

ハンガリー電力庁向け

# 中央給電所計算機システム

## Central Load Dispatching System for Hungarian Electricity Board of Trust

このたび、ハンガリー電力庁中央給電所で、近代的な中央給電所システムが運開となった。このシステムは高性能日立制御用計算機HIDIC 80を2台用いて構成され、ハードウェア資源の有効活用と複雑高度なソフトウェアをもちながら、高信頼性と高稼働率を実現するため設計、開発された。このシステムは、計算機本体だけでなく他の主要な周辺機器まで二重化したデュプレックスシステムとなっている。これを支援するソフトウェアとして、ハードウェアの故障時に、その影響を最少限に抑え、重要なオンライン業務を継続処理させるように構成制御処理が導入された。このシステムの特長は、マルチコンピュータシステムとしてのグローバルメモリ(共有高速メモリ)、及び複雑高度なデータベース構造の採用である。

dr. Kiss Laszlo\*

上杉萬里夫\*\* Mario Uesugi

菅家辰紀\*\* Tatsunori Kanke

### 1 緒言

ここ十数年来、給電業務の分野でも、制御用計算機が広く適用されてきた。

1979年3月、ハンガリーの首都ブタペストでも、新鋭の中央給電システムが8箇月の据付調整作業ののち実運用に入り、1979年10月には公的な運開式が盛大に行なわれた。このシステムはハンガリー電力庁のハンガリー中央給電所に納められた近代的な自動給電システムである。図1に、その中央給電所とマンマシンインタフェースの中心となって活躍するカラーCRT(Cathode Ray Tube)を示す。

このシステムは2台の制御用計算機HIDIC 80(主記憶装置容量は各64k語)と各種周辺装置から構成されたデュプレックス計算機システムである。2台の計算機をグローバルメモリと計算機相互連絡用のバスとしてのLXバス(リンケージバス)により密に結合され、高信頼性と高融通性を実現した。

1台の計算機がオンライン業務を、他方がプログラム修正や開発機能を含めたオフライン業務を行なう。オンライン系計算機の故障時には、オフライン計算機がオンライン業務を10秒以内に自動的にバックアップする構成をとっている。

### 2 ハンガリー電力システムの概要

発電容量の95%以上は火力であり、最大容量の火力発電所は1,900MWの能力をもっている。主要な系統は750kV, 400kV, 220kV及び120kVの送電線と70の変電所から構成され、これらは中央給電所から直接制御されている。750kVラインを含め12本の国際連系線が近隣諸国と接続され、一つの電力共同体を構成している。このような電力システムの給電指令業務を行なう中央給電所には、1979年3月現在30の被制御所が接続されており、計算機システムは中央給電所の核となるものである。

このシステムで取り扱うデータ量は、約500個の計測値と約3,000点の状態値である。

### 3 システムの機能

このシステムの機能を表1に示す。電力系統監視では、マンマシン機器として指令台に2台のカラーCRTを設置した。



図1 ハンガリー中央給電所自動給電計算機システム 1979年3月、ハンガリーの首都ブタペストで東欧圏近隣諸国間を国際連系線で接続したハンガリー電力系統の総合指令業務を行なう新中央給電所が実用運転に入った。

これには4,032文字の高密度CRTを採用し、複雑な系統図や変電所単線結線図、更には各種一覧表など、240にのぼる画面を美しく明瞭に表示できるようにした。

CRTとCRTキーボードを介しての高度なマンマシンコミュニケーションを可能とし、またCRT画面フォーマットの変更や開発が容易に行なえるCRTサポートソフトウェアを導入した。これにより、CRT画面フォーマットの作成は、FIF(Fill in the Form)形式の定義用紙に記入することにより、容易に行なえるようにした。

\* ハンガリー電力庁 工学博士 \*\* 日立製作所大みか工場

表1 システムの機能 ハンガリー中央給電所計算機システムの機能と概要説明を示す。

No.	大項目	機能	説明	業務区分		
				オンライン		オフライン
				最重要	重要	
1	系統監視	電力系統表示	電力系統情報を収集し、CRTに表示する。	○	○	-
		潮流・電圧の上下限監視	潮流及び電圧が異常となっていないかを監視し、結果をCRTに表示する。	○	○	-
		状態変化監視	故障リレーの動作やしゃ断器などの開閉を常時監視し、状態変化をCRTに表示する。	○	○	-
		信頼度監視	現在の系統構成の信頼度を、そのときのオンラインデータを使い、設定された想定事故に対しACフロー法又はDCフロー法により計算しチェックする。	-	○	-
2	系統制御	周波数制御	12本の国際連系線潮流と系統周波数の基準値からの誤差を監視し、補正する制御指令を発電所に送出する。	○	-	-
		経済負荷配分	15分先の負荷を予測し、最も経済的な発電量の割付けを各発電所について決定し、制御指令を送出する。	○	-	-
3	運用記録	運用記録のCRT表示	潮流、電圧、周波数などの瞬時値や平均値をCRT画面に表示する。当日を含め4日前まで表示できる。	-	○	-
		長期統計データ保存	瞬時値、平均値、系統制御の制御と操作の履歴などをはじめ種々のデータを、将来の統計処理のため磁気テープに格納する。	-	○	-
		運用記録のタイプライタ印字	潮流、電圧、周波数などの瞬時値や平均値を、日報としてタイプライタに印字する。	-	○	-
4	事故経過再現	画面上での再現情報のラインプリンタ印字	系統事故の前後のオンラインデータを収集保存し、事故に至る経過や事故後の影響をCRT上の単線結線図上で再生する。またラインプリンタに印字する。	-	○	-
5	運用計画	翌日負荷予想	運転員が指定された日の天候、曜日、テレビジョン番組などの情報を入力し、その日の各時間帯の負荷を予測する。	-	-	○
		運用計算	ACフローによる潮流計算を実施することにより、系統構成などを計画する。	-	-	○
6	プログラム開発	プログラム開発と改造	プログラムや定数データを開発し、また改造する。	-	-	○

注：略語説明 CRT(Cathode Ray Tube)

オンライン信頼度監視では、その時々々の系統状態に対しCRTから入力された想定系統事故(10ケース設定可能)の結果を計算し、すべての送電線と変圧器に流れる潮流、更には母線電圧が各々の上下限值(CRTから設定可能)に違反しないかをチェックし、違反があった場合はその結果をCRTに表示し、運転員に知らせるようにした。

LFC(周波数制御)では、TBC(Tie-line Bias Control)とFTC(Flat Tie-line Control)の二つの異なる方式を準備し、これらの方式の選択は運転員によりCRTから選択できる形とした。現在、四つの主要発電所がLFC制御されている。計算周期は2秒、制御指令は発電MW値を伝送する形である。

ELD(経済負荷配分)では、等“λ”法を適用し、LFCの前述の4発電所を含め15発電所を、同じく発電MW値を伝送する形で制御することとした。

翌日負荷予想では、指定された日の各時間帯の負荷を予測する。運転員が天候、曜日、テレビジョン番組などの情報を入力し、学習モデルを使い予測する方法とした。また学習モデルは毎日の実績値により更新される。

運用計算では、任意の系統構成についてACフロー法で計算することとし、最大系統構成を360ブランチ、210ノードとした。

#### 4 ハードウェアの構成

ハードウェア構成を図2に、また主要機器の仕様を表2に示す。ハードウェア構成を決定するに当たっては、(1)高信

頼性と高稼働率性、(2)高度なマンマシンコミュニケーション、(3)複雑巨大なプログラムとテーブルに対応した大容量ファイルの実現、を考慮して行なった。この結果、次のような点が決定された。

- (a) 高性能日立制御用計算機HIDIC 80によるマルチコンピュータシステムとし、二重の計算機でデュプレックスシステムを構成した。
- (b) 高速でスムーズな計算機切り替えと、大量のオンラインデータの高速な計算機間通信のため、二重化されたグローバルメモリ(複数の計算機から命令語で高速アクセスができるメモリ)を採用した。
- (c) 中心となる補助記憶装置には、1M語の固定ヘッドディスクを採用し二重化構成とした。
- (d) オンラインデータやCRT画面フォーマットを格納する大容量(4.8M語)のカートリッジディスクを使用し二重化構成とした。このシステムの一つの特徴は、これらのカートリッジディスクの使用方法にあり、2台のディスクのうち1台を昼間オフライン業務を実施するときはオフライン用に、また夜間オフライン業務非実施時にはオンライン用に使用することとした。
- (e) もう1台のカートリッジディスク、カード読取装置、ラインプリンタ及び磁気テープを、オフライン業務とプログラム開発用として使用した。
- (f) 3台のカラーCRTを採用し、2台を給電指令室に、また1台を計算機室にオフライン業務用として設置した。

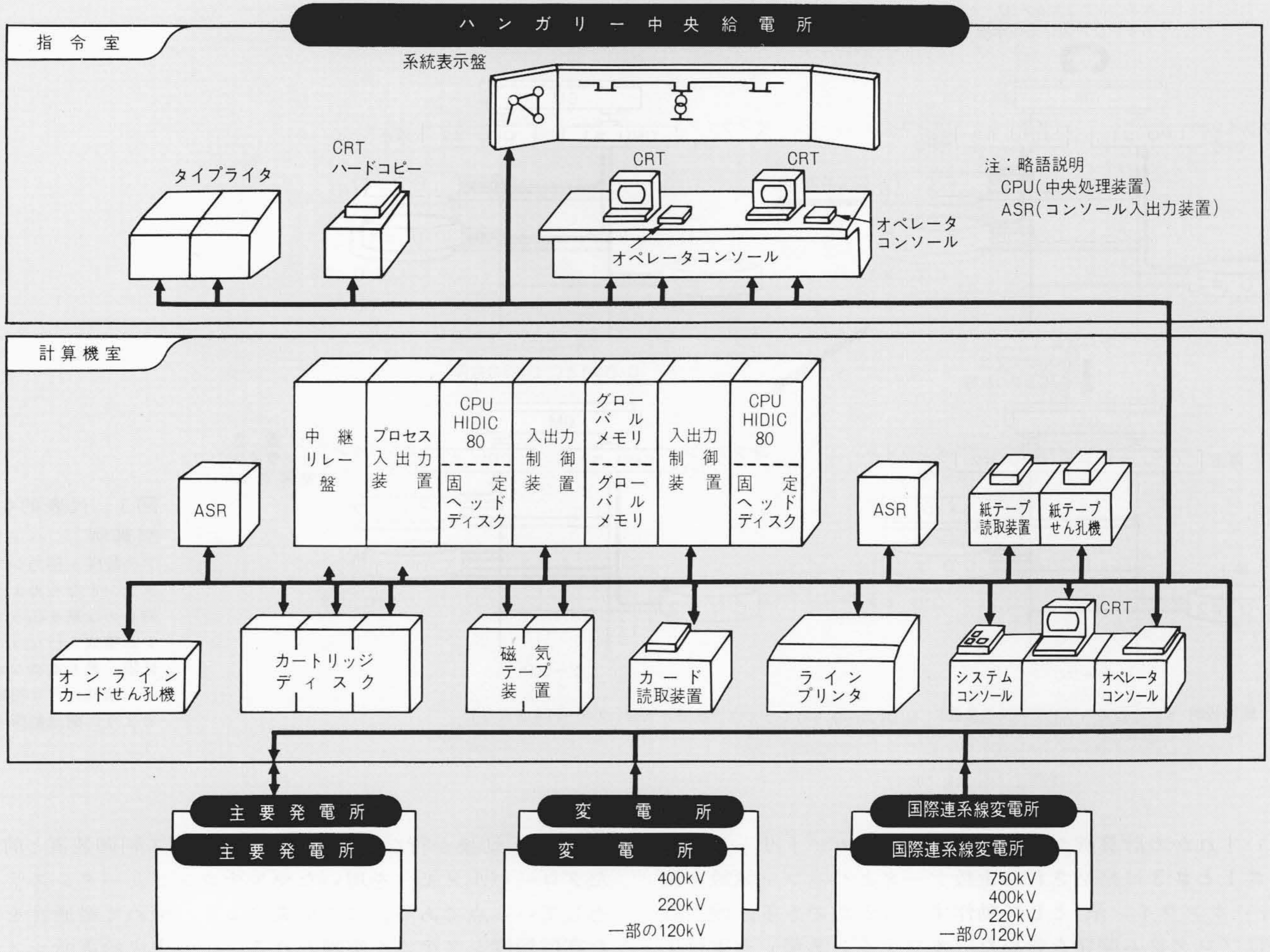


図2 ハードウェアシステム概要図 2台の高性能日立制御用計算機HIDIC 80を使用した。

表2 主要ハードウェア機器の仕様 本システムを構成する主要なハードウェア機器の仕様を示す。

No.	大項目	No.	装置名称	仕様	員数
1	処理装置	1	中央処理装置	HIDIC 80 コアメモリ：64k語	2
		2	グローバルメモリ	コアメモリ：32k語	2
2	補助記憶装置	1	固定ヘッド ディスク装置	1,024k語	2
		2	カートリッジ ディスク装置	4,800k語	3
		3	磁気テープ装置	800bpi, 18k語/秒	1
3	入出力装置	1	コンソール 入出力装置	10文字/秒	2
		2	カード読取装置	600枚/分	1
		3	オンラインカード せん孔機	最大 40欄/秒	1
		4	ラインプリンタ	760行/分	1
		5	CRT	4,032文字(42行×96列) 7色	3
		6	CRTキーボード	英数文字キー 16種の割込専用キー	3
		7	タイプライタ	15文字/秒	2
		8	紙テープ読取装置	400文字/秒	1
		9	紙テープせん孔機	60文字/秒	1
4	操作卓	1	オペレータ コンソール	—	3
		2	変電所監視用 コンソール	—	1
		3	システムコンソール	—	1

## 5 システム構成制御

### 5.1 システムの構成

このシステムの機能は非常に多く、業務は2台の計算機に分担して行なわせることが必要である。システムを構成するに当たっては、各々の業務の重要度を「最重要オンライン業務」、「重要オンライン業務」及び「オフライン業務」に区分(表1)し、次のように最適なシステム構成とした。

- (1) 「最重要オンライン業務」、「重要オンライン業務」のオペレーティングシステム、プログラム、定数データ及びバッファ領域を、信頼度の最も高い二重化した固定ディスクに割り付けた。
- (2) オンライン業務に使用する二重化カートリッジディスクは、二重化固定ヘッドディスクに比べ、信頼性の点で若干劣るので、「重要オンライン業務」の定数データ及びバッファ領域だけに使用することとした。
- (3) 「オフライン業務」は、「オンライン業務」ほど信頼性が要求されていない代わりに、大容量の補助記憶装置が必要であるので、もう1台のカートリッジディスクにこのオペレーティングシステム、プログラム、定数データ及びバッファ領域を割り付けた。

### 5.2 システムの構成制御

「オンライン業務」のオペレーティングシステムとアプリケーションプログラムは、固定ヘッドディスクに格納されてお

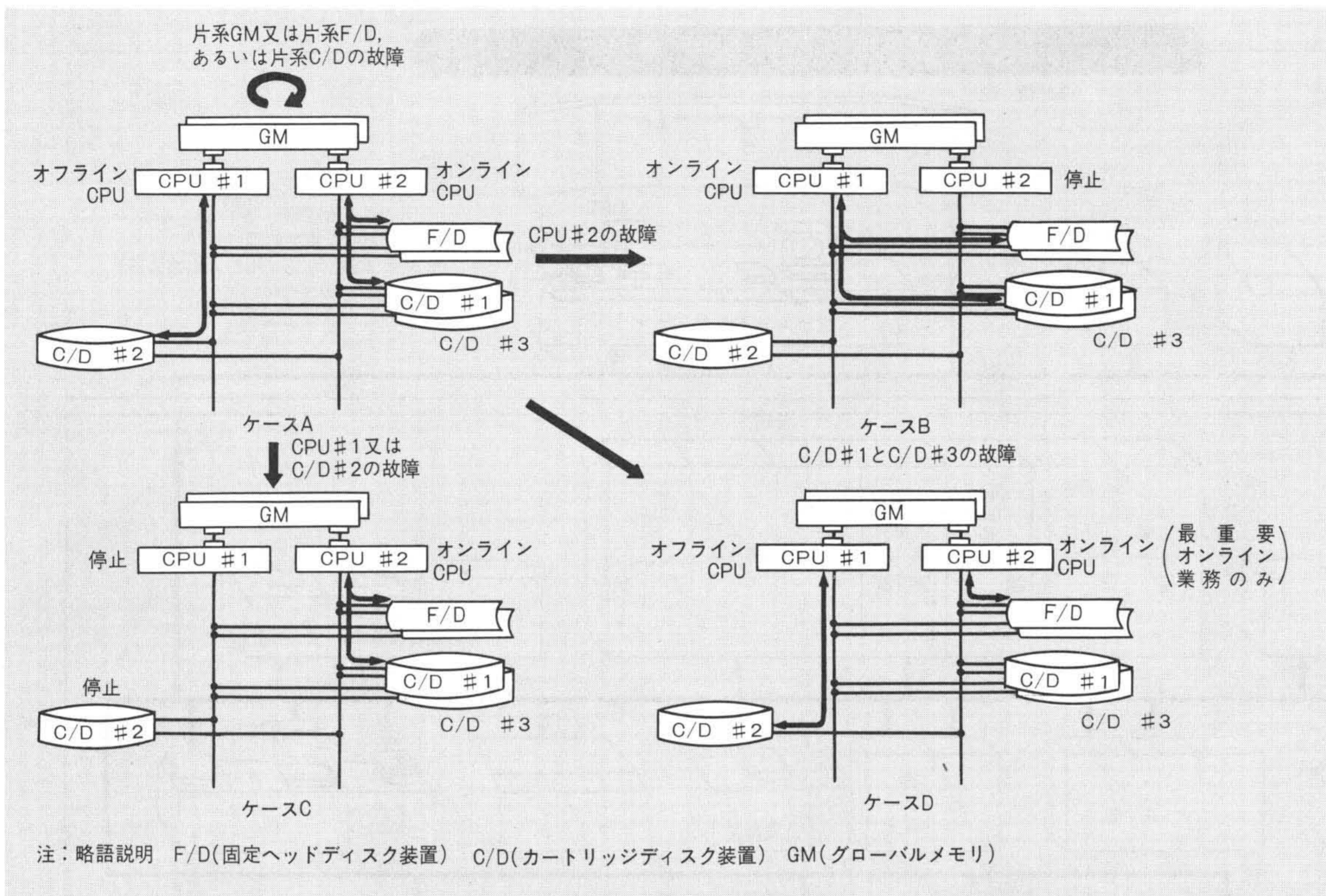


図3 代表的な構成制御例 ハードウェアの故障が極力システムダウンとならぬように、細心の注意を払ってシステム構成を行なった。最低限、最も重要なオンライン業務だけは継続できるように構成制御を行なう。

り、いずれかの計算機がこれを読み込み、カートリッジディスク # 1 と # 3 に格納された定数データとバッファ領域を使用し、「オンライン系」として動作することができる。他の計算機はプログラム開発を含めた「オフライン業務」を実行する。この正常運転状態を図3のケースAに例示した。この運転状態は、片系グローバルメモリの故障、片系固定ヘッドディスクの故障、# 1 又は # 3 のカートリッジディスクの片系故障のいずれが発生しても継続できる構成とした。

もし、正常運転状態でこれまで「オンライン業務」を処理するよう割り付けられていた計算機が故障した場合、「オフライン業務」を処理していた計算機はその処理を中断し、「オンライン業務」のオペレーティングシステムとアプリケーションプログラムを読み込み、「オンライン業務」をバックアップする。これを図3のケースBとして例示した。また、もし正常運転状態で、これまで「オフライン業務」を処理してきた計算機あるいは # 2 カートリッジディスクが故障した場合、その計算機を停止し「オフライン業務」を中止する。これがケースCである。更に、もし正常運転状態で、# 1 と # 3 のカートリッジディスクが共に故障した場合、「重要オンライン業務」だけを中止し、「最重要オンライン業務」を継続できるようにした。これがケースDである。

上記の構成制御は標準に作られたオペレーティングシステムの構成制御モジュールを核とし、このシステムの特長となる部分の構成制御モジュールをアプリケーションプログラムにより追加することで実現した。

## 6 システムの特長

このシステムは多数の特徴をもっているが、このうち代表的な3件を例に挙げ説明する。

### 6.1 マルチコンピュータシステム

日立制御用計算機HIDIC 80の特長の一つは、複数の計算機と多数の補助記憶装置、及び入出力装置を相互に接続し、

また接続・切換が行なえる高度な入出力バス制御装置と前述したグローバルメモリを用いたマルチコンピュータシステムに適している点である。この構成により、極めて融通性をもった高信頼度システムが実現される。この中央給電所システムは、その特長を十分に生かし設計された。HIDIC 80マルチコンピュータシステムは、計算機の増設も含め現地での拡張を容易に行なうことができ、本システムでも今後の拡張が容易となるように構成した。前述したように、グローバルメモリの適用により高速でスムーズな切換えを可能とする卓越した負荷分割システムを実現した。

### 6.2 欠損データ処理

自動給電計算機システムでは、遠方の変電所や発電所(子局)から送信されてきたデータが、種々の障害により時々異常となることは避けにくいことである。このため、このシステムでは、子局から受信した数値データ、更にはこれらを変数と

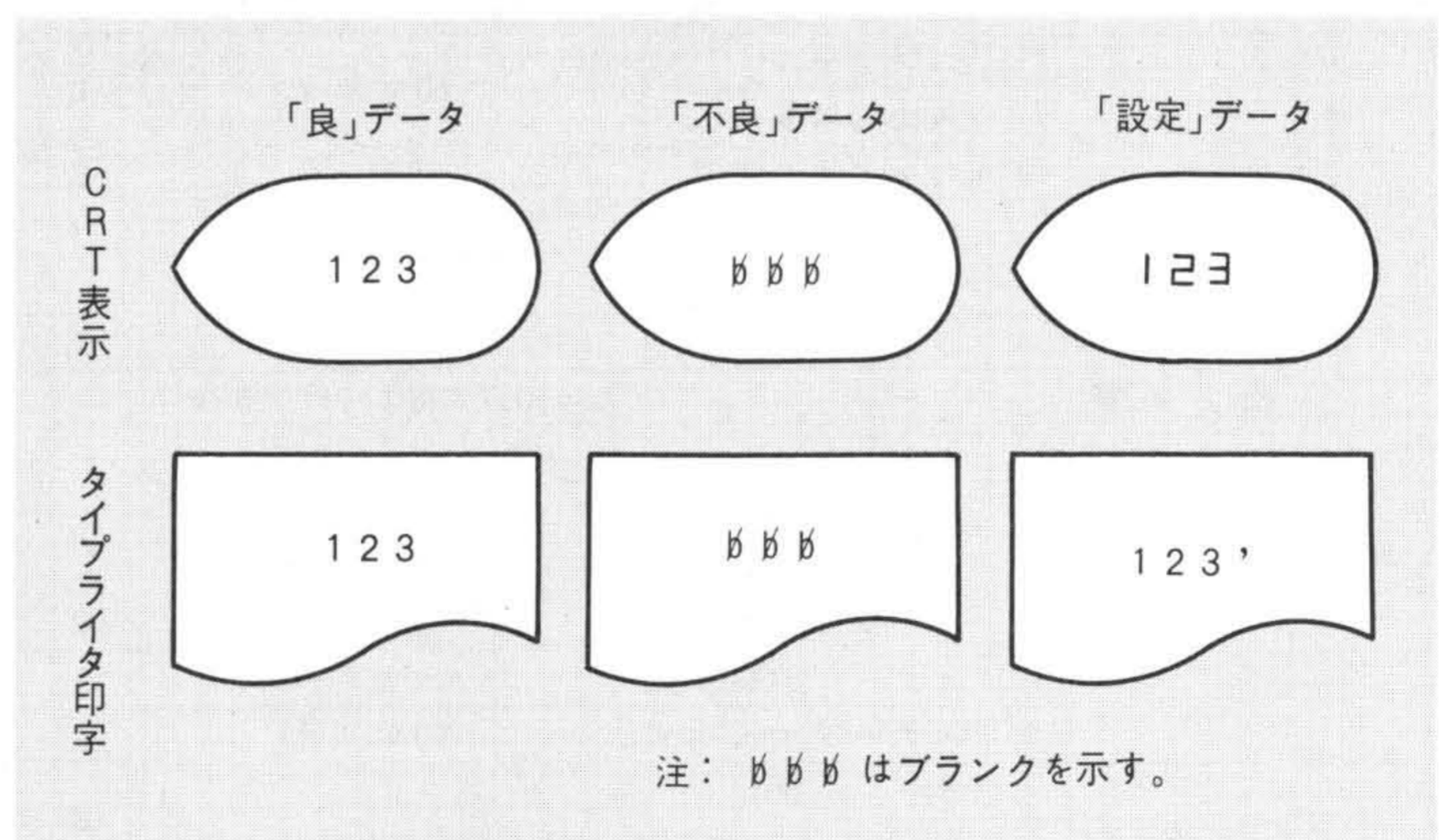


図4 3種類のデータ状態のCRT表示とタイプライタ印字 「良」、「不良」、「設定」のデータ状態が図のように区分される。これにより運転員は、データの有効性を容易に把握できる。

表3 欠損データ処理における新データの格納の法則 新データのデータ状態と前回格納データのデータ状態の組合せにより、今回格納すべきデータの値とデータ状態をこの表に従い決定する。

No.	新データの状態	旧データの状態	結果	
			データ状態	データの値
1	良	良	良	新データの値
2	良	設定	良	新データの値
3	良	不良	良	新データの値
4	設定	良	設定	新データの値
5	設定	設定	設定	新データの値
6	設定	不良	設定	新データの値
7	不良	良	不良	前回データの値のまま
8	不良	設定	設定	前回データの値のまま
9	不良	不良	不良	前回データの値のまま

表4 計算結果のデータ状態決定の第一の法則 この法則は、 $X_1, X_2, X_3, \dots$  が変数で結果を  $Y$  とした場合、 $Y=f(X_1, X_2, X_3, \dots)$  で計算した結果のデータ状態を決定するのに用いる。

No.	計算に使用するデータのデータ状態の組合せ			計算結果のデータ状態
	良	設定	不良	
1	あり	なし	なし	良
2	あり又はなし	あり	なし	設定
3	あり又はなし	あり又はなし	あり	不良

して計算した結果のデータの各々に対し、データの状態すなわちデータの正しさを示す「状態」情報を付与することとした。状態には「良」、「不良」及び「設定」の3種類がある。「不良」データは運転員によりCRTを通じ修正でき、その修正後のデータ状態が「設定」である。データはCRTに表示され、またタイプライタに印字される場合、図4に示すように各々のデータ状態を識別できるように考慮した。

「良」のデータは、運転員の勘違いによって修正されることのないように、「良」データの修正は不可とした。また、「不良」データを修正し「設定」となったデータに対しては、それ以後「不良」のデータを受信してもそのデータを上塗りせず、データ状態も「設定」のままとすることとした。このようなデータ状態を考慮したデータ処理を表3にまとめて示す。

また子局から受信したデータを使って計算し算出する数値データの決定については、次の三つの法則を導入した。

表4に第一の法則を示す。同表で、 $X_1, X_2, X_3$ などが計算の基となる変数、 $Y$ が計算結果である。 $Y$ のデータ状態が「良」となるのは、すべての変数 $X_i$ が「良」の場合である。変数 $X_i$ の一つでも「設定」があり、その他がすべて「良」の場合、 $Y$ は「設定」となる。また変数 $X_i$ の一つでも「不良」がある場合、 $Y$ も「不良」となる。第二の法則は平均値計算に適用するものであり、平均値計算を行なう複数個のデータのうち、70%以上が「良」の場合に平均値も「良」とすることとし、平均値計算は、「良」のデータの総和を「良」のデータ

表5 計算結果のデータ状態決定の第三の法則 この法則はフィルタリング計算に適用される。

No.	前回のフィルタ値のデータ状態	新データのデータ状態	係数の値		新しいフィルタ値	
			A	B	値	データ状態
1	良	良	a	1-a	$Y_N$	良
2	不良	良	0	1	$Y_N$	良
3	良	不良	—	—	不定	不良
4	不良	不良	—	—	不定	不良

フィルタリング計算式  $Y_N = AY_{N-1} + BX$

ここに  $Y_N$ :新しいフィルタ値

$Y_{N-1}$ :前回のフィルタ値

$X$ :新しいデータ

$A, B$ :フィルタ定数

$a$ :本システムのフィルタ定数

個数で割って算出することとした。なお第三の法則はフィルタリング計算に適用するものであり、表5に示すが本文での説明は省略する。

### 6.3 カートリッジディスクの有効利用

前述したように、「オフライン業務」として使用できるカートリッジディスクは1台だけであるが、必要時は2台使用できるように特種な構成制御を開発した。3台のカートリッジディスクは通常「オンライン業務」用の2台の二重化ディスクと「オフライン業務」用の1台のディスクとして使用されるが、これを再構成して1台の「オンライン業務」用と2台の「オフライン業務」用にするのを可能とした。なお、この切換えは手動により行なうことができる。

### 6.4 事故経過再現機能の開発

系統事故の原因と事故時の系統の動きを解析する有効な手段として、PMR(Post Mortem Review:事故経過再現機能)を開発した。系統のあらゆる情報を保存記憶させ、記憶した情報を用いて過去の系統状況をCRTの系統画面上に再生表示することにより、事故の解析を行なおうという要望は、非常に強いものがあつた。しかし、現実には通常の方法では次に述べるように所要記憶容量が膨大となり、実現が困難であることが判明した。すなわち、例えば数値情報は約500個あり、これらは5秒ごとに新しい情報となるので、500個を5秒ごとに記憶したとすると、わずか1日分を記憶させるのに8,640k語の記憶容量が必要となる。すなわち、わずか1日分の数値情報を記憶させるため、このシステムの半分以上の記憶容量が必要であり、この方法は実現不可能である。このため本システムでは、以下に述べる方法により必要記憶容量を減らした方式とした。すなわち、本当に必要な情報は事故時の前後の情報である点に着目し、系統事故発生を保護リレーの動作情報連絡でとらえ、その事故前25秒間と事故後50秒間の間、すべての現在数値データを5秒ごとに収集記憶させ、また状態データについては、事故25秒前のすべての状態データとそれ以後事故後50秒までのすべての状態変化も収集記憶させることとした。系統事故発生時には、その時点から25秒さかのぼって情報を収集する必要上、数値データは最新の5サイクル(1サイクル=5秒)の情報を、状態データは現在から5サイクル前の情報とそれ以後のすべての状態変化をそれ

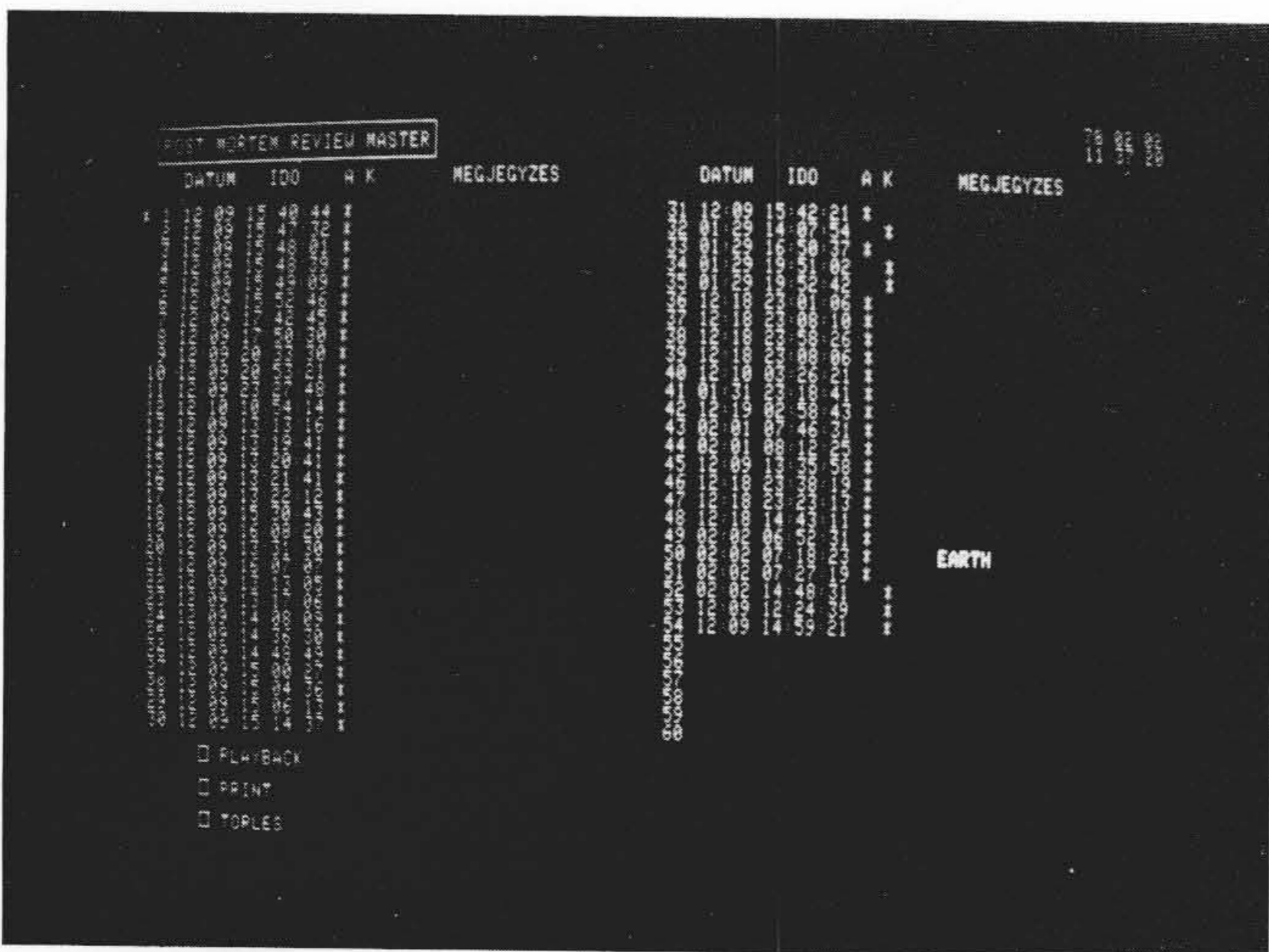


図5 事故経過再現目次画面 系統事故前25秒と事故後50秒の間の情報を1ケースとして、総計60ケースを一覧表として表示する。

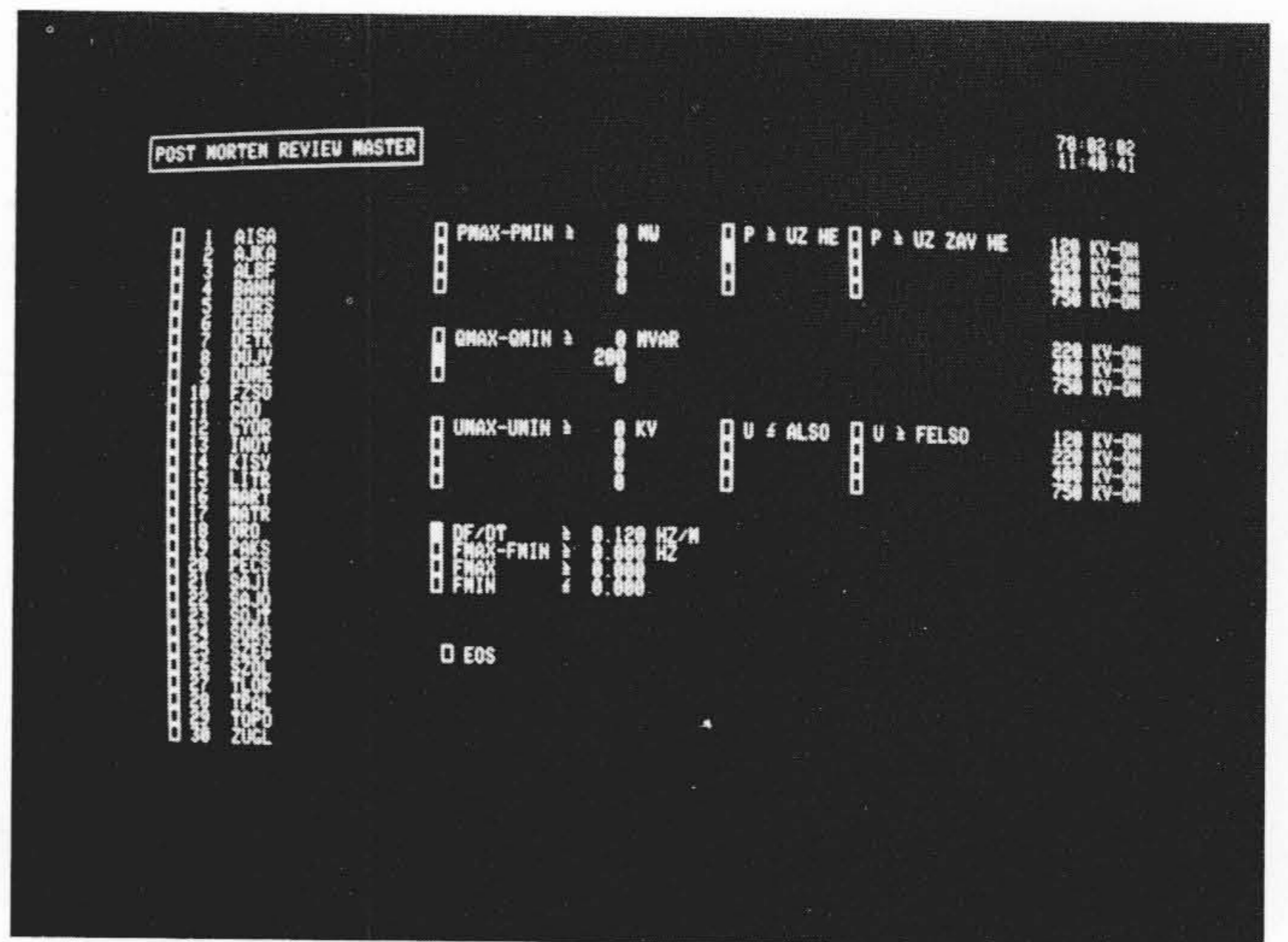


図6 事故経過再現の目次画面 収集した事故前後情報をCRT画面上で再生するとき、この画面から指示を与える。

ぞれ常時記憶更新させておくことが重要である。このような事前の情報収集は、事故の多重発生も想定し3ケース並行に処理できる形とし、また運転員の意志によってもこの情報が収集できるように操作卓に模擬系統事故を入力する押しボタンを設けた。このような事故前25秒と事故後50秒間の情報を1ケースとし、このシステムでは同時に60ケースの情報を記憶することとした。これにより必要な記憶容量は約700k語で十分となった。この60ケースの取扱いに関しては、各々のケースで重要度が異なること、また事故解析が終了したものは消去し、終了していないものは残したいことなどを勘案して、最新の60ケースを記憶することをやめ、ケースの消去は運転員の意志により運転員がCRT画面上で選択指定できる形とした。

このようにして収集した情報を解析する手段としては、大別して三つの方法を提供した。まず解析したいケースを選択したのち、一つは収集した情報を変電所主回路結線図画面上で再生する方法、また一つは数値情報に対しある条件を設定(例えば、潮流値については同一の潮流値の15サイクルの値のうち、1個でも上限値を超えるものがあるような潮流値だけを選択)して、その条件を満足する数値に関してだけ、15個のデータをCRT画面に一覧表として表示する方法、最後の一つはすべての数値データをラインプリンタに印字する方法である。

図5、6及び7は、PMRに関連したCRT画面の例である。図5はPMRの目次画面であり、これには60ケースの情報の発生日時、保護リレー動作連絡による情報(画面上Aの欄に\*印)か運転員による模擬系統事故入力による情報(画面上のM)かの区別、及び運転員がその事故に付ける名称やコメントの入力欄(MEGJEGYZES)から構成した。CRT画面で再生したい場合、解析したいケースNo.を選択して“PLAYBACK”をライトペン操作することにより図6を表示する。主回路結線図画面による再生については、同図の左側に並んだ30個の変電所名称の一つをライトペンで選択することにより、対応する変電所主回路結線図画面が図7の例のように表示される。同図の下部には1個1秒として事故前25秒と事故後50秒の75升を表示する。運転員はこの画面上で「←」又は「→」の矢印をライトペン操作することにより、事故前後75秒間の任意の時刻の主回路結線図を表示することができるようにした。

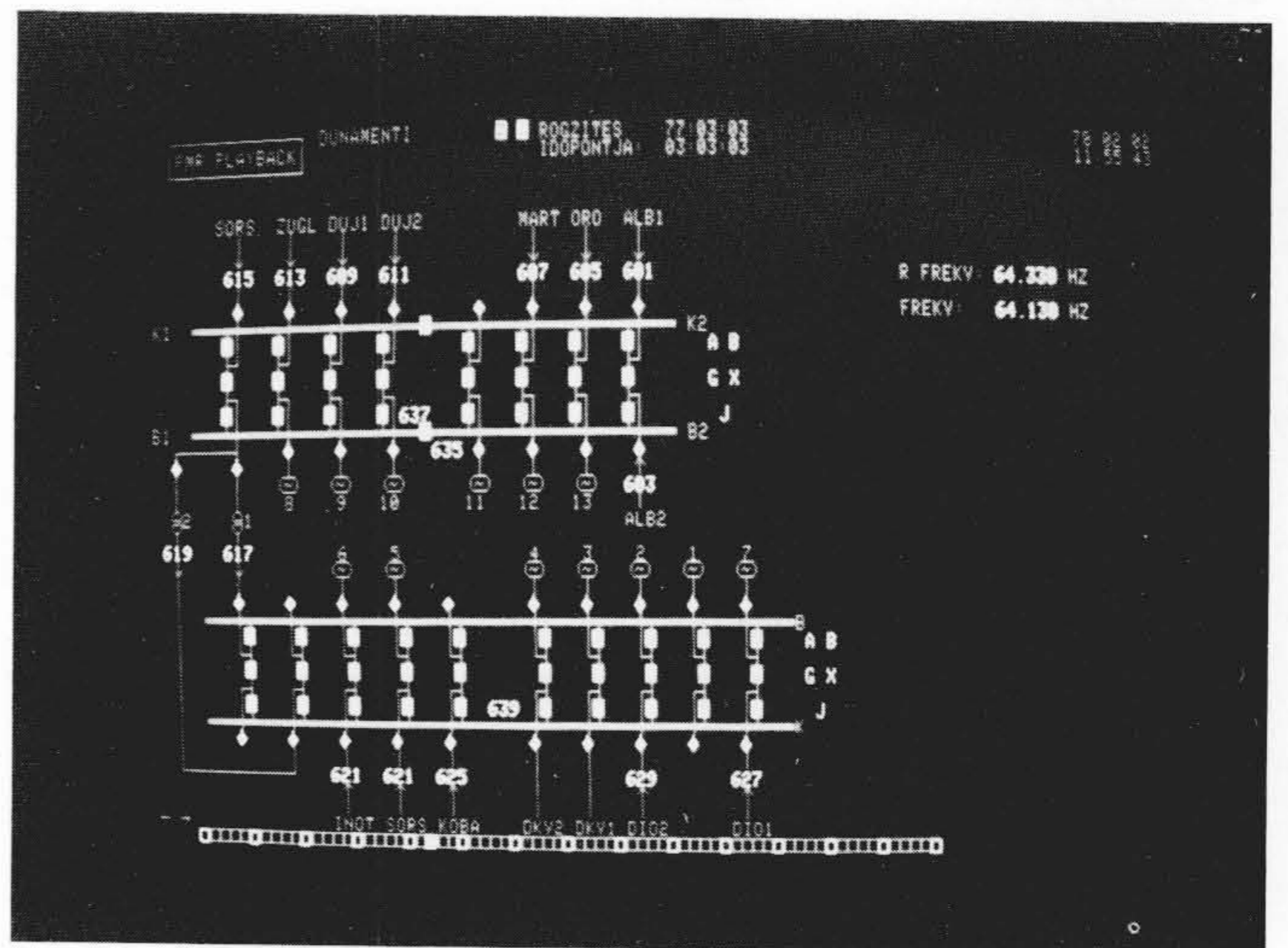


図7 事故経過再現変電所主回路結線図画面 この画面上で系統事故前後の状況を再生する。下部の升目は1升1秒であり、中塗りの升目が現在表示中の情報の時刻を示す。

## 7 結 言

ハンガリー電力庁と日立製作所が3年にわたり計算機を導入した近代的な中央給電システムの設計、製作及び現地調整を共同で推進してきたものである。

このシステムには、近代的な中央給電システムにふさわしく、各種の多彩な機能を導入して実現し、また2台の高性能日立制御用計算機HIDIC 80をマルチコンピュータシステムとして構成し、高い信頼性と稼働率及び高度なシステム機能を実現した。稼働率については、引き渡し後1年間の無償保証期間で99.9%以上を達成することができた。

このシステムがハンガリー自動給電の近代化に貴重な出発点となることを期待したい。

## 参考文献

- 1) dr. Kiss, Uesugi and Kanke : 'Central Load Dispatching System for Hungarian Electricity Board of Trust' HITACHI REVIEW, 29, 171(昭55-8)