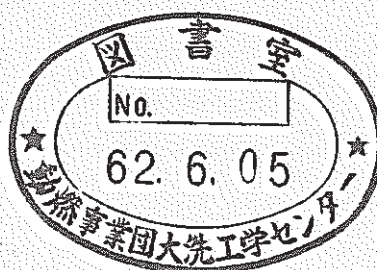


リモートメンテナンス技術の開発

ナトリウム取扱いロボットの試作



1987年4月

技術資料コード	
開示区分	レポート No.
T	N9410 87-046
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

1987年4月

リモートメンテナンス技術の開発

— ナトリウム取扱いロボットの試作 —

高木剛彦* 荒 邦章*

林道 寛** 保田仁司* 中本香一郎***

要 旨

高速増殖炉の遠隔保守補修技術開発の一環として、その要素技術の一つであるマニピュレーション技術の開発を目的に、ナトリウム取扱いロボットを試作した。

試作は、以下の3ステップにて実施している。

- 第1ステップ(59年度)
ハンドリングマニピュレータの試作
- 第2ステップ(60年度)
制御装置の試作
- 第3ステップ(61年度)
走行装置の試作

本報は試作したナトリウム取扱いロボット概要及び基本仕様について報告するものである。

試作したロボットは、プラント機器のナトリウム洗浄等を主体系としたナトリウム取扱いロボットであり、人間の腕と同様7つの自由度を有しており、作業の汎用化、開発試験に備え、マスタースレーブ制御方式とした。

今回試作したナトリウム取扱いロボットを用いて、実際のプラントにロボットを適用する上で必要となる機能を確認するための試験を実施し、その検討を行った。

* 大洗工学センター、機器構造開発部 高速増殖炉機器開発室

** 現在、PNC ワシントン事務所

*** 現在、日本原子力発電㈱

April, 1987

Development of Remote Maintenance Technology

Trial Fabrication of Sodium Handling Robot

T. TAKAGI*, K. ARA*, H. RINDOU**
H. YASUDA*, and K. NAKAMOTO***

Abstract

Sodium Handling Robot was trially fabricated, in order to develop the manipulation technology which was one of the key technologies for Remote Maintenance in FBR Plant.

The robot was fabricated by the following three steps.

- 1st step (1984)

- Trial fabrication of Handling manipulator

- 2nd step (1985)

- Trial fabrication of Control unit

- 3rd step

- Trial fabrication of Uicle

This report describes the outline and specification of sodium handling robot.

The robot has 7 freedom as same functions as a human arm, to be used for sodium cleaning of components by steam.

The manipulator of the robot was controlled by master-arm.

The test was carried out to confirm and investigate the functions for actual use.

* FBR Components Development Section, System and Components Division,
Oarai Engineering Center

** Presently with PNC Washington Office

*** Presently with JAPCO

目 次

1. 緒 言	1
2. ナトリウム取扱いロボット試作目的	3
3. ナトリウム取扱いロボット概要	4
4. 各構成機器の仕様	8
4.1 マニピュレータ	8
4.1.1 スレーブアーム	8
4.2 制御装置	9
4.2.1 マスターアーム	9
4.2.2 サーボアンプ	9
4.2.3 パワーアンプ	10
4.2.4 スイッチボックス	11
4.3 走行装置	12
5. ナトリウム取扱いロボット予備試験	44
5.1 試験目的	44
5.2 試験項目	44
5.3 試験内容	44
5.4 試験方法	44
5.5 試験結果	45
5.6 試験結果検討	45
6. 今後の計画	54
7. 結 言	56
8. 謝 辞	57
参考文献	58
付 録	59

表リスト List of Tables

表 3.1.1	ナトリウム取扱いロボット仕様	5
Table 3.1.1	Specification of Sodium Handling Robot	
表 4.1.1	スレーブアーム用サーボモータ仕様	14
Table 4.1.1	Specification of Slave Arm's Servo Motor	
表 4.1.2	スレーブアーム用減速機仕様	15
Table 4.1.2	Specification of Slave Arm's Reduction Gear	
表 4.2.1	1 軸用モータドライバ仕様	16
Table 4.2.1	Specification of First Axis's Motor Driver	
表 4.2.2	2 軸用モータドライバ仕様	17
Table 4.2.2	Specification of Second Axis's Motor Driver	
表 4.2.3	3 軸用モータドライバ仕様	18
Table 4.2.3	Specification of Third Axis's Motor Driver	
表 4.2.4	4 軸, 5 軸用モータドライバ仕様	19
Table 4.2.4	Specification of Fourth Axis and Fifth Axis's Motor Driver	
表 4.2.5	6 軸用モータドライバ仕様	20
Table 4.2.5	Specification of Sixth Axis's Motor Driver	
表 4.2.6	各軸用モータドライバ保護機能	21
Table 4.2.6	Protective Function of Each Axes's Motor Driver	
表 5.5.1	各軸における動作範囲及び動作速度	47
Table 5.5.1	Working Range and Working Speed is to Each Axes	
表 5.5.2	各負荷時における各軸の動作範囲	48
Table 5.5.2	Working Range of Each Axes is to Each Load	
表 5.5.3	各負荷時における各軸の動作速度	49
Table 5.5.3	Working Speed of Each Axes is to Each Load	

図リスト List of Figures

図 3.1.1 ナトリウム取扱いロボット構成図	6
Fig. 3.1.1 Constitution of Sodium Handling Robot	
図 3.1.2 ナトリウム取扱いロボット制御ブロック図	7
Fig. 3.1.2 Control Bloc Diagram of Sodium Handling Robot	
図 4.1.1 スレーブアーム外観図	23
Fig. 4.1.1 Appearance of Slave Arm	
図 4.1.2 スレーブアームブロック図	25
Fig. 4.1.2 Bloc Diagram of Slave Arm	
図 4.1.3 スレーブアーム動作範囲図	26
Fig. 4.1.3 Working Range of Slave Arm	
図 4.2.1 マスターアーム外観図	27
Fig. 4.2.1 Appearance of Master Arm	
図 4.2.2 サーボアンプ外観図	29
Fig. 4.2.2 Appearance of Servo Amplifier	
図 4.2.3 サーボアンプ結線図	31
Fig. 4.2.3 Connecting Diagram of Servo Amplifier	
図 4.2.4 サーボアンプ演算回路図	33
Fig. 4.2.4 Operation Circuit Diagram of Servo Amplifier	
図 4.2.5 パワーアンプ外観図	35
Fig. 4.2.5 Appearance of Power Amplifier	
図 4.2.6 パワーアンプ結線図	37
Fig. 4.2.6 Connecting Diagram of Power Amplifier	
図 4.2.7 1軸・3軸用モータドライバブロック図	39
Fig. 4.2.7 Bloc Diagram of First Axis and Third Axis's Motor Driver	
図 4.2.8 2軸用モータドライバブロック図(1)	40
Fig. 4.2.8 Bloc Diagram of Second Axis's Motor Driver (1)	
図 4.2.9 2軸用モータドライバブロック図(2)	41
Fig. 4.2.9 Bloc Diagram of Second Axis's Motor Driver (2)	

図 4.2.10	4 軸・5 軸・6 軸用モータドライバブロック図	42
Fig. 4.2.10	Bloc Diagram of Fourth Axis, Fifth Axis and Sixth Axis's Motor Driver	
図 4.2.11	スイッチボックス外観図	43
Fig. 4.2.11	Appearance of Switch Box	
図 5.6.1	実動作範囲と定格動作範囲の比較(1)	50
Fig. 5.6.1	Comparison of Actual Working Range and Rated Working Range (1)	
図 5.6.2	実動作範囲と定格動作範囲の比較(2)	51
Fig. 5.6.2	Comparison of Actual Working Range and Rated Working Range (2)	
図 5.6.3	スチームノズル設置図	52
Fig. 5.6.3	Build Diagram of Steam-Nozzle	
図 5.6.4	スチームノズル外観図	53
Fig. 5.6.4	Appearance of Steam-Nozzle	
付 録		
図 1.	ナトリウム取扱いロボット結線図	62
Fig. 1	Connecting Diagram of Sodium Handling Robot	

1. 緒 言

近年、ロボット技術の進歩により多くの産業分野で自動化、遠隔化が進みつつある。

ロボット技術の導入のメリットは大別して次の2点にあると考えられる。

- (1) 工場の生産ラインに使用されるロボットのように単純作業を正確かつ短時間で行うもの。
- (2) 災害救助や海底探査のような人間には厳しい環境の作業をロボットが行うもの。

原子力発電所に対する作業の遠隔化は、その環境が特殊であり、早くから注目されてきている。商用炉として実績の多い軽水炉では供用期間中検査をはじめとした各種の技術が適用され開発中である。⁽¹⁾

高速増殖炉においては冷却材として化学的に活性な液体金属ナトリウムを用いており、プラントの構成機器も多いことから、軽水炉に比べてより厳しい環境条件の下で作業を行うことが考えられる。

以下に高速増殖炉の環境条件を示す。

- (1) 放射線レベルが高い。
- (2) 雰囲気温度が高い。
- (3) ナトリウムとの境界には不活性ガスが必要
- (4) 1次冷却系室は、運転中窒素ガス雰囲気
- (5) ナトリウムの洗浄が必要
- (6) 構成機器が多く、配置上狭隘部が多い。

上記の要因から、高速増殖炉においては、機器の保守・点検は軽水炉に増して自動化・遠隔化の必要性が高いことが判る。

又、高速増殖炉プラントの稼働率向上、被爆低減の観点からも自動化・遠隔化が必要となる。

このような要因を満足するためには高速増殖炉用の遠隔保守補修技術の開発を行う必要がある。

今回試作したナトリウム取扱いロボットは、遠隔保守補修技術の一環として、ナトリウム取扱い等に関連したマニピュレーション技術の開発を目的としており、その試作は3ステップで行った。

◦ 第1ステップ(59年度実施)

ハンドリングマニピュレータの試作

◦ 第2ステップ(60年度実施)

ハンドリングマニピュレータ制御装置の試作

◦ 第3ステップ(61年度実施中)

ハンドリングマニピュレータ走行装置の試作

本報告書では試作が完了している第2ステップのハンドリングマニピュレータ制御装置の試作（走行装置については現在試作中であり，概要のみ記載）及びハンドリングマニピュレータの機能確認のために実施した予備試験について記載する。

2. ナトリウム取扱いロボット試作目的

高速増殖炉に於いて、ロボットで保守・補修作業を行う場合、その対象となる作業は以下の3種類に分類できる。⁽²⁾

(1) 巡視点検

ITV等による各構成機器の監視及び各種センサ(温度, 歪量, 色, 圧力等)による情報の収集。

(2) 保 守

小型の構造物の機能確認・交換等, 及び大型の構造物の洗浄・除染・分解・組立て等の作業。

(3) 補 修

対象となる部分を切断・分解し, 機器要素を交換・修理するといった切断-除去-搬入-溶接等の一連の作業, 又中間熱交換器の漏洩伝熱管のプラグングのような特殊機能を有する作業。

これらの作業のうち, 巡視点検については軽水炉において開発中の装置の技術を発展延長させることで適用可能である。保守・補修についても一部適用可能なものもあるが, ナトリウムを取扱う, 狭隘なアクセス空間といった軽水炉とは異った作業環境や, 上記作業内容からもわかるように, かなり汎用的な機能を持つ高機能ロボットでなければならない等の理由により, 新たに開発していかなければならないものが多い。

今回試作したナトリウム取扱いロボットでは, まず高速増殖炉プラントにおいてロボットを用いる場合, そのマニピュレータ部ではどのような機能が必要なのか確認することを目的とし, 同時に高速増殖炉の保守・補修に不可欠であるナトリウム洗浄について実施し, 必要とされる機能等について確認を行い遠隔保守補修技術のレベルアップを図るものである。

3. ナトリウム取扱いロボット概要

本ナトリウム取扱いロボットはマニピュレータ（以下スレーブアームと記す）及びその制御装置で構成される。その構成を図 3.1.1 に示す（ブロック図を図 3.1.2，仕様を表 3.1.1 に示す）。

スレーブアームは密閉型の多自由度・電動（手先のみ空気圧）型マニピュレータであり，ナトリウム洗浄等の作業時に於ける水，カセイソーダ等の飛沫に対し充分耐えられるよう設計されている。

尚，本スレーブアームは手先の重量を軽くするために 4，5，6 軸用モータを 3 軸部に設置する方式をとっている。

制御装置はマスターアーム，サーボアンプ及びパワーアンプで構成されている。

マスターアームはオペレータ自身が手に持ち操作するものであり，その動作範囲はスレーブアームの動作範囲と一致しマスターアームとスレーブアームは全く同一の動きをするように設計されている。よって，オペレータがマスターアームで操作することによりスレーブアームを自由に動作させることができる。

サーボアンプは上記制御を実現するための演算増幅器である。

サーボアンプはマスターアーム及びスレーブアーム双方の位置信号を取り入れ，両者の位置信号が一致するまでパワーアンプに動作信号を送り続ける。パワーアンプはサーボアンプからの動作信号を増幅し，マスターアームとスレーブアームの位置が一致するまでモータを動作させると同時にスレーブアームの速度制御を行う。

表 3.1.1 ナトリウム取扱いロボット仕様

Table 3.1.1 Specification of Sodium Handling Robot

	仕 様
操 作 方 式	マスター・スレーブ方式
制 御 方 式	電動・速度及び位置制御（把握は空気圧）
耐 環 境 性	温 度：－ 5℃～＋ 40℃ 雰囲気：ナトリウム飛沫及びカセイソーダ飛沫
取 扱 荷 重	3 kg・f
把 握 力	6 kg・f
アウトリーチ	1500 mm
自 由 度	7
	肩 旋 回 ± 45° 20°/sec
	肩 上 下 + 45°～－ 30° 20°/sec
	肘 上 下 0°～－ 90° 30°/sec
	前 腕 回 転 ± 90° 45°/sec
	手 首 上 下 ± 90° 45°/sec
	手 首 回 転 ± 60° 45°/sec
	指 先 開 閉 0 , 60 mm 60°/sec
	指先換算速度 1 m/sec（ 2 , 3 軸同時動作 ）

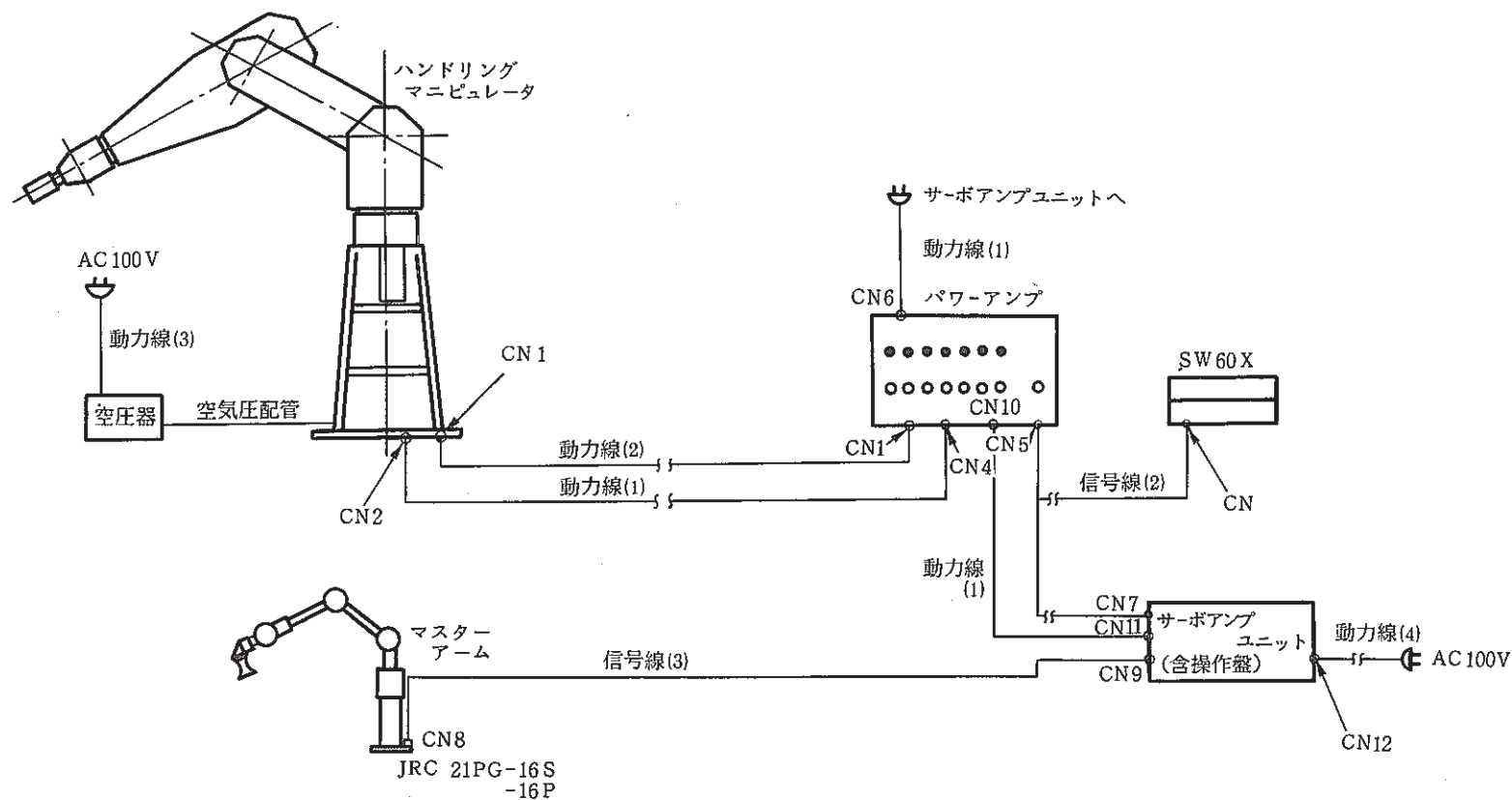


図 3.1.1 ナトリウム取扱いロボット構成図

Fig. 3.1.1 Constitution of Sodium Handling Robot

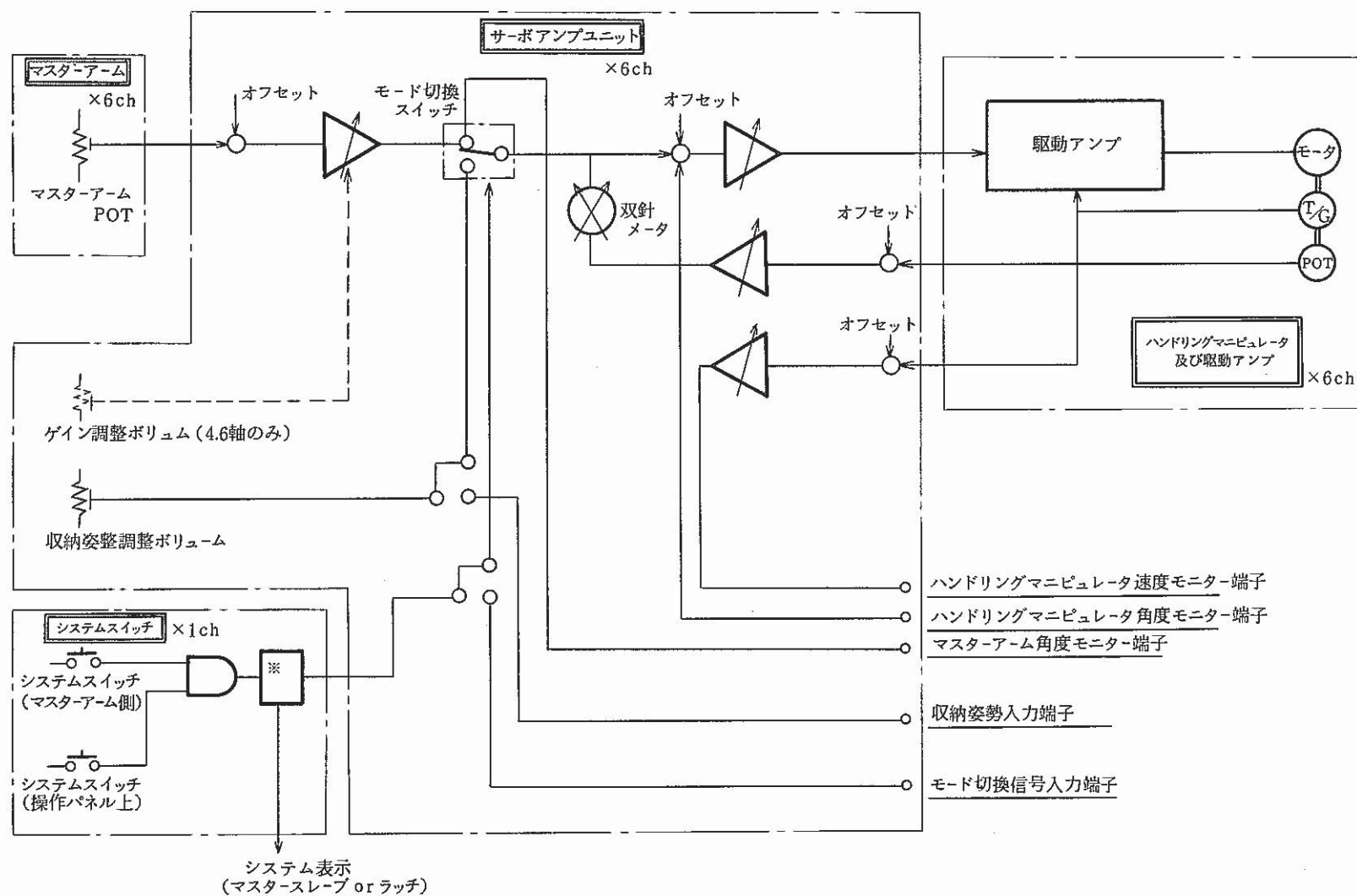


図 3.1.2 ナトリウム取扱いロボット制御ブロック図

Fig. 3.1.2 Control Bloc Diagram of Sodium Handling Robot

4. 各構成機器の仕様

以下に各構成機器の仕様を示す。

4.1 マニピュレータ

4.1.1 スレーブアーム

本スレーブアームは、遠隔操作（肉眼による監視，判断）を目的としているため，その操作方式をマスタースレーブとした。

操作方式：マスタースレーブ方式

制御方式：電動，速度・位置制御

耐環境性：温度 $-5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$

雰囲気 ナトリウム飛沫及びカセイソーダ飛沫

取扱い荷重：3 kg・f

把握力：6 kg・f

アウトリーチ：1500 mm

自由度：7

図 4.1.1 にスレーブアーム外観図，図 4.1.2 にスレーブアームブロック図，図 4.1.3 にスレーブアーム動作範囲図を示す。

スレーブアームはサーボアンプから位置信号を受け（又は送り），パワーアンプ内モータドライバ（各軸駆動サーボモータ用制御装置）を介してモータを駆動し，目標位置まで動作する。同時にポテンショメータでスレーブアームの現在の位置を測定し，サーボアンプへ信号を送る。又，タコジェネレータにて動作速度をパワーアンプへ送る。

表 4.1.1 にスレーブアーム用モータ仕様，表 4.1.2 にスレーブアーム用減速機仕様を示す。

尚，本体フレームは軽量化のためアルミニウムで構成されており，フレーム廻りをステンレス板にてカバーする構造となっている。

手先部分（4，5，6，7 軸）は構成部品全てステンレス材にて構成される。

スレーブアーム動作範囲はマスターアームと同様である。

本スレーブアームの 7 軸は空気圧により開閉する構造となっており，この空気圧源にエアコンプレッサを用いている。

4.2 制御装置

4.2.1 マスターアーム

自由度：7（各軸はスレーブアームと対応する）

動作範囲：軸番号	軸動作	動作範囲
1	肩施回	+ 45°～－ 45°
2	肩上下	+ 45°～－ 30°
3	肘上下	0°～－ 90°
4	前腕回転	+ 90°～－ 90°
5	手首上下	+ 90°～－ 90°
6	手首回転	+ 60°～－ 60°
7	指先開閉	

主要寸法：2軸中心高さ

1061 ～ 1328 mm（オペレータ姿勢により可変）

2軸，3軸，軸間寸法 220 mm

3軸，5軸，軸間寸法 159.7 mm

5軸，グリップ中心間寸法 119.4 mm

図 4.2.1 にマスターアーム外観図を示す。

マスターアームにはスレーブアームに対応する各軸がついており，マスターアームを動かす事によりその動作と同様にスレーブアームが動作するようになっている。マスターアームの各軸にはポテンショメータが組込まれており（1～6軸），その位置信号をカーボアンプへ送る。尚，7軸については動作が空気圧による手先の開閉であるためその操作はトリガースイッチの ON，OFF により行う。

本体材質はアルミニウムで構成されており，操作性向上のため2軸，3軸部にカウンターウェイト（軸の重量バランスを取るためのおもり）を設け操作上の重量感を軽減している。

4.2.2 サーボアンプ

サーボアンプはマスターアームからの位置信号（動作角度）とスレーブの現在の位置（動作中又は停止中の角度）との偏位量を演算し，その結果をパワーアンプに送りスレーブアームを動作させる。

図 4.2.2 にサーボアンプ外観図，図 4.2.3 にサーボアンプ結線図，図 4.2.4 にサーボアンプ演算回路図を示す。

サーボアンプではスレーブアームの動作制御を2つのモードに選定できる。

(1) マスタースレーブモード

このモードはマスターアームからの位置信号（動作角度）とスレーブアームの現在位置（動作中又は停止中の位置）との偏位量を演算し、その結果をパワーアンプに送りスレーブアームを動作させる。

(2) ラッチモード

このモードはマスターアームからの信号を遮断し、サーボアンプパネル面の姿勢調整ボリュームによりスレーブアームを動作させる。

このモードは、おもにマスタースレーブモードを解除した時のスレーブアーム収納位置の設定に用いる。

尚、このモード選択はマスターアームとサーボアンプに設置されているシステムスイッチを同時に押し、どちらか片方スイッチをはなすことによって切替える。

マスタースレーブモードにて動作させている場合、4 軸及び 6 軸についてはマスターアームとスレーブアームの動作角度比をサーボアンプパネル面に設置されている調整ボリュームにて連続的に変化させることができる。これは、4 軸・6 軸はそれぞれ軸方向に対し左右に 90°及び 60°回転できることになっているが、現実的には人間の手による操作で 150°（4 軸、6 軸を同一方向に動かす）回転させることは不可能と考えられるため、マスターアームとスレーブアームの動作角度比を変化させることにより、この動作を可能とするものである。

動作角度比は、マスターアーム：スレーブアームで 1：1～1：2 まで連続的に変化できる。

又、マスタースレーブモードにおいては双針メータによりマスターアーム動作位置指令値（スレーブアーム動作目標角度）に対するスレーブアーム動作角度が確認できるようになっている。

本サーボアンプは外部信号によるスレーブアーム制御が可能であり、マスターアームのかわりに例えば計算機を接続し、動作位置指令値を入力してやる事によりスレーブアームを動作させる事ができる。

4.2.3 パワーアンプ

制 御 軸 数：6（スレーブアーム 1～6 軸）

供 給 電 源：電 圧 A C 100 V（50/60 Hz）

電 流 最大 25 A

パワーアンプ外観図を図 4.2.5，結線図を図 4.2.6 に示す。

パワーアンプはサーボアンプからの動作信号（動作目標角度）を受け、スレーブアームの各軸サーボモータを駆動しスレーブアームを動作させる。

又、パワーアンプにてスレーブアームの速度制御を行うようになっており、サーボアンプから動作信号（動作目標角度変化速度）を受けその速度に一定になるようにスレーブアームに設置されているタコジェネレータからの信号をフィードバックし、速度制御を行うものである。

尚、これらの動作及び制御はパワーアンプ内モータドライバにより行うものであり、これらの仕様を表 4.2.1～4.2.5 に、ブロック図を図 4.2.7～4.2.10 に示す。

モータドライバにはモータ駆動、速度制御にあたり保護機能が用いられており、過負荷、過電流等によりスレーブアーム駆動用サーボモータを停止させる。各駆動用モータドライバの保護機能を表 4.2.6 に示す。

以下にパワーアンプ各スイッチ・ランプの機能を示す。

(1) POWER SWITCH

ON することにより各モータドライバ、各電源に電力が供給される。

(2) ON LAMP

POWER SWITCH を ON にすると点灯する。

(3) E-LAMP

モータドライバの保護機能が作動した時点灯する。

(4) RESET SWITCH

E-LAMP 点灯後システムを復帰させるスイッチである。

4.2.4 スイッチボックス

スイッチボックス外観図を図 4.2.11 に示す。

スイッチボックスはマスターアームのかわりにスレーブアームの動作及び速度の設定を行うものである。

以下にスイッチボックス各スイッチ及びランプの機能を示す。

(1) DRIVE LAMP

スレーブアームが動作状態であることを示すものでパワーアンプ POWER SWITCH ON により点灯する。

モータドライバ保護機能が作動した場合、このランプは消灯し、パワーアンプ RESET SWITCH ON 後再度点灯する。

(2) RGSO SWITCH

このスイッチを ON にすることによりパワーアンプ内モータドライバを動作状態にすることができる。

(3) VELOCITY SWITCH

パワーアンプ内モータドライバの速度制御部分のゲイン電流を変化させ、スピードコ

ントロールを行うスイッチ（ダイヤル）である。

左へ回転させることによりスレーブアームをより低速に動かすことができ、右へ回転させることによりスレーブアームをより高速に動かすことができる。

(4) AXIS SWITCH

上下又は左右に倒すことにより、スレーブアームを上下又は左右に動作させることができる。

(5) 手先表示 LAMP

手先部の開閉状態を示すランプである。

尚、スイッチボックスはマスターアームを用いて動作させるときは用いない。スイッチボックスを用いる時はマスターアーム及びサーボアンプを取除いた状態で用いる。

4.3 走行装置

本走行装置は、第3ステップにて加えられる機能であり、スレーブアーム、パワーアンプ等を搭載し移動させる走行車である。

以下に概略仕様を示す。

方 式：4 輪駆動 4 輪独立ステアリング

最大走行速度：40 cm/sec 以上（水平コンクリート面）

走行モード：並進，旋回，前進，後退（全方向）

ステアリング切角度及び速度：

角 度 $\pm 90^\circ$ （全輪）

速 度 70 °/sec（全輪）

制 御 方 式：走行機能 速度制御

ステアリング機能 位置制御

本走行装置の移動機能としては、前進，後進，並進，旋回，回転等があり、ステアリング切角はダイヤルにて連続的に可変できる。又、走行速度についてもジョイスティックにて連続的に可変できる。

これらの操作は（走行装置全ての操作）走行装置操作盤にて行う。

本走行装置には、移動中及び停止中の走行車周辺及びスレーブアームの動作状態が認識できるように ITV システムが設置される。

以下に構成及び仕様を示す。

(1) ITV カメラ

(2) 雲 台

水平回転 回転角度：340°

回転速度：3°/sec

上下回転 回転角度：+30°～-45°

回転速度：3°/sec

(3) モニター

(4) 音声装置

オペレータ側：マイク及びスピーカー

走行車側：マイク及びスピーカー

上記(1)，(2)及び(3)の走行車側マイク及びスピーカーは走行車に搭載される。

雲台及びITVカメラの焦点，ズーム等の操作は走行装置操作盤にて行う。

表 4.1.1 スレーブアーム用サーボモータ仕様

Table 4.1.1 Specification of Slave Arm's Servo Motor

軸 番 号	I	II	III	IV	V	VI
定 格 出 力 (W)	60	300	110	40	40	23
定 格 ト ル ク (kg·f·cm)	1.9	12.0	3.5	1.35	1.35	0.75
連続ストールトルク (kg·f·cm)	2.4	14.6	4.3	1.45	1.45	0.8
静 止 摩 擦 ト ル ク (kg·f·cm)	0.22	0.6	0.26	0.15	0.15	0.12
ト ル ク 定 数 (kg·ρ·cm/A)	1.79	2.82	1.93	0.5	0.5	0.41
モータロータイナーシャ (gf·cm·sec ²)	0.21	2.45	0.38	0.074	0.074	0.043
タコジェネレータロータJ (gf·cm·sec ²)	0.13	0.13 + 0.33	0.12 + 0.02	0.011	0.011	0.011
重 量 (kg)	0.65 (+0.25)	2.6+(0.25+0.8)	0.9(+0.24+0.22)	0.35 (+0.09)	0.35 (+0.09)	0.25 (+0.09)
定 格 電 圧 (V)	75	75	75	24	24	24
定 格 電 流 (A)	1.3	4.8	2.1	3.0	3.0	1.9

表 4.1.2 スレーブアーム用減速機仕様

Table 4.1.2 Specification of Slave Arm's Reduction Gear

軸 番 号	I	II	III	IV	V	VI
初 段 減 速 比	3.46	3.75	3.75	3.7	3.7	3.7
減 速 比	260	242	160	88	100	100
定 格 出 力 ト ル ク ($\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$)	18	71	18	0.8	0.8	0.4
推 定 効 率 (%)	60	60	48	60	50	55
起 動 ト ル ク ($\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$)	0.8	3.0	2.0	0.2	0.3	0.12
モータ軸換算起動トルク ($\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$)	0.23	0.8	0.53	0.05	0.05	0.05
ランニングトルク ($\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$)	3.0	8.0	6.0	0.55	0.8	—
モータ軸換算起動トルク ($\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{cm}$)	0.87	2.1	1.6	0.19	0.22	—
イ ナ ー シ ャ ($\text{kg} \cdot \text{f} \cdot \text{m}^2: \text{GD}^2$)	0.000776	0.00606	0.000655	0.0000132	0.0000132	4.69×10^{-6}
モータ軸換算イナーシャ ($\text{gf} \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^2$)	1.65×10^{-4}	1.10×10^{-3}	1.19×10^{-4}	1.50×10^{-5}	8.42×10^{-6}	7.48×10^{-7}
重 量 (kg)	1.3	4.6	1.1	0.1	0.1	0.058

表 4.2.1 1 軸用モータドライバ仕様

Table 4.2.1 Specification of First Axis's Motor Driver

電 源	駆 動 用	—	AC 100 V ± 10%, 50/60 Hz, 単相
	制 御 用	—	AC 100 V ± 10%, 50/60 Hz, 単相
電 源 電 流		A	2.3
周 囲 条 件		—	温度: 0 ~ 50°C, 湿度: 35 ~ 85 %
主 回 路		—	トランジスタ PWM 可逆
減 定 格 率		%	95 % 以上
速 度 帰 還		—	タコジェネレータ ($7 \text{ V} \pm \frac{2 \text{ V}}{0 \text{ V}} / 1000 \text{ rpm}$)
入 力	指 令 電 圧	V/1000 rpm	DC 3 V/1000 rpm
	イ ン ピ ー ダ ン ス	kΩ	約 10
最 大 出 力 電 圧		V	DC ± 130
定 格 出 力 電 流		A	DC ± 1.3
瞬時最大出力電流	低 速 時	A	DC ± 2.7
	高 速 時	A	DC ± 2.7
定 格 ト ル ク	1000 rpm	kg · cm	1.8
	max. speed	kg · cm	1.8
瞬時最大トルク	0 ~ 1000 rpm	kg · cm	4
	1000 rpm ~ max.	kg · cm	4
速 度 制 御 範 囲		rpm	3000 ~ 1
速 度 変 動	負荷変動 0 ~ 100 %	rpm	0.01
	電源電圧変動 ± 10%	rpm	0.01
	温度変動 0 ~ 50°C	rpm	0.5
応 答 時 間	0 → 1000 rpm	ms	7
	0 → max. speed	ms	17
加 減 速 特 性		—	直線一段
外 部 電 流 制 御		—	正逆個別に瞬時最大出力電流 × 5 ~ 100 %

表 4.2.2 2 軸用モータドライバ仕様

Table 4.2.2 Specification of Second Axis's Motor Driver

電 源	駆 動 用	—	AC100 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz, 単相, 0.2 A
	制 御 用	—	DC130 V $\pm$ 10%
周 囲 条 件		—	温度: 0 $\sim$ 50°C, 湿度: 35 $\sim$ 85%
主 回 路		—	トランジスタ PWM 可逆
減 定 路 率		%	95
速 度 帰 還		—	タコジェネレータ ($7V \pm \frac{2}{0}V/1000 \text{ rpm}$)
入 力	指 令 電 圧	V/1000 rpm	DC $\pm$ 3
	インピーダンス	k Ω	約10
最 大 出 力 電 圧		V	DC $\pm$ 130
定 格 出 力 電 流		A	DC $\pm$ 4.5
瞬時最大出力電流 (低速時)		A	DC $\pm$ 10
" (高速時)		A	DC $\pm$ 10
定 格 ト ル ク	1000 rpm	kg $\cdot$ cm	11
	最 高 速 度	kg $\cdot$ cm	11
瞬時最大トルク	0 $\sim$ 1000 rpm	kg $\cdot$ cm	25
	1000 $\sim$ max.	kg $\cdot$ cm	25
速 度 制 御 範 囲		rpm	2400 $\sim$ 1
速 度 変 動	負荷変動 0 $\sim$ 100%	rpm	0.01
	電源電圧変動 $\pm$ 10%	rpm	0.01
	温度変動 0 $\sim$ 50°C	rpm	0.5
応 答 時 間	0 1000 rpm(90%)	ms	20
	0 max.speed(90%)	ms	45
加 減 速 特 性		—	直線一段
外 部 電 流 制 限		—	正逆個別に瞬時最大出力電流 $\times$ 5 $\sim$ 100%

表 4.2.3 3 軸用モータドライバ仕様

Table 4.2.3 Specification of Third Axis's Motor Driver

電 源	駆 動 用	—	AC 100 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz, 単相
	制 御 用	—	AC 100 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz, 単相
電 源 電 流		A	3.5
周 囲 条 件		—	温度: 0 ~ 50°C, 湿度: 35 ~ 85 %
主 回 路		—	トランジスタ PWM 可逆
減 定 格 率		%	95 % 以上
速 度 帰 還		—	タコジェネレータ ($7V \pm \frac{2}{0}V/1000 \text{ rpm}$)
入 力	指 令 電 圧	V/1000 rpm	DC 3 V/1000 rpm
	インピーダンス	k Ω	約 10
最 大 出 力 電 圧		V	DC $\pm$ 130
定 格 出 力 電 流		A	DC $\pm$ 2.1
瞬時最大出力電流	低 速 時	A	DC $\pm$ 4
	高 速 時	A	DC $\pm$ 4
定 格 ト ル ク	1000 rpm	kg $\cdot$ cm	3.3
	max. speed	kg $\cdot$ cm	3.3
瞬時最大トルク	0 ~ 1000 rpm	kg $\cdot$ cm	6.8
	1000 rpm ~ max.	kg $\cdot$ cm	6.8
速 度 制 御 範 囲		rpm	3000 ~ 1
速 度 変 動	負荷変動 0 ~ 100 %	rpm	0.01
	電源電圧変動 $\pm$ 10%	rpm	0.01
	温度変動 0 ~ 50°C	rpm	0.5
応 答 時 間	0 $\rightarrow$ 1000 rpm	ms	10
	0 $\rightarrow$ max. speed	ms	27
加 減 速 特 性		—	直線一段
外 部 電 流 制 限		—	正逆個別に瞬時最大出力電流 $\times$ 5 ~ 100 %

表 4.2.4 4 軸, 5 軸用モータドライバ仕様

Table 4.2.4 Specification of Fourth Axis and Fifth Axis's Motor Driver

電 源	駆 動 用	—	AC 35 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz, 単相
	制 御 用	—	AC 100 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz, 単相
電 源 電 流		A	4.5
周 囲 条 件		—	温度: 0 $\sim$ 50 $^{\circ}$ C, 湿度: 35 $\sim$ 85 %
主 回 路		—	トランジスタ PWM 可逆
減 定 格 率		%	95 % 以上
速 度 帰 還		—	タコジェネレータ (3 V $\pm$ 10%/1000 rpm)
入 力	指 令 電 圧	V/1000 rpm	DC 3 V/1000 rpm
	インピーダンス	k Ω	約 10
最 大 出 力 電 圧		V	DC $\pm$ 45
定 格 出 力 電 流		A	DC $\pm$ 3
瞬時最大出力電流	低 速 時	A	DC $\pm$ 5.5
	高 速 時	A	DC $\pm$ 5.5
定 格 ト ル ク	1000 rpm	kg $\cdot$ cm	1.3
	max. speed	kg $\cdot$ cm	1.3
瞬時最大トルク	0 $\sim$ 1000 rpm	kg $\cdot$ cm	2.5
	1000 rpm $\sim$ max.	kg $\cdot$ cm	2.5
速 度 制 御 範 囲		rpm	3000 $\sim$ 1
速 度 変 動	負荷変動 0 $\sim$ 100 %	rpm	0.01
	電源電圧変動 $\pm$ 10%	rpm	0.01
	温度変動 0 $\sim$ 50 $^{\circ}$ C	rpm	0.5
応 答 時 間	0 $\rightarrow$ 1000 rpm	ms	7
	0 $\rightarrow$ max. speed	ms	18
加 減 速 特 性		—	直線一段
外 部 電 流 制 限		—	正逆個別に瞬時最大出力電流 $\times$ 5 $\sim$ 100 %

表 4.2.5 6 軸用モータドライバ仕様

Table 4.2.5 Specification of Sixth Axis's Motor Driver

電 源	駆 動 用	—	AC 35 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz, 単相
	制 御 用	—	AC 100 V $\pm$ 10%, 50/60 Hz, 単相
電 源 電 流		A	3
周 囲 条 件		—	温度: 0 ~ 50°C, 湿度: 35 ~ 85 %
主 回 路		—	トランジスタ PWM 可逆
減 定 格 率		%	95 以上
速 度 帰 還		—	タコジェネレータ (3 V $\pm$ 10% / 1000 rpm)
入 力	指 令 電 圧	V / 1000 rpm	DC 3
	インピーダンス	k Ω	約 10
最 大 出 力 電 圧		V	DC $\pm$ 45
定 格 出 力 電 流		A	DC $\pm$ 1.9
瞬時最大出力電流	低 速 時	A	DC $\pm$ 4.5
	高 速 時	A	DC $\pm$ 4.5
定 格 ト ル ク	1000 rpm	kg $\cdot$ cm	0.7
	max. speed	kg $\cdot$ cm	0.7
瞬時最大トルク	0 ~ 1000 rpm	kg $\cdot$ cm	1.7
	1000 rpm ~ max.	kg $\cdot$ cm	1.7
速 度 制 御 範 囲		rpm	3000 ~ 1
速 度 変 動	負荷変動 0 ~ 100 %	rpm	0.01
	電源電圧変動 $\pm$ 10 %	rpm	0.01
	温度変動 0 ~ 50°C	rpm	0.5
応 答 時 間	0 $\rightarrow$ 1000 rpm	ms	6
	0 $\rightarrow$ max. speed	ms	15
加 減 速 特 性		—	直線一段
外 部 電 流 制 限		—	正逆個別に瞬時最大出力電流 $\times$ 5 ~ 100 %

表 4.2.6 各軸用モータドライバ保護機能

Table 4.2.6 Protective Function of Each Axes's Motor Driver

保 護 機 能	1 軸	2 軸	3 軸	4 軸	5 軸	6 軸
過電流検出 (モータ電流が制限電流値を越えたとき動作)	○	○	○	○	○	○
過負荷検出 (モータ電流・時間積により動作 (200%過負荷時 1.5~20sec))	○	○	○	○	○	○
電圧降下検出 (電源電圧が規定値 -15%以下に低下したとき動作)	○	○	○	○	○	○
過速度検出 (モータの最高回転数以上で回転したとき動作)	○	○	○	—	—	—
タコジェネレータ (TG) 異常検出 (TG 及び配線が断線又は短路したとき動作)	○	○	○	—	—	—

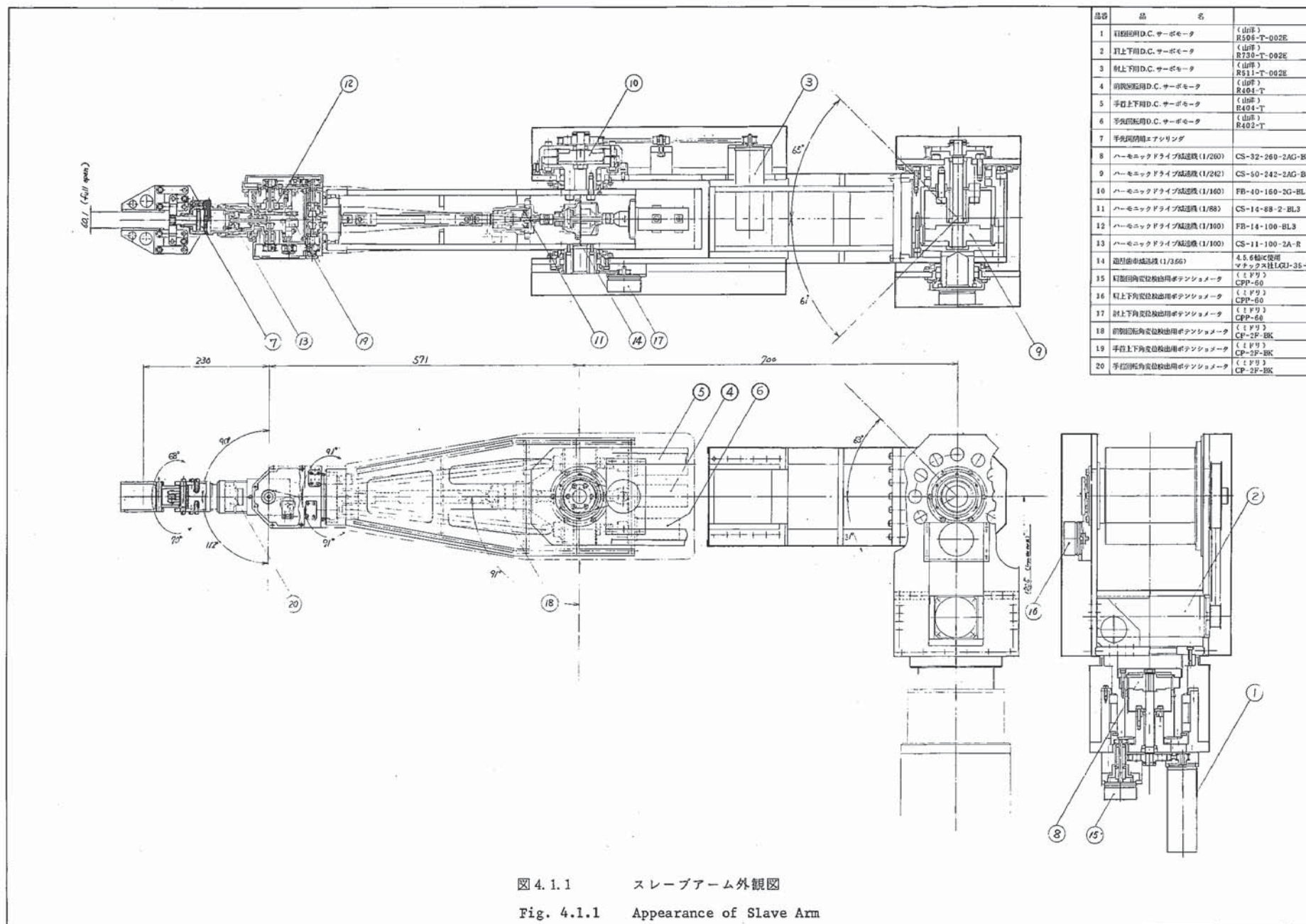


図 4.1.1 スレーブアーム外観図

Fig. 4.1.1 Appearance of Slave Arm

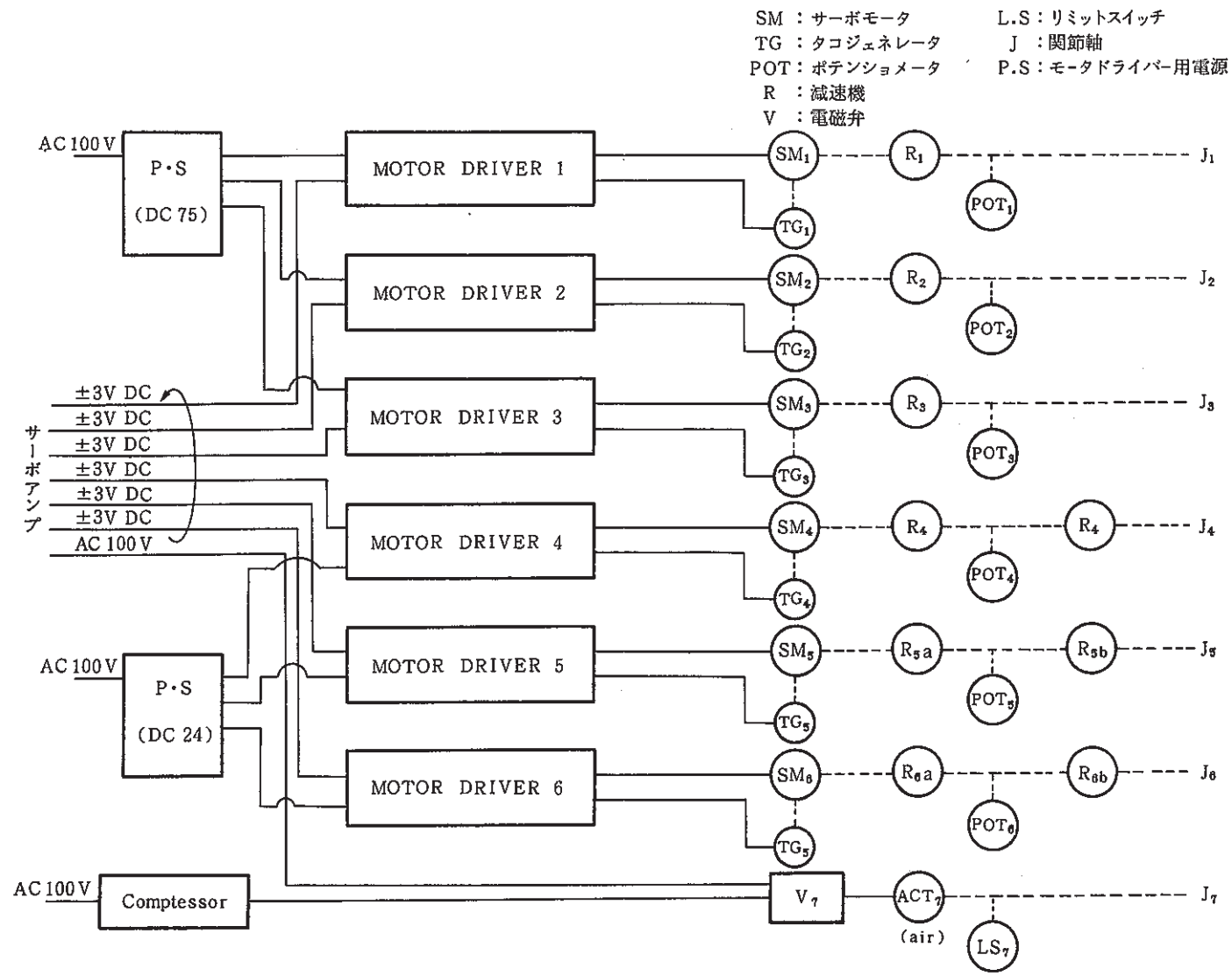


図 4.1.2 スレーブアームブロック図

Fig. 4.1.2 Bloc Diagram of Slave Arm

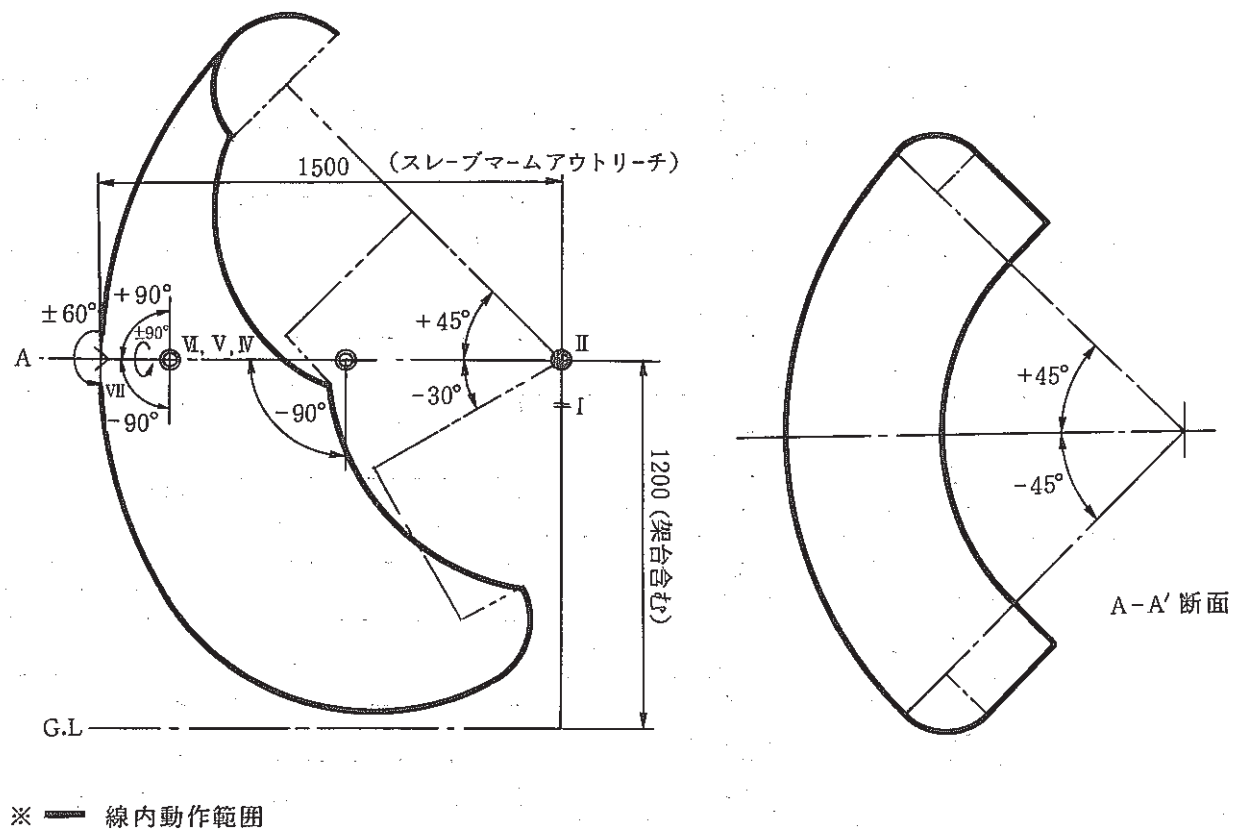


図 4.1.3 スレーブアーム動作範囲図

Fig. 4.1.3 Working Range of Slave Arm

仕様

名称	動作範囲	ポテンショメータ	ベアリング
肩 施 回 I	+45°~45°	CF-2FB 5KΩ	6903 z z 2ヶ
肩 上 下 II	+45°~30°	CF-2FK 5KΩ	6902 z z 2ヶ
肘 上 下 III	0°~90°	CF-2FK 5KΩ	6902 z z 2ヶ
前腕 回 転 IV	+90°~90°	CF-2FK 5KΩ	6900 z z 2ヶ
手首 上 下 V	+90°~90°	CF-2FK 5KΩ	6902 z z 2ヶ
手首 回 転 VI	+90°~60°	CF-2FK 5KΩ	6900 z z 2ヶ
指先 開 閉 VII	ストローク 6.7mm	—	—

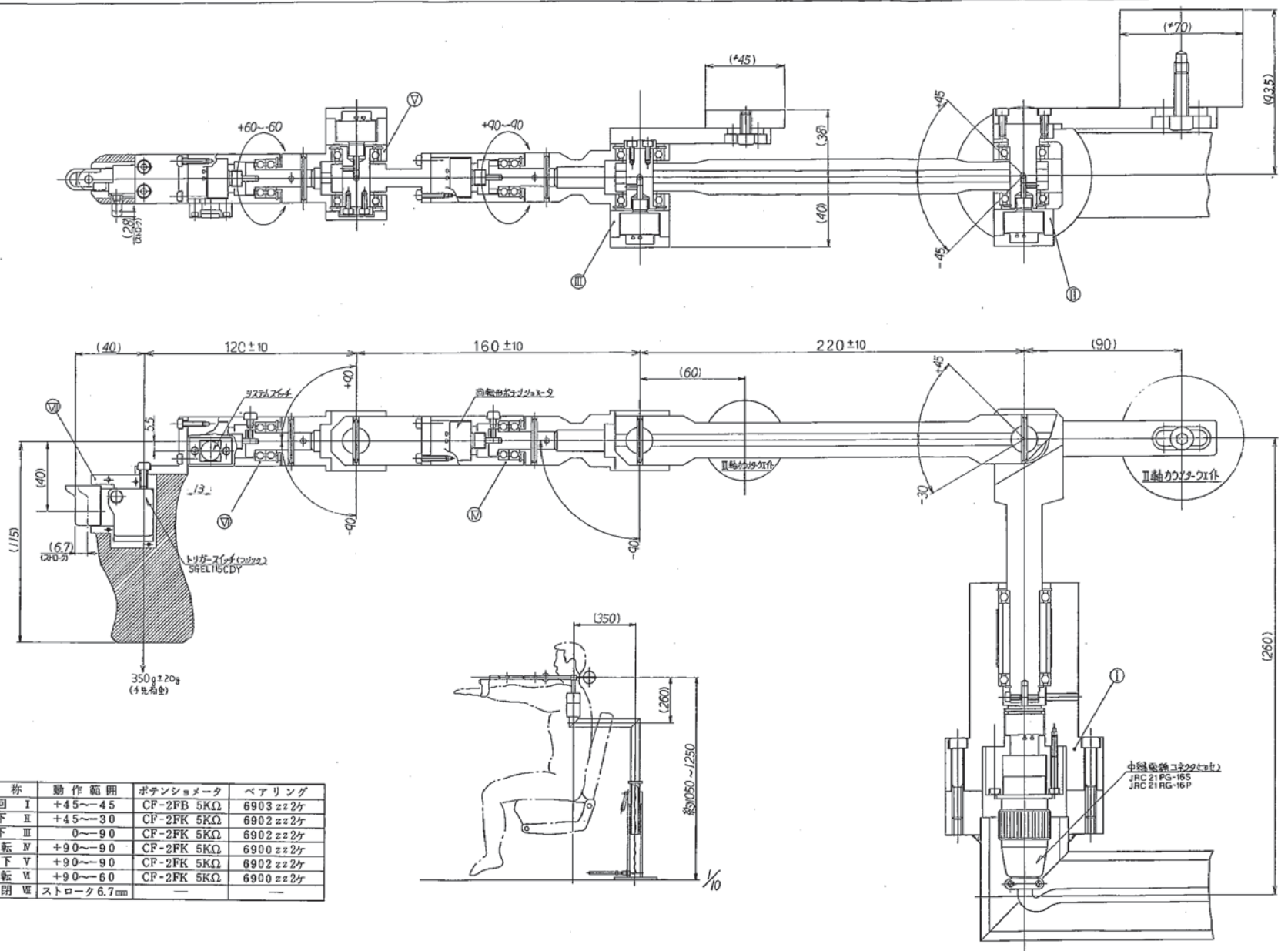
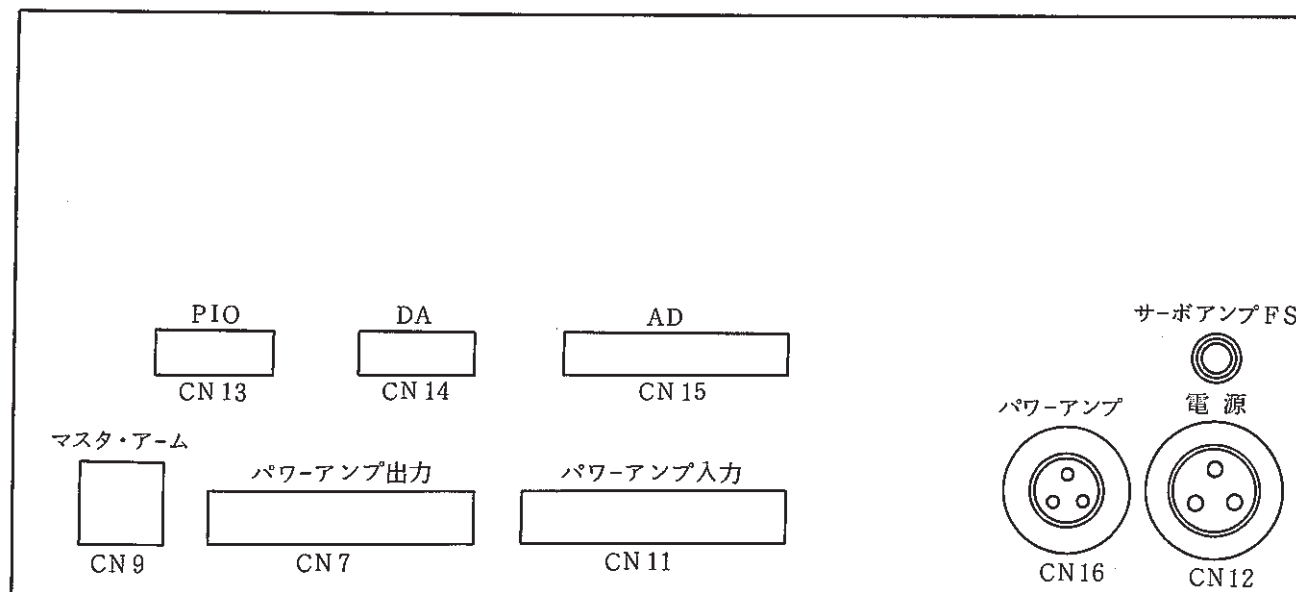


図 4.2.1 マスターアーム外観図

Fig. 4.2.1 Appearance of Master Arm

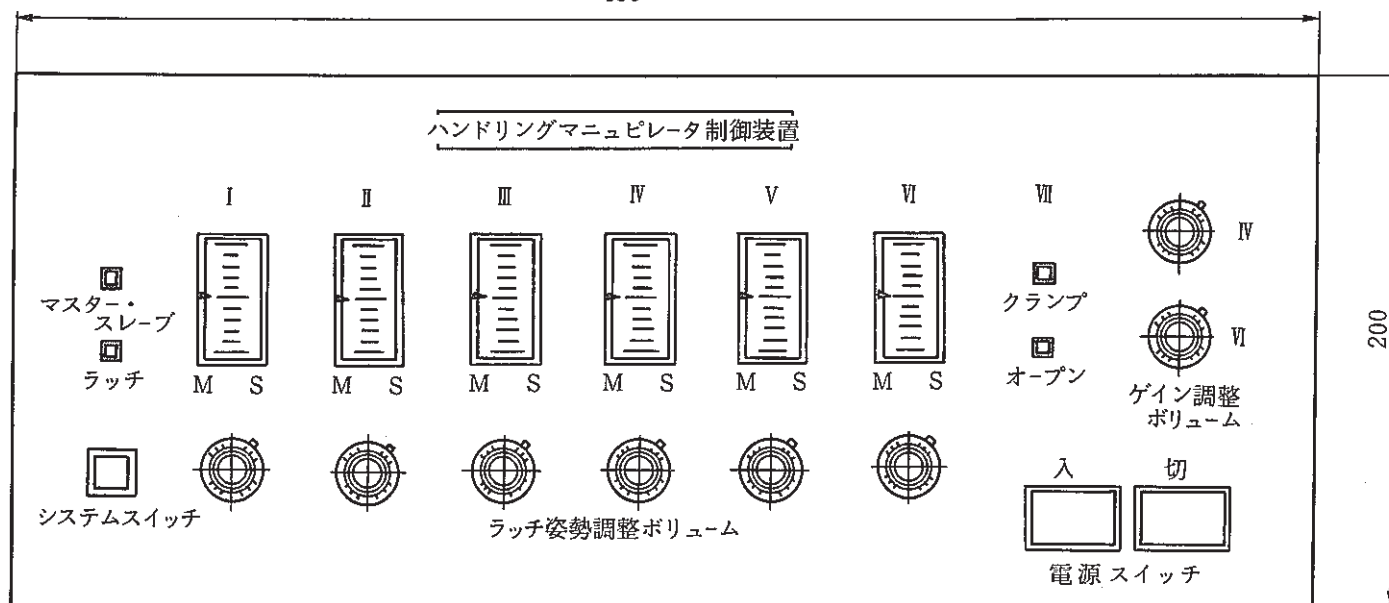
注 1) 主要材料へ A-5052 スへ相当品

裏面



430

表面



200

奥行 400

図 4.2.2 サーボアンプ外観図

Fig. 4.2.2 Appearance of Servo Amplifier

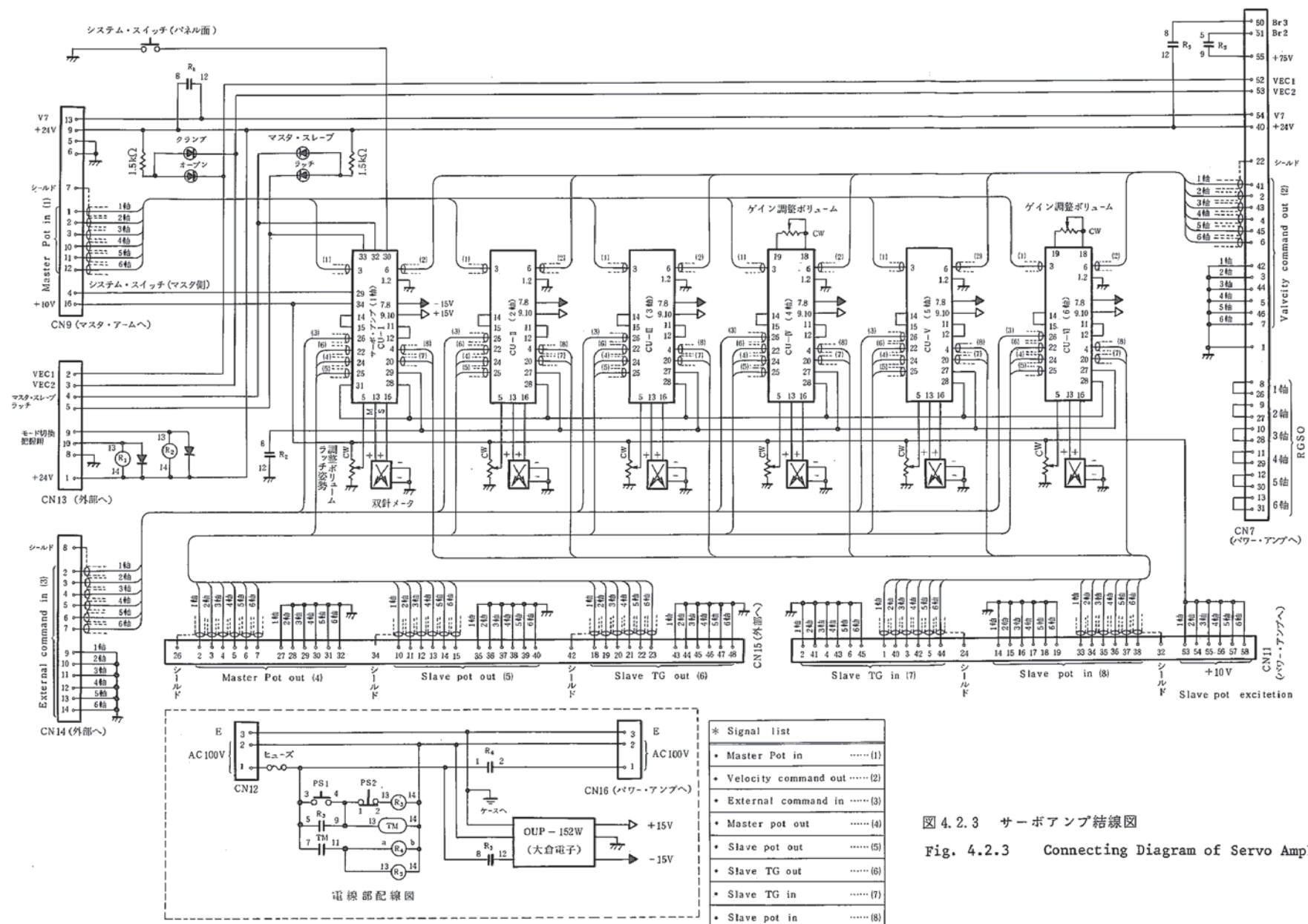


図 4.2.3 サーボアンプ結線図

Fig. 4.2.3 Connecting Diagram of Servo Amplifier

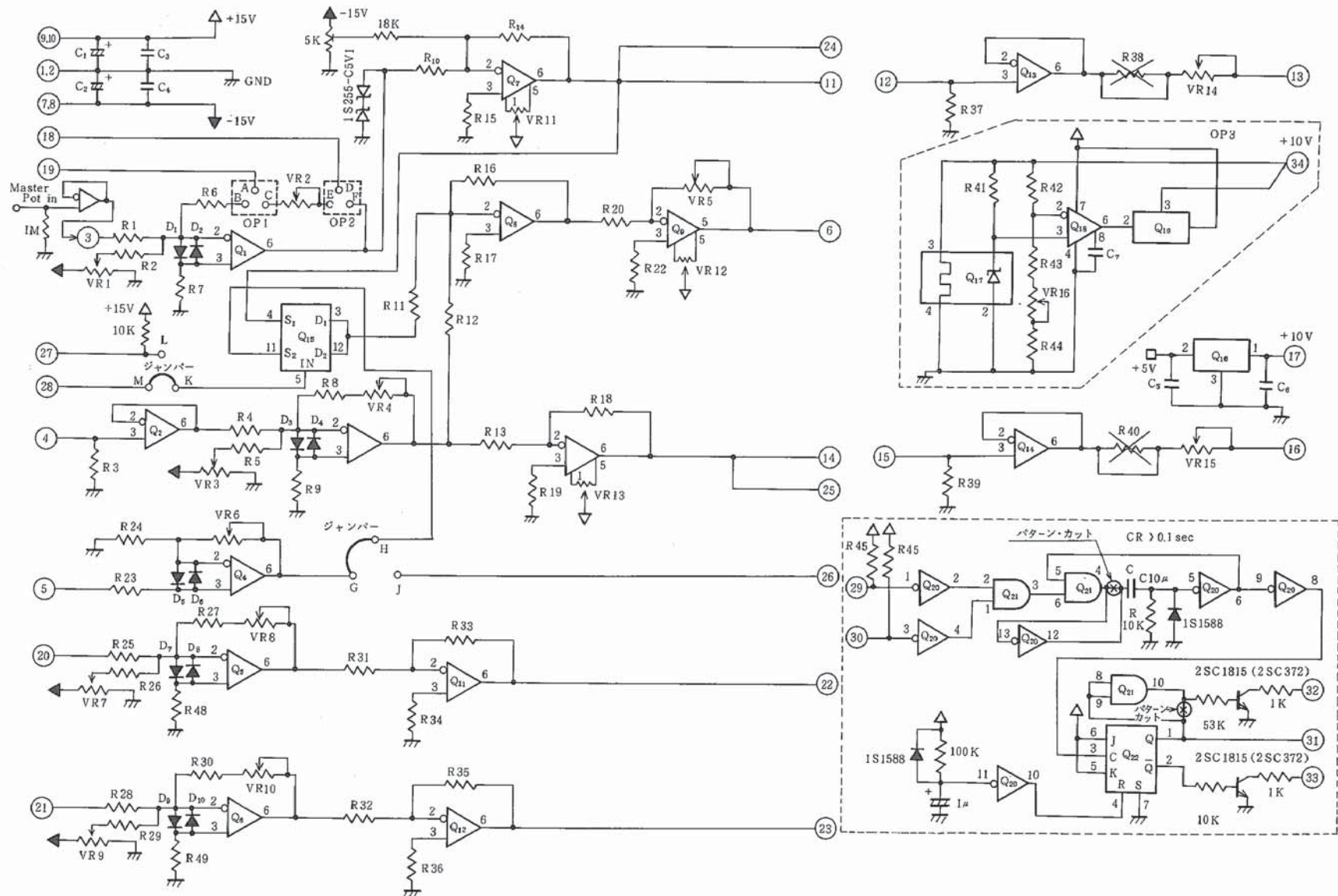


図 4.2.4 サーボアンプ演算回路図

Fig. 4.2.4 Operation Circuit Diagram of Servo Amplifier

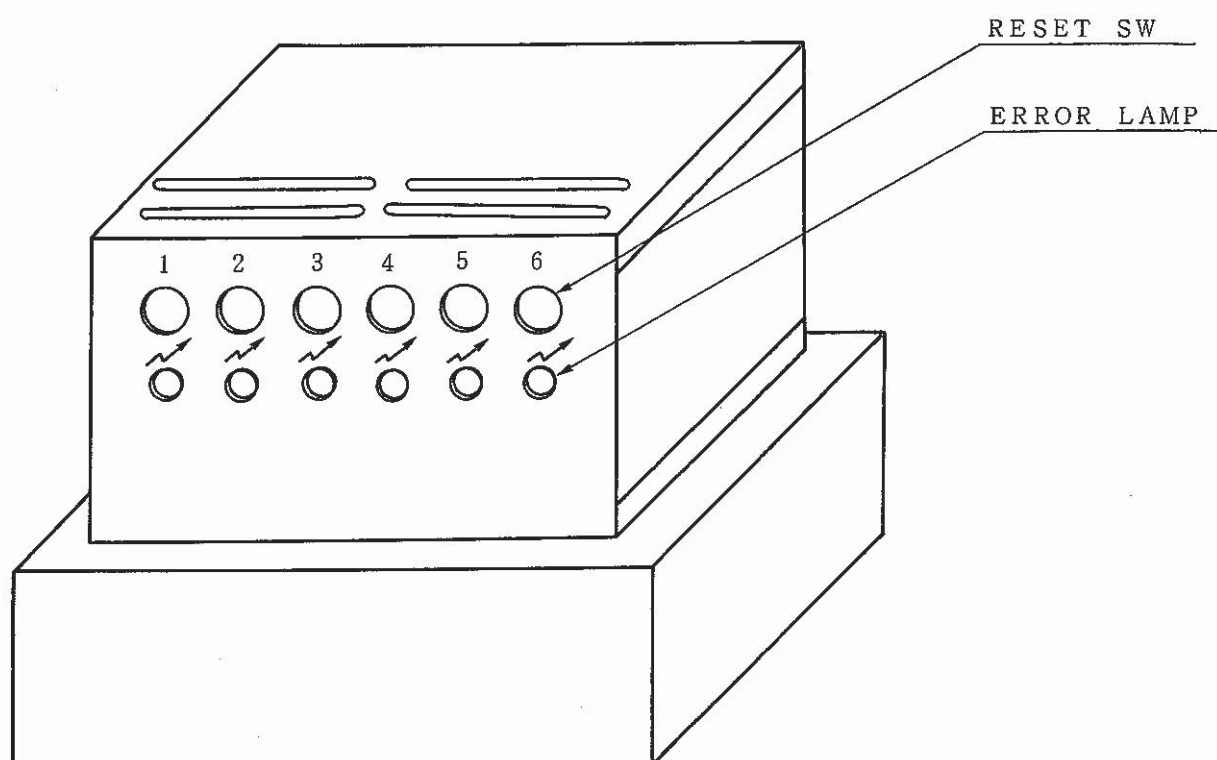


図 4.2.5 パワーアンプ外観図

Fig. 4.2.5 Appearance of Power Amplifier

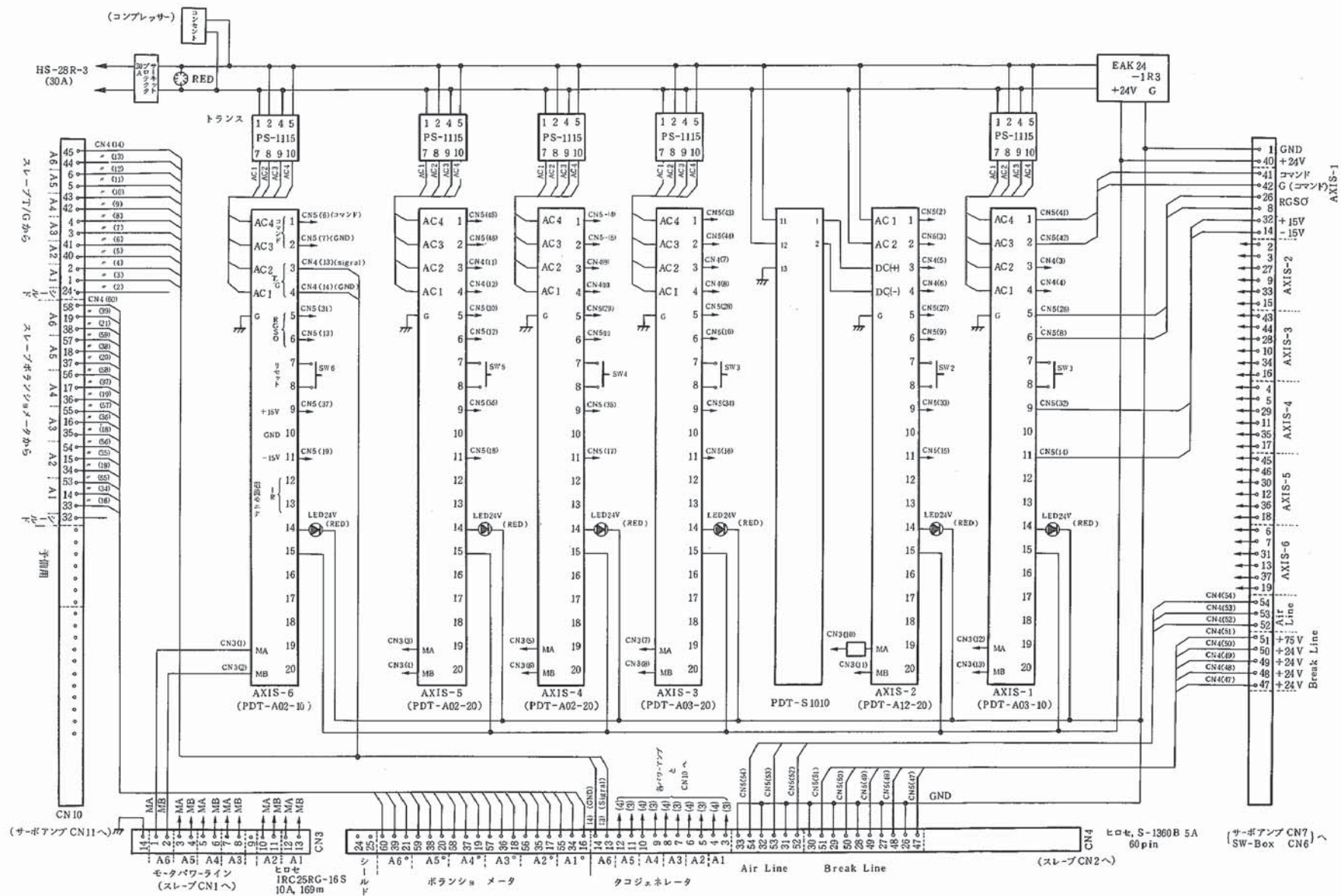


図 4.2.6 パワーアンプ結線図

Fig. 4.2.6 Connecting Diagram of Power Amplifier

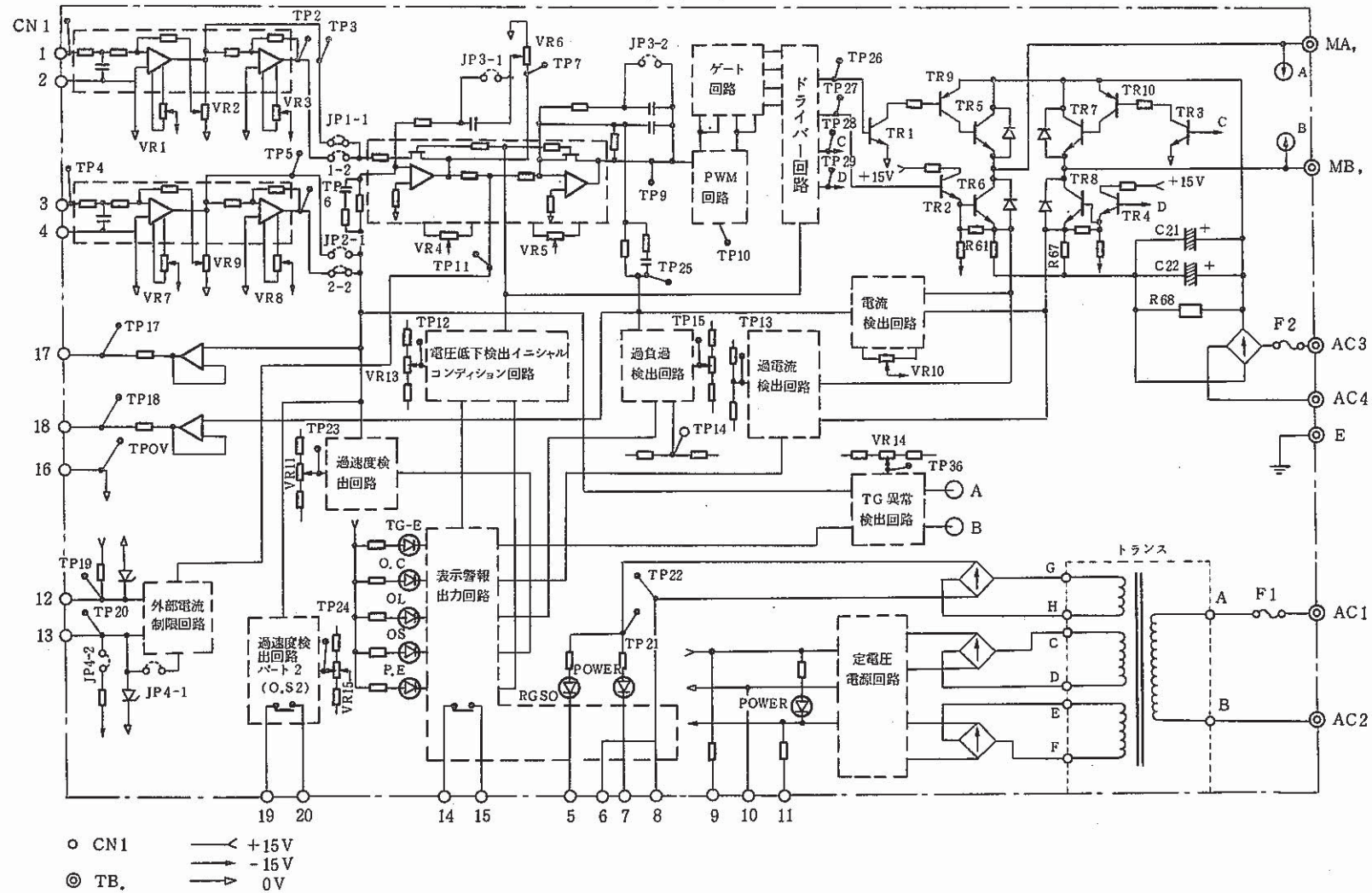


図 4.2.7 1 軸・3 軸用モータドライバブロック図

Fig. 4.2.7 Bloc Diagram of First Axis and Third Axis's Motor Driver

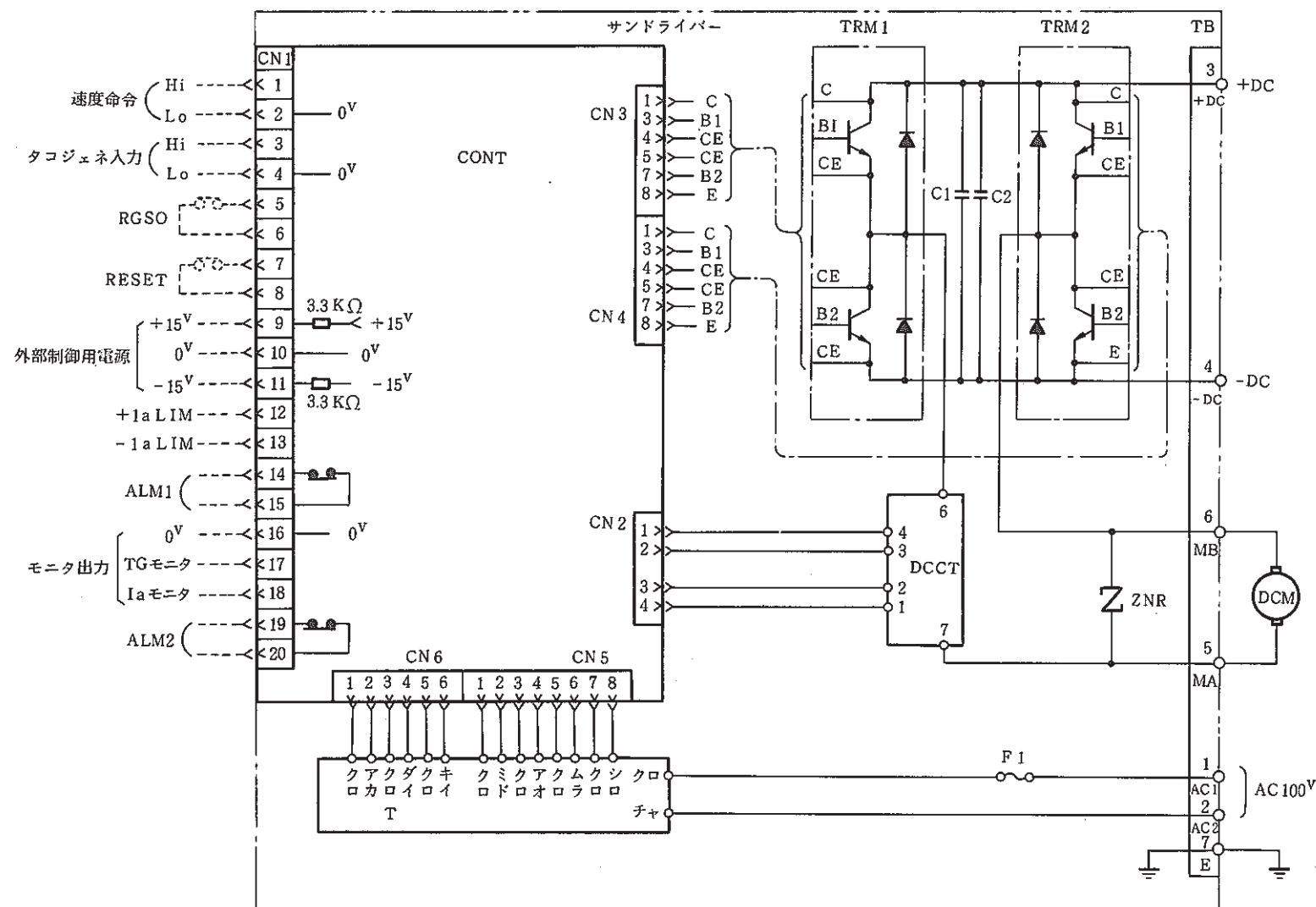


図 4.2.8 2 軸用モータドライバブロック図(1)

Fig. 4.2.8 Bloc Diagram of Second Axis's Motor Driver (1)

CONT部ブロック図

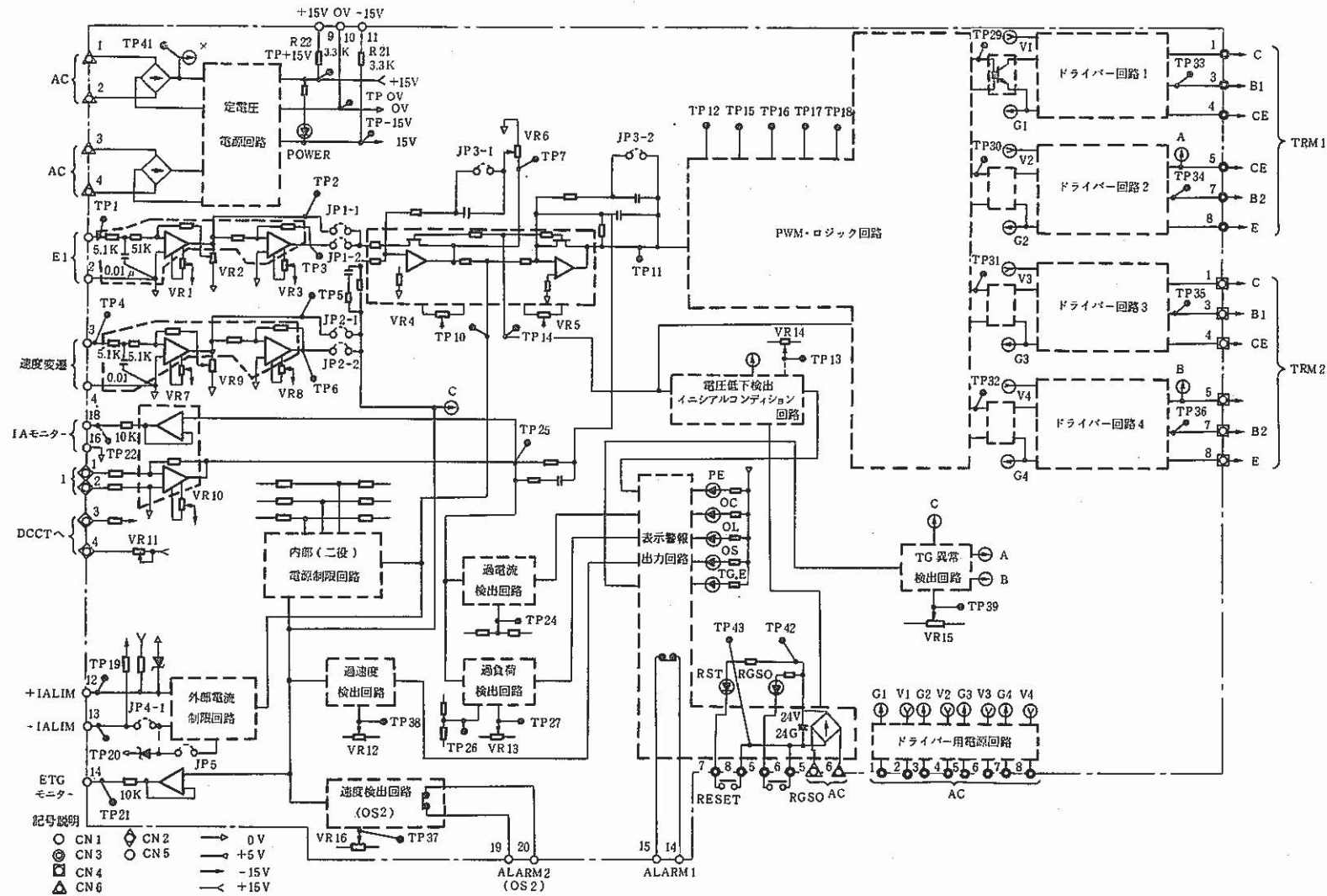


図 4.2.9 2軸用モータドライバブロック図(2)

Fig. 4.2.9 Bloc Diagram of Second Axis's Motor Driver (2)

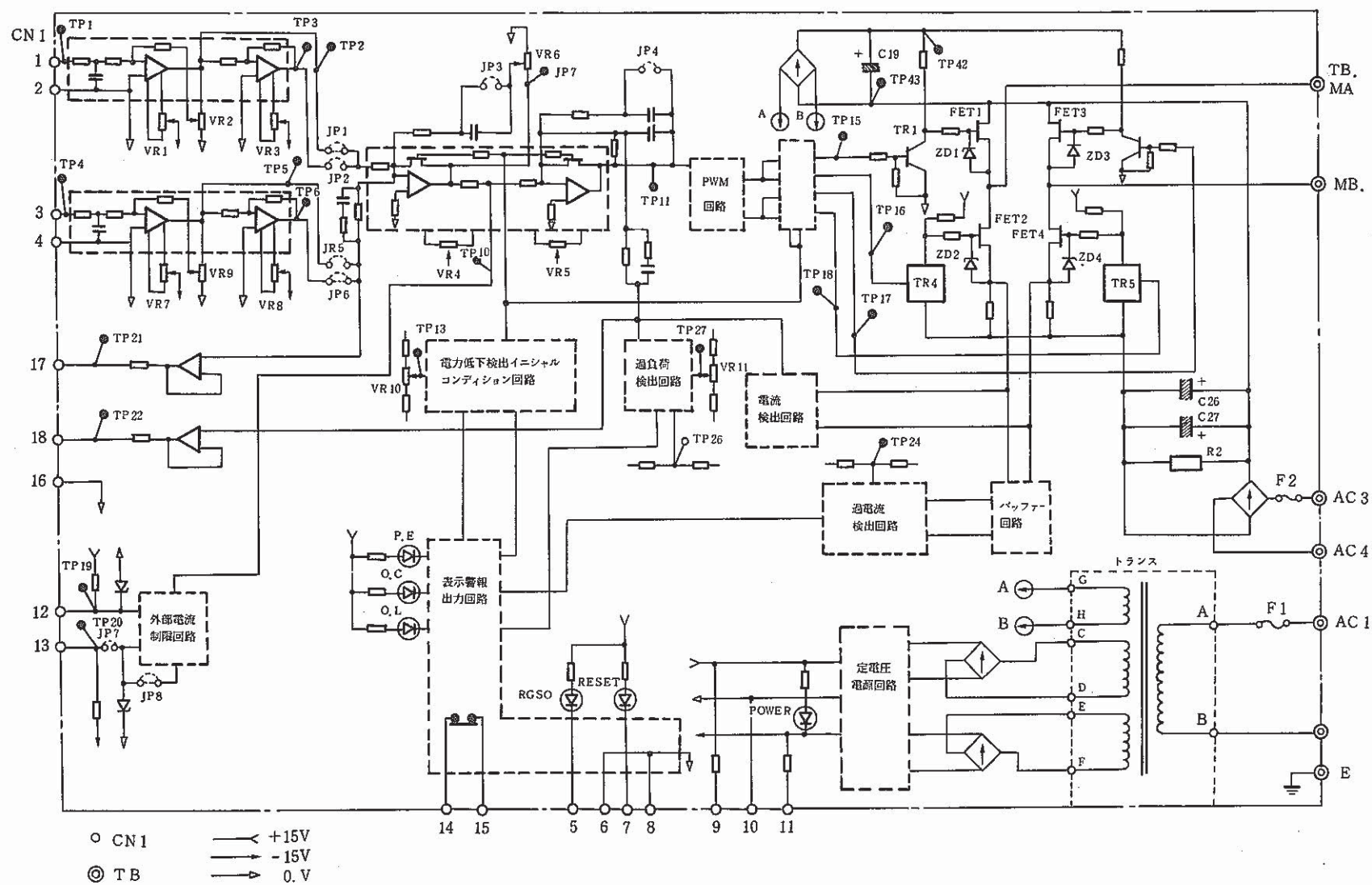


図 4.2.10 4軸・5軸・6軸用モータドライバブロック図

Fig. 4.2.10 Bloc Diagram of Fourth Axis, Fifth Axis and Sixth Axis's Motor Driver

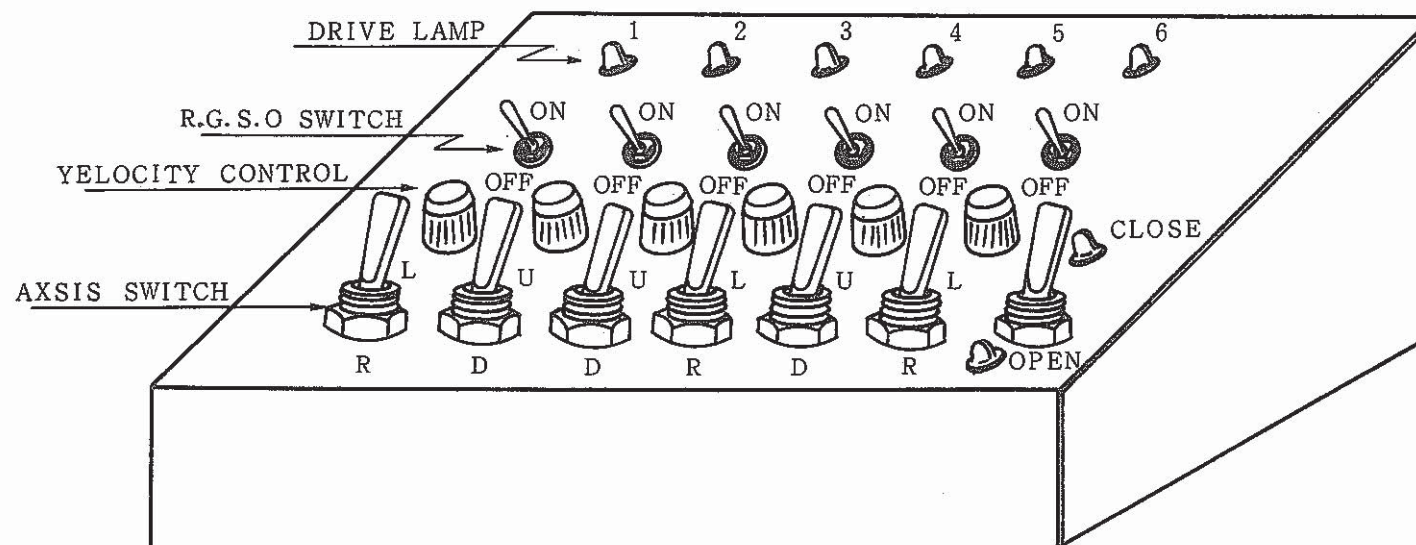


図 4.2.11 スイッチボックス外観図

Fig. 4.2.11 Appearance of Switch Box

5. ナトリウム取扱いロボット予備試験

5.1 試験目的

本試験は、遠隔保守補修技術の一環であるナトリウム取扱等に関連するマニピュレーション技術の開発として、マニピュレータに必要な機能、動作等の検討を行うための基礎データを得ることを目的としており、今回試作したナトリウム取扱いロボットを用いて実施するものである。

5.2 試験項目

- (1) 動作確認試験
- (2) 負荷時動作試験
- (3) ナトリウム洗浄（スチーム洗浄）模擬試験

5.3 試験内容

(1) 動作確認試験

無負荷時に於ける各軸の動作範囲及び動作速度を測定し、ナトリウム取扱いロボットの基礎動作の確認を行う。

(2) 負荷動作試験

動作確認に於いて負荷をパラメータに取り、動作範囲及び動作速度を測定する。

(3) ナトリウム洗浄（スチーム洗浄）模擬試験

模擬試料（ナトリウム付着のない配管）を用い、ナトリウム取扱いロボットにて実際のナトリウム洗浄（スチーム洗浄）と同様に洗浄を行う。今回、ナトリウム取扱いロボット用に試作したスチームノズルを用いて洗浄を行う。

5.4 試験方法

(1) 動作確認試験

① 動作範囲の測定

各軸に於いて可能な限り動作できる範囲を測定する。

② 動作速度の測定

各軸に於いてその最大スピードを測定する（移動角に対する移動時間により算出）。

(2) 負荷動作試験

0～3 kg まで 0.5 kg ごとに負荷を変化させ、前記の動作確認試験と同様の方法にて試験

を行う。

(3) ナトリウム洗浄（スチーム洗浄）模擬試験

模擬試料を用いて、実際のナトリウム洗浄（スチーム洗浄）と同様に洗浄を行う。

5.5 試験結果

(1) 動作確認試験

試験結果を表 5.5.1 に示す。

(2) 負荷動作試験

試験結果を表 5.5.2 及び表 5.5.3 に示す。

(3) ナトリウム洗浄（スチーム洗浄）模擬試験

5.6 項試験結果検討参照

5.6 試験結果検討

(1) 動作確認試験

試験結果より定格動作範囲よりも実測の方が数度ないし数十度多く動作していることがわかる。これは今回スイッチボックスを用いて試験を行ったため、一端動作信号がスレーブアームに入力されると動作停止信号が入力されるまで動きつづけようとし、機械的な干渉（各軸用ギヤの干渉や他軸、架台等にぶつかる等）が起こるまで動くためである。

スイッチボックスを用いて試験を行った理由は、各軸個々の動作範囲及び動作速度を測定するためであり、マスタースレーブ方式では全軸が同時に動いてしまうためである。

ただし、マスタースレーブ方式とした場合、あらかじめマスターアームで動作範囲を決定しているため、スイッチボックス時のように定格動作範囲を越えることはないと考えられる。

図 5.6.1 及び図 5.6.2 に定格動作範囲と実測との比較を示す。

実際のプラントに於いてロボットを用いる場合、その必要な動作範囲はおもに手先に集中し、手先の器用さ、動作範囲の広さが重要視されると考える。軸構成としては、旋回、上下左右の動作を満足し、かつ物をつかんでの水平・垂直移動等を熟す機能が必要と考えられ、最低 7 軸以上必要である。又、動作速度については、手先の器用さが重要であることから手先は俊敏な動作が必要と考える。

今回試作したナトリウム取扱いロボットでは軸数が 7、そのうち手先は 4 軸から構成され動作範囲は広く、又動作速度も $45^\circ/\text{sec}$ というので俊敏な速度といえる。

以上のことより、ナトリウム取扱いロボットは実際のプラントにロボットを用いる場合に必要と考える機能を満足しているといえる。

ただし、上記のものは基礎的なものでありプラントに適用するにあたって全てのものを満足しているものではなく、それらは今後の検討課題といえる。

(2) 負荷時動作試験

負荷時の動作は無負荷時の動作と比べてほとんど変化は見られない。

本ナトリウム取扱いロボットの可搬重量は3 kgであり、その試作目的（使用目的）からは重量物の運搬、取扱い等は考慮されていないため妥当な数値といえる。

ただし、今後ロボットを開発していくにあたり、使用目的、作業内容等により考慮していく必要がある。

(3) ナトリウム洗浄（スチーム洗浄）模擬試験

ナトリウム取扱いロボットにて洗浄試験を行うにあたり今回試作したスチームノズルを用いて実施した。

図 5.6.3 にスチームノズル設置図、図 5.6.4 にスチームノズル外観図を示す。

実際にスチームを噴射し模擬洗浄を行ったが、特にナトリウム取扱いロボット動作上問題なく洗浄が行え、試作したノズルからもスチーム洗浄に必要なスチーム流量も得られている。

ロボットでナトリウム洗浄（スチーム洗浄）を行う場合問題となるのは、耐環境性、動作範囲等になると考えられる。耐環境性については、洗浄を行う場合作業場所が水蒸気及びカセイソーダ飛沫雰囲気となるため、これに対処しなければならない。動作範囲については、被洗浄物全面にスチームを噴射せねばならず、そのためには被洗浄物周辺を移動できなければならない。

ただし、マニピュレータ自身の動作範囲としては、被洗浄物の形状、大きさ等にもよるが、さほど広範囲なものは要求されないと考える。軸数についても同じことが言え、ナトリウム洗浄のみを行う場合には最低4軸程度で良いと考える。これは、ナトリウム洗浄を行う場合マニピュレータ自身の動きとしては、スチームを噴射するノズルをつかみ上下左右に動かすものと、高さ方向の位置決めを行う動きで賄えるためである。

今回試作したナトリウム取扱いロボットは軸数が7軸であるが、これは前記動作確認試験で述べた理由によるものである。

第2章ナトリウム取扱いロボット試作目的で述べた通り、今回は実際のプラントにおけるロボットの保守、補修作業として想定されるもののうちナトリウム洗浄のみについて試験を実施したが、実際はナトリウム洗浄だけを実施するということは考えられず、機器の分解、組立て等のような作業も同一ロボットにて行うことが考えられる。このような場合更に複雑な機能、機能の汎用性等について考慮しなければならない、今後の課題といえる。

表 5.5.1 各軸における動作範囲及び動作速度

Table 5.5.1 Working Range and Working Speed is to Each Axes

		動 作 範 囲		動 作 速 度	
軸 番 号	軸 動 作	定 格	最大 (実測)	定 格	最大 (実測)
1	肩 旋 回	$\pm 45^{\circ}$	$\leq \pm 65^{\circ}$	20°/sec	25°/sec
2	肩 上 下	$+45^{\circ} \sim -30^{\circ}$	$+65^{\circ} \sim -30^{\circ}$	20°/sec	23.52°/sec
3	肘 上 下	$0^{\circ} \sim -90^{\circ}$	$0^{\circ} \sim -120^{\circ}$	30°/sec	31.3°/sec
4	前 腕 回 転	$\pm 90^{\circ}$	$\leq \pm 90^{\circ}$	45°/sec	58.18°/sec
5	手 首 上 下	$\pm 90^{\circ}$	$+92^{\circ} \sim 115^{\circ}$	45°/sec	56.4°/sec
6	手 首 回 転	$\pm 60^{\circ}$	${}^R73^{\circ} \sim {}^L70^{\circ}$	45°/sec	46.25°/sec
7	指 先 開 閉	0,60 mm	0,60.6 mm	60 mm/sec	—

表 5.5.2 各負荷時における各軸の動作範囲

Table 5.5.2 Working Range of Each Axes is to Each Load

軸番号 負荷重量	各 負 荷 時 動 作 範 囲 (°)					
	500 (g)	1000 (g)	1500 (g)	2000 (g)	2500 (g)	3000 (g)
1	$\pm 60^\circ$	左と同様	左と同様	左と同様	左と同様	左と同様
2	$+65^\circ \sim -30^\circ$	"	"	"	"	"
3	$0^\circ \sim -120^\circ$	"	"	"	"	"
4	$\leq \pm 90^\circ$	"	"	"	"	"
5	$+92^\circ \sim 115^\circ$	"	"	"	"	"
6	${}^R73^\circ \sim {}^L70^\circ$	"	"	"	"	"

表 5.5.3 各負荷時における各軸の動作速度

Table 5.5.3 Working Speed of Each Axes is to Each Load

軸番号 負荷重量	各 負 荷 時 動 作 速 度 (°/sec)					
	500 (g)	1000 (g)	1500 (g)	2000 (g)	2500 (g)	3000 (g)
1	21.11	21.76	21.05	21.58	21.90	21.05
2	23.16	24.74	23.53	20.45	22.11	22.22
3	30.00	29.57	30.00	28.95	29.41	27.14
4	56.36	56.00	54.17	57.00	56.00	56.25
5	50.00	50.00	52.94	51.07	51.18	48.64
6	46.00	45.00	47.50	46.32	46.15	45.83

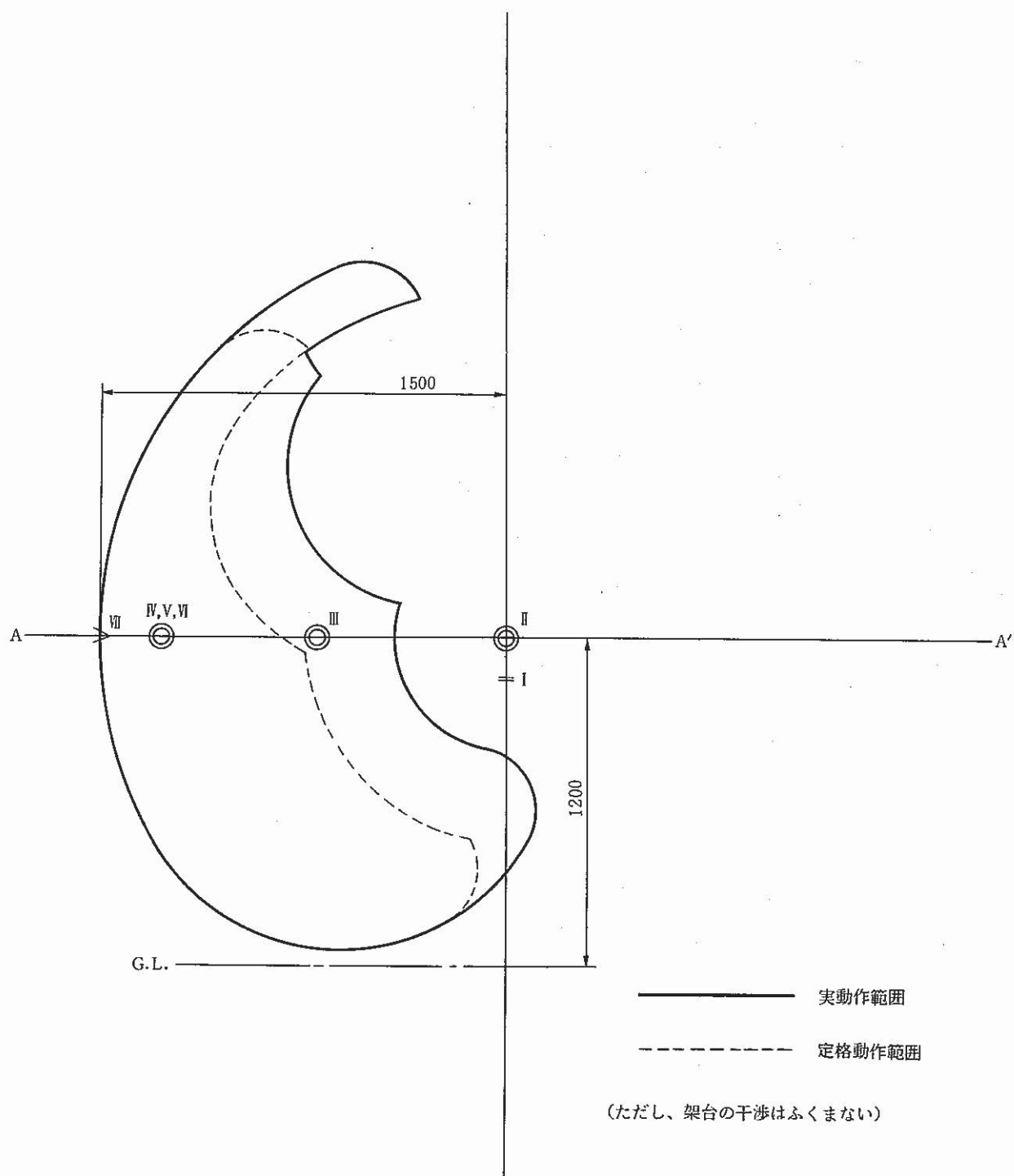


図 5.6.1 実動作範囲と定格動作範囲の比較(1)

Fig. 5.6.1 Comparison of Actual Working Range and Rated Working Range (1)

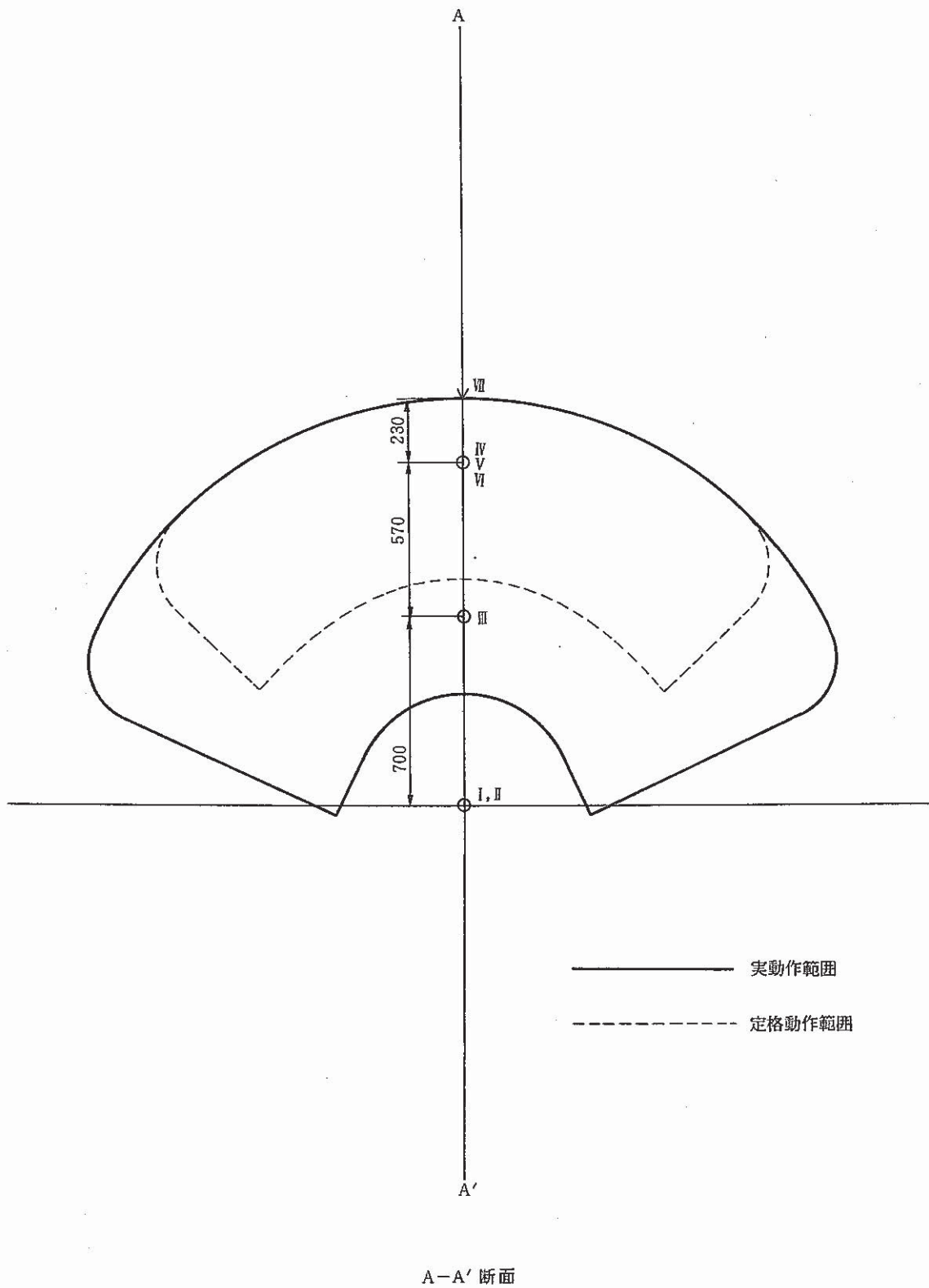


図 5.6.2 実動作範囲と定格動作範囲の比較(2)

Fig. 5.6.2 Comparison of Actual Working Range and Rated Working Range (2)

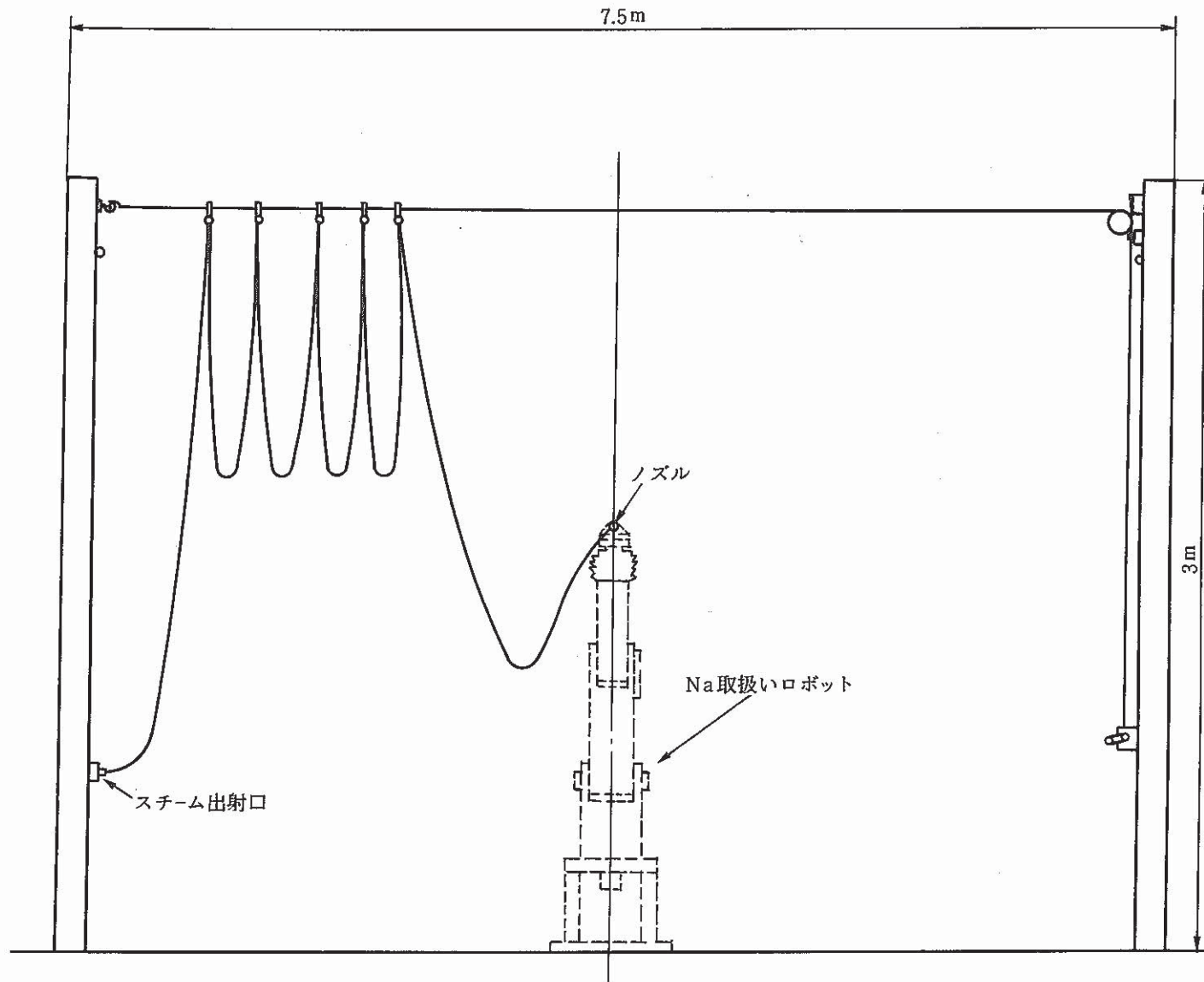


図 5.6.3 スチームノズル設置図

Fig. 5.6.3 Build Diagram of Steam-Nozzle

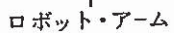


図 5.6.4 スチームノズル外観図

Fig. 5.6.4 Appearance of Steam-Nozzle

6. 今後の計画

実際の高速増殖炉プラントに於いてロボットを用いる場合、その必要な動作は使用目的により相違はあるが、例えばプラント異常時に於けるナトリウム回収作業、保温材脱着等の複雑な動作（手先の器用さ、各軸同時かつスムーズな動作等）が考えられる。このような動作を満足させるにはいくつかの要因が上げられる。

- ロボット（マニピュレータ）が多関節（多自由度）であること。

作業内容にもよるが、対象物へのアクセス、治工具等の取扱い等、かなりのフレキシビリティが要求されるため、多関節（7自由度以上）必要である。

- 手先の動作範囲が広くかつ器用であること。
- ロボットに移動機能があること。

ロボットが作業場まで移動する機能であり、その移動コースは狭隘かつ段差を乗り越える等が考えられ、これに対処できるものでなければならない。

- ロボットが小型・軽量であること。

高速増殖炉では軽水炉等と比べ構成機器が多くその作業場が狭隘なものになるために小型化・軽量化が必要である。

- ロボット（マニピュレータ）各構成軸が同時かつスムーズな動作が可能であること。
これに対処するにあたっては、アクチュエータ及び制御法の選択が重要である。
- ロボットが耐環境性に優れること。
- ロボット操作が遠隔で行えること。
- ロボットの動作及び作業場周辺をオペレータが認識できること。

などが考えられる。

今日試作したナトリウム取扱いロボットにその機能をあてはめてみると、多関節、手先の器用さ、スムーズな動作、遠隔操作、耐環境性（耐ナトリウム性のみ）については今後検討していく上での基礎的な機能は満足しており、又移動機能についても第3ステップにてその機能が加えられる。

ただし、先に述べた通りロボットの使用目的、作業内容等により要求される機能が違ってくるために、それらに対応する機能をもつロボットを開発していく必要がある。これは、例えばITV等により各構成機器を監視することが目的のロボットと、各種補修作業を目的とするロボットでは要求される機能がかなり違ってくるのがわかる。これらの機能を全て満足したロボットを用いようとする装置の大型化・重量化をまねく結果となりうるためである。

今後、本ナトリウム取扱いロボットにて得られた結果を基に、実際のプラントにロボットを

適用するために必要な動作，機能等を確認していく。又，装置の小型化，軽量化，耐環境性（耐放射線性，耐熱性等）等を図り，プラントに適用可能なロボットを開発していき，今後の遠隔保守補修技術へ反映していくものである。

7. 結 言

今回、高速増殖炉プラントの遠隔保守補修技術の開発の一環であるナトリウム取扱い等に関連したマニピュレーション技術の開発としてナトリウム取扱いロボットの試作を行った。以下に概要を示す。

- 操作方式としてマスタースレーブ方式を採用しており、制御方式は電動、位置、速度制御である。
- 使用雰囲気がナトリウム及びカセイソーダ飛沫ということでこれに耐えられる構造として、本体をステンレス板にてカバーし、直接ナトリウム及びカセイソーダが付着すると考えられる手先部分は全てステンレス材にて構成される。
- 自由度は7自由度で人間の腕に匹敵する3次元の動きが可能である。

以上により本ナトリウム取扱いロボットはその試作目的をほぼ満足しているといえる。

今後、第3ステップである走行装置の試作を行うと共に、ナトリウム取扱等に関連したマニピュレーション技術のレベルアップを図り、遠隔保守補修技術へ反映していくものである。

8. 謝 辞

ナトリウム取扱いロボットを製作していただいたオートマックス㈱の関係各位，並びに開発および試験に有意義なコメント等を頂いた機器構造開発部長，高荷 智氏をはじめ関係各位に深謝致します。

参 考 文 献

- (1) (財) 未来工学研究所, PNC SJ999 84-02 高速増殖炉に適用する遠隔保守点検技術の調査研究。
- (2) (財) 未来工学研究所, PNC SJ999 85-02 高速増殖炉に適用する遠隔保守点検技術の調査研究(Ⅱ)。

付録 ナトリウム取扱いロボット操作方法

以下にナトリウム取扱いロボット操作方法概要を示す。

1. システム結線

図 1 にナトリウム取扱いロボット結線図を示す。

(1) マスターアーム及びサーボアンプを用いる場合

マスターアーム及びサーボアンプを用いる場合は、図 5. 1. 1 の実線の示す通り結線する。

(2) スイッチボックスを用いる場合

上記結線よりマスターアーム及びサーボアンプを取りはずし、図 1 の点線で示す通りスイッチボックスを結線する。この場合電源はパワーアンプへ供給される。

2. 操作方法

(1) マスターアーム及びサーボアンプを用いる場合

① システム起動

結線が正しく行われたことを確認し、サーボアンプパネル面の電源スイッチを押すと約 3 秒でシステムが起動する。

(パワーアンプ POWER SWITCH が ON になっている事を確認してから行う)

システム起動時は常にラッチモードとなる。

尚、システム起動時は角度制御回路を構成するため、スレーブアーム姿勢と収納姿勢(サーボアンプパネル面の姿勢調整ボリュームにより設定)との間に誤差があると姿勢を修正するためにスレーブアームが自動的に動作するため、あらかじめ誤差が生じてないようにする。

② マスタースレーブモードでの操作要領

動作モードがラッチモードのときサーボアンプパネル面及びマスターアームに設置されているシステムスイッチを押し、次にどちらか一方を放すとマスタースレーブモードに変わる。動作モードはサーボアンプパネル面の表示灯で確認できる。

尚、動作モード切換え時にスレーブアーム姿勢とマスターアーム姿勢にずれがあると、切換え時にスレーブアームはマスターアームと同一の姿勢になろうとし、ずれの分だけ動作するため、サーボアンプパネル面の双針メータにてずれがないことを確認してからモード切換えを行う。

切換えが完了するとスレーブアームはマスターアームに追従して動作する。

1～3 軸及び 5 軸はマスターアームに対するスレーブアームの動作角度比が 1 : 1 で対応し、4, 6 軸はその対応をサーボアンプパネル面に設置されている調整ボリュームを調整することにより 1 : 1～1 : 2 の範囲で連続的に変化させることができる。

手先の開閉はマスターアームのトリガスイッチの引き離しで行え、開閉状態はサーボアンプパネル面の表示灯で確認できる。

尚、トリガスイッチには保持機能があり、トリガスイッチを引いた状態でロックピンを押すと手先を閉じた状態で保持できる。

③ ラッチモードでの操作要領

ラッチモードでスレーブアームを操作する場合、サーボアンプパネル面に設置されている姿勢調整ボリュームを調節することにより操作する。

手先の開閉はマスタースレーブモードと同様であり、マスターアームのトリガスイッチの引き離しによる。

尚、動作モード切換えはマスタースレーブモード時と同様である。

④ システムの停止

サーボアンプパネル面に設置されている電源スイッチ切を押すと、システムは停止する。システムの停止は動作モードをラッチモードに切換えてから行う。

(2) スイッチボックスを使用した場合

① システムの起動

- (a) RGSO SWITCH の OFF を確認する。
- (b) POWER SWITCH を ON にする。
- (c) ON LAMP の点灯確認及び E-LAMP の消灯を確認する。
- (d) RGSO SWITCH を ON にする。
- (e) DRIVE LAMP の点灯を確認する。
- (f) 7 軸用コンプレッサの起動を確認する。

② 操作要領

- (a) AXIS SWITCH を上下又は左右に動かすことによりスレーブアームが上下又は左右に動作する。
- (b) VELOCITY SWITCH を左右に回転させることにより動作速度を変化できる。

③ システムの停止

- (a) RGSO SWITCH を OFF にする。
- (b) DRIVE LAMP の消灯を確認する。
- (c) POWER SWITCH を OFF にする。

(3) E-LAMP 点灯時処置

① RGSO SWITCH を OFF にする。

(スイッチボックス使用時のみ)

② RESET SWITCH を ON にする。

- ③ E-LAMP の消灯を確認する。
- ④ RGSO SWITCH を ON にする。
(スイッチボックス使用時のみ)

尚、①～④の操作を行っても E-LAMP が消灯しない場合は、過負荷、ケーブルの断線、供給電源の異状のいずれかである。

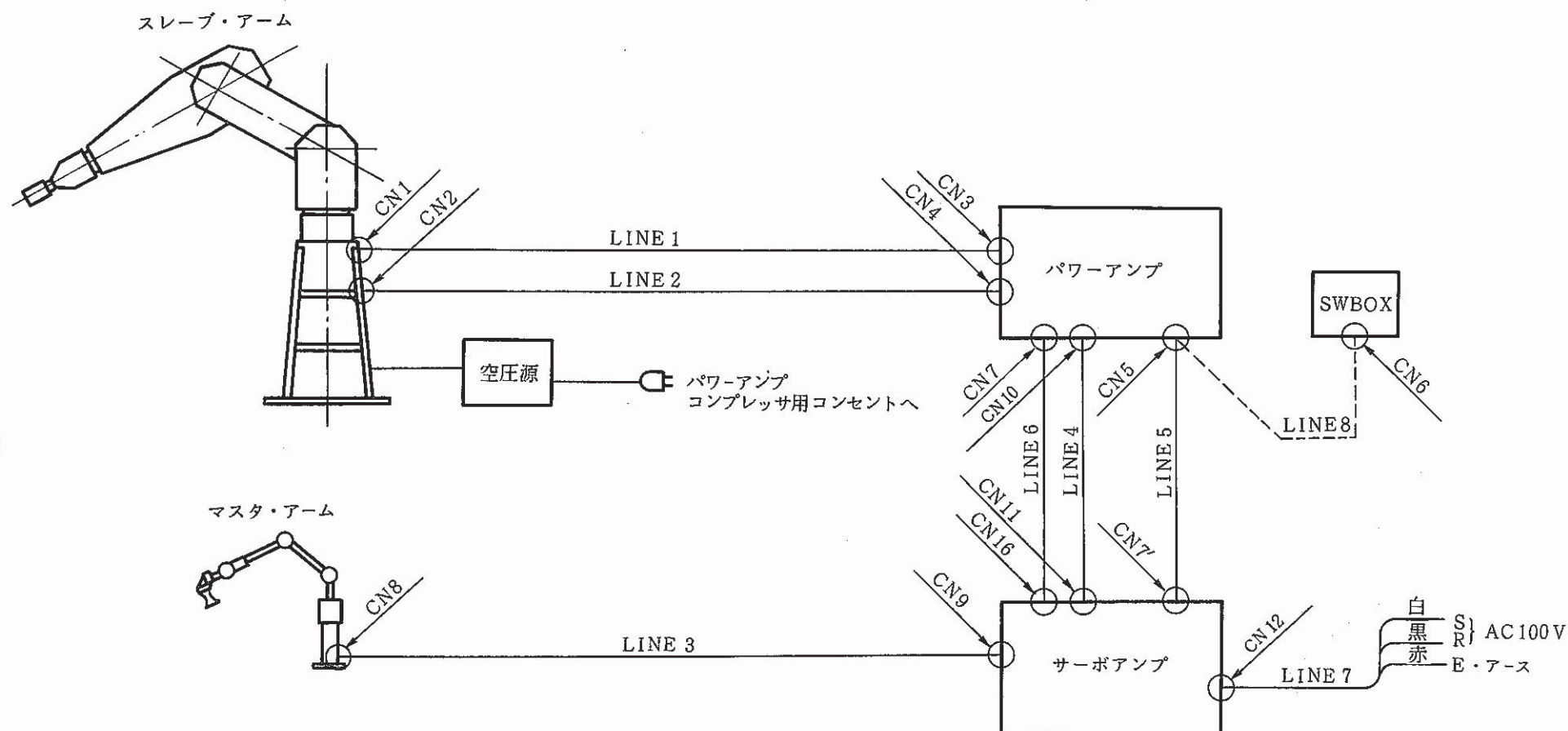


図1. ナトリウム取扱いロボット結線図

Fig. 1 Connecting Diagram of Sodium Handling Robot