

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 400 Mc/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おりますから、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ー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 バッテリー を共用できます。
- バッテリー 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よく、しかもわずかのスペースですみますから乗客にまったく不愉快な思いをさせることがありません。

(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	4 W
重 量	約 5 kg
寸 法	高さ 75×幅 250×奥行 210 mm
電 力 消 費	DC 13.8 V 送信 約 4 A 受信 約 0.4 A

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・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・リーダー、カード・パンチ、紙テープリーダー、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、FORTRAN、各種ユーティリティ・プログラムが完備している。

三菱電機技報

昭和 40 年 第 39 巻 第 3 号

(計算機特集)

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・大島 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

キャタピラ 三菱納め 60kV 屋外キューピクル ……矢野 広男・田和 穰… 64

テレメータ 追尾レーダ (GTR-5 形) ……櫻本 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) フラッシング ……岸田 光弘… 100

《新製品紹介》

KC 形過電流継電器を完成・AK 形切換スイッチを完成・低圧 トロリバスダクトを完成・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・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. フィリップアンガット 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、従来の単なる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性をもち、さらに経済性に裏付けされた高い処理能力、いかにいえば合理的な 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タッド・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、同時に弾力性に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にする。なお詳細については文献^{(1),(2),(3),(5)}を参照していただく。

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) スタッド・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 磁気テープ、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、スタッド・ロジック方式を採用した中央演算処理装置である。スタッド・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	スタッド・ロジック方式 マイクロ・スタック構造の磁気コア・メモリ 電流一致方式 3 マイクロ秒 24k ケタ 24k ケタを単位として 96k 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 MELCOM-1585 タイプライタ 印字速度 キャリッジ幅 文字ケン盤 機能ケン盤 MELCOM-1572 ディスク・ファイル 接続台数 容量 情報通路 1 チャンネルあたり 平均アクセス・タイム 1 チャンネルあたり 最高転送速度 円板 位置決め 公称記録密度 トラック数 セクタ長 ストローク (1 回の位置づ めで読み書きできる情報 量) 自動チェック 手動操作	活字ドラム方式, 132 字一斉印字 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・テープ指定 0~7 チャンネル 4 字/cm, 12 行/5cm 10~48cm 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 段シフト 6 キー 最大4台 228.3×10 ⁶ ビット (約 3,250 万ケタ) 独立2チャンネル 190 ミリ秒 697×10 ³ ビット/秒, ビット直列転送 直径約 80cm, 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 32k ケタ アドレス誤, 位置決め誤り, 読み誤り, 書き誤り, 動作誤り, 温度異常 すべてのシーケンスのステップ動作 MELCOM-1551 紙テープ・リーダー 接続台数 読取速度 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-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-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-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	機能 周辺装置および入出力情報転送の制御 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 および 出力...152 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-1572 磁気テープ・ユニット 接続台数 キャラクタ転送速度 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 防ジニ	最大8台 41.7kc または 15.0kc 22 キャラクタ/ミリメートル または 8 キャラクタ/ミリメートル 1.9 メートル/秒 デジション・アーム および 真空バッファ 7トラック, デュアル・ギャップ (IBMコンパチブル) 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・マーカはリ付け 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菌した空気を陽圧に保って いる		
MELCOM-1552 高速カード・リーダー 読取速度 読取方式 ホッパ容量 スタッカ容量 自動チェック 手動操作 読取モード	1,650 枚/分 光電式セン孔検出, 光電式同期 4,000 枚 4,000 枚 ピック失敗, 空ホッパ, 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 ホリス, コラム・バイナリ, ロウ・バイナリ, ミ クス・モード		
MELCOM-1564 高速カード・リーダー・パンチ セン孔速度 読取速度 ホッパ容量 スタッカ容量 サブ・スタッカ容量 セン孔方式 読取方式 セン孔検査 読取検査 手動操作	300 枚/分 300 枚/分 3,500 枚 3,000 枚 850 枚 および 750 枚 80 欄一斉式 読取ブランチによる 80 欄一斉式 90 欄のユニバック・カード読取りも可能 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		

(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 のスタッド・ロジック方式では,

(a) SIA その他の独特のアセンブラを開発してプログラミングを

容易にした。

(b) 独特のインタプリタ制御を行ない, 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し, 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ク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 語) 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 語収容する。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いる現在唯一のストア・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、リアル・タイム処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、周辺装置とプロセッサとの間の情報伝送の制御を行なう装置で、バッファ・メモリ、入力チャンネル、出力チャンネル、割込制御回路、それぞれの周辺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行なわれるよう制御される。

バッファ・メモリは 384 語の容量をもつコア・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・リーダー・パンチ、ライントランザ、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に制御されている。

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、パネル・スイッチで両者の切り換えができ、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ため、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、ビジー、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。記憶トラックは 7 本で、6 トラックをデータに、1 トラック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ので、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・パッカー・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、テープの中心部に歪みが寄ることがない。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、送り出しまたは巻き戻しを行なう。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アルミにより、テンション・アームが追従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とブレーキが行なう。

テープはこのあとフォート・センサ、消去ヘッド、テープ・クリーナ、書込ヘッド、読出ヘッドを通し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。

フォート・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コ (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すために、テープ・タブを使用する。テープ・タブ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じん(塵)した空気を陽圧に保つようになっているので、外部からのじんアイは入らない。

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グ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グがある。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・リングをと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ュ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リス、カラム・バイナリ、ロウ・バイナリ、およびホリスとカラム・バイナリが 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。

ホッパ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、ホッパ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、同期ス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。ホッパのカードは、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。ホッパ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、専用のラングが空ホッパ用フォト・ダイオードに反射して空ホッパを検出する。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さぎる。

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・ダイオードのおのおのが暗くなる時刻が異なるので、スキュー・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 ビ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.

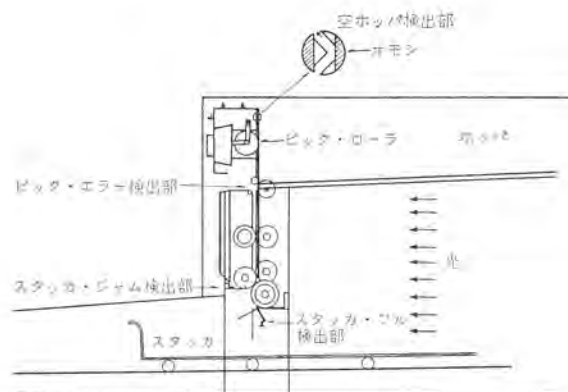


図 2.5 カード・リーダの機構
Fig. 2.5 Card reader mechanism.

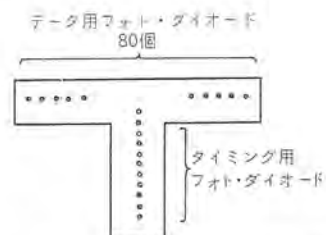


図 2.6 フォト・ダイオードの配列
Fig. 2.6 Photo diodes arrangement.

ードのモータが停止し、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・リーダ上のラングで表示され、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 timing 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・サムを検査

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っていて、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 欄一斉式で、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

1枚のカードからデータを読みとって、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、ユニパック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できるようになっている。したがってMELCOM-1552と同様、ホリス、ロウ・パイナリ、カラム・パイナリ、およびモックス・モードの読み取りができる。1列読み取るご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。ホップ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、空ホップやカード・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.

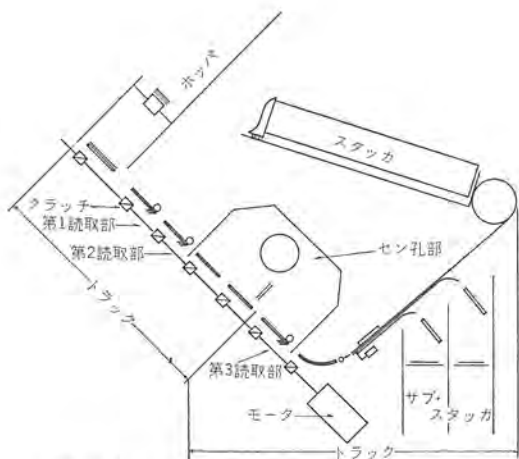


図 2.8 カード・リーダ・パンチの機構
Fig. 2.8 Card reader and punch mechanism.

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チャン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10cmから48cmの間のものならばどのような幅でもよいが、1cm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ビロも考慮に入れると、38cm以上の紙幅を必要とする。縦方向には5cm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・ライン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/apostrophyのキーをたたくと、計算機へインタラプト

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 パッファ・コントローラ内のパッファ・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。パッファ・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

オン・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が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ら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回の速さで回転する。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。



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本ず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スタ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、これはセン孔カード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ため、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れの場合に応じて、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・リーダー

MELCOM-1551 紙テープ・リーダーは、MELCOM-1530 システムに最高4台まで接続可能である。読取速度は毎秒最高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8インチのものいずれもが使用できる。

読取情報の検査は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・スペース符合は無視される。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/秒の速度で読ん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当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、それぞれに対応する各種の読取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・リーダーは、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ませるストリッパ・モードも手動スイッチの切り換えで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。独特のワイヤ・スプリング・クラッチを使用しているので完全な非同期動作を行なう。

紙テープ以外にマイラ・テープ、アルミハフ・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・リーダーと同様に、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・コントロールのバッファ・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・リーダー
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、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当な処置を行なうようになっている。

このほか、予備回線を一回線もち、非常時の切替使用が可能である。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

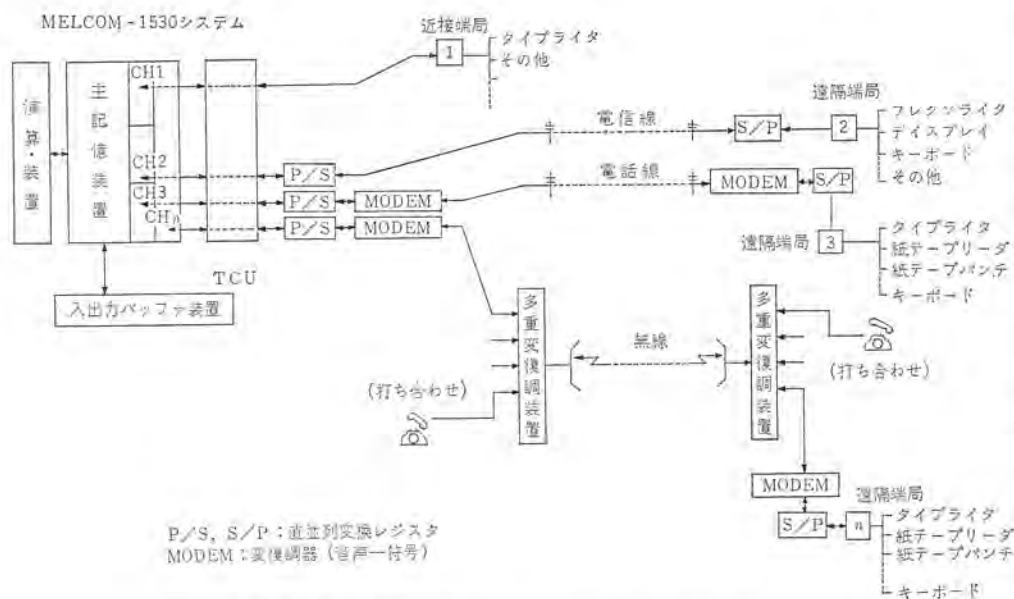


図 2.14 MELCOM-1530 リアルタイム・システム
Fig. 2.14 MELCOM-1530 real-time system.

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て、これを情報として取り扱うようにすることもできる。

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つてよい。

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にはアセンブラとして SIA, SIAS, コパイラとして FORTRAN, COBOL の 4 種がある。

アセンブラは記号命令、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

の 1 命令は通常機械命令の 1 命令に対応しているが、そうでないものもある。1 対 1 に対応しないものを一般にマクロ命令と呼んでいる。

アセンブラ・システムである SIA と SIAS によるプログラムの書き方は MELCOM-1530 特有のもので、他の計算機には通用しないものであるが、コンパイラを使ってプログラムを作る時の利点の一つは計算機が変わってもプログラムを変える必要がないことである。すなわち計算機とは関係なく作られた書き方(用語)でプログラムを書き上げるとそれぞれの計

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) 共通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っておいて、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・オーダーに相当する。

(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、MELCOM-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 ではテーラ・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ンングもシステム・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)およびアセンブラは MELCOM-1530 のア

プ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・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発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・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・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分けられるので、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

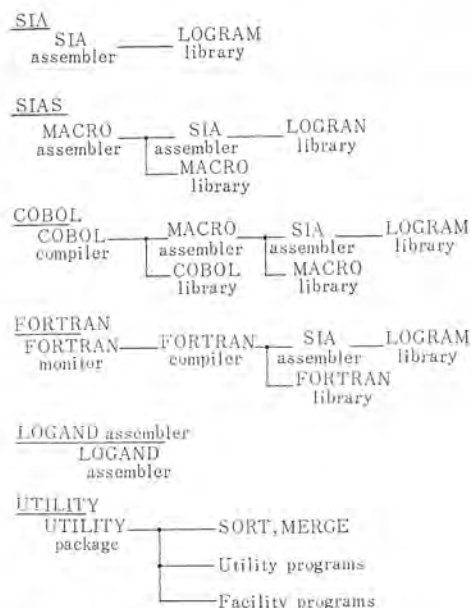


図 3.1 MELCOM-1530 ソフトウェア・システム
Fig. 3.1 MELCOM-1530 software system.

PROGRAM _____ MELCOM-1530 PAGE _____ OF _____
PROGRAMMER _____ SIA CODING FORM DATE _____

LOCATION	OPERATION	TYPE	VARIABLE MELD	SEQ.NO.
1	BEGIN	C/S	MELCOM 1530, SIA SAMPLE PROGRAM	
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	MPY 2	A/C	A*C	
	MPY	K1	A*A*C	
	STA	TEMP		
	MPY 2	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		
	SUB 2	TEMP/B	-B+SQRT(B**2-4*A*C)	
	DIV	K2		
	STA	X1	STORE X1	
	ADD 2	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

RDTN t / AREA / n / ERROR / EOF

は磁気テープの読取命令であり、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なくストア・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、結果がアキュムレータに入る。

(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・リーダー、カード・パンチ、ラインプリンタを使用する。カード・リーダーはソース・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リ・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

アセンブリ・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回のパスで行なわれる。

MELCOM-1530 はストア・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くて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 アセンブラは普通のアセンブラ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・プログラムもプ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・プログラムとプ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て

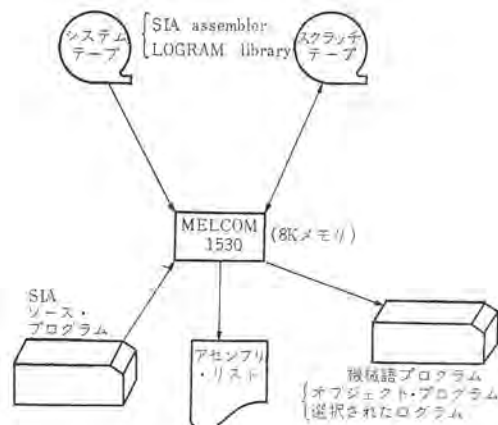


図 3.3 SIA によるアセンブル
Fig. 3.3 SIA assembling.

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 SIA 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. フロッピング
- 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が望ましい。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4Set 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。

SIA 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・リーダー、カード・パンチ、ラインリッタが使用される。すなわち、SIA システムに比べ、スラッチ用のテープ・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、アメリカ計算機メカ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。

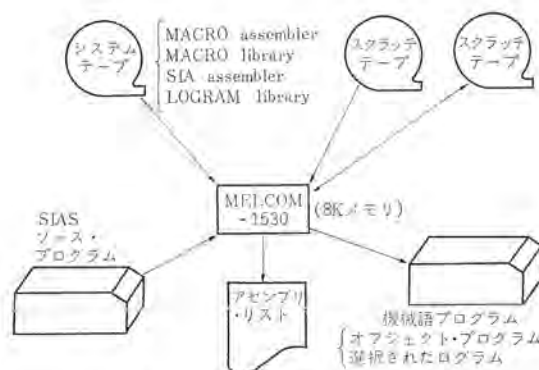


図 3.4 SIA によるアセンブル
Fig. 3.4 SIA assembling.

(3) プログラムの作成が容易であり、未経験なプログラマー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 CORRESPONDING

とすることにより、ALPHA 中の X, Y, Z の値がそれぞれ BETA 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っては入出力の手続の部分は非常にやさしいものであるが、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 のことを命令と呼ぶ動詞 (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に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たとえば次のような利点がある。

(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 により構成されているので、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 Stored Logic であるため、Word Machine でありながらデータを 1 ユニット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

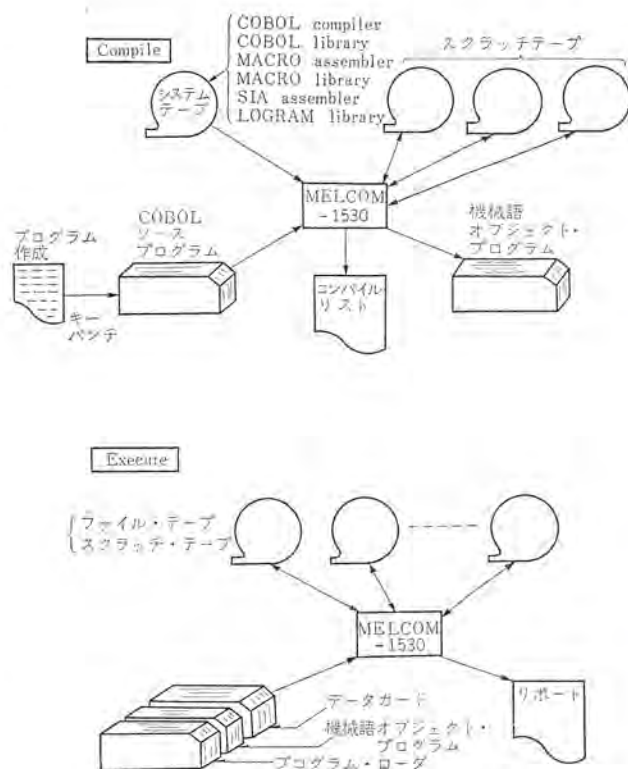


図 3.5 COBOL システムにおける機械構成
Fig. 3.5 Devices required for COBOL system.

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ため 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、ごく一部割愛しているが、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 1 部として、すなわち COBOL, SIAS, 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

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 (イージーオーダーの共通プログラム)
- (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利用することができるのでイー・ジョーダのプログラムともいえる。このプログラムの代表的

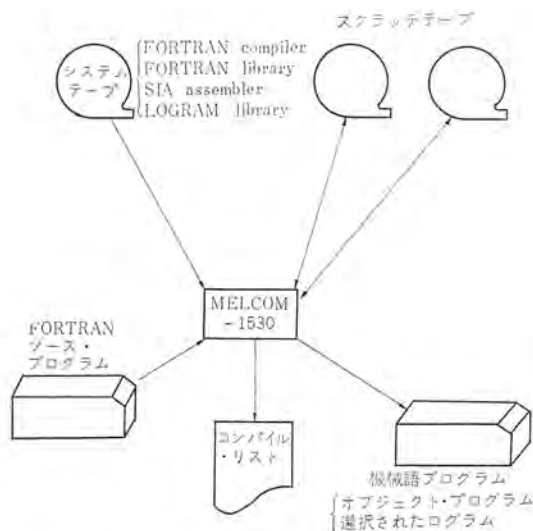


図 3.6 FORTRAN システム による コンパイル
Fig. 3.6 FORTRAN compiling.

[illegible]

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 に (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 本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ったものである。

a. FORTRAN で書いたプログラム。

MELCOM-1530 データ・プロセッシング・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

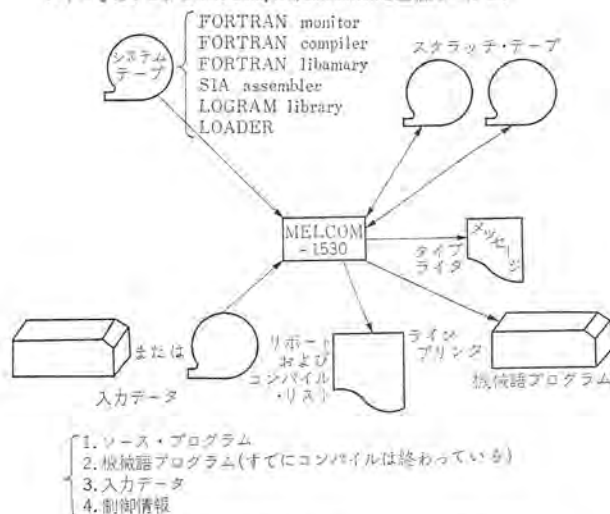


図 3.8 FORTRAN モニタ・システムの機械構成
Fig. 3.8 Devices required for FORTRAN MONITOR system.

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な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

パッチ・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っ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に人が介入する。(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働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 スタッド・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) はパ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・リーダー・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 ポー回線を入出力各 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お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イッチを行なっている。このスイッチ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いまって、ランダム入力を取り扱

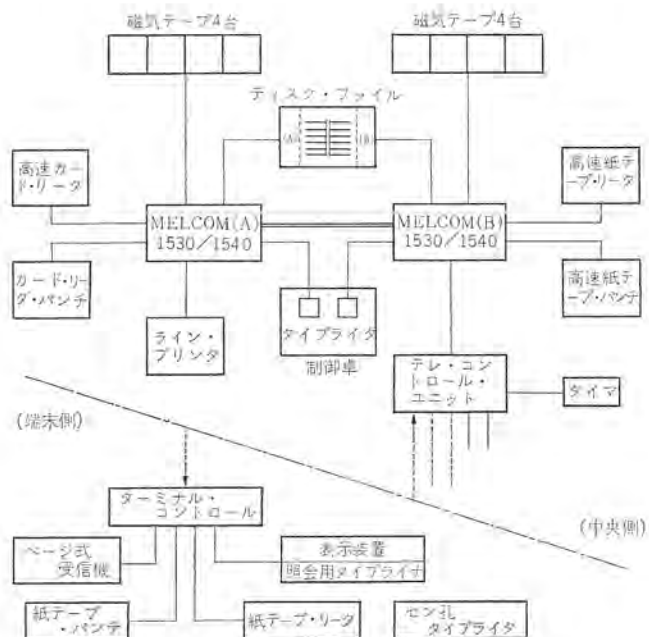


図 4.1 MELCOM-1530 を中心とする IDPS の構成例
Fig. 4.1 An example for IDPS constructed by MELCOM-1530.

う インクタイアリ 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は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: チェック・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、おのお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为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。なお打鍵しな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至るまで、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) 継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⁾

- 計上伝票(控)——モータのため起票場所での控とする
(例) 売上伝票控
- 計上伝票 A ——処理部門への手配用
(例) 出荷手配伝票
- 計上伝票 B ——発生時点に取引先へ渡すもの
(例) 納品書
- 明細伝票 ——一括処理時点に取引先へ渡すもの
(例) 請求明細書
- 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枚に極限し複写作成する例である。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。

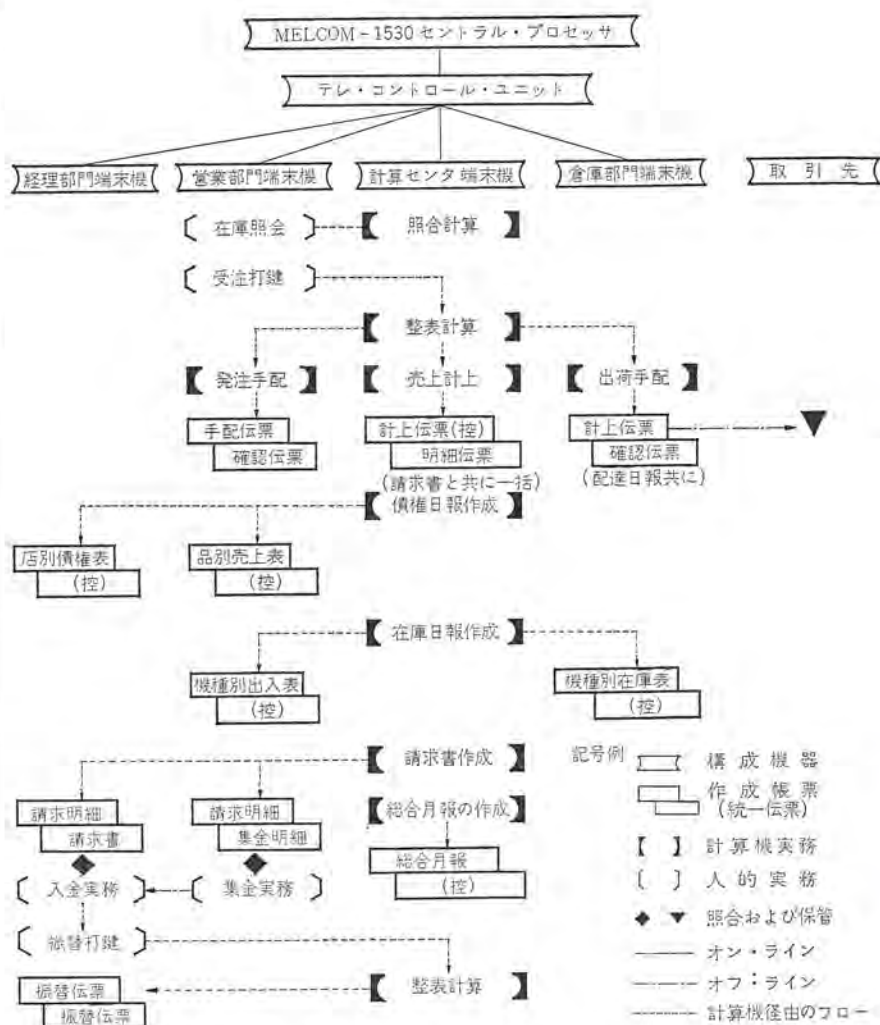


図 4.2 販売業務に應用された IDPS のシステム・フロー・チャート
Fig. 4.2 System flow chart of IDPS applied to sales management.

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。請求書は経理経由で発送することにしたが、より抜本的な他の方法もある。個々の呼となって発生する起票、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、原始情報発生集中度、発生時間隔、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 システムはスタッド・ロジックを設計理念としたはん用中形の電子計機システムであり、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っている。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にしたい。

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——そのスタッド・ロジック設計, 「三菱電機技報」38, No. 8 (昭 39).
- (2) 嶋村, 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) 嶋村, 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継電装置」	北 浦 孝一	神 戸
39-4-20~21	新潟商工会議所福祉会館	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 「保護継電器」	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	ロジックトレーニング講習会	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	大船工業倶楽部	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 伊 丹工場
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_2the 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ゝあり、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、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、専門のプログラマでさえ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った。

筆者らは、基本言語を機械を離れた立場で見直し、純粋に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から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ほとんど、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言語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。

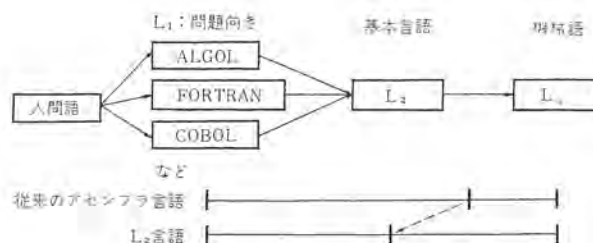


図2.1 基本言語のレベルアップ
Fig. 2.1 Leveling up of the basic language.

- (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ということである。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、機械で実際に行なわ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などの文章があげられよう。文章構造の上からいうと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るものである。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うこと、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ない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

言語は異なった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、そうして作られた文章を理解するときに用いる分解の機能とである。前者はプログ

ラ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。後者はコンパイラ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無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の把握が望まれる。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。従来のアセンブラ言語やそ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 (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 を考えることは不可能であることから必要になってくる。

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である
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

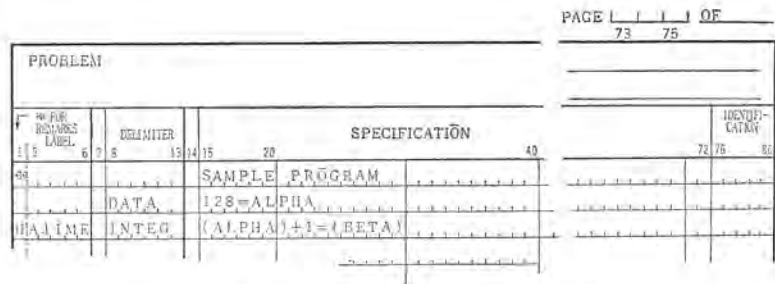


図 3.1 基本言語 L_2 の命令形式
Fig. 3.1 Command structure of the basic language L_2 .

表 3.1 情報単位

情報単位	情報のタイプ	備 考
ワ ー ド	Integer	整 数
	Real	浮 動 小 数 点 数
	Logical	論 理 語
キ ャ ラ ク タ	Character	
ビ ッ ト	Bit	

して表示することも必要になる。基本言語 L_2 では、単一のワード、キャラクタおよびビットを表示することはできるが、データの集合をアレイの形で演算の対象にはしない。(表3.1)

3.3 オペランド指定法

オペランドにはFORTRANにあるような情報のタイプを付加しないでワード単位の情報は同じワードオペランドの記法を用いて書かれる。キャラクタやビットオペランドの指定法はワードの要素を指名する形で行なう。たとえば、キャラクタ番地の場合は、A番地の第5キャラクタ目という表わし方をする。

(1) ワードオペランド

a. リテラル

10 進定数 128 32.46 など

8 進定数 \$5012345 (8 進数 12345)

アルファベットリテラル

\$6AUVWXYZ (UVWXYZ)

番地定数 ALPHA A(5) など

このうち番地定数というのは、プログラムが書いた記号番地に対して、コンパイラが定義した絶対番地を整数定数として用いるものである。

b. 直接番地

10 進整数あるいは番地定数を1組のカッコで包んだもので添字付け(形式には制限がある)が可能である。

〈例〉(A12) 記号番地 12A の内容をオペランドとする。

(ALPHA ((A12)-5)) ALGOL の ALPHA [A12-5]

c. 間接番地

直接番地をさらにもう1組のカッコで包んで表わす。

〈例〉((A12)) ((ALPHA(5)))

(2) キャラクタオペランド

ワードオペランドを W で代表させると W_1 ワードの第 W_2 キャラクタを

$W_1 @ W_2$

の形で表わす。ワード W の指定方法にはとくに制限はなく意味のある組み合わせならば許される。(ビットオペランドも同じ)

〈例〉\$3XYZ@2 キャラクタ Z を指す。

(ALPHA(5))@(K) (ALPHA(5)) の K の内容番目のキャラクタ。

表 3.2 基本言語 L₂ の命令および指令

	DELIMITER	機 能	SPECIFICATION 部	備 考
命	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 $P_1 \bar{O} P_2 = R$	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		
令	GOTOM	復帰点をストアして無条件飛越	直接あるいは間接番地 先頭に記号 S をおいたサブルーチン名	実効変数 → TSC
	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	直接あるいは間接番地 形式変数群 (ないときは空白)	呼出しプログラム TSC が使われる
	RETURN	呼出しプログラムへの復帰命令	空 白	
	HALT	計算の一時停止	停止後の再開始点のラベル	
	SEARCH	表の検索命令	該当者があったときの飛越先のラベル	
指	DATA	定数のワードを作り記号番地を定義する	定数あるいは定数=番地定数 (添字なし) の形	コマで区切りいくつでも SPECIFICATION 部に書ける
	REGION	メモリの領域を予約する (定数は入れない)	番地定数の前後にカッコでくくった予約ワード数をつけたもの	
	COMMON	共通メモリの領域を予約する (定数は入れない)		
	MACRO	マクロ命令の定義	交代変数名	
	ENDMAC	マクロ定義の終端指令	空白またはマクロ命令の名前	
	EQU	番地定数の呼びかけ	定義済の番地定数=未定義の番地定数	
	HEAD	記号番地に追加する先頭文字を定義する	先頭文字	
令	REPEAT	命令シーケンスを与えられた回数だけ繰り返し置く	L ₂ 命令の個数および繰り返し回数	コマで区切りいくつでも
	TSC	TSC の用法を宣言	STATIC あるいは DYNAMIC	
	ENTDEF	サブルーチンの入口を宣言する	サブルーチンの入口名	
	REDUCE	TSC の要素を増減	要素数 (10 進整数)	
	END	翻訳終了の指令	実行時に出発点となるラベル	

(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。

$$W_1 \$ W_2$$

〈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 命令と指令

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 L₂ 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 L₂ 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、これ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。

たとえば数式 (3.1) は計算の過程で一時記憶ワード 1 個必要とする。

$$(A+B) \times (C+D) \dots\dots\dots (3.1)$$

基本言語 L₂ 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

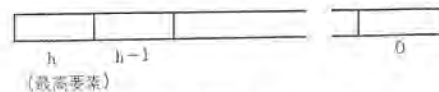


図 3.2 TSC の構成

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 L₂ 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、制御命令でサブプログラムのリンケ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とがある。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 算術、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ラを指定し (表 3.2), SPECIFICATION 部にはバイナ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 \bar{O} とすると、

$$P_1 \bar{O} P_2$$

の形で、3.4.1 項で例示したように P₁ と P₂ 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 のべき乗) $//$ (2 のべき乗)	$<$ ('LT') \leq ('LE') $=$ ('EQ') \geq ('GE') $>$ ('GT') \neq ('NE')
REAL	$+$ (加算) $-$ (減算) $*$ (乗算) $/$ (除算)	(入出力装置に上の記号がないときはカッコ内の) 4 キヤラクタで代用する
LOGIC	$+$ (OR) $-$ (NOT) $*$ (AND) $**$ (左シフト) $//$ (右シフト)	
CHARAC	$+$ (記号合成)	$=$ ('EQ')
BIT	$+$ (OR) $-$ (NOT) $*$ (AND)	('EQ')

\bar{O} を施せという意味である。P₁, \bar{O} あるいは P₂ 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。パ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。

P₁, P₂ 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にする。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 L₂ 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 L₂ 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 の指示にのっとり、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 L₂ では次の機能を持った検索命令がある。"A" を始点として、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。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ほうへ領域を予約する。

〈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。

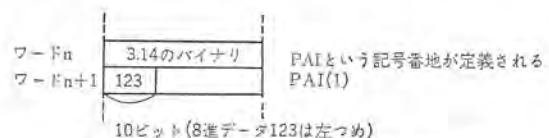


図 3.3 DATA 指令による定数定義の例

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

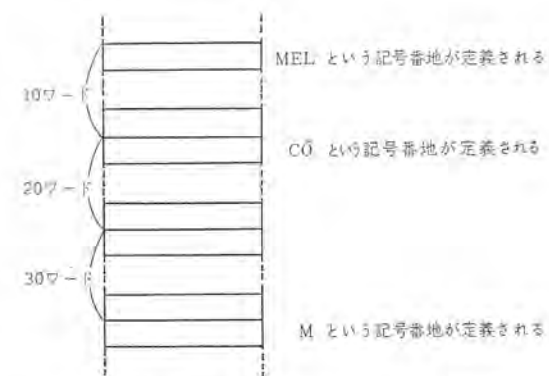


図 3.4 REGION 指令によるメモリ予約の例

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、プログラマ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マが 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。(プログラママクロ)

(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 は従来のアセンブラ言語に比べて、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長

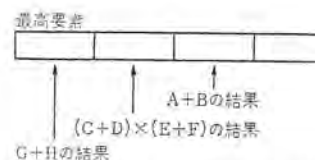


図 4.1 サブルーチン 呼出しにおける TSC (例)
Fig. 4.1 Use of TSC in subroutine call (example).

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	SSOMEF

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)×(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 の三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ようと、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 (あるいはサブプログラム) とサブプログラム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ので、それまでの履歴をこわすこと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生成を簡単にする。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

従来の機械語のテスト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。L₂ の コパイラ 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救っている。

(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 L₂ の 語いがない機械語命令(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 L₂ 命令の翻訳は従来の アセンブラ 言語に比較してやっかいなことではない。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 L₂ の コパイラ の作成にあたってわれわれは、短期日完成を目ざし多くの計算機のための L₂ コパイラ 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 コパイラ を作成し、そのあと完全な コパイラ 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 L₂ コパイラ C_A が完成すると、他の計算機のための コパイラ は C_A をもとにして作られる。そのために計算機 A は他のものより規模が大きいが望ましいので、L₂ コパイラ 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 コパイラ の作成手順は次のようである。

(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 コパイラ の基本部分が完成する。

このあとこの コパイラ に (2) の L₂ コパイラ をソースプログラムと

REMARKS LABEL	DELIMITER	SPECIFICATION	COMMENTS
MATRIX	MULTIPLICATION PROGRAM	(A PART OF MAIN PROGRAM)	
GIVEN	DATA	ARE K, L, M, N OF (K, L) * (M, N)	
	DATA	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), (1) * (L) = (IL)	
JSET	INTEG	(ZERO) = (J), (SUM)	
KEISAN	INTEG	(IL) + (J) = (IA), (J) * (N), + (KL) = (IB)	
	INTEG	(A((IA))) * (B((IB))), + (SUM) = (SUM), (J) + (ONE) = (J), 'EQ' (L)	
	IFFALS	(KEISAN)	
	INTEG	(1) * (N), + (KL) = (IC), (SUM) = (C((IC))), (KL) + (ONE) = (KL), 'EQ' (N)	
	IFFALS	(JSET)	
	INTEG	(1) + (ONE) = (1), '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 コパイラ を比較し一致することを確かめる。(基本 コパイラ の必要条件)

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

L ₂ 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 (コパイラ で作るものは除く)	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
L ₂ コーデング	7 日
FAP コーデング	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。

L ₂ による語数	50
FORTRAN による語数	49

(5) 完全な L₂ コパイラ にするために基本 コパイラ 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けておいたが、L₂ コパイラ の作成によってこのうちの コパイラ 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、おのお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ので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 をもつので、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随されるべきもので、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言語のように機械向きに定めるべきものでなく、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摘し、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 の自動作成を目ざしており、この方面の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・Shūichi 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 adaptability 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つ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、とくに軍需的要求に加速度を加えられて、かなりの実績を示しており、今日では各種プラントの経営のガバ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ウツ体(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(Modular 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)とプラ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。

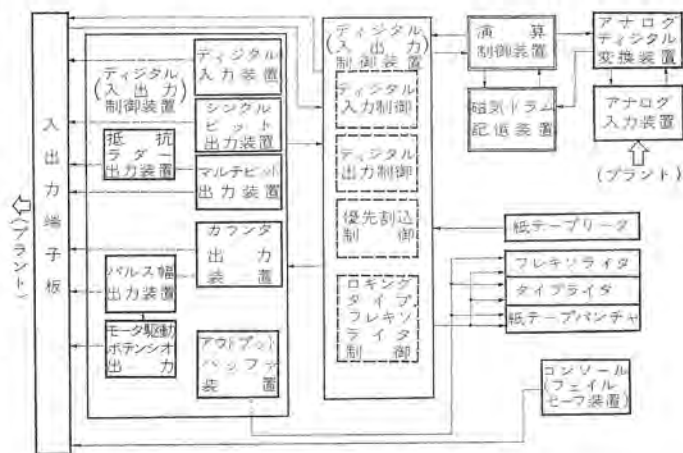


図 2.1 MTRW-330 系 統 図

Fig. 2.1 Block diagram of MTRW-330.



実機部分のウツ体を基本として入出力はプラントの要求する仕様に合わせ変化する。

図 2.2 330 モジュール 配 置

Fig. 2.2 Module installation of Module-330.

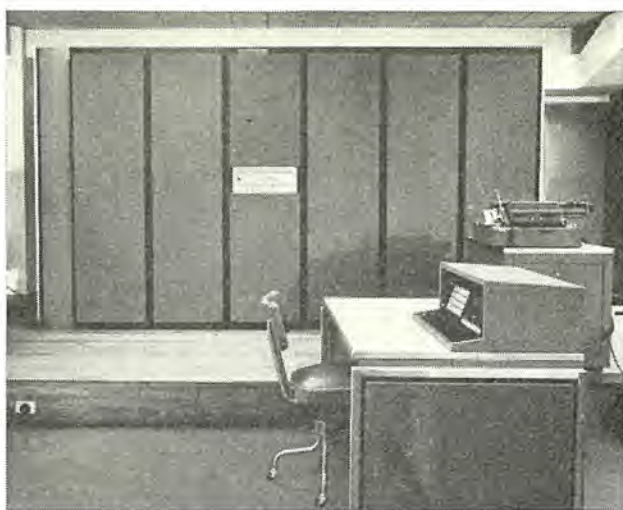


図 2.3 MTRW-330 計算機
Fig. 2.3 MTRW-330 Control computer.

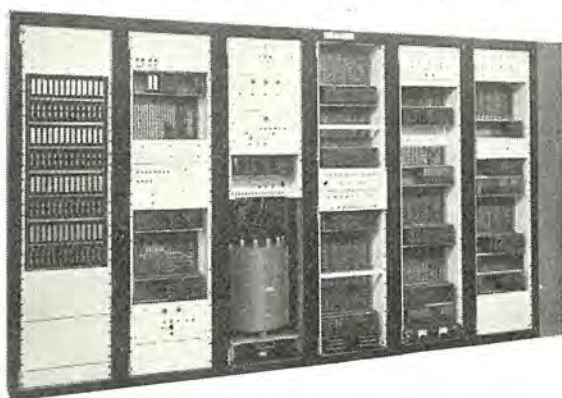


図 2.4 MTRW-330 計算機
Fig. 2.4 MTRW-330 Control computer.

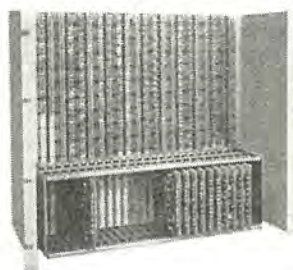
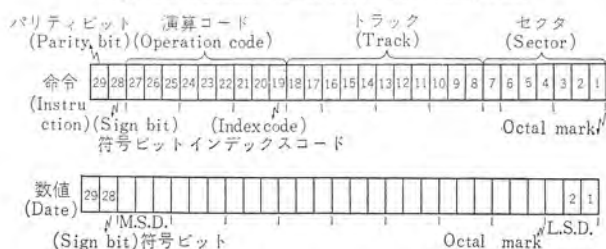


図 2.5 MTRW-330 モジュール
Fig. 2.5 Module of MTRW-330 computer.



3. 仕様

3.1 演算制御装置

全半導体, スタティック回路 (一部 ダイナミック)

ストアードプログラム

直列演算, 固定小数点 2 進

クロック周波数, 約 245 kc

命令数, 約 90

語構成, 28 ビット (符号を含む) + パリティ

(命令語および詳細は図 3.1 を参照)

インデックスレジスタ, 1 個

優先割込, 28 レベル (92 レベルまで増設可能)

3.2 磁気ドラム記憶装置

回転数 3,600 rpm

1 トラック, 4,096 ビット

容量

小形 16,000~48,000 語

大形 16,000~132,000 語

ただし, これらの中には次のものを含む

$\frac{1}{4}$ アクセス, トラック 4 本

A-D 変換用 トラック 2 本

カウンタトラック 1 本

パリティ (Parity)

すべてドラム上に書き込み, または読み出しをするデータ命令は, すべて奇数パリティのチェックを受ける。

ガード, トラック

数トラックをまとめて手動, またはプログラムにより書き込み回路を切り, 外乱を防ぐことができる。

3.3 アナログ・デジタル変換装置

逐次比較方式

入力信号 10 mV~10.23 V

変換値 2 進 10 ケタ

変換速度 標準 60 点 1 秒 (プログラムによって変化)

入力点数 最高 1024 点

(順序, 点数はプログラムによる)

3.4 アナログ入力装置

水銀リレー切換

入力の種類

低レベル (熱電対) 最高 8 種

高レベル (Resistance Temperature Detection その他)

構成, 1 モジュール 52 点

3.5 デジタル入出力制御装置

(1) デジタル入力制御

ON-OFF 入力 224 点の制御回路および 112 点 \times 4 モジュールの追加装置の制御回路。

(2) デジタル出力制御

水銀リレーによる ON-OFF 信号 276 点の制御回路および 252 点の追加モジュールの制御回路。

(3) タイプライタ 最高 4 台までおよびフレキシライタ 1 台の入出力制御回路。

(4) 優先割込 28 レベルの制御回路および 92 レベルまで増設の場合の入口。

3.6 デジタル入出力装置

(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 ビットディジタル 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 ビットディジタル 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 500~10 k Ω 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・テラ・リーダ 1 台
- (b) 高速紙 テラ・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

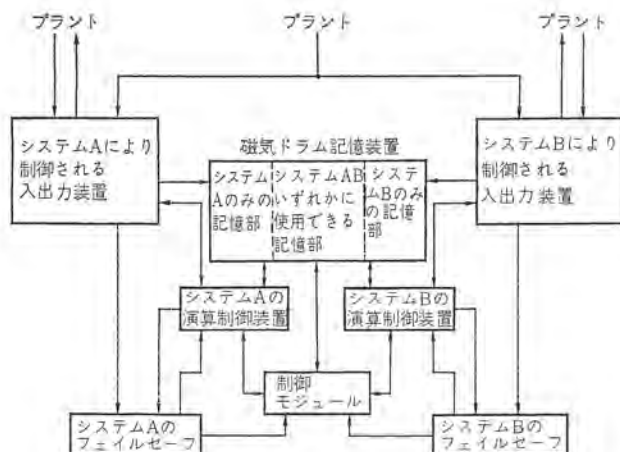


図 4.1 MTRW-330 複合システムの概略図
Fig. 4.1 Diagram of the compounded MTRW-330.

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とがあり, 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とがある。

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にあるが, 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(おもにコンソールに収容する)。

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_2 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かず, また, プログラムおよび手動で I_3 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

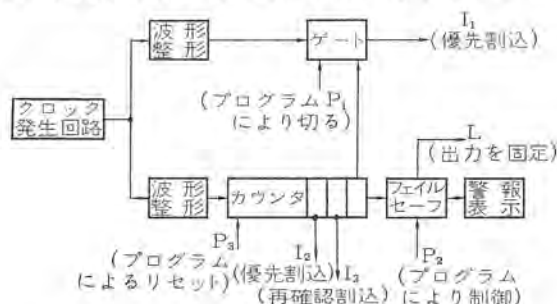


図 4.2 330 フェイルセーフシステム
Fig. 4.2 Fail-Safe System of MTRW 330.

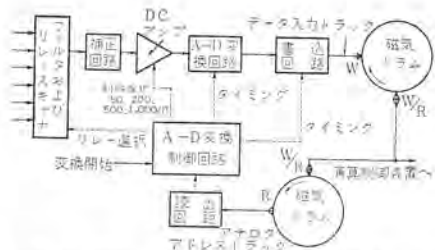


図 4.3 MTRW-330 A-D 変換装置 ブロック線図
Fig. 4.3 Block diagram of MTRW-330 computer.

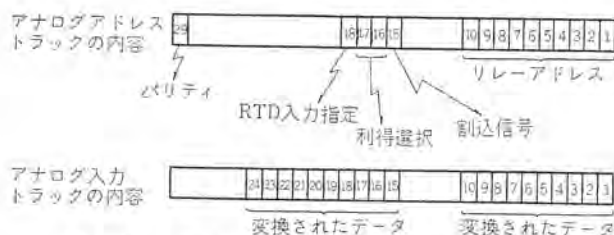


図 4.4 A-D 変換装置に使用されるトラックの内容
Fig. 4.4 Memory track used for A-D converter.

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っ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、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 Temperature Detection) などのような高レベル信号か、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 ケタの最大ケ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 ケ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 箇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。

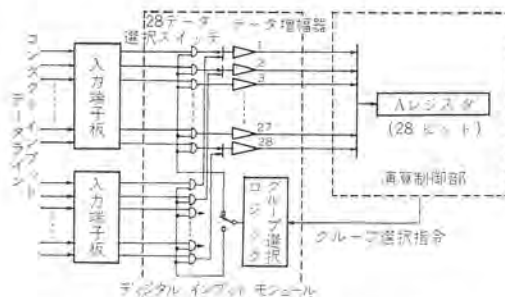


図 4.5 コンタクトインプット制御機構
Fig. 4.5 Contact input control system.

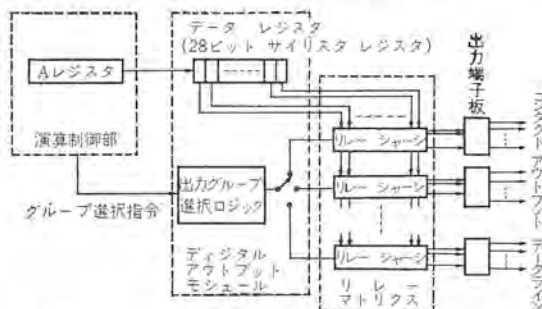


図 4.6 コンタクトアウトプット制御機構
Fig. 4.6 Contact output control system.

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、スキャン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、テーブリーダ・パンチなどの入出力機器のほか、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タがあり、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・ビット・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（マルチビット・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おり、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・カウンタ(パルス・カウンタ)

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) 経過時間・インタラプト・カウンタ

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17ms~78時間の時間設定可能。

(3) パルス・デレーション・アウトプット・カウンタ

一定時間を設定し、パルス・デレーションおよびMDPアナログアウトプットを制御する。

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119ms後に別のルーチンの計算を実行させたい場合は、カウンタに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、プログラムのビ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ル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、インタラプト・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・デレーション・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・デレーション・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・デレシ

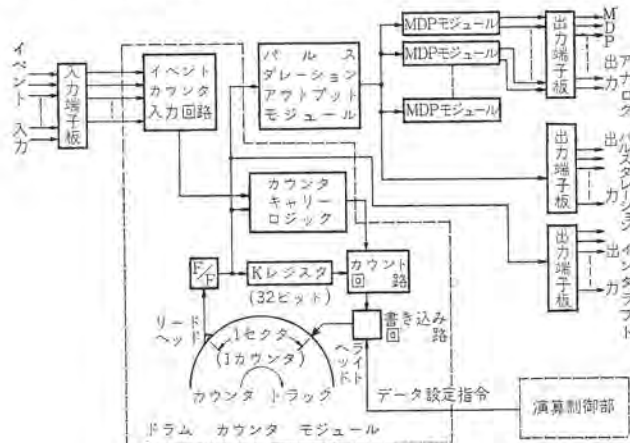


図 4.7 ドラムカウンタ制御機構
Fig. 4.7 Drum counter control system.

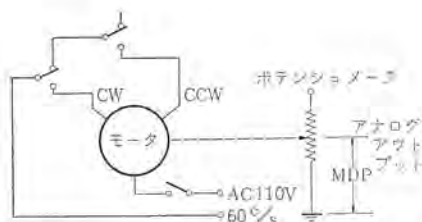


図 4.8 MDP アナログアウトプット駆動機構
Fig. 4.8 Drive mechanism of motor driven potentiometer analog output.

ョ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さ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オメータの軸にカプラさせる機構となっている。基本ハードウェアとしては、128個のカウンタ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っている。

4.5 プライオリティ・インタラプト機構

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プト機構の機能であり、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のインタラプト) 連続的なインタラプト信号

(タイプ2のインタラプト) 150μs以上のパルス信号

と、2種類のインタ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。インタラプト入力ラインは、デジタル・タイムと同期をとって自動的に走査されるが、タイプ2のインタラプトの場合、信号は瞬間的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(マスタレジスタ)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ラプトラインの信号はマスクされて、けっしてインタラプトされない。たとえば、あるラインにインタラプトがあった場合、それより低い順位のインタ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、下位のインタラプトはインヒビットされ、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、実際にインタラプトが検知されると、割り込みラインレジスタでインタラプトのあったライン番号が記憶され、同時にロック・フリップ・フロップをセットし、インタラプト検知を計算機に伝達する。1語の命令実行後、インタラプ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TK65にストア

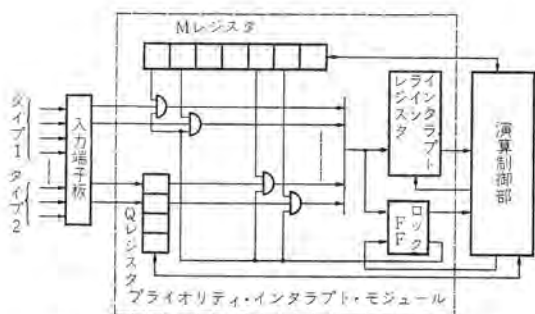


図 4.9 プライオリティインタラプト制御機構
Fig. 4.9 Priority interrupt control system.

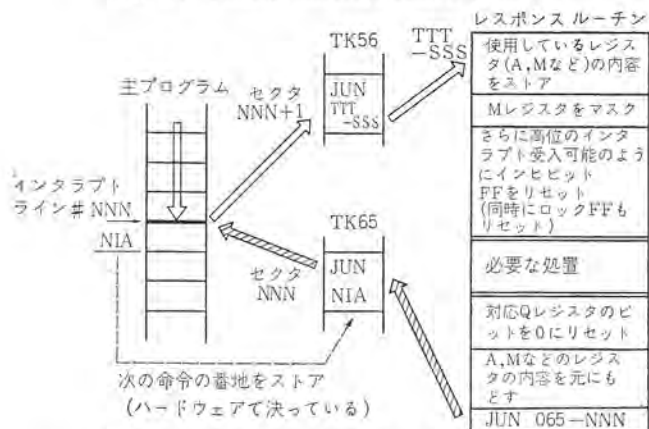


図 4.10 プログラムシーケンスの概要
Fig. 4.10 General sequence of interrupting program.

する。（TK 65 はインタラプトのリターンアドレスをスタア）

（3）インタラプト・レスポンス・アドレスを TK 56 上でサーチして、イコリティが成立したときインタラプト・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タアする。

（5）M レジスタをマスクする。

（6）さらに高位のインタラプトだけは受け入れられるように、インビビット PF 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、スムーズにインタラプ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、ロギングタイプ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ねばならない。これは一般のスタア命令、

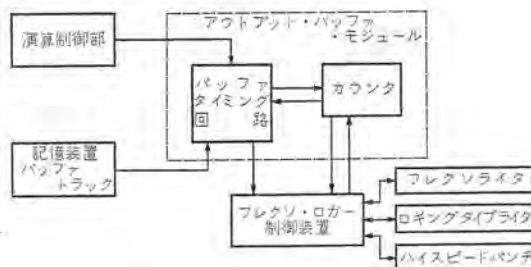


図 4.11 出力バッファ制御機構
Fig. 4.11 Output buffer control system.

または、ブロック・トランスファ命令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 文字のフォーマットに分割され、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テング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知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。同時にスターテング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、1 から 4 または 6 まで数えるカウンタが設けられている。

（3）カウンタ 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タが一つ進み 2 番目のコードを送り出す。

（5）カウンタ 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して、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

- （1）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）
- （2）Control Engineering, "Digital Computer Control List Lenchens, 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、この方面の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、余裕を十分とっ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、バ

ルデ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置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

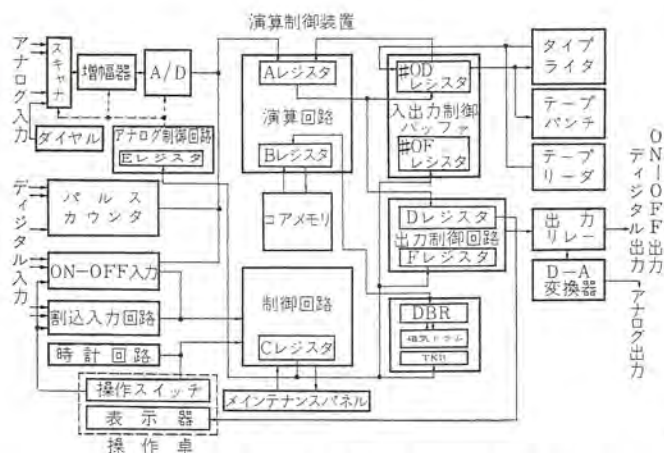


図 3.1 MELDAP-6000 システムブロック線図
Fig. 3.1 System block diagram of MELDAP-6000.



図 3.2 MELDAP-6000 プロセス用計算機システム
Fig. 3.2 Process computer MELDAP-6000.

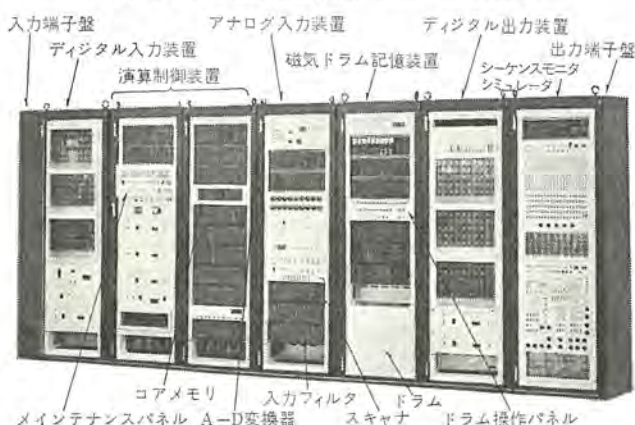


図 3.3 MELDAP-6000 内部実装
Fig. 3.3 MELDAP-6000 (Front door removed).

演算回路, 制御回路, メンテナンスパネルコアメモリ (1 k, 2 k, 4 k 語のいずれか)

入出力バッファ, 割込回路などを含む

入出力用 タイプライタ 1 台

紙 テープリーダー 1 台

紙 テープパンチ 1 台

(2) 付加装置

アナログ入力ユニット 1 式

フィルタ, スキャナ, 増幅器, A-D 変換器, 制御回路, 入力端子盤などを含む

パルス入力ユニット 1 式

入力リレー, パルスカウンタなどを含む

デジタル入力ユニット 1 式

入力リレー, 選択回路などを含む

デジタル出力ユニット 1 式

出力レジスタ, 制御回路, 出力リレーなどを含む
アナログ出力ユニット 1 式
D-A 変換器
ロギングタイプライタ (最高3台まで) 1 式
アラームプリンタ 1 式
デジタル時計装置 1 式
磁気ドラム記憶装置 1 式
オペレータコンソール 1 式

4. 仕様

MELDAP-6000/6000H のおもな仕様を列挙すれば次のとおりである。

4.1 演算制御装置

- (1) 基本回路 トランジスタ・スタティック回路
- (2) 語長 数値語は符号+10進6ケタ
命令語は操作部2ケタ, 番地部4ケタ
- (3) 命令 1番地方式で命令の種類は基本33種
- (4) 演算速度 下記時間は命令を読み出して解読し, 実行完了するまでの時間を示す。

	MELDAP-6000	MELDAP-6000H
加減算	6.5 ms	130 μ s
乗算	平均 141.5 ms	2.83 ms
除算	平均 247.0 ms	4.94 ms

(5) レジスタ類

演算用レジスタ AR, BR, MR

制御用レジスタ CR, ER, FR, IC

その他 TR, DR, LR, SR, DBR, TKR

4.2 コアメモリ

- (1) 語長 符号+2進10進6ケタ+パリティ
計26ビット
- (2) 方式 電流一致方式
50 ミルコア, マイクロスタック方式
- (3) サイクルタイム
MELDAP-6000 では 500 μ s
MELDAP-6000H では 10 μ s

(4) パリティ 奇数パリティ

(5) 容量 1k, 2k, 4k 語

4.3 磁気ドラムメモリ (外部記憶装置として付加)

- (1) 容量 6k, 10k 語
- (2) パリティ コアの場合に同じ
- (3) 平均アクセスタイム 10 ms (50 c/s) 8.3 ms (60 c/s)
- (4) 転送時間 コアとドラム間のデータ転送は1ブロック(100語)を単位として行なわれ
MELDAP-6000 ではドラム3回転,
MELDAP-6000H ではドラム1回転で, 1ブロックが転送される。
- (5) 記憶保護 プログラムが雑音とか, 誤まった書き込みによって乱されないよう, 不要の際には書き込みを禁止することができる。

4.4 割り込み

- (1) 最高20種 (20レベル) までの割り込みを受けることができる。
- (2) 割り込みの優先順位はプログラムにより決定

(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 ユニツトは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ケタ

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ケタ以下)

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 デジタル出力

(1) 出力の種類

タイプライタ 最高 4 台

テーラパンチ 1 台

デジタル表示器 2 組

接点出力 { シングルビット出力 400 点
マルチビット出力 24 ビット \times 24

(2) デジタル表示

数値5ケタと単位1ケタを表示

(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ケタのデータを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) 紙テーラパンチ

低速形 10 字/秒 8 単位

高速形 110 字/秒 8 単位

(2) 紙テーラリーダー

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 インチキャレージ 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 圧 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) 温 度 20 $^{\circ}$ C \pm 5 $^{\circ}$ C

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ケタで表現される。各ケタは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ケタで, 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

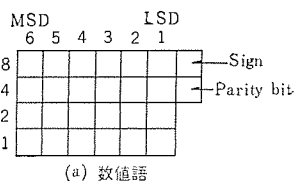
命令語も数値と同様10進6ケタの数字で表現される。図5.1(b)に示すように上位の2ケタをオペレーションコードに用い, 下位4ケタは通常操作の対象となる番地を表わす。

5.2 命令体系

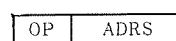
MELDAP-6000 の命令は次の8種に大別される。

(1) 演算命令

(2) 転送命令



(a) 数値語



OP : operation code (2digits)

ADRS : address (4digits)

(b) 命令語

図 5.1 語 の 構 成
Fig. 5.1 Word structure.

表 5.1 MELDAP-6000 命令令

分類	略号	コード	説 明
演 算	CAD	11	AレジスタをクリアしてC(n)を加算
	ADD	12	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	13	AレジスタをクリアしてC(n)を減算
	SUB	14	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	30	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	35	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	15	C(n)をAレジスタに置数
	LMR	16	C(n)をMレジスタに置数
	LLR	17	C(n)をLレジスタに置数
	TMA	18	Mレジスタの内容をAレジスタに転送
	STA	21	Aレジスタの内容をn番地に記憶
	STM	22	Mレジスタの内容をn番地に記憶
シフト	SAL	23	Aレジスタの内容をMSDの方にnケタシフト (n=1~6)
	SAR	24	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	31	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。
	MGR	32	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	33	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	40	無条件にn番地へジャンプ
	JZR	41	Aレジスタ=0 のとき n番地へジャンプ
	JNG	42	Aレジスタ<0 のとき n番地へジャンプ
	JOF	43	Aレジスタに溢数が生じたとき n番地へジャンプ
	FFS	50	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 7X	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	84	タイプライタおよびテーブリーダーからの入力をn番地に記憶
	ADS	95	A-D変換器をセットしアナログ入力データをA-Dレジスタに用意する。
	RED	96	入力回路のデータをAレジスタに読み込む。
	OUT	97	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	TCO	85	コアメモリから1ブロックを1ドラムに転送
	TDC	86	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ンである。
その他	NOO	00	なんらの演算も行なわない
	HAL	09	停止命令

- (3) シフト命令
- (4) 論理演算命令
- (5) 飛び越し命令
- (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の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る考慮してある。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

MELDAP-6000 工業用データ処理装置・浜岡・深尾・竜田・貴田

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ケタはオーバーフロー用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タ
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語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	強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。4個まで設置可能
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個はタイプライタテーブリーダーパッチ用

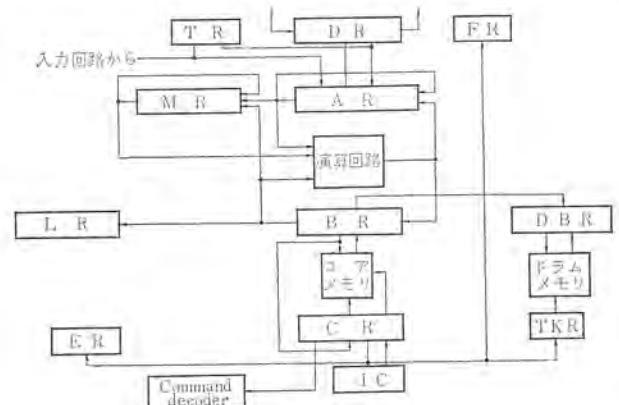


図 5.2 演算制御装置ブロック線図
Fig. 5.2 Block diagram of MELDAP-6000 processor.

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(ディジットタイム)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 $T_0 \sim T_9$ を作り出す。この一つのタイミングにある期間を1ディジットタイム(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 μ s

MELDAP-6000 H では 1DT=10 μ s

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

MFLDAP-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もよい場合には、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、パルストラン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 ケタにより行われ、記憶内容は B レジスタに読み出れる。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.

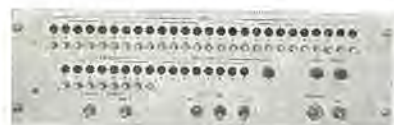


図 5.4 磁気ドラム記憶装置操作盤
Fig. 5.4 Drum memory control panel.



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

ッチがあって、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断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、プログラムのデバッグ、ローディング、一部修正などの便宜のために図 5.5 に示すメインテナン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タティ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、し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。

割込信号としては通常次のようなものがあげられる。

- (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 では割込信号を最大 20 点まで受け付けることができ、割込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処理ルーチンに飛び、割込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い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、先に割込信号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 番地を割込処理ルーチンの入口番地としてある。

割込入力回路は図 6.1 に示すようになっていて、割込入力

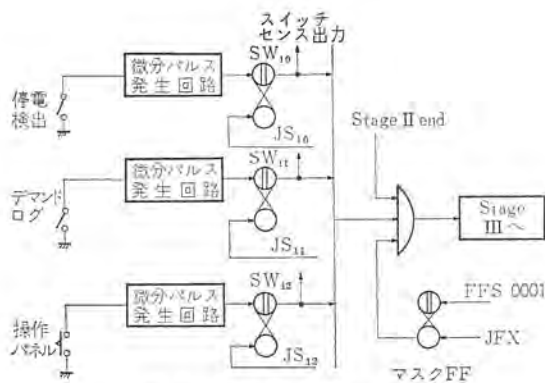


図 6.1 割込入力回路
Fig. 6.1 Priority interrupt circuit.

まず微分パルス発生回路で微分され、これによって割込トリップロップ 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トリップロップが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、その内容は次のごとくである。

- (1) マスクトリップ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キータをセットする。
- (5) 対応するレジスタの内容をロードする。
- (6) マスクトリップ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. 入出力関係

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。

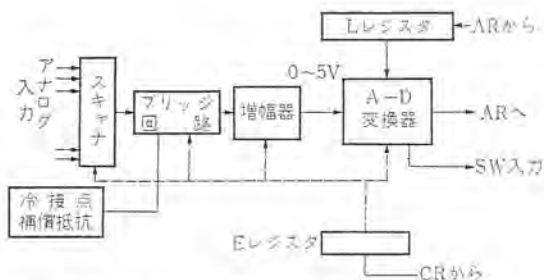


図 7.1 アナログ入力回路ブロック線図
Fig. 7.1 Block diagram of analog input circuit.



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5Vの入力を10進3ケタのディジタル信号に変換する。L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警報の信号も得られる。

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]の命令が解釈されると、この命令の下位4ケタが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ケタには上限値、下位3ケ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ケ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			

注1. 3ケタ目に4を加えれば、表示される最上ケタは符号(＋または－)となる
また3ケタ目に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ケタ目に4を加えれば、表示されたリレーをメークさせるよを加えなければ
指定されたリレーをリリースさせる

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
タイプライタ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ケタ 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とがあ
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チャンネルあり、[OUT] 命令のアドレス 部
4ケタ 目の指定に従ったチャンネルに 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チャン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
を付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——、「三菱電機技報」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——、「三菱電機技報」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、「三菱電機技報」38, No. 2 (昭 39).
- (5) 今出、塚原、西尾：船用 データロガ、「三菱電機技報」38,
No. 11 (昭 39).
- (6) 竜田、塚原：全 トランジスタ 化逐比較形 AD 変換器 AD-
501, 「三菱電機技報」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.

Yoshio ARAI・Tadashi FUJITA

Mitsuyuki ODA・Kunihiro YOSHINO

Mitsubishi Electric Corporation, Kamakura Works

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 系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 kg/cm²・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、ガスダクトを通過して熱交換器(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、東海発電所は在来火力発電所と変わるところはない。

しかしながら原子力発電所を安全に運転するためには、在来火力発電所の場合と異なった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、ステイック・プログラムチェック、自動ロード、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、すでに本誌で紹介済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。

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る構成できるが、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) 加算係数器 はん用演算増幅器	(共通仕様)ドリフト自動補償付直流増幅器 直流利得 140dB 以上 ドリフト 50 μ V/8h 以内 出力 ± 100 V 20 mA 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%/3min 以内	44	基準演算インピーダンス 抵抗 1M Ω コンデンサ 1 μ F
2. ポテンショメータ IC	初期値設定, 係数設定兼用 10 回転 30k 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 50k 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 30k Ω 直線性 $\pm 0.1\%$ 以内	70	
5. 飽和・不感帯要素	切換選択可能, 感帯部利得 1 設定値 0~100 V 連続可変 精度 ± 0.3 以内	4	
6. オン・オフ要素	入出力帯とも 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. サークル乗算器	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 サークル
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 -3dB	6	時分調方式
10. 関数発生器	折点座標設定方式 13 折線 絶対対偶配 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 -3dB	4	時分調方式 象限切換スイッチにより 9 とおりの設定が可能
11. ひだ時間発生器 A	ひだ時間範囲 0.001~10 秒 精 度 $\pm 0.5\%$ 以内	4	関数近似形
12. ひだ時間発生器 C	ひだ時間範囲 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	東海発電所専用 (詳細は本文に記載)	1	伝達関数近似形
14. パッチベイ	1,320 点の接続機構 1 式 裏面に下記のものを取付 { 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.) (HOLD, REC-ON/OFF) (2) スタティック・プロブレム・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, 遠隔制御装置, 模擬コントロール・デスクとの相互接続機構	1	
19. 電 源	高圧電源, ヒータ電源, サークル用 400 c/s 電源など	1 式	
20. 解記録装置	インク書 6 チャンネル	1	
総合演算精度 ($\omega=1$ rad/s における 30 秒間サークルテスト) { 振幅誤差 $\pm 0.2\%$ 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。

炉の核反応部と与えられる超過反応度を Δk , $\Delta \delta k$ 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。

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

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_i , 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核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

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

(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

* 核燃料のバーンア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, 被訓練者に実機にか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 G	電源 E	
関数乗算器	関数乗算器	オン・オフ要素	飽和・不感帯	飽和・不感帯	ポテンシオメータ A	ポテンシオメータ B	ポテンシオメータ B	ポテンシオメータ B	
関数乗算器	関数乗算器	サーボ乗算器	むだ時間発生器 C	むだ時間発生器 C	ポテンシオメータ A	ポテンシオメータ B	ポテンシオメータ IC	ポテンシオメータ IC	
関数乗算器	関数乗算器	サーボ乗算器	むだ時間発生器 A	むだ時間発生器 A	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	
関数発生器	関数発生器	サーボ乗算器			演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	ディジタル電圧計	
関数発生器	関数発生器	サーボ乗算器			演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算制御盤 A	
電圧比較器	電圧比較器	サーボ乗算器	バッテリー	バッテリー	演算増幅器	演算増幅器	演算増幅器	演算制御盤 B	
電源 C	電源 C	電源 C			電源 C	演算増幅器	演算増幅器	連結盤	
電源 B	電源 B	電源 B	電源 S	中性子模擬回路	電源 B	電源 B	電源 H	電源 D	
			電源 R	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.

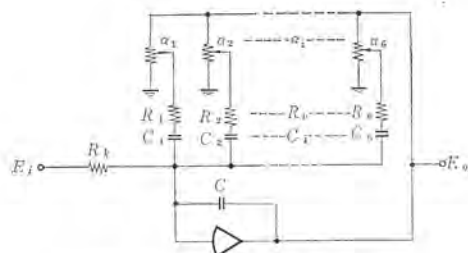


図 2.3 中性子模擬回路
Fig. 2.3 Circuit diagram of the neutron simulator.

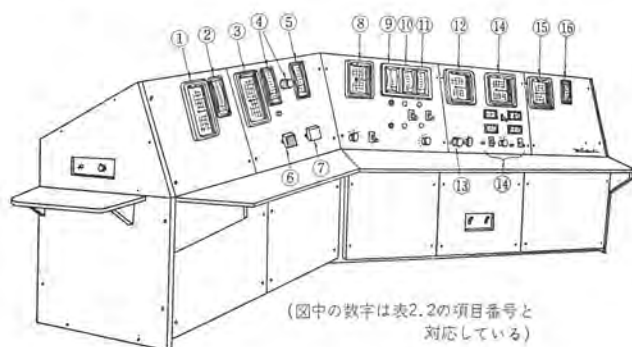


図 2.4 模擬コントロールデスク実装図
Fig. 2.4 Arrangement of the control desk simulator.

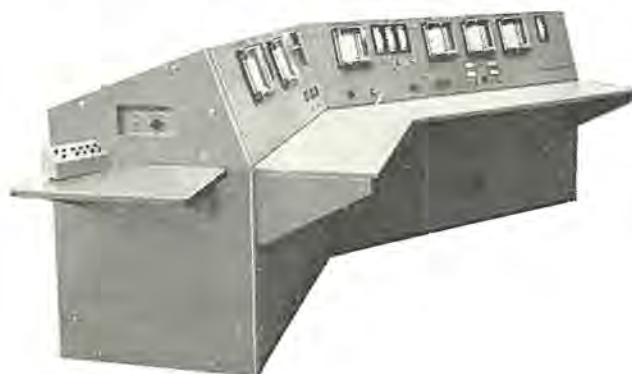


図 2.5 模擬コントロールデスク外観
Fig. 2.5 Appearance of the control desk simulator.

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。訓練に係る警報内容は、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、そのおのお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のであるが、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 700J D1 10kW~1,000 MW (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 Trip Level Setting	4" 2 Pen Rec. 3 Way Selector Lever Switch	Recording Linear Power & Trip Level Raise-Lower	Taylor 国産 国産	0~7, 0~70 0~700 MW 0~100V FSD 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	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 Auto-Hand Selector Speed Error Speed Reference Switch Switch Pressure Error Pressure Reference Switch Switch	4" 1 Pen Rec. Lever Switch 2 Way Selector 2" Horizontal Edgewise " Lever Switch Push Button 2" Horizontal Edgewise " Lever Switch Push Button	Recording Total CO ₂ Flow Indicates Circulator Speed Error Indicates Set Circulator Speed Set speed Meter Read Indicates L.P. Pressure Error Indicates Set L.P. Pressure Set Pressure Meter Read	Taylor 国産 国産 SEI " 国産 SEI " 国産 国産	Type 700JD1 0~4,000kg/sec 0~1,200kg/sec 0~100V FSD 2 Position Non Sleeve 200~0~200 rpm -100~0c/s+100V 0~1,500 rpm 0~100V FSD Sleeve Locked Center Position only 3~0~3kg/cm ² -100~0c/s+100V 14~21kg/cm ² 0~100V FSD Sleeve Locked Center Position only
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、-50 mN(-50×10⁻⁵

δk) 臨界未満、原子炉出力は 1 kW とした。

(3) 原子炉出力としては 1 kW 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。

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

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

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

ここで、次の変形を行なう。

$$P = P_0 \varepsilon^Q \quad (3.4)$$

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

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

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。

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

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

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

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。)

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

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

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

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

とすれば、

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

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

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

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

となる。

$$\text{定数値} \quad P_0 = 1 \text{ kW}$$

$$Q_0 = 0$$

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

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

3.4 ブロック線図

4. アナコン解析の一例

4.1 解析の概要

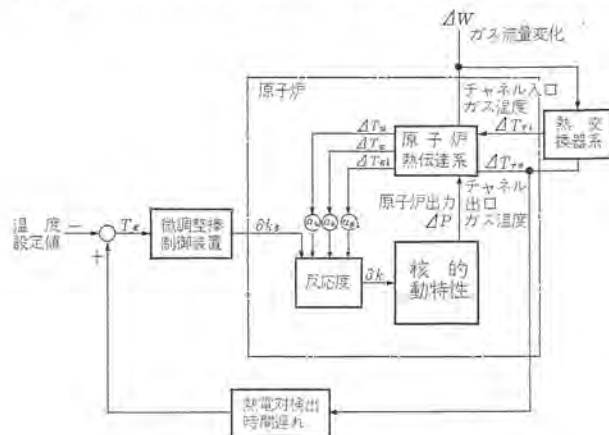
* この装置の概要については、電気学会雑誌84, 1203, (昭39年8月)に紹介されている。

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 1 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) チャンネル入口ガス温度、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、チャンネル出口ガス温度を約393°Cに



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・藤田・織田・吉野・大鳥羽・柴谷・多田

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う入量とは、直線の関係有するものとした。

(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

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\delta k - \beta}{\lambda_0} P + \sum_{i=1}^6 \lambda_i N_i \quad (4.1)$$

$$\frac{dN_i}{dt} = \frac{\beta_i}{\lambda_0} P - \lambda_i N_i \quad i=1, 2 \quad (4.2)$$

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

4.3.2 原子炉熱伝達系

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

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

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

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

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

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

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

$$T_{cl} = c_{1l} T_{cl} - c_{2l} T_{rl} \quad (4.11)$$

$$T_{ro} = c_{o1} T_{cl} + c_{o2} T_{c2} - c_{o3} T_{rl} \quad (4.12)$$

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。

$$\begin{aligned} P_0 &= 585.0 \text{ MW} \\ \delta k_0 &= 0 \text{ mN} \\ T_{u0} &= 450.0 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{a0} &= 395.5 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{u10} &= 502.4 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{a10} &= 447.6 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{g10} &= 309.3 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{g20} &= T_{g2} = 372.9 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{cl0} &= 297.6 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{c20} &= 312.4 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{c10} &= 359.9 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{ro0} &= 392.8 \text{ (}^\circ\text{C)} \\ T_{rl0} &= T_{rl} = 203.3 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

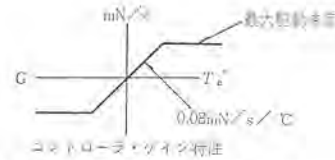
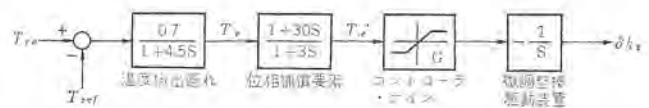


図4.2 微調整棒制御装置
Fig. 4.2 Sector control system.

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

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

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

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

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

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

4.4.2 原子炉熱伝達系

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

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

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

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

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

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

$$\Delta T_{c2} = 0.3186 \Delta T_{g2} - 2.209 \quad (4.23)$$

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

$$\Delta T_{ro} = 1.940 \Delta T_{cl} + 0.060 \Delta T_{c2} \quad (4.25)$$

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 $-1.23\text{ mN/^{\circ}C}$ 、 $-0.25\text{ mN/^{\circ}C}$ 、 $+3.25\text{ mN/^{\circ}C}$ 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。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、温度変動ともなり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、温度効果と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っ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

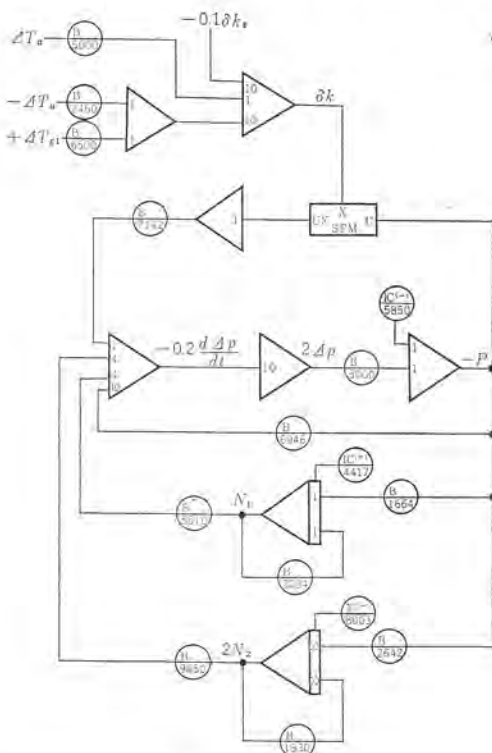


図4.3 核的動特性模擬回路
Fig. 4.3 Neutron kinetics simulator.

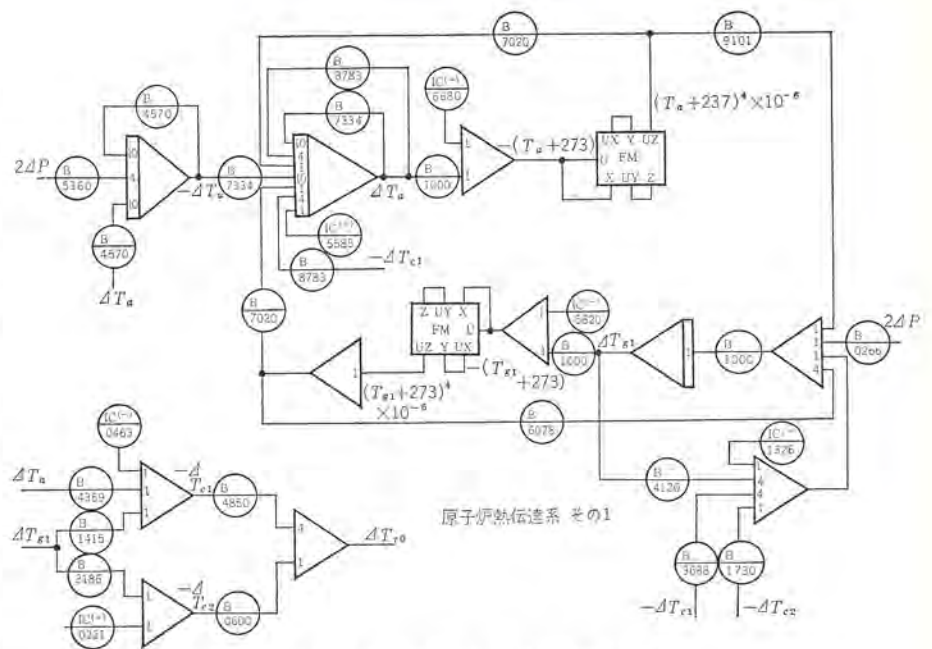


図4.4 原子炉熱伝達系模擬回路(1)
Fig. 4.4 Reactor heat transfer simulation (1).

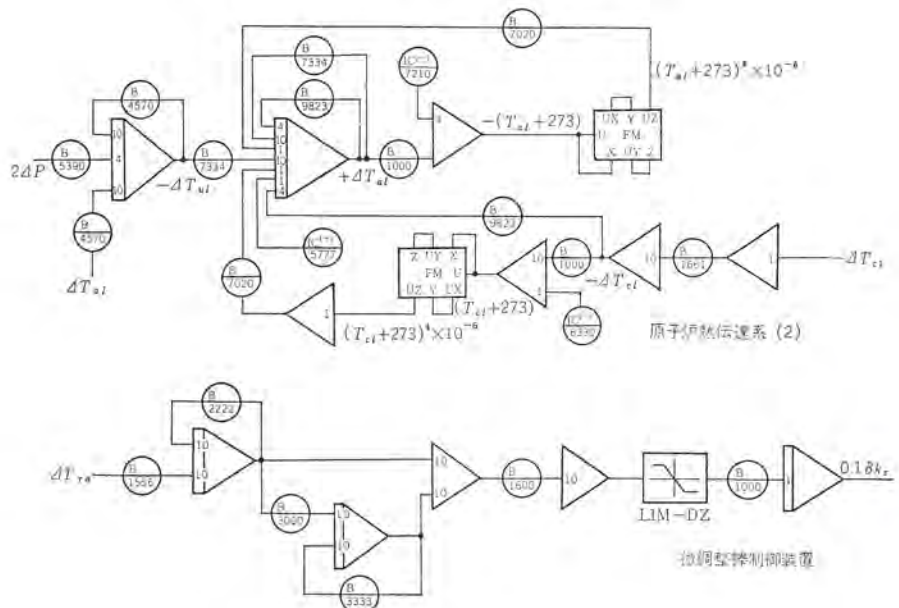


図4.5 原子炉熱伝達系および微調整棒制御装置模擬回路
Fig. 4.5 Simulation circuits of reactor heat transfer and sector rod controller.

(ΔT_{ul}) -23.0°C 、燃料被覆温度(ΔT_{at}) -10.0°C 、微調整棒反応度(δk_s) -38.5 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らない。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。これらのことがらを表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

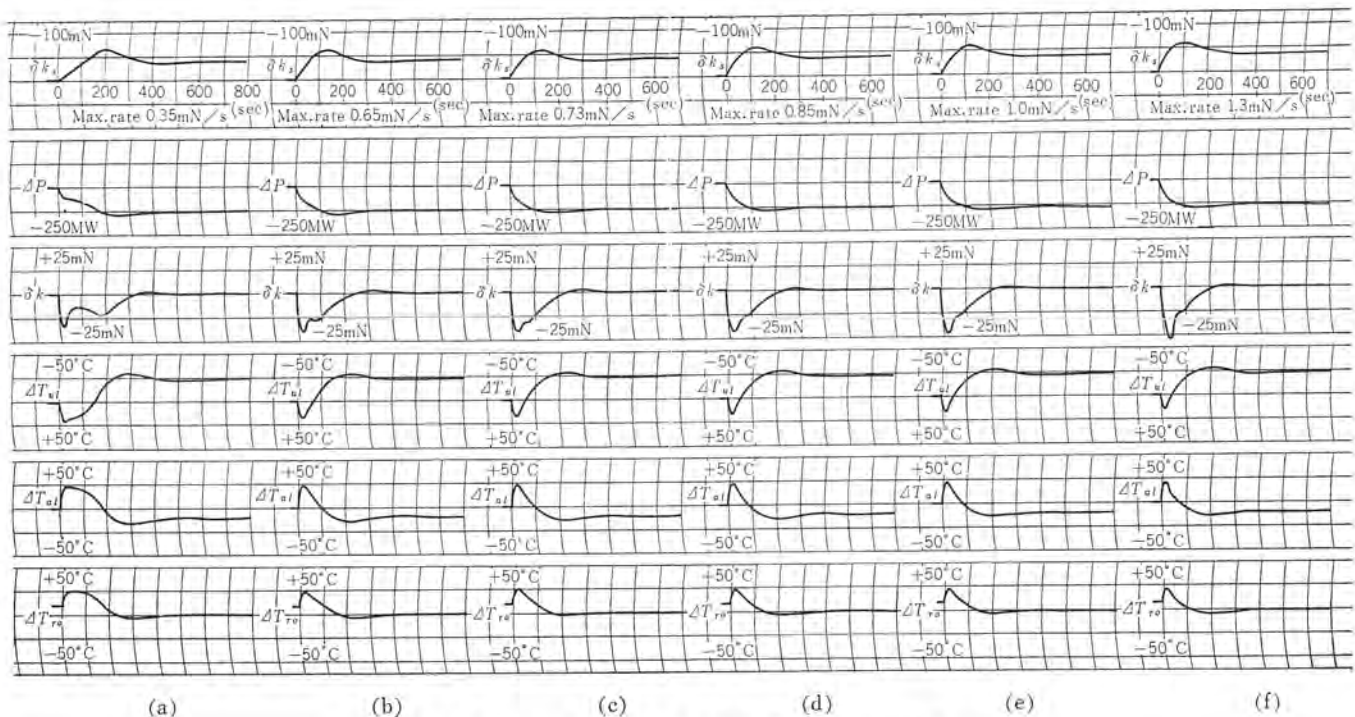


図 4.6 解析結果 Fig. 4.6 Results of analysis.

表 4.1 解析結果

最大駆動速度 (Max. Rate)	ΔT_{se} の 最大値 ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{sl} の 最大値 ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{rs} の 最大値 ($^{\circ}\text{C}$)	過渡現象の 継続時間 (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。

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て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、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、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

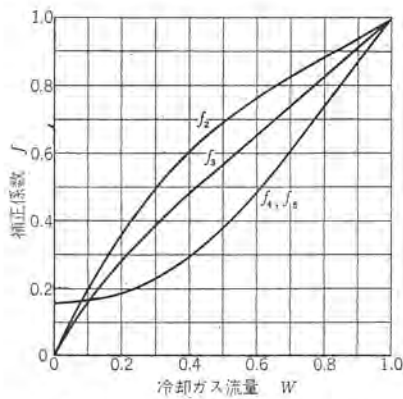
- (1) 馬場・大島羽・柴谷・松本: MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (1), 「三菱電機」, 33, No. 12 (昭 34).
- (2) 馬場・大島羽・柴谷・松本・桑田: MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (2), 「三菱電機」, 34, No. 3 (昭 35).
- (3) 馬場・大島羽・柴谷・桑田 多田: MELCOM 精密低速度形アナログコンピュータ (3), 「三菱電機」, 35, No. 6 (昭 36).
- (4) 大島羽・柴谷・桑田・持田: 大形アナログ計算機の最近の進歩 (その 1), 「三菱電機技報」38, No. 5 (昭 39).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

付 録

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 スリープ	$\alpha_{g1} = +3.25 \text{ mN}/^{\circ}\text{C}$
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 熱伝達係数の補正
Fig. 1, Correction of heat transfer coefficients.

$$Q = \log_{\varepsilon} \frac{P}{P_0}$$

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

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

T_u 燃料 ウラン 平均温度

T_{ut} 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_{cl} 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} チャンネル 入口 ガス 温度

T_{ro} チャンネル 出口 ガス 温度

W 原子炉冷却 ガス の流量

f 熱伝達係数の冷却 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tron 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 enumerated belows.

Word structure.....18 bits, arithmetics.....parallel synchronized, clock frequency.....1 Mc, numbers of MOLECTRON used.....850, 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・ロケット用載用のものなどに対する需要が、防衛面、航空宇宙面から起こりつつある。

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、あるいはとう載するスペースが制限されることから起こる要求であり、(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こるものである。(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tron 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tron”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tron、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tron 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tron

2.1 モレクtron

モレクtron 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、コンデンサなどをウエハ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、小形のキャップ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い(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、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 は負荷抵抗を表わす。また R_a はトランジスタ T_R の蓄積された少数キャリア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たす。

この計算機の論理回路としては図 2.1 の NAND 回路のほか記憶素子として用いるためのフリップフロウ (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。

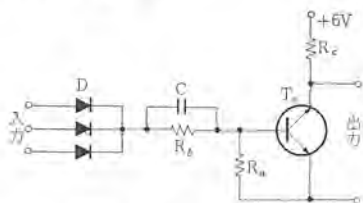


図 2.1 RCTL NAND 回路
Fig. 2.1 RCTL NAND circuit.

(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 1 Mc で動作する並列形であるから、基本回路としては 1 Mc 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 30 ns 程度とすれば相当複雑な論理を組み立てることができる。

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 の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。たまたま必要となる場合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き電源の種類が少ないほど好都合である。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 $\pm 5\%$ 以下に押えることとした。

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 +6 V 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に定められる。

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 を通して放電させるため、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。決定の数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} 80 以上, R_a 6.8 k Ω , R_b 6.8 k Ω , R_c 680 Ω ,
C 22 pF

論理電圧 “0” +4.0~6.3 V “1” 0~0.5 V

なおトランジスタの蓄積時間は 40 ns 以下、ダイオードの逆回復時

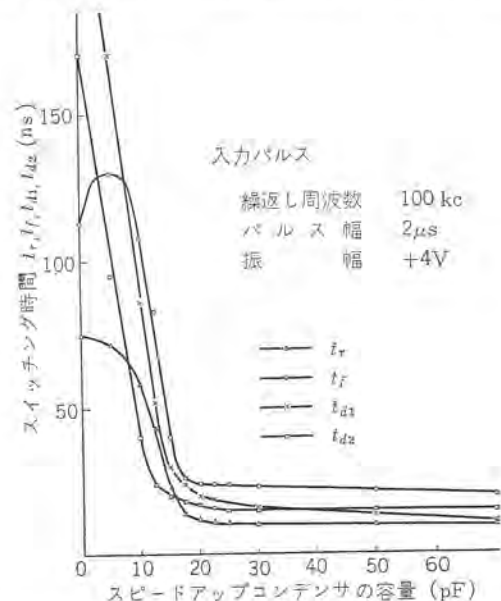


図 2.2 スピードアップコンデンサ容量とスイッチング時間の関係
Fig. 2.2 Relations between speed up condenser capacitance and switching time.

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た。

(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イオードを入れ、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ので、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	+6V ± 5%
6	電 気 的 特 性	
1 FAN OUT	5NRO3C または 5NRO4C 5FFO1C (Set Reset 入力) 5EFO1C	5 5 4
2 出 力 電 圧	V_O : 0 ~ +0.5V V_I : +4.0 ~ +6.0V	
3 スイッチング時間	伝搬遅延時間 tpd_1 (ns) tpd_2 (ns) 1 極品 50 30 2 極品 50 50 3 極品 100 100	
4 入 力 電 圧	V_O : 0 ~ +0.5V V_I : +4.0 ~ +6.3V	
5 入力パルス波形	最小動作パルス幅 標準繰返し周波数	0.1 μs 1 Mc
7	環 境 試 験	環境試験規格 M-01 による

5 は約 12φ×4.5mm 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 ⁻⁸ 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	5F FO1C																
2	外 形	MO-5 12 本リッド																
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	<table><tr><td>1 FAM OUT</td><td>5NRO3C または 5NRO4C 5F FO1C (Set Reset 入力) 5E FO1C</td><td>4 4 2</td></tr><tr><td>2 出 力 電 圧</td><td>V_O: 0 ~ +0.5V V_I: +4.0 ~ +6.3V</td><td></td></tr><tr><td>3 スイッチング時間</td><td>ターンオフ時間 150 (ns) 以下 ターンオン時間 150 (ns) 以下</td><td></td></tr><tr><td>4 入 力 電 圧</td><td>V_O: 0 ~ +0.5V V_I: +4.0 ~ +6.3V</td><td></td></tr><tr><td>5 クロックパルス</td><td>最小パルス幅 0.1 μs パルス振幅 -4.0 ~ -6.3V</td><td></td></tr></table>		1 FAM OUT	5NRO3C または 5NRO4C 5F FO1C (Set Reset 入力) 5E FO1C	4 4 2	2 出 力 電 圧	V_O : 0 ~ +0.5V V_I : +4.0 ~ +6.3V		3 スイッチング時間	ターンオフ時間 150 (ns) 以下 ターンオン時間 150 (ns) 以下		4 入 力 電 圧	V_O : 0 ~ +0.5V V_I : +4.0 ~ +6.3V		5 クロックパルス	最小パルス幅 0.1 μs パルス振幅 -4.0 ~ -6.3V	
1 FAM OUT	5NRO3C または 5NRO4C 5F FO1C (Set Reset 入力) 5E FO1C	4 4 2																
2 出 力 電 圧	V_O : 0 ~ +0.5V V_I : +4.0 ~ +6.3V																	
3 スイッチング時間	ターンオフ時間 150 (ns) 以下 ターンオン時間 150 (ns) 以下																	
4 入 力 電 圧	V_O : 0 ~ +0.5V V_I : +4.0 ~ +6.3V																	
5 クロックパルス	最小パルス幅 0.1 μs パルス振幅 -4.0 ~ -6.3V																	
7	環 境 試 験	環境試験規格 MO-1 による																

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	<table><tr><td>1 FAN OUT</td><td>5NRO3C または 5NRO4C 5FFO1C (Set Reset 入力)</td><td>10 10</td></tr><tr><td>2 出力電圧</td><td colspan="2">V_0: 0 ~ +0.5V V_1: +4.8 ~ +6.3V</td></tr></table>		1 FAN OUT	5NRO3C または 5NRO4C 5FFO1C (Set Reset 入力)	10 10	2 出力電圧	V_0 : 0 ~ +0.5V V_1 : +4.8 ~ +6.3V	
1 FAN OUT	5NRO3C または 5NRO4C 5FFO1C (Set Reset 入力)	10 10							
2 出力電圧	V_0 : 0 ~ +0.5V V_1 : +4.8 ~ +6.3V								
7	環 境 試 験	環境試験規格 M-01 による							

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、テープリード、テープパンチャを有する。写真を図 3.1 に示す。

(2) 寸 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、テープリード)
Fig. 3.1 MOLECTRON computer (from left to right: Typewriter, processor, power supply and phototape 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

小形化と高信頼性とを得るためには、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えない。

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るれば、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、メモリアル 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は、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だつたが、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、テープリード、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バッファ装置（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

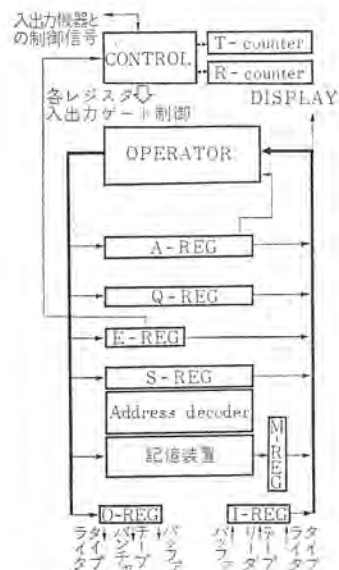


図 4.1 計算機ブロック線図
Fig. 4.1 Computer block diagram.

によって modify されつつ、1 クロック時間 (1 μ 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, ADDI, 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、テープリーダー、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、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 節で述べた考え方に従い、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対応する。

(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ので、最も単純な Simple Ripple Through Adder を用いた。加減算のオーバー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 の内容とが乗ぜられ、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られない。

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 R_3 -G 材、50 ミルを用いた当社製コアメモリを使用し、3 μ s 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、モロ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転送を OPERATOR を時分割で順次使用しつつ行なう必要がある。計算機が単にメモリサイクルの終了をまっている Δt 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ので詳述せず “ADD” の場合のみを例として下に示す。

タイミング	動作
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書き込み
6	メモリサイクル 3
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 OPERA- TOR を素通りさせて記憶装置へ書き込み
	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、コンパスと 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、とりまおさず、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
かということに関した、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随時一つの SC から他の
SC の支配へシフトさせることが可能である。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
られるときは次のごとくである。

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付けたときは SC2

出力機器からの出力完了信号を受付けたときは SC3

へそれぞれ強制的に SC が切り換えられ、それぞれのルーチンでの
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 がサインビ
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ない。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	JS3 (n)	06	SC フリップフロッ プを 3 にして飛べ
STA (n)	20	記憶せよ	ROR	26	もとのプログラムに もどれ
LDQ (n)	24	Q レジスタに入れよ	ROF (n)	52	オーバーフローした ならば飛べ
STQ (n)	22	Q レジスタの内容を 記憶せよ	IPT (n)	46	入力動作中ならば飛 べ
ADD (n)	10	加えよ	OPT (n)	50	出力動作中ならば飛 べ
SUB (n)	12	引算せよ	HLT	54	計算を止めよ
MLT (n)	30	掛算せよ	ITY (n)	74	タイブインせよ
DIV (n)	32	割算せよ	IPH (n)	76	紙テープを読み バッファよりデータ を読み
CLT (n)	16	論理積をとれ	IBF (n)	70	紙テープにパンチせ よ
LSF (n)	34	左シフトせよ	OTY (n)	64	タイプアウトせよ
RSF (n)	36	右シフトせよ	OPU (n)	66	紙テープにパンチせ よ
JUC (n)	40	無条件に飛べ	OBF (n)	60	バッファにデータ を送れ
JZE (n)	42	アキュムレータの内 容が 0 ならば飛べ	CBF (n)	62	バッファに制御信号 を送れ
JNE (n)	44	アキュムレータの内 容が負ならば飛べ			
JS1 (n)	02	SC フリップフロッ プを 1 にして飛べ			
JS2 (n)	04	SC フリップフロッ プを 2 にして飛べ			

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 オーパ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、これを利用し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
て扱われるので、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”についてはまずまずの成果をあげ得たもの
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
できるところもあるのでは、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ので今後の
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 accommodations. 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.

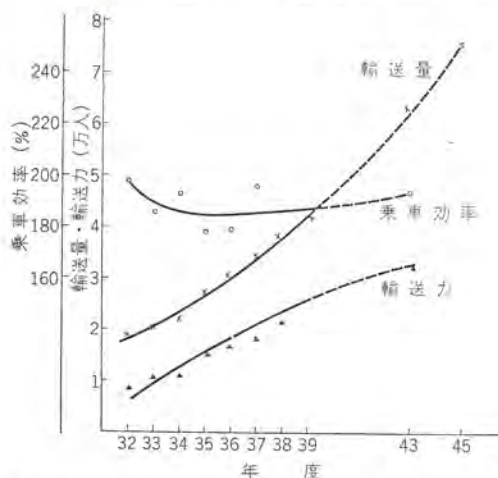
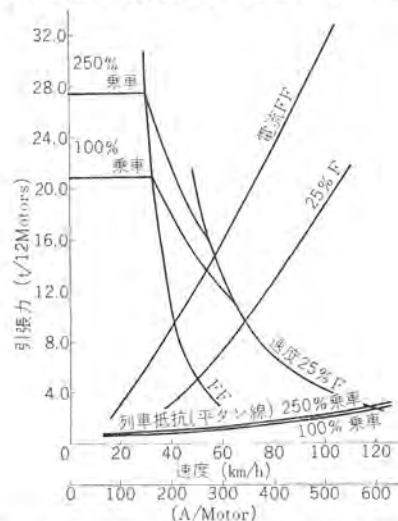


図 1.2 小田急電鉄朝方ラッシュ 1 時間帯輸送量の推移
Fig. 1.2 Changes of one hour traffic capacity of morning rush in the Odakyū Electric Railway.

知のとおり、すでに社会的に問題化しているが、現実これら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。

現在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、



構成 TcMM'MTTe 主電動機 12×MB-3095-AC
車輪径 870 mm 歯車比 92/15=6.13
架線電圧 1,500 V 加速度 2.8 km/h/s

図 1.4 性能曲線
Fig. 1.4 Performance curves.

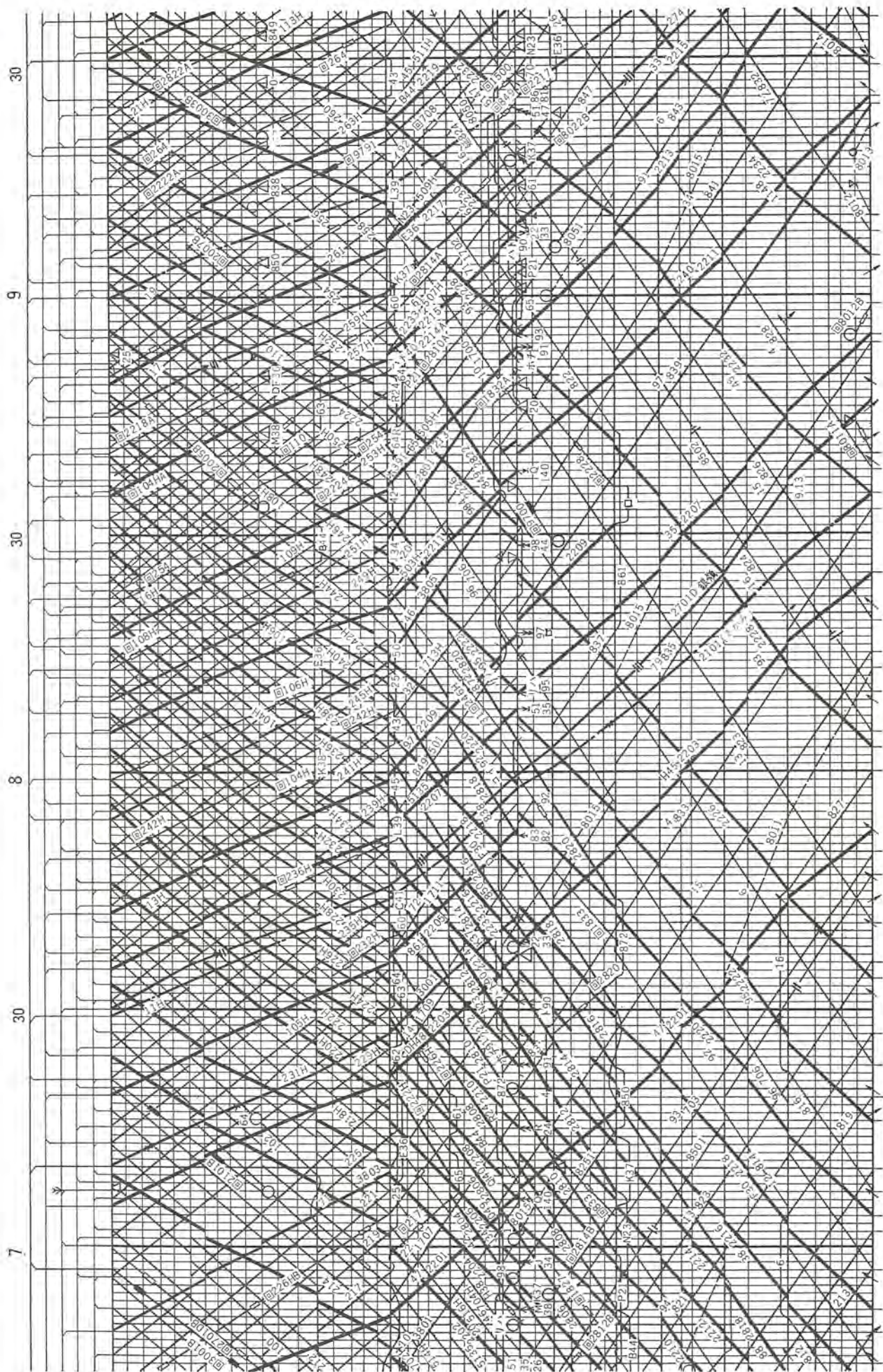


図 1.3 小田急電鉄現行ダイヤグラム
Fig. 1.3 Existing diagram of the Odakyu Electric Railway.

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

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発揮している。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え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っ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る。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とがある。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、直巻電動機の特長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動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、励磁電流が大きいため回生効率が悪く、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

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
定 員	(M) 162 人 (Tc) 144 人
自重	(Tc ₁ , Tc ₂) 26.46 t (M ₁ , M ₃) 36.17 t (M ₂) 35.73 t
編 成	妻間 99,500 mm
最大寸法	(M) 20,000×2,900×4,125 mm
(長×幅×高)	(Tc) 20,000×2,900×3,875 mm
車 輪 径	(M) 910 mm (Tc) 762 mm
主電動機	形 名 MB-3095-AC 形
	定 格 130 kW, 500 V, 290 A, 1,500 rpm
駆 動 装 置	形 名 WN-65-AM 形
	歯車比 92/15=6.13
制 御 装 置	形 名 ABBM-176-15MRH 形
	制御方式 6 主電動機単一制御、回生ブレーキ 応荷重加減速度制御式
ブレーキ装置	2 台/編成
	形 名 HSC-D 形
性 能	ブレーキ方式 電空併用、応荷重機構
	加速度 2.8 km/h/sec (定員 250% まで一定)
	減速度 常用最大 4.0 km/h/sec (M 回生, T 空気)
	非 常 4.5 km/h/sec (M, T 共空気)
性能曲線	最高運転速度 100 km/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 (kWA)	消費電力量 (kWA)	比 率 (%)	車両運用	月 日	回生電力量 (kWA)	消費電力量 (kWA)	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					

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、大形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) 直並列ワリ制御が困難である。ワ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) 惰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は安定作用をもつが、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 直巻、界磁 1/4 電流回生方式

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、

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 に模式的に示す（特許 17963）。小田急電鉄の場合は図 3.1 のようにおのおのの主電動機界磁を 4 分割する方法を採用した。これは 1,500 V 架線に 500 V 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、一般の電車となら変わりは無い。
- (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付加することにより、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 種	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 low とし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場

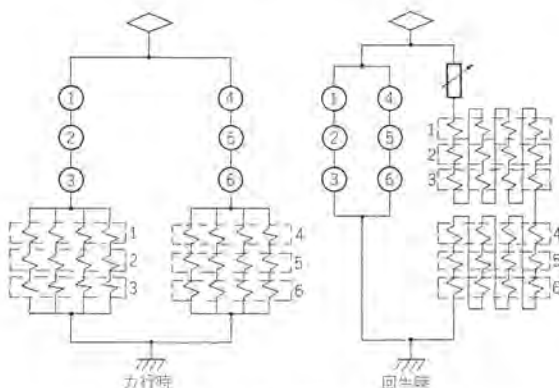


図 3.1 界磁 1/4 電流回生方式説明図 (1)
Fig. 3.1 Schematic diagram of the line excited field 1/4 current regenerative braking system.

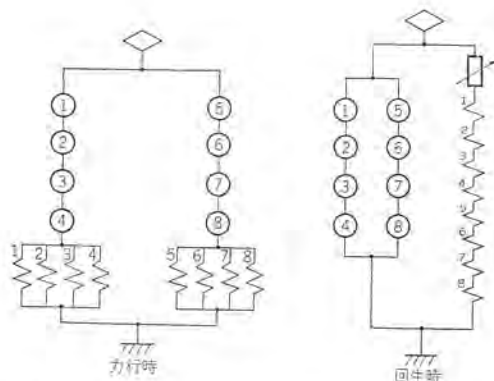


図 3.2 界磁 1/4 電流回生方式説明図 (2)
Fig. 3.2 Schematic diagram of the line excited field 1/4 current regenerative braking system.

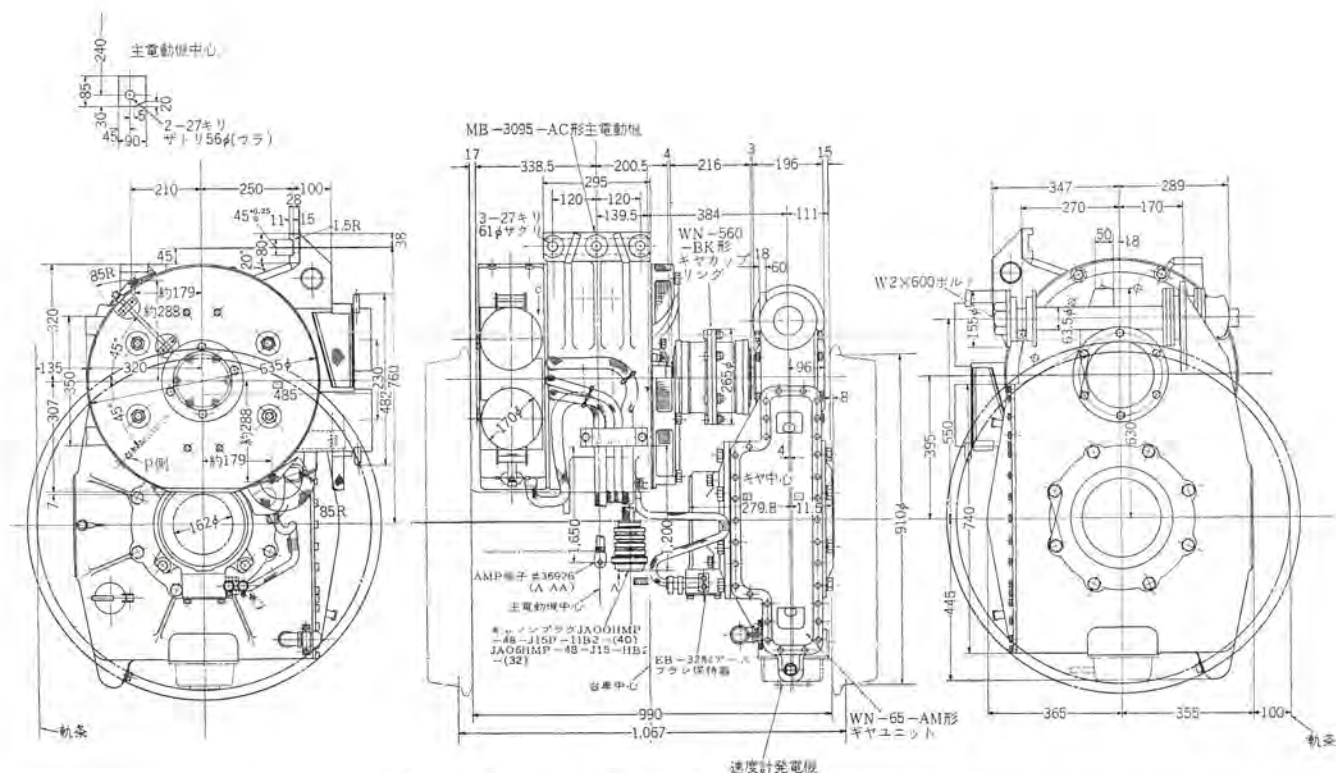


図 4.1 主電動機駆動装置外形図
Fig. 4.1 Outline of traction motor and drive equipment.

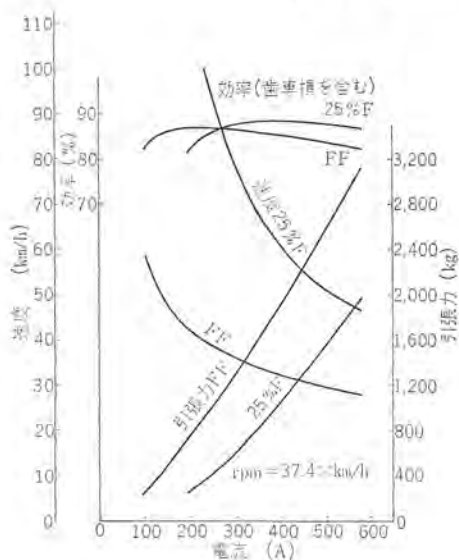


図 4.2 MB-3095-AC 形主電動機特性曲線
Fig. 4.2 Characteristic curves of type MB-3095-AC traction motor.

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おの 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。またツナギ箱部分もキャノンラ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 ド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 500 V と通常のものより高くし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、高速から低速までき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) × (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 とともに最大級に属していることがわかる。

4.3 駆動装置

駆動装置の諸元は次のとおりである。

(1) ギヤユニット

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.

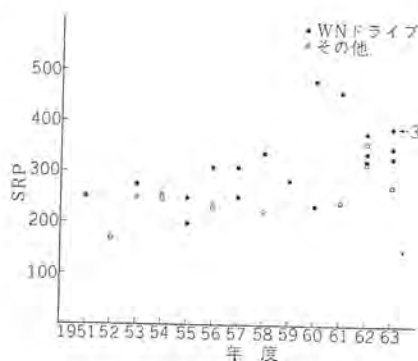


図 4.4 Speed ratio power の推移
Fig. 4.4 Changes of speed ratio power.

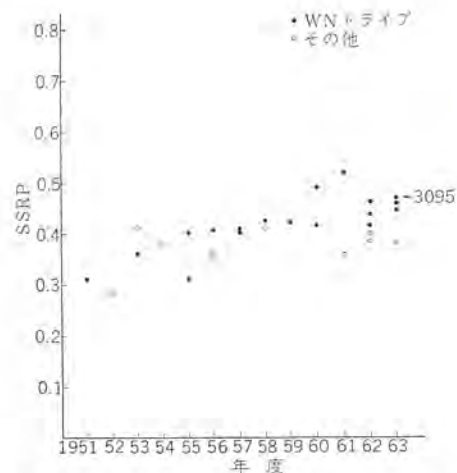


図 4.5 Specific speed ratio power の推移
Fig. 4.5 Changes of specific speed ratio power.

図 4.6 WN-560-BK 形 ギヤカップリング
Fig. 4.6 Type WN-560-BK gear coupling.

形 式	1 段減速 シングルヘリカルギヤユニット
歯 車 比	92/15=6.13
モジュール	7
圧 力 角	26°
ネジレ 角	18°30'
重 量	435 kg (接地装置を含む)

(2) ギヤカップリング

形 名	WN-560-BK 形
形 式	ダブルインタ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、静粛な動力伝達が行なえる。

ギヤカップリングは狭軌大容量用の標準形を使用し、インタルギヤはスリーブと一体構造として軽量化をはかり、油切りも金属ラベリンス構造としたので、十分な信頼性を有している。また歯の焼入れはフリュ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しう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単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)

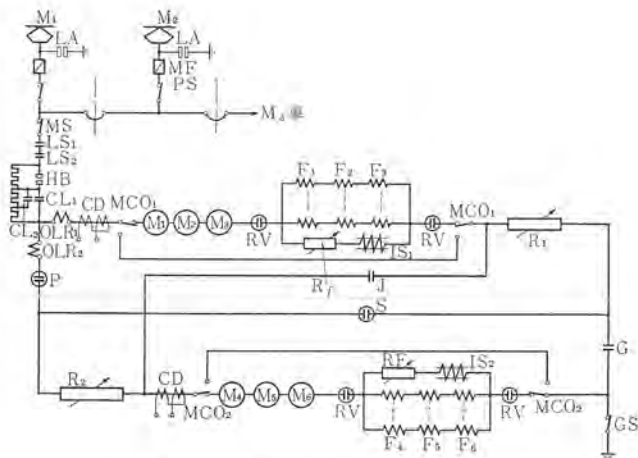


図 5.1 力行主回路
Fig. 5.1 Main circuit diagram (powering).

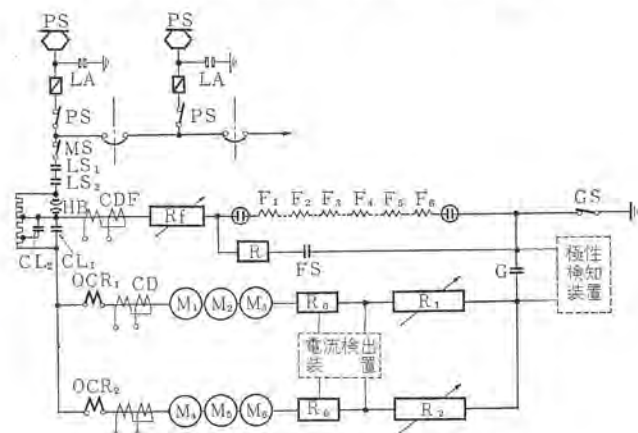


図 5.2 回生ブレーキ主回路
Fig. 5.2 Main circuit diagram (regeneration).

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 段減流シャ断を行ない、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、これとパターン電圧を比較し、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ツギは図 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。

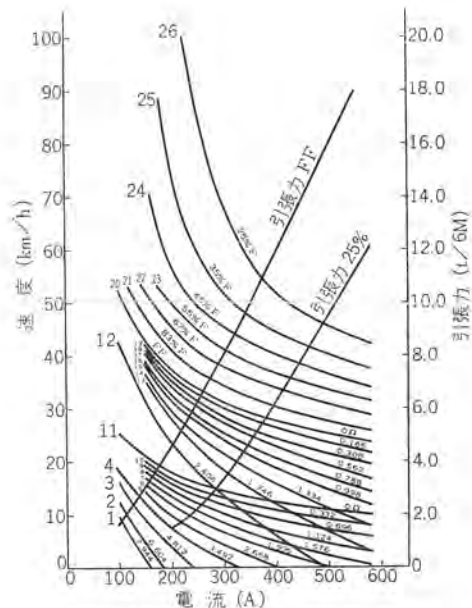
回生ブレーキを作用せしめる条件は次のとおりである。

(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。

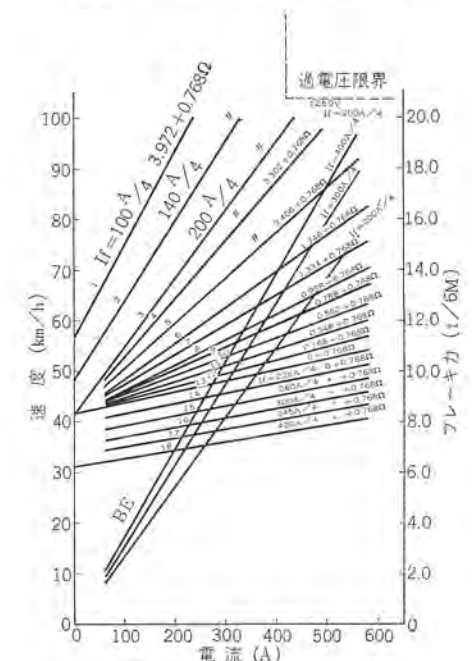
断流器 (G) 投入後は抵抗制御で限流制御を行なう。

(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。



主電動機 MB-3095-AC 車輪径 870 mm
歯車比 92/15=6.15 架線電圧 1,350 V

図 5.3 力行ノッチ曲線
Fig. 5.3 Notching curves (powering).



主電動機 MB-3095-AC 車輪径 870 mm
歯車比 92/15=6.13 架線電圧 1,500 V

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 段減流シャ断を行なう。

(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圧力に応動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、過電流継電器
低電圧 低電圧継電器(主回路開放)
空転 空転検出継電器(減流シャ断)

(2) 回生ブレーキ時

過電流 過電流継電器
過電圧 過電圧継電器
架線停電 低電圧継電器
界磁過電流 界磁過電流継電器
スキッド 空転継電器

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、高速度減流シャ断器のほか、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

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、エッジワイズ式の三菱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、下りコウ配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现车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×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テストから判断しうる。

(1) 加速度

列車編成は現在5両編成であり将来付随車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テスト図6.1に示す。

(2) 起動初期および乗りごころ

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める

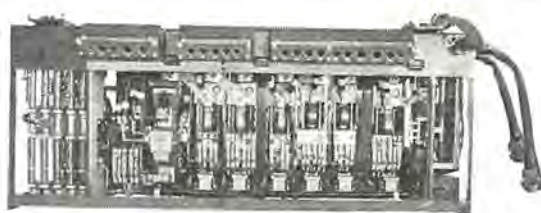


図 5.5 断流器箱 (HB-7R-601)
Fig. 5.5 Line breaker box (HB-7R-601).



図 5.6 主制御器箱 (CB-66C-1)
Fig. 5.6 Main control box (CB-66C-1).

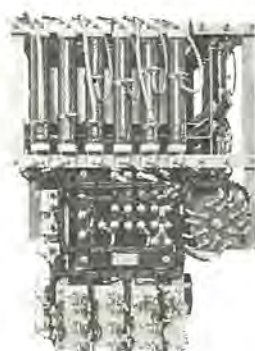


図 5.7 無接点制御装置
Fig. 5.7 Static relay component.

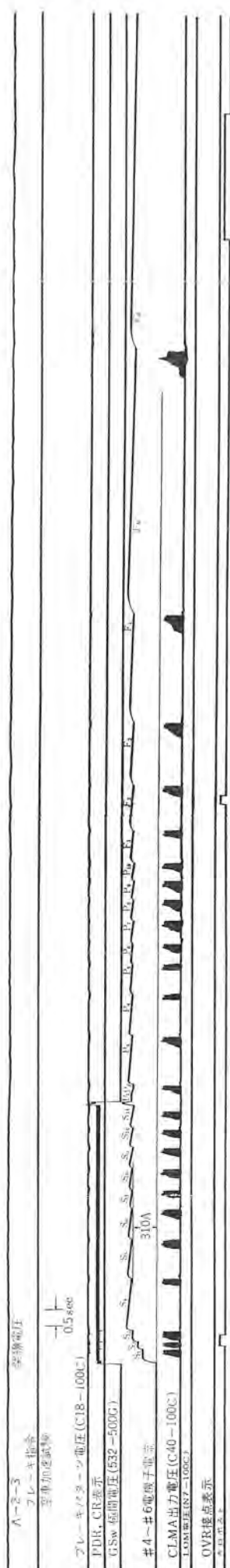


図 6.1 力行試験オシログラム Fig. 6.1 Typical starting oscillogram.

ことができた。

(3) 直並列 2 方式と弱界磁特性

直列並 2 方式は一般のブリッジ方式であるが、限流値付近で直列から並列へ渡り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

回生ブレーキ時の波形を図 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 を発揮するほか、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、電機子電圧が十分に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波形からとりだしたもので、とくに回生電流の立ち上りが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継電器が動作し、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つてよい。

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たしている。

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る。

参 考 文 献

- (1) 木島・浅越・菅田・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)
- (2) 小川・己斐：回生制動の問題点「三菱電機」35, No. 3 (昭 36)

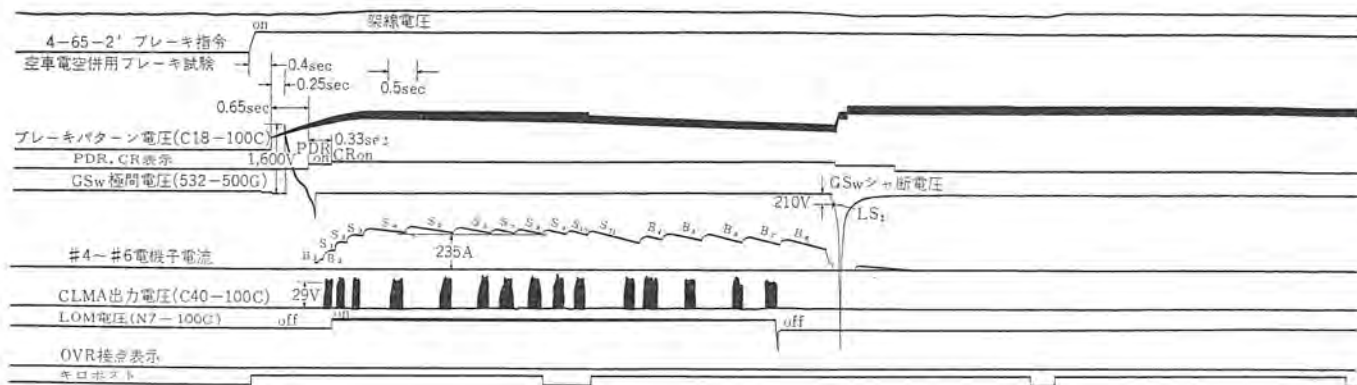
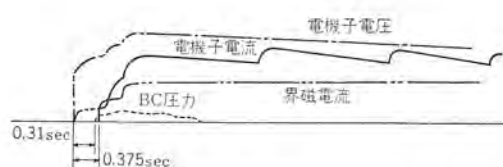
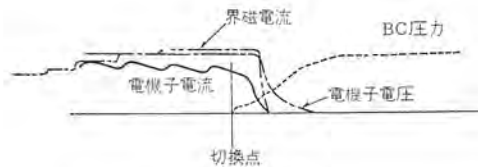


図 6.2 回生 ブレーキ 試験 オシログラム Fig. 6.2 Typical braking oscillogram.



(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 淑爾	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
多極誘導形継電要素を用いた方向距離継電装置	39- 7- 8	426771	三上一郎	神 戸
直流制御母線地絡検出継電装置	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
直流回路接地継電装置	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
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	伊 丹
” ”	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	木野崎 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 屋外キュービクル

矢野 広男*・田 和 穰*

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。しかるに当地は砂じん(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発揮する点を客先で認識され、60 kV 屋外用防じん形キュービクルの採用を決定されたものである。以下このキュービクルの概要を紹介する。



図 1.1 キュービクル全景 (正面側)
Fig. 1.1 Whole view of cubicles (front side).



図 1.2 キュービクル全景 (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 級のキュービクルについては現在のところ、定められた規格はないが、キュービクル 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っても思想は 30 kV 級以下のものと変わるとこ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ビクルには、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おの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。キュービクルの仕様および定格事項を下記に示す。

形 式	TO-50 形 屋外用閉鎖防じん形 JEM-1114-C 形相当品
回路方式	50 c/s 三相 3 線式単一母線
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-銀接触部—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

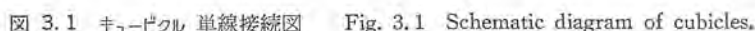
(a) 安全である

(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、機器の高信頼度を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溶器を省略した。

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 キュービクル のそれと同様であり、キュービクル 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 キュービクル 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、シッパ、塩害などの対策を必要とし、か

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.



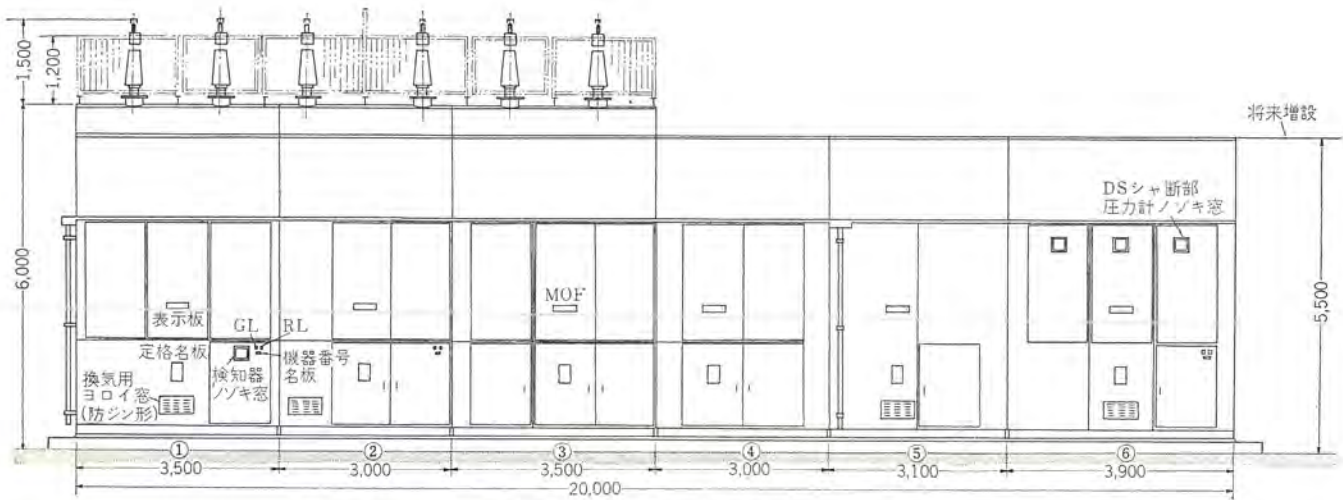


図 3.3 キュービクル正面図 Fig. 3.3 Front view of cubicles.

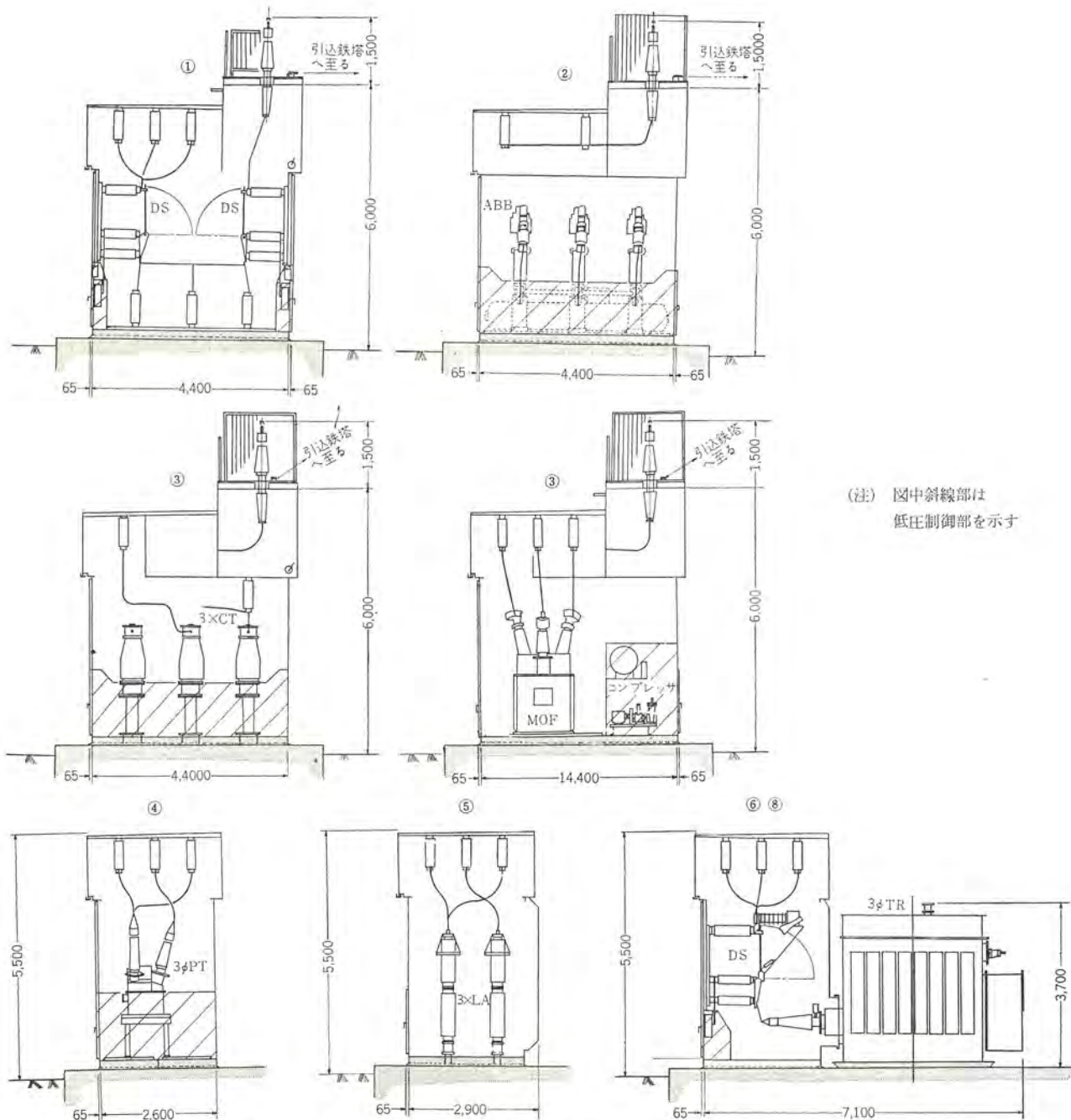


図 3.4 キュービクル側断面図 Fig. 3.4 Sectional view of each cubicle.

4. キュービクルの構造および内蔵機器

4.1 キュービクル

キュービクルには主母線、接続導体、空気シヤ断器、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、主変圧器一次ブッシ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(MOF)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ビクルおよび変圧器キュービクルはほかのキュービ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。

各キュービ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ビラを設けてある。これらのトビラは迷路構造により防水を行ない、さらに防ジンの目的としてトビラ全周に塗膜付ファームラプを取り付けている。このファームラプはごく軟質のものを使用しているためトビ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のため取り換えの容易に行ないうる構造となっている。トビラは特高充電部と低圧制御部とに分かれ、低圧制御部用のトビラは錠前付ハンドルを設け必要に応じて合いカギで開放可能な構造であるが特高充電部トビラはおもに機器搬出入用であるため、キュービ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ビラのみを開け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ビラまたはワッ組側板にワッ組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。

各キュービ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かもワッ組に悪影響を及ぼすヒズミを与えないような構造となっている。

各キュービ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(樋)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ジへ排出する。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られているが、このガイ管はキュービ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のキュービクル上部にこのガイ管と鉄さくが見えている。

キュービクルの換気は自然換気により、各キュービクル上下には各々1箇所ずつヨロイ窓を設けているが、防ジンに対しては合成樹脂製のスポン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。

キュービクルの基礎はミジ形鋼を主体として各キュービ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ビクルに底板を設けず、基礎ベース内のシダ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ビクル内へ蒸発



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 基礎ベース上にシヤ断器補助タンク取付中
Fig. 4.3 Abb aux. tank on the channel base.

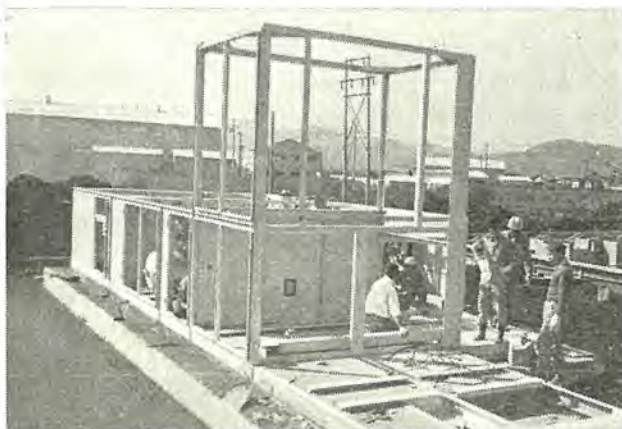


図4.2 基礎ベース上にワッ組立作業中
Fig. 4.2 Cubicle frames on the channel bases.



図4.4 ワッ組立作業中
Fig. 4.4 Cubicle frames in assembling.

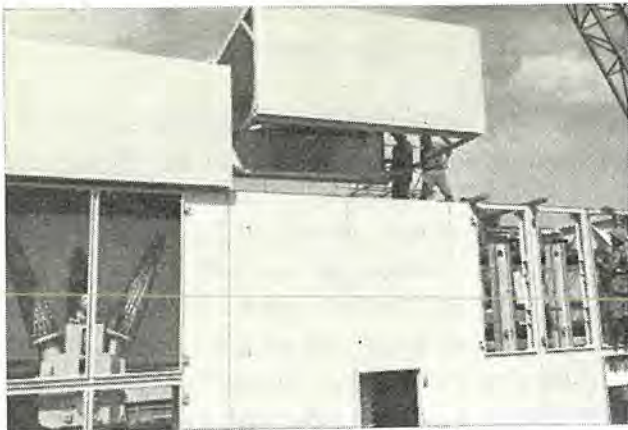


図 4.5 ヲク組立作業中
Fig. 4.5 Cubicle frames in assembling.

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ビ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ヲク組やシヤ断器を取り付ける作業中の写真である。

ヲク組は各单位キュービ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、各单位キュービ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。ヲク組は山形鋼、ミゾ形鋼、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。

キュービ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 60 m/s に耐えるものである。

4.2 空気シヤ断器

空気シヤ断器は 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ってきた内部断路形のシヤ断器である。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 70 kV 級シヤ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ヤ断能力が大きいため比較的抵抗値の低い並列抵抗をシヤ断点に用いることができるため、各シヤ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ヤ断特性を発揮するものである。この空気シヤ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 はキュービクル内に納まった写真を示す。

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
定格シヤ断容量	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 シヤ断器組立中
Fig. 4.6 Abb in assembling.

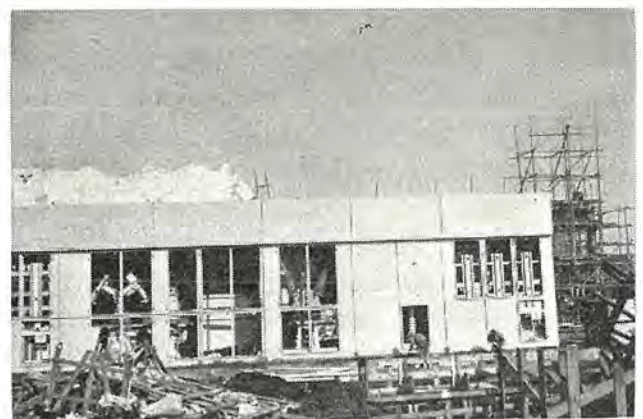


図 4.7 内蔵機器組込状態
Fig. 4.7 Setup of internal instruments.

定格シヤ断時間	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。接触方法はブレドをネン回して圧接する方式で、接触部はリパースルー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氣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 リパースルーコンタクト 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バンクとなった場合、全バンクを停止することなくバ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 形断路器にシタ断機構を取り付けたものである。シタ断部はガイ管でできていて SF₆ ガス(6 フッ化イオウガス)が封じ込んであ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ヅキ窓から監視し、ガス圧が1気圧以下の場合は再充テッする必要がある。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、変圧器二次シタ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氣的インタ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り付けとしている。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り付けとしている。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

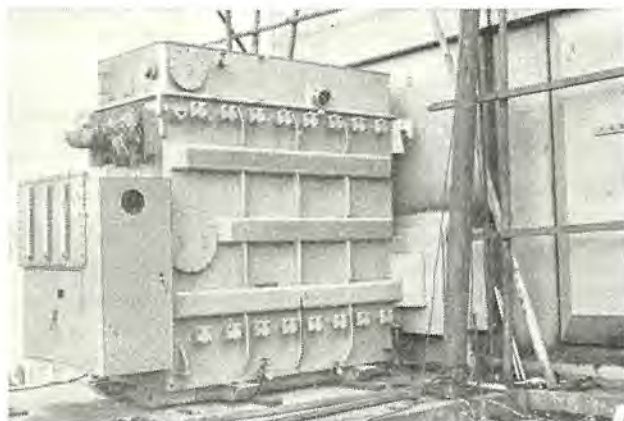


図 4.8 変圧器据付作業中
 Fig. 4.8 Main transformer as coupled to cubicle.



図 4.9 変圧器の組立作業中
 Fig. 4.9 Main transformer in assembling.

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、過などの問題はいいさいない。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

計器用変流器はシタ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。シタ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、受電シヤ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パーサを有する永久磁石消弧式キャップ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増幅器で増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)増幅器はシュミット回路による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、シヤ断器および断路器はその操作に圧縮空気を必要とし、シヤ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るよう考慮されている。これは常用予備切換で予備機となっ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、主として空気シヤ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。空気シヤ断器の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CO1回の空気消費量は約50 l程度の微量であり、シヤ断器のCO操作可能回数にほとんど影響を与えることはない。なおシヤ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。

シヤ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 28φ×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

シヤ断器および断路器の開閉状態はキューピクルトビ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、シヤ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ラで表示を行なっている。

4.9.2 鎖 錠

断路器、シヤ断器間の鎖錠は簡潔な電氣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あれば操作してはいいないため、受電シヤ断器が開のときのみ操作可能となるよう、シヤ断器補助開閉器の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の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氣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ずかなため、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関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ヤ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ヤ断器が開、他方の断路器が開で、かつ手動操作トビ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、変圧器二次シヤ断器が開のときのみ操作可能となるように、シヤ断器補助開閉器のb接点を操作回路へそう入して誤

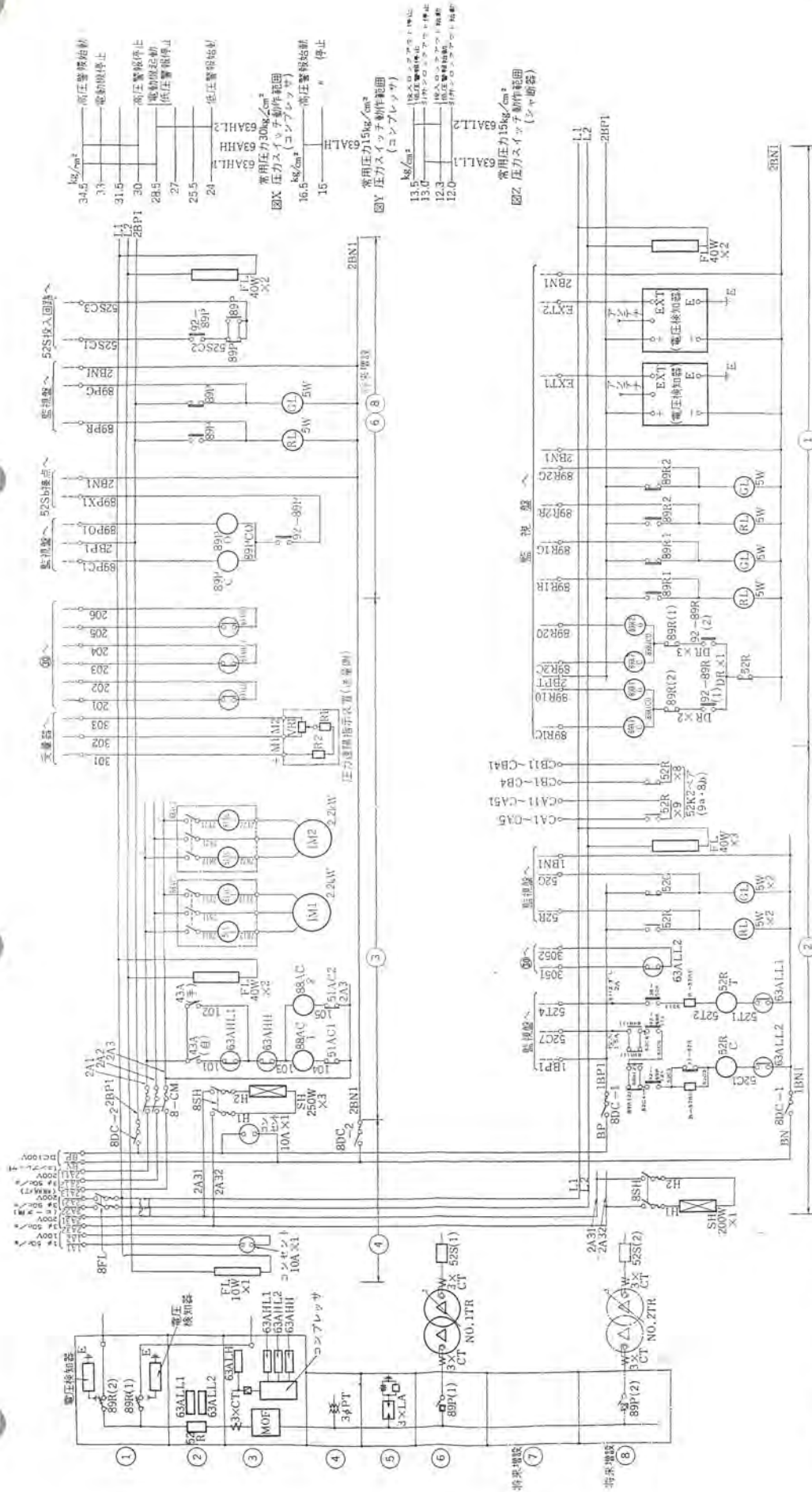


Fig. 4.11 Sequence diagram of cubicles.

1. 正統空気発生装置
 1.1 63AHL1, 63AHL2, 63AHL3, 63AHL4 の動作圧力範囲は図 X, Y を参照
 1.2 タンク内圧力が 28.5 kg/cm² 以下であれば 63AHL1 は閉じて 88AC 負荷に IM 起動
 1.3 タンク内圧力が 33 kg/cm² 以上であれば 63AHL1 は開いて 88AC 負荷に IM 停止
 1.4 43A を手動操作に回せば IM の手動運転ができる
 1.5 IM が過負荷となれば 51AC (サーマルオーガニッドレー) 動作して 88AC 負荷に IM 停止
 1.6 タンク内圧力が 63AHL1, 63AHL2, 63AHL3 の動作圧力範囲にあるとき、監視電圧が高圧または低圧警報を発生
 1.7 30 kg/cm² 以下の圧力は圧力過剰指示装置により監視電圧にも指示する

2. シェア断路 (52R) の操作
 2.1 63AHL1, 63AHL2 の動作圧力範囲は図 Z を参照
 2.2 63AHL2 が閉でインターロック条件 (92-89R) を満足してトビツが閉で、89P (1) が動作してトビツを閉じて、監視電圧の 3-52R を閉で、52RC 付勢し 52R 閉合
 2.3 63AHL1 が閉のとき、3-52R (1) に回せば 52RT 付勢し 52R 閉合
 2.4 シェア断路の試験操作はキュービクルトビツを開き、手動操作弁を押せば任意に操作できる
 2.5 非常時にはキュービクルトビツ付属の非常引はしし用ガラス窓を破り、切用手動操作弁を押せば、トビツを閉じたまま 52R を引はすことができる
 2.6 シェア断路の状態表示はキュービクルトビツおよび監視電圧の赤緑表示で行なうとともにキュービクル断路に機械的表示を行なう

3. 断路器 (89P 正統空気発生装置) の操作
 3.1 空気操作は 52R (開) および他方の断路器 (開) でかつ自己

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) 受電シヤ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ってはならないので、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。

変圧器二次シヤ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ヤ断器自身が投入、シヤ断能力をそう失った場合は圧力閉閉器により操作回路を切り離してシヤ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錠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。合い鍵は解錠位置では抜けず施錠位置のみで抜け、開いたときに合い鍵を抜いてから閉じれば元どおり施錠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600V耐熱塩化ビニル線2.0mm²(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

断路器およびシヤ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れば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28.5~33kg/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シヤ形、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

以上がキヤタビラ三菱株式会社相模原工場納めの60kV屋外用防シヤ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60kVビル用屋内形、70kV工場用屋外防爆形、70kV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60kV屋内用、70kV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、30kV級のキューピクルと思想的にはなにも変わるところがないといえることができる。世間ではいまだ60、70kV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、70kV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は、今後はいろいろの汚損や災害に対し積極的解決を与え、かつ据付面積および占有空間体積の縮小、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100kV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、30kV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、いっそう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)

榎本 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 4 Gc 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ご指導を受け、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18m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のは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18m）、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、工業用テレビジョン装置、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300m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動追尾に移り、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、4mト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2km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 18m 空中線および L-2-2 形観測用ロケット
Fig. 1.1 Distant view of 18mφ 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、ドラム周波数などであり、自動的にタイラ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ウォ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ッ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 -130 dBm 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: カセグレイン 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
 $296.7 \pm 0.05\text{ Mc (CW)}$
ロケットのテレメータ信号
295.0 295.6 296.2 298.1
 $\pm 0.185\text{ Mc (FM-FM)}$
衛星追尾用 ピーコン 信号
 $4,079.73 \pm 0.2\text{ Mc (CW)}$
衛星通信用信号
 $4,170 \pm 12.5\text{ Mc (FM)}$

パラボラ 反射鏡

直径 18 m 重さ 13 トン
アルミのサンドイッチ構造
鏡面精度 3 mm(rms)
開口角 約 150° 焦点距離 5,864 mm

カセグレイン 反射鏡

副反射鏡直径 2 m アルミ製
18 m の主反射鏡と組み合わせて カセグレインアンテナとなる

一次フック射器

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 ラットレース 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
衛星追尾系 (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 任意切替可能
 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)
 チャンネル数 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 分切替可能

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 チャンネル

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)

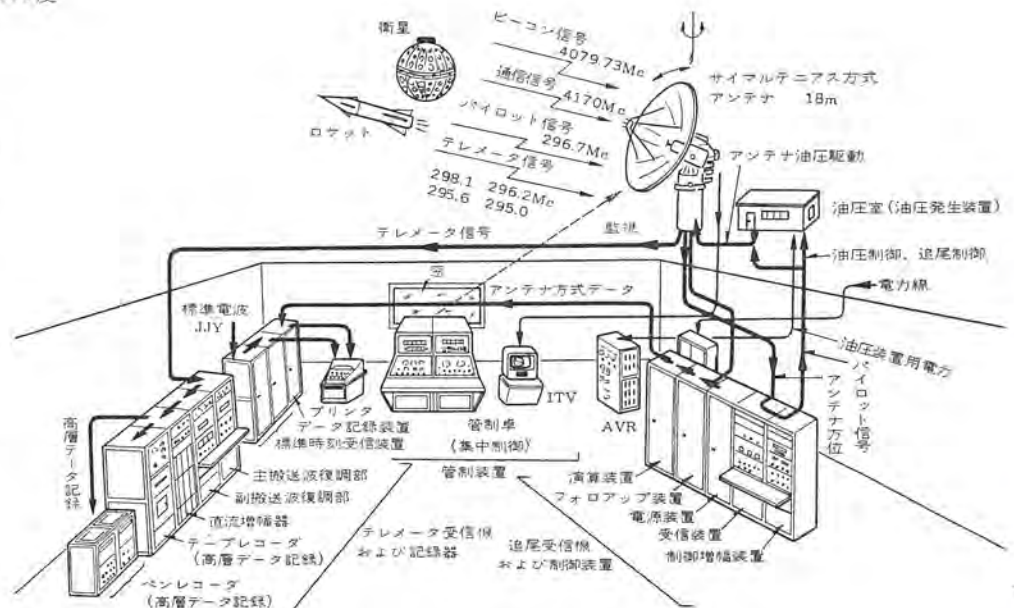


図 4.1 テレメータ追尾レーダ構成図
 Fig. 4.1 Constitution of telemetry tracking radar.

- (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. ペンレコーダ

これらの装置のうち(3)~(16)はテレメータセンタ内に設置され、(1)はテレメータセンタから約50m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。飛シヨウ体の飛行距離の増大に伴って飛シヨウ体からの受信電波はごく微弱なものとなり、これらの電波を高効率かつ良好な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、歯車のバックラッシ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ぬため、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18mの回転放物面で、鏡面精度3mm(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 18m ϕ antenna.

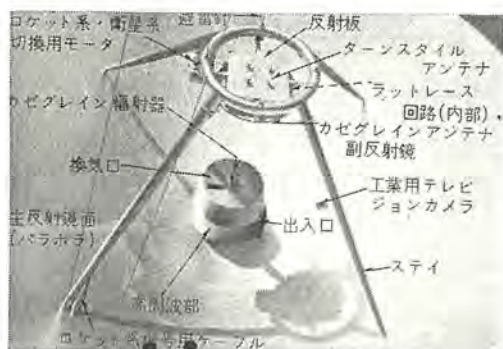


図4.3 反射鏡およびフック射器
Fig. 4.3 Front view of reflector and primary radiator.

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75m/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2mあり、曲面は回転双曲面で鏡面の精度は3mm(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、カセグレインアンテナ(Cassegrain 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本のスチによって主反射鏡に取り付けられている。

(2) 一次フック射器、ハイブリッド回路

一次フッ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ック射器は図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

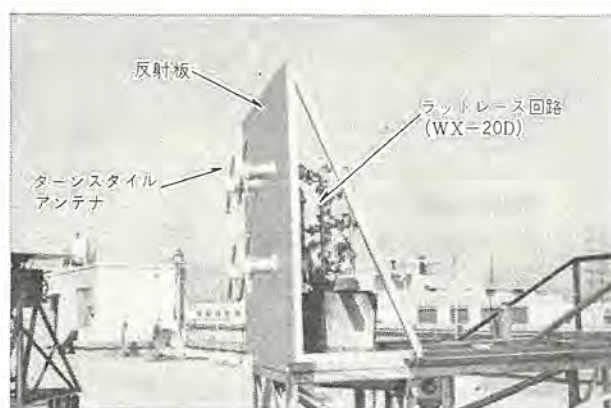


図4.4 ロケット追尾用ターンスタイルアンテナおよびラットレース回路
Fig. 4.4 Turnstile antenna and coaxial rat-race circuit of rocket tracking antenna (for 300 Mc).

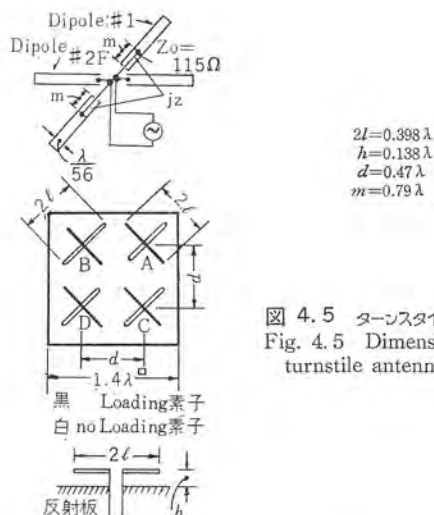


図4.5 ターンスタイルアンテナ
Fig. 4.5 Dimensions of turnstile antenna.

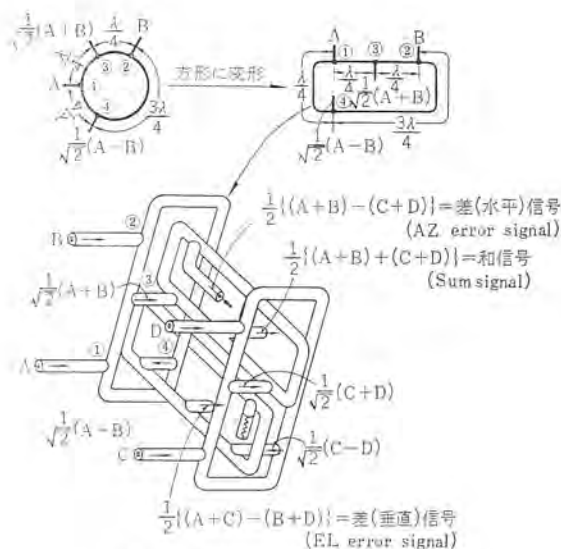


図 4.6 ラットレース回路
Fig. 4.6 Coaxial rat-race circuit.

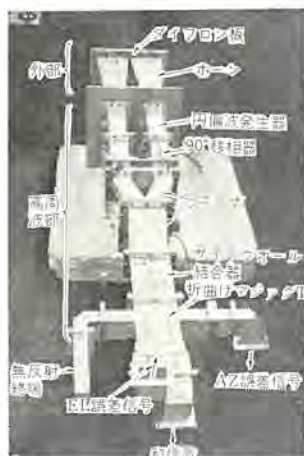


図 4.7 衛星追尾用カセグレインフック射器
Fig. 4.7 Primary feed of satellite tracking antenna (for 4 Gc).

させて Turnstile 形とし、Dipole の各素子の長さを $1/2$ 波長の約 80% に選びフック射 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ック射 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しうる構造としている。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 Spase factor を良くするように 4 個組み合わせさ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ック射器およびハイブリット回路を図 4.7 に示す。一次フッ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)、折曲マニッパ 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ニッパ 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ッ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 に示す一次フック射器から反射鏡に電波をフッ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ーラップさせる。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、

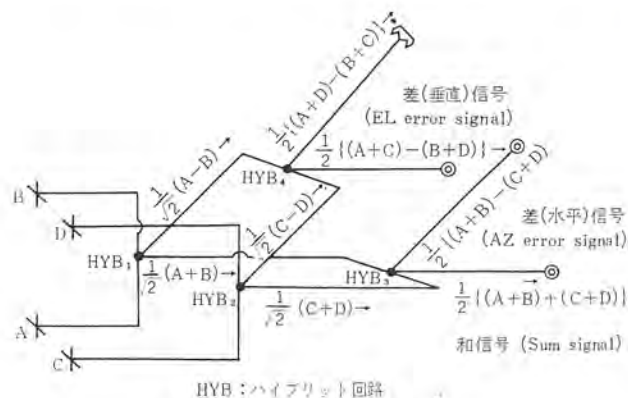


図 4.8 ハイブリット回路系統図
Fig. 4.8 Block diagram of hybrid circuit.

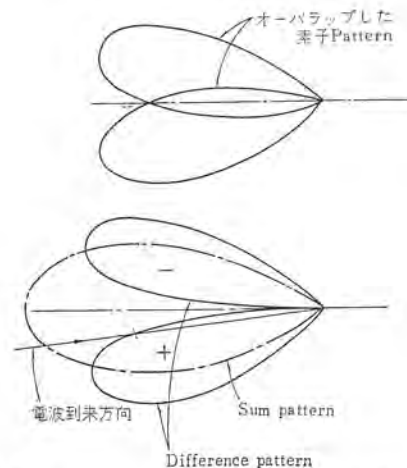


図 4.9 サイマルテニアスロービングパターン
Fig. 4.9 Simultaneous lobing pattern.

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。電波の到来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、符号により到来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 しょう 体からの入力信号変動による角度誤差が大きかったが、この方式では瞬間的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、ケーブル巻取装置がある。駆動部は油圧 モータ および歯車列からなり、回転軸受には歯車付の 4 点接触軸受を使用しているため、回転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 タコメータ 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氣的に制御している。

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けため、これとバランスするようにカウンタウ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、水平回転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 teletype 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し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。高周波部は一次フ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 増幅器

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の流量設定回路や、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.

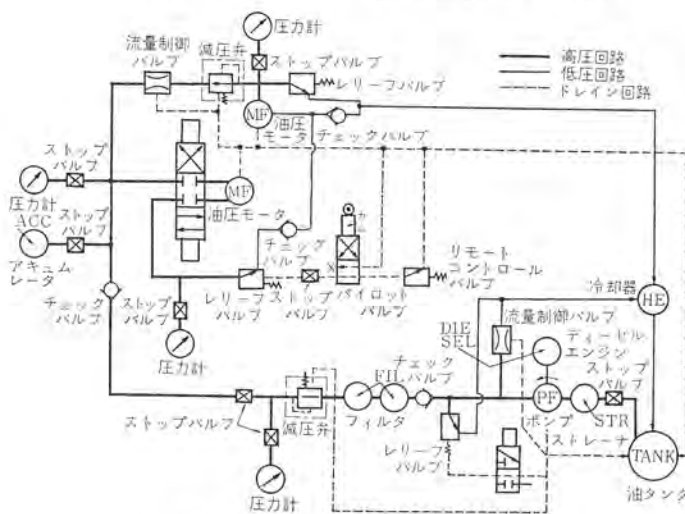


図 4.12 配管系統図 (AZ)
Fig. 4.12 Block diagram of hydraulic power system.

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、バ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

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) の電圧を増幅して第 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波器用のそれより 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、

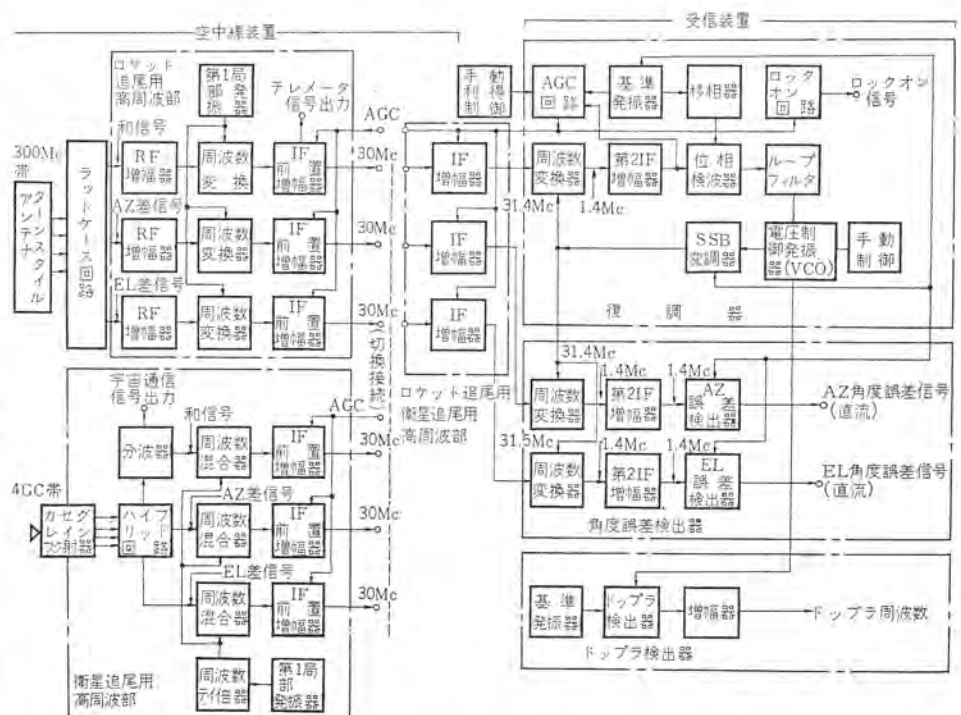


図 4.13 受信系系統図
Fig. 4.13 Block diagram of receiver.

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ぞ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は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畳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畳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。フォロアアップ装置機構部のリゾバルの信号は、空中線装置の角度検出系の中のマルチボールシンクロ (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、ふたたびフォロアアップ装置に送られ、リゾバル増幅器およびサーボ増幅器を通し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ボールシンクロにより電氣的にギヤアップされたサーボ軸がつけられる。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。リゾバル励振用には 10kc 発振器が用いられている。

フォロアアップ装置のエンコーダは演算装置の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、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プライタする。

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

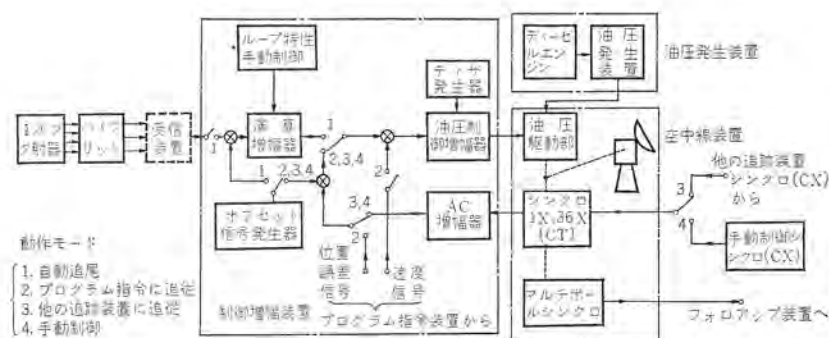


図 4.14 空中線駆動系系統図
Fig. 4.14 Block diagram of antenna drive circuit.

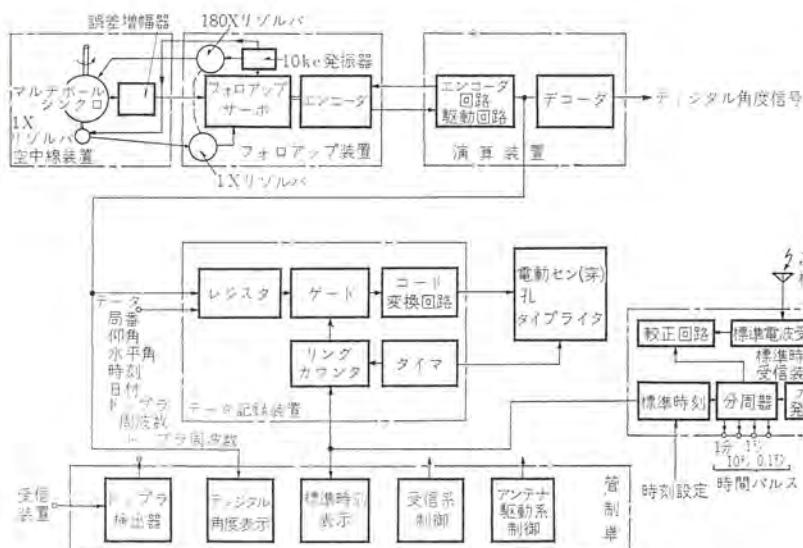


図 4.15 角度検出系および管制装置系統図
Fig. 4.15 Block diagram of antenna angle detection circuit and control system.



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、これにより校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、ドット検出器を含んでいる。

ドット検出器は、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、すなわちドット周波数を検出する。図 4.13 にドット検出器の系統図を、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)・榎本・森川・渡部・若田・篠原

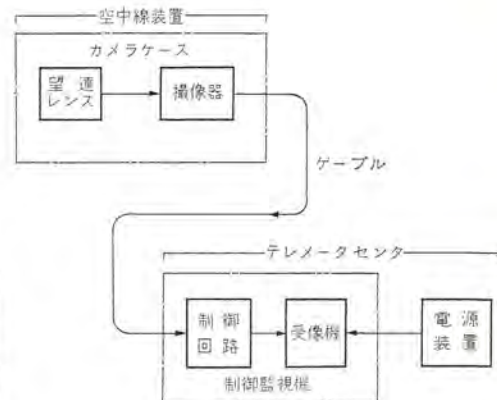


図 4.17 ITV 系統図
Fig. 4.17 Block diagram of ITV.

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送送する。撮像機も遠隔操作で制御される。撮像管にはビデオを用いている。

(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相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 チャンネルである。

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とする。

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ったが、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ド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、しかも飛ショウ体の遠距化により、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、さらにユーゴに輸出した GTR-1 形トラッキングレーダ、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 形レーダはモスラムとしては、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晩にはロケット観測、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) 樫本・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) 樫本・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 theatrical 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、かつ立ち上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%

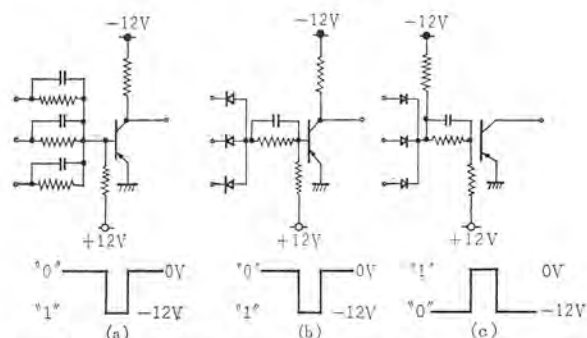


図 2.1 各種 NOR 回路 Fig. 2.1 NOR circuits.



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.

表 3.1 トランジスタ定数

定数	温度	0°C	25°C	50°C
I_{c0} (μA) ($V_{ce} = -12V, I_B = 0$)		3	9	75
β ($V_{ce} = -1V, I_c = 30 mA$)		40	52	54
V_{ce} E(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_L (μA) (at -10V)		9	15	42
V_D (V)		1.3	1	0.85

ダイオード: SD34

$$\frac{R_2}{0.102(V_D + V_{CE(S)}) + 0.0972R_2 I_{c0}} \geq R_3 \geq \frac{(10.8 + V_{be})(2.84 + 1.05R_2)}{9.7 - 13.5(I_{c0} + 4I_L) - \frac{53.7}{\beta} - \frac{19.9}{\beta} R_2} \quad (3.6)$$

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 の範囲を求めると下記のとおりとなる。

$$\begin{aligned} 0^\circ C & \quad 0.84 k\Omega \leq R_2 \leq 11.28 k\Omega \\ 25^\circ C & \quad 0.6 k\Omega \leq R_2 \leq 15.5 k\Omega \\ 50^\circ C & \quad 0.89 k\Omega \leq R_2 \leq 7.94 k\Omega \end{aligned}$$

$$\text{したがって } 0.89 k\Omega \leq R_2 \leq 7.94 k\Omega \quad (3.7)$$

となるから $R_2 = 7.5 k\Omega$ とする。

この場合の R_3 の範囲を同様に求めると下記のとおりとなる。

$$\begin{aligned} 0^\circ C & \quad 29.6 k\Omega \leq R_3 \leq 50 k\Omega \\ 25^\circ C & \quad 24.6 k\Omega \leq R_3 \leq 60.6 k\Omega \\ 50^\circ C & \quad 44.6 k\Omega \leq R_3 \leq 47.8 k\Omega \end{aligned}$$

$$\text{したがって } 44.6 k\Omega \leq R_3 \leq 47.8 k\Omega \quad (3.8)$$

となるから $R_3 = 47 k\Omega$ 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 150 pF とした。

(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、実測すると立ち上がり時間が 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。(立ち下り時間 1 μs) もちろんこれらの過渡電力は過渡時間 (立ち上り, 立ち下り時間) 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 200 kc と考えているので、この場合最大 100 kc 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} を求めると

$$P_{\text{mean}} = \frac{0.3 \times 350 + 4 \times 4.7 + 5 \times 1}{10} = 12.9 \text{ mW}$$

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。

$$T_{j \text{ mean}} = P_{\text{mean}} \cdot \theta_j + T_a$$

T_a : 周囲温度

$$\theta_j: \text{トランジスタの熱抵抗} = \frac{\text{最大許容ジャンクション温度} - 25^\circ C}{\text{最大コレクタ損失}}$$

最大許容ジャンクション温度は大体 85°C であるから

$$T_{j \text{ mean}} = P_{\text{mean}} \cdot \frac{60}{P_c} + T_a = \Delta T_{j \text{ mean}} + T_a$$

となる。

ここで $\Delta T_{j \text{ mean}}$ について考えると、 P_c が 80 mW のものを用いると $\Delta T_{j \text{ mean}} = 9.7^\circ C$, 200 mW のものでは $\Delta T_{j \text{ mean}} = 3.9^\circ C$ 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 も上がるとまた 1 ケタ近く Failure Rate が下が

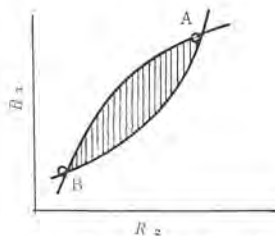


図 3.5 安定領域
Fig. 3.5 Steady domain.

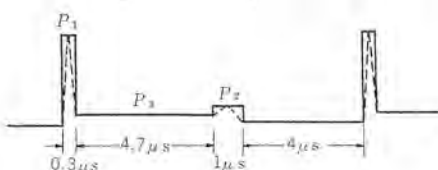


図 3.8 消費電力
Fig. 3.8 Consuming power.

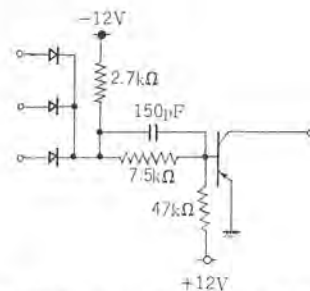


図 3.6 高速ダイオード NOR
Fig. 3.6 High speed diode NOR.

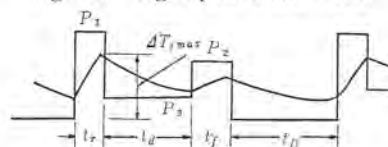


図 3.9 T_j の変位
Fig. 3.9 Displacement of T_j .

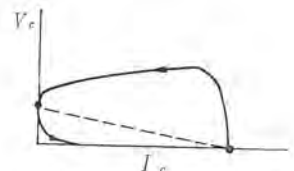


図 3.7 スwitching 軌跡
Fig. 3.7 Switching locus.

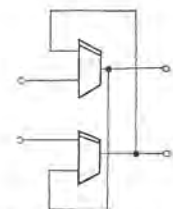


図 3.10 フリップ・フロップの原理形
Fig. 3.10 Original form of Flip-Flop.

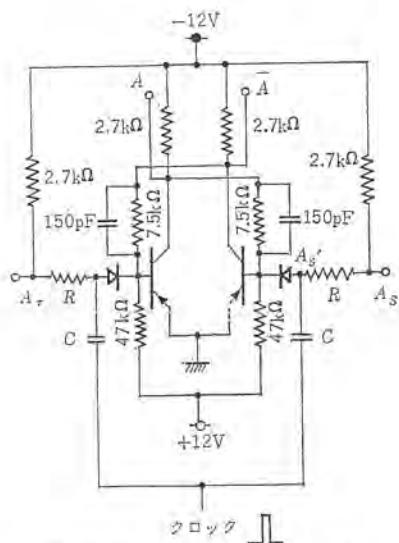


図 3.11 フリップ・フロップ
Fig. 3.11 Flip-Flop circuit.

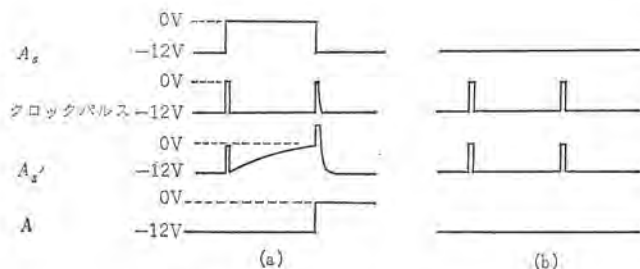


図 3.12 トリガ波形
Fig. 3.12 Wave form of trigger.

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化する。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。

$$T_{j \max} = \Delta T_{j \max} + T_a = \frac{P_1 \sqrt{t_r} + P_2 \sqrt{t_d} + P_3 \sqrt{t_f}}{\sqrt{t_r} + \sqrt{t_d} + \sqrt{t_f} + \sqrt{t_D}} \cdot \theta_l + T_a$$

$$P_c = 80 \text{ mW のとき } T_{j \max} = 27 + 50 = 77^\circ\text{C}$$

$$P_c = 200 \text{ mW のとき } T_{j \max} = 10.8 + 50 = 60.8^\circ\text{C}$$

$T_{j \max}$ 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パルスに同期してセット、リセットするように、トリガ部は図 3.11 の R, C で信号とクロックパルス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

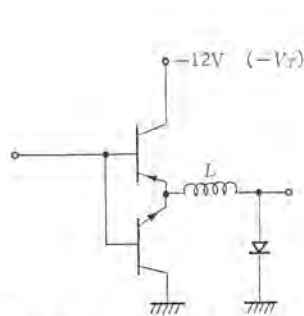


図 3.13 クロックパルス駆動増幅器
Fig. 3.13 Drive amplifier of clock pulse.

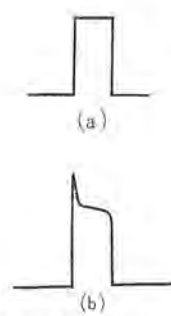


図 3.14 L の影響
Fig. 3.14 Effect of inductance.

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。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_r') がラサに振る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。

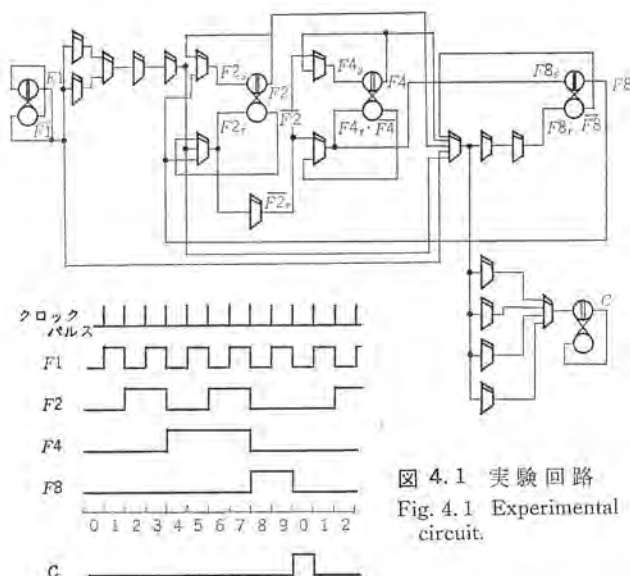


図 4.1 実験回路
Fig. 4.1 Experimental circuit.

表 4.1 温度・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

温度	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

温度	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

温度	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 温度、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 進カウンタを組み立て、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タは誤動作し、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 $\pm 25^\circ\text{C}$ では $\pm 0.05\text{ } \mu\text{s}$ 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

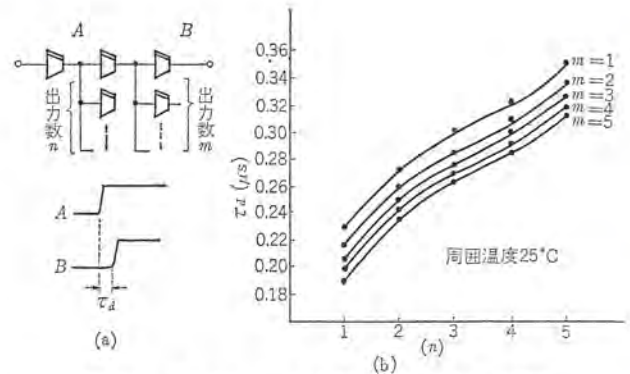


図 4.2 2 段あたりの信号遅れと出力数との関係
Fig. 4.2 Relation of delay time with out put.

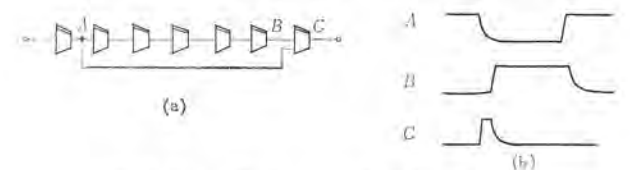


図 4.3 遅延によるスネイプパルス
Fig. 4.3 Sneak pulse of delay time.

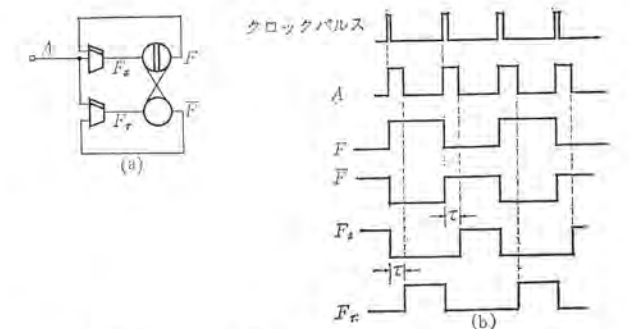


図 4.4 フリップ・フロップ感度測定回路
Fig. 4.4 Experimental circuit and time chart.

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プ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。またスネイプパルスに対しては 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

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
スネイプ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パ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 200 kc 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 段ぐ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 ($V_c=-1\text{V}$, $I_c=-30\text{mA}$)	h_{fe}	65~130
最大コレクタシャ断電流 ($V_c=-10\text{V}$, $I_B=0$)	I_{CB0} (μA)	-6
シャ断周波数	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)	-0.35
温度特性		
直流電流増幅率	h_{fe}	0°C で 50
コレクタシャ断電流	I_{CB0} (μA)	50°C で 50
直流ベース電圧	V_{BE} (V)	0°C で -0.42
経年変化 (1,000 時間)		
直流電流増幅率	h_{fe}	規格値の 80~125%
コレクタシャ断電流	I_{CB0} (μA)	200%
最大定格 ($T_a=25^\circ\text{C}$)		
セン頭逆電圧	(V)	75
直 流 逆 電 圧	(V)	50
サージ電流	(mA)	350
セン頭順電流	(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 (10 V)	(μA)	10
温度特性		
最 小 順 電 流 (1 V)	(mA)	0°C で 3
最 大 逆 電 流 (10 V)	(μA)	50°C で 25
経年変化 (1,000 時間)		
最 大 逆 電 流 (10 V)		規格値の 150%
最 小 順 電 流 (1 V)		100%
備 考		
適 用 品 種		
ト ラ ン ジ ス タ	2SA204	
	2SA407	
ゲルマニウムダイオード	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

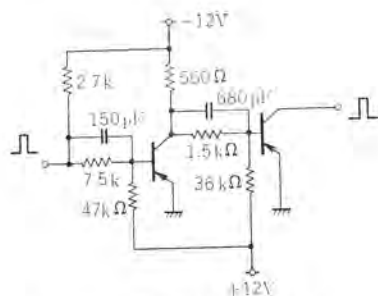


図 6.1 高速 NOR 増幅器
Fig. 6.1 High speed NOR amplifier.

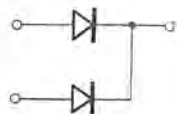


図 6.2 2 入力 OR
Fig. 6.2 OR gate of two inputs.

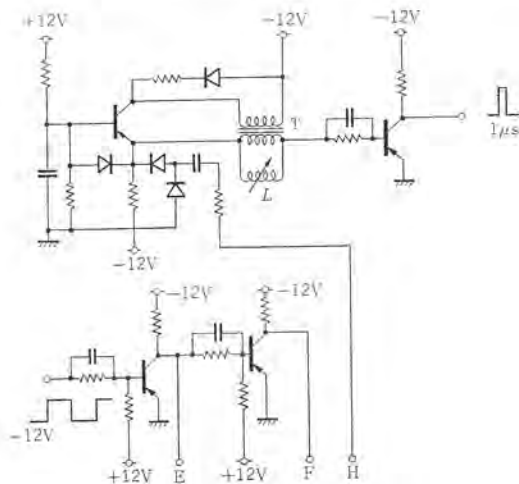


図 6.3 クロックパルス発生器
Fig. 6.3 Clock pulse generator.

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、前者については終段の入力抵抗、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“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ならべたもので、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けて OR ロジックを作ることができる。また 1 入力 NOR 要素の入力につけて任意の入力数の NOR ゲートを作ることでもある。

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 0 V, -12 V の同期信号を入れると出力にブロッキング・オシレータ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

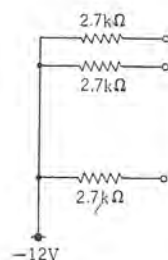


図 6.4 負荷抵抗
Fig. 6.4 Load resistor.

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に同期信号の立ち上がりでも立ち下が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に設計されている。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 個とすることができる。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	実装組数	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、フリップフロップ、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増幅器と組み合わせて用いる
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ゲートと1入力NORゲート2個からなる
12	Q00 NORカウンタ		1ビット×1 2ビット×1	"	"	セット・リセット・クリア・パルス入力、出力、クリア出力端子あり
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	クロックパルス発生器	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	出力端子は10個ありHとL（またはF）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る。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る。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。

$$\begin{aligned}
 F1_s &= \bar{P} \cdot F1 \cdot \bar{R} \\
 F1_r &= \bar{P} \cdot F1 + R \\
 &= \bar{P} \cdot F1 \cdot \bar{R} + R = \bar{a} + R \\
 F2_s &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot \bar{R} = \bar{a} \cdot F2 \\
 F2_r &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 + R \\
 &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot R + R \\
 &= \bar{a} \cdot F2 + R = \bar{b} + R \\
 F4_s &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot \bar{R} = \bar{b} \cdot F4 \\
 F4_r &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 + R \\
 &= \bar{b} \cdot F4 + R
 \end{aligned}$$

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 ビットまではいらないう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。

$$\begin{aligned}
 F1_s &= \bar{P} \cdot F1 \cdot \bar{R} \\
 F1_r &= \bar{P} \cdot F1 + R \\
 &= \bar{P} \cdot F1 \cdot \bar{R} + R = \bar{a} + R \\
 F2_s &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot \bar{F8} \cdot \bar{R} \\
 &= \bar{a} \cdot F2 \cdot \bar{F8} \\
 F2_r &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot \bar{R8} + R \\
 &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot \bar{F8} \cdot \bar{R} + R \\
 &= \bar{a} \cdot F2 \cdot \bar{F8} + R = \bar{b} + R \\
 F4_s &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot \bar{F8} \cdot \bar{R} \\
 &= \bar{b} \cdot F4 \\
 F4_r &= \bar{P} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot \bar{F8} + R
 \end{aligned}$$

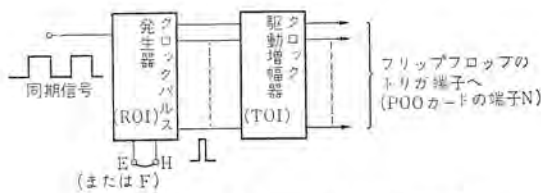


図 8.1 フリップ・フロップトリガ系統図
Fig. 8.1 Trigger system of Flip-Flop.

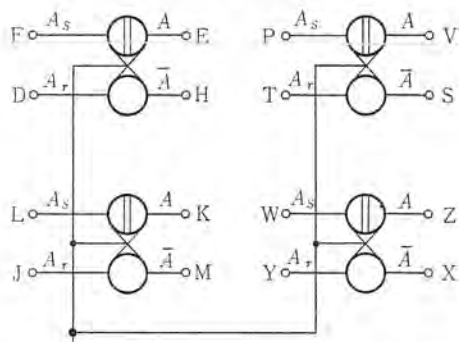


図 8.2 フリップ・フロップカードの A_s , A_r , A と \bar{A} の関係
Fig. 8.2 Relation between A_s , A_r , A and \bar{A} .

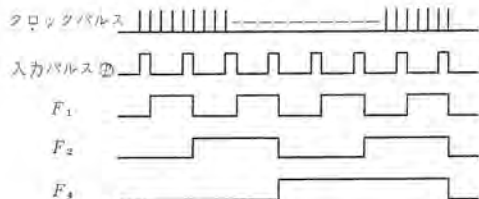


図 8.3 3ビット2進計数回路の各部波形
Fig. 8.3 Wave forms of 3 bits binary counter.

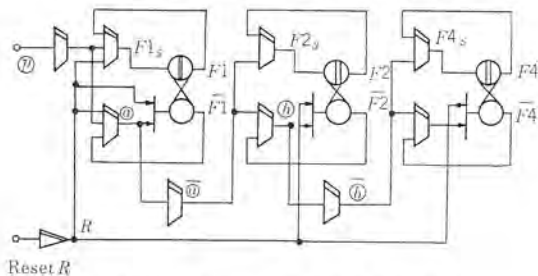


図 8.4 3ビット2進計数回路
Fig. 8.4 3 bits binary counter of NOR system.

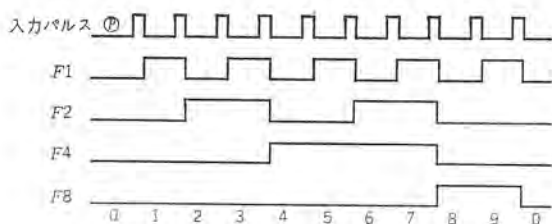


図 8.5 10進計数回路の各部波形
Fig. 8.5 Wave forms of decimal counter.

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

$$= \textcircled{b} F4 + R = \textcircled{c} + R$$

$$F8_s = \textcircled{d} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot F8 \cdot \bar{R} = \textcircled{e}$$

$$F8_r = \textcircled{d} \cdot F1 \cdot F2 \cdot F4 \cdot F8 + R = \textcircled{a} \cdot F2 \cdot F4 \cdot F8 + R$$

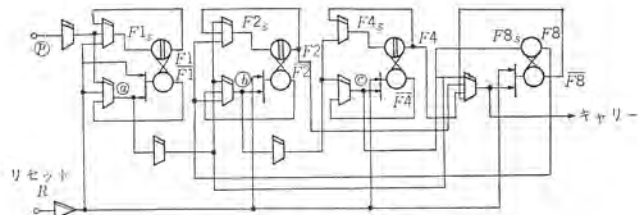


図 8.6 10進計数回路
Fig. 8.6 Decimal counter of NOR System.

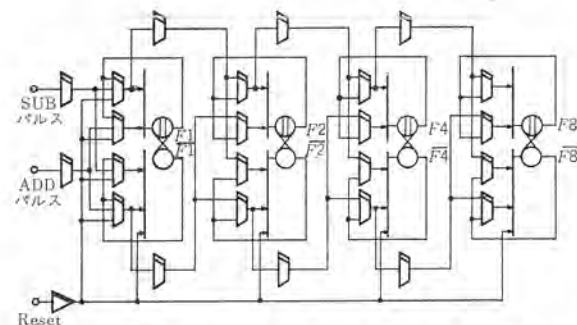


図 8.7 4ビット可逆2進計数回路
Fig. 8.7 4 bits reversible binary counter of NOR system.

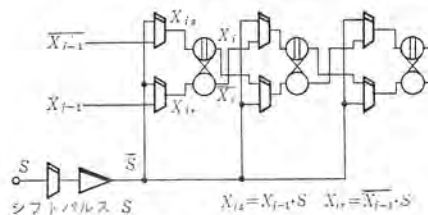


図 8.8 シフトレジスタ
Fig. 8.8 Shift register of NOR system.

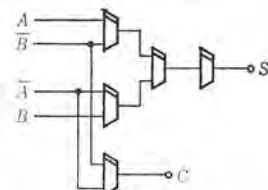


図 8.9 半加算器
Fig. 8.9 Half adder of NOR system.

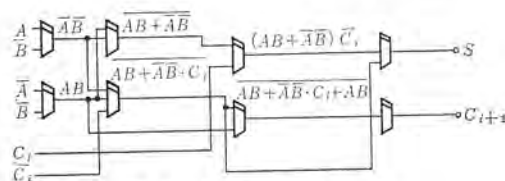


図 8.10 全加算器
Fig. 8.10 Full adder of NOR system.

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。

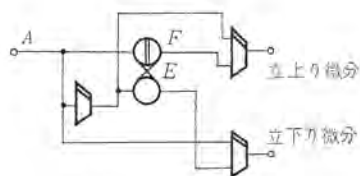


図 8.11 微分回路
Fig. 8.11 Differential circuit of NOR system.

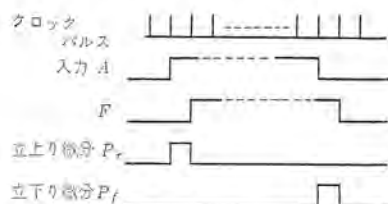


図 8.12 微分回路各部波形
Fig. 8.12 Wave forms of differential circuit.

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。

$$S = \bar{A}B + A\bar{B} \quad C = AB$$

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。

$$\begin{aligned} S &= \bar{A}\bar{B}C_i + \bar{A}B\bar{C}_i + A\bar{B}C_i + ABC_i \\ &= (\bar{A} + \bar{A}B)C_i + \bar{A}B + AB \cdot C_i \\ C &= \bar{A}BC_i + A\bar{B}C_i + ABC_i + ABC_i = \bar{A}B + \bar{A}B \cdot C_i + AB \end{aligned}$$

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。

$$P_r = A \cdot \bar{F} \quad P_f = \bar{A} \cdot F$$

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っても過言ではなからう。

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 フライス 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) 嶋村・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・壺井・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形化・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。しかしごく最近 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形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の問題点

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因する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理論によれば、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 は一般の超電導体では、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

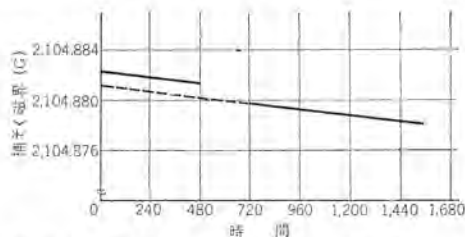


図 2.1 Nb-Zr ツレノイドの捕そく磁界の減衰⁽⁴⁾

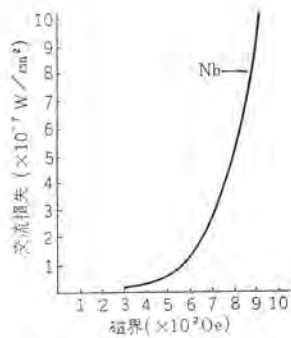


図 2.2 超電導体の交流磁界中における損失測定例⁽⁶⁾

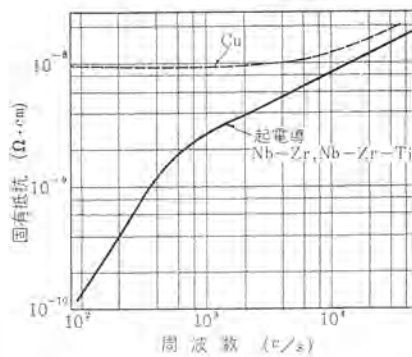


図 2.3 硬超電導体 (Nb-Zr, Nb-Zr-Ti) の交流電流に対する抵抗^{(7), (8)} (4.2°K, 線径 10 mil)

よび 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ほぼ完全な マイスナー 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。

$$P = CH^n \text{ (W/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (2.1)$$

C, n は材料によって異なる定数であって，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，磁界が内部に浸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ず，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す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とも説明できない。

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 超電導 (2) — 電気機器への応用 — 岩本

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に思えるが，実際には必ずしもそうでない。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さ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ないことである。

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重に断熱する必要がある，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ない。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入出力用電流線（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

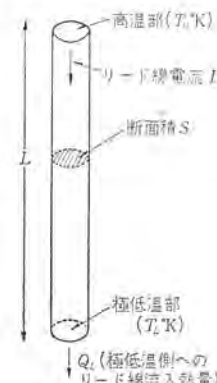


図 2.4 リード線のモデル

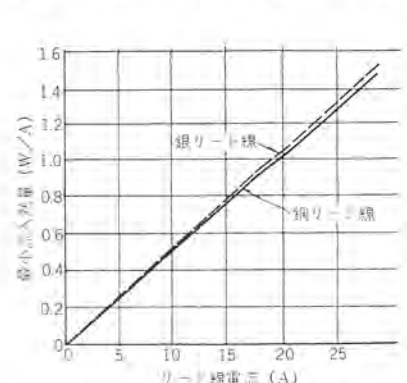


図 2.5 最適設計されたリード線の流入熱量 (300→77°K)

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度 (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_{Lmin} は、理論上次式で求められる⁽¹⁰⁾。

$$Q_{Lmin} = \left[2 \left(\frac{\kappa}{\sigma} \right)_{av} (T_H - T_L) \right]^{1/2} (W/A) \dots\dots (2.2)$$

ここで $\left(\frac{\kappa}{\sigma} \right)_{av}$ は $T = T_H \sim T_L$ 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、77°K 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_{Lmin} 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_{Lmin} 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的電圧降下
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 (空气中)	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 コンデンサペーパー(ワニス処理)	5,700V	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 ポリエスデル	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のと等価である。

$$v_L = Q_{Lmin}/\eta \dots\dots\dots (2.3)$$

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ので、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。ポリエステル、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

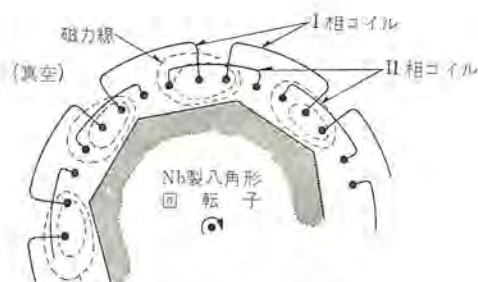


図 3.1 超電導モータ

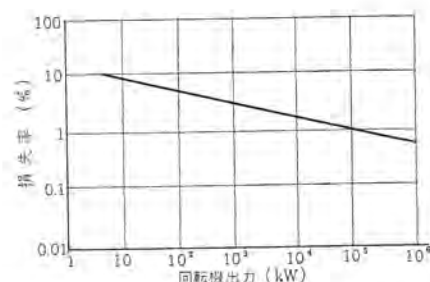
的可能性、経済性などについては各機種で異なることはいうまでもない。超電導電気機器には、現在のところ比較的高価な極低温冷却機および冷却系が必要であるから、超電導化した場合の利点がかかなり大きいものでないことと実用にならないことは十分留意しておくべきであろう。この章では機種別に特長、技術的問題点、経済性について説明しよう。

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ベアリングの原理⁽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ポンプ動力用に用いようとする考えもある。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不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、などによって異なってくる。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、励磁電力損失なしに強磁界(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く



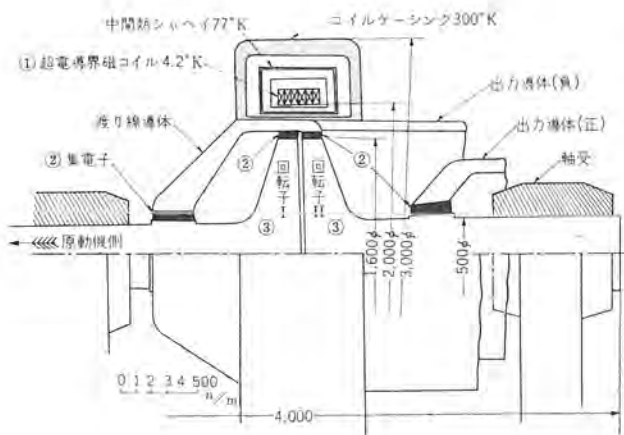
シャフト(ステンレス製)の長さ: 1,000 mm, 回転数 8,600 rpm
図 3.2 回転子を極低温に冷却した場合のシャフト冷却用電力による損失の割合

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しても、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)の軸流入熱量に基因する損失率を図 3.2 に示した。今後冷却機効率が向上すれば、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、機械材料の低温ゼイ(脆)性ヒズ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ベリ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(3 A/mm²)と同じオーダーにするには周波数が 60 c/s の場合磁束密度が 20 kG のときは直径 0.2 mm、40 kG のときには直径 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ろう。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小さ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、おのお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, $i=150$ 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 個を電氣的に直列接続, 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らう。

超電導体の磁気シャヘ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。

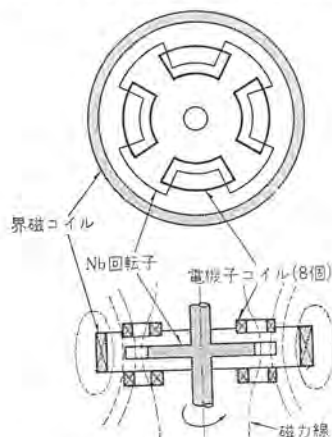


図 3.4 超電導交流発電機 (交流単極発電機方式)⁽¹⁷⁾

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のが利点であると考えられている。現在、宇宙飛行機体用に、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、ガスタービン、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えない。

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らう。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)

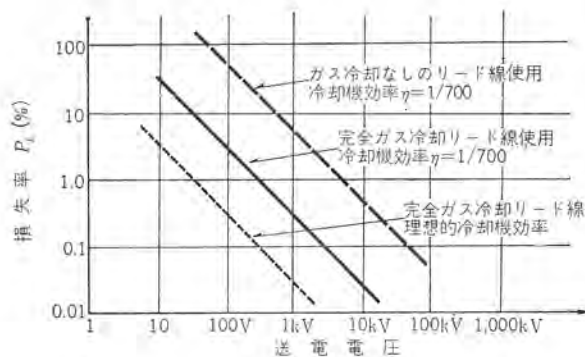


図 3.5 リード線流入熱量による送電損失の割合

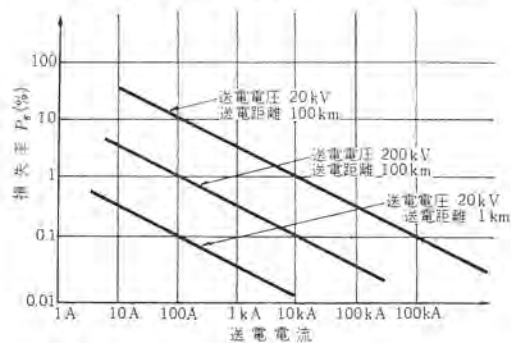


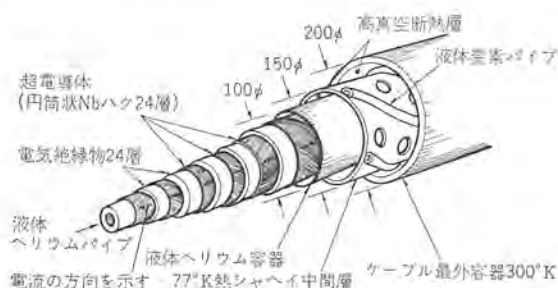
図 3.6 真空断熱層 ($P=10^{-4}$ mmHg) の残留ガス伝導熱量による送電損失の割合 (中間熱シヤヘイ層は 77°K のみ、冷却機効率 $\eta=1/700$ 、超電圧体の電流密度 $i=200$ A/mm² とした)

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 はこの流入熱損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、まずフック 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ヤシヤ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 $P_v\%$ 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 機 電 力 損 失	リード線流入熱量の冷却	800 kW	800 kW
	フック射熱量の冷却	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 導体交流損失の冷却	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

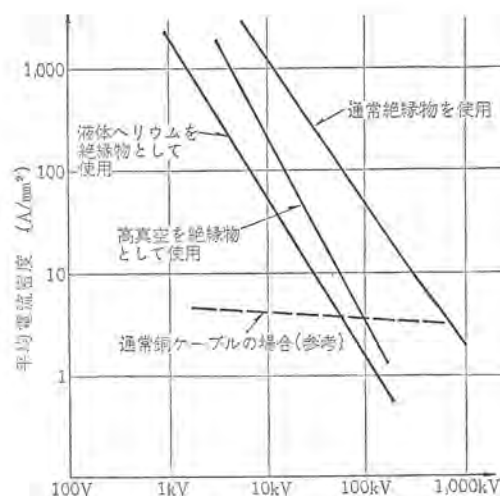
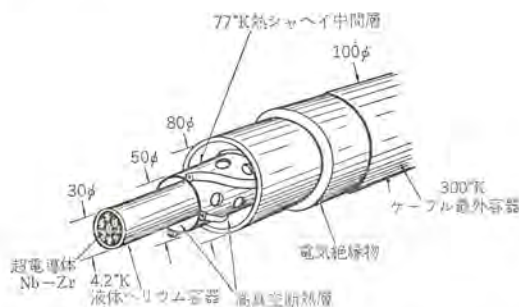


図 3.8 Nb ハクを使用した交流用超電導ケーブルの平均電流密度 (4.2°K)

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に、平均電流密度が小さくなっ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と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 (4.2°K 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	1 km 送電	100 km 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 のハコ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って⁽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である。この対策としては、定格電流を臨界電流より十分低く選り、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達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、⁽²⁰⁾ 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、超電導コイルは銅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、悲観・楽観が繰り返された⁽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 点にしばられる。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 1,400 kWh のエネルギー源となる。⁽²²⁾ 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ナ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浸入し磁界分布が変化する。これをサーコイルで検出すれば電氣的出力が得られる。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った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. Mcnichol: Evaporation of Helium I 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. UNNEWEHR: 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. Buchhold: 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).

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

単一形ブッシングは、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。

単一形ブッシングは、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填した構造の、バ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。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以上の超高压用になれば實際上コンデンサ形にしなければ製作できないといっても過言ではない。

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34.5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
単一形	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
		新PO形	*	昭和39年～
	油入密封形 (中心導体 縮付方式)	POT形	23kV(34.5kV) 以下	昭和34年～
コンデンサ形	コンパウン ド充テン形	A, B, C, D, E, F ₁ , F ₂ 形	34.5kV以上	大正15年～昭和16年
	絶縁油 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 縮付方式)	OT形	*	昭和29年～昭和39年
		新OT形	*	昭和39年～
	完全乾式 (屋外用)	C形	25kV以下	昭和38年～
		DC形	30kV以下	昭和38年～
	完全乾式 (エレファ 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単一形ブッシングであり、構造は図3.1に示すご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にしたものである。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形ブッシングは単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)に示すごとく、ガイ管に出っぱりを付け

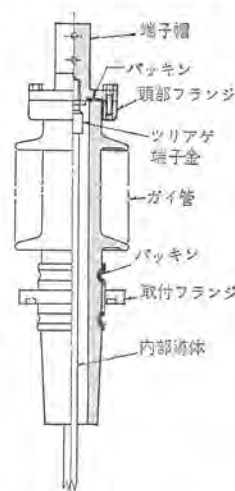


図 3.1 新 P 形 ブッシング 構造図

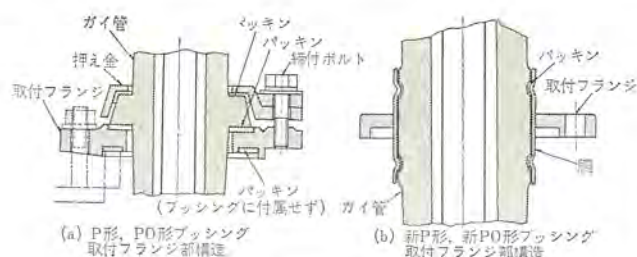
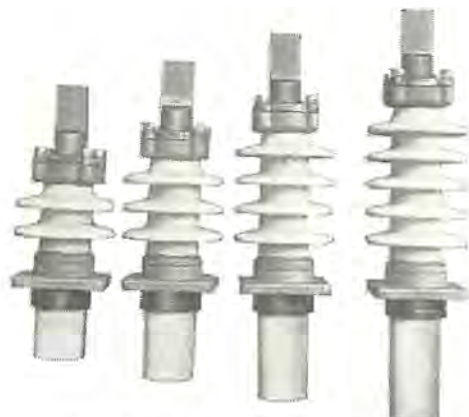
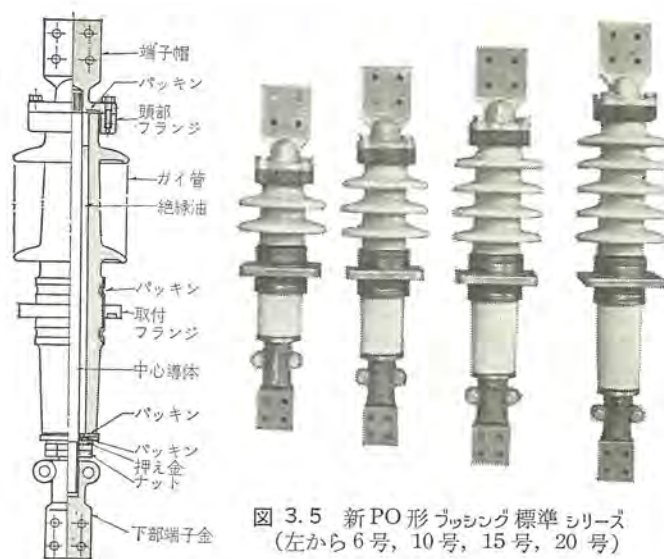


図 3.2 単一形ブッシング取付フランジ部の構造

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ー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 3.5 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)図 3.4 新PO形
ブッシング構造図

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単一形ブッシングであり、構造は図 3.4 に示すごとく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は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ー長をできるだけ長くとした新PO形に形式変更した。

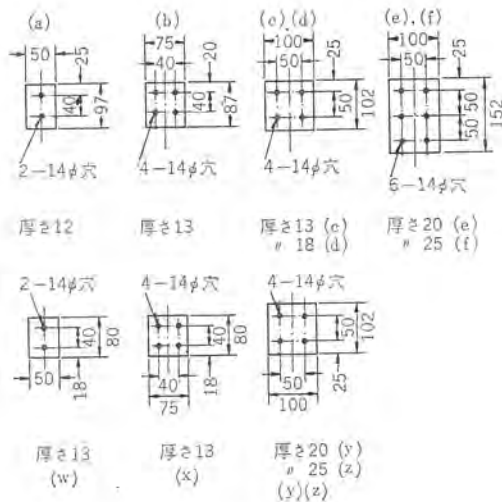
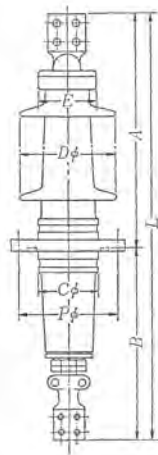
取付フランジの従来のPO形との互換性については考慮してある。使用電圧はP形ブッシングと同様 23 kV 以下である。

表 3.1 新P形ブッシング諸元

形式番号	絶縁階級 (号)	定格電圧 (A)	試験電圧			寸法 (mm)								気中側ガイ管諸元	
			商用周波 乾燥 (kV)	注水 (kV)	衝撃波 1×40μs (kV)	L	A	B	C	D	E	P	取付ボルト	表面漏エー長 (mm)	平均直径 (mm)
BG-60350	3	100	25	20	50	374	287	87	54	110	70	120	W1/2×4	120	70
BG-60351		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
BG-60651		400				475	342	133	110	180	120	178	W1/2×4	269	131
BG-60652	10	600	45	35	100	475	342	133	110	180	120	178	W1/2×4	269	131
BG-61050		100				530	367	163	85	148	95	156	W1/2×4	387	102
BG-61051	15	400	50	45	110	555	392	163	110	180	120	178	W1/2×4	391	132
BG-61052		600				555	392	163	110	180	120	178	W1/2×4	391	132
BG-61550	20	100	70	60	165	610	417	193	85	148	95	156	W1/2×4	495	104
BG-61551		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
BG-62050		100				690	467	223	85	148	95	156	W1/2×4	612	105
BG-62051		400				715	492	223	110	180	120	178	W1/2×4	635	135
BG-62052		600				715	492	223	110	180	120	178	W1/2×4	635	135

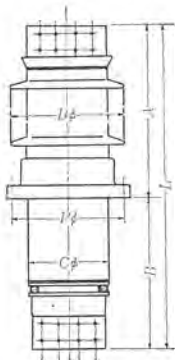
(注) 内部導体はすべてヨリ線を使用し、ツリアゲ式接続である。

表 3.2 新 P O 形 プ 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 1×40 μs (kV)	L	A	B	C	D	E	P	取付ボルト	上部	下部	表面 漏エー長 (mm)	平均直径 (mm)		
			乾燥 (kV)	注水 (kV)															
BG-60600	6	800	30	25	65	645	347	298	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	a	w	269	131		
BG-60601		1,200				667	350	317	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	b	x	269	131		
BG-60602		1,800				687	370	317	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	c	x	269	131		
BG-60603		2,200				763	412	351	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	d	x	280	154		
BG-60604		3,000				911	510	401	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	e	y	280	154		
BG-60605		3,500				913	510	403	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	280	154		
BG-60606	10	4,000	45	35	100	998	560	438	138	220	180	230	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	280	154		
BG-61000		800				725	397	328	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	a	w	391	132		
BG-61001		1,200				747	400	347	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	b	x	391	132		
BG-61002		1,800				767	420	347	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	c	x	391	132		
BG-61003		2,200				843	462	381	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	d	x	420	154		
BG-61004		3,000				991	560	431	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	e	y	420	154		
BG-61005	15	3,500	50	45	110	993	560	433	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	420	154		
BG-61006		4,000				1,078	610	468	138	220	180	230	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	420	154		
BG-61500		800				805	447	358	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	a	w	513	134		
BG-61501		1,200				827	450	377	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	b	x	513	134		
BG-61502		1,800				847	470	377	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	c	x	513	134		
BG-61503		2,200				923	512	411	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	d	x	535	156		
BG-61504	20	3,000	70	60	165	1,071	610	461	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	e	y	535	156		
BG-61505		3,500				1,073	610	463	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	535	156		
BG-61506		4,000				1,158	660	498	138	220	180	230	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	535	156		
BG-62000		800				885	497	388	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	a	w	635	135		
BG-62001		1,200				907	500	407	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	b	x	635	135		
BG-62002		1,800				927	520	407	110	180	120	178	W $\frac{1}{2}$ ×4	c	x	635	135		
BG-62003	20	2,200	70	60	165	1,003	562	441	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	d	x	650	157		
BG-62004		3,000				1,151	660	491	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	e	y	650	157		
BG-62005		3,500				1,153	660	493	130	210	165	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	650	157		
BG-62006		4,000				1,238	710	528	138	220	180	230	W $\frac{1}{2}$ ×6	f	z	650	157		

表 3.3 P O T 形 プ 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)						
			商用周波		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	気中側 最大径 D	取付ボルト 中心径 P	取付ボルト径 ×本数
			乾燥 (kV)	注水 (kV)								
BG-62030	20	5,500	70	60	165	1,051	519	532	210	285	270	W $\frac{1}{2}$ ×8
BG-62031		7,500				1,051	519	532	260	335	335	W $\frac{1}{2}$ ×12
BG-62032		10,000				1,111	554	557	345	420	470	W $\frac{1}{2}$ ×12

図 3.5 に新 PO 形 プッシングの標準品 6 号～20 号の写真を示す。

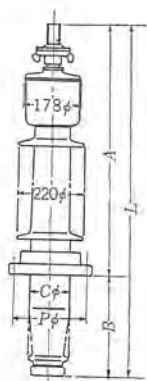
表 3.2 に新 PO 形 プッシングの諸元を示す。

3.3 POT 形 プッシング

POT 形 プッシングは、中心導体締付方式とした油入密封形の単一形 プッシングであり、電流容量の大きい 5,000 A 以上の プッシング

表 3.4 P O T 形 ラッシング 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		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 セン絡長 (mm)	表面 濡エイ長 (mm)	平均直径 (mm)
			乾燥 (kV)	注水 (kV)										
BG-3630	30	400	95	80	220	1,186	817	369	120	220	W $\frac{1}{2}$ ×6	403	680	144
BG-3631		600				1,186	817	369	120					
BG-3632		1,000				1,161	792	369	120					



の形名である。

POT 形の構造は PO 形ラ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. コンデンサラッシング

4.1 コンデンサラッシングの原理

コンデンサラ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。

コンデンサラッシングは図 4.1 に示すごとく、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高め、ラッシングの太さを細くするものである。

コンデンサ形ラ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。

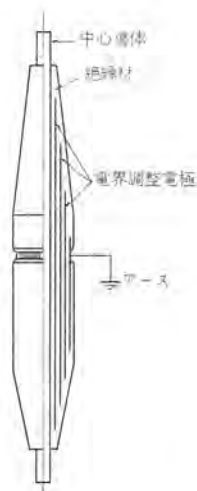


図 4.1 コンデンサラッシング
内部の電位傾度

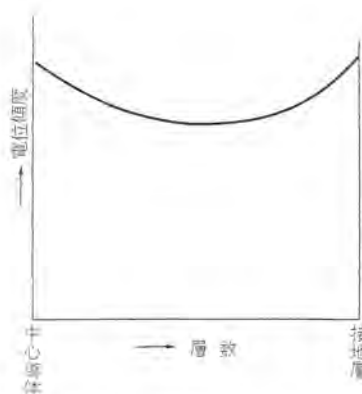


図 4.2 コンデンサラッシングの
内部の電位傾度

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。

コンデンサラ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、ラ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

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_1}{\log d_1/d_0} \\ C_2 &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_2}{\log d_2/d_1} \\ C_3 &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_3}{\log d_3/d_2} \\ &\vdots \\ C_{n-1} &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_{n-1}}{\log d_{n-1}/d_{n-2}} \\ C_n &= \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_n}{\log d_n/d_{n-1}} \end{aligned} \right\} \because d_0 = \text{中心導体直径} \quad (3.2)$$

で表わされる。

コンデンサラッシングの場合は、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

$$C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_{n-1} = C_n \quad (3.3)$$

$$\therefore \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_1}{\log d_1/d_0} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_2}{\log d_2/d_1} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_3}{\log d_3/d_2} = \dots = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_{n-1}}{\log d_{n-1}/d_{n-2}} = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_s l_n}{\log d_n/d_{n-1}} \quad (3.4)$$

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、 $l_1, l_2, l_3, \dots, l_{n-1}, l_n$ を等差級数的に変化させる方法と、絶縁材の厚さすなわち、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、ラ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。実際のラ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。したがってラ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

$$\frac{l_1}{\log d_1/d_0} = \frac{l_2}{\log d_2/d_1} = \dots = \frac{l_n}{\log d_n/d_{n-1}} \\ = \frac{n(l_1 + l_n)}{2 \log d_n/d_0} = \frac{n l_{ave}}{\log d_n/d_0} \dots \dots \dots (3.6)$$

ただし

$$l_{ave} = \frac{l_1 + l_n}{2}$$

ゆえに

$$\left. \begin{aligned} \log d_1/d_0 &= \frac{l_1}{n l_{ave}} \cdot \log d_n/d_0 \\ \log d_2/d_1 &= \frac{l_2}{n l_{ave}} \cdot \log d_n/d_0 \\ &\vdots \\ \log d_n/d_{n-1} &= \frac{l_n}{n l_{ave}} \cdot \log d_n/d_0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (3.7)$$

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、しかも表面電界特性が良好である。
- (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填したものである。

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スキ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シ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 形は絶縁油充テシ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

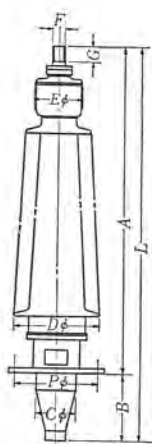


図 4.3 三菱コンデンサブッシング“DT 形” 70 号 400 A 用

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	有効セン絡長 (mm)	表面漏エー長 (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 $\frac{3}{8}$ ×6	38-12	55	650	1,570	187
70	400	1,420	1,170	250	125	295	178	250	W $\frac{3}{8}$ ×6	38-12	55	750	1,870	190



図 4.4 三菱コンデンサブッシング“C 形” 25 kV 100 A 用 (国鉄東海道新幹線車両用)



図 4.5 三菱コンデンサブッシング“OT 形”と“新 OT 形”の比較
(左) 新 OT 形 140 号
(右) OT 形 140 号

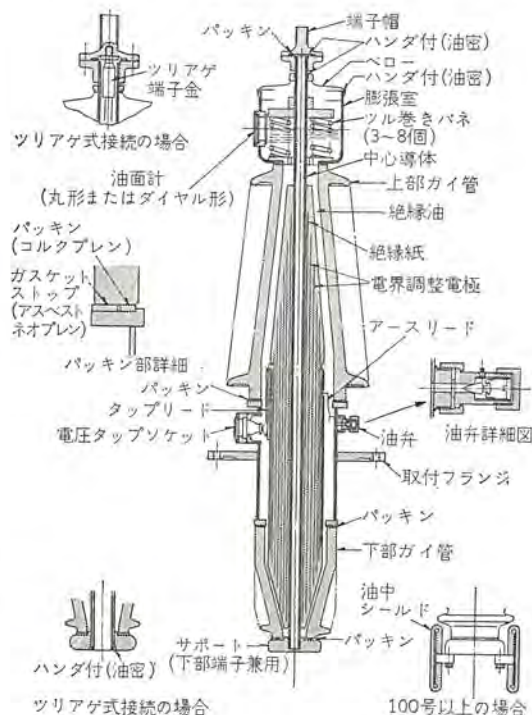


図 4.6 三菱コンデンサブッシング“新 OT 形”の構造説明図

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”の乾式コンデンサブッシングとは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。ただ当時のバック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、現在では良質のバック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、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、およびエレファント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

電氣的、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、表面漏エー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絡

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 コルクラレン、外側に コルクラ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、ガスケットストッパ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 1 kg/cm^2 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。

電流量 400 A 以下絶縁階級 70 号以下の場合、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”の耐塩害特性

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頻度が大きく、また主要火力発電所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 管類の塩じん(塵)害対策は最も重要である。

ガイシ、ガイ 管類の塩じん害対策は各方面で研究されているが、具

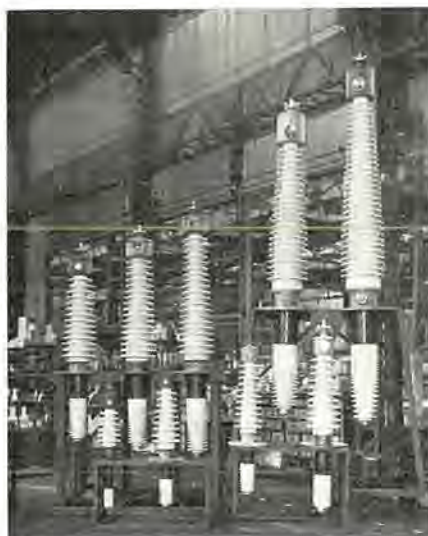


図 4.7 三菱コンデンサブッシング“新 OT 形”標準シリーズ
(左から 80 号, 30 号, 100 号, 60 号, 120 号,
70 号, 170 号, 80 号, 200 号)

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、使用個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

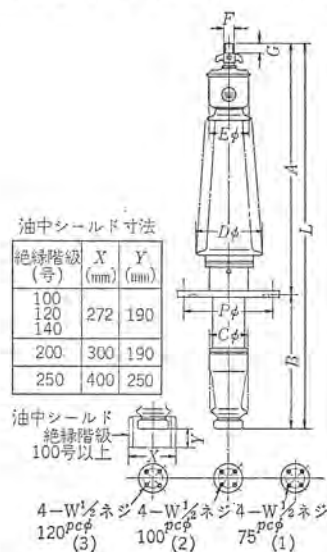


表 4.2 三菱コンデンサブランド“新OT形”諸元

種 類	形 式 番 号	絶 縁 階 級 (号)	定 格 電 流 (A)	試 験 電 圧		各 部 の 寸 法 (mm)					取 付 フ ラ ン ジ		上 部 端 子		下 部 端 子	気 中 側 ガ イ 管 諸 元		備 考			
				商 用 周 波 乾 燥 (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	気 中 側 最 大 径 D	頭 部 外 径 E	ボ ル ト 中 心 径 P (mm)	レ ッ ト 径 × 本 数	ネ ジ 径 mm φ-φ		長 さ (mm)	有 効 セ ン 格 長 (mm)		表 面 漏 エ イ 長 (mm)	平 均 直 径 (mm)	
標 準	BG-35300		400			1,289	851	438			105	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	ツリアゲ式			
	BG-35301	30	600	95	80	1,289	851	438						240		38-12	56	(1)	400	870	173
	BG-35302		1,000			1,264	826	438								38-12	60	(1)			
	BG-35400		400			1,394	931	463								38-12	56	ツリアゲ式			
	BG-35401	40	600	120	100	1,394	931	463			123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	(1)	480	1,140	175
	BG-35402		1,000			1,369	906	463								38-12	60	(1)			
	BG-35600		400			1,609	1,101	508			138	295	169	360	W $\frac{3}{8}$ ×8	38-12	56	ツリアゲ式			187
	BG-35601	60	600	175	145	1,609	1,101	508								38-12	60	(1)			
	BG-35602		1,000			1,584	1,076	508								38-12	60	(1)			
	BG-35700		400			1,739	1,201	538								38-12	56	ツリアゲ式			
	BG-35701	70	600	200	165	1,739	1,201	538			152	295	169	380	W $\frac{5}{8}$ ×8	38-12	56	(1)	750	1,870	190
	BG-35702		1,000			1,714	1,176	538								38-12	60	(1)			
標 準	BG-35800		600			2,036	1,338	698			190	360	210	480	W $\frac{5}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	820	2,000	253
	BG-35801	80	1,200	225	190	2,036	1,338	698								38-12	60	(2)			
	BG-36000		600			2,377	1,552	825			207	395	260	480	W $\frac{5}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,019	2,590	266
	BG-36001	100	1,200	280	230	2,377	1,552	825								38-12	60	(2)			
	BG-36200		600			2,478	1,770	908			227	420	260	480	W $\frac{5}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,220	3,200	286
	BG-36201	120	1,200	330	275	2,478	1,770	908			257	440	300	600	W $\frac{3}{4}$ ×12	38-12	60	(3)	1,500	3,820	284
	BG-36400		600			3,058	2,060	998			337	525	332	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	1,750	4,450	338
	BG-36401	140	1,200	385	320	3,058	2,060	998			317	490	332	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,250	5,750	350
	BG-36750		800			3,763	2,535	1,228			419	605	360	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,800	7,060	390
	BG-36751	170	1,200	470	390	3,763	2,535	1,228								38-12	56	ツリアゲ式			
	BG-37050		800			4,391	3,033	1,358			337	525	332	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,250	5,750	350
	BG-37051	200	1,200	550	460	4,391	3,033	1,358			419	605	360	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,800	7,060	390
耐 堪	BG-37551	250	1,200	680	570	5,641	3,683	1,958			105	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	ツリアゲ式			178
	BG-35310		400			1,289	851	438								38-12	56	(1)	400	1,060	
	BG-34311	30	600	95	80	1,289	851	438								38-12	60	(1)			
	BG-35312		1,000			1,264	826	438								38-12	56	ツリアゲ式			179
	BG-35410		400			1,394	931	463			123	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	(1)	480	1,330	
	BG-35411	40	600	120	100	1,394	931	463								38-12	60	(1)			
	BG-35412		1,000			1,369	906	463			138	275	169	360	W $\frac{5}{8}$ ×8	38-12	56	ツリアゲ式			184
	BG-35610		400			1,609	1,101	508								38-12	56	(1)	650	1,780	
	BG-35611	60	600	175	145	1,609	1,101	508								38-12	60	(1)			
	BG-35612		1,000			1,584	1,076	508								38-12	56	ツリアゲ式			
	BG-35710		400			1,739	1,201	538			152	275	169	380	W $\frac{5}{8}$ ×8	38-12	56	(1)	750	2,080	185
	BG-35711	70	600	200	165	1,739	1,201	538								38-12	60	(1)			
書 用 (SA)	BG-35712		1,000			1,714	1,176	538			190	340	210	480	W $\frac{5}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	820	2,360	246
	BG-35810		600			2,036	1,338	698			207	375	260	480	W $\frac{5}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,019	3,060	260
	BG-35811	80	1,200	225	190	2,036	1,338	698								38-12	60	(2)			
	BG-36010		600			2,377	1,552	825			227	400	260	480	W $\frac{5}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,220	3,460	274
	BG-36011	100	1,200	280	230	2,377	1,552	825			257	420	300	600	W $\frac{3}{4}$ ×12	38-12	60	(3)	1,500	4,315	272
	BG-36210		600			2,478	1,770	908			317	510	332	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	1,750	4,960	350
	BG-36211	120	1,200	330	275	2,478	1,770	908								38-12	60	(2)			
	BG-36410		600			3,058	2,060	998								38-12	60	(2)			
	BG-36411	140	1,200	385	320	3,058	2,060	998			257	420	300	600	W $\frac{3}{4}$ ×12	38-12	60	(3)	1,500	4,315	272
	BG-36760		800			3,763	2,535	1,228								38-12	60	(3)	1,750	4,960	350
	BG-36761	170	1,200	470	390	3,763	2,535	1,228								55-12	60	(3)	1,750	4,960	350
	BG-36762		800			4,391	3,033	1,358								55-12	60	(3)	2,250	5,750	350
BG-36763	200	1,200	550	460	4,391	3,033	1,358								55-12	60	(3)	2,250	5,750	350	

(SA)

耐	B G-37060	200	800	550	440	1,150	4,391	3,033	1,358	337	525	332	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,250	6,340	362	PDタッ付
	B G-37061	1,200																		PDタッ付	
	B G-37560	250	800	680	570	1,430	5,641	3,683	1,958	419	605	360	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,800	7,690	419	PDタッ付
	B G-37561	1,200																		PDタッ付	
	B G-35320	30	400	95	80		1,369	931	438	105	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	ツリアゲ式	480	1,330	179	
	B G-35321	600				220	1,369	931	438						38-12	56	(1)				
	B G-35322	1,000					1,344	906	438						38-12	60	(1)				
	B G-35420	400					1,564	1,101	463						38-12	56	ツリアゲ式				
	B G-35421	40	600	120	100	275	1,564	1,101	463	123	275	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	(1)	650	1,780	184	
	B G-35422	1,000						1,539	1,076	463					38-12	60	(1)				
耐	B G-35620	400					1,709	1,201	508	138	275	169	360	W $\frac{3}{8}$ ×8	38-12	56	ツリアゲ式	750	2,080	185	
	B G-35621	60	600	175	145	385	1,709	1,201	508						38-12	56	(1)				
	B G-35622	1,000					1,684	1,176	508						38-12	60	(1)				
	B G-35720	400					2,085	1,537	548						38-12	60	ツリアゲ式				
	B G-35721	70	600	200	165	440	2,085	1,537	548	180	375	210	380	W $\frac{3}{8}$ ×8	38-12	60	(2)	1,019	3,060	260	
	B G-35722	1,000					2,085	1,537	548						38-12	60	(2)				
	B G-35820	80	600	225	190	495	2,242	1,544	698	190	375	260	480	W $\frac{3}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,019	3,060	260	
	B G-35821	1,200																			
	B G-36020	100	600	280	230	605	2,878	2,053	825	207	420	260	480	W $\frac{3}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,500	4,315	272	
	B G-36021	1,200																			
用	B G-36220	120	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227	420	260	480	W $\frac{3}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,500	4,315	272	
	B G-36221	1,200																			
	B G-36420	140	600	385	320	825	4,043	3,035	1,008	257	525	332	600	W $\frac{3}{4}$ ×12	38-12	60	(3)	2,250	6,340	362	
	B G-36421	1,200																			
	B G-36770	170	800	470	390	990	4,263	3,035	1,228	317	525	332	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,250	6,340	362	PDタッ付
	B G-36771	1,200																			PDタッ付
	B G-37070	200	800	550	460	1,150	5,033	3,675	1,358	337	605	360	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,800	7,690	419	PDタッ付
	B G-37071	1,200																			PDタッ付
	B G-35330	30	400	95	80	220	1,369	931	438	105	252	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	ツリアゲ式	480	1,140	175	
	B G-35331	600					1,344	906	438						38-12	56	(1)				
耐	B G-35332	1,000					1,564	1,101	463						38-12	60	(1)				
	B G-35430	40	600	120	100	275	1,564	1,101	463	123	295	169	240	W $\frac{1}{2}$ ×6	38-12	56	ツリアゲ式	650	1,570	187	
	B G-35431	40	600												38-12	56	(1)				
	B G-35432	1,000					1,539	1,076	463						38-12	60	(1)				
	B G-35630	400					1,709	1,201	508						38-12	56	ツリアゲ式				
	B G-35631	60	600	175	145	385	1,709	1,201	508	138	295	169	360	W $\frac{3}{8}$ ×8	38-12	56	(1)	750	1,870	190	
	B G-35632	1,000					1,684	1,176	508						38-12	60	(1)				
	B G-35730	400					2,085	1,537	548						38-12	60	ツリアゲ式				
	B G-35731	70	600	200	165	440	2,085	1,537	548	180	395	210	380	W $\frac{3}{8}$ ×8	38-12	60	(2)	1,019	2,590	266	
	B G-35732	1,000					2,085	1,537	548						38-12	60	(2)				
耐	B G-35830	80	600	225	190	495	2,242	1,544	698	190	395	260	480	W $\frac{3}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,019	2,590	266	
	B G-35831	1,200																			
	B G-36030	100	600	280	230	605	2,878	2,053	825	207	440	260	480	W $\frac{3}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,500	3,820	284	
	B G-36031	1,200																			
	B G-36230	120	600	330	275	715	2,961	2,053	908	227	440	260	480	W $\frac{3}{8}$ ×12	38-12	60	(2)	1,500	3,820	284	
	B G-36231	1,200																			
	B G-36430	140	600	385	320	825	4,043	3,035	1,008	257	525	332	600	W $\frac{3}{4}$ ×12	38-12	60	(3)	2,250	5,750	350	
	B G-36431	1,200																			
	B G-36780	170	800	470	390	990	4,263	3,035	1,228	317	525	332	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,250	5,750	350	PDタッ付
	B G-36781	1,200																			PDタッ付
(S)	B G-37080	200	800	550	460	1,150	5,033	3,675	1,358	337	605	360	730	W $\frac{3}{4}$ ×16	55-12	60	(3)	2,800	7,060	390	PDタッ付
	B G-37081	1,200																			PDタッ付

表 4.3 汚損区分の概略値

汚損区分	A	B	C	D	E
想定最大等価塩分付着量 (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
海岸からの概略距離	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
季節風に對し	10km以上(一般地域)	3~10km	1~3km	0~1km	同上 0~300m
発電所・工場からの距離		工場地域周辺の比較的軽度の塩分汚損地域	工場地域中心部		

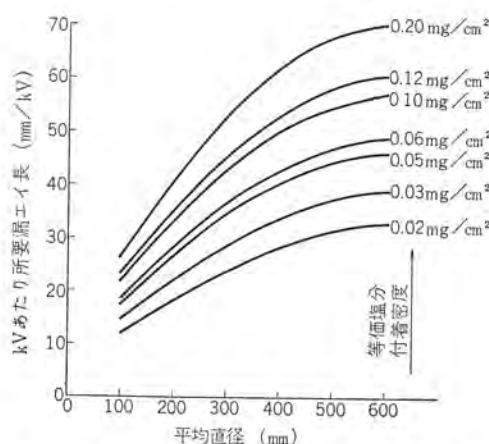


図 4.8 等価霧中 5% セン 絡率所要漏 イ 距離

耐塩害 プッシング 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 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 カシ の形状およびカシ の間隔などにより多少異なる。三菱コンデンサプッシング “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 プッシング 気中側 ガイ 管使用区分

耐塩害区分	SA	SB	S
絶縁階級			
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 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 プッシング 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 カシ 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 プッシング 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。

三菱コンデンサプッシング “新 OT 形” の耐塩害用 プッシング 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. 特殊用途変圧器用プッシング

5.1 油中貫通プッシング

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変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 三菱コンデンサプッシング 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
下 ヒ ダ 付 ガイ 管	250	2,800	7,060	390	86,400	255.0	213.0	176.8	168.1	142.9	135.3
	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	7,650	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裸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、絶縁油を充填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

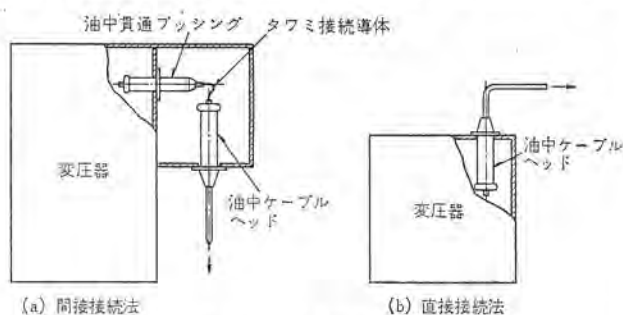


図 5.1 エレファントブッシングの接続法



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。

そのほかコトレル集じん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”の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

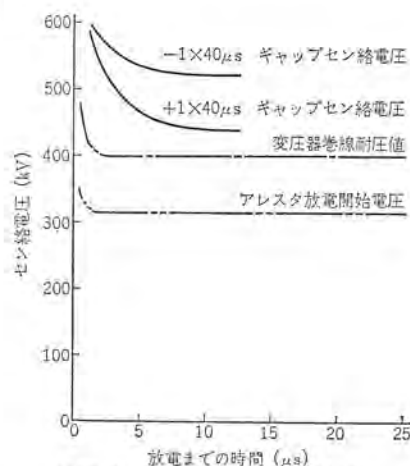
- (1) 統流シャ断能力がなく停電の原因となる。
- (2) 急しゅんサイ断波および Over Swing の発生により変圧器絶縁を脅かす可能性が大きい。
- (3) 発生アークによりブッシング、そのほか変圧器各部を損傷する危険がある。

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% セン絡電圧が 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、690 mm で標準波形正波の 50% セン絡電圧は約 450 kV 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絡電圧は標準波形に近い範囲ではかなりまとまった V-T カーブとして示されるが、緩頭波領域ではパラッキが大きくなり、このギャップの場合波頭長 50~100 μ s において実測した結果では正波セン絡電圧は 370 kV から 450 kV 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。



付図1 70号機器のV-t特性

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立ち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がある場合

(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カーブ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たし得ない。

(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立たないが、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断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立つ可能性は少なく、これを避雷器不動作という確率を合わせて考えるとときわめて低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立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

インチ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 オイルダッシュポット 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、ダッシュポ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 2.5～500 A であり各電流値に対して 21 種類の標準 コイル がある。ダッシュポ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 を使用しているため、周囲温度変化による動作時間変動は小さい。なお、ダッシュポ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 (100～120 A 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ため周囲温度の影響が小さい

(2) 油漏れを起こさない

ダッシュポ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 600 V 50/60 c/s DC 250 V
適用電動機電流	2.5～500 A (標準 コイル 21 種数)
消費電力	1 相当り最大 15 W (40 VA)
操作回路定格	AC 250 V 5 A 1 ab, 600 V 3 A
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 2.50～500 A	自動リセット	ダッシュポットオイル使用
"	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 2.47～4.54 A	自動リセット	ダッシュポットオイル不要

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 600 V 以下の制御回路や比較的小容量の電動機のシ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

ト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 250 V/10 A, 600 V/5 A, 220 V 600 V/2.2 kW
性 能	1 号 2 種 (電動機用 A 級)

低圧トロリバスタクトを完成

バスタクトシリーズの一環として、このたびトロリバスタクトを完成した。

現在ホストやクレーンなどの回路には、裸のトロリ線とトロリホイー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れ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。

トロリバスタクトは、裸のトロリ線とトロリホイールの関係をバスタクト化し、上記の欠点をなくしたものである。

用途としてはホスト、クレーン、プレーナ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転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

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がなく、また集電子および導体の摩擦は少ないので良好な集電性を保持する。

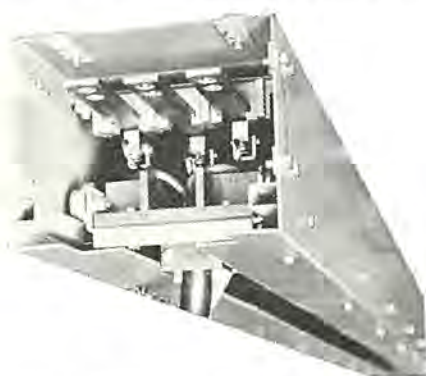
(3) 下面開口部を大きくしてあるので内部集電状態が容易に点検でき、保守が容易である。

(4) 各極集電子は分離独立し極間にはパリアを設けてあるので、摩擦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 600 V
定格電流	ダクト 100 A、150 A 集電子 30 A、60 A
定格短絡電流	10,000 A (JIS C 8364 に準拠)
最小回転半径	1.5 m、(特殊品としては 0.5 m)



低圧トロリバスタクト
屋外用 3φ3 W AC600 V ダクト 100 A 集電子 30 A



集電子 (最小回転半径 0.5 m のもの)
3φ 3 W AC100 V 30 A

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”に続いて、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つた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製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 級ラッシュアップ回路で最大出力 1.5 W 以上を得ています。

■ 定 格

電 源	100 V、50 c/s または 60 c/s
テープ速度	9.5 cm/s、4.8 cm/s、2 スピードキヤースタン
	着脱方式
録音方式	交流 バイアス (40 kc)

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	18×8 cm 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 (−75 dBV) 1 個 ラジオ入力 (−25 dBV) 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 (8Ω)	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、おしぼりや赤飯、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) 鋭敏な速断式自動スイッチを使用しているため、卵の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、おしぼりや赤飯、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

ふっくらむらし…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、このたびホット中つた、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（シヤ熱板）をつけてあるので中ぶりの心配がなく、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つたを採用

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つたが、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、ふっくらとしたおいしいご飯ができる。また保温専用の50 W ヒータとホット中つたのコンビが、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鋭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

独特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	ホット中つた、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(3500 T/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(3000 T/D)用排風機を、1段と大きくしたもので、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プレート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 ターボファン	ID 1006 両吸込 ターボファン
風 量 (m ³ /min)	10,000	16,000	4,000
風 圧 (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	誘導電動機
	出力 (kW)	3,700	430
	極数 (P)	8	8
ガス含じん量 (gr/Nm ³)	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 160 m/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れ

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に、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。

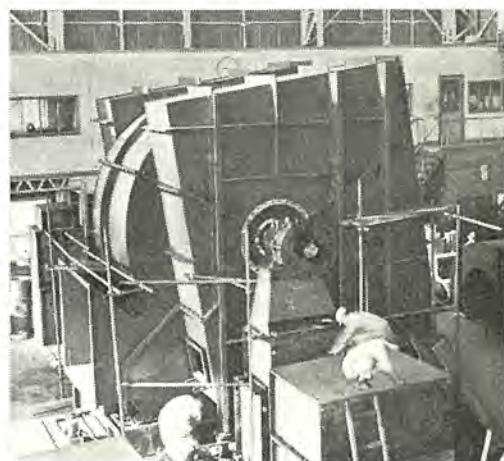


図 2 FB 7132 両吸込み主排風機



図 3 FB 7132 両吸込み主排風機扇車

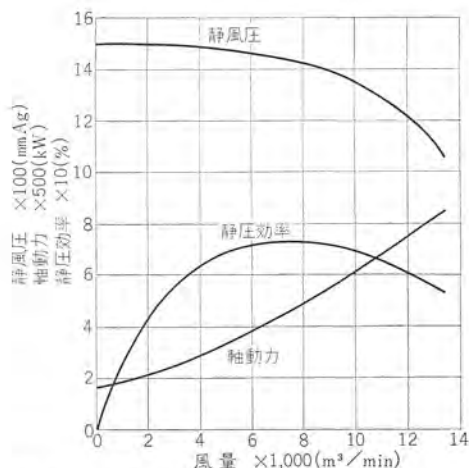


図 1 FB 7132 両吸込み主排風機特性曲線

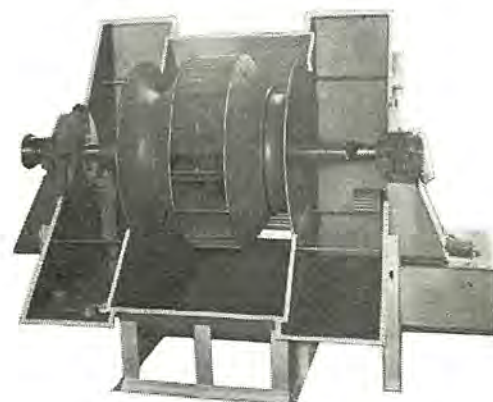


図 4 ID 1015 両吸込み冷却用排風機

(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に設計されている。

■ 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 ポゴタ 電力納め 140-Y-500L 形空気 シャ断器が出荷された。

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ができ、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、これにかわり、移動変電所用として製作されたものである。

このトラ 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方で、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—枕木山—出雲市回線	予備つき 8 台
〃	名古屋—船山—高山回線	4 台
〃	高松—雲辺寺—松尾越—高知回線	6 台
〃	出雲市—石見高山—浜田回線	4 台
〃	鹿児島—鰐塚山—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いうる等価増幅中継器）など、盛りだくさんに実装できるので、その多用



ME-40 形 400 Mc 帯全固体多重無線機

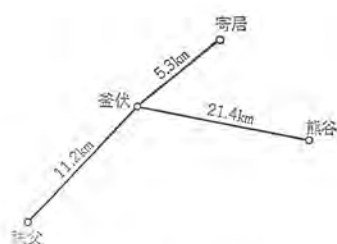
途性は、きわめて好評である。

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 帯を用い、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 通倍器を用いている。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い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、急こう配区間が多く、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。

電車主要々目

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)

特許と新案

軸受装置

発明者 新倉 宗寿

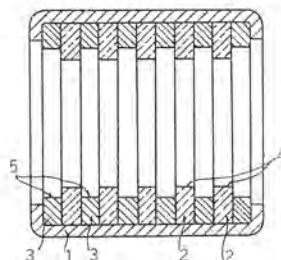
この発明は扇風機・換気扇などに使用する合成樹脂材料よりなる軽荷重無給油軸受装置に関するものである。

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)にかみ(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製座金板(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少ない。合成樹脂材料が少なくてもよ

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)を着脱自在にかみ合したものである。

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)に取り付けたまま給油することが困難な場合には図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)

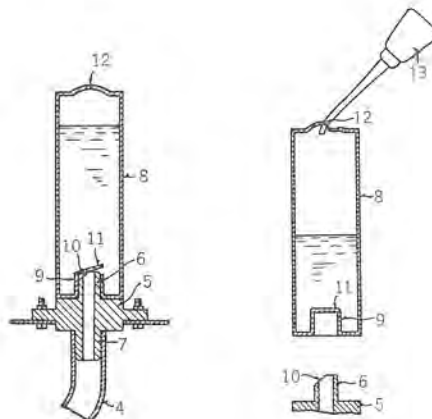


図 1

図 2

換気扇正逆転スイッチ・シャッタ連動装置

考案者 入沢 淳三

この考案は吸排気両用換気扇において、電動機の前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时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開路される。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)に錠止させれば、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)に錠止させると、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単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)

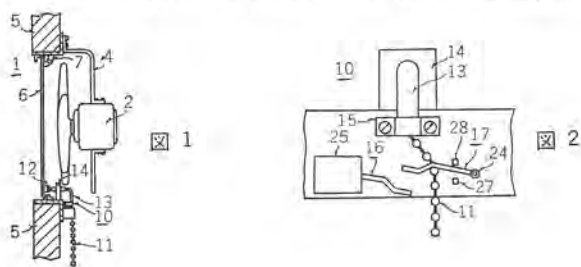


図 1

図 2

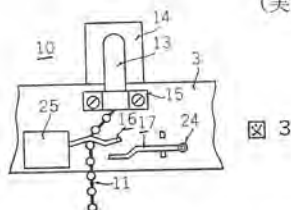


図 3

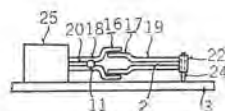


図 4

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	中津川
電気煮沸器	39- 5-26	739206	加藤義明	群馬
電気ポット	39- 5-26	739207	野畑昭夫・町原義太郎	群馬
拡声器用磁石装置	39- 5-29	739441	井手平三郎・銅島芳和	大船
冷蔵庫	39- 5-29	739444	木下忠男	静岡
送風ぶとん	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
可トウレパー	39- 6- 5	740171	神本明輝・新川成美	福山
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	福山
自励交流発電機の初期励磁装置	39- 6-12	740570	尾畑喜行	神戸
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 早瀬通明	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	福岡
継電器	39- 7- 9	742605	森 健	神戸
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	姫路
自動点滅器	39- 7- 9	742703	武田克己・神本明輝	福岡
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
フォトリジスタ装置	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
冷蔵庫のトビウタな装置	39- 6-25	741476	木下忠男・柴田 実	静岡
磁気選別機	39- 6-25	741477	諏訪 寧・柳下儀兵衛	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：レードーム
- 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
"	安藤安二
"	石川理一
"	大野寛孝
"	小路誠春
"	小堀富次雄
"	鈴木正材
"	祖父江晴秋
"	中野光雄
"	馬場文夫
"	宮内圭次
"	安松靖彦
"	山田栄一
委員	大森淳夫
"	尾畑喜行
"	榎本俊弥
"	神崎遼介
"	島津大幸
"	堀真幸

(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) (電) 東京 (212) 大代表 6111
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・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) 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) 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) 代表 3151
広島営業所	広島市八丁堀 63・昭和ビル (電) 広島 (21) 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・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) 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) 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) 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) 代表 4411
高松商品営業所	高松市鶴屋町 45 番地 (電) 高松 (2) 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) 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) 代表 8234
長崎出張所	長崎市長崎 3 番 1 号長崎交通産業ビル (電) 長崎代表 (3) 6101
岡山出張所	岡山市駅前町 1 の 1 岡山会館 (電) 岡山 (4) 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	松本市白坂 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) 代表 3131
神戸製作所	神戸市兵庫区和田崎町 3 丁目 (電) 神戸 (67) 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	長崎市平戸小島町 122 番地 (電) 長崎 (3) 代表 3101
名古屋製作所	名古屋市中区矢田町 18 丁目 1 番地 (電) 名古屋 (73) 代表 1531
福岡製作所	福岡市今宿青木 690 番地 (電) 福岡 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) 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 224 (電) 相模原 (72) 大代表 5131
静岡製作所	静岡市小島 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) 代表 1275
大船製作所	鎌倉市大船 800 番地 (電) 鎌倉 (6) 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 代表 4311 番
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) 代表 1141
北伊丹製作所	伊丹市大鹿字主ヶ池 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
稲沢製作所	稲沢市字井之口 (電) 稲沢 (32) 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) 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
世田谷工場	
伊丹製作所	
三田工場	

◆抜き刷りご案内

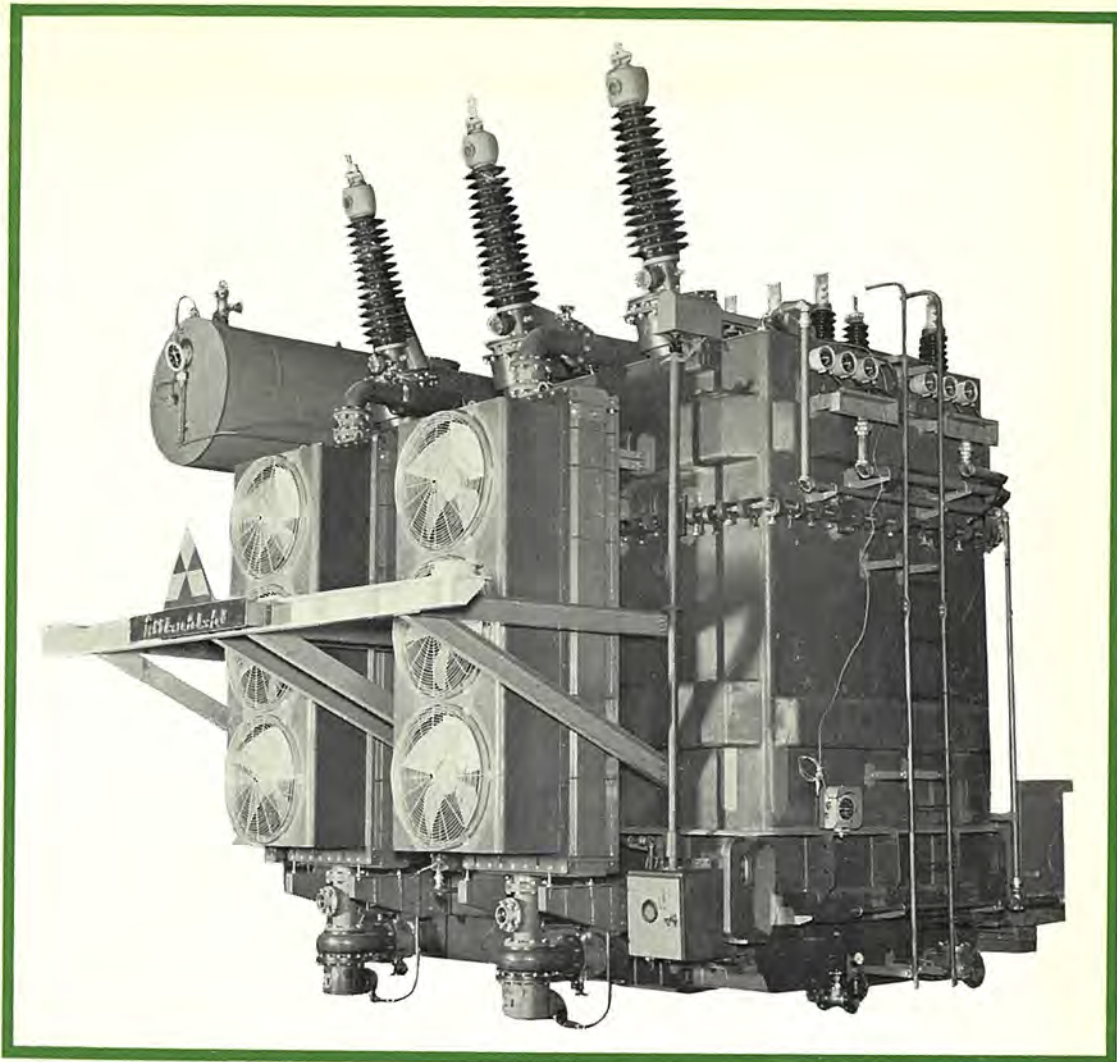
本誌掲載の論文は、抜き刷りを用意しておりますのでご入用の方は、
「三菱電機技報社」編集部までご連絡下さい。

■フィリッピン
アンガットP/S納め

122.2MVA

変圧機

完成！



フィリッピン 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つたが、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ことができるとともに、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 $\frac{1}{4}$ 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・フロアー・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 よりも高くとっ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小に役立っている。

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 圧 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



社会と企業を結ぶPR施設
三菱電機スカイリング