

制御用計算機 HITAC-502

Control Computer HITAC-502

須 藤 卓 郎* 島 田 正 三*
Takurō Sudō Chōzō Shimada

三 卷 達 夫* 安 藤 文 雄**
Tatsuo Mitsumaki Fumio Andō

内 容 梗 概

最近のエレクトロニクスの発展に伴い、産業面にこれらがとり入れられ、より高級な判断、処理がなされつつある。これらの中で最も大規模のものとしては、電子計算機をデータ処理や自動制御に用い、システム全体を最適に運用しようという試みである。このような目的の電子計算機としては、外部より直接情報をうけとったり、また外部へ指令できる機能をもつことが要求されてくる。ここでは日立製作所が製作した制御用計算機 HITAC-502 につきこの内容、特徴などを説明し、あわせて自動制御の最近の傾向、および本装置の応用などについて述べる。

1. 緒 言

従来の自動制御は温度、圧力、回転数など一つの変量を対象として制御を行なう、いわゆる単一フィードバックの制御が主であったが、最近では一つの大きなプラント全体を対象として数多くの情報を計測し、処理、計算を行ない全体を一つのシステムとして扱ってこれを効率良く制御する方式（いわゆる最適化制御）に移りつつある。これにはもちろん、最近のエレクトロニクスの著しい発展と、このエレクトロニクスの産業面への進出と並行して進んでいることはいふまでもない。

電子計算機も従来は主として科学計算用、事務統計用に主として用いられてきたが、新たに産業面の制御用として応用分野が開けてきたのである。このような目的のためには電子計算機自体制御に適した機能が要求されるわけで、この線に沿ってわれわれはHITAC-502を開発した。本機は通産省補助金により昭和35年秋完成したもので、その後改良が重ねられている。

2. 自動制御の最近の傾向

自動制御の分野では最近適応制御、計算機制御、最適化制御などの言葉が多く使われるようになってきた。これらはそれぞれ非常に広い領域を意味し、この定義も各人によって異なるといってもいいすぎでなく、これら三つの言葉すべてにあてはまるような制御方式も考えられる。要するに最近では自動制御系全体として、大きくいえばシステム全体を考え、これを最適に、より完全に制御しようという方向⁽¹⁾に移りつつある。

従来の自動制御では制御対象の特性がわかっているとき、制御装置のパラメータをどのように決定するかが最大の関心事で、これに関しては最適調整論として10年ほど前盛んに研究された。その後制御対象の特性自身が非線形であったり、また時間とともに変ったりする場合にも最適に保つということが考えられた。事実原子炉のゲイン定数が炉の出力に比例して変化したり、また触媒活性度が時間とともに変り反応速度が変化したり、特に軍事関係では飛しょう体の特性が高度、速度、燃料消費量などに応じて異なり、自動的に制御装置の定数を変えて最適化制御を図る適応制御といわれる制御方式が必要となってくる。このような単一フィードバック制御系の最適化制御を行なうには制御系の動特性（主として制御偏差を情報とする）に着目して、最適の度合を示す基準にもとづき制御系が最適になるようにパラメータを制御するもので、通常の制御系の外側に

さらにこのような最適化制御回路をもち、内側の制御系よりもゆっくりした動作で最適化制御を行なうものである。

このような最適化制御もさらに広い意味でいうと、従来のプロセス制御においても測定しやすい一次度量、温度、圧力、流量その他の量を一定に押えて品質の一定化を図っていたものである。しかしその後の分析計その他の品質を直接測定できる装置の発達、プロセス自体の知識の増加、またエレクトロニクスによる高度の自動制御技術の発達などにより、プラントの運転中、原料の品質が変化したり、また外界の変動などに無関係に品質の良いものを大量に、またコスト最低の条件で運転したり、いわゆるプラント全体を最高効率で最適に制御することが行なわれだしている。この場合、大容量のデータを高速で処理するため、必要なときは電子計算機が用いられることはいふまでもない。

このように電子計算機によるプラントの制御が一番早くとり入れられたのは電力系統の経済運用への応用で、これは火力、水力発電所などにどのように発電量を割りふったら全体として最も経済的であるかを計算するものである。これらに関しては日立製作所でもすでに相当の実績を持っているが⁽²⁾、最近諸外国では発電所全体を計算機で制御する傾向⁽³⁾にある。また工作機械の数値制御⁽⁴⁾のように設計図面をパンチし、自動的に所望の形状に切削するもの、また数値カードなどにより圧延機のロール間げきをプログラム制御⁽⁵⁾したり、またさらに一步進めて素材を圧延する場合、圧延機的能力を計算に入れ最短時間で希望の圧延を行なう最適なスケジュールを計算し、圧延工程を指令する制御方式も行なわれだしている。最近の特徴はこのような手法がプロセス制御にも応用されだしたことである。プロセス制御の面ではプラント全体の計装を一箇所にまとめるグラフィック方式の計装に始まり、次に多くの記録計の読みを調べる手間を省き、一箇所にタイプするスキャンニング装置、ついで簡単な計算を施して操業の指針となる量を計算するコンピューティング・ロガーへ、さらに最近ではこれらの操業指針をもとにして閉回路で制御する計算機制御へと進歩している。しかし化学プラント自体は理論式にのりにくい不明の点も多く、米国においても閉回路で制御にはいったのはこの1～2年のことであり、わが国でもコンピューティング・ロガーを使用し、これから計算機制御にはいるという段階である。

このように産業面の制御が従来の簡単な制御系でなく、システムとしての制御に移行し、また同時に発展したエレクトロニクスの技術がただちにとり入れられてきたが、一面これらエレクトロニクスに課せられる信頼性は一般通信機、事務用計算機などに比べさらに重大な問題であることはいふまでもなく、これらに関し今後の研究

* 日立製作所中央研究所

** 日立製作所戸塚工場

が望まれる。

3. 制御用計算機 HITAC-502

本制御用計算システムは上記のような各種の制御に適用できるよう設計されたもので、第1図にその外観を示す。中央が制御用電子計算機 HITAC-502、右がアナログ信号を取り扱う信号入出力装置、左が計算測定結果のタイプ、パンチ、テープ読み込みその他の入出力装置である。特に制御用として従来の数値計算を主とする科学計算用、カードを主体とする事務統計用と異なる点は電気量を直接計算機にとり入れることができ、また計算結果を電気信号の形で指令し、さらに外部装置を種々制御、監視する機能を備えていることである。以下これらについて説明する。

3.1 HITAC-502 システム

本システムは第1図に示すように、制御用計算機本体とアナログ・デジタル変換器、デジタル・アナログ変換器および入出力を切り替えるスキャナおよびディストリビュータよりなる信号入出力装置との二つより構成されている。本装置全体の概略仕様を第1表に示す。なお信号入出力装置は実際に用いられる場合に応じ、入出力数、入出力レベル、測定・指令速度、精度などが異なるので第1図に示すようにその都度制御用計算機本体は設計変更しなくても良いような構成をとっている。第1表の仕様を示すものはアナログ量の切り替えにリードリレーを用いているもので比較的切り替え速度はおそいものである。さらに高速が望まれる場合には純電子式に切り替えを行ない、高速帰還形アナログ・デジタル変換器(以後A-D変換器と略記する)を用いることになる。

本システムの特徴は制御する場合各所のプラントを扱う必要が起こるので第2図に示すように

テープリーダー	10台
タイプライタ (パンチ)	10台
アナログ⇄デジタル変換器	10台

まで結合することができ、外部装置との結合の自由度が大きいことである。

計算機に対する具体的な入出力としては、テープ読み込み、また結果のタイプ・パンチ用のレジスタおよび計算機内の種々なレジスタの内容を表示したり、また手動で計算機に情報を入れるレジスタがあるが、これらは一般の計算機にもある機能なので省略する。制御用の入出力としては情報と制御信号の二つに分れ、下記のように大別される。

(1) 入出力情報 24ビット 直列

10組まで結合でき計算機の命令で自由に入出力できる。

(2) 入出力制御信号 オンオフ電気信号

入力制御信号 10箇

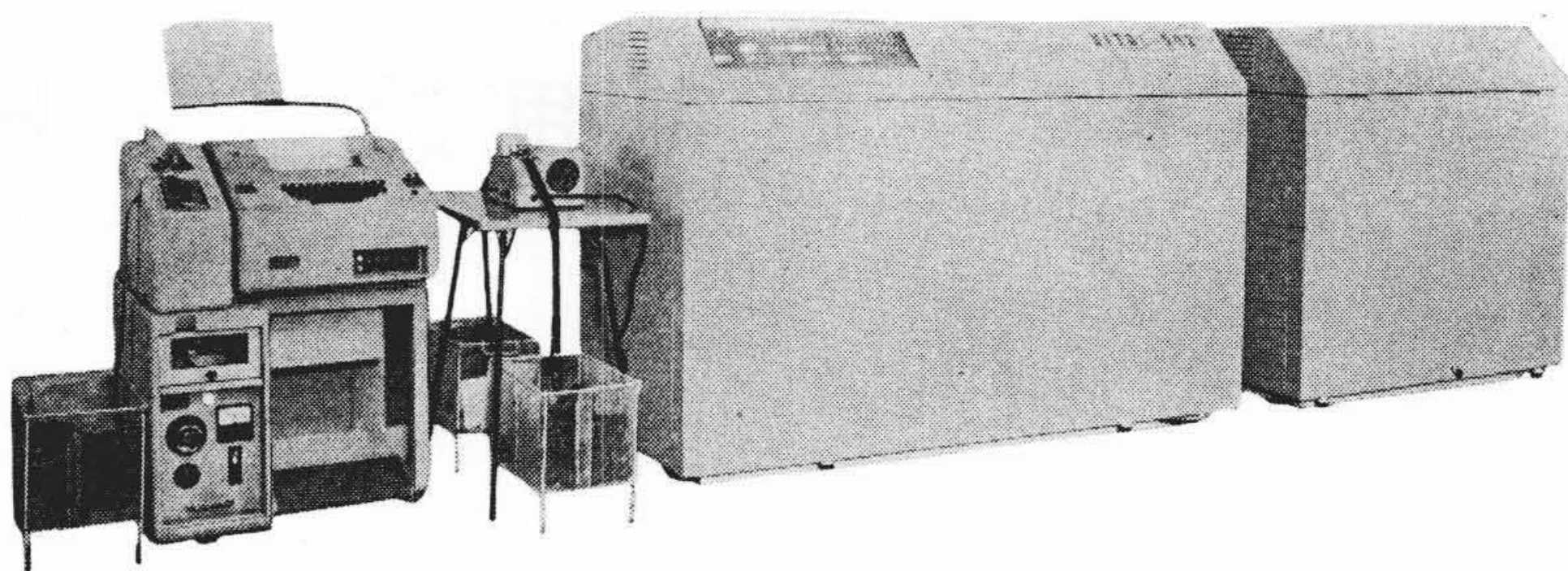
出力制御信号 30箇

これらは計算機の命令で自由に制御できるとともに外部信号からも制御される。

上記(1)、(2)の入出力の個数は標準品の数で必要があれば相当個数まで拡張することができる。

これらの具体的内容として

入出力情報はいわゆる情報であり、24ビット以内(10進6けた強)の数値を直列に計算機外のソフトレジスタと計算機がやりとりするものである。計算機の命令により外部よりの情報、A-D変換された数値や、コード化されたデジタル量、その他外部接点のパターンなどを計算機に読み込み、また外部に出すべき情報、D-A変換すべき数値、デジタル表示、指令パターンなどを出すことができる。

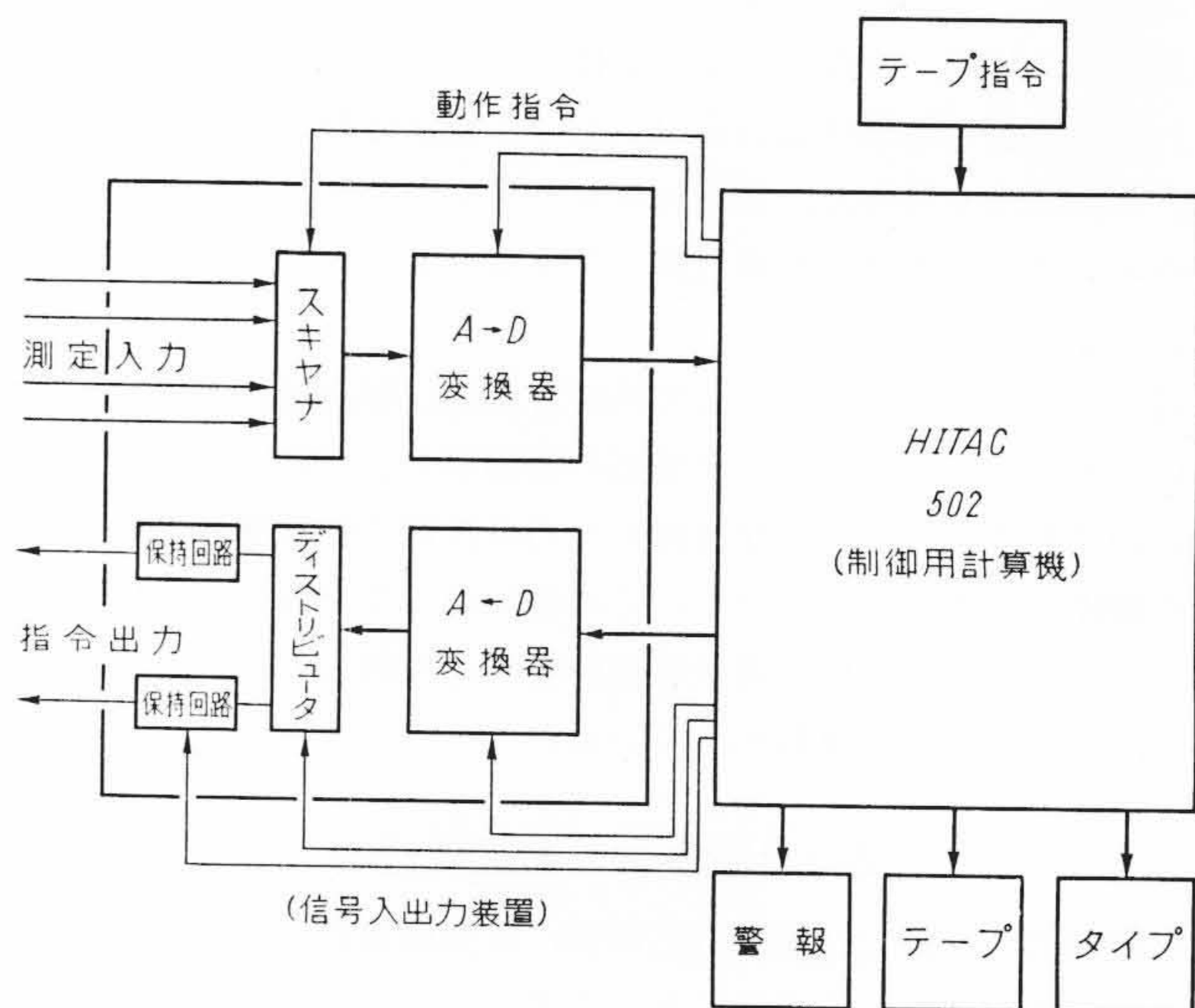


第1図 制御用計算機 HITAC-502

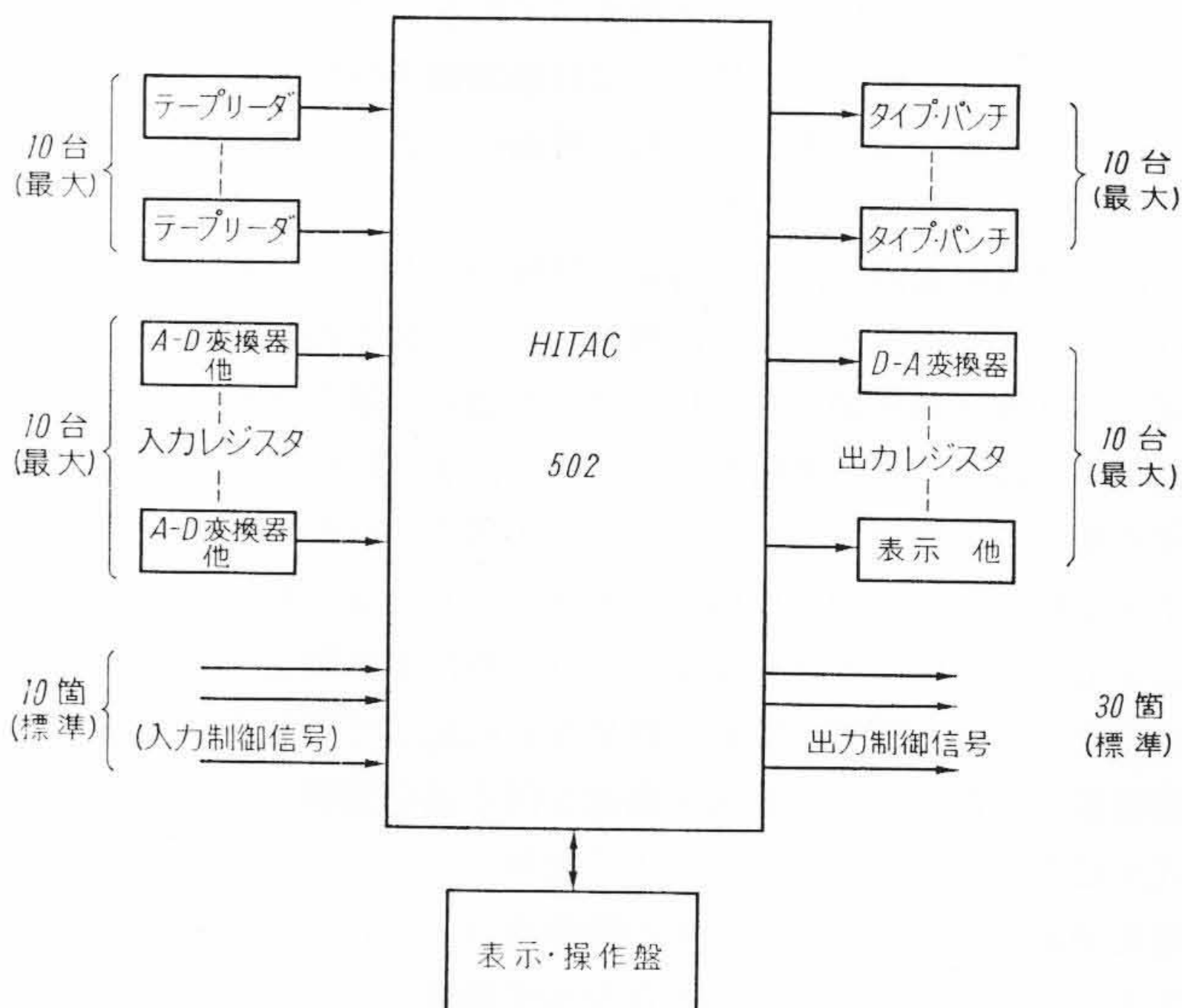
第1表 制御用計算機仕様

制御用計算機 (HITAC-502)		信号入出力装置	
演算方式	2進直列	入出力チャンネル数	各20
桁数	24ビット	入出力レベル	0~16(4~20)mA
インストラクション数	61	入出力切換速度	25チャンネル/秒
クロック	220 kc	A-D変換器 入力	0~10V DC
記憶容量	ドラム 7,936語	精度	±0.1%
	コア 192語	D-A変換器 出力	0~20V DC
演算速度	加減算 0.33 ms	精度	±0.1%
	乗除算 5.7 ms	保持回路(20台)入力	0~20V DC
素子数	トランジスタ 2,500個	出力	4~20mA DC
	ダイオード 10,000個		

注：信号入出力装置の仕様は任意に変更できる。



第2図 制御用計算機の構成



第3図 外部装置との接続

入出力制御信号はこれに反し、電気的なオンオフ制御信号であり、

3.2 制御用計算機

3.2.1 仕様

3.2.1 仕様

(1) 方 式

ストアド・プログラム方式

同期式, 2進直列方式 (基本周波数 220 kc)

固定小数点方式

(2) 数 值

2進24ビット（チェックビット＋符号＋22ビット）

負数は2の補数で表示する。

(3) 命令

数値 1 語で一つの命令を表す。

- (i) 命令(数値)の転送にパリティ・チェック
- (ii) 命令語の符号は常に正
- (iii) オペレーション部の命令コードは第2表参照
- (iv) 修正部 二つのインデックスレジスタにより修正可能

修正部	実効番地
0	アドレス部無修正
1	アドレス部 + (Scc + 1)
2	アドレス部 + (IR ₁)
3	アドレス部 + (Scc + 1) + (IR ₁)
4	アドレス部 + (IR ₂)
5	アドレス部 + (Scc + 1) + (IR ₂)
6	アドレス部 + (IR ₁) + (IR ₂)
7	アドレス部 + (Scc + 1) + (IR ₁) + (IR ₂)

(4) アドレス系

ドラム、コア、レジスタ、A-DおよびD-A変換器のアドレスは次のように与えられている。

磁気ドラム	(7,936 語)	0000～7935
レジスタ	(6 語)	7940～7945
A-D D-A 変換器	(10 語)	7970～7979
磁気コア	(192 語)	8000～8191

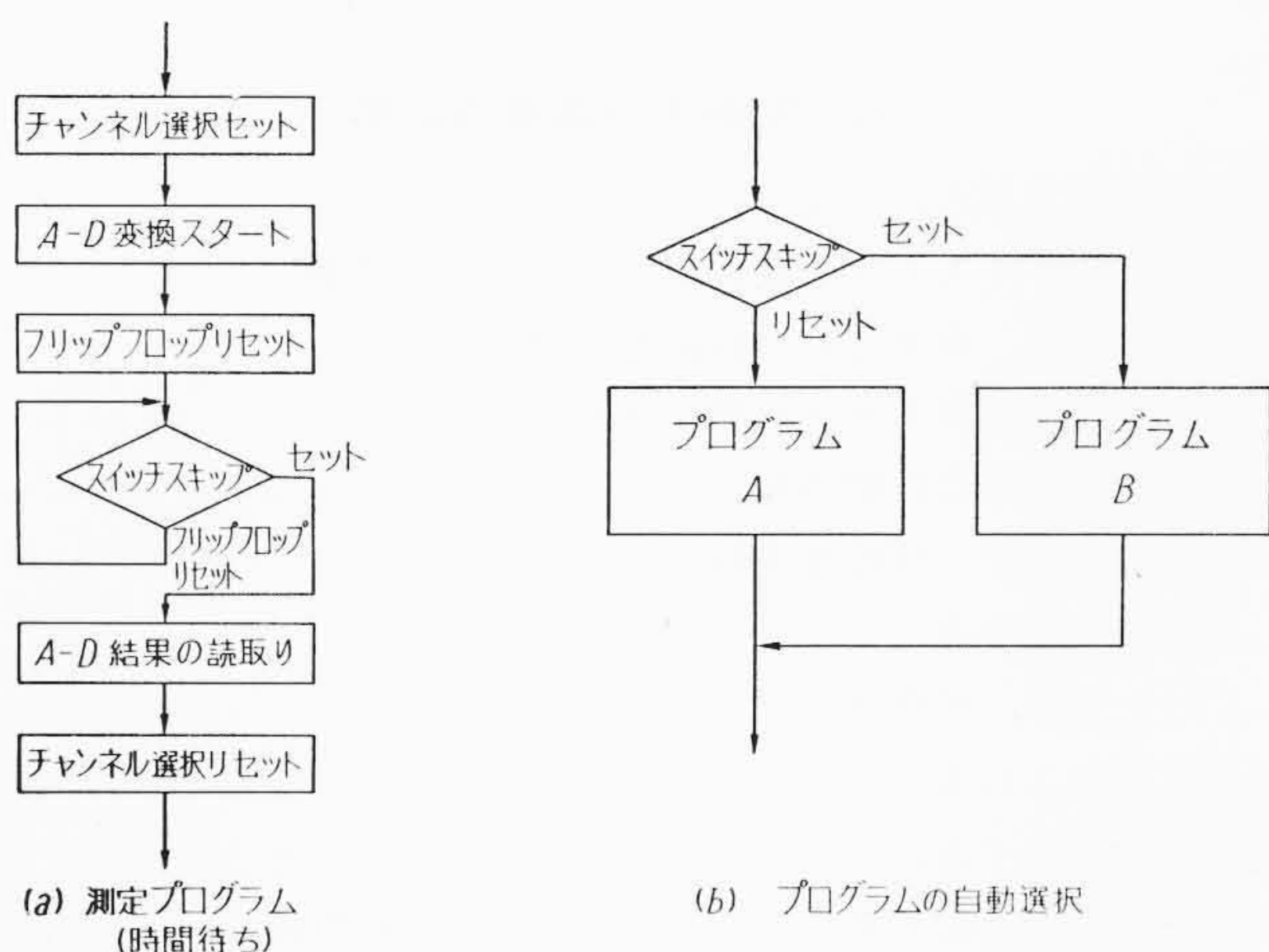
(i) 磁気ドラム

1 バンド	64 語
124 バンド	7,936 語

124 バンドのうち20バンドは書き込みヘッドを殺すことができる。

第2表 HITAC-502 命令コード

種類	Order	Operation	Note
加	XAU	Clear add upper	$(n) \rightarrow \text{Acc}-U$
	XAL	Clear add lower	$(n) \rightarrow \text{Acc}-L$
	AU	Add upper	$(\text{Acc}-U) + (n) \rightarrow \text{Acc}-U$
	AL	Add lower	$(\text{Acc}-L) + (n) \rightarrow \text{Acc}-L$
減	XBU	Clear sub upper	$-(n) \rightarrow \text{Acc}-U$
	XBL	Clear sub lower	$-(n) \rightarrow \text{Acc}-L$
	BU	Sub upper	$(\text{Acc}-U) - (n) \rightarrow \text{Acc}-U$
	BL	Sub lower	$(\text{Acc}-L) - (n) \rightarrow \text{Acc}-L$
乗除	XMA	Clear multi	$(MD) \cdot (n) \rightarrow \text{Acc}$
	MA	Multi add	$(\text{Acc}) + (MD) \cdot (n) \rightarrow \text{Acc}$
	MB	Multi sub	$(\text{Acc}) - (MD) \cdot (n) \rightarrow \text{Acc}$
	D	Div.	$(n)/(MD) \rightarrow \text{Acc}-U$
Jump	J	Jump unconditionally	n へとべ
	J P	Jump $(\text{Acc}) \geq 0$	$(\text{Acc}) \geq 0$ なら n へとべ
	J M	Jump $(\text{Acc}) < 0$	$(\text{Acc}) < 0$ なら n へとべ
	J Z	Jump $(\text{Acc}-U) = 0$	$(\text{Acc}-U) = 0$ なら n へとべ
	J L Z	Jump $(\text{Acc}) = 0$	$(\text{Acc}) = 0$ なら n へとべ
	I 1 J	IR ₁ set & Jump	IR ₁ に (Scc)+1 を set し n へとべ
	I 2 J	IR ₂ set & Jump	IR ₂ に (Scc)+1 を set し n へとべ
Shift	H J	Half jump	$n \rightarrow (\text{Scc})$, stop する
	SR	Shift right	$(\text{Acc}) \times 2^{-n} \rightarrow \text{Acc}$, (numerical)
Store, Load	SL	Shift left	$(\text{Acc}) \times 2^n \rightarrow \text{Acc}$, (logical)
	SC	Shift & count	符号が1つ変る手前まで (Acc) を左に shift し, shift したけた数を IR ₂ に加える
	TU	Store upper	$(\text{Acc}-U) \rightarrow n$
	TL	Store lower	$(\text{Acc}-L) \rightarrow n$
Index register	LMD	Load MD	$(n) \rightarrow \text{MD}$
	TZ	Store zero	$0 \rightarrow n$
	R	Round	$(\text{Acc}) + 2^{-23} \rightarrow (\text{Acc})$
	XEA	Extract	(MD) と (n) との対応するけたの and をとり Acc に入れる
	TCR	Store CR	$(\text{CR}) \rightarrow n$
	LCR	Load CR	$(n) \rightarrow \text{CR}$
	FCR	Free CR	CR レジスタを他のレジスタ表示のために開放する
	X 1 A	Clear add IR ₁	$n \rightarrow (\text{IR}_1)$
	X 2 A	Clear add IR ₂	$n \rightarrow (\text{IR}_2)$
	X 1 B	Clear sub IR ₁	$-n \rightarrow (\text{IR}_1)$
Block transfer	X 2 B	Clear sub IR ₂	$-n \rightarrow (\text{IR}_2)$
	I 1 A	Add IR ₁	$(\text{IR}_1) + n \rightarrow (\text{IR}_1)$
	I 2 A	Add IR ₂	$(\text{IR}_2) + n \rightarrow (\text{IR}_2)$
	I 1 B	Sub IR ₁	$(\text{IR}_1) - n \rightarrow (\text{IR}_1)$
	I 2 B	Sub IR ₂	$(\text{IR}_2) - n \rightarrow (\text{IR}_2)$
	J 1 Z	Jump $(\text{IR}_1) = 0$	$(\text{IR}_1) = 0$ なら n へとべ
	J 2 Z	Jump $(\text{IR}_2) = 0$	$(\text{IR}_2) = 0$ なら n へとべ
	S I 1	IR ₁ skip	$(\text{IR}_1) = n$ なら次の命令を一つ skip する
	S I 2	IR ₂ skip	$(\text{IR}_2) = n$ なら次の命令を一つ skip する
	T I 1	Store IR ₁ -order	n に clear add IR ₁ /0+(IR ₁) なる命令を store する
Input, Output	T I 2	Store IR ₂ -order	n に clear add IR ₂ /0+(IR ₂) なる命令を store する
	ATD	Core A to Drum	n は Drum のバンドの指定のみで, これらの命令で常に 64 語の transfer が行われる Core A : 8,000~8,063 番地 Core B : 8,064~8,127 番地 Core C : 8,128~8,191 番地
	BTD	Core B to Drum	
	CTD	Core C to Drum	
	DTA	Drum to Core A	
	DTB	Drum to Core B	
	DTC	Drum to Core C	
Skip	TR	Tape select	$n=1$ で mechanical tape reader を $n=1$ 以外で photo tape reader を選ぶ
	PCH	Punch select	n は punch または type の machine
	TYP	Type select	number, $n=1$ の場合のみ有効
	RH	Read tape	n けた ($n \leq 4$) Acc-U に入る。その入り方は
Delay	OH	Out(Punch tape)	← 6 → ← 6 → ← 6 → ← 6 → c s ↑ ↑ ↑ ↑ $n=4$ ↑ ↑ ↑ ↑ $n=3$ ↑ ↑ ↑ ↑ $n=2$ ↑ ↑ ↑ ↑



第5図 入出力制御信号を用いるプログラムの例

うに計算機のプログラムにより種々な端子より外部装置を制御できる。

入力制御信号は外部より電気信号が入ると計算機内のフリップフロップがセットされる。同じことは計算機のボタンを押すことにより、またプログラム (LSW/0+m) によっても可能である。またこのフリップフロップは手動もしくはプログラム (XSW/0+m) によりリセットされる。このような状況でプログラムの進行において、スイッチスキップ (SSW/0+m) という命令を書いておくと、 m 番目のフリップフロップを探し、これがセットされていると第3図のように命令を一つスキップする動作を行なう。

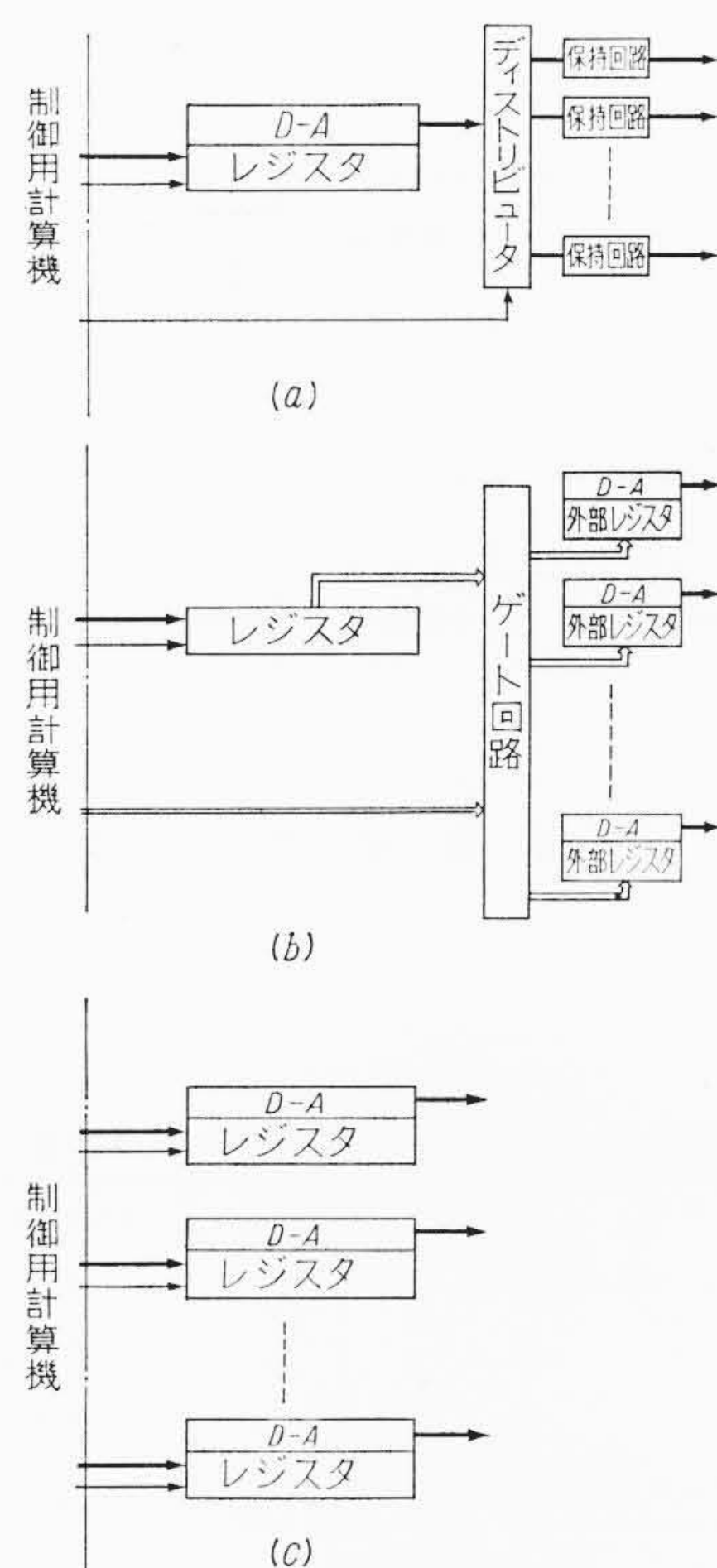
これらの組み合わせで外部装置と計算機を融通性をもって組み合わせられるもので、第4図にその2例を示す。(a)は外部装置(この場合はA-D変換器)を一つの出力信号で起動し、A-D終了信号を m 番目の入力端子に戻しておく。次にスイッチスキップの命令で m 番目の状態を探すように組んでおくと、計算機はA-D変換が終わったら内容を読み込むように動作させることができる。(b)は外部状況によりプログラムを選択制御する場合の例を示した。これらはさらにプログラムの重要性により選択実行する。すなわち現在行なっているプログラムよりもさらに重要なプログラム、たとえば測定すべき時刻がきた場合には計算を一応中止してさきにこれら測定をすませるような、いわば割込演算などもある程度便利に使用できるものである。また本計算機は第2表の命令表にあるようにデレイ (DLY) という命令をもち、ドラムの回転数を数えてある時間だけ待って次の命令を実行するような機能も備えている。

(4) 記憶容量も大きく、科学計算にも十分使用できること

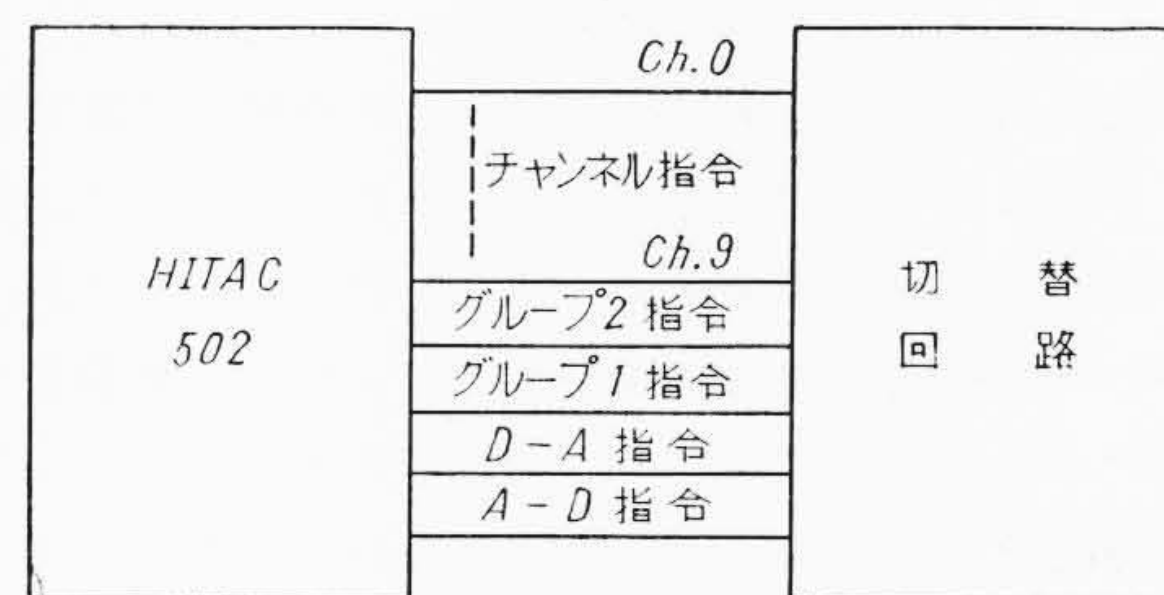
本機は制御用であるので記憶容量も 8,000 語と大きくとってある。また制御用以外でも科学計算用としても十分使用できるので、計算機の動作を調べるテストプログラムはもちろん、関数サブルーチン、倍精度演算、倍精度浮動小数点演算のプログラムが準備されているので科学計算用にも十分便利に使用できる。したがって本機のように小形であること、またアナログ計算機その他の外部装置の電気信号と直ちに直結できる点など、大学、研究所などの研究用としても非常に便利に使用できるものである。

3.3 信号入出力装置

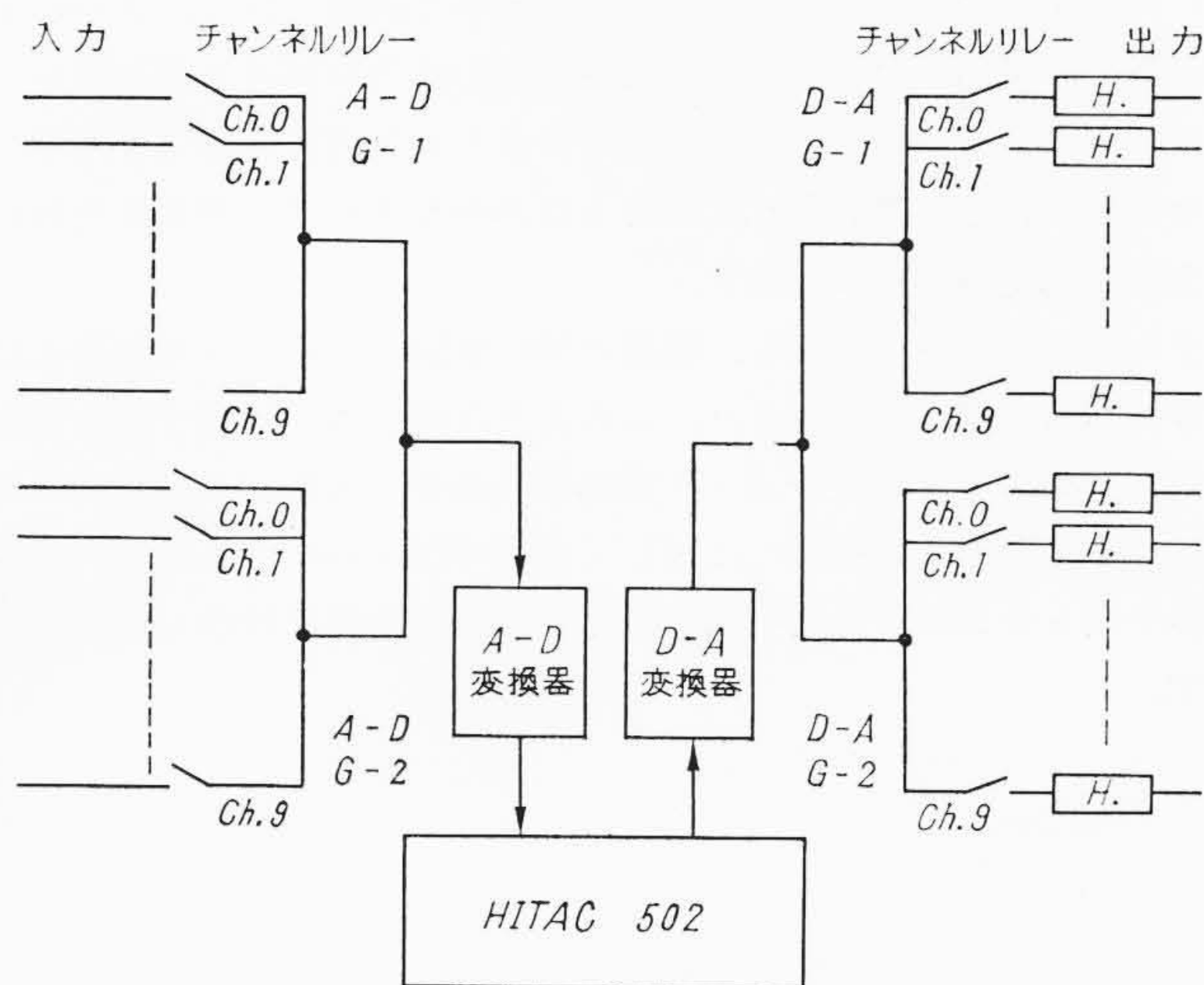
本信号入出力装置のプラントと計算機との間の情報のやりとりを行なうもので HITAC-502 と結合し融通性を発揮できるよう設計されている。この信号入出力装置はすでに述べたように仕様により種々の組み合わせが考えられるものである。第1図に示すものはリードリレー切り替えによる比較的低速度のもので、また保持時間も短



第6図 出力レジスタの種々な構成



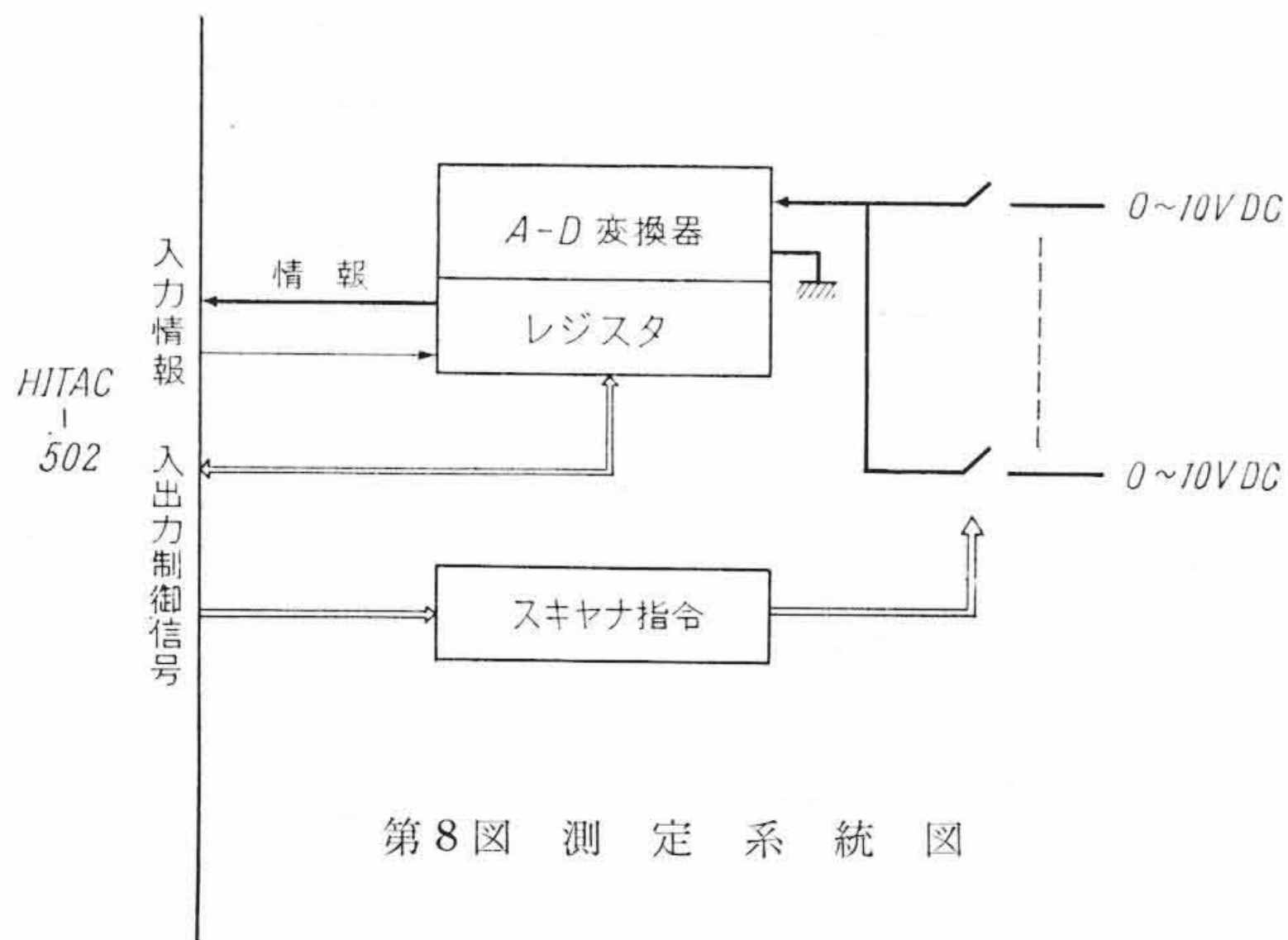
(a) 指令系統図



(b) 信号系統図

第7図 スキャナ切り替え方式

かい所をねらったのでアナログ保持をとっている。この出力側についても第5図のように種々な方法があり、保持時間の短いものに対してはアナログ保持、長いものについてはデジタル保持でD-A変換をその後で行なわせる。この場合にも第5図のように計算機から一つの D-A レジスタにシフトパルスにより数値を出し、これをさらに外部のいくつかのレジスタに並列に信号を送る形や、またいくつかのシフトレジスタを準備し、計算機のプログラムにより選択出



第3表 試作高速 A-D 変換器性能

入 力	0~±1V DC
変 換 時 間	約 70 μ s
精 度	±0.1% 以内
温 度	20°C±10°C
電子式スキヤナ切換時間	約 10 μ s

力する場合も考えられる。いずれにしろ、これらは全体の仕様とにらみ合わせて、バランスのとれたシステムにしなければならない。

アナログ量の切り替え、すなわちスキヤナの動作は計算機のストアプログラムにより融通性をもって選択されるもので、第6図にスキヤナの動作方法の一例を示す。この場合は入出力各20、計40個を計算機から14個の出力制御信号のマトリックスで駆動している。この場合10チャンネルを一つのグループと考え10進法で選んでいる。実際には必要なチャンネル数はさらに増えるわけであるがグループを増せば良い。このように出力制御信号を用いれば外部装置としてはリレー駆動用の14の増幅器のみという簡単な回路で良く、さらにまた実際には選ぶべきチャンネルを数値の形で出力レジスタ(D-Aレジスタ)に出し、これをデコードしてスキヤナを選択することも多く行なわれている。第7図はこのようなスキヤナの切り替えとそれに伴う情報測定の系統図を示す。

またこれら情報の測定も、現象の早い実験などのデータ処理には非常に高速な測定が要求され、このような場合は、純電子的な情報の切り替えおよび高速の A-D 変換器が必要である。この目的に対し日立製作所中央研究所では新しく変換時間 70 μ s の高速 A-D 変換器を全トランジスタ帰還形で試作した。この概略性能を第3表に示す。

4. 制御用計算機の応用

制御用計算機の応用面としては

- (1) 化学、セメント鉄鋼工業などの計算制御
- (2) 電力、ガスなどの負荷配分制御
- (3) 発電所のデータ処理、自動運転
- (4) 圧延機の自動運転
- (5) 同調その他特殊実験のデータ処理
- (6) 自動検査
- (7) 大学、研究所の研究用

に広く使用されるものと考えられる。このように大きなシステムに計算機を導入することは、これら制御すべきものを十分知って、全体をシステムとして考える必要があり、日立製作所においてもこれら各方面の研究を行なっている。

またこのように電子計算機を産業面に用いるにはその信頼性が問題となる。これには計算機自体の信頼性をあげることはもちろんであるが、同時に使い方自体万一の故障を考えに入れて使用する必要がある。また計算機自体割合高価なものであるので、これを使用した場合の経済的効果を十分検討した上で用いることが必要と考える。

5. 結 言

以上日立製作所の制御用計算機 HITAC-502 についての概略を説明した。本機の特長としては、各種の外部装置と融通性をもって結合でき、またそのための制御用としての特殊機能をもっていることであり、今後各方面で使用できるものと考えている。

計算機自体、非常に進歩の早いもので正に日進月歩といっても過言ではない。われわれも本システムが時代に遅れないようさらに研究を進めているものである。

なお本機の製作では社内各所のご援助をいただいたもので、戸塚工場コンピュータ部高田、岩間両部長のご配慮、また設計、調整には谷主任、井立田、海老名両設計課員のご協力、また中央研究所只野副所長、明山部長のご配慮、またプログラム面では中田、池田の両氏、磁気コア記憶装置に関しては大西主任、真島氏、その他大矢、高見両主任、関、御小柴、大成、諏訪諸氏その他の方々のご援助によるものであり、ここに厚く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 三卷：エレクトロニクス 6, 777 (昭 36-7)
- (2) 河竹他：電学会東京支部大会 207 (昭 35-11) 他
- (3) A. L. Guidero: ISA Journal, 7, 84 (Sept. 1960)
- (4) 須藤他：自動制御連合講演会 前刷番号 309 (昭 34-11)
- (5) 小西：電気四学会連合大会 前刷番号 214 (昭 36-4)
- (6) 川崎、三浦：電気四学会連合大会 前刷番号 295 (昭 36-4)