

IC 化 制 御 装 置

IC Control Equipment

齊 藤 奎 二* 島 忠 夫*
Keiji Saitô Tadao Shima
中 村 義 彦* 福 丸 隆 文*
Yoshihiko Nakamura Takafumi Fukumaru

要 旨

リニヤ IC は近年目ざましい発達を遂げ、従来のトランジスタにとって代わり、その高い信頼性、小形化、経済性など大きなメリットのため急速に採用されている。本稿ではリニヤ IC を主体としたアナログ制御素子およびそれを用いた制御装置を紹介した。

1. 緒 言

日立製作所では 1966 年 MONOLITHIC IC を用いた第 3 世代の制御用計算機を発表以来、順次 IC 化した制御用計算機を製作している。ディジタル IC 素子がじゅうぶんなる稼働実績を有するようになるとともに、アナログ IC 素子（リニヤ IC）もその量産化態勢の確立と、信頼性の向上により順次従来のトランジスタにとって代わりつつある。すでに全面的にリニヤ IC を採用した制御装置を各方面に納入し、期待どおりの高信頼性で好評を得ている。本稿では主として IC 化アナログ制御装置およびその応用について述べる。アナログ制御装置の IC 化のためには IC そのものの信頼性はもちろんのこと、制御系が完全に標準化される必要がある。日立製作所においてはすでに完全標準化が完成しているので、きわめて容易に IC 化することができた。IC 化により制御装置が小形化し、据付面積の低減、工事費の低減など大きな利点を生んでいる。

2. 制 御 素 子

電動力応用装置の各種のアナログ制御に使われる制御素子は、演算増幅器が主体である。筆者らは今日までこの制御用演算増幅器として磁気増幅器式(略称 MOA)シリコントランジスタ式(略称 TOA)を順次開発し、広範囲に実用し、多くの実績をあげている。今般、さらに、高信頼化を実現するために、リニヤ IC の演算増幅器を中心とした IC 化アナログ制御素子シリーズを開発した。本シリーズは基本素子と専用素子から構成される。その一例は図 1 に示すとお

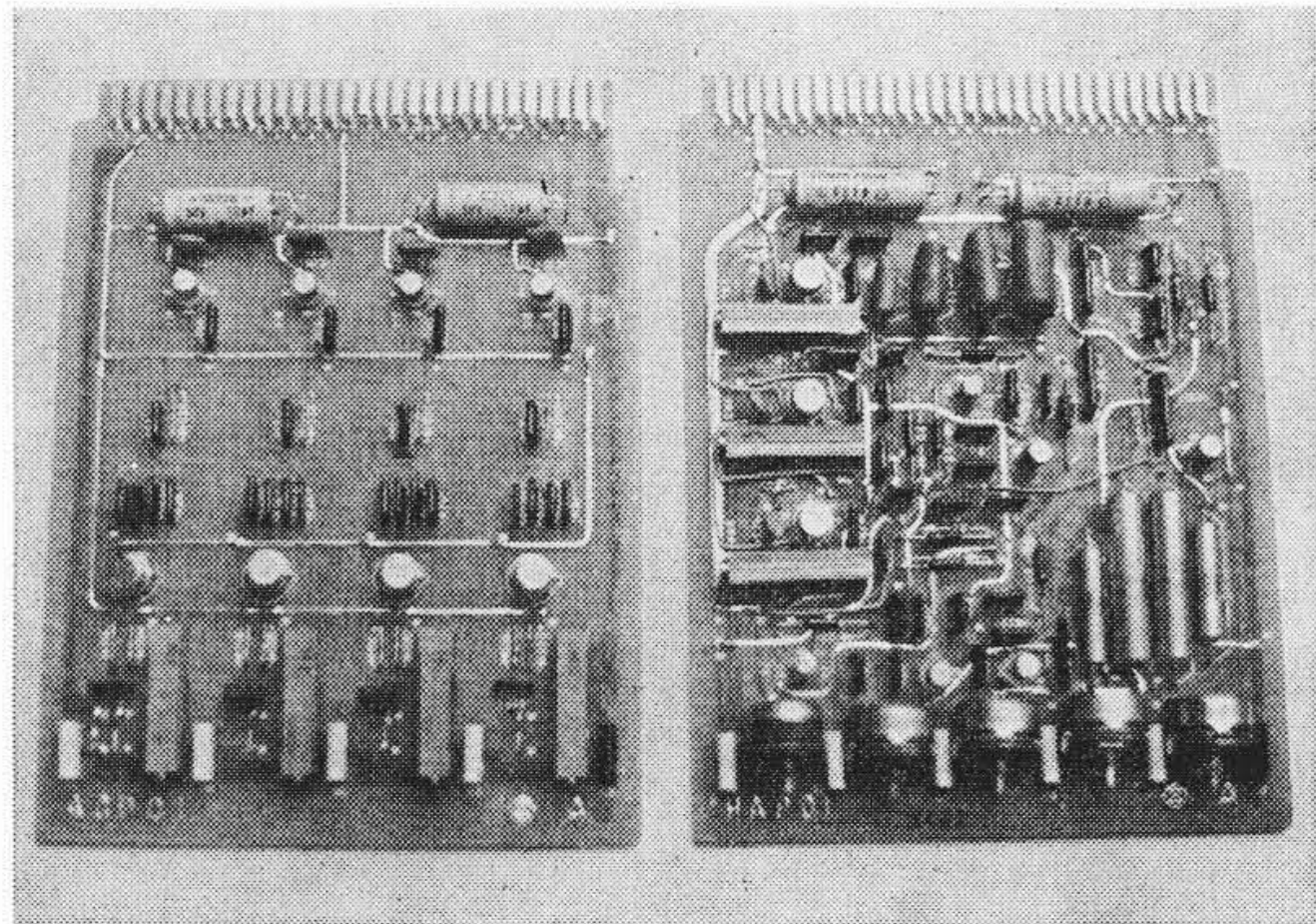


図 1 IC 化アナログ制御素子

りである。

2.1 シリーズの特長

IC 化アナログ制御素子の特長は以下のとおりである。

(1) 高 信 頼 性

信頼性向上のためにリニヤ IC の周辺の半導体をすべてシリコンダイオードおよびトランジスタとし、制御素子としての動作温度範囲を 0~70°C の広範囲とした。部品はプリント板に取り付け、全体をワニスコーティングしているため、高湿または腐食性ガスのある環境条件の悪い場所に設置されても耐える構造である。さらに使用部品の厳重なスクリーニング、ディレーティングにより初期不良の除去と長寿命化を図っている。

(2) 高 精 度

チョップ式の高精度演算増幅器と特殊な基準電源を使用した D-A 変換器があるので、フィードバック制御だけでなく、フィードホワード制御にも使用できる。

(3) 保 守, 調 整

各増幅器の出力および電圧調整可変抵抗器のしゅう動部にはチェック端子が設けられているので、異常の際、故障の個所が早く発見でき不稼働時間の減少が期待できる。

(4) 構 成, 増 設

各素子はすべて 15mm の整数倍のピッチで取り付け可能なため、取り付けラックが標準化されており、増設が容易である。

2.2 基 本 素 子

基本素子は表 1 のように基本の機能単位である。プリント板 1 枚

表 1 基 本 素 子 一 覧 表

番号	名 称	形 式	回路数/プリント板	機 能	仕 様
1	演 算 増 幅 器	AOA-01	4	は ん 用	出 力 $\pm 10V$ 5mA
		AOA-02	2	高 精 度	出 力 $\pm 10V$ 5mA
		AOA-03	4	中 出 力	出 力 $\pm 10V$ 50mA
		AOA-04	1	大 出 力	出 力 $\pm 10V$ 500mA
2	比 較 器	ACP-01	4	2 信 号 の 比 較	温度ドリフト 0.5mV/°C 以下
3	関 数 発 生 器	AFG-01	1	任 意 関 数 発 生 用	折線 7 本, 設定精度 $\pm 1\%$ 以下
4	掛 算 器	AMT-01	1	変 調 方 式	精 度 $\pm 0.5\%$ 以下
		AMT-02	1	1/4 自 乗 方 式	精 度 $\pm 2\%$ 以下
5	絶 縁 増 幅 器	AFA-01	1	強 電 回 路 からの 絶 縁	回路電圧 800V, 出力 $\pm 10V$ 5mA
6	D-A 変 換 器	ADA-01	1	純 2 進 コード の 11 ビット	精 度 $\pm 0.1\%$ 以下, 基準電源 -50, -60V
		ADA-02	1	BCD コード の 3 けた	精 度 $\pm 0.1\%$ 以下, 基準電源 -50, -60V
7	ア ナ ロ グ ゲ ー ト	AGT-01	6	ダイオードブリッジ方式	応答 100 μ s 以下, 精度 $\pm 0.1\%$ 以下
		AGT-02, 03	6	F E T 方 式	10K~200K と 100M Ω の 切 換 スイッチ
8	インピーダンス ユニット	AIP-02	1	演算インピーダンス取付	抵抗 20 個, コンデンサ 4 個, 可変抵抗器 4 個まで取付可能
9	チェック ユニット	MCK-01	1	信 号 の チェック	$\pm 1.5V$, $\pm 15V$ の電圧計, 擬似信号

* 日立製作所大みか工場

あたりの回路数は応用面から決められる。

2.2.1 演 算 増 幅 器

アナログ制御の基本である演算増幅器の必要な種類は応用面の精度と負荷条件により決まる。本シリーズではリニアICの演算増幅器にオフセット補償回路を付加したはん用形、ドリフトを補償するため、入力を変調し交流増幅したのち、同期整流し、その出力を直流増幅した高精度の複合形、出力段をトランジスタ増幅した中出力および大出力形の4種類を標準にし、どのような用途にも対処できるようになっている。表2は演算増幅器の性能の概要を示したものである。制御用の用途での応答はリニアIC単体の周波数帯域まで必要でなく、高周波ノイズの影響を受けないように外部回路で周波数帯域を狭くし、広範囲な演算インピーダンスでも安定に動作するように特に留意してある。

2.2.2 比 較 器

比較器はアナログとデジタルの接点といってもよく両方の性能が要求される。この比較器はリニアICの演算増幅器の異符号および同符号出力演算入力端子を図2のように用途により自由に選べるようにし、出力極性は次段とレベル変換またはインバータ素子を接続することなく直結できるようにした方式である。高利得のリニアICであるため、検出精度もよく低ドリフトである。またノイズによる誤動作を防止するため、応答を遅らすコンデンサを内蔵している。さらに外部接続を変更することにより、検出点のチャタリングを防ぐヒステリシス特性もできる。出力は電源電圧15Vのダイオード・トランジスタ・ロジック(DTL)を接続することを標準とする。表3は比較器の主要仕様を示したものである。

2.2.3 関 数 発 生 器

関数発生器は電動機の界磁特性の非直線性の補正または線形信号から非線形信号への変換に使用される。ダイオードを使用した折線近似の任意関数発生器で、設定曲線の利得に関係なくダイオードの温度特性を補償する回路を内蔵している。折線特性設定用利得およびバイアス調整可変抵抗器を含めすべてが1枚のプリント板に内蔵した構造で取替え、再設定が容易である。

2.2.4 掛 算 器

制御用掛算器の用途はたとえばリール電動機のフォーシング量を決めるためのものである。本シリーズでは変調方式、1/4自乗方式の2種類を標準としている。変調方式は精度が±0.5%とよいが周波数特性が10Hz(−3dB)で悪い。一方、1/4自乗方式は精度が±2%で周波数特性が2kHz以上(−3dB)とよいが、折線近似方式であるため設定時間が長くなり、部品数が多くなる。このように両者はそれぞれ一長一短がある。いずれも次式の入出力特性がある。

$$Z = - \frac{XY}{10}$$

ただし、X、Y：入力電圧、Z：出力電圧

2.2.5 絶 縁 増 幅 器

絶縁増幅器は電動機、発電機の電圧、電流信号のように強電回路から自動制御回路に信号を取り込むのに使用される。図3は絶縁増幅器のブロック図である。この動作は入力をトランジスタチョップにて交流にし、増幅してトランスで絶縁を行ない、同期整流をする。これを直流増幅し出力とする。直線性をよくし、低ドリフトにするため出力を抵抗分割し、トランジスタチョップにより再度交流にしトランスで絶縁を行ない、入力のチョップにフィードバックする方式である。このブロック図で、交流および直流増幅器にリニアICを使用しているので部品数は少ない。入力

表2 演 算 増 幅 器 の 性 能

形 式	AOA-01	AOA-02	AOA-03	AOA-04
用 途	はん用形 リニアICの みで最も経済 的	高精度形 FETチョッ パーを使用し た複合形	中出力形 リニアIC出 力をトランジ スタで増幅	大出力形 リニアIC出 力をパワート ランジスタで 増幅
直 流 電 圧 利 得 (min)	80 dB	140 dB	80 dB	80 dB
出 力 (max)	±12V 1.2mA ±10V 5 mA	±10V 5 mA	±12V 1.2mA ±10V 50 mA	±10V 500mA
負 荷 (min)	2 kΩ	2 kΩ	200 Ω	20 Ω
入 力 電 圧 (max)	±20 V	±20 V	±20 V	±20 V
オフセット電圧 (max)	7.5 mV		7.5 mV	7.5 mV
オフセット電流 (max)	300 nA	5 nA	300 nA	300 nA
放 置 ド リ フ ト * (max)	±200 μV/8H	±30 μV/8 H	±200 μV/8 H	±200 μV/8 H
温 度 ド リ フ ト *	200 μV/℃	10 μV/℃	200 μV/℃	200 μV/℃
電 源 変 動 ド リ フ ト * (max)	10 mV/V	0.45 mV/V	10 mV/V	10 mV/V
周 波 数 応 答 -3dB* (min)	10 kHz	30 kHz	10 kHz	10 kHz
電 源 電 圧	±15 V	±15 V	±15 V	±15 V
1 素 子 当 り の 消 費 電 流 (無 負 荷)	3 mA	15 mA	10 mA	20 mA
出 力 短 絡 保 護	有	有	無	無

注：* 印は 100 kΩ—100 kΩ 係数器にて測定

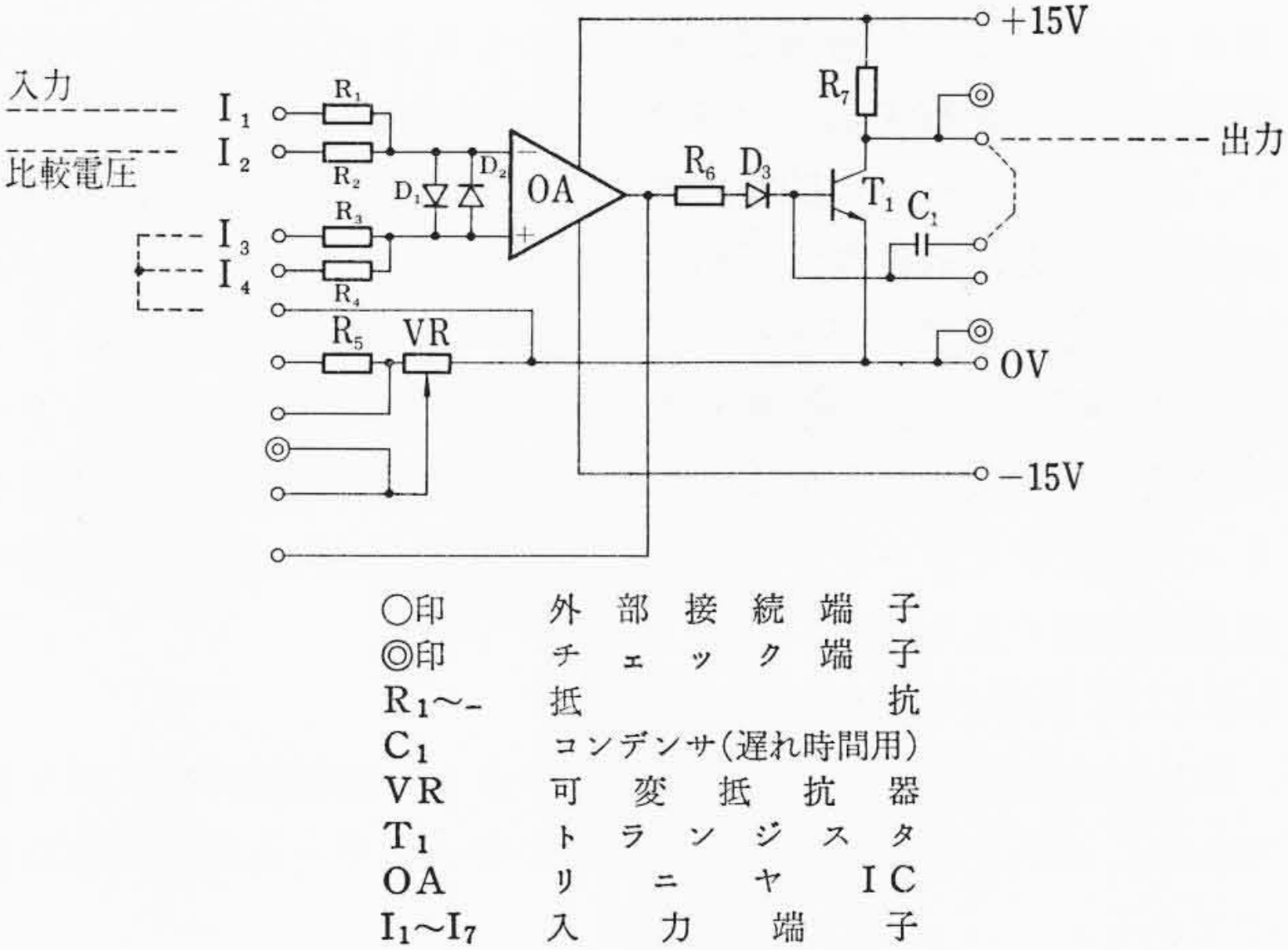


図2 比較器の回路

表3 比較器の主要仕様

項 目	仕 様
比 較 入 力 範 囲	±20 V
出 力	“1” 12 V 以上 “0” 0.5 V 以下
負 荷	15 V の DTL 最大5個
入 力 抵 抗	100 kΩ 以上
応 答 (100% 応答)	C ₁ なし 100 μs 以下
分 解 能 (設定点のずれ)	C ₁ 接続 30 ms ±10% 以下
温 度 ド リ フ ト	±20 mV 以下 at 0~70℃
電 源 変 動 ド リ フ ト	±10 mV 以下 at 15V ±3%
電 源	±15 V 5 mA/回路

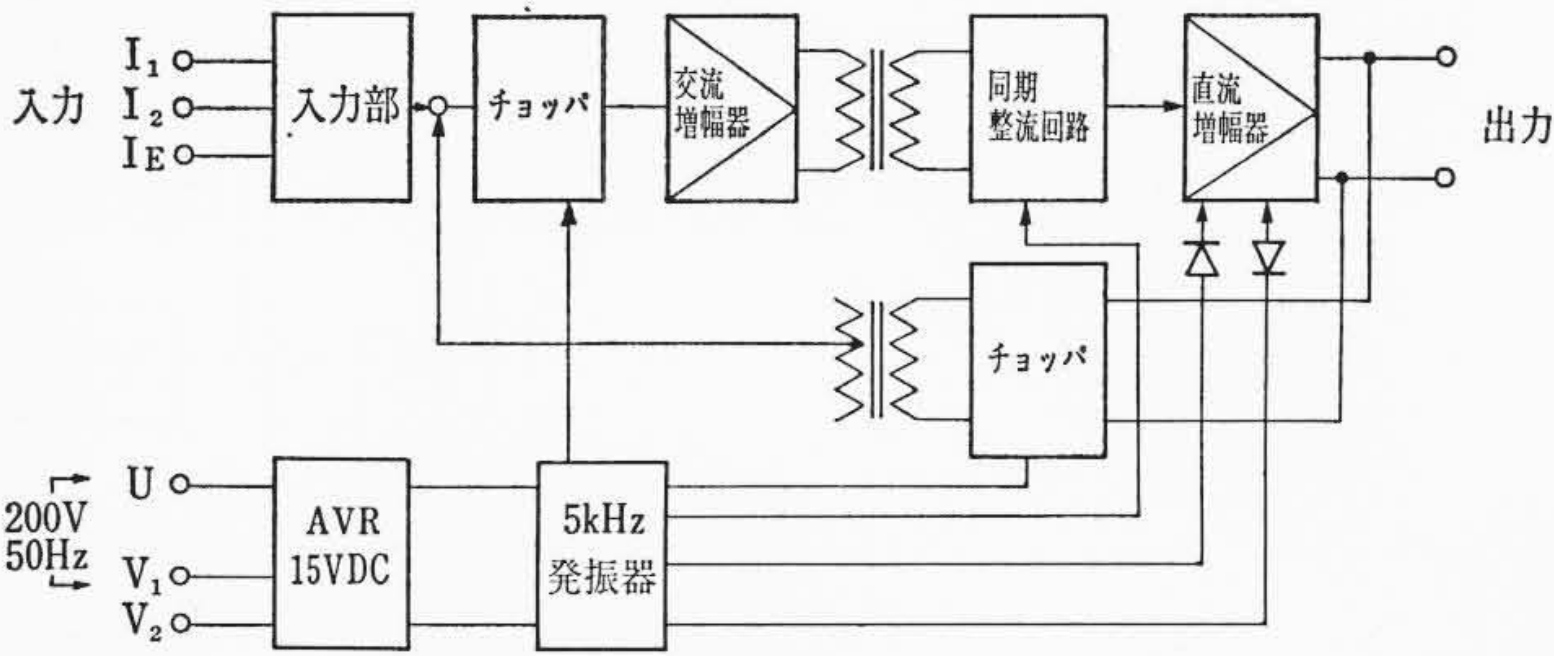


図3 絶縁増幅器のブロック図

10V入力端子のほかに100mV端子があり、電流計のシャントからでも信号を取り込むことができる。またサイリスタの出力の点弧サージ、交流電源からの誘導など最も外乱の受けやすい所に接続されるため、過大入力から保護され、リップル入力による出力への影響を防止し、かつコモンモードノイズによる誤差を小にする回路構成になっている。

2.2.6 D-A 変換器

アナログ制御装置を制御用計算機またはデジタル制御装置からの指令で動作させるときのインターフェイスとして使用される。一般にD-A変換器は制御用計算機のアナログ出力素子として計算機システム内にあるが、大きなプラントでは制御対象が計算機室と離れているため、デジタル伝送の端末部としてアナログ制御装置にも必要である。本シリーズでは純2進11ビット方式とBCD3けた方式の2種類を標準とする。いずれもリニアICの演算増幅器を使用したダイオードスイッチによる重み重畳方式で、ダイオードの正方向温度特性を特殊な基準電源回路により完全に補償している。

2.2.7 アナログゲート

マルチプレクサまたは電動機の正逆切換のアナログ制御回路に使われる。アナログ回路のスイッチとしてはリードリレー、水銀接点リレーなどの長寿命で安価なものもあるが、即応性、半永久的寿命の特長を有するため無接点のアナログゲートは用途が広い。アナログゲートの問題点はスイッチがオンしたとき、残留抵抗があること、通電電流が小なることおよびオフしたとき、スイッチに漏れ電流が流れることである。これらは電界効果トランジスタ(FET)技術の進歩により解決されつつあるが、本シリーズの最大通電電流は1mAである。このFET方式のほかに本シリーズではダイオードブリッジ方式がある。これは演算増幅器の帰還短絡用である。

2.2.8 インピーダンスユニット

2.2.1の演算増幅器の演算インピーダンス取付用のプリント板である。ポスト端子が用意してあるのでユーザーも簡単に取り付けできる。

2.2.9 チェックユニット

各プリント板のチェック端子の電圧を測定する電圧計と擬似入力信号の電圧および電流源より成る。

2.3 専用素子

標準の制御回路を1枚のプリント板にまとめたものである。表4は圧延機プラント用専用素子を示したものである。制御ループの利得、時定数の調整はいずれも外部の接続変更のみで可能である。

表4 圧延機プラント用専用素子

番号	名称	形式	ブロック図	機能
1	速度指令回路	HSP-01		簡易形の指令装置
		HSP-02		標準の指令装置
2	速度制御回路	ASR-01		比例積分制御 一次遅れ制御 比例制御
		HSR-01		比例積分制御 (油圧圧下用)
3	電流制御回路	ACR-01		比例積分制御 積分制御
		ACR-02		
4	EMF 回路	AEM-01		界磁の電流制御
		AEM-02		
5	張力指令回路	ATN-01		ベイオフリール テンションリール の張力パターン用
6	零電圧検出回路	HND-01 HND-02		検出特性遅れ時間 調整可能 (HND-01は油圧 圧下用)
7	フィルタ	MFT-01		300/330Hzの帯域 フィルタ
8	正逆切換回路	HCH-01 HCH-02		HCH-01, 02の組合せ でサイリスタの電流切 換信号を発生する。

3. 制御回路

次に、先に標準化した自動速度制御回路⁽¹⁾の二・三の例について、専用素子を応用した制御回路について述べる。

3.1 自動速度制御回路

図4が標準化された速度制御回路の一例であるが、図中に示したように、本回路をもとに開発した専用素子を4枚使用することにより構成されている。従来、トランジスタ使用時、1個の制御ボックスを構成していたものを、そのまま、1枚または2枚の専用パッケージにまとめている。

専用素子は、IC演算増幅器と演算インピーダンスと一緒に組み込まれたものであるため、使用にあたっては便利なものであるが、1枚のプリント板となっているため、1箇所でも要求を満たさない部分があると、使いづらいものになってしまう。したがって、この

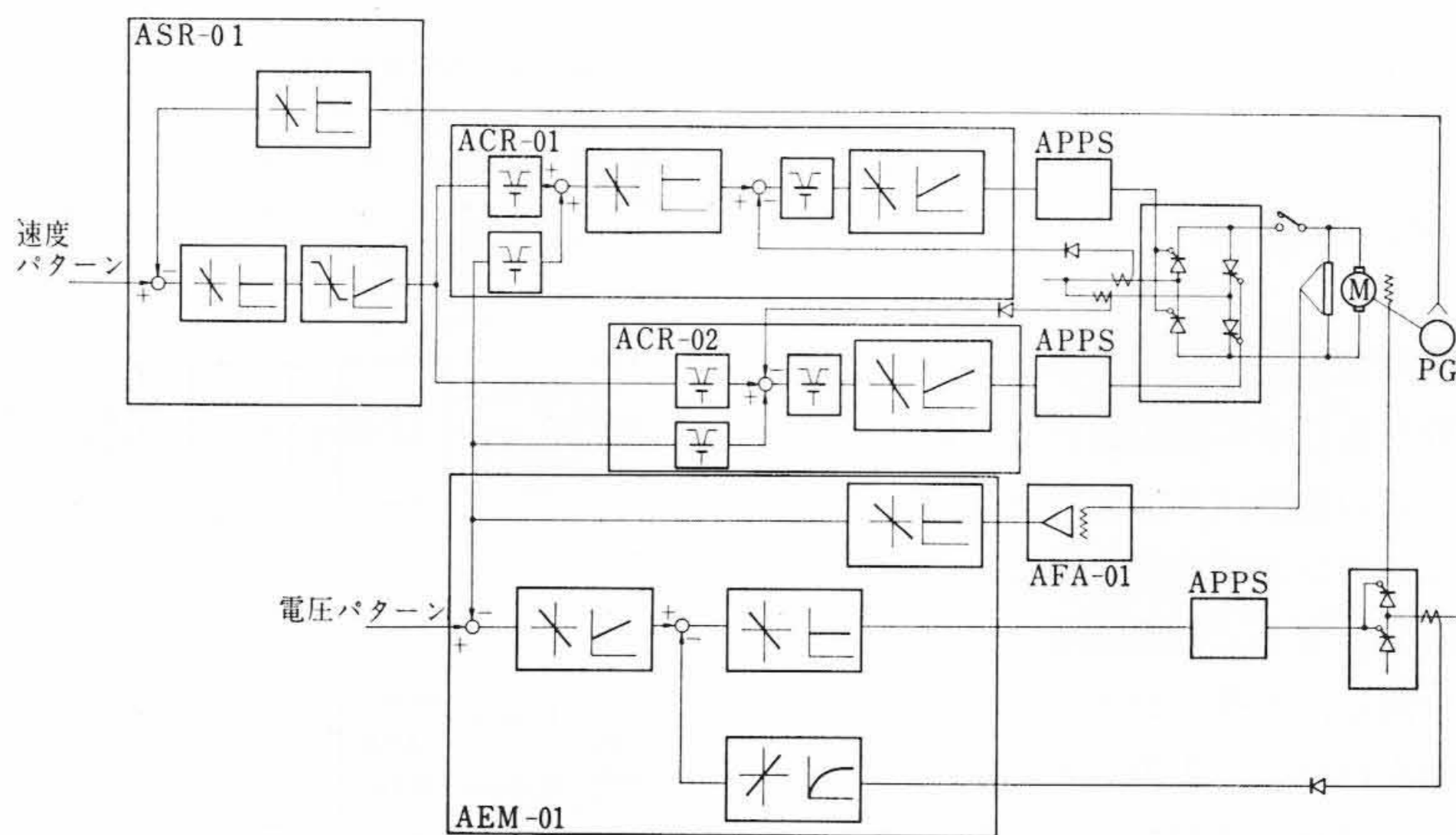


図4 自動速度制御回路

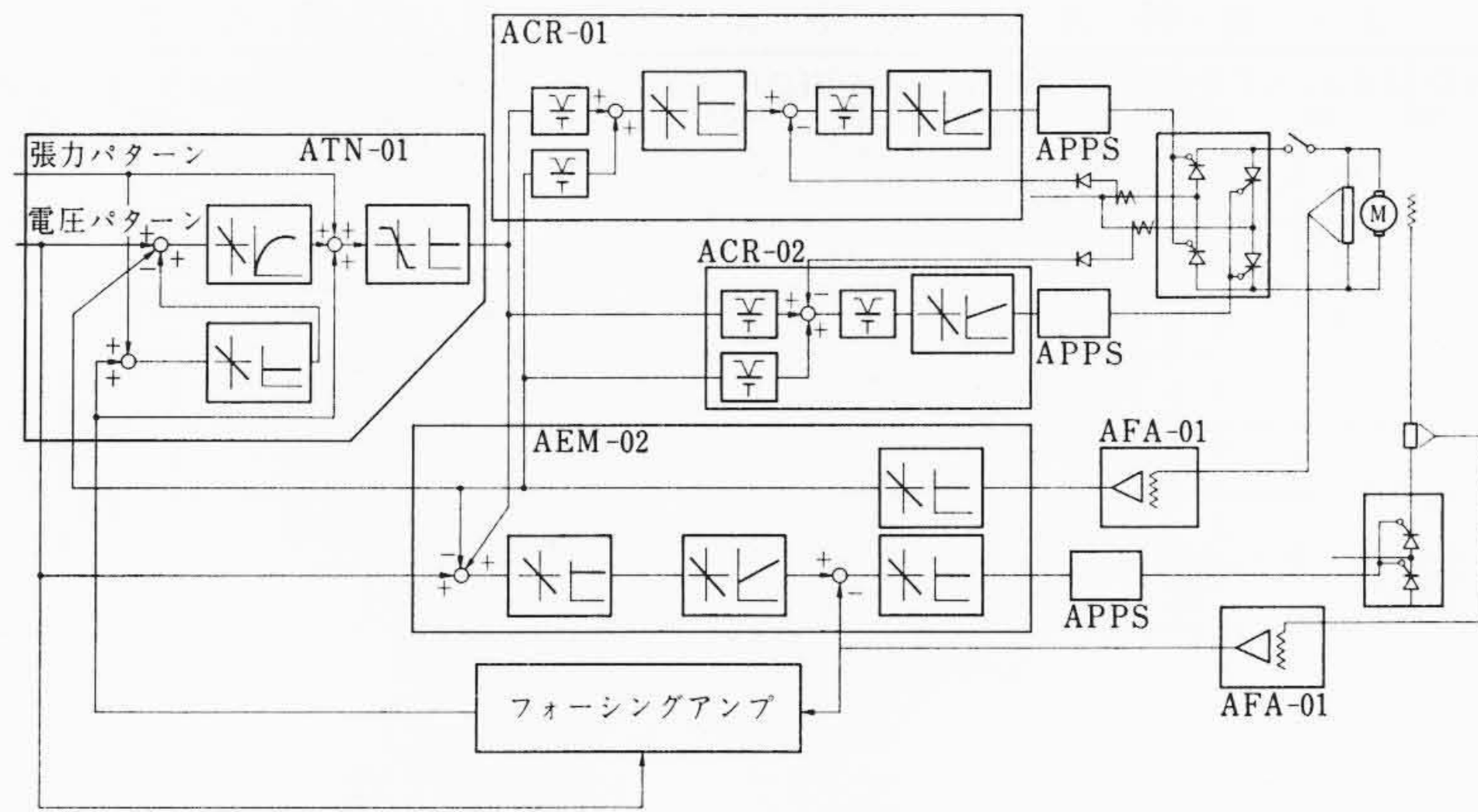


図5 自動張力制御回路

専用素子の開発にあたってはおもに次の事項に注意した。

- (1) すでに標準化され実績のある回路であること。
- (2) 対象とする機器は多種多様であるため、制御系の回路定数は一律には定まらない。これに対処するため、素子内あらかじめ予想される値のコンデンサ、抵抗器を数種組み込んでおき、要求により、外部端子の接続を選定することにより可能とした。これは回路定数に限らず、その機能を部分的に少し変更することも可能になるよう考慮した。
- (3) 制御基準電圧を統一した。回路定数値を可能な限り統一する必要があるため、指令値、速度、電圧、電流などのフィードバック量をおのおの、同一の値で使用するよう統一した。

これらにより、多種の回路について、同一素子を使用しているため、万一のトラブルに備えての予備品としては、少数にてじゅうぶんである。個々の素子についてその特長を述べると、

ASR-01 寸動速度パターン、および符号変換用増幅器をあらかじめ内蔵している。

ACR-01, 02 無接点スイッチ（アナログゲート）、停止時パターンなどを内蔵している。

AEM-01 誘起電圧パターンおよび符号変換用増幅器をあらかじめ内蔵している。

自動電圧制御回路については、上記と全く同一の構成であるが一部の外部接続の変更により実施している。すなわち、AEM-01においては、誘起電圧制御をやめる。ASR-01においては、制御の補償方式を一部変更している。

3.2 自動張力制御回路

巻取機などの張力制御回路に適用した例として、標準化シリーズの一例を示したのが図5である。図中に示したように、この場合は専用素子を4枚使用するほか、フォーシング演算回路に数枚の基本素子を使用している。専用素子の考え方は前述と同様であり、個々については次の特長がある。

ATN-01 寸動速度パターンおよび切換信号用増幅器を内蔵している。

AEM-02 コイル径記憶用コンデンサを内蔵している。

ACR-01, 02 については、先の速度制御回路と全く同じものを使用している。フォーシング演算回路については、その構成内容の特異性から基本素子シリーズを採用している。このときの問題点は、演算素子（例、AOA-01）と演算インピーダンスが同一プリント板でないためなどでやや複雑になる点である。

3.3 そのほかの付属回路

(1) 指令装置

速度または電圧の指令装置として、標準化された指令装置の回

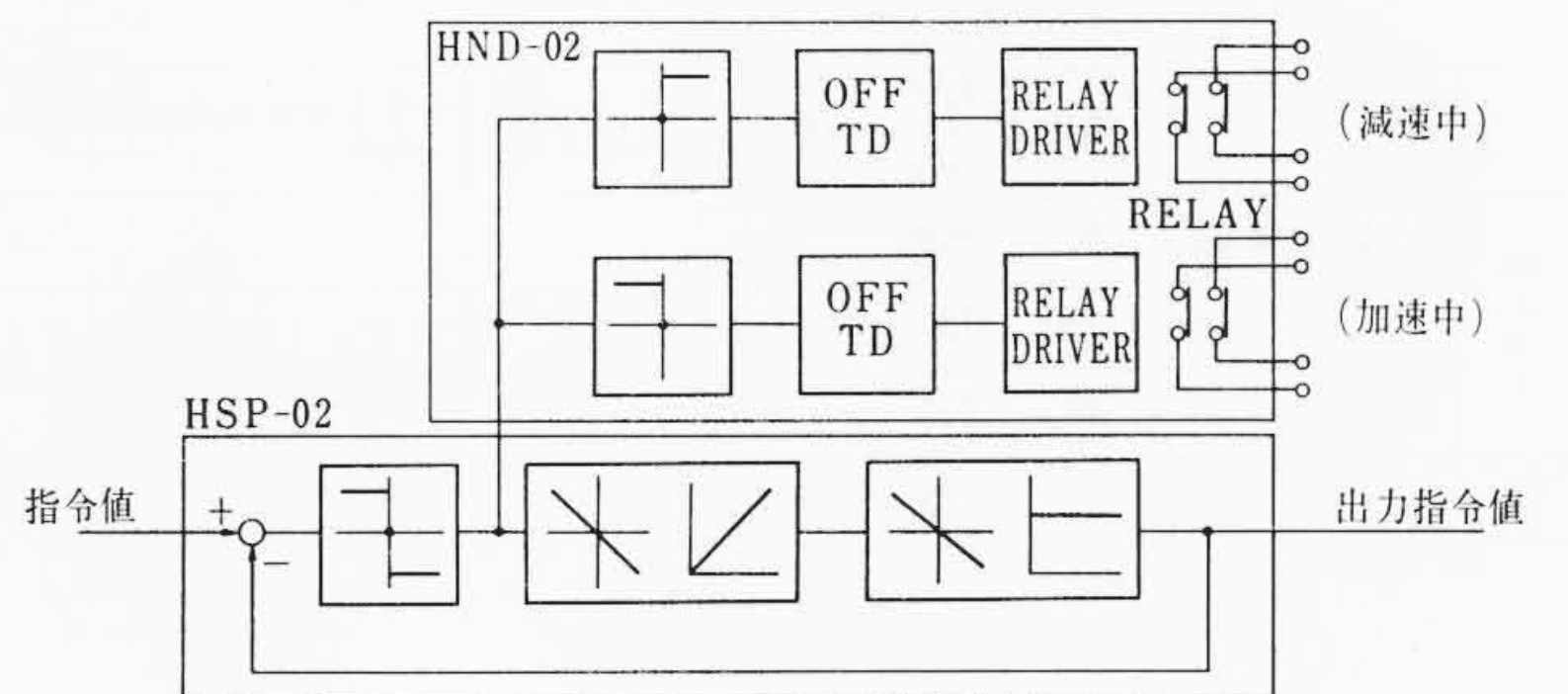


図6 指令装置の一例

路のおのおのについて、専用素子が開発されている（HSP-01, 02）。

図6はHSP-02とHND-02を使用しての、加減速信号を持った指令装置の例を示したものである。HND-02は外部端子の接続を適当に変えることにより、ON時間遅れ、OFF時間遅れおよび時間遅れなしの機能をもたせることができる。

(2) 電流切換論理素子

無循環電流切換用論理素子（HCH-01, 02）が上記、ACR-01, 02用として準備されており、無接点スイッチへの信号を出す。この素子には、これとは別に、指令信号および運転電圧信号を検出することにより、停止制御の機能をもたせている。

これらのほかIC回路に使用する接点（リレー）のプリント板化（MRY-01）や、保守、点検を容易にするための点検回路のユニット化（MCK-01）も実施し、実装を便利にしている。

最後にまとめとして、冷間圧延機の場合の制御方式による各素子の構成数の例を示すと表5のようになる（基本的なもののみ示し、電源および付属品関係は省略した）。

4. 実 装

4.1 素子の実装（ユニット）

素子（プリント板）は高さ135mm奥行175mm幅15~45mm（取付部品により15mm, 30mm, 45mmの3種ある。）を使用している。この素子の実装は、高さ150mm奥行225mm幅480mmのユニットで行なわれる。これには15mmごとに24のガイドを設けている。前述に示したように、速度および電圧制御では8~10枚の素子で構成することになるため、通常1ユニットでまとめられるが、いつも同時に使用する絶縁増幅器2台を一緒に実装することを考えて2ユニットでまとめられている。このとき、2ユニットではあるが、同一ユニットと同じ扱いとし、裏面の同一面上で一体配線しているので保守は容易である。また、素子の形式ごとにそう入個所をほぼ同一に定めて点検を容易にしている。

表5 制 御 方 式 別 各 素 子 の 構 成 数 の 例

形 式	HSP -02	HND -02	ASR -01	ACR -01	ACR -02	AEM -01	AEM -02	HCH -01	HCH -02	ATN -01	MFT -01	AFA -01	AMT -02	AFG -01	AIP -02	AOA -01	AOA -02	AOA -03	MR Y -01
制御方式																			
界磁制御付速度制御			1	1	1	1		1	1		1	2							2
界磁可変速度または 電圧制御			1	1	1	1		1	1		1	*2							2
界磁固定速度または 電圧制御			1	1	1	1		1	1			*2							2
巻太り制御付張力制御				1	1		1	1	1	1		2	1	1または2	4	2	1		4
界 磁 可 変 張 力 制 御				1	1		1	1	1	1		2	1	1または2	4	2			4
界 磁 固 定 張 力 制 御				1	1		1	1	1	1		2	1	1または2	3	2			4
標 準 指 令 装 置	1	3													(1)			(1)	

注:1 * 電圧制御は 1 となる
2 () は特殊制御のとき加算

表6 盤・ユニット・素子の関係

	寸 法 (mm)			取付可能員数	備 考
	幅	高さ	奥行		
盤	600	1,900 または 2,300	500	ユニット9段 または11段	最下段には外部端子板 取付
ユ ニ ツ ト	定 電 圧 電 源	480	150	225	
	ラ ッ ク	480	150	225	素子最大 27 枚 まで取付可
	リレーラック	480	150		リレー27個程度
素 子		135	175		幅は形式により 15~120 mm(但し 15mmピッチ)

FRONT VIEW SIDE VIEW BACK VIEW

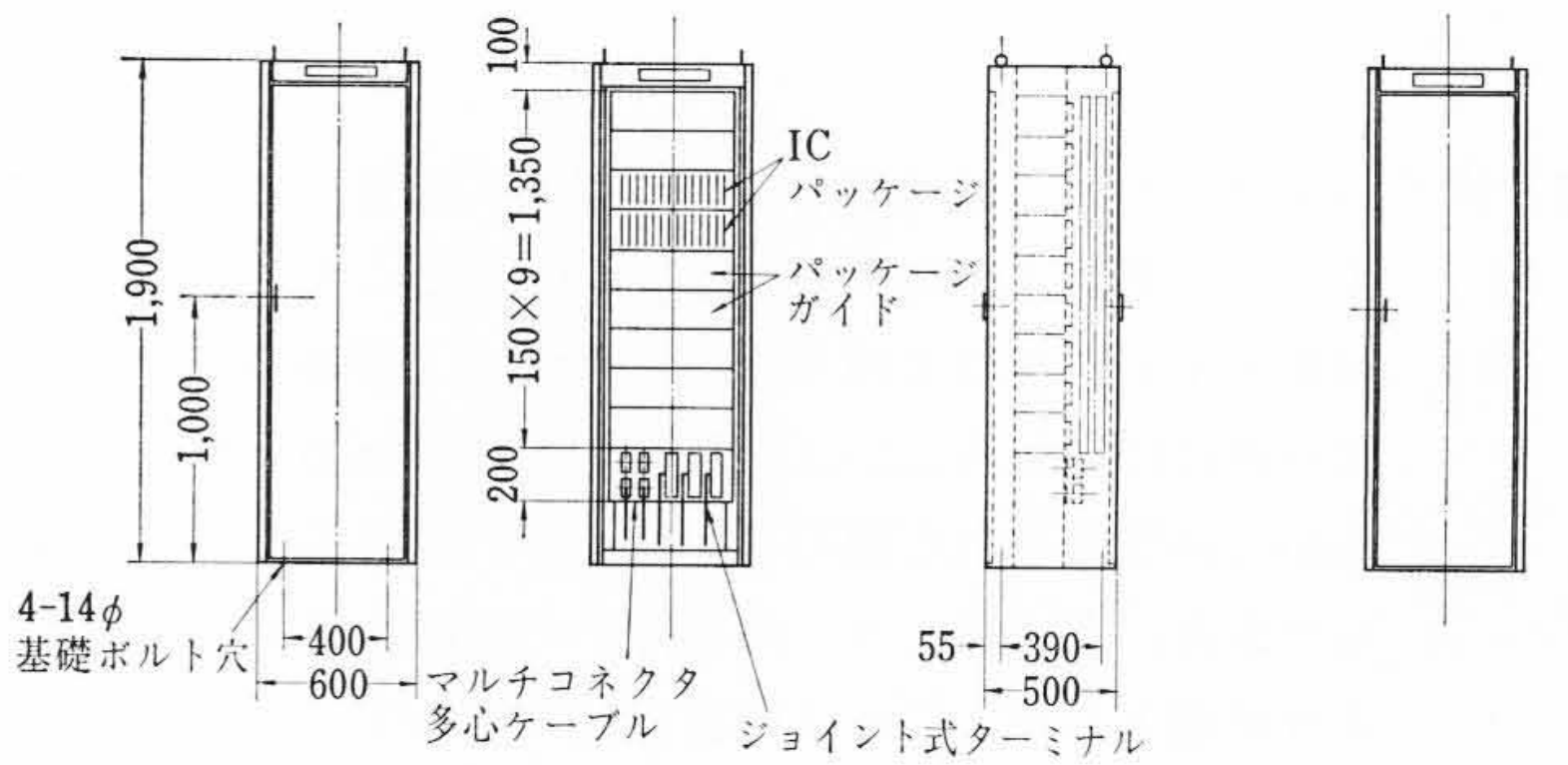


図 7 IC 制御盤寸法図

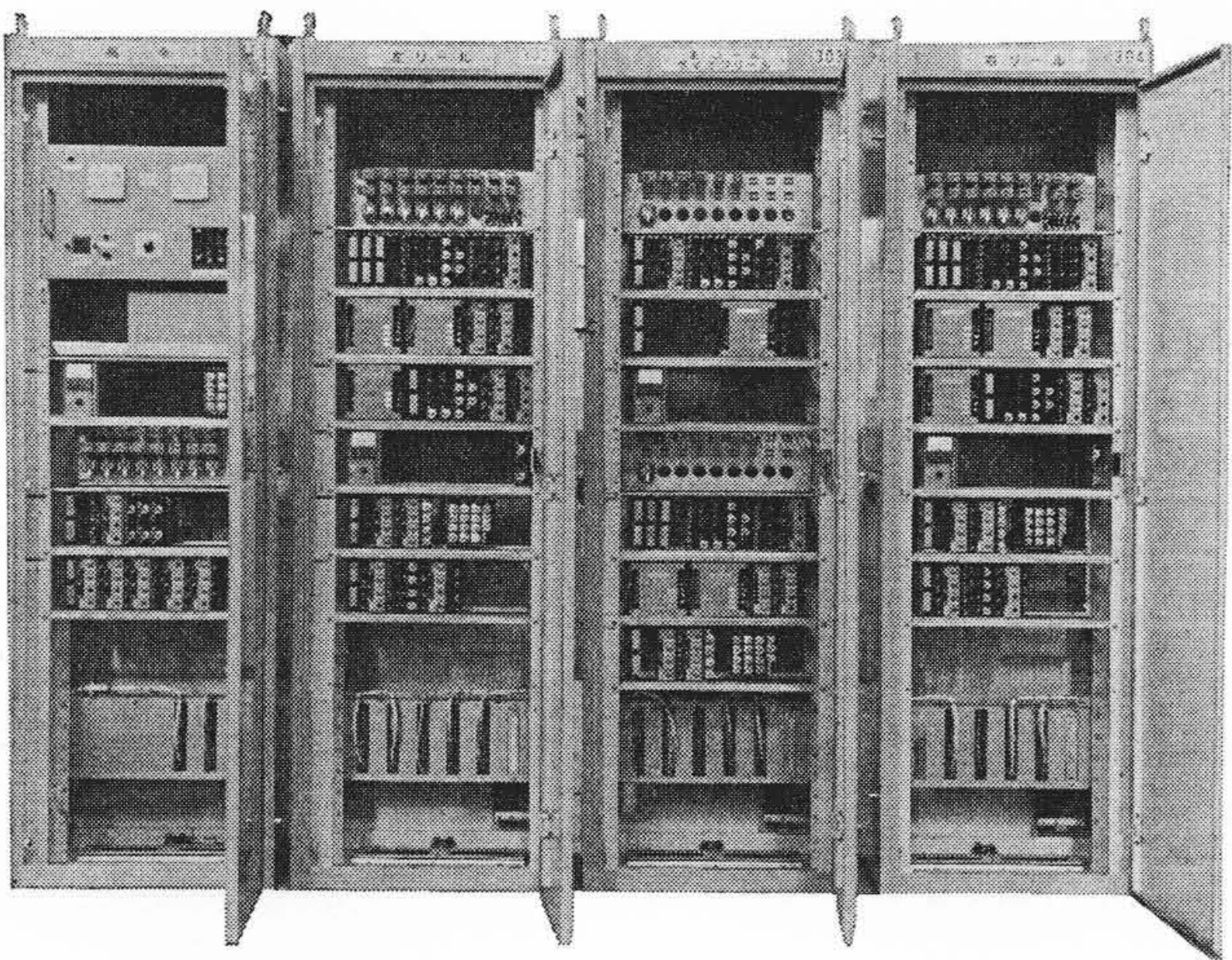


図 8 列盤構成された IC 制御盤

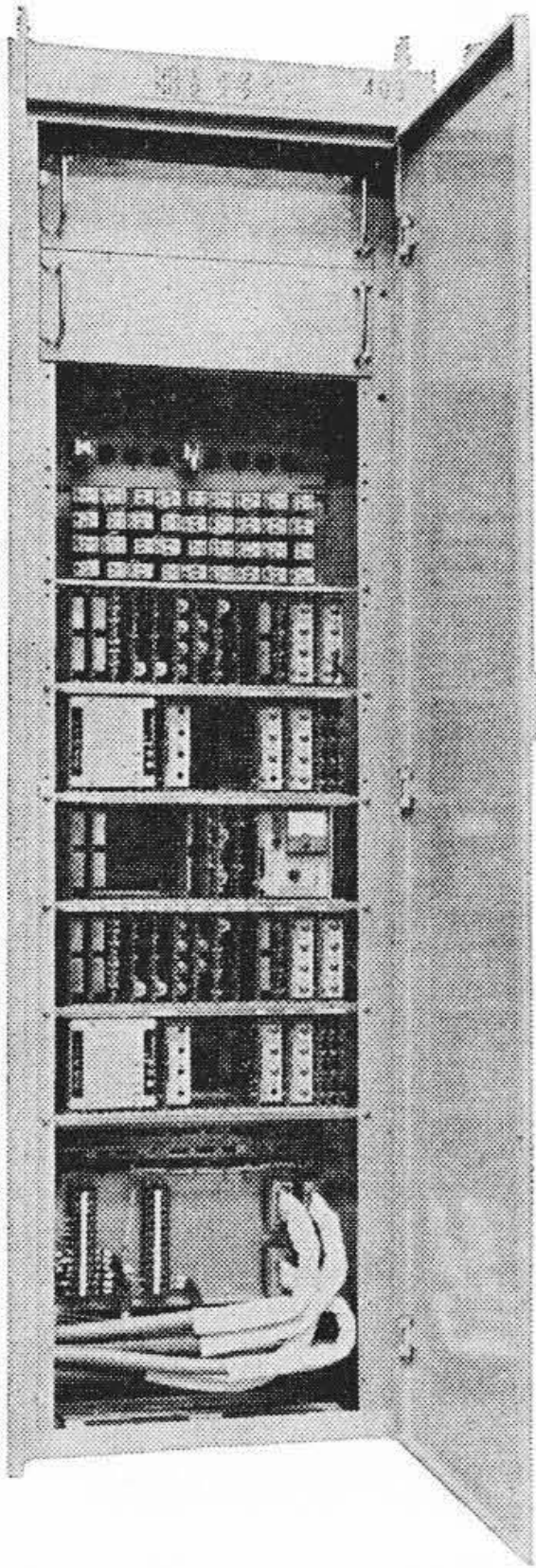


図 9 IC 化された制御盤
(自動速度制御回路の例)

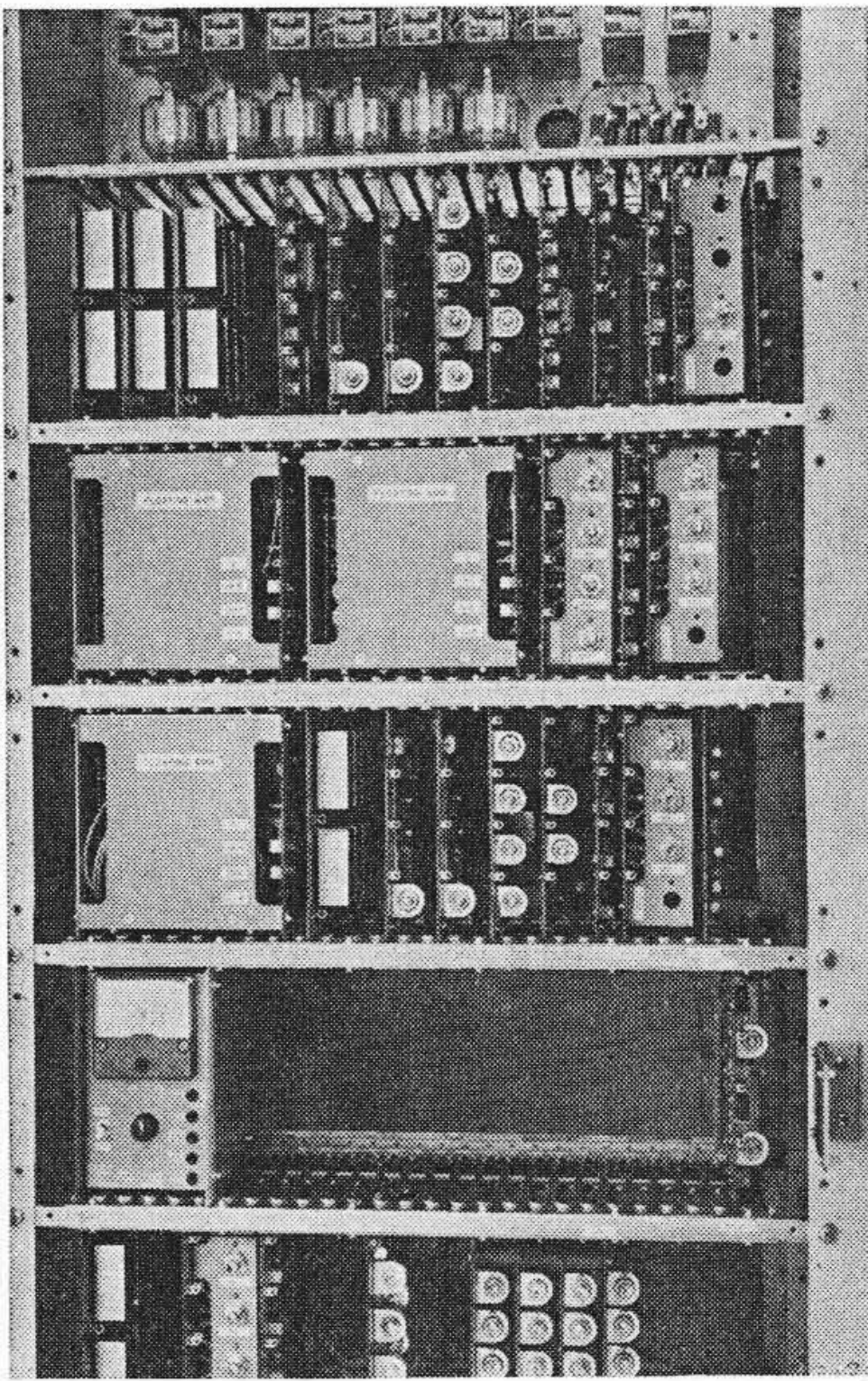


図 10 盤に実装された IC 化
アナログ制御素子

張力制御の例では、15~20 枚の素子となる場合が多いため、絶縁増幅器も含めて、3 ユニット分を使用し、これ全体を1 ユニットとして配線処理している。これは、各ユニットごとに一つの制御系を構成することを目的としたものである。

このほか、冷間圧延機を例にとれば、指令装置およびドラフト補償回路、連動回路を構成するユニットがある。また付属ユニットとしては、電源（定電圧電源）および接点回路を作るリレーユニットが、同じ 150×225×480 またはその整数倍の大きさのユニットとしてまとめられている。

4.2 盤 の 構 成

トランジスタを使用していたときと異なり演算器を中心に小形化されたため実装密度が向上したことを考慮して、盤内および盤間配線について検討した。盤の大きさは、幅 600 mm、高さ 1,900 mm もしくは 2,300 mm、奥行 500 mm で、先のユニットを 9~11 段実装することができる。

特に盤外に出る線本数は実装密度の向上で増大したため、列盤が多くなるときは、列盤の端部に中継盤を設けて、外部配線をすべてこの盤に受けて処理することになっている。このとき、盤間接続用に

はマルチコネクタを採用し、多心ケーブルにより接続を容易にしている。この場合防じん効果を高めるために、盤の最下段には、配線用ダクトを設置するよう考慮している。

表 6 は、盤ユニットおよび素子との大きさの関係を示したものである。

図 7 は IC 盤の寸法図を図 8 は列盤構成写真を、図 9、10 は IC 化アナログ制御盤の部分写真を示している。

4.3 保 守 点 検

装置の動作状況を監視するため、それぞれのパッケージには測定端子がもうけられており、各ステージの出力はもち論のこと、各可変抵抗器のセット値も測定できるようになっている。各制御キュービクルごとにチェックユニットが設けられているので、各部の電圧チェックができるとともに、このユニットには電圧および電流源端子があり、擬似入力を加えることができるので、たとえばステップ応答などが容易に測定できるよう考慮されている。

故障時予備パッケージと交換する際パッケージ内部の可変抵抗器がセットされたり、また故障個所を調査するための IC チェッカーが準備されている。図 11 はその写真である。

5. 結 言

制御素子の IC 化により装置全体の信頼性は従来の個別部品を使用したものに比べ、1 オーダー向上し、MTBF (Mean Time Between Failure) は画期的に向上した。また一方、小形化により機能別もしくは基本素子としてパッケージ化され、いったんトラブルが

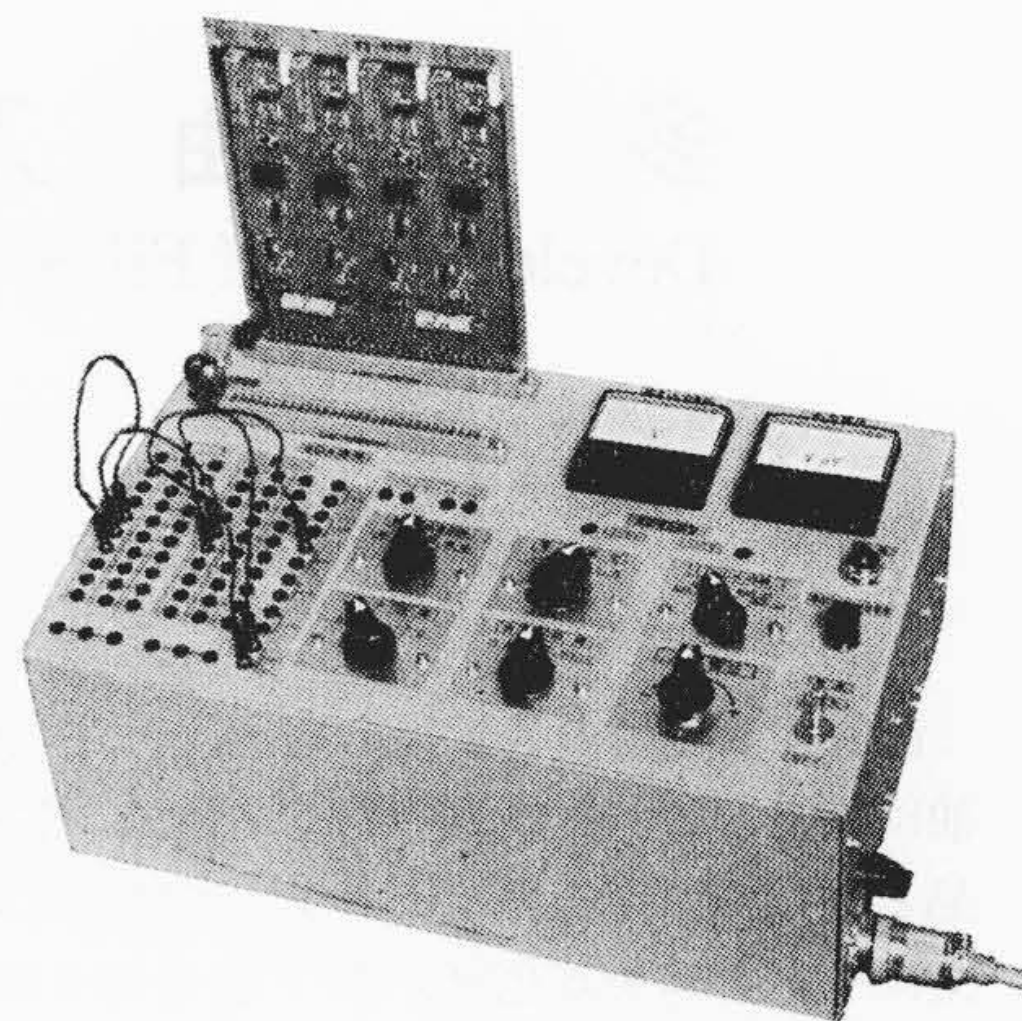


図 11 チェッカー

発生した場合にはパッケージごと予備パッケージと交換することにより MDT (Mean Down Time) もあわせて向上し、稼働率の良好な機械装置を提供できるようになった。本稿では IC 化シリーズについてその素子および、素子を使用しての制御装置の一例を紹介した。日立製作所においては昭和 42 年ころから装置の一部にリニヤ IC を採用したが、その実績と素子の量産化をみながら順次 IC 化に切り換え、現在においてはほとんどの電動力応用分野において制御装置の IC 化が実施されている。

参 考 文 献

- (1) 齊藤, 神山: 日立評論 52, 598 (昭 45-7)

Vol. 32

日 立 造 船 技 報

No. 2

目 次

■ 論 文

- ・ 舶 用 二 元 燃 料 機 関 の 開 発
- ・ 調質 80 kg/mm² 級高張力鋼溶接継手のボンドぜい化を克服した新しいエレクトロスラグ溶接法 (HINES 溶接法)

- ・ 鉦石専用船および鉦石/油兼用船の横強度の検討
- ・ 秋 田 県 鉦 さい の パ イ プ 流 送
- 一 水 力 輸 送 に 関 す る 検 討 一
- ・ S C P 廃 液 の 熱 分 解
- ・ 噴 霧 液 滴 の 噴 出 速 度 の 測 定 法

………本誌に関する照会は下記に願います………

日 立 造 船 株 式 会 社 技 術 研 究 所
大阪市此花区桜島北之町 60 郵便番号 554