

昭和 37 年 9 月 15 日第三種郵便物認可

三菱電機技報 39 卷 3 号 (通巻 406 号)

昭和 40 年 3 月 25 日発行 (毎月 1 回 25 日発行)

MITSUBISHI DENKI GIHO

三菱電機技報

Vol.39 March 1965

計算機特集

3

MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム





三菱 400Mcタクシー無線機

三菱タクシー無線機トランジスタ式400Mc/FM無線機は“品質奉仕”をモットーとする三菱電機が豊かな経験と最新の技術、最新の設備を駆使し、さらに厳選された材料や部品を十分に使用して設計、製作いたしました斯界に誇る最高水準のFM無線機であります。

■特長

(1) 取付・使用方法が非常に簡単です

- 取付工事あるいは無線機の着脱にむだな時間や手数がかからないよう合理的な構造になっています
- 取り扱い個所は必要最小限にとどめ、しかも人間工学的な配慮をしてありますから、とくに無線経験のない方にも容易にご使用いただけます。

(2) 消費電力が少なくバッテリの接地極性に無関係です

- 優秀な高周波用大電力シリコントランジスタを採用することによって無線機はすべてトランジスタ化され真空管は1本も使用していませんから消費電力は非常に少なく、自動車のバッテリを共用できます。
- バッテリの接地極性は自動車の種類によってまちまちですが、それを考慮して設計してありますから取り付けに際してのご心配は不要です。

(3) 万一電池ケーブルの接地をまちがえても無線機はこわれません

電源に逆接続防止保護回路が入っていますから、あやまって電池ケーブルを逆に接続しても無線機はこわれません。正しく接続しなおして下さい。

(4) 非常に小形です

スピーカ・制御器などすべて無線機本体の箱に収納されていますから、自動車のダッシュボードに取り付けるだけです。しかもわずかのスペースでみますから乗客にまったく不愉快な思いをさせることはありません。

(5) 必要に応じて選択呼出装置を内蔵できます

選択呼出装置が必要なときは無線機本体内に簡単に装着することができます。

■定格 FM-17D形

空中線電力	4W
重量	約5kg
寸法	高さ75×幅250×奥行210mm
電力消費	DC 13.8V 送信 約4A 受信 約0.4A

なお集中基地方式、共用基地方式、分散基地方式にそれぞれ利用できます。

■合格番号 (本機は郵政省型式検定合格品であります。)

型式名	名称	検定番号	合格年月日
FFM2MB 450/470-4-1-1	FM-17D41形UHF 無線電話装置	F64052号	39.8.12
FFM2MB 340/450-4-1-1	FM-17D41 UHF 無線電話装置	F64073号	39.12.28



表紙説明

企業経営の合理化、近代化に対処すべく、開発された完全はん用計算機で事務用、科学用に適している。

ストアド・ロジック方式を採用、ハードウェアの面でも構成の融通性および高信頼度となっている。ソフトウェアの面でも計算機業務の内容に最も適した命令群を容易に作ることができる。

メモリ容量は 8K, 16K および 32K の 3 種あり、入出力は、カード・リーダ、カード・パンチ、紙テープリーダ、紙テープ・パンチ、ライン・プリンタおよびタイプライタによる。補助記憶装置にディスクおよび磁気テープがある。

SIA (Symbolic Instruction Assembler) を基本に、SIAS (IOCS), COBOL, FORTTRAN, 各種ユーティリティ・プログラムが完備している。

目 次

《特集論文》

MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム

馬場文夫・渡辺文明・原田和明・嶋村和也・高橋幸四郎・三上晃一・中島正志… 2

計算機基本言語に関する一考察… 首藤勝・魚田勝臣・居原田邦男… 19

MTRW-330 制御用電子計算機システム

中尾勝丞・的場徹・仁田周一・小島一男・梶山裕・村田厚… 26

MELDAP-6000 工業用データ処理装置… 浜岡文夫・深尾忠一郎・竜田直紀・貴田篤志… 32

日本原子力発電株式会社東海発電所原子炉シミュレータ

新井義男・藤田忠・織田満之・吉野国弘・大鳥羽幸太郎・柴谷浩二・多田淳… 39

モレクトロン計算機… 市田嵩・三輪進・河野隆一・小野義文・北村啓郎… 48

《論 文》

小田急電鉄納め回生車用電機品

山村秀幸・小出寿太郎・中林晃・浅越泰男・小原太郎・久山研一・芦谷正裕… 54

キャビラ 三菱納め 60kV 屋外 キューピックル… 矢野広男・田和穂… 64

テレメータ追尾レーダ (GTR-5 形)… 横本俊弥・森川洋・渡部優・若田和明・篠原英男… 73

高速 ダイオード・トランジスタ NOR システム… 小島一男・黒田泰次・八杉征晴… 83

《技術解説》

超電導 (2) — 電気機器への応用… 岩本雅民… 92

《技術講座》

変圧器付属品 (1) ブッシング… 岸田光弘… 100

《新製品紹介》

KC 形過電流遮断器を完成・AK 形切換スイッチを完成・低圧トロリーバスダクトを完成・三菱 テープレコーダ T-330

形 (メモリー・スーパー) 新発売・三菱卵ゆで器 EC-451 形新発売・三菱自動保温電気がま NA-181 形新発売… 112

《ニュースフラッシュ》

住友金属工業納め焼結装置用排風機完成・コロンビア納め 132kV 空気シヤ断器完成・新装なったトレーラ式移動変電所・全固体 400 Mc 帯多重通信装置を納入・秩父鉄道 2,700 Mc 多重通信装置受注・神戸電鉄納め回生制動車 2 編成受注… 115

《特許と新案》

軸受装置・軸受給油装置・換気扇正逆転スイッチーシャッタ連動装置… 118

《最近登録された当社の特許と実用新案》… 63, 119

《最近における社外講演一覧》… 18

- 《表 紙》
1. MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム
 2. 三菱 400 Mc タクシー無線機
 3. フィリピンアンガット P/S 納め 122.2 MVA 変圧器
 4. 三菱電気カミソリ

MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム

馬場文夫*・渡辺文明*・原田和明*
嶋村和也**・高橋幸四郎**・三上晃一**・中島正志**

MELCOM-1530 Data Processing System

Kamakura Works

Fumio BABA・Fumiaki WATANABE・Kazuaki HARADA
Kazuya SHIMAMURA・Kōshirō TAKAHASHI
Kōichi MIKAMI・Masashi NAKAJIMA

Now that industries have been developing into all-round automation, electronic computers serving for the heart of the information system must be appropriate for the requirements of new age. That means, the computer shall possess flexibility to suit broad application and also have a reasonable cost performance. The MELCOM-1530 data processing system is designed from this viewpoint, consisting of the MELCOM-1530 processor, the MELCOM-1540 buffer controller and a flexible configuration of dependable input and output peripheral devices and providing a high speed multiple purpose computer. This paper is to describe the overall structure of the system from both hardware and software standpoints.



図 1.1 MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム
Fig. 1.1 MELCOM-1530 data processing system.

1. まえがき

近年経営機械化は、経営近代化の中心課題として認識されるようになり、従来の単な手作業の機械化という段階から、電子計算機による経営管理事務の総合的機械化すなわち事務のオートメーション化の段階へと急速な進展をみせるに至っている。一方科学技術面における電子計算機の利用も広く浸透しつつあるが、最近とくに各方面の企業において、生産システムの計算機制御に代表されるように高次のオートメーションが徐々に実現されつつある。近い将来、これら一連の機械化は有機的に統合され、総合的な企業のオートメーションへと発展していくであろうと想像される。

このような新しい時代における電子計算機の保有すべき条件は、広い角度からの多岐にわたる要求にマッチするだけの十分な弾力をもち、さらに経済性に裏付けされた高い処理能力、いいかえれば合理的な cost performance をもつことであるといえるであろう。

以上のような観点にたち、MELCOM-1530 システムは後述のようなストアド・ロジック方式を基調として設計されているのであるが、特色ある周辺機器とあいまって cost performance の向上を促し、同時に弾力を富んだシステムとなっている。

この稿では MELCOM-1530 システムのハードウェア、ソフトウェアを全般的に概観し、それぞれの性能あるいは特長について述べることとする。なお詳細については文献^{(1), (2), (3), (5)}を参照していただき

ければ幸いである。

2. MELCOM-1530 ハードウェア・システム

この章では MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システムの各装置の性能と特長を述べる。それぞれの装置は単体のモジュールになっており、用途に応じて必要な装置を選択して組み合わせることにより、目的に適するシステムを構成することができる。こうしてできたシステムは、以下の各節に述べるように、次のような特長を有する。

- (1) ストアド・ロジック設計による画期的な高融通性と高信頼性、
- (2) 高速入出力装置、
- (3) IBM 磁気テーブ、IBM セン孔カードとの共用性、
- (4) システムの拡張が容易、
- (5) オン・ライン計算機、衛星計算機、事務用計算機、科学用計算機または制御用計算機として使えるはん(汎)用性。

2.1 MELCOM-1530 プロセッサ

MELCOM-1530 プロセッサはすでに別稿^{(1), (2)}で紹介したように、ストアド・ロジック方式を採用した中央演算処理装置である。ストアド・ロジック方式とは、マイクロプログラム方式を実用的な形に完成したもので、従来の計算機の特長とマイクロプログラム方式の計算機の特長とを合わせもち、いまや現代の計算機方式の一主流をなしている。⁽⁴⁾

従来の計算機の機械語命令は、マイクロプログラム計算機では数個のマイクロ命令に対応している。したがって、

表 2.1 MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム 装置別仕様一覧

項目	仕様	項目	仕様	
MELCOM-1530 プロセッサ 設計方式 主メモリ 構造 選択 アクセス・タイム 基本容量 拡張性 語長 チェック方式 演算回路 演算方式 レジスタ 演算機能 演算速度 制御回路 機械語命令 番地方式 インデックス・レジスタ クロック周波数	ストア・ロジック方式 マイクロ・スタッカ構造の磁気コア・メモリ 電流一致方式 3 マイクロ秒 24 k ケタ 24 ケタを単位として 96 k ケタまで 18 ビット (3 ケタ) およびパリティ・ビット 奇数パリティ 純 2 進数および 2 進化 10 進数 18 ビットのレジスタ 6 個 加減算、乗除算および論理演算 加減算 (1 語) 3 マイクロ秒 乗除算 (1 語) 84 マイクロ秒 約 4,000 種 0 番地方式 主メモリを使用 333 kc	MELCOM-1560 高速ライン・プリンタ 印字方式 連続印字速度 1 行あたり印字数 文字種類 紙送り 印字密度 紙幅 自動チェック	活字ドラム方式、132 字一音印字 750 行/分 (紙送り時間も含む) 132 字まで 英数字、特殊記号 51 種 行数指定 0~7 行 キャリッジ・テーブル指定 0~7 チャネル 4 字/cm, 12 行/5 cm 10~48 cm 用紙の不足、切れ、およびジャム、回路誤動作、電源異常、パリティ誤り、文字カウンタ誤動作 12 字/秒 40 cm 44 キー、2 段ソフト 6 キー	
MELCOM-1540 バッファ・コントローラ 機能 バッファ・メモリ 割り込み バッファ・レジスタ クロック周波数	周面装置および出入力情報転送の制御 364 ケタ磁気コア・メモリ 3 レベル 入力…80 ビットのシフト・レジスタ 出力…132 ビットのシフト・レジスタ、および 18 ビットのフリップ・フロップ・レジスタ 333 kc	MELCOM-1585 タイプリータ 印字速度 キャリッジ幅 文字ケンシ 機能ケンシ	MELCOM-1572 ディスク・ファイル 接続台数 容量 情報通路 1 チャネルあたり 平均アクセス・タイム 1 チャネルあたり 最高転送速度 円板 位置ぎめ 公称記録密度 トラック数 セクタ長 ストラーダ (1 回の位置ぎめで読み書きできる情報量) 自動チェック	最大 4 台 22.8×10 ⁶ ビット (約 3,250 万ケタ) 独立 2 チャネル 190 ミリ秒 697×10 ³ ビット/秒、ビット直列転送 直径約 80 cm、最大 16 枚、1,000 rpm で回転 円板一枚ごとに独立した電磁式リニア・モータ 600 BPI 512 本/円板 243 ケタ (標準) 約 32 h ケタ
MELCOM-1572 磁気テープ・ユニット 接続台数 キャクタ転送速度 記録密度 テープ速度 テープ・バッファリング ヘッド テープ寸法 テープ終端 リール 手動操作 防ジン	最大 8 台 41.7 kc または 15.0 kc 22 キャクタタミメートル または 8 キャクタタミメートル 1.9 メートル/秒 テンション・アーム および 真空バッファ 7 レタック、デュアル・ギャップ (IBM コンバチブル) 0.025 ミリメートル (1 ミル) 厚 または 0.038 ミリメートル (1.5 ミル) 厚、12.7 ミリメートル (1/2 インチ) 幅 光電式センシング、マーカは付り 外径 26.7 センチメートル、IBM 式ハブ 前送り、巻き戻し、高速巻き戻し、停止、緊急停止 自動手動切換、高低密度切換 トランスポート内は除ジンした空気を陽圧に保って いる	MELCOM-1551 紙テープ・リーダ 接続台数 読み取り速度 単位数 テープ幅 停止特性 リール 自動チェック 手動操作	MELCOM-1551 紙テープ・リーダ 接続台数 読み取り速度 単位数 テープ幅 停止特性 リール 自動チェック 手動操作	最大 4 台 500 キャクタ/秒 または 1,000 キャクタ/秒 5, 6, 7 または 8 単位 11/16, 7/8 または 1 インチ 500 キャクタ/秒のとき 停止コード上 1,000 キャクタ/秒のとき 次コード間 最大直径 8 インチ パリティ・チェック 起動、停止、ストリップ・モード、前進、後退、停止、単位数切り換え、紙テープ幅切り換え
MELCOM-1552 高速カード・リーダ 読み取り速度 読み取り方式 ホップ容量 スタッカ容量 自動チェック 手動操作 読み取りモード	1,650 枚/分 光電式センサ検出、光電式同期 4,000 枚 4,000 枚 ピック失敗、空ホップ、スキュー、ジャム、スタッカ・フル、不正コード、タイミング誤り、パリティ誤り、チェック・サム 起動、停止、カード送り、リセット ホップリス、コラム・ペイナリ、ロウ・ペイナリ、ミクス・モード	MELCOM-1561 紙テープ・パンチ 接続台数 セン孔速度 単位数 テープ幅 リール 自動チェック 手動操作	MELCOM-1561 紙テープ・パンチ 接続台数 セン孔速度 単位数 テープ幅 リール 自動チェック 手動操作	最大 4 台 150 キャクタ/秒 5, 6, 7 または 8 単位 11/16, 7/8 または 1 インチ 最大直径 10.5 インチ エコー・チェック 起動、停止、単位数切り換え、紙テープ幅切り換え
MELCOM-1564 高速カード・リーダ・パンチ セン孔速度 読み取り速度 ホップ容量 スタッカ容量 セン孔方式 読み取り方式 セン孔検査 読み取り検査 手動操作	300 枚/分 300 枚/分 3,500 枚 3,000 枚 850 枚 および 750 枚 80 レート一式 読み取りによる 80 レート一式 90 帯のユニバックス・カード読み取りも可能 読み返しチェック 再読み出しチェック、その他 MELCOM-1552 に準ずる 起動、停止、カード・イン、カード・アウト	MELCOM-1590 テレコントロール・ユニット 機能 接続可能回線数 情報転送速度 走査速度 転送方式 自動チェック 手動操作	MELCOM-1590 テレコントロール・ユニット 機能 接続可能回線数 情報転送速度 走査速度 転送方式 自動チェック 手動操作	通信回線との情報転送を制御 入力、出力各 64 回線 21 μs/ケタ または 21 μs/語 3 μs/回線 間接番地によるサイクル・スチール パリティ・チェック、回線異常 ステータス・スイッチ 4 個

(1) マイクロ命令を実行するだけの ハードウェア があればよいので、部品数が少なくて済み、小形で信頼性および保守性が高い。

(2) 基本的な ハードウェア のみで構成されるので、いかなる用途の演算処理にも能率よく適合する。

(3) マイクロ命令の組み合わせを変えることにより、従来の計算機の機械語命令に相当するものを自由に変更したり、追加することができる。

(4) 従来の計算機で可能な テクニック はすべて使用することができる。

一方 マイクロプログラム 方式は、プログラミングがやっかいである、実行時間が長い、メモリがよけい必要である、などの欠点があった。

MELCOM-1530 のストア・ロジック 方式では、

(a) SIA その他の独自の アセンブラー を開発して プログラミング を

容易にした。

(b) 独特の インタプリテーション 制御を行ない、同時に複合 マイクロ 命令をつくって実行時間を短縮した。

(c) 実行する プログラム に必要な マイクロプログラム のみが 主メモリ に入るようになり、同時に命令形式と番地形式を工夫した 0-アドレス 方式の機械語命令を採用して、メモリの利用率を高めた。

というような改良を行なって、理想的な中央演算処理装置を実現することができた。

図 2.1 の左端の箱体が MELCOM-1530 プロセッサ である。床面積はわずか 60 センチメートル 四方で、この中に主メモリ、演算回路、インターフェイス、電源およびこれらの制御回路が内蔵されている。

主メモリはマイクロスタッカ構造の コアメモリ で、アクセス・タイムは 3 マイクロ秒、標準容量は 8 K 語 (24 K ケタ) で、16 K 語 (48 K ケタ)



図 2.1 MELCOM-1530 プロセッサ および
MELCOM-1540 バッファ・コントローラ
Fig. 2.1 MELCOM-1530 processor and
MELCOM-1540 buffer controller.



図 2.2 MELCOM-1570 磁気 テープ・ユニット
Fig. 2.2 MELCOM-1570 magnetic tape unit.



図 2.3 磁気 テープ・トランスポート
Fig. 2.3 Magnetic tape tape
transport.

および 32 K 語 (96 K ケタ) に拡張することができる。1 語は 18 ビット および パリティ 1 ビット で、2 進数のほか、英数字を 3 ケタ収容する。主 メモリ は、演算回路、バッファ・コントローラ および テレ・コントロール・ユニット から アクセス される。

演算回路および制御回路は メモリ・サイクル に同期した 333 kc のクロック・パルス で動作する同期形回路で、乗除算回路を組みこんである現在唯一の ストアド・ロジック 計算機である。

CCL (コンピュータ・コミュニケーション・リンク) という特殊装置を付加すると、MELCOM-1530 プロセッサ はほかの MELCOM-1530 プロセッサ と、直接に任意の情報を伝送し合うことができるようになっている。CCL によって合計 3 台までの プロセッサ の相互同時運転ができる、リアル・タイム 处理に偉力を発揮する。

2.2 MELCOM-1540 バッファ・コントローラ

MELCOM-1540 バッファ・コントローラ は、周囲装置と プロセッサ との間の情報転送の制御を行なう装置で、バッファ・メモリ、入力 チャネル、出力 チャネル 割込制御回路、それぞれの周囲装置制御回路および電源が内蔵されている。入力、出力および演算は同時に運行されるよう制御される。

バッファ・メモリ は 384 ケタの容量をもつコア・メモリ で語長やアクセス・タイム は主 メモリ と同じであるが、主 メモリ とは独立に動作する。バッファ・メモリ には 18 ビットの出力 レジスタ および 132 ビットの出力 シフト・レジスタ が付属しており、これらは カード・リーダ・パンチ、ライン・プリンタ、紙 テープ・パンチ、タイプライタなどのように演算速度に対して比較的低速の出力装置への情報の バッファリング に使用される。

入力装置と高速出力装置は バッファ・メモリ を使用しない。80 ビットの入力 シフト・レジスタ が入力情報の バッファリング に使用される。これらの装置は割り込みまたは サイクル・スチール によって情報を主 メモリ へ送り込むことができ、システム全体の同時動作の割り合いを高くするよう制御されている。

2.3 MELCOM-1570 磁気テープ・ユニット

MELCOM-1570 磁気 テープ・ユニット は、最高 8 台まで接続できる大容量の外部 メモリ である。キャラクタ 信号伝送速度は高密度の場合 41.7 kc、低密度の場合 15.0 kc で、パルス・スイッチ で両者の切り換えができる、磁気 テープ 上の データ 形式は IBM 729 II/IV の形式と同一になっている。テープ・トランスポート は、テンション・アーム と 真空 バッファ の両者を併用しているので、始動および停止のときに磁

気 テープ に加わる急激な張力が緩和されて磁気 テープ の寿命が長く、同時に小形で堅ろうな設計になっている。磁気 テープ・ユニット の床面積は プロセッサ と同じ 60 cm 四方である。

磁気 テープ・ユニット に対する命令は、奇数および偶数 パリティ における読み書き、バック・スペース、高速巻戻しおよび消去の動作命令と、磁気 テープ の始端、終端、パリティ 誤、ビギン、オペラティブ をテストする テスト 命令がある。

磁気 テープ は 12.7 mm (1/2 インチ) 幅のものを使用する。記憶 トランプ は 7 本で、6 トランプ を データ に、1 トランプ を パリティ に使用し、偶数 パリティ の データ は ハードウェア によって MELCOM コード と IBM コード との変換が行なわれる。変換用の プログラム や時間は不要である。

データ・テープ は トランスポート の下方の ハブ に取り付ける。この部分には テープ・パッカ・アーム がある。これで テープ を軽く押えることにより、テープ は常に適当な力で リール の中心部に押しつけられるから、テープ の中心部に シワ が寄ることがない。データ・テープ はまず下方 テンション・アーム を通る。

テンション・アーム は バッファ として働くとともに、サーボ 機構の一部になっていて、アーム が ゼロ 点から偏移すると、それを データ・テープ の モータ に伝えて、送り出しあり巻き戻しを行なう。テープ はさらに下方 真空 バッファ に入り、この部分の テープ の タルミ により、テンション・アーム が追随できない小刻みな運動を緩衝する。テープ の送りと停止は ローラ と ブレーキ が行なう。

テープ はこのあと フォト・センサ、消去 ヘッド、テープ・クリーナ、書込み ヘッド、読出 ヘッド を通って上方の 真空 バッファ および テンション・アーム で緩衝され、巻取 リール に接続される。

フォト・センサ は テープ の始端および終端にはってある アルミハク (箔) を検出し、自動的に テープ を停止させる。消去 ヘッド は書き込みのときだけ動作し、書き込みに先だって テープ 上の情報を消去する。書き込み ヘッド の後方に 読み出し ヘッド がある。読み出し ヘッド は読み取りのときはもちろん、書き込みのときも動作し、パリティ・チェック を行なう。上方の テンション・アーム と巻取 モータ が サーボ 機構になっていることはいうまでもない。

データ・テープ をかけるときに、このような メカニズム の間をすばやく通るために、テープ・タグ を使用する。テープ・タグ は巻取 リール と データ・テープ につける カギ (鉤) のような プラスチック の テープ である。

これによってデータ・テープをとりはずして次のデータ・テープをかけ終える作業は30秒以内で行なうことができる。

テープ・トランスポートの内部には除ジン(塵)した空気を陽圧に保つようになっているので、外部からのジンは入らない。

テープ・トランスポートの下部にはコントロール・パネルがあり、いろいろな手動操作や表示に利用される。電源のオン・オフ、自動・手動の切換、高低密度の切換、手動停止、手動前送り、手動後送り、手動巻戻しなどの操作はこのパネルのスイッチで行なうことができ、スイッチにはすべてランプが組みこまれて状態を指示するようになっている。このほかに、テープの終端、始端、エンド・オブ・ファイル、ファイル・プロテクションを表示するランプがある。ファイル・プロテクションは不注意でマスター・テープが破壊されないように書き込みを禁止するもので、データ・テープ・リールのファイル・プロテクション・リングを取りはずすと書き込みはできない。

2.4 MELCOM-1552 高速カード・リーダ

MELCOM-1552 高速カード・リーダは、毎分 1,650 枚の 80 欄セン孔カードを読むことができる。セン孔の有無は 1 列に並んだフォト・ダイオードで検知する光電式で、1 枚のカードを読むごとに、自動的にフォト・ダイオードの動作が検査される機構を内蔵しており、さらにカードのスキー や ジャムなどの検査も同時に行なうので、従来のブラシ式カード・リーダに見るような 2 回読み取りの必要がなく、機械全体が非常に簡単な構造になっている。カード上のセン孔コードはホラリス、カラム・パイオリ、ロウ・パイオリ、およびホラリスとカラム・パイオリが 1 枚のカード上に混在するミクス・モードの 4 種類のコードを読むことができる。

ホップおよびスタッカの容量はいずれも 4,000 枚であるが、カードを読みとっている最中でも、ホップにカードを追加したり、スタッカからカードを取り出すことができる。カードの送り機構はピック・ローラを使用し、従来のカード・リーダにあるようなクラッチ機構を使っていない。したがって、計算機からのカード読取命令に同期してカードを送ることができ、同期ズレのため送り速度が半減するような欠点がない。

図 2.5 は、MELCOM-1552 カード・リーダの機構を示す縦断面図である。ホップのカードは、カード読取命令が来るたびにピック・ローラによって 1 枚ずつ下方へ送られる。もし 3 回ピックしてもカードが落ちないときは、ピック・チェック用フォト・ダイオードによってピック・エラーが検出され、カード・リーダは停止する。ホップのカードの最後にはオモリを置いてあり、カードがなくなると、専用のランプが空ホップ用フォト・ダイオードに反射して空ホップを検出する。ピック・ローラで落されたカードは 3 組のローラでスタッカへ送られる途中で、図 2.6 に示すように T 字形に配置されたフォト・ダイオードへ照射されている光をさえぎる。

カードが斜に入ったり、破れていたりする場合は、カードの下端によってデータ用フォト・ダイオードのおののが暗くなる時刻が異なるので、スキー・エラーが検知される。データ用ダイオードはもちろんカードのセン孔パターンを 80 ピットずつ読みとるが、12 列のうちのどれを読んでいるかは、タイミング用フォト・ダイオードで判定する。スタッカでカードのジャムが起こると、カードが完全にスタッカに入らず、スタッカ・ジャム用フォト・ダイオードを暗くしたままになるので、スタッカ・ジャムが検出される。スタッカがいっぱいになったときは、レバーの働きで、スタッカ・フル・スイッチがセットされることにより検出されるようになっている。

カード上の情報が正しく読みとれない場合は、いずれもカード・リ



図 2.4 MELCOM-1552 高速カード・リーダ
Fig. 2.4 MELCOM-1552 high speed reader.

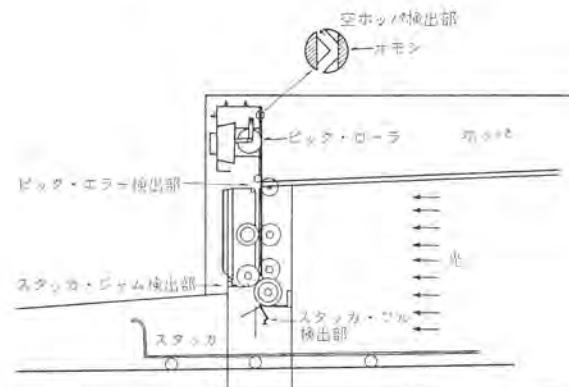


図 2.5 カード・リーダの機構
Fig. 2.5 Card reader mechanism.

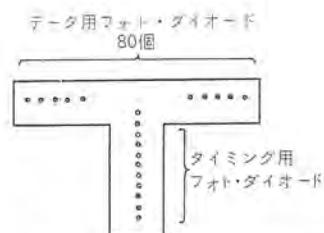


図 2.6 フォト・ダイオードの配列
Fig. 2.6 Photo diodes arrangement.

ーダのモータが停止し、計算機へ警報を送るようになっている。同時にその原因はカード・リーダ上のランプで表示され、オペレータが容易に原因を取り除くことができる。

上記のほか、MELCOM-1540 パッファ・コントローラでは、さらに次のようなチェックを行なっている。

- (1) ホラリス・モードの場合、不正コードを検査する。
- (2) 12 個の列ごとに出てるタイミング・パルスの計数検査。
- (3) パリティ・チェック
- (4) プログラムによるチェック・サムの検査

2.5 MELCOM-1564 高速カード・リーダ・パンチ

MELCOM-1564 高速カード・リーダ・パンチは、毎分 300 枚のカードをセン孔することができる。また 3 個の読取ブラシをもつていて、セン孔と同時にセン孔結果を読み返して検査したり、カード・リーダとしても使用することができる多用途の高速機である。

セン孔は 80 棚一齊式で、読取ブラシはセン孔部の前に 2 個、後に 1 個あり、それぞれ読取用、読返し用およびセン孔検査用に使用される。これらはすべて同一トラック上に配置されているから、

1枚のカードからデータを読みとて、その処理結果を同じカードにセン孔することもできる。このほかに、90欄用の読取ブラシを備え、ユニバーサル形のカードも読めるようにしたものもある。

カードセン孔は MELCOM-1540 パッファ・コントローラのパッファ・メモリを使用しているので、演算および入力動作とは独立に並行して行なわれる。カード読取りは MELCOM-1552 高速カード・リーダの読取制御回路を共用していて、プログラムによっていずれの機械から読むかを選択するようになっている。したがって MELCOM-1552 と同様、ホラリス、ロウ・パイナリ、カラム・パイナリ、およびミックス・モードの読み取りができる。1列読み取ることに割込み信号を発生するようになっていて、演算および出力との同時動作が可能である。

図 2.8 は MELCOM-1552 高速カード・リーダ・パンチの断面図である。ホッパおよびスタッカの容量はそれぞれ 3,000 枚で、運転中にもカードの追加および取り出しができる。

このほかにサブ・スタッカがあり、セン孔誤りがあるカードなどを除去する目的に使用される。

カード送りはクラッチ機構で、計算機から命令が来るたびに 1 ポストずつ進む。13 ミリ秒以内に命令を連続して出せば、カードは毎分 300 枚の速さで次々に送られる。

MELCOM-1552 と同様に、空ホッパやカード・ジャムを検出する機構をもっている。MELCOM-1564 では、フォト・ダイオードを使用せず、マイクロ・スイッチによって各種のチェックが行なわれる。誤り



図 2.7 MELCOM-1564 高速カード・リーダ・パンチ
Fig. 2.7 MELCOM-1564 high speed card reader and punch.

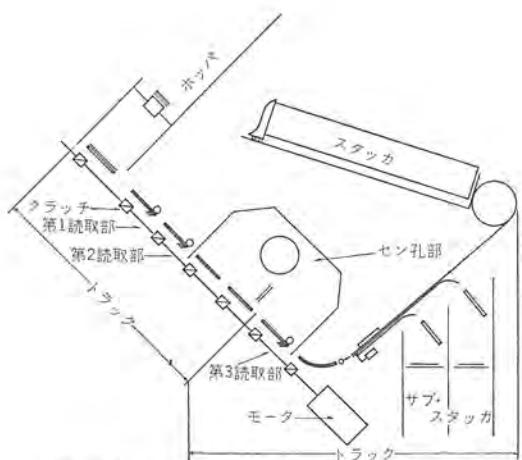


図 2.8 カード・リーダ・パンチの機構
Fig. 2.8 Card reader and punch mechanism.

の警報や表示は MELCOM-1552 の場合とほぼ同じである。

2.6 MELCOM-1560 高速ライン・プリンタ

MELCOM-1560 は活字ドラム方式の高速ライン・プリンタである。活字ドラムは円筒上に 50 種類の英数字および特殊記号が 132 列彫刻されていて、毎分 1,000 回の速さで回転している。ドラムの 1 回転につき 1 行印刷されるので、公称印刷速度は毎分 1,000 行であるが、何行も連続して印刷するときは 1 行ごとに紙を送って改行しなければならないので、実効印刷速度は毎分 750 行である。

MELCOM-1560 高速ライン・プリンタは、MELCOM-1540 パッファ・コントローラ内のパッファ・メモリを使用するので、入力および演算とは独立に同時動作が行なわれる。紙送りの制御はプログラムによる行数指定によって行なわれるほか、8 チャネルのフォーマット・テープを使用することもできる。手動ボタンによる紙送りには、「1 行送り」と「1 ページ送り」とがある。

紙幅は 10 cm から 48 cm の間のものならばどのような幅でもよいが、1 cm につき 4 文字の印字間隔で印刷されるので、1 行に 132 文字を印刷するにはトヨロも考慮に入れると、38 cm 以上の紙幅を必要とする。縦方向には 5 cm あたり 12 行の割合で印刷される。カーボン紙や感圧紙を使用すれば同時に数枚の複写をつくることができる。同時複写部数は紙質によってかなり異なるが、薄手の裏カーボン紙を使うと 8 部一度に印刷することができる。

英数字のほかにカナ文字を印刷できるようにしたものもある。

MELCOM-1560 高速ライン・プリンタには次のような場合を検出するチェック機構があつて警報を計算機へ送る。

- (1) 用紙がもうすぐなくなってしまうとき,
- (2) 用紙が切れたとき,
- (3) 用紙のジャムが起こったとき,
- (4) 回路が故障したとき,
- (5) 電源に異常があるとき。

さらに、MELCOM-1540 パッファ・コントローラの内部では次のような状態を検知したとき、割込信号を発生する。

- (1) プロセッサのメモリから、パッファ・メモリへ情報を転送中にパリティ・エラーが生じたとき,
- (2) パッファ・メモリの読み書きでパリティ・エラーが生じたとき,
- (3) 文字カウンタが誤動作したとき。



図 2.9 MELCOM-1560 高速ライン・プリンタ
Fig. 2.9 MELCOM-1560 high-speed line printer.

2.7 MELCOM-1585 タイプライタ

MELCOM-1585 タイプライタは、入力用、出力用およびオフ・ライナの普通の電動タイプライタとしての機能を備えている装置である。quotation/apostrophe のキーをたたくと、計算機へインターラート

信号が送られ、プログラム制御によって、その後に続く任意の情報が受け入れられる。入力は1文字ごとに割り込みで処理されるので演算および出力との同時動作を行なう。

入力情報の終了は colon/semicolon のキーをたたいて終了信号を発生させることによって検知させる。

出力は MELCOM-1540 バッファ・コントローラ内のバッファ・メモリを使用し、演算および入力との同時動作を行なうようになっている。

通常の電動タイプライタとして使用したいときは、スイッチによってオフ・ラインに切り換えることができる。オフ・ラインによっている場合や、電源に異常がある場合は計算機に警報が送られ、命令でこれをテストできるようになっている。バッファ・コントローラ内のチェックはライン・プリンタと同様である。



図 2.10 MELCOM-1585 タイプライタ
Fig. 2.10 MELCOM-1585 typewriter.

2.8 MELCOM-1572 ディスク・ファイル

オフ・ラインの集中データ処理システムにおいて、磁気ディスク・ファイル記憶装置は欠くことのできない大容量のランダム・アクセス・メモリである。MELCOM-1572 ディスク・ファイルは、MELCOM-1530 システムに4台まで接続でき、1台に約3,250万キャラクタを記憶することができる。

MELCOM-1530 ディスク・ファイルの最大の特長は2本の独立したインターフェイス・チャネルをもっていることで、一方のチャネルが読み書きを行なっている間に、他方のチャネルで次の情報をアクセスすることができるので、実効アクセス・タイムが非常に短くなりシステムの能率を飛躍的に高めることができる。また、この2本のチャネルをそれぞれ別の MELCOM-1530 システムに接続すれば、二つのシステムは共通のディスク・ファイルを介して連結されることになり、分担処理などのテクニックが容易に駆使できる。この場合2本のチャネルが独立に同時に読み書きができることはもちろんである。

シングル・チャネルで十分の用途に対しては、容易に一方のチャネルをとりはずして使用することができる。

MELCOM-1572 ディスク・ファイル1台には最大16枚の記憶円板が取り付けられる。ディスク・ファイルの設置後でもこの円板は容易に取り付け、取りはずしができ、容量の増減が可能である。円板はモータに直結した1本の垂直軸に取り付けられ、毎分1,000回の速度で回転する。記憶円板の上下にはさらに1枚ずつ制御円板があり、各種のタイミング・パルスを得る目的などに使用される。

円板の両面には磁性材料が塗布されていて、情報の読み書きは円板1枚ごとについているアクセス・アームの先端にあるヘッドを通じて行なわれる。これらのアームはたがいに独立に動作するから、上に述べた先回りアクセスや同時読み書きができるのである。フライング・ヘッド方式および相変調方式を採用しており、記録密度は約600 BPIである。

MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム 馬場・渡辺・原田・嶋村・高橋・三上・中島



図 2.11 MELCOM-1572 ディスク・ファイル
Fig. 2.11 MELCOM-1572 disk file.

記憶円板の片面には256本のトラックがあり、それぞれ128本の内側ゾーンと外側ゾーンとに分かれている。アクセス・アームには円板片面あたり4個のヘッドが取り付けられており、それぞれ64本づつのトラックを受けもつので、64通りの位置ぎめで、片面256本、両面で512本のトラックの読み書きが行なわれる。位置ぎめはリニア・モータを使用した電磁式である。油圧を使用しないので電気技術者でも容易に保守を行なうことができる。アクセス・アームをある一つの位置におくと、円板の両面で外側ゾーンのトラックを4本と内側ゾーンのトラック4本との計8本のトラックをアームを動かさずにアクセスすることができる。この8本のトラックに記憶できるキャラクタ数は約32kケタである。したがって、一本のアクセス・アームを1位置に固定したままで、MELCOM-1530 プロセッサの基本メモリを全部ダンプすることができる。

トラック上の情報は、便宜上セクタに分割して記憶される。セクタの大きさは用途によってある程度変えることができる。MELCOM-1572 ディスク・ファイルでは、外側ゾーンは20セクタ、内側ゾーンは12セクタを基本にしている。この場合、1セクタには243ケタを収容するが、これはセントラルカード3枚分、MELCOM-1530の81語分に相当する。1個の命令で読み書きできる情報の長さはこのセクタの長さには無関係で、同じアクセス・アームの固定した位置を使用するかぎり、セクタの始端から何語でも読み書きを指定することができる。別のアクセス・アームに切り換えたり、アクセス・アームの位置を移動するときは複数個の命令を必要とする。この場合のアクセス・タイムはアームの移動距離によって大幅に異なるが、最悪の場合に約285ミリ秒、平均して190ミリ秒を要する。

MELCOM-1572 ディスク・ファイルは他の周囲機器に比べかなり複雑な機能をもっているので、その誤りのチェック機構も万全を期している。紙面の都合上全部を説明することはできないが、代表的な検出項目には次のようなものがある。

(1) アドレス誤り

パリティ、長さ、不正アドレスを検査。

(2) 位置ぎめ誤り

位置ぎめ時間の超過を検査。

(3) 読み誤り

18ビットごとのパリティを検査。プログラムによるチェック・サムの検査。

(4) 書き誤り

書き込み電流の検査、プログラムによる再読み出し。

(5) 動作誤り

クロック間隔、データ間隔、指令パルスの順序等の異状、書き込みを禁止した円板に対する書き込み命令を検出。

(6) 高温警報

これらの誤りはすべて常時監視されており、万一誤りが検査されるとそれぞの場合に応じて、ハードウェア、割り込み、プログラムまたは手動介入のレベルで適切な処置が行なわれる。

2.9 MELCOM-1551 紙テープ・リーダ

MELCOM-1551 紙テープ・リーダは、MELCOM-1530 システムに最高4台まで接続可能である。読み取り速度は毎秒最高 1,000 ケタの高速で、リール・サーボ機構を採用している。

紙テープ・ガイドの調節およびスイッチ切り換えにより、テープ幅は 11/16 インチ、7/8 インチまたは 1 インチ、単位数は 5, 6, 7 または 8 インチのもののいずれもが使用できる。

読み取り情報の検査は 1 キャラクタごとにパリティ・チェックを行なう。奇数、偶数のいずれのパリティも命令で選択することができる。

MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システムでは、データ・キャラクタの前にあるオール・スペース符号は無視される。データ・キャラクタの直後のオール・スペースは停止符号と見なされて停止する。500 ケタ/秒の速度で読みでいる場合は停止符号上で、1,000 ケタ/秒の速度の場合は停止符号と次の符号位置との間で停止する。停止符号より前でも、プログラムが指定しただけの情報が読み取られると同様に停止するようになっている。オール・マーク符号は常に情報として読みとられるが、これがパリティ誤りのときはもちろん誤表示がなされ、プログラムによって適切な処置が行なわれる。

紙テープの幅と単位数が自由に選択でき、それぞれ対応する各種の読み取り命令が用意されているから、紙テープ上のコードにはとくに制限がなく、純2進数、BCD、およびその他の英数字コードを自由に読み取ることができる。

MELCOM-1551 紙テープ・リーダは、MELCOM-1561 紙テープ・パンチと組み合わせることにより、紙テープは大容量のオフ・ライン記憶媒体として使用される。

最大直径 8 インチまでのリールをかけることができるが、リールを使用せずに短いテープを読みませるストリップ・モードも手動スイッチの切り換えができるようになっている。

2.10 MELCOM-1561 紙テープ・パンチ

MELCOM-1561 紙テープ・パンチは、MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システムに 4 台まで接続できる。セン孔速度は毎分 150 ケタである。セン孔時の騒音を防ぐために、セン孔部は油ケースの中に入れてある。独創的のワイヤ・スプリング・クラッチを使用しているので完全な同期動作を行なう。

紙テープ以外にマイラ・テープ、アルミハク・テープなども同様にセン孔することができる。MELCOM-1551 紙テープ・リーダと同様に、11/16 インチ、7/8 インチまたは 1 インチ幅のテープ、5, 6, 7 または 8 単位の符号が、ガイドの調節およびスイッチの切り換えでいずれもセン孔できる。

セン孔結果の検査はパンチ・ナイフの動きを検出し、1 ケタごとのパリティ・チェックを行なっている。パリティは奇数および偶数のいずれも命令によって指定することができる。MELCOM-1540 パッファ・コントローラのパッファ・メモリを使用するから、入力および演算動作と同時に並行動作が行なわれる。



図 2.12 MELCOM-1551 紙テープ・リーダ
Fig. 2.12 Paper tape reader.



図 2.13 MELCOM-1561 紙テープ・パンチ
Fig. 2.13 Paper tape punch.

2.11 MELCOM-1590 テレコントロール・ユニット (TCU)

MELCOM-1590 テレ・コントロール・ユニットは、MELCOM-1530 プロセッサを中心とするリアルタイム・システムを構成するために、プロセッサと通信回線との間に設置する装置で、情報の送受信の制御を行なう。この装置の外観は図 2.1 の中の MELCOM-1530 プロセッサとほとんど同じである。

図 2.14 はリアルタイム・システムの構成の一例である。

プロセッサのメモリは各端局に対して割り付けられているが、この個数や大きさは、端局の個数や種類に応じて異なる。情報の受入れと送出しは独立に同時に行なわれ、最大 64 個の端局を取り扱うことができる。さらに各端局は最高 32 台の端末機械によって時分割で使用できる。通信回線の終端には 1 ケタ分の直列並列変換用のレジスタを設置する。電話回線のような音声周波専用線を使用するときは、さらに変復調装置(モーデム)を必要とする。通信回線を使わずに、近距離のタイプライタや紙テープ機器をテレコントロール・ユニットに直接接続することもできる。

情報の転送は送信受信とも 1 ケタまたは 1 語(3 ケタ)につき、30 マイクロ秒の割合で行なうことができる。最大 128 本の入力および出力回線は 1 回線につき 3 マイクロ秒の割合で走査され、情報転送の用意の有無を検査する。プロセッサのメモリは間接アドレス方式のサイクル・スチールの原理でアクセスされ、他の入出力や演算動作とは独立に動作する。命令によって走査の対象を入力回線または出力回線のみに限定することもできる。

入出力情報の終わり、パリティ誤り、回線の異常などはすべてテレコントロール・ユニットで監視され、検出されると割り込み信号が発生し適切な処置を行なうようになっている。

このほか、予備回線を 1 回線もち、非常時の切換使用が可能である。さらに外部操作が可能なステータス・スイッチが 4 個設けてある。

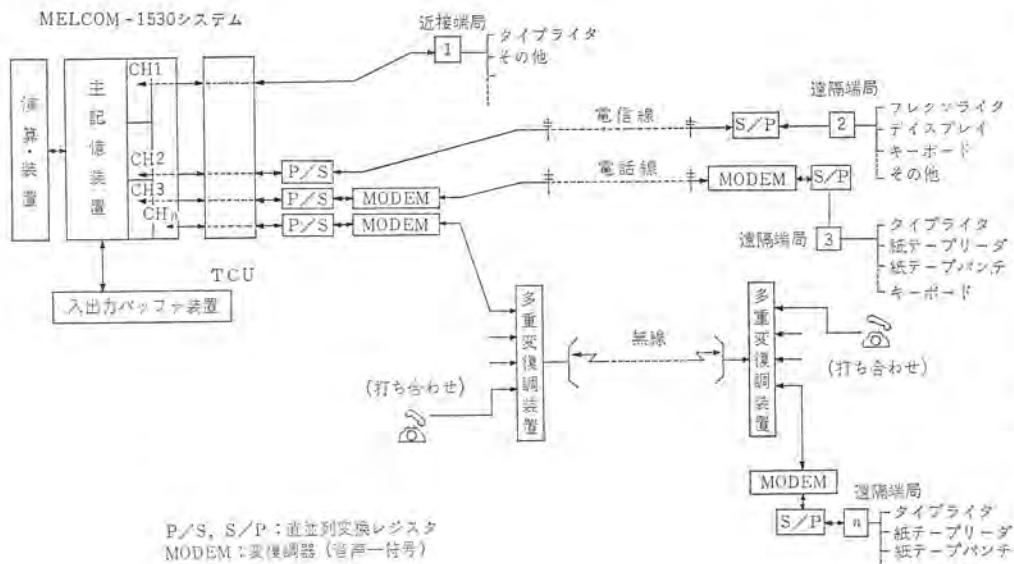


図 2.14 MELCOM-1530 リアルタイム・システム
Fig. 2.14 MELCOM-1530 real-time system.

り、プログラムでテストして外部状況に応じた処理を切り換え実行することができるようになっている。オール・マーク、オール・スペース信号は無視するようになっているが、これを情報として取り扱うようになることができる。

3 MELCOM-1530 ソフトウェア・システム

3.1 システム・プログラム

電子計算機はプログラムに従って動作し、技術計算や事務データ処理を行なうものであることは今さらいうまでもない。したがってそのプログラムがいかに能率よくでき上っているかは非常に重要なことであり、電子計算機の性能を十分生かすかどうかはプログラムにかかっているといってよい。

しかし能率のよいプログラムを作成することは非常にきびしい頭脳労働が要求され、とくに最近のように電子計算機の速度が向上し複雑化してくると十分能率のよいプログラムを作ることは“至難のわざ”とまでいわれるようになってきている。そこでプログラムの作成とか、プログラムのテストに要する時間や労力を少なくすることが必要になるが、この作業もできるだけ計算機を使用して自動化することが行なわれるようになった。プログラムの作成やプログラムのテストを計算機を使用して自動的に行なうには、やはりそのためのプログラムが必要になってくるが、それがシステム・プログラムと呼ばれるもので、MELCOM-1530にはそれらのシステム・プログラムが数多く準備されている。MELCOM-1530システム・プログラムをその使用目的によって分類すると次のようになる。

(1) プログラムの作成を容易にするためのシステム・プログラム

機械用語でプログラムを書き表わすことは非常にむずかしいので機械用語とは別のプログラムを書き表わすのに適した用語でプログラムを作成し、計算機を使用して機械用語のプログラムに変換することが一般に行なわれる。このプログラム用語で書いたプログラムを機械用語のプログラムに変換するためのプログラムはシステム・プログラムの一つであり、MELCOM-1530にはアセンブラーとしてSIA, SIAS, コンパイラとしてFORTRAN, COBOLの4種がある。

アセンブリは記号命令、記号番地によって書かれたプログラムを機械命令のプログラムに組み立てるためのプログラムである。記号命令

```

graph LR
    2[2] --- SP1[S/P]
    2 --- MODEM[S/P]
    SP1 --- KEYBOARD[キーボード]
    SP1 --- DISPLAY[ディスプレイ]
    SP1 --- OTHER[その他]
    MODEM --- PHONE[電話]
  
```

算機用の **コンパイラ** が機械用語の **プログラム** に変換する。

(2) 基本 プログラム としての システム・プログラム

SORT とか, MERGE とか, Tape to Print, Card to Tapeなどのようなプログラムは各使用目的に対して共通的に使用できるプログラムであって, 標準的なプログラムを作つておいて, 個々の使用目的によってごくわずか モディファイ する程度でよい. いずれもデータの割り付けとか, 所望の条件を与えてやると プログラム がその目的に応じたように編集される. イージー・オーダに相当する.

(3) プログラムのテストを助けるシステム・プログラム

作成されたプログラムは実際に計算機にかけて実行し、正しく動作するかどうかをテストしなければならない。テストも計算機の速度が早くなり、複雑化してくるとなかなか容易でない。そのため計算機の時間をむだ使いすることが多い。能率的に容易にプログラム・テストができるようにするためのプログラムもシステム・プログラムの一部であって、MELCÖM-1530ではファシリティ・プログラムの中に入っている。

(4) 計算機の運転を容易にかつ能率的に行なうことを助けるシステム・プログラム

MELCOM-1530 では テープ・オペレーティング・システム とか, FORTRAN モニタ, ノーマル・ローダ, CAP などがこの分類に入るものである. 計算機の速度が早くなり複雑化すると プログラムを実行する時間よりも, プログラムの実行を準備したり, 一つの プログラムの実行が終わって他の プログラムの実行へ移る時間とかが無視できなくなる. それらの プログラムの チェイニングも システム・プログラムにより行なう必要がある.

MELCOM-1530 システム・プログラムを用途によって分類すると以上のようになるが、これらを ブロック線図に示すと 図 3.1 のようになり、各 システム・プログラム はおのおの独立したものでなく相互に密接な関連があり、一つのシステムを構成している。したがってこの システム のことを MELCOM-1530 ソフトウェア・システム と呼んでいる。以下それらのうちで重要なものについて概略の説明を行なう。

3.2 SIA (Symbolic Instruction Assembler)

SIA の書き方(用語)およびアセンブラーは MELCOM-1530 のう

ログラムの作成を容易にするために作られたものである。SIA 用語では記号命令および記号番地によってプログラムを作成するようになっている。MELCOM-1530 はストアド・ロジックという新しい方式を採用したデータ・プロセッシング・システムであるが、SIA はその特長を十分に發揮するように考えられたシステムであり、書き方としては通常のシンボリック・プログラム・システムの書き方と本質的に変わらない。

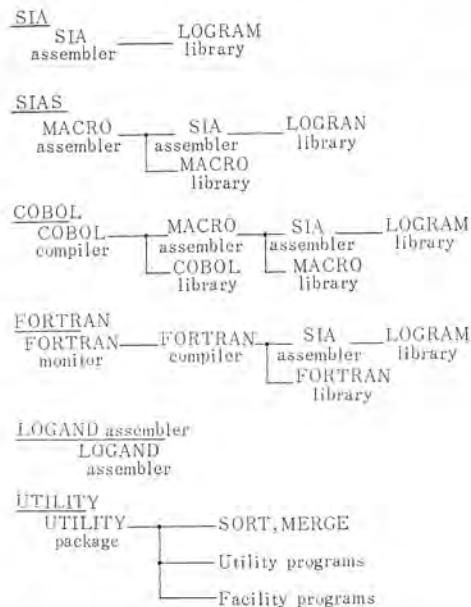


図 3.1 MELCOM-1530 ソフトウェア・システム
Fig. 3.1 MELCOM-1530 software system.

らないものであるが、さらにプログラミングを容易にするためにいくつかの特長が加味されている。SIAによるプログラミングの例を図3.2に示す。その特長としては

(a) 記号命令の種類を追加したり、記号命令の内容を変更したりすることが可能になっている。これらの特長は マクロ 命令を採用している通常の アセンブリ・システム においても可能であるが、通常の アセンブリ・システム では マクロ 命令を サブルーチン で実行しているので マクロ 命令をあまり多く用いると能率がよくない。SIA システム では各記号命令に対応する機械命令の実行メカニズムを ハードウェア の論理回路と ストアド・ロジック (記憶された論理回路) によって構成しており、その ストアド・ロジック を追加したり、変更したりすることにより マクロ・アセンブリ・システム における以上のような機能を行なっている。したがって非常に能率がよい。

(b) データはケタ(または字)単位の可変長の形で処理する場合と、語単位(3ケタまたは3字単位)の可変長で処理する場合があり、それぞれ使用目的に応じて使いわけられるので、融通性があり、しかも能率のよいプログラムを作ることができる。

その一例としてコア・メモリからコア・メモリへのデータの移動は語単位またはケタ単位で任意の語数および任意のケタ数について行なうことができる。たとえば

MNW ALPHA/BETA/*n*

のような命令では ALPHA 番地から始まる連続した n 語のデータが、BETA 番地から始まる連続した n 語のロケーションに移る。またケタ単位のフィールドでは次のようになる。

MVC ALPHA*2/BETA*1/5

PROGRAM _____

MELCOM-1530
SIA CODING FORM

PAGE _____ OF _____

LOCATION	OPERATION	TYPE	VARIABLE	MELD	SEQ.NO.
1 3 3 4 5 5	8 9 16 11 12 13 14 15 16 17	18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 19 33 34 35 36 37 38 39 40 31 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74	MELCÖM	1 5 3 0 S I A S A M P L E P R Ö G R A M	75 76 77 78 79 80
BEGIN	RS	C/S			
A	RS	F2	1		
B	RS	F2	1		
C	RS	F2	1		
K1	DA	F2	4		
K2	DA	F2	2		
X1	RS	F2	1	RESULT1	
X2	RS	F2	1	RESULT2	
TEMP	RS	F2	1	TEMPORARY STORAGE	
START	MPY2	A/C	A*C		
	MPY	K1	A*A*C		
STA	TEMP				
	MPY2	B/B	B**2		
SUB	TEMP		B**2 - 4*A*C		
STA	TEMP				
FSQRT	TEMP		SQUARE ROOT OF B**2 - 4*A*C		
STA	TEMP				
SUB2	TEMP/B		-B + SQRT(B**2 - 4*A*C)		
DIV	K2				
STA	X1		STORE X1		
ADD2	TEMP/B				
CSIGN					
STA	X2		STORE X2		
HLT	START				
END	START				

図 3.2 SIA によるプログラム例

Fig. 3.2 An example of SIA coding.



上の図のように ALPHA 番地の第 2 番目の キャラクタ・ポジション に始まる連続した 5 ケタのフィールドを BETA 番地の第 1 番目の キャラクタ・ポジション に始まる 5 ケタのフィールドにデータ移動が行なわれる。以上二つの命令において語数および ケタ数には制限がなく、まったく任意に指定することができる。

(c) 普通のメモリ・ロケーションをインデックス・レジスタとして使用できるので、使用可能なインデックス・レジスタの個数は無制限である。インデックス・レジスタでアドレス・モディファイケーションを行なう場合も

ADD ALPHA, BETA
(加算)

などと書き表わすと、オペランド・アドレス ALPHA がインデックス・レジスタ BETA によってアドレス修飾される。またインダイレクト・アドレスも可能であり

BRN (GAMMA)
(ブランチ)

と書くと、GAMMA 番地にジャンプするのではなく、GAMMA 番地の内容で指定する番地にブランチするようになる。

(d) 命令のオペランド・アドレスは必ずしも 1 個でなく、命令によっては 3 ~ 5 個など複数個のものもある。たとえば

RTDN t / AREA / n / ERROR / E0F

は磁気テープの読み取り命令であり、オペランド・アドレスは 5 個になっている。各オペランドの境には / を書いて分離するようになっている。

(e) MELCOM-1530 では各機械命令はハードウェアのみで構成されているのではなくストアド・ロジック(記憶された論理回路)と合わせて構成されるので、比較的複雑な命令を作ることが可能であって、普通の計算機なら当然マクロ命令になるものを普通の命令と同じに扱っている。したがって一つの命令によって行なわれる動作の内容が非常に多いので、少ないステップ数でプログラムを書き上げることができる。たとえば三角関数の正弦を計算する命令などがある。

FSIND ALPHA

と書くと ALPHA 番地の内容の正弦が計算されて、結果がキューブレータに入る。

(f) 四則演算などを行なう場合、データ・タイプによって別の機械命令がある。すなわち同じ加算を行なう命令でも 10 進数であるか、2 進数であるか、浮動小数点であるかにより別の機械命令があるが、SIA ではオペレーション・コードは同じものを使用し、オペランドのデータのタイプによってそれぞれ別の機械命令に変換するようになっている。たとえば

ADD ALPHA

と書いたとき、ALPHA 番地に 10 進数が入るならば 10 進数の加算の命令にアセンブルされ、浮動小数点数が入るならば浮動小数点数の加算命令にアセンブルされる。

などがおもなものである。

SIA システムではアセンブルの段階においてテープ・ユニット 2 台、8k コア・メモリ、カード・リーダ、カード・パンチ、ラインプリンタを使用する。カード・リーダはソース・プログラムのインプットに用いられ、カード・パンチはオブジェクト・プログラムのアウト・プットに使用される。ラインプリンタにはアセンブル・リストがプリント・アウトされる。テープ・ユニットの #0 にはシステム・テープがセットされるが、システム・テープには SIA

アセンブル・プログラムおよびプログラム・ライブラリが入る。アセンブルを行なう時の機械の構成を図 3.3 に示す。アセンブルは 1 回のバスで行なわれる。

MELCOM-1530 はストアド・ロジックという新しい方式で設計されており、普通の計算機ではハードウェアのみで構成されている機械命令の機能を、この計算機では基本的なハードウェアとコア・メモリに記憶されているプログラムによって命令の機能を実行している。各命令に対応してプログラムがあり、いつも全部のプログラムをコア・メモリに入れておかないでプログラムごとに必要なプログラムだけを選択して、コア・メモリに記憶するようになっている。プログラム・ライブラリとして全部のプログラムがシステム・テープの中に入っているが、プログラムのアセンブルの段階において必要なプログラムを選択してオブジェクト・プログラムの中に加えておく。したがって SIA アセンブルは普通のアセンブルの機能としての記号命令を機械命令に変換してオブジェクト・プログラムを生成することに加えて、そのプログラムで必要とするプログラムの種類を決め、プログラム・ライブラリから選択してオブジェクト・プログラムの中に加えるという機能を持っている。オブジェクト・プログラムのカードにはオブジェクト・プログラムもログラムも同じ形でパンチされていて、区別はつかなくなっていて、実行段階において、ローダはオブジェクト・プログラムとログラムをまとめてコア・メモリにロードするようになっている。

3.3 SIAS

SIAS システムは SIA システムの機能をさらに拡大したものであり、SIA が持っている機能は必ず SIAS の中に含まれている。追加された機能は大略次のように集約できる。

(1) SIA システムで使用できた記号命令のほかに MACRO 記号命令が使用できるようになった。MACRO 記号命令というのは、SIA の記号命令に存在しない記号命令を新しく作り、その実行を SIA で書いた Subroutine により行なうものである。すなわち SIAS システムでは、MACRO 記号命令に対応する SIA で書いた Subroutine の凡てを Subroutine Library としてシステム・テープの中に入れておいて、アセンブルのつどそのプログラムで使用されている MACRO 記号命令に対応した Subroutine を選択して Object Program の中に加え、Subroutine Jump の Linkage を Generate する機能が新しく追加されている。

(2) SIAS システムで実際にプログラムをアセンブルし、プログラム・テストを行なうときのオペレーションが容易になるようにいくつかの機能が追加されている。たとえば、いくつかのプログラムをまとめ

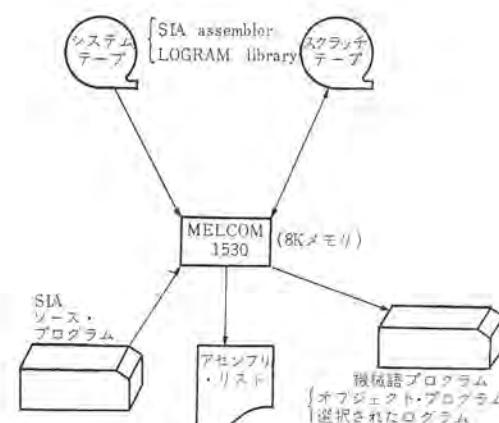


図 3.3 SIA によるアセンブル
Fig. 3.3 SIA assembling.

てアセンブルすることができるようになっている。

現在の SIAS で使用できる MACRO 記号命令は事務データ処理を行なうときに使用される入出力関係の MACRO 命令がおもなものである。中でもとくに磁気テープの入出力に使用されるものが大部分である。

磁気テープを使用した事務データ処理用のプログラムを作成する場合、一般に下記のようなテクニックが用いられる。

- a. ブロックシング
- b. バッファリング
- c. ハードウェアの誤動作に対する処理
- d. リール交代に対する処理
- e. テープ・ラベルの処理

これらはいずれも事務データ処理における「雑用」に属するものである。つまり、プログラムの論理的な流れ、手順の中では、単に入出力動作の指示、READ, WRITE だけあればよく、これだけで必要なデータが計算機内部と外部媒体との間で交換されることは望ましい。しかし上記のテクニックを一つずつ SIA 命令で書くことは非常な労力を要するばかりでなく、あまり生産的でない。ところが内容がはん雑な割には定型的であり、どの仕事にも共通な部分やテクニックが含まれている。そこで1組の Subroutine をあらかじめ用意しておいて、いつでもこれを MACRO 記号命令によって利用しようとするものである。1組の磁気テープに関する MACRO 記号命令の中には OPEN, CLOSE, GET, PUT の4種類の命令があり一つの Set になっている。なお、磁気テープ・ファイルの性質により次の4 Set の OPEN, CLOSE, GET, PUT が準備されている。

- (a) テープ・ラベルを用いないテープ・ファイルで、しかも固定長のレコードをもつファイルのみを処理するもの。
- (b) テープ・ラベルを用いたテープ・ファイル、テープ・ラベルを用いないテープ・ファイルのいずれでも処理できるもの、ただし固定長のレコードのファイルを扱う。
- (c) 可変長レコードをもつテープ・ファイルで、テープ・ラベルのあるもの、ないもののいずれでも処理できるもの。
- (d) (c) の仕様の上にさらにバッファリングの機能を追加したもの。

SIAS システムにおけるアセンブルではテープ・ユニット3台、カードリーダ、カード・パンチ、ラインプリンタが使用される。すなわち、SIA システムに比べ、スクラッチ用のテープ・ユニットが1台追加されたことになる。アセンブル時の機械の構成を図 3.4 に示す。

3.4 COBOL

COBOL は Common Business Oriented Language の略で、事務データ処理用のプログラムを作るための共通言語であり、アメリカ国防総省、アメリカ連邦政府機関、アメリカ計算機メーカーなどの協同作業によって作られた用語で、次のような特長をもっている。

(1) この用語は計算機間で共通の用語であるから、あるデータ処理システムで使用されている計算機を将来より強力なものに取り換えるときの費用を最小にすることが可能であるし、また異なる計算機を何台も使っているときにも、これらの計算機間にプログラムの互換性ができる。

(2) この用語で書いたプログラムは文書の形で完全に記述できるような言語体系になっているのでプログラムの変更、補追が容易であり、経営活動の変更、拡張にともなうデータ処理システムの変更拡大が容易である。

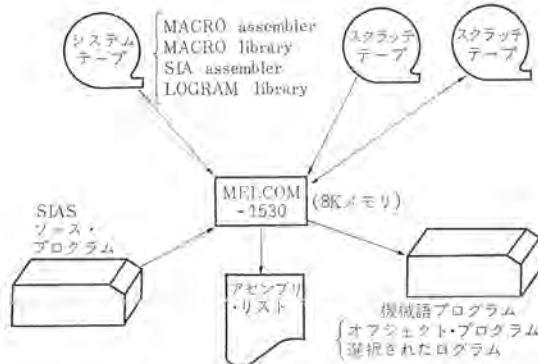


図 3.4 SIAS によるアセンブル

Fig. 3.4 SIAS assembling.

(3) プログラムの作成が容易であり、未経験なプログラマも勞せずして能率のよいプログラムを作ることができる。

MELCOM-1530 COBOL では最も一般に採用されている COBOL 61 に従っており、COBOL 61 の Required COBOL の全部および Elective COBOL の一部をとっている。

COBOL 用語が事務データ処理プログラム作成のための用語としてすぐれている点のいくつかを具体例をあげて説明すれば次のようになる。

a. プログラムを書き表わす部分が四つに区分されている。すなわち IDENTIFICATION DIVISION, ENVIRONMENT DIVISION, DATA DIVISION, PROCEDURE DIVISION の四つに分けてプログラムを記述するようになっている。DATA DIVISION と PROCEDURE DIVISION が重要なものであり、DATA DIVISION ではこのプログラムで処理するファイルの中に入っているレコードやその他のデータに関する詳細な記述を行なう。PROCEDURE DIVISION では DATA DIVISION で記述されているそれらのデータに関する処理の手順などを記述する。このように機能によってプログラムが分割されているので、プログラムの作成、変更、追加が実にスムーズに行なえる。

b. 四則演算についても、オペランドのケタ数、小数点位置などは DATA DIVISION で指定しておき、PROCEDURE DIVISION ではそれらのオペランドについて単に四則演算の順序を書き表わすだけで、ケタ数の調整、小数点の移動などは自動的に行なわれるようになっている。しかもケタ数とか小数点の位置は計算機の語長などに無関係に自由に指定できるようになっている。たとえば

ADD ALPHA, BETA, GIVING, GAMMA;

とすると、ALPHA, BETA についてケタ数、小数点位置は DATA DIVISION で指定されているとおりに調整され、移動されて ALPHA と BETA を加算し、GAMMA のケタ数、小数点位置にあわせて加算結果が GAMMA の中に Store される。

c. データの移動を表わす命令においても同じことがいえる。たとえば

MOVE ALPHA TO BETA

とすると、単に ALPHA から BETA にデータが移されるだけでなく、ALPHA および BETA について DATA DIVISION でそれぞれのデータのケタ数、小数点位置、データの編集形式などが詳細に記述されているのでその指定にしたがってデータの変換が行なわれて移動される。

それらの変換のおもなものはケタ数の調整、小数点の移動、

Editing などである。

d. データに関する階層的な記述が許されている。すなわち ALPHA, BETA などのグループ・アイテムの中に、それぞれ X, Y, Z という要素アイテムがあったとすると、そのことを DATA DIVISION で記述しておけば

MOVE ALPHA TO BETA CORESPONDING

することにより、ALPHA の中の X, Y, Z の値がそれぞれ BETA の中の X, Y, Z に変換され移動する。



e. 入出力関係の命令が非常に簡略化されている。事務データ処理プログラムにとては入出力の手続の部分は非常にやっかいなものであるが、COBOL では単に OPEN, CLOSE, READ, WRITE の四つの命令を使用するだけで非常に簡潔に表現できる。COBOL ではこれらの ADD, MOVE, OPEN, CLOSE, READ, WRITE のことを命令と呼ばず動詞 (Verb) と呼んでいる。

MELCOM-1530 にはこのような COBOL の用語を使って書かれたプログラムを MELCOM-1530 の機械用語のプログラムに MELCOM-1530 を使って自動的に変換するための COBOL コンパイラが準備されている。

従来、COBOL コンパイラは非常に規模が大きくなり、大形計算機でなくては能率的にコンパイルすることができないと思われていたが、最近ではコンパイラ作成の技術が進歩し中形計算機でも十分能率的なコンパイラを作ることができることが実証されてきており、近い将来においてすべての事務データ処理は COBOL またはそれに類似の用語で作成されるものと考えられる。MELCOM-1530 COBOL コンパイラは中形計算機用コンパイラ作成上の最新のコンパイラ技術を導入すると同時に Stored Logic の特長を十分生かして使いやすい、そして能率のよい COBOL システムとなっている。Stored Logic の特長を生かしているためとえば次のようない点がある。

(a) COBOL で書いたプログラムを機械用語のプログラムにコンパイルするとき、機械用語の形式によりコンパイル上の難易が存在することは容易に想像できる。MELCOM-1530 の機械用語は Stored Logic により構成されてはるので、Stored Logic の内容を変更して機械用語の形式を変えることができるが、その特長を利用して COBOL システムでは COBOL のプログラムから変換され易い機械用語の体系を作り使用している。そのためコンパイラの規模は小さくなり、しかもコンパイル・タイムが比較的短い。

(b) MELCOM-1530 は Shared Logic であるため、Word Machine でありますながらデータをケタ単位の可変長で能率的に扱うことが可能である。そのため、Word Machine の COBOL システムでよくいわれているようにプログラムの技術の差によってできるプログラムの巧拙があまり起こらない。

COBOL システムではコンパイルに必要な入出力装置の構成は図 3.5 のようになっている。

3.5 FORTRAN

周知のとおり、FORTRAN は科学技術計算、OR 計算などのデータ処理を行なうプログラムを作成するための自動プログラム・システムである。この用語は IBM および IBM 計算機使用者により開発

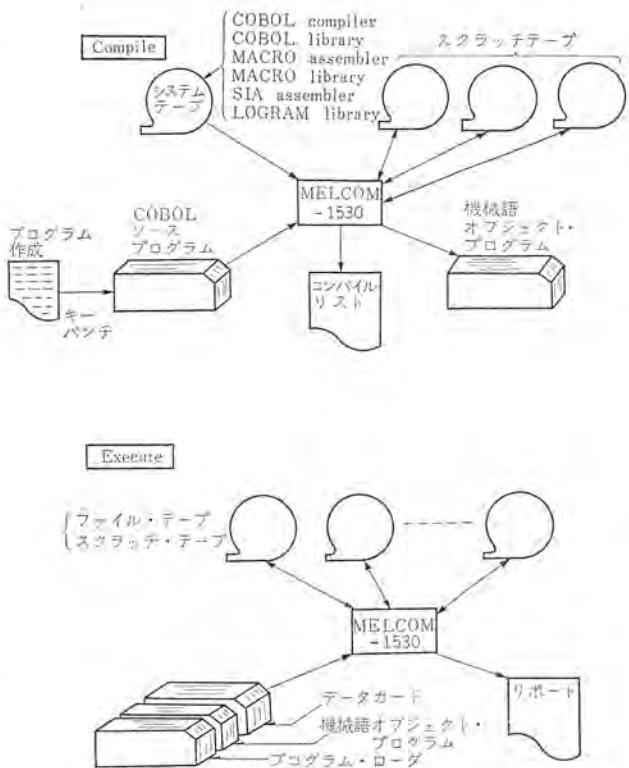


図 3.5 COBOL システムにおける機械構成
Fig. 3.5 Devices required for COBOL system.

されたが、現在ではその効用が広く認められ、IBM 以外の計算機にも FORTRAN コンパイラが作られ利用されている。FORTRAN の有用性については広く知られているのでここでは一般的な説明を省略し、MELCOM-1530 プログラム・システムの一つとしての FORTRAN システムの特長について述べる。

(1) FORTRAN 用語は固定したものではなく、使用経験や、ALGOL, COBOL などの影響も受け常に改良が重ねられている。その中でも FORTRAN II と FORTRAN IV は非常によく利用されている。現在では FORTRAN II の利用が最も盛んであるが、新しく作られた FORTRAN IV はいくつかのすぐれた点をもっているため、利用者の層は II から IV へ漸次移りつつある。MELCOM-1530 ではそれらの点を考慮に入れて FORTRAN IV を採用している。

(2) FORTRAN II, FORTRAN IV の Full Range のものはもともと大形計算機のために考えられたものであるので MELCOM-1530 程度の中形計算機にバランスのとれたものとするため Statement の範囲としては Full Range を採用せず、ごく一部削除しているが、一般の使用にさしつかえるものではなく、むしろコンパイルの時間を節約したり制限条件をゆるくしたり、実質的な面で機能を増大するように考慮されている。たとえば、Variable Name の使用個数の許容最大数などは十分大きなものになっている。

(3) FORTRAN システムは独立して用いられるばかりでなく、MELCOM-1530 プログラム・システムの一部として、すなわち COBOL, SISAS, SIA などとともに用いられるものであるから、それらのシステムとの間に Operation 上の互換性について十分考慮されている。

この FORTRAN システムは、Calculator として MELCOM-1530 を座右において科学技術計算の tool として用いるよりもむしろ、設計業務とか、OR 計算などのように高度の事務データ処

理に用いられることを目的としている。したがって、入出力関係、とくに磁気 テープ に関する ステートメント は充実したものになっている。また SIAS, COBOL などで データ 处理を行なった結果を FORTRAN システム で処理することも考え、FORTRAN で作った プログラム 間だけでなく、SIA, SIAS, COBOL で作った Object Program との間にも Chain Job が可能になっているし、SIA で書いた Subroutine を FORTRAN の Subprogram として使用することも可能になっている。

(4) このFORTRANシステムはCalculatorとしてMELCOM-1530を用いることよりも、高度の事務データ処理を目的として作られているので、日常業務として繰り返し用いられるプログラムを作成することが多いと考えられるので、コンパイル・タイムの短縮よりもむしろ、Object Programの能率ということが強調されている。

MELCOM-1530 FORTRAN システムでは、コンパイル時にテーブ・ユニット 3 台、カード・リーダ、カード・パンチ、ライン・プリンタの入出力装置を使用する。コンパイル時に必要なコア・メモリの大きさは Basic FORTRAN では 8 K, Full FORTRAN では 16 K である。Basic FORTRAN では、前述したように FORTRAN IV の全 Statement のうち若干使用を制限しているものもあるが、ごく特殊な用途を除いて使用上の不利は生じないように考慮されている。なお、Basic FORTRAN はコンパイル時において 8 K のコア・メモリを必要とするが、もちろん 16 K 用, 32 K 用のプログラムのコンパイルを行なうことができるようになっている。

このことは SIA, SIAS, COBOL についてもいえることである。FORTRAN によるコンパイル時の構成を図 3.6 に示す。

3.5 ユーティリティ・パッケージ

このカテゴリに属するシステムプログラムは、使用目的によって区別すると三つに大別できる。

- (1) ユーティリティ・プログラム (イージーオーダの共通プログラム)
 - (2) プログラムのテストを行なうためのプログラム
 - (3) 計算機のオペレーションを容易にするためのプログラム

ユーティリティ・プログラムは事務処理において共通に用いられるプログラムで、レディ・メイドのプログラムであるが、コントロール・パラメータを指定することにより、使用目的あわせて変更し用いることができるので、イージオーダのプログラムともいえる。このプログラムの代表的

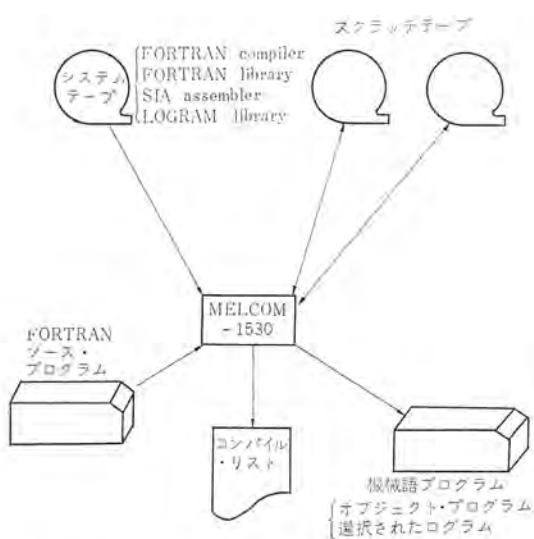


図 3.6 FORTRAN システムによるコンパイル
Fig. 3.6 FORTRAN compiling.

FOR COMMENT STATEMENT 2 NO 5 6	7	20	40	60	72 76	78
	LCOM 1530 FORTRAN SAMPLE PROGRAM					
	READ 0, A, B, C					0 0
	B = B * * 2 - 4.0 * A * C					0 5 0
	IF (D) 100, 200, 200					1 0 0
1,0,0	X, M, G = SQRT (-D) / (2.0 * A)					1 5 0
	X, EAL = -B / (2.0 * A)					2 0 0
	PRINT 20, XREAL, X, MAG, XREAL, XIMAG					2 5 0
	GOTO 300					3 0 0
2,0	X1 = (-B + SQRT (D)) / (2.0 * A)					3 5 0
	X2 = -B - SQRT (D)) / (2.0 * A)					4 0 0
	PRINT 30, X1, X2					4 5 0
3,0,0	PAUSE					5 0 0
1,0	FORMAT (3F5.1)					5 5 0
2,0	FFORMAT (5X, 3H1, 1, 1H+, F7.1, 1H1, 5X, 3H2 =, F7.1, 1H-, F7.1, 1H1)					6 0 0
3,0	FORMAT (5X, 3H1, 1, 5X, 3H2 =, F7.1)					6 5 0
	END					7 0 0
						7 5 0
						8 0 0
						8 5 0
						9 0 0
						9 5 0

図 3.7 MELCOM-1530 FORTRAN によるプログラム例
Fig. 3.7 An example of MELCOM-1530 cobol coding.

なものとしては、Sort, Merge, Card to Tape, Tape to Printなどがある。MELCOM-1530には、SORTプログラムとして現在8種のプログラムがあり、磁気テープの台数、コア・メモリの容量などにあり使い分けることができる。

SORT: SORT 1, SORT IV, MARK 1~6

MERGE: 2 way MERGE, 3 way MERGE, 4 way MERGE.

Card to Tape: Version I, Version II

Tape to Print: Version I, Version II

Card to Print:

Tape to Card:

その他:

プログラム・テストを行なうためのプログラムとしては、次の三つが代表的である。

CAP (Control and Analysis Program)

ITDD (Interpretive Trace and Dynamic Dump)

TRACE (Trace Program)

最もよく用いられるのが、CAPとITDDでありCAPはStatic Debugging(プログラムをとめた状態でコア・メモリの内容をダンプしたりして調べる)、ITDDはDynamic Debugging(プログラムを実行しながら中間のコア・メモリの内容とか、アキュムレータの内容をプリント・アウトする)に用いられる。

その他Tape DumpなどのProgramもDebuggingなどの目的に使用される。

プログラムのオペレーションを行なうためには、Cardまたは、Tapeの中に入っている。objectプログラムをコア・メモリの中にloadしたり、そのプログラムで使用する入出力装置をSet upしなければならない。それらの動作は一つのプログラムの実行が終わり次のプログラムに移るときに必ず必要なオペレーションであり、従来は、オペレータによって行なわれていた。

しかし、非常に高速の計算機では、実際のプログラムの実行時間に比較して、それらのプログラムの準備時間が無視できなくなっている。すなわち高速の計算機をslow-motionの人間が、操作していたのでは、計算機の能率的なオペレーションは望めない。

それらのプログラムの準備のオペレーションを能率よくするためにMELCOM-1530には、次のようなプログラムを準備されている。

CAP
 NORMAL LOADER
 FORTRAN MONITOR
 Tape Operating System

とくにFORTRAN MONITORとTape Operating Systemは高度なものであるので概略の説明を行なう。

FORTRAN MONITORはFORTRANで書かれたプログラムを機械語のプログラムにコンパイルする仕事や、Object Programの実行という仕事をいくつか連続的に処理するためのプログラムである。すなわちいくつかのObject Programを処理するだけでなく、その中にコンパイルという作業もまじえて連続的に処理を行なう。そのためFORTRAN MONITORの中にはFORTRANコンパイラ、LOADERなどのシステム・プログラムも含まれていて、1つのテープの中に入っている。したがって、FORTRAN MONITORに対してInputされる情報の形としては、下記の3種類のものがいくつか集まつたものである。

a. FORTRANで書いたプログラム。

MELCOM-1530データ・プロセシング・システム・馬場・渡辺・原田・嶋村・高橋・三上・中島

いくつものプログラムのCompile, Executionを連続的に行なう

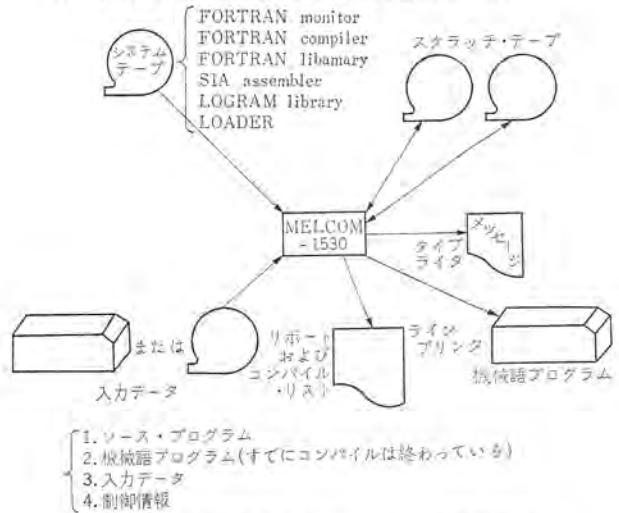


図 3.8 FORTRAN モニタ・システムの機械構成

Fig. 3.8 Devices required for FORTRAN MONITOR system.

このプログラムを機械語にコンパイルする。

b. Object Program (FORTRAN以外のSIA, SIAS, COBOLなどのObject Programでもよい)とそのObject Programで処理するInput Data。

このObject Programを実行する。

c. FORTRANで書いたプログラムと、そのプログラムで処理されるInput Data。

このFORTRANで書いたプログラムを機械語にコンパイルし、同時にそのプログラムを実行する。

以上3種類の情報をいくつか集め、Input Tapeにまとめて、移しておいて連続的に処理するものがFORTRAN MONITORである。このようにすればオペレータの介入が少くなり無人運転も可能であり、プログラムとプログラムの中間にオペレータが介入しないため計算機を非常に能率的に使用できる。FORTRAN MONITORを実行するときの構成を図3.8に示す。

Tape Operating Systemも計算機の能率的なオペレーション、無人運転のために作られたものであるが、FORTRAN MONITORとは異なって、とくに事務データ処理のプログラムの連続的な処理および能率的なオペレーションのために使用される。Tape Operating SystemではSIA, SIAS, FORTRAN, COBOL, SORT, MERGE, その他のユーティリティ・プログラムなどのシステム・プログラムや、実際に事務データ処理を行なうために、Userによって作られたProduction Program (Object Programの形で)をまとめて1本のSystem Tapeの中に入れておいて、オペレータによって指示されたプログラムを選択してコア・メモリにLoadして実行する。

(a) システム・プログラムやProduction Programはデータ処理システムが大きくなると非常に多くなり、カードの形でそれらのObject Programを扱うことは非常にやっかいであり、計算機のIdle Timeを生ずる原因となる。この方式ではそれらのプログラムの選択をプログラムによって自動的に行なわれる。

(b) いくつかのプログラムを連続的に処理することも可能である。いくつかのプログラムを連続的に処理する場合、必ずしもそれらのプログラムは実行する順序にテープの中に入っていなくてもよいので非常に便利である。

4. MELCOM-1530 IDP システム

バッチ・システムによる過去の記録情報の処理も、シミュレーションによる未来の予測も、最終的なねらいは現状のコントロールにある。現状をコントロールするリアルタイム・システム、IDP システムにはその特有の条件ないし問題点があつてシステム構成上重要なポイントとなる。たとえば (1) 原始情報を収集し、処理情報をフィード・バックする速度を上げるために通信回線の使用を前提としなければならない。 (2) プロセッサと直結した端末機の操作に入りが介入する。 (3) 大容量 ランダム・アクセスの記憶装置が要求される。 (4) ランダムに発生する多くの割り込みをさばかなければならない。 (5) データ通信と内部演算または情報転送との同時並列動作を実行し稼動率を高くしなければならない、などである。

MELCOM-1530を中心とする IDPS はその特長であるストア・ド・ロジックとサイクル・スチール方式を十分に活用して上記の諸問題を解決しているが最終的にはトータル・システムとして方式上の考察から取り扱っていることはいうまでもない。

4.1 中央処理システムの機能

MELCOM-1530を中心とする IDPS の一例を図 4.1 に示す。プロセッサ (A) はバッチ作業を取り扱い、プロセッサ (B) はリアルタイム処理を取り扱う。テレ・コントロール・ユニットに制御される通信回線とプロセッサの主メモリとの間の情報交換は磁気テープ、紙テープ・リーダ・パンチ、タイプライタの諸装置の動作、内部演算、CCL によるプロセッサ間の情報交換動作などになんの支障を与えることなく実行される。ディスク・ファイルは双方のプロセッサから同時にアクセスすることができる。プロセッサ (B) がディスク・ファイルと情報交換を行なっている場合、テレ・コントロール・ユニットは 200 ポート回線を出入力各 32 回線まで同時に取り扱うことができる。全システムの効率から考えて端末機の打鍵 (鍵) 速度に見合う通信速度として 50 ポート回線を用いれば、ディスク・ファイルも完全な同時動作が可能と考えてさしつかえない。テレ・コントロール・ユニットに接続される通信回線のおののに対する送受信はソフトウェアによって自由に制御できるが、通常はハードウェアによる回線の自動スキャンを行なっている。このスキャン動作はソフトウェアによって入力回線または出力回線のみに限定することが可能である。

以上の同時動作はすべてサイクル・スチールによって実行されるがテレ・コントロール・ユニットから発生する割り込みにもこの機能が関連している。割り込みには次の八つの原因がある。

- (a) End of Input Block.
- (b) End of Output Block.
- (c) Parity Error.
- (d) Memory Overflow.
- (e) Input Channel Emergency ON.
- (f) Input Channel Emergency OFF.
- (g) Output Channel Emergency ON.
- (h) Output Channel Emergency OFF.

上記の割り込みの原因が発生すると、原因を起こした通信回線の番号と各原因に対応するビット情報が 1 語にアセンブルされ、サイクル・スチールによって主メモリに格納される。この直後にプロセッサに割込信号 (Miscellaneous Interrupt) が送られるが、プロセッサがすでに割り込まれている場合には、メモリに上記語からなる待行列ができ逐次処理される。

このシステムは以上の諸機能があつまって、ランダム入力を取り扱

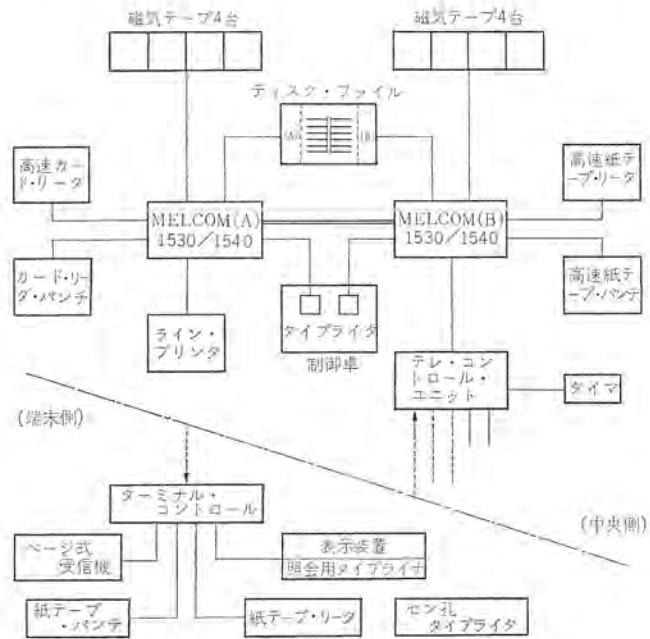


図 4.1 MELCOM-1530を中心とする IDPS の構成例
Fig. 4.1 An example for IDPS constructed by MELCOM-1530.

う インクアイアリ 方式を実現している。

4.2 通信方式

通信回線用の直並列変換器はテレ・コントロール・ユニットの外部に設けられるので、通信方式を適宜に選ぶことができるが、このシステムでは通常半二重方式で非同期符号の非同期伝送を行なう。ビット誤りまたはケタ誤りに対しても垂直 パリティ 検出回路をもち、水平チェックは中央側ではソフトウェアによるチェック・サムを実行する。瞬断などバースト誤りに対する対策としては、端末取り扱い情報に一連番号を付して中央側で監視するほか伝送情報を下記のように編集する。

CC.....eE

dd.....SeE

ただし C: コントロール・モード記号

d: データ・モード記号

e: ソフトウェア検出用 ブロック終了記号

E: ハードウェア検出用 ブロック終了記号

S: チェク・サムを表わす記号

1 ブロックの情報伝送が完了するとテレ・コントロール・ユニットの回路が終止記号 E を検出しプロセッサに割り込み、割込ルーチンの中で e 符号を確認してから通常作業に入る。もし E 符号が失われて割り込みが起らない場合は、タイマの刻時通報によって一定時間後主制御プログラムにより受信モードから非通信へ切り換えられる。このようなモードには送信、受信、送信チェック、受信チェック、通信回線不良、アイドルなどがあり、おのののモードに対応するキャラクタ情報が記憶され、これによって主制御プログラムは個々の通信回線の状態を掌握することができる。

端末機は情報 ブロック の先頭の 2 文字の一一致を検出してモードの

切り換えを実行する。また送信情報 ブロックの E 符号を検出する度に必ずロックされる。このロックはプロセッサからの指令によってのみ解除される。中央の端末の情報交換は相互確認方式で遂行される。たとえば端末からの送信は端末アドレスと作業内容を表わす符号の送出で開始され、同じ内容がプロセッサからフィードバックされて入力が正しく行なわれたことを確認した後、変量データを送信することになる。なお打ヶ内いしは通信コードがプロセッサ内部のコードと異なる場合には、間接アドレス法で記憶された変換テーブルをひくことによって容易に符号を変換することができる。

4.3 総合的事務処理

IDPS の市場には座席予約、為替預金などがあるが、ここでは販売業務に対する応用例を取り上げる。図 4.2 はそのシステム・フロー・チャートである。受注から出荷を経て最終的な入金に致るまで、首尾一貫して情報の流れを管理し、さらに一方では売上集計、在庫管理から貸借対照表・損益計算書に至るまでの経営状況を的確に掌握する情報管理を意図している。すなわち Totally Integrated Management Information System をねらっている。4.1 節で述べたシステムがすでに存在するとしても、原始情報の種類も、形態も千差万別であって機械で取り扱うように定形化することは必ずしも容易でない。取扱情報の形式化にあたっては次の 2 点に重点がおかれた。

- (a) 繼続記帳の元帳が機械化に結びつくこと。
- (b) コードを規格化し、プログラムによる検証機能を容易にしたこと。

これを具体的に形式化した例を示す。第 1 に伝票について通常売上統計用、出荷報告用、売上計上用など 10 枚位が使われるが、この枚数を次のようにきわめて少なくなる。⁽⁶⁾

- a. 計上伝票(控) —— モニタのため起票場所での控とする
(例) 売上伝票控
- b. 計上伝票 A —— 処理部門への手配用
(例) 出荷手配伝票
- c. 計上伝票 B —— 発生時点に取引先へ渡すもの
(例) 納品書
- d. 明細伝票 —— 括弧処理時点に取引先へ渡すもの
(例) 請求明細書
- e. 確認伝票 —— 取引時点の確認用
(例) 受取書

さらに上記の中 c. は場合によって省略することができる。図 4.2 は伝票を 2 枚に極限し複数作成する例である。また同一形式に統一した伝票用紙を多目的(出荷伝票、入荷伝票、出金伝票、入金伝票、振替伝票等)に使用する。

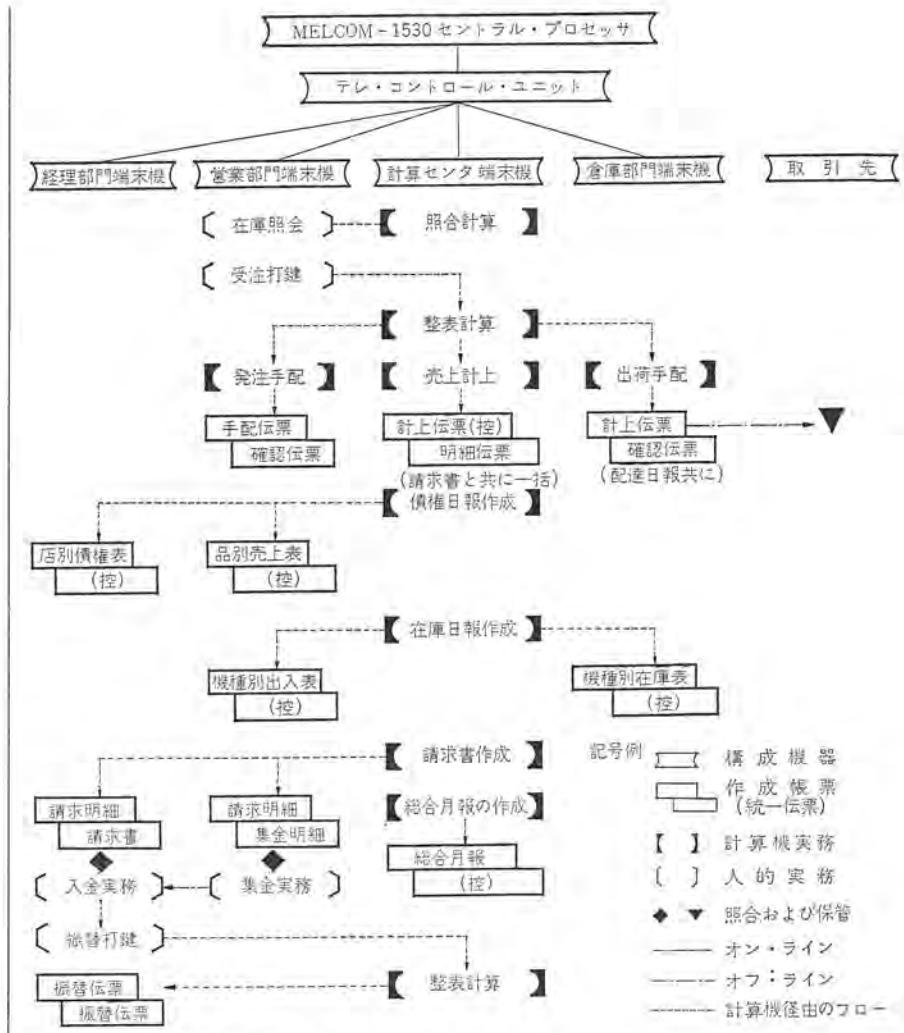


図 4.2 販売業務に応用された IDPS のシステム・フロー・チャート
Fig. 4.2 System flow chart of IDPS applied to sales management.

第 2 には報告書の形式を統一することである。端末機では伝票と報告書を取り扱うので、これらに共通性のある形式が採用されれば機器の使用上好都合である。この方式では伝票形式の紙の幅が一定で 4 倍長を単位としたものが報告書用に使用されている。したがって報告書も伝票と同様 2 枚作成される。図 4.2 の機種別在庫表と控の例はこれを示している。

第 3 に形式を統一された伝票のコード構成を規格化する。伝票の記載事項は対象項目、取引コードおよび数値が基本となっている。その一例として取引先が 1 万件未満の場合の取引コードを考えると、対象項目の出入を示す 8 ケタで構成され、前半の 4 ケタは受動的立場を、後の 4 ケタは能動的立場を表示するために使用される。このようにコードを規格化して使用し、原始情報をコード化する過程で発生する人為的な誤を除去することに留意している。

以上情報形式の定形化について述べたが、伝票や報告書の流れの経路は図 4.2 に示されているとおりである。請求書は経理経由発送することにしたが、より抜本的な他の方法もある。個々の呼となつて発生する起票、各種集計の端末へのフィードバック、在庫、債権限度などの自動チェックおよびこれに伴う処置指令などをいかに実行するかは、原始情報発生の集中度、発生の時間隔、単位情報量、情報の発生からフィードバックまでの時間差、情報サイクルの時点などの要因を研究して組み立てられた主制御プログラムがタイマーと共にどのようなスケジュール動作をするかにかかっている。

5. む す び

MELCOM-1530 システムはストアド・ロジックを設計理念としたはん用中形の電子計算機システムであり、事務経営面における大量のデータ処理をはじめ、科学技術計算、OR 計算等広い用途をもつてゐる。システム制御用としても使用され、また現在リアル・タイム集中データ処理システムとしての実用化も進められている。

ソフトウェア・ライブラリとしては前述のものほか、サービス・プログラムとして、LP, PERT 等 OR 計算プログラムや連立方程式、行列など技術計算プログラムが備えられている。

なお MELCOM-1530 プロセッサの高速化も進行中であるが、これについてはいずれ稿を改めて述べることしたい。

参 考 文 献

- (1) 高橋、三上: MELCOM-1530 データ・プロセッシング・システム——そのストアド・ロジック設計、「三菱電機技報」38, No. 8 (昭 39).
- (2) 島村、和田、中島: MELCOM-1530 ソフトウェア (1) —SIA—、「三菱電機技報」39, No. 10 (昭 39).
- (3) 島村、和田、中島: MELCOM-1530 ソフトウェア (2) —SIA の構成—、「三菱電機技報」39, No. 12 (昭 40).
- (4) Lowell D. Ameahl: Microprogramming and Stored Logic ほか、「DATAMATION」Feb. 1964.
- (5) MELCOM-1530 機器説明書.
- (6) 吉田: セミ・オンラインを提唱する、「Computer Report」昭和 40 年 1 月.

==== 最近における社外講演一覧 ====

年 月 日	主催または開催場所	演 題	講 演 者	所属場所
39-4-13~14	日刊工業新聞社	静止形スイッチの展望と応用	浜岡文夫	鎌倉
39-4-14	日刊工業新聞社	アバランシェ形整流素子とその特性	岡 久雄	北伊丹
39-4-15	自転車会館	短身程 SAM のシステムデザイン	市田 嵩	鎌倉
39-4-15	日本工業クラブ	39 年度科学技術週間参加電気新技術の成果 発表講演会 「異周波打返し式搬送保護絶電装置」	北浦 孝一	神戸
39-4-20~21	新潟商工会議所福社会館	最近の油圧技術講習会	金子敏夫	鎌倉
39-4-23	中央電気クラブ	最近の工場ビル用受配電機器講習会 「保護絶電器」	新名昭吉	神戸
39-4-23	中央電気クラブ	最近の工場ビル用受配電機器	石井昭二	伊丹
39-4-23	中央電気クラブ	最近の工場ビル用受配電機器	鎌田隆好	伊丹
39-4-25	電気化学協会	ソリオン・テトロードの理論的検討 その 1	松岡宏昌	中央研究所
39-4-25	電気化学協会	ソリオン・テトロードの理論的検討 その 2	松岡宏昌	中央研究所
39-4-25	電気化学協会	定電位法による磁性薄膜の電着	村山邦彦	中央研究所
39-4-25	MHD 研究会	MHD 発電機の電極近傍の現象	伊藤利朗	中央研究所
39-4-27	原子力直接発電委員会	MHD 発電機の電極近傍の現象	伊藤利朗	中央研究所
39-5-7	大名古屋ビル	ロジックトレーナ講習会	小島一男・三道弘明	鎌倉
39-5-11	企業研究会	MARQ-100 説明	鈴木良夫	鎌倉
39-5-13	防衛庁空幕	昭和 39 年度電子機器信頼度基礎講習会	市田 嵩	鎌倉
39-5-13	大船工業俱楽部	技術と生産	高島秀二	大船
39-5-25	国鉄	新幹線列車無線および構内防護無線	奥村 徹	鎌倉
39-5-28	安全連合会	全国事業場安全主任担当者	小堀富次雄	本社
39-5-30	国鉄	新幹線列車無線および構内防護無線	奥村 徹	鎌倉
				伊丹工場

計算機基本言語に関する一考察

首藤 勝*・魚田 勝臣*・居原田邦男*

Considerations on The Basic Programming Language

Central Research Laboratory Masaru SUDŌ・Katsuomi UOTA・Kunio IHARADA

Basic programming languages, which play the important role in the development of compilers with problem-oriented source languages and other soft-wares for various purposes, have been in most cases assemblers designed through mere symbolization of the machine languages. Here is a proposal made to a new basic language, ..., L_2 , ..., the level of which in the soft-ware hierarchy is fairly close to that of the problem-oriented language such as ALGOL. This suggestion is expected to be a step towards progress of system languages through the capability of both writing the compilers and being the target language of the compilers.

1. まえがき

電子計算機の応用分野の拡大によって計算機に装備するコンパイラや、その他のシステムプログラムの数が増しつつあり、この傾向は今後も続くと思われる。計算機メーカーは自社が製造したすべての計算機に、必要なソフトウェアを完備させなくてはならないので、これに要する費用は膨大なものになっている。これを軽減する努力は機械語を共通にするとか、新しい翻訳あるいは計算アルゴリズムを考えるとか、あるいはそれらのソフトウェアに共通して必要な基本言語を考えるとかといった形で表われている。

従来基本言語として使われていたものは、機械語をそのまま記号化したものであって、専門のプログラムでさえ 1 日 20 語程度のプログラムしか完成し得ないとされている。また機械語と対応しているために機械が異なれば基本言語もおのずから違ったものとなり、その共通性によって得られる利益は、いっさい追求することができなかつた。

筆者らは、基本言語を機械を離れた立場で見直し、純粹に Translator oriented な基本言語の試案を作成したので、言語の概要、特長、コンパイラの作成方法および基本言語を共通にすることによる利益と問題点などについて報告する。

2. 基本言語の役割および目標

問題向き言語 (ALGOL, FORTRAN, COBOL など) のコンパイラを作成することを考えると、基本言語は二つの役割をもつと考えられる。その第 1 はコンパイラを書くための言語として使われることであり、第 2 はコンパイラのオブジェクトプログラムの言語として使われることである。従来、この目的に使われていたアセンブラー言語は機械語をそのまま記号化したものであるから、問題向き言語と機械語との相対的な距離を考えると、図 2.1 に示すように非常に機械語のほうにかたよっている。したがってアセンブラーは比較的簡単に構成できるのに反し、他のソフトウェアの作成はめんどうで、今日のように問題向きコンパイラなどを数多く作る必要があるときは、プログラム体系全体からみて得策とはいえない。

ここに述べる基本言語は、言語レベルを従来のアセンブラーよりも問題向き言語に近づけており、 L_2 と呼ばれている。

従来のアセンブラー言語を改善する目標を検討するために、現在盛んに使われている問題向き言語が理解しやすく表現しやすい理由の共通点を考えてみると、次の 3 点に要約される。

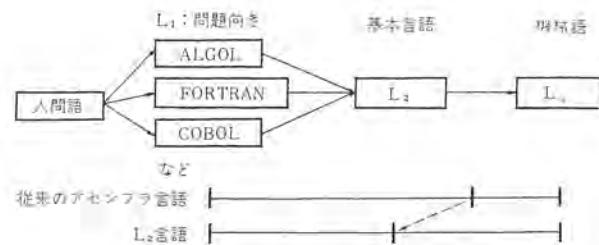


図 2.1 基本言語のレベルアップ
Fig. 2.1 Leveling up of the basic language.

- (1) 代数式に近い形で数式が表現できる。
- (2) 計算内容だけを記述すればよい。
- (3) 人間のもつ自然言語の文章が直接使用でき、文章構造が本質的に近い。

(1) については説明の必要はない。(2) は換言すれば計算に必要なオペレーションのシーケンスをいちいち書く必要がないことである。たとえばサブルーチン (Procedure) を呼び出すときは、あらかじめ宣言してあった順序に従って実効変数 (Actual Parameter) を書き並べればよく、機械で実際に用いられる実効変数を形式変数 (Formal Parameter) に移し換えるというような記述は必要でない。このような約束上の対応づけは、すべてコンパイラが処理している。このことを基本言語から問題向き言語を見る立場で考えるならば、問題向き言語コンパイラがある翻訳手続きにのっとって作業を進めれば、ひとりでにソースプログラムを基本言語で表現しているような系列が考えられる。(3) については GOTO ノなどの文章があげられよう。文章構造の上からいふと ALGOL が最も発達している。

以上のような問題向き言語の利点は、そのコンパイラ形成に際してもコンパイラを書くための言語 (基本言語) が特長点として持っていてほしいものである。しかし基本言語は機械語にとって代わるものであるから、機械語で表現可能なあらゆるプログラムが書けないといけないこと、および問題向き言語との役割の差を明確にしておかなければならぬことなどを考えると、相当機械語に近い線が出てくる。われわれは以上の要件とアセンブラー言語の使用経験をもとにして基本言語 L_2 に次のような目標を定めた。

(1) 文法の確立

言語は異なる二つの面から扱われる。すなわち、文章を形成するときに用いる構成 (あるいは組立) の機能と、そして作られた文章を理解するときに用いる分解の機能である。前者はプログラ

うマに与えられた仕事で、規則が記憶しやすく、しかもある規則から他の規則の類推が可能であることが要求される。後者はコンパイアに課せられた仕事であって文章解析が均一にできることやあいまいさがないことが要求される。文法は両者の仕事の機構を決定する。

(2) 言語の簡潔さ

書かれたプログラムの直観的掌握が望まれる。このことはプログラムの虫取作業(Debugging)を簡単にするうえにも重要である。従来のアセンブリ言語やそれの集合として扱われるマクロオペレーションはこの点非常に不利である。たとえば、数式を例にとるならば、A, B の加算結果を C にストアする場合、このオペレーションを $A+B \rightarrow C$ で指示することができれば

```
CLA A
ADD B
STO C
```

と書いてあるよりはるかに直観的でわかりやすい。また、初めに述べたように基本言語の性格を失わない範囲において、できるだけ計算に要するオペレーションを逐一記述しなくても済むようにする。

(3) 基本言語は問題向き言語と機械語との中間言語であるから、それぞれが持っている個性の仲介をじょうずにできる言語であることが必要である。すなわち、前者に対してはその翻訳過程を念頭に置いて基本言語を構成しなければならないし、後者に対しては、基本言語を能率良く機械語に変換できるようなものでなければならない。

(4) 基本言語は、すべての機械語い(彙)をカバーしなければならないから、上述の三つの条件を満足するような語いを選んだときに、これに漏れる機械語いが存在する場合は、プログラムの中に生の機械語プログラムを使いやすい方法で入れることが可能でなければならない。このことはすべての問題向き言語の翻訳手段を推定して L_2 を考へることは不可能であることからも必要になってくる。

3. 基本言語 L_2 の概要

3.1 命令形式

命令形式には2章で述べた目標に沿って、次の基本条件を考慮に入れて図3.1に示した形にした。

(1) システムマクロ命令の考えを取り入れる。

(2) 命令は多番地で可変長とする。

(3) 処理の便を考え、命令および欄の区切りを明確にする。

命令の各部分の意味は次のようにある。
LABEL 翻訳された命令(マクロの場合はシーケンスの先頭命令)が置かれる番地に定義される。第1カラムに*記号のある行はコメントとする。

DELIMITER データのタイプや構成方法など動作の主要事項を宣言する。

SPECIFICATION 動作の詳細な記述を行なう。

3.2 情報単位

情報単位は機械によってまちまちであるが、ここではワードを基本とした機械を考える。翻訳や特殊データ処理には、これ以外のキャラクタやビットなどの情報単位やそれぞれの集合をarrayと

PROBLEM										PAGE 73 75 OF		

表 3.2 基本言語 L_2 の命令および指令

DELIMITER	機能	SPECIFICATION 部	備考
INTEG	整数の算術および関係演算	バイナリオペレーション群 $P_1OP_2=R$	TSC が使われる
REAL	浮動小数点数の算術および関係演算		
LOGIC	論理演算		
CHARAC	記号の合成および比較		
BIT	ビットの論理演算および比較		
IFFALS	TSC の最高要素(論理値)のテスト		
GOTO	無条件飛越: サブルーチン呼出		
GOTOM	復帰点をストアして無条件飛越		
ENTRY	サブルーチンの入口を設定し実効変数を形式変数にストアし復帰点を保護する		
RETURN	呼び出しプログラムへの復帰命令		
HALT	計算の一時停止	直接あるいは間接番地	実効変数→TSC
SEARCH	表の検索命令	先頭に記号 \$ をおいたサブルーチン名	呼び出しプログラム TSC が使われる
DATA	定数のワードを作り記号番地を定義する	直接あるいは間接番地	
REGION	メモリの領域を予約する(定数は入れない)	形式変数群(ないときは空白)	
COMMON	共通メモリの領域を予約する(定数は入れない)	空白	
MACRO	マクロ命令の定義	空白	
ENDMAC	マクロ定義の終端指令	停止後の再開始点のラベル	
EQU	番地定数の呼びかえ	該当者があったときの飛越先のラベル	
HEAD	記号番地に追加する先頭文字を定義する		
REPEAT	命令シーケンスを与えられた回数だけ繰り返して置く		
TSC	TSC の用法を宣言		
ENTDEF	サブルーチンの入口を宣言する		
REDUCE	TSC の要素を削減		
END	翻訳終了の指令		

(3) ビットオペランド

キャラクタオペランドと同様の方法を用い、セパレータとして@の代わりに\$を用いる。

$$W_1 \times W_2$$

〈例〉 (128) § 15 ((A)) § ((I))

なお、入出力装置に@および\$記号がないときは、それぞれ‘C’および‘B’で代用する。

3.4 命令与指令

命令は機械語に変換されて実際に情報処理を行なうもので、指令はデータやマクロ命令の構成など、コンパイラに対して動作を宣言するものである。表3.2にこれを示す。この中には入出力命令を含んでいないが、その理由はそれらが使用機器に拘束されるところがすこぶる大きく、近ごろのすう勢では入出力関係だけを IOCS (Input Output Control System) として集成していることによる。入出力機械を制御する命令は機械語に近い形で表現でき、基本語いによるプログラムとの接続はきわめて自然に行なえる。

以下に L_2 の特長ある命令および指令を記述するが、それに先だって L_2 の特長の一つである TSC (Temporary Storage Cellar) について述べる。

3.4.1 TSC (Temporary Storage Cellar)

TSC は演算結果の一時記憶のために使われ、Last-in-first-out の様式で扱われるが、この機構については特別の場合を除いて、プログラムあるいは問題向きコンパイラが認識している必要はない。図 3.2 に TSC の構成を示す。

たとえば式 (3.1) は計算の過程で一時記憶 ワード 1 個必要とする。

$$(A+B) \times (C+D) \quad \text{-----} (3, 1)$$

基本言語 L_2 ではこのプログラムを次のように書くことができる。

DELIMITER SPECIFICATION

INTEG (A)+(B), (C)+(D), *

ただし、 $+$ 、 $*$ はそれぞれ加算および乗算を表わす。

オペランドの左側にオペレータを伴わないものは、Clear and Addと解釈されるので $(A)+(B)$ の演算と $(C)+(D)$ の演算との間に

計算機基本言語に関する一考察・首藤・魚田・居原田

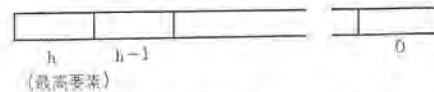


図 3.2 TSC の構成
Fig. 3.2 Construction of temporary storage cellar (TSC).

接続関係がなく、普通に考えると前者の演算結果は後者によってこわされることになる。このような条件になるとコンパイラは演算結果の一時記憶が必要であると解釈し、TSC の要素を 1 ワード増設してそこに前者の演算結果を一時記憶する命令をそう入する。このあと (C)+(D) を通常のやり方で翻訳し、単独 オペレータ* を読み取る。このオペレータはオペランドを持たないので、いま一時記憶した TSC の内容と直前の演算結果の間で乗算を行なうと解釈し、等価な機械語命令をつくる。

実際に機械実行するときには直前の演算結果は機械のレジスタに残っているので、L₂コンパイラではこれをTSCの最高要素として処理している。

同じプログラムを次のように書くことも可能である。

INTEG (A), (B), +, (C), (D), +, *

この L_2 命令の SPECIFICATION 部は式 (3.1) の Polish 表示にほかならない。

TSC は算術、論理および関係命令において上のような方法で使われるほか、制御命令でサブループラムのリンクージの際の変数や関数値などの授受、および表の検索命令などに利用される。

TSC の要素の位置決めは、コンパイル時に行なう方法と実行時にカウンタを用いて行なう方法がある。前者を Static TSC、後者を Dynamic TSC と呼び、プログラムのはじめに指示することによってどちらか選択するようになっている。

3.4.2 幕術、論理および関係命令

DELIMITER にはオペランドとなるデータのタイプを指定し(表 3.2), SPECIFICATION 部にはパーキリオペレーション群を書く。オペランドを P, オペレータを O とすると,

P₁OP₂

の形で、3.4.1項で例示したように P_1 と P_2 の間にオペレーション

表 3.3 算術、論理および関係オペレータ

DELIMITER	オペレータ					
	算術および論理			関係		
INTEG	$+$ (加算)	$-$ (減算)	$*$ (乗算)	$/$ (除算)	$\%$ (2 の十べき)	$\%/$ (2 の一べき)
REAL	$+$ (加算)	$-$ (減算)	$*$ (乗算)	$/$ (除算)	\leq ('LT')	\leq ('LE')
LOGIC	$+$ (OR)	$-$ (NOT)	$*$ (AND)	$/$ (左シフト)	\equiv (EQ)	\geq (GE)
CHARAC	$+$ (記号合成)	$-$			\geq (GT)	\neq (NE)
BIT	$+$ (OR)	$-$ (NOT)	$*$ (AND)			\neq (EQ)

\bar{O} を施せという意味である。 P_1, \bar{O} あるいは P_2 を欠く形式やこのあとに $=R$ を置いて結果のあて先とすることもできる。バイナリオペレーション 相互間の関連は TSC を利用してつけられる。

P_1, P_2 および R には 3.3 節で述べたオペランドの指定法を使う。実行するオペレータ \bar{O} は情報のタイプによって種類や意味を異なる。表 3.3 はこれを示している。

関係オペレータによって関係式が作られるとその式の真偽によって論理値 False (ワード O をあてている) あるいは True (False の補数をあてている) を決定する。たとえば

$$A+B \geq D$$

の判定には SPECIFICATION 部を

$$(A)+(B), \geq(D)=(C)$$

とすることによって、 $A+B < D$ であれば C にワード O が入り、 $A+B \geq D$ であればその補数が入る。

3.4.3 制御命令

(1) テスト

データの比較は関係オペレーションとして行なわれ、その結果、論理値 "False" あるいは "True" に対応する 2 進ワードを定義するので、テスト命令はこの論理値に基づいてコントロールの道筋を決定する。

(2) 無条件飛越命令

基本言語 L_2 では、普通の無条件飛越命令とサブルーチンの呼び出しに用いる命令とは同じ DELIMITER で表わし、あて先の書き方によって両者を区別している。

主ルーチンとサブルーチンとの間のデータの受け渡しには TSC を利用して、サブルーチンを定義するときだけ形式変数を宣言し、サブルーチンへの飛越命令および主ルーチンへの復帰命令には、変数を持たせないような形をとった。

あて先の書き方

- 無条件飛越: 飛越先のラベル (直接または間接番地)
- サブルーチンへの飛越: サブルーチンの入口名の前に \$記号をつけたもの。サブルーチンで RETURN 命令に出あうと GOTO\$ 命令の次の L_2 命令へ戻る。

(3) サブルーチンの入口定義命令

サブルーチンの入口 (LABEL 部に入口名が書かれる) を定義し形式変数と実効変数とを対応づける。

コンパイラは SPECIFICATION の指示にのっとって、TSC (実効変数群) と形式変数群との対応づけおよび高位プログラムへの復帰点を設定する命令をつくる。

3.4.4 表の検索命令

基本言語 L_2 では次の機能を持った検索命令がある。“Aを始點として、N語からなるデータ表のE (エクストラクタ) に相当する

部分が K (キーワード) と等しい要素 (多数あるときは、最初のもの) の要素番号 I を探索し、該当者があるときは次の命令を M からとる²。アルファベットで示した情報のうち M 以外のものは、TSC の最高要素から I, N, A, E, K の順序で、あらかじめストアしておく。

3.4.5 定数を定義する指令

プログラムの中に 10 進数、8 進数およびアルファニュメリックキャラクタの定数をそう入し、必要なときはそれに記号番地を定義する。定数の入るフィールドはワードとして区切りのあるものだけでなく、任意の長さのビットフィールドでもよい。

〈例〉 DELIMITER SPECIFICATION

DATA 3.14=PAI, 10\$30123

この指令で図 3.3 のようなワードが作られる。

3.4.6 コアメモリを予約する指令

作業用などに用いるためのデータ領域を予約し、必要なときはその先頭ワードあるいは終端ワードの次のワードに記号番地を定義する。REGION は主プログラム領域を低位番地から高位番地のほうへ予約し、COMMON は主メモリの最高番地から下位番地の方へ領域を予約する。

〈例〉 DELIMITER SPECIFICATION

REGION MEL(10), C0(20), (30)M

この指令で図 3.4 のようなワード領域が予約される。

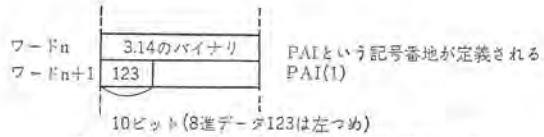


図 3.3 DATA 指令による定数定義の例

Fig. 3.3 Example of definition of constant using DATA instruction.

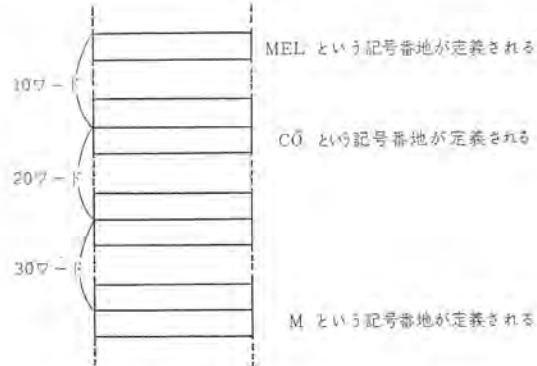


図 3.4 REGION 指令によるメモリ予約の例

Fig. 3.4 Example of memory reservation using REGION instruction.

3.4.7 マクロオペレーション

L_2 の個々の命令は機械語から見るとすでにマクロ命令であるが、これはシステムマクロと呼ばれ、プログラムはこの命令の機構を変えることはできない。ここで説明するマクロオペレーションは、その動作内容および命令形式をプログラムが L_2 の命令あるいは機械語に近い命令のシーケンスとして自由に定義し（マクロ定義）、それをオーブンサブルーチンの形でプログラムの中に組み込む（マクロ命令）ことができるものである。（プログラムマクロ）

（1）マクロ定義

定義しようとする命令シーケンスの先頭に MACRO 指令を置き、末尾に ENDMAC 指令を置く。MACRO 指令の LABEL 部に書かれた記号ストリングがマクロ命令コードとなり、SPECIFICATION 部に書かれた記号番地が交代変数名となる。

〈例〉

LABEL	DELIMITER	SPECIFICATION
MPY	MACRO	X, Y, INCA
INCA	INTEG	(A)+1=(A)
	INTEG	(X)+(A), (Y)+(B), *= (Y)
	ENDMAC	

整数計算 $A+1 \rightarrow A$, $(X+A) \times (Y+B) \rightarrow Y$ が MPY というマクロ命令として定義される。

（2）マクロ命令

MACRO 指令によって定義された命令シーケンスを組み込む。DELIMITER 部にマクロ名を書き、SPECIFICATION 部に変数名を書く。LABEL 部の記号ストリングは、マクロ命令シーケンスの先頭につけられる。マクロ定義における交代変数名とマクロ命令における変数名との関係は、サブルーチンにおける形式変数と実効変数との関係に似ている。

〈例〉

LABEL	DELIMITER	SPECIFICATION
PQRS	MPY	PQ, RS, *

この例を（1）のマクロ定義例と関連して使うと、次のような L_2 命令がそう入される。

LABEL	DELIMITER	SPECIFICATION
*	INTEG	(A)+1=(A)
PQRS	INTEG	(PQ)+(A), (RS)+(B), *= (RS)

この場合 MPY マクロの第1命令はコメントの行となるので翻訳されない。この手法を用いるとマクロオペレーションで組み込む命令を選択することができる。

4. 言語のおもな特長点

基本言語 L_2 は從来のアセンブラー言語に比べて、いろいろな特長点を持っている。この章ではそれらのうちのおもなものについて記述する。

（1）TSC 導入による特長

第1にプログラムあるいは高位言語のコンパイラは、プログラムのブロック間でデータの受け渡しをする場合を除いて、本来の意味の一時記憶場所に対し注意を払う必要がなくなったことがあげられる。また、望むならば式を Polish 表示のまま与えることもできる。アセンブラー言語を使うと一時記憶メモリを重複使用して必要な情報を消してしまったりすることがあるが、 L_2 ではその心配はない。

第2に TSC をサブルーチンの変数の授受に使ったことによる特

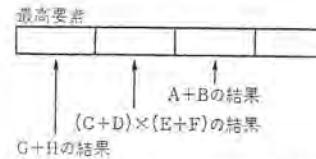


図 4.1 サブルーチン呼出しにおける TSC (例)
Fig. 4.1 Use of TSC in subroutine call (example).

長があげられる。たとえば次の関数サブルーチンを翻訳することを考えよう。

……+SOMEF (A+B, (C+D)×(E+F), G+H)……

簡単のためにすべてのデータを整数タイプとすると、この部分は次のような L_2 命令で書くことができる。

DELIMITER	SPECIFICATION
INTEG	(A)+(B), (C)+(D), (E)+(F), *, (G)+(H)
GOTO	\$SOMEF

最初の実効変数 $A+B$ の結果は、約束によって TSC の要素が追加されてそこにストアされる。第2の実効変数の途中結果 $(C+D)$ も同様にストアされるが、これは単独オペレータ*によって使用され、同じ位置に $(C+D) \times (E+F)$ の結果が入れられる。第3の実効変数は第1と同様になるから1行目の L_2 命令によって TSC に図 4.1 に示すようなエントリをつくることになる。

この TSC の3つの要素を実効変数として、次の GOTO \$ 命令によって SOMEF サブルーチンを呼び出す。サブルーチンではこれらの変数に対応させて形式変数が宣言されているので、TSC の内容が形式変数に移される。

第2の実効変数にみたように、変数を表わす式がいかに複雑に書かれているとも、実効変数値は最終的には第1変数がストアされている要素の次の TSC 要素としてストアされることには変わりがない。また実効変数には値だけでなく番地そのものを与えること（番地定数として）も可能だから、さらに一般的な扱いができる。

第3に Dynamic TSC とすることにより、ALGOL に決められている Recursive Procedure の履行が可能になる。すなわち、主プログラム（あるいはサブルーチン）とサブルーチンとの連携をつかさどる実効変数や復帰点の記憶はすべて1系列の Dynamic TSC に対して行なわれる。それまでの履歴をこわすことがなく、サブルーチンがその中で自分自身を呼び出したとしても、主プログラムに復帰するまでの軌跡を正確にたどることができる。

以上みたように TSC を基本言語の中に導入することは、いわゆる逐次翻訳方式と密接な関連をもつものである。

（2）命令書式の自由度による特長

L_2 命令の SPECIFICATION 部の長さには制限がなく（カードの場合も追加自由）、数式などはデータのタイプを一度宣言するだけでそのタイプが続く限り同一命令として連続的に書くことができる。これは高位コンパイラのオブジェクトプログラムダンプを簡単にできる。また手書きの場合には、同じ DELIMITER のバイナリオペレーションやデータ予約などの命令の書き加えも簡単にできる。

（3）関係式を算術式と同じ形式で扱うようにしたこと

従来の機械語の TEST 命令は二つの対象物の比較を行ない、その真偽によってコントロールの筋道を変えていた。一方 ALGOL や COBOL ではその真偽は論理値を決定することになっている。 L_2 では後者の方法をとっているのであるが、機械語に変換した

場合に冗長になることは否めない。この冗長度は ALGOL や COBOL のオブジェクトプログラムの翻訳に際しては高位語と機械語とを結ぶために避け得ないが、一方コンパイラを書くときには、機械語形のテストがほとんどであるから、冗長度を避けたい。 L_2 のコンパイラは、結果の明白なあて先のない関係オペレーションの直後に IFFALS が来る場合は、論理値の設定を行なわないようにしてこの冗長度を減っている。

(4) マクロ定義が可能

3 章で述べたように、プログラムがマクロ命令を定義し使用することができる。これを利用すれば L_2 の語いにない機械語命令(ある

いは命令群)を、マクロとして使いやすい形に定義し直して書くこともできる。

(5) 翻訳が簡単

以上の L_2 命令の翻訳は従来のアセンブリ言語に比較してやっかいなことはない。これについては 5 章で述べよう。

5. コンパイラの作成

基本言語 L_2 のコンパイラの作成にあたってわれわれは、短期日完成を目指し多くの計算機のための L_2 コンパイラ作成を試みるために self-compilation の概念を導入し、最初に IBM7090 を使って 7090L₂ コンパイラを実現させることにした。

Self-compilation というのは対象としている言語の語いの中から、コンパイラを書くためにぜひ必要な語いだけを選択し、それをソースプログラムとして受け取れるような基本コンパイラを作成し、そのあと完全なコンパイラに近づけるためのプログラミングはこの基本語いを用いて書き、基本コンパイラで翻訳し、語いの拡張を行なおうというものである。

このようにして一つの計算機 A の L_2 コンパイラ C_A が完成すると、他の計算機のためのコンパイラは C_A をもとに作られる。そのために計算機 A は他のものより規模が大きいほうが望ましいので、 L_2 コンパイラ作成企画を勘案して最初に IBM 7090 L₂ を作成することにしたのである。

われわれが実際にとった 7090 L₂ コンパイラの作成手順は次のようにである。

(1) 基本語いの選択

基本語いとして選んだものは次の 10 種の DELIMITER に関するものである。

INTEG, REAL, LOGIC, IFFALS, GOTO, HALT,
DATA, REGION, COMMON, END.

(2) 基本コンパイラを基本語いを用いてプログラムする。

(3) (2) で作られたプログラムを 7090 の基本言語である FAP に直す。(FAP のマクロオペレーションを利用する)

(4) FAP プログラムは機械語に変換され、7090 L₂ コンパイラの基本部分が完成する。

このあとこのコンパイラに(2)の L_2 コンパイラをソースプログラムと

FOR REMARKS LABEL	DELIMITER	SPECIFICATION	COMMENTS
1. MATRIX MULT	APPLICATION PROGRAM (A, PART, 0, F, MATRIX PROGRAM)		
2. GIVEN DATA	ARE, K, L, M, N, OF, IN, L, = (M, N)		
	O=SUM, O=ZERO, I=ONE, O=I, O=J, O=KL, O=IL, O=IA, O=IB, O=IC		
	REGION K(1), L(1), M(1), N(1)		
	REGION A(2500), B(2500), C(2500)		
ENTER	INTEG, (L) EQ (M)		
	IFFALS (STOP)		
	INTEG (ZERO) = (1)		
KLSET	INTEG (ZERO) = (KL), (I) = (L), (L) = (IL)		
JSET	INTEG (ZERO) = (J), (I) = (SUM)		
KIEISAN	INTEG (I, L) + (J) = (IA), (I, J) + (N), (I, K) = (IB)		
	INTEG (A((IA))) + (B((IB))), (SUM) = (SUM), (J) + (ONE) = (J), + EQ (L)		
	IFFALS (KIEISAN)		
	INTEG (I) + (N) + (KL) = (IC), (SUM) = (C((IC))), (KL) + (ONE) = (KL), + EQ (N)		
	IFFALS (JSET)		
	INTEG (I) + (ONE) = (I), + EQ (R)		
	IFFALS (KLSET)		
	GOTO, (OUTPUT)		
STOP	HALT		
END	(START)		

図 5.1 マトリクス乗算プログラム

Fig. 5.1 Matrix multiplication program.

して翻訳させ、できた機械語プログラムと、FAP によって作られた基本コンパイラを比較し一致することを確かめる。(基本コンパイラの必要条件)

以上の四つの段階によって作られた 7090 L₂ コンパイラの諸元は次のとおりである。

L₂ プログラムでの命令数 (DELIMITER の個数) 580

7090 プログラムの語数 1,200

表の占めている語数 (コンパイラで作るもののは除く) 300

また制作に要した期間の大略の延日数は次のとおりである。

フローチャート作成 25 日

L₂ コーディング 7 日

FAP コーディング 9 日

虫取り 5 日

図 5.1 は基本語いを用いてマトリクスの乗算プログラムを作成したものである。FORTRAN プログラムとの機械語数を比較すると次のようである。

L₂ による語数 50

FORTRAN による語数 49

(5) 完全な L₂ コンパイラにするために基本コンパイラを拡張する。拡張部分も基本語いを用いて書かれる。これが完成すると(4)と同様の方法で論理テストを行なう。

(5) についてはまだ完成していないのでここでは発表できないが、(2)を行なうときに(5)の部分の L₂ コーディングが考えられてあったことを付記しておく。

6. 考 察

2 章に基本言語 L₂ の目標として四つの項目をあげておいたが、L₂ コンパイラの作成によってこのうちのコンパイラを書く役割に関するものはほぼ満足できる結果を得た。とくにフローチャートが完成すると、それをコーディングするのは非常に簡単であることが確かめられた。

一方、問題向き言語のオブジェクト言語としての役割については、問題向きコンパイラ作成を未だ実施していないのでここには述べないが、4 章の特長点から推察して問題向きコンパイラの機能を制限しないし、その仕事の軽減を図ることができると考えている。

基本言語 L_2 は問題向きコンパイラを作成する立場のもとに考えたものであり、その根底には基本言語を標準化して標準言語で他のあらゆるソフトウェアを書こうという意図をもっている。すなわち、今かりに各計算機が共通の基本言語コンパイラをもっていたとすると、基本言語で書かれた問題向きコンパイラが各計算機に配布されると、おののの計算機は各自の基本言語コンパイラでこれをコンパイルし、その計算機で働く問題向きコンパイラを得ることができるのである。

また基本言語コンパイラの作成にあたっては、まずどれか一つの計算機でひな形を作成し、機械間で異なるところだけを書き変えて他の計算機のコンパイラを作成する。コンパイルに際してははじめにできていたひな形が使われることはもちろんである。

このような形にすれば、各計算機の特長も加味することができる。能率を低下させないと考えられる。

以上のような試みは、1958年ごろにUNCOL (Universal Computer Oriented Language) としてかなり大きな組織で具体化されつつあった。しかし、問題向きの言語の標準化と異なり、基本言語は計算機に近いレベルをもつて、その標準化は計算機自体を方向づけることになり、実現せずに終わったものと考えられる。しかし、たとえば計算機メーカ内というような比較的小さな組織体内であれば実施できるし、それによる利益を追求すべきである。また機械の進歩に伴って、基本言語も徐々に変革を遂げることは不都合を生じないように思う。

基本言語をレベルアップすることにより以上のような利益が得られるが、逆にレベルアップによる欠点も当然考えられる。その最大の要素は虫取作業における機械語と基本言語との対応をどう考えるかということである。これについては、中間言語としての役割とコンパイラ作成言語としての役割とで違った見方をしなければならない。すなわち、前者については本来中間言語は問題向き言語に隠されるべきもので、虫取りもそれを前提として考えなければ

ならない。また後者に関しては基本言語のアセンブラーが、オブジェクト言語として機械語を操作するものであるから、さほど不便さは感じないであろう。

7. む す び

基本言語は従来のアセンブラー言語のように機械向きに定めるべきものではなく、もっとソフトウェア向きに考えるべきであることをあげ、その具体化として L_2 言語を提案しその特長を述べた。また基本言語をレベルアップすることにより、多くの利益が得られることを指し、そのいくつかを 7090 L_2 コンパイラによって実証した。この L_2 コンパイラは Self-compilation の概念にもとづいて作成される予定でその一部としてコンパイラの論理チェックに使われたことを述べた。このような手法は最終的にはコンパイラの自動作成を目指しており、この方面的研究も進められている。

終わりにこの研究を命ぜられ終始ご指導をいただいた中塚主任研究員と、7090 L_2 コンパイラの実現にご助力いただいた本社高橋正子技師に深謝の意を表する。

(昭 40-1-12 受付)

参 考 文 献

- (1) 首藤・魚田・居原田: “計算機基本言語に関する一考察” 情報処理学会大会 2~3 (昭 39).
- (2) A. A. Grau: “Translator-oriented Symbolic Programming Language” Communications of the ACM 9, 480~487 April (1962).
- (3) SHARE Ad-Hoc Committee: “The Problem of Programming Communication with Changing Machines” Communications of the ACM 1, 8, 12~18 August (1958).
- (4) 森口編: “ALGOL 入門” 191~218 1962 日本科学技術連盟.

MTRW-330 制御用電子計算機システム

中尾勝丞*・的場徹*・仁田周一*
小島一男**・梶山裕**・村田厚**

MTRW-330 Control Computer Systems

Mitsubishi TRW Co., Ltd.

Masatsugu NAKAO・Toru MATOBA・Shuichi NITTA

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

Kazuo KOJIMA・Hiroshi KAJIYAMA・Atsushi MURATA

With the rationalization of productivity and the automatization of process, the computer control systems has come to the front. MTRW-330 control computers are the products designed and built based on the copious experience on the TRW-330 computer of the Bunker-Ramo Corporation, who has made many wonderful records in the sphere of control computers, and with considerations on the parallel operation of two units as a more advanced function. It is assured of high reliability together with substantial system and also with the adoption of module construction, all demonstrating excellent features of the adoptability for the process. This text describes the system composition, features and working conditions.

1. まえがき

近年生産工程の合理化、製品の均一化、量産化、また危険作業の遠隔操作等々の目的のため、電力、鉄鋼、石油化学工業および交通機関などのプラントにおいて、自動化の問題がいろいろと検討されている。

これらのプラントを自動的に制御するためには膨大なデータの処理をすみやかに行なう必要がある。そこで、各プラントの自動制御の一つの方向として計算機による自動制御がクローズアップされて、この方向の開発にプラント側、計算機製造側および計測装置側と三者一体となっての努力が行なわれている。

以上の点に関し欧米(とくにアメリカにおいて)の着手は早く、とくに軍需的要件に加速度を加えられて、かなりの実績を示しておらず、今日では各種プラントの経営の手を握るとまでいわれている。

ここに紹介する、MTRW-330 制御用電子計算機は、上述のプラント制御を目的として、アメリカの T. R. W. 社において開発された TRW-330 電子計算機を基体とし、その特長をすべて取り入れ、かつ従来の TRW-330 にはなかった 2 組の計算機の並行動作(compound system)のできる計算機である。

プログラムに関しては従来のものをそのまま使用することができ、用途の拡大と安定性を取り入れたものである。

2. 構成

MTRW-330 計算機システムのブロック線図は図 2.1 に示すとおりである。それを大別すると、

- (1) 演算制御装置
- (2) 記憶装置
- (3) アナログ・デジタル 変換装置
- (4) アナログ入力装置
- (5) デジタル入出力制御装置
- (6) デジタル入出力装置
- (7) 入出力端子板
- (8) コンソール

の各部があり、各部は図 2.2 に示すように標準のワク体(高さ、

2,110 mm、間口 585 mm、奥行 610 mm)に収容する。とくに入出力装置に関しては、その種類により適当な大きさに分割したモジュール構成(Module Construction)をとった。したがって用途別にむだなく計算機の規模をまとめることができる。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、取り付けは簡単である。

モジュールは保守の容易なように、ゲート回路のみを収容した論理端子板(Logic Board)とプリント基板回路を収容するカードホルダとを単位として組み上げられている。図 2.5 はモジュールの一例を示す。

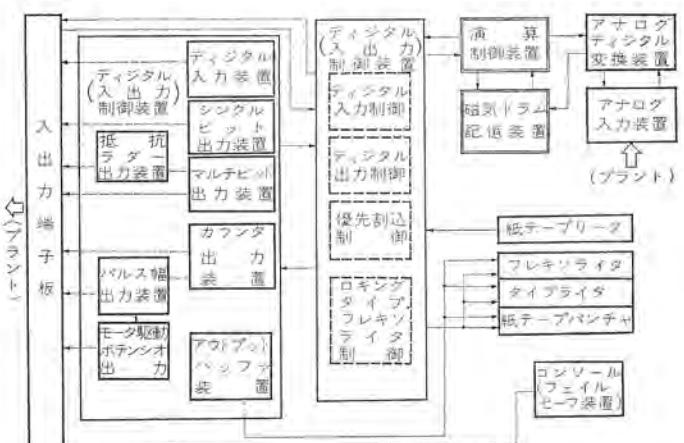


図 2.1 MTRW-330 系統図
Fig. 2.1 Block diagram of MTRW-330.



実線部分のカワ体を基本として入出力はプラントの要件に合わせ変化する。
図 2.2 330 モジュール配置
Fig. 2.2 Module installation of Module-330.

(1) アウトプットバッファ装置

1字4ビット、または6ビットで演算制御装置を経ず、直接ドラム上から出力する。

(2) カウンタ出力装置

- a. イベントカウンタ出力 31点
- b. パルス幅出力 64点
- c. エラップスタイム出力 16点

(プログラム設定の任意の時間後に出力を出す)

(3) 単ビットデジタル出力装置

3.5節(2)により制御を受け、1ビット単位で水銀リレー接点出力を行なう。1モジュールあたり56点の出力を行ない、最高332点まで行なう。

(4) 多ビットデジタル出力装置

3.5節(2)により制御され、最高28ビットまでを単位として出力を行なう。1モジュールあたり2群(56点)の出力を行ない、最高7群(196点)まで行なう。

(5) モータ駆動ポテンシオ出力

3.6節(2)b.を使ったD-A変換出力で、1モジュール7点、最高64点までの出力を行なう。

ポテンシオメータ 500~10kΩ 0.05%

(6) 抵抗ラダー出力

3.6節(4)をD-A変換し出力を行なう、8点まで。

(7) その他の入出力装置

- (a) フォト・テープ・リーダ 1台
- (b) 高速紙テープ・パンチ 1台

4. 特長および動作の概要

4.1 複合化システム (Compound System)

制御用計算機で制御しようとする対象(プラント)は、その経済的重要性や安全性またはその他の理由から、計算機・計測器などに対して高い信頼性を要求することが多い。

MTRW-330はTRW-330と同様に、単体としても高い信頼性を考慮して設計された機種であり、それらはすでにTRW-330の実績において実証されているところであるが、今回さらにその向上のため、および用途の拡大をはかるため複合システムとして使用することも考慮し製作された。

複合システムとして2台の計算機を(システムAおよびシステムB)を並列に動作させるブロック線図は図4.1に示されている。この

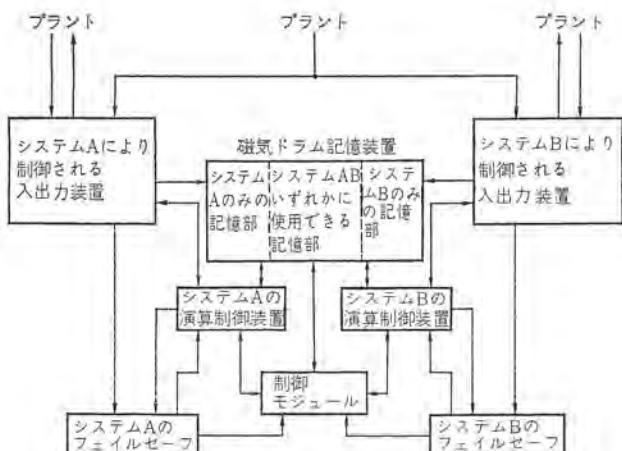


図4.1 MTRW-330複合システムの概略図
Fig. 4.1 Diagram of the compounded MTRW-330.

システムは一つの磁気ドラム記憶装置を中心にして二つの演算制御装置AおよびBが、特殊制御用モジュール(Special Control Module)を介して独立に働くことができる。

ドラム上には常時システムAでのみ使われるプログラムおよびデータの入る部分と、システムBのみに使われるものの入る部分があり、かつ両システムの情報交換に一つのトラックを専有させる。また、ドラム上には両システムが故障していない限りいずれか一方のシステムのみに使われていて故障時に、故障のないほうに切り換えて使う部分がある。

このドラム上の三つの部分の番地指定の区分は、命令の番地指定部分(図3.1を参照)の普段小形ドラムでは使っていないビット17, 18が使われる。

両システムの故障の検出は、システムA, Bそれぞれが重要部分のチェックを行なっているフェイルセーフ装置から、故障があった場合、またはプログラムで強制的に故障状態としたときのみ、優先割込処理として互いのシステムに知らせることができる。

この複合システムは、入出力の分担をシステムA, Bに分散することにより、入出力、制御能力の迅速化ができる。

4.2 フェイルセーフ装置 (Fail Safe System)

前述のとおり、MTRW-330は電源装置や計算機の制御系の故障を検出し、それに対する処理をするフェイルセーフ機構をもっている。この装置のおもな目的は故障発見と同時に計算機のアナログ、デジタル出力をすみやかに固定してしまい、プラントに対して誤ったデータを送らないことがあるが、上記複合システムの場合には互いのシステムの故障を他に知らせる役目にも使われる。

フェイルセーフ装置は図4.2に示されるようなもので、計算機部とは別にしてある(おもにコントロールに収容する)。

約1分に1回のクロック信号を発生する回路をもち、プログラムで P_1 がリセットされていなければ、そのまま優先割込信号 I_1 が計算機に送られ、計算機は約1分以内のチェック、プログラムに入ることができる。また、クロックの他方は2進4ケタのカウンタ回路(水銀リレーによる)に入り、 P_3 のリセット信号がない限り、約16分の計数を行なう。16分後でもカウンタの内容がリセットされない場合は、割込信号 I_2 が送られ、計算機は I_2 によるプログラムに入る。約1分後リセット信号がなければ、再確認割込(この割込は優先割込とは別のもので最も優先度が高い) I_3 が送られ、計算機はそれまで行なっていたプログラムを放棄して誤動作の再確認をした上、フェイルセーフ回路でアナログ、デジタル出力回路の計算機からの回路を切り離し、出力を固定する。また同時に警報表示(赤ランプおよびチャイム)を行なう。ただし、計算機から P_2 のリセット信号があれば、フェイルセーフ回路は働きはず、また、プログラムおよび手動で I_4 信号を出すこともできる。

このフェイルセーフ装置は固定したものではなく I_1 , I_2 , I_3 , および

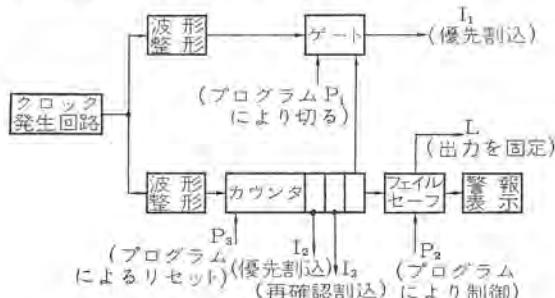


図4.2 330フェイルセーフシステム
Fig. 4.2 Fail-Safe System of MTRW 330.

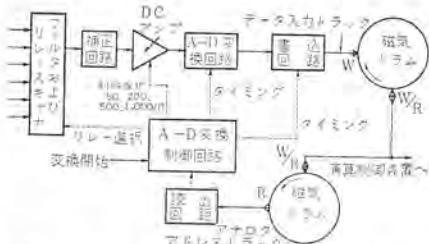


図 4.3 MTRW-330 A-D 変換装置 ブロック線図
Fig. 4.3 Block diagram of MIRW-330 computer.

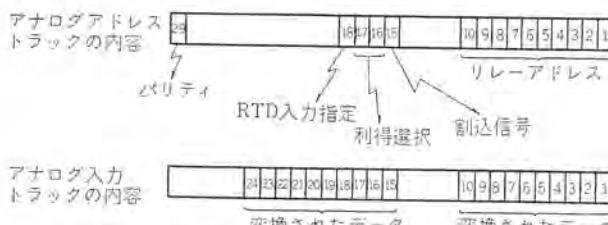


図 4.4 A-D 変換装置に使用される トラック の内容
Fig. 4.4 Memory track used for A-D converter.

P_1, P_2, P_3 の信号と誤動作処理の プログラム との適当な組み合わせにより有効な使い方ができる。

4.3 アナログ、デジタル変換装置

アナログ入力を変換し磁気 ドラム 記憶装置に データ をたくわえる装置で図 4.3 に示すように、すべての制御指令は演算制御装置から磁気 ドラム の一つの トラック に (アナログ、アドレス、トラック) 設定され、A-D 変換制御回路は演算制御装置から変換開始の指令をうけると独立して、みずからの タイミング でアドレス・トラックに指定されたとおり変換して、その結果を磁気 ドラム 上の別の専有 トラック (データ入力 トラック) に収める。

一連の変換の終わりは割込信号で演算制御装置に知らされるので、アドレス・トラックをプログラムで変えてやることにより種々の変換様式を行なうことができる。

演算制御装置から変換開始の命令をうけると、A-D 変換制御回路は、アドレス・トラックから図 4.4 に示されたような 1 語の変換内容を示す指令を受けとり、まず ビット 1~10 までの内容から選択すべき入力 データ (水銀 リレー を閉じる) を選び出し、その信号を DC アンプ につなぐ (途中熱電対入力などは室温の補正を行なうため補正回路を通るものもある)。15 ビットの内容から一連が終わつたか否かを判断し割込信号を作る。16, 17 ビットから DC アンプ の利得 (Gain) の選択をする、利得は 4 段階あり、いずれも DC アンプ の水銀 リレー の切り換えで 50, 200, 500, 1,000 倍、を選ぶことができて、入力信号の最適条件での変換を行なうことができる。18 ビット目の内容から入力信号が R. T. D. (Resistance Thermocouple) などの高 レベル 信号か、熱電対 (Thermocouple) のような低 レベル 信号かの区別をする。A-D 変換回路は 2 進 10 ヶタの最大 ヶタ から逐次比較で変換を行なう。以上の結果変換された 10 ヶタの デジタル 量はレジスタにいったん入れられ、アドレス・トラックの指令のあった語と対応する データ入力 トラック の 1 語の中に、図 4.4 に示された形で収められる。

データ入力 トラック の 1 語に同じ値を 2 個所に入れておくのは、データの上下限監視命令のとき一度に上下限を越えるものを検出するためである。これら アナログ、デジタル 変換に専用の 2 本の トラック には、別に演算制御装置の読み、書きの ヘッド があるので、変換は演算制御装置で妨げられることはない。

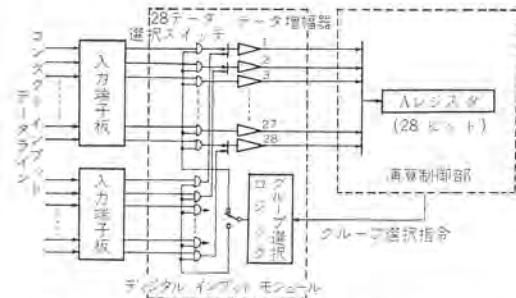


図 4.5 コンタクトインプット制御機構
Fig. 4.5 Contact input control system.

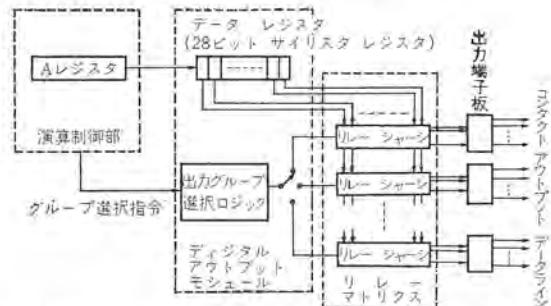


図 4.6 コンタクトアウトプット制御機構
Fig. 4.6 Contact output control system.

以上のように MTRW-330 に使用されている A-D 変換装置はプログラムによる部分が多く、また、スキャナ部分のモジュール化により入力点数の分割ができるので、多用途への適用性がゆたかである。

4.4 ディジタル入出力機構

MTRW-330 は制御用計算機であるから、いわゆる、タイプライタ、フレクソライタ、テープリーダ・パンチなどの入出力機器のほかに、プロセス内部の リレー、スイッチなどと直接結合したコンタクトインプット、コンタクトアウトプット および パルスカウント があり、しかも、それらの制御点数が膨大なものであったり、各プロセスにより要求される条件が多種多様なものであるので、下記のように非常に融通性に富んだ機構を有している。

4.4.1 コンタクトインプット機構

図 4.5 に示されるように、入力用端子板で中継された プロセス からの インプットデータ は、28 データ ごとに一つの グループ にまとめられて 1 語を形成し、グループ選択スイッチ、データ増幅器を経て、28 ビットの A レジスタの対応 ビットにリードインされる。

このように グループ 制御を行なうものであるから、プロセスの要求が増大した場合、ハードウェアとしては、グループ選択ロジックだけを増設すればよく、完全な モジュール・コンストラクション・システム を構成し、合計 672 点にも及ぶ コンタクト・インプット を プログラム で自由に制御することができる。

4.4.2 コンタクトアウトプット機構

コンタクト・アウトプット は、プロセスへ ON・OFF 信号を供給したり、各種表示器へ表示 データ を供給するもので、コンタクト・インプット と同様に 28 データ が一つの グループ として制御される。

MTRW-330 の コンタクト・アウトプット には、1 グループ のうちの任意の 1 データ を制御する方式 (シングル・ピット・アウトプット) と、1 グループ の 28 データ を グループ 単位に同時に制御する方式 (マルチ・ピット・アウトプット) があり、前者はモータ、コンプレッサ、バルブなどの ON・OFF 制御に使われ、後者は、コード化された形の データ で タイプライタ などの出力機器や各種表示器の制御に用いられる。いずれも図 4.6 に示されるように、A レジスタにロードされた 28 ビットの データ と

グループ選択ロジックによりリレーマトリクスが駆動され、所要のアウトプットを与えるものである。アウトプット・リレーには、信頼度と長寿命という特長を考慮して、すべて水銀リレーを用いている。水銀リレーは3~4個単位にプリント基板(リレーカード)上にマウントされていて、プロセスの要求によるリレーの増減を非常に容易にしている。

全体のシステムとしては完全なモジュール構成で、合計 528 点にも及ぶアウトプットを任意に増減し、プログラム制御できる。

4.4.3 ドラム・カウンタ機構

制御用計算機にとって時間関数制御は不可欠の要素である。MTRW-330 では、磁気 ドラムの 1 トラックの各 セクタをカウンタとして使用して、最大 128 個の カウンタを内蔵している。カウンタ回路は図 4.7 に示されるが、大別して次の三つの機能を有する。

(1) イベント: カウント (ピアス: カウント)

各入力 ライン への外部事象の到来回数を カウント し、所定の回数を検知して必要な処置を行なう。1~16, 777, 215 回のカウント可能

(2) 繰過時間 インタラプト・カウント

計算を開始してから一定時間経過後に インタラプト を発生する。
約 17 ms～78 時間の時間設定可能。

(3) パレス・ダレーション・アウトプット・カウンタ

一定時間を設定し、パルス・ダーレーション および MDP アナログ アウトプトを制御する。

いずれの場合も、図 4.7 に示されるように、カウントすべき回数または時間をプログラムでドラム上に設定し、外部 パルス の到来、またはドラム 1 回転ごとに一つずつカウントダウンを行ない、自己の内容が 0 に達するとカウントダウンを停止し、必要な信号を発生するものである。たとえば、あるプログラムを開始してから 119 ms 後に別のルーチンの計算を実行させたい場合は、カウントに 8 進数の 7 をストアして経過時間 インタラプト・カウンタ として動作させ、ドラム 7 回転後に インタラプト を発生させればよい。上記三つの機能のいずれを行なわせるかは、プログラムの ポット 指定で任意に選択できる。

ハードウェアとしては既述の回路のほかに、とくに イベント・カウンタの場合、ある程度外部入力にノイズ パウンスがあっても誤動作することのないよう、カウンタの 1 または 2 ビットを使用してカウントダウン条件に対するシーケンスを作り、同一の外部入力で再度 カウントダウンすることを防止している。イベント・カウンタ、インターパット・カウンタ の場合は入出力 ラインを結合するだけでよいが、MDP アナログ アウトプット制御を行なう場合には、パルス ダレーシヨン アウトプット モジュール および、MDP モジュール が追加される。MDP アナログ アウトプット は、パルス ダレーシヨン アウトプット カウンタ により設定された時間だけ パルス ダレーシ

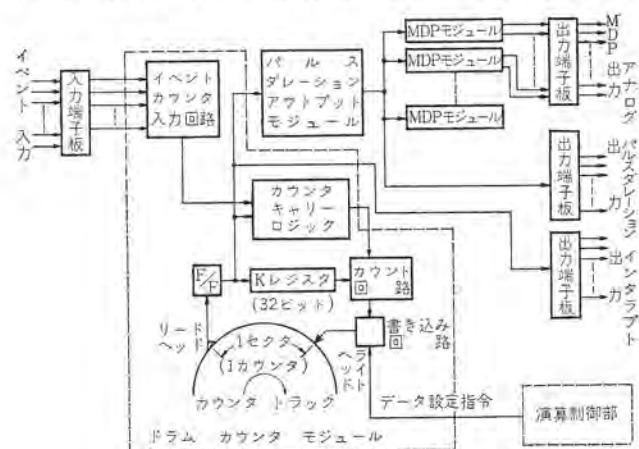


図 4.7 ドラムカウンタ制御機構
Fig. 4.7 Drum counter control system.

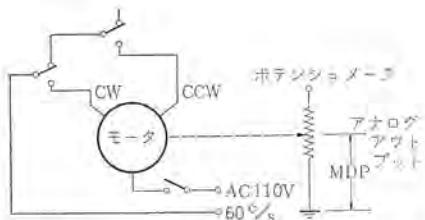


図 4.8 MDP アナログアウトプット 駆動 機構

Fig. 4.8 Drive mechanism of motor driven potentiometer analog output.

ヨン アウトプット リレー を駆動し、この リレー を図 4.8 のように組み合わせて モータ を正方向または逆方向に回転させ、この回転軸を ポテンショメータ の 軸にカップル させる機構となっている。基本 ハードウェア としては、128 個の カウント に対する入出力論理結線が行なわれているから、プロセスの要求に応じて MDP モジュール を追加するなどモジュール 構成が容易にできる特長を持つている。

4.5 プライオリティ・インターブト機構

プロセスに異常が生じた場合、ただちにその処置を実行したり、オンライン、オフラインの動作にオペレータの要求する他の動作を割り込ませて実行させたりするのがこのインタラクション機構の機能であり、制御用として最も重要なものの一つである。

MTRW-330 では、基本形態として 28 インタラプト (モジュール 追加により 92 まで増設可能) を、その重要度に応じて優先順位をつけて処置することができる。インターラプト 信号源としては、(a) 各種 リミットスイッチ、(b) 各種 センサー (c) 手動 スイッチなどの外部信号のほかに、計算機内部の インタラプト 信号源として、(d) 経過時間に関する信号、(e) A-D 変換器の動作終了信号 (f) 印字、読み取り装置に関する入出力 バッファ の状態を知らせる信号 (g) プリントの非常における信号 (h) パリティ・エラー 信号などがあり、これらの信号形式として

(タイプ1のインタラクト) 連続的なインタラクト信号

(タイプ2のインジケート) 150 μ s 以上のパルス信号

と、2種類のインターラプトを処理することができる。

ハードウェアの概要は図4.9に示される。インターラプト入力ラインは、デジット・タイムと同期をとって自動的に走査されるが、タイプ2のインターラプトの場合、信号は瞬間に消失してしまうから、この信号を保持するためにQレジスタ(ホールディングレジスタ)がある。(タイプ2のインターラプトライン数と同数のビット数を持つシフトレジスタ)一方、インターラプトラインに優先順位をつけるためにMレジスタ(マスクレジスタ)があり、Mレジスタの内容が0のビット位置に対応したインターラプトラインの信号はマスクされて、けっしてインターラプトされない。たとえば、あるラインにインターラプトがあった場合、それより低い順位のインターラプトラインに対応するMレジスタのビット位置を0にすれば、下位のインターラプトはキャンセルされ、このような方法により優先順位が制御される。Mレジスタ、Qレジスタは、演算制御部のAレジスタの内容と交換可能であるから、プライオリティはプログラムで容易に制御される。

プライオリティが決められ、実際にインタープットが検知されると、割込ラインレジスタでインターパットのあったライン番号が記憶され、同時にロップ・フリップ・フロップをセットし、インターパット検知を計算機に伝達する。1語の命令実行後、インターパット処置を行なうのであるが、そのシーケンスは図4.10に示される。

- (1) それ以外の インタラプト が入らないように、インターラプトインヒビット FF をセットする。
 - (2) 主プログラムの NIA (次番地) を ドラム 上 TK 65 に ストア

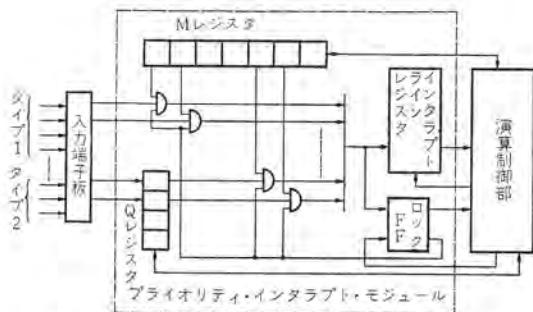


図 4.9 プライオリティ・インターブート制御機構
Fig. 4.9 Priority interrupt control system.

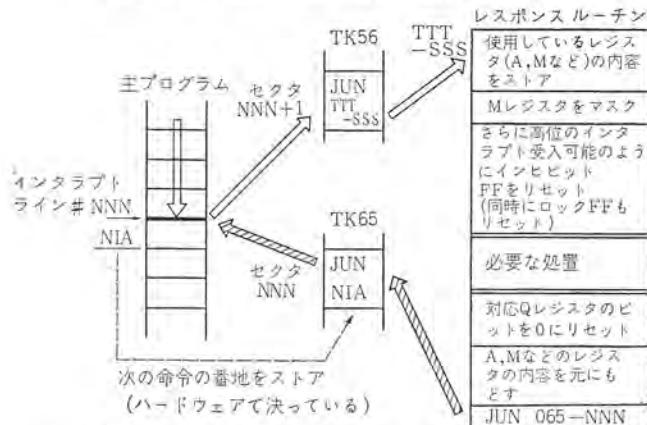


図 4.10 プログラムシーケンスの概要
Fig. 4.10 General sequence of interrupting program.

する。(TK 65 はインターブートのリターン・アドレスをストア)

(3) インターブート・レスポンス・アドレスを TK 56 上でサチして、イクオリティが成立したときインターブート・プログラム・ルーチンへジャンプする。

(4) A レジスタ、M レジスタなどの使用レジスタの内容を ドラムへストアする。

(5) M レジスタをマスキングする。

(6) さらに高位のインターブートだけは受け入れられるように、イヒビット FF をリセットする。(ロック FF も同時にリセットされる)

(7) 必要な処置。

(8) 対応 Q レジスタのビットを 0 にリセット。

(9) A, M レジスタなどの内容をもとにもどす。

(10) TK 65 へジャンプし、主プログラムの NIA へ帰る。

以上のシーケンスは完全な閉ループを構成しているから、プログラムが途中で乱れるようなことはなく、スムーズにインターブート処理が行なわれる。

4.6 出力バッファ機構

フレクソライタ、ロギングライタなどの出力機器の印字動作は、演算回路の動作に比べて非常に長時間を要するから、これらの出力機器を演算回路と切り離して使うことにより、演算時間を有効に利用することができる。

出力バッファシステムは図 4.11 に示されるが、データは ドラム上のバッファ・トラックから出力機器へ送られるから、この動作を行なうためには、その前にバッファ・トラックに印字すべきデータをあらかじめ記憶させておかなければならぬ。これは一般的のストア命令、

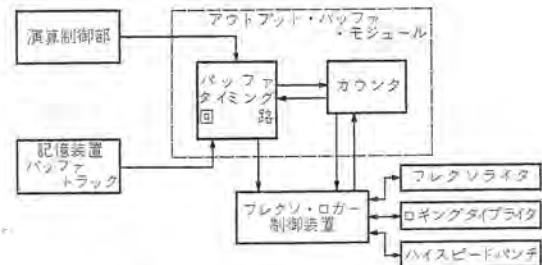


図 4.11 出力バッファ制御機構
Fig. 4.11 Output buffer control system.

または、ブロックトランスマ命で行なわれるから高速度で完了する。プログラムで出力機器が選択されると、バッファ・トラックの各セクタ(28 ビット)の内容は、自動的にその出力機器のモードに合わせて、4 ビット 6 文字、または、6 ビット 4 文字のフォーマトに分割され、各出力機器に適した速度でデータを送り出す。プログラムで一度スタートセクタが指定されると、ハードウェアで自動的に次のセクタへ進むようになっていて、最終ワード(セクタ)でエンドマークが検出されるまでバッファ動作を継続する。

以下概略の動作シーケンスを示す。

(1) デジタル バッファ出力命令により、バッファ・タイミング回路がセットされ、演算動作と無関係にバッファ動作が開始される。同時にスタートセクタが読み込まれ、このセクタから印字が開始される。

(2) 1 ワード(セクタ)に 4、または 6 個のコードが入っているので、1 から 4 または 6 まで数えるカウンタが設けてある。

(3) カウント 1 で第 1 番目のコードが出力機器へ送られ、印字される。

(4) 印字が行なわれて、準備完了信号が来るとカウントが一つ進み 2 番目のコードを送り出す。

(5) カウント 4 または 6 の終わりでセクタを自動的に一つ進めて、次のセクタの印字へ移る。

以下これを繰り返して、動作停止のエンドマークが検出されるまでバッファ動作を継続する。

5. むすび

MTRW-330 はすでに数台を納入し、各納入先において安定な動作に入っている。アメリカにおける TRW 社の実績も、1962 年までにセメント工業に 4 台、石油、化学工業には 28 台、金属工業用に 5 台、電力関係に 15 台、その他交通、原子力、研究用などに 18 台を数え、あらゆる制御分野に採用されている。今後もこれらの経験をもとに、さらに改良された MTRW-330 は、その適用範囲は拡がるものと思われる。

(昭 40-1-12 受付)

参考文献

- 中尾、的場、小野寺、仁田： MTRW-330 複合化システムの構成 計測自動制御学会、9 月 (昭 39)
- Control Engineering, "Digital Computer Control List Lenghens, Market Matures" Sep. (1963)

MELDAP-6000 工業用データ処理装置

浜岡文夫*・深尾忠一郎**
竜田直紀***・貴田篤志***

MELDAP-6000 Computing Logger System for Industrial Use

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works
Mitsubishi TRW Co., Ltd.

Fumio HAMAOKA・Chūichirō FUKAO
Naonori TATSUTA・Atsushi KIDA

MELDAP-6000 is a computer system intended mainly for use in data logging and sequence control in the industrial process. The full system is composed of a small size central processor of high reliability and numerous input and output device. The MELDAP-6000 is for use in a lower speed operation, while MELDAP-6000H is also developed for high speed computing. The number of units already built and supplied has reached more than ten, manifesting broad adaptability of the system.

This article deals with its hardware features, specification, other interrupt and input, output function which is essential in the process computer.

1. まえがき

MELDAP-6000 は、工業プロセスにおけるデータ処理およびシーケンスコントロールを主目的として開発された計算機システムであり、小形高信頼度の計算機を中核として、これにプロセス用の各種入出力機器を付加して全システムが構成される。

われわれは数年来、この方面的技術の開発設計に従事し、この間多数の製品を世に送り出してきた。これらの中にはその製品自体にも、あるいはその適用方法にもいくつかの新しい試みが織り込まれ、その一部はすでに本誌上にも報告してきた。⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

これら幾多の経験をベースとして開発されたのが、ここに述べる MELDAP-6000 システムであって、すでに 10 台余りの受注納入実績を有し、機器の構成、規模におけるフレキシビリティに富み、各種の広範な適用範囲をもっている。

MELDAP-6000 には低速用のいわゆる MELDAP-6000 と、これを高速化した MELDAP-6000H とがあり、目的・用途に応じた適用がなされているが、命令形態は両者に共通している。本文ではこれら両者を含めてハードウェアを中心にしてその特長、仕様ならびにプロセス用としてとくに重要な割込機能、入出力関係などについて報告する。

2. 特長

MELDAP-6000 システムの設計にあたっては高信頼度の実現を根本方針とし、入出力部のフレキシビリティ、拡張性を考慮して工業プロセス用として十分の規模まで拡大しうるものとした。このため長期間にわたる検討、改良が行なわれてきたわけである。その結果としてこのシステムは次に述べるように各種の特長をもっている。

(1) 高信頼度を実現するため、基本構成要素にはすでに十分の実績を有する NOR カードを採用し、使用上もいたずらに高速化するよりは、余裕を十分とてむしろ低速で使用し、マージンの増大につとめた。この結果実際のシステムでもきわめて高い実動率を示している。

(2) 入出力の拡張規模はきわめて大きく、また十分フレキシビリティがある。プロセス用各種入出力機器はユニット化されており、

ルーティングブロック方式で増設できる。

(3) このシステムの中核となる演算制御装置については、命令の簡素化につとめ融通性の高い命令形態をとり、その種類を極力きりつめて回路の単純化をはかっている。

(4) プロセス用として、とくに不可欠な優先割込機能については、このために著しくハードウェアを複雑化しないという条件でハードウェアによる処理は必要最小限にとどめ、優先順位の決定などはプログラムに依存することとした。レベルは 20 レベルまで可能であり、多重割込の機能も実現されていて、この種の小形機としては特色ある豊富な割込機能をもっている。

(5) アナログ入力については、上下限監視機能をプログラムの負担にならずに迅速に処理するため A-D 変換器にこの機能をもたせてある。

(6) 各種のアナログ入力の接続が容易に行なえるよう、入力の種類と、増幅器ゲインをプログラムで指定できるようになっている。

(7) 演算制御装置内のデータ転送は直列が原則であるが、1 部に並列転送方式をも併用して、総合的な動作時間の短縮をはかっている。

(8) 記憶装置としてはランダムアクセスのコアメモリと大容量非破壊の磁気ドラム併用方式をとり、両者のデータ転送はブロック転送方式を採用している。

(9) プロセスとの入出力は外部ノイズの影響を避けるため、アナログ、デジタルを問わず、絶縁するのを原則としている。

3. 構成

MELDAP-6000/6000H は工業プロセス用の各種入出力装置が豊富に接続でき、その構成を示せば図 3.1 に示すとおりである。もちろん入出力の規模は、目的と用途によって最大構成の範囲内で適宜増減することができる。図 3.2 に示す装置はデジタル入力 300 点、デジタル出力 300 点、アナログ入力 100 点、アナログ出力 1 点、磁気ドラム 1 台を有するシステムの一例であり、図 3.3 はその内部実装を示す。

その構成機器を列挙すれば次のとおりである。

(1) 基本装置

演算制御装置

1 式

(3) 多重割り込み動作可能

4.5 アナログ入力

(1) スキャナ リードリレーによる 2 線切り換え方式

走査順序、走査速度、走査周期は プログラム により可変、1 ユニットは 100 点

(2) フィルタ 各入力点ごとに所要の フィルタ を実装

(3) 増幅器 入出力絶縁形トランジスタ 直流増幅器

ゲインは プログラム により可変 (最高 500 倍)

(4) A-D 変換器 逐次比較方式

入力 0~5 V

出力 10 進 3 ヶタ

変換速度 AD-501 で 3.2 ms

AD-401 で 160 μ s

(5) 入力信号の種類

熱電対 (CA, IC)

測温抵抗体 (Pt 50 Ω)

直流電圧、電流信号、以上総計 10 種

(6) 入力点数 最大 1,000 点

4.6 ディジタル入力

(1) 信号形式 接点開閉信号を中継 リレー (絶縁用を兼ねる) を介して受信

(2) 入力点数 最大 1,000 点

4.7 パルス入力

(1) 信号形式 接点開閉信号を中継 リレー (絶縁用を兼ねる) を介して受信

(2) 計数方式 トランジスタカウンタで計数蓄積

(カウンタの ビット 数は パルス 周波数を考慮して決定するが通常 10 進 1 ヶタ以下)

適当な時間間隔で コアメモリ に移して蓄積

(3) 入力点数 最大 1,000 点

4.8 ディジタル出力

(1) 出力の種類

タイプライタ 最高 4 台

テープパンチ 1 台

デジタル表示器 2 組

接点出力 $\left\{ \begin{array}{l} \text{シングルビット出力} 400 \text{ 点} \\ \text{マルチビット出力} 24 \text{ ビット} \times 24 \end{array} \right.$

(2) デジタル表示

数値 5 ヶタと単位 1 ヶタを表示

(単位は 12 種まで表示可能)

(3) 接点出力

シングルビット出力 400 点

ただし マルチビット出力を利用することにより、

さらに 576 点追加可能

あるいは マルチビット出力により 10 進 6 ヶタの データを 24 組出力可能

(4) アナログ出力

マルチビット出力に D-A 変換器を接続する

D-A 変換器出力は出力 0~10 V

内部抵抗 5 k Ω

4.9 周辺機器

(1) 紙 テープパンチ

低速形 10 字/秒 8 単位

高速形 110 字/秒 8 単位

(2) 紙 テープリーダ

低速形 10 字/秒 8 単位

高速形 200 字/秒 8 単位

(3) 入出力 タイプライタ

30 インチキャレッジ 10 字/秒

ほかに ロギングタイプライタ 付加可能

4.10 電 源

(1) 電 壓 100 V または 200 V $\pm 10\%$

(2) 周波数 50 または 60 c/s $\pm 5\%$

(3) 所要電力 構成により変化するが通常 2~3 kVA

(4) 停電対策 停電時を考慮して通常 M-M-G 式無停電電源装置、または M-G 式電源装置を付加する。

4.11 周囲条件

(1) 溫 度 20°C $\pm 5\%$

4.12 外形寸法

機器は高さ 2 m、幅 60 cm、奥行 60 cm の キャビネット を所要数使用して実装される。すなわち、おもなものをあげれば次のとおりである。

演算制御装置 2 キャビネット

磁気 ドラム 1 キャビネット

アナログ入力 基本 100 点 1 キャビネット

〃 増設 300 点 1 キャビネット

デジタル入力 300 点 1 キャビネット

デジタル出力 300 点 1 キャビネット

5. 演算制御装置

5.1 語の構成

MELDAP-6000 では数値語、命令語とも 1 語が 10 進数 6 ヶタで表現される。各 ヶタ は 2 進化 10 進コード 4 ビットから構成され、さらに符号を表わす サインビット と パリティビット が付加されて、図 5.1 に示すように 1 語 26 ビットの構成である。

(1) 数値語

数値はすべて固定小数点 6 ヶタで、小数点は MSD の左にあると考えてよく、したがって取り扱う数値はすべて

+0.999999~ -0.999999

の範囲にあるものとして取り扱う。

(2) 命令語

命令語も数値と同様 10 進 6 ヶタの数字で表現される。図 5.1 (b) に示すように上位の 2 ヶタを オペレーションコード に用い、下位 4 ヶタは通常操作の対象となる番地を表わす。

5.2 命令体系

MELDAP-6000 の命令は次の 8 種に大別される。

(1) 演算命令

(2) 転送命令

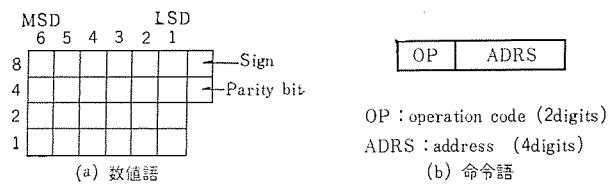


図 5.1 語の構成

Fig. 5.1 Word structure.

表 5.1 MELDAP-6000 命令

分類	略号	コード	説明
演 算	CAD	1 1	AレジスタをクリヤーしてC(n)を加算
	ADD	1 2	Aレジスタの内容とC(n)を加算, 和はAレジスタに残る。
	CSU	1 3	AレジスタをクリヤーしてC(n)を減算
	SUB	1 4	Aレジスタの内容からC(n)を減算, 差はAレジスタに残る。
	MUL	3 0	Mレジスタの内容とC(n)との乗算, 積はAおよびMレジスタに残る。
	DIV	3 5	Aレジスタの内容をC(n)で除算, 商はMレジスタに除余はAレジスタに残る。
転 送	LAR	1 5	C(n)をAレジスタ置数
	LMR	1 6	C(n)をMレジスタに置数
	LLR	1 7	C(n)をLレジスタに置数
	TMA	1 8	Mレジスタの内容をAレジスタに転送
	STA	2 1	Aレジスタの内容をn番地に記憶
	STM	2 2	Mレジスタの内容をn番地に記憶
シフト	SAL	2 3	Aレジスタの内容をMSDの方にnケタシフト (n=1~6)
	SAR	2 4	Aレジスタの内容をLSDの方にnケタシフト (n=1~6)
論 理	EXT	3 1	Aレジスタの内容とC(n)との間で各ビットごとにANDをとり, 結果をAレジスタに残す。
	MRG	3 2	Aレジスタの内容とC(n)との間で各ビットごとにORをとり, 結果をAレジスタに残す。
	NEG	3 3	Aレジスタの各ビットの否定をとり結果をAレジスタに残す
飛び越し	JUN	4 0	無条件にn番地へジャンプ
	JZR	4 1	Aレジスタ=0のとき n番地へジャンプ
	JNG	4 2	Aレジスタ<0のとき n番地へジャンプ
	JOF	4 3	Aレジスタに溢数が生じたとき n番地へジャンプ
	FFS	5 0	内部フリップ フロップをセットする (n=1~19)
	JFX	5X	内部フリップ フロップXがセットされていればn番地へジャンプ (X=1~9)
	JSX	6X	外部フリップ フロップXがセットされていればn番地へジャンプ (X=0~9)
入出力	PTI	8 4	タイプライタおよびテープリーダからの入力をn番地に記憶
	ADS	9 5	A-D 変換器をセットしアナログ入力データをA-Dレジスターに用意する。
	RED	9 6	入力回路のデータをAレジスタに読み込む。
	OUT	9 7	出力動作・出力機器及び出力フォーマットはアドレス部で指定。
ドラム	TCD	8 5	コアメモリから1ブロックを1ドラムに転送
	TDC	8 6	ドラムの1ブロックをコアメモリに転送 この命令はオプショナルである。
その他	NOO	0 0	なんらの演算も行なわない
	HAL	0 9	停止命令

(3) シフト命令

(4) 論理演算命令

(5) 飛越し命令

(6) 入出力命令

(7) ドラム転送命令

(8) その他の命令

このうち、ドラム転送命令は外部磁気ドラムを付加した場合にのみ有効である。

各命令の詳細は表 5.1 に示すとおりであり、シーケンス制御などに便利なように論理演算命令を有すること、飛び越しの命令群が豊富にあり、とくに後記する割込操作と関連して自由度の高い割り込みが可能なよう考慮してある。また入出力の命令についてはアドレス部を有効に使い、プロセスとの結合の便宜さが考慮されている点も大きな特色である。

5.3 制御動作

MELDAP-6000 の命令は1語1命令の構成であり、アドレス指定は1アドレス方式である。命令の進行はインストラクションカウンタ(IC)によって制御され、通常この内容は1ずつ増加するが、飛び越し命令の場合には飛び越すべき番地のNo.に書き換えられる。

(1) ステージ制御

MELDAP-6000 の制御動作は三つのステージに分かれている。
すなわち

ステージ1……命令を読み出す

表 5.2 レジスタ類一覧

名 称	略号	ケタ数	シフト	プログ ラムで の使用	機 能
Aレジスタ	AR	7 ケタ+符号	あり	可	演算用主レジスタ。MSDの1ケタはオーバフロー用AR=0, AR<0, オーバフローのテスト可能
Bレジスタ	BR	6 ケタ+符号+パリティ	あり	否	コアメモリと演算制御回路間のバッファレジスタ演算はAレジスタとBレジスタ間で行なう
Mレジスタ	MR	6 ケタ+符号	あり	可	乗、除算用レジスタ
Cレジスタ	CR	6 ケタ	なし	否	実行すべき命令を保持するレジスタ
Tレジスタ	TR	4 ケタ	なし	可	時刻を計数し保持するカウント
DBレジスタ	DBR	6 ケタ+符号+パリティ	あり	否	磁気ドラム用バッファレジスタ
Track レジスタ	TKR	2 ケタ	なし	否	磁気ドラムのトラック番号を保持するレジスタ
インストラクション カウンタ	IC	4 ケタ	なし	否	次によみとるべき命令番号の番地を保持するレジスタ
Eレジスタ	ER	4 ケタ	なし	否	アナログ入力回路制御用レジスタ
Lレジスタ	LR	6 ケタ	なし	可	アナログ入力値に対する上下限値を保持するレジスタ
Sレジスタ	SR	20ビット	なし	否	割込入力保持用レジスタ
Fレジスタ	FR	3 ケタ	なし	否	出力機器の制御用レジスタ
Dレジスタ	DR	6 ケタ+符号	あり	否	出力データ用のバッファレジスタ、5個まで設置可能うち1個はタイプライターテープリード用

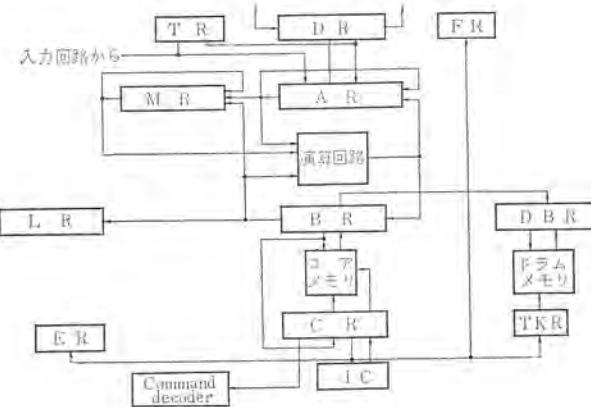


図 5.2 演算制御装置ブロック線図

Fig. 5.2 Block diagram of MELDAP-6000 processor.

ステージ2……読み出した命令を実行する

ステージ3……割り込みに対する処置をハードウェアで行なう。

通常割り込みのない場合にはステージ1, とステージ2を交互に繰り返しており、ステージ3は割込信号をうけた場合にのみ入るステージである。

一つの命令に対しては必ずステージ1とステージ2があり、ステージ1の所要時間は3DT (デジットタイム) である。またステージ2は各命令の実行終了信号 (エンドパルス) で終了するものであり、その所要時間は各命令によって異なる。

(2) タイミング

演算および制御動作のタイミングは、タイミングカウンタ(TC)によって作られる。このタイミングカウンタは10個の状態 T_0 ~ T_9 を作り出す。この一つのタイミングにある期間を1デジットタイム (DT) と称し、1ケタの演算およびシフトに要する時間となる。

1DTの時間は次のとおりである。

MELDAP-6000 では 1DT=500 μs

MELDAP-6000 H では 1DT=10 μs

5.4 レジスタ類

MELDAP-6000 に使用されているレジスタ類をまとめれば表 5.2 のとおりであり、図 5.2 はこれらレジスタ相互間の接続を示すブロック線図である。

5.5 記憶装置

MELDAP-6000 では主記憶装置として磁心記憶装置を用い、さらに補助記憶装置として磁気 ドラム を付加することができる。すなわちこの両者の併用によって、効率の高い演算制御動作と大容量非破壊記憶という長所を生み出し、工業 プロセス 用としての適応性を高めている。もちろん記憶容量が少なくてよい場合には、磁気 ドラム を使用しない場合もある。

(1) 磁心記憶装置 (コアメモリ)

容量は 1,000 語、2,000 語、4,000 語の 3 種のうちからいずれかを選択して使用する。1 語は前述したとおり 26 ビットで構成されている。記憶内容は真数形である。

50 ミルのコアをマイクロスタック構造とし、パルストラスも類似の形式にとりまとめ、両 スタック を図 5.3 に示すように一つのパネルにまとめてあり、1,000 語から 4,000 語まで同一パネル寸法内にまとめられているので、容量の変更はきわめて容易に可能である。

アドレスの選択は C レジスタの下位 4 ビットにより行なわれ、記憶内容は B レジスタに読み出される。選択方式は電流一致方式であり、読み出し書き込みのサイクルは 1DT 期間である。

(2) 磁気 ドラム

磁気 ドラム の容量は 6,000 語、または 10,000 語であり、1 語はコアメモリの場合と同様 パリティビット を含み 26 ビットである。

磁気 ドラム は 60 または 100 トラック を有し、1 トラック には 100 語のデータが記憶できる。ドラムの回転数は 3,000 rpm (50 c/s) または 3,600 rpm (60 c/s) である。

(3) ドラムとコア間の転送

磁気 ドラム は、100 語 1 トラック を単位としてコアメモリとの間でブロック転送が可能である。コアメモリのほうでも 100 語単位にブロック番号が与えられており、転送命令ではコアと ドラム それぞれのブロック番号を指定するようになっている。1 ブロックの転送に要する時間は

MELDAP-6000 では ドラム 3 回転

MELDAP-6000 H では ドラム 1 回転

である。

(4) 磁気 ドラム の保護

磁気 ドラム の記憶内容に対しては、雑音とか誤操作などによる破壊を防ぐために、書き込みを停止することができるようになっている。このために ドラム 操作盤 (図 5.4 参照) には 3 個のスイ



図 5.3 磁心記憶装置
Fig. 5.3 Core memory.



図 5.4 磁気 ドラム 記憶装置操作盤
Fig. 5.4 Drum memory control panel.



図 5.5 メインテナンスパネル
Fig. 5.5 Maintenance panel.

ッチ がって、各 トラック 群の書き込み回路を適宜切り離すことができる。

その他 コアメモリ、磁気 ドラム ともその書き込み読み出し回路の電源には特殊な保護回路が設けられており、電源の一部に事故が発生したような場合にも記憶内容の混乱をきたさないよう、適当なシーケンスで電源を シャット 下するよう配慮されている。

5.6 メインテナンスパネル

演算制御装置前面には機器の調整、保守、プログラムの ディップ、ロードイング、一部修正などの便宜のために図 5.5 に示す メインテナスパネル が取り付けられており、各 レジスタ 類、タイミング、ステージ および エラー 表示および数値設定の押しボタン ならびに割込制御のためのスイッチ などが取り付けられている。さらに本機の論理回路はステイック方式であるため、テストのために低速のクロックに切り換えて動作のチェックを行なうためのスイッチ とか、作表周期の選択を行なうスイッチ などもこの パネル の下部に取り付けられている。

6. 割込み機能

6.1 概要

プログラムの多重処理あるいは緊急処理を行なわせるために、あるプログラムを実行中、これより緊急を要する事態が発生した場合には実行中のルーチンを一時中断し、これに割り込んで緊急のプログラムを実行し、かかる後中断されたプログラムを引き続き行なわせる優先割込みの機能は、この種の計算機には欠くことのできない機能である。

さらに割り込みの種類を多くしていわゆる多重割込みの機能をもてばその有用性は非常に増大する。

MELDAP-6000 ではこの多重割込みが可能であり、緊急度の高さを示す レベル の判定は プログラム で行なう。

割込み信号としては通常次のようないわゆる多重割込みの機能をもてばその有用性は非常に増大する。

- (1) 停電信号
- (2) 誤動作信号
- (3) 入出力機器の動作状態信号
- (4) プロセスからの緊急指令
- (5) 手動スイッチによる各種指令
- (6) 時刻信号

MELDAP-6000 では割込み信号を最大 20 点まで受付けることができ、割込み信号を受けた場合には計算機は実行中の命令を終了するとただちに割込み処理 ルーチン に飛び、割込み信号の レベル を判定して割り込みの可否を調べ、実行中の プログラム より高 レベル の割り込みがあればこれに ジャンプ する。また実行中の プログラム より低い レベル の割り込みが入った場合にはその割り込みの入ったことをいったん記憶した後、引き続き先の プログラム を実行し、これが完了した後、先に割込みを受け取ってある次に高い レベル の プログラム を実行する。

6.2 ハードウェアによる処置

MELDAP-6000 では割り込みに対する ハードウェア の負担を極力少なくするよう考慮してある。

すなわちさきにステージ制御で述べたように、割込み信号が入るとステージ 2 終了後ステージ 3 の動作に移る。ステージ 3 では次に実行すべき命令の記憶番地の入っている IC の内容を 0001 番地に記憶し、IC を強制的に 0010 に書き換えてステージ 1 にもどる。したがって 0010 番地を割込み処理 ルーチン の入口番地としてある。

割込み入力回路は図 6.1 に示すようになっていて、割込み入力は

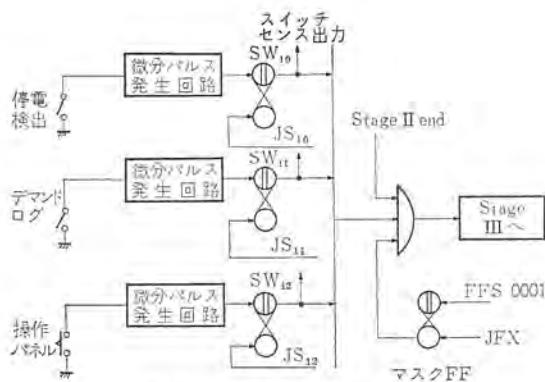


図 6.1 割込入力回路
Fig. 6.1 Priority interrupt circuit.

まず微分 パルス 発生回路で微分され、これによって割込 フリップフロップ SW10, SW11, …… をセットする。また割り込みを阻止するための マスクフリップフロップ が1個あって、これは プログラム によって セット、リセットされる。いずれかの SW がセットされると、割り込みが阻止されていないことと、ステージ2 が終了したことによってステージ3 に入り、上記の動作を ハードウェア で逐行する。

(3) プログラムによる処置

割り込みによって前記 ハードウェア による処置が終われば、特定の番地 (0002 番地) にとんで、ここで各 レジスタ の退避、レベルの判定などの必要な処置を行なった後、それぞれの割り込みに対応する プログラム に移行する。

この割り込みの処理を行なうプログラムを割込処理ルーチンと称し、その内容は次のとくである。

- (1) マスクフリップフロップをセットする。
 - (2) 進行中であったプログラムのアドレス(0001番地に入っている)を特定の別番地に記憶する。
 - (3) レジスタの内容を退避させる。
 - (4) 割込入力を調べ、そのレベルを判定し、プライオリティインデイケータをセットする。
 - (5) 対応するレジスタの内容をロードする。
 - (6) マスクフリップフロップをリセットし、対応する割込プログラムの入口に飛び越す。

7. 入出力關係

7.1 アナログ入力

アナログ入力回路の構成は図7.1に示すとおりである。すなわちアナログ入力回路制御用にEレジスタがあり、Eレジスタの内容に従ってスキナのうち1点が選択される。スキナはリードリレーで構成されており、1点について2線式の切り換えが行なわれる。スキナの動作時間は約5msである。

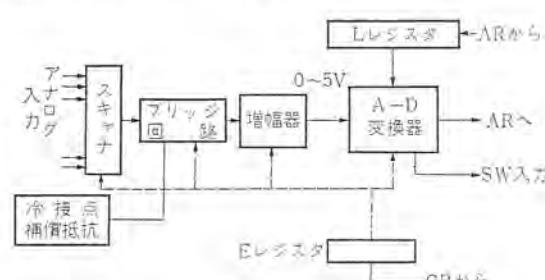


図 7.1 アナログ入力回路ブロック線図
Fig. 7.1 Block diagram of analog input circuit

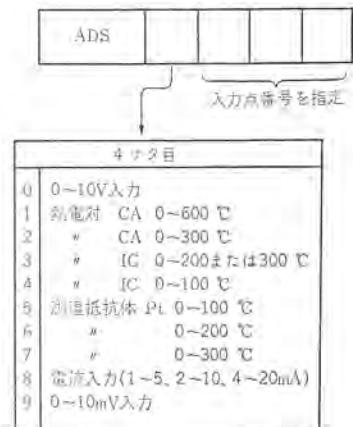


図 7.2 入力命令
Fig. 7.2 Input command.

次のブリッジ回路は、熱電対の冷接点補償回路、測温抵抗体のブリッジ回路など、入力の種類に応じた補償回路類とその選択回路が含まれている。

増幅器は磁気変調式のトランジスタ直流増幅器であり、そのゲインは5段階にプログラムで切り換えられる。ブリッジ回路の選択と増幅器のゲインもEレジスタの内容で指定される。

A-D 変換器では 5 V の入力を 10 進 3 ダイジタル信号に変換する。レジスタは上下限の設定値を保持するもので A-D 変換に先だって、このレジスタに上下限値を入れておけば A-D 変換動作と同時に上下限の比較動作をも同時に実行し、A-D 変換器からは上下限整数の信号も得られる。

アナログ入力回路に関する命令は図 7.2 に示す形式をとり、[ADS] の命令が解読されると、この命令の下位 4 ヶタが E レジスタにロードされ、入力点の選択ブリッジ回路、増幅器ゲインの設定が行なわれる。

上下限値は [LLR] 命令により メモリ から L レジスタに ロード さ
れるが、上位の 3 ヶタには 上限値、下位 3 ヶタには 下限値 を入れる
ことが でき、これ によって 上下限監視 の動作を きわめて 能率よく
実行 する ことが できる。

A-D 変換されたデータは [RED] 命令によって A レジスタの下 3 ヶタに読みとることができる。なお [ADS] 命令が出されてから A-D 変換が完了するまでの間は [RED] 命令は実行されない。

7.2 ディジタル入力 (ON-OFF 入力)

デジタル入力としては パルス入力, ON-OFF入力, 符号化データ入力などがあるが, これらはいずれも図7.2に示すように[RED]命令により Aレジスタに読み込まれる.

パルス入力については入力パルスのレートに従って所要ビット数のカウンタを設ける。(1ビットないし4ビット程度) 符号化データ入力の一つに時刻があるが、これは23時59分まで計数する時刻カウンタがあり、この基準信号は水晶発振器による、プロセスから受けるパルス入力、ON-OFF入力はいずれも受信リレーによりプロセス側

OUT				
4ヶタ目 (出力機器指定)		3ヶタ目以下は4ヶタ目の内容により指定内容が変化する		
		3ヶタ目	2ヶタ目	1ヶタ目
0	タイプライタ #0	ファンクション 指定	MSD位置指定 およびインセロ サブレッショング 指定	小数点位置指定
1	タイプライタ #1			
2	タイプライタ #2			
3	タイプライタ #3			
4	テープ・パンチ			
5	デジタル表示器#0	註1	表示単位指定 (00~19)	小数点位置指定
6	デジタル表示器#1	註2	出力リレー番号(0~399)指定	
7	シングルビット出力			
8	マルチビット出力#0			
9	マルチビット出力#1			

注 1. 3ヶタ目には4を加えれば、表示される最上ヶタは符号 (+または-) となる
また3ヶタ目には8を加えれば、異常データであることを表す文字Aが表示される

注 2. 3ヶタ目には4を加えれば、表示されたリレーをマークさせる4を加えなければ指定されたリレーをリリーズさせる

図 7.3 出力命令
Fig. 7.3 Output command.

と絶縁をはかる。

7.3 タイプライタおよびテープへの出力

タイプライタは4台まで接続可能である。タイプライタの指定およびタイプアウトフォーマットの指定は図7.3に示すように[OUT]命令のアドレス部によって行なわれる。

タイプライタ#0は入出力両用が可能であり、メモリへのデータ、プログラムの入力用、テープの作成などにも使用される。その他ロギング用、アラーム印字用にも使用されることがある。

#1~#3 タイプライタはロギング用である。

紙テープパンチもタイプライタと同様に[OUT]命令のアドレス部によって指定することができる。

7.4 デジタル表示器

デジタル表示器はオペレータコンソールの操作パネル(図7.4参照)に6ヶタのものを1組有し、この他必要な場合には外部に1組を設けることができる。表示器への表示指令も[OUT]命令のアドレス部によって小数点位置、単位、符号の有無などを指定することができる。単位の指定は20種類まで可能であるが、用途に応じてこのうち12種を選らび使用する。

7.5 デジタル出力

デジタル出力としては1ビットごとに制御するようなシングルビット出力と1データ24ビットを1群として取り扱うマルチビット出力がある。前者は[OUT]命令のアドレス部により指定するリレーをONまたはOFFすることができ、このような出力は400点まで可能



図 7.4 オペレータコンソール操作パネル
Fig. 7.4 Operator's console request panel.

である。マルチビット出力は2チャネルあり、[OUT]命令のアドレス部4ヶタ目の指定に従ったチャネルにAレジスタの内容が出力される。マルチビット出力としては、この2チャネルを組み合わせて最高24ビット×24の出力が可能である。

またアナログ出力としては、このマルチビット出力にD-A変換器を附加することにより可能である。マルチビット出力はこの他にも、1ビットごとのON-OFF制御信号として使用したり、デジタル表示器を動作させるのに使用してもよい。

8. むすび

以上MELDAP-6000についてハードウェアを中心に、その特長、仕様、演算制御装置の概要ならびに優先割込機能、さらにプロセス用入出力関係について述べた。

このシステムはとくに信頼性とフレキシビリティならびに拡張性を十分考慮して設計されており、すでに電力方面をはじめ鉄鋼関係その他にも多数適用されつつあり、今後さらにプロセスオートメーションの進展に伴って、その適用範囲を拡大するものと思われる。これらの適用の実際についても今後逐次発表の予定である。

終わりにのぞみ、この装置の計画当初から種々ご指導、ご協力いただいた鎌倉製作所の多数の関係者に衷心から深謝申し上げる次第である。

(昭 40-1-12 受付)

参考文献

- (1) 松元、竜田: データ処理装置、「三菱電機」36, No. 5(昭37).
- (2) 松元、竜田、貴田: データ処理装置——火力プラントへの適用例——、「三菱電機技術」36, No. 10(昭37).
- (3) 松元、竜田、松岡: データ処理装置——冷間圧延工程への適用——、「三菱電機技術」36, No. 12(昭37).
- (4) 竜田、貴田、深尾、西: 東北電力新潟火力発電所納めデータ処理装置、「三菱電機技術」38, No. 2(昭39).
- (5) 今出、塙原、西尾: 船用データロガ、「三菱電機技術」38, No. 11(昭39).
- (6) 竜田、塙原: 全トランジスタ化逐比較形AD変換器AD-501、「三菱電機技術」37, No. 2(昭38).

日本原子力発電株式会社東海発電所原子炉シミュレータ

新井 義男*・藤田 忠*・織田 満之*・吉野 国弘*
大鳥 羽幸太郎**・柴谷 浩二**・多田 淳**

Reactor Simulator for Tōkai Power Station

The Japan Atomic Power Co.

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

Yoshio ARAI・Tadashi FUJITA

Mitsuyuki ODA・Kunihiro YOSHINO

Kōtarō ŌTOBA・Kōji SHIBATANI・Atsushi TADA

At present a nuclear power station operating on an improved Calder-Hall type reactor is under construction at Tōkai-mura, Ibaragi-ken. It is expected to enter into commercial operation in September, 1965. With its output of 166 MW and to be connected to a 154 kV system of the Tōkyō Electric Power Co. Prior to the practical operation a simulator for the training and analysis was set up in July, 1963 and has been used for the training of the crew and analysis of various problems through the operation of the simulator, numerous unknown facts are brought to the light and a number of experts in connection with the safe running of reactors will be made available.

1. 東海発電所の概要およびシミュレータ設置の目的

日本原子力発電(株)が現在茨城県東海村に建設中の東海発電所は、わが国初の実用規模の原子力発電所である。この発電所に使用されている原子炉は、イギリスにおいてすでに 10 年近い豊富な運転実績をもつ、天然ウラン・黒鉛減速・炭酸ガス冷却形のコールダーホール発電炉に種々の改良を加えたコールダーホール改良形とよばれるものである。その熱出力は 585 MW、発電所としての電気出力は 166 MW で、この電力は 154 kV 級の送電線により東京電力管内各地に供給される予定である。

次に、東海発電所の構成についてごく簡単に述べる。

まず原子炉炉心は直径約 11.7 m、高さ約 6.6 m 円柱形の黒鉛ブロックと燃料棒とからなる集合体である。この原子炉炉心は、直径約 18.3 m の球形、鋼鉄製の圧力容器に収められており、圧力容器内には約 $14 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{g}$ に加圧された炭酸ガスが循環している。この炭酸ガスは、原子炉炉心のウラン燃料の核分裂によって発生したエネルギーで約 400°C に熱せられ、ガスタクトを通って熱交換器(4 基ある)に導かれる。ここで、タービンの復水器から送られてきた給水にその熱エネルギーを与え蒸気に変え、ふたたび低温(約 200°C)となって圧力容器にもどる。一方、熱交換器中で発生した蒸気はタービン発電機に送られ、電力を発生する。

以上に述べたように、エネルギーの発生源である原子炉と、そのエネルギーを蒸気のエネルギーに変換する熱交換器を除き、東海発電所は在来の火力発電所と変わることろはない。

しかしながら原子力発電所を安全に運転するためには、在来の火力発電所の場合と異なる技術的知識と経験を持ち、高度の訓練を受けた技術者が必要とされる。このような運転員の訓練を実際の原子力発電所で行なおうとすると、わが国にはまだ他に営業用原子力発電所がないことなどから、種々の困難を伴うことになる。そこで、実際の原子力発電所の運転時と同じ状態を模擬する装置、すなわちシミュレータを設置し、それにより運転員に訓練を施そうとするものである。

また、東海発電所シミュレータの一部であるアナログ計算機(アナコン)をはん用性のあるものとし、原子力発電所に特有な種々の特性解析を行なうことも当シミュレータ設置の目的である。

2. 装置の概要

このシミュレータは、アナログ計算機、模擬コントロールデスク、外乱発生模擬盤とで構成されている。

アナログ計算機は原子炉本体およびこれにつながる各系統をシミュレートする目的を有し、三菱 EA-7109 形精密級低速度形アナログ計算機が用いられている。その構成要素は、演算増幅器 100 台、ポテンショメータ 154 台、関数乗算器 11 台などきわめて大規模なもので、その中には原子炉中性子系を簡単に模擬できる専用の要素も含まれている。この計算機は前述のとおり、訓練の目的以外に解析研究用としても使用されるので、きわめて高精度・高性能に設計され、とくに数多くの演算要素の保守点検、運用上の便を考慮し、自動バランス・チェック、ステップ・プロブレム・チェック、自動ホールド、自動出力点走査など各種のチェック・システムが完備している。

各演算要素の詳細については、すでに本誌で紹介すみであるからここでは割愛して参考文献にゆずり、概略仕様を一覧表として表 2.1 に示した。

ただ、中性子模擬回路盤は原子炉シミュレータに固有の特殊要素であるので、やや詳細に紹介することとしたい。

アナログ計算機を原子炉シミュレータとして使用する場合、原子炉核反応部の特性を模擬する装置が必要になる。もちろん、これはアナログ計算機の標準演算要素を組み合わせて構成できるが、本格的な原子炉シミュレータでは、とくにこれを専用化して一つの機能を有する演算要素とし、プログラミングの簡素化、取り扱い上の簡略



図 2.1 原子炉シミュレータ全景
Fig. 2.1 Reactor simulator.

表 2.1 アナログ計算機性能一覧

演算要素名	性能	要素数	備考
1. 演算増幅器 (内訳)	(共通仕様) ドリフト自動補償付直流増幅器 直流利得 140 dB 以上 ドリフト 50 μ V/8h 以内 出力 ± 100 V 20 mA	44	基準演算インピーダンス 抵抗 1 M Ω コンデンサ 1 μ F
	入力端子数 7 (倍率 1, 1, 1, 4, 4, 10, 10) 係数精度 $\pm 0.1\%$ 以内		
	入力端子数 7 (倍率 1, 1, 1, 4, 4, 10, 10) その他 GIN, GF, C, R 端子など 積分器時定数精度 $\pm 0.1\%$ 以内 積分器保持特性 0.1%/3 min 以内		
2. ポテンショメータ IC	初期値設定、係数設定兼用 10 回転 30 k Ω 直線性 $\pm 0.1\%$ 以内	56	
3. ポテンショメータ A	可変抵抗器としても使用可能 10 回転 50 k Ω 直線性 $\pm 0.1\%$ 以内	28	
4. ポテンショメータ B	係数設定専用 10 回転 30 k Ω 直線性 $\pm 0.1\%$ 以内	70	
5. 饱和・不感帯要素	切換選択可能、感度部利得 1 設定値 0~100 V 連続可変 精度 $\pm 0.3\%$ 以内	4	
6. オン・オフ要素	入出力端子 0~100 V 連続可変 精度 $\pm 0.2\%$ 以内	2	入出力特性
7. 電圧比較器	比較基準電圧 0~ ± 100 V 感動電圧 50 mV 比較基準電圧設定精度 $\pm 0.1\%$ 以内	12	
8. サーボ乗算器	3 出力 UX, UY, UZ 精度 $\pm 0.3\%$ 以内 応答速度 0.13 秒以内	5	400 c/s AC サーボ
9. 関数乗算器	3 出力 UX, UY, UZ 精度 $\pm 0.3\%$ 以内 周波数特性 100 c/s -3 dB	6	時分割方式
10. 関数発生器	折点座標設定方式 13 折線 絶対コウ配 0~ ± 100 V 連続可変 関数形設定精度 $\pm 0.2\%$ 以内 周波数特性 100 c/s -3 dB	4	時分割方式 象限切換スイッチにより 9 通りの設定が可能
11. むだ時間発生器 A	むだ時間範囲 0.001~10 秒 精度 $\pm 0.5\%$ 以内	4	関数近似形
12. むだ時間発生器 C	むだ時間範囲 0.5~30 秒 精度 $\pm 0.5\%$ 以内	2	関数近似形
13. 中性子模擬回路	東海発電専用 (詳細は本文に記載)	1	伝達関数近似形
14. パッケージ	1,320 点の接続機構 1 式 裏面に下記のものを収容 { 倍率用演算抵抗、コンデンサ 補助演算抵抗、コンデンサ フリーダイオード、計算用リレー 演算制御リレー	2	
15. 演算制御盤 A	(1) 基本演算制御 (BC, RESET, COMP.) (2) スタティック・プログラム・チェック (3) 印加関数制御 (4) 出力監視 (5) 過負荷警報 (6) 電源制御 (7) 自動ホールド	1	
16. 演算制御盤 B	(1) 自動バランス・チェック (2) 自動出力点走査 (3) 出力点アドレス表示	1	
17. デジタル電圧計	自動小数点切換 4 ケタ十符号 精度 $\pm 0.05\%$ 以内 測定時間 約 1 秒	1	電圧比較方式
18. 連結盤	解記録装置、遅延制御装置、模擬コントローラ・デスクとの相互接続機構	1	
19. 電源	高圧電源、ヒータ電源、サーボ用 400 c/s 電源など	1 式	
20. 解記録装置	インク書 6 チャネル	1	
総合演算精度 ($\omega=1$ rad/s における 30 秒間サーフルテスト) { 振幅誤差 ± 0.1 ~ -0.2% 以内 周波数誤差 $\pm 0.3\%$ 以内			

化をはかることが推奨される。

炉の核反応部に与えられる超過反応度を Δk , Δk による炉出力の変化を ΔP とすれば、核反応部の伝達関数は式 (2.1) で表わされる。

$$\frac{\Delta P}{P_0} / \frac{\Delta k}{\delta k_0} = \left[\frac{t_0}{\delta k_0} S + \sum_{i=1}^6 \frac{(\beta_i / \delta k_i)(S / \lambda_i)}{1 + (S / \lambda_i)} \right]^{-1} \quad (2.1)$$

ただし、 δk_0 は超過反応度の基準値、 t_0 は中性子平均寿命、 β_i は i 群の遅発中性子の発生割合、 λ_i は i 群の崩壊定数、 S はラプラス演算子である。いま、図 2.3 の回路で入力対出力の伝達関数を計算すると式 (2.2) が得られる。

$$\frac{E_0}{E_i} = \left[CR_K S + \sum_{i=1}^6 \frac{\alpha_i (R_K / R_i) C_i R_i S}{1 + C_i R_i S} \right]^{-1} \quad (2.2)$$

α_i はポテンショメータの分圧比で、その全抵抗値は R_i に比べて無視できるものとする。

式 (2.1), (2.2) を比較して、

$$\left. \begin{aligned} CR_K &= t_0 / \delta k_0 \\ \frac{\alpha_i R_K}{R_i} &= \beta_i / \delta k_0, \quad i=1 \sim 6 \\ C_i R_i &= 1 / \lambda_i, \quad i=1 \sim 6 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

となるように R_K , C , R_i , C_i を選べば式 (2.1), (2.2) は等価となり図 2.3 が核反応模擬回路として使用できることがわかる。この装置では実物原子炉の崩壊定数を参照して下記の値を用い専用パネルを製作した。

(1) 時間スケールファクタ 1 (実時間)

(2) 中性子平均寿命

$$t_0 = 1 \sim 2 \text{ ms} (0.1 \text{ ms ステップ})$$

(3) 遅発中性子の発生割合および崩壊定数

i	$\lambda_i (\text{sec}^{-1})$	β_i
1	0.0125	0.00025 ~ 0.000175 (6 段階等間隔可変*)
2	0.0315	0.00166 ~ 0.001235 (〃)
3	0.1537	0.00213 ~ 0.001505 (〃)
4	0.4560	0.00241 ~ 0.0016225 (〃)
5	1.6120	0.00085 ~ 0.0005125 (〃)
6	13.8630	0.00025

* 核燃料のバーシュップを考慮したものである。

(注) この章で用いた記号の意味はこの章に限るものとする。

模擬コントロールデスクは実物コントロールデスクと外観、計器類の配置など可能なかぎり類似されたもので、アナログ計算機のシミュレータ回路で時々刻々得られるプラント各部の諸元はあたかも実物同様にメータ、記録計上に表示され、デスク上のスイッチ、押しボタンなどの操作によってこれら信号出力が変化し、被訓練者に実機におけると同様の感覚を与えることができる。訓練に直接関係しない一部の計器類は省略されまたは作動しないようになっているが、実感を伴うという点にはとくに留意し、計器類の大半は実機の製作を担当した国外メーカーからわざわざ輸入された。

この装置に実装されている計器類、スイッチ類

REACTOR SIMULATOR MITSUBISHI											
電源 A	電源 A	電源 A	電源 S	電源 G	電源 A	電源 A	電源 C	電源 E	電源 E	電源 E	電源 E
開数乗算器	開数乗算器	開数乗算器	飽和、不感帶	飽和、不感帶	ボテンショ メータ A	ボテンショ メータ B	ボテンショ メータ B	ボテンショ メータ B	ボテンショ メータ C	ボテンショ メータ C	ボテンショ メータ C
開数乗算器	オン・オフ要素	開数乗算器	むだ時間	むだ時間	ボテンショ メータ A	ボテンショ メータ B	ボテンショ メータ C				
開数乗算器	サー・ホ 乗算器	サー・ホ 乗算器	発生器 C	発生器 C	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	ディジタル 電圧計	演算制御盤 A	演算制御盤 B	演算制御盤 B
開数乗算器	サー・ホ 乗算器	サー・ホ 乗算器	むだ時間	むだ時間	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	電圧計	連結盤	連結盤	連結盤
開数発生器	サー・ホ 乗算器	サー・ホ 乗算器	発生器 A	発生器 A	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	電圧計	電源 D	電源 D	電源 F
開数発生器	サー・ホ 乗算器	サー・ホ 乗算器	パッテペイ	パッテペイ	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	電源 F	電源 H	電源 H	電源 F
電圧比較器	サー・ホ 乗算器	サー・ホ 乗算器	電源 S	電源 H	電源 C	電源 B	電源 B	電源 F	電源 H	電源 H	電源 F
電圧比較器	サー・ホ 乗算器	サー・ホ 乗算器	電源 R	電源 H	電源 C	電源 B	電源 B	電源 F	電源 H	電源 H	電源 F
電源 C	電源 C	電源 C	電源 S	電源 H	電源 C	電源 B	電源 B	電源 F	電源 H	電源 H	電源 F
電源 B	電源 B	電源 B	電源 R	電源 H	電源 C	電源 B	電源 B	電源 F	電源 H	電源 H	電源 F

図 2.2 アナログ計算機実装図
Fig. 2.2 Panel-arrangement of analog computer.

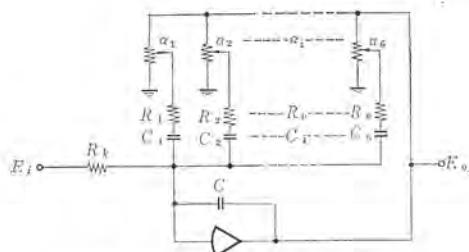


図 2.3 中性子模擬回路
Fig. 2.3 Circuit diagram of the neutron simulator.

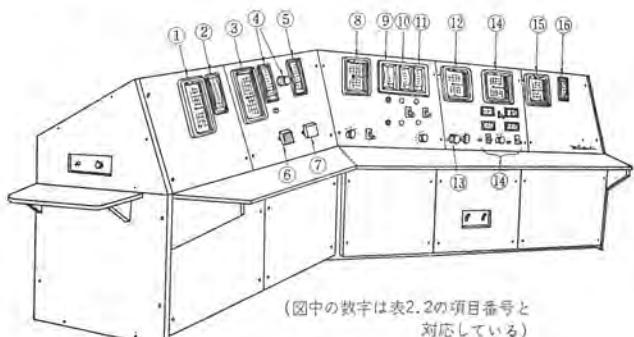


図 2.4 模擬コントロールデスク実装図
Fig. 2.4 Arrangement of the control desk simulator.



図 2.5 模擬コントロールデスク外観
Fig. 2.5 Appearance of the control desk simulator.

などの仕様およびその機能は表 2.2 に示すとおりで、これらの機器を図 2.4 のように配置してある。

また、装置の背後には警報表示盤が設置され、あらかじめ設定された警報 レベル に対して外乱のそう入、または生徒の誤操作に

より系の諸元がその レベル を越えると実機と同様、可視可聴の警報を発するようになっている。訓練に関係する警報内容は、たとえば下記のようなものである。

- (1) Reactor Tripped.
- (2) Short Period Trip Level Approaching.
- (3) Shut Down Amp. Trip Level Approaching.
- (4) Sector Rod 50% Raised.
- (5) Fuel Temp. Trip Level Approaching.
- (6) Channel Gas Trip

Level Approaching.

- (7) L. P. Steam Pressure Wrong.
- (8) —
- (9) High Log Trip Approaching.
- (10) Circular Speed Unequal Trip Shorted.
- (11) Shut Down Amp. Level Restriction Approaching.
- (12) Temp. Margin Override Inserted.
- (13) Pulse Counter Not Inserted.
- (14) Circular Speed Unequal Trip Not Shorted.
- (15) —
- (16) Temp. Margin Override Not Inserted.

外乱発生模擬盤は、教官が教育計画に従って系に各種の外乱をそう入するためのスイッチ類を収容した小箱で、教官は生徒の背後からこの小箱によって各種の問題を与え、それに対する生徒の措置を観察するとともに生徒が誤操作を行なったとき、その場で注意を与えることができるよう考慮されている。

3. 訓練回路の一例

3.1 概要

東海発電所シミュレータが目的としている訓練項目には種々ある。すなわち原子炉の起動、原子炉の停止、原子炉出力の変更などで、そのおののについて別個の回路を作成したが、ここではその一例として、原子炉起動時の操作を模擬する回路について述べる。

この回路は、臨界直前にされた原子炉を初期状態としている。(実際には、この状態にいたるまでにあらかじめ定められた手順により種々の操作が行なわれるが、それらはいずれもシミュレータにより訓練を行なうほどのものでないので、訓練回路の上では省略した。) この状態からさらに制御棒を引き抜き、原子炉を臨界にし、出力上昇を行なう。出力上昇の過程においては、その上昇率(原子炉周期)には制限があり、また、原子炉出力記録計の調整などの目的からあらかじめ定められた出力 レベル で一定出力運転を行なうことも要求されている。このような点を考慮しながらの運転操作を訓練する場合の回路が以下に示すものである。

3.2 おもな仮定

この回路を作成するにあたってはいくつかの仮定を設けたが、おもなものを次にあげる。

- (1) 原子炉は 1 点近似で表わし、遅発中性子は 2 群で近似した。

表 2.2 模擬コントロール・デスク計器類一覧

	Nomenclature	Description	Function	Manufactured by	Remarks
1.	Pulse Counting Power	4" 1 Pen Rec.	Recording Pulse Counting Power	Taylor	Type 700JD1 10W~100kW (Log) 0~100V FSD
2.	Period Indicator	4" Vertical Edgewise		SEI	-60~0c/s+20sec -25~0c/s+75V
3.	Log Power High	4" 1 Pen Rec.	Recording High Log Power	Taylor	Type 700JD1 10kW~1,000MW (Log) 0~100V FSD
4.	Sector Ref. Temp. Control Station	2 1/2" Vertical Edgewise Digital Indicator Range Switch	Reading Deviation of Temp. Expansion of Range -25~0c/s+25°C	SEI Kynmore 国産	-25~0c/s+25°C -250~0c/s +250°C -100~0c/s+100V CZB-10 0~999 units Non-Locking Push Button
5.	Trip Margin Indicator	4" Vertical Edgewise		SEI	-75~0c/s+25MW -75~0c/s+25V
6.	Emergency shut Down Trip	Push Button	Trips Emergency Shut Down Device	国産	Push Button to be Guarded
7.	Control Rod Trip	*	Drops Control Rods	*	*
8.	Linear Power Range Change	4" 2 Pen Rec. 3 Way Selector	Recording Linear Power & Trip Level	Taylor 国産	0~7, 0~70 0~700MW 0~100V FSD
	Trip Level Setting	Lever Switch	Raise-Lower	国産	Sleeve Locked Center position only
9.	Sector Rod Position Indicator Lamp	4" Vertical Edgewise	50% Withdrawn Alarm	SEI 国産	0~1,000 Control Units 0~100V FSD Neon Lamp
10.	Trim Rod Position Indicator Switch Lamps	4" Vertical Edgewise Lever Switch	Raise-stop-Lower Raise (Red) Lower (Green)	SEI 国産 国産	0~1,000 Control Units 0~100V FSD Sleeve Locked in all Position
11.	Coarse Rod Position Indicator Selector Switch Lamps	4" Vertical Edgewise 3 way Selector Lever Switch	Raise-Stop-Lower Raise (Red) Lower (Green)	SEI 国産 国産 国産	0~1,000 Control Units 0~100V FSD Sleeve Locked in all Position
12.	Drift power Range Change	4" 1 Pen Rec. 2 Way Selector	Recording Drift Power	Taylor 国産	Type 700JD1 100~0c/s/100MW 10~0c/s/10MW -100~0c/s+100V
13.	Zero Set	Digital Indicator	Sets Zero for Drift Power Rec.	Kynmore	CZB-10 0~999 units
14.	Total CO ₂ Flow Range Change	4" 1 Pen Rec. Lever Switch	Recording Total CO ₂ Flow	Taylor	Type 700JD1 0~4,000kg/sec 0~1,200kg/sec 0~100V FSD
	Auto-Hand Selector Speed Error	2 Way Selector		国産	2 Position Non Sleeve
	Speed Reference	2" Horizontal Edgewise	Indicates Circulator Speed Error Indicates Set Circulator Speed	SEI	200~0~200 rpm -100~0c/s+100V 0~1,500 rpm 0~100V FSD
	Switch	Lever Switch	Set speed	国産	Sleeve Locked Center Position only
	Switch Pressure Error	Push Button 2" Horizontal Edgewise	Meter Read Indicates L.P.	国産 SEI	3~0~3kg/cm ² -100~0c/s+100V
	Pressure Reference	*	Pressure Error Indicates Set L.P. Pressure	*	14~21kg/cm ² 0~100V FSD
	Switch	Lever Switch	Set Pressure	国産	Sleeve Locked Center Position only
	Switch	Push Button	Meter Read	国産	
15.	Core & Fuel Element Temp.	4" 2 Pen Rec.	Recording Selected Core or Fuel	Taylor	150~650°C 0~100V FSD
16.	L. P. Critical Pressure	4" Vertical Edgewise		SEI	14~21kg/cm ² 0~11V FSD

(2) 原子炉の初期状態は、-50mN(-50×10⁻⁵ δk) 臨界未満、原子炉出力は 1kW とした。

(3) 原子炉出力としては 1kW から数 MW の範囲を考えた。(臨界時の原子炉出力は数 kW と予想される。)

(4) 原子炉出力が小さいので、原子炉は核的動特性 (Neutron Kinetics) のみで模擬し、原子炉熱伝達系 (Reactor Heat Transfer) などは省略した。また、各種制御装置もすべて省略した。

(5) 模擬コントロールデスク、アラームパネルへの表示は、必要なものについて行なった。

3.3 基礎方程式

核的動特性は、方程式 (3.1), (3.2), (3.3) で表わされる。

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\delta k - \beta}{t_0} P + \sum_{i=1}^3 \lambda_i N_i + S \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{\beta_i}{t_0} P - \lambda_i N_i \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\delta k = -50 \times 10^{-5} + \kappa t \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

ここで、次の変形を行なう。

$$P = P_0 e^Q \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

$$C_i = \frac{N_i}{P} \quad i=1, 2 \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$R = \frac{S}{P} \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

この結果、方程式 (3.1), (3.2), (3.3) はそれぞれ次のようになる。

$$\frac{dQ}{dt} = \dot{Q} = \frac{\delta k - \beta}{t_0} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i C_i + R \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

$$\frac{dC_i}{dt} + C_i \times \dot{Q} = \frac{\beta_i}{t_0} - \lambda_i C_i \quad i=1, 2 \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

$$\frac{dR}{dt} + R \times \dot{Q} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.9)$$

各変量について初期状態からの偏差をとり、(添字 0 はその初期値、Δ は初期値からの偏差を示す。)

$$Q = Q_0 + \Delta Q \quad \dots \dots \dots (3.10)$$

$$C_i = C_{i0} + \Delta C_i \quad i=1, 2 \quad \dots \dots \dots (3.11)$$

$$R = R_0 + \Delta R \quad \dots \dots \dots (3.12)$$

$$\delta k = \delta k_0 + \Delta \delta k \quad \dots \dots \dots (3.13)$$

とすれば、

$$\frac{d\Delta Q}{dt} = \dot{Q} = \frac{\Delta \delta k}{t_0} + \sum_{i=1}^3 \lambda_i \Delta C_i + \Delta R \quad \dots \dots \dots (3.14)$$

$$\frac{d\Delta C_i}{dt} + (C_{i0} + \Delta C_i) \times \dot{Q} = -\lambda_i \Delta C_i \quad i=1, 2 \quad \dots \dots \dots (3.15)$$

$$\frac{d\Delta R}{dt} + (R_0 + \Delta R) \times \dot{Q} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.16)$$

$$\Delta \delta k = \kappa t \quad \dots \dots \dots (3.17)$$

となる。

定数値 $P_0 = 1 \text{ kW}$

$$Q_0 = 0$$

$$\delta k_0 = -50 \text{ mN} \quad (1 \text{ mN} = 10^{-5} \delta k)$$

$$\kappa = 0.72 \text{ mN/s}$$

各記号については付録 1 参照。

3.4 ブロック線図

3.3 節で誘導した方程式 (3.14)～(3.17) により原子炉を模擬した。そのアナログ計算機結線図は図 3.1 に示す。また、これによって得られた信号を模擬 コントロールデスク、アームパネルに導き、記録計、指示計、アラームなどを動作させる回路は、図 3.2 のブロッ

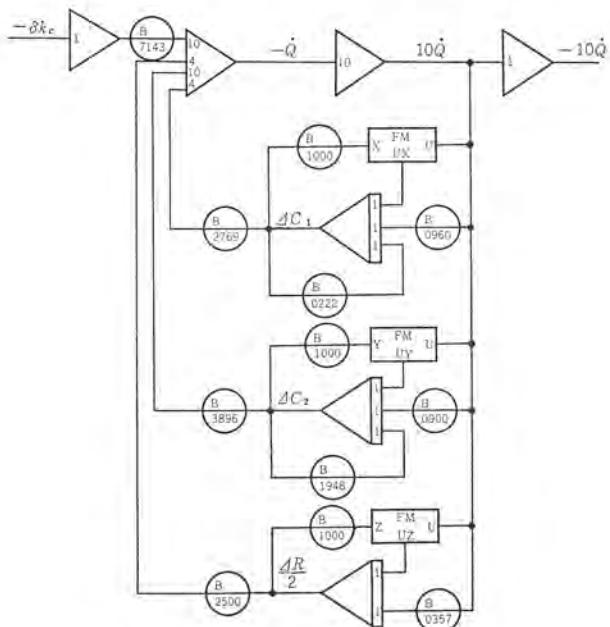


図 3.1 起動訓練回路 (1)
Fig. 3.1 Block diagram of start up training (1).

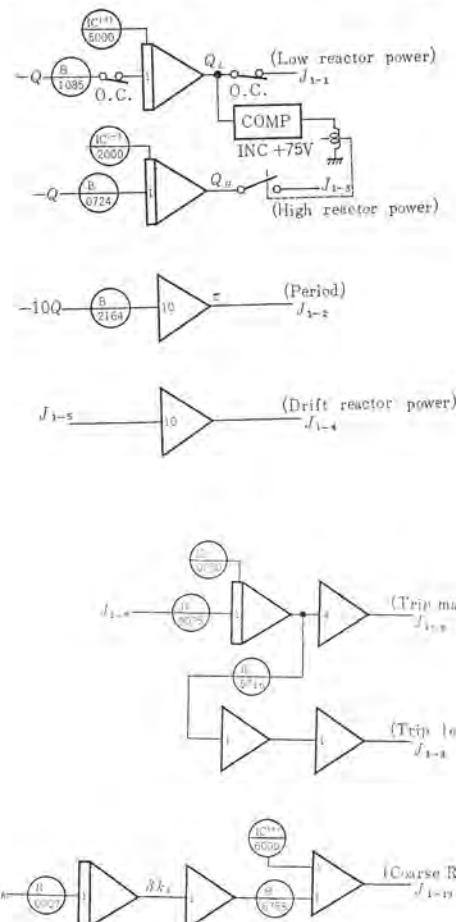


図 3.2 起動訓練回路 (2)
Fig. 3.2 Block diagram of start up training (2).

ク線図に示した。

4. アナコン解析の一例

このシミュレータのアナログ計算機は、通常の解析用として使用することができる。昭和 38 年 7 月末の据付完了以後昭和 39 年 12 月までの間に 20 余件の各種解析を行なってきたが、ここではその一例として、ガス循環機が 1 台事故により停止した場合の過渡応答解析について述べる。

4.1 解析の概要

解析の対象となる系を図 4.1 に示す。図からわかるように、この系には微調整棒制御装置* (Sector Control System) が設けられ、冷却材の出口温度 (チャネル出口ガス温度 T_{ro}) が常に一定に保たれるようにされている。

* この装置の概要については、電気学会雑誌 84, 1203, (昭) 39 年 8 月に紹介されている。

ここでは、原子炉が全出力で定常運転を行なっているときに、ガス循環機が 1 台事故により停止した場合を考えている。この際、冷却材である炭酸ガスの流量が減少し、冷却能力が低下する結果、燃料ウラン、燃料被覆、黒鉛スリーブなど原子炉各部の温度は上昇し、チャネル出口ガス温度も当然上昇する。このため、微調整棒が原子炉内にそう入され、原子炉出力は低下し、最終的には新たな冷却材流量を見合う原子炉出力に落ちつき、各部の温度も全出力時の値から下がった値となり、チャネル出口ガス温度は設定値にもどる。

ガス循環機 1 台停止に伴うこのような過渡現象を知り、それが微調整棒制御装置のコントローラの特性 (ここでは微調整棒最大駆動速度—Maximum Rate—) を変えることにより、どのように異なるかを知るのがこの解析の目的である。

なお微調整棒最大駆動速度 (Maximum Rate) としては、通常状態の値である 0.73 mN/sec のほか、0.35 mN/sec, 0.65 mN/sec, 0.85 mN/sec, 1.00 mN/sec, 1.30 mN/sec をとった。

4.2 おもな仮定

(1) 原子炉は 1 点近似で表わし、遅発中性子は 2 群で近似した。

(2) 諸定数は燃料サイクルが平衡に達した状態における、全出力運転時に対する値を採用した。

(3) チャネル入口ガス温度、主減速材温度は変動しないものとした。

(4) 微調整棒制御装置は、チャネル出口ガス温度を約 393°C に

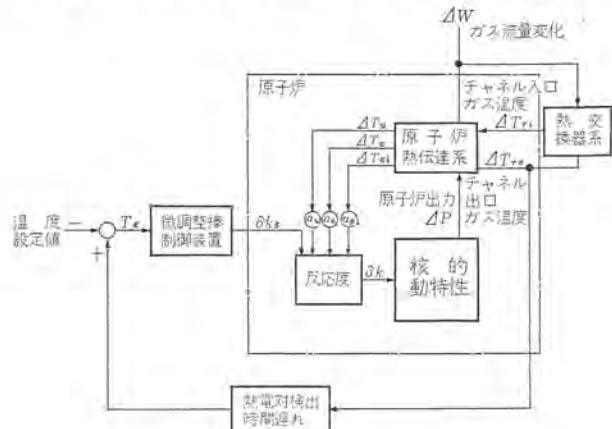


図 4.1 解析される系の概略
Fig. 4.1 System analysed.

保つよう動作するものとした。

(5) 微調整棒の反応度とその原子炉内そろ入量とは、直線的関係を有するものとした。

(6) ガス循環機 1 台停止の際、ガス流量は-22% ステップ状に変化するものとした。

4.3 基礎方程式

4.3.1 核的動特性

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\delta k - \beta}{t_0} P + \sum_{i=1}^9 \lambda_i N_i \quad (4.1)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{\beta_i}{t_0} P - \lambda_i N_i \quad i=1, 2 \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \delta k &= \delta k_0 + \delta k_s + \alpha_u (T_u - T_{u0}) + \alpha_a (T_a - T_{a0}) \\ &+ \alpha_{g1} (T_{g1} - T_{g10}) \\ &= \delta k_0 + \delta k_s + \alpha_u \Delta T_u + \alpha_a \Delta T_a + \alpha_{g1} \Delta T_{g1} \end{aligned} \quad (4.3)$$

4.3.2 原子炉熱伝達系

$$\frac{dT_u}{dt} = u_1 P - u_2 (T_u - T_a) \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_a}{dt} &= a_1 (T_u - T_a) - a_2 f_2 (T_a - T_{c1}) \\ &- a_3 [(T_a + 273)^4 - (T_{g1} + 273)^4] \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\frac{dT_{ul}}{dt} = u_{1l} P - u_{2l} (T_{ul} - T_{al}) \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_{al}}{dt} &= a_{1l} (T_{ul} - T_{al}) - a_{2l} f_2 (T_{al} - T_{cl}) \\ &- a_{3l} [(T_{al} + 273)^4 - (T_{cl} + 273)^4] \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_{g1}}{dt} &= g_1 P - g_2 f_3 (T_{g1} - T_{c1}) \\ &- g_3 f_4 (T_{g1} - T_{c2}) \\ &+ g_4 [(T_{g1} + 273)^4 - (T_{g2} + 273)^4] \\ &- g_5 [(T_{g1} + 273)^4 - (T_{g3} + 273)^4] \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$T_{c1} = \frac{c_{11} f_2 T_a + c_{12} f_3 T_{g1} + c_{13} W T_{r1}}{c_{11} f_2 + c_{12} f_3 + c_{13} W} \quad (4.9)$$

$$T_{c2} = \frac{c_{21} f_4 T_{g1} + c_{22} f_5 T_{g2} + c_{23} W T_{r1}}{c_{21} f_4 + c_{22} f_5 + c_{23} W} \quad (4.10)$$

$$T_{cl} = c_{11} T_{c1} - c_{21} T_{r1} \quad (4.11)$$

$$T_{r0} = c_{01} T_{c1} + c_{02} T_{c2} - c_{03} T_{r1} \quad (4.12)$$

4.3.3 微調整棒制御装置

図 4.2 に示す。

4.3.4 初期定常値

各変量の初期定常値は次のとおり。

$$P_0 = 585.0 \text{ MW}$$

$$\delta k_0 = 0 \text{ mN}$$

$$T_{u0} = 450.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{a0} = 395.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ul0} = 502.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{al0} = 447.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{g10} = 309.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{g20} = T_{g30} = 372.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c10} = 297.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{c20} = 312.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ct0} = 359.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{r00} = 392.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{r10} = T_{r1} = 203.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

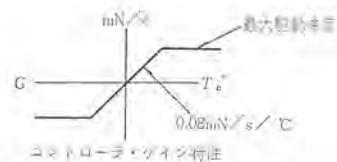
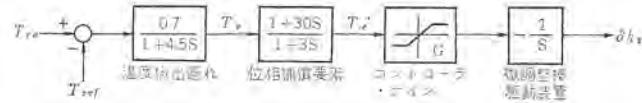


図 4.2 微調整棒制御装置
Fig. 4.2 Sector control system.

$$W_0 = f_{20} = f_{30} = f_{40} = f_{50} = 1$$

4.4 演算方程式

4.3 節にあげた方程式 (4.1)～(4.12) の係数に付録に示した数値を代入し、かつ各変量の初期定常値からの偏差についての方程式に変換すると次のようになる。

4.4.1 核的動特性

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta P}{dt} &= 714.3 \Delta \delta k \times (P_0 + \Delta P) - 3.473 \Delta P \\ &+ 0.02204 \Delta N_1 + 0.1930 \Delta N_2 \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\frac{d\Delta N_1}{dt} = 0.8321 \Delta P - 0.02204 \Delta N_1 \quad (4.14)$$

$$\frac{d\Delta N_2}{dt} = 2.641 \Delta P - 0.1930 \Delta N_2 \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} \Delta \delta k &= \delta k_s - 1.23 \times 10^{-5} \Delta T_u - 0.25 \times 10^{-5} \Delta T_a \\ &+ 3.25 \times 10^{-5} \Delta T_{g1} \end{aligned} \quad (4.16)$$

4.4.2 原子炉熱伝達系

$$\frac{d\Delta T_u}{dt} = 0.04288 \Delta P - 0.4570 (\Delta T_u - \Delta T_a) \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta T_a}{dt} &= 0.7334 (\Delta T_u - \Delta T_a) - 0.3513 (\Delta T_a - \Delta T_{c1}) \\ &- [(\Delta T_u + 668.5)^4 - (\Delta T_{g1} + 582.3)^4] + 5.585 \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$\frac{d\Delta T_{ul}}{dt} = 0.04312 \Delta P - 0.4570 (\Delta T_{ul} - \Delta T_{al}) \quad (4.19)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta T_{al}}{dt} &= 0.7334 (\Delta T_{ul} - \Delta T_{al}) - 0.3929 \times (\Delta T_{al} - \Delta T_{cl}) \\ &- [(\Delta T_{al} + 720.6)^4 - (\Delta T_{cl} + 632.9)^4] \\ &+ 5.777 \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta T_{g1}}{dt} &= 5.315 \times 10^{-5} \Delta P - 0.01475 (\Delta T_{g1} - \Delta T_{cl}) \\ &- 1.730 \times 10^{-3} (\Delta T_{g1} - \Delta T_{c2}) + 9.101 \times 10^{-13} [(\Delta T_a \\ &+ 668.5)^4 - (\Delta T_{g1} + 582.3)^4] - 1.521 \times 10^{-12} (\Delta T_{g1} \\ &+ 582.3)^4 + 0.1326 \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$\Delta T_{c1} = 0.4369 \Delta T_a + 0.1415 \Delta T_{g1} + 4.629 \quad (4.22)$$

$$\Delta T_{c2} = 0.3186 \Delta T_{g1} - 2.209 \quad (4.23)$$

$$\Delta T_{cl} = 1.661 \Delta T_{c1} \quad (4.24)$$

$$\Delta T_{r0} = 1.940 \Delta T_{c1} + 0.060 \Delta T_{c2} \quad (4.25)$$

4.5 ブロック線図

4.4.1, 4.4.2 項で誘導した方程式のブロック線図は図 4.3～4.5 に示す。(時間軸は 1:10 に縮めてある。)

4.6 解析結果

解析結果は図 4.6 (a)～(f) に示す。この結果を要約すると次

のとおりである。

(1) 図 4.8 は東海発電所原子炉の実際のコントローラゲイン特性に相当するものである。事故発生直後のチャネル出口ガス温度の上昇は 9.5°C で、20 sec 後には 24.3°C となっている。このため、過渡現象初期においては、最大駆動速度 (0.73 mN/s) で微調整棒はそう入される。一方、燃料ウラン、燃料被覆、黒鉛スリーブの温度も上昇している。これらの反応度温度係数は、それぞれ $-1.23 \text{ mN/}^{\circ}\text{C}$, $-0.25 \text{ mN/}^{\circ}\text{C}$, $+3.25 \text{ mN/}^{\circ}\text{C}$ で、黒鉛スリーブのみ正であり、しかもその絶対値は他より大きいが、燃料ウラン、燃料被覆の温度上昇が黒鉛スリーブのものよりかなり大きいため、温度変動とともに反応度変化は過渡現象初期においては全体として負となっている。このように微調整棒制御装置の働きと、温度効果により原子炉出力は漸次減少してゆく。

こうして原子炉出力が低下してゆくため、過渡現象初期 (約 20 sec) を過ぎると燃料ウラン、燃料被覆、チャネル出口ガスの温度は減少し、それぞれ 60 sec, 100 sec, 160 sec 後には初期定常値よりも低くなる。

以上のような過程を経て微調整棒による反応度変化と、各部の温度変動に伴う反応度変化がつりあつた状態で過渡現象は終わり、原子炉出力、各部の温度などは新たな定常値におちつく。この定常値は、原子炉出力 (ΔP) -134 MW 、燃料ウラン温度

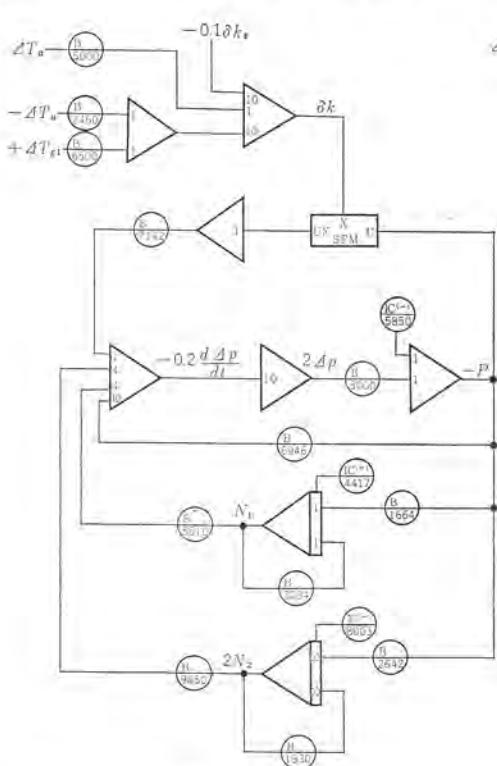


図 4.3 核的動特性模擬回路
Fig. 4.3 Neutron kinetics simulator.

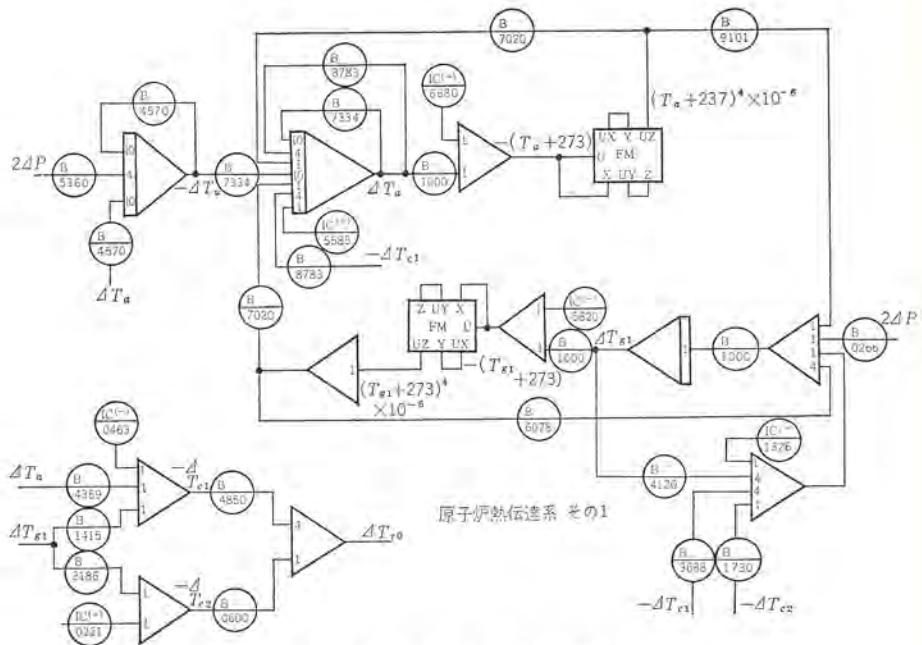


図 4.4 原子炉熱伝達系模擬回路 (1)
Fig. 4.4 Reactor heat transfer simulation (1).

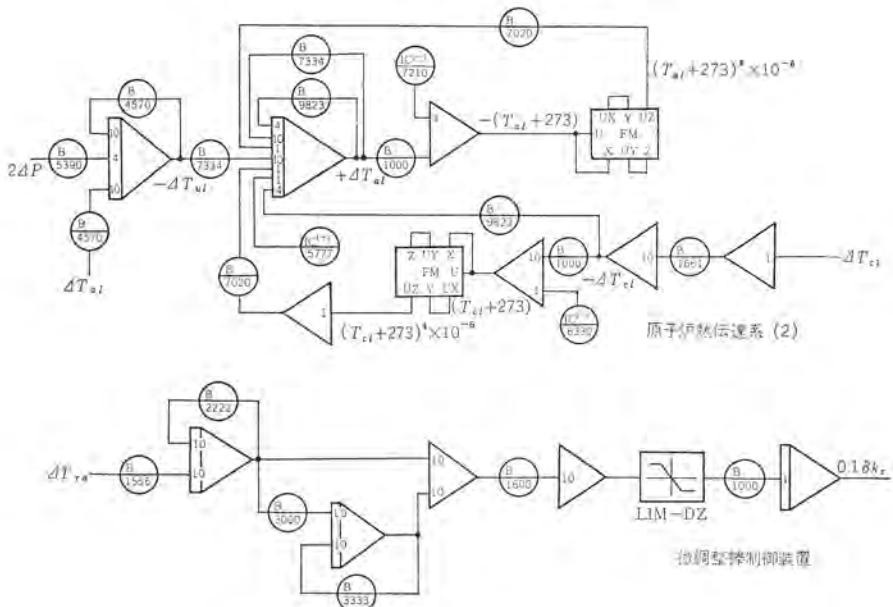


図 4.5 原子炉熱伝達系および微調整棒制御装置模擬回路
Fig. 4.5 Simulation circuits of reactor heat transfer and sector rod controller.

$(\Delta T_{ul}) - 23.0^{\circ}\text{C}$, 燃料被覆温度 $(\Delta T_{al}) - 10.0^{\circ}\text{C}$, 微調整棒反応度 $(\delta k_s) - 38.5 \text{ mN}$ である。

(2) 最大駆動速度が異なっても 4.6 節 (1) に述べたと同じような現象を示し、各変量の最終値も変わりない。ただし最大駆動速度が大きい程各部温度の過渡的な変動は小さく、また、原子炉出力が最終値におちつくに要する時間 (過渡現象の継続時間) も短い。これらのことからを表 4.1 にまとめた。

5. むすび

東海発電所に設置された原子力発電所 シミュレータについて、装置の概要とその運用状況の一端を示した。

最後にまとめとして、このようなシミュレータの効用について述

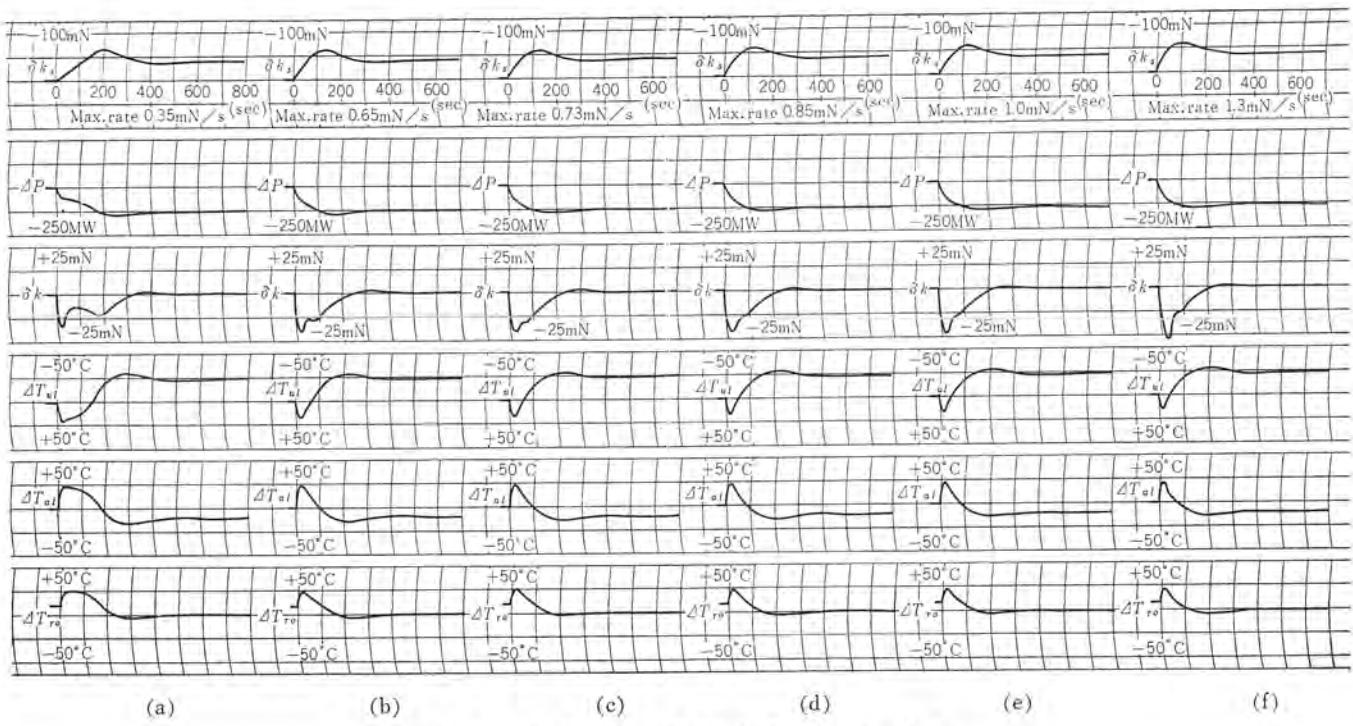


図 4.6 解析結果

Fig. 4.6 Results of analysis.

表 4.1 解析結果

最大駆動速度 (Max. Rate)	ΔT_{ue} の 最大値 (°C)	ΔT_{ae} の 最大値 (°C)	ΔT_{re} の 最大値 (°C)	過渡現象の 維持時間 (sec)
0.35 mN/s	19.3	24.5	25.8	430
0.73 mN/s	17.3	23.5	24.5	395
1.30 mN/s	15.0	21.5	23.5	320

べ稿を閉じることとしたい。

まず、訓練用の場合について考えると、

(1) 実物原子炉のように X_e 蓄積効果を考慮しなくてよいから、任意のときに起動、停止、事故発生などの模擬が可能であり、訓練期間を短縮できる。

(2) 実感を伴った訓練が可能である。

(3) 実物原子炉ではとうてい不可能な事故発生時に、生徒がとった処置を繰り返し再現できるので理解が容易である。

(4) 異常事故に対する訓練も安全かつ適切に実施できる。

(5) 経済的である。

解析用としての効用を考えるとき、前記(1)、(4)などは重複するが、それ以外に

(6) 制御対象である原子炉の動特性を容易に解析できるから、炉の安全度のチェックができる、さらに得られたデータを基にして、よりよい制御方式を検討することが可能である。

参考文献

- 馬場・大鳥羽・柴谷・松本: MELCOM 精密低速度形 アナログコンピュータ(1), 「三菱電機」, 33, No. 12 (昭 34).
- 馬場・大鳥羽・柴谷・松本・桑田: MELCOM 精密低速度形 アナログコンピュータ(2), 「三菱電機」, 34, No. 3 (昭 35).
- 馬場・大鳥羽・柴谷・桑田 多田: MELCOM 精密低速度形 アナログコンピュータ(3), 「三菱電機」, 35, No. 6 (昭 36).
- 大鳥羽・柴谷・桑田・持田: 大形 アナログ計算機の最近の進歩(その 1), 「三菱電機技術」38, No. 5 (昭 39).
- 柴谷・持田・井塚: 大形 アナログ計算機の最近の進歩(その 2), 「三菱電機技術」38, No. 6 (昭 39).

付 錄

1 記号

δk	原子炉反応度
δk_s	微調整棒反応度
α	反応度温度係数
燃料 ウラン	$\alpha_u = -1.23 \text{ mN/}^{\circ}\text{C}$
燃料被覆	$\alpha_a = -0.25 \text{ mN/}^{\circ}\text{C}$
黒鉛 スリーブ	$\alpha_g = +3.25 \text{ mN/}^{\circ}\text{C}$
κ	反応度変化率 $\kappa = 0.72 \text{ mN/s}$
P	原子炉出力
N_1, N_2	遅発中性子の先行核濃度

β_1, β_2 遅発中性子の割合

$$\beta_1 = 0.001165$$

$$\beta_2 = 0.003697$$

λ_1, λ_2 遅発中性子の崩壊定数

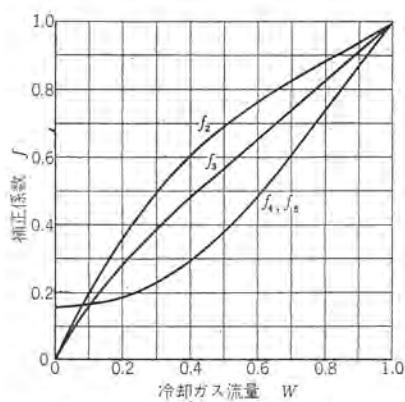
$$\lambda_1 = 0.02204 \text{ sec}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 0.1930 \text{ sec}^{-1}$$

t_0 中性子の寿命

$$t_0 = 0.0014 \text{ sec}$$

s 中性子源の強さ



付図 1 热伝達係数の補正
Fig. 1, Correction of heat transfer coefficients.

$$Q = \log \frac{P}{P_0}$$

$$c_1, c_2 = \frac{c_1}{P}, \frac{c_2}{P}$$

$$R = \frac{s}{P}$$

T_u 燃料 ウラン 平均温度

T_{ul} T_{at} が生ずる断面の燃料 ウラン 温度

T_a 燃料被覆平均温度

T_{at} 燃料被覆最高温度

T_{g1} 黒鉛 スリーブ 平均温度

T_{g2} 黒鉛 ブロック 平均温度

T_{c1} 黒鉛 スリーブ 内の冷却 ガス 平均温度

T_{c2} 黒鉛 スリーブ 外の冷却 ガス 平均温度

T_{ci} T_{at} が生ずる断面の黒鉛 スリーブ 内冷却 ガス 平均温度

T_{ri} チャネル 入口 ガス 温度

T_{ro} チャネル 出口 ガス 温度

W 原子炉冷却 ガス の流量

f 热伝達係数の冷却 ガス 流量に対する補正係数
(付図 1 に示す)

2 係数の値

$$u_1 = 0.04288$$

$$u_2 = 0.4570$$

$$a_1 = 0.7334$$

$$a_2 = 0.4023$$

$$a_3 = 7.020 \times 10^{-12}$$

$$u_{1l} = 0.04312$$

$$u_{2l} = 0.4570$$

$$a_{1l} = 0.7334$$

$$a_{2l} = 0.4500$$

$$a_{3l} = 7.020 \times 10^{-12}$$

$$g_1 = 5.315 \times 10^{-5}$$

$$g_2 = 0.01791$$

$$g_3 = 0.002413$$

$$g_4 = 0.9101 \times 10^{-12}$$

$$g_5 = 1.521 \times 10^{-12}$$

$$c_{11} = 6.302$$

$$c_{12} = 2.164$$

$$c_{13} = 6.808$$

$$c_{21} = 1.025$$

$$c_{22} = 1.387$$

$$c_{23} = 0.7406$$

$$c_{1l} = 1.661$$

$$c_{2l} = 0.6609$$

$$c_{o1} = 1.940$$

$$c_{o2} = 0.060$$

$$c_{o3} = 1.000$$

モレクトロン計算機

市田嵩*・三輪進*・河野隆一*
小野義文*・北村啓郎*

MOLECTRON Computers

Kamakura Works

Takashi ICHIDA・Susumu MIWA・Ryūichi KŌNO
Yoshifumi ONO・Keirō KITAMURA

As digital computers for special purposes small sized ones having lightweight and resistance against the environmental changes have come into demand.

On the other hand MOLECTRON, a small size circuit element, has been under development in Mitsubishi, whereby a computer operating on it has come into being. The outlines of MOLECTRON computer are enumurated belows.

Word structure.....18 bits, arithmetics.....parallel synchronized, clock frequency.....1 Mc, numbers of MOLECTRON used850, memory device.....ferrite core, memory capacity.....4,096 words, memory cycle time.....3 μ s.

In this paper are described the MOLECTRON employed and the computer circuit structure as the main topics.

1. まえがき

特殊用途のデジタル計算機として、屋外使用可能のもの、車載用のもの、航空機・ロケットとう載用のものなどに対する需要が、防衛面、航空宇宙面から起りつつある。

これらの用途において共通の要求条件として

- (1) 小形・軽量であること
- (2) 耐環境性を有すること
- (3) 実時間用であること

があげられる。

(1) 項は可搬形でなければならないこと、あるいはどう載するスペースが制限されることから起る要求であり、(2) 項は温度・湿度変化、振動、衝撃、可速度、降雨がある所でも使用しなければならないということから起るものである。(3) 項は用途面から考えて当然要求される事項である。

モレクトロン計算機は、このうちとくに(1) 項についての考慮に重点をおいて開発したものであり、論理素子として、当社が開発している超小形回路“モレクトロン”を使用している。(2) 項については部品の選定時の設計条件として取り入れたが、機器全体としては耐熱性以外は考慮外とした。(3) 項は並列演算を行なって高速化することを心がけた。

以下モレクトロン、計算機諸元、回路構成、プログラムの順でこの計算機について述べるが、とくに使用したモレクトロンと計算機回路の基本的な設計方針に重点をおいて紹介することとする。

2. 論理素子としてのモレクトロン

2.1 モレクトロン

モレクトロンとは Molecular Electronics 技術で製作された超小形回路の当社の商品名である。超小形回路の方式としては一般に組立回路、薄膜回路および固体回路の3種に分類される。この計算機の論理素子としては組立回路を用いたが、他の回路についても合わせて紹介する。

(1) 固体回路

現在のところ超小形回路の最終的な姿はこの方式であろうといわれている。ウェスチングハウス社が最初に Molecular Electronics 製

品として発表した回路もこの固体回路によっている。固体回路は現在ほとんど全部といってよいほどシリコンの基板上にトランジスタ、ダイオード、抵抗、コンデンサなどをラジア技術で作りこむ方法がとられている。この方法は現在のトランジスタ製造技術がそのまま生かせること、内部接続の少ないこと、酸化膜で表面がおおわれ安定であることなどにより高い信頼性と量産性を持ち、価格の面でも近い将来一般のトランジスタと大差なくなるのではないかと思われる。欠点としては抵抗コンデンサなどの回路定数に制限があること、精度が高くとれないこと、さらに半導体の本質的な問題として温度変化が大きいことなどがある。このため現在では主としてデジタル回路のような定数の変化に比較的鈍感な回路が固体回路化され、アメリカでは一部実用化された。

(2) 薄膜回路

この回路方式はその名称のように各素子を薄膜で構成し、二次元的な配置として超小形化を図ろうとするものである。現在のところ、能動素子だけは超小形化されたトランジスタを外付けにする方法がとられているが、抵抗コンデンサなどは真空蒸着法により作られている。この回路の特長は固体回路と比較した場合、回路設計上の自由度が大きくかつ温度特性なども良好であるのでやや複雑な回路やアナログ的な回路に有利であると考えられるが、一方信頼性、量産性の点では固体回路に一步を譲るものと考えられる。将来の方向としては、固体回路と併用したハイブリッド回路や多層薄膜回路などに進むものと思われる。

(3) 組立回路

組立回路は超小形化された各素子を適当な方法で接続し、小形のカンなどに高密度組立を行なったものである。この方法が前2者と根本的に異なるところは、使用する各部品が単体として最も適当な方法で作られているため、回路的には最高の性能を発揮できる点にある。一方欠点としては小形化の程度が小さいこと、内部結線が多く信頼性が低いこと、量産性が低く価格もあまり安くならないことなどがあげられる。以上のことよりこの回路方式は、将来は前2者にとって代わられる立場にあるが、現時点で考えたとき使用する数があまり多くなく、小形化の程度もあまり高くな(たとえば一般品の1/10程度)試作機には前2者を用いるより逆に安価で実現性があるといえる。

2.2 モレクトロンの設計方針

一般に超小形化された論理回路を考えるとき、通常の論理回路に比べてその種類を少なくし、かつ回路を極力簡単なものにするよう設計しなければならない。したがって比較的回路が簡単でそれ自身増幅作用を持つ形式—NOR回路、NAND回路—がとくに適しているように思われる。

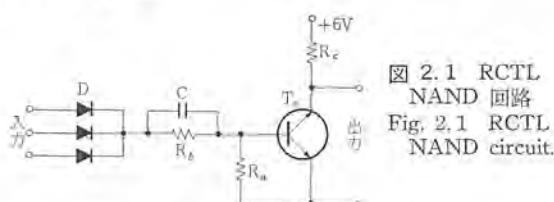
NAND回路の中にも下記のような種類の方式があり、その優劣論はここでは省略するが、この計算機では入力ダイオードを使用したRCTL回路を採用した。

- (a) DCTL回路 (Direct Coupled Transistor Logic)
- (b) DTL回路 (Diode Transistor Logic)
- (c) TTL回路 (Transistor Transistor Logic)
- (d) RTL回路 (Resistor Transistor Logic)
- (e) RCTL回路 (Resistor Capacitor Coupled Transistor Logic)

RCTL NAND回路を図2.1に示す。

図において、Dは入力分岐数(Fan In)を多くするとともに入力側での相互干渉を防ぐためのシリコンダイオード、 R_b はベース直列抵抗、Cはスピードアップコンデンサ、 R_c は負荷抵抗を表す。また R_a はトランジスタ T_R の蓄積された少数キャリヤを逃がすための通路となるもので、回路の高速化の役割を果す。

この計算機の論理回路としては図2.1のNAND回路のほかに記憶素子として用いるためのフリップフロップ(FF)回路、電流増幅用としてエミッタフォロア(EF)回路を用いた。以下主としてNAND回路を中心として、設計の基準、動作の概要、実験の結果などについて述べる。



(1) NAND回路

図2.1に示すNAND回路を設計するにあたって、外部から与えられる条件と回路内の問題の二つにわけて検討する。

外部から与えられる条件としては、第1にスイッチングスピードがある。これは計算機の演算速度により決定されるものであり、この要求を満たすように基本回路を設計しなければならない。後述するようにこの計算機は、クロック周波数1Mcで動作する並列形であるから、基本回路としては1Mcに比べて相当早い、スイッチングスピードを必要とする。どの程度あればよいかは論理設計によって異なるが、1段あたり30ns程度とすれば相当複雑な論理を組むことができる。

第2に入力分岐数(Fan In)と出力分岐数(Fan Out)がある。これも論理設計によって種々変化する。Fan Inは図2.1の回路構成をとる限り、単に入力側のダイオードの数を増すだけで回路的に大きな問題はない。しかしFan Outはトランジスタの電流増幅率と密接な関係があり、むやみに大きくするわけにはいかない。論理設計の経験上並列形回路は直列形回路に比べFan Outが多いことが要求されるが、それでも5以上を必要とする部分は少ない。たまたま必要なところには電流増幅用としてEF回路を用いることで解決できる。

第3に電源電圧であるが、これは電圧値よりもその種類が問題

になる。とくに超小形化を行なう手段としてプリント配線を採用する場合、複雑な論理回路を構成しようとすると電源の種類が少ないほど好つごうである。したがってここでは+6V 1種類とした。電源の変動は直接論理レベルの変動に影響するので±5%以下に抑えることとした。

回路内の問題としては第1に論理レベルの問題がある。このような飽和形回路においては電源電圧かアース電位かで“0”か“1”を表わすことになりここでは高電位を“0”，ゼロ電位を“1”として図2.1をNAND回路として取り扱っている。論理レベルは大きければ大きいほど、対雑音性などの点で有利であるが、トランジスタの特性やスイッチングスピード、消費電力の点で不利であり+6Vを選択した。実際には論理値“0”“1”を表わす電圧の範囲を規定しなければならないが、これは各回路定数や環境条件の最悪設定値に対しても回路がなおかつ飽和スイッチの動作を行なうよう定められる。

第2はスイッチングスピードの問題である。ここでは使用するトランジスタの特性がとくに重要であり、その他入力ダイオードDおよびスピードアップコンデンサCの値などが影響を与える。トランジスタは f_T が高く、コレクタ飽和電圧の低い高速スイッチング用を用いるのは当然であるが、とくに蓄積時間 t_s の短いものを使用する。ダイオードDは、トランジスタの蓄積電荷をスピードアップコンデンサCを通して放電するため、ある程度逆回復時間の大きいものがよい。Cの値はそれに蓄えられる電荷がトランジスタの蓄積電荷より大きく、かつ CR_b の時定数が回路の繰り返し周波数より小さくなるように選ぶ。図2.2に種々のCの値に対するスイッチングスピードの実験結果を示す。この結果明らかのように、ある一定値以上Cの値を大きくしてもスイッチングスピードは改善されない。

以上のような諸条件を考慮して抵抗値コンデンサの値、トランジスタの電流増幅率 H_{fe} 、最適な論理電圧などを決定する。決定の式はここでは省略するが、最終結果を示すと次のようになる。

$$H_{fe} \geq 80 \text{ 以上}, R_a \geq 6.8 \text{ k}\Omega, R_b \geq 6.8 \text{ k}\Omega, R_c \geq 680 \Omega,$$

$$C \geq 22 \text{ pF}$$

$$\text{論理電圧 “0” } +4.0 \sim 6.3 \text{ V } \text{ “1” } 0 \sim 0.5 \text{ V}$$

なおトランジスタの蓄積時間は40ns以下、ダイオードの逆回復時

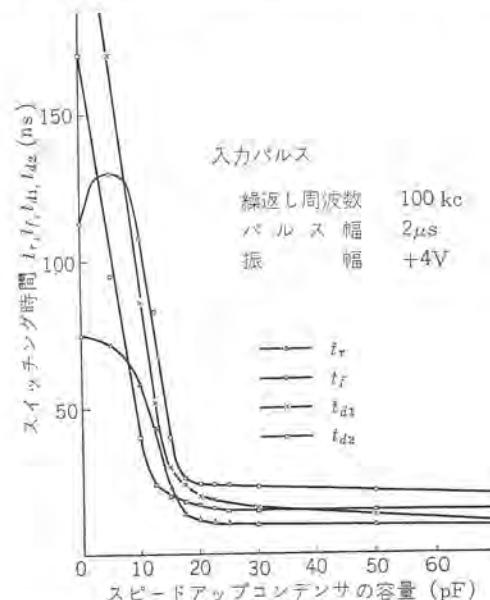


図2.2 スピードアップコンデンサ容量とスイッチング時間の関係
Fig. 2.2 Relations between speed up condenser capacitance and switching time.

間 100~250 ns の組み合わせで、所定のスイッチング時間が得られる。

(2) FF 回路

フリップフロップ回路は、論理回路中でも情報の一時記憶素子として欠くことのできないものである。一般に NOR 回路数個を適当に組み合わせることにより可能であるが、ここではとくに回路の使用数を少なくするため専用の回路を設計した。仕様の詳細は表 2.2 に示すが、この FF 回路はクロックパルスに同期して動作する同期式で、セット入力端子に信号が入れば 1 クロックタイム後に FF はセットされる。リセットも同様である。

(3) EF 回路

前述の NAND, FF はそれぞれ Fan Out を 5 および 4 までしかとれないので、それ以上分岐数を多くとりたいときはこのエミッタフォロアを用いる。仕様の詳細は表 2.3 に示すが、普通の回路であり電流利得はほぼトランジスタのそれに等しい。この回路の Fan Out は 10 であるがこの程度に負荷が大きくなってくると、その容量分のため出力波形の立ち下がりがにぶって、スイッチング時間が大きくなる。これを防ぐためトランジスタのエミッタベース間にダミオードを入れ、これを入力側に放電させてスイッチング時間の増加を防いでいる。この回路は動作中は飽和状態になることがない。トランジスタに要求される性能としては前 2 者に比べて低くてもよい。

2.3 モレクトロンの仕様

以上のような設計方針で定められた各モレクトロンの仕様を次に示す。

(1) NAND 回路

モレクトロン名称 5NRO3C の仕様を表 2.1 に示す。

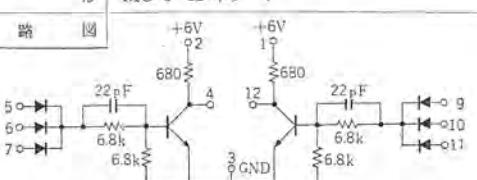
(2) FF 回路

モレクトロン名称 5FFO1C の仕様を表 2.2 に示す。

(3) EF 回路

モレクトロン名称 5EFO1C の仕様を表 2.3 に示す。表中外形 MO-

表 2.1 NAND 回路 5NRO3C の仕様

項目	性能
1 形名	5NRO3C
2 外形	MO-5 12 本リード
3 回路図	
4 動作周囲温度	-20°C ~ +60°C
5 電源電圧	+6.0V ± 5%
6 電気的特性	5NRO3C または 5NRO4C 5FFO1C (Set Reset 入力) 5EFO1C
1 FAN OUT	$V_0: 0 \sim +0.5V$ $V_1: +4.0 \sim +6.0V$
2 出力電圧	ターンオフ時間 150 (ns) 以下 ターンオン時間 150 (ns) 以下
3 スイッチング時間	$V_0: 0 \sim +0.5V$ $V_1: +4.0 \sim +6.3V$
4 入力電圧	最小パルス幅 0.1 μs パルス振幅 -4.0 ~ -6.3V
5 クロックパルス	環境試験 MO-1 による
7 環境試験	

5 は約 $12\phi \times 4.5$ mm で 12 本のリードを持つカンである。

なおモレクトロンに対しては次のような環境試験を行なっている。これは表中に記した環境試験規格 M-01 (社内規格) の抜粋である。

(a) 温湿試験	65°C, 98%, 48 h
(b) 熱衝撃試験	MIL-STD-1952 METHOD 1056B
(c) 落下試験	JIS-C-7030, 1961
(d) 電流エージング	25°C, 48 h
(e) リーク試験	10^{-6} cc/sec
(f) 温度サイクル試験	最高 最低温度間 5 サイクル
(g) 温度特性	最高 最低温度における特性
(h) 振動疲労試験	JIS-C-7030, 1961
(i) ハンダ浸し試験	JIS-C-7030, 1961
(j) 高温動作寿命試験	最高温度 1,000 h

このうち (a)~(e) 項は全数、(f) 項以降は抜取り試験を行なっている。 (j) 項では 24 個の供試品を 85°C, 1,000 h 試験し、

表 2.2 FF 回路 5FFO1C の仕様

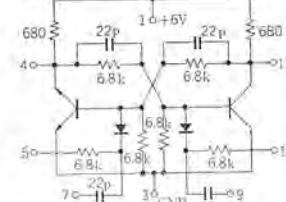
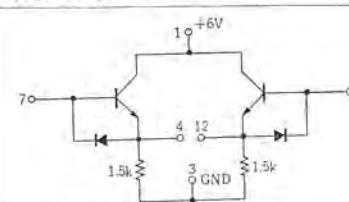
項目	性能
1 形名	5FFO1C
2 外形	MO-5 12 本リード
3 回路図	
4 動作周囲温度	-20°C ~ +60°C
5 電源電圧	+6.0V ± 5%
6 電気的特性	5NRO3C または 5NRO4C 5FFO1C (Set Reset 入力) 5EFO1C
1 FAN OUT	$V_0: 0 \sim +0.5V$ $V_1: +4.0 \sim +6.0V$
2 出力電圧	ターンオフ時間 150 (ns) 以下 ターンオン時間 150 (ns) 以下
3 スイッチング時間	$V_0: 0 \sim +0.5V$ $V_1: +4.0 \sim +6.3V$
4 入力電圧	最小パルス幅 0.1 μs パルス振幅 -4.0 ~ -6.3V
5 クロックパルス	環境試験 MO-1 による
7 環境試験	

表 2.3 EF 回路 5EFO1C の仕様

項目	性能
1 形名	5EFO1C
2 外形	MO-5 12 本リード
3 回路図	
4 動作周囲温度	-20°C ~ +60°C
5 電源電圧	+6.0V ± 5%
6 電気的特性	5NRO3C または 5NRO4C 5FFO1C (Set Reset 入力)
1 FAN OUT	$V_0: 0 \sim +0.5V$ $V_1: +4.8 \sim +6.3V$
2 出力電圧	環境試験規格 M-01 による
3 環境試験	

No Failure であった。

3. 諸 元

(1) 構 成

計算機本体および電源からなる。

入出力装置として タイプライタ、テープリーダ、テープパンチャを有する。写真を図 3.1 に示す。

(2) 尺 法

本 体 幅 540×奥行 400×高さ 340 mm

電 源 幅 350×奥行 400×高さ 340 mm

(3) 語構成 数値・命令とも 18 bit
負数は補数表示

(4) アドレス 方式 1 アドレス

(5) 演算 方式 並列・同期式
クロック 周波数 1 Mc

(6) 命令の種数 29

(7) 記憶装置 磁気コア 4,096 Words
サイクルタイム 3 μ s

(8) 演算遂行時間 加減算 10 μ s
乗除算 47 μ s

(9) 耐環境性 耐温以外とくに考慮していないが、若干の寸法増加で改変可能の予定



図 3.1 モレクトロン 計算機
(左から タイプライタ、本体、電源、テープリーダ)

Fig. 3.1 MOLECTRON computer (from left to right: Typewriter, processor, power supply and photo tape reader).

4. 回路構成

4.1 概 要

この計算機の意図された用途から考えて、回路構成上とくに考慮された問題は、計算機に要求される高速性と小形と高信頼性とをその使用目的に配慮しつつ、どういう形で妥協させ実現するかということであった。

以下に考慮したおもな点につき列挙する。

(1) 並列対直列演算方式

小形化と高信頼性を得るために、構成回路 ユニット 数を減ずることが第1であり、その点では並列よりも直列演算方式のほうが有利であるが、演算速度の面からすれば同じ クロック 周波数でははるかに不利であり、そのために クロック 周波数をあげて十数 Mc を用いることは、きびしい環境における使用をも考えると、まだ十分高い信頼性を保証できるとはいがたい。

また記憶装置に対する random access をコアメモリによって得ようとすれば、直列方式との組み合わせにおいては直並列変換など種々の余分な制御回路を必要とすることになるので、実質的に素子数を大幅に減ずるということは必ずしも望み得ない。

以上の考察から、採用したのは クロック 周波数 1 Mc、メモリサイクル 3 μ s の並列演算方式である。

(2) 演算および制御方式

並列演算方式を採用してなお素子数を減ずるために、制御回路の単純化が必要で、そのため演算および制御の命令語は十分整

理して基本的に必要なものに限りたい。制御方式については、Micro Programming 技術を徹底的に採用することは制御回路の簡単化に非常に役立つが、一方記憶装置を占有する度合いの大きいことと、速度のことも考え合わせて、この計算機では機械語として実現できる命令を減じて通常の制御方式を採用し、その代わり Double Precision や浮動小数点の演算などが、通常の Sub-routine 的な扱いよりも簡単な方法で実現できる Multiple-Sequence-Control 方式を用いた。

(3) 入出力および割込制御

この計算機の用途から考えて、接続する入出力機器は タイプライタ、テープリーダ、テープパンチャ 程度であり、その他は特定の用途によって異なる特殊の データチャネル と考えてよい。各入力機器、各出力機器お互いはとくに並列動作させる要求はないが、いずれの動作も 1 動作ごとに比較的長時間を要するものであるので、主演算と入力および出力動作間は独立に制御され、いわゆる入、出力の“おいてけぼり制御”は是非必要だと思われる。この目的のためにも前述の Multiple-Sequence-Control 方式を活用した。特殊の データチャネル については外部に適当な パッファ 装置（外部記憶装置を含むこともあり得る）が存在することを予想し、外部からの割込信号と計算機からの命令による入出力制御を可能にした。

(4) 演算素子

当社で超小形回路としての モレクトロン が開発されているので、小形化、高信頼性、耐環境性の点から当然これを使用した。1 個の NAND 回路が、一つの トランジスタ に匹敵しうる信頼性を保証しうることの、計算機全体の信頼性への寄与は非常に大きいものがある。演算基本回路は種類の単純化をはかるため NAND に統一し、その他必要に応じて FF, EF を用いた。これらについての詳細は 2 章に述べたとおりである。この計算機に使用した モレクトロン の数は約 850 個である。

4.2 全体の構成

計算機全体の構成と、外部装置との関係を示す ブロック 線図を図 4.1 に示す。図からも明らかなように、この計算機は各レジスタの出力をまとめた バス が、入力をまとめた バス に各種演算をつかさどる OPERATOR を介して接続し、1 レジスタ または記憶装置から他 レジスタ または記憶装置への情報の transfer が、OPERATOR

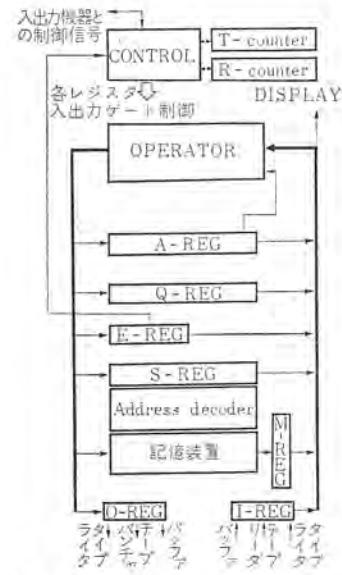


図 4.1 計算機 ブロック 線図
Fig. 4.1 Computer block diagram.

によって modify されつつ、1 クロック時間 ($1 \mu s$) 内に終了するという形式となっている。

以下各ユニットについて簡単にしるす。

(1) OPERATOR

ADD, SUBTRACT, COLLATE (論理積), 2, 4 発生, ADD1, RIGHT SHIFT, LEFT SHIFT などの演算機能を 18 bit 並列に行なう。

(2) A-REG

18 bit の演算用レジスタで、加減算においてはその被加数または被減数をたくわえ、またその結果を覚えるものである。乗算においては積の上位ケタ、除算においては被除数をたくわえる。論理積を作るときにもこのレジスタの内容と、記憶装置から読み出された内容の間で行なわれる。

(3) Q-REG

18 bit のレジスタで、乗算のときの乗数および積の下位ケタ除算のときの商を記憶するのに用いられる。

(4) S-REG

メモリのアドレス選択のため 12 bit を記憶するレジスタ。

(5) E-REG

命令語の instruction 部分 5 bit を一時記憶するレジスタ。

(6) INPUT-REG

タイプライタ、テープリーダ、パッファとみなす他のユニットからの入力情報を、一時記憶する 6 bit のレジスタ。

(7) OUTPUT-REG

タイプライタ、テープパンチャ、パッファほかのユニットへの出力情報 8 bit を一時記憶するレジスタ。内 2 bit は特殊（改行、復帰など）の機能を示すためのコントロールビットである。

(8) M-REG

メモリから読み出された情報 18 bit を一時記憶するレジスタ。

(9) 制御回路

タイミング用 3 bit の T-Counter、乗除算のときの回路カウントのための R-Counter、その他おもにゲート制御信号を発生する回路からなる。

4.3 演算回路

4.1 節で述べた考え方従い、機械語で直接扱い得る演算は必要不可欠な最小限のものとした。すなわち基本演算は 18 bit の固定小数点加減乗除であり演算回路もこれに相応する。

(1) 加減算回路

記憶装置から読み出された M-REG の内容と、A-REG の内容とが OPERATOR により加減算され結果が A-REG にたくわえられる。加算回路は 1 Mc の並列演算では回路的にとくに難点もないで、最も単純な Simple Ripple Through Adder を用いた。加減算のオーバフローを検出する回路であり、Test 命令で調べられてリセットされる。

(2) 乗算回路

Q-REG の内容と記憶装置から読み出された M-REG の内容とが乗せられ、結果の 35 bit が A-REG と Q-REG に入れられる。乗算は Q-REG の内容を 1 bit ずつ右に shift しつつ、その LSB の 0, 1 の判断によって M-REG の内容をコントロールしながら A-REG へ累積していく。このミクロなオペレーションのカウントは R-Counter による。

(3) 除算回路

乗算を行なわしめる制御回路を活用して容易に除算回路を構成

することができるので、Non-Restoring Method による除算を金物で行なわしめる。演算は A-REG の内容を M-REG の内容で除した商が Q-REG に立つが、商が計算機の許容数値範囲 ($-1 \leq x < 1$) をこえるような演算は正しい結果を与えない。

4.4 記憶装置

記憶装置は比較的大電流駆動 (700 mA) の高速スイッチングコア R₃-G 材、50 ミルを用いた当社製コアメモリを使用し、3 μs のサイクルタイムで動作させる。選択は X, Y の電流一致方式を用い周辺回路の簡略化をはかった。ただしこの回路はトランジスタ回路で、モレクトロンは使用していない。

基本クロック周波数によるクロック時間と、メモリサイクルタイムの比は 1:3 であるが、コモンバス方式を採用しているため、各種レジスタ間のデータransfer を OPERATOR を時分割で順次使用しつつ行なう必要性があるので、計算機が単にメモリサイクルの終了をまっているムダ時間を多く発生することはほとんどない。この状況は 4.5 節で述べる加算の時間表によって具体的に示される。

通常のコアメモリよりもかなり短いサイクルタイムであるので、この計算機では命令の Sequence Control を行なわせるためのカウンタを記憶装置の 0~3 番地を割り当てることによって代用した。これらのアドレスはもちろんプログラムによっても addressable である。

コアメモリは小形耐震性のあるマイクロスタック方式により、また広い外囲温度の変化に耐えるためスタック全体を恒温タンク内に設置し、駆動回路には温度補償性を考慮した。

この計算機の基本構成ではメモリ容量は 4,096 語であるが、語構成からはアドレス 13 bit で指定可能なので、直接 addressable な外部コアメモリ 4,096 語を付加することは容易である。さらに大容量の外部記憶装置はパッファ扱いで結合しうる。

4.5 制御回路

どの番地の命令を読み出すべきかは Sequence Control Counter 相当の記憶装置 0 番地に入っているから、各 Operation の最初には必ず通常は 0 番地の指定による読み出しが行なわれ、その読み出された番地が次は S-REG に設定されて、実行すべき命令が読み出されてくる。この命令のインストラクション部分とアドレス部分が、それぞれ E-REG, S-REG に入り解読されて演算制御が実行される方法については、とくに注目すべき点もないで詳述せず “ADD” の場合のみを例として下にしるす。

タイミング	動作
シーケンスコントロール	0 OPERATOR を刺激して 0 または 1, 2, 3 を発生し、S-REG 入力ゲートを開きセット
	1 メモリサイクル 1, M-REG の入力ゲート開きメモリ内容をセット
	2 メモリサイクル 2, M-REG の出力ゲート開き、OPERATOR で 1 を加え記憶装置へ再書き込み
	3 メモリサイクル 3, M-REG の出力ゲート開き、S-REG の入力ゲートを開きセット
	4 メモリサイクル 1, M-REG の入力ゲートを開き記憶装置の内容をセット
	5 メモリサイクル 2, M-REG の出力ゲート開き E-REG および S-REG 入力ゲート開きセットしつつ同時に記憶装置へ再書き込み
	6 メモリサイクル 3
命令の読み出し	7 メモリサイクル 1, M-REG の入力ゲート開き記憶装置の内容をセット

- 命令の実行
- | | |
|---|---|
| 8 | メモリサイクル2, M-REG の出力ゲート開き OPERATOR を素通りさせて記憶装置へ再書き込み |
| 9 | メモリサイクル3, M-REG および A-REG の出力ゲート開き OPERATOR で加算しつつ A-REG の入力ゲート開き セット |

各命令による計算機基本クロックタイム(1μs)ごとのマイクロ動作が、コマンドとOPERATORをフルに利用しつつ順次実行されている。マイクロ動作は、とりもなおさず、どのレジスタからどのレジスタまたは記憶装置へどんなOPERATOR動作を施して送るかということに關した、ゲート開閉とOPERATOR制御信号を実行命令とタイミングによって作り、コントロールすることである。

メモリの0~3番地はそれぞれSequence Control CounterとしてSC0, SC1, SC2, SC3と呼ぶことにすると、プログラムのSequenceは一応SC0~3でそれぞれ独立にカウントすることができ、プログラムを特定の命令によって隨時一つのSCから他のSCの支配へシフトさせることができる。これがMultiple Sequence Controlである。

4.6 入出力制御回路

入出力に関しては前述のMultiple Sequence Controlが効力を発揮する。すなわちSC0, 1, 2, 3の4種のカウンタのうち通常はSC0が使用されており、4.5節に述べたごとく各SC間の遷移はプログラムでも自由に行ないうるが、入出力制御に関連して用いられるときは次のとおりである。

バッファからの外部割込があるときは SC1

入力機器からの入力完了信号を受けたときは SC2

出力機器からの出力完了信号を受けたときは SC3

へそれぞれ強制的にSCが切り換えられ、それぞのルーチンでの必要処理動作が終了したあと、復帰命令によって元のSC支配へ復帰する。ここで4種のコントロールについては、便宜上そのPriorityを回路的にSC0, 1, 2, 3の順に高く設定してある。

5. プログラム

モレクトロン計算機の1語の構成は、数値の場合MSBがサインピットで、正数の場合0、負数の場合1である。負数は2の補数形を採用している。いわゆる小数形計算機で $-1 \leq x < 1$ なる数を扱う。

命令は上位5ビットがインストラクション部分、残り13ビットがアドレス部分を表わしており、1アドレス方式である。

四則演算、シフトはすべてA-REGを介して行なわれる。インデックス・レジスタを持たないので繰返し演算などは命令の番地部を書き換えて行なわなければならぬ。このための加算器は別に持っていないので、演算結果を一時待避させてA-REGを使用する。

この計算機では、シーケンスカウンタにメモリの一部(通常は0番地)を使用しているので、間接アドレスでジャンプしたいとき(サブルーチン使用の際のリンクの設定など)には便利である。

命令は29種類ありこれらを表5.1に示す。

右シフトの際、正数の場合は0が続くが、負数の場合は1が続くので、そのまま右シフトを行ないたいときはRSFの後にCLTを行なわなければならない。

乗算の際には、Q-REGに乗数をおきn番地を被乗数として演算を行なうが、演算後はA-REGとQ-REGがつながった形となり、値の下位17ビットがQ-REGに入るため乗数は破壊される。

表5.1 モレクトロン計算機の命令

命令	OC	命令の意味	命令	OC	命令の意味
LDA (n)	14	御破算して加えよ	J S 3 (n)	05	SCフリップフロップを3にして飛べ
STA (n)	20	記憶せよ	R OR	26	もとのプログラムに
L D Q (n)	24	Qレジスタに入れよ			もどれ
ST Q (n)	22	Qレジスタの内容を記憶せよ	O F T (n)	52	オーバーフローしたならば飛べ
ADD (n)	10	加えよ	I P T (n)	46	入力動作中ならば飛べ
SUB (n)	12	引算せよ			出力動作中ならば飛べ
M LT (n)	30	掛算せよ	O P T (n)	50	計算を止めよ
D I V (n)	32	割算せよ	H LT	54	タイブインセよ
C L T (n)	16	論理積をとれ	I T Y (n)	74	紙テープを読み
L S F (n)	34	左シフトせよ	I P H (n)	76	バッファよりデータを読み
R S F (n)	36	右シフトせよ			紙テープにパンチせよ
J U C (n)	40	無条件に飛べ	O P U (n)	66	バッファにデータを送れ
J Z E (n)	42	アキュムレータの内容が0なら飛べ	I B F (n)	70	バッファに制御信号を送れ
J N E (n)	44	アキュムレーターの内容が負なら飛べ	O T Y (n)	64	タイブアウトせよ
J S 1 (n)	02	S C フリップフロップを1にして飛べ	O B F (n)	60	バッファにデータを送る
J S 2 (n)	04	S C フリップフロップを2にして飛べ	C B F (n)	62	バッファに制御信号を送る

加減算の場合、オーバーフローを起こしても計算機はそのまま演算を続行するが、命令OFTによりオーバーフローの有無を検出できる。

入出力動作と演算動作が並列に実行可能であるが、入出力機器のBusy Testを命令IPT, OPTにより行なうことができる。

IBF, OBF, CBFはバッファ関係の入出力命令であるが、これは外部メモリを増設した場合のやりとりにも使うことができる。

この計算機は優先順位の異なるシーケンスカウンタを4個備えており、これを用いていわゆるマルチプログラミングが可能である。優先順位の高いほうへの移行はJS1, JS2, JS3を用い、低いほうへはRORを用いる。これらの命令の組み合わせにより優先順位のコントロールが可能である。優先順位の高いほうへ移った場合は低いほうのシーケンスカウンタは進まなくなるのでJS1などの命令は“マークして飛べ”の命令としても使うことができる。優先順位の高いほうのプログラムに入出力命令を書いておき、低いほうに演算動作のプログラムを書いておいて、入出力機器のBusy Testを行なうことなく、入出力動作と演算動作を並列に行なわせることができる。この場合入出力動作の終了信号が外部割込信号として扱われる所以、プログラムは入出力機器の状態を意識する必要がない。

機械語で書かれたプログラムを記憶装置に入れるには金物で行い、ブートストラップなどのルーチンを必要としない。

6. むすび

以上開発したモレクトロン計算機について概説した。

1章で述べた三つの要求事項のうち(1)項の“小形軽量化”と(3)項の“実時間用”についてはまずはまず成績をあげ得たものと信ずる。

もちろん個々の問題としては小形をねらうあまり調整保守上多大の不便をきたしたところもあったし、逆にさらに小形化が推進できると思われるところもあるので、さらに検討を加えたい。

(2)項の“耐環境性”については温度条件を設計条件として考えたが、その他の条件については特別には考慮しないで今後の研究課題である。もちろんこれは(1)項を無視して考えうるものではなく関連を持った問題である。

以上のようなことを総合的に反省し改善されたものをさらに開発してゆきたいと思っている。

最後にモレクトロンならびにコアメモリを供給いただき、種々ご援助いただいた当社北伊丹製作所および大船製作所の担当者の方々に謝意を表する。

小田急電鉄納め回生車用電機品

山村秀幸*・小出寿太郎*・中林晃*
浅越泰男**・小原太郎**・久山研一**・芦谷正裕**

Electric Apparatus with Regenerative Brake for
New Economical Cars of Odakyū Electric Railway Co., Ltd.

Odakyū Electric Railway Co., Ltd. Hideyuki YAMAMURA・Toshitarō KOIDE・Akira NAKABAYASHI
Mitsubishi Electric Corporation, Itami Works Yasuo ASAGOE・Tarō OHARA・Kenichi KUYAMA
Masahiro ASHIYA

Recently the commuter services which cannot the control part of city with suburban districts of residence are required to increase rapidly the traffic volume. It brings about increasing of power consumption. Then it is necessary to decrease power consumption by introducing regenerative brake system and preparing big cars with large accomodations. Considering these conditions, Odakyū Electric Railways gave an order big cars provided with the regenerative brake system which had been developed by Mitsubishi. The regenerative brake system, which is a type using series-wound traction motors, solves all difficult problems contained in the conventional regenerative brake systems and has a prominent characteristics composed of easy controlling, good efficiency of regeneration and broad speed range of regeneration. Also these new cars be operated easily coupled with the old cars.

1. まえがき

都市周辺と都心を結ぶ通勤輸送に対する需要の激増ぶりは、周



図 1.1 小田急電鉄回生車全景
Fig. 1.1 New economical cars of O.E.R. with regenerative brake.

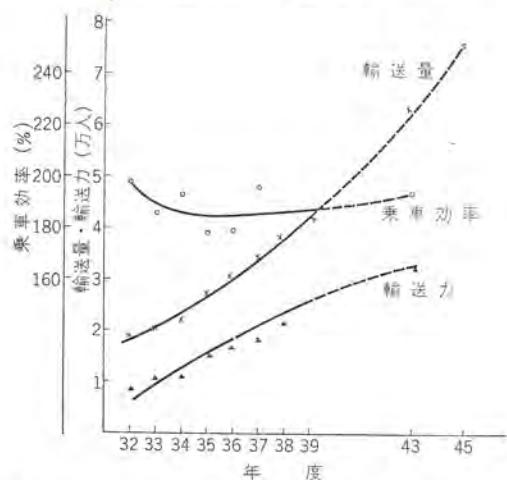


図 1.2 小田急電鉄朝方ラッシュ1時間帯輸送量の推移
Fig. 1.2 Changes of one hour traffic capacity of morning rush in the Odakyū Electric Railway.

知のとおり、すでに社会的に問題化しているが、現実にこれらの輸送を担当している各交通機関では、輸送力確保のために、全力をあげて種々の対策をこころみている。とくに開発途上ある広大な住宅好適地を沿線に持ち、一方副都心計画によって飛躍的な発展が予想される新宿を起点とする小田急電鉄では、この傾向が一段と顕著なものとなっている。図 1.2 は同社の朝方ラッシュ1時間帯の乗車人員の推移を示したものである。図 1.3 は同社の現行ダイヤグラムの一部で、急行、各停列車がそれぞれ4分おきに新宿に到着するという非常に密な運行を示している。

今までに同社では毎年 17.5 m 車を 20~30両程度輸送量増強のために投入してきているが、急行 8両、各停 6両の編成では、輸送力は早晚伸びなやむことになる。列車密度はすでに短縮の余地がなく、編成長増加も現実の問題として用地の買収難などの限界があるので、残された方法で単位輸送力を増加するためには、

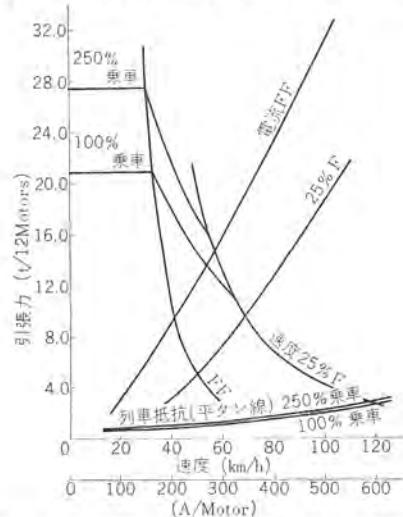


図 1.4 性能曲線
Fig. 1.4 Performance curves.

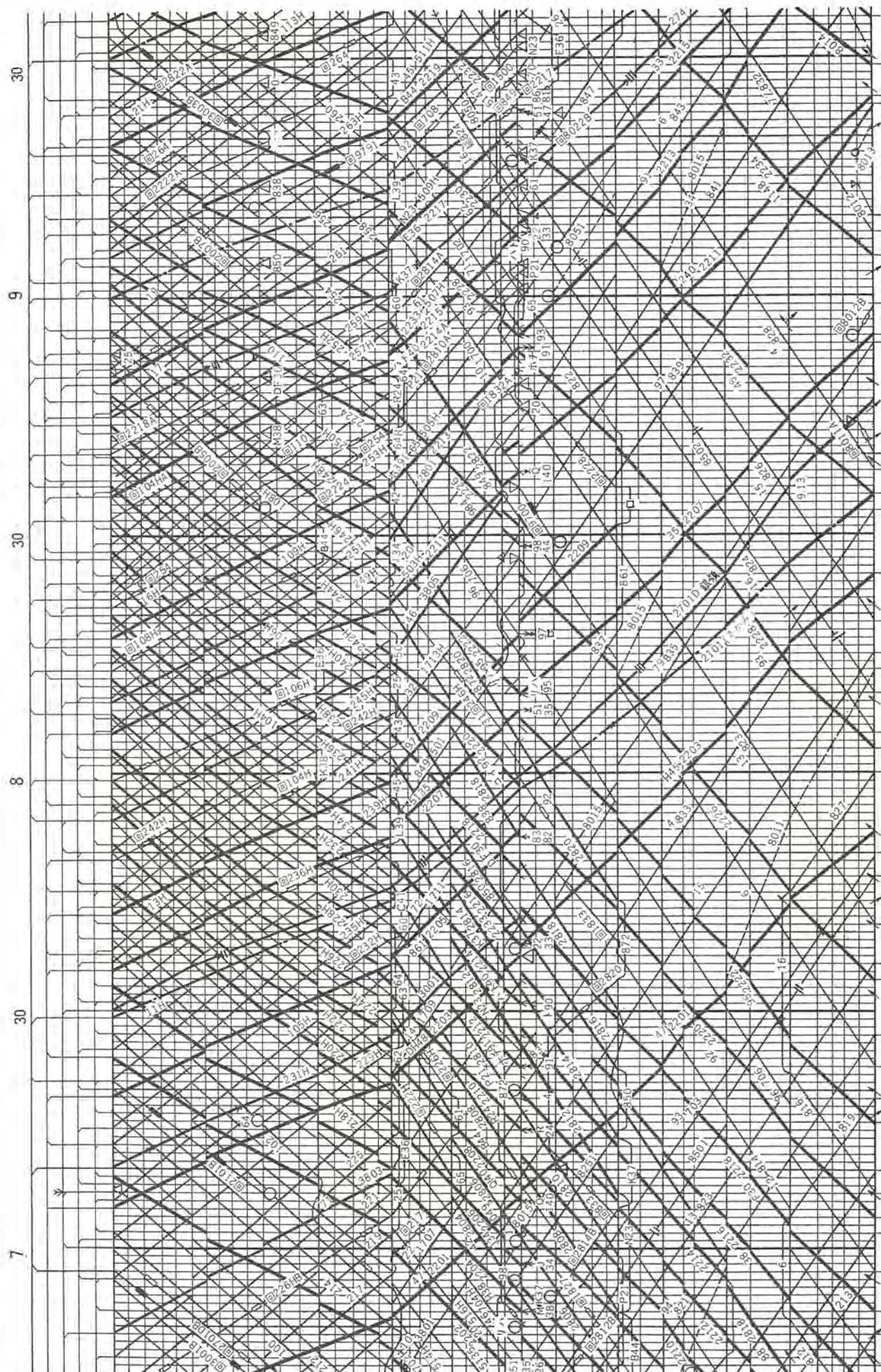


図 1.3 小田急電鉄現行路線図
Fig. 1.3 Existing diagram of the Odakyū Electric Railway.

長さ当りの輸送力を増すほかなく、同社では昭和39年度用の増備車として大形車30両の製作を行なったものである。

2. 大形車と回生制動

大形車の主要項目は表2.1のとおりで、車幅2.9m、車長19.5mと私鉄車両としては最大のものである。

この車両の採用によって、実輸送能力は従来車の40%増(6両編成で8.4両相当)となり、最小限のホーム延長によって大幅な輸送力の確保ができた。今後この形式車両の増備によって、いわゆる輸送力の限界もかなり先にもちこされることになったのである。

大形車の採用で問題になるのは、固定設備との関係である。まず限界の点であるが箱根登山線への乗入れ運転には、すでに十分な運用数の車両が確保されているので、限界上余裕のある小田急本線内では支障がない。軸重の点も実用化された軽量化の技術に

表2.1 小田急回生車主要項目

形式	(M) デハ 2600形 (Tc) タハ 2650形
自重	(M) 162人 (Tc) 144人
構成長	(Tc, Tc) 26,46t (M ₁ , M ₃) 36,17t (M ₂) 35,73t
最大寸法	妻面 99,500mm
(長×幅×高)	(M) 20,000×2,900×4,125mm
車輪様	(Tc) 20,000×2,900×3,875mm
主電動機	(M) 910mm (Tc) 762mm
駆動装置	形名 MB-3095-AC形
制御装置	定格 130kW, 500V, 290A, 1,500rpm
ブレーキ装置	形名 WN-65-AM形
性能	歯車比 92/15=6.13
性能曲線	形名 ABFM-176-15MRH形
	制御方式 6主電動機單一制御、回生ブレーキ
	応荷重加減速度制御式
	2台/編成
	形名 HSC-D形
	ブレーキ方式 電空併用、応荷重機構
	加速度 2.8km/h/sec (定員250%まで一定)
	減速度 常用最大 4.0km/h/sec (M回生, T空気)
	非常 4.5km/h/sec (M, T共空気)
	最高運転速度 100km/h
	図1.4に示す

表2.2 小田急電鉄2601×5号車回生電力量と消費電力量(12/17~1/12)

車両運用	月日	回生電力量(kW)	消費電力量(kW)	比率(%)	車両運用	月日	回生電力量(kW)	消費電力量(kW)	比率(%)					
(63)	39年 A 12/17 B	195 200	1853 1875	9.9 10.7	(64)	40年 A 1/1 B	234 227	1901 2058	12.3 11.1					
(64)	18 A B	135 154	1035 1483	9.4 10.4	(64)	2 A B	121 113	1394 1494	8.7 7.5					
(65)	19 A B	136 153	1298 1325	10.4 11.5	(64)	3 A B	112 116	1316 1408	8.5 8.2					
(65)	20 A B	198 197	1497 1505	13.2 13.1	(64)	4 A B	143 149	1587 1485	9.0 10.1					
(65)	21 A B	138 174	1532 1556	9.0 11.1	(65)	5 A B	133 150	1247 1238	10.6 12.1					
(63)	22 A B	165 181	1571 1439	10.6 12.6	(60)	6 A B	113 135	1457 1587	7.8 8.5					
(64)	23 A B	172 186	1475 1565	11.7 11.9	(61)	7 A B	132 115	1253 1363	10.5 8.4					
(65)	24 A B	153 167	1460 1679	10.5 9.9	(62)	8 A B	235 303	2022 2122	11.6 14.5					
(60)	25 A B	119 126	1229 1316	9.7 9.6	(63)	9 A B	171 221	1467 1523	11.7 14.5					
(61)	26 A B	38 38	366 388	10.3 9.8	(64)	10 A B	94 91	1315 1415	7.1 6.4					
(62)	27 A B	207 220	2135 2287	9.7 9.6	(64)	11 A B	167 175	1461 1551	11.4 11.3					
(60)	28 A B	130 136	1369 1283	9.5 10.6	(65)	12 A B	188 195	1630 1732	11.5 11.3					
(61)	29 A B	153 156	1593 1495	9.6 10.4	備考 A=2601号取付積算 電力計箱による B=2801号									
(62)	30 A B	186 175	1880 2112	9.8 8.3										
(64)	31 A B	152 160	1455 1562	10.4 10.2										

よって解決された。もっとも高価な給電容量の増加抑制は、今回ここに紹介する新方式の回生制動を採用することによって行なうようにした。同社ではすでにHE車⁽¹⁾(昭和34年~38年)の採用によって2M2Tの編成ながら実用的には全Mに近い加減速度を持つ画期的な通勤車を使用しているが、この大形車もこの考え方を踏襲して、3M3T(当初は3M2T)の編成でほぼHE車と同一性能を持ち、かつ回生制動を採用し、効果的な電力負荷対策としたものである。

現在この車両は小田急本線においてラッシュ時のもっとも過酷な輸送時間帯に使用され、期待どおりの輸送力を發揮している。また回生率も一部急行運転を含む運用ながら10%~12%とMT編成にもかかわらず相当の高率を示していることは、予想されたこととはいはなはだ満足すべきことと思われる。(表2.2参照)輸送力増強の一つの行き方として各位のご参考になれば幸いである。

3. 新回生ブレーキ方式

3.1 回生ブレーキの一般的特性

電気車の回生ブレーキの歴史は古く、その経済性は理論的には十分認識されているが、その実用化にあたってはいろいろの問題があつて十分に行なわれていないのが現状である。

回生ブレーキを実施する場合、従来の発電ブレーキと異なって次のような回生ブレーキの特殊性を考慮し、これらを解決する必要がある。すなわち

(1) 回生ブレーキ中は主電動機が発電機として作用し、変電所あるいはほかの回生車と並列運転をすることになるので、電車の外部条件によってブレーキ力が左右されやすい。すなわち回生ブレーキは、架線電圧変動および回生負荷の変動に対しても一定のブレーキ力が得られ、しかも安定している必要がある。

(2) 主電動機電圧を架線電圧より高くなるようにして、電力を架線に返すため、主電動機電圧は自由に選ぶことができない。

したがって一定のブレーキ力を得るためには、磁束すなわち界磁電流と電機子電流の両方を独立に制御する必要があり、主電動機には整流、過電圧、過電流、不平衡電流などの点で過酷な条件が要求される。

(3) 回生率が大で、しかも装置として、従来のものよりあまり高価でないことが必要である。

3.2 従来の回生ブレーキ方式の問題点⁽²⁾

回生ブレーキに使用する主電動機としては直巻電動機と複巻電動機がある。直巻電動機はその界磁の極性を反対にすれば、そのまま発電機として作用するが、きわめて不安定であるため、回生ブレーキを行なうには分巻発電機となるように接続を変える必要がある。複巻電動機を使用する場合は力行時は和動複巻電動機、ブレーキ時は差動複巻発電機として作用させる。

力行制御の面においては、直巻電動機の特性がもっとも望ましいことは周知であるが、直巻電動機を使用すると、回生ブレーキの場合に他励分巻発電機としなければならない点にいろいろ問題がある。界磁を架線励磁とした場合は、励磁電流が大きいので回生効率が悪く、また架線電圧の影響をそのまま受けるので大きな安定抵抗が必要となり、回生終速が高くなるという欠点がある。励磁

機を使用した場合は回生効率も良く、安定度も上げられるが、大型の励磁機を使用するため、応答速度、価格、重量の面で難点があり、また電車用の停止用ブレーキとして制御がむずかしいという難点がある。一方回生ブレーキのためには分巻発電機がもっとも制御しやすいが、力行の制御が非常にむずかしくなるので、これに直巻特性をもたせるために若干の直巻界磁を付加し、さらに回生時にこれを差動に使用して安定性を大きくするのが複巻電動機方式である。

複巻電動機は、力行-回生 ブレーキの移行が円滑に行なわれる点に大きな特長を有しているが、次のような問題点があげられる。

- (1) 直並列ワタリ制御が困難である。ワタリなし制御では起動時の電力損が回生の効果を相殺する結果となる。
 - (2) 情行時も界磁制御の必要がある。
 - (3) 直巻界磁が差動作用のため、架線電圧の変動に対しても安定作用をもつが、高速時のブレーキ力低下が大きく、また回生終速も高くなる。したがって特殊な電空併用ブレーキが必要となる。
 - (4) 在来車との連結運転が不可能である。

3.3 直卷, 界磁 $1/4$ 电流回生方式

今回当社で開発した直巻、界磁 1/4 電流方式は、上記各方式の問題点を簡単な方法で解決したものである。

その原理は、主電動機の主極コイルを主回路電流の1/4の電流で設計し、力行の場合はおののおのの主電動機の4個の主極コイルを全並列に接続するか、あるいは4個の主電動機の界磁を並列に接続して（各主電動機の4個の主極コイルは電動機内部で直列に接続したままにしておく）制御の容易な直巻電動機として使用し、

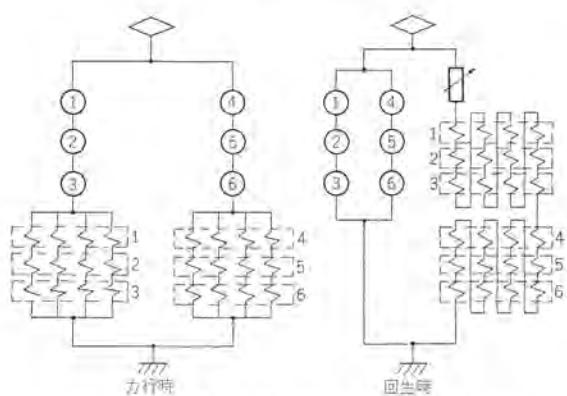


図 3.1 界磁 1/4 電流回生方式説明図 (1)
 Fig. 3.1 Schematic diagram of the line excited field 1/4 current regenerative braking system.

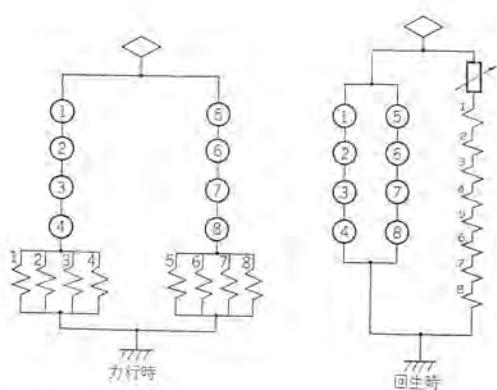


図 3.2 界磁 $1/4$ 電流回生方式説明図 (2)
 Fig. 3.2 Schematic diagram of the line excited field $1/4$ current regenerative braking system.

回生ブレーキの場合はこれらを全直列として架線励磁の他励分巻発電機とし、励磁電流を減らして回生効率を大幅に向上させたものである。これを図3.1、3.2に模型的に示す（特許17963）。小田急電鉄の場合は図3.1のようにおののの主電動機界磁を4分割する方法を採用した。これは1,500V架線に500V端子電圧の主電動機を使用し、6個モータ制御としたため、直列に接続された3個の主電動機が異なる2車両間にわたる場合が生じ、配線抵抗の差によって界磁電流にアンバランスが生ずるのを防止するためである。4個あるいは8個モータ制御では、図3.2の方法でも支障のない場合もある。

この方式の特長は

- (1) 力行は直巻電動機であるので、一般の電車となんら変わりはない。
 - (2) 回生ブレーキの場合は電機子2回路に対し $1/4$ 電流の界磁1回路であるため、励磁損失はきわめて少なく、回生効率は良好である。
 - (3) 高速時は直列抵抗を附加することにより、大きな制動力を得ることができる。
 - (4) 適当な安定抵抗の使用により、電圧変動に対しても問題ない。
 - (5) 制御装置は界磁切換器を除いては通常のものとなんら差異はない。
 - (6) 従来車との連結運転が容易にできる。

4. 主電動機および駆動装置

4.1 概要

狭軌用大容量 WN ドライブ主電動機は、34 年以来小田急電鉄 HE 車用として 120 kW のものを使用してきた。今回の回生車用主電動機はこれらの技術を母体として、さらに 130 kW への容量増大、および回生ブレーキ用として界磁 1/4 電流方式の採用など随所に新しい技術を取り入れた画期的なものである。主電動機および駆動装置の外形、配置を図 4.1 に示す。

4.2 主電動機

主電動機の諸元は次のとおりである。

形	名	MB-3095-AC 形
形	式	界磁 1/4 電流方式直巻補極補償巻線付 自己通風式
1 時間定格	130 kW 500 V 290 A	
	1,500 rpm (75% 界磁)	
最弱界磁率	25%	
試験最高回転数	4,500 rpm	
許容過電圧	1,250 V (全界磁)	
絶縁緑	F 種	
絶縁耐力	5,400 V	
重量	830 kg	
特性曲線	図 4.2 に示す。	

この主電動機はM車、T車同数の編成でも、通勤車としての過酷な運転に耐えるために、狭軌用台車装架主電動機としては最大級の容量を有するとともに、次のような特長を有している。

- (1) 定格回転数は 1,500 rpm と比較的低くとっているためトルク容量が大きい。このため大きな加速度、減速度を得ることができる。
 - (2) 回生効率を上げるために、4 個の主極コイルを力行の揚

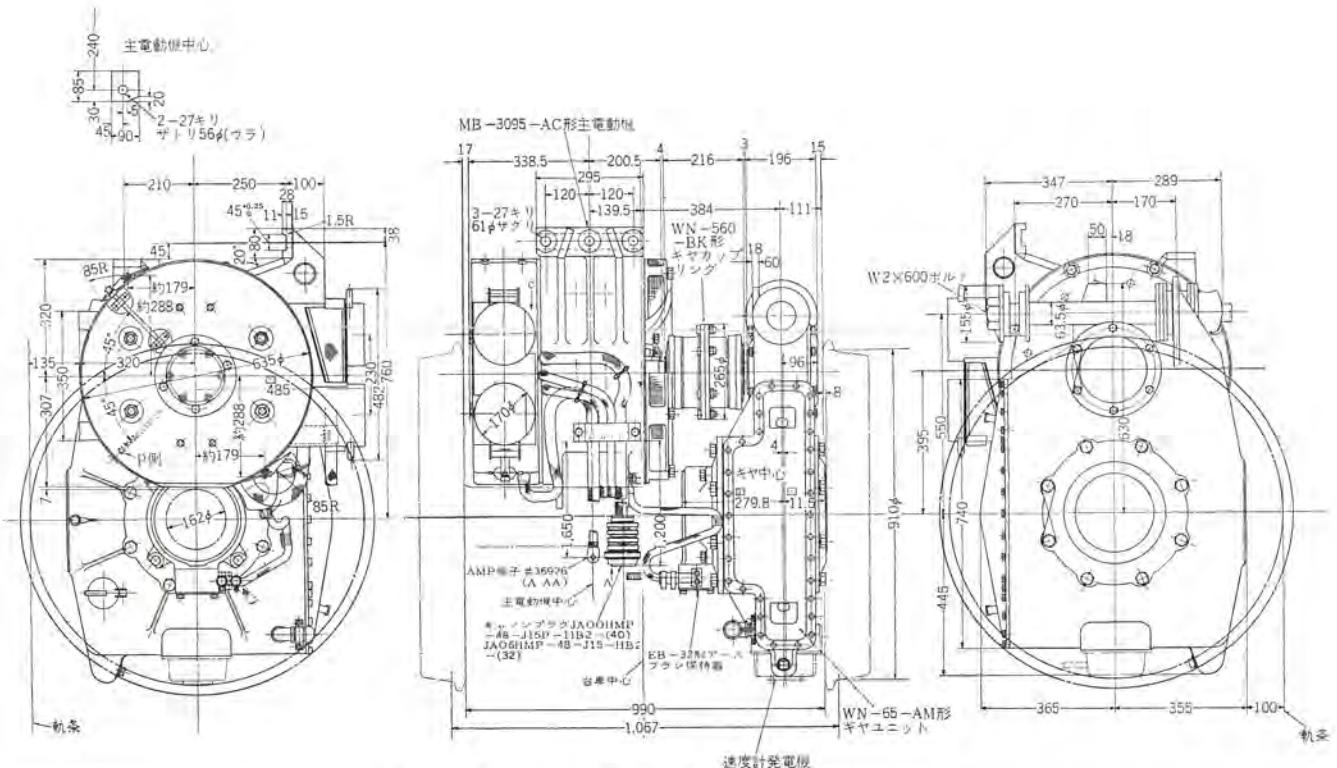


図 4.1 主電動機駆動装置外形図
Fig. 4.1 Outline of traction motor and drive equipment.

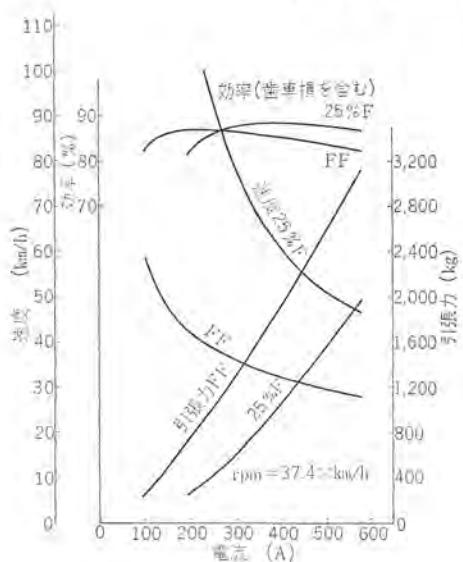


図 4.2 MB-3095-AC 形主電動電特性曲線
Fig. 4.2 Characteristic curves of type
MB-3095-AC traction motor.

合には全並列に、回生ブレーキの場合は全直列に接続するように設計されている。すなわち主極コイル1個に流れる電流は電機子電流の1/4となるので(通常は1:1)、主極コイルは通常の場合に比べ1/4の断面積の導体を4倍の巻数で製作してある。図3.1に示したような結線を行なうために、主電動機からは4個の主極コイルからおのの2本ずつ計8本の界磁口出線が必要となる。しかし電流容量は小さくて良いので4芯のケーブルを使用し、実質的には界磁の口出線は2本となっている。またツイギ箱部分もキャノンプラグを使用して保守に便にしている。そのほかの部分の構造は従来のWN「ライブ」主電動機と変わりはない。

(3) 主電動機6台を1組として直並列制御を行なうために、端子電圧は500Vと通常のものより高くとっているにもかかわらず

ず、高速からの回生ブレーキを確保するために 1,250 V という高電圧を許容している。このため電機子コイルは重ね巻とし、整流子片数を多くとっている。また回生ブレーキ時の整流を安定させるために補償巻線を設け、さらに電気装荷、磁気装荷の配分にはとくに留意した。このため力行、回生を問わず、高速から低速までわめて安定な整流性能を有している。

(4) 高速性能を良くするため、25% という大幅な弱界磁が使用できる。

(5) 絶縁はF種絶縁である。界磁コイルおよび電機子コイルは無溶剤性エポキシ樹脂を真空含浸した上で、コイル鉄心とを一体に接着して強固な構造としている。このため機械的に強いばかりでなく外部からの汚損に対しても強く、また熱放散も良好なため温度上昇値は規格値に対して十分な余裕を持っている。

(6) 一般に電気車用主電動機の性能を評価するために Speed Ratio Power (SRP と略す), および Specific Speed Ratio Power (SSRP と略す) という概念が使用される.

$$SRP = \frac{\text{(最高許容回転数)}}{\text{(定格回転数)}} \times \text{(定格容量)}$$

$$SSRP = \frac{SRP}{\text{重量}}$$

前者は車両についていえば (定格引張力) \times (車両最大安全速度) に比例する量であり、この値が電動機の性能を端的に示す。後者はさらに重量の要素を考えた値であり、設計技術を含めた評価が可能となる。最近の郊外電車および地下鉄電車について、SRP, SSRP の推移とともにこの回生車用主電動機をながめてみると、図 4.4, 4.5 のようになる。これによるとこの主電動機は SRP, SSRP ともに最大級に属していることがわかる。

4.3 驅動裝置

駆動装置の諸元は次のとおりである。

(1) ギャユニット

形 名 WN-65-AM 形



◀図 4.3 MB-3095-AC 形主電動機
Fig. 4.3 Type MB-3095-AC traction motor.

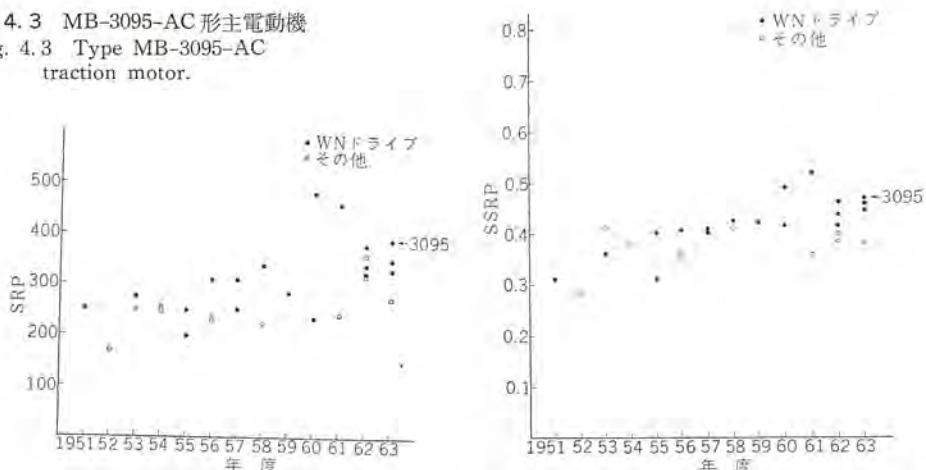


図 4.4 Speed ratio power の推移
Fig. 4.4 Changes of speed ratio power.

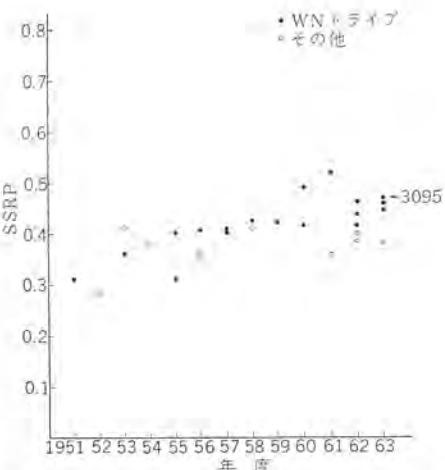


図 4.5 Specific speed ratio power の推移
Fig. 4.5 Changes of specific speed ratio power.

図 4.6 WN-560-BK 形 ギヤカッピング
Fig. 4.6 Type WN-560-BK gear coupling.

形 式	1 段減速 シングルヘルリカルギヤユニット
歯 車 比	92/15=6.13
モ ジュ ル	7
圧 力 角	26°
ネ ジ レ 角	18°30'
重 量	435 kg (接地装置を含む)
(2) ギヤカッピング	
形 名	WN-560-BK 形
形 式	ダブルインタナルエキスタナルギヤ式
許容軸変位	両軸偏心 最大 ±13 mm
	軸方向 最大 ±10 mm
重 量	30 kg

ギヤユニットは、トルク伝達容量を増すため 26° の高圧力歯形を採用し、モジュール、歯幅を増すことなく歯の曲げ強さ、面圧強度を増大している。ギヤケースは一体鋳鋼製の全密閉形であり、ピニオン、ギヤはコロ軸受によって両端支持されるので円滑、静謐な動力伝達が行なえる。

ギヤカッピングは狭軌大容量用の標準形を使用し、インターナルギヤはスリーブと一体構造として軽量化をはかり、油切りも金属ラピング構造としたので、十分な信頼性を有している。また歯の焼入れはフレームハードを行なって硬度のバラツキ、製品のヒズミを少なくしている。

5. 制 御 装 置

直流直巻 4 分割界磁の主電動機を使用した回生車の制御装置は、広い速度範囲にわたって安定に、しかも容易にブレーキ力を制御する回生機能を有するほか、回路構成や器具は簡単確実で、保守もきわめて容易となっている。

5.1 要 目

要目は 3.2 節に述べたとおりである。

5.2 特 長

5.2.1 力 行

直巻電動機式として使用するため安定であり、直並列制御もなんら問題なく行なえる。また従来の直巻電動機を装備した車両との連結運転も容易である。

5.2.2 回生ブレーキ

(1) 電機子回路に抵抗(起動用抵抗器)を入れることによって、電機子電圧を高くとり、高速から高い減速度の電気ブレーキをかけうる。このため回生電流は電動機の許容最大電流を持続することができる。また回生ブレーキ中、補足空気ブレーキは不要で複雑な空気ブレーキ制御を必要としない。

(2) 界磁を 4 分割して、6 個電動機分を全直列接続とする架線励磁方式であるが、励磁電力損失がきわめて少なくまた界磁制御が容易である。

(3) 電機子電流を許容最大値まで流すことにより、少ない界磁電流で十分なブレーキ力が得られる。

(4) 進段制御は従来の力行および発電ブレーキの制御と同様、限流方式でよいので制御が確実である。

(5) 回生ブレーキ中における架線電圧変動や負荷変動に対しては界磁制御を行ない、つねにブレーキ力一定の制御を行なう。

(6) 回生ブレーキは従来車と同様に单一ブレーキ弁で制御でき、回生ブレーキが消滅したときは、すみやかに同等の空気ブレーキ力が作用する。

(7) 磁気増幅器などを主体にした無接点制御方式を大幅に採り入れたので、速応性に富み、かつ保守が容易である。

(8) カム軸は 26 ステップで 1 軸 1 回転式であり、また界磁切換器などは 2 極カムスイッチであるため器具の構成が簡単である。

(9) ノッチオフ時に 2 段減流シャ断によりショックを防止し、乗りごこちを良くしている。

5.3 制御方式

5.3.1 力行制御

力行主回路の簡略図は図 5.1 のとおりである。

(1) 主電動機 6 台を 3 台ずつ 1 組として、直並列制御のほか抵抗および弱界磁制御を行なう。この力行運転は、直流直巻電動機を使用しているため、力行特性は他の回生方式に比べ非常に安定である。

(2) 従来車との連結運転はもとより可能で、次のノッチ数を有している。

1 ノッチ	1 段減流起動
2 ノッチ	直列 (11 ステップ)
3 ノッチ	並列 (9 ステップ)

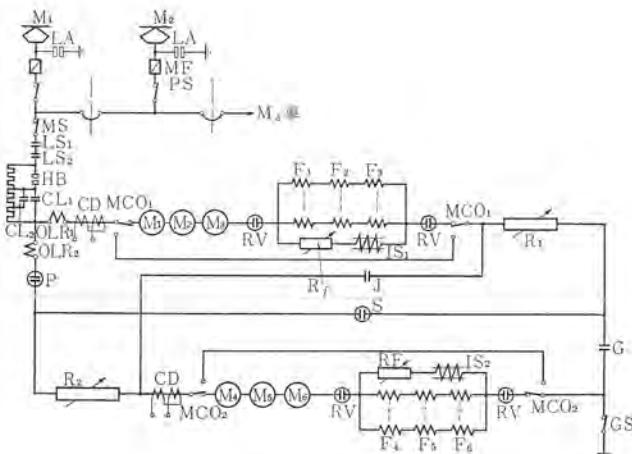


図 5.1 力行主回路
Fig. 5.1 Main circuit diagram (powering).

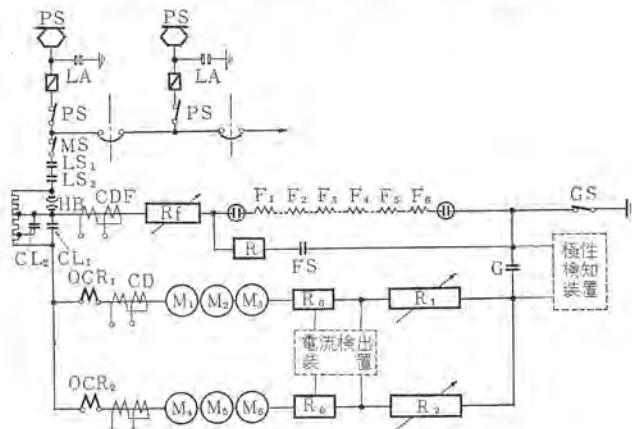


図 5.2 回生ブレーキ主回路
Fig. 5.2 Main circuit diagram (regeneration).

4 ノッチ 弱界磁 (6ステップ)

(3) ノッチオフは減流器 (CL₁, CL₂) による2段減流シャンクを行ない、ショックのないノッチオフとなっている。

(4) 限流値制御

直流変流器 (CD) により主回路電流の検出を行ない、これとバーン電圧を比較し、パイロットモータを駆動しカム軸スイッチを制御する、いわゆる完全無接点制御である。

なお、回生ブレーキの場合も同様である。

5.3.2 回生ブレーキ制御

回生ブレーキ時の主回路簡略図は図 5.2 のとおりである。

(1) 主電動機界磁コイルを4分割し、これを直列ツナギとし、架線から界磁調整抵抗を通じて励磁する。

電機子は3台1組とし、これに安定抵抗器、主抵抗器を直列に接続した回路を2組並列にし断流器 (G) を通じて接地する。また電機子は対地電位を低くするため架線側にし、主抵抗器を大地側においている。

回生ブレーキを作用せしめる条件は次のとおりである。

(a) 架線電圧と主電動機電圧とを磁気増幅器式極性検出装置で比較し、主電動機電圧が高ければ断流器 (G) を投入して回路を構成する。

(b) 速度が低く電圧条件が逆であれば界磁を順次強め、上記条件が成立すれば断流器 (G) を投入する。

断流器 (G) 投入後は抵抗制御で限流制御を行なう。

(c) 低速域その他で、もし誘起電圧が低く回生条件が成立しない場合には、主回路をオフし空気ブレーキを作用させる。

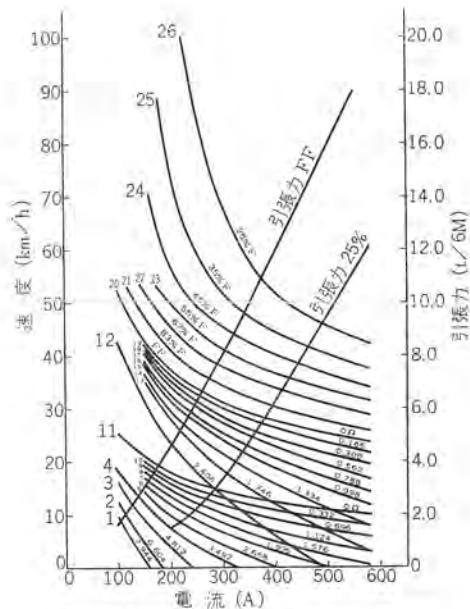


図 5.3 力行ノッチ曲線
Fig. 5.3 Notching curves (powering).

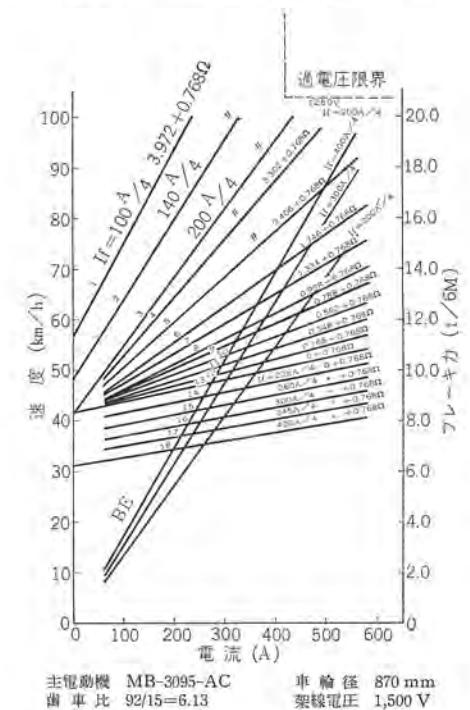


図 5.4 回生ブレーキノッチ曲線
Fig. 5.4 Notching curves (regenerative braking).

(2) ブレーキ弁を扱うことにより架線側断流器を LS₁, LS₂ → CL₁ → CL₂ の順で投入し、極性検出装置により正規極性を検出すれば断流器 (G) が閉じ、強め界磁の後、抵抗制御を行なう。この場合、組合せ軸をブレーキステップに投入後、抵抗軸直列最終ステップまで進段し、続いて組合せ軸に切り換え、強め界磁制御を行ない、最終ステップで締切電磁弁を消磁して空気ブレーキを指令する。なお回生ブレーキ時のステップ数は18段である。

(3) ブレーキオフ

ブレーキオフ時は断流器 (CL₁, CL₂) による2段減流シャンクを行なう。

(4) 限流値制御

直流変流器 (CD) により主回路電流を検出し、可変荷重装置に

よって補正されたパターン電圧を SAP 圧力に応じて動作するアクチュエータで分圧し、パターンとして供給する。この場合、架線電圧により界磁電流が変化すると、一定電機子電流ではブレーキ力が変化するので、パターン電圧を界磁電流検出器 (CDF) によって検出された界磁電流比例出力で補正している。

5.3.3 保護装置

(1) 力行運転時

過電流	高速度減流器、主ヒューズ、過電流继電器
低電圧	低電圧继電器 (主回路開放)
空転	空転検出继電器 (減流シヤ断)

(2) 回生ブレーキ時

過電流	過電流继電器
過電圧	過電圧继電器
架線停電	低電圧继電器
界磁過電流	界磁過電流继電器
スキッド	空転继電器

5.4 制御器具

主要品は次のとおりである。

5.4.1 断流器箱

外形は図 5.5 に示すとおりで、高速度減流シヤ断器のほか、力行および回生用断流器計 7 個が納めてある。これらはそれぞれの極間ならびに対地電位を考慮して配列するほか、ケースの必要部分は流動塗装を行ない絶縁性の向上をはかっている。

5.4.2 主制御器箱

主制御器箱には抵抗カム軸、組合せカム軸を主体に、主電動機開放器そのほかの付属装置を中央に合理的に配置するほか、一端に無接点制御部をコンパクトに納めてある。

カムスイッチはノルマルクローズのユニット形であり、抵抗軸は 1 回転

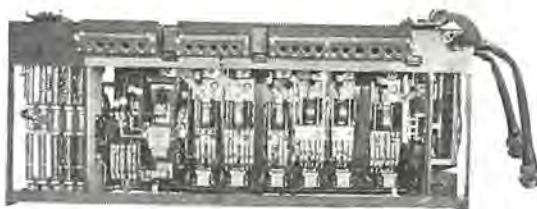


図 5.5 断流器箱 (HB-7R-601)
Fig. 5.5 Line breaker box (HB-7R-601).



図 5.6 主制御器箱 (CB-66C-1)
Fig. 5.6 Main control box (CB-66C-1).

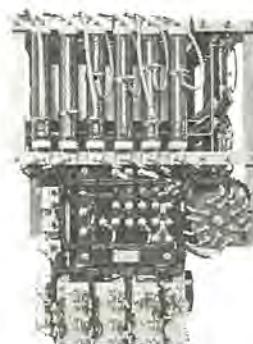


図 5.7 無接点制御装置
Fig. 5.7 Static relay component.

式、26 ステップで無接点制御により進段するようになっている。

組合せカム軸は両回転式で前進、後進、力行、回生、強め界磁の各ポジションが設けてあり、回路切換のほか回生制御の一部も行なうようになっている。図 5.6 にその外形を示す。また図 5.7 は無接点制御装置の一部である。

5.4.3 主抵抗器

回生ブレーキを採用しているため、抵抗器としては主として力行容量のみでよく、エッジワイス式の三菱 EW 形を採用している。もとより自然通風式で弱界磁ならびに回生ブレーキ時におけるバランスも可能である。

5.4.4 主幹制御器

従来車との連結運転も必要であるため、在来の KL-208 形を使用している。ノッチは次の 4 段でデッドマン装置付である。ノッチは次の 4 段である。

1 ノッチ	起動
2 ノッチ	直列運転
3 ノッチ	並列運転
4 ノッチ	弱界磁運転

5.4.5 ブレーキ弁

回生-空気ブレーキ併用であり、ブレーキ弁取扱いは従来の電空併用方式とまったく同じで、単一のブレーキ弁により空気ブレーキのほか、アクチュエータを介して回生ブレーキの制御を行なうようになっている。もとより回生優先で回生ブレーキ失効後、同等の空気ブレーキがただちに作用することはいうまでもない。また回生ラップ位置があり、下りり区間における連続抑速運転もできる。

6. 試験結果

このように新たな構想のもとに製作した回生車は数々の新機構を有しているが、これらの特性について確認するため行なった現車試験の結果は次のとおりである。

6.1 概要

- (1) 試験期日 昭和 39 年 9 月
- (2) 試験区間 小田急電鉄 相模大野～小田原
- (3) 試験車編成 $Tc_1 + M_1 + M_2 + M_3 + Tc_2$
- (4) 試験条件 空車および定員 $\times 2.5$

6.2 試験項目

大別すると次のとおりである。

- (1) 力行試験
- (2) 制動試験 (回生ブレーキおよび空気ブレーキ)
- (3) 空転試験

6.3 考察

6.3.1 力行制御

在来の直流直巻特性と性能的、回路的になんら変わることなく、安定な運転特性を有していることが全般のオシロから判断しうる。

(1) 加速度

列車編成は現在 5 両編成であり将来付隨車 1 両を組み込み 6 両編成となるが、いずれの場合も 2.8 km/h/sec の加速度を発揮するよう限流値は計画されているが、実測ではほぼ設計値と一致している。なお 5 両編成の試験結果をオシロ図 6.1 に示す。

(2) 起動初期および乗りごこち

主回路電流が流れてから約 1.2 sec 前後で起動しており、起動時のショックおよび各ステップ間のピークはまったく感じない。26 ステップおよび捨ノッチが必要にして十分な段数であることを確認する。

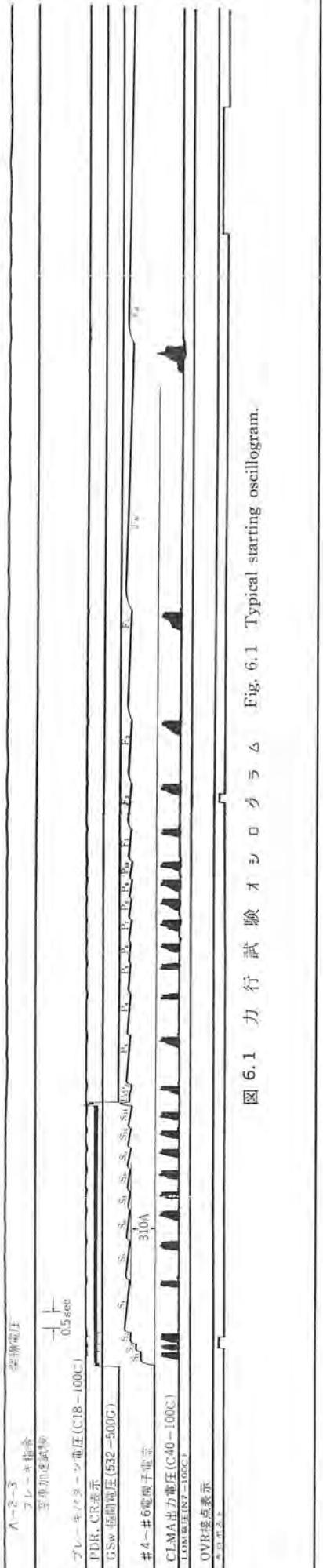


図 6.1 力行試験オシログラム Fig. 6.1 Typical starting oscillogram.

ことができた。

(3) 直並列ワタリと弱界磁特性

直列並列ワタリは一般的のブリッジワタリ方式であるが、限流値付近で直列から並列へ渡るよう設計されているため短絡電流が少なく、したがってショックは感じない。

弱界磁制御は最弱 25%まで同時進段で、界磁分流制御を行なっている。

(4) 界磁電流のアンバランス

4分割界磁で力行時は4個並列接続となるが、各界磁回路のアンバランスはほとんどなく、実用上の支障はまったくない。

6.3.2 回生制御

(1) 減速度

回生ブレーキ時のオシロを図 6.2 に示す。

減速度は荷重条件にかかわらず常に 4 km/h/sec を發揮するほか、架線電圧の変動によるブレーキ力一定の補償も確実である。

(2) M車の回生-空制切り換え

回生-空制の切り換えはブレーキ初期と停止前約 40 km/h に行なうが、両者とも円滑な切り換えを行なっている。

これは回生初期、界磁の架線励磁を行ない、電機子電圧が十分立ち上ってから主回路電流を流すという完全他励方式であること、また電流リレーのセット値はブレーキ弁角度により可変とし、回生開放電流値は引上げ値の約 10%にセットしているなどの効果の現われで、この方式の一つの大きな特長である。

図 6.3 は回生-空制切り換えの一例をオシロからとりだしたもので、とくに回生電流の立ち上がり早いことは注目に値する。

(3) 架線電圧の変動

試験区間での架線電圧は DC 1,400~1,600 V の範囲にあり、回生ブレーキ時約 100 V 上昇するが、回生ブレーキは有効に作用している。ただし十分な負荷のないときは、電機子が過電圧となって過電圧遮断器が動作し、界磁短絡後主回路を開放している。

(4) 回路シャ断

回生時における主回路シャ断は回路条件から考えて、必ず断流器 (G) を開放後 LS₁, LS₂ を開放するようにしているが、この際のシャ断状況例は次のとおりである。

最終ステップでブレーキオフの場合 (車速約 40 km/h)

Gスイッチでシャ断する電流 50~60 A

Gスイッチ極間電圧 (開放直後) 200 V

LS開放後 Gスイッチに印加される電圧 3,000 V

(界磁のインダクタンスによるもの)

したがって Gスイッチのシャ断容量は非常に小であり、スイッチ自体のチップ荒損は皆無といってよい。

7. む す び

この大形通勤車は以上述べたごとく、十分な現車試験を実施の上昭和39年11月から営業運転を開始し、朝夕のラッシュ緩和に大きな役割を果している。

この新方式の成功は各方面にすでに大きな反響をまき起こしており、回生ブレーキ実用化を促進することとなろう。

参 考 文 献

- 木島・浅越・管田・北岡: 小田急電鉄“HE車”用電機品および空制装置「三菱電機」34, No. 7 (昭 35)
- 小川・己斐: 回生制動の問題点「三菱電機」35, No. 3 (昭 36)

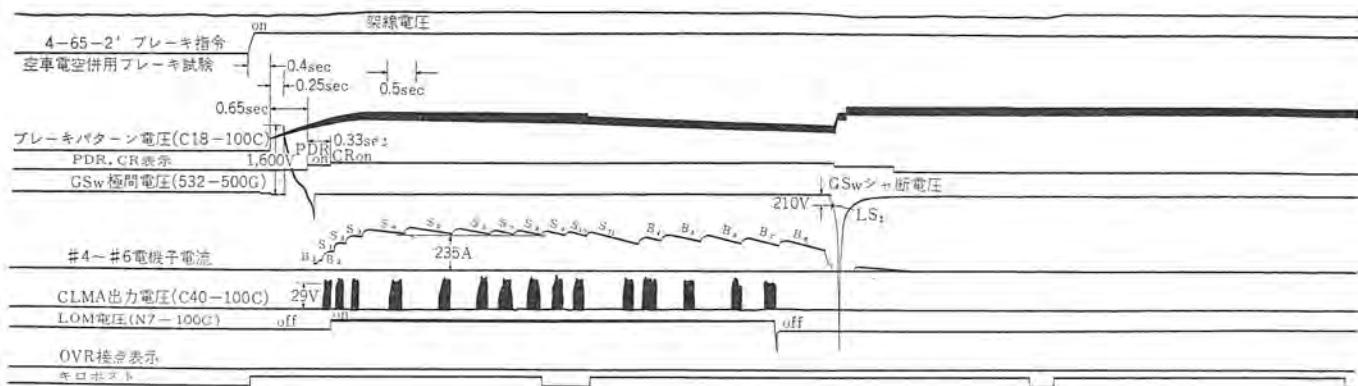
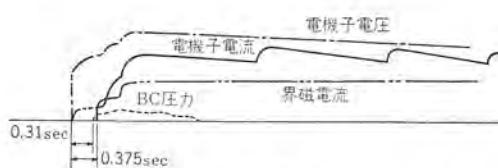
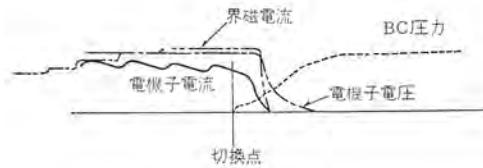


図 6.2 回生ブレーキ試験 オシログラム

Fig. 6.2 Typical braking oscillosogram.



(a) ブレーキ初期



(b) 停止前

図 6.3 回生電流現象

Fig. 6.3 Diagram of regenerative current.

==== 最近登録された当社の特許 =====

名 称	特許日	特許番号	発明考案者	関係場所
内燃機関点火装置	39- 6-11	425835	三木隆雄	姫路
制御格子付放電管あるいは電気弁の制御装置	39- 6-27	315125	岡 久雄	中央研究所
遠方監視制御方式	39- 7- 8	426778	大木攝爾	神戸
同軸線路の気密封止方法	39- 7- 8	426773	{岡田武夫・橋本 勉 島 亀吉	中央研究所
方向性を有するカム接触器装置	39- 7- 8	426777	三橋英一・大津一男	伊丹
カム装置	39- 7- 8	426772	小沢靖彦	名古屋
無電気金メッキ溶液	39- 7- 8	426776	秦 卓也・花田武明	中央研究所
多極誘導形絶縁電要素を用いた方向距離絶電装置	39- 7- 8	426771	三上一郎	神戸
直流制御母線地絡検出絶電装置	39- 7- 8	426770	藤井重夫	神戸
自動時刻点滅装置	39- 7- 8	426775	武田克己・神本明輝	福山
周波数変調波受信機	39- 7- 8	426774	片山泰一	鎌倉伊丹工場
操作機構	39- 7- 8	426769	竹内孝治・寺田光彦	神戸
直流回路接地絶電装置	39- 7- 8	426768	森 健・寺田 真	神戸
不活性ガスを封入した水銀蒸気電気弁	39- 9- 3	428436	{阿部久康・山口峯男 高島惇	中央研究所 伊丹
日出、日没を利用する時刻装置	39- 9- 3	428437	武田克己・神本明輝	福山
" "	39- 9- 3	428438	神本明輝	福山
定電圧装置	39- 9- 3	428439	東 勇	無線機
三相巻鉄心	39- 9- 3	428440	木野泰三	名古屋・伊丹
自動戸閉方式	39- 9- 3	428441	原田輝夫・三浦充之	名古屋
フィールド順次式カラーテレビジョン色同期方式	39- 9-16	429213	藤原謙一	無線機
定量形回転速度検出装置	39- 9-17	429358	三好一賢	鎌倉

キャタピラ三菱納め 60kV 屋外キューピクル

矢野 広男*・田和 穣*

60 kV Cubicles for Outdoor Use

Itami Works Hiroo YANO・Yutaka TAWA

Recently 60 kV outdoor cubicles have been delivered to the Caterpillar Mitsubishi Sagamihara Works for use in the receiving substation of a new project. In the beginning all the apparatus on the 60 kV side were supposed to be in the design of open installation. However, it was found necessary to provide a countermeasure against the dust troubles besides the power consumer calling for no-current-failure operation throughout the year. Then live line insulator washing devices were taken into consideration at first, while the employment of cubicles has been realized and dispensed with these cares. Furthermore it is proved that there is not much difference in the expenses from the open system and higher reliability and lower maintenance offset higher initial costs. This outcome suggests that 60~70 kV class substations may find the cubicle installations more desirable.

1. まえがき

キャタピラ 三菱株式会社相模原工場の 60 kV 受変電設備の新設計画は、当初 60 kV 側機器をストラクチャによる開放設置とし、3 kV 側は閉鎖構造とすることで進められていた。しかるに当地は砂ジン(塵)による汚損がはなはだしくそのため、屋外機器はすべて耐塩害形を使用しかつ通年無停電操業のため活線 ガイシ 洗浄装置を設置することでこれの対策としていたものを、60 kV 側も閉鎖構造とすることにより、汚損に対する問題を解決するのみならず、ほかにも以下に述べるような特長のかずかずを發揮する点を客先で認識され、60 kV 屋外用防ジン形 キューピクル の採用を決定されたものである。以下この キューピクル の概要を紹介する。



図 1.1 キューピクル全景(正面側)
Fig. 1.1 Whole view of cubicles (front side).



図 1.2 キューピクル全景(裏面側)
Fig. 1.2 Whole view of cubicles (rear side).

2. 形式、準拠規格および特長

2.1 形式および準拠規格

60 kV 級の キューピクル については現在のところ、定められた規格はないが、キューピクル すなわち閉鎖配電盤の形については「単位閉鎖配電盤の形」(JEM-1114) によるものとし、規格としては「閉鎖配電盤」(JEM-1153) を準用しているが、これは電圧が高くなあっても思想は 30 kV 級以下のものと変わることろがないとの見地に立脚したものである。

今回納入した各 キューピクル には、正面側に定格事項および主回路単線接続図を記入した定格名板を、また前後面上部にはおのとの名称を記入した表示板を取り付けて保守の便宜をはかっている。キューピクル の仕様および定格事項を下記に示す。

形 式	TO-50 形 屋外用閉鎖防ジン形 JEM-1114-C 形相当品
回路方式	50 c/s 三相 3 線式單一母線
定格電圧	69,000 V
定格電流	600 A
定格短時間電流	20,000 A 2 秒
商用周波耐圧値	140 kV 1 分間
衝撃電圧耐圧値	350 kV $\pm 1 \times 40 \mu s$
温度上昇限度	母線、接続導体—55°C 銀-銀接触部—55°C 銀-銀接続部—55°C 構造部(導体周辺)—70°C 箱外の基準温度の限度—40°C
準拠規格	JEM-1153

2.2 特長

(1) 単位回路区分ごとに装置が一括して接地金属箱内に収納されている。ゆえに

(a) 安全である

(b) 機器、ガイシ 類の汚損が皆無に近く、したがって機器の耐久性向上、機器の高信頼度が得られるので機器の簡素化ができる。

今回は避雷器点検用断路器と計器用変圧器保護用可器を省略した。

(c) 保守点検のひん度はわずかでよく無人化することも可能。
(2) 主回路側と低圧制御側とが接地金属壁（鉄板あるいは金網）で隔離されているので安全に保守点検を行ないうる。必要があれば充電中の保守点検も可能である。

(3) シャ断器の閉路状態では断路器が操作できないようなインターロックを設けてあり、かつ断路器操作中はシャ断器を閉路できないような逆インターロックも設けられているので誤操作の恐れはまったくない。

(4) キューピクルのみがなしうる機器配置となってるので据付面積が少なくて済む。

(5) 主回路の絶縁は空気とガラスのみで行なっているので、劣化の懼れはまったくない。

(6) 可能な限り工場組立のまま発送するので現地における据付工事費は安価で、工期も短かくて済む。

(7) 外観は体裁がよく美的感覚をそこなわないよう、意匠にも十分考慮が払われている。

以上の特長のかずかずはすでに数多の実績を有する 20, 30 kV 級 キューピクル のそれと同様であり、キューピクルの本質は電圧の大小

には無関係であることを示している。なお、従来 60, 70 kV 級の屋外 キューピクル の採用にあたっては経費高が問題とされてきたが、今回の実績によれば 震害、塩害などの対策を必要とし、か

つ通年無停電操業の電力需要家では活線 ガシ 洗浄装置が不要となることにより、開放設置方式と大差がない上、信頼性および維持費を考慮すればかえって有利であることが実証された。

3. キューピクルの概要

相模原工場は架空 2 回線送電線から分岐して構内へ引込み、引止め ガイシ を経て キューピクル 天井に取り付けた壁ぬき ガイ 管から キューピクル 内へ引込むもので、主要変圧器は三相 7,500 kVA 負荷 時電圧調整器付で当初 1 号 パンク、将来 3 号 パンク まで増設予定である。

図 3.1 は キューピクル の単線接続図で、大きく点線で囲ったように区分され、それぞれの キューピクル は下記のような名称である。

- 1 面—受電 キューピクル
 - 1 面—シャ断器 キューピクル
 - 1 面—MOF・コンプレッサキューピクル
 - 1 面—計器用変圧器 キューピクル
 - 1 面—避雷器 キューピクル
 - 1 面—NO. 1 変圧器 キューピクル

図 1.1, 1.2 は キューピクル の現地据付状態を示す。図 3.2, 3.3 は キューピクル の平面図および正面図、図 3.4 は各 キューピクル の側断面図を示す。

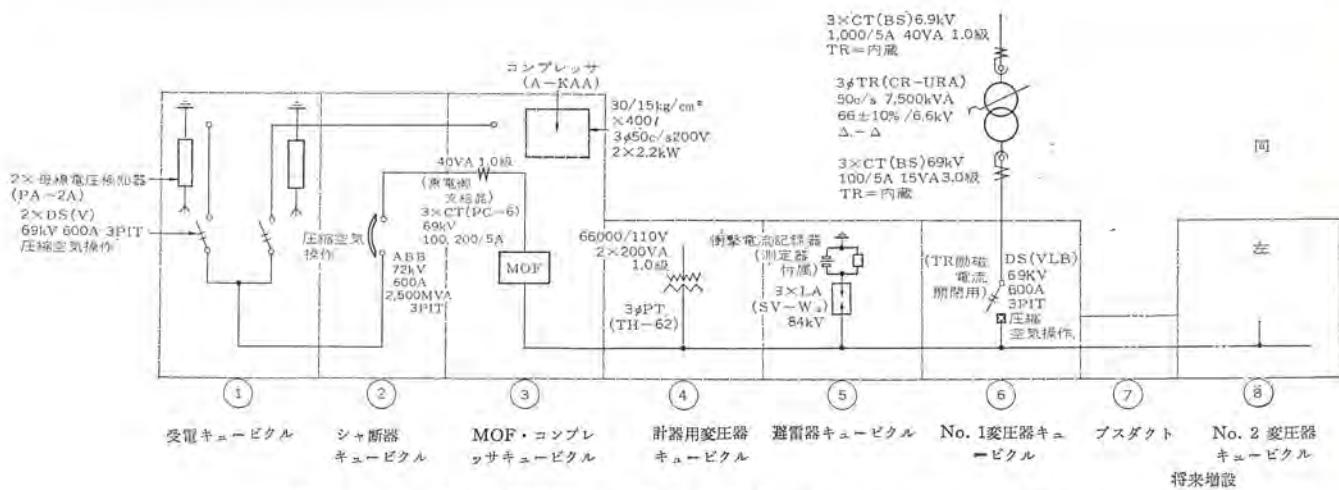


図 3.1 キューピクル 単線接続図 Fig. 3.1 Schematic diagram of cubicles.

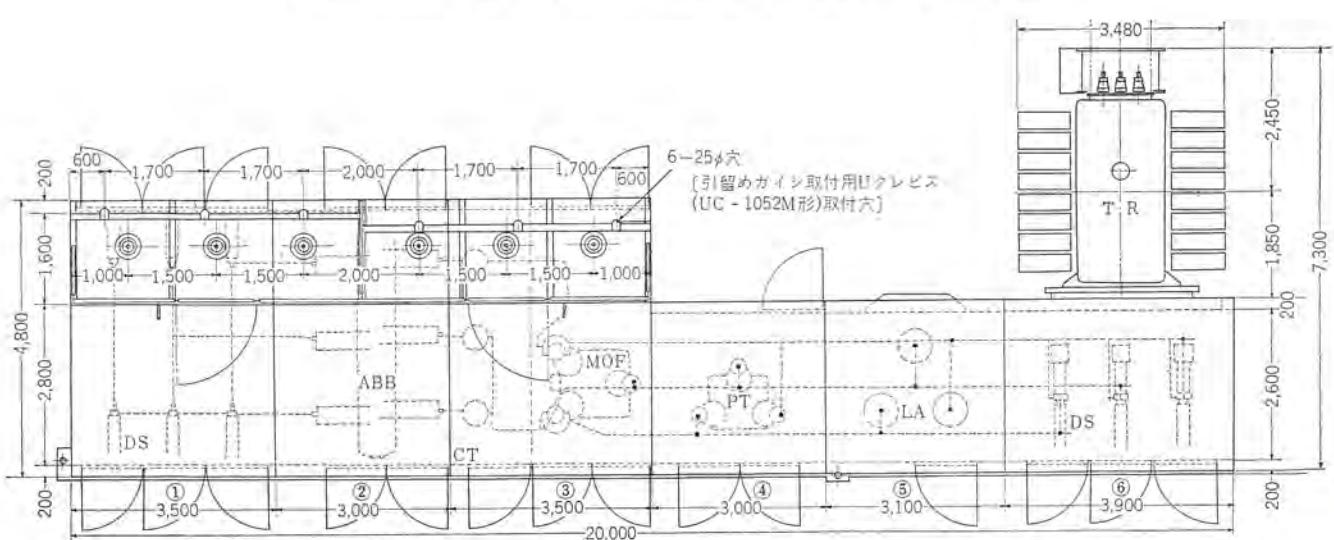


図 3.2 キューピタル平面図

Fig. 3.2 Plan of cubicles.

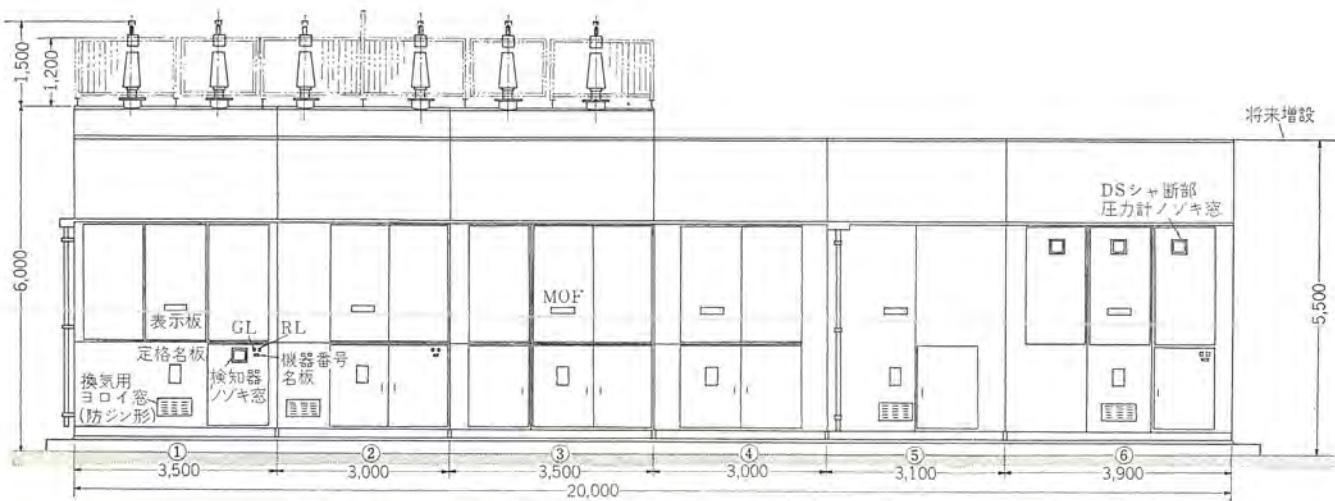


図 3.3 キューピクル正面図 Fig. 3.3 Front view of cubicles.

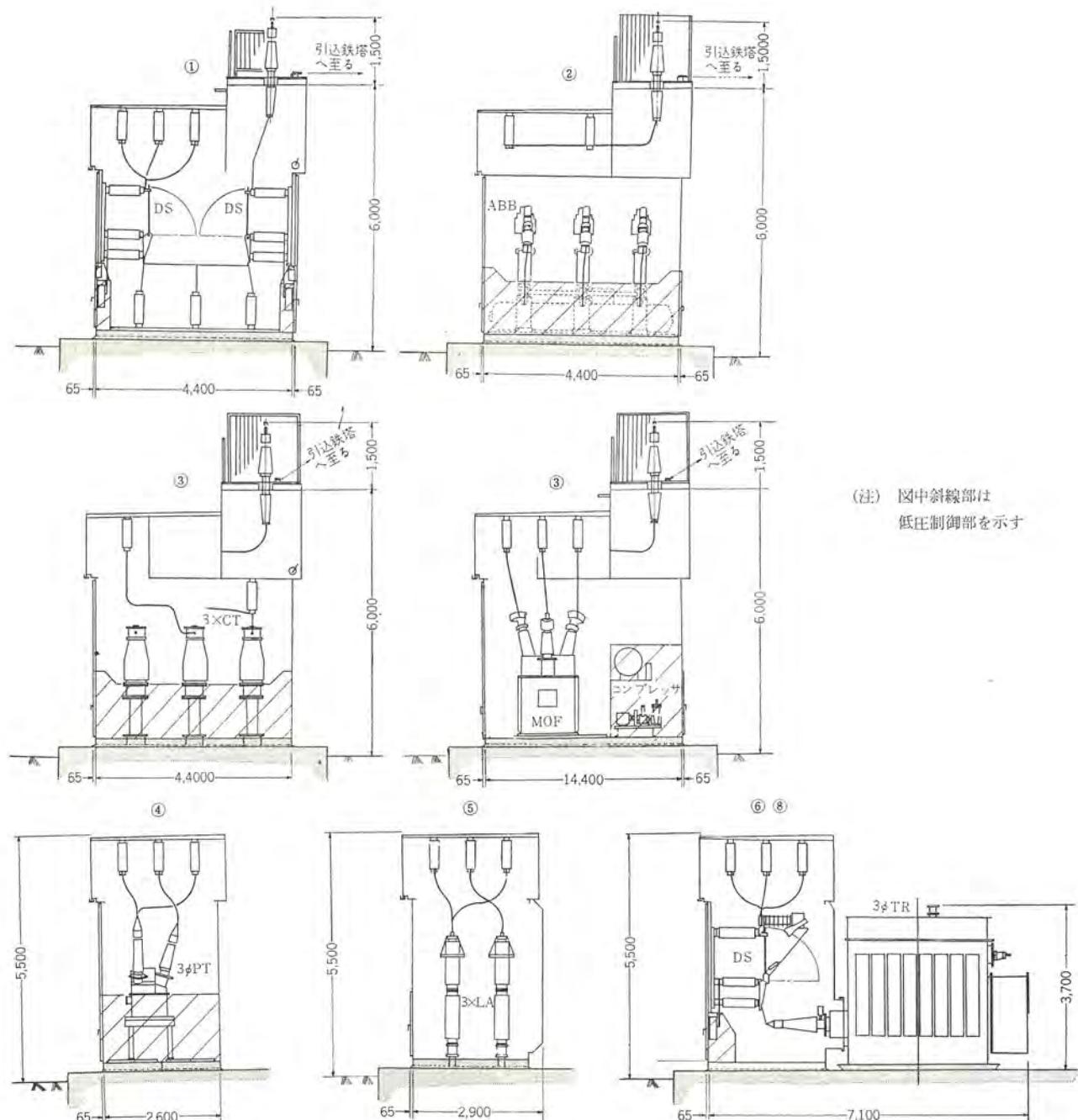


図 3.4 キューピクル側断面図 Fig. 3.4 Sectional view of each cubicle.

4. キューピクルの構造および内蔵機器

4.1 キューピクル

キューピクルには主母線、接続導体、空気シャ断器、断路器、負荷断路器、計器用変成器、避雷器、圧縮空気発生装置、母線電圧検知器、主変圧器一次ラッピングおよび低圧配線、空気配管、接地母線などのほかに電力会社から支給される計器用変圧変流器(MOV)が組み込まれている。これらの内蔵機器は、特高充電部と低圧制御部分とが接地金属板または金網により隔離されており、さらに避雷器キューピクルおよび変圧器キューピクルはほかのキューピクルとの間に接地金属隔壁を設けて点検の便宜をはかり万一に備えて事故の拡大を防止するとともに保守点検にも便宜をはかっている。

各キューピクルには必要と思われる位置に点検および機器搬出入用トボラを設けてある。これらのトボラは迷路構造により防水を行ない、さらに防錆の目的としてトボラ全周に塗膜付フーモラバを取り付けている。このフォームラバはごく軟質のものを使用しているためトボラの開閉にはなんらの支障もきたさず、かつ取付方法が簡単なため取り換えの容易に行ないうる構造となっている。トボラは特高充電部と低圧制御部とに分かれ、低圧制御部用のトボラは錐前付ハンドルを設け必要に応じて合いがたで開放可能な構造であるが特高充電部トボラはおもに機器搬出入用であるため、キューピクルの内部からロックする構造となっている。したがって外部からは開閉不能な構造のため誤って開放する恐れはなく、また通常の保守点検はすべて低圧制御部トボラのみを開ければ十分行ないうるよう考慮されており、特高充電部でも監視を要する部

分、たとえば断路器の状態監視などはトボラまたはワク組側板にノゾキ窓を設けてガラス窓越しに内部の状態を監視するようになっている。

各キューピクル間の防水にはすべて溶接方式を採用しているが、現場における作業が簡単にできてしまふが、ワク組に悪影響を及ぼすリスクを与えないような構造となっている。

各キューピクルの天井は一方にのみコウ配をつけ、その下部には雨トイ(通)を取り付け適所に設けられた硬質ビニル管雨トイから排水ミヅへ排出する。また天井には架空2回線引込み用の壁ぬきガイ管が取り付けたあるが、このガイ管はキューピクルにおける唯一の充電部分露出部であるため、耐塩害重汚損形のガイ管を用いることによって砂じんによる汚損に対処している。ガイ管の周囲にはパイプ製の鉄さくを囲らし、天井補修塗装などに対する安全が考慮されている。図1.1、1.2のキューピクル上部にこのガイ管と鉄さくが見えている。

キューピクルの換気は自然換気により、各キューピクル上下には各々1個所ずつヨロイ窓を設けているが、防錆に対しては合成樹脂製のスponジ状パッキンを取り付けてあり、長期間の使用で汚れた場合は取りはずして水洗いすることにより、反復使用できるものである。

キューピクルの基礎はミヅ形鋼を主体として各キューピクルごとに単独のものを溶接組み立てて製作し前広に現地へ発送して基礎コンクリートに埋め込む方式であるが、今回のものはとくにキューピクルに底板を設けず、基礎ベース内のシンター上面に難燃性の合成樹脂タイルを張りつめて、基礎コンクリートの湿気がキューピクル内へ蒸発



図 4.1 基礎ベースレベル調整中
Fig. 4.1 Channel bases in level adjusting.



図 4.3 基礎ベース上にシャ断器補助タンク取付中
Fig. 4.3 Abb aux. tank on the channel base.

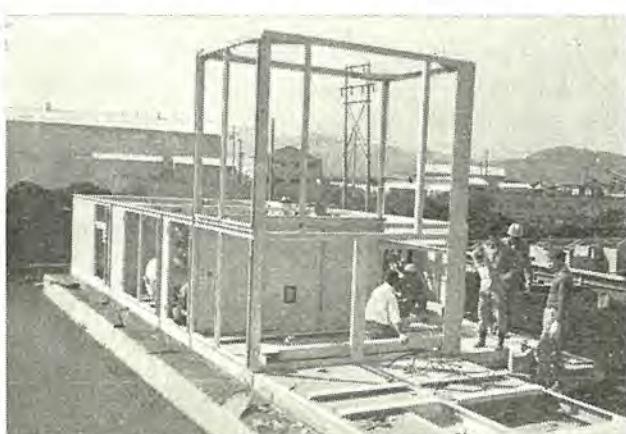


図 4.2 基礎ベース上にワク組立作業中
Fig. 4.2 Cubicle frames on the channel bases.



図 4.4 ワク組立作業中
Fig. 4.4 Cubicle frames in assembling.

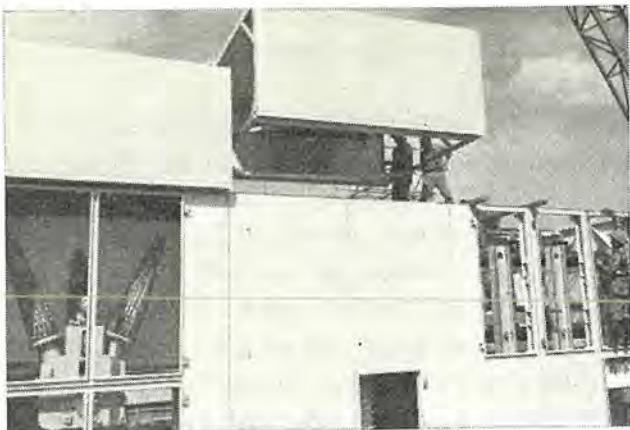


図 4.5 ワク組立作業中
Fig. 4.5 Cubicle frames in assembling.

し気温の急変により結露することを防止している。したがって内蔵機器のほとんどは基礎ベースに直接取り付ける方式としているので荷重は全部基礎ベースで受けるためキューピクルの構造が非常に単純かつ軽量となる。図4.1は基礎ベースのレベル調整中の写真であり、図4.2、4.3は基礎ベースの上へワク組やシャ断器を取り付ける作業中の写真である。

ワク組は各単位キューピクルごとに一体物とすることは、輸送条件などにより不可能であるため、各単位キューピクルをさらに数個の箱体に分割して製作し、断路器などは工場組立のまま発送できるよう考慮が払われている。図4.4、4.5は分割された箱体の組み合わせ中の写真を示す。ワク組は山形鋼、ミヅ形鋼、熱間圧延鋼板で構成されているが、外周側板およびトビラは冷間圧延鋼板を使用している。

キューピクルの機械的強度は地震に対しては水平震度0.5、風圧に対しては最大風速連続60m/sに耐えるものである。

4.2 空気シャ断器

空気シャ断器はY形を用いているが、これは当社が長年にわたって研究開発を行なってきた内部断路形のシャ断器である。この原形は、さる昭和31年初めに完成し、関西電力株式会社小曾根変電所における70kV級シャ断器の現場試験に参加し良好な成績を納めた。その後さらに試作研究を重ね、その製品化にあたっては特別な品質管理方式のもとであらゆる製作上の問題点が検討され改良されたため、きわめて信頼度の高い部品が各部に使用されている。

断路器の抵抗電流シャ断能力が大きいため比較的抵抗値の低い並列抵抗をシャ断点に用いることができるため、各シャ断点は完全に均等化された電圧分布のもとにすぐれたシャ断特性を発揮するものである。この空気シャ断器の詳細についてはすでに発表されているので、ここでは詳細説明は省略するが、その定格事項は下記のとおりである。図4.6は現地組立中の写真を示し図4.7はキューピクル内に納まつた写真を示す。

形 式	70-Y-250 形 3 極単投圧縮空気操作
定格電圧	72,000 V
定格電流	600 A
定格周波数	50 c/s
定格 シャ断容量	2,500 MVA
定格投入電流	54.8 kA
定格短時間電流	20 kA 2 秒
定格開極時間	0.04 sec



図 4.6 シャ断器組立中
Fig. 4.6 Abb in assembling.



図 4.7 内蔵機器組込状態
Fig. 4.7 Setup of internal instruments.

定格 シャ断時間	3 c/s
無負荷投入時間	0.1 sec
定格再起電圧	I号
絶縁耐力	60号 (IMP 350 kV, AC 140 kV)
定格操作圧力	15 kg/cm ²
定格制御電圧	DC 100 V
補助空気ダメ容量	1,200 l (補助空気ダメのみによる CO 可能回数は2回)

4.3 断路器

4.3.1 受電断路器

受電断路器は垂直1点切回転ガイシ形のV形を使用している。接触方法はブレードをネン回して圧接する方式で、接触部はリバースループコンタクトを使用しているので短時間電流に対して十分な強度を有するものである。受電断路器は各系統ごとに受電端にそう入されており、異系統の並列運転を防止するため同時投入不能とする電気的インターロックが施されている。定格事項は下記のとおりである。

形 式	60-V-6 形 3 極単投圧縮空気操作 リバースループコンタクト式
定格電圧	69,000 V
定格電流	600 A
定格短時間電流	22,000 A 2 秒
絶縁階級	60号 IMP 350 kV AC 140 kV (対地間) IMP 400 kV AC 190 kV (同相極間)

定格操作圧力 15 kg/cm²
定格制御電圧 DC 100 V

4.3.2 変圧器一次断路器

変圧器一次には変圧器が複数 パンク となった場合、全 パンク を停止することなく パンク の切り換えを行なう目的で VLB 形負荷断路器を使用している。これは前述の V 形断路器に シャ断機機構を取り付けたものである。シャ断部は ガイ 管でできていて SF₆ ガス (6 ツ化イオウガス) が封じ込んでいるので使用中の保守は不要であるが、たまに ガイ 管内圧力を キューピクルノゾキ 窓から監視し、ガス圧が 1 気圧以下の場合は再充 テン する必要がある。キューピクルでは、この断路器を変圧器励磁電流開閉用として用いているので、変圧器二次 シャ断器が開のときのみ断路器の操作が可能となるような電気的 インターロック が施されている。なおこの断路器は普通水平上向き取り付けが標準であるが変圧器との組み合わせの関係で垂直取付けとしている。定格事項は形式以外は前記 V 形と同様である。

形式 60-VLB-6 形 3 極単投圧縮空気操作

4.4 主要変圧器

変圧器は三相油入自冷内鉄形で、二次側に負荷時電圧調整器を有する CR-URA 形を使用しているが、キューピクルとの組み合わせの関係で一次側 ブッシング は水平取付けとしている。変圧器の絶縁紙には当社の HI-L 絶縁紙を用いており、これは変圧器の過負荷耐量の増大、寿命向上などの利点を有するものである。変圧器本体は完全窒素封入密封式で、変圧器絶縁油が外気と直接接触する恐れがなく、構造簡単で保守点検をほとんど要しないきわめ

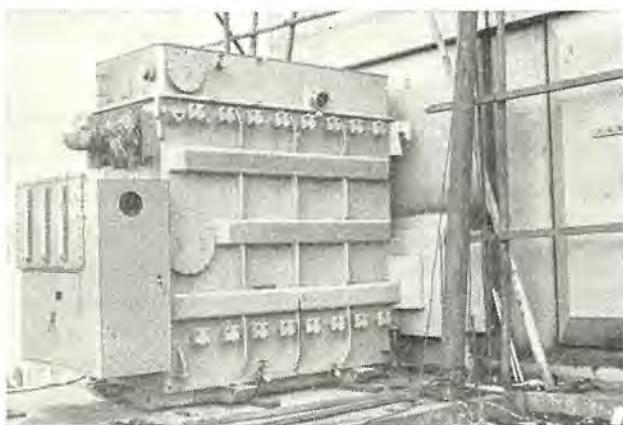


図 4.8 変圧器据付作業中
Fig. 4.8 Main transformer as coupled to cubicle.



図 4.9 変圧器の組立作業中
Fig. 4.9 Main transformer in assembling.

キャタピラ 三菱納め 60 kV 屋外 キューピクル・矢野・田和

て便利な構造である。また窒素圧力は付属の連成計により容易に見られ、「温度-窒素圧力」特性曲線が付属しているので状態が一目でわかり、窒素ガス封入方法もきわめて簡単である。負荷時電圧調整器は切換開閉器部分が気中となっている URA 形を用いているので、変圧器絶縁油の汚損、絶縁耐力の低下、ロ過などの問題はいっさいない。図 4.8, 4.9 は キューピクル と変圧器の組合せ状態を示す現地写真である。おもな定格事項は下記のとおりである。

形 式 CR-URA 形 三相内鉄形油入自冷窒素封入密封式負荷時電圧調整器付

定格電圧 66,000±10%/6,600 V

定格容量 7,500 kVA

定格周波数 50 c/s

接続 三角形/三角形

絶縁階級 60/6A 号

4.5 計器用変成器

4.5.1 計器用変流器

計器用変流器は シャ断器の定格短時間電流と協調をとった過電流強度を有するもので、据付状態は図 4.7 に示すとおりである。 シャ断器の右側に見えるのがこの変流器である。定格事項は下記のとおりである。

形 式 PC-6 形 単相巻線形油入 ガイシ 形窒素封入密封式

定格電圧 69,000 V

定格電流 200-100/5 A

定格負担 40 VA

確度階級 1.0 級

定格過電流強度 200 倍 1 秒

4.5.2 計器用変圧器

計器用変圧器の定格事項は下記のとおりである。図 4.7 に据付状態を示す。

形 式 TH-72 形 三相内鉄形油入 タンク 形窒素封入密封式

定格電圧 66,000/110 V

定格負担 2×200 VA

確度階級 1.0 級

絶縁階級 60 号



図 4.10 避雷器組込状態
Fig. 4.10 Setup of lightning arresters.

4.6 避雷器

この変電所は架空線受電のため一次側に避雷器の設置を必要とするが、設置場所は電力会社の要求もあり、受電 **シャ** 断器の保護下にある変圧器一次母線としている。この避雷器は抵抗スペーサを有する永久磁石消弧式チャッパと多重充テンブロックからなるオートバルブ避雷器で、衝撃電流記録器および同測定装置（デンソーメータ）が付属されている。概略定格事項は下記のとおりである。図4.10は現地における据付作業中の写真を示す。

形 式	SV-W2 形 永久磁石消弧式
最高使用電圧	69,000 V
許容端子電圧	84,000 V
基準衝撃絶縁強度	350 kV (CREST)
放電開始電圧	216 kV (CREST) 以下 (衝撃波) 233 kV (CREST) (緩頭波衝撃波) 138 kV (RMS) 以上 (商用周波)

4.7 母線電圧検知器

母線電圧検知器は、母線に交流電圧が印加されたか否かを検知するために用いる。母線から離して置かれたアンテナの静電誘導電圧を增幅器で增幅後リレーを動作させ、表示灯により電圧の有無を検知するものである。ゆえにアンテナは直接母線に接続されないためこの装置に対する母線側保護装置は不要となるので送電線入口に設置することが可能である。概略仕様は下記のとおりである。

形 式	PA-2A 形 アンテナで検出後トランジスタで増幅する方式 (したがって装置自身は連続定格である) 増幅器はシミュット回路による ON-OFF動作
電圧検知範囲	本器調整時の母線電圧の +15%, -5%
アンテナと母線の距離	BIL 350 kV の場合で 928 mm
制御電源	DC 90~140 kV

4.8 コンプレッサおよび空気配管

60 kV 側機器の内、**シャ** 断器および断路器はその操作に圧縮空気を必要とし、**シャ** 断器にはその消弧のためにとくに清浄な圧縮空気を必要とする。このためこのキューピクル内にコンプレッサを設置しその空気系統配管いっさいをも内蔵している。

コンプレッサは空気圧縮機 2 台と主空気 ダメ 1 個からなり、空気圧縮機は常用-予備切換運転を避け常時 2 台の並列運転方式とし、保守点検などのときにはいずれか 1 台の単独運転が容易に行ないうよう考慮されている。これは常用予備切換で予備機となつた空気圧縮機の運転ひん度がわずかとなり、潤滑油の巡りが悪くついに焼損にいたるような危険をなくし、かつ自動補充気時間の短縮を目的としたもので「短時間ではあるがたびたび」運転するよう考慮したものである。

コンプレッサの主空気 ダメの容量は、主として空気 **シャ** 断器の連続開閉操作回数によって決まるものであり、空気圧縮機の容量すなわち吐出量は充気時間によって決定される。空気 **シャ** 断器の CO 可能回数はその補助空気 ダメのみで 2 回の容量を有し、主空気 ダメを含めると全部で約 5 回の CO 操作が可能である。また断路器 CO 1 回の空気消費量は約 50 l 程度の微量であり、**シャ** 断器の CO 操作可能回数にはほとんど影響を与えることはない。なお **シャ** 断器は常時充気形であるため投入中は毎時約 50 l の空気を放出するが、開放中はこれを行なわないので前記 CO 操作可能回数に影響はない。

シャ 断器および断路器と接続する空気管および排水管は継目なし銅管 28 φ × 1.5 (厚) を用いて最短距離で配管され、接続はリムジョイント方式を採用している。コンプレッサの仕様は下記のとおりである。

形 式	CA-KAA 形
定格圧力	30 kg/cm ² (遠隔指示装置により監視盤に圧力表示を行なう)
供給圧力	15 kg/cm ²
空気圧縮機	空冷式電動機 (2 × 2.2 kW) 直結駆動形
操作電圧	三相 50 c/s 200 V
定格吐出量	2 × 65 l/min (自動補充気時間約 15 min)
主空気 ダメ 容量	400 l

4.9 信号、鎖錠および低圧配線

保守点検の安全および誤操作防止のため次のような信号と鎖錠を施し事故の絶無をはかっている。キューピクルの操作回路接続展開図を図4.11に示す。

4.9.1 信号

シャ 断器および断路器の開閉状態はキューピクル トピラおよび監視盤に取り付けられた赤緑表示灯により表示するが、**シャ** 断器はさらにキューピクルとびらに機械的表示を出している。

断路器の表示灯は断路器の操作終了の合い図となるものであるから、点滅にはリミットスイッチを用いている。

母線電圧検知器はキューピクル側および監視盤側にランプで表示を行なっている。

4.9.2 鎖錠

断路器、**シャ** 断器間の鎖錠は簡潔な電気的鎖錠方式を採用しているが、これの施行困難な場合は注意名板を取り付け誤操作の絶無を期している。

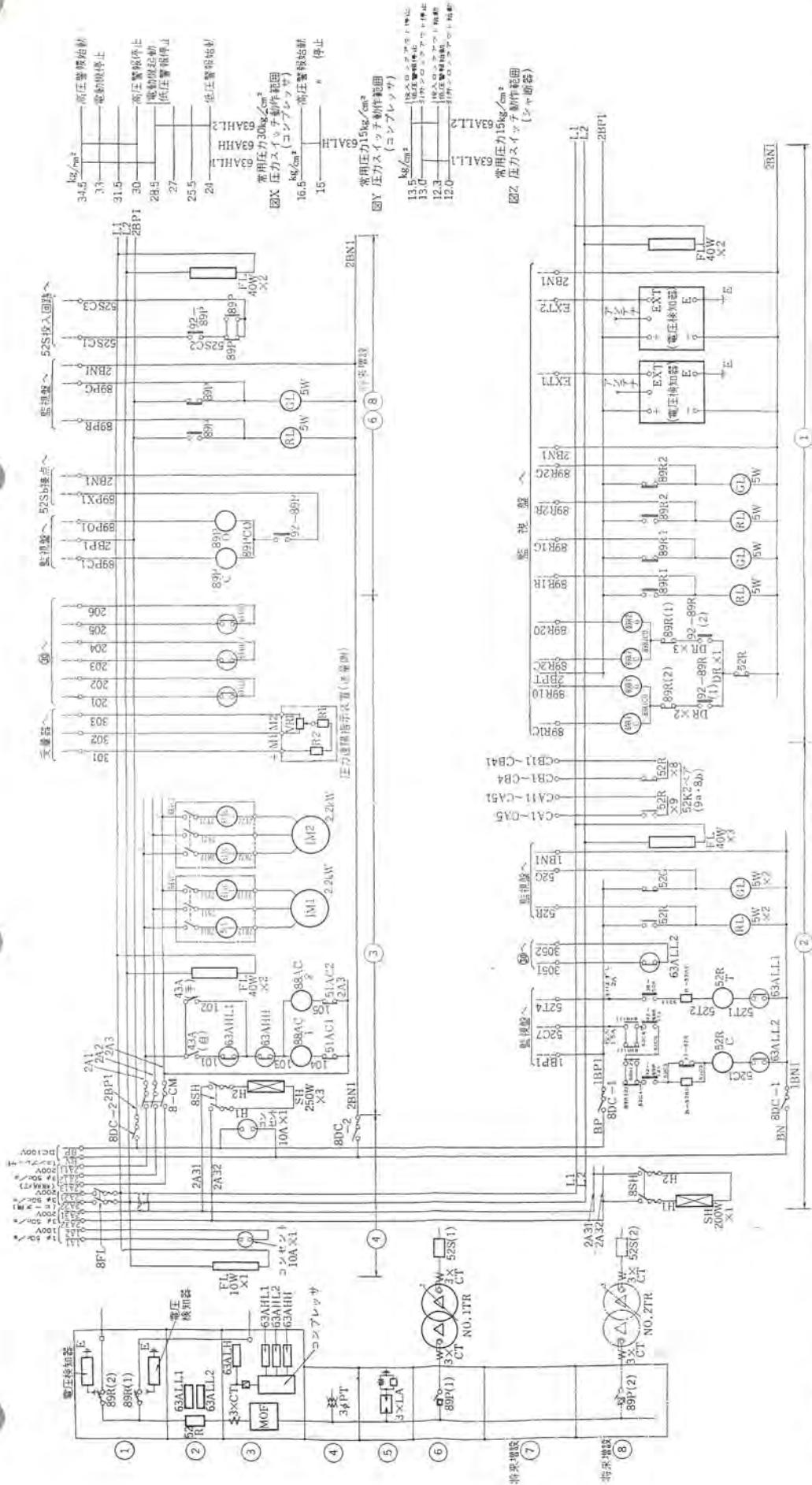
(1) 受電断路器は無負荷の状態でなければ操作してはいけないため、受電 **シャ** 断器が開のときのみ操作可能となるよう、**シャ** 断器補助開閉器の b 接点を操作回路にそう入して誤操作を阻止している。

また受電 2 回線は並列運転不能につき同時に投入されることのないよう、互いの補助接点の b 接点をそれぞれの操作回路にそう入して誤操作を阻止している。

空気操作機構は組立、据付時の調整操作などに便利なように手動操作を行なうことが可能なものとなっているが、手動操作に対して電気的あるいは機械的 インターロック を施行することは非常に困難であり、また手動操作を行なうひん度がわざかなため、操作者が操作機構本体に付属している注意名板の指示に従って、その目で インターロック 条件を確認し、空気止弁を閉じてから操作することにして通常の操作に關係のない操作回路や機構類を極力少なくすることにより単純化をはかっている。また手動操作中に誤って受電 **シャ** 断器が投入されたり、あるいは該断路器が遠方操作されるようなことが起こらないよう、手動操作とびらに連動するスイッチを各回路にそう入して誤操作を阻止している。以上の事項をまとめると

「受電断路器は受電 **シャ** 断器が開、他方の断路器が閉で、かつ手動操作 トピラ を閉じているときのみ遠隔操作可能となる」となる。

(2) 変圧器一次断路器は変圧器励磁電流開閉用として用いているため、変圧器二次 **シャ** 断器が開のときのみ操作可能となるよう、**シャ** 断路器補助開閉器の b 接点を操作回路へそう入して誤



キャタピラ 三菱納入 60 kV 屋外キャビネット・矢野・田和

(483) 71

② 断路器 (89P 压縮空氣操作機構付) の操作

1 空気操作は 52R「閉」および他方の断路器「閉」でかつ自己

Fig. 4.11 Sequence diagram of vehicles.

操作を阻止している。手動操作については受電断路器と同様の処置を講じて操作の安全をはかっている。

(3) 受電 シャ断器は受電断路器のいずれか片方だけでも操作している間、あるいは手動操作を行なっている間は投入されることがある。この条件を満足する接点を投入回路にそう入して誤操作の防止をはかっている。

変圧器二次 シャ断器は変圧器一次断路器との間に同様のインターロックを設けて、操作の安全を期している。

以上のほかに操作圧力低下により シャ断器自身が投入、 シャ断能力を失した場合は圧力開閉器により操作回路を切り離して シャ断器の操作を阻止している。

(4) キューピクル とびらは 4.1 節で述べたように、特高充電部と低圧制御部とに分かれ、低圧制御部とびらは錐前付 ハンドルを設け必要に応じて合い鍵（キューピクル 全低圧室とびらについて共通）で開くことができる。合い鍵は解錐位置では抜けず施錐位置のみで抜け、開いたときに合い鍵を抜いてから閉じれば元どおり施錐される構造となっている。特高室とびらは キューピクル 内部から ロックする構造となっているので充電中に誤って開く危険はなく、内部が見えなければ通常の保守にこと欠く場合は内部照明灯を点灯のうえ、とびらまたは側板に設けられた ノゾキ 窓から監視できる構造となっている。

4.9.3 低圧配線

低圧配線は 600 V 耐熱塩化ビニール線 2.0 mm² (7/0.6) を用いている。配線は計器用変圧器 キューピクル に設けられた集合端子盤から各 キューピクル へ制御ケーブルダクトを経て端子盤に接続されるが、ケーブルダクト 設置困難な場所は硬質 ビニール 管内を配線している。配線の接続部はすべて圧着端子を使用した確実な接続である。

4.10 操作、保守、点検

断路器および シャ断器はすべて監視盤からの遠隔操作で行なわれるが、完備した インターロック により誤操作の絶無を期している。

コンプレッサ の運転は、 キューピクル 内に設けた切換開閉器を自動あるいは手動に切り換えることによって任意に運転することができる。自動運

転を行なう圧力範囲は 28.5~33 kg/cm² であり、自動補充気時間は 15 分以内である。

この キューピクル は防爆形、密閉構造となっているため、保守点検はほとんど無用でよいように考慮されているが、コンプレッサは毎週 1 度空気圧縮機の油面の点検と主空気ダムからの排水を行なわなければならないが、この点を考慮した保守点検のしやすい構造となっている。

5. むすび

以上が キャタピラ 三菱株式会社相模原工場納めの 60 kV 屋外用防爆形 キューピクル の概略である。この級の キューピクル の過去の実績は 60 kV ピル用屋内形、70 kV 工場用屋外防爆形、70 kV 屋外形（住宅地の中へ据え付けられたもの）各 1 件のほかに現在製作中のものとして 60 kV 屋内用、70 kV 工場用屋外耐塩害形各 1 件がある。

要するにこの級の キューピクル も、従来から幾多の納入実績を有する 20, 30 kV 級の キューピクル と思想的にはなにも変わることのないということができる。世間ではいまだ 60, 70 kV 級の キューピクル は、単に設備に囲いがしてあるだけだという考え方があるようだが、これは誤った考え方で、立派な閉鎖配電盤であることを認識されなければならない。

60, 70 kV 級受変電設備の新設や増設あるいは容量増加に伴う昇圧による新設などを必要とする需要家におかれても、今後はいろいろの汚損や災害に対し積極的解決を与える、かつ据付面積および占有空間体積の縮少、機器の耐久性向上と運転保守の簡便かつ安全に伴う保守要員を含めた設備維持費の節減などの利点を有する キューピクル 方式を採用される機運が高まってきており、すでに 100 kV 級の キューピクル の計画も聞かされている今日である。今後は需要家各位のご意見を参考にして、かつて 20, 30 kV キューピクル がそうであったようにいろいろの創意と工夫を加えることにより、内蔵機器も含めた キューピクル の改良を積み重ねてゆくつもりであり、いっそそのご指導をお願いする次第である。

テレメータ追尾レーダ (GTR-5 形)

樺本俊弥*・森川 洋**・渡部 優*・若田和明***・篠原英男**

A Telemeter Tracking Radar (Type GTR-5)

Kamakura Works, Itami Factory Toshiya KASHIMOTO・Hiroshi MORIKAWA
Masaru WATANABE・Hideo SHINOHARA
Kamakura Works Kazuaki WAKATA

With the increase in the flying range of the sounding rocket, it has come to call for more powerful tracking and telemetering facilities. Under the circumstances, an automatic multi-purpose telemeter tracking radar has been designed by Mitsubishi, the product being installed in September, 1963 at Kagoshima Space Center of Institute of Science, Tōkyō University.

The antenna system on this tracking radar of 18m in diameter has a function both as a rocket tracker in a 290 MC band, and as a satellite tracker in a 4Gc band operating on a cassegrain feed simultaneous lobing mode. For receiving very low-level pilot and telemeter signals from a target, a phase-locked demodulator shall be used.

The antenna is hydraulically driven by a DC angle-error signal, the tracking data (positions and standard time) being automatically digitalized and recorded.

On the other hand, the telemeter signal of the sounding rocket is received by another exclusive receiver, recorded by a taperecorder and a pen-recorder.

1. まえがき

近年のわが国の宇宙航空技術の進歩には、実にめざましいものがある。観測用ロケットは年々大形化の傾向を示し、ロケットの飛行到達距離は増大の一途をたどっている。このような情勢から東京大学の生産技術研究所（現在の宇宙航空研究所）が中心となり、既設の秋田県の道川ロケット実験場を廃止し、新たに九州大隅半島の内之浦に一大ロケット基地を設置する計画が進められた。

当社でも昭和35年からこの計画に参加し、トラッキングテレメータアンテナ、テレメータ受信機および基礎工事、据え付工事をそれぞれ受注した。

設計、製作に際しては生産技術研究所の各分野の専門家の指導を受け、また当社中央研究所および伊丹、神戸両製作所の協力

によって製作を完了、昭和38年9月に鹿児島県内之浦町の東京大学鹿児島宇宙空間観測所に設置を完了した。

ロケットの飛行到達距離の増大に伴い、受信電波はごく微弱なものとなり、超遠距離性のトラッキングレーダの必要性が生ずるに至った。この装置はこれらの要求に応ずるものであり、電波を能率よく集束し、かつ良好な S/N 比の得られる直径 18 m の低雑音高利得のパラボラアンテナを有する、わが国有数のトラッキングレーダである。

この装置は現在はロケットによるテレメタリングが主目的であるが、将来宇宙空間の観測や電波天文学の研究にも使用しうるはん（汎）用性と経済性とを兼ね備えている。またこれらの装置は純国産の技術により設計、製作されたところに大きな特色と意義がある。

2. 装置の概要

この装置は大略して サイマルテニアスローピング 方式アンテナ（直径 18 m）、追尾用受信機、テレメータ用受信機、空中線駆動装置、角度検出装置、データ記録装置、標準時刻受信装置、工業用 レビジョン 装置、管制装置、電源装置から構成されている。

この追尾アンテナはロケット発射台 (Launcher) から約 300 m 離れた高台で、発射台および太平洋を見おろす場所に設置されている。しかしロケット発射の初期追尾は、ロケットの角速度が非常に大きいため、追尾アンテナはあらかじめ計算されたロケットの軌道上でかつ仰角約 70~80 度で待ち受けとなる。アンテナがロケットを捕そくするまで手動でアンテナを動かし、ロケットからのパイロット信号を捕そくすると、表示ランプが点灯すると同時に自動追尾装置が動作して全自动追尾に移り、かつ自動的にデータの記録が行なわれる。将来は先年当社が製作し納入した GTR-1 形、4 m ドラッキングレーダに追従させる計画が進められている。すなわちロケットの比較的低高度の追尾は GTR-1 形 レーダが担当し、この レーダに追従することによりさらに高高度の追尾をこの装置が担当する仕組となっている。なお GTR-1 形 レーダは発射台から約 2 km 離れた場所に設置され、ロケット発射時から自動追尾が行なわれる。

自動記録されるデータは追尾系としては日付、時刻、仰角、水



図 1.1 18 m 空中線および L-2-2 形観測用ロケット
Fig. 1.1 Distant view of 18 m tracking telemeter antenna and L-2-2 sounding rocket under launching angle.



図 2.1 空中線装置および油圧室
Fig. 2.1 Close-up view of 18mφ tracking telemeter antenna and hydraulic power room.

平角、ドブラ周波数などであり、自動的にタイプアウトすることができる。一方ロケットからの周波数変調された高層データは追尾用と同一のアンテナで受信し、テレメータ受信機により復調され自動的に磁気テープおよびペン書きオシロに記録することができる。

またパラボラアンテナの焦点の部分に取り付けられた一次フク射器を電動駆動で180度ひっくり返すことにより、人工衛星をも追尾することができる。

空中線装置は水平と垂直の二つの回転軸を有し、ディーゼルエンジンを動力源とした油圧モータにより駆動され任意の方向を指向させることができる。

この追尾アンテナの追尾可能距離についてみると、捕そくできる最小受信レベルは受信機の入力端に換算して約-130dBmである。これらのごく微弱な信号をよく捕そく追尾するためにPhase-Locked Demodulator(略してPLD)方式による狭帯域受信機が用いられ、テレメータ受信機も同様に位相同期検波方式(略してPLD)を採用している。

またパラボラアンテナには工業用テレビジョンのカメラが取り付けられ、これにより光学観測も可能である。

この装置は台風銀座と称される大隅半島に設置されており、直径18mのパラボラを有する空中線装置が、まともに台風を受けると破損する危険性があるため、台風来襲時およびアンテナを使用しない時期にはアンテナを天頂方向に向け、アンテナが水平および垂直面内で回転しないようにロックする機構を有し、さらにアンテナの構造設計に先だって風洞実験を何回も重ねて慎重に設計した結果、瞬間最大風速75m/sまで破損しない構造となっている。

この装置の配置についてみると、18mのパラボラを有する空中線装置と並んで油圧装置を収納した家屋があり、これらから約20m離れたテレメータセンタ内に受信機、制御装置などの電子機器が収納されている。

実際にロケットの打上げ実験の際は、人体に対する危険性から空中線装置は無人となり、テレメータセンタ内に設置された管制卓からガラス窓を通して空中線装置の動作を監視している。

3. 仕様

装置の仕様は概略次のとおりである。

3.1 空中線装置

形式 ロケット追尾用: サイマルテニアス追尾方式
衛星追尾用: カセグレン形 サイマルテニアス追尾方式
受信波形式および周波数

ロケットのパイロット信号
 296.7 ± 0.05 Mc (CW)

ロケットのテレメータ信号
295.0 295.6 296.2 298.1
 ± 0.185 Mc (FM-FM)

衛星追尾用ビーコン信号
 $4,079.73 \pm 0.2$ Mc (CW)
衛星通信用信号
 $4,170 \pm 12.5$ Mc (FM)

パラボラ反射鏡
直径 18m 重さ 13トン

アルミのサンドイッチ構造
鏡面精度 3mm(rms)

開口角 約 150° 焦点距離 5,864 mm

カセグレン反射鏡
副反射鏡直径 2m アルミ製
18mの主反射鏡と組み合わせてカセグレンアンテナとなる

一次フク射器

ロケット追尾用

Simultaneous lobing用 ターンスタイル形
ダイポールアンテナ(前面給電方式)

衛星追尾用

Simultaneous lobing用 ホーン
(背面給電方式)

ハイブリッド回路

ロケット追尾用: 同軸形 ラットレス回路
衛星追尾用: 導波管形 ショートスロット結合器および
折曲げマジックT回路の複合形

空中線利得

ロケット追尾用: 296.7 Mc で約 30 dB
衛星追尾用: 4,079.73 Mc で約 53 dB

アンテナパターン

ロケット追尾用 (296.7 Mc)
SUM パターン 半値幅 4.5°
Null Depth 25 dB 以上
衛星追尾用 (4,079.73 Mc)
SUM パターン 半値幅 0.35°
Null Depth 30 dB 以上

偏波 ロケット追尾用: 円偏波

衛星追尾用: 左旋円偏波

雑音温度 仰角 10°, 4,000 Mc で 50°K 以下
可動範囲 方位角 $\pm 400^\circ$ 仰角 $-5^\circ \sim 90^\circ$

耐風性 平均風速 10 m/s で異常なく動作
瞬間風速 75 m/s まで破損しない

3.2 受信装置

3.2.1 追尾用受信機

追尾用受信機を大別すると高周波部と復調器になる

(1) ロケット追尾用高周波部

中間周波数 30 Mc
帯域幅 3 Mc 以上
局部発振器 周波数 326.7 Mc
周波数安定度 5×10^{-6}

(2) 衛星追尾用高周波部
中間周波数 30 Mc
帯域幅 2 Mc
局部発振器 周波数 4,049.73 Mc
周波数安定度 5×10^{-6}

(3) 復調器
方式 位相同期復調方式 (PLD)
Phase-Locked Demodulator
帯域幅 500/150/50 c/s 任意切換可能
AGC 回路 あり
最小受信感度 約 -130 dBm

3.2.2 テレメータ受信機 方式 位相同期復調方式 (PLD)

チャネル数 14

3.3 空中線駆動装置

方式 油圧 サーボ駆動方式

油圧発生装置 (水平駆動用, 垂直駆動用)

油圧発生装置の動力源は 175 馬力の ディーゼルエンジン

2 基

最大角速度

水平角 $3^\circ/\text{sec}$

仰角 $1^\circ/\text{sec}$

最大角加速度

水平角 $3^\circ/\text{sec}^2$

仰角 $1^\circ/\text{sec}^2$

3.4 角度検出装置

方式 デジタル 伝送方式 (2 進化 10 進符号)

指示角度

単位 度

ケタ数 6

最小指示角度 0.005 度

伝達方式 並列

3.5 データ記録装置

3.5.1 追尾記録

方式 タイプライタによる自動
デジタル 記録方式

記録内容

局番 (1 ケタ)

データ符号 (3 ケタ)

時刻 (6 ケタ)

仰角 (6 ケタ)

水平角 (6 ケタ)

ドップラ 周波数

(8 ケタ)

日付 (3 ケタ)

サンプリング 周期

10 秒 1 分切換

可能

タイプライタ 印字速度 500 字 1 分

3.5.2 テレメータ信号記録

方式 テープレコーダ ペンレコーダ

記録容量 14 チャネル

3.5.3 その他

追尾状態の監視用に ITV を備えている。

3.6 標準時刻受信装置

出力標準時刻 単位 時, 分, 秒 (6 ケタ)

コード 2 進化 10 進符号

出力時間 パルス 時間間隔 1 分, 10 秒, 1 秒, 0.1 秒

3.7 総合性能

総合角度標定精度 1 mil (rms) 以下

動作モード

(a) 自動追尾

(b) 手動制御

(c) 他の追尾装置からの信号に追従

(d) プログラム 指令に追従

4. 装置の構成および各機器の説明

この装置は下記の機器により構成されている。

(1) 空中線装置

(2) 油圧部

(3) 制御増幅装置

(4) フォロアップ 装置

(5) 演算装置

(6) 電源装置

(7) 受信装置 (追尾系)

(8) 高周波部

(9) データ 記録装置

(10) プリンタ

(11) 標準時刻受信装置

(12) 管制卓

(13) 自動電圧調整器 (AVR)

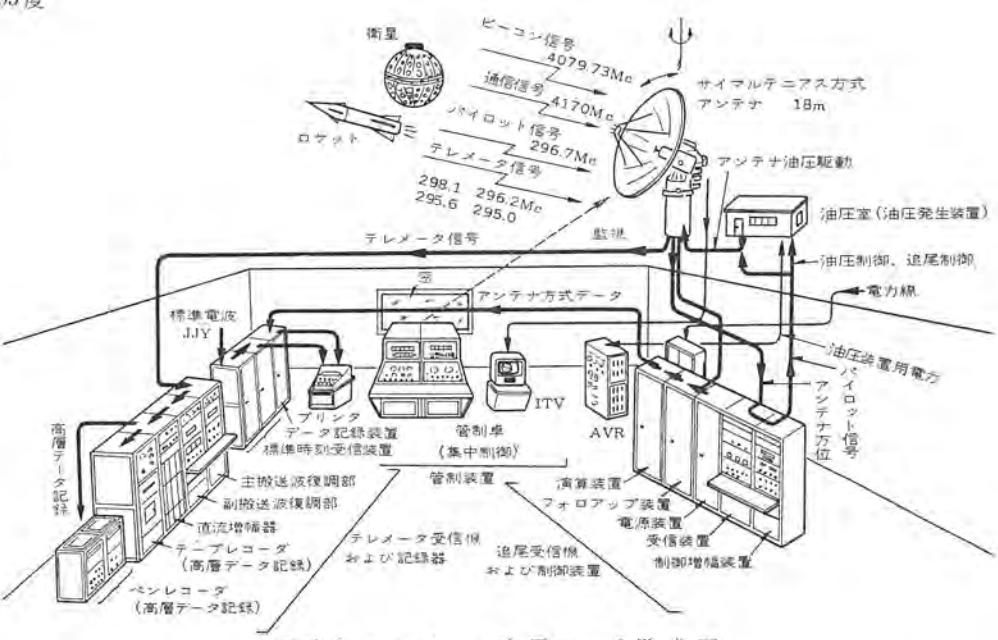


図 4.1 テレメータ追尾レーダ構成図
Fig. 4.1 Constitution of telemeter tracking radar.

- (14) 配電盤
- (15) 工業用 テレビジョン 装置
- (16) テレメータ 受信機
 - a. 主搬送波復調部
 - b. 副搬送波復調部
 - c. 直流増幅器
 - d. テープレコーダ
 - e. ベンレコーダ

これらの装置のうち(3)～(16)はテレメータヒンタ内に設置され、(1)はテレメタセンタから約 50 m 離れた場所に設置されている。また(2)は空中線装置のすぐ横に設置されている。

4.1 空中線装置、高周波部

空中線装置の外観を図 2.1 に示す。飛ショウ体の飛行距離の増大に伴って飛ショウ体からの受信電波はごく微弱なものとなり、これらの電波を高能率かつ良好な S/N で受信するために、アンテナの直径を大きくするとともに鏡面精度を上げかつ低雑音温度のアンテナが必要になってきた。また高い角度精度も要求され、これらの要求を満足するため回転軸の直交性、歯車の パックラッシュ および剛性などについて設計上十分検討が行なわれ、さらに精密組立、検査の技術が動員された。この空中線装置はレードームなどの保護装置の中に収納されているのではなく、野天に設置されているため風雨雷などの自然条件にも十分打ち勝つものでなければならなかったため、この面からも十分な配慮が払われている。

(1) 反射鏡

主反射鏡は直径 18 m の回転放物面で、鏡面精度 3 mm (実効値) である。また重量を軽減して慣性モーメントを小さくするために、反射鏡は全アルミの サンドイッチ 構造で作られ、重量は約 13 トン



図 4.2 反射鏡組立
Fig. 4.2 Construction work of 18 mφ antenna.



図 4.3 反射鏡およびフク射器
Fig. 4.3 Front view of reflector and primary radiator.

である。図 4.2 に示す中心 リング を中心にスイカの皮のような 24 枚の部分から構成されている。図 4.2 でその サンドイッチ 構造を観察することができる。このようにして外皮に構造上の強度をもたせて剛性を大きくし、瞬間最大 75 m/s の風圧にも十分耐えることができる。反射鏡の組み立ては、地上で 図 4.2 のように中心 リング にまず 180 度離して 2 枚の羽根を取り付け、鏡面測定用 ゲージ で理想曲面となるように調整し順次この作業が繰り返される。組み立ては真夏に行なわれたため温度 ヒズミ による影響をなくすため、鏡面の測定は夜間に行なわれた。なお主反射鏡の開口角は 150 度である。

一方図 4.3 および図 2.1 でわかるようにこの空中線装置にはさらにもう 1 個の副反射鏡が取り付けられている。この副反射鏡は直径 2 m あり、曲面は回転双曲面で鏡面の精度は 3 mm (実効値) である。この空中線装置を衛星追尾用として使用する場合に図 4.3 に示す配置とし、カゼグレインアンテナ (Casgrain antenna) として用いている。この副反射鏡は図 4.3 に示すように 4 本のステー によって主反射鏡に取り付けられている。

(2) 一次フク射器、ハイブリッド回路

一次フク射器は大別してロケット追尾用と衛星追尾用の二つに分けられる。ロケット追尾用の一次フク射器は図 4.3 および図 4.4 にて示されるように Simultaneous lobing を行なうために 4 個のターンスタイルアンテナ を正方形の頂点となるように反射板上に配置したものである。構造は図 4.5 に示すように 2 個の Dipole を直交

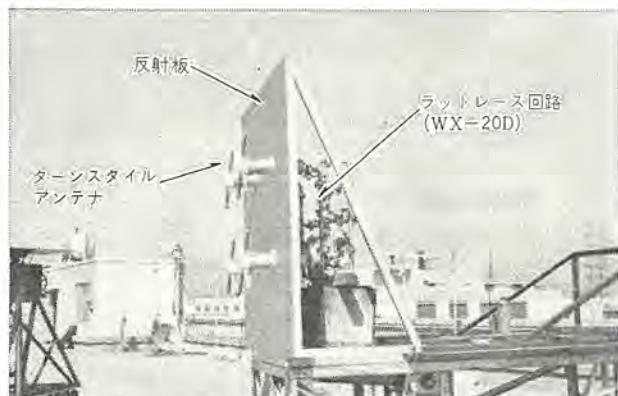


図 4.4 ロケット追尾用 ターンスタイルアンテナ および ラットレース回路
Fig. 4.4 Turnstile antenna and coaxial rat-race circuit of rocket tracking antenna (for 300 Mc).

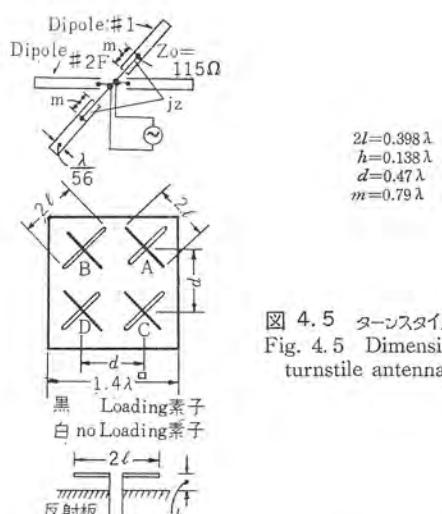


図 4.5 ターンスタイルアンテナ
Fig. 4.5 Dimensions of turnstile antenna.

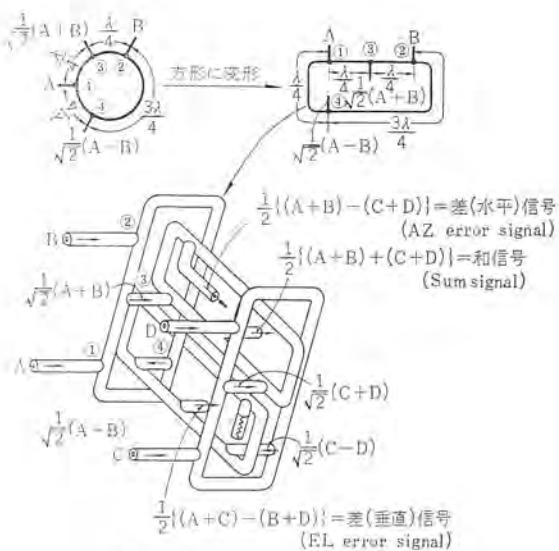


図 4.6 ラットレース回路
Fig. 4.6 Coaxial rat-race circuit.

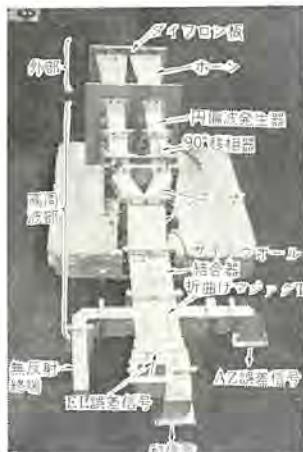


図 4.7 衛星追尾用カセグレインフク射器
Fig. 4.7 Primary feed of satellite tracking antenna (for 4Gc).

させて Turnstile 形とし、Dipole の各素子の長さを $1/2$ 波長の約 80% に選びフク射 Impedance を容量性とする。また 1 個の Dipole は素子の途中から給電して等価的に素子の長さを長くしてフク射 Impedance を誘導性とする。相互 Impedance を考慮して 2 個の Dipole を流れる電流の振幅が等しく、位相が $\pi/2$ だけ異なるようにして円偏波を発生する構造としている。これらの 4 個のターンスタイルアンテナは 1.4 波長平方のアルミの反射板に取り付けられている。実際の使用状態では図 4.3 でターンスタイルアンテナは主反射鏡方向を向くよう取り付けられている。

ロケット追尾用のハイブリット回路は図 4.4 および図 4.6 に示すように、同軸のハイブリット回路を Space factor を良くするように 4 個組み合わせてラットレース回路を構成し、図 4.4 に示すように反射板を介してターンスタイルアンテナと直結し、先に述べた 2 m の副反射鏡とこの反射鏡との間に収納され図 4.3 に示すように主反射鏡の焦点付近に装置されている。ハイブリット回路からの和信号 (Sum signal) および差信号 (AZ, EL error signal) は、損失の少ない $7/8''$ のスチロフレックスケーブで高周部に収納されている RF 増幅器へ伝送される。(図 4.3 参照)

次に衛星追尾用の一次フク射器およびハイブリット回路を図 4.7 に示す。一次フク射器は正方形のホーンを 4 個田の字形に並べた

もので、その開口径および相互の間隔は和回路 (Sum channel) の雑音温度に対する利得の比ができるだけ大きく、かつ差回路のパターン (Difference channel pattern) が所要の形となるように設計されている。

ハイブリット回路はサイドウォール結合器 (H 結合器), 折曲マジック T それぞれ 2 個から構成されている。前者は導波管を 2 本横に並べて適当な長さの結合長をもっており、3 dB の結合器として動作している。後者は space factor を良くするためにマジック T のサイドアームを E 面で折り曲げて並べたものである。

ハイブリット回路は高周波部に収納され、ホーンは高周波部の先端に取り付けられ、先に述べた副反射鏡に対向し、主反射鏡により集束され、ふたたび副反射鏡により反射された電波を受信できる位置関係となっている。この副反射鏡は主反射鏡の焦点と、吹付開口中心を共役焦点とする Hyperbola である。一方先に述べたロケット追尾用一次フク射器の反射板は焦点の位置に配置され、電動駆動で副反射鏡とターンスタイルアンテナとを 180 度回転して衛星系、ロケット系の追尾用として用いている。カセグレインアンテナでは背面給電となり、フィーダの損失が小さくアンテナ雑音温度低下には有効な方式といえる。

ハイブリット回路のブロック線図を図 4.8 に示す。

(3) Simultaneous lobing 方式の動作原理と利点

図 4.8 に示す一次フク射器から反射鏡に電波をフク射して得られる二次 pattern を図 4.9 の上図のようにオーバラップさせる。この場に 4 個のホーンを同相で給電すると Sum pattern が得られ、

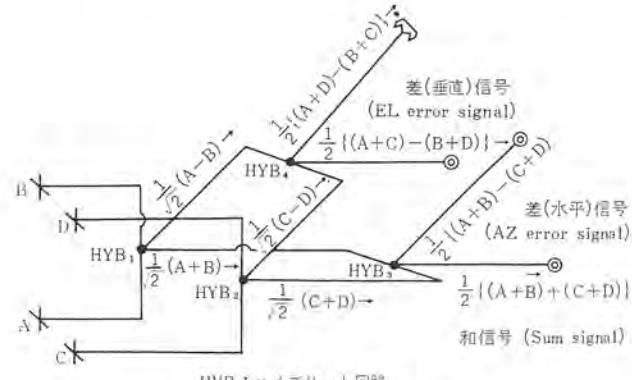


図 4.8 ハイブリット回路系統図
Fig. 4.8 Block diagram of hybrid circuit.

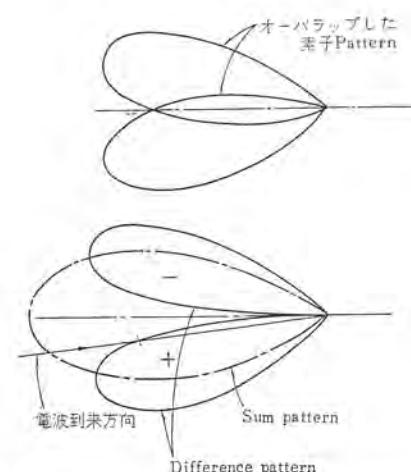


図 4.9 サイマルテニアスローピングパターン
Fig. 4.9 Simultaneous lobing pattern.

互いに逆相で給電すると Difference pattern が得られる。Difference pattern のうち一方は Sum pattern と同相で他方は逆相である。電波の到來方向がアンテナの軸の近傍にあるとすると、Sum pattern の振幅で Difference pattern の振幅を正規化 (normalize) すれば、その大きさが誤差角にほぼ比例し、符号により到來電波のアンテナ軸に対する角度を判別することができる。従来の円スイ走査方式は飛ショウ体からの入力信号変動による角度誤差が大きかったが、この方式では瞬間に方位を弁別するため、受信機の帯域幅をきわめて小さくでき、受信感度を上げかつ角度誤差が小さいのが大きな特色である。

(4) 固定室、回転室

図 4.10 に示すように円スイ台の固定室の上に回転室が乗った構造である。固定室の中には駆動部、検出部、ケーブル巻取り装置がある。駆動部は油圧モータおよび歯車列からなり、旋回軸受には歯車付の4点接触軸受を使用しているため、旋回主軸を有していないのが特長である。油圧発生装置からサーボバルブを経て油圧モータに油圧により動力が伝達され、ここで回転エネルギーに変換され歯車列により軸受の歯車にトルクが伝達される機構となっている。回転のスピードはサーボバルブを制御することにより行なっている。その他に回転速度を検出するタコゼネレータや、電磁ブレーキ、非常用の油圧リミット機構が取り付けられている。

検出部はアンテナの方位角検出機構やアンテナの可動限界を示すリミット機構からなり、前者にはインダクションや 1X, 36X のシンクロを用いており、また後者はカムとマイクロスイッチから成り油圧回路を電気的に制御している。

ケーブル巻取り装置は従来のレーダにはあまり例のないものであり、高周波部からテレメータセンタの受信装置へ 30 Mc の中間周波信号を送ったり、その他角度信号や電力を伝送するため特殊なケーブル巻取り装置が用いられている。アンテナが $\pm 400^\circ$ の方位角回転範囲にわたってケーブルを送り出したり、巻き込んだりする機構となっている。回転室は駆動部、検出機構および高周波部へのケーブル類を中継するための端子箱とからなり、固定室とほとんど同一である。図 4.10 で水平回転軸の左側にアンテナが取り付くため、これとバランスするようにカウンタウェイトを取り付けて水平回転軸のまわりのアンバランストルクを小さくし、水平旋回軸受に均等に荷重がかかるようになっている。アンテナをハンドルを用いて手動で水平、垂直方向に動かすことができる。

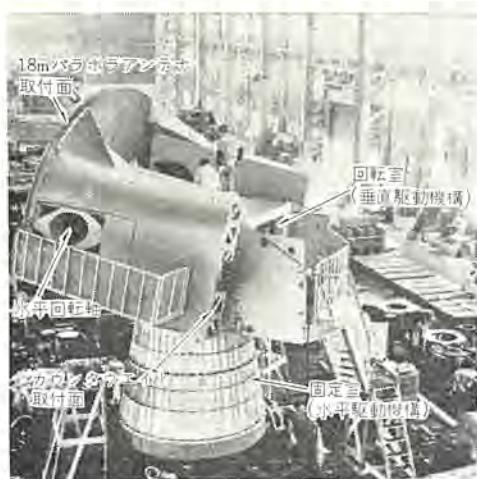


図 4.10 空中線駆動部組立（当社神戸製作所）
Fig. 4.10 Drive mechanism assembling in Kobe works, for telemeter tracking radar.

(5) 高周波部

図 4.3 に示すように主反射鏡の中心に取り付けられた直径 2 m 奥行約 2 m の茶筒状の部分である。この高周波部へは回転室の屋根を通って容易に入ることができ、また主反射鏡表面への出入口も設けられている。高周波部は一次ラック射器からの和信号、差信号を真空管形ミキサあるいは導波管形のバランスドミキサを用いて中間周波信号に変換し、さらに中間周波増幅を行なう機能を有している。高周波部の中央には衛星追尾用のハイブリット回路および導波管のミキサ回路が占有し、その他 RF 増幅器、前置増幅器、中間周波増幅器、第 1 局部発振器、周波数ティ倍器、ミキサ、電源などがラックに収納されている。

(a) RF 增幅器

和信号用と二つの差信号用の 3 チャンネル用あり、ラットレスからのロケット系追尾信号およびテレメータ信号を第 1 局部発振、入力とを混合させて 30 Mc および 28.6 Mc の中間周波に変換しこれを増幅する。

(b) ミキサ

同様に 3 チャンネルあり、衛星追尾用ハイブリット回路からの衛星追尾信号の 4,079.73 Mc を周波数ティ倍器からの 4,049.73 Mc を用いて、30 Mc の中間周波に変換する。

(c) 第 1 局部発振器、周波数ティ倍器

ロケット追尾系および衛星追尾系の第 1 局部発振器はそれぞれ 27.225 Mc および 28.12312 Mc の水晶の原発振を真空管を用いて 12 ティ倍し、それぞれ 326.7 Mc, 337.477 Mc とし、後者はさらにパラクタを用いて 12 ティ倍して 4,049.73 Mc にして第 1 局部発振出力を作り出す。

(d) 前置増幅器、中間周波増幅器

これらも同様に 3 チャンネルあり、前置増幅器はミキサよりの衛星追尾信号を増幅し、中間周波増幅器は RF 増幅器よりの出力、前置増幅器からの出力を増幅する。この中間周波増幅器の出力は、先のケーブル巻取り装置を経てテレメータセンタ内の受信装置へ伝送される。

高周波部の系統図を図 4.13 に示す。

4.2 油圧部

油圧部は空中線装置の垂直駆動部 (EL), 水平駆動部 (AZ) に高圧油を送る油圧発生装置と、送られた高圧油の流量をコントロールし入力信号に比例した回転運動に変える油圧駆動系、および配管系からなる。

(1) 油圧発生装置

油圧発生装置は、高圧油を発生すべき油圧系と作動油の温度制御を行なう温度制御系の 2 部からなる。図 4.11 に示すように油タンク、油圧制御盤、油圧発生装置 (AZ), (EL), 冷却装置、ストレーナ装置その他燃料タンクおよび燃料補給用ポンプ装置から構成されている。油圧系は油タンクから作動油を吸い油圧駆動系へ送り出すポンプ回路や、油圧駆動系に不必要な余分の油を逃してやるために流量設定回路や、圧力設定回路、油圧駆動系にゴミの流入を防ぐフィルタ回路からなる。

油圧発生装置の主要性能を下記に示す。

最大圧力	140 kg/cm ²
最大流量	440 l/m (1,000 rpm にて)
使用温度範囲	45° ± 5°C
作動油	三菱ダイヤモンドオイル #440
油タンク内容積	約 2,000 l

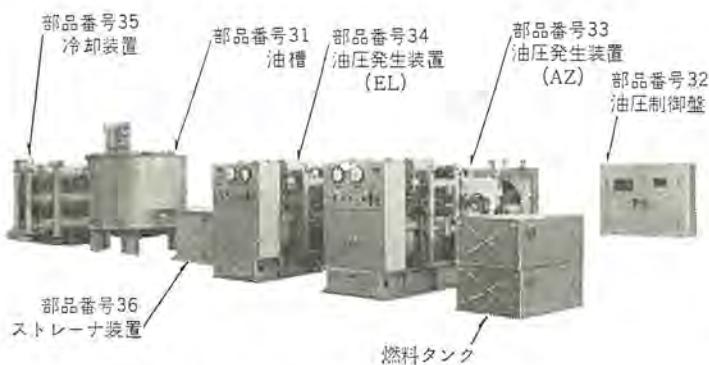


図 4.11 油圧発生装置
Fig. 4.11 Arrangement of hydraulic power source.

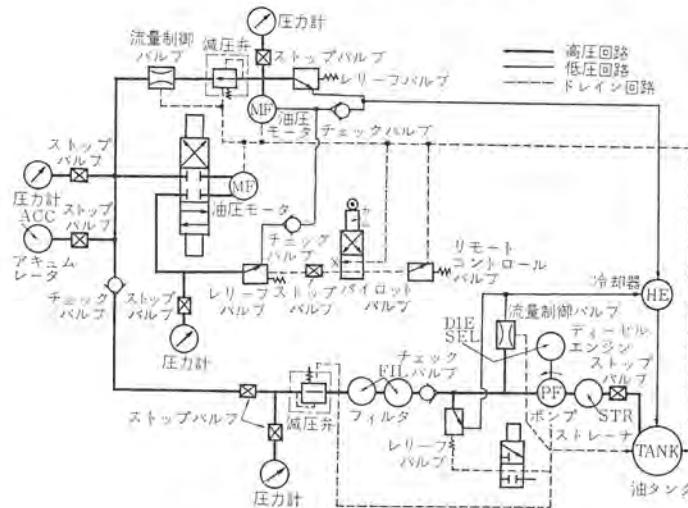


図 4.12 配管系統図 (AZ)
Fig. 4.12 Block diagram of hydraulic power system.

油 量 約 1,500 l (最大)
 ディーゼルエンジン 出力 175 馬力 (2 台)
 10 時間連続定格

(2) 油圧駆動系

高圧油の流量を制御し入力信号に比例した回転運動に変える Main Motor の部、パックラッシュをなくすために設けられた Anti Backlash Motor の部、空中線が異常な運動をし他の部分を破壊したりしないようにする Limit の部からなる。

EL は油圧の ロータリージョイント を経て、AZ は直接高圧油がそれぞれの サーボバルブ に入る。サーボバルブ は入力信号に比例して流量を制御する。油圧モータは サーボバルブ で制御された流量に応じた回転速度で回転し、歯車機構を経て空中線を動かす。

(3) 配管系

配管は高圧配管、高圧ホース、低圧配管、中圧ホースからなる。AZの配管系統図を図4.12に示す。

油圧駆動は数千 rpm の高速か

テレメータ追尾レーダ (GTR-5形)・樺本・森川・渡部・若田・篠原

ら数 rpm の低速まで、非常にスムーズに応答することができるのが大きな特長といえる。

4.3 受信装置（追尾系）

空中線装置の高周波部で 30 Mc の中間周波に変換されたロケット、または衛星の追尾信号はテレメータセンタ内の受信装置に伝送され、さらに 1.4 Mc の第2中間周波に変換され、位相同期検波されて方位角(AZ, EL)誤差電圧となり制御増幅装置に送られる。図 4.13 の受信系系統図に示すように、受信装置は大別して復調器と角度誤差検出器に分けられる。

4.3.1 復調器

復調器は図 4.13 に示すごとく、第 2 局部発振器、移相器、周波数変換器、第 2 中間周波増幅器、基準信号発振器、位相検波器、ループフィルタ、電圧制御発振器、AGC 回路、SSB 変調器、ロックオン 回路などからなる和信号系の復調回路で、第 2 局部発振器とともに位相同期復調器として動作して第 2 局部発振周波数を信号周波数に同期させる。

(1) 第2局部発振器

第2局部発振器は、1.4 Mc の水晶発振器により基準電圧を発生し、これを各チャネルの検波器に送ると同時に、中心周波数 31.4 Mc の電圧制御発振器 (VCO) の電圧を增幅して第2局発電圧を作り、これを各チャネルの周波数変換器に送り、1.4 Mc の第2中間周波に変換するための源である。

(2) 移相器

AGC, AZ, EL の各チャネルの検波器は同期検波器であるため、これらに送るべき基準電圧の位相を復調器用位相検出器用のそれより 90° 位相を異ならせるのに用いられる。

(3) AGC 回路

AZ または EL 方向の角度誤差を高精度で検出するには、誤差検出用検波器への信号入力 レベルが基準方位で一定であることが必要である。もし角度誤差信号が受信入力 レベルで変動すると、

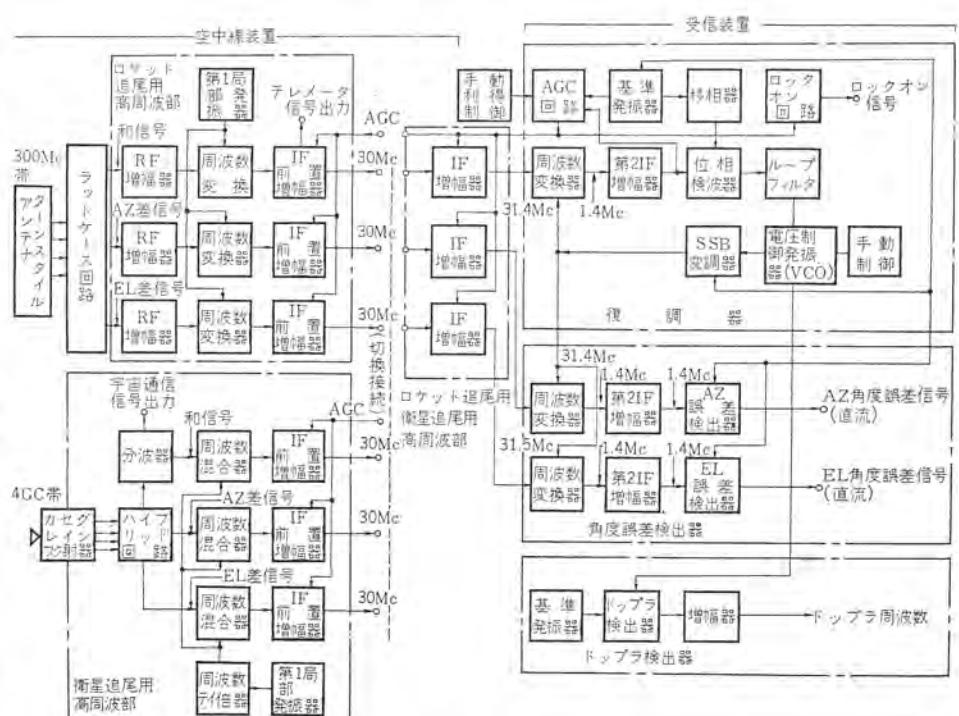


図 4.13 受信系系統図
Fig. 4.13 Block diagram of receiver.

追尾系ループの動作が不安定となる。このために AGC 系を用いて、受信増幅器の利得を和回路への信号入力レベルに応じて自動的に制御している。

和回路の第 2 中間周波信号を狭帯域増幅、同期検波し、low pass filter を経て AGC 電圧をつくり、これを空中線装置の高周波部の IF 増幅器に送っている。

AGC 回路は、他の回路に比べ信号入力レベルが高く、かつ狭帯域であるため、その検波器出力は最も S/N が高い。

その他 AGC 回路には、AGC レベル調整用のバイアス回路、AGC-MGC (手動利得調整) の切り換えの回路を有している。

(4) ロックオン 回路

復調系が入力信号にロックオンすると同時に AGC 検波器には出力が現われるから、この電圧を用いてロックオンリレーを動作させ、ロックオン信号を出す回路である。

(5) 受信系制御回路

受信系の操作表示をする回路で、高周波部、受信装置がこの制御下に入る。内容はクリスタル電流表示、位相誤差の表示、PLD 帯域切り換え、VCO 手動制御、AGC 電圧の表示、MGC 制御、Lock on/Hold の表示などである。

4.3.2 角度誤差検出器

AZ, EL の誤差信号を基準電圧で同期検波して AZ, EL の角度誤差電圧を発生させこれを角度制御部に送って、自動追尾用誤差電圧として用いる。検波された誤差電圧は、その極性および電圧値がそれ各方向の角度誤差の向きおよび大きさに相当している。

4.4 制御増幅装置

受信装置から角度誤差信号を増幅し、油圧制御信号として空中線駆動部に送り、空中線を自動追尾させる。また自動追尾のほかに空中線を手動制御ならびに他の装置に追従するモードで駆動することができる。

制御増幅装置は制御増幅器、回路網、AC 増幅器、ディザ発生器、制御回路からなり、図 4.14 に空中線駆動系系統図を示す。

制御増幅回路は自動追尾の場合は受信装置からの信号、手動制御するときはシンクロよりの誤差電圧を増幅し、同期検波された AC 増幅器からの信号、ほかの装置に追従するときはその装置からの信号をそれぞれ受けて処理増幅し、油圧制御信号として空中線の油圧駆動部へ送る機能を有している。

サーボバルブのヒステリシス特性を改善する目的で、直流のサーボバルブ制御電流に交流を重畠するためにディザ発生器が用いられている。また追尾装置の主電源、空中線装置、油圧発生装置および制御増

幅装置の集中制御を行なう制御回路がある。

各動作モードについて説明する。図 4.14 参照

(1) 自動追尾 (モード 1)

受信装置からの角度追尾誤差電圧は、直流増幅器、回路網を経て油圧制御増幅器で増幅され、サーボバルブを制御する。目標の方位と空中線方位の差、すなわち角度追尾誤差電圧によりアンテナ方位を制御することにより目標の自動追尾を行なう。

受信装置のロックオン以前のときには、空中線はそれぞれ選択したモードによって駆動される。

(2) プログラム指令に追従 (モード 2)

プログラム指令制御系の指令位置誤差信号 (アナログ信号) により空中線を制御するモードである。

(3) 他の追跡装置に追従 (モード 3)

他の追跡装置のシンクロ (CX) による指令信号は、空中線駆動部のシンクロ (CT) に送られ、ここで検出された誤差信号は AC 増幅器で復調され、直流増幅器、回路網を経て、油圧制御増幅器でディザ信号を重畠されてサーボバルブを制御する。

(4) 手動制御 (モード 4)

シンクロによるアンテナの位置制御である。制御装置制御盤のシンクロ (CX) の信号は、空中線駆動部の角度検出部のシンクロ (CT) に送られ、AC 誤差信号として検出され、AC 増幅器で増幅復調され直流誤差電圧となる。以下はモード 3 と同様である。

また制御増幅装置には、各モードでアンテナを微小角度オフセットさせるためのオフセット信号発生器がある。

4.5 角度検出系 (フォロアップ装置、演算装置)

アンテナのデジタル角度の検出系である。フォロアップ装置機構部のリザルバの信号は、空中線装置の角度検出系の中のマルチポールシンクロ (インダクション) に伝送され、その出力は誤差増幅器で増幅されたのち、ふたたびフォロアップ装置に送られ、リザルバ増幅器およびサーボ増幅器を通じて増幅されて機構部のモータに送られ機構部を駆動する。このようにしてマルチポールシンクロにより電気的にギヤアップされたサーボ軸がつくられる。この軸にエンコーダを取り付けて空中線角度をデジタル量として取り出す。リザルバ励振用には 10kc 発振器が用いられている。

フォロアップ装置のエンコーダは演算装置中のエンコーダ駆動回路の出力により電源を供給され、エンコーダの出力はふたたび演算装置のエンコーダ回路に送られる。その出力はデジタル角度信号 (2 進化 10 進符号) としてデータ記録装置に供給される。

エンコーダ回路の出力は、またデコーダ回路に入りコード変換され、表示駆動回路を経て、制御増幅装置の角度制御盤に送られ、空中

線角度のデジタル表示を行なう。図 4.15 に系統図を示す。

4.6 データ記録系 (データ記録装置、プリンタ、標準時刻受信装置)

(1) データ記録装置

入力は、空中線方位角 (AZ, EL)、ドップラ周波数および標準時刻である。標準時刻に同調して定められた時間間隔でこれ等の入力データをサンプリングし、これを順次選択してコード変換を行なった後、電動サン孔タイプライタに送りタイピアウトする。

入力コードは 2 進化 10 進符号であり、タイプライタに送られる出力コードは商用タイプ 6 単

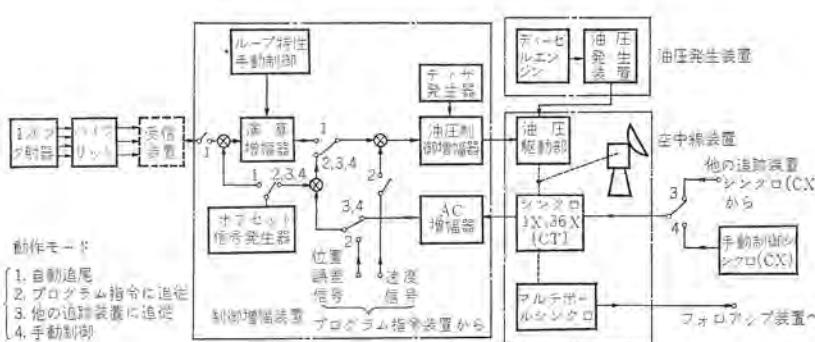


図 4.14 空中線駆動系系統図
Fig. 4.14 Block diagram of antenna drive circuit.

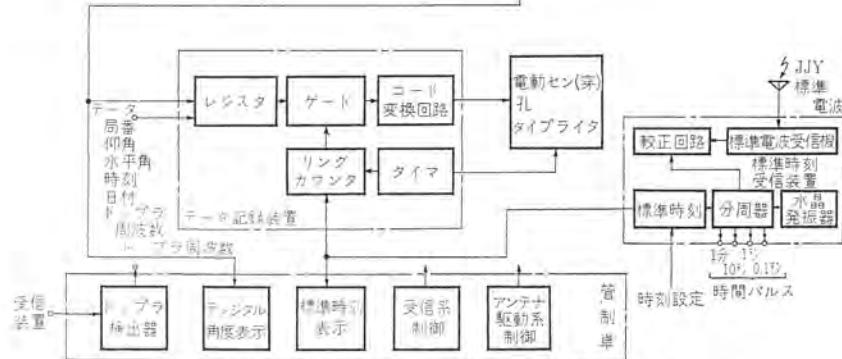
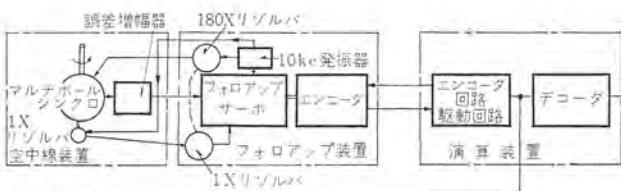


図 4.15 角度検出系および管制装置系統図
Fig. 4.15 Block diagram of antenna angle detection circuit and control system.



図 4.16 標準時刻受信装置、データ記録装置およびプリンタ
Fig. 4.16 Standard time receiver (left), data recorder (center) and printer (right) in telemeter center.

位符号である。

(2) プリンタ

プリンタは印字部、サン孔部、ケン盤部、読取部からなり、データ記録装置からのデータの印字記録、サン孔を行なうことができる。

(3) 標準時刻受信装置

標準時刻信号 (JJY) を受信し、これにより較正された水晶発振器の出力から時、分、秒単位の標準時刻を各機器に供給する。また一定の時間間隔の時間パルスも供給する。

データ記録系の系統図を図 4.15 に、外観を図 4.16 に示す。

4.7 管制卓

遠隔制御卓であり、受信系および空中線駆動系の遠隔集中制御を行なう。またアンテナ角度および標準時刻のデジタル表示を行なうための回路、ドップラ検出器を含んでいる。

ドップラ検出器は、基準信号とロケットまたは衛星信号の和回路出力 (電圧制御発振器出力) との差、すなわちドップラ周波数を検出する。図 4.13 にドップラ検出器の系統図を、図 4.15 に管制卓の系統図を示す。

4.8 自動電圧調整器 (AVR)

各電子機器へ安定化された一次電源を供給する電圧調整器である。

テレメータ追尾レーダ (GTR-5 形)・樺本・森川・渡部・若田・篠原

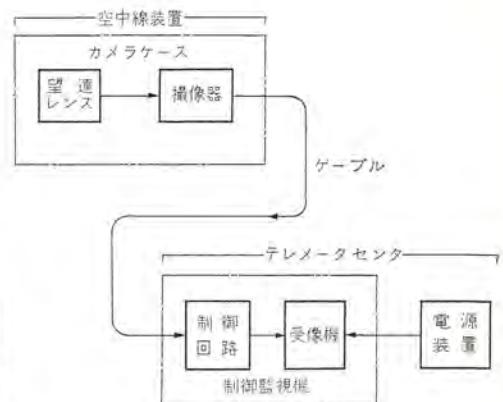


図 4.17 ITV 系統図
Fig. 4.17 Block diagram of ITV.

4.9 電源装置

受信装置および制御増幅装置に必要な直流電源を供給する。また空中線駆動に必要なブレーキ用の電源も収容している。

4.10 配電盤

各機器に電源を供給する配電盤である。

4.11 工業用テレビジョン装置 (ITV)

図 4.17 に系統図を示す。この装置は望遠レンズ、撮像機、制御監視機、電源装置、全天候形カメラケース、付属ケーブルからなる。

(1) 望遠レンズ

レンズ絞りおよび光学焦点は遠隔操作で調整可能である。主反射鏡に取り付けられている。(図 4.3 参照) 視角は約 5° である。

(2) 撮像機

望遠レンズで拡大されたロケットまたは人工衛星あるいはその他の目標を撮像し、制御監視機に信号を伝送する。撮像機も遠隔操作で制御される。撮像管にはビデコンを用いている。

(3) 制御監視機

撮像機からの信号を受像管上に監視対象物体の表示を行なう受像機であり、レンズ、撮像機の遠隔制御および受像機回路の制御回路を有している。受像管は 36 cm 角形であり、映像増幅器の周波数帯域幅は約 5 Mc である。解像度は水平、垂直とも 350 本である。

4.12 テレメータ受信機

図 4.18 に示すごとく、主搬送波復調部、副搬送波復調部、直流増幅器、テープレコーダ、ペンレコーダから構成されている。

この受信機はロケットからのテレメータ信号を位同期検波し直流増幅器により増幅したのち、テープレコーダあるいはペンレコーダに記録することができる。記録容量は 14 チャネルである。

図 4.13 の受信系系統図に示すごとく、4 個のターンスタイルアンテナにより受信された信号はラットレス回路を経て、和信号の RF 増幅器に伝送される。現在ロケットのテレメータ信号は 298.1 Mc が用いられており、ロケット追尾系と同一の第 1 局部発振周波数 326.7 Mc を用いて 28.6 Mc の中間周波に変換され、増幅されてケーブルによりテレメータセンタの受信機へ伝送される。

将来テレメータ信号には 295.0, 295.6, 296.2 Mc も用いられる見込みである。さらに詳細なテレメータ受信機の説明は機会を改めて別号に譲ることにする。

なお 4,170 Mc の衛星通信用信号は図 4.13 の受信系系統図に示すごとく、分波器 (マジック T と導波管形フィルタより成る) の一



図 4.18 テレメータ受信機
Fig. 4.18 Telemeter receiver and recorder in telemeter center.

つの端子に出てくるが、現在専用の受信機がないため、無反射経端を接続している。

5. 実験結果

去る昭和 38 年 12 月 11 日に内之浦の観測所で行なわれた観測用ロケット L2 形 2 号機の打上げ実験に、このテレメータ追尾レーダも参加し、ロケットが発射台から発射して太平洋に姿を消すまでの約 650 秒間他の追尾装置の方位角、仰角の角度信号を受けて手動追尾を行ない、ロケットから送られて来た高層データをテレメータ受信機でみごとに受信記録することに成功し、テレメタリングの目的を達することができた。なおこの L-2-2 形ロケットは全長 16.492 m、外径 73.5 cm、重さ 6.17 トンあり、到達高度 410 km、飛行時間 645 秒、水平到達距離 607 km の性能を有する優秀なものである。

今回の実験では 300 Mc 帯のパイロット信号用発信機がロケットにとう載されていなかったため自動追尾は行なわれなかつたが、地上に設置された視準塔（コリメーションタワー）から電波を出し、空中線を水平面内で手動で回転させ、この信号にロックオンすることも確認されて、あとはロケット打ち上げを待つばかりの状態である。

6. むすび

このレーダの空中線装置は、台風銀座と称される大隅半島でレーダームを用いずに野天に設置され、台風、雨、潮風などのきびしい自然条件の下で、高い角度精度が要求され、しかも飛翔体の遠距離により、きわめて微弱な入力を受信しなければならない。

これらの仕様を満足するために、機械的、電気的な各方面からの検討、実験が繰り返され、研究所、本社施設部、無線機製作所（現在鎌倉製作所伊丹工場）、鎌倉製作所、神戸製作所、伊丹製作所の一致協力のもとに完成されたものである。

筆者らは過去に東大生産技術研究所に納入し、さらにユーロに輸出した GTR-1 形 トランシングレーダ、防衛庁納入の GTR-2 形レーダ、電波研究所納入の GTR-3 形レーダ、およびわが国で最初に人工衛星追尾に成功した GTR-4 形レーダを製作し満足すべき結果が得られている。この GTR-5 形レーダはシステムとしては、先の GTR-4 形レーダとほとんど同じものであり、純国産の技術により完成したことを誇りとするものである。

先にも述べたようにロケットとう載送信機の関係から自動追尾した実績はないが、近日中にこのレーダによるロケット追尾が行なわれる計画が進められており、このレーダが活動を始めた暁にはロケット観測、衛星追尾に一大威力を示すことになると確信している。最後にこの装置の計画から製作にわたってご指導と助言をいただいた東大生産技術研究所の高木教授、坪井教授、沢井教授、齊藤教授、野村教授に厚く謝意を表する。

またこの装置の完成のために、直接または間接に努力された各位に対して厚くお礼を申し上げる。

（昭 39-9-10 受付）

参考文献

- (1) 横本・渡部・若田: サイマルテニアスローピング方式追尾装置のシステム 電関西連大 p. 269 (昭 37).
- (2) 渡部・若田・竹内・篠原: サイマルテニアスローピングアンテナ 電関西連大 p. 218 (昭 37).
- (3) 喜連川・渡部・立川・篠原: 人工衛星、ロケット追尾用 Simultaneous Lobing Antenna の一次放射系 電通全大 2, 225 (昭 38).
- (4) 渡部・若田・篠原: サイマルテニアスローピング用ターンスタイル円偏波ダイポール 電関西連大 p. 271 (昭 37).
- (5) 喜連川・有田・立川: Simultaneous Lobing アンテナ 信学会アンテナ研資 (昭 36, 12).
- (6) 若田・近藤・石井(栄): サイマルテニアスローピング追尾用受信機 電関西連大 p. 270 (昭 37).
- (7) 横本・森川・渡部・若田・金子・近藤・佐藤・石井: 通信用衛星追尾装置 「三菱電機技報」 38, 1031 (昭 39).
- (8) William Cohn C. Martion Steinmetz: Amplitude and phase sensing Monopulse system parameters. Microwave Journal, pp. 27~33 (Oct. 1959).

高速ダイオード・トランジスタ NOR システム

小島一男*・黒田泰次*・八杉征晴*

High Speed Diode Transistor NOR Systems for the industrial controller

Kamakura Works Kazuo KOJIMA・Yasutsugu KURODA・Masaharu YASUGI

Rapid introduction of automatic operation to modern industries in general has made the technics of electronics indispensable in the field. The NOR systems made public herein is an outcome of development for the logical element required for the newest numerical control incorporating the computer technique and the servo technique, as one example of the automatization of machine tools. Logical elements which need high speed digital computing and also possessed of steady operation and high reliability-indispensable conditions for the industrial control are particularly hoped for a great deal. Applying these logical elements, Mitsubishi worked out a three dimension contouring system that was longed for by the circles and exhibited a new product in the Japanese international machine tools fair in 1964 and won the great admiration. The article describes the theoretical design and experimental results of the NOR systems, elucidating the course reaching the goal of turning out standard products.

1. まえがき

最近の自動制御分野にエレクトロニクス技術が導入されるにつれて、それらを構成する制御要素は一段と高性能を要求されるようになった。従来の抵抗とトランジスタによる論理素子 NOR は、回路構成がきわめて簡単であり信頼度も高く、一般工業制御方面に無接点リレー素子として大いに取り入れられている。

しかし高速演算動作を必要とする論理素子としては動作速度の点で不十分であり、最近の新しい自動制御技術に対してはさらに

高速で動作する論理素子を強く要求する傾向になってきた。

ここに紹介する高速ダイオード・トランジスタ NOR システムは、工業自動化の一つである工作機械の数値制御のための高速論理素子として開発したものであり、安定した動作と高い信頼性は多方面の応用分野をもち、データ処理装置やその他のデジタル応用機器に積極的に利用され多くの実績を有している。

本文では高速ダイオード・トランジスタ NOR システムの設計法の概要を述べ、次に実験によってトランジスタの定数のきめ方、周囲温度と電源電圧に対するマージンテストについて述べる。最後にこの高速 NOR システムの応用回路例のいくつかを紹介し、標準製品化した高速 NOR カードの使い方について簡単に説明する。

2. 仕様

高速演算論理要素として従来の NOR 論理動作と “1” “0” の電圧レベル関係が同様な関係にある基本回路は図 2.1 (a) および (b) であるが、(a) は負荷が増すとともに出力信号レベルが低くなり、かつ立ち下がりに対する時定数が増すために遅延が大きくなる。(b) はスピードアップコンデンサの放電通路がダイオードでカットされるために蓄積時間が大きくなる。これらの理由から高速演算論理要素の基本回路として (c) を選んだ。

最終的に仕様は下記のとおりとなった。

周囲温度	0~50°C
電源電圧および許容変動	-12 V ± 15%
	+12 V ± 10%

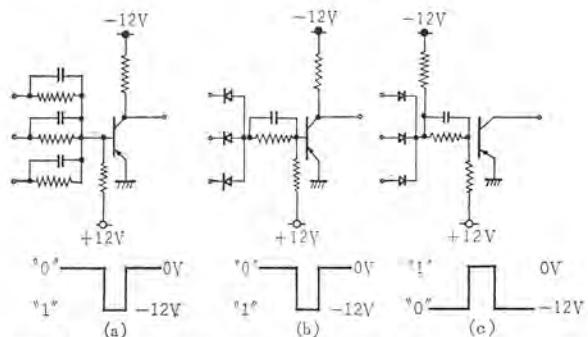


図 2.1 各種 NOR 回路

Fig. 2.1 NOR circuits.

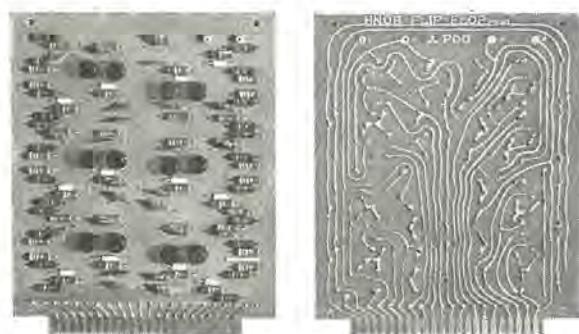


図 1.1 標準カード
Fig. 1.1 High NOR standard card.



図 1.2 カード実装パネル
Fig. 1.2 Assembling panel of high NOR card.

クロック周波数	200 kc
最大入力数	5 入力
最大出力数	5 出力
フリップ・フロップ最大出力数	A, \bar{A} とも 4 出力
遅延によるフリップ・フロップ間のゲート段数	

最悪条件 $m=1, n=5$ の場合 10 段
最良条件 $m=5, n=1$ の場合 20 段

3. 基本設計

3.1 基本設計条件

高速ダイオード・トランジスタ NOR の基本設計条件として、次の 3 点について電圧変動、抵抗値のバラツキ、温度変化による半導体素子のパラメータの変化などの最悪条件により求めた。

- (1) 導通時のトランジスタの最大電流の制限
 - (2) 最悪状態でも完全に ON 状態を保持できること
 - (3) 最悪状態でも完全に OFF 状態を保持できること
- 以下 N 入力 M 出力の NOR について考える。また定数の上または下につけてある一印は定数の上限値、下限値を示す。
- (1) の条件について導通時のトランジスタの最大コレクタ電流 $I_{c\max}$ を求めると

$$I_{c\max} = \frac{M\{\bar{V}_{ce} - (V_D + V_{CE(s)})\}}{R_1} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

V_D : ダイオードの前向き電圧降下

$V_{CE(s)}$: ON 状態のコレクタ-エミッタ間電圧

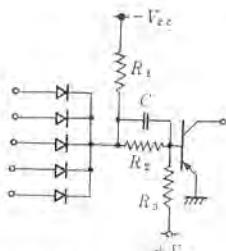


図 3.1 基本回路
Fig. 3.1 Fundamental circuit.

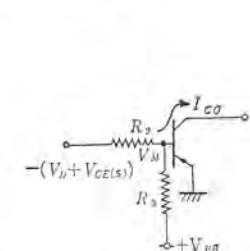
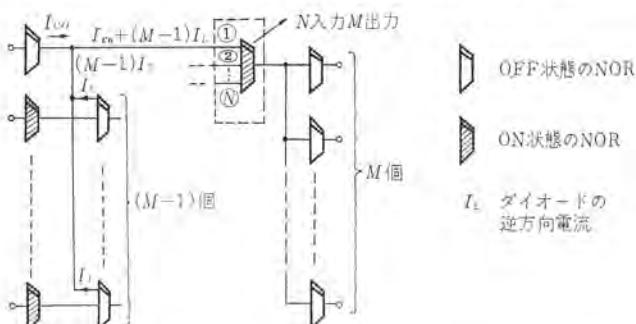


図 3.2 OFF 状態の等価回路
Fig. 3.2 Equivalent circuit of "OFF" state.



N 入力 M 出力の NOR の(2)~(N)までの入力にも(1)と同じような入力が入る
図 3.3 最悪条件

Fig. 3.3 Worst condition of the NOR circuits.

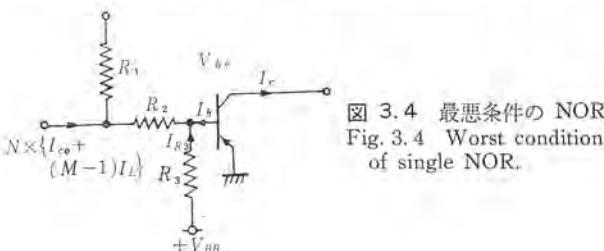


図 3.4 最悪条件の NOR
Fig. 3.4 Worst condition of single NOR.

V_{ce} : OFF 状態のエミッタ-ベース間電圧

(2) の条件については OFF 状態の等価回路からわかるように I_{ce} 、前段のトランジスタの V_{ce} 、ならびに入力ダイオードの前向き電圧降下 V_D を考慮に入れなければならない。このような状態で OFF 状態を保持するためには、ベース電圧 V_B が正またはゼロでなければならぬ。したがって

$$V_B = V_{BB} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} (V_{BB} + V_D + V_{CE(s)})$$

$$-\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} I_{ce} \geq 0 \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

上式から各定数の最悪条件をとると

$$\frac{V_{BB}}{R_3} \geq \frac{V_D + V_{CE(s)}}{R_2} + I_{ce} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

(3) の条件については N 入力 M 出力でも図 3.3 の場合が最悪と考えられる。このときでも点線で囲んだ N 入力 M 出力の NOR 要素は ON 状態を保持しなければならない。この要素についてのみ考えると図 3.4 となる。完全に ON 状態を保持するには次式を満足しなければならない。

$$\left. \begin{aligned} & -V_{ce} + R_1 [N I_{ce} + N(M-1) I_L + I_b + I_{R3}] \\ & \leq -R_2 (I_{R3} + I_b) \\ & I_b = \frac{V_{ce} - (V_D + V_{CE(s)}) \times M}{\beta R_1} \\ & I_{R3} = \frac{V_{BB} + V_{ce}}{R_3} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.4)$$

電圧変動に対しては、低い場合が条件として悪いと考え、すべて下限値をとった。

3.2 定数の決定

定数を決めるに際して仕様を次のとおりとした。

電源電圧 $-V_{ce}$ $-12 \text{ V} \pm 15\%$
 $+V_{BB}$ $+12 \text{ V} \pm 15\%$

入出力数 最大 5 要素

使用温度 $0 \sim 50^\circ\text{C}$

使用抵抗偏差 5%

(1) R_1 の決定

R_1 はスイッチングスピードの点から考えるとなるべく小さいほうが望ましいが、消費電力の点から $I_{c\max}$ を 30 mA 以下とすると式 (3.1) で $V_D + V_{CE(s)} = 0$ となるためには

$$R_1 = 0.95 R_1 \geq \frac{5 \times 12 \times 1.15}{30 \times 10^{-3}} = 2.42 \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

これにより $R_1 = 2.7 \text{ k}\Omega$ とする。

(2) R_2 および R_3 の決定

式 (3.3), (3.4) からもわかるように、この定数をきめる要素たとえば I_{ce} , β などは周囲温度で変動する。したがって温度変化を考慮して決めなければならない。表 3.1, 3.2 はトランジスタ (2SA204, 2SA407, 2SA18) とダイオード (SD34) の温度に対する各定数の値を示す。このうち I_{ce} と I_L は経年変化による 50% 増、 β については 20% 減が見込まれている。

$$V_{ce} = 12 \times 0.85 = 10.2 \text{ V}$$

$$V_{BB} = 12 \times 0.90 = 10.8 \text{ V}$$

$$R = 0.95 R \text{ k}\Omega$$

$$\bar{R} = 1.05 R \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 2.7 \text{ k}\Omega$$

とすれば式 (3.3), (3.4) は下記のとおりとなる。

表 3.1 トランジスタ定数

定数	温度	0°C	25°C	50°C
I_{C0} (μA) ($V_C = -12\text{V}$, $I_E = 0$)		3	9	75
β ($V_C = -1\text{V}$, $I_E = 30\text{mA}$)		40	52	54
$V_{CE(S)}$ (V)		-0.15	-0.15	-0.15
V_{BE} (V)		-0.48	-0.38	-0.30

トランジスタ: 2SA204, 2SA407, 2SA18

表 3.2 ダイオード定数

定数	温度	0°C	25°C	50°C
I_D (μA) (at -10V)		9	15	42
V_D (V)		1.3	1	0.85

ダイオード: SD34

$$\frac{R_2}{0.102(V_D + V_{CE(S)}) + 0.0972R_2\bar{I}_{C0}} \geq R_3 \geq \frac{(10.8 + V_{BE})(2.84 + 1.05R_2)}{9.7 - 13.5(I_{C0} + 4\bar{I}_L) - \frac{53.7}{\beta} - \frac{19.9}{\beta}R_2} \quad (3.6)$$

式(3.6)を図式的に示すと図3.5となり、斜線部が安定動作条件である。ここで0, 25, 50°Cについて表3.1, 3.2の定数によって R_2 の範囲を求める下記のとおりとなる。

$$0^\circ\text{C} \quad 0.84\text{ k}\Omega \leq R_2 \leq 11.28\text{ k}\Omega$$

$$25^\circ\text{C} \quad 0.6\text{ k}\Omega \leq R_2 \leq 15.5\text{ k}\Omega$$

$$50^\circ\text{C} \quad 0.89\text{ k}\Omega \leq R_2 \leq 7.94\text{ k}\Omega$$

$$\text{したがって } 0.89\text{ k}\Omega \leq R_2 \leq 7.94\text{ k}\Omega \quad (3.7)$$

となるから $R_2 = 7.5\text{ k}\Omega$ とする。

この場合の R_3 の範囲を同様に求める下記のとおりとなる。

$$0^\circ\text{C} \quad 29.6\text{ k}\Omega \leq R_3 \leq 50\text{ k}\Omega$$

$$25^\circ\text{C} \quad 24.6\text{ k}\Omega \leq R_3 \leq 60.6\text{ k}\Omega$$

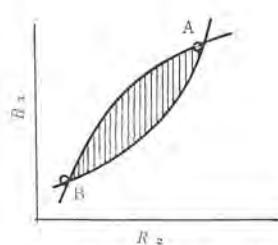
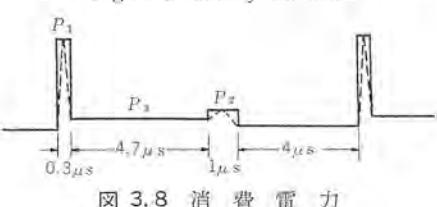
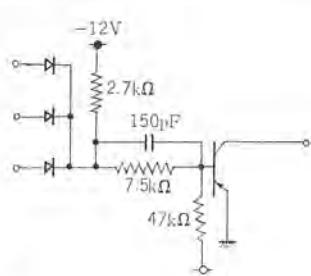
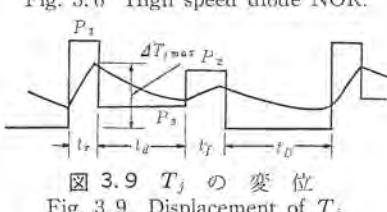
$$50^\circ\text{C} \quad 44.6\text{ k}\Omega \leq R_3 \leq 47.8\text{ k}\Omega$$

$$\text{したがって } 44.6\text{ k}\Omega \leq R_3 \leq 47.8\text{ k}\Omega \quad (3.8)$$

となるから $R_3 = 47\text{ k}\Omega$ とする。

(3) スピードアップコンデンサ C の決定

コンデンサ容量の下限値はトランジスタのストレージタイムを最小にするに必要な値であり、上限値はOFFからONの変換時の過渡電力と電圧波形から制限される。すなわち立ち下がりが R_1, R_2 の並列抵抗値とコンデンサの時定数で下がる。その他 β の温度上昇による増加も考え合わせて、スピードアップコンデンサの容量を150pFとした。

図 3.5 安定領域
Fig. 3.5 Steady domain.図 3.8 消費電力
Fig. 3.8 Consuming power.図 3.6 高速ダイオード NOR
Fig. 3.6 High speed diode NOR.図 3.9 T_j の変位
Fig. 3.9 Displacement of T_j .

(4) トランジスタの消費電力

トランジスタは表3.1に示す特性を満足するほかに消費電力の問題が残されている。この高速演算素子はスピードアップコンデンサのために容量負荷になるためスイッチング動作の軌跡は図3.7のようになり、抵抗負荷(図3.7の点線)に比べてかなり電力をOFF→ONのときに消費する。したがって出力数が増してくると問題になる。そこで最大出力数の5出力の場合について考える。いまOFF→ONのときの消費電力を P_1 、ON→OFFのときの消費電力を P_2 とすると P_1 はトランジスタの種類、あるいは同一のものでもスイッチング特性の良いものと悪いものとで異なってくるが、実測すると立上り時間が0.3 μs程度のもので350 mWくらいである。また P_2 は5 mW程度である。(立下り時間1 μs)もちろんこれらの過渡電力は過渡時間(立上り、立下り時間)の全時間にわたって同じではなく、図3.8の点線のように考えるのが妥当であるが、簡単のために方形波として考えることにする。またスイッチングの消費電力を P_3 とすると

$$P_3 = V_{CE(S)} \cdot I_{C \max} = V_{CE} \cdot \frac{V_{CE}}{R_1} \times 5 = 4 \text{ mW}$$

となる。

パルス信号の周波数はフリップ・フロップ周波数を200kcと考えて、この場合最大100kcである。したがって各状態の消費電力は図3.8のようになる。ここで平均電力 P_{mean} を求める

$$P_{mean} = \frac{0.3 \times 350 + 4 \times 4.7 + 5 \times 1}{10} = 12.9 \text{ mW}$$

である。トランジスタの平均ジャンクション温度は次式で得られる。

$$T_{j \text{ mean}} = P_{mean} \cdot \theta_t + T_a$$

T_a : 周囲温度

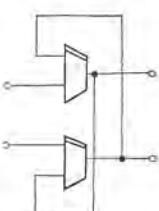
θ_t : トランジスタの熱抵抗 = $\frac{\text{最大許容ジャンクション温度} - 25^\circ\text{C}}{\text{最大コレクタ損失}}$

最大許容ジャンクション温度は大体85°Cであるから

$$T_{j \text{ mean}} = P_{mean} \cdot \frac{60}{P_c} + T_a = \Delta T_{j \text{ mean}} + T_a$$

となる。

ここで $\Delta T_{j \text{ mean}}$ について考えると、 P_c が80mWのものを用いると $\Delta T_{j \text{ mean}} = 9.7^\circ\text{C}$ 、200mWのものでは $\Delta T_{j \text{ mean}} = 3.9^\circ\text{C}$ である。今周囲温度 T_a の最高を50°CとするとこれだけでもFailure Rateがかなり下がっていると考えられ、さらにスイッチングによって10°Cも上るとまた1ケタ近くFailure Rateが下が

図 3.7 スイッチング軌跡
Fig. 3.7 Switching locus.図 3.10 フリップ・フロップの原理形
Fig. 3.10 Original form of Flip-Flop.

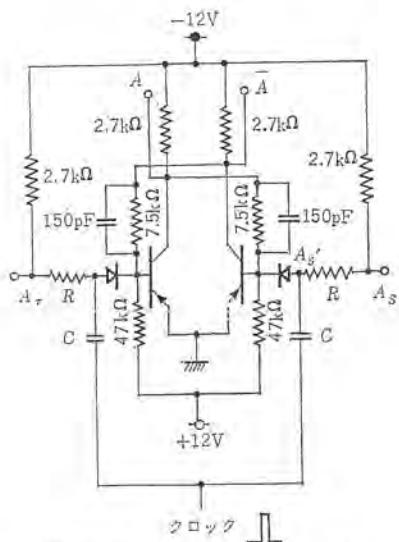


図 3.11 フリップ・フロップ
Fig. 3.11 Flip-Flop circuit.

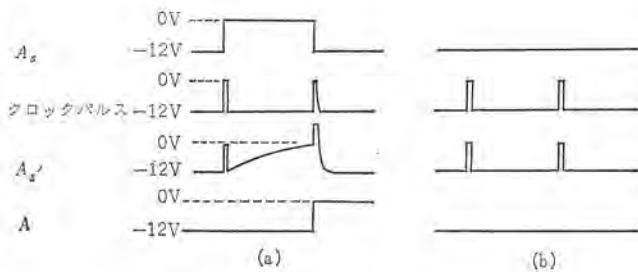


図 3.12 トリガ波形
Fig. 3.12 Wave form of trigger.

ると考えられる。NOR のように一つのシステムで多数用いるものでは好ましくないので、200 mW クラスのトランジスタを用いるべきである。

また図 3.8 のように電力を消費すると図 3.9 のようにジャンクション温度が変位する。したがってジャンクション温度の最大値 $T_{j\max}$ は下式となる。

$$T_{j\max} = \Delta T_{j\max} + T_a = \frac{P_1 \sqrt{t_r} + P_3 \sqrt{t_a} + P_2 \sqrt{t_f} + \theta_t + T_a}{\sqrt{t_r} + \sqrt{t_a} + \sqrt{t_f} + \sqrt{t_D}}$$

$P_c = 80 \text{ mW}$ のとき $T_{j\max} = 27 + 50 = 77^\circ\text{C}$

$P_c = 200 \text{ mW}$ のとき $T_{j\max} = 10.8 + 50 = 60.8^\circ\text{C}$

$T_{j\max}$ は最高許容ジャンクション温度 (85°C) を超過しなければよいわけであるが、あまり大きい振幅の熱サイクルが加わることもトランジスタの劣化を早めると考えられる。これらの点からも 200 mW クラスのトランジスタを用いる必要がある。

(5) フリップ・フロップ

フリップ・フロップは原理的には 2 個の NOR からなる（図 3.10）が実際の回路は図 3.11 のようにダイオードを通してトランジスタのベースを直接トリガするようにした。

またこのフリップ・フロップはクロックpulseに同期してセット、リセットするように、トリガ部は図 3.11 の R 、 C で信号とクロックpulseのアンドでトリガするようになっている。図 3.12 はトリガ動作を示す。（a）はセット信号が入った場合、（b）はセット信号が入らない場合である。このようにするとセット、リセット信号は R 、 C で積分されることになるので雑音などによる誤動作も少なくなる。

C の値はトリガパワーによってきまるが、この値を知ることは

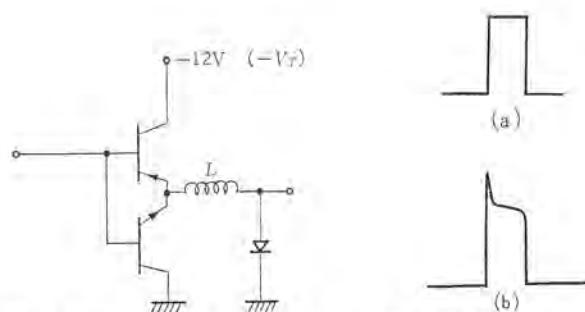


図 3.13 クロックパルス駆動増幅器
Fig. 3.13 Drive amplifier of clock pulse.

図 3.14 L の影響
Fig. 3.14 Effect of inductance.

困難である。また必要以上に大きくすると次に述べるクロック・パルス駆動増幅器の負担が重くなる。これらのことから実験的に 150 pF とした。 R の値は時定数を $1.5 \sim 2 \mu\text{s}$ とするように $13 \text{ k}\Omega$ とした。

(6) クロックパルス駆動増幅器

フリップ・フロップにクロックパルスを送るときトリガ容量の充放電に対する時定数を小さくする必要があるので、図 3.13 のように PNP、NPN のトランジスタを組み合わせた。またこの増幅器の負荷はフリップ・フロップのトリガ容量であることから負荷数が増してくるとかなりの過渡電力となる。一応この増幅器の負荷容量としては、100~200 mW クラスのトランジスタを用いて 200 kc で 40 個のフリップ・フロップの駆動をすることとしたが、増幅器のエミッタに直接負荷を結ぶと過渡電力が大きくなりすぎて、周囲温度 50°C のときのトランジスタのジャンクション温度が定格をこえるので、 $3 \mu\text{H}$ 程度のインダクタンスを入れてジャンクション温度を定格内にするようにした。しかしこのインダクタンスを入れると、図 3.14 (b) のようにスパイクがでてセット、リセット信号がないときでも図 3.12 の A_s (A_s') がプラスに振りこむため誤動作をしないまでもフリップ・フロップの波形を悪くするので図 3.13 のようにダイオードを入れてアースにクランプした。ただこのパルスはかなり細いのでダイオードは周波数特性のよいものが望ましい。

4. 実験による考察

前節まで種々考察してきたが、実際に周囲温度や、電源電圧の変動に対してどの程度安定に動作するかを実験的に確認した。

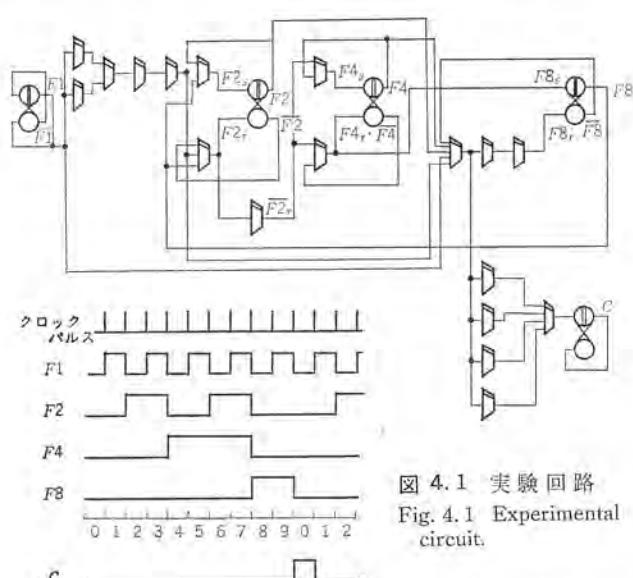


図 4.1 実験回路
Fig. 4.1 Experimental circuit.

表 4.1 溫度・電圧変動のマージンテスト結果

(a) $V_T = -12 \text{ V}$ に固定したときの V_{cc} のマージン

クロックパルス幅	0.5 μs		1 μs	
	V_{cc} の下限値	V_{cc} の上限値	V_{cc} の下限値	V_{cc} の上限値
-10°C	8.5 V	15 V 以上	8.2 V	15 V 以上
25°C	8.2	*	7.7	*
50°C	6.6	*	7.2	*

(b) $V_{cc} = -12 \text{ V}$, $V_{BB} = +12 \text{ V}$ に固定したときの V_T のマージン

クロックパルス幅	0.5 μs		1 μs	
	V_{cc} の下限値	V_{cc} の上限値	V_{cc} の下限値	V_{cc} の上限値
-10°C	6.1 V	15 V 以上	6.4 V	15 V 以上
25°C	6.9	*	7.2	*
50°C	7.4	*	7.7	*

(c) V_T , V_{cc} を共通にして変動させたときのマージン

クロックパルス幅	0.5 μs		1 μs	
	V_{cc} の下限値	V_{cc} の上限値	V_{cc} の下限値	V_{cc} の上限値
-10°C	3.5 V	15 V 以上	3.6 V	15 V 以上
25°C	3.4	*	3.5	*
50°C	3.2	*	3.2	*

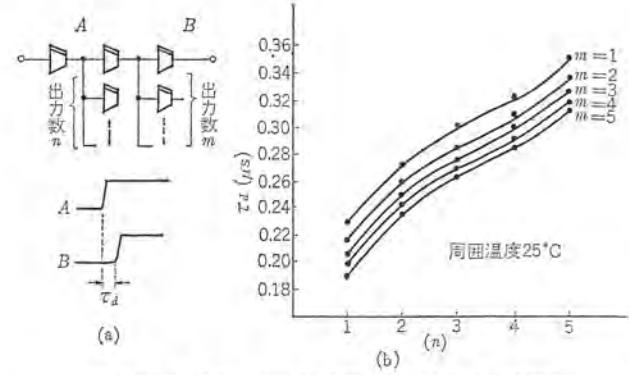
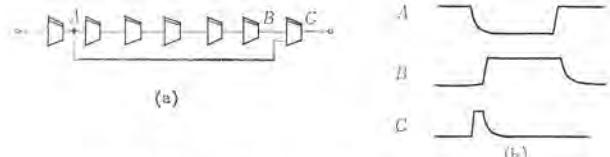
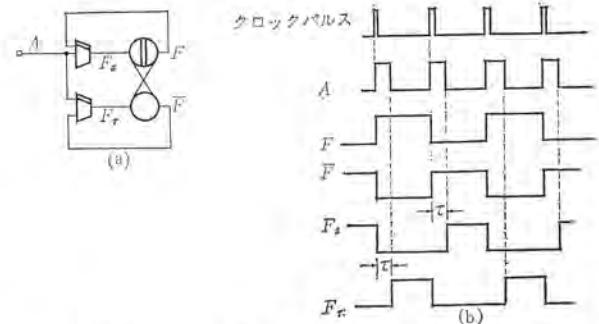
4.1 溫度、電圧変動に対するマージンテスト

図 4.1 のように種々の悪条件を入れた一種の 10 進カウントを組み立て、クロックパルス駆動増幅器とともに恒温タンクに入れ、-10 ～ 50°C におけるマージンを測定した。測定結果を表 4.1 に示す。表中 NOR, フリップ・フロップの負電源は V_{cc} , クロックパルス駆動増幅器の負電源は V_T , 正電源は V_{BB} で示す。また負電源は同じ方向に変動すると考えられるので V_{cc} の下限値を測定する場合には V_{BB} を 10.5 V, 上限値は 13.5 V に固定した。

表中 V_{cc} の上限値は 15 V までとしたが、少なくとも 15 V では安定に動作した。下限値以下にするとカウントは誤動作し、ついには止まってしまう。これはフリップ・フロップのセット、リセット信号とクロックパルスの関係が不適当となるためと思われる。(c) のようにロジックの電源とクロックパルス駆動増幅器の電源が共通であれば、かなりの電圧マージンがあることがわかる。このことからロジック電源とクロックパルス駆動増幅器の電源は共通にしたほうが安定である。上記の結果から周囲温度 0 ～ 50°C 負電源変動 $\pm 15\%$, 正電源変動 $\pm 10\%$ の条件は十分満足されていることがわかった。

4.2 遅延時間とフリップ・フロップの感度

スイッチング速度は、トランジスタによって異なるが、2SA204 を対象にして実験した結果では、次のようになる。立上り時間は出力数によって異なるが、1 出力では約 1 μs , 5 出力では約 0.3 μs 程度であり、立下り時間は負荷の NOR のコンデンサと抵抗の時定数によって下がるので 0.8 ～ 1 μs である。また蓄積時間は出力数および温度によって変わるが、常温で 0.15 μs 程度である。したがって信号が、何段も NOR を通ると当然信号の遅延が問題となるが、これは出力の状態や周囲温度によって変わる。次に図 4.2 に NOR 2 段あたりの遅延時間 τ_d と出力状態の関係を示す。信号の立ち上がりとなるところの出力数が多いと、立上り時間が大となるため遅延が大きくなるが、信号が立ち上がるところでは出力数が多いと蓄積時間が小となるので、むしろ遅延時間は小さくなる。また温度によって 2 段で $\pm 25^\circ\text{C}$ で $\pm 0.05 \mu\text{s}$ 変化する。したがって最悪出力状態 ($m=1, n=5$) で 0°C では 0.3 μs , 50°C では 0.4 μs 程度となり、最良出力状態 ($m=5, n=1$) で 0°C では

図 4.2 2 段あたりの信号遅れと出力数との関係
Fig. 4.2 Relation of delay time with out put.図 4.3 遅延によるスネイクパルス
Fig. 4.3 Sneak pulse of delay time.図 4.4 フリップ・フロップ感度測定回路
Fig. 4.4 Experimental circuit and time chart.

は 0.14 μs , 50°C では 0.24 μs 程度となる。

この遅延が実際に問題となるのは、次の 2 点である。

(1) 信号がどの程度遅れたらフリップ・フロップが正常に動作しなくなるか。

(2) 図 4.3 に示すような遅延のために生ずるスネイクパルスがどの程度の幅になったときフリップ・フロップが誤ってセットするか。

上記の限界を図 4.4 に示す測定回路で測った。これは A としてパルス幅 τ でクロックパルスに同期したパルスを入れるとフリップ・フロップが動作している間は、 F_s, F_r は等価的に τ だけ遅延したセット、リセット信号となるから τ を変化させることにより遅延の限界を知ることができる。またスネイクパルスに対しては A パルスを直接フリップ・フロップのセット、またはリセット端子に入れて τ を増しフリップ・フロップが誤動作する限界を知ることができる。

表 4.2 に測定結果を示す。なおクロック周波数は 200 kc である。

表 4.2 フリップ・フロップの感度

	0°C	25°C	50°C
遅延信号に対するフリップ・フロップ感度	3.5 μs	3 μs	2.5 μs
スネイクパルスに対するフリップ・フロップ感度	1.5 μs	1.9 μs	2.4 μs

表 4.3 許容しうるゲート段数

	0°C	25°C	50°C
最悪条件 ($m=1, n=5$)	10 段	11 段	12 段
最良条件 ($m=5, n=1$)	20 "	20 "	20 "

る。これから明らかなように、許容できる遅延はむしろスネイクバルスに対するフリップ・フロップの感度から制限される。

次に前述したフリップ・フロップの感度による許容しうる遅延時間とNORゲートの遅延時間からフリップ・フロップ間に許容されるNORゲートの段数を考えると表4.3に示すようになる。

以上の結果から0~50°Cにおいて200kcのクロック周波数で動作させる場合、フリップ・フロップ間に許容できるNORゲートの段数は、出力状態に応じて10~20段くらいに制限すべきである。上記段数の制限は、クロック周波数が低くなれば、許容される遅延時間が大きくなるので設計上楽になることは上記の結果より推察できる。

5. 使用トランジスタ・ダイオードの規格

上述の基本設計条件および実験による考察から、高速ダイオード・トランジスタNOR要素としてのトランジスタおよびダイオードの規格を表5.1に示す。

表5.1 トランジスタ・ダイオード規格

スイッチング用トランジスタ		
項目	略号	規格
最大定格 ($T_a=25^\circ\text{C}$)		
コレクタ・ベース間電圧	V_{CB0} (V)	-30
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CE0} (V)	-14
エミッタ・ベース間電圧	V_{EB0} (V)	-20
コレクタ電流	I_c (mA)	200
コレクタ損失	P_c (mW)	200
ジャンクション温度	T_j ($^\circ\text{C}$)	85
保存温度	T_{stg} ($^\circ\text{C}$)	-55~+85
電気的特性 ($T_a=25^\circ\text{C}$)		
直流電流増幅率 ($V_c=-1\text{V}$, $I_b=-30\text{mA}$)	h_{fe}	65~130
最大コレクタシャット電流 ($V_c=-10\text{V}$, $I_b=0$)	I_{CB0} (μA)	-6
シャット周波数	f_{LB} (Mc)	4
コレクタ飽和電圧 ($I_c=-20\text{mA}$, $I_B=1.2\text{mA}$)	$V_{CE(SAT)}$ (V)	-0.13
直流ベース電圧 (V_{BE})	V_{BE} (V)	-0.35
温度特性		
直流電流増幅率	h_{fe}	0°C で 50 50°C で 50 0°C で -0.42
コレクタシャット電流	I_{CB0} (μA)	規格値の 80~120% * 200%
最大定格 ($T_a=25^\circ\text{C}$)		
センタード電圧	(V)	75
直流逆電圧	(V)	50
セージ電流	(mA)	350
センタード電流	(mA)	90
平均整流電流	(mA)	30
保存温度	($^\circ\text{C}$)	-55~+85
電気的特性 ($T_a=25^\circ\text{C}$)		
最小順電流	(mA)	5
最大逆電流 (10V)	(μA)	10
温度特性		
最小順電流 (1V)	(mA)	0°C で 3
最大逆電流 (10V)	(μA)	50°C で 25
経年変化 (1,000時間)		
最大逆電流 (10V)		規格値の 150%
最小順電流 (1V)		* 100%
備考		
適用品種		
トランジスタ	2SA204 2SA407	
ダイオード	SD34 SD54	

6. 付属回路

6.1 高速NOR増幅器

前節で述べたように高速ダイオード・トランジスタNORは、最大出力数は5個、フリップ・フロップは最大出力数は4個である。しかし実際にロジックを組む場合それ以上の出力を必要とすることは当然

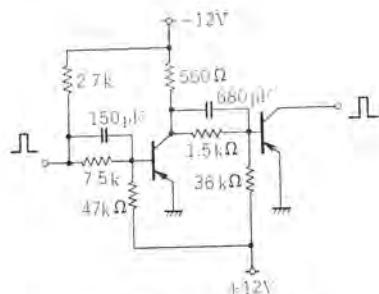


図6.1 高速NOR増幅器
Fig. 6.1 High speed NOR amplifier.

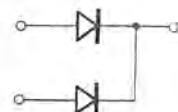


図6.2 2入力OR
Fig. 6.2 OR gate of two inputs.

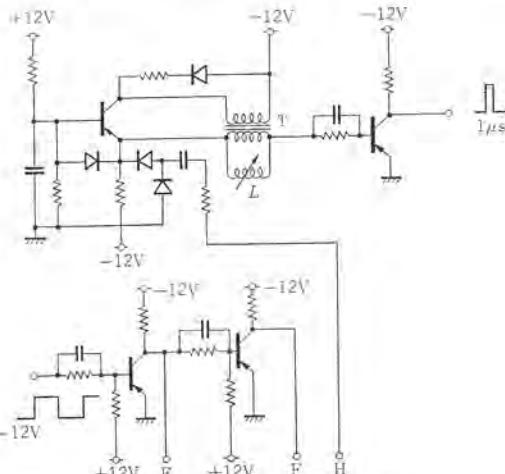


図6.3 クロックパルス発生器
Fig. 6.3 Clock pulse generator.

ある。このような多出力のために図6.1のような増幅器を考える。この場合の問題点は立上り時間と消費電力であるが、前者について終段の入力抵抗、初段の負荷抵抗をできるだけ小さくすることにより解決される。また消費電力については、この素子が1システムに使われる数はNORに比べてかなり少ないと考えられるので、Failure Rateが多少落ちても問題はないと考え、許容ジャンクション温度をNORの場合より大きくした。(20出力で $T_{j\text{mean}}=8\sim9^\circ\text{C}$ $T_{j\text{max}}=77\sim80^\circ\text{C}$)この素子の立上り時間は20出力で0.3μs以下である。また論理的には図6.1からわかるように入力が“1”なら出力も“1”である。

6.2 ORゲート

ORゲートとしては図6.2に示すように単にダイオードを並列に並べたもので、このほかに3入力、4入力がある。これはフリップ・フロップのセット、リセット端子あるいは6.1節で述べた増幅器の入力端子についてORロジックを作ることができる。また1入力NOR要素の入力について任意の入力数のNORゲートを作ることもできる。

6.3 クロックパルス発生器

フリップ・フロップをトリガするクロックパルス発生器である。入力端から0V、-12Vの同期信号を入れると出力にブロッキング・オシレーターにより作られたクロックパルスが出る。パルス幅は可変インダクタンスL

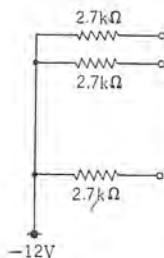


図 6.4 負荷抵抗
Fig. 6.4 Load resistor.

により $0.6 \sim 1.2 \mu s$ 変化する。実際にはクロックパルスは $1 \mu s$ 程度が適当である。またこの回路はクロックパルスを 90° ずらすことができるよう同期信号の立ち上がりでも立ち下りでもブロッキング・オシレータをトリガすることができるよう設計されている。これは図 6.3 の端子 H と端子 E または F のどちらかを外部的に接続することによってできる。フリップ・フロップのトリガに用いるときにはどちらに接続してもよい。また実際のカードには終段の増幅器が 10 個装着されており、出力数は 10 個とることができる。これらの出力はそれぞれ図 3.13 で述べたクロックパルス駆動増幅器の入力端に接続される。

6.3 負荷抵抗

高速ダイオード・トランジスタ NOR 素子の出力は直接コレクタである

表 7.1 高速ダイオードトランジスタ NOR 標準カード

カード番号	名 称	略記号	実数組数	入力側に接続するカード	出力側に接続するカード	備考
1 P00	高速NOR フリップフロップ		4	ORゲート NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	ORゲート NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	負荷として 最大4出力ゲートまで
2 M02	2入力ORゲート		7	NORゲート、スリーブフロップ NOR増幅器	1入力NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	フリップフロップ 1入力NORゲート NOR増幅器と用いて 並んで用いる
3 M03	3入力ORゲート		5	"	"	"
4 M04	4入力ORゲート		4	"	"	"
5 N01	1入力NORゲート		9	ORゲート NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	ORゲート NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	負荷として 最大5出力ゲートまで
6 N02	2入力NORゲート		6	NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	"	"
7 N03	3入力NORゲート		2入力×1 3入力×4	"	"	"
8 N04	4入力NORゲート		3入力×1 4入力×3	"	"	"
9 N05	5入力NORゲート		3	"	"	"
10 T00	NOR増幅器		6	ORゲート NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	"	負荷として 最大20出力ゲートまで
11 S00	NORゲート		3	NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	"	4入力NORゲートを 1入力NORゲート2 個がなる
12 Q00	NORカウンタ		1ビット×1 2ビット×1	"	"	ビットシリセトスコ ワントラスルスカウト 出力モード出力モードあり
13 X00	シフトレジスタ		2ビット×1 4ビット×1	ORゲート NORゲート フリップフロップ NOR増幅器	"	
14 Z00	負荷抵抗		20			
15 T01	クロックパルス 駆動増幅器		9	クロックパルス 駆動増幅器	フリップフロップ のトリガ端子	負荷として最大40 フリップフロップまで駆動できる
16 R01	クロックパルス 発生器		1	外部または内部 の同期信号	クロックパルス 駆動増幅器	出力信号は10個あり 同じく(またはD)を接続すること

ため、従来の低速 NOR と接続する場合、また外部に電圧信号として利用する場合には負荷抵抗を NOR 素子の出力端に接続する必要がある。

7. 標準カード

高速ダイオード・トランジスタ NOR システムの各種要素を標準カード化しているがその一覧表を表 7.1 に示す。

8. 応用論理回路例

8.1 フリップ・フロップの使い方

フリップ・フロップのトリガは図 8.1 のように系統となる。まずクロックパルス発生器の端子 H と端子 E (または F) を接続する。このようにして入力端に同期信号を入れると、その出力端にそれぞれ $1 \mu s$ 程度のクロックパルスが出て、これをそれぞれクロックパルス駆動増幅器の入力端に入れ、その出力をフリップ・フロップのトリガ端子に入れ。このクロックパルス駆動増幅器は負荷として 40 個のフリップ・フロップを駆動することができる。セット (A_s)、リセット (A_r) と A, \bar{A} の関係は図 8.2 のようになる。

8.2 2 進計数回路

図 8.3 は 3 ビットの 2 進計数回路の各部波形を示す。各フリップ・フロップの入力論理式は下式が成立する。

$$F1_s = \bar{D} \cdot F1 \cdot \bar{R}$$

$$F1_r = \bar{D} \cdot F1 + R$$

$$= \bar{D} \cdot F1 \cdot \bar{R} + R = \bar{D} + R$$

$$F2_s = \bar{D} \cdot F1 \cdot \bar{F2} \cdot \bar{R} = \bar{D} \cdot F2$$

$$F2_r = \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 + R$$

$$= \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 \cdot \bar{R} + R$$

$$= \bar{D} \cdot F2 + R = \bar{D} + R$$

$$F4_s = \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot R = \bar{D} \cdot F4$$

$$F4_r = \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 + R$$

$$= \bar{D} \cdot F4 + R$$

これを NOR 要素で示すと図 8.4 となる。ビット数が増しても同様に接続すればよい。またリセット R の増幅器は 3 ビットまではいらぬがそれ以上になると必要である。

8.3 10 進計数回路

図 8.5 に 10 進計数回路の各フリップ・フロップの波形を示す。これらのフリップ・フロップの入力論理式は下式が成立する。

$$F1_s = \bar{D} \cdot F1 \cdot \bar{R}$$

$$F1_r = \bar{D} \cdot F1 + R$$

$$= \bar{D} \cdot F1 \cdot \bar{R} + R = \bar{D} + R$$

$$F2_s = \bar{D} \cdot F1 \cdot \bar{F2} \cdot \bar{F8} \cdot \bar{R}$$

$$= \bar{D} \cdot F2 \cdot \bar{F8}$$

$$F2_r = \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 \cdot \bar{R} + R$$

$$= \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 \cdot \bar{F8} \cdot \bar{R} + R$$

$$F4_s = \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot \bar{F8} \cdot \bar{R}$$

$$= \bar{D} \cdot \bar{F4}$$

$$F4_r = \bar{D} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot \bar{F8} + R$$

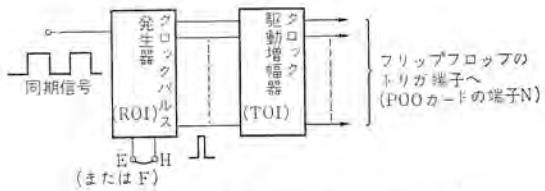


図 8.1 フリップ・フロップトリガ系統図
Fig. 8.1 Trigger system of Flip-Flop.

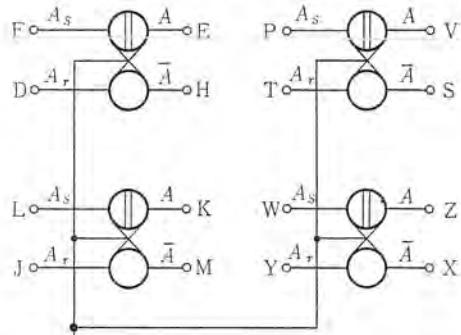


図 8.2 フリップ・フロップカードの A_s , A_r , A , \bar{A} の関係
Fig. 8.2 Relation between A_s , A_r , A and \bar{A} .

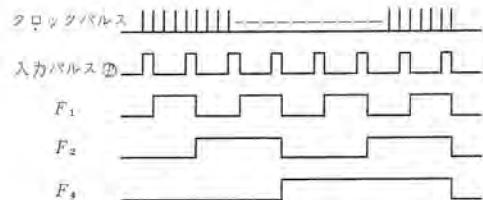


図 8.3 3ビット2進計数回路の各部波形
Fig. 8.3 Wave forms of 3 bits binary counter.

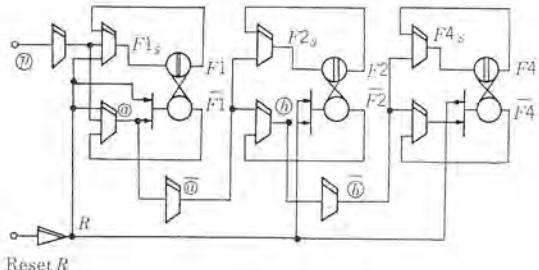


図 8.4 3ビット2進計数回路
Fig. 8.4 3 bits binary counter of NOR system.

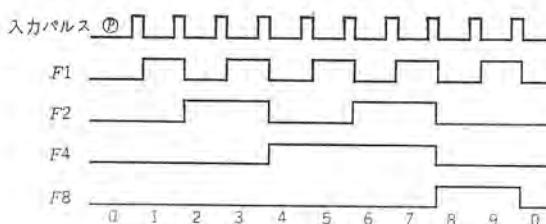


図 8.5 10進計数回路の各部波形
Fig. 8.5 Wave forms of decimal counter.

表 8.1 半加算器真値表

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

$$= \textcircled{②} F4 + R = \textcircled{③} + R$$

$$F8_s = \textcircled{②} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot F8 \cdot \bar{R} = \textcircled{③}$$

$$F8_r = \textcircled{②} \cdot F1 \cdot \bar{F}2 \cdot \bar{F}4 \cdot F8 + R = \textcircled{③} \cdot F2 \cdot F4 \cdot F8 + R$$

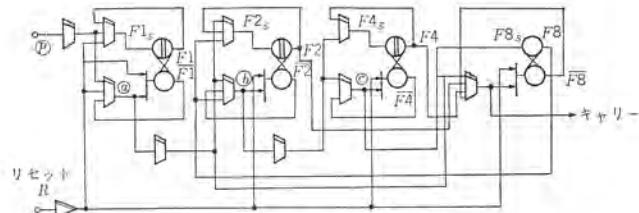


図 8.6 10進計数回路
Fig. 8.6 Decimal counter of NOR System.

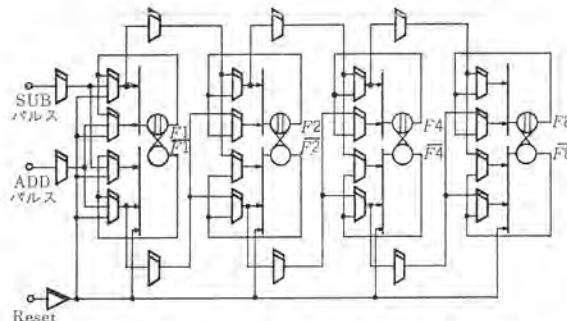


図 8.7 4ビット可逆2進計数回路
Fig. 8.7 4 bits reversible binary counter of NOR system.

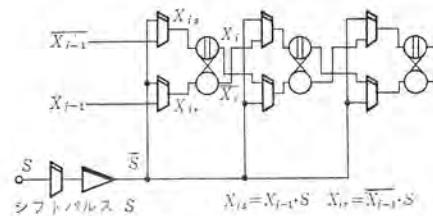


図 8.8 シフトレジスタ
Fig. 8.8 Shift register of NOR system.

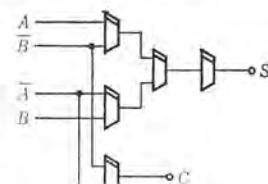


図 8.9 半加算器
Fig. 8.9 Half adder of NOR system.

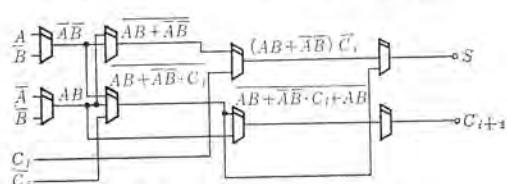


図 8.10 全加算器
Fig. 8.10 Full adder of NOR system.

表 8.2 全加算器真値表

A	B	C_i	S	C_{i+1}
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

これらを NOR 要素で示すと図 8.6 となる。

8.4 可逆2進計数回路

前項と同様に論理式から回路を構成すると図 8.7 を得る。

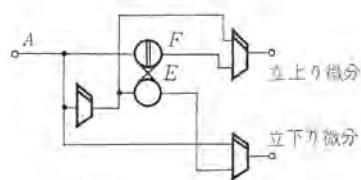


図 8.11 微分回路
Fig. 8.11 Differential circuit of NOR system.

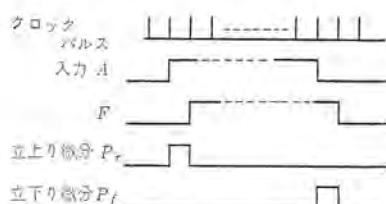


図 8.12 微分回路各部波形
Fig. 8.12 Wave forms of differential circuit.

8.5 シフトレジスタ

NOR要素による論理回路を図 8.8 に示す。

8.6 半加算器

半加算器の真理値表は表 8.1 となる。これから下式を得て、論理回路を図 8.9 に示す。

$$S = \overline{A}B + A\overline{B} \quad C = AB$$

8.7 全加算器

全加算器の真理値表は表 8.2 のとおりである。これから論理式として下式が成立し、図 8.10 の回路となる。

$$\begin{aligned} S &= \overline{ABC}_i + \overline{ABC}_i + \overline{ABC}_i + ABC_i \\ &= (AB + A\overline{B})C_i + AB + A\overline{B} \cdot C_i \\ C &= ABC_i + \overline{ABC}_i + A\overline{B}C_i + ABC = AB + A\overline{B} \cdot C_i + AB \end{aligned}$$

8.8 微分回路

微分回路は図 8.11 に示すとおりである。各部波形を図 8.12

に示す。

$$P_r = A \cdot \overline{F} \quad P_f = \overline{A} \cdot F$$

9. むすび

以上高速ダイオード・トランジスタ NOR システムの基本設計法と実験によるマージンについて述べたが、使用するに際しての設計上考慮すべき条件内ならば安定確実に動作することが確認された。今後さらにトランジスタがシリコン化されれば、なおさらに実用面において品質の向上が期待できる。

一般工業分野における最近の自動化はめざましいものがあり、今後エレクトロニクス技術の積極的な利用を考えなくては、もはやこの分野における進歩向上はあり得ないといつても過言ではなかろう。

この高速 NOR システムは、工作機械の自動化の決定版ともいえる計算機内蔵形の 3 次元連続切削用 ライフ盤数値制御装置の論理素子として開発したものであるが、本機は 1964 年度日本国際工作機械見本市において、関係各位の絶賛好評を博した。

今後高速 NOR システムは従来の低速形 NOR 素子に代わって高速動作と高い信頼性、互換性という大きな特長をもつため工業制御用として今後の発展が期待される。

参考文献

- (1) William D. Rowe, George H. Royer: Transistor NOR circuit Design, AIEE 57, (1961).
- (2) Dale P. Masher: The Design of Diode-Transistor NOR Circuit, IRE, p. 15 Mar. (1960).
- (3) 鳴村・磯崎・織田: スイッチ動作におけるトランジスタの最大許容電力「三菱電機技報」38, No. 10, (昭 39).
- (4) 中塚・壱井・松原: ダイオード・トランジスタ NOR-OR 素子「三菱電機技報」37, No. 11 (昭 38),

超電導(2) —電気機器への応用—

岩本雅民*

1. まえがき

電気機器を構成する電気材料は、(a) 導電材料、(b) 磁気材料、(c) 電気絶縁材料に大別できる。現在の電気機器の寸法は、これらの材料の特性によって決まるものであり、各材料の特性が向上すれば、電気機器は今以上に小型化・大容量化され価格も低下し、また機器特性の向上が容易になる。電気機器の設計製作技術が高度に発達している今日では、大幅なコストダウンを行なうには新しい良好な電気材料を開発し使用することが一番の近道である。この意味で、電気関係技術者は新しい材料開発にかなりの努力を費やしており、劣化の少ない高温に耐える絶縁物や、鉄損の小さい磁気材料が続々と開発されている。しかし、導電材料に関しては電気機器の歴史が始まって以来一貫して銅中心主義であって、大した技術進歩はなかった。ところが損失がほとんど皆無に近い理想的電気導体が現実には存在するのである。

1911年、Onnes はある種の金属が極低温におかれると、ほぼ完全に電気抵抗を失うという事実を発見した。これが超電導現象と呼ばれるものである。彼の発見した超電導性は、電気抵抗ゼロのいわゆる完全導体性と、透磁率 $\mu=0$ の完全反磁性(マイスナー効果)の両方を有するものであって、今日では、第1種または軟超電導体と呼ばれている。その代表例は鉛、水銀である。発見と同時に電気機器(とくに電磁石)を超電導体を用いて製作する試みが開始されたが、軟超電導体は比較的の低磁界によって常電導性に遷移するというかんばしからぬ性質を有するため、なかなか実現できなかった。しかしこく最近 Kunzler^{(1), (2)}らによって、第2種ないし第3種超電導体と呼ばれ、非常に高い磁界中でも超電導性を失わない、いわゆる硬超電導体が発見されるやいなや、その電気機器への応用の機運は急激に高まった。さらに極低温発生技術(ヘリウム液化技術)の進歩とともに、実験室的興味の対象であった段階から、工業的関心をもたれる時代へと突入したのである。とくに、超電導を利用した小型マグネットの領域では完全な実用段階に達しているといつてよい。

超電導現象を利用した電気機器、すなわち超電導電気機器の開発研究の歴史は非常に新しいものであるが、アイデアだけを述べる初期の段階はもはや終了し、現在では基礎的データを基に、詳細な技術的・経済的検討を行なって現用機器と競争できるか否かを論ずる段階に達している。超電導電気機器は、現在の電気関係者が最も注目しているものの一つであるから、前号⁽³⁾の超電導材料(I)についての解説に引き続いて、超電導の電気機器への応用の現状についてその問題点を中心に述べる。

2. 超電導機器開発の一般的問題点

2.1 超電導体は、はたして無損失導体か?

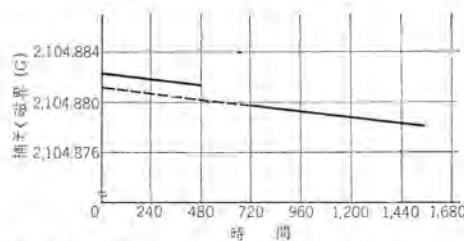
Onnes の発見した超電導体の特長の一つは電気抵抗ゼロ、すなわち完全導体としての性質であった。確かに彼が実験に使用した水

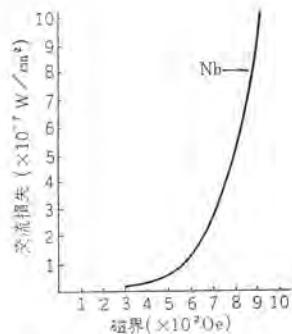
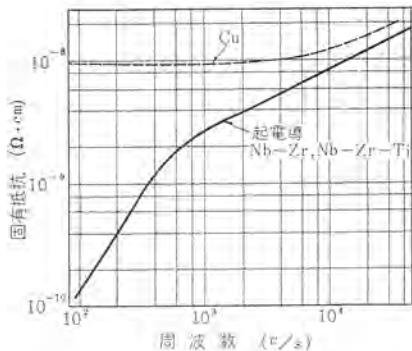
銀、鉛などは後述の永久電流の実験からわかるように、電気抵抗はゼロであり、また通常の周波数の電磁界に対しては無損失であると考えられている。しかし最近行なわれた精密測定によれば、たぶん理想的超電導体からのズレに基づくと思われる微少な電気的損失が観測されている。とくに最近、脚光を浴びている硬超電導体では変化する電磁界に対し、かなりの電気損失が発生することが明らかになってきた。

軟超電導体に直流電流を流した場合の電気損失が、事実上ほとんど皆無であることは、次の永久電流の実験で証明されている。軟超電導体の代表的金属 Pb でドーナツ状のものを作り、これに磁界を加える。その状態で極低温度に下げて Pb のドーナツを超電導状態にするとドーナツの穴に磁束が捕そくされ、それに対応する循環電流が誘起される。この電流は、Pb のドーナツの抵抗がゼロである限り永久に流れ続けるはずである。したがってこの電流の減衰状況を知ることにより、超電導状態における抵抗を推定することが可能である。実験では磁束の減衰を測定する方法が採用されているが、この結果によれば、電流減衰の時数は 250 年以上であることがわかっている。

同様な方法によって硬超電導体の直流抵抗を測定できる。代表的硬超電導体 Nb-Zr の直径 20 mil の線を使用し、内径約 4 インチ、約 1,000 ターンのコイルを作り、両端を点溶接で接着する。これに永久電流を誘起させて磁界を発生し、その減衰を測定した例が図 2.1⁽⁴⁾ であってコイル内の磁界の時間的変化を NMR 法によって精密測定した例である。減衰はきわめて小さく、これから Nb-Zr の超電導状態における抵抗は最大 $4.2 \times 10^{-22} \Omega \cdot \text{cm}$ であると推定されている。この値は銅の固有抵抗($2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{cm}$)に比べて著しく小さいから、硬超電導体の直流抵抗もゼロであるといつてよい。

以上は、完全な直流電流を流した場合の損失を実測した例であるが、交流電流ないし磁界の場合の損失はどうであろうか。理想化された超電導論理によれば、超電導体はそれぞれ固有の臨界周波数 ω_c 以下の交流電磁界に対しては電気抵抗がないと考えられている。この ω_c は一般的超電導体では、マイクロ波ないしミリ波の領域であって、電気機器で問題となるような低周波電磁界では損失は問題とならなくなるはずである。ところが実際には理想的条件からのズレに基づく抵抗が発生する。これに関しては多くの実験研究がなされているが⁽⁵⁾、ここでは Buckhold らの測定結果⁽⁶⁾を中心に紹介しよう。彼らは、交番磁界中に置かれた Pb お

図 2.1 Nb-Zr ソレノイドの捕そく磁界の減衰⁽⁴⁾

図 2.2 超電導体の交流磁界中における損失測定例⁽⁶⁾図 2.3 硬超電導体 (Nb-Zr, Nb-Zr-Ti) の交流電流に対する抵抗^{(7), (8)} (4.2 K, 線径 10 mil)

より Nb の試料に発生する交流損失を熱量計法によって測定した。Pb は軟超電導体、Nb に硬超電導体という差はあるが、測定条件では両試料ともにはほぼ完全なマイスター効果が成立しているから、損失はきわめて小さく、しかも表面積に比例することが特長である。図 2.2 は測定結果を示したものであり、次の関係式に従うようなごく微小な損失である。

$$P = CH^n \quad (\text{W/cm}^2) \quad \dots \dots \dots \quad (2.1)$$

C, n は材料によって異なる定数である。Nb の場合 $n = 3.5 \sim 5.0$ 、Pb の場合は $n = 2.5 \sim 7.0$ である。損失 P は周波数 f にはほぼ比例するが、これは理想的超電導体では起きないはずのヒステリシス機構が存在するためであろうと考えられている。

硬超電導体では、磁界が内部に侵入するから交流損失はかなり大きくなることが予想できる。硬超電導体の超電導状態における磁化曲線は一般にヒステリシスを描くが、これは当然超電導線の損失となるものである。図 2.3 には、直径 10 mil の Nb-Zr、および Nb-Ti-Zr 線の超電導状態における固有抵抗を誘起電流を流して測定した例を引用した。⁽⁷⁾

これからわかるようにこの種の超電導体における交流抵抗は必ずしも小さいとはいえない。低周波領域 ($f < 1 \text{ kc}$) では、 $f^{1.7}$ に比例し、高周波 ($f > 1 \text{ kc}$) の場合には、 $f^{0.5}$ に比例している。損失の原因としては、磁束が超電導体の内部に捕そくされることによるヒステリシス損失と超電導体内に存在しうる常電導領域に電磁的に電流が誘起されることによるウズ電流損失が考えられる。前者は f に比例し、後者は f^2 に比例する損失を与えることが予想される。超電導体の交流損失で低周波領域における $f^{1.7}$ に対する比例性は、後者のウズ電流メカニズムによると推定されているが、高周波領域における $f^{0.5}$ に対する比例性は両原因のいずれからも説明できない。

周知のように通常導体の交流抵抗は、高周波領域では、表皮効

果のために $f^{0.5}$ に比例することを考えると、超電導体の場合にも通常導体と類似な表皮効果的損失増大メカニズムが存在すると考えられている⁽⁸⁾。図 2.3 の点線は 4.2 K における銅導体の固有抵抗を参考までに記入したものである。10 kc 以上の高周波電流に対しては、超電導体と通常導体の抵抗はあまり変わらなくなる。また商用周波数 (50~60 c/s) の交流電流に対しては、超電導体の抵抗は 4.2 K の銅のそれに比べ約 1/300 であり、室温の銅の抵抗の約 1/60,000 である。この値は一見かなり小さく魅力的なようと思えるが、実際には必ずしもそうではない。これらの Nb-Zr 超電導線は、銅の 100 倍の電流密度で通電するのが普通であるから同一電流を流す際の単位長あたりの抵抗損失は銅の場合の $(1/60,000) \times 10^2$ 倍程度である。しかし実際にはこの極低温で発生する熱量を取り去るために要する冷却機電力はこの熱量の 1,000 倍にもものぼる。したがって定常的冷却電力まで考慮すると、Nb-Zr の交流損失は銅よりも、かえって大きくなる可能性がある。またこの種の超電導線の電気抵抗は線径 d に逆比例することが観測⁽⁸⁾されており断面積 d^2 に逆比例する通常導体の電気抵抗とは本質的に異なることも注意を要する問題である。

以上の説明からわかるように実際に得られる超電導体は、交流電流に対しては電気抵抗ゼロ、損失皆無とは必ずしもいえない。これは交流超電導機器開発上での一つの問題点としてあげておかなければならぬことである。

2.2 電流リード線を通して極低温側に流入する熱量の問題

超電導体は、その遷移温度以下の極低温 (たとえば 4.2 K) に冷却されなければ超電導性を示さない。したがって超電導電気機器の本体は室温部と厳密に断熱する必要があり、また断熱層を漏れて流入する熱量は冷却機で絶えず冷却してやらなければならぬ。この冷却機運転電力は超電導電気機器の損失とみなされるから、機器の効率を高めるためには流入熱量を努めて小さくしなければならない。

一般の極低温装置では断熱材として

(a) 低気圧に引かれた粉末状熱絶縁物質を用いる⁽⁹⁾

(b) 高真空を用いる方法

などがあり、努力さえすればかなり良好な断熱ができる。しかし超電導電気機器においては、室温中におかれた系統と極低温に保たれる本体との間に出入力用電流線 (リード線) が必要である。このリード線は、極低温部への熱量流入路となり、これによって伝導される熱量は、他の流入熱量と比較してかなり大きく、機器全

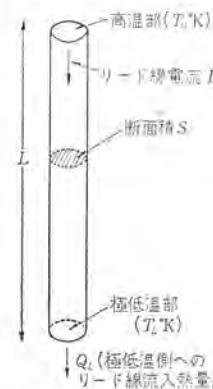


図 2.4 リード線のモデル

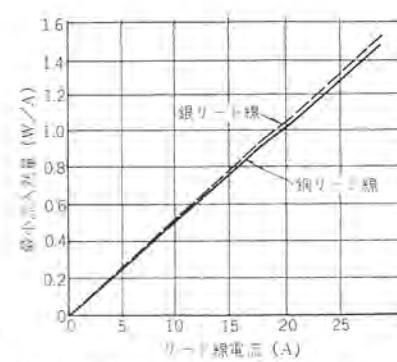


図 2.5 最適設計されたリード線の流入熱量 (300 → 77 K)



技術解説

体の効率を低下させる重要な要因となる。この章ではこの問題について検討しよう。

リード線モデルとして図2.4のように長さ L 、断面積 S 、電気および熱伝導度がおのおの σ および κ の電線を考えよう。上端が高温 (T_H K) に保たれ下端が極低温 (T_L K) に保たれるものとする。このリード線は極低温部へ熱伝導によって熱量を流入させるが、伝導量は S に比例し L に反比例する。一方リード線に電流 I を流した場合リード線に発生する Joule 損は、 S に逆比例し L に比例する点で伝導熱量とは相反する傾向を有するため、 S, L には最適値が存在することがわかる。リード線の表面から熱量が逃げないと仮定すれば、単位電流を供給する最適設計されたリード線によって極低温部に伝達される熱量 $Q_{L\min}$ は、理論上次式で求められる⁽¹⁰⁾。

$$Q_{L\min} = \left[2 \left(\frac{\kappa}{\sigma} \right)_{av} (T_H - T_L) \right]^{1/2} (W/A) \quad \dots \dots \dots (2.2)$$

ここで $\left(\frac{\kappa}{\sigma} \right)_{av}$ は $T = T_H - T_L$ 間における $\left(\frac{\kappa}{\sigma} \right)$ の平均値である。式(2.2)からわかるように $\left(\frac{\kappa}{\sigma} \right)_{av}$ の小さい材料ほど流入熱量が小さくリード線材料として優秀であるといえるが、デバイ温度以上ではすべての純金属に対し $\left(\frac{\kappa}{\sigma} \right)$ は、ほぼ一定値であることがわかっている。(Wiedeman-Franz 則)。

すなわち 300 K から 77 K まで張られた銅および銀製の試験用リード線に、実際に電流を流し $Q_{L\min}$ を測定した筆者らの実験結果を示す(図2.5)。このように材質を変えて $Q_{L\min}$ の特別に小さいリード線を作ることはむずかしい。したがって普通には銅を使用することになる。ただし極低温では、電気伝導度が不純物によって制限される傾向があるので、高純度の銅を使用するのが得

表2.1 リード線最少流入熱量および等価の電圧降下
リード線1本あたりの値を示した。

リード線種類	4.2 K への流入熱量 (W/A)	リード線等価電圧降下	
		理想的冷却機 (V)	通常冷却機 [*] (V)
300→4.2 K ガス冷却なし	0.04	2.8	28
300→4.2 K 完全ガス冷却	0.020	0.16	1.6
77→4.2 K ガス冷却なし	0.012	1	10

* 冷却機効率 $\eta = 1/700$ を採用した。

表2.2 電気絶縁物の破壊電圧特性例 (各種文献から抜粋)

絶縁物の種類	296 K (空気中)	77 K (液体 N ₂ 中)	4.2 K (液体 He 中)	4.2 K (真空中)
0.004-インチ コンデンサー(ワニス処理)	5,700 V	11,100	9,400	—
0.005-インチ クラフト紙(ワニス処理)	6,500	9,400	7,700	—
0.001-インチ マイラー	2,300	4,600	3,500	—
0.0015-インチ テフロン	6,100	7,700	6,300	7,400
0.0014-インチ ポリビニール・フォルマール	5,500	8,900	7,000	7,800
0.0014-インチ ポリエスチル	9,200	9,800	8,200	8,300
0.005-インチ球間ゲキ 油	16,000	—	—	—
0.005-インチ球間ゲキ 液体 H ₂	—	7,000	—	—
0.005-インチ球間ゲキ 液体 He	—	—	3,000	—

策である。以上がリード線の熱流入問題の基本的考え方であるが、流入した熱量を蒸発させる冷たいヘリウム気体の熱容量を利用してリード線の途中を冷却してやれば、全体としての流入熱量は著しく低減できる(ガス冷却リード線)。

表2.1は、300→4.2 K および 77→4.2 K 間に張られたリード線で単位電流を供給する場合の最小流入熱量をまとめたものである。^{(10), (11), (12)} 表中で完全ガス冷却リード線とは、リード線をスパイラル状にするなど、特別の工夫を行ない蒸発するヘリウムガスとの接触面積を大きくして、完全な熱交換を行なうようにしたものである。完全ガス冷却リード線の場合流入熱量は著しく小さく、ガス冷却のない場合に比較し非常に有利である。しかし完全ガス冷却の場合、蒸発したガスの温度は 4.2 K よりも高いから、そのガスをふたたび 4.2 K に冷却するための冷却機電力が必要である。すなわち単純に表中の流入熱量だけを取り去るための電力だけでは不十分であって、これにガス再冷却電力を加えねばならない。

この流入熱量は、最適設計されたリード線を使用する限りリード線の電流 I に比例する。冷却機の効率を η とすると超電導機器全体としては、次のような電圧降下がリード線に生じたと等価である。

$$v_L = Q_{L\min} / \eta \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

これは、リード線損失等価電圧降下とでも呼ぶべき量である。これを計算して表2.1に併記した。なお完全ガス冷却リード線の場合については、ガス再冷却電力損失を考慮して v_L を求めている。超電導機器の電圧はある程度以上高くないとこの電圧降下が無視できなくなり、効率が低下するおそれがある。いいかえれば低電圧・大電流機器は効率上超電導化がむずかしい場合があるかも知れない。

2.3 極低温における電気絶縁の問題

超電導電気機器に使用される電気絶縁材料は当然極低温で使用される場合が多い。極低温では、電気絶縁材料の性質はどのようなものであろうか。たとえば極低温では絶縁強度がかなり向上するのではないかという期待もあった。表2.2は各種絶縁材料の破壊電圧を公表された文献から集めたものである。^{(13), (14), (15)} 超電導電気機器としては、油浸コイルと同様に、超電導体と絶縁物を液体ヘリウム中に浸す形式のものが最も実現容易と思われる所以、参考までに各種液化ガスおよび油の破壊電圧も表2.2中にまとめた。

絶縁物が極低温側に置かれた場合、その誘電体損失を冷却する冷却機電力が必要となる。理論的に $\tan \delta$ は温度の低下とともに急激に減少することが知られており、大した問題とならぬという考え方もある。ポリエスチル、テフロン、ポリビニール・フォルマールなどについての実験データによれば、 $\tan \delta$ は 77 K で 10^{-3} 、4.2 K で 10^{-4} 程度に低下することが発表されている。

超電導電気機器に使用するためには単に絶縁特性のみでなく、機械的性質、劣化などが重要問題であるが、現在のところデータは少ない。極低温における電気絶縁耐圧の研究は従来、物理学的興味から出発したものが多く、今後電気機器応用の立場からの豊富な実験研究が期待される。

3. 超電導電気機器

多くの電気機器は、原理的には超電導化が可能であるが、技術

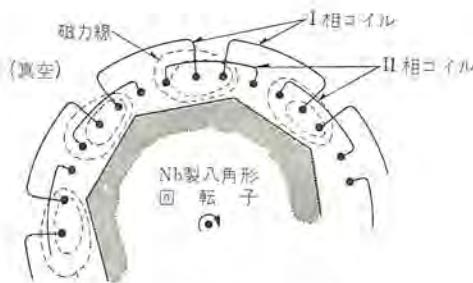


図 3.1 超電導モータ

的可能性、経済性などについては各機種で異なることはいうまでもない。超電導電気機器には、現在のところ比較的高価な極低温冷却機および冷却系が必要であるから、超電導化した場合の利点がかなり大きいものでないと実用にならないことは十分留意しておくべきであろう。この章では機種別に特長、技術的問題点、経済性について説明しよう。

3.1 回転機への超電導応用

超電導体の性質を巧みに利用した回転機として図 3.1 のようなモータがある。マイスター効果を示している Nb 製の多角形ロータの周辺に多相巻線から回転磁界を供給し、回転する磁気圧がロータにトルクを与える方式のものである。この回転子は真空中に超電導磁気ペアリングの原理⁽¹⁵⁾で浮して支持することが容易であるので、機械的軸受をまったく省略して、ロータ部分にはなんら電気的、機械的損失が発生しないようにできる。この方式のモータで、20,000 rpm を得た実験データも報告されている。この種のモータの無機械損失性を利用して非常に高精度のジャイロを作る試みもなされている。また最近では液体ヘリウムのボンベ動力用に用いようとする考え方もある。この形式のモータは本質的に小形機に適し、大きな出力を外部に取り出すのには向きであろうと思われる。

しかしながら、われわれの強い関心をひくのはなんといっても電力用の超電導回転機である。その可能性は、(1) 超電導化されるものが、電機子巻線か、界磁巻線か、あるいは両巻線ともにか、(2) 超電導化するのが回転子側か固定子側か、などによって異なる。電機子巻線には交番磁界が印加され、交流が流れるのが普通であるから、硬超電導体の使用は、損失の点で問題があるが、界磁巻線は一般に直流回路であるので、最近開発されている優秀な硬超電導体を応用しやすい最近の超電導マグネット製作技術を利用した超電導界磁コイルを用い、励磁電力損なしに強磁界(鉄飽和値以上の磁束密度)で運転する回転機を作れば、これは現用機よりかなり小形なものとなりコストダウンも期待できよう。現用回転機では鉄心が不可欠であったが、強磁界で運転する超電導回転機は界磁磁気回路として鉄心はそれほど本質的なものでなくなり鉄心を省略することも可能になるかもしれない。ただしこの場合後に述べるように電導体に直接働くなどのやっかいな問題が発生する恐れがある。

現在の大容量交流回転機では、回転界磁形が普通であるが、これを超電導化するには、回転部分の極低温冷却問題を解決するための特殊な工夫が要求されるであろう。回転子本体を常温に保ち、超電導界磁巻線の極低温に冷却する方法が最も普通のやり方であろうが、超電導体の機械的支持物は、運転時の巨大な遠心力および電磁力に十分耐えると同時に、伝導流入熱量をできるだけ小さ

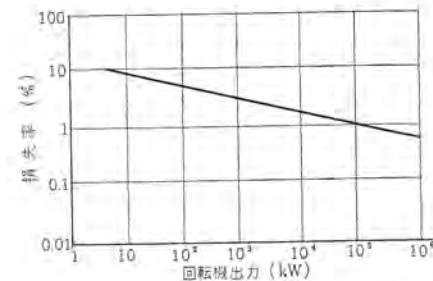


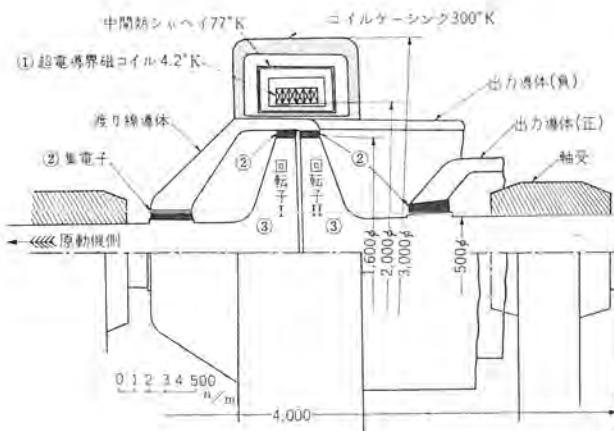
図 3.2 回転子を極低温に冷却した場合のシャフト冷却用電力による損失の割合
シャフト(ステンレス製)の長さ: 1,000 mm, 回転数 8,600 rpm

くしなければならぬという矛盾する要求を満たす必要がある。また超電導線自身に回転による機械力がかかるために、その素線の超電導特性が変化するおそれもあり、これらの難点の解決は今後の研究課題である。回転子本体をも極低温に冷却する考え方もあるが、この際回転子は真空中におかれ断熱されるとても、回転子の軸受は室温におかねばならないから、シャフトを通じて極低温側に熱量が流入して冷却機の所要電力を増加させることになる。その例として、ステンレス製長さ 1 m のシャフトを有するこの形式の超電導回転機(3,600 rpm)の軸流入熱量に基づく損失率を図 3.2 に示した。今後冷却効率が向上すれば、この形式の回転機も効率上有利になってくることが十分予想されるが、機械材料の低温セイ(脆)性ヒヤミなど未解決の事項も多い。

超電導界磁コイルを用いた高磁束密度で運転する回転機では次に述べる重要な問題がある。電機子巻線は交番強磁界を受けるので超電導体でなしに、銅を導体として使用することになる。この場合強磁界領域では鉄心による磁気シャハイ効果が期待できないから、銅導体に直接強磁界が印加される。このため銅導体中にウズ電流が誘起され導体中における損失が著しく増加する危険性がある。この損失は、導体を多数の細い絶縁線に分割することによって防止できるが、たとえばこのウズ電流損を、直流銅損(3A/mm²)と同じオーダにするには周波数が 60 c/s の場合磁束密度が 20 kG のときは直徑 0.2 mm, 40 kG のときは直徑 0.1 mm 程度の細い絶縁線を使用しなければならない。これは技術的に必ずしも容易でない。さらに交番強磁界を受ける鉄心の鉄損は当然著しく大きくなるという問題もある。このように、界磁を超電導化した高磁束密度で運転する回転機は、ウズ電流および鉄損の点で必ずしも楽観を許さない。ところが上述のような問題点の比較的少ない超電導回転機が考えられる。これが次に紹介する超電導直流単極発電機である。

図 3.3 は 60,000 kW(530 V × 115 kA) の超電導直流単極発電機試算例を示すものである。界磁コイルとして Nb-Zr 超電導材料約 2 ton を使用し、その電流を永久電流方式で維持する。超電導電流密度としては 150 A/mm² を採用したがこれは十分裕度のある値である。集電子としては、最近開発された水銀ジェット方式⁽¹⁶⁾を採用し集電電流密度は 17 A/cm²、集電周速度は 150 m/s とした。このときの電気損および機械損は集電子 4 個で約 800 kW 程度と推定される。回転子は鉄製で 2 分割され、おののが電気的に直列接続されるものとした。

この形式の超電導発電機は、(a) 超電導化する界磁コイルが固

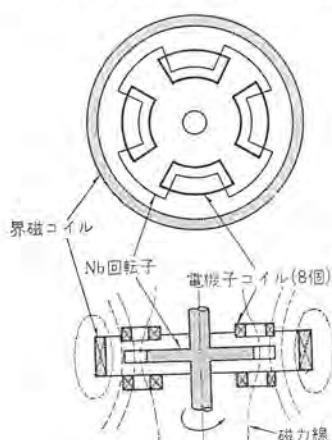


定 格	60,000 kW (530 V × 115 kA) 1,800 rpm 効率: 98%
1. 界磁コイル	超電導 Nb-Zr: 2 ton, $i=150 \text{ A/mm}^2$, 永久電流方式.
2. 集電子	水銀ジェット方式. 集電電流密度: 17 A/cm ² . 集電面速度: 150 m/s
3. 回転子	鉄製, 2 個を電気的に直列接続, 13 t

図 3.3 60,000 kW 超電導直流単極発電機

定子にあり, (b) 超電導界磁コイルにはなんら回転トルクが加わらないため, 極低温冷却が容易, (c) 界磁電力損がきわめて小さい, (d) 本質的にウズ電流損が存在しない, (e) 本質的に鉄損がない, (f) 回転子の構造がきわめて簡単であり製作上有利かつ高速運転が容易, (g) 出力にはリップルが含まれないなどの利点を有する. この発電機の値段は超電導界磁コイル建設費によってほぼ決まるものと考えてよい. 超電導界磁コイルの値段は発電電圧の高いほど大きくなる. 数百 V の出力の直流発電機としては, 現状で引き合うためには出力が数万 kW 以上である必要がある. 超電導材料の値段は, 今後加工技術の進歩とともに現状の何分の一かに低下することが十分期待されるから, 大容量直流発電機の需要があれば, 実現される可能性があろう.

超電導の磁気シャハイ効果を利用した交流発電機もまた提唱されている. これは超電導交流単極発電機とでも呼ぶべきものであろう. 図 3.4 は, その一例であって⁽¹⁷⁾ 周辺に 4 個所のスロットを有する Nb 製の円板状ロータに, 界磁コイルから軸方向磁界を印加する. 磁束は, 超電導状態にあるロータを貫通せずスロットの部分のみを通るから, ロータを回転すれば, 一種の回転磁界が生ずる.


 図 3.4 超電導交流発電機 (交流単極発電機方式)⁽¹⁷⁾

したがってロータをはさんで, 上下に配置された電機子コイルに電圧を誘起する. この案では電機子コイルおよび界磁コイルも超電導化できるから, 効率が 100% になり, 現用機と比べて, kVAあたりの重量が著しく小さくなることが利点であると考えられている. 現在, 宇宙飛行機用に, 1,000 kVA 程度のものについての試算も行なわれている.

このほか超電導体製電機子コイルを有する 1,000 kVA のターボ発電機について検討し, ガスターイン, 冷却などを含めた kVAあたりの重量が 1.85 ポンドとなると述べている報告もある.⁽¹⁸⁾

また最近, 超電導電磁石の電源として極低温で運転する超電導発電機が開発されているが,⁽¹⁹⁾ これはむしろ磁気ポンプに近いもので, はん用発電機とはいがたい.

3.2 超電導電力ケーブル

送電路の導体として超電導体を使用しようとするアイデアは古くから提案されている. 超電導体が抵抗ゼロである限り, 無損失送電が可能になるという期待からである. このケーブル実現のための最大の問題の一つは, 真空技術を含めた極低温冷却技術であろう. 超電導ケーブルは全長にわたって極低温に冷却されねばならないから, 現在の実験室内に限られた極低温技術をケーブルのような長距離にわたるものに拡張するのは必ずしも容易でない. ここではこの技術の進歩を前提として, 超電導ケーブルの概念について説明する. 超電導ケーブルで注意しなければならないことは, 冷却機運転電力が相当大きなケーブル運転損失, すなわち送電損失として計上されることである. 定常運転時における冷却すべき熱量は, (a) ケーブル両端におけるリード線流入熱量, (b) 断熱層を通じて伝達される流入熱量, (c) 機械的支持物の熱伝達による流入熱量, (d)

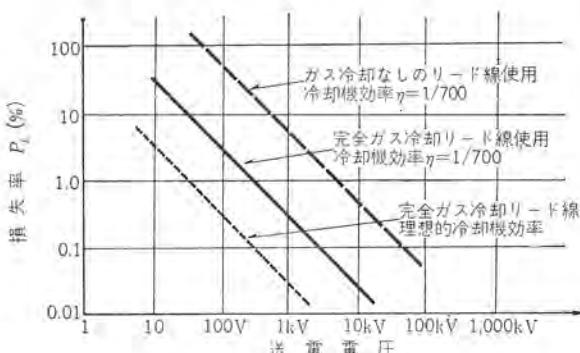
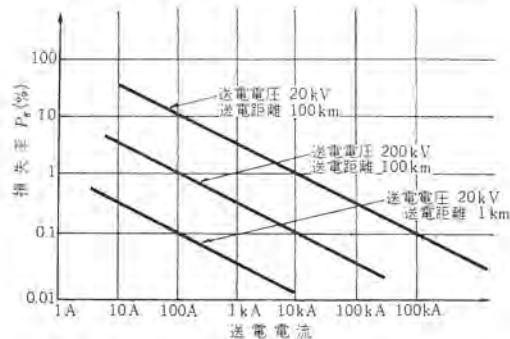


図 3.5 リード線流入熱量による送電損失の割合

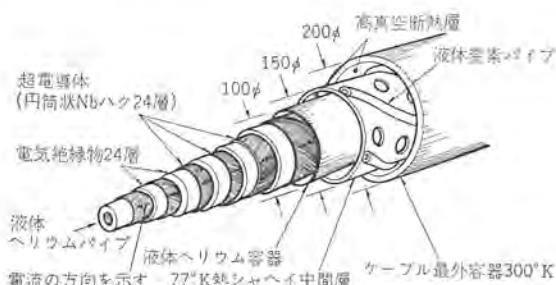

 図 3.6 真空断熱層 ($P=10^{-4} \text{ mmHg}$) の残留ガス伝導熱量による送電損失の割合(中間熱シャハイ層は 77K のみ, 冷却機効率 $\eta=1/700$, 超電導体の電流密度 $i=200 \text{ A/mm}^2$ とした)

その他超電導体および電気絶縁物の発生する熱量に分類されよう。これらの熱量を冷却機の効率で割ったものがケーブル損失となる。

リード線流入熱量はすでに述べたように等価電圧降下に換算できるから、送電電力に対する損失率 $P_L\%$ は送電電圧に逆比例する。図 3.5 はこの流入熱量による損失率を送電電圧の関数として示したものであり、低電圧では損失率がかなり大きくなることを示す。断熱層として最も良好なものは真空である。真空断熱層の流入熱としては、まずフク射流入熱量があげられるが、これは超電導体の表面積にはほぼ比例するから、ケーブルの電流容量の $1/2$ 乗に比例すると考えられる。この流入熱量は、真空断熱中に多数の熱シャターン層を設けることによってある程度低減できる。また真空断熱層の残留ガスによって伝導される流入熱量もあるが、これがかなり大きい。この損失は前者と同様ほぼ真空度に比例し、導体の表面積に比例し、いいかえれば電流容量の $1/2$ 乗に比例する。この流入熱量に基づく損失率 $P_L\%$ を電流密度 $i=200 \text{ A/mm}^2$ で運転するケーブルについて図 3.6 に示した。送電電流があまり小さすぎると効率が低下することがわかる。このように超電導ケーブルは、電圧が低い場合も、電流が小さい場合も効率が低下するから、効率の点だけを考えてみても、大容量が望ましい。

交流超電導ケーブルで主絶縁物が極低温側にある場合には、誘電体損による効率低下が問題となる。誘電体損に基づく損失率は、 $\tan \delta$ 、送電距離 L 、絶縁物の使用電界強度 E に比例するが、送電電圧、送電電流とは無関係である。前述のように極低温では $\tan \delta$ は著しく小さくなるが、現在の冷却機効率では、送電距離 100 km の場合、 $E \approx 4 \text{ kV/mm}$ で損失率が 1% 以上になることが予想される。

図 3.7 は、多層円筒状の Nb ハクを導体として用いた 2,000



項目	1 km 送電	100 km 送電
送電電圧	18 kV	18 kV
送電電流 (Nb ハクを使用、臨界電流の 30% で運転)	110 kA	110 kA
送電電力	2,000 MVA	2,000 MVA
冷却		
リード線流入熱量の冷却	800 kW	800 kW
フク射熱量の冷却	4 kW	400 kW
残留ガス伝導熱量の冷却	150 kW	15,000 kW
支持物伝導熱量の冷却	不明 (無視)	
誘電体損失の冷却	450 kW	45,000 kW
Nb 导体交流損失の冷却	1 kW	105 kW
損失合計	1,400 kW	61,300 kW
損失率	0.07%	3%
送電効率	99.93%	97%

* 冷却効率 $\eta=1/700$ とした。

図 3.7 2,000 MVA 超電導交流ケーブル試算例

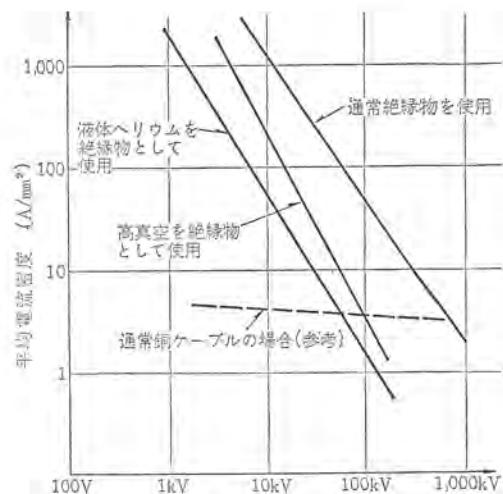
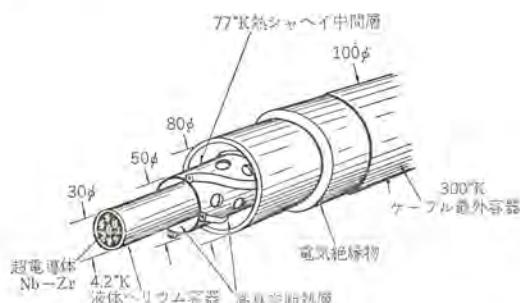


図 3.8 Nb ハクを使用した交流用超電導ケーブルの平均電流密度 (4.2K)

MVA の交流ケーブルの試算例である。各隣接する円筒層は互いに逆向きの電流を流し往路および帰路導体を形成している。各ハク上に流れる電流の発生する最大磁界が、Nb の臨界磁界の 30% になるように裕度をもって設計されている。この方式のケーブルの平均的電流密度は使用される超電導材料の臨界磁界に比例するだけでなく、絶縁物の厚さで大きく異なる。高圧ケーブルでは厚い絶縁層が必要とされているから平均的電流密度は著しく低下する Nb ハクにその臨界磁界程度の電流を流し、絶縁物は、破壊電圧近傍で運転できるものと仮定して、この方式のケーブルの平均的電流密度を計算した結果を図 3.8 に示した。実際の超電導ケーブルでは電流密度・絶縁強度とともにかなり余裕をみるべきであるから、図 3.8 に示したものよりもはるかに低下した値になることは覚悟しなければならぬ、いずれにせよ、本方式のケーブルでは高電圧の場合、平均電流密度が小さくなつて寸法上の利点が少なくなる。

超電導体の定格運転電流を臨界電流値の何 % に選ぶかは重要な問題である。臨界値以上の電流が流れると超電導性を失ない抵抗が回復して必ずケーブル事故となる。この種の事故を許さないすれば臨界電流値をケーブル事故時電流以上に選定しなければならない。この場合、定常的運転電流を臨界電流よりはるかに小さく選ぶ必要がある。筆者らの試算例では臨界値の 30% に選んだが、これとても実用ケーブルとして必ずしも満足できるものではなく、事故時電流を制限するために特別な装置を必要とする値である。最近の報告によれば、Nb のような超電導線の交流磁界における臨界磁界値は、直流の場合に比較しかなり小さく (4.2K で 400) なるという報告もあるので、上記の検討よりも不利な結論ができる可能性もあるが、詳細は今後の研究成果を待たねばならない。図 3.9 には、合金系硬超電導体 Nb-Zr 材を用いた直流送電ケーブルの試算例を示した。この種の直流ケーブル電力系統における直流送電の必要性が認識されてともに注目されはじめているが、現状では単位電流を単位距離だけ輸送するに要する導体の値段は、現在の所銅に比べ割高である。しかしながら今後超電導材料の特性向上、価格低下によってこの種の直流ケーブルが実用化されることも期待できる。



項目	1km 送電	100km 送電
送電電圧	40 kV	40 kV
送電電流 (臨界電流の 30% で運転)	47 kA	47 kA
送電電力	1,880 MW	1,880 MW
冷却機電力損失		
リード線流入熱量の冷却	340 kW	340 kW
フク射熱量の冷却	3 kW	300 kW
残留ガス伝導熱量の冷却	90 kW	9,000 kW
支持物伝導熱量の冷却	7 kW	7 kW
損失合計	440 kW	10,340 kW
損失率	0.03%	0.6%
送電効率	99.97%	99.4%

* 冷却効率 $\eta = 1/700$ とした。

図 3.9 1,880 MW 超電導直流ケーブル試算例

3.3 超電導変圧器

超電導電力機器として、電気技術者の興味を最もひいたものは変圧器であろう。この理由は、(a) 現在の系統で重要な役目を果しており、非常に高効率が要求されること、後者に関しては超電導体の無損失性が有利である、(b) 大容量化の要求が大きく現用機は製作限界にかなり近づいていること、(c) 静止機器であり、また送電線のような広範囲の冷却を行なう必要がないので冷却の面で有利であることなどである。

検討は種々実施されており、たとえば、Nb のハク層をコイルとして使用した三相、120 MVA (13.5/115 kV) の変圧器の試算がある⁽²⁰⁾ 効率 99.98%、鉄心重量 4 ton になると報告されている。超電導変圧器の最大の問題点の一つは電流 サージ や短絡電流が超電導体の臨界電流値をこえると超電導性が破壊し事故になることがある。この対策としては、定格電流を臨界電流より十分低く選び、短絡電流に対しても超電導性が破壊されないようにすること、高速 シャ断器で短絡電流を制限することである。前者の方法では運転電流密度が低下し、変圧器の寸法が現用機より大きくなるおそれがあることが欠点であり、後者ではこのような目的に適する高速度 シャ断器の開発自身にまだ問題がある。詳細は各文献に譲るとして、ここでは一般的考え方について述べよう。普通の変圧器の形式と同様に超電導変圧器でも鉄心を使用するのが普通である。ただし鉄心中に発生する鉄損はかなり大きいから常温側におきコイルのみ極低温に保つ。コイル材料としては、純金属超電導体 (Nb または Pb を用い、交流損失の大きい合金系超電導体は用いない) という考えが支配的となっている。コイルの構成法としては一次側、二次側を適当に交互に配置し、AT の累積による磁束密度の増大が生じないように工夫されている。鉄心をまったく省略しその代わりコイルのターン数ないしコイル内径を大きくすることによって補うことも考えられている。この空心変圧器は、

励磁電流が著しく大きくなる傾向があるが、超電導コイルは鋼などと違って励磁電流に伴う損失が少ないので実用の可能性についての検討も行なわれている。⁽²¹⁾

3.4 超電導電磁石

超電導現象を利用し無損失電磁石を作ろうという試みは、現象発見者 Onnes にまでさかのぼる。以来、悲觀・樂觀が繰り返された⁽¹³⁾⁽²²⁾ が、近年 Nb₃-Sn, Nb-Zr, Nb-Ti などの強磁界超電導体が発見されるに及んで急速に実用化の段階に入り、現在ではたとえば 100 kG、内径 1 インチ、あるいは 30 kG、内径 4 インチ・長さ 14 インチ程度の超電導電磁石が製作されている。

超電導電磁石の問題点は、(a) コイルの寸法、構成、製作法、運転法などによって、超電導線の臨界電流が大きく異なること (Current Degradation)、(b) 超電導性から常電導性に転移した場合のコイルの焼損・異常電圧発生防止の 2 点にしほられる。現在 MHD 発電などの必要上大容量の電磁石の開発が真剣に行なわれているが、詳細については別の機会に論じたい。

3.5 超電導エネルギー蓄積装置

強磁界を発生している超電導コイルの両端を超電導状態で短絡すれば、コイル中に磁気エネルギーがたくわえられる。コイルのインダクタンスを L 、電流を I とすれば、たくわえられるエネルギーは、 $LI^2/2$ であって、たとえば $L=1H, I=10$ 万 A とすれば、実に 1,400kW のエネルギー源となる。⁽²³⁾ 現在のところ直接これを目的とした実験は非常に少ないが、小形超電導コイルで原理上類似な実験がしばしば行なわれている。現段階では蓄積エネルギーの大きいときに Current Degradation が起きやすいこと、価格が高いことが最大の問題であろう。

3.6 その他の応用

超電導体は磁界を加えることによって、超電導性から抵抗性に転移するから、このスイッチング作用を利用し超電導整流器を作ろうという試みもある。⁽²³⁾⁽²⁴⁾ 現在のところ、超電導電磁石に大電流を供給するための極低温で動作する電源用に開発されており、電力用整流器に応用する試みは少ない。

このスイッチ作用を応用して、シャ断器ないしヒューズを作ろうという案もある。原理上非常に高速動作のものが可能になって、超電導変圧器の短絡電流制限用に使用されるかもしれない。

磁界中に置かれた超電導体がマイスター効果によって導体内から磁束を押し出しているとする。これに熱量を与え温度上昇させると常電導性に転移して磁界が導体内に侵入し磁界分布が変化する。これを サーベルコイル で検出すれば電気的出力が得られる。この発電原理を用いて直接発電を行なう方式も検討されている。⁽²⁵⁾ 常温超電導体でも出現すればはん用直接発電の新しい方式として実用化されよう。

4. む す び

超電導電気機器はまだ「ゆりかご」の時代にある。超電導現象が従来の電磁事象とまったく異なる特異なものであるだけに、実用化された場合の利点は非常に大きいものがある反面、その実現には幾多の困難性も予知される。しかし、この分野における最近の技術進歩は、実に驚くべきものがある。一例をあげれば、現在実用段階に入った超電導電磁石も、数年前の教科書では“実用

化の見込みなし”とされていたぐらいである。現在、超電導体の問題点が順次解決され、その性能・価格も次々と更新されつつあるので、各種超電導電力機器が実用化されることも十分期待してよい。

なお超電導現象のもう一つの重要な応用分野“超電導電子機器素子”たとえば クライオトロン・メモリー・トンネルトロンなどについては紙面のつごう上割愛した。

(昭 39-10-23 受付)

参考文献

- (1) J. E. Kunzler: "Superconductivity in High Magnetic Fields at High Current Densities" Review of Modern Physics, 33, 1 (October, 1961).
- (2) J. E. Kunzler: "Superconducting Materials and High Magnetic Fields" Journal of Applied Physics 33, 3, (an, 1962).
- (3) 小俣, 石原: 超電導 (I): 超電導材料, 「三菱電機技報」39, No. 2 (昭 40).
- (4) J. File, R. G. Mills: "Observation of Persistent Current in a Superconducting Solenoid" Physical Review Letters, 10, 3, 1 (February, 1963).
- (5) 入江: 超電導体の交流損失, 電学連大 (昭 38).
- (6) T. A. Buckhold: "The Nature of the Surface Losses of Superconductors at Low Frequencies" Cryogenics, 3, 141, (Sept. 1963).
- (7) J. L. Zar: "Measurement of Low Resistance and the AC Resistance of Superconductors" The Review of Scientific Instrument, 34, 7 (July, 1963).
- (8) J. L. Zar: "Alternating Current Resistance of Nonideal Superconductors" Journal of Applied Physics, 35, 5 (May, 1964).
- (9) R. H. Kropschot: Cryogenic Insulation Ashrae Journal (September 1959).
- (10) R. McFEE: Optimum Input Lead for Cryogenic Apparatus, The Review of Scientific Instrument, 30, 2 (February, 1959).
- (11) H. Sobol, J. J. McIninchol: Evaporation of Helium 1 Due to Current-Carrying Leads, The Review of Scientific Instrument, 33, 4, (April, 1962).
- (12) J. E. C. Williams: Counterflow Current Leads for Cryogenic Application, Cryogenics (December, 1963).
- (13) F. T. Stone, R. McFee: Dielectric Strength of Some Common Electrical Insulators in Liquid Helium and Nitrogen The Review of Scientific Instrument, 32, 12 (December, 1961).
- (14) K. N. Mathes: Electrical Insulation at Cryogenic Temperatures Electro-Technology (September, 1963).
- (15) K. Gilmore: Cryogenics, Electronics World (July, 1962).
- (16) P. Klaudy: The Granz Homopolar Machine, High Magnetic Field Conference (1962).
- (17) J. J. Pierro, L. E. UNNEWEH: An Investigation of Superconductivity Applied to Rotary Energy Converters, I. E. E. Transactions.
- (18) Z. J. J. Stekly, H. H. Woodson: Rotating Machinery Utilizing Superconductors, U. S. Government Research Report (1964).
- (19) J. Volger: A Dynamo for Generating a Persisting Current in a Superconducting Circuit, Philips Technical Review, 25, 1 (1963/64).
- (20) R. McFee: Superconducting Power Transformers—a Feasibility Study, Electrical Engineering (October, 1961) & A. I. E. E. CP-61-809.
- (21) P. A. Klaudy: Some Experiments Relating to the Layout of Superconducting Transformers, Advances in Cryogenic Engineering (1963).
- (22) A. Hemel: Cryogenic Inductors May Become Power Source, Electronics (November, 1961).
- (23) J. R. Purcell, E. G. Payne: Superconducting Rectifier, Advances in Cryogenic Engineering (1960).
- (24) T. A. Buckhold: Cryogenic Flux Pump Switches High Currents, Electronics (March, 1964).
- (25) M. Chester: Thermodynamics of a Superconducting Energy Converter, Journal of Applied Physics, 33, 2 (February, 1962).
- (26) K. J. R. Wilkinson: Superconductive Winding in Power Transformer, PROC. IEE, 110, 12 (December 1963).

技術講座

変圧器付属品 (1) ブッシング

岸田光弘*

1. まえがき

電力用機器に使用されるブッシングは発電機用、変圧器用、シヤ断器用など種々のものがある。その構造は用途によりあるいは使用される系統の電圧、電流、使用条件により異なるが、ここでは変圧器類に使用される一般的なブッシングにつき、その構造および性能について簡単に述べる。

変圧器用ブッシングを絶縁構造別に大別すると次の3種類となる。

- (1) 単一形ブッシング
- (2) 油入形ブッシング
- (3) コンデンサブッシング

单一形ブッシングは、中心導体を一体の磁器ガイ管の中を通し、気密構造にしたものであり、主絶縁材は磁器ガイ管である。

单一形ブッシングは、構造上取付フランジ部分に電界が集中し耐電圧特性があまりよくないので、使用電圧は30kV以下の比較的電圧の低い回路に最も多く使用されている。

油入形ブッシングは中心導体周囲に成層絶縁材を巻き、これを取付フランジと中心導体の間の電圧に応じて絶縁筒数個を同心状に配置し、上部および下部にガイ管を取り付けて内部には絶縁油を充てんした構造の、パリヤ絶縁のブッシングである。

当社ではこの油入形ブッシングは使用していないが、一般に電圧34.5kV以上161kVまでのブッシングとして広く使用されている。

コンデンサブッシングは中心導体に絶縁紙を巻き、適当な位置に電界調整電極を同心円筒状に配置し、内部の電界分布を均一化して絶縁材の利用率を高めたブッシングである。

コンデンサブッシングは、電界分布が良好であるため絶縁材が有効に利用できるので、ブッシングの太さを非常に細くすることができる。電圧の低い30kV以下のものではそれほど有利ではないが、電圧が高くなるほどコンデンサ形の特長が生かされ、とくに200kV以上の超高圧用になれば実際上コンデンサ形にしなければ製作できないといつても過言ではない。

当社において、コンデンサブッシングの研究を始めたのは明治43年(1910年)であり、大正15年(1926年)には製品を変圧器に使用している。以来40年その間に製作したコンデンサブッシングは約130,000本の多きを数えている。当社は変圧器用ブッシングの34.5kV以上のものすべてにコンデンサブッシングを採用している。

当社において製作している変圧器用ブッシングを形式別に列挙し、簡単にその経歴を説明し、現在の標準形変圧器用ブッシングの構造および性能について説明する。

2. 当社の変圧器用ブッシングの形名と製作経歴

当社の変圧器用ブッシングの形名と製作経歴は表2.1のとおりである。

表2.1 変圧器用ブッシングの形名と製作経歴

種類	形式名	形名	使用電圧	製作年代
单一形	共油形	P形	23kV以下	～昭和39年
		新P形	*	昭和39年～
	油入密封形	PO形	*	昭和30年～昭和39年
油入密封形(中心導体) (締付方式)	新PO形	*	昭和39年～	
	POT形	23kV(34.5kV) 以下	昭和34年～	
コンデンサ形	コンバウンド充テン形	A, B, C ₁ C ₂ , D, E F ₁ , F ₂ 形	34.5kV以上	大正15年～昭和16年
	乾燥油充テン形	Z形	*	昭和16年～昭和24年
	油入密封形	O形	*	昭和24年～昭和29年
	油入密封形(中心導体) (締付方式)	OT形	*	昭和29年～昭和39年
	新OT形	*	昭和39年～	
	完全乾式(屋内用)	C形	25kV以下	昭和38年～
	D形	30kV以下	昭和38年～	
	完全乾式(エレフアント用)	D形	10kV以上	昭和38年～
	乾式(一般変圧器用)	DT形	34.5～80.5kV	昭和39年～

3. 単一形ブッシング

3.1 P形ブッシング

P形ブッシングは当社の共油形の单一形ブッシングであり、構造は図3.1に示すとく中心導体を一体の磁器ガイ管に通し、ガイ管上端で気密構造としたものである。したがってこのP形ブッシングは、変圧器に取り付けた状態では変圧器本体の油が中心導体とガイ管の間に流入した状態で使用するものである。

このP形ブッシングは单一形ブッシングであるため、あまり高い電圧での使用は適さず、主として23kV以下の変圧器用ブッシングに採用している。

P形ブッシングは最も古くから使用されているブッシングであるが、昭和39年(1964年)に従来の取付フランジ部分の固定法として図3.2(a)に示すとく、ガイ管に出っぱりを付け

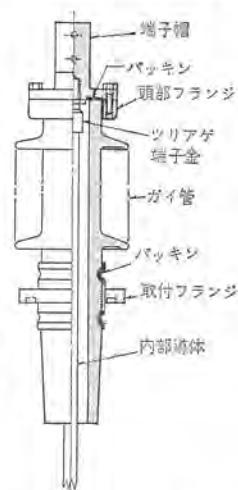


図3.1 新P形ブッシング構造図

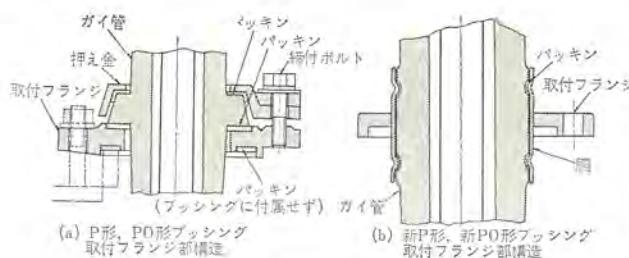
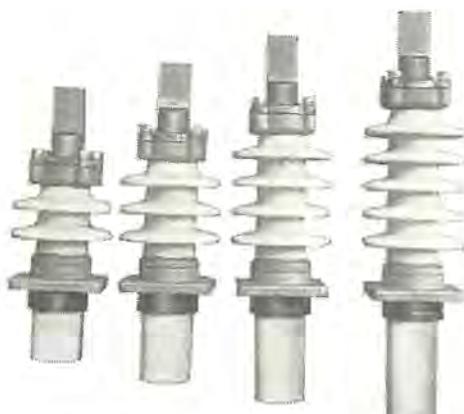
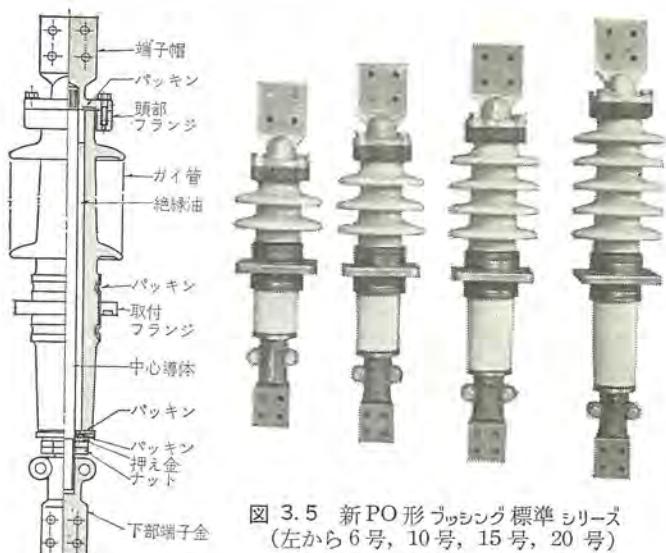


図 3.2 単一形 ブッシング 取付 フランジ 部の構造

図 3.3 新 P 形 ブッシング 標準 シリーズ
(左から 6 号, 10 号, 15 号, 20 号)

その部分で金具ではさむ構造であったものを図 3.2 (b)に示すごとく、固定法をローリングフィット構造に改良し、ガイ管気中側の表面漏エイ長もできるだけ長くとり耐塩害特性を向上させた新 P 形に形式変更した。ローリングフィット構造とすることによりブッシングは重量軽減し、機械的性能が向上した。従来の P 形 ブッシング と新 P 形 ブッシング の取付寸法については完全に互換性を持たせ、取換用としても支障のない寸法としている。

図 3.3 に新 P 形 ブッシング の絶縁階級 6 号～20 号の 400 A 用

図 3.4 新 PO 形
ブッシング 構造図図 3.5 新 PO 形 ブッシング 標準 シリーズ
(左から 6 号, 10 号, 15 号, 20 号)

の写真を示す。表 3.1 に新 P 形 ブッシング の諸元表を示す。

新 P 形 ブッシング の内部導体はすべてヨリ線としてツリアゲ接続法にしてある。

3.2 PO 形 ブッシング

PO 形 ブッシング は油入密封形の单一形 ブッシング であり、構造は図 3.4 に示すとく P 形 ブッシング とほとんど同じ構造であるが、ガイ管の上部と下部で密封構造とし、中心導体とガイ管との間に独立した絶縁油を封入した完全密封構造である。

取付 フランジ 部分は P 形 ブッシング と同様、図 3.2 (a) に示す構造から図 3.2 (b) に示す ローリングフィット 構造とし、ガイ管気中側の表面漏エイ長をできるだけ長くとった新 PO 形に形式変更した。

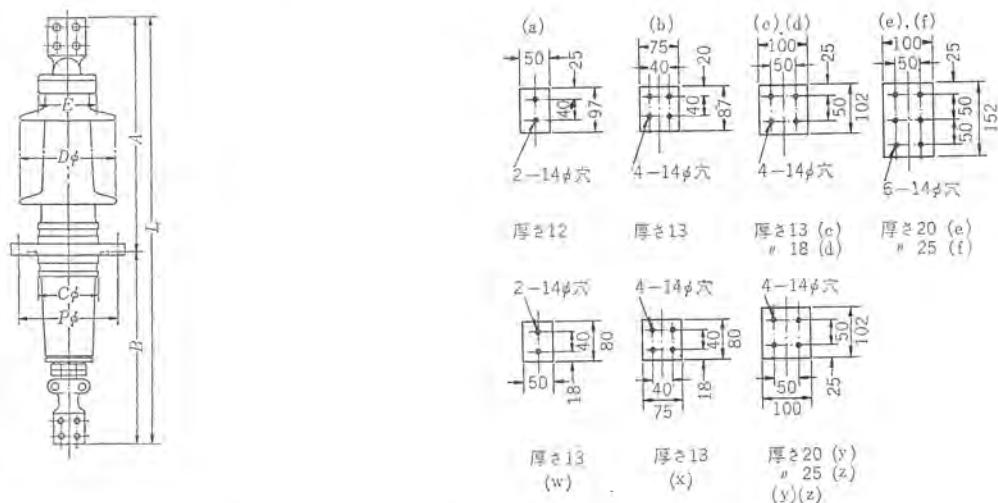
取付 フランジ の従来の PO 形との互換性については考慮してある。使用電圧は P 形 ブッシング と同様 23 kV 以下である。

表 3.1 新 P 形 ブッシング 諸元

形式番号	絶縁階級 (号)	定格電流 (A)	試験電圧			寸法 (mm)							気中側ガイ管諸元		
			商用周波		衝撃波 1×40μs (kV)	寸法 (mm)							表面漏エイ長 (mm)	平均直徑 (mm)	
			乾燥 (kV)	注水 (kV)		L	A	B	C	D	E	P	取付ボルト		
BG-60350	3	100	25	20	50	374	287	87	54	110	70	120	W1/2×4	120	70
		400				376	283	93	85	140	95	156	W1/2×4	124	95
BG-60650	6	100	30	25	65	450	317	133	85	148	95	156	W1/2×4	260	100
		400				475	342	133	110	180	120	178	W1/2×4	269	131
BG-60652		600				475	342	133	110	180	120	178	W1/2×4	269	131
		100				530	367	163	85	148	95	156	W1/2×4	387	102
BG-61050	10	400	45	35	100	555	392	163	110	180	120	178	W1/2×4	391	132
		600				555	392	163	110	180	120	178	W1/2×4	391	132
BG-61550	(15)	100	50	45	110	610	417	193	85	148	95	156	W1/2×4	495	104
		400				635	442	193	110	180	120	178	W1/2×4	513	134
BG-61552		600				635	442	193	110	180	120	178	W1/2×4	513	134
		100				690	467	223	85	148	95	156	W1/2×4	612	105
BG-62050	20	400	70	60	165	715	492	223	110	180	120	178	W1/2×4	635	135
		600				715	492	223	110	180	120	178	W1/2×4	635	135

(注) 内部導体はすべてヨリ線を使用し、ツリアゲ式接続である。

表 3.2 新 P O 形 ブッシング諸元



形式番号	絶縁階級 (号)	定格電流 (A)	試験電圧			寸法 (mm)						端子寸法		気中側ガイ管諸元			
			商用周波		衝撃波 1×40μs (kV)	L	A	B	C	D	E	P	取付ボルト	上部	下部	表面漏エイ長 (mm)	平均直径 (mm)
			乾燥 (kV)	注水 (kV)													
BG-6060	6	800	30	25	65	645	347	298	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	a	w	269	131
						667	350	317	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	b	x	269	131
						687	370	317	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	c	x	269	131
						763	412	351	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	d	x	280	154
						911	510	401	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	e	y	280	154
						913	510	403	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	f	z	280	154
						998	560	438	138	220	180	230	W ₃₂ ×6	f	z	280	154
BG-61000	10	800	45	35	100	725	397	328	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	a	w	391	132
						747	400	347	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	b	x	391	132
						767	420	347	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	c	x	391	132
						843	462	381	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	d	x	420	154
						991	560	431	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	e	y	420	154
						993	560	433	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	f	z	420	154
						1,078	610	468	138	220	180	230	W ₃₂ ×6	f	z	420	154
BG-61500	15	800	50	45	110	805	447	358	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	a	w	513	134
						827	450	377	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	b	x	513	134
						847	470	377	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	c	x	513	134
						923	512	411	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	d	x	535	156
						1,071	610	461	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	e	y	535	156
						1,073	610	463	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	f	z	535	156
						1,158	660	498	138	220	180	230	W ₃₂ ×6	f	z	535	156
BG-62000	20	800	70	60	165	885	497	388	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	a	w	635	135
						907	500	407	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	b	x	635	135
						927	520	407	110	180	120	178	W ₃₂ ×4	c	x	635	135
						1,003	562	441	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	d	x	650	157
						1,151	660	491	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	e	y	650	157
						1,153	660	493	130	210	165	220	W ₃₂ ×6	f	z	650	157
						1,238	710	528	138	220	180	230	W ₃₂ ×6	f	z	650	157

表 3.3 P O T 形 ブッシング諸元

形式番号	絶縁階級 (号)	定格電流 (A)	試験電圧			寸法 (mm)						油中側最大径 D	気中側最大径 C	取付ボルト 中心径 P	取付ボルト 本数 ×本数	
			商用周波 乾燥 (kV)	周波 注水 (kV)	衝撃波 1×40μs (kV)	L	A	B	C	全長 D	上部長 A	下部長 B				
BG-62030	20	5,500				1,051	519	532	210	285	270	270	W ₃₂ ×8			
BG-62031		7,500	70	60	165	1,051	519	532	260	335	335	335	W ₃₂ ×12			
BG-62032		10,000				1,111	554	557	345	420	470	470	W ₃₂ ×12			

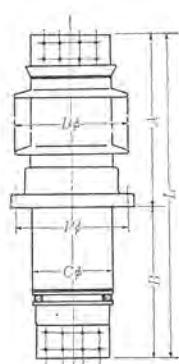


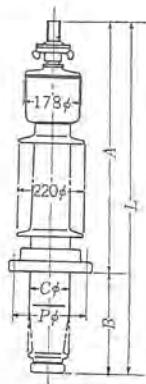
図 3.5 に新 P O 形 ブッシングの標準品 6号～20号の写真を示す。

表 3.2 に新 P O 形 ブッシングの諸元を示す。

3.3 POT 形 ブッシング

POT 形 ブッシングは、中心導体締付方式とした油入密封形の单一形 ブッシングであり、電流容量の大きい 5,000 A 以上の ブッシング

表 3.4 POT 形 ブッシング 諸元



形式番号	絶縁階級 (号)	定格電流 (A)	試験電圧		寸法 (mm)					ガイ管気中側諸元			
			商用周波 乾燥 (kV)	注水 (kV)	衝撃波 1×40 μs (kV)	全長 L	上部長 A	下部長 B	油中側 最大径 C	取付ボルト 中心径 P	取付ボルト 径×本数	有効 セン格長 (mm)	表面 漏エイ長 (mm)
BG-3630	30	400	95	80	220	1,186	817	369	120	W _{3/2} ×6	403	680	144
		600				1,186	817	369	120				
		1,000				1,161	792	369	120				

の形名である。

POT 形の構造は PO 形 ブッシング とほとんど同じ構造であるが、ガイ管と中心導体の固定法が中心導体締付方式となっているものである。

POT 形は 23 kV 以下 5,000 A 以上のものが標準であるが、34.5 kV 用としても一部使用している。

表 3.3 に POT 形 23 kV 以下の諸元を示す。また表 3.4 に POT 形 34.5 kV 用の諸元を示す。

4. コンデンサブッシング

4.1 コンデンサブッシングの原理

コンデンサブッシングの原理については、各種の文献に出ているので、ここであらためて説明する必要はないが、簡単にその原理を説明する。

コンデンサブッシングは図 4.1 に示すとく、中心導体と取付フランジ間に使用する絶縁材の内部に電界調整電極をそう入し、絶縁材内部の電界を均一化し絶縁材の利用率を高め、ブッシングの太さを細くするものである。

コンデンサ形 ブッシング の電界調整電極は、直径方向の電位傾度を均一化し、貫通破壊電圧を上昇させるとともに軸方向の電位分布もきょう正して、ガイ管表面のセン絡破壊電圧も向上させうるのである。

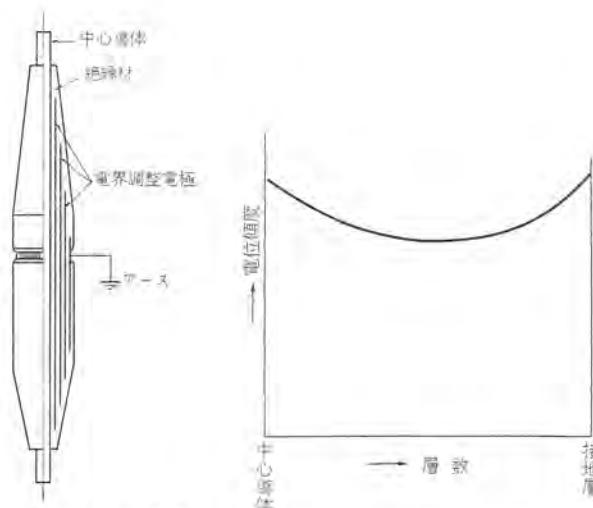


図 4.1 コンデンサ
ブッシング
コンデンサ部の構造

図 4.2 コンデンサブッシング
内部の電位傾度

同心円筒電極間の静電容量 C は

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l}{\log D/d} \quad (3.1)$$

ϵ_s = 比誘電率 D = 外側電極の直径

l = 電極の長さ d = 内側電極の直径

で表わされる。

コンデンサブッシングの絶縁材内部にそう入する電界調整電極の数は、ブッシングの使用電圧により異なるが数層ないし数十層となる。その各電極の長さを $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{n-1}, l_n$ としその各直径を $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{n-1}, d_n$ とすると各電極間の静電容量 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{n-1}, C_n$ は

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_1}{\log d_1/d_0} \\ C_2 &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_2}{\log d_2/d_1} \\ C_3 &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_3}{\log d_3/d_2} \\ &\vdots \\ C_{n-1} &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_{n-1}}{\log d_{n-1}/d_{n-2}} \\ C_n &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_n}{\log d_n/d_{n-1}} \end{aligned} \right\} \quad \because d_0 = \text{中心導体直径} \quad (3.2)$$

で表わされる。

コンデンサブッシングの場合は、各電極間の分担電圧を等しくするのが普通であるから、各電極間の静電容量を等しくすればよく

$$C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_{n-1} = C_n \quad (3.3)$$

$$\frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_1}{\log d_1/d_0} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_2}{\log d_2/d_1} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_3}{\log d_3/d_2} = \dots$$

$$= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_{n-1}}{\log d_{n-1}/d_{n-2}} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_n}{\log d_n/d_{n-1}} \quad (3.4)$$

とする。 ϵ_s は使用する絶縁材により定まるから、各電極間の静電容量を等しくするためには式 (3.5) の関係とすればよい。

$$\frac{l_1}{\log d_1/d_0} = \frac{l_2}{\log d_2/d_1} = \frac{l_3}{\log d_3/d_2} = \dots$$

$$= \frac{l_{n-1}}{\log d_{n-1}/d_{n-2}} = \frac{l_n}{\log d_n/d_{n-1}} \quad (3.5)$$

式 (3.5) の関係を保つためには、 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{n-1}, l_n$ を等差級的に変化させる方法と、絶縁材の厚さをわち、各電極の間隔 $d_1-d_0, d_2-d_1, d_3-d_2, \dots, d_{n-1}-d_{n-2}, d_n-d_{n-1}$ を等しくする方法があるが、ブッシングの場合は絶縁材内の直径方向の電位傾度をできるだけ等しくすると同時に、軸方向の電位分布も均一化する必要がある。実際のブッシングにおいては、構造上厚さ方向の電位傾度は貫通破壊強度に対して相当裕度を持つものであり、むしろ軸方向の表面セン絡が問題となる。したがってブッシングのコンデンサ部分の設計は表面の電位分布に重点をおき、静電容量の調

節は電極の長さを等差級数的に変化させ、厚さを変えて行なうのが普通である。

$l_1, l_2, l_3, \dots, l_{n-1}, l_n$ は等差級数であるから式 (3.5) は

$$\begin{aligned} \frac{l_1}{\log d_1/d_0} &= \frac{l_2}{\log d_2/d_1} = \dots = \frac{l_n}{\log d_n/d_{n-1}} \\ &= \frac{n(l_1 + l_n)}{2 \log d_n/d_0} = \frac{n l_{ave}}{\log d_n/d_0} \end{aligned} \quad (3.6)$$

ただし

$$l_{ave} = \frac{l_1 + l_n}{2}$$

ゆえに

$$\left. \begin{aligned} \log d_1/d_0 &= \frac{l_1}{n l_{ave}} \cdot \log d_n/d_0 \\ \log d_2/d_1 &= \frac{l_2}{n l_{ave}} \cdot \log d_n/d_0 \\ \vdots & \\ \log d_n/d_{n-1} &= \frac{l_n}{n l_{ave}} \cdot \log d_n/d_0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \quad (3.7)$$

によって l_1, l_n, d_0, d_n, n が定まれば $d_1, d_2, d_3, \dots, d_{n-1}$ は式 (3.7) により順次計算される。

この方法で設計された コンデンサブッシング の絶縁材内部の電位傾度は、図 4.2 に示すごとく中心導体および接地層付近において高くなり中間部分は低くなるが、絶縁材の利用率は 85~90% 程度で、内部の電位傾度はほぼ均一になっている。したがって ブッシングの太さは、油入形に比較して非常に細くできる。

このようにして設計される コンデンサブッシング は次のような多くの特長を有している。

(1) 絶縁材内部および ガイ管表面の電位分布が均一であるので、外径寸法を小さくすることができ、しかも表面セン絡特性が良好である。

(2) コンデンサブッシング の等価回路は、コンデンサ形計器用変圧器とまったく同じであるので、適当な電極から タップ を取り出すことにより計器用変圧器としても使用することができる。

(3) 気中側 ガイ管は非常に細いものが使用できるので、ブッシングの耐塩害特性が良好である。

4.2 コンデンサブッシングの種類

コンデンサブッシング は使用する絶縁材の種類により次のものがある。

(1) 油入 コンデンサブッシング

(2) 乾式 コンデンサブッシング

(3) 完全乾式 コンデンサブッシング

油入 コンデンサブッシング は絶縁材として クラフト 紙を使用し、十分乾燥したあと絶縁油を含浸させたいわゆる油浸紙を主絶縁材とし、気中側、油中側に磁器 ガイ管を使用し ブッシング 単体で完全密封構造とした ブッシング であり、表 2.1 の “O 形” “OT 形” “新 OT 形” がこの油入 コンデンサブッシング である。

乾式 コンデンサブッシング は、絶縁材として絶縁紙に良質の樹脂を処理し中心導体に巻き付けてゆき、所定の直径に電界調整電極をそう入して巻き固めたものを主絶縁材とし、気中側にのみ磁器 ガイ管を使用し、油中側には ガイ管を使用しない ブッシング で、気中側 ガイ管と絶縁材の間には絶縁油を充てん したものである。

また主絶縁材として樹脂を処理しないで、絶縁紙を中心導体に巻き付け十分真空乾燥処理を行なった後、熱硬化性樹脂(エポキシなど)を真空含浸して硬化したものを使用した乾式 コンデンサブッシング

もある。

ここでは前者の方法をかりに処理紙法、後者の方法を含浸法と名づける。

両者の絶縁材内部を顕微鏡的に観察すると、処理紙法では絶縁紙層と樹脂層が交互に積層された状態であり、含浸法では絶縁紙の繊維の小さなスキ間まで樹脂が含浸されており、完全に一体化された状態である。

変圧器用乾式 ブッシング では油中側 ガイ管を使用しないので、油中側は コンデンサ 絶縁部が露出した状態であり、ブッシング を製作後変圧器に取り付けるまでの間に吸湿しないようとくに注意を払う必要がある。処理紙法と含浸法の防湿性能を比較した場合、処理紙法は絶縁紙層の紙繊維の間において相当の空間があり、この空間部は非常に吸湿しやすい状態である。

これに反し含浸法では紙繊維の間には完全に樹脂が含浸された状態であり、吸湿についてそれほど神経質に考える必要はない。ヨーロッパの代表的 ブッシングメーカー である Micafil 社、Haefely 社は前者の処理紙法で製作している。

乾式 コンデンサブッシング は、変圧器のごく密封されたタンクに取り付けて使用する場合は吸湿の心配はないが、OCB のごとく本体の絶縁油が劣化する場合とか、壁 ブッシング のような状態では上部・下部とも磁器 ガイ管を取り付けて使用しなければならない。

完全乾式 コンデンサブッシング とは絶縁油をまったく使用しない ブッシング であり、コンデンサ 部は乾式 コンデンサブッシング と同様処理紙法または含浸法で製作し、取付 フランジ を取り付けて気中側 ケーシング をエポキシ樹脂で固めた構造のもの(表 2.1 の DC 形)、またはコンデンサ 部を注形用樹脂(エポキシなど)で製作し、フランジを取り付けて気中側 ケーシング もエポキシ樹脂で固めた構造のもの(表 2.1 の C 形)、およびケーブル 直結式変圧器に使用する油中貫通 ブッシング(表 2.1 の D 形) の 3 種類がある。

完全乾式 コンデンサブッシング の特長は、磁器 ガイ管の代わりにエポキシなどの注形用樹脂を使用して絶縁油をまったく使用しないため、ガイ管の支持金具が不要となり非常に小形軽量となるものである。

現在のところ、エポキシなどの注形樹脂は耐紫外線性があまり良好でなく屋外用としての使用は推奨できないが、キューピクル内の機器用壁 キー 用または油中貫通 ブッシング あるいは小形軽量を要求される車両用など特殊用途には有利な ブッシング である。

図 4.3 に今回開発した変圧器用 70 号 400 ADT 形 ブッシング、図 4.4 に国鉄東海道新幹線車両用 25 kV 100 A C 形 コンデンサブッシング の写真を示す。

表 4.1 に三菱 コンデンサブッシング “DT 形” 変圧器用標準品の諸元を示す。

当社における コンデンサブッシング の製作歴は表 2.1 に示すごとく、大正 15 年に製作を開始して以来昭和 24 年ごろまでの間に相当数の製作実績を有している。

昭和初期に製作した A 形、B 形、C₁ 形、C₂ 形、D 形、E 形、F₁ 形、F₂ 形は コンパウンド充テン 形 コンデンサブッシング であり、昭和 16 年から昭和 24 年ごろまで製作した Z 形は絶縁油充テン 形 コンデンサブッシング であり、コンデンサ 部にはワニス処理絶縁紙を巻き下部油中側 ガイ管は使用しない ブッシング である。油中側胴径および

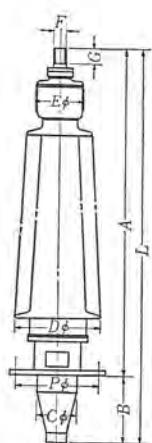


図 4.3 三菱コンデンサブッシング
“DT形” 70号 400A用
(国鉄東海道新幹線車両用)

図 4.4 三菱コンデンサブッシング
“C形” 25kV 100A用
(国鉄東海道新幹線車両用)

表 4.1 三菱コンデンサブッシング“DT形”諸元

絶縁 階級 (号)	定格 電流 (A)	各部の寸法 (mm)						上部端子		気中側ガイ管諸元				
		全長 L	上部長 A	下部長 B	油中側 最大径 C	気中側 最大径 D	頭部外径 E	取付ボルト 中心径 P	取付ボルト径 ×本数	ネジ径 F	長さ G	有効 セン格長 (mm)	表面漏 エイ長 (mm)	平均直径 (mm)
30	400	895	750	145	85	252	148	220	W $\frac{3}{8}$ ×5	38-12	55	400	870	173
40	400	995	830	165	95	252	148	220	W $\frac{3}{8}$ ×6	38-12	55	480	1,140	175
60	400	1,290	1,070	220	115	295	178	250	W $\frac{5}{8}$ ×6	38-12	55	650	1,570	187
70	400	1,420	1,170	250	125	295	178	250	W $\frac{5}{8}$ ×6	38-12	55	750	1,870	190



図 4.5 三菱コンデンサ
ブッシング“OT形”
と“新OT形”的
比較

(左) 新OT形 140号
(右) OT形 140号

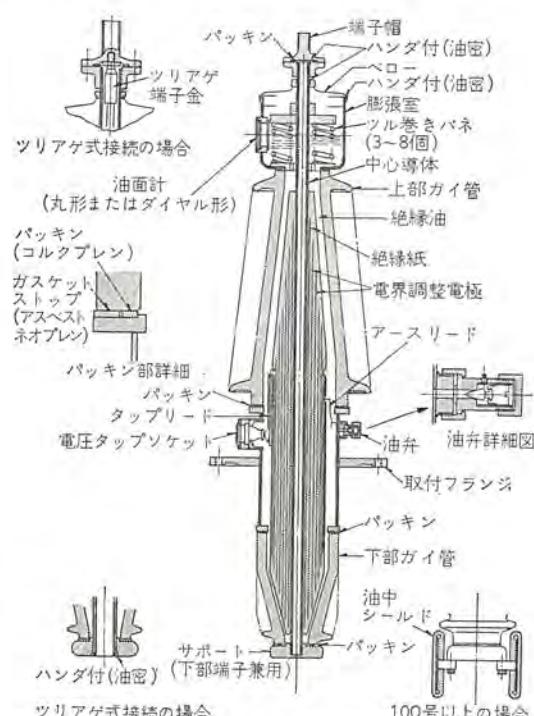


図 4.6 三菱コンデンサブッシング“新OT形”
の構造説明図

油中側長さが油入形に比較して小さくなっている。この形のブッシングは処理紙法による三菱コンデンサブッシング“DT形”的乾式コンデンサブッシングとほぼ同一構造のブッシングであるから、この形のブッシングも乾式コンデンサブッシングである。ただ当時のパッキン材として現在のものほど良質のものがなく、気密構造の点で信頼性に問題があったが、現在では良質のパッキン材の使用と製造技術の向上により信頼性の高いものとなっている。

当社において近く製品化する三菱コンデンサブッシング“DT形”は、過去の経験を基とし最新の製造技術から開発された信頼性の高い乾式コンデンサブッシングである。

当社の場合は、後述する三菱コンデンサブッシング“新OT形”が昭和39年2月に制定された乾式コンデンサブッシングの寸法規格⁽¹⁾ JEM-1171(1964)にも合格するよう製作されるので乾式コンデンサブッシングの適用範囲は、乾式コンデンサブッシングを使用することによるメリットの大きい絶縁階級70号以下の小容量の変圧器、変成器、およびエレファンタ形変圧器として使用する油中貫通ブッシングに採用する予定である。

4.3 三菱コンデンサブッシング“新OT形”

三菱コンデンサブッシング新OT形は、従来のOT形⁽²⁾ブッシングを

電気的、機械的性能を変えることなく小形化し、性能向上をはかった当社の標準ブッシングである。

この新OT形の改良したおもな個所は次のとおりである。

(1) 気中側ガイ管の直径を中身絶縁材の厚さを変更することなくできるだけ小さくし、表面漏エイ長をできるだけ長くとり、耐塩害特性を向上させた。

(2) 油中側ガイ管はASA規格寸法に合致する寸法とした。

(3) 絶縁階級100号以上のブッシングには油中シールドを取り付けて、下部絶縁耐力を向上させた。

(4) 頭部膨張室は140号以下のものはすべて絞り加工に変更して頭部の重量を軽減し、膨張室下部の曲げ半径を大きくとって電界集中を緩和した。

図4.5に変圧器用140号ブッシングの従来のOT形と新OT形の比較写真を示す。

OT形ブッシングの主絶縁材であるコンデンサ部は、中心導体に絶縁紙を巻き、途中の所定の個所に電界調整電極をそう入してコンデンサを形成させた構造であり、電界調整電極の端部は電界が集中してコロナの発生が懸念されるので、各電極の両端には高抵抗の半導体テープを巻いて電界分布を改善し、各電極間の表面セン

電圧を上げる構造としている。

三菱コンデンサブッシング“新OT形”の構造説明図を図4.6に示す。

三菱コンデンサブッシング“新OT形”のコンデンサ部は、紙巻き後十分真空加熱乾燥を行ない、脱気精製された絶縁油(JIS-C-2320、1号油)を真空加圧含浸して製作される油浸紙であるため、きわめて高い絶縁耐力を有している。

またガイ管の締付構造は中心導体締付方式であるため、機械的に安定した機械的強度を有している。ガイ管と金具間の油密は2段パッキンとし、内側に油密のためのコルクプレン、外側にコルクプレンの締付圧を一定とするための硬質合成ゴムを用いた硬質パッキンを使用し、ガスケットストップと風化防止を行なう構造となっており、頭部膨張室内に収容された強力なツル巻キバネによって押し付けられている。

中心導体締付構造であることにより、ガイ管を固定するための取付フランジが不要となり、ブッシングの長さは短くなり胴径とくに油中側の胴径が細くなり、ブッシングCTを使用する場合には小形で精度の高いものが使用できる。

新OT形では下部油中側にガイ管を使用するにもかかわらず、油浸紙の持つ高い絶縁耐力を有効に利用しているため、油中側ガイ管を使用しない乾式コンデンサブッシングの寸法規格にも合格する胴径のものも製作できる。

コンデンサ部の絶縁耐力が高いことは気中側ガイ管の胴径も細くすることができ、ブッシングの耐塩害特性が非常に向上している。この新OT形ブッシングは、一部市販されている乾式コンデンサブッシングよりも気中側ガイ管の胴径が小さく、汚損度の高い耐塩害用ブッシングでも小さく製作することができるので、耐塩害用ブッシングとしては最も有利なブッシングである。頭部の膨張室内には乾燥した窒素ガスを封入し、内部の絶縁油の膨張収縮による異常圧力を抑制する構造となっており、内部圧力は最高使用温度においてもゲージ圧力1kg/cm²以下、最低温度においても負圧とならぬ容積を備えている。

図4.7に三菱コンデンサブッシング“新OT形”標準シリーズの写真を示す。

表4.2に三菱コンデンサブッシング“新OT形”の諸元を示した。

電流容量400A以下絶縁階級70号以下の場合は、リードの接続法はツリアゲ式であるが、それ以外はすべて下部接続を標準としている。

下部接続の場合は下部ガイ管を支持する金具を袋ナット式として下部端子金を兼用させ、中心導体として中空の管材を使用し導体の上部および下部に油の対流する穴をあけることになり、導体内部で発生する損失を油の対流により熱放散の容易な外周部に移動させ、ブッシングの内部温度を均一化する構造となっている。

4.4 三菱コンデンサブッシング“新OT形”的耐塩害特性

わが国は四方海に囲まれた小さな島国であり、季節風・台風による塩の襲来のひん度が大きく、また主要火力発電所や変電所および工業地域が海岸に近い所が多いという宿命を持っている。

これら海岸に近い発電所に使用されるガイシ、ガイ管類の塩ジン(塵)害対策は最も重要である。

ガイシ、ガイ管類の塩ジン害対策は各方面で研究されているが、具

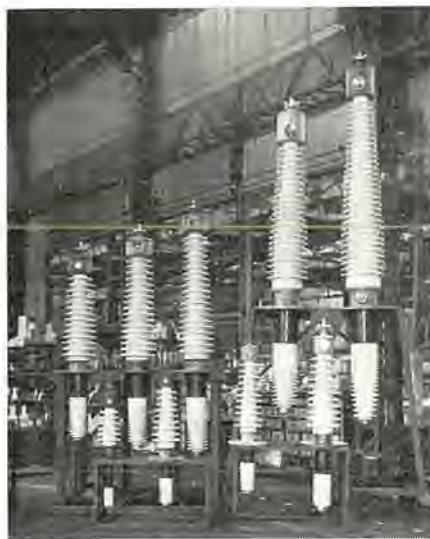


図4.7 三菱コンデンサブッシング“新OT形”標準シリーズ
(左から 80号, 30号, 100号, 60号, 120号,
70号, 170号, 80号, 200号)

体的対策として一般に次のような対策⁽³⁾が考えられている。

- (1) 過絶縁設計のガイシ、ガイ管類を使用する。
- (2) 活線洗浄を行なう。
- (3) シリコンパウンド類を塗布する。
- (4) 屋内方式とする。

以上種々の対策が考えられているが、変圧器用ブッシングの対策としては(1)、(2)を併用するのが最も一般的のようである。気中側ガイ管を過絶縁としたブッシングを耐塩害用ブッシングといい、使用箇所での汚損度に合わせた適当な耐塩害用ブッシングを使用する。

ガイシ、ガイ管類の塩分付着量は単に海岸から距離だけでなく、風速、風向、降雨量そのほか複雑な要因により左右されるものであり、いちがいに論ずることはできない。できれば適当なパイロットガイシであらかじめ塩分付着量を明確にしておくことが望ましい。汚損区分の概略値⁽⁴⁾として表4.3に示す。

表4.2 付属“新OT形”外形図

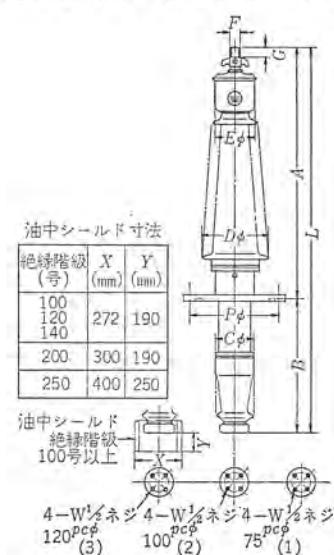


表 4.2 三菱コヒテクサブンサブンシカブリ「新 OT 形」諸元

種類	形式番号	純電流 (A)	定格電圧級 (号)	試験電圧				各部寸法 (mm)	取付フランジネジ径 mm ϕ - ϕ (mm)	上部端子長さ (mm)	下部端子長さ (mm)	気中側ガス管諸元	備考								
				商用周波数 (kHz)	乾燥注水 (kV)	衝撃波 1 \times 40 μ s (kV)	全長 L														
標準	BG-35300	400	400	95	80	220	1,289	851	438	105	232	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	ツリアダ式				
	BG-35301	30	600	1,000	1,264	826	1,289	851	438	105	232	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	(1)				
	BG-35302	400	400	1,394	931	1,394	931	931	463	123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	(1)				
	BG-35400	40	600	120	100	275	1,394	931	463	123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	ツリアダ式				
	BG-35401	40	1,000	1,369	906	1,369	906	906	463	123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	60	(1)				
	BG-35402	1,000	400	600	120	100	1,669	1,01	508	1,609	1,01	508	1,38	295	169	360	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	56	ツリアダ式	
	BG-35600	400	600	175	145	385	1,609	1,01	508	1,584	1,076	508	1,38	295	169	360	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	56	(1)	
	BG-35601	60	600	1,000	400	1,75	1,609	1,01	508	1,739	1,201	538	1,38	295	169	380	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	60	ツリアダ式	
	BG-35602	400	400	1,200	200	165	440	1,739	1,201	538	1,714	1,176	538	1,38	295	169	380	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	56	(1)
	BG-35700	70	600	1,000	1,200	225	190	495	2,036	1,338	698	190	360	210	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	ツリアダ式		
	BG-35701	70	600	1,000	1,200	280	230	605	2,377	1,552	825	207	395	260	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)		
	BG-35702	1,000	600	1,200	330	275	715	2,678	1,770	908	227	420	260	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)			
	BG-35800	80	1,200	600	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)		
	BG-35801	100	600	1,200	600	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	ツリアダ式	
標準	BG-36000	100	1,200	1,200	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)		
	BG-36001	100	1,200	1,200	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)		
	BG-36200	120	600	1,200	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	ツリアダ式		
	BG-36201	120	1,200	1,200	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)		
	BG-36400	140	1,200	1,200	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)		
	BG-36401	140	1,200	1,200	1,200	385	320	825	3,058	2,060	998	257	440	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	ツリアダ式		
	BG-36750	170	800	1,200	1,200	470	390	990	3,763	2,535	1,228	317	490	332	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)		
	BG-36751	170	1,200	200	800	550	460	1,150	4,391	3,033	1,358	337	525	332	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)		
	BG-37050	200	1,200	200	800	680	570	1,430	5,641	3,663	1,958	419	605	360	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)		
	BG-37550	250	800	1,200	1,200	680	570	1,430	5,641	3,663	1,958	419	605	360	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)		
	BG-37551	250	1,200	1,200	1,200	680	570	1,430	5,641	3,663	1,958	419	605	360	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)		
	BG-3310	400	600	95	80	220	1,289	851	438	105	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	ツリアダ式				
	BG-34311	30	600	95	80	220	1,289	851	438	105	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	(1)				
	BG-3311	400	600	95	80	220	1,289	851	438	105	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	ツリアダ式				
耐候	BG-33112	1,000	1,000	1,000	1,000	1,264	826	826	438	438	123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	60	(1)			
	BG-35410	400	600	120	100	275	1,394	931	463	123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	ツリアダ式				
	BG-35411	40	600	120	100	275	1,394	931	463	123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	56	(1)				
	BG-35412	1,000	400	600	120	100	1,369	906	463	123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ \times 6	38-12	60	(1)				
	BG-35610	400	600	175	145	385	1,609	1,101	508	138	275	169	360	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	56	ツリアダ式				
	BG-35611	60	600	1,000	1,000	1,264	1,394	931	463	123	252	169	360	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	60	(1)				
	BG-35612	1,000	1,000	1,000	1,000	1,264	1,394	931	463	123	252	169	360	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	60	(1)				
	BG-35710	400	600	120	100	275	1,394	931	463	123	252	169	360	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	60	ツリアダ式				
	BG-35711	70	600	1,000	1,000	440	1,369	906	463	123	252	169	360	W $\frac{1}{2}$ \times 8	38-12	60	(1)				
	BG-35712	1,000	600	1,200	1,200	280	605	2,377	1,552	825	207	375	260	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)			
	BG-35810	80	600	1,200	225	190	495	2,036	1,338	698	190	340	210	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)			
	BG-35811	80	1,200	320	385	320	440	2,036	1,338	698	190	340	210	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)			
	BG-36010	100	600	1,200	280	230	605	2,377	1,552	825	207	375	260	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)			
	BG-36011	100	1,200	330	390	390	470	3,763	2,535	1,228	317	510	332	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(2)			
(S.A)	BG-36210	120	1,200	330	390	470	715	2,678	1,770	908	227	400	260	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)			
	BG-36211	120	1,200	330	390	470	715	2,678	1,770	908	227	400	260	480	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(2)			
	BG-36410	140	600	1,200	320	385	320	3,058	2,060	998	257	420	300	600	W $\frac{1}{2}$ \times 12	38-12	60	(3)			
	BG-36411	140	1,200	320	385	320	470	3,763	2,535	1,228	317	510	332	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)			
用	BG-36760	170	800	1,200	1,200	470	390	990	3,763	2,535	1,228	317	510	332	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)		
	BG-36761	170	1,200	1,200	1,200	470	390	990	3,763	2,535	1,228	317	510	332	730	W $\frac{1}{2}$ \times 16	55-12	60	(3)		

F D タ ッ プ付											
F D タ ッ プ付											
F D タ ッ プ付											
耐 耐 耐 耐 耐 耐 耐 耐 耐 耐 耐 耐	B G - 37060	200	800	550	460	1,150	4391	3,033	1,358	337	525
	B G - 37061	1,200	1,200	680	570	1,430	5,641	3,683	1,958	419	605
	B G - 37560	250	800	1,200	400	1,369	931	438	105	252	169
	B G - 37561	250	600	95	80	220	1,369	931	438	105	240
	B G - 35320	30	600	1,000	1,000	1,344	906	438	1,101	463	123
	B G - 35321	30	600	1,000	400	1,564	1,101	463	1,275	169	240
	B G - 35322	40	600	120	100	275	1,564	1,101	463	1,275	169
	B G - 35420	40	600	1,000	400	1,539	1,076	463	1,201	508	138
	B G - 35421	40	600	1,000	400	1,709	1,201	508	1,201	508	138
	B G - 35422	40	600	1,000	400	1,684	1,176	508	1,176	508	138
	B G - 35422	40	600	1,000	400	2,085	1,537	548	1,537	548	1,537
	B G - 35422	70	600	200	165	440	2,085	1,537	548	1,600	375
	B G - 35721	70	600	1,000	400	2,085	1,537	548	1,600	375	210
	B G - 35722	70	600	1,000	400	2,085	1,537	548	1,600	375	210
	B G - 35820	80	600	1,200	225	190	495	2,242	1,544	698	190
	B G - 35821	80	600	1,200	280	230	605	2,878	2,053	825	207
	B G - 36020	100	1,200	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227
	B G - 36021	100	1,200	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227
	B G - 36220	120	1,200	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227
	B G - 36221	120	1,200	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227
	B G - 36421	140	1,200	600	385	320	825	4,043	3,035	1,008	247
	B G - 36421	140	1,200	600	385	320	825	4,043	3,035	1,008	247
	B G - 36770	170	800	470	390	90	4,263	3,035	1,228	317	525
	B G - 36771	170	1,200	800	470	390	90	4,263	3,035	1,228	317
	B G - 37070	200	800	550	460	1,150	5,033	3,675	1,358	337	605
	B G - 37071	200	1,200	600	400	95	220	1,369	931	438	105
	B G - 35330	30	600	95	80	220	1,369	931	438	1,006	295
	B G - 35331	30	600	95	80	220	1,369	931	438	1,006	295
	B G - 35332	1,000	1,000	1,000	400	1,344	906	438	1,101	463	123
	B G - 35430	400	600	120	100	275	1,564	1,101	463	1,201	508
	B G - 35431	40	600	1,000	400	1,539	1,076	463	1,201	508	138
	B G - 35432	40	600	1,000	400	1,709	1,201	508	1,201	508	138
	B G - 35630	60	600	175	145	385	1,709	1,201	508	1,201	508
	B G - 35631	60	600	1,000	400	2,085	1,537	548	1,537	548	1,537
	B G - 35632	80	1,200	600	200	165	440	2,085	1,537	548	180
	B G - 35730	70	600	200	165	440	2,085	1,537	548	1,201	395
	B G - 35731	70	1,200	600	230	605	2,878	2,053	825	207	440
	B G - 35732	1,000	1,000	1,000	400	1,539	1,076	463	1,201	508	138
	B G - 35830	80	600	225	190	495	2,242	1,544	698	1,176	508
	B G - 35831	80	1,200	600	385	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 36030	100	1,200	600	280	230	605	2,878	2,053	825	207
	B G - 36031	100	1,200	600	470	390	900	4,263	3,035	1,228	317
	B G - 36230	120	1,200	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227
	B G - 36231	120	1,200	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227
	B G - 36430	140	600	1,200	600	385	320	825	4,043	3,035	1,008
	B G - 36431	140	1,200	600	385	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 36780	170	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 36781	170	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37080	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37081	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37082	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37083	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37084	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37085	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37086	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37087	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37088	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37089	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37090	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37091	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37092	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37093	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37094	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37095	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37096	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37097	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37098	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37099	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37100	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37101	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37102	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37103	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37104	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37105	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37106	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37107	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37108	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37109	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37110	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37111	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37112	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37113	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37114	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37115	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37116	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37117	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37118	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37119	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37120	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37121	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37122	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37123	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37124	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37125	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37126	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37127	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37128	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37129	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37130	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37131	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37132	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37133	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37134	200	1,200	600	390	320	825	4,043	3,035	1,008	257
	B G - 37135	200	1,200	600	390	320	825	4,0			

表 4.3 汚損区分の概略値

汚損区分	A	B	C	D	E
想定最大等価 塩付分量 (mg/cm ²)	0.03	0.06	0.12	0.35	海水のしぶきが直接か かる場合を対象とし 3.0%塩水0.3mm/min (水平分)の注水を想定
海岸から風に対する概 略的距離	50km 以上 (一般地域)	10~50km	3~10km	0~3km	海岸の地形構造により 0~300m または 0~500m
季節風に対する距離	10km 以上 (一般地域)	3~10km	1~3km	0~1km	同上 0~300m
発煙源範囲工場 からの距離	工場地域周辺の 比較的軽度の 煙ジン害地域		工場地域中心部		

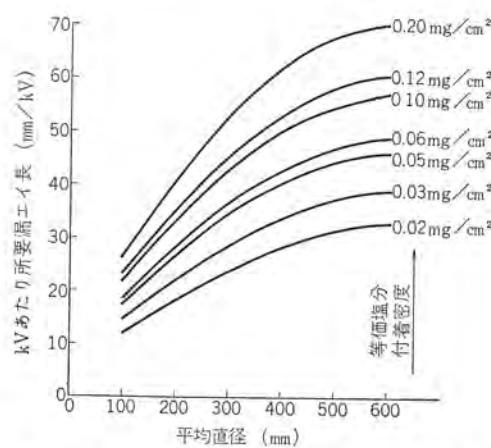


図 4.8 等価霧中 5% セン絡率所要漏エイ距離

耐塩害ブッシングの選定にあたっては、設置場所の汚損の程度および系統電圧、対地電圧または1線地絡時の過電圧倍数などの条件により気中側ガイ管の諸元を決定する。

ガイ管類の汚損セン絡特性は、一般に表面漏エイ距離、平均直径などによりきまるものであるが、ガイ管のカサの形状およびカサの間隔などにより多少異なる。三菱コンデンサブッシング“新OT形”において等価霧中5%セン絡電圧を求め、各汚損度における平均

表 4.4 耐塩害用ブッシング気中側ガイ管使用区分

耐塩害区分 絶縁階級	SA	SB	S
30号	30号(下)	40号(下)	40号(標)
40号	40号(下)	60号(下)	60号(標)
60号	60号(下)	70号(下)	70号(標)
70号	70号(下)	100号(下)	100号(標)
80号	80号(下)	100号(下)	100号(標)
100号	100号(下)	140号(下)	140号(標)
120号	120号(下)	140号(下)	140号(標)
140号	140号(下)	200号(下)	200号(標)
170号	170号(下)	200号(下)	200号(標)
200号	200号(下)	250号(下)	250号(標)
250号	250号(下)		

(下)は下ヒダ付ガイ管

(標)は標準ガイ管

水切カサ付ガイ管および上表以外のガイ管を使用するときは耐塩害区分を

“SC”とする

直径と所要表面漏エイ距離の関係を求めたのが図 4.8 である。

当社の耐塩害用ブッシングは標準ガイ管の胴径が細いものであり、部品の共通性を考慮してとくに耐塩害用ガイ管として胴径を変更せずカサ形状を下ヒダ付としたものを使用する。汚損度に応じて気中側ガイ管に絶縁階級の上のものを使用するのを標準としている。とくに高い耐塩害特性が要求される場合のみ特別に設計したガイ管を使用する。

耐塩害用ブッシングは、使用中ある程度汚損すれば活線注水で洗浄するのが普通である。活線洗浄時の汚損セン絡電圧は洗浄法により多少異なるが、等価霧中セン絡電圧とだいたい同程度である。

三菱コンデンサブッシング“新OT形”的耐塩害用ブッシングの気中側ガイ管の使用区分は表 4.4 に示す。

各絶縁階級の標準ガイ管およびヒダ付ガイ管の等価霧中5%セン絡電圧は表 4.5 に示す。

5. 特殊用途変圧器用ブッシング

5.1 油中貫通ブッシング

市街地の変電所や地下発電所、または汚損度の大きい海岸地帯の発電所に設置される変圧器を、ケーブルと直結して使用する場

表 4.5 三菱コンデンサブッシング気中ガイ管等価霧中5%セン絡電圧

種類	絶縁階級 (号)	ガイ管諸元				等価霧中5%セン絡電圧(kV)					
		有効セン絡長 (mm)	表面漏エイ長 (mm)	平均直径 (mm)	表面積 (cm ²)	0.02 (mg/cm ²)	0.03 (mg/cm ²)	0.05 (mg/cm ²)	0.06 (mg/cm ²)	0.10 (mg/cm ²)	0.12 (mg/cm ²)
標準ガイ管	30	400	870	173	4,730	52.7	43.4	35.8	34.1	28.7	27.0
	40	480	1,140	175	5,140	68.6	56.2	46.8	44.4	37.6	35.4
	60	650	1,570	187	9,240	90.8	74.0	61.6	58.5	49.7	46.6
	70	750	1,870	190	11,190	106.9	87.8	72.7	68.7	58.8	55.0
	80	820	2,000	253	15,890	94.4	78.1	64.3	61.1	52.0	49.4
	100	1,019	2,590	266	21,620	119.0	98.5	81.5	76.9	65.7	62.0
	120	1,220	3,200	286	28,750	149.0	116.0	95.8	90.5	77.4	73.2
	140	1,500	3,820	284	34,000	168.0	139.0	115.0	108.6	92.5	87.9
	170	1,750	4,450	338	47,200	175.0	145.0	119.7	113.9	97.2	92.2
	200	2,250	5,750	350	61,350	220.0	184.0	148.0	140.0	119.3	113.0
	250	2,800	7,060	390	86,400	255.0	213.0	176.8	168.1	142.9	135.3
下ヒダ付ガイ管	30	400	1,060	178	5,930	63.0	52.5	42.8	40.8	34.5	32.4
	40	480	1,330	179	7,470	78.7	65.5	53.6	51.0	43.3	40.6
	60	650	1,780	184	10,300	102.0	84.0	70.6	63.6	56.9	53.5
	70	750	2,080	185	12,150	118.0	97.6	82.2	78.5	66.3	62.5
	80	820	2,360	246	18,250	111.3	92.3	78.0	73.5	62.7	59.3
	100	1,019	3,060	260	25,000	140.2	116.0	97.1	92.1	78.5	74.0
	120	1,220	3,460	274	29,800	151.0	128.2	106.1	100.2	86.0	83.4
	140	1,500	4,315	272	37,000	189.0	161.5	133.1	126.1	107.2	102.0
	170	1,750	4,960	350	54,500	192.0	159.0	131.2	124.8	106.2	100.3
	200	2,250	6,340	362	72,100	238.2	203.5	164.9	156.4	133.5	126.7
	250	2,800	7,690	419	101,170	270.0	226.0	188.0	178.7	152.0	144.0

合も比較的多い。ケーブル直結式とすることにより露出課電部がまったくない構造となるので、設置面積の縮小および塩害の大きい場合には汚損防止となる。ケーブルと変圧器の接続法には図5.1(a)に示す間接接続法と図5.1(b)の直接接続法の2種類がある。

このうち直接接続法はほとんど使用されず、ケーブルと変圧器との境界が明確で、万一の事故の場合にも事故波及のおそれがなく、また据え付けにも便利な間接接続法が主として採用されている。

この場合には変圧器ブッシングとしては油中貫通ブッシングが使用される。

油中貫通用三菱コンデンサブッシング“新OT形”では両側とも油中で使用されるので、上部下部とも油中ガイ管を使用したものである。図5.2に絶縁階級200号油中貫通ブッシングの写真を示す。当社の油中貫通ブッシングは三菱コンデンサブッシング“新OT”を使用することを標準としている。

油中貫通ブッシングは両側とも油中で使用するため、乾式コンデンサブッシングとすれば、ガイ管を使用する必要がなく、絶縁油を充てんする必要もないので、膨張室、ガイ管支持金具などが不要となり非常に小形になり有利となる。

油中貫通乾式コンデンサブッシングについては変圧器用標準品と同

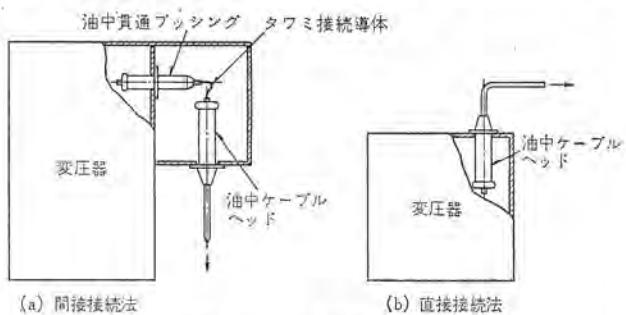


図5.1 エレファンツブッシングの接続法



図5.2 三菱コンデンサブッシング“新OT形” 200号油中貫通ブッシング (水平取付)

様、近く実用する予定である。

5.2 その他

電気炉用変圧器、整流器用変圧器などに使用する変圧器は低電圧大電流用のもののがおもであり、種類としては、銅板ブッシング、水冷式ブッシングなどがあり、いずれも低電圧大電流用としてとくに設計したもので、あまり一般的でないので詳細な説明は省略する。

そのほかコットレル集電装置用として直流高電圧小電流用のものがあるが、構造的には一般変圧器用とほぼ同一構造である。

6. むすび

以上当社が変圧器用としている一般的なブッシングの種類および構造性能について簡単に述べた。

変圧器用ブッシングとして実用化の段階に入った乾式コンデンサブッシングは、変圧器用としてとくに利点の多いブッシングであるが、わが国の気象条件、ブッシングの構造、材料の特性、取扱法を十分理解の上使用しないと事故の原因につながることも考えられる。一部市販されている乾式コンデンサブッシングは、油入形ブッシングと比較しての特長を説明しているものであり、この特長は油入コンデンサ形ブッシングについても同様の特長を有しているものである。とくに耐塩害特性についてはむしろ油入コンデンサ形のほうが有利である。

当社の乾式コンデンサブッシングの適用範囲は、三菱コンデンサブッシング“新OT形”的形状が乾式コンデンサブッシングと変わらない程度に製作できるため、乾式コンデンサブッシングを使用することによるメリットの大きい絶縁階級70号以下の小容量の電力用変圧器および計器用変成器などに採用する予定である。

ブッシングは機器の一部品であるとはいながら、機器の安定性を左右する最も重要な部品である。ブッシングの形状は機器本体の形状に大きく影響するものであり、ブッシングの設計にあたっては機器本体の使用条件を考慮の上、できるだけ使用目的に合致した構造とすることが必要である。

参考文献

- (1) JEM-1171 (1964) 変圧器用乾式コンデンサブッシング 標準取付寸法。
- (2) 広尾、堀、南角、印藤:「三菱電機」31, No. 10, p. 903 (昭32)。
- (3) 電気協同研究会: 電気協同研究 第20巻第2号 128。
- (4) 電気協同研究会: 電気協同研究 第20巻第2号 149。

付録 ブッシングの付属ギャップ

1. ブッシングギャップの目的

変圧器ブッシングの付属ギャップは、変圧器巻線を異常電圧から防護するためのものであるが、従来からその目的をあくまで避雷器の後備保護と考えていた。

この理由は

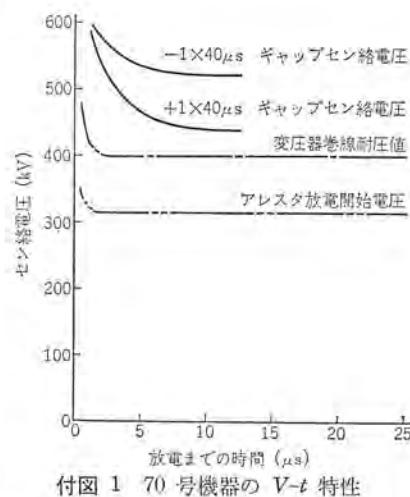
- (1) 統流遮断能力がなく停電の原因となる。
- (2) 急しゅんサイ断波およびOver Swingの発生により変圧器絶縁を脅かす可能性が大きい。
- (3) 発生アーチによりブッシング、そのほか変圧器各部を損傷する危険がある。

などである。

2. ギャップ寸法

当社では従来ブッシングの標準ギャップ寸法は、標準波形正波の50%センターギャップがBILの110%程度になる値を採用していた。たとえば70号の場合には、690mmで標準波形正波の50%センターギャップは約450kVである。このギャップのV-Tカーブを付図1に示す。一般にギャップのセンターギャップは標準波形に近い範囲ではかなりまとまっているが、緩頭波領域ではバラツキが大きくなり、このギャップの場合波頭長50~100μsにおいて実測した結果では正波センターギャップは370kVから450kVの範

間に広い分布を示している。この値は屋内乾燥状態で測定した値であり、屋外で使用する場合には気象そのほかの条件を考えて20%程度の余裕を見る必要があるから、最低セン絡電圧として300kV程度を考えておく必要がある。一方70号避雷器の放電開始電圧は(JEC131)で315kV以下と規定されており、ギャップを後備保護として考える場合その寸法を現在の値より小さくすることは危険を伴うこととなり、上記の寸法はほぼ適当な寸法であると考えられる。



3. 後備保護としてのギャップの有効性

ブッシングの付属ギャップが、避雷器の後備保護として役だつうる可能性のある場合は次の二つが考えられる。

(1) 避雷器は正常であるが、避雷器の変圧器間の距離が長く電圧のハネ上がりのある場合

(2) 避雷器が不良で動作した場合

(1)の場合には、通常考えられる避雷器-変圧器間距離ではハネ上がり電圧の持続時間は2μs程度以下であるため、ギャップのV-Tカープの立ち上がりがひどく、ギャップはまったく保護の役目を果し得ない。

(2)の場合において、変圧器巻線への侵入電圧をBIL以下にするという目的には役だたないが、変圧器巻線が破壊する以前にギャップがセン絡する可能性はある。しかしこの場合も、侵入電圧が正極性で標準波形に比較的近い波形のBILを少し越した程度のものである場合に限られる。この場合においても変圧器巻線はギャップセン絡までの電圧に耐えたとしてもギャップセン絡による急しゅんなサイクル波にかならず耐えうるかどうかは疑問で、逆にギャップがセン絡しなければ耐えたものが、ギャップセン絡により破壊される可能性もある。

これらの点を考えると、ギャップが避雷器の後備保護として役だつ可能性は少なく、これを避雷器不動作という確率を合わせて考えるときわめて少い確率しかもたないこととなる。

4. 結論

上述のようにブッシングの付属ギャップは避雷器の後備保護として役だつ可能性は非常に少なく、1節に記したような欠点を有する上、高電圧回路ではとくに降雨時にギャップ部分からコロナを発生しやすいなどの欠点もあり、そのうえ最近の機器の小形化、複雑化に伴い設計上の制約をうけることもあるため、標準としては付属ギャップなしとするほうが適当である。もちろん回路構成上付属ギャップが必要な場合には取り付けるべきであるが、この場合にもできれば線路側に適当な構成を持った単独のギャップを設置することを推奨する。

新製品紹介

KC形過電流継電器を完成

インシング操作を繰り返すクレーン用巻線形誘導電動機などの過負荷保護装置として新しいKC形過電流継電器を完成した。動作原理は電磁式オイルダッシュボット形に属するもので負荷電流の電磁力によりピストンを吸引しダッシュボットオイルの抵抗により動作時間に相当する遅延時間を与え反限時特性を得るものである。これは熱動式過電流継電器とは用途、特性が異なり巻線形誘導電動機用としてひん繁な起動停止を繰り返しても誤動作することはなく電動機を過負荷から保護することができる。適用電動機電流は2.5~500Aであり各電流値に対して21種類の標準コイルがある。ダッシュボットオイルとして周囲温度による粘度変化の少ないシリコンオイルを使用しているので、周囲温度変化による動作時間変動は小さい。なおダッシュボットオイルを使わないもので回路の短絡保護用として瞬時動作式過電流継電器がある。

■特長

(1) 動作時間が安定している。



KC形過電流継電器 (100~120A用の場合)
電流容量により端子部分の構造が異なる

シリコンオイルを使用したので周囲温度の影響が小さい。

(2) 油漏れを起こさない。

ダッシュボットは完全ネジ込み式になっているので油漏れを起こさないため、任意の位置に取り付けられ保護盤の小形化に役立つ。

(3) 小形で安価。

端子部分をコイルの上に積み上げたので、小形化され取付スペースは小さい。

■概略仕様 (KC-2A形)

主回路定格電圧 AC 600V 50/60c/s DC 250V

適用電動機電流 2.5~500A (標準コイル 21種類)

消費電力 1相当り最大 15W (40VA)

操作回路定格 1ab, AC 250V 5A
600V 3A

動作特性 反限時特性

目盛整定範囲 100~200% (T.C.表示)

形名一覧

名 称	形 名	主 回 路	制 御 回 路	備 考
過電流継電器	KC-2A	二相 2.50~500A	自動リセット	ダッシュボットオイル使用
	KC-1A	一相 "	"	"
	KC-2H	二相 "	手動リセット	"
	KC-1H	一相 "	"	"
瞬時動作式過電流継電器	KC-2S	二相 2.47~4.54A	自動リセット	ダッシュボットオイル不要

AK形切換スイッチを完成



AK形切換スイッチ

工作機械や一般産業機械において、多ノッチの切り換えと多段数の接点を必要とする600V以下の制御回路や比較的小容量の電動機のジカ入れ起動に使用するカム式の切換スイッチである。

従来のCK-A形切換スイッチに代わるもので取付、外形寸法は互換性がありおもに性能と操作感の向上につとめた。

■特長

(1) 防じん構造

接点開閉部分は外部から容易にじんあいが入らない閉鎖形のため低電流、低電圧回路でもじんあいによる接触不良の心配はない。

(2) 防水構造

軸受部に防水パッキンを設けているから接点開閉部分には水など容易に浸入しない。

(3) 板厚調整構造

ツッテは取付板厚により調整でき軸に遊びなく固定できる。

■仕様

段 数 最高 10段

ノッチ数 2~6ノッチ

定 格 AC 250V/10A, 600V/5A, 220V 600V/2.2kW

性 能 1号 2種 (電動機用 A級)

低圧トロリバスダクトを完成

バスダクトシリーズの一環として、このたびトロリバスダクトを完成した。

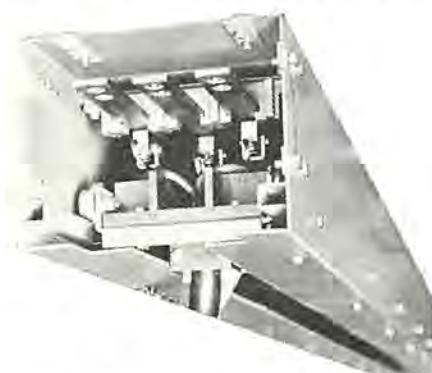
現在ホイストやクレーンなどの電路には、裸のトロリ線とトロリホイルが使用されているが、張力架線されているためトロリ線にゆるみが生じることがあって、走行に支障をきたしたり断線事故を起こすおそれがある。またトロリ線は露出配線されているので保守、点検などのさいに感電事故の可能性がある。

トロリバスダクトは、裸のトロリ線とトロリホイルの関係をバスダクト化し、上記の欠点をなくしたものである。

用途としてはホイスト、クレーン、プレーラなどの往復運動機械の電源、その他電気ドリル、グラインダなどの移動運動機器の電源に最適である。

■特長

(1) 集電子は滑車方式でなく、十分な接触面をもった平面ス



低圧トロリバスダクト
屋外用 3φ3W AC600V ダクト 100A 集電子 30A

ライド方式であるから離線のおそれがない。

(2) 集電子材料は接触良好な焼結合金を採用しているので、ダクト内の導体を過熱することなく、また集電子および導体の摩耗は少ないので良好な集電性を保持する。

(3) 下面開口部を大きくしてあるので内部集電状態が容易に点検でき、保守が容易である。

(4) 各極集電子は分離独立し極間にはバーナを設けてあるので、摩耗粉およびじんあいによる絶縁劣化を防止できる。

(5) 集電子は各極ごとに接触圧力を調整できるので、適正圧力を保持できる。

■仕様

形 式	屋内用、屋外用
極 数	2 極、3 極
定格電圧	AC 600V
定格電流	ダクト 100A, 150A 集電子 30A, 60A
定格短絡電流	10,000A (JIS C 8364 に準拠)
最小回転半径	1.5m, (特殊品としては 0.5m)



集電子 (最小回転半径 0.5m のもの)
3φ 3W AC100V 30A

なんでもかんでもがめつくメモろう、オールトランジスタ式
三菱テープレコーダー T-330 形 (メモリー・スーパー) 新発売

T-330 形テープレコーダー“メモリー・スーパー”は昨秋発売した T-140 形“メモリー”に統いて、メモリーシリーズ第2弾として発売した普及形テープレコーダーです。

操作は一番簡単で確実なオールプッシュボタン方式で、当社のテープレコーダーでは初めてのサウンドモニター方式を採用しています。ケースはスチロール樹脂を使用したスマートなデザインで、5号形テープをかけたままフタができますから持ち運びに便利です。

機構部には、2極インダクションモータを用いてベルトドライブによる駆動方式を採用しています。主ベルトにはポリウレタンの平ベルトを使用していますので、切断の恐れがなく安定した性能が得られます。とくに本機では巻戻し早送り時間が短く、同クラスの他社製品に比べて 50% ほど短縮されています。

電気回路はオールトランジスタで、最終段は小形ながら B 級 プッシュボル回路で最大出力 1.5W 以上を得ています。

■定格

電 源	100V, 50c/s または 60c/s
テープ速度	9.5cm/s, 4.8cm/s, 2 スピードキャップスタン
着脱方式	交流バイアス (40kc)

消去方式	直流消去
録音レベル指示	ネオンランプ
使用トランジスタ	6 石
使用スピーカ	18×8cm ダ円形パーマネントダイナミックスピーカ
入力端子	マイク入力 (-75dBV) 1 個 ラジオ入力 (-25dBV) 1 個



T-330 形三菱テープレコーダー (メモリー・スーパー)
現金正価 ￥19,500
月賦正価 ￥20,600

出力端子	外部スピーカ (8 Ω)	1 個	外形寸法	横幅 280×奥行 250×高さ 130 (mm)
音声出力	最大 1.5 W 以上		正味重量	4.5 kg

三菱卵ゆで器 EC-451 形新発売

EC-451 形 三菱卵ゆで器
現金正価 ₩ 2,950

当社では、このたび一度に 6 個の卵が好みの固さ（半熟から固ゆでまで）に自動的にゆでられ、しかも付属の蒸し台を使用し、おしほりや赤飯、ちまき、まんじゅうなどの蒸し物もできる、用途の広い便利な卵ゆで器を新発売いたします。

■特長

(1) 一度に 6 個の卵が、半熟から固ゆでまで、お好みどおりにゆでられます。

(2) 銳敏な速断式自動スイッチを使用しているので、卵ゆで上りを確実にキャッチし、動作するのでムダな電気を使わず、過熱する心配がありません。

(3) 卵ゆでのほか、付属の蒸し台を使用して、おしほりや赤飯、ちまき、まんじゅうなどの蒸し物ができます。

(4) 通電状態が一目でわかるパイロットランプつき。

(5) 操作の簡単な押しボタン式。

■仕様

消費電力	450 W
スイッチ	押しボタン自動速断式（パイメタル式自動スイッチ）
大きさ	高さ 164×横 250×縦 209 (mm)
重量	1.1 kg
卵ゆで	最高 6 個（水量加減による調節可）
付属品	卵皿、蒸し台、水量カップ
型式認可	□ 81-559

ふくらむらし…ホカホカに保つ…
三菱自動保温電気がま NA-181 形新発売

当社では、一般家庭用の電気がまとして、このたびホット中フタ、三角水位計など独自の工夫をこらした、おいしく、しかもはやくたける自動保温電気がまを新発売いたします。

■特長

(1) おいしくたけて、経済的な直熱式

すい飯原理にピッタリの直熱式なので、ご飯がおいしくたけ、しかも間接式に比べすい飯時間が短くてすみ、たいへん経済的である。

内がまが熱板に密着するようガイド（シャ熱板）をつけてあるので中づりの心配がなく、いつも正しい状態ですい飯できる。

(2) 独特のポリプロピレン製ホット中フタを採用

当社のみが採用した断熱効果のとくにすぐれたポリプロピレン製ホット中フタが、かま内の熱と蒸気をムラなく配分しすい飯、ムラシ、保温に大きな効果をあげる。

(3) 保温式

すい飯完了後自動的に保温の状態に入るので、ムラシがよくでき、ふくらとしたおいしいご飯ができる。また保温専用の 50 W ヒーターとホット中フタのコンビが、ご飯を長時間たきたてのおいしさ、あたたかに保つ。

(4) 確実な動作、長い寿命を誇る自動装置

内がまにピッタリ密着した銳敏なサーモスタットが、たき上りを確実にとらえる。また構造、動作に無理がないので、寿命がきわめて長い。

(5) 三角水位計つき

独自の三角水位計がついているので、新米、古米、標準米とお米に合った水加減が簡単に調節できる。

(6) その他

すい飯、保温が一目でわかる照明板
蒸しものに便利な蒸し板つき
便利な計算カップつき

■仕様

消費電力	600 W (保温 50 W)
すい飯方式	直熱式
すい飯容量	0.36~1.8 L
スイッチ	押しボタン式
付属品	ホット中フタ、蒸し板、計量カップ
重量	2.7 kg
型式認可	□ 81-97

NA-181 形 三菱自動保温電気がま
現金正価 ₩ 4,500



ニュースフラッシュ

■ 住友金属工業納め焼結装置用排風機完成

先に住友金属工業和歌山製鉄所に製作、納入した2号焼結装置用排風機に続き、3号焼結装置用排風機を製作し、客先立会試験も好成績で完了し、納入した。

3号焼結装置(3500T/D)用排風機は、先に納入し、好調に運転している2号焼結装置(3000T/D)用排風機を、1段と大きくなしたもので、主排風機として、他社がターボファンを使用しているのに対し、当社は、強度、耐摩耗性などに種々の長所を持つブレーツファンを採用している。

各排風機の諸元は表に示すとおりである。

		主排風機	冷却用排風機	第1防じん用排風機
形 式		FB 7132 両吸込 プレートファン	ID 1015 両吸込 ターボベーン	ID 1006 両吸込 ターボベーン
風 量 (m³/min)		10,000	16,000	4,000
風 壓 (mmAq)		-1,350	-250	-400
ガス温度 (°C)		120	200	60
回転数 (rpm)		900	514	870
電動機	種類	同期電動機	同期電動機	誘導電動機
	出力 (kW)	3,700	1,250	430
	極数 (P)	8	14	8
ガス含じん量 (gr/Nm³)		0.2	0.4	1.0
軸受		スリーブ軸受 強制給油および水冷	スリーブ軸受 水冷	スリーブ軸受 水冷

当社排風機の特長は下記のとおりである。

(1) 主排風機は、ガス温度120°Cで吸込側の負圧1,350mmAqという高圧になり、扇車周速は160m/secの高速になるが、通常の扇車で最も大きな応力を生ずる側輪を持たない構造となっており、全体の構造が単純で、非常にじょうぶな扇車となっている。また、このように、扇車の応力が低く、構造が単純なために、特殊材料を使用せずに製作でき、安価になる。

(2) 主排風機の扇車と軸の固定方法に特殊な考慮がはらわれ

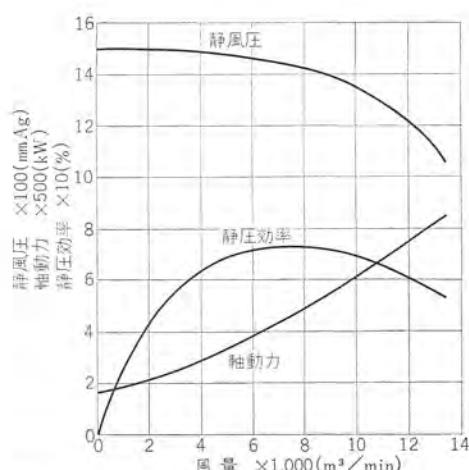


図1 FB 7132 両吸込主排風機特性曲線

ていて、熱応力、温度変化に強い扇車構造となっている。

(3) 羽根の表面に、鋼板で製作した羽根ライナを取り付け、ガスに含まれるじんあいによる摩耗に十分耐えるように考慮されている。この羽根ライナは短時間で容易に取り換えることができるため、補修費が安価になる。

(4) 主排風機はGD²が小さく、起動が容易である。

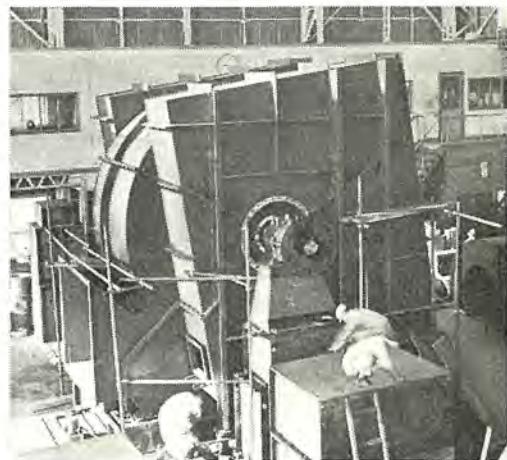


図2 FB 7132 両吸込主排風機

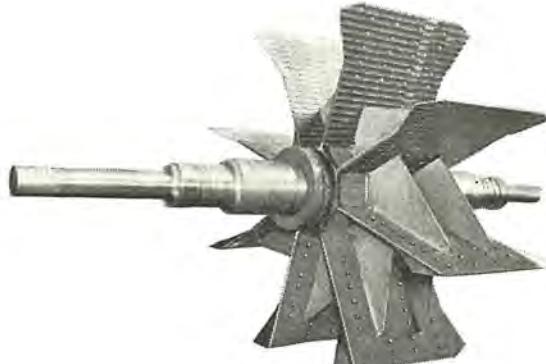


図3 FB 7132 両吸込主排風機扇車

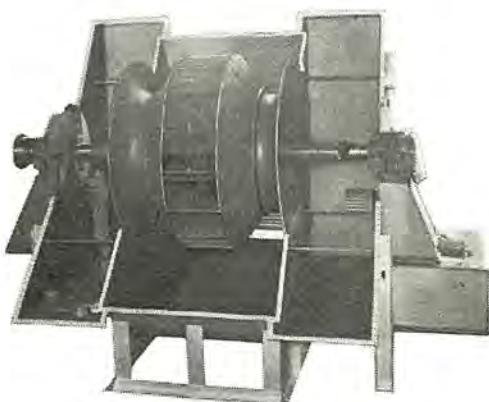


図4 ID 1015 両吸込冷却用排風機

(5) 主排風機は、右下りの特性を有しており、安定した運転ができる。

(6) 比較的低速度で運転されるため、低騒音で静粛な運転ができる。

(7) 軸受は自動調心形スリーブ軸受を使用しており、据付保守が容易である。また、軸受の冷却水は、軸受メタルを直接冷却する構造となっており、冷却効果が非常に良い。このため、主排風機の強制給油装置よりの給油が途絶えても安全に運転ができるよう設計されている。

■ コロンビア納め 132 kV 空気シャ断器完成

Y形空気シャ断器は当社独自の技術で開発され、国内電力会社、国鉄ほか各方面に多数納入されているが、昨年末、初の輸出品として、コロンビア ボゴタ電力納め 140-Y-500L形空気シャ断器が発荷された。

このシャ断器のおもな定格は次のとおりである。

定格電圧	132 kV
定格電流	1,200 A
定格開極時間	0.04 sec
定格シャ断器容量	5,000 MVA
定格シャ断時間	5 c/s
定格投入時間	0.09 sec

このY形空気シャ断器には次のような特長がある。

(1) 消弧室、操作機構など各部がユニット化され、電圧階級に関係なく、量産された信頼度の高い部品が使用できる。

(2) 強力な消弧能力を持つ内部断路形であり、シャ断部並列抵抗の値を低くすることでき、すぐれたシャ断特性を発揮する。

(3) 保守点検が容易である。

なお、台湾電力納め 140-Y-750形空気シャ断器（定格電圧 161 kV、定格シャ断容量 7,500 MVA、定格電流 2,000 A、定格シャ断時間 3 c/s）2台を2月末出荷予定のほか、諸外国からの引合も多く、今後の海外市場への進出が期待される。



140-Y-500L形空気シャ断器

■ 新装なったトレーラ式移動変電所

日本国有鉄道（明石）納めとして製作完成したシリコン整流器は、昭和33年に製作された、トレーラ式移動変電所の、イグナイトロン整流器を、尼崎変電所に定置されることになったので、これにかかり、移動変電所用として製作されたものである。

このトレーラ式移動変電所は、受電電圧 50・60サイクル、77 kV・66 kV・22 kV共用、直流出力 1,500 V 3,000 kWの定格を持っていて、受電側開閉器を積載した開閉器車、変圧器を積載した変圧器車、整流器および直流高速シャ断器ならびに制御機器を積載した整流器車の、3車に分割されている。

シリコン整流器は、単独移動設置も可能な構造であり、また整流回路も、二重星形六相結線・三相ブリッジ結線の両用で、わずかの時間で、切換可能な構造となっている。

今回シリコン整流器の新製とともに、それに伴う、整流器車の改造を完了し、昭和40年1月新装なった整流器車は、各種工場試験を完了、ただちに、既設変電所の応援にその機動性を生かして、活動にはいっている。



新装なった整流器車

■ 全固体 400 Mc 帯多重通信装置を納入

さきに報告（「三菱電機技報」Vol. 38, No. 10）した400 Mc帯全固体ME-40形多重無線機は、日本国有鉄道そのほかから多数を受注し、現在までに下記の台数を納入した。

国鉄 米子一枕木山一出雲市回線	予備つき 8 台
〃 名古屋一船山一高山回線	4 台
〃 高松一雲辺寺一松尾越一高知回線	6 台
〃 出雲市一石見高山一浜田回線	4 台
〃 鹿児島一鰐塚山一宮崎回線	4 台

いずれも 3/24~24/24 通話路の SS 方式搬送電話端局装置、パラボラ、コーナーレフレクタ空中線 1式を含んでいる。

とくに無線機は写真に示すように高さ 1,500 mm の標準架に現用、予備が実装しうる小形で、消費電力も 1台当たり 50 W と他に例を見ないほどすくない。また測定器、遠方監視装置、AC用整流電源部、搬送中継部（搬送電話端局装置と数 km はなれた場合に 0.65~0.9 φ ケーブルで、ビデオ、打合信号の中継を行なう等の増幅中継器）など、盛りだくさん実装できるので、その多用



ME-40形 400 Mc 带全固体多重無線機

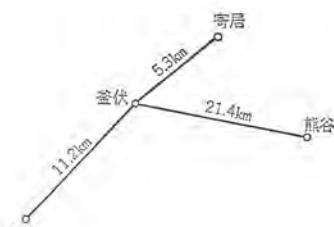
途性は、きわめて好評である。

目下、当社北伊丹製作所の半導体技術の協力をえて、出力 15W の送信機を開発中で、近く発表できる予定である。ME-40形多重無線機受信部の雑音指数は定格 10dB (高周波増幅器つき) であるが、実際の性能は約 8dB がえられており、これに 15W 送信機が加われば、回線構成にさらに自由度を増すことであろう。

■ 秩父鉄道 2,700 Mc 多重通信装置受注

秩父鉄道株式会社では駅間通信施設拡充の一環として幹線 ルートのマイクロ化計画が進められ、このほどその設備一式について当社が受注、契約のはこびとなった。

この回線はマイクロ搬送波として 2,700 Mc 带を用い、電話 120 CH の伝送容量をもっている。ルートは図に示すとおりで釜伏局を無人中継局とし 4 局 3 区間から構成されている。秩父、寄居および熊谷の各局は鉄道各駅に近接して設置され、寄居局から釜伏局を遠隔監視制御する。



秩父鉄道回線図

受注した設備は無線機、空中線、搬送電話端局装置および無停電電源装置である。無線機は 2,700 Mc 帯の クライストロン を送信用として用いるほかは固体電子化されており、とくに受信局発用には当工場の豊富な経験に基づいた安定な パラクタ 通信器を用いている。無線機の固体電子化により消費電力が少なくなったので電源はバッテリ 浮動による無停電電源方式とした。これにより供給 AC 電源が停電した場合にも最小 2 時間の無人運転が可能である。また標準架 1 架に現用・予備 2 システムを実装し、ダイオードスイッチによって同軸回路を切り換えてるので回路断の時間が短く高信頼度回線を構成できる。

■ 神戸電鉄納め回生制動車 2 編成受注

神戸電鉄は湊川-鈴蘭台間を始め、急カウ配区間が多く、下り運転に際しては、現在発電ブレーキによる抑速運転が行なわれている。

一方、電力消費量を軽減させるため電力回生ブレーキを用いることはきわめて有効である。今回受注したものは抑速制動として回生ブレーキを用いる方式によるものである。

なお、おもな特長としては次のとおりである。

(1) 回生ブレーキ方式は力行の消費電力量が少なく、回生効率もよい直巻、界磁 1/4 電流方式を採用している。

(2) 回生抑速ブレーキが失効したとき、ただちに発電抑速ブレーキに自動的に切り換わる。

(3) ノッチ戻し制御が可能である。

電車主要項目

電気方式	DC 1,500 V
編成	MM
自重	32.9 t
荷重	定員 7.7 t (140 人) 満員 16.5 t (300 人)
主電動機	MB-3054-B × 8 台 (DC 375 V, 224 A, 75 kW)
駆動方式	WN 方式
車輪径	860 mm (新製時)
軌間	1,067 mm
歯車比	99/14=7.07
抑速制動速度	45 km/h 以下 (50% にて)
制御方式	自動加減速 8 主電動機制御
ブレーキ方式	抑速制動……回生ブレーキ 停止制動……発電ブレーキ + 空気ブレーキ (HSCD)
電力回生率	22.4% (計算)



軸受装置

発明者 新倉宗寿

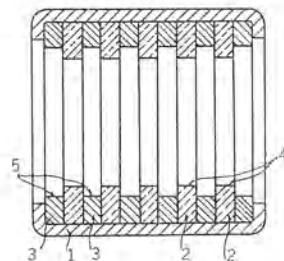
この発明は扇風機・換気扇などに使用する合成樹脂材料による軽荷重無給油軸受装置に関するものである。

すなわち、この発明の軸受装置は、図に示すように、内径(4) (5)をそれぞれ異なる金属製座金板(3)と、たとえばナイロン・テフロンなどよりなる合成樹脂製座金状板(2)とを交互に数枚重ね合わせ、その外周を軸受外筒(1)にカッ(嵌)合させることにより構成され、使用の際に孔径の小さい合成樹脂座金状板(2)の内径(4)が軸受面を構成するものである。

したがって、合成樹脂板は交互に金属板と接しているから、熱の伝導が良く過熱のおそれがない。合成樹脂材料が少なくてよ

いから安価に製作しうる。軸受の内径と軸の径とを合わせるためのリーマ加工はきわめて容易であるなどの利点がある。

(特許第405721号) (藤田記)



軸受給油装置

考案者 今井進

この考案は軸受装置の給油作業を容易にし、かつ給油期限を正確に検知しうるようにした軸受給油装置に関するものである。

図1に示すように、この考案は軸受装置に連通する給油管(4)に中継接手(5)を取り付け、この中継接手に透明もしくは半透明の合成樹脂で形成された油収容箱(8)を着脱自在にカン合したものである。

なお、油収容箱(8)の底部には、中継接手(5)の傾斜面(10)と係合して開放される常閉弁(11)が設けられている。

この考案は以上のような構成であるから、注油状態を常に監視することができ、また油収容箱(8)を中継接手(5)に取り付けたままで給油することができ困難な場合には図2に示すように油収容箱(8)を簡単に取はずすことができ、その作業が容易であるなどの利点がある。

(実用新案登録第722445号) (藤田記)

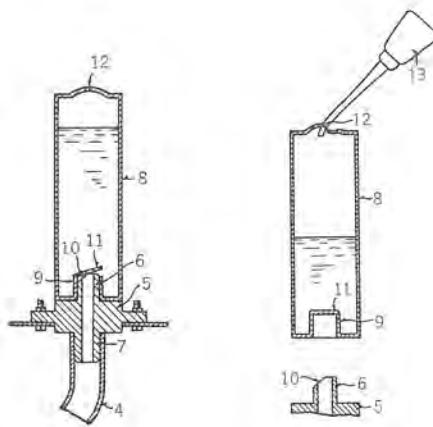


図1

図2

換気扇正逆転スイッチ・シャッタ運動装置

考案者 入沢淳三

この考案は吸排気両用換気扇において、電動機の正逆転スイッチとシャッタの開閉とを連動して操作しうるようにしたものである。

すなわち、図1はシャッタ(6)が閉じられこのシャッタ(6)の閉鎖によって電源スイッチ(14)を開いた換気扇の不使用時の状態を示すものであるが、この時玉鎖(11)は図2または図3に示すようにストップ(16) (17)のいずれかに錠止されている。次にシャッタ(6)を開くためこの錠止をはずすと電源スイッチ(14)が閉じて電動機回路が閉路される。したがってシャッタ(6)の開放状態で玉鎖(11)

を右側に横引きし図2に示すようにストップ(17)に錠止されれば、電動機は正回転を続け排気が行なわれる。次に図3に示すようにシャッタ(6)の開放状態で玉鎖(11)をストップ(16)に錠止せると、正逆転切換スイッチ(25)のスイッチレバーを兼ねたストップ(16)が上向くので、正逆転切換スイッチ(25)が逆回転側に切り換えられて、吸気が行なわれる。このようにこの考案はシャッタ(6)を開閉操作する玉鎖(11)をストップ(16)または(17)に選択的に錠止させることによって、シャッタの開閉と吸排気の切換操作を单一操作で行なうことができるものである。

(実用新案登録第716511号) (藤田記)

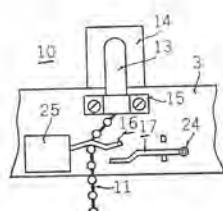
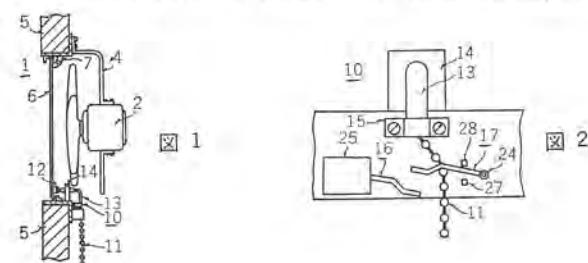


図3

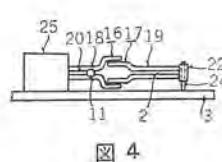


図4

==== 最近登録された当社の実用新案 =====

名 称	登録日	登録番号	発明考案者	関係場所
内燃機関点火装置	39- 5-19	587990	浅野哲正	姫路
軸受台	39- 5-26	588041	尾島学二	相模
整流子刷子保持装置	39- 5-26	739201	小川昇	群馬
電動機の防水装置	39- 5-26	739204	林昭彦	中津
電気煮沸器	39- 5-26	739206	加藤義明	群馬
電気ポット	39- 5-26	739207	野畠昭夫・町原義太郎	群馬
拡声器用磁石装置	39- 5-29	739441	井手平三郎・鍋島芳和	大船
冷蔵庫	39- 5-29	739444	木下忠男	静岡
送風部	39- 5-29	739445	吉村宏	中津川
炊飯釜	39- 5-29	739447	奥田文一・高橋正晨	群馬
表示装置	39- 6- 5	740169	立石俊夫	神戸
可トウレバー	39- 6- 5	740171	神本明輝・新川成美	山福
接点装置	39- 6- 5	740178	三坂勝	神戸
充電兼用点火装置	39- 6- 5	740182	市川和	姫路
電気ホイストクレーンなどの制御装置	39- 6- 5	740193	武谷勝次	福岡
電気半田こて	39- 6- 5	740215	和田庄次	鎌倉伊丹工場
半田こて	39- 6- 5	740216	和田庄次	鎌倉伊丹工場
押しボタン装置	39- 6- 6	740219	高村明・青木和男	名古屋
インダクタンス装置	39- 6- 6	740246	小林信三	鎌倉伊丹工場
軸受防水装置	39- 6- 6	740247	高島登・新川成美	山福
自励交流発電機の初期励磁装置	39- 6-12	740570	尾畠喜行	戸津
三相変圧器鉄心	39- 6-12	740574	小林国雄	伊丹
伸縮性導線	39- 6-17	740823	山田三男・広瀬寛二	伊丹
熱応動装置	39- 6-25	741467	武田克己・神本明輝	福岡
木工旋盤の活心軸	39- 6-25	741474	神信昭仁	福岡
ガス再循環通風機の軸封装置	39- 6-25	741469	橋本幸雄	長崎
自動点滅器	39- 6-25	741468	武田克己・神本明輝	福岡
結合コンデンサの接続部	39- 6-25	741470	亀山三平・印藤義雄	伊丹
自吸式井戸ポンプ	39- 6-25	741473	佐々静男	福岡
整流子面の清浄装置	39- 6-25	741472	小山建次・山下浩	神戸
端子装置	39- 6-25	741471	岡村宗和	鎌倉伊丹工場
スイッチ早切装置	39- 7- 9	742700	寺地只芳・新川成美	山福
繼電器	39- 7- 9	742605	森健	戸
エキサイトロンの励弧装置	39- 7- 9	742724	阿部久康・池田和郎	中央研究所
充電発電機用電圧調整装置	39- 7- 9	742718	平田毅	姫路
充電用交流発電機の励磁制御装置	39- 7- 9	742717	浅野哲正	姫路
内燃機関点火装置	39- 7- 9	742607	三木隆雄	路
自動点滅器	39- 7- 9	742703	武田克己・神本明輝	山
巻鉄心締付け装置	39- 7- 9	742708	伊藤芳夫・石川恒夫	名古屋
容量変圧器の保護装置	39- 7- 9	742709	亀山三平・早瀬通明	伊丹
誘導電圧調整装置の過大回転子防止装置	39- 7- 9	742711	杉山昌司・小川慎二	名古屋
変圧器用導体支え装置	39- 7- 9	742712	宮崎昭彦	伊丹
三相変圧器鉄心	39- 7- 9	742713	清水英範	伊丹
電線締付端子	39- 7- 9	742714	魚住幸男	名古屋
炉体	39- 7- 9	742715	福家章・辻本義明	中央研究所
点火用磁石発電機	39- 7- 9	742606	市川和	姫路
フォトトランジスタ装置	39- 7-10	588379	茂木充	中央研究所
トースタ	39- 6-25	741475	加藤義明・長谷川清	群馬
冷蔵庫のトピラたな装置	39- 6-25	741476	木下忠男・柴田実	静岡
磁気選別機	39- 6-25	741477	諫訪寧・柳下義兵衛	大船
管状発熱体の端子キャップ	39- 7- 9	742701	馬淵公作・堀英男	群馬
ケイ光灯器具のランプカバー支持装置	39- 7- 9	742702	船田淳三・山崎肇	大船
多翼形送風機	39- 7- 9	742704	柘植恵	中津川
可トウ電熱板	39- 7- 9	742705	内田武士	群馬

次号予定

三菱電機技報 Vol. 39 No. 4

富士山気象レーダ特集

特集論文

- 富士山気象レーダの計画
- 富士山気象レーダシステム
- 富士山気象レーダ: レーダ装置
- 富士山気象レーダ: リレー装置
- 富士山気象レーダ: 気象テレメータ装置
- 富士山気象レーダ: レーダーム
- 富士山気象レーダ: 電源設備
- 富士山気象レーダ: 局舎建築工事
- 富士山気象レーダ: 室温調整設備
- 富士山気象レーダ: 建設工事

論文

- 電源開発七色発電所 90,000 kVA 水車発電機および配電盤機器
- 三菱重工神戸研究所流体力学研究課の新設研究設備
- 高落差模形水車試験用 750 kW 直流電気動力計
- 水車性能試験設備用計測装置
- 帝都高速度交通営団(東西線) 納め地下鉄電車用電機品

技術講座

- 変圧器付属品(2) 冷却装置

三菱電機技報編集委員会

委員長	小倉 弘毅
常任委員	明石 精二
"	安藤 安理
"	石川 寛一
"	大野 誠二
"	小路 孝春
"	小堀 雄次
"	鈴木 雄材
"	祖父江 晴秋
"	中野 光雄
"	馬場 文夫
"	宮内 主次
"	安松 靖彦
"	山田 栄一
委員	大森 淳一
"	尾畠 喜行
"	樋本 俊弥
"	神崎 那邇介
"	島津 大幸

(以上 50 音順)

昭和40年3月22日印刷 昭和40年3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)東京(212)大代表 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
電話(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 (三菱電機ビル内)
大阪営業所					大阪市北区堂島北町8の1(電)大阪(312)大代表 1231
名古屋営業所					名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電)名古屋(56)大代表 5311
福岡営業所					福岡市天神2丁目12番地1号天神ビル5階 (電)福岡(75)大代表 6231
札幌営業所					札幌市北二条西4の1・北海道ビル(電)札幌(26)大代表 9111
仙台営業所					仙台市大町4の175・新仙台ビル(電)仙台(22)大代表 6101
富山営業所					富山市総曲輪490の3・明治生命館(電)富山(3)大代表 3151
広島営業所					広島市八丁堀63・昭和ビル(電)広島(21)大代表 4411
高松営業所					高松市鶴屋町45番地(電)高松(2)大代表 0001
東京商品営業所					東京都千代田区丸の内2の12・三菱電機ビル (電)東京(212)大代表 6111
大阪商品営業所					大阪市北区堂島北町8の1・(電)大阪(312)大代表 1231
名古屋商品営業所					名古屋市中村区広井町3の88・大名古屋ビル (電)名古屋(56)大代表 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5階 (電)福岡(75)大代表 6231
札幌商品営業所					札幌市北二条西4の1・北海道ビル(電)札幌(26)大代表 9111
仙台商品営業所					仙台市大町4の175・新仙台ビル(電)仙台(22)大代表 6101
富山商品営業所					富山市総曲輪490の3・明治生命館(電)富山(3)大代表 3151
広島商品営業所					広島市八丁堀63・昭和ビル(電)広島(21)大代表 4411
高松商品営業所					高松市鶴屋町45番地(電)高松(2)大代表 0001
横浜出張所					横浜市神奈川区沢渡16高島台第2ビル (電)横浜(48)6121~6123
新潟出張所					新潟市万代町69番地(電)新潟(4)643
静岡出張所					静岡市七間町9の10・池田ビル(電)静岡(53)大代表 9186
北九州出張所					北九州市小倉区京町10の28・五十鈴ビル (電)小倉(52)大代表 8234
長崎出張所					長崎市大黒町3番1号長崎交通産業ビル(電)長崎大代表(3)6101
岡山出張所					岡山市駅前町1の1岡山会館(電)岡山(4)大代表 0331
金沢出張所					金沢市幸町13番28号(電)金沢(31)6213~4
長野出張所					松本市白板212番地(電)松本(2)1058~(3)1453
中央研究所					尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(481)大代表 8021
商品研究所					鎌倉市大船782番地(電)大船(6)大代表 3131
神戸製作所					神戸市兵庫区和田町3丁目(電)神戸(67)大代表 5041
伊丹製作所					尼崎市南清水字中野80番地 (電)大阪(481)大代表 8021
長崎製作所					長崎市平戸小屋町122番地(電)長崎(3)大代表 3101
名古屋製作所					名古屋市東区矢田町18丁目1番地(電)名古屋(73)大代表 1531
福岡製作所					福岡市今宿青木690番地(電)福岡大代表 0431
福山製作所					福山市沖野上町6丁目709番地(電)福山(2)大代表 2800
姫路製作所					姫路市千代田町840番地(電)姫路(23)大代表 1251
相模製作所					相模原市小山字久保224の(電)相模原(72)大代表 5131
静岡製作所					静岡市小鹿110番地(電)静岡(85)大代表 1111
中津川製作所					中津川市駒場町1番地3号(電)中津川大代表 2121
和歌山製作所					和歌山市岡町91番地(電)和歌山(3)大代表 1275
大船製作所					鎌倉市大船800番地(電)鎌倉(6)大代表 6111
郡山製作所					郡山市字境橋町1番地(電)郡山(2)1220~1223
群馬製作所					群馬県新田郡尾島町大字岩松800番地 (電)太田大代表 4311
無線機製作所					尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(481)大代表 8021
京都製作所					京都府乙訓郡長岡町大字馬場小字岡所1 (電)京都西山(92)大代表 1141
北伊丹製作所					伊丹市大庭字主ヶ池1番地(電)伊丹大代表 5131
鎌倉製作所					鎌倉市上町屋325番地(電)鎌倉(6)大代表 6171
稻沢製作所					稻沢市字井之口(電)稻沢(32)大代表 4121
鎌倉製作所					尼崎市南清水字中野80番地(電)大阪(481)大代表 8021
伊丹工場					東京都世田谷区池尻町437番地 (電)東京(414)大代表 8111
相模製作所					三田市三輪町字父々部85番地 (電)三田4371~4375
田谷工場					
伊丹製作所					
三田工場					

◎抜き刷りご案内

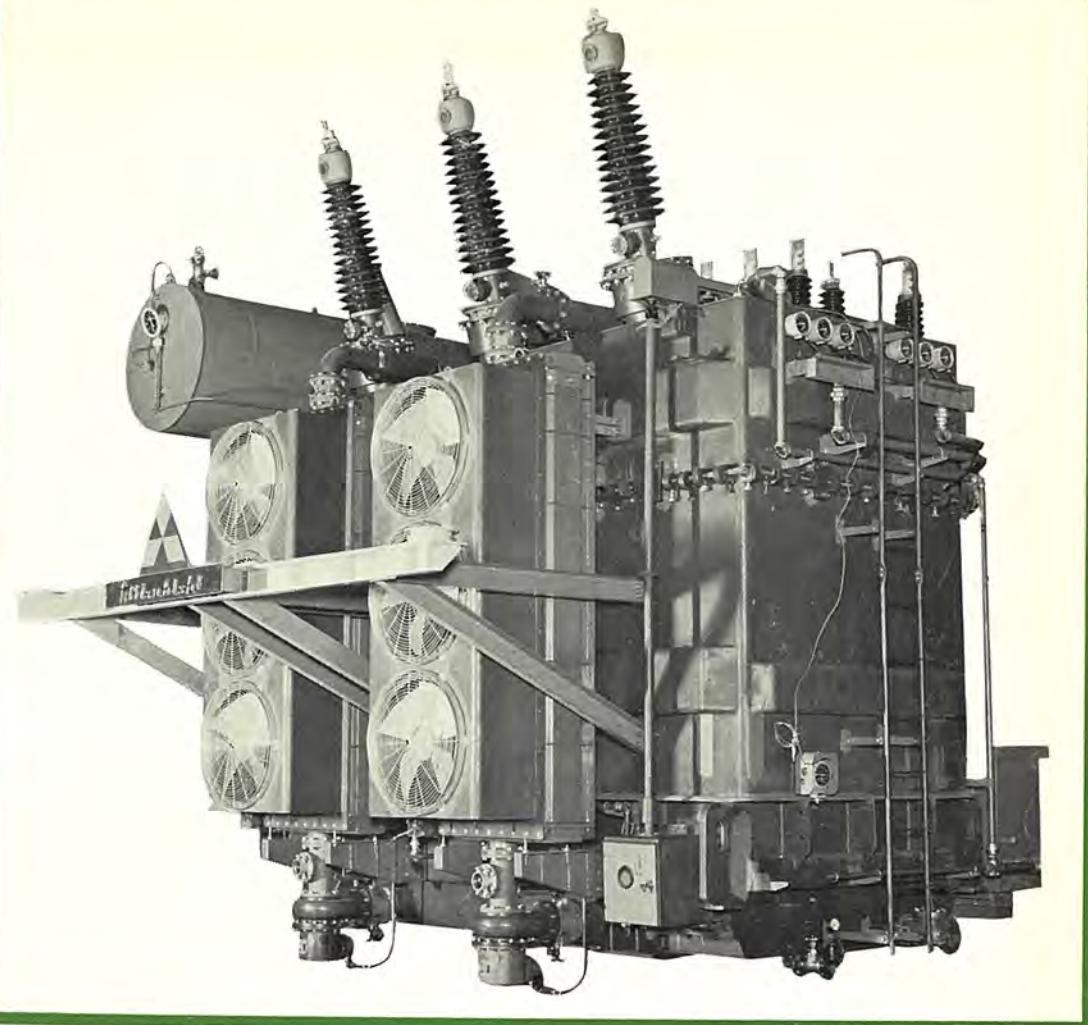
本誌掲載の論文は、抜き刷りを用意しておりますのでご入用の方は、「三菱電機技報社」編集部までご連絡下さい。

■フィリピン
アンガットP/S納め

122.2MVA

変圧機

完成!



フィリピン National Power Company の アンガット 水力発電所納め 122.2 MVA 変圧器 2 台、 22 MVA 変圧器 1 台は A.S.E.A 社を始めとする欧州メーカーならびに国内他社との競争をしりぞけて 1958 年 1 月当社に受注が決定し、その後鋭意製作中であったが、 40 年 1 月初旬立会試験を無事終了することができた。以下 122.2 MVA 主変圧器のおもな特長について述べる。

まず巻線配置であるが、発電機 2 台を 1 台の変圧器に接続して送電する方式であるために、低圧巻線は 2 組とし、さらに発電機 1 台事故時の低圧側の短絡電流の大きさを最小にするため低圧巻線間のインピーダンスが、高圧巻線間インピーダンスの 2 倍となるように仕様された。このためにそれぞれ 2 群の高、低圧巻線を設け、かつ各群間の電磁結合をなくするためにコイル群間に磁気シールドを設けた。

次に銅損低減のため最近開発を完了した新しい方式を高圧巻線に採用した。

すなわち高圧コイルの導体を 4 本に分割し、各コイル間の渡りでは、外側 2 本を次のコイルの内側 2 本と、また内側 2 本を次のコイルの外側 2 本と接続の全コイルにわたって同じ手順を繰り返していく新しい転位方式を採用した。このような転位方式の採用により導体間の循環電流による抵抗損失をきわめて小さく抑えるとともに、導体のウズ流損についてもそのウズ流損係数が 2 本導体のそれと同じくなるために、導体幅を $1/4$ に減じた以上の効果を発揮することになる。

低圧コイルについては 25 本の導体をいわゆる ローベル 転位と呼ばれる完全転位を行なうとともに、コイル面に平行な方向のみならず、コイル面に直角な方向にも冷却のための油を流通させた クロス・フロー・ローベル・コイル (C.F.R コイル) を採用した。この C.F.R コイルは上記のような完全転位と高い冷却能率のために電流密度は従来の標準コイルよりも高くとてあるにもかかわらず銅損が少なく、かつ 1 枚のコイルあたりの導体がきわめて多いため標準方式に比べて全体のコイル枚数が少なくなり絶縁寸法の縮少に役立っている。

上記のような新方式の採用によって、試験結果による銅損は保証値に対し約 90 kW 少なく、今後の輸出品に対する特性保証の面でも明るい見通しがついたものといえる。

■仕様 3φ, 60c/s. 送油風冷式 外鉄形 SUB

容 量 122,200 kVA

電 壓 126.5—123.63—120.75—117.88—115 kV 13.2—13.2 kV

絶縁階級 高圧側 550 kV 中性点直接接地 低圧側 110 kV

