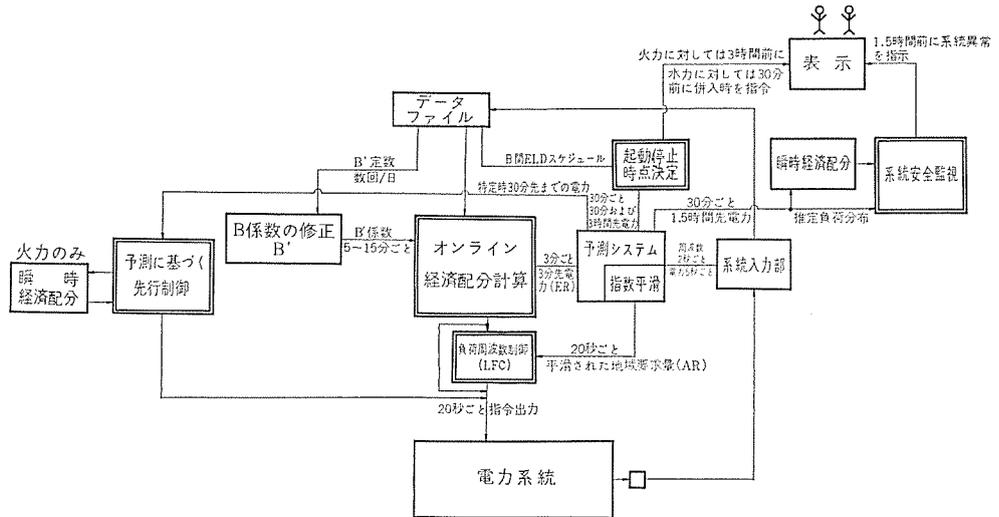


図 4.1 リアルタイム制御の情報流れ図
Fig. 4.1 Block diagram of real time control.

(4) EXPO

瞬時 ELD 制御をおこなうため 3 分先の負荷を予測するもので FARM と同様過去の負荷データのみを使用して指数平滑法で計算する。

4.3 リアルタイム制御

4.3.1 システムの構成

リアルタイム制御に属するものにはシステムの負荷および周波数を調べて発電力を制御する負荷周波数制御 (LFC), その制御を経済的におこなう瞬時経済配分 (オンライン ELD) またとくに負荷変化が大きいときのみエネルギーバランス制御をする先行制御, さらに起動停止時間を考慮して火力, 水力ユニットの起動および停止を決定し, 所定時に運転員に知らせる起動停止指針, 経済配分で決定される各ユニットの出力が系統に加えられた場合潮流オーバが生じないかどうかを判断して, 前もって運転員に知らせる系統監視などがあり, 前 3 者は計算機から自動的に情報が系統に出され制御機器が操作されるが, 後 2 者はまず運転員に指示され, 人間の判断の後に操作がなされる。すなわち前者がリアルタイムによる自動フィードバックおよびフィードフォワード制御であるのに対し, 後 2 者は人間-機械系による制御といえることができる。これらの相互関係にしたがって情報の流れを図示したのが図 4.1 である。

4.3.2 負荷-周波数制御 (LFC)

従来から用いられているフィードバック制御に関しては定周波数制御 (FFC), 定連絡線電力制御 (FTC), 周波数偏倚連絡線電力制御 (TBC) のいずれにも任意に選択できるものが望ましい。制御のアルゴリズムはアナログ方式 PID 制御機能をデジタル化すればよい。地域制御偏差 AR を $e(n)$ であらわすと

$$e(n) = \sum_{i=1}^M \Delta P_i + K_s \cdot \Delta f \dots\dots\dots (4.1)$$

ただし

- i : 連絡線 (最大 M 個)
- ΔP_i : 融通電力の目標値と実績値とのずれ (MW)
- K_s : 系統定数 (MW/0.1 c/s)
- Δf : 設定値からの周波数偏差 (c/s)

一般には、この検出器の信号はデジタル的にスムーズした式を用い、それを基にして適当な配分係数がかかけられ、各ユニットに LFC 信号として送られる。また最近の負荷状態では単純なフィードバック制御のみでは追従が不可能な場合も発生しており特異な時点では予測にもとづく先行制御を実施する。

4. 3. 3 経済負荷配分制御 (ELD)

ここでいう ELD は日間運用スケジュール (1 時間帯で計算されている) からのずれを最適に補正してゆくことを目的としている。その入力は前節の負荷予測システムの項で説明した瞬時 ELD 予測が用いられる。

ELD の問題は等式制約条件(エネルギーバランス)のもとに全体の燃料費を最小にする極値問題として定式化され Lagrange 乗数法によって解けることはよく知られている。しかし実際の系統の運用では、まず並列すべき発電機の決定 (ユニットコミットメント) をも含めて考えなければならない。くわしくは 5 章に述べる。

4. 3. 4 LFC と ELD の協同

LFC と ELD との結合方式には基本的には、直列配分方式、並列配分方式、再配分方式、並列再配分方式の四つが考えられる。これらには一長一短があるが、本質的には ELD および LFC それぞれの制御分担の周波数成分を分離することが解決されれば大同小異である。本文にのべているシステムでは LFC・ELD とともにデジタル計算機内で処理していることおよび ELD の入力としては予測を用いていることから並列再配分方式をとっている。情報の流れを示すブロック図は図 4. 2 のようになる。ELD 信号は 3 分ごとに更新されるが、各ユニットの現在値と 3 分先の目標値とから内部補間し LFC と同じ制御周期で個々のユニットに指令を出す。

操作信号を受け入れるユニットには、それ自身の許容追従特性をこえる指令を与えないように作られていなければならない。水力発電所では、その容量の許すかぎり追従できる特性をもっているのに対し火力ユニットの場合、短時間なら許される上昇率も長時間では許されない。このことから過去の修正状態によって現在の許容限界が変わるといふ特性を有効に使って LFC の機能をできるだけ火力発電

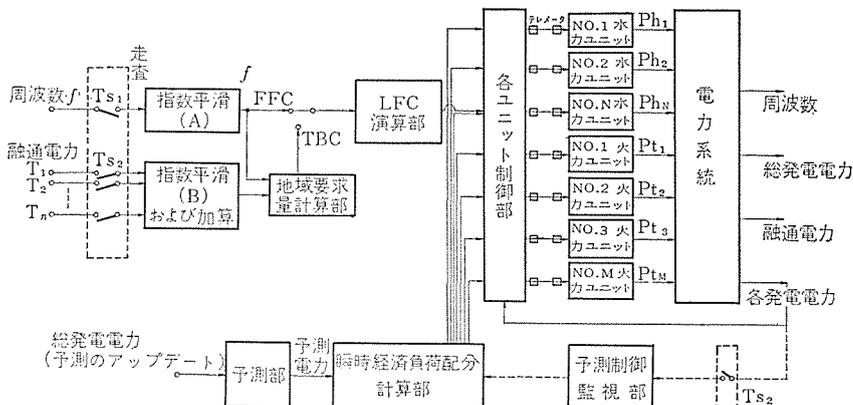


図 4. 2 リアルタイム制御の情報流れ図 (ELD と AFC の協同)
Fig. 4.2 Block diagram of ELD-LFC real time control.

所にも分担させることが有利である。

4. 3. 5 火力・水力ユニットの起動停止方針

日間 ELD 計算の項でふれたように同プログラムは時間単位で起動すべきユニットの名称と全負荷における実動レベルを与える。そこで本機能はそれをもとにして実負荷を 3 時間前または 30 分前に予測し、何時何分に起動するかを求めて運転員が必要な処置をとるように表示するものである。これは 30 分ごとにくりかえし行なわれる。

4. 3. 6 安全監視

電力系統に故障が発生したとき、それが波及拡大して大事故になるのを防ぐためには、あらかじめ予想される故障に対して系統構成および発電出力を調整しておかねばならない。これらについては 6 章に述べることにし、ここでは 1.5 時間先の負荷予測にもとづく ELD 計算の結果をその安全監視のアルゴリズムでチェックするということにとどめておく。(図 4. 3 参照)

4. 4 経済融通

他の電力会社等と系統連系することは、電源開発資本の節減、供給予備力の節減、負荷の不等性に基づく総合ピーク負荷低減、電源の不等性による常時供給力増大、水火力発電所の総合経済運転等の利益がある。電力融通に際しては、緊急時を除いては全系が経済的に運用されなければならない。このような場合、各電力会社をサブシステムと考え、サブシステム間での最適化が可能な場合、すなわち連系

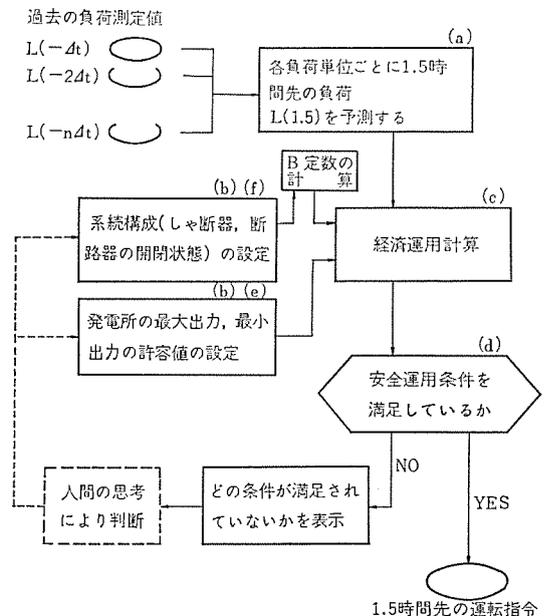


図 4. 3 安全監視のフローチャート
Fig. 4.3 Flow chart for security assessing.

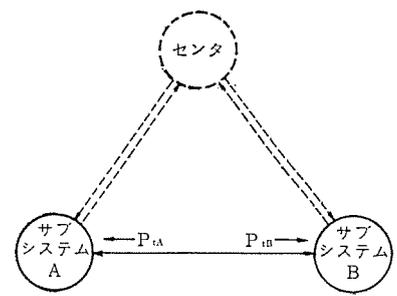


図 4. 4 連系システムモデル
Fig. 4.4 Simplified model of interconnected systems.

系統を構成する各部分系統がその系統につながれた連絡線の融通電力単価が求められたとき、自系統内の水火力発電所の経済運用を行なっているという条件のもとで、分解原理 (Decomposition principle)⁽⁸⁾ による全系の経済運用アルゴリズム⁽⁹⁾ が考えられている。このような場合、各社にある計算機のほかに連系各社の協調経済運用のための計算機をセンタに設けて、両者の間で情報をやりとりすればよい。

いま図 4.4 のように 1 本の連系線で連系している二つの系統 $A \cdot B$ がある。系統 $A \cdot B$ はサブシステムを構成する。それぞれにおける各時間帯の水火力発電所出力、自系統への融通電力 P_{IA}, P_{IB} などをベクトル X_A, X_B であらわす。各サブシステムにおける燃料費は、 $F_1(X_A), F_2(X_B)$ と表わせ、下にとつ (凸) な関数である。 X_1, X_2 は、ある制約条件を満たさねばならないから、

$$X_i \in R_i \quad (i=A, B) \dots\dots\dots (4.2)$$

R_i は水・火力発電所出力の上下限、水力の 1 日の総発電量、系統内需給バランスなどにより、きまるもので一般には、とつ領域をなしている。

また連けい条件は

$$\sum A_i X_i = b \quad (i=A, B) \dots\dots\dots (4.3)$$

具体的に言えば $P_{IA} + P_{IB} = 0$ である。

全体の評価関数はサブシステムの目的関数の和 $\sum F_i(X_i)$ であらわされる ($F_A + F_B$)。式 (4.3) に対する Lagrange 乗数 λ を導入して、各サブシステムごとに $(F_i(X_i) - \lambda A_i X_i)$ を評価とする最適状態量 $X_i^*(X_A, X_B)$ を求めてセンタに送り、センタではこの結果に基づいて式 (4.1) の制限条件のもとに評価 $[I(X - \lambda)(\sum A_i X_i - b)]$ を各サブシステムに分離可能な形で近似する超平面の式を修正してふたたび λ を計算してサブシステムにもどす。このような過程でくりかえし数の増加とともに単調に収束して最適解が得られる。この問題では、燃料費を線形近似することによって LP 問題に帰するが、最適化の手法は何であってよい。またマルチレベル制御のアルゴリズムによっても同様に解ける。

5. 並列発電機台数の決定

効率の異なる種々の火力発電機を運転して、需要家に電力を供給する場合、全発電費用が最小になるような運転方法の決定⁽²⁾⁽¹¹⁾が必要である。発電機の運転台数があらかじめ与えられているときは、いわゆる等増分燃料費の法則により、各発電機の最経済出力を決定することができる。実際には負荷の変動状況に応じて、ある発電機は停止し、またある発電機は系統に並列されており、並列発電機台数は未知である。全発電費用が最小となるような火力発電機群の並列台数および並列された発電機の負荷分担決定には、次の二つの方法がある。

(1) 実動可能発電機に並列優先順位をつけておき、等増分燃料費法則に従って並列台数を決める。

(2) 多段決定法により漸化的に解くいわゆる、ダイナミック・プログラミング (DP) 法

並列優先順位法の特長は以下のとおりである。

- (a) 計算手順が簡便であるが、真の最適解が得られるとは限らない。優先順位の定め方を適当にすれば、実用上問題とならないくらい精度が得られる。
- (b) 一つの負荷状態に対する計算時間が短い。
- (c) 電力は連続量として扱う。

(d) 計算機プログラムを作成した場合、使用記憶コア数が少なくてすむ。

二つの方法を比較してみると並列優先順位法でも十分精度がよいこと、計算速度については並列順位法のほうが有利であること、使用メモリの数も少なくて済むことがわかる。したがってオンラインにて並列発電機台数の決定を行なう場合は、順位法を用いるべきである。

図 5.1 に並列順位法のフローチャートを示す。入力として、実動可能台数、並列優先順位、負荷、初期並列台数(仮定)、発電機の燃料費特性

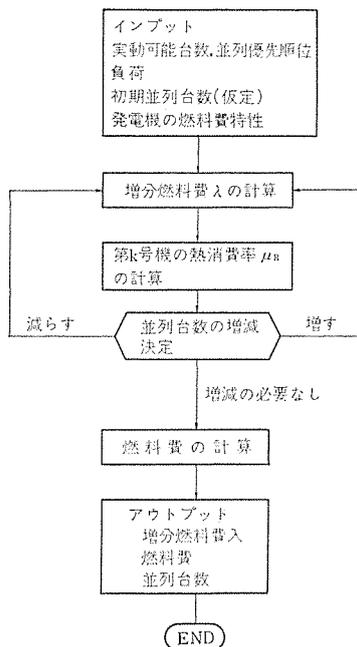


図 5.1 火力発電機並列台数決定のフローチャート
Fig. 5.1 Flow chart for unit commitment calculation.

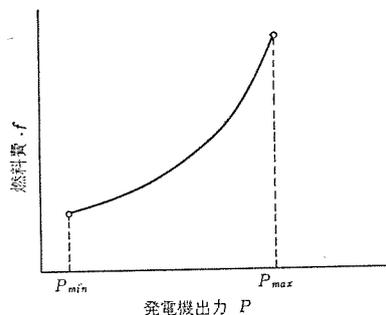


図 5.2 火力発電ユニットの燃料費特性
Fig. 5.2 Fuel cost characteristics of thermal plants.

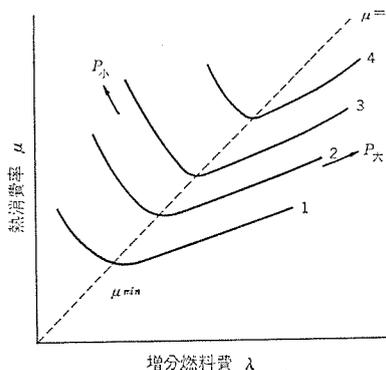


図 5.3 各火力発電ユニットの $\mu-\lambda$ 特性
Fig. 5.3 $\mu-\lambda$ characteristics of thermal plants.

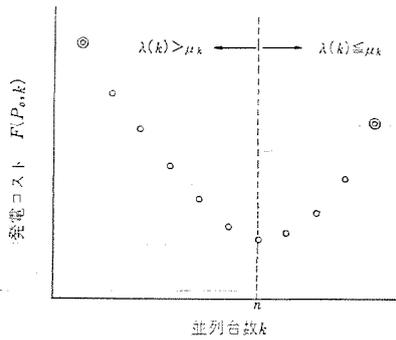


図 5.4 並列台数と発電コストの関係
Fig. 5.4 Relations between the number of generators being operated and generating cost.

て変わるが、発電機の燃料費特性は一般に図 5.2 のように下にとつ(凸)で単調増加である。各ユニットの燃料費特性を図 5.3 のように熱消費率 μ と増分燃料費 λ との関係に変換すると、 μ は λ に関して、極小点を $\mu = \lambda$ の点で持つ。

ただし

$$\begin{aligned} \text{熱消費率} \quad \mu &= f/P \\ f: \text{燃料費} \quad P: \text{発電機出力} \\ \text{増分燃料費} \quad \lambda &= df/dP \end{aligned}$$

火力発電機は一般に総合効率の高いもの、すなわち、 μ の小さいものから並列していくのが妥当である。すなわち並列優先順位は μ_{\min} の小さいものから順につけるのがよい。等増分燃料費は発電機ユニットの燃料費出力特性を 2 次式で表わし、並列台数 k および負荷 P_0 の関数として求める。

発電コスト $F(P_0, k)$ は次式にて与えられ、その特性は図 5.4 のようなものである。

$$\begin{aligned} F(P_0, k) &= f_1(P_1) + f_2(P_2) + \dots + f_k(P_k) \\ &= \sum_{i=1}^k f_i(P_i) \end{aligned} \quad (5.1)$$

並列台数に関し、発電コストは、極小点もち

$$\lambda(k) \leq M_k \text{ ならば } F(P_0, k+1) > F(P_0, k) \quad (5.2)$$

$$\lambda(k) > M_k \text{ ならば } F(P_0, k-1) > F(P_0, k) \quad (5.3)$$

ゆえに並列台数の増減決定は次のようにして行なう。 $\lambda(k) \leq \mu_k$ ならば k 号機を停止して次第に並列台数を減らしていき $\lambda(n) > \mu_n$ となれば $F(P_0, n+1)$, $F(P_0, n)$ の小さいほうが最小の発電コストであり並列台数が決定される。 $\lambda(k) > \mu_k$ ならば $k+1$ 号機を並入し、 $\lambda(n) \leq \mu_n$ となれば $F(P_0, n)$, $F(P_0, n-1)$ の小さいほうが最小の発電コストであり、並列台数が決定される。並列台数決定プログラムの出力として、増分燃料費 λ , 燃料費 $F(P_0, n)$, 並列台数 n を出す。

6. 系統電圧・無効電力制御 (VQC)

電力系統における電圧および無効電力制御 (VQC) の目的は負荷一周波数制御 (LFC) の場合と同じく需要家に対するサービスクオリティの確保、系統運用の合理化、経済性の追求にあり、系統運用の総合的な自動化に対する VQC の果たす役割は大きなものがあるといえよう。VQC 実施の目的をいまずし具体的に列挙すると

- (1) 適正な運転電圧の維持
- (2) 送電損失の低減
- (3) 無効電力源の有効利用
- (4) 電圧無効電力制御機器間での協調とその自動化などとなる。

6.1 VQC の問題設定

VQC の問題は次のごとく記述できる。

$$\left. \begin{aligned} \text{制約条件} \quad & \left. \begin{aligned} N_{km} &\leq N_{km} \leq \overline{N_{km}} \\ Y_k &\leq Y_k \leq \overline{Y_k} \\ E_k &\leq E_k \leq \overline{E_k} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.1) \\ \text{のもとで整定条件} \quad & \left. \begin{aligned} V_k &\leq V_k \leq \overline{V_k} \\ Q_k &\leq Q_k \leq \overline{Q_k} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.2) \end{aligned}$$

を満たす実行可能 (feasible) 解またはある評価関数 (たとえば送電損) を最適なるような V_k, Q_k の分布を決定する⁽¹²⁾。

ただし $k=1 \dots n$ n : 被制御ノード数

N_{km} : $k-m$ 間のタップ比

Y_k : ノード k に接続される調相機のアドミタンス

E_k : ノード k に接続される発電機電圧

V_k : ノード k の電圧

Q_k : ノード k に流入または、ノード k から流出する無効潮流

また、変数の上下の線はそれぞれ上下限界を示す。

これより明らかなように VQC は、複数個の制御変数、操作量からなる多変数最適制御系となる。また下位のフィードバック制御における諸量の関係を示すと、図 6.1 のごとくなる。 x をタップ、調相機、発電機の微小操作量、 y をそれにもとづく電圧無効電力の基準値からのずれ (微小変化) とすれば $r=0$ とおけるから

$$y = G \cdot x \quad (6.3)$$

$$x = F \cdot (u - y) \quad (6.4)$$

ただし、 G, F はそれぞれ系統、制御器 (AQC) の特性を示す伝達マトリクスである。各量が微小変化とすれば特性をあらわす式は、線形化できマトリクス G の各要素は定数で表現できる。このとき式 (6.3) を具体的に書けば

$$\left. \begin{aligned} \Delta V_k &= \sum_j A_{nkj} \Delta N_{jm} + \sum_j A_{qkj} \Delta Y_j + \sum_j A_{qki} \Delta E_i \\ \Delta Q_k &= \sum_j B_{nkj} \Delta N_{jm} + \sum_j B_{qkj} \Delta Y_j + \sum_j B_{qkj} \Delta E_j \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6.5)$$

となる。 A, B は、 G の要素でこれを系統特性定数という。なお x は、発電機、同期調相機以外に関しては不連続量である。

6.2 VQC の制御方式

VQC の制御方式には大別して総合制御方式と協調制御方式 (または局地制御) がある。総合制御は、各変電所で電圧 V 、無効電力 Q が測定され、これらの情報が制御センタに送られ、センタではこれらの情報をもとに各変電所のタップ N 、調相設備量 Y および発電所の無効電力出力 Q_g などの適切な値を計算し、これを各電気所へ送るものである。これに対して協調制御とは原則として近傍の電気所間の調整設備の協調制御を行ない、場合によっては中央で全体の協調をとるものである。

VQC が LFC にくらべて大きく異なる点は、

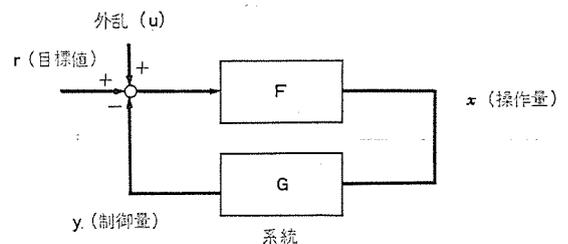


図 6.1 フィードバック制御系としての VQC
Fig. 6.1 Voltage and reactive power control (VQC) as a feedback control system.

- (1) 制御変数たる電圧や無効電力潮流が局地間で異なること
- (2) 制御機器が多様多様であること

である。したがって VQC は局地制御が可能かつ容易である。ただし局地制御といえどもそれが全体として適切な無効電力の配分に寄与しなければならず、当然一段高い立場から監視し協調をとる必要性がある。当社ではこの点に注目して VQC を中央、ブロック、ユニットの3段階にわけ、中央 VQC はデジタル計算機 (MELCOM-350) で、ブロック、ユニット VQC は、それぞれに適合する系統電圧・無効電力制御装置 (三菱 AQC) で行なう三菱 AQC システムを開発した⁽¹⁶⁾。このシステムは局地制御を基礎にして高位の計算機または制御装置により下位の制御装置を総括し、これらの間の協調をはかるという階級制御の考えを貫いている。

6.3 中央 VQC

中央計算機の機能は

(1) 超高压系の最適無効電力配分、超高压変電所 2 次側母線の最適電圧分布の決定

(2) AQC 装置間の協調運転

であり AQC 装置はこれらの指示にもとづいて目標値や制御パラメータを変更する。最適電圧・無効電力分布の決定は 6.1 節に設定された問題を解けばよい。その手法はいろいろ考えられるが、

- (1) 各変数の微小変化に対してモデルを線形化して LP を用いる。
- (2) グラディエント法を用いる。
- (3) 有効、無効電力を分離して計算する。
- (4) マルチレベル法を用いる。

などがある。いずれの場合もタップ値、調相容量などを整数値として取扱うと問題が複雑になるので、連続量と仮定して近似値解を

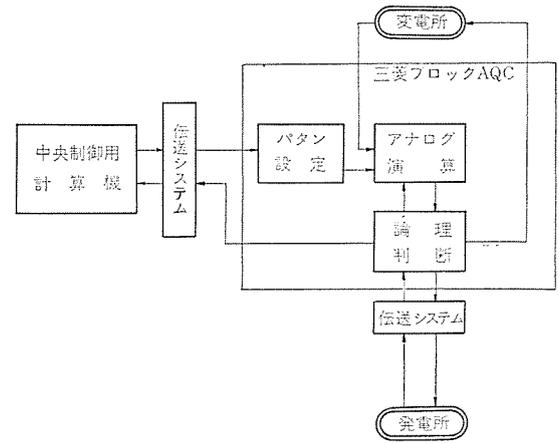


図 6.3 中央計算機と三菱ブロック AQC
Fig. 6.3 Relations between central computer and AQC.

うる。現在、VQC の中央制御方式としては P, Q 分離による計算が採用されている。この方法は、系統電圧、無効電力に対する有効電力変化の影響は小さいものとして目的関数 (送電損など) を最小にする電圧、タップ値を求め、それより無効電力、調相容量等を計算し、もし変数が制約 (または整定) 条件をはずれた場合は上限または下限に固定して計算をくり返す方法である。

この場合システムモデルはたとえば超高压変電所以下の系統単位にブロックとして分割され、全体の最適解はくり返し法によって得られる。 P, Q は一応分離されるとはいえ、くり返し 2~3 回につき 1 度の潮流計算により P の影響は修正されるので問題はない。潮流計算には通常多大の計算時間とメモリを要するが簡易潮流計算法 (8 章参照) を用いれば短時間、少メモリで計算することができる。中央 VQC の計算順序をあらわしたフローチャートを図 6.2 に示す。

6.4 系統電圧・無効電力制御装置 (AQC)

ブロック AQC は超高压変電所に設置され静止調相設備 (分路キャパシタリアクタ)、変圧器タップ、局地火力発電所の自動電圧調整器 (AVR) の協調制御をつかさどり、主として超高压変電所の二次側電圧の維持、変圧器通過無効潮流の適正化をはかるもので下位のユニット AQC へ電圧無効電力の目標値設定信号を出すこともできる。中央制御用計算機との関係を図 6.3 に示す。

ユニット AQC は一次変電所に設置され静止調相設備、変圧器タップを操作し、負荷側 (2 次側) 電圧および変圧器通過無効電力潮流を制御するものである。実際に AQC を系統に適用する場合、系統構成はいろいろな形をとるので AQC 装置もまたそれに応じて製作されている。

7. 系統操作の自動化と安全運用

電力系統の運用上重要なことは平常時には予想される事故に対して運転継続が可能ならぬ予防制御を行ない、緊急時、復旧時には事故の波及を防いだり速やかに系統の復旧を行なうことである。このことは 1 章に触れたがこれを実現するための計算機一系統制御機器あるいは計算機一人間よりなるシステムがどのように働くかを考えてみよう。

7.1 緊急時系統制御 (とくに火力系統分離について)

系統周波数が何らかの原因で大きく変化した場合、火力ユニットを保護し、全系の崩壊から一部系統を救い、系統回復後の火力ユニットの並列運転をすみやかに進めようことを目的として、火力系統分離装置 (三菱 SSA) が開発されている。この装置は明らかに緊急時のた

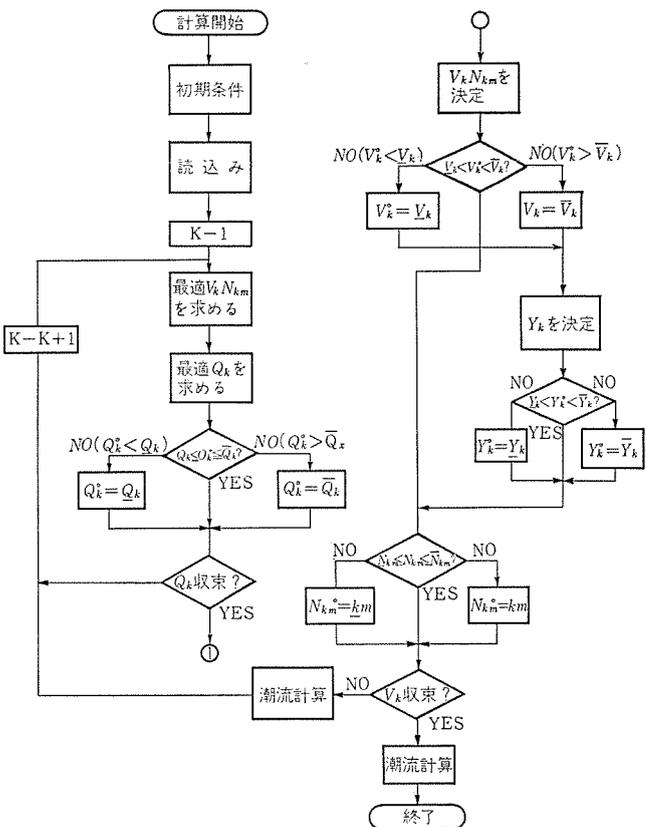


図 6.2 中央 VQC のフローチャート
Fig. 6.2 Flow chart for central VQC.

めの制御装置である。

SSA は潮流条件により分離点を選択する部分と周波数条件により分離する部分とからなっている。中央計算機との関係は図 7.1 のようになっており、各分離候補点の協調ならびに発電機出力などを考えて潮流条件の設定を行なう。

7.2 変電所自動復旧

変電所事故復旧の自動化によって得られるメリットは迅速性に基づく停電時間の減少、論理の画一性と正確さによる事故状態の正確な把握、これに対する正しい操作による停電範囲の減少である。変電所自動復旧装置(三菱 SAR)⁽¹⁷⁾はこのような観点から変電所の事故時、自主操作のある規定に基づいて常に正確、迅速に行なうことを目的として製作されたものである。2.3.1 項の分類によれば SAR は復旧時のための制御機器である。

変電所における操作は判断の所在により自主操作・承認操作・指令操作にわけることができる。SAR は変電所の各種電気量から系統条件を把握し、ある論理判断をして自主操作を行なう。また中央計算機から制限条件を得て自変電所の系統条件と合わせてある論理判断を行ない承認操作をする。さらに計算機からの指令によって指令操作を行なう。図 7.2 はこれらの関係を示している。

7.3 系統安全監視の自動化と安全運用

事故を除去しそれを復旧する装置のほか運転状態を常に監視し、事故波及に対して安全なものにしていく方式が望まれる。すなわち系統監視と安全運用のための予防制御がそれである。波及事故の形態としては(1)送電線過負荷の発生、(2)安定度崩壊、(3)需給アンバランスなどが考えられる。自動化の段階は

- (a) 情報表示の改善
- (b) 故障の評価(リアルタイム・シミュレーション)

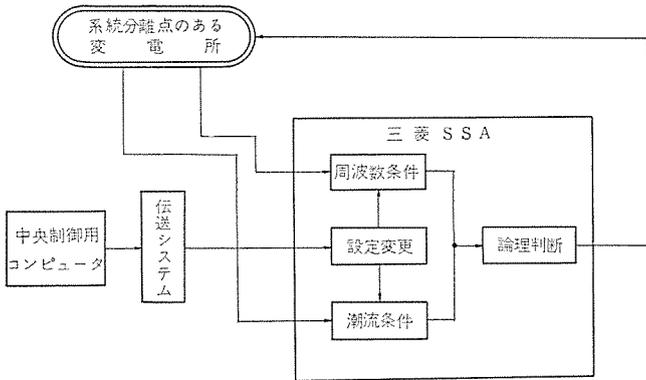


図 7.1 中央計算機と三菱系統分離装置(SSA)
Fig. 7.1 Relation between central computer and SSA.

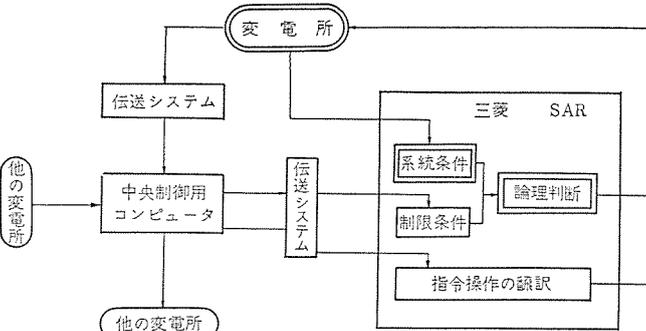


図 7.2 中央計算機と三菱自動復旧装置(SAR)
Fig. 7.2 Relation between central computer and SAR.

(c) 故障評価に基づき故障解消のための指針表示と人間による操作

(d) 計算機による自動予防制御

で現在は(b)ないし(c)の段階にある。予防制御のための安全運用がELDの予測と結びつけられた場合のフローチャートは図4.3に示されている。シミュレーションベースによる安全診断も同様の方式が適用されることは明らかである。

次に事故除去後送電線の過負荷の発見と解消についてやや詳しく見よう。系統において変電所両バス事故、送電線事故等が起きて事故点が除去された場合、需給不平衡、送電線過負荷、発電機の動揺により波及事故をまねく危険がある。波及事故に対処するにはあらかじめ予想事故に対して系統が安全であるかどうかをチェックし、安全でなければその対策を考えておく必要がある。ここでは需給アンバランス、線路過負荷についての安全運用プログラムについてのべる。図7.3にそのフローチャートを示す。

超高圧系統の系統構成、発電機出力、発電機出力上下限、負荷の分布、送電容量をインプットしておき電気所の壊滅、送電線事故を想定して与える。事故点除去のために系統が分断される場合があるが、このようなときには分断系の識別、分類をトポロジー的手法によって行ない、各分断系において需給バランスが保たれるかどうかを検討する。需給バランスの検討は一般にLP問題として定式化されるが、このプログラムではフロー理論を採用し需給バランスがとれていないと

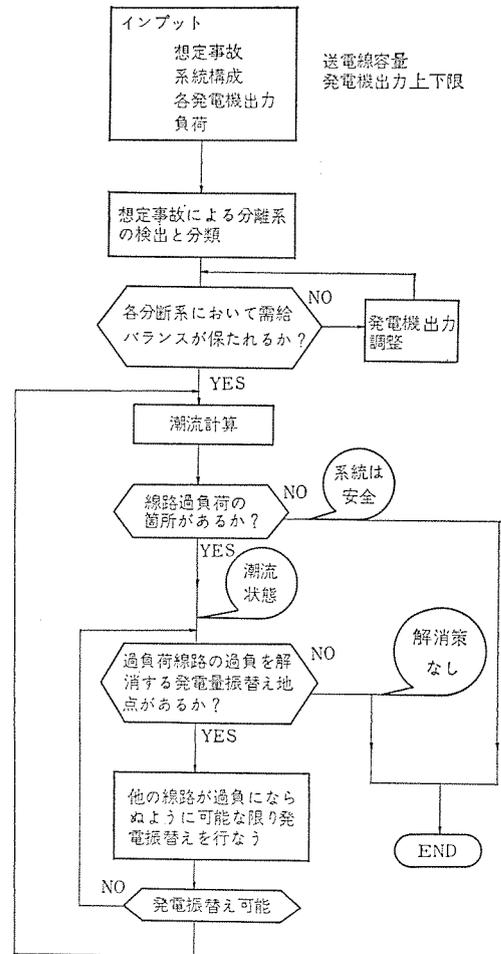


図 7.3 超高圧系の送電線過負荷発見、解消プログラムのフローチャート
Fig. 7.3 Flow chart for finding and eliminating overload transmission lines.

きの発電機出力調整を可能にしている⁽¹³⁾。各分断系で需給バランスがとれると簡易潮流計算法⁽¹⁵⁾により各線路潮流を算出し、送電線容量を越えるかどうかをチェックする。このプログラムで採用している潮流計算法は、フロー理論を応用したフロー直流法と呼ばれるもので計算時間が速く、所要メモリが少なくすむことが特長である。線路に過負荷が生ずると過負荷地点近傍に発電振換え地点を見つけ発電振換えを行ない、ふたたび簡易潮流計算により過負荷地点の有無を調べ、可能なかぎり過負荷が解消するまで各発電振換え地点にて振換えを行なう。

8. 制御のためのオフライン計算

B係数を求めるための潮流計算、日間経済運用、計算、運用スケジュールの安全診断、負荷予測の計算といった一日ごとの運用スケジュールはオフライン計算で行なう。これらの計算のフローは図8.1に示すとおりである。

8.1 日間運用計算

翌日の気象予報、社会状況、前日 当日の電力需要および翌日の電力需要モードに基づいて翌日の1時間ごとの平均予想負荷を求める。この翌日の予想負荷とB係数、発電所特性により火力ユニットの起動停止および揚水発電を含む水火併用の日間運用および水系配分計算を行なう。この1時間ごとの運用スケジュールは次のような特長をもっている。

- (1) 火力発電機群の運用については並列発電機台数の決定問題を含めている。
- (2) 併列発電機台数決定には並列優先順位法を採用している。
- (3) 火力発電機については起動停止によるコストを考慮している。
- (4) 送電損失をも考慮している。
- (5) 調整池式水力は各水系ごとに一括して着水点における1日の可能発電電力量および最大出力によりとりあつかい、各水系内の負荷配分はLagrange乗数法により決定する。
- (6) 揚水発電所は1日の全発電電力量の上限値・最大出力・送電損失・揚水に必要な火力発電の費用を含んだ揚水発電効率が与えられ揚水発電の経済性を検討してその運用を決定する。
- (7) 翌日予想負荷は1時間ごとの平均負荷曲線により与えられ

る。

(8) 計算手法としてはショーテストパスのアルゴリズムを用いる。

8.2 運用スケジュールの安全診断

日間運用計算によりスケジュールされた翌日の系統運用計画について送電線過負荷の有無、送電線事故時の供給支障の有無、事故時の過負荷の有無をチェックし、これらの制約条件を満たさないものがあれば操作員はそれを読みとり、給電用コンソールにより系統構成、発電所の最大出力許容値などを操作してスケジュールの変更を行なう。この際新たな方策の決定はシミュレーション計算を用いてチェックされることはいうまでもない。このようにして安全性のチェックされた運用スケジュールはリアルタイム制御のインプットとしてデータファイルに記録される。以上の過程において計算の流れは図4.3とほとんど同様である。

8.3 潮流計算

ELD, VQC, 安全運用など電力系統制御のための計算には必ず潮流計算が必要である。しかもデジタル潮流計算は一般にくりかえし計算を用いるので計算時間、使用メモリ両面の占める割合は大きい。したがって制御のためには能率のよいアルゴリズムを用いなければならない。

隣り合った母線間の電圧位相差角が小さい場合には近似的に有効電力の分布は位相差によって定まり、無効電力の分布は電圧差によって定まるという性質を用いて十分精度の高い計算を行なうことができる⁽¹⁴⁾。また安全運用のための計算などのように電圧は近似的に一定とみなしてよいときにはさらに有効な計算法を用いることはすでに述べた。(7.3節参照)

9. むすび

電力系統の計算機制御について基本的な考え方と具体的構成の一端を述べた。本文の内容をまとめると

- (1) 全体の構成を系統の状態、制御機能に応じた階級制御の思想で統一している。
- (2) 系統制御機器を用いて局所的高速意志決定を行なっており制御システムが統一的に積み上げ可能である。またこの方式によれば制御の信頼性、価格、従来からある機器との調和などの点からも満足すべき制御システムを構成することができる。

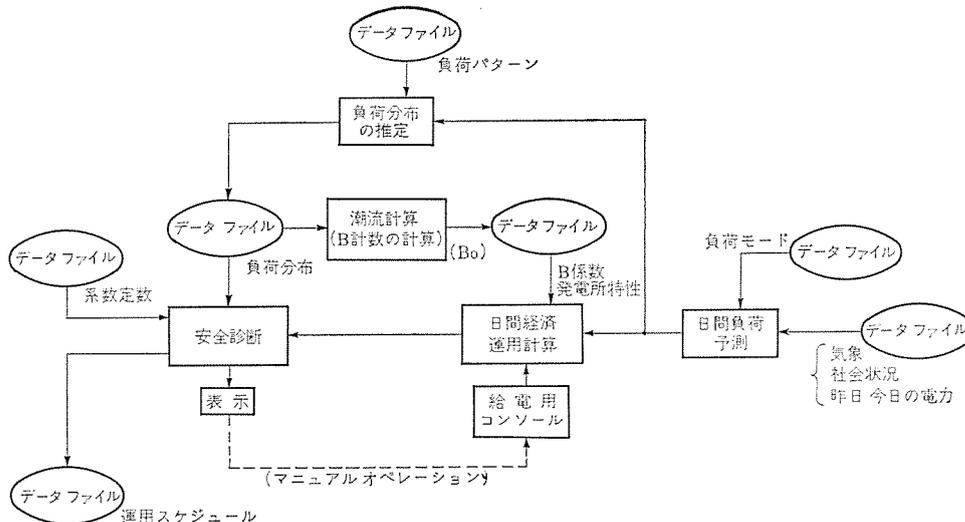


図 8.1 オフライン計算における情報流れ図

Fig. 8.1 Block diagram of off-line calculation.

(3) 局地間の協調を中央計算機で行ない、全域最適策を発見する。

(4) 複雑多岐にわたる系統制御を完全に自動化することは少なくとも現状では無理であり、人間の介入を必要とする。したがって機械と人間の特性をよく考慮したマンマシンシステムが構成されている。

(5) マンマシンシステムによる制御のうちもっとも重要なのはシミュレーションベースの制御である。これは操作員が状態設定をしたときシミュレーションの結果が表示され、人間の判断でいくつかの方策の中から最適と思われるものを実行するという方式である。

(6) 制御系において人間の介入が不可欠であるとすれば、できるだけ自動化を進めたいうえで数少ない要員を集中的に配置し、高度な操作や作業を行なわせる必要がある。この目的のためにここに述べた計算機制御システムは訓練用シミュレータとしての機能も果たしている。

(7) 経済運用制御、負荷一周波数制御には従来から行なわれてきたフィードバック制御のほかに予測先行制御、安全監視などを加味している。

(8) 系統電圧・無効電力制御、系統操作の自動化、系統監視にも十分力が入れられている。

電気事業における流通革命の旗手としての計算機制御はまだその緒についたばかりであり、今後電力技術、系統技術の発展はもとより計算機のハードウェア、ソフトウェア、アプリケーションウェアやデータ伝送および交換技術の進歩、システム理論の進展とともにさらに信頼度の高い、運用の容易なそして経済的なシステムを開発していかなければならない。

今後の課題は安全運用の自動化、広域運用と情報伝送・交換システム、システム分割法、人間—機械系(マンマシンシステム)およびheuristics等の研究であろう。

計算機制御はたしかに流通革命の新しい手でありオートメーション時代の花形でもあるが、「コンピュータ」「無人工場」など時の流れにいたずらに流されることなく正しい技術的、経済的評価の上に立っ

て導入をはからなければその方向を誤るおそれもある。鶏をさくにあえて牛刀をもってすることは避けるべきであろう。

終わりに普段ご指導いただいている大学・研究機関および電力会社関係各位に感謝する。また本文執筆にあたっては筆者らの同僚である諸氏の資料をしばしば引用したことを付記したい。

参 考 文 献

- (1) 林：流通革命新論(昭39)
- (2) 関根：電力系統工学(昭41)
- (3) 馬場、林：電連大 779(昭39)
- (4) Electrical World, (Jan. 29, 1966)
- (5) H. D. Limmer: The 2nd Power Systems Computation Conference, (1966)
- (6) T. E. Dy Liacco: IEEE Trans., PAS 86, 5 (1967)
- (7) I. Lefkowitz: Trans, of ASME, 392 (June, 1966)
- (8) Y. Sekine: IEEE Trans., CT 10-2 (1963)
- (9) 福永、芝滝：電学誌 80, 1447 (昭35)
- (10) 外山、山田：三菱電機技報 41, 9 (昭42)
- (11) J. Baba, S. Hayashi, Y. Sekine et al: MDLR, 8, 1, 55 (1967)
- (12) 西山、尾出：電学誌 84, 904 111 (昭39)
- (13) 大庭、高橋、関根：電連大 942 (昭42)
- (14) 馬場、芝滝：電学誌 82, 891, 56 (昭39)
- (15) 高橋：電力中研技術研究報告 No. 66058 (昭41)
- (16) 馬場、林、石田ほか：三菱電機技報 41, 7, 731 (昭42)
- (17) 長町、山田、仁科：三菱電機技報 41, 3, 503 (昭41)
- (18) 石井、吉武、室田ほか：三菱電機技報 40, 10, (昭41)
- (19) 室田、藤原：三菱電機技報 40, 7, (昭41)
- (20) 大島：信学誌 50, 2, 293 (昭42)
- (21) J. H. M. Sykes: Electrical World, Dec. 12, 67 (1966)

日間電力負荷予測方式

山田 敬吾*・外山 守城*

Study on Power Load Prediction Based on Farmer's Method

Head Office Keigo YAMADA・Moriki TOYAMA

Short term prediction of electric power load plays a very important part as data for such areas as economic load dispatch, frequency control and operation schedule of power stations and substations. We applied a method of prediction for non-stationary process by E. D. Farmer to actual power load prediction problem, and, its results and some problems related to that method are discussed in this paper. The discussed points are as follows :

- (1) The relation between prediction error and some parameters involved in prediction system is considered from both theoretical and experimental points.
- (2) A method for detecting automatically load pattern change is presented, this being especially useful for automatic load-dispatching system.
- (3) By a method which combines Farmer's method and exponentially smoothing method, we made it possible to predict power load which contains trend.
- (4) A simplified method for parameter identification, which will contribute in reducing the calculation time in prediction process, is presented.

1. ま え が き

日間の電力負荷予測は経済負荷配分、周波数制御、さらには各発電所ならびに変電所の運転スケジュール決定のためのデータとして非常に重要な役割を果たしている。このための手法としては大きくわけ、過去の電力負荷データを使用して統計的に処理する方法と、電力負荷に影響すると思われる予測可能な主要因（たとえば気温、湿度、照度等）を求めこれらの量と電力負荷との関係を求めて予測する方法とが考えられる。前者に属するものとしては、指数平滑法⁽¹⁾⁽²⁾や本文で述べる Farmer 氏の方法などがあり、後者に属するものとして回帰モデルを使用したもの⁽⁴⁾などがある。これらは目的によってそれぞれ使用されるべきで、たとえば数秒～数時間さきを予測するには前者の方法が適当であり、翌日のピークロードなどのような翌日のものを予測するには後者の方法がよりよいように思われる。

本文は上記の Farmer 氏の方法について、実データによる実験により予測誤差についての考察をおこない、さらに使用上の問題点について検討した結果を報告するものである。検討した事項は次のごとくである。

(1) Farmer 氏の方法を実データに適用して、採用する特性モード関数の次数やその他のパラメータと予測誤差との関係について考察した。

Farmer 氏の方法を実用化するために、以下の3項について検討を行なった。

(2) とくに自動給電システムの一環として使用する際に必要な事がらとして、負荷パターンの変化を自動的に検出する方法について検討した。

(3) 負荷系列に傾向があるような場合にも適用できるようにした。

(4) 計算時間を短くするため、係数 Ci 演算の高速化を試みた。

2. Farmer 氏の方法

3章以下に実際の電力負荷データに Farmer 氏の方法を適用した場合の結果についての検討や、あるいは実用化のための検討事項を述べるが、その際の議論のため、以下に Farmer 氏の方法について簡単にその概略を述べておく。

Farmer 氏の方法は基本的には短期予測を旨とするものであるが、このような短期予測においては、電力需要に構造的な変化がなく、負荷の日間パターンがだいたい一定していることを前提にしている。

さて、日間における電力負荷を $x(t)$ ($0 \leq t \leq T$; ただし t は日間におけるある時点を表わし、 T は日間の最終時点をあらわす) とする。Farmer 氏の方法では、このような電力負荷 $x(t)$ はいくつかの特性モード関数と称されるものの線形結合として実現されると考える。そうしてこの特性モード関数を次のような考え方に従って導き出す。今 $x_m(t)$, ($m=1, M$) を電力負荷のサンプル関数とする。

このとき、このサンプル関数から第一次特性モード関数 $\phi_1(t)$ を次のようにして算出する。

$$e_m(t) = x_m(t) - \lambda_1^{1/2} a_{m1} \phi_1(t) \quad m=1, 2, \dots, M \dots\dots\dots (2.1)$$

とする。 $e_m(t)$ は $x_m(t)$ を $\phi_1(t)$ の線形形で近似したときの誤差をあらわし、したがってこのときのサンプルの平均2乗誤差 E_1 は

$$E_1 = \frac{1}{MT} \sum_{m=1}^M \int_0^T \{x_m(t) - \lambda_1^{1/2} a_{m1} \phi_1(t)\}^2 dt \dots\dots\dots (2.2)$$

であらわせる。さて $\phi_1(t)$ はこの E_1 を最小にするような関数として決めるわけである。

一般性を失なうことなく次の正規性

$$\left. \begin{aligned} \int_0^T \phi_1^2(t) dt &= 1 \\ \sum_{m=1}^M a_{m1}^2 &= M \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

を仮定することによって式(2.2)の E_1 を最小にする条件として

$$\left. \begin{aligned} a_{m1} &= \frac{1}{\lambda_1^{\frac{1}{2}}} \int_0^T \varphi_1(t) x_m(t) dt \\ \lambda_1^{\frac{1}{2}} \varphi_1(t) &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m(t) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.4)$$

とすれば式(2.4)から次の固有方程式

$$\left. \begin{aligned} \int_0^T R(t, \tau) \varphi_1(\tau) d\tau &= \lambda_1 \varphi_1(t) \\ 0 \leq t \leq T \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.5)$$

が導かれる。このとき、式(2.2)は

$$E_1 = \frac{1}{T} \left[\int_0^T R(\tau, \tau) d\tau - \lambda_1 \right] \dots\dots\dots (2.6)$$

となって、これを最小にするには固有値 λ_1 を最大にとる必要がある。したがって $\varphi_1(t)$ は最大固有値 λ_1 に対応する固有関数ということになる。さらに $e_m(t)$ をサンプル関数と考えることにより、いまと同じプロセスにより第2次特性モード関数 $\varphi_2(t)$ が導かれ、これは式(2.5)の固有方程式において2番目に大きい固有値 λ_2 に対応する固有関数であることがわかる。以下同様にして第 k 次特性モード関数 $\varphi_k(t)$ は式(2.5)において k 番目に大きい固有値に対応する固有関数として定義される。

$$x_m(t) \text{ は、} \\ x_m(t) = \lambda_1^{\frac{1}{2}} a_{m1} \varphi_1(t) + \lambda_2^{\frac{1}{2}} a_{m2} \varphi_2(t) + \dots\dots\dots (2.7)$$

となり、これを第 k 次項で打ちきったときの標本の最小平均2乗誤差 E_k は

$$E_k = \frac{1}{T} \left[\int_0^T R(\tau, \tau) d\tau - \sum_{i=1}^K \lambda_i \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

となる。これは、求める精度に応じて K を選ぶ際の目安となるものである。さて上に述べた特性モード関数を使つての予測は次のようになる。すなわち K 次までの特性モード関数 $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\dots\dots$, $\varphi_K(t)$ を使用する場合、負荷 $x(t)$ に対する予測式 $\hat{x}(t)$ を

$$\hat{x}(t) = \sum_{i=1}^K C_i \varphi_i(t) \dots\dots\dots (2.9)$$

であらわす。この際 $C_i (i=1, 2, \dots, K)$ を決める必要があるが、過去のデータへの最小2乗近似によって決めるのが簡単な方法である。すなわち時点0から T_0 までの過去のデータ $x(t)$ があるとして

$$I = \int_0^{T_0} \left\{ x(t) - \sum_{i=1}^K C_i \varphi_i(t) \right\}^2 dt \dots\dots\dots (2.10)$$

を最小にするように C_i を決めるわけである。これによって式(2.9)から、 T_0 よりさきの時点に対する負荷を予測するのである。

式(2.3)には、さらに Volterra 級数展開による方法を提唱しているが、これについては検討していないので省略する。

付記：予測誤差の評価

予測誤差の評価については Farmer 氏も述べているとおり⁽³⁾、式(2.8)が役立つわけであるが、これが実際より低くめの評価を与えることは、式(2.8)における E_k の定義から明らかであろう。たとえば

$$x(t) = \sin t + \varepsilon_t \quad (0 \leq t \leq 2\pi) \dots\dots\dots (2.11)$$

なる場合を考えよう。ただし ε_t は確率変数で時間的に独立かつ

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_t) &= 0 \\ \text{Var}(\varepsilon_t) &= \sigma^2 \end{aligned}$$

であるとする。ここに $E(\cdot)$, $\text{Var}(\cdot)$ はおのおのの平均値および分散をあらわす。このとき、平均二乗予測誤差は σ^2 であるが、式(2.8)によれば $(2\pi-1)\sigma^2/2\pi$ となって、これは σ^2 より小であるか

ら式(2.8)による評価は正当な値より低いものであることがわかる。そこで平均二乗予測誤差をより正確に評価するには、下式によるほうがよい。すなわち

$$E_k' = \frac{1}{T} \left[\int_0^T R(\tau, \tau) d\tau - \sum_{i=1}^K \lambda_i + \sum_{i=1}^K \int_0^T \int_0^T \varphi_i(t) \varphi_i(\tau) \bar{a}(t, \tau) d\tau dt \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

ただし

$$\bar{a}(t, \tau) = \bar{x}(t) \cdot \bar{x}(\tau)$$

で $\bar{x}(t)$ は $\varphi_i(\cdot)$ を算出するに用いたサンプル $x_m(t)$, $m=1, M$ の時刻 t における平均値である。式(2.12)は次のようにして導びかれる。

今、予測式を

$$\sum_{i=1}^K C_i \varphi_i(t) \dots\dots\dots (2.13)$$

によっておこなうとすれば、時刻 t における平均2乗予測誤差 $D(t)$ は

$$D(t) = E \left[x(t) - \sum_{i=1}^K C_i \varphi_i(t) \right]^2 \dots\dots\dots (2.14)$$

で表わせる。ここで $C_i (i=1, 2, \dots, K)$ として

$$E \left[\int_0^T \left\{ x(t) - \sum_{i=1}^K C_i \varphi_i(t) \right\}^2 dt \right]$$

を最小にするものをとれば

$$C_i = \int_0^T \varphi_i(t) E \{ x(t) \} dt \\ (i=1, 2, \dots, K) \dots\dots\dots (2.15)$$

となる。したがって、このとき式(2.14)は

$$\int_0^T \varphi_i(\tau) \varphi_j(\tau) d\tau = \begin{cases} 1 & (i=j) \\ 0 & (i \neq j) \end{cases}$$

を利用すれば(固有値の直交性)、

$$\begin{aligned} D(t) &= E \left[x^2(t) - \sum_{i=1}^K \lambda_i \varphi_i^2(t) \right] \\ &+ 2 \sum_{i=1}^K \varphi_i(t) \int_0^T \varphi_i(\tau) a(t, \tau) d\tau \\ &- \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K \varphi_i(t) \varphi_j(t) \int_0^T \varphi_i(\tau) \int_0^T \varphi_j(\mu) \cdot (a(\tau, \mu)) d\mu d\tau \end{aligned}$$

となる。ただし

$$a(t, \tau) = R(t, \tau) - E \{ x(t) \} E \{ x(\tau) \}$$

である。ゆえに時間平均の二乗予測誤差 E_k' は

$$E_k' = \frac{1}{T} \int_0^T D(t) dt = \frac{1}{T} \left[\int_0^T R(\tau, \tau) d\tau - \sum_{i=1}^K \lambda_i + \sum_{i=1}^K \int_0^T \int_0^T \varphi_i(t) \varphi_i(\tau) a(t, \tau) d\tau dt \right] \dots\dots\dots (2.16)$$

となる。式(2.12)は式(2.16)において $a(t, \tau)$ の代わりにサンプルより計算したものをを使用したものである。

さきの例式(2.11)を考えれば

$$a(t, \tau) = \sigma^2 \delta(t-\tau)$$

ただし

$$\delta(t-\tau) = \begin{cases} 1 & t=\tau \\ 0 & t \neq \tau \end{cases}$$

で、この場合固有値はただ一つで

$$\lambda_1 = \pi + \sigma^2$$

したがって E_k' は

$$E_k' = \frac{1}{2\pi} [(\pi + 2\pi\sigma^2) - (\pi + \sigma^2) + \sigma^2] = \sigma^2$$

となる。

3. 実データに基づく実験とその検討

以下に2章に述べた Farmer 氏の方法による、実データに対する実験結果ならびにその検討をおこなう。この方法を使用する際のいくつかの検討すべき事項をあげておこなう。

(a) 特性モード関数を算出するためのサンプルとしては、どのくらいの大きさが必要か。

これについては Farmer 氏も述べているように、あまり大きすぎてもよくない。遠い過去の違ったパターンの影響が考えられるからである。Farmer 氏の報告⁽³⁾では20サンプルをとっているが、筆者らの経験では、このように大きなサンプルをとると過去の違ったパターンの影響をうけがちになりやすく予測誤差を大きくする原因となりやすい。もっと少ないサンプル(10サンプルぐらい)でも良い結果を得ている。また注意すべきは曜日によってパターンが異なるということである。たとえば土、日曜日は明らかに他の曜日と異なるし、また月曜日も他の曜日と若干異なる。この実験では、これら土、日、月曜日は省いたサンプルを使用した。

(b) 使用する特性モード関数の個数 K はどのくらいにすべきか。

式(2.8)によれば、個数 K が大きいほど良い結果が得られるように思われるが、実験によれば必ずしもそうではなく、 $K=4\sim 5$ あたりがいちばんよい結果を与えている。この点に関しては、後に次の(c)と関連して述べる。

(c) 最小2乗法式(2.10)によって式(2.9)の C_i を決める場合、どのくらい過去のデータを用いるべきか。

式(2.10)によって C_i を決めるわけであるが、 T_0 が小さい場合は前日のデータを用いなければならない。そこで本実験では C_i を次の方法によって決めた。すなわち $x(t)$, $T_0 - L \leq t \leq T_0$ なる L の長さのデータを使用して

$$I = \int_{T_0-L}^{T_0} \{x(t) - \sum_{i=1}^K C_i \phi_i(t)\}^2 dt \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

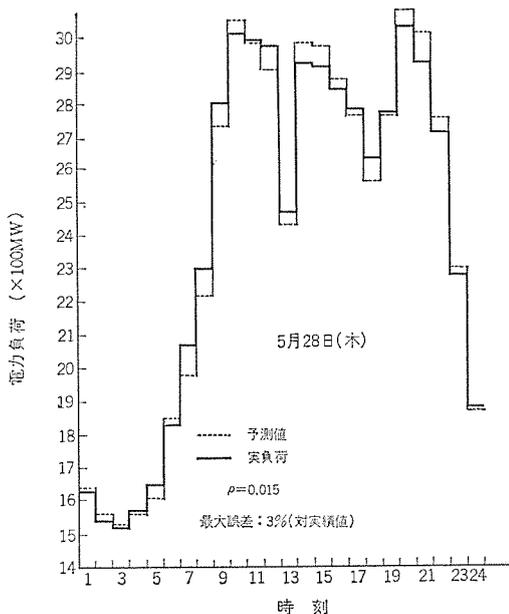


図 3.1 実負荷と予測値
Fig. 3.1 Actual and predicted load.

を最小にするように C_i を求めるわけである。ここで問題になるのは過去のデータの長さ L をどのくらいにするかということである。式(3.1)は一般にディスクリット化して使用されるわけであるから、 L が小さいといわゆる自由度が少なくなって C_i の信頼性がなくなり、一方 L を大きくとりすぎると、いわゆる予測の追従性が悪くなるのである。

さて以上三つの事項を検討する必要があるわけであるが、今回は(b), (c)の2事項についておこなった。これについて述べる前に、まず一般的にどのくらいの精度で予測がなされるかを示すために実験結果の一部を図3.1, 3.2, 3.3, 3.4に示す。図3.1, 3.2に関しては、使用データはある電力会社の日間の1時間ごとの平均電力負荷であって、1時間ごとに1時間さきの時点の負荷を予測したものである。特性モード関数の算出は5月14日より5月27日までで土、日、月曜日をのぞいた8サンプルを用いた。また図3.3, 3.4に関しては、東京電力(株)の昭和41年5月の実績データを使って考察した。この場合予測時間は図3.3が3時間さきのものに対して、図3.4が最大24時間さきの24時間帯すべてである。図にお

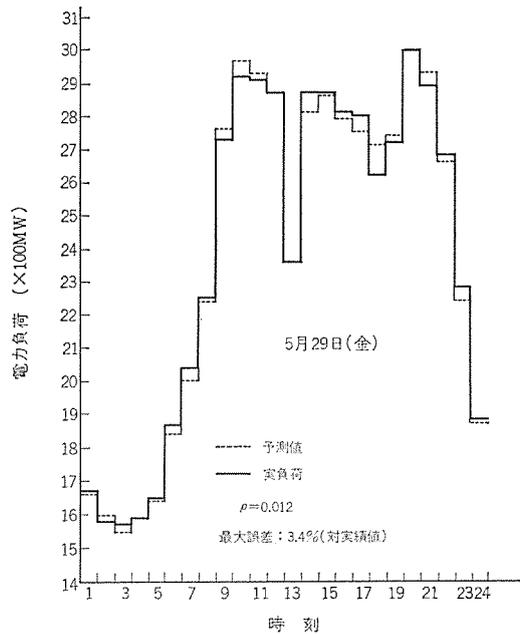


図 3.2 実負荷と予測値
Fig. 3.2 Actual and predicted load.

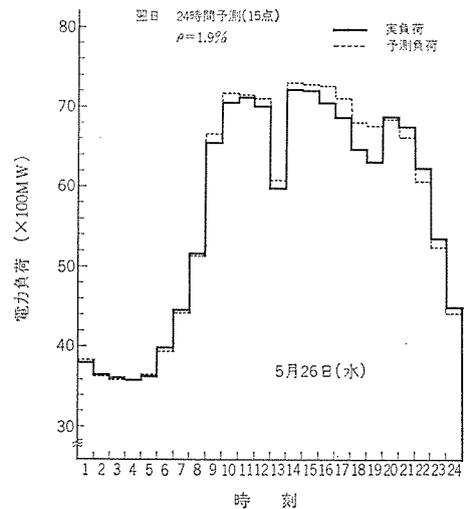


図 3.3 実負荷と予測値
Fig. 3.3 Actual and predicted load.

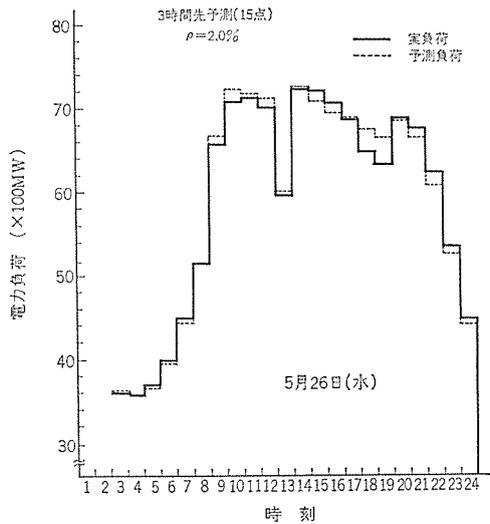


図 3.4 実負荷と予測値
Fig. 3.4 Actual and predicted load.

ける ρ は変動係数で予測誤差の標準偏差を実績値平均で除したものである。なお、特性モード関数の個数 K は 5 で、(c)における L は図 3.1, 3.2 に関しては 12, また図 3.3, 3.4 に関しては 15 である。われわれは上記の電力会社について、種々の季節にわたり 100 日ぐらい実験を試みたが、だいたい同様の精度を得ている。

次に (b), (c) の問題を考察する。すなわち特性モード関数の個数 K と最小 2 乗法に使用するデータの長さ L による予測精度を検討する。まず K を一定にして L による予測精度の変動を調べる。

そこで L を小さくとりすぎると、どのような予測誤差の分散になるかを次のような仮説モデルによって考察してみよう。

今負荷 $x(t)$ が

$$x(t) = \sum_{i=1}^K C_i \varphi_i(t) + \varepsilon_t \dots \dots \dots (3.2)$$

によって実現されると考えよう。ただし ε_t は確率変数で、異なる時間に対して独立、かつ平均は 0、分散一定で

$$\text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma^2$$

とする。現時刻を T_0 とし、式 (3.1) によって C_i を定め、式 (2.9) によって時刻 t における負荷の予測を行なうとき、その予測誤差 e_t (=実負荷-予測値) の分散 $\text{Var}(e_t)$ は下式によって示めされる⁽⁵⁾。

$$\text{Var}(e_t) = [1 + \varphi'(t) V(T_0) \varphi(t)] \cdot \sigma^2$$

ただし

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= (\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_k(t))' \\ V(T_0) &= (X'X)^{-1} \\ X &= \begin{pmatrix} \varphi_1(T_0-L+1) & \dots & \varphi_k(T_0-L+1) \\ \varphi_1(T_0-L) & \dots & \varphi_k(T_0-L) \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \varphi_1(T_0) & \dots & \varphi_k(T_0) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

($'$ は転置行列を表わす)

表 3.1 は先きの図 3.1, 3.2 に示した予測をおこなう際に使用した $\varphi_i(t)$ を使用して

$\nu \equiv (1 + \varphi'(T_0+1) V(T_0) \varphi(T_0+1))$ および $\sqrt{\nu}^{\frac{1}{2}}$ を種々の L について計算したものである。

これをもてみるとわかり、一方 L が小さくなると確かに予測誤差の分散が大きくなり、一方 L を大きくするほどよいことがわかる。しかしながらこれは $x(t)$ が式 (3.2) のモデルにしたがっていることを仮定しているからであって、実際には C_i は毎日変化しているため、 L

表 3.1 各種 L に対する ν および $\sqrt{\nu}$ の値
Table 3.1 Values of ν and $\sqrt{\nu}$ for various L 's.

L	6	8	10	12	15	20	25	30	48	70
ν	7.66	3.71	2.95	2.74	2.47	2.46	1.54	1.54	1.54	1.54
$\sqrt{\nu}$	2.77	1.93	1.72	1.65	1.57	1.57	1.24	1.24	1.24	1.24

(注) $T_0=19$ とした。

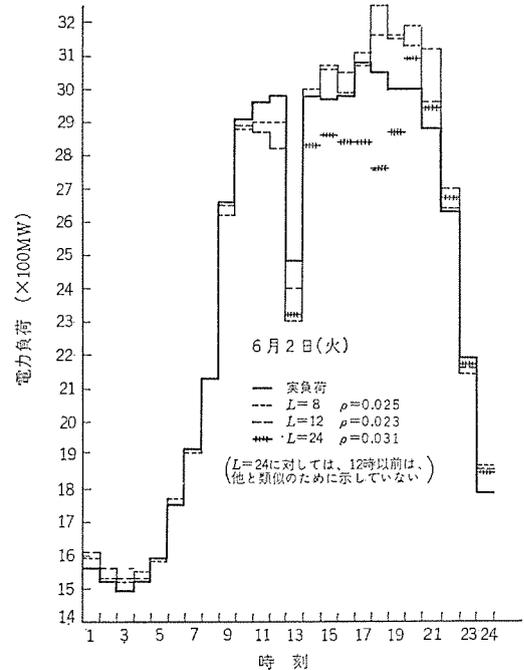


図 3.5 L に対する精度比較
Fig. 3.5 Comparison of prediction accuracy for various L 's.

表 3.2 (K, L) に対する予測精度 (ρ) の比較
Table 3.2 Comparison of prediction accuracy (ρ 's) for (K, L).

$L \backslash K$	1	3	5	10	15
6	0.026				
8	0.027	0.019	0.019		
12	0.031	0.021	0.018		
15				0.023	
20				0.029	0.031
24			0.028		0.033

(注) 空欄は実験していないことを示す。

があまり大きいかえって予測の精度が悪くなるのである。これを実際に示したのが図 3.5 である。図 3.5 は常の日と異なったパターンを示したために、 L が大きい場合、予測が追従性を失ったことを示すものである。この図では $L=12$ が一番よい結果を与えている。

次に他の K の値に対してどのような L がよいかを実験してみた。その一部を表 3.2 に示す。ここで実験した負荷系列は 5 月 29 日、6 月 1, 2 日の 3 日間で ρ は全部を通してのものである。これからわかるように表では $K=5, L=12$ が最も良い結果を与えている。 K が大きくなると結果が悪くなるのは、 L をそれだけ大きくする必要があり、したがって追従性が悪くなるためであると考えられる。他の試みでも $K=5$ の近傍が一番よい結果を与えている。

以上のようにして、われわれはどのような (K, L) がよいかを実験的に検討した。その結果 $K=4 \sim 5, L=12 \sim 15$ あたりが一番よい予測をすることが確かめられた。さらにその精度は、この方法が許容できる誤差の範囲で予測し、十分実用的であることを物語っている。

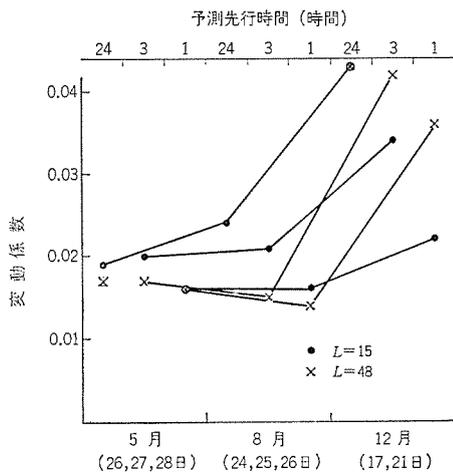


図 3.6 季節および予測先行時間による予測誤差
Fig. 3.6 Prediction accuracy for seasons and prediction time.

以上は1時間さきの予測による結果についての考察であるが、次にわれわれは予測精度は季節的に変わるであろうか、またその場合 L はどのような値を採用すべきか、さらにそれらは予測先行時間(たとえば3時間, 24時間さき等)に変動するものかを実験的に検討するため、以下の実験を試みた。この際使用データは東京電力(株)の山元総需要で、その期間は昭和41年5月, 8月および12月である。ただしこの場合も前記と同様、1日の負荷パターンが大きく変動する土, 日, 月曜日および休日, 特異日(社会的行事日, 災害日等)は前もってそのデータから取除いている。その結果を図3.6に示す。同図では $K=5$ とし, $L=15, 48$ のおのおのについて5, 8, 12月と予測精度はどのような値をもつかを示されている。また同時に予測先行時間が1, 3, 24時間の3ケースについて記されている。同図によれば L に関しては5月, 8月の中では $L=48$ のほうが精度よく予測しているのに対して12月は $L=15$ のほうがよい。また各月の予測精度を比較するに12月はとくに悪い。このことから、12月はとくにパターンが変動してこの方法の基本である電力負荷には、モードがあるという仮定に反する度合いが強い季節であることがわかる。一方予測先行時間については、24時間より3時間, 3時間より1時間のほうが精度よく予測できることは容易に推定できるが、同図で5月において逆の様子を示していること、また12月でその差が大きいことなど考え合わせれば、予測先行時間のおおのについて最適の L , ないしは K が季節ごとにありそうである。しかしこのことを厳密に確かめることは今回の実験ではなされていない。

一般にどのような (K, L) がよいかは、負荷系列によって異なるであろうし、またそれを理論的に決めることは、負列系列がモデル化されれば可能であろうが、実際には、上に述べたような実験によって決めるのが現実的であろう。

4. 実用化のための検討(その1)

上に述べたように電力負荷予測をおこなうに当たっては、特性モード関数を使用するが、この特性モード関数を算出した時点における電力負荷パターンが予測される時点のそれと異なっていないことが予測誤差を悪くしないために必要である。そこでもし、負荷パターンが変化してきた場合には、特性モード関数を再計算することが必要となる。ただしここに注意すべきは、負荷パターンの変化といっても1日や2日のいわゆる異常パターンをさすことではない。さて再計算をおこなうには、毎日の負荷データをみていて、パターンの変化が認めら

れたら計算しなおせばよいわけであるが、これを人間がおこなうのは繁雑であり、またデータがランダムであるために判断がむずかしい。したがってこのような負荷パターンの変化を自動的に検出することが望ましいわけである。とくにここで述べるような予測方式をオンラインシステムの一部として組み入れるような場合はいっそう必要なのである。以下にそのような問題に対する一方式を述べる。

今特性モード関数を算出したサンプル関数を $x_m(t)$, ($m=1, M$) とする。時点 t におけるサンプル平均値 $\bar{x}(t)$ は

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m(t) \dots\dots\dots (4.1)$$

となる。これを次のようにして基準化し、区間 $[0, T]$ における積分和がある一定値 A になるように修正する。すなわち

$$y(t) = \left(A / \int_0^T \bar{x}(t) dt \right) \bar{x}(t) \dots\dots\dots (4.2)$$

この $y(t)$ はいわゆる季節指数に相当するものである。さて新しい日間の負荷データ $x(t)$, ($0 \leq t \leq T$) が得られたとき、これが $y(t)$, ($0 \leq t \leq T$) と異なっているかどうかの目安として $x(t)$ を基準化した

$$\tilde{x}(t) = \left(A / \int_0^T x(t) dt \right) x(t) \dots\dots\dots (4.3) \quad (0 \leq t \leq T)$$

と $y(t)$ ($0 \leq t \leq T$) との距離の2乗 D

$$D = \int_0^T (y(t) - \tilde{x}(t))^2 dt \dots\dots\dots (4.4)$$

を考慮することができる。この D が大きければ $\tilde{x}(t)$ と $y(t)$ は十分異なっている。すなわちパターンが異なっていると考えられるし、 D が微小ならば変化がないと考えるわけである。しかしながらこの方式では $x(t)$ が1日だけの異常パターンでも D が大きくなり、パターン変化ありと認めてしまうことになる。そこでこのようなことがないようにそれ以前のデータとともに加重平均化したものを基準化して、これと $y(t)$ との比較をおこなうことを考える。このために指数平滑法の考えにより

$$x'(t) = \alpha x(t) + (1-\alpha)x''(t) \dots\dots\dots (4.5)$$

を加重平均値と考える。ただし α は1より小なる正数で、また x'' は $x(t)$ の前日のデータを式(4.5)に適用して得られた値である。式(4.5)における $x''(t)$ の初期値としては式(4.1)の $\bar{x}(t)$ とする。この $x'(t)$ を基準化した

$$\tilde{x}(t) = \left(A / \int_0^T x'(t) dt \right) x'(t) \dots\dots\dots (4.6) \quad (0 \leq t \leq T)$$

と $y(t)$ との距離を考える。すなわち

$$D = \int_0^T \{y(t) - \tilde{x}(t)\}^2 dt \dots\dots\dots (4.7)$$

とし、ある一定値 w に対し

- $D \geq w$ ならばパターンが変化した
- $D < w$ ならばパターンは変化しない

とするのである。

ここで問題となるのは、 α ; w をどのように決めるかということである。これに対しては、実際のデータを用いて実験的に決めたほうがより実際的であると考えられる。すなわち途中でパターンの変化をきたしているようなデータを使用して、 α の種々の値に対して式(4.7)の D の値を日ごとに計算する。この D を時系列としてみる

表 4.1 各 α に対する D 値系列
Table 4.1 Sequencies of D values for various α 's.

日付 α	4月8日	9日	10日	14日	15日	16日	17日	21日	22日	23日
0.05	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0.1	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2
0.2	1	4	3	3	6	3	4	4	5	6

日付 α	24日	28日	30日	5月7日	8日	12日	13日	14日	23日
0.05	1	1	1	2	2	2	3	3	3
0.1	3	3	4	5	5	5	7	8	9
0.2	7	5	7	10	10	9	13	18	14

(注1) $A=24$ である。表中の数字は 1000 倍してある。
(注2) 土、日、月曜日および祭日は省いてある。

とき、もし途中からパターンが変化していれば、 D がそれのあたりから大きくなるはずである。しかしながら、もし α が非常に小さいときは変化に対する追従性が遅く、パターン変化の時点よりかなり遅くなって D が変化するということになるであろうし、一方 α を大きくすると、変化に対して敏感に反応して、さきに述べたように異常パターンに対してすぐ D が変化するということになる。たとえば4月始めから5月にかけてのデータをを用いての実験結果を表4.1に示そう。

ここで4月中旬ごろ(20日ごろ)から日照時間の関係でピーク、ロードの時点が変化していることに注意されたい。また土、日、月曜日および祭日はその特異性から、データから省いてある。

上の表からわかるとおり、 $\alpha=0.2$ に対しては、早くも4月9日ですぐ大きく変化しているのは、この日がいつもとちがったパターンを示したためであり、敏感に反応しすぎている。また $\alpha=0.05$ に対しては、5月9日ごろより D が変化を示しているが若干遅すぎる感がある。 $\alpha=0.1$ のときは D は漸次大きくなり、しかも $w=0.03$ に定めておけば実際のパターンの変化に若干遅れをともなうにしても対応できるわけである。さらにいくつかのサンプルについて同様の実験を試みたところ、 $\alpha=0.1$ 、 $w=0.03$ の近傍でうまくいくことがわかった。以上の実験からわれわれはこの方式が十分うまくいくものであると思っている。なおもとのデータを基準化したのはデータのスケールによらない w の値を決めるのが望ましいと考えたからである。

次に $D > w$ となった場合、特性モード関数を再計算する必要があるわけであるが、この際どのくらい過去にまでさかのぼってデータを採用するかという問題が残る。実験によれば、 $D > w$ となった日から5日前ころからパターンが変化しているので、このへんが目安と思われるが、この点に関しては、まだはっきりした結論はでない。

5. 実用化のための検討(その2)

—傾向がある場合への対処—

今までに論じてきたのは、短期的にみて、傾向がないような場合についてであった。しかしながら、系統によっては、その特性により短期的に t 負荷が傾向をもつということが考えられる。このような場合にそのままのデータに Farmer 氏の方式を適用することが妥当でないことは明らかであろう。そこで傾向をもつ負荷に対しては、どうしてもそれらを考慮した予測が必要になる。以下にこのような場合に対して、Farmer 氏の方法をとり入れた考えを述べることにする。その大要は要するに傾向値を除去したデータに対して Farmer

氏の方法を適用して予測をおこない、一方傾向値そのものは他の手法で予測し、この二つの予測値を結合して最終的予測値としようとするものである。したがって傾向値を除いた時系列に対して Farmer 氏の方法が適用可能であるということを仮定することになる。

まず特性モード関数を算出するサンプル関数 $x_m(t)$ 、 $m=1, M$ から季節指数に相当する負荷パターン指数を計算する。そのプロセスは以下のとおりである。ここで後の便宜のために $x_m(t)$ をディスクリート化して $x_{mn}(n=1; N)$ とする。ただし N は1日のデータの分割数である。

さてサンプル関数の m 日目の第 n 時点における傾向値の推定値 m_{mn} を移動平均法を用いて

$$\hat{m}_{mn} = \frac{1}{2N} \{ y_{t-\frac{N}{2}} + 2y_{t-\frac{N}{2}+1} + \dots + 2y_{t+(\frac{N}{2}-1)} + y_{t+\frac{N}{2}} \}$$

$$m=1, M; N=1, N \dots \dots \dots (5.1)$$

によって定義する。ただし

$$y^{(m-1)N+n} \equiv x_{mn} \quad (m=1, M; N=1, N)$$

$$t = (m-1)N + n$$

であつ N は偶数であると考えられている。

次に x_{mn} を傾向値 \hat{m}_{mn} で割ったものを S_{mn} とする。すなわち

$$S_{mn} = x_{mn} / \hat{m}_{mn} \dots \dots \dots (5.2)$$

これから負荷パターン指数 S_i を

$$S_i = \frac{1}{M-1} \sum_{j=2}^M s_{ji} \quad (i=1, 2, \dots, \frac{N}{2})$$

$$= \frac{1}{M-1} \sum_{j=1}^{M-1} s_{ji} \quad (i = \frac{N}{2} + 1, \dots, N)$$

$$(i=1, N) \dots \dots \dots (5.3)$$

によって定義する。

以上の負荷パターン指数 $S_i (i=1, N)$ を利用して次のようなプロセスによって予測をおこなう。まず特性モード関数の計算はもとのデータ x_{mn} を負荷指数パターン S_n で割った

$$x'_{mn} = x_{mn} / S_n \quad (m=1, M; N=1, N)$$

を使用する。求めた特性モード関数を $\phi_k(t)$ 、 $k=1, 2, \dots$ とする。ただし t はディスクリートで $t=1, 2, \dots, N$ である。

次に傾向値予測をおこなう。今ある時点 τ までのデータ $y_\tau, y_{\tau-1}, \dots$ が得られたとする。このとき傾向値予測を次のように指数平滑法⁽²⁾による。すなわち時点 τ における傾向値 m_τ の推定値 \hat{m}_τ を、前の時点 $\tau-1$ における推定値 $\hat{m}_{\tau-1}$ と現時点のデータ y_τ を使って

$$\hat{m}_\tau = \alpha \left(\frac{y_\tau}{S_i} \right) + (1-\alpha) (\hat{m}_{\tau-1} + R_{\tau-1}) \dots \dots \dots (5.4)$$

によって求める。

ただし S_i は時点 τ に対応する負荷パターン指数であり、 α は1より小さいある正数である。また $R_{\tau-1}$ は次に述べる方法によって得られる時点 $\tau-1$ における傾向値差分 $(m_{\tau-1} - m_{\tau-2})$ の推定値である。 R_τ は次式によっておこなう。

$$R_\tau = \beta (\hat{m}_\tau - \hat{m}_{\tau-1}) + (1-\beta) R_{\tau-1} \dots \dots \dots (5.5)$$

ここに β は1より小さいある正数である。

かくして時点 $\tau+L$ における傾向値の予測値 $\hat{m}_{\tau+L}$ は

$$\hat{m}_{\tau+L} = m_\tau + LR_\tau \dots \dots \dots (5.6)$$

によっておこなう。

一方、傾向値除去分の予測は先に求めた特性モード関数 $\phi_i(t)$ を使って次のようにしておこなう。すなわち過去のデータから傾向値を除去した

$$x'(\mu) = y(\mu) / \hat{m}_\mu$$

$$(\mu = \tau, \tau-1, \dots) \dots\dots\dots (5.7)$$

を式 (3.1) に適用して C_i を決め、時点 $\tau+L$ における傾向値除去に対する予測値 $\hat{x}_{\tau+L}$ は

$$\hat{x}_{\tau+L} = \sum_{i=1}^k C_i \varphi_i(\tau+L) \dots\dots\dots (5.8)$$

によっておこなう。

最後に最終的予測値 $x_{\tau,L}$ は

$$x_{\tau,L} = \hat{m}_{\tau+L} \cdot \hat{x}_{\tau+L} \dots\dots\dots (5.9)$$

によって得る。

次に以上の方法をもって予測をおこなう場合に式 (5.4), (5.5) が漸化式であるために \hat{m}_τ と R_τ の初期値を決め、また平滑化常数 α, β を定めることが問題となる。

初期値に関しては次のように定めた。

(a) 特性モード関数計算のために使ったサンプル $x_{mn} (m=1, M; n=1, N)$ より各 m に対し日間平均負荷 V_m を計算する。

$$V_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_{mn} (m=1, 2, \dots, M) \dots\dots\dots (5.10)$$

(b) R_τ の初期値 R_{last} を

$$R_{\text{last}} = (V_M - V_1) / (MN - N)$$

によって定める。

(c) \hat{m}_τ の初期値 \hat{m}_{last} を

$$\hat{m}_{\text{last}} = V_1 + R_{\text{last}}(MN - N/2)$$

によって定める。

平滑化常数 α, β に関しては、グラフィック法、あるいはシミュレーション等が考えられるが、われわれの実験によれば、 α, β ともに 0.1 の近傍が良い結果を与えている。

次に以上の予測方式を実際のデータに適用して予測精度を調べる必要があるわけであるが、われわれの入手した負荷データには傾向がみられず、実験には不適當であったので、人為的にこれらのデータに種々の傾向を加えたデータを作り、これらに対して予測実験をおこなった。結果は、若干悪くなるが 3 章で述べたのとほぼ同程度の精度で予測し得た。しかしながらこのような結果も、あくまでも人為的データに基づくものであるから今後さらに実データに基づいた検討をおこなう必要がある。

6. 実用化のための検討 (その 3)

6.1 係数 C_i 計算の高速化

以上の Farmer 氏の方法を自動給電システムの一環として、オンライン的使用するとき考慮しなければならないことは、計算の高速化ということである。Farmer 氏の方法では、特性モード関数の算出と予測式 $\sum_{i=1}^k C_i \varphi_i(t)$ における係数 C_i の決定計算があるわけであるが、前者について考えれば、これは固有値ならびに固有関数を求めるわけであるが、それ自身は比較的時間を要するものの、その回数は月に 2, 3 度と考えてよく、しかもオフラインで計算すればよいわけであるから問題ないと考えられる。次に後者の計算であるが、これは最小二乗法を使っておこなわれるわけであるから、逆行列を求めるという過程を含んでいる。1 回の計算について考えれば、これはたいしたことはないのであるが、短時間に次々に新しいデータがはいってきて、そのたびに係数 C_i の決定をおこなう必要を考えると、その計算の中に逆行列計算が含まれるということは、とくに計算時間の遅い計算機にとっては問題である。しかしながら、この

問題は、以下に述べるような方法によって解決されることを示そう。

C_i は式 (4.2) を最小にするように決められたわけであるが、誤差に重みをつけ、かつ $L=\infty$ の場合を考えてみよう。これは過去に十分データがある場合に考えられることである。

すなわち

$$I = \int_{-\infty}^{T_0} \beta^{T_0-t} \{x(t) - \sum_{i=1}^k C_i \varphi_i(t)\}^2 dt \dots\dots\dots (6.1)$$

を最小にするように C_i を選ぶことにする。ただしここでは、 $\varphi_i(t)$ を区間 $[0, T]$ のほかに周期的に延長してある。また $0 < \beta < 1$ であって、 β が小なることは、過去のデータに重きを置かず、最近のデータに重きを置くことに相当し、これは式 (4.2) において L が小であることに対応する。一方 β を 1 に近くとすることは、比較的遠くまでの過去のデータに重きを置くことを意味し、式 (4.2) において、 L が大であることに相当する。このように β を適当にとることにより、式 (4.2) による係数決定と同じ意味をもたせることができるわけである。よって以下式 (5.1) における I を最小にするように C_i を選ぶことにしよう。このような C_i は式 (5.1) を C_i に関して微分して、それを 0 とおくことによって得られる。すなわち

$$\sum_{i=1}^k C_i \int_{-\infty}^{T_0} \beta^{T_0-t} \varphi_j(t) \varphi_i(t) dt = \int_{-\infty}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi_j(t) dt$$

$$j=1, 2, \dots, k \dots\dots\dots (6.2)$$

この解を

$$C(T_0) = (C_1(T_0), C_2(T_0), \dots, C_k(T_0))'$$

(' は転置を示す)

とし、さらに

$$\varphi(t) = (\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_k(t))'$$

$$F(T_0) = \int_{-\infty}^{T_0} \beta^{T_0-t} \varphi(t) \varphi'(t) dt$$

$$\psi(T_0) = \int_{-\infty}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt$$

とすれば式 (6.2) は

$$F(T_0) C(T_0) = \psi(T_0) \dots\dots\dots (6.3)$$

となる。次に、 $T_0 - \Delta$ までのデータを利用して得られた $C(T_0 - \Delta)$ を利用して $C(T_0)$ を求める式を作る。 F, ψ の定義から

$$F(T_0) C(T_0) = \psi(T_0)$$

$$= \int_{-\infty}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt$$

$$= \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt + \int_{-\infty}^{T_0-\Delta} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt$$

$$= \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt + \beta^\Delta \psi(T_0 - \Delta)$$

$$= \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt + \beta^\Delta F(T_0 - \Delta) C(T_0 - \Delta)$$

$$= \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt + \left(\int_{-\infty}^{T_0-\Delta} \beta^{T_0-t} \varphi(t) \varphi'(t) dt \right) C(T_0 - \Delta)$$

$$= \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} x(t) \varphi(t) dt + \left(F(T_0) - \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} \cdot \varphi(t) \varphi'(t) dt \right) \cdot C(T_0 - \Delta)$$

$$= F(T_0) C(T_0 - \Delta) + \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} \varphi(t) \{x(t) - \varphi'(t) C(T_0 - \Delta)\} dt$$

ゆえに

$$C(T_0) = C(T_0 - \Delta) + F(T_0)^{-1} \int_{T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-t} \varphi(t) \{x(t) - \varphi'(t) C(T_0 - \Delta)\} dt \dots\dots\dots (6.4)$$

が得られる。上式において $\varphi'(t)C(T_0 - \Delta)$ は時刻 $T_0 - \Delta$ における時点 t に対する予測値をあらわすから、 $x(t) - \varphi'(t) \cdot C(T_0 - \Delta)$ は、その予測誤差をあらわしている。式 (6.2) によって C を決めるときは、過去のデータ $x(t)$ を無限大、もしくは十分過去にまで必要としたが、式 (5.4) によれば、 $C(t)$ について適当に初期値を定めてやれば、そのような必要性はなく、しかも学習効果 (式 (6.4) 右辺の第二項は修正ベクトルとみなせる) をもつので、初期値に関して厳密に定めてやる必要がない点で、より利点を持つと考えられる。しかしながら、式 (6.4) にも $F(T_0)^{-1}$ が含まれる点で、このままでは、係数 C の決定がより高速化されたというわけにはいかない。

ところが $\varphi_i(t)$ の周期性から、 $T_0 = nT + t$, ($0 \leq t < T$) とすれば

$$F(T_0)^{-1} = F(t)^{-1}$$

であることが容易に示せるから、 $F(t)^{-1}$ は、 $0 \leq t < T$ なる t に対してのみ計算しておけば、その他の時点では、 $F(t)^{-1}$ を求める必要がなくなる。一方、 $F(t)$ は無限積分の形に表現されているが、これも $\varphi_i(t)$ の周期性を利用すれば、以下のようにして、有限積分の形になる。

$$\begin{aligned} F(t) &= \int_{-\infty}^t \beta^{t-s} \varphi(s) \varphi'(s) ds \\ &= \int_{t-T}^t \{\beta^{t-s} \varphi(s) \varphi'(s) + \beta^{t-s+T} \varphi(s-T) \varphi'(s-T) \\ &\quad + \beta^{t-s+2T} \varphi(s-2T) \varphi'(s-2T) + \dots\} ds \\ &= \int_{t-T}^t \beta^{t-s} (1 + \beta^T + \beta^{2T} + \dots) \varphi(s) \varphi'(s) ds \\ &= \frac{1}{1 - \beta^T} \int_{t-T}^t \beta^{t-s} \varphi(s) \varphi'(s) ds \dots \dots \dots (6.5) \end{aligned}$$

さて、実際に予測がおこなわれる場合は、時間 t は離散値 (整数値) をとるので、式 (6.4) を離散形にすれば、

$$C(T_0) = C(T_0 - \Delta) + F(T_0)^{-1} \sum_{l=T_0-\Delta}^{T_0} \beta^{T_0-l} \varphi(l) \{x(l) - \varphi'(l)C(T_0 - \Delta)\} \dots \dots \dots (6.6)$$

となり、 $F(T_0)^{-1}$ はすでに計算されているので式 (6.6) により、すでに既知の $C(T_0 - \Delta)$ を使って、 $C(T_0)$ は容易に計算されることになる。

以上によって、係数 C_i の決定計算は、高速化されたが、一方、 $F(t)^{-1}$, ($0 \leq t < T$) を記憶しておく必要があるので、記憶容量の点で問題となる。この点に関してわれわれの試みた方法は次の二つであった。すなわち、 $F(t)^{-1}$ の (i, j) 要素を $\tilde{f}_{ij}(t)$ とするとき、

- (1) $\tilde{f}_{ij}(t)$ を多項式によって近似する。
- (2) $\tilde{f}_{ij}(t)$ を折線近似する。

(1) に関して、直交するいくつかの Legendre 多項式の線形結合として近似することを試みたが、一般に $\tilde{f}_{ij}(t)$ が図 6.1 に示されるごとく、かなりなめらかでなく、そのため、かなり多くの多項式を用いないと、あてはめが悪く、したがって、その点で、この方式では、記憶容量の節約に、あまり役にたたないことが判明した。

(2) に関して、図 6.1 の点線によって示されるような折線近似を用いた。これによる実験は、比較的記憶容量を節約し、しかも、前と同じ程度の予測精度を得ることができた。なおこの実験では、折線近似は、視覚によっておこなわれたが、たとえば Dynamic Programming を用いることにより、折線近似の自動化が可能であると思われる。

次に問題となるのは、以上の方式によって係数 C_i を決定する際に、 β をどのように定めるかということである。前にも述べたと

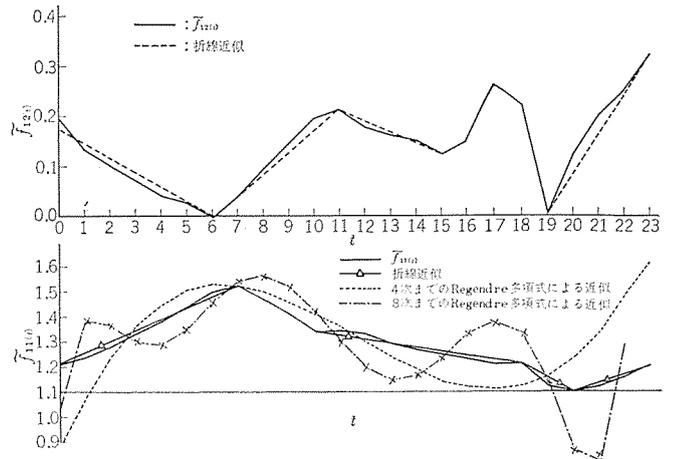


図 6.1 $\tilde{f}_{ij}(t)$ の折線、多項式による近似
Fig. 6.1 Polygonal and polynomial approximation of $f_{ij}(t)$.

おり、 β を大きくすることは、十分過去のデータにも重きを置くことであり、この場合、係数 C_i は安定しているが、反面、予測の追従性は悪くなる。いっぽう、 β を小にとると、最近のデータに重きを置くということになり、予測の追従性はよくなるが、係数 C_i は不安定になる。この点に関して若干の考察をおこなってみよう。負荷に対して、3章式 (3.2) のようなモデルを仮定すれば、予測誤差 e_t の分散は次のようになることが示される⁽⁵⁾。

$$\text{Var}(e_t) = [1 + \varphi'(t) V(T_0) \varphi(t)] \cdot \sigma^2 \dots \dots \dots (6.7)$$

ただし

$$V(T_0) = F^{-1} K F^{-1}$$

$$F = \sum_{s=-\infty}^{T_0} \beta^{T_0-s} \varphi(s) \varphi'(s)$$

$$K = \sum_{s=-\infty}^{T_0} \beta^{2(T_0-s)} \varphi(s) \varphi'(s)$$

である。これを、3章に用いたデータを用いて計算した結果を図示すると、図 6.2 のようになる。

これから、3章にも述べたように、 β を大きく 1 に近づけるほど、 $\text{Var}(e_t)$ は、小になる。さらに、この図から、 β を小にとると、どの程度分散が大きくなるかを見当つけることができる。

しかしながら、ふたたび 3章にもあるとおり、現実の負荷は、モデル式 (3.2) に従うわけでないので、 β を 1 に近づけると、予測の

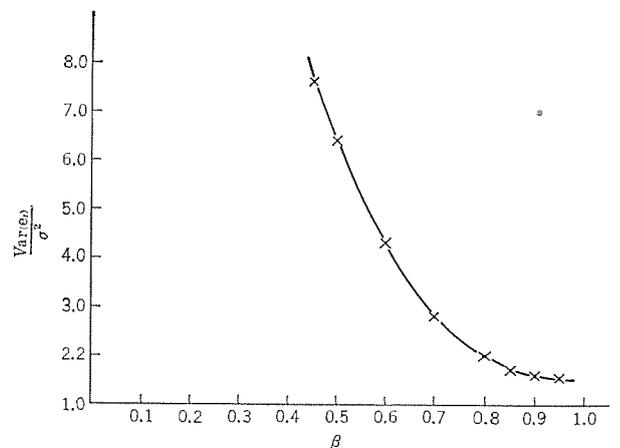


図 6.2 β に対応する $\frac{\text{Var}(e_t)}{\sigma^2}$ の値

Fig. 6.2 Value of $\frac{\text{Var}(e_t)}{\sigma^2}$ corresponding to β .

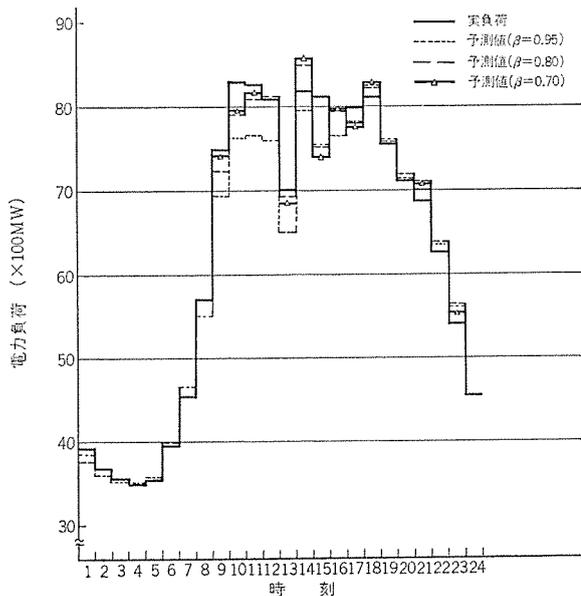


図 6.3 β に対する精度比較
Fig. 6.3 Comparison of prediction accuracy for some β 's.

追従性が悪くなるのであり、 β の値と追従性との関係の一例を示せば図 6.3 のようになる。

上の図の例では、 $\beta=0.8$ の場合に、変動係数が最小であり、 β が 1 に近いほど良いとは限らないのである。一般にどのような β が良いかを理論的に定めるのは困難であるので、過去のデータを用いて、シミュレーションによって定めるのが現実的であろう。われわれのデータでは、 $\beta=0.85$ ぐらいのとき、平均して良い結果を得ることができた。

7. む す び

以上この論文でわれわれが論じたことをまとめると次のようである。

- (1) Farmer 氏の方法を実際のデータに適用し、許容できる程度

の精度で予測しうることを確かめた。

- (2) 特性モード関数を再計算する時点については、それを自動的に計算する方法を提示し、それが実用的であることを実験によって確かめた。

- (3) Farmer 氏の方法を指数平滑法と結びつけることにより、負荷に傾向がある場合についても適用可能ならしめ、Farmer 氏の方法の実用性を高めた。

しかしながら、Farmer 氏の方法をさらに実用的ならしめるためには、なおいくつかの問題点が解決されなければならない。すなわち

- (a) 異常パターンに対する精度の向上

これについては気象データその他電力負荷に影響のあると思われる要因をは握して、異常な事態にも敏速に対応する必要がある。

- (b) データ欠損に対する処置

等の問題が考えられ、これらは今後の課題である。

おわりに以上の仕事をするに当ってご指導、ご援助を賜った東京電力(株)技術部給電課および中央給電所のかたがた、また当社、重電計画部の各氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) R. G. Brown : Smoothing, Forecasting and Prediction of Discrete Time Series, Prentice-Hall.
- (2) P. R. Winters : Forecasting Sales by Exponentially Weighted Moving Averages, Management Science, 6, No. 3 (1960)
- (3) E. D. Farmer : A Method of Prediction for Non-stationary Processes and its Application to the Problem of Load Estimation, Trans. I. F. A. C. 1963.
- (4) G. T. Heinemann, et, al. : The Relationship between Summer Weather and Summer Loads-A Regression Analysis, PICA 1965 (Session III)
- (5) 文献(1). P. 238

制御用電子計算機 MELCOM-350 システム

中尾 勝丞*・松本 大四*・的 場 徹*

Process Control Computer MELCOM-350 Systems

Head Office Masatsugu NAKAO・Hiroshi MATSUMOTO・Tôru MATOBA

Due to the development of computer control techniques and expansion of application of computer, the latest computer is required more high performance. To meet the requirement, new process control computer MELCOM-350 systems have been developed. For the new systems have been employed integrated circuits so as to realize high speed and high reliability in the operation. This article gives analysis about fundamental requisites in the course of designing such as : real time multi-processing, combination of processing and ON-Line managing, free time operation by making effective use of it, and future development and economy. Based on these items description is made how this new system contributes to the embodiment of the demand.

1. ま え が き

事務用、科学用として、大きく進歩してきた電子計算機と、一方プロセスより自動的にデータを収集・記録するデータロガーとが結びつき、これにプロセスに対する出力装置を付加した形のプロセスを制御する電子計算機が生れたのは、もはや過去のことである。

この分野において、世界に先がけて完成したのは、米国 TRW 社の制御用計算機 RW-300 であり、これをきっかけとして、計算機制御技術は、めざましい進展をとげた。当社はこの TRW 社と結び、MELCOM-330 形電子計算機を主体として、化学・鉄鋼・電力・製紙・セメント等広い分野において、多くの実績を持つことができた。

そして近年、計算機制御のアプリケーションウェアの発展、計算機応用面の拡大とともに、より高度化した計算機システムが要求されるようになった。さらに、生産管理、工程管理等のマネージメント・コントロール・システム、データ伝送系を通してのトータルシステム等コンピュータ革命時代への発展が予想されている。

この過程において、過去の経験からの積み重ねと、未来への発展性を考慮し、集積回路 (IC) 採用の高速・高信頼性を目的とし、さらにマルチオペレーションを可能とした新しい制御用電子計算機 MELCOM-350 システムを開発したので、その概要を紹介する。

2. 基 本 概 念

MELCOM-350 システムが制御用計算機として、いかなる点に留意して設計されたか、その基本的な概念に関して述べる。

3.1 実時間処理 (リアルタイムオペレーション)

制御用計算機においては、プロセス等の外部からの要求に対して、迅速に処理する実時間応答が、絶対条件となる。“鉄は熱いうちに打て”のとえどおり、処理がおくれたら制御にならない。プロセスまたはオペレータから発信される要求信号は、計算機の割込信号として、これを受け取る。そしてこの要求はランダムであり、あるときには、多数重なることもある。そのため計算機に要求される機能としては、まず高速性が必要である。そして要求信号は、割込入力に接続されるので、多レベルの優先割込機構と、迅速なプログラムの文脈切り換えが、必要である。

さらに要求が、限定された時間に多数重なったときのために、同時処理 (マルチオペレーション) が必要となる。これは今はやりのタイムシ

ェアリングコンピュータの基本思想と同一なものであり、制御用計算機においても、タイムシェアリングコンピュータと似たプログラムシステムおよびハードウェアが必要である。

2.2 オンライン動作 (オンラインオペレーション)

制御用計算機は、プロセスと密接に結びついていて、計算機システムと外界とが一体化している。すなわちオンライン動作を行なう。このため必要な機能条件としては、まず第1に高信頼性を有することが大事である。そして万一の異常時に対しては、プラントに対し、外乱を与えないよう緊急に処置を取ること (フェイルセーフ) が必要である。

またこのとき、制御用計算機は、無人で運転されることを考慮して、緊急処置は自動的に、また、きわめて確実に行なわなければならない。さらに、計算機と外界 (プロセス等) が、直接結びつくため、その接続に対し、容易性・融通性が必要である。また故障したときの回復時間を短縮するために、保守の容易性も必要であり、オンライン動作中、故障箇所をプログラム的に切り離し、フォールバック運転を継続し、なお故障箇所点検プログラムが、同時に運転できることが望ましい。

2.3 空時間利用 (フリータイム・オペレーション)

制御用計算機は、オンライン・リアルタイム・オペレーションが主であるために、処理がランダムになる。そのため、どうしても、計算機動作に空時間が生じる。この空時間を積極的に利用して、他のプロセス解析、OR 計算、生産スケジュール、プログラム・デバッグ等のオフライン・ジョブを行なうことは、計算機という資源を、より有効に使用する一つの手段である。

MELCOM-350 は、フリータイム・オペレーションを、大きな目的の一つにあげている。このために、まずマルチプログラミングが必要であり、オンライン・ジョブを乱さないチェック機構、すなわち、安心してオフライン・ジョブの実行ができることがたいせつである。また、オフライン・ジョブとしては、プロセス解析のように、科学技術計算的なものから、プラントの生産スケジュール等の事務的なものまでである。それゆえ、このオフライン・ジョブを便利に行なわせるために、計算機システムに対しはん用性を持たせること、およびオペレータにとって、使いやすいためである。

2.4 発展性

計算機システムに課せられた要求は、時間とともに増加し、とくに制御用計算機のように、慎重なシステムデザイン、プロセス解析等に基づ

いて、ステップ・バイ・ステップで進展を推進する必要がある場合は、計算機システムの発展性、拡大能力がきわめて重要となる。このための留意点としては、次のようなことが考えられる。

- (a) モジュラーな構成による能力拡大
- (b) 処理能力の発展性
- (c) 将来の技術進歩の導入を前提とした方式設計

とくに将来、回線との接続、計算機と計算機の直接接続等、チャンネルの設計に関しては、留意する必要がある。

2.5 経済性

計算機に限らず、経済設計は考慮しなければならないことであるが、とくに制御用計算機は、小さな規模から非常に大きな規模までプロセスにより、また使用方式によりさまざまである。このため、最小システムにおいて、割高とならないシステム構成、要求処理能力に対し割高とならないシステム構成が可能（融通性）であること、およびソフトウェアとの適切な融合をはかり、ハードウェアのコスト上昇を防止することが必要である。

3. 構成

MELCOM-350 のシステム構成図を図 3.1 に示す。大別して、セントラルプロセッサ部、プロセス入出力部、低速周辺機器部、高速周辺機器部にわかれる。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 700、奥行 800、高さ 2,000 mm 内に実装される。各ユニットは、保守の容易性を考慮して、すべてカード前面のテストポイントおよび裏面の配線部分がチェックできるように実装されている。

MELCOM-350 は、システムの構成を細かくユニットに分割し、万一故障しても、そのユニットのみを切り離し、機能を縮小して運転す

るフォールバック(FALL BACK) 運転を可能にし、オンラインシステムとしての運転の継続を保たせる。またシステムのユニット化は用途別にもだなく、計算機の規模をまとめることができる。さらに各モジュール間はすべてケーブル接続であり、取りはずし、取り付けが簡単であり、現地拡張性を持たせてある。

4. 各部の特長

4.1 セントラル・プロセッサ (CPU)

演算、記憶、割込制御等を行なう、計算機としての中心部に当たるのが、セントラル・プロセッサである。制御用として、この部分のたす使命は大きく、2章で述べたとおり、下記事項が必要である。

- (1) 高信頼性
- (2) 高速性
- (3) 多レベルの優先割込と迅速なプログラムの文脈切換え
- (4) 同時処理
- (5) オフライン・ジョブが、オンライン・ジョブを乱さないチェック機構
- (6) ハードウェアとソフトウェアの適切な融合

これに対し、MELCOM-350 は、次のような形で対処している。

(a) 全面的に IC (集積回路) を採用し、部品数を大幅に減じたこと、余裕のある設計、電子計算機を使用した自動設計による最適配線の決定等、信頼性の向上に努めている。また、演算部とコアメモリとは非同期接続であり、相互確認による読出し、書き込みを行ない、これを確実なものとしている。

(b) 20ミルのコアメモリを採用し、サイクルタイム 0.8 μ s という高速性を実現している。

(c) プログラム・ステータス・ロード

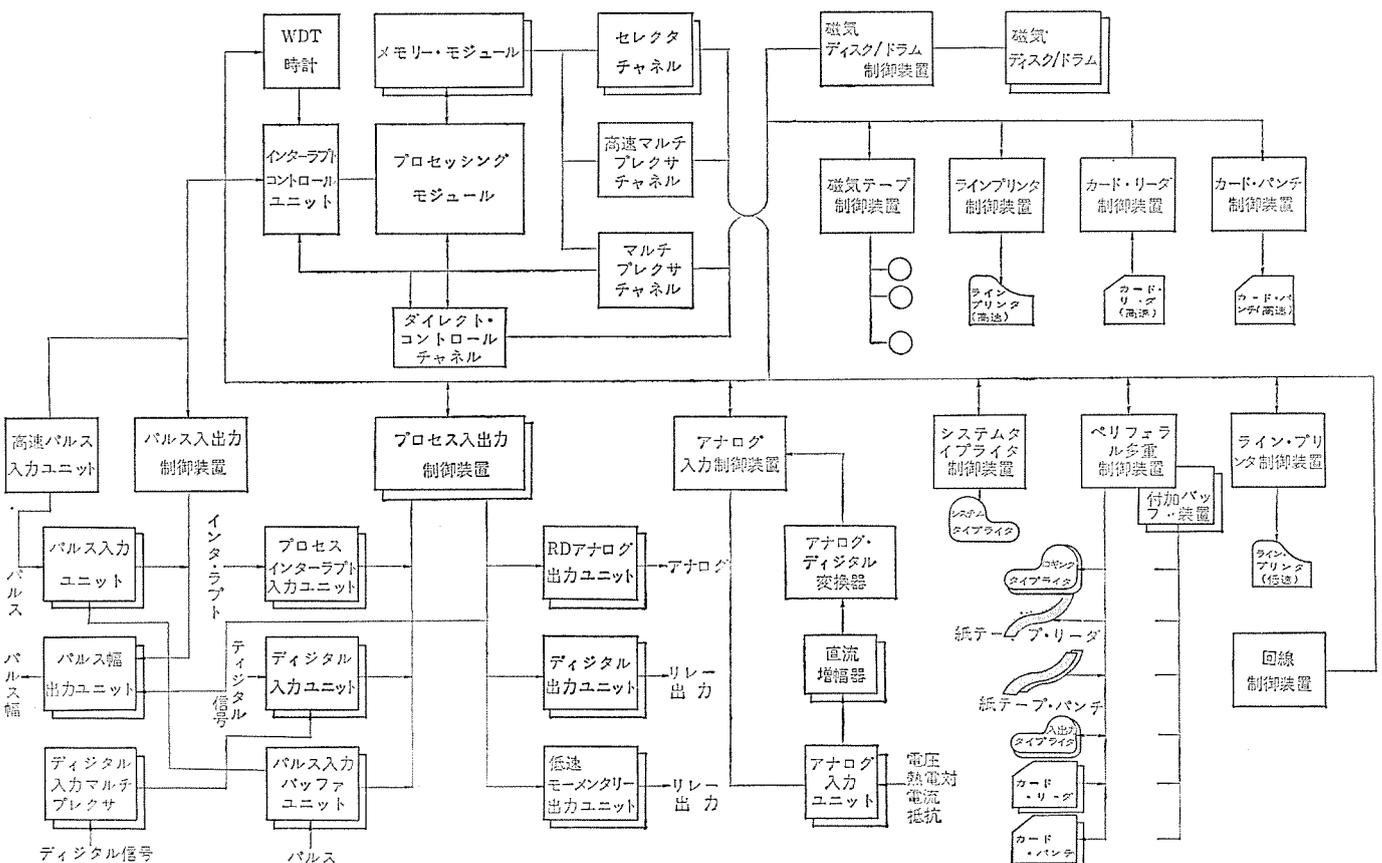


図 3.1 制御用計算機 MELCOM-350 システム構成図
Fig. 3.1 System diagram of process control computer MELCOM-350.

MELCOM-350 は、プログラムの実行のステータス、プログラムの進行の履歴等の各種 CPU の状態が、プログラム・ステータス・ワードと呼ばれるレジスタに、集中して保持されている。これは、ステータス・スイッチング命令および割込みの動作により、一部の変更、または入れ換えが行なわれる。MELCOM-350 は、CPU の状態を、プログラム・ステータス・ワードにまとめて、集中管理することにより、プログラム・コントロールの迅速な切り換えを可能にしている。

(d) インターラプト・コントロール

CPU 内部の条件、または入出力機器、プロセスなどの外部条件により、割込みが発生すると、自動的にプログラム・ステータス・ワードの入れ換えを行ない、CPU 動作は、新しいプログラム・ステータス・ワードにより規定されて進行する。すなわち、割込動作により、自動的にプログラムの文脈切り換えが行なわれる。外部インターラプトは、プログラム・ステータス・ワードの中の 1 ビットの状態指示に従ってマスク可能であり、さらにインターラプト・コントロールには、16 ビットのマスクレジスタがあり、割込要因別に、ダイナミックな優先レベルの割付けを可能としている。

(e) ダイナミック・アドレス・トランスレーション

MELCOM-350 のコアメモリは、オンライン動作ちゅう、図 4.1 のようなレイアウトで、各種プログラムが動いている。

スーパーバイザー

すべてのプログラムの実行を制御する部分で、固定されたコアの領域上に常駐している。

インターラプトルーチン

インターラプト発生に反応して、ただちにその処理を行なうプログラムで、コア上に常駐している。

セグメント

実行時まで、相互に無関係なプログラムおよびデータの領域をセグメントと称し、インターラプト・ルーチン以外のオンライン、オフラインのプログラムはこれに属する。これは通常、ディスク（ドラム）上にあり、実行時、コアに読出される。この際、コアのどこに入れても、実行可能なダイナミック・リロケーションを行なう。

コモンルーチン、コモンデータ

各セグメントが共通に使用するサブルーチンおよびデータであり、コア上に常駐する。そして、各セグメントのアドレス番地が、ダイナミックに変化しても、常に、このコモンルーチン、コモンデータを共有できるような、すなわち、プログラム実行時に、動的にリンケージ・コネクションを作り出す便利なアドレstransレーションを行なう。これをセグメンテーションと呼ぶ。

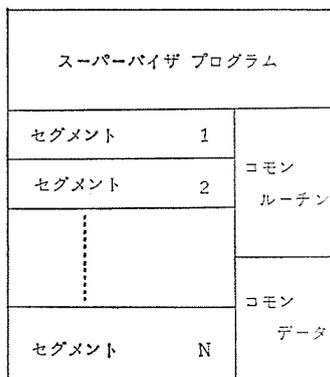


図 4.1 コアメモリ・レイアウト
Fig. 4.1 Core memory layout.

MELCOM-350 は、このセグメンテーションを行なうための、アドレス変換レジスタとそのアドレス変換回路を持っている。

マルチオペレーション（同時処理）

スーパーバイザーは、実行要求の出されている多くのセグメントに対し、セグメントがコア上にあるか、ディスク上にあるか、コアへの輸送中であるか、時間待ちであるかのステータス、および実行要求中のセグメントの優先順位、コア領域上にあるセグメントの優先順位、さらにコアの空領域を総合的に監視し、同時にダイナミックな制御を行なう。

すなわちコア上の優先順位の高いセグメントの実行、空領域へのセグメントの読み出し、優先順位の低いセグメントと高いセグメントとの入れ換えを行なう。これが、マルチオペレーションを可能ならしめているオペレーティング・システムである。これには、前述のダイナミック・リロケーション、セグメンテーションが、必要な条件である。

(f) メモリー・プロテクション機構

MELCOM-350 は、メモリー・プロテクション機能が、付加可能で、プログラムが誤まって、メモリーに書き込み動作を行ない、メモリーの内容が不当に破壊されることがないようにする。その方式は、コアメモリーの 512 語のブロック単位に、メモリーロックがあり、一方実行されるプログラムには、そのプログラム・ステータス・ワード内にキーを持っている。そしてグラムに書き込み時に、常にロックとキーの一致がチェックされ、一致したときに書き込みが許される。

キー、ロックとも 2 ビットあり、ダイナミック・リロケーションを行ないながら、マルチプログラムを行なう際、4 グループのプログラムを、相互干渉なく運行させることができる。これはとくに、フリータイム・オペレーションに対しての安全度を高めている。

(g) チェック機構

フリータイム・オペレーションにより、オンライン・ジョブが乱されないよう、MELCOM-350 は下記のチェック機構を有している。

- (i) アドレス・チェック
- (ii) メモリー保護チェック
- (iii) 不正命令チェック
- (iv) 特権命令チェック

特権命令：前述のプログラム・ステータス・ワード中に、使用モード、または特権モードのプログラム・ステータスを表示しているビットがある。特権モードでは、すべての命令を使うことができるが、使用モードではシステムの状態を変化させたり、外部との入出力のやりとりをするようなシステム運用上、重要な命令の使用が禁止されている。このような重要な命令の特権命令という。この状態の区分により、オンラインで重要なプログラムを運転しながら、同時にオフライン・ジョブを安心して行なわせることができる。

(h) 命令の種類

基本的な単長語、倍長語命令に、さらに制御用のとくにシーケンス制御等に有用なビット単位の処理命令を持ち、データ処理に有用なバイト単位の命令を持ち、プロセス解析等のオフライン・ジョブのために浮動小数点の単長語、倍長語の命令を持つなど、非常に豊富な命令群を有し、多数のジェネラル・レジスタとともに、機能向上と、使いやすさを実現している。しかしながら、これ等の命令をすべてハードウェアで構成したのでは素子がふえ、コスト上昇と信頼性の低下をまねき得策ではない。

そこで、その一部を疑似命令化し、ハードウェアの増大を防止する経済設計を行なっている。すなわち、ハードウェアとソフトウェアの適切な融合のもとに設計されている。

4.2 チャンネル

セントラルプロセッサと外界との接続のための入出力をチャンネルと称し、データの転送の制御を行なう。MELCOM-350のチャンネルは、下記条件を満足することを目標として設計されている。

- (1) CPUの演算と入出力の並列動作
- (2) はん用性
- (3) 要求処理能力に対し、割高とならないシステム構成を可能とする。
- (4) 将来の技術進歩に追従できるチャンネル方式
- (5) 安全、確実なデータ転送

MELCOM-350は、ダイレクト・コントロール・チャンネル、マルチプレクサ・チャンネル、セレクト・チャンネルと3種類あり、いずれもCPU演算と入出力は並列動作する。

ダイレクト・コントロール・チャンネルは、プロセスよりの入出力のように、必要となるときに一つの動作を行なうのに有用であり、マルチプレクサ・チャンネルは、命令のサイクルに割込んでCPUの一部のハードウェアを共用して、コアメモリと直接に転送を行なう経済的なチャンネルであり、アナログ入力、タイプライタ等の低速な連続したデータの入出力用に適している。

またセレクト・チャンネルは、コアのサイクルに割込んで、演算の途中であろうとも、コアメモリと直接データの出し入れを行なうチャンネルで、ディスク、磁気テープ等、高速の機器に適している。MELCOM-350は、この3種類のチャンネルを用意したこと、および後述するインターフェイスの標準化により、要求処理能力に対し、融通性のあるシステム構成が可能である。

スタンダード・インターフェイス

MELCOM-350は、各チャンネルと入出力制御装置との接続のラインの基準、および入出力プログラムが標準化されており、スタンダード・インターフェイスと呼んでいる。これは、チャンネルにはん用性を持たせると同時に、将来通信回線、その他進歩した入出力機器との接続が必要になったとき、改造することなしに、各チャンネルに容易に接続できるよう、将来を見込んでの設計がなされている。

また、スタンダード・インターフェイスはCPUと制御装置間には同期接続であり、相互に確認し合いながら確実に転送が行なわれる。また制御装置は、CPUとタイミング的に無関係のため、設計が容易である。その特長は下記のとおりである。

- (a) プラス方式の採用により、制御装置への個別配線をなくし、配線本数の極少化と単純化を計り、信頼性を高めている。
- (b) 非同期・相互確認方式の採用により確実なデータ転送。
- (c) 起動、データの転送および終了のシーケンスを統一的に取り扱い、チャンネルに接続されている制御装置の単純化。
- (d) 完全なチェイニング機能を持ち、プログラムを簡単にしている。
- (e) チャンネル、デバイスの状態情報を一括管理し、起動時、終了時にチェックし、安全性を高めている。
- (f) データ回線、回線制御機器と簡単に接続可能な方式を採用している。

4.3 プロセス入出力

制御用計算機として、プロセスとの直接の入出力処理は、最も重大な使命の一つである。このため欠くべからざる要素は、次の三つであると考えられる。

- (1) 融通性
あらゆる種類の入出力処理が容易であること。また入出力の点数、必要処理速度に応じて融通性のあるシステム構成が可能であること。

(2) 信頼性

信頼性のある部品使用と配線の極少化、ゆとりのある設計により、ハードウェアの信頼度を高め、万一の故障の場合の早期発見と修理の容易性、プロセスへの悪影響の防止(フェイル・セイフ)が必要である。さらにプロセスからノイズによる対策も十二分になされる必要がある。

(3) 拡張性

将来、現地における拡張が容易であること。

以上のことは、今までよくいわれてきたことであるが、MELCOM-350は、この条件をさらに充実させ、設計されている。

プロセス入出力の中心は、プロセス入出力制御装置である。本装置は、ダイレクト・コントロール・チャンネルの1トラックを占め、入力セレクションバスと出力セレクションバスを制御する。入力セレクションバスは、デジタル入力、プロセスインターラプト入力等の入力関係のグループセレクション、およびデータの入力を行なう。出力セレクションバスは、デジタル出力、アナログ出力、パルス幅出力のスタート、アナログ入力のスキナナリレー選択等、出力関係のセレクション、データの出力を行なう。

一方MELCOM-350は、今後増大するであろうパルス処理のために、外部に一点一点カウンタまたはレジスタをおくことなく、コアメモリの一部をカウンタとして使用し、多量のパルス入出力処理を可能にしている。この中心をなすのが、パルス入出力制御装置である。パルス入出力制御装置は、演算とは無関係で、CPUのカウンタ・リクエストラインに接続され、かつ、カウンタセレクションバスを制御する。カウンタセレクションバスは、パルス入力、パルス幅出力等のパルス入出力の点セレクション、カウンタ要求、およびパルス幅終了の出力を行なう。

以上、3種のセレクションバスに各プロセスユニットがプラントに必要な点数だけ接続される。それぞれのセレクションバスは、同時動作を行なうが、出力セレクションバスに接続されているユニットは、時分割動作となる。しかし、アナログ入力制御装置を付加すれば、本装置は、プロセス入出力制御装置とは別の出力セレクションバスを持つため、アナログ入力は、デジタル出力と切り離されて、同時動作を行なう。さらに、プロセス入出力制御装置を増設して、処理能力を拡大することも可能であり、最小システムから最大システムまで、要求処理能力に対し、融通性のあるシステム構成ができる。

その他、MELCOM-350プロセス入出力の特長をあげる。

(a) マルチプレクスモードでのアナログ入力

アナログ入力制御装置は、マルチプレクサ・チャンネルに接続することも可能で、この場合、マルチプレクスモードによる連続動作中、分析計のピーク等の瞬時値を読むためのダイレクト・プログラム・コントロール動作が、割込みで行なうことのできる特長ある制御を行なう。

(b) アナログ入力のグループスキャン

アナログ入力は、アンプチャンネルを最高4チャンネルまで増設して、グループスキャン機構により、処理能力を4倍にまで上げることができる。

(c) 多様なデジタル出力とその組合せの自由度

デジタル出力には、コントロール方式として、16ビット同時にオンオフするマルチビット・コントロール、指定されたビットのみのオンオフを行なうシングルビット・コントロール、表示器、データ設定器等への出力のため、データとその項目とを同時に出力するマトリックス・コントロールがある。さらに自己保持形、瞬時形等の各種リレーカードを持ち、タイミングの制御も4種ある。そしてそれぞれのリレーカードを収容するモジュールは、共通に1種類あり、そこにどのタイプのリレーカードをそう入するかという組合せは自由である。

(d) 多量のデータ入力の処理

設定盤等のデータ・レディ信号を伴う多量のデータ入力に対しては、このデータ・レディ信号を利用して、計算機からの出力によらず、自動的に入力をマルチプレクスし、データとそれが、どこからのデータかの種別も同時に入力する。

(e) プロセッサ・インターフェースのグループ化とレベルわけの融通性

プロセッサ・インターフェースは、8点を1グループとしたグループわけを行ない、グループ単位で、優先レベルの指定は自由であり、複数グループを同一レベルとしてもかまわない。そしてグループ単位でインターフェース入力がマルチプレクスされている。

(f) バス方式の採用により、配線本数の極少化

各制御装置とプロセッサユニット間は、前述のセレクションバスにより接続されており、配線本数を極少にし、信頼性を高めている。また、特記すべきは、この考慮が、プロセスとデジタル入出力のつなぎに際してもなされている。これを可能にしているのが、デジタル入力マルチプレクサおよびマトリクス出力である。ともにデータが共通のバスラインを形成し、計算機との結びのケーブルを大幅に減少し、同時にシステムとしての信頼性を高めている。

(g) 全シリコン半導体を使用

0~50°Cまで安定に動作するシリコンカードを使用している。

(h) フェイル・セーフ

計算機でフェイルが検知され、それがプロセスに対して影響を与え、プログラムにより、またプログラム制御がきかない場合は自動的に、出力をフリーズすることができる。またパルス幅出力の場合、カウンタパリティエラーの場合は、そのカウンタに相当するパルス幅出力は終結させ、CPUにその内容を知らせる。

(i) エラー・チェック、ノイズ対策の完備

制御装置がエラーを起こした場合、内部インターフェースを発生し、CPUに知らせる。そして各所に、相互確認方式によるデータの出し入れが行なわれるのを時間の要素で異常を検出している。

アナログ入力の精度を確保するために、ブロックリレーを設けたこと、CMシグナルドライブ回路を設けたこと、直流増幅器の前段に接地リレーを設けたこと等、ノイズ対策が十二分になされている。また外部ノイズにより、計算機が誤動作しないよう接地方式にとくに考慮がはらわれている。

(j) ビルディング・ブロック・コネクタ接続拡張方式

現地での拡張を可能とするため、プロセッサユニットは、コネクタ接続によるビルディング・ブロック式に構成されている。そしてこれらを収容するキャビネットは、ユニバーサル・タイプとなっており、どの部分にもユニットが自由に実装できるようになっている。

4.4 ペリフェラル入出力

MELCOM-350の周辺機器は、主としてペリフェラル多重制御装置により、一括管理される。ペリフェラル多重制御装置により、制御される機器は、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、入出力タイプライタ、カードリーダー(低速)、およびカードパンチ(低速)がある。その他、システムタイプライタ、ラインプリンタ、磁気テープ、高速カードリーダー、高速カードパンチ等は、それぞれに制御装置があり、単独に制御されている。

MELCOM-350のペリフェラル入出力は、下記の点に留意して設計されている。

(1) 入出力機器の数とそのひん度に対する融通性

ペリフェラル多重制御装置は、マルチプレクサチャンネルの1個のサブチャンネルを占有し、8台の各種機器を切り換えて制御する。また付加バッファ装置を最大のユニットまで増設することにより、8サブチャンネルにまで

拡大し、互いに同時動作が可能となる。また一つのサブチャンネルに接続される機器は同一種類である必要はなく、融通性のあるシステム構成ができる。

(2) はん用性

フリータイム・オペレーションは、その目的においては、はん用の計算機とみなして、使用されるがため、はん用性を持たせることが必要である。そのため、磁気テープ、ラインプリンタ、高速カードリーダー・パンチ等の接続を可能とし、また計算機内では、はん用性のある8ビットエクステンデッドBCDコードを採用し、かつ紙テープも、7ビットエクステンデッドBCDコード、ASCIIコード、その他自由なコードもプログラム切り換えで受け入れられる機構とし、IBM等他の計算機との関連性も考慮している。

(3) エラーチェックの完備

MELCOM-350は、オンラインで使用されるため、周辺機器からのデータの入出力に異常があり、これがわからずに放置された場合でも、混乱を起こさないようにチェック機構を完備させてある。そのため、パリティ等のデータチェックはもちろん、デバイスチェック、データロスチェック、データラングスチェック等を行なう。そしていかなる故障に対しても、計算機の停止をまねき、オンライン・ジョブを乱さないよう十二分な考慮がなされている。

(4) 出力機器の無人運転

入力機器は、人間がそばにいて運転されるが、出力機器は無人で運転されることが多い。そのため、入出力機器の電源のオンオフの制御、テープの自動巻取り等の考慮がなされている。

5. MELCOM-350仕様一覧

5.1 セントラル・プロセッサ

メモリーサイクルタイム	0.8 μs
語長	16ビット
メモリー容量	4k語~65k語
レジスタ	5 ± (3) オプション
命令数	基本93種
アドレス方式	直接、間接、インデックス、および相対アドレス
算術演算	単長、倍長、浮動
論理演算	ビット、バイト、ワード
演算時間	加減算 1.6 μs, 2.4 μs 乗算 9 μs 除算 10 μs
割込レベル	最大 16レベル
ダイナミック・アドレス・マッピング機構	
メモリー・プロテクション機構	
カウンタ・グループ	高速 最大16カウンタ 標準 最大256カウンタ
外部記憶装置	磁気ディスク(ドラム) 最大4台 平均アクセスタイム 8.3ms 1台の容量 65k語~262k語

5.2 入出力チャンネル

ダイレクト・コントロール・チャンネル	最大 8トランク
マルチプレクサ・チャンネル	最大 64
セレクタ・チャンネル	最大 4
トランク	8トランク/チャンネル

5.3 プロセス入出力

アナログ入力 最大 2048 点, 32 点ごとに増設可能
 スキャン速度 毎秒 60, 100, 200 点
 精度 0.1 %
 入力信号 熱電対, 計器入力, RTD, スライドワイヤ

デジタル入力 最大 2048 点 (16 点×128 グループ)
 デジタル入力 マルチプレクサにより, 2 グループをさらに 32 チャンネルまで拡大可能, 1 チャンネル 10 進 6 けた
 読込速度 1 グループ 14 μ s

デジタル出力 シングルビット, マルチビット (自己保持形, 瞬時形) 最大 2048 点 (16 点×128 グループ)
 マトリックス出力 (表示器, デジタル設定器)
 最大 8192 けた (BCD)

アナログ出力 最大 128 点, 6 点ごとに増設可能
 出力速度 5 ms 信号 電圧, 電流, 抵抗

パルス入力 高速パルス入力 (最大 5 kc) 16 点
 標準パルス入力 (50 pps) 最大 256 点
 (800 pps) 最大 128 点

パルス幅出力 最大 256 点
 パルス幅精度 10 ms 最大パルス幅 320 秒
 出力信号 正方向および負方向トランスファ接点

プロセス・インターラプト入力 最大 496 点
 レベル分け 最小 9 点, 最大 128 点
 マルチ・プレクス 8 点 (1 グループ) 単位

5.5 ペリフェラル入出力

基本入出力 (システムタイプライタ) 印字, キーボード入力
 テープリード, パンチ

タイプライタ ロングキャリアッジ, 固定キャリアッジ

紙テープリーダー 400 字/秒 200 字/秒

紙テープパンチ 120 字/秒
 カードリーダー 100 枚/分 800 枚/分
 カードパンチ 10 枚/分 250 枚/分
 ラインプリンタ 200/100 行/分
 600/300 行/分
 磁気テープ装置 30 kB/秒 60 kB/秒
 データ通信装置 1, 2 回線/ユニット
 16, 32 回線/ユニット

6. む す び

MELCOM-350 システムの, とくにハードウェアの概要に関して簡単に述べてきたが, 使用者にこのハードウェアを, そのまま提供したのでは不十分で, ソフトウェア一体となって, はじめて完全な計算機システムとなる。MELCOM-350 のベシックソフトウェアは, ハードウェアのより効果的, 能率的使用を目的としたマルチプログラミングを実現するオペレーティング・システムにまとめられている。また使いやすくすることを目的とし, 人間と処理装置の持つ言葉の間のギャップを埋めるマクロアセンブラ, リアルタイム, FORTRAN 等のランゲージ・トランスレータの完備, それに, プロセスを含む各種入出力装置の特性, データ形式に関して特別な知識がなくても, 簡単に使いこなせるための各種マネージメント・プログラムが準備されている。その他, リンケージ・エディタ, ユティリティプログラム, 各種サブルーチンなどのサービスプログラムも用意されている。

最近, 当社は米国ウェスチングハウス社と, P. C. C. S. (Process Control Computer System) に関する技術提携が行なわれたが, これにより当社のアプリケーションウェアは, 一段と強化されるに至った。

この時期に, 新鋭機 MELCOM-350 システムが出現したことにより, 当社の P. C. C. S. アプリケーションは, 従来の分野はもちろん, さらに高度の技術を必要とする分野へも, 飛躍的に拡大することが期待される。

お わ び

前号 (41 巻 8 号) 掲載の論文, 「Si 熱酸化膜の電子顕微鏡観察」につきのような誤りがありましたので, つつしんで訂正いたします。

ページ	行	誤	正
1011	左上から 4 行目	……, P の拡散が……	……, 不純物の拡散が……



特許と新案

選択呼出装置

考案者 大塚明・桂川弘

この考案は選択呼出装置に関するものである。従来の装置では親局と複数の子局がある場合、この複数の子局から1局を呼出すには、一度呼出信号により全子局を呼出し、全子局で通話回線を形成した後初めて目的の子局が判明していた。このため非常に操作がめんどろうとなった。この考案はこの欠点を改良したものである。

すなわち、親局(1)側で開閉器(5)(5')を呼出信号入力端子(3)側に瞬時倒し、アンテナ(7)より子局(8)に呼出信号を送信すると、子局(8)側において呼出信号はフィルタ(11)を介して継電器(16)に印加されるため、開閉器(16a)は閉成され開閉器(16b)は開放される。このため継電器(17)はONとなり開閉器(17a)(17b)を閉成するため、継電器(17)は自己保持され親局(1)からの呼出信号が断となって開閉器(16a)が開放し、開閉器(16b)が閉成しても自己保持状態を保つ。このとき開閉器(16b)が閉成されるため、時限装置(18)はONとなり一定時間継電器(19)と直流電源(20)との閉回路を構成し、一定時間継電器(19)をONとする。このため開閉器(19a)は閉成して通話回線を形成し、他方開閉器(19b)を開放して継電器(17)の自己保持を解く。

したがって、親局(1)側で瞬時開閉器(5)(5')を呼出信号入力端子(3)側に倒すことにより、子局(8)側では時限装置(18)で定められた一定時間開閉器(19a)が閉成して通話回線を形成するため、親局(1)側で開閉器(5)(5')を音声信号入力端子(2)側に倒すことにより、一定時間内に目的の子局(8)を呼出し、呼出された子局(8)のみ手動で開閉器(14)を閉成して通話回線を形成する。

このようにすれば、子局(8)側の操作を必要とせず目的の子局(8)を呼出すことができる。

(実用新案第 803655 号) (岡上記)

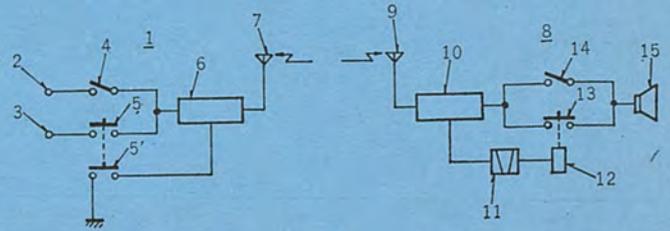


図 1

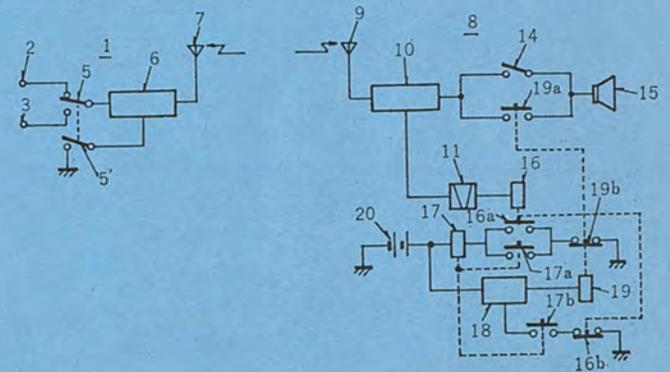


図 2

建築物動特性解析装置

考案者 井塚秀弥

この考案は建築物の動特性を表わすハイリニアヒステリシス曲線を模擬解析する建築物動特性解析装置に関するものである。

建築物の動特性を表わす方程式の \dot{Y} は入力端子 1 に印加され、 \dot{Y} は入力端子 2 に印加される。今、加算機 3b の出力が負、すなわち図 2(a) に示す入力 X の増加に対する出力 Y の減少方向の部分 A では、積分器 4b を介して図 2(a) に示す部分 A に応じた出力が出力端子 11 に得られ、また入力 X の増加に対する出力 Y の増加方向の部分では、同様に出力端子 11 に部分 B に応じた出力が得られる。

図 2(b) に示す部分 C, D に応じた出力は、直流電源 13 を図 2

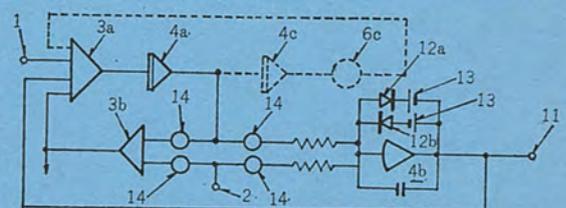


図 1

(a)に示すバイリニアヒステリシス曲線の飽和領域に対応する値に保つことにより、出力が飽和領域に達するとダイオード 12 a, 12 b のいずれかが導通となり、積分器 4 b の出力を一定として出力端子 11 から得られる。

また、図 2 (b) に示すようにバイリニアヒステリシス曲線の飽和領域がない場合には、図中の点線で示した積分器 4 c と線形素子 6 c を接続することにより、図 2 (b) に示したバイリニアヒステリシス曲線に比例した出力が出力端子 11 に得られる。

(実用新案第 793411 号) (岡上記)

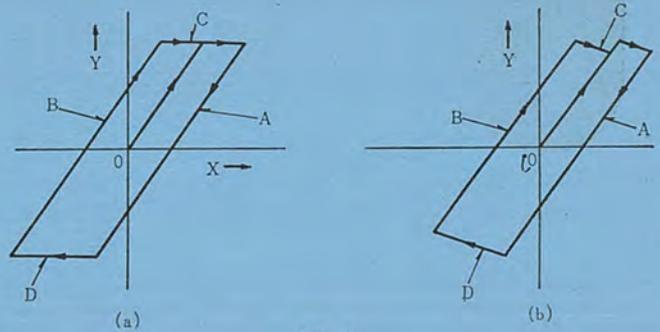


図 2

日の出・日没を利用した自動点滅装置

発明者 武田克己・神本明輝

この発明は、時刻に関係なく日没とともに点灯し、日没から任意の時間経過後に消灯し、さらに任意の時間経過後に再点灯し、日の出とともに消灯するような広告灯や、人通りの多いときのみ点灯する街路灯などの制御に用いる自動点滅装置に関するものである。

すなわち、図において、(4)は光電感光体、(5)はリレーコイル、(7)はリレー接点、(9)(9')は負荷端子、(10)は電動機、(17)は一对の切換爪(19)(20)を有する時間目盛板で、その表面には0~15の数字が等間隔に刻まれている。(21)(21')は上記目盛板(17)の裏面において軸に可調整に取り付けられた時間設定かん(杆)で、これは指示子(23)(23')と切換爪(25)(25')とを備えている。(11)(11')はリミットスイッチ、(26)(26')は制御子である。なお、屋間においては、目盛板(17)は固定指針(34)と0目盛で対向する位置で停止し、リミットスイッチ(11)は可動接触子(14)が固定接点(12)に接触し、またリミットスイッチ(11)は開放している。

この発明は上記構成であるので、日没になると光電感光体(4)の抵抗が増加してリレーコイル(5)が消勢する。したがってリレー接点(7)が閉合されて負荷に通电されるとともに、電動機(10)が起動されて目盛板(17)が時計方向に回転する。約30分経過すると切換爪(20)がピン(30)を押上げて制御子(26)を反転させるので、リミットスイッチ(11)の可動接触子(14)が固定接点(13)に接触し、このため以後はリレー接点(7)の開閉に関係なく電動機(10)は回転する。日没後6時間経過して目盛板(17)の6目盛および指示子(23')が固定指針(34)に対向すると、切換爪(25')がピン(31')を押して制御子(26')を反転させるので、リミットスイッチ(11')が閉合する。したがって、光電感光体(4)が短絡され、これによってリレーコイル(5)が付勢されるから、接点(7)が開いて負荷への通电が断たれる。

次に日没から11時間経過すると、切換爪(25)がピン(30)を押して制御子(26)を復帰反転させ、これによってリミットスイッチ(11)が開放するので、光電感光体(4)がふたたび回路にそう入され、このときのその抵抗は大きいから、リレーコイル(5)は消勢される。したが

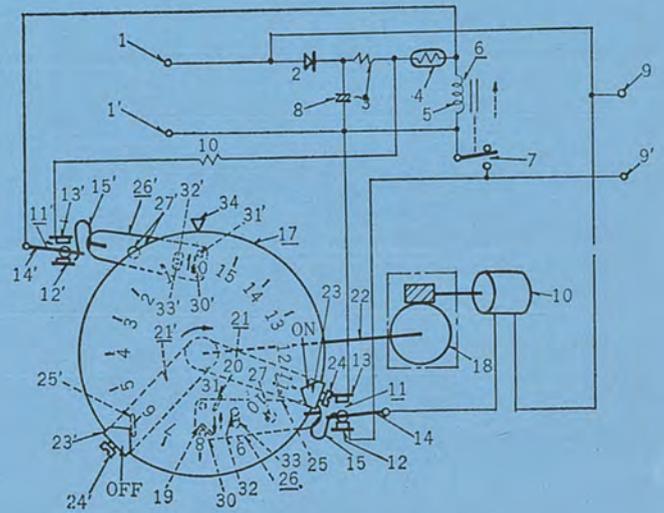
ってリレー接点(7)が閉じて負荷にふたたび通电される。日の出になると光電感光体(4)の抵抗の減少に伴ってリレーコイル(5)が付勢されるから、接点(7)が開いて負荷への通电が断たれる。

なお、目盛板(17)が日没と同時に始動して正一回転し、図示位置にすれば切換爪(19)がピン(30)を押すので、制御子(26)が図示状態に復帰反転する。したがって、可動接触子(14)は固定接点(12)に接触するので電動機(10)は停止する。

従来、広告灯やその他の照明灯を日没とともに点灯し、深夜には消灯し、夜明けに再点灯し、日の出とともに消灯する手続としてはタイムスイッチを用いていたが、日の出・日没時刻は常に変化するので経済的な点滅制御を行なうためには、設定時刻を調整する必要があった。

この発明は周囲の照度に応じて制御するので、従来の欠点がなく、さらに深夜に停電して電動機が停止しても、翌日の昼間にその遅れが補償されるので、恒久的な永続使用が可能である。

(特許第 459167 号) (幸島記)



7.2 kV CL 形 限 流 ヒ ュ ー ズ

岩 崎 行 夫*・太 田 忍*

New Current Limiting Fuses, Type CL

Itami Works Yukio IWASAKI・Shinobu ŌTA

Silver sand current limiting fuses have been newly developed. They are rated at 7.2 kV and 3.6 kV ; 5~100 A with the rupturing capacities of 500 MVA and 250 MVA respectively. In spite of having the interrupting capacities of the maximum degree in the kind, they are built unprecedently small. The distinctive features of fuses are that notched fuse elements with low overvoltage are wound on star section element supporters. Standards based on in manufacturing them are the JEC 113 and suggest revision in reference to the draft of the I. E. C. Recommendations. A number of tests, particularly tests to interrupt the maximum arcenergies, have been conducted. Information on overvoltages on the test voltage 3.6 kV and 7.2 kV and relation between phase angle at the beginning of arcing and overvoltage are precisely described. Application of the fuses are also briefly stated.

1. ま え が き

これまで当社では BAL 形と称し、定格 3.45 kV, 6.9 kV で、50 A までの屋内用のものを製作してきたが、最近の電気設備の容量の増大、短絡容量の増大、さらにはキュービクル内取付の関係から小形化の必要、等々、これら市場の傾向、要請に答えるべく屋内外共用、定格電流は、100 A までの同一定格では最小の限流ヒューズを開発したので報告する。

いうまでもなく、いわゆる限流ヒューズとは、もしヒューズがなかった場合に流れる回路固有の大きな短絡電流をアーク抵抗で制限して、非常に短時間にしゃ断するヒューズのことで、このためヒューズ自身は非常に小さく設計でき、また故障装置および故障回路の熱的、機械的被害を最小限に押えることができ、しゃ断器にはまねられない利点をもったものである。

2. 定格および寸法

定格およびヒューズ筒寸法を表 2.1 および表 2.2 に示す。筒のみは屋内外兼用で、支持台は別である。図 2.1 にヒューズの外観写真を示す。垂直、水平下向きいずれにも自由に取付けられる。またこのヒューズが動作したときはヒューズ筒のみを新しく取り換えればよい。

なお、この CL 形の定格電圧は、7.2 kV であるが、3.6 kV 回路にも使える。定格電圧より低い回路で使う場合ヒューズにとっては、しゃ断条件は楽になるのでさしつかえなく、問題の過電圧についても詳細は、後の 5.5.2 項 (4) (図 5.11) に示すが、定格電流の

表 2.1 定 格
Table 2.1 List of ratings.

用途	形名	使用場所	標準形式	定格電圧 V*	定格電流			定格シャ断容量			対 旧 ヒューズ形 名
					支持台 A	ヒューズ筒		三相対称 MVA	三相非対称 MVA	対称最大しゃ断電流 kA	
はん用	CL	屋 内 外	断 路 形 F-F 接 続	7,200/ (3,600)	50	5, 10, 20, 30, (40), 50, (60) A	500/ (250)	800/ (400)	44	BAL-10 BAL-30 BAL-50	
					100	(75), 100 A					

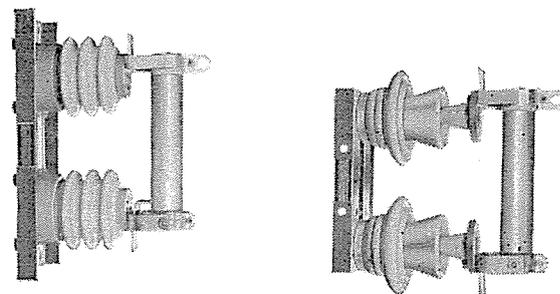
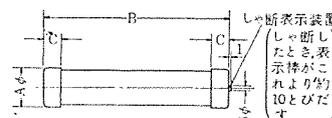
* 50~60 c/s

定格電流の () のものは非標準で準備生産せず

定格しゃ断容量の () のものは定格電圧 3.6 kV におけるしゃ断容量を示す

表 2.2 ヒューズ筒寸法 (ヒューズ筒のみ屋内外兼用)
Table 2.2 List of the dimensions of fuse tubes.

ヒューズ筒 定格電流 A	寸 法 mm		
	A	B	C
5, 10, 20, 30, (40), 50, (60)	50	260	25
(75), 100	60	310	30



(a) 屋内用

(b) 屋外用

図 2.1 CL 形限流ヒューズ 7.2 kV 5~100 A

Fig. 2.1 Type CL current-limiting fuse 7.2 kV 5~100 A.

5~30 A では十分低く、50~100 A で幾分高くなる傾向を示すが、それでも過電圧波高値 $v_p < 16$ kV である。

3. 構 造

3.1 ヒューズ筒

(1) 構造の概要

ヒューズ筒の構造を図 3.1 に示す。中央に穴があき星形断面をもつ磁器棒の両端にリング状のエンドスペーサが固定してあり、この間に

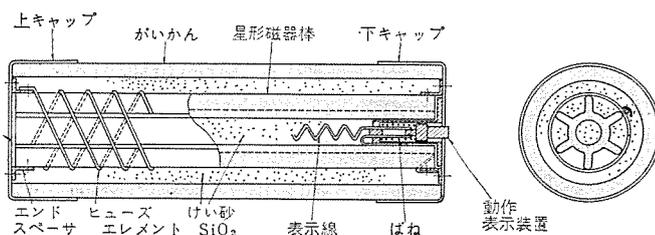


図 3.1 ヒューズ筒内部構造

Fig. 3.1 Cutaway view of interior construction of type CL fuse unit.

定格電流に応じ、所定のヒューズエレメントを何本か等間隔で巻き、両端をエンドスペーサにねじで締め付け、そのねじは振動その他でゆるまないよう耐熱性の接着剤で固定してある。その右端には、耐熱、耐水性の動作表示装置がそう入され、表示線の両端はそれぞれエンドスペーサに接続してある。このようにしてできたヒューズエレメントの中身組立は、がいかんの容器に入れられ磁器棒内外の消弧剤（けい砂 SiO_2 ）とともに、両端のキャップで密封してある。キャップとエンドスペーサとはねじ締めされ、十分な電気接触面を形成している。このねじ頭の周囲および、キャップとがいかんは、耐熱性の接着剤で接着密封してある。また、表示装置内の表示線貫通部分も同様に、接着剤で密封してある。このように完全密封の構造であるため、ヒューズは、屋内、外いづれにも使用でき、しかもしゃ断動作時無音、無放出である。

表示線は高抵抗であるため、常時電流はほとんどヒューズエレメントに流れているが、過電流が流れてヒューズエレメントが溶断発弧すると、次には表示線にも大きな電流が流れる。表示線は、大部分らせん状に巻かれてけい砂に触れているが、表示装置内の表示線は、図 3.1 に示すようにけい砂に触れていないので熱伝導は悪く、したがってけい砂に触れている部分よりもより高温になるため、かりに小さい故障電流のときでも必ずこの部分から先に溶断し、ばねによって表示棒が、キャップ外に約 10 mm とび出して確実に表示する。表示装置は、磁器棒穴の中にそう入されているので、ヒューズ筒全体の寸法は小形であり、また巧妙な構造であるから表示線が切れても表示しないとか、電流の大きさによって表示しないとか言うことなく、全く表示動作は確実である。

(2) ヒューズエレメントの形状

後に詳述するが、限流ヒューズにおいては、アーク電圧が電源電圧

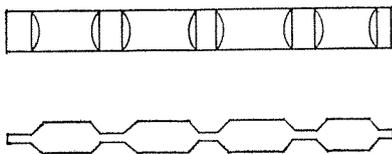


図 3.2 刻み入りヒューズエレメント
Fig. 3.2 Notched fuse element.

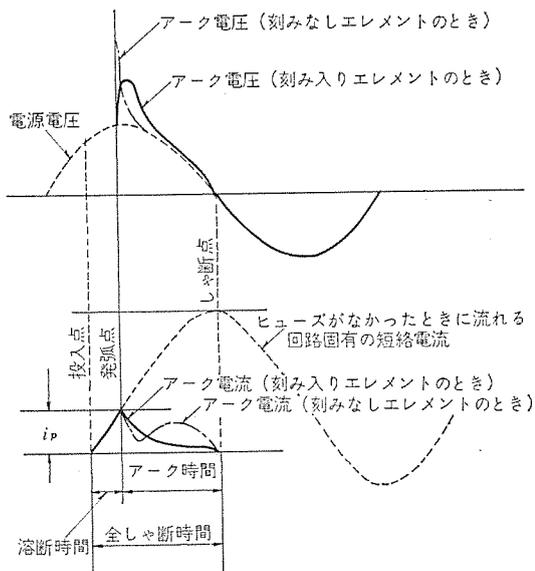


図 3.3 限流ヒューズしゃ断オシログラム
Fig. 3.3 Oscillograms of current through and voltage across current-limiting fuse.

よりも高く出て、初めて電流が限流される。大電流、小電流共安定して故障電流をしゃ断できるエレメント長にしたとき、アーク電圧の瞬時値は、ほぼその瞬時に発弧しているエレメント長さに比例するので、一様な断面のエレメントでは、一度に全長にわたって発弧するため急しゅん(峻)な高いアーク電圧が出て、回路の絶縁を脅かす。エレメントには、図 3.2 に示すように全長にわたって部分的に刻み込みを入れて、断面積の小さい部分、大きい部分を交互に形成して時差発弧させ、急しゅんなピークは押えながら高いアーク電圧の持続性がよいようにしてある。単純な刻みなしエレメントと刻み入りエレメントの、大電流をしゃ断したときのアーク電圧および電流波形の比較を図 3.3 に示す。

(3) ヒューズエレメントの星形磁器棒への巻きつけ

定格電圧 7.2 kV のヒューズエレメントの適切な長さは、かなり長くなるので、ヒューズ筒長さを短く設計するためにエレメントは、星形断面をもった磁器棒に何本かをらせん状に巻いてある。これにより、エレメントを宙に巻くよりも、エレメントの相互間が均等な間隔で巻けるため、しゃ断性能が安定し、さらに中身(エレメント)組立の状態でも品質管理ができ、高性能で小形なヒューズが、能率的に量産できるようになった。

(4) 表示線

表示線をヒューズ筒内に、全長にわたって直線状に張ったままでは、ヒューズエレメントに比べてしゃ断長が不十分のため、この部分に相当量のアークエネルギーが流れ込み、しゃ断に著しい悪影響を与える。しかし、ある長さ限度以上にすると、その影響は急に微少になる。そのため、表示装置は、多少複雑になるが、らせん状に巻いて所定長さを磁器棒中心穴内に収めてある。

(5) 消弧剤(けい砂 SiO_2)

しゃ断性能、すなわちアーク電圧の波形におよぼすけい砂の純度、粒度の影響は、非常に大きく、粒度によってヒューズエレメント単位長さ当たりのアーク電圧が、2 倍も異なったりする。したがって、CL 形ヒューズにおいては、均一で適当な粒度の高純度けい砂が、十分充てん(填)してある。

3.2 支持台

(1) クリップ側

図 3.4 に示すように、ヒューズ筒上キャップにフック金具を締めつけ、その両側を U 字形のクリップではさんで電気接触させ、さらにその外側を板ばねではさんで、強力な接触圧力を与えている。また、U 字形クリップの中央には、耐熱、耐候性のゴム製緩衝板が取り付けられている。このような構造であるため、手荒にヒューズ筒が開閉されてもクリップが変形して接触不良になったり、がいかんが、破壊したりする心配がない。

(2) ヒンジ側

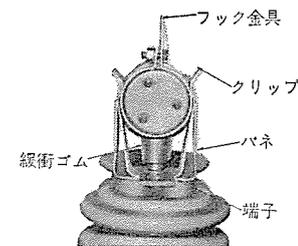


図 3.4 支持台クリップ側
Fig. 3.4 Clip side of fuse support.

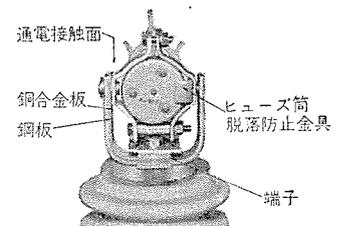


図 3.5 支持台ヒンジ側
Fig. 3.5 Hinge side of fuse support.

図 3.5 に示すように、ヒューズ筒下キャップは、一般に行なわれているように、ねじによる締付け構造であるが、電流は、左半分だけに流す。すなわち締付金具(クランプ)の右側は銅板、左側は銅板、U字形のヒンジは銅板としその左内側には、銅板が敷いてあり、これは中央部で端子につながる。左クランプとこの銅板とは左ヒンジの部分の円形ばねにより強力に接触している。このような構造によって機械的に強く電氣的に余裕のある経済的な設計になっている。右クランプ中央にあるL形金具はそう入時の便宜と万一のときのヒューズ筒落下防止金具である。

4. 準拠規格 (設計方針)

設計方針となる規格としては現在 1947 年制定の JEC-113 があるが、目下国際規格の IEC 案を参考にして改訂審議中でしゃ断試験条件は相当大幅に変更規定されそうなのでこれについては昭 41 年 5 月東京、大阪、福岡で行なわれた電気学会、日本電機工業会主催の「電力ヒューズ講演会」のテーマの一つとして中間発表された。本 CL 形ヒューズの開発にあたっては過酷ではあるが JEC-113 および改訂案両者を満足する試験を行なった。

準拠規格の主要部分を表 4.1 に示す。温度上昇限度は新 JEC 案、溶断特性は JEC-113 と同じ数値、しゃ断試験条件は試験系列 1, 2, 3 が新 JEC 案相当である。JEC-113 でのしゃ断電流は「定格しゃ断電流およびその 30%、および定格電流の 3 倍」となっているので、この系列 1, 2, 3 の他に※印の 30% の項を加え、他は系列と同じ条件とした。新 JEC 案では最大アークエネルギーを生ずる電流で試験すること、投入位相、発弧位相の範囲が定められたこと、回復電

表 4.1 準拠規格の主要部分 (JEC-113 および新 JEC 改訂案)
Table 4.1 Main parts according to standards.

場 所	温度上昇限度 deg		最高許容温度 °C		
	接 触 部	銅 接 触 銀 接 触		35 65	75 105
端 子	銅 相 互 銀 相 互	50 65	90 105		
ヒューズ筒	C 種	制限なし	制限なし		
基準周囲温度 40°C					
2 溶断特性	試験電流 (A)	溶断時間			
	1.3 × (定格電流)	溶断せず			
	2.0 × (定格電流)	2 時間以内に溶断する			
3 しゃ断試験条件	試験条件	1	※	2	3
	試験系列	1	※	2	3
	給与電圧	単相: 定格電圧以上	単相: 定格電圧以上	単相: 定格電圧以上	単相: 定格電圧以上
	固有再起電圧				
	短絡力率	0.15 以下	0.15 以下	0.15 以下	0.6 以下
	しゃ断電流	定格しゃ断電流以上	定格しゃ断電流以上 × 30%	最大アークエネルギー電流	定格電流 × 3
	投入位相角(度)	適用せず	適用せず	0~20	任意
	発弧位相(度)	40~65 65~90	40~65 65~90	65~90	適用せず
回復電圧継続時間	15 秒以上	15 秒以上	60 秒以上	60 秒以上	
過電圧波高値の限度	給与電圧 7.2kV で 20kV				
4 絶縁耐力試験	加圧部分	定格電圧 kV	耐電圧値 kV		
			衝撃波注水、乾燥 A (高レベル)	商用周波乾燥 1 分注水 10 秒	
	導電部と接地部分間	7.2	60	22	
同相、異相極間	7.2	75	35		

圧の長時間印加が定められたことおよび過電圧波高値の限度が定められたこと等が特色であり、これらの条件は限流ヒューズのしゃ断性能を検証するうえで非常に重要な要素である。なお、過電圧波高値限度は、新 JEC 案では 7.2kV の場合 $v_p \leq 23kV$ であるが、回路にとっては過電圧は低いほうが望ましいので CL 形ヒューズの設計基準としては $v_p \leq 20kV$ とした。絶縁耐力試験は新 JEC 案と同じである。

新 JEC 案でのしゃ断試験系列 1, 2 では単相試験、三相試験いづれでも良いが、そのときの試験(給与)電圧は単相試験では 0.87 × 定格電圧、また三相試験では 1.0 × 定格電圧となっている。単相のときの 0.87 は、三相回路の 1.0 のときのしゃ断過酷度との実験的な等価性を考慮して定められたものである。

しかし CL 形ヒューズのしゃ断試験では単相試験のほうが三相試験よりも試験結果の解析が容易であり、また、印加電圧も現行 JEC-113 に合せたほうが旧品との性能比較が明確であるため、あえて過酷な定格電圧に等しい電圧を印加した単相試験を行なった。

5. 性 能

5.1 温度試験結果

表 5.1 に温度試験結果を示す。

5.2 短時間許容電流時間特性

図 5.1 にこれを示す。これはヒューズに、曲線に示す電流時間を 1 回流してもヒューズエレメントが損傷しない限度を示す。なお、エレメントが常温まで冷却する時間間隔をおけば何回通電しても差支えない。

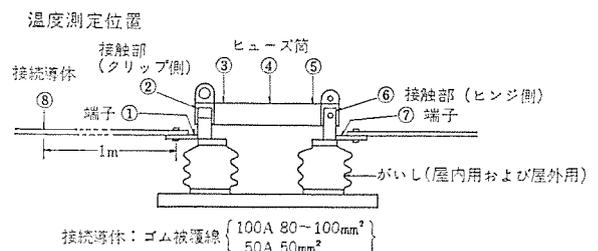
5.3 平均溶断電流時間特性

CL 形の平均溶断特性を図 5.2 に示す。ある定格のヒューズについて種々な電流と溶断時間(アーク時間を含まず)との関係を試験して求めると、それは必ずある範囲のばらつきをもった曲線となるが、これを最小曲線で表わすか平均曲線で表わすかについては JEC-113 では明確に述べておらず、アメリカの NEMA SG-2 では最小溶断特

表 5.1 温度試験結果
Table 5.1 Results of temperature tests.

使用場所	定格電流 A	通電電流 A	温度上昇値 deg								周囲温度 °C	通電時間 h	試験周波数 c/s	結果
			1	2	3	4	5	6	7	8				
屋内用	100	100	12.5 (50)	38 (65)	61 (ナシ)	89 (ナシ)	62 (ナシ)	34 (65)	13 (50)	3	21	4.5	60	良
	50	50	13 (50)	32 (65)	67.5 (ナシ)	95 (ナシ)	61.5 (ナシ)	29 (35)	11.5 (50)	3	21	4.5	60	良
屋外用	100	100	13 (50)	42 (65)	60 (ナシ)	93 (ナシ)	62 (ナシ)	37 (65)	15.5 (50)	3	21	4.5	60	良
	50	50	14 (50)	38 (65)	66 (ナシ)	99 (ナシ)	67 (ナシ)	31 (35)	14 (50)	3	21	4.5	60	良

() 内の数字は規格値 (JEC 改訂案)



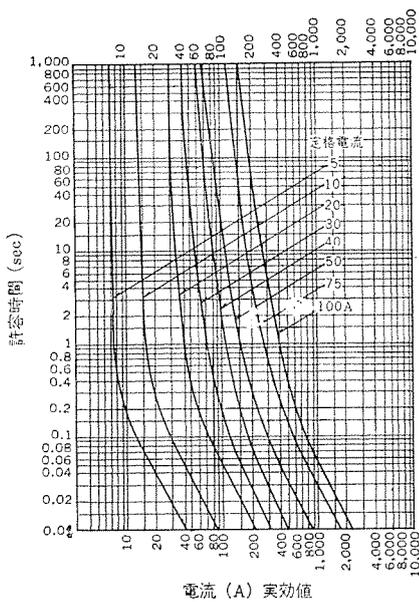


図 5.1 短時間許容電流時間特性
Fig. 5.1 Short time rating time-current characteristics.

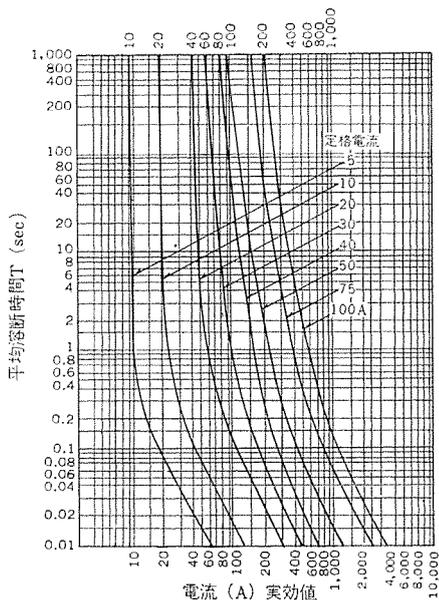


図 5.2 平均溶断電流時間特性 (最大, 最小の許容差は電流軸で±10%)
Fig. 5.2 Minimum melting time-current characteristics.

性で表わしてそのばらつきの範囲の最大は電流軸で+20%とし、またイギリス BS 2692 (1956) では平均溶断特性で表わして±20%となっている。新 JEC 案ではばらつき範囲はまだ決まっていないが BS と同様平均溶断特性で表わすことになっている。したがって CL 形も平均溶断とし、またばらつきの範囲は国際的に最も過酷な±10%となるよう管理されている。

溶断特性の小電流、長時間域ではヒューズエレメントからの熱放散があるため計算に乗せることは一般に困難であるが、0.1~0.01 秒以下の微小溶断時間となるような大きな電流で、熱放散をほとんど考慮する必要のない範囲では

$$I^2 T = \int_0^{t_m} i^2 dt = K S^2 = \text{一定} \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで I ……電流 (実効値)
 T ……溶断時間

i ……電流瞬時値
 t_m ……溶断時間
 K ……ヒューズエレメントの材質、状態によってきまる定数
 S ……ヒューズエレメントの最小断面積

すなわち一つの定格電流については式 (5.1) は一定で対数、対数目盛では直線となる。 K は

$$K = \frac{\gamma}{0.24} \left(\frac{c}{\alpha} \log \frac{1 + \alpha \Theta}{1 + \alpha \theta_0} + \frac{L_f}{1 + \alpha \Theta} \right)$$

ここで ρ ……ある基準温度 (例えば 20°C) での固有抵抗

γ ……比重

α ……抵抗温度係数

c ……比熱

θ_0 ……初期温度—基準温度

Θ ……融点—基準温度

L_f ……融解熱

銀の場合 c, α は基準温度 = 20°C から融点 960°C まで一定として扱って計算して実験結果とよく一致し、基準温度 = 初期温度 = 20°C とした場合 $K \approx 7.7 \times 10^4 A^2 \text{ sec} \cdot \text{mm}^2$ となる。

なお、最大溶断曲線にアーク時間を加えた全しゃ断電流時間特性を図 5.3 に示す。

5.4 限流特性

図 5.4 に限流特性を示す。これは限流ヒューズ特有の効果的な特性であり、たとえば規約短絡電流が 44 kA の回路であっても 30 A のヒューズであれば限流波高値はわずかに約 6 kA、50 A で約 13 kA である。もちろん限流効果が現われるのは (短絡投入位相によって異なるが) 溶断時間が 1/2 サイクル以下となるような大きな電流域においてであり、発弧とほとんど同時に限流する。

規約短絡電流 I が直流分零の位相で投入され、溶断時間が約 1/6 サイクル以下となって電流波形が三角波として扱えるような範囲では発弧瞬時の電流 (これを i'_s とする) は

$$i'_s = (3\sqrt{2} \omega I \times K S^2)^{1/3} \dots \dots \dots (5.2)$$

すなわち i'_s は $I^{1/3}$ に比例する。つまり I が 8 倍になっても i'_s はやっと 2 倍である。

なお発弧瞬時の電流 i'_s と限流波高値 i_s とはかならずしも一致し

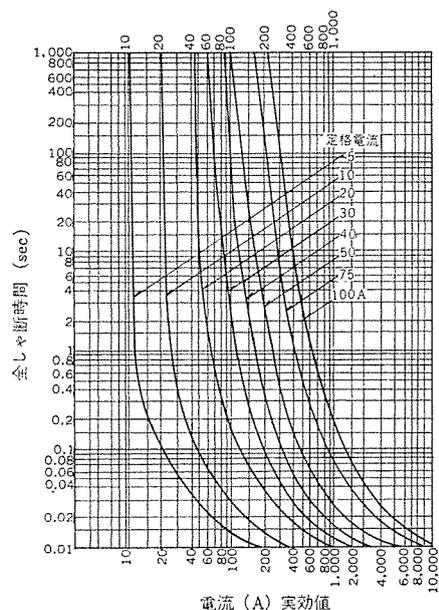


図 5.3 全しゃ断電流時間特性
Fig. 5.3 Total clearing time-current characteristics.

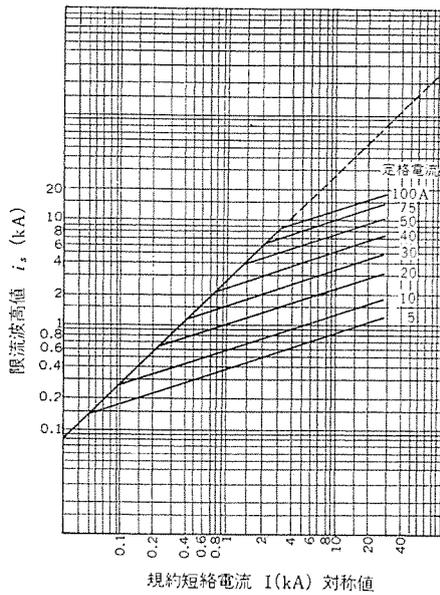


図 5.4 限流特性
Fig. 5.4 Current-limiting characteristics.

ない。とくに過電圧を低く抑えた CL 形ヒューズの刻み入りエレメントでは、発弧したあととアーク電圧が上昇してこれが電源電圧と平衡して $di/dt=0$ となり、真の限流波高値 i_s に達するまでには若干の時間の遅れがあるため (図 5.5 $\Delta\psi$) 限流波高値は発弧時の電流よりも (エレメントの形状、長さおよび規約短絡電流によって異なるが) 0~20% 高くなる (図 5.5 Δi_s)。したがって限流波高値 i_s は計算のみでなく実測する必要がある。図 5.4 はしゃ断試験における実測値より i_s をプロットして作成してある。

5.5 しゃ断性能

5.5.1 一般

(1) 大電流しゃ断

限流ヒューズにおけるしゃ断原理は交流しゃ断器のしゃ断理論とは異なり次のようである。図 5.5 においてヒューズ発弧後の回路の方程式は $R \ll r$ ゆえに

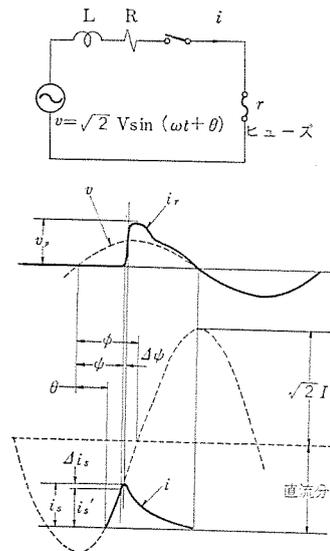
$$v = ir + L \frac{di}{dt} \dots \dots \dots (5.2)$$

あるいは $\frac{di}{dt} = \frac{v-ir}{L} \dots \dots \dots (5.2')$

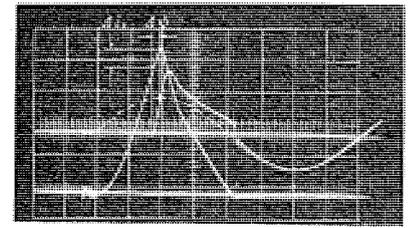
- ここで
- v電源電圧
 - i電流
 - R回路の直流抵抗
 - L回路のインダクタンス
 - rヒューズのアーク抵抗
 - t時間

ir はアーク電圧である。発弧直前の $ir=0$ において $di/dt=v/L$ アーク電圧が漸次上昇して $v=ir$ に至ると $di/dt=0$ となり、電流はピークとなる。この極大値を経てさらにアーク電圧が大きくなって $v < ir$ になれば $di/dt < 0$ すなわち電流傾斜は負となって限流することになる。 i が減少すると r は急速に大きくなるため $r \gg \omega L$ となり、電圧と電流は同相となって発弧後最初に迎える電圧零点近傍でしゃ断完了する。

ヒューズエレメントは普通銀線で作られる。これが大電流で発弧すると高温の銀の金属蒸気となり、エレメントのまわりのけい砂を融解しながらこれに拡散浸透して一種の抵抗体となり、電流の減少にしたが



(a) 説明図



(b) 実際の陰極線 オシログラム
(定格電流 100 A 7.2 kV 13 kA しゃ断)

図 5.5 限流ヒューズしゃ断オシログラム (ヒューズ端子間電圧および電流)
Fig. 5.5 Oscillograms of current and voltage across current-limiting fuse.

って遂にはほとんど抵抗値無限大となって電流をしゃ断する。短絡位相により異なるが、この間わずかに 1/4 サイクル という短時間であり、融解けい砂は CL 形の場合エレメントのまわりに直径約 5~8 mm に成長する。この融解けい砂の抵抗特性による限流しゃ断現象は全く自然の恵みというほかない。

(2) 最大アークエネルギーを生ずる電流のしゃ断

ところで限流ヒューズのしゃ断の過酷度の一つはある程度しゃ断の際のアークエネルギーの大きさに対応すると言われ、最近ではアークエネルギーの最大を生ずる規約短絡電流でもしゃ断性能を検証することが強調されている。規約短絡電流 I とアークエネルギー E_{arc} との関係は概念的には次のように説明できる。

まずアークエネルギーは式 (5.2) より

$$E_{arc} = \int_0^{t_a} i^2 r dt = \int_0^{t_a} v i dt + \frac{1}{2} L i_s^2 \dots \dots \dots (5.3)$$

ここで t_aアーク時間

L回路のインダクタンス

i_s発弧時の電流

である。式 (5.3) の第 1 項は電源からのエネルギーであり、残る第 2 項は発弧時にもっていた L のエネルギーで、回路の L と発弧時の電流の二乗に比例する量である。第 2 項は限流開始電流付近までは I に比例して増加し、それ以上では L の減少と i_s の頭打ちからほぼ $(1/I)^{1/3}$ で減少する。第 1 項も大体同様な傾向に従う。すなわち I が増加しても式 (5.2') の L の減少で di/dt が大きくなり i が急速に限流するので vi はかえって減少する。よって全体の E_{arc} も大抵第 2 項の傾向と同一となり、限流開始電流より少し大きいところでアークエネルギーが最大となる。

しかしこのアークエネルギー最大となる電流はヒューズの設計、定格電流によって変わってくるので、この CL 形では多数回電流値を変えて試験し最大アークエネルギーを生ずる電流を検知し、その後この電流で十分しゃ断性能の検証を行なった。

上に述べた規約短絡電流とアークエネルギーとの関係は、CL 形ヒューズのように、一般に適切に設計された限流ヒューズの場合であって、同じ限流ヒューズと言ってもヒューズエレメントの形状、エレメントの長さ等が適当でないで規約短絡電流が大きくなった場合発弧後の電流はこれに応じて大きくなってアークエネルギーも大きくなり、融解けい砂も CL 形のものとは全く様子が異なり、しゃ断容量も低いところに

押えられる可能性もあるので注意を要する。

アーク電圧の波高値はほぼヒューズエレメントの長さに比例するがしゃ断性能のみを考えた場合、アーク電圧を高くすることによって限流効果を高め、したがってアークエネルギーも小さくすることができるのでエレメントは長いほどよい。また次の項で述べる小電流しゃ断にとってもエレメントは長いほど成績はよい。すなわち限流ヒューズではエレメントの長い方がしゃ断性能はよくなる。しかし過電圧の点でこれにも限度があるのでエレメントに刻み込みを入れて時差発弧させてアーク電圧波高値を押え、それ以下でできる限りアーク電圧 \bar{v}_a を持続させ、式 (5.2) の示す限流効果を発揮するようにしたのがこの CL 形である。

(3) 小電流しゃ断

小電流しゃ断の場合は、大電流のときのようにヒューズエレメント全長にわたって一度に発弧せず、部分的にしか溶断発弧しないため、上に述べたような高いアーク電圧は発生せず限流しゃ断はしない。しゃ断長が部分的で短いと何サイクルかアークが続いてエレメントを溶かしてしゃ断長を伸ばして行き、その極間絶縁耐力が電源の回復電圧(再起電圧)にうち勝って初めてしゃ断する。このため限流ヒューズでは小電流しゃ断になるほどむしろしゃ断が困難であるが、CL 形では刻み入りエレメントおよび特殊磁器製磁器棒などの採用によって小電流しゃ断性能は一段と向上し、JEC-113 に規定する定格電流 $\times 3$ 倍のしゃ断試験には十分合格している。試験結果の詳細は次の 5.5.2 項に示す。

5.5.2 しゃ断試験結果

代表的試験結果を表 5.2 図 5.6 および図 5.7 に示す。刻み入りエレメントにおける大電流しゃ断時の持続性の良好なアーク電圧の波形および限流波形に注意願いたい。次に大電流および最大アークエネルギーの電流付近での各種特性を代表的定格について示す。

(1) $I-v_p$ 特性

図 5.8 に規約短絡電流 I と過電圧波高値 v_p との関係を示すが、 v_p は I に関しほぼ一定で、 $I=13$ kA 付近に山がある。

(2) $I-E_{arc}$ 特性

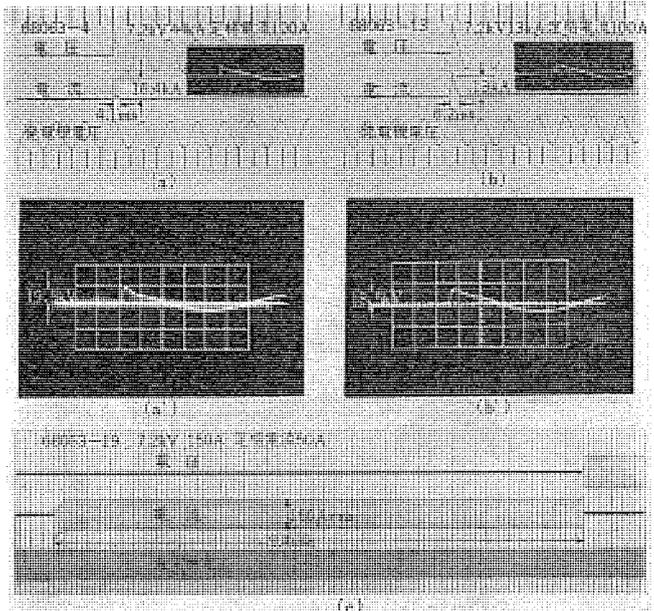
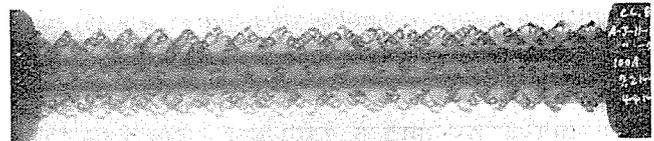
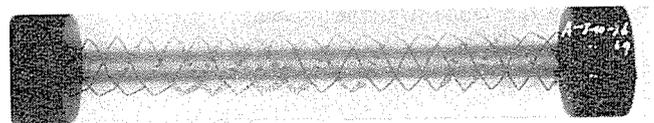


表 5.6 しゃ断オシログラム
Fig. 5.6 Oscillograms of current in and voltage across current-limiting fuse.



(a) 定格電流 100 A 7.2 kV 44 kA のしゃ断



(b) 定格電流 50 A 7.2 kV 150 A の小電流しゃ断
図 5.7 しゃ断試験後の X 線写真
Fig. 5.7 X-ray photographs of fuse elements after interrupting tests.

図 5.2 7.2 kV CL 形ヒューズしゃ断試験結果の一例
Table 5.2 Examples of the results of interruption tests on 7.2 kV type CL fuses.

試験番号	しゃ断容量 kV, MVA	定格電流 A	給与電圧 kV	回復電圧 %	短絡力率 $\cos \theta$	短絡位相 deg	発弧位相 deg	しゃ断電流			しゃ断時間			回復電圧継続時間 sec	過電圧波高値 kV	限流波高値 kA	動作表示器の動作	試験後の巻線抵抗 M Ω	結果
								対称分実効値 kA	直流分 %	非対称実効値 kA	溶断 ms	アーク ms	全 ms						
1	7.2 kV 500 MVA (定格しゃ断容量の 100%)	50	7.2	100	0.07	80	85	44	10	44.4	0.3	3.8	4.1	15	18	10.1	良好	2,000 以上	良好
2						80	85		10	44.4	0.3	3.9	4.2		18	9.9	良好	2,000 以上	良好
3						50	55		53	55.0	0.3	5.0	5.3		16.8	9.5	良好	2,000 以上	良好
4		100	7.2	100	0.07	80	90	44	10	44.4	0.7	3.4	4.1	15	19.5	16.4	良好	2,000 以上	良好
5						75	90		20	45.8	0.7	3.8	4.5		18.6	16.1	良好	2,000 以上	良好
6						40	60		67	60.5	0.8	5.0	5.8		18.0	15.1	良好	2,000 以上	良好
7	3.6 kV 250 MVA (定格しゃ断容量の 100%)	100	3.6	100	0.07	75	90	44	20	45.8	0.7	3.2	3.9	15	15.1	15.5	良好	2,000 以上	良好
8						70	85		28	47.5	0.7	3.2	3.9		16.3	15.5	良好	2,000 以上	良好
9						40	60		67	60.5	0.8	4.5	5.3		14.6	14.5	良好	2,000 以上	良好
10	7.2 kV 150 MVA (定格しゃ断容量の 30%)	50	7.2	100	0.04	75	90	13	21	13.5	0.7	4.0	4.7	60	18.3	6.6	良好	2,000 以上	良好
11						70	85		29	14.0	0.7	4.0	4.7		17.6	6.8	良好	2,000 以上	良好
12						50	65		58	16.8	0.7	4.6	5.3		18.6	6.4	良好	2,000 以上	良好
13		100	7.2	100	0.04	50	90	13	58	16.8	1.9	4.3	6.2	60	18.3	13.0	良好	2,000 以上	良好
14						55	90		51	16.0	1.8	4.1	5.9		19.0	13.0	良好	2,000 以上	良好
15	20	65	87	20.7	2.6	5.0	7.6	18.9	12.3	良好	2,000 以上	良好							
19	7.2 kV 150 A (定格電流の 3 倍)	50	7.2	98	0.1 以下	170	—	150 A	0	150	9.4 s	0.03 s	9.4 s	60	20 以下	—	良好	2,000 以上	良好
20						20	—		0	150	8.25 s	0.05 s	8.3 s		20 以下	—	良好	2,000 以上	良好
21						250	—		0	150	8.5 s	0.06 s	8.5 s		20 以下	—	良好	2,000 以上	良好

試験番号 68063

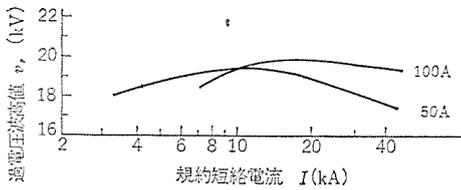


図 5.8 $I-v_p$ 特性
Fig. 5.8 $I-v_p$ characteristics.

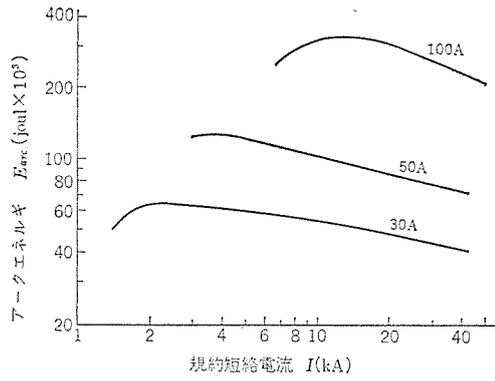


図 5.9 $I-E_{arc}$ 特性
Fig. 5.9 $I-E_{arc}$ characteristics.

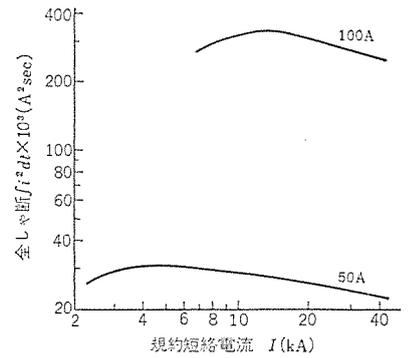


図 5.10 I -全 $\int i^2 dt$ 特性
Fig. 5.10 I -total $\int i^2 dt$ characteristics.

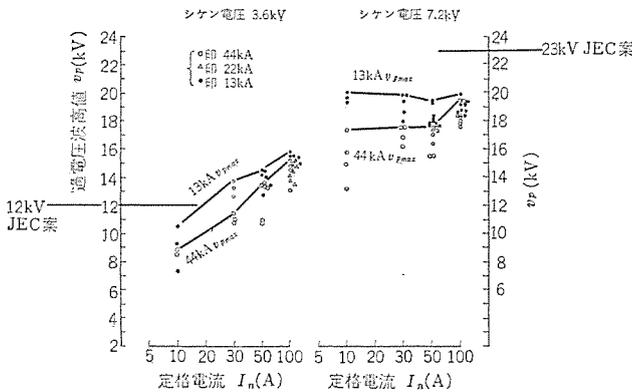


図 5.11 定格 7.2 kV 供試品の試験電圧 3.6 kV 7.2 kV での v_p 特性

Fig. 5.11 I_n-v_p characteristics at test voltage 3.6 and 7.2 kV.

図 5.9 に規約短絡電流 I とアークエネルギー E_{arc} との関係を示すが、大電流よりも中電流域でアークエネルギーは大きくなり、その最大アークエネルギーを生ずる電流は JEC 改訂案の規定 $I_{max,arc} \approx 3.5 \frac{I_T}{2}$ に概略合致している。

(3) I -全しゃ断 $\int i^2 dt$

図 5.10 に規約短絡電流 I と全しゃ断 $\int i^2 dt$ との関係を示す。これは短絡回路にあるケールや機器のうける熱的過酷さを表すが、たとえば 100 A 定格のヒューズで大電流をしゃ断したとき、これと 5.5 mm² のピニール線が直列に接続されていても温度上昇は低く、何ら異常は認められないくらい限流効果は大である。

この I と全しゃ断 $\int i^2 dt$ の関係もアークエネルギー特性と同様に、大電流よりも中電流域の方が大きいようである。なお全しゃ断時間を一定として限流特性より計算で求める方法は実測とは相当異なるので注意を要する。

(4) I_n-v_p 特性 (試験電圧 3.6 kV と 7.2 kV での v_p の比較)

この CL 形ヒューズは本来定格電圧 7.2 kV であるが、これを 3.6 kV で使ったときその過電圧はどうなるか、6/3 kV 共用のこともあるので各定格電流 I_n について試験を行なった。このように試験電圧を変えたときに過電圧特性がどう変化するかについての詳細な報告は今までに行なわれたことがないので慎重に行なったが、図 5.11 に示すように試験電圧 7.2 kV ではいずれの定格でも v_{pmax} はほぼ 20 kV に設計され新 JEC 案の過電圧の限度 23 kV に対して余裕をもっているのに対し、3.6 kV では I_n が小さいと $v_p \approx 10$ kV まで低くなり、 I_n が大きくなるに従って v_p は漸次高くなって右なりとなり $I_n=100$ A では $v_p \approx 16$ kV となる。3.6 kV ヒューズの v_p は新 JEC 案では 12 kV が限度であるが 3 号絶縁の AC 耐圧 16 kV (波

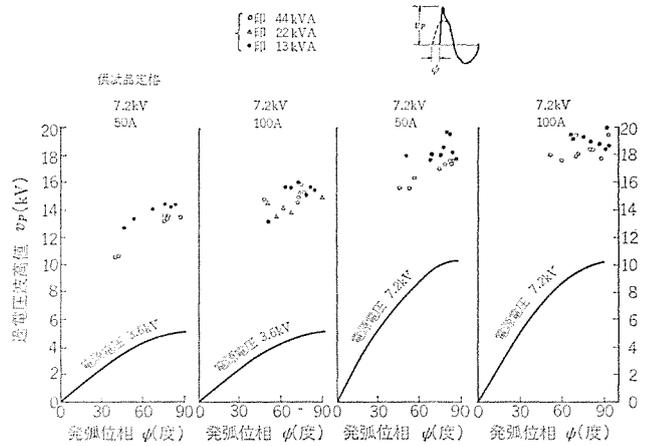


図 5.12 $\psi-v_p$ 特性
Fig. 5.12 $\psi-v_p$ characteristics.

高値 $= 16 \times \sqrt{2} = 22.6$ kV) をもつ回路では $v_p \leq 16$ kV のヒューズは余裕をもって使用できる。図 5.11 において v_{pmax} 以下のプロットは発弧位相によって低く出た v_p である。

(5) $\psi-v_p$ 特性

図 5.12 に発弧位相 ψ と過電圧波高値 v_p との関係を示す。 $\psi = 90^\circ$ で v_p は最も高く、発弧が早いと低くなる傾向が見られ興味深い。

6. 応 用

6.1 用途

屋内外の別なく、フィーダーの分岐点、変圧器などの機器の受電側の短絡保護用に、あるいはしゃ断容量の不足したしゃ断器類のバックアップ用等に、スペースの小さい経済的保護装置として最適である。なお限流ヒューズはその本質上、過負荷保護には適さないで、過負荷は負荷側のスイッチなどで開放し、ヒューズは短絡保護だけに限ることが好ましい。(最悪、ヒューズでしゃ断する電流は定格電流の 3 倍以上とする)。

6.2 定格の選定

6.2.1 定格電圧

CL 形 7.2 kV ヒューズを 3.6 kV 回路で使用したときの過電圧波高値は 5.5.2(4)項、図 5.11 に示したとおりである。定格 5, 10, 20 A は 3.6 kV 回路でも何らさつかえなく、また最も高い 100 A でも v_{pmax} 16 kV ゆえ 3 号絶縁の AC 耐圧 16 kV (波高値 $= 22.6$ kV) をもつ回路には余裕をもってそのまま 7.2/3.6 kV の共用ができる。

表 6.1 変圧器保護用推奨定格電流
Table 6.1 List of accommodable rated currents for transformer protection.

変圧器容量 kVA	3,300 V		6,600 V		
	全負荷電流 A	CL 形ヒューズ 定格 A	全負荷電流 A	CL 形ヒューズ 定格 A	
単 相 変 圧 器	5	1.52	10	0.76	5
	10	3.03	10	1.52	10
	15	4.55	20	2.28	10
	30	9.10	30	4.56	20
	50	15.2	50	7.6	20
	75	22.7	50	11.4	30
	100	30.3	100	15.2	50
	150	45.5	100	22.8	50
	200	60.7	100	30.4	100
	300	—	—	45.6	100
400	—	—	60.7	100	
三 相 変 圧 器	5	0.88	5	—	—
	10	1.75	10	0.88	5
	15	2.63	10	1.32	5
	30	5.26	20	2.63	10
	50	8.75	30	4.38	20
	75	13.1	30	6.55	20
	100	17.5	50	8.75	30
	150	26.3	50	13.15	30
	200	35.0	100	17.5	50
	300	52.5	100	26.25	50
400	—	—	35.0	100	
500	—	—	43.8	100	
600	—	—	52.5	100	
750	—	—	65.5	100	

表 6.2 保護出来る ケーブル 寸法と定格電流の関係推奨
Table 6.2 Recommendable list of the relation between protec-
table cable dimensions and rated current.

ケーブル寸法 (mm ²)	0.8	1.6	2.0	3.5	5.5	8.0
定格電流 (A)	20	30	30	50	50	100

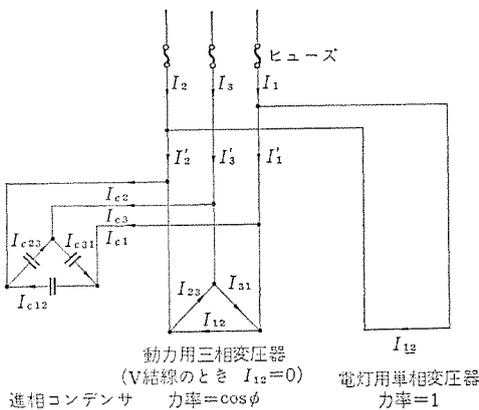
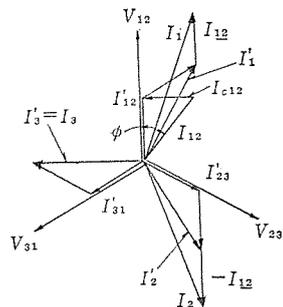


図 6.1 使用例およびヒューズに流れる電流

Fig. 6.1 Example of special application and vector diagram of currents.



6.2.2 定格電流

ヒューズの定格電流は、温度上昇を越えずに流せる電流の限度と、ヒューズの電流時間特性を表示する記号的数字であり、永年無劣化で連続通電できる電流値を示すものではない。一般に電力ヒューズの定格電流は、まず負荷電流による自然劣化や過渡電流（変圧器の無負荷励磁突入電流電動機の起動電流およびコンデンサ投入時の突入電流）による損傷を防止するため、短時間許容特性によって定格電流

を選定し、その後機器やケーブルの保護、前後の保護装置との動作協調を、全シャ断特性によって考慮して修正する。このようにヒューズの定格電流の選定は手数のかかるものであるが、CL形ヒューズの場合は、長い現場経験をもとにして経済的で、安全なヒューズ定格を表 6.1 の標準定格表に示めてあるので、それに従って使用すれば問題ない。また簡易キューピクル用では図 6.1 に示す結線で使用する場合が多いが、この場合ヒューズに流れる負荷電流はベクトル的に加え（図 6.1）これの約 2 倍以上の定格電流とし、あと前記の修正を考慮すればよい。三相変圧器のところが単相変圧器の V 結線になったときは図 6.1 において $I_{12}=0$ と考えればよい。

また表 6.2 に定格電流×10 倍以上の故障電流が流れたときに保護できる ケーブル 寸法と定格電流との関係を示す。

6.2.3 定格シャ断容量

表 2.1 の定格表に示すとおり最大級のシャ断容量を有し、一般にはこれ以上の短絡容量をもつ回路は現在のところまずないので、シャ断容量についてはめんどろな計算をして検討する必要はない。

7. む す び

この種ヒューズの設計においては温度上昇限度、溶断特性、シャ断特性、そして経済性が互いに関連し合う。また開発途上において、ヒューズの構造やエレメントの形状をいかに選定して行くかによって開発の方向は大きく左右される。シャ断試験は 50 MVA の短絡発電機を使って行なわれた。これの運転費、供試品の量は膨大なものになったが、完成された CL 形ヒューズは小形で簡潔なものにまとまった。現在多数量産、販売中である。本報告を活用のうえご利用をお願いしたい。なお、今後は、本報告の資料をもとにしてさらに高電圧、大電流定格の限流ヒューズを開発してゆく考えである。

最後に、本ヒューズの開発にあたり、情報資料の収集および製作、試験その他に多大の協力をしていただいた関係者各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) C. L. Schuck, E. W. Boehne : Performance Criteria for Current-Limiting Power Fuses I II, AIEE Transactions, 65, 1028~1044 (1946)
- (2) K. Kriebbaum : Neue Hochspannungs-Hochleistungs-sicherungen, A. E. G. Mit., 47, 265~270 (1957)
- (3) Walter Rauch : Strombegrenzung bei der Abschaltung von Wechselstrom-Kurzschlüssen durch Sicherungen, E. T. Z., 80, 543~547 (1959)
- (4) 岩崎, 本部 ; 新形 CLS, CLE 限流ヒューズ, 三菱電機技報, 39, 28~31 (1965)
- (5) K. A. Lohausen : Überstromunterbrechung mit strombegrenzenden Hochspannungssicherungen für Gleich- und Wechselstrom, ELECTRIE, 18, 24~29 (1964)
- (6) H. W. Mikulecky : Current-Limiting Fuse with Full-Range clearing Ability, IEEE Transactions, 84, 1107~1116 (1965)
- (7) J. Mocsary : Untersuchungen von strombegrenzenden Hochleistungs-sicherungen, E und M, 81, 655~661 (1964)
- (8) Jacques Hennebert : Comportement des fusibles limiteurs au cours des essais de coupure, R. G. E., 73, 570~6 (1964)

GUNN ダイオードのマイクロ波発振特性

奥 泰 二*・三 井 茂**

Characteristics of Gunn Effect Microwave Oscillators

Kitaitami Works Taiji OKU・Shigeru MITSUI

Gunn diodes are small sized and lightweight ; their oscillation circuits are simple and they operate well at low power supply voltages, this being the distinctive features for microwave oscillators. Up to the present a good number of Gunn diodes have been developed and published with their oscillation frequencies ranging from some hundred Mc to 80 Gc. The outputs made available are reported to be above scores of mW. In the Mitsubishi Electric Corporation high power CW microwave oscillation with the maximum output power of more than 200 mW at 4 Gc have been attained by the use of packages of low thermal resistance and GaAs material of proper resistivity. In some circuit conditions, low-frequency parasitic oscillations are observed in the bias voltage.

1. ま え が き

マイクロ波機器の固体化は最近の著しい傾向であり、従来クライストロンなどの電子管に独占されてきたマイクロ波発振器の分野においても多くの方式による固体素子発振器が進出しつつある。これらはパラクタなどによるてい倍方式と、トランジスタ、トンネル・ダイオードなどで代表されてきた直接発振方式に大別される。ここに述べる Gunn ダイオードは 1963 年 J. B. Gunn⁽¹⁾⁽²⁾ によって発表されたマイクロ波直接発振用 2 極半導体素子であり、多くのすぐれた特長をもっているため、Read ダイオード、アバランシェ・ダイオードとともに多くの人々によって研究・開発が強力に推し進められている。

Gunn ダイオードは n 形 GaAs や InP の結晶において発見された強電界中での電流発振現象、すなわちいわゆる Gunn 効果を用いた素子で、結晶全体が発振に寄与し、p-n 接合を必要としない点で他の多くの半導体素子と非常に異なっている。Gunn ダイオードの特長としては、

(1) 発振周波数の範囲が広いこと

発振周波数は素子によって定まる場合と外部回路に支配される場合とがある。現在数百 Mc から数十 Gc の範囲の報告がある。

(2) 出力が大きいこと

パルス発振で 1 kW、連続発振で 100~200 mW の値が報告されている。

(3) 発振回路が簡単であること

直接発振なのでてい倍用入力が必要としない。印加電圧は数 V ~ 数十 V である。マイクロ波回路は非共振の抵抗性負荷でも共振回路でもよい。

(4) マイクロ波出力の特性がすぐれていること

雑音が少なく出力特性はクライストロンに匹敵すること、などがあげられる。

Gunn が初めて GaAs および InP 結晶における発振現象を報告して以来、多くの人々の研究によって現在では発振機構も原理的にはほぼ解明され、動作特性に対する詳しい解析も電子計算機などの手段を駆使して行なわれるようになった。これと平行して素子の構造・製作技術・および発振回路などにおいても多くの点で著しい進歩が見られ、発振周波数においても出力においても日に日に新しいデータが発表されている現状である。

当社でも Gunn ダイオードの実用化を目標に研究・試作を行ってきたが、最近までに S-band における高出力発振に成功している。ここでは Gunn ダイオードの動作原理について簡単に述べた後、製作上の諸問題について論じ次に当社で試作した素子の諸特性について述べる。

2. Gunn ダイオードの動作原理

Gunn ダイオードの動作原理についてはすでに多くの文献⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾があり、すぐれた概説⁽⁸⁾も行なわれているので、ここでは後章の説明に必要な程度に概略を述べる。

Gunn 効果は図 2.1 に示すように比較的純度の高い n 形 GaAs 結晶の板の両面に非整流性の電極を付け、両電極間に大きい電圧を印加したときに観測される。印加電圧による結晶内部電界強度が約 3 kV/cm のしきい値より小さい場合は、素子はほとんど抵抗体と見なすことができ、電流はほぼ電圧に比例する。内部電界強度が上述のしきい値に等しくなるような印加電圧、すなわちしきい値電圧を超えたとき見かけ上電流は減少し、以後ほとんど一定となる。このときの電流はマイクロ波領域の一定周波数で直流電流の数 % から数十 % の大きさの振動成分をもっている。このときの発振周波数 f_0

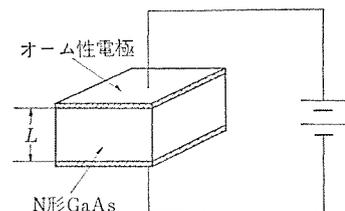


図 2.1 Gunn ダイオードの原理

Fig. 2.1 Principle of the Gunn effect oscillator.

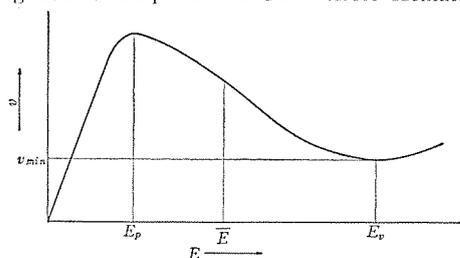


図 2.2 GaAs 中の電界と電子平均速度との関係

Fig. 2.2 Schematic diagram of the field dependence of electron mean velocity in GaAs.

と結晶の厚さすなわち電極間距離 L との関係はほぼ次の式で与えられる⁽²⁾。

$$L \cdot f_0 = v_0 \approx 10^7 \text{ cm/s} \dots\dots\dots (2.1)$$

Gunn 効果の機構については、多くの研究により GaAs 結晶の電子帯構造にもとづく負性電子移動度効果によるものであることが明らかにされた。GaAs 結晶中の伝導電子は常温では有効質量が約 $0.072 m_e$ で電子移動度が大きい。今結晶中の電界強度を増していくと電子の平均速度はほとんど電界強度に比例して増加するが、電界強度が 3 kV/cm に近くなると電子温度が急激に上昇し、この結果電子は約 0.36 eV エネルギーの高い sub-valley に励起されるようになる。

この sub-valley にある電子は、有効質量約 $1.2 m_e$ で移動度が小さいので main-valley にある電子に比べて速度が小さく、電子の平均速度はかえって小さくなる。さらに電界強度を増すと電子はほとんど sub-valley に遷移してしまい、電子速度はふたたびゆるやかに増大する。したがって印加電界と電子平均速度の関係は図 2.2 のように $E_r > E > E_p$ において負の配となり、この領域での見かけの電子移動度は負符号になる。Ridley⁽⁴⁾ が指摘したように、このような負性移動度領域の電界を印加した GaAs 結晶中では、負性誘電緩和による不安定現象が起こり、結晶中に発生した微小な電界不均一は高電位側にドリフトしつつ急激に成長し、ついには非常に強い電界をもつ狭い電界領域に発達する。

Gunn やその他の人々を実験的にこのような強電界領域の発生と運動を証明した⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。それによると GaAs 結晶中の電界強度がしきい値電界 $E_p (\approx 3 \text{ kV/cm})$ をこえると陰極付近で強電界領域が発生し、この領域はほぼ電子のドリフト速度に等しい速度 $v_d (\approx 10^7 \text{ cm/s})$ で陽極側に向かってドリフトし、陽極で消滅する。このとき陽極付近でふたたび次の強電界領域が形成される。これに伴って電流が周期的に振動する。以上の事実から振動周期は、強電界領域が結晶中を走向する時間によって定まり、したがって周波数が式 (3.1) でささえられることが容易に理解される。

3. Gunn ダイオード製作上の問題点

3.1 設計因子

2章に述べたように Gunn ダイオードの構造は原理的にはきわめて単純である。したがって製作にあたって考慮すべき因子は

- (1) GaAs 結晶材料の電子濃度と電子移動度
- (2) GaAs 結晶の有効厚さと断面積
- (3) 電極の電気特性と熱抵抗特性、およびパッケージの電氣的ならびに機械的特性

などである。この章ではこれらの因子および共振回路と Gunn ダイオードの共振電圧・共振周波数・出力などの諸特性との関係について簡単に考慮する。

3.2 共振周波数

Gunn ダイオードを抵抗性負荷に結合して共振させた場合の共振周波数 f_0 は式 (2.1) に従い電極間距離 L によって定まる。例として $L = 25 \mu$ のとき $f_0 = 4 \text{ Gc}$ 、 $L = 50 \mu$ のとき $f_0 = 2 \text{ Gc}$ となる。われわれの実験例では特殊な技術を用いることにより $L = 5 \sim 6 \mu$ の素子をも作ることができるが、再現性よく均一な L の小さい素子を作るためにはエピタキシャル技術を用い $n^+ - n - n^+$ 構造⁽¹¹⁾ となるほうが簡単である。一方 Gunn ダイオードを Q の高い共振回路に結合して共振させた場合は上記と異なり、式 (2.1) は必ずしも成立しない。この

場合の共振周波数は、むしろ共振回路のそれによって支配される。たとえば4章で述べるように空洞共振器の共振条件を変えることによって f_0 の付近で数百 Mc、またはそれ以上の周波数帯域幅にわたる同調共振が可能である。

このほかに周波数が f_0 に比べ非常に低い場合や、反対に非常に高い周波数で共振する場合が知られている。後者の中で LSA (Limited Space-charge Accumulation) モード⁽¹²⁾ 共振と呼ばれる場合には電子濃度 $n_0 \text{ cm}^{-3}$ と周波数 $f \text{ sec}^{-1}$ との間には

$$2 \times 10^9 \geq n_0 / f \gg 1.4 \times 10^3 \text{ (s/cm}^3) \dots\dots\dots (3.1)$$

の関係があるとされている。

3.3 共振出力

Gunn ダイオードの共振効率、一般に負荷回路と共振モードによって異なるが普通報告されている値は $1 \sim 5 \%$ が多い。最近前節の LSA モード共振により 20% の効率を得た報告⁽⁸⁾がある。

4章で述べるわれわれの実験では出力は印加電圧 V に対してほとんど $(V - V_{th})$ に比例して増加する。したがって効率もまた印加電圧とともに増加するが、ある電圧値で出力が飽和する傾向を示す。このような出力の電圧依存性はかなり一般的であるように思われる。結晶材料、電極間間隔一定の条件では断面積を大きくするほど出力は増加するが、このとき素子の直流およびマイクロ波インピーダンスが小さくなるので回路条件を変更する必要がある。

3.4 入力特性

$V > V_{th}$ においては電流はほとんど変化しないので、入力電力はほぼ印加電圧に比例する。設定の目安として共振開始直前の入力電力を $P_{i th}$ とすると、

$$P_{i th} \approx \frac{1}{\rho} E_p^2 L S = E_p^2 V^2 / R_0 \dots\dots\dots (3.2)$$

ただし S は素子の断面積、 $R_0 = \rho L / S$ は低電圧条件の素子抵抗である。素子抵抗一定の条件下においては $P_{i th}$ と周波数 f_0 との間には

$$P_{i th} \approx (E_p^2 \cdot v_0^2 / R_0) / f_0^2 \dots\dots\dots (3.4)$$

したがって出力電力も一般に (ρ, S を一定とした場合) 周波数の二乗に逆比例する。

3.5 素子の放熱に関する問題

Gunn ダイオードは強電界素子であるため熱発生密度が非常に大きいので素子の温度上昇が重要な問題である。とくに連続共振の場合には出力限界は事実上素子の熱放散によって定まることが多い。今図 3.1 のように面積 S 、厚さ L の円盤状の GaAs 結晶の両端に半無限の銅ブロックを電極として取付けた場合を考える。比抵抗の温度依存性が無視でき、結晶内の等温面が電極面に近似的に平行であると仮定する。共振時においても平均熱発生は結晶内でほぼ一様であると仮定すると、定常状態における結晶中心面と heat sink との温度差は

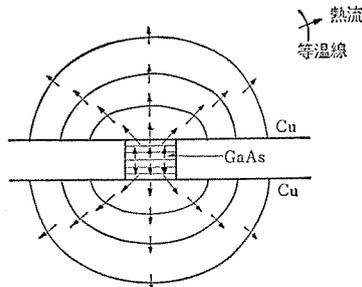


図 3.1 Gunn ダイオード構造中の熱流と温度分布
Fig. 3.1 Heat flow and temperature distribution in a Gunn diode structure.

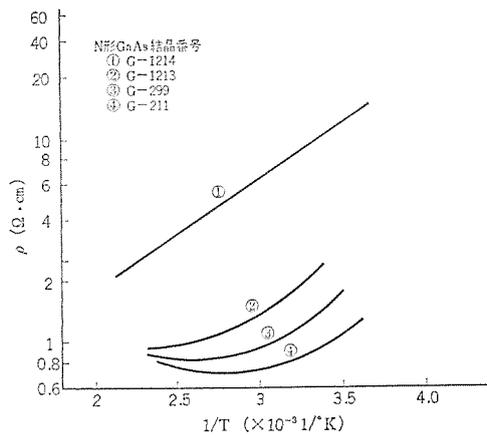


図 3.2 酸素ドーピング N 形 GaAs の比抵抗の温度依存性
Fig. 3.2 Temperature dependence of the resistivity of O₂-doped N-type GaAs crystal.

$$\Delta T_i \cong \frac{L^2}{8K_0 S} P_i + \frac{1}{4\sqrt{\pi} K_{cu} \sqrt{S}} P_i \dots\dots\dots (3.5)$$

この式の第 1 項は結晶の熱抵抗を、また第 2 項は電極の熱抵抗を表わす。K₀, K_{cu} はそれぞれ GaAs および銅の熱伝導度で、常温ではそれぞれ約 0.37 W/cm·s および 3.9 W/cm·s である。

これより発振しきい値電圧の近くでの温度上昇は、

$$\Delta T_{th} \cong \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{E_p^2}{8K_0} \right) L^2 + \frac{E_p^2}{4\sqrt{\pi} K_{cu}} L \sqrt{S} \dots\dots\dots (3.6)$$

これより温度上昇は比抵抗に逆比例するので、連続発振の場合には比抵抗の大きい GaAs 結晶を用いるほうが温度上昇を抑えることができる。しかしながら比抵抗の大きい GaAs 結晶では、図 3.2 のようにしばしば比抵抗の温度依存性が大きい場合がある。これは深い不純物準位からの電子の熱励起によるもので、とくに酸素をドーピングした数 Ω·cm 以上の比抵抗の GaAs 結晶で、この効果が著しい。

このような結晶を用いた場合には、動作時における結晶内部の温度上昇により結晶中心部ほど比抵抗が低下し、素子電流の急増と内部電界の不均一を生ずる。したがって素子のインピーダンス特性が印加電圧によって変化し、入力および出力回路における整合条件が変わる。ゆえに熱放散の許す限り比抵抗の温度依存性の小さい結晶を用いることが望ましい。パルス発振の場合には温度上昇はパルス印加時間に比例するのでとくに上記の注意が必要である。

電極の特性は Gunn ダイオードに対しては基本的に重要である。電気的特性に関しては

- (1) 整流性がないこと
- (2) 電極の抵抗が小さいこと
- (3) 電極が均一であること

などが要求される。(1), (2) が成り立たないときは、しばしば発振に雑音が多いことや、発振域がないかあるいは全然発振しないなど特性に異常が起こる。(3) の成り立たない場合には有効発振面積が変わるほか、局所的な電界集中が起こるので好ましくない。対向電極の面積が異なる場合には発振特性が非対称性となり、電極面積の小さいほうを陽極にしたときの V_{th} が高くなるが、極性を逆にするとはほぼ正常な特性になる。

実用的なパッケージは放熱の問題のほかに機械的強度およびパッケージ材料の熱膨張の問題がある。GaAs 結晶は Si などに比べて機械的強度がやや小さいので結晶に応力がかからないことが必要である。大出力の連続発振ではパッケージの温度もかなり上るので熱膨張によるパッケージのひずみも上記と同様に考慮しなければならない。

4. 試作 Gunn ダイオードの特性

4.1 測定回路系

図 4.1 は試作 Gunn ダイオードの諸特性の測定に用いた装置を示す。キャビティは内径 50φ の円筒と 14φ の中心導体からなる同軸形であり、中心導体先端に試料を取りつけるようになっていいる。したがって試料の位置は固定され、プランジャーの位置 L₁ を変えることによって空洞の共振周波数を変える。出力はループまたはスタブで取り出し 50Ω 同軸整合回路、方向性結合器および減衰器を通して電力計およびスペクトラム・アナライザーに導かれる。2 本の同軸スタブの間隔 L₂ は可変となっている。

連続発振の場合には入力端に直流電源を、パルス発振の場合にはパルス電源をつなぐ。使用した直流のリップルは 2mV 以下であり、パルス電源はそのインピーダンスを試料のインピーダンスに応じて小さくし、できるだけ定電圧条件に近くなるようにした。

また発振スペクトルの純度を調べるため、図 4.2 のような回路系を使用した。すなわち、Gunn ダイオードによる発振出力を別の SG からの信号と混合し、低周波成分をスペクトラム・アナライザーに入れて発振周波数スペクトルを観測した。

4.2 連続発振 Gunn ダイオードの特性

図 4.3 は試作された連続発振 Gunn ダイオードの例である。連続発振用として使用された結晶は 1~10 Ω·cm の比抵抗値をもつ N 形 GaAs である。これらの代表的特性を表 4.1 に示した。

ここではおもに試料 G-299-3 についてその特性を述べる。

試料 G-299-3 をキャビティにそう入して入力印加電圧を大きくしていったときの入力側で測定した電流と電圧の関係を図 4.4 に示してある。電圧が 5V 以下では電流は電圧にほぼ比例して増加するが、5V をこえると試料の温度上昇による電流の増加が現われる。電圧が 7V 程度で電流は飽和の傾向を示し、threshold 電圧 V_{th} に達す

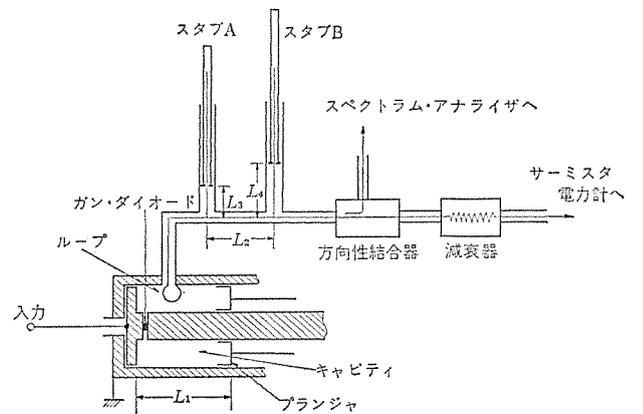


図 4.1 Gunn ダイオード特性測定回路
Fig. 4.1 Diagram of the measurement circuit for Gunn diode.

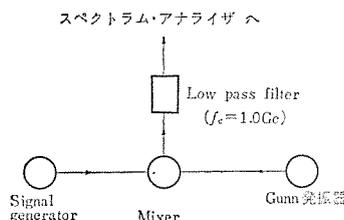


図 4.2 周波数特性測定回路系
Fig. 4.2 Diagram of the spectrum measurement circuit for Gunn diode oscillation.

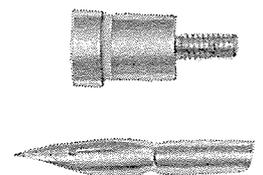


図 4.3 試作された高出力連続発振 Gunn ダイオード
Fig. 4.3 High power CW Gunn diode.

表 4.1 連続発振 Gunn ダイオードの代表的特性
Table 4.1 Typical characteristics of CW Gunn diodes.

試料番号	G-299-3	G-1213-1	G-123-2	G-1214-10
結晶比抵抗 $\Omega\text{-cm}$	1.25	2.2	6.0	11
結晶寸法 μ	$100 \times 100 \times 25$			
仕上り抵抗 Ω	30	60	150	300
Threshold 電圧 V	8	9	9	14
Threshold 電流 mA	350	300	120	70
発振周波数 Gc	3.2~4.6	3.0~4.5	3.0~4.5	3.0~4.2
半値幅 kc	<4	<4	<4	<4
df/dV Mc/V	0.5~5	-5	-3~3	-100
最大出力 mW	206	110	60	0.1
効 率 %	3	2.1	2	0.005

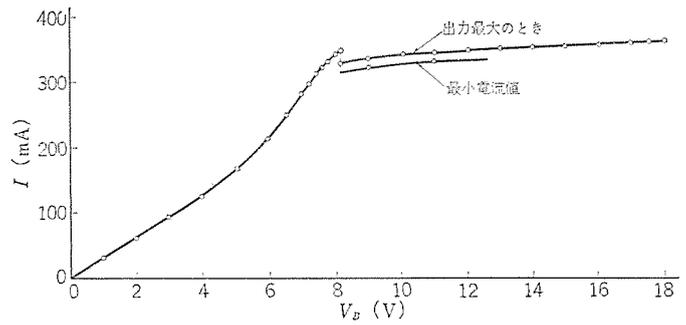
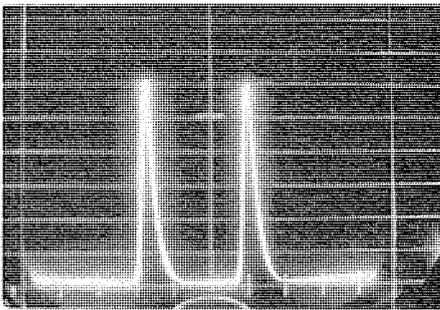


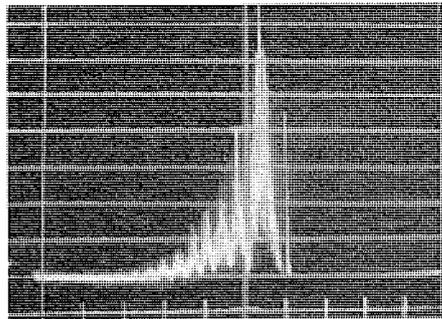
図 4.4 連続発振 Gunn ダイオードの電流-電圧特性(G-2999-3)
Fig. 4.4 Current-voltage characteristics of a Gunn diode.



Vertical Scale : 1 V/div
Horizontal Scale : $0.5 \mu \text{ sec/div}$
Sample G-299-3

図 4.5 Gunn ダイオード回路における低周波発振

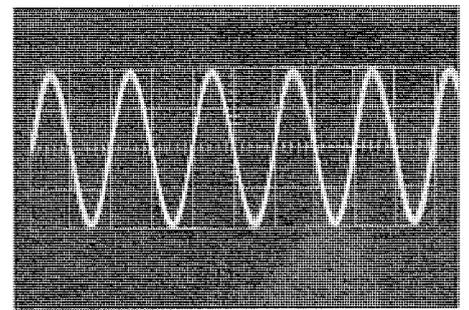
Fig. 4.5 Parasitic low frequency oscillation at a Gunn diode bias circuit.



Horizontal scale : 6 Mc/div
Center frequency : 3.312 Gc
Right : Marker

図 4.6 低周波発振により変調された Gunn ダイオードのマイクロ波発振スペクトル

Fig. 4.6 Frequency spectrum of a Gunn diode microwave oscillation indicating the low frequency modulation due to a parasitic low frequency.



Horizontal scale : 100 kc/div
Center frequency : 3.312 Gc
Left : Spectrum of Gunn oscillator Right : marker

図 4.7 低周波発振がない状態での Gunn ダイオードのマイクロ波発振スペクトル(左方は Gunn ダイオード出力, 右方はマーカー)

Fig. 4.7 Spectrum of Gunn diode microwave oscillation in the case of no parasitic low frequency oscillation.

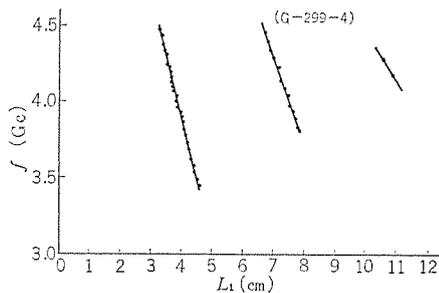


図 4.8 空洞共振器のプランジャーの位置と発振周波数との関係
Fig. 4.8 Relation of oscillation frequency with portion of the cavity plunger.

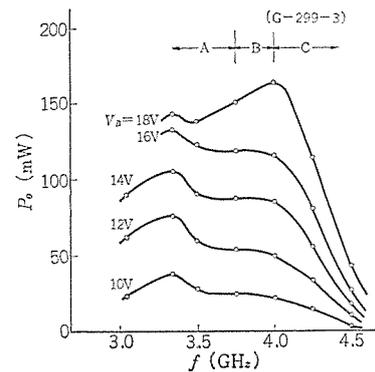


図 4.9 発振周波数と出力との関係
Fig. 4.9 Relation of output power with frequency at various bias voltages.

ると電流は階段状に減少し負性抵抗を示す。さらに電圧を増加させても電流値はほぼ一定値に保たれる。この threshold 以上の電圧領域では、その電流値はマイクロ波出力側の整合回路の調整によって変化する。図 4.4 には出力最大の際の電流値と電流値最少の場合とが示されている。

入力側で試料端電圧を観測すると、threshold に達したとき図 4.5 のような低周波発振波形が直流印加電圧の上に乗っていることがわかる。この低周波発振は入力側にある浮遊の LC 回路と Gunn ダイオードの負性抵抗とが結合して起こるものである。このときマイクロ波出力も検出されるが、その発振周波数スペクトルは図 4.6 にみるように低周波発振に伴うバイアス電圧変動により周波数および振幅の変調を受けている。

プランジャーの位置およびスタブ L_3 , L_4 を調整すると、この低周波発振は止まり図 4.7 に示すような単色な発振スペクトルになり出力も増大する。マイクロ波発振周波数はプランジャーの位置 L_1 でほとんど決

まってしまう。この関係を図 4.8 に示してある。試料 G-299-3 の場合結晶の厚さで決まる基本周波数 f_0 は 4.0 Gc であるが、実際には 3.0~4.5 Gc の領域にわたって引込み発振が可能である。図 4.9 は発振周波数と出力の関係を印加電圧をパラメータとして示してある。

ここで興味あることは図 4.9 において、B の領域では threshold 以上の電圧で図 4.7 のような単色な発振が常に可能であるが、A および C の領域では B の領域の発振をプランジャーの位置を変えて引き込んだ場合にのみ可能であり、一度整合が失われると先に述べた低周波発振が起こってしまうことである。

図 4.10 は比較的结合度の大きい場合に、プランジャーの位置を固定して測定した印加電圧に対する出力、および発振周波数の関係である。これからわかるように周波数電圧依存性は $df/dV=0.5\text{Mc/V}$ であり、最大出力は 206 mW、このときの効率は 3% である。しか

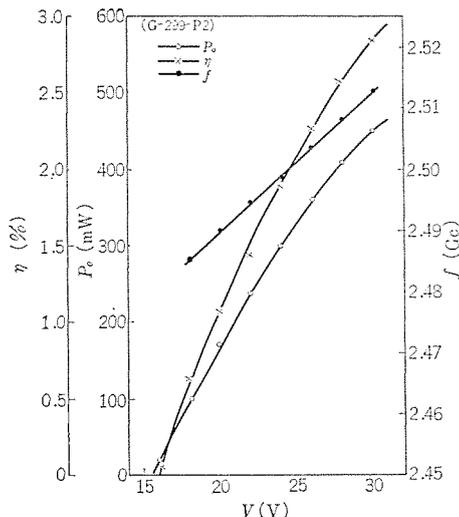


図 4.10 連続発振における印加電圧に対する出力, 効率および発振周波数との関係
Fig. 4.10 Dependence of output power, efficiency and frequency on bias voltage in a CW-oscillator.

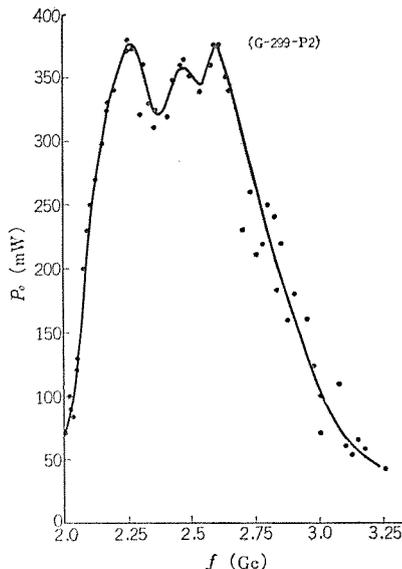


図 4.11 パルス発振における発振周波数と出力との関係
Fig. 4.11 Output power vs. frequency of a pulsed Gunn diode oscillator.

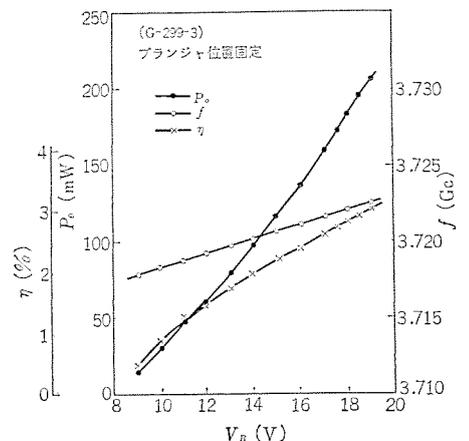


図 4.12 パルス発振における印加電圧と出力, 効率および発振周波数との関係
Fig. 4.12 Dependence of output power, efficiency and frequency on bias voltage.

表 4.2 パルス発振 Gunn ダイオードの代表的特性
Table 4.2 Typical characteristics of pulse operation Gunn diode.

試料番号	G-299-P1	G-299-P2	76S-P1
結晶比抵抗 Ω-cm	1.25	1.25	0.1
結晶寸法 μ	800×800×48 t	200×200×48 t	200×200×50 t
仕上り抵抗 Ω	0.8	12	1
Threshold 電圧 V	13	12	13.5
Threshold 電流 A	17	0.76	13
発振周波数 Gc	2~3	2~3	2~3
最大出力 W	10	0.5	5
効率 %	~3	2.9	~3
パルス幅 μs	4	2	2
パルスくり返し pps	60	1000	100

し周波数の電圧依存性に関しては試料 G-299-3 でも別の周波数 $f = 3.575$ Gc では $df/dV = 5$ Mc/V であり, また表 4.1 からわかるように試料 C-2 では $df/dV = -5$ Mc/V である。このように周波数の電圧依存性は結晶比抵抗, 結晶の大きさの他発端モードや回路のインピーダンスとも関連があるように思われる。

スペクトル純度は図 4.1 のような回路系で測定した。たとえば Gunn ダイオードによる発振周波数を 4,000 Mc の場合, SG の周波数を $4,000 \pm 20$ Mc とし, 20 Mc の IF 信号をスペクトルアナライザに入れらる。このときスペクトルの半値幅 Δf は 4 kc 以下であった。

比抵抗値の大きな結晶で作った試料では発振しない場合がある。この境界は $n_0 l \approx 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ であった。このように発振しない試料でも周囲温度を上げて結晶比抵抗を下げると, 負性抵抗領域が現われ, 発振をはじめようになる。また負性抵抗の浅い試料でも温度の上昇に伴って, 負性抵抗が深くなり発振出力も大きくなる。

4.3 パルス発振

パルス発振の場合には, 電流電圧の関係は threshold 近くまでほとんど直線的である。threshold 電圧に達すると先に連続発振で述べたと同じように低周波発振が起こる。これをおさえるためには試料のインピーダンスに比べて試料からみた入力側のインピーダンスをできるだけ低くしなくてはならない。パルス発振 Gunn ダイオードの諸特性は表 4.2 に示してある。

厚みで決まる基本周波数 f_0 はいずれも 2.1 Gc であるが, キャピタ

ィでの引込み発振領域は図 4.11 にみるように 2~3 Gc である。図 4.12 は印加電圧と出力および効率の関係である。また出力は結晶の断面積にはほぼ比例して増加する。試料 G-299-P1 においては最大出力 10 W, このときの効率 3% を得ることができた。

5. むすび

Gunn ダイオードは小形軽量であること, 発振回路が単純であること, 電源電圧が低くてよいことなど, マイクロ波発振器として多くのすぐれた点をもっている。Gunn ダイオードに関して現在までに発表されたものだけでも発振周波数領域は数百 Mc から 80 Gc にわたっており, 出力も数十 mW 以上が得られている。

当社においてもすでに S-band で連続 200 mW 以上, パルスで 10 W の出力が得られており, いずれも今後, さらに素子の改良が行なわれ, 回路系の問題が解明されるにつれて発振効率も向上するものと思われる。したがって近い将来クライストロンに代わるものとして期待もてる。他方, 素子の劣化や寿命の問題, 回路系との結合の問題など不明な点も数多く残されておりわれわれもこれらの問題点の解明に力を注いでいる。
(昭 42-4-22 受付)

参考文献

- (1) J. B. Gunn : Solid State Comm., 1, 88 (1963)
- (2) J. B. Gunn : IBM Journal, 8, 141 (1964)
- (3) C. Hilsum : Proc. IRE, 50, 185 (1962)
- (4) B. K. Ridley, J. B. Watkins : Proc. Phys. Soc., 78, 293 (1961)
- (5) D. E. McCumber, A. G. Chynoweth : IEEE Trans. Electron Devices, ED-13, 4 (1966)
- (6) H. Kroemer : op cit. ED-13, 27 (1966)
- (7) J. A. Copeland : J. Appl. Phys., 37, 3602 (1966)
- (8) 植之原 : 電気通信会誌 86, 1833 (昭 41)
- (9) J. B. Gunn : Plasma Effects in Solids (1964)
- (10) J. S. Heeks : Proc. IEEE, 53, 554 (1965)
- (11) Electronic Engineer, 25, 1479 (1966)
- (12) J. A. Copeland : Proc. IEEE, 54, 1479 (1966)

空気調和用誘電体フィルタ

田畑 則一*・森 貢*
酒井 正侃**・平山 建一**

Dielectric Filters for Air Conditioning

Central Research Laboratory Norikazu TABATA・Mitsugu MORI
Wakayama Works Masatada SAKAI・Kenichi HIRAYAMA

In view of environmental sanitation, increasing pollution of atmosphere of late has come to such a pass as to need highly efficient precipitators of fine particles of submicron in diameter. Considering the trend, Mitsubishi has developed new automatic electrostatic air filters, type FD, which operate in high efficiency as that of two stage electrostatic precipitators, the maintenance of the devices being so easy as roll filters and the prices being favorably compared with them.

The article describes the theoretical analysis of collection mechanisms, characteristics and basic experiment of electrostatic air filters, also mentioning the construction, features and specifications of type FD apparatus which are recommendable to setting up in a place where electric noises can not be allowed so well as in office buildings and hospitals.

1. ま え が き

近年産業の発展、都市の人口集中に伴って日ごとに増大する大気汚染の影響は、環境衛生上重大な問題になってきた。従来空気調和における除じん(塵)器の役割は残念ながら人間本位のものではなく、温湿度調整機の保護に重点がおかれていたきらいがあったが、最近の都市部における大気汚染の激化はもはや環境衛生上、除じん器は空調に必須なものになったといってもよい。

大気汚染物には工場排気の亜硫酸ガスや、自動車の排気ガスもじんあい以上に重要なものであるが、とくに上記の有害ガスが微細じんあいに吸着して人体に吸入される場合が衛生上非常に問題になることがわかっている。したがって環境衛生上の見地からみた除じん器としては肺内に最も吸着されやすいサブ・ミクロン径のじんあいに対して有効なものでなければならない。

当社では微細じんあいに対して非常に優秀な性能をもつ電気集じん器“クリネヤ”を提供し、好評を博してきたが、さらに微細じんあい用除じん器の普及に対処するべく誘電体フィルタを開発した。これはロールフィルタの低価格と保守の簡単さに電気集じん器の高性能を組合わせたものであり、これからの除じんフィルタと目されていたものである。

ここでは誘電体フィルタの基礎研究について述べ、あわせて今回開発した三菱FD形静電式誘電体フィルタの紹介を行なう。

2. 静電式誘電体フィルタ

フィルタろ材の誘電特性を利用した誘電体フィルタの内で、微細粒子に対しても高い集じん性能をもつ静電式誘電体フィルタについて述べる。この方式のフィルタはイオン化部と電界下におかれた誘電体ろ材からなり、2段階荷電形電気集じん器の集じん部を誘電体ろ材に置きかえたものといえる。

2.1 集じん機構

静電式誘電体フィルタの集じん機構は、イオン化部で荷電されたじんあいが電界下に置かれたろ材内で、ろ材繊維に集中する電界によって繊維に付着集じんされるものである。このフィルタの集じん効率を単独繊維の集じん断面比に分解し考察する。

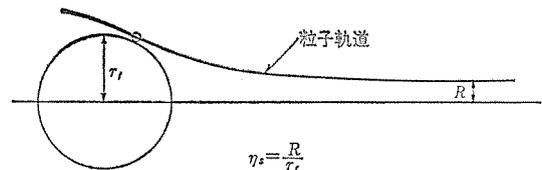


図 2.1 単独繊維の集じん断面比
Fig. 2.1 Collection cross section of a single fiber.

2.1.1 単独繊維の集じん断面比とフィルタの集じん効率⁽¹⁾⁽²⁾
気流と直角におかれた単独円柱繊維の集じん断面比 η_s を図 2.1 のとおりに定義すると、フィルタの集じん効率は次式で与えられる。

$$\eta = [1 - \exp\{-2\beta\eta_s L / \pi r_f (1 - \beta)\}] \dots\dots\dots (2.1)$$

ここで β はフィルタの充てん率、 L はフィルタ厚さ、 r_f は繊維半径である。したがって単独繊維の集じん断面比 η_s が求まるとフィルタの集じん効率 η は求まる。しかし正確には繊維間の干渉効果を考慮しなければならないので理論的に取扱うのは困難である。

2.1.2 単独繊維の集じん断面比

今平等電界 \bar{E}_0 中に置かれた単独繊維に、荷電された質量 m 、半径 a の微粒子が近づく場合の運動は次の微分方程式によって示される。

$$m \frac{d\bar{v}}{dt} = \bar{F} - \frac{6\pi a \gamma}{c} (\bar{v} - \bar{u}) \dots\dots\dots (2.2)$$

ここで \bar{u} は気流速、 γ は気体の粘性係数、 c はカニンガムの補正係数であり、 \bar{F} は外力で、静電式誘電体フィルタではクーロン力になり、この \bar{F} が付加されて集じん断面が大きくなる点が単なるメカカルフィルタと異なる点である。

\bar{F} は電界 \bar{E} と粒子の荷電量 q との積であり、繊維近傍では繊維の誘電率が空気の誘電率よりも大きいために電界は繊維に集中し、粒子は繊維に向かう力を受けることになるので、 \bar{F} により集じん断面は増大する。電界 \bar{E} は図 2.2 のように座標をとると次式で与えられる⁽³⁾。

$$E_x = -E_0 \left\{ 1 + \frac{\epsilon_f - \epsilon_0}{\epsilon_f + \epsilon_0} \times \gamma_f^2 \times \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2} \right\} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$E_y = -E_0 \frac{\epsilon_f - \epsilon_0}{\epsilon_f + \epsilon_0} \times \gamma_f^2 \times \frac{2xy}{(x^2 + y^2)^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

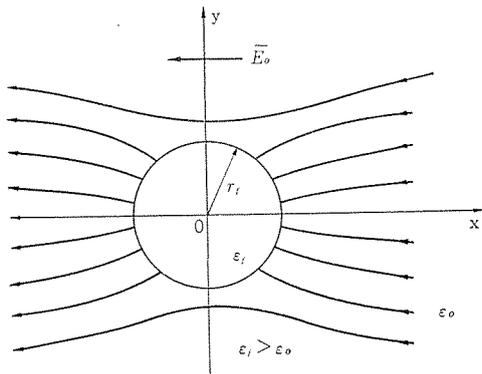


図 2.2 円柱近傍の電界
Fig. 2.2 Electrostatic field around a single fiber.

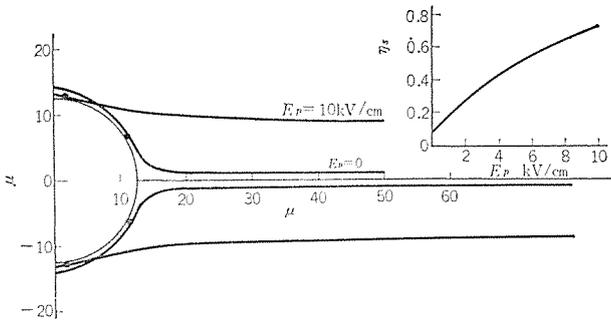


図 2.3 粒子軌道の電界による影響
Fig. 2.3 Comparison of particle trajectories by effect of electric field.

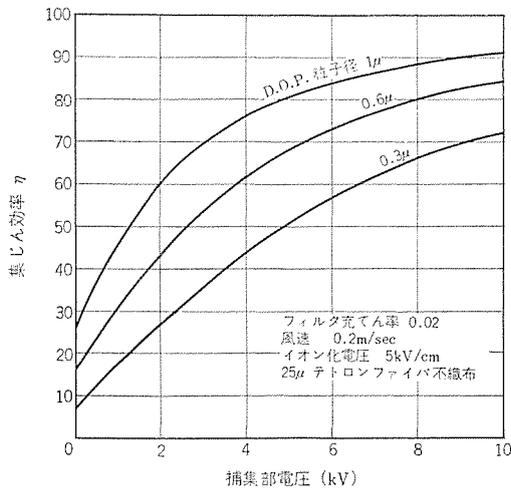


図 2.4 集じん効率計算 (粒子径の影響)
Fig. 2.4 Calculated collection efficiency.

ϵ_f は繊維の誘電率であり、 ϵ_0 は空気の誘電率である。

また粒子の荷電量 q は電界荷電を考次式で与えられる⁽⁴⁾。

$$q = \left(1 + 2 \frac{\epsilon_f - \epsilon_0}{\epsilon_f + 2\epsilon_0} \right) 4\pi\epsilon_0 E_i a^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

ϵ_f は粒子の誘電率、 E_i はイオン化部の電界強度である。

気流速 \bar{u} は C. Davies⁽⁵⁾ によって解かれている粘性流速分布が適当であるが、非常に複雑である。式 (2.2) も step by step 法を使って数値計算を行なうよりしかたがない。図 2.3 に理想流を仮定した場合の計算結果の一例を示す。

2.2 集じん効率計算

前項で述べたように単独繊維の集じん断面比を求めると、フィルタの集じん効率を求めることができる。またフィルタ繊維の半径、誘電率の変化による集じん効率の変化、電界強度や風速の影響も求まる。

図 2.4 に一例として理想流を仮定した場合のじんあい粒子径と集じん効率の関係を示す。実際のフィルタでは気流は粘性流になるため電界の効果は理想流の場合より大きくなる。

2.3 特長

静電式誘電体フィルタの特長は電気集じん器と同様に微細じんあいに対して高性能を有するにもかかわらず、ロールフィルタと同様に保守を簡単にできる点にある。とくに電気集じん器を不完全な保守で使ったときのような再飛散の問題、集じん電極における火花放電の問題がないので、電気設備関係空気調和等には非常に有利であろう。湿度に対する集じん特性は十分検討する必要がある。

3. 基礎試験

静電式誘電体フィルタの開発にあたって行なわれた基礎試験の中から、フィルタ構成、ろ材材質、構造寸法、湿度特性についての検討について簡単に述べる。それに先だち試験装置、試験法について述べる。

3.1 試験装置と試験方法

集じん効率測定用試験ダクトの概観を図 3.1 に示す。ダクトは 350 mm × 400 mm の断面積をもち、密封形で閉ループをなし除湿機、加湿器をそなえているので、湿度調整ができる。供試フィルタはダクトと同面積になるように、取付部はわくの大きさだけダクトを広げている。風速はフローノズルで測定し、供試フィルタ面の風速分布が一杯になるよう整流格子をもうけ、十分なダクト長を選んでいる。また試験用じんあいを吹込む部分の前に電気集じん器をもうけ、十分除

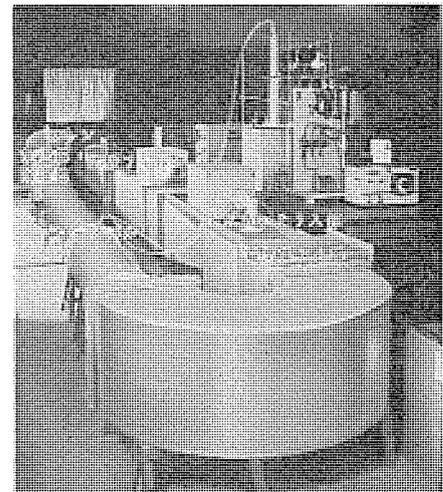


図 3.1 集じん効率測定用試験ダクト
Fig. 3.1 Experimental duct for collection efficiency measurements.

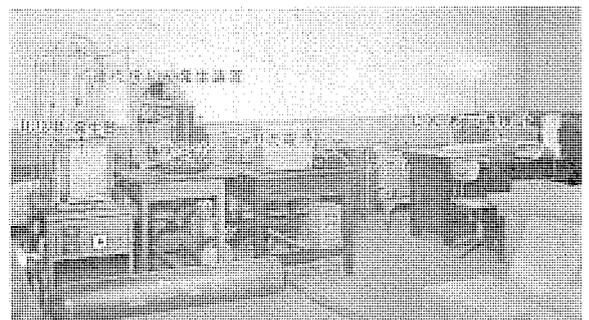


図 3.2 集じん効率測定装置
Fig. 3.2 Apparatus for collection efficiency measurement.

じんした空气中に試験用の標準じんあいを加え、じんあい濃度分布を一杯にして供試フィルタに送っている。

集じん効率測定は標準じんあいとして粒子径の均一な D. O. P. 粒子を使い、光散乱式じんあい濃度計で濃度比より集じん効率を求めた。D. O. P. 粒子は La Mer-Sinclair 法⁽²⁾で発生し、ガスレーザー光の散乱光角度分布を測定して粒子径を決めた⁽⁶⁾。図 3. 2 に試験装置の概観を示す。

じんあいを A. F. I. 粉じん、大気じん、タバコの煙等にかえても測定したが、これらのじんあいのように粒子径に分布がある場合には光の散乱強度によるじんあい濃度の比としての集じん効率を得られる。また Dill Dust Spot Tester との比較も行なったが、両者の集じん効率は相当よく一致した。

3. 2 フィルタ構成

静電式誘電体フィルタの集じん部の構成として、図 3. 3 に示す 3 種類を比較検討する。

(a) に示すものは最も基本的な構成で、ろ材の両側に通気性の電極を配し、通気性電極間に電圧を印加するものである。この方式のものは集じん性能はよいが、ろ材が吸じん吸湿すると漏えい電流が非常に大きくなり、その対策が必要である。

(b) に示すものは(a)の構成において、両通気性電極間にろ材と直列に空気間けきを設け、吸じん吸湿時の漏えい電流を防止したものである。構造は簡単であるが、ろ材の電気抵抗が荷電担体を含む

空気間けき(隙)の実効的な電気抵抗と同等かそれ以上でないとい集じん性能は(a)に比較して著しく悪くなる。

(c) は通気性電極の一方を放電線にかえて空気間けきをもうけたものである。この方式のフィルタの原理を説明する。放電線にイオン化部と同じ正極性の電圧を印加することによって放電線から後方の対向電極に向かって放電が起こるが、電極の表面に誘電体ろ材が存在するために、ある程度放電電流が流れて正イオン電荷がろ材の表面にたい積すると放電は停止する。この状態ではろ材表面のイオン電荷のためにろ材表面と電極間(ろ材内)の電界は強くなり、放電線とろ材表面の間の電界は比較的弱くなる。したがって誘電体ろ材内は(b)の構成の集じん部よりも電界が強くなる。ろ材表面の電荷が漏えいで減少すると、その部分のろ材表面と放電線間の電界が強くなり、放電線より対向電極に向かって放電し、ろ材表面に電荷を補なう。この放電電流はイオン化電流に比べて非常に少ない状態が望ましい。

この方式を(b)の方式と比較すると、空気間けきに放電電流を流して実効的な電気抵抗値を下げ、またろ材の電気抵抗の低下に従って放電線からの放電電流が増加して、空気間けきの実効的な電気抵抗値を下げる補償効果を持つ点の特長である。放電線からの放電電流が増加すると、コットレル集じん器と同様なろ材表面での集じん機構も加わってくる。したがってろ材の電気抵抗が低くなった場合にも(b)のように集じん効率の低下が大きくあらわれない。

図 3. 4 は同一条件で(a), (b), (c)の集じん効率を比較したものである。ろ材はポリウレタンフォームで、常湿における電気抵抗値はあまり大きくない。

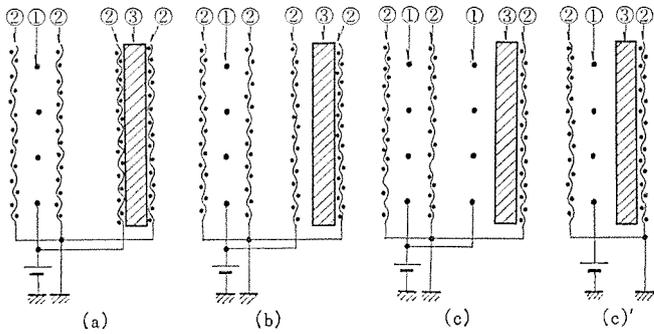
以上の結果を検討して(c)方式がすぐれていることがわかったので、さらに(c)方式のイオン化部と集じん部を一体化した(c)方式を開発した。(c)方式は(c)方式より構成は簡単であるが、イオン化部と集じん部が互いに影響するので、設計がやや複雑になる。しかし構成が簡単という利点は大きく、(c)方式を採用した。

3. 3 ろ材材質

誘電体フィルタ用のろ材としては前述したように、ろ材内で繊維に集中する強い不平等電界をつくるのが必須条件である。このためにはろ材の両端に高電圧が印加できるように電気抵抗値が高いこと、とくに高湿時においても抵抗値が低下しないように吸湿性が小さいことが第一条件であり、次に電界集中が大きくなるように誘電率が高いことが望ましい。ほかに繊維の機械的性質や加工性等も考慮されねばならない。

今回空気調利用に開発した誘電体フィルタは自動送り形にしたので、ろ材としては不織布に限定した。不織布は繊維を立体的にからませた後、バインダで接着したものである。市販のろ材では目的にかなったものがなかったので、ろ材メーカーと共同で新ろ材を開発した。ろ材は吸湿性と誘電率を考慮してテロン繊維を使用し、バインダに電気抵抗が大きく吸湿性が小さく、誘電率の高い物質を使用した。ろ材の性質は繊維の性質によって決まるのはいうまでもないが、さらに繊維の加工を容易にするために塗付されている帯電防止剤の影響や、繊維の表面に付着するバインダの性質も非常に重要な因子となる。とくにバインダの性質は誘電体フィルタ用ろ材の適否を決めるものといってもよい。

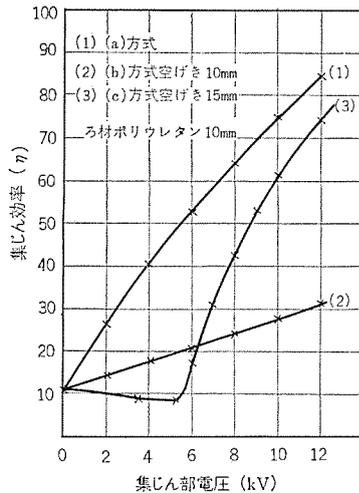
図 3. 5 は市販のろ材と新たに開発したろ材を使用し、同一条件で集じん効率を測定したものである。フィルタ構成は図 3. 1 の(b)方式による。



①放電線 ②通気性電極 ③誘電体ろ材

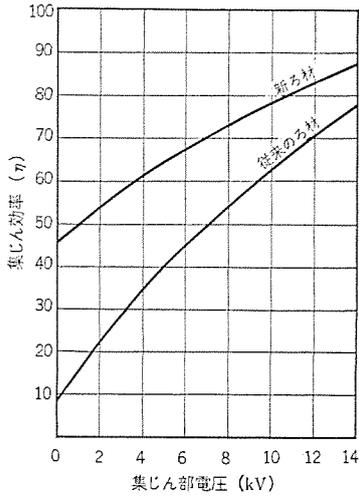
図 3. 3 フィルタ構成

Fig. 3. 3 Various filter constructions.



じんあい D. O. P. 1 μ
 風速 1 m/sec 圧損 3 mmAq
 イオン化電圧 10.4 kV
 55% R. H.

図 3. 4 フィルタ構成による集じん効率比較
 Fig. 3. 4 Comparison of collection efficiencies for various filter constructions.



じんあい D. O. P. 1μ
 風速 1.4 m/sec 圧損 7 mmAq
 イオン化電圧 10 kV
 75% R. H.

図 3.5 ろ材による集じん効率比較
 Fig. 3.5 Comparison of collection efficiencies for filter materials.

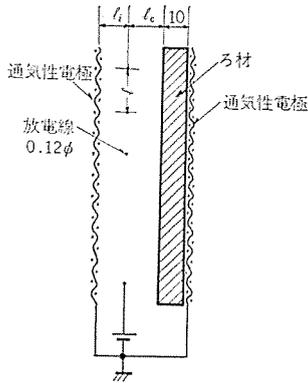
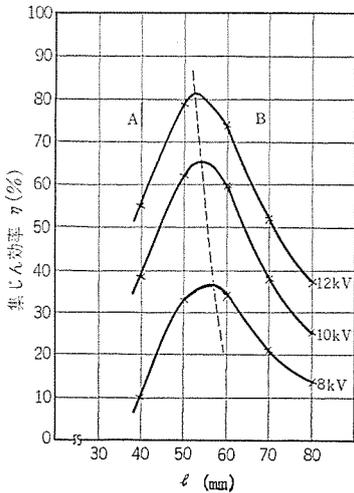


図 3.6 フィルタ構成
 Fig. 3.6 Filter construction.



じんあい D. O. P. 1μ
 風速 1 m/sec 圧損 2.4 mmAq

図 3.7 放電線間隔特性
 Fig. 3.7 Collection efficiency vs. discharge wire gap.

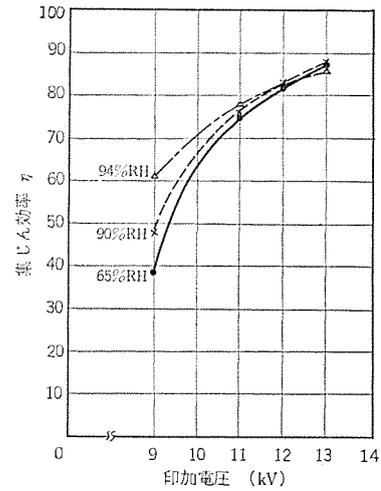
3.4 構造寸法

図 3.6 に開発されたフィルタ構成の詳細を示す。この方式のフィルタはイオン化部と集じん部が一体化しているので、イオン化部の特性と集じん部の特性が同時に決まり、設計に留意しなければならない。

図 3.6 の l_1 と l_2 を一定に保ち、 l を変化させた場合の集じん効率 η を印加電圧をパラメータとして図 3.7 に示す。破線はおののの曲線の最高値を結んだもので、 l の最適値である。破線より左の部分 A で集じん効率が下がるのは、 l が小さくなって放電線間の電界相互作用が大きくなり、放電開始電圧が高くなったためにイオン化電流が減り、またろ材表面にも十分な電荷がたい積しないためである。破線の右の部分 B で集じん効率が低下するのは、イオン化部のじんあいの電荷が均一でないことと、ろ材表面での電荷分布が不均一なことによる。印加電圧が高くなるに従って l の最適値が小さくなっていくのは、 l が小さくなって放電開始電圧が高くなるにもかかわらず、イオン化電流、電荷たい積が均一化されてくることによる。以上のように l_1 、 l_2 に対する l の関係は、構造設計の際の重要な因子となる。同様に l_1 、 l_2 もイオン化電流密度、印加電圧等の仕様によって決定される。

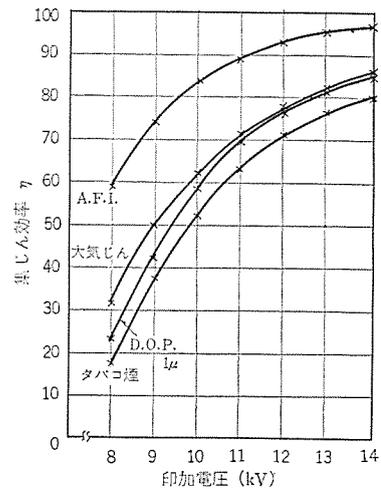
3.5 湿度特性

図 3.8 は相対湿度をパラメータとして、図 3.6 の構成によるフィルタの印加電圧に対する集じん効率特性を示している。ろ材は新し



じんあい D. O. P. 1μ
 風速 1 m/sec 圧損 4.4 mmAq

図 3.8 湿度特性
 Fig. 3.8 Comparison of collection efficiencies by charging relative humidity.



じんあい D. O. P. 1μ
 風速 1 m/sec 圧損 3.1 mmAq

図 3.9 じんあい特性
 Fig. 3.9 Comparison of collection efficiencies by charging dust particles.

く開発したもので湿度に対する影響が小さいことがわかる。また、この構成フィルタの特長として、湿度の増加によるろ材電気抵抗の低下に対して補償効果が働くため、印加電圧の低い所では湿度が高いほうが集じん効率が高くなっている。

3.6 じんあいの種類による集じん特性

図3.9にA.F.I.標準粉じん、大気じん、D.O.P.1 μ 、タバコの煙に対する集じん効率特性を示す。ろ材密度は図3.8より小さい。大気じんに対する集じん効率特性は天候等により変化するが、これは大気じんの粒度分布の変化によるものと思われる。

3.7 ジグザグ形構造

実用のフィルタでは空調ダクト内の風速を2~4m/secに選ぶ必要があるため、フィルタ面をジグザグ形にして空調ダクト内の風速をフィルタ面風速より大きくとり、所定の特性が得られるかどうかを確かめた。図3.10にモデルの外観を示す。フィルタ面をジグザグにすることにより風速分布が一様にはならないために圧損、集じん効率が幾何的な面積比により決まるフィルタ面風速とは一致しないが、ジグザグ形の場合にフィルタ面風速を少し小さく選ぶことにより、前述した諸特性と同様の結果が得られることが確かめられた。

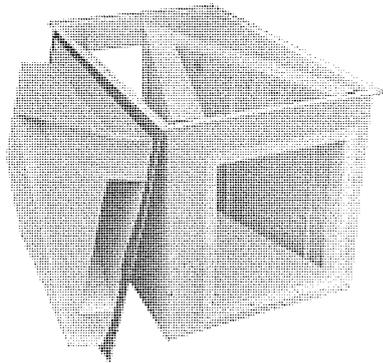


図3.10 試験用モデルフィルタ
Fig. 3.10 Model filter for experiment.

4. 三菱FD形静電式誘電体フィルタ

前述の基礎試験をもとにして、製品化に成功した三菱FD形静電式誘電体フィルタについて紹介する。

4.1 三菱FD形の設計条件

三菱FD形静電式誘電体フィルタの製品化にあたり、設計上考慮した点を列記する。

(1) 集じん部構造はろ材の送り機構から考えて図3.3(c)方式を採用し、使用条件として集じん効率70% (比色度法)以上、ろ材面風速1.5m/secとし、空調ダクトの通過風速を2~4m/secの範囲とする。

(2) 集じん器の使用状態から考え、従来の誘電体フィルタの欠点である高湿度時における集じん効率の低下を小さくする。

(3) 高電圧を使用する関係上、操作、保守上の危険を伴わない。

(4) 微じんを高効率で集じんする関係上、処理空気の漏えいがない。

(5) 機器の運転は保守上完全自動化するとともに、連続運転が可能であり、運転状態が制御盤面および中央監視室に表示できる。

(6) 機器のオーバーホールは1年に2回程度とし、熟練を必要とせず、簡単に行なえる。

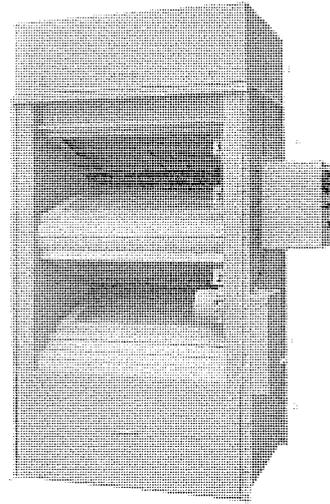


図4.1 FD形フィルタ外観
Fig. 4.1 Front view of model FD.

表4.1 FD形フィルタ仕様一覧
Table 4.1 Specifications of type FD filter.

外 観	ダクトわく組方式	
塗 装 色	マンセル N7/0	
処 理 風 量	風量表による	
外 形 寸 法	幅	1120, 1320, 1720 mm 3種類
	高 さ	1590, 2140, 2690, 3240 mm 4種類
	奥 行	910 mm
性 能	集 じ ん 率	70% <比色法>
	空 気 抵 抗	風量表による
ろ 材	FX-2800	
直 流 電 圧 電 源	放 電 線 印 加 電 圧	DC+12 kV
	高 電 圧 発 生 方 式	全波倍電圧シリコン整流方式
	負 荷 調 整 方 式	双方向性制御素子 <SSS> 方式
	短 絡 保 護 方 式	双方向性制御素子 <SSS> 方式
制 御	電 源	3 ϕ , AC 200 V 50/60 c/s, AC 220 V 60 c/s
	制 御 方 式	タイマー方式または圧力方式
	更 新 サ イ ク ル	3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 48 時間
装 置	更 新 幅 <1 回あたり>	0~1500 mm <連続調整可>
	微 差 圧 計	マノスター 0~30 mmAq
	タ イ マ ー	TU-16 H 形 <ダイヤル式>
表 示 ラ ン プ	減 速 機	4 P 200 W
	操 作 ス イ ッ チ	電源スイッチ、荷電スイッチ、自動=巻取り切換スイッチ
	表 示 ラ ン プ	電源ランプ、巻終りランプ、荷電ランプ、短絡ランプ

表4.2 風 量
Table 4.2 List showing air flows.

風 量 <m ³ /min>	
用 途 区 分	微 じ ん 用
ろ 材	FX-2800
初 期 微 抗 <mmAq>	10.0
運 転 上 限 抵 抗 <mmAq>	20
FD-10	150
FD-20	300
FD-30	450
FD-40	600
FD-12	185
FD-22	370
FD-32	555
FD-42	740
FD-16	250
FD-26	500
FD-36	750
FD-46	1000
集 じ ん 率 <比色法>	70%

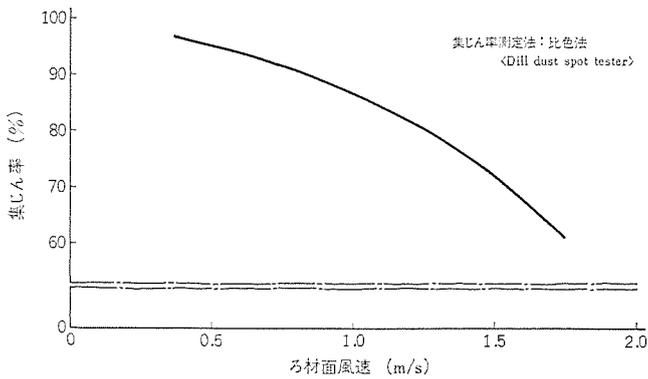
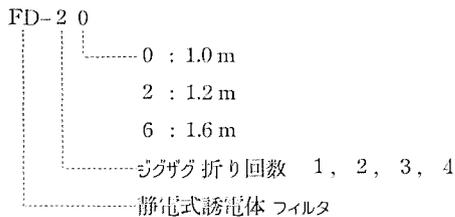


図 4.2 風速—集じん率曲線
Fig. 4.2 Collection efficiency vs. air velocity of model FD.

4.2 三菱 FD 形の仕様

図 4.1 に三菱 FD 形静電式誘電体フィルタの外観を示す。機種は使用ろ材幅 1.0, 1.2, 1.6 m の 3 種類、ジグザグ数 1, 2, 3, 4 の 4 種類の組合せからなる 12 種類を標準とし、下記の要領によって形名を表示する。



仕様一覧表を表 4.1 に、処理風量を表 4.2 に、また風速—集じん率特性を図 4.2 に示す。

4.3 特長

- (1) 微小じんあいに対して高性能である。
- (2) 火花放電による雑音電波の発生、再飛散がない。
- (3) 湿度の変動に対して集じん効率の変化が少ない。
- (4) 同一効率の機械式フィルタに比べて風損が小さい。
- (5) 連続、自動運転が可能である。
- (6) 操作、取扱い、保守が簡単である。
- (7) 直流高電圧回路の負荷調整、短絡保護に双方向 2 端子サイリスタ(S.S.S.)を採用しているので小形、軽量である。また高電圧の整流にシリコン整流器を使用しているので寿命は半永久的である。

4.4 構造とその作用

三菱 FD 形静電式誘電体フィルタは、放電部、ろ材、接地網、上部ろ材収納箱、下部ろ材収納箱、駆動部、ろ材気密走行機構および制御盤より構成されており、その概略を図 4.3 に示す構造図により述べる。

4.4.1 放電部

放電部は集じん器の性能を左右する重要な要素であり、放電部では空気中のじんあいに十分なる電荷を荷電させるとともに、ろ材中に必要な電界強度を維持する必要がある。これらの条件を満足すべく放電線径、印加電圧、放電線と放電線の間隔、放電線と金網電極間隔および放電線とろ材間隔を図 3.7 に示す基礎試験データに基づき決定したものである。

放電部構造は鋼板製わくの流入面に引伸ばし金網を配置し、わく内には絶縁ガイシで浮かした放電線をスプリングで張っており、これをろ材流入面にろ材と一定間隔を保つように取付けたものである。

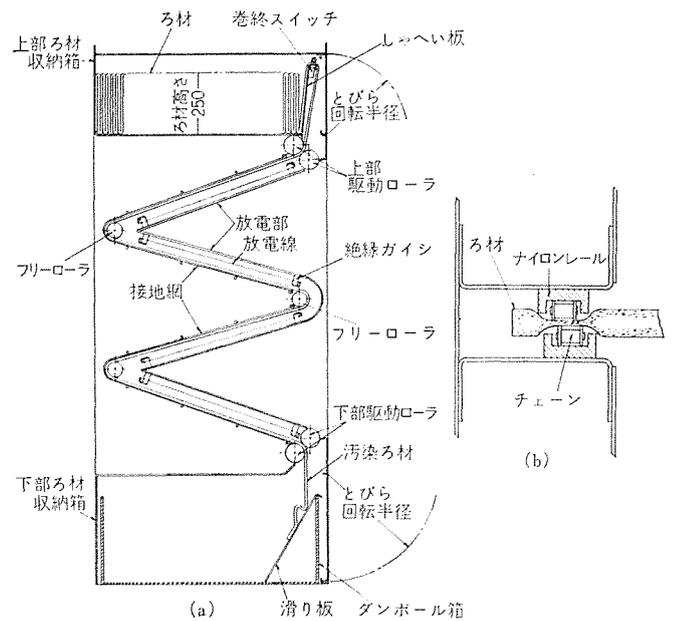


図 4.3 FD 形フィルタ構造
Fig. 4.3 Construction of model FD.

4.4.2 ろ材

ろ材は放電部とともに集じん器の性能を左右するものであるから、3.3 節で述べたような条件に基づき新たに開発した“FX-2800”を採用した。このろ材外観は集じん器の無効部分を小さくするため折りたたみ式とし、従来のロールフィルタに使用されている円筒上に巻かれているものと大きく異なっている。

4.4.3 接地網

接地網はろ材の流出面に密着するように取付けられ、放電線の対向電極となり、ろ材内に電界を形成するための電極であるとともに、気流によるろ材のたわみをささえる作用も兼ね備えたものである。接地網は 4~5 φ の鋼線にて編まれた格子状荒網をろ材に添わせ V 字形に曲げ、その空気流入面に接地電極である黄銅金網を取付けている。

4.4.4 上部ろ材収納箱

上部ろ材収納箱は機器本体の上部に配置され、折りたたまれた新ろ材を収納する鋼板製の箱である。箱内にはろ材の走行を円滑にするしゃ閉板とろ材の巻終わりを検知する巻終りスイッチが内蔵されている。

従来のロールフィルタではろ材がなくなった場合、通風を停止させ、新ろ材と交換する必要があるが、本機は新ろ材を上部ろ材収納箱にそう入し、旧ろ材の末端と新ろ材の先端を“マジックテープ”ではり合わせることで、連続運転が可能になると同時に、ろ材の先端より末端まで有効に使用できる。

4.4.5 下部ろ材収納箱

下部ろ材収納箱は汚染ろ材を収納する箱であり、箱内にろ材荷造用ダンボール箱をそう入し、これに滑り板を取付けると上より送られてきた汚染ろ材は、自動的にダンボール箱内に送り込まれる構造となっている。汚染ろ材を廃却する場合はこのダンボール箱とともに廃却すればよく、保守が簡単でオペレータの手をよごすこともない。

4.4.6 駆動部

駆動部はろ材を走行させる動力源で、ろ材の走行を円滑にし、じんあいの再飛散を少なくするために電動機の回転を約 1/2740 に減速し、下部の 2 本の駆動ローラに伝達されている。下部の駆動ローラよ

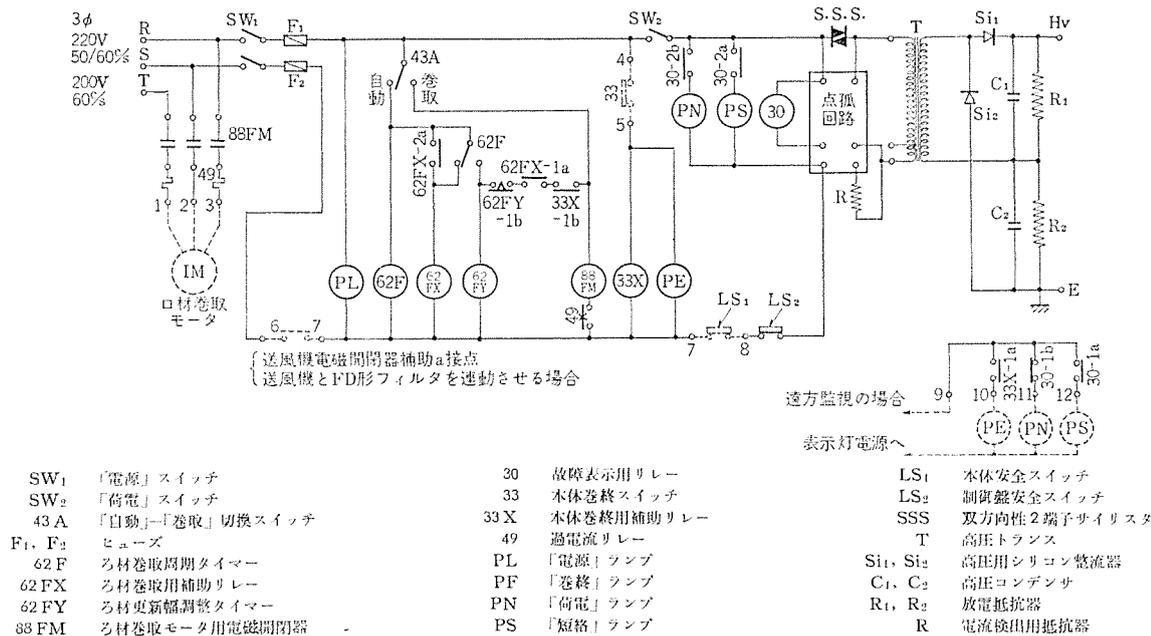


図 4.4 FD 形フィルタ接続 Fig. 4.4 Sequence diagram of model FD.

り湾曲部のフリーローラを経て上部の2本の駆動ローラにチェーンで伝達され、ろ材を約 150 mm/min の速度で走行させている。

4.4.7 ろ材気密走行機構

本機は微じんを高度に集じんすることを特長とするものであるため、ろ材の両端部より気流の漏えいがあるてはならない。そのため本機では図 4.3 (b) に示すように2本の特長チェーンで、ろ材の両端面をはさみ、チェーンをナイロンローラにそわせて走行させるため、ろ材のはずれおよび汚染空気漏えいはない。

4.4.8 制御盤

制御盤は機器の運転、操作に必要な器具類、高電圧発生回路とその調整および短絡保護に必要な部品等で構成されている。図 4.4 にその回路を示す。

ろ材走行の制御はタイマ式を標準とし、ろ材の更新幅はタイマにより 0 ~ 1,500 mm/回まで連続調整可能である。

高電圧発生回路は AC 200 V 50/60 c/s を高圧トランスで昇圧し、超小形高圧用シリコン整流器で全波倍電圧整流を行ない DC 12 kV を発生させている。また直流高電圧の負荷特性の調整ならびに短絡保護は従来の可飽和リアクトル方式を改め、双方向2端子サイリスタ (S.S.S.) を採用した。S.S.S. による負荷特性は S.S.S. の点弧角を変えることにより簡単に調整できる。また短絡保護は、高圧トランス一次巻線と直列に入れた電流検出素子である抵抗によって短絡電流を検出し、S.S.S. の点弧信号を止める回路構成となっている。この S.S.S. の採用により効率の向上、軽量化、小形化とともに短絡時の応答速度が従来のものに比較して速いため、各部品の過負荷耐量が小さくてよい利点がある。

5. 適用分野

三菱 FD 形静電式誘電体フィルタは、ローフィルタの保守の簡単さに電気集じん器の高性能を兼ね備えた空気清浄器であり、その適用分野は非常に広い。その代表的なものを列記すると下記のとおりである。

- (1) ビル、一般事務所の空気調和用
- (2) 電子計算機室、通信機室の空気調和用
- (3) 食品工場、精密機器工場、紡績工場、塗装工場などのように空気中のじんあいや細菌が製品の品質に関係する工場の空気調和用。
- (4) クリーン・ルーム用高性能フィルタのプレフィルタ

6. むすび

以上、静電式誘電体フィルタの集じん機構、集じん特性の基礎研究について概説し、実用化試験を経て開発された三菱 FD 形静電式誘電体フィルタの紹介を行なった。

三菱 FD 形静電式誘電体フィルタは電気集じん器と同様に微細じんあいに対しても高性能であり、ローフィルタなみに操作、保守が簡単であるから、空気調和に広く用いられ、環境衛生上問題とされるサブミクロン径の微細じんあいをも集んで、真に衛生的な環境づくりに貢献できることを期待している。また静電式誘電体フィルタは電氣的雑音を発生しないという特長を生かして、電子機器、通信機室の空気調和にも非常に有望である。

終わりに集じん効率測定法、集じん機構の解析に対して種々ご指導をたまわった京都大学工学部化学工学教室井伊谷教授ほか、またろ材の試作に協力されたるろ材メーカーの関係各位に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) P. White & S. Smith : High-Efficiency Air Filtration, Butter-Worths (1964)
- (2) C. Davies : Aerosol Science, Academic Press (1966)
- (3) 竹山説三 : 電磁気学現象論, 丸善, 昭-33
- (4) H. White : Industrial Electrostatic Precipitation, Pergamon Press, (1963)
- (5) C. Davies : Proc. Phys. Soc. B 63, 228 (1950)
- (6) 田畑, 森 : 昭和 42 年電気四学会連合大会予稿 874

電子計算機の自動設計

小島一男*・三上晃一*・山下陽司*・蒲原捷行*・溝口徹夫*

Automated Design of Digital Computers

Kamakura Works Kazuo KOJIMA・Koichi MIKAMI・Yoji YAMASHITA
Toshiyuki KAMOHARA・Tetsuo MIZOGUCHI

Design automation and simulation are two major techniques of making use of computers in designing computers. The former means the computer does design work and is feasible where the design process is definitely systemized with the standard design procedure established. Quite a few design work, however, still have to resort to human brain. The latter—simulation—is used for finding design errors by simulating its operation by using a computer prior to the production. As examples of the design automation and the simulation, practical methods of the wiring design and the logic simulation are discussed in this paper.

1. ま え が き

電子計算機には科学用計算機とか事務用計算機などと呼ばれるものがあることからわかるように、科学計算およびデータ処理の機能を有している。したがって面倒な計算や多量のデータを取扱う設計業務において、電子計算機は強力な道具になる。しかも、卓上計算機や会計機のような単なる道具とは違って、判断機能を有している電子計算機は人間の思考過程を模倣することが可能であり、さらに制御用計算機で代表されるように、各種の自動製造機械と連結してこれらの運転を制御することができるから、設計から製造までの全自動化は原理的に不可能ではない。

しかしながら、現時点において自動化を能率よく経済的に行ない得るかどうかということになると話は別で、自動化するために発生するコストや開発期間が、自動化によって低減または短縮される分を上回る場合は、やはり人間が作業を行なうことになるのが普通であろう。自動化を実現するためには電子計算機が必要であることはもちろん、設計過程のプログラミングのためにかなりのman-powerを用意する必要がある。通常、設計者とプログラマーとは同一人ではないから、設計過程の解析のためにはとくに設計業務に精通した人間がプログラムの仕様を作成しないと、予期していたほど自動化の効果が得られないことがある。

自動化の対象となる設計作業は、少なくとも下記の条件のひとつにあてはまらないと、設計自動化の効果は期待できない。

(1) 設計自動化の適性

- (a) 膨大なデータの分類・編集・転写・交換・照合など処理
- (b) 単純な作業の多数回の繰り返し
- (c) 多数回の試行で解を得る計算
- (d) 標準化された体系的な設計手順が確立している作業
- (e) 厳密な正確さが全データに対して第一に要求される場合
- (f) その作業だけをみると自動化しても得ではないが、前後の作業が自動化されているため、全体を自動化して途中で人手の介入を排除することによって利点が生じる場合

逆にいえば、そのときの状況次第で人間があまり時間をかけず、ある程度は直感的に結論を決定してもよいような設計は自動化しないほうが当面得策であるといえる。設計の手順がはっきりと記述できないようなものを自動化することは不可能である。

電子計算機による設計自動化が電子計算機の設計の分野で最も広く行なわれているのは、設計者が電子計算機について十分の理解を持っていることにもよるであろうが、上記の条件にあてはまるような設計作業が電子計算機の設計過程に大きな比重を占めているためと考えられる。電子計算機に特有の設計作業には次のようなものがあるが、ほとんどが自動化の対象としてとりあげられている。

(2) 自動化される電子計算機設計作業

- (a) 論理設計、論理のシミュレーション、論理式の変換
- (b) プログラム設計、プログラムのシミュレーション、プログラム変換
- (c) プリント配線基板のパターンの設計、その照査
- (d) 部品やパッケージの配置設計
- (e) 布線設計
- (f) 回路設計、回路のシミュレーション
- (g) 故障診断プログラムの作成
- (h) ドキュメンテーション

この論文では代表的な例として、布線設計および論理シミュレーションについてその実際的方法を述べる。いずれも現在製造中の電子計算機、たとえばMELCOM-3100システムシリーズの設計において実用されたものであるが、電子計算機だけでなく、一般のデジタル機器の設計にも適用できるのではないかと考えている。

このような設計自動化の成功によって実現された効果は次のようなものであった。

(3) 設計自動化の効果

- (a) 設計期間の短縮
- (b) 設計人員の減少
- (c) 誤設計の減少
- (d) 設計資料・図面の一貫性
- (e) 設計作業の標準化・体系化の促進
- (f) 設計ファイルの減少
- (g) 自動製造機械導入の動機づけ

しかしながら、このような効果にもかかわらず、実際に自動化プログラムを使用してみるとむずかしい問題が発生した。計算機を確保し、自動化のプログラムを完成するだけでなく、以下に述べるような事項を解決してはじめて自動化は成功といえる。

(4) 自動化で考慮すべき事項

- (a) 自動化のために発生するコストの処理

- (b) 計算機利用時間、キーパンチャー能力に依存する設計工程
- (c) 設計手順の変更がすぐにできない
- (d) 磁気テープやせん孔カードの形になった図面の管理方法
- (e) 一定の大きさの英数字しか印刷できないプリンタ
- (f) 自動化プログラムシステムの管理人員が必要になる

2. 布線設計の自動化

2.1 計算機設計の手順

計算機設計は、システム設計・構造設計・論理設計・電子回路設計・カードパターン設計・配置設計・結線設計にわかれる。システム設計・論理設計・配置設計・結線設計は、どのような電子計算機システムにするかによってその内容は異なってくるし、電子回路設計・カードパターン設計は計算機システムよりも、そこに使われる回路素子に支配される。構造設計は、意匠その他多くの要素を含んでいる。

いまここで取り上げるのは、システム設計・論理設計・配置設計・結線設計についてである。

システム設計は、どのような機能を持った計算機を作るかという思想を決定することである。

論理設計は、中央演算処理装置・記憶装置・入出力制御装置、およびこれらを結合する装置などが、すでに決定されたシステムの機能を実現できるように、論理回路を組み上げることである。論理設計者は、電子回路の中味がどうなっているかを知らなくても、その電子回路の機能がさわわかっていれば論理設計は行なえる。たとえば加減算回路のどの入力とどの入力とに信号を入れれば、和または差がどの出力に出てくるかということを電子回路設計者から教えられれば、それだけで十分である。このように論理設計者は、たとえば加減算回路のように1個の機能を持つ回路を最小単位として要求されるシステムの機能を実現する。

システムの機能が同じでも、論理設計された結果は必ずしも同じではない。それは、最適な論理設計は信頼度のある回路構成をすること、調整・保守がしやすくする等のために、与えられた機能を最も簡単な論理で実現するという抽象的な部分があるためである。論理設計された結果は、普通、論理式または論理図で表現される。

次に行なわれる配置設計で、論理設計で使うことになった各種の論理回路の位置を決定する。位置が決定された論理回路の端子の中で、結線したい端子に同じ名前(信号名)をつけて結線するのが、ここでいう結線設計である。図2.1に結線設計自動化のブロック図を示す。

2.2 論理設計例

ここに論理設計の一例を論理図およびこの自動設計システムで用いられた論理式と論理回路の位置を示す配置データで表わしたものを図2.2に示す。

(1)式はFF001のN出力が論理的に1ならば、FF002のJ入力に論理1がはいることを示し、論理図でのFF001とFF002を結ぶGA001の論理関係を表わす。

(2)式はFF001のN出力、EM001のN出力がともに論理1であればCA001のJ入力が論理1になることを示す。

この2式はAND回路であると定義されているとする。

この論理式については後述する。

2.3 計算機回路の構成

論理設計で使われる論理回路が物理的に対応するものは、カードと呼ばれるものである。論理回路間の論理関係は結線を行なうことで

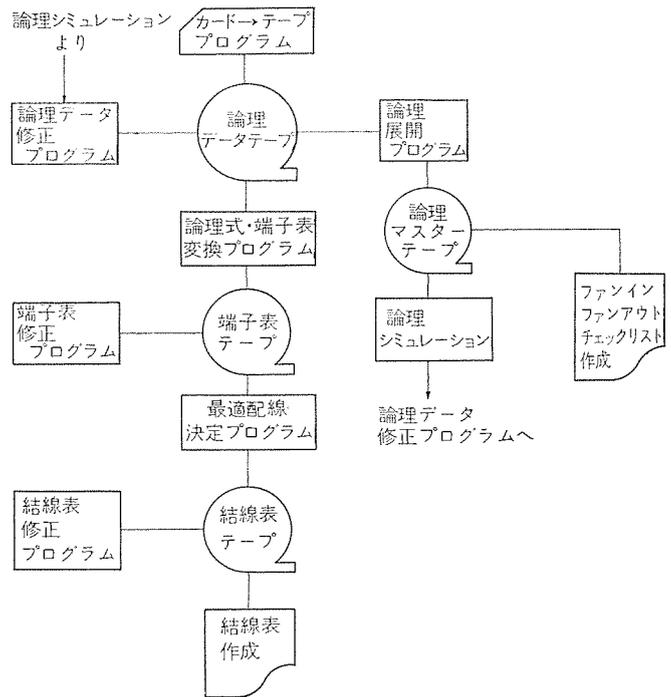
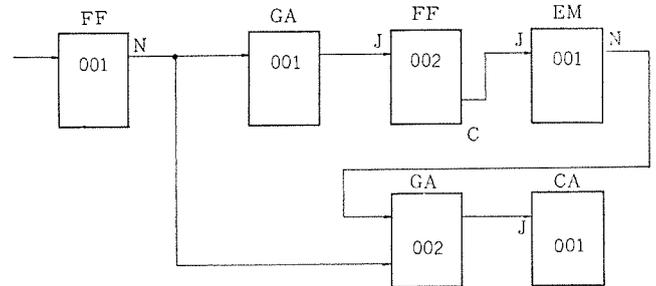


図 2.1 結線設計自動化のブロック図
Fig. 2.1 Block diagram of automated wiring design.



GA001=FF002J·FF001N	(LX XB20 01).....(1)
GA002=CA001J·FF001N·EM001N	(LX XB03 02).....(2)
DW001=FF002C·EM001J	(EM004J).....(3)
FF001=	(FF XC05 02).....(4)
FF002=	(FF XB04 01).....(5)
CM001=	(EM XC15 04).....(6)
CA001=	(CA XD06 05).....(7)

図 2.2 論理図と論理式
Fig. 2.2 Logic diagram and logic equations.

実現する。計算機回路では、結線が行なわれているコネクタと呼ばれるものにこのカードをさしこむので、結線カードとは切りはなすことができる。

2.3.1 カード

このカードには、トランジスタ、ダイオード、ICなど各種の電子回路素子がのっている。論理設計で使用される論理回路はこのカードにはいつているが、1枚のカードには普通何回路かの論理回路がはいる、回路の種類が異なることもある。いろいろな論理回路があるために、カードも何種類かその内容の異なるものがあるが、大きさ、その他外形はまったく同じである。このカードの種類を区別するために、1種類のカードに1個のカード名を付ける。

通常このカードは一つのキャビネットの中で、縦横に何列ずつか並べられる。このことから縦の何行目、横の何列目かで一つのカードの位置を表わせる。

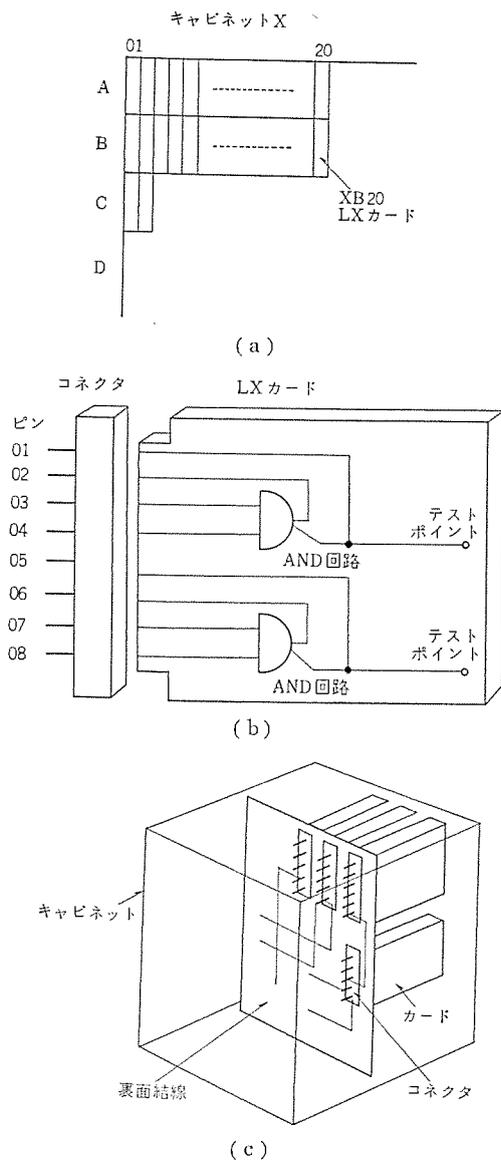


図 2.3 キャビネット、カード、コネクタ 結線の関係
Fig. 2.3 Cabinet, card, connector and wiring.

2.3.2 裏面結線

キャビネットのわくに、機械的にとりつけられたコネクタのカードと反対側に出ているピンに結線は行なわれる。これは図 2.3 によって示されている。

2.4 設計自動化の問題点

2.4.1 自動化の範囲

設計自動化をどのレベルまで行なうかというのは、一つの大きな問題である。設計作業の中で自動設計がもっとも偉力を発揮するのは、扱うデータが多く、単純、繰り返し作業が比較的多い結線設計である。さらに、配置設計を含めた自動設計の実現は、次に示す理由から、われわれはとりあげなかった。

配置設計を自動化して得られる利益は配置を上手にやることによって、論理回路間の結線長を最小にする等の最適化であるが、これらの作業は人間がかなりスマートに短時間でやり上げてしまうのに対して、計算機にこの作業を行なわせるためには、配置そのものが論理設計の内部にまではいりこまねばならない性質を持つために、かなりのプログラム量を必要とし、しかも、1回の試行だけでは最適なものが得られず、何回か繰り返しをして最終的な配置決定をせねばならないので、相当の計算機時間を必要とする。

もしも配置設計を自動化しなければ正常な動作が期待できないとすれば、その問題はむしろシステム設計・電子回路設計で考慮せねばならないことが多い。

以上のことから配置設計は自動化せず、結線設計のみ自動化を行なうこととした。

2.4.2 自動化システムへの入力形式

論理設計、配置設計後、結線設計を自動化するときの入力の形式は図 2.4 に示めされているものである。この入力形式の決め方によって自動化システムの能率が決まってくるため、これも大きな問題である。

(1) 論理データ

論理素子は組合せ論理素子と順序論理素子とがあり、そのお互いを結合させるには組合せ論理素子を用いた結合と、組合せ論理を用いない直接結合がある。

論理設計の段階で、論理設計者はすでに順序論理素子についてそれが持つ機能を定義づけており、その定義づけにしたがって組合せ論理を構成していくのが通例である。たとえば図 2.2 で FF 001 は、ある入力信号を保持する機能を持ち、FF 002 は FF 001 が入力信号を保持しはじめた次のクロックから、この入力信号の保持を引継ぐ機能を持たせたとすると、FF 001 と FF 002 を結合する組合せ論理回路 GA 001 は、FF 001 の出力を FF 002 この入力に入れる機能を持つてよい。

このように組合せ論理を表現するのに、組合せ論理の論理式を順序論理回路の入出力および他の組合せ論理回路の出力で表現することにしておき、順序論理回路はただその回路が存在することのみを示めせば、設計者の思考過程にそって論理式の記述ができるので好都合である。

論理データには、組合せ論理回路を示す論理式と順序論理回路の存在を表わすものと、組合せ論理によらない直接結合を表わすものの3種があり、同じ入力形式で与えられる。組合せ論理を表わす式および直接結合を表わす式の中にてでくる各項を信号名と呼んでいる。信号名は次の3種類の意味を表わしている。

a. 論理回路名

たとえば FF (フリップフロップ)、EM (エミッタフォロア)、GA (ゲート) 等である。

b. 同一の論理回路目でのお互いの区別のための通し番号

たとえば FF 001 と FF 002 での 001 と 002

c. 論理回路の入出力端子名

たとえば J-K フリップフロップのセット入力(J)とかノーマル出力(N) 等である。組合せ論理回路にはこれはない。

このように信号名を決めることによって、この組合せ論理回路には、どの論理回路のどの出力からの信号が組合せられるかを示すことができる。

(2) 配置データ

配置設計によって与えられるデータであり、次のものを示す。

a. 配置されたカードの位置

たとえば GA 001 の論理式と一緒に与えられる XB 20 とは、X+キャビネットのB段(上から2段目)の左から20枚目のカードを表わす。この位置には LX カードが置かれてある。

b. 論理回路のカード内での回路番号

たとえば GA 001 は、LX カードの第1回路にある。

以上の2種類のデータが論理回路の一つずつ付記される。逆に言

例えば1回路に一つずつの論理式が与えられる。

(3) ピンデータ

組合せ論理回路については、論理データで与えられる各信号名に、配置データで与えられた位置でのカード内のピンを割り当てるための変換表がピンデータである。順序論理回路については配置データで与えられた位置でのカード内のピンに、順序論理回路の信号名を割り当てるための変換表である。

組合せ論理回路と順序論理回路では、ピンデータは形式が少し異なる。一つのカード内に組合せ、順序の両論理回路が含まれるときは両方のピンデータを用意すればよい。このピンデータによって、各ピンに一つずつ信号名が割り当てられる。このように、論理端子表変換をデータで与えることによってカードの大きさが変わらないかぎり、ピンデータを作りかえて、他の結線設計にすぐ応用できるという融通性を持つ。

以上3種類のデータの組合せを計算機に行なわせることによって、能率よくデータ処理を行なわせることができる。

2.5 論理-端子表変換例

ピンデータを使って、論理データから、各カードの各ピンに一つずつ信号名を割り当てる例を示す。ただし説明のつごう上、一つのカードには1種類の論理回路のみ含む場合を考える。

2.5.1 組合せ論理回路の場合

GA 001 を例にとると、配置データで与えられるカード名 LX および回路番号 01 をピンデータの中から探し出し、そこにある変換表から、論理データをピン番号に割りあてる。GA 001 には 01, FF 002 J には 02, FF 001 N には 03 が割り当てられる。この 01, 02, 03 に配置データ, XB 20 を付け加えれば XB 2001~XB 2003 が GA 001, FF 002 J, FF 001 N にそれぞれ対応する。

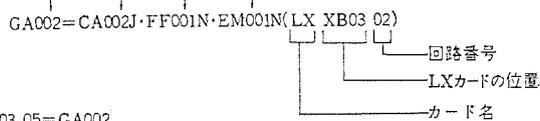
図 2.4 に LX カードのピンと論理回路の対応例が示めされている。

2.5.2 順序論理回路の場合

FF 002 を例にとると、配置データで与えられるカード名, FF をピ

LXカードのピンデータ

回路番号	01	02	03	04
01	01	02	03	04
02	05	06	07	08

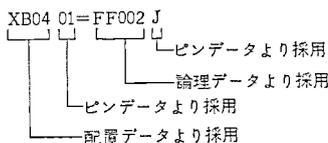


XB03 05=GA002

FFカードのピンデータ

ピン番号	01	02	03	04	05	06	07	08
	*01J		*01C	*02J	CLK	*02N		GRD

FF002 (XB04・01)



XB04 05=CLK
ピンデータからそのまま採用

図 2.4 ピンデータ例
Fig. 2.4 Examples of PIN-data.

ンデータから探し、その変換表の中で回路番号によって指定される端子名, J と N と C のうち, 配置データによって与えられた回路番号, 01, に対応する端子名, J と C がその端子名に対応するピン番号, J と C に対してそれぞれ 01 と 03, が求められ, 論理データに端子名を付け加えて, 信号名, FF 002 J, FF 002 C とし, 配置データ, XB 04 にピン番号を付け加えたもの, XB 0401, XB 0403 を対応させる。

ピンデータの中には回路番号に無関係に必要なものがあり, これの信号名はピンデータで与えられたものをそのまま採用するところが他と異なるところである。クロック, 接地 (CLK, GRD) 等がこれである。

2.5.3 直接結合の場合

2 点以上を組合せ論理回路を使わず直接結合する場合は, 結線すべきピンには別の信号名がついている。FF 002 C と EM 001 J がこれである。

この二つの信号名は等価であることを示し, どちらか一方に信号名を統一するためのデータが図 2.2 の(3)式で与えられた DW 001 である。この場合は FF 002 C を EM 001 J で置きかえる。以上の操作をすべてのカードに適用して端子表ができ上がる。端子表は端子番号順に並んでいるので, これを信号名順に並びかえる。その一例が表 2.1 である。ここで同一信号名を持つピンは短絡すべきピンである。

2.6 結線表作成

信号名順端子表に示めされた順に, 同一信号名を持つピンを結線すれば, 一応その目的は達せられるかもしれないがこの方法は次のような欠点を持つ。

(1) 結線の全線長が長くなりすぎて規定の長さを越えるおそれがある。

(2) 信号源と負荷間の距離の差が大きくなりすぎる。

2.6.1 最適結線方法

結線順序決定のために次のようなアルゴリズムをもつ方法が, まず利用された。

(1) n 個の結合すべきピンがあったとすると, すべての組合せ nC_2 とおりの結合の 2 点間の距離計算を行ない, テーブルを作る。

(2) この距離計算で, もっとも短かかったもの同志をつなぎ,

表 2.1 ピンデータをもとに, 図 2.2 の 1~5 式より求められた端子

Table 2.1 Generated connector list from equations of Fig. 2.2.

XB0305=GA002	XB0306=CA001J
XB0306=CA001J	XB0405=CLK
XB0307=FF001N	XC0505=CLK
XB0308=EM001N	XB0403=EM001J(FF002C)
	XB0308=EM001N
XB0401=FF002J	XC0504=FF001J
XB0403=EM001J(FF002C)	XB0307=FF001N
XB0405=CLK	XB2003=FF001N
XB0408=GRD	XC0506=FF001N
	XB0401=FF002J
XB2001=GA001	XB2002=FF002J
XB2002=FF002J	XB2003=FF001N
XB2003=FF001N	
	XB0401=FF002J
XC0504=FF001J	XB2002=FF002J
XC0505=CLK	
XC0506=FF001N	XB2001=GA001
XC0508=GRD	XB0305=GA002
	XB0408=GRD
	XC0508=GRD

端子番号順端子表

信号名順端子表

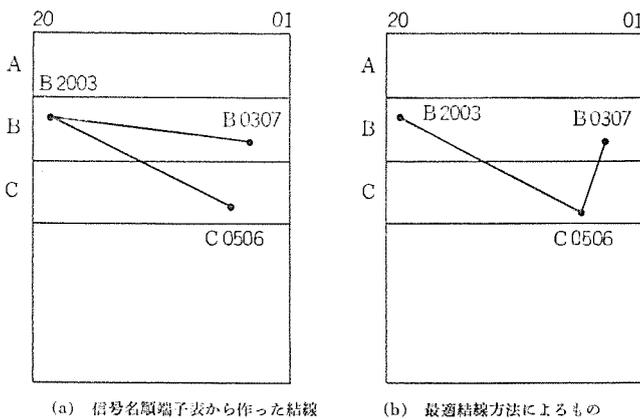


図 2.5 裏面結線 (FF 001 N の結線例)

Fig. 2.5 Back panel wiring (case of FF 001 N).

次にこの2点からの距離がもっとも少ない点を選んで結合する。

(3) 以上の操作を結合すべきピンがなくなるまで行なう。ただし一つのピンには、ただちに結びつけることができる結線本数は物理的に限界があるので、常にこれをチェックしながら操作を続ける。

この二つの方法の比較を FF 001 N の結線順序を例にして、図 2.5 に示す。

図 2.5 の (b) は (a) に比べて全線長も短かいし、信号源 XC 0506 から負荷までの距離の差も少ないので、立派な結線順序決定がなされたといえる。こうして結線表テープができる。

2.6.2 結線表作成

この結線表テープから、製作のためにつごうよい形で、結線表を作成する。そのためには次のことに注意が払われた。

(1) 作業者が見やすいように、結線をする点を並べて結線表にプリントする。

(2) 電源線・信号線(入力線、出力線)・接地・クロック配線など、配線順序が異なるものを区別する。

(3) 結線を行なうきょう(筐)体が大きいときには、そのきょう体の配線を何ブロックに分割し、結線もブロック内結線とブロック間の渡りの結線とにわける。

などである。現在では結線表テープからこれらの分類をしながら紙テープに結線順序をパンチし、結線作業の自動化に利用されている。

2.6.3 結線表の修正

このシステムでは3箇所までデータを修正できるようになっているが、端子表を修正しその端子表をもとに、結線表を作り直すとは修正された端子に関してのみ結線表は修正されるのではなく、今までの結線順序とは異なったものとなってしまう。そのため一つの修正をやるために3段階の修正が必要である。このことから結線表から端子表、端子表から論理式への各種データの逆変換が必要となってきた。

以上のプログラム開発には、3 man-monthを要し、約1万点のピンを持つ装置の結線表作成に約2時間の machine-time を必要とする。人間が行なう単純繰り返し作業は減少したが、今までになかった各種の作業がふえたという問題がでてきた。

3. 計算機論理のシミュレーション

3.1 シミュレーションの目的

計算機の開発を大きくわけて、システム設計・論理設計・回路設計・ソフトウェアの開発に分けるとすると、それぞれの分野で開発中の計算機のシミュレーションが必要となる。システム設計では大局的にみた計算機の性能の予測や、各種の演算装置や入出力装置の使用効率など

を調べる必要がある。回路設計においてもその回路の電気的特性、信頼度の予測を設計の段階で調べておく必要がある。ソフトウェアの開発はハードウェアの開発と並行して行なわれるので、作成したプログラムをかけてテストすべき計算機はできあがっていない。

そこで、既存の計算機に開発中の計算機のプログラム言語の解読能力と同じ動作ができる能力をプログラムによってもてるようにしておき、新しい計算機用のプログラムのテストを行なえるようにする。共通して言えることは、製品としてできあがっていない計算機について、おのおのの部門においてその設計上の誤りを早い機会に見つけ出すことによって、開発スケジュールの遅延を防ごうとしていることである。

論理設計におけるシミュレーション^{注(1)}も目的はほぼ同じであり、論理設計者が作成した論理構成上のミスを工作以前の段階で抽出することに大きな意味をもっている。単なる不注意による誤りは、各設計者の心がけによりある程度は防ぐことはできるが、万全を期すには計算機を利用するのがよい。さらに、設計者自身、あるいは相互によるチェックを行なったとしても、ある種の固定観念が働くために抜け落ちはあるし、予測できないような障害状況についても検討するにはやはり計算機の利用が有力である。さらには、いくつかの制御装置の信号の授受、とくにそれが非同期で多数のパリエーションを持ちうる場合など、複雑な構成になっていればいるほど人手によるチェックは困難になり、計算機の利用が必要となる。

このようにシミュレーションを用いることにより、論理設計のチェックの能率向上と精度の向上を期待することができるが、反面、多量のプログラム作成・データ作成・計算機の使用が必要であり、それらのために俗にいうプログラムミス、データミス、オペレーションミスなど、本来論理設計と関係のない部門でのエラーによる混乱も生じる場合がある。ただし、これは計算機を利用する際に常に付随する問題であって、このようなシステムを作成するにあたって、あらかじめ考慮し、防ぐことのできるものは防ぐようにしておくべきである。

3.2 論理構成の表示法

一般に計算機の本体は、中央演算制御装置・コアメモリ・メモリ制御装置・入出力機器制御装置、およびそれらの間にあって情報の円滑な流れを制御するチャネルなどから構成されている。それぞれの装置はおのおの特有の機能を持ち、特有の論理構成をとっているので簡単には同列に並べがたいが、使用する回路素子・論理構成の表記法の規格化などにより、布線設計やシミュレーションなどのデータ処理において共通に取扱うことが可能である。

3.2.1 素子

ここでは論理構成の単位となっているものを素子と呼ぶことにする。大きくわけて素子は記憶能力を持つものと持たないものの2種類に分けることができる。前者を記憶素子、後者を論理素子と呼ぶことにしよう^{注(1)}。注これは一般的な分類として当を得ているかどうかは別として、シミュレーションを行なううえでは重要な分類である。記憶素子が記憶能力を持つことは時間遅れを持つものだと解釈することにする。したがって記憶能力を持ち、しかも時間遅れを持たない素子は記憶素子のカテゴリーには入れないことにする^{注(2)}。

注(1) ここでいう“記憶”、“論理”という言葉の意味にあまり深くとらわれてほしくない。記憶素子でも論理的な動作は行なうし、論理的と呼ぶには単純すぎる“論理”素子もあろう。

注(2) 適切な表現を用いるとすれば、“遅延素子”と呼ぶほうがよいかもかもしれない。ただ、“遅延”と“論理”という組合せは対照語としてあまりおもしろくないので、このような表現にした。

論理素子としては図 3.1 に示されるようなゲートインバータアンプなど、さらにそれらが複合されたものなどがあり、記憶素子としては図 3.1 に示されるようなフリップフロップ類や、論理素子と記憶素子の複合されたものなどがある。

シミュレーションは一般に計算機システム全体としてではなく、その中的一部分について行なわれる。その対象とする論理ブロック外の素子についても直接影響あるものは、便宜上、論理ブロック内にあるかのように取扱われる。これらの素子が論理素子と記憶素子のどちらのカテゴリに属するかは、その場合それほど興味はなく、むしろそれが外部の素子であるということを強調するために外部素子と呼ぶことにする。

3.2.2 素子の特性の表示

素子の入出力端子間の因果関係・時間遅れをもつかどうか、もつとすればその長さなどが主たる関心事であり、細部の電気的特性やそのパラッキは無視する。また論理素子の時間遅れはゼロとみなす。

入出力の関係を表示するのによい方法は表 3.1 のような真理値表を用いることである。真理値表はすべての入力の組合せについて、それに対応する出力を表示しているの、計算機のデータとして適当であるので、素子の特性表示データとして利用することができる。

3.2.3 論理式と演算形式

設計された論理構成は論理式を用いて表示される。ここでは論理式は次のような構成になっているものとして取扱うことにする。

入力部分
出力部分
演算形式

入力部分は1個またはそれ以上の項で構成されている。それらの入力を指定された演算形式で計算した結果が出力部分の状態の表示となる。たとえば

$$\left. \begin{aligned} a &= bcd \text{ (AND)} \\ a &= bcd \text{ (OR)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

は、一般には次のような表記が行なわれている。

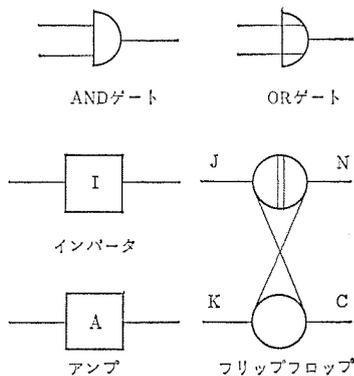


図 3.1 素子例
Fig. 3.1 Element examples.

表 3.1 フリップフロップの真理値表
Table 3.1 Truth table of a flip-flop.

J	K	N	C
0	0	hold	
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	不	明

$$\left. \begin{aligned} a &= b \cdot c \cdot d \\ a &= b + c + d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.2)$$

計算機で処理する便宜上、式(3.1)の表記を採っていてとくに不自由はない。たとえば

$$a = b + c \cdot d \dots\dots\dots (3.3)$$

という式は複合化された論理関係を示しているが、この演算形式を仮りにORANと呼ぶことにしよう。すると次のような表現を用いることができる。

$$a = bcd \text{ (ORAN)} \dots\dots\dots (3.4)$$

ここで注意すべきことは、

$$\left. \begin{aligned} a &= bcd \text{ (AND)} \\ a &= cbd \text{ (AND)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.5)$$

の2式は同値であるが、次の2式は同値ではないという点である。

$$\left. \begin{aligned} a &= bcd \text{ (ORAN)} \\ a &= cbd \text{ (ORAN)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.6)$$

これらはそれぞれ次の意味である。

$$\left. \begin{aligned} a &= b + c \cdot d \\ a &= c + b \cdot d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.7)$$

要約すると演算形式は別途指定するので、論理式の入力部分には入力項を並べるだけでよい。ただし、その順序は注意する必要がある。

3.2.4 論理式と特性表示

うえに述べた項目以外に出力部分に示される素子の特性を何らかの形式で論理式に与えておく必要がある。記憶素子・論理素子・外部素子のどれに属するか、入出力関係はどうかなどということすべて式に記入するわけにはいかないので、それらをコード化して、そのコードを論理式に与えておく。素子の入力端子にはその入力条件を設定する入力ゲートが接続している。図 3.2 の場合はその入力条件を次のように表示することができる。

$$\left. \begin{aligned} A_J &= abc \text{ (AND, } \alpha) \\ A_K &= def \text{ (AND, } \alpha) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.8)$$

ここで α は素子Aの分類コードであり、 A_J 、 A_K はそれぞれ素子AのJ入力端子、K入力端子を示している。この2式をANDと指示された演算形式で計算することにより、J、Kの入力値を求めることができる。その結果得られたデータを基にして真理値表を索引すれば、Aの出力 A_N 、 A_C を求めることができる。(もちろんこの場合Aが記憶素子であれば、結果を出すのは一時留保される)要約すると、個々の素子について2段階の操作が行なわれる。第1段階では入力論理式により入力状態を求める。第2段階では真理値表により出力値を求める。

3.3 論理データの整理

3.3.1 素子の番号付け

設計者により作成された論理データは、素子の名称・端子の名称などすべて英文字を利用した記号表示になっている。このようなシンボリック表示を用いるのは、データの作成・結果の利用を容易にするためには避けることはできない。一方計算機で処理するにはこのような記号表示のままでは、検索する手数と時間のロスが大きく能率低下を招く。そこで入力データ、結果のアウトプットはもちろん記号表示で統一するが、計算機内部では能率よい表示法に変換した形式で使用するほうが、システム全体としては若干複雑になるが効率はよくなる。論理素子をすべて番号付けすること、端子名も番号化することにより、以上の目的を果たすことができる。この場合、当然なが

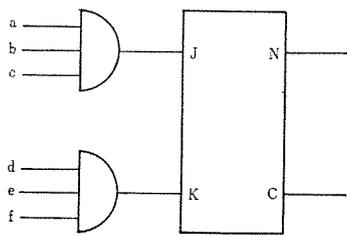


図 3.2 入力論理図
Fig. 3.2 Input logic diagram.

素子名 A
素子コード a

ら外部素子にも番号を与える。

3.3.2 論理式の順序関係

入力論理式を計算するためには、その入力項となる素子の状態がその前に設定されていなければならない。そのためには、その素子の入力論理式の計算が必要であり、それにはさらに、その素子の入力項となっている素子の状態の設定が終わっていないなければならない。したがって論理式全体は一種の半順序集合になっていて、ある式は他の特定の式の前（あるいは後ろ）になければならないという順序関係が存在する。しかしながら、すべての式相互にその関係が必要とはかぎらないので、半順序集合であるといえる。

計算機の論理構成には結合関係のループが相当数存在しており、そのループ内の論理式相互の順序関係はどちらが前とも後ろとも呼ぶことはできない。ただし、そのループの中に記憶素子がある場合、記憶素子は時間遅れを持っていて、シミュレーションの区切りとすることができ、そのループは記憶素子の位置で切れているものとみなすことができる。同様に外部素子もひとつの区切りをつけるものと取扱うことができる。例として図 3.3 を参照されたい。この論理ブロックは外部素子 E1~E4、記憶素子 F1~F3、論理素子 G1~G5 によって構成され、それぞれの結合関係は図に示すとおりである。この図から G2 および G3 に関する論理式は G4 の前になければならず、G4 は G5 の前になければならない。しかしながら、G1 は G2~G5 のいずれとも前後関係は持たない。

3.3.3 論理レベル

以上の考察により論理式の間に関係があることがわかった。以後この関係の表示法として“論理レベル”ということばを用いる。記憶素子と外部素子の論理レベルを 0 とする。入力がすべてレベル 0 の素子ばかりである論理素子（図 3.3 では G1, G2, G3）のレベルを 1 とする。一般に入力項となる素子のレベルが l_1, \dots, l_n である素子のレベルは次のように規定する。

$$\text{LEVEL} = \max(l_1, \dots, l_n) + 1$$

図 3.4 にレベルを求めるアルゴリズムのフローチャートを示しておく。

3.3.4 論理レベルに関する例外事項

(1) レベル 0 の素子を含まないループが存在する場合

図 3.5 (a) にその一例を示す。このような論理ループが存在すれば論理レベルを求めるのは不可能であり、同時にシミュレーションもできなくなる。この対策としては、ループの一部に仮想的に外部素子をおき切断を計る方法がある。

(2) グループとしてレベルをつける必要がある場合

図 3.6 は 2 ビットの アダー が 1 枚の カード パッケージ に入れている。1 ビット 目と 2 ビット 目のけた上げは内部で配線されている。1 ビット 目への入力となるけた上げと 2 ビット 目の出力となるけた上げは端子として外に出ており、隣のカードパッケージを接続されるようになっている。この場合 1 ビット 目と 2 ビット 目の間の配線は論理式で

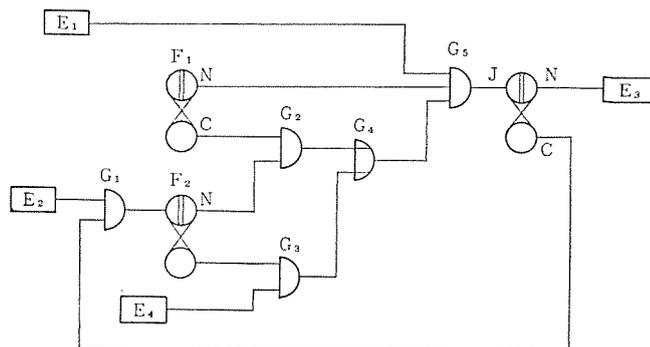


図 3.3 論理ブロック例
Fig. 3.3 Example of a logic block.

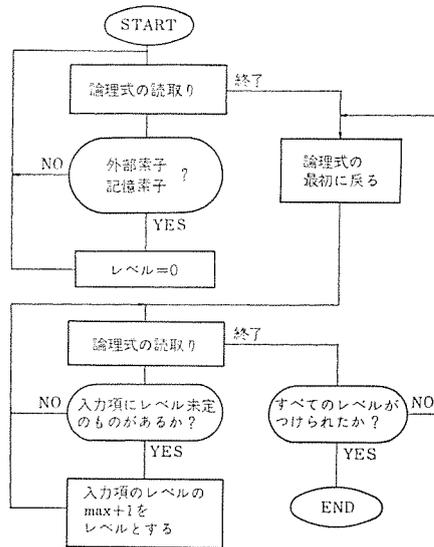


図 3.4 論理レベル決定過程
Fig. 3.4 Decision process of "logic level".

表示しても、布線設計には影響はないし、利用者が承知しているなら省略してもほとんど支障はないので、設計者の作成するデータには加えられない。

シミュレーションにおいては、AD1 のけた上げが AD2 に移るといっは見のがせない事実であり、当然 AD1 のレベルが AD2 よりも大きくあってはならない。したがって間の配線を示す論理関係が省略されている場合、何らかの方法でその対策が必要となる。その方法としては次のようなものが考えられる。

- 関係式を手により、または計算機により作成する
- 関係する素子をまとめて、より大きな素子であるとみなす
これにより省略されている部分はまとめられた素子の真理値表の作成により補うことができる。後者の方法には種々のパリエーションが考えられるので、前者の立場より積極的に応用性にも富んでいる。

3.4 論理式の計算機プログラムへの変換

シミュレーションは論理式データを多数回反復して使用するために、計算能率の向上のためには論理式データの処理時間の短縮が大きな比重を占めている。前に述べた素子名の番号化もそのひとつである。ここでは論理式を計算機プログラムに変換することを考察する。

3.4.1 プログラム化の例

例をあげて考えてみよう。

$$A = B \cdot C \cdot D \text{ (AND)} \dots\dots\dots (3.9)$$

という論理式があるとする。ここでは A, B, C, D はすべて番号化されているものとする。シミュレーションするときには、メモリ内にそ

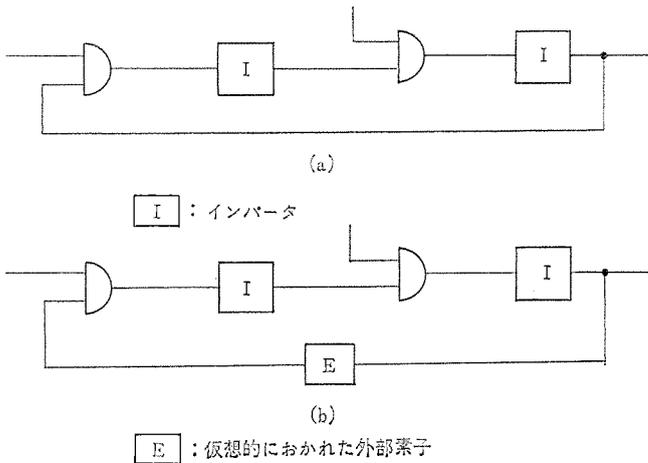


図 3.5 レベルに切れ目がないループ例とその解決方法
Fig. 3.5 An example of an endless loop and its equivalent.

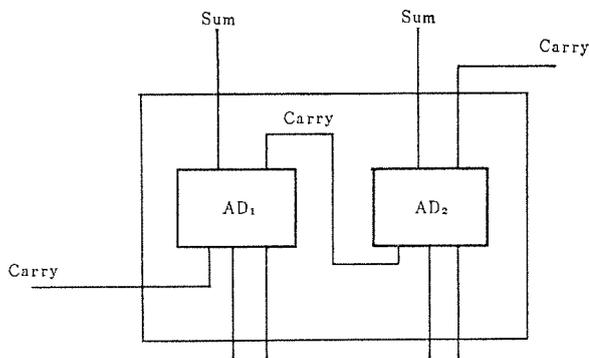


図 3.6 アダー回路
Fig. 3.6 Adder circuit.

それぞれ A, B, C, D に対応するデータエリアが用意されている。そのアドレスを A', B', C', D' としよう。

式 (3.9) は図 3.7 のように解釈することができる。

次のような計算機の命令語があるとしよう。

- LOD X (アドレス X の内容を アキュムレータ に load する)
- STR X (アドレス X に アキュムレータ の内容を store する)
- JMZ X (アキュムレータ が 0 のとき X に JUMP する)
- JMφ X (アキュムレータ が 1 のとき X に JUMP する)
- JMP X (Uncondition に X に JUMP する)

これらの命令語を使って式 (3.9) は次のようなプログラムに変換できる。

```

LOD B'
JMZ X (B' が 0 ならば Jump)
LOD C'
JMZ X (C' が 0 ならば Jump)
LOD D'
STR X A'

```

式 (3.9) からデータをひとつずつ取り出して計算するのに比べて、このようにプログラム化を行えば、数分の 1 の時間で計算できる。

3.4.2 プログラム化のためのコンパイラ

$$A = B \cdot C \cdot D \cdot E \text{ (AND) } \dots\dots\dots (3.10)$$

という論理式があっても、前項の例を応用することは容易であろう。

ステートメント X とその前のステートメントの間に

```

JMZ D'
LOD E'

```

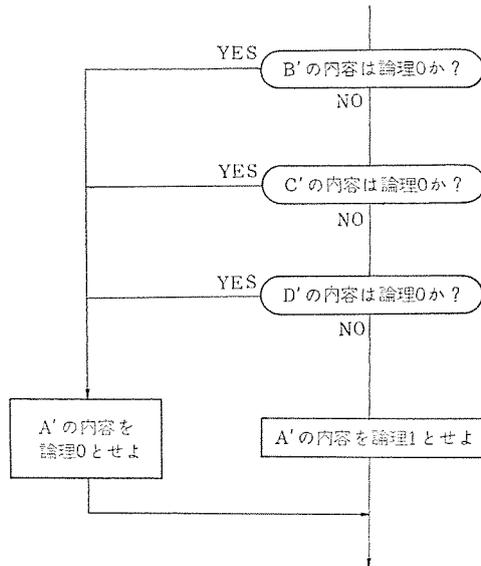


図 3.7 AND 論理演算過程
Fig. 3.7 AND logic processing.

という 2 個のステートメントを加えればよい。AND という演算形式の指定があれば、その変数の数に無関係にこのようなプログラム化は容易にできる。OR, NAND, NOR でも同様であり、論理式の定義の項であげた ORAN なる演算形式でもプログラム化は本質的に相異なるものではない。それぞれの演算形式に応じてプログラム化のためのデータを用意しておき、それぞれにアドレスをそう入すればよいというプログラムを作成しておけばよい。これは一種のコンパイラになっていて、論理式はそのコンパイラ言語で書かれたプログラムであるとみることがもできる。はん用性・融通性を考慮した場合このコンパイラは演算形式の追加・削減が容易にできることが望ましい。

3.5 単位シミュレーション

設計者により作成された論理式は以上の過程により、番号化され、論理レベルによる配列変更が行なわれ、さらにコンパイラによってプログラム化されたことになる。ここでは、シミュレーションを行なううえに必要なもうひとつのデータ、初期状態の設定について述べるとともに、シミュレーションの可能な範囲について考察しよう。

3.5.1 初期状態の設定

レベル 0 の素子 (記憶素子・外部素子) の状態は、論理チェーンの切断点にあたっているため、あらかじめ何らかの形で与えられなければならない。それ以外の素子は順に論理式を計算することにより求めることができる。図 3.3 についていえば、外部素子 E1 ~ E4, 記憶素子 F1 ~ F3 の初期状態を与える必要がある。

初期状態の設定の方法にはいろいろくふうの余地がある。初期状態表を作成しておき、それにレベル 0 の素子のすべての初期状態を与えておき、それを順次取りかえてシミュレーションを行なう方法がある。ほかに、初期状態は原則としてすべて 0 にしておき、1 にセットすべき素子だけを与える方法もある。この場合シミュレーションの結果新たに得られたレベル素子の状態をそのまま続けて使用し、変える必要のあるものだけ変えるようにすればよい。前者は Combinational なシミュレーションであり、後者は Sequential なシミュレーションであると言えよう。それぞれ一長一短があるが、Combinational なシミュレーションは小さな論理ブロックのテストに、Sequential は大きな論理ブロックのテストに相当であるといえよう。

3.2.5 単位シミュレーション

初期状態の設定が終わった後、コンパイルされた論理式を次々に実

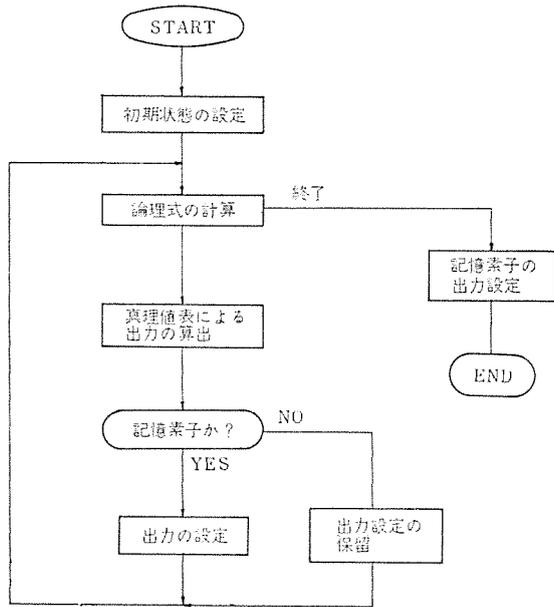


図 3.8 単位シミュレーション
Fig. 3.8 Unit simulation.

行する。その結果レベル0の素子を含めてすべての素子の新しい状態が求められる。ただし記憶素子は遅延を持たせるために、出力の変更はすべての計算の終了後あらためて行なう。図3.8はそのフローチャートを示す。このようにして、初期状態の設定後論理式の計算と出力の解析を行なった結果は、ちょうど1クロック経過後の状態が得られたことになる。シミュレーションの作業はすべて以上の操作を単位として種々のコントロールのもとで行なわれるので、これを単位シミュレーションと呼ぶことにする。以下この単位シミュレーションを行なううえでの2, 3の問題について触れてみる。

(1) 入出力の関係が真理値表で表わすのに適当でない素子

入出力数が多くて真理値表に表わせない場合や、論理式では表わされていない入力がある場合(たとえばシフトレジスタのシフトパルスを論理式に書かない場合がある)その他の事情によって、特殊な処理を行ないたい場合がある。このような場合、出力の設定は真理値表を用いず、事情に応じたサブルーチンを作成することになる。

(2) メモリアクセス

中央演算処理装置からみたとき、メモリとの読み書きは外部素子との信号のやりとりと解釈することができる。したがって原理的には特別扱いをする必要はないが、Sequentialなシミュレーションを行なう場合、メモリのデータの制御まで行なうのは繁雑であり、模擬メモリを用意して自動的にこれをアクセスすることが望ましい。これをメモリアクセスのタイミングの制御をする素子の出力設定の段階で行なえばよいので、前項で述べた出力用特殊サブルーチンを作成しておく。

(3) 1クロック以上の遅延のある素子

これは図3.8のフローチャートに表面的には表われていないが、記憶素子の出力設定のところで、やはり特殊なサブルーチンを用意して、時間の経過に応じて出力を出す。これは主としてSequentialなシミュレーションに用いられる。

3.6 シミュレーションの制御

ここではSequentialなシミュレーションを制御する方式について述べる。Sequentialなシミュレーションとは3.5.1項で説明したように、単位シミュレーションを連続的に、必要な素子以外は外部から状態を変えることなしに、実行することである。

3.6.1 制御内容

Sequentialなシミュレーションは基本的には次のような制御の組合せにより実行される。

- a. 初期状態の設定
- b. 単位シミュレーションの実行
- c. 結果の出力表示
- d. 結果のテスト

このうちa, bの2項はすでに説明済みである。

(1) 結果の出力表示

単位シミュレーションの結果の素子の状態を表示する方法はいろいろ考えることができる。

- a. すべての素子の名称と状態を表にして出す
- b. 結果が1の素子の名称のみを出す
- c. いくつかの着目する素子を指定して、単位シミュレーションが連続して行なわれたときの時々刻々の変化、いわゆるタイムチャートを出す。

これらの方式のどれを採用するか、結果のデータが多すぎると予想される場合の取捨選択の方法などにも融通性が望まれる。

(2) 結果のテスト

単位シミュレーションが終了した時点で、特定の素子の状態をテストし、それによってシミュレーションの続行方法に変化を持たせる方法なども有力である。テストの目的としては正しい結果が得られたかどうか知ることや、特定の状態が起きるまで不定時間単位シミュレーションを反復させることなども考えられる。

3.6.2 制御プログラム

Sequentialなシミュレーションの流れの制御は、前項で述べた四つの項目の組合せをひとつの単位として、全体としてはプログラムの形態をとる。複雑、かつ詳細なシミュレーションを行なうには数多くの制御能力が必要で、一般のプログラム言語の中に、そのマクロ言語としてシミュレーションの制御に必要な事項を組込む方法をとるのがよい。MELCOM-1530のSIAアセンブラ言語は自由にマクロ命令を追加することが可能であるので、その点は大きな支障はなかった。

制御プログラムは設計者自身に書かせるほうが細部にわたってチェックできるのでよいと思われる。しかしながら、論理設計者は必ずしもプログラムの表現に慣れていないので、プログラミング自身の負担はできるだけ軽減するようにしなければならない。

3.7 考察

以上のべた項目をまとめると、シミュレーションの作業は大きくわけると三つになる。ひとつは論理式データの作成とそれをシミュレーション用に変換することである。布線設計の自動化のためにも論理式は作成されるので、それを流用すればよいが、シミュレーションには布線設計用のデータにはない情報も必要となる。たとえば演算形式は、布線設計では関知しないがシミュレーションでは重要なデータである。また布線設計のみを目的とする場合、データ作成の手数を省くため支障のない範囲で論理を部分的に省略したりするが、シミュレーションではそれは大きな障害となる。したがって、布線設計とシミュレーションでは、ある程度データを要求する内容が異なっていることを注意する必要がある。

他の作業項目としてシミュレータの作成がある。単位シミュレーションを実行するプログラム、その他の制御指令を実行するプログラム、論理データを変換するプログラムなどを含めるとプログラム作業量は相当大きくなる。自動設計システム全般にいえることであるが、このような

プログラムを作成する態度としては、できるかぎりは汎用性を持たせることである。計算機が変わるとプログラムを作り直すのではロスが大きすぎる。もちろん、使用素子や設計条件の変更に伴うプログラムの変更は避け難い。そのような変更による影響をできるだけプログラムの一部に押えるようなプログラム設計をやっておくべきであろう。

3番目の作業はシミュレーション制御プログラムの作成である。理想的には設計者以外の人がある設計内容を理解してプログラムを作成するのがよいが、作業時間の関係などから、改善の策としてプログラム作成は設計者に委嘱するのはやむをえない。そのときすでに述べたことであるが、プログラムの負担を設計者に持たせないような配慮が必要であろう。使用方法が複雑で敬遠されるようでは、内容的にすぐれているプログラムであっても意味はない。

4. む す び

布線設計の自動化について、論理式から結線表作成までの過程の計算機による処理方法を一事例をもとに紹介した。これによって簡便な取り扱いやすい自動化システムを作ることができた。

また計算機論理のシミュレーションについて、その基本的な考え方、内容の紹介と検討を行なった。論理設計の完全自動化は現状では夢

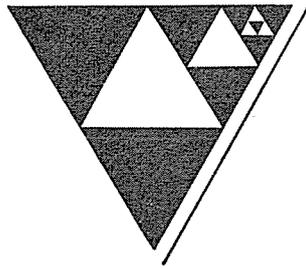
物語であり、人手による設計上の誤りを防ぐ手段としてシミュレーションは大きな効力を持っている。さらに故障自動診断システムのデータ作成にも用いることができ、広い利用価値を持っているともいえる。
(昭42-4-12受付)

参 考 文 献

- (1) M. A. Breuer : General Survey of Design Automation of Digital Computers, Proc. IEEE, 54, No. 12, 1708 (Dec., 1966)
- (2) M. D. Prince : Man-Computer Graphics for Computer-Aided Design, Pro. IEE, 54, No. 12, 1698 (Dec., 1966)
- (3) 三上 : 電子計算機の自動設計 連大, 1981 (昭41)
- (4) 三上, 蒲原, 溝口, 田淵 : デザインオートメーションとは何か, エレクトロニクス, 11, No. 11, 1145 (昭41, 10月)
- (5) 三上, 蒲原 : 計算機論理シミュレーション方式 連大 (昭42)
- (6) 小島, 三上, 蒲原, 山下, 溝口 : 電子計算機布線設計の自動化, 信学誌, 50, No. 4, 163 (昭40)
- (7) 加藤, 戸田, 中村, 山田 : 計算機を用いた計算機論理のデバッグについて, 情報処理, 4, No. 2, 73 (昭38)

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
電気洗濯機	41-10- 4	811701	小原英一・小野健一 関根文男	商品研究所
送風機用中空翼車	41-10- 6	812109	竹中正恭	中央研究所
送風機用中空翼車	41-10- 6	812110	竹中正恭	中央研究所
送風機用中空翼車	41-10- 6	812111	新倉宗寿	中央研究所
テレビジョン撮像カメラ用レンズの絞り装置	41-10- 8	812328	福岡成忠 藤原謙一	日本光学 京都(無線機)
オーブンコア形リアクトル	41-10-12	812514	忍正寿	伊丹製作所
時限パルス発振装置	41-10-12	812515	林正之・佐藤安俊	福山製作所
計器用軸受装置	41-10-12	812516	山県 稔・瀬良 務	福山製作所
アンテナ用反射板の取付装置	41-10-12	812517	橋本公佑・高木繁治	通信機製作所
電解加工装置	41-10-12	812518	伊藤 明	名古屋製作所
回転検出装置	41-10-12	812519	中野久夫	長崎製作所
誘導加熱装置	41-10-12	812520	喜多村弘明・大本豊重	伊丹製作所
電磁ブレーキ付クラッチモータ	41-10-12	812521	横山昌弘	名古屋製作所
内燃機関点火装置	41-10-17	812779	三木隆雄	姫路製作所
扉のインタロック装置	41-10-17	812780	天藤憲二	神戸製作所
感温自動制御装置	41-10-17	812784	東 邦弘・大沢紹清	群馬製作所
イオン検知器	41-10-17	812785	成田勇三・浅野 忠	中津川製作所
電池収納装置	41-10-17	812781	穴倉周作・鶴谷嘉正 和泉 俊	群馬製作所
消しゴム装置付鉛筆削り機	41-10-17	812783	武井久夫・小川 昇 川合輝一	群馬製作所
拡散ポンプ	41-10-24	813152	藤永 敦	中央研究所
放電加装置	41-10-24	813153	斉藤長男	名古屋研究所
高周波電力分配器	41-10-24	813154	川上 昭	通信機製作所
押ボタンスイッチ	41-10-24	813155	武谷勝次	福岡製作所
フィン付冷却管	41-10-24	813156	松尾 昇	神戸製作所
自動進角装置	41-10-24	813157	荒川利弘	姫路製作所
会計機などの伝票受	41-10-24	813158	加藤義昭	鎌倉製作所
電池	41-10-24	813159	林正之・佐藤安俊	福山製作所
電気車の安全運転装置	41-10-24	813160	永岡 栄	伊丹製作所
回転子巻線端部支持装置	41-10-24	813120	杉原治達	神戸製作所
回路しゃ断器の操作装置	41-10-24	813147	堀田滋矩・佐藤洋一	名古屋製作所
ツマミ	41-10-24	813148	森 健・坂上正幸	神戸製作所
開閉器	41-10-24	813149	小原太郎	伊丹製作所
テレビジョンの保護ガラス取付装置	41-10-24	813150	上新久雄	京都(無線機)
導線引込装置	41-10-24	813151	佐藤正通	姫路製作所
測定量の数値化装置	41-11- 1	591158	八島英之	中央研究所
磁気誘導形リミットスイッチ	41-11- 2	813530	宇野克己・加来政博 木内 修	長崎製作所
荷物用エレベータにおける荷物掛止装置	41-11- 2	813531	瀬原田三郎・百合草 鋼	稲沢製作所
電解加工装置	41-11- 2	813532	小林須美	名古屋製作所
拡散ポンプ	41-11- 2	813533	藤永 敦	中央研究所
掃引受信機用バリコン	41-11- 2	813534	大西能一・瀬戸信二	通信機製作所
変流器	41-11- 2	813536	長野光佑	伊丹製作所
電解加工用電源装置	41-11- 7	813882	前田祐雄・斉藤長男	名古屋製作所
冷却装置を備えた超小型回路装置	41-11- 7	813883	小林信三	北伊丹製作所
圧縮機の無負荷起動装置	41-11- 7	813884	三津沢武夫	和歌山製作所
印刷配線盤	41-11- 7	813885	西尾安雄	京都(無線機)
線形加速器の加速管	41-11- 7	813886	後藤正之	中央研究所



新製品紹介

SH-205 C 形 高 圧 気 中 電 磁 接 触 器 を 開 発

最近の工場、ビルなどにおける受電容量の増大とともに、3kV級高圧電動機の使用がさかんであるが、これらのひん繁な起動、停止を繰返す用途に最適ものとして、SH-205 C 形高圧気中電磁接触器を開発したので紹介する。

今回開発したSH-205 C 形は、先に発売したSH-105 C 形(100 A用)をベースに、新形シリーズの一環として200 A用を製作したもので、外形寸法はSH-105 C 形とほとんど同一である。

消弧室には、耐アーク性・耐熱性の高いジルコン磁器を用い、接触子には、耐アーク性・耐溶着性の高い銀タングステン合金を用いることにより接点消耗が少なく、シャ断性能にすぐれ、各種高圧配电箱用

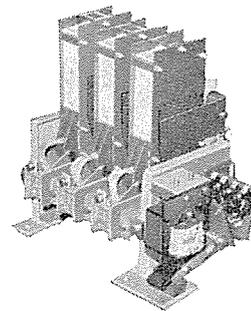
に使用できる。なおラッチ式可逆形(横配置および縦形配置)も製作できる。

特長

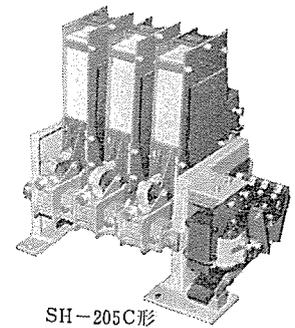
- (1) シャ断性能優秀
シャ断容量が大きく確実。小電流シャ断特性も良好
- (2) 高ひん繁の開閉に耐え長寿命
適切な接点材料
- (3) 悪い使用環境にも耐える
ジルコン磁器による消弧室のため、湿気の影響を受けない
- (4) 保守、点検、取扱いが容易
気中形のため油によるよごれ、火災の心配がない
- (5) 耐電圧・耐衝撃電圧が高い
- (6) 小形、軽量

仕 様

形 名		SH-105 C 形	SH-205 C 形
定 格 電 圧 (V)		AC 3300	
定 格 電 流 (A)		100	200
定 格 シャ断容量 (MVA)		25	
定 格 短 時 間 電 流 (0.5 秒)		4,500 A	
開 閉 容 量 (級)		A	
開 閉 ひん 繁 度 (号)		2	
寿 命 (種)		1 E	
絶 縁 強 度		3号 B	
最大適用容量	電動機(kW)	370	750
	変圧器(kVA)	500	1,000



SH-105 C 形



SH-205 C 形

[名古屋製作所]

パ ウ ダ カ ッ プ リ ン グ

緩衝起動用として、遠心力を応用したまったく新しい機構をもつZA形パウダカップリングを完成した。

パウダカップリングは小さな鋼球(パウダ)を動力伝達の媒体とした遠心力式カップリングである。そのドライブメカ(入力側)が原動機から駆動されると、ドライブメカのハウジング内に封入されているパウダは遠心力の作用で外周に集り、ハウジングとともに回転する。その中央に配置された波板状のドリフトディスク(出力側の円板)がパウダで圧着され、ハウジングの回転力を受けて回転し動力を伝達する。

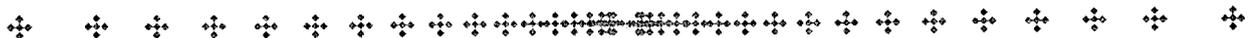
特長としてはつぎのようなものがあげられる。

(1) 大きな起動トルクや、大きな慣性モーメントのある機械を容易に起動できる。誘導電動機を用いた場合には、起動電流を制限

することができる。

- (2) 平常運転ではスリップはゼロであり、伝達効率は100%となる。
- (3) 原動機を過負荷から防止し、原動機の寿命をのばすことができる。
- (4) パウダ量を加減することによって簡単に伝達容量を調整することができる。
- (5) 構造は簡単で小形・軽量であり、取付関係は容易で場所もとらない。
- (6) 電源などの付属部品を必要としない。

ZA形パウダカップリングは誘導電動機の出力軸に直接キー締めてできる構造になっており、その出力側はフランジ取付(ZA-F形)と、ラ



NEWS FLASH

■ タイ国より変圧器 2 台受注

当社では、このほどタイ国・ヤンヘー電力庁 (Yanhee Electricity Authority) から、バンカピ変電所 (Bangkapi S/S) およびバンコックノイ変電所 (Bangkok Noi S/S) 向け単巻変圧器 2 台を受注した。

今回受注に成功した変圧器の入札は、本年初めに行なわれ、入札には世界各国から 15 社が参加し、激しい受注競争の結果当社が受注したもので、来年 5 月に船積みされる予定である。

受注した変圧器の概略仕様は次のとおりである。

容量	40/53.3/66.7 MVA Auto TR
電圧	一次 231—220—209 kV 二次 126.5—115—103.5 kV
周波数	50 c/s
相数	三相

[伊丹製作所]

■ メキシコ CFE 向け 4×14,000 kW “エコノパック形” タービン発電機完成

さきにメキシコ電力局 (CFE) より WH. GE (アメリカ), BBC (スイス) などの外国メーカを退け、14,000 kW ガスタービン発電機 4 台を受注し鋭意製作中であつたが、42 年 3 月、1 号機の完成に続きこのほど全プラントを完成したのでここに紹介する。

これらの発電プラントは一体形の屋外ハウジング中に、ガスタービン、発電機、励磁装置、補機類、バッテリーなど、発電に必要なすべての装置を内蔵した“パッケージ形” (これを愛称で“エコノパック形”と呼ぶ) であるから、経済性、移動の容易さ、運転、操作の簡潔さ、低騒音など、数々の特長を有している。とくに現地は騒音規定がきびしく、また高地で雨量が多くハリケーンが襲来する条件の悪いところでもあるので、吸排気ダクト、サイレンサ、吸湿防止用スペースヒータなどに関しては特別の配慮がなされている。特長および仕様は次のとおりである。

(1) エコノパック形発電プラントの特長

(a) 小形・軽量であるため、据付面積も少なくすみ、建設費が安価である。

(b) 起動・停止がきわめて短時間内で行なえるうえ、その際の燃料消費量もわずかである。

(c) その熱サイクルが蒸気タービンに比べ比較的単純であるから、遠隔操作も容易であり、全自動化、無人発電所も可能である。

(d) 天然ガスや軽油を燃料として用いれば、大気汚染の心配

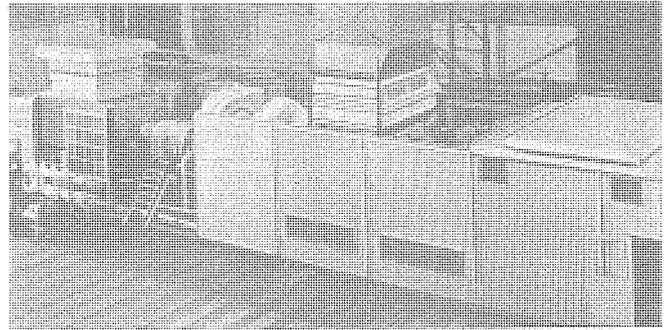
がない。

(e) 発電機の冷却は、外気吸入方式 (開放形) を採用しているため、セット全体としての冷却水量は、わずかでよい。

(2) 仕様

台数	4 台
形式	開放通風形回転界磁同期交流発電機
出力	17,500 kVA 14,000 kW (周囲温度 40°C)
力率	80%
電圧	13,800 V
周波数	60 c/s
回転数	3,600 rpm
励磁方式	DC 直結励磁機
原動機	ガスタービン (ディーゼルエンジン起動方式) MW 191 G (三菱重工製)

なお、同様な仕様の“エコノパック形”発電セット 2 台を目下鋭意製作中である。



[長崎製作所]

■ ラッチ付アンペアガード (3 kV コンビネーションスタータ) 発売開始

アンペアガードは、発売以来各界に大変好評を博してきたが、今回このアンペアガードに内蔵した電磁接触器に、機械的保持装置を付属したものを完成し、機械的保持装置付きアンペアガード (ラッチ付きアンペアガード) として発売することになった。アンペアガードには、

(1) 小形で 2 段積みが可能であり、据付面積がわずかでよい。

(2) インターロック装置が完備しており、安全に運転・保守・点検ができる。(閉鎖配電盤の JEM 規格-I114-E クラス相当)

(3) 収納部品の点検が前面より可能である。

という特長があり、ラッチ付きを使用するとさらに、

(1) 運転中電磁接触器は、機械的に保持されているので、運転中操作電源を開路することができ、点検が容易である。

(2) 運転中電磁接触器の操作コイルの消費電力がゼロであるので、電力料金の節約が可能である。

などの利点が追加され、運転コストを安くすることができる。各方面の使用が期待される。

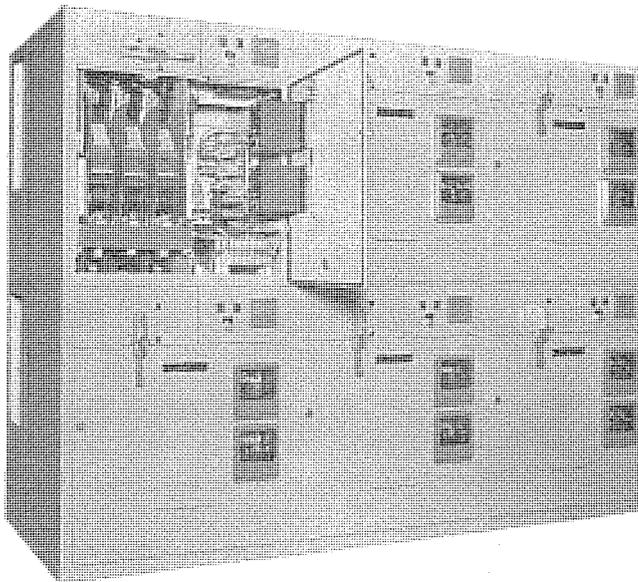
おもな仕様は、

(1) アンラガード

定 格： 3,300 V 200 A 400 MVA 電力ヒューズ付き

寸 法： 幅 800 mm

高 900 mm (2 段積みの場合 1,800 mm)



AGH-205 L を収納した アンラガード

奥行 800 mm (単独設置)

1,000 mm (列盤設置, 共通母線付き)

(2) 電磁接触器

形 名： AGH-205 L (機械的保持装置付き)

定 格： 3,300 V 200 A 25 MVA A 級 3 号 2 種

投入操作コイル： AC 220 V AC 110 V 整流器付

DC 220 V DC 110 V

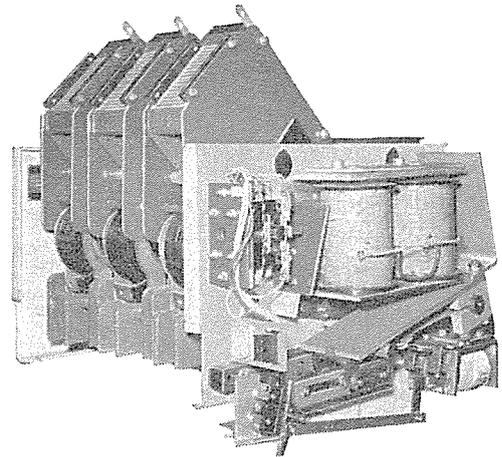
引きはずし操作コイル： AC 220 V AC 110 V コンデンサ引き

出し装置付き

DC 220 V DC 110 V

手動引きはずしレバー： 付属 (アンラガードのドア表面より引き

はずし操作可能)



AGH-205 L 形電磁接触器 (ラッチ付)

[長崎製作所]

次号予定

三菱電機技報 Vol. 41 No. 10

放電加工・電解加工特集

特別寄稿

○電気加工の展望と将来

特集論文

○放電加工・電解加工の現状と将来

○放電加工の加工原理と加工特性

○ダイヤックス放電加工機の機械構造

○ダイヤックス放電加工機の電源 シリーズ

○放電加工機の生産への応用

○低電極消耗放電加工における電極の表面構造

○電解加工機による実用作業例

○電解加工の加工原理と加工特性

○ダイヤモンド電解加工機の機械構造

○ダイヤモンド電解加工機の電源 シリーズ

○電解加工の加工技術

普通論文

○MELCOM-1600 オペレーティングシステム

○MELCOM-3100 ソフトウェア (2)

○列車ダイヤ記録装置

○MECL の動作試験のための加減算装置

○中性子による重油発熱量の自動測定

○ルビー・レーザー用固体 Q-スイッチ

三菱電機技報編集委員会

委員長 小倉弘毅
副委員長 片岡高示
常任委員 明石精一
石川理一
上田重夫
宇佐見重夫
大野寛孝
神崎邇
北川和人
小堀富次雄
鈴木正材
祖父江晴秋
山田栄一
横山茂
委員 尾畑喜行
片山仁八郎
黒田忠光
南日達郎
林昇寿
松元雄蔵
(以上50音順)

昭和42年9月22日印刷 昭和42年9月25日発行
「禁無断転載」定価1部 金100円(送料別)

編集兼発行人

東京都千代田区丸の内2丁目12番地 小倉弘毅

印刷所

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 大日本印刷株式会社

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町1丁目 高橋武夫

発行所

三菱電機株式会社内 「三菱電機技報社」
東京都千代田区丸の内2丁目12番地 (三菱電機ビル内)
(電) 03-212-6111

発売元

東京都千代田区神田錦町3の1 株式会社オーム社書店
(電) 03-291-0912 振替東京 20018

本社・営業所・研究所・製作所・工場所在地

本社 東京都千代田区丸の内2丁目12番地
三菱電機ビル (電) 03-212-6111

大阪営業所 大阪市北区梅田町8・西阪神ビル (電) 06-312-1231
名古屋営業所 名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡営業所 福岡市天神2丁目12番地1号・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌営業所 札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台営業所 仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山営業所 富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 0764-31-3151
広島営業所 広島市中町7番32号・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松営業所 高松市鶴屋町5番地の1 (電) 0878-51-0001
東京商品営業所 東京都千代田区丸の内2丁目12番地・三菱電機ビル (電) 03-212-6111
大阪商品営業所 大阪市北区堂島北町8の1 (電) 06-314-1231
名古屋商品営業所 名古屋市中村区広井町3-88・大名古屋ビル (電) 052-561-5311
福岡商品営業所 福岡市天神2丁目12番地1号・天神ビル (電) 092-75-6231
札幌商品営業所 札幌市北二条西4の1・北海道ビル (電) 0122-26-9111
仙台商品営業所 仙台市大町4の175・新仙台ビル (電) 0222-21-1211
富山商品営業所 富山市桜木町1番29号・明治生命館 (電) 0764-31-3151
広島商品営業所 広島市中町7番32号・日本生命ビル (電) 0822-47-5111
高松商品営業所 高松市鶴屋町5番地の1 (電) 0878-51-0001
新潟営業所 新潟市東大通1丁目12番地・北陸ビル (電) 0252-45-2151
中央家電営業所 東京都文京区大塚3丁目3番1号・新茗溪ビル (電) 03-944-6311
城南区家電営業所 東京都世田谷区池尻3丁目10番3号
三菱電機世田谷ビル (電) 03-411-8181
城西家電営業所 東京都杉並区清水1丁目10番1号 (電) 03-392-6823
横浜家電営業所 横浜市中区富士見町3番地4 (電) 045-251-2226
大宮家電営業所 大宮市寿能町1丁目37番地4・大宮公園ビル
(電) 0486-41-5324 43-4116・0156
千葉家電営業所 千葉市新宿町2丁目49番地 三菱電機千葉ビル (電) 0472-27-5486~8
静岡出張所 静岡市七間町9番地の10・池田ビル (電) 0542-53-9186
長崎出張所 長崎市大黒町3番1号・長崎産業交通ビル (電) 0958-23-6101
岡山出張所 岡山市西長瀬字村北122番地の1
三菱電機岡山ビル (電) 0862-24-0331
船橋出張所 船橋市山手1丁目1番1号・日本建鉄内 (電) 0474-31-1111
中央研究所 尼崎市南清水字中野80番地 (電) 06-481-8021
商品研究所 鎌倉市大船2丁目14番40号 (電) 0467-6-6111
神戸製作所 神戸市和田崎町3丁目10番地の1 (電) 078-67-5041
伊丹製作所 尼崎市南清水字中野80番地 (電) 06-481-8021
三田工場 三田市三輪町字父々部85 (電) 07956-4371
長崎製作所 長崎市丸尾町6番14号 (電) 0958-23-6211
稲沢製作所 稲沢市井之口1100番地 (電) 0587-32-4121
和歌山製作所 和歌山市岡町91番地 (電) 0734-23-7231
鎌倉製作所 鎌倉市上町屋325番地 (電) 0467-6-1111
通信機製作所 伊崎市南清水字中野80番地 (電) 06-481-8021
北伊丹製作所 伊丹市大鹿字主ヶ池1番地 (電) 0727-72-5131
熊本工場 熊本市竜田町弓削720番地の3
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町18丁目1番地 (電) 052-721-2111
福岡製作所 福岡市今宿青木690番地 (電) 092-88-0431
福山製作所 福山市緑町1番8号 (電) 0849-2-2800
姫路製作所 姫路市千代田町840番地 (電) 0792-23-1251
相模製作所 相模原市小山字久保224 (電) 0427-72-5131
世田谷工場 東京都世田谷区池尻3丁目1番15号 (電) 03-414-8111
静岡製作所 静岡市小島110番地 (電) 0542-85-1111
中津川製作所 中津川市駒場町1番3号 (電) 05736-5-2121
大船製作所 鎌倉市大船5丁目1番1号 (電) 0467-6-6111
郡山製作所 郡山市栄町2番25号 (電) 02492-2-1220
群馬製作所 群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電) 027652-4311
藤岡工場 藤岡市本郷字別所 (電) 02742-2-1185
京都製作所 京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字函所1 (電) 075-92-4171
ラジオ工場 尼崎市南清水字中野80番地 (電) 06-481-8021
札幌営業所 札幌市北二条東12丁目98番地 (電) 0122-22-3976
札幌工場