

日本船舶振興会昭和49年度補助事業  
“船舶の構造・性能に関する基礎的研究”

研究資料 No. 217

## 第135研究部会

### 造船工作における適応制御に関する研究

#### 報 告 書

昭和50年3月

社 团 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

## はしがき

本報告書は日本船舶振興会の昭和49年度補助事業「船舶の構造性能に関する基礎的研究」の一部として、日本造船研究協会が第135研究部会においてとりまとめたものである。

### 第135研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	木原 博	(東京大学)
主査	栖原 二郎	(九州大学)
幹事長	宗正	(日立造船)
幹事	斎藤 安雄	(日本钢管)
委員	仰木 盛綱	(佐世保重工業)
	小野 靖彦	(川崎重工業)
	高瀬 三郎	(名村造船)
	鈴木 美暢	(三井造船)
	滝沢 晃	(日立造船)
	辻 勇	(九州大学)
	藤田 讓	(東京大学)
	望月 勇	(臼杵鉄工所)
	山川 正彦	(佐野安船渠)
	荻原 友男	(日本钢管)
	高武 淳夫	(石川島播磨重工業)
	根岸 良平	(日立造船)
	富田 淳	(小池酸素工業)
森口 茂	(三井造船)	
大野 伊左男	(住友重機械工業)	
小泉 和夫	(函館ドック)	
佐藤 邦彦	(大阪大学)	
平良 成則	(石川島播磨重工業)	
竹内 秀司	(川崎重工業)	
前沢 祐一	(三菱重工業)	
横田 金典	(三菱重工業)	
篠路 真三	(日本海事協会)	
玉井 正彦	(大阪造船所)	
福田 正夫	(石川島播磨重工業)	
正木 喬	(三菱重工業)	
早崎 英彦	(田中製作所)	

### 加工小委員会委員名簿

(敬称略、順不同)

委員長	小野 靖彦	(川崎重工業)
委員	斎藤 安雄	(日本钢管)
	鈴木 美暢	(三井造船)
	正木 喬	(三菱重工業)
	早崎 英彦	(田中製作所)
	福本 道樹	(川崎重工業)
	仰木 盛綱	(佐世保重工業)
	平良 成則	(石川島播磨重工業)
	根岸 良平	(日立造船)
	富田 淳	(小池酸素工業)
	稻見 俊	(川崎重工業)

### 組立小委員会委員名簿

(敬称略、順不同)

委員長	大野 伊佐男	(住友重機械工業)
委員	河島 洋征	(三井造船)
	平良 成則	(石川島播磨重工業)
	前沢 祐一	(三菱重工業)
	中山 繁	(川崎重工業)
	福間 義典	(住友重機械工業)
	荻原 友男	(日本钢管)
	福田 正夫	(石川島播磨重工業)
	斎藤 安雄	(日本钢管)
	徳永 照夫	(住友重機械工業)

船台船渠小委員会委員名簿

(敬称略、順不同)

委員長	竹内秀司(川崎重工業)		
委員	高武淳夫(石川島播磨重工業)	横田金典(三菱重工業)	
	伊予進(日立造船)	加藤孝雄(三菱重工業)	
	玉井正彦(大阪造船所)	大西教雄(川崎重工業)	
	田所修一(川崎重工業)	砂川祐一(名村造船所)	
	高嶋徹司(名村造船所)	河村隆昭(日立造船)	
	山川正彦(佐野安船渠)	滝沢幌(日立造船)	
	網本建夫(佐野安船渠)	佐藤信武(石川島播磨重工業)	
	日野孝良(安川電機製作所)	野中宏将(安川電機製作所)	

# 目 次

1.はじめに	1
2.適応制御について	3
2.1 適応制御	3
2.2 適応制御の方式	3
2.3 適応制御の目的と効果	4
3.造船工作における適応制御	5
3.1 造船工作における適応制御	5
3.2 造船における機械化・自動化の実状	5
3.2.1 加工工程	5
3.2.2 組立工程	7
3.2.3 船台・船渠工程	7
3.3 適応制御の必要性	8
3.3.1 適応制御の必要性	8
3.3.2 適応制御導入の手順	9
3.4 適応制御における二、三の例	9
3.4.1 加工工程	9
3.4.2 組立工程	10
3.4.3 船台・船渠工程	11
4.適応制御機構の開発と実用化の研究	13
4.1 加工工程	13
4.1.1 研究の経緯	13
4.1.2 丸円切断可能な切断用ロボットK改型の機構と工場実験	13
4.1.3 切断用ロボットの実用試験	25
4.1.4 切断用ロボットの仕様、性能比較	28
4.1.5 フレーム検出、自動ピアシングおよび失火検出の機能を備えた切断装置に関する研究	30
4.1.6 予熱炎と最適切断速度の自動調整に関する研究	35
4.2 組立工程	46
4.2.1 研究の経緯	46
4.2.2 板継ぎ作業用ロボットの概要	46
4.2.3 操作方法	50
4.2.4 装置の主要仕様	50
4.2.5 実験結果と解析	53
4.2.6 板継ぎ作業用ロボット応用の二、三の例	62
4.3 船台・船渠工程	65
4.3.1 研究の経緯	65
4.3.2 船体登はん装置の仕様	65
4.3.3 設計上の留意点	81

4. 3. 4 実験結果と解析	84
4. 3. 5 實用化のための検討	88
4. 3. 6 船体登はん装置の応用	89
5. 造船工作の機械化・自動化推進に関する考察	91
5. 1 加工工程	91
5. 1. 1 ガス切断	91
5. 1. 2 外板のプレス曲げ	91
5. 1. 3 外板の線状加熱曲げ	94
5. 1. 4 形鋼のけ書き切断	97
5. 1. 5 条材の冷間曲げ	99
5. 2 組立工程	102
5. 2. 1 組立工程の機械化、自動化の方向	102
5. 2. 2 曲り外板組立工程の各作業における機械化、自動化の方向と問題点	102
5. 2. 3 曲り外板ブロック組立の自動化ラインの一試案	109
5. 3 船台・船渠工程	110
5. 3. 1 現状の工程	110
5. 3. 2 船台・船渠工程への適応制御の適用	110
5. 3. 3 結論	111
6. まとめ	112
付録 造船工作の現状分析	115

## 1. はじめに

造船工作における近代化は最終的に自動化NC化に発展することは明らかであろう。

現在NCガス切断機による書き、切断工程の合理化はすでに軌道に乗り、省力と精度向上に成果をあげつつある。しかし自動化、NC化の諸設備は高価であり、投資効率向上の面からも、その稼動率の向上はきわめて重要な課題である。特に複雑な形状をもつ大型工作物を対象とする造船工作では、その工作過程において人手の介入を必要とするなど、稼動率を低下させる要因がきわめて多く、今後予想される自動工作機の大幅な採用にそなえて予めこれらの要因を解明し、その対策を講ずる必要がある。

本研究は大型工作物を対象とする全工作過程の効率化を目的とし、そのためNC機、自動化機に適応制御を取り入れることによって、その実現を期待しようとするものである。

本研究を実施するにあたっては、対象を船殻工作のみにかぎることとし、次の2項目を作業の骨幹として研究を進めるとした。

### 1. 適応制御応用作業の調査研究

### 2. 適応制御機構の開発

また、この研究は昭和47年度を初年度とする3か年の継続研究とし、研究を進めるにあたって、工程別に加工・組立・船台船渠の3小委員会を組織した。

#### (1) 昭和47年度の研究

初年度は主として基礎研究を行なった。すなわちまず全工程にわたって造船工作的機械化、自動化に必要な制御因子を調査した。この調査によって、制御という観点からの造船作業の分析を行なうことができた。ついで適応制御の応用に関する調査を行ない、その可能性を追求した。その結果、加工工程ではガス切断加工、鋼板あるいは型鋼の曲げ加工などに適用可能であるという結論を得た。

また組立工程では曲り外板ブロックの組立作業を研究対象とすることとし、このステージにおける自動化および適応制御の応用に際して当面する問題点の所在を明らかにした。

船台船渠工程においては、この工程における作業そのものの解明から出発することとした。すなわち機能を中心として考えた新しい作業区分をつくり、この区分にしたがって制御フローを作成したが、この研究を通じて船台船渠工程において自動化の対象とされる作業の種類が明らかとなった。

一方適応制御機構の開発研究の一環として、切断用ロボットの作動に関するシミュレーション・テストを行ない、これらの結果をもとに次項に述べるような次年度の開発研究計画を立案した。

#### (2) 昭和48年度の研究

適応制御応用作業の調査研究としては、組立工程における曲り外板ブロック組立作業の自動化装置についての研究と、船台船渠工程における適応制御の研究がこれに該当する。

組立工程においては、曲り部構造におけるブロックの板継ぎ作業や組立作業に機械化・自動化の上の問題がもっとも多いとして、この部分への適応制御技術の応用を研究することとした。この結果、曲り外板の板継ぎ作業用ロボット(PABOT)の構想を得、さらに、この構想を実現するために、現状における板継ぎ作業の実態の調査・整面力の計測、制御因子の選択および決定、検出機構の設計製作等の作業を行なった。また、ロボットの概略設計を行ない、自走機構、操作方法、安全性等の面からの検討も加えた上で詳細仕様を決定した。

船台・船渠工程においては、同工程を構成する各種作業の機械化、自動化を想定して提案された装置の概略仕様について

て検討を行なうのと並行して、現在各造船所で使用されている治工具や各所で開発され実用化されている各種の装置を調査した。その結果、これらの装置に共通して欠くことのできない機能として自動走行移動機能に着目し、船体内部構造部材を利用して上下に移動しうる船体登はん装置(CLIMACS)を研究の対象としてとり上げることにした。船体内部構造を利用する場合、部材寸法の変化や工作上の誤差、あるいは部材の撓み等を考慮する必要があり、適応制御の機能を付与することが重要な課題である。また、自動掃除装置を搭載した場合のシミュレーションを行ない、このロボットの有効な登はん速度について検討を行なったが、仕様書において定められた登はん速度で十分な機能を發揮しうることがわかった。

適応制御機構の開発研究として加工工程における切断用ロボットに関する研究を行なった。

切断用ロボットは船体構造に設けられている開口類の自動切断を目的としたものである。この製作にあたっては、まず位置制御用センサー性能に関する基礎実験を行ない、当初の計画を具体化しうることを確認した。ついでに走行型、自立型の2種について開発を行ない、それぞれ別個に切断用ロボットを製作したが、同一の仕様でありながら自動走行機構、自動切断機構の何れの面においても全く異なる構想に基づくものとなった。さらにこれらのロボットについて、工場実験を行なったが、要求仕様に対して期待通りの性能を發揮することが判明した。ただし、これを実用化に結びつけるには、なおいくつかの問題点があった。たとえば、(i)重量をもつと軽減する必要がある、(ii)条材へ適用しようとすれば、丸円切断機能が付加されることが望ましい、等である。また適応制御という見地からは、予熱炎の調整、ピアシング時期の選択、切断速度の制御というのは恰好の研究対象であるが、まだ研究が緒についた段階であり、これらの問題解決は次年度において行なうこととした。

### (3) 昭和49年度の研究

本年度は3か年計画の最終年度にあたる。

まず、適応制御応用作業の調査研究については、加工工程における適応制御の研究がこれに該当する。

前述のように、切断用ロボットの試作の結果いくつかの問題点が提起されたが、このうち、下記の2項目についてさらに内容を追求することとした。すなわち、

- (i) ロボットの実用化研究
- (ii) ガス切断現象の適応制御に関する研究

前者の場合、試作機の改良、改善、特に丸円切断機構の付加によって、適用範囲の拡大を狙い、また後者は予熱炎の自動調整、ピアシング時期の制御と失火の検出、切断速度の最適制御を研究対象としてえらび、特にこれらの制御に必要なセンサーの特性を研究することを基本とした。そのほか、今迄の研究によって得た知識をもとに再度、加工工程の現状を分析し、ガス切断作業以外のステージへの適応制御応用について考察することとした。

適応制御機構の開発としては、

- (i) 組立工程における適応制御の研究、すなわちPABOTの試作およびこれを活用するための生産システムの研究
  - (ii) 船台船渠工程における適応制御の研究、すなわちCLIMACSの試作ならびに、テスト結果の解析
- の2項目がある。

これらは、何れも前年度において作製された仕様書に基づいて試作されるものであり、試作過程における問題点の検討、試作機のテスト、テスト結果の解析、改良計画の立案、試作機の適用についての考察等が、本研究の主な内容である。

これらの研究業務の外、本年度は全体のまとめとして、今迄の研究を総合的に整理統合することも主眼の一つとした。したがって本報告書においては上記の計画に従がって行なった昭和49年度の研究の成果を軸に、当初からの造船工作中における適応制御に関する研究を包括して報告し、今後の造船所の自動化、機械化を推進する際のガイドラインとすることを期した。

## 2. 適応制御について

### 2.1 適応制御

適応制御の定義については種々の説があって、明確に定義することは大変困難であるが、JISの定義を中心にこれらを総合すると、次のとおりである。<sup>1)~10)</sup>

適応制御とは制御系のおかれた環境が変化し、制御系の特性が変化するような場合、それらの変化に応じて制御装置の特性をある所要の条件を満たすように変化させる制御のことである。したがって、適応制御系は制御対象が環境などから制御に必要な信号をとりだす「検出部」、この検出部からの信号と目標値に基づく信号をもとに、制御系が所要の働きをするのに必要な信号を作りだして操作部へ送りだす「調節部」、そしてこの信号を操作量に加えて制御対象に働きかける「操作部」（以上、一般的のフィードバック系）、ならびにある所要の条件をもたせた「モデル」あるいは「評価関数（Performance Index）」を有するものである。

これをサーボ系を例にとって図示すると、図2.1.1のとおりとなる。

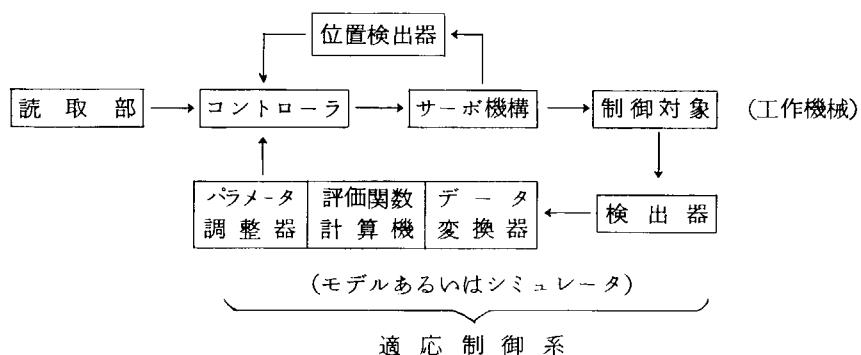


図2.1.1 サーボ機構における適応制御系

### 2.2 適応制御の方式

制御系の特性が変化するのは、制御系にいわゆる外乱が作用する結果であるが、外乱とは制御系を亂そうとする作用、つまりものごとを思うようにならなくする作用のことで、適応制御系においては一般に環境の変化が大幅あるいは急激なため、直接検知することが困難で、またそれがどれほど制御系に影響を及ぼすのか定量的に把握することも困難である。

このため、適応制御系においてはこういった検知困難な多数の外乱を、検知可能な量やその他のパラメータに基づいて、あるモデルあるいは評価関数を設定し、これを目標値や基準として間接的に制御する方法がとられている。

実際の適応制御方式は、現在実用化研究の段階で、分類することは困難であるが大略、次の4方式が考えられている。<sup>2),3)</sup>

#### (i) 準適応制御方式 (Passive Adaptation)

従来のフィードバックループに系の補償要素を付加したものでLewisサーボと呼ばれているが、環境の変化に対し積極的にパラメータを調整するまでに至っていないようである。

#### (ii) 入力適応制御方式 (Input Adaptation)

入力の性質に適応して系の制御性能を最良とするよう、パラメータを調整するもので、通信工学に例が多い。

#### (iii) 極値適応制御方式 (Extremum Adaptation)

工作機械で良く用いられている方式で、パラメータが複数の場合、これらがいかなる組合せのとき評価関係が満足されるか、種々の方法（たとえば、単一変数変化法、最大傾斜法、ランダム法、ミニマックス法などの極値探索法）を用いて、それぞれのパラメータの最適値を求める方式。

#### (iv) 動特性適応制御方式 (System Dynamic Adaptation)

もっとも適応制御的な制御方式といえるもので、制御対象あるいは制御系全体の動特性が外乱の影響を受けて、時間とともに変化するのを連続的に測定し、その結果から現在の制御性能の理想状態からのズレ（評価関数との制御偏差）を計算、評価し、これに基づいて系のパラメータを調整するというものである。

## 2.3 適応制御の目的と効果

適応制御の概念は、そもそも環境の変化が急激あるいは大幅で従来の制御系では制御しえないか、または非常に困難なために生れたものである。たとえば航空機において、比較的低空を飛行する場合と高空を飛行する場合とでは、空気密度、温度、気流状態などが著しく異なっていて、単純に操縦桿を操作するだけでは期待する姿勢や上昇速度は得られない。期待する姿勢や上昇速度を得る、つまり航空機を操縦するためには、この環境変化による機体の動特性に基づいて操縦する以外にない。

適応制御はこのように、従来の制御系では制御不可能（あるいは非常に困難）な場合に適用されるのが、一般的であるが、その目的を要約すると次のとおりである。

- (i) 制御精度（工作機械の場合は加工精度）の向上
- (ii) 生産性の向上
- (iii) 作業費用（コスト）の低減
- (iv) 安全性の向上

このうち(ii), (iii)は最適制御的な要素であるが、特に工作機械の分野では、このように適応制御と最適制御の両要素をとり入れて、環境への適応性を強調したい場合には適応制御、生産性などを強調したい場合には最適制御（あるいは最適化制御）と称することが多いようである。

適応制御による効果は、上記(i)～(iv)にほかならないが、このうち(ii), (iii)については工作機械の場合、少なくとも20%以上の生産性の向上とコスト低減が可能であり、(i)についても従来 $0.03\sim0.05\text{ mm}$ の限界加工精度を上まわる超精密加工<sup>4)</sup>が可能であると報告されている。

## 参考文献

- 1) 日本工業規格、自動制御用語（一般）、JIS Z 8116
- 2) 北川敏男編：情報科学講座、適応制御過程Ⅰ、共立出版（昭和47年8月）、P1～P46
- 3) 近藤文治：最適制御と適応制御入門、オートメーション、第12巻、第2号、（昭和41年）、P102～P104
- 4) 研野和人、木村誠、矢島信之：適応制御入門、自動化技術第1巻第1号～第1巻第4号
- 5) 竹山秀彦：工作機械の適応制御、日本機械学会誌、Vol. 74, No. 631, (1971), P64～P73
- 6) Mishkin, L. Brown(東芝中央研究所訳)：適応制御系、コロナ社第4版、（昭和43年）、P1～P22
- 7) 森 政弘：制御と情報、日本放送出版協会、（昭和43年8月）、P19～P31
- 8) 野本 明：制御工学、平凡社世界大百科事典、（1971年）、第12巻、P674～P677
- 9) 市川邦彦：制御理論の変遷、計測と制御、昭和47年1月号
- 10) 高橋安人：システムと制御、岩波書店、（1968年9月）

### 3. 造船工作における適応制御

#### 3.1 造船工作における適応制御

前章において一般的な意味における適応制御を説明したが、ここで造船工作における適応制御について考えてみる。

船台・船渠工程における環境は、たとえば溶接状態や日照、風などにより絶えず変化していて、あたかも船体が呼吸しているかのようである。しかし、大幅あるいは急激な変化ではなく、その量も従来のフィードバック制御で制御しえない量ではないと思われる。ただ制御対象ならびに周囲条件との相対関係において、制御量とか操作量を決定せねばならず、一般のN C機械のように当初から制御量を入力することができない。これは明らかに適応動作、適応的な機構の必要性を示すものであろう。

このことは、加工工程についても同様であって、自動化を計ろうとすれば加工状態をたえずフィードバックし、加工状態の変化に合せて次の制御量を決定しなければならない。また組立工程における諸作業においては、部材の精度あるいは溶接開先の状態により作業が複雑になる。さらに組立作業そのものは各部品間の相対距離の検出が制御の基本と考えられ、ある個所での整面仮付がすむと、その影響で他の個所が変化したりするためその状態を検出して、場合によっては整面力を加減する必要がある。

以上のような造船工作の特徴を勘案し、造船工作における適応制御を次のとおり定義したい。

造船工作における適応制御とは、制御系のおかれている環境の変化に対応して、所要の条件を満たすように、モデル（あるいは判断基準）を用いて制御系を補償する機構（適応動作機構）をもった制御系をいう。ここで、環境とは制御系のおかれている周囲条件を指す。

造船工作における適応制御系は、環境の認識に基づいて制御量を決定し、環境の変化を検知して制御系を補償するという方法をとる場合が多い。

#### 3.2 造船における機械化・自動化の実状

造船工作における機械化・自動化装置は、労働事情のひっ迫による省人・省力化の要請や新鋭造船所の建設が導火線となって、最近急速に進みつつある。しかし、これらの装置を、制御状態の検出、判定（処理方法の決定）、動作（処理作業）という制御的側面より眺めてみた場合、一部の装置を除いては通常は処理作業だけを受持ち、状況の検出、判定は技能者の経験と勘に頼っているというのが実状である。一方、N C機械のような自動化装置にしても、品質向上省力化に成果をあげているとはいえ、外的条件の変化に対する追従性は低く、随所に人手介入を要して満足のいく効果をあげるまでには至っていないと思われる。

以下、造船工作における機械化・自動化の実状を述べるに際し、機械化・自動化をここでは次のような意味で用いることにする。すなわち、“機械化”を精度あるいは力を要求されるために人間では処理しえない、換言すれば人間の能力を超える動作、作業を機械によってまかない、状態の把握や判断および操作は人間が行なうこととし、“自動化”を機械化に加うるに、操作そのものも機械によってひとりでに行なわれることとして使用する。

さて、機械化、自動化を以上のように考えると、装置の数においては、加工、組立、船台・船渠工程の順に機械化・自動化が遅れしており、装置の大きさにおいては後工程ほど巨大化している。

以下、各工程についてその実状を述べることにする。

##### 3.2.1 加工工程

造船工作を構成する3大作業要素は加工、接合、運搬であるが、加工工程についてみると準備、け書き、切断、曲げと続く加工作業をクレーン、コンベアなどの運搬装置でつなぐ形態をとっており、接合作業はほとんどないと考えてよい。

共通的な作業である運搬作業についてみると、加工工程は取扱う単体の重量がもっとも軽い工程ではあるが、それでも手により運搬できる範囲は非常に限られており、クレーン、コンベア、フォークリフトなどにより機械化せざるを得ない。

一方、加工作業はステージにより、機械化、自動化の進捗度にかなりの差がある。以下ステージ別の実情、加工作業と運搬作業と合わせて述べてみたい。

#### (1) 準備ステージ

運搬にはクレーンとコンベアが併用されている。材料の形状が単純であり、材料のセッティングに精度を要するところはコンベア化しているため、現在でも無人化に近い工場が存在する。

クレーンに加わる荷重と計算重量を対比することにより、材料の着脱や確認を行なうとか、リミットスイッチや油圧を利用した装置により位置決めを行なうなど初步的な適応制御機構も工夫されている。

ショットブラスター、自動塗装機などの表面処理装置はコンベアと連動させて自動化が進んでおり、人間は簡単な操作、監視、保守に従事している。

以上のように本ステージの省力化はすでに限界に近く、これ以上高度の制御をとりいれても効果は少ないと考えられる。

#### (2) け書きステージ

運搬は準備ステージと同レベルにある。鋼板け書き装置として広く普及しているものにE.P.M.（電子写真け書き装置）がある。E.P.M.は自動化がもっとも進んだ装置の一つであり、現在人間の手に残されている作業は原画のチェックとセッティング、処理後の色あげなどパターン認識を必要とするものであり、すでに実用化している簡単な機構を別にすれば一層の省力化を達成することは望みうるのである。NCけ書きはNC切断と同レベルにあるためここではふれない。

形鋼のけ書きにおいては材料の変形を考慮せねばならず、E.P.M.方式や従来のNC方式では自動化しにくい。形鋼のフランジに沿って、機械を走行させけ書きせる装置とかセッティング装置を考慮してNC切断機によりけ書きせる装置などが現れており自動化への努力がなされている。

#### (3) 切断ステージ

自動化装置としてはフレーム・プレーナーやエッジプレーナーなどの平行切断専用機と、任意の形状のけ書き・切断が可能なNC切断機がある。これらの装置では後述するように、NC切断機を使うまでもないホールや小物の切断など、あるいは素材に若干の変形がある条材切断などに簡単な適応制御機構を備えた装置を開発すれば、より省力化が計れるものと思われる。

切断前の運搬は前ステージに準ずるが切断後の運搬（整理作業）はパターン認識をともない自動化は容易でない。

#### (4) 部材整理ステージ

基本的には運搬作業であるが形状のパターン認識を必要とするため、これといった機械化もなされていないのが現状である。

#### (5) 曲げステージ

冷間加工には機械を利用しているが、切断までのステージとかなり異なるのは、プレスする位置、加圧力などの判断は人間が行なっており、機械は筋肉のかわりを果しているにすぎないことである。

線状加熱などの熱加工を含めて、曲げステージの主役は人間である。切断までのステージがオープンループ的な自動制御で目的の大半を達成するのに対し曲げステージの場合、三次元的な加工をすることとスプリングバックのために、加工状態のフィードバックと、これにもとづく判断を必要とすることが自動化の達成を困難にしている。換言すれば曲げステージの自動化を達成するためには適応制御の導入が不可欠であろう。

### 3.2.2 組立工程

#### (1) 小組立ステージ

近年、機械化・自動化が目ざましく、コンベア上で板継ぎし（この作業は大半が入力によっている）選択された取付部材を自動的に配材し、仮付・溶接を行なった後、反転して次工程へ搬出する装置も現われている（自動小組立機、部材配材機など）。ただ、装置の起動を含め、要所要所に人手介入を要していく完全自動化には至っていない。

本ステージは、機械工場におけると同様、造船業としては取扱う部品が比較的小さく、したがって、これをつかみまたはコンベアで移動させるなどして、仮付・溶接機に供給してやればよく、ロボットあるいはトランスマシンなどの応用が考えられよう。

#### (2) 組立ステージ

本ステージはかなり異種で数多くの作業を含んでいる。

まず、平板の板継に関してはマグネット整面器などを用いて仮付し、片面自動溶接装置などの大型機や可搬式の小型機により溶接されていて、比較的機械化が計られている。搬入、搬出もコンベアを利用するなどして機械化されているが、板継作業を連続して自動化するまでには至っていない。

溶接後のけ書、切断作業に関しては、最近加工工程で仕上げられるケースが増えており、工程そのものが廃止される傾向にある。

次に、板継後のトランスマ材、ロンジ材などの配材、仮付、溶接については、枠組法、通常組立法などの組立方法により若干異なるが、前者の場合はロンジ材の挿入、溶接が機械化されている。枠組されたものとスキンプレートとの整合、仮付は一部機械化された装置があるが、未だ治工具による人力作業が多く、機械化が遅れている。またロンジ材とスキンの仮付については、最近ロンジ仮付機などの開発がなされている。

曲面ブロックの組立においては、まず治具立作業があるが、これはNCにより治具そのものを上下調整する機械が開発されているが、実用化までには至っていないようである。

曲り板の治具上への配材、板継、再け書、切断そしてトランスマ材、ロンジ材の配材、取付については、すべからく治工具とクレーンによる人手作業にゆだねられており、これといった機械装置もないのが実状である。

また、完成ブロックの仕上げ、歪矯正、検査についても、今のところ人手に頼っていて、溶接部の非破壊検査装置以外これといった機械化はなされていない。

#### (3) 総組立ステージ

運搬、位置決め、仮付・溶接、仕上げなどの作業があり、運搬については油圧ジャッキを備え、そのまますべての方向に進行可能な自走大型トレーラが普及してきた。位置決めについてはクレーンよりブロックを受取った後、微少移動、保持をマンマシンで行なう装置がある。（ROTAS、GAMMAなど）仮付はほとんどが人力作業であるが、溶接についてはブロックを反転して常に下向きの半自動溶接を可能とする装置がある。（回転治具、反転機など）

本工程は総じて、溶接以外の作業の機械化に取組んだところで、ほとんどの作業が機械と人間によるマンマシン系で構成されており、自動化までには至っていないといえよう。

### 3.2.3 船台・船渠工程

#### (1) 搭載ステージ

一般には大型屋外クレーンにより行なわれているが、輪切りブロックを搬送台車にのせた後、移動、粗決め、保持を行なう機械装置が出現している。（ROTAS、船体非浮上移動装置など）

クレーンによる場合、搬送台車による場合いづれの場合でも、対象が船型の大形化に伴って巨大で、危険を伴うため、人間の判断が重要な要素となっている。ただ、舵板、プロペラ等についてはかなり自動化された装置がある。（舵板、プロペラ着脱装置）。

#### (2) 位置決めステージ

底部、側部外板の微少移動、保持をマンマシンで行なう装置があるが（HE JACKLESなど）、一般には人力によって行なわれている。

本ステージは、ブロックの形状にもよるが適正移動量と操作点の決定が難しく、作業員の経験と勘に頼っていて、微少移動装置としては簡単なジャッキ、ポートパワー等の治工具が用いられている。

#### (3) 仮付ステージ

このステージも対象が巨大で、狭あい個所での作業が多く、機械化が困難であるが、ロンジ等の整面・仮付装置が開発されている。（作業ユニット）

#### (4) 溶接ステージ

船台・船渠工程の中でもっとも機械化されているステージであるが、その適用範囲は平行部のシーム、バットに限られており（エレクトロスラグ溶接機など）、曲り部については、なお人手に頼っている例が多い。ロンジ等の骨材溶接についても人手作業が主である。

#### (5) 仕上げステージ

主として歪とりと清掃であるが、前者は歪とりのロジックが判明していないこと、後者は狭あい個所での作業が多いことなどでいづれも機械化されていない。しかし、最近清掃装置を考えられつつある。

#### (6) 検査ステージ

組立工程における検査と同様、人間の視覚による確認作業が主であって、非破壊検査装置以外機械装置らしいものはない。

#### (7) 補助工程

足場、盤木、進水・出渠等が含まれるが、タンクパートにおける自動足場（作業ユニット）や船首尾外板の昇降式足場があるが、なおかなりの部分の人手作業を要している。

以上のとおり、本工程は機械化の緒についたところで、数少ない機械装置も溶接を除いては搬送とか足場など主体作業の助力装置を中心であり、自動化が今後の大きな課題である。

### 3.3 適応制御の必要性

#### 3.3.1 適応制御の必要性

3.2で述べたように造船工作の機械化はそこそこに進みつつあるが、自動化については未だしの感が強い。このため、47年度に研究の一環として各作業の機械化・自動化に関する制御因子の調査を行なったのであるが、これら各作業に共通している点をまとめてみると、大略次のとおりである。

- (i) 扱う部品（ブロックも含む）が大きく、形状も複雑で、かつ重量物である。→部品の供給、搬送が困難
- (ii) 仕事の流れが不連続系態である。→部品の供給、搬送が困難
- (iii) 精度のバラツキが大きく人間の勘、経験に頼る要素が多い。→加工手順、要領、結果の判定にかなりの判断を要すこれらを、自動化の観点から眺めてみると、

  - (i) 現在おかれている位置や周囲条件などの環境認識が前提となって、制御量、操作量が決定される。
  - (ii) このため、パターン認識など高度の検出器が必要とされる。
  - (iii) 作業手順が画一的ではなく、かなりの判断が要求される、換言すれば、考慮すべき制御因子が多い。
  - (iv) それらは、環境の変化により、時間的に変化するものが多い。
  - (v) 制御量の一義的な最適値を決定することが難しく、各制御因子間の相対的な関係で決定されることが多い。

など、自動制御が非常に困難な要因が多いことが分る。

結局、造船工作の機械化・自動化がそれほど進んでいないのは、部品の取扱いが困難であることもさることながら、いわゆる環境に対する適応動作の自動化の困難さにその大きな因があるといえよう。このことは、そのまま適応制御の

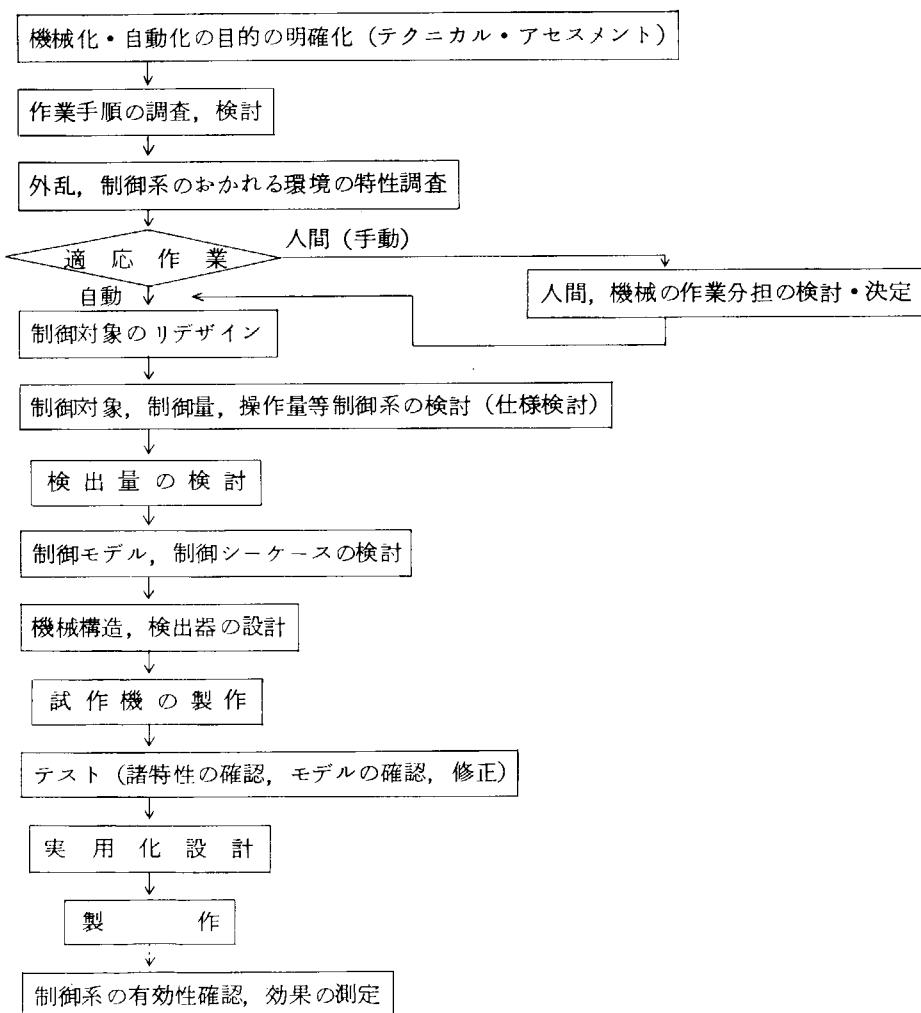
必要性を意味するもので、今後造船工作を自動化するには、適応制御の概念を導入することが必要といえよう。しかし、そのためには環境認識のための種々の検出器が必要とされる。

本研究はもともと、造船工作、とりわけ切断作業の機械化・自動化の過程における鋼板のセッティング作業、切断炎による熱歪の排除等への適応制御の応用ということに、その端を発したものであったが、この方向は当を得ていたといえる。

### 3.3.2 適応制御導入の手順

では、造船工作へ適応制御を導入して機械化、自動化を計る場合、どのような手順になるのであろうか。

適応制御は、2.で述べたように未だ確立されたものではなく、いわばアイデアの尊重される段階であって、これといった手順は確立されていないと思われる。一方、適応制御は、環境変化が系の動特性にどのような影響を及ぼすのか事前に知ることが困難という特質がある、試作・実験によりこれらの動特性への影響を測定し、モデルないしは評価関数の確認、修正を行なわざるを得ない。試作機による実験は、何も適応制御ばかりでなく一般の自動化装置開発に際しても必要であるが、この点を考慮すれば、概略次のような手順となろう。



### 3.4 適応制御における二、三の例

#### 3.4.1 加工工程

3.2.1で述べたように本工程の実状は準備、け書き、切断、部材の整理、曲げの各ステージを考えてみても機械化、自動化を推進するには種々の問題を抱えている。

そこで既存技術の延長線上にあり、省力化も期待しうるガス切断の適応制御を研究対象にとり上げた。円孔や小物部材の簡単な切断に高価なNC切断機を利用するには効率的ではないが、現在実用化されている小型切断装置は、始終点の処理や切断不能状態検出のため、1台の装置に1人のオペレーターを必要とする。そこで高価なNC切断機と簡便な小型切断機の中間を狙った切断装置が必要とされ、2組の切断用ロボットを開発した。これらは鋼板上のけ書き線をトレースして切断すべき位置で停止し、ピアシングから円孔切断終了までの一連の動作を次から次に行なっていく装置で、切断中失火すれば停止アラームを発するものである。さて、切断ロボットのより一層の自動化のためには、火炎の自動調整、ピアシング可能時期の判定、最適切断速度の自動決定、失火の検出と切断の再開などが考えられるが、従来のNC切断機ではこれらすべてが人間の役割となっている。こういった人間のパターン認識に頼っている調整、判断をフレーム電圧、鋼板表面輝度など検出可能な評価量によって自動化が図られなければならない。

人間の介入なしで自動的に最適の切断を行なえるよう、状況を検知しながら鋼板を切断してゆく場合の外乱とその制御すべき要因は次のとおりである。

#### (1) 外乱

- (i) け書き線の太さ、濃度、マーク形状などの変化
- (ii) ピアシング状態
- (iii) 火口の目つまりなどによるガス流量の変化
- (iv) 酸素純度の変化
- (v) 鋼板の板厚、材質などの変化
- (vi) 障害物

#### (2) 制御すべき要因

- (i) け書き線の追従
- (ii) 予熱の時間
- (iii) ガスの流量
- (iv) 切断速度
- (v) 火口の選定
- (vi) 既開孔部への落下防止

本切断ロボットはこれら外乱のうち主として(iii)及び(iv)項について検討したものである。

### 3.4.2 組立工程

組立作業の内容は大きく分けて小組立、中組立、平板ブロック大組立、曲り外板ブロック大組立の4つになるが、特に曲り外板ブロック大組立作業は、作業対象物が巨大な上、その形状は複雑な曲面で構成されているために、熟練者の経験と勘に頼っている部分が多く、機械化、自動化を進める上での障害となる要素が多い。

そこで本作業を機械化、自動化するとすればその作業過程である板継ぎ、全面、仮付溶接においてまず強力な鋼板吸引力をもつ機能、曲り外板を自由に走行する機能、自動仮付等の機能を有した装置を開発する必要が生じた。

しかし、この装置を稼動させるには、その作業形態、周辺条件から、例えば板と板の重なり、ずれ、板の歪、接合部の不均一、開先形状の乱れに対処しなければならない。すなわち、これらの作業妨害となる諸要素をうまく制御し作業を完遂させるには、単なる機械化、自動化ではなく、作業環境に対処しながら、目的を達成させる機能、いわゆる適応制御機構を具備した装置でなければならない。

上述した作業妨害となる要素は、適応制御における外乱となるものであるが、これらをさらに分析してみると次のようになる。

- (i) 板と板の位置のずれ
- (ii) 加工時の板面歪、開先精度不良、シーム形状の精度不良などによる配材後の接合部の不均一

- (iii) シームの曲り量の変化
- (iv) 接合部付近に存在する障害物
- (v) 溶接熱、気温などによる歪

曲り外板ブロックの大組立作業を本装置を使用してスムーズに行なわせるためには、以上の外乱を様々な方法で検知し、装置の作動過程を適宜修正していく必要がある。このための制御すべき要因としては、

- (i) 整面力
- (ii) 装置の移動量（X、Y、Z方向）
- (iii) 溶接棒の先端部の方向、送り出し速度、溶接速度
- (iv) 溶接電流、電圧、シールドガス流量
- (v) 接合部材の端面検出

等が挙げられる。

これまでの研究の成果として、上記の制御すべき要因をすべて満足できる装置とは言えないまでも、従来人手介入を余儀なくされていた作業をうまく機械化し、かつ単なる機械化では処理することが困難であった諸要素を、適応制御の導入によって機械化、自動化し得る。

### 3.4.3 船台・船渠工程

船台・船渠工程ではブロックの搭載、位置決め、微少移動、整面固定、仮付、溶接、仕上げ、検査など、すべての作業が定位置で行なわれるのではなく、移動、特に立体的な移動を伴う作業である。そこで、船台・船渠工程を機械化、自動化するためには「移動」を考慮することが不可欠であると考え、移動を主体とした装置の開発を研究対象に採り上げた。

その結果、船体の内部構造部材（主としてロンジフレーム）を利用して無軌道で自動的かつスムーズに昇降し、機動性、汎用性を具備した“船体登はん装置”を開発した。

そして、この船体登はん装置を試作して、種々のテストを行なったが、これを適応制御との関連からみた場合、外乱として

- (i) ロンジフレームスペース等の工作上の誤差の変化
- (ii) 日照状況、外気温度の変化
- (iii) 溶接進捗状態の変化
- (iv) 装置の自重と重心位置の変化
- (v) ロンジ上及び周辺の障害物

が考えられるが、(i)～(iii)については結果的にロンジの撓み、歪となりロンジ間隔の変化をもたらすので外乱として個々に検出する必要はなく、ロンジ間隔を例えば、ならいにより検知するなどしてモーターのオンオフを行なえばよい。(iv)については何らかの方法で障害物を検知して、その大きさ、硬度等の特性を判断し動作を回避するか、続行するか、又は停止するかの選択、すなわち適応動作が必要とされる。また(v)については溶接装置、検査装置等を積載して移動動作そのものの滑らかさや精度を要求される場合、あるいは搭載物が装置の動作中に移動したりする場合、装置の自重や移動動作に伴う重心、位置の変化に適応して姿勢制御を行なう必要がある。

そこで、その制御すべき要因として

- (i) 障害物の検知及びその特性の感知とそれに対する適応動作の選択
- (ii) 装置の自重の測定
- (iii) 積載物の移動に伴う重心位置の変化の検知とそれに対する姿勢の修正
- (iv) 移動量
- (v) 移動速度

が考えられる。

本装置で上記の制御すべき要因をすべて満足するためには、例えば姿勢制御する場合、装置の重心位置を連続的あるいは間欠的に測定する検出器やこれをもとにアームの繰り出し量を決定する計算回路を必要とするなど困難な問題が多く残されているが、本装置では下部アームに押し出し方式を採用して姿勢制御を図るなど、適応制御機構への方向づけを行なった。

## 4. 適応制御機構の開発と実用化の研究

### 4.1 加工工程

#### 4.1.1 研究の経緯

昭和49年度は48年度の研究に引き続き、切断用ロボットの機能追加、実用実験およびこの実験を通して実用化のための諸改良を行なった。また一方では、ガス切断作業の基本となる予熱炎、最適切断速度の調整、失火検出、ピアシングなどの諸作業に適応制御を導入するための基礎実験および解析をも並行して行なった。

切断用ロボットの機能追加については昭和48年度に検討されたとおり、本装置を平鋼、形鋼のホール切断にまで適用することを目的として、だ円切断機能を追加し検討、実用化を計った。実用化は機構上改造が比較的容易なK型ロボットについて行なったが、工場実験で期待どおりの性能を發揮することが確認された。

実用実験については主として重量、ホース、ケーブル類のハンドリング、端面での適応走行などについての確認を行なったが、当初の予想どおり若干の問題があることが再確認された。しかしながら、本装置は既存の装置に比べ、ラフな誘導線のみで自動切断が行なえるなど種々の有効な適応制御的機能を備えているので、実用実験で判明した問題点を用途に適した形で改良することにより、その性能を發揮しうるものと考える。

ガス切断現象に関する研究については、自動化の面で実験的に実用化の可能性を確認できた反面、切断面品質の制御に関しては、ようやく手がかりを得たにすぎず、なお今後の研究にまたねばならない。

#### 4.1.2 だ円切断可能な切断用ロボットK改型の機構と工場実験

##### (1) K改型の機構

自動ならい装置、自動走行装置に関しては48年度の報告書に記載したとおりなので、ここではだ円切断装置についてのみ述べる。本装置は48年度に報告したシミュレータによる円切断制御装置と入れ替えるもので、円およびだ円の切断制御を可能とする電子計算方式を組み込んだ。

##### (a) 仕 様

- (i) 制 御 方 式 パルスモーターによるオープループ方式
- (ii) 制 御 軸 数 2軸 (R軸,  $\theta$ 軸) 同時2軸制御
- (iii) 指 令 方 式 ディジタルスイッチ設定
- (iv) 有 効 切 断 半 径 20 ~ 260 mm (長径・短径とも)
- (v) 切 断 速 度 (周速度) 60 ~ 600 mm/min
- (vi) マイクロコンピュータ AI - BACS - 1,000 16 KW
- (vii) 動用用パルスマータ 直線駆動用 (R軸) PF7-48  
旋回駆動用 ( $\theta$ 軸) PF6-36
- (viii) 最少設定単位 R軸 0.1 mm/PULSE  
 $\theta$ 軸 0.01度/PULSE

写真4.1.1に装置の外観を、図4.1.1~4.1.3に構成図、操作パネル1及び操作パネル2を示す。

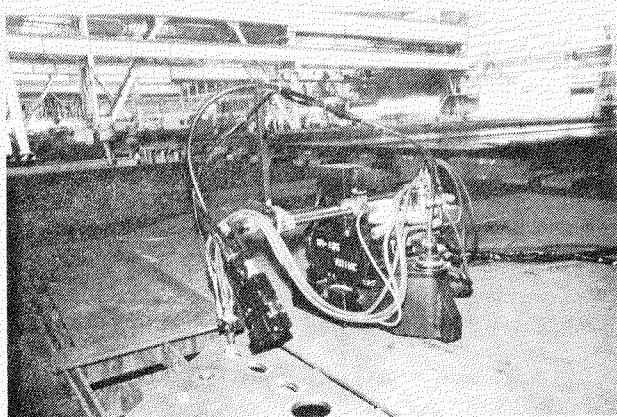


写真 4.1.1 K改型切断用ロボット

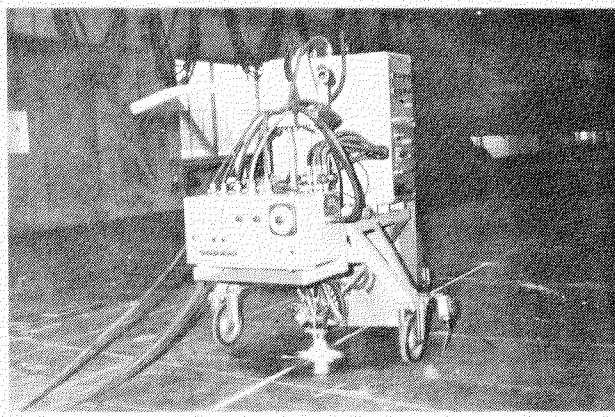


写真 4.1.2 自走式 T型切断用ロボットによる実用試験

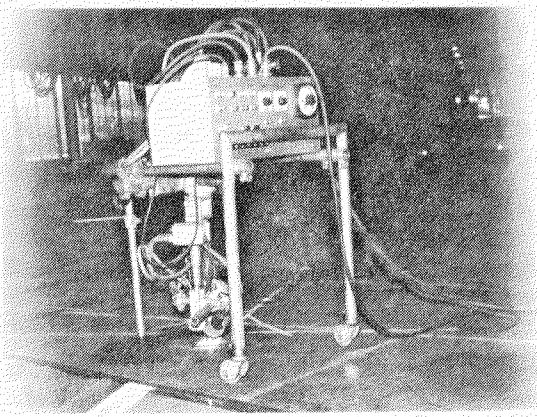


写真 4.1.3 自立式 T型切断用ロボットによる実用試験

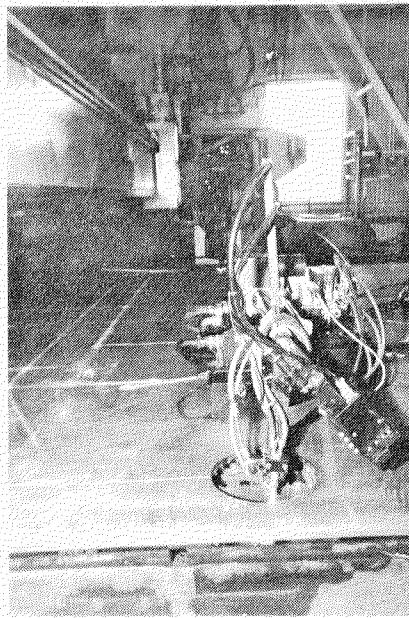


写真 4.1.4 K改型切断ロボットによる実用試験

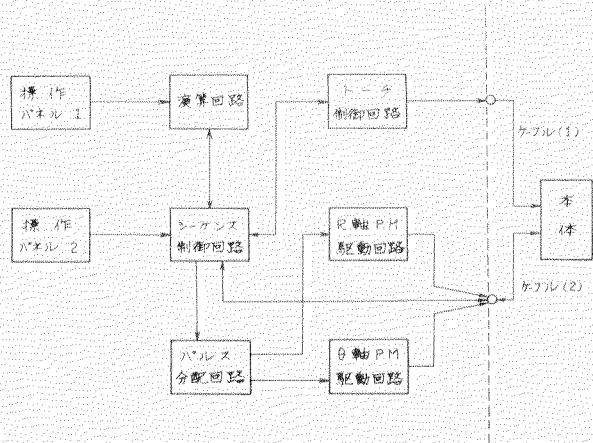


図 4.1.1 構成図

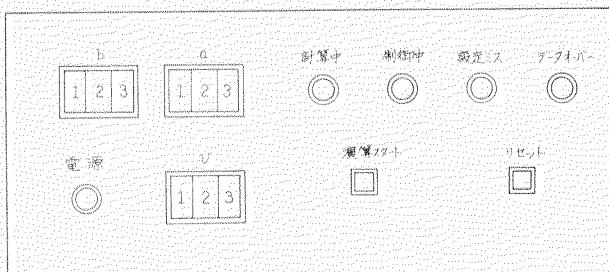


図 4.1.2 操作パネル1 (演算関係)

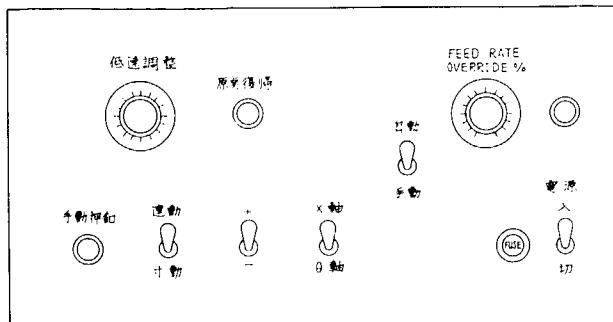


図 4.1.3 操作パネル 2 (操作関係)

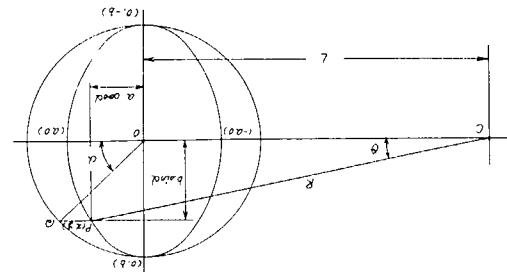


図 4.1.4 極座標分析図

(b) 極座標による円およびだ円の計算方式

直交座標におけるだ円の方程式は

$$\left(\frac{x}{2}\right)^2 + \left(\frac{y}{2}\right)^2 = 1$$

ここで円はだ円の一種として  $a = b = r$  の時で

$$x^2 + y^2 = r^2$$

一般にた円上の点  $P(x, y)$  を求めるには、長径  $b$  を半径とする円上の点  $Q$  を取り、点  $Q$  の偏角を  $\alpha$  とすれば  
(図 4.1.4 参照)

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{b \sin r}{b}\right)^2 = 1$$

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 = 1 - \sin^2 \alpha = \cos^2 \alpha$$

ここで  $P(x, y)$  を点  $C$  を原点とする座標に変換して  $R$  および  $\theta$  を求めると、

$$R^2 = (L + a \cos \alpha)^2 + (b \sin \alpha)^2$$

$$R = \sqrt{L^2 + 2La \cos \alpha + a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{b \sin \alpha}{R} = \cos^{-1} \frac{L + a \cos \alpha}{R} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

今回の制御はつきの数値を前提とした。

L : 450 固定

a :  $20 \sim 200 \text{ mm}$

b :  $20 \sim 200 \text{ mm}$

Rの最小単位 : 0.1  $\mu\mu$ /PULSE

$\theta$  の最少単位 =  $0.01^\circ$  / PULSE

v :  $60 \sim 600 \text{ mm/min}$

分割誤差 : 0.5 mm

だ円を直線補間させるべく、前述の偏角  $\alpha$  を一定の角度で進めて、次々に各  $P_n$  点の座標値を求め、各点間を直線で結ぶ方法をとる。

補間にによる誤差を  $0.5 \text{ mm}$  以内とするために、分割角度は以下のようにして定めた。

誤差は  $\widehat{P_1AP_2}$  と  $\widehat{P_1BP_2}$  の最大のずれであるが、近似的に AB を最大誤差とみなした。また誤差は長径附近で

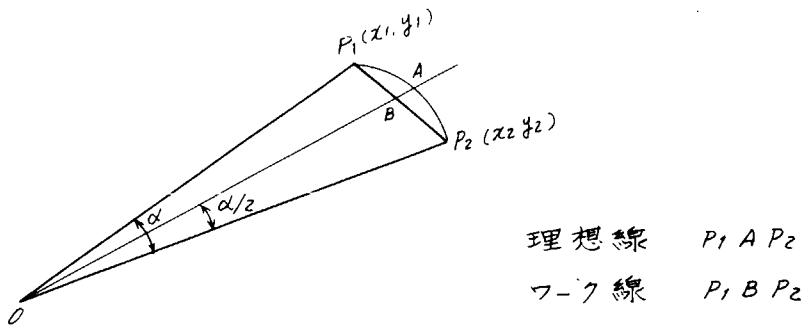


図 4.1.5 補間誤差図

最大となることから

$$\begin{aligned} \cos \frac{\alpha}{2} &= \frac{\overline{BO}}{b} & \overline{BO} &= b \cos \frac{\alpha}{2} \\ \overline{AB} &= b - \overline{BO} & & \\ &= b - b \cos \frac{\alpha}{2} & \alpha : \text{分割角度} \\ &= b \left( 1 - \sqrt{1 - \cos \alpha} \right) & b : \text{長径} \end{aligned}$$

以上の条件より角度  $\alpha$  を定めるのに、

$$20 < b < 100 \text{ の時} \quad \alpha = 10^\circ$$

$$100 \leq b \leq 200 \text{ の時} \quad \alpha = 5^\circ$$

とすれば、最大誤差は

$$b = 99 \quad \alpha = 10^\circ \text{ の時} \quad 0.37 \text{ mm}$$

$$b = 200 \quad \alpha = 5^\circ \text{ の時} \quad 0.19 \text{ mm}$$

と算出され、したがって分割誤差は 0.5 mm 以内となる。

つぎに分割された円弧（制御上は直線）は、正円の場合は一定の長さとなるが、だ円の場合は変化するので周速の制御が必要となる。そこで周速を一定に保つために、

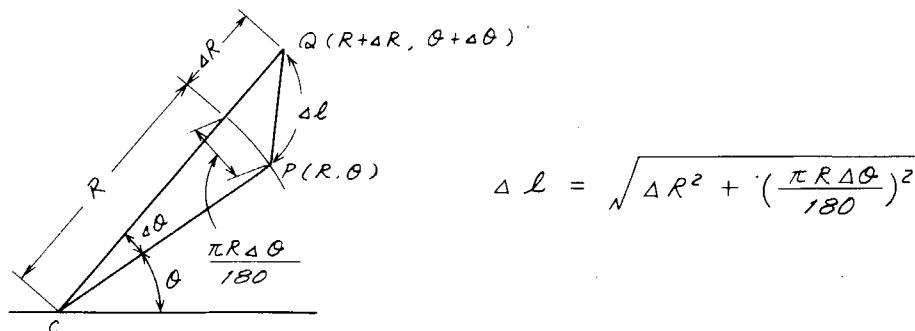


図 4.1.6

1 分割区間  $\overline{PQ}$  を指定速度  $v$  で制御するには、点  $P$  から点  $Q$  までを移動するに要する時間  $t$  は

$$t = \frac{\Delta l}{v}$$

また  $\Delta l$  制御するに要するパルス数  $N$  は、  $R$  の単位を mm,  $\theta$  の単位を度とする時、1 パルスにそれぞれ 0.1 mm,  $0.01^\circ$  であるから、

$$N = 10 ( |\Delta R| + 10 |\Delta \theta| )$$

したがって点  $P$  から  $Q$  への制御での、パルス分配回路のパルス周波数  $f$  は次の通りとなる。

$$f = \frac{N}{t} = \frac{10v (|\Delta R| + 10 |\Delta \theta|)}{\sqrt{\Delta R^2 + (\frac{\pi \bar{R} \Delta \theta}{180})^2}} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

(c) 自動動作說明

まず、操作パネル2において電源をONとし、各ユニットのONランプを点灯させる。

続いて操作パネル 1において切断円（だ円および正円）の半径（ $a$ ， $b$ ）及び切断速度（ $v$ ）をデジタルスイッチにて設定する。

設定完了後同パネルの演算スタートボタンを押し計算を実行させる。(計算中ランプが点灯)

計算完了後（計算中ランプが消灯），操作パネル 2において、原点復帰ボタンを押し、各軸とも最初の出発点に合わせる。続いて自動一手動スイッチは自動にする。

以上の操作が完了したら、トーチ制御回路（以後 T.C. と略）よりスタート信号をシーケンス制御回路（以後 S.C. と略）に送ると R 軸のアームが設定された半径値（ $a$  の値）の  $15\text{ mm}$  手前まで高速で動作し、その点で一時停止を行ない、点火・予熱信号を S.C. から T.C. に送る。予熱完了後（予熱時間はタイマーで設定） T.C. から S.C. へ切断開始信号が送られ、R 軸のアームは残りの  $15\text{ mm}$  を低速で動作し、だ円軌跡に達すると指定の速度  $v$  で切断する。低速時の送り速度は操作パネル 2 にある低速調整にて設定する。

だ円の切断が $360^{\circ}$ 完了すると、その点で切斷終了信号をS.C.からT.C.に送ってガス系統を全閉とし、それとともにR軸のアームは高速で原点（最初の出発点）に戻る。

すべてが原点に戻ると、S.C.からT.C.へサイクル完了信号が出され、つぎのスタート信号にそなえて待機状態となる。

なお切断中に切断速度を変えたい場合は操作パネル 2 にある Feed Rate Override により調整できる。Feed Rate Override は設定値 v の +% で表示されている。

(d) 手動動作說明

操作パネル 2において自動一手動切換スイッチを手動とする。つぎに動作させたい軸 (R, θ 軸), 方向 (+, -) 速度 (連動, 寸動) を選択し手動押しボタンを押す。

連動の場合はボタンを押している間動作し、寸動の場合は1ブッシュ、1ステップ（R軸：0.1mm、θ軸：0.01度）ずつ動作する。

## (2) 工場実験

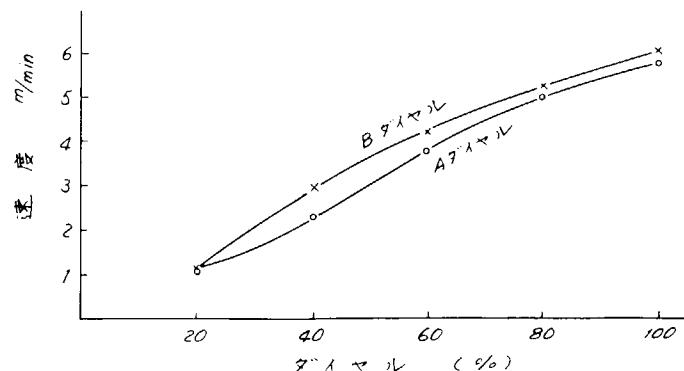
(a) 自動走行装置

- (i) ダイヤル表示と速度の関係を調査した。

## ① 実験方法

2 m を誘導直進させ、時間を計測し速度を求めた。ダイヤルは無段階のスライド式のため、ダイヤル設定はそのつどやり直しな

## ② 実験結果



鉗 Aダイヤルは早送り指定用ダイヤルであり、 Bダイヤルは減速後の速度指定用ダイヤルである。

### ③ 考 察

1 m/minから6 m/minの間を自由に選択できる。

#### (ii) 追従可能線幅テスト

追従可能な線幅の範囲を調査した。

##### ① 実験方法

黒皮とプライマー表面上に白色テープと白チョークで1 mの直線を設け追従させた。

##### ② 実験結果

○ 追従可能  
× " 不可能

線 幅 (mm)	速 度 ダイヤル(%)	テ ー プ		チ ョ ー ク		備 考
		黒	皮	黒	皮	
1	20	○	○	—	—	チョークでのテストは不可能
	60	○	○	—	—	
	100	○	○	—	—	
3	20	○	○	○	○	
	60	○	○	○	○	
	100	○	○	○	○	
6	20	○	○	○	○	
	60	○	○	○	○	
	100	○	○	○	○	
9	20	○	○	○	○	
	60	○	○	○	○	
	100	○	○	○	○	
12	20	×	×	×	×	
	60	×	×	×	×	
	100	×	×	×	×	
15	20	×	×	×	×	
	60	×	×	×	×	
	100	×	×	×	×	

### ③ 考 察

○ チョーク線とテープ線の有意差はほとんど見られなかった。

○ 追従速度および表面状態は追従能力にあまり関係しなかった。

#### (iii) 入射テスト

無誘導から誘導線に入射できる条件を調査した。

##### ① 実験方法

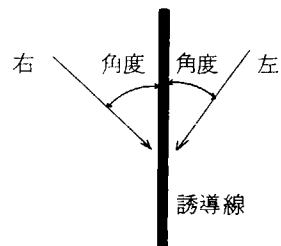
黒皮とプライマー表面にチョークによる誘導線を設け90°から

5°ピッチの入射角で誘導線の左右から入射させた。

##### ② 実験結果

黒 皮

※ 表の角度以下で入射可能



線幅	入射	ダイヤル	2 0		4 0		6 0		8 0		1 0 0		備 考
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
3	右より	80	80	70	70	70	70	65	65	60	60	60	
	左 "	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	
6	右 "	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
	左 "	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	
9	右 "	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
	左	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	

## プライマー

\* 表の角度以下で入射可能

線幅 ダイヤル 入射	20		40		60		80		100		備考
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
3	右より	80	80	70	70	70	70	65	65	60	60
	左	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10
6	右	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	左	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10
9	右	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
	左	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10

### ③ 考察

誘導線の右側から入射する場合は、ほぼ直角に近い角度で入射可能である。

左側から入射する場合右側に比べ極端に角度が小さい。

## IV 追從性能テスト

### (1) 対線質性能テスト

チョークのけ書き線であるため、線質は必ずしも良くない。線質の乱れにより、追從性がどのように変化するか調査した。

#### ① 実験方法

下図に示すパターンを追従させ装置の動きを観察した。

#### ② 実験結果

\* 走行方向はすべて左から右である

ハ° ターン	追従の可否			装置の動き
	1	2	3	
	○	○	○	
	○	○	○	首を振った
	○	○	○	"
	○	○	○	"
	○	○	○	
	×	×	×	
	○	○	○	
	○	○	○	

### ③ 考察

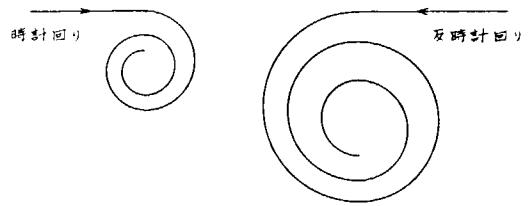
追從性能は線質にはほとんど影響を受けなかった。

### (2) 対曲率性能テスト

どの程度の曲線まで装置が追従できるか調査した。

#### ① 実験方法

右図のパターンを追従させテストした。



## ② 実験結果

時計回り（黒皮、プライマーとも）

線幅 ダイヤル	半径	600	500	400	350	300	250	200
6	20	○	○	○	○	○	○	×
	100	○	○	○	○	○	○	×
9	20	○	○	○	○	○	○	×
	100	○	○	○	○	○	○	×

反時計回り（黒皮、プライマーとも）

線幅 ダイヤル	半径	1,500	1,300	1,100	900	800	700	600
6	20	○	○	○	○	○	○	×
	100	○	○	○	○	○	○	×
9	20	○	○	○	○	○	○	×
	100	○	○	○	○	○	○	×

## ③ 考 察

・時計回りと反時計回りの半径が異なるのはセンサーの位置が操舵輪に対して、時計回りの場合は中心に近く、反時計回りの場合は遠いからである。

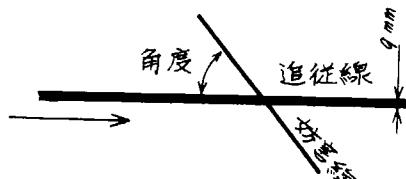
・鋼板表面状態、追従速度および線幅にはあまり影響されない。

### (1) 追従線認識力テスト

追従線とそれ以外の線を区別する能力について調査した。

#### ① 実験方法

追従線と妨害線（他の追従線およびマーキング線）を交差させ、正常に追従するかどうかを観察した。実験では追従線幅を9mm（一定）とした。



#### ② 実験結果

注 ○はコマンドを検出したが直進した  
×は妨害線の方へそれた

ダイヤル	角 度	90	80	70	60	50	40	30	20	10
20	A 他の追従線 (9mm)	○	○	○	○	×	×	×	×	×
	B Zマーキング線 (1mm)	○	○	○	○	○	×	×	×	×
40	A "	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B "	○	○	○	○	○	○	○	○	○
60	A "	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B "	○	○	○	○	○	○	○	○	○
80	A "	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B "	○	○	○	○	○	○	○	○	○
100	A "	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	B "	○	○	○	○	○	○	○	○	○

## ③ 考 察

・追従線とそれ以外の線を区別する能力は妨害線幅および交差角では少ししか影響されなかった。

・追従中、妨害線があれば必ずコマンドを検出してしまる。そのあと一定距離（後述）の間コマンドがなけ

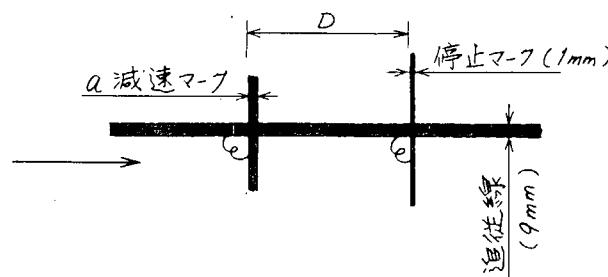
れば再び増速する。

#### (2) 減速マーク位置テスト

減速マークの条件について調査した。

##### ① 実験方法

停止マークとの距離と線幅を変化させて減速および停止性能を調査した。



#### ② 実験結果

注) ○は減速マークで減速し、停止マークで停止する  
×は " " " " " " しない

減速マーク線幅 距離 D mm	a = 3.5	a = 6	a = 12
2.0	×	×	×
3.0	×	×	×
4.0	×	○	○
5.0	○	○	○
6.0	○	○	○
7.0	○	○	○
10.0	○	○	○
12.0	○	○	○
15.0	○	○	○
17.0	○	○	×
18.0	○	×	×
19.0	×	×	×

#### ③ 考 察

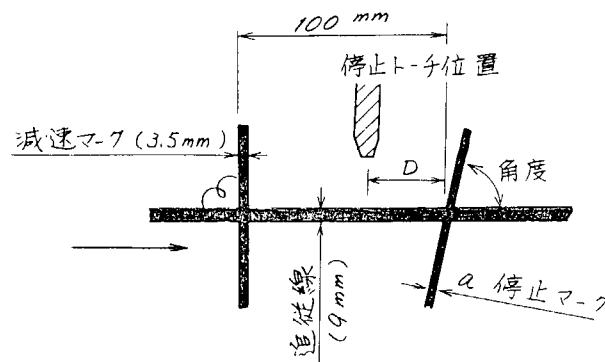
- 減速機能は減速マークの線幅にはほとんど影響されなかった。
- 減速マークと停止マークの距離が 40 mm 以下または 170 mm 以上の場合、停止マークを無視した。（安定域は 50 mm ~ 150 mm であった）すなわち、この範囲に停止マークがない場合は、元通り高速となる。

#### (3) 停止精度テスト

停止マークによる位置決め精度を調査した。

##### ① 実験方法

停止マークの線幅および角度を変えて停止精度をテストした。



(2) 実験結果

停止マーク線幅(ミリ)		a = 1	a = 3.5	a = 6	a = 9
角度	回数				
90°	1	D = 1 (ミリ)	D = 0 (ミリ)	D = 0 (ミリ)	D = 0 (ミリ)
	2	0	0	0	0
80°	1	2	2	1	2
	2	1	2	2	1
70°	1	4	4	4	4
	2	3	2	3	4

(3) 考察

停止精度は停止マーク線と誘導線との角度に影響され、傾くほど精度が悪くなる。

(V) まとめ

- ① 設計段階では誘導線は幅2ミリ、線種はテープIC限定されていたが、実験の結果幅1~9ミリ、線種としてはチヨーク線でも誘導可能であることが確認され、誘導線の許容範囲の広いことが判明した。
- ② 減速、停止機能も線幅や減速距離の大きなばらつきを許容する。停止精度を±2ミリ程度に保つためには誘導線と停止線のなす角度誤差を±10°以内にとどめる必要があるが、これはフリーハンドでも十分可能である。
- ③ 重量が重くしかも持ちにくいので機器の移動に2~3名が必要であった。
- ④ ガスホース動力線など引っ張っているので機動性が悪く、移動範囲が限定される。
- ⑤ 全体的に検出部の機械的剛性が小さい。そのため実用化する場合は、この部分を強化する必要がある。

(b) 自動切断装置

(i) 切断精度テスト

① 実験方法

円およびだ円について実際に切断を行ない、切断面品質、寸法精度、装置の問題点の調査を行った。

切断条件

使用鋼板	13.5ミリ	黒皮
ガス圧力	切断酸素	3.5 Kg/cm <sup>2</sup>
	アセチレン	0.2 Kg/cm <sup>2</sup>
切断速度	300ミリ/min., 600ミリ/min.	(2種類)
切断寸法	円	40, 60, 80, 90, 100, 200, 400ミリφ (7種類)
	だ円	20×40, 50×100, 100×200 (3種類)

② 実験結果

項目		切断半径(ミリ)	ノッチ	粗度	面度	真円度
設定値	速度(ミリ/min)					
円	20	1回目	19.5	あり	WES 3級	WES 1級
		2回目	20			
		3回目	19			
	600	1回目	19.5			
		2回目	20			
		3回目	19.5			
	30	1回目	29.5		WES 2級	
		2回目	30			
		3回目	29			

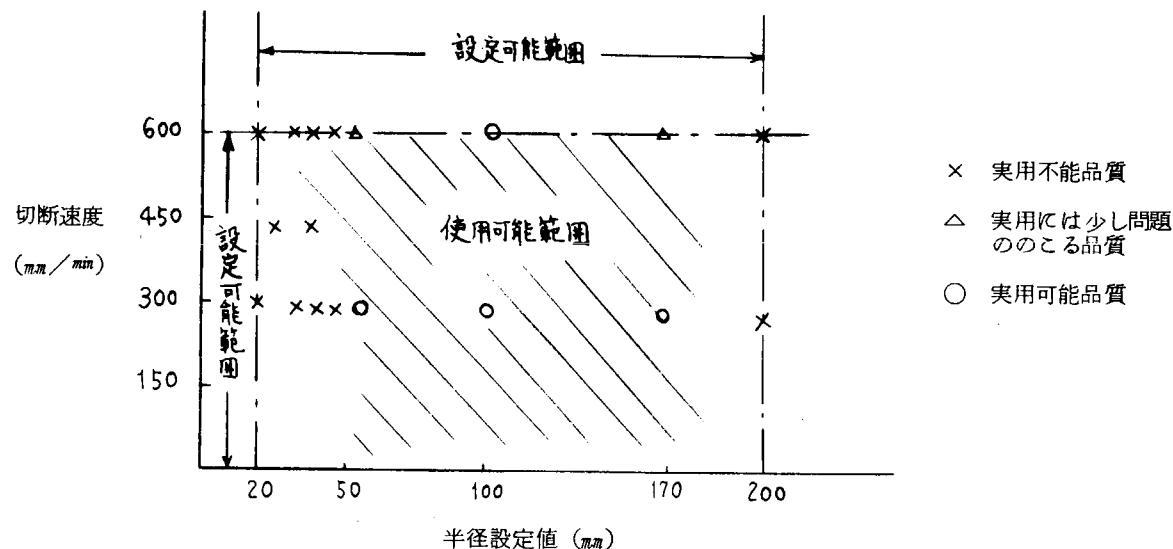
設定値		速度 (mm/min)	項目	切断半径 (mm)	ノッチ	粗 度	面 度	真円度
円	30	600	1回目	2.9	あり	WES 2級	WES 1級	円にならない
			2回目	2.95				
			3回目	3.00				
	40	300	1回目	3.95	なし	WES 2級	WES 1級	±0.5
			2回目	4.0				
			3回目	3.9				
	45	600	1回目	3.85		WES 2級	WES 1級	±0.5
			2回目	3.9				
			3回目	3.95				
	50	300	1回目	4.5	なし	WES 2級	WES 1級	±0.5
			2回目	4.49				
			3回目	4.4				
		600	1回目	4.4		WES 2級	WES 1級	±0.5
			2回目	4.49				
			3回目	4.5				
	100	300	1回目	5.0		WES 1級 (部分的には2級もある)	WES 1級	±1.0
			2回目	5.0				
			3回目	5.0				
		600	1回目	5.0		WES 2級	WES 2級	±1.0
			2回目	5.0				
			3回目	5.0				
	200	300	1回目	9.8	なし	WES 2級 (部分的には2級もある)	WES 2級	±2.5
			2回目	9.8				
			3回目	9.8				
		600	1回目	9.8		WES 2級	WES 2級	±2.0
			2回目	9.8				
			3回目	9.8				
	300	300	1回目	19.4	なし	WES 2級 (部分的には2級もある)	WES 2級	±2.5
			2回目	19.45				
			3回目	19.65				
		600	1回目	19.5		WES 2級	WES 2級	±3.0
			2回目	19.65				
			3回目	19.4				

注) 真円度とは平均直径からのばらつきをいう。

設定値		速度 (mm/min)	項目	切断半径 (mm)		ノッチ	粗 度	面 度
				長 径	短 径			
だ円	20	300	1回目	3.95	2.0	あり	WES 1級 (長径コーナー部は2級)	WES 1級
			2回目	3.95	2.0			
			3回目	3.9	2.0			
	40	600	1回目	4.0	2.05	なし	WES 2級	WES 2級
			2回目	4.0	2.05			
			3回目	4.0	2.0			
	50	300	1回目	9.9	4.95	なし	WES 1級 (長径コーナー部は2級)	WES 1級
			2回目	9.9	4.95			
			3回目	9.9	4.95			
	100	600	1回目	9.95	4.95	なし	WES 2級	WES 2級
			2回目	9.95	4.9			
			3回目	9.95	4.95			
	100	300	1回目	19.7	9.75	なし	WES 1級 (長径コーナー部は2級)	WES 1級
			2回目	19.8	9.8			
			3回目	19.65	9.75			
	200	600	1回目	19.8	9.8	なし	WES 2級	WES 2級
			2回目	19.8	9.75			
			3回目	19.7	9.75			

### ③ 考 察

- 切断品質（粗度、切断半径、真円度）は半径設定値と切断速度に関係がある。直径が大きくなれば、なるほど直径の誤差の絶対値は比例的に大きくなる。ただし半径が50mm以下ではパルスの設定単位との関係から、多角形になり実用に供さない。



- 真円切断についても同じように設定値が大きくなれば、絶対誤差は大きくなる傾向がある。しかし実用的には最大設定値に対して誤差が2mm程度なので、問題はない。
- 切断装置の機械的剛性が小さいので、トーチの振動のため速度を上げると、粗度が悪くなる。

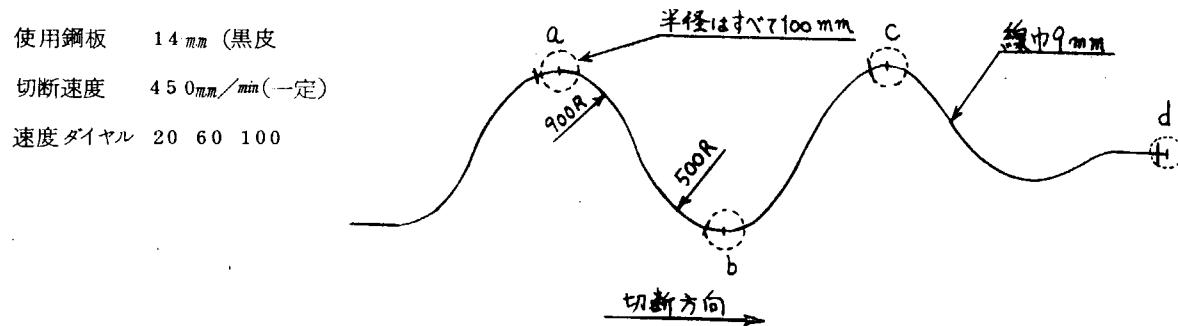
#### (c) 自動走行、自動切断実験

##### (i) 総合切断精度確認テスト

走行、切断、それぞれの機能を組み合せた、総合精度の確認を行った。

###### ① 実験方法

鋼板上に下図のような追従線をチョークで書き順次切断を行い、下記項目を調査した。



実験に際し、図のような追従線を用いたのは、このロボットが持つ走行用センサーと切断中心が一致しているという特徴を確認するためである。

② 実験結果

速度ダイヤル		項目	位置決め精度 (mm)	切断径 (mm)	ノッチ	粗度	面度
20	1回目	a	0	9.8	あり	WES2級	WES1級
		b	1.5	9.7			
		c	0	9.8			
		d	0	9.8			
	2回目	a	1.5	9.8			
		b	0	9.8			
		c	2.0	9.85			
		d	0	9.8			
60	1回目	a	1.5	9.8			
		b	1.5	9.75			
		c	2.0	9.85			
		d	1.5	9.8			
	2回目	a	1.5	9.8			
		b	2.5	9.8			
		c	2.0	9.8			
		d	1.0	9.8			
100	1回目	a	3.5	9.75			
		b	4.0	9.8			
		c	4.0	9.8			
		d	3.0	9.8			
	2回目	a	3.5	9.75			
		b	4.5	9.85			
		c	4.0	9.8			
		d	3.0	9.8			

③ 考察

- 各項目とも単体テストの結果とほぼ一致している。
- 位置決め精度は速度（減速後の速度）を上げると、悪くなる傾向があるが実用的には最高速度でも問題はない。

4.1.3 切断用ロボットの実用試験

(1) T型ロボット

(a) 試験対象材

230型タンカー横壁付ホリゾンタルガータを対象材として選び、そのドレンホール (100φ) の切断を自立型、自走型の両方について行った。

この部材を対象材に選んだ理由は、下記のとおりである。

- 対象円がドレンホールであるため、比較的切断精度が悪くてもよい。
- 対象円の配置が良く（一直線上に配置されている）、このロボットの欠点である復元性能の悪さをカバーできる。

(i) 対象材寸法

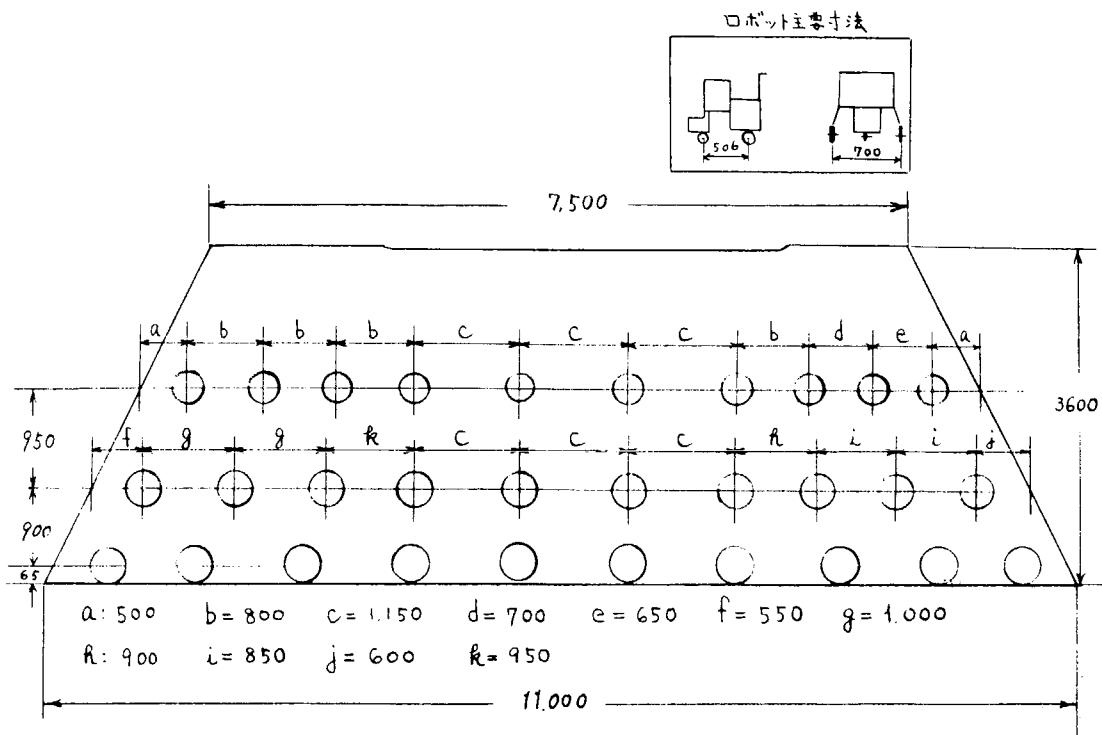
次頁

(ii) 対象材板厚および表面状態、切断速度

板 厚 1.4 mm

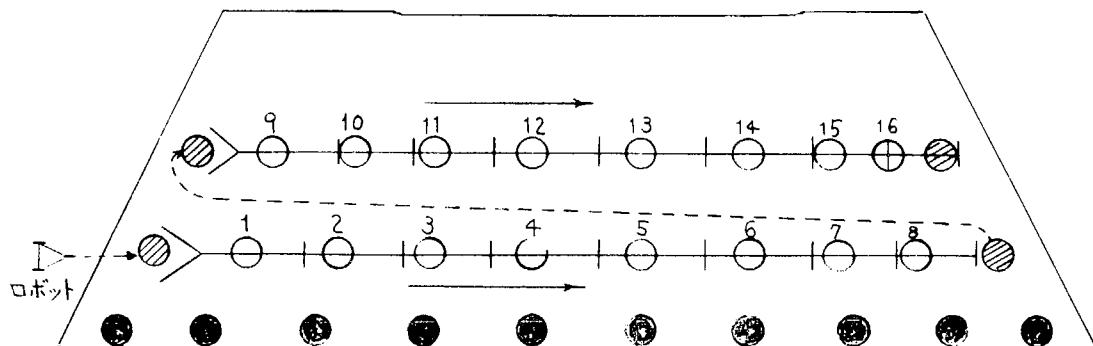
表面状態 黒皮

切断速度 450 mm/min



### (b) 実験要領

対象材に所定の進入線、追従線、停止マークを図のように記入し、自走自動切断を行った後自立型にて試験を行った。自走式による実用試験の状況を写真 4.1.2 に、また自立式による状況を写真 4.1.3 に示す。



—— は進入線、追従線、停止マークを示す。(いずれも線巾 10 mm の白線テープを使用)

- - - は手動によるロボットの移動を示す。

1~16 は自走式自動切断の切断順序を示す。

○ は自走式自動切断を行ったホールを示す。

◎ は自立型自動切断を行ったホールを示す。

● は試験不能のため手動切断を行ったホールを示す。

### (c) 考 察

#### (i) 自走式自動切断

##### ① 切断精度

○ ホール直径 (図面寸法 100 φ) のばらつきはほとんどない。

○位置決め精度は土 $6\text{ mm}$ 程度のばらつきが生じた。このばらつきの原因は、工場実験でも確認されているように、ロボット自体のもつばらつきと追従、停止ラインのけ書き精度によるものと考えられるが、実用的には切断対象を選択すれば問題はない。

○切削面品質は粗度、面度ともWES1級のものであり、実用的に問題のないことが確認された。ただ切斷開始点にノッチがはいるが、これはガス切断法を用いるかぎりいかなる機器を用いてもはいるものであり、このロボット特有の欠点とは考えられない。

## ② 作業性

○ロボットを定盤外から定盤上の対象材の上まで移動する作業が、大きな問題となることが確認された。特に現場の定盤は $450\sim500\text{ mm}$ 程度高くなっているが、この高さを持ち上げるのに最低4名の作業者が必要であり、このロボットの最大の問題点である。

○対象材上での移動、ホースのハンドリングについては当初予想していたほどではなく、作業者間でも評判はよかつた。ただ現場作業では今回の試験のように対象材の上に機器が1台しかのっていない例は少なく、複数台のっているかまたは混在作業となることが多い。このような場合には、移動やホースのハンドリングが問題となる。

○追従線、停止マークなどは非常にラフな方法でけ書いたが、仕上精度は問題となるほどではなく、これらのけ書き作業が実用上問題とならないことが確認された。

### (ii) 自立型自動切断

#### ① 切断精度

○自走式の場合と同じであった。

#### ② 作業性

○ロボットの移動は自走式に比べ、自重が相当軽いため1名にて可能であり実用化が充分可能であることが確認された。

○セッティング作業はたいへん困難ではなかった。ただ現在のものはホールセンターと切削機センターを目視でしか合わせられず、セッティング精度に若干ばらつきが生じるため、今後改良する必要がある（ばらつき量は土 $5\text{ mm}$ ）。

## (2) K型ロボット

### (a) 試験対象材

410型タンカーのボトムトランクを対象材として選び、そのドレンホール（ $250\phi$ ）の切削を自走式について行った。実用試験の状況を写真4.1.4に示す。この部材を対象材に選んだ理由は下記のとおりである。

○対象円径が $250\phi$ でこのロボットとしては最も安定した精度を保証できる。

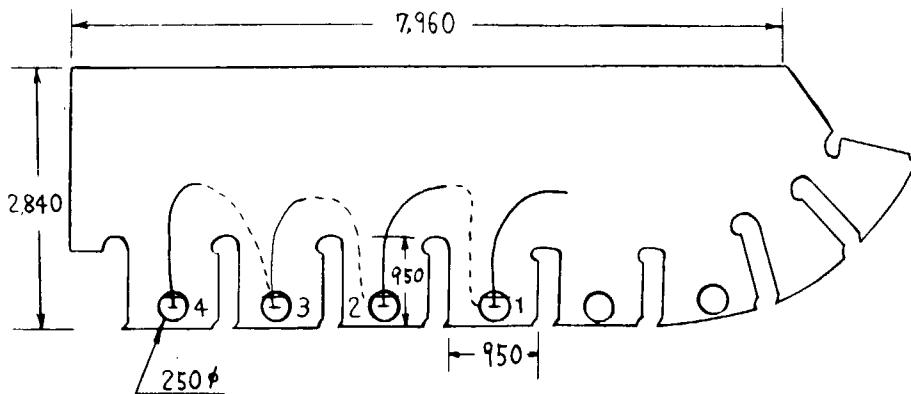
○ドレンホールが部材端部とスロットに囲まれた所に位置しているため、切削点までロボットを自走させるのに曲線が必要となる。このような場合には、このロボットの特徴が生せる。

### (i) 対象部材形状

次頁

### (ii) 対象材板厚および表面状態、切削速度

板 厚	1.6 mm
表面状態	黒皮
切削速度	$450\text{ mm/min}$



----- 手動によるロボットの移動を示す。  
 ————— 追従、減速、停止マークを示す（線巾 8mm チョーク線）  
 数字は切断順序を示す。

#### (b) 考察

##### (i) 切断精度

- 位置決め精度、切断半径精度はともに工場実験結果とほぼ変らず、誤差は  $\pm 2\text{mm}$  以内であり、実用的に問題のないことが確認された。
- 切断面品質、特に粗度については工場実験と同様 WE S 2 級程度の面しか得られなかった。トーチ回りの剛性が小さいため切断中鋼板に振動を与えると、面精度が悪くなり、これがこのロボットの大きな問題点となることが再確認された。

##### (ii) 作業性

- ロボットの移動は T型に比べると容易であるが、それでも最低 2名必要であり、実用化に際しては大きな問題となることが確認された。
- ホース、キャップタイヤのハンドリングは T型に比べ、かなり困難である（ホース、キャップタイヤを合わせると合計 5本をひきずらねばならない）。

#### 4.1.4 切断用ロボットの仕様、性能比較

切断用ロボットは当初の仕様をほぼ満足し、かつ、T型、K改型とも独自の特徴を持ったものとなった。誘導性能についてはチョーク線のような粗い誘導線、また、線幅も広い範囲で誘導可能であり、仕様以上の優秀性が確認された。走行速度は仕様の  $10\text{m/min}$  前後に達しなかったが実用上は支障がない。ただ、重量的に仕様を大きく越えたことは実用的には問題であり、運搬上の工夫が必要となろう。表 4.1.1 に両ロボットの仕様、性能比較を示す。

表 4.1.1 切断用ロボット仕様、性能比較

項目		形 式	T 型	K 改 型
走 行 装 置	無誘導または早送り時		$8.8\text{m/min}$	$5.9\text{m/min}$
	誘導 時		$1.2 \sim 6.9\text{m/min}$	$1.1 \sim 6.0\text{m/min}$
	誘導 方式		無誘導区間は直進、誘導線で減速 停止マーク、最終停止マーク、識別	全区間誘導 減速マーク、停止マーク、最終停止マーク、識別
	誘導 線種	チョーク線、テープ線どちらも可	同 上	
	誘導 線幅	$3 \sim 15\text{mm}$	$1 \sim 9\text{mm}$	

項目		形式	T型	K改型
走行性能	誘導線質	実用上考えられる線質すべて追従可能	同左	
	曲率	最小半径 25mm	最小半径 時計回り 250mm 反時計回り 700mm	
	妨害線の影響	追従線と妨害線との角度が30°以上になると停止する。妨害線が細い場合は問題はない。	妨害線の影響をほとんど受けない。	
	位置決め精度	-0 +15mm オーバランする	-2 +0mm	
制御装置	制御装置	搭載	分離	
	駆動方式	3輪車方式で前輪が駆動と操舵後2輪は従動	3輪方式で前輪が操舵、後2輪が駆動	
切断装置	切断機構	従来の円切断機を改良したもの	マイクロコンピューターによるパルス分配	
	切断形状	真円	真円とだ円	
	切断半径	50~200mm	長径、短径とも50~200mm(長径≥短径)	
	半径最小設定単位	スライド式に目盛を合わせる (アナログ設定)	0.1mm (デジタル設定)	
	切幅補正	なし	1mmあり	
走行用センサーとの関係	ピアシング	15mm手前で自動ピアシング後円周に直角に入る。	同左	
	失火検出方式	フォトトランジスターにより輝度変化検出	フレーム電圧低下により検出	
	失火検出後の動作	走行停止、ガス、酸素 OFF	同左	
切断装置	面品質	WES1級	WES1~2級	
	真円度	非常に良い	やや悪い	
重量		120kg	本体 64kg 制御機 143kg	
特徴		<ul style="list-style-type: none"> <li>○切断精度が良い。</li> <li>○曲率が小さいので小回りが効く</li> <li>○誘導線を自動探索するので、誘導線マークリングを簡略化できる。</li> <li>○トーチとセンサーに700mmのオフセットがあるのでトーチが誘導線上にのるまでの助走が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○真円のほかだ円も可能</li> <li>○トーチとセンサーが同じ位置なので、位置決め精度が良い。</li> <li>○半径50mm以下では多角形になる (マイクロコンピューターでの計算誤差を小さくするため分割角度を小さくするか、またはθ軸分解能を0.01°から0.001°に小さくすれば円に近くなるであろう。)</li> </ul>	

今後切断用ロボットを実用化するに当り注意すべき点はつきのとおりである。

- ① け書き線の追従と減速停止コマンドの認識に関しては、T型、K型ともに優秀な性能を示しており、充分実用化に耐えうる。
- ② T型の場合はトーチとセンサーにオフセットがあるので、実用上は一直線上に円が配置されている場合しか切断で

きない。

- ③ T型, K型ともに重量が重く、ハンドリング用としての治具が必要となろう。
- ④ T型のホース類ハンドリングは比較的容易であるが、K型の場合は本数が多いため、なんらかの工夫を必要としよう。
- ⑤ 自立型としては、ハンドリング、切断精度とともにT型がすぐれ、実用的である。
- ⑥ 真円の切断精度と品質はともにT型がすぐれている。
- ⑦ K改型の切断面品質が若干劣っているのは、トーチ回りの剛性が小さすぎるためであり、この点を改善すれば品質が向上する。
- ⑧ K改型のだ円切断機能は実用化の域に達しており、さらに、分割角度あるいはθ軸分解能を小さくすれば、小円をふくめてさらに良い切断精度を得ることができよう。

#### 4.1.5 フレーム検出、自動ピアシングおよび失火検出の機能を備えた切断装置に関する研究

上記の3機能を満足させるためのセンサーの基礎実験と、これらの機能を組み合わせて試作したガス切断適応制御実験機についてガス切断の適応制御の可能性を探究した。

##### (1) 個々のセンサーに関する基礎実験

###### (a) フレーム検出

予熱炎がなんらかの理由で消えてしまった場合、ガス切断は続行不可能となるため適応制御としてはすみやかにフレームが消えたことを検出し、切断送りを停止すると同時に再切断準備を自動的に行わせることがもっとも良い方法と考えられる。

フレーム検出の方法として2,3の実験を試みたが、図4.1.7に示すようなフレーム電圧をセンサーとして用いる方法が

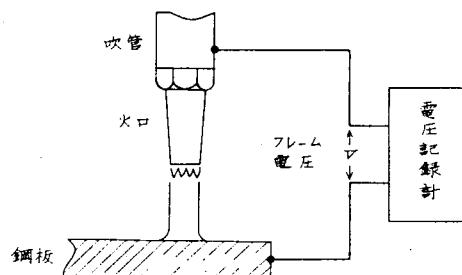


図4.1.7 フレーム電圧検出用センサー

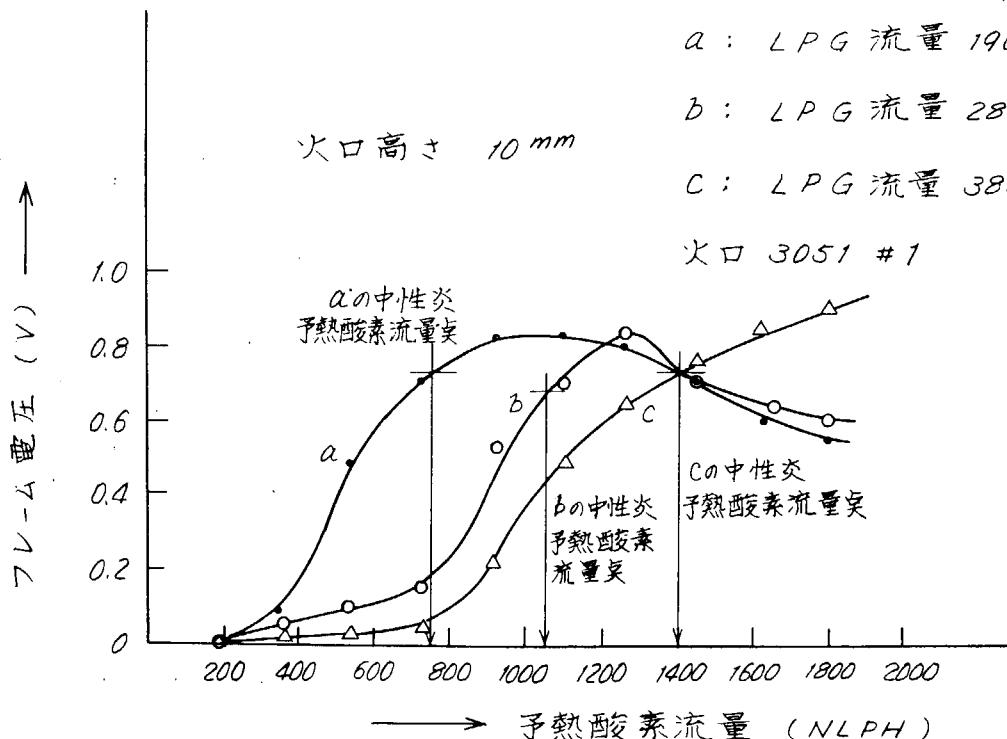


図4.1.8 予熱酸素流量とフレーム電圧との関係

もっともすぐれていることがわかった。図4.1.8は測定したフレーム電圧の一例でプロパン流量、予熱酸素流量を変えた場合のフレーム電圧を示している。

#### (b) 自動ピアシングと失火検出

予熱完了後のピアシングは現在人間の眼により徐々に高溫になってくる鋼板上面の色合いを見ながら、経験に基づく判断で行われている。また切断反応が途絶した失火状態も同様に人間の眼で確認する方法がとられており、適応制御に程遠いのが現状である。

ピアシング最適時期と切断状態について考えてみると、どちらにも共通して言えることは両状態とも被切断部付近が800°C以上の中温部になっているということである。図4.1.9はこの中温部を切断酸素孔の上から孔を通して光電検出器で検知し、自動ピアシングと失火検出のためのセンサーにしようと試みたものである。図4.1.10にこの方法によって測定した光電出力電圧と鋼板の表面温度との関係を示すが、鋼板温度の上昇とともに光電出力電圧も増加の傾向を示し

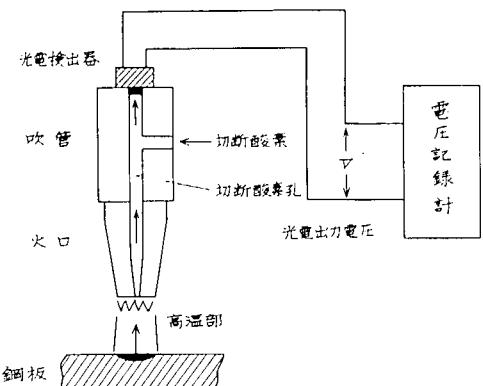


図4.1.9 自動ピアシング、失火検出用センサー

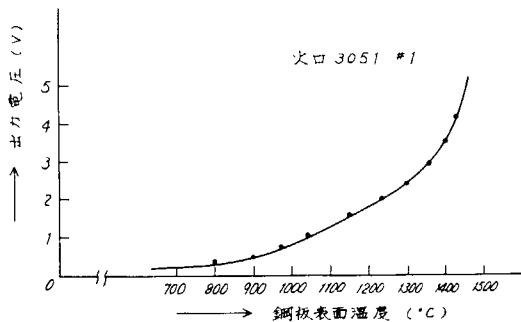


図4.1.10 鋼板表面温度と光電出力電圧の関係

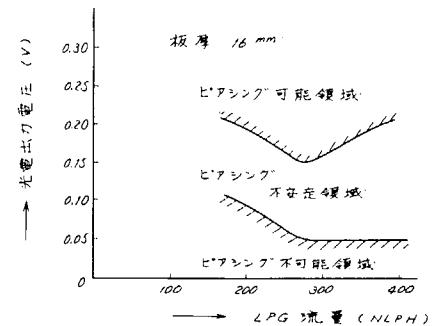


図4.1.11 光電出力電圧とピアシング可能領域の関係

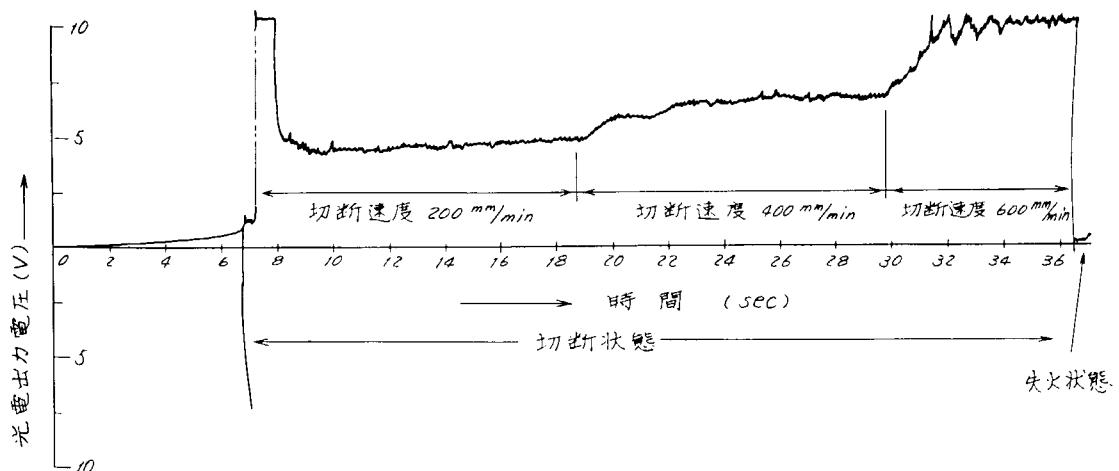


図4.1.12 切断速度と光電出力電圧との関係

ている。

ピアシング可能時期は鉄と酸素の燃焼反応が可能となる鉄の温度で決まり一般に800°C付近と言われているの

で、センサーの実験としては光電出力電圧が図 4.1.1.0 で示されている 700°C~800°C に対応する電圧に達したらピアシングを試み、その可否でピアシング可能な最低光電出力電圧を確認するという方法で行った。図 4.1.1.1 にその結果の一例を示す。ピアシングは予熱ガス量にあまり関係なく、光電出力電圧が約 0.2V (温度約 750°C) 以上になれば可能である。また失火検出用のセンサーとして使用できるかどうかを確認するために行った実験結果を図 4.1.1.2 に示す。切断状態では実用速度範囲で最低速度と考えてよい 200mm/min でも光電出力電圧は常に 2V 程度以上あるのに對し、失火状態では完全に 0V に落ちる。

以上より光電出力電圧を自動ピアシングと失火検出のセンサーとして使用することにした。

## (2) ガス切断適応制御実験機

前述したセンサーを用い、フレーム検出、自動ピアシングおよび失火椰出の機能を持たせると同時にこれらの相互の関係を含めて可能な限りの適応制御ができるようにしたガス切断装置を試作し、性能テストを行った。写真 4.1.5

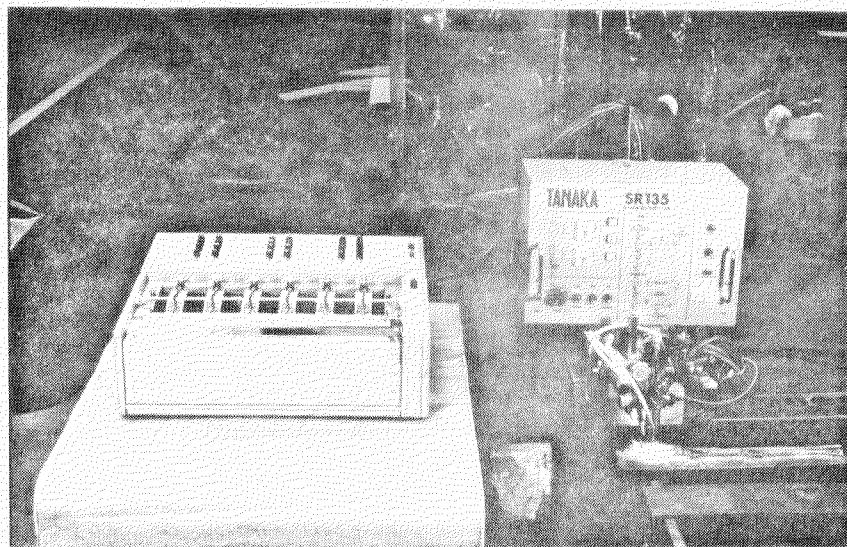


写真 4.1.5 実験装置外観

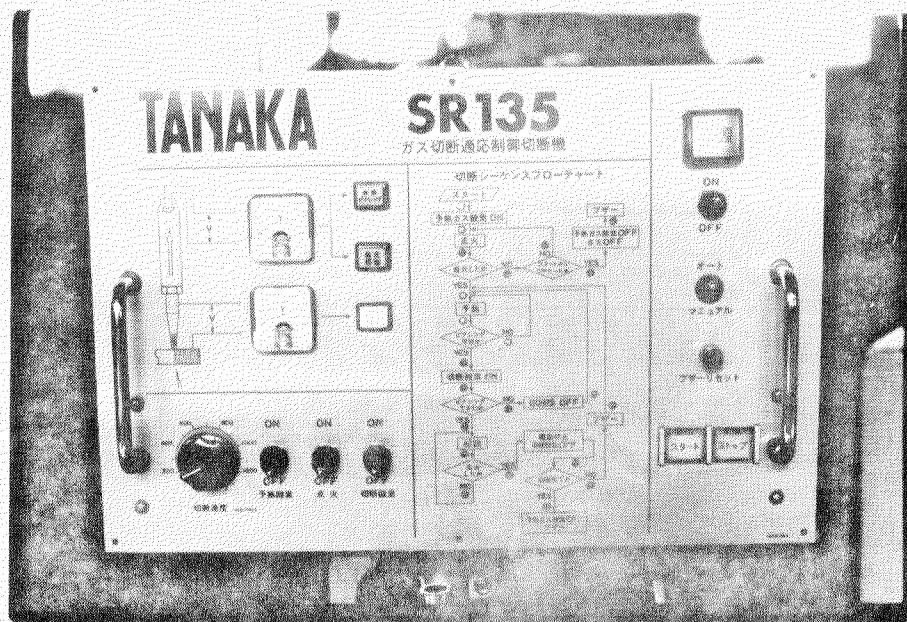


写真 4.1.6 操作盤外観

に装置全体、写真 4.1.6 に操作盤の外観を示す。

#### (a) 実験機の適応制御機能

適応制御機能として以下のものを装置に組み込むことにした。

##### (i) 着火動作

スタートボタン ON により予熱ガスおよび酸素が噴出され、同時にパイロットフレームに点火が行われ、火口に着火される。着火に成功すればフレーム検出の機能を利用してパイロットフレームを OFF にし、次段階へ進めるが、もし失敗した場合には 5 秒間パイロットフレームを維持し着火の完遂を計る。5 秒後にまだ着火が完了していない場合は事故としてブザーで警報する。

##### (ii) ピアシング動作

ピアシング動作は前述のセンサーの光電出力電圧を利用し、まずピアシング時期に達したことを判断し、自動的に切断酸素を噴出させてみることから始まる。適正な光電出力電圧を選んで切断酸素噴出時期を決めればピアシングは必ず成功するはずであるが、失敗した場合には切断酸素を OFF にして再予熱し、何度もピアシングを試みる動作を自動的に行わせるよう回路を構成した。

##### (iii) 失火処理

ピアシングが完了するとセンサーは切断状態を示すため、これを有効に使って自動的に切断機を駆動させる。この後失火が発生しない限り切断は続行されるが失火状態になった場合にはすみやかに駆動と切断酸素を自動停止するようにした。

##### (iv) 切断終了処理

切断終了は光電検出センサーから見れば失火検出と同じ意味となってしまうので、光電検出センサーの出力のみで単純に判別することは困難である。そこで鋼板上で 10 秒程度予熱してみても光電検出センサーの出力が 0 の場合は火口直下に鋼板がない。すなわち切断終了であり、またセンサー出力が 20 秒以内に発生した場合は火口直下に鋼板があり失火であると判断することにした。切断終了の処理は予熱ガスおよび酸素 OFF、終了ブザー ON、また失火の処理は再予熱、続いて再ピアシング切断とした。

図 4.1.1.3 はこれらの動作を示す流れ図である。装置の操作盤にもこの流れ図を配し、各シーケンスに従ってランプが点灯するようにした。また図 4.1.1.4 に装置のブロックダイヤグラムを示す。

#### (b) 実験機の性能テスト

図 4.1.1.5 はこの実験機の性能テスト結果を示すオシログラフである。上から予熱炎、パイロットフレームの ON、OFF 状態、続いてフレーム電圧と光電出力電圧の変化状況、下 2 つに切断酸素と駆動の ON、OFF 状態を示す。

区間①は予熱ガスバルブを手で 2 回閉めた場合の記録でフレーム電圧が 0 になることにより、再点火が行われていることがわかる。

区間②はピアシング時期を少し早めに調整して意識的にピアシングを失敗させている時期で切断酸素が何度も ON してピアシングを試みているが不成功に終っていることが示されている。

区間③は予熱炎、フレーム電圧、光電出力、切断酸素、駆動とも ON 状態で順調に切断が進行している期間である。

区間④は正常に切断が行われている火口の下にアルミ板をさし込んで失火させた場合の例で、一度駆動を停止し後、再予熱と再ピアシング切断が行われていることがよくわかる。

区間⑤は板端における切断終了処理の期間で 20 秒後にすべてのセンサー出力と制御因子は OFF 状態となり、完全に切断終了処理を行ったことを示している。

#### (3) まとめ

この研究は切断の自動化に焦点をしぼって、その可能性を調べたものである。自動化に関する限りガス切断の適応

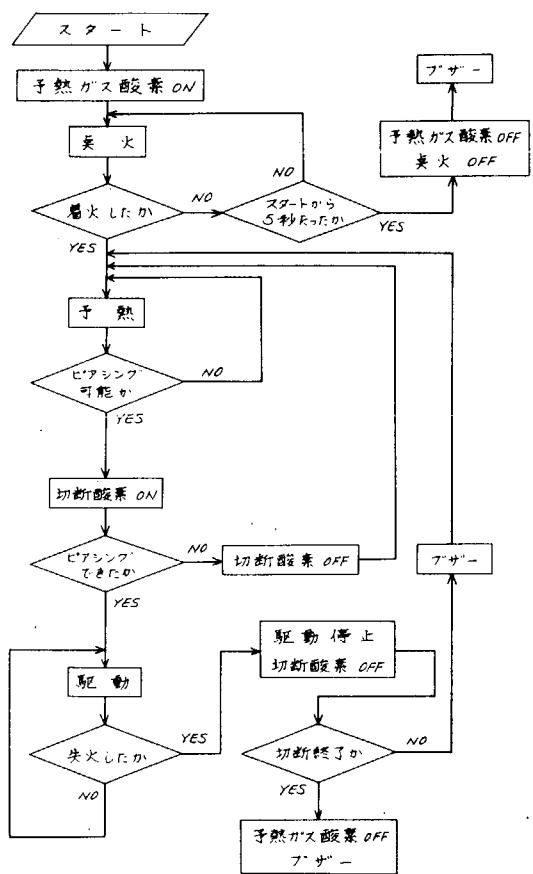


図 4.1.1.3 切断シーケンス流れ図

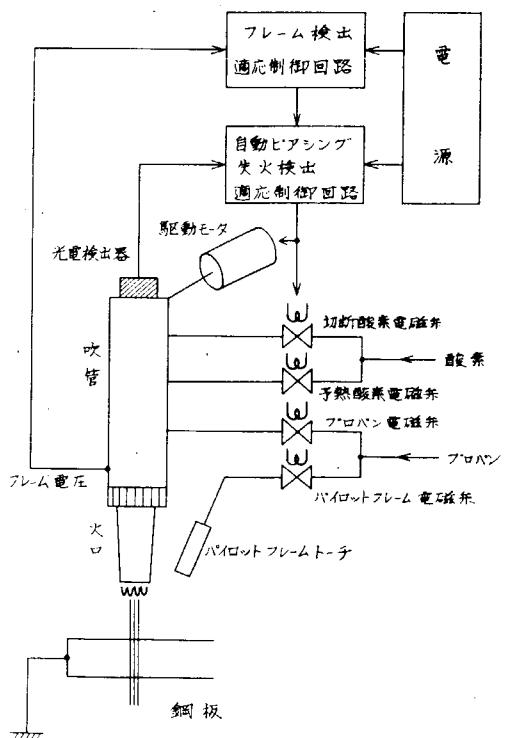


図 4.1.14 装置のブロックダイヤグラム

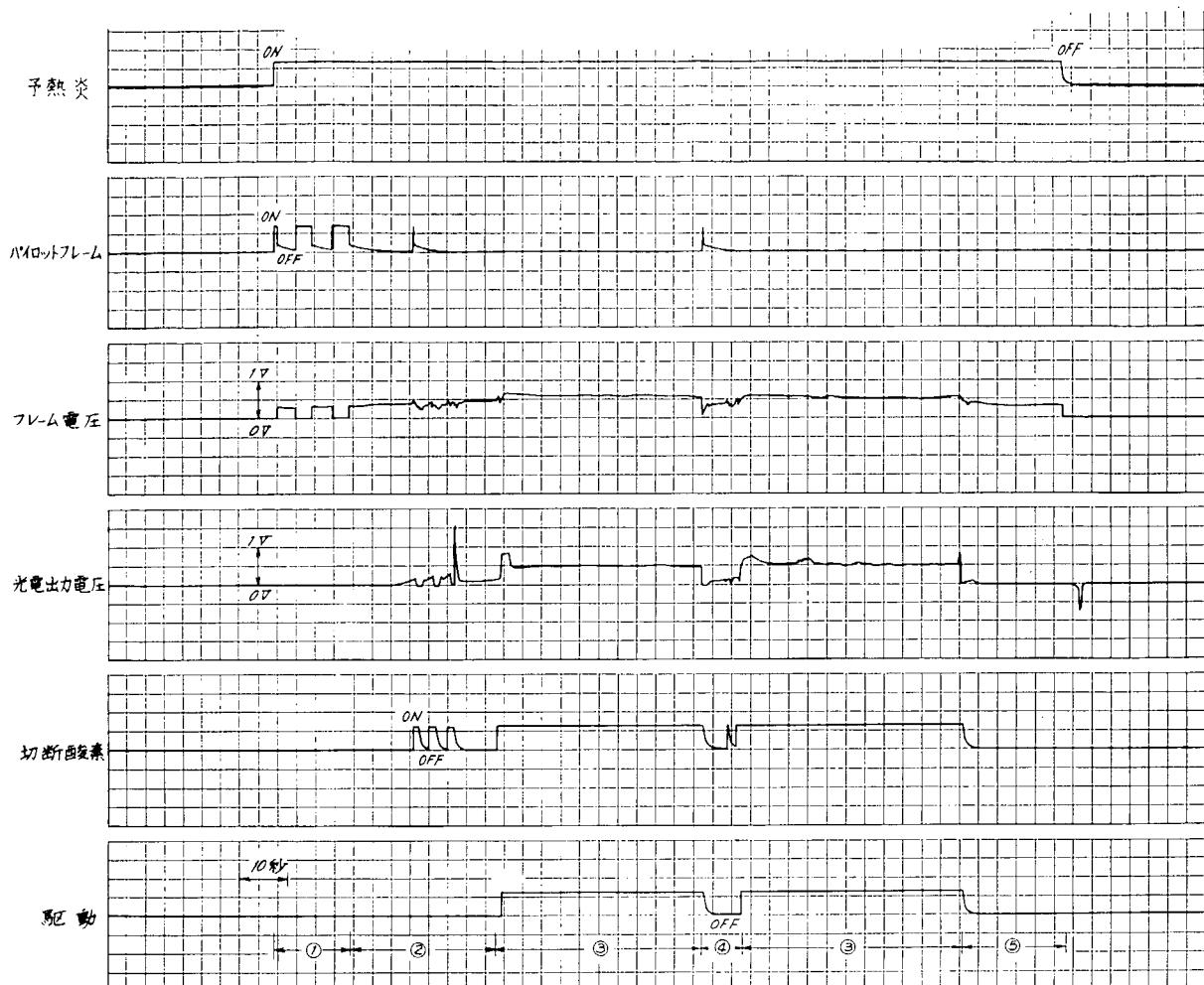


図 4.1.15 実験材の性能テスト、オシログラフ

制御の可能性は十分にあると言える。

#### 4.1.6 予熱炎と最適切断速度の自動調整に関する研究

##### (1) 予熱炎の自動調整

ガス切断作業における予熱炎の調整は、全面的に経験と勘に基づく人的判断に依存しているのが現状である。すなわち火炎のパターン認識（炎の色・形状・白点の長さなど）にたよっており、これが自動化への障害となっていた。

しかし、近年の研究\*によれば、ガス・フレームが持つ電流特性が自動化の制御因子となりうると考えられることから、この特性を予熱炎の自動調整に適用させるべく研究を行い、その結果に基づき自動調整装置を試作した。

##### (a) 予備実験

###### (i) 実験装置

実験装置を写真 4.1.7～8 IC、測定機器類を写真 4.1.9 IC、また流体および電気系統図を図 4.1.16 IC 示す。

###### (ii) 実験方法

電気的に絶縁された火口と、予熱される鋼板間に直流電圧を印加した上で、予熱炎を形成させる。酸素およびプロパンの調整圧を一定に保ち、酸素およびプロパンの流量、火口高さを種々組み合わせて、それぞれのフレーム電流値を測定した。

\* “ガス・フレームの電気的特性について(2)”

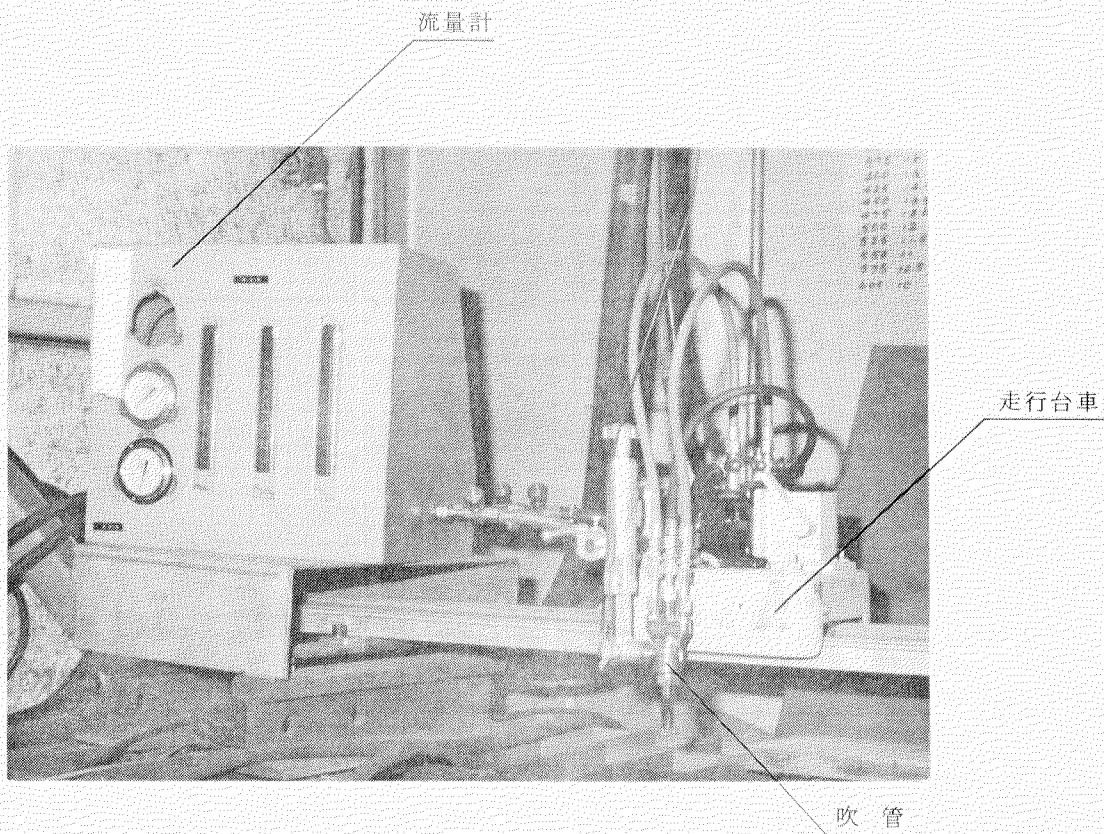


写真 4.1.7 実験装置切断部



写真 4.1.8 実験装置制御部

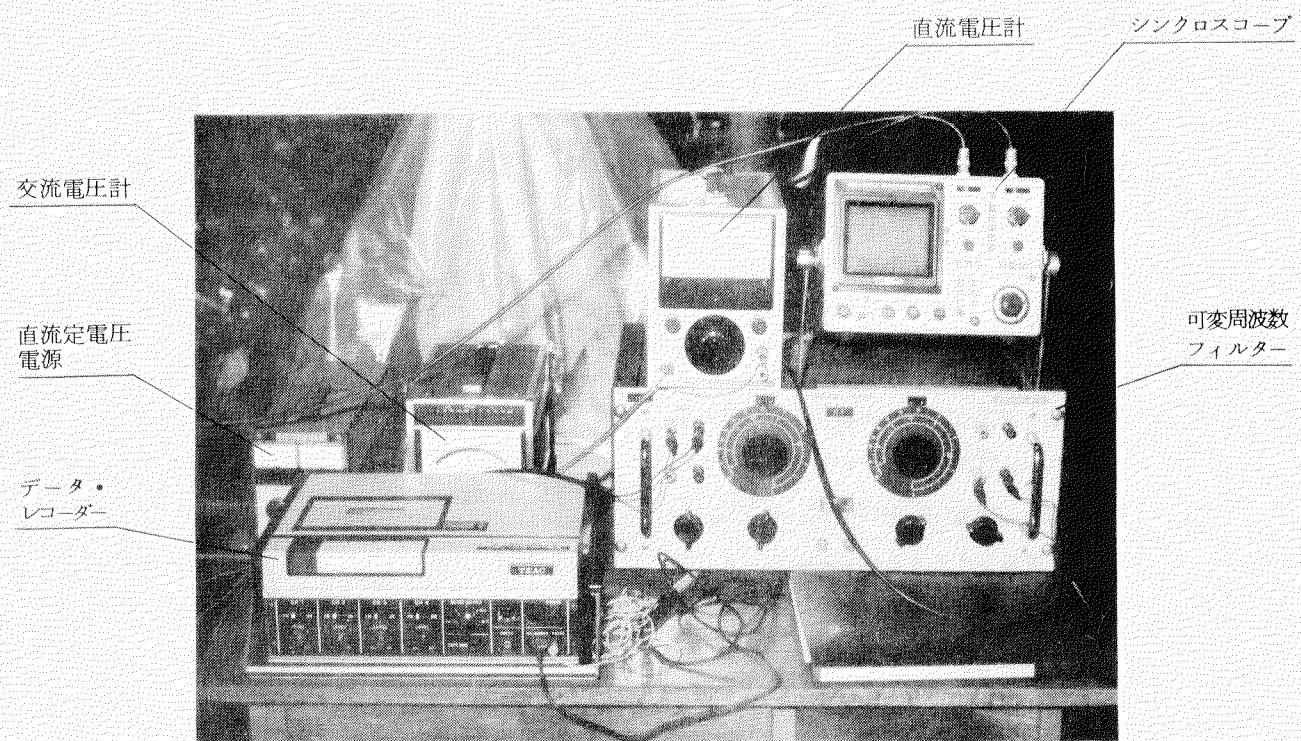


写真 4.1.9 検定機器

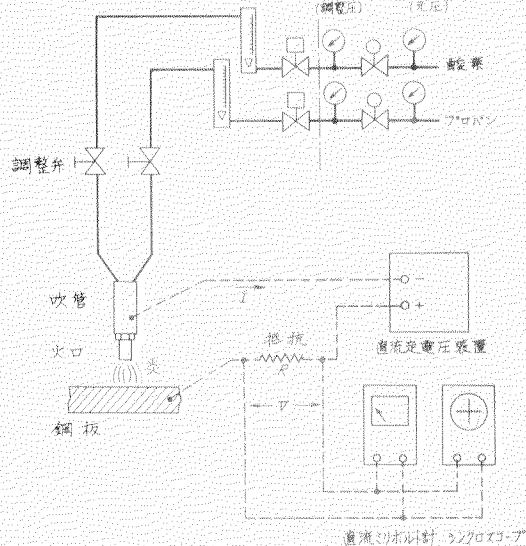


図 4.1.16 流体および電気系統図

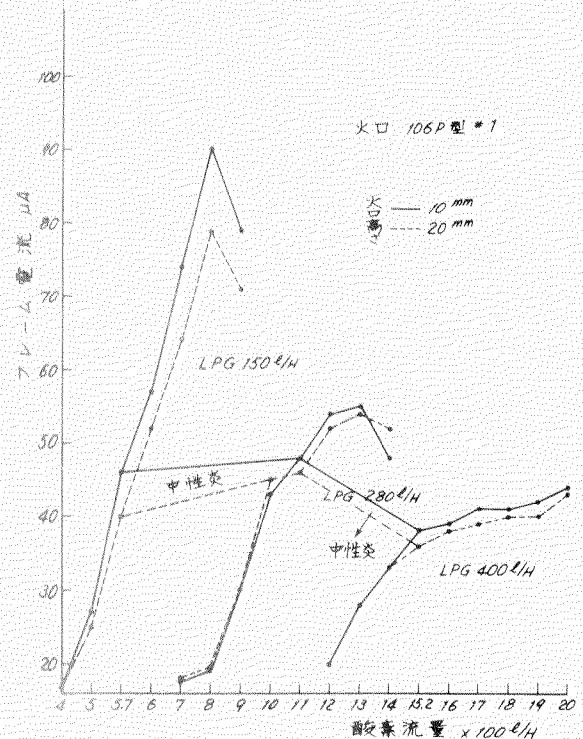


図 4.1.17 フレーム電流特性(1)

すなわち、火炎と直列に入れている抵抗器に生ずる電圧値を直流ミリボルト計で読み取り、電流値に換算した。さらにその波形をシンクロスコープで観察した。

### (iii) 実験結果

予熱炎の各種条件に対応するフレーム電流値を

図 4.1.1 7～1 8 に示す。

### (iv) 考 察

- ① 酸素流量を増すと電流は増加するが、最大値がありそれ以後は減少する。最適であるところの中性炎はその増加勾配中に位置している。
- ② プロパン流量が多くなるについたがい、上記曲線の勾配がゆるやかとなり、最大値も小さくなる。
- ③ 火口が鋼板に近いほど電流値は増える。しかし適正高さ付近での変化はそれほど大きくない。
- ④ プロパン流量は火口番号で、標準量が定まつておらず、さらに火口高さも適正値があるので変化要素は酸素流量のみと考えてよい。
- ⑤ 予熱炎の自動調整は、火口番号で定まる電流値（最適炎）になるまで、酸素流量を自動制御する方式で可能である。

### (b) 予熱炎自動調整装置の試作

#### (i) 試作装置

試作装置を写真 4.1.1 0～1 1 に示す。

本装置の仕様は次のとおりである。

- ① 調 整 弁 ..... NRS ニードルバルブ (ブルックス・インストルメント)
- ② 設定表示ダイヤル ..... SR デュオダイヤル (ベックマン・インストルメント)
- ③ 直流サーボ・モーター ..... 5 型 3 W (多摩川精機)
- ④ 増 幅 器 ..... 差動増幅方式 (小池酸素)

図 4.1.1 9 の系統図に示すとおり、プロパン系統に開度表示付きの流量設定ダイヤルで回される流量調整弁があり、ダイヤルを火口番号に合わせることで流量が設定される。酸素系統は直流サーボ・モーターで駆動される流量調整弁があり、設定器で合わせた火口番号に対応する電流  $i_R$  とフレーム電流  $i_S$  が一致するまで、サーボ増幅器にて制御される。

設定器は適正火炎のほかに酸化炎をも設定可能である。

図 4.1.2 0 に増幅器の操作パネルを示す。“閉”“開”的押しボタンは調整弁の手動開閉用で、手動速度の設定器で速度が変えられる。

自動調整は“設定”的ダイヤルを火口番号に合わせ、着火し、火口と鋼板の高さを合わせて“自動”的押しボタンを押す。予熱炎が適正となるまで、サーボ・モーターが酸素流量調整弁を駆動し、モーターが止まった点が設定完了で、押しボタンをはずすことでの操作は終了する。

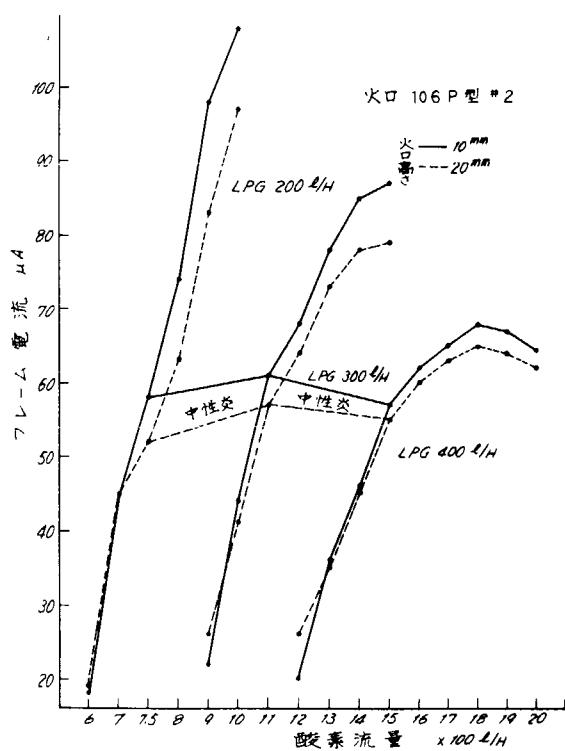


図 4.1.1 8 フレーム電流特性(2)

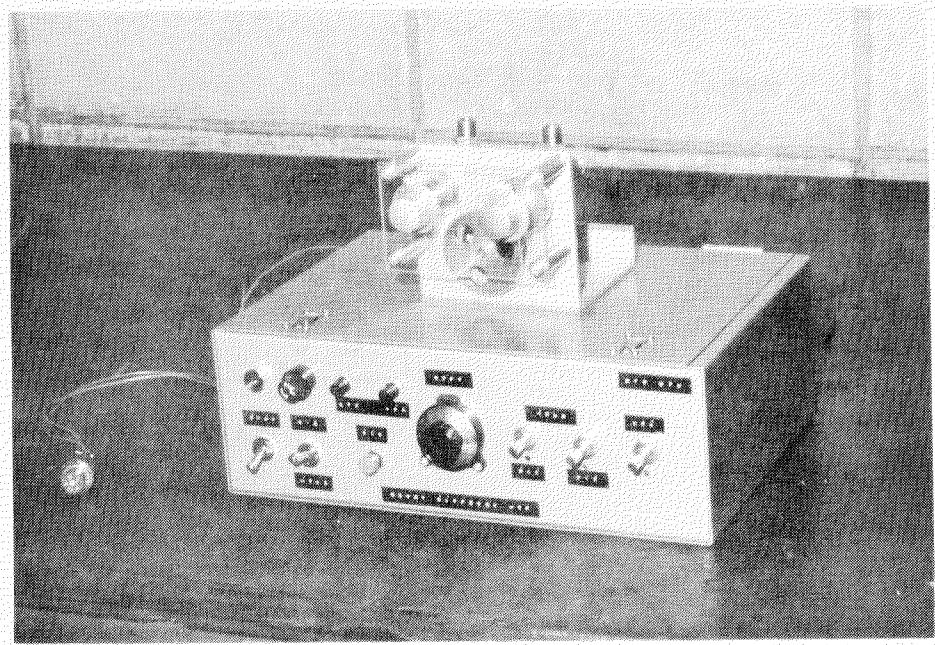


写真 4.1.1.0 試作装置

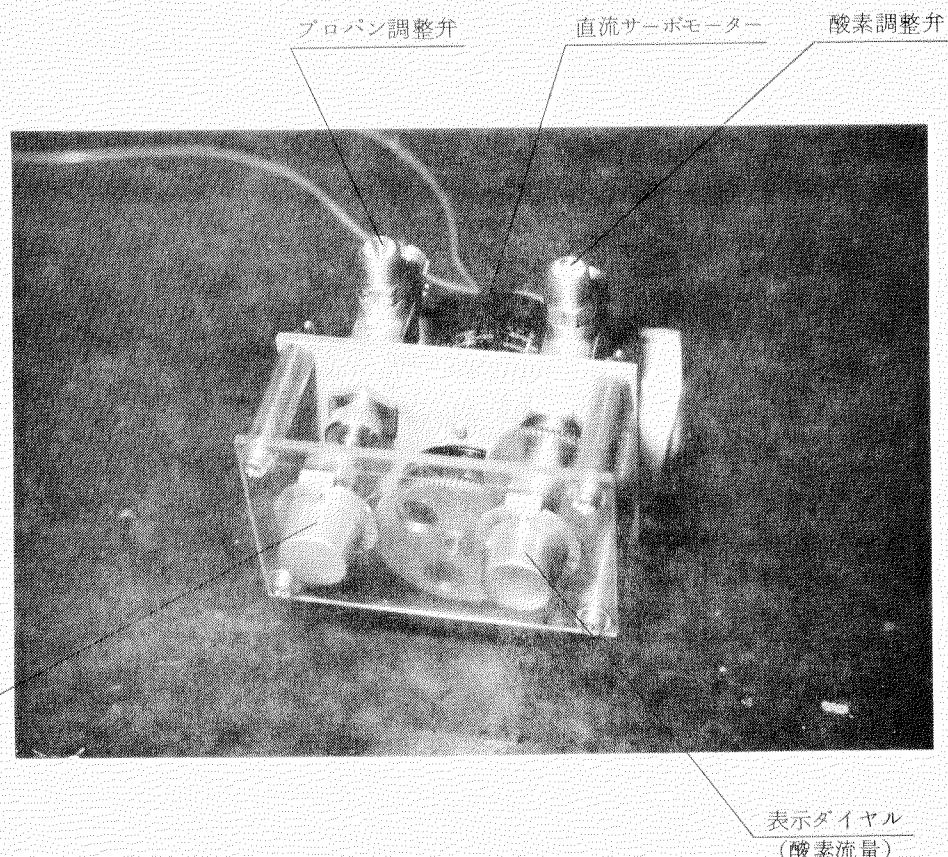


写真 4.1.1.1 流量制御機構

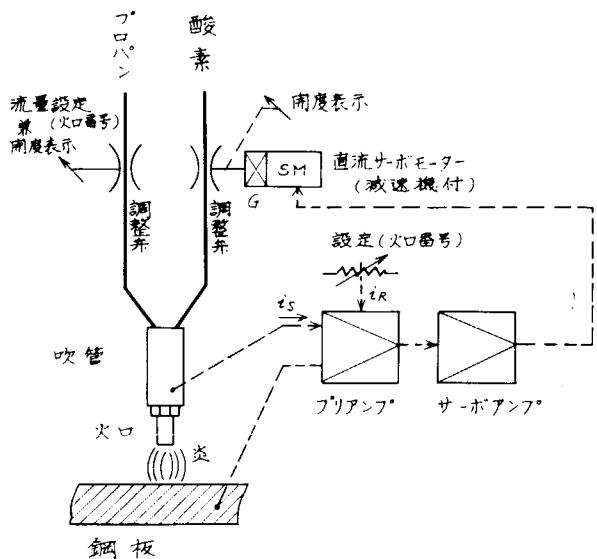


図 4.1.19 試作装置の系統図

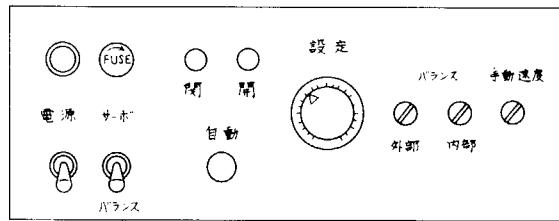


図 4.1.20 操作パネル図

### (ii) 試作の結果

自動設定の結果は炭化炎より、すなわち酸素の少ない側からの場合は良好で、常に所定の火炎となった。

ただし、酸素が過度に多い場合は、すなわち図 4.1.17～18 に示す最大値を越えた場合は制御が逆となるので調整不可能となる。それ以下の場合は良好に自動調整ができた。

### (2) 最適切断速度の自動調整

ガス切断において、単なる切り離しを含めると、切断可能な速度範囲は非常に広い。しかし、その中で良質な切断面（上縁の溶け、平面度、アラサ、スラグなど）を保ちうる最も速い速度が最適切断速度である。

一方、切断速度の調整は予熱炎の調整と同様に、全面的に経験、勘に基づいた人的判断に依存しているのが現状であり、切断状態における種々の現象（切断進行部の形状、スラグの飛散方向、切断幅など）で判断せねばならず、これが自動化を阻害している。

この切断速度の自動調整を目的として、切断状態を解析し、なんらかの制御方式を求めるべく、失火検出制御装置を利用して研究を行った。

実用化されている装置として

- ① フレーム電圧検出法
- ② 切断部輝度光電検出法

が代表的なもので、この両方法で実験を行った。

#### (a) フレーム電圧検出法による実験

##### (i) 実験装置

実験装置は(1)予熱炎の自動調整に使用したものと同様である。

図 4.1.21 に流体および電気系統図を示す。

##### (ii) 実験方法

ショット・プラス処理をしたままの板厚 2.2 mm の鋼板およびその上面だけにジンクリッヂ塗装（ジンキー 8000, 9 μ）をほどこした鋼板の 2 種を対象とした。

切断速度を変化させ、フレーム電圧を電圧記録計で記録し解析した。さらにそれぞれの切断速度に対応するフレーム電圧をデータ・レコーダーにて記録を行い、それを再生して、信号の中から速度の変動に対応するものが

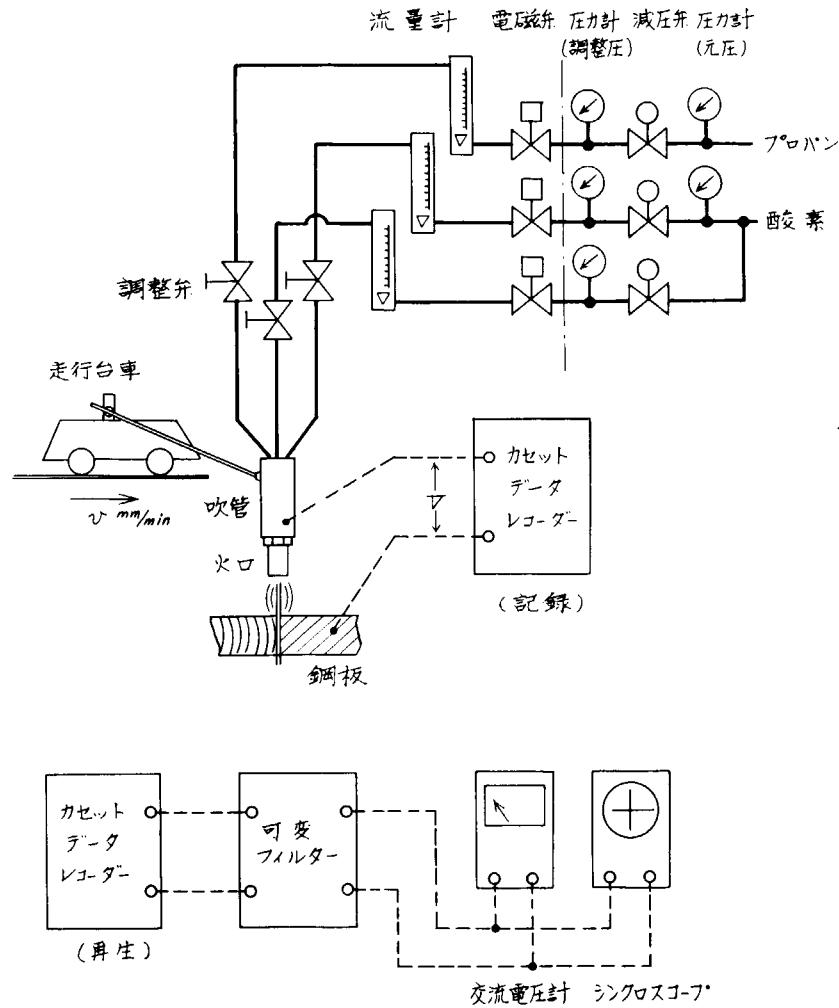


図 4.1.21 流体及び電気系統図

ないかを調査した。

### (iii) 実験結果および考察

実験結果を図 4.1.22~23 IC 示す。図 4.1.24 は切断速度・周波数帶出力変動特性を示したものであり、750 Hz 付近では切断速度の増加にともない両特性とも直線的に増加している。

図 4.1.25 は切断速度・フレーム電圧特性と切断面品質の関係を示すものであり、フレーム電圧をもって表面処理のことなる鋼板の切断面品質を制御することは不可能に近い。

### (b) 切断部輝度光電出力検出法による実験

#### (i) 実験装置

実験装置は、4.1.5(1)(b)自動ピアシングと失火検出 IC 使用したものと同じである。

#### (ii) 実験方法

被切断機は(a)フレーム電圧検出法による実験と同じく板厚 22 mm の鋼板で、ショット・プラスト処理をしたままのものと、その上面だけにジンクリッヂ塗装をほどこしたものとの 2 種類である。

切断速度を変化させ、切断部輝度の光電出力電圧を電圧記録計で記録し解析した。

#### (iii) 実験結果および考察

実験結果を図 4.1.26~27 IC 示す。図 4.1.28 は切断速度・光電出力特性と切断面品質との関係を示すものであり、光電出力電圧と切断面品質および切断速度とは直線的な関係がある。ショット材の方が同じ切断速度では若干光電出力が高く、また 1 級面が得られる速度はショット材の方が若干速い。

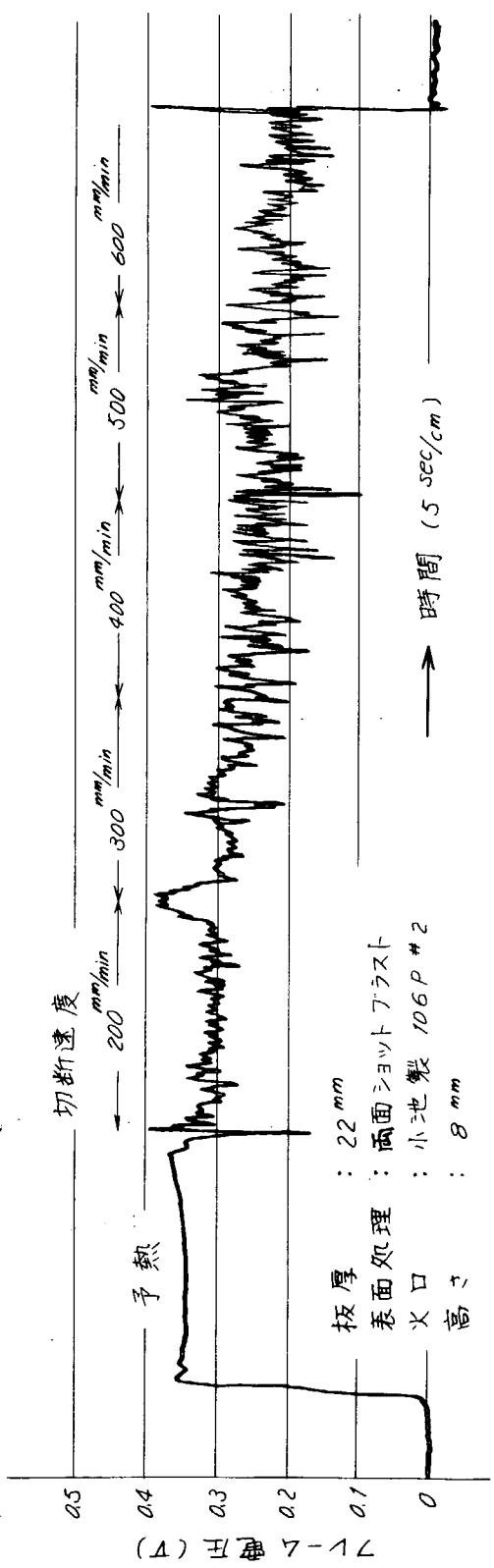


図 4.1.22 切断速度とフレーム電圧の関係(1)

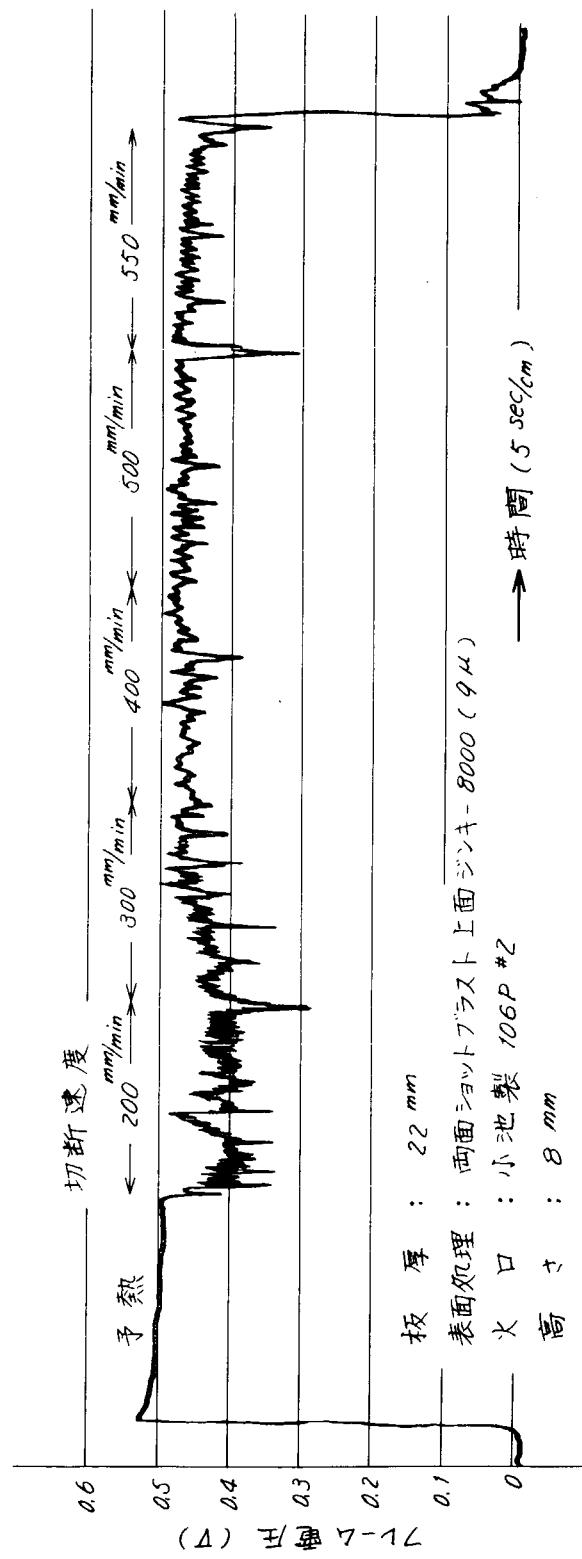


図 4.1.23 切断速度とフレーム電圧の関係(2)

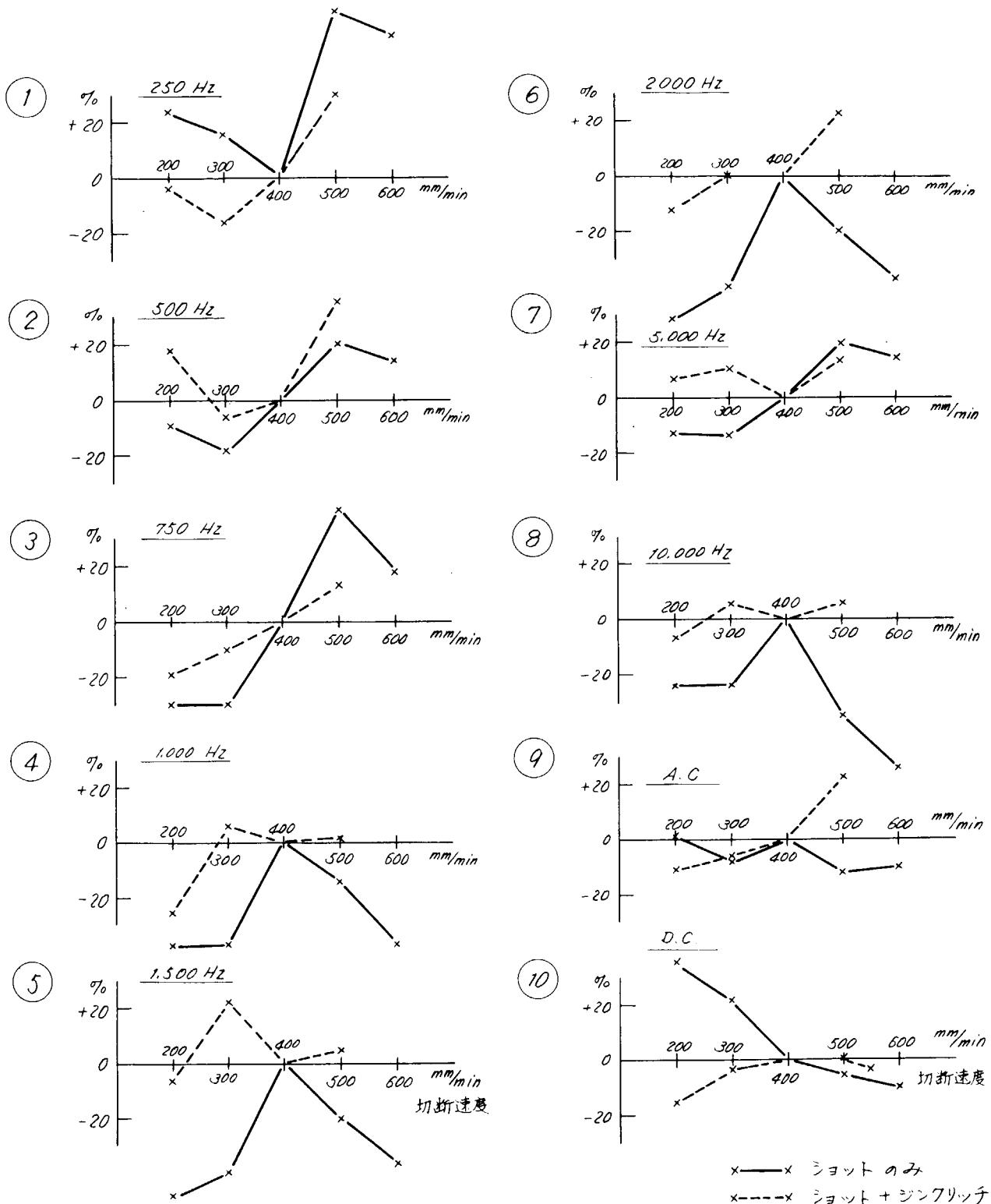


図 4.1.24 切削速度・周波数帯出力変動特性

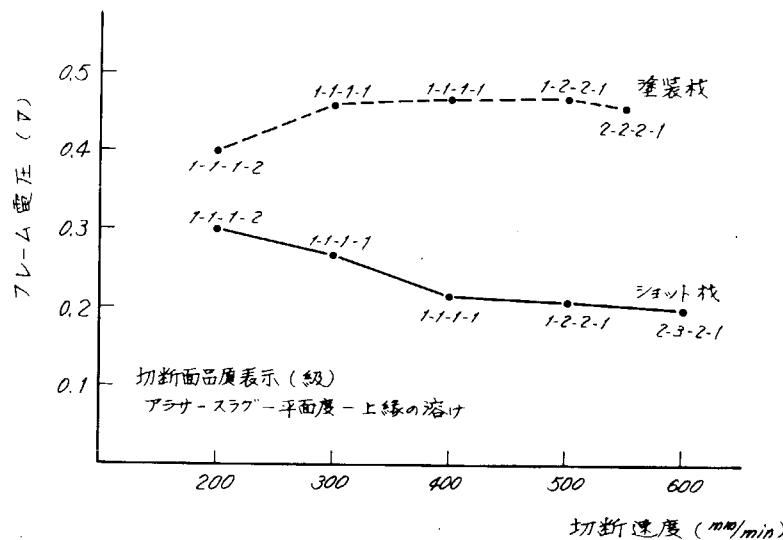


図 4.1.2.5 切断速度・フレーム電圧特性との切断面品質

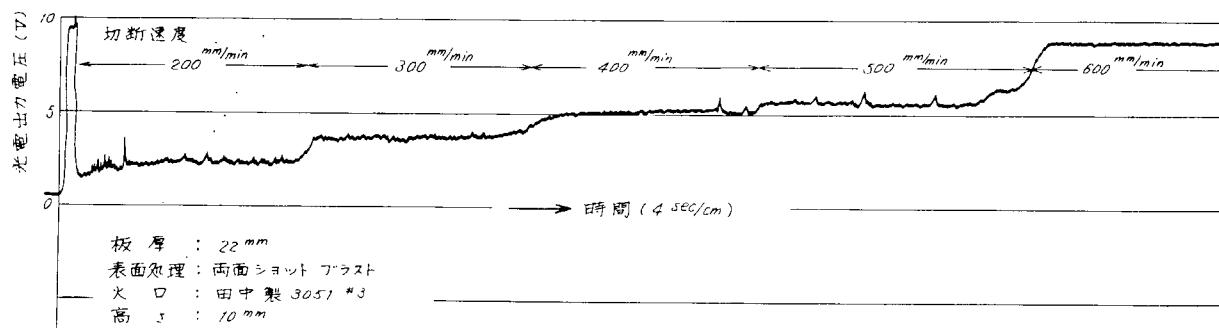


図 4.1.2.6 切断速度・光電出力特性(1)

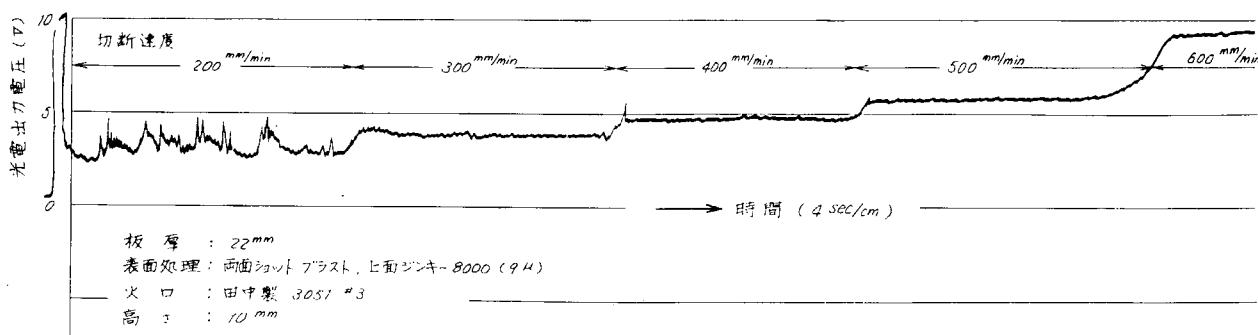


図 4.1.2.7 切断速度・光電出力特性(2)

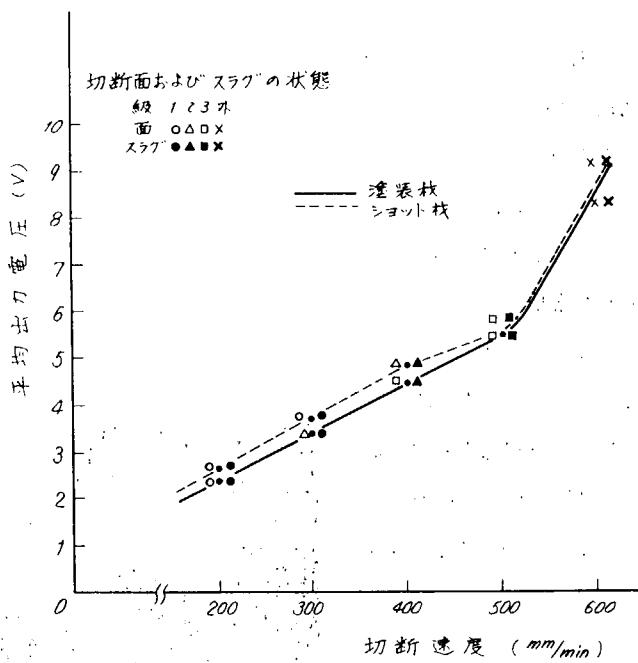


図 4.1.28 切断速度・光電出力特性と切断面品質

### (3) まとめ

ガス切断作業の完全な適応制御化を具体的に計ろうとした場合、4'8年度に詳細に分析報告したように非常に高度な技術がセンサーなどに要求されるため、一朝一夕にこれを解決することは困難であると言わざるを得ない。

適応制御の対象を大きく切断精度および切断面品質の確保と、切断の自動化の2つに分けて考えてみた場合、前述した高度な技術はどちらかと言えば前者に必要とされるものが多い。

4.1.5のフレーム検出、自動ピアシングおよび失火検出の機能を備えた切断装置に関する研究や、4.1.6(1)の予熱炎自動調整に関する研究は切断の自動化へのアプローチであり、実用化は容易である。

一方、4.1.6(2)の最適切断速度の自動調整は切断精度および切断面品質の確保へのアプローチの一つであり、フレーム電圧検出法による制御は不可能であったが、光電出力検出法は切断速度を制御するセンサーの一つとして利用し得る可能性がある。

いずれにせよ、切断面品質の制御を実用化するまでには、昨年度に行った制御因子の分析で示したように切断進行半円部形状、湯流れの状態、ドラグライン、上縁の溶け、切断幅などの諸現象に相当する現象を検出しうるセンサーの開発など、さらに多くの研究が必要であろう。

## 4.2 組立工程

### 4.2.1 研究の経緯

組立工程において、船体の曲り部ブロックの板継ぎ及び組立作業は、技能者の経験と勘に頼っている部分が多く機械化、自動化をはかる上で適応制御の最適なテーマとなり得ることに着目し、その基礎研究として曲面外板板継ぎ作業について机上の検討、実態調査を行い、作業に必要な制御因子の調査、主要部分機構の開発、制御に必要な出力の解析等を行った。その結果このテーマの具体的な応用例の一つとして、曲り外板ブロックの板継ぎ作業用ロボット（PABOT）の試作を行い、組立工程における適応制御の適用実験ならびに実用化検討を行った。

### 4.2.2 板継ぎ作業用ロボットの概要

本装置は外板を拘束する四基のマグネット、マグネット等出力を駆動する油圧装置、外乱等の検出と溶接機能を持つ作業機器、これらを制御する制御装置を搭載して曲面外板上を溶接線に沿って移動し、外板の引寄せ、整面、仮付溶接を自動的に行う機械化装置である。

装置の概要を

図 4.2.1 PABOT 全体図

図 4.2.2 PABOT 組立図

に示す。

次にそれぞれの部分は次のよう構成と機能を持っている。

#### (1) フレーム

本フレームは二個のフレームから成立し、一方のフレームが他方のフレームにかん入され、X方向シリンダによって連結されている。

そして、このフレームの四隅には、Y・Z方向シリンダおよびマグネット支持ブロックが取付けられ、さらにフレームを突出させてその下方に移動用ローラが取付けられている。

また、このフレーム上面には油圧ユニット、制御装置が設置され中央部下方にはトーチ台車用レールがシリンドラによってけん垂されている。

#### (2) マグネット

本装置を曲面外板上に支持することおよび外板を拘束するために四個のマグネットが装備されている。

このマグネットは曲面外板に対しても十分な吸着力が確保できるように、その下面是台錐形をしており、Z方向シリンダY方向シリンダを経てフレームに連結している。

また、マグネット支持シリンダによって所定の姿勢に保持される。

#### (3) 油圧ユニット

電動機、ポンプ、空冷オイルクーラ、各種バルブ、タンク等より成り制御装置からの電気信号を油圧力に変換し、各シリンダを駆動する。

#### (4) 油圧シリンダ

##### (a) X方向シリンダ

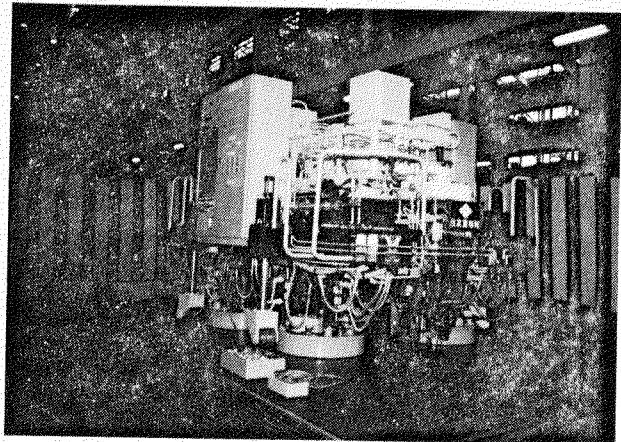


図 4.2.1 PABOT 全体図

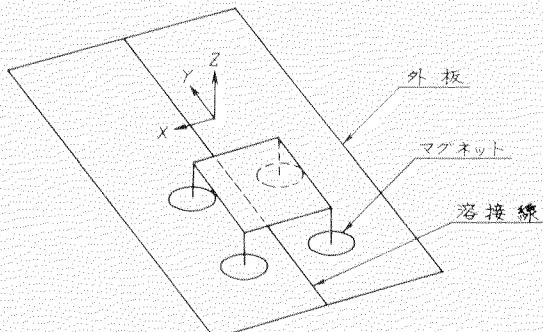
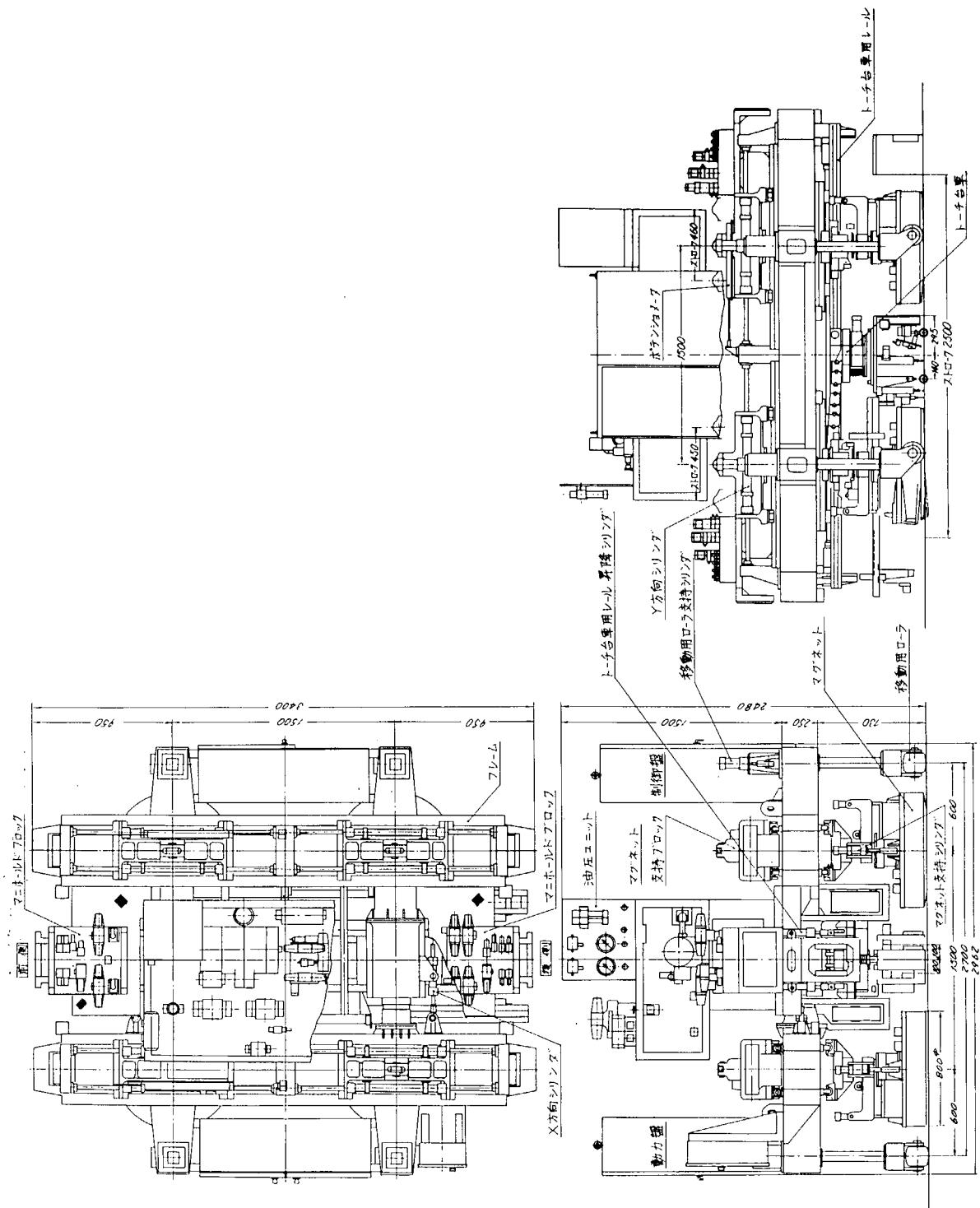


図 4.2.3 PABOT 説明図

図 4.2.2 PABOT 組立図



二本のシリンダがフレーム内X方向に設けられ、本シリンダを駆動することによりフレームを伸縮させ、マグネットの間隔を変化させてルート間隔を調整する。

(b) Y方向シリンダ

本シリンダは各隅、Y方向に二本づつ設けられロッドがフレームに固定されている。シリンダ本体はZ方向シリンダ支持ブロックを支持し、Z方向シリンダ、マグネットに連結されている。このシリンダによって本装置の移動と外板の端面合せを行う。

(c) Z方向シリンダ

フレーム四隅、Z方向に各一本づつシリンダが設けられ外板の整面と移動時のマグネットの持上げを行う。

(d) マグネット支持シリンダ

本シリンダは一個のマグネットに二本つつ設け、曲面外板にマグネットをならわせ、移動時に所定の姿勢を保持するためのものである。

(e) トーチ台車用レール昇降シリンダ

本装置を運搬中あるいは外板上への設置時に検出装置、トーチ等が損傷を受けないようにマグネット下面よりも上方に引き上げるためのものである。

(f) トーチ台車走行シリンダ

本シリンダは特殊なケーブルシリンダで、検出装置、トーチを傾いたトーチ台車を駆動する。

(g) 移動用ローラ支持シリンダ

本シリンダは各移動用ローラに設けられ、各ローラにかかる荷重を平均化するためのものである。

(5) 制御装置

PABOT全体のシーケンス制御はシーケンスコントローラで行う。これはシーケンスの内容をICに記憶させ、押ボタンスイッチ、リミットスイッチ等からの信号を判断してシリンダ、マグネット、溶接機等を制御するものである。

部分機能を制御する装置はPABOT本体と溶接線の角度に応じて移動時にY方向シリンダのストロークを設定し、本体を溶接線にならわせる移動制御器、整面検出器の信号と設定値とを比較判断する差動トランス設定制御器、この信号を増幅してサーボ弁に入力を与えるサーボ増幅器、検出器を制御する検出器制御装置、シーケンスコントローラの出力を増幅するリレー盤より構成されている。

制御装置の外観図を図4.2.4に示す。

(6) 検出装置

検出装置は溶接線の位置と高さを検出する溶接線検出器、二枚の外板の段差を検出する整面検出器、ルート間隔を検出するルート間隔検出器、PABOT本体と溶接線の角度を算出するためのトーチトロリー横移動量を検出する回転形ポテンショメータ、各スライド駆動用直流モータより構成される。

装置の概要を

図4.2.5 PABOT検出装置組立図

に示す。

(7) 操作盤

PABOT操作盤は手動、半自動、自動の運転モードの切換と、PABOT本体を外板に設置する時、異常時の回復、

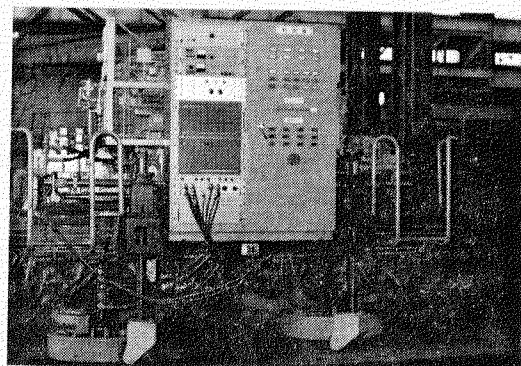


図4.2.4 制御盤

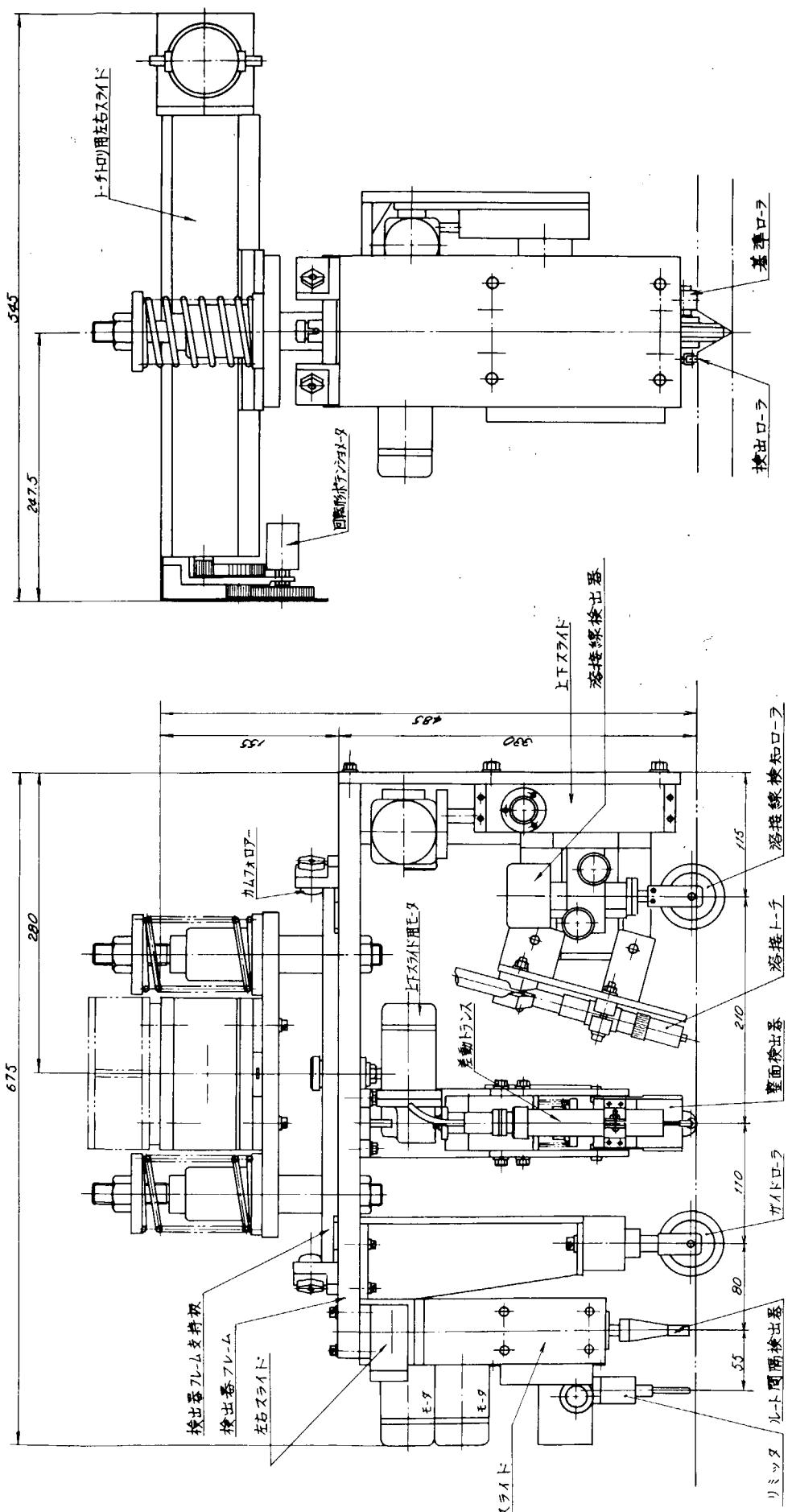


図 4.2.5 PABOT 検出装置組立図

半自動時のプログラムステップの進行等に人間が介入する時に操作する。また検出器を開先にセットする時に検出器操作盤を使用する。

#### 4.2.3 操作方法

##### (1) PABOTの外板上への設置

PABOT本体をクレーンで外板端部を持ってきて吊ったままの状態で手動操作によってZ方向シリンダを駆動して、四個のマグネットを外板に接触させ、曲面にならわせた後マグネットを固定し吸着させる。

##### (2) 一次整合

手動操作によってY方向シリンダ、X方向シリンダを駆動し、端面合せ引寄せを行い、Z方向シリンダで整面を行って手動で仮付溶接をする。

##### (3) PABOTの移動

次にPABOT本体を外板の他の端部に移動させる。

##### (4) 検出装置セット

検出器操作盤でまずトーチ台車用レール昇降シリンダ、トーチトロリモータを駆動してガイドローラを開先に入れ、次に溶接線検知ローラをセットする。

##### (5) 二次整合仮付溶接移動

以上の手動操作の後シーケンスコントローラを働かせて、半自動あるいは自動運転に入る。

PABOTによる半自動、自動運転の作業手順を

図 4.2.6 PABOT作動フローチャート

図 4.2.7 PABOT作動手順図

に示す。

#### 4.2.4 装置の主要仕様

##### (1) 外径寸法 (縦×横×高)

3.59 m × 3.04 m × 2.56 m

##### (2) 重量 9.75 ton

##### (3) 出力 (シリンダ)

X方向 2.4 ton

Y方向 1.4 ton

Z方向 3.8 ton

##### (4) 移動量 (シリンダ)

X方向 100 mm

Y方向 460 mm

Z方向 100 mm

##### (5) 移動速度 max 4 m/min

##### (6) トーチ走行速度 max 5 m/min

##### (7) トーチ横移動量 ± 100 mm

##### (8) マグネット吸着力 (1 個)

max 5.6 ton (ただしナイフスイッチにより吸着力を変えることができる。)

##### (9) 対象とする外板

板厚 1.6 ~ 3.2 mm

曲率半径 (X 方向) 10 mR 以上

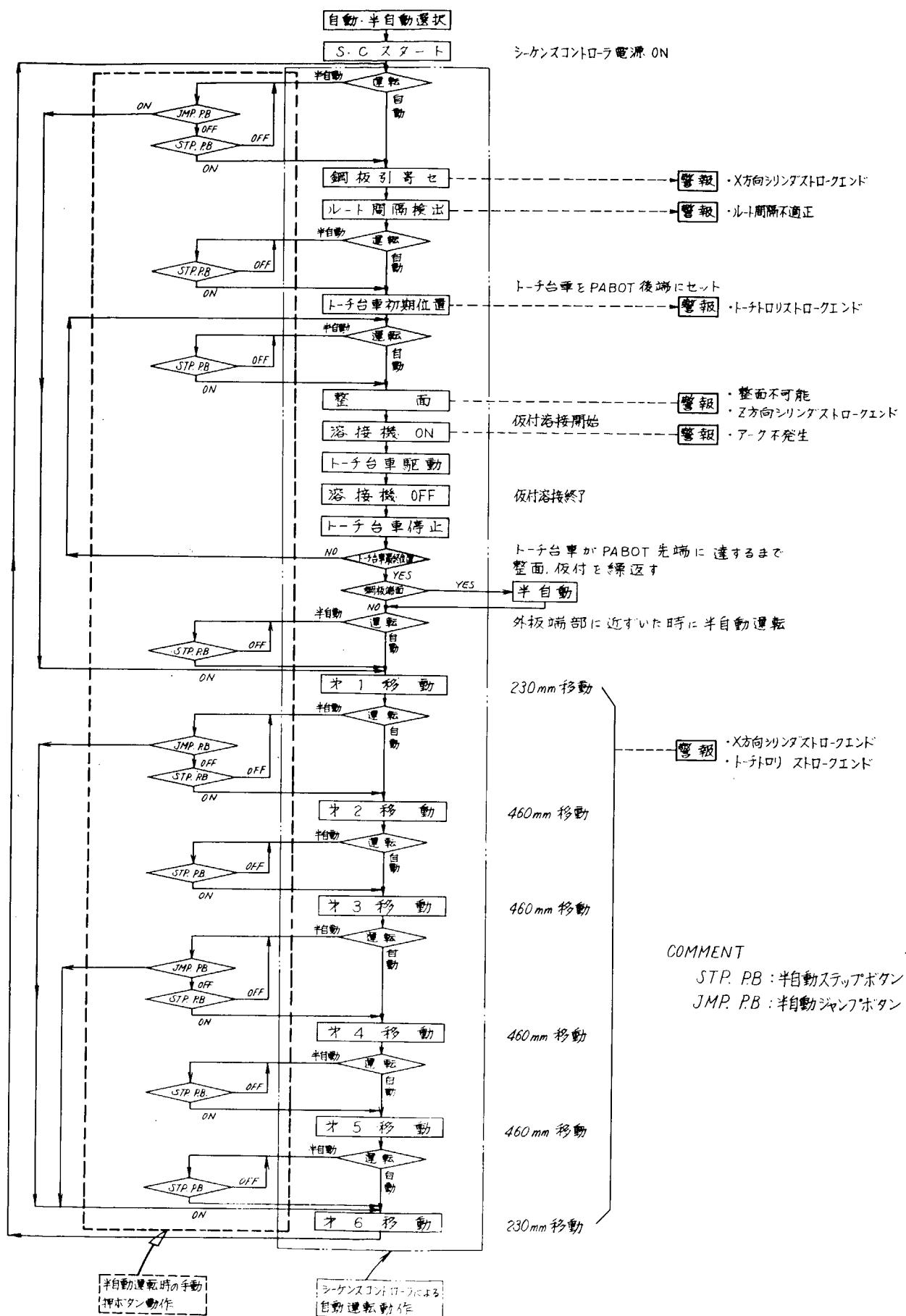
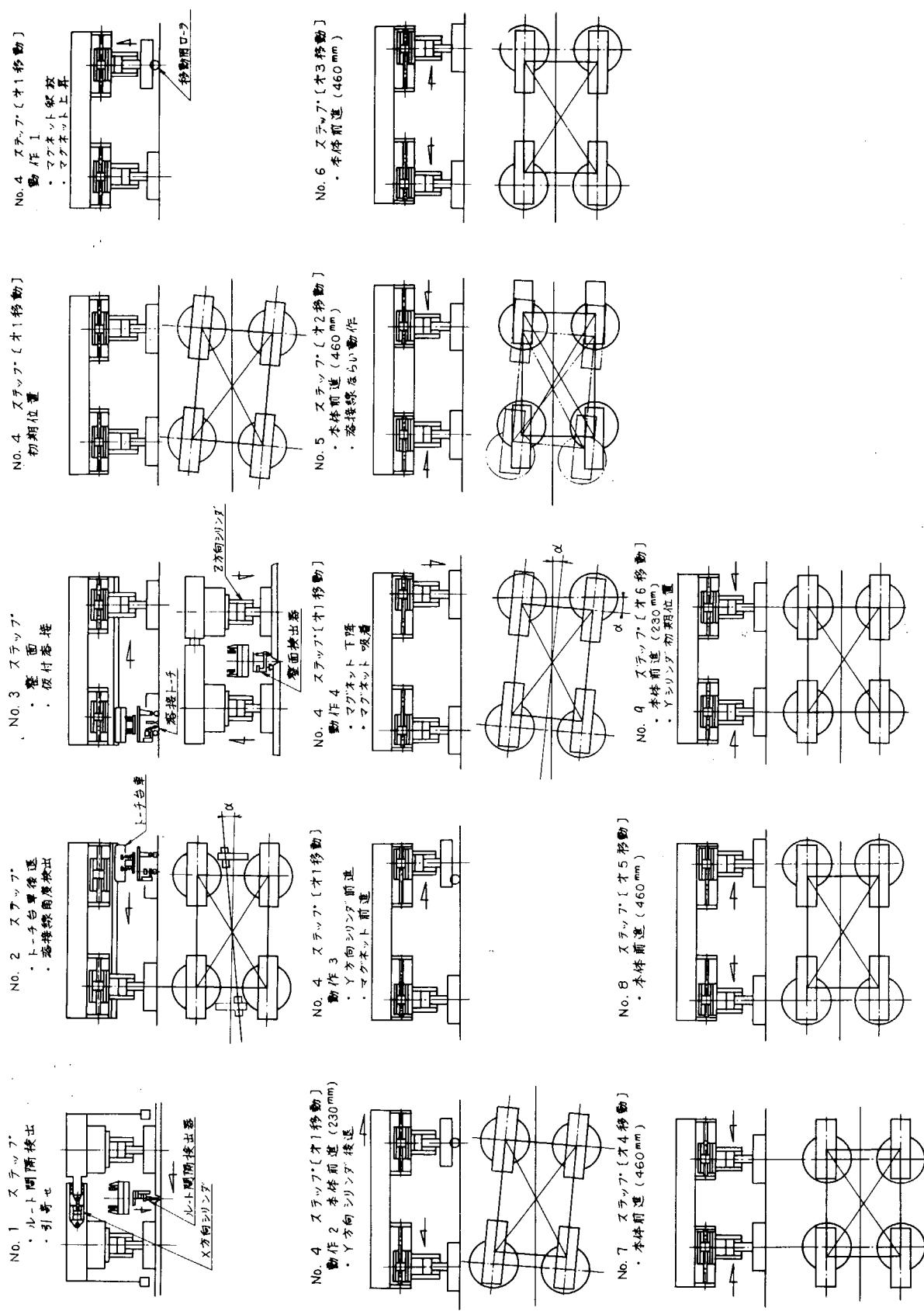


図 4.2.6 PABOT 作動フローチャート

図 4.2.7 PABOT 作動手順図



曲率半径（Y方向） 50 mR 以上

傾斜角度  $\approx 15^\circ$

#### (10) 電 源

三相 200 V, 50 Hz, 3.6 kW (溶接機含む)

#### (11) 停電時用バッテリ

DC 200 V, 5.5 A・H (10 分間)

### 4.2.5 実験結果と解析

平板と曲り外板でPABOTを実際に板継ぎ作業に使用し、所期の仕様の確認を行い、作業能力の測定を行った。また、マグネット吸着力、整合力、溶接条件、溶接ひずみについて基礎的な実験を行い、将来のPABOTの設計条件を導き出した。

実験に使用した外板上に設置したPABOTを図4.2.8に示す。

#### (1) 実験用外板と治具

##### (a) 実験用平板

19 t  $\times$  3,000 W  $\times$  1,000 L 2枚 単重：4.450 Kg

外板の配置、開先形状、治具の形状を図4.2.9に示す。

##### (b) 実験用曲り外板

原寸法 19 t  $\times$  3,000 W  $\times$  1,000 L 2枚をプレス後点焼  
きして曲げ加工を行なった。図4.2.10に外板の配置、曲げ  
形状、開先形状を示す。また治具は実験用平板と同じものである。

##### (c) 実船用平板

実船用平板をローラ定盤上にセットして実験を行った。

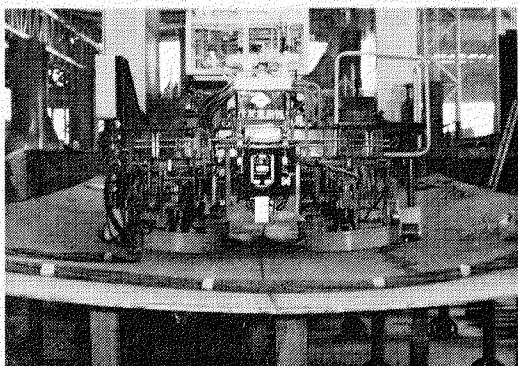
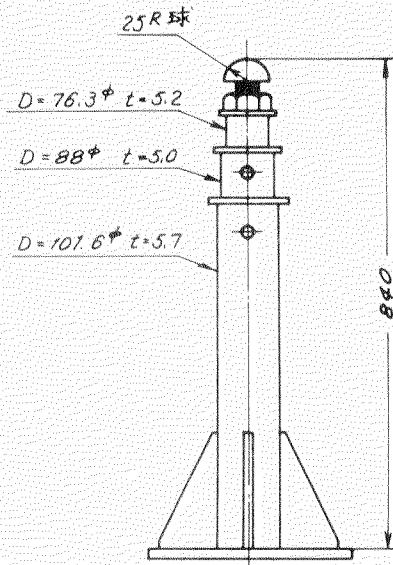
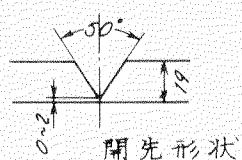
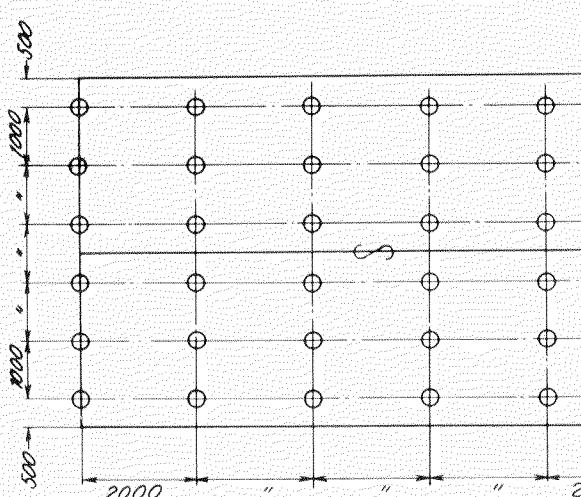


図4.2.8 実験状況



治具形状

図4.2.9 実験用平板の配置と治具、開先形状

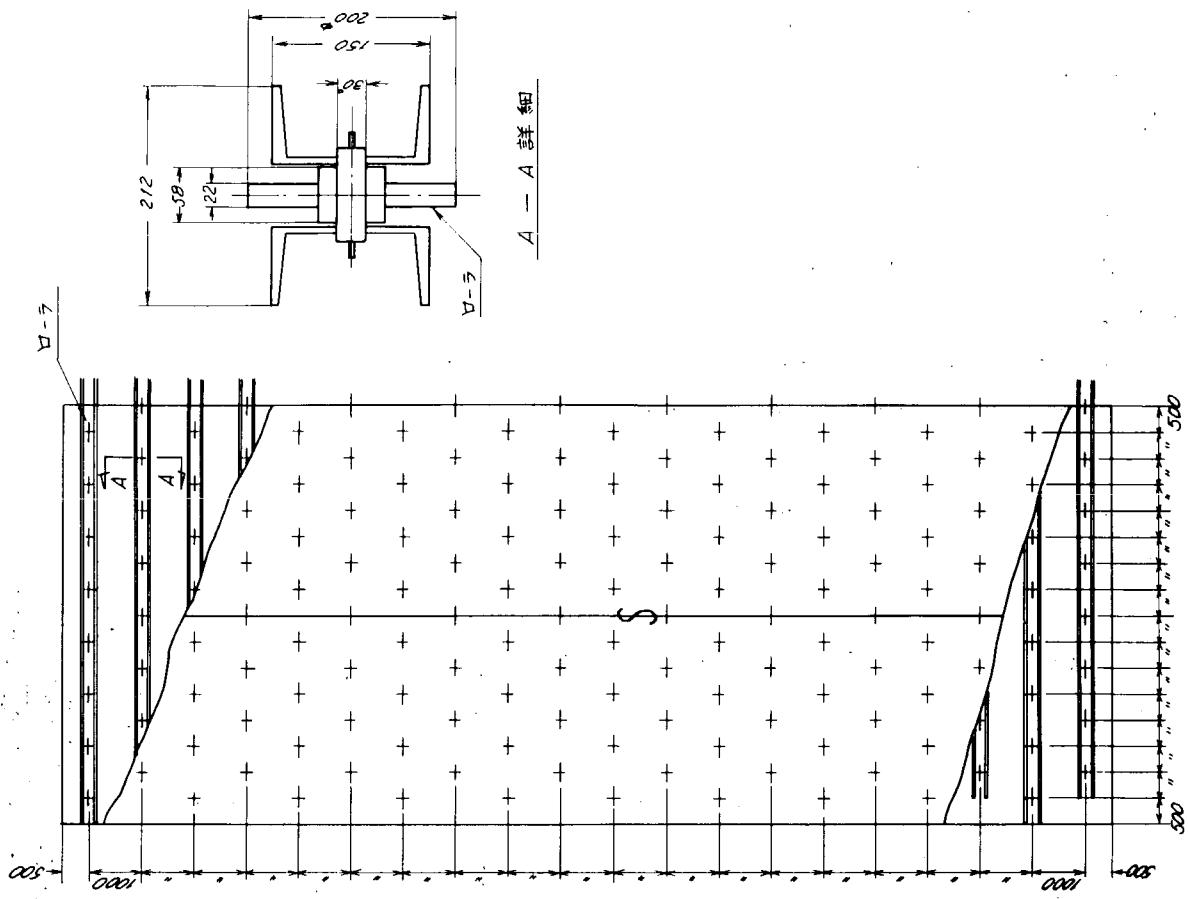


図 4.2.1-1 実船用平板とローラ定盤の配置

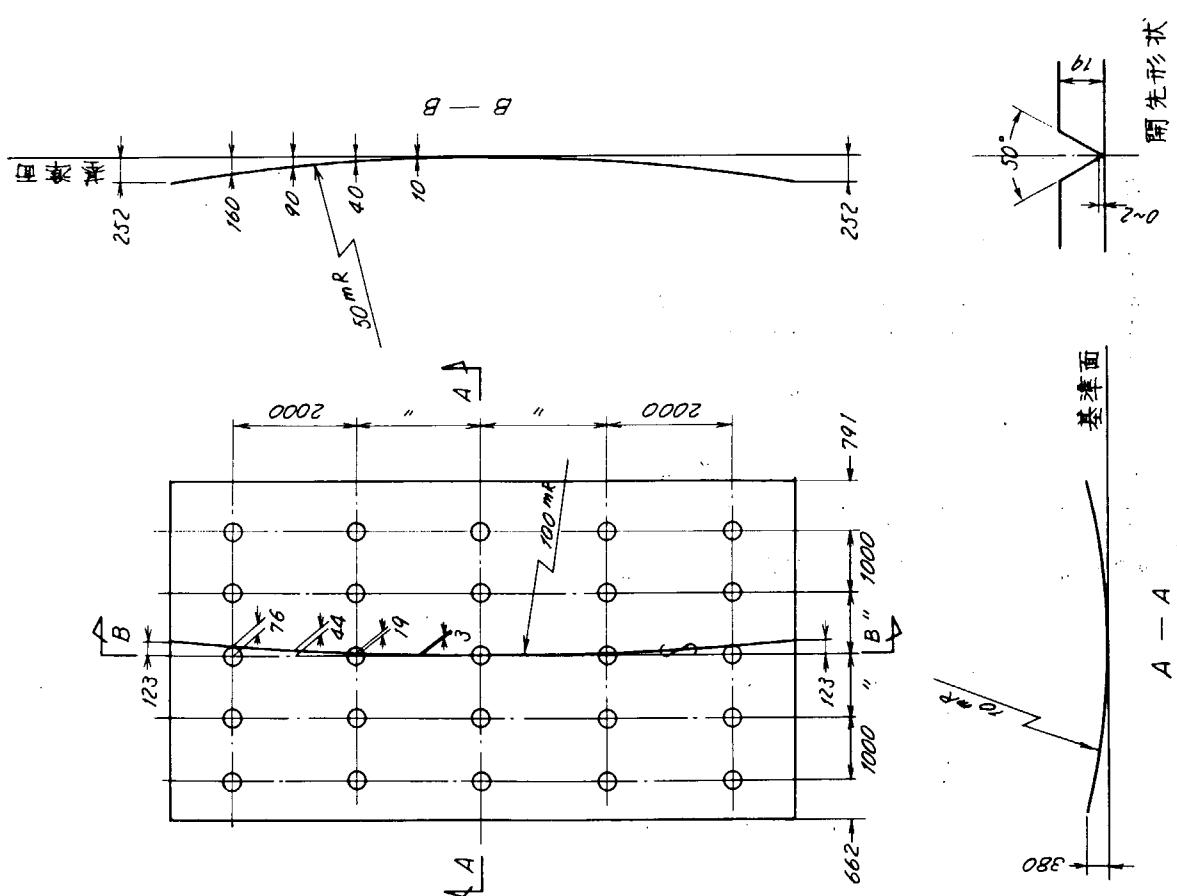


図 4.2.10 実験用曲り外板の配置と曲げ形状、開先形状

24t × 4,000W × 22,000L 2枚

単重: 16,500kg

25t × 4,000W × 22,000L 2枚

単重: 17,200kg

外板とローラ定盤の配置を図4.2.1.1に示す。

(2) マグネット吸着力と外板との摩擦係数

実験用平板において図4.2.1.2に示す

ように7分割された单マグネットの一つで吸着して上昇させ、油圧を徐々に上げてマグネットが外板から引離される時の力をマグネット吸着力とした。また单マグネットの一つで吸着して引寄せを行い、油圧を徐々に上げてマグネットが外板上をすべりはじめる力を測定し、マグネットと外板の摩擦係数を次式で計算して表4.2.1に示す。

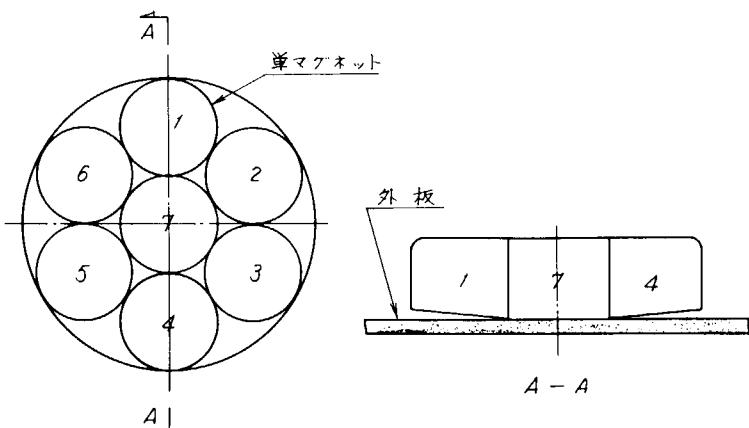


図4.2.1.2 マグネットの内部構造

$$\text{摩擦係数} = \frac{\text{すべりはじめる力}}{(\text{パボット自重} \times \frac{1}{2} + \text{吸着力} \times 2)}$$

表4.2.1 マグネット吸着力と摩擦係数測定結果

吸着マグネット	吸着力	すべりはじめる力	摩擦係数
单マグネット1	833kg	1,895kg	0.290
单マグネット7	1,255kg	2,153kg	0.292

設計条件では吸着マグネットと外板の摩擦係数を0.2としていたが、この実験結果からは0.29程度と考えられる。

(3) 外板引寄せ力

実験用平板の中央部にPABOTを設置して引寄せを行い、油圧を徐々に上げて治具上を外板がすべり、引寄せが行われる力を測定し、外板と治具の摩擦係数を計算した。

次に実船用平板でも同じ実験を行い、ローラが転がって引寄せが行われる力を測定し、等価的な摩擦係数を次式で計算した。

$$\text{摩擦係数} = \frac{\text{引寄力}}{(\text{パボット自重} \times \frac{1}{2} + \text{板の重量})}$$

以上の結果を表4.2.2に示す。

表4.2.2 引寄力測定結果

実験外板	板の重量	治具の種類	引寄力	摩擦係数
実験用平板	4,450kg	ボルト丸頭	1,550kg	0.166
実船用平板	16,500kg	ローラ	860kg	0.040

これより治具をローラにすれば、引寄力は約4倍に低減できることが判明した。

(4) 外板整面力

実験用平板にPABOTを設置して、1つのマグネットを上昇させることによって生じる二枚の外板の段差を実験条件を変えて測定し、この値を外板変形量とした。

測定要領を図4.2.1.3に示す。

## 実験条件

1. 外板上のPABOT駆動位置
2. 整面力
3. 駆動マグネット
4. 仮付順序

(a) PABOTを外板端部で駆動  
(仮付をしない場合)

PABOTを使用して板継ぎ業を行った場合、最初に外板端部

で整面仮付を行うことが考えられる。

この条件で外板端部側のマグネットを整面力を変えて駆動し、溶接線上の各位置での外板変形量を測定した。その結果を図4.2.1.4(c)示す。

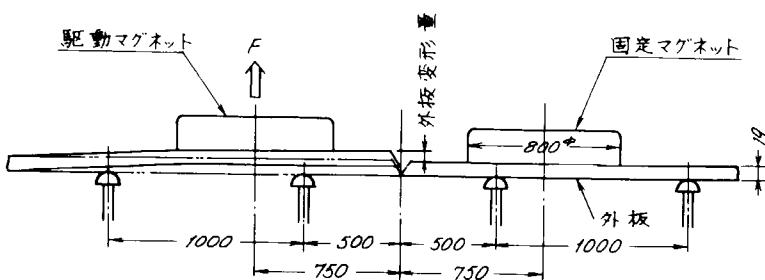


図4.2.1.3 外板変形量測定要領図

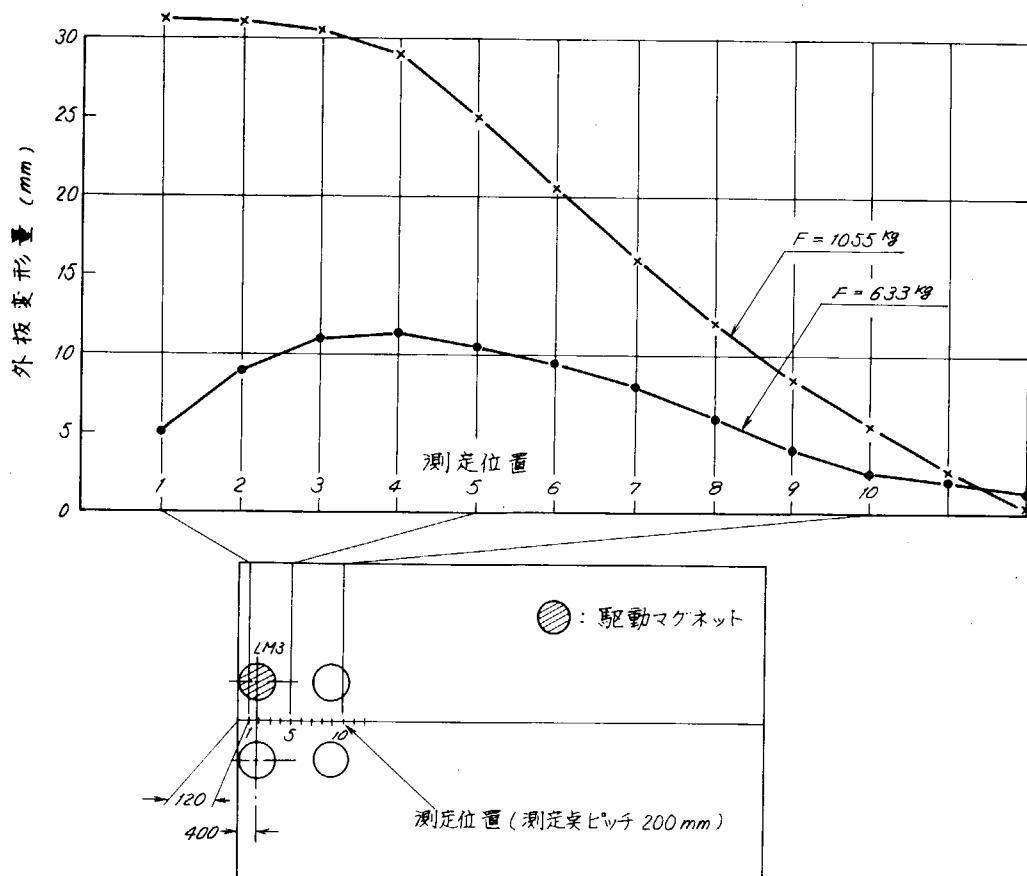


図4.2.1.4 外板端部で駆動、仮付しない場合の外板変形量

(b) PABOTを外板端部で駆動（順次端部から仮付をした場合）

PABOTを外板端部に設置し、端から順に仮付溶接（仮付ピッチ300mm, 仮付長50mm）した時、次の仮付位置（250mm前方）における外板変形量を駆動マグネット、整面力を変えて各仮付位置で測定した結果を図4.2.1.5に示す。

(c) PABOTを外板中央部で駆動（順次端部から仮付した場合）

PABOTを外板中央部に設置して、PABOTの後端から前端へ順次仮付溶接した時、次の仮付位置における外板変形量を駆動マグネット、整面力を変えて各仮付位置で測定した結果を図4.2.1.6に示す。図中仮付位置1~16は仮

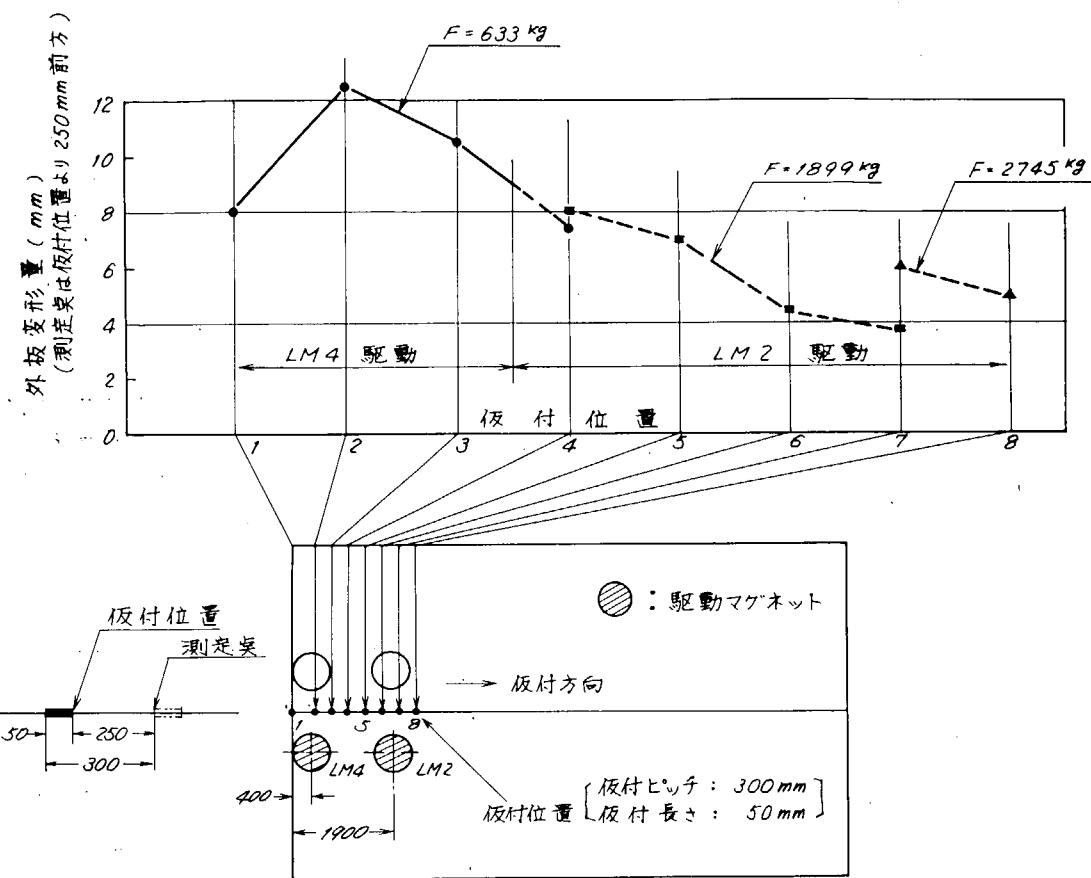


図 4.2.1.5 外板端部で駆動、順次端部から仮付した場合の外板変形量

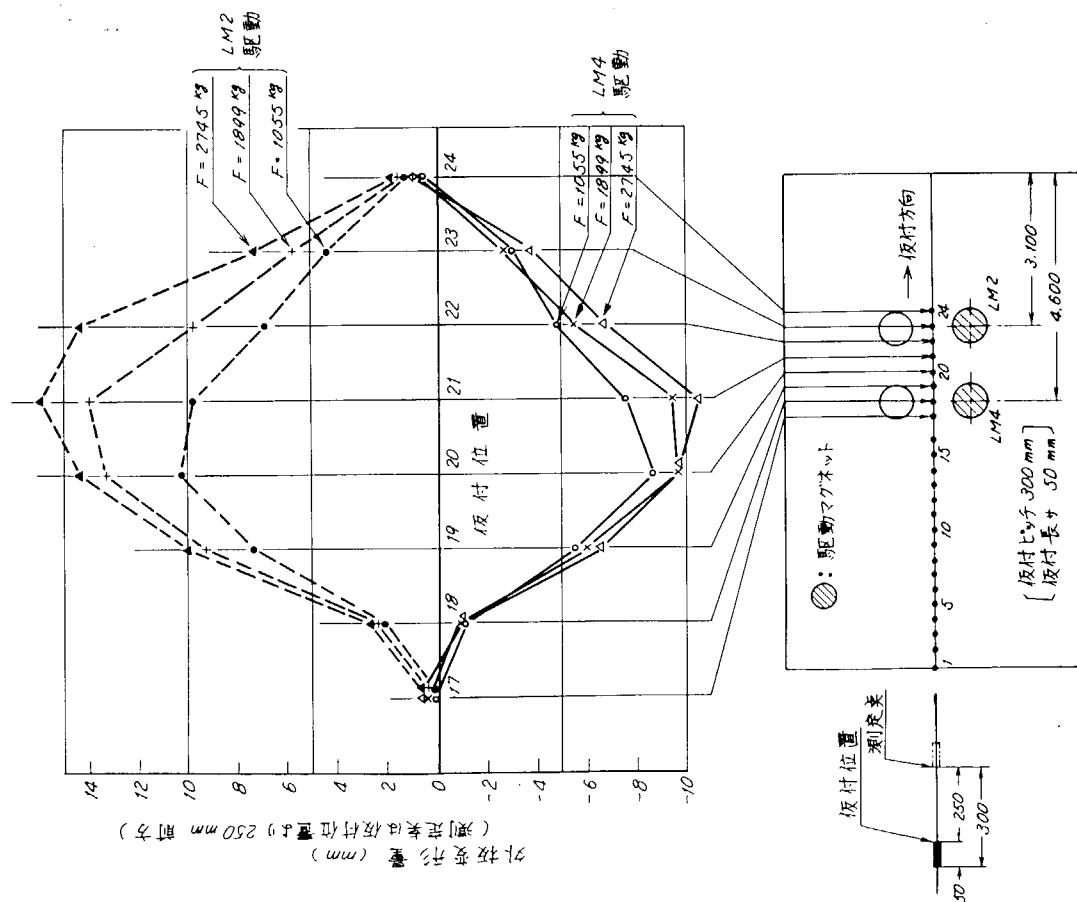


図 4.2.1.6 外板中央部で駆動、順次端部から仮付した場合の外板変形量

付済みである。

また、最大の外板変形量を生じる仮付位置において、外板変形量に対する必要整面力をグラフにしたもののが図4.2.17である。

- (d) PABOTを外板中央部で駆動（順次端部から仮付し、しかもPABOT先端が仮付してある場合）

PABOTを外板中央部に設置し、PABOTの先端部を1個所仮付して後端から順次仮付溶接した時、次の仮付位置における外板変形量を駆動マグネット、整面力を変えて各仮付位置で測定した結果を図4.2.18に示す。図中仮付位置1～7、17は仮付済みである。

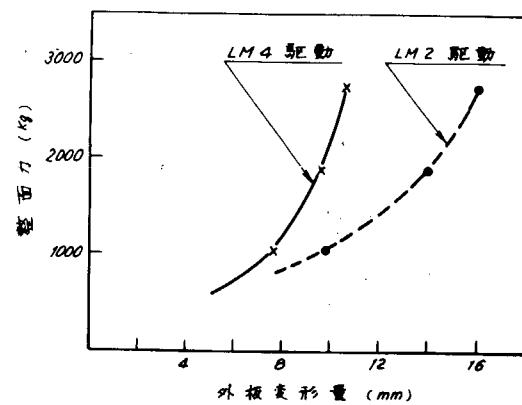


図4.2.17 外板変形量と整面力

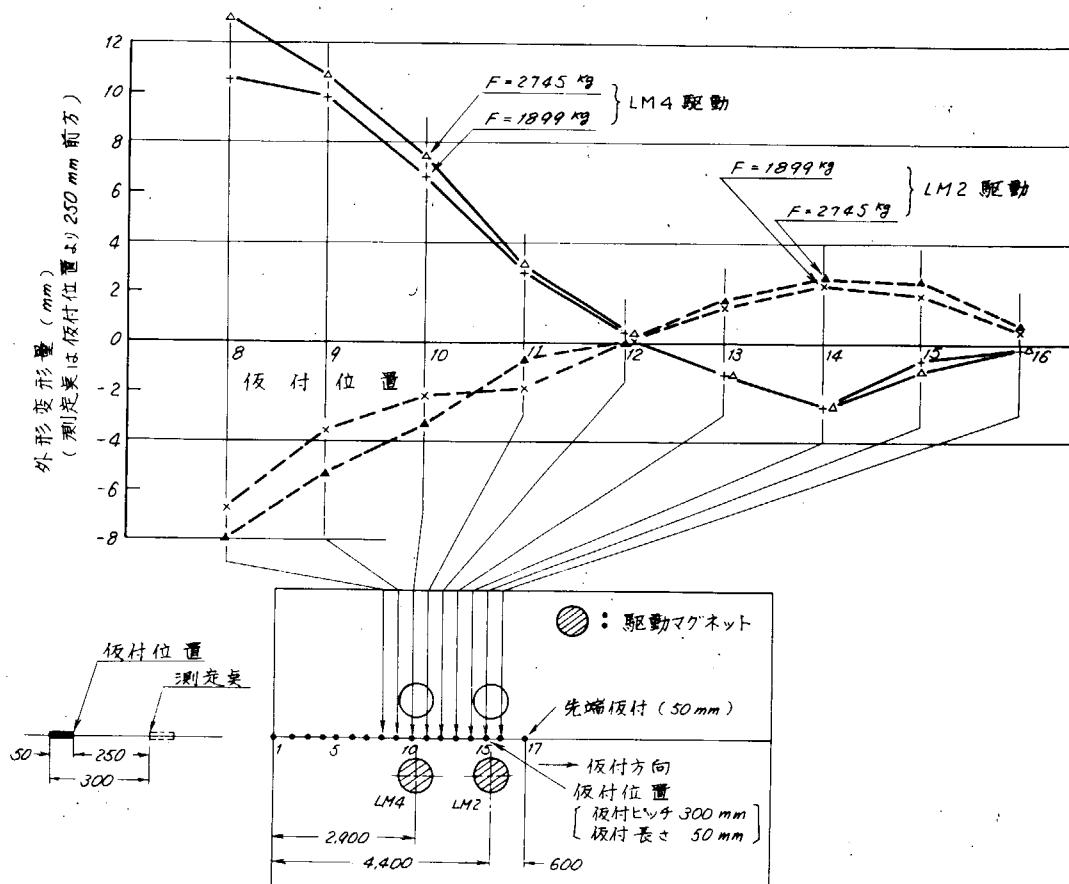


図4.2.18 外板中央部で駆動、順次端部から仮付し、しかもPABOT先端を仮付した場合の外板変形量

以上の実験結果より次のことが判明した。

#### PABOTを外板端部で駆動する場合

1. 整面を行う時、最初は板端側のマグネットを駆動し、ある程度仮付が進んだ後に板中央側のマグネットを駆動しなければならない。

#### PABOTを外板中央部で駆動する場合

1. PABOT先端を仮付するとPABOT中央部で整面不可能な位置が生じ、その前後で板のたわみ方向が逆転するので、駆動マグネットの選択が難かしい。

- 順次端部から仮付する時には、PABOT前側のマグネットを駆動する方が整面力が小さく、たわみ方向も逆転しない。
- 四個のマグネットで囲まれる範囲内の溶接線では、4mmの段差を1,055Kgの力で整面できるが、範囲外では整面力を大きくしても効果がない。

#### (5) 溶接条件

PABOTで仮付溶接を行うとき問題になるルート間隔の変化に対して適した溶接条件を求めるために基礎的な実験を行った。

実験に使用した溶接機、溶接材料を表4.2.3に示す。

表4.2.3 実験に使用した溶接機と溶接材料

溶接機	ナショナルCO <sub>2</sub> 半自動溶接機 YM-306D-7
ワイヤ	大同DS1-A, 1.2mmφ
トーチ	ナショナル YT-558SC
被溶接材	SS41 16V×150×500×2

許容の溶接強度(図4.2.19参照)を確保する溶接条件を各ルート間隔で求めた結果を表4.2.4に示す。

表4.2.4 溶接条件の実験結果

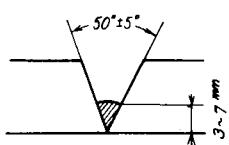


図4.2.19 ピード断面形状

ルート間隔	電流	電圧	速度
0 mm	180 A	24 V	4 cm/min
1 mm	150 A	22 V	20 cm/min
2 mm	120 A	20 V	12 cm/min

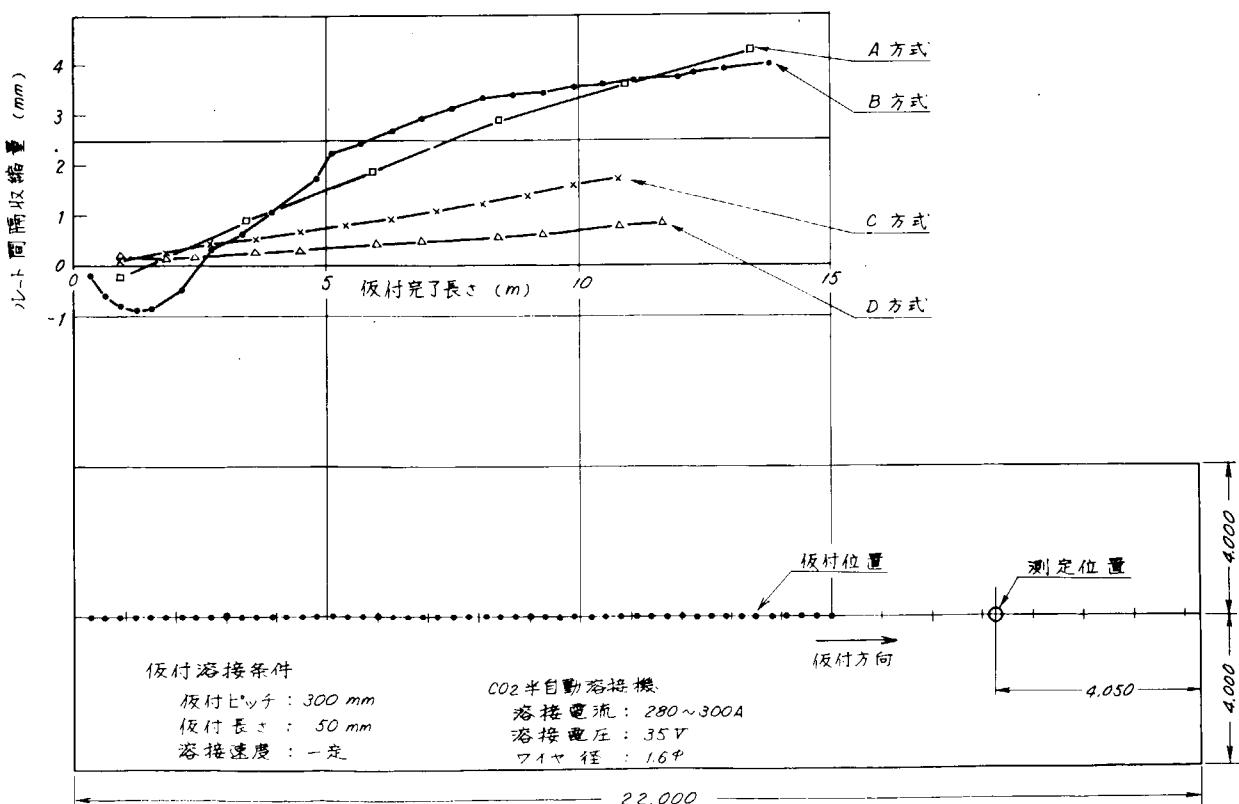


図4.2.20 仮付順序による溶接ひずみ

表4.2.5 仮付順序

A方式	板端をフリーにし、他の板端より順次仮付する。
B方式	板端をフリーにし、他の板端より順次仮付するが、PABOTの先端に相当する 2500mm 前方を仮付した後板端より順次仮付し 2500mm 進むとまた 2500mm 前方を仮付し、後退して順次仮付する。 以下これを繰返す。
C方式	板端を固定し、他の板端より順次仮付する。
D方式	板端を固定し、他の板端より順次仮付するが、PABOTの先端に相当する 2500mm 前方を仮付した後、板端より順次仮付し 2500mm 進むとまた 2500mm 前方を仮付し、後退して順次仮付する。

#### (6) 溶接ひずみ

現状の板継ぎ作業でも外板の溶接ひずみを予測することは非常に難かしく、作業者の経験にたよっていることが多い。

PABOTにこの機能を持たせることは不可能にちかい。したがって溶接ひずみをできるだけ小さく押える作業手順を見出すことが先決である。ここではルート間隔方向の溶接ひずみについて注目し、実船用平板で仮付順序を変えた場合のルート間隔変化を測定した。仮付順序は次表に示す4方式で実験した。

実験結果を図4.2.2.0に示す。この図から明らかのようにD方式が最も溶接ひずみが少い。しかし、(4)項外板整面力で検討したようにこの仮付順序では整面不可能な位置が生じる。

したがって整面と溶接ひずみの両方を考えてC方式がPABOTでの仮付順序として最適と考えられる。

#### (7) 作業性

PABOTの作業性を検討するために、現状の作業とPABOTでの作業の時間分析を行い、さらに現在のPABOTを改良すればどの程度まで能率向上が望めるかを検討した。

##### (a) 現状作業の時間分析

測定は溶接線長 22m、板厚 24×21 の上面合せについて行った。その結果を表4.2.6に示す。

表 4.2.6 現状作業の時間分析

No.	作業名	人員	時間(分)	割合(%)	備考
1	馬仮付、一次整面	1	4	7.7	馬仮付、整面は7個所
2	段取二次整面、一次仮付(手溶接)	1	3.4	65.3	整面、仮付(20mm)は57個所
3	二次仮付(CO <sub>2</sub> 溶接)	1	1.0	19.3	仮付位置は52個所、仮付長70mm / 5sec
4	馬仮付跡グラインダ仕上	1	4	7.7	7個所
			5.2		

表 4.2.7 PABOTでの時間分析

No.	作業名	時間(分)	割合(%)	備考
1	検出器セット	1	1.3	
2	台車後退	4	5.1	台車後退速度 5/min
3	移動	2.1	27.0	Yシリンダ速度 4m/min
4	溶接	5.2	66.6	溶接速度 0.4m/min, ピッチ間速度 0.4m/min
		7.8		

## (b) PABOT作業での時間分析

PABOTの時間分析は移動、溶接といった単位作業は実測データを使い、これを溶接線長2.2mに換算したものである。その結果を表4.2.7に示す。

またPABOTで仮付溶接を行っているところを図4.2.21に示す。

## (c) PABOT改良後の時間分析

現在のPABOTでは、溶接速度とピッチ間速度を同じにしているため溶接時間が非常に大きな割合を占めている。この点を主に改良した時に予測される時間分析は表4.2.8のようになる。

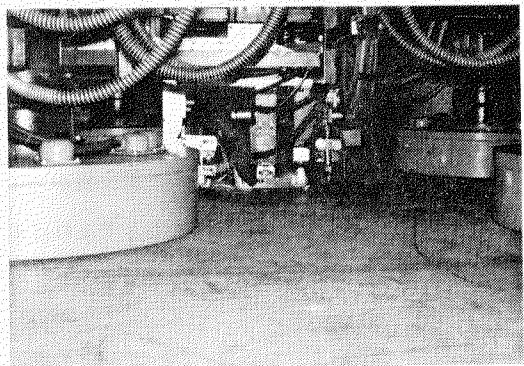


図 4.2.21 溶接状況

表 4.2.8 PABOT改良後の時間分析

No.	作業名	時間(分)	割合(%)	備考
1	検出器セット	1	3	
2	台車後退	4	14	
3	移動	1.1	3.8	Yシリンダ速度 7.5m/min, 前後のYシリンダを同時に動かす。
4	溶接	1.3	4.5	溶接速度 0.4m/min, ピッチ間速度 5m/min
		2.9		

以上の各時間分析を比較して図4.2.22に示す。

## (8) 結論

以上の各実験を行った結果、曲り外板の板縫ロボットとしてPABOT実用についてほぼ実用化し得る見透しを得た。ただし、曲り外板の場合、しばしば加工精度不良部が発生する。これら精度不良を考慮し、かつ、仮付けに伴って発生する板の変形を考え、初期開先ギャップの設定、仮付順序の選択等更に検討を加える必要がある。

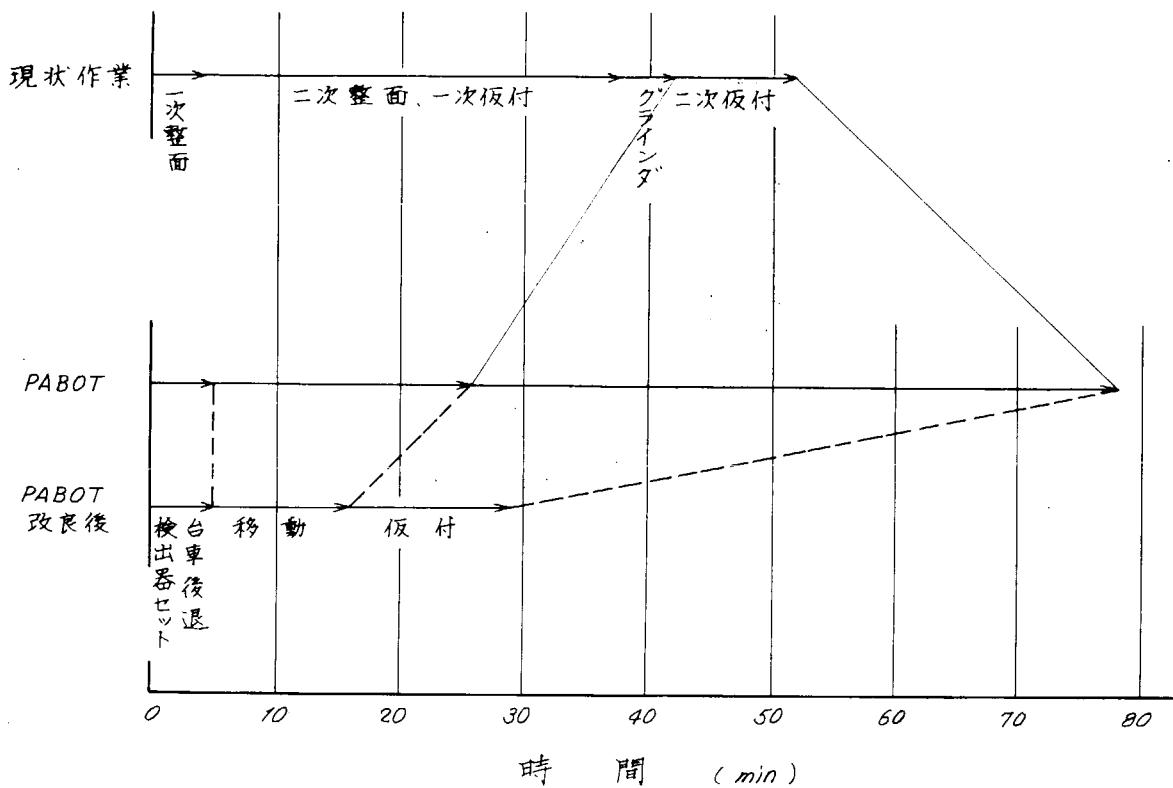


図 4.2.22 現作業と PABOT での作業の時間分析

その他、PABOT 全体の仕様検討にもとづく、より軽量化、構造機能の簡素化も必要であろう。

#### 4.2.6 板継ぎ作業用ロボット応用の二、三の例

我々が開発した PABOT は板継ぎ作業の中でも最も制御因子の多い曲面外板を対象としている。

しかし、その基本作業機能が正規位置からの誤差を検出し、部材に力を加えて修正し、その誤差を許容値以内におさめて固定し、溶接することであると考えれば組立工程の中でもいろいろな応用が考えられる。

次にその応用例の代表的なものを示す。

##### (1) 骨付け PABOT

ロンジ材の骨付け作業において外板とロンジ材の位置決め、肌付けを考えれば板継ぎ作業と作用力の方向には、大きな差がなく、同様な考え方ができるはずである。

例えば PABOT を改造して骨付けに使用するとすれば図 4.2.23 のような構造が考えられる。

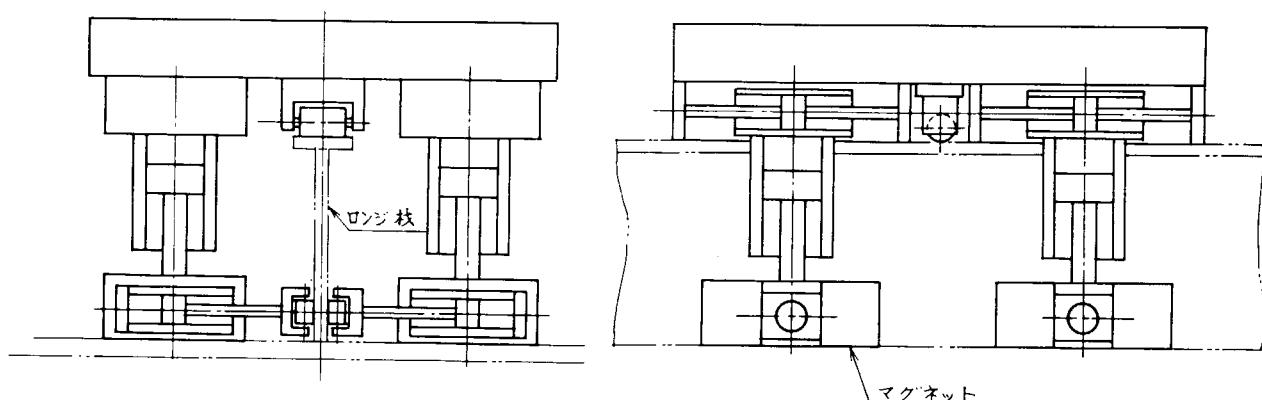


図 4.2.23 骨付け PABOT

(2) 平板ブロック組立ラインへの PABOT の応用

今日、平板ブロック組立作業の機械化を考えてみると大きく、Line Welding System と Egg Box 組立方法に分かれる。両者はそれぞれの特色を持つものであるが、いずれも相当な機械装置、設備を必要とする。

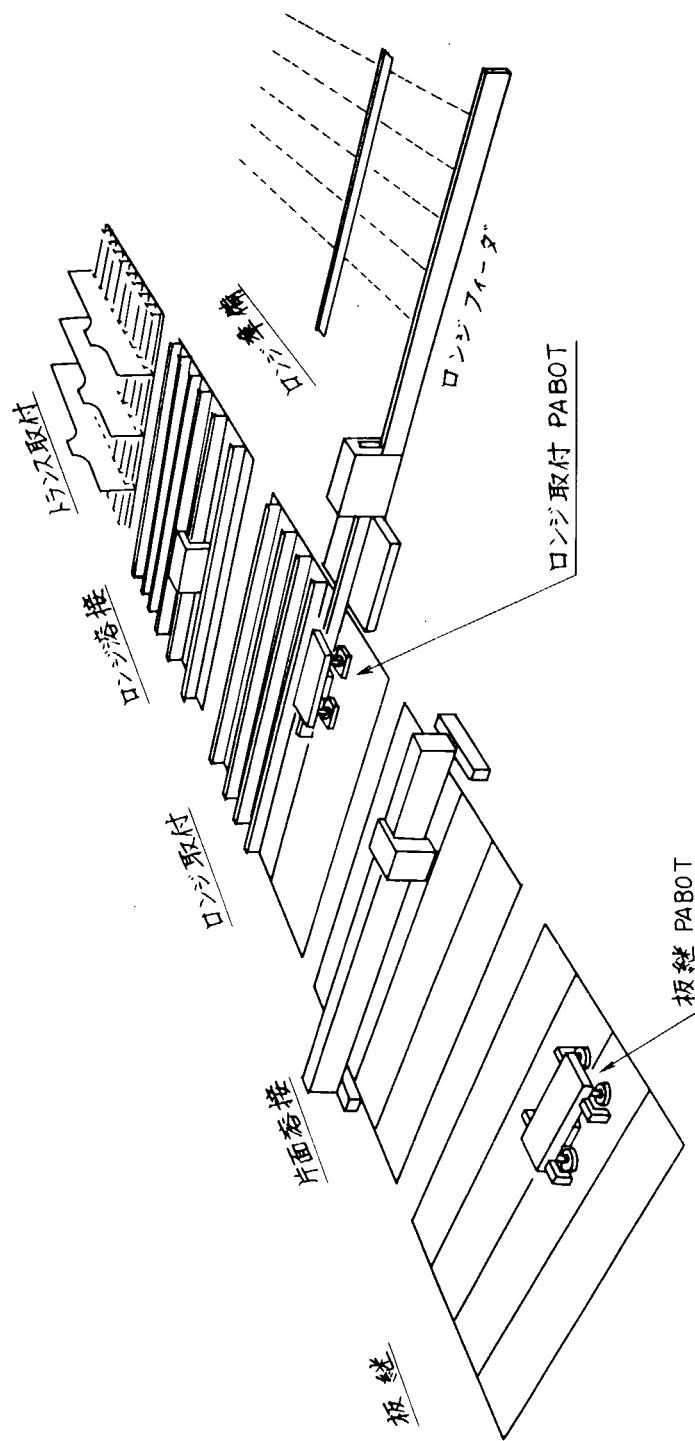
そこで今回開発した PABOT と前記骨付け PABOT を使用して簡易な平板ブロック組立ラインを考えると図 4.2.2.4 のようなシステムが考えられる。

(3) 曲り外板ブロック組立ラインへの PABOT の応用

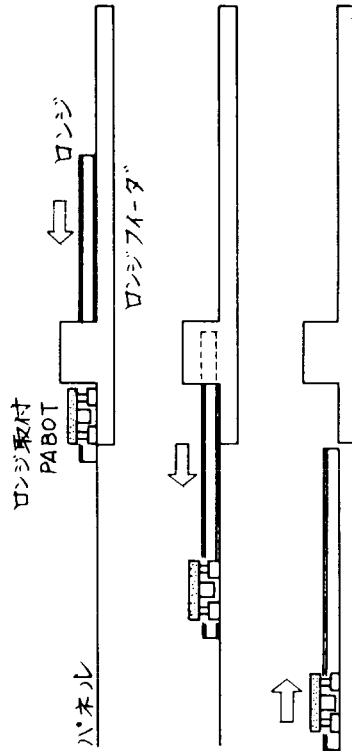
詳細は第 5 章参照。

ロンジ取付 PABOT に要求される基本機能

1. ロンジのクランプ
2. ロンジの押付（外板の引付け）
3. 走行
4. すみ肉仮付溶接
5. ライン検出整合
6. 端面検出



1. フィーダで送り込まれたロンジの端部をPABOTでクランプ



2. クランプしたまま、ロンジとともに外板上を走行
3. 位置決め（Y方向）仮付溶接後、ライン検出、整合、仮付溶接しつつ、外板上を走行して原点に復帰

図 4.2.24 平板プロック組立ライン

## 4.3 船台・船渠工程

### 4.3.1 研究の経緯

船台・船渠工程における適応制御の研究は、前章で述べたように作業対象である構造物が巨大であるだけでなく、考慮すべき制御因子が多く、また相互に影響しあっていたり、溶接状態や日照、風などにより絶えず変化するなど、周辺条件があまりにも複雑であるため、非常に困難であるといえる。しかしこの事実は、船台・船渠工程において、人力に依存している諸作業の機械化・自動化を進めるには、適応制御の概念を取り入れざるを得ないことも明らかに示している。そこでまず、研究の第一歩として現場作業そのものを解明するため、機能を中心とした現状の作業分析を行った。そして、この作業分析をもとに、ブロックの搭載から始まり多数のブロックを結合・溶接し、完成検査をすませるまでの作業区分を作成した。（47年度報告書 表6.1.1）

また機械化・自動化するために必要な制御因子の調査も行なった。（47年度報告書 表3.4.3）

この結果、船台・船渠工程における適応制御系の検討を進めるには、まず機械化・自動化の検討が必要であり、これを実現するためには、システムを構成するソフトウェアとハードウェアの開発が必要であると考えた。

そこで上記作業区分によって明らかになった諸作業のなかでも、船体形成工程の中心的作業と思われる位置決め、整面固定、仮付、溶接の4工程について現状の作業手順を詳細に調査し、機能的に分析し、種々のアイデア装置を想定しながら制御フローチャートを作成した。（47年度報告書 6.2 制御フローチャート、付録 船台・船渠工程流れ図）

また、これらの作業を自動化するために必要な諸機能を検出、移動、整面固定、切断、溶接の5種類の装置に大別して検討した。その結果、これら自動化装置には走行機能、到達機能、通信機能、エネルギー供給機能などの共通機能が必要であることなどが明らかにされた。（47年度報告書 6.3 装置の概要）

さらにこれら自動化装置の実現の可能性を知るために、現在一般産業界で実用化されつつある汎用ロボットの調査を行ったが、これら汎用ロボットは造船用としては、性能上まだ不満足な点が多く、機動性をもつ造船専用ロボットの研究開発が造船工作の機械化・自動化にとって不可欠であることが判明した。（47年度報告書 7.ロボットに関する調査）そこで、造船専用ロボットとしての自動化装置の研究を具体化するために、現在船台・船渠工程において使用されている治工具やすでに開発され、実用化されている「作業ユニット」「ROTASシステム」「GAMMAシステム」などの諸装置を調査（48年度報告書 4.2 ハードウェアの調査）すると共に、さきにあげた船台・船渠工程を構成する各種作業の機械化・自動化装置の概略仕様について検討を行った。

その結果、各装置に共通して欠くことのできない機能として、自動走行移動機能に着目し、船体内部構造部材を利用して上下に移動しうる船体登はん装置（略称CLIMACS）を開発・試作し、適応制御の研究と実用化の検討を進めることができた。（48年度報告書 4.3.1 選定理由）

その後、CLIMACSの検討に入り、詳細仕様を決定し（48年度報告書 4.3.2 船体登はん装置の仕様），本装置の設計と製作を行い、船体部分模型（ロンジモデル）と実船での実験と解析を実施した。また適応制御との関連性、実用化のための検討、装置の応用などについても検討した。

### 4.3.2 船体登はん装置の仕様

#### (1) 登はん装置モデルによる仕様の検討

CLIMACSの本設計に先立ち、その登はん機構、爪機構、細部の詳細を決定するため2種類（Y型、K型）の登はん装置モデルを製作した。そして、これらを工場内で実験した結果を基に、改良型としてK型を製作し、試作機の仕様を検討した。

##### (a) ロンジモデル

登はん装置モデルを工場内で実験するために、実船と同程度の誤差を有するロンジモデルを製作した。図4.3.1

にその製作図を表4.3.1にその製作誤差を示す。

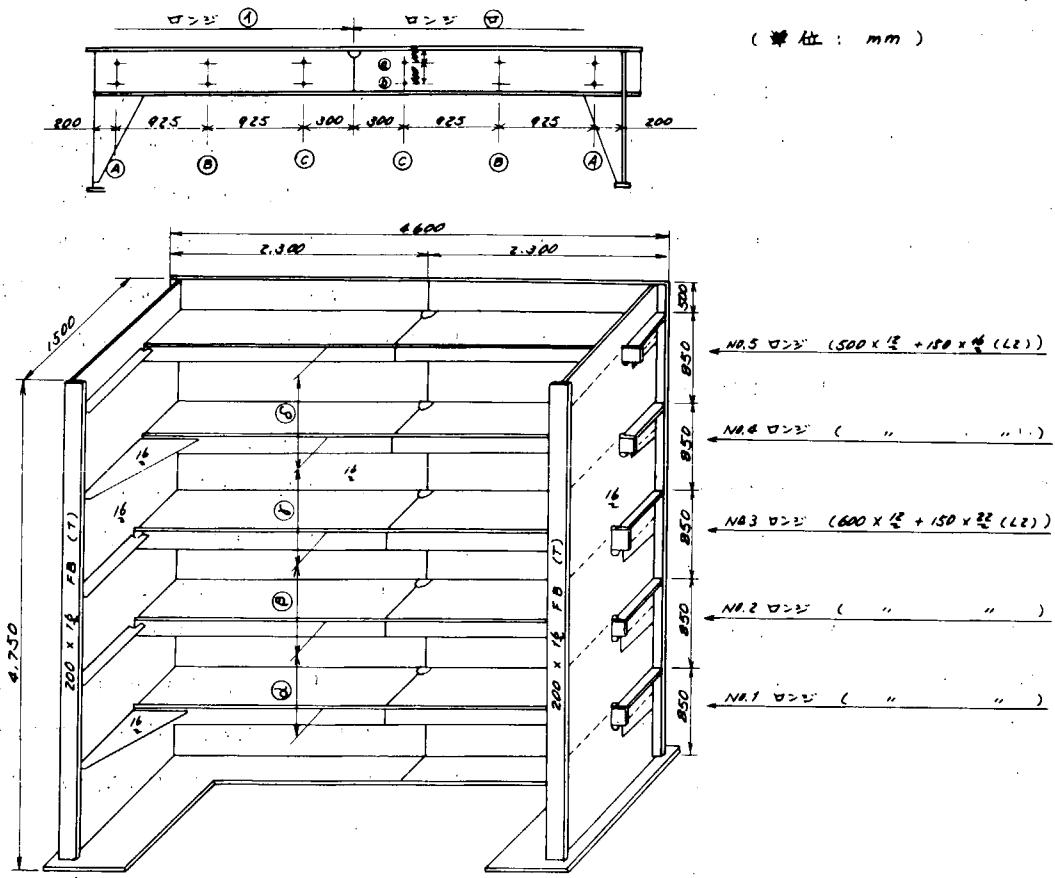


図 4.3.1 ロンジモデルの仕様

表 4.3.1 計測値

(単位: mm)

		ロンジ ①				ロンジ ②			
		Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ	平均	Ⓒ	Ⓑ	Ⓐ	平均
(a)	(a)	+ 0.41	+ 0.73	+ 0.38	+ 0.73	- 0.3	+ 0.65	+ 0.68	+ 0.48
	(b)	+ 0.13	+ 1.52	+ 1.53		- 0.24	+ 1.35	+ 0.71	
(b)	(a)	- 1.79	- 2.5	- 3.38	- 4.54	- 1.82	- 0.80	- 1.72	- 2.33
	(b)	- 2.30	- 7.40	- 9.90		- 4.61	- 3.14	- 1.88	
(c)	(a)	+ 1.72	+ 2.37	+ 2.07	+ 0.66	+ 1.90	- 0.45	- 0.85	+ 1.70
	(b)	+ 2.53	- 3.45	- 1.23		+ 6.87	+ 2.44	- 0.13	
(d)	(a)	- 2.54	- 3.45	- 1.23	- 3.23	- 3.23	- 1.12	- 0.66	- 3.15
	(b)	- 2.30	- 6.55	- 3.3		- 8.03	- 3.83	- 2.06	

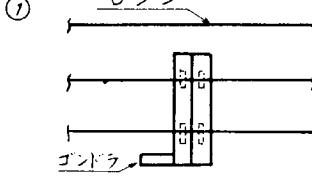
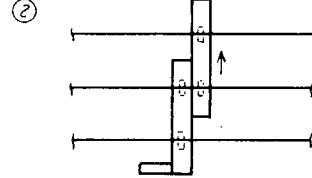
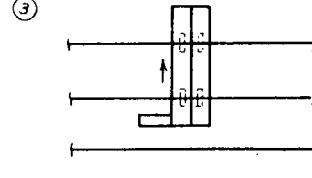
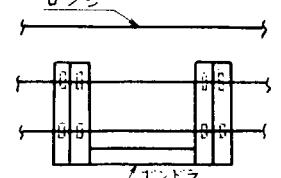
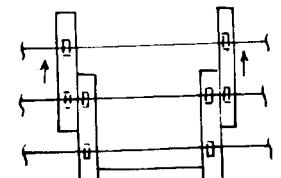
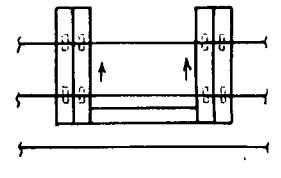
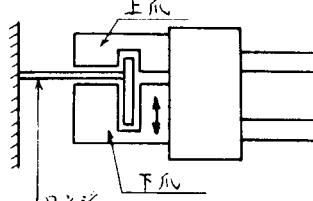
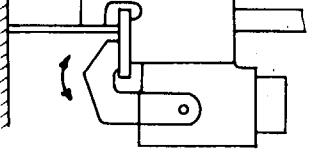
(注) 上記数値はロンジ間隔 850 mm を基準にしている。

(b) 登はん装置モデルの製作と第1回予備実験

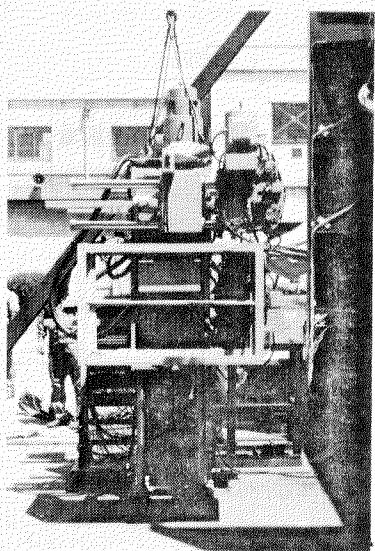
(i) 登はん装置モデル (Y型, K型)

図 4.3.2, 4.3.3(A), 写真 4.3.1, 4.3.2 にそれらの外形及び表 4.3.2(A)に概要, 基本動作, 機能仕様, 外形等について示す。

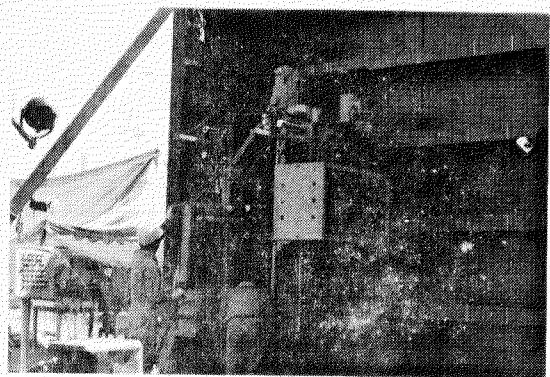
表 4.3.2(A) 予備実験に用いた登はん装置モデル

項目	登はん装置モデル	Y型	K型
概要		① 一组の昇降装置で構成する ② サイドに作業スペースとしてのゴンドラを設置する ③ 移動時は2点固定方式とする ④ 仙はロジのウエブを掴む方式とする	① 二組の昇降装置で構成する ② 中央部にゴンドラを設置する ③ 移動時は4点固定方式とする ④ 仙はロジのフェイスを利用して転落を防ぐ方式とする
基本動作		①  ②  ③ 	①  ②  ③ 
仙開閉機構			
動作機能	昇降ストローク	800 mm	800 mm
	”速度	0.45 m/min	0.45 m/min
	腕伸縮ストローク	400 mm	300 mm
	”速度	6 m/min	5 m/min
	仙開閉ストローク	110 mm	200 mm
	”速度	1.8 m/min	2.7 / 3.6 m/min
制御方法	ドラム式シーケンスプログラマによるプログラム制御	同左	
電源	3φ A.C. 220V 50/60Hz	同左	
概算重量	1,100 kg	2,300 kg	
製造メーカー	(株) 安川電機製作所		

※ 概要は制御機構(2)(d)項)を参照

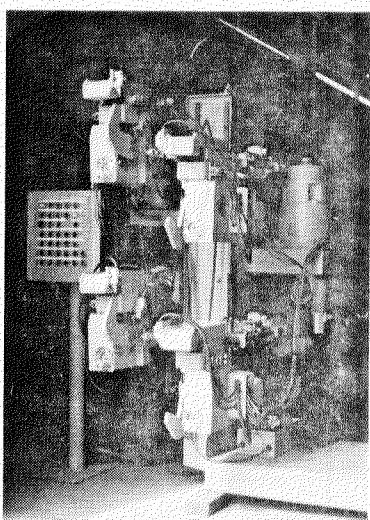


(A)

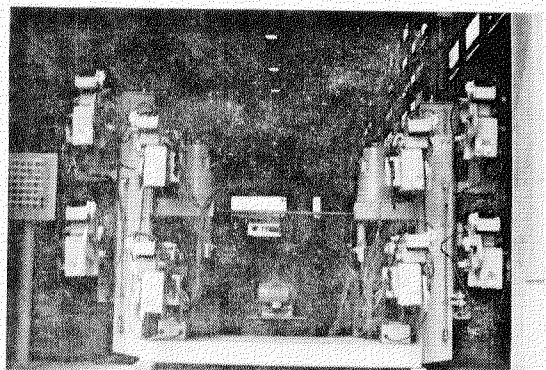


(B)

写真 4.3.1 Y 型 モ デ ル



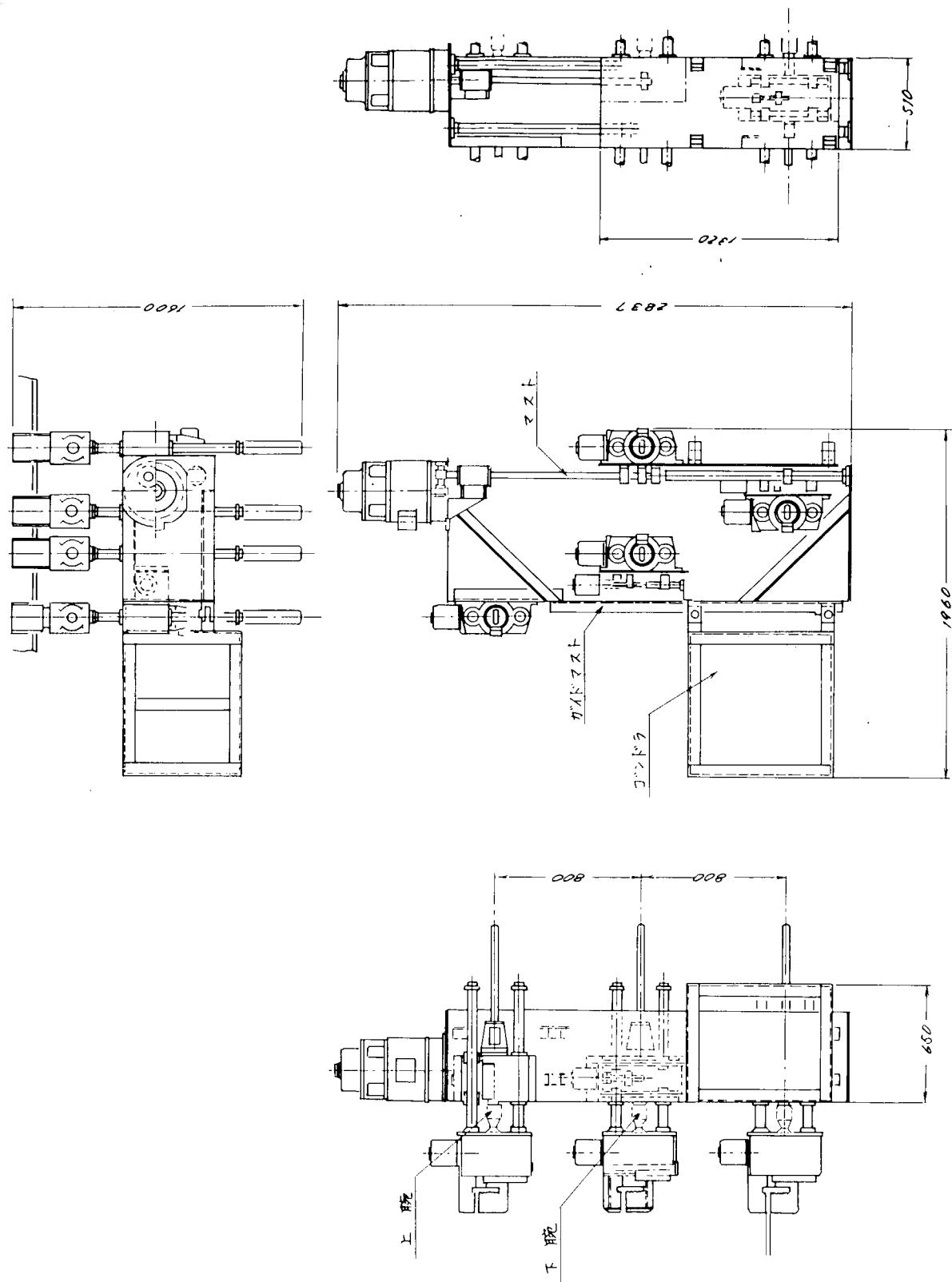
(A)



(B)

写真 4.3.2 K 型 モ デ ル

図 4.3.2 Y型モデルの外形図



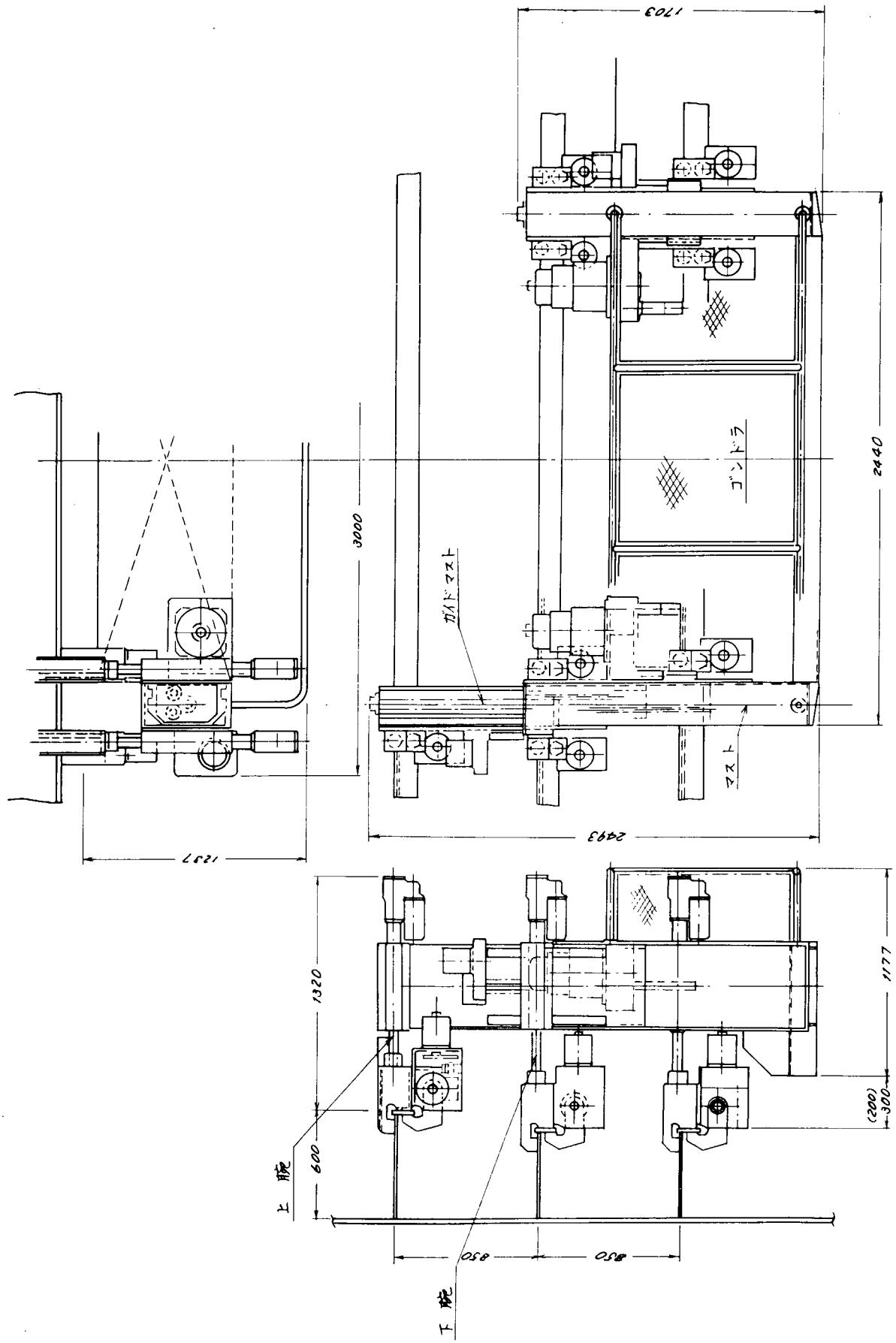


図 4.3.3 (A) K型モデルの外形図

(ii) 第1回予備実験

① 実験要領

- 地上試験 : 装置の基本動作と操作方式を確認する。
- 模型実験(A) : 装置に負荷を与え、垂直に設置されたロンジモデル上を登はんさせ、その作動状況を確認する。
- 模型実験(B) : ロンジモデルを 40/1,000 傾斜させて(A)と同様の試験を行う。

② 実験結果

(1) 作動状況

地上試験及び模型実験(A)の結果を表 4.3.2(B)に示す。

表 4.3.2(B)

項目	モデル 確認事項	Y型		K型	
		地上試験	模型実験(A)	地上試験	模型実験(A)
昇降装置	昇降用モーターの調子	良	左右のバランスがとれないと 登はんが不可であった。	良	自重が大きいこと及び装置が口 できなかつた。 シジモードルに対しても傾斜したた め調整が不可能となり登はんが できなかつた。
	昇降部の起動状態	"		"	
	"停止"	"		"	
	"動作"	"		"	
腕伸縮装置	連結部・摺動部の状態	ややガタツキあり	左 右 の バ ラン ス が と れ な い た め	ややガタツキあり	良 " " " " " "
	腕伸縮用モーターの調子	良		良	
	起動時の状態	"		"	
	停止時	"		"	
爪装開閉装置	伸縮時の状況	"	一部補強材と接触	"	良 " " " "
	動力伝達・連結部の状態	一部補強材と接触		"	
	爪開閉用モーターの調子	良		良	
	爪開閉状態	"		"	
	爪閉状態	"		"	

(2) ロンジの変形（測定はすべてクレーンで定位位置にセットして行った。）

計測位置を図 4.3.3(B), その変形量を表 4.3.2(C)に示す。

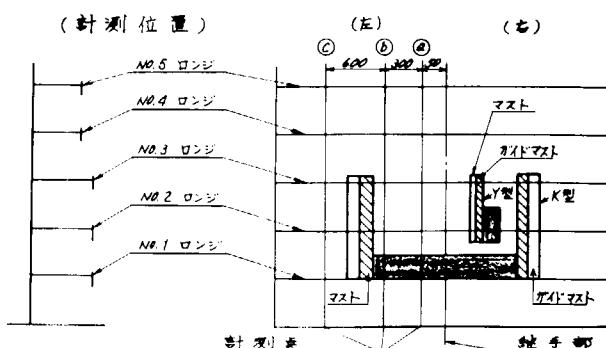


図 4.3.3(B) 計測位置

表 4.3.2 (C)

モデル	孔開閉状態	測定箇所	ロングの挿み (mm)			
			N0.1	N0.2	N0.3	N0.4
Y型	マストの孔が 2&3 のロングを挿む	②	—	2	14	—
	ガイドマストの孔が 3&4 の "	②	—	—	11	12.5
K型	マストの孔が 1&2 を挿む	②(左)	10	11	—	—
		②(右)	10	11	—	—
	マストの孔が 1&2 をガイドマストの孔が 2&3 を挿む	②(左)	2	7	7	—
		②(右)	11	14	5	—
	ガイドマストの孔が 2&3 を挿む	②(左)	—	19	11	—
		②(右)	—	11	8	—

## (3) 問題点と対策

Y型     ○ 片持構造のため登はん時に左右のバランスが不均一になる。

(対策)    2点固着方式を3点又はそれ以上の爪で固着する方法をとるか、又は重心位置を検出して  
フィードバックを行ない、それに応じて固着する方法をとる。

○ 左右の腕間隔がせまいためバランスがとり難い。

(対策)    腕間隔を広くするとともに固着力を増強する。

K型     ○ 構造が複雑であり、自重が大きい。

(対策)    各部品をシンプルなものにする等により、軽量化を図る。

○ 登はん時に本体がロング側へ傾く。

(対策)    下腕を押し出す方式を考え、姿勢を制御する。

○ 大きい重量を支持するため、現状の腕構造では剛性が不足する。

(対策)    腕構造を変更して剛性を増す。

## (4) 考 察

Y型、K型の登はん装置モデルの予備試験の結果を考慮に入れて、それらの問題点及び対策について検討を行った。その結果

- ① Y型モデルの機構では昇降が不可能である。
- ② そのため必然的にK型に類似する機構が必要となる。
- ③ しかし現状では重量が大きく、腕の剛性が不足し、また姿勢制御が困難である。
- ④ そこでK型をY型に倣った上腕機構とし、下腕を押板機構としたものに改良する。

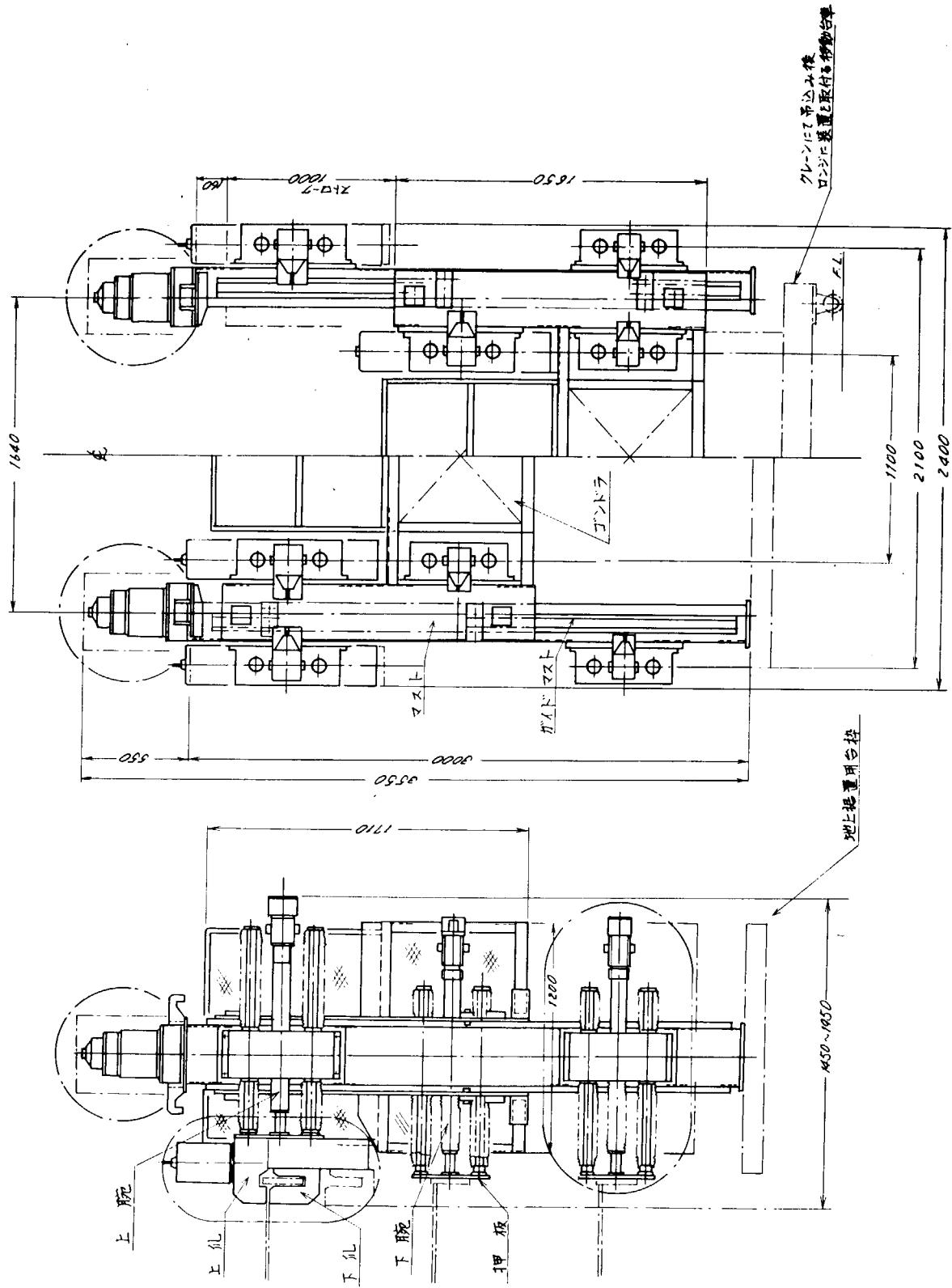
以上の経過に基づいてK型を改良したK'型が製作され、その実験を行うことになった。

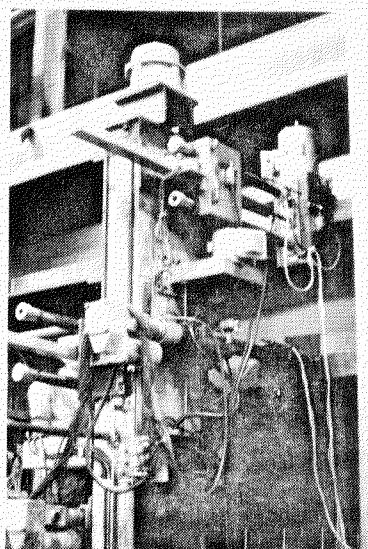
## (c) 改良型モデルの製作と第2回予備実験

## (i) 改良型モデル (K'型)

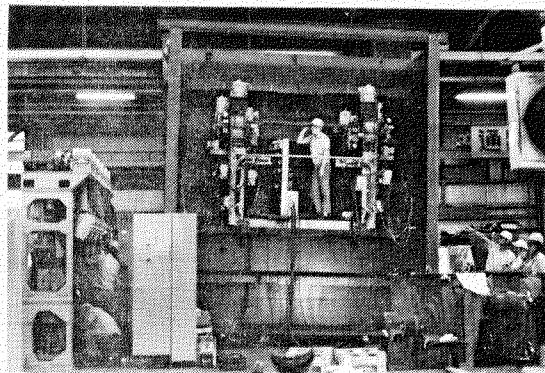
図 4.3.4、写真 4.3.3 にその外形を、表 4.3.3 (A) に仕様を示す。

図4.3.4 K'型モデルの外形図





(A)



(B)

写真 4.3.3 K'型モデル

表 4.3.3 (A) K'型登はんモデルの仕様

項目	K'型
概要	K型の回着方式を2翼回着、2翼押し出しにしたもので、化的開閉機構はY型と類似なものである。
基本動作	K型と同じ
化的開閉機構	(上腕)  (下腕) 
昇降ストローク	800 ~ 1,000 mm
動作速度	0.02 / 0.2 m/min
腕伸縮ストローク	600 mm
動作速度	12 m/min
化的開閉ストローク	350 mm
動作速度	0.18 / 3.6 m/min
概算重量	2,100 kg

(注) 制御方法 電源はY型 K型と同じ

## (ii) 第2回予備実験

## ① 実験要領

地上試験及び模型実験(B)を行う。

## ② 実験結果

## (1) 作動状況

地上試験及び模型実験(B)の結果を表 4.3.3 (B)に示す。

表 4. 3. 3 (B)

項目	確認事項	モードル 試験	K' 型	
			地上試験	模型実験 (B)
昇 降 装 置	昇降用モーターの調子	良	良	
	昇降部の起動状態	"	ややガタツク	
	"停止"	"	良	
	"動作"	"	ややガタツク	
	連結部、摺動部の状態	"	剛性不足あり	
腕 伸 縮 装 置	腕伸縮用モーターの調子	良	良	
	起動時の状態	"	"	
	停止時 "	"	"	
	伸縮時の状況	"	"	
	動力伝達、連結部の状態	"	"	
爪 装 開 閉 置	爪開閉用モーターの調子	良	良	
	爪開閉状態	"	ロンジフェイスと摺動する。	
	爪閉状態	"	良	
その他	特記事項	登はんが可能であるが、本体のガタツキが大きい。		

## (d) ロンジの変形

変形量を表 4. 3. 3 (C)に示す。

表 4. 3. 3 (C)

爪開閉状態	測定個所	ロンジの撓み (mm)			
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
ガイドマストの上腕がNo. 2 ロンジを摺み、下腕がNo. 1 ロンジを押す。	(a)	左	-	11.5	
		右	-	3.5	
	(b)	左	-	11.5	
		右	-	4.0	
	(c)	左	-	10.0	
		右	-	3.5	
ガイドマストの上腕がNo. 3 ロンジを摺み、下腕がNo. 2 ロンジを押す。	(a)	左	-	7.5	
		右	-	4.5	
	(b)	左	-	6.0	
		右	-	3.0	
	(c)	左	-	9.5	
		右	-	3.0	
ガイドマストの上腕がNo. 4 ロンジを摺み、下腕がNo. 3 ロンジを押す。	(a)	左	-	7.0	
		右	-	5.5	
	(b)	左	-	7.0	
		右	-	6.0	
	(c)	左	-	7.5	
		右	-	5.5	

(e) 測定個所は(ii)の②の(d)を参照。

### ③ 問題点と対策

- 下腕（押板部）をゆるめた場合、本体にガタツキが生じる。

（対策）ガイドマストを長くして、2ロング間隔で支持して昇降させる方法とする。

- 重量が大きいためロングの撓み量が大きくなる。

（対策）重量が上腕だけでなく、下腕にても受けける構造とする。又部品は最小限の必要数にとどめ、軽量化を図る。

- 外形寸法が大きい。

（対策）ゴンドラのスペースを小さくとり、外形寸法の縮少を図る。

### （2）試作機の仕様

前項での実験結果を考慮して試作機の仕様を決定した。

#### （a）装置の概要

図4.3.5(A), 写真4.3.4に外形を、表4.3.4に仕様を示す。

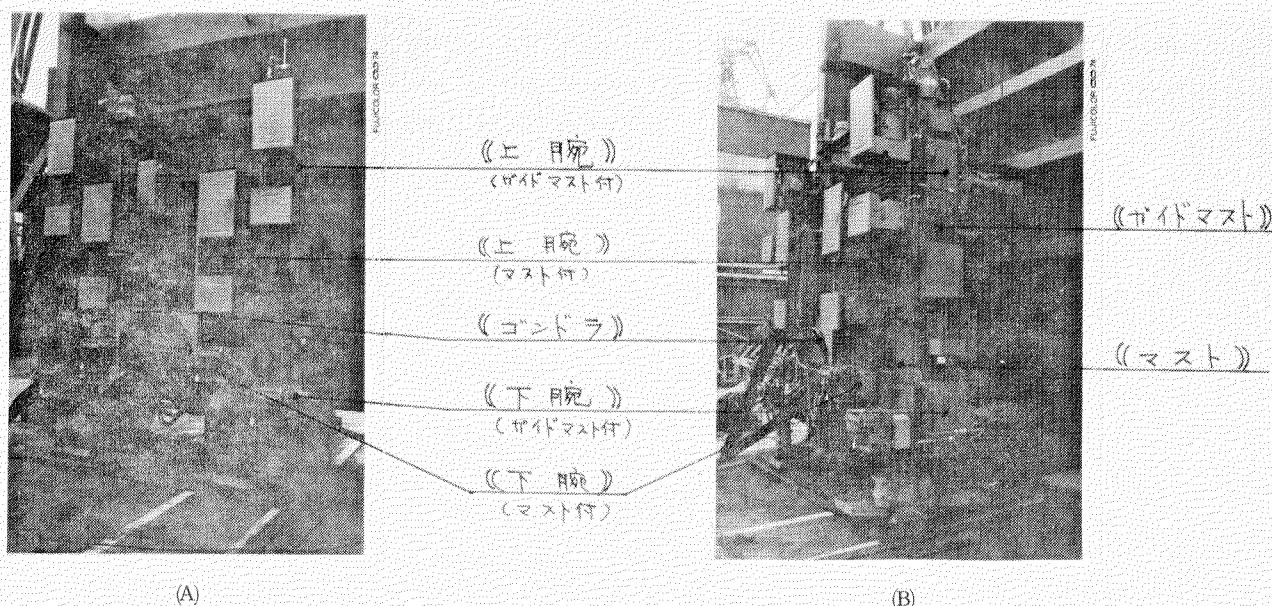
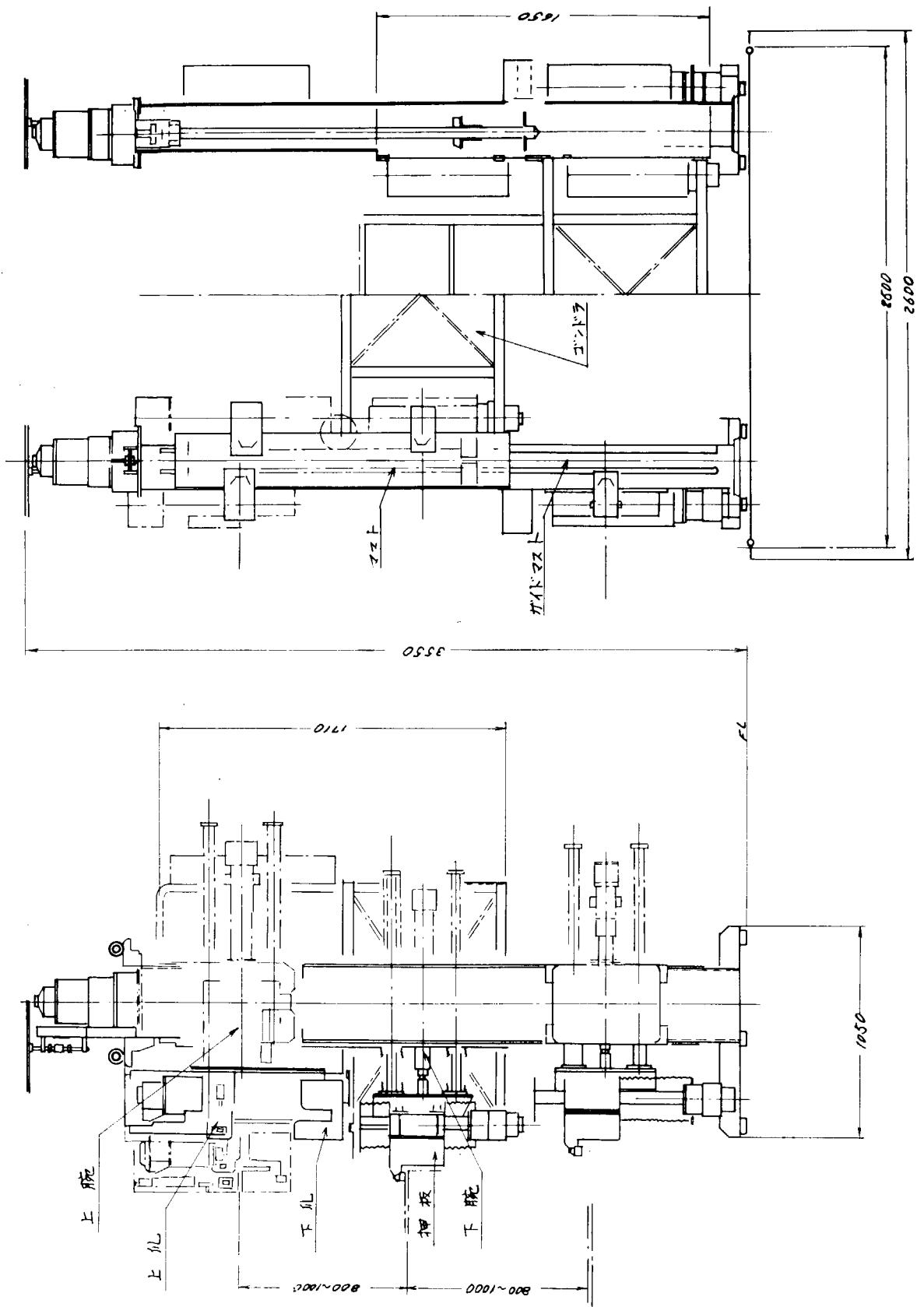


写真4.3.4 試作機

表4.3.4 装置の仕様

項目	仕様
昇降ストローク	800～1,000 mm
〃 速度	0.42～4.2 m/min
腕伸縮ストローク	600 mm
〃 速度	4 m/min
爪開閉ストローク	280 mm
〃 速度	5 m/min
積載重量	200 kg
操作方式	手動：押ボタンによるインチング操作 自動：固定シーケンスプログラマによるプログラム制御で押ボタン操作
電源	3φ AC 220V 60Hz
本体重量	3,600 kg

図 4.3.5(A) 試作機の外形図



(b) 装置の構成

(i) ガイドマスト

頂部に昇降用駆動モーターを設置してモーター軸に連結されたネジ軸の回転により、マストのナットを介して昇降する構造である。

(ii) マスト

ガイドマストと摺動して交互に昇降する構造であり、ゴンドラと連結する。

(iii) ゴンドラ

マストに連結されて昇降し、作業用フラット（ $800\text{mm} \times 800\text{mm}$ ）及び制御盤収納枠で構成する。

(iv) 上腕

特殊モーター（安川電機製作所製モートハンド）を使用してマスト及びガイドマストの上部にネジで固定される。また、爪開閉機構はロンジフェイスを上下からはさみ込む構造であり、開閉、締め込みを2モーターで行う。

(v) 下腕

上腕と同じモーターを使用して、マスト及びガイドマストの下部にネジで固定される。ロンジとの接触部は押板を設けて押し当てを行うとともに荷重分担用の爪を設けた構造である。

(c) 装置の作動

(i) 動作フロー

上昇の場合の動作フローを図4.3.5(B)に示す。

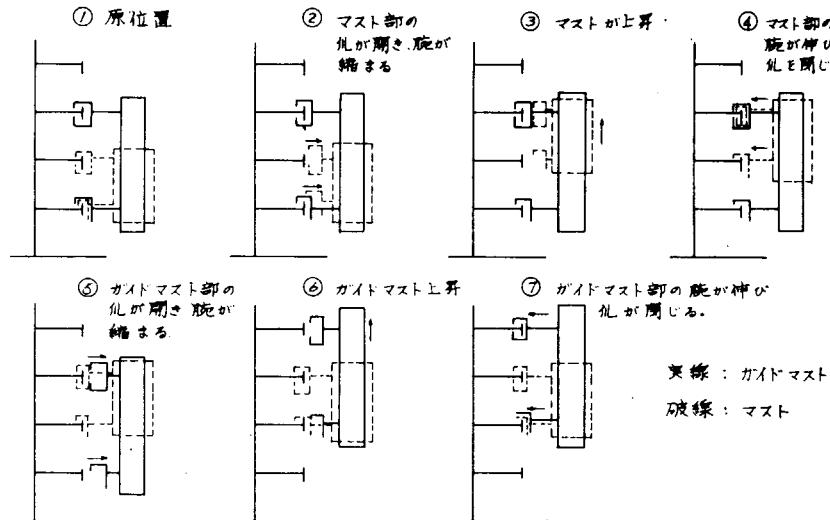


図4.3.5(B)

(ii) 動作フローチャート

図4.3.6に示す。

(iii) 動作タイムチャート

図4.3.7に示す。

(d) 装置の制御機構

(i) 制御装置

写真4.3.5(c)に示す。

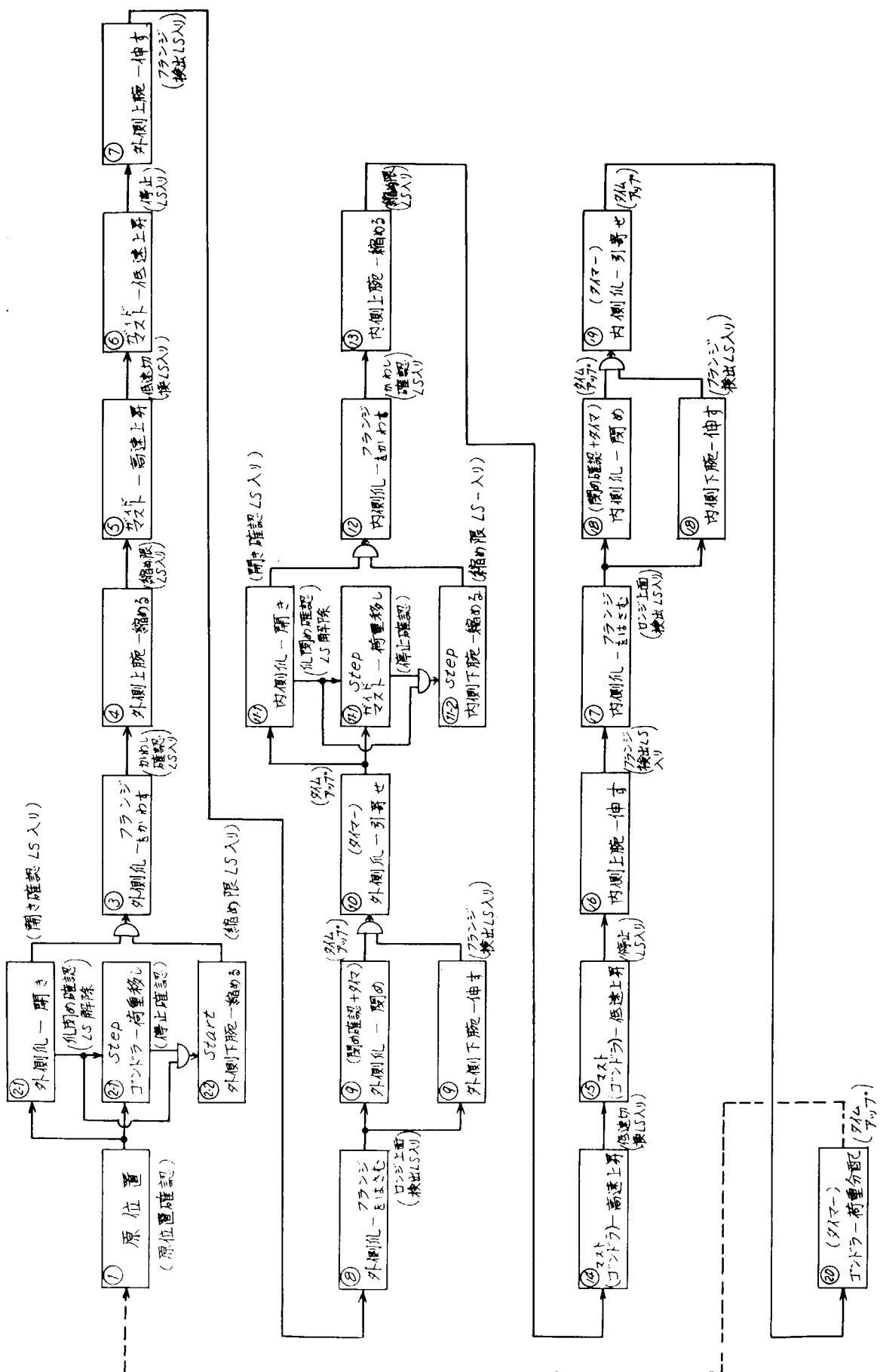


図 4.3.6 動作フローチャート

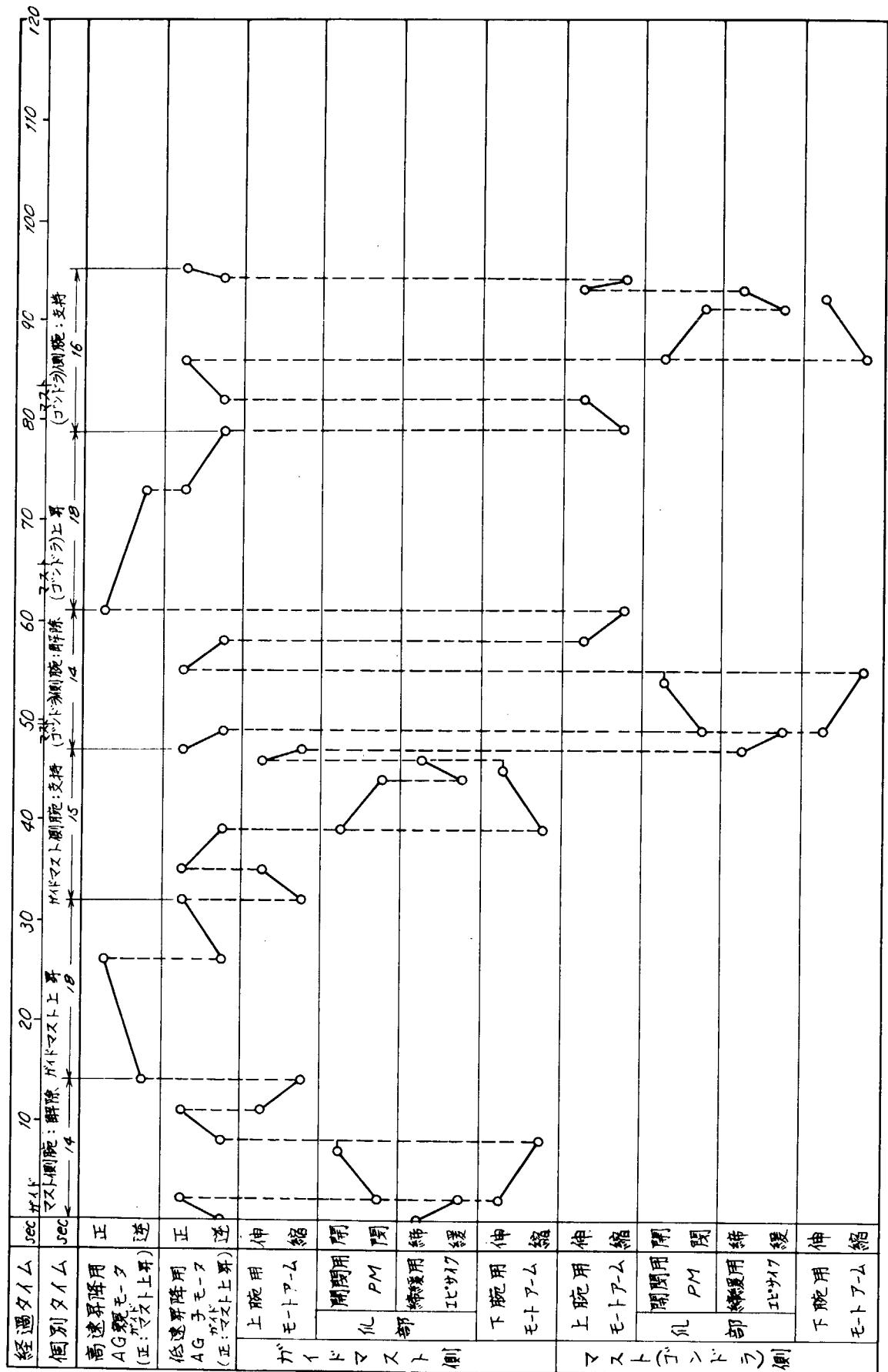


図 4.3.7 動作タイムチャート

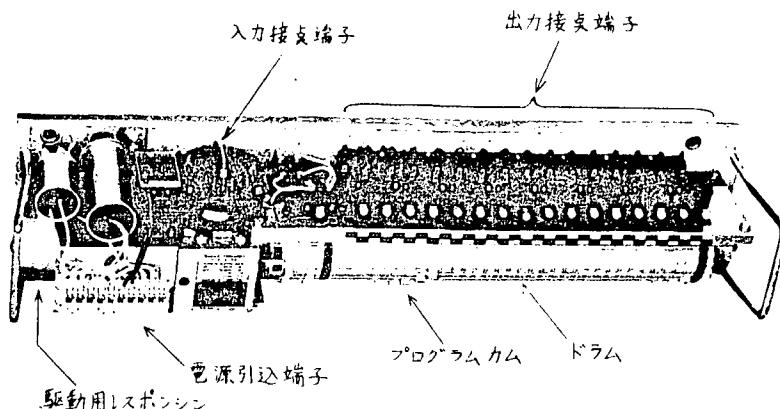


写真 4.3.5 ドラム式シーケンスプログラマ

#### (ii) 制御方法

上記プログラマによる固定シーケンスプログラム制御を行う。又、作動は装置の各所に設けられリミットスイッチの切換信号に基づいて追従する方法で行う。

### 4.3.3 設計上の留意点

CLIMACS は船台・船渠という特殊作業環境で安全かつ十分な登はん機能を発揮しなければならない。そのため、製作にあたっては、前述のように周到な予備実験を行い、それらの基礎資料にもとづいて種々の改良を加えた。

#### (1) 安全法規との関連

本装置は将来、作業員および省力装置を載せ、高所危険作業を伴なう苛酷な作業環境で使用されることを前提としているために、装置の安全性に関しては下記の安全法規を考慮し、十分な安全対策をほどこした。

- 労働安全衛生法
- 労働安全施行令
- ゴンドラ安全規格
- ゴンドラ構造規格
- クレーン等安全規則
- エレベータ構造規格

#### (2) 剛性および耐振性

使用する周囲条件が苛酷なため、本装置の剛性および耐振性に関する構造設計を、前述の諸法規にもとづいて、厳密に考慮した。すなわち、本装置の運転時の各可動部およびその運転に伴なって振動する各構成部品の間に生じる相対振動は全振幅を  $2.5 \mu m$  以下に押えた。また、本装置の運搬時や登はん時のがたつきなど、異常ショックを受けることを予め想定して設計した。

この異常ショックに対しては少なくとも連結貨車で運搬時発生する瞬間的衝撃力、約  $10\%$  の外力に耐えうるようになっている。

#### (3) 制御の確実性

本装置の制御シーケンスはかならず、前ステップの終了確認を経て、次のステップへ進むように組んでおり、さらに各ステップ間では、インターロックをとっているため、誤動作が発生しても装置は停止する。また、このインターロックを解除すれば、警報が発せられ未然に事故が防止できるようになっている。

##### (a) 基本シーケンス

本装置の動作シーケンスは、前動作が完了し、次動作を行ってもよいという安全の確認なしには、次のステップに進めないようになっており、これは手動および自動運転時も同様である。たとえば、上腕後退時を例にとれば、後退の押しボタンを押しても手動運転時で、しかも左右の両爪が開かれた状態であるとの確認なしには腕は後退し

ない。

#### (b) 制御ユニット

本装置は、リミットスイッチによる動作の確認をもとに、一定の動作パターンを繰り返して登はんをさせる目的から、自動運転時にはドラム式の制御ユニットを使用している。本ユニットの特長は、前動作の完了信号で、次の動作に進み、停電や故障の場合でも、そのステップを機械的に保持していることであり、停電メモリーがとれ故障の原因発見が容易である。

#### (c) 停電時におけるシーケンス上の対策

本装置が動作中・停電した場合には制御シーケンスの電源回路が全面的に断たれるが、シーケンス上4爪支持を最低確保しているので、どのような状態でも安全である。次に電源が復帰した場合は、自己保持されていた電源回路用の電磁リレーがリセットされているので、再び電源投入ボタンを押さない限り回路は生きない。

### (4) 障害物の探知

リミットスイッチおよびプレートレバーを各所に設置し、触角による障害物の検出を行うとともに、広範囲にわたる障害物を検知するために超音波探知器を装備することを考慮した。障害物探知の動作フローを図4.3.8に示す。

### (5) 駆動部に対する配慮

本装置の駆動部は機能的には、次のように大別される。

#### (a) 昇降部

#### (b) 腕伸縮部

#### (c) 爪開閉部

これらの各部に関する駆動には、それぞれその機能に適したモータおよびアクチュエータを採用している。

#### (a) 昇降部

昇降部は、ブレーキを内蔵し、かつギヤーを介して2段変速ができるロータリアクチュエータを駆動源として、マスト部の昇降を行う。なお、ねじ効率のよいボールねじを採用しているので、図4.3.9に示すようにモータ内蔵のブレーキ①の他に、さらに非常用ブレーキ②を装備し、一層の安全性を確保した。

#### (b) 腕伸縮部

この部分の駆動には、ブレーキ付三相誘導電動機にねじロッド機構を一体化した、リニアアクチュエータを使用している。このアクチュエータは突当て、締込みが特長で十分無理な使用が可能である。

#### (c) 爪開閉部

登はん時、直接ロンジを掴む爪部には、サイクロイド運動機構の応用により、ギヤーを用いないで、超低速回転を得ることができる低慣性のロータリアクチュエータ（エピサイクモータ）を使用している。このアクチュエーターは微動送りや定位置停止などに効力を發揮するが、さらに安全を期すために昇降部分はすべりねじでセルフロックされ、不測の降下荷重に耐うことができる。

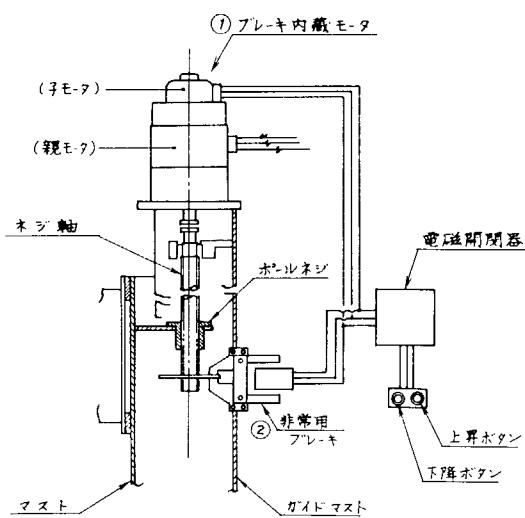


図4.3.9 昇降部の動作概要

### (6) 姿勢の保持

当初の計画では、船体を直接掴む爪部は、マストおよびガイドマストに合計8個設ける予定で進んだが、予備実験の結果、下記の問題点を緩和するため、下腕の爪部は単にロンジフェイスに押し当てるプッシュ方式として姿勢制御の役割をもたせた。

## <6> 障害物検出機構

### 1) 本装置に対する障害物

昇降自動運転中、安全性、機能性 機構上障害には物体のうち外れ的な要素、例といえば空中から飛んで来る物体、他方より接近しうつがつて来る物体水槽等は対象外とし、それ以外のすべての物体となう。

### 2) 検出器

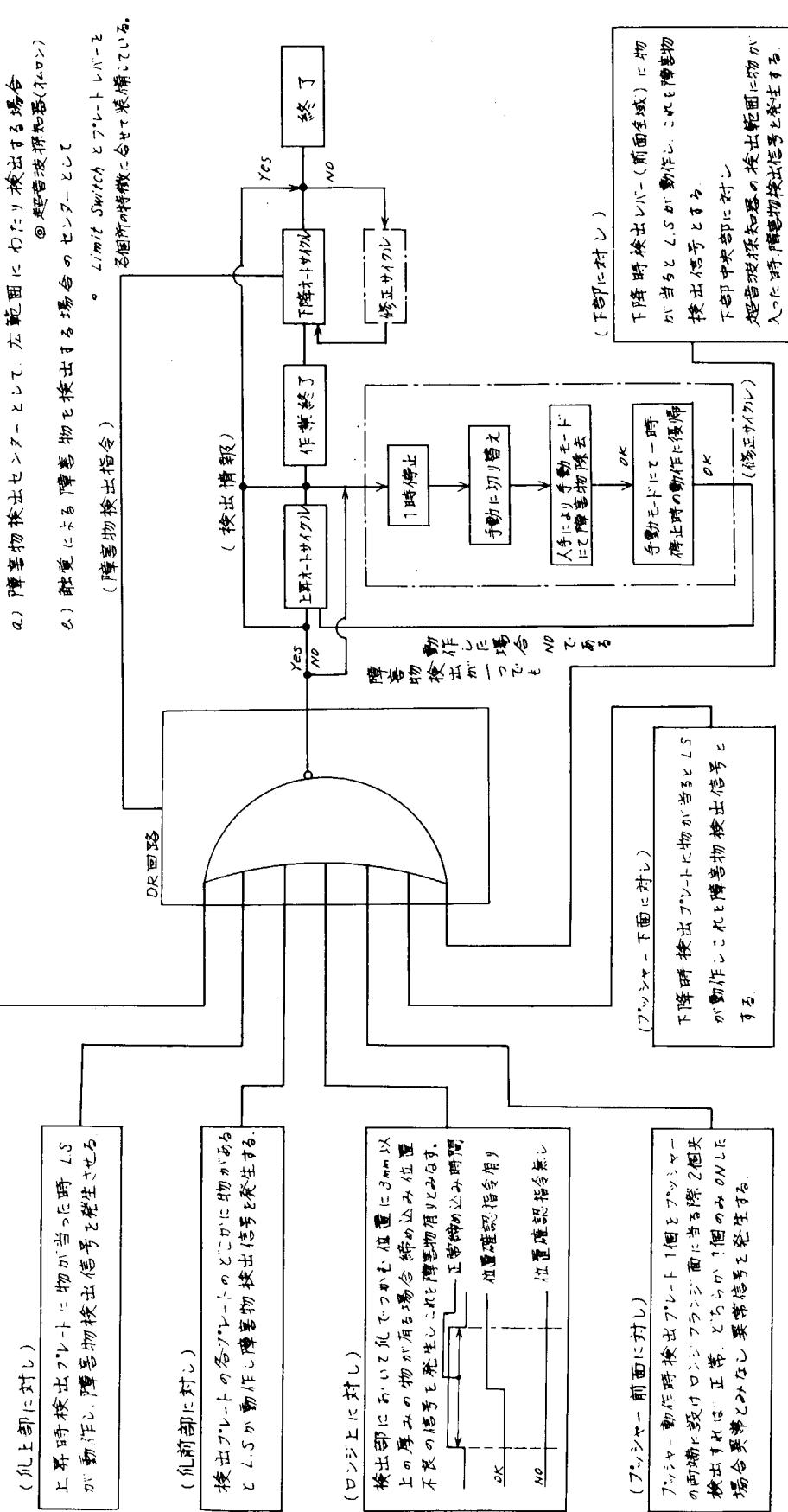


図 4.3.8 障害物検出動作チャート

- (a) ロンジピッチ誤差の相異
- (b) 装置の自重によるロンジ端のたわみ量
- (c) 重心位置の変化にともなう装置自体の姿勢のくずれ

#### 4.3.4 実験結果と解析

##### (1) 実験結果

###### (a) 地上試験及び模型実験(B)

###### (i) 作動状況

地上試験及び模型実験(B)の結果を表4.3.5に示す。

表4.3.5

項目	確認事項	試験	地上試験	模型実験(B)	備考
昇降装置	昇降用モーターの調子		良	良	
	昇降部の起動状態		"	"	
	" 停止 "		"	"	
	" 動作 "		"	"	
	連結部、摺動部の状態		"	"	
腕伸縮装置	腕伸縮用モーターの調子		良	良	
	起動時の状態		"	"	
	停止時 "		"	"	
	伸縮時 "	速度がやや遅い		同 左	リミットスイッチの作動性を増すため速度を下げた。
	動力伝達、連結部の状態		良	良	
爪開閉装置	その他の	なし	ロンジへの着脱時にガタツキが起る		
	爪開閉用モーターの調子		良	良	
	爪開閉状態	やや難点がある	やや難点がある		
電系統	爪閉状態		良	良	
	目視範囲での配線	ケーブルの露出部分が多い		同 左	配線の簡素化が必要
	停電時のロック状態	-	-	-	未実験
登の時は所要時間	1ロンジ上昇に要する時間		2分22秒		
	1ロンジ下降 "		-		
再現性	昇降時のロンジ掴み点の変化		あり	ロンジの傾斜方向に約20mm移動する。	
	着脱時の位置の変化		あり	ロンジの傾斜方向に約30mm移動する。	
障害物探知	ロンジ、上方、前方、下方の異状検出		良	下方の検出はせず。	
操作	操作上の難易	良	良		

###### (ii) ロンジの変形

変形量を表4.3.6に示す。

表4.3.6

爪開閉状態	撓み(mm)	備考
ガイドマストの爪で任意のロンジを掴む	1	各ロンジ間に補強材(100C.H)を入れた状態
マストの爪で任意のロンジを掴む	3	"
マスト・ガイドマストの爪で同時に任意のロンジを掴む	2	"

### (iii) 応力解析

#### ① 測定状態及び測定位置

測定状態を図4.3.1.0にて測定位置を図4.3.1.1に示す。

測定状態 (動作順序 (A) (B) (C) (D))

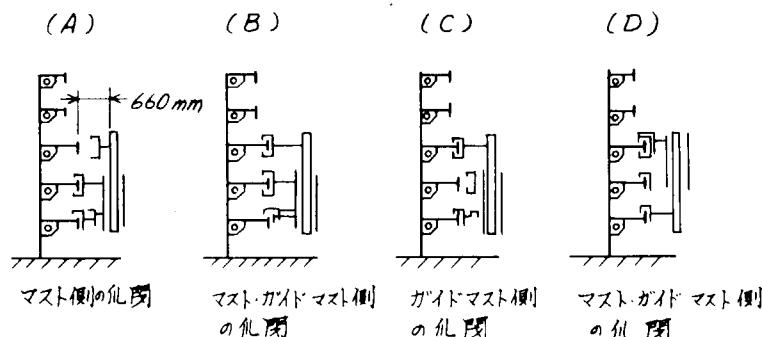


図4.3.1.0

測定位置

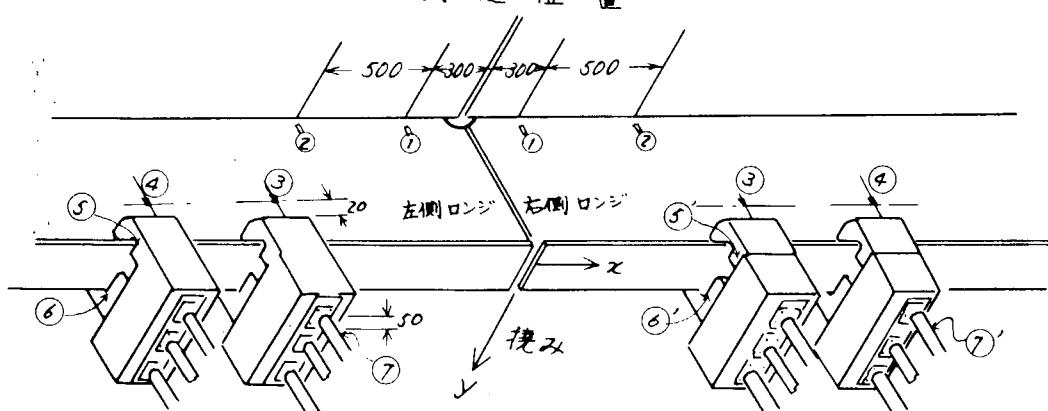


図4.3.1.1

#### ② 測定結果

応力測定値を表4.3.7に示す。

表4.3.7

測定時状態 力kg/mm <sup>2</sup>	左側ロング							右側ロング						
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	①	②	③	④	⑤'	⑥'	⑦'
(A)	1.7	16.4	(0)	(0)	4.3	7.1	-6.3	1.5	11.5	(0)	(0)	0	0	0
(B)	1.4	13.4	(0.2)	(0.2)				-7.1	1.3	9.1	(3.6)	(0.7)		-7.0
(C)	0.6	5.6			0	0	0	0.2	1.5			5.4	18.4	-14.0
(D)	0.5	4.5						-4.9	0.3	1.9				-10.0

注1. ( ) 内の値はロングを山形鋼 100×50×5 で補強していたときの値を示す。

2. ①②③④はロングの応力を示す。

3. ⑤⑥は左側上爪(外)応力を示す。

4. ⑤'⑥'は右側上爪(内) "

5. ⑦は左側上爪のアーム(内) "

6. ⑦'は右側上爪のアーム(外) "

(b) 実船試験

川崎重工業神戸工場第4船台で建造中の13万DWT Oil Tanker Wing Tank 内でCLIMACSの登はん実験を行いその作動状況を確認した。

(i) 実船の仕様及び実験位置

① 実船の仕様

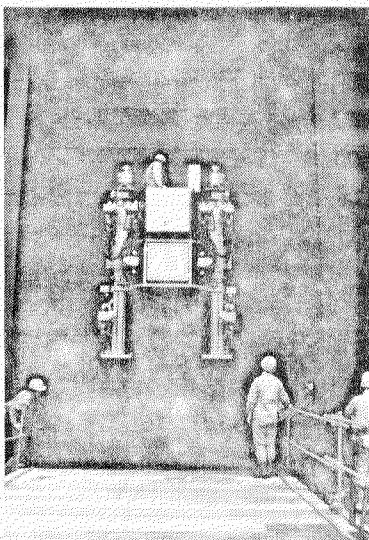
	Lpp	Bmld	Dmld	dmld (scantg)
主要寸法	:	26.0 m	× 4.4 m	× 20.6 m
船種	:	128,200 DWT.	Steam Oil Tanker	
G.T.	:	71,000 T		

② 実験位置

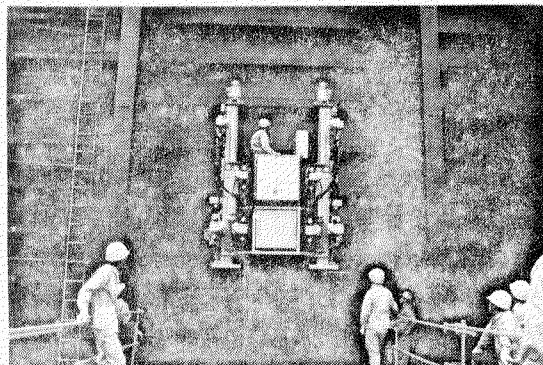
図4.3.1-2に示す。

(ii) 作動状況

各構成装置、登はんに要する時間、再現性、操作方法等については模型実験（B）における場合とほぼ同様の結果を得た。



(A)



(B)

写真4.3.6 試作機の登はん状況

(2) 解析

CLIMACSは主に、移動足場としてその登はん機能を満足させるべく諸々の検討を行い、その結果を盛り込んで実験を進めた。そして一応、その目的を達成することができた。

(a) 模型試験の場合

まず継手部での登はん実験では、手動運転及び自動運転による登はんを行った。手動運転では単一動作毎の状態を視認して登はんするため、若干のカタツキが見られた程度にとどまり、その目的を達成した。しかし自動運転では、

- ① 自重が大きいため、ロングの撓みが大きくなり、リミットスイッチの作動性が悪くなる。
- ② このため1ロング毎にリミットスイッチの調整が必要となる。
- ③ この結果スムーズな連続動作ができない。

等のため不可能であった。

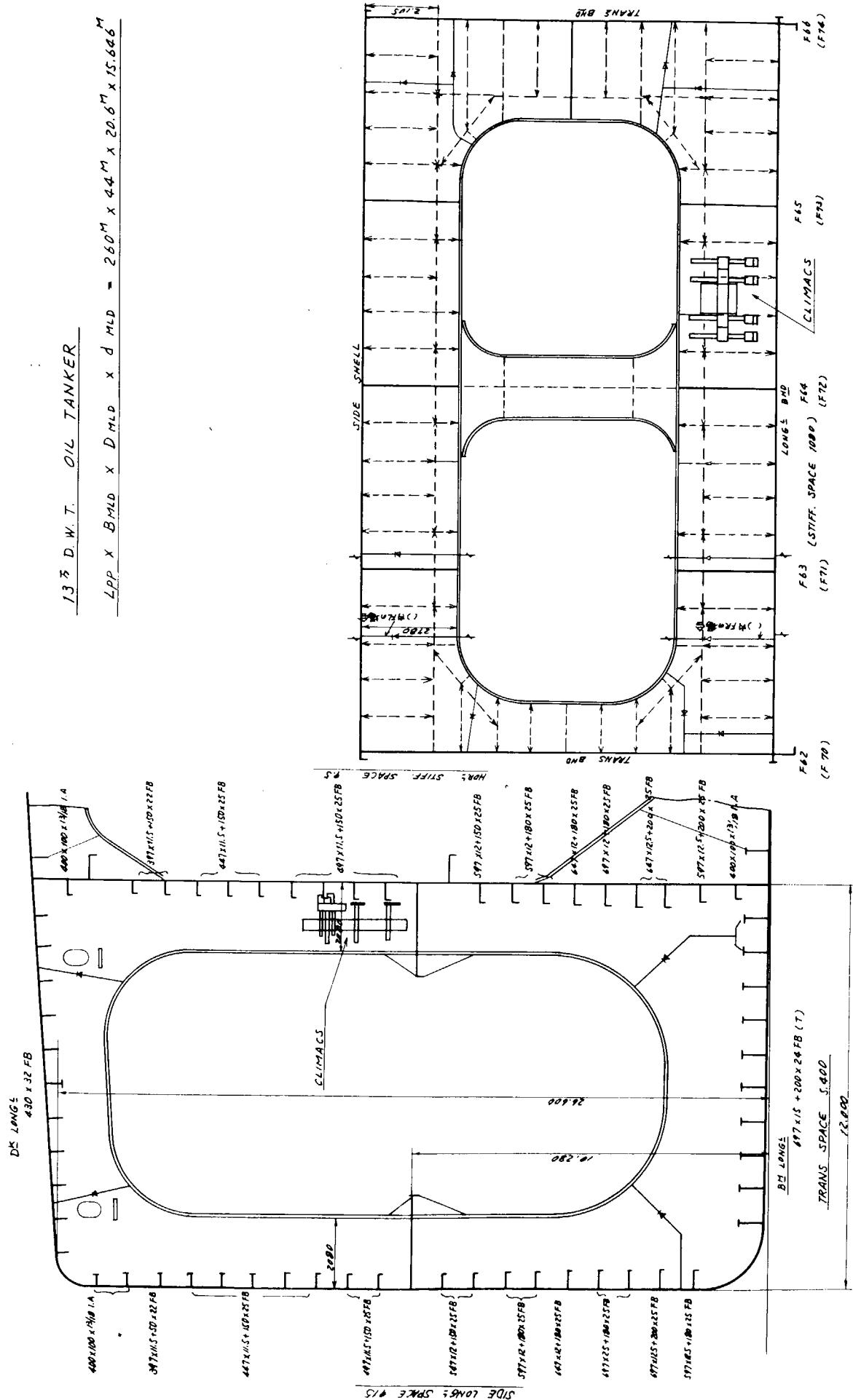


図 4.3.1.2 実船での実験位置

そこで、自動運転でのスムーズな登はんを行わせるため

- ① ロンジ間に補強材を挿入して撓みの減少を図る。
- ② ロンジデブスの同一ロンジのみで登はんさせる。

等の条件を設定して登はんさせた。

この状態ではリミットスイッチの調整にかなりの時間を費やしたが、その目的は達成できた。

#### (b) 実船による登はん試験の場合

実船実験ではあらかじめ継手部以外での登はんを設定して行った。この場合、ロンジモデルに比して、

- ① ロンジデブスが小さい（ロンジモデル：600mm, 実船：500mm）
- ② 隣接継手部は溶接が完了している。
- ③ 継手がない…一本のロンジで構成している。

等の条件の下で登はん試験を行ったのでロンジの撓みが少なく、若干のガタツキを伴ったがスムーズな登はんができた。しかし、①外形寸法が大きいため、船体付人孔からの搬出入ができない。②リミットスイッチ等の重要部品が露出しているため、クレーンによる積込に時間を要す。（接触による破損を避けるため）③高所でのガタツキは搭乗者に不安全感を抱かせる等の難点が残った。

そこで、実用機としての機能を満足するためには、

- ① 自重を小さくする。
- ② 外形寸法を小さくする。
- ③ 登はん前の調整を簡単なものにする。
- ④ ガタツキを皆無にしたスムーズな登はんができるようにする。
- ⑤ 露出部を極力避ける。

等の対策を講じる必要があろう。

#### 4.3.5 実用化のための検討

船台・船渠工において、CLIMACS は昇降移動装置としては、十分満足に作動したが、4.3.4 で述べたように、今なお改良すべき余地があるので、実用化を図るために、使用目的に応じ機能の追加あるいは機構の改造が必要となる。昇降移動機能を有する装置で人間1人乗った作業を想定した場合、以下に述べる検討が必要である。

##### (1) 装置の検討

現装置をより実用化に近づけるためには、4.3.3 で述べた設計上の留意点、つまり機構上の機能と制御上の機能をより確実なものにする必要がある。

###### (a) 機構上の機能

- (i) 小型軽量化を図り、クレーンを用いなくても、装置の搬送、装置の取り付け、取りはずしが簡単にできるようになる。
- (ii) 昇降の円滑化を図り、安全に対する不安全感をなくす。
- (iii) 調整操作の煩雑さをなくす。

###### (b) 制御上の機能

CLIMACS を使用する場合の制御上の外乱、および制御要因としては、すでに3.4.3 で述べたが、今回試作した装置は、姿勢保持の例にも見られるように、部分的ではあるが、適応制御の概念が取り入れられている。

しかし、昇降時の姿勢制御をより安定したものにするためには、現在の固定シーケンス方式からフローシーケンス方式に転換し、外乱に適応した下記の制御を行う本格的適応制御機構を取り入れる必要がある。

- (i) ゴンドラ昇降ストローク量の制御
- (ii) 上腕、下腕伸縮ストローク量の制御
- (iii) 爪部握力、開閉ストローク量の制御

## (2) 運用上の検討

船台・船渠工程での建造システムの中で、これを昇降移動足場として使用した場合、運用上以下の点を検討する必要がある。

- (a) 昇降、腕部伸縮、爪部開閉等の最適速度の設定
- (b) 装置導入が建造工程、工作法におよぼす影響の把握
- (c) 建造工程に合わせた装置の配置とそれに対する配員計画をどのようにするか。
- (d) 装置の搬入、取り付け、稼動、搬出のスケジュールとその方法を建造工程に合せて、どのようにするか。
- (e) 装置導入が工事孔、搬出入孔、補強材、装置走行用ガイドの設置等船体構造におよぼす影響の明確化。

### 4.3.6 船体登はん装置の応用

船台・船渠工程は作業場所として閉鎖された立体空間であり、その内部は船体構造そのものが障害物となるような特殊な作業環境である。そのため整面固定・溶接・仕上げなどの作業を機械化・自動化することは非常にむずかしい。実用化されている機械化の例としては、作業ユニットのような大型装置もあるが、自動化までを考えると小型のロボットが縦横に動き廻るようなイメージのほうが、船台・船渠工程としてより適当と思われる。

例えばデッキの裏面や構造物が取付られていない垂直壁を自由自在に移動できるような走行装置が完成すれば、船台・船渠工程における機械化・自動化の目的の半分は達したと言ってもよい。

本CLIMACSはその機械化・自動化に必要不可欠の走行装置の開発を目的として製作した。前項で述べた実用上の問題点は解決されるものとして本装置及び走行範囲を拡大したものを考え、その応用方法を以下に述べる。なお機械化・自動化の目的を考えれば走行装置に諸作業を行える自動機器を搭載すればよいが、現在の工業技術力と投資効果を考えて、すぐに実用化できるものから順にあげる。

#### (1) 人が搭乗する場合

走行装置の現実的な利用方法として、まず人が搭乗することを考えると例えば次のような用途がある。

- (a) 確認・検査用として  
漏洩検査や残置異物の有無を確認する。
- (b) 足場作業の補助として  
足場取付及び解体撤去に利用できる。
- (c) 完成船用として  
就航している船の点検や修繕船の損傷箇所の発見ができる。

上記のような目的に使用するものとし、人が搭乗するならば、走行装置として例えば次のような仕様の検討が必要である。

- (i) 走行機能として手動運転でもよいので、制御装置などの重量の軽減や形状の小型化をはかる。
- (ii) 可搬重量は約100kgとすればよくスペースも1人乗れる程度で十分である。
- (iii) 上甲板の開孔を通れるように小さな装置にするか、あるいは組立、解体が容易にできるように特に配慮しなければならない。

#### (2) 人と物を載せる場合

人が搭乗するとともに、作業用の治工具や計測機器を搭載することを考えると、例えば次のような利用方法が考えられる。

- (a) 作業用足場として  
整面仮付作業、溶接作業、仕上げ作業などを溶接のホルダー、キャブタイア、ハンマー、油圧ジャッキ、治工具などを搭載することによって、搭乗している作業員が、現在行われているのと同じ要領で作業ができる。
- (b) 検査装置として

検査業務は船主監督や船級協会検査員を現場に案内し、高い足場の上に登っての作業もある。時間がかかり工程への影響を無視することはできない。

走行装置に I T V カメラを載せ、受像機を検査員室などにセットし、カメラ角度などの微調整は搭乗員に行わせるようすれば、検査業務の能率化が図れる。

(c) 掃除装置として

現在の掃除作業は大きいものは手で拾い集め、小さいゴミはホウキではき集めている。掃除器を搭載すれば、搭乗員が掃除器を使用できるので、能率向上がはかれる。

以上に述べたように人と物の両者を運ぶような走行装置を検討するには次のような配慮が必要である。

- (i) 走行機能及び作業装置はいずれも手動操作でもよい。
- (ii) 積載可能重量は人間1人と上記のように軽量なものなので200～300Kg程度でよいと思われるし、機器搭載スペースも特に広くなくともよく、今回の試作機程度で十分である。
- (iii) (i)項と同じように、組立・解体が容易にできるようにする。

(3) 人が搭乗しない場合

(1)(2)項のように装置に人間が介入するマンマシン系では、人間に適した作業は人間に分担させることができる。しかし自動化となると、すべて機械にやらせることになる。

この場合は自動走行装置とそれに搭載する自動作業機器を開発しなければならない。前述の人が搭乗する場合について、走行機構を製作すれば、その次のステップとして自動化へ進むことは特にむずかしいことではないと思われる。

搭載する自動機器を次の二つに分けて考える。

(a) 補助作業用として

点検作業や掃除作業などのように I T V カメラを搭載したり、ある限定した範囲をまんべんなく動く掃除装置を搭載すれば目的が達せられる作業については自動化はそれほど困難ではない。

(b) 主作業用として

整面仮付作業や溶接作業は作業対象の位置を検出しなければならない。また整面作業の精度や溶接品質のチェックを行う必要もある。前者についてはパターン認識など、後者についてはオープン・ループによる品質保証などの技術的な進歩が伴なわなければならない。これらについては本研究テーマでは取上げなかったが、今後この面での技術的な研究開発が進めばより完全な自動化すなわち、船台・船渠用ロボットの実現も夢ではないと思われる。

## 5. 造船工作の機械化・自動化推進に関する考察

### 5.1 加工工程

加工工程は他の組立あるいは船台・船渠工程に比べれば機械化、自動化がある程度進んだ分野である。

特に準備と書きの段階では人間の現場におけるおもな役割りが監視と保守に移っている例も多く、これ以上制御の自動化を試みても省力化にはあまり寄与できそうにもない。

切断作業はNC切断機の導入により大幅に自動化されており、NC切断機自体も含めて今後の課題は、今回の研究でとりあげたように、ガス切断炎や切断速度の制御、ならびに失火など異常状態の検出と処置である。

曲げ加工は作業者の経験と勘に頼る要素が多く、機械は単に筋肉の肩代わりをしているにすぎない。ここでは主として各種曲げ加工について現状を調査し、自動化への問題点と自動化試案をとりまとめた。

#### 5.1.1 ガス切断

ガス切断の動特性を連続的に測定して、理想状態からのずれを計算・評価し、これに基づいて予熱炎、切断酸素圧、切断速度などの制御因子を自動的に調整することができれば適応制御は達成されることになる。

現状では、このような制御は作業者の手操作に全面的に依存しており、その判断のもととなる動特性は炎の色、白点の長さ、切断炎の形状、切断進行半円部形状、上縁の溶け、切断幅、湯流れの状態、ドラグライン、スラグの飛散状態など複雑なパターン認識の組み合わせにより把握される。このようにいかにも人間らしい官能に頼らねばならぬことが、すなわち動特性を電流、温度、寸法などのように単純なアナログ量として測定していくことが、適応制御を導入する際の障害となってきた。

切断面の品質を安定に保ちつつ、できるだけ速く切断すること、さらに失火現象のような不連続的異常を検出し、その原因を排除して切断を再開することが自動化の最終目標となる。

48年度に行った切断用ロボットに関する研究は、ガス切断作業のうち比較的熟練を要しない手作業を自動化する試みであり、49年度に行ったガス炎調整、ピアシング、最適切断速度に関する研究は熟練を要する分野へのアプローチであった。

当面は切断用ロボットとして具体化されたように小回りのきく、小型切断機に簡単な制御機構を持たせることにより、1人の作業者に複数の切断機を操作させる方向に進むようと思われる。

ガス炎の自動調整など高度な制御が実用に供されるとすれば、NC切断機のような大型機においてであろう。

#### 5.1.2 外板のプレス曲げ

##### (1) 現状

外板の曲げ加工は、人間の経験と勘に頼った人的判断の多い作業である。その作業量と平均的工数は表5.1.1～3のとおりであり、加工工程の中では比較的大きな作業量を占めている。

表5.1.1 170型鉱石兼油槽船の曲がり外板

曲がりの種類 △	横曲がりのみ		横曲がり+縦曲がり	
加工方法	枚 数	時 数	枚 数	時 数
ローラー	161 枚	1.9 H/枚		
プレス	34 枚	5.8 H/枚		
ローラーまたはプレス+線状加熱			373 枚 (215 枚)	8.8 H/枚 (5.8 H/枚)

○枚数は両玄分

○( )内は絞りの小さい外板

表5.1.2 130型油槽船の曲がり外板

曲がりの種類 △	横曲がりのみ		横曲がり+縦曲がり	
加工方法	枚 数	加工時間	枚 数	加工時間
ローラー+プレス	40 枚	2 H/枚		
ローラー+線状加熱			564 枚	3 H/枚
プレス+点状加熱			45 枚	22 H/枚

○枚数は両玄分

外板曲げ加工の自動化技術の開発は作業の省力化を可能にし、造船工作の近代化に寄与するところが大きいと考えられる。

### (2) 自動化への問題点

外板の曲げ作業は目的とする曲がり形状に対して、プレス順序、プレス圧、プレス間隔、プレス方向等を判断し曲げ加工を施してゆくわけであるが、

- ① 上記各要素の相互関係が複雑で一定のロジックが組みにくいくこと。

- ② 被工作物の形状が、時々刻々変化してゆくので、

上記各要素を曲がり状態に応じて変化させる必要があること。すなわち曲げ作業途中における曲がり形状を認識し、次はどこをどの程度の圧力で、どういう間隔でおすかを判断する必要があること。

- ③ スプリングバック量の問題があり、定量的に把握しにくいくこと。

- ④ 曲がりそのものが被加工材の伸びを含む3次元的なものであること。

などの理由により、プレス作業における各要素の初期設定値を定め一定のプロセスで数値制御的に曲げ加工を進めてゆくことは困難であり、自動化への大きな障害となっている。したがって、外板のプレス曲げ加工の自動化を考える場合には、任意の時点における被加工材の形状を検出し、それを解析することによって、つぎの動作を決定するといった機能が必要であり適応制御的な考えを適用しなくてはならない。

### (3) 自動化の試案

#### (a) 機能

比較的曲がり形状が単純な外板を対象とし、曲がり外板の1点プレス荒曲げ機ということを前提に、次のような機能を持たせる。

プレス位置に外板をセットしたのち、必要曲げ量を得るために初期プレス条件（プレス方向、プレス圧、プレス間隔）を求め、あらかじめ設定されたプレス始点、プレス順序指令に基づいて外板を移動しながら、プレス加工する。

プレス加工後、曲がり形状を検出し最終必要形状との誤差量を算出して、つぎのプレス条件を設定する。以下上記作業を繰り返す。すなわち機能としてつぎの作業を自動的に行うものとする。

- ① 外板の移動
- ② 必要曲げ量を得るためのプレス条件の設定
- ③ 一点プレスによるプレス
- ④ 曲がり量の検出

#### (b) 自動化の方法およびイメージプラン

##### ① 外板の移動

プレスシリンダー位置は固定とし、プレス位置の移動は、外板を移動させることにより行う。先端にマグネットを有した油圧ジャッキにて外板をサポートする。このサポートは2方向に移動制御できるものとしており設定されたプレス方向、プレス順序、プレス間隔に応じて、このサポートの移動量を指令し移動させる。このイメージブリ

表 5.1.3 260型油槽船の曲がり外板

加工方法	曲がりの種類	横曲がりのみ		横曲がり+縦曲がり	
		枚 数	加工時間	枚 数	加工時間
ローラー + プレス	149 枚	2.8 H/枚	59 枚	8.4 H/枚	
ローラー + 線状加熱			310 枚	6.8 H/枚	
プレス + 線状加熱	11 枚	9.3 H/枚	17 枚	13.9 H/枚	

○枚数は両玄分

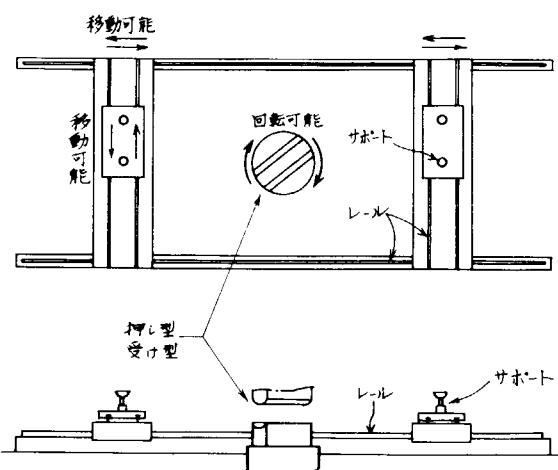


図 5.1.1 プレス機構

ンを図 5.1.1 に示す。

#### ② 必要曲げ量を得るためのプレス条件の設定

目的とする外板の曲がり形状と、あらかじめ設定したプレス開始点、プレス順序とを初期データとして、入力し最適なプレス圧力、プレス方向、プレス間隔等のプレス条件を設定して制御機へ送る。第1回プレス完了後曲がり形状を計測し、最終曲がり形状に対する曲げ不足量を算出してつきのプレス必要箇所およびその圧力などを設定する。プレスは最終形状に対して、曲げ過ぎにならない条件で行う。

上記プレス条件の設定および曲げ不足量の算出にはコンピュータを利用する。

#### ③ 1点プレスによるプレス

プレスの押し型に方向性を持たせるため、プレスの押し型および受け型は、回転制御ができるようにしておく。外板を所定位置に移動し、プレス位置が決まれば制御機が指令したプレス方向により、プレス押し型と受け型を回転させ指令されたプレス圧力にしたがいプレス作業を行う。

#### ④ 曲がり量の検出

曲がり量の検出はソナーのごとき原理を用いて、超音波で検出する方法とレーザー光線を利用する方法とが考えられる。

検出装置は計算機に直結させ、たとえばある1点から任意の角度で発射された場合の垂直寸法換算は直ちに行われるようなものとする。

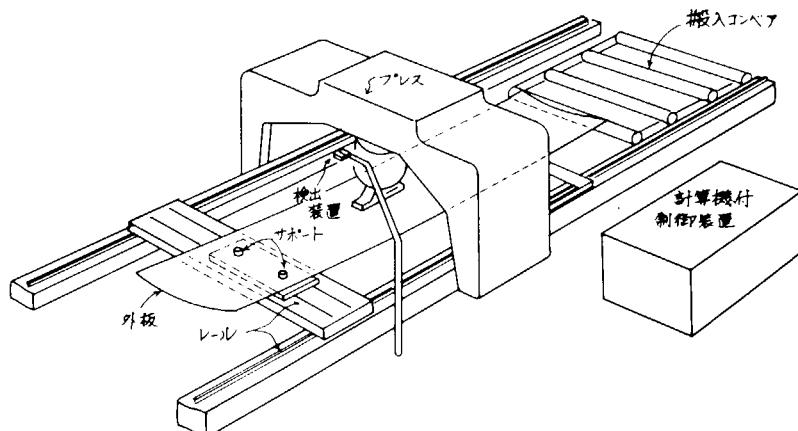
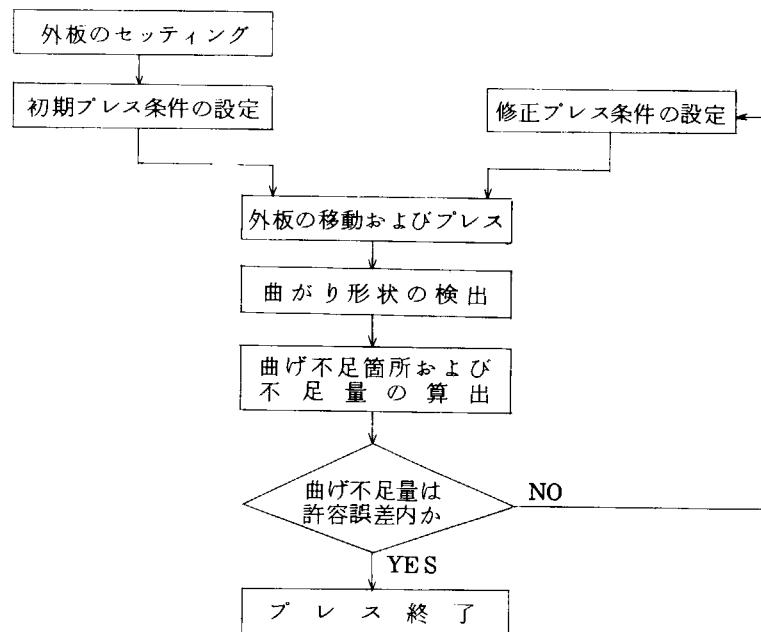


図 5.1.2 外板プレス曲げイメージプラン

以上、外板プレス曲げ装置を1点プレス方式で考えてきたが、このほかに多点プレス方式も考えられる。ただし、この場合、加圧トク数が相当大きくなり、大がかりな装置となることや板端部押しの問題等が残るであろう。

(c) 自動装置による外板プレス曲げ作業の流れ図



### 5.1.3 外板の線状加熱曲げ

#### (1) 現 状

外板の線状加熱作業の現状は、ほとんど手作業であり、一部の造船所で自動機の試みが行われ始めているのが実状である。

その作業量については、260型タンカー、170型鉱石兼油槽船および130型タンカーの例を前項5.1.2で示した。

線状加熱による外板曲げ作業は、あらかじめ各フレームごとの曲げ型をセットしておき、曲げ型と曲げ材料とのすきまと見通し点をチェックして、加熱線をマーキングし、水冷をしながら加熱作業をしている。また曲がり形状のチェックと加熱は、木枕や矢を材料の下に敷いて、極力曲がり形状を合わせてから行う。

以上の作業のうち曲がり形状をチェックして、加熱線をきめる作業などは作業者の勘と熟練に頼っており、作業の標準化もむずかしく手作業となっている。

#### (2) 自動化への問題点

線状加熱による外板曲げ作業は前記の作業状況からみても自動化の困難な作業であり、特にむずかしい点は

- ① 3次元曲げであること。
- ② 曲げ条件（加熱線および加熱条件）を板厚や必要曲げ量から標準的に決めていくこと。
- ③ 曲がり材のセッティング、曲げ量の計測、鋼板の拘束曲げなどの周辺補助機能の自動化が困難なこと。

であり、まず曲げ条件の標準化が自動化へのベースとなる。曲げ条件は定性的にはある程度わかっているが、定量化することは、バラツキがあり、非常にむずかしい。しかし、今後多くの実験を行い、単純な形状でのある程度の幅をもたせた標準化は可能と考えられるので、自動化を行うには、まず比較的簡単で作業量も半数以上をしめている平行加熱の鋼板を対象とすべきであろう。

#### (3) 自動化の試案

線状加熱の自動化には、下記の点を自動的に行える装置が必要となる。

- ① 曲がり材のセッティング
- ② 拘束力による曲げ
- ③ 曲げ量の計測

④ 必要曲げ量を得るための加熱線および加熱条件の設定

⑤ 多数バーナーによる線状加熱

これらの自動化の方法の一つの試案として、

① 曲がり材のセッティング方法

材料を定盤上で横方向に油圧ジャッキで押し、基準治具に押しつける方法。

② 拘束力による曲げ方法

定盤上の両側に油圧ジャッキを配して、鋼板の自然たわみで得られる形状を算出しておき、フレームごとの油圧ジャッキの押し上げ寸法を自動的に設定し、拘束力による曲げを得る方法。

③ 曲げ量の計測方法

曲げ量の計測は機械的に外板に計測棒をタッチさせる方法。すなわちレール上に配した計測装置をフレームごとに動かし、こう配角度は計算で折り込んでフレームライン上を計測棒を移動させて、曲がり形状を計測する方法。

④ 必要曲げ量を得るための加熱線および加熱条件の設定方法

曲げ量測定の結果、曲げ不足のピーク点が何箇所か出てくるが、これを曲げ心方向に結んだ線が加熱線となる。

一方ある加熱条件で1バーナーの曲げ量がきまれば、線状

加熱後の形状は予想され、最終形状より曲げ過ぎにならない加熱条件で加熱することとなる。

なお、加熱条件は加熱速度で調整し、他は一定とする。

すなわち、各フレームごとの曲げ不足量が計測されると計算機を用いて、加熱線と加熱速度が設定される方法となる。

⑤ 多数バーナーによる線状加熱方法

設定された加熱線、加熱速度のもとでNCにより、多数バーナーを制御する方法となる。

曲がり形状が単純で余り大きくない場合は多数バーナーのNCは二次元とし、バーナーの上下動は鋼板上を自由に動くようとする。

この場合の線状加熱装置のイメージプランは、図5.1.3～5.1.5に示すように、

①③の門型の機構を同じレール上

に配して、①で形状をチェックしたものと②の計算機付NCで計算し、③の加熱機を動かす機構となるであろう。また④の定盤上には両側に押し上げジャッキを配置する。

以上のように外板線状加熱曲げの自動化を行うことは非常にむずかしいが、現状の要素作業をみると、

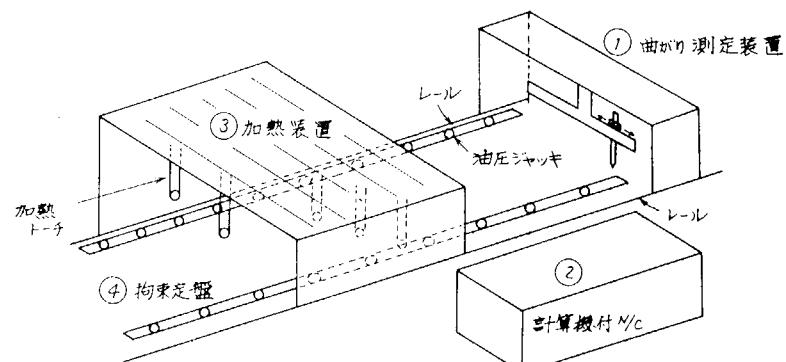
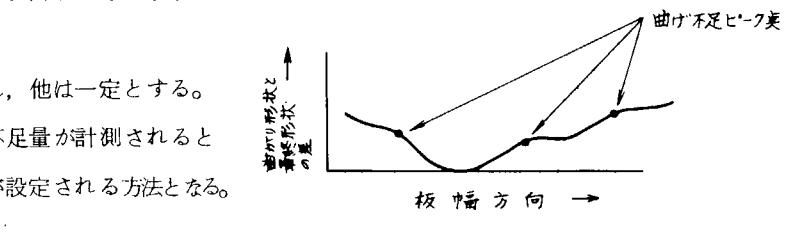


図5.1.3 線状加熱装置のイメージプラン

加熱冷却	加熱段取り	型合わせ、見通し、け書き	鋼板拘束	その他の
57%	10%	14%	9%	10%

となっており、加熱関係が67%になっているので、多数バーナーの自動加熱が達成できれば大幅な時間短縮ができる

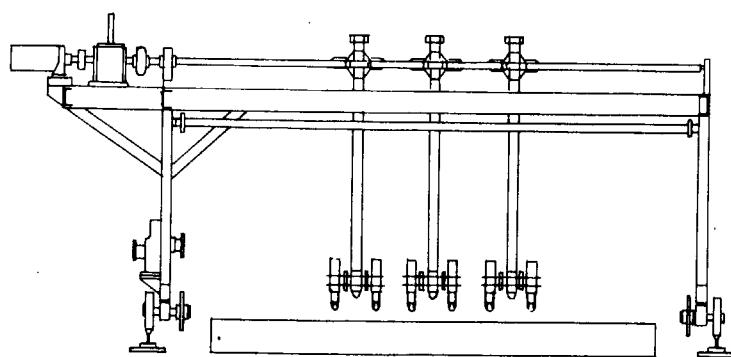
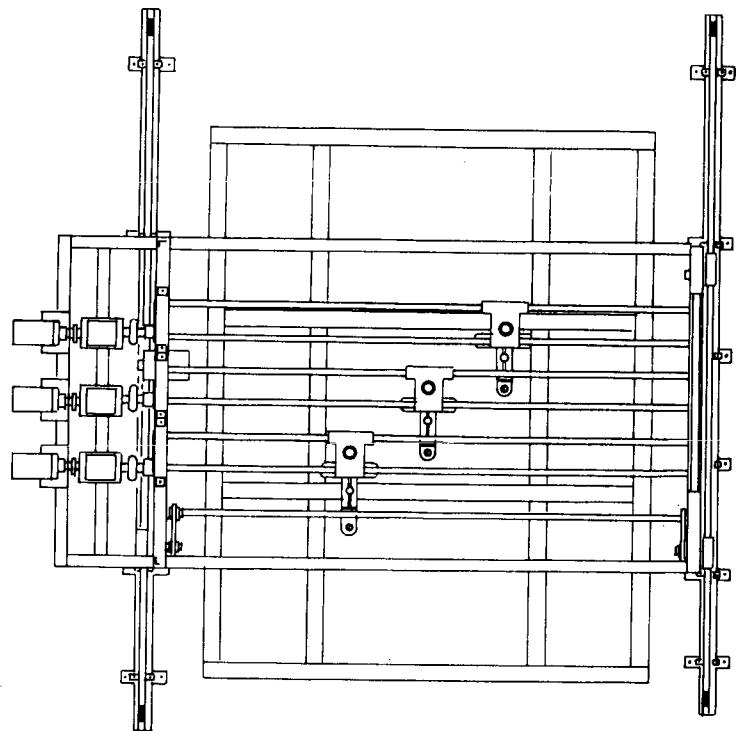


図 5.1.4 加熱装置

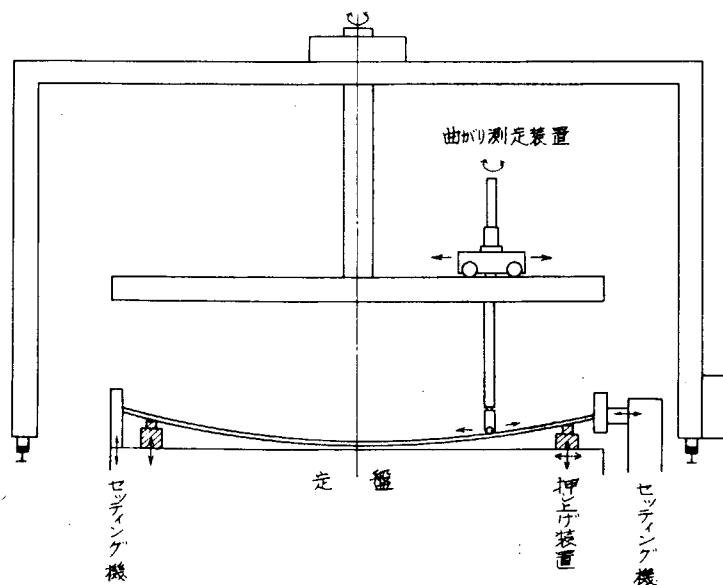


図 5.1.5 周辺補助装置

きるので、まずこの段階での自動化を目指すべきであろう。

自動装置を使用した線状加熱作業の流れ図はつきのとおりである。

#### 5.1.4 形鋼のけ書き切断

形鋼のけ書き切断作業は、現在ほとんどの造船所で手作業に頼っているのが実状である。その作業量は130型タンカーを例にとれば表5.1.4に示すごとくである。

表5.1.4 形鋼の作業量

	本数	け書き時間 (分/本)	切断時間 (分/本)
直材	660	13	30~45
曲材	400	26	30~45
合計	1,060		

○両玄での本数を示す。

○ロンジ材のみの本数を示す。

##### (1) 形鋼け書き作業の現状

け書き作業は、作業表で指示された諸寸法（継手線位置、スロット位置、ドレンホール位置、基準線位置および逆直線ポイント）を巻尺などで計測して、け書き線の記入を行う作業である。

##### (2) 形鋼け書き作業における自動化への問題点

ここで形鋼はひずみを持った状態で搬入されるのが普通であると考えなければならないので、形鋼のけ書き作業の自動化を考える場合には、そのひずみをいかに検出し、いかなる補正を行なうかが問題となる。そこで形鋼の自動け書き装置はつきのような仕様となるであろう。

##### (3) 形鋼け書き作業における自動化の試案

形鋼が持っているひずみを検出し、そのひずみにあわせて正確な寸法なり位置なりを補正して、両端の継手線位置、スロット位置、ドレンホール位置、基準線位置および逆直線をテープ指令にてけ書きるものとする。

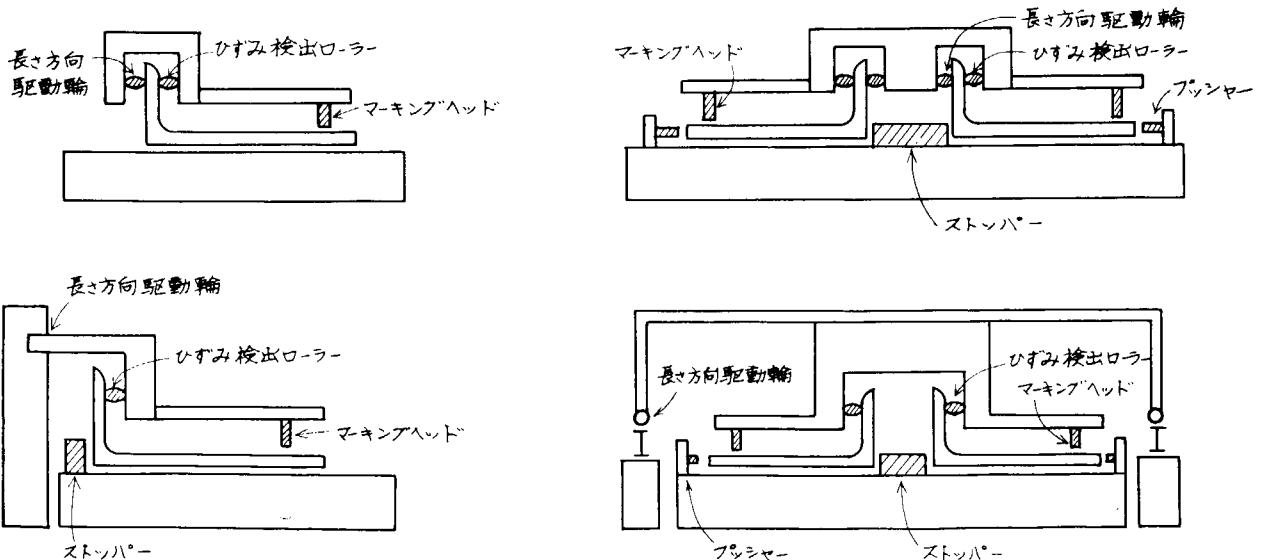
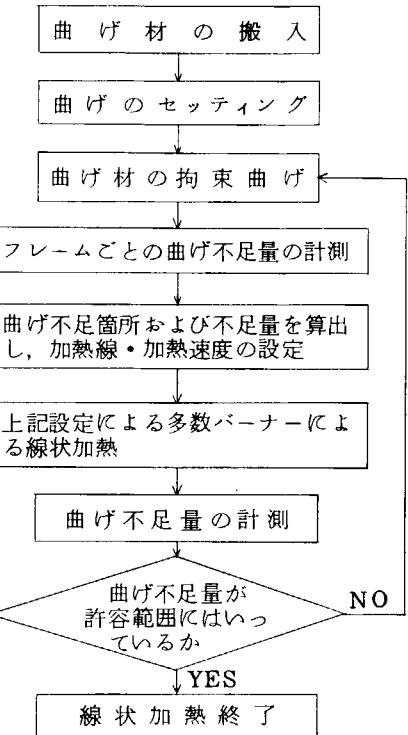


図5.1.6 形鋼の自動け書き装置のイメージプラン

ひずみの検出方法としては、形鋼の作業基準面はフランジ面であることに注目して、検出ローラーをフランジ腹面に走らせて基準点からの距離を算出しフィードバックする方法が考えられる。

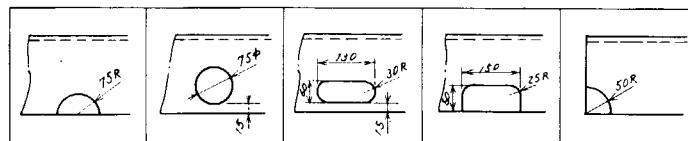
装置のイメージプランを図 5.1.6 に示す。

#### (4) 形鋼切断作業の現状

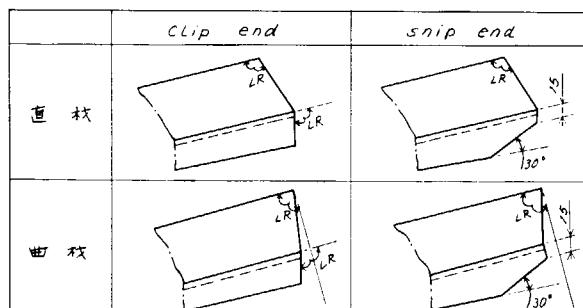
形鋼の切断作業は、形鋼上にすでにけ書かれている所定の位置においてスロット、ドレン・ホール及び継手線を切断する作業である。現状ではスロット、ドレン・ホールは型ならい切断され、また継手のフランジ面の切断はある種の治具を用いて行われることが多い。

#### (5) 形鋼切断作業における自動化への問題点

形鋼の切断作業の自動化を考える場合、フランジ面の切断方法および切断形状の認識方法が問題となるであろう。このうち切断形状の認識方法については、形鋼のサイズ、断面形状、スロット、ドレン・ホールの形状および継手線の形状は標準化されているので、比較的容易に解決されるであろう。そこで形鋼の自動切断装置の仕様はつきのようなものとなるであろう。なお、切断形状の代表的な例を図 5.1.7 に示す。



スロット、ドレンホール 切断形状例



接手線切断形状例

図 5.1.7 代表的な切断形状

#### (6) 形鋼切断作業における自動化の試案

形鋼上にすでにけ書かれている切断マークをセンサーにより検出し、マークに応じた切断形状を認識して、所定の位置でスロット、ドレン・ホールあるいは、継手線の切断を図 5.1.8 に示すシーケンス制御にて行うものとする。

継手線の切断方法には次の 3 方法が考えられる。

- ウェブ面切断終了時に切断トーチを回転させてフランジ面の切断を行う。
- ウェブ面切断トーチとフランジ面切断トーチの 2 種類を搭載する方法。
- スロットまたは、ドレン・ホール切断終了後に形鋼のポジションを移動させて継手線の切断を行う方法。図 5.1.9 にイメージプランを示す。

なお、上記切断形状の認識は簡単な NC 装置にて行うこととも考えられる。

最後に、開発を行う場合、け書き装置と切断装置をそれぞれ単体で開発するのではなく、け書き切断の両機能を備えた装置としての開発を行なうべく考慮されねばならないであろう。

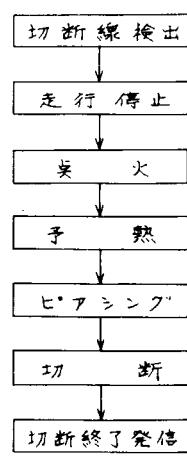
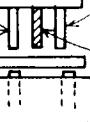
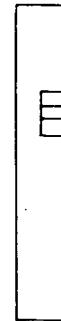


図 5.1.8 切断のシーケンス制御



長さ方向駆動輪

切断刃  
検出トーチ切断トーチ高さ  
検出ローラ

切断トーチ

切断トーチ高さ  
検出ローラ

スロット、ドレンホール 切断時

接手線 切断時

図 5.1.9 型鋼の自動切断装置のイメージプラン

### 5.1.5 条材の冷間曲げ

#### (1) 現状

条材の冷間曲げは、現在各造船所とも一点プレス方式による人間の作業であり、全面的な自動化は、まだ行われていない。

受け台具のスパンの設定、押し付け力などは、部材寸法により標準値が決められているものの、押し加減（ストローク）は、作業者の勘に頼っているために、品質および加工時間のバラツキが大きい。

しかし、作業そのものは、ひかえ目に曲げて形状をチェックし、同様の操作を繰り返すに過ぎないので、これを適応制御機構が導入された機械におきかえることは、比較的容易である。

170型鉱石兼油槽船を例にとって、条材の曲げ作業量を調べてみると、冷間加工仕上げが16%で、84%は、冷間荒曲げ後熱間加工を行っている。すなわち、簡単な平面曲げか、精度を余り必要としない小部材のみが冷間加工仕上げの対象となっている。

しかし、今後は設計面からの船体形状の簡易化によって、冷間仕上げの部材が増加するすう勢にあるので、条材の曲げに対しても、高精度、高能率の自動機械の出現が要請されるものと考えられる。

#### (2) 自動化への問題点

条材の冷間曲げ作業を機械化する場合に、まず、スプリングバックの問題がある。

同じ寸法の部材を、同じ力、同じストロークで加圧しても、仕上がり形状は同一であるとは限らない。

また、一般に部材形状は、曲率が一定ではなく、しかも連続なので、一回の押し付けのみで仕上げるためのスプリングバック量を厳密に計算するのは、非常に困難である。したがって、ひかえ目に曲げては、形状をチェックし、再び曲げるという作業の繰り返しとならざるを得ない。

また、一点押しのために、折れ曲がりとなり易く、加圧点のピッチを大きくすると、連続した形状が得られない。これらは、自動化において高精度、高能率をはばむ要因となる。

そして、現在2～3人の作業であるものを、機械化しても完全に無人化することはむずかしく、投資効率は良くない。しかし、2次曲がりの部材を対象に考えた場合、外板の3次曲げなどに比べると、自動化ははるかに容易であることは言うまでもない。

#### (3) 自動化の試案

##### (a) 一点プレス

現在人間が行っている機械操作を、コンピュータ内蔵の制御機に肩代りさせて、一点プレスにより加工する方式がます考えられる。

機械そのものは、一般に使用されているものと大差なく、曲げ量検出装置が付加される程度である。

部材ごとの加工に関する数値情報をあらかじめ制御機に与えておき、部材が搬入されると、自動的に受け治具のスパンがセットされ、一定のピッチでプレスしていく。

曲がり量がフィードバックされると、次に押すストロークが計算されて、同一点を数回押す。そのスパンで所定の形状が得られたら、1スパン以内だけ部材を送り、同様の操作を繰返す。

#### (b) 多点プレス

前述したように、今後2次曲がりの部材が増加する傾向にあり、高精度、高能率の自動冷間曲げ機械が必要になる。

この場合、多点プレス方式として、能率を飛躍的に向上し、投資効率を高めることが考えられる。

#### (i) 機能

多点プレスにより、90%程度の曲げを繰り返し、前ステージで自動書き装置により書かれた逆直線を判別装置によってトレースし、各プレスのストロークを計算する。

第1回の曲げ量は、数値情報として制御機に与えておく。

判別装置でトレースするときに、各プレスの位置における曲率を検出して、第2回の曲げ（残りの90%程度）のためのストロークを計算し、加圧する。

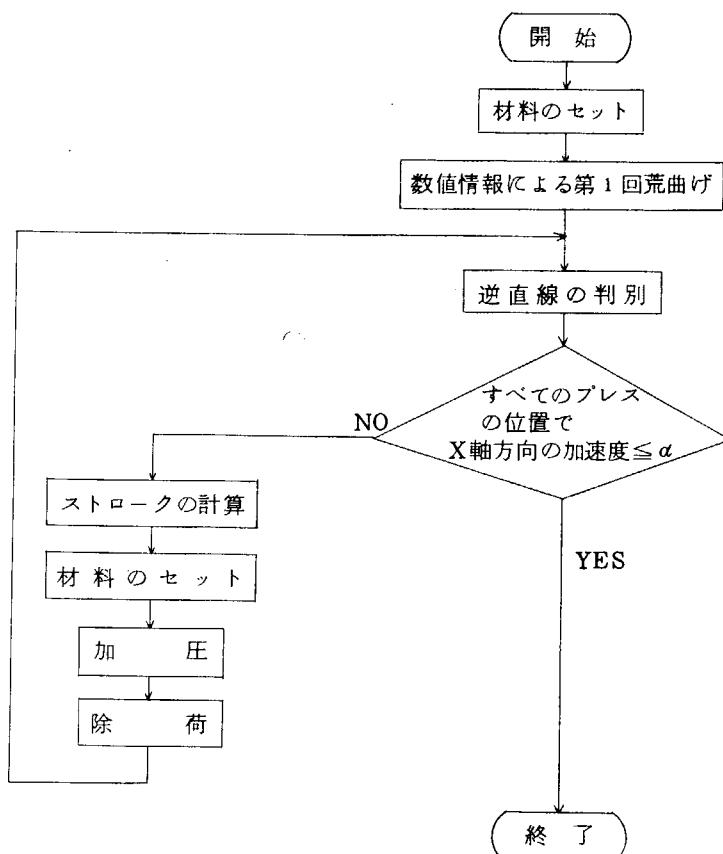
判別装置の架台が、Z軸方向に移動しながら逆直線をトレースし、このとき、トレーサのX軸方向の加速度により曲率を検出する。

材料は、逆直線が最終的には、装置の中心線に平行になるよう、加圧前にセットされる。

判別装置を往復させて、すべてのプレスの位置での加速度が許容値内になるまで、加圧、判別を繰り返す。

#### (ii) 流れ図

多点プレスによる条材曲げの流れ図はつきのとおりである。



(iii) イメージプラン

条材曲げ機のイメージプランを図 5.1.10 に示す。

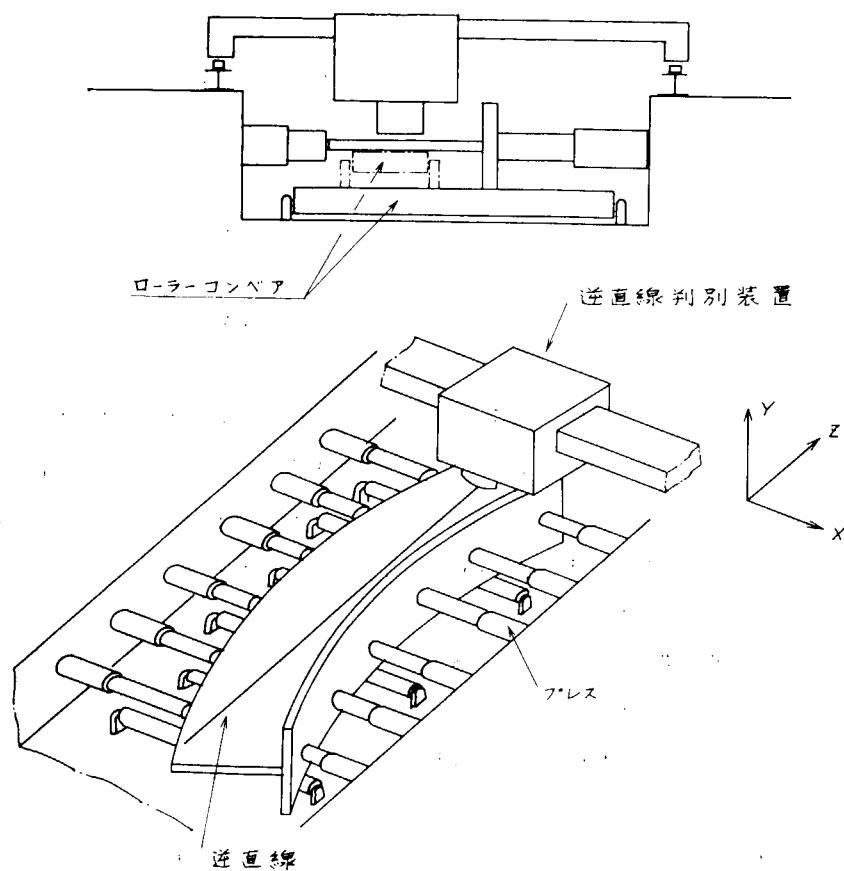


図 5.1.10 条材曲げ機のイメージプラン

## 5.2 組立工程

### 5.2.1 組立工程の機械化・自動化の方向

造船における生産フローは、ブロック組立ラインにおける長い年月にわたる研究と改善によって徐々に変容を遂げてきた。

このブロック組立ラインは、将来どういう形でさらに展開していくのか、過去の歩みに照らして推しはかるはある程度可能である。

すなわち、船体を構成する多種多様のブロックは平板ブロック、曲り外板ブロック、船首船尾立体ブロック等いくつかのタイプに系列化され、生産フローは各系列に適した専用組立ラインをもつ形態となっている。

この結果、組立工程に将来適用される自動工作機は、け書き、取付等の作業をバーチカル化して、平板ブロック、曲がり外板ブロック等と種類の多い組立ブロック全体に適用できる普遍化された工作機ではなく、ブロック種類別の組立ラインにおける専用機の形態をとるものと思われる。

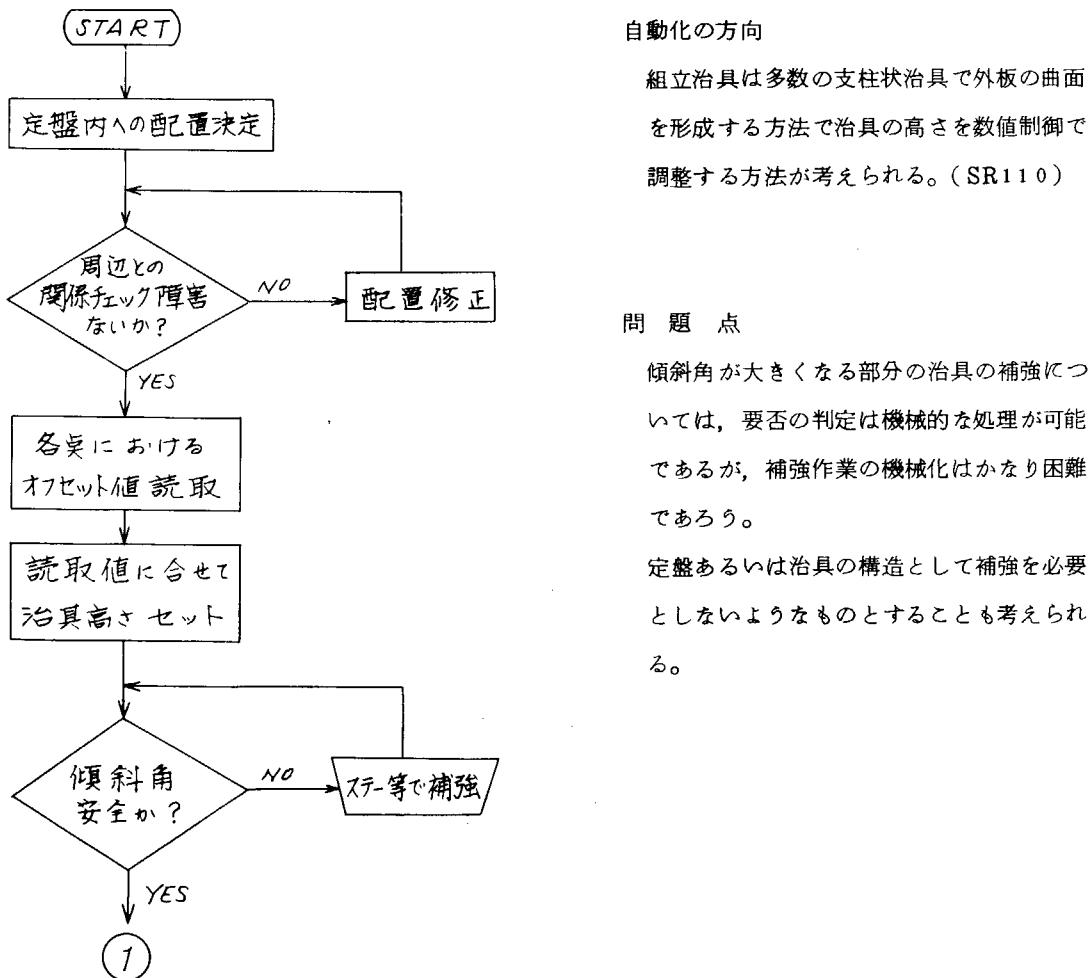
ブロック種類ごとに自動化とその適応制御の問題を考えると、平板ブロックは最も自動化、機械化され易いブロックであり、すでに各社でロジック先付方式あるいはロジック差し込み方式等の技術が開発され実用化されており、いろいろな適応制御の問題も残ってはいるが、ブロックの形状が単純であるためその解決は容易であると思われる。

曲がり外板ブロック、さらに船底立体ブロックは複雑な曲面、構造を有しているため、自動化、機械化が難かしく、組立工程の中でも作業量の多い割に遅れた非近代的な要素を多く残しており、今後の研究開発を要する部分であろう。

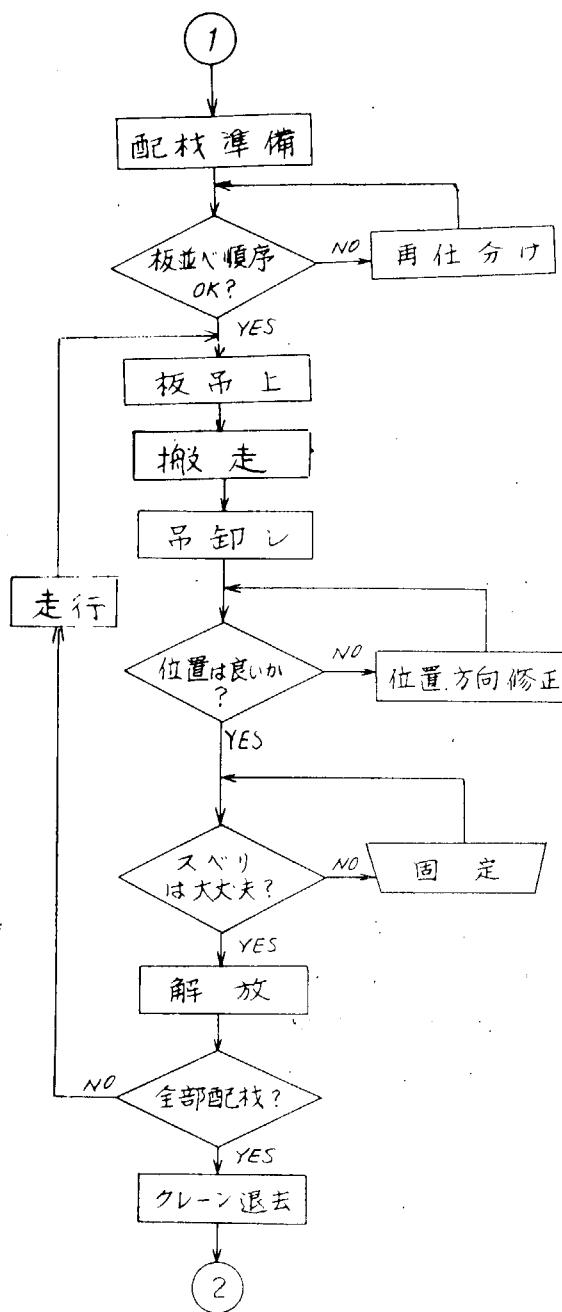
### 5.2.2 曲り外板組立工程の各作業における機械化・自動化の方向と問題点

曲がり外板組立作業における一要素としての板継ぎ工程に着目し、PABOTを開発したのであるが、ここで曲がり外板組立の全工程について、作業の流れに従ってその自動化の方向と問題点を考えてみたい。

#### (1) 準備作業



(2) 船板配材作業



自動化の方向

リフマグを装備した自動運転クレーンのようなものとなる。クレーンの定位に対する位置は、クレーンレールからのXYZ座標でコンピュータにフィードされ、クレーンはコンピュータの指示により動くが、位置決めの微調整には適応制御を必要とする。

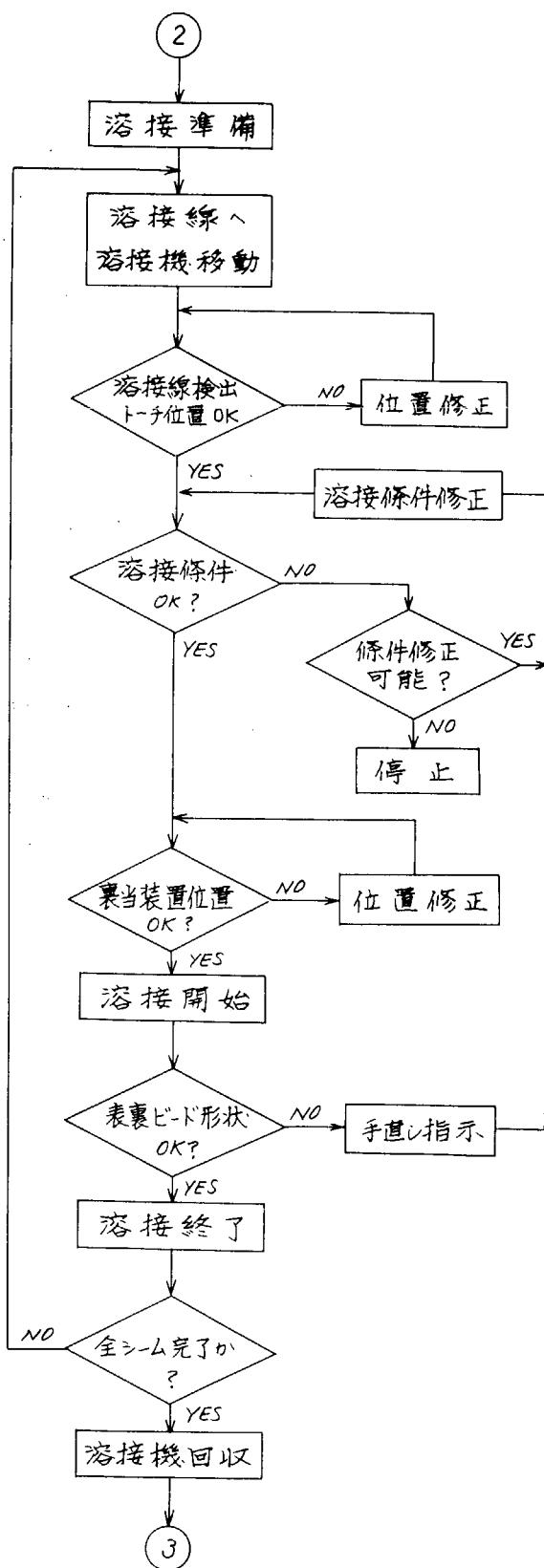
問題点

- (1) 仕分け作業の機械化は困難であろうからあらかじめ配材順序に従って板の種類方向を揃えて仕分けをしておく必要がある。この場合積重ねは困難であろうからある程度面積を必要とする。
- (2) 吊り角度を制御できる曲面吊り用多点リフマグと、板が正しい位置に置れたかどうかの検出機構と位置決め機構の開発が必要である。
- (3) 治具上に配材された板がすべるかどうかの判断は予め与えられるが、安全上固定を要する場合は固定作業は人力に頼ることになる。

(3) 整面仮付作業

図4.2.6参照。

(4) 膜板溶接



自動化の方向

(1) 溶接機を溶接線にそって追随させ溶接条件を傾斜角、板厚開先角度、ギャップ等の外乱に応じて制御し、始終端の発停、ワイヤ、フラックスの供給、回収等を自動的に行う機械となろう。

参考文献：荒田吉明、井上勝敏

「アーク熱源型の自動制御溶接に関する基礎的諸問題」

(2) 又開先不整に対して鈍感な溶接機の開発も考えられる。

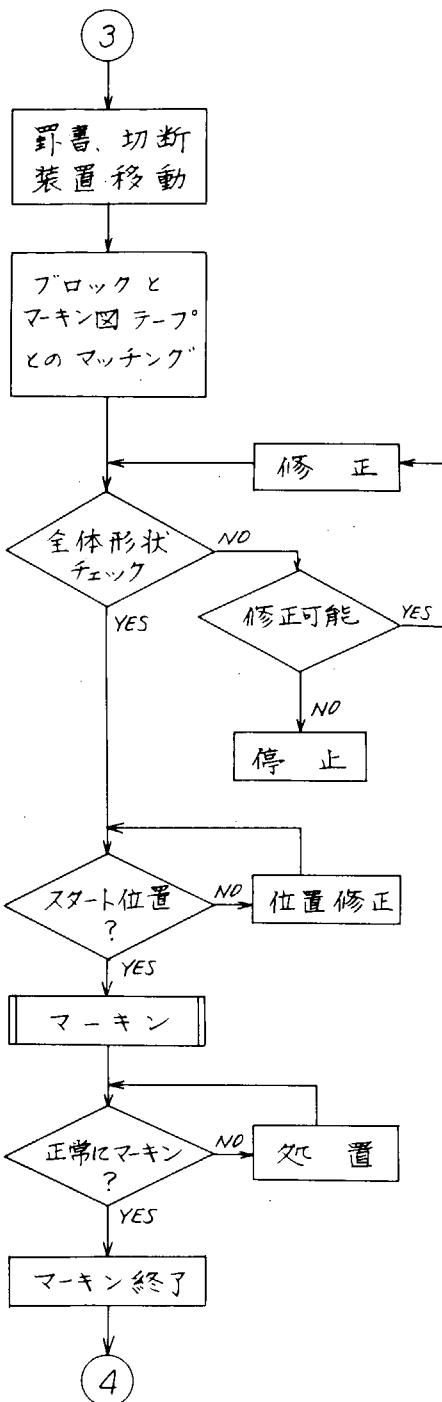
(3) 溶接線の傾斜が許容を越える部分については、溶接機の進行に伴って治具全体をコンピュータの指示によって上下させ、治具で位置決めすることも考えられる。この場合種々の外乱要素が考えられ、適応制御機能を要する。

問題点

(1) 上記外乱の検出と操作量への変換には、溶接現象の解明と高度の適応制御機能を必要とする。

(2) 溶接結果から溶接条件へのフィードバックが必要であるが、溶接結果の良否の判定方法が問題であろう。

(5) 再け書き切断

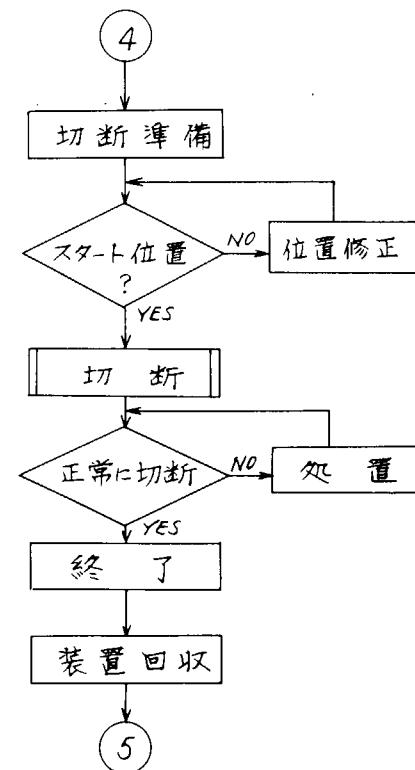


自動化の方向

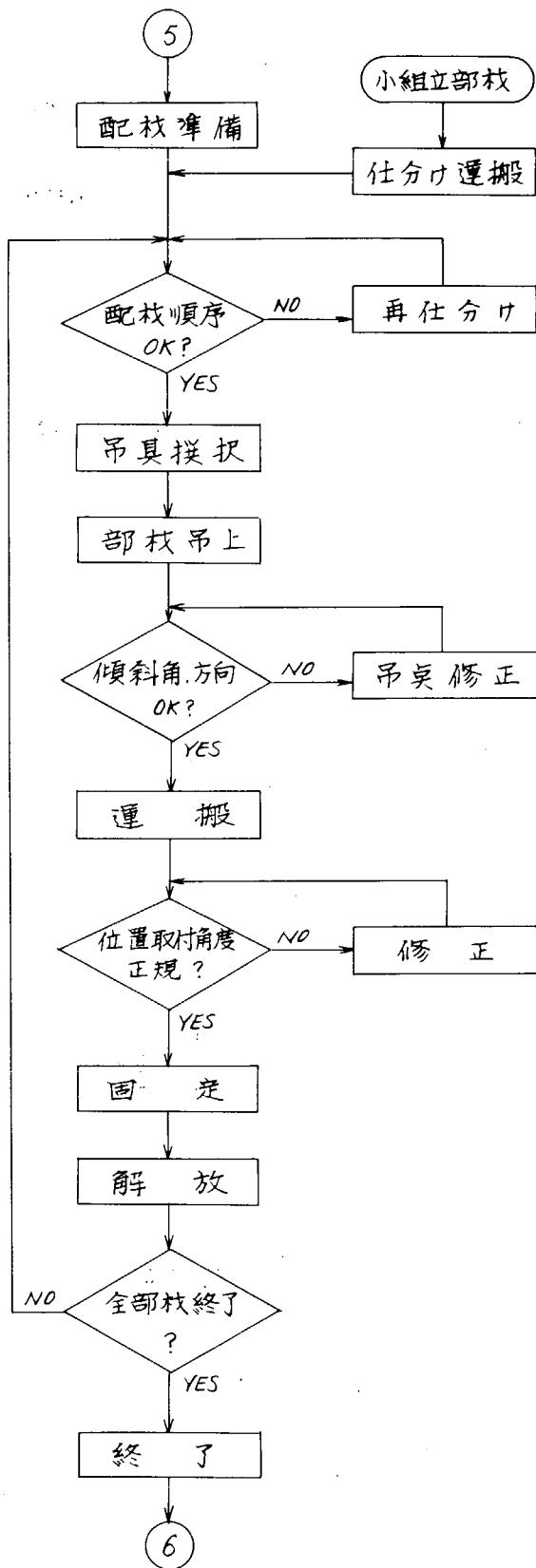
ブロックをまたぐ門型の架構かもしくは、曲面上を走行するロボット型式の機械が考えられる。対象物が曲面であるからZ軸を含む3軸方向の移動制御、検出機構及び切断トーチの角度制御を要する。

問題点

け書き切断が正常に行われたか否かの判定方法が問題となろう。



(6) 内構部材の配材作業



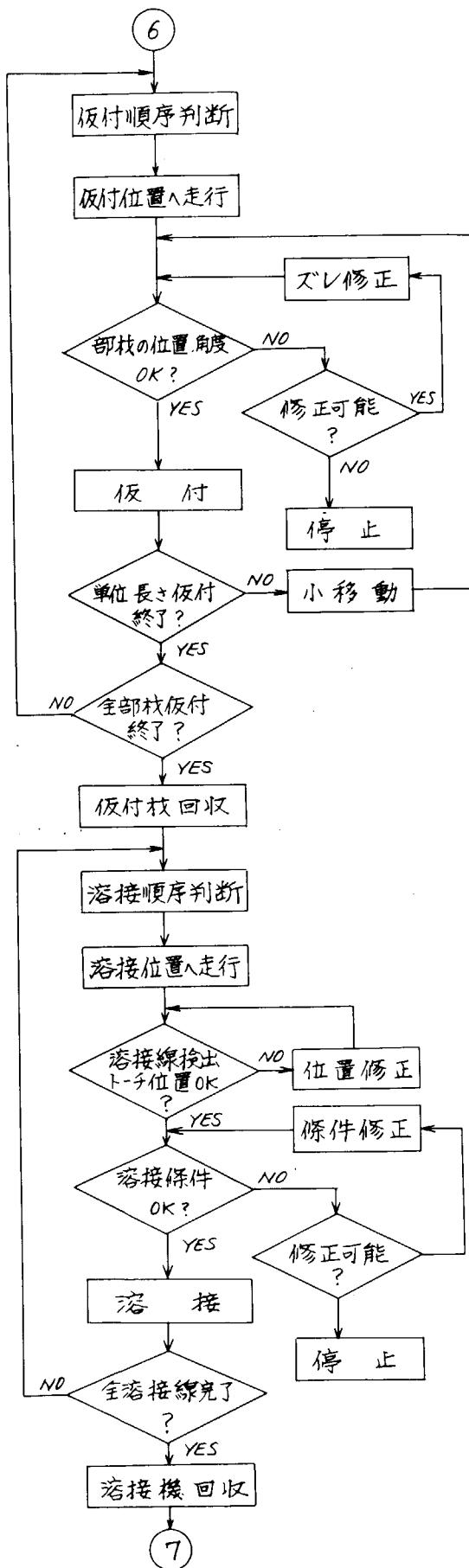
自動化の方向

部材の判別、吊具の選択、傾斜角の検出、部材の配材、位置の検出、ズレの検出と修正、などの適応制御機能を備えた自動クレーンを開発しなければならない。

問題点

- (1) 配材作業は自動化の非常に困難な作業の一つである。その原因としては部材形状が多様なこと、移動距離が大きい割に位置決めに精度を要すること、安全に關係するから失敗が許されないこと、などにあると考えられ、これらの要求を満たす自動クレーンとしなければならない。
- (2) 配材順序の判断は困難であろうから、予め定めておいて、それに従って仕分け、吊具選択、クレーン走行を制御する必要がある。
- (3) 配材した部材のサポート取付の制御は非常に困难であろう。

(7) 内構材仮付、溶接作業



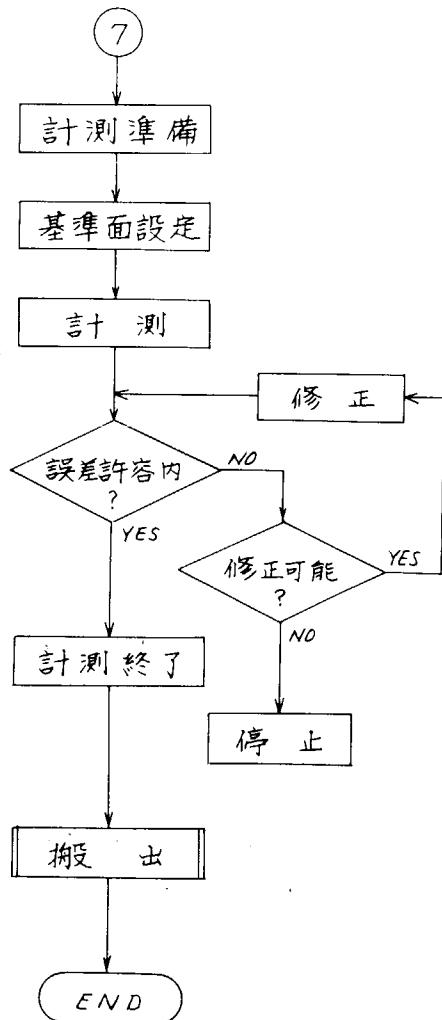
自動化の方向

- (1) 曲がり外板の組立方式として従来のバラ配材の他に、ロジック先付方式、枠組方式が考えられるそれぞれについて自走式のロボットやミニコン搭載のPABOT、自動枠組装置などがアイデアとしては考えられよう。
- (2) 溶接については人間が操作する遠隔操作機や、グラフィックディスプレー等による机上演習の再現機が考えられ現物との微調整は適応制御の対象となる。

問題点

- (1) 機材の近接性、部材相互の干渉、部材のズレの検出と修正量の制御、移動方法、仮付順序の最適化、ズレの修正に要する反力を受けとめる機構などの解決を要する。
- (2) 溶接についても上記とほぼ同様であるが、さらに先の殻板溶接のところで述べたように、溶接条件に関する制御因子と現象の関連の解明を要する。

(8) 精度計測仕上作業



自動化の方向

(1) 計測用端子が触れた所が水平面からの距離又は離れた2点間の距離を指示する等、グラフィックディスプレーのペンと同様の機能のものが必要。

(2) 計測した値はコンピュータにフィードされ、記憶されている。又演算された値との誤差が出され許容値以内に納まっているか否か判断される。

問題点

精度計測の対象項目としては

1. 板と骨のシフト寸法
2. 骨の倒れ
3. 全体寸法
4. 曲り形状
5. ねじれ歪
6. 基準線間寸法

等々の多項目にわたる。これらの計測を自動化するのは相当困難である。むしろ製造工程における機械化・自動化により、完成品の誤差のバラツキが許容内に入るよう管理すべきであろう。

前項を要約すると次のような項目にまとめられる。

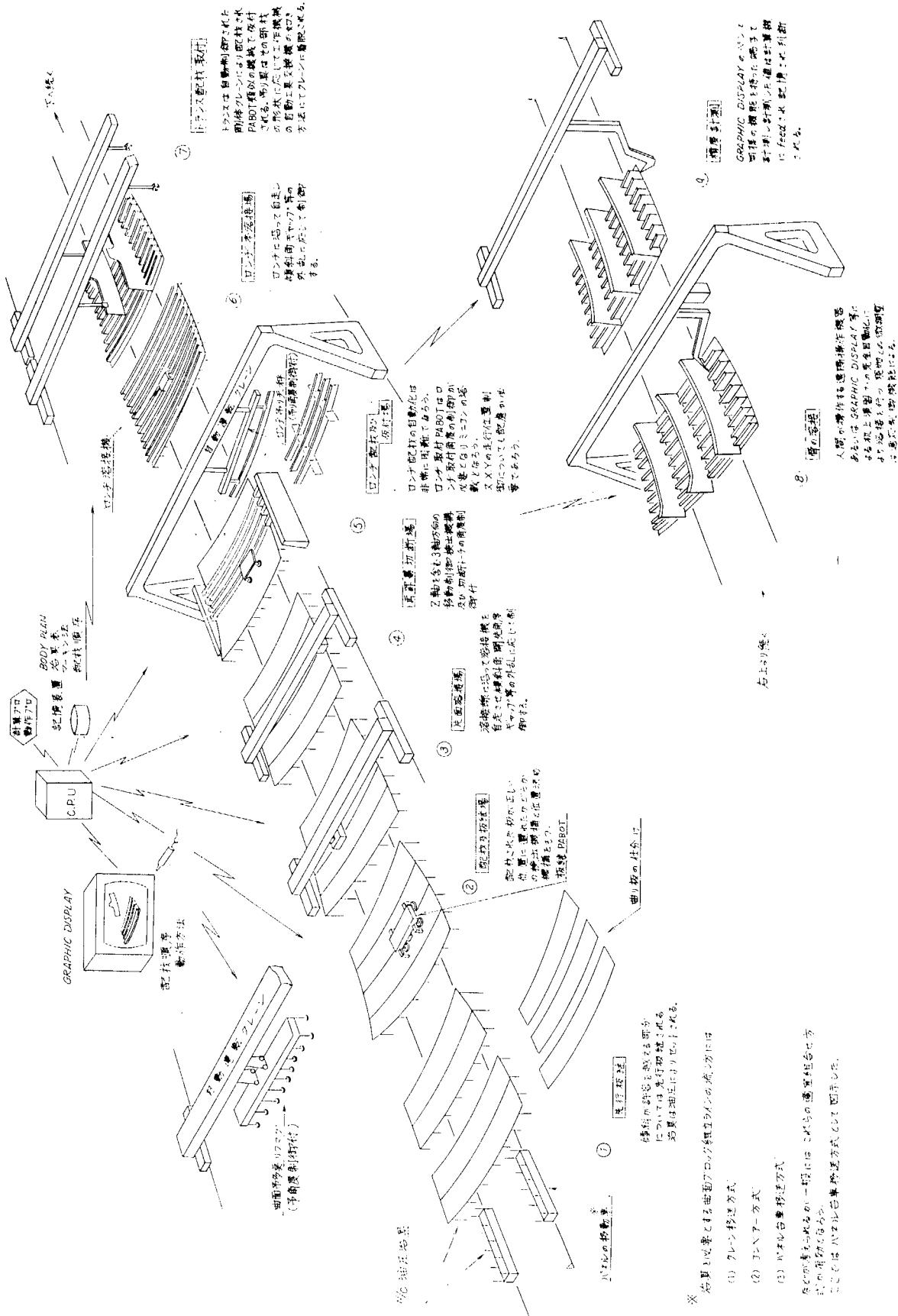
- (1) 部材のハンドリングに関する項目
  - (a) 部材を吊る場合の吊り具、吊り角度の判断
  - (b) 配材する際の位置、取付角度の検出と制御
- (2) 主体作業に関する項目
  - (a) 内構材、殻板、各相互位置のズレの検出と修正方法
  - (b) 仮付、溶接、切断等の装置の移動方法と制御方法
  - (c) 溶接継手のギャップ、開先角度等の外乱因子の検出方法と制御方法
- (3) 結果の判定に関する項目
  - (a) 溶接結果、切断結果の良否の判定
  - (b) ブロックの仕上がり形状の計測方法

したがって、組立作業の機械化・自動化を考えるとき、研究開発の方向として、上記各項目を中心に、従来人間の経験、勘にもっぱら頼ってきた部門について、これに代る機能を持った自動機械、すなわち適応制御機能を持った自動機器類の開発が必要となろう。

こうした自動化機器類の開発に際しては、PABOTの開発における経験、その考え方、あるいはPABOTの種々の応

用や他の自動機との組合せなどが足掛りになるものと考えられる。

### 5.2.3 曲り外板プロック組立の自動化ラインの一試案



## 5.3 船台・船渠工程

### 5.3.1 現状の工程

3.2章でも触れたように、船台・船渠工程はその作業対象物が巨大であり、扱いにくく、又移動作業が多く、周囲条件に作業が制約されるという点から真の意味での機械化、自動化は進んでいないと考えられる。

そこで初年度にとりまとめた船台・船渠工程の各ステージについて、機械化・自動化の状態を再録すると次の表5.3.1のようになる。

表 5.3.1

① 搭 ス テ ー ジ 載	◦自動化機器と言えるものは少なく、機械化も余り進んでいない。 ◦原因として隣接ブロック、船台・船渠の諸設備の位置が複雑に変化し、かつ作業対象物が重量的にも立体的にも巨大である。
② 位 置 決 め ス テ ー ジ ジ	◦機械化装置はあるが、完全に位置決め、固定を行う装置はない。 ◦搭載ステージと同様な原因が考えられる。
③ 仮 付 ス テ ー ジ 接	◦整面作業……衝撃力を数個所に与えるといった、いわゆる治工具を人間が使いこなす作業が多い。 ◦機械系に人間が介在して作業を進める方が簡単である。 ◦仮付・溶接作業……機械化は本工程の中ではかなり進んでいると考えられる。しかしこの作業において、ギャップ量の変化、開先形状、開先内の異物、溶接対象物の歪、天候条件を考慮した完全な自動化装置は見当らない。
④ 仕 上 ス テ ー げ ジ	◦完全な自動化を望むことは困難である。歪取り作業を例にとれば、歪取りの熱などによる影響を逐次処理する装置が必要となる。
⑤ 検 査 ス テ ー ジ ジ	◦それぞれの作業に付随する検査は別として、特に図面との照合検査であるとか、外観検査は、人間が確認する要素が多く完全な機械化、自動化は困難である。

以上表5.3.1に記したように、船台・船渠工程における機械化・自動化を推進するには数多くの問題が取り残されているが、これらはすべてが解決不可能な難問題ではなかろう。ただ、機械化・自動化を今一步押し進めた適応制御について考えた場合、現状を述べると次のようになる。

本工程の主作業であるブロックの搬送、位置決めは、最近になってようやく機械化され出したが、現在稼動しているそれらの自動化装置は主作業のめる部分を援助しているケースが多く、又制御について考えてみてもいわゆる自動制御方式が採用されている装置は見当らない。

又、現在最も自動化が進んでいるといわれる溶接ステージについて考えてみれば、今稼動している自動溶接機の多くはならい方式であり、障害物に遭遇すればあえなくその機能を失ってしまう。つまり自動溶接機は自動運転は行われているが、その運転についても適応制御機構を備えている装置とは言えないであろう。

### 5.3.2 船台・船渠工程への適応制御の適用

今後、本工程で使用される種々の装置、さらに機械化・自動化を前提に開発される種々の装置を適用制御機構をもつた装置として完成するには、どのような機能を有すればよいか考えてみる。

3.1章で定義した適応制御に必要な諸条件を満たすには、それぞれどういった機構、機能を有しておればよいかを前述のステージ別にまとめてみれば次のようになる。

### (1) 搭載ステージ、位置決めステージ

ブロックを搭載する場合、既存ブロックの位置、あるいは船台・船渠の諸設備の位置が変化すれば、搭載ブロックの搬送経路は自ら変えねばならない。こういった理由から、搭載、位置決めステージにおける外乱とは既存隣接ブロック、あるいは、その周囲に存在する物体の位置と考えられる。つまり制御に必要な信号とは位置情報である。

この両ステージでは、位置情報の検出機構の保有が必要条件となる。加えて、この情報を受信し目標位置（ここでは船体ブロックの絶対座標値あるいは相対座標値）に近づけるためのモデルを定めればよい。

### (2) 仮付、溶接ステージ

表 5.3.1 の③にある種々の条件に対処するには、まず開先部のギャップ量、開先形状、開先内の異物を検知する検出機構が必要となる。この検出機構の信号により、溶接ワイヤの送り量、アークの高さ、溶接機の移動速度を制御することになる。ただ溶接における目標値とは溶接状態そのもので、仕上がりチェックとしてのX線検査などの情報をもフィードバックさせる必要がある。しかし、この目標値を定量的に定めること、つまり評価関数を定めることは甚だ困難である。

### (3) 仕上げステージ

表 5.3.1 で完全自動化を行うことは困難であると述べたが、もう一度歪取り作業を考えてみれば、鋼板のどの位置で歪みをとるか、またその歪量は如何程か、さらに歪取りを行ったために生じる歪みの状態はどうなるのかをループさせ目標値（適切な鋼板の状態）に近づける。この場合のモデルあるいは評価関数は現状の歪量そのものになる。

(1), (2)の各ステージで用いられる検出機構として考えられるものは、4.8 年度報告書の 6.3.4 にその詳細説明とイメージプランが記述されているので、参照されたい。

## 5.3.3 結論

船台・船渠工程で適応制御系機構を採用するとすれば、4.3.2 に述べた工事になるが、いずれにしても作業対象物が巨大であるため装置そのものも膨大なものになる。つまり主体作業そのものを適応制御することは困難ではあるが、その補助的な作業、主体作業を行う為の準備の段階などで使用する装置に適応制御機構を盛り込んだ、部分的な装置の開発に意を注ぐ必要があるだろう。

本工程の作業を考え開発された CLIMACS は、足場まわりといった部分要素しか持たないが、汎用性のある装置である。しかも造船工作中に相応しい立体空間を自動走行するという意味から言っても、現状の装置に改良を加え、船台・船渠工程における完全自動化装置の足がかりにしたいものである。

## 6. ま　と　め

造船工作中における適応制御に関する研究として、本年度は3ヶ年の継続研究の最終年度にあたる。したがって、前年度に引き続いての研究の外に、全般を総合整理することも主要なテーマとした。

加工工程においては、切断用ロボットの実用化研究とガス切断現象の適応制御を中心とする研究としたが、その他に加工工程の現状分析と適応制御応用の検討を行った。

切断用ロボットの実用化研究としては、丸切断機構の開発が中心である。前年度において試作されたモデルのうち、K型を改造機種として選んだのであるが、円切断の場合のようなリンク機構では切断速度の不均一等の問題があることが判明したので、シミュレータ部は新たにマイクロコンピュータ内蔵のものとした。

このようなマイクロ・コンピュータによる制御機構は今後の造船工作の自動化における重要な技術として、発展するものと思われる。

ガス切断現象の適応制御としては、予熱炎の制御、ピアシングの制御、失火の検出、切断速度の制御等を研究対象とした。センサーの特性研究がその基準となるものであるが、予熱炎に関しては完全な自動調整機構の開発に成功し、ピアシングの制御、失火の検出（切断作業終了を含む）についても目的を達成することができた。一方切断速度の制御に関しては、切断部輝度と切断速度に関する評価函数の組合せによって適応制御が可能ではないかという見解を持っている。

加工工程における適応制御応用の検討としては、板曲げ作業、形鋼のけ書き切断、条材の冷間曲げを対象に考察を行った。

組立工程においては曲がり外板組立作業自動化の一環として曲がり外板の自動整面仮付を行うロボット（PABOT）の試作が、主たる研究であった。

試作機により一応所期の目的を達成したことが確認された。ただし、実用化にあたってはPABOTの仕様の検討による簡素化、軽量化が必要であろう。また仮付けに伴って板が移動し、溶接開先ギャップが変化するので、これに対する検討が必要である。今の所実験データが少ないが、目安はつけることができたと思う。

さらにPABOTの試作実験を通して得た体験、知識をもとに曲がり外板組立作業、機械化・自動化の方向と問題点および自動化ラインの試案についてまとめた。

船台・船渠工程においてはCLIMACSの試作が主たる研究であった。CLIMACSは船体内部構造を利用して垂直に登はんするロボットである。本機の試作にあたっては、適応制御機能をもたらす登はん機構を決定するために3種のモデルを製作してテストを行い、これによって得られた各種のデータを解析し、その結果を考慮に入れて試作機を設計製作した。船体構造モデルおよび実船によるテストを行い、所期の登はん機能は達成されたことが判明したが、さらに実用化にあたっては、重量軽減等の解決すべき事項が残っており、これらの問題についての考察も行った。

3年にわたる研究を通じ、造船工作中における適応制御の役割について討議を重ねたが、最終段階において本報告書の第2章および第3章に述べるような結論を得ることができた。

第4章は本年度行った研究内容の報告である。

第5章では今迄の研究の成果をもとにして、造船の機械化・自動化についての考察を行った。いわば3年間の総合報告である。また付録として加工工程を中心とした造船工作的現状分析を添付したが、ここで特に加工工程に関してのみ記述したのは、切断用ロボットの試作が先行したため、本年度までこの種の調査を延期したことによるものである。

最後にまとめとして本研究をふりかえって見たい。

本研究は造船工作的機械化、自動化を目的として、その中に適応制御の概念を効果的に導入するための具体的な方策と、そのために必要な開発項目を明確にするために行った先行的調査、および代表的な実施例としての2.3の試作研究を行ったものである。

研究の範囲として船殻工作を主体とし、舾装工作に関しては言及されなかった。また溶接は船体工作上重要な技術である

にも拘らず、取上げることが僅少であった。これらの分野にも適応制御の対象となるものが存在すると考えられる。今後の研究課題として期待したい。

本研究は船舶建造に関連のある各分野から選出された委員、すなわち具体的には大学関係各委員の外、船級協会、造船における設計、生産計画、システム、管理、工作の各部門および機器メーカー等からの各委員によって遂行された。前述のような具体的な成果の外にも、研究推進の面において、取上げた諸問題に包含されるシステム的関連と、それに基づく諸困難を乗り越えるためにとられた関連各分野の委員の緊密な協力によるシステム的な研究推進そのものもまた、この分野における研究のあり方に関するパターンの一つとして意義があったものと考えられる。

## 付録 造船工作の現状分析

### 目 次

#### 1. 加工工程

1. 1 ガス切断	4 8年度報告 P 4 ~ 1 8参照
1. 2 外板のプレス曲げ	
(1) 流れ図	P 117
(2) 制御因子の分析	P 119
1. 3 外板の線状加熱曲げ	
(1) 作業分析	P 124
(2) 流れ図	P 126
(3) 制御因子の分析	P 127
(4) 制御因子を用いた流れ図	P 129
1. 4 条材の冷間曲げ	
(1) 作業分析	P 130
(2) 流れ図	P 131
(3) 制御因子の分析	P 131

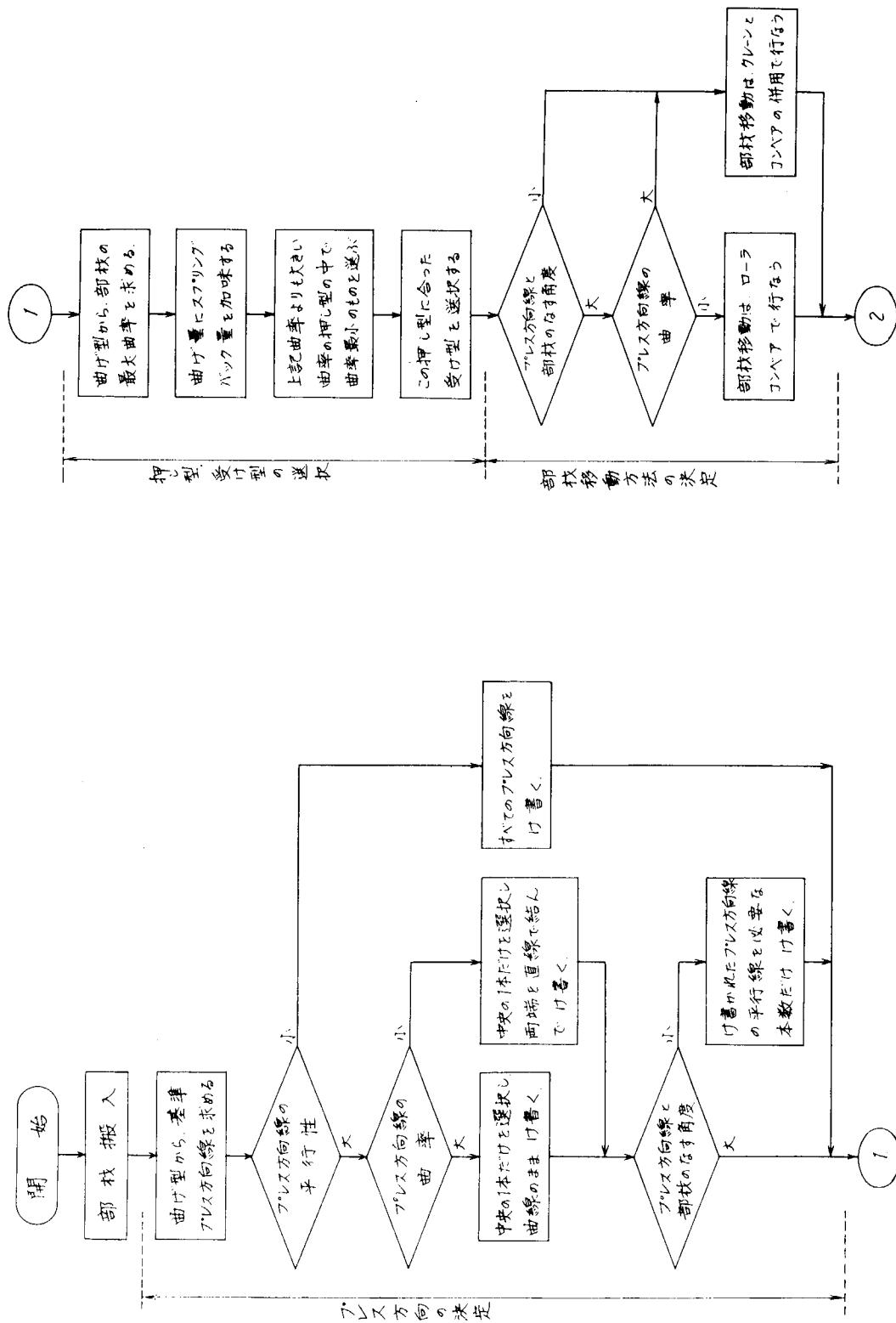
2. 組立工程 ..... 4 8年度報告 P 7 4 ~ 8 0参照

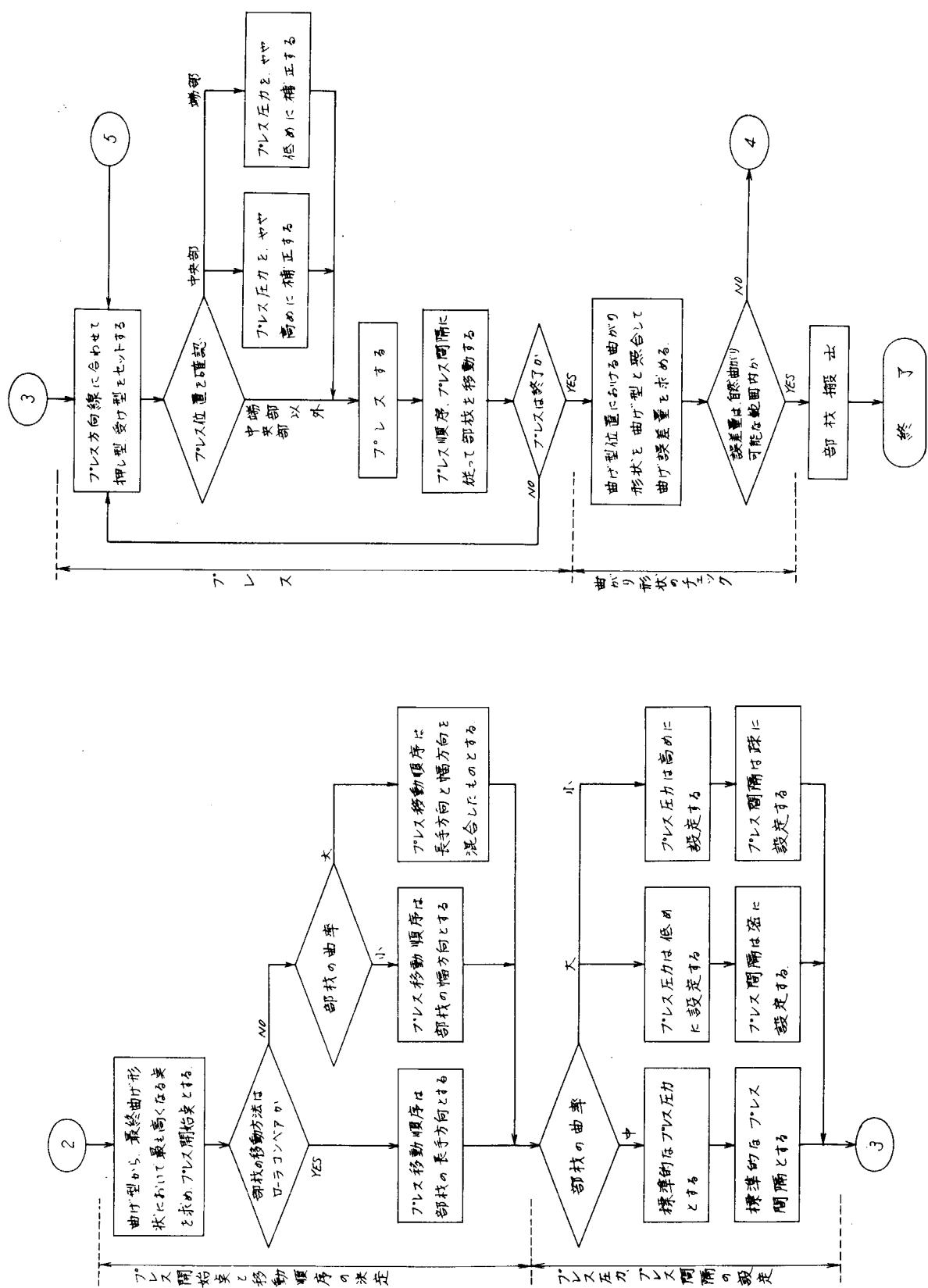
4 9年度報告 P ~ 参照

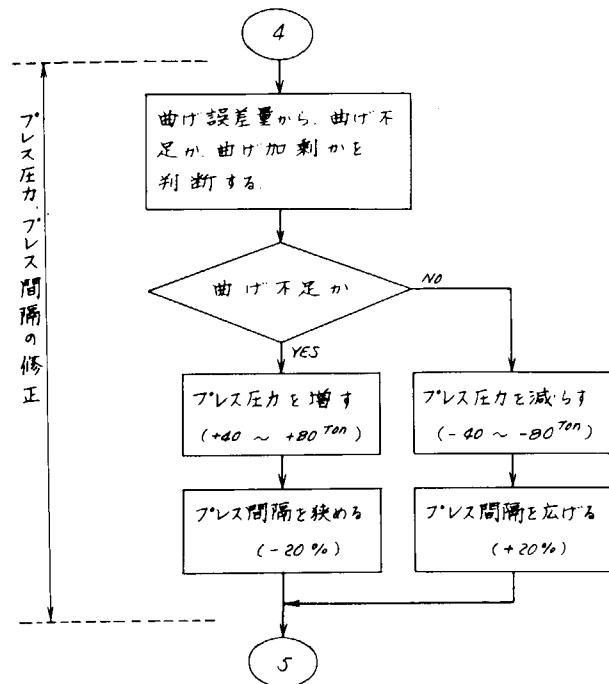
3. 船台・船渠工程 ..... 4 7年度報告 P 5 7 ~ 1 0 6参照

## 1.2 外板のプレス曲げ

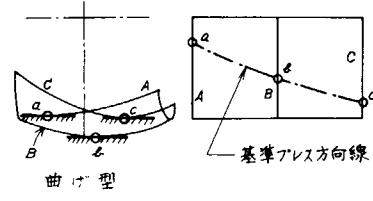
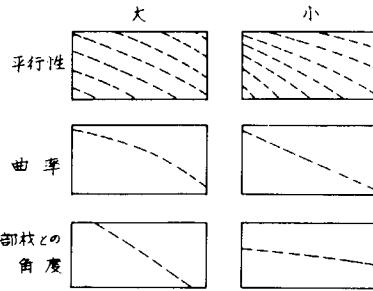
### (1) 流れ図

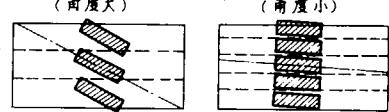
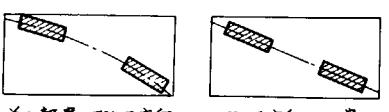


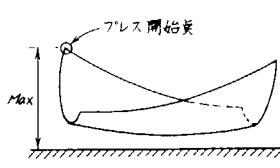
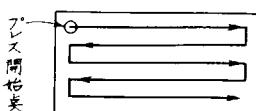
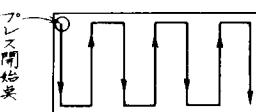
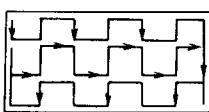
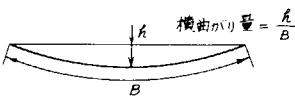




## (2) 削御因子の分析

項目	目標	要点	制御因子的要素	制御因子と現象の関連
1.部材搬入				
2.プレス方向の決定	プレス曲げ作業に最適なプレス方向を部材の曲がり形状に応じて決定し、プレス方向線を部材上に書きく。	<p>①曲げ型から基準プレス方向線を求める。</p> <p>②上記基準プレス方向線の状態によって、プレス曲げ作業に最適のプレス方向を決定し、プレス方向線を部材上に書きく。</p> <p>③プレス方向線を部材上に書きく。</p> <p>④必要ならばプレス方向線に平行な何本かの線も書きいておく。</p>	<p>①曲げ型 (最終曲がり形状)</p> <p>②プレス方向線の平行性</p> <p>③プレス方向線の曲率</p> <p>④プレス方向線と部材の成す角度</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○基準プレス方向線の求め方            </li> <li>○プレス方向線に関する制御因子の説明            </li> </ul> <p>a) プレス方向線の平行性            大ならば … 中央の 1 本のみを選択            小ならば … すべてのプレス方向線を部材上に書きく</p> <p>b) プレス方向線の曲率            大ならば … 曲線のまま部材上に書きく            小ならば … 両端を結んで部材上に書きく</p>

項目	目標	要点	制御因子的要素	制御因子と現象の関連																								
				c) プレス方向線と部材の成す角度 大ならば … a), b) で決定した通り 小ならば … a), b) で決定したプレ ス方向線に平行な直線を必 要な本数だけ部材上にけ書 く																								
3.押し型、受 け型の選択	その部材の最 終曲がり形状 に応じた最適 の押し型、受 け型を選択し プレス本体に 取付ける。	<p>①数種類の押し型、受け型の中からその部材の最終曲がり形状に応じた、最適の押し型、受け型を選択する。</p> <p>②押し型、受け型はその部材の最大曲率部を曲げることのできるものでなくてはならない。</p> <p>③押し型、受け型をプレス本体に取付ける。</p>	<p>①部材の最大曲率          ②スプリング・バック量</p>	<p>○押し型、受け型の種類（例）</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>タイプ</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>円弧半径</td> <td>4,500</td> <td>2,400</td> <td>1,800</td> <td>800</td> <td>500</td> </tr> </tbody> </table> <p>○部材の最大曲率にスプリング・バック量を加味したものと、その部材の曲率と考えて下表に従って型を選択する。</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>部材の曲率 (mm)</th> <th>4,500 ~ 4,500</th> <th>2,400 ~ 2,400</th> <th>1,800 ~ 1,800</th> <th>800 ~ 800</th> <th>500 ~ 800</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>型</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> <td>E</td> </tr> </tbody> </table> <p>ただし、曲率はそれを円弧で表わしたときの半径として示している。</p>	タイプ	A	B	C	D	E	円弧半径	4,500	2,400	1,800	800	500	部材の曲率 (mm)	4,500 ~ 4,500	2,400 ~ 2,400	1,800 ~ 1,800	800 ~ 800	500 ~ 800	型	A	B	C	D	E
タイプ	A	B	C	D	E																							
円弧半径	4,500	2,400	1,800	800	500																							
部材の曲率 (mm)	4,500 ~ 4,500	2,400 ~ 2,400	1,800 ~ 1,800	800 ~ 800	500 ~ 800																							
型	A	B	C	D	E																							
4.部材移動方 法の決定	部材の最終曲 げ形状に応じ てプレス曲げ 作業に最適の 部材移動方法 を決定する。	<p>①部材移動方法は、ローラコンベアによる方法とクレーンとコンベアを併用する方法とがあり、いかでかを選択する。</p>	<p>①プレス方向線と部材の成す角度          ②プレス方向線の曲げ率</p>	<p>a) プレス方向線と部材の成す角度</p> <p>大のとき … ローラ・コンベアによる移動</p> <p>小のとき … クレーンとコンベアの併用</p>  <p>部材と幅方向にシフトさせる回数が少ない</p> <p>部材と幅方向にシフトさせる回数が多い</p> <p>b) プレス方向線の曲率</p> <p>大のとき … クレーンとコンベアの併用</p> <p>小のとき … ローラ・コンベアによる移動</p>  <p>その部屋、プレス方向が変わると</p> <p>プレス方向は一定</p>																								

項目	目標	要点	制御因子の要素	制御因子と現象の関連
5. プレス開始点と移動順序の決定	部材の最終曲がり形状に応じて最適のプレス開始点と移動順序を決定する。	<p>①曲げ型に基づいて、プレス開始点を決定する。</p> <p>②プレス開始点を始点としてプレスによって生じる局部的なひずみを最小にするプレスの移動順序を決定する。</p>	①部材の曲率 ②部材の移動方法	<p>a) プレス開始点の決定 曲げ型によって指示される最終曲げ形状において最も高くなる位置を、プレス開始点とする。</p>  <p>b) 移動順序の決定</p> <p>(i) 部材の移動をローラ・コンベアで行うとき。</p>  <p>(ii) 部材の移動をクレーンとコンベアの併用で行うとき。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>曲げ型の曲率が小ならば</li>  <li>曲げ型の曲率が大ならば</li>  </ul> <p>ただし、プレス方向線と部材の成す角度の大小は <math>6^\circ</math> 前後、曲げ型の曲率の大小は、横曲がり量（下図）で <math>1/40</math> 前後を目安とする。</p> 
6. プレス圧力	最終曲げ形状を得るための	①曲げ型に基づいて、部材の曲率を求める。	①部材の曲率 ②板厚	部材の曲率とプレス圧力およびプレス間隔の関係

項目	目標	要点	制御因子的要素	制御因子と現象の関連																								
の設定	最適のプレス 圧力、プレス 間隔を定める。	<p>②スプリング・バック 量および板厚を加味 する。</p> <p>③いく分少なめに曲げ ておくことを考慮し てプレス圧力、プレ ス間隔を決める。</p>	③スプリング・ バック量	<table border="1"> <thead> <tr> <th>部材の曲率</th> <th>押し型 受け型 のタイプ</th> <th>プレス圧力</th> <th>プレス 間隔</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4500 mm ~</td> <td>A</td> <td>min 300 max 800 ton</td> <td>200 mm</td> </tr> <tr> <td>2400 ~ 4500</td> <td>B</td> <td>250 700</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>1800 ~ 2400</td> <td>C</td> <td>200 625</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>800 ~ 1800</td> <td>D</td> <td>125 350</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>500 ~ 800</td> <td>E</td> <td>80 300</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table> <p>ただし、上表において曲げ率とは、これを円弧で表わした場合の半径として示している。</p> <p>(i) 曲率が大きくなる程プレス圧力は小さい。 曲率が小さくなる程プレス圧力は大きい。</p> <p>(ii) 曲率が大きくなる程プレス間隔は小さい。 曲率が小さくなる程プレス間隔は大きい。 これをグラフに表わせば、次のようになる。</p>	部材の曲率	押し型 受け型 のタイプ	プレス圧力	プレス 間隔	4500 mm ~	A	min 300 max 800 ton	200 mm	2400 ~ 4500	B	250 700	150	1800 ~ 2400	C	200 625	120	800 ~ 1800	D	125 350	80	500 ~ 800	E	80 300	60
部材の曲率	押し型 受け型 のタイプ	プレス圧力	プレス 間隔																									
4500 mm ~	A	min 300 max 800 ton	200 mm																									
2400 ~ 4500	B	250 700	150																									
1800 ~ 2400	C	200 625	120																									
800 ~ 1800	D	125 350	80																									
500 ~ 800	E	80 300	60																									
7. プ レ ス	プレスを効率 よく操作して、 求める曲がり 形状を得る。	<p>①プレス方向線に合わ せて押し型、受け型 をセットする。</p> <p>②定められたプレス圧 力でプレスする。</p> <p>③プレス後定められた プレス順序及びプレ ス間隔に従って部材 を移動する。</p> <p>④以下①②③をくりか えす。</p> <p>⑤プレス圧力は一応定 められてはいるが、</p>	<p>①プレス方向 ②プレス位置 ③プレス圧力 ④プレス間隔</p>	<p>a) 押し型、受け型のセット</p> <p>b) プレス順序およびプレス間隔による部材 の移動</p>																								

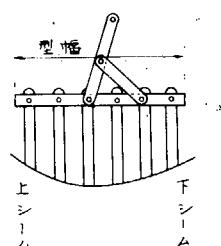
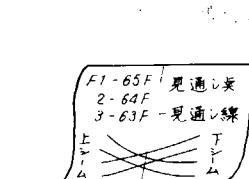
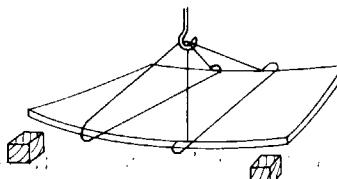
項目	目標	要 点	制御因子の要素	制御因子と現象の関連
		各プレス位置によつて、加減しなければならない。		<p>①のプレス順序のとき ②のプレス順序のとき</p> <p>図中 d はプレス間隔を表わしている。</p> <p>c) プレス位置とプレス圧力の関係</p> <p>長手方向の圧力分布</p> <p>幅方向の圧力分布</p>
8.曲がり形状のチェック	プレス結果の曲がり形状を最終曲がり形状と照合するとにより、曲がり不良箇所を発見する。	<p>①曲げ型位置における曲がり形状を曲げ型と照合する。</p> <p>②曲がり不良箇所を見し、その誤差量を求める。</p> <p>③誤差量の評価</p>	<p>①曲げ型</p> <p>②曲がり形状</p> <p>③曲げ誤差量</p>	<p>a) 曲げ型と曲がり形状との誤差量</p> <p>上図の <math>d_1</math> と <math>d_2</math>との差を誤差量とする。</p> <p>b) 誤差量の評価</p> <p>(i) 誤差量が自然曲がり可能な範囲にはいっていればプレス完了とする。</p> <p>(ii) 誤差量が自然曲がり可能な範囲にはいっていないときは、再プレスしなければならない。</p> <p>ただし自然曲がり可能な範囲は板幅 2 m に</p>

項目	目標	要点	制御因子的要素	制御因子と現象の関連
				おいて10mm前後と考える。
9. プレス圧力 プレス間隔 の決定	曲がり不良箇所を修正し、最終曲げ形状を得るためにプレス条件を修正する。	(1) 曲げ不足か、曲げ過剰かを判断する。 (2) 既に定められているプレス圧力、プレス間隔を増減して最適のプレス条件を設定する。	① 曲げ誤差量 ② プレス圧力 ③ プレス間隔	a) プレス圧力、プレス間隔の修正要領 (i) 曲げ不足のとき プレス圧力を増す { プレス間隔をせばめる (ii) 曲げ過剰のとき プレス圧力を減らす { プレス間隔を広げる  ただし、 プレス圧力の増減は ±40~80 ton プレス間隔の増減は ±20% の範囲内で行う。
10. 部材搬入				

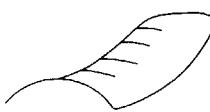
### 1.3 外板の線状加熱曲げ

#### (1) 作業分析

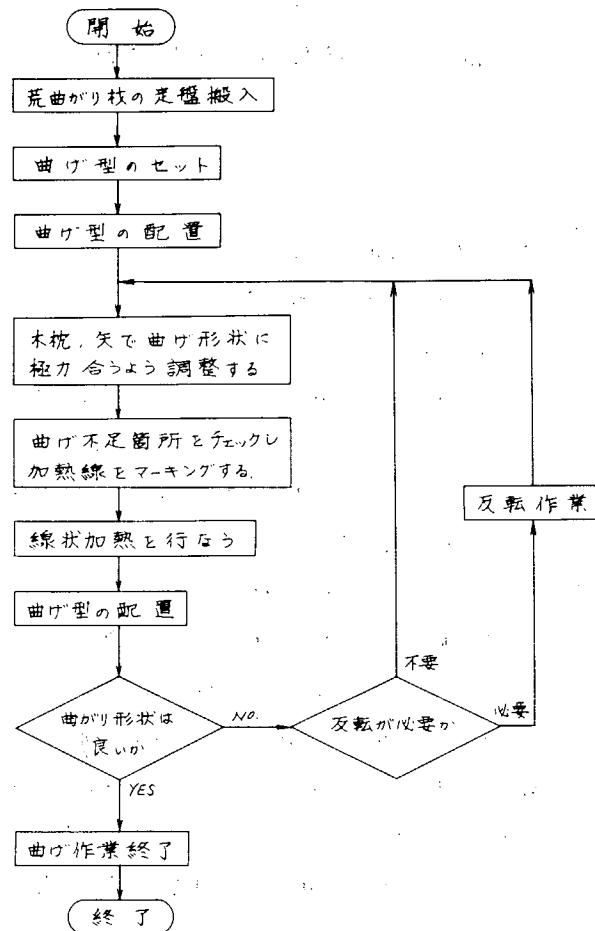
作業手順		要点
(1) 段取り作業	① 荒曲げ材を⑦定盤へ搬入する。	ベンディングローラーにより、一次曲げ加工された外板を⑦定盤で仕上加工する。 ① あらかじめ材料の形状(ネレ等)に応じた木枕をしておく。 (高さ600mm以下)
	② 曲げ型のセットを行う。	① 曲げ材料の番号、ブロックの名称等を確認し、図板より見通し治具にフレームとのネレ見通し点曲がり量などをセットする。



作業手順		要点
(2) 曲 げ 作 業		<p>② 角度型を準備し、各フレームごとに倒れ勾配を分度器でセットする。</p>  <p>固定型　自由型(木型用)　(治具用)</p>
	③ 曲げ型の配置	<p>① 各フレーム単位に見通し型を立ててみる。</p> <p>② 角度型を見通し型に組込む。</p>
	④ 木枕、矢等で見通し線(ネレ)見通し点(縦軸)R(横軸)が極力合うように調整する。	<p>① シーム方向およびバット方向に自然曲がり(材料全体のたわみ等も考慮しながら)ができるよう見通し型に合わせて、木枕、矢をしく。</p> <p>② 微量の上下の場合はテコを使用。</p> <p>③ テコ等で枕等しけない場合は、クレーンを利用する。</p> <p>④ 木枕等が高くなる場合(例 600mm以上位)は棒ジャッキ、スベリ止めのピン等をうっておく。</p> <p>⑤ まずネレを合わせるよう調整する。</p>
	⑤ 曲げ不足箇所をチェックし、加熱線をマーキングする。	<p>① フレームごとの曲げ型を材料の上でころがして、曲り不足箇所をマークする。</p> <p>② 焼線は曲げ心に平行に曲がり、不足箇所を通した線となり、木バッテンでマーキングする。</p> <p>③ 間隔については最低 100mm程度は維持する。</p>
	⑥ 線状加熱を行う。	<p>① 加熱機を段取りする。</p> <p>② 加熱炎を点火、調整する。</p> <p>③ 水冷の場合、水ホースを段取りする。</p> <p>④ 加熱線上を 250~350 mm/min で加熱していく、水冷の場合は水をかけていく。</p> <p>⑤ 加熱温度を温度チェックチョークでチェックする。</p> <p>⑥ 加熱終了後、消火する。</p>
	⑦ 曲げ型を材料に配置し、曲がり形状をチェックする。	<p>① フレームごとに曲げ型を立てる。</p> <p>② 型の幅切り口と材料の切り口はよく合わせること。</p> <p>③ 勾配型(倒れ角度)をよく合わせる。</p> <p>④ 木枕、矢等で若干の敷方の修正をして曲げ型に合わせてみる。</p> <p>⑤ 張り糸を張り、ネレ、タテ曲がり、横曲がり等が外板曲げ精度許容範囲内にはいっているかチェックし、良ければ曲げ作業完了。</p> <p>⑥ 曲げ型に合わない場合は、再度曲がり不足部をチェックし、加熱する。</p>
	⑧ トンボ(反転)作業が発生する場	<p>① 裏焼きの必要な場合、クレーンにて板をトンボする。つきのよう</p>

作業手順	要点
合がある。	<p>場合についてトンボ作業を行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. R曲がりがすぎている場合。</li> <li>2. ネレが不足の場合、すぎた場合。 (2~3回位トンボをくり返す材料もある。)</li> <li>3. タテ曲がりが下曲がり、もしくはすぎた状態のとき。</li> </ol>  <p>4. 線状加熱による若干の歪修正などの時。</p>
⑨ 曲げ作業終了	<p>① 加熱機、水ホース、見通し型、角度型を整理する。</p> <p>② 材料上に加工日、加工者名をマジックで記入する。</p> <p>③ 作業者日誌に仕上時間、月/日を記載する。</p>

## (2) 流れ図

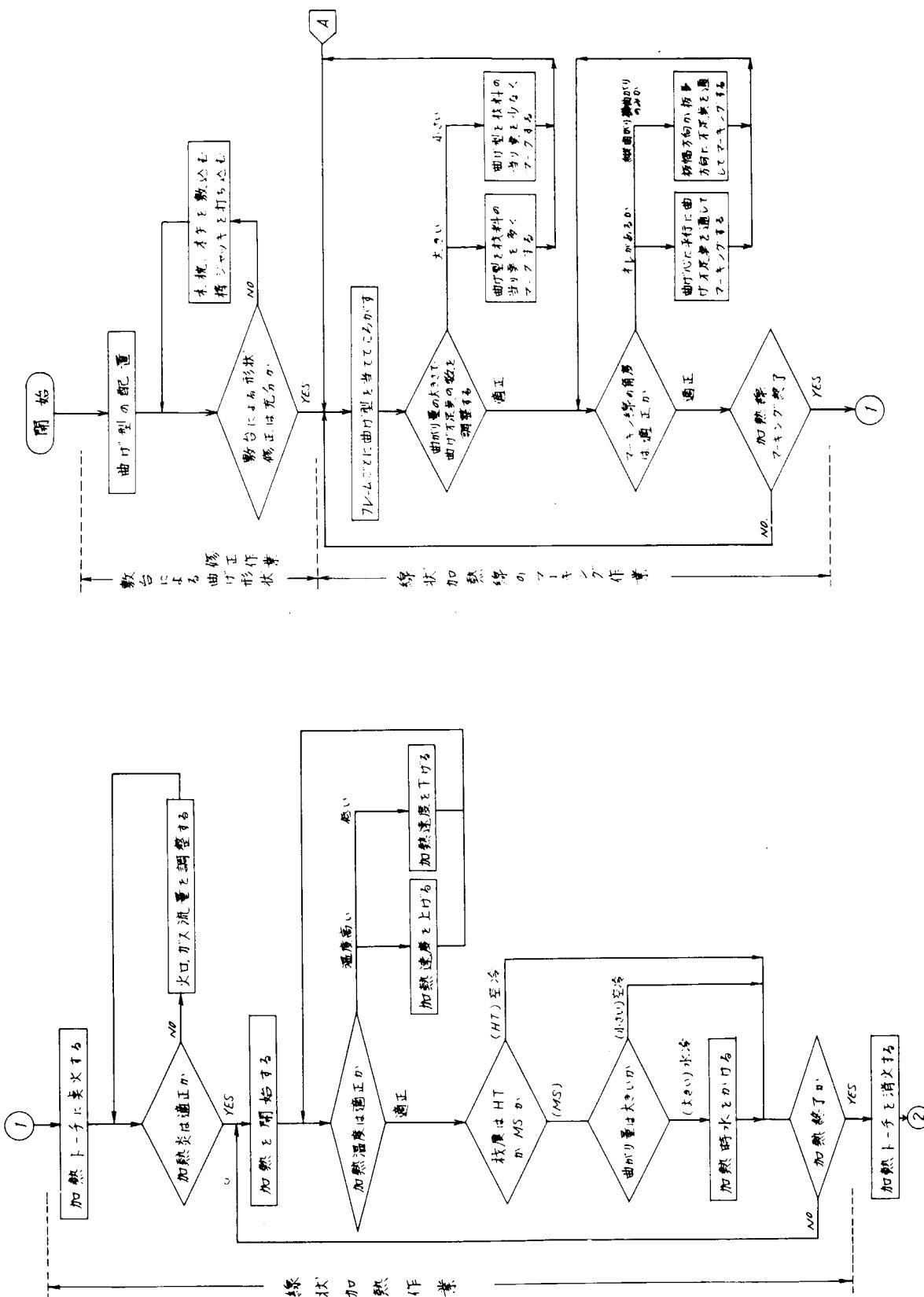


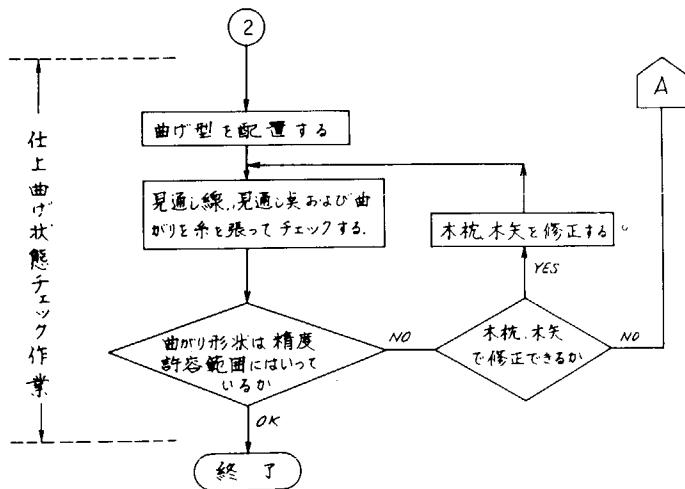
(3) 制御因子の分析 (単純な曲がりの少ない外板を対象とした場合)

項目	目標	要点	制御因子の要素	制御因子と現象の関連				
1. 敷台による曲げ型状の修正	敷台により極力曲がり形状に合わせること。	型の曲がり形状見通し点をチェックしながら敷台を入れていく。 また、棒ジャッキを打ち込む。	○敷台（木枕、木矢）高さ ○敷台の入れる位置 ○棒ジャッキの押え高さ	<p>極力敷台および棒ジャッキで必要曲げ形状に合わせる。</p> <p>拘束力が大きい程曲げ角度が大きくなり、必要曲げ量を早く得られる。</p>				
2. 線状加熱線のマーキング	曲げ形状に合わせた加熱線をマーキングすること。	①フレームごとに曲げ不足点をチェックし、曲げ心の方向に不足点を通してマーキングする。	○フレームごとの曲げ型と材料の当り点 ○マーキング間隔 ○マーキング角度	<p>曲がり形状をフレーム断面でみると、下記のように曲がり勾配は各点で違つており、○点が曲げ不足点となる。</p> <p>曲げ量が大きいと曲げ不足点は多くなる。</p> <p>曲げ量の大きくなるにしたがってマーキング間隔が小さくなる。</p> <p>ローラー心がほぼ曲げ心であるが、ネレ、縦面、横面の形状を考えてマーキング線の方向をきめる。</p>				
3. 線状加熱	加熱により、必要曲げ量を確保する。	板厚、材質、初期曲がり、室温等から加熱条件をきめる。 ①加熱炎の調整をする。 ②加熱条件をきめる温度計で加熱温度をはかり、加熱速度を調整する。	○火口の大きさ ガス流量の調整 ○加熱速度	<p>加熱量が大きくなると、曲がり量も大きくなる。現状作業では火口の大きさ、ガス流量は一定で行っている。</p> <p>加熱速度で曲がり量は違つてくるが、速度が遅い程、曲がり量は大きくなる。普通は板厚によって加熱速度をきめているが、温度計で加熱温度をはかり、速度を調整する。</p> <p>M.SかH.Tかによって加熱温度の限度が違つてくる。特にH.Tは高温に注意すること。</p> <p style="text-align: center;">加熱温度範囲</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>M. S</td> <td>650 ~ 900°C</td> </tr> <tr> <td>H. T</td> <td>350 ~ 650°C</td> </tr> </table>	M. S	650 ~ 900°C	H. T	350 ~ 650°C
M. S	650 ~ 900°C							
H. T	350 ~ 650°C							

項目	目標	要点	制御因子的要素	制御因子と現象の関連												
			○空冷か水冷か	<p>H Tは空冷のみ M Sでは 曲がり量が大きい時 水冷 " " が小さい時 空冷 (作業時間短縮のため水冷を用いることが多い)</p> <p>加熱量、加熱速度と曲り角度の一例を示す。</p> <table border="1"> <caption>Curvature Angle vs Heating Quantity</caption> <thead> <tr> <th>Heating Quantity (Kcal/h)</th> <th>Curvature Angle (Φ×10³ Radian) - Air Cooling (mm/min)</th> <th>Curvature Angle (Φ×10³ Radian) - Water Cooling (mm/min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20,000</td> <td>~10</td> <td>~5</td> </tr> <tr> <td>25,000</td> <td>~12</td> <td>~7</td> </tr> <tr> <td>30,000</td> <td>~15</td> <td>~10</td> </tr> </tbody> </table>	Heating Quantity (Kcal/h)	Curvature Angle (Φ×10³ Radian) - Air Cooling (mm/min)	Curvature Angle (Φ×10³ Radian) - Water Cooling (mm/min)	20,000	~10	~5	25,000	~12	~7	30,000	~15	~10
Heating Quantity (Kcal/h)	Curvature Angle (Φ×10³ Radian) - Air Cooling (mm/min)	Curvature Angle (Φ×10³ Radian) - Water Cooling (mm/min)														
20,000	~10	~5														
25,000	~12	~7														
30,000	~15	~10														
4.仕上曲げ状態のチェック	曲がり形状が精度許容範囲にはいっているかチェックする。	糸を張って、見通し線見通し点曲がり形状をチェックする。	木枕、木矢の高さ	<p>外板曲加工精度標準許容範囲の一例を示す。</p> <table border="1"> <caption>一般外板許容範囲</caption> <thead> <tr> <th>面</th> <th>許容範囲</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ネ レ</td> <td>見通し型高さ 600mmで±4mm</td> </tr> <tr> <td>横 面</td> <td>±3mm</td> </tr> <tr> <td>側面曲り</td> <td>見通し型高さ 600mmで±4mm</td> </tr> <tr> <td>平面曲り</td> <td>見通し点引き糸長さ 10mで±4mm</td> </tr> </tbody> </table> <p>上記の範囲に木枕、木矢の高さを修正してはいれば曲型状良とする。</p>	面	許容範囲	ネ レ	見通し型高さ 600mmで±4mm	横 面	±3mm	側面曲り	見通し型高さ 600mmで±4mm	平面曲り	見通し点引き糸長さ 10mで±4mm		
面	許容範囲															
ネ レ	見通し型高さ 600mmで±4mm															
横 面	±3mm															
側面曲り	見通し型高さ 600mmで±4mm															
平面曲り	見通し点引き糸長さ 10mで±4mm															

#### (4) 制御因子を用いた流れ図





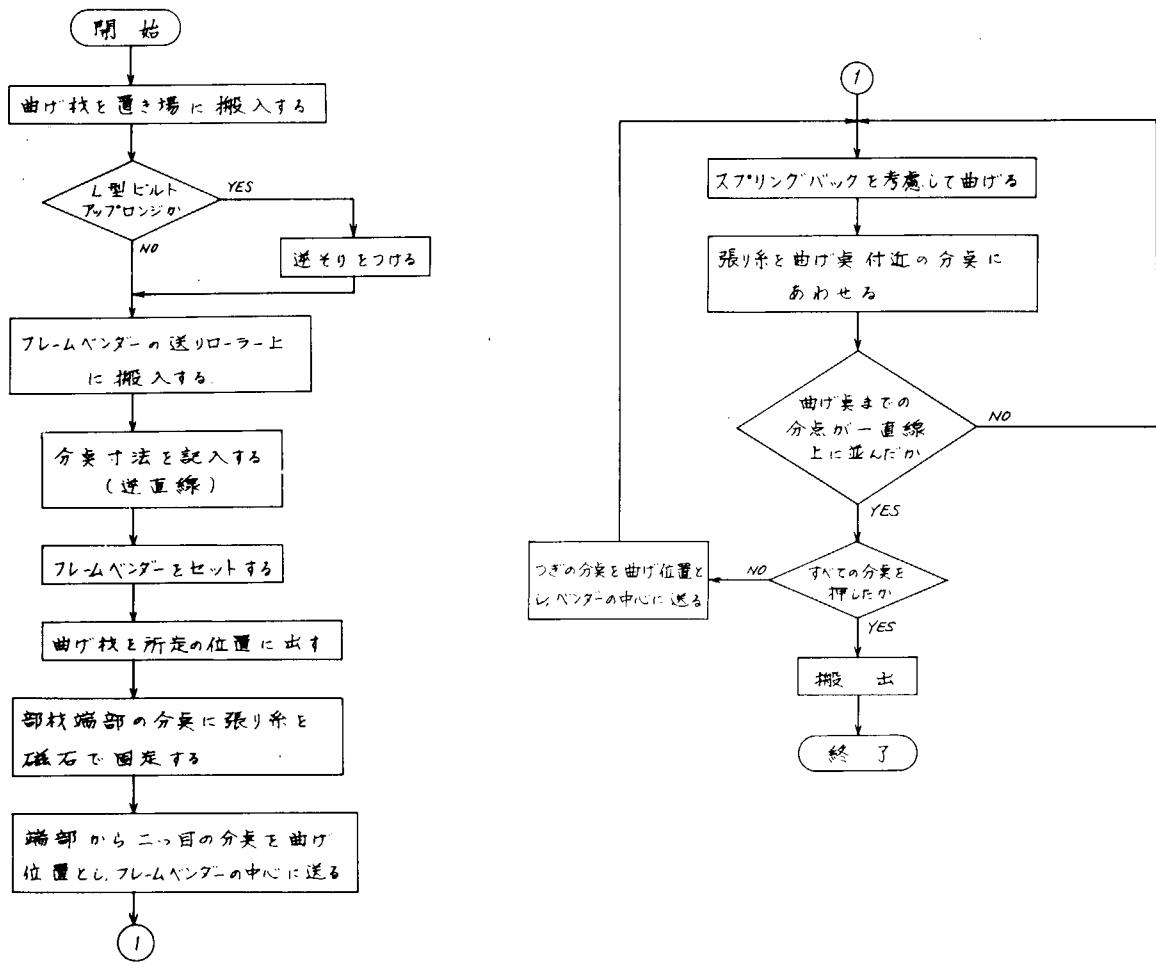
## 1.4 条材の冷間曲げ

### (1) 作業分析

作業手順		要点
(1) 段取り作業	① 曲げ材を搬入する。	① 搬入された曲げ材を、フレームベンダーの送り台に、マーキング面を上向きに移動する。 ② L型のビルトアップロジには、逆ひずみ用ウエイトで逆そりをつける。
	② 分点寸法を記入する。	① 曲げ材の船番、ブロック、形状等を確認する。 ② リストにより、分点寸法をチョークで部材に記入する。 ③ 記入された寸法をコンベックスルールで計り、墨差しでマーキングする。
	③ フレームベンダーをセットする。	① 曲げ材に合う治具を取付ける。 ② 送りローラーの高さを曲げ材に合わせて調整する。
	④ 曲げ材を所定の位置に出す。	① フレームベンダーに送り込まれる位置に曲げ材を置く。 ② 形鋼は背を合わせる。
(2) 曲げ作業	⑤ 機械加工をする。	① 部材端部の分点に、張り糸の一端を磁石で固定する。 ② 端部から二つ目の分点付近を曲げ位置とする。 ③ 曲げ位置をフレームベンダーの中心に送り込む。 ④ 曲げ位置のつぎの分点に糸を合わせ、押す量をのみこむ。 ⑤ スプリングバックを考慮して曲げる。 ⑥ 張り糸でチェックし、曲げ不足の場合は再度曲げる。 ⑦ 数回繰り返し、曲げ位置までの分点が直線上に並んだら、つぎの分点を新しい曲げ位置とし、②③④⑤の操作を繰り返す。

作業手順	要点
⑥ 機械作業終了	<p>① 曲げリストに加工済みおよび月日を記入する。</p> <p>② 形鋼は、曲がりが少ないもの(200mm以下)、ねじれのないものは仕上りとする。</p> <p>③ ビルトアップロングで度削りのあるものは、ガス切断に送る。</p> <p>④ ねじれのある部材は、加熱作業場へ送る。</p>

## (2) 流れ図



## (3) 制御因子の分析

項目	目標	要点	制御因子的要素	制御因子と現象の関連
1. 材料の搬入	フレームベンダーに送り込みやすいよう	部材側端を送りローラーと直角になるようにし、マーキング面を上向	①部材形状、寸法	部材の形状、寸法などによって、機械の能力も考慮し、1本ずつ曲げるか、2本曲げにするか決定する。

項目	目標	要点	制御因子的要素	制御因子と現象の関連
	に置く。	きに置く。		
2.フレームベンダーのセット	最も効率良く曲げ、かつ連續的な形状を得る。	部材形状、寸法、曲げの種類に合うよう、治具、送り装置を調整する。	①曲げ材保持装置 ②受け治具のスパン ③送りローラー補助ローラーの高さ	内曲げ、外曲げによって保持装置を使い分ける。 連續的な形状を得るために、受け治具のスパンは大き過ぎないようにする。 L型ビルトアップロンジ、インバートアングルなどは、効率的でウェブの面外変形の発生しない加圧位置を選定する。
3.送り	加圧位置まで部材を移動する。	逆直線の分点を、ベンダーの中心線にあわす。	①送り速度	材料のすべり、振れなどが起こらない速度で送る。 ドレンホールが受け治具の位置と一致する場合は、部材を多少移動して変形を防止する。
4.加圧	曲げ形状を得る。	スプリングバックを考慮し、正規の形状より過ぎ目に押す。	①圧力 ②加圧速度 ③ストローク ④加圧回数	張り糸と分点との関係を見ながら徐々に加圧する。 ウェブやフェースに坐屈やひずみが生じていないか、加圧するたびにチェックする。