

電鉄変電所の総合管理システム

Total Control System for Substation for Electric Railroads

With the increasing dependence on electric railways for general transportation, substations are being built in increasing number and at the same time more exact becomes the operation requirement. Accordingly, it has become necessary to adopt more rational systems for the management of substations.

To deal with such circumstances, Transportation Office of Sapporo City introduced recently a new electric power management system consisting of a control computer, HIDIC-100, and centralized supervisory control equipment for the centralized management of substations for its newly constructed express subway. By this computer system automatic management has been effected widely from logging to scheduling of operations and controlling of troubles in substations.

内田康道* *Yasumichi Uchida*
木下 貢* *Mitsugu Kinoshita*
菅家辰紀** *Tatsunori Kanke*
遠藤 徹** *Tôru Endô*

1 緒 言

近年、電鉄輸送の需要の増大に伴う電鉄路線の長大化、変電所数の増大に対して、電鉄変電所は、従来より以上に合理的かつ的確な運営を行なうことが要請されている。

現在、各地の電鉄変電所のほとんどは無人化され、遠方監視制御装置によって監視制御する形態がとられている。しかし、変電所数の増大に伴い1個所の制御所での運転業務が膨大なものとなり、的確、迅速な処置が困難になってきている。このため、従来の方式の遠方監視制御装置だけによる集中制御から、一歩進んだより合理的な総合管理システムが必要となってきた。さらに変電所だけではなく、電鉄としての総合運営システムの一部として、列車運行管理システムとの結合なども考慮しなければならなかった。

最近、電子計算機は、各種の産業分野で制御装置として多数活用され、目ざましい効果を発揮しているが、電鉄変電所に対して要求されているこのような総合管理システムも、計算機の適用によって対処することが必要である。また、遠方監視制御装置についても、計算機との接続を考慮した新たな方式が考慮されなければならない。

このような状況下において、札幌市交通局では、新たに建設された高速鉄道（地下鉄）の変電所に対して総合管理システムとして、制御用計算機HIDIC 100と集中式遠方監視制御装置を採用した。

このシステムは、図1に示すように計算機によって、地下鉄の総合的な運営を図るトータルシステムの一環を成すもので、制御所の業務を、記録業務から日常定形操作、さらに変電所故障時における操作に至るまで大幅に自動化し、将来計画されている路線の拡張に対しても的確な運営ができるものとしている。以下にその主要点を述べる。

2 電鉄変電所監視制御の自動化

2.1 対象変電所

札幌市交通局の高速鉄道の路線は、当初南北線のみで延長約9kmで、この路線に沿って、幌北、鉄北、大通、中ノ島、

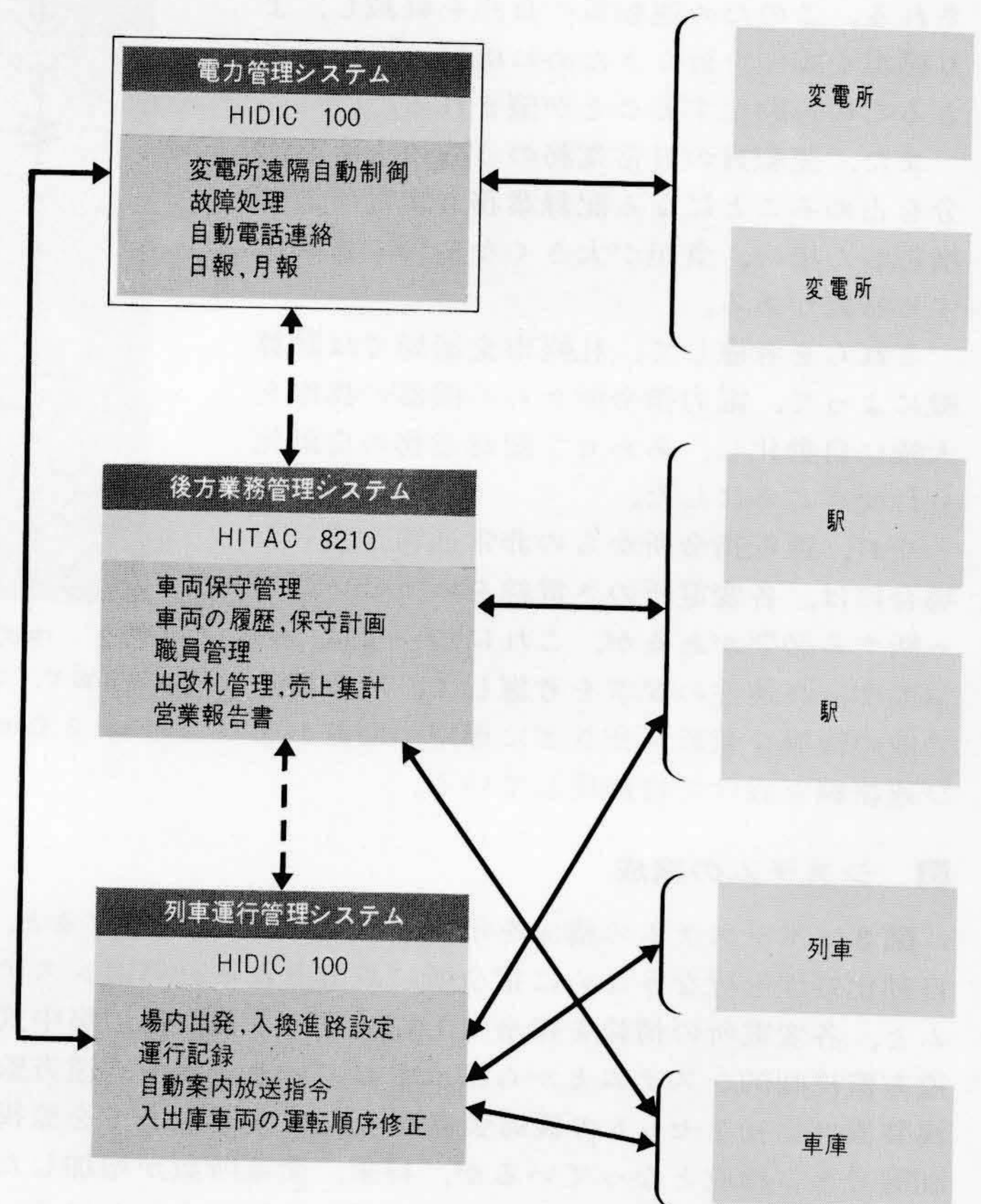


図1 札幌市交通局高速鉄道トータルシステム 3セットの計算機システムによって鉄道の管理業務を総合的に、効率良く処理している。

Fig. 1 Total System for High Speed Railway of Sapporo City

澄川、真駒内の6個所の変電所が設けられている。さらに将来、南北線の延長、および東西線の新設によって、路線総延長は約45km、変電所数は約30個所まで拡大することが予定されている。

* 札幌市交通局 ** 日立製作所大みか工場

図2は、真駒内変電所の単線結線図を示したものである。また表1は、指令所からの監視制御項目を示している。今回のシステムでは、自動化にあたって、次のような点を考慮して、各変電所の監視制御項目を統一している。

- (1) 計算機の処理プログラムが各変電所とも共通になるので、記憶容量の節約を図れる。
- (2) 制御デスクの選択制御スイッチは1変電所分だけを用意すればよい。

2.2 自動化項目

電鉄変電所では、電車の運転スケジュールに応じて、しゃ断器、整流器などを操作しなければならないこと、あるいは多数の変電所によって常に全路線の給電を行なわなければならないために、変電所間の負荷の分担、変電所故障時の他変電所からの電力の供給など変電所相互間の関連を考慮した運転を行なわなければならないことなどの条件があるため、一般の変電所に比べて機器の操作回数が多く、また的確な操作を行なうことがより強く要求される。このため運転員の負担を軽減し、より確実な操作を行なうために機器の操作はできるだけ自動化することが望まれる。

また、運転員の日常業務のうちの大きな部分を占めることになる記録業務も変電所数が増加した場合、負担が大きくなるので自動化する必要がある。

これらを考慮して、札幌市交通局では計算機によって、電力指令所からの機器の操作を大幅に自動化し、あわせて記録業務の自動化も行なうことにした。

なお、運転指令所からの非常通報があった場合には、各変電所のき電線をいっせいにしゃ断する必要があるが、これについてはその重要度、高速性の要求を考慮して、計算機その他の複雑な装置を介さずに専用の回路および連絡線を設けて自動化している。

3 システムの構成

図3は本システムの構成を示すもので、これを大別すると、自動化処理を行なうために指令所に設置される計算機システムと、各変電所の情報を指令所で監視制御するための集中式遠方監視制御システムとから構成されている。集中式遠方監視装置は当初1セットの親局装置で最大12変電所までを監視制御できる構成となっているが、将来、変電所数が増加した場合には、さらに1セットの親局装置を追加することによって、合計30変電所までを監視制御することができる。

3.1 計算機システム

計算機システムは、制御用小形計算機HIDIC 100⁽¹⁾を中心として表2に示すような仕様の機器で構成されている。

HIDIC 100中央処理装置のコアメモリ容量は8K語であり、プログラムおよびデータはほとんど32K語の磁気ドラムに格納されており、必要な都度コアメモリに転送して処理するようになっている。

データタイプライタは故障、機器の動作記録に使用されるほかに日報、月報記録用に、ロギングプリンタを1台付加している。ロギングプリンタは、将来変電所数が増加した場合

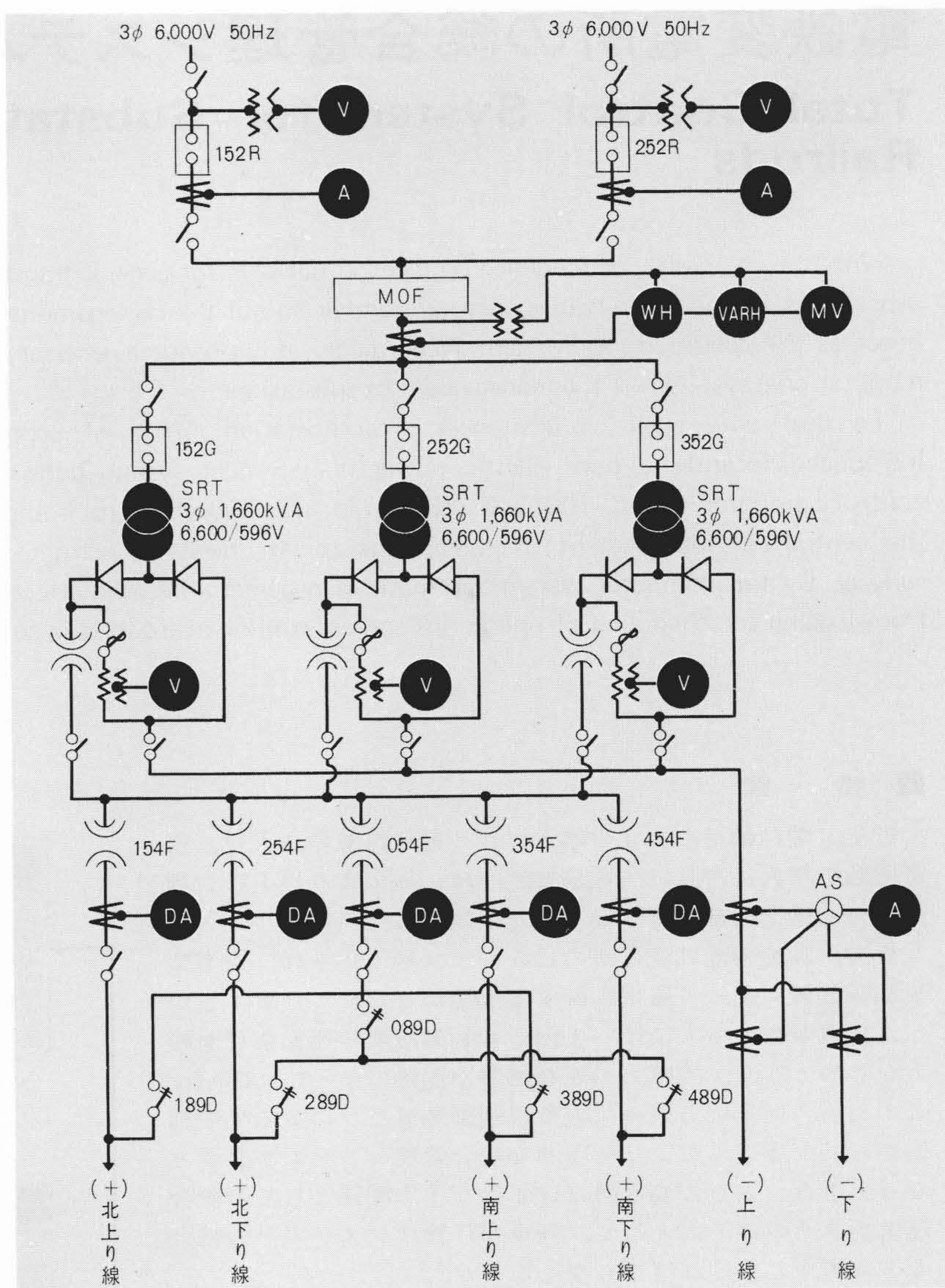


図2 中の島変電所単線結線図 各変電所とも受電2回線、整流器3台、き電線しゃ断器5台で、このほかに車庫線用のき電線をもつ変電所もある。

Fig. 2 One Line Connection Diagram of Nakanoshima Substation

には、さらに1台追加される。

光電式紙テープリーダはプログラムの読み込みに使用される。

プロセス入出力装置は、計算機から遠方監視制御装置への選択制御信号の入出力、オペレータコンソールの接続などに使用されるものである。

データ交換入出力装置は、遠方監視制御装置からの表示信号の取り込みを行なうためのもので、将来分も含めて、2セットの親局装置と接続できるようにしてある。

カラーCRT（文字表示装置）は各変電所の状態を単線結線図によって表示する。

オペレータコンソールは、スケジュール運転のためのスケジュールの設定、日報データの補正など運転員と計算機との情報の交換を行なうためのものである。

3.2 遠方監視制御装置

図4は遠方制御システムの機器構成とその接続関係を示したものである。図に示すように、遠方監視制御装置、遠隔測定装置、系統監視盤、制御デスクの四つの装置から構成されている。

表1 遠方監視制御項目表

監視制御項目は各変電所を通じて統一して、装置のコンパクト化、運用の容易化を図っている。

Table 1 List of Supervised and Controlled Item

No.	項 目	操 作	表 示	計算機処理	No.	項 目	操 作	表 示	計算機処理
1	試 験	試験平常	Ⓐ	○	41	き電線故障 F 4		Ⓐ	○
2	選択完了・表示復帰	(復帰)	Ⓑ	○	42	き電線故障 F 5		Ⓐ	○
3	ベ ル		ベ ル	○	43	連絡しゃ断 北上		Ⓐ	○
4	ブ ザ		ブ ザ	○	44	連絡しゃ断 北下		Ⓐ	○
5	制御回線断		Ⓐ	○	45	連絡しゃ断 南上		Ⓐ	○
6	制御渋滞・5E	停 止	Ⓐ	○	46	連絡しゃ断 南下		Ⓐ	○
7	遠方直接		Ⓐ	○	47	加圧表示 北上		Ⓑ	○
8	(ヨ ビ)				48	加圧表示 北下		Ⓑ	○
9	(ヨ ビ)				49	加圧表示 南上		Ⓑ	○
10	(ヨ ビ)				50	加圧表示 南下		Ⓑ	○
11	受電接地		Ⓐ	○	51	加圧表示 車庫		Ⓑ	○
12	受電停電常用線		Ⓐ	○	52	火 災		Ⓐ	○
13	受電停電予備線		Ⓐ	○	53	制御電源低下		Ⓐ	○
14	受電故障 (常)		Ⓐ	○	54	充電器故障		Ⓐ	○
15	受電故障 (予)		Ⓐ	○	55	直流接地		Ⓐ	○
16	受電欠相		Ⓐ	○	56	扉 開		Ⓐ	○
17	制御欠相		Ⓐ		57	デマンド警報		Ⓐ	
18	パワーヒューズ断		Ⓐ		58	逆流 1 号器		Ⓐ	
19	N F B 断		Ⓐ		59	逆流 2 号器		Ⓐ	
20	(ヨ ビ)				60	逆流 3 号器		Ⓐ	
21	1 号 S R 重 1 故障		Ⓐ	○	61	受電しゃ断器 (常)	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
22	2 号 S R 重 1 故障		Ⓐ	○	62	受電しゃ断器 (予)	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
23	3 号 S R 重 1 故障		Ⓐ	○	63	1 号整流装置	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
24	1 号 S R 重 2 故障		Ⓐ	○	64	2 号整流装置	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
25	2 号 S R 重 2 故障		Ⓐ	○	65	3 号整流装置	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
26	3 号 S R 重 2 故障		Ⓐ	○	66	き電しゃ断器 F 1	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
27	1 号 S R 軽故障		Ⓐ	○	67	き電しゃ断器 F 2	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
28	2 号 S R 軽故障		Ⓐ	○	68	き電しゃ断器 F 0	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
29	3 号 S R 軽故障		Ⓐ	○	69	き電しゃ断器 F 3	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
30	(ヨ ビ)				70	き電しゃ断器 F 4	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
31	き電線自動しゃ断 F 1		Ⓐ	○	71	き電しゃ断器 F 5	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
32	き電線自動しゃ断 F 2		Ⓐ	○	72	き電断路器 D 1	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
33	き電線自動しゃ断 F 0		Ⓐ	○	73	き電断路器 D 2	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
34	き電線自動しゃ断 F 3		Ⓐ	○	74	き電断路器 D 0	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
35	き電線自動しゃ断 F 4		Ⓐ	○	75	き電断路器 D 3	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
36	き電線自動しゃ断 F 5		Ⓐ	○	76	き電断路器 D 4	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
37	き電線故障 F 1		Ⓐ	○	77	き電断路器 D 5	入 切	Ⓐ Ⓒ	○
38	き電線故障 F 2		Ⓐ	○	78	ロード・ヒーティング	入 切	Ⓐ Ⓒ	
39	き電線故障 F 0		Ⓐ	○	79	(ヨ ビ)			
40	き電線故障 F 3		Ⓐ	○	80	(ヨ ビ)			

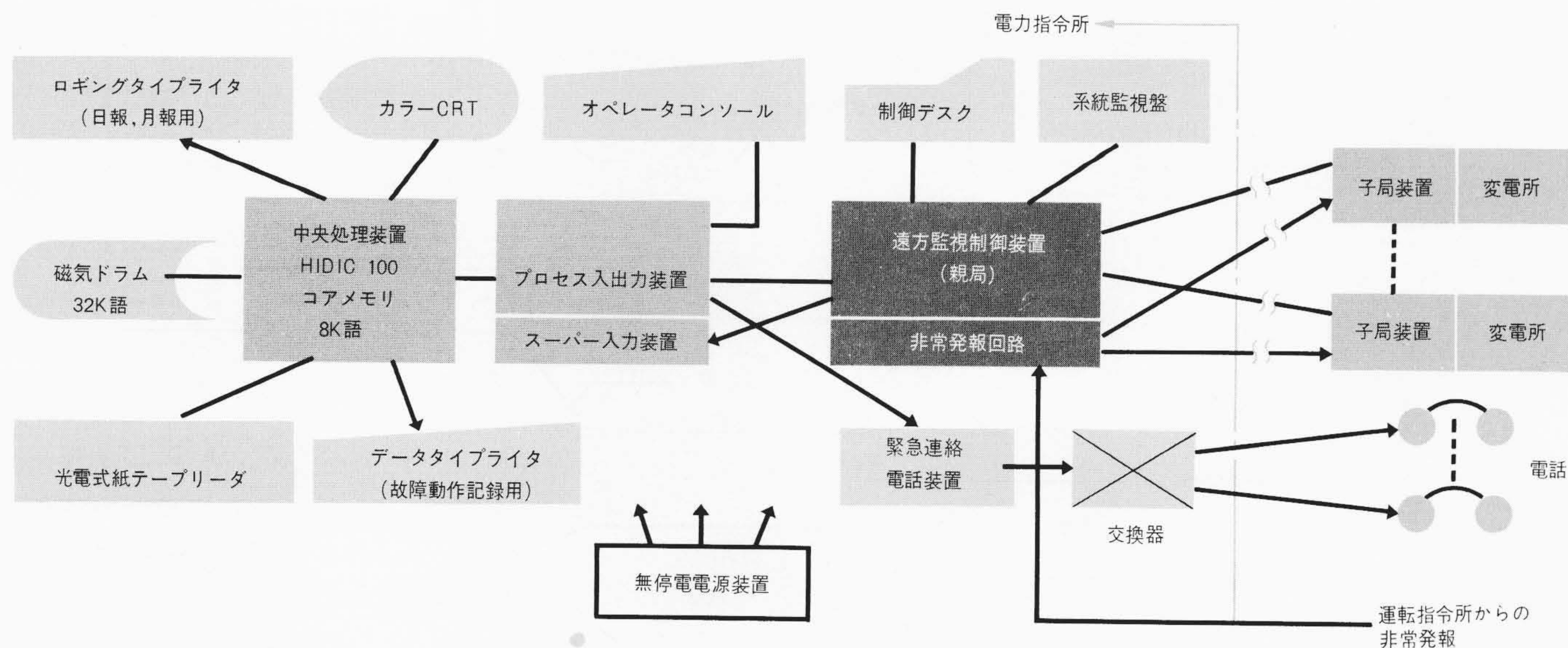


図3 電力管理システム構成図 各変電所の情報は、遠方監視制御装置、親局装置で集約され、計算機はこの親局装置を通して、各変電所を監視制御する。

Fig. 3 Block Diagram of Electric Power Management System

表 2 計算機システムの仕様 制御用小形計算機HIDIC 100によって、30変電所までの処理を可能にしている。

Table 2 Specification of Computer System

機 器 名	仕 様
中 央 処 理 装 置	HIDIC 100 コアメモリ 8K語
デ ー タ タ イ プ ラ イ タ	印 字 紙テープ読取り } 最大 10字/秒 紙テープパンチ }
光電式紙テープリーダ	読込速度 200字/秒
磁 気 ド ラ ム	記 憶 容 量 32K語 平均アクセス時間 10ms 転 送 速 度 12.8K語/秒
プロセス入出力装置	デジタル入力 レジスタ付 4語 バス方式 8語 デジタル出力 投影表示器用 6けた パルス出力 1語 バス方式 16語 割込み入力 2レベル×8要因
データ交換入出力装置	1:N スーパー親局 2セット分
ロギングプリンタ	形 式 M-735 印字ピッチ 12字/インチ 印字文字数 154字/行
カラー文字表示装置 (CRT)	ビューア寸法 19インチ 表示文字数 40字/行 16行/画面 表示文字種類 英数字、記号 64種 特殊記号 64種
オペレータコンソール	卓 上 形 取 付 器 具 投影表示器 設定用デジタルスイッチ 故障表示用ランプ 押しボタンスイッチ

3.2.1 遠方監視制御装置

システムの中心となる遠方監視制御装置は、1個所より多数の変電所を集中監視するため、信頼度が高く経済的であることが望まれる。制御方式としては(1:1)×N方式⁽²⁾と1:N方式とがあるが本装置には、これらの条件を満足する1:N方式⁽³⁾が採用されている。

1:N方式は従来は、制御所の装置の故障の場合、全変電所が運転不能になるおそれをもっていたが、本装置では制御所共通回路部の完全二重化により、信頼度を上げており、万一計算機システムの故障時にも遠方監視制御装置単独による制御ができるようにバックアップ機能をもっている。

3.2.2 遠隔測定装置

遠隔測定装置としては、電圧電流は距離が比較的短いこと、一変電所当たりの量数が少ないことにより、直流直送方式としている。

指示計は保守しやすいよう選択計測となっており、各変電所選択によりその変電所の計測を可能にしている。

積算電力については積算パルスの常時伝送を行なうため、計測量単位に一对のケーブル伝送としている。

3.2.3 系統監視盤

系統監視盤は通常の機器の状態監視に使用するものであり、常時どうしても見たいもののみを表示して、他のものはCRT表示としており、盤面を縮小するとともに保守をしやすくする。

図5は制御デスクと後方の系統監視盤の外観を示したものである。盤面には、系統全体の運転状況を的確に表示し、かつ機器を迅速適切に制御できるように、状態表示を実系統に合わせてグラフィック状に配列し、系統のつながりを模擬母

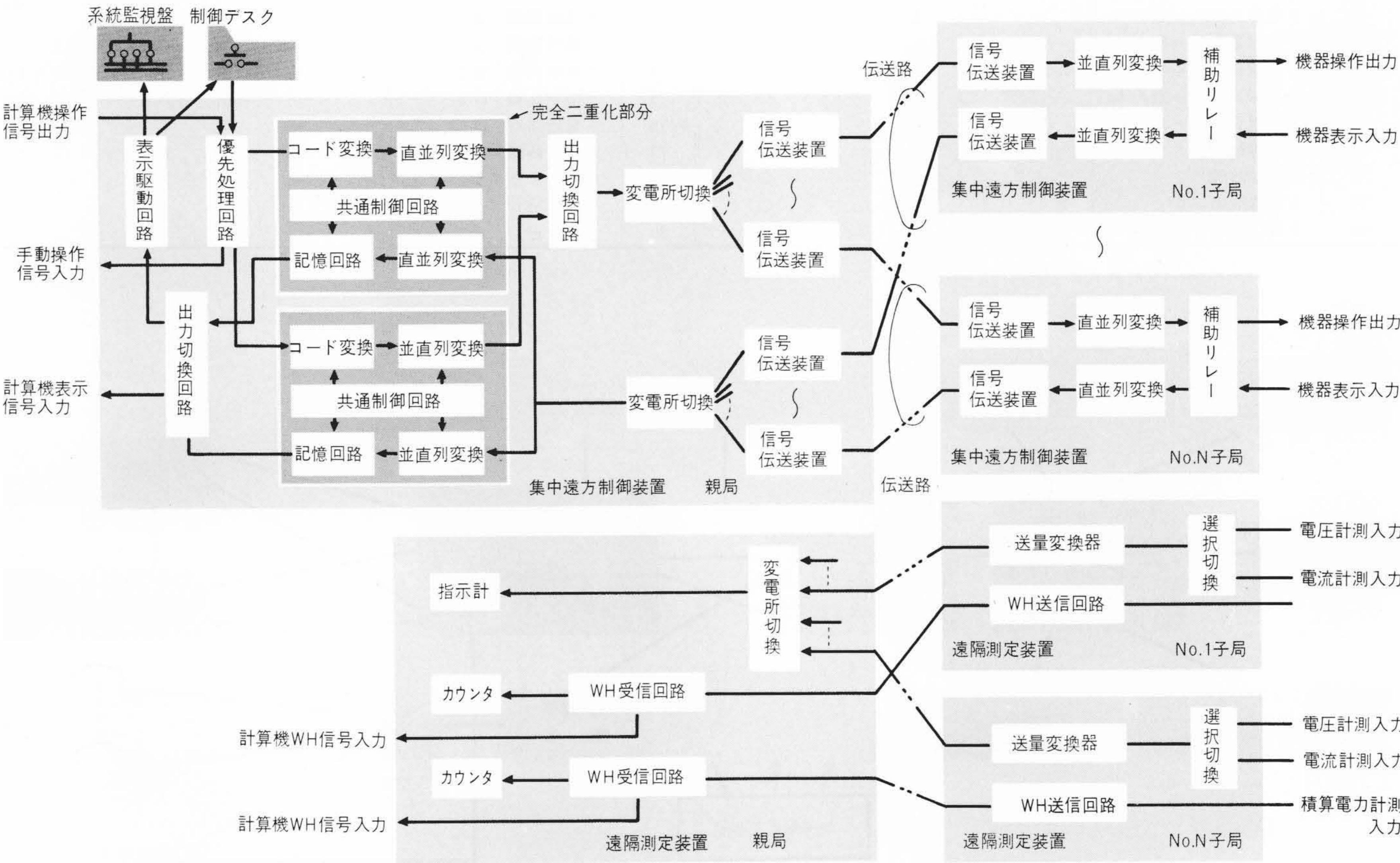


図 4 遠方制御システムの構成図 親局装置は、複数の子局装置に対して共通化し、共通部は二重化することによって信頼性を高めている。

Fig. 4 Block Diagram of Supervisory Control System

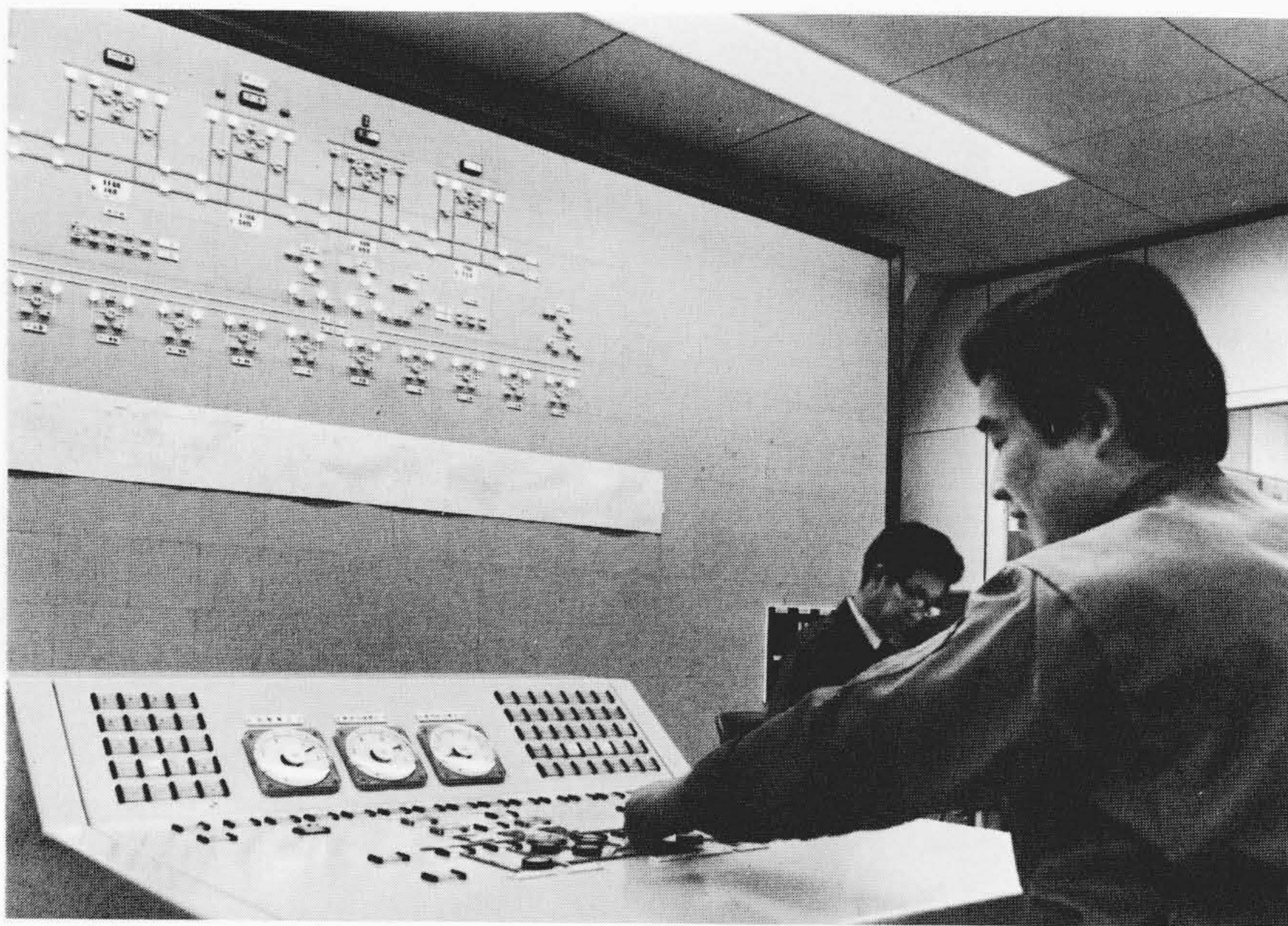


図5 指令所の系統監視盤(後面)と制御机盤(前面) 各変電所の構成が共通化されているので、指令所の装置もコンパクトになっている。

Fig. 5 Monitor Panel (rear) and Control Desk (front) in Control Office

線によって表わしている。

表示項目としては直流き電線および駅高配を主体とし、各変電所の直流側のみ表示を行ない高配、受電関係はCRT表示としている。また、変電所のまびき運転操作が確実にこなれるよう各フィーダの出口に加圧表示を行なっている。

系統監視盤に対しては将来の構成を考慮して、路線延長、変電所増設が簡単にできるよう、多孔パネル方式を採用し、将来30変電所まで実装できるようスペースをとっている。このため、一部路線の変更もしくは機器配置が変わった場合にも、盤面を加工することなくシンボルの取付位置を変えるだけで変更できる。

3.2.4 制御デスク

制御デスク上の機器の操作を確実にこなうための条件は、

- (1) 機器の状態が明確であること。
- (2) 機器の故障状態が明確であること。
- (3) 電圧および電流の測定が可能なこと。

である。札幌市交通局ではこれらの条件を満たし、さらに保守上便利なよう制御デスクの小形化を図るため、選択表示方式を採用し、常時は消灯するようにしてある。すなわち、変電所スイッチの選択によりその変電所のすべての状態を盤面上に表示することができる。また、操作をいっそう確実にするため、実際の機器配列に合わせCBおよびDSの選択スイッチを配列し、その機器が選択完了したことによりシンボルを点滅し、共通操作スイッチにより入、切操作する2挙動方式を採用している。

自動状態変化が発生した場合、ベルまたはブザー警報とともに変電所銘板をフリッカーさせている。

このように制御デスクは全変電所に共通に使用されているため、万一の場合を考慮して、補助操作盤を制御デスクの袖部に実装し、操作回路の二重化を図っている。

3.3 計算機と遠方監視制御装置の接続

各変電所の多くのデータを計算機で処理するために、計算機と遠方監視制御装置の間では大量のデータが転送される。このために、その接続方式はシステムが複雑にならないように十二分に考慮されなければならない。

本システムでは、表示信号は遠方監視制御装置の伝送速度と同期して一群ごとに直列に計算機に取り込まれる。計算機からの操作には、変電所番号、群番号、個別番号の選択信号と、入、切の操作信号の組み合わせによる選択制御方式を採用している。さらに操作デスクから手動操作を行なった場合には、その内容が番号で入力され、計算機は手動操作の内容を記憶し、機器の動作が手動操作によるものか自動状態変化であるかを区別することができる。

以上のように、本システムでは、非常に少ない信号によって、すべてのポジションの監視制御が計算機によって行なわれるようになっている。

4 計算機による自動化処理内容

4.1 スケジュール運転

指令所から行なう機器の操作の大部分は、電車の運転スケジュールに合わせて、ほぼ毎日一定のパターンで、3台の整流器および4台の直流き電線しゃ断器(54F)を操作すること

であるが、変電所数が多くなるとその操作回数は非常に多くなるので、計算機内のタイマに基づいて自動的に処理し、運転員の負担を軽減するようになっている。なおこの場合次のようなことを考慮している。

- (1) スケジュールを、平日、休日、季節などに対応させるために7組用意し、オペレータコンソールから選択および新たな設定ができる。日曜日には計算機が自動的に休日のスケジュールを選択する。
- (2) 1変電所3台の整流器の運転時間の平均化を図るために先発機を毎日切り換える。
- (3) 整流器が故障のために自動運転除外になっているときには、その整流器を除いた整流器によってスケジュールどおりの運転台数にする。

4.2 負荷変動によるスケジュール補正

スケジュールどおりの運転を行なっていると、負荷の状態によっては整流器の容量に過不足を生じるので、15分ごとに負荷電力量を監視して、整流器台数を必要に応じて増減している。ただし、あらかじめ定められたラッシュ時間には、整流器の台数減少は行なわない。

また、各変電所の15分間デマンドを監視し、規定値を越えた場合には、き電線しゃ断器をしゃ断して、その変電所の負荷を軽減するようにしてある。なお、デマンド計測の開始時間はオペレータコンソールから設定して、各変電所のデマンドメータに合わせるようにしている。

4.3 故障時の処理

変電所で発生する各種の故障に対して、運転員が常に的確、迅速な処置をとることは困難なので、次のような項目については計算機が自動的に処理するようにしてある。

- (1) 受電接地で変電所停止となった場合は隣接変電所の予備整流器を運転する。このとき、き電線しゃ断器もトリップするので、再投入して両隣接変電所間のき電線が接続するようにする。
- (2) 受電停電時には40秒間復電を待ち、復電すれば整流器を停電前の運転状態にする。復電しなければ受電2系統のう

ちの予備受電系に切り換えて、運転を再開する。

- (3) 受電2系統のうちの予備受電系で運転中、常用受電系が復電すれば、常用受電系に切り換える。
- (4) 受電2系統ともに停電中のときには、隣接変電所の予備整流器を運転する。
- (5) 受電故障で受電しゃ断器(52R)がトリップした場合には、40秒後に再投入し、整流器を受電故障発生前の運転状態にする。
- (6) 受電欠相のときには、予備受電系に切り換える。
- (7) 整流器重故障が発生したときには、その故障種別により、30秒後に再投入するか、予備整流器の運転を行なう。
- (8) 整流器軽故障時には、予備器を運転して故障整流器をしゃ断する。その変電所に予備整流器がなければ、隣接変電所の予備整流器を運転してから故障整流器をしゃ断する。
- (9) き電線の連絡しゃ断が発生したときには、30秒後に、そのき電しゃ断器を再投入する。

4.4 自動操作の確認

前項までの処理の中で、機器の操作を行なう場合には次のような確認を行なって、操作が確実に行なわれるようにする。

- (1) 計算機からの操作はポジション選択および制御の2挙動とする。
- (2) ポジション選択信号出力後、一定時間経過しても子局からの選択完了信号が来ないときにはその操作は打ち切られタイプライタは異常を記録する。
- (3) 選択完了後、入あるいは切の信号を出し、その機器の応動を確認する。一定時間経過しても機器が応動しないときにはタイプライタは異常を記録する。

4.5 緊急電話連絡

変電所で故障が発生した場合、その処置を迅速にとらせるために計算機から故障内容を関連部署に電話連絡している。連絡内容は「火災発生」「非常発報」「き電線事故」など8種類で、あらかじめ録音テープに録音されており、計算機が、テープの選択と起動信号を与えると、所定の個所の電話が鳴り録音されている内容が連絡される。

4.6 故障、機器の動作記録

各変電所の運転状態を的確に把握(はあく)するために、故障の発生あるいは機器の動作の都度その内容をタイプライタで記録している。

故障あるいは機器の動作の検出は、計算機内に取り込まれたすべてのポジションの状態を2秒ごとにスキャンする方法をとっている。また多数の故障、機器の動作が一時に重なった場合でも、最大100項目までは磁気ドラム内に記憶しておき、順次記録する方式をとり印字漏れのないようにしてある。

印字内容は、時刻(時分)、変電所名(英字5けた)、故障名または機器名(英数字4けた)、動作内容(英字2けた)、自動状態変化、手動操作、計算機操作の区別(1けた)で、たとえば、

6-30 MAKOM 254F CL A

とあれば、6時30分に真駒内変電所の2号き電線しゃ断器が計算機指令によって投入されたことを示している。このほかに、58行分を1ページとして紙送りし、月日の印字をつけ加えて記録用紙の整理の便が図られている。

4.7 日報、月報の作成

各変電所の電力量、整流器の運転時間などを日報、月報の様式に従って記録する。

4.7.1 日報の印字内容

- (1) 1時間ごと

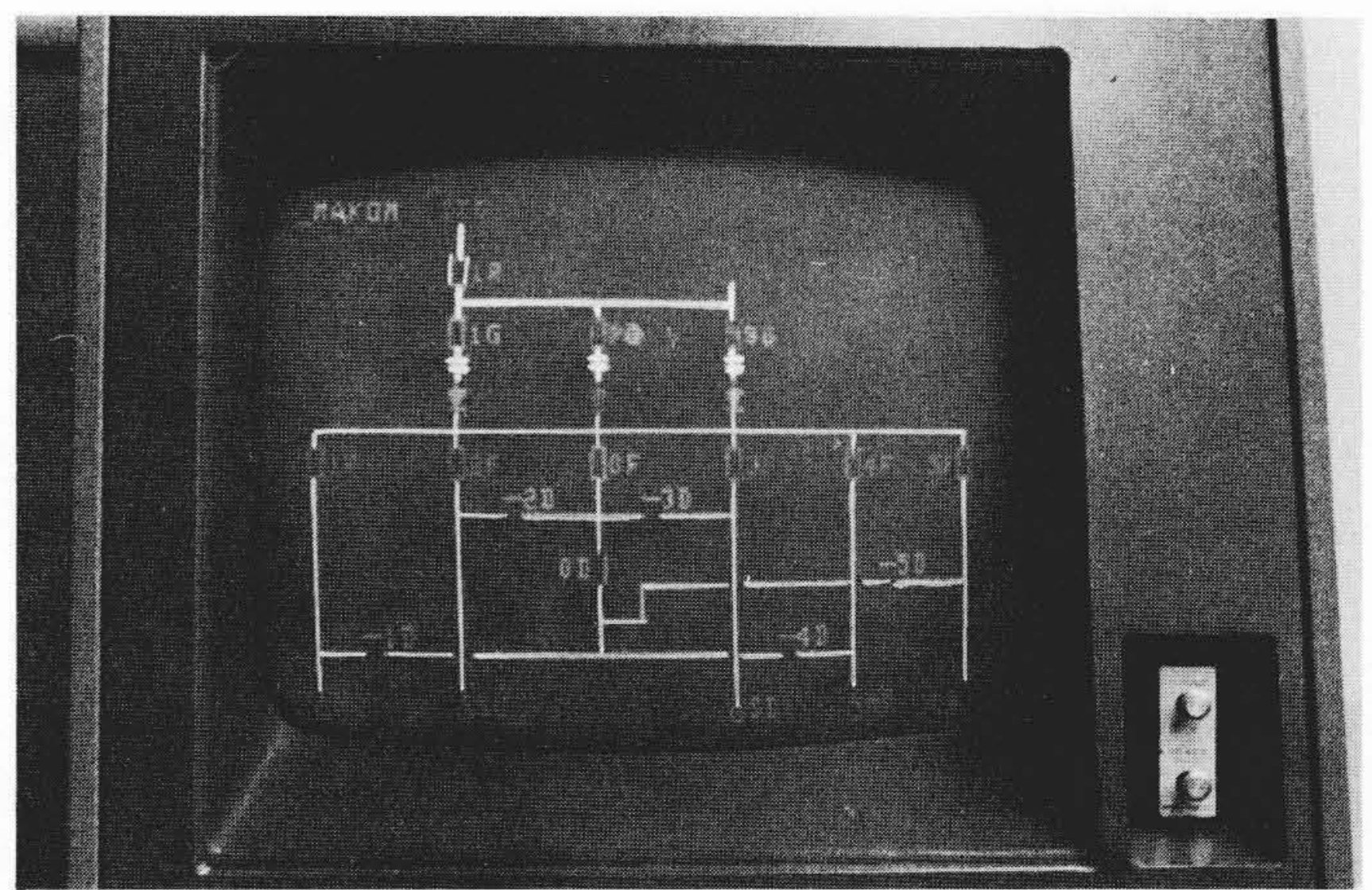


図6 CRT表示例 1変電所ごとに機器の状態が表示される。入、切は赤、緑の色別で示され、状態が変化した機器の表示はフリッカする。

Fig. 6 Example of Display by CRT

- (a) 電力量1時間積算値
- (b) 15分間デマンドの1時間内の最大値(常時は黒字で、契約デマンド量を越えたときには赤字で記録)
- (2) 24時間ごと
 - (a) 電力量24時間積算値
 - (b) 1日および当月最大デマンド
 - (c) 無効電力量24時間合計
 - (d) 1日平均電力量
 - (e) 力率、需要率、負荷率
 - (f) 整流器運転時間1日合計および当月合計
 - (g) 変電所運転時間1日合計および当月合計

4.7.2 月報の印字内容

月報はオペレータコンソールからの指令によって随時記録させる。印字内容は当月合計と累計で次の項目について行なわれる。

- (a) 有効電力量
- (b) 整流器運転時間
- (c) 変電所運転時間

4.8 CRTによる変電所スケルトン表示

系統盤あるいは操作デスクの表示の補助手段として、CRTによって変電所のスケルトンを表示している。図6はその一例を示したものである。

5 結 言

以上、今回完成した札幌市交通局の電力総合管理システムについて述べた。このシステムの完成によって変電所の管理業務のほとんどを自動化することができた。

このシステムは今後の路線の延長にも対処できるよう考慮されており、その場合にさらに大きな効果を発揮することが期待される。また、運行管理システム、車両保守業務管理システムなどといった有機的な関連を持たせて、より完全なトータルシステムを形成していくことが今後の課題といえる。

終わりに、本システムの完成にご協力いただいた関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 森田ほか：日立評論 51, 714 (昭44-8)
- (2) 電気協同研究会：電気協同研究(第22巻第3号)
- (3) 渡瀬ほか：日立評論 52, 581 (昭45-6)