

プログラムによる計算例

— ELD および データ ロガー —

Example of Computing by Programming

— ELD and Data Logger —

佐藤 昭治*
Shôji Sato

氏家 一彬*
Kazuaki Ujiie

金子 達也**
Tatsuya Kaneko

内 容 梗 概

さきに関西電力株式会社に納入された経済負荷配分装置および北海道電力株式会社に納入された滝川火力発電所1号機用データ処理装置の制御用プログラムについて述べる。制御用プログラムでは、インプットデータは一般には電気信号で与えられること、リアルタイム、またはそれに近い形で使用されること、プログラムに割込機能を特に考慮していることなどが、事務および科学計算の場合と異なる点である。本文では装置全体をどのようにプログラムコントロールしているかを記述する。

1. 緒 言

1946年に世界最初のデジタル電子計算機ENIACが建造されて以来、科学技術計算および事務計算に大きな業績を残してきた。デジタル電子計算機をプロセス (process) 制御の分野に利用しようとする試みは、1957年に初めてThompson Ramo-Wooldridge社およびDaystrom社によってなされ、1958年にLouisiana Power and Light社で初めて実用化されている。日立製作所では、1958年より研究が開始され、現在までに数台の制御用計算機が納入され実動している。

ここでは関西電力株式会社に納入された水火併用系統経済負荷配分装置⁽¹⁾および北海道電力株式会社に納入された滝川火力発電所データロガー1号機⁽²⁾についてのそれぞれのプログラムについて記述する。

経済負荷配分⁽³⁾ (Economic Load Dispatch, 略してELDと記す) とは、与えられた需要電力に対して、水力発電所および火力発電所を含めて、どのように発電電力量を各発電所に分担させれば、発電コストを最小にすることができるか、という電力を経済的に運用する問題である。これと同じような問題が、ガス配分、石油混合に生じている。

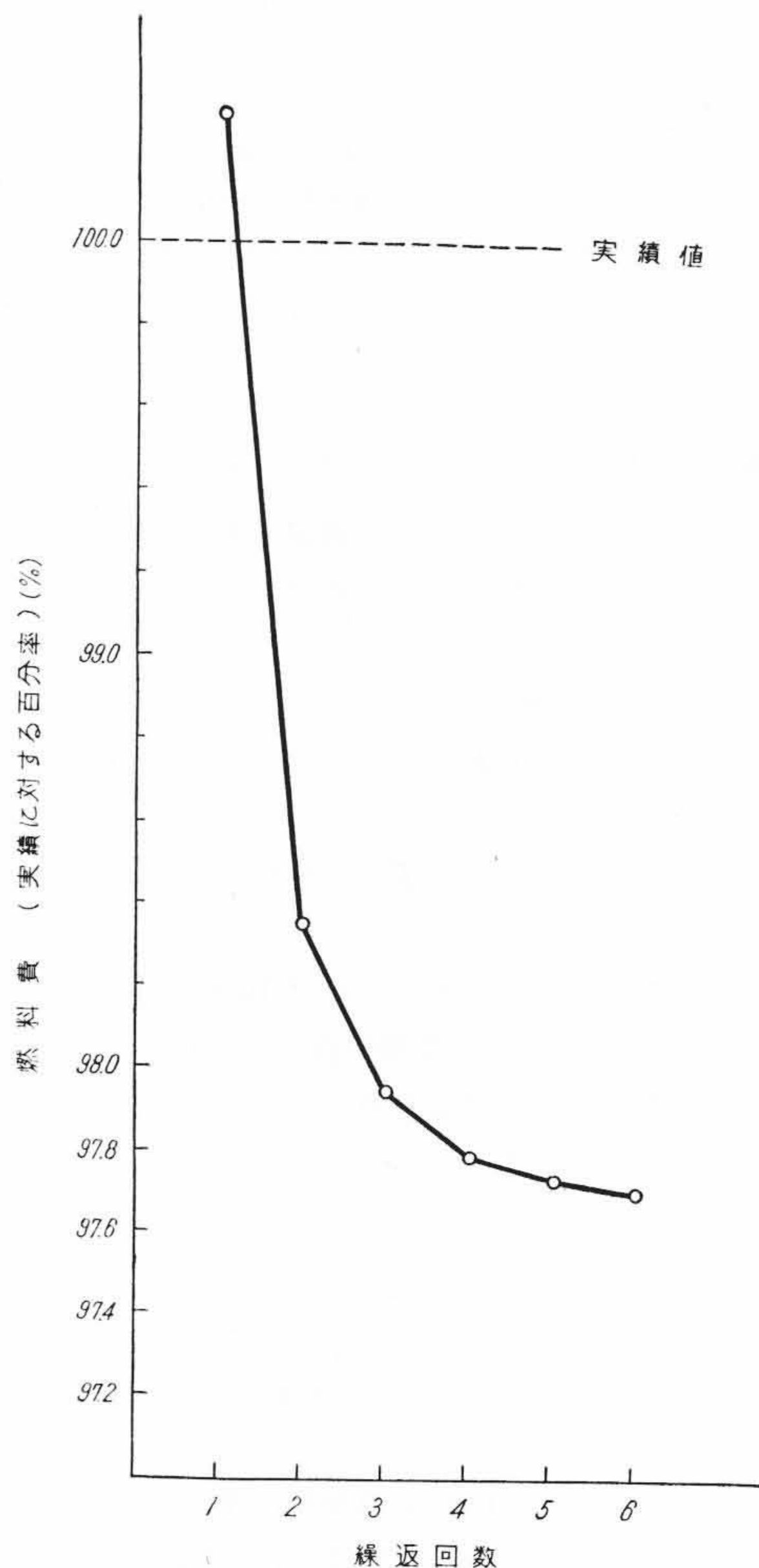
データロガーは計算機を中に持たないで、簡単な記録監視を行なうものから、計算機をシステムの中に入れて計算や高度な判断機能をもたせ、これらの機能を生かして運転日報はもちろんのこと、運転制約条件の監視などの動作をはじめ、効率計算や運転指針の算出などを行なうものまである。後者はコンピューティング・ロガーと称するものであるが、これをさらに一歩進めて計算機によって計算、判断した結果を、フィードバックしてプロセスの最適制御を行なう計算機制御が開発されつつある。

2. ELD コントロール・プログラミング

2.1 ELD について

アメリカでは、1954年頃からアナログ計算機による火力発電所系統のみを対象とするELD計算機が開発され、実用化されてきたが水力を含めた全系統のELDは、計算が複雑でアナログ計算機による実用化は困難な状態であった。日立製作所では、1958年関西電力株式会社と協同研究を開始し、計算方式、装置の構成などの基本的問題から検討を重ね、新しい試みとしてデジタル・アナログ併用形 (hybrid) の計算装置を開発することになった。このハイブリッド計算機の特長は、

- (1) 水力系統などの複雑な計算がデジタル計算機により可能であること。
- (2) 送電損失率が系統を模擬することにより、瞬時に計算でき大形高速のデジタル計算機を使う必要のないこと。
- (3) 系統接続盤により電力系統の解析が可能である。
- (4) 予想と異なった当日ELD計算が可能である。
- (5) 将来AFC (Automatic Frequency Control) など既成設備との結合もできるように考慮してある。
- (6) ELDの長期運用など一般科学技術計算に使用しうること。
- (7) プログラムの融通性により比較的容易に電力系統を変えう



第1図 繰返回数と燃料費の収束状態

* 日立製作所中央研究所

** 日立製作所国分工場

ること。

(8) アナログ計算機の弱点を補ない精度が高いこと。

などがあげられる。

ここでは、関西電力株式会社に納入されたハイブリッド計算機を使用したELD計算について述べる。本装置を使用してある例題を解いた結果、演算開始より計算終了まで19分55秒である。一例については発電コストは、実績値に対して、2.3%の減少をみた。

2.2 原 理

ELDでは、二つの等式条件と不等式条件

(1) 需要供給のバランス (balance) 方程式

$$iP_R + iP_L = \sum_{j=1}^m iP_{Sj} + \sum_{k=1}^n iP_{Hk} + \sum_{l=1}^r iP_{Fl} \dots\dots\dots (1)$$

$$i=1, 2, \dots, 24$$

(2) 水力発電所発生電力量の制限

$$P_{Hk0} = \sum_{i=1}^{24} iP_{Hk} \dots\dots\dots (2)$$

$$k=1, 2, \dots, n$$

(3) $P_{Sj} \leq iP_{Sj} \leq \bar{P}_{Sj} \quad j=1, 2, \dots, m$

$$P_{Hk} \leq iP_{Hk} \leq \bar{P}_{Hk} \quad k=1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (3)$$

のもとで、燃料費

$$C = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{24} iF_j \dots\dots\dots (4)$$

を最小にする問題になる。

ここに C : 総 燃 料 費

F : 火力発電所燃料費

P_S : 火力発電所出力

P_H : 調整式水力発電所出力

P_F : プログラム火力発電所出力, 自流式水力発電所出力および融通電力

P_R : 里側全需要電力

P_L : 送 電 損 失

P_{Hk0} : k 番目の水力発電所の一日に発生しうる電力量

各記号につけた添字は、右下が発電所の番号、左下が時間帯 $i=1, 2, \dots, 24$ を示す。発電所の上, 下限値は、記号の上, 下にバーをつけて表わす。

いま(3)の不等式条件を除外して考えると、これはよく知られているLagrangeの未定乗数法⁽⁴⁾によって、極値をとるための必要条件が求められる。すなわち、Lagrange関数

$$\Phi = C + \sum_{i=1}^{24} i\lambda \left(iP_R + iP_L - \sum_{j=1}^m iP_{Sj} - \sum_{k=1}^n iP_{Hk} - \sum_{l=1}^r iP_{Fl} \right) - \sum_{k=1}^n \varphi_k \left(P_{Hk0} - \sum_{i=1}^{24} iP_{Hk} \right) \dots\dots\dots (5)$$

を作り、 Φ の第1次偏導関数を求め、すべて零に置くことによって極値の必要条件を求めることができる。ここで、 $i\lambda, \varphi_k$ はLagrangeの乗数という。

$$\frac{\partial \Phi}{\partial iP_{Sj}} = \frac{\partial iF_j}{\partial iP_{Sj}} + i\lambda \left(\frac{\partial iP_L}{\partial iP_{Sj}} - 1 \right) = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$i=1, 2, \dots, 24 \quad j=1, 2, \dots, m$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial iP_{Hk}} = i\lambda \left(\frac{\partial iP_L}{\partial iP_{Hk}} - 1 \right) + \varphi_k = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$i=1, 2, \dots, 24 \quad k=1, 2, \dots, n$$

(1), (2), (6), (7)の方程式の数は、 $24+24m+25n$ 、未知数 $iP_{Sj}, iP_{Hk}, i\lambda, \varphi_k$ の数は $24+24m+25n$ でこれを解くことは理論的に可能である。物理的な意味から、 λ を受電端増分燃料費、 φ を水力発電所の増分価格という。(6), (7)式より

$$i\lambda = \frac{\frac{\partial iF_j}{\partial iP_{Sj}}}{\left(1 - \frac{\partial iP_L}{\partial iP_{Sj}} \right)} = \frac{\varphi_k}{1 - \frac{\partial iP_L}{\partial iP_{Hk}}} \dots\dots\dots (8)$$

$$i=1, 2, \dots, 24 \quad j=1, 2, \dots, m \quad k=1, 2, \dots, n$$

この式は、増分燃料費、送電損失の兼ね合い (co-ordination) を示しており、これを電力協調方程式(power co-ordination equation)という。換言すれば、極値を求めるためには、電力協調式を解くことが必要である。経済負荷配分装置では火力発電所出力をアナログ計算機によって求め、水力発電所出力をデジタル計算機によって求めている。

デジタル計算機で解く方法は、Cauchyによるgradient法を拡張した平均gradient法を用いている。Cauchy⁽⁵⁾によるgradient法を簡単に説明するため、いま微分可能な目的関数を $F(x, y)$ とし、 x, y にどのような値を与えたら $F(x, y)$ が減少するかを考える。まずはじめに、適当な値 x_0, y_0 を初期値とし、そのときの関数値を $F(x_0, y_0)$ とする。 $F(x_0, y_0)$ を微小だけ変えてその値を $F(x, y)$ とすると、

$$F(x, y) - F(x_0, y_0) = \Delta F(x, y)$$

$$= \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_{x=x_0} \Delta x + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_{y=y_0} \Delta y \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $x=x_0+\Delta x, y=y_0+\Delta y$ である。

$F(x, y)$ を減少させるためには、 $\Delta x, \Delta y$ を人為的に次のように選んでやればよい。すなわちある正数 k を選んで

$$\Delta x = -k \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_{x=x_0} \quad \Delta y = -k \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_{y=y_0} \dots\dots\dots (10)$$

とおくことによって

$$\Delta F(x, y) = -k \left\{ \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)_{x=x_0}^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)_{y=y_0}^2 \right\} \leq 0 \dots\dots\dots (11)$$

であるから、 $F(x, y)$ は初期値 $F(x_0, y_0)$ より減少したことになる。この過程を計算機で繰り返すことにより、極小値を得ることができる。平均gradient法は、この拡張で x, y がある制約条件

$$\varphi(x, y) = 0 \dots\dots\dots (12)$$

で、束縛されているときに用いる。Lagrange関数

$$\Phi(x, y, \lambda) \equiv F(x, y) - \lambda \varphi(x, y) \dots\dots\dots (13)$$

を作り、極値の必要条件

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\partial F}{\partial x} - \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial y} = \frac{\partial F}{\partial y} - \lambda \frac{\partial \varphi}{\partial y} = 0$$

$$\dots\dots\dots (14)$$

より近似的に

$$\lambda \doteq \frac{1}{2} \left(\frac{\partial F}{\partial x} / \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} / \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (15)$$

とおいて、ある正数 k を選んで

$$\Delta x = -k \frac{\partial \Phi}{\partial x}, \quad \Delta y = -k \frac{\partial \Phi}{\partial y} \dots\dots\dots (16)$$

と、 x, y を変えて解く方法である。この λ の値に平均値を用いることによって、平均gradient法と名付けられた。ELD計算においては、平均gradient法は、gradient法に比べて約10倍の収束速度であることが確認された。

2.3 経済負荷配分装置の概要

経済負荷配分装置は、第1表のようにデジタル計算機HIPAC 103, アナログ計算機, 変換部, 送電損失率計算部, 演算制御部, 表示監視部によって構成されている。またこの装置によって計算される電力系統の規模は第2表に示すとおりである。予想計算の順序は、第3図のフロー・チャート(flow chart)に示し、第4図にその分担を示している。

2.4 ELDプログラム

経済負荷配分装置を自動的に制御し計算を行なうこのプログラムは、デジタル計算機の記憶装置に格納されて、系統制御機またはデジタル計算機の制御卓によって操作監視される。プログラムは一度全部磁気ドラム (Drum) に格納され記憶されているが、演算時間を約 10 倍速めるために磁気コア (core) に、命令と数値をブロック (block) 移動して計算が行なわれる。そのためプログラムはすべて相対アドレス (relative address) で書かれている。プログラムは次のルーチン (routine) から構成されている。

- (1) 入力ルーチン

(2) 制御ルーチン

(3) DA-AD 変換ルーチン

(4) 平均 gradient 法による調整式水力出力の修正ルーチン

(5) 火力出力の修正ルーチン

(6) 火力燃料費の計算ルーチン

(7) 印字ルーチン

(8) 当日制御用ルーチン
- (1)から(7)までのルーチンは、前日に行なわれる予想計算であり、(8)は当日予想と異なった需要電力、各出力に応じて各時間帯の修正計算を行なう。プログラムは、HISIP 103(Hitachi Symbolic Input Program) で書かれたが、格納速度を速めるために、1 命令を 4 文

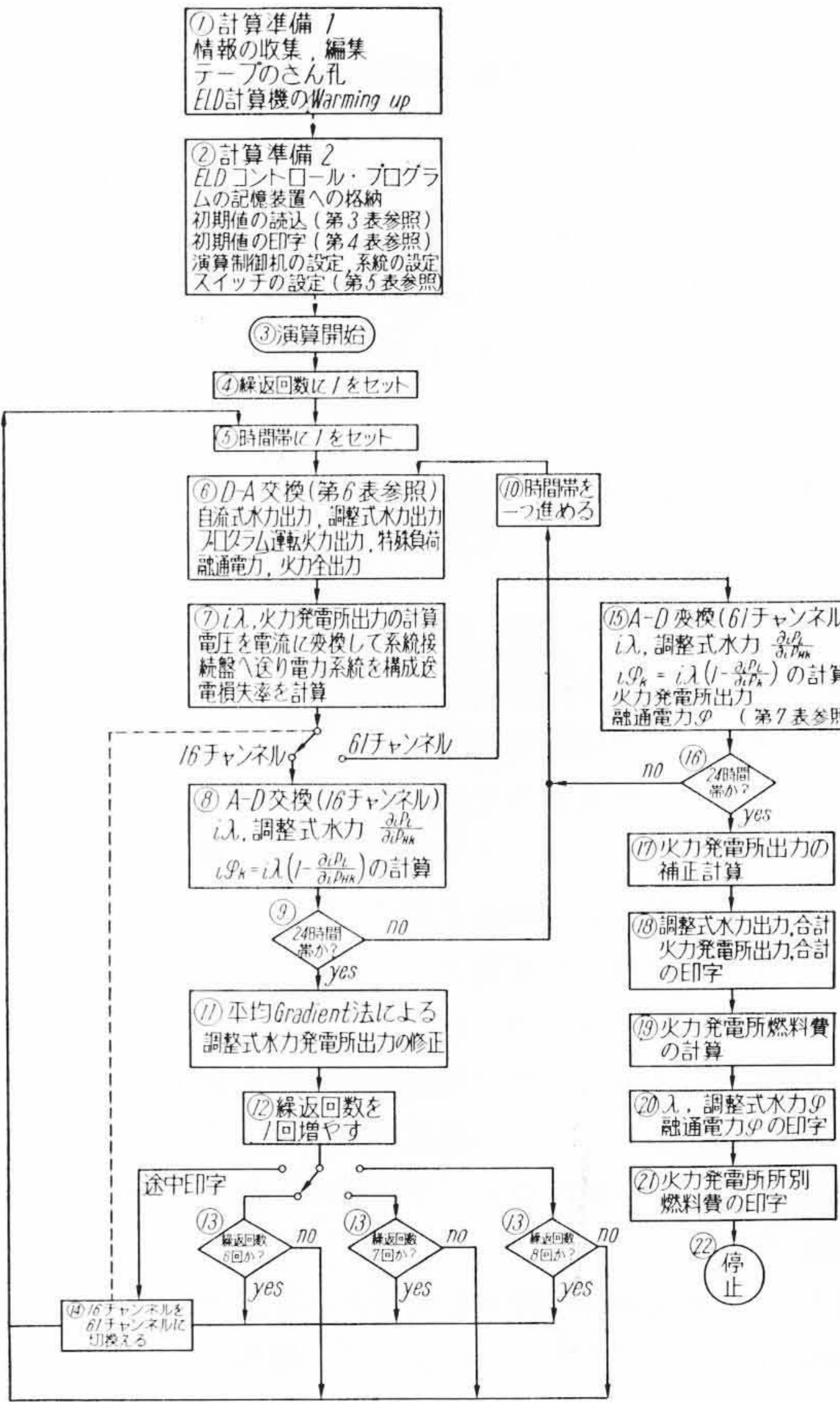
第 1 表 装置の構成

デジタル計算機部 (HIPAC 103)	計算機本体	1
	制御卓	1
	万能入出力装置	1
	磁気ドラム	1
	電源装置 (M-G および制御盤)	1
	けん盤さん孔機	1
アナログ計算機部	火力発電所架	2
	制御架	1
	増幅器架	1
	水力発電所架	1
	比例負荷架	1
	電源装置	1
変換部	AD 変換架	1
	DA 変換架	3
送電損失率計算部 (系統接続盤)	線路単位	219
	系統盤	1
演算制御部	系統制御機	1
	演算制御架	1
	呼出測定装置	1
	潮流監視機	1
表示監視部	潮流監視盤	1

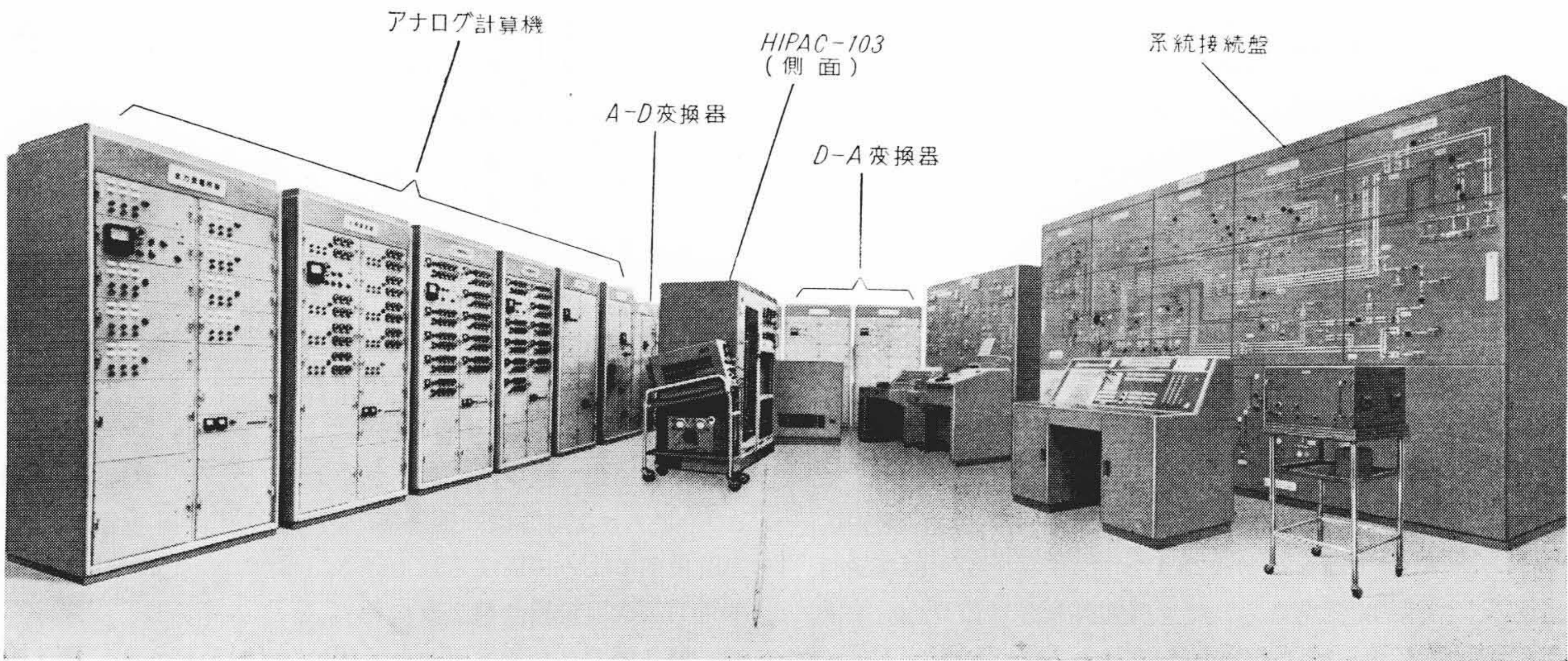
字の形にし、記憶装置への格納が正しく行なわれることを確認するためにサム・チェック (sum check) をつけた形で紙テープにさん孔されている。このテープは、ボタンを一つ押すことにより、200 字/s

第 2 表 電力系統の規模

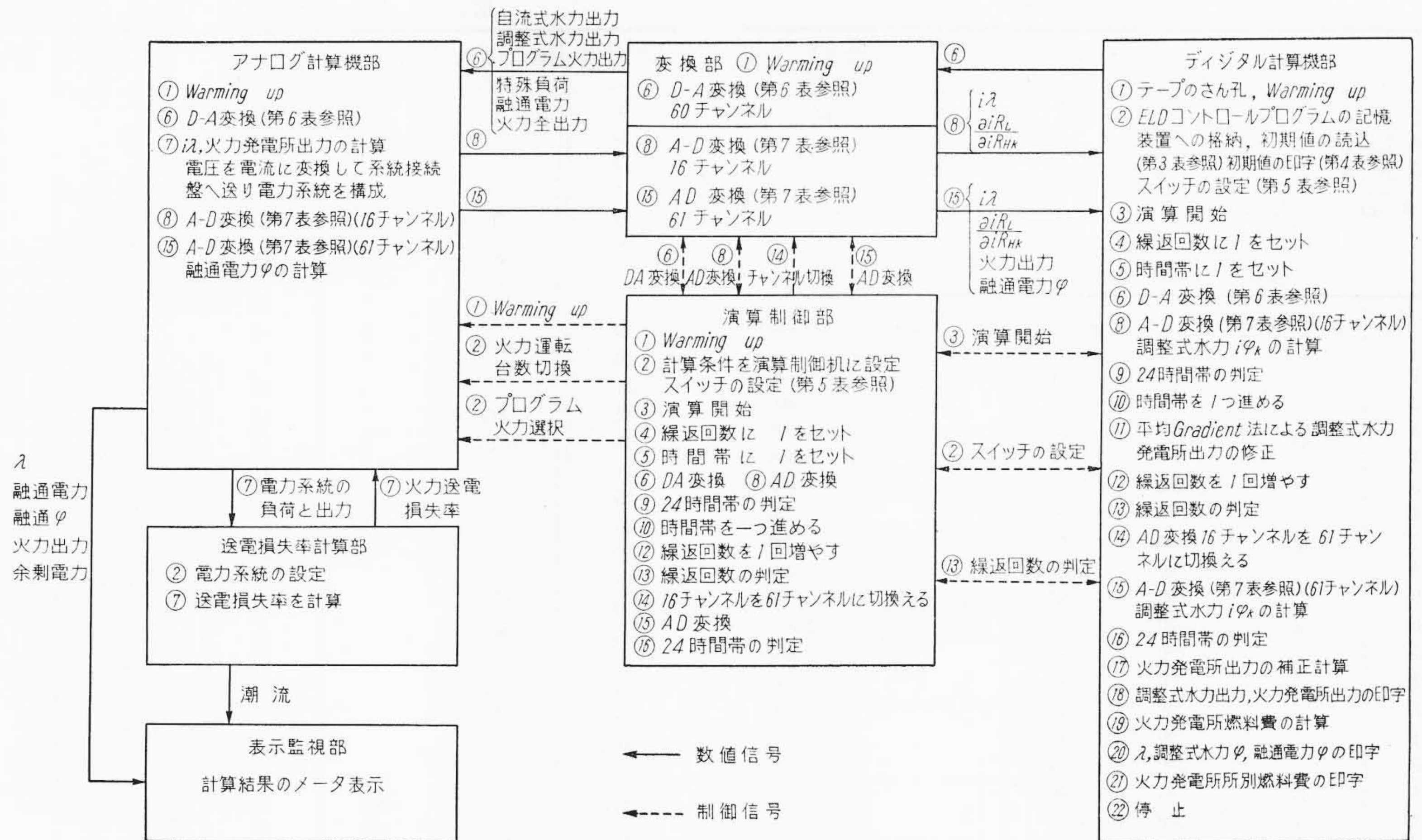
火力発電所	19	将来増設	14
調整式水力発電所	15	将来増設	8
自流式水力発電所	14	将来増設	3
融通	4	将来増設可能	
特殊負荷	11	将来増設可能	
比例負荷	46	将来増設可能	
線路	149	将来増設可能	
固定抵抗			
可変抵抗	70	将来増設可能	



第 3 図 ELD 予想計算フローチャート



第 2 図 経済負荷配分装置



第4図 ELD装置の構成と機能

第3表 初期値として与えるデータの量

項	目	データの数
自流式水力出力		15×25= 375
調整式水力出力		16×25= 400
特殊負荷		12×25= 300
需要電力および支店系火力		10×25= 250
融通電力およびプログラム火力		11×25= 275
火力発電所運転台数		19×24= 453
計		2,056

第4表 印字項目

	印字項目 (各頁)
計算前印字	自流式水力出力
	調整式水力出力 (初期値)
	特殊負荷
	比例負荷, 需要電力, 支店系火力
計算後印字	融通電力およびプログラム火力
	火力発電所運転台数
	調整式水力出力 (収束値)
	火力発電所出力
	支店系火力出力
	λ , 融通点 φ , 調整式水力 φ
	所別燃料費

の速度で記憶装置に格納される。

2.4.1 入力ルーチン

デジタル計算機の準備には二つの段階がある。一つは演算前の準備で, 他の一つはテープの読み込みおよびチェックである。演算前の準備は, 刻々集って来る情報を計算機の言語に直す仕事, すなわち初期値をテープにパンチする仕事と, 計算機自体が故障しているかをチェックする仕事 (warming up) である。初期値としてパンチするデータの量は, 第3表に示すとおり 2,056 個である。このうち調整式水力出力は, 一日の合計量のみ格納すれば, 等分配比例分配するプログラムも用意されている。紙テープにさん孔する仕事をできるだけ少なくするために, スペース (Space), 復帰, + および - を一つの数値のエンド・マーク (end mark) としている。スペース, + および - は, エンド・マークであるとともに次の数値の符号の役割を果たしている。一つの数値は符号

Phd (MWH)																	ΣPhd
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	ΣPhd
000	000	000	000	000	000	000	033	039	040	000	000	000	000	000	000	0112	
000	000	002	000	000	000	000	000	010	035	040	000	000	000	000	000	0087	
000	000	000	000	000	000	000	000	000	034	000	000	000	000	000	000	0034	
000	000	000	000	000	000	000	000	000	010	022	000	000	000	000	000	0032	
000	000	000	000	000	000	000	000	000	020	040	000	000	000	000	000	0060	
000	000	000	000	000	000	000	000	021	039	040	000	000	000	000	000	0100	
000	000	022	000	023	003	002	035	039	040	013	000	015	000	000	000	0194	
000	000	029	003	039	002	012	035	039	040	056	000	028	000	000	000	0283	
000	000	048	015	050	007	007	035	039	040	106	058	000	057	000	000	0462	
000	000	038	028	054	013	022	035	039	040	164	042	001	099	000	000	0575	
000	000	020	028	054	013	021	035	039	040	143	008	000	096	000	000	0497	
000	000	022	026	054	012	029	035	039	040	151	012	000	092	000	000	0512	
000	000	065	009	034	017	017	035	039	040	038	032	018	029	000	000	0373	
000	000	040	027	054	012	017	035	039	040	179	050	007	095	000	000	0595	
000	000	038	028	054	010	010	035	039	040	179	070	006	097	000	000	0606	
000	000	044	026	054	011	017	035	039	040	184	033	010	099	000	000	0592	
000	000	038	033	054	010	029	035	039	040	133	052	013	093	000	000	0569	
000	000	047	029	054	009	028	035	039	040	129	061	011	081	000	000	0563	
000	000	048	024	054	011	029	035	039	040	172	042	011	082	000	000	0587	
000	000	048	026	054	009	035	035	039	040	173	034	022	076	000	000	0591	
000	000	058	026	054	009	028	035	039	040	139	062	021	071	000	000	0582	
000	000	064	018	054	004	029	035	039	040	098	049	032	053	000	000	0515	
000	000	034	000	049	006	026	035	039	040	059	040	042	036	000	000	0406	
000	000	033	000	027	006	020	035	039	040	008	003	039	000	000	000	0230	
0000	0000	0738	0346	0872	0164	0378	0694	0845	0936	2124	0648	0276	1156	0000	0000	08177	

Pa-1 (MWH)																
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177
121	000	000	095	156	076	156	000	000	020	000	030	060	050	000	000	000
107	000	000	094	140	075	156	000	000	020	000	030	060	050	000	000	000
091	000	000	127	126	076	156	000	000	020	000	030	060	050	000	000	000
087	000	000	156	120	074	156	000	000	020	000	030	060	050	000	000	000
098	000	000	156	131	108	156	000	000	040	000	030	060	050	000	000	000
119	016	000	156	156	140	156	000	000	084	020	030	060	050	000	000	000
150	036	004	156	156	156	156	010	020	108	020	030	060	050	000	000	000
150	044	016	156	156	156	156	011	051	108	021	043	073	050	000	000	000
150	045	017	156	156	156	156	012	051	164	033	055	086	085	000	000	000
150	046	017	156	156	156	156	012	057	202	040	062	099	098	000	000	000
150	046	017	156	156	156	156	012	057	199	040	062	098	097	000	000	000
150	045	017	156	156	156	156	012	055	193	038	060	096	095	000	000	000
150	044	016	156	156	156	119	012	051	119	043	050	084	080	000	000	000
150	045	017	156	156	156	069	012	055	162	075	060	096	096	000	000	000
150	044	017	156	156	156	053	012	054	162	075	059	092	091	000	000	000
150	047	017	156	156	156	000	013	058	165	081	063	099	098	000	000	000
150	047	017	156	156	156	000	012	057	161	078	062	096	096	000	000	000
150	047	017	156	156	156	000	012	056	158	077	061	096	095	000	000	000
150	046	018	156	156	156	000	012	056	161	077	061	097	096	000	000	000
150	046	017	156	156	156	000	013	055	150	071	059	096	095	000	000	000
150	044	017	156	156	156	000	012	055	147	071	059	094	093	000	000	000
150	046	017	156	156	156	000	012	054	141	070	058	092	091	000	000	000
150	046	017	156	156	156	000	012	040	131	068	056	092	091	000	000	000
150	000	004	156	156	136	000	013	000	102	055	059	087	066	000	000	000
3323	0782	0279	3592	3637	3357	2113	0216	0884	2940	1053	1199	1993	1863	750		

第 5 表 繰 返 回 数 と ス イ ッ チ

	ス イ ッ チ 1	ス イ ッ チ 2	ス イ ッ チ 3
途 中 印 字	○	×	×
繰 返 6 回	×	×	×
繰 返 7 回	×	○	×
繰 返 8 回	×	×	○

○印 on ×印 off

第 6 表 D A 変 換 数 値 一 覧 表

チャネル番	信 号 名 称	最大出力	チャネル番	信 号 名 称	最大出力
1	自 流 式 水 力 出 力	400	31	将 来 増 設	400
2		200	32		200
3		200	33		200
4		200	34		400
5		200	35		200
6		200	36		200
7		200	37		200
8		200	38		200
9		200	39		2,500
10		200	40		400
11	将 来 増 設	200	41	火 力 全 出 力	200
12		200	42		200
13		200	43		200
14		200	44		200
15		200	45		200
16		200	46		200
17		200	47		200
18		200	48		200
19		200	49		200
20		200	50		200
21	調 整 式 水 力 出 力	600	51	特 殊 負 荷	200
22		200	52		200
23		200	53		200
24		200	54		200
25		200	55		200
26		200	56		200
27		200	57		400
28		200	58		400
29		200	59		400
30		200	60		400

第 7 表 A D 変 換 数 値 一 覧 表

チャネル番	信 号 名 称	最 大 値	チャネル番	信 号 名 称	最 大 値
1	λ	10	32	発 電 所 出 力	200
2	調 整 式 水 力	1	33		400
3		1	34		400
4		1	35		200
5		1	36		200
6		1	37		200
7		1	38		200
8		1	39		200
9		1	40		200
10		1	41		200
11		1	42		200
12	$\frac{\partial_i P_L}{\partial_i P_{Hk}}$	1	43	将 来 増 設	200
13		1	44		融 通 電 力
14		1	45		
15		1	46		
16		1	47		
17		1	48		
18		1	49		
19		400	50		
20		200	51		
21		200	52		
22	火 力	200	53		
23		200	54		
24		200	55		
25		200	56		
26		200	57		
27		200	58		10
28		200	59		10
29		200	60		10
30		200	61		10
31		200			

換される数値の数—チャネル (channel) 数—は 60 であるが、火力全出力が 39, 40 を使用しているほかは、各出力がどのチャネルを割り当てられても定数を変えるだけで、プログラムの変更を必要としないようにしている。すなわち発電所の差し替えが自由にできるように特に考慮を払っている。D A 変換で数値を送出する場合、4 チャネルで 150 ms を必要とする。その時間内でデジタル計算機は数値を D A 変換器の言葉に変換する必要がある。デジタル計算機ではこれを最大 75.6 ms で処理することができた。したがって D A 変換を 60 チャネル行なうには、D A 変換器の速度のみに押えられる。

A D 変換でアナログ計算機からデジタル計算機に送られる数値は、第 7 表に示すように、 λ , 調整式水力 $\frac{\partial_i P_L}{\partial_i P_{Hk}}$ 15, 火力出力 19, 融通点 $i\varphi$ 4 である。A D 変換では、符号の外に二進法で 10 ビット、すなわち十進法で最大 1,023 の数を送ることができる。A D の場合は、この最大数が各出力の最大出力に対応せず、1,000 が各出力の最大出力に対応している。すなわち 1,000 がアナログ計算機の 100 V に対応する。プログラムでは、この最大出力は定数を変えるだけで簡単に指定できるように考慮されている。また A D 変換のチャネル数は 61 であるが、16 チャネルと 61 チャネルの切り替えがプログラムおよび手動作で可能である。A D 変換器より数値を受けとる場合 1 チャネル 100 ms を必要とする。その時間内でデジタル計算機は、必要な変換、たとえば

$$i\varphi_k = i\lambda \left(1 - \frac{\partial_i P_L}{\partial_i P_{Hk}} \right)$$

を行なう必要がある。デジタル計算機では最大 10 ms でこれら A D 変換された数値を処理しえた。したがって、A D 変換を 16 チャネル、または 61 チャネル行なうには、A D 変換器の速度のみに押えられる。

このほかに、D A 変換と A D 変換の間にアナログ計算機の計算時間があるが、タイマー (timer) で調節することができる。通常 2 ～ 3 秒間計算させれば十分安定することがわかった。この 2 ～ 3

データの読込速度は、ほぼ光電式テープ・リーダー (reader) の速度 200 字/s に押えられるから、チェックを含めて 1 分以内である。データを計算機に格納したあと必要とあれば、データを印字することもできる。印字項目は第 4 表に示すとおりである。第 5 図にその一例を示している。印字項目は、各頁の内容を示している。

2.4.2 制御ルーチン

- このルーチンの機能は二つある。
- (1) 入出力を D A, A D 変換に切り替え、D A, A D 変換ルーチンを磁気ドラムから磁気コアに移動して飛ぶ。
 - (2) 平均 gradient 法による調整式水力出力の修正は、何回行なうことも可能であるが、5 回 (繰返し回数では 6 回と称している) を正規の回数とみなし、第 5 表のようにスイッチの状態によって計算結果を印字する。

2.4.3 D A, A D 変換ルーチン

D A 変換で、デジタル計算機からアナログ計算機へ送られる数値の数は、第 6 表のように調整式水力出力 15, 自流式水力出力 14, プログラム運転火力 5, 特殊負荷 11, 融通電力 4, 火力全出力である。火力全出力を除いては、皆符号のほかに二進法で 8 ビット (bits), すなわち十進法で最大 255 の数を送ることができる。火力全出力は符号のほかに二進法で 11 ビット、すなわち十進法で最大 2,047 の数を送ることができる。この最大数が、各出力の最大出力に対応している。アナログ計算機に換算すれば、100 V に対応している。プログラムではこの最大出力は定数を変えるのみで簡単に指定できるように考慮されている。また D A 変

秒間にデジタル計算機が必要な処理を終って待機するようプログラムされている。このD/A変換—アナログ計算—A/D変換は、各時間帯で行なわれる。この計算は、24回くり返して行なわれ、平均 gradient 法による調整式水力出力の修正計算に移る。

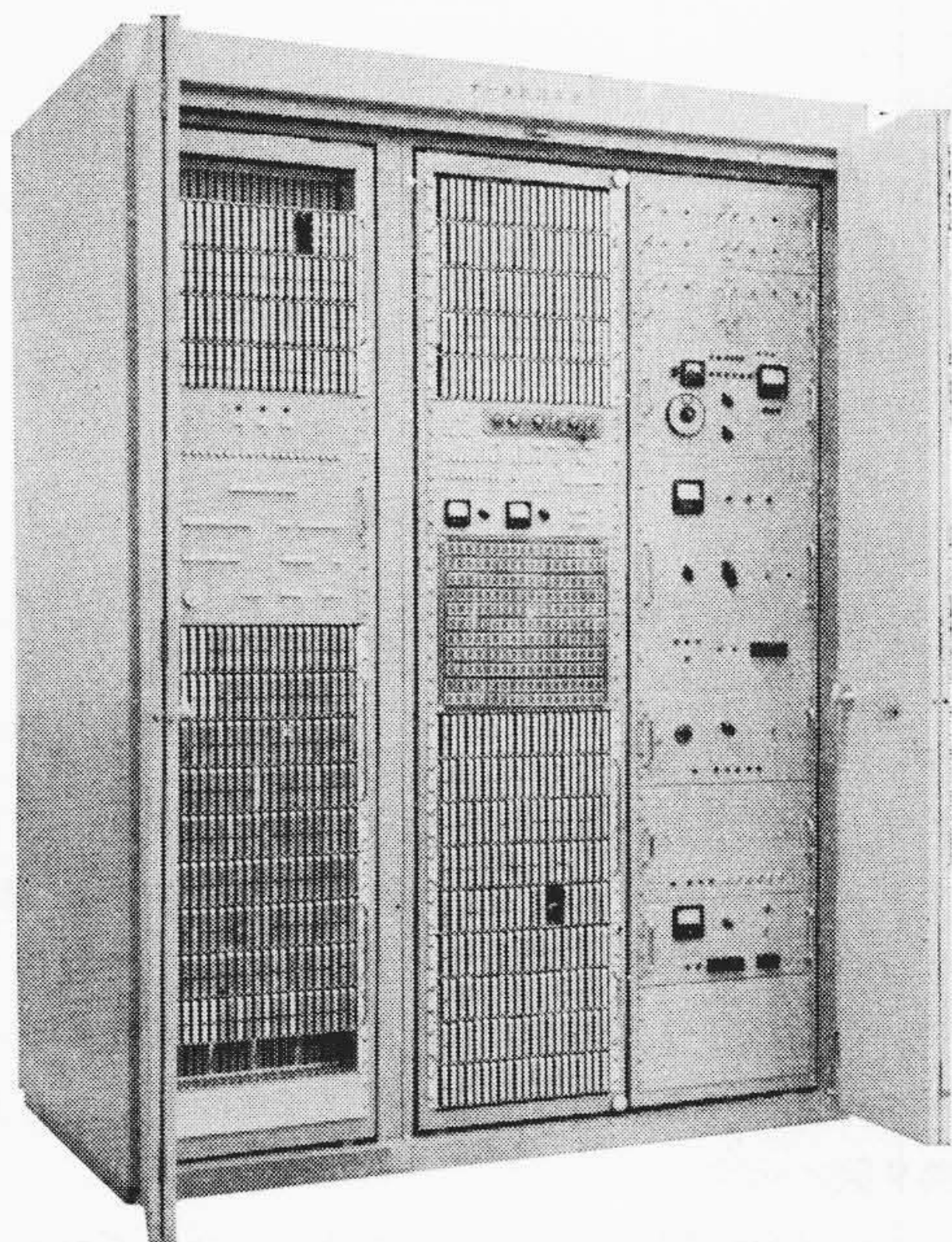
2.4.4 当日制御用ルーチン

このルーチンでは、一般科学計算中または前日予想計算中に系統制御機のスイッチを押すことによって割り込みを行ない、前日予想計算結果をアナログ計算機、系統接続盤、潮流監視盤に再現表示する機能を有する。この再現時間は、最小6.5秒、最大2分36秒である。その際に、予想と異なった需要電力、各出力に応じて手動により数値を変更することが可能である。そのために、一般科学計算前日予想計算の内容は影響を受けないが、ある二、三の簡単な制約が、一般科学計算に要求されている。

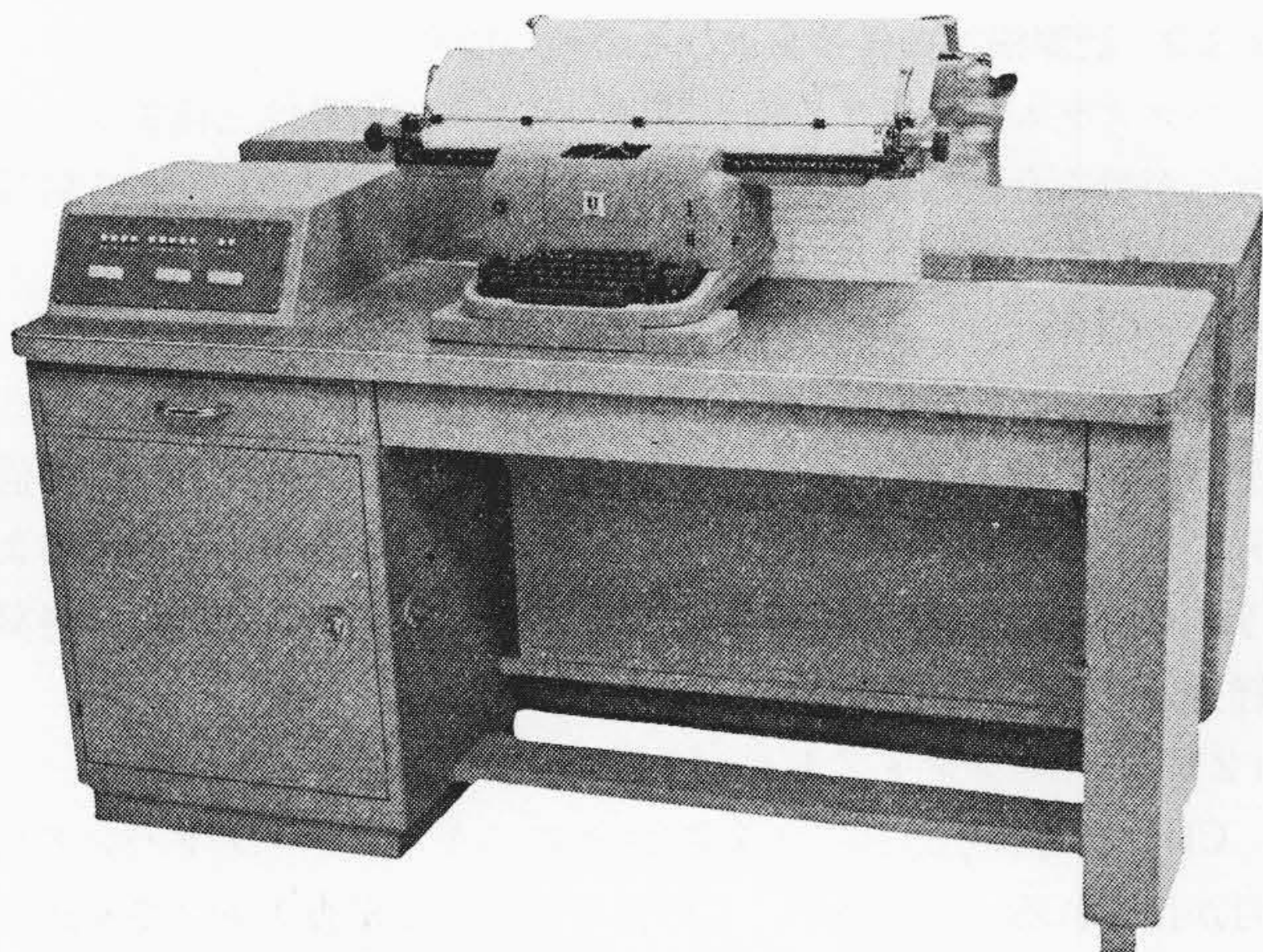
3. データロガー・コントロール・プログラミング

3.1 構成ならびに仕様

第6,7図にこの装置の外観を示す。この装置は第6図のデータ処理装置キュービクルを主体とし、そのほかに第7図のプリンタ機および圧力変換器盤、電源用MG装置から構成されている。データ処理装置キュービクルには日立電子計算機 HITAC 501⁽⁶⁾ とプリア



第6図 北海道電力株式会社滝川火力発電所(1号機)用データロガー本体



第7図 北海道電力株式会社滝川火力発電所(1号機)用データロガープリンタ機

ンプ、A-D変換器などを取り付けた変換器盤、走査器、計数回路、制御回路などを取り付けた制御盤、その他直流電源装置などを内蔵している。

第8図はこれらの相互関連を説明するブロック線図である。第8図の左側は火力発電所における運転状況をオペレータが掌握するために必要な各機器の測定点からの入力の変換方式を示す。これらは二つに大別できる。一つはWHMのようにその出力がデジタル量で一種の加算メモリーに貯えられてから計算機にはいるものと、ほかはサーチャイルのように瞬時値としてのアナログ量がA-D変換器を通して計算機の入力となるものである。これらはその処理において若干の相違がある。第8表に本装置の概括仕様を示す。

3.2 処理内容

本装置の動作は急速起動、停止の運転時における処理、平常運転時における処理、およびその他の三つに大別される。起動、停止、平常いずれの運転の場合にも処理内容は、さらに定時処理とその他の監視動作に分けられ、定時処理は起動、停止の場合には5分あるいは15分ごとに、平常運転の場合には30分あるいは1時間ごとに所定の運転日誌の作表と監視動作を行なう。定時処理以外の時間では運転制限条件に対する監視動作を行ない、測定値が制限領域を逸脱したときは警報すると同時に異常発生時刻およびデータを赤印字する。もしふたたび制限領域内に回復したときはその時刻およびデータを黒印字する。

3.2.1 起動、停止時の処理

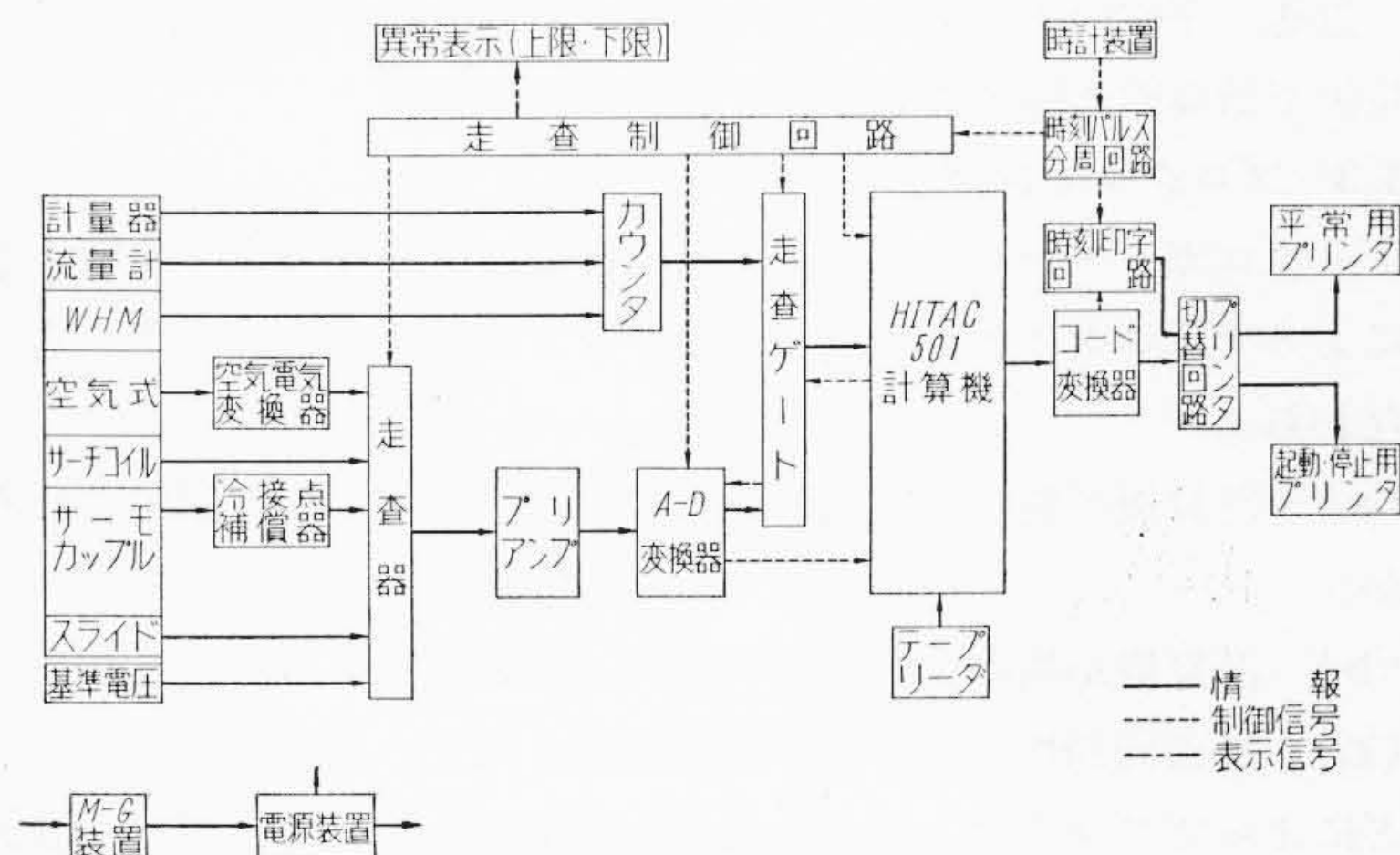
第9表に起動、停止時の定時処理(印字と監視)の一覧表をあげる。定時処理以外の時間では1チャンネルから9チャンネルまでを1分間に3回走査して監視動作を行なう。

3.2.2 平常運転時の処理

第10表に平常運転定時処理の一覧表を示す。定時処理以外の時間では1~24チャンネルを1分間に1回走査し、1~14チャンネルでは監視動作、15~24チャンネルではデータの積算であるが15~17チャンネルは瞬時値積算、18~24チャンネルはパルス積算を行なう。一日一回24時に特定チャンネル(個数18)の一日平

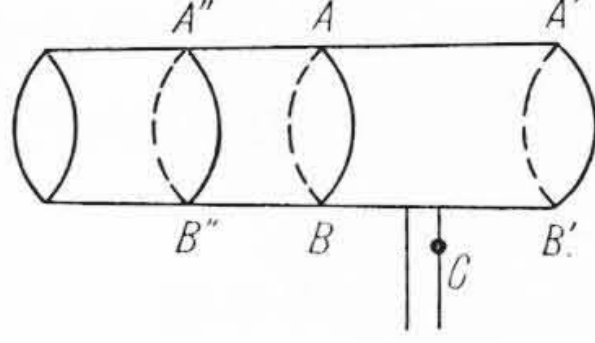
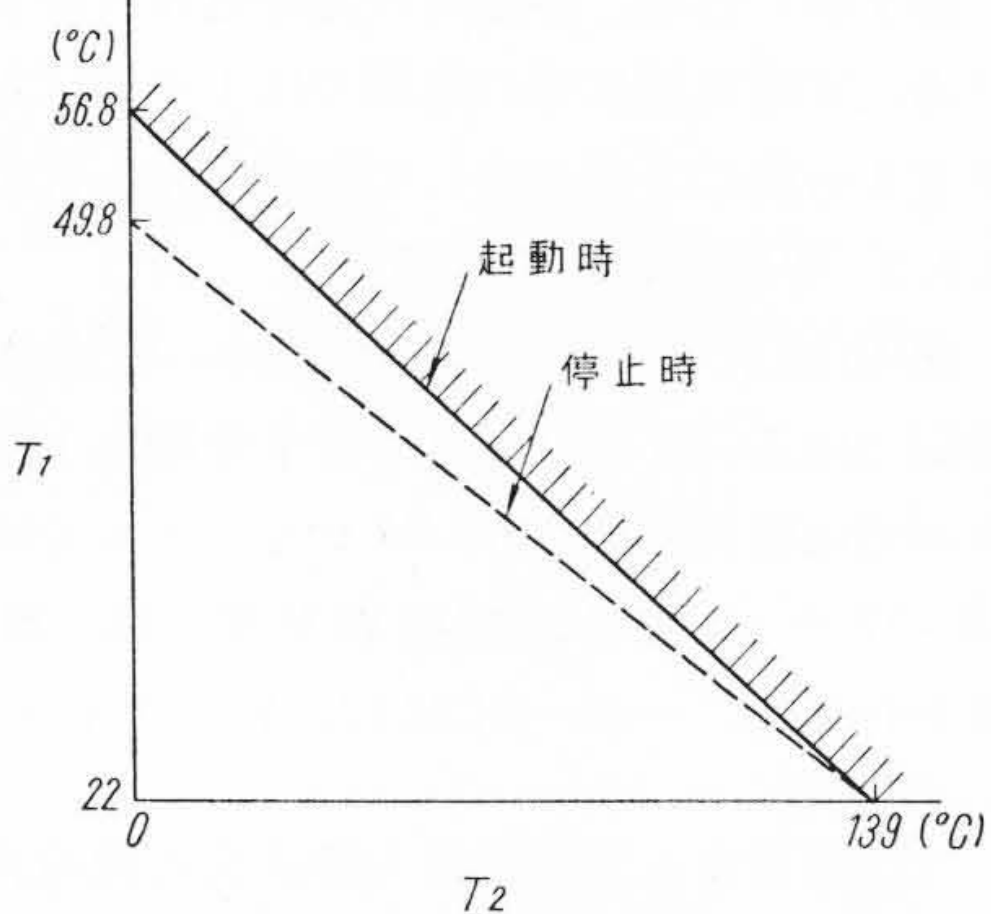
第8表 北海道電力株式会社滝川火力(1号機)用データロガー総合仕様

システム名称	HITACHI DATA LOGGER 1101
処 理 対 象	各種工業量 82 点
処 理 内 容	測定値印字、上下限比較ならびに警報、平均値、積算値の算出、温度差、温度こう配、温度領域判定その他
印 字 周 期	5 分あるいは 15 分ごと(平常運転時) 30 分あるいは 60 分ごと(急速運転時)
走 査 速 度	1 点/2 秒
制 御 装 置	トランジスタステック回路方式
演 算 装 置	電子計算機 HITAC 501 B
出 力 装 置	アンダーウッド製プリンタ
付 属 装 置	光電式テーブリーダー



第8図 北海道電力株式会社滝川火力発電所データロガーブロック線図

第 9 表 滝川データロガー急速運転処理

チャンネル No.	印字 No.	処 理
1~9	1~9	上下限設定値との比較判定を行ない、データが ① 範囲内にあれば黒で印字 ② 範囲外るとき異常信号を出して赤で印字
10~19	10~19	データを記録
20~29		印字 No.31 以上の計算項に用いる。データは記録しない。
30	30	システムチェック用チャンネル
	31~35	温度差監視および印字 タービン入口蒸気-高圧タービン蒸気室内壁上部 <55℃ タービン入口蒸気-高圧タービン蒸気室内壁下部 <55℃ 高圧タービン蒸気室内壁上部-高圧タービン蒸気 室外壁上部 <85℃ 高圧タービン蒸気室内壁下部-高圧タービン蒸気 室外壁下部 <85℃ 再熱タービン入口蒸気-高圧タービン出口蒸気 <200℃
	36~38	温度上昇率監視および印字 タービン入口蒸気温度 <280℃/h 再熱タービン入口蒸気温度 <280℃/h 飽和蒸気温度 <55℃/h
ドラム温度領域判定		
測定箇所  (°C)  T_1 T_2 AA'A'' ドラム上部外壁温度 BB'B'' ドラム下部外壁温度 $T_1=C-B'$.....ボイラードラム壁面内外の温度差 $T_2=(AA'A'' \text{ の中の最高温度})-(BB'B'' \text{ の中の最低温度})$ T_1, T_2 を上記のように定めたとき上図の斜線部にはいったとき警報する。		

均値を算出印字するために定時処理の際そのチャンネルの積算を行なっている。

3.2.3 そ の 他

急速, 平常の上下限設定値の印字や任意時に手動で指令して瞬時値や積算値を印字させることなどがある。

3.3 プログラミング

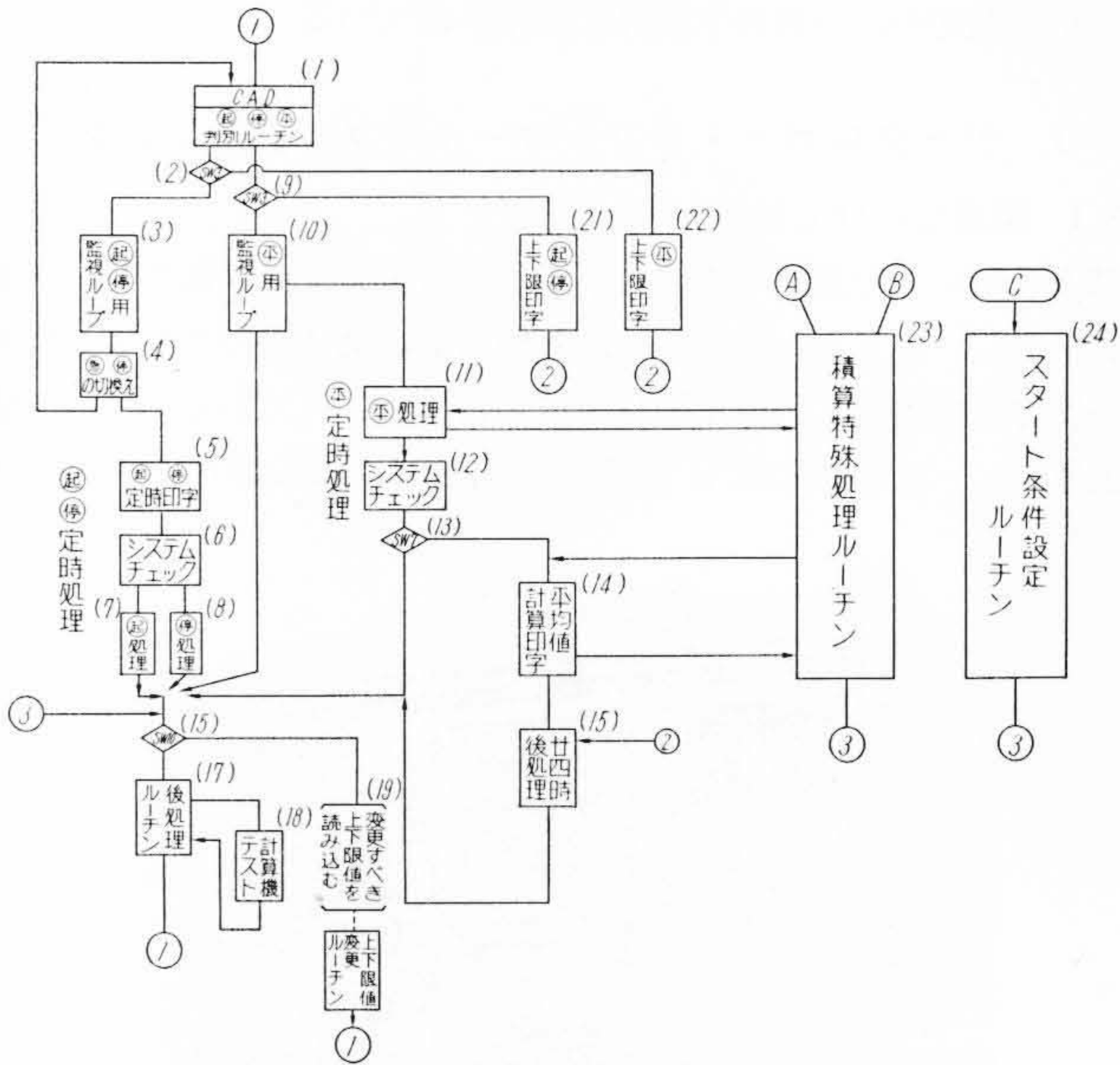
データロガー・システム中に計算機をどのような方式使用するかによってそのシステム構成およびプログラミングも違ってくる。すなわち

- (a) 計算機が他の構成機器からの割り込みによって制御されるか。
- (b) 計算機が他の構成機器の選択, 制御を行なうかどうか。
- (c) 外部同期によって計算機が制御されているかどうか。

などによってプログラミングに大きな変化がある。本装置では制御信号は計算機以外の走査制御回路によって出され, 計算機の進行はそれと同期をとって行なう方法をとっている。

第 10 表 滝川データロガー平常運転定時処理

チャンネル No.	印字 No.	処 理
1~14	1~14	上下限設定値との比較を行ない、データが①範囲内にあれば黒で印字し②範囲外にあるときは警報を出し、赤で印字する。
15~17	15~17	瞬時値積算値印字 それまでに積算された値に、補正値を加え、印字する。
18~24	18~24	パルス積算値印字
25~53	25~53	瞬 時 値 印 字
54	54	システムチェック用チャンネル
特定チャンネルの一日平均値を求めるためにデータの積算を行なう。		



第 9 図 滝川データロガー総合フロチャート

3.3.1 全体の構成

プログラムの機能上から全体の構成は三つに大別できる。一つはプログラムテープを読み込む際とロギングスタート時にだけ使用するもの、次の一つはデータロガーの直接の処理用プログラムであり、残りの一つは常時の計算機自己テストプログラムである。データロガーの直接の処理用プログラムを中心としたブロック図を第 9 図に示す。

以下にまず計算機制御信号について述べ、プログラムに関してはプログラムコントロールを中心に本プログラムの特色を示すものについて記述する。

3.3.2 計算機制御信号およびその他の信号

プログラムを制御する走査制御回路からの信号は三種あってこれらが組み合わされてプログラムのループが選択され, ある信号と同期してチャンネルが処理される。

(1) CHO 信号 (チャンネルゼロ信号)

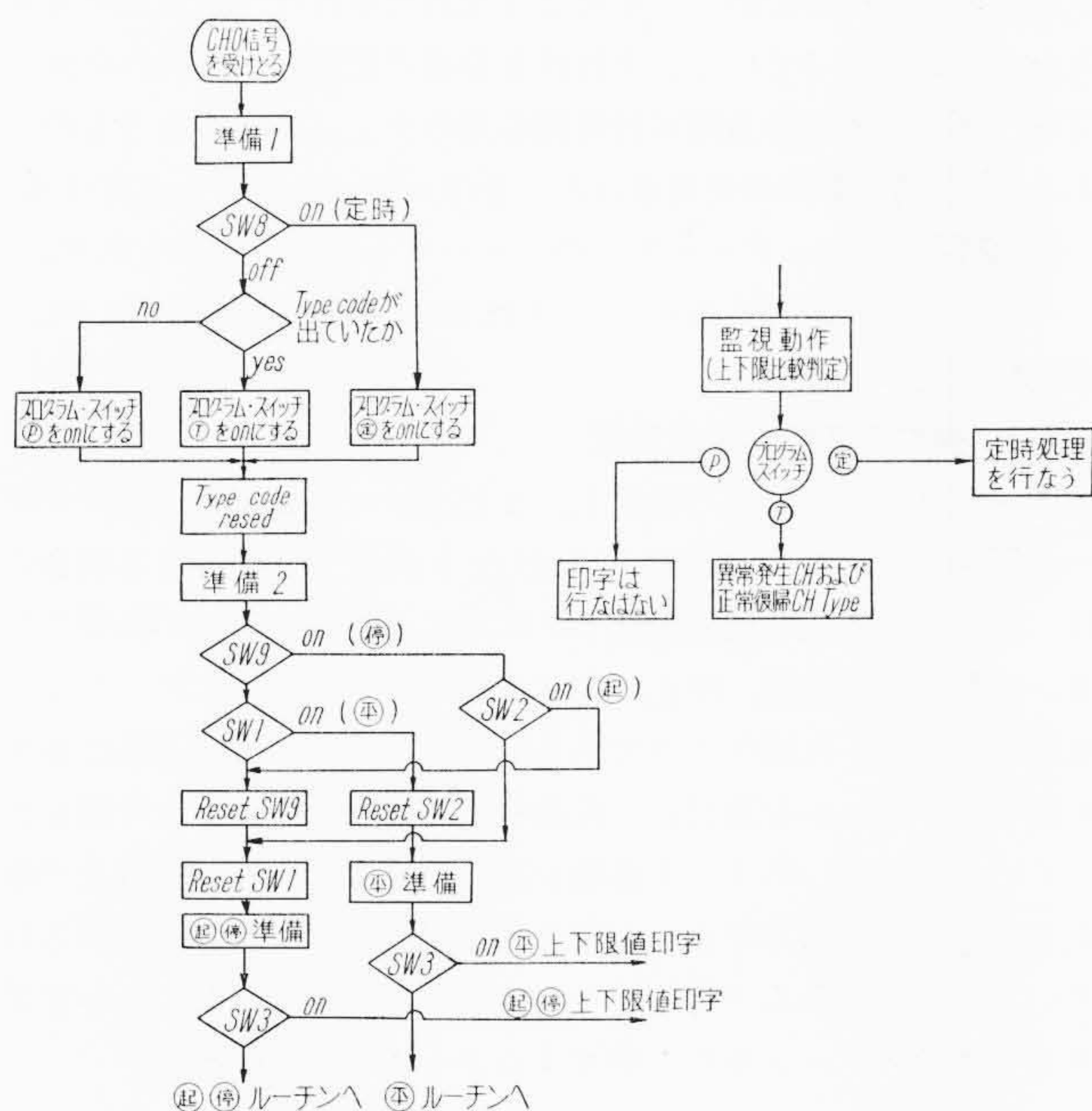
走査器と計算機の同期をとる際の出発点を与える信号である。計算機は CHO 信号を受けとめる命令“CAD”で待機し, この信号の到来によって強制的にプログラムを 4095 番地から始めるようになっている。CHO 信号は 1 分または 2 分の時間間隔で時刻経過と一致して送り出される。

(2) スキャンナ・アドバンス信号

CHO 信号に引き続いて 2 秒おきにスキャンナ・アドバンス信号が出されるのであるが, この信号によって走査チャンネル選択は一つずつ進められる。この信号の後に A-D 変換開始信号が出され A-D 変換終了とともにその終了信号が出される。プログラ

第11表 滝川データロガー Skip Switch 表

Skip Switch 命令	Skip Switch Reset 命令	プログラムの機能
SW1	RSW1	平常
SW2	RSW2	急速起動
SW3	RSW3	上下限設定値印字
SW4	RSW4	回転数
SW5	RSW5	カム軸開度
SW6	RSW6	スタート
SW7	RSW7	平均値印字
SW8	RSW8	定時印字
SW9	RSW9	急速停止
SW10	RSW10	上下限設定値変更



第10図 滝川データロガー急速起動, 停止
および平常運転信号判別ルーチン

ムでは A-D 変換終了信号と同期をとって処理チャンネルの番号を進める。

(3) Skip Switch (略号 SW) のセット信号

この信号は手動または自動的に計算機に送られる。この信号によって Skip Switch 命令を働かせプログラムに枝分かれを生じさ

せているもので、したがって弱い割込機能を持っている。本装置では 10 個の Skip Switch を使用しているがその一覧を第 11 表に示す。この表からわかるように起動，平常，停止運転処理の切り替え，定時処理への切り替えや，スタート信号，平均値印字信号などもこの信号によって与えられる。Skip Switch のセット信号はプログラムでリセットされるまで状態が持続される。

(4) その他の信号

プログラムを制御する信号とは逆に計算機から出す信号に時刻印字指令の信号や運転条件の動作監視の際に使われる異常発生信号、正常復帰信号、計算機自己チェックでエラーが発見された場合に出すエラー表示信号などがある。

3.3.3 急速起動，停止と平常運転の判別

第 10 図がこの判別ルーチンの流れ図である。本装置のように計算機の外部から処理条件が与えられるものでは、プログラムの条件設定に同時性が必要である。言いかえれば起動、停止、平常の Skip Switch のセット条件に変化があったときプログラム全体にそれに応じた条件を設定しなければならない。このルーチンは以上のことのほか、定時処理の条件設定、前回走査の動作監視の条件により今回印字すべきかどうかの判定およびその結果によるプログラム制御などを行なう。

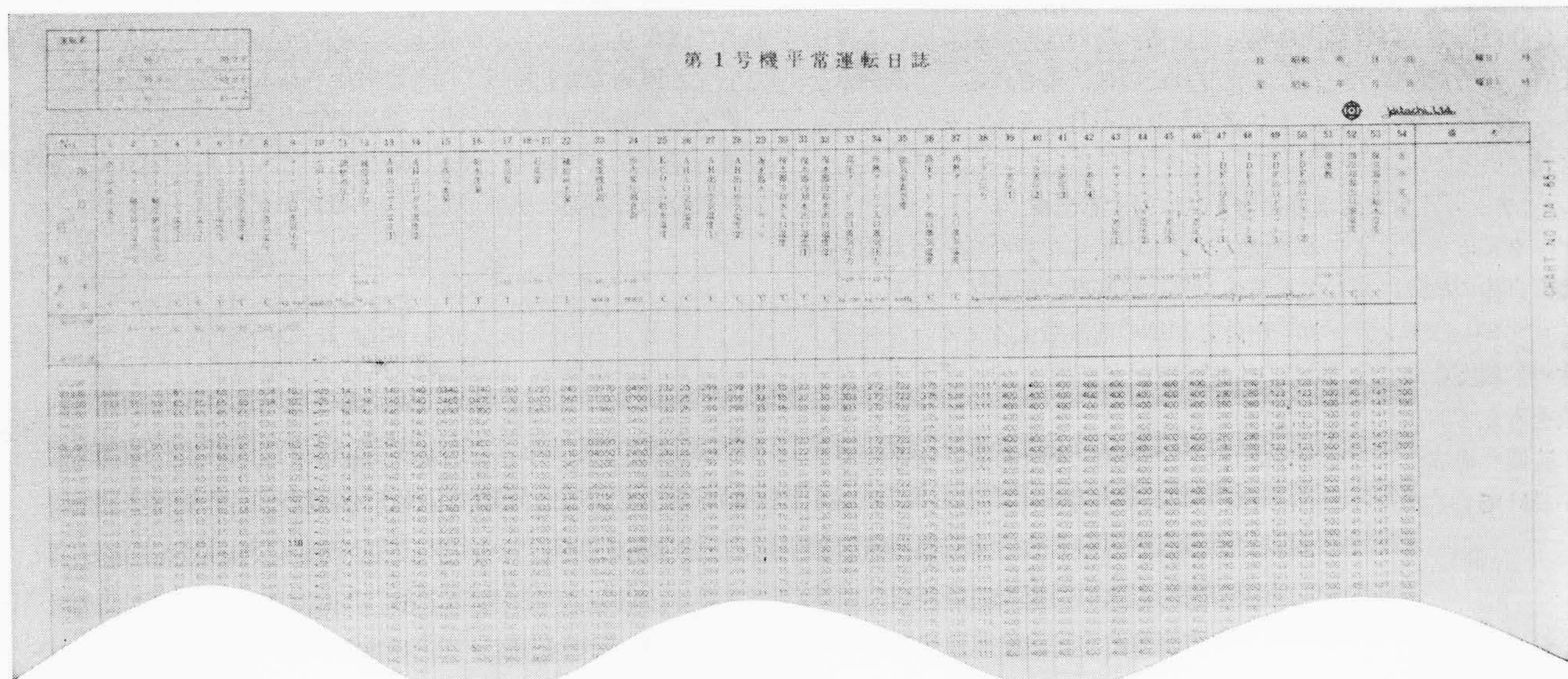
3.3.4 急速起動, 停止運転処理

この処理は第9図の(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8)などによって行なわれる。定時処理で起動か停止かによって(7)、(8)のいずれかが選択されるように(1)または(4)で制御され、定時処理以外では(3)の急速用監視ループと(4)を1分間に3回走査する。

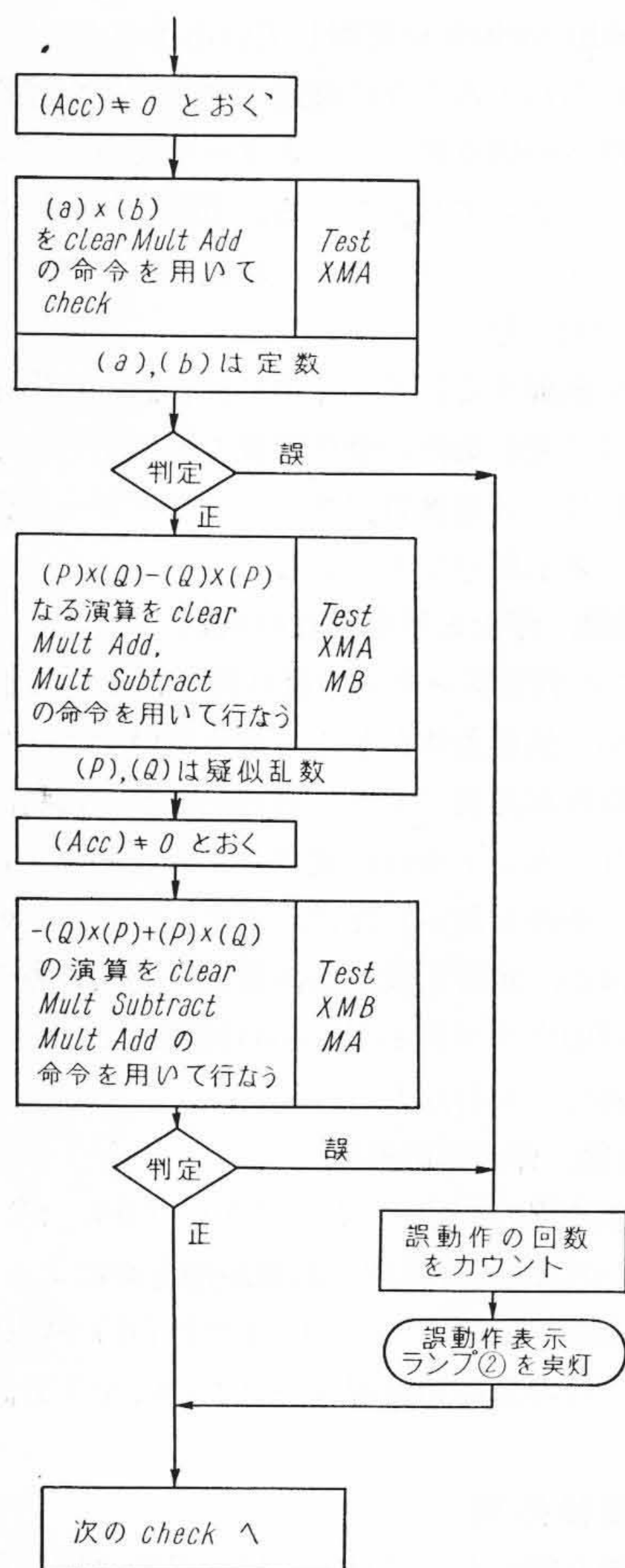
3.3.5 平常運轉處理

この処理は第9図において(10)、(11)、(12)、(13)、(14)、(15)などによって行なわれる。定時処理のほとんどは(10)、(11)、(12)で行なわれ、一日一回24時の時に平均値印字用 Skip Switch (SW7) がセットされて(14)で平均値計算印字が行なわれる。定時以外の処理は(1)、(9)、(10)、(16)、(17)のルートを通る。起動、停止、平常各運転の任意時に手動で指令して定時処理と同じ動作を行なわせることができる。また、起動、停止、平常の正常運転では、四六時中処理を行なっており、本装置は決して停止することはないが、処理は一日が周期になっているのでどこかで初期条件を入れる必要がある。それを(15)で行なっている。

第11図に平常運転日誌の作表例を示す。



第11図 滝川データロガー平常運転日誌



第 12 図 チェックプログラムフローチャートの一部

3.3.6 上下限設定値変更

運転動作監視の基準である上限値および下限値は固定したものではなく、運転状況の変化などにより任意にかつ容易に変更できることが必要である。

本装置では変更しようとする上下限値をテープに穿孔し運転を続行しながらテープリダーから読み取って変更を行なうという方法をとっている。

3.3.7 積算特殊処理

計算機以外の事故で本装置が停止したとき、停止するまでに貯えられた情報が計算機内に残っている。そのうち、積算値のような有効な情報の印字を行なったり、その他、場合に応じて制御卓から指示してやることにより適宜な処理を行なうルーチンが用意されている。

3.4 チェック方式および操作ミスに対する考慮

データロガー・システムではプラントの監視を行なっている関係上装置自体の故障に対しても警報を発し短時間に補修する必要がある。コンピューティングロガーを計算制御の前段階と考えるとき装置自体の信頼度を高くすると同時に万一の故障に対しても十分な対策を考えておかねばならない。

本装置を構成する主要機器に対しては故障の検出回路、表示器などが設けてあるが、ここではプログラムで行なっているエラーチェ

ック、および操作ミスに対して払われた考慮の概略を述べる。

3.4.1 システムチェック

総合システムチェックとしては基準電圧をチェック信号とし、これを通常入力信号が流れるルートに入れてその値を計算機にとり出し、ある範囲に収まっているかどうかを判定するという方法をとっている。範囲外にあるときは赤で印字し、範囲内にあればそれに演算を施し、黒で印字する。

3.4.2 計算機自己チェック

計算機のハードウェア自身がテープミスや記憶装置の読み出し書き込みミスのチェック回路を持っているが、さらに信頼性を高め、もし動作不良があった場合はそれをすみやかにチェックして保守に役立たせるために、そのような処理を行なう計算機チェックルーチンを持っている。それは計算機の記憶装置に入れられて常時、データ処理の合間に計算機自身のチェックを行なうものである。もし動作不良が発見されたときはエラーランプを点灯する。

第 12 図にチェックルーチンのフローチャートの一部を示す。

その他テープ読み込みチェックは sum check 方式を用いて、自動的に行なっている。

3.4.3 操作ミスに対する考慮

データロガーの処理の性質上、また、コンピューティングロガーが将来プラントの制御などを行なう装置へと発展する場合には、チェック方式と同様操作ミスに対する十分の考慮が必要である。本装置では起動、停止、平常の押ボタンを同時に押したような場合は明らかに操作ミスであるが、このような時は適当な条件に従っていずれかを選択し、混乱を起こさせないような考慮を払っている。また、スタート番地を誤った場合、あるいは事故で停止すべきでない所で停止した場合でも記憶装置の内容が破壊されていない限り、ある一定の所からスタートさせることによってプログラムのスタート条件を整理するようになっている。

4. 結 言

以上 ELD およびデータロガーのコントロール・プログラミングについて述べたが、これらは real time あるいは、それに近い形式で使用され、外部機器との信号の授受によってプログラムの進行が強く影響される。したがって時間的制約が強く、外部機器との信号の授受の方式によってプログラムに大きな違いがあることなどが、科学および事務計算のプログラムと違っている。しかし一度完成すると変更は割合少なく、一般には計算機一台あたりコントロール・プログラム一種類である。またこれらのシステムは、プログラムを離れてはなりたたない。ソフト・ウェア (software) はシステムを左右する頭脳であり機械と同等に評価される必要がある。

最後に、関西電力株式会社、北海道電力株式会社関係者各位のご指導と絶大なるご協力に厚くお礼申しあげるとともに、日立製作所関係各位のご努力に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 井上, 清水ほか: 日立評論 別冊 47, 33 (昭 37-5)
- (2) 平井, 山内: 日立評論 別冊 47, 28 (昭 37-5)
- (3) 山田, 深尾: 電力, 40, 1447 (昭 31-10)
- (4) 高木貞治: 解析概論 (岩波書店, 1954), 550
- (5) T.L. Saaty: Mathematical Methods of Operations Research (Mc Graw-Hill, 1959)
- (6) 谷, 飯田: 日立評論 別冊 47, 42 (昭 37-5)