

遠隔配管工事システムの開発

－クランプ一体型溶接ユニットの設計－

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1995年 2月

株式会社 東京エンジニアリング

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)

1995年 2月

遠隔配管工事システムの開発

－クランプ一体型溶接ユニットの設計－

※
実川 智允 東城 達也
高木 元吉 須藤 彦兵衛

要 旨

動力炉・核燃料開発事業団（以下「事業団」という）では、再処理工場のセル内機器の保守、交換に伴うセル内での配管作業における被ばくの低減、安全性の向上、作業期間の短縮及び稼働率の向上等を目標に、配管の切断、溶接等の作業に適用する遠隔操作型作業ロボットの開発を実施してきている。

本件では、作業能率の向上を図るため、配管作業に於ける作業ステップの一つである配管取付け、開先合せ作業及び溶接作業を一つの工程に統合することを目指し、既存の溶接ユニットをベースにクランプユニット（配管取付け、開先合せ）の機能を兼ね備えたクランプ一体型溶接ユニットの設計を行ったものである。

以下に本設計を実施して得られた結果の成果を示す。

- (1) 単純化された配管クランプ機構
- (2) 機能的な開先合せ機構
- (3) 簡潔な制御機構
- (4) 合理的なユニットの統合

等の設計を行うことができた。

本報告書は上記クランプ一体型溶接ユニット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、株式会社東京エンジニアリングが動力炉・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：06C3248

事業団担当部課室：再処理技術開発部機器材料開発室

※ 筆者の所属部課名：備東京エンジニアリング 技術部・工務部

Development of Remote Pipe Working System

— Design of a welding tool unit with clamp —

T. Jitsukawa, T. Tojo*
M. Takagi, H. Sudo

A b s t r a c t

Tokai Reprocessing Plant (TRP) in PNC has developed a technology for the maintenance and repair of pipe lines in the cell.

This technology was developed for the purpose of reducing exposure, improving safety, reducing working hours, and improving the operation of piping.

For this reason, TRP has developed a remote control robot for pipe welding.

TRP has designed a welding unit which contains pipe clamps.

Its functions are to clamp pipes, meet groove face and weld.

It consists of the following elements.

1. Simple clamp mechanism.
2. Functional mechanism to meet groove face.
3. Simple control system.
4. Compact mechanism.

This is a report of success about the welding tool unit with clamp.

Work performed by Tokyo Engineering Corporation under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison : Components & Materials Development Section
Reprocessing Technology Development Division.

* Tokyo Engineering Technical Department.

目 次

	ページ
1. まえがき	1
2. 設計の進め方	1
2.1 設計基本方針	1
2.2 適用法規，規格，基準	1
2.3 設計業務実施体制	2
2.4 設計業務実施要領	2
2.4.1 業務実施フロー	2
2.4.2 実施工程	2
2.4.3 設計管理	2
3. 設計概要	6
3.1 設計の条件	6
3.1.1 配管材の種類と規格	7
3.1.2 配管の配列条件	7
3.1.3 開先合せ能力の仕様	9
3.1.4 既存溶接ユニットの仕様	9
3.1.5 遠隔配管工事システムの概念	11
3.1.6 設計に係る共通仕様	14
3.2 ユニット設計概要	15
3.2.1 ユニットの構成	15
3.2.2 設計手順	15
3.3 各機構概要	16
3.3.1 配管クランプ機構	16
3.3.2 開先合せ機構	17
3.3.3 制御機構	17

3. 3. 4	ユニットの統合	18
3. 4	各機構の設計	19
3. 4. 1	配管クランプ機構の設計	19
3. 4. 2	開先合せ機構の設計	34
3. 4. 3	制御機構の設計	38
3. 4. 4	ユニットの統合設計	44
4.	まとめ	57
5.	あとがき	58
6.	謝 辞	59

表 目 次

	ページ
表-1 工 程 表	5
表-2 既存溶接ユニットの仕様	10
表-3 作業アーム位置決め精度基本仕様	52
表-4 各部品の重量内訳(1/2)	53
表-4 各部品の重量内訳(2/2)	54

目 次

	ページ
図- 1 設計業務実施管理体制	3
図- 2 設計業務フロー	4
図- 3 対象配管配列条件図	8
図- 4 配管突合せ段差精度説明図	9
図- 5 配管突合せ傾き精度説明図	9
図- 6 溶接ユニットクランプ機構説明図	11
図- 7 溶接ユニット概要図	12
図- 8 遠隔配管工事システム概念図	13
図- 9 配管芯合せ説明図(1/2)	20
図- 9 配管芯合せ説明図(2/2)	21
図- 10 クランプ機構説明図	21
図- 11 溶接機側クランプ機構説明図	22
図- 12 配管芯合せ検討図(1/3)	23
図- 12 配管芯合せ検討図(2/3)	23
図- 12 配管芯合せ検討図(3/3)	24
図- 13 主クランプ構造検討図(1/2)	26
図- 13 主クランプ構造検討図(2/2)	26
図- 14 把持力算定模式図(1/2)	28
図- 14 把持力算定模式図(2/2)	29
図- 15 制御システム構成図	40
図- 16 作業フローチャート図	41
図- 17 動作フローチャート図	42
図- 18 制御展開接続図	43
図- 19 統合ユニットの自在接手構造概念図	46
図- 20 主クランプ作動機能図	48
図- 21 統合ユニット共通ベース強度算定模式図	49

図-22	クランプ一体型溶接ユニット全体図	55
図-23	クランプ一体型溶接ユニット鳥瞰図	56

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になる。

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且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及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—クランプ一体型溶接ユニット—』の設備では、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機器構成類削減等による作業工程の短縮を図ることを目的として配管取付け、開先合せ作業及び溶接作業を一つの工程に統合することを目指した—クランプ一体型溶接ユニット—の設計を行った。

2. 設計の進め方

2. 1 設計基本方針

本設計の実施に当っては

- (1) 法律，規格，基準に合致していること。
- (2) 要求事項に合致していること。
- (3) 安全性及び信頼性の高い設計を行うこと。

を基本方針として設計を行った。

2. 2 適用法規，規格，基準

本設計の実施に当っては、以下の基準等に準拠して行った。

- (1) 日本工業規格
- (2) 日本電気規格調査会標準規格
- (3) 日本電気工業会標準規格

- (4) 電気設備技術基準
- (5) 原子力規制関係法令
- (6) 労働安全衛生法
- (7) 動燃事業団殿との協議によるもの

2.3 設計業務実施体制

本設計業務の実施に当っては、図-1に示す組織体制図によって設計構想，設計図作図，設計管理，提出図書作成，品質管理，工程進行管理をそれぞれの部門担当者の責任において実施した。

2.4 設計業務実施要領

2.4.1 業務実施フロー

業務の実施に当っては、図-2のフロー図に示す要領にて進行した。

2.4.2 実施工程

業務の実施に当っては、表-1に示す工程表に基づき、予定と実績の管理，調整を行った。

2.4.3 設計管理

本設計に関しては、動燃殿の基本仕様に基づき、設計着手時に社内関係担当者間で仕様書の検討を行い、基本設計条件，適用法規，規格，基準，工程及び品質等を相互に確認し、また、動燃殿承認対象分については承認を得て設計及び製図を行った。

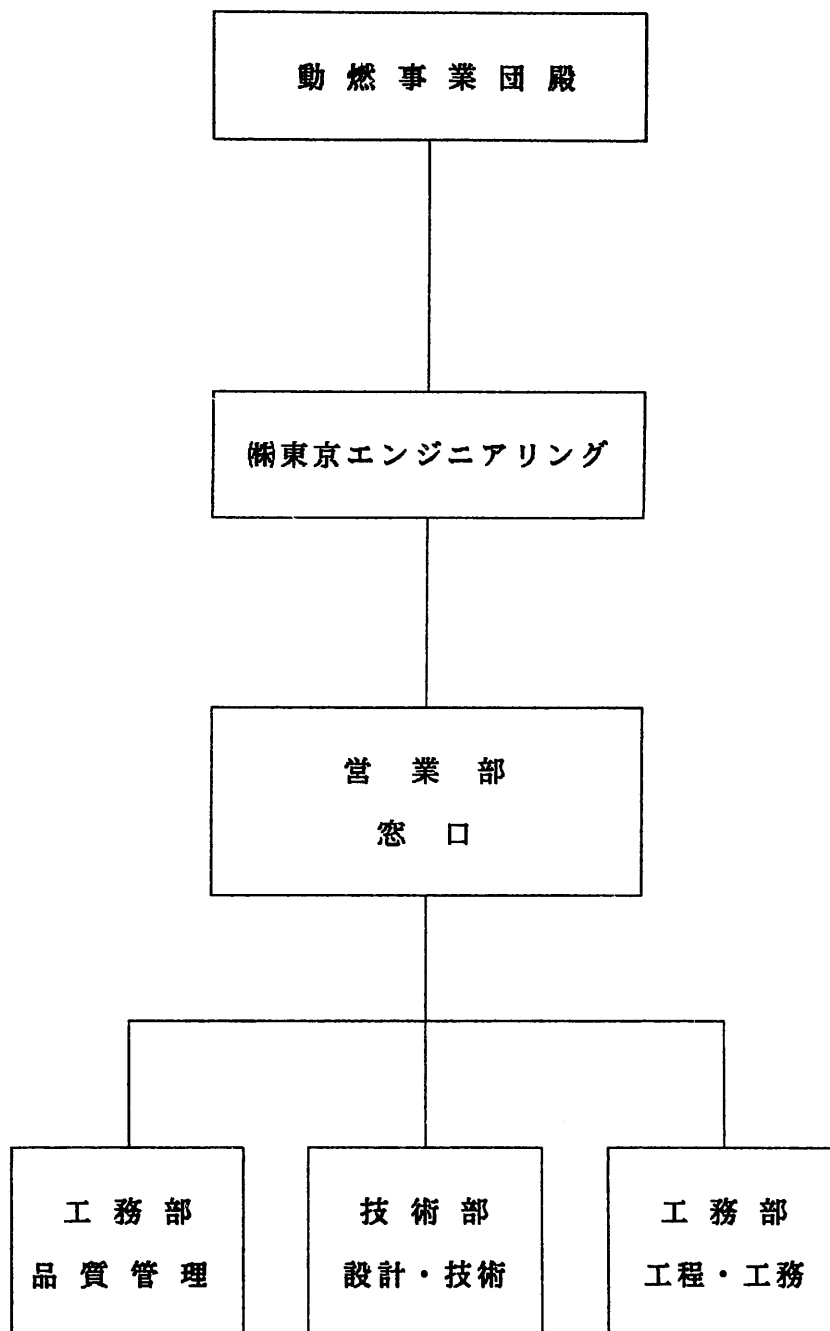


図-1 設計業務実施管理体制

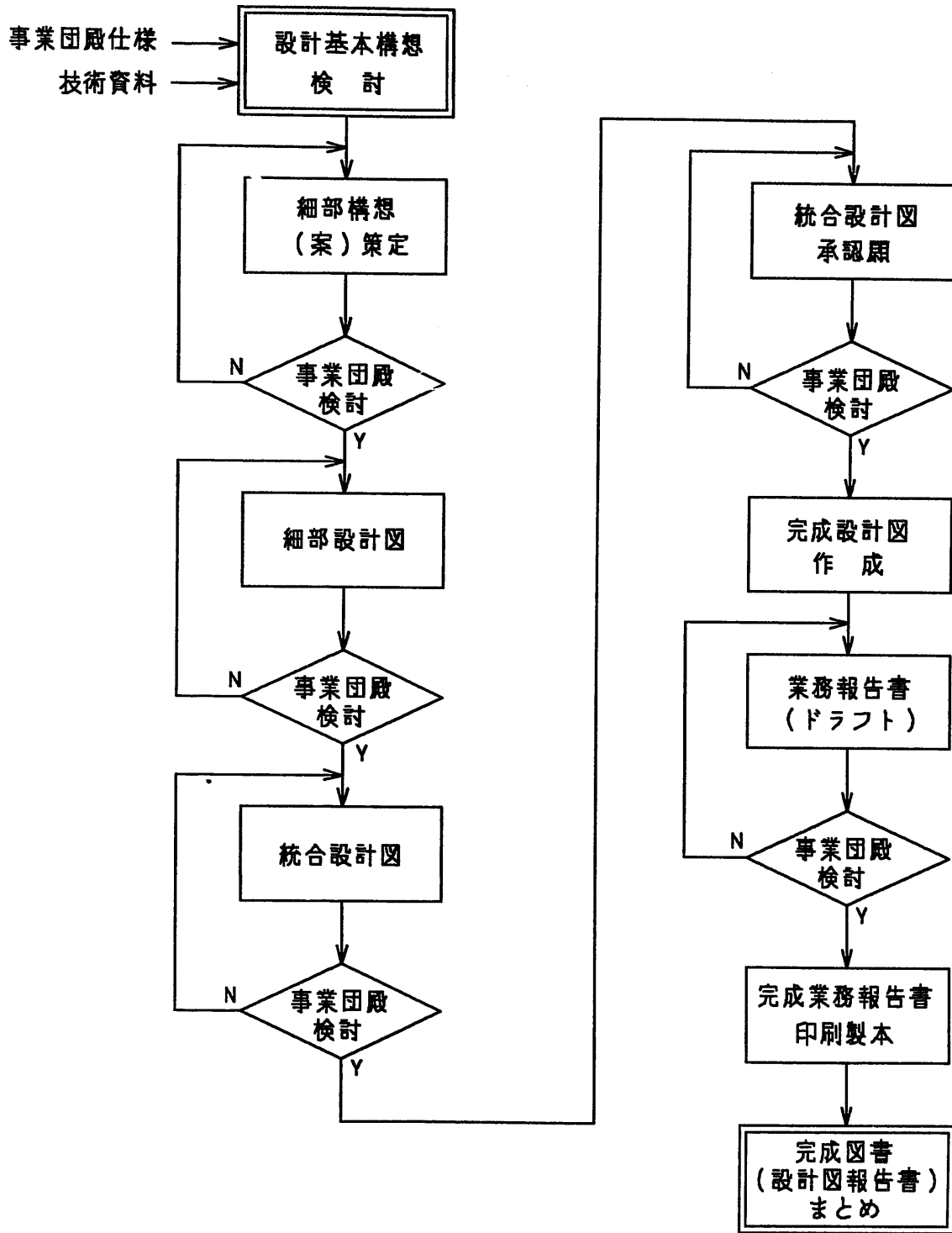


図-2 設計業務フロー

1994-01007-00417

表-1 工程表

6年10月7日作成 頁数 1

客先		動燃事業団 東海事業所 殿		工事名称		クランプ一体型溶接ユニットの設計		納期		平成7年2月6日		改訂									
番号	項目	10月			11月			12月			1月			2月							
		7	10	31	1	10	20	30	1	10	20	31	1	10	20	31	6	10	20	28	
1	打合せ																				
2	実施計画書																				
3	設計調査構想																				
4	概念設計要図																				
5	完成図書																				
6	成果報告書																				
備考		凡例						認 承 認		確 認 審 査 作 成											
								印													

3. 設計概要

再処理工場のセル内設備の保守交換においては、人とロボットによる共同作業を伴うことから、人の作業に移行する前段階での汚染配管からの汚染物の拡散を防止する観点で、汚染配管の端面処理（盲プラグ溶接）が必要となる。

従来 방식による盲プラグ溶接は、クランプユニットにより盲プラグ付配管の取付け、保持及び開先合せを行い、次に溶接ユニットをクランプユニット内にセッティングして接合部の溶接を行う方法が取られていた。この盲プラグ溶接に当っては、より能率の良い方法として上記各工程を集約化したクランプ一体型溶接ユニットとすることによりユニットの取付け、取外し作業が一工程省略され、能率の向上が期待されると考えられた。

本件の対象となる配管は、長さ500mm程度までの単管あるいは、盲プラグ付配管を対象としたクランプユニットの機能を兼ね備えた「クランプ一体型溶接ユニット」の設計を行うものである。

3.1 設計の条件

従来のクランプユニットと溶接ユニットの分離型ツールによる作業におけるクランプユニットの把持性能は、

- ① 配管径 最大 50A sch40 (外径φ60.5 厚さ3.9mm)
- ② 管長 最長 2000mm
- ③ 管重量 約 11kg (2m×5.44kg/m)

の把持が条件とされており、この条件で一体化した場合ツールの重量、寸法が大きくなり、可搬性及び操作性に支障をきたすものと考えられた。

従って、短い配管や盲プラグ付配管の溶接に対して、把持する重量を限定した場合、クランプユニットの構造上の強度は小さいものでよく、軽量、小型化を図ることが可能となり、クランプユニットと溶接ユニットの一体化の効果は高くなる。

以上、従来の対象とした配管と比較し、より短い配管を対象として、クランプ一体型溶接ユニットの設計を行う。

3. 1. 1 配管材の種類と規格

本設備で使用される配管の種類と規格は、以下のものとした。

- | | |
|-----------|---|
| ① 規格 | JIS G3459('88) 配管用ステンレス鋼管(SUS304L) |
| ② 寸法 | 25A 外径 $\phi 34$ mm 厚sch 5 t1.65mm 1.32kg/m |
| | 32A 外径 $\phi 42.7$ mm 厚sch10 t2.8 mm 2.76kg/m |
| | 40A 外径 $\phi 48.6$ mm 厚sch20 t3.0 mm 3.37kg/m |
| | 50A 外径 $\phi 60.5$ mm 厚sch40 t3.8 mm 5.44kg/m |
| ③ 外径許容差 | 熱間仕上継目無鋼管 |
| | 外径 $\phi 50$ mm未満 ± 0.5 mm |
| | 外径 $\phi 50$ mm以上 $\pm 1\%$ |
| ④ 最大把持管長 | 最大 500mm |
| ⑤ 最大把持管重量 | 最大 3kg (50A, sch40, 500mm長相当) |

3. 1. 2 配管の配列条件

セル内設備配管の配列条件としては、図-3「対象配管配列条件図」を前提とした。

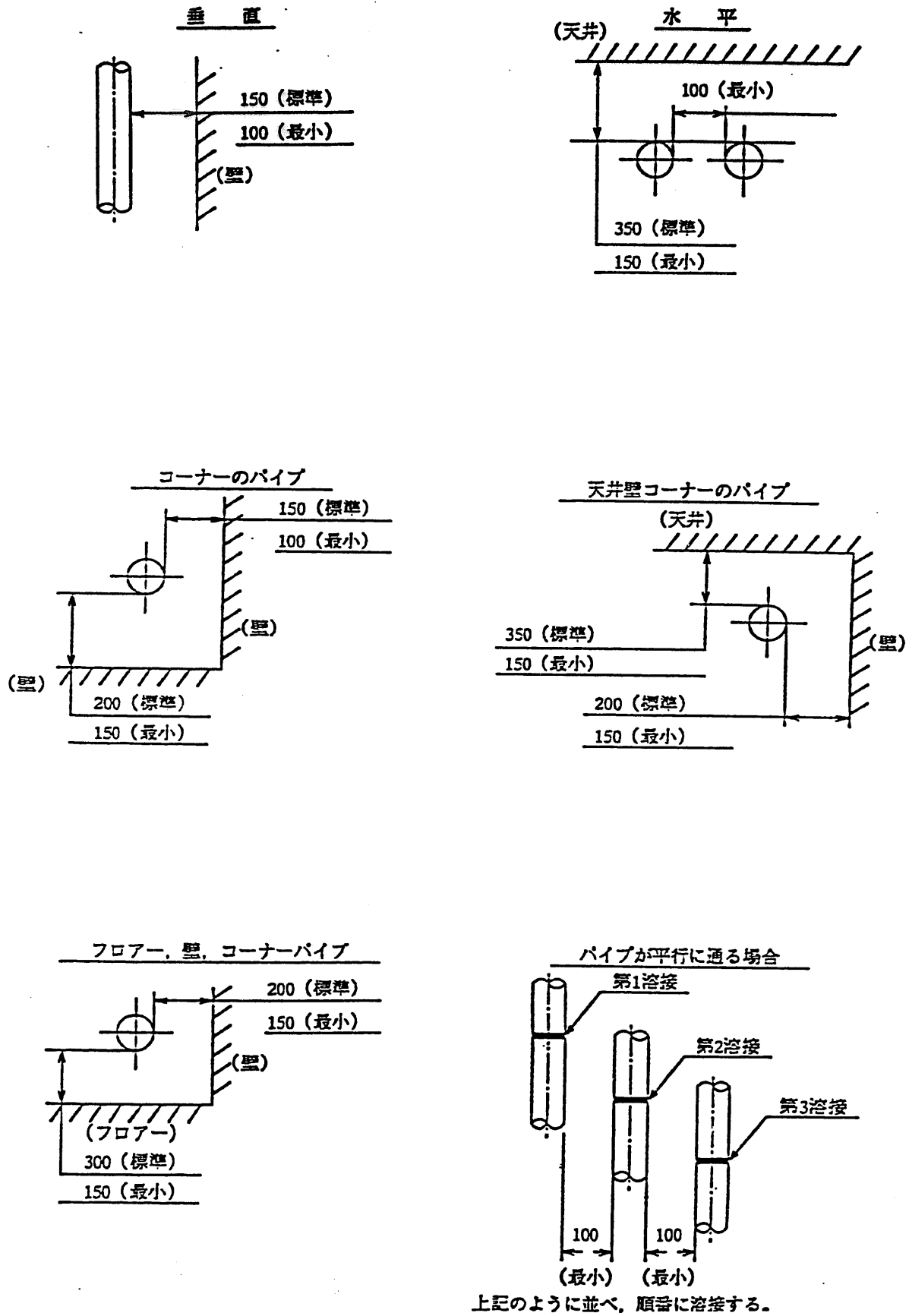


図-3 対象配管配列条件図

3. 1. 3 開先合せ仕様

開先合せに要求される能力は、次の仕様を満足するものとする。

① 配管の突合せ精度

a. 突合せ芯ズレ（突合せ段差）： 0.5mm以内

突合せ芯ズレは、図-4の通りとする。

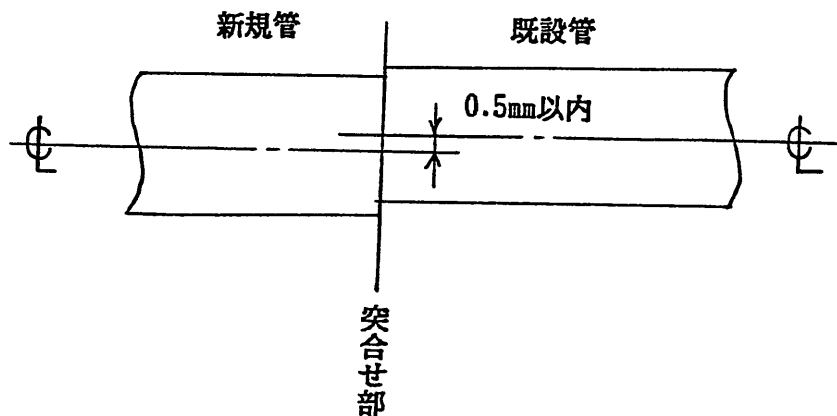


図-4 配管突合せ段差精度説明図

b. 突合せ面の傾き： 0.23°以下

突合せ面の傾きは、図-5に示す通りである。

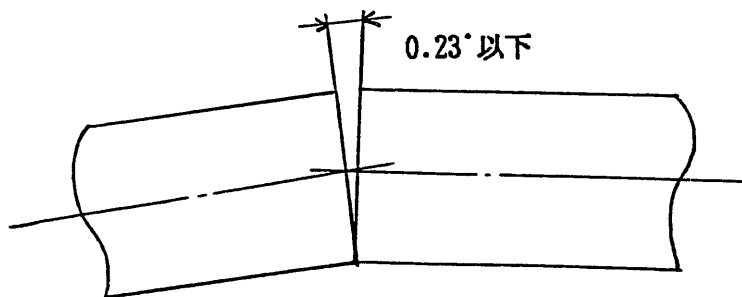


図-5 配管突合せ傾き精度説明図

3. 1. 4 既存溶接ユニットの仕様

既存の溶接ユニットの仕様は以下の通りである。

(1) 適用配管

- | | |
|----------|-------------------------|
| ① 材質 | オーステナイト系ステンレス鋼(SUS304L) |
| ② 呼び径 | 25A~50A |
| ③ スケジュール | 40S以下 |

(2) 溶接ユニット

既存溶接ユニットの仕様を、表-2に示す。

表-2 既存溶接ユニットの仕様

形 式	M0-38NG1.2	M0-65NG2.8
適用配管径 (mm)	25.4~38.1	38.1~60.3
重 量 (kg)	8.5	9.5
ヘッド回転速度 (rpm)	0.6~1.8	0.3~1.0
最大適用肉厚 (mm)	6.5 以下	同 左
ヘッド冷却	空 冷	"
定格電流 (A)	150(使用率60%)	"
使用タングステン (mmφ)	3.2	"
ワイヤ送給速度 (mm/min)	300~940	"
使用ワイヤ径 (mmφ)	0.8	"
ヘッド搭載ワイヤ巻重量 (kg)	0.35	"
アーク長制御方式	・アーク電圧検出 直流モータ駆動	"
アーク長制御有効ストローク (mm)	10	"
配管クランプ動力	エア-、7kg/cm ²	"
クランプ力設定	・レギュレータ手動 設 定	"
クランプ開閉	・手元操作箱にて操作	"

(3) 溶接ユニットのクランプ力

溶接ユニットで配管を把持するクランプ機構の把持力は、図-6に示す関係により求めた。

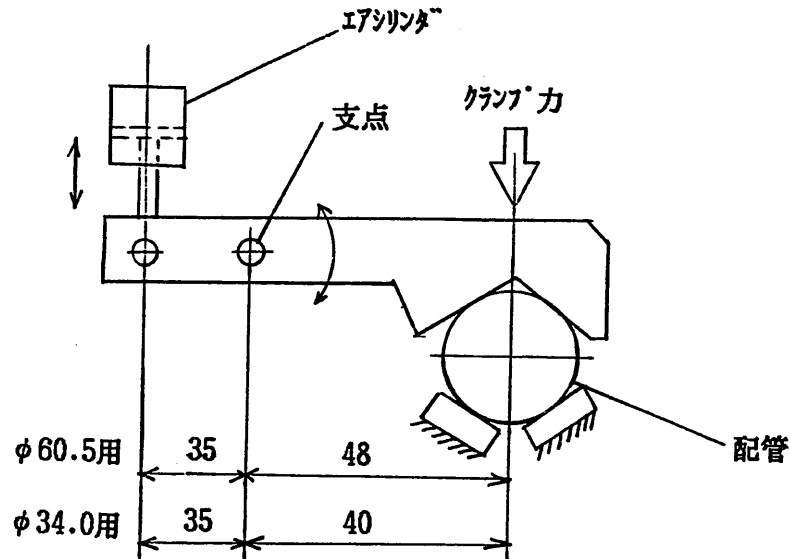


図-6 溶接ユニットクランプ機構説明図

発生クランプ力は、事業団殿資料によるエアシリンダ (CQ1B63-10 Dφ63×10⁵) の引き力196kg (エア圧7kg/cm²G)

より算定すると、

$$\phi 60.5 \text{ 用} \quad 196 \times 35/48 = 143 \text{kgf}$$

$$\phi 38.1 \text{ 用} \quad 196 \times 35/40 = 171 \text{kgf}$$

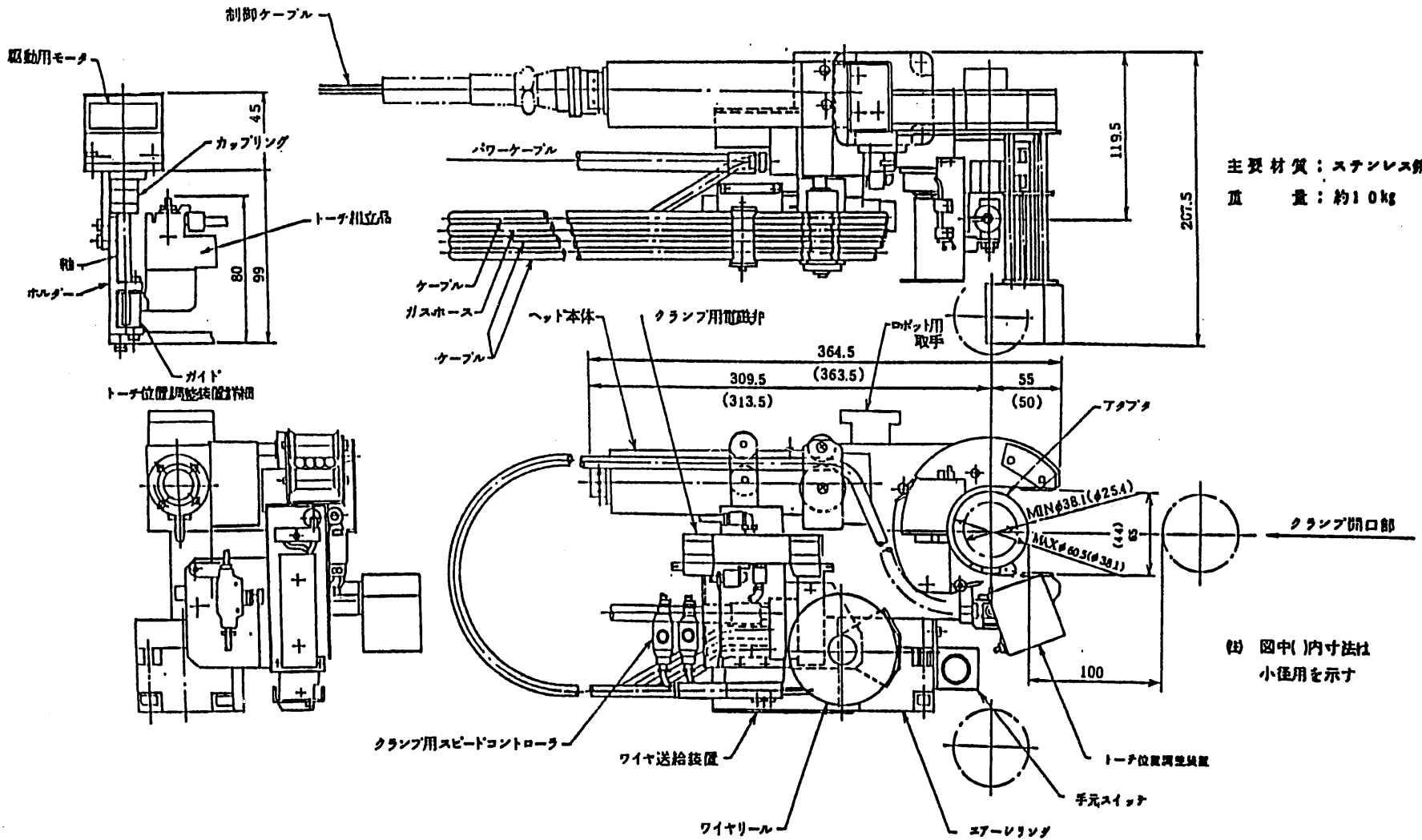
である。

(4) 溶接ユニット概要

溶接ユニットは、図-7「溶接ユニット概要図」にて示す通りである。

3.1.5 遠隔配管工事システムの概念

本設計に関する遠隔配管工事システムの全体概念を図-8「遠隔配管工事システム概念図」に示す。



主要材質：ステンレス鋼
重量：約10kg

図-7 溶接ユニット概要図

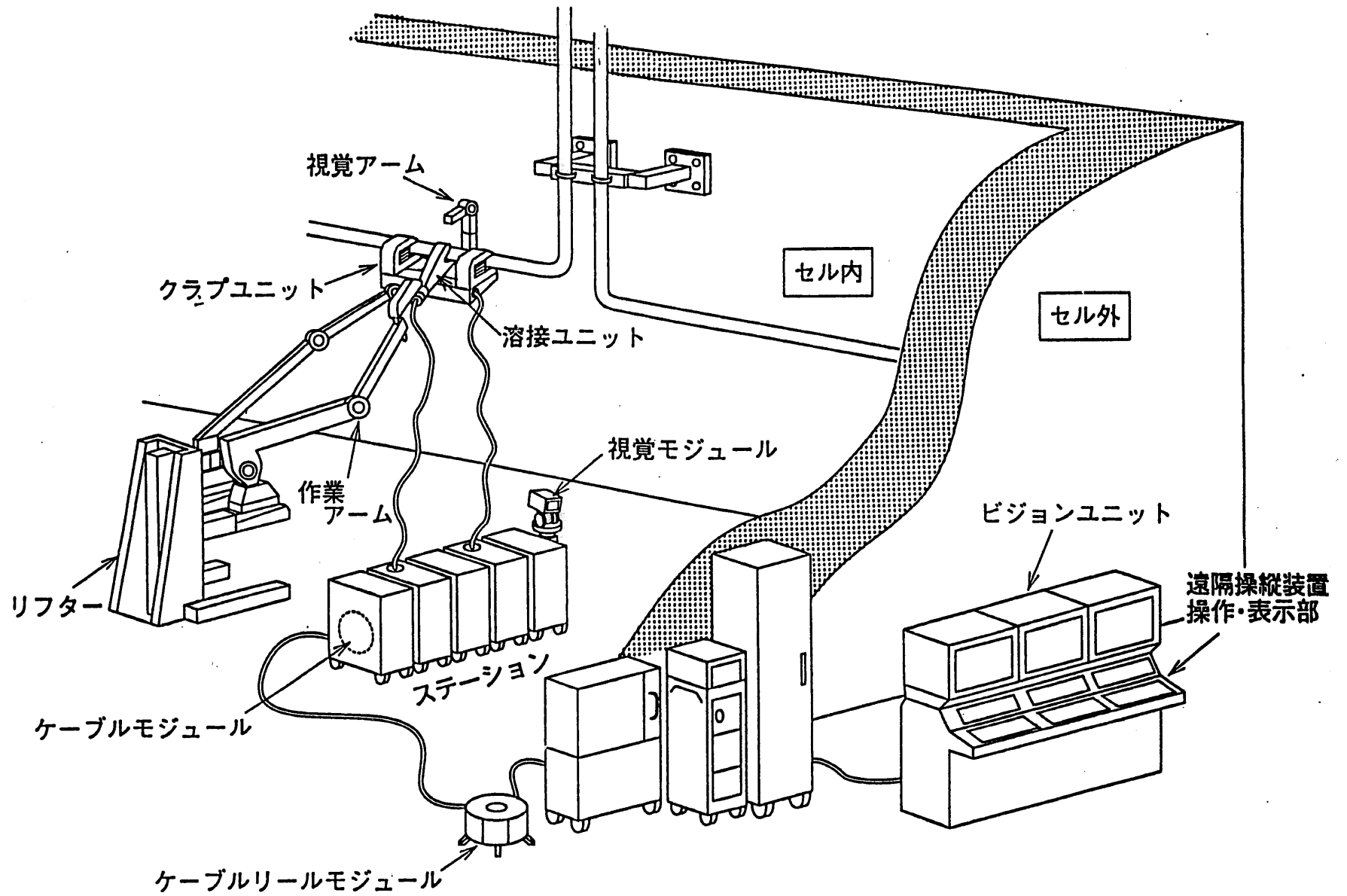


図-8 遠隔配管工事システム概念図

3. 1. 6 設計に係る共通仕様

本件を実施するに当たっての主な共通仕様は、以下に示す通りとした。

- (1) 本装置の設計に当たっては、原則としてこれまでの試作機器との取合い部の設計については、従来の機器仕様との整合性を十分考慮した。
- (2) 装置は極力軽量且つ小型化を図ることとした。
- (3) 装置の駆動源としては、以下の供給源を原則とした。
 - ① 電 源 : AC 200V 3P (1P, アース対応)
AC 200V 4P (1P, アース対応)
AC 100V 3P (1P, アース対応)
 - ② 空 圧 : 7kg/cm²G
- (4) 溶接ユニットには、関連アースを備えることとした。
- (5) 除染性に対して以下の考慮を施した。
 - ① 機器表面凹部、隔離部機器内摺動部等に放射性物質の侵入、堆積等の生じ難い構造とした。
 - ② 薬液による除染を考慮して、材質を選定した。
 - ③ セル内に入る機器は、確実に挿入、回収できる機能を持たせた。

3.2 ユニット設計概要

3.2.1 ユニットの構成

本ユニットの設計に当っては、以下に挙げる各機構をもって構成するものとした。

- (1) 配管クランプ機構
- (2) 溶接接合部の開先合せ機構
- (3) 両機構を制御する制御機構
- (4) 溶接ユニットを組合せた統合ユニット

3.2.2 設計手順

構成される機構設計の手順は

- (1) 配管クランプ機構の設計
- (2) 配管溶接部の開先合せ機構の設計
- (3) 両機構を制御するための制御機構の設計
- (4) 上記に溶接ユニットを組合せた「クランプ一体型溶接ユニット」の統合設計

の順に沿って行った。

3.3 各機構概要

クランプ一体型溶接ユニットを構成する各機構についてその概要を以下に述べる。

3.3.1 配管クランプ機構

配管のクランプは2つのクランプ機構より構成され、それぞれ目的の異なったクランプ機構を有している。以下にクランプ機構を定義する。

① 主クランプ機構

作業ロボットで、溶接ユニット全体を配管溶接部へアプローチしてセットする時に、既設配管の管末端付近を把持し、ユニットの自重を支え、且つ固定する目的を有する。これを主クランプ機構という。

② 溶接機側クランプ機構

既設配管溶接補修を遠隔で行うに際し、新規配管、あるいは盲プラグ付配管の取付けを行うため新規配管または、盲プラグ付配管を既設配管と対向する位置に持っていくとともに、溶接時に固定し続ける目的を有する。これを溶接機側クランプ機構という。

(1) 主クランプ機構

本クランプの設計に当って、基本的に考慮した機能と条件は

- ① 機構構成部分が軽量且つ強固であること。
- ② 確実に配管をクランプして途中で外れないこと。
- ③ 必要なクランプ力が安定して発生できること。
- ④ 駆動機構は、単純であり且つ確実な動作が行えること。
- ⑤ クランプ時の姿勢と方向に制約が無いものとする。
- ⑥ クランプ時に配管を傷付けたり、押し潰したりしないこと。
- ⑦ 動力源の不時の停電、休止等に伴う脱落を防止するセイフティ機構を備えること。
- ⑧ 配管からの溶接電流及びアーク長検出電流を溶接電源へアースするための構造を具備すること。

等とし、設計に当っては、現状のクランプユニットのクランプ機構の概念、仕様をベースとして構築した。又、既設配管及び取付けられる延長配管又は、盲プラグ付短管の形状、寸法、摩擦係数等のワークの性状及び使用環境等を十分に考慮して、材質、重量、精度、モーメント等について検討を加え、最

適な把持方式、形状及び駆動方式を選択して設計を行った。

(2) 溶接機側クランプ機構

本クランプは、既設溶接ユニットの中に組み込まれている固有のものであるが、本クランプ機構においても前記(1)の主クランプ機構に要求される機能と条件(但し上記(1)⑧は除外する)を十分満足しているという前提に立って、配管クランプ機構の設計を行った。

3.3.2 開先合せ機構

開先合せは、既設配管の開先部と新規配管の開先部を許容誤差寸法範囲内で突合わせて溶接することにより、最良の接合効果が得られる。従って本機構は、この開先合せを最良のものとするための条件(開先合せ条件)を提供する目的を有している。

本開先合せ機構の設計に当って基本的に考慮した機能と条件は、

- ① 機構構成部分が、軽量且つ強固であること。
- ② 開先合せ駆動機構は単純であり、且つ確実な動作が行えること。
- ③ 開先合せ精度は開先合せを行っても、常に許容誤差寸法範囲内に収まる位置決め精度並びに繰返し精度を持つこと。
- ④ 開先合せにより、開先部を傷付けたり押し潰したりしないこと。
- ⑤ 動力源の不時の停電、休止等に伴い、開先部が開かないこと。
- ⑥ 溶接ユニットに設けられた視覚装置の映像にて、芯合せが遠隔で行えること。

等とし、設計に当っては、現状クランプユニットの開先合せ機構の概念、仕様をベースとして構築した。また、既設配管及び取付けられる新規配管または盲用配管の形状、寸法、摩擦係数等のワークの性状及び使用環境等を十分考慮して、材質、重量、精度、モーメント等について検討を加え、最適な突合せ方式、形状及び駆動方式を選択して設計を行った。

3.3.3 制御機構

本ユニットの制御は、配管クランプ機構と開先合せ機構を制御するためのものである。

制御機構の設計に当って基本的に考慮した機能と条件は、

- ① 動作指令は、独立した操作盤上で行えると共に表示ランプ等、状況を

把握できる機能を有すること。

- ② 操作盤上の操作方式は、従来のクランプユニットの操作方式に合わせたものとする。

等とし、設計に当っては、現状のクランプユニットの制御機構の概念、仕様をベースとして構築した。また、動力系及び必要信号系の種類、数量等の制御内容を考慮の上、配管クランプ機構及び開先合せ機構に必要な制御システムの検討を行い、制御用機器、制御方式を選択して設計を行った。

3.3.4 ユニットの統合

ユニットの統合は、クランプ一体型溶接ユニットを構築するための、上記3.3.1配管クランプ機構、3.3.2開先合せ機構、3.3.3制御機構を現状の溶接ユニットと組合せ統合することを目的としたものである。

統合ユニットの設計に当って基本的に考慮した機能と条件は、

- ① クランプ機構の部分を除いて、現状の溶接ユニットの機能及び性能を失わないこと。
- ② 配管クランプ機構、開先合せ機構及び制御機構の機能、性能を損なわないこと。
- ③ 対象配管条件に適合する形状、寸法とすること。

等とし、設計に当っては、現状の溶接ユニットをベースとして検討を行った。

3.4 各機構の設計

前節3.3で述べた各機構の概要に基づき、以下に各機構の詳細設計の内容について述べる。

3.4.1 配管クランプ機構の設計

配管クランプ機構は、3.3.1「配管クランプ機構」で定義された通り

- ① 主クランプ機構
- ② 溶接機側クランプ機構

の2種類で構成される。

本項では、①の主クランプ機構についての設計を主体に述べることとする。また、②の溶接機側のクランプ機構については、既設溶接ユニットに内蔵された固有のもので、その機能は、確立しておりここでは新規の①主クランプ機構との組合せての使用時における問題点について検討を加えるものとした。

(1) 主クランプ仕様

主クランプに要求される能力は、以下に示す仕様を満足するものでなければならない。

- ① 対象配管径 : 25A, 32A, 40A, 50A (sch5~40)

(詳細寸法, 規格については、3.1.1項参照のこと)

- ② 既設配管側クランプ把持力 : 最大 300kgf

また既設溶接機側クランプに与える条件は、新規配管を対象として

- ③ 最大把持配管長 : 最大 500mm
- ④ 最大把持配管重量 : 最大 3kg (但し 50A sch40のSUS管長さ 500mm相当)

- ⑤ 最大クランプ把持力 : 最大 150kgf

(2) クランプの芯合せ機構

主クランプで把持する既設配管と溶接機側クランプで把持する新規配管とは、突合せ接合部の管外周を周溶接して接合するため、いずれの配管の外径は、合致しなければならない。但し管の外径仕上り寸法についてはJIS規定で固有の許容差が認められている。(前出3.1.1項③参照)従って、外径に各々異なる許容差をもった配管を突合せ接合した場合は、接合部に段

差が発生し、その段差の範囲が、許容値以上の場合には溶接が不可能となる。

ここで、本件で対象としている配管サイズの一例として最大径50Aについて芯合せの誤差について図-9にて具体的に検討を加える。

この検討では、50Aの外径 $\phi 60.5$ mmに対し許容差 $\pm 1\%$ として最大 ± 0.605 mm(公差1.21mm)で行った。

始めに

① 外周を基準として芯合せを行なった場合

これは、図-9 配管芯合せ説明図(1/2)に示すように接合面段差が一点で0であり、直径の反対側で最大1.21mmとなる。その時芯ズレは0.605mmとなる。

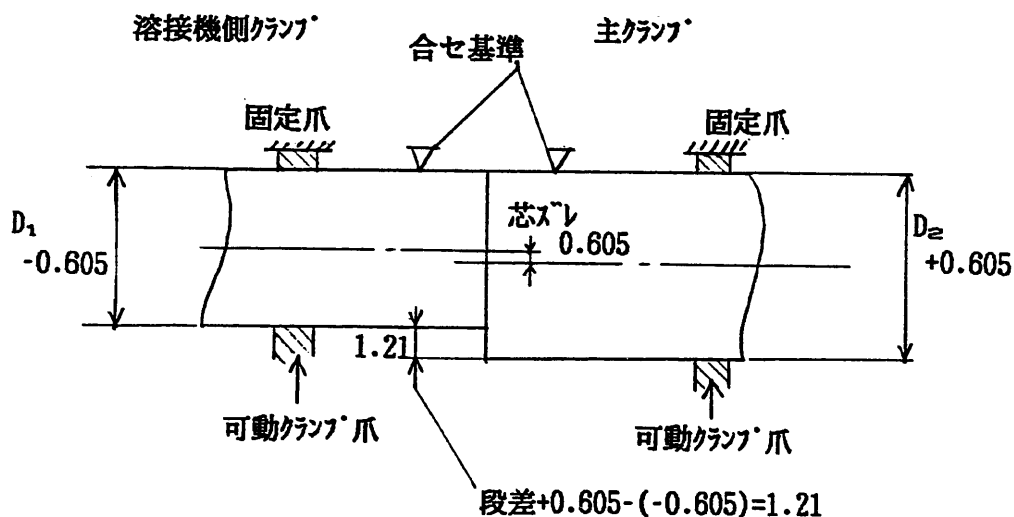


図-9 配管芯合せ説明図(1/2)

次に

② 管中心を基準として芯合せを行なった場合

これは、図-9 配管芯合せ説明図(2/2)に示すように接合面段差が全周等しく0.605mmであり、そのとき芯ズレは0である。

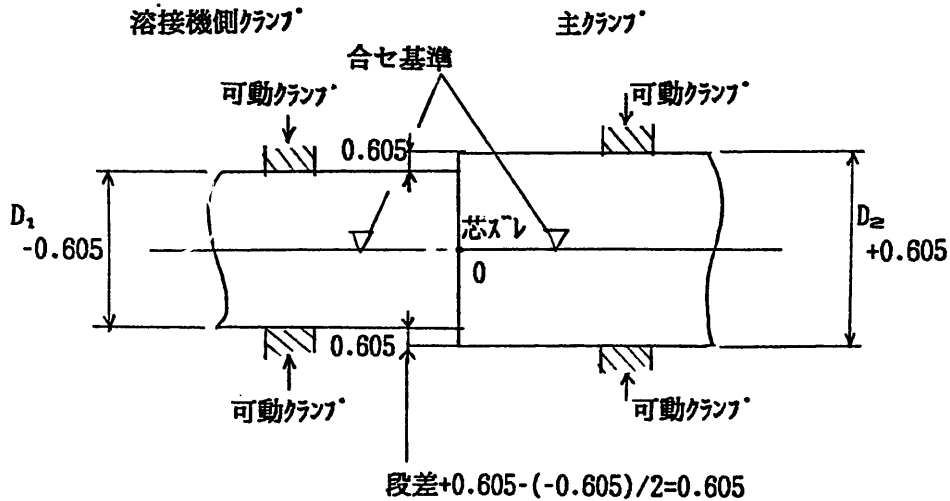


図-9 配管芯合せ説明図(2/2)

以上、①、②の芯ズレを考慮した場合、接合面の段差について比較すると、当然②の方が①の1/2となり溶接条件として有利であることが判る。

従って、主クランプ機構については、全対象配管種類に対して、常に管中心が設定される方式（センター基準方式図-10参照）の機構を設計することとした。

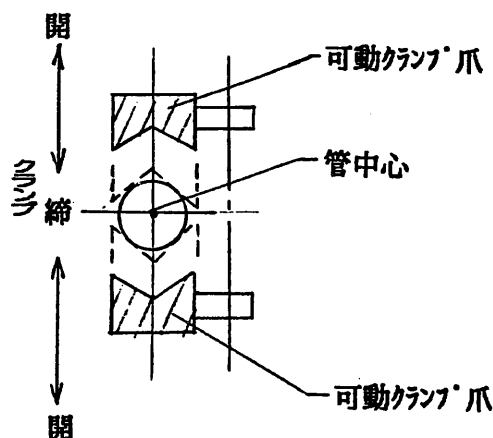


図-10 クランプ機構説明図

この図に示すようにクランプ爪は、配管の中心の垂線上に正対し、対象的に可動するものとしている。

また、既設溶接機側のクランプの把持に係る、主クランプとの精度的か
わりについて検討してみる。

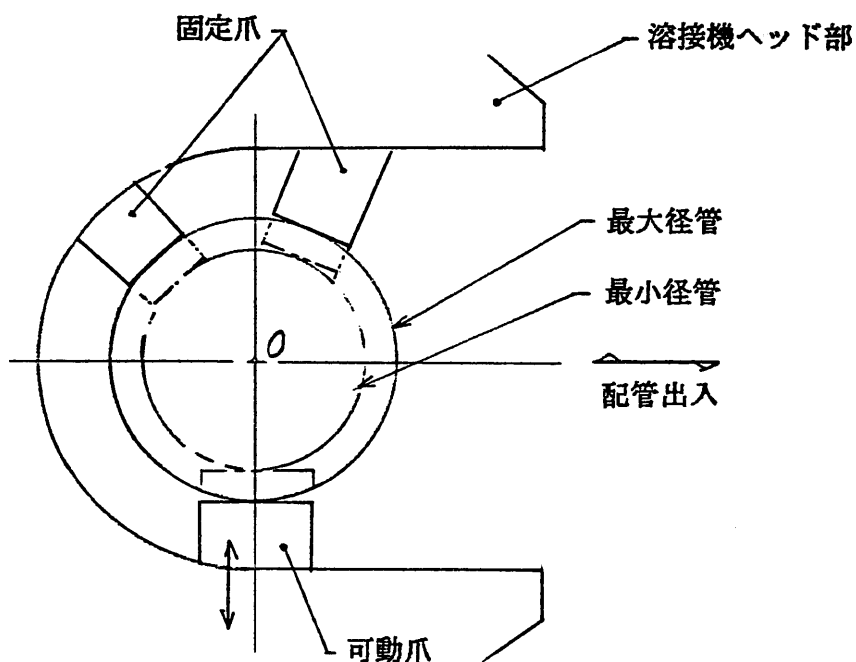


図-11 溶接機側クランプ機構説明図

図-11で示す溶接機側クランプでは、外周の一部に固定爪をもち、配管をセットした後、他の可動爪が動いて3点でクランプする構造をとり、中心O点が、管中心と合致するよう設定されている。尚、既設溶接機は、対象配管が限定されており、配管サイズ毎に固有の寸法を有する固定爪と可動爪を交換して使用することになっている。

従って、この芯合せ機能は、センター基準方式に準ずるものであると考えられる。

次に主クランプと溶接機クランプの組合せにおける芯合せ精度を検討してみる。

図-12に配管芯合せ検討図を示す。

図-12 配管芯合せ検討図(1/3)は、配管外径の許容差 ± 0 の場合を示す。これは外径及び芯共完全に一致していることを示している。

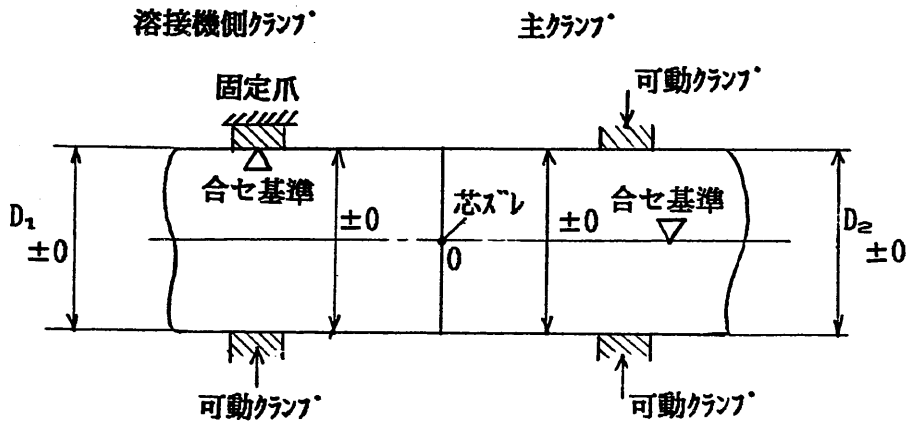


図-12 配管芯合せ検討図(1/3)

ここで図-9 配管芯合せ説明図(2/2)と同様、50Aの場合で許容差 ± 0 、605mmの配管を当てはめて検討する。

図-12 配管芯合せ検討図(2/3)では、溶接機側クランプの固定爪は、外径許容差 ± 0 を前提で設定されるので、外径公差のある場合には全て可動爪側に相手側の公差と合算して段差が現われることになる。すなわち固定爪側の半径 -0.605 と主クランプ側の半径 $+0.3025$ の公差が 0.9075 となる。

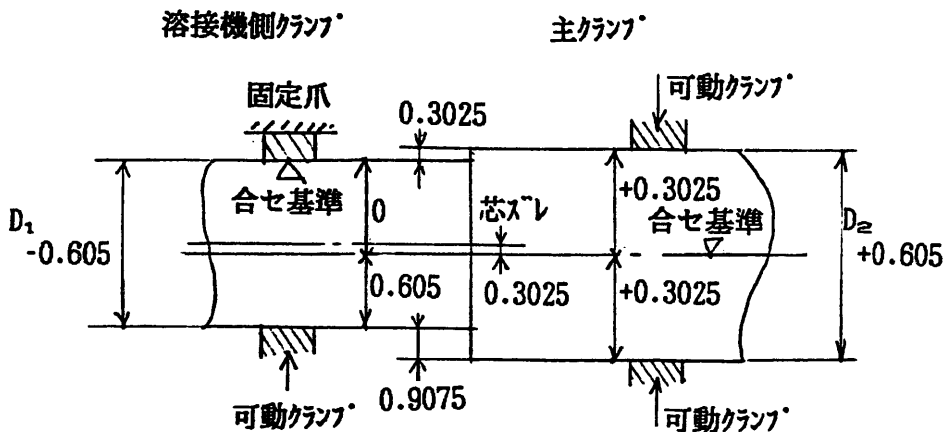


図-12 配管芯合せ検討図(2/3)

図-12 配管芯合せ検討図(3/3)に上記と図反対の条件で検討してみる。

この場合前記と同様、溶接機側クランプの固定爪を、主クランプと同様完全な可動爪にできるならば段差の最大0.9075は許容差の振り分けにより0.605となる。

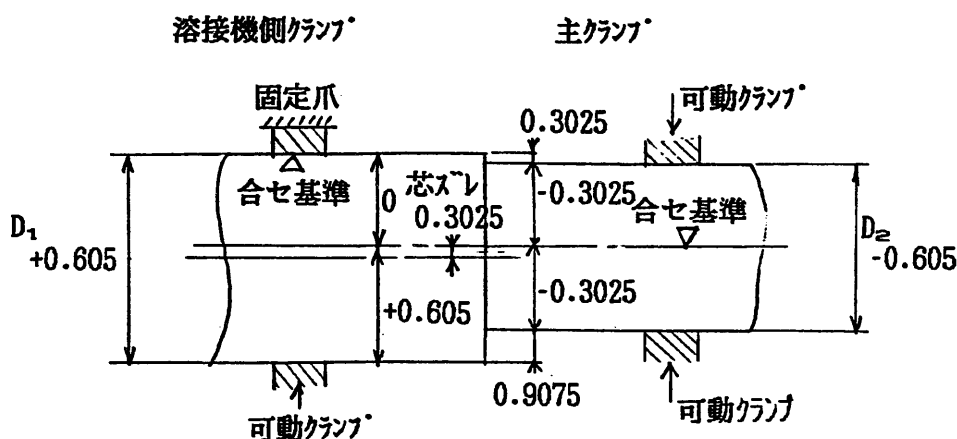


図-12 配管芯合せ検討図(3/3)

以上、主クランプと溶接機側クランプの芯合せ精度について検討した結果、クランプ作動は、3.4.1(2)②の配管中心を基準とした芯合せ方式が合理的であることが判る。但し、仕様にて配管芯ズレ(芯合せ段差として)0.5mm以内を限度としたときは、例示の50Aの最大公差のものについては成り立たなくなるので作業前の公差の確認は必要である。この場合確認した結果で、突合せ段差の仕様値0.5mmを超える場合は、仕様値以内に納まるような配管材を選ばなければならない。

以上の検討結果により、既設溶接機側クランプについては、所定の条件においてクランプ機能を十分満足できるものと考えられる。

(3) クランプ機能及び構造の検討

クランプに要求される機能は、

- ① 異なる配管径に対応して共通にチャッキングできること。

これに対しては、前項芯合せ方法で述べたように、配管径中心を合致させる構造が適している。いわゆる正対するクランプ爪のクランプ動作は、配管径中心に向って対象に作用させることとした。

- ② 水平姿勢の配管をクランプする場合は、ユニットの重心位置によりクランプ配管径の中心の周りに発生する回転モーメントに耐えて十分静止できること。

- ③ 垂直姿勢の配管をクランプする場合には、ユニットの自重により管軸方向に滑りが発生せず静止できること。

②と③に対しては、把持力と摩擦面積と摩擦係数を大きくすることであり、このためクランプ爪は配管の外径に対してV形の形状として抑え面を2点接触として摩擦面積を大きくし、また摩擦係数を大きくするために、クランプ片の表面に凸凹（スリット）を加工することとした。

- ④ クランプ爪で配管を把持する面は、配管表面に鋭利な把持キズを残さないこと。

これは、前項のスリット加工を施す場合、凸凹の稜は鋭利にならないよう滑らかな面取り仕上げを施す等の注意をすることが必要である。

続いて主クランプの構造について、検討を行う。

① 主クランプ方向及び姿勢

水平配管を対象として、クランプ方向及び姿勢には①水平方向作動型と②垂直方向作動型の図-13に示す2通りが考えられる。

これらの構造検討図を図-13に示す。

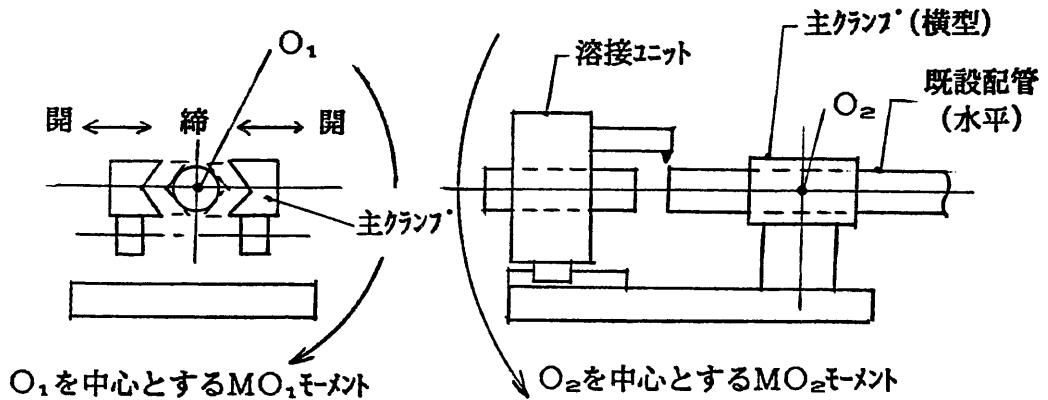


図-13 主クランプ構造検討図(1/2)
(水平方向作動型)

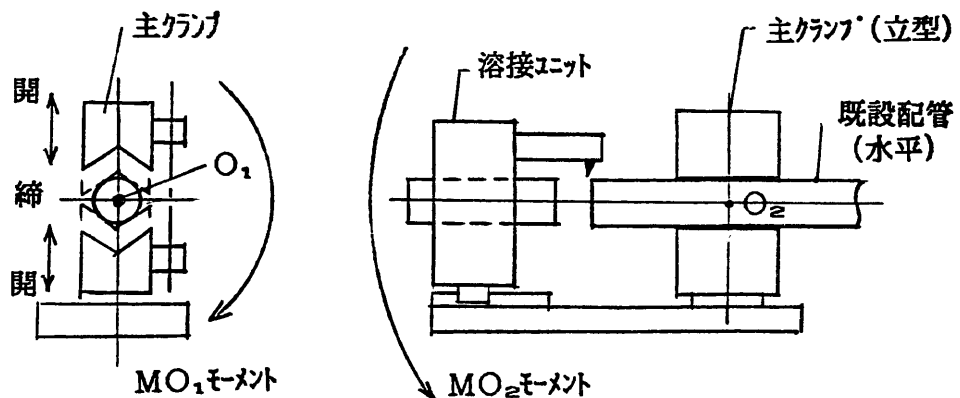


図-13 主クランプ構造検討図(2/2)
(垂直方向作動型)

以上①、②の型について、ユニットの自重により発生する回転モーメント M_{O_1} 、 M_{O_2} に対する作用点 O_1 、 O_2 の把持力の効果を検討すると、

- ・ O_1 点については①②共、作用モーメント M_{O_1} に対して配管外径面とクランプ爪間の摩擦係数により把持能力が定まる条件である。
- ・ O_2 点については、①の場合 M_{O_2} の作用により発生する反力に対抗する把持効果は図でも判る通りクランプ面のクサビ形によって爪を開こうとする方向に作用するため不利である。また②の場合は、①の場合に比較して反力に抵抗する把持力は、クランプの開閉作用軸と同じ方向に作用するため安全上及び強度上また、機能的にも優れた方式である。

従って、本件のクランプ姿態については、②の垂直方向作動形を採用して設計するものとする。

② 主クランプ把持力の算定

前項①の垂直方向作動形について、所要把持力を算定する。この主クランプ把持に係る模式を図-14に示す。

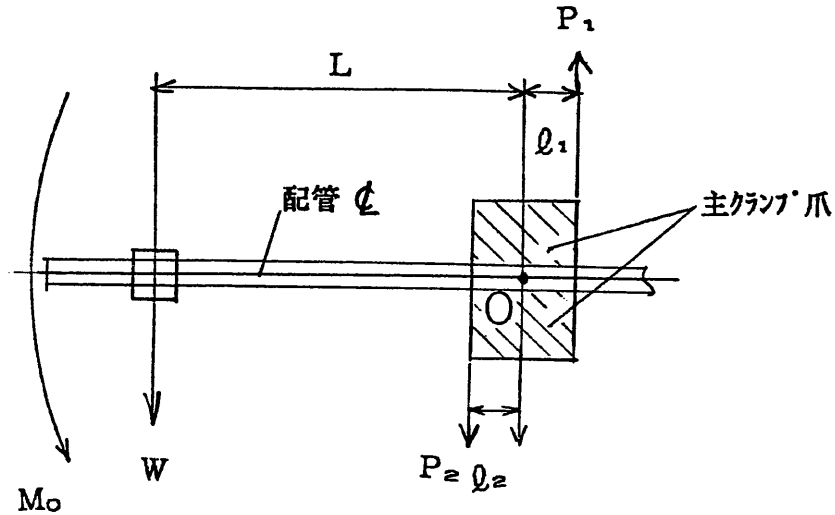


図-14 把持力算定模式図(1/2)

図-14 把持力算定模式図(1/2)に基づく関連数値は、以下のように仮定し値を求めた。

その結果、クランプ所要把持力は、 $P_1 + P_2 = 200\text{kg}$ 以上で考慮しなければならないことがわかる。

M_o = 0点を中心とする回転モーメント $\text{kg} \cdot \text{cm}$

W = ユニット自重 (主クランプ除く) 20kg

L = モーメントアーム 25cm

l_1, l_2 = クランプ爪1/2巾 5cm

P_1, P_2 = クランプに作用する反力 kg

$$M_o = L \times W = 25 \times 20 = 500\text{kg} \cdot \text{cm}$$

$$P_1 = \frac{M}{l_1} = \frac{500}{5} = 100\text{kg}$$

$$P_2 = \frac{M}{l_1} = \frac{500}{5} = 100\text{kg}$$

また、前記のクランプユニット姿態で垂直配管を把持した場合の所要把持力を算定する。この場合の算定模式を図-14 把持力算定模式図(2/2)に示す。

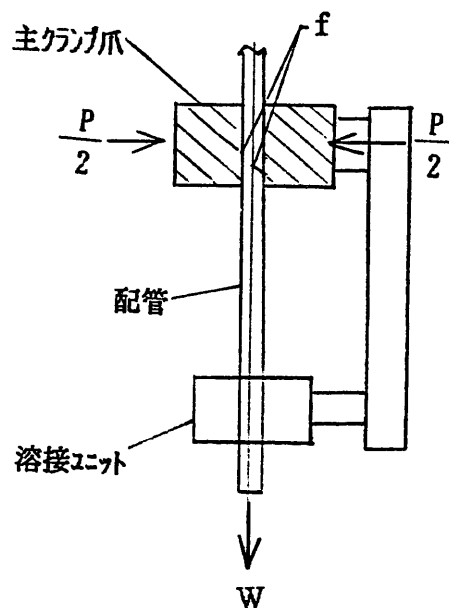


図-14 把持力算定模式図(2/2)

図-14 把持力算定模式図(2/2)に基づく関連数値は以下のようにし、値を求めた。

その結果、クランプ所要把持力は、 $P = 125\text{kg}$ 以上で考慮しなければならないことがわかった。

- P = 把持力 kg
- W = ユニット全自重 25kg
- f = クランプ面の摩擦係数 0.2 (鋼と鋼乾燥状態)

$$P = \frac{W}{f} = \frac{25\text{kg}}{0.2} = 125\text{kg}$$

(4) クランプ作動機構と駆動源の検討

1) 作動機構の検討

クランプ爪の作動機構については、次のような方式がある。

- ① ラックピニオンギヤまたはウオームギヤの組合せ機構により、クランプ爪の移動と押し付力を発生する方式
- ② クランプ爪にねじ棒を結合し、ねじの回転によりクランプ爪の移動と押し付力を発生する方式
- ③ 空圧または、油圧のシリンダ推力により、クランプ爪の移動と押し付力を発生する方式

以上の3方式について、その長所、短所を検討してみると、

①のラックピニオン方式は、機構が複雑となり、且つ駆動力対発生推力比が小さく、また駆動源の消失に対してロック性が無い。また、ウオームギヤ方式は発生推力比が大で、且つロック性も有しているが、その機構の大型化は避けられない。

②のねじ棒回転方式は、構造がシンプル且つコンパクトにまとまり、駆動力対発生推力比がねじ効果により大きくなる。また、駆動源の消失に対しても、ねじによるロックによりねじが緩むことがなく安全である。

③の空圧シリンダ方式では、機構的に最も簡易であるが、発生推力の割にシリンダサイズが大型化し、機構上ネックとなる。また油圧シリンダ方式では、シリンダサイズの小型化が可能ではあるが、油圧源の高圧化を伴い、設備のコスト高、メンテナンスの複雑化を招き不利な機構となる。

これらのことから作動機構については、②のねじ棒回転方式によるクランプが優れていると判断でき、採用することとした。

2) 駆動源の検討

上記機構への駆動源としてはモータが適していると言える。ここでモータ選定について検討する駆動源としてのモータには、次のような種類が挙げられる。

- | | |
|----------------|-------|
| (i) インダクションモータ | ブレーキ付 |
| (ii) トルクモータ | トルク拘束 |

(iii) サーボモータ

トルク制御

ここでクランプ力を発生するねじ棒の回転トルク制御に対して、(i)のインダクションモータは、回転のみの起動、停止を行うだけの機能をもつのみでトルク制御が困難であり、(ii)のトルクモータは、一定の設定トルクに対する応答機能しかもっていない。また(iii)はクランプ力制御に求められるトルク、速度等について細かい要求を処理できるのは(iii)のサーボモータである。

以上の検討結果を踏まえ、決定した主クランプ機構の仕様を次の通りとする。

- | | |
|------------|-----------------------------|
| a. クランプの形式 | V形両締めクランプ |
| b. クランプ方式 | ねじ駆動中心対向両締めクランプ |
| c. 駆 動 源 | サーボモータ (山洋) |
| | トルク制御仕様 |
| | 定格出力 200V 50W |
| | 定格回転数 3000R/M |
| | 定格トルク 1.57kg・cm |
| | ギヤヘッド 減速比1/33 |
| | (ハーモニック) |
| | 出力トルク 51.8kg・cm |
| | 出力回転数 90R/M |
| d. トルク伝達系 | 30° 台形ねじ φ16×P3mm |

(5) クランプ力及びクランプ作動速度の検討

① クランプ力及びクランプ作動速度の算定

クランプ力をねじに作用する軸方向の力として算定すると、
クランプ力Fは

$$F = \frac{T \times 2\pi \times \eta}{l}$$
$$= \frac{51.8 \times 2\pi \times 0.3}{0.3} = 325.3 \text{kgf}$$

325.3kgfとなる。

算定条件は、次の通りとした。

F = クランプ力	kgf
T = ねじ入力トルク	51.8kg・cm
l = ねじのリード	0.3cm
η = ねじ効率	30%

また、クランプの作動速度Vは、

$$V = \frac{l \times N \times 10}{60}$$
$$= \frac{0.3 \times 90 \times 10}{60} = 4.5 \text{mm/s}$$

4.5mm/sとなる。

この算定条件は、次の通りとした。

V = クランプ作動速度	mm/s
N = ねじ軸の回転数	90R/min

② 安全性評価

ねじの強度を軸方向力の引張応力として算定すると、
引張応力σ_tは

$$\sigma_t = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{325.3}{\frac{\pi}{4} \times 1.25^2} = 331.5 \text{kg/cm}^2$$

331.5kg/cm²となる。

この算定条件は、次の通りとした。

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \text{ねじに発生する引張応力} && \text{kg/cm}^2 \\ d &= \text{ねじの谷径} && \phi 1.25 \text{cm}\end{aligned}$$

また、軸方向力とねじれを同時に受けるときの合成相当応力 $\sigma_{t'}$ を算定すると、軸方向力を $4/3$ 倍して

$$\sigma_{t'} = \frac{F \times \frac{4}{3}}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{325.3 \times \frac{4}{3}}{\frac{\pi}{4} \times 1.25^2} = 353.6 \text{kg/cm}^2$$

353.6kg/cm²となる。

そして、許容引張応力 σ_0 が 1600kg/cm² であることから

$$\sigma_t < \sigma_0$$

$$\sigma_{t'} < \sigma_0$$

となる。このことから、いずれも許容応力を満足しており十分安全であると言える。

3.4.2 開先合せ機構の設計

開先合せ機構は、主クランプにて把持している既設配管に対して、溶接ユニットでクランプされた新規接続用配管を軸方向に突合せて、開先加工を施した管端部の開先合せを行うものである。

本設計では、主クランプで既設配管を把持することにより本ユニット全体を支える役割りを持たせたため、主クランプ側で移動することは、機構上困難且つ不合理であるとの考えに基づき、新規配管を把持した溶接ユニットを移動する機構が容易であり、且つ開先合せの精度を確保する上で有利との判断から溶接ユニット移動方式を採用した。

(1) 開先合せ機能及び構造の検討

開先合せに要求される機能は、相手配管（既設配管）の中心軸と同軸且つ平行直進移動によって突合せが行えることである。このためには直進移動の機構が十分な精度を保有し、且つ相手配管中心軸に対して高い平行精度及び中心軸に対する同芯精度が確保されていることが必要である。

直進移動時の推力については、既存溶接ユニットにおいて、25A（φ34）配管のクランプ時のスラスト方向の推力が実験の結果、最大60kgであることを確認した。

開先合せ時の推力については、溶接面の確実な接触と溶接時の加熱影響によって接触面が遊離しないために必要であると共に、一方では接触面に過度の力が加わり破損することなくクランプした新規配管とクランプ面が軸方向に滑らない適度のバランスのとれた推力が必要である。

(2) 開先合せ機構の直線精度

開先合せ機構では、直進移動の直線精度を確保するため高精度のガイドレールを採用した。そして同芯、平行精度は、各機構部品の組立精度に留意して以下の精度による機構を構成した。

ガイドレールの直線精度	: 0.02/長1000mm
同 芯 精 度	: 0.05~0.1 mm
平 行 精 度	: 0.03~0.05mm

(3) 開先合せ作動機構と駆動源の検討

1) 作動機構の検討

開先合せの作動直進機構については、次のような方式がある。

- ① ラックピニオンギヤの組合せによる直進機構
- ② 直進用ねじ棒の回転による直進機構
- ③ 空圧または油圧シリンダの推力による直進機構

以上の3方式について、その長所、短所を検討して見ると、

①のラックピニオン方式は機構が複雑となり、モータにブレーキを使用しない限り、駆動源の消失に対しロック性が無い。このためブレーキを使用することにより駆動部分の大型化と制御の複雑化を招くこととなる。

②のねじ棒の回転による方式は、構造がシンプル且つコンパクトにまとまり、直進時の速度、推力が安定している。また、駆動源が消失した場合でも、ねじによるロックにより緩むことはなく安全が保たれる。

③のうち空圧シリンダ方式は、機構上最も簡易であるが、開先合せのような短ストローク且つ端面のソフトタッチの要求に対して、微妙な動作は期待できない。また、油圧シリンダ方式は、シリンダサイズの小型化に限界があると共に、油圧による発生圧力のレベルが高いことから、コスト高、メンテナンスの複雑化を招くこととなり不利な機構となる。

以上のことから作動直進機構は、②のねじ棒回転方式が、直進機構として優れていることから採用することとした。

2) 駆動源の検討

上記機構の駆動源としては、モータが適していると言える。そしてモータには次の種類が挙げられる。

- | | |
|----------------|-------|
| (i) インダクションモータ | ブレーキ付 |
| (ii) トルクモータ | トルク拘束 |
| (iii) サーボモータ | トルク制御 |

ここで、ねじ棒の回転による直進用の駆動源として、(i)のインダクションモータは、短ストローク、端面ソフトタッチの微妙な制御には追従することができない。(ii)のトルクモータは、端面ソフトタッチ、接触の安定性、持続性に対し有効に拘束できるトルク拘束性を有している。

定性，持続性に対し有効に拘束できるトルク拘束性を有している。

(iii) のサーボモータは、短ストローク，端面ソフトタッチの要求に対しては、多機能の制御を行う必要からコスト高となる。

上記の評価から(ii)のトルクモータを採用することとした。

以上の検討結果を踏まえ、決定した開先合せ機構の仕様は次の通りである。

a. 開先合せ方式	軸心直線移動式	
b. 駆動装置	トルクモータ	
	型式	3TK6GN-A
	ギヤ	3GN-7.5K
	定格出力	100V 6W
	定格回転数	750 R/M
	最大出力時トルク	0.78kg・cm
	ギヤ減速比	1/7.5
	出力回転数	100 R/M
	出力トルク	5.85kg・cm
c. トルク伝達系	30° 台形ねじ	φ14×P3mm

(4) 開先合せ移動推力速度の算定及び安全性の評価

① 移動推力及び速度の算定

移動推力をねじに作用する軸方向の力として算定すると、

推力Fは

$$F = \frac{T \times 2\pi \times \eta}{l} = \frac{5.85 \times 2\pi \times 0.3}{0.3} = 36.7\text{kg}$$

36.7kgとなる。

推力算定条件は、以下の通りとした。

F = 推力	kg
T = ねじ入力トルク	5.85kg・cm
l = ねじのリード	0.3cm
η = ねじ効率	30%

また、移動速度Vを算定すると

移動速度 V は

$$V = \frac{\varrho \times N \times 10}{60}$$
$$= \frac{0.3 \times 100 \times 10}{60} = 5 \text{ mm/s}$$

5mm/sとなる。

この算定条件は、以下の通りとした。

$$V = \text{移動速度} \quad \text{mm/s}$$

$$N = \text{ねじ軸の回転数} \quad 100\text{R/M}$$

② 安全性の評価

ねじの強度を軸方向力の引張応力として算定すると、

引張応力 σ_t は

$$\sigma_t = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{36.7}{\frac{\pi}{4} \times 1.05^2} = 45.4 \text{ kg/cm}^2$$

45.4kg/cm²となる。

この算定条件は、以下の通りとした。

$$\sigma_t = \text{ねじに発生する引張応力} \quad \text{kg/cm}^2$$

$$d = \text{ねじの谷径} \quad \phi 1.05 \text{ cm}$$

また、軸方向力とねじれを同時に受けるときの合成相当応力 $\sigma_{t'}$ を算定すると、軸方向力を4/3倍して

$$\sigma_{t'} = \frac{F \times \frac{4}{3}}{\frac{\pi}{4} \times d^2} = \frac{36.7 \times \frac{4}{3}}{\frac{\pi}{4} \times 1.05^2} = 56.5 \text{ kg/cm}^2$$

56.5kg/cm²となる。

この場合の許容応力 σ_0 は、1600kg/cm²であり

$$\sigma_t < \sigma_0$$

$$\sigma_{t'} < \sigma_0$$

となり、いずれの場合も許容応力を満足しており十分安全であることが言える。

3.4.3 制御機構の設計

本設計は、配管クランプ機構及び開先合せ機構を制御するシステムをまとめるものである。この設計に当っては現状のクランプユニットの制御機構の概念、仕様をベースに構築することとした。また、動力系及び信号系の種類、数量等の制御内容を考慮した上で、配管クランプ機構及び開先合せ機構に必要な制御システムの検討を行い、制御用機器、制御方式を選択、検討することとした。

(1) 制御機構の設計条件

- ① 動作指令は制御操作盤にて独立して行えると共に、表示ランプ等状況を把握できる機能を持たせるものとする。
- ② 制御操作盤上の操作方式は、従来のクランプユニットの操作方式と整合を図ったものとする。

(2) 制御機構の設計仕様

使用電源 : AC 3φ 200V
AC 1φ 100V
圧 空 : 7.0kg/cm²G
操作方法 : 押釦による手動操作

(3) 設計検討

① 制御システムの検討

このシステム設計では、新配管のクランプ、既設配管へのクランプ、開先合せ、トーチ位置合せの一連の作業を一つの制御操作盤からの操作により行うものとした。このシステムの概念を、図-15 制御システム構成図に示す。

次に、このシステムで行う作業の流れを図-16 作業フローチャートに示す。また、具体的な制御に必要なとなる運転操作と装置の動作の流れを検討した結果を図-17 動作フローチャート図に示す。

② 制御機器の検討

このシステム制御においては、大きく動力系機器とシーケンス系機器に分けられる。

この動力系機器は、既設配管をクランプする駆動用サーボモータの制御を行うサーボアンプと、配管の突合せを行う駆動用トルクモータに適切なトルクを設定するトルクコントロール回路により構成した。

また、操作のためのシーケンス系機器は、操作方法や装置の安全性（安全保護系に保たれる範囲）を考慮し、部分的に自動動作の可能なシステムを取り入れることとし、シーケンス回路の変更が容易なシーケンサを採用することとした。

③ 制御方式の検討

前記の検討結果に基づく制御システムと制御機器を組合せた制御方式による制御展開接続図を図-18に示す。

本制御方式による機能概要は以下に示す通りである。

このシステムは、運転に必要な操作スイッチとサーボアンプの動作条件をシーケンサに入力し、シーケンサにプログラムされた動作回路の指令により装置の運転及び動作表示がされるものである。

サーボアンプの機能としては、スピードを制御する機能、位置を制御する機能、トルクを制御する機能を有しているが、ここでは電流制限回路により動作トルクの設定とその設定トルクの状態、既設配管のクランプとアンクランプの検出を行うものとしている。

- M1 : トーチ位置合せモータ (既設備) SL : 新パイプクランプシリンダ (既設備)
M2 : 既設パイプクランプモータ SV : 同上シリンダ用電磁弁 (既設備)
M3 : 突き合せモータ

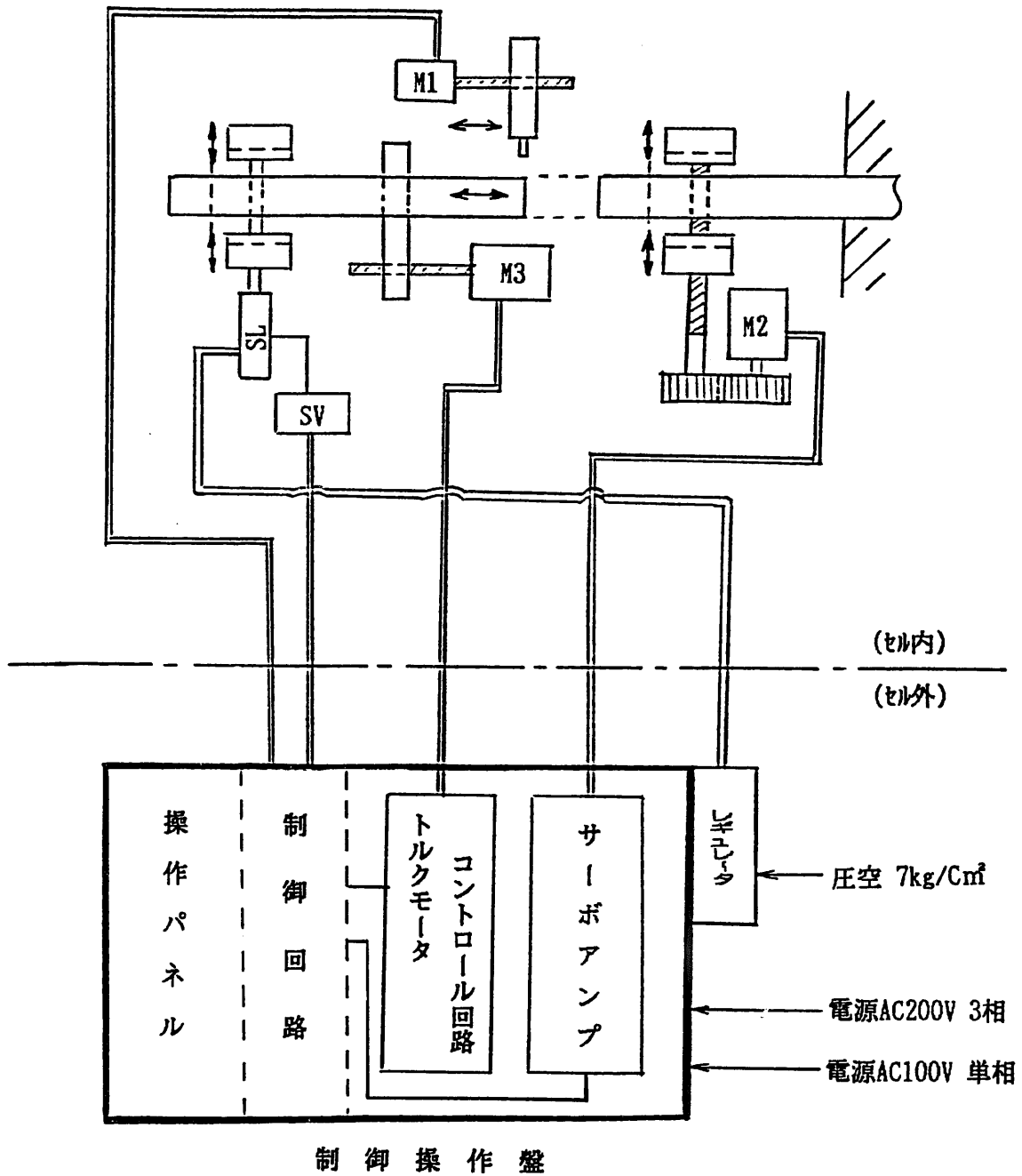


図-15 制御システム構成図

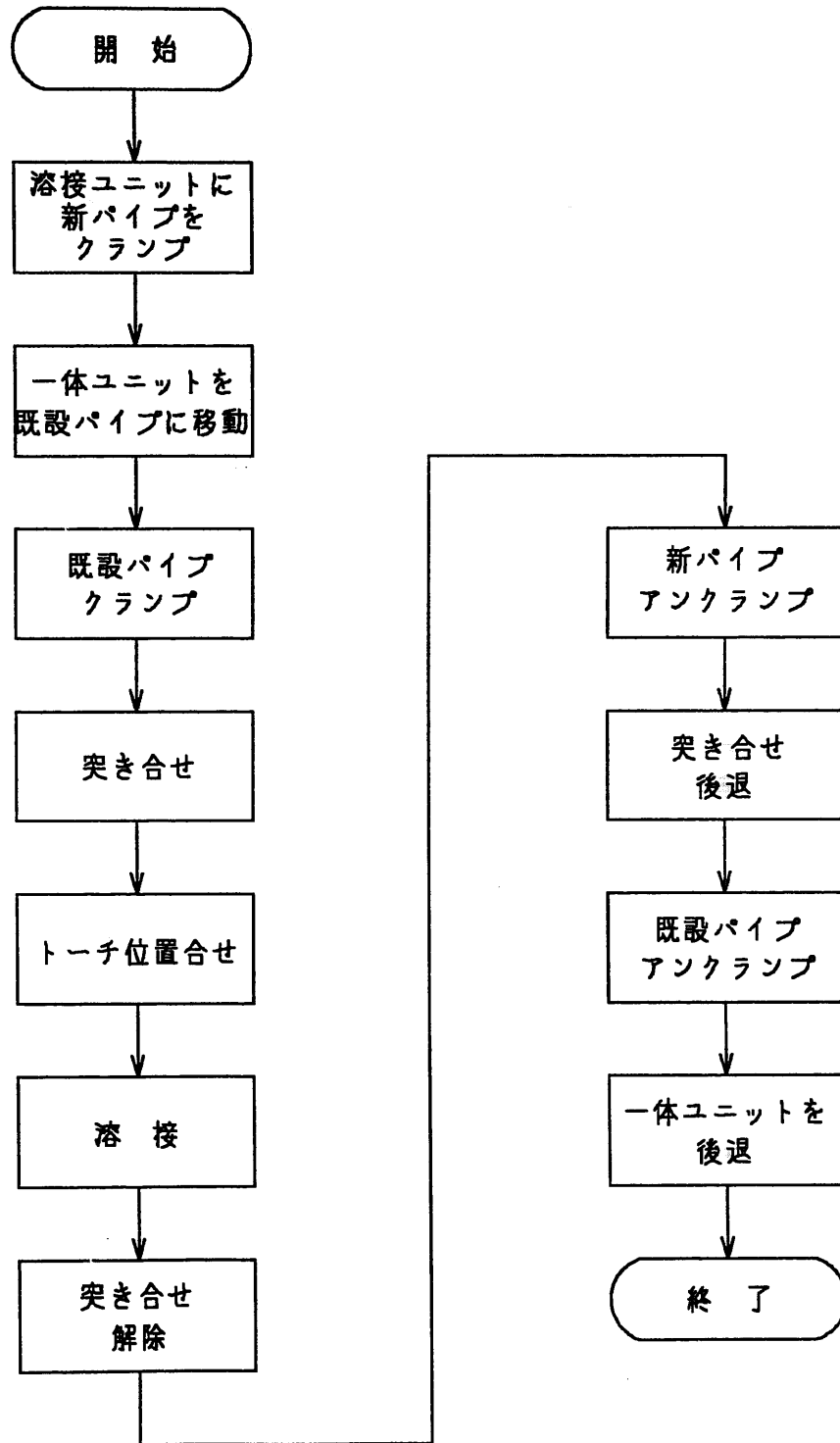
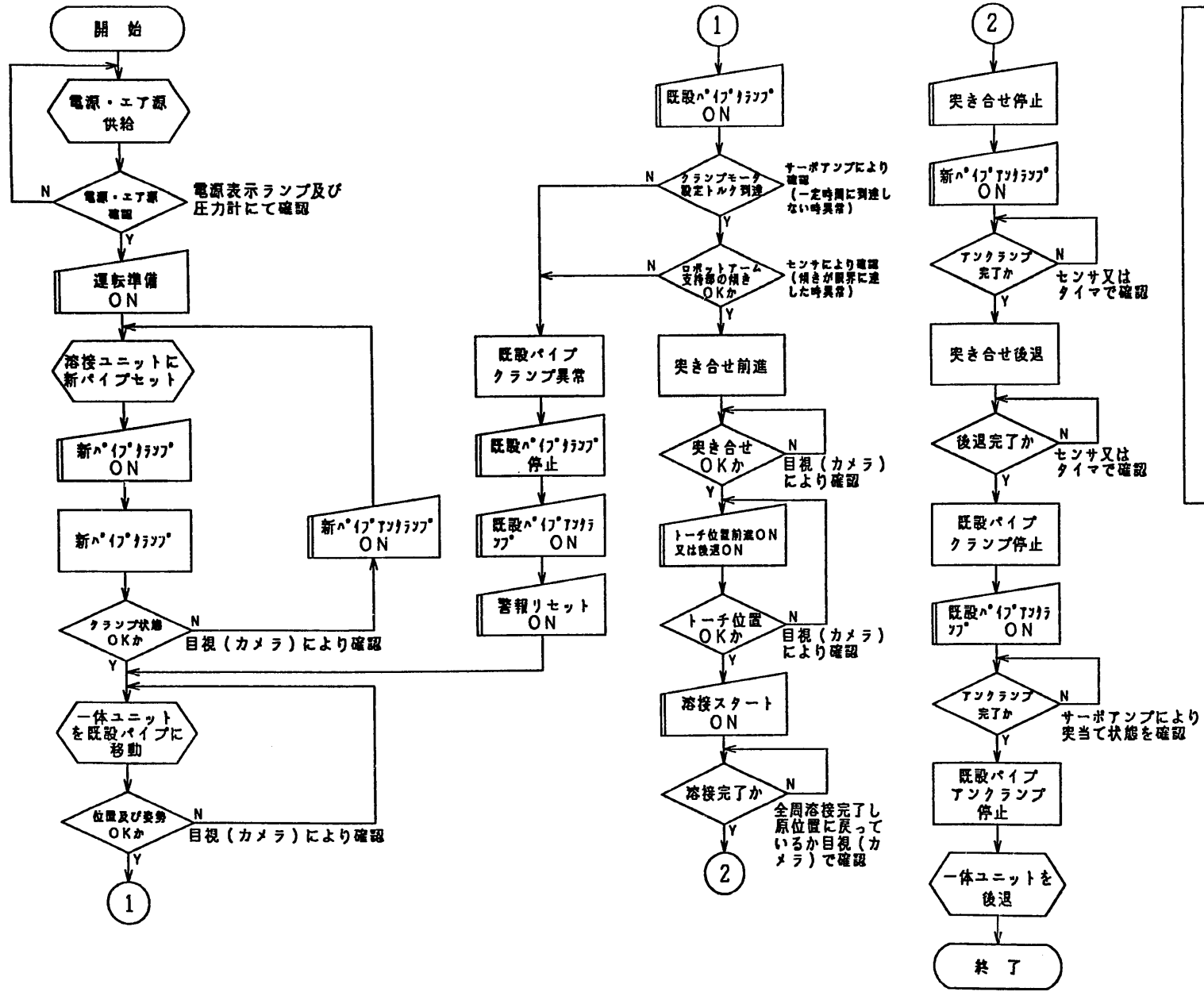


図-16 作業フローチャート図



記号説明

	人的補助作業
	スイッチ操作
	自動動作
	確認

図-17 動作フローチャート図

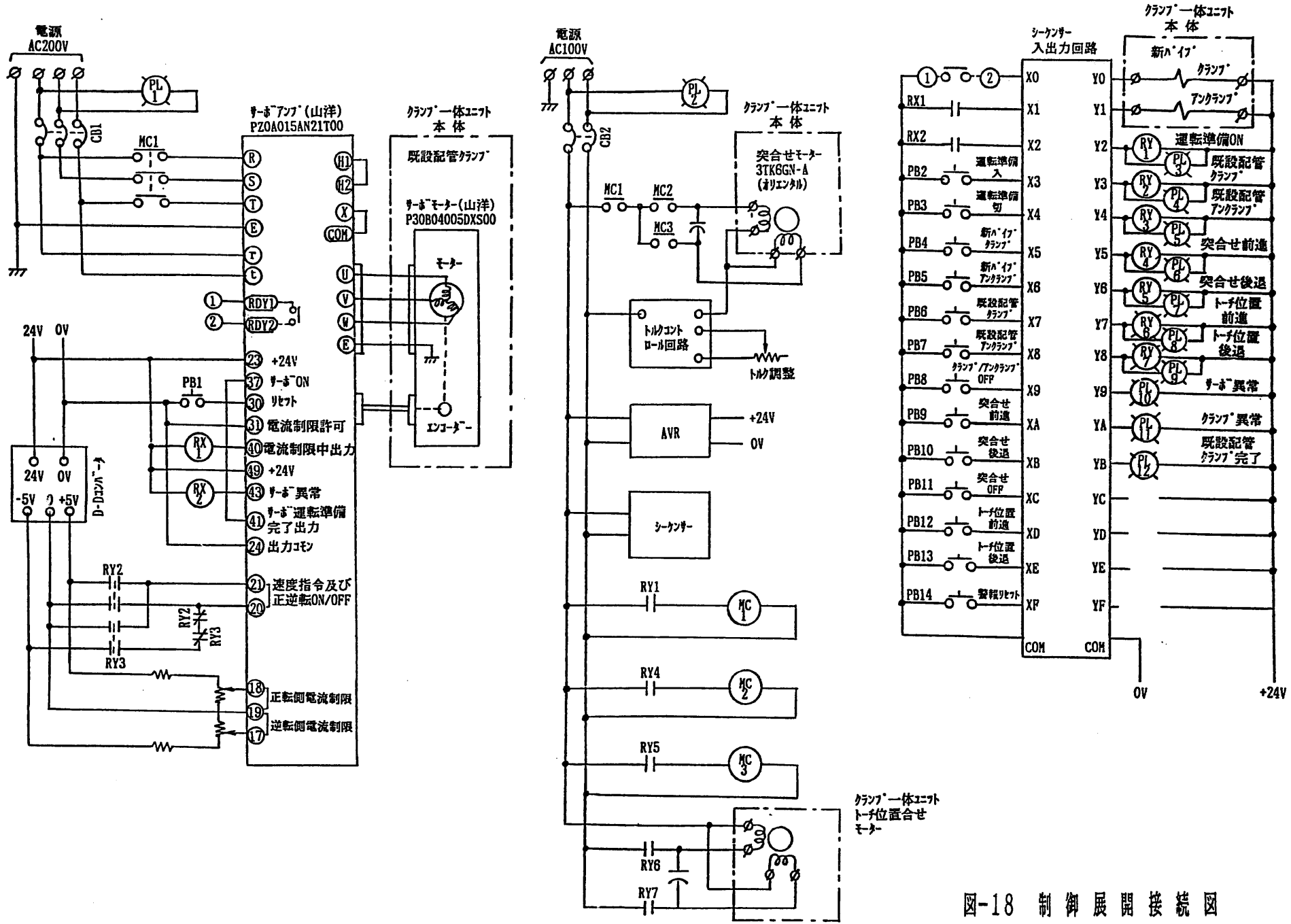


図-18 制御展開接続図

3.4.4 ユニットの統合設計

本設計は、クランプ一体型溶接ユニットとして、3.4.1項～3.4.3項で設計した個々の機構を現状の溶接ユニットと組合せ統合するものである。なお、溶接ユニットをベースにユニットの統合を行うが、溶接ユニット自身のクランプ機構は主クランプ（既設配管クランプ）と相対して、新規配管のクランプとして共通に使用することとし、仕様は変更せず現状のままとした。

(1) ユニットの統合の条件及び仕様

① 統合されるユニット機構の構成は次の通りとする。

- | | |
|-------------------|----|
| a. 配管クランプ機構 | 1式 |
| b. 開先合せ機構 | 1式 |
| c. 溶接ユニット | 1式 |
| d. 共通ベース台 | 1式 |
| e. 自在継手（作業アームと結合） | 1式 |

② ユニット重量は、次の数値を目標とした。

- | | |
|----------|-------------------------|
| ユニット全重量 | 25kg以内 |
| 内 溶接ユニット | 本体10kg + ケーブル2kg = 12kg |
| 他機構一切 | 13kg以内 |

③ ユニット全体寸法は次の数値以内に収めることを目標とした。

- | | |
|----------------|---------|
| 取付配管の軸方向寸法 | 560mm以内 |
| 取付配管の周方向に対する寸法 | 500mm以内 |
- （但し、対象配管条件に適合すること）

(2) ユニットの統合に係る機能及び構造の検討

ユニットに要求される機能及び構造を構築する上での条件としては、

- ① 既存溶接ユニットを構造の基本に置いて、配管クランプ機構と開先合せ機構及びユニットの統合のための共通ベース台を最も合理的に配置し、所定の精度を確保し、且つ総重量を軽減すること。
- ② 配管作業は、セル内で遠隔操作にて作動する作業ロボットで行うので、ロボットの先端にユニットを結合するわけであるが、ユニットの既設配管へのクランプ作用に対し、相当の自由度を付与し、作業ロボット

の自由度を補う目的から結合には自在接手のような結合部品を考慮する。

以上の条件を構造に反映するために、

- a. 構造部品の組立構成には、無駄な空間のないような考慮をし、全体寸法の目標値を満足させることとした。
- b. 溶接突合せ同芯精度を確保するため、ユニットの加工，組立精度を加工精度において $\frac{1}{100} \sim \frac{5}{100}$ のレベルとし、また組立精度については、 $\frac{5}{100} \sim \frac{10}{100}$ のレベルで仕上げる
こととした。
- c. 軽量化は最重要課題であるが、本ユニットを構成する部品で強度を持たせる必要のないものはアルミ化して軽量化を図った。また共通ベースについては、最も強度を必要とするので薄板材を使って断面性能を向上する形状として強度／重量比を上げる工夫をした。
- d. 自在継手の構造については、可撓性，復元性，構造の簡易，機構の単純性等を考えた場合、ばねを用いることが最も簡易な方法である。ばねにはコイルばね，皿ばね等があるが、皿ばねはばね部品の組立保持が複雑化して、可撓性を大きくとるとすれば形状が大きくなるので、この場合は圧縮コイルばね2本を使用して、所定の可撓自由度を得ることとした。

(3) 自在接手の構造検討

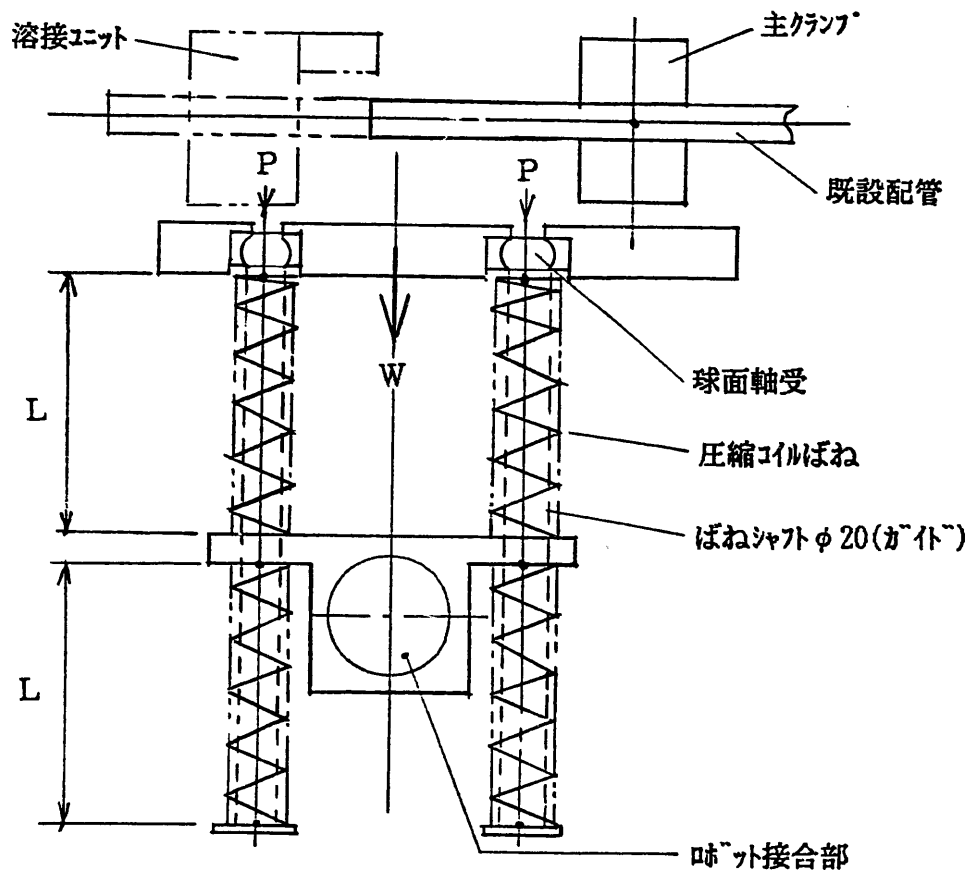
前項 (d) で述べた圧縮コイルばねを使用する自在接手は、統合ユニット全体とロボットアーム先端との間に介在し、接合の自由度を付与することにより、それによってロボットアームの操作と統合ユニットの主クランプ位置決め動作との間に融通がつくことになる。

主クランプの既設配管に対する位置決め裕度は、後出 (5) 「既設配管クランプの裕度」において

- ① 配管中心軸に対する傾き角 $\pm 2^\circ$
- ② 主クランプの配管に対する開き余裕 $\pm 10\text{mm}$

が提示された条件 (但し、50A配管を対象) がある。

圧縮コイルばねを組込んだ自在接手の構造は、図-19の概念図に示されるものが考えられる。



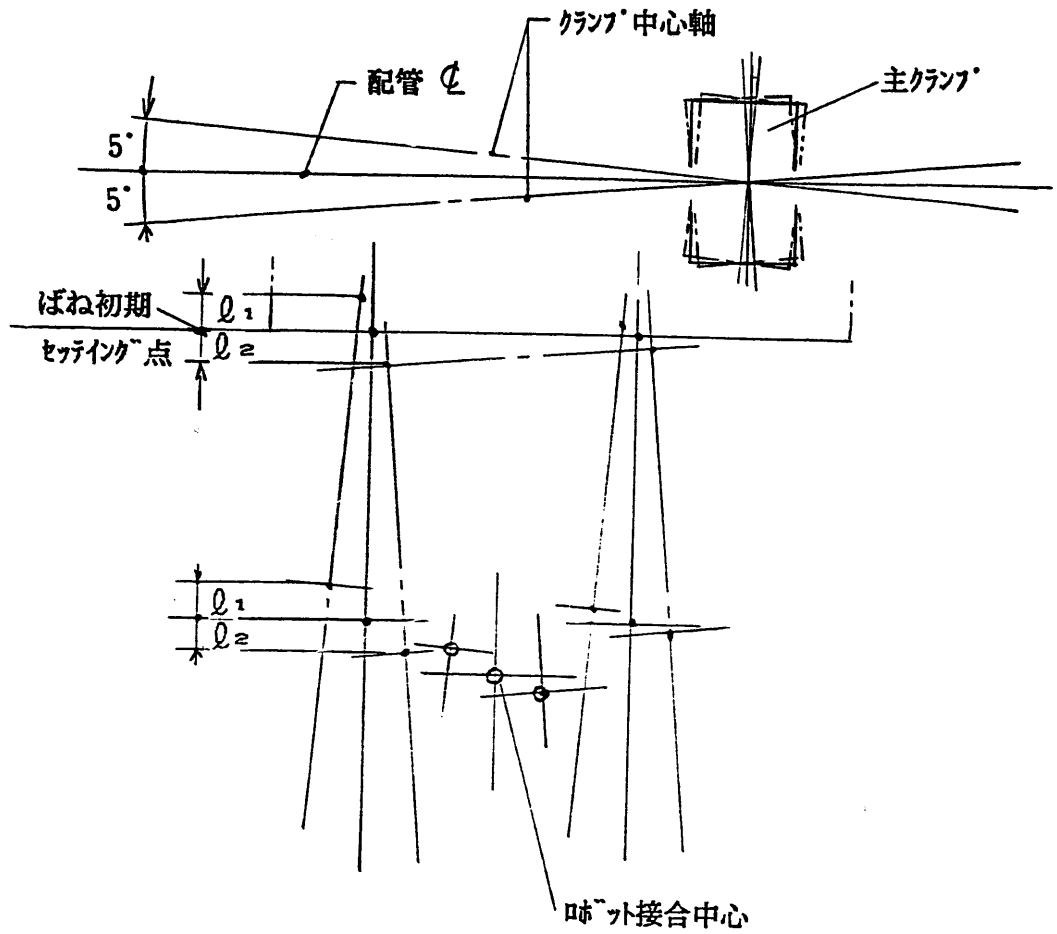
$W = \text{ユニット自重} \quad 25\text{Kg}$
 $L = \text{ばねピッチ長} \quad \text{約 } 50\text{mm}$
 $P = \text{ばねにかかる荷重} \quad 12.5\text{Kg}$

図-19 統合ユニットの自在接手構造概念図

今圧縮コイルばねは次のものを仮選定する。

コイル外径	ϕ 28.2 mm
線 径	ϕ 3.2 mm
コイル平均直径	ϕ 25.0 mm
自由長	63.5 mm
最大荷重	47 kg
総巻数	7.5 巻
ばね定数	1.26 kg/mm

図中ばねは初期状態として、ユニット全重量25kgを予圧力としてセットされている。



l_1 ばねの伸び側 約 10mm
 l_2 ばねの圧縮側 約 10mm

図-20 主クランプ作動機能図

上図で主クランプが既設配管をクランプしようとする時、配管軸心に対して位置決め裕度 $\pm 2^\circ$ の条件が提示されているが、余裕を見て $\pm 5^\circ$ とすると、ばねの圧縮側、伸び側は設計図で約10mmで、ばねに作用する発生力は ± 12.6 kgとなる。従って1本当ばね発生力は、予圧力 $25\text{ kg} / 2$ と圧縮側 12.6 kgを加えて 25.1 kgとなり、このコイルばね最大荷重 47 kgに対して十分余裕がある。

(4) ユニット統合ベースの構造強度評価

既設配管クランプ機構と、溶接機ユニットを統合するため共通ベースを設けるので、その構造強度を次に評価する。

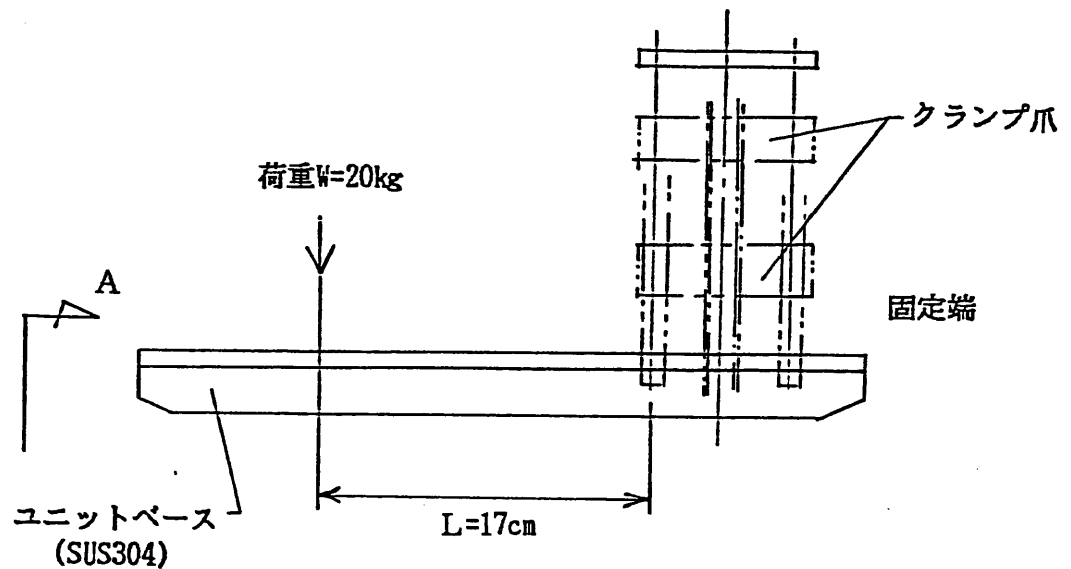
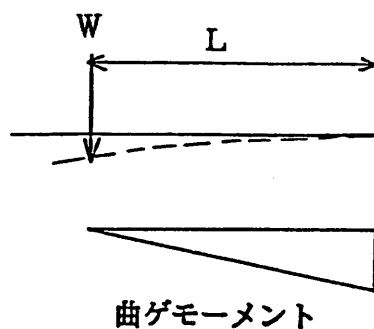


図-21 統合ユニット共通ベース強度算定模式図

上図で片端固定されているベース構造の他端に荷重Wがかかった時の、ベース構造体が発生する曲げ応力について評価する。

一端固定の梁と考え



$$M_{\max} = W L$$

$$\sigma_b = \frac{M_{\max}}{Z} < \sigma_0$$

M_{\max} = 最大曲げモーメント $\text{kg} \cdot \text{cm}$

W = 荷重 (静荷重) 20 kg

L = モーメントの作用する距離 17 cm

σ_b = 発生曲げ応力 kg/cm^2

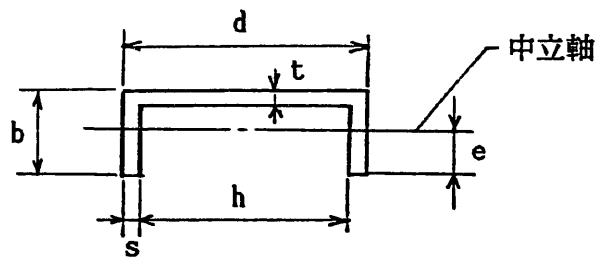
σ_0 = 許容曲げ応力 kg/cm^2

(原子力設備告示第501号)

Z = 梁の断面係数 cm^3

Zの算定

前図のA視の断面形状は



$$d = 16 \text{ cm}$$

$$b = 2 \text{ cm}$$

$$s = 0.3 \text{ cm}$$

$$t = 0.3 \text{ cm}$$

$$h = 15.4 \text{ cm}$$

$$\text{断面積 } A = bd - h(b - t) = 2 \times 16 - 15.4(2 - 0.3) = 5.82 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{中立軸よりの } e &= b - \frac{2b^2s + ht^2}{2bd - 2h(b - t)} \\ &= 2 - \frac{2 \times 2^2 \times 0.3 + 15.4 \times 0.3^2}{2 \times 2 \times 16 - 2 \times 15.4(2 - 0.3)} = 1.675 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{慣性モーメント } I &= \frac{2sb^3 + ht^3}{3} - A(b-e)^2 \\
 &= \frac{2 \times 0.3 \times 2^3 + 15.4 \times 0.3^3}{3} - 5.82(2 - 1.675)^2 \\
 &= 1.124 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\text{断面係数 } Z = \frac{I}{e} = \frac{1.124}{1.675} = 0.67 \text{ cm}^3$$

$$M_{\max} = 20 \text{ kg} \times 17 \text{ cm} = 340 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$\sigma_b = \frac{340}{0.67} = 507.5 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_D = 1400 \text{ kg/cm}^2$ なる故

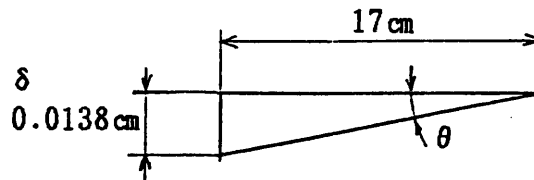
$$\sigma_b \ 507.5 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_D \ 1400 \text{ kg/cm}^2$$

であるから十分安全である。

荷重点の撓み量を算定すると

$$\begin{aligned}
 \delta_{\max} &= \frac{WL^3}{3EI} \quad E \text{ は鋼のヤング率 } 21,000,000 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= \frac{20 \times 17^3}{3 \times 21 \times 10^6 \times 1.124} = \frac{98260}{7081200} = 0.0138 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

ベース撓み角に直すと



$$\tan \theta = \frac{0.0138}{17} = 0.00081$$

$$\theta = 0.0465^\circ < 0.23^\circ \text{ 許容スキ間角}$$

故に、開先合せ部の突合せ面のスキ間は殆ど影響しない。

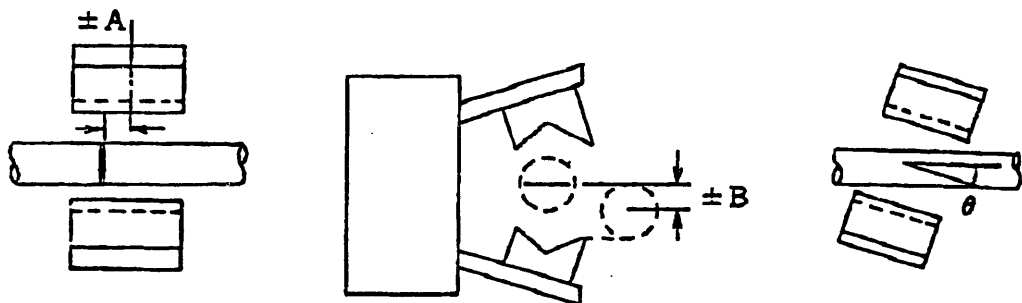
(5) 既設配管クランプ部裕度

作業アームの位置決め時、既設配管とクランプとの間に必要な裕度は下表に示す数値が妥当と確認されているものである。

表-3 作業アーム位置決め精度基本仕様

	管軸方向 $\pm A$	管直角方向 $\pm B$	角 度 $\pm \theta$
溶接ユニット	5 mm	5 mm	10°
クランプユニット	4 mm	10 mm	2°

※ 対象管 50A (sch40)



(6) 全ユニットの総重量

クランプ一体型溶接ユニットの設計に基づき、表-4 各部品重量内訳に全ユニットの総重量に対する各部品の重量内訳を示す。

表-4 各部品重量内訳(1/2)

(単位 kg)

部品No	品名	材質	員数	単重	重量	備考
1	ロッド取付ブラケット	SUS304	1		1.00	
2	ハネシャフト	"	2	0.15	0.30	
3	軸受	A5052P	2	0.045	0.09	
4	押エ板	SUS304	2	0.03	0.06	
5	ハネ受(1)	A5052P	4	0.025	0.10	
6	ハネ受(2)	"	2	0.005	0.01	
7	ワッシャ	SUS304	2	0.005	0.01	
8	球面軸受(THK)	市販	2	0.05	0.10	SB20
9	ハネ(圧縮)(ケ-ス)	"	4	0.03	0.12	φ28.2×φ3.2
10	本体ベ-ス	SUS304	1		1.50	
11	移動ベ-ス	A5052P	1		0.20	
12	台形ネジ(ミスミ)	市販	1		0.12	φ14×P3
13	ナット	SUS304	1		0.12	
14	軸受(1)	A5052P	1		0.01	
15	軸受(2)	"	1		0.02	
16	ベ-アリングナット(ミスミ)	市販	1		0.01	BNR10
17	カップリング(三木)	"	1		0.03	ARM-100
18	トルクモ-タ(オリエンタル)	"	1		1.65	3TK6GN-A
19	ボールベ-アリング(NSK)	"	3	0.017	0.05	6000ZZ
20	モ-タブラケット	A5052P	1		0.09	
21	LMガイド(THK)	市販	2	0.40	0.80	SR15V2UU
22	スベ-ヤ	A5052P	2	0.075	0.15	
23	継手	"	1		0.06	
24	当て板	"	2	0.01	0.02	
25	カバー(1)	SUS304	1		0.02	

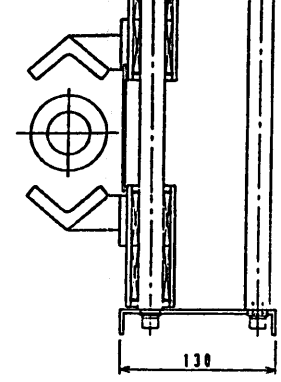
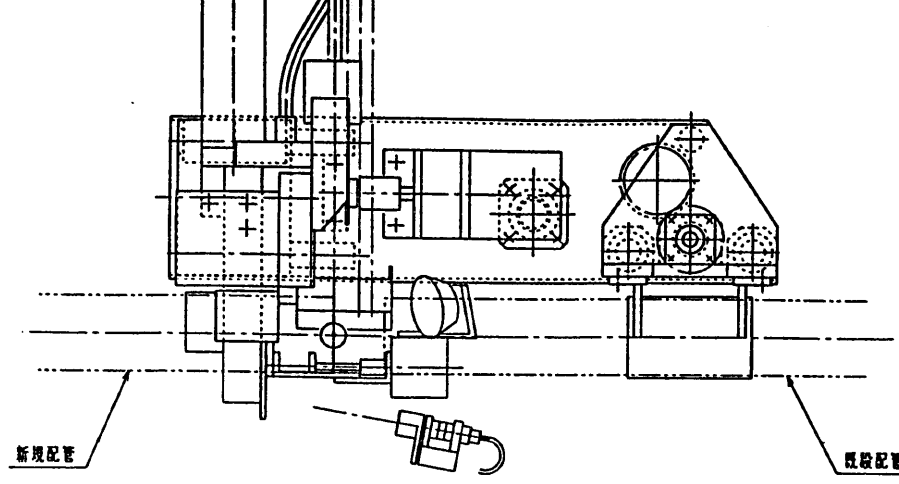
表-4 各部品重量内訳(2/2)

(単位 kg)

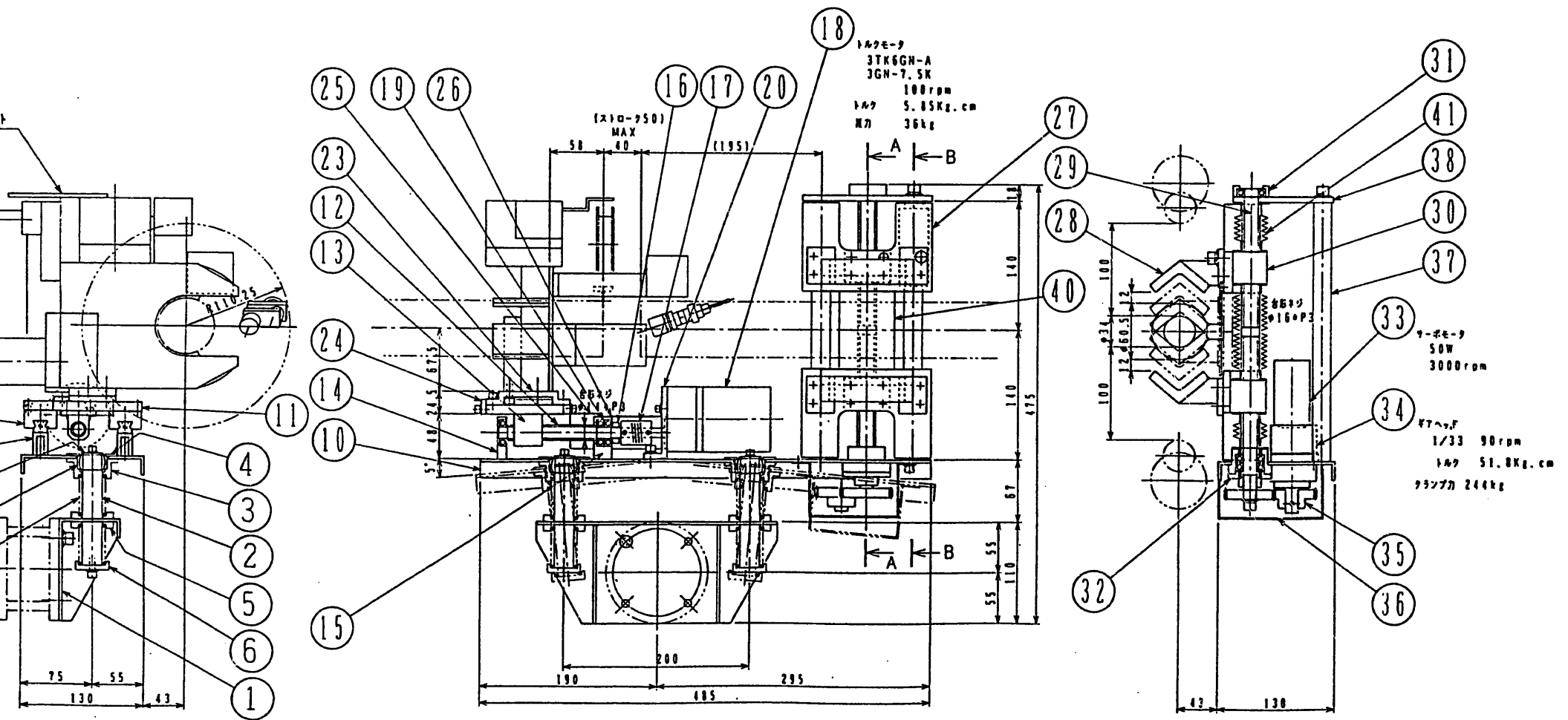
部品No	品名	材質	員数	単重	重量	備考
26	カバー(2)	SUS304	1		0.06	
27	昇降プレート	A5052P	2	0.275	0.55	
28	クランプ爪	SUS304	2	0.55	1.10	
29	台形ネジ(ミスマ)	市販	1		0.40	φ16×P3
30	ナット	SUS304	2	0.15	0.30	
31	ヘアリンクケース	A5052P	1		0.02	
32	サホートユニット(ミスマ)	市販	1		0.10	BUM12
33	サホートモータ(山洋)	"	1		0.35	P30B04005D
34	キヤハット(ハーモニック)	"	1		0.70	CP-14A-33-J4
35	キヤ(KHK)	"	2	0.2	0.40	S1.5SU36B
36	カバー(3)	SUS304	1		0.20	
37	シャフト	"	3	0.35	1.05	
38	シャフト固定板	A5052P	1		0.14	
39	リアブッシュ(THK)	市販	8	0.08	0.64	LM20
40	ハイブガイド	SUS304	1		0.08	
41	シヤハラ(京進)	市販	3	0.01	0.03	
	合計				12.76	

(7) 全体図と鳥瞰図

以上の設計成果として、図-22にクランプ一体型溶接ユニット全体図及び図-23に同鳥瞰図を添付する。

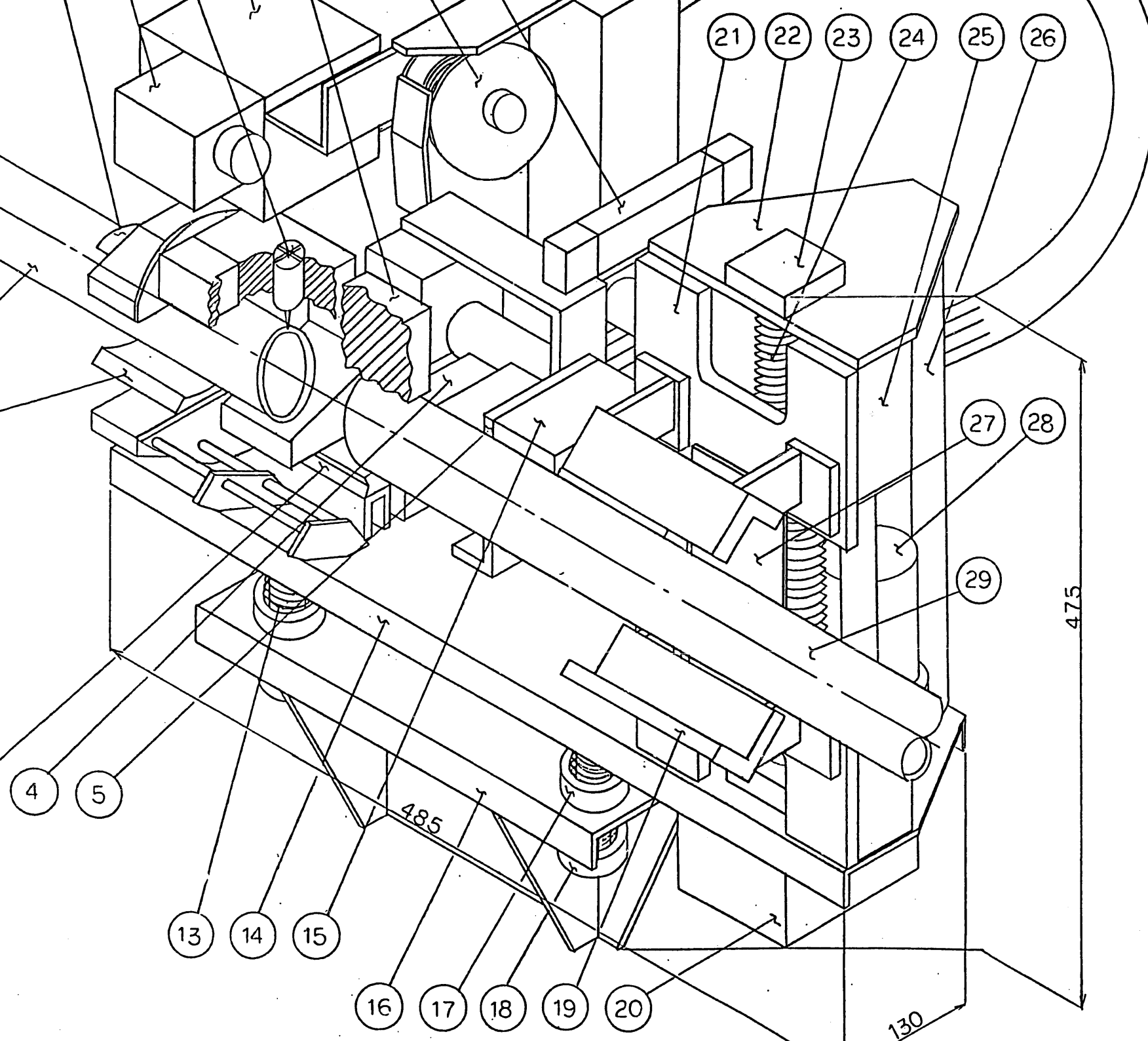


断面B-B



断面A-A

- 41 ジャバラ
- 40 バイブガイ
- 39 リニアブッシュ
- 38 シャフト
- 37 シャフト
- 36 カバー (3)
- 35 ギア
- 34 ギアヘッド
- 33 サポートユース
- 32 サポートユース
- 31 ベアリング
- 30 ナット
- 29 台形ネジ
- 28 クランプ爪
- 27 押棒
- 26 カバー (2)
- 25 カバー (1)
- 24 当て板
- 23 継手
- 22 スペース
- 21 LMガイド
- 20 モータブラケット
- 19 ボールベアリング
- 18 トルクモータ
- 17 カップリング
- 16 ベアリング
- 15 軸受 (2)
- 14 軸受 (1)
- 13 ナット
- 12 台形ネジ
- 11 移動ベース
- 10 本体ベース
- 9 パネ
- 8 球面軸受
- 7 ワッシャー
- 6 パネ受け (2)
- 5 パネ受け (1)
- 4 押工板
- 3 軸受
- 2 パネシャフト
- 1 ロボット取付



28	サーボモータ
27	パイプガイド
26	シャフト
25	リニアブッシュ
24	ジャバラ
23	ベアリングケース
22	シャフト固定板
21	昇降プレート
20	ギャカバー
19	クランプ爪
18	バネ受け (2)
17	バネ受け (1)
16	ロボット取付ブラケット
15	トルクモータ
14	本体ベース
13	バネ
12	クランプ用電磁弁
11	ワイヤーリール
10	トーチ位置調整装置
9	チャッククランプシ
8	溶接トーチ
7	手元スイッチ
6	アダプタ
5	モータブラケット
4	ベアリングユニット
3	新設配管
2	ネイル
1	LMガイドレール
№	名称表

4. まとめ

本設計によって、従来のクランプと溶接ユニットの分離型から、①軽量化、②コンパクト化、③機能単純化を最重点課題として両ユニット統合化を図ることができたことは、大きな成果と言える。

5. あとがき

クランプ一体型溶接ユニットは、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て、機器構成類削減等による作業工程の短縮を図ることを目的として、ユニットの統合を目指して設計を行った。

本設計の結果、初期の課題であるクランプユニットと溶接ユニットの統合化が、既存クランプユニットの規模を越えることなく、合理的且つコンパクトに集約できたことは大きな喜びである。

6. 謝 辞

本設計の完了に臨み、終始御指導、御助言を戴いた動力炉・核燃料開発事業団東海事業所再処理技術開発部機器材料開発室関係者に対し、厚く御礼申し上げまするものである。

以 上