

# 遠隔配管工事システムの開発 高度化設計

— 成 果 報 告 書 —

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1993年6月

三菱電機株式会社

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下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

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

1993年6月

遠隔配管工事システムの開発－高度化設計－  
成 果 報 告 書

津 谷 定 廣\* 竹 下 博 志\*  
枝 嶋 敏 数\*\* 本 岡 正 文\*\*

要 旨

再処理工場のセル内機器の保守、交換等に伴う作業における被ばくの低減、安全性の向上、作業時間の短縮、稼働率の向上等を図ることを目的に、配管類の切断、溶接等の作業に適用する遠隔操作型の作業ロボットの開発が行なわれてきた。

本高度化設計では、上記内容の成果を踏まえスペース削減等に関する見直しを行なうと共に遠隔操作における機能性、操作性、作業性の向上を図るために、ケーブルモジュールの共用化およびモノレール走行型視覚システムの設計を行い以下の成果が得られた。

(1) 各基本作業ユニットに使用しているケーブル・ホース類の整理を行ない、ケーブルモジュールの共用化設計をまとめた。

また、作業アームおよび連結部の構造についての設計を行ない、30%程度のスペースを削減することができる見通しを得た。

(2) セル内の配管等を利用して取り付け可能なモノレール走行型視覚システムの方式決定を行なうと共に走行車、レール、監視装置の設計を行ない実セル適用への可能性の見通しを得た。

この報告書は上記高度化に関する設計の成果について報告するものである。

---

本報告書は、三菱電機株式会社が動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契 約 番 号：O 4 C 3 2 5 2

事業団担当部課室：再処理技術開発部 機器材料開発室

\*：三菱電機株 制御製作所 原子力部原子力情報通信システム技術グループ

\*\*：三菱電機株 神戸製作所 電機製造部 エネルギー装置技術課

June 1993

DEVELOPMENT OF A REMOTE PIPING WORK SYSTEM - ADVANCED DESIGN -  
REPORT OF RESULTS

Sadahiro Tsutani \* Hiroshi Takeshita \*  
Toshikazu Edajima \*\* Masafumi Motooka \*\*

Abstract

The development and the evaluation tests of remote-controlled working robots, which are applied to the cutting, welding, and other works with the piping, were realized, aiming at reducing the exposure of workers to radiation, improving safety, shortening work time, upgrading operation rate, etc. regarding the maintenance, replacement, etc. of the units inside cell of the reprocessing plant.

For this advanced design, a review was tried about the possibility of space reduction, etc. based on the results from the above; and, at the same time, a study was made about the shared use of cable module and the design of the monorail traveling type visual system, aiming at improving the functionality, maneuverability, and workability of remote controlling thus obtaining the following results:

- (1) Cables and hoses used in each work unit were cut down in number, thus the contents of sharing plan of cables and modules were worked out.  
A conceptual design was tried regarding the structure of the work arm and the connecting part, as a result of which positive outlook for space saving was reached.
- (2) A suitable monorail travel type visual system, that can be mounted by using piping, etc. inside the cell, was determined; and, at the same time, a conceptual design of the inspection car, the rail, and the monitoring unit was tried, thus setting forth a goal for its application to an actual cell.  
This report is about the results of the design study concerning the advancement mentioned above.

---

This report summarizes the results of the work realized by Mitsubishi Electric Corporation in line with contract signed with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (PLN).

Contract No. : 04C3252

Section in charge at PLN : Components and Material Development Section  
Reprocessing Technologies Development Dept.

\* : Mitsubishi Electric Corporation  
Power & Industrial Systems Center, Nuclear Information & Communication Engineering Dept.

\*\* : Mitsubishi Electric Corporation  
Energy Equipment Technology Section, Electric Equipment & Apparatus Manufacturing Dept.

遠隔配管工事システムの開発 -高度化設計-  
成 果 報 告 書

目 次

1. まえがき	1
2. 実施概要	2
2.1 目的	2
2.2 内容	2
2.3 期間	2
2.4 体制	3
2.5 工程	4
3. 成果の概要	5
4. 実施内容及び成果	6
4.1 ケーブルモジュールの共用化に係る設計	6
4.1.1 ケーブル共通化検討	6
4.1.2 各ユニット取合部の検討	27
4.1.3 作業アームの検討	44
4.1.4 スペース削減化の検討	67
4.1.5 遠隔操縦装置の改造検討	72
4.2 モノレール走行型視覚システムに係る設計	82
4.2.1 現状分析	82
4.2.2 設置条件の検討	89
4.2.3 方式検討	90
4.2.4 設計	98
5. まとめ	126
6. あとがき	127
7. 謝辞	128

## 図、表 目 次

図-1	溶接ユニット用ケーブル	12
図-2	検査装置用ケーブル	13
図-3	基本作業ユニット識別用ケーブル	13
図-4	エアーホース接続	19
図-5	切断ユニットエアー系統図	21
図-6	配管把持治具エアー系統図	22
図-7	溶接ユニットエアー系統図	23
図-8	溶接仕上装置エアー系統図	24
図-9	検査装置エアー系統図	25
図-10	エアーパネル追加の場合の系統図	26
図-11	現在の連結器	30
図-12	同軸コネクタの構成図	36
図-13	作業アーム側連結器	37
図-14	基本作業ユニット側連結器	38
図-15	連結器組合せ図	39
図-16	クランプユニット・切断ユニット組合せ図	42
図-17	クランプユニット・溶接ユニット組合せ図	43
図-18	誤差吸収機構概要図	45
図-19	誤差吸収機構の動作	46
図-20	誤差吸収機構作用例1（切断ユニットの場合）	47
図-21	誤差吸収機構作用例2（クランプユニットの場合）	48
図-22	作業アームケーブルルート図（現状）	50
図-23	作業アームケーブルルート図（共通化ケーブル追加）	55
図-24	40極用の場合	56
図-25	大電流用の場合	56
図-26	同軸ケーブル用	57
図-27	エンコーダ用の場合	57
図-28	スイベルジョイント	57
図-29	スリップリング使用例	58
図-30	リフター内ケーブル配置図	59
図-31	共通化ケーブルリフター設置図	60
図-32	ケーブル配線図（現状）	62
図-33	ケーブル処理装置概念	63
図-34	ケーブル処理装置接続	65
図-35	ケーブル処理装置構造図	66
図-36	ケーブル処理装置の配置	66
図-37	ステーション配置案（現状と同様）	69

図-3 8	ステーションを移動させる場合（平面）	7 0
図-3 9	ステーションを移動させる場合（立体）	7 1
図-4 0	ケーブル配線図（ケーブル処理装置の追加）	7 3
図-4 1	使用可能ユニット表示概念図	7 4
図-4 2	現状のケーブル構成図	7 6
図-4 3	光通信時の構想図（基本作業ユニット）	7 8
図-4 4	光通信時の構想図（リフタ、作業アーム、視覚アーム）	7 9
図-4 5	視覚モジュール外形図	8 5
図-4 6	視覚アーム外形図	8 6
図-4 7	評価試験実施配置図	8 7
図-4 8	モノレール走行型視覚システム概念図	8 8
図-4 9	システム構成図	1 0 0
図-5 0	走行車側通信装置外形図	1 0 5
図-5 1	カメラ・通信・制御車概念図	1 0 8
図-5 2	カメラ・通信・制御車概略回路図	1 0 9
図-5 3	駆動・電源車概略回路図	1 1 1
図-5 4	モノレール方式	1 1 3
図-5 5	駆動・電源車概念図	1 1 5
図-5 6	レール基本構造図	1 1 7
図-5 7	レールモジュール	1 1 8
図-5 8	レール接続部概念図	1 1 9
図-5 9	レール取付構造検討図（2本配管）	1 2 0
図-6 0	レール取付構造検討図（1本配管）	1 2 1
図-6 1	操作監視盤外形図	1 2 3
図-6 2	操作パネル外形図	1 2 4
図-6 3	操作監視盤概略回路図	1 2 5

表－1	モックアップ試験実施体制表	3
表－2	実施工程表	4
表－3	基本作業ユニット用使用ケーブル 1	7
表－4	基本作業ユニット用使用ケーブル 2	8
表－5	現状の基本作業ユニットケーブル一覧表	9
表－6	基本作業ユニットケーブル接続部コネクタ	10
表－7	共通化後の基本作業ユニットケーブル一覧表	15
表－8	共通化ケーブルとして検討するケーブル	16
表－9	基本作業ユニット用使用ホース	17
表－10	共通化ホースの使用ユニット	19
表－11	現在の連結部に作用する負荷	28
表－12	自動着脱を検討するケーブル類	29
表－13	基本作業ユニット別使用ケーブル	29
表－14	オートツールチェンジャー市場品調査	32
表－15	連結器構造	33
表－16	自動着脱用コネクタ市場品調査	35
表－17	ケーブル共通化検討後の連結部に作用する負荷	40
表－18	ケーブルサイズ及び形状	51
表－19	ケーブル種類及び必要線数	52
表－20	ケーブルサイズ及び形状（共通化ケーブル分）	54
表－21	ケーブル種類及び必要線数	54
表－22	各ユニット構造案	68
表－23	移動方式比較表	90
表－24	給電方式比較表	91
表－25	視覚システムの必要機能	92
表－26	有線による伝送方式の比較表（1／2）	94
表－26	無線による伝送方式の比較表（2／2）	95
表－27	信号伝達方式の評価表	96
表－28	近接無線方式	96
表－29	モノレール型視覚システムの基本方式	97
表－30	カメラ比較表	102
表－31	通信装置仕様	106
表－32	モノレール方式の比較	114

## 添付資料一覧

### 添付資料－1 基本作業ユニットケーブル接続図

- 付図－1 切断ユニットケーブル接続図
- 付図－2 開先加工ユニットケーブル接続図
- 付図－3 配管把持治具ケーブル接続図
- 付図－4 溶接ユニットケーブル接続図（1／2）
- 付図－5 溶接ユニットケーブル接続図（2／2）
- 付図－6 溶接仕上装置ケーブル接続図
- 付図－7 検査装置ケーブル接続図
- 付図－8 クランプユニットケーブル接続図

### 添付資料－2 クランプユニットの共通化可否検討

- 付表－1 クランプユニット・切断ユニット使用手順
- 付表－2 クランプユニット・配管把持治具使用手順
- 付表－3 クランプユニット・溶接ユニット使用手順

### 添付資料－3 作業アーム用ケーブル

- 付図－9 ケーブル接続図（1／3）
- 付図－10 ケーブル接続図（2／3）
- 付図－11 ケーブル接続図（3／3）

### 添付資料－4 誤差吸収機構の軸径およびエアー作用径

## 1. まえがき

再処理工場では高放射性物質を取り扱うため、主要なプロセス機器類はコンクリートのセル内に設置され、多数の配管により接続されている。従って、これらプロセス機器類の保守に伴う交換等の作業は、被ばく防止の観点から長期間と多大の作業員を要し、結果として施設稼働率の低下とメンテナンス費用の増大をもたらすこととなる。

特にプロセス機器類の交換に不可欠な配管の切断、溶接作業は機器に接続する配管数も多くかつ極めて作業性の悪い状況下で実施することから、全体の作業期間の中でも大きなウエイトを占めるものであり、作業員の被ばくの低減および溶接等の熟練作業者の確保の観点からも早急な対応が要求されていた。

本「遠隔配管工事システムの開発－高度化設計－」では、これまでの成果をもとに、実セルへの適用を踏まえたより高度な遠隔システムを目指すものとし、ここでは、これまでの成果として挙げられた共通課題であるスペースの削減を目的としたケーブルモジュールの共用化による省スペース化並びにセル内状況の視認性向上を図るためのモノレール走行型視覚システムの設計検討を行なう。

## 2. 実施概要

### 2.1 目的

再処理工場のセル内機器の保守・交換等に伴うセル内作業における被ばくの低減、安全性の向上、作業期間の短縮、稼働率の向上等を図ることを目標に、これまで配管類の切断、溶接等の一連作業に適用する遠隔操作型の作業ロボットについて開発・評価試験を行ない、いくつかの課題を抽出することができた。

本高度化設計では上記課題を解決すべく、その第一ステップとしてケーブルモジュールの共用化およびモノレール走行型視覚システムの設計を行なうことにより、スペース削減に関する見直しおよび遠隔操作における機能性・操作性・作業性の向上を図ることを目的とした。

### 2.2 内容

本高度化設計では、これまでに実施した「遠隔配管工事システムの開発」の成果を踏まえ、ケーブルモジュールの共用化として各種基本作業ユニット用のケーブル共用化、作業アームと各基本作業ユニットの取合部検討、スペース削減の同目的に向けた解決のための見直し検討を実施した。

また、遠隔にて配管作業を実施する上で不可欠であるセル内状況および作業状況の視認性の向上を図るため、移動機能を持たせたモノレール走行型視覚システムの設計検討を実施した。

### 2.3 期間

本高度化設計は下記の期間で実施した。

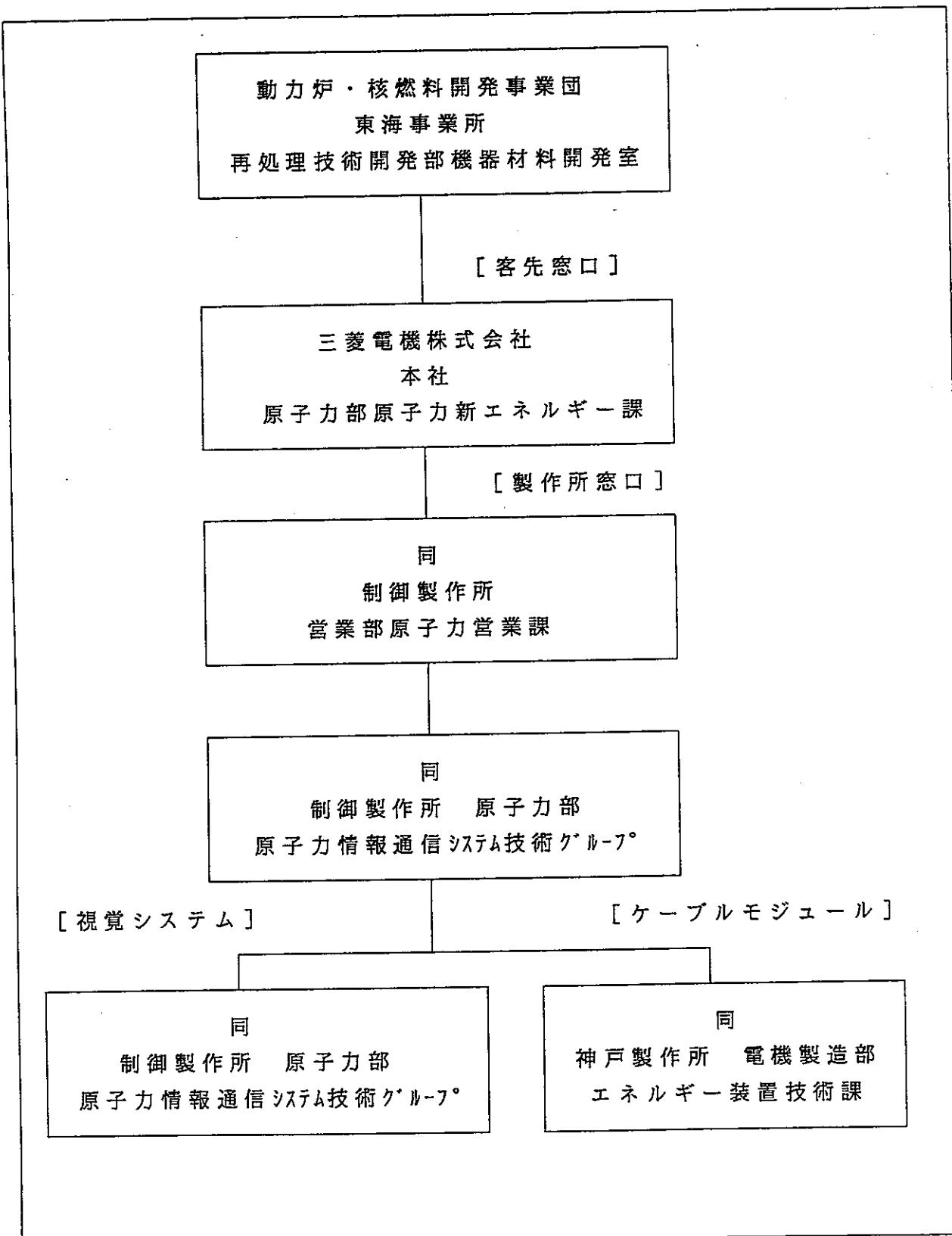
自 平成5年2月17日

至 平成5年6月18日

## 2.4 体制

本高度化設計は表-1に示す実施体制で実施した。

表-1 実施体制表



## 2.5 工 程

本高度化設計は表-2に示す工程で実施した。

表-2 実 施 工 程 表

項 目	年 月				
	H 5				
	2	3	4	5	6
実施計画書作成	—				
ケーブルモジュールの共用化 に係る設計		—			
モノレール走行型視覚シス テムに係る設計		—			
報告書作成				—	

### 3. 成果の概要

本高度化設計により得られた成果の概要を以下に示す。

#### 3.1 ケーブルモジュールの共用化に係る設計

これまでのシステム開発におけるケーブル類は、基本作業ユニット毎に設けられており、使用時には作業アームの移動に合わせてケーブルモジュールよりケーブルを送り出さなければならず作業が煩雑である上、ケーブルモジュールは基本作業ユニット毎に設けられているので、それによる場所の占有面積はシステム全体においても大きなウェイトを占めている。

上記課題を解決するため、ケーブルの複合化および作業アームへの収納、ケーブルモジュールの共用化による省スペース化を図り、遠隔操作の機能性、作業性の向上を図るためにケーブルモジュールの共用化について設計検討を実施し実用化への目途を得た。

#### 3.2 モノレール走行型視覚システムに係る設計

視覚システムについては、現在固定式であることから視点の位置を変えることができず、作業対象に対して死角が生じ易くなっている。

この死角を無くすためには、視覚用カメラに移動機能を持たせることが不可欠となるため、実セルにおいて実用性が高いと考えられるセル内空間をレールを利用して移動する機能を持たせたモノレール走行型視覚システムの設計検討を実施し実用化への目途を得た。

## 4. 実施内容及び成果

本高度化設計にて実施したケーブルモジュールの共用化とモノレール走行型視覚システムについての設計検討内容及びその成果について述べる。

### 4.1 ケーブルモジュールの共用化に係る設計

ケーブルの複合化及び作業アーム内への収納、ケーブルモジュールの共用化による省スペース化を行うことにより、遠隔操作の機能・作業性の向上を図るために以下の項目について設計検討を実施した。

#### 4.1.1 ケーブル共通化検討

各基本作業ユニット（以下ユニットと記載）に使用している電気ケーブル及びエアーホースについて、仕様、用途を整理して、それぞれのユニットに共通化できるケーブル類について検討した。

##### (1) 現ケーブル及びホース類の仕様、用途の整理

現在ユニットに使用しているケーブル及びホース類の仕様、用途について以下の内容について調査した。

###### (i) 各ケーブルの調査

各ユニットに使用しているケーブルについて、制御機器、ケーブルサイズ、用途についてまとめた。調査結果を表-3～4に、また配線接続図を添付資料-1に示す。これらの使用ケーブルのユニット毎の使用本数を表-5にまとめた。

クランプユニットは、切断ユニット・配管把持治具及び溶接ユニットと同時に使用するため、これらについてその共通化の可否について検討を行った。

その検討の結果、以下に示す作業時に配管把持治具の電気ケーブル及びエアーを使用するので、共通化ユニットに組み込まないことにした。

（詳細は添付資料-2参照）

- ① 配管把持治具で被切断管を取り出す時に、クランプユニットの電気ケーブルとエアーを同時に使用する。
- ② 配管把持治具で新配管をクランプユニットに把持させる時も、同時に電気ケーブルとエアーを使用する。

尚、クランプユニットについては、共通化ユニットに組み込まないことにしたが、使用ケーブルについては参考までに記載した。

表-3 基本作業ユニット用使用ケーブル1

基本作業 ユニット	使用部品	数	部品メーカー (形番)	電圧 電流A (最大)	用途	使用ケーブル ㎟² × 本
切断 ユニット	ソレノイドバルブ	4	焼結金属 (VZ-2220-1M)	AC100V 0.035 (0.045)	クランプ開閉	1.25×5
開先加工 ユニット	直流サーボモータ	1	山洋電気 (R720-002)	DC75V 3.6(28)	刃物駆動用	1.25×2
	直流サーボモータ	1	山洋電気 (R511-002)	DC75V 2.1(20)	クランプ用	0.75×2
	リミット	1	オムロン (V-5L)	AC250V 微小(5)	アンクランプ検出	0.75×2
	スイッチ	2	オムロン (A3AT90C1)	AC125V 微小(5)	手元スイッチ	0.75×3
	直流ソレノイド	1	TRI TOOL (MODEL V-5L)	DC18V 微小(3)	バイト送り	0.75×2
	リミット	1	TRI TOOL	-	バイト送り	0.75×2
配管把持 治具	ソレノイドバルブ	2	焼結金属 (VZ-2220-1G9)	AC100V 0.035 (0.045)	クランプ開閉	1.25×3
溶接 ユニット	モータ	1	日本サーボ (SR-1G)	DC 0.06	トーチ位置調整	0.75×3
	TG付DCモータ	1		DC 微小	ワイヤー送給用	0.75×12
	TG付DCモータ	1		DC 微小	ヘッド回転用	
	DCモータ	1		DC 微小	アーケ長制御用	
	リミット	1		DC 微小	トーチ位置検出	
	ソレノイドバルブ	2	焼結金属 (VZ-2220-1M)	AC100V 0.035	クランプ開閉 (手元スイッチ)	0.75×2
	溶接トーチ	1	三菱電機 (MO-NG)	AC3300V 150	溶接用	22×1
		1	三菱電機 (MO-NG)	AC3300V 53	AVC検出	3.5×1

表-4 基本作業ユニット用使用ケーブル2

基本作業 ユニット	使用部品	数	部品メーカー (形番)	電圧 電流A (最大)	用途	使用ケーブル mm <sup>2</sup> × 本
溶接仕上 装置	ブレーキ付モータ	1	オリエンタル (3RK15GN)	AC100V 0.42	ヘッド回転用	1.25×5
	モータ	2	オリエンタル (3TK6GN)	AC100V 0.75	布駆動用	1.25×6
	ソレノイドバルブ	4	焼結金属 (VT301-011G)	AC100V 0.12	洗浄液用	1.25×2
	モータ、タイマー	1	トミケンジャニアリング (TOM-100)	AC100V 微小	処理液塗布用	1.25×4
	近接スイッチ	4	オムロン (TL-XR8C1)	DC24V 0.5 mA	ヘッド位置	0.75×6
検査装置	スッテピングモータ	1	オリエンタル (UMD 264-A)	AC100V 25mA	センサー移動	0.5×5
	スッテピングモータ	1	オリエンタル (UMD 268-A)	AC100V 25mA	センサー移動	0.5×5
	ロータリエンコーダ	1	オムロン (E6A2-CW3C)	DC30V 30mA	センサー位置検出	0.5×4
	リミットスイッチ	4	オムロン (SS-3L255)	DC30V 3	センサー限界	0.5×5
	スイッチ	1	フジソク (8E1011)	手元操作用 微小		0.5×1
	センサー	1	三菱電機 (5Z14X5A45)	センサー用 微小	高周波同軸 ケーブル (RG-196A/U)	
クランプ ユニット	直流サーボモータ	2	山洋電気 (R 506B-12)	DC75V 1.3(12)	クランプ用	0.75×8
	ブレーキ付 ソレノイドバルブ	2	焼結金属 (VZ2220-1-1M)	AC100V 0.12	管突合せ用	0.75×3
	リミットスイッチ	2	オムロン (V5L22K55W)	AC250V 5	クランプ検出	0.75×4
	スイッチ	4	オムロン (A3AT90C1)	AC125V 3	手元スイッチ	0.75×6
	溶接トーチ	1	三菱電機 150	AC3300V 53	溶接用	28×1
		1	三菱電機	AC3300V 53	AVC検出	3.5×1

表-5 現状の基本作業ユニットケーブル一覧表

(ii) 使用コネクタの調査

ケーブル接続部のコネクタの仕様について表-6にまとめた。

尚、エアーホースはすべてホース継手（焼結金属）を使用している。

表-6 基本作業ユニットケーブル接続部コネクタ

基本作業 ユニット	部品	数	仕 様				備 考
			部品メーカー	形番	電圧(V)	電流(A)	
切断ユニット	コネクタ	1	七星科学	NCS-257-P	250	5	
開先加工 ユニット	コネクタ	4	七星科学	NCS-142-Ad	125	5	
	コネクタ	1	七星科学	NJS-207-AdM	250	10	
配管把持治具	コネクタ	1	七星科学	NCS-254-R	250	10	
溶接ユニット	コネクタ	1	七星科学	NCS-257-Ad	250	5	制御ケーブル
	コネクタ	1	多治見	PRC04-23A 20S-12M			制御ケーブル
	圧着端子	1		38-10			アーク電圧
	ねじ込み	1					ガス・パワー
溶接仕上装置	コネクタ	1	日本航空電子	MS3102A-28	500	13	
検査装置	コネクタ	2	日本航空電子	SRCB2A16 -14s	250	5	
	コネクタ	16					センサー用
クランプ ユニット	コネクタ	3	七星科学	NCS-164-Ad	125	5	
	コネクタ	2	七星科学	NJC-207-AdM	250	10	

## (2) ケーブル類の共通化検討

各ユニットに使用しているケーブルの調査結果をもとに、共通化するために以下の検討を実施した。

### (i) ユニット毎でのケーブル要否の見直し

各ユニットに使用しているケーブル類について、添付資料-1の接続図を参考して、遠隔作業に不要な手元スイッチ用ケーブル及びリミットスイッチの共通線使用による削減を検討した。

①切断ユニット：手元スイッチはソレノイド回路に組み込まれているので現状どおり。

#### ②開先加工

ユニット：手元スイッチが単独であるので削減可能 -----  $0.75\text{mm}^2 \times 3$ 本減  
リミットスイッチの共通線を削減可能 -----  $0.75\text{mm}^2 \times 2$ 本減

③配管把持治具：手元スイッチがなく削減できるものがないので現状どおり。

④溶接ユニット：手元スイッチはソレノイド回路に組み込まれているので現状どおり。

⑤溶接仕上装置：手元スイッチがなく削減できるものがないので現状どおり。

⑥検査装置：手元スイッチが単独であるので削減可能 -----  $0.75\text{mm}^2 \times 1$ 本減

#### ⑦クランプ

ユニット：手元スイッチが単独であるので削減可能 -----  $0.75\text{mm}^2 \times 3$ 本減  
リミットスイッチの共通線を削減可能 -----  $0.75\text{mm}^2 \times 1$ 本減

### (ii) 電線サイズの見直し

切断ユニット、配管把持治具、溶接仕上装置用のケーブルサイズについては、使用部品許容電流値より  $1.25\text{mm}^2$  を  $0.75\text{mm}^2$  に小さくできる。

検査装置については、使用ケーブルサイズ  $0.5\text{ mm}^2$  を種類削減のため上記  $0.75\text{mm}^2$  に合わせる。

### (iii) 用途別見直しについて

各ユニット毎に動力用（モータ駆動用）及び、制御用（リミット、ソレノイド）とがあり、共通化にあたっては、それぞれ動力用及び制御用別に使用するとして使用本数をまとめた。

#### (iv) 専用ケーブルの共通化検討

共通化を検討するユニットの中で、溶接ユニット及び検査装置にはモータ駆動用及び制御用ケーブル以外の専用ケーブルがあるので、それについて共通化の可能性について検討する。

##### (a) 溶接用ケーブルの共通化

溶接用に使用しているケーブルを図-1に示す。溶接用ケーブルには、アースガスとパワーケーブルを一体化したケーブルを使用している。共通化にあたり現状のケーブルを使用する方法と機能を分離する方法があるが、連結部の接続方法を考慮して可能性のある分離方法で検討を進める。

アース側は、同じ機能の溶接用ケーブルが必要である。現状は、クランプユニットに取り付けており、クランプユニットは共通化より除外しているので、現状どおりクランプユニットに取り付けた方式とする。

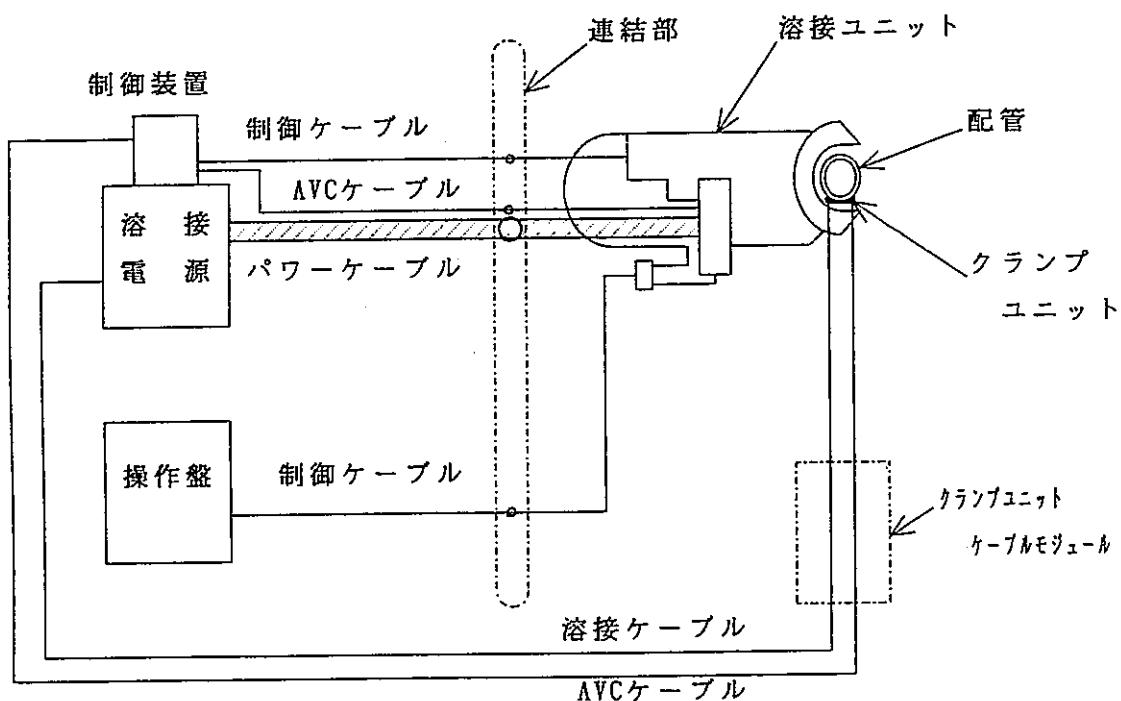


図-1 溶接ユニット用ケーブル

### (b) 検査装置用ケーブルの検討

検査装置に使用しているケーブルを図-2に示す。検査装置用センサーケーブルには、高周波同軸ケーブル(RG-196A/U)を使用している。同軸ケーブルは他ユニットと同時に使用することなく溶接電流等の影響を受けないので、専用ケーブルとして、共通化の検討を行う。

コネクタは同軸コネクタを使用している。コネクタについては、同軸又は標準多極コネクタを連結部に使用するとして検討を進める。

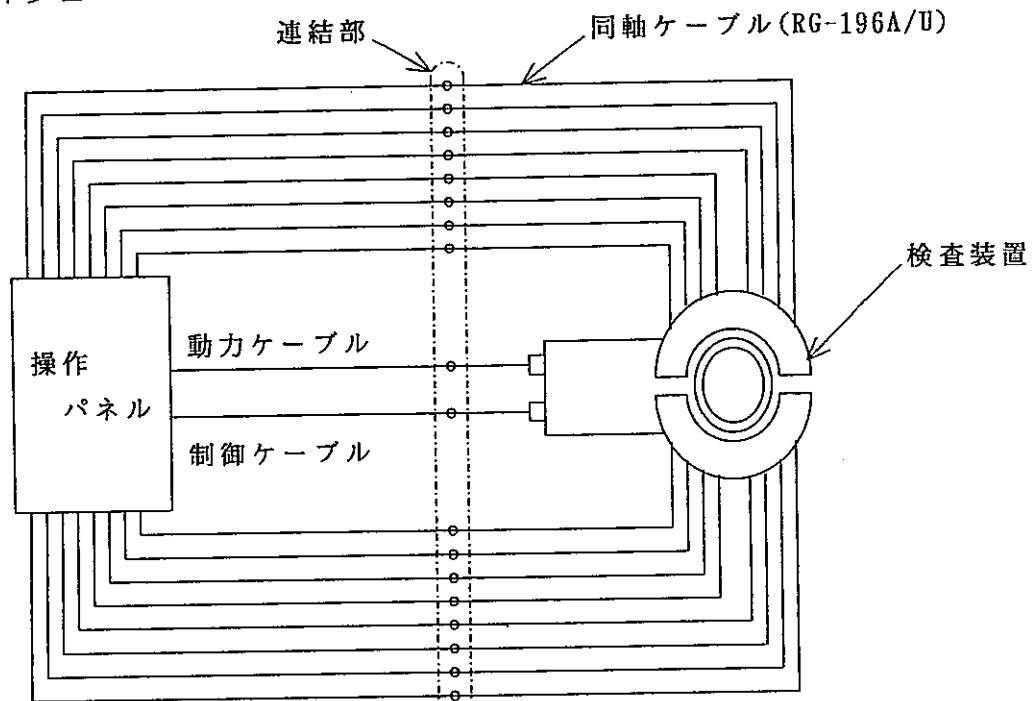


図-2 検査装置用ケーブル

### (v) 識別用ケーブル

6種類のユニットを識別するための制御ケーブルを7本必要とする。制御ケーブルは図-3に示す各ユニット用6本と共通線1本である。

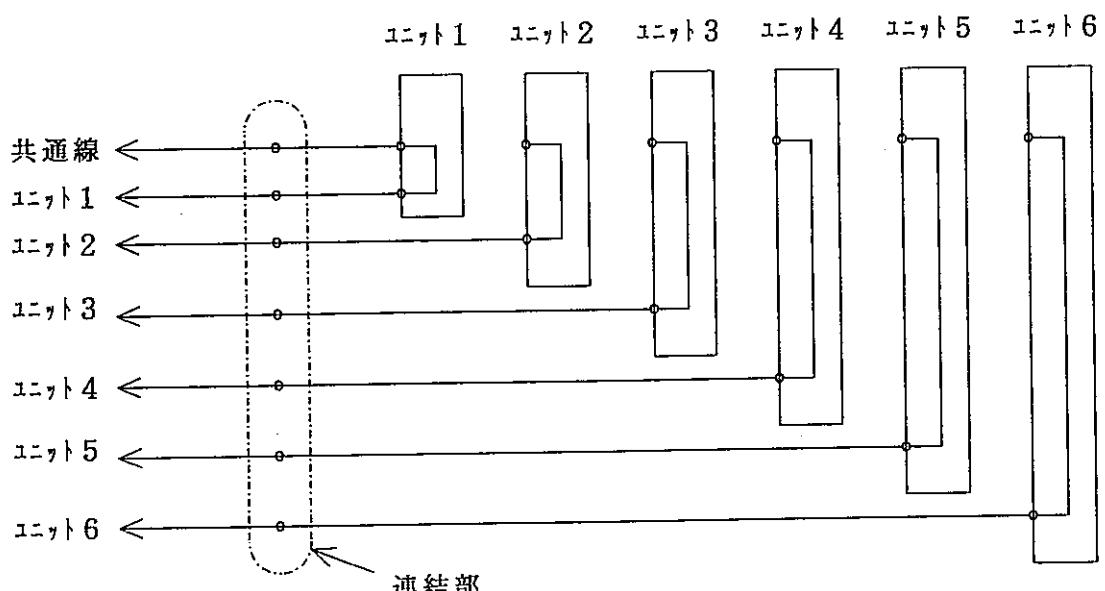


図-3 基本作業ユニット識別用ケーブル

(vi) 共通化ケーブルのまとめ

以上の検討結果より、各ユニット毎に必要なケーブル本数の見直し結果を表-7にまとめた。表-7より、動力・制御用ケーブルの必要数は33本で、導体寸法 $1.25\text{mm}^2 \times 2$ 本と $0.75\text{mm}^2 \times 31$ 本を必要とする。実用上は数本の予備線を必要と考えられるので、 $1.25\text{mm}^2 \times 3$ 本、 $0.75\text{mm}^2 \times 33$ 本、合計36本以上として検討を進める。

また専用ケーブルとしては、溶接用の溶接ケーブルとアーク電圧検出ケーブルが各1本、検査装置用センサーケーブルが16本必要である。これら作業アームに組み込むケーブルについて表-8にまとめる。

表-7 共通化後の基本作業ユニットケーブル一覧表

基本作業 ユニット	動力・制御用ケーブル						溶接用			計測用	
	1.25 mm <sup>2</sup>		0.75 mm <sup>2</sup>		0.5 mm <sup>2</sup>		3.5 mm <sup>2</sup>	ガスパワー・ケーブル	溶接ケーブル		
	動力用	制御用	動力用	制御用	動力用	制御用					
切断ユニット	-	-	-	5+1 <sup>*1</sup>	-	-	-	-	-	-	
開先加工ユニット	2	-	2	4+1 <sup>*1</sup>	-	-	-	-	-	-	
配管把持治具	-	-	-	3+1 <sup>*1</sup>	-	-	-	-	-	-	
溶接ユニット	-	-	13	4+1 <sup>*1</sup>	-	-	1	1	-	-	
溶接仕上装置	-	-	15	8+1 <sup>*1</sup>	-	-	-	-	-	-	
検査装置	-	-	10	9+1 <sup>*1</sup>	-	-	-	-	-	16	
クランプユニット	-	-	(8)	(6)	-	-	1	-	1	-	
識別用ケーブル	-	-	-	+7 <sup>*2</sup>	-	-	-	-	-	-	
共通	2	-	15	16 <sup>*3</sup>	-	-	1	1	-	16	

\*1：各ユニット毎にユニット識別用ケーブルが1本必要

\*2：識別用ケーブルはユニット用6本と共通線1本が必要

\*3：検査装置用の9本と識別用ケーブルの7本を合計した本数

表-8 共通化ケーブルとして検討するケーブル

項目 種類	用 途	仕 様	必要本数
動力・制御用 ケーブル	動 力 用	電流 5 A (1.25mm <sup>2</sup> )	3 本*
	動 力 用	電流 3 A (0.75mm <sup>2</sup> )	1 6 本*
	制 御 用	電流 1 A (0.75mm <sup>2</sup> )	1 7 本*
溶接用	溶 接 用	電流 150 A 電圧 3300 v	1 本
	アーク電圧	電流 53 A 電圧 3300 v	1 本
計測用	同軸ケーブル	インピーダンス 50 Ω	1 6 本

\* 予備線用として表-7に対して各1本プラスしている。

(3) エアーホースの共通化検討

エアーホースは、焼結金属製のソフトナイロンチューブを使用している。現状の使用ホース仕様、用途、サイズについて調査し、これらのエアーホースについて共通化検討を実施した。以下に検討内容を示す。

(i) エアーホース類の調査

エアーホース類について仕様、用途、ホースサイズについて表-9にまとめた。

表-9 基本作業ユニット用使用ホース

基本作業 ユニット	仕様部品	数	仕 様		使用圧力 kg/cm <sup>2</sup>	用 途	使用ホース 外径×内径-本数 単位 mm
			部品メーカー	形 番			
切断ユニット	エアーソー	1	国際総興	ITI-45	7	切断鋸用	D12×d9-1
	エアーシリンダ	2	焼結金属	CQ1B50-40D	7	クランプ用	D6×d4-1
	エアーシリンダ	1	焼結金属	CQ1B32-20D	7	鋸送り用	D6×d4-1
配管把持治具	エアーシリンダ	1	焼結金属	CQ1B80-20D	7	クランプ用	D6×d4-1
溶接ユニット	エアーシリンダ	1	焼結金属	CQ1B80-20D	7	クランプ用	D6×d4-1
	溶接トーチ	1	三菱電機		2	溶接アルゴンガス用	
溶接仕上装置	ノズル	1	いけうち	H M - 3	2以上	洗浄液噴霧用	D10×d7-1
検査装置	エアーシリンダ	1	焼結金属	CQ2B50-25DM	7	検査センサ用	D8×d6-2
	エアーチャック	2	平井研究所	VERA3-20	7	クランプ用	D8×d6-2
クランプ ユニット	エアーシリンダ	1	焼結金属	CQ1B40-20D	7	クランプ用	D6×d4-1

## (ii) ユニット毎での使用サイズの見直し

現在各ユニットのエアーホースのサイズは4種類を使用している。共通化にあたり、ホースサイズの見直しによる削減を検討した。

### (a) 切断ユニット

エアーシリンダ用（クランプ用）として外径 $\phi 6\text{ mm}$ ×内径 $\phi 4\text{ mm}$ （以下D6×d4と記載）を2本、エアーソー用として D12×d9を1本使用している。D6×d4を種類削減のために他ユニットに合わせて大きくすることは、エアーシリンダの機能上可能である。

### (b) 開先加工ユニット

エアーホースを使用していない。

### (c) 配管把持治具

エアーシリンダ用（クランプ用）としてD6×d4を1本使用している。上記(a)と同様にD6×d4を種類削減のため他ユニットに合わせて大きくすることは可能である。

### (d) 溶接ユニット

エアーシリンダ用（クランプ用）としてD6×d4を1本使用している。D6×d4は種類削減のため、上記(a)と同様に大きくすることは可能である。

溶接ユニット用アルゴンガスのパワーガスケーブルは内径が約 $\phi 7\text{ mm}$ である。D12×d9または、D10×d7の使用も可能なので、切断ユニットに使用しているD12×d9を共用するとして検討を進める。この場合パワーガスケーブルの代わりにパワーケーブルを使用する。

### (e) 溶接仕上装置

洗浄液噴霧用として D10×d7を1本使用している。メーカーのカタログによれば、内径 $\phi 5\text{ mm}$ まで可能なので、ホースサイズD8×d6が使用できる。

### (f) 検査装置

エアーシリンダ用としてD8×d6を4本使用している。エアーシリンダの機能上、D6×d4に小さく又は D12×d9に大きく変更可能である。

検査装置のエアーリード（ソレノイドバルブ）の取付けは、ユニット側でなく検査データ処理装置に配置しているため、ホースを4本使用している。ユニット側に配置するなら2本に減少できる。ただし、ユニットの重量が増加すること及び制御ケーブルが5本増加するので、エアーホースが4本必要であるとして進める。

### (iii) ホース共通化のまとめ

以上の調査より使用ホースを整理すると① D12×d9が1本、②D8×d6が1本  
 ③D6×d4が2本で合計4本（3種類）となる。これらを共通化ホースとして使用するユニットについて表-10にまとめた。

表-10 共通化ホースの使用ユニット

種類	切断ユニット	配管把持治具	溶接ユニット	溶接仕上装置	検査装置	必要本数
① D12×d9	●		●		●	1本
② D8×d6	●			●	●	1本
③ D6×d4		●	●		●	2本
D6×d4	●				●	
合計	3本	1本	2本	1本	4本	4本

使用ホースを●印で示す。

これらホースの使用方法については、現状のエアーパネルを使用する方法とエアーパネルを追加する方法がありそれぞれについて以下に示す。

#### (a)現状のエアーパネルを使用する場合

現状のエアーパネルを使用する場合は、図-4に示す様に共通化ホース接続時に各ユニットエアーパネル部を手動で切り替える方法となる。

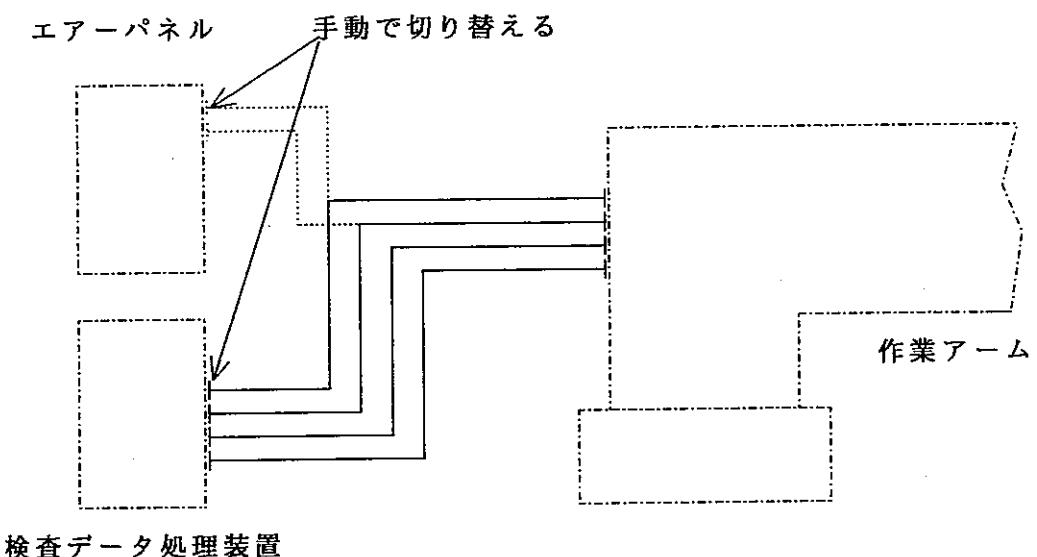


図-4 エアーホース接続

各ユニット毎の系統を以下に示す。

①切断ユニット（図－5 参照）

エアーソー用として D12×d9を 1本使用する。溶接ユニットガスケーブル用としても使用するため、アルゴンガスラインとの切り替えを行う。

クランプ及び鋸送り用としてD6×d4を 2本使用する。使用しないラインは、各ユニット側又はパネル側（エアー源側）を止栓で閉じる。本検討では連結部コネクタに圧力保持を必要としないパネル側を閉じる方法とする。他ユニットについても、同様にパネル側を閉じる。

②配管把持治具（図－6 参照）

配管クランプ用としてD6×d4を 1本使用する。

③溶接ユニット（図－7 参照）

配管クランプ用としてD6×d4を 1本使用する。アルゴンガス用として、 D12×d9を 1本使用する。切断ユニットエアーソーとの切り替えを行う。

エアーソーのラインには、エアーパネル側に電磁弁があるので止栓は不要。

④溶接仕上装置（図－8 参照）

洗净液噴霧用としてD8×d6を 1本使用する。

⑤検査装置（図－9 参照）

配管クランプ及びセンサー用として、D6×d4を 2本、D8×d6を 1本、 D12×d9を 1本使用する。

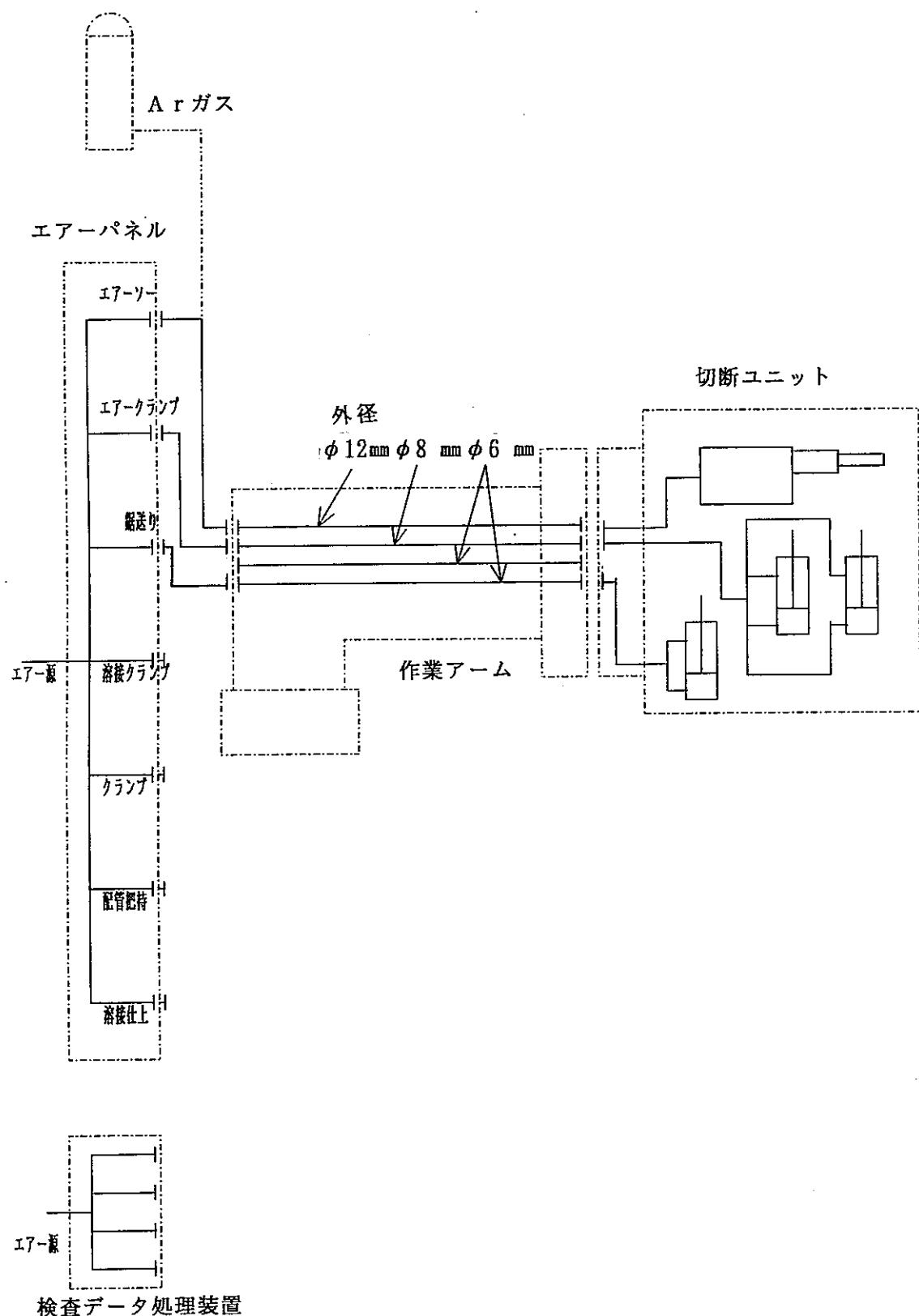
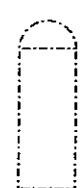
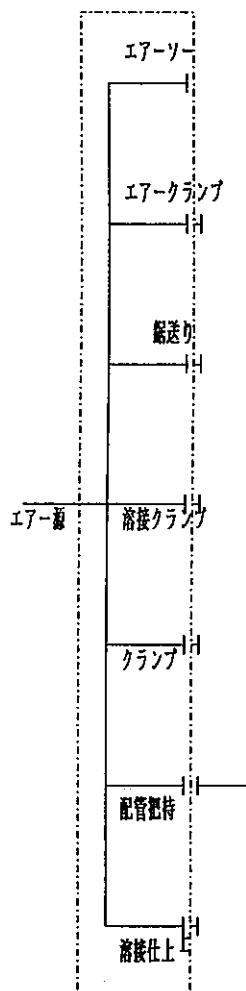


図-5 切断ユニット エアー系統図



Arガス

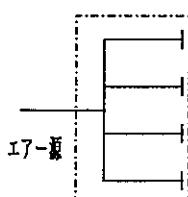
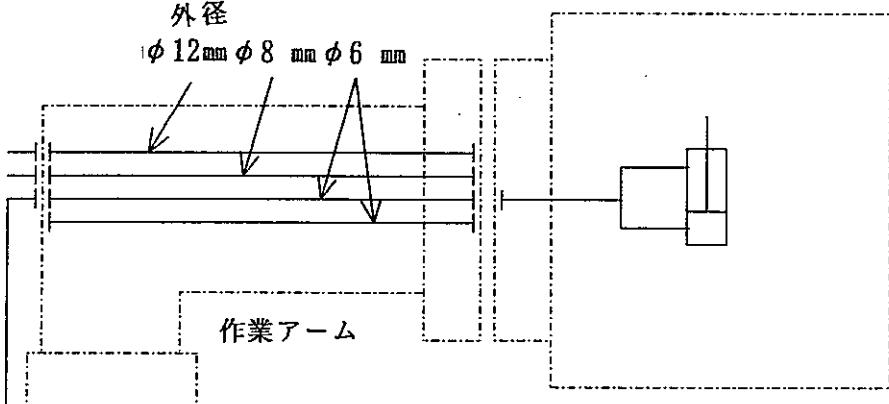
エアーパネル



外径

$\phi 12\text{mm}$   $\phi 8\text{mm}$   $\phi 6\text{mm}$

配管把持治具



検査データ処理装置

図-6 配管把持治具 エアー系統図

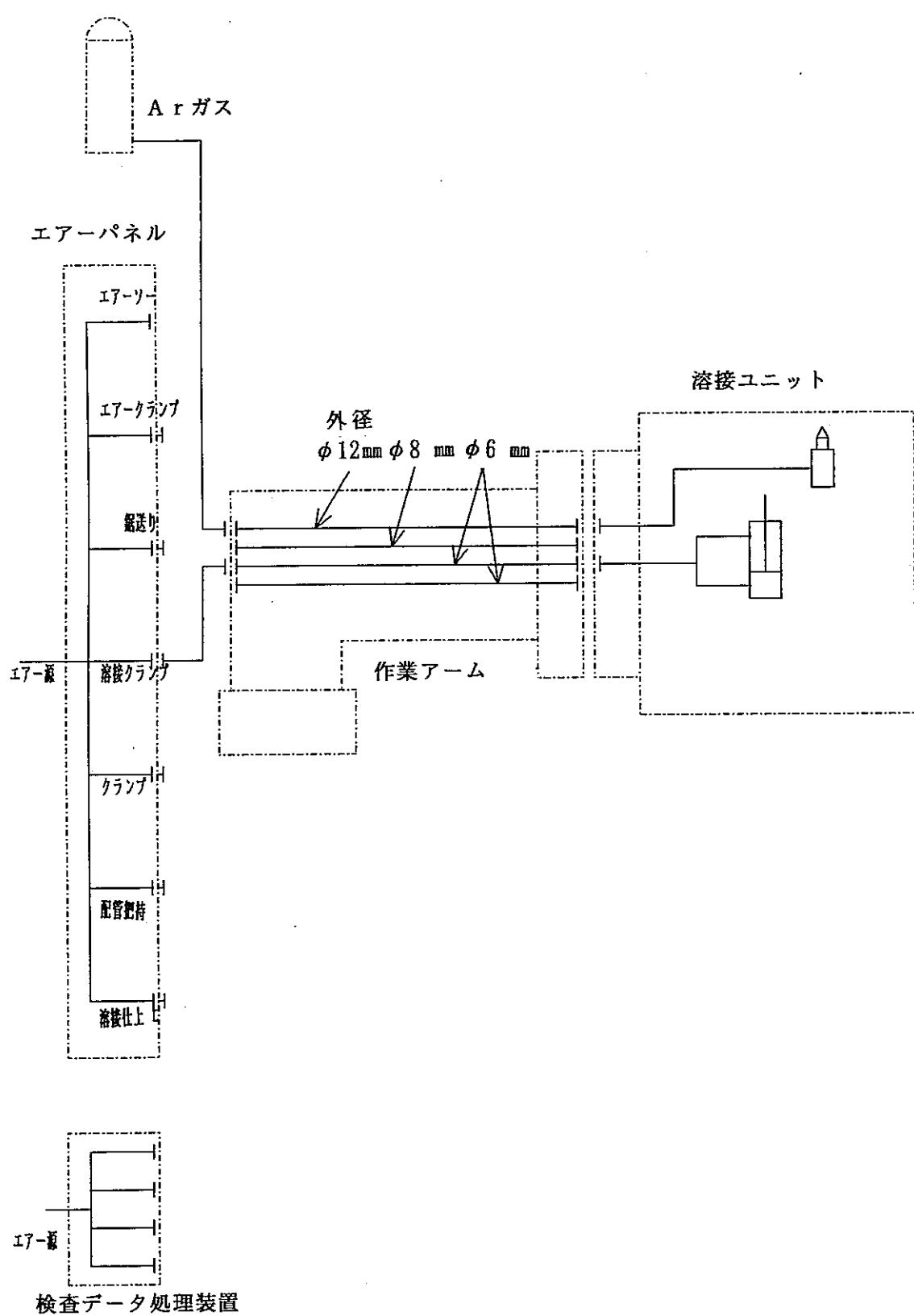
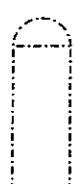
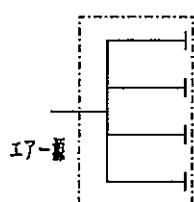
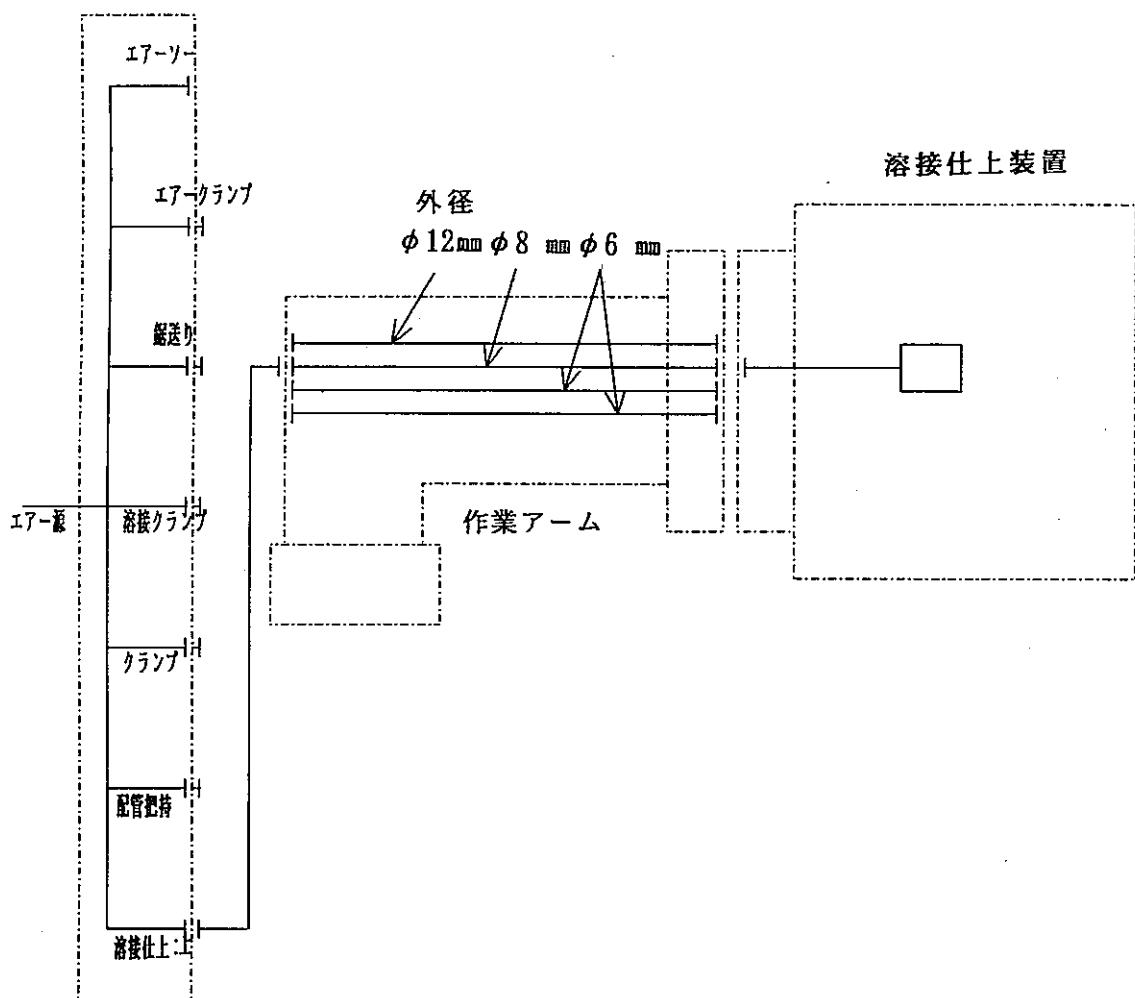


図-7 溶接ユニット エアー系統図



A<sub>r</sub>ガス

エアーパネル



検査データ処理装置

図-8 溶接仕上装置 エアー系統図

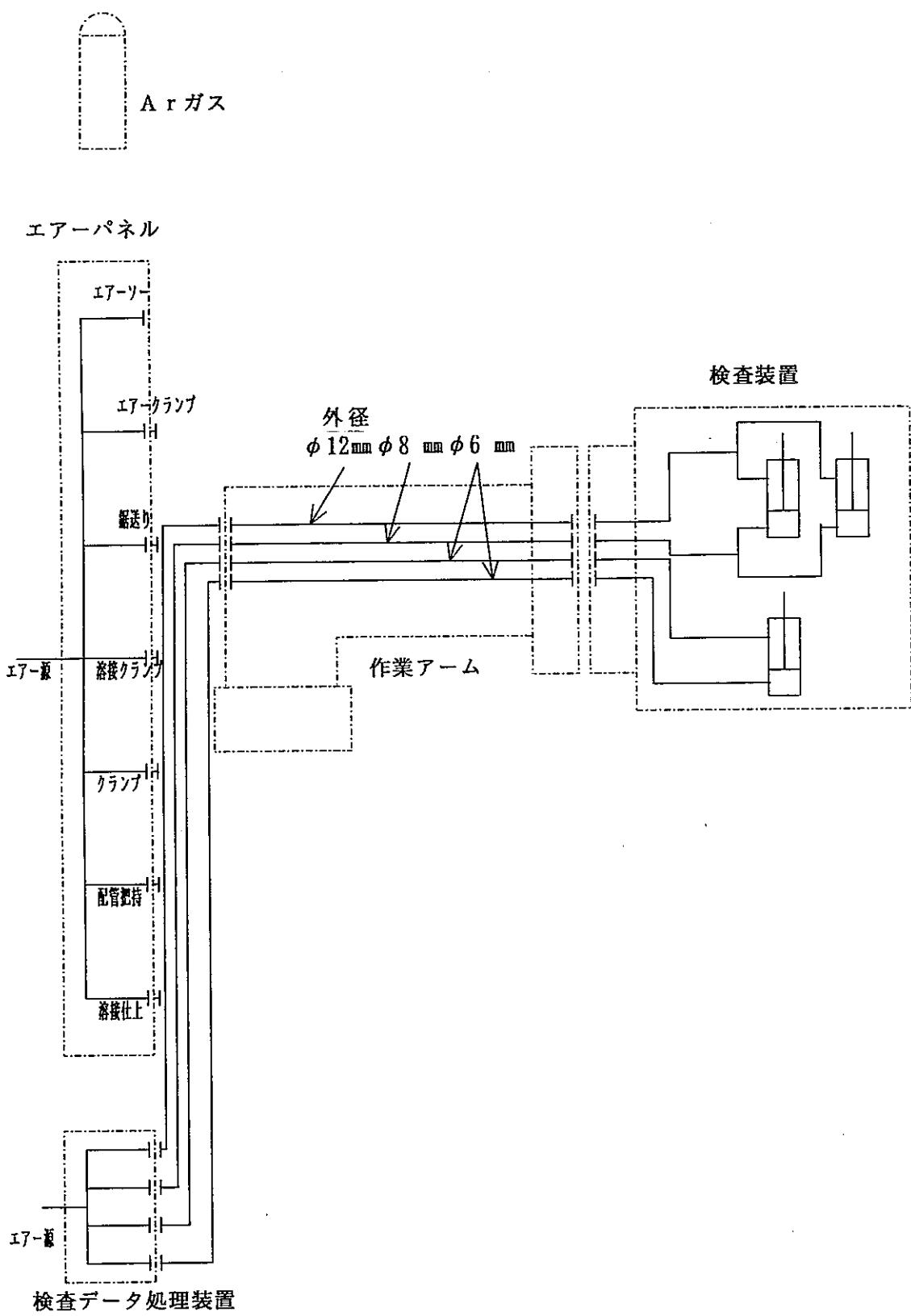


図-9 検査装置 エアー系統図

### (b) エアーパネルを追加する方法

エアーパネル部を手動でなく自動で切り替える方法について以下に示す。

自動切り替え方法では、現状のエアーパネルと作業アームとの間にエアーコントロール弁を追加する。表-10より各ホースは、2～3種類のユニットを共用化しているが、3種類のユニットより1本のホースを選択する制御弁がないので、各ユニットにそれぞれ制御弁を取り付け、ユニットラインの制御弁のみを作動させて使用する。制御弁を追加する場合の系統図を図-10に示す。

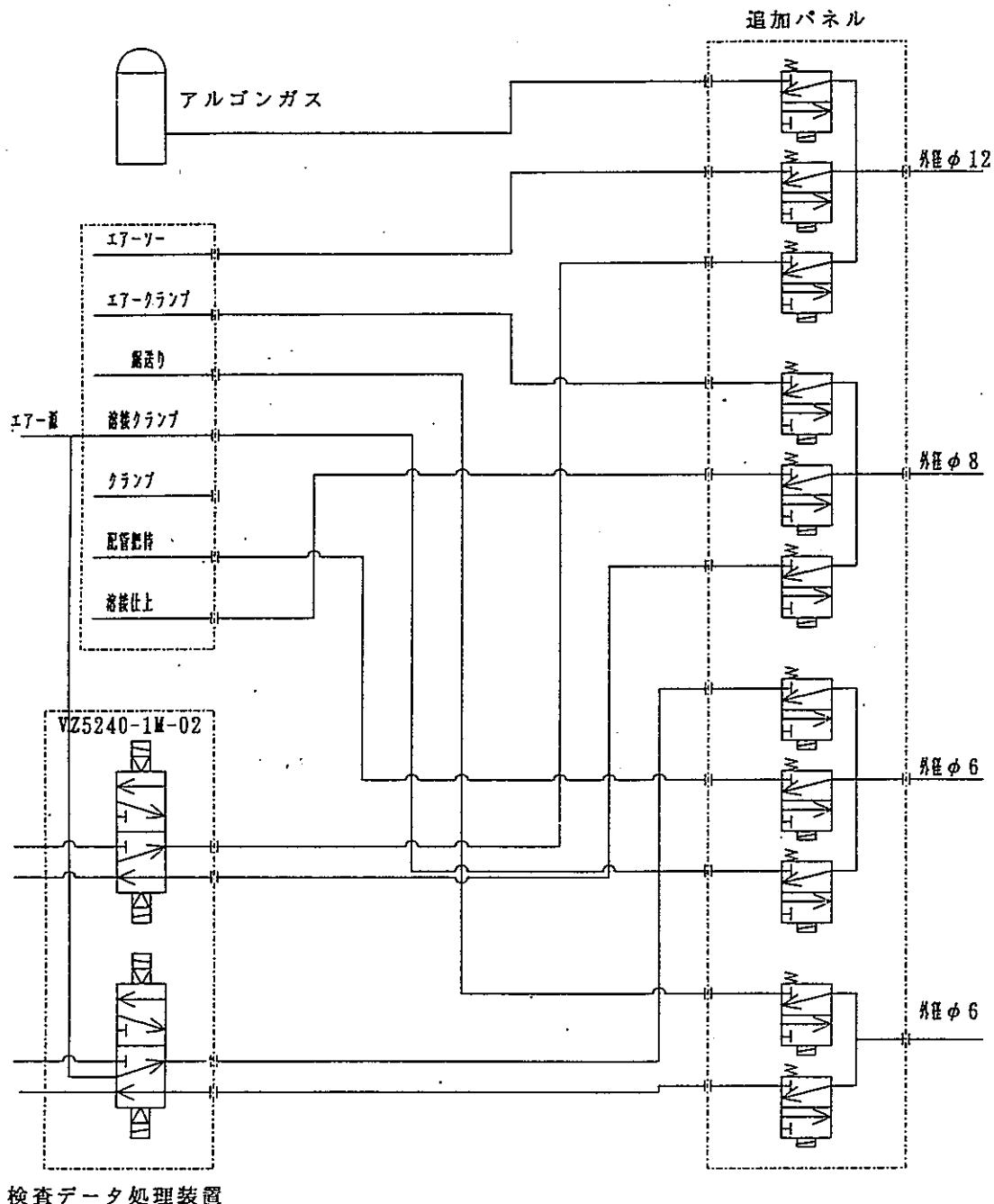


図-10 エアーパネル追加の場合の系統図

以上の検討結果により、エアーホースの切り替えを手動または自動で実施した場合において、エアーホースは表-10に示す4本を使用する。以下連結器の検討は、共通化エアーホースを4本として実施する。

#### 4.1.2 各ユニット取合部の検討

ケーブルの共通化をもとに、ユニットと作業アームとの連結部の設計検討を以下に実施した。

##### (1) 連結部の検討

連結部の検討は、ケーブルの共通化検討の結果をもとに、溶接ユニット及び検査装置の専用ケーブルを共通化ケーブルに含めて、連結器の概念を検討する。

最終的には、専用ケーブルを含めて作業アーム内に組み込むことが可能かどうかを判断して、トータル的に検討する必要がある。以下に検討結果を示す。

##### (i) 連結部に作用する負荷

連結部に作用する負荷について、現状での各ユニットの重量、モーメント及びトルクを表-11に示す。詳細には連結器の重量及び各ユニットへの取り付け位置によって負荷が異なるので、連結器の検討結果を反映した値を別途記載する。参考までに、現状の連結器に作用する最大負荷を以下に示す。

① 積載重量	2.5 kg
② モーメント	5.3 kg m
③ トルク	5.5 kg m

尚、クランプユニットは共通化ユニットから除外しているが、使用するにあたってはユニットのみ接続させる必要があり、連結器の負荷となるので表-11に記載している。

表-11 現在の連結部に作用する負荷

項目 基本 作業ユニット	概要図 単位 mm	*1 基本作業 ユニット重量 (ケーブル重量) kg	連結部 モーメント kg m	回転 トルク kg m	備考
切断ユニット		12 (1)	2.0	1.3	モーメント 13×0.15 トルク 13×0.1
開先加工 ユニット		☆ 23 (2)	3.9	2.5	モーメント 25×0.15 トルク 25×0.1
配管把持治具		9 (1)	3.7	5.5	☆  配管把持治具回板トルク
溶接ユニット		11 (3)	3.5	3.5	モーメント 15×0.25 トルク 15×0.25
溶接仕上装置		20 (2)	3.3	3.3	モーメント 22×0.15 トルク 22×0.15
検査装置		17 (5)	2.7	0.5	モーメント 22×0.12 トルク 22×0.2
クランプ ユニット		22 (2)	5.3	5.3	モーメント 24×0.22 トルク 24×0.22
連結部負荷	各値での最大値 (☆印部)	25 <sup>#2</sup>	5.3	5.5	

※1 基本作業ユニット重量には連結器重量を含まない。

また( )内は基本作業ユニット用ケーブル重量を示す。

※2 開先加工ユニット重量とケーブル重量を合計した値

(ii) 連結部の自動着脱を必要とするケーブルの検討

ケーブルの共通化の検討において、各ユニットに共用する目的で作業アームに組み込みを必要とするケーブル及びホース類を明確にした。その結果を表-12にまとめた。

これらのケーブル及びホース類について、作業アームを使用してユニットを交換する時に、ケーブル及びホースの接続部を自動で着脱する機能を必要とする。

また各ユニット別に必要とするケーブル類を表-13に示す。

表-12 自動着脱を検討するケーブル類

ケーブル種類	仕様・数
① 動力・制御用ケーブル	1.25mm <sup>2</sup> × 3本(動力用) 0.75mm <sup>2</sup> × 33本(動力用 16、制御用 17)
② エアーホース (アルゴンガスを含む)	外径φ12mm×内径φ9mm 1本 最大使用圧力 外径φ8mm×内径φ6mm 1本 7kg/cm <sup>2</sup> 外径φ6mm×内径φ4mm 2本
③ 専用ケーブル 溶接用 アーク電圧検出用	22mm <sup>2</sup> 1本 3.5mm <sup>2</sup> 1本
④ 専用ケーブル 同軸ケーブル	RG-196A/U 16本

表-13 基本作業ユニット別自動着脱ケーブル

基本 項目 作業ユニット	動力・制御用ケーブル		溶接用	アーク電圧 検出用	計測用同軸 ケーブル	エア-
	動力用	制御用				
切断ユニット		●				●
開先加工ユニット	●	●				
配管把持治具		●				●
溶接ユニット	●	●	●	●		●
溶接仕上装置	●	●				●
検査装置	●	●			●	●
クランプユニット						

● : 自動着脱を必要とするケーブル

### (iii) 連結精度について

連結時の作業アームとユニットの位置精度は、作業アームを操作させる精度±3mm程度を目安とした。作業アームとユニットの位置精度を、±3mm（作業アームを操作させる精度）の誤差で接続可能な電気接点及びエアー連結用コネクタを連結部に設けるのは不可能なので、位置誤差を修正する機構をユニット側あるいは作業アーム側に具備させる方式として検討を行う。

#### (a) 現在の連結器の考え方

現在の連結器を図-11に示す。作業アーム側とユニット側を接続させる時に、中央のテーパーピンとテーパーガイドを利用して、作業アーム側とユニット側の位置を再現させて連結する。この時テーパーガイドに沿って、ユニット側連結器が自由に移動できるように、ユニット側をスプリング機構等で支持している。したがって、ステーションへの収納時はこの方法で可能である。

またユニット側が移動できないような作業（切断ユニット・溶接ユニット等を配管にクランプさせる場合）は、配管クランプ時に作業アームとの位置誤差を修正しようとする負荷が連結部に生じるが、現在の連結器は、連結部の嵌合精度（ガタ）で負荷を生じないように機能している。

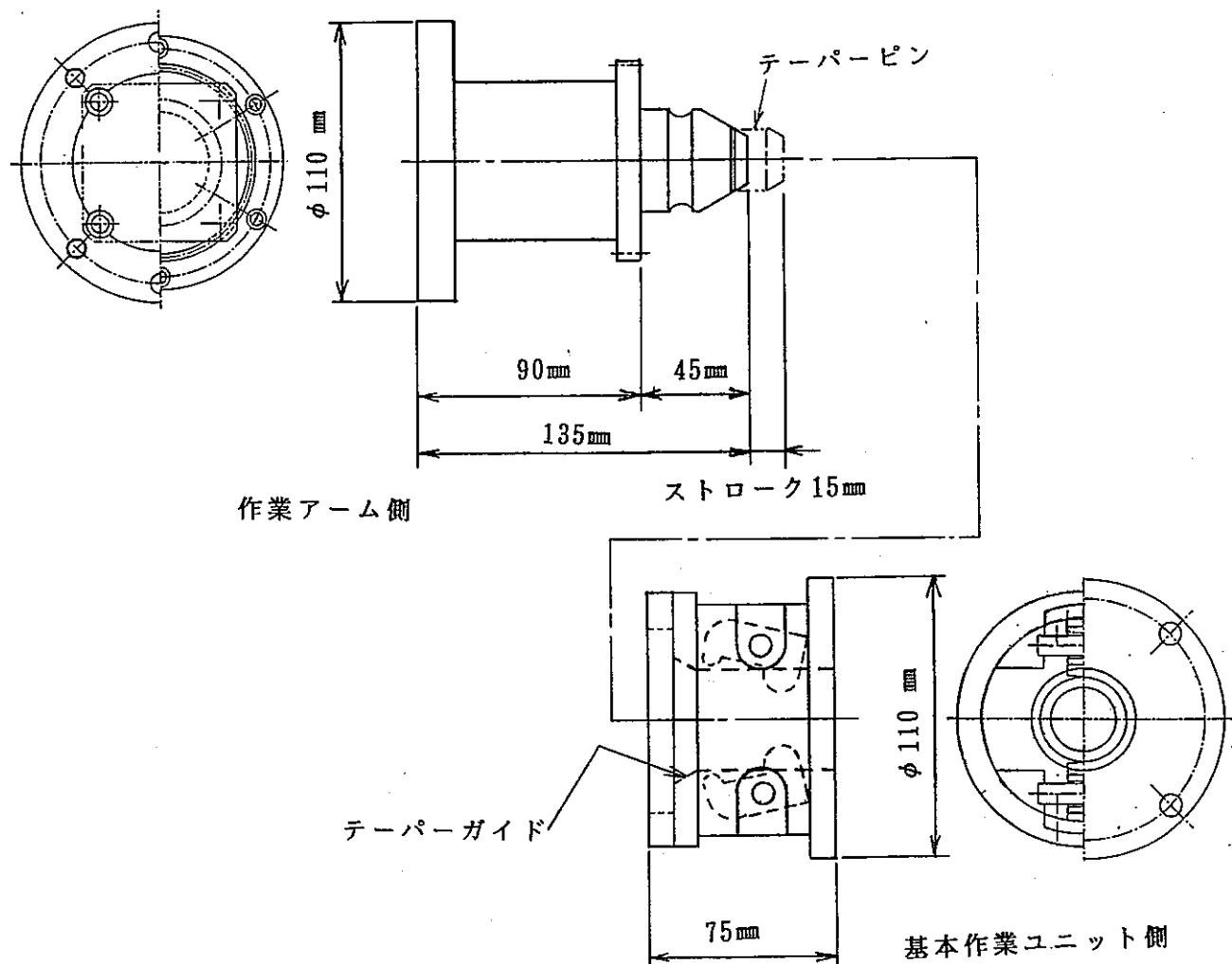


図-11 現在の連結器

### (b) ケーブルの共通化による連結器の考え方

ケーブルの共通化による連結器の考え方とは、精度良く連結して電気接点及びエアー連結部への影響がないようにすることが必要である。現在の連結器のように、連結部の嵌合精度（ガタ）による方法では吸収できないので、ユニット側もしくは作業アーム側に裕度のある機構が必要である。

#### ① ユニット側に具備する構造

現在のように、ステーション側にスプリング機構を具備する方法では、連結部の着脱機能の問題点（配管クランプ時に電気接点及びエアー着脱部への影響がないようにすること）を解決できない。

#### ② 作業アーム側に具備する構造

ユニット側に裕度を具備した場合の問題点を解決させるために、作業アーム側に具備させる方法とする。この方法では、作業アーム側で位置誤差を吸収させるため、配管クランプ時においても、電気接点及びエアー着脱部への影響がなくなる。

以上により作業アーム側に裕度を具備させる構造を検討する。

## (2) 連結器の構造検討

前述の検討をもとに、自動着脱機能及び作業アーム側に裕度を具備させる連結器の構造を以下に検討する。

### (i) 連結器の市場品調査

連結器の構造を検討する上で市場品の調査を実施した。市場の連結器としてオートツールチェンジャーの調査結果を表-14に示す。これらはすべてティーチィング機能を備えたロボットを前提としており、本システムのようにマニュアル操作に対応させるタイプではないが、構造等、参考になると思われる。

これらの構造について以下に示す。

#### (a) 連結部の構造

連結部の構造は、エアーシリンダを使用したメカニカル連結機構を採用しており、エアーホースが切断しても連結が外れないセーフティ機構である。

連結部の構造について表-15にまとめた。

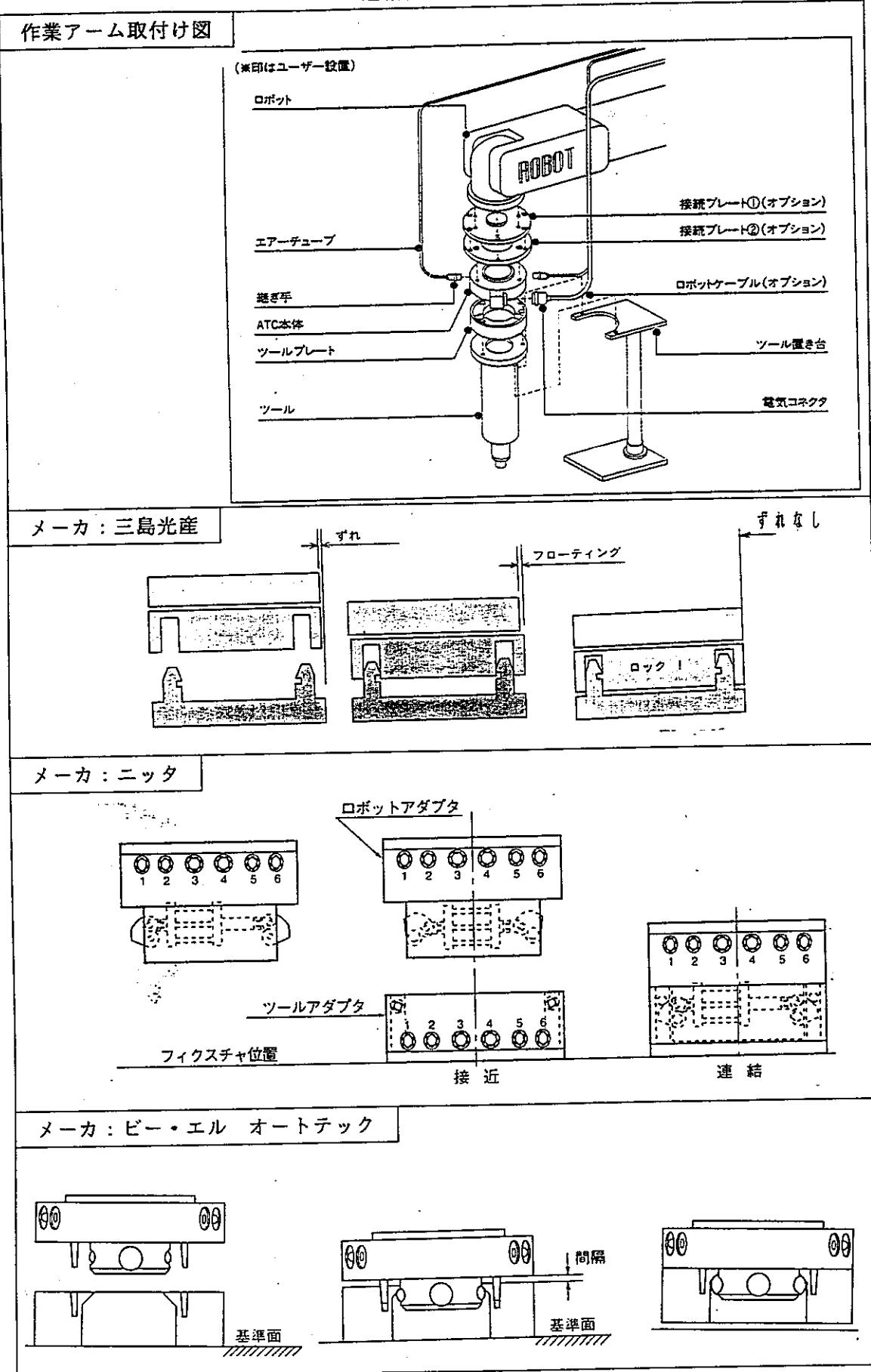
- ① アーム側プレートとユニット側プレートの連結は、約1mmの空間を空けてユニット側プレートを引き込む方法としており、連結時に両プレートの衝突による破損を防止している。

- ② 連結状態は連結時の空間量を検出して、ロック準備信号として取り出す。

（メーカー： ビー・エル オートテック、三島光産）

表-14 オートツールチェンジャー市場品調査

表-15 連結器構造



(b) 連結時の誤差吸収方法

連結時の作業アームとユニット側の誤差を吸収するために以下の方法を採用している。

① 連結時、連結器に設けた位置決めピンで正しい位置にセットされる。

② 誤差吸収用フローティング機構について

誤差の吸収用にフローティング機構を使用している。本調査では±1mmの位置精度まで可能である。ただし連結後は定位置に復帰し、作業アームとユニットの位置は正確である。誤差を吸収させるフローティング方式については、前ページの表-15に記載しているメーカー：三島光産の欄を参照。

(メーカー：三島光産)

本機構で配管をクランプする時は、現状と同様に作業アームとユニットの位置を正確にしないと、連結する時に無理な負荷が残る。現在の作業アーム操作精度(±3mm)で使用するためには、定位置に復帰せず誤差の生じたままで固定する構造でなければならない。

(c) 自動着脱用コネクタについて

大電流用及び同軸用のコネクタがオプションとしてある。

(d) 出力信号

連結状態の出力信号を検出して、作業アームのインターロック回路に使用することができる。(連結準備、連結ロック、アンロック)

(e) 接続部の構造

電気の接続部は、スプリングによって接触部位が変異する構造なので、接続後の接触圧力を確保できる。電気接点にはプローブコンタクトを使用している。

(ii) 自動着脱用コネクタの市場品調査

自動着脱に必要なワンタッチコネクタ類の調査を表-16に示す。これらの調査結果を以下に示す。

(a) 電気接点の連結

電気接点の自動着脱コネクタは、スプリングコンタクト及びコネクタ全体が軸方向に動くフローティング機構となっている。単体の着脱精度は0.3mm以上必要である。

(b) 溶接用(大電流用)自動着脱コネクタ

大電流用コネクタには、ピンとソケットが単極としてある。単体の着脱精度は0.3mm以上必要である。

(c) エアー用コネクタ

エアー用自動着脱コネクタ構造は、コネクタをガイドによって正確に合わせる必要がある。

(d) 同軸コネクタ

同軸コネクタはスプリングコンタクトで樹脂ボディーに組み込むタイプがある。

表-16 自動着脱用コネクタの市場品調査

項目 メーカ	自動着脱用コネクタ				仕 様	構 成	構 造	着脱精度 単位 (mm)	特 微
	動力・制御用	大電流用	計 测 用	エアー用					
日本ワイド ミュラー	●				5A~60A	マウントボディー プラグ側フレーム ソケット側フレーム	スプリングワイヤーコンタクト	面方向 ±0.6 軸方向 ±0.2	1. スプリングワイヤーコンタクト使用 2. 種類が豊富で容易に接続可能
		●			MAX 400A	ピンのみ	スプリングワイヤーコンタクト		3. 大型可能な用途には適応性大 作業アーム連結部には不向き 4. エアー部品なし
			●		特性インピーダンス 50 Ω 75 Ω		スプリングワイヤーコンタクト		
ソルトン	●				16A ~100A		コネクタフローティング	ガイドで案内	1. オートツールチェンジャーとしての システム有
				●	50kg/cm		カプラーフローティング	ガイドで案内	

1. LEMO社には多極の同軸コネクタがあるが、自動着脱タイプでないので連結器用には使用できない。

### (Ⅲ) 連結器構造のまとめ

市場品の調査を参考にして連結器の構造を検討した結果、遠隔配管工事システムの連結器の構造を以下に示す。

#### (a) 連結方式

- ① 連結方式は、現在の連結方式及び調査結果と同様に、エアーシリンダーを使用した方式とする。
- ② 連結用の位置決めピンを利用して、作業アーム側とユニット側を合わせる。
- ③ ユニット側を引き込む連結方式は、作業アーム側とユニット側の連結器の衝突による破損を防止できるが、以下の理由によって特に必要ないと考える。
  - ア. 現在の作業アームの操作では、1mm以下での制御ができないのでユニット側を引き込む連結方式を使用できない。
  - イ. 破損防止方法は、ステーション側のスプリング機構及び作業アームの第7軸によるスプリング機構(10mm変異)によって対応している。
- ④ 連結操作は視覚認識によるマニュアル操作なので、連結面を接近、密着させた状態を連結準備信号として出力させて、連結の信頼性を上げる。

#### (b) 自動着脱コネクタの構造

- ① 動力・制御用の電気コネクタは、スプリング内蔵のプローブが良い。
- ② オートツールチェンジャーの市場調査では、大電流用部品(ニッタ)があるが、TIG溶接機への適用は不明。  
(周波数が高いので、接続部電極の表面抵抗が大きくなる可能性がある。)
- ③ 同軸用の単体コネクタがある。単体コネクタを16本構成した場合のコネクタ形状を図-12に示す。構成後の各コネクタの組み立て精度が必要なこと及びケーブル処置部が大きくなるため、接続が可能な動力・制御用のコネクタで検討を進める。

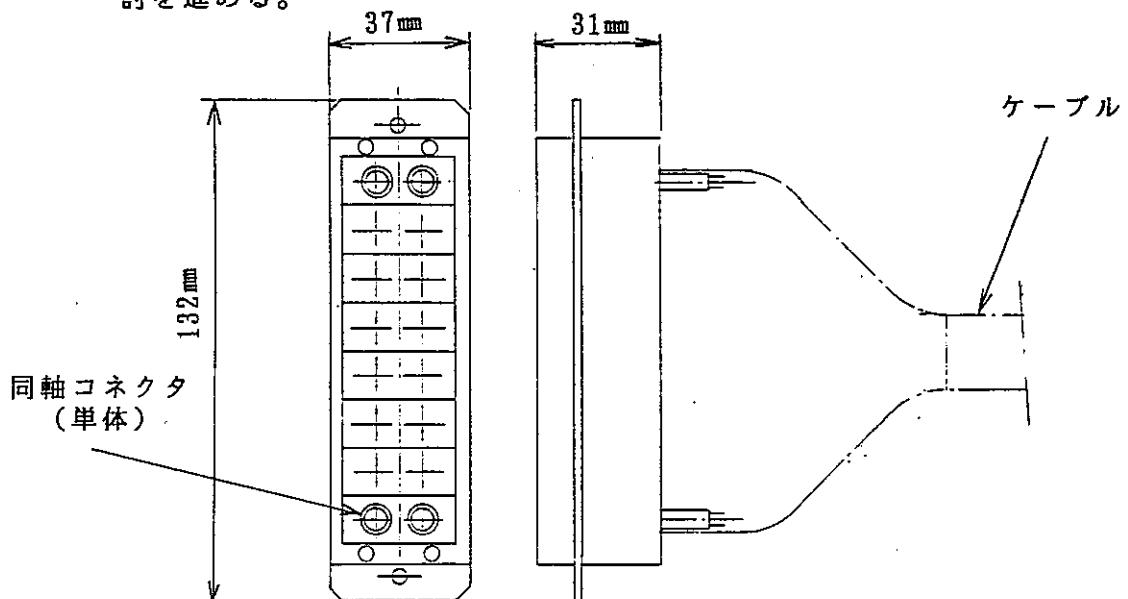


図-12 同軸コネクタ構成図

- ④ エアー用は、オートツールチェンジャーのメーカ部品で可能である。

(c)連結器の寸法・重量

以上の検討結果をもとに、作業アーム側の連結器の概念形状を図-13に、ユニット側の連結器の概念形状を図-14に示す。また、これらを組合せた図を図-15に示す。

尚、連結器の寸法・重量については、各連結器の図に記載した。

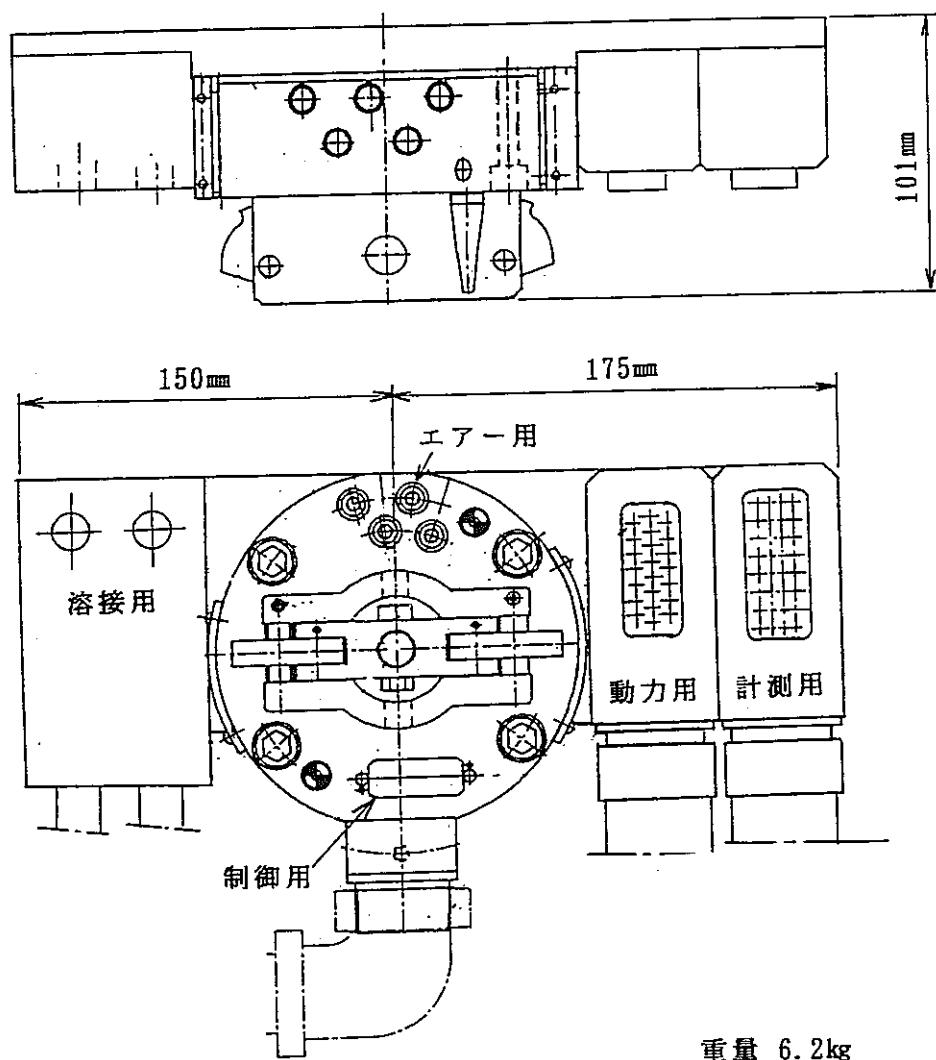
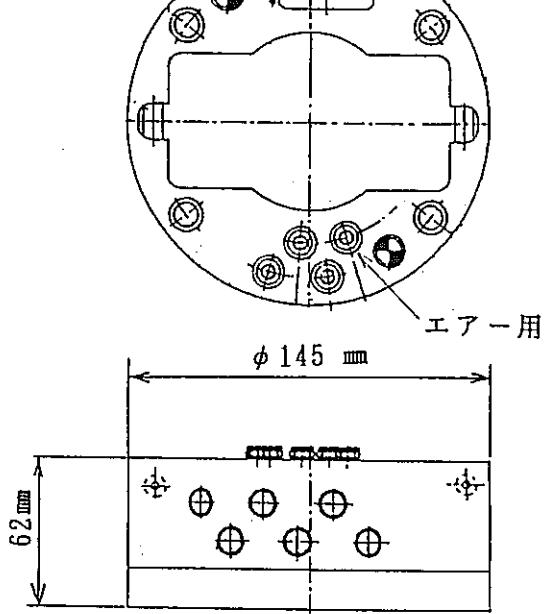
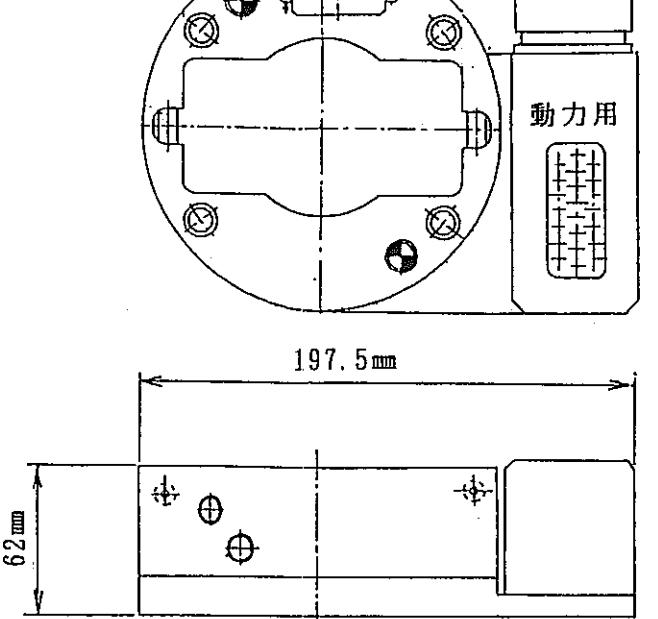


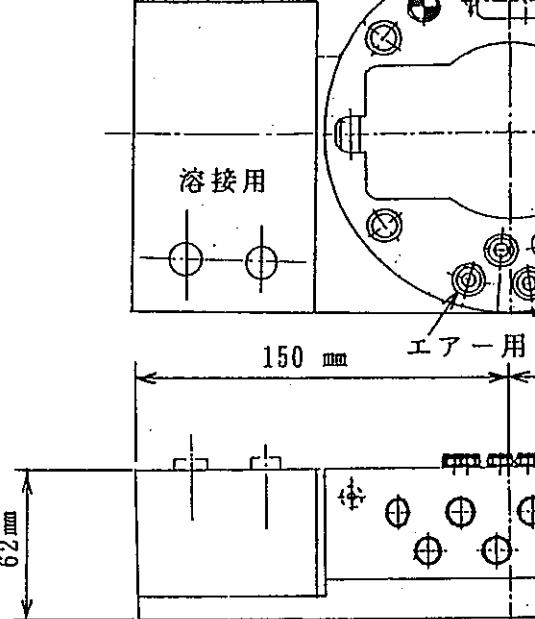
図-13 作業アーム側連結器



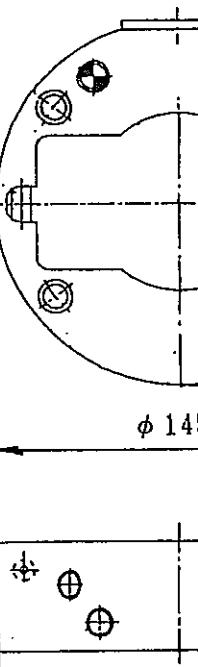
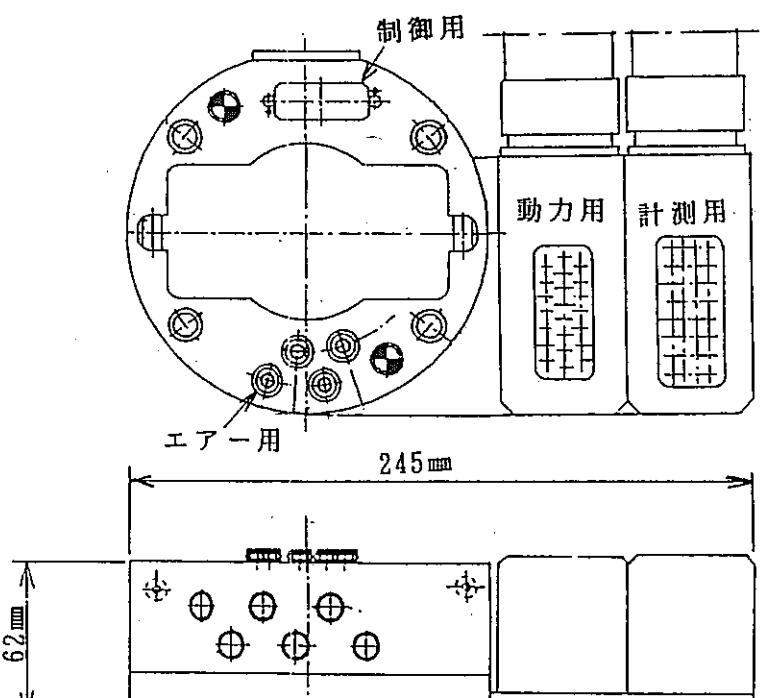
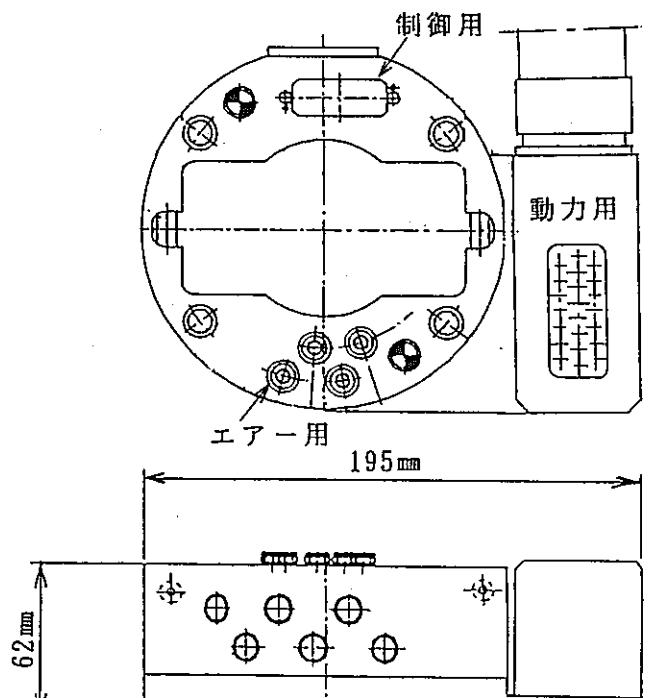
切断ユニット用 重量 3.0kg  
配管把持治具用 重量 3.0kg



開先加工ユニット用 重量 3.5kg



溶接ユニット用 重



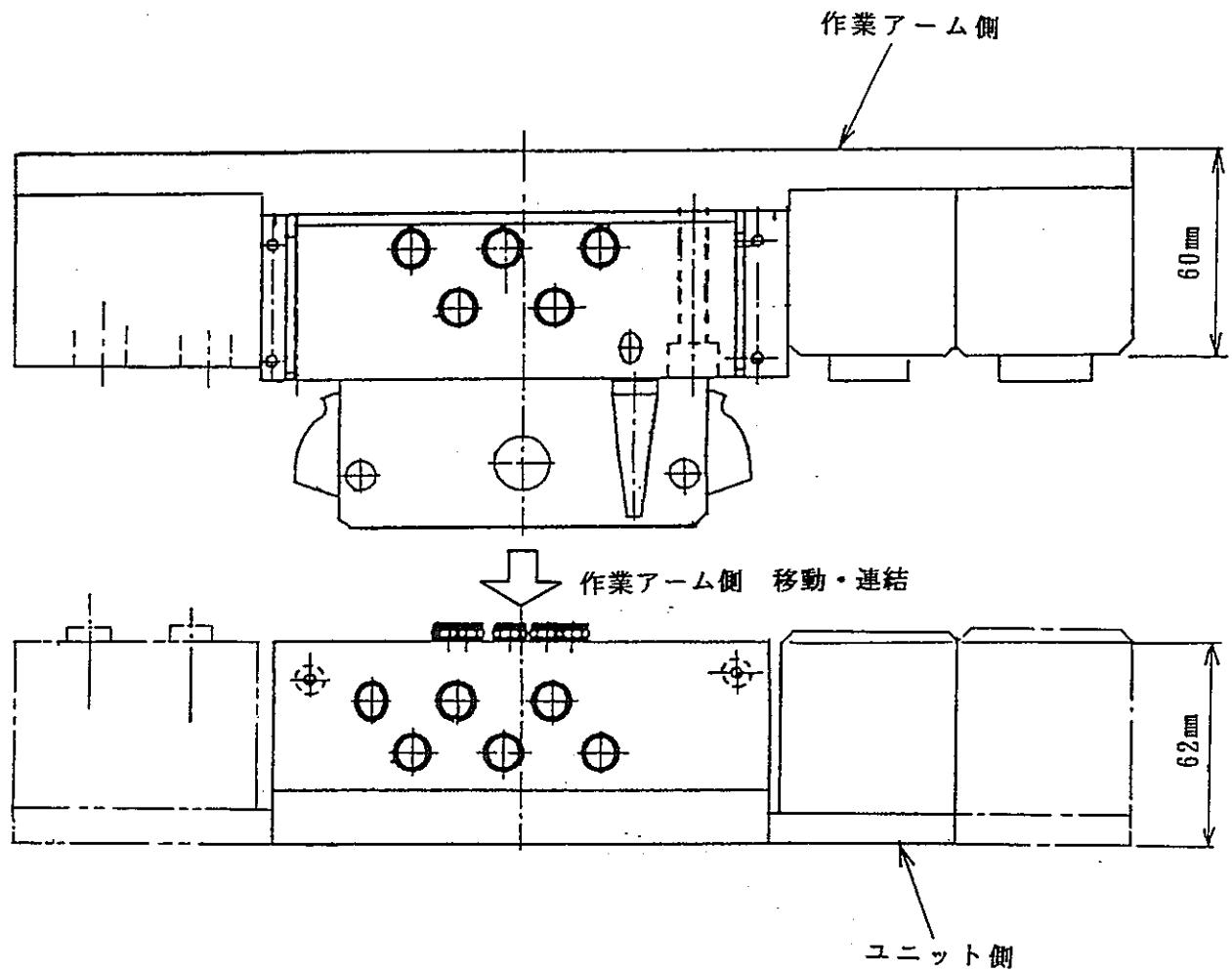


図-15 連結器組合せ図

(d) 連結部に作用する負荷

ケーブル共通化検討後の連結器の重量を加算して、連結部に作用するモーメント及びトルクを表-17に示す。

表-17 ケーブル共通化検討後の連結部に作用する負荷

項目 基本 作業ユニット	概要図 単位 mm	※1 基本作業 ユニット重量 kg	連結部 モーメント kg m	回転 トルク kg m	備考
切断ユニット		15.5	4.1	1.8	モーメント $15.5 \times 0.262$ トルク $15.5 \times 0.115$
開先加工 ユニット		☆ 26.5	☆ 7.1	2.7	モーメント $26.5 \times 0.265$ トルク $26.5 \times 0.1$
配管把持治具		※2 23.5	6.9	5.5	 配管把持治具回転トルク
溶接ユニット		16	4.0	4.0	モーメント $16 \times 0.25$ トルク $16 \times 0.25$
溶接仕上装置		23.5	6.2	3.6	モーメント $23.5 \times 0.262$ トルク $23.5 \times 0.15$
検査装置		21	4.9	0.5	モーメント $21 \times 0.232$ トルク $21 \times 0.02$
クランプ ユニット		☆ ※3 26.5	5.9	5.9	モーメント $26.5 \times 0.22$ トルク $26.5 \times 0.22$
連結部負荷	各値での最大値 (☆印部)	26.5	7.1	5.9	

※1 基本作業ユニット重量はユニット側連結器重量を含む。

※2 配管重量 11 kg を含む。      ※3 ケーブル重量 2 kg を含む。

#### (e) クランプユニットとの組合せ

連結器は自動着脱コネクタを取り付けるため、現状の連結器の形状に比較して大きくなる。ユニットを単独でなく、クランプユニットと組合せて使用する切断ユニット及び溶接ユニットについて取り付けた場合、ユニット間での干渉等の有無について検討した。

##### ① 切断ユニットとの組合せ

切断ユニットとの組合せを図-16に示す。切断ユニット側連結器はクランプユニットと離れているので問題ないが、クランプユニット側は、切断ユニットの切粉箱と干渉する。クランプユニット側連結器の位置を下側に移動すれば干渉を避けることができるが、作業アームに負荷するモーメントが増大する問題がある。

##### ② 溶接ユニットとの組合せ

溶接ユニットとの組合せを図-17に示す。クランプユニット側連結器との干渉については、切断ユニットと同様に干渉の問題があるが、さらにユニット側連結器が上側に大きくなるため、対応可能な配管に制限が生じる。

(上部が天井と干渉する場合がある。)

#### (f) 連結器の課題

##### ① 大電流用コネクタの確認

大電流用コネクタは、接続部の表面抵抗が増大するので溶接可否の確認が必要である。

##### ② 検査装置用標準コネクタの確認

検査装置用に高周波同軸コネクタを使用しているが、標準コネクタが使用可能と考えられるので、標準コネクタを使用して確認する。

(高周波用としては3MHzと小さいため)

##### ③ 作業アームの耐荷重

クランプユニット及び開先加工ユニットのユニットとユニット側連結器の重量の合計は26.5kgで(ページ40, 表-17参照)、作業アームの耐荷重25kgをオーバーする。

また、作業アーム側連結器の重量は6.2kgで、現状の仕様値5kgをオーバーする。

##### ④ 連結部が大きくなり干渉する。

前項(e)クランプユニットとの組合せで記載したように、連結部が大きくなるので、切断ユニット及び溶接ユニットは、クランプユニット用連結器と干渉する。また、溶接ユニットについては、天井との干渉によって使用範囲に制限が生じる。

その他のユニットについては、作業する上で視認性に影響が生じるか、モデル等で確認する必要がある。

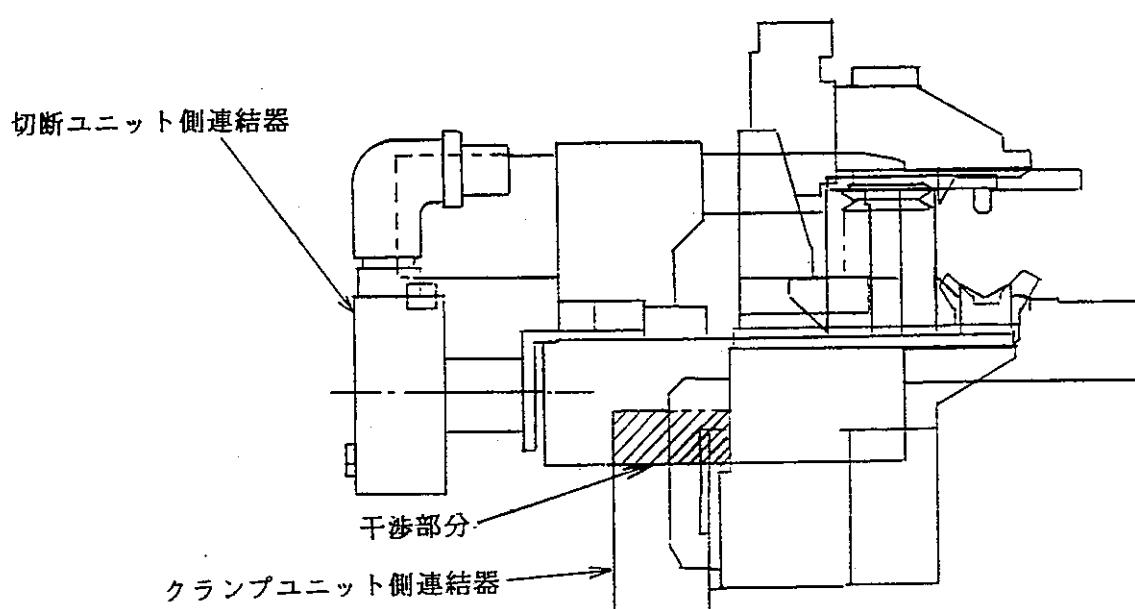
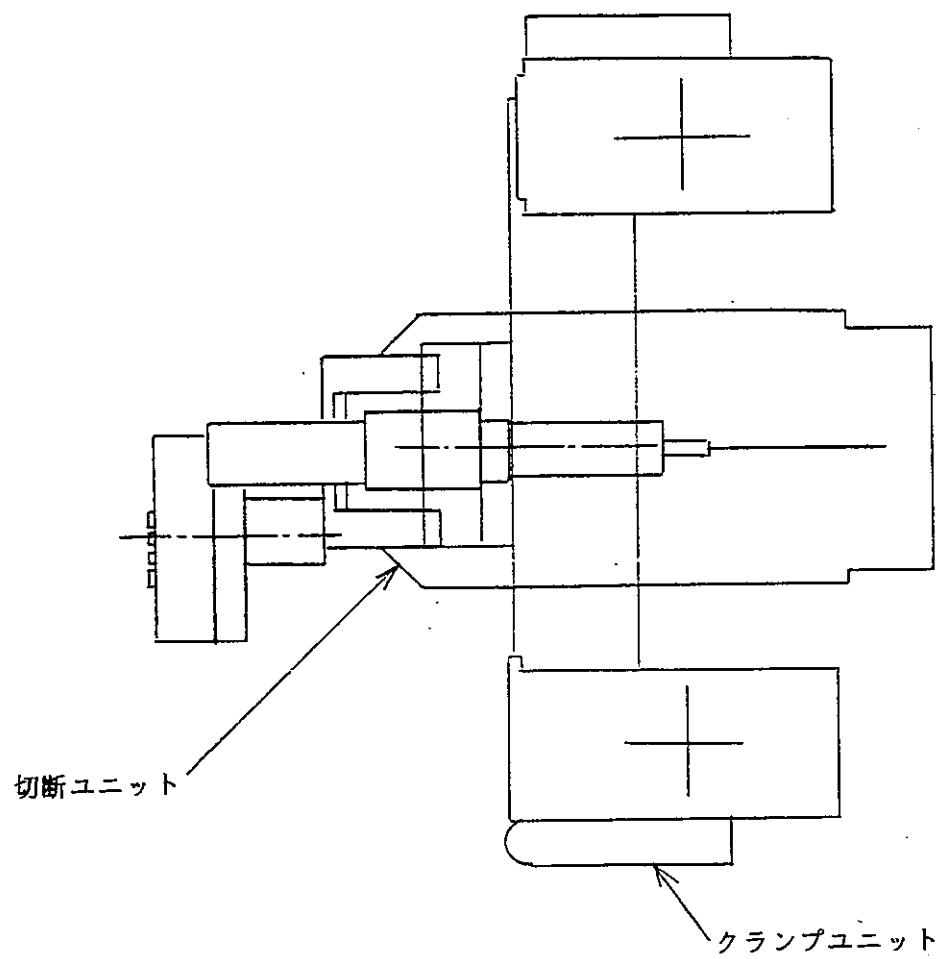


図-16 クランプユニット・切断ユニット組合せ図

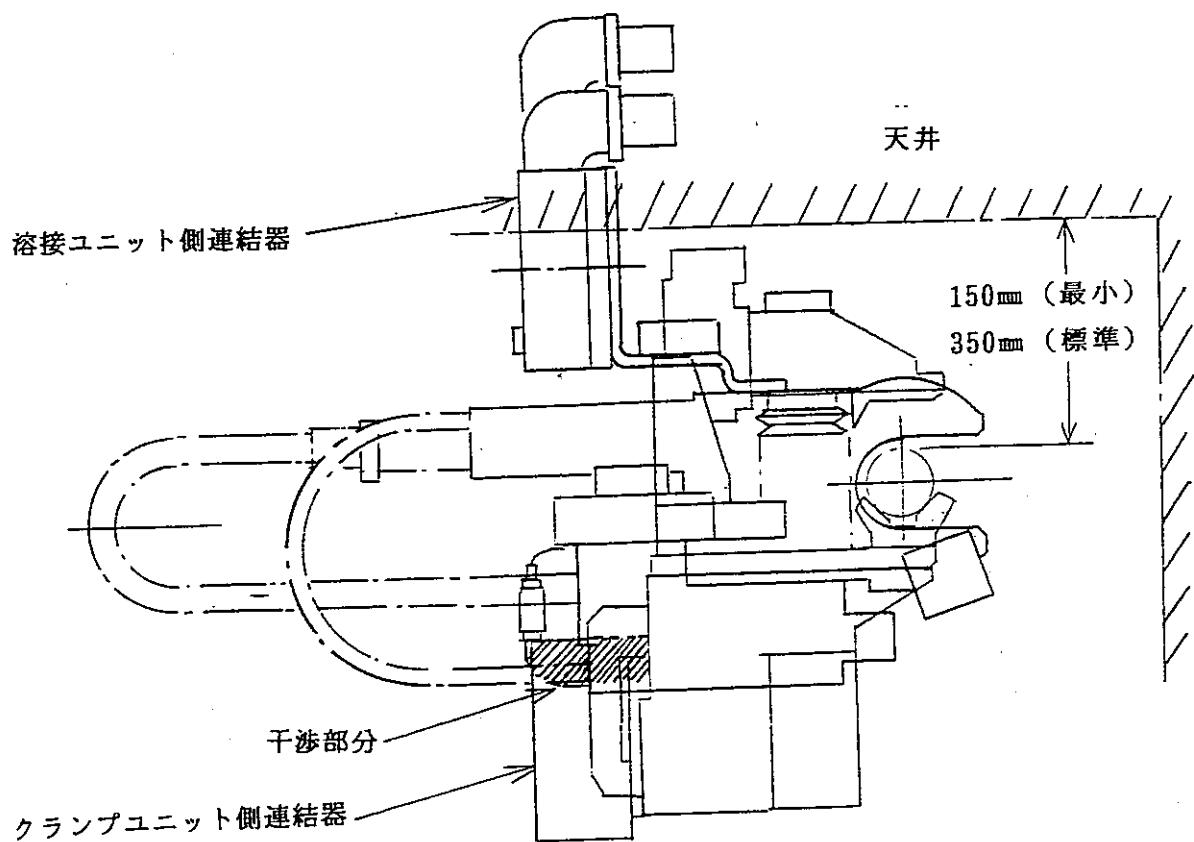
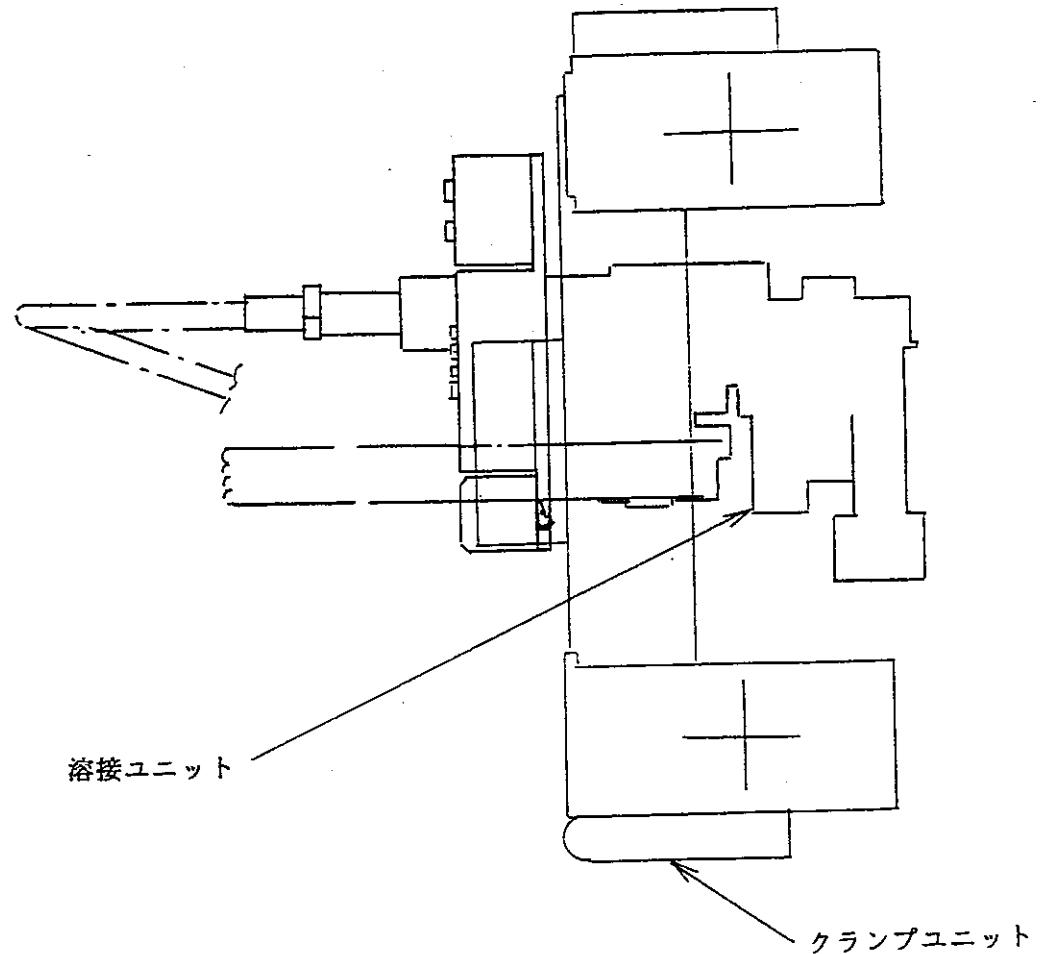


図-17 クランプユニット・溶接ユニット組合せ図

#### 4.1.3 作業アームの検討

共通化したケーブル及び連結部の検討をもとに、作業アームについて以下の検討を実施した。

##### (1) 連結部の検討

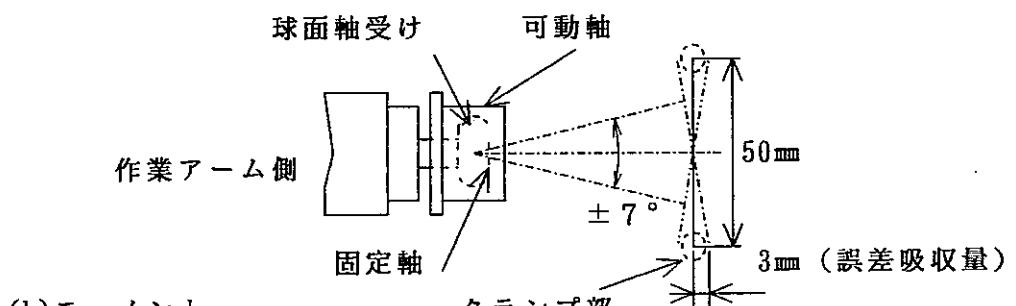
作業アームの連結部は前述図-13に示す様に、各自動着脱コネクタをすべて具備した構造となる。また、31ページの(b) ②で検討したとおり、これらのコネクタ部を連結させるために作業アーム側に裕度を持つことが必要である。そこで裕度機能の検討を行った結果、その誤差吸収機構を以下に述べる。

##### (i) 誤差吸収機構の検討

誤差吸収機構については、自由に動作し且つ正位置で固定できる球面軸受けを使用した自在機構を検討した。自在機構は、固定軸と可動軸を球面軸受けで嵌合させて、球を中心として全方向に動作が可能であると共に、正位置で固定できる構造とした。以下に概念仕様を示す。

##### (a) 誤差吸収量

球面機構による配管クランプ部の誤差吸収量については、ユニットのクランプ部が約50mmはなれているので、駆動部に±7°以上動作する機構を設ける。尚、軸方向は作業アーム第7軸の動作で対応させる。



##### (b) モーメント

球面軸受け部に作用するモーメントについて以下に示す。

①基本作業ユニットによるモーメント :  $M_1$

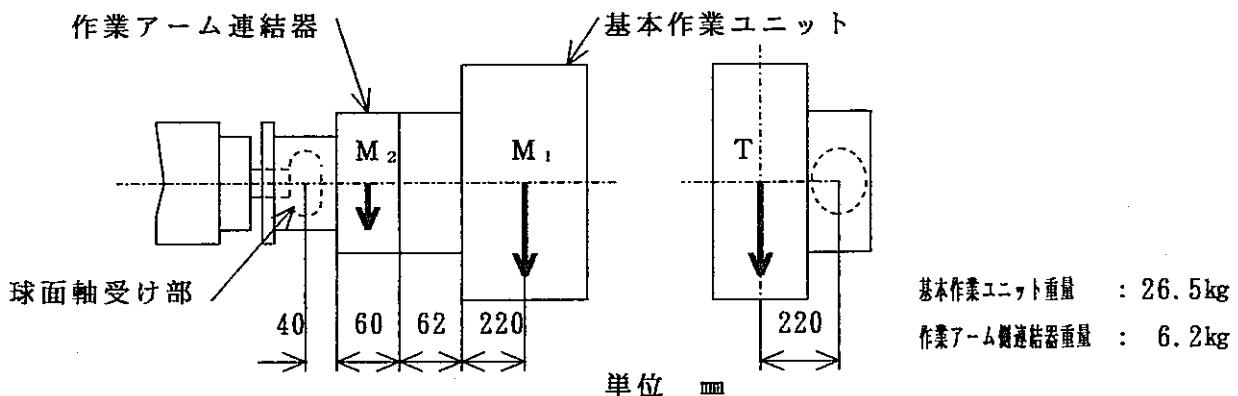
$$M_1 = 26.5 \text{ kg} \times (220 + 62 + 60 + 40) \text{ mm} = 10123 \text{ kg mm}$$

②作業アーム側連結器によるモーメント :  $M_2$

$$M_2 = 6.2 \text{ kg} \times (30 + 40) \text{ mm} = 434 \text{ kg mm}$$

③全モーメント :  $M$

$$M = M_1 + M_2 = 10123 \text{ kg mm} + 434 \text{ kg mm} = 10557 \text{ kg m} = 11 \text{ kg m}$$



(c)トルク

球面軸受け部に作用するトルクについて以下に示す。

$$T = 26.5 \text{ kg} \times 220 \text{ mm} = 5830 \text{ kg mm} = 6 \text{ kg m}$$

(d)駆動方式

可動軸側が自由に動作し且つ正位置で固定できる駆動方式の切り替えは、連結器と同様にエアーを使用する。

(ii) 連結部まとめ

前述検討をもとにして連結部の概要を検討した。実施にあたっては、試作による確認が必要である。

(a)構造検討

概要構造及び寸法を図-18に示す。外径に影響をおよぼす軸径及びエアー作用径については、軸径の強度及びエアーパスによるモーメントの復帰力より求めた。(詳細は添付資料-4を参照)

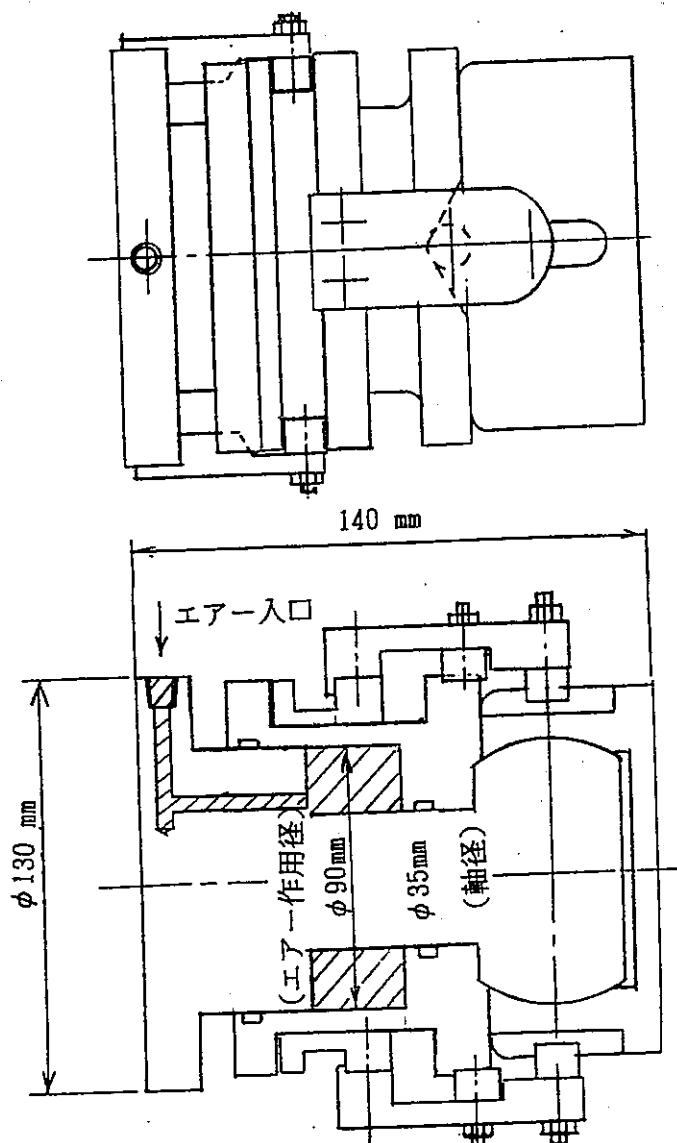


図-18 誤差吸収機構概要図

(b)動作

誤差吸収機構の動作について図-19に示す。

- ① ステーション上での連結時は、エアー圧力を加圧させて、スリーブ側を押し出して可動部を正位置に保持した状態で連結する。  
(裕度はステーション側で作用させる。)
- ② 配管をクランプする時は、クランプ直前までエアー圧力を加圧し、可動部を正位置に保持しておく。  
クランプ時にエアー圧力を緩めて、球面軸受け部で可動部を自在に動作させる。配管を把持後はそのままの状態にする。  
(ユニットでクランプした状態にしておく。)
- ③ 曲げ方向の可動は、固定軸に対してスリーブが後退できる位置以上に可動できないようにしている。
- ④ トルク方向の回転は、スリーブに設けたV溝とカムフォロナーで、固定軸に対してスリーブが後退できる位置以上に回転しないようにしている。  
またスリーブは、固定軸に対して回転しないようにキーで固定する。

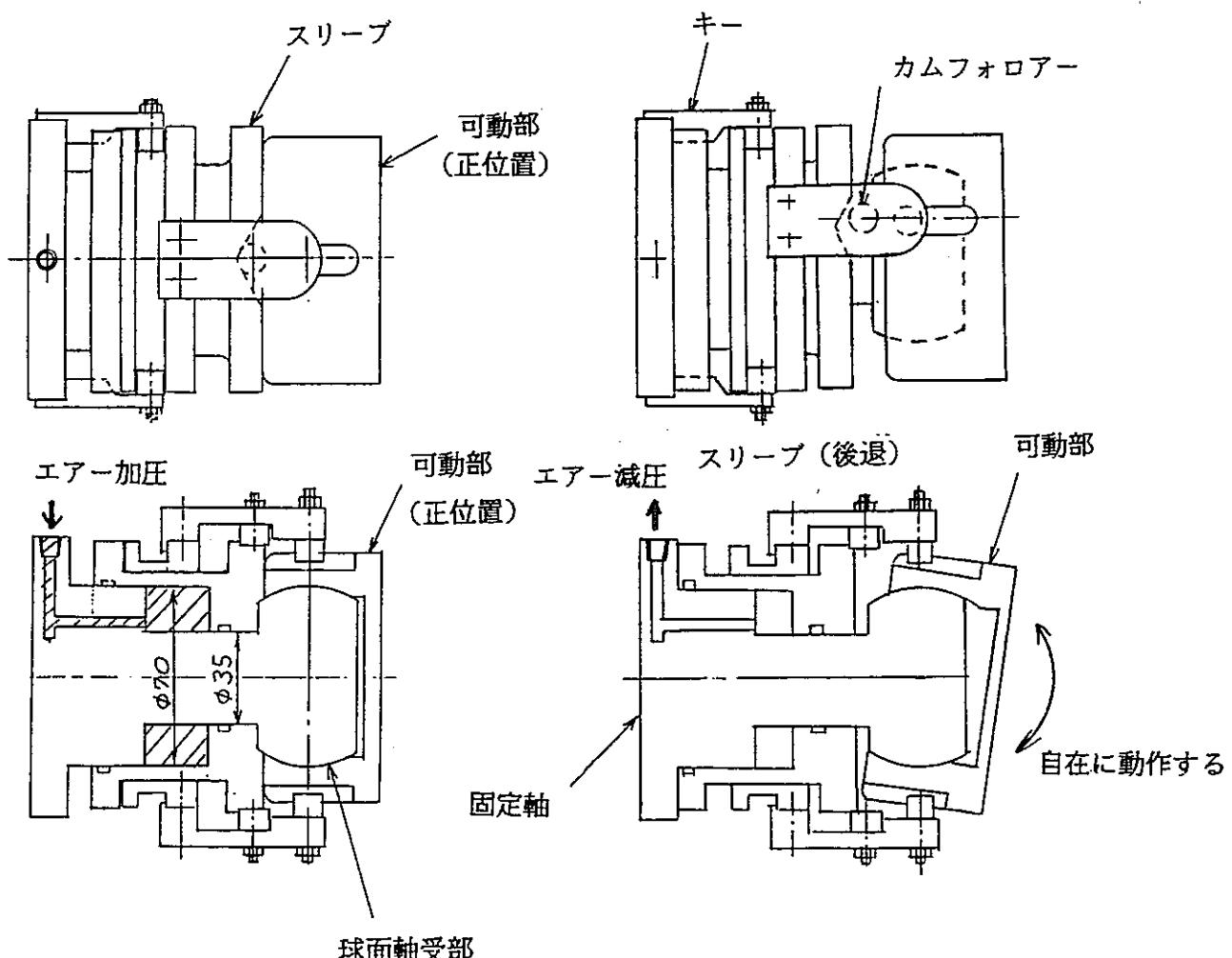


図-19 誤差吸収機構の動作

### (c)誤差吸収機構の作用

ユニットを配管にクランプする時の誤差吸収機構の作用について、切断ユニットとクランプユニットの場合について、それぞれ図-20, 21に示す。

尚、開先加工ユニット、溶接ユニット、配管把持治具、検査装置については、切断ユニットと同様の作用となるので省略した。

#### ①切断ユニットの場合

切断ユニットはクランプ機構を備えており、配管をクランプする時は、誤差吸収機構部が屈曲して連結部に負荷が発生しないようになる。

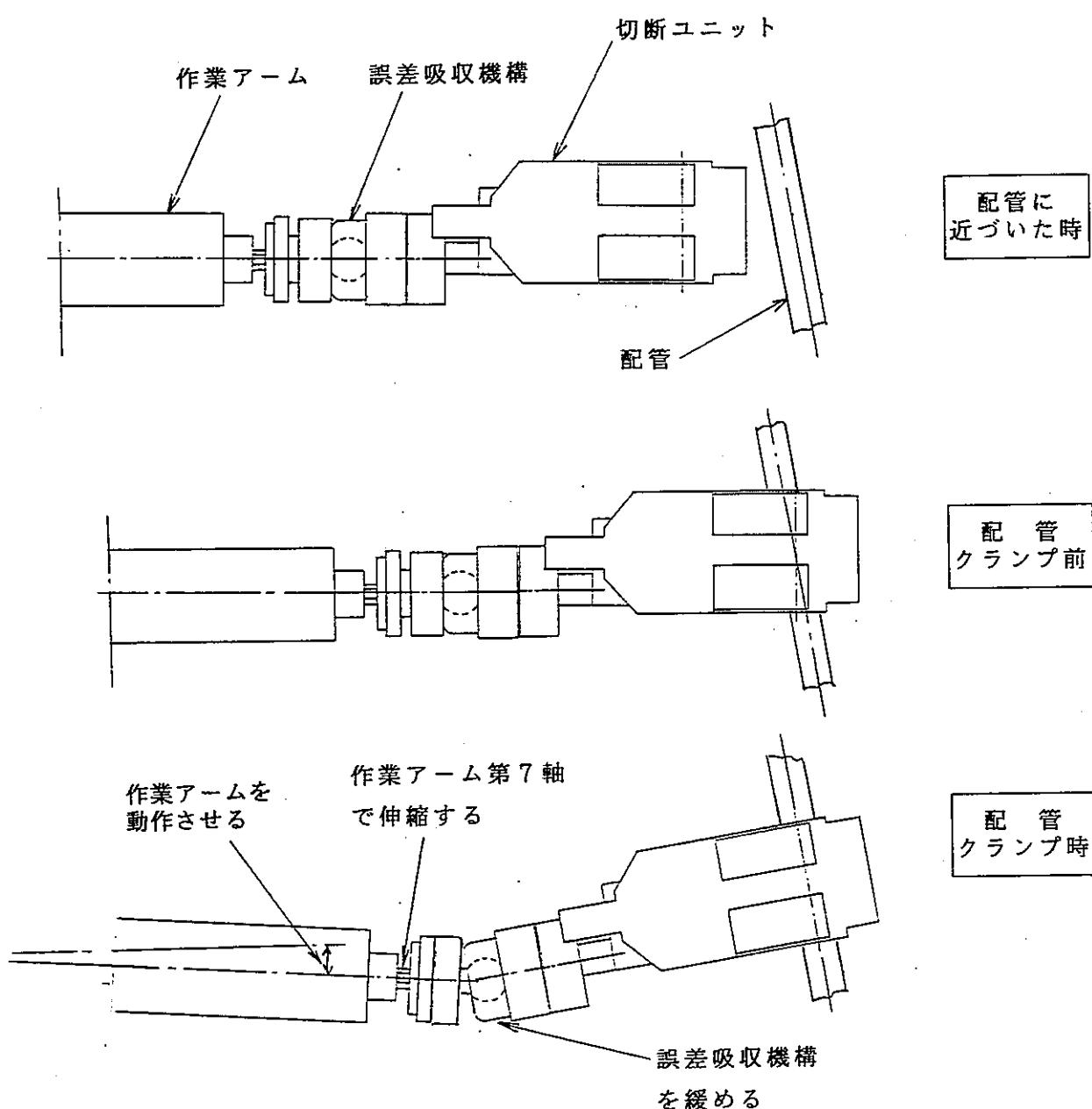


図-20 誤差吸収機構作用例 1 (切断ユニットの場合)

## ②クランプユニットの場合

クランプユニットの場合は、クランプユニットを配管にクランプした後、作業アームは別のユニットを使用するために、クランプユニットより取り外すので再度連結する必要がある。

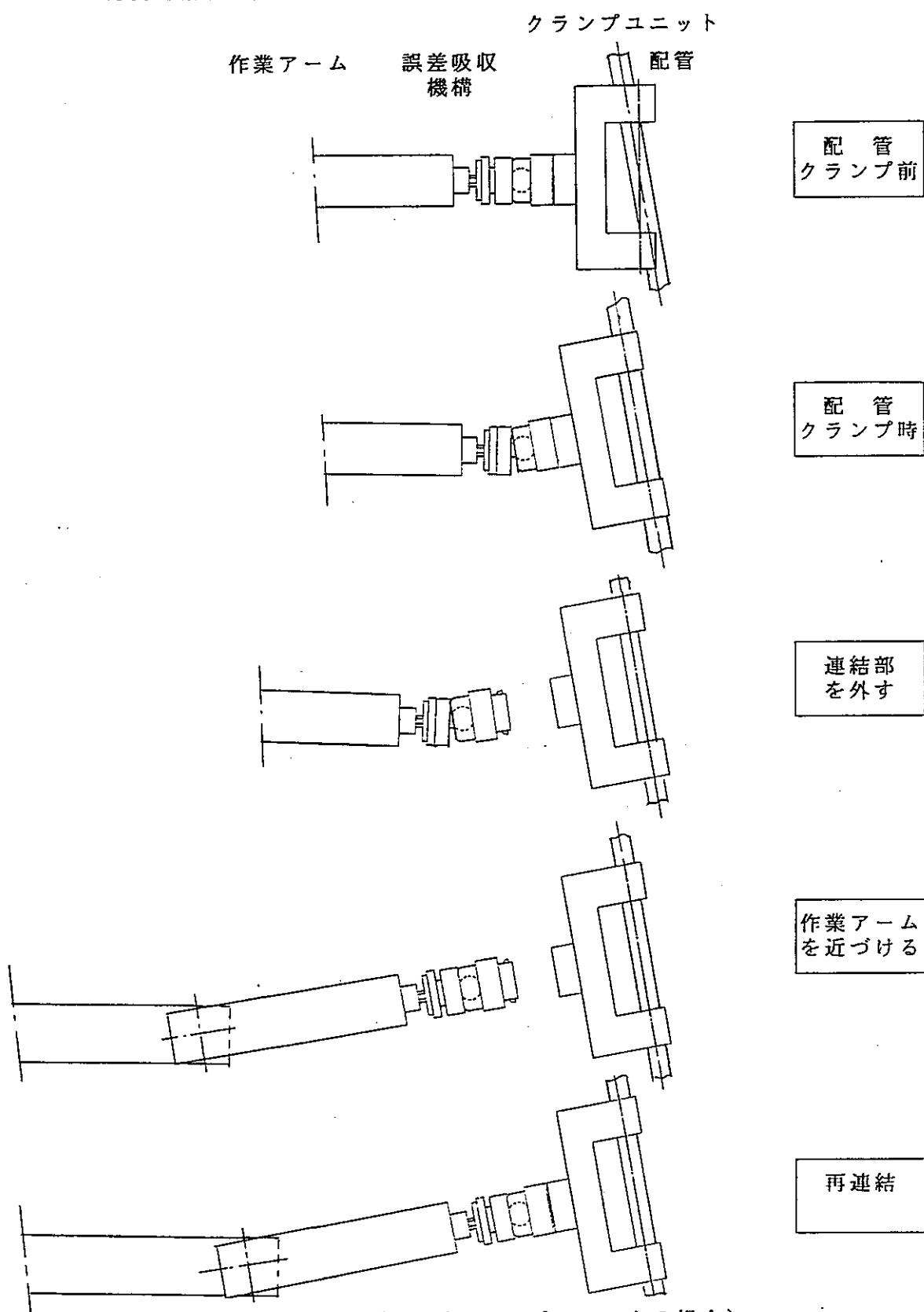


図-21 誤差吸収機構作用例 2 (クランプユニットの場合)

## (2) ケーブルルートの検討

現状のケーブル及び共通化ケーブルのルートについて以下に検討する。

### (i) 作業アーム用ケーブルの現状調査（ルート・内容）

現在の作業アームのケーブル収納状態を以下にまとめた。アーム部に取り付けられているケーブルの種類は、駆動モータ、エンコーダー、リミットスイッチ用である。（内容は添付資料-3を参照）

現在の作業アームのケーブルルートについて以下に示す。

尚、ケーブルルート図を図-22に、使用ケーブルサイズを表-18及びケーブル種類と必要線数を表-19に示す。

- (a) 第6軸部より先端側にある連結器用のケーブルは、束ねて第5アーム内に入る。第5アーム内にソレノイドバルブを設置して、以後のエアーホースを1本にしている。
- (b) 第5軸部より先端側にある第6軸用のケーブルは、束ねて第5アーム内に入る。また上記(a)のケーブルと合せて、フレックスチューブ1に収納して、中継ボックス2に入る。
- (c) 第4軸部より先端にある第5軸用ケーブルは、束ねて中継ボックス1に入る。中継ボックス1よりフレックスチューブ2に収納して、中継ボックス2に入る。
- (d) 第3軸部より先端にある上記(a)～(c)のケーブルはケーブルベヤに入り、中継ボックス3を経由して中継ボックス4に入る。第4軸用モータのケーブルは、第3アーム内を貫通して中継ボックス2を経由してケーブルベヤ内に入る。
- (e) 第2軸部より先端にある上記(a)～(d)のケーブル及び第3軸用モータのケーブルは、中継ボックス4に入り、ここよりフレックスチューブ3に収納して、中継ボックス5に入る。
- (f) 第1軸部より先端にある上記(a)～(e)のケーブル及び第2軸用モータのケーブルは、中継ボックス5に入り、ここよりフレックスチューブ4に収納して、中継ボックスAに入る。
- (g) 第1軸用モータのケーブルは、中継ボックスAに入る。

作業アーム用ケーブルはすべて中継ボックスAに入り、ここでコネクタ接続でリフターに取り付けたケーブルベヤ部に入る。

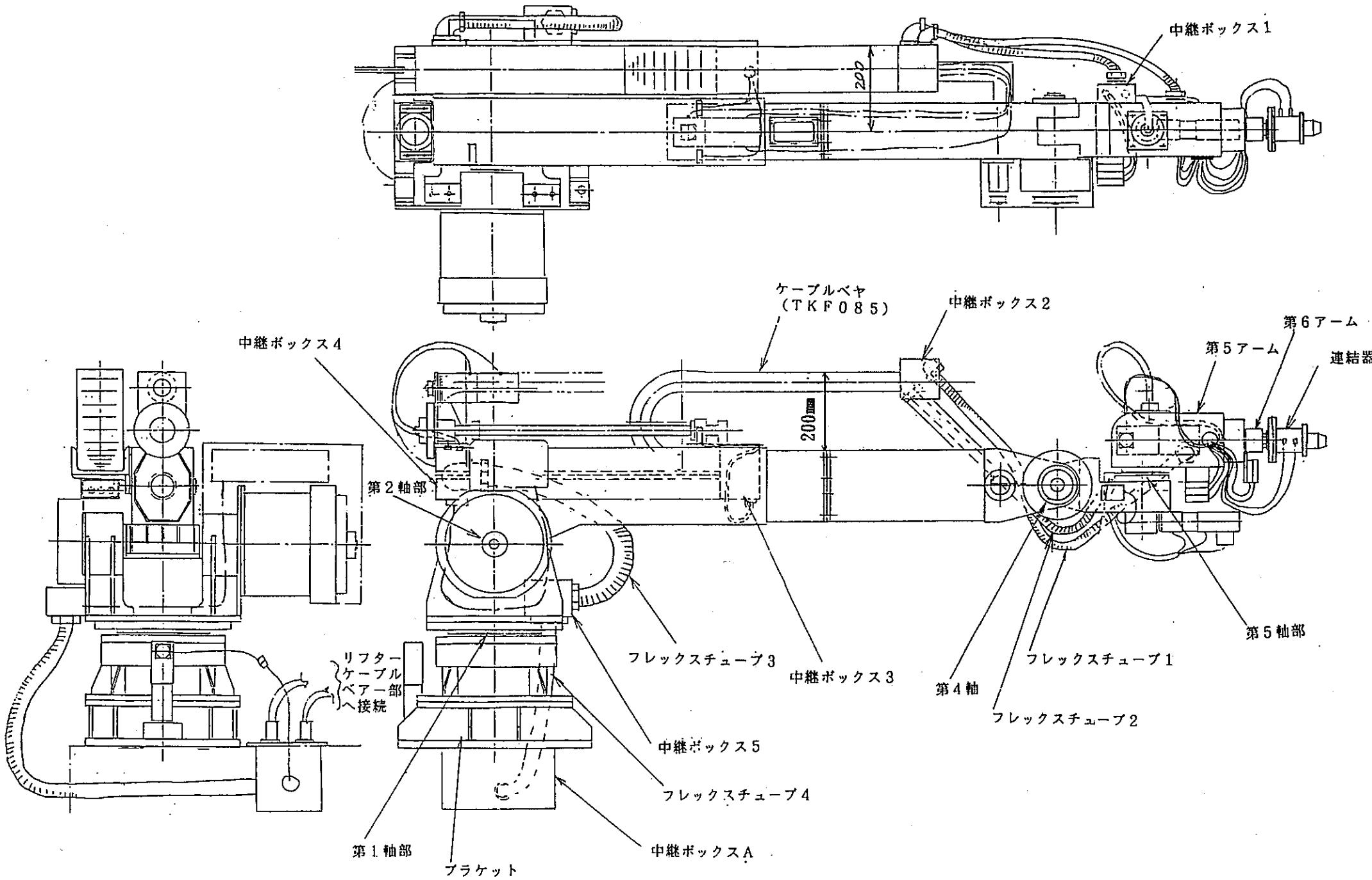


表-18 ケーブルサイズ及び形状

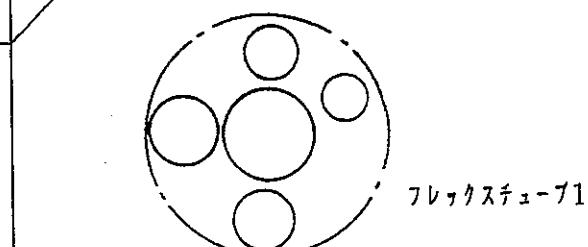
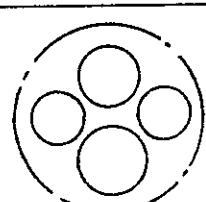
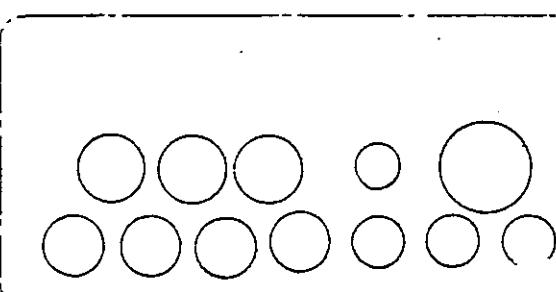
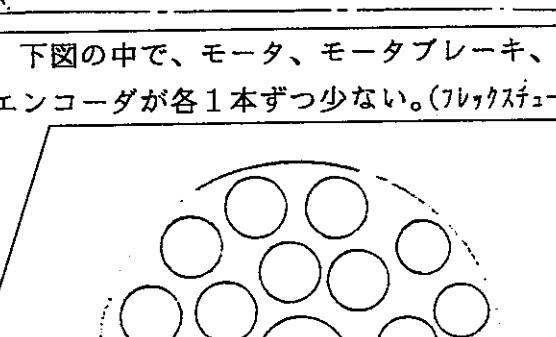
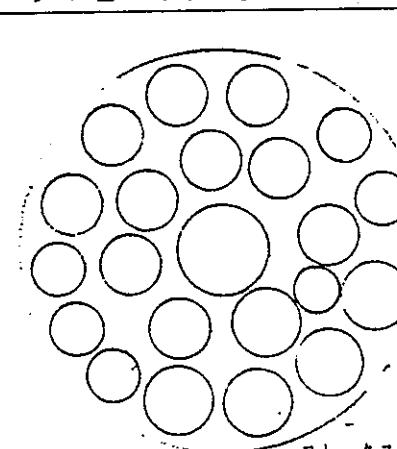
部位	ケーブルサイズ 外径 (mm) × 本数	ケーブル収納部断面形状
①第6軸部	φ 6×2 (制御) φ 6×2 (エアーホース)	
②第5軸部	φ 8×1 (モータ) φ 7×1 (モータブレーキ) φ 9×1 (エンコーダ) φ 12×1 (制御) φ 6×1 (エアーホース)	 フレックスチュープ1
③第4軸部	φ 8×1 (モータ) φ 7×1 (モータブレーキ) φ 9×1 (エンコーダ) φ 8×1 (制御)	 フレックスチュープ2
④第3軸部 (伸縮部)	φ 8×3 (モータ) φ 7×3 (モータブレーキ) φ 9×3 (エンコーダ) φ 8×1 (制御) φ 12×1 (制御) φ 6×1 (エアーホース)	
⑤第2軸部	φ 8×4 (モータ) φ 7×4 (モータブレーキ) φ 9×4 (エンコーダ) φ 8×3 (制御) φ 12×1 (制御) φ 6×1 (エアーホース)	下図の中で、モータ、モータブレーキ、 エンコーダが各1本ずつ少ない。(フレックスチュープ3) 
⑥第1軸部	φ 8×5 (モータ) φ 7×5 (モータブレーキ) φ 9×5 (エンコーダ) φ 8×5 (制御) φ 12×1 (制御) φ 6×1 (エアーホース)	 フレックスチュープ4
⑦第1軸 ブレーキ部	φ 8×1 (モータ) φ 7×1 (モータブレーキ) φ 9×1 (エンコーダ) φ 8×5 (制御)	

表-19 ケーブル種類及び必要線数

部 位	動力・制御用ケーブル				エンコーダ用	エアーホース 外径φ6		
	動 力		制 御					
	1.25mm <sup>2</sup>	0.75mm <sup>2</sup>	0.75mm <sup>2</sup>	0.3 mm <sup>2</sup>				
(①) 第6軸部	—	—	4本 (リミット2本)	—	—	2本		
(②) 第5軸部	2本 (モータ1本)	—	11本 (リミット8本) (ソリュード1本)	2本 (フレキ1本)	11本	1本		
(③) 第4軸部	2本 (モータ1本)	2本 (モータ1本)	14本 (リミット11本) (ソリュード1本)	4本 (フレキ2本)	22本	1本		
(④) 第3軸部	4本 (モータ2本)	2本 (モータ1本)	14本 (リミット11本)	6本 (フレキ3本) (ソリュード1本)	33本	1本		
(⑤) 第2軸部	6本 (モータ3本)	2本 (モータ1本)	20本 (リミット16本) (ソリュード1本)	8本 (フレキ4本)	44本	1本		
(⑥) 第1軸部	8本 (モータ4本)	2本 (モータ1本)	25本 (リミット21本)	10本 (フレキ5本) (ソリュード1本)	55本	1本		
(⑦) 第1軸 ナゲット部	2本 (モータ1本)	—	7本 (リミット5本)	2本 (フレキ1本)	11本	—		

## (ii) 共通化ケーブルのルート検討（外装の場合）

共通化ケーブルのルート検討に当たっては、共通化による追加分のケーブルサイズ及び形状を表-20に、ケーブル種類及び必要線数を表-21にまとめた。これらのケーブルを、従来と同様の方法で作業アームの外側に配置する方法について以下に示す。ケーブルの配置にあたっては、動力・制御・同軸ケーブルのグループ1と溶接・エアーのグループ2の2種類に分離した。これらのケーブルルートを以下に示す。

また、配管ヘユニットを取り付ける際に、追加ケーブル及び連結器が大きくなることによって作業性の低下が考えられるが、現状の作業計画においては、ユニットを取り付け可能なように周辺部の配管を取り除いてから作業を実施するので、追加ケーブルを作業アームの外に取り付けても問題ないと思われる。

尚、共通化ケーブルの検討後のケーブルルートを図-23に示す。

(a) 連結部にある共通化ケーブルは、2種類に束ねて第5アームに取り付けた中継ボックス6に入る。ここから2本のフレックスチューブ5、6に収納して中継ボックス2'（中継ボックス2を大きくしたもの）に入る。

尚、連結器用エアーのソレノイドバルブを、中継ボックス6内に設置して、以後のエアーホースを1本にする。

(b) 中継ボックス2'より従来同様にケーブルベヤ内に通して中継ボックス3'（中継ボックス3を大きくしたもの）を経由して中継ボックス4'に入る。

共通化ケーブル分用として、別のケーブルベヤを現状の位置以外に追加することについては、アーム全体が太くなるので、現状の位置に今より大きなケーブルベヤを設置する。（高さ100mm、幅32mm大きくなる。）

(c) 中継ボックス4'（中継ボックス4を大きくしたもの）より作業アームの後方を通して、現状と同様に中継ボックス5'を経由してリフターに設置する。

ただしリフターに設置するにあたっては、リフター側のスペースに余裕がないので、リフター内ケーブルルートと併せて検討が必要である。

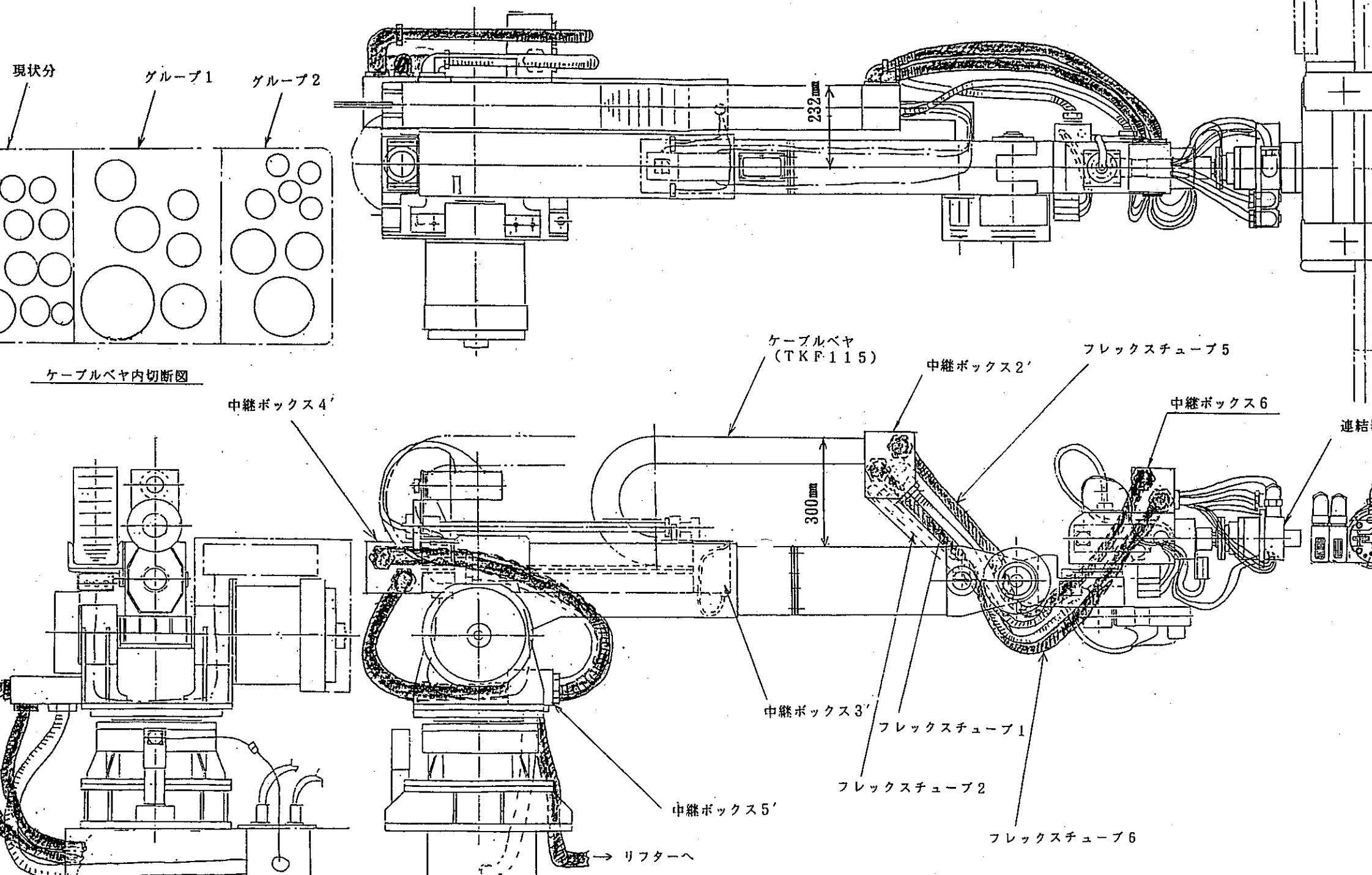
（次項のリフター内ケーブルルートで検討した。）

表-20 ケーブルサイズ及び形状（共通化ケーブル分）

内容 部 位	ケーブルサイズ 外径 (mm) × 本数	ケーブル収納部断面形状
①第6軸部	φ 12 × 1 (動力)	グループ1
②第5軸部	φ 9 × 1 (動力)	
③第4軸部	φ 8 × 1 (動力)	フレックス チューブ5
④第3軸部		
⑤第2軸部	φ 11 × 1 (制御)	
⑥第1軸部	φ 12 × 1 (制御)	
⑦第1軸 ブレーキト部	φ 20 × 1 (同軸)  φ 10 × 1 (溶接) φ 15 × 1 (溶接) φ 6 × 4 (エアホース) φ 8 × 1 (エアホース) φ 12 × 1 (エアホース)	グループ2  フレックス チューブ6

表-21 ケーブル種類及び必要線数

部 位	動力・制御用ケーブル				同 軸 ケーブル	溶 接 ケーブル	エアーホース				
	動 力		制 御				外 径				
	1.25mm <sup>2</sup> (モータ用)	0.75mm <sup>2</sup> (モータ用)	0.75mm <sup>2</sup> (モータ用)	0.3 mm <sup>2</sup> (モータ用)			φ6	φ8	φ12		
①第6軸部	3本 (モータ用)	16本	17本 4本 (自在機構用リミット2本)	-	16本	1本 1本	2本 1本 1本 (自在機器用)	1本 1本	1本 1本		
②第5軸部	3本 (モータ用)	16本	17本 2本(カルキ) (自在機構用リミット2本)	-	16本	1本 1本	2本 1本 1本 (自在機器用)	1本 1本	1本 1本		
③第4軸部											
④第3軸部											
⑤第2軸部											
⑥第1軸部											
⑦第1軸 ブレーキト部											



### (iv) 共通化ケーブルのルートの検討（内装の場合）

ケーブル内装の場合は、アームがシンプルになると考えられるので、内装案についても検討した。内装の場合の関節部分は、スリップリングを使用し、エアーはスイベルジョイントを使用するとして、これらの市販品調査を実施した。調査結果を以下に示す。

#### (a) スリップリング・スイベルジョイントの調査

##### ① 一般電気用スリップリング

一般電気用スリップリングを使用した場合、作業アームの必要分は、動力用10極、制御用35極である。共通化分は、動力用19極、制御用21極である。市販品に標準品はないが、参考までに共通化分合計40極用を製作すれば図-24の形状になると思われる。

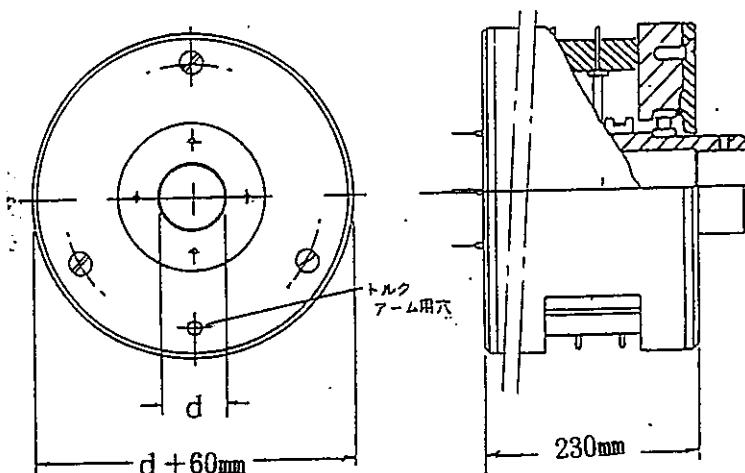


図-24 40極用の場合

##### ② 大電流用

大電流用スリップリングとしては1極タイプである。

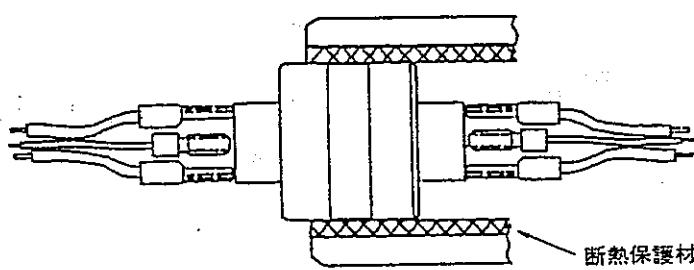


図-25 大電流用の場合

### ③同軸ケーブル用

同軸ケーブル用は1極タイプがあるが、作業アームに組み込むことを考える場合、16極分を取り付けるのは不可能である。

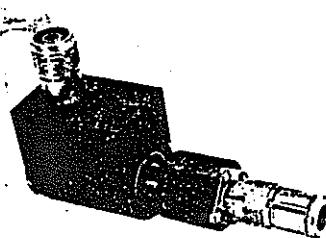


図-26 同軸ケーブル用

### ④エンコーダ用

エンコーダ用として40極タイプまである。形状としては大きくなるので、上記同様不可能である。

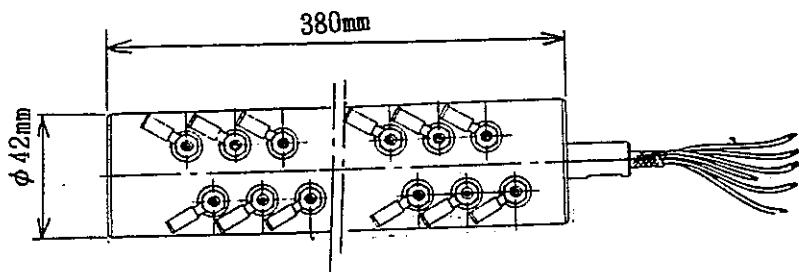


図-27 エンコーダ用の場合

### ⑤スイベルジョイント調査

1軸用と多軸用(3軸)がある。1軸用は小さいが複数個取り付けると軸方向に長くなり設置困難と考える。多軸用は大きくて同様に作業アームに設置困難である。

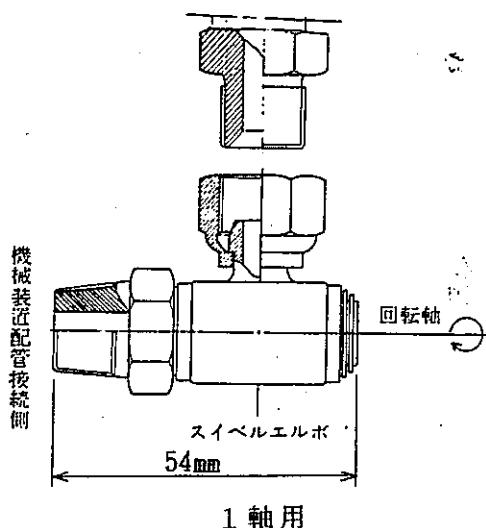
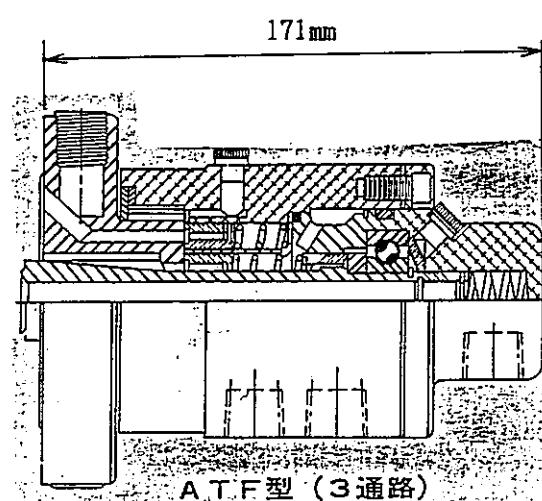


図-28 スイベルジョイント

### (b) 作業アームへの適用について

作業アームにケーブルを内装する場合、前述で調査したスリップリング等の部品を関節部に使用するが、調査結果より部品形状が大きく、適用にあたり関節部に収納または取付けが困難であり適用は不可能であると考える。

第6軸関節部に共通化ケーブル用のスリップリングを適用した場合の外観を図-29に示す。スリップリングを使用してもケーブルの処置はあまり良くならず、逆にスリップリング部が長くなり、作業アームへの負荷が増大する。

その他適用が困難な理由について以下に示す。

#### ① 同軸ケーブル用

同軸ケーブル用は、1軸タイプなので16軸分を間接部に取り付けると、16個直列に接続する配置となり現実的でない。

#### ② エンコーダ用

細長い形状なので、関節外部でなく軸内部に差し込む方法となる。しかしながら、関節部軸径が太くなり減速機等関節部全体が大きくなる。

#### ③ エアー用スイベルジョイント

スイベルジョイント多軸用(3軸)の取付けは、フランジ部を関節部に取付ける方法である。エアーホースは、共通化ホース及び作業アーム用として6本必要なので、第2軸及び4軸部は関節両側に取付ける構造となり、関節部が大きくなる。また第6軸の場合は、軸方向に直列に3軸用を2個接続する構造となり、スリップリング同様長くなる。

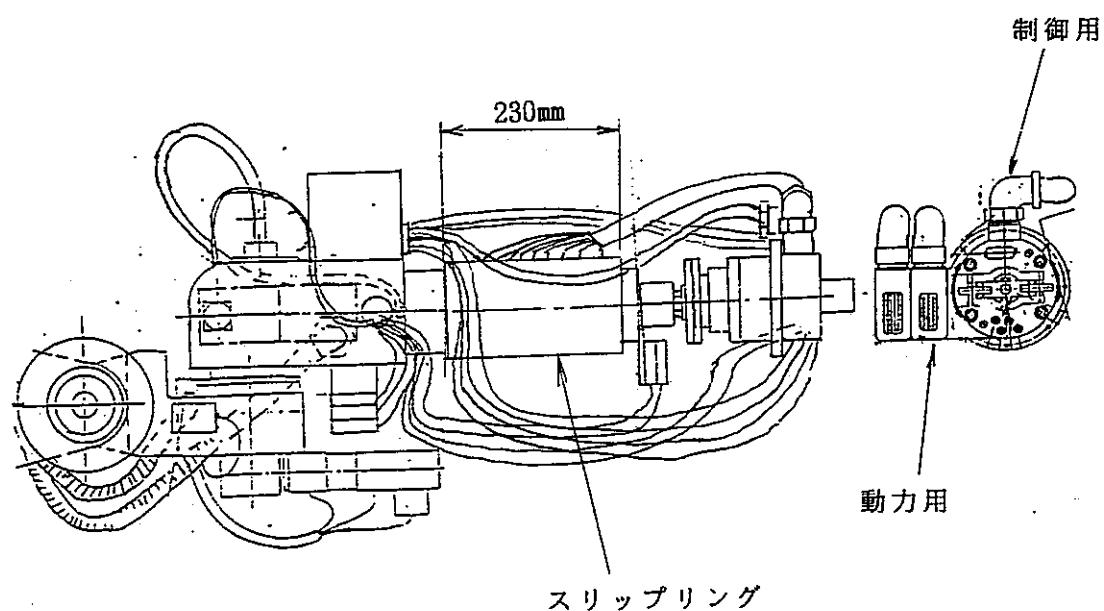


図-29 スリップリング使用例

(iv) 共通化ケーブルのルート検討（リフター内ケーブルルート）

作業アームはリフター上に設置しており、上下に1200mm動作する。したがって作業アームの中継ボックスAより取り出したケーブルは、リフターのケーブルベヤ部に組み込む。共用化ケーブルのリフター内配置について以下に検討内容を示す。

(a) 現状のリフター内ケーブル

作業アーム用のケーブルは、中継ボックスAよりモータ、ブレーキ、リミットスイッチ用で4本（約 $\phi 16 \times 4$ ）とエンコーダ用で6本（ $\phi 9 \times 6$ ）で合計10本のケーブルを収納している。取り付け状態を図-30に示す。

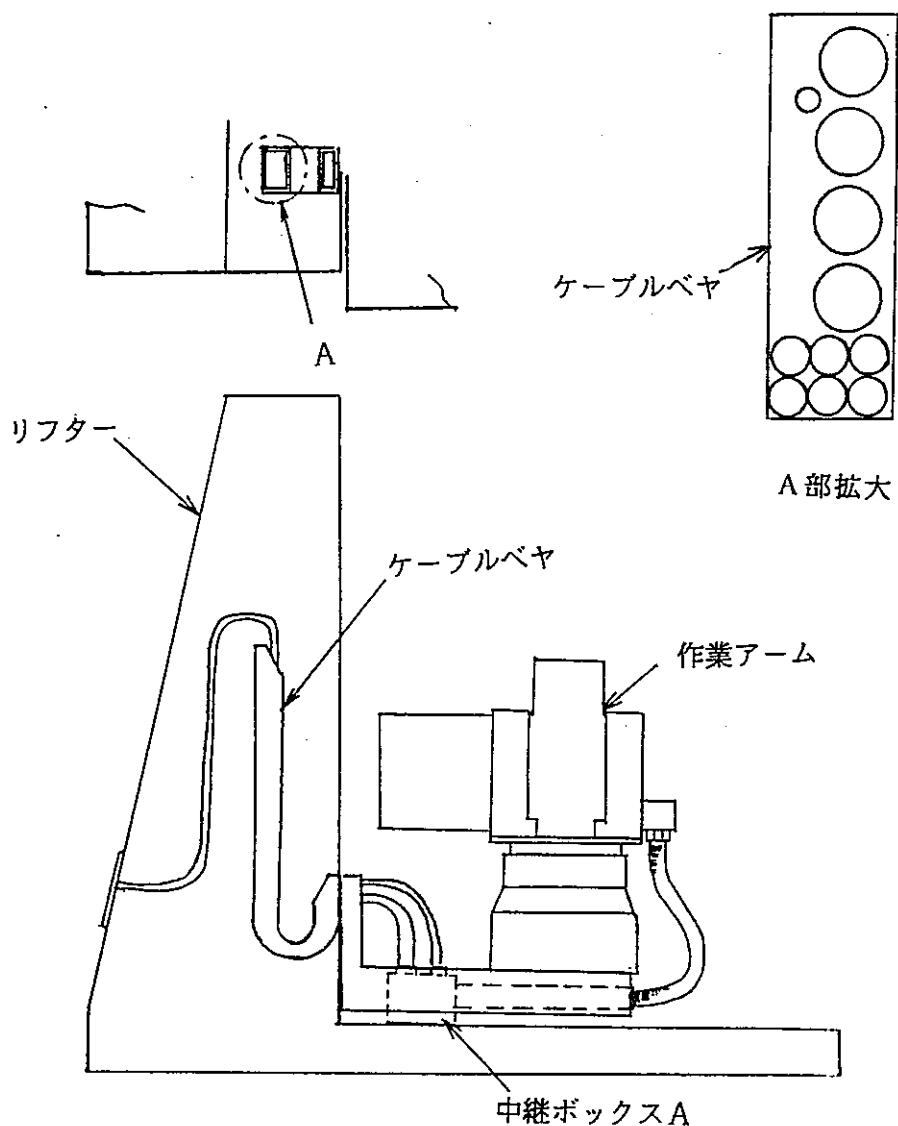


図-30 リフター内ケーブル配置図

(b) 共通化ケーブルのリフター内配置

共通化ケーブルは、現ケーブルベヤ内に入らないこと及び、同じタイプで断面形状の大きなケーブルベヤがないので別なルートに配置する。配置図を図-31に示す。

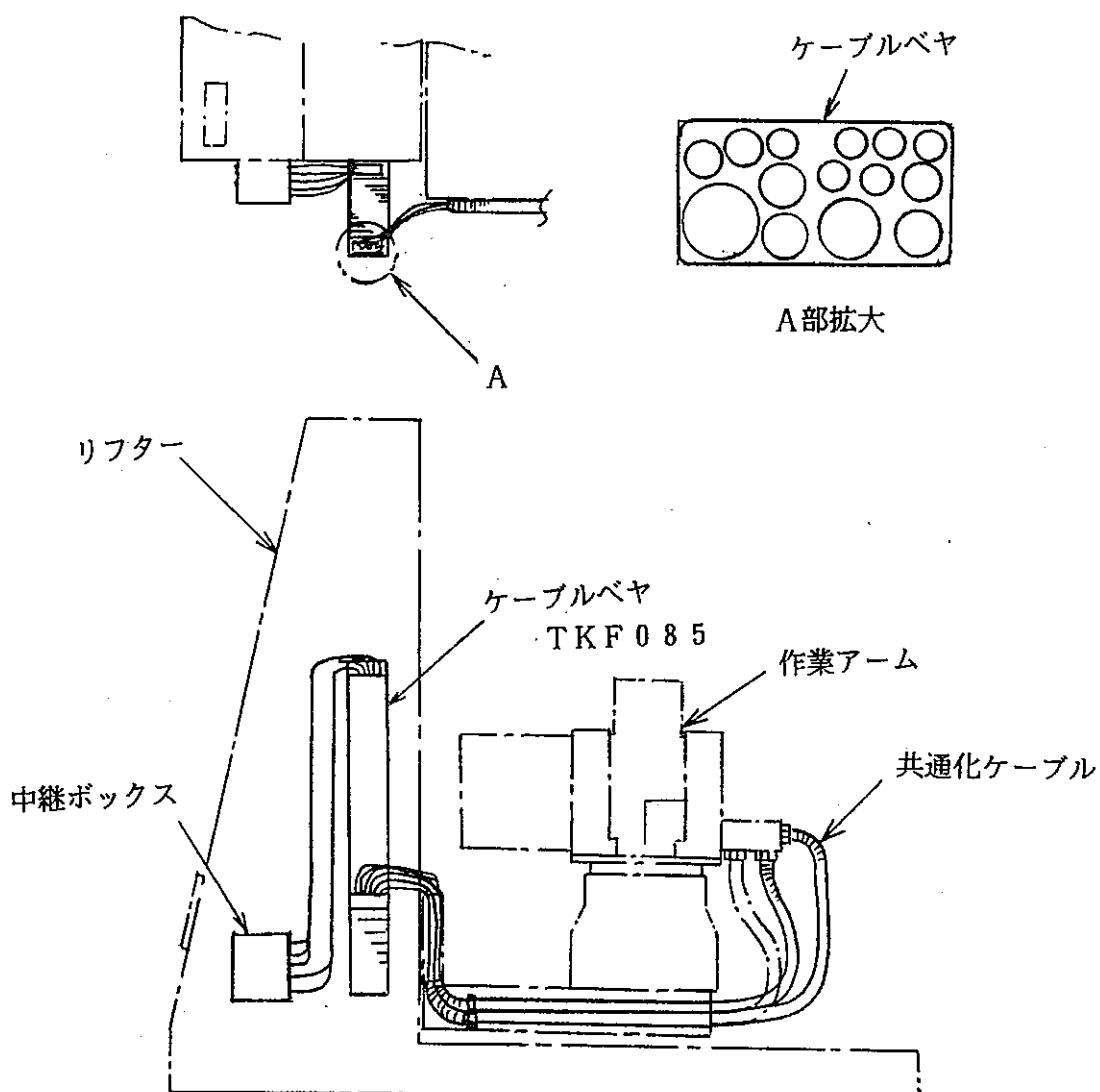


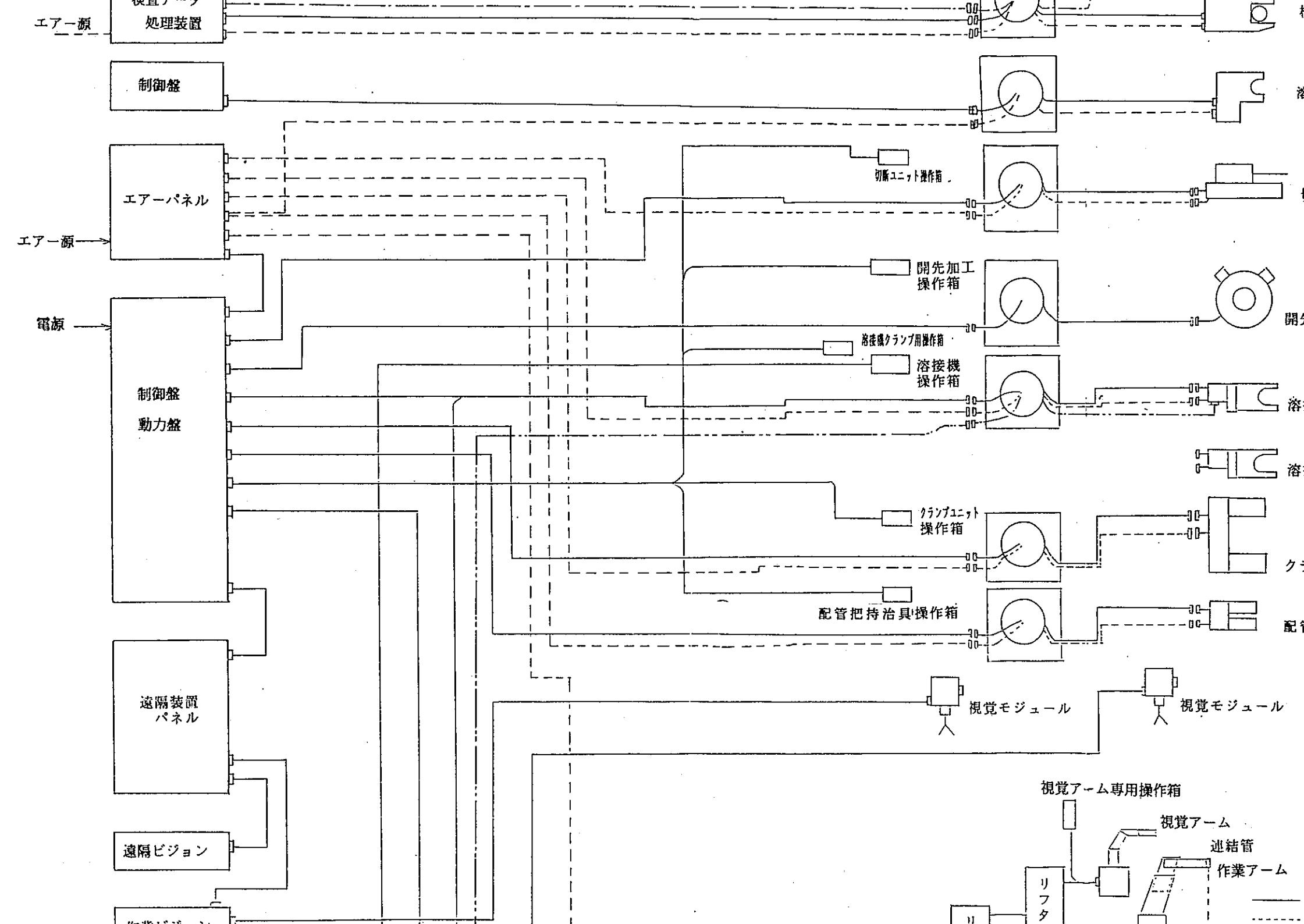
図-31 共通化ケーブルリフター配置図

### (3) ケーブル処理装置の検討

ケーブルを共通化するにあたり、必要となるケーブル処理装置について以下に検討する。

#### (i) 現状配線の調査

本システムに使用する機器について、現状のケーブル配線を図-32に示す。各ユニットはそれぞれのケーブルモジュールをとおして制御盤に接続している。制御盤へは他機器として、作業アーム、リフター、視覚アームが接続されている。



## (ii) ケーブル処理装置の検討

6種類のユニット用ケーブルについて、作業アームを経由させて、ケーブル処理装置に接続した場合について以下に検討する。

### (a) 機能

ケーブル処理装置は、各ユニットの操作において共通線を使用して実施するため、各ユニット用に機能するリレーを組んだ装置とする。概念を図-33に示す。

例えばユニット1を作業アームに連結させると、ユニット選択用のリレー(RY1, RY2)が動作して、共通化ケーブルがユニット1用のケーブルとして機能する。

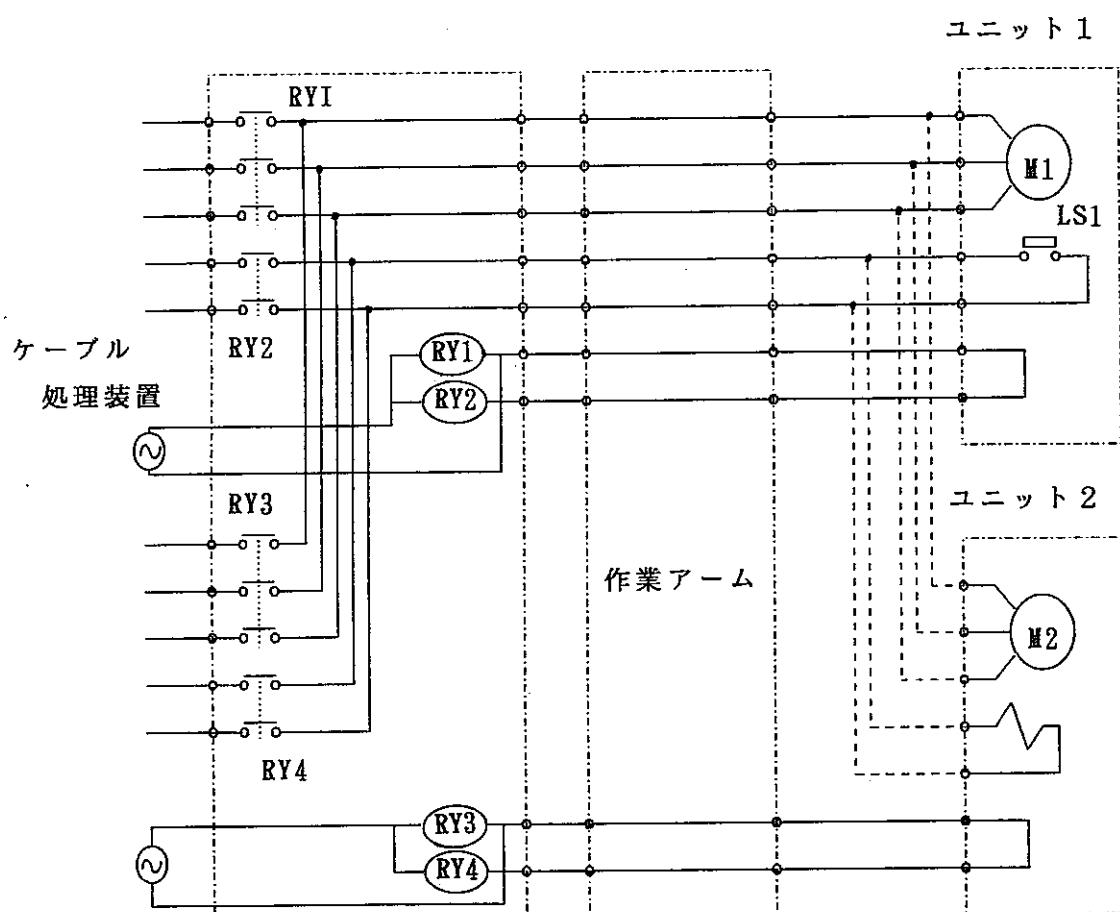


図-33 ケーブル処理装置概念

### (b) 仕様

#### ① 適用ユニット

切断ユニット・開先加工ユニット・配管把持治具・溶接ユニット・溶接仕上装置・検査装置

#### ② 使用電源： A C 1 0 0 V

#### ③ 使用リレー

型名： L Y - 2 (オムロン) 2個 L Y - 4 (オムロン) 19個

#### ④ 外形： 400mm<sup>b</sup> × 520mm<sup>h</sup> × 400mm<sup>d</sup>

#### ⑤ 重量： 約30kg

(c) 構成

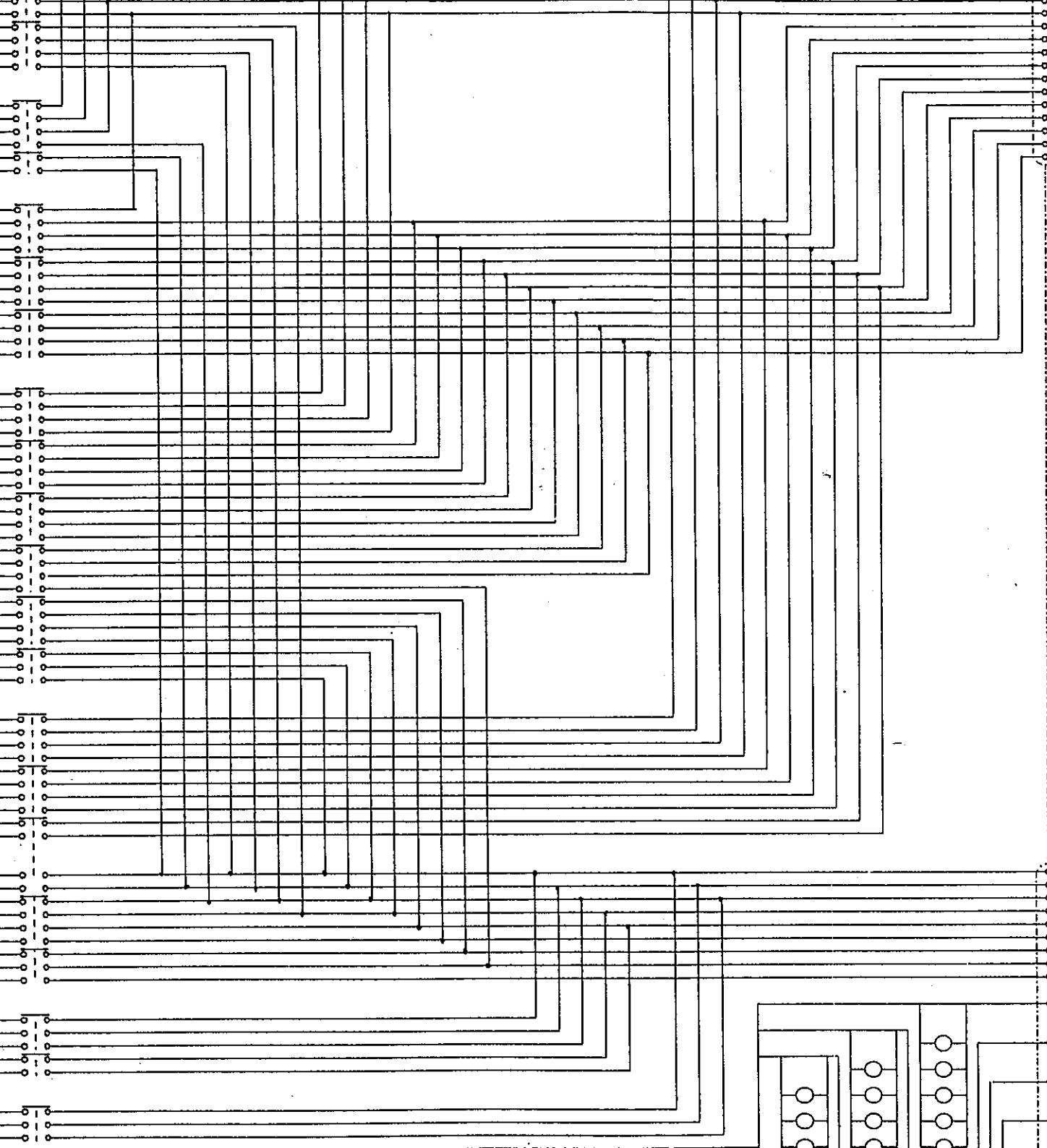
ケーブル処理装置の構成は、ユニット選択用のリレー及びこれらを収納する制御盤よりなる。各ユニットとの接続を図-34に示す。操作盤への接続は、現在ケーブルモジュールより取り出しているケーブルを利用できるようにしている。

溶接ユニット

配管把持治具

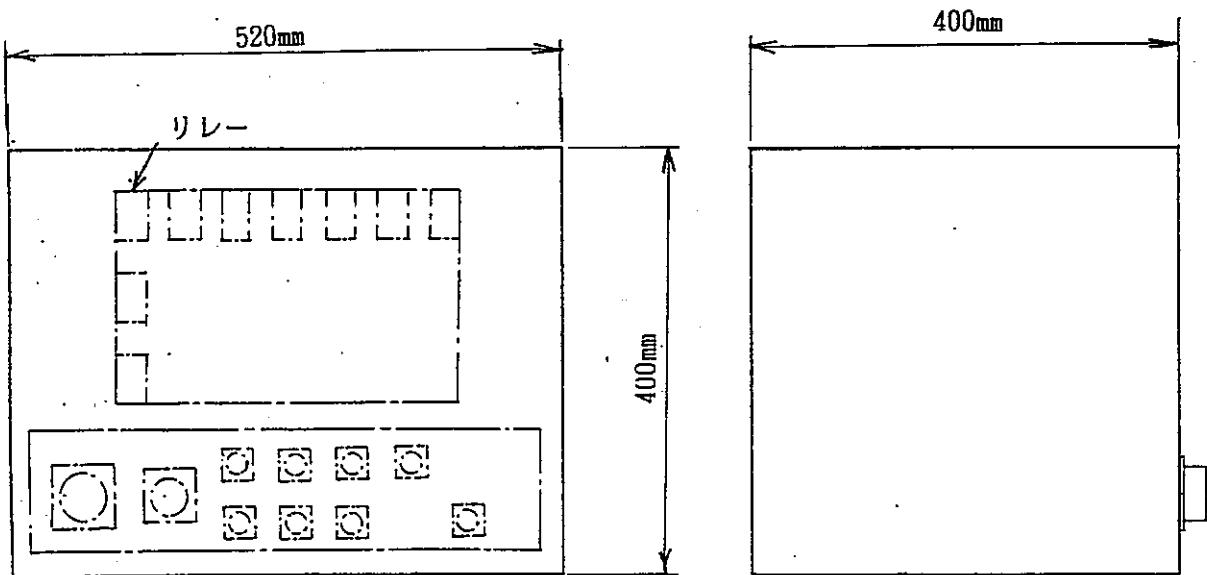
開先加工ユニット

切断ユニット



(d) 構造

ケーブル処理装置の構造図を図-35に示す。



使用コネクタ

開先 : NCS-5025R (七星) 切断 : NCS-257R

溶接 : NCS-257R, PRC04-12A20S12F14. 15 (多治見無線)

配管把持 : NCS-254R 溶接仕上 : MS3102A-28-21S

検査装置 : SRCB2A16-14S 2個 (日本航空電子)

図-35 ケーブル処理装置構造図

(e) 配置

ケーブル処理装置の配置は、全体システム上、作業アームと操作盤との間に配置する。設置位置としては、ケーブル処理装置の取扱い上、運搬しやすくするためにセル外に設置（操作盤近くに設置）する。配置を図-36に示す。

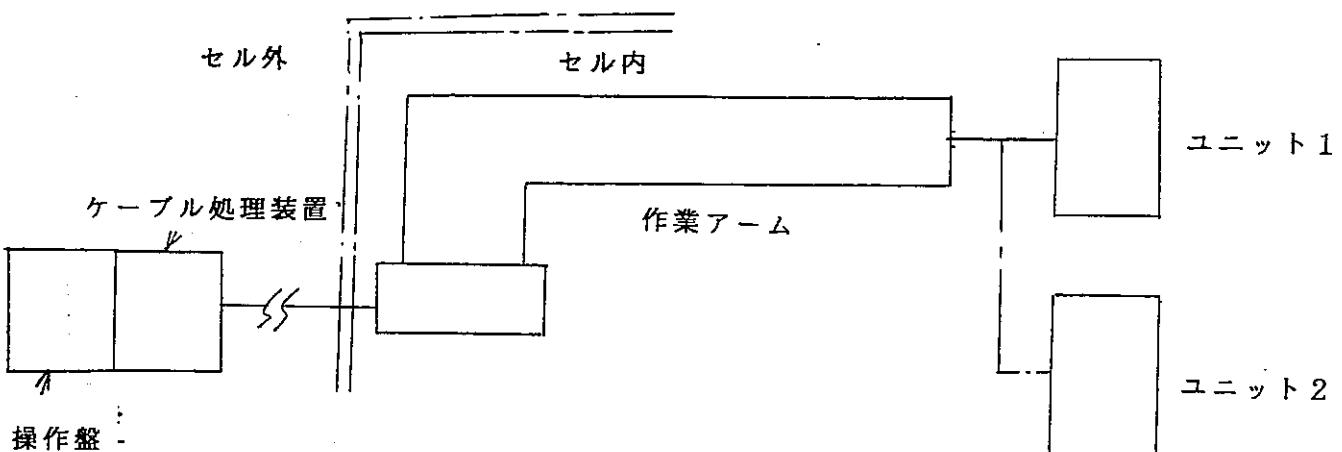


図-36 ケーブル処理装置の配置

#### 4.1.4 スペース削減化の検討

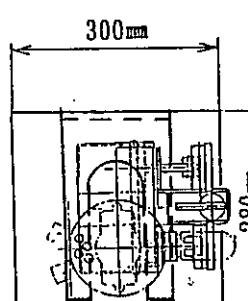
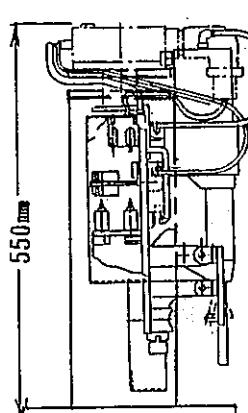
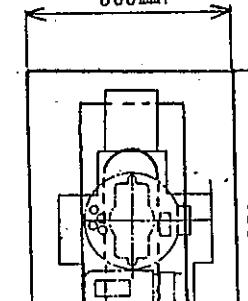
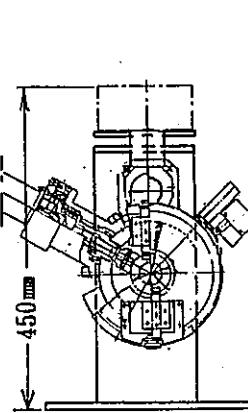
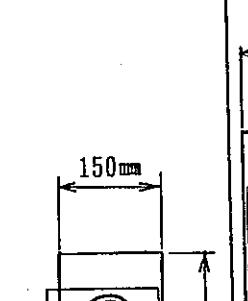
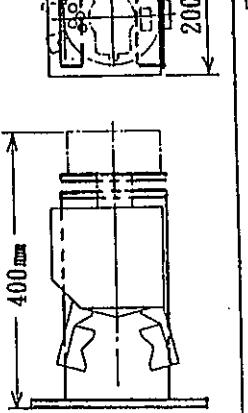
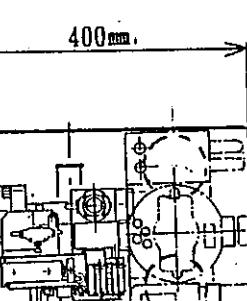
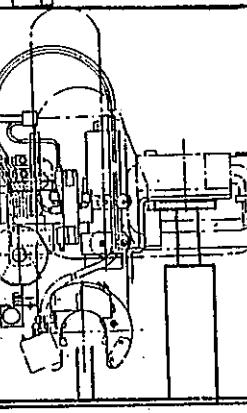
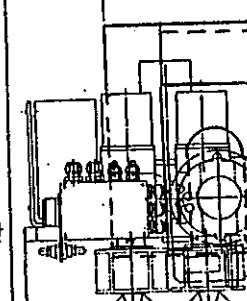
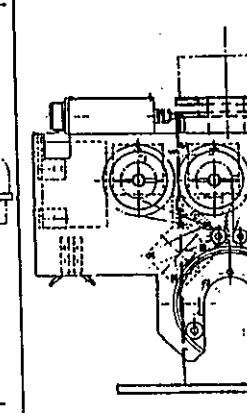
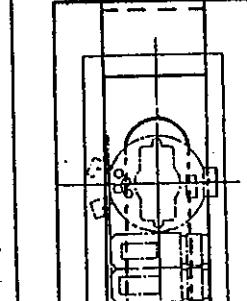
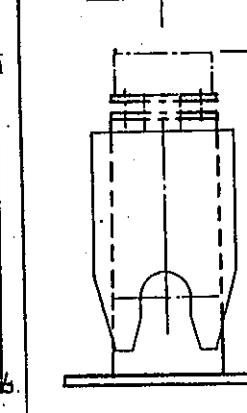
ケーブルモジュールの除外により、ユニット用ステーションの構造について以下に検討する。

##### (1) ステーションの構造検討

現状のユニットにはそれぞれ操作用ケーブルが接続されており、ステーションはケーブルモジュールに付属した構造となっている。ケーブル共通化によって、ケーブルモジュールの機能を作業アームに組み込んだシステムとなり、ケーブルモジュールの除外によって、ステーションは単体構造となる。

- ① クランプユニット以外は、ケーブルモジュールを使用しないので、ステーションは単体構造とする。
- ② ステーションは作業アーム連結時の誤差を吸収するため、現状と同様にスプリング等で支持する。
- ③ ユニットを支持する方法は、現状のステーションの様に配管クランプ部を支持するタイプ及び、同一構造部である連結器を支持するタイプが考えられる。これらのタイプを各ユニットに適用するとして構造案を表-22に示す。

表-22 各ユニット構造案

ユニット	切断ユニット	開先加工ユニット	配管把持治具	溶接ユニット	溶接仕上装置	検査装置
方式	連結部支持	連結部支持	連結部支持	配管部支持	連結部支持	連結部支持
構造図	 	 	 	 	 	 

## (2) ステーションの配置検討

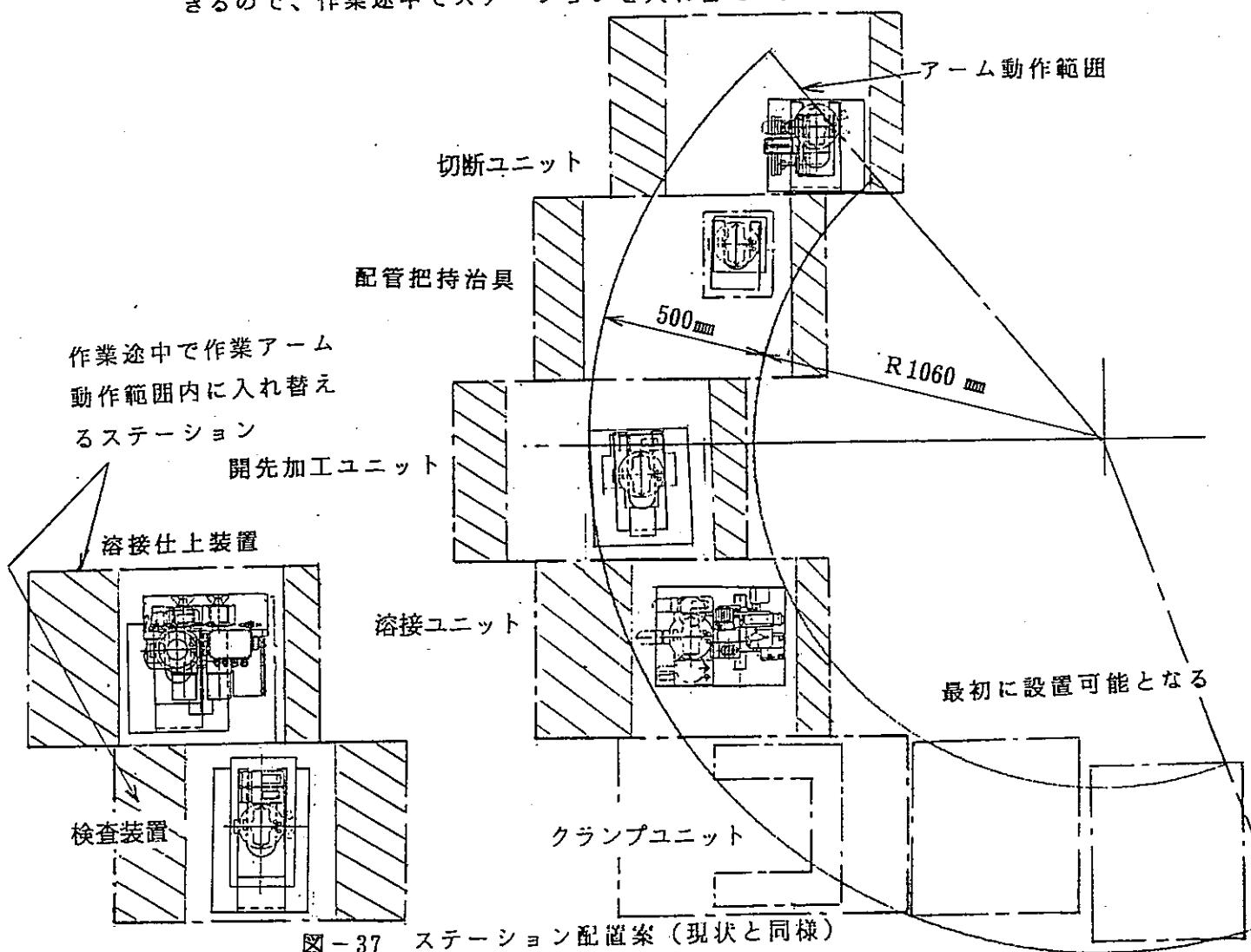
現在のステーションのスペースは、ケーブルモジュールの大きさによって決まっている。ケーブルの共通化によって、ケーブルモジュールの機能を除外した場合、ステーションの大きさが縮小されるので、設置スペースを削減するためのステーション配置を以下に検討する。

### (i) 現状と同様に並べる場合。

ステーションの大きさは、ケーブルモジュールの機能を除外した場合、前述表-22に示す様にユニットの大きさによりほぼ決まる。現状のスペースと比較した場合、図-37に示すように斜線部分が削減でき、全体で約65%に縮小する。

- ① 切断ユニット用 : 70%に縮小（切断した配管スペースが必要）
- ② 開先加工ユニット用 : 70%に縮小（切粉処理スペースが必要）
- ③ 材料把持治具用 : 70%に縮小（新配管スペースが必要）
- ④ 溶接ユニット用 : 50%に縮小
- ⑤ 溶接仕上装置用 : 50%に縮小
- ⑥ 検査装置用 : 50%に縮小
- ⑦ クランプユニット用 : 100% (現状のまま)

その他の効果として、作業アームの動作範囲内に全ユニットを同時に設置できるので、作業途中でステーションを入れ替える必要がなくなる。



## (ii) ステーションを定位に設置の場合

各ステーション側を移動させることで、現状のようにすべてのステーションが作業アームの動作範囲内に設置する必要がない方式について、平面に設置する方法と立体に設置する方法について以下に検討した。

### (a) 平面に設置した場合

各ステーションを図-38に示すように円周状に設置して、ステーション側を平面に回転移動させる。この場合の必要なスペースは、前述のステーション配置案と大きな差はなくほぼ同じである。

しかしながらこの方法は、ステーションを平面に駆動させる機器が必要で、その機器の操作及び運搬等の取扱いが追加となる。

ユニットを連結する作業については、以下の理由により現状と同じなので、ステーション側を移動させる方法のメリットはない。

- ① 作業アームの駆動精度が約±3mmと再現性がないので、ステーション側を定位に移動させても、連結時の作業状態は同じである。
- ② 作業アームを使用して、ユニットをステーションにもどす場合も、同位置に設置できないので、連結時の作業状態は同じである。

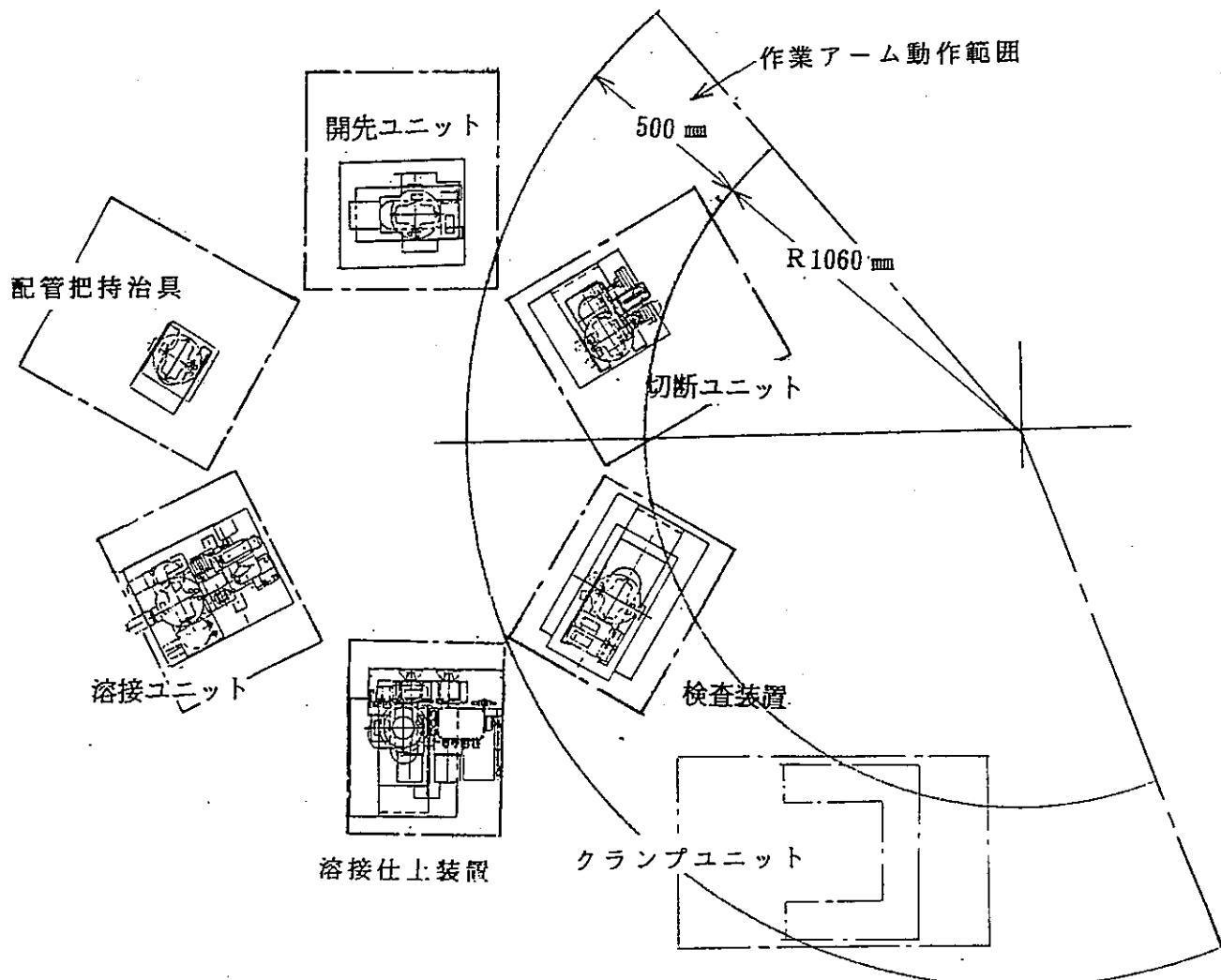


図-38 ステーションを移動させる場合（平面）

(b) 立体に設置した場合

各ステーションを図-39に示すように立体状に設置して、ステーション側を立体に回転移動させる。この場合の必要なスペースは、前述の平面に設置した場合に比較して、ステーションを立体に駆動させる機器を含めてもも、約1/2～1/3に縮小できると思われる。

機器の取扱い及びユニットの連結作業については、前述平面に移動させる場合と同じである。

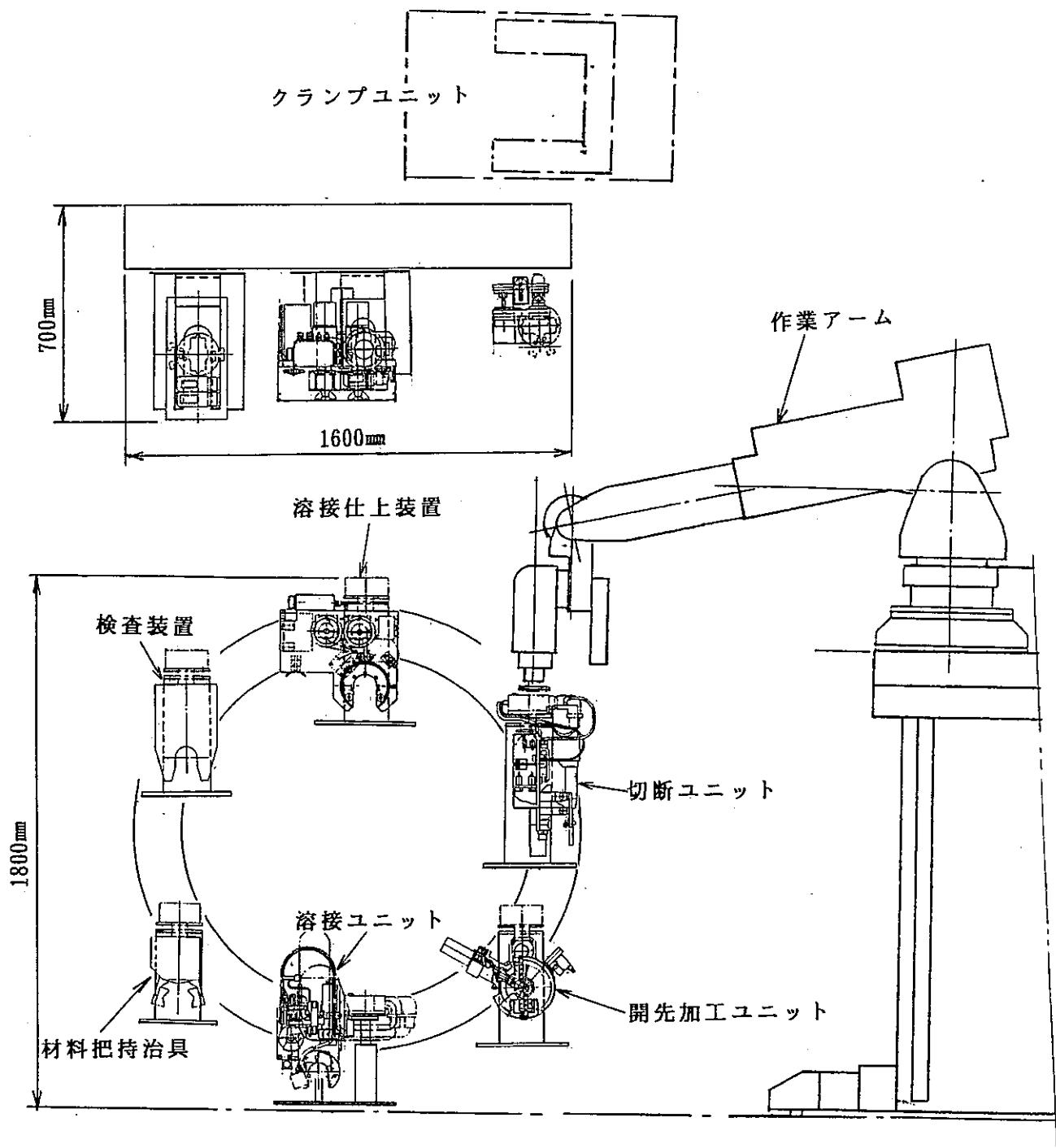


図-39 ステーションを移動させる場合（立体）

#### 4.1.5 遠隔操縦装置の改造検討

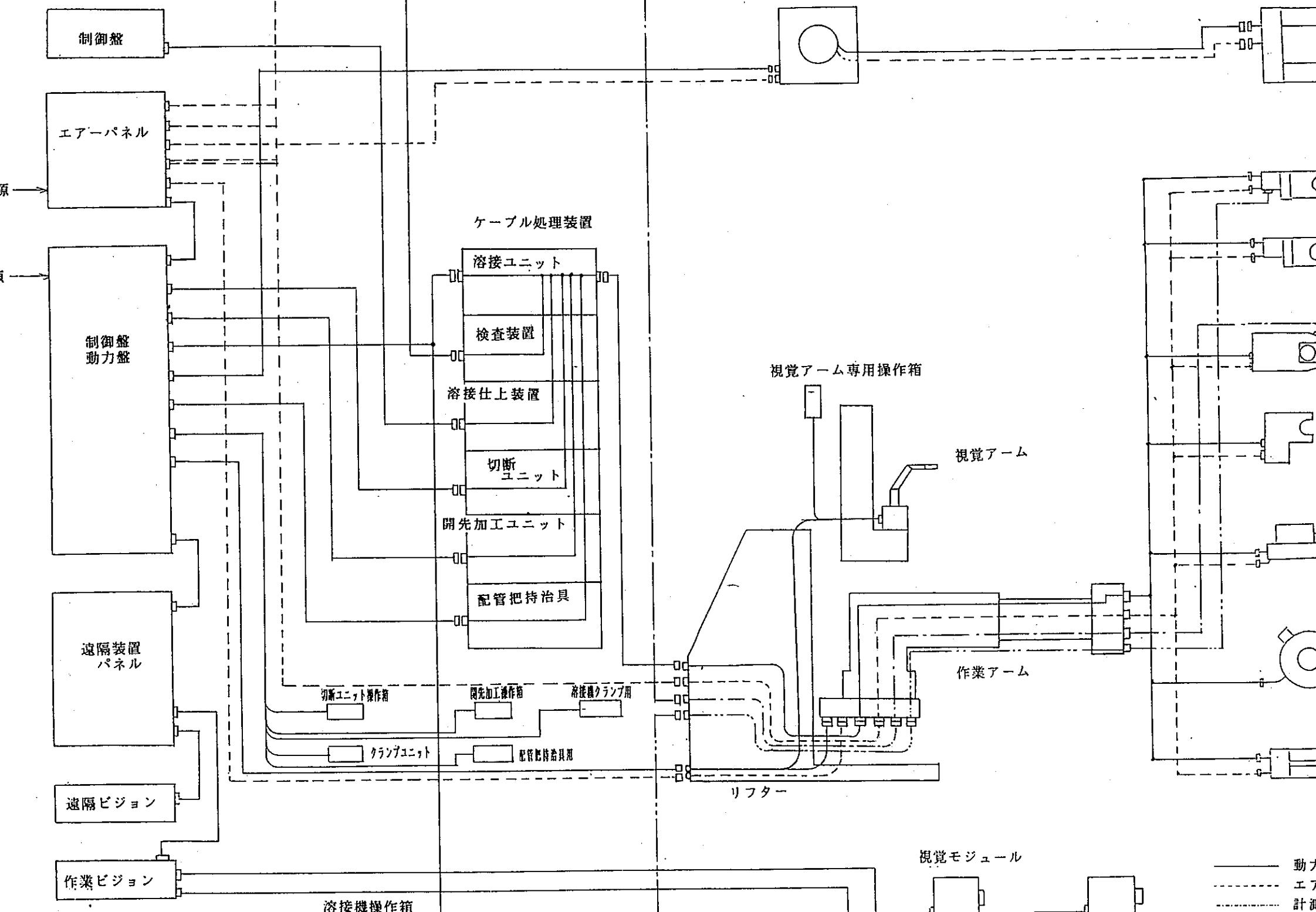
ケーブル共通化の検討結果をもとにして、遠隔操縦装置の改造検討を以下に示す。ケーブルを共通化するために、前項のケーブル処理装置を必要とする。本処理装置は、ユニットを選択するために、ユニット識別ケーブルを使用してリレーを動作させている。リレーの動作方法には、操作盤側より信号を出す方法もあるが、誤動作防止のために、ユニット側よりの信号も同時に必要となるので、ユニット識別ケーブルによりリレーを動作させる方法とする。したがって遠隔操縦装置の改造については、以下の2とおりについて示す。

##### (1) 現状構成の場合

現状構成での遠隔操縦装置の改造内容について以下に示す。

- ① クランプユニット以外は、ケーブルモジュールを使用しないので、ケーブルモジュール用操作スイッチを除去する。  
(実用上はケーブルモジュールがないのでそのままでも可)
- ② ユニットを操作するために必要なケーブルの中で、ケーブルモジュールのかわりに、共通化ケーブルが及びケーブル処理装置が追加となるが、ユニットを操作する上で、遠隔操縦装置の改造は不要である。また、ケーブル処理装置と遠隔操縦装置間のケーブルは、現状のケーブルモジュールと遠隔操縦装置間のケーブルが利用できる。

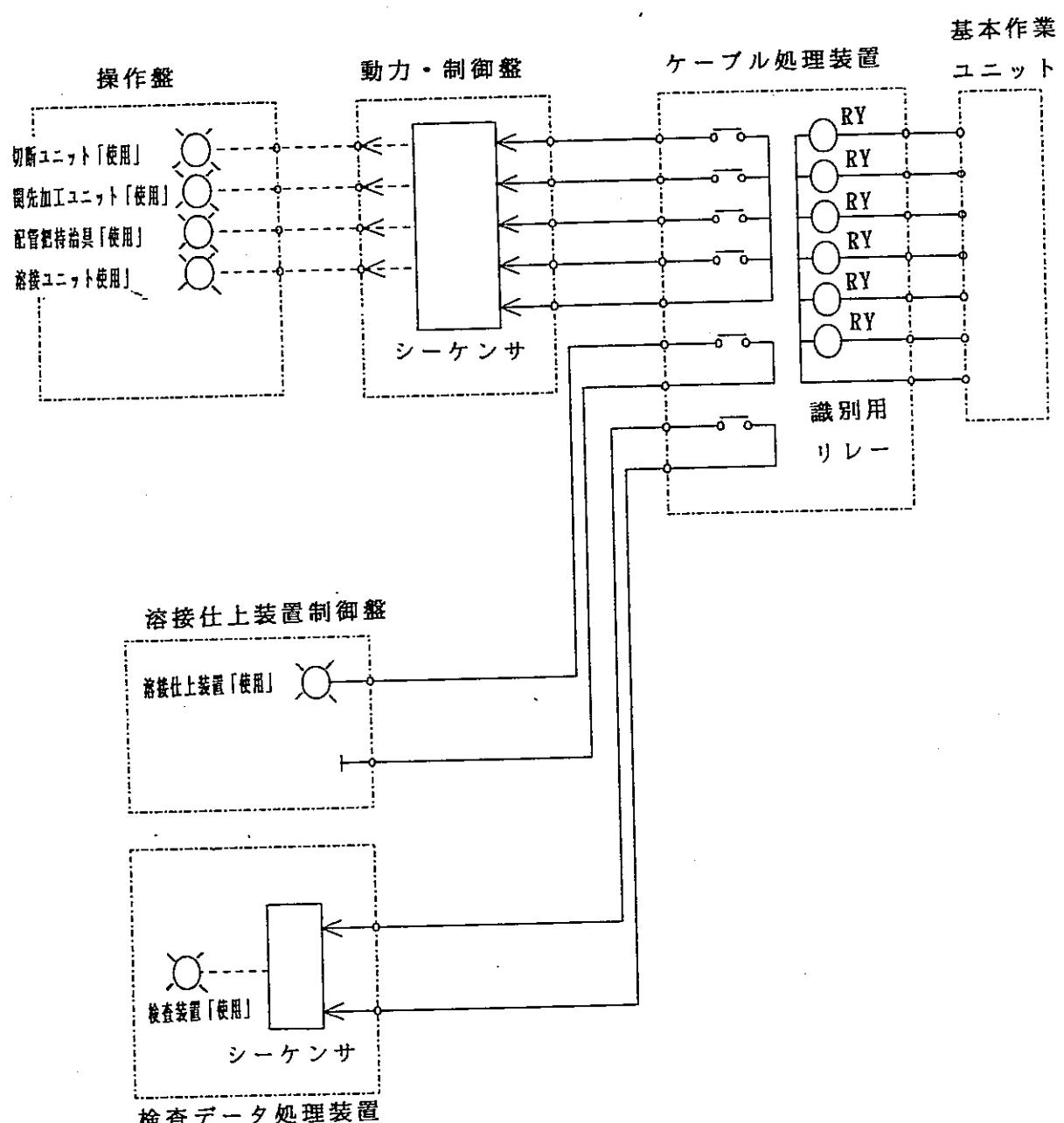
現状のシステムに、ケーブル処理装置を追加した場合のケーブル配線図を、図-40に示す。



③ 共通化したケーブルを使用するので、操作時にどのユニットが使用できるかを表示する方法について以下に検討した。

動作可能なユニットは、自動（作業アームにて連結された物）で識別するので、操作盤側に使用可能なユニットを示す表示を行う。表示に関する概念を図-41に示すが、考え方はケーブル処理装置内に設けた識別用リレー接点を使用し、現在設けられている「使用」の表示灯を点灯させるようにする。

尚、溶接仕上装置には「使用」の表示灯がないので追加する必要がある。



図中 \_\_\_\_\_ は現在付設ケーブルをします。

図-41 使用可能ユニット表示概念図

### (3)光ファイバー使用時の検討

制御盤とケーブル処理装置間のケーブル削減のため、光ファイバーを利用する方  
式について検討する。

光ファイバーを利用して通信を行なう方式には下記の2方式が考えられる。

#### ①光多重伝送装置を使用する方法。

光多重伝送装置では、デジタル入出力およびアナログ入出力の伝送が可能で  
ある。

#### ②シーケンスプログラマを使用して光リンクを行なう方法。

シーケンスプログラマを使用した場合には、デジタル入出力およびアナログ  
入出力の他、必要に応じ特殊機能を持たせることが可能である。

これは、装置内部にシーケンス処理機能を有しているか、単にデジタルおよび  
アナログ信号を各ユニット間で通信しているかの相違であり、各ユニット間を2芯  
の光ケーブル（送・受信用）で接続されることは同じである。

本装置に於いては、これまでに開発してきた制御装置にシーケンスプログラマを  
有していることから、②のシーケンスプログラマを使用し光リンクで通信を行なう  
方式を採用するとして検討を進める。

(i) 基本作業ユニットの光通信

基本作業ユニットの内クランプユニットは使用条件が特殊であること、溶接ユニットは制御装置とユニット間のケーブルがほとんど動力線である上、性能保証の問題より、今回の検討範囲から除外した。

光通信の対象とする基本作業ユニットは、切断ユニット、開先加工ユニット、配管把持治具、溶接仕上装置および検査装置とする。

制御装置と基本作業ユニット間の現状構成を図-42に示す。

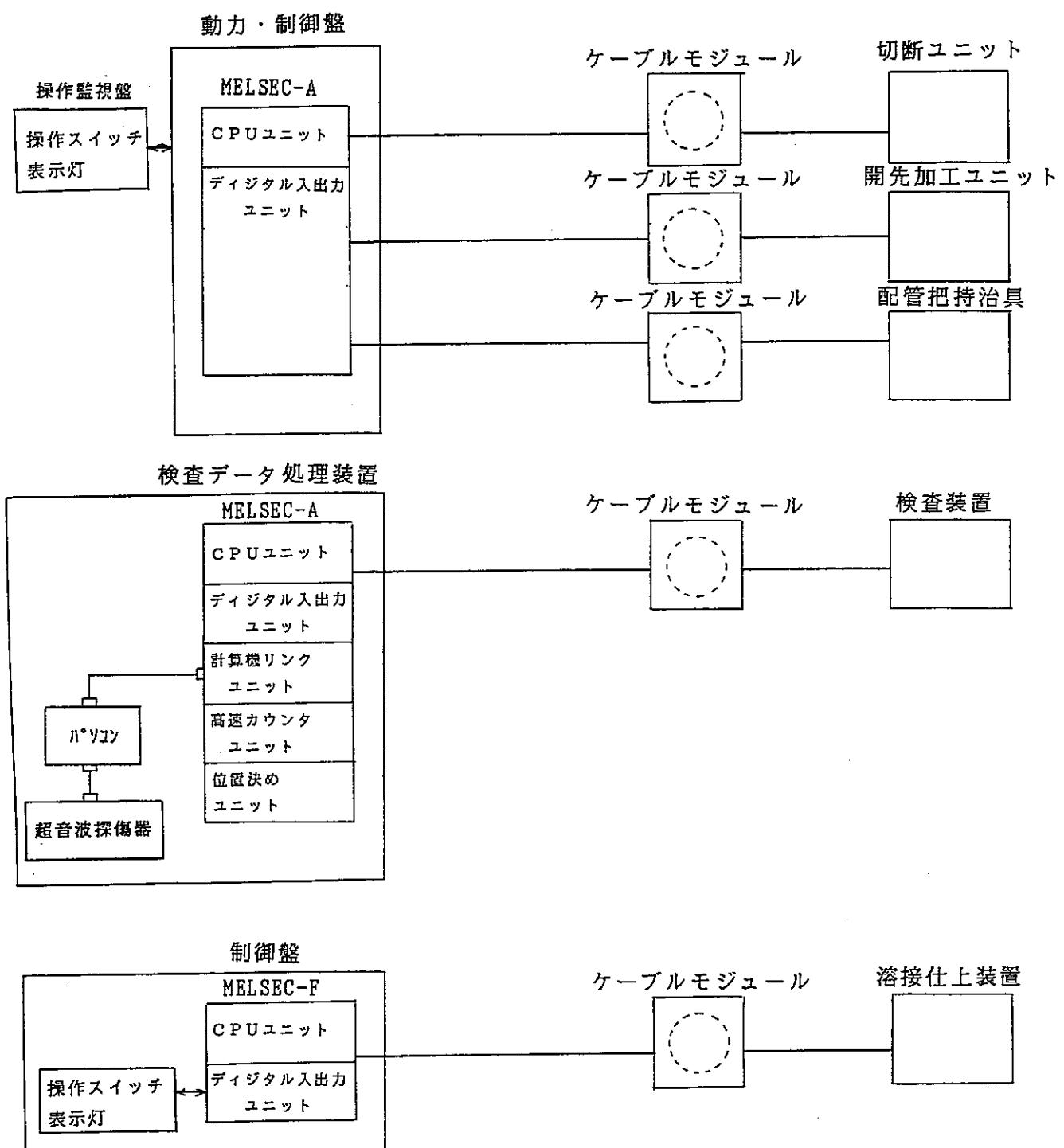


図-42 現状のケーブル構成図

以上のように各制御盤にシーケンスプログラマ（MELSEC）を設けて、各基本作業ユニットを制御しているので、現状のまま光通信を行なう場合には、各シーケンスプログラマに対応した子局（リモート局）を設ける必要があり、あまり有効でない。

その対策として、上記した制御装置を統一した（各制御装置に収納しているシーケンスプログラマを1台にまとめる）上で光通信を行なう必要がある。

ケーブルモジュールの代わりに子局のシーケンスプログラマを収納したケーブル処理装置を設け、制御装置（統一制御盤）との間を光通信（2芯光ファイバーケーブル）により行なう場合の構想を図-43に示す。

尚、溶接仕上装置用制御盤に設けているシーケンスプログラマ（MELSEC-F）については、統一制御盤に設けるシーケンスプログラマ内に機能を取り込み不要とする。

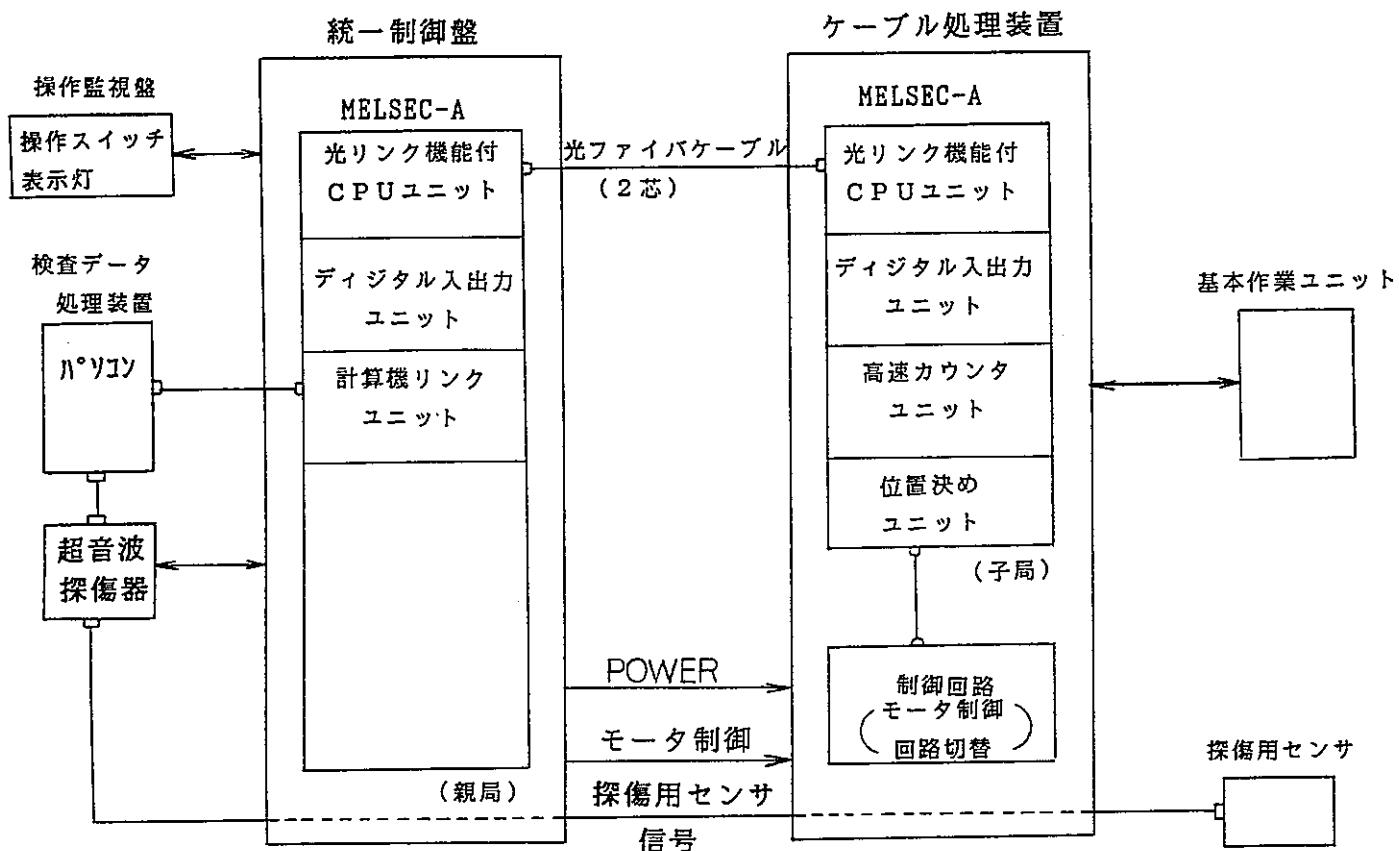


図-43 光通信時の構想図  
(基本作業ユニット)

図-43においてケーブル処理装置へ供給しているPOWERはAC100Vのみであり、ケーブル処理装置内で必要となる電源はケーブル削減のため内部で作ることとする。

モータ制御については、現在動力・制御盤でモータ制御を行なっている開先加工ユニットおよび溶接仕上装置用モータは統一制御盤で行い、ケーブル処理装置内ではユニット選択信号により切り替えを行なうので、ケーブルが必要となる。

検査装置用モータについては、ケーブル処理装置内に設けるシーケンスプログラマの位置決めユニットを使用して制御することで、ケーブルは不要となる。

(ii) リフタ、作業アーム、視覚アームの光通信

リフタ、作業アームおよび視覚アームについても(i)にて検討した内容と同様に、統一した制御装置とケーブル処理装置に収納したシーケンスプログラマ間を光ファイバーを使用して光通信することが可能である。

光通信を行なう場合の構想を図-44に示す。

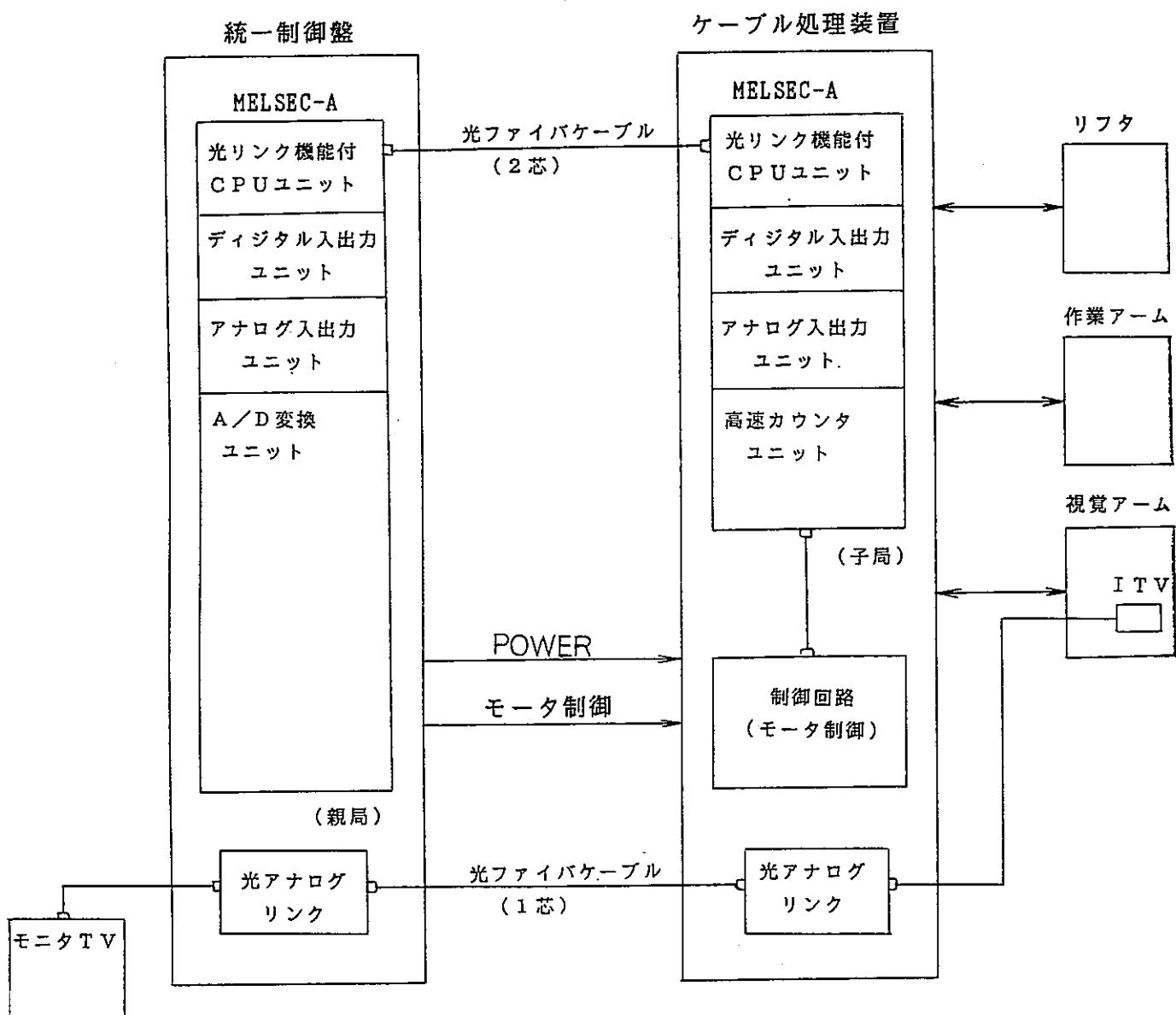


図-44 光通信時の構想図  
(リフタ、作業アーム、視覚アーム)

図-44においてケーブル処理装置へ供給しているPOWERはAC100Vのみであり、ケーブル処理装置内で必要となる電源はケーブル削減のため内部で作ることとする。

モータ制御については、現在動力・制御盤でモータ制御を行なっている全てのモータについて統一制御盤を行い、ケーブル処理装置までケーブル敷設を行なう。

これは、各モータが特殊なため制御用にサーボアンプユニット又はスピードコントローラユニットが必要となり、ケーブル処理装置内に設けると大型化してしまうためである。

尚、画像信号についてはシーケンスプログラマでは光通信できないのでアナログリンクユニットを設ける必要がある。

また、上記には記載していないが、視覚モジュールによる画像についてもアナログリンクユニットを追加することで光通信することが可能である。

(iii)まとめ

制御盤とケーブル処理装置間を光ファイバーケーブルで接続し、ケーブル本数を削減することは可能であるが、上記構想を実現するには下記改造を実施する必要がある。

①作業ユニット用として設けている各制御装置を統一（新規製作）する必要がある。

使用するシーケンスプログラマには光通信用ユニットを追加する。

②統一した制御盤内に収納するシーケンサプログラマのリレー回路を作成する必要がある。

③光通信用シーケンスプログラマを収納したケーブル処理装置を製作する必要がある。

寸法は  $700W \times 550D \times 1900H$  (mm) 程度となる。

④ケーブル処理装置内に収納するシーケンサプログラマのリレー回路を作成する必要がある。

また、上記考えを拡大すれば操作盤に光通信機能を持たせたシーケンスプログラマを設け、制御盤と操作盤間も光ファイバーケーブルで接続すれば、セル外のケーブル削減を図ることが可能である。

## 4.2 モノレール走行型視覚システムに係る設計

これまでに開発してきた基本作業ユニット（切断ユニット、開先加工ユニット、溶接ユニット、検査装置等）を使用して遠隔配管工事を実施する上で、課題として上がっている視認性の向上を図るために、レールを利用してセル内を自由に移動できるモノレール走行型視覚システムについての設計検討を実施した。

### 4.2.1 現状分析

高度化設計を進める上で、現状を的確に分析し、問題点を明確にしておく必要があるので現状について以下に整理する。

#### (1) 開発装置の概要

これまでの「遠隔配管工事システムの開発」で試作した視覚に関する装置としては以下のものがある。

- ①アーム全体の動き及び姿勢の確認用として、立体視型の視覚モジュール。
- ②基本作業ユニットの取り合い部及び溶接トーチ部の確認用として多関節式の視覚アーム。

各装置の概略仕様を以下に示す。

(i) 視覚モジュール 2式

##### ①立体カラーカメラ

撮像素子	2 / 3 インチ固体撮像素子
解像度	330TV本
最低被写体照度	20 Lux

##### ②電動ズームレンズ

焦点距離	f = 12.5 ~ 75 mm
画角	49° 12' ~ 8° 19'
最大口径比	1.8
マウント	Cマウント
絞り調整	電動

##### ③照明

100W  
(1mの距離で200Lux以上)

##### ④カメラハウジング

外形寸法	300W × 272H × 350D mm
重量	約8kg(カメラ含む)

##### ⑤リモート雲台

水平回転角度	0° ~ ±160°
垂直回転角度	±45°
最大積載重量	8kg

⑥三脚

エレベータ付き（手動ハンドル式）

高さ調整 848～2190mm

⑦付属品

液晶シャッターメガネ

⑧外形

視覚モジュール全体及びカメラヘッド部の外形を図-45に示す。

(ii) 視覚アーム ----- 1式

①アーム部

自由度 8

全長 1.8m

先端部には直視／側視切り替えミラー付き  
溶接状況観察用としてフィルター付き

②カメラ

撮像素子 白黒固体撮像素子

解像度（水平） 400本程度

最低被写体照度 15 Lux

照明方式 ライトガイド

明視距離 1～50cm（固定焦点）

画角 10°～20°

③マイクロホン

指向特性 全指向性

周波数特性 50～15000Hz

④外形

視覚アーム外形を図-46に示す。

(2) 現状に於ける問題点

これまでに実施してきた評価試験に於て、視認性に関する問題点を以下に示す。

①視覚モジュールの視野が狭い。

視覚アームを基本作業ユニット連結部近傍へ移動させる場合および基本作業ユニットを連結した作業アームを配管からステーションまで移動させる場合に視野が狭いので周囲の視認が困難である。

②視覚モジュールの位置が作業アームの背後であるため、クランプの平行度、開口部の位置が分かりにくい。

③視覚モジュールによる立体感が十分に得られない。

クランプユニットを配管から取外す場合、作業アームを動作させて配管に取付いているクランプユニットと連結（小さな面と面を位置合わせする）させる必要があるが、視覚モジュールによる視認性が作業アームの操作方向を判断するに十分な立体感が得られない。

### (3) 問題点に関する見解

上記にて記載した問題点の原因は、以下のように推定できる。

①視野が狭くて作業アーム全体が見えないのでなく、視覚モジュールの設置場所が限定されていることが原因と考える。

また、視野角に関しては、現在のカメラレンズは比較的広角の物であり、これ以上広角にすると逆に画像が見にくくなる（距離感覚が低下する）と考える。

評価試験に於ける装置配置を図-47に示す。

②視覚モジュール設置場所が限定されるため、各基本作業ユニット（特にクランプユニット）に於ける最適位置からの視野が得られていないと考える。

③ITVを使用しての立体視（2台のカラーカメラと液晶シャッタメガネを使用した両眼視差式）にて距離感覚を得るには、個人差もあるが、奥行き方向に多数の機器・配管があるセル内に於いて、距離感を認識するには経験およびセル内の状況の理解が要求され、難しい面があると考える。

また、画像処理技術を使用しての距離測定方法も考えられるが、装置寸法、処理速度および計測精度の問題があり、遠隔で作業アームを動作させて作業を行なう遠隔配管工事には、あまり有効でないと考える。

尚、近年コンピュータを利用して情報を人間の感覚に提示するバーチャル・リアリティ（人工現実感）が開発されているが、これは液晶シャッタメガネの代わりにディスプレイ付きヘルメットを用いるもので、基本的には現在の方法と同一であり、距離感覚を得る上での大差はないと考える。

### (4) 対策

セル内の空間を利用して遠隔で移動させ、任意の位置から作業アームの動作、基本作業ユニットの配管への取り付け状況、作業アームと基本作業ユニットとの連結状況および基本作業ユニットによる作業状況が確認できるようなモノレール上を自由に走行する視覚装置（モノレール走行型視覚システム）を設ける。

モノレール走行型視覚システムの概念を図-48に示す。

上記により、セル外より必要に応じカメラ位置（視点）を容易に変えることが出来るので、複数の位置より観察することにより距離感覚も得られる。

視覚モジュール全体図

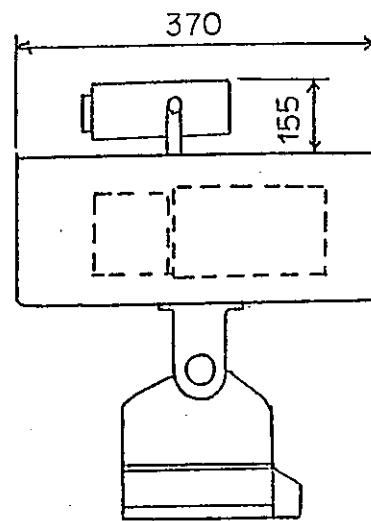
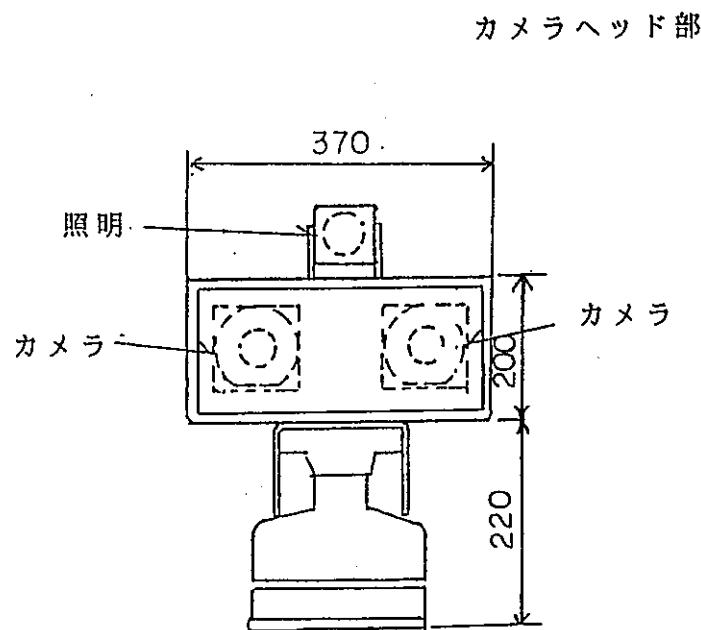
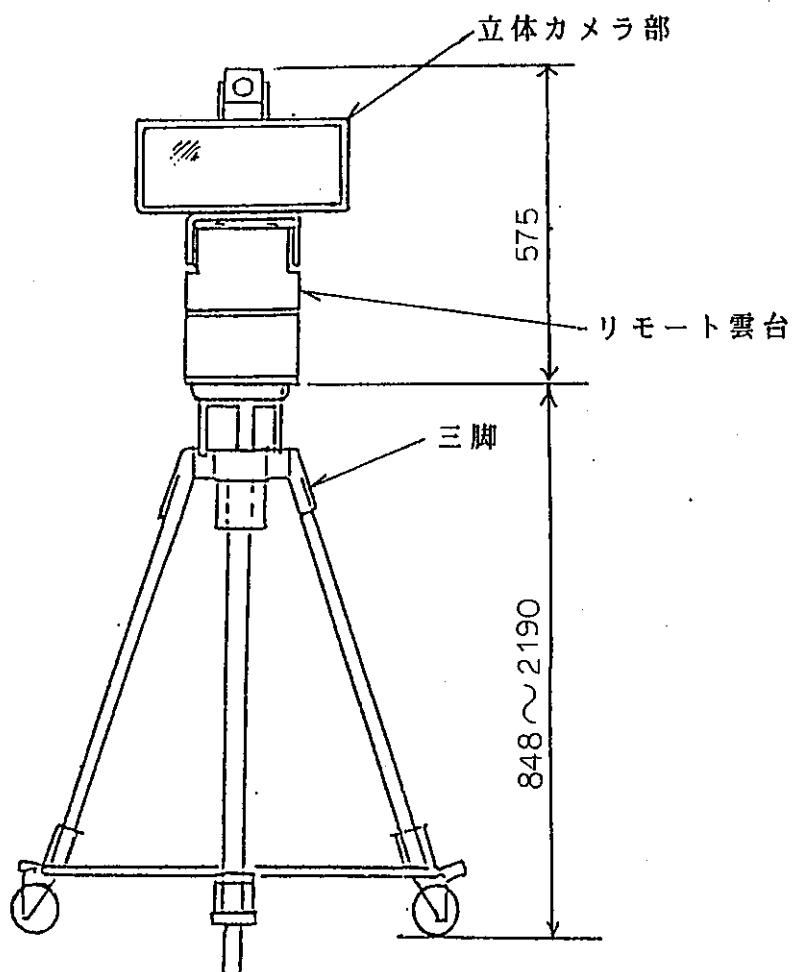
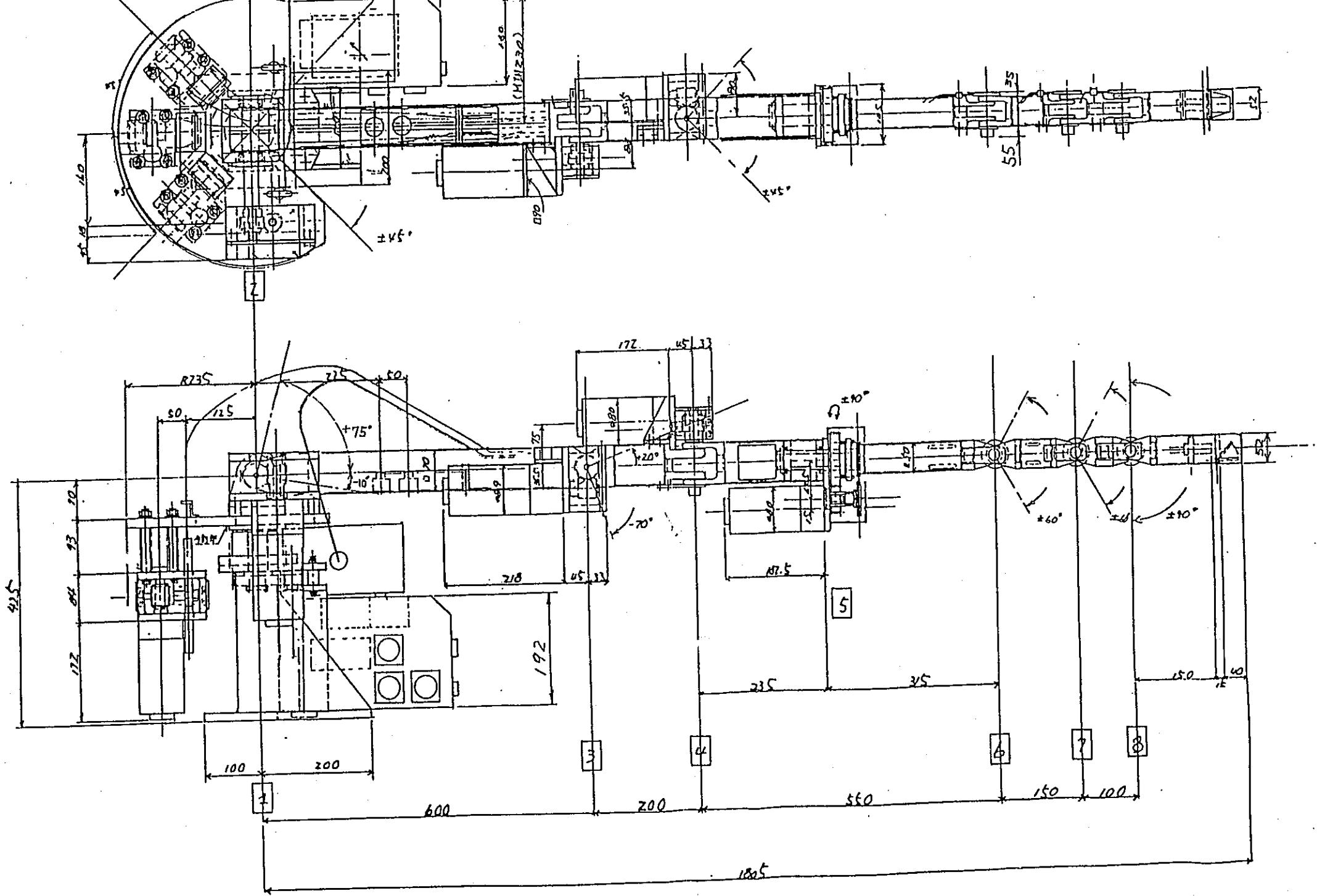


図-45 視覚モジュール外形図

寸法単位: mm



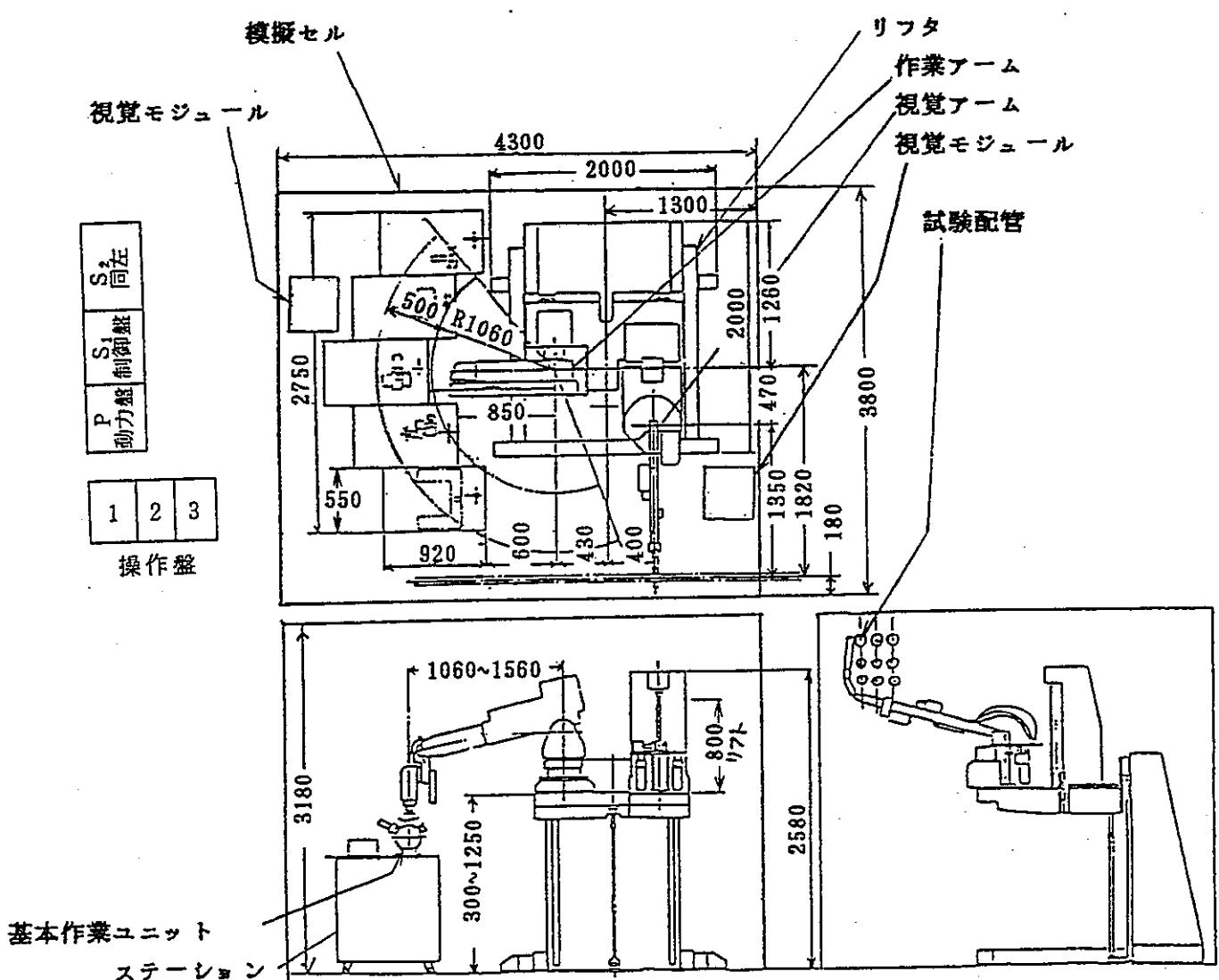


図-47 評価試験実施配置図

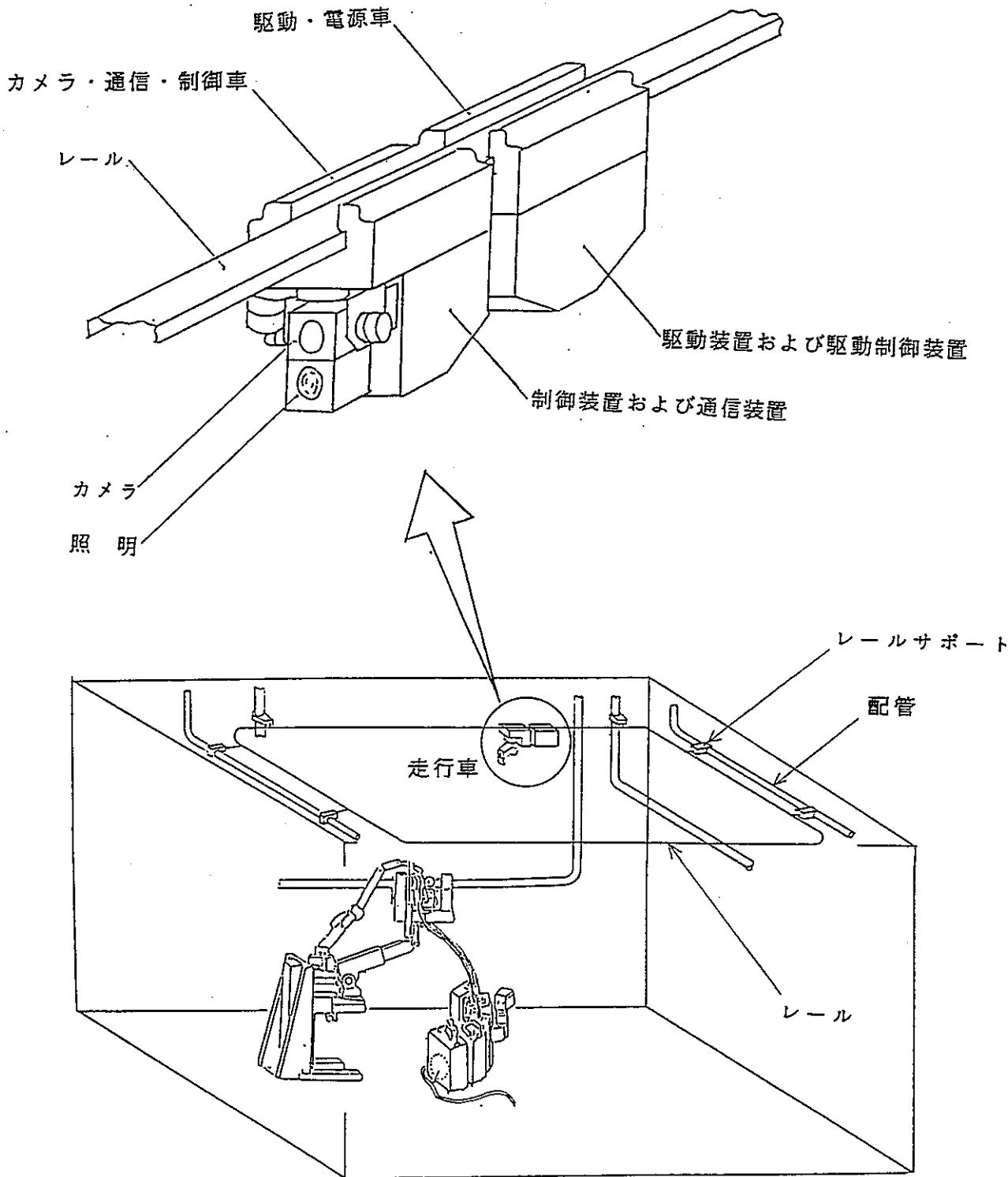


図-48 モノレール走行型視覚システム概念図

#### 4.2.2 設置条件の検討

セル内にモノレール走行型視覚システムを設置する上での条件について検討し、方式決定および装置概念設計を進めて行く上での制約条件を明確にした。

##### (1) 基本的条件

セル内に設置されるモノレール走行型視覚システムを検討する上で、考慮すべき基本的条件を以下に示す。

- ①一人で持ち運び可能な構造、形状、重量とする。
- ②極力ユニット化し、セル内での作業が短時間で行えるようにする。  
(設置方式が簡単なこと)
- ③走行ルートの設定誤差が吸収できるレール、レールサポート構造とする。
- ④レールサポートの取り付けは、配管とする。

##### (2) 遠隔配管工事に使用することによる条件

セル内に設置して、遠隔配管工事に使用することを考慮した場合、本装置に要求される条件を以下に示す。

- ①放射線環境で使用されるので、耐放射線性能の低いものについては未使用時、取り外してセル外で保管できる構造とする。
- ②セル内全域を点検するためには、水平移動のみでなく垂直上昇および下降が可能な構造とする。
- ③点検車の位置を検知する必要はないが、観察位置を作業に合わせて移動させる必要があるので前後進が行える構造とする。
- ④点検車走行速度の高速化を図る必要はないが、点検車停止精度を上げるために長距離移動（高速）と短距離移動（低速）の切り替えが可能な構造とする。
- ⑤本装置の通過断面積は極力小さくする。

#### 4.2.3 方式検討

モノレール走行型視覚システムに必要な各要素についての方式検討を実施した。

##### (1) 移動方式の検討

モノレール走行型視覚システムの移動方式について検討する。

モノレール走行型としての移動方式には、走行車に駆動モータを有し自力で走行する自力駆動方式と、走行車以外に駆動装置を設け、ワイヤー又はチェーン等で走行車を移動させる他力駆動方式がある。

各方式についての得失比較を表-23に示す。

表-23 移動方式比較表

方式	得	失	評価
自力駆動式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・点検ルートが自由に設定できる。</li> <li>・走行車駆動用の装置を設ける必要が無い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動制御の信頼性は他力式に比べやや低い。</li> <li>・他力式に比べ重量寸法が少し大きくなる。</li> </ul>	○
他力駆動式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動制御の信頼性が高い。</li> <li>・点検車の小型化が図れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ルート設定時又は変更時の対応が困難。</li> <li>・駆動装置をセル内に設置する必要がある。</li> </ul>	×

上記結果より、本装置の使用目的である配管作業時に、対象セル内の任意の位置にルート設定（レール敷設）し、作業状況を確認することを考慮すれば点検ルートが任意に設定できる自力駆動方式が適していると考えられる。

また、セル内を有効利用する上でも装置全体としてシンプル且つコンパクトでメンテナンス性にも優れている自力駆動方式が有利と考えられる。

## (2) 給電方式の検討

レール上を移動する点検車への給電方式について検討する。

給電方式には有線（電線曳航）方式、トロリー方式およびバッテリ方式の3方式が考えられるので、各々の方式についての得失比較を表-24に示す。

尚、トロリー方式とバッテリ方式の組合せ（停止時はトロリー、移動時はバッテリより電源供給する）方式も考えられるが、これはスパーク発生が問題となる場合を想定した方式であり、今回の検討からは除外した。

表-24 給電方式比較表

方式	得	失	評価
有線（電線曳航）方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短距離については機構が簡単に構成できる。</li> <li>・低価格である。</li> <li>・技術的信頼性が高い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長距離になればケーブルドラム（送り出し・巻戻し機構）をセル内に設ける必要がある。</li> <li>・曲線、傾斜部でのケーブル干渉を防止する機構が必要となる。</li> </ul>	×
トロリー方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動距離に制約を受けない。</li> <li>・レールのユニット化が図れる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・価格が他方式に比べ高い。</li> <li>・レール接続部のジョイント作業が増える。</li> <li>・火花が発生する可能性がある。</li> </ul>	○
バッテリ方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動距離に制約を受けない。</li> <li>・レールのユニット化が図れる。</li> <li>・レール構造が簡単である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バッテリ容量により使用時間が制限される。</li> <li>・充電機構が必要となる。</li> <li>・点検車重量が増加する。</li> <li>・バッテリの定期交換が必要となる。</li> </ul>	△

以上の結果より、有線（電線曳航）方式は短距離で且つ直線ルートには適しているが、今回のように点検ルートを作業に合わせ任意に設定し、曲線および傾斜が必要となると考えられるものについては適していないと考える。

トロリー方式はスパーク発生の問題を有しているが、今回の装置については環境的にスパーク発生が問題にならず、接続部のジョイント作業もレール接続作業の一連として実施すれば大きな問題とはならず、移動（点検）距離の制約も受けず他方式に比べ問題点が少ないので適していると考える。

バッテリ方式はバッテリの充電機構及び定期的なメンテナンスが必要である上、走行車の重量が増加する欠点があるので、今回は採用しないこととするが、レール構造が簡単である点を考慮すれば、作業状況のモニタリング時間が比較的短くてよい場合には再度使用可能か検討する必要があると考える。

### (3) 視覚システムとしての必要機能の検討

視覚システムとして必要となる機能および理由を表-25に示す。

表-25 視覚システムの必要機能

機能	理由	
走行	前・後進	作業内容により走行車（カメラ）位置を任意に設定する必要があり、早く目的位置に移動させるため。
	低・高速	通常時は目的位置への移動時間を極力短くするため高速で走行させる。 観察位置での停止時には精度を向上させるため、低速で走行させる。
雲台	パン	セル内に設置される作業アーム、ステーション等の関係設備および配管作業状況が全て観察できるようにするため、カメラ部の首振り機構を設ける。
	チルト	
カメラ	ズーム	配管への取付け状態および作業状況の詳細確認の時その部分のみ拡大して観察するため。
	フォーカス	観察位置にピントを合わせるため。
集音	マイク	作業アーム、基本作業ユニット等の動作音により、異常の早期発見に用いる。

#### (4) 信号伝達方式の検討

レール上を移動する走行車とセル外設置の操作監視盤間の信号伝達方式について検討する。

##### (i) 必要伝達信号

走行車とセル外設置の操作監視盤間の伝達信号内容について検討する。

###### ①操作監視盤から走行車への伝達信号

- ・走行車移動指令 3点  
(前進・後進・高速／低速)
- ・雲台動作指令 5点  
(左・右・上・下・高速／低速)
- ・カメラ制御指令 4点  
(ズーム望遠・広角・フォーカス遠・近)
- ・照明灯ON/OFF指令 1点

###### ②走行車から操作監視盤への伝達信号

- ・画像信号 1点
- ・音信号 1点
- ・異常信号（過負荷） 1点

尚、走行車走行距離（待機位置からの走行距離）については、点検ルートが配管工事内容又は作業対象セルによって変わるので、距離データに意味が無いので通信内容より除外した。

また、雲台角度についても上記理由と同様に角度データに意味が無いことおよび装置の小型化の観点より除外した。

(ii) 通信方式

上記に記載の通り、伝達すべき信号は画像・音信号及び制御信号である。

これらの信号を伝達する方法として有線方式と無線方式がある。

超音波方式については、伝達距離の問題及び画像信号のような大容量信号伝送が困難なことから検討対象より除外した。

また、有線方式には伝送媒体として同軸ケーブルを使用する方式と光ファイバケーブルを使用する方式があり、無線方式には電波を使用する方式と光を使用する方式がある。

各方式についての得失を表-26に示す。

表-26 有線による伝送方式の比較表 (1/2)

方式	得	失
同軸ケーブル（電波）伝送方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・成熟した技術であり、一定の信頼性が得られる。</li> <li>・短距離については構造が簡単である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲線、傾斜部でのケーブル干渉を防止する機構が必要となる。</li> <li>・長距離になればケーブルドラム（送り出し・巻取り機構）が必要となる。</li> </ul>
光ファイバケーブル伝送方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・漏洩、混入が無い。</li> <li>・減衰がほとんど無く、伝送できる。 (長距離伝送の信頼性が高い)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・曲線、傾斜部でのケーブル干渉を防止する機構が必要となる。</li> <li>・長距離になればケーブルドラム（送り出し・巻取り機構）が必要となる。</li> </ul>

表-26 無線による伝送方式の比較表（2／2）

方式	得	失
電波（空間）伝送方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・成熟した技術であり、一定の信頼性が得られる。</li> <li>・ケーブル処理が不要である。</li> <li>・光に比べ回折現象がある為障害物による通信遮断が発生しにくい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・金属物体による反射がある為、設備側との干渉により通信が安定しない場所が生じる。</li> <li>・電波法の制約により、むやみに強い信号とすることはできない。</li> </ul>
光（空間）伝送方式	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大容量の信号を取り扱うことができる。</li> <li>・電波ノイズの影響を受けない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・光の直線性より、複雑なセル内では通信遮断が生じやすい。</li> <li>・等波長光ノイズの影響を受けなくする為、ビームの絞りやフィルタを設ける必要がある。</li> <li>また、ビームを絞ることにより送受信の追尾機能が必要となり、装置が大きくなる。</li> </ul>

上記の得失をもとに、今回の装置に特化した評価を表-27に示す。

表-27 信号伝達方式の評価表

評価項目 方式		耐ノイズ性	ケーブル処理	装置寸法	価格	総合評価	
有線	電波	ケーブル	○	×	○	○	△
無線	光	ファイバ	○	×	○	○	△
有線	電波	空間	△	○	○	○	○
無線	光	空間	×	○	×	△	×

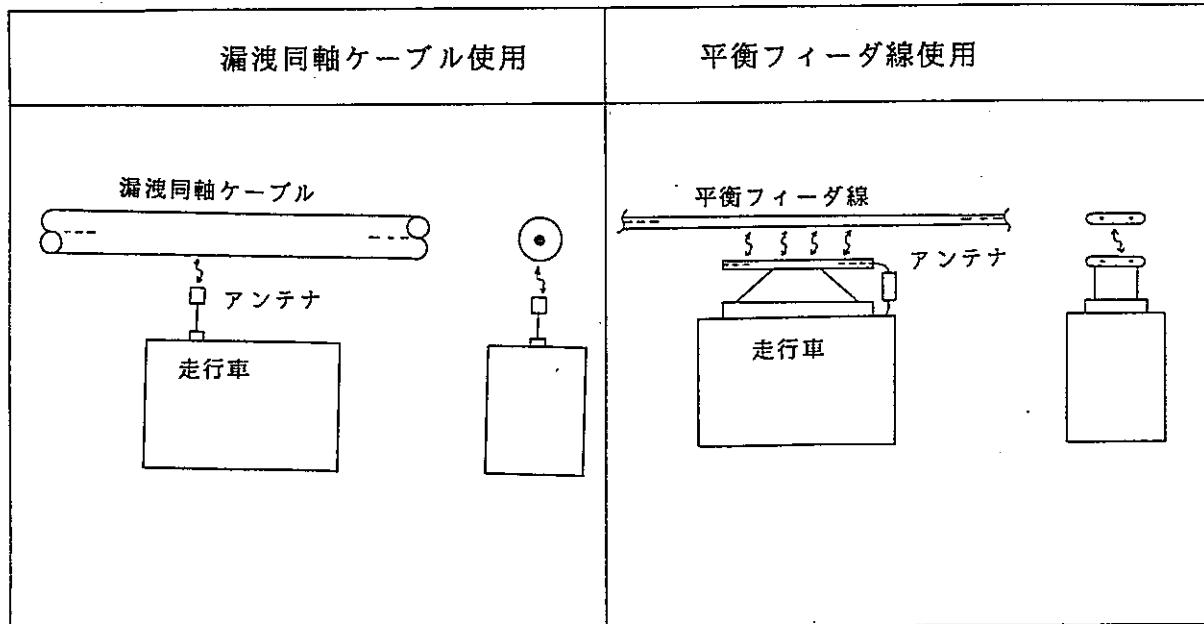
以上の検討結果より、無線・電波方式が適していると考える。

しかし、無線・電波方式を採用するにあたっては電波法の制約を受けない出力で、設備側との干渉を受けず安定した伝達が行えるように対策する必要がある。

その対策としては、近接無線方式が考えられ、使用する通信ケーブルに漏洩同軸ケーブルを使用する方式と平衡フィーダ線を使用する方法が考えられるが、コスト面より平衡フィーダ線を使用する方法が有利と考える。

近接無線方式の概要を表-28に示す。

表-28 近接無線方式



#### (4)まとめ

以上の検討結果より、遠隔配管工事用として使用するモノレール走行型視覚システムについては、表-29に示す方式が最適と考える。

表-29 モノレール型視覚システムの基本方式

走行方式	自力駆動方式
給電方式	トロリー方式
信号伝達方式	無線電波（空間）方式 近接無線方式
搭載センサ	カラーカメラ ・電動ズームレンズ付き ・オートフォーカス マイクロホン 照明灯

#### 4.2.4 設計

モノレール走行型視覚システムはセル内で実施される配管作業をセル外より監視・確認する為のもので、セル内には作業箇所に合わせて敷設する通信ケーブル及び電源トロリー線が取り付けられたレールとレール上を自力で駆動走行するカラーカメラ、マイクロホン、照明灯および通信装置等を搭載した走行車が設置される。

セル外には走行車への指令を行うための操作パネルおよび通信装置、走行車からの画像・音情報をモニタするモニタTVを有する操作監視盤が設置される。

以下、モノレール走行型視覚システムについての設計検討を実施する。

### (1) システム設計

モノレール走行型視覚システムは、セル内空間に敷設されるレールに沿って走行車を走行させ、これまでに開発を行なってきた装置を使用して行なわれる配管工事の作業状況確認および装置状態の確認を遠隔操作で行なうシステムである。

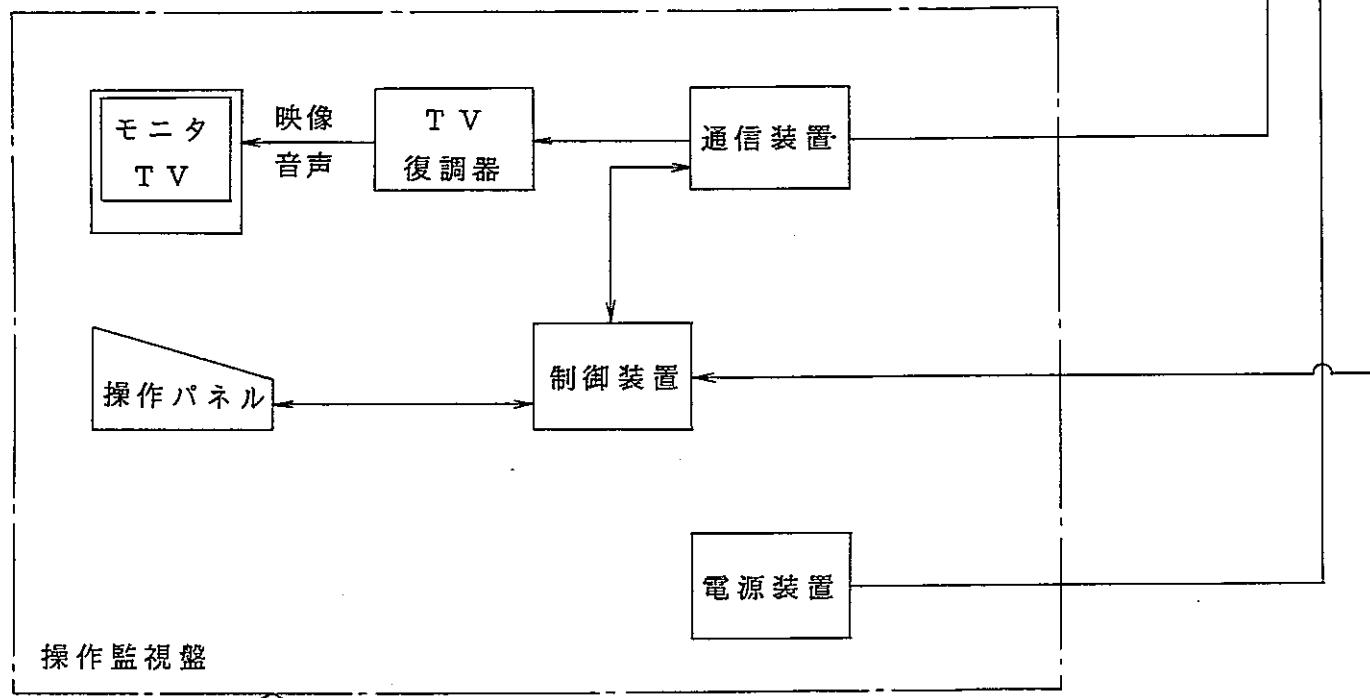
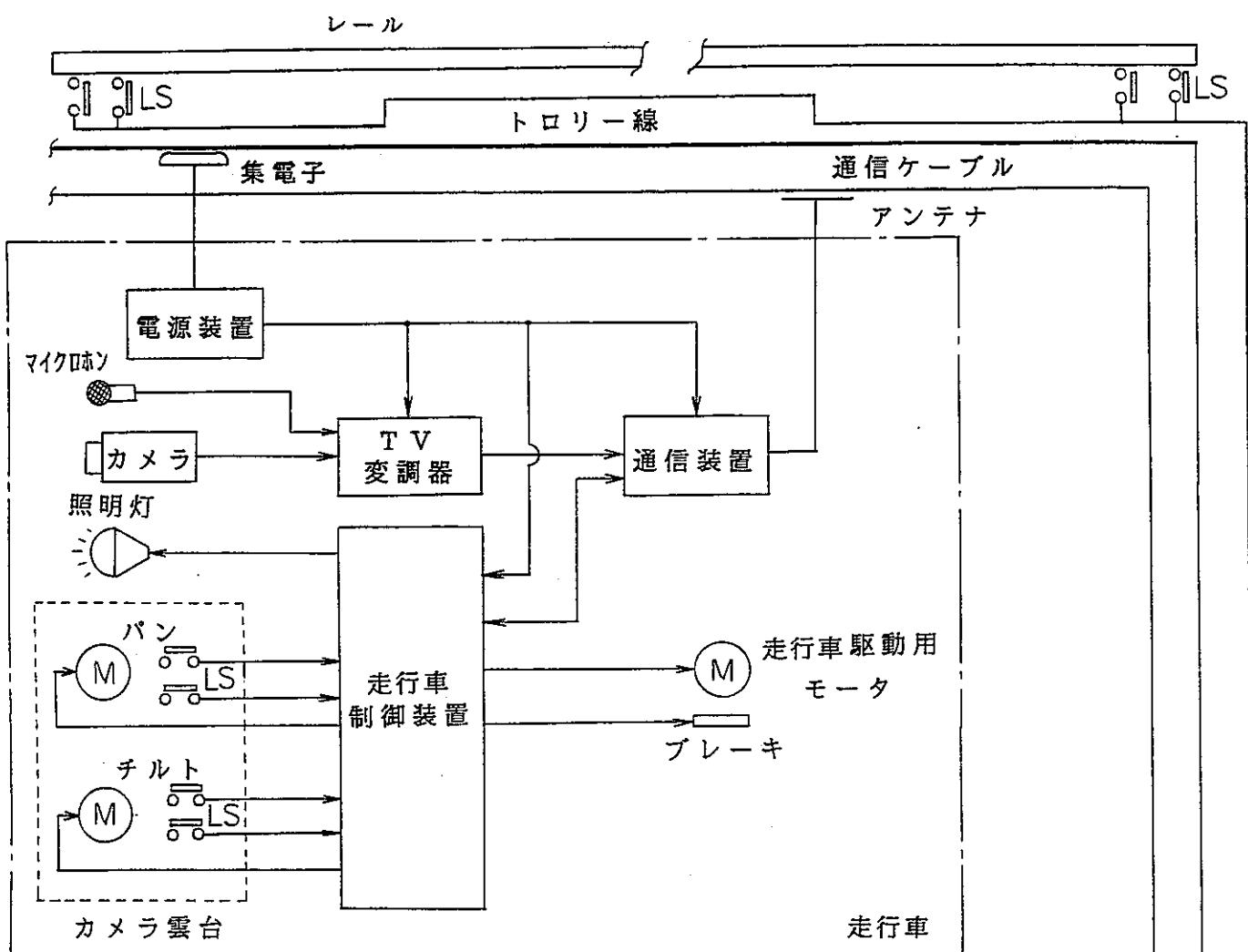
本システムは、下記装置より構成される。

- ①走行車
- ②レール
- ③操作監視盤

また、本装置のシステム構成を図-49に示す。

尚、レールルートが長い場合には、トロリー線の分割を行い点検車への安定した電源供給が行えるようにする必要がある。

また、レールルートが100m以上の場合には、通信ケーブルについても同様に分割を行ない、各ルートには増幅器、操作監視盤には通信ルートを選択する切り替え器又は分配器を設ける必要がある。



A C 1 0 0 V  
P O W E R

図-49 システム構成図

## (2) 走行車

走行車の構成は通過断面寸法を極力小さくすることを考慮して、カメラ・通信・制御車および駆動・電源車の分割車両方式とする。

尚、通信用アンテナ取り付け方法および走行車間のケーブル処理を簡略化するため、カラメ部と通信・制御部を同一車両とする。

### (i) カメラ・通信・制御車

カメラ・通信・制御車はカメラ部および通信・制御部より構成する。

カメラ部はカラーカメラ、マイクロホンおよび照明灯を取り付けたカメラユニットと、カメラユニットをパン・チルト方向に動作させる雲台より構成する。

通信・制御部はセル外設置の操作監視盤との通信を行なうための通信装置、走行車を制御するための制御装置より構成する。

#### (a) カメラユニット

カメラユニットに使用するカメラは、視覚モジュールに使用しているカメラと同等以上の性能を持たせる必要があるので、選定上の仕様を以下に示す。

①方式	カラー
②解像度	水平 330TV本以上
③最低被写体照度	20 Lux 以下
④ズーム機能	有り 6倍以上
⑤フォーカス	調整可能なこと

使用するカメラの選定にあたっては、現在市販されている代表的な下記3種類について比較検討を実施した。

検討結果を表-30に示す。

表-30 カメラ比較表

カメラタイプ		小型 I T V カメラ	一体型 カラーカメラ	カラーカメラ ブロック(8mmビデオ)
型式	カメラ	E C - 2 0 2	C C D - 1 0 0	E V I - 1 0 0
	レンズ	H6X12.5GMD-3	H6X12.5GMD-3	-
イメージセンサ		1 / 2 " C C D	1 / 2 " C C D	2 / 3 " C C D
解像度(水平)		3 7 0 T V 本	4 7 0 T V 本	4 3 0 T V 本
最低被写体照度		1 5 Lux / F1.6	5 Lux / F1.4	7 Lux
ズーム		6 倍	6 倍	8 倍
フォーカス		電動	電動	オートフォーカス
寸法 (mm)	カメラヘッド*	32 X 38 X 38	60 X 50 X 120	83 X 80 X 143
	コントローラ	110 X 40 X 156	-	-
	レンズ	110 φ X 122	110 φ X 122	-
重量 (g)	カメラヘッド*	7 5	5 0 0	3 9 0
	コントローラ	6 2 0	-	-
	レンズ	8 5 0	8 5 0	-
	合計	1 5 4 5	1 3 5 0	3 9 0

以上より、走行車の小型化を図るため、最も小型・軽量なカラーカメラブロック(8mmビデオカムコーダのカメラブロック)を使用する。

また、カラーカメラブロックを使用した場合、オートフォーカスであることからフォーカス制御が不要となり制御の簡素化も図ることができる。

照明灯については下記理由により、50Wハロゲンランプ1灯を使用する。

- ①1m先で最低被写体照度の10倍以上の照度が得られるものを選定する  
とすれば

$$7 \text{ Lux} \times 10 = 70 \text{ Lux} \text{ 以上である必要がある。}$$

50Wハロゲンランプ (JR12V50WB-W) を使用すれば、1m  
先で1500Lux の照度が得られる。

- ②カラーカメラの画角範囲をカバーする。

画角範囲は、下記式にて求まる。

$$2 \tan 21.5^\circ \times 1000 \text{ mm} = 787.8 \text{ mm}$$

小型広角ハロゲンランプを使用した場合、1m先で700mmΦ/1灯程  
度となるが、走行車の小型化及び使用するカメラ仕様（ズーム、最低照  
度）より、実使用に於いては1灯で問題無いと考えられる。

マイクロホンについては視覚アームに使用した物と同一とする。

マイクロホンの仕様を以下に示す。

①指向特性	全指向性
②周波数特性	50~15000Hz
③正面感度	-45dB ± 3dB
④出力インピーダンス	2.7kΩ 不平衡型

#### (b) 雲台

セル内全域を監視する上では、パン・チルト角度を極力大きく取った方が  
良いが、下記理由によりパン角度については左右各135°、チルト角度に  
ついては上方向に45°、下方向に90°とする。

- ①パン方向については、カメラ部の後方に取付けている通信・制御部に視  
界が遮られない範囲とする。
- ②チルト上向きについては、レール又は雲台自身に視界が遮られない範囲  
とする。
- ③チルト下向きについては、90°以上になるとモニタ上で画像が天地逆  
となり、作業アーム等の操作がしにくくなる可能性がある。

(c) 通信装置

通信装置の機能としては、4.2.3項にて検討した内容の信号伝達が行える必要があるので下記する。

[入力信号]

- ・画像信号 1点
- ・音信号 1点
- ・接点信号 1点

[出力信号]

- ・接点信号 11点

尚、使用するカメラはオートフォーカスタイプとしたので、フォーカス指令は削除した。

上記内容を満足する小型の通信装置としては、図-50に示すものがあるのでこれを使用するものとして検討を進める。

また、この通信装置の仕様を表-31に示す。

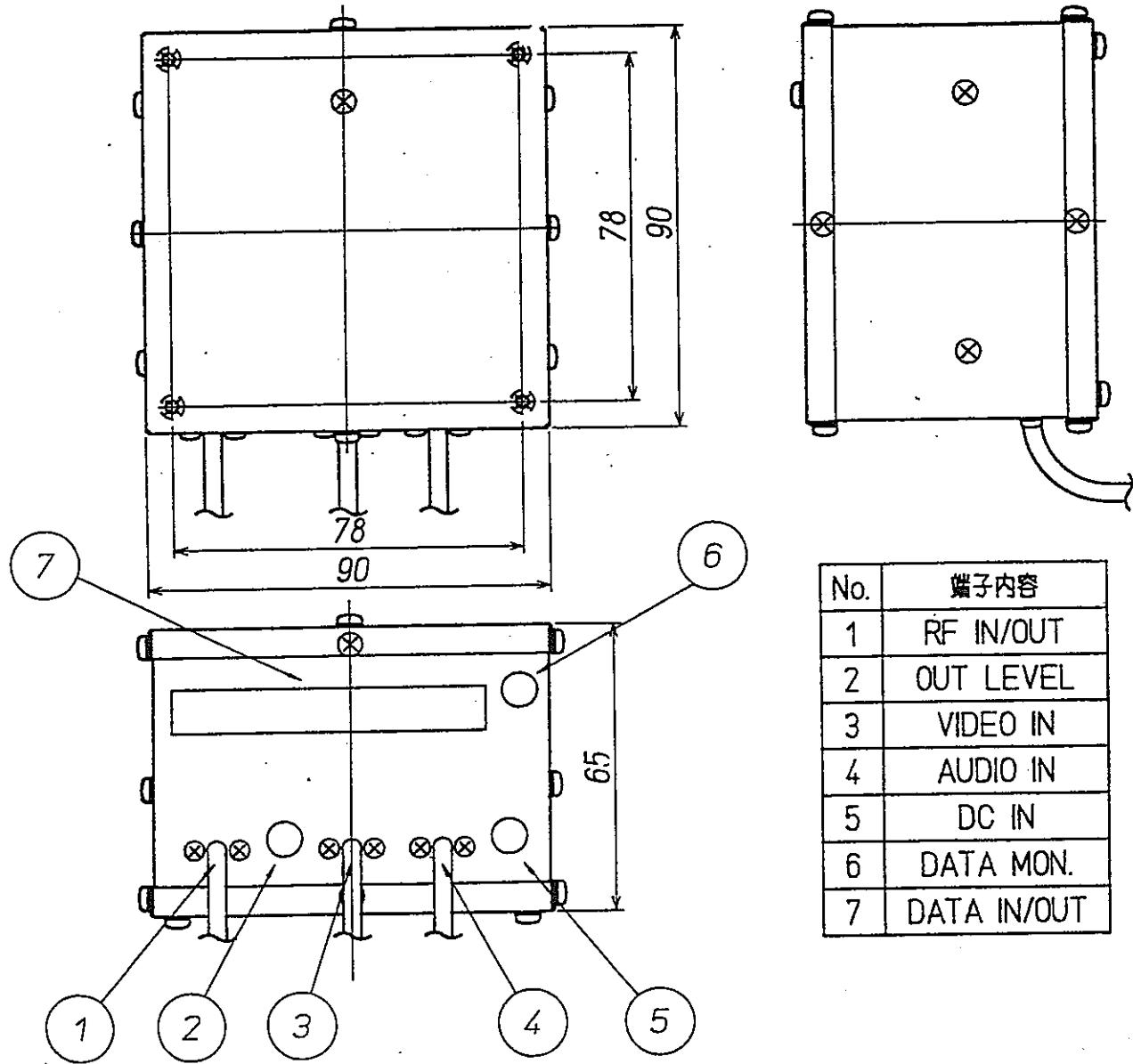


図 - 5 0 走行車側通信装置外形図

表-31 通信装置仕様

項目	規格・仕様
適用TV方式	N T S C 方式
出力周波数	V H F チャンネル C H 1 または C H 2
入力インピーダンス	映像部 (75Ω不平衡) 音声部 (600Ω平衡)
出力インピーダンス	75Ω (不平衡)
レベル	入力映像部 1V p-p 出力 110dBμ 入力音声部 10μV
映像変調出力調整範囲	0~-10dB
R F IN/OUT 端子入力範囲	50~90dBμ
R F IN/OUT 端子最大出力範囲	110dBμ
データ伝送速度	4800 b p s (非同期)
データインターフェース	[接点] 入力: メイク接点 8点 出力: リレー駆動 16点
周囲温度	0~40°
電源	D C 11~15V 2.5V A
重量	800g

( d ) 制御装置

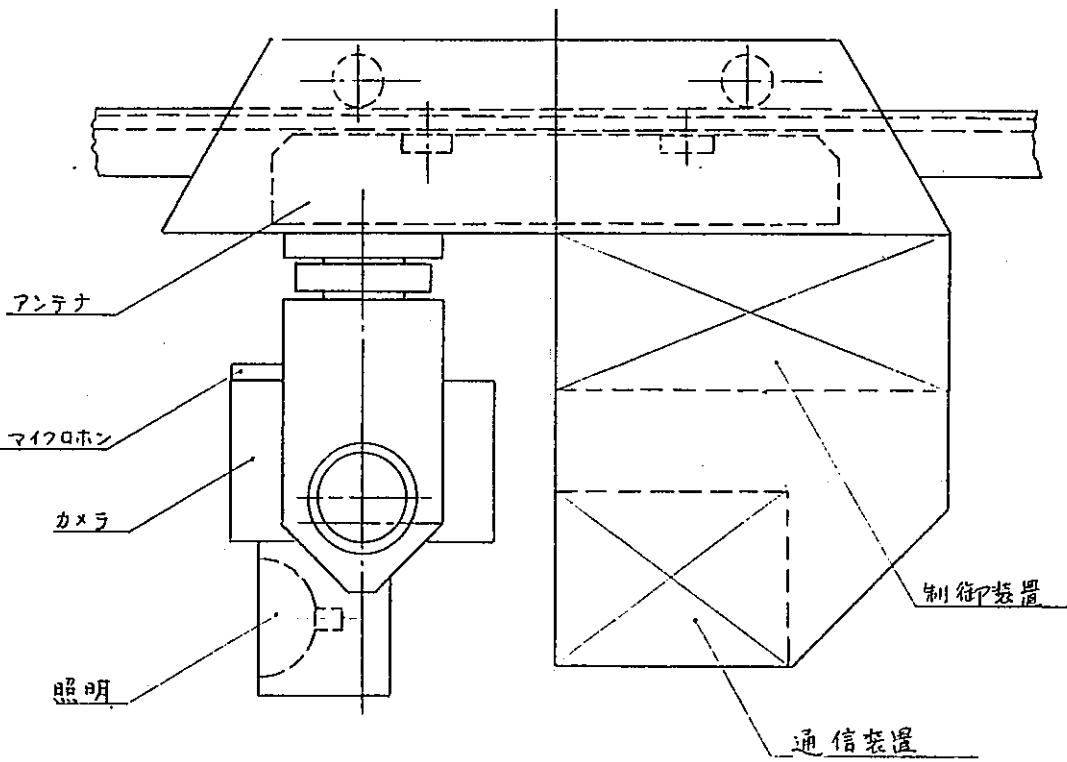
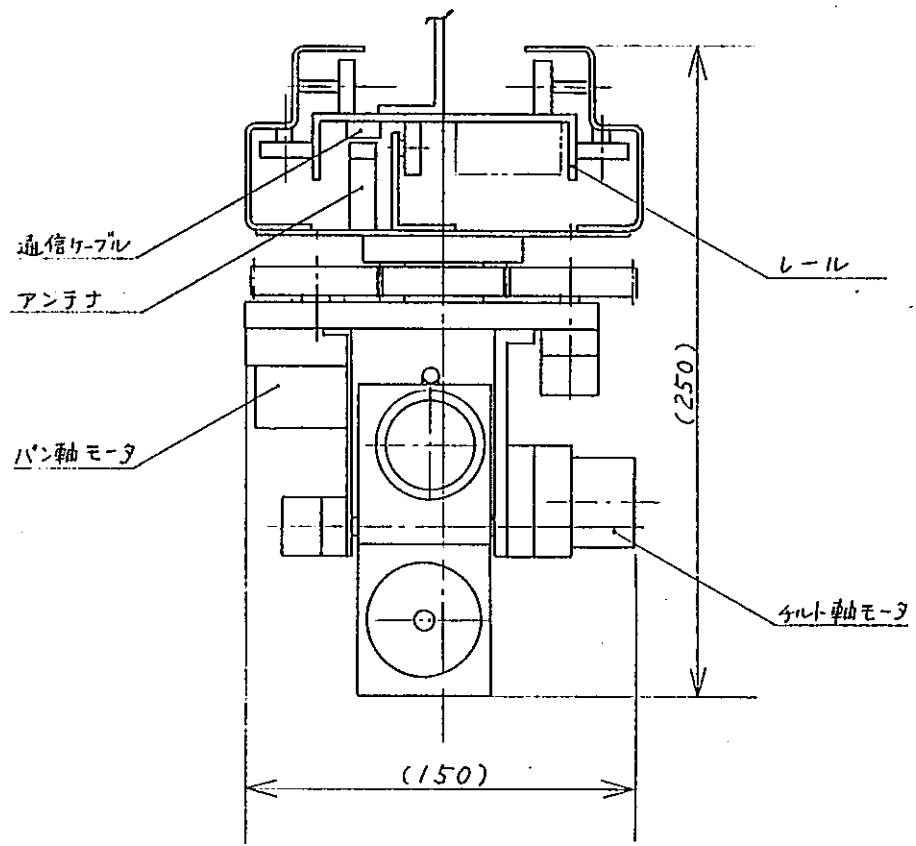
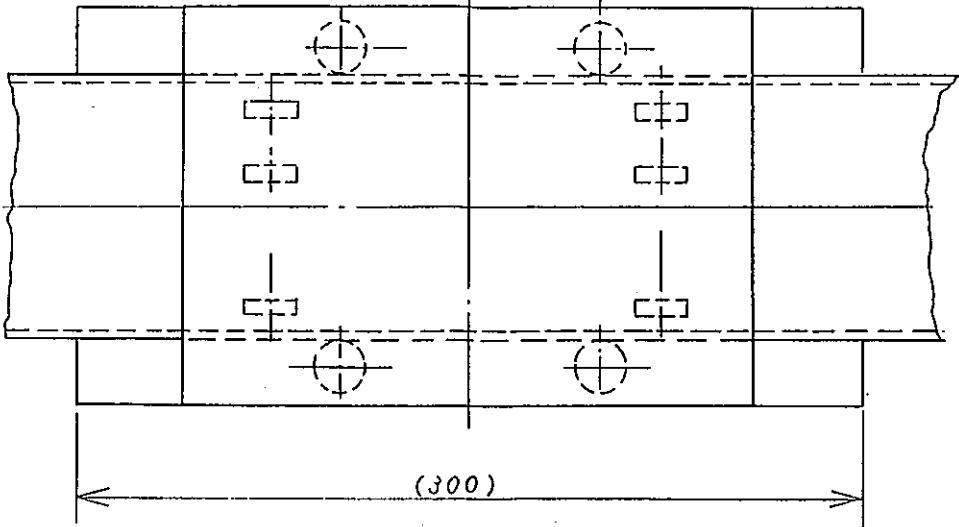
制御装置は通信装置から出力される微弱信号を增幅し、走行車の移動、雲台制御、照明灯制御及びカメラ制御を行なうロジック回路で構成する。

制御装置は小型・軽量化のため、プリント基板化することが必要であり、実施するものとして走行車の計画を進める。

( e ) カメラ・通信・制御車の概念

以上の結果をもとにしたカメラ・通信・制御車の概念を図-5-1に示す。

また、カメラ・通信・制御車の概略回路を図-5-2に示す。



寸法単位

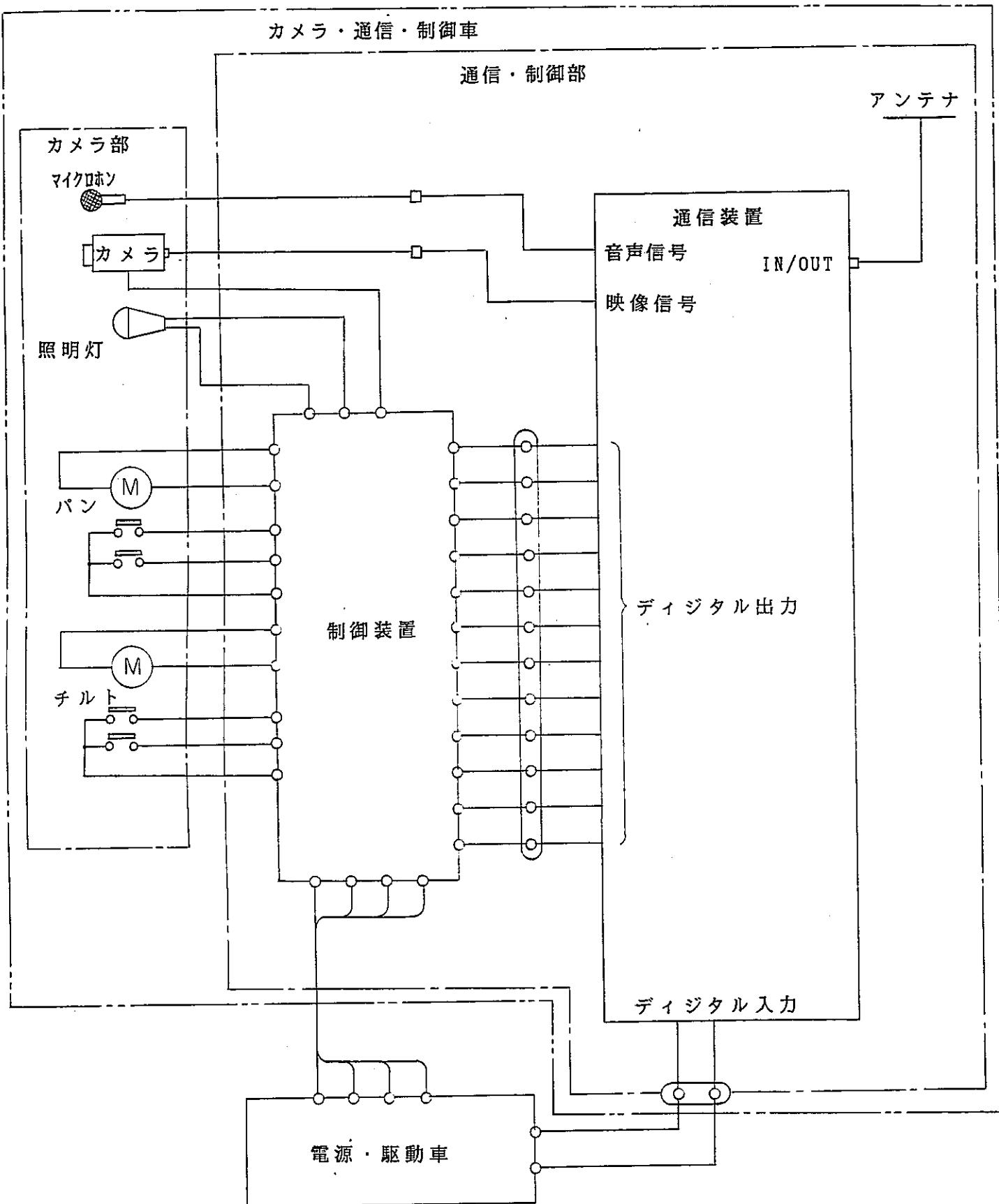


図-52 カメラ・通信・制御車概略回路図

(ii) 駆動・電源車

駆動・電源車はセル内に敷設されたレールに取り付けられるトロリー線より電源の供給を受け、走行車に必要な電源に変換する電源部と、走行車を移動させるための駆動機構部より構成する。

(a) 電源部

トロリー線により供給する電源電圧はDC 12Vとする。

これは、走行車の負荷の大部分を占める駆動モータにDC 12Vのものを使用し、電源変換器を小型化するためである。

駆動・電源車の概略回路を図-5-3に示す。

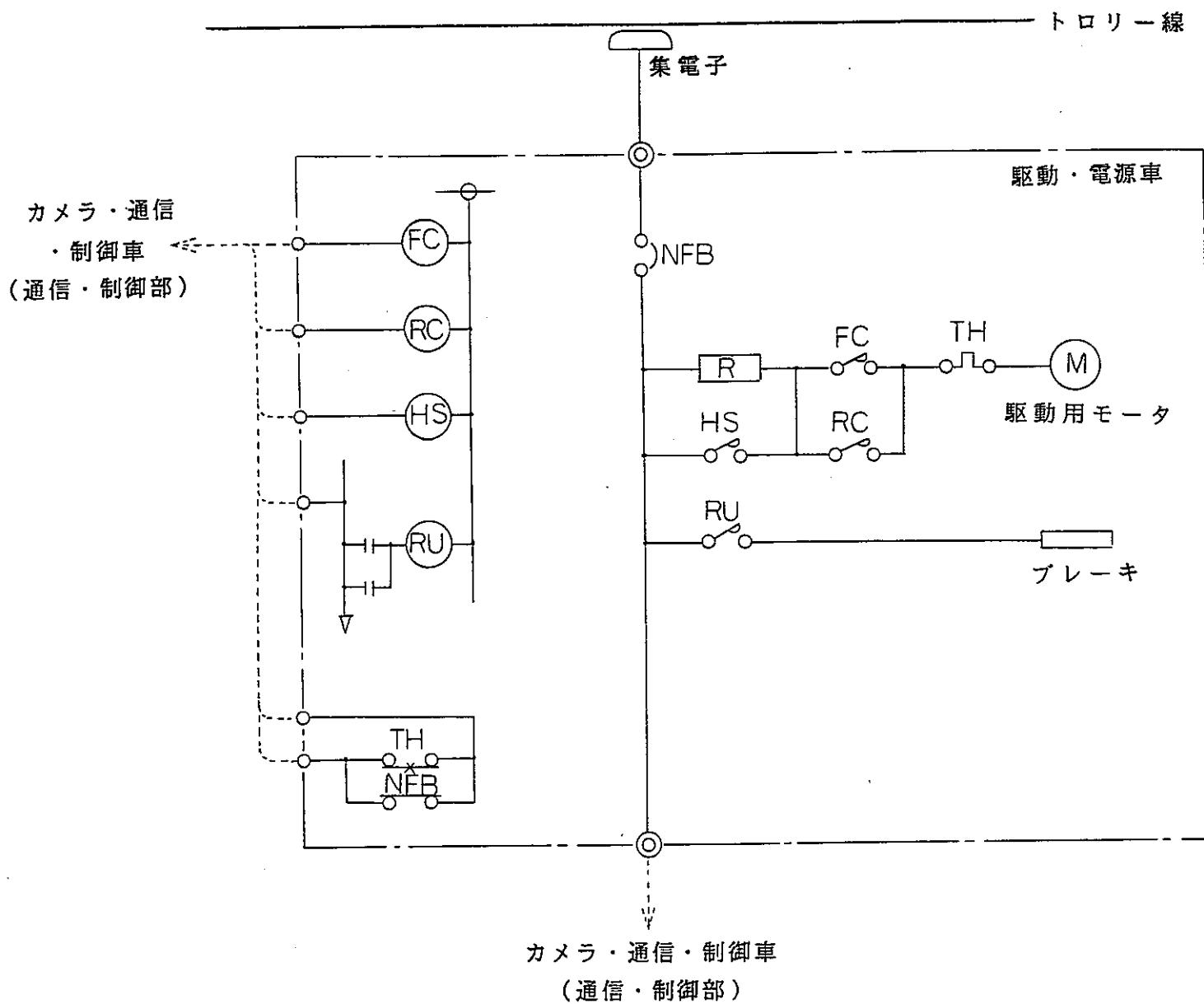


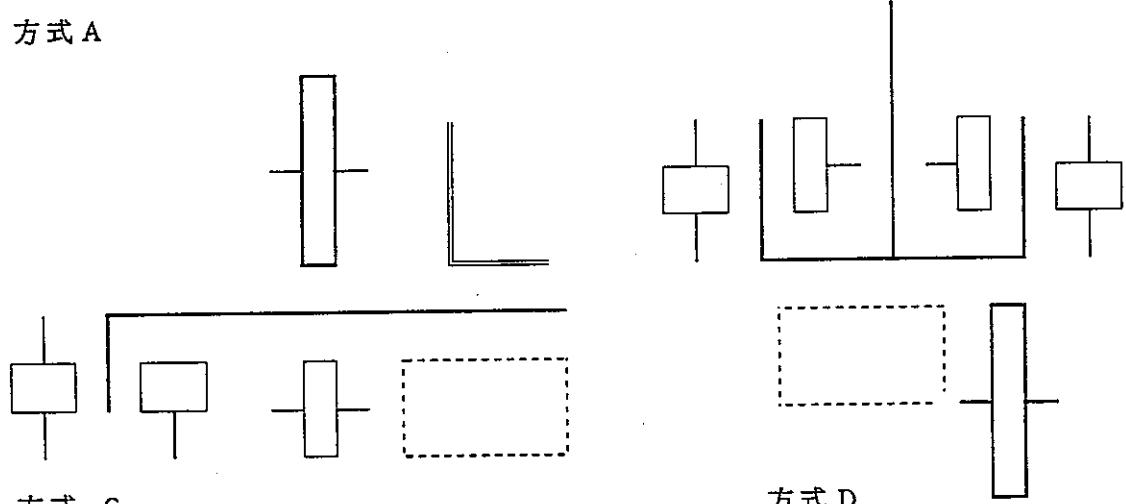
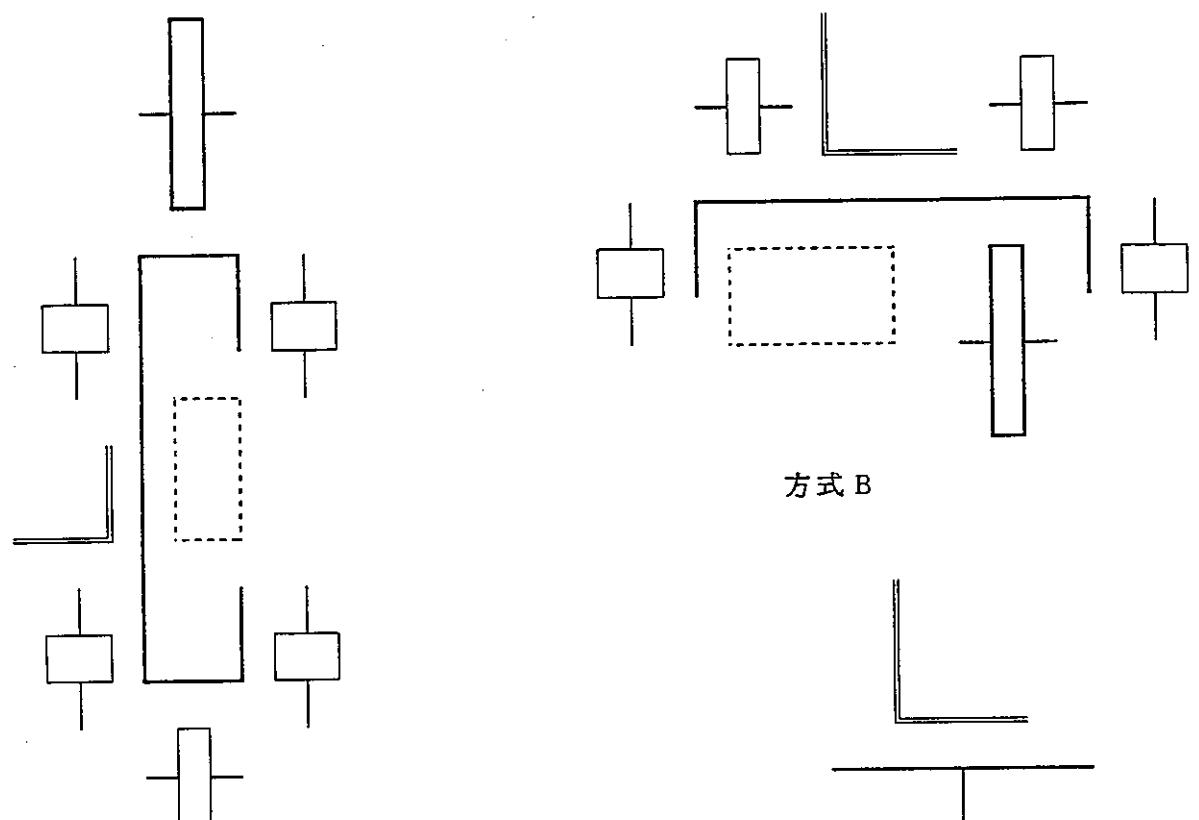
図-53 駆動・電源車概略回路図

### ( b ) 駆動機構部

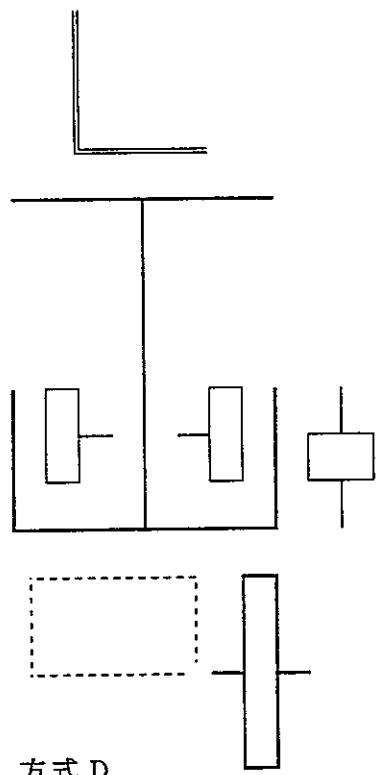
駆動機構を設計するにあたり、特に考慮しなければならない設置条件は、設置が容易であること、通過断面が小さく小型軽量であること、前進、後退が可能で、水平移動のみでなく垂直上昇、下降でも安定走行が可能なことである。また、本体の設計条件としては、自力駆動方式で、トロリー給電、近接無線による通信を行うこと、走行車の雲台にはカラーカメラ、照明、マイクロホンを搭載することになっている。

垂直上昇、下降が可能なモノレール方式として、代表的なものを図-54に示す。これらを比較すると、表-32に示したとおり、方式Aはレールを横からサポートするため、レールを取り付ける配管への負荷が大きく、さらに、装置の上下寸法が大で小型化が困難となる。方式Cは、レールの横幅大で小型化が困難な他、水平方向の走行安定性に難がある。方式Dは、レールの断面形状が複雑でコスト、加工性に欠点がある。一方、方式Bは、駆動ローラに自重がかからないため、押し付け機構が必要であるが、小型軽量で通過断面積が小さい。また、レールも含めた左右のバランスが良いため、レールを取り付ける配管へかかる負荷も小さい。以上より、ここでは、方式Bを選定して、設計を進める。

方式Bを採用した場合の駆動電源車の概念図を図-55に示す。必要な駆動トルクTは垂直上昇時に最大となり、駆動ローラーの半径 $r = 4\text{ cm}$ 、移動重量 $W = 15\text{ kgf}$ と仮定すれば、 $T = r \cdot w = 60\text{ kgf}$ となる。この駆動トルクを得るためにには、減速機付モータで、減速比が $1/50$ 程度で定格トルクは効率を考慮して $2\text{ kgf}$ 程度必要である。また、垂直上昇時に駆動ローラが滑らないため、十分な予圧力で駆動ローラに押しつけるか、レールに滑り止め加工を施す必要がある。



方式 B

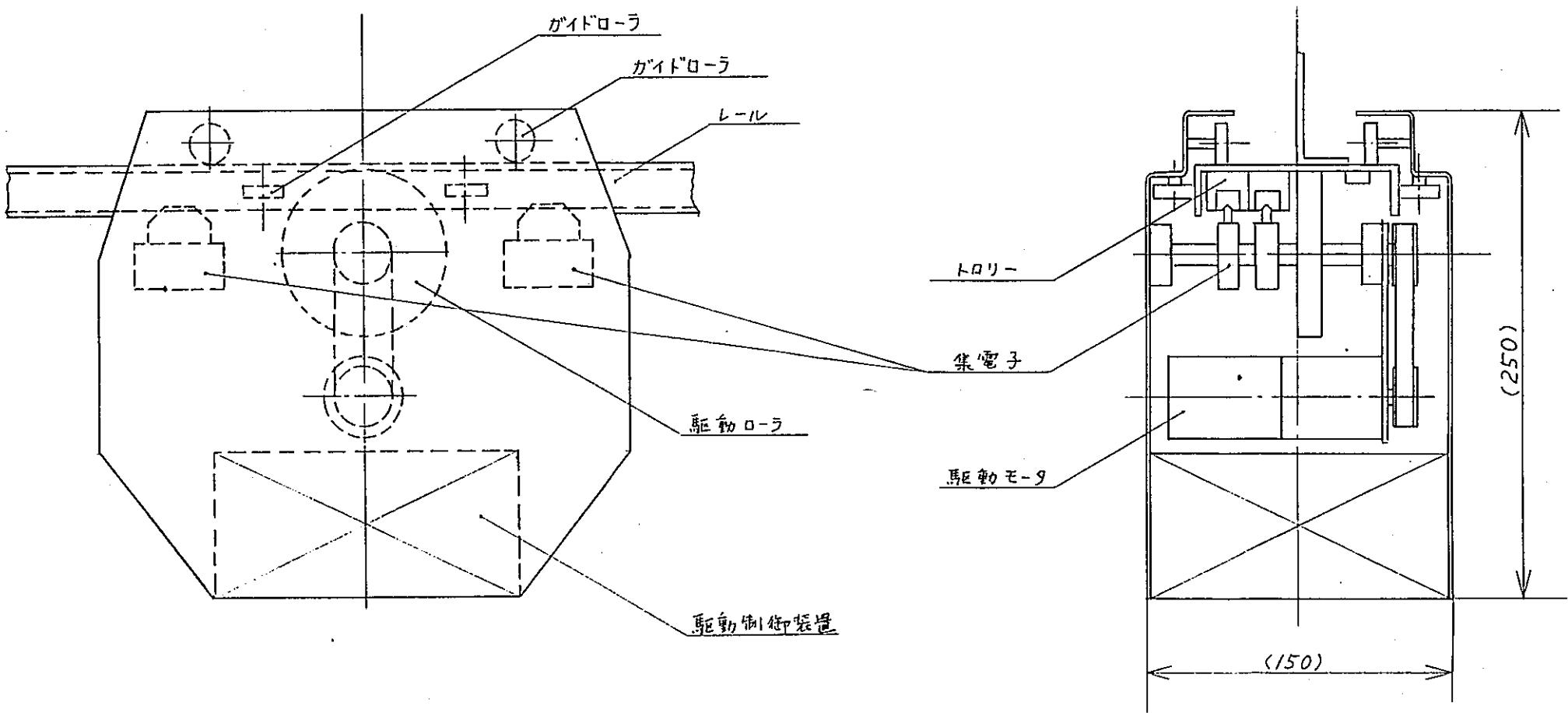
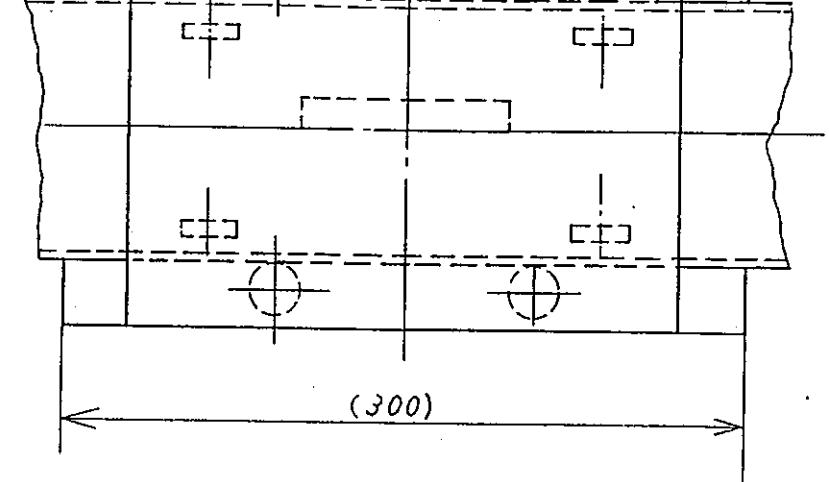


: 駆動ローラ、  
 : レールサポート、  
 : レール  
 : ガイドローラ、  
 : トロリー及び通信ケーブル

図-54 モノレール方式

表-32 モノレール方式の比較

方 式	長 所	短 所
A	・走行安定性良好（垂直方向）	・サポートの位置が横で取付部への負荷が大きい。 ・装置の上下寸法が大。
B	・走行安定性良好（水平方向）	・駆動ローラの押付けが必要
C	・レール断面形状単純、標準部材で対応可能	・レールの横幅大 ・走行安定性が問題
D	・走行安定性良好（水平方向）	・レールの断面形状が複雑、加工困難 ・駆動ローラの押付け必要



寸法単位

図-55 駆動・電源車概念図

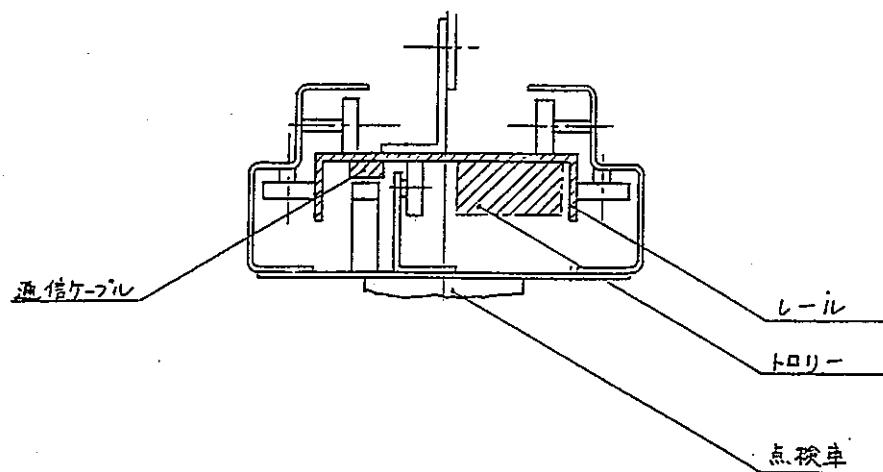
### (3) レール

セル内に設置するレールには点検車への電源供給用トロリー線及び点検車と地上（セル外）設置の操作監視盤間の通信用ケーブルを取り付ける必要がある。トロリー線と通信ケーブルを含めたレールの基本構造を図-56に示す。

レールは、搬入および組立が容易な様にモジュール化する必要がある。図-57に示すとおり、基本的なモジュールは、直線レール、水平曲がりレール、垂直曲がりレールの3種類である。実際には、モジュールの長さ・重量および曲がり方向を考慮しながら、移動経路をこれら3種類のモジュールに分割する。そして、あらかじめ各モジュールを製作しておいて、現地では、各モジュールを接続してレール全体を完成させる。レール接続部の概念図を図-58に示す。各モジュールのトロリーおよび通信ケーブルを接続するために、一端はオスのコネクタ、他端はメスのコネクタとなっており、モジュールを順次結合することで電気的な接続も同時に行われる。

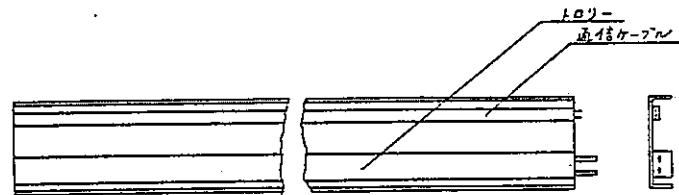
次に、配管へ簡単にレールを取り付けるための取付構造の検討図を示す。配管とレールの関係は、大別すると、図-59(a)に示す配管とレールが平行な場合と(b)に示す配管とレールが直交する場合に分類される。取付手順としては、ロックボルトを緩めた状態で、弱いスプリングで平行に保持された開閉爪を、配管の横から挿入する。その後、ロボットアーム等で位置決めされた自動ネジ締め機によってロックボルトを締結し配管にレールを固定する。レールを取り外す場合は、以上の逆の手順で作業を行う。

なお、図-59では、配管にかかるモーメントを考慮して、2本の同じ径の配管にレールを取り付ける場合を示しているが、図-60に示す1本配管の場合も同様な方法で取り付け可能である。但し、配管への負荷を考慮して支持点数決定する必要がある。また、既設の配管サポートに取付のためのスペースが確保できる場合は、開閉爪の形状を変更する事によって、配管ではなくサポートにレールを取り付ける事もできる。

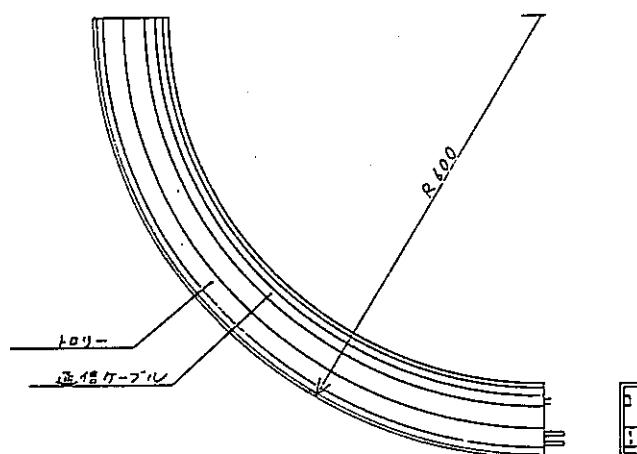


斜線部がレールを示す

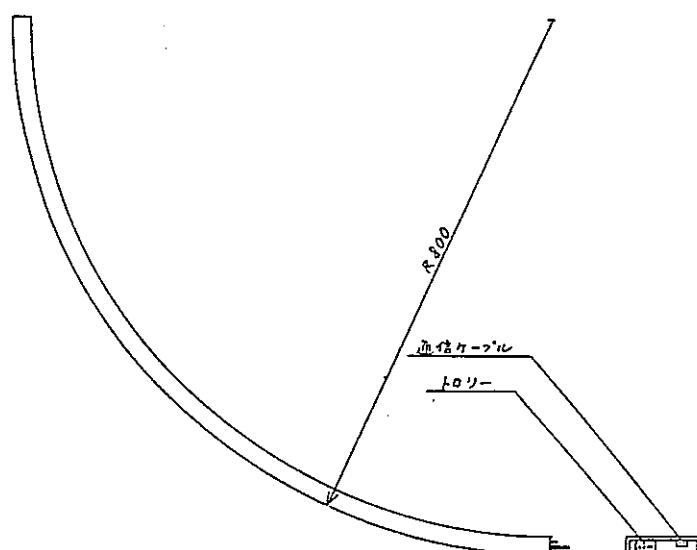
図-56 レール基本構造図



( a ) 直線 レール



( b ) 水平曲がり レール



( c ) 垂直曲がり レール

図 - 5 7 レール モジュール

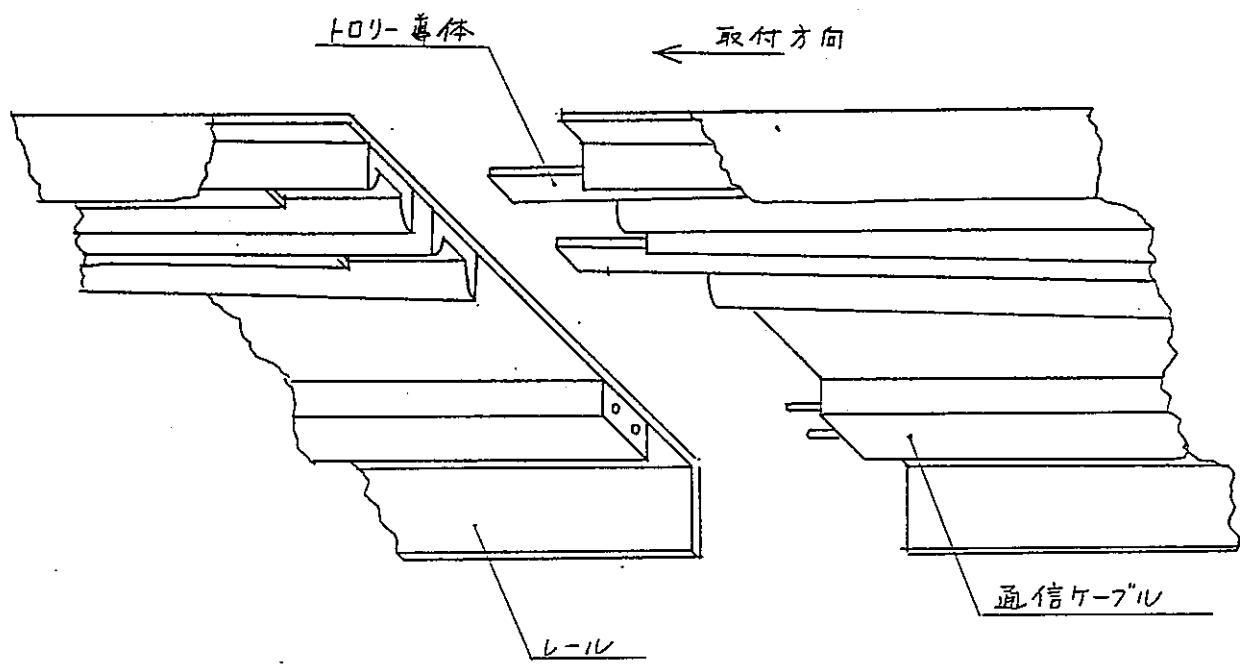
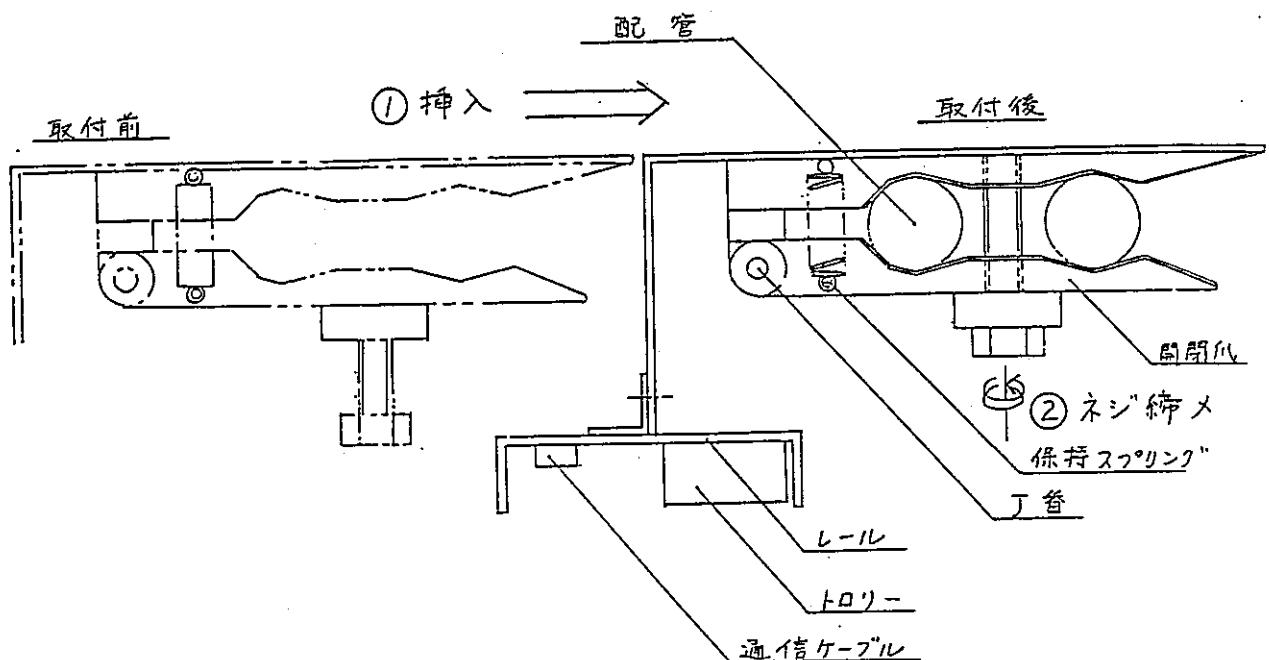
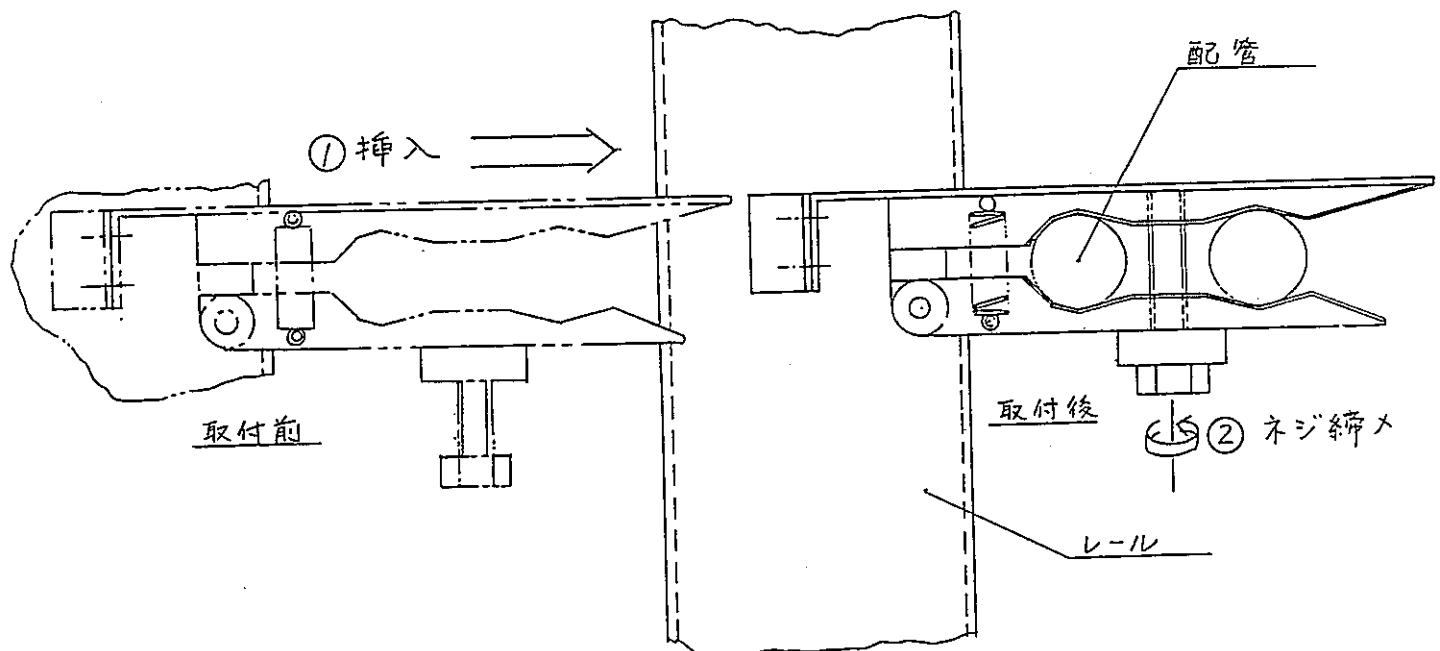


図-58 レール接続部概念図

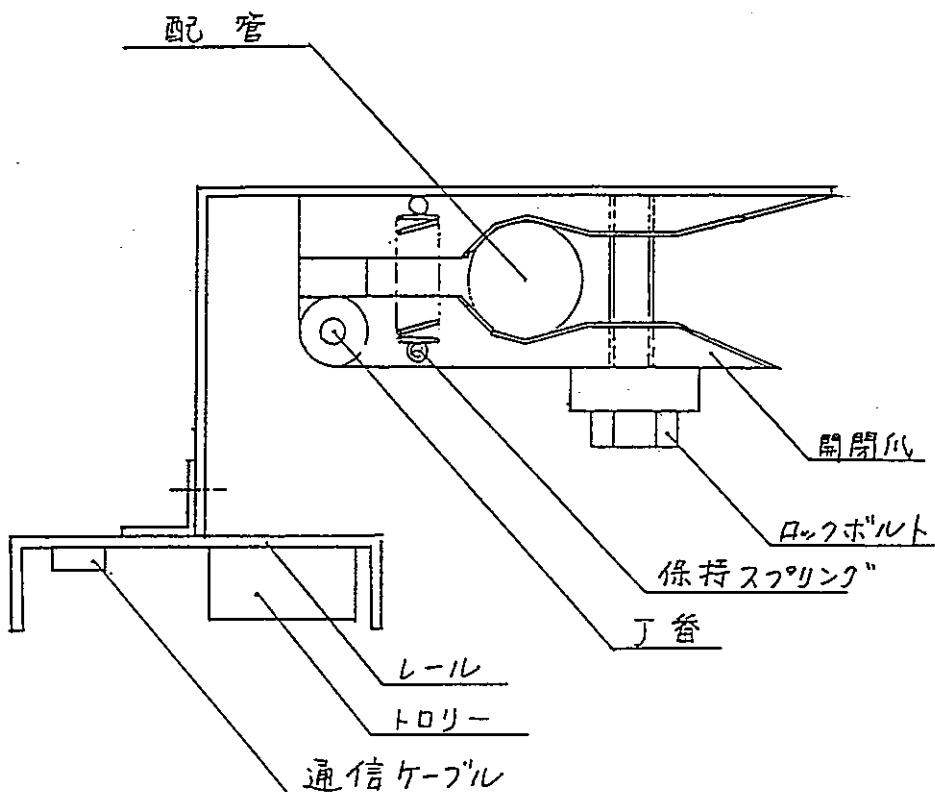


(a) 平行な場合

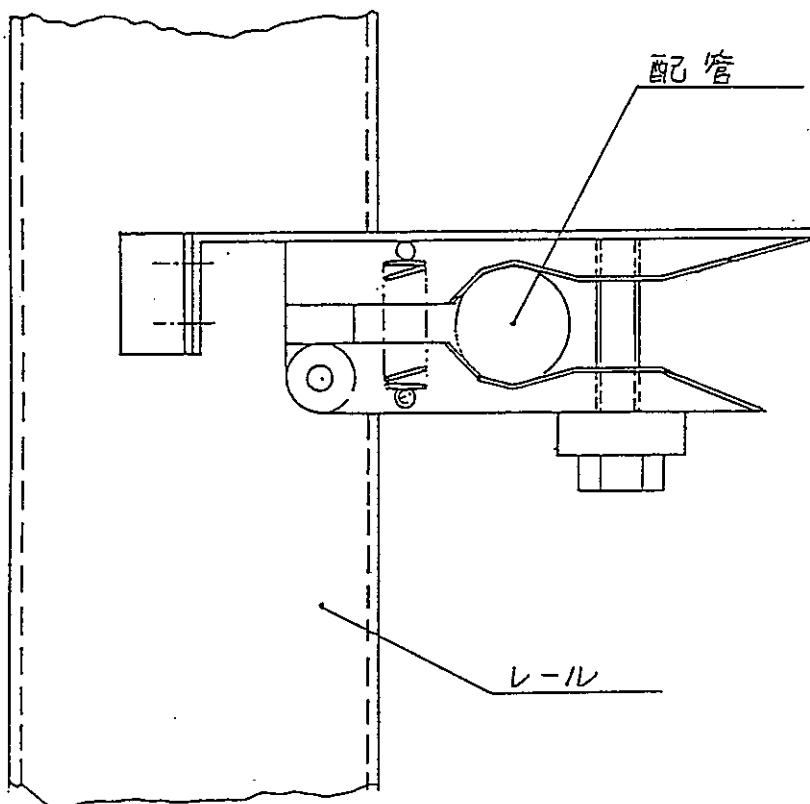


(b) 直交する場合

図-59 レール取付構造検討図（2本配管）



(a) 平行な場合



(b) 直交する場合

図-60 レール取付構造検討図（1本配管）

#### (4) 操作監視盤

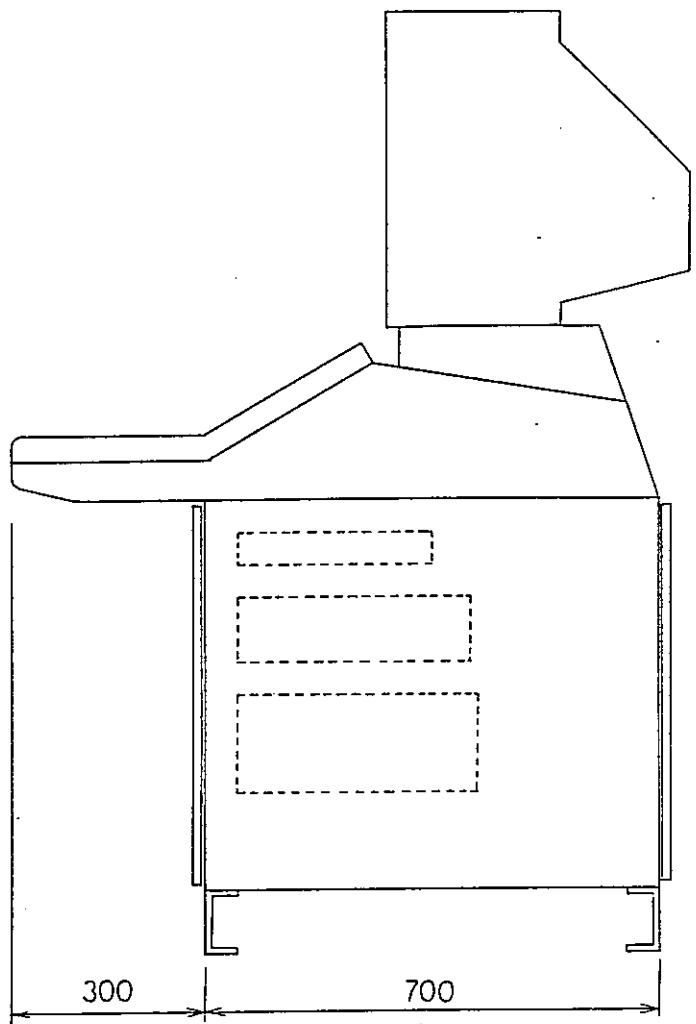
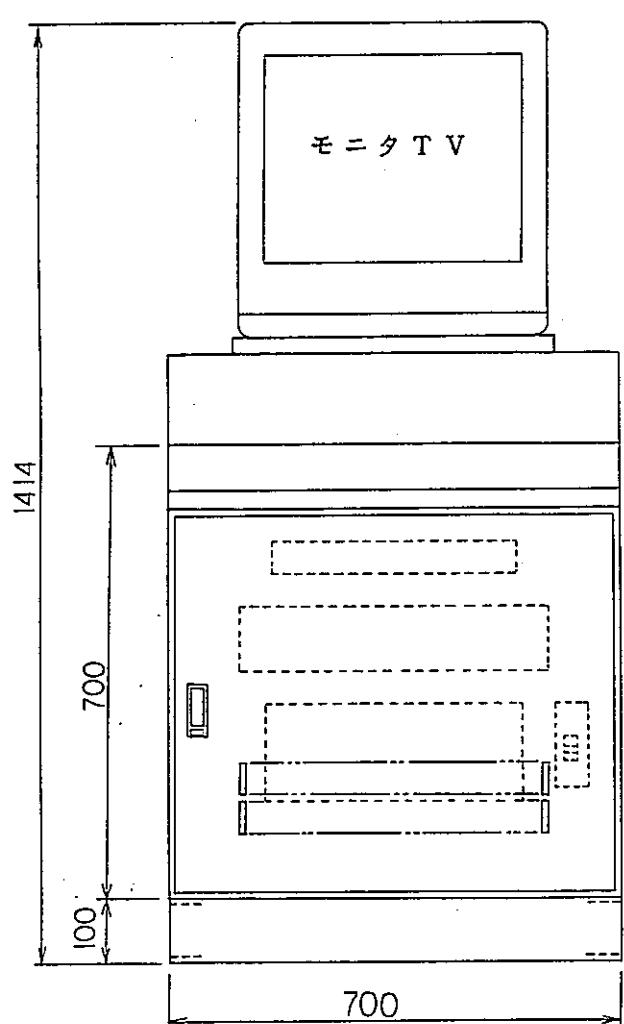
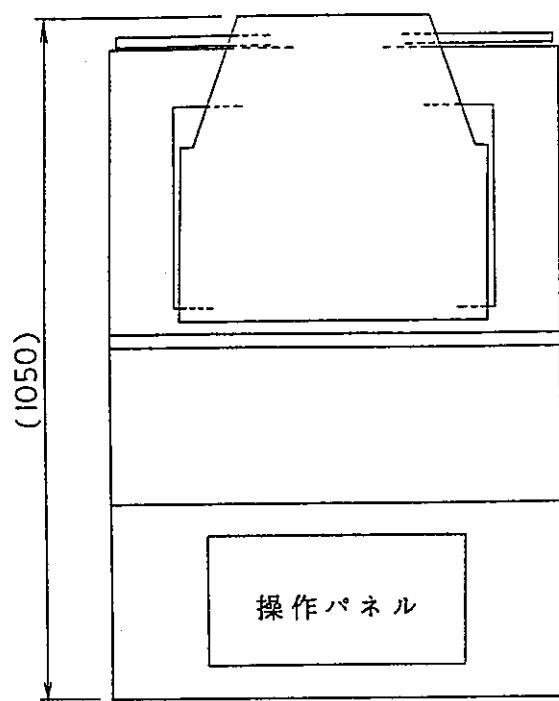
セル外に設置する操作監視盤には以下の機能を持たせる必要がある。

- ①走行車から送信されて来る T V 信号を復調し、モニタ TV に表示する。
- ②走行車と操作監視盤間の制御信号（デジタル信号）変復調する。
- ③走行車の移動、カメラの雲台操作を行なう。
- ④トロリー線への電源供給を行なう。

操作監視盤の外形を図-6-1、操作パネルの外形を図-6-2に示す。

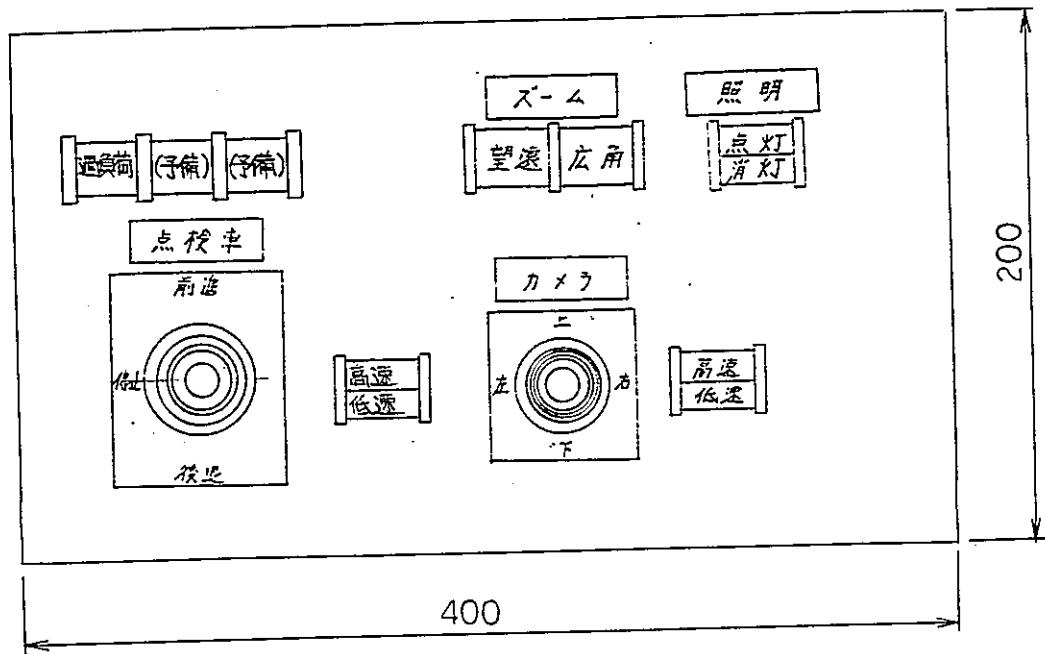
また、操作監視盤の概略回路図を図-6-3に示す。

尚、操作監視盤の外形はこれまでに開発してきたものに合わせた。



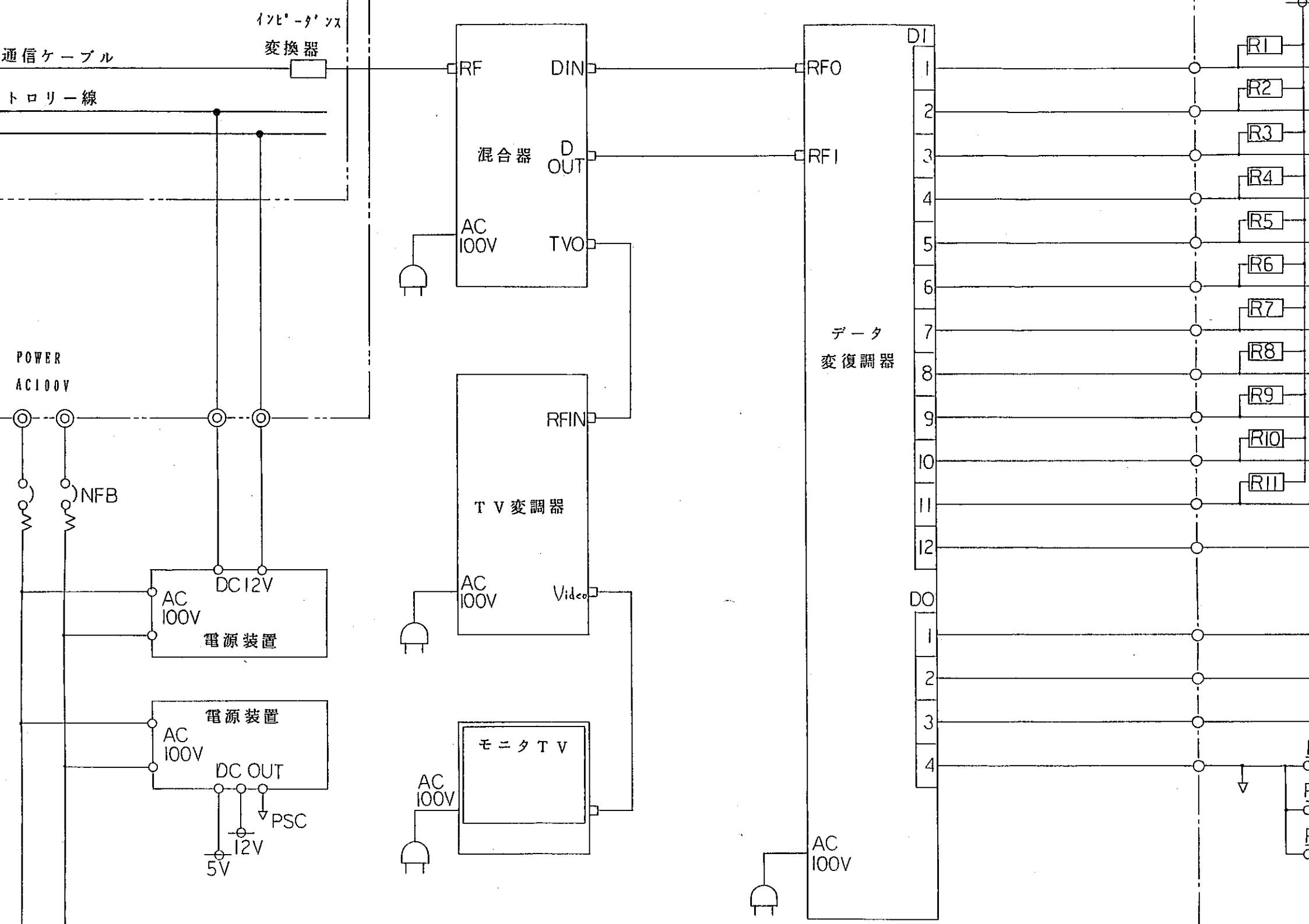
寸法単位: m m

図-61 操作監視盤外形図



寸法単位: mm

図-62 操作パネル外形図



## 5.まとめ

再処理工場のセル内機器の保守・交換等に伴うセル内作業における被ばくの低減、安全性の向上、作業期間の短縮、稼働率の向上を図ることを目標に、配管の切断・溶接等に適用する遠隔操作型の作業ロボットについて開発・評価試験を行ないシステムを完成させると共にいくつかの課題を抽出することができた。

本高度化設計では、上記課題の解決に向け第1ステップとしてスペース削減および視認性の向上を高めるためケーブルモジュールの共用化、モノレール走行型視覚システムの設計検討を実施した。

その成果として次のことが得られた。

- (1) 各基本作業ユニットに使用しているケーブル・ホース類の整理を行ない、ケーブルモジュールの共用化、作業アームおよび連結部の構造についての概念設計を実施し、スペース削減への目途が得られた。
- (2) セル内の配管等を利用して据え付け可能なモノレール走行型視覚システムの各方式の決定を行ない、走行車・レール・操作監視盤の概念設計を実施し、実用化への目途が得られた。

## 6.あとがき

再処理工場でのプロセス機器類の保守に伴う交換等の作業は、被ばく防止の観点から長い作業時間と多大な作業員とを要し、結果として施設稼働率の低下とメンテナン費用の増大をもたらす。

特にプロセス機器の交換に不可欠な配管の切断、溶接とこれに伴う検査等の作業は、全体の作業期間の中でも大きなウェイトを占めるものであり、早急な対応が要求されていた。

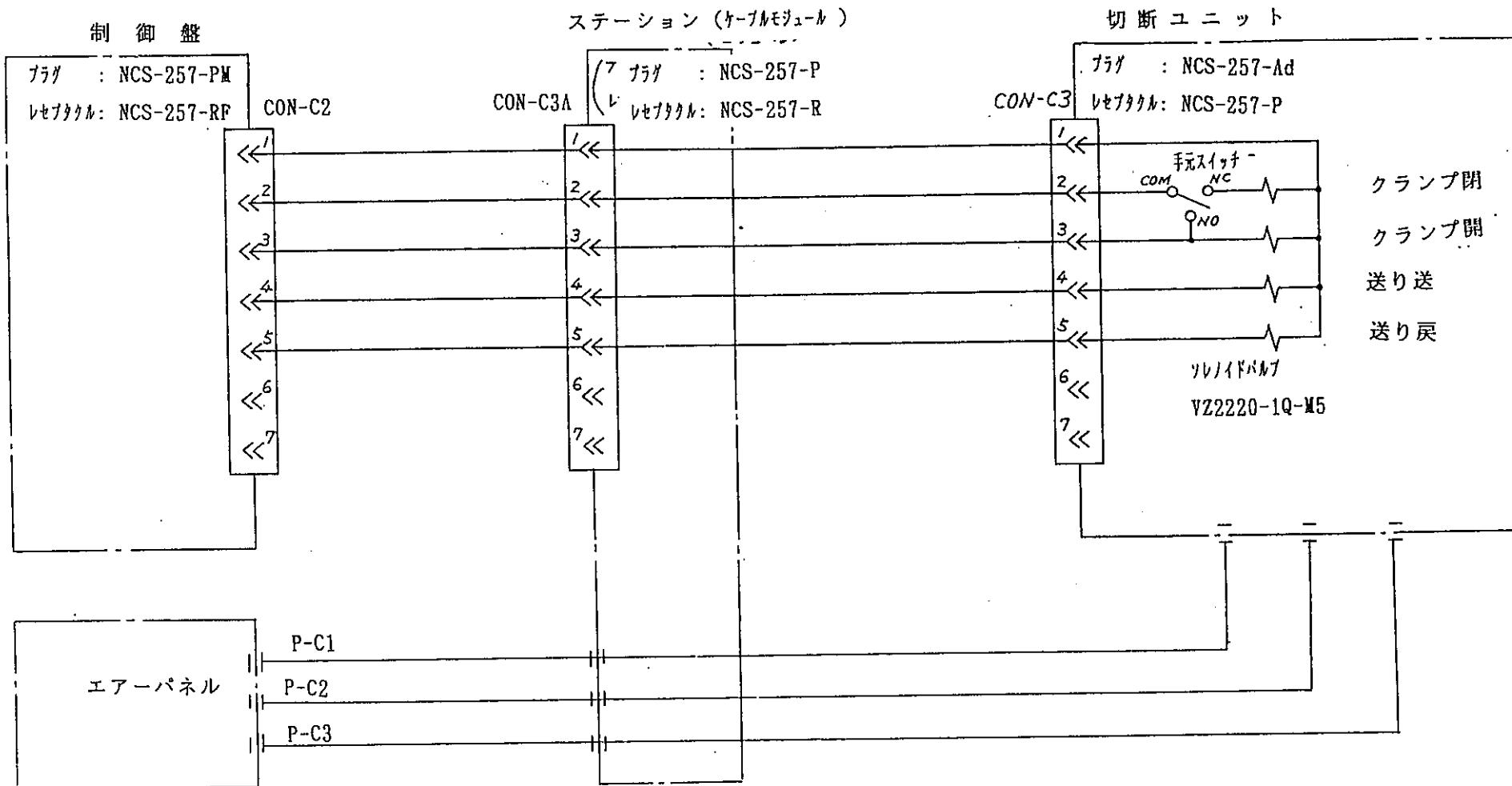
この観点から再処理工場の配管作業を対象とし、遠隔および機械化を図る目的でシステム完成に必要な機器を順次開発し、評価を実施してきた。

本「遠隔配管工事システムの開発－高度化設計－」では、これまでの成果を生かしより実用性の高い遠隔システムを構築することを目的として、ケーブルモジュールの共用化およびモノレール走行型視覚システムについての概念設計を実施した。

次ステップからは本研究の成果をもとに、装置の試作又は改良を行い、模擬セル内へ設置し性能および実用性について評価を実施して行くことを推奨する。

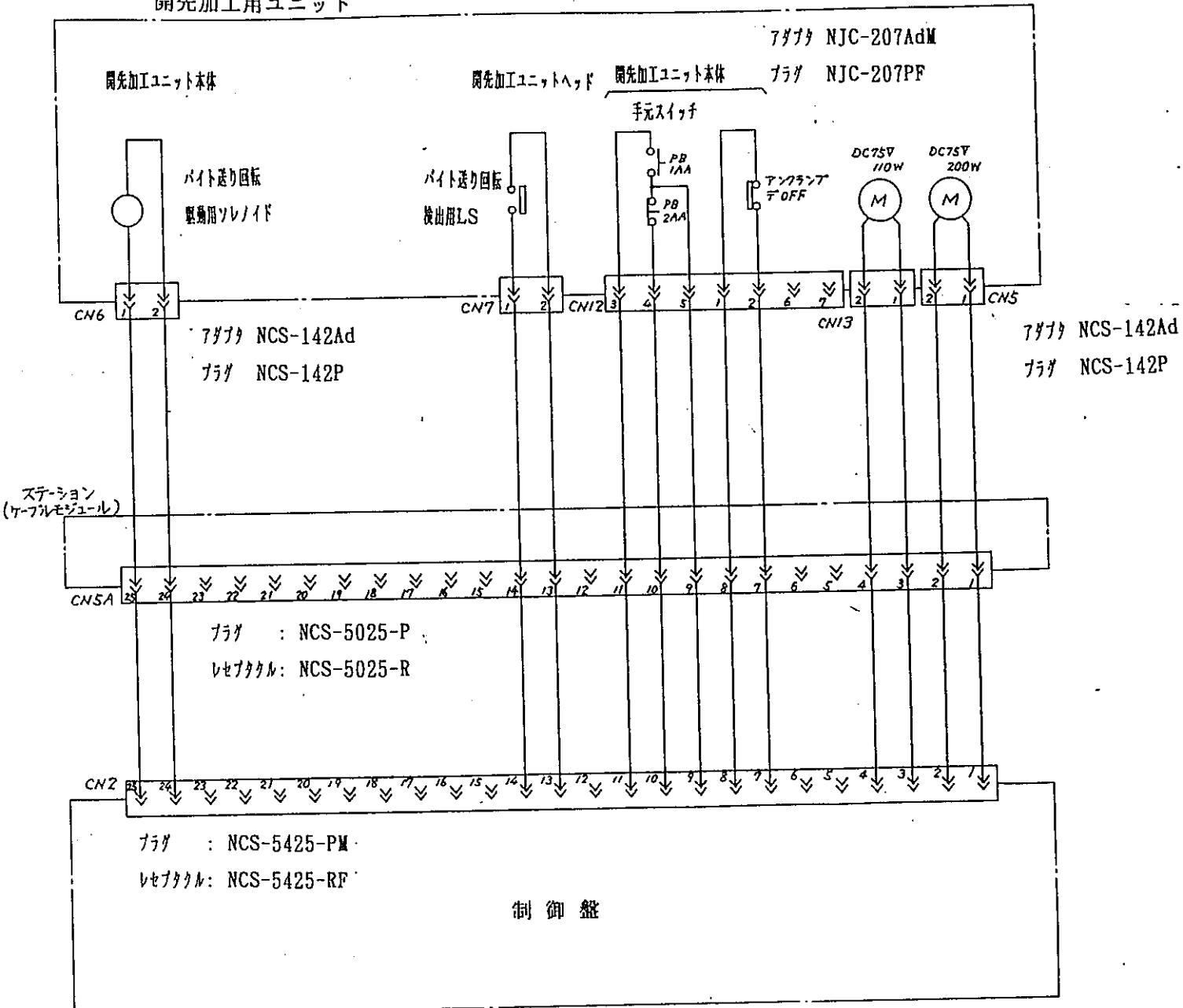
## 7. 謝　　辞

「遠隔配管工事システムの開発－高度化設計－」の実施および本成果報告をまとめるにあたり、動力炉・核燃料開発事業団東海事業所関係各位の熱心な御指導をいただきましたことを厚く御礼申し上げます。

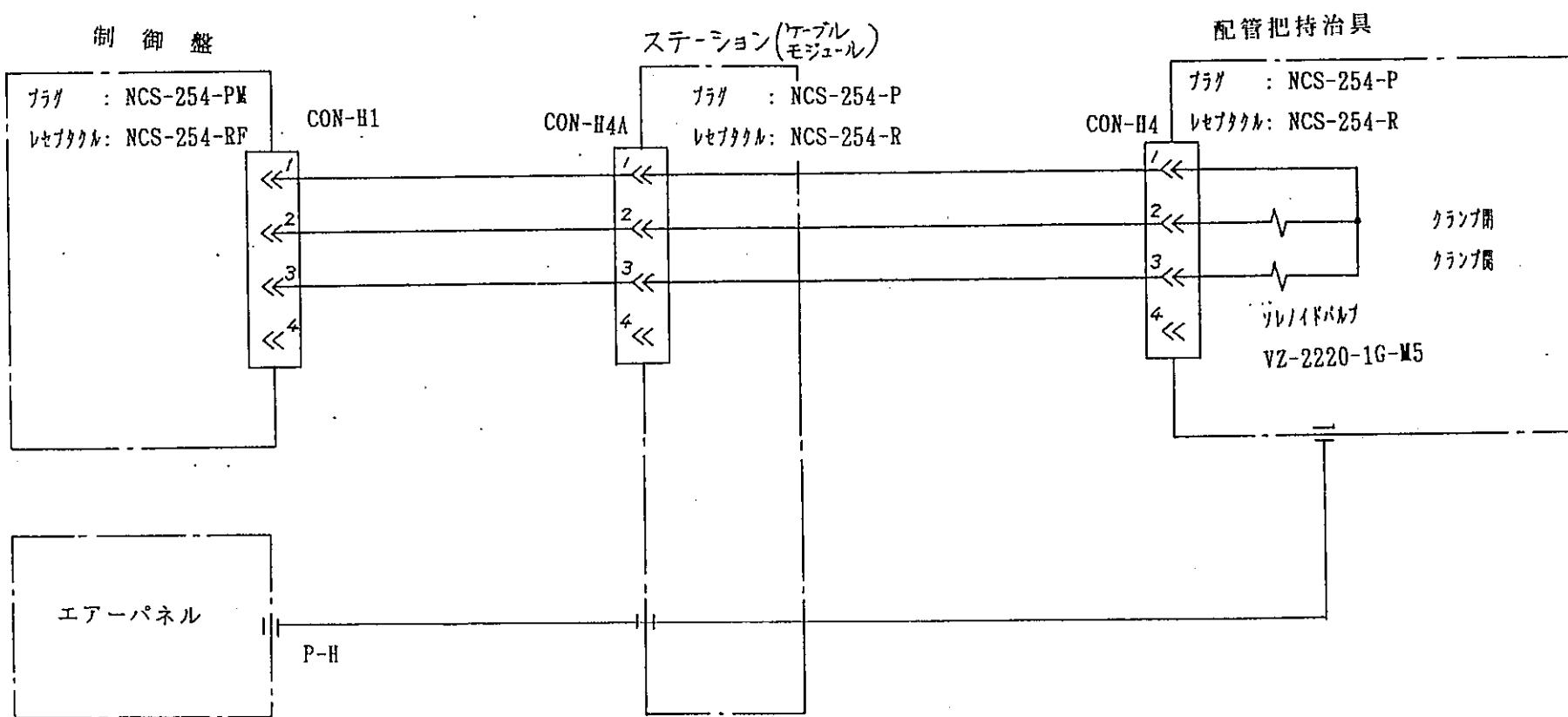


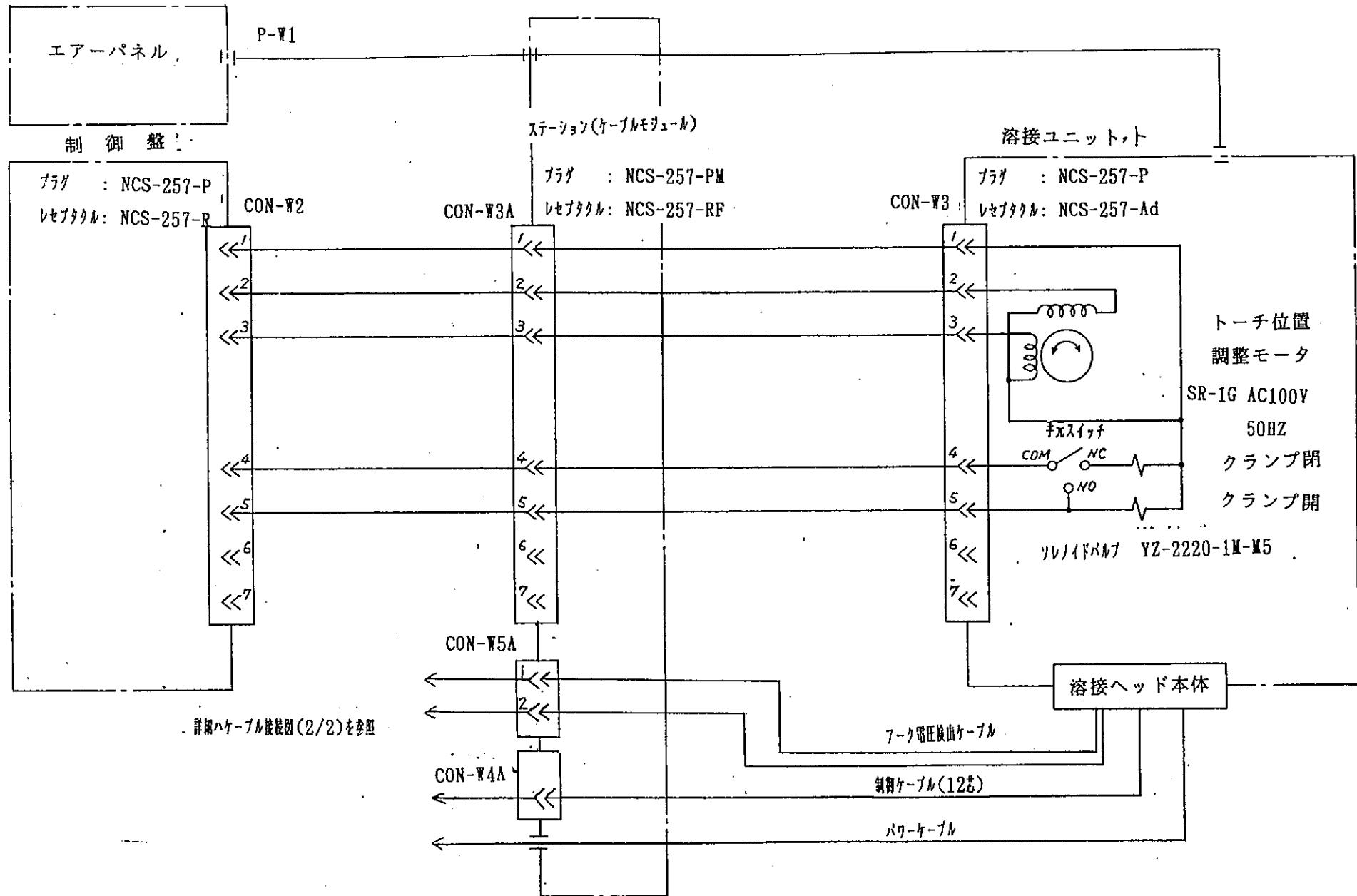
付図 - 1 切断ユニットケーブル接続図

開先加工用ユニット

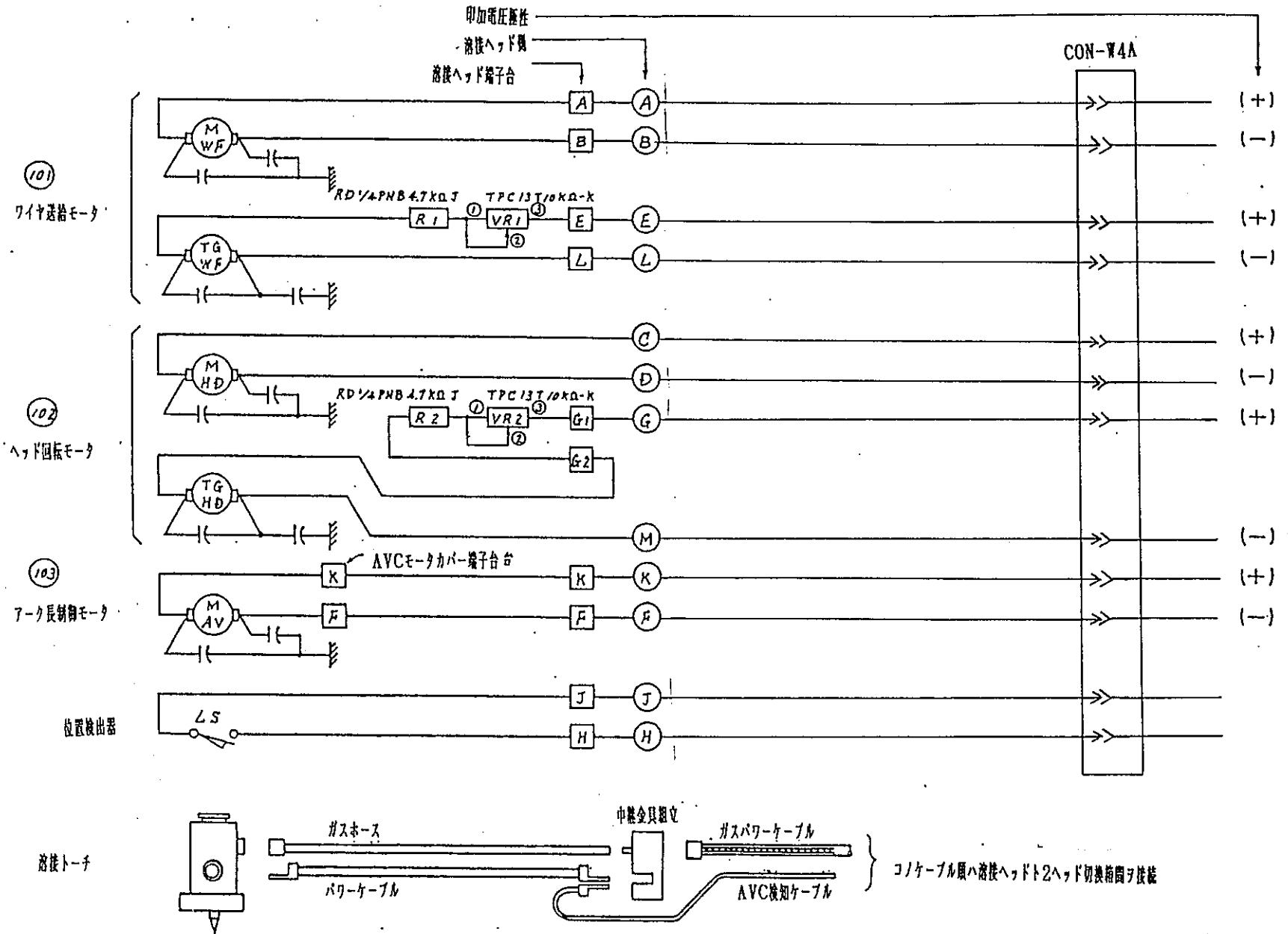


付図 - 2 開先加工ユニットケーブル接続図

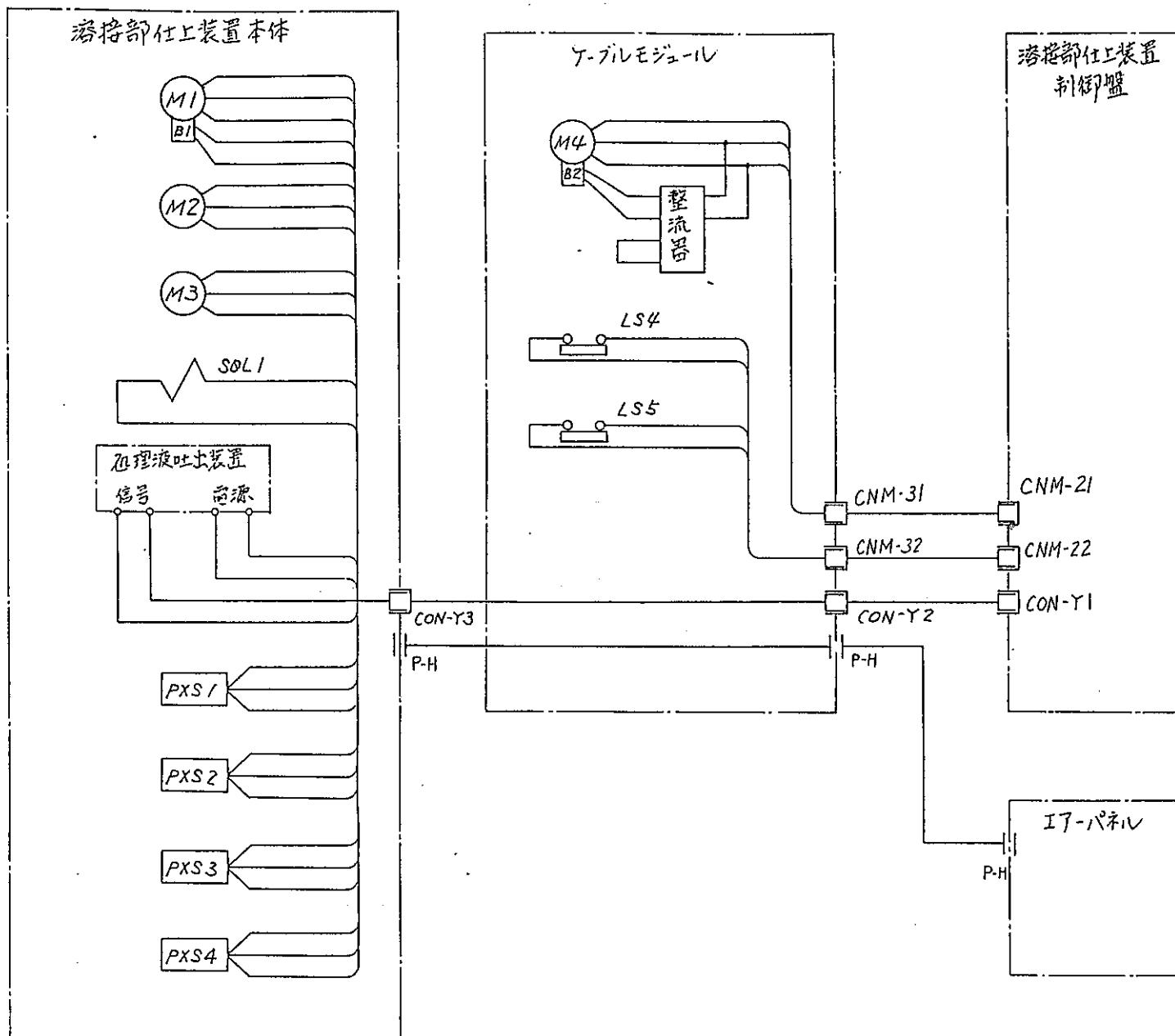




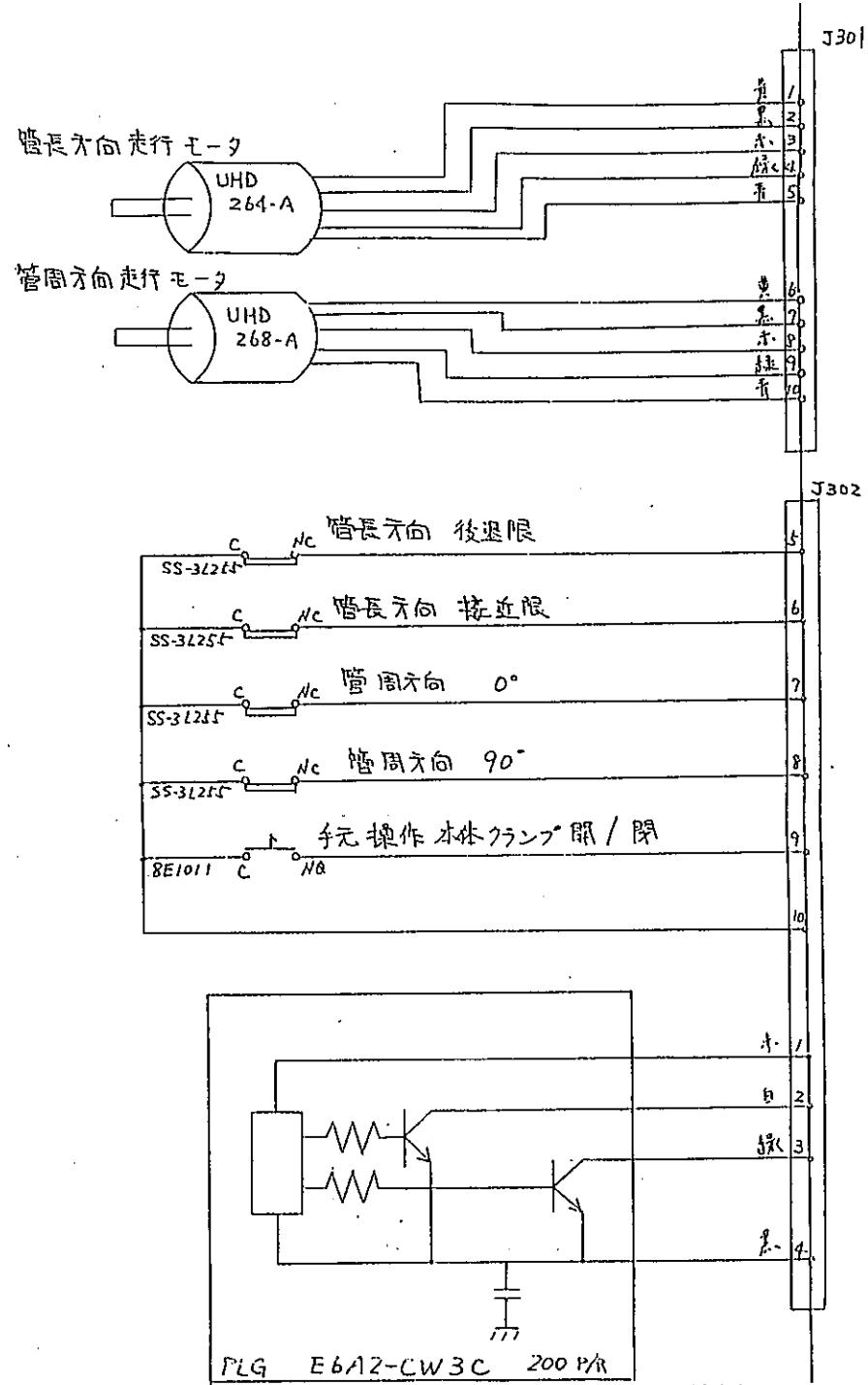
付図-4 溶接ユニットケーブル接続図(1/2)



付図-5 溶接ユニットケーブル接続図 (2/2)

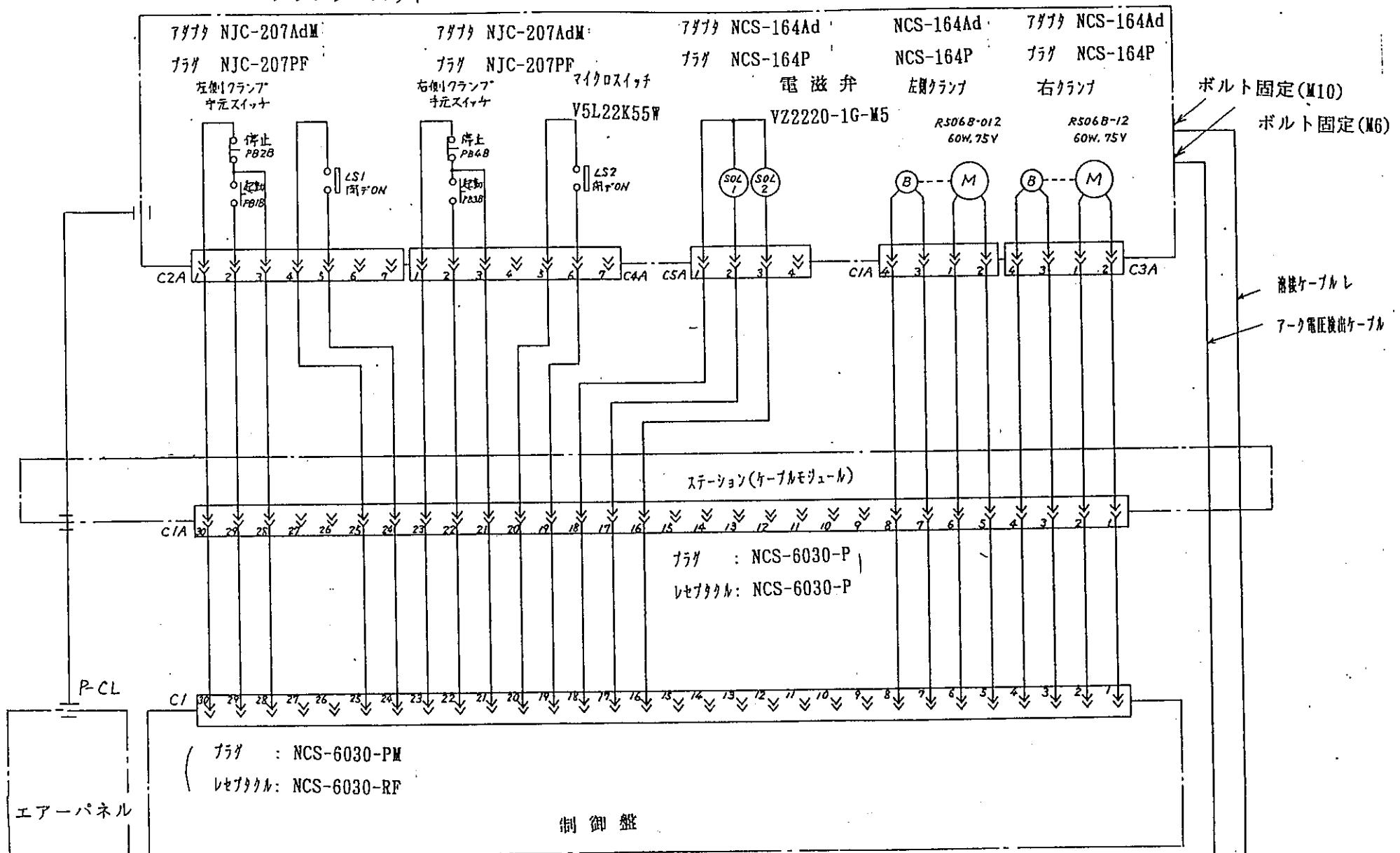


付図-6 溶接仕上装置ケーブル接続図



付図-7 検査装置ケーブル接続図

クランプユニット



付図 8 クランプユニットケーブル接続図

## 添付資料－2 クランプユニットの共通化可否検討

### 1. クランプユニットの共通化可否検討

クランプユニットは、切断ユニット・配管把持治具・溶接ユニットと同時に使用するのでケーブルの共通化が可能か検討した。

#### (1) 切断ユニット使用時

クランプユニットと切断ユニットは同時に使用するが、切断ユニットの使用時、以下の理由によりクランプユニットの電気・エアーを必要としない。

- ① クランプユニットの配管固定は、ブレーキ付きモーターを使用している。ブレーキは、励磁解放型を使用しているのでクラランプすれば電流をながさなくても良い。
- ② 配管突き合わせ用のエアーは、逆止弁を使用しているので使用時のエアー漏れはない。
- ③ エアーの切り替えは、両ソレノイドバルブを使用しているので切り替えるには電流を必要とするが、そのままの状態を保持する場合は、電流を必要としない。上記使用手順を付表－1に示す。

#### (2) 配管把持治具使用時

クランプユニットと付表－2の使用手順に示す様に、被切断配管をクランプユニットより取り出す時と、新配管をクランプユニットに把持させる時に、同時にケーブルとエアーを使用する。したがってクランプユニットのケーブル共通化はできないので除外する。

#### (3) 溶接ユニット使用時

クランプユニットと溶接ユニットは、同時に使用するが、溶接ユニットの使用時、上記(1)と同様にクランプユニットの電気・エアーを必要としないが、溶接時、アース線用に溶接用ケーブルとアーク電圧検出用ケーブルを必要とするので、共通化としてアーム側に取り付けて共通線を増加させるより、アース線を従来通り共通化して組込めないクランプユニットに取付けた方が作業アームのケーブル処理及び連結器がより簡単になる。上記使用手順を付表－3に示す。

付表-1 クランプユニット・切断ユニット使用手順

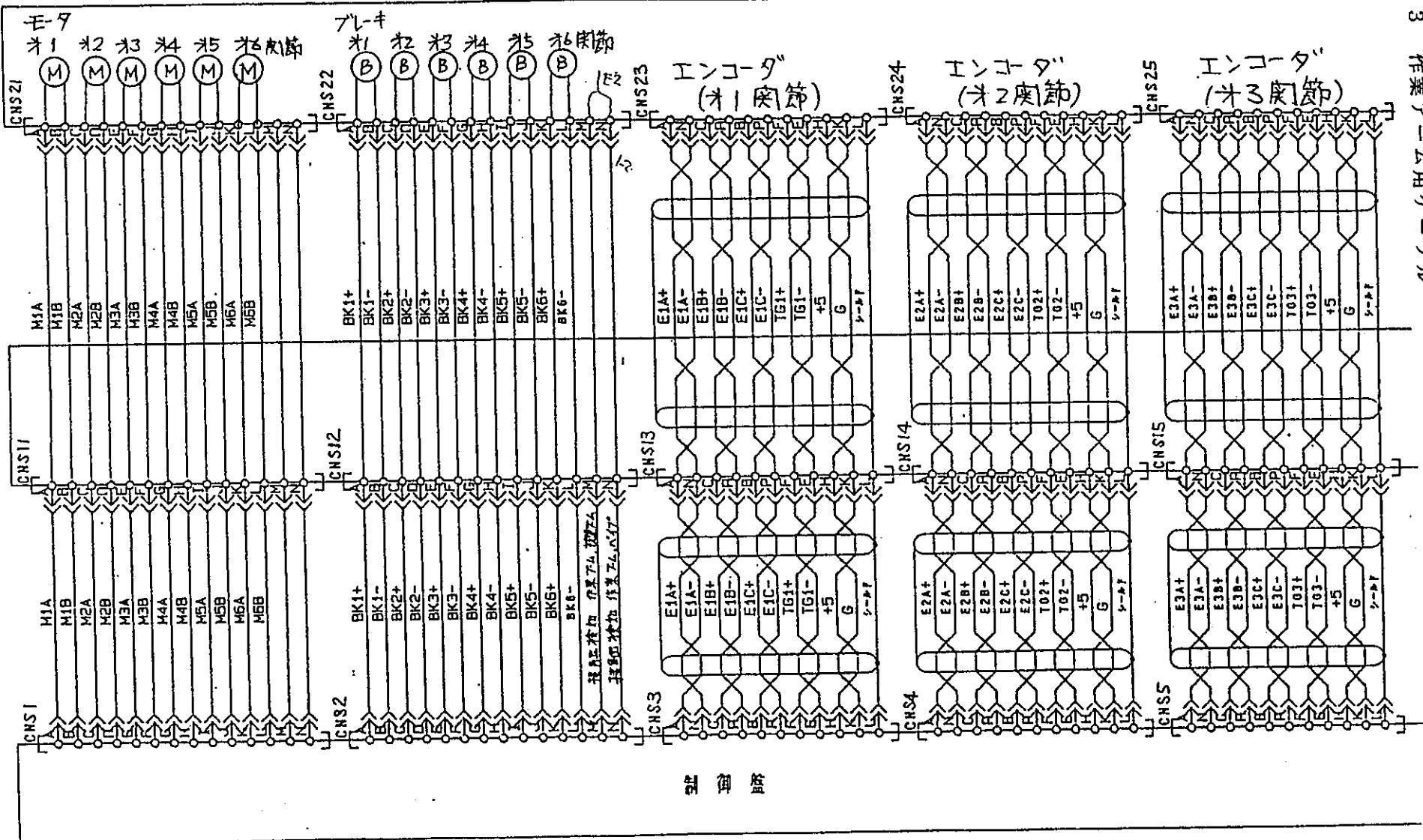
手 順		作業項目	ユニット名
配管把持治具	ユニット使用	配管クランプ	クランプユニット
切断ユニット収納		切断ユニット	クランプユニット
切断ユニットアシクランプ		切断ユニットアシクランプ	クランプユニット
モータ	ソレノイド	モータ	クランプユニット
溶接ケーブル	ソレノイド	溶接ケーブル	クランプユニット
エアー	エアー	エアー	クランプユニット

付表-2 クランプユニット・配管把持治具使用手順

作業項目	手順
配管把持治具取出し	被切断管クランプ
被切断管を保管	クランプユニット開
ステーション収納	クランプユニット取外し
開先加工	クランプユニット取出し
配管クランプ	配管把持治具取出し
新管把持	新管クランプに把持
配管把持治具取外し	新管クランプに把持
配管把持治具収納	新管クランプに把持
配管把持治具取出し	新管クランプに把持
モータ ソレノイド エアー 溶接ケーブル	クランプユニット
	機器
	ユニット名

付表-3 クランプユニット・溶接ユニット使用手順

手 順	
作業項目	
溶接ユニット取出出し	溶接ユニットクラシフ
溶接ユニットアシクリンプ	溶接ユニットクラシフ
溶接ユニット収納	溶接ユニットクラシフ
溶接ユニットモータ ソレノイド エアー	溶接ユニットモータ ソレノイド エアー
溶接ケーブル アーク電圧	溶接ユニットモータ ソレノイド エアー
制御 パワーガス エアー	溶接ユニットモータ ソレノイド エアー
アーク電圧	溶接ユニットモータ ソレノイド エアー



付図-9 ケーブル接続図II (1 / 3)

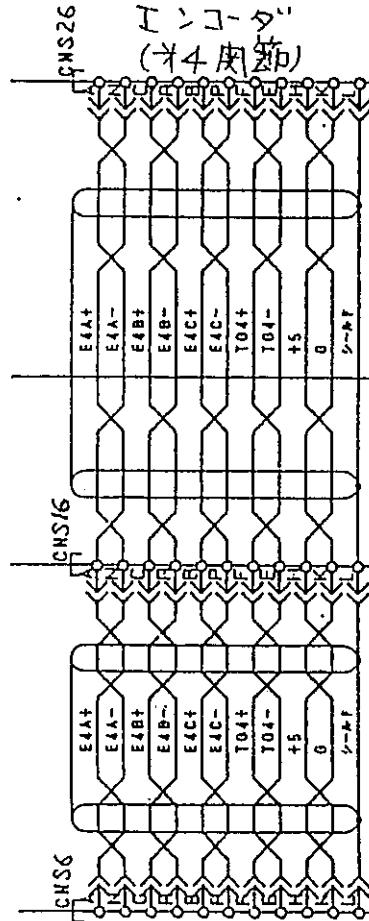
作業用

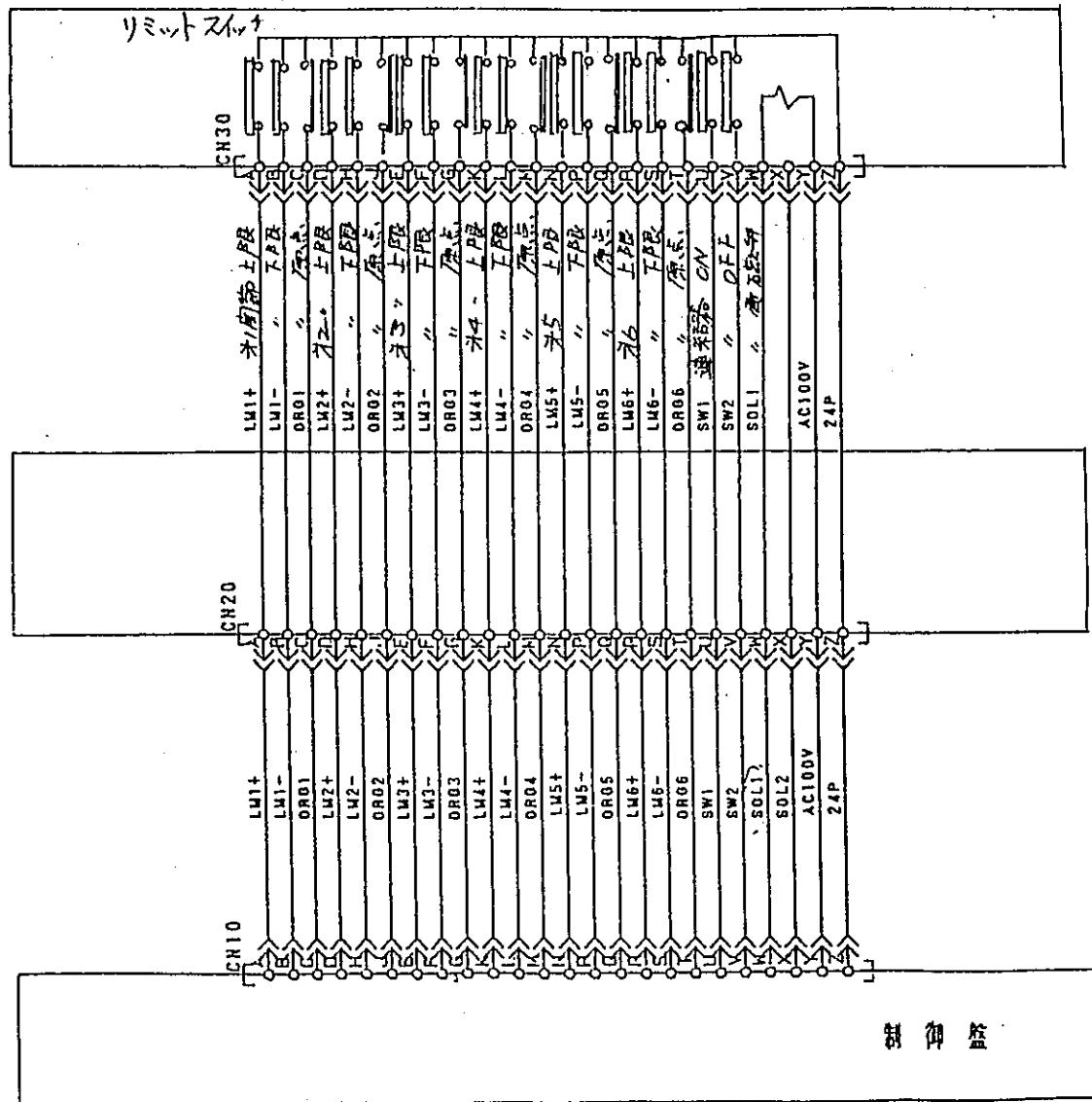
リフタ-

リミット・スイッチ非常限

主電源

付図-10 ケーブル接続図 II (2/3)





付図-11 ケーブル接続図Ⅱ (3 / 3)

## 添付資料 - 4 誤差吸収機構の軸径及びエアー作用径

誤差吸収機構の軸径及びエアー作用径について以下に確認する。

### 1. 誤差吸収機構の軸径

誤差吸収機構の軸には曲げとねじりが作用するので以下の計算式で強度を確認する。

#### (1) 計算条件

- ① 曲げモーメント  $M : 11000 \text{ kg mm}$
- ② トルク  $T : 6000 \text{ kg mm}$
- ③ 使用材質 : アルミニウム (A2017)
- ④ 許容応力 曲げ :  $3.5 \text{ kg/mm}^2$   
せん断 :  $2.5 \text{ kg/mm}^2$
- ⑤ 軸径  $d : \phi 35$  として確認する

#### (2) 計算式

計算結果を以下に示す。

①曲げ応力 :  $\sigma_1$

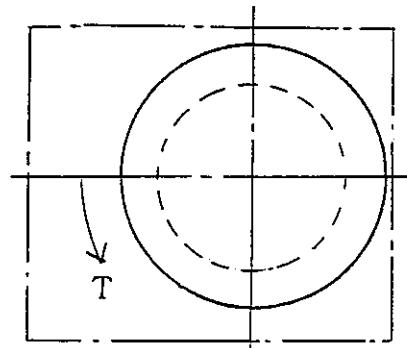
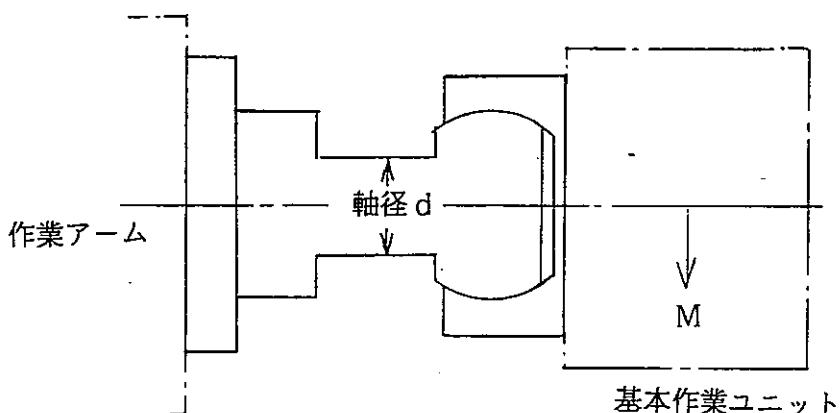
$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \sigma + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = 3.0 < 3.5 \text{ kg/mm}^2$$

②せん断応力 :  $\tau_1$

$$\tau_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = 1.6 < 2.5 \text{ kg/mm}^2$$

ここで

$$\sigma = \frac{M}{Z} = \frac{11000}{\pi d^3 / 32} = 2.7 \quad \tau = \frac{T}{Z_p} = \frac{6000}{\pi d^3 / 16} = 0.8$$



## 2. エアー作用径

エアー作用径はエアー圧力によるモーメントの復帰力により求める。

(1) 復帰力 : W

曲げモーメント M : 11000 kg mm

$$W = \frac{M}{L} = \frac{11000}{40} = 275 \text{ kg}$$

作用距離 L : 40 mm

(2) エアー作用径 : D

作用するエアー圧力を  $p = 5.6 \text{ kg/cm}^2$  ( $7\text{kg/cm}^2 \times 0.8$ ) とすると

$$\text{面積 } A = \frac{W}{p} = \frac{275}{5.6} = 49.1 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi (D^2 - d^2) / 4 \text{ より}$$

$$D = \sqrt{A \times 4 / \pi + d^2} = \sqrt{49.1 \times 4 / \pi + 3.5^2} = 8.7 \text{ cm} \approx 9 \text{ cm}$$

