

JAERI-M

8370

核融合実験炉炉体分解修理装置の設計研究

1979年9月

核融合研究部炉設計研究室

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

核融合実験炉炉体分解修理装置の設計研究

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部
炉設計研究室

(1979年7月14日受理)

核融合実験炉(JXFR)の分解修理システムの設計研究を行なった。設計内容は、分解修理システムの概要(旋回台車の再設計を含む)、リモートハンドリング技術の調査(原子力発電所、再処理施設)、分解修理に伴う作業と必要な遠隔操作装置、遠隔操作装置の概念設計(オーバーヘッドクレーンマニピュレータ、地上マニピュレータ車)、分解修理システム(GAC・ANL-TNS, JXFR)及びコスト試算用データである。

また、今後の問題点と開発課題を列挙した。

Repair/maintenance Remote Handling Equipments Design
for Tokamak Experimental Fusion Reactor

Fusion Reactor System Laboratory
Division of Thermonuclear Fusion Research
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received July 14, 1979)

Design studies have been made of repair and maintenance system for a Tokamak experimental fusion reactor.

Described are the overhaul system (including redesign of the rotating carriage), survey of the remote handling techniques (in nuclear power plants and reprocessing plants), overhaul operations and remote handling equipments, conceptual designs of the remote handling equipments (overhead crane manipulator and vehicle-mounted manipulator), the overhaul system (conceptual designs of GAC-ANL-TNS and JXFR) and cost data.

The purpose was principally to indicate problems and research/development areas in the repair and maintenance system.

KEY WORDS: Repair, Maintenance, Tokamak Experimental Fusion Reactor
Remote Handling Equipments, Overhand System, Design Study

The design study performed by Sumitomo Heavy Industries, Ltd. under contract with JAERI.

目 次

まえがき	1
1. 分解修理システムの概要	2
1.1 実験炉の目標と仕様	2
1.2 炉の構成と重量	6
1.3 炉室内放射線の評価	7
1.4 分解修理システムの概念	10
1.5 旋回台車の再設計	21
2. リモートハンドリング技術全般に関する調査	48
2.1 原子力発電所におけるリモートハンドリング技術	48
2.2 再処理施設におけるリモートハンドリング技術	81
3. 分解修理に伴う作業と必要な遠隔操作装置	117
4. 遠隔操作装置の概念設計	135
4.1 オーバーヘッドクレーンマニピュレータ	135
4.2 地上マニピュレータ車	135
5. 分解修理システム	141
5.1 GAC・ANL-TNSの概念設計	141
5.2 原研-JXFRの概念設計	151
6. コスト試算用データ	169
7. 問題点及び開発課題	187
あとがき	189

CONTENTS

	FOREWORD	1
1.	OUTLINE OF OVERHAUL SYSTEM	2
1.1	Object and Specification of JXFR	2
1.2	Construction and Weight of JXFR	6
1.3	Radiant Rays in the Reactor Room	7
1.4	Concept of Overhaul System	10
1.5	Redesign of Rotating carriage	21
2.	INVESTIGATION OF REMOTE HANDLING TECHNOLOGY	48
2.1	Remote Handling Technology of Nuclear Power Plants ..	48
2.2	Remote Handling Technology of Reprocessing Plants ...	81
3.	OVERHAUL OPERATIONS AND REMOTE HANDLING EQUIPMENTS ..	117
4.	CONCEPTUAL DESIGN OF REMOTE HANDLING EQUIPMENTS	135
4.1	Overhead Crane Manipulator	135
4.2	Vehicle Mounted Manipulator	135
5.	OVERHAUL SYSTEM	141
5.1	Conceptual Design of GAC·ANL-TNS	141
5.2	Conceptual Design of JXFR	151
6.	COST DATA	169
7.	RESEARCH AND DEVELOPMENT	187
	CONCLUSION	189

ま え が き

本設計報告書は、核融合反応出力100MWトカマク型核融合実験炉(JXFR)の分解修理に関するものである。本年度の報告書は、昨年度から継続したものであり、特にリモートハンドリング技術を主として調査・研究している。

原研の基本設計は、昨年同様JAERI-M 7300である。炉は8分割構造で、故障時にその1モジュールを修理室に取り出し修理を行なうという基本的な分解修理システムには変更はない。今年度は分解修理方案を具体的に略図で示す方法をとった。但しコスト的な面から旋回台車重量をできるだけ軽減するように設計し直した。

本年度の重点項目として、原子力発電所及び再処理施設等での現在のリモートハンドリング技術を調査し、核融合炉リモートハンドリング技術への応用に関して検討した。またその中の遠隔操作装置として、オーバーヘッドクレーン・マニピュレータと地上マニピュレータ車の概念設計を行ない、それに伴う大略のコスト資料を作成した。

2年間にわたる概念設計を通じての今後の問題点と開発課題を列挙した。

1. 分解修理システムの概要

分解修理システムについて述べる前に、あらかじめ実験炉の目標および設計条件を示す。

次にコンポーネントの用途、重量、炉室内放射線の評価、分解修理システムの概念に関し説明する。

1.1 実験炉の目標と仕様¹⁾

実験炉の目標として下記の4項目が挙げられる。

- ① 安定した核融合反応持続、制御を確証する。
- ② 動力炉を構成する主要コンポーネントの設計、製作上の問題を解決する。
- ③ 動力炉として成立するための運転、保守、修理の問題を解決する。
- ④ これらによって動力炉の実用化への展望を明らかにする。

炉システムとしての一貫した設計を進めていくために以下の条件を設定し、将来問題が生じた場合に正しく対処できるようにしておく。

- ① 核融合反応出力100MWの準定常炉とする。
- ② 炉寸法はできるだけコンパクトにする。
- ③ 熱核融合を主とし、自己点火条件に近づける。
- ④ トロイダル磁束密度は最高値を12T(テスラ)以下に抑える。
- ⑤ プラズマ断面は円形とする。
- ⑥ リミタは機械式とする。
- ⑦ ブランケットは遮蔽を主目的とするが、トリチウムはできるだけ多量に再生産する。
- ⑧ ブランケットは $\text{Li}_2\text{O}-\text{He}$ 冷却方式とする。
- ⑨ ブランケット容器材料はSUS 316とする。
- ⑩ プラズマに面する壁面は、CまたはSiCとする。
- ⑪ トロイダルコイルには、 Nb_3Sn 等の化合物系超電導線材を用いる。
- ⑫ ポロイダルコイルも超電導とする。

Fig. 1.1に炉の概念図、Fig. 1.2に炉の断面図、Table 1.1に主要な設計パラメータを示す。

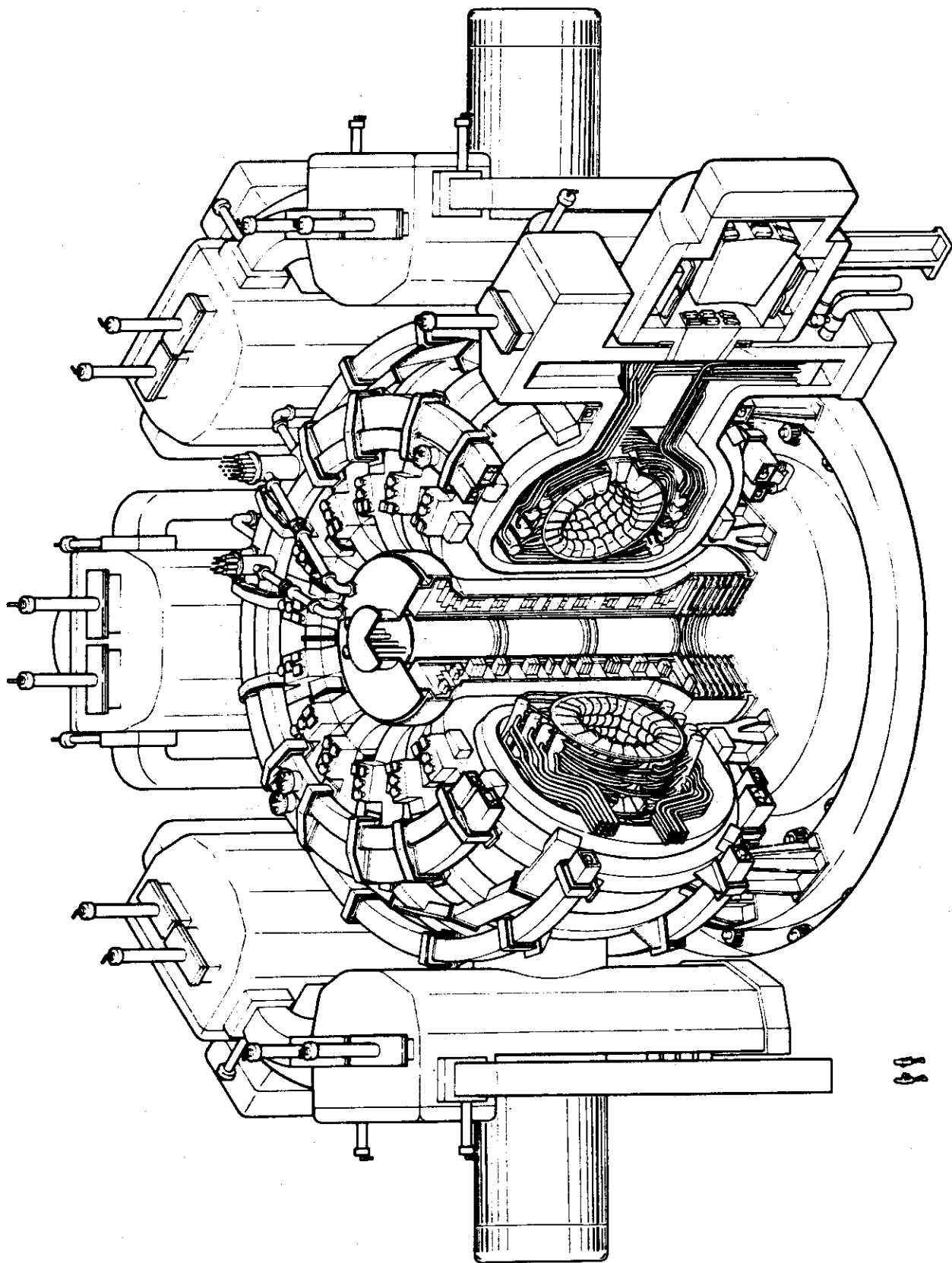


Fig. 1.1 Overview of the JXFR

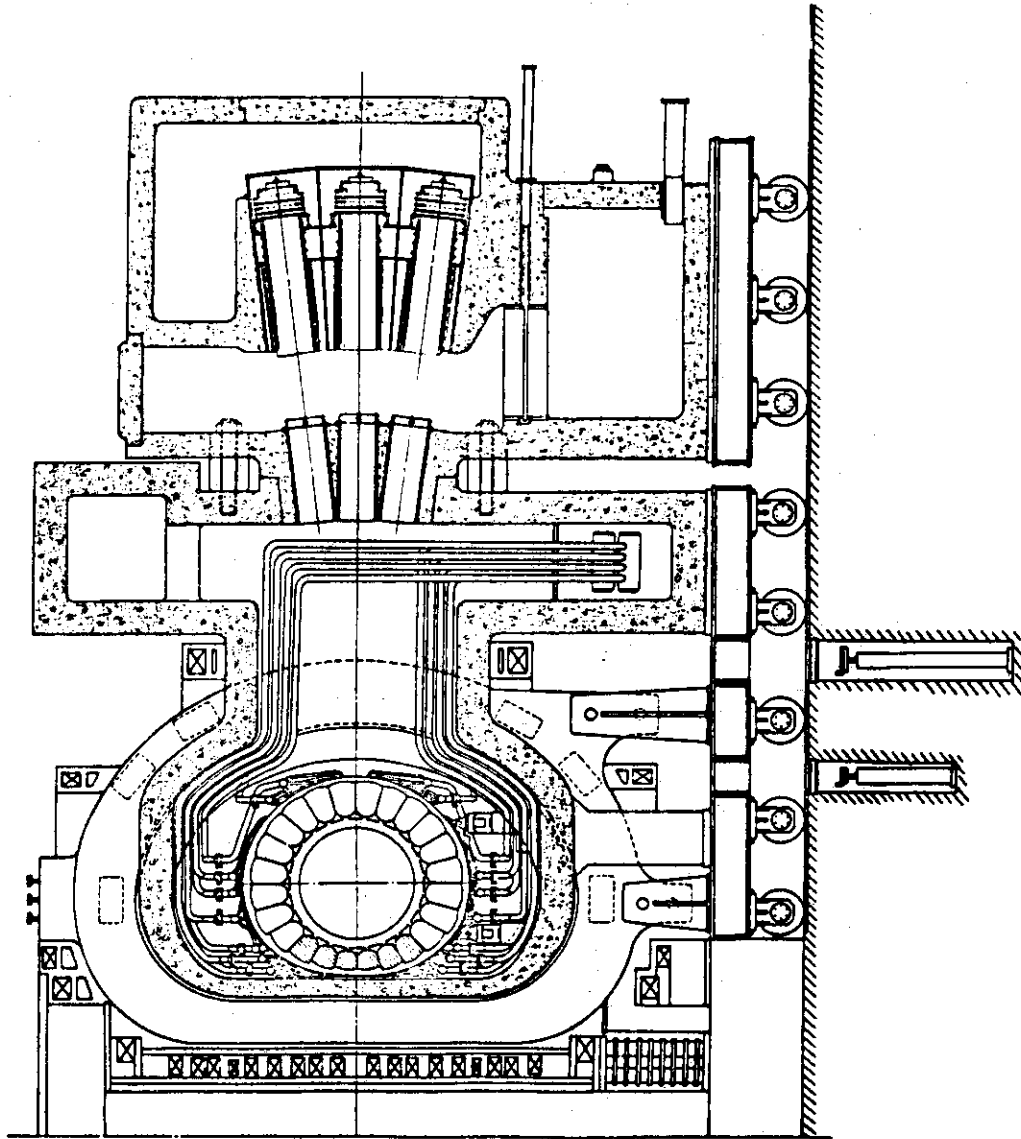


Fig. 1.2 REACTOR CROSS-SECTIONAL VIEW

Table 1.1 Main design parameters of JXFR (2nd preliminary design)

Power		Neutronics	
Fusion power (MW)	125	Neutron current at	
Thermal power (MW)	140	1-st wall ($n \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	9.5×10^{12}
Electrical power (MW), Gross	-	Neutron wall loading (MW m^{-2})	0.2
Net	-	First wall displacement	
Net thermal efficiency	-	damage rate (dpa y^{-1})	0.8
Wall loading (MW/m^2)	0.3	Max. helium production rate	
		in 1-st wall (appm y^{-1})	9.4
Operation mode		Max. hydrogen production rate	
Operation period (s)	180	in 1-st wall (appm y^{-1})	29
Burn time (Flat top) (s)	100	Tritium breeding ratio	0.9
Duty factor	0.6	Nuclear heating per	
Plant availability	0.5	DT neutron (MeV n^{-1})	16.1
Load factor	0.3	Total induced activity at	
Reactor dimensions		one hour after shutdown (Ci)	
Major radius (m)	6.75	(after one year operation)	9.1×10^7
Plasma radius (m)	1.5	Toroidal field magnet	
First wall radius (m)	1.75	Number of coils	16
Plasma volume (m^3)	300	Bore, width/height (m)	7/11
Plasma		Magnetomotive force (MAT)	186
Mean temperature (keV)	7	Max. field strength (T)	11
Mean ion density (10^{14} cm^{-3})	1.1	Stored energy (GJ)	50
Mean electron density (10^{14} cm^{-3})	1.4	SCM material	Nb_3Sn
Effective charge	1.9	Neutral beam injector	
Confinement time (s)	7.2	Number of ion sources	24
Injection power (MW)	26	Deuterium beam energy (keV)	200
Toroidal field (T)	5.5	Injection power (MW)	32
Safety factor	2.5	Power efficiency	0.3
Poloidal beta	2.2	Cooling system	
Toroidal beta	0.025	Number of loops	4
Plasma current (MA)	4.4	Coolant, pressure (kg cm^{-2})	He, 10
Blanket structure		Inlet/outlet temp. ($^{\circ}\text{C}$)	300/500
Blanket module/Reactor	8	Flow rate (kg/s)	143
Blanket cells/Blanket module	284	Secondary system	He
Injection and evacuation		Third system	Air cooler
hole/Blanket module	1	Tritium inventory (kg)	
Nominal max. 1-st wall temp. ($^{\circ}\text{C}$)	520	Fuel recirculating system	0.3
Materials		Tritium recovery system	
Structural material	316SS	including blanket	0.1
Blanket fertile material	Li_2O	Total inventory including storage	0.5
Reflector material	Stainless steel & W		

1.2 炉の構成と重量

Fig. 1.1に炉の全容, Fig. 1.2にその断面が示されているが, 炉は次のもので構成されている。

- ① プラズマ
- ② ブランケット集合体
- ③ 超電導マグネット遮蔽あるいは放射線遮蔽壁(真空容器を兼ねる)
- ④ 超電導トロイダルマグネット
- ⑤ 超電導ポロイダルマグネット
- ⑥ 中性粒子入射加熱装置(以後NBIと略称する)
- ⑦ 主真空ポンプ(クライオポンプ)

これらの主要コンポーネントに冷却系, 電源系, その他運転に必要なシステムが付属する。

円形断面プラズマの周りにはブランケット構造物の集合体, その外に放射線遮蔽壁が設けられている。この遮蔽は超電導マグネットの遮蔽と炉の真空壁を兼ねる。その外側に均等配列の16本の超電導のトロイダルコイルとポロイダルコイル(変流器コイル垂直磁場コイル)が置かれる。炉は8ケの炉モジュールで構成され, 故障時にはポロイダルコイルの邪魔になる部分を上下に移動させて2本のトロイダルコイルを付けたまま半径方向に引き出される。プラズマ位置決めのため機械式リミタは4ケの炉モジュールに1つおきに設けられ, NBIは4ケの炉モジュールにリミタと交互に設けられる。ブランケットには真空排気と中性粒子入射のための孔が設けられる。真空ポンプは炉モジュールに2台ずつ設けられる。これは液体He冷却のクライオポンプであり, 2時間毎に切替えて常時8台が働く。ブランケット冷却配管は遮蔽を貫通して外部回路に接続される。図には示されていないが, 遮蔽冷却水管, NBI冷却水管, 等が設けられる。

次に主なコンポーネントの重量を示す。炉モジュールの重量を概算するとTable 1.2のようになる。²⁾

1モジュールあたりの重量としては約4000トン。炉全体の重量としては約32000トンの見積もることができる。但し, 故障した炉モジュールを移送する場合は先にNBIを取り出すので, 旋回台車に載せられる最大荷重はNBIを除いたあとのコンポーネント重量すなわち約3000トンと推定できる。

Table 1.2 実験炉のコンポーネント重量

コンポーネント	1モジュール当りの重量(t)	炉全体の重量(t)
ブランケット	250	2000
遮蔽	トロイダルコイル遮蔽	3760
	接続部遮蔽	1200
	ポート部遮蔽	9120
トロイダルコイル	890	7120
NBI or リミタ	930	7440
クライオポンプ	200	1600
合計	4030	32240

1.3 炉室内放射線の評価

実験炉においては、D-T反応に伴って14MeVの中性子が放出されるので、炉の構成機器および人体を保護するための放射線遮蔽が必要となる。ブランケットと遮蔽層とを総称して装置遮蔽、炉室のコンクリートを生体遮蔽と呼ぶ。

Fig. 1.2に見られるように実験炉の装置遮蔽は、ブランケットおよび重コンクリートを主とする超電導マグネット(SCM)遮蔽層によって行なわれる。これはドーナツ状のプラズマを取り囲む複雑な形状をしており、しかもブランケットには中性子入射孔などの貫通孔が設けられている。これらの孔からの中性子のストリーミングを考慮すると、炉室内へ洩れる放射線は孔が無い場合よりも当然高くなるが、この点はこれらの孔の周辺のSCM遮蔽層を厚くする等の処置が考えられねばならない。トラスの外側においては、運転停止後1週間経過後には人間が近づいて種々の作業が行なえる程度に、すなわちSCMの誘導放射能を2.5mrem/h以下に抑えることが必要である。

Fig. 1.3に運転時の炉の周辺の中性子とガンマ線の線量率を示す¹⁾(Table 1.3-1に主要な値を示す²⁾)。SCM遮蔽層の外側($R > 4.15$)においては最大で 2.5×10^5 mrem/hにもなり、運転中絶対に人は炉室内に入れないことがわかる。また炉室内においては、中性子による線量率がガンマ線のそれより2桁以上高く、中性子による線量率だけを考慮すればよい。

Fig. 1.4に1年間運転後停止してから1週間経過時の放射化されたステンレス鋼からの誘導ガンマ線の線量率分布を示す¹⁾(Table 1.3-2に主要な値を示す²⁾)。遮蔽層の外側の空気中では0.7mrem/h以下となっており、従事者に対する許容線量率2.5mrem/hを下廻っている。しかしトロイダルコイルの内側表面より15cmの深さの部分の線量率は2mrem/h程度高くなっているため、この部分の修理を行なう場合には注意を要する。またこの図はバルクの遮蔽に対する結果であるが、中性子のストリーミングが見込まれる中性粒子入射孔周辺では誘導放射能も十数倍になると予想されるので、人間がそのような地点に立入ることのできる時間は厳しく制限されることとなる。

特にNBIを炉体から切り離したり、故障した炉モジュールを他から切り離したあとの開口部はそのままにしておくと人が立入ることは全くできなくなるので、遮蔽蓋を取り付ける必要がある。将来的に考えても全くの無人化修理システムは現実的ではないので、なるべく人が接近できる修理システムとするよう念頭におくべきである。

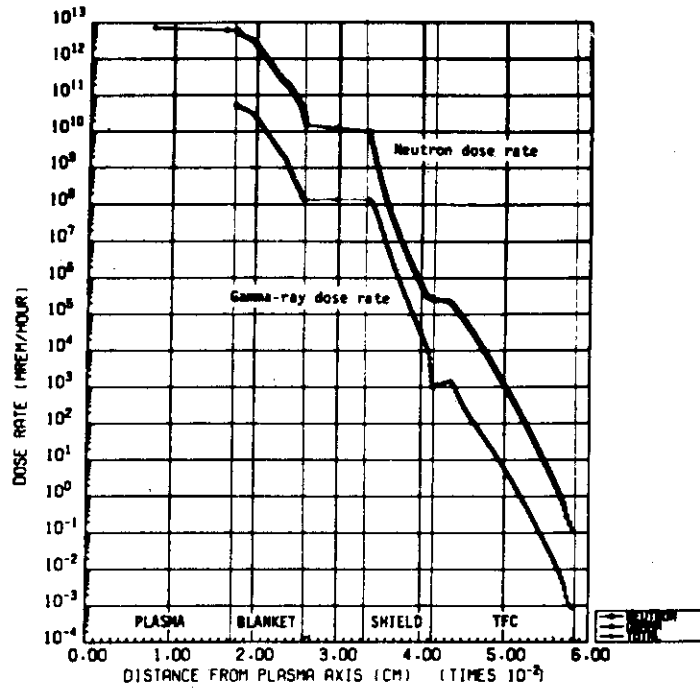


Fig. 1.3 Dose rate distribution in the blanket, shield and magnet at the reactor operation

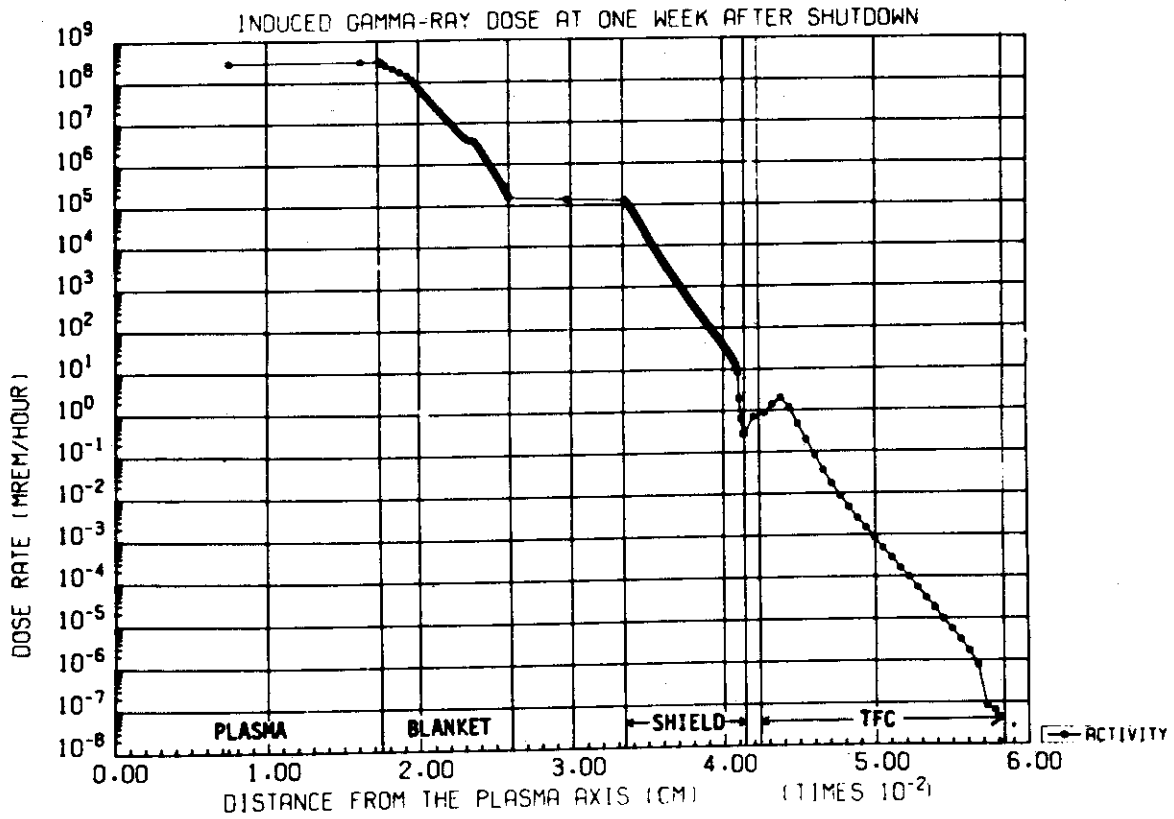


Fig. 1.4 Gamma-ray dose rate from the induced activities of stainless steel at a time one week after one year of operation

Table 1.3 各部の放射線量

1. 炉運転中

	γ 線 (mrem/hr)	中性子 (mrem/hr)
ブランケット内壁	8×10^{10}	8×10^{12}
ブランケット外壁	2×10^8	2×10^{10}
遮蔽壁外表面	10^3	4×10^5
トロイダルコイル外表面	10^{-3}	10^{-4}

2. 炉停止時(1年間運転-冷却1週間後)

	γ 線 (mrem/hr)
ブランケット内壁	5×10^8
ブランケット外壁	2×10^5
遮蔽壁外表面	0.5
トロイダルコイル内部 (内側表面より15cmの深さの部分)	2
トロイダルコイル外表面	7×10^{-8}

1.4 分解修理システムの概念

1.4.1 故障と修理の概念

分解修理を行なう前提として、どのような故障や事故に対して修理を行なうかについてあらかじめ規定しておかねばならない。次の4つのケースが考えられる。

- ① 地震のように炉システムに起因しない外部からの action によるもの。
- ② 炉システムの予期しない何らかの不具合により発生するもの。
- ③ 炉システムの正常運転による損耗により発生するもので、将来起こり得ると予測できるもの。
- ④ 炉システムの非正常時に発生するもの（例えば、分解修理時の故障）。

①のケースについては、例えば飛行機の墜落のような発生する確率の低いものや、戦争のように破壊の意図をもってなされた故障や事故については検討の対象外とせざるを得ない。しかし地震については安全性の面から十分な耐震解析を行なう必要がある。②のケースも予測できない点では①と同種の事故である。したがって④内的な原因であれ外的な原因であれ予測することができない事故。③炉の正常運転時に損耗が予知できるもの。④事故対策に伴う炉の非正常時に発生する事故。以上3種類について考えることにする。それぞれの場合について、各機器の故障・事故を想定すると Table 1.4 のようになる。²⁾

炉に異常がみられた場合には、炉を停止するしないにかかわらず、すみやかに故障原因・故障箇所をつきとめねばならない。実験炉の性格上「全ての故障に対処できる」ことを原則とする。そのためには「全ての部品が解体・とり出しが可能」でなければならない。

分解修理が必要とされる場合は、ある程度誘導放射能が減衰した後で、故障箇所を含む炉モジュールと分離し、旋回用台車によって修理室へ導き運び入れる。故障箇所は時間をかけて慎重に修理点検を受ける。あるいはスクラップとして処理、処分されたりする。故障モジュールの代わりには、点検済みのユニットが直ちに修理室より炉室内へ運ばれ再組立てされる。

分解修理が不要なく炉が運転されたままでも修理可能な場合は、修理装置を炉室内に持ち込みすべて遠隔操作によって修理が行なわれ、その検査も同様にして高レベルの放射線雰囲気の中で行なわれる。

次に故障頻度として3グループに分ける。¹⁾

① 故障頻度が高いもの

NBIのイオン源、メカニカルリミタ壁面などが考えられ、これらは故障しても炉を分解せずに独立して修理できるような設計構造が要求される。

② 故障頻度が中程度のもの

ブランケット容器のプラズマに面する壁面が考えられる。これはそこだけを独立に修理することは、構造上不可能と考えられるので炉の分解を伴う修理になる。

③ 故障頻度の低いもの

- (i) トロイダルコイルはブランケット容器の修理手順と似た方法で分解修理できる。しかしポロイダルコイルに関しては、円筒部については修理可能であるが、上下の大径ポロイダルコイルはスペース的、構造的に修理は難しい。

(ii) 放射線遮蔽壁は故障しそうもない。故障するとすれば真空容器とするために組立時に溶接するリップ状の円周継手の部分であるが、これは炉を分解せずに修理できる。

(iii) ブランケット容器外周部ならびに真空系内の配管類も故障頻度が少ないと考えられる。

これも炉を据え付けた状態で遠隔操作機器によって修理できるであろう。

現状では故障頻度を明確に予測することは不可能であるが、大略の目安として高頻度とは毎年1回以上、中程度とは10年に2～3回、低頻度とは10年に1回以下を想定する。

Table 1.4 各機器の故障・事故の分類

対 象	④	⑤	⑥	故障の発見
	地震などのような炉システムに対する突発的事故による故障 (予測不可能)	炉の定常運転による損耗 (予測可能)	非定常時の作業により付加的に生ずる故障	
ブランケット容器	容器の破損	第一壁の損傷		He のリーク
主冷却配管	継手部からの洩れ	バルブシートの摩耗	配管内への異物混入	He のリーク
トロイダルコイル	応力付加等による quench. クライオスタットの 損傷・リーク		クライオスタットの 損傷	quench 真空不良
ポロイダルコイル	応力付加等による quench. クライオスタットの 損傷・リーク		クライオスタットの 損傷	quench 真空不良
NBI	放電 真空リーク He の沸騰 吸着剤の脱落	イオン源フィラメントの消耗 電極の損耗	取付フランジ面の 損傷 シールドの損傷	ビーム解析 真空不良
メカニカルリミタ	真空シールのリーク	リミタヘッドの 損耗 ベローシールの破損		動作不良 プラズマ拡散
真空ポンプ	再生配管継手からの洩れ パネルの損傷		取付フランジ面の 損傷 シールドの損傷	真空不良
遮蔽室	結合ボルトの破損 真空リーク 冷却水のリーク	遮蔽壁内張の損傷	シール面の損傷 冷却不足による崩壊熱損傷	真空不良 冷却水リーク
分解修理装置	アライメント精度不良		軸受の焼損 ハンドリングミスによる部品の損傷	動作不良
作業員			トリチウム、放射線被曝 作業ミスによる人身事故	モニター

1.4.2 分解修理手順

ここでは実験炉の主要なコンポーネントに関する分解修理手順について述べる。

分解修理システムの中で最も重要なことは、信頼度の高い方法によっていかに短い期間で修理および点検が行なえるかということである。その意味では炉体の分解を伴う修理に関しては、故障コンポーネントを含む炉モジュールを炉室とは別の修理室へ運びそこで十分に修理および検査を行なう。一方、炉本体には既に点検済みあるいは新しい炉モジュールが組み込まれ再運転されていく、という方法が最も合理的かつ安全であると考えられる。

(1) ブランケットの分解修理

ブランケットに関しては、Table 1.5のようなフローチャートの方法で分解修理が行なわれる。²⁾

最も難しい点は、炉モジュール分割部の切断と溶接である。また、修理室へ運び込まれた後、ブランケット容器を真空容器の横から取り出すために冷却配管の切断と溶接またはフランジ部の脱着が必要となるが、技術的に非常に難しい問題である。

(2) ポロイダルコイルの分解修理

- (i) 大径ポロイダルコイル上・下部の設計製作については、安全率を大きくとることにより全く故障しないものと仮定する。

故障の種類によっては修理できる場合もあるであろう。例えばクライオスタットの洩れのような場合は、修理機器を炉室内に搬入し故障部位を修理できると考えられる。しかしコイル導体のクエンチのような場合は修理不可能でありそっくり取替えねばならない。ところが炉室内へ新しいコイルを運び入れることは、炉室のスペースおよび構造上全く不可能である。したがってポロイダルコイル上・下部は故障しないものと仮定せざるを得ない。但し下側の大径ポロイダルコイルについては、理論的には地下のピットに予備コイルを準備しておくことは可能である。しかし現実的には難しい問題点が多く存在する。

- (ii) ポロイダルコイル円筒部に関しては、Table 1.6のような2通りの分解修理方法が考えられる。²⁾但し、第1案ではNBIを吊るためにだけ1000トン・ポーラクレーンが必要となるので第2案の方を採用する。

ポロイダルコイル円筒部のキャンとトロイダルコイルキャンとは共通しているので、ポロイダルコイル円筒部の移動を考えるとその切り離し作業および接合作業は膨大となる。即ち1ケの炉モジュールを移動する場合は2本のトロイダルコイルとの切離しで良いが、ポロイダルコイル円筒部の移動の場合には16本のトロイダルコイル全部を切離さなければならない。したがってポロイダルコイル円筒部の設計製作についても極力安全率を多くとるべきであろう。

(3) トロイダルコイルの分解修理

炉体を分解することなくトロイダルコイルのみを移動することは構造上不可能である。そこで炉モジュールにトロイダルコイルを取付けたまま修理室内へ運び込み、そこでトロイダルコイルを本体からはずす。そして新しいトロイダルコイルを本体に据付け、一方故障したコイルは修理あるいはスクラップ処理される。次に逆の手順によって炉室内へ移送され再組立てが行なわれる。

したがってトロイダルコイルの分解修理手順は、Table 1.5のブランケット分解修理手順にはほとんど同じである。

Table 1.5 ブランケットの分解修理手順

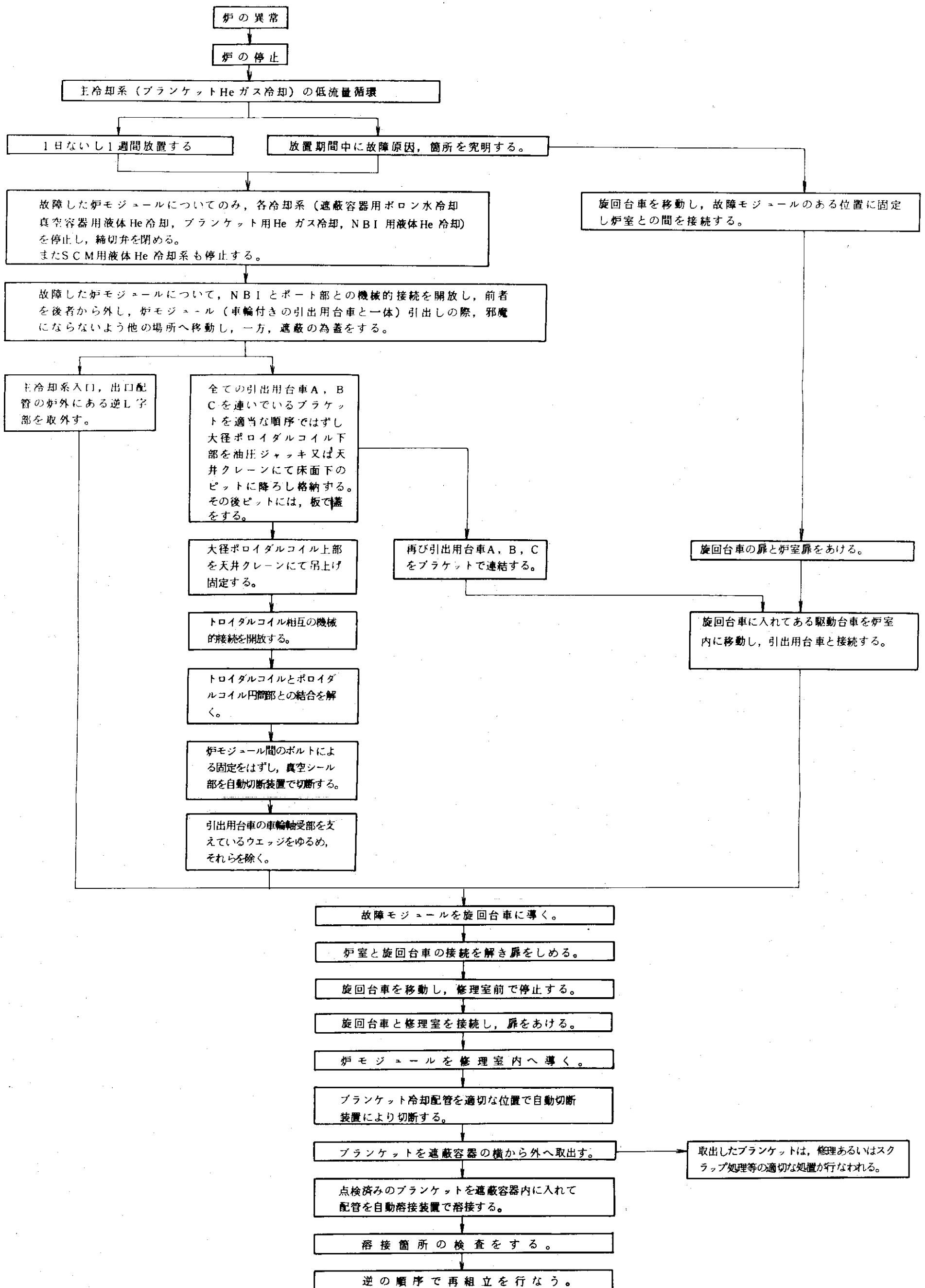
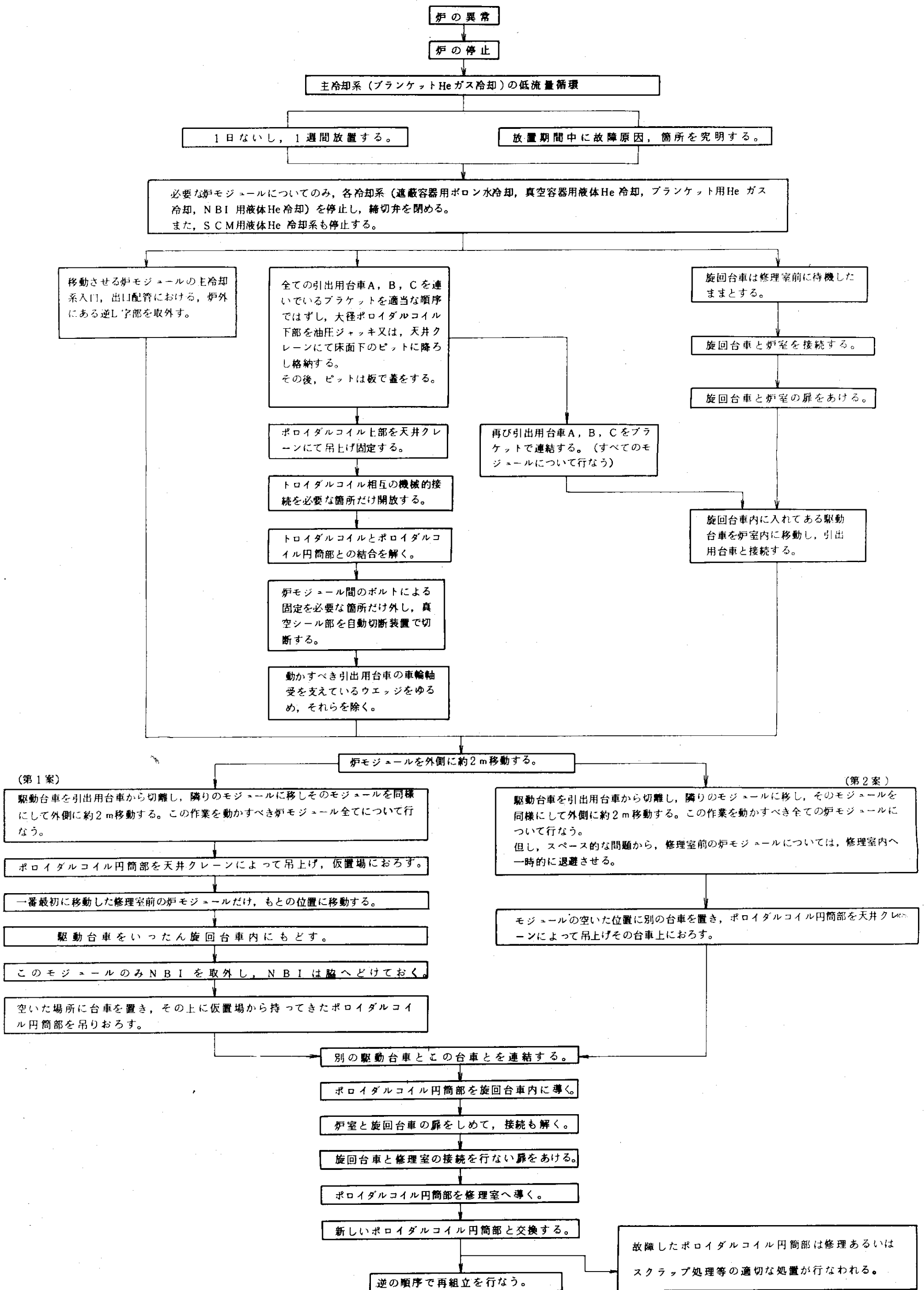


Table 1.6 ポロイダルコイル円筒部の分解修理手順



(4) NBIおよびメカニカルリミタの分解修理

メカニカルリミタの設計はまだ進んでいないので、NBIの構造を基にして考えた。

NBIはFig. 1.2に示されているように既に台車上に据付けられている。駆動台車がNBI台車と連結され、それ以後の移動スケジュールはTable 1.5のブランケット分解修理手順に準じるものとする。但し注意すべきことは、NBI開口部をそのままにして移動せず遮蔽蓋によってふさぐものとする。

(5) 放射線遮蔽壁（真空容器）の分解修理

遮蔽壁についてはほとんど故障しそうもないと考えられる。しかし万一故障が起こりそっくり取替えると仮定した場合は、ブランケット容器、配管類、トロイダルコイル、真空ポンプ類などをすべて外し、それらを新しい遮蔽壁に取付ける作業が必要となる。それらの作業は多くの時間を要するであろうが、特別難しい問題はない。スペアの炉モジュールを用意しておけば時間的な問題は解決される。それよりも、1ケの炉モジュールを新しく製作した方がコスト的に安いかもしれない。

(6) 主真空ポンプ（クライオポンプ）

このコンポーネントの故障に関しては、ほとんど炉を分解せずに修理あるいは部品取替ができるものと考えられる。

1.4.3 分解修理所要時間

Fig. 1.5にブランケットの分解修理を対象として、炉停止から再運転までに要する推定所要日数を示した。²⁾ 1日の労働時間を24時間として概算した。

分解作業の中の冷却管及び電気系統の解除から炉モジュールの移動までを行なうのに11日間を必要とする。組立作業は分解作業と逆の順序で行なうものとするが、組立調整等の問題から分解作業に比較してかなり多くの日数を要するものと考えられる。そこで組立に要する時間は分解に要する時間の1.5倍程度と想定し、組立に要する時間を約15日間と推定した。組立後の検査に要する時間は検査方法等明確ではないが、炉構造の複雑さから約20日位とした。また検査のあと炉の試運転も必要と考え、これを7日間とした。炉を停止し放置する期間は最長の7日間を採用した。

このように、炉の異常発生から炉モジュールの解体、そして炉モジュールスペアの組込みを経²⁾て炉の再運転までに要する期間は約2ヶ月と推定される。

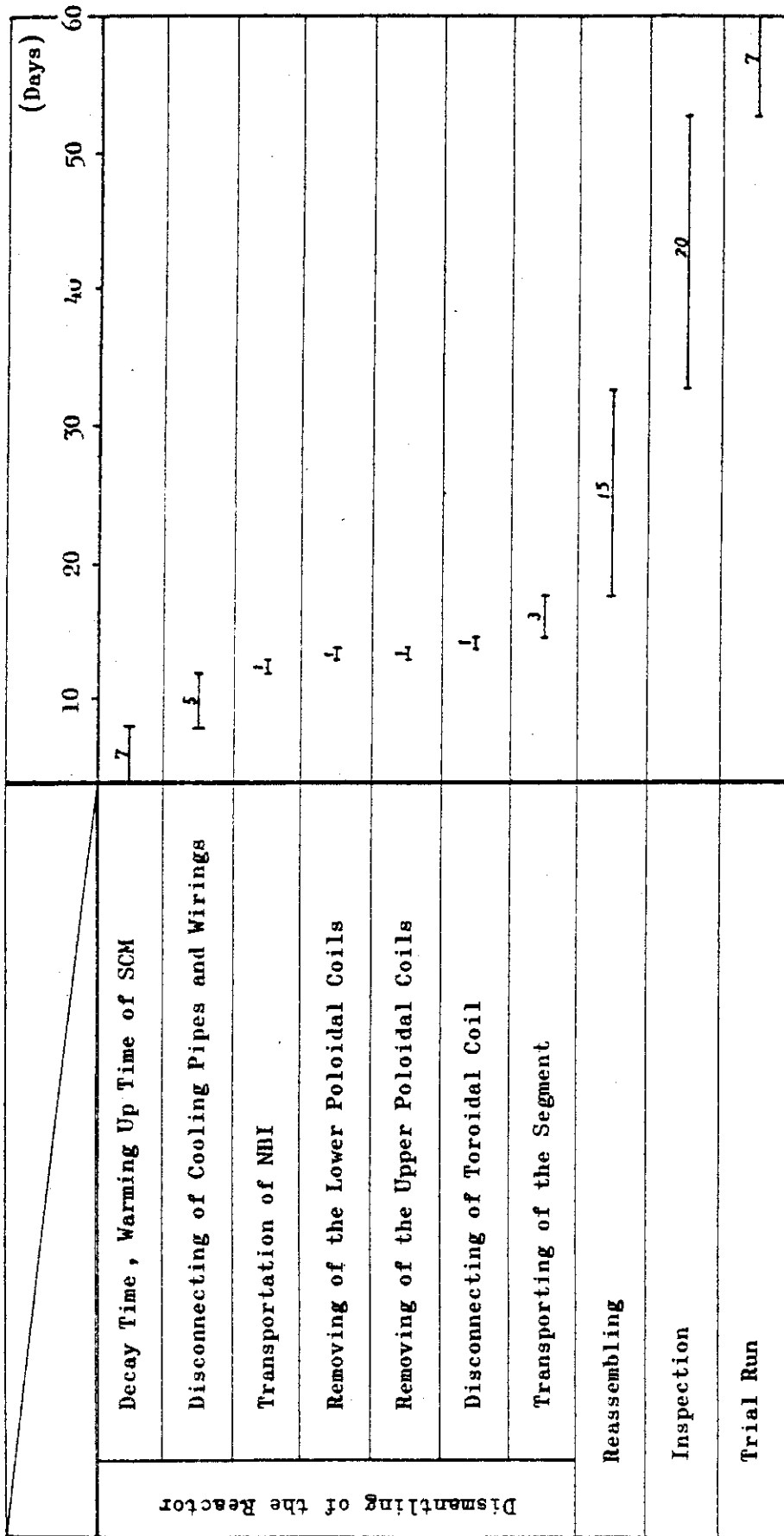


Fig. 1.5 The Time Required from Shut Down to Reoperation of the Reactor

1.5 旋回用台車の再設計

故障した炉モジュールを修理室へ導く場合、旋回台車を利用する方法を採用した。昨年度旋回台車を設計する際に、JAERI-M 7300 を基として行なった。

旋回台車はシールド壁で囲まれた遮蔽室を備えており、その中に炉モジュールを格納して炉室の周りを旋回する。原研では引き出した炉モジュール開口部からの γ 線の漏洩を計算するために、Fig. 1.6 の計算モデルを使った。そしてFig. 1.7 炉モジュール周りの γ 線束分布、Fig. 1.8 炉モジュールの軸方向に沿った線量分布を示した。結論として「Fig. 1.4 から 2.5 mrem/h 以下にするためには、60 cm の重コンクリートで遮蔽すれば良いことがわかる。故障したモジュールの運搬器などには重コンクリート 60 cm 相当の壁厚を考えれば良いであろう。」と述べている¹⁾。

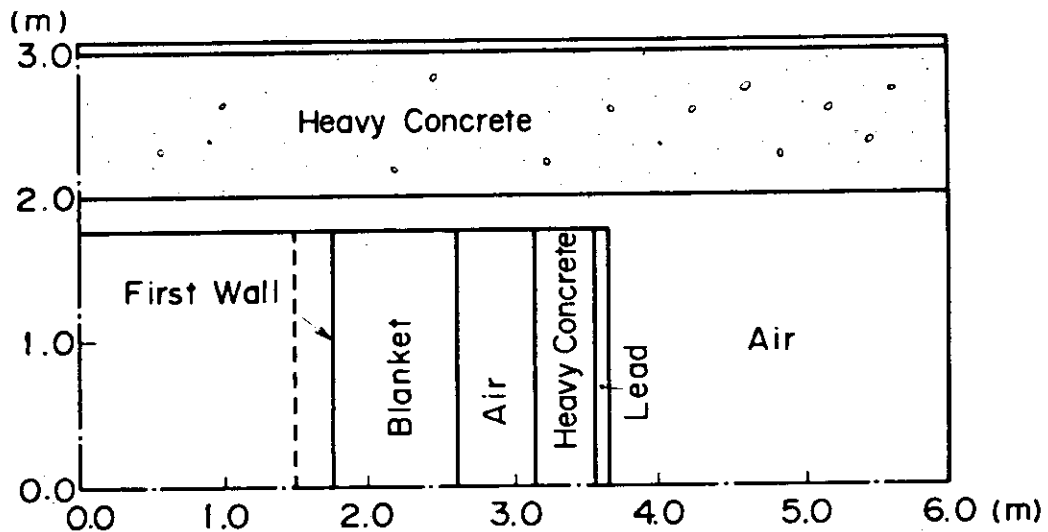


Fig.1.6 Calculational Model of Dose Rate
around an Extracted Module

上記の仕様にそって設計したところ、炉モジュール（NBIを除く）3000 トンを含めて約 16000 トンもの超重量物となった²⁾。これは技術的にはもちろんコスト的にもたいへん厳しい問題を含んでいる。そこで基本的な考え方を変えて、炉モジュール移送時には炉室にあるうちに、その開口部（露出部）をシールド用の蓋でふさぎ γ 線の漏洩がないようにする。そうすれば 30cm（20cm 重コンクリート+10cm ステンレス鋼板）の壁厚で充分であろう。更になるべくコンパクトな構造にすることを目標として旋回台車の設計をやりなおした。

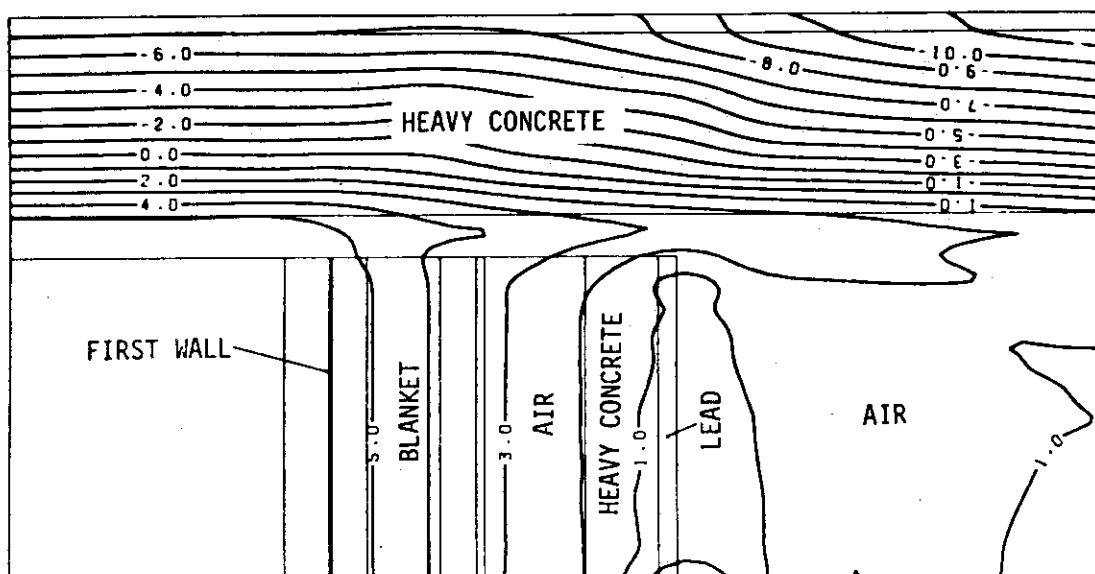


Fig. 1.7 Gamma Ray Flux around an Extracted Reactor Module. (see Fig. 4.4.3)

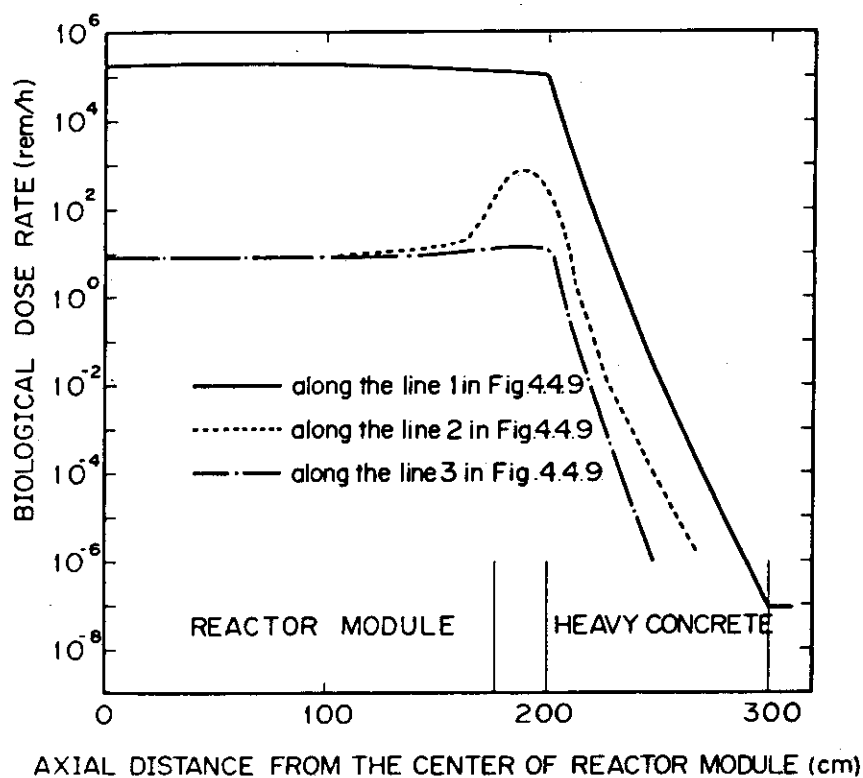


Fig. 1.8 The biological dose rate distribution in a module and heavy concrete.

(1) 遮蔽室の検討

前報告書 (JAERI-M 7825) において、遮蔽室の形状は

内部寸法：10m (幅) × 19m (長さ) × 26m (高さ)

であったが、再検討した結果

内部寸法：10m (幅) × 18m (長さ) × 22m (高さ)

とする。

壁厚を60 cm (40 cm 重コンクリート + 20 cm Steel) から 30 cm (20 cm 重コンクリート + 10 cm Steel) に変更した。そのため、遮蔽室重量は 3900 トンになった。昨年設計では 10300 トンであった。

(2) 車輪方式による旋回台車

(i) 台車重量の算定

遮蔽室と炉モジュールの重量を受ける台車フレームの構造、寸法及び重量は、昨年設計通りである。

重量は約 1800 トンである。

(ii) 車輪の形状

遮蔽室の重さが半減したので、車輪 (直径 2 m, 幅 0.5 m) を 80 個から 40 個に変更する。車輪重量は半分になるので 500 トンとなる。

したがって、車輪が受ける総荷重は次のようになる。

遮蔽室	3900
炉モジュール	3100
台車フレーム	1800
車輪	500
計	9300 (トン)

昨年設計では、16100 トンであった。

ヘルツの面圧を P_{\max} とすると

$$P_{\max} = 0.59 \sqrt{\frac{P' E}{d}}$$

P' : 車輪の単位長さ当りの平均荷重

E : ヤング率

d : 車輪の直径

$$\therefore P_{\max} = 0.59 \sqrt{\frac{9.3 \times 10^6 \times 2.1 \times 10^6}{2 \times 0.5 \times 40 \times 10^4}} \times 10^{-2}$$

$$= 41.2 \text{ kg/mm}^2$$

車輪材料としては、YUS304N (許容面圧 59.1 kg/mm²) 相当品を用いる。

(iii) 軸受の形状

軸受の面圧を計算し直すと

$$P = \frac{Q}{d \times 2b}$$

$$= \frac{9.3 \times 10^6 / 40}{50 \times 2 \times 27.5}$$

$$= 85 \text{ kg/cm}^2$$

(軸 径 : 500mm
軸受巾 : 275mm)

したがって軸受材料としては、黄銅程度の通常の軸受で充分である。但し潤滑油は使用できないので、軸受表面にMoS₂ 又はWS₂ の固体潤滑油膜をコーティングして焼付防止をする。

(iv) 旋回台車駆動装置

遮蔽室の重さが半減したので、旋回台車の駆動装置の各パーツに設計変更が生じる。モータ馬力が小さく、ギヤの歯巾が狭く、軸径が細くてすむ。

(a) 駆動機構

駆動機構 (Fig. 1.9, Fig. 1.10) そのものには変更はない。したがって昨年設計同様に、旋回軌道半周を約1時間で移動できる。

(外周)

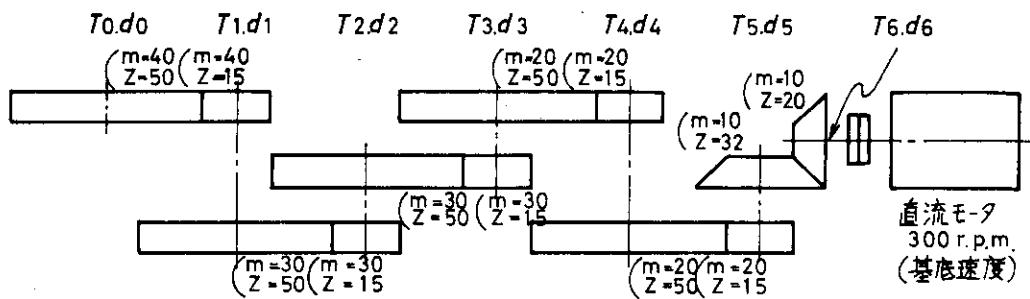


Fig. 1.9 外周駆動機構

(内周)

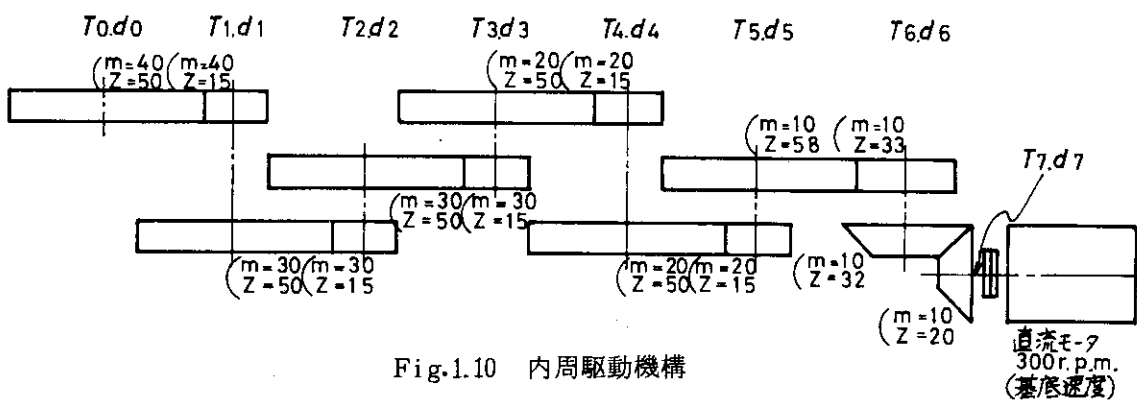


Fig.1.10 内周駆動機構

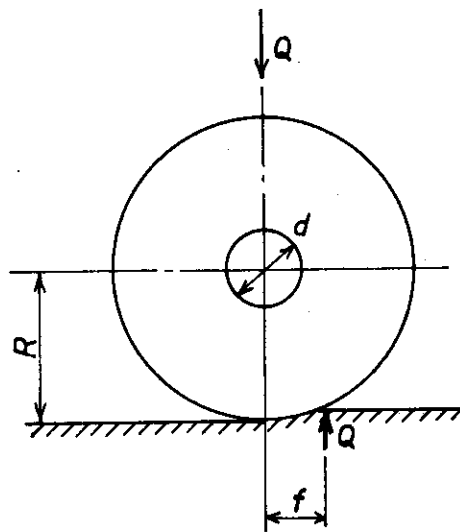


Fig. 1.11 車輪概略図

(b) 走行抵抗

車輪の走行抵抗は次式で与えられる。

$$W_r = \frac{Q}{R} \left(\mu \cdot \frac{d}{2} + f \right)$$

Q : 軸重 (kg)

R : 車輪半径 (cm)

d : 軸受部車軸の直径 (cm)

μ : 車軸周上の摩擦抵抗

(すべり摩擦 : 動→0.1 静→0.2)

$$f = 1.522 \sqrt{\frac{Q \cdot R}{E \cdot B}}$$

$$= 1.522 \sqrt{\frac{9.3 \times 10^6 \times 10^2}{2.1 \times 10^6 \times 50 \times 40}}$$

$$= 0.72 \quad (E: \text{ヤング率} \quad B: \text{車輪巾})$$

起動時

$$W_{r1} = \frac{9.3 \times 10^6}{100} \left(0.2 \times \frac{50}{2} + 0.72 \right)$$

$$= 532 \times 10^3 \text{ kg}$$

走行時

$$W_{r_2} = \frac{9.3 \times 10^6}{100} \left(0.1 \times \frac{50}{2} + 0.72 \right)$$

$$= 299 \times 10^3 \text{ kg}$$

昨年の設計では、 $W_{r_1} = 924$ (トン)、 $W_{r_2} = 517$ (トン)であった。

(c) モータ所要馬力

前設計と同様の方法により、各軸に働くトルク、接線力、及び軸径を求める。但しT、Pは走行時、T'、P'は起動時のものであり、軸径dは起動時のトルクより求めた値である。

外周

(T) (P) (d)

Table 1.7 外周駆動装置歯車のトルク、接線力、軸径

記号	T (t·m)	$P_{(t)} \frac{\text{小歯車}}{\text{大歯車}}$	T' (t·m)	$P'_{(t)} \frac{\text{小歯車}}{\text{大歯車}}$	d (mm)
0	7480	—	13300	—	410
		74.8		1330.	
1	2361	78.7	4200	140.0	280
		31.5		56.0	
2	746	33.1	1326	58.9	190
		9.9		17.7	
3	237	10.5	420	18.7	130
		4.7		8.4	
4	0.75	5.0	1.32	8.8	90
		1.5		2.7	
5	0.25	1.5	0.44	2.8	65
		1.6		3.0	
6	0.17	1.7	0.32	3.2	60
		—		—	

内周

Table 1.8 内周駆動装置歯車のトルク, 接線力, 軸径

記号	T (t·m)	P(t) $\frac{\text{小歯車}}{\text{大歯車}}$	T' (t·m)	P'(t) $\frac{\text{小歯車}}{\text{大歯車}}$	d (mm)
0	74.80	—	133.00	—	410
		74.8		133.0	
1	23.61	78.7	42.00	140.0	280
		31.5		56.0	
2	7.46	33.1	13.26	58.9	190
		9.9		17.7	
3	2.37	10.5	4.20	18.7	130
		4.7		8.4	
4	0.75	5.0	1.32	8.8	90
		1.5		2.7	
5	0.23	1.5	0.42	2.8	65
		0.8		1.4	
6	0.14	0.9	0.14	1.5	45
		0.9		1.5	
7	0.09	0.9	0.16	1.6	45
		—		—	

モータ所要馬力を求めると

$$\text{外周} \quad H = \frac{T \cdot N}{974} = \frac{0.17 \times 10^3 \times 300}{974} = 52.4 \text{ kW}$$

$$\text{内周} \quad H = \frac{0.09 \times 10^3 \times 300}{974} = 27.7 \text{ kW}$$

従って, 外周 55 kW, 内周 37 kW の直流モータを選定する。

(d) 歯車の強度

使用頻度が非常に少ないので曲げ強度のみを考慮する。各歯車の仕様は, Lewis の式によって定めた。歯幅, 伝達可能接線力に変更がある。

外 周

Table 1.9 外周駆動装置歯車の仕様

記号	モジュール小歯車		歯 数 Z	ピッチ円直径 D (mm)	歯 巾 b (mm)	接 線 力 P' (t)	伝達可能接線力 P' (t)
	M	大歯車					
0	—	—	—	—	—	—	—
	40	50	2000	350	133.0	211.6	
1	40	15	600	350	140.0	149.7	
	30	50	1500	200	56.0	90.7	
2	30	15	450	200	58.9	64.2	
	30	50	1500	65	17.7	29.5	
3	30	15	450	65	18.7	20.9	
	20	50	1000	45	8.4	13.6	
4	20	15	300	45	8.8	9.6	
	20	50	1000	30	2.7	9.1	
5	20	15	300	30	2.8	6.4	
	10	32	320	40	3.0	5.4	
6	10	20	200	40	3.2	4.7	
	—	—	—	—	—	—	

内 周

Table 1.10 内周駆動装置歯車の仕様

記号	モジュール小歯車		歯 数 Z	ピッチ円直径 D (mm)	歯 巾 b (mm)	接 線 力 P' (t)	伝達可能接線力 P' (t)
	M	大歯車					
0	—	—	—	—	—	—	—
	40	50	2000	350	133.0	211.6	
1	40	15	600	350	140.0	149.7	
	30	50	1500	200	56.0	90.7	
2	30	15	450	200	58.9	64.2	
	30	50	1500	65	17.7	29.5	
3	30	15	450	65	18.7	20.9	
	20	50	1000	45	8.4	13.6	
4	20	15	300	45	8.8	9.6	
	20	50	1000	30	2.7	9.1	
5	20	15	300	30	2.8	6.4	
	10	58	580	30	1.4	4.7	
6	10	33	330	30	1.5	4.1	
	10	32	320	30	1.5	4.0	
7	10	20	200	30	1.6	3.6	
	—	—	—	—	—	—	

(V) 遮蔽室の移動装置

遮蔽室が軽くなったのに伴い設計変更がある。モータ馬力が小さく、ギヤの歯巾が狭く、軽径が細くてすむ。

(a) 移動装置の機構

移動装置の機構 (Fig. 1.12) そのものには変更はない。

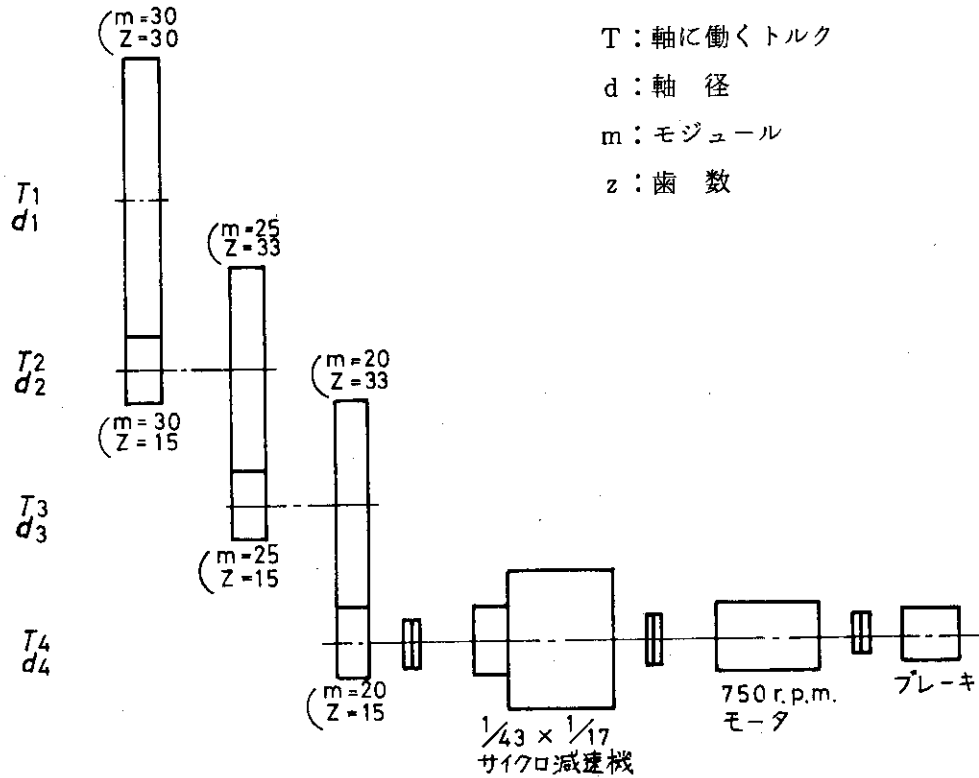


Fig. 1.12 遮蔽室移動装置の機構

(b) ころの形状

ころの外径を500mmから400mmに変える。

$$\phi 400 \times 5000^l \times 21 \text{ 本}$$

ころの重量は約100トンになる。

したがって、ころ全体が支える荷重は次のようになる。

遮蔽室	3900
炉モジュール	3100
ころ	100
合計	7100 (トン)

ヘルツの面圧は

$$P_{\max} = 0.59 \sqrt{\frac{P'E}{d}}$$

$$= 0.59 \sqrt{\frac{7.1 \times 10^6 \times 2.1 \times 10^4}{400 \times 5000 \times 21}}$$

$$= 35.2 \text{ kg/mm}^2$$

ころの材料としては、YUS304N(許容面圧 59.1 kg/mm²)相当品を使用する。

(c) 走行抵抗

ころのころがり抵抗は

$$W_r = \frac{Q}{2R} \times 2f$$

$$= \frac{7.1 \times 10^6}{2 \times 20} \times 2 \times 0.12$$

$$= 42.6 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$\left(\begin{array}{l} Q: \text{軸重 (kg)} \\ R: \text{ころの半径 (cm)} \\ f: 1.522 \sqrt{\frac{Q \cdot R}{E \cdot D}} = 0.12 \\ D: \text{ころの長さ} \end{array} \right)$$

となる。昨年度の設計では、106トンであった。

(d) モータ所要馬力及び歯車の強度

歯車のトルク、接線力及び軸径をTable 1.11に、仕様をTable 1.12に示す。

Table 1.11 移動装置歯車のトルク、接線力、軸径

記号	T (t·m)	P(t) <small>小歯車 大歯車</small>	d (mm)
1	9.59	21.3	170
2	5.04	22.4 12.2	140
3	2.42	12.9 7.3	110
4	1.16	7.7	85

Table 1.12 歯車の仕様

記号	モジュール <small>小歯車 大歯車</small>	歯巾 b (mm)	歯数 Z	ピッチ円直径 D (mm)	接線力 P (t)	伝達可能接線力 P' (t)
1	30	90	30	900	21.3	35.8
2	30 25	90 60	15 33	450 825	22.4 12.2	28.9 20.4
3	25 20	60 40	15 33	375 660	12.9 7.3	16.0 10.9
4	20	40	15	300	7.7	8.6

モータ所要トルクは次のようになる。

$$T = 1160 \times \frac{1}{43} \times \frac{1}{17} \times \frac{1}{0.75} = 2.12 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

所要モータ馬力は次のようになる。

$$H = \frac{2.12 \times 750}{974} = 1.63 \text{ kW}$$

したがって2.2kWのモータを選定する。

(V) ジャッキ

これは昨年度的设计通りのものを使用する。

(3) エアーベアリング方式による旋回台車

この方式についても遮蔽室重量が半減したことにより設計変更がある。

(i) エアーベアリングの選定

エアーベアリングを80ヶから40ヶに変更する。仕様については変更はなく、市販品の最大能力のものを使う。Fig. 1.13 に概略図と仕様を示す。

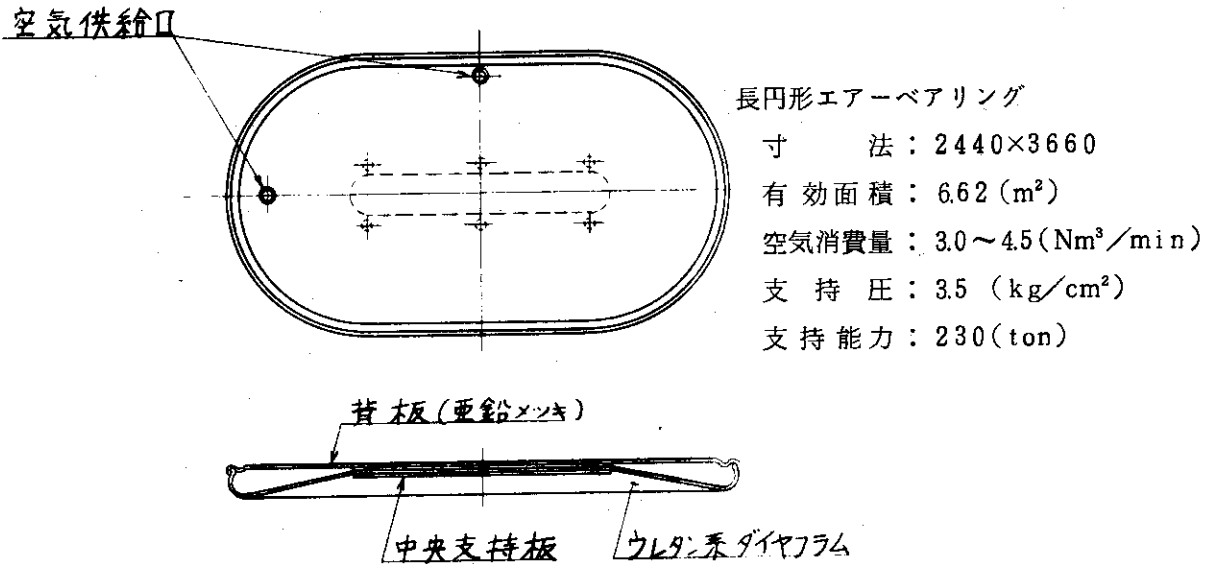


Fig. 1.13 長円形エアーベアリング

エアーベアリングの能力は、 $230 \times 40 = 9200$ (トン) となる。

台車のフレーム構造は150mmと100mmのSUS板を用い、その重量は2100トンとなる。

したがって、エアーベアリングが支持しなければならない重量は

遮蔽室	3900	(昨年の設計では ∴ 17500トンであった。)
炉モジュール	3100	
台車フレーム	2100	
合計	9100 (トン)	

となり、40ヶのエアーベアリング能力(9200トン)で充分支持できる。

空気消費量は、 $4.5 \times 40 = 180 \text{ Nm}^3 / \text{min}$ 。

4 台の空気圧縮機を使用すると、 $180 \div 4 = 45 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 。

したがって次のような仕様を持つ空気圧縮機を用いる。

- 定格容量 : $62 \text{ m}^3/\text{min}$ 。
- 馬力 : 336 kW
- 寸法 : $3510^L \times 1420^W \times 1650^H$
- 重量 : 5 トン

(参考 ; 日本インガースルランド(株) モデル CENTAC 21)

エア-ベアリングの数が40ケにもなると、故障した時の修理が難しいと考えられるが、修理時には円周方向にエア-ベアリングを1列ずつ引抜き適当な処置の後元通り差込むという方法を取る。

(ii) 駆動装置

大巾に装置の機構が変わる。車輪の数が半分ですむ。また全体の重量が軽くなった一方、モータ馬力をあげることにより、旋回軌道半周を3時間から1時間で回れるような機構に改善する。

(a) 機構

Fig. 1.14 のような駆動装置を内周側36m半径へ2台、外周側55m半径へ2台、合計4台を装備する。この駆動装置によれば、車輪方式による旋回台車と同様、旋回軌道半周を約1時間で旋回することができる。

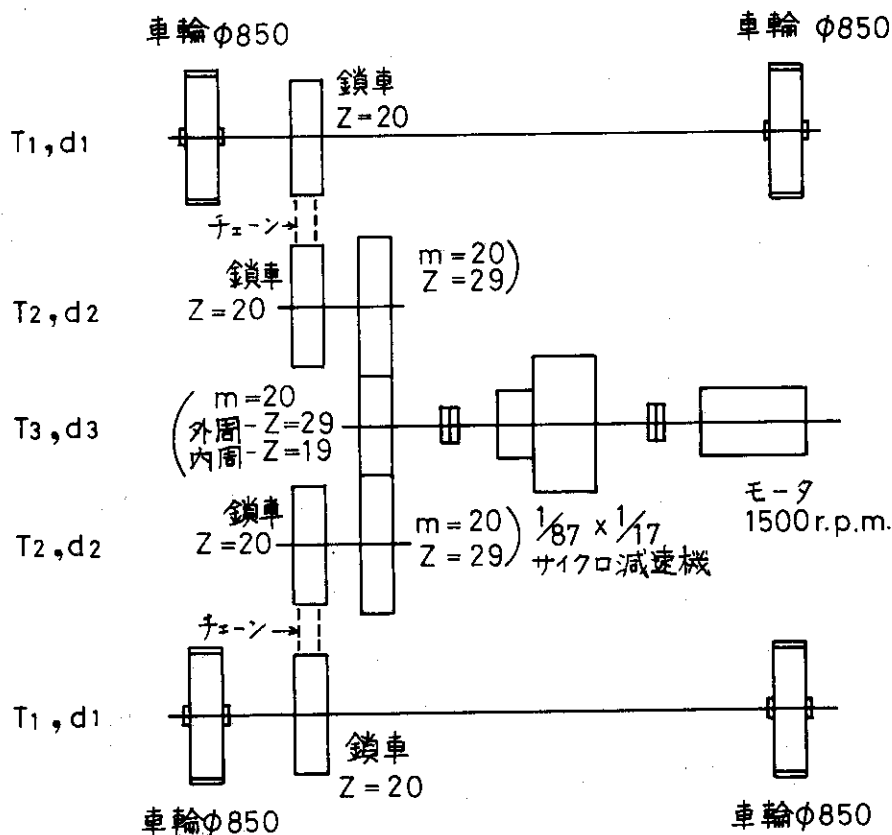


Fig. 1.14 駆動装置機構

(b) 車輪の形状

エアベアリングの走行抵抗 F_1 と駆動台車の走行抵抗 F_2 の和から必要な駆動力が求まる。

床面とエアベアリングの摩擦係数 μ は

$$\mu = 5 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-3}$$

程度とみられるから、 F_1 は

$$F_1 \geq 9.1 \times 10^6 \times 4 \times 10^{-3} = 36.4 \times 10^3 \text{ kg}$$

となる。

駆動台車の車輪に、Fig. 1.15 に示すようなウレタン系ゴムを使用すれば、ウレタン系ゴムの摩擦係数 $\mu = 0.4$ とすると、駆動台車 1 台当りの重量は

$$W = \frac{F_1}{0.4 \times 4} = 22.8 \times 10^3 \text{ kg}$$

以上あれば良いことになる。

ローラ形状ウレタン系ゴムでは、挽み率 5% で、単位軸長当り $200 \text{ kg/cm} \sim 300 \text{ kg/cm}$ の負荷が許容できる。

Fig. 1.15 のような車輪を使用すると

$$\frac{22.8 \times 10^3}{30} = 760 \text{ kg/cm}$$

となり、車輪の個数は

$$n > \frac{760}{200} = 3.8$$

したがってこの車輪を 4 個使用する。

駆動台車の走行抵抗 F_2 は、ころがり抵抗 $\mu = 0.01$ とすると

$$F_2 = 22.8 \times 10^3 \times 0.01 = 228 \text{ kg}$$

したがって駆動台車 1 台が受ける走行抵抗 F は、

$$\begin{aligned} F &= \frac{F_1}{4} + F_2 \\ &= \frac{36.4 \times 10^3}{4} + 228 \\ &= 9.3 \times 10^3 \text{ kg} \end{aligned}$$

となる。

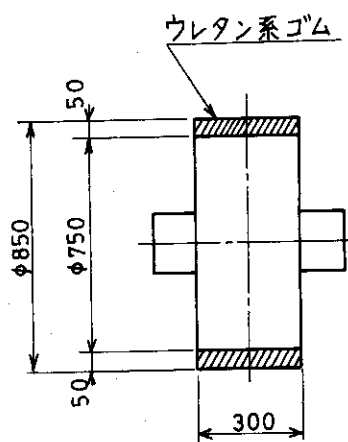


Fig. 1.15 車輪寸法

また、車輪の軸径をねじり強さとねじりこわさの面から計算すると、

◎ねじり強さ；

$$d_{01} = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi\tau}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{16 \times 2.0 \times 10^5}{\pi \times 500}}$$

$$= 12.7 \text{ (cm)}$$

$$\left(\begin{array}{l} T: \text{ねじりモーメント} \\ \frac{9.3}{2} \times 0.425 = 2.0 \text{ (t}\cdot\text{m)} \\ \tau: \text{ねじり応力 } 500 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \end{array} \right)$$

◎ねじりこわさ；

$$d_{02} = \sqrt[4]{\frac{32T}{\pi G \theta/l}}$$

$$= \sqrt[4]{\frac{32 \times 2.0 \times 10^5}{\pi \times 8.3 \times 10^5 \times 4.4 \times 10^{-3}}}$$

$$= 4.9 \text{ (cm)}$$

$$\left(\begin{array}{l} G: \text{横剪断弾性係数} \\ 8.3 \times 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ \theta/l: \text{単位長さ当りのねじれ角} \\ \text{普通 } 4.4 \times 10^{-3} \text{ (rad)} \end{array} \right)$$

となる。したがって車輪軸径は、ねじり強さの面から $\phi 130\text{mm}$ とする。

(c) チェーン及び鎖車

ここで用いるチェーンは使用頻度が少ないので、破断強度に対し安全率5で選定する。

チェーン番号200(JIS規格)を使用すると

破断強度 35400 (kg)

鎖車ピッチ円直径 405.92 (mm)

したがって、このチェーンが使用できるトルクは次のようになる。

$$T = \frac{1}{5} \times 35.4 \times 10^3 \times \frac{0.40592}{2}$$

$$= 1.44 \times 10^3 \text{ (kg}\cdot\text{m)}$$

実際に必要なトルクは $2.1 \times 10^3 \text{ (kg}\cdot\text{m)}$ であるから、

$$n > \frac{2.1 \times 10^3}{1.44 \times 10^3} = 1.5$$

となり、チェーンの列数を2とする。

したがって、チェーン及び鎖車の仕様はTable 1.13のようになる。

型式； ローラチェーン呼び番号200

列数； 2

Table 1.13 鎖車仕様

	ピッチ (mm)	ピッチ円直 径 (mm)	歯 数	外 径 (mm)
鎖 車	63.50	405.92	20	439

(d) 歯車及びモータ所要馬力

歯車にかかるトルクは

$$\begin{aligned}
 T_2 &= T_1 \times \frac{20}{20} \times \frac{1}{\eta} \\
 &= 2.0 \times 10^3 \times \frac{20}{20} \times \frac{1}{0.95} \quad (\eta : \text{効率 } 95\%) \\
 &= 2.1 \times 10^3 \quad (\text{kg} \cdot \text{m})
 \end{aligned}$$

外周

$$\begin{aligned}
 T_3 &= 2 \times 2.1 \times 10^3 \times \frac{1}{0.95} \\
 &= 4.4 \times 10^3 \quad (\text{kg} \cdot \text{m})
 \end{aligned}$$

内周

$$\begin{aligned}
 T_3 &= 2 \times 2.1 \times \frac{19}{29} \times \frac{1}{0.95} \times 10^3 \\
 &= 2.9 \times 10^3 \quad (\text{kg} \cdot \text{m})
 \end{aligned}$$

Lewisの式により歯車の各仕様を以下のようにまとめた。

外周 Table 1.14 外周駆動装置歯車のトルク, 接線力, 軸径

記号	T (t·m)	P(t)	d (mm)
2	2.1	7.2	110
3	4.4	15.2	135

内周 Table 1.15 内周駆動装置歯車のトルク, 接線力, 軸径

記号	T (t·m)	P(t)	d (mm)
2	2.1	7.2	110
3	2.9	15.2	120

外周 Table 1.16 外周駆動装置歯車の仕様

記号	モジュール M	歯巾 b(mm)	歯数 Z	ピッチ円直径 D(mm)	接線力 P(t)	伝達可能接線力 P'(t)
2	20	70	29	580	7.2	18.4
3	20	70	29	580	15.2	18.4

内周 Table 1.17 内周駆動装置歯身の仕様

記号	モジュール M	歯巾 b(mm)	歯数 Z	ピッチ円直径 D(mm)	接線力 P(t)	伝達可能接線力 P'(t)
2	20	70	29	580	7.2	18.4
3	20	70	19	380	15.2	16.3

モータ所要トルクは

$$\text{外周} \quad T = 4400 \times \frac{1}{87} \times \frac{1}{17} \times \frac{1}{0.75} = 3.97 \quad (\text{kg} \cdot \text{m})$$

$$\text{内周} \quad T = 2900 \times \frac{1}{87} \times \frac{1}{17} \times \frac{1}{0.75} = 2.61 \quad (\text{kg} \cdot \text{m})$$

所要モータ馬力は

$$\text{外周} \quad H = \frac{3.97 \times 1500}{974} = 6.1 \quad (\text{kW})$$

$$\text{内周} \quad H = \frac{2.61 \times 1500}{974} = 4.0 \quad (\text{kW})$$

したがって外周は 7.5 kW, 内周は 5.5 kW のモータを選定する。

(iii) その他

(a) 遮蔽室の移動装置及びジャッキ

両方共、遮蔽室と炉モジュールの仕様が車輪方式による旋回台車の場合と全く同じなので、同一のものを使う。

(b) 床面の検討

これは昨年度的设计と同じであり、「金ゴテ仕上げのコンクリート仕上げ」以上の精度、また床面の傾斜については 2/1000 ~ 5/1000 程度と考えている。

地耐力に関しては、エア-ベアリングのダイヤフラム内の空気圧が 3.5 kg/cm² であるから 35 t/m² の分布荷重がかかるが、エア-ベアリングの有効面積の台車底面積の占める割合が 50% 程度なので、長期許容地耐力としては 20 ~ 25 t/m² 程度が必要と考えられる。

(4) まとめ

旋回台車として、車輪方式とエア-ベアリング方式の2方式の再設計を行なった。

Fig. 1.16 「車輪方式の旋回台車」

Fig. 1.17 「外周の旋回台車駆動装置」

Fig. 1.18 「遮蔽室移動装置」

Fig. 1.19 「ジャッキ」

Fig. 1.20 「エア-ベアリング方式の旋回台車」

Fig. 1.21 「エア-ベアリング方式の旋回台車駆動装置」

両者の比較を、超重量物の移動実績、装置の規模、信頼性と保守、建屋に対する影響について検討し直したが、今回の設計によってエア-ベアリング方式の欠点がだいぶ改善されたのでエア-ベアリング方式の方が有利と考えられる。

(i) 超重量物の移動実績

車輪方式に関する近似の方法としてボールベアリングを使用した船の進水用駆動台車がある。既に30000トン程度の船体を移動させる方法が実用化されている。

移動重量 : 25000~30000トン

移動物床面積 : 800~1000 m²

重量支持法 : φ90mmの球を移動物と床面の間に敷く。

重量と床面積との割合が旋回台車に近い仕様であり、車輪方式による旋回台車は有望である。

一方エア-ベアリング方式では、米国ハワイスタジアムで6000~7000トンの観客席をスタジアムの用途に応じて移動配置替えを行なう設備として使用されており、我が国でも圧力容器などの構造物の移動用に600トン程度の重量物を90mぐらい移動させる装置に使用されている。今回の旋回台車の重量は、ハワイスタジアムの実績の5割増しぐらいであるから技術的には可能であろう。

(ii) 装置の規模

昨年度の設計に比べエア-ベアリング方式では、床面積が約半分になり台車重量ではむしろわずかに軽くなった。そして旋回時間も同じになり、装置の規模に関して現状では、両方式の総合的な優劣はつけ難い。

Table 1.18 装置の規模

	車輪方式	エア-ベアリング方式
床面積	22m×22m	24m×22m
台車重量	2300トン	2100トン
駆動力	160kW(TOTAL)	20kW(TOTAL) (336kW 圧縮機)
駆動方式	ラック・ピニオン	牽引車
旋回時間	1時間(半周)	1時間(半周)

(iii) 信頼性と保守

これについては、昨年度の検討と同じである。

(iv) 建屋に対する影響

Table 1.19 に両方式の比較を示す。

ピット深さについては、エア-ベアリング方式が5.5 mから4.5 mに変わり、更に有利になる。また、地耐力については車輪方式が 24 t/m^2 から 19 t/m^2 に変わったのではほぼ同程度となった。軌道床面の精度については、車輪方式はレール面のみの平坦度に注意すれば良く、エア-ベアリング方式の全床面の平坦度を出すのに比較すれば容易であると考えられる。

Table 1.19 建屋に対する影響

	車輪方式	エア-ベアリング方式
ピット深さ	6.5 m	4.5 m
地耐力	19 t/m^2	17 t/m^2
軌道精度	レール面	全床面

参考文献

- 1) 炉設計研究室 : 「核融合実験炉第一次予備設計」,
JAERI-M 7300, (1977年9月).
- 2) 田島 豊, 山野内和樹, 水口忠良, 豊田英二郎, 迫 淳 :
「核融合実験炉分解修理の設計研究」
JAERI-M 7825, (1978年10月)

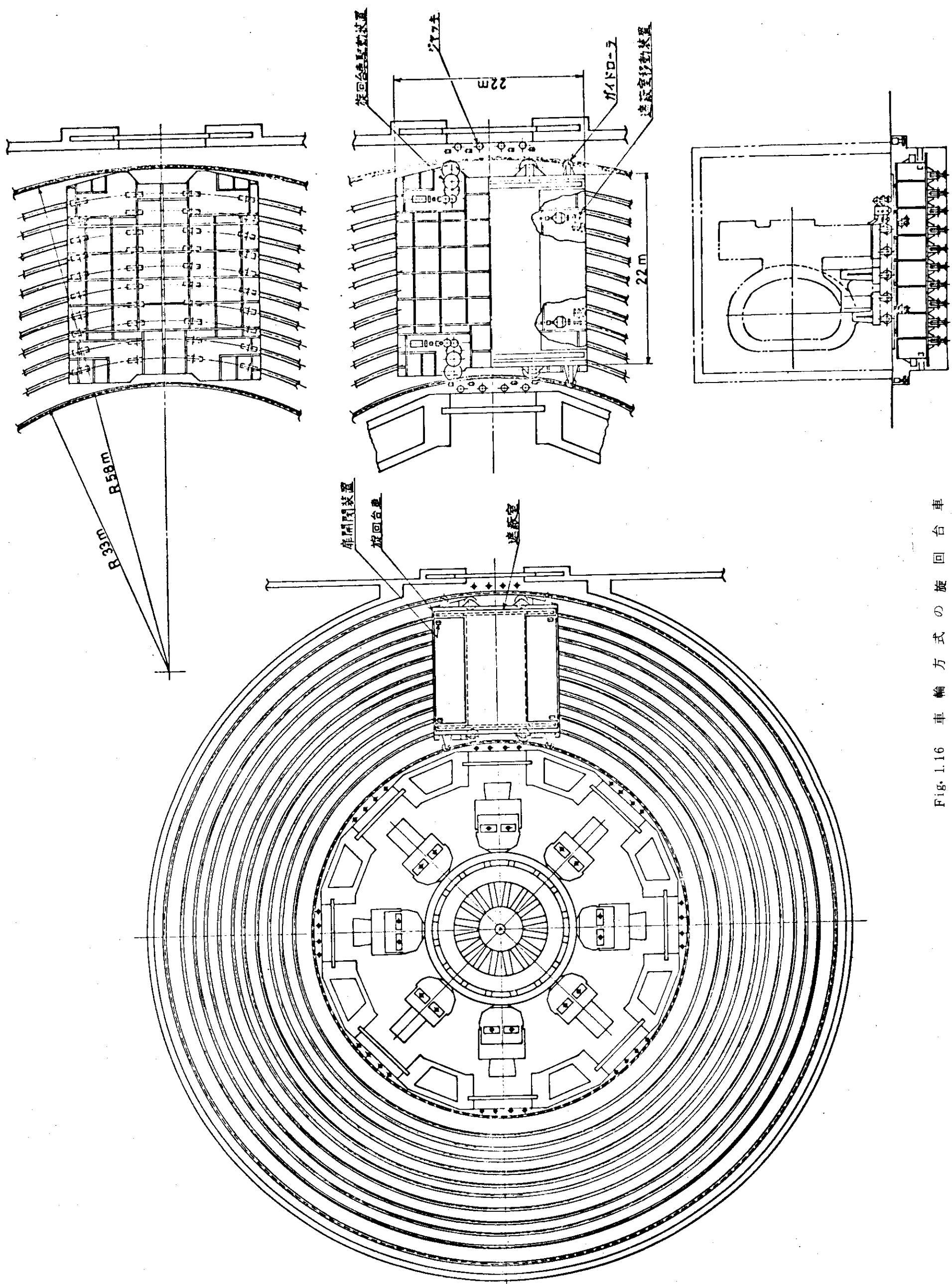


Fig. 1.16 車輪方式の旋回台車

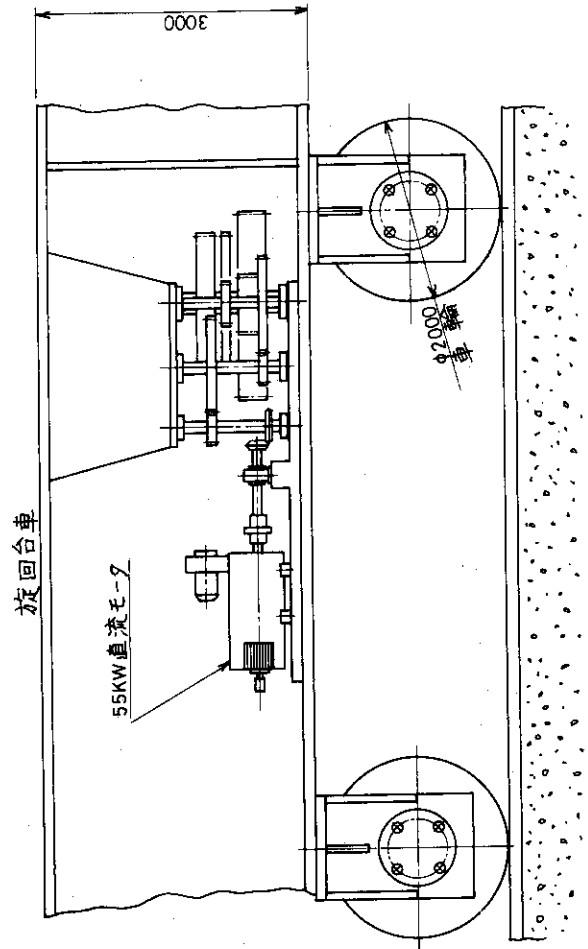
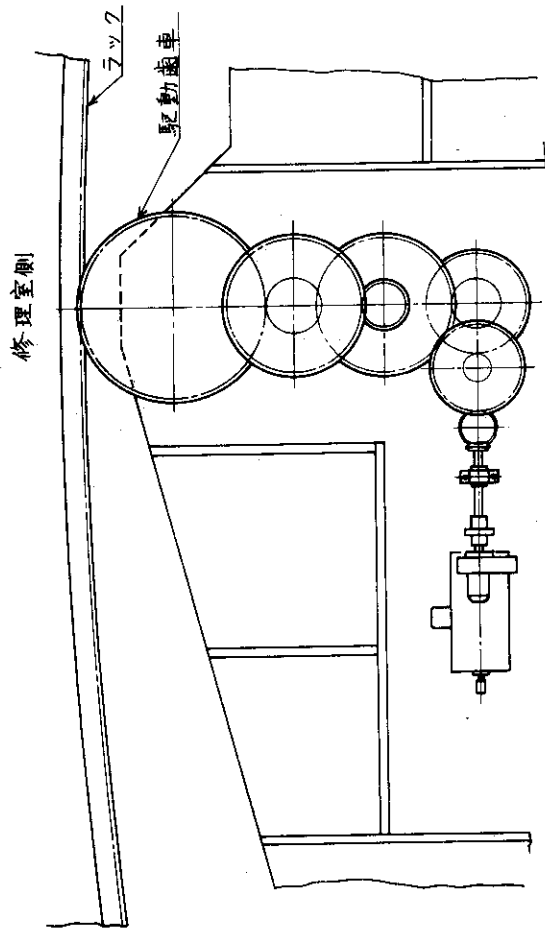
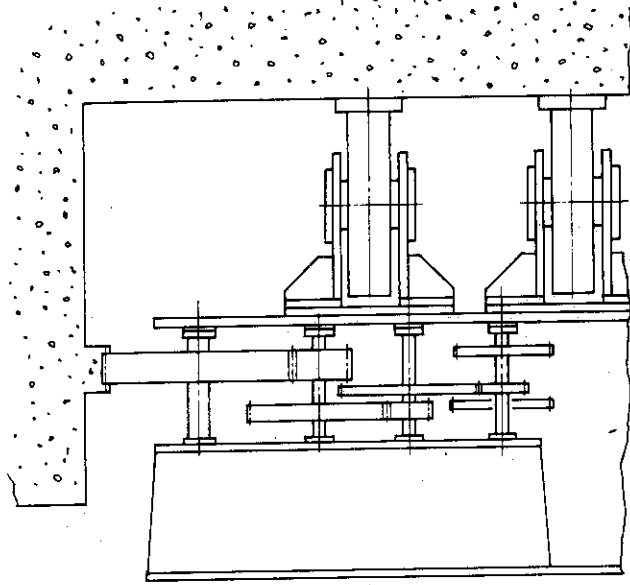


Fig. 1.17 外周の旋回台車駆動装置

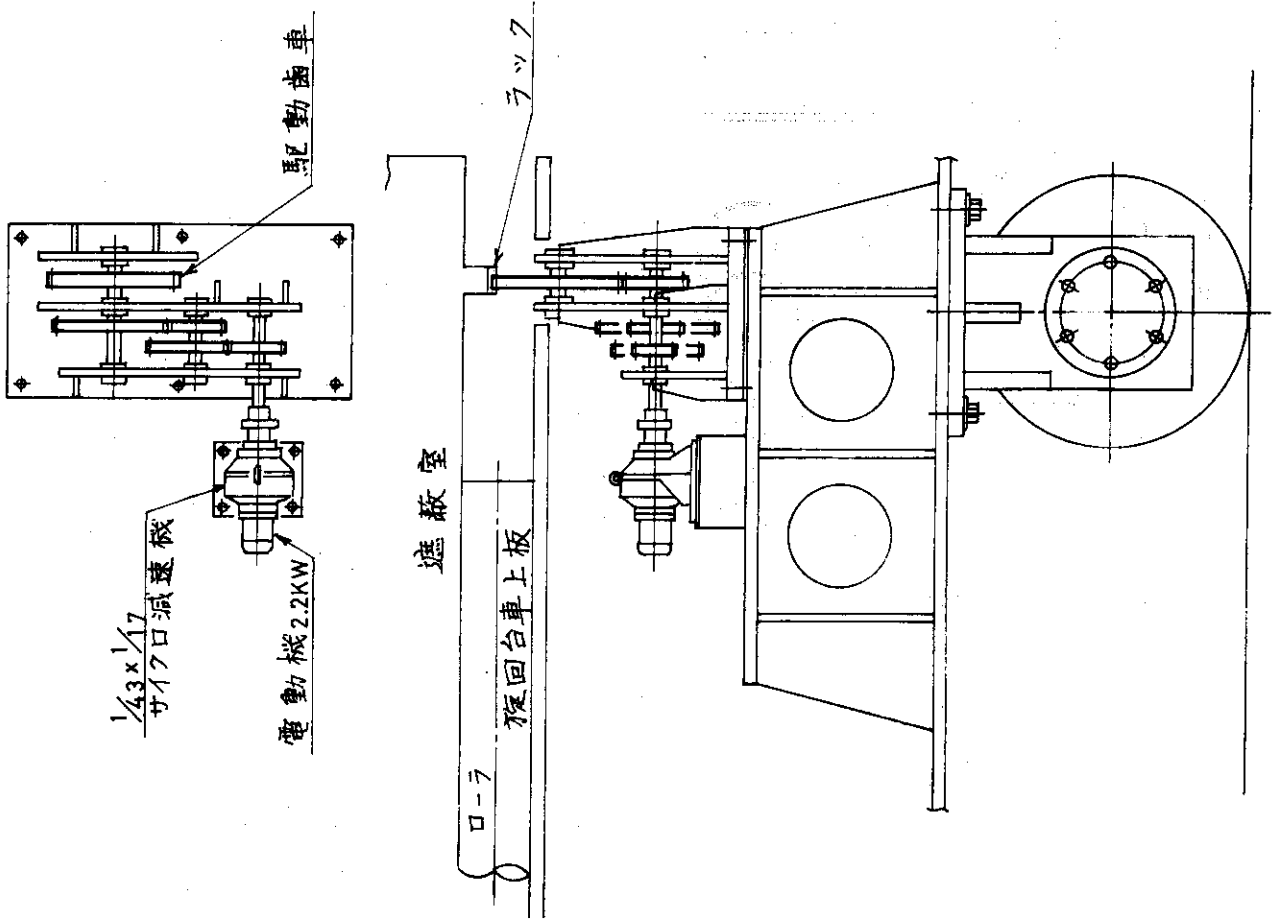


Fig. 1.18 遮蔽室移動装置

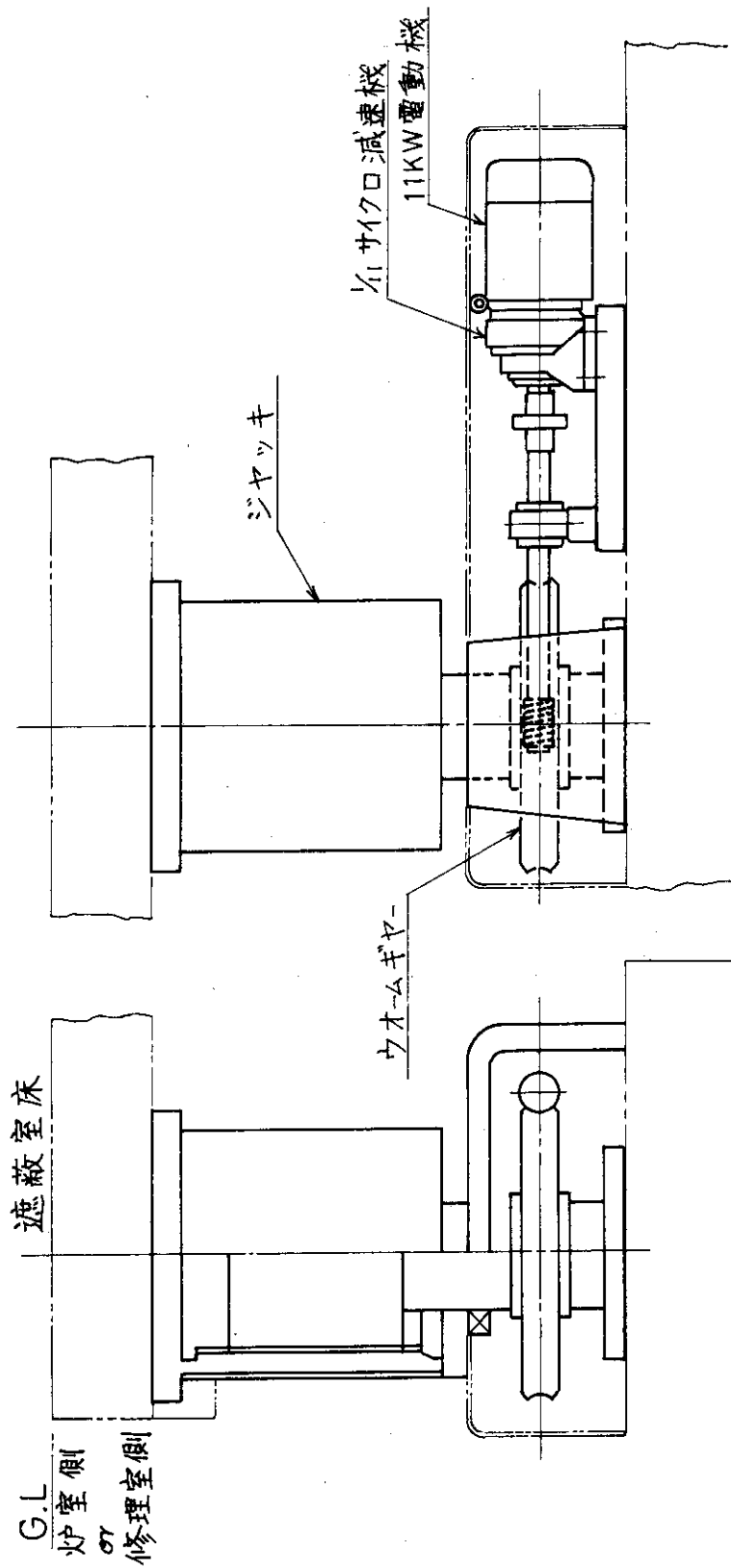


Fig. 1.19 ジヤッキ

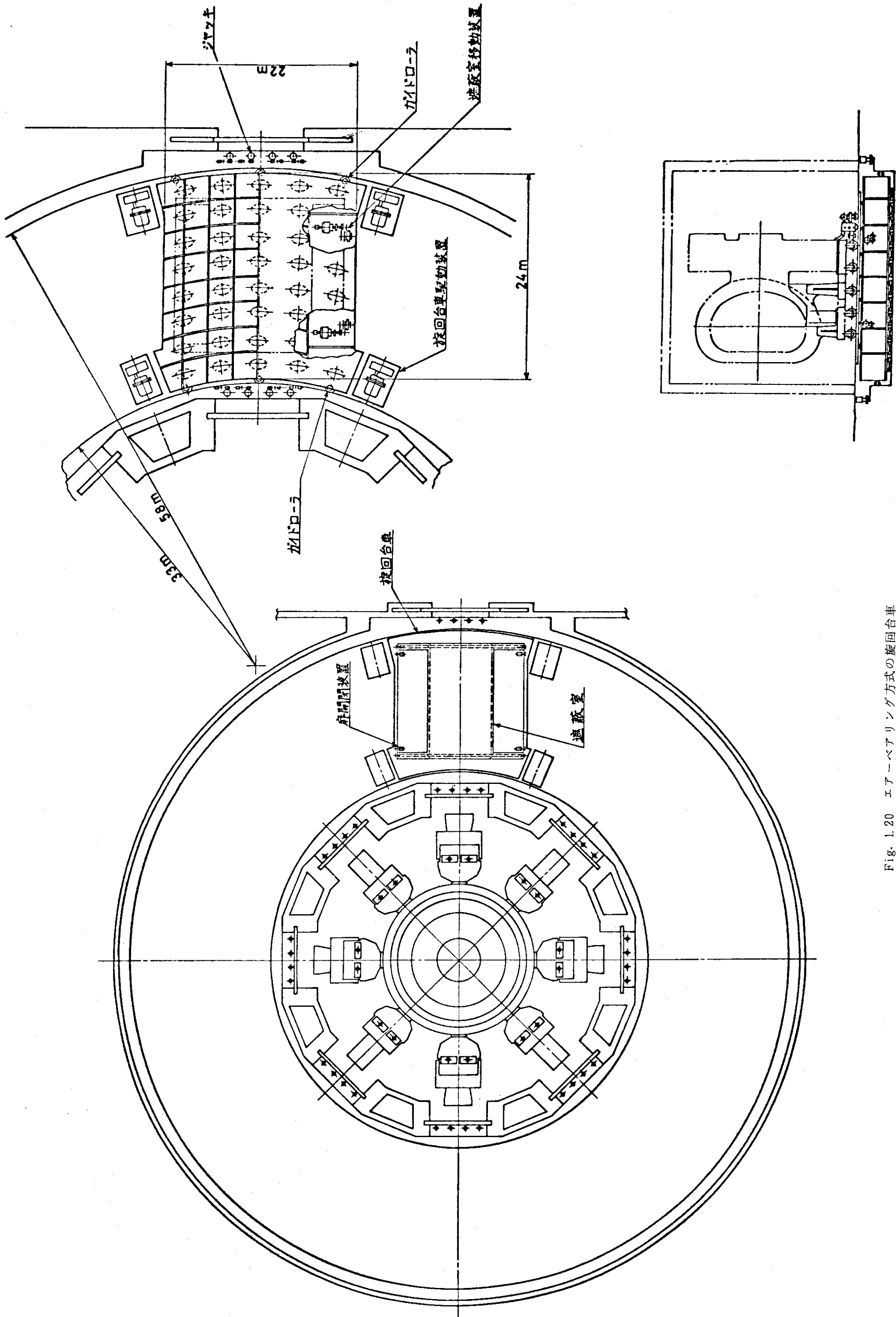


Fig. 1.20 エアーベアリング方式の旋回台車

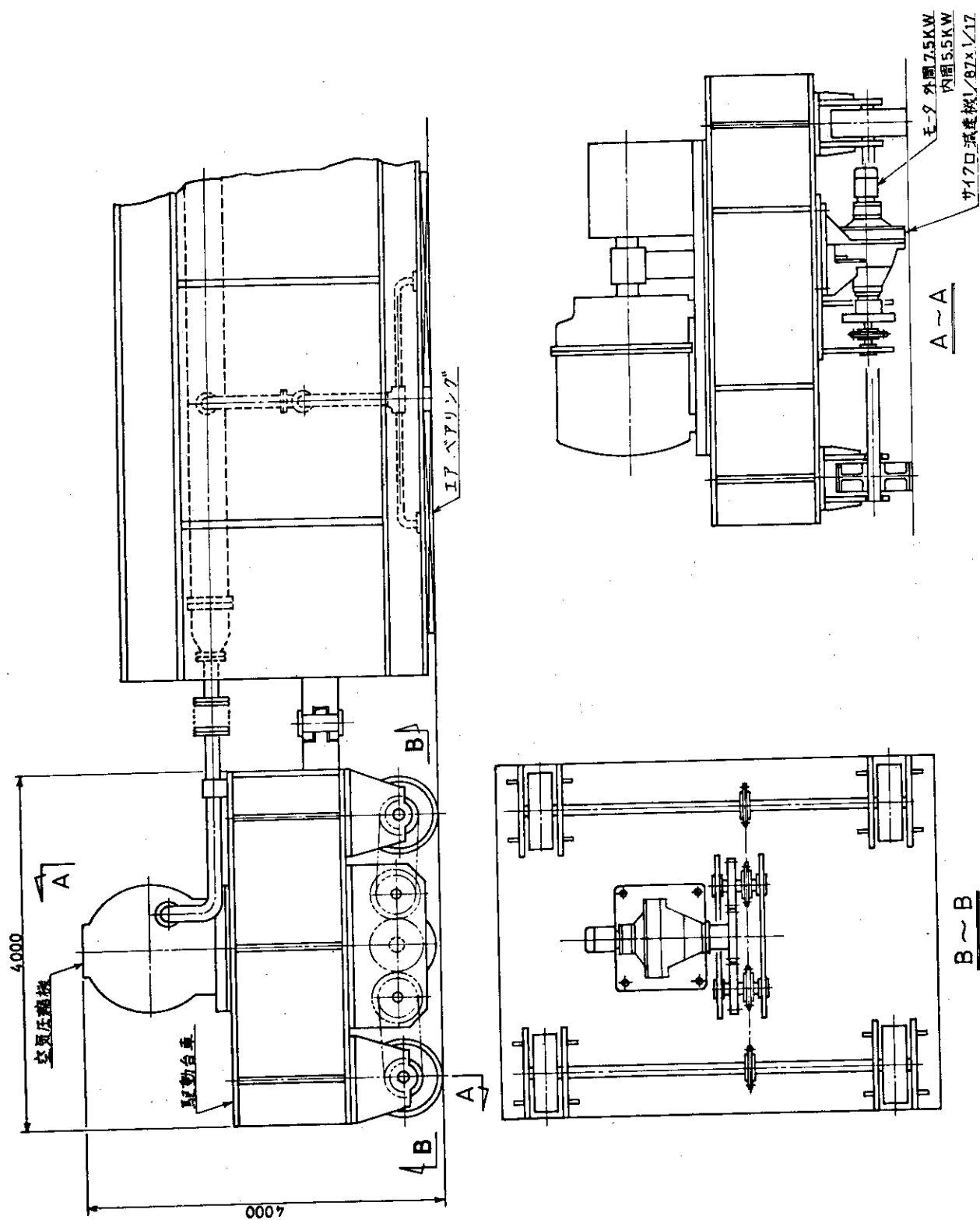


Fig. 1.21 エアベアリング方式の旋回台車駆動装置

2. リモートハンドリング技術全般に関する調査

核融合炉におけるリモートハンドリング技術に関して検討する前に、現在の原子力発電所及び再処理施設等において遠隔操作による作業が、どのようにあるいはどの程度に行なわれているかを知る必要がある。

2.1 原子力発電所におけるリモートハンドリング技術

原子力発電所は、ある程度完成された1つのプラントとして日本へ輸入され、その後営業運転しながら安全性を重視する日本の方針に合うよう改良されてきた。したがって当初は、遠隔保守という考え方はほとんど取入れられておらず、放射能の高い立入り制限区域内においてもある時間制限のもとに人が中に入って作業するという直接保守で行なってきた。即ち人海戦術で処置してきた。しかし保守点検の作業内容は熟練を要するものが多く将来的に人材不足が起こる懸念がある。また種々の理由もあり、省力化、高能率、高い信頼性、作業者の被曝低減という観点から遠隔保守を取入れる風潮が高まってきた。

そこで、最近個々に開発されてきた遠隔の操作機器システムの代表例として下記の項目について紹介する。

- ① 固定管に対するTIG自動溶接
- ② 原子炉配管遠隔操作式自動溶接機
- ③ BWR原子力発電所の燃料自動交換機
- ④ BWR原子力発電所のCRD遠隔交換機
- ⑤ 移動式点検装置
- ⑥ ISI技術
- ⑦ MF2・マニピュレータ車
- ⑧ MF3・マニピュレータ車

(1) 固定管に対するTIG自動溶接¹⁾

プラント機器内配管、機器間配管の固定管溶接作業は効率やスペースの面から、制約された狭い場所での全姿勢溶接となるために非常な熟練を要する。一方、原子力、ボイラ、化学プラント配管における溶接継手の信頼性向上の要求は、安全性の面でますます強まってきており、熟練作業者の確保の難しさと溶接継手の品質確保の両面から溶接の自動化が必要とされている。したがって品質面が特に重視される配管を対象として、TIG溶接法による管の自動溶接機の開発、製品化が行なわれてきた。

(i) TIG自動溶接の得失と用途

(a) 長所

- ① 裏波ビードが安定に形成できる

TIG溶接法は他の方法に比べて裏波溶接には最も適しているので、重要構造物の配

管では初層裏波溶接はほとんどTIG溶接が採用されている。

② スパッタが出ない。

自動溶接機では、スパッタによって機器の損傷や保守点検を要することが多い。この点スパッタのほとんど出ないTIG溶接法は非常に有利である。

③ あらゆる金属に対して溶接の安定性がある。

タングステン電極と被溶接材の間に安定なアークを形成し、母材に適合した溶加棒を供給する方式であるので、炭素鋼、低合金鋼、高合金鋼、非鉄金属などあらゆる金属に対して安定した溶接ができる。

④ 自動溶接機の機構が簡単になる。

溶接トーチが小形であり、ワイヤ送給系路を屈曲してもワイヤ送給が安定に行なえることなどの理由から、溶接機構が小型化でき、可搬性が要求される配管の自動溶接機として小形・軽量にまとめられる。

(b) 短所

① 溶着量が少なく能率の点に問題がある。

TIG溶接法はMIG溶接法に比して約半分の溶着量であり、厚肉管の溶接においては能率の点で劣る。

(c) 用途

① ボイラチューブの溶接

外径38~60φ(mm)、肉厚4~10t(mm)の過熱器、再熱器チューブの突合せ溶接。

② 原子力機器および配管溶接

外径60~250φ(mm)、肉厚3~20t(mm)のステンレス鋼管が多い。

③ 化学機器および配管溶接

チューブ径、肉厚としては原子力関係とはほぼ同じである。V開先継手における裏波ビードの安定化、能率等の要求が前二者より強い。施工技術の開発は実用化段階である。

(ii) TIGチューブ溶接機の仕様・構造

Table 2.1に仕様、Fig. 2.1に構造を示す。

(iii) 溶接施工

(a) 開先形状

開先形状と継手精度に関する肉厚別の目安をTable 2.2に示す。自動溶接においては、継手および溶接条件の管理が溶接結果を保證するキーポイントとなる。

(b) 生じ易い溶接欠陥

① 裏波ビード形状

入熱過大やアーク長の設定が長すぎると溶融域が広くなり、裏波ビード形状が凹み易くなるので溶接条件の管理を十分行なうことが必要である。

② ブローホール

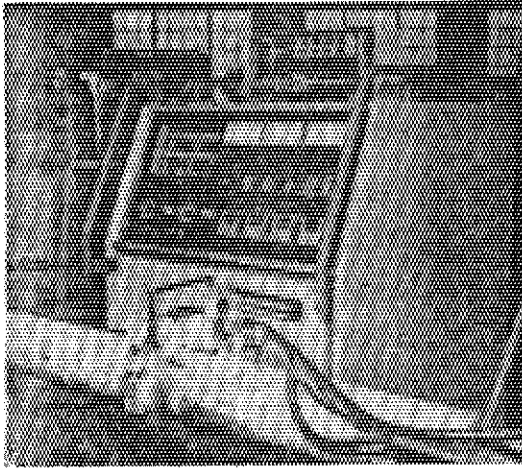
タングステン電極突き出し長が長すぎないこと。

③ 中間層溶接部の融合不良

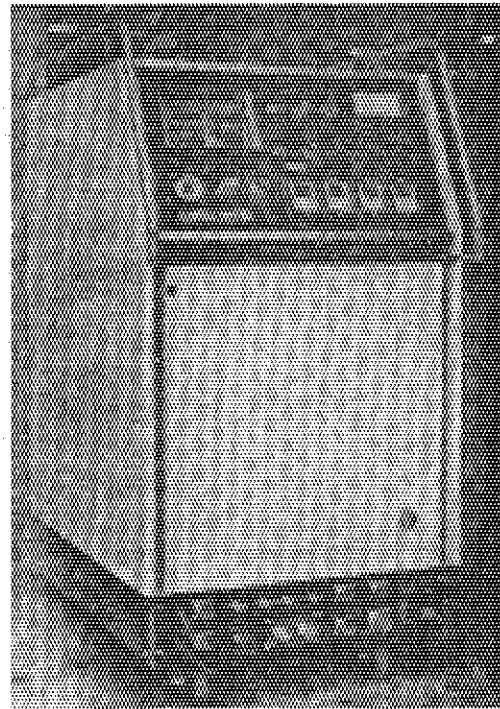
電極狙い位置不良、ワイヤ送給量過大などによって生ずることが多い。

Table 2.1 TIG チューブ自動溶接機仕様

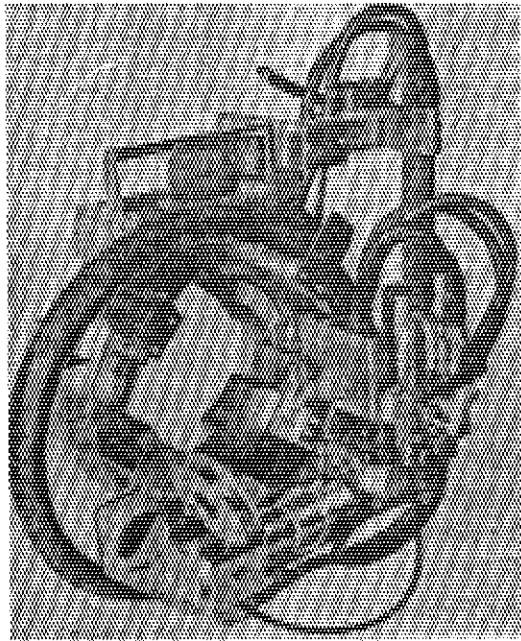
構成	仕様	仕様	仕様	構成	仕様	仕様	仕様	
電	定格電流	300A	溶接機	ヘッドサイズ	適用チューブ径 (mm)	重量 (kg)	冷却	使用ワイヤ径 (mm)
	使用率	60%			# 18	100~150	3.0	空
	入力電圧	3φ200V		# 38	217~340	3.5	ヘッド空冷 トーチ水冷	0.8~1.0φ
	周波数	50/60 Hz		# 48	381~450	3.5	ヘッド水冷	0.8~1.2φ
	電流範囲	5~300A	# 56	488~540	3.8	ヘッド水冷	0.8~1.2φ	
	出力電流変動	電源変動±10%に対し±1%	# 65	571~635	4.1	ヘッド水冷	0.8~1.2φ	
	高周波発生装置	内蔵	# 95	763~891	6.0	ヘッド空冷 トーチ水冷	0.8~1.2φ	
	シールドガス制御	手動 ON-OFF 制御 プレフロー時間 1.0~30 sec アフターフロー時間 1.0~30 sec	# 120	101.6~1143	8.0	ヘッド空冷 トーチ水冷	0.8~1.2φ	
	アークスタート後の遅延制御	ヘッド回転 0.1~9.9 ワイヤ送給 式ピンポード式	# 175	139.8~165.2	1.0	ヘッド空冷 トーチ水冷	0.8~1.2φ	
	溶接条件のプログラム制御	位置検出数 360度/45度の8カ所 設定因子 ベース電流、ワイヤ送給速度 設定範囲 ダイアル設定値の±20%	# 275	216.3~267.4	2.0	ヘッド空冷 トーチ水冷	0.8~1.2φ	
	源	パルス制御	ピーク時間 0.1~0.5 sec ベース時間 0.1~0.5 sec ピーク電流 5~300A ベース電流 5~300A デジタル表示	操作箱	調整ツマミ	ベース電流 ワイヤ送給速度	ピーク電流 (アーク長) ヘッド回転速度	
360度回転後の遅延制御		ワイヤ停止 0.1~9.9 sec スローアップ開始時 0.1~9.9 sec スローアップ時限 2,5,8,12 sec 4段切替	付属品	スイッチ	溶接開始, 停止, 非常停止 (トーチインチング) 溶接条件選択, ワイヤインチング			
冷却水タンク外形寸法重量		空冷ラジエータ付 10L 640(W)×975(D)×1,240(H) 約 350 kg						



(a) TIGチューブ溶接機外観



(b) TIGチューブ溶接機電源



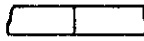
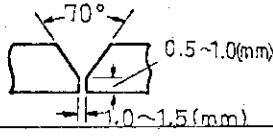
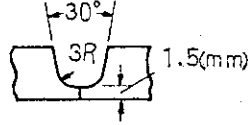

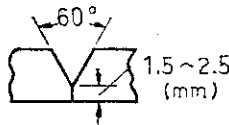
(c) TIGチューブ溶接ヘッド#175



(d) TIGチューブ溶接ヘッド#38

Fig. 2.1 TIGチューブ溶接機の構造

Table 2.2 開先形状と継手精度

	肉厚	開先形状	継手精度
裏波が凹になっては不可	2mm以下	I開先 	目違い 0.5mm以下 ギャップ° 0~0.5mm
	2mm以上	V開先 	目違い 1.0mm以下 ギャップ° 1.0~1.5mm
		U開先 	目違い 1.0mm以下 ギャップ° 0~1.0mm
裏波が凹で可	5mm以下	I開先 	目違い 1.0mm以下 ギャップ° 0~1.0mm
	5mm以上	V開先 	目違い 1.5mm以下 ギャップ° 0~1.0mm

(2) 原子炉配管遠隔操作式自動溶接機²⁾

原子炉の配管の溶接部は安全上高度な品質が要求され、十分な非破壊検査によりその健全性を保証しなければならない。

配管の取替作業は、配管の切断、開先切削、配管組立、溶接、溶接部の研削及び溶接部の非破壊検査から成っている。ここで紹介する自動溶接機は、これらの作業のうち、溶接、研削、非破壊検査作業を自動化したものである。

Fig. 2.2 は試作機の外観を示すものである。溶接ヘッドは溶接ユニット、ドライブユニット、触覚センサユニットに三分割されている。同図の総括制御装置と溶接電源及び記録計は、溶接位置から数十メートル離れた格納容器外の安全な場所に設置され、溶接ヘッドとの間はケーブルで連結されている。

溶接ユニットは、溶接トーチ、ウィーピング機構、自動アーク電圧制御機構、テレビジョンカメラが設置されている。ドライブユニットには、台車走行機構のほかにファイラワイヤ送給装置が付属している。走行速度は、30mm/min より 400mm/min まで連続的に可変構造となっている。

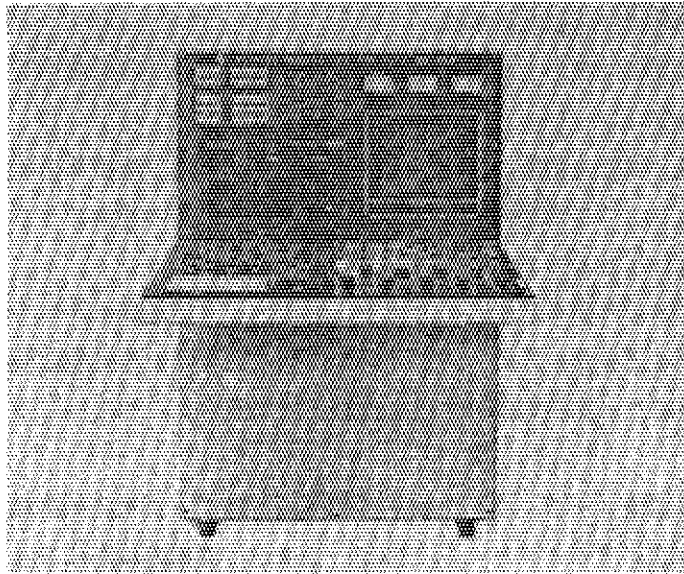
総括制御装置はミニコンピュータを内蔵し、表示盤には溶接状況を監視するテレビジョンモニタ及び各種の温度、台車の位置、開先形状値などが表示され、溶接状況を十分に把握することができる。またディスプレイ装置は、溶接電圧、電流、溶接速度などの溶接諸条件を表示する。

研削及び非破壊検査を行なう場合は、溶接ユニット及び触覚センサユニットを取り外し、それぞれのヘッドを取り付ける。溶接電源はトランジスタスイッチング方式によりローパルス：0.2～20 Hz、ハイパルス：20～2000 Hz を発生でき、平均電流は 350 A である。

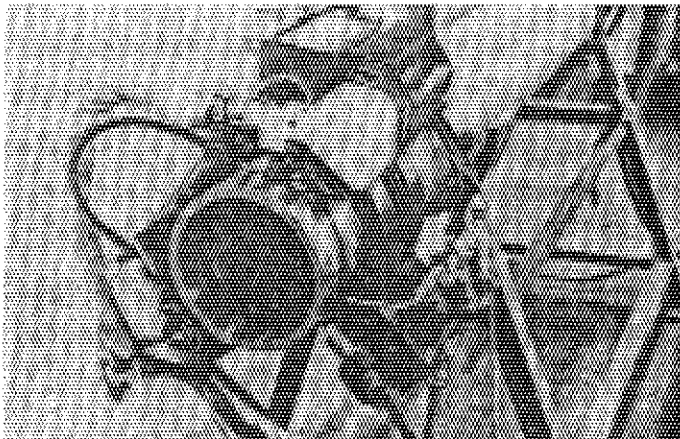
以上述べたように、この溶接機の特徴は、触覚、視覚によって溶接部のデータを入手し、コンピュータによって状況判断をしながら遠隔制御溶接が可能な装置である。

使用上の利点を記すと次のとおりである。

- ① 溶接ヘッドが小形・形量化されているので、狭い場所でも取付けや取外しが1名の作業で簡単に行なえる。
- ② テレビジョン画像により、終始溶接状況及び溶接結果を確認できる。
- ③ 数十メートル離れた場所から遠隔操作が行なえる。
- ④ 電源はトランジスタスイッチング方式のハイパルス及びローパルス電源なので、各種材質、寸法の配管に対し高品質の溶接が可能。
- ⑤ 多層溶接の場合でも、連続的に溶接できる。
- ⑥ アタッチメント交換により、溶接表面研削や超音波探傷検査を、同様に遠隔操作で行なうことが可能。



(a) 総括制御装置



(b) 溶接ヘッド

Fig. 2.2 原子炉配管遠隔操作式自動溶接機

(3) BWR原子力発電所の燃料自動交換機³⁾

ここに述べる自動交換機は、東京電力(株)福島第一原子力発電所5号機に納入され、昭和52年7月からの燃料初荷作業に期待どおりの成果を挙げて完了した。

(i) 概要

BWR発電プラントにおける燃料は水中で取り扱い操作される。従来、この操作は運転員が燃料交換機上へ乗り、燃料を目視しながら行なわれた。ここに述べる燃料自動交換機は(a)原子炉圧力容器と燃料貯蔵プール間の燃料集合体の移送 (b)炉心内での燃料集合体の移動(シャッフリング) (c)燃料貯蔵プール内での燃料集合体の移動(燃料貯蔵ラック、使用済燃料輸送キャスク間)の作業の自動化を対象としている。

遠隔化および自動化することにより運転時作業員の被曝低減、燃料取扱い操作の省力化、運転操作に対する安全性(性能および信頼性)の向上を図っている。

Table 2.3 に従来型との比較を示す。

(ii) 燃料自動交換機の構成

これは、Fig. 2.3 に示すような構成となっている。交換機本体は原子炉建屋の最上階フロアに設置され①レール上を走行するブリッジ、②ブリッジ上を横行方向に移動するトロリー、③燃料集合体を取り扱う燃料掴み装置、④駆動制御装置としてのシーケンス盤、⑤サイリスタレオナード制御盤および⑥各種駆動用の電動機が積載されている。そしてこれらを自動制御する計算機は、中央制御室内あるいは専用の操作室内に設置される。

(iii) 主要諸元

形式：燃料掴み具及び旋回ジブクレーン付床走行式

速度：ブリッジ(X-X)走行	20m/分	駆動装置：ブリッジおよびトロリー	直流電動機、サイクロ減速機、平歯車減速機構
トロリー(Y-Y)横行	10m/分		(2輪駆動)
主ホイスト(Z-Z)巻き下げ、巻き上げ	12m/分	主ホイスト	直流電動機・直結
補助ホイスト	巻き下げ、巻き上げ	給電装置：ケーブルトラック方式	
	10m/分	燃料掴み具：多重円筒形・ワイヤ2本吊り	
同上	旋回	位置表示装置：ラック・ピニオン・シャフトニオン	
	4.5m/分	コーダ・5桁デジタル表示	
寸法：ブリッジスパン	13,300mm		
全高	7,080mm	炉心内設定精度：±5mm	

(iv) 運転方式

運転は作業の状況に応じて(a)手動運転 (b)遠隔手動運転 (c)自動運転に分類され、それらの概要をTable 2.4 に示す。

(v) 運転経験からの評価

計算機導入による正確な位置制御および運転ガイダンスによって、熟練度に左右されない常に決められたパターンに従う画一的な作業が可能になった。また所要作業員は、従来、操作員1名、チェック員1名、補助員2名計4名を要していたが、自動交換機を使用した場合、操作室内の操作員1名、機上におけるチェック員1名計2名で十分作業が可能であった。将来はテレビを組み合わせると、チェック員の必要もなくなるであろう。

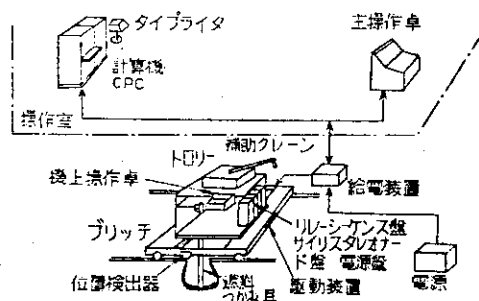
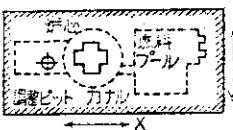
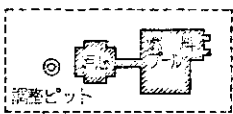


Fig.2.3 燃料自動交換機制御装置構成図

Table 2.3 燃料自動交換機の従来型との比較

	従来方式	燃料自動交換機
(1) 精度	目視による確認	± 5 mm
(2) 作業性		
作業スペース (保守・点検を含む) 操作方法	狭い 手動/機上	広い 手動/機上・遠隔 自動/機上・遠隔
位置表示	メータ表示 (X, Y 方向) 数値表示 (Z 方向)	数値表示 (X, Y, Z 方向)
位置検出機構	チニン, スプロケット によるセルシン方式	ラック・ピニオンによる フォトエンコーダ方式
速度		
ブリッジ走行 (X)	10m/分	20m/分
トロリー横行 (X)	9m/分	10m/分
主ホイスト巻上下 (Z)	6m/分	12m/分
位置の速度制御	操作員	計算機
(3) 安全性		
欄み具の確認方法	目視による確認	機械的および電氣的インタロック (確認ランプ)
欄み具の巻取ワイヤ	1本吊り	2本吊り
欄み具保管状態	未使用時斜め吊り	常に垂直吊り
可動範囲の選択	目視	計算機
(4) 自動化の範囲	—	走行, 横行, 巻上下および欄み具 マストの旋回
(5) 付属機器		
ホイスト	モノレール付ホイスト	旋回型ジブクレーン
照明具	無	有
作業ピット	無	有

Table 2.4 燃料自動交換機運転方式

運転モード	運転範囲	運転内容	計算機制御	運転速度
手動運転		従来と同様人間 がプラットフォーム に乗り、目視 による運転 現在位置の表示		X 10m/分 Y 5m/分 Z 6m/分
遠隔 手動運転	同上 ただし炉心、プール内運転は燃料ホイストが常用上限にあることが条件、その他の範囲はホイストが格納位置にあることが条件	人間はプラットフォームに乗らず 操作室で、目視による運転 現在位置の表示		X 10m/分 Y 5m/分
自動運転		交換する燃料集合体番地を指定することにより自動的に燃料交換を行なう	目標位置 (X, Y, Z) の表示 運転速度制御 位置決め制御 燃料マストの旋回制御 燃料つかみ、はなし制御 運転範囲の監視 運転状態の監視 交換作業の記録	X 20m/分 Y 10m/分 Z 12m/分

(4) BWR原子力発電所のCRD遠隔交換機(制御棒駆動機構遠隔交換機)³⁾

CRD遠隔交換機は試作機の開発に続いて、昭和52年に実用機を完成し、東京電力(株)5号機、中部電力(株)浜岡原子力発電所1号機及び2号機に据付けられた。

(i) 概要

CRD交換作業はプラントの定期検査の重要な項目の1つで、毎定期検査時に全装荷数の約20%が取外され、点検後再据付される。

従来この交換作業は、原子炉圧力容器下のペDESTAL内という限られた狭いスペース内で、かつ放射線環境下でほとんど手作業の状態で行なわれてきた。ここに示した遠隔交換機は、作業の大部分を遠隔化し、既設のプラントへのバックフィットも可能である。

(ii) 構成

CRD交換設備の全体構成をFig. 2.4に示す。これはRPVペDESTAL内に設置され、Fig. 2.5に示す機器より成る。

主な構成機器として、CRDプラットフォーム、CRD交換機(Fig. 2.6)、ボルト脱着機、ボルト脱着機台車、CRD運搬台車、監視制御盤(Fig. 2.7)、がある。

(iii) 自動遠隔化の範囲

従来方式との操作の比較をTable 2.5に示す。

(iv) 主要諸元

(a) CRD交換機

速度：	台車(X)走行	2 m/分
	昇降台車(Z)上下	3.2m/分(50Hz), 3.8m/分(60Hz)
	フレーム回転	約30秒/1動作
	掴み腕の出し入れ	約10秒/1動作
機械諸元：	重量	1,100 kg
	掴み腕把握力	1,000 kg
駆動方式：	台車走行	交流モータ・ウォーム減速チェーン伝動リフト方式(2輪駆動)
	昇降台車	交流モータ・ウォーム減速チェーン伝動リフト方式

主要材料：炭素鋼(エポキシ塗装)および不銹鋼

(b) ボルト脱着機

速度：	ボルト緩め時間	3分/1回
	本体回転	2.4秒/45°
	排水具上下	0.42m/分
機械諸元：	重量	150 kg
	ボルト取扱法	4本×2回
	ボルト緩め最大トルク	100kg-m
	ボルト仮締めトルク	2 kg-m

主要材料：アルミニウム及び不銹鋼

(c) CRDプラットフォーム

速度：	旋回 (θ) 速度	2.64 m/分 (50Hz)
		3.27 m/分 (60Hz)
機械諸元：	旋回角度	左右 180°
	重量 (ボルト脱着機移動 台車架台, CRD運搬カ ートレール台車架台付)	約 4,900 kg

(d) ボルト脱着機移動台車

速度：	走行	4.23 m/分
機械諸元：	重量	50 kg
主要材料：	アルミニウム及び不銹鋼	

(e) 制御装置

主要計器類：	・ 12 in 白黒テレビモニタ
	・ グラフィカル ($X-\theta$) 位置表示器
	・ 位置指示計
	・ 荷重指示計
	・ ランプ式集合動作表示器
	・ ITVカメラ遠隔操作器
	・ 操作用押ボタン型開閉器

(v) 主要運転操作

主要運転は、原子炉建屋内の監視制御盤から計器およびテレビを監視しながら操作員1名で遠隔操作ができる。その他ペDESTEL内の補助作業員1名を必要とする。Fig. 2.8にCRDの取扱運転の操作手順を示す。

(vi) 遠隔化による省力度

本装置を使用して交換作業を行なった場合、Table 2.6に示すように作業員の削減及び被曝低減を図ることができる。そして現在、既に定検中のプラントに使用して期待に答えている。

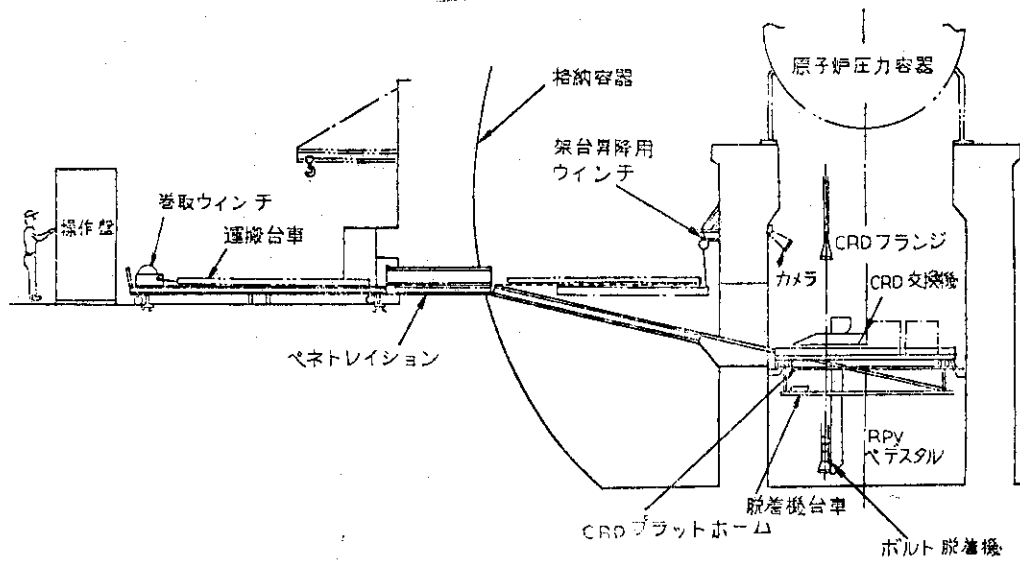


Fig. 2.4 CRD交換設備構成図

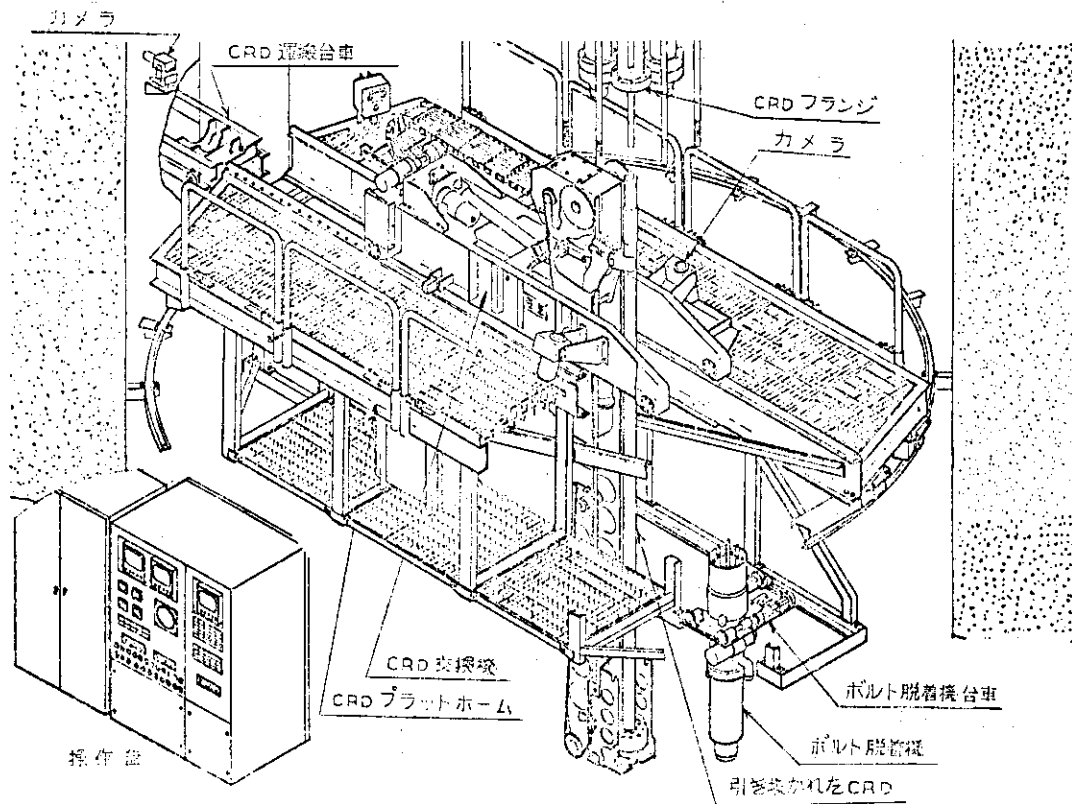


Fig. 2.5 CRD遠隔交換機鳥瞰図

直引き抜き(2), 引き抜かれたCRDを水平状態に回転および直径方向の走行を行なうものである。各部分は除染のための散水洗浄のしやすい構造とし、安全

上昇装置のチェーンは2本吊りとして落下事故に対して特別な配慮をしている。

(iii) ボルト脱着機

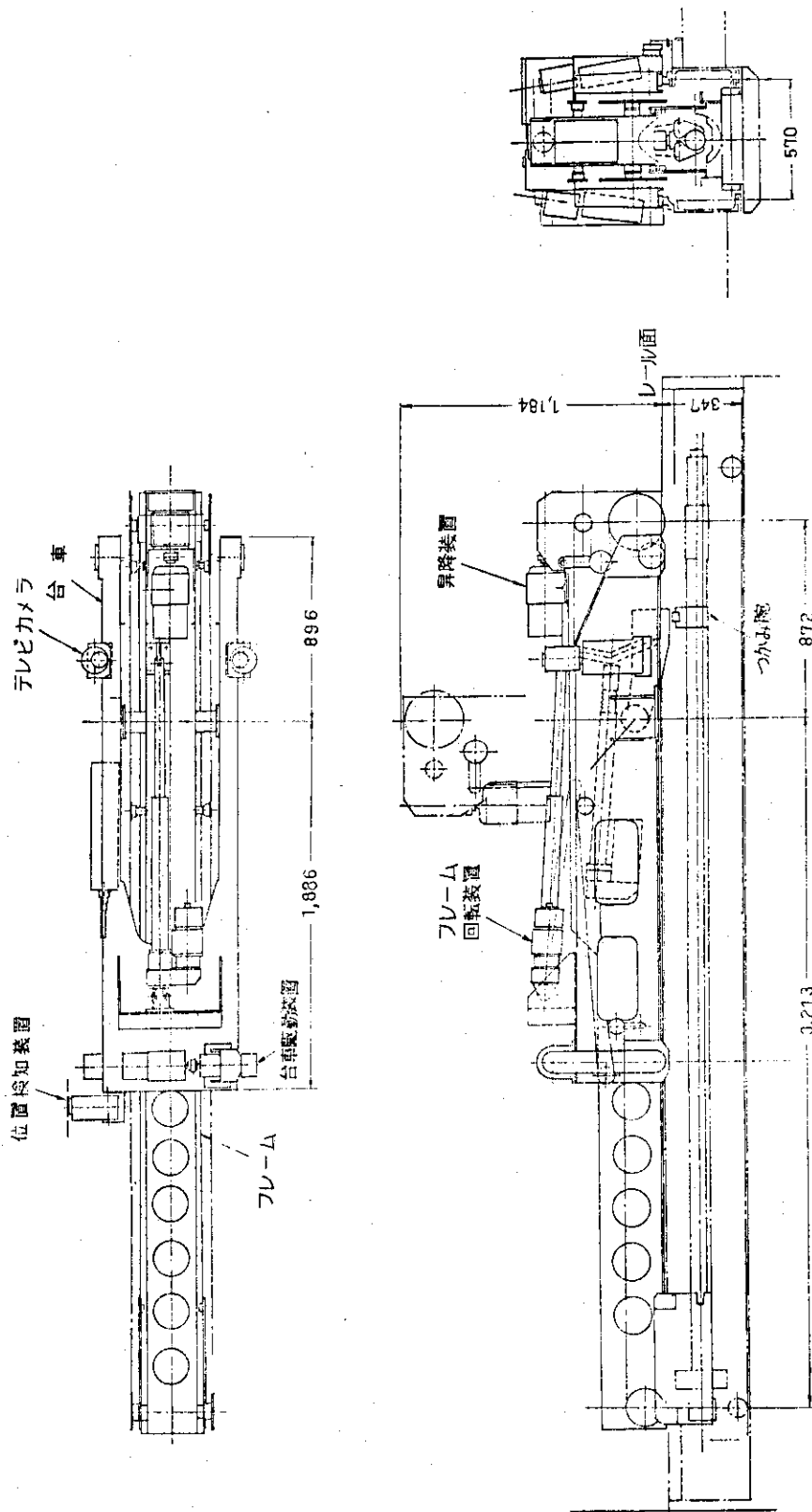


Fig. 2.6 CRD 交換機全体図

Table 2.5 CRD遠隔交換機の従来方式との操作の比較

作業項目	従来方式	遠隔交換機
1 CRD交換機位置決め	手動	TV監視による遠隔操作
2 確認動作	—	目視確認および微調整
3 CR・CRDアンカップリング	手動	遠隔操作
4 ボルト緩め	手動レンチ	遠隔・電動
5 CRD引抜き	現場・ウインチ	遠隔・電動
6 横転	手動	遠隔・電動
7 CRD運搬台車への積載	現場・ウインチ	エア操作
8 CRD運搬台車への搬出	現場・ウインチ	現場・ウインチ

Table 2.6 CRD遠隔交換機の従来型との比較

項目	従来方式	遠隔交換機
交換作業	2時間/1本	1.7時間/1本
交換本数	1本/1日	2本/1日
交換期間	20日	10日
交換人員	25人/1本 (25人×20日)	1人/1本 (注) (2人×10日)
被曝線量	1,500mrem・人/1本 $\left(\begin{array}{l} 150\text{mrem} \\ \times 0.4 \text{ 時間} \\ \times 25\text{人} \end{array} \right)$ 30,000mrem・人/定検	50mrem・人/1本 $\left(\begin{array}{l} 150\text{mrem} \\ \times 0.34 \text{ 時間} \\ \times 1\text{人} \end{array} \right)$ 1,000mrem・人/定検

(注) 他に被曝の心配のないオペレータ1名(全期間)

比較検討のための条件

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| (1) CRD交換数 | 20本 |
| (2) 作業条件下の放射線レベル | 150 mrem/時 |
| (3) 管理許容線量 | 100 mrem/日以下 |
| (4) 従来の作業のうち人員, 期間は先行プラントの実績値 | |

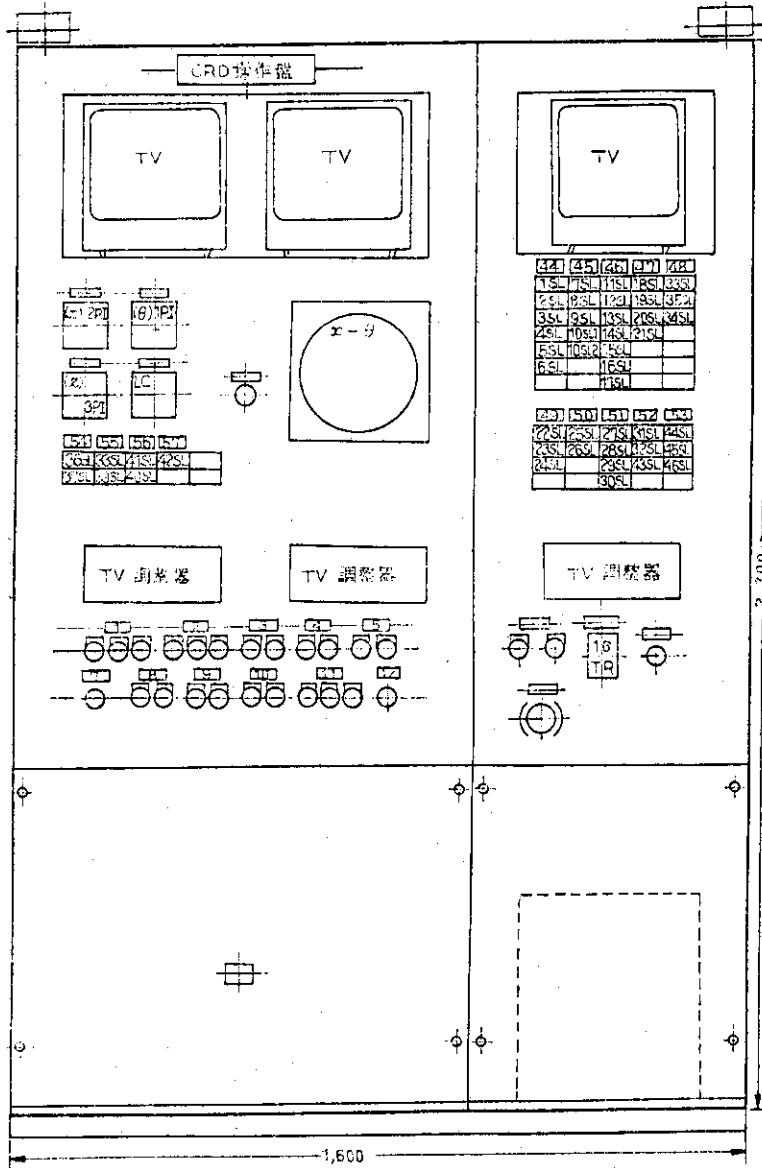
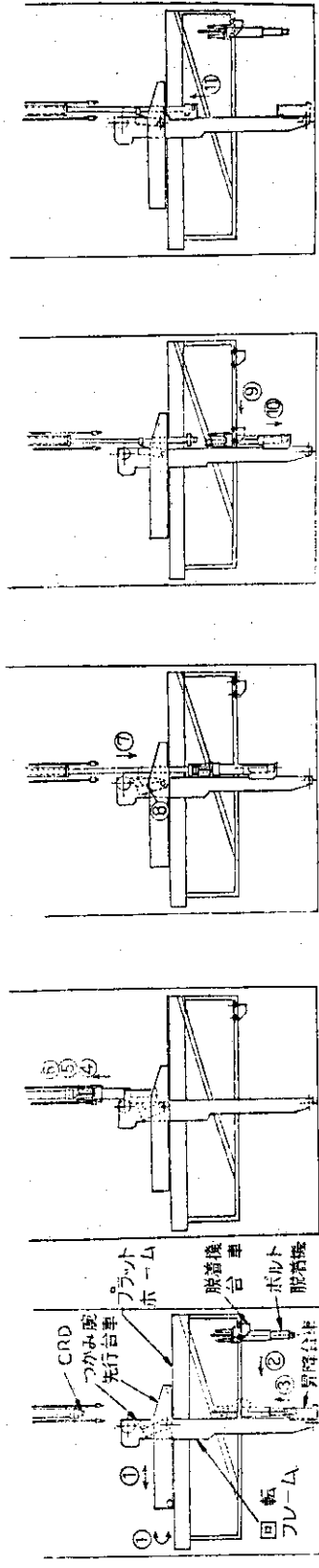


Fig. 2.7 監視制御盤外形図

- ③ ① 台車およびCRDアフラットホームを動かして所定位置に合わせる
- ② ボルト脱着機を交換機的位置まで寄せる
- ③ 昇降台車を上昇させ、ボルト脱着機をすくい上げる
- ④ 昇降台車を上限まで上昇させてボルト脱着機をボルトに合わせる
- ⑤ 持ち具を上昇させる
- ⑥ ボルト脱着機を運搬し、ボルトを取り外す
- ⑦ 昇降台車を上限位置から中間位置まで低下させる
- ⑧ 脱着機を「閉み」の状態として固定する
- ⑨ 降着機移送台車を呼び寄せる
- ⑩ 昇降台車を下げ降着機を移送台車へ移す
- ⑪ 降着機を端へ出離させた後昇降台車を再び上昇させCRDを支える



- ⑥ ⑫ 脱着機を「案内」の状態とする
- ⑬ 昇降台車を下限位置まで下げる
- ⑭ 脱着機を「閉み」の状態とする
- ⑮ 台車とCRDアフラットホームを動かしてフレーム間転可能位置に合わせる
- ⑯ フレームを傾斜させる
- ⑰ CRD運搬台車を搬入する
- ⑱ 運搬台車上の支持台をせり上げる
- ⑲ 交換機がCRDを開放する
- ⑳ CRD運搬台車を搬出し、試験済みのCRDが搬入されるのを待つ

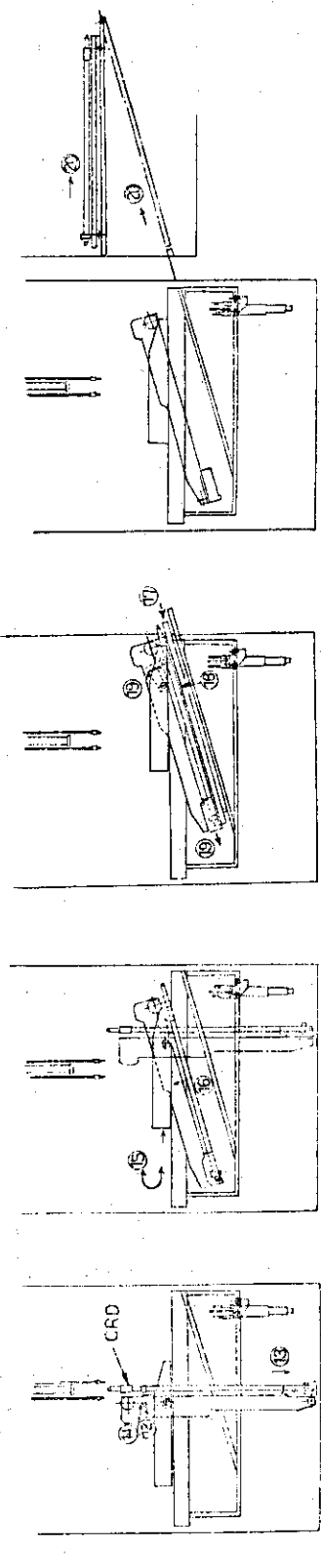


Fig. 2.8 CRD取扱運転操作手順

(5) 移動式点検装置²⁾

従来、原子炉建屋内の機器の動作状態は、運転員の「視覚」、「触覚」、「聴覚」、「嗅覚」によって行なわれている。その中で原子炉建屋内点検箇所約70%を占めるのが「視覚」によるものである。移動式点検装置は、機器の状態を運転員の感覚に代わって遠隔点検するものである。

機器点検作業を遠隔操作化すると ㊶機器点検に伴う放射線被曝量の低減、㊷高放射線領域点検機能の強化、の効果が期待できる。

(i) 概要

機器点検作業を遠隔操作化するには、固定方式と移動方式とがある。前者は、点検対象となるプラント機器のそれぞれに検出器を設置し、それらから送られる信号を中央操作室で集中監視する方式である。それに対し後者は、運転員が中央操作室から原子炉建屋内の移動ステーションを操作し、点検対象機器の温度、振動などを知り、異常検知に必要なデータを得る方式である。

次に移動式点検装置の特長を挙げると

(a) 低コスト

検出器数が少なく、信号用ケーブル長さを短かくすることができる。沸騰水型(BWR) - 3型原子力発電所の原子炉建屋を対象にした試算では、固定式と比較して検出器数を約1/20に、信号ケーブル長さを約1/80に低減できる。

(b) 汎用性

検出器を固定していないため、機器故障時などには通常の点検箇所以外の点も自由に点検できる。

(ii) 装置の構成

Fig. 2.9は試作機の概要を示すものである。移動ステーションは、点検用検出器、検出器操作用マニピュレータ及び信号送・受信器を積載した内部給電式の自走車であり、運転員の操作に従い原子炉建屋内を巡回する。

(a) 点検項目

温度、振動、騒音、放射線量率、外観

(b) 操作方式

遠隔手動(一部自動)。移動ステーションは、所定の点検経路に沿って点検位置まで自動走行する。各点検位置では、テレビジョンカメラ、温度計及び振動計を遠隔操作し、所定の場所、あるいは機器の状態を点検する。

(c) 設置工事

装置自体が移動機能を持つため、設置工事は簡単である。主な工事は、点検経路に沿って自走車のガイドテープ(ステンレス箔製粘着テープ)を床に貼ることである。その他給電トrolley、信号送・受信アンテナなどは不要である。

(d) 導入指針

試作機では、全点検項目に対応する機器を積載している。しかし、実プラントの移動ステーションに積載する機器には、信号送・受信器など必須のものを除いて、導入場所に応じて、検出器、マニピュレータなど必要最小限のものを選択すればよい。1台のコンソー

ルによって機能の異なる複数台の移動ステーションを操作することができる (Fig. 2.10 参照)。

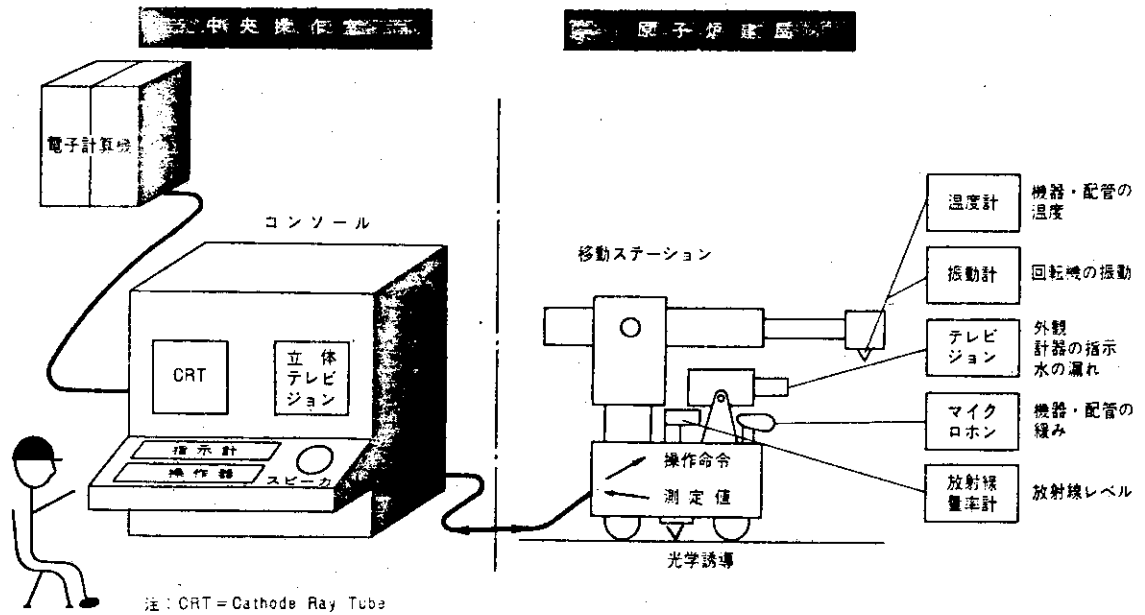


Fig. 2.9 移動式点検装置の概要 運転員は、中央操作室から移動ステーションを遠隔操作し、機器を点検する。

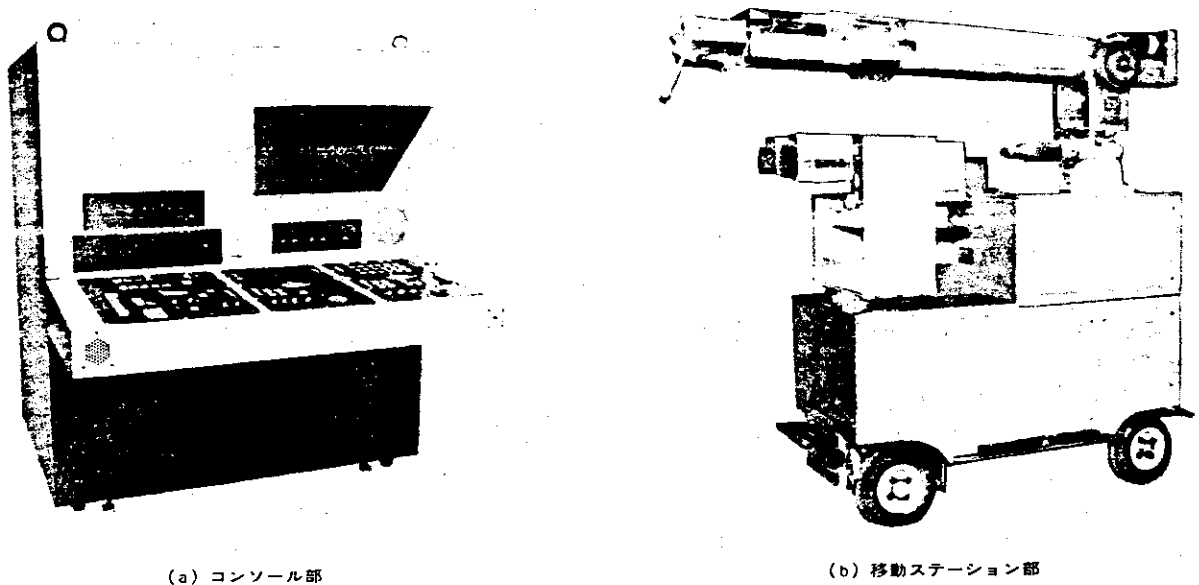


Fig. 2.10 移動式点検装置 操作員は、コンソール部(a)から移動ステーション部(b)を遠隔操作し、現場機器を点検する。点検結果は、コンソールパネル部にデジタル表示される。

(6) I S I 技術⁴⁾

原子力発電所の I S I (Inservice Inspection : 供用期間中検査) は、電気協会規程「原子炉冷却材圧力バウンダリの供用期間中検査 JEAC-4205-1974^{*}」に準拠して実施される。

* I S I に関する規格基準は、1970年、米国で ASME code Section XI が発行されたのが最初であり、我が国ではこれを基に検討を加え、1974年に前述の技術規程が発行されている。

また現在、この技術規程の改訂、見直し作業が行なわれており、検査範囲、試験方法、結果の評価方法の充実が検討されている。

I S I の目的は、原子炉冷却材圧力バウンダリが供用期間中において脆性破壊のような不安定破壊の原因となる可能性のある欠陥、繰返し応力による疲労やステンレス鋼の応力腐食による欠陥などが無いことを定期的に監視していくことにより安全性を確認するとともに、万一の欠陥発生においても安全性を的確に評価するためのデータを提供することにある。

検査方法としては次の3通りがある。

(i) 肉眼検査 (V T)

目視による検査であるが、接近の困難な場合は I T V、ファイバースコープ、ボアスコープなどが用いられる。燃料棒の外観やギャップ検査用の I T V、蒸気発生器内部や炉内構造物検査用のファイバースコープ、ボアスコープが実用化されている。

(ii) 表面検査

表面検査としては、液体浸透探傷試験 (P T) が用いられている。蒸気発生器の管板シール溶接部、原子炉容器セーフエンド溶接部など接近の困難な所には、I T V との組合せによる遠隔 P T 装置が開発されている。

(iii) 体積検査

I S I で最も多く用いられている体積検査は、ほとんどの場合超音波探傷試験 (U T) である。それは欠陥 (主として割れ) 検出能力が高く、自動化・遠隔化が容易。小型のためわずかな空間でも探傷が可能などの理由のためである。また検査結果を電気信号で得るため、検査データのコンピュータ処理や記録保持ができる。

以下、主として体積検査の中の自動検査技術について紹介する。

(a) 圧力容器胴溶接部外側探傷装置 (Fig. 2.11)

プラントの建設時に恒久的に取付けられたガイドレールに沿って、装置をラック & ピニオンギヤによって上下に駆動することによって軸方向の溶接部を、また周溶接部の位置で停止し、周方向のラック & ピニオンギヤによって 1.5 m の周方向長さの範囲を探傷できるものである。なお探触子の押当は空気圧であり、接触媒質は水である。

〔主要規格〕 探傷速度 ; 0~2 inch/sec

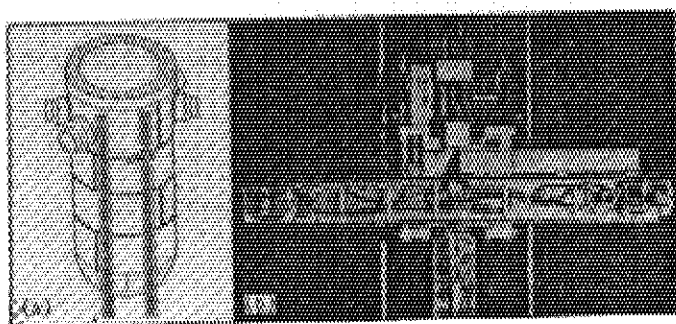
位置精度 ; ± 0.06 inch

空気圧 ; 120 ± 20 psi

接触媒質 ; 60 ± 10 psi

探傷長さ ; 1.5 m (延長可)

探傷方向 ; 周及び軸方向



(a) ガイド・レール取付概念図

(b) デバイスのレールへの取付状態

Fig. 2.11 圧力容器胴部周・軸方向溶接部探傷装置 (Pole-Device)

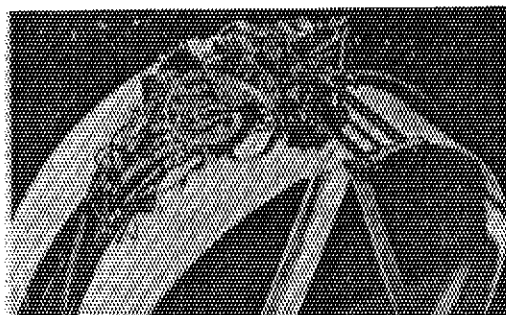


Fig. 2.12 RPVノズル突合溶接部探傷装置 (Butt Weld-Device)

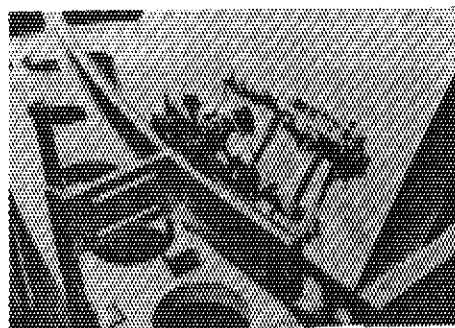


Fig. 2.13 RPV/フランジ及び上鏡/フランジ溶接部探傷装置 (Flange-Device)

(b) RPVノズル突合溶接部探傷装置 (Fig. 2.12)

配管に取付けられたガイドチェーンに沿って駆動され、探傷概念については(a)と同じである。

- 〔主要規格〕 適用部位：パイプ突合溶接部，セーフエンド／パイプ，ノズル／セーフエンド（10 inch 径以上）
- 探傷速度：0～2 inch/sec
- 位置精度：±0.06 inch
- 空気圧：100±20 psi
- 接触媒質：40±10 psi
- 探傷方向：周及び軸方向

(c) フランジ溶接部探傷装置 (Fig. 2.13)

(a)と異なる点は、レールがISIの都度取付けられることである。

- 〔主要規格〕 探傷部位：上鏡／フランジ及びRPV／フランジ溶接部
- 探傷速度：0～2 inch/sec
- 位置精度：±0.06 inch
- 空気圧：80±30 psi
- 接触媒質：40±10 psi

(d) RPVシェル／ノズル溶接部探傷装置 (Fig. 2.14)

原理概念は(a)と同じである。

- 〔主要規格〕 探傷部位：10 inch 径以上のノズル／シェル，ノズルコーナー
- 探傷速度：0～2 inch/sec
- 位置精度：±0.06 inch
- 空気圧：100±20 psi
- 接触媒質：40±10 psi
- 探傷方向：周・軸方向

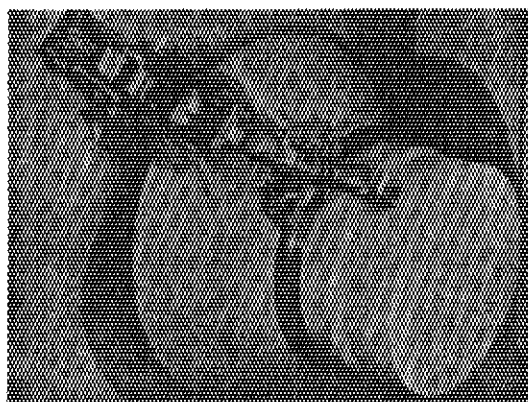


Fig. 2.14 RPV-シェル／ノズル溶接部
探傷装置 (NZL/Shell-Device)

(e) PWR用RPV内面からの探傷装置 (Fig. 2.15)

駆動方式は、基本的には外面からの探傷システムのものとは相違はない。接触媒質が不要なこと。内面からRPV胴部、ノズル部(セーフエンド/パイプ溶接部も)までカバーできること。TVカメラによるVTが可能であることなどの特徴がある。

〔主要規格〕

探傷部位： RPV周・軸方向溶接部、シエル/ノズル、ノズル/セーフエンド、セーフエンド/パイプ、RPV/フランジ(いずれも内面より探傷)

探傷速度： 0.3 feet/min

位置精度： 0.06 inch

空気圧： 100 psi

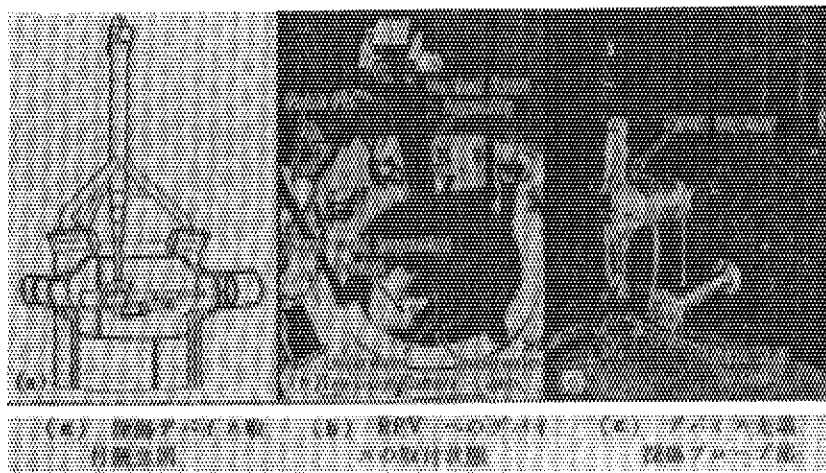


Fig. 2.15 PWR-RPV内面からの探傷装置 (Par-Device)

(f) その他の装置

- ① スタッドボルト探傷装置
- ② 遠隔液体浸透探傷装置
- ③ PWRの蒸気発生器スティウエル部探傷装置
- ④ PWRの蒸気発生器チューブの遠隔過電流探傷システム
- ⑤ RPV下鏡部外面探傷装置
- ⑥ CRD-ハウジング探傷装置
- ⑦ RPVのスカート探傷装置

などが既に開発・実用化されているが、必ずしも遠隔または自動とは言えないものもある。

(7) MF2 マニピュレータ車⁵⁾

MF2は、カールスルーエ原子力センターの概念設計であり、工芸学校のDr. Ing. W. Ständerによって開発された。

MF2は電動機駆動であり、TV画像を観て無線操縦される屋外用あるいは広い建屋内で使用されるVehicleのことである。Fig. 2.16に示した通り、作業装置はタレットの上に設けられたSM5-Dという重荷重用パワーマニピュレータである。Vehicleのメインデータは次の通り

である。

全重量	3.4	トン
シャシー長さ	3.2	m
全巾	1.55	m
高さ (Swivel Tilting Headのはしまで)	2.05	m
ローディング高さ	1.53	m

各部の名称及び形状・概略寸法はFig. 2.17に示してある。

3つのジョイントを持つ多目的のマニピュレータは6自由度あり、それぞれ電動機で駆動される。アームの任意の位置で200 kgまでの物を取り扱え、エルボジョイント中央にあるロード・フックの吊下げ荷重能力は400 kpである。マニピュレータのハンドは迅速にツールを取替えられる機構となっており、そのツールには以下のようなものがある。

① 7つの特殊トング

grip hook, small parallel-jaw tongs, multipurpose tongs with six different functions, pipe tongs, tongs for inside grab, grab for 200-litre drums of radioactive waste, and pin-up jaws large parallel-jaw tongs to permit gripping bulky objects.

② 4つの機械的ツール

parallel-jaw screw wrench, tool carrier for socket wrench, cutting hook, and plate shears.

③ 4つの電氣的ツール

impact screw driver, drilling tool, tenon saw, and hammer.

全システムの中にはFig. 2.18に現わされているように、マニピュレータ車をコントロールするガイド車とMF2を積むための運搬車が含まれている。コントロールデスクには、コントロール、インジケータ、TVモニター、受信器、送信器が備えられ、それらはガイド車の後部に設置されている。また実際のコントロールボックスは、コントロールデスクから持ち出すことができ、オペレータのベルトに装着可能である。その様子はFig. 2.19に示されている。マニピュレータ車のリモートコントロール範囲は少なくとも半径1000mある。

遠隔操作を伴う作業は、原子力発電所、再処理プラント、ラージホットセル、放射性廃棄物貯蔵庫などで必要と考えられる。原子力発電所についてMF2は、リアクタ・プラットホーム上、ポンプ室内、放射性廃棄物中間貯蔵庫内、BWRのタービン室内などで使用できる。

MF2は、具体的には次のような作業を行なうことができる。

- ① 放射性廃棄物のパッケージング
- ② ブリック遮蔽壁の組立て
- ③ クレーンフックのタック吊上げ
- ④ 物の搬送
- ⑤ ツールを使用しての解体、組立、分離
- ⑥ プラント内の安全点検作業
- ⑦ 配管の電気コネクタやクイックカップリングの着脱

- ⑧ 観察, 測定, 写真によるダメージの調査
- ⑨ 固定した測定装置などの救助(移動)
- ⑩ 測定装置, TVカメラ, ランプ等の設置
- ⑪ 高放射能レベルでの作業
- ⑫ 清掃(フェンス, バリヤー, レール, ライト等のかたづけ)

また, Fig. 2.20 にはMF 2の命令系統図を示す。

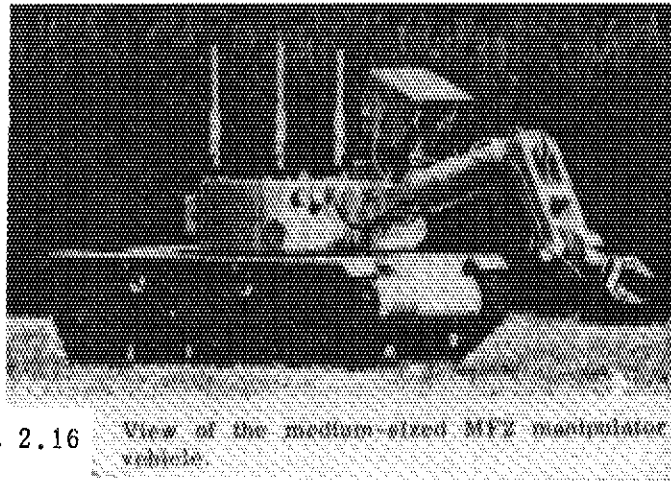


Fig. 2.16

View of the medium-sized MF2 manipulator vehicle.

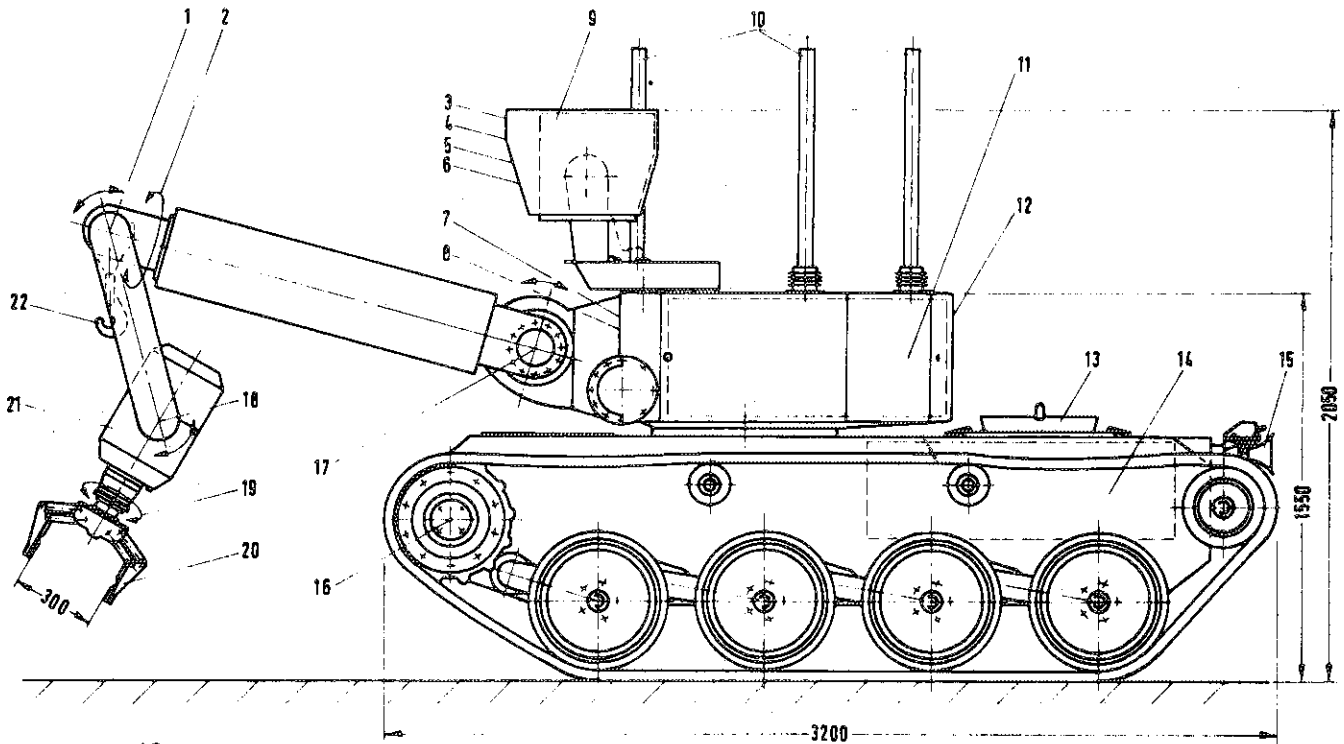


Fig. 2.17

The MF2 manipulator vehicle—details: 1. elbow joint; 2. arm rotation; 3. mono television camera; 4. searchlights; 5. stereo microphones; 6. stereo television cameras; 7. gamma dose-rate meter; 8. temperature sensor; 9. swivel-tilting head; 10. aerials; 11. transmitters and receivers; 12. swivel turret; 13. sample collecting vessel; 14. lead batteries; 15. automatic trailer coupling; 16. driving wheel with drive motor and gear at rear; 17. shoulder joint; 18. hand joint; 19. hand rotation; 20. large parallel-jaw tongs; 21. SM5-D power manipulator; 22. load hook.

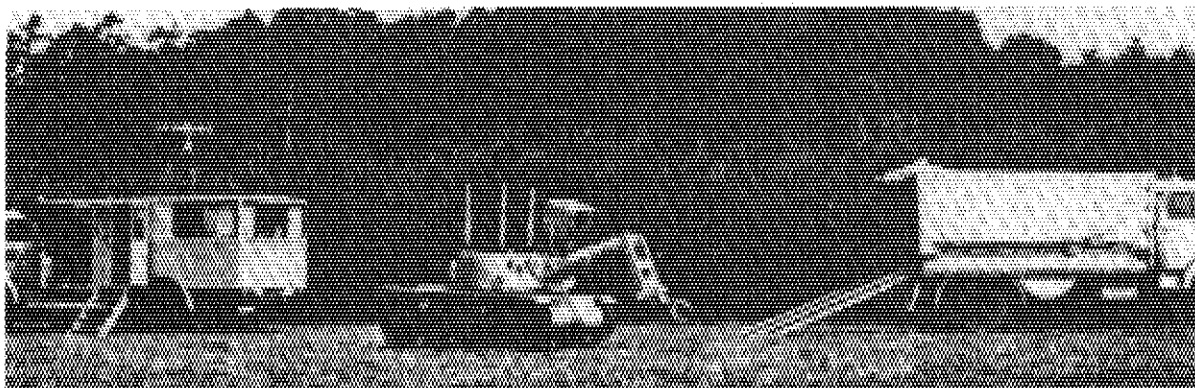


Fig. 2.18 The MEX System—guide vehicle, manipulator vehicle, and transporter.

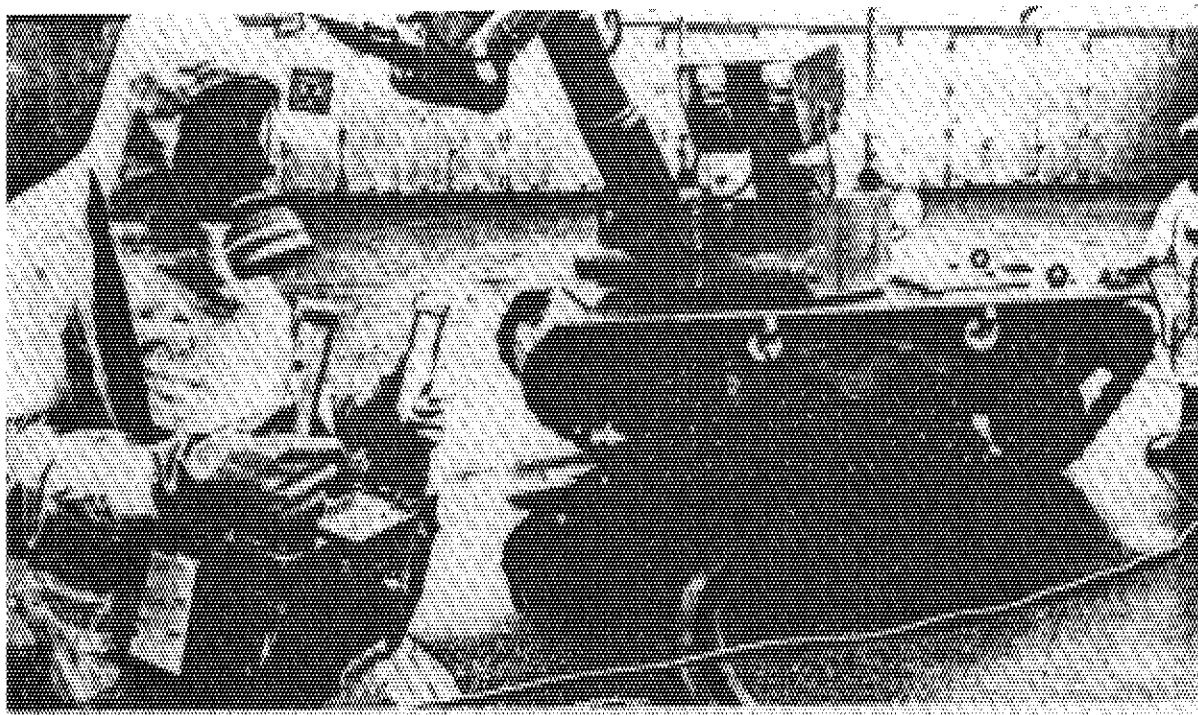


Fig. 2.19 Operator carrying the control box on a belt; the MFX manipulator vehicle.

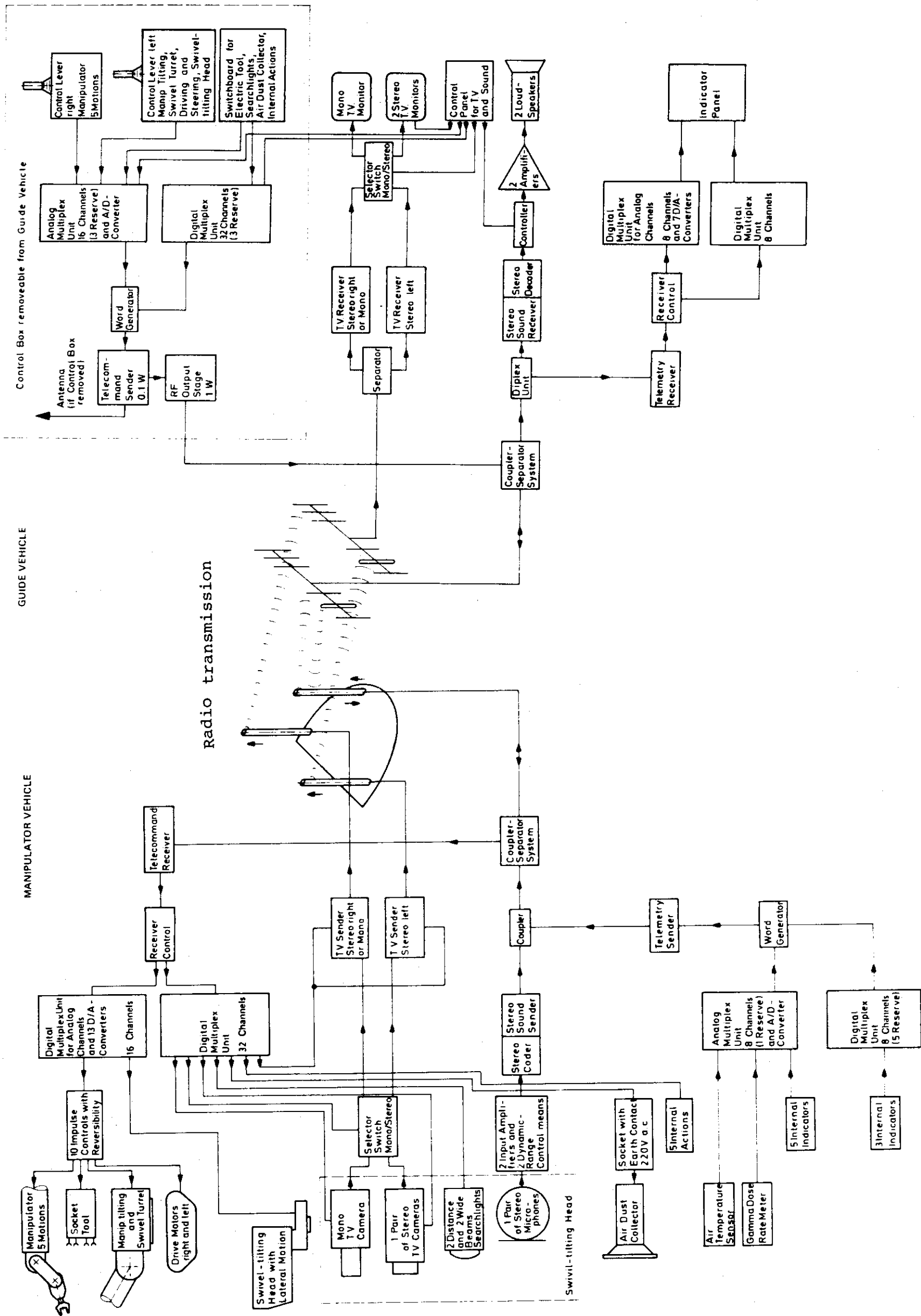


Fig. 2.20 The MF2 manipulator vehicle (simplified block diagram) for command and information.

(8) MF3 マニピュレータ車⁵⁾

西独のカールスルーエ原子力センタによって開発された軽量用のMF3 マニピュレータは、原子炉事故救済活動の目的の為に企画された。当初、屋内用として設計されたが屋外用にも適する。MF3は高放射能領域での作業のためになくてはならない遠隔装置である。

MF3は、TVシステムの下にリモートコントロールされる。TV画像の伝送、制御、電気はトレーリングケーブル法によって行なわれる。標準装置としては、Fig. 2.21に示すようなMF3-Eタイプがあり、2本の軽量用EMSM2 マスタ・スレーブ・マニピュレータを備えている。(MF3-E車両とマニピュレータのデータをTable 2.7に示す。)それは2本のスレーブアームと1対のステレオTVカメラから成り、2ケのランプ、2ケのステレオマイクロフォン、電気プラグソケット、 γ 線量率計、エア・テンパラチャセンサも有している。シャシーの上部構造ボックス上には、回転できるタレットが備えられている。また操作側には、スレーブ・アームを操作するための2本のマスタ・アームによるコントロールステーション、車両のためのコントロールボックス、フッドペダルコントロールボックス、ディスプレイ、コマンド・パネル、TVモニターが用意されている。コンピュータ用としてセントラル・ユニット、スイッチングキャビネット、ケーブルドラムがある。したがって車両やマニピュレータは1人のオペレータによってコントロールすることができる。

シャシーは斬新なデザインを採用している。屋内用の車に対する主な障害は階段であり、踊り場や他の制限されたスペースにおいても小回りのきく小さなものが必要とされる。その点、このMF3はシャシーと装置が構造的に分離されており、Fig. 2.22に示されているように種々の動きが可能となっている。荷重が4 kpを越える場合は、サーボフォース増巾が用いられる。補助装置なしに、他のスレーブアームでトングの先端部が取替えられる。そういう場合は、荷重能力100 kpをもつ重荷重用のSM5-Hパワーマニピュレータが有利である。

Fig. 2.23は電氣的なEMSM1 マスタ・スレーブ・マニピュレータがMF3のシャシー上に装備されたところを表わしている。またFig. 2.24には、ステレオTVカメラや γ 線量率計を備えたMF3が偵察車として使用されることを示している。

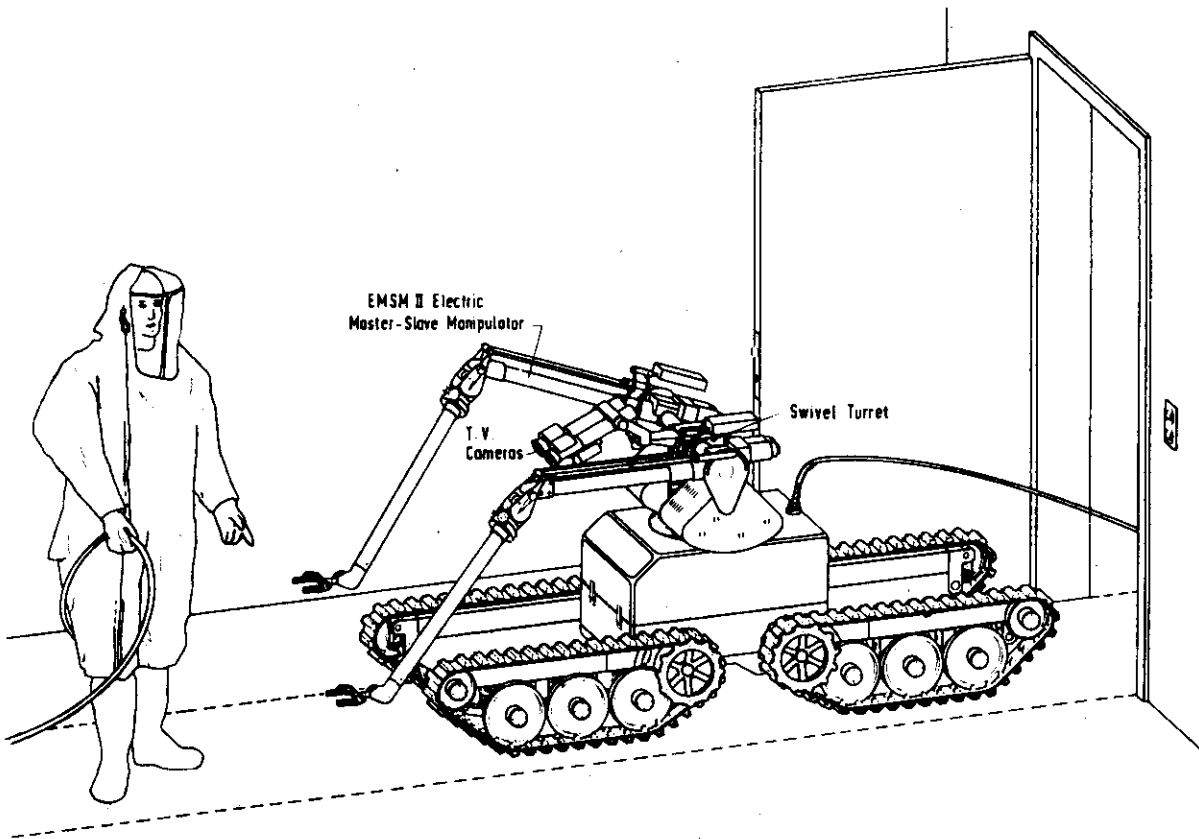


Fig. 2.21 The MF3-E manipulator vehicle.

Table 2.7

A. Vehicle Data

Weight	500 kg
Length (max/min)	2.26/0.95m
Width	0.71m
Height (normal/max)*	1.05/1.74m
Working devices	two light-weight electric master-slave manipulators
Viewing equipment	two stereo television cameras with zoom lenses
Length of cable (max range of action)	100 m

B. Manipulator Data

Type	EMSM II
Load capacity (normal/max)	12/24 kg
Number of movements	6+tongs
Length of slave arm (shoulder pivot to tip of tongs)	1.77m
Force ratio, master: slave	1: 1, 1: 2, or 1: 6
Weight slave arm with drive units	45 kg.

*Up to the upper edge of the television cameras in the basic position.

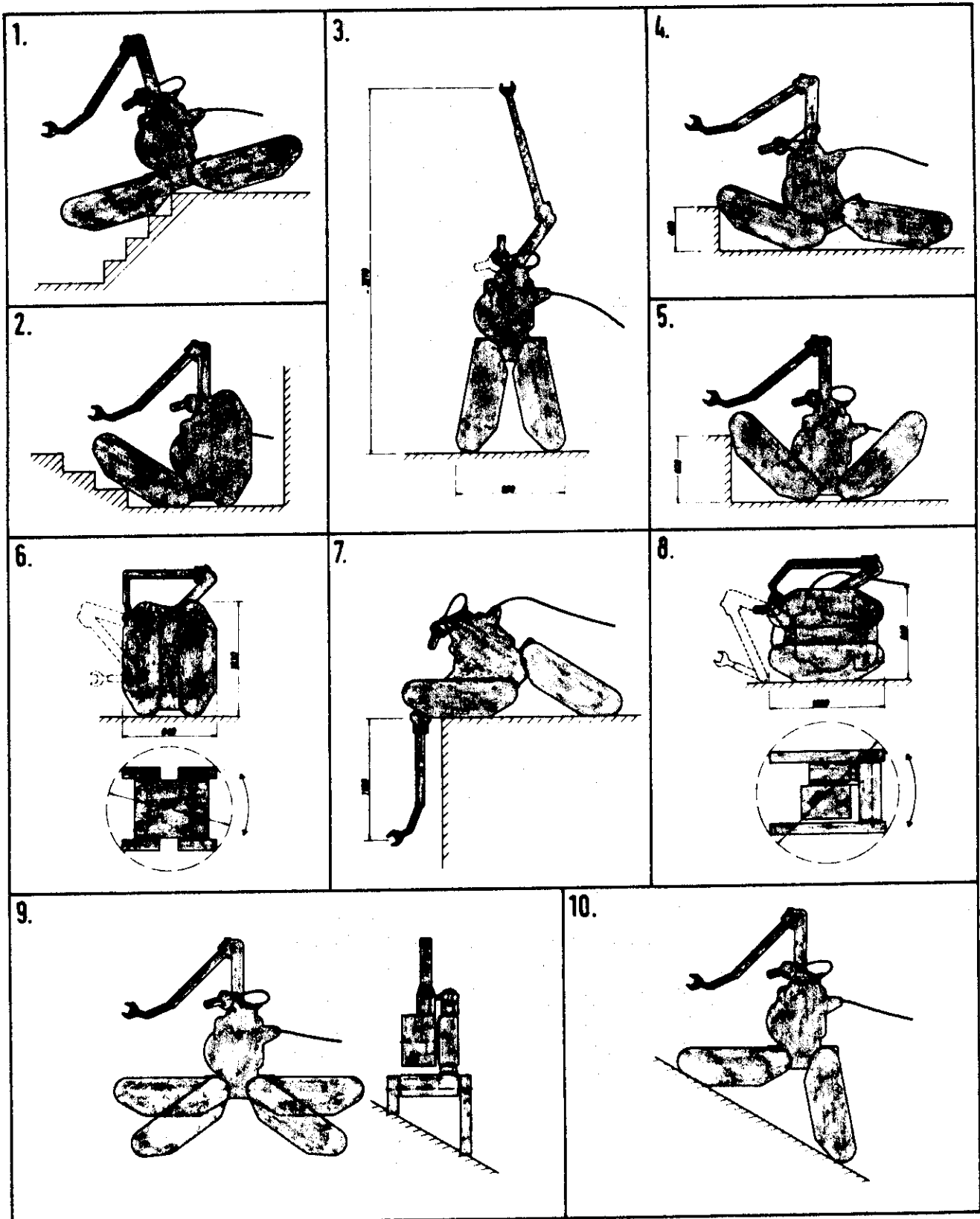


Fig. 2.22

The variable chassis geometry of the MF3 vehicle: 1. When driving downward, no dumping on a stair; 2. situation at a stair landing; 3. increasing the range in the upward direction; 4. climbing high steps; 5. climbing very high steps with adjustment of the chassis members; 6. shortest length; 7. increasing the range below the standing level; 8. lowest height; 9. transverse inclination balanced out; 10. longitudinal inclination balanced out.

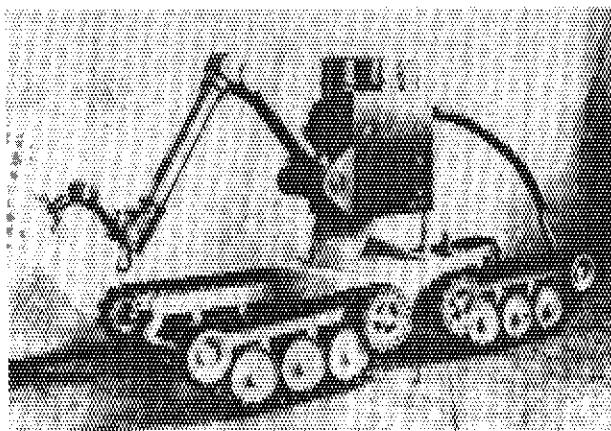


Fig. 2.23 Light MFI vehicle with ERM-1 slave arm.

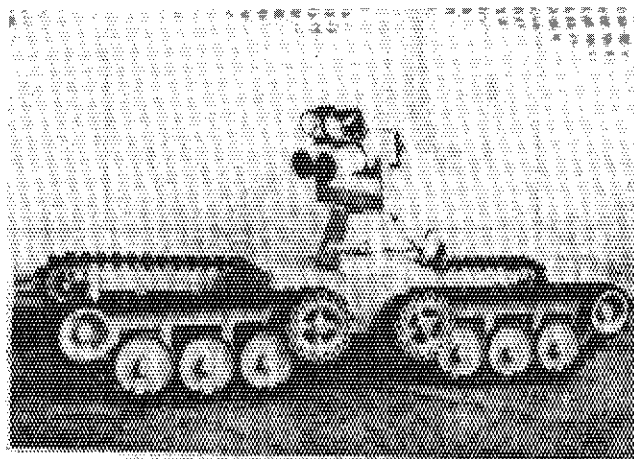


Fig. 2.24 Light MFI vehicle with stereo television camera, two searchlights, and one gamma dose rate meter.

2.2 再処理施設におけるリモートハンドリング技術

再処理施設は原子力発電所よりも保守を重要と考え、当初から直接保守及び遠隔保守の概念をある程度明確化し使い分けてきた。

はじめに、一般的な再処理施設の保守方法について述べ、次に米国の再処理工場が具体的にどのような保守を行なっているのかを紹介する。またいくつかのリモートハンドリング装置についても紹介する。

米国の再処理工場としては、Hanford, Barnwell, Exxon, West Valley, Midwest, Idaho をとりあげた。直接保守と遠隔保守のどちらにウェイトを置くかは各施設ごとに異なっているが、いずれにしても折衷方式を採用している。施設の中は小さなセルに分かれており、予めどちらの方式を採用するか決められている。

また、下記の項目についても紹介する。

- ① ホットラボ用マニピュレータ
- ② MA 23 バイラテラルサーボマニピュレータ
- ③ ROMAN
- ④ パワーマニピュレータ (モデル 3000, 3500, 6000)

2.2.1 一般的な再処理施設

(1) 概要

従来から再処理施設の保守として、直接保守と遠隔保守の2種類があった。

- | | | |
|---|------|---|
| { | 直接保守 | : セル内に人が立入ることを前提とした保守方式。
人の立入りに先立って行なう除染を容易にするために、施設は多数のセルに分離されているのが普通である。 |
| | 遠隔保守 | : プロセス設備内に直接人は入らず 代わりにリモートコントロールされた装置によって保守を行なう方式。 |

アメリカの新しい再処理施設では、設備機器の信頼性を高めて保守の必要性をできるだけ少なくし、その上で直接保守と遠隔保守の折衷方式を採用している。すなわちプロセス設備の信頼性に応じて両方式を使い分けている状況である。

(2X1) 遠隔保守の対象となる設備機器

- (可動部分があり機械的操作を必要とするもの。
デザインライフ中に交換を行なう可能性の高いもの。)

- (A) 高レベル廃棄物濃縮器
- (B) シヤ (燃料アセンブリ切断のためのもの)
- (C) 燃料ハード・ウェア等固体廃棄物処理装置
- (D) 溶解システム

このような設備機器を保有しているセルには、以下の遠隔保守用機器が備えてある。

- (a) リモートコントロール・クレーン
- (b) マスタースレーブ・マニピュレータ

(c) パワーマニピュレータ

(d) I T V

(e) のぞき窓

(ii) 遠隔保守の対象となる設備機器

(可動部分のない、機械的操作が不要なもの。)
(デザインライフ中に交換を要しないもの。)

(A) タンク

(B) 容 器

(C) 配 管

(D) ジェット・エア・リフター

(3) 遠隔保守用装置機器

(i) 搬送機器

① 遠隔ブリッジクレーン

重量物の搬送には、マニュアル制御の電動ブリッジクレーンが使用される。これは交換すべき機器の搬送用としてだけでなく、ブリッジクレーンに付けたホイストのフック部にインパクトレンチやグラバー、看視装置、パワーマニピュレータなどを取り付けて作業機械としても利用できる。

また、遮蔽壁の外側から鉛ガラス壁などを介して内部を看視しながら操作する一般的な方法と、運転者がクレーンと連動した遮蔽キャブの中から操作する方法とがある。

② カート

交換すべき装置をデコンタミネーション・エリアに運ぶのに電動のカートが使われる。

(ii) 汎用マニピュレータ

① マスタースレーブ・マニピュレータ

バルブやポンプなどの小型機器の調整、修理、交換に広く利用されている。

② パワーマニピュレータ

チョップのプレート交換などに広く利用されている。

例えば、クレーンにつけてクレーンと共に稼動するものである。

(iii) リモートコネクタ

プロセス配管、補助配管、電気ケーブルなどを遠隔操作により簡単に着脱できる構造のコネクタである。

パイプコネクタを締め付けるのに必要な時間は、10～20秒である。

電気コネクタの締め付けは、インパクト時間2秒以下でほとんど瞬間的である。

ジャンパ・コネクタとも呼ばれ、固定オス端と可動メス端を3本のラッチで結合するタイプである。ラッチはインパクトレンチによって1本の回転六角ナットのスクリューを回すことによりロック、アンロックができる。

(iv) 特殊工具

① グラバー

クレーンのフックではピックアップできないナットのような小物部品を扱うため使用さ

れる。蛤形バケット装置で小型モータ駆動によりバケットのアゴを開閉する。バケットの両側にカットされた半円のノッチによって、パイプをつかむことも可能である。

② インパクトレンチ

リモートコネクタの着脱やタンク、カラム、その他の取付ボルトの締付けやアンロックに利用される。モノレールホイストに付けて使用し、はずしたナットはインパクトレンチのソケットの中に保持しておく。

(V) 視覚装置

出力可変双眼潜望鏡、カラー I T V、立体 I T V などが広く使われている。施設によっては、装置・設備の有効利用のためにその内部を次のように色分けしている。

白色	………	壁, セル・カバー, 床
生地	………	ステンレス鋼製容器
灰色	………	炭素鋼製品, ジャンパ・ブレース, 容器サポート
黒色	………	数字, 壁際, わき柱
黄色	………	フックガイド, コネクターナット, セル・ブロックのまわりのバンド

(VI) メンテナンステーブル・他

① メンテナンステーブル

比較的小物部品やマスタースレーブ・マニピュレータを使って修理するためのテーブルが設備されているところもある。またクランプや V ブロックも用意されている。

テーブル機構……… 360° 回転, 45° 傾斜, アップダウン

② 保守壁孔

故障頻度の高いポンプ、バルブなどの機器を保守壁孔にまとめて保守しやすくしている。鉛ガラスを介してクレーンにより保守を行なう。

③ ダイバージェン・ボックス

バルブを使用しないで配管系統を変えたり、新しいラインを加えたり、ジャンクションの洩れを検出するのに便利のように、廃液ラインを集め、配管の重複を減ずるために設けられたコンクリートピットである。

④ デコンタミネーション・ショップ

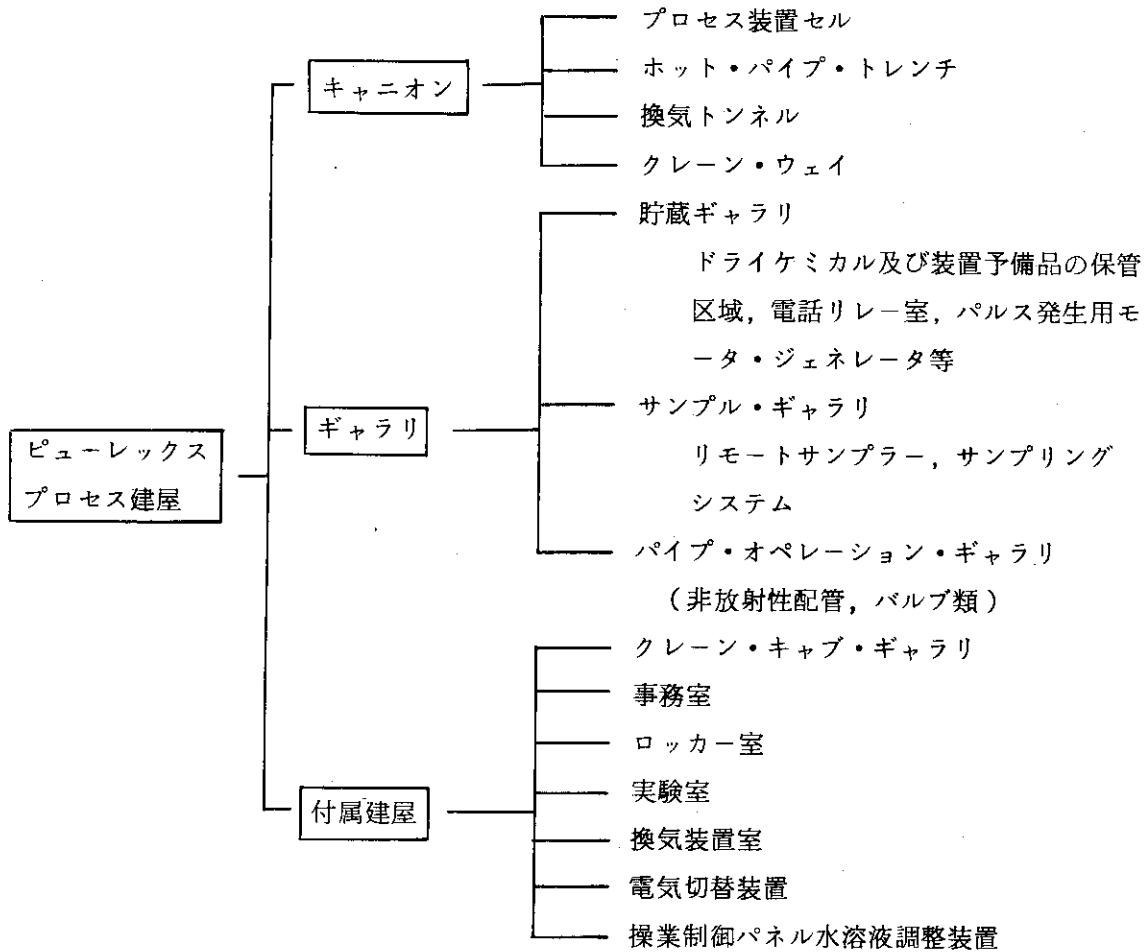
交換のために取外した汚染機器をデコンタミネーション・ショップに運んで除染する。

2.2.2 米国の再処理施設での保守方法

(1) Hanford 再処理工場⁶⁾

(i) 主要プロセス建屋

この再処理工場の中心建物は、ピューレックス・プロセス・ビルディングである。これは長 306 m × 巾 36 m × 高 32 m (地下 12 m + 地上 20 m) の細長い建物で、内部はキャニオン、ギャラリー、付属建屋に 3 区分され、各々が次のように分けられている。



(ii) 遠隔保守

キャニオンに配置されるプロセス装置は、できる限りトラブルフリー・サービスで保守を最少限度にするよう設計されている。しかし一部の装置及び部品については、取外し、修理、取替が必要になる。このような要求に伴って、遠隔保守作業が遮蔽されたマスタークレーン及び遮蔽されないスレーブクレーンによって行なわれる。

マスタークレーンから吊下げられたインパクトレンチによって操作されるリモート・コネクタ及びタイ・ダウン・ナットは、装置、プロセスライン、電気ラインを遠隔操作する手段となっている。

クレーンによってセルから取出された装置は、埋没地へ運ぶためレールロード・トンネルに持って行くか、除染セル、ホットショップ、またはレギュレーテッド・ショップ (Regulated Shop) に運んで除染及び修理を行なう。

建物外にある2つのダイバージョン・ボックス (Diversion Box) でも遠隔操作技術が要求される。放射性処理溶液はこれらのダイバージョン・ボックスを通じ、適当なタンク・ファーム (Tank Farm) またはクリブ (Crib) へ送られる。

(iii) 遠隔保守用装置機器

遠隔保守には、以下のような装置機器が使用される。

(a) 遠隔保守用クレーン

(イ) マスタークレーン

マスタークレーンは、容器、回転機器、パイプ・ジャンパ、セル・カバー・ブロックなど日常の機械的操作を行ない、また溶解槽にチャージするプロセス機能を果たすため設置されている。このクレーンは後述のインパクトレンチ、グラバー、看視装置等の助けを借りて作業を行なう。ブリッジ速度は $1.29 \times 10^{-5} \text{ m/sec} \sim 0.03 \text{ m/sec}$ である。クレーンの動きは遮蔽キャブから制御される。キャブは温度を $21.1 \sim 26.6^\circ\text{C}$ に保持し、10回/時の換気を行なうエアコンディショニング・システムで換気される。

(ロ) スレーブクレーン

このクレーンは2つのクレーンが要求されるような作業でマスタークレーンを助けるために、あるいはまた放射能レベルの低い所での保守作業を行なうために設けられたものである。ブリッジ速度は $0.01 \sim 0.81 \text{ m/sec}$ である。ブローは炉過空気を供給し、キャブを10回/時の割合で換気する。

(b) 特殊工具

電動リバーシブル・インパクトレンチがリモートコネクションをつないだり外すのに利用され、またタンク、カラムその他のホールド・ダウン・ナットを遠隔操作で回転するのも利用される。インパクトレンチのモータにつなぐ電気ラインはクイック・ディスコネク・カップリングが使用される。

グラバーはバケット・ジョー (Bucket Jaw) を交互に開閉する蛤状バケット機構で、ジョーのリップは緩められたナットその他クレーン・フックではピックアップできない小部分をつかむのに利用される。

(c) リモートコネクタ

これはプロセス・パイピング、補助ライン、電気コンジュイットのコネクタの一種で、マスタークレーンから遠隔操作するインパクトレンチで行なう単一操作で結合することができる。コネクタは3つの掛け金で結合される固定オス端 (Fixed male joint) と可動メス端 (Removable female joint) から構成される。Fig. 2. 25, Fig. 2. 26において、掛金は回転六角ナットのスクリュウを作動することにより、コネクタの固定部分のフランジをつかんだり離したりする。1つのインパクトレンチがすべてのコネクタに適合するようになっている。

パイプコネクタを締め付けるのに必要な時間は10～20秒である。電気コネクタの締め付けはインパクト時間2秒以下でほとんど瞬間的である。コネクタは1/2, 2, 3, 4インチ I. P. S. パイプを結合させるように作られている。

(d) 照明及び看視装置

照明として、メイン・トリリ・ホイストの下に1500Wランプ16個、スレーブクレーンでは1500Wランプ4個をつけている。

クレーン操作はクレーンブリッジの片側に搭載した2つの出力可変双眼潜望鏡によってキャブ (Cab) から観察される。遠隔保守を助けるため、0.3mスクリーンのクローズドループ・カラーTV・システムも2組利用される。

(e) スピーカ・レシーバ間の連絡システム

クレーン・キャブ，発信事務所，レールロード・トンネルの間で声による連絡ができるようになっている。

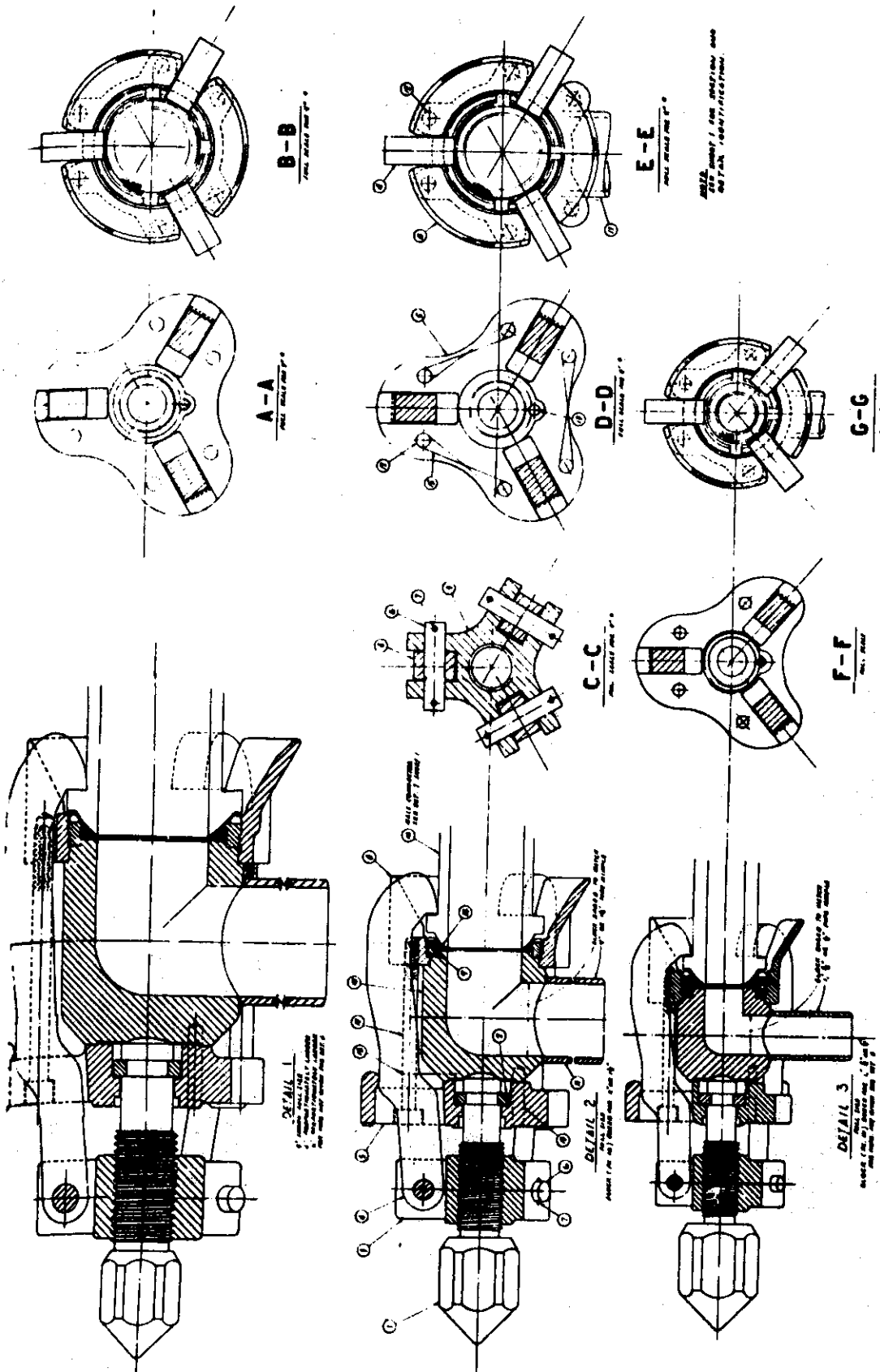
(f) ダイバージョン・ボックス

これはバルブを使用しないで配管系統を変えたり，新しいラインを加えたり，ジャンクションの洩れを検出するのに便利のように廃液ラインを集め，配管の重複を減ずるために設けられたコンクリートピットである。ジャンパ・コネクション及びパイピングからの漏れは，ダイバージョン・ボックスの近くのキャッチ・タンクに集められる。

(iv) ホットな装置の除去及び修理

キャニオンから修理，検査，処理のため取除かれる装置は，できるだけ連続作業を続けるため迅速に取替えられる（キャニオン・クレーンで遠隔的に取扱われる）。修理作業前に装置を除染するのはきわめてコスト高であるため，修理をしないで新しい装置と取替える方がしばしば経済的に得策である。汚染した装置の処理が必要な時は，部分的に鋸くずを満たした木箱に入れ，レール・ロード・トンネルに持って行き，埋没地または処分区域への輸送のためフラット・カーに搭載される。

キャニオンから取外したホットな装置（タンク，ポンプ，攪拌機及び他の装置部品）は，最初除染セルに移され，それから残留汚染の度合及び必要な修理作業に応じてホットショップまたはレギュレーテッドショップに移される。プール・セルは高度に汚染された装置を除染し貯蔵するのに用いられる。



THE JUMP CONNECTION IS MADE OF
 STAINLESS STEEL AND THE CONTACT
 POINTS ARE MADE OF COPPER.

Fig. 2.25 ジャンパ・コネクタ (I)

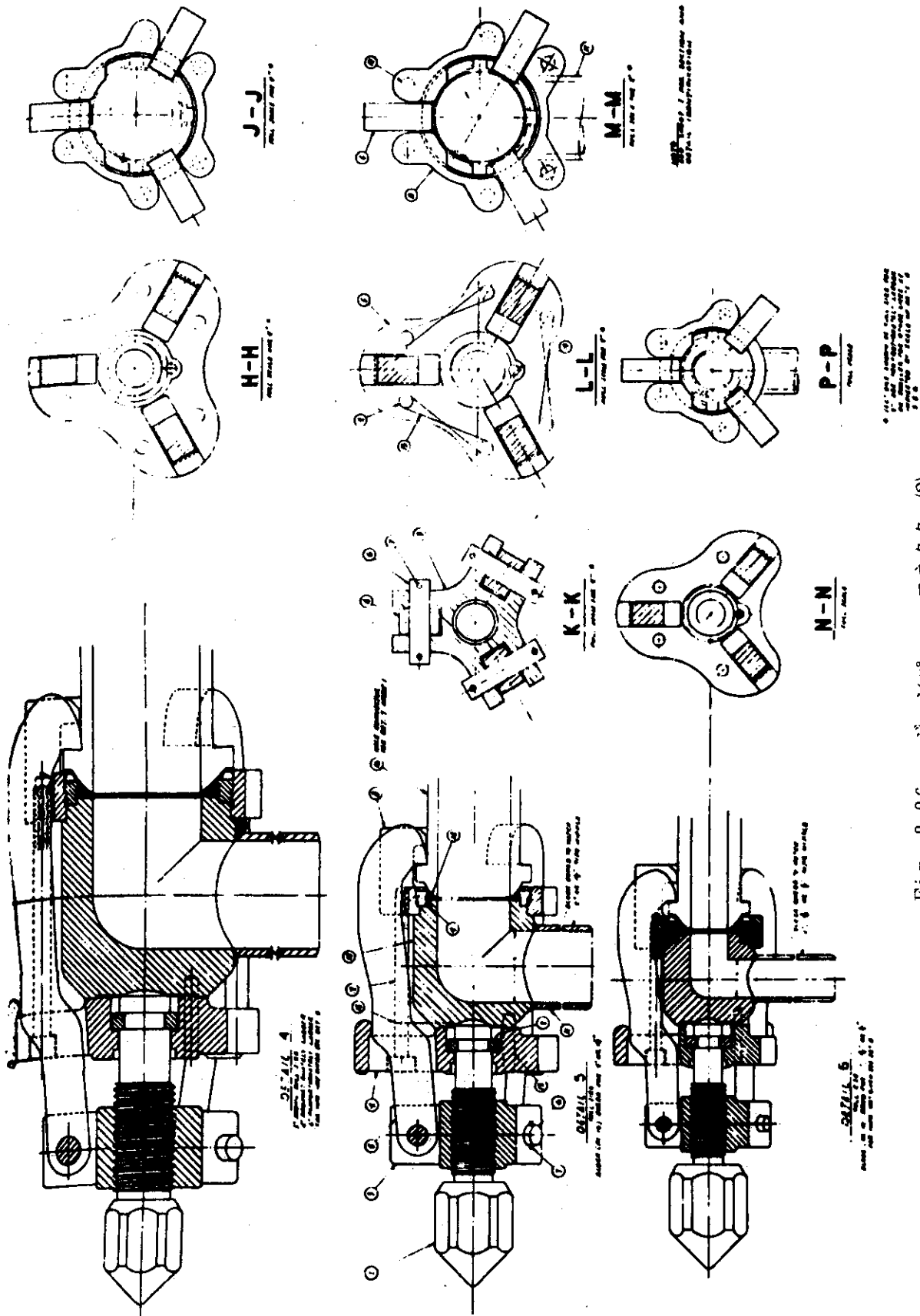


Fig. 2.26 ジャンパ・コネクタ (2)

(2) Barnwell 再処理工場⁶⁾

(i) 主要プロセス建屋と接近規制

プロセス建屋は、プロセス・セル及びそれを囲む側廊 (Aisle)、ステーション、ギャラリーで構成されている。

(a) エリア&アイル (Aisle)

プラントの操業、制御、保守のため 40 時間/週の作業従事が認められる。

(b) ステーション

通常はエリア&アイルと同様の標準の接近が許される。すべてまたは一部の区域をギャラリーと同様の立入制限区域に指定する規定が設けられる。

(c) ギャラリー

接近制限 (Limited) が行なわれる。検査、頻度の少ない作業、サンプリング、保守については、放射能レベル、汚染レベルに従って短時間の作業従事が管理された条件下で認められる。設計放射能レベルはエリア、アイルよりも高い。

(d) セル

接近制限 (Restricted) が行なわれる。接近は放射能レベル、汚染したレベルに基づいて注意深く管理された条件下でごく短時間認められる。立入はプラント装置の検査、保守のためたまに要求される。

(ii) 保守

遠隔保守、直接保守、2つの保守システムがプロセス建屋で採用されている。プロセス・セルは遠隔保守セルと直接保守セルに区分され、両者は共通の遮蔽壁をわけあって併行して配列されている。

(a) 除染

中央除染液混合配分システムがすべての直接保守セル及び遠隔保守セル用に設けられる。除染液はコントロールシステムからプロセス建屋全域に配分され、セル内に設けてあるペネトレーションと適時接続することによって各装置に液を注入する。

直接保守セルの装置については適当な液で装置内部を洗浄 (flush) するが、外部除染は漏洩が装置または配管におきない限り要求されない。外部除染が要求される場合は、除染液の霧 (Fog) または泡 (Foam) をセル内に吹きかけ、装置またはセルの表面に沈積させる。回転スプレー・ノズルが洗浄 (Washing) のためセルにひきさげられる。最後の除染は注意深く管理された条件下でセル内に入った人によって行なわれる。

遠隔保守セルの装置については、据付場所で最初内部除染される。装置はクレーン・装置除染セル (CEDC) を通してクレーン・装置保守ステーション (CEMS) に移される。切断機は据付箇所でも部分的に除染されるように設計されている。保守頻度の比較的高い部品を含む切断機モジュールは遠隔操作で取外され、解体に先立って除染のためクレーン・装置保守ステーション (CEMS) に移される。

(b) 保守操作

(1) 遠隔プロセスセル装置

定期的保守を必要とし、かつ除染の困難な高放射性物質を扱う装置は遠隔方式で、セ

ル内で保守し脱着できるようになっている。装置はセル内クレーンによって遠隔セルから取外される。クレーンシステムは部品取替の時間が最小になるように調整されている。遠隔セルの装置及び配管は、取外された装置の取替えを容易にするため通常の工業標準より寸法精度が要求される。窓、TVシステムが遠隔保守作業を看視するため設けられる。看視窓及びマスタ・スレーブ・マニピュレータを設ける回廊 (Corridor) は、窓またはマニピュレータの取外しの間、換気コントロールの利用によって放射性物質の広がりを最少にするように設計されている。

(ロ) 接触セル

保守頻度の少ないまたは除染の容易な装置の取替えあるいは保守は、直接方式で行なわれる。セル内装置への接近は制限されているが、除染後特殊な環境下では許される。接触セルへの保守のための人の接近は、ギャラリまたはステーションから行なわれる。トップ・ハッチもすべての接触セルに設けられている。装置は接触セル内の据付場所で修理されたり、修理のため取外されたり、固体スクラップとして廃棄されたりする。

(ハ) 処分のための故障装置及びスクラップの除去

プラントからの故障装置及び固体スクラップは再処理工場サイトの固体廃棄物埋没地に移される。それは要求に従って除染され包装される。プラントからスクラップの除去、埋没地への輸送の間、作業員の被曝を防護するため遮蔽を設ける。

(3) Exxon 再処理工場⁶⁾

(i) 主要プロセス建屋

キャスクに入った使用済燃料は、鉄道またはトラックで運ばれてくる。燃料キャスクは燃料受入貯蔵区域で受取られ (燃料受入場)、積みおろされる (キャスク・アンローディング・ステーション)。燃料は輸送チャネルの水の中を運ばれ、燃料貯蔵プールに貯蔵される。次にそれは、貯蔵プールから連絡輸送チャネルの水の中を運んでプロセス建屋に運ばれる。

(ii) 保守

この工場では施設の規模及び関係する放射能の濃度に応じて、三つの基本的な保守方式 (遠隔保守, 半遠隔保守, 接触保守) が用いられる。

(a) 遠隔保守方式はきわめて放射能の高い場所の、大型の設備またはその付属品を交換するために用いられる。作業はクレーンから吊下げられるフックや工具を用いて行なわれる。この区域に人が入ることは許されない。

主な遠隔保守方式の採用箇所は、キャスク・アンローディング・セル、燃料取扱準備室、遠隔処理室、高レベル液体廃棄物サージ・セル、仮焼廃棄物梱包室及びホットショップ、ウォームショップ等である。

(イ) 遠隔ブリッジクレーン

ブリッジクレーンは2基設置されており、セル壁に隣接する操作ギャラリから遠隔操作される。鉛ガラス窓から作業室を見て操作できるし、またポータブルの電気連結操作盤によりオペレータは全てのクレーンと工具の動きを制御できる。各クレーンは遮蔽された区域まで運ばれ、そこで接触保守法で保守することができる。各クレーンには電力

または機械的故障の場合、手で回収することのできる機構を備えている。

(ロ) 特別の設計要素

遠隔保守区域のすべての設備、構造の接触点は、人力なしに設備を据付けるため正確な位置に置かれる。室内にマークがあり、設備につけられたガイドピンをそれに合わせて設備を正確に置く。設備部品はお互いにまたはパイプと、コンクリートを隔てて特別設計のジャンパによって連結される。パイプ、設備の連結部の端は特別設計のフランジである。各ジャンパは一本のパイプまたは導管で、その両端に連結ヘッドがあり、特別の場所に適合するようになっている。各パイプジャンパの連結ヘッドは、固定フランジ密閉のためのパッキング、及び固定クランプの後ろに伸びている三本式のクランプに適合するようになっている。フランジのついた連結部は、ネジ構造体をインパクトレンチで回すことにより着脱される。

(イ) 除染とホットショップ

キャスク・アンローディング・セルでは破損施設はセルの上方及び隣りにあるウォームショップに移される。燃料再処理施設では、破損した設備は遠隔クレーンによって元の場所から除染・ホットショップまたはウォームショップに運ばれ、そこで遠隔で除染、修理され、または廃棄物貯蔵所に送られる。除染溶液は中レベル廃棄物システムに送られる。設備が除染された後それは検査され、遠隔または接触の方法で更に除染されるか、修理のためにウォームショップに、または貯蔵のためにソリッド・ウェイスト・バレル・ストレージに送られる。

(b) 半遠隔保守

これは高放射能の場所の小型の設備部品（例えばバルブ、ポンプ等）の調整、修理、交換のために用いられる、作業は遮蔽壁越しに手の長い工具もしくはマニピュレータを使って行なわれる。人の立入りは通常は許可されないが、広範な除染及び、または設備の取外しの後なら許可することができる。

(イ) マニピュレータ

高度の放射区域内に置かれている機械設備の一部は、定期的な調整・保守を必要とする。例えば、燃料取扱準備セルの端末整合切断ノコギリの刃は定期的な交換が必要だし、仮焼廃棄物梱包室の溶接機も定期的調整が必要である。これらの作業は、商業的に入手できるマニピュレータで行なわれる。

(ロ) 補修用壁孔

故障しやすい設備（ポンプ、バルブ、回転計等）で、高放射線被曝に関連するものは、処理設備を持つ室に隣接する防護付補修用壁孔に置かれる。設備はパイプジャンパの上に取り付けられる。ジャンパは室内システムに連絡する連絡器に取外し可能な装置でつながっている。遮蔽壁には鉛ガラス窓、工具差入口があり、オペレータを守っている。壁孔内の重い部品の配置、移動にはクレーンが用いられる。破損した設備はオペレータが特別の工具を使って切離し、クレーンによって連絡通路経由でウォームショップに移される。もし更に除染が必要ならば、設備はホットショップに戻され、そこでさらに浄化した後にウォームショップに戻し、修理するか廃棄のために梱包する。

(c) 接触保守

燃料受入貯蔵施設、燃料再処理施設の上記以外については、接触保守技術が採用される。これは低放射能の場所で用いられる。作業は普通の工具により直接従業員が行なう。

(イ) 通常レベル放射区域

標準的な設計、建設、保守の技術が、通常レベルの放射区域たとえばウラン焼結、フッ化錫などで用いられる。従業員は汚染を避けるために防護服やマスクなどを着ける。設備の配置は、放射線に対する従業員の被曝を最小にするよう設計され、ポータブルの遮蔽壁が作業区域を被曝から守る。

(ロ) 通常の高レベル放射区域

部分的に純化されたウラン、プルトニウムを含む処理設備で故障しにくいもの（タンク、パルスカラム等）は、接触保守のため設計されたセル内に置かれる。これらの設備はその場所に溶接され、連結パイプもできるだけ溶接される。この設備はプラントの耐用年数の間、稼動が予定されている。設備の一部部品（攪拌器、熱交換器等）はセル内に入らず、頭上クレーンを使って交換するよう設計される。接触セルへの従業員の入室は、広範な除染が終了してからだけ許可される。

(ハ) ウォームショップ

ウォームショップは、除染・ホットショップに隣接して置かれる。従業員はエアロック、操作ギャラリから出入りする。ウォームショップは修理場で、隣接のホットショップ、接触セル、パイプ・操作ギャラリからの、またその他プラント合体からの設備を受入れる。ウォームショップにも除染設備が備えられている。

(ニ) マニピュレータ修理ショップ

マニピュレータ修理ショップは接触セルの間のサービス区域に設けられ、移送システムがマニピュレータと修理場との間に備えられている。マジックハンドとその部品の除染、修理の設備がある。

(iii) 安全性の配慮と制御機構

(a) 従業員の保護

遮蔽、隔離設備、遠隔操作等によって放射線被曝は最小に抑えられている。時によっては、高放射能設備の保守を行なわなければならない場合もあるが、そのさいは遠隔除染、特別の工具の使用、一時的遮蔽壁の設置などが必要である。また汚染区域での作業は防護服の着用を必要とする。

(b) 閉じ込め

保守作業は放射性物質の拡散を伴わないように密閉区域の中のみで行なわれ、その区域内で放射性物質は適切に処理される。空中粒子となった物質は、換気装置によって処理及び、または沪過される。液体に入った放射性物質は適切な液体廃棄物処理システムで処理される。

(c) 建造物

コンクリートの表面には保護塗装が行なわれる。人が通行するコンクリート区域は被覆される。建屋のレイアウトは設備の取扱ルートを容易にするよう設計されている。接触セ

ルの幅・高さは現場での設備の交換、修理に人が入るのに必要なスペースに基いて定められている。遠隔セル・高さは設備の大きさ及び遠隔サービスの必要条件に基いて定められている。観察窓の設計、設置は、保守作業の間充分な観察ができるよう位置が定められている。

小さな修理作業はユーティリティ・サービス区域で行なえるよう作業場が設けられている。

通常の全ての有人地区から、緊急及びまたは異常条件の下で出入りする従業員の通行路が設けられている。比較的高い汚染の拡散の危険のある有人区域は、最大限に可能な範囲で分離される。プルトニウム閉じ込め箱は人の移動の妨げにならぬようそれぞれの間に充分の間隔を置いて並べられる。

(d) 設備

処理設備は可能な場合には、取扱いを容易にするため便利なサイズの型に設計される。

接触セルの付属設備は、頻繁な交換が予定される場合は、隣接の保守用壁孔に置く。セル内の設備にはクレーン、巻揚機、マニピュレータが接近できる。セル内設備には名札を付け、故障設備の位置を早く発見する。

別個の工作補修工場があり作られた設備、ジャンパを検査する。

(e) 計測

計測ラインは目盛り読取り作業を容易にし、詰ったラインを清掃しやすいように取付けられる。汚染の可能性のある発信機は最大限に防護される。計測は規格化されており、小規模の補修のために各所に補修場が設けられている。遮蔽付きのキュービクルが半遠隔保守のために備えられている。

(f) パイプ・システム

ギャラリ区域とプロセスベッセルとの間、及びプロセスベッセル相互間のラインは、プロセスベッセルの方に流れる傾斜となっている。放射性溶液がサイフォン現象で上昇または逆流してコールド区域に入ることのないよう、また溶液の滞留を最小にするための設計が行なわれている。

(g) 観察設備

鉛入りガラスの窓は外側の壁から交換できる設計となっており、窓の取付けにはプラグが設けられる。閉鎖回路テレビは器材を汚染なしに補修のために取外せるよう設計されている。

(h) 設備取扱システム

恒久的な据付けとなっている巻揚機、クレーン、レール等はそれらを頻繁に必要とする場所、補修工場、マニピュレータ区域などに設けられている。高放射区域で用いられるすべてのクレーンの設計は、部品が故障した場合はそれを回収できるシステムとなっている。

(4) West Valley 再処理工場⁶⁾

(i) 主要プロセス建屋

主要プロセス建屋は、以下のような区域より構成されている。

(a) 燃料受入貯蔵区域

キャスク除染ピット、キャスク・アンローディング・プール、燃料貯蔵プール、浄水装置等使用済燃料の貯蔵及びキャスクの保守の業務が行なわれる。

(b) プロセス・メカニカル・セル

解体剪断の作業が行なわれる。

(c) ゼネラル・パーパス・セル

剪断された燃料小片及び溶解槽からのハルの移送が行なわれる。

(d) ケミカル・プロセス・セル

溶解、フィード調整、廃液蒸発濃縮が行なわれる。

(e) 直接保守セル・その他

溶媒抽出装置を内蔵する3つの直接保守セル及びプロダクト精製セル、ウラン・プロダクト・セル、プロダクト梱包・出荷室、オフガス処理セル、酸回収セル、廃棄物貯蔵タンク等がある。

(f) サービス区域

プロセス・セル周辺の操作通路には、計測制御室、操作ステーション、記録装置、保健物理モニタリング計測管理装置等が設けられている。ウォーム装置通路には壁孔が配置されており、ポンプはこれらの可動遮蔽カバーで遮蔽された壁孔中に設けられている。

(ii) 直接保守

West Valley ではケミカル・プロセス・セル及びプロセス・メカニカル・セル以外では直接保守方式を採用している。作業員がこれらの作業区域に立入許可される前に、広範囲にわたりセル内装置はもちろん、場合によってはセル自体を除染することが必要である。

(a) 除染

セル自体及び装置の外側を洗浄するために、セル毎にスプレーヘッドが設けられている。一般に洗浄液は腐食性のないものが使用されるが、除染に長時間を要する場合には腐食性のものを使用する。

(b) 作業者の入室

除染が完了すると、セルのハッチを外しモニタリングを行ない、必要あれば更にホット・スポットの除染を行なう。セルへの接近は天井のプラグまたは接近扉を通して行なわれる。

(c) セル内設備の保守

一部の施設（プルトニウム・イオン交換塔、ウラン・シリカゲル・ベッド等）は取替時の便宜を考慮してフランジ付配管で接続するが、多くの施設では漏洩を少なくするため接続部は全て溶接されている。

パルス・カラムは壁にはめ込んだブラケットにボルトで固定する。またタンク類は床の基礎にボルトで固定する。大きな修理や内部の改造は、装置除染室に移した後で行なわれる。

直接保守区域で保守を必要とするのは、ポンプ、空気作動バルブである。これらはすべて遮蔽壁孔に集めて設置されている。壁孔内の装置はコンクリートカバーを外し、外部から伸縮自在ハンドルを使用して操作される。壁孔内には除染のための配管が設置されており、

保守時必要ある場合には壁孔内全域あるいは特定区域、装置の表面を除染する。放射能の高い壁孔には、ケミカル・プロセス・セルで使用されているようなりモートコネクタ・ヘッドが設けられている。その他の装置のフィッティングはグレイロック・タイプ (Gray-lock type) で、着脱には伸縮自在レンチが使用される。電気コネクションはプラグ・イン・タイプ (Plug-in type) でその着脱には特殊工具が使用される。

(iii) 遠隔保守

遠隔保守は、メカニカル・セル及びケミカル・セル内で行なわれる。メカニカル・セル内ではほとんどの装置はセル内で、その大部分は設置箇所、看視及びハンドリング装置を利用して修理される。主な修理、交換は遠隔操作装置によって行なわれ、処分または移管の際は浄化のために保守区域に移される。ケミカル・セル内では欠陥のある装置は除去、交換されねばならない。装置は遠隔操作装置によって除去されるように設計され、かつ除去に先立って設置場所で内部の除染が行なわれる。蒸発器以外の全ての装置は、スプレーによる外部除染のため除染区域にモータ付カートで移される。装置は作業目的に応じてさらに除染するためのソーキング・ピット (Soaking Pit)、埋めるための包装区域あるいはまた修理のためのウエルディング・ベイ (Welding Bay) に移される。

(a) プロセス・メカニカル・セル

ここには2トン・クレーン2基、パワー・マニピュレータ1基、マスタ・スレーブ・マニピュレータ4基を設置している。これによって据付場所での装置の修理が可能になる。

ここではクレーン、マニピュレータ、看視窓、潜望鏡、鏡、テレビの組み合わせによって、操作員が基本的に全ての軽い修理や装置整備を完全にセル内で遂行することを可能にしている。故にこれらの操作は、一操作員に対する被曝問題を引起こさない。重大な修理や取替は、ユニットまたはコンポーネントをゼネラル・パーパス・セルのハッチを通じ、スクラップ・リムーバル区域やメカニカル・クレーン・ルームを経て除去することにより達成される。除去される装置は据付場所で最初の除染をし、それから除染施設へ持っていかれ、直接保守が可能となるほど十分に洗浄される。さもないければ、それは遮蔽されたトレーラで廃棄処分区域へ持っていかれ埋められる。

(b) ゼネラル・パーパス・セル

ゼネラル・パーパス・セル内で遂行される操作は、基本的には剪断された燃料の入ったバスケットとスクラップの入ったドラム缶の輸送である。その結果、装置設計は高信頼性を持った単純なものである。このセル内の装置は操作通路の外側にアクチュエータ・モータ、油圧シリンダ等を持つように設計されている。これらのアクチュエータの修理、調整は、それゆえ非常に単純化されている。軽微な修理はセル内で行なわれるが、重要な修理を要する場合は欠陥のある部品や装置を除去し代替品と取替えられる。ここには1814.2 kgのブリッジクレーン1基、パワー・マニピュレータ1基、マスタスレーブ・マニピュレータ2基が設置されている。

(c) ケミカル・プロセス・セル

このセルでは据付箇所での保守は計画されない。この区域でのいかなる装置も故障した時はユニットで取替えられる。セル及び装置はすべての装置部品を遠隔操作で取替えられ

るように設計されている。すべての装置はジャンパ、容器、その他のハードウェアを含めて保守の容易さと信頼性を証明した Hanford で使用されているものと同じである。

(iv) ホットな装置の除去及び修理

ホットな装置の除去の例として溶解槽をとりあげる。故障した溶解槽は最初セル内で除染され、次に除染区域に移される。さらにソーキング・ピットで除染され、メンテナンス・ホット・ショップあるいは埋没地に移動するため包装される。溶解槽をソーキング・ピット内に置くとき、作業者を防護するため溶解槽の上部の水深を4フィート以上にする必要がある。容器が適当に防護されるまで作業者の立入を必要としないように、装置除染室のホットな装置の取扱いを含めて操作は看視窓から行なわれる。最終的に容器は遮蔽された埋没用キャスクに移され、処分区域に運ばれ埋められる。

(5) Midwest再処理工場⁶⁾

(i) 主要プロセス建屋

プロセス建屋には、キャスク受入・除染区域（燃料アンローディング・貯蔵水槽）、プロセス・キャニオン区域（機械セル、化学プロセス・セル、除染セル）、施設除去・クレーン保守区域（高レベル廃棄物貯蔵水槽、アスファルト貯蔵室、クラッド貯蔵室、換気フィルタ、スタック、ギャラリ区域、クレーン操作ギャラリ）等が設けられている。主要な再処理施設は、プロセス・キャニオン区域に設置されている。

機械セルには、燃料バンドル解体機、燃料溶解槽、高レベル廃棄物梱包装置、梱包モニタリング装置等が設置されている。操業は遮蔽窓から看視しながら特殊工具、装置、マニピュレータを使用して行なわれる。化学プロセス・セルにおいては、溶媒、イオン交換樹脂、フッ素、その他の化学薬品を安全に取扱い、一つの容器内の潜在的事故が付近の他の装置の放射性物質と反応してより重大な結果に立到らないように配慮して、装置はセル内にグループわけされている。遠隔保守を要する装置は、オーバーヘッドクレーンが容易に接近できるように配置される。すべての計装エレメントは遠隔操作・保守できるようになっている。除染セルは、プロセス装置を貯蔵室に移しあるいはまた建物外の処分地点に運び出す前にその装置を除染するために設けられたものである。

キャニオンの一端にあるラビリンス（Labyrinth）は、クレーン保守、キャニオンに設置するまたは設置した装置の搬出入のために設けられたものである。この区域はプロセス装置から充分遮蔽されており、この区域で保守を行なう人を防護するのに役立っている。すべての装置の取替、移送は保守区域の開開口部を通して行なわれる。クレーン操作ギャラリはプロセス建屋の最上部に設けられており、キャニオンクレーンはここから操作される。このギャラリはキャニオンに併行しており、キャニオン区域を直視する遮蔽窓が設けられている。リモート・テレビジョンも併用される。クレーン操作者は被曝を受けないでキャニオン区域のクレーン操作及び保守を行なうことができる。

(ii) 遠隔保守

この再処理工場では、直接保守及び遠隔保守の方法が使用されている。

直接保守は汚染していない装置及び最終生産物の濃縮、積出し等、放射能レベルが低く汚染が管理できる装置に限定される。保守の必要性を少なくするため、特にプロセス・キャニ

オン区域については注意が払われている。ポンプ、攪拌機、モータ駆動装置等の回転機器は可能な時いつも取外され、リモート・コネクションが使用される。それらはHanfordで実証されたと同じもの、またはそのユニットの適用である。

遠隔保守は、クレーン操作ギャラリから遠隔操作されるキャニオンクレーンを使って行なわれる。装置の一部を取替えるため、装置は据付場所でできるだけ洗浄され除染される。セル換気カバー及びリモート・コネクションは除かれる。プラグ・ギャラリのコールド・サービス・ラインがサービス・ヘッダから外され、キャニオンの壁の配管スタブから外される。キャニオン遮蔽プラグが外される時、遮蔽をするため臨時の遮蔽プラグがパイプ・スタブの前のプラグ・ギャラリの場所に入れられる。キャニオン遮蔽プラグは外され保管され、それから装置の一部は取除かれ除染セルにおかれる。新しい装置はキャニオンの据付場所に置かれ、キャニオン遮蔽プラグも元の場所にもどされる。臨時の遮蔽プラグが取外され、プラグ・ギャラリのサービス・コネクション及びセル換気カバーは元にもどされ、新しい装置は試験及び操業の準備ができる。故障した装置は、除染セルですべて濾過できる放射性物質が除去されるまでさらに除染し、梱包に適した大きさに切断され、公認の処分サイトに出荷するか、これがもし実際的でないならばクラディング貯蔵室で保管される。

(6) Idaho 再処理工場⁶⁾

Idaho 再処理工場は、燃料要素切断施設、廃棄物仮焼施設を除いて、他の施設には直接保守方式を採用しており、セル内装置を保守または修理する場合、原則的に据付箇所ですべて除染し、在来法で保守または修理を行なうようになっている。各装置はプロセス毎に区分され、小セルに配置されている。保守または修理時には、まずセルを閉鎖してセル内及び関係施設を除染した後セル内に人が入ることになる。特定のセルの保守または修理期間中他のセルの操業を継続できるようにするため、予防保守とプロセスの改造、プロセス及び洗浄液で腐食されにくい信頼性の高い装置を必要とし、また一般操業、保守両部門の要員の効率的な作業スケジュールの作成が必要である。もし放射性物質取扱いに関連する特殊な問題について、プラント設計、施設設計の面で適当な配慮がなされるならば、この保守方式は実際的であると考えられている。プラントで処理される放射能レベルには制限を設けていないようである。

現在建設中の廃液仮焼施設には遠隔保守方式が採用される予定である。そのため運営者であるAllied Chemical社は、新施設で将来使用される装置及び遠隔操作のコンポーネントの擬装と開発のための遠隔保守開発施設を設置した。その施設は2つの試験区域からなっている。両区域共に遠隔保守区域の実物大モックアップである。1つの区域はプロセス用バルブ、計測器、小ポンプやプロセスオフガス用高効率微粒空気フィルタ(HEPA)のような保守の要求が高い品目を内蔵する擬装バルブ回廊である。もう1つの区域は、廃液仮焼施設のその他の区域を代表し、モックアップする為に用いられる擬装セル区域である。

(a) 模擬バルブ回廊区域

オープン構造の鋼製枠組は重遮蔽壁を表わし、処理装置用の取付箇所を提供する。モックアップの概要は次の通りである。

(1) 遠隔操作式パワーマニピュレータ

これは壁に設置する単腕重荷重型(定格6804kg)である。マニピュレータは最大限

3.53 mまで拡げられる。全ての運動は、電動でスリップクラッチとオーバーロードリレーによって保護される。マニピュレータの手及び器具は装着装具の使用によって遠隔操作で取替えられる。

(ロ) ブリッジホイスト

これは回廊を通り、除去及び置換操作においてマニピュレータを補助したりまたマニピュレータの操作能力を越えるモックアップ集合体を持ち上げたり移動させたりするのに用いられる。

(ハ) 看視窓

模擬看視窓は建物レベルを模擬するために2つの高さに設置されている。窓は木製であり、1 mの厚さの遮蔽窓看視条件を模擬する為に最大視角を制限する内角を持つ。

(ニ) 看視装置

窓に加えて標準及び立体テレビジョン看視装置の適応性、性能を試験し看視能力を確立するのに利用される。ビデオテープレコーダは将来の評価の為に操作試験、技術を記録する。これらのテープは将来の装置操縦者の訓練の補助手段としても利用されるであろう。

(b) 模擬セル区域

第2の遠隔保守開発区域は、廃液仮焼施設における他の全ての遠隔保守区域をモックアップする為に用いられる模擬ホットセル区域である。オープン構造の鋼製枠組みはホットセルの遮蔽壁を模擬するのに用いられる。この区域では、マスター・スレーブ・マニピュレータ、オーバーヘッド・ブリッジホイスト、オーバーヘッド・パワーマニピュレータを備えている。そしてここではサンプル・ステーション・マニピュレーション、仮焼容器ノズル置換、容器内TV検査、ポンプ置換、マニピュレータや看視装置を用いた他の遠隔保守操作の典型的な模擬試験が行なわれる。

2.2.3 再処理施設等におけるリモートハンドリング装置

(1) ホットラボ用マニピュレータ⁷⁾

従来、放射性物質取扱い用マニピュレータは、 γ 線の遮蔽、取扱い重量の増大および操作範囲の拡大などの面から改良発達し、現在では50 kg以上の重量物が取扱えるマニピュレータも製作されている。

一方、ホットラボもPu燃料などの取扱いをするようになり、内装機器の操作は、従来の遠隔操作に加え気密性も要求されるようになった。このマニピュレータもその例外ではない。

(i) 機能

マニピュレータに必要な機能を大別すると

- (a) 双動形サーボ特性を備えていること。
- (b) 操作性が良いこと。
- (c) 機械的な剛性が高いこと。
- (d) 主動腕と従動腕が1:1で動作すること。
- (e) 自由度が7以上あること。

のようなものが考えられ、Fig. 2.27にマニピュレータの動作機能を示す。

(ii) 分類と特徴

従来、気密形マニピュレータには明確な定義がなかったが、ここではリーク量を 10^{-4} Torr \cdot ℓ/sec 以下のものとする（この場合の差圧条件は、主動側と従動側との圧力差が 40～100 mmAq）。Fig. 2.28 にその分類を示す。

(a) ブーツ方式の気密形マニピュレータ

Fig. 2.29 のように2つの方法があり、PVCブーツのシール部分は、射出成形加工されている。いずれもβr用マニピュレータのブーツ方式に指先開閉動作部をシールしたものである。

シール方法には、ダイアフラム、蛇腹、あるいは指先全体を包む方法があり、これらの方法は、ブーツ、シール部の強度、および放射線劣化の度合い、操作方法などによって寿命は一定しない。しかし通常は1ヶ月～6ヶ月と考えられる。

指先とシール方法の1例をFig. 2.30 に示す。

(b) 密封装置式の気密形マニピュレータ

Fig. 2.31は、一般にGas-tight形またはVacuum形と呼ばれるもので明確な区別はないが、リーク量の少ない方をVacuum形と称している。Gas-tight形は、無機質のシール部材、オイルシール、Oリングによりセル内外の差圧をシールするか、またはシール部に圧縮ガスを吹きつける方法がとられ、Vacuum形は回転式リップシールと油により気密が保たれる。またシール部は、2重～4重にしてその安全性を保持している。

Vacuum形のリーク量は、 10^{-6} ～ 10^{-7} Torr \cdot ℓ/secで、ヘリウムリーク検出器の検出感度限界に近く、αr用マニピュレータとしては十分満足できる。シール部分のリーク量と差圧の関係はFig. 2.32 のようになり、差圧が低ければそのリーク量も少ない。

(c) サーボマニピュレータ

これは、気密形マニピュレータの中で最も望ましい動作特性をもったもので、各国で開発され（Fig. 2.33 参照）そのうちあるものは、実際にセルに設置して7年間使用されたが、その効果が疑問視されて現在はVacuum形マニピュレータに置きかえられている。

(iii) メンテナンス

オンライン化されたホットセル内の作業を行なう主要な要素であるマニピュレータの故障は重大な影響を起す。

マニピュレータの稼働率は、他の内装機器と比べ高く、あるセルでは50%以上と考えられている。それだけに操作の仕方も多種多様で負荷容量以上の力がかかるときもあるから故障も多くなりがちである。大規模なホットラボでは、マニピュレータの故障がセル全体の工程、経済性に大きく影響するから設置数量の10～30%の予備を、また専用のメンテナンス室を用意することが望ましい。

マニピュレータのメンテナンスは、次の条件が重要である。

(a) 熟練した保守点検員 (b) 豊富な予備品、消耗品のストック

(c) 使用が簡単で確実な作業のできる補修用工具

① ブーツ方式のマニピュレータ

ブーツが破れマニピュレータが汚染したり、故障した場合、現場での一番の悩みはコー

ルド側の汚染である。Fig. 2.34はHarwell方式と呼ばれ1958年以来使われている方法である。

その交換要領は、まずマニピュレータ本体から指先を離脱し(a)、従動腕を水平にしてマニピュレータをスリーブから引出し(b)、(c)、新しい指先とブーツをマニピュレータに取付ける(d)、つぎにそれをシール部にはめグローブ交換要領で気密を破らないようにシール部を交代させる(e)、汚染した古いブーツは、マニピュレータを挿入しながらホット側に棄てる(f)、Fig. 2.29(a)の形式のマニピュレータは、この方法を使う。Fig. 2.29(b)の場合のブーツ交換は、別途ブーツ交換器を使用する。しかしこのいずれの場合もマニピュレータやコールド側へのある程度の汚染は避けられないから、これを防ぐにはマニピュレータ全体をアフターブーツでおおうか、汚染すると考えられる床面、壁面、機器にPVCシートをかけておく(Fig. 2.35参照)

マニピュレータが故障した場合、セルのdown timeをできるだけ少なくするには、常時部品のストックが必要である。特に消耗品またはそれ相当の部品、例えばブーツ、指先、爪、爪ゴム、テープ、ロープ、チェーン、テープ取付金具、ターンバックル、プーリー、ベアリング、握力保持用トリガー、ダイアフラム、ねじなどについては、メンテナンス計画をたてストックするとよい。

㊦ 密封装置式のマニピュレータ

このマニピュレータは、主動腕、従動腕がユニット化され、連結部とおのおの着脱できるからFig. 2.31のように従動腕は、インセルクレーン、パワーマニピュレータなどで、主動腕はFig. 2.35と同じ方法で着脱する。連結部の交換はほとんどする必要はないが、交換する時はFig. 2.34に準じて行なう。

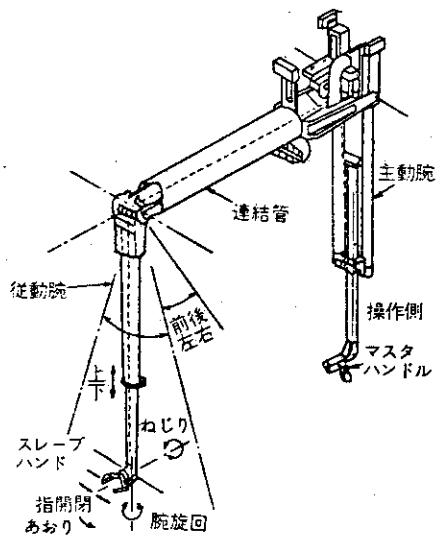


Fig. 2.27 マスタースレーブ・マニピュレータの動作機能

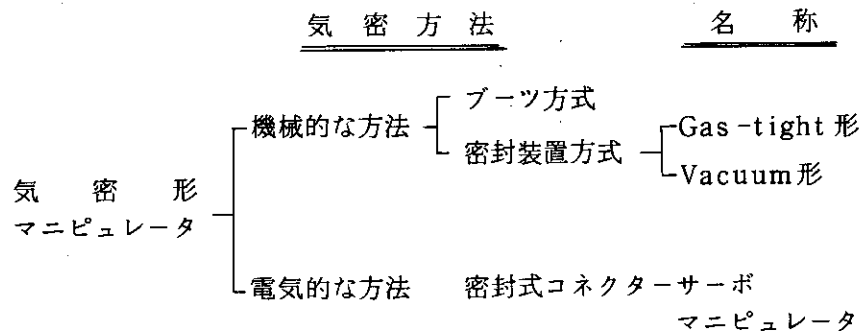


Fig. 2.28 気密形マニピュレータの分類

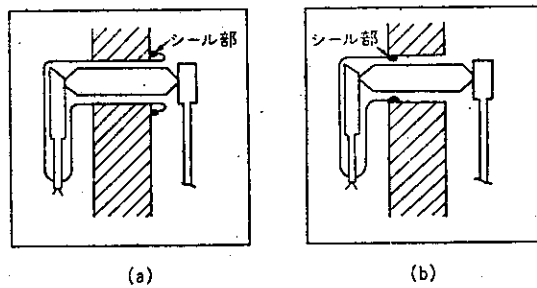


Fig. 2.29 ブーツ方式の気密形マニピュレータ

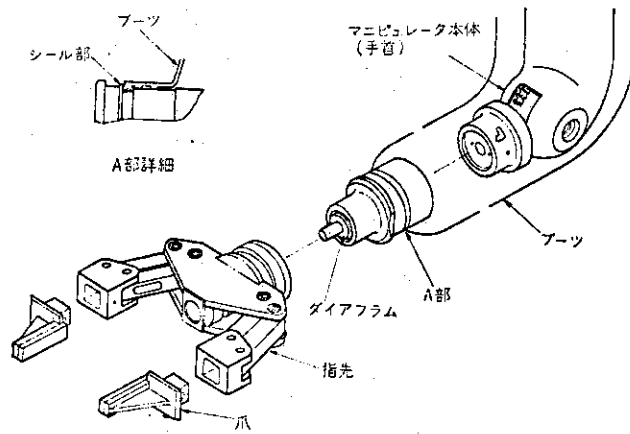


Fig. 2.30 ブーツ方式の指先とシール方法の一例

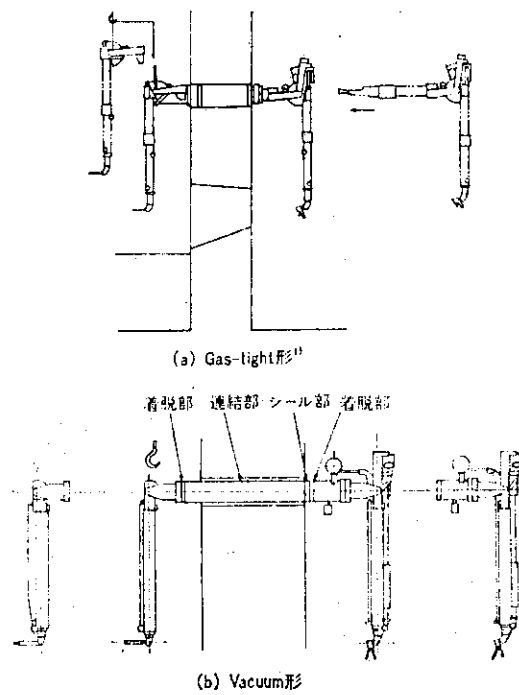


Fig. 2.31 密封装置方式の気密形マニピュレータ

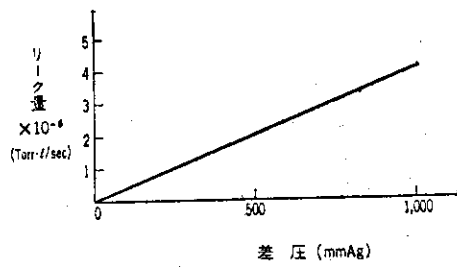


Fig. 2.32 リーク量と差圧の関係 (一例)

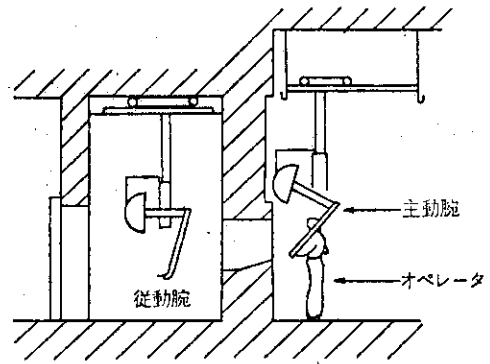


Fig. 2.33 サーボマニピュレータ

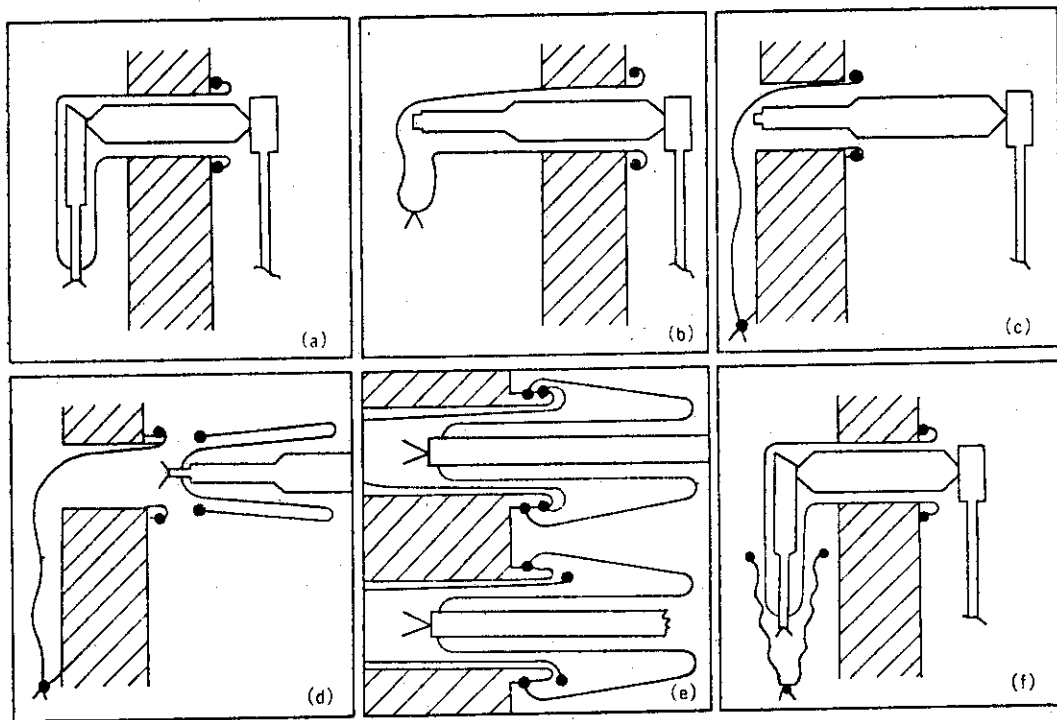


Fig. 2.34 マニピュレータのブーツの交換方法 (Harwell 方式)

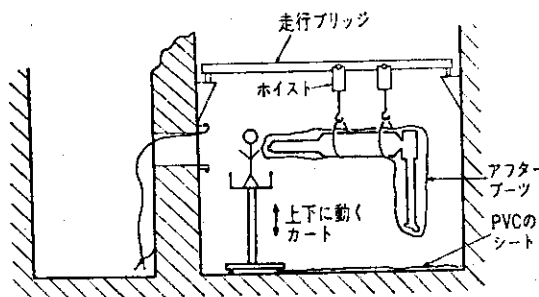


Fig. 2.35 マニピュレータの交換

(2) MA 23 バイラテラル・サーボマニピュレータ・システム⁵⁾

遠隔保守や診断は、再処理や廃棄物固化処理と同様に原子炉の分野でも必要とされている。ここに紹介するMA 23システムはそのために開発され、現在応用し得る段階にある。MA 23はMA 22の開発を基礎に直流サーボ系を持ち、バックラッシュ等に改良されたアーム構造のものである。これらのモジュール構成は、標準マスターアーム、標準の重負荷スレーブ、標準電子装置から成り、デジタル複合装置、テープレコーダ、電子計算機制御装置も含んでいる。

MA 22のアームは1972年に設計され、1973年にプロトタイプがつくられ、サーボモータ・制御装置について試験された。その後、MA 23の開発プログラムが1974年後期にスタートした。設計と構造（機械部と電子装置）に関しては、原子力エネルギーとCalhène省、コンピュータ制御に関してはMontpellier大学に、海洋応用に関してはフランス海軍に委託された。最初のMA 23アームは1975年中期につくられた。10kgと25kgの荷重システムが1975年の後半から始められ、10kgと5kg用アームがコンピュータ制御用に用いられる。全部で5種類のアームが完成した。

Fig. 2.36 に示されているように、システムは異なる運転形態をとることができるように最初から設計されている。基本的な形態は

- ① 古典的なマスター・スレーブ形態
- ② テープレコーダとプレイバック形態
- ③ コンピュータ制御

である。

種々のサブシステムはFig. 2.37 にあらわされている。このシステムには、現在3つのタイプのアームをベースとしている。

- ① マスターアーム (Fig. 2.37 - (1))
- ② 重負荷スレーブアーム (Fig. 2.37 - (2))
- ③ 重負荷スレーブアーム (Fig. 2.37 - (4))

各アームの仕様については、Table 2.8 に示す。

最初のホットセル用のマニピュレータが、フェニックスのホットセルに設けられた。テレスコープ用ブリッジ、壁、台車のいずれかに据付けられ、廃棄物処理や核物質取扱い設備として設置された。MA 23システムのモジュール構成はユニークであり、原子力分野の遠隔操作の自動化導入を可能とするであろう。

Table 2.8 The MA 23 Arm Specifications and Performances

	Master Arm	Standard Slave	HD Slave
Mass capacity, kg (lb)	5 (11)	10 (22)	20 (44)
Maximal force, N (lb)	50 (13)	120 (26)	240 (53)
Friction, N	1.5 to 3	2 to 6	6 to 12
oz	5 to 10	7 to 20	20 to 40
Deflection, mm/N	0.1 to 0.4	0.1 to 0.3	0.04 to 0.14
Full-load deflection, mm	5 to 20	10 to 30	8 to 30
in.	0.2 to 0.8	0.4 to 1.2	0.3 to 1.2
Inertia, kg	2 to 5	2 to 5	5 to 12
No-load accelerations		over 2g	over 2g
Payload acceleration			
-horizontal		g to 0.8g	g to 0.7g
-against gravity		0.13g	0.13g
Velocity, m/sec		0.85 to 1	0.5 to 1
in./sec		34 to 40	20 to 40
Total weight, kg (lb)	90 (200)	90 (200)	180 (400)
Peak power needs, W	500	500	1000

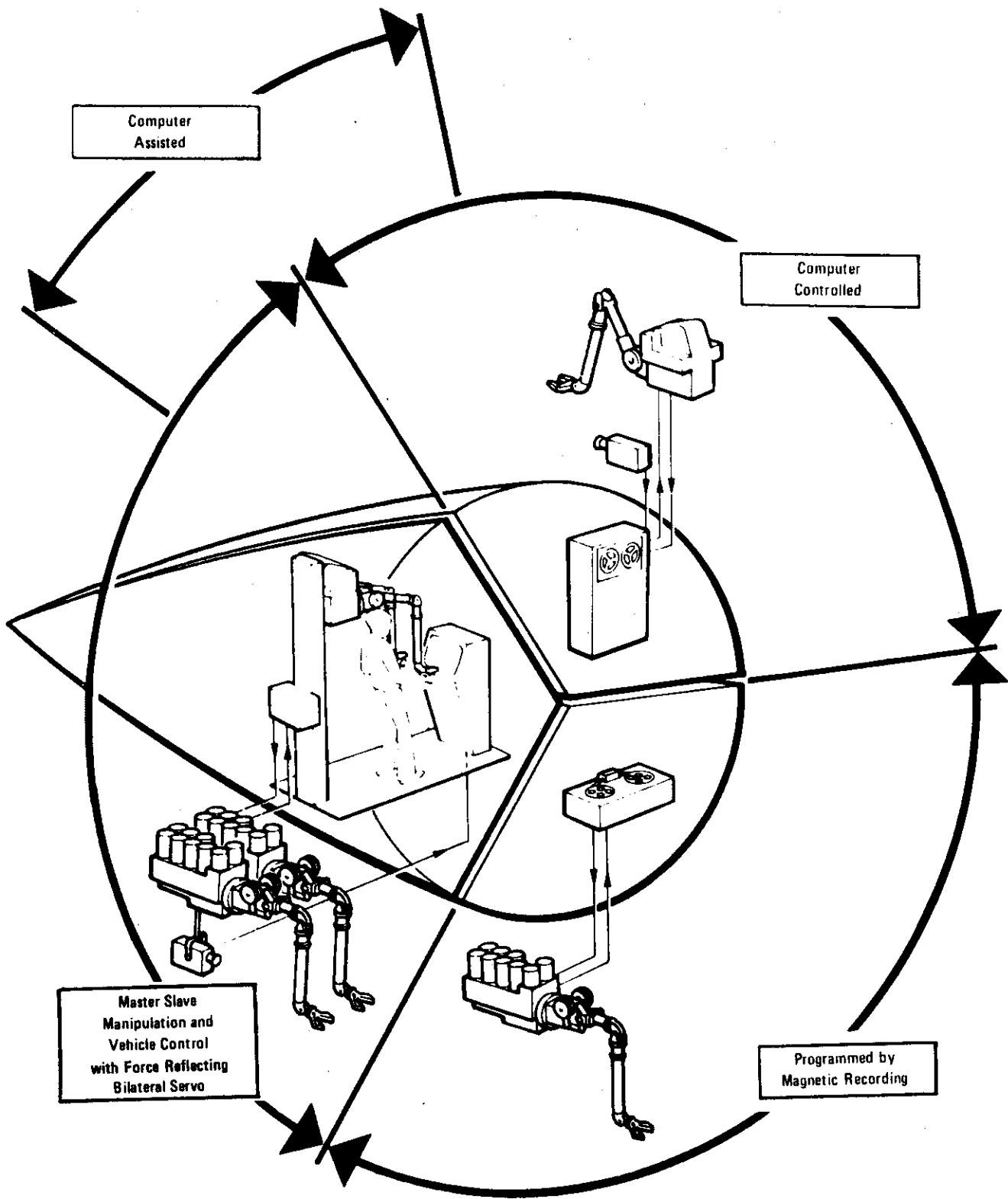


Fig. 2.36 Bilateral force reflecting manipulators—different modes of operation.

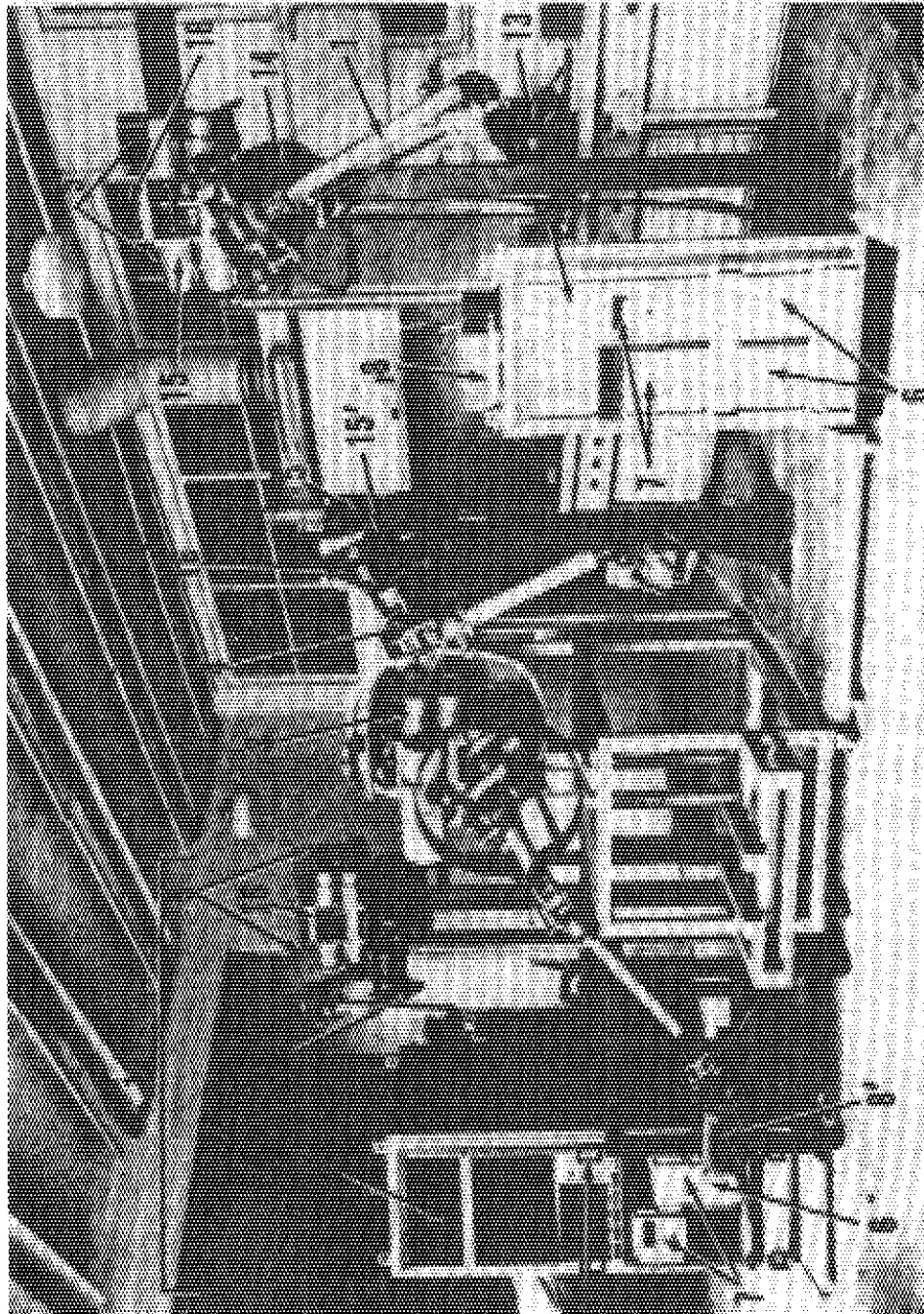


Fig. 2. 37 The MA-23 system machine: (1) motor arm; (2) normal-duty glass arm; (3) normal-duty glass with back lag assembly (feeding reserve); (4) beam-lag glass arm; (5) paper applicator plate; (6) paper supply for beam arm for pair of motor; (7) motor unit and control box for motor and slave; (8) motor unit (slave); (9) motor unit (paper) (slave); (10) tape recorder unit; (11) tape recorder interface (11) rack for temperature control; (12) computer controller MA-23 arm; (13) motor hand; with spring balance; (14) motor motion lock; (15) high temperature; (16) beta torque motor; (17) timing ring.

(3) ROMAN (Remotely Operated Mobile Manipulator)⁸⁾

ROMANは、最近Harwellで研究された遠隔操作装置分野における試作開発品の1つであり、UK Atomic Energy Authorityに属すReactor Development Laboratoryの特別要求に応じて制作されたものである。これは放射性物質を取扱うために設計されたもので、遠隔操作による電動マニピュレータ車である。マニピュレータのアームは最長リーチ1.8mのとき33kgの荷重持上げ能力を持つ。アームはプラットフォームに設けられ、そのプラットフォームは狭いスペースでも動き回ることができ、床面の荒い場所、例えば高さ100mmぐらいの障害物があっても乗り越えることができる。インフォメーション及びパワーコントロールは遠隔操作ステーションからケーブルリンクを通して伝達される。モービル・ユニットの重量は450kgである。

Fig. 2.38に示されているように、マニピュレータのアームは腰、肩、肘、リストを持ち、更に取替え可能なグリップ・ユニットを持っている。標準のグリップ・ユニットでは開き長さの最長75mm、最大グリップ・力は18kgである。Fig. 2.39は各部のアクションを示している。全ての動きはそれぞれ単独にギヤモータによって駆動される。腰、肩、肘の駆動は速いアプローチ速度あるいは物の操作に見合ったおそい速度で動くことができる。他のアクションに関しては一定のおそい速度で操作される。肩の旋回中心の高さは床レベルから1.2mで、これは容易に変更できる。

モービル・プラットフォームはおよそ1m(長さ)×0.75m(巾)の広さで、前進後退の最高速度は1m/sである。単独に駆動できるペアのゴム・トラックによって操縦される。

モービル・プラットフォームやマニピュレータのコントロールは、携帯用の制御盤によって行なわれる。ROMANの電源は15A、240V、50Hzである。人の安全を保証するために、あらゆる電気回路はヒューズあるいはオーバーロード・プロテクションによって防御されている。マニピュレータの操作はコントロール・ステーションから直接見ながら、あるいはユニットにCCTVを取付けることによって行なわれる。

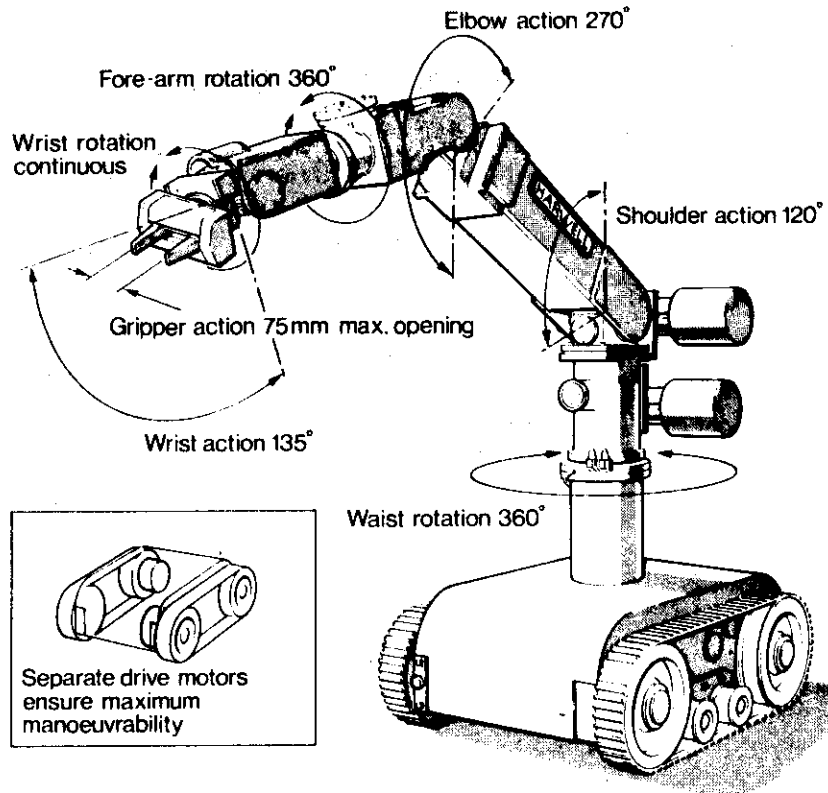


Fig. 2. 38 Manipulator movements

Operating the manipulator

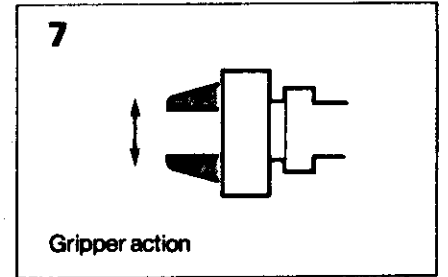
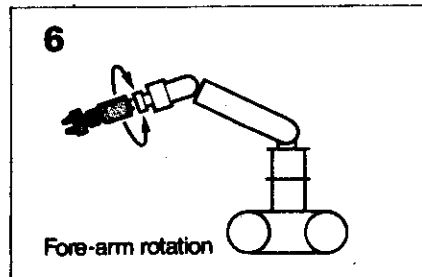
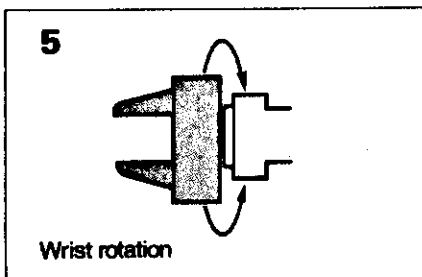
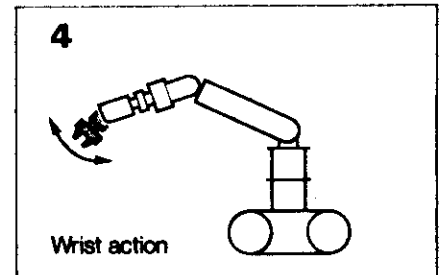
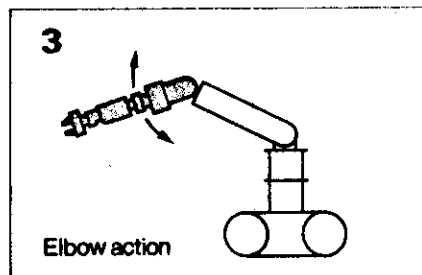
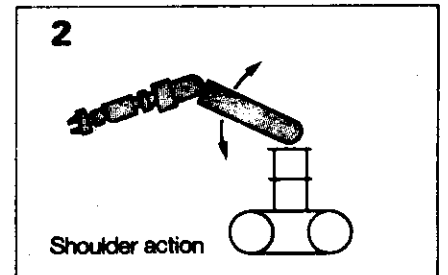
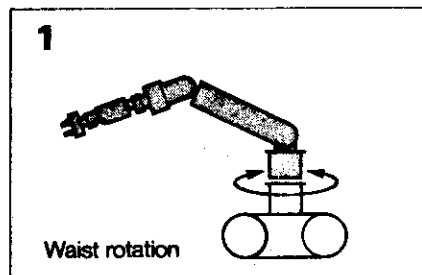
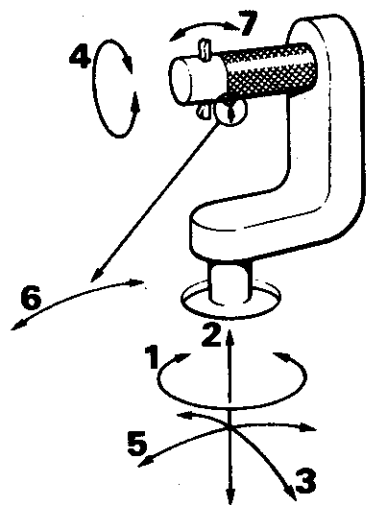


Fig. 2. 39 マニピュレータの動き

(4) パワーマニピュレータ (モデル 3000, 3500, 6000)⁹⁾

3種類のパワーマニピュレータ (PaR社製) について述べる。各マニピュレータの概観及び寸法を Fig. 2.40, 2.41, 2.42 に示す。これらに共通している特徴を列挙すると

- ① すべての動作は電気駆動であり、スリップクラッチ等によってオーバーロードのかからないような構造になっている。
- ② マニピュレータは除染のためにシールされている。
- ③ 外表面には、耐腐食性の材料や仕上げ方法が用いられている。
- ④ マニピュレータは、狭いスペースでの操作を簡単にするためにコンパクトな構造である。
- ⑤ 剛性を高めるためにボックス構造を採用している。
- ⑥ すべての電線は、外的障害を避けるためや外表面を容易に洗浄できるように内蔵されている。
- ⑦ 容易にクラッチ調整や一般的なメンテナンスができるようにアクセス・プレートが付いている。
- ⑧ すべての旋回動作に対してチェーンタイトナーが付いている。
- ⑨ ハンドやツールは簡単な Push-Pull 動作によって遠隔的に交換できる。
- ⑩ 重負荷用フックがショルダーハウジングに備え付けられている。
- ⑪ 無段変速のスピードコントロールや人間工学的なコントロールシステムが簡単で直接的な操作を可能にしている。

また、Table 2.9 では各マニピュレータのモーションの仕様を比較してみた。この表及び前で述べた図を見ればわかる通り、モデル 3500 は他の 3000 と 6000 とは異なった構造をしている (上腕及び前腕が 1 本ずつしかない) ため持上げ荷重が軽くなっている。モデル 6000 と 3000 とは同じ構造をしており、6000 は 3000 の能力をアップした機種といえる。モデル 6000 は市販されているパワーマニピュレータの中では最も重い物を取扱うことのできる装置の 1 つで、その能力は、ハンド・力が 225 kg, フックハンド・力が 675 kg, リスト旋回トルクが 823 kg·cm, リスト (押す-引張る)・力が 180 kg である。

典型的な電気システムのブロックダイアグラムを Fig. 2.43 に示す。また、各種の動作は Fig. 2.44 に示されているようなポータブル操作盤によって遠隔的に制御される。

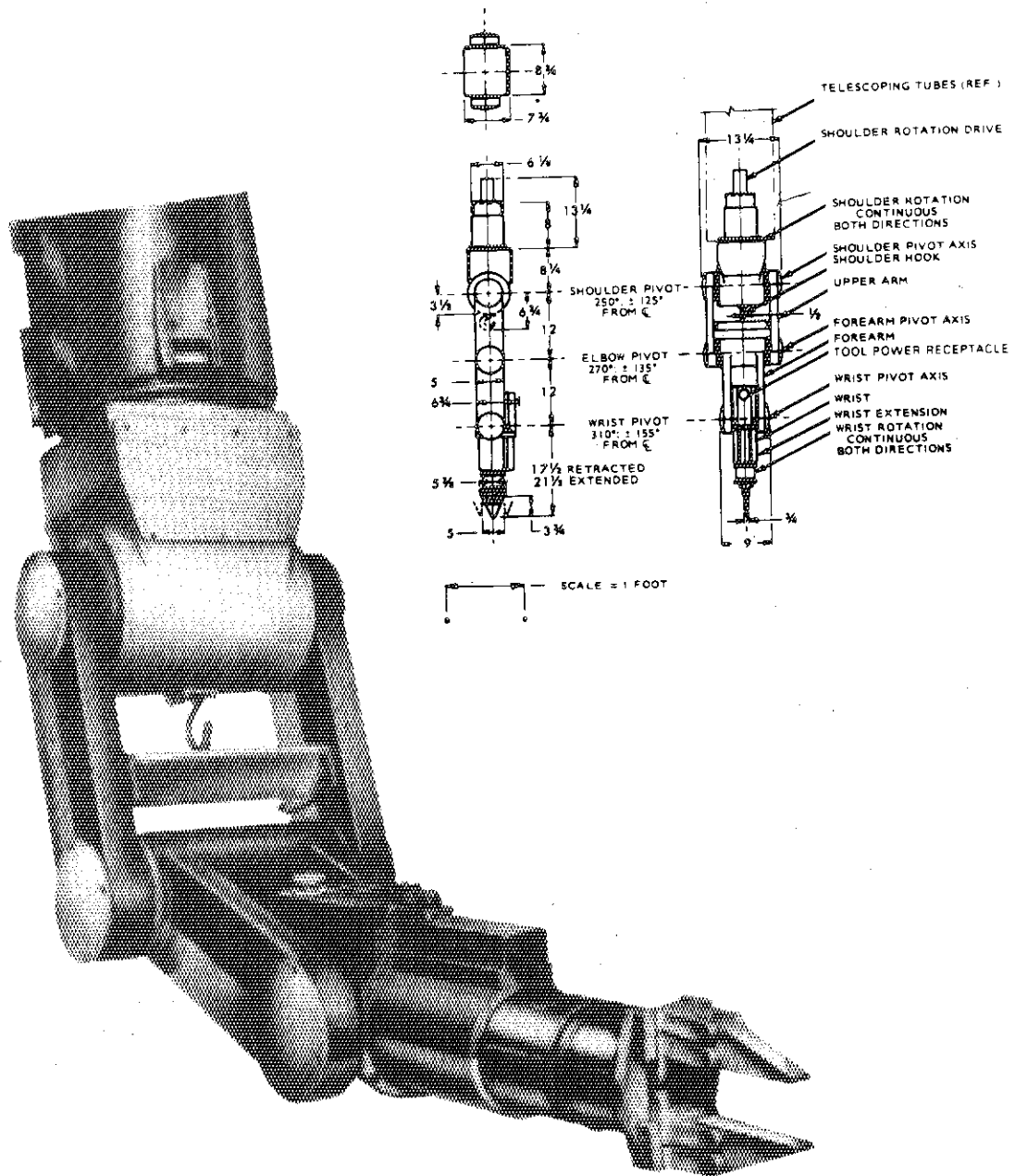


Fig. 2.40 Model 3000 manipulator

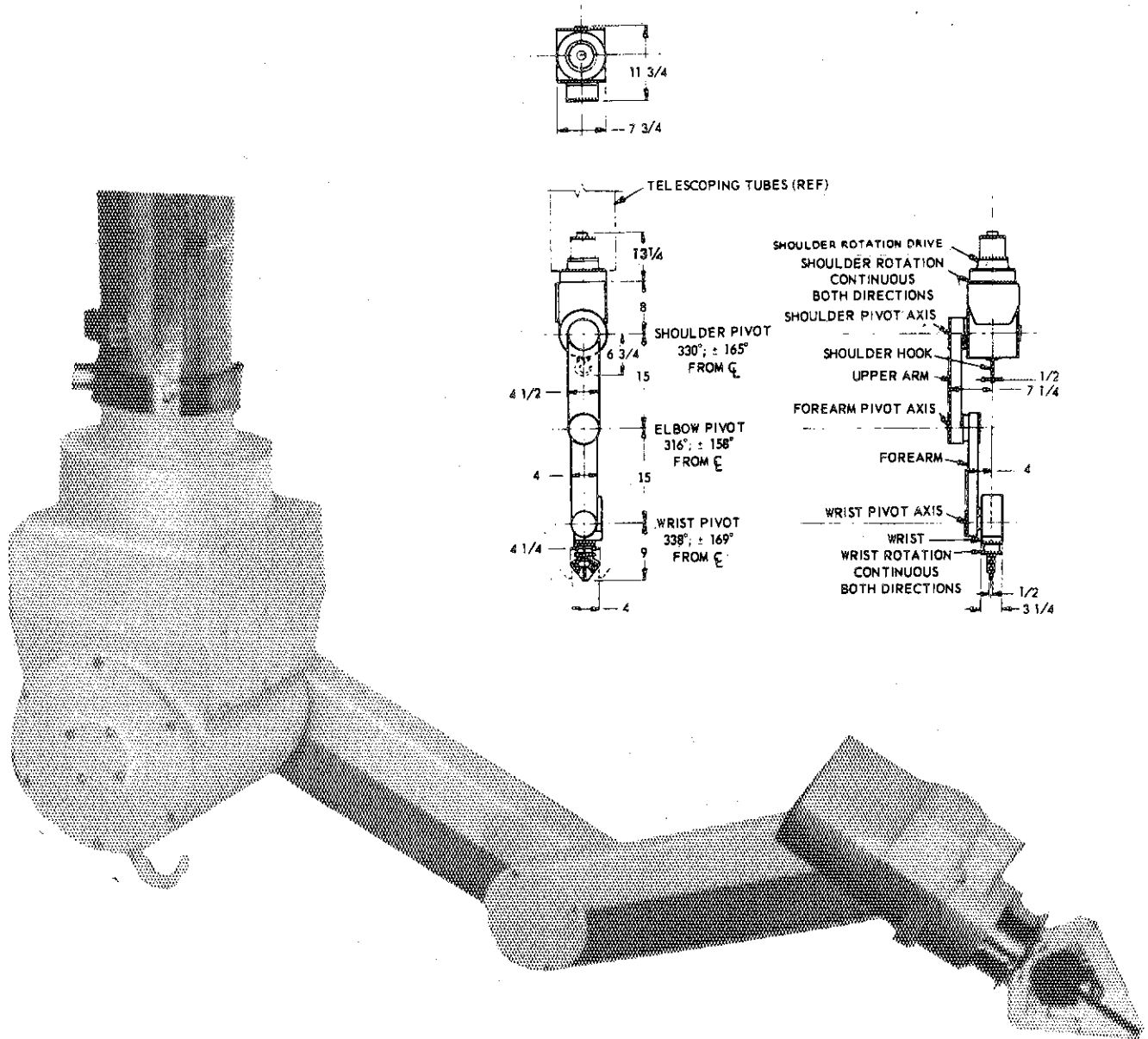


Fig. 2.41 Model 3500 manipulator

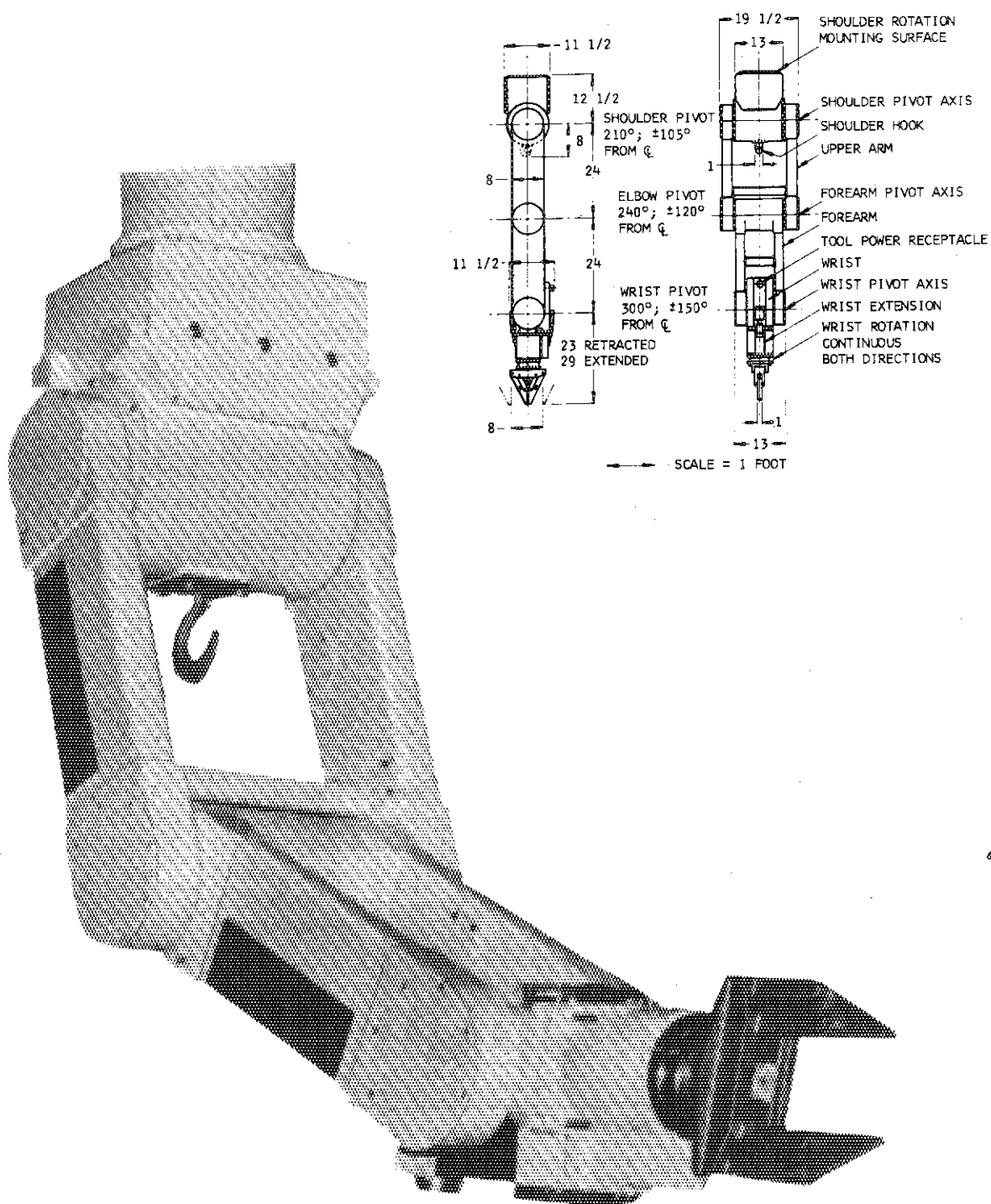


Fig. 2.42 Model 6000 manipulator

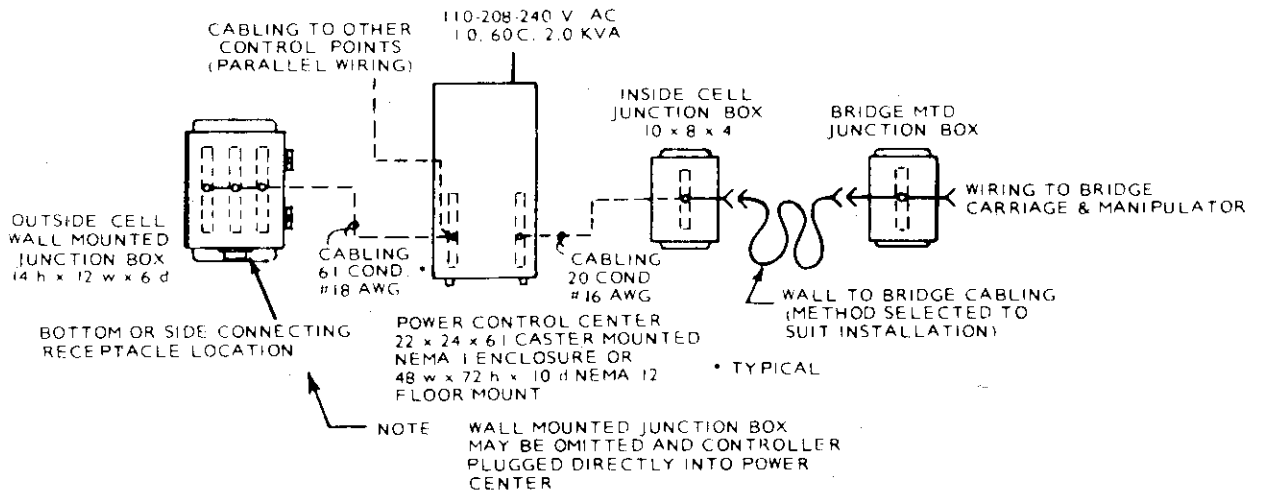


Fig. 2.43 Electrical block diagram

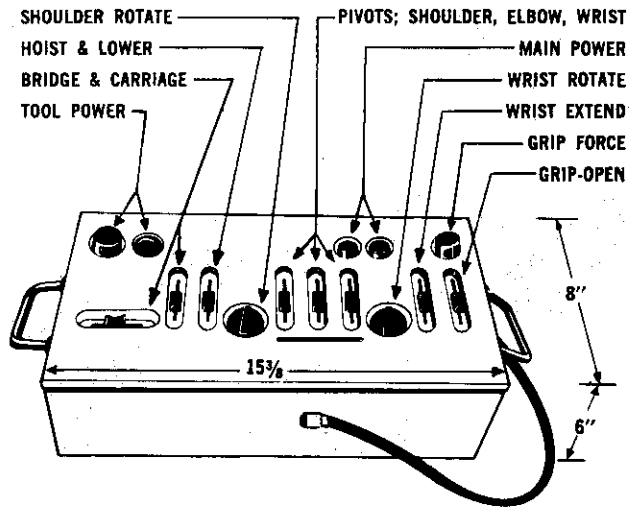


Fig. 2.44 Control console

Table 2.9 MOTION SPECIFICATIONS

	MODEL 3000 Manipulator	MODEL 3500 Manipulator	MODEL 6000 Manipulator
HAND			
Parallel Jaw Hand		Hand → Grip	
Travel	12.7cm	10.2cm	20.3cm
Force	0 - 90Kg	34Kg	0 - 225Kg
Velocity (open-close)	45.7cm/min	71.1cm/min	40.6cm/min
Hook Hand			
Travel	7.6cm	6.4cm	7.6cm
Force	0 - 360Kg	0 - 68Kg	0 - 675Kg
Velocity (open-close)	12.7cm/min	35.6cm/min	15.2cm/min
WRIST			
Rotation			
Travel (Both directions)	Continuous	Continuous	Continuous
Torque	480Kg·cm	65Kg·cm	823Kg·cm
Velocity	7RPM	4RPM	7RPM
Extension			
Travel (In-Out)	10.2cm	—	15.2cm
Force (Push-Pull)	68Kg	—	180Kg
Velocity	43.2cm/min	—	50.8cm/min
Pivot			
Travel	310°	338°	300°
Velocity	1.2RPM	2.4RPM	1.0RPM
ELBOW			
Pivot			
Travel	270°	317°	240°
Velocity	1.2RPM	2.4RPM	1.0RPM
SHOULDER			
Pivot			
Travel	250°	330°	210°
Velocity	1.2RPM	2.4RPM	1.0RPM
Rotation			
Travel (Both directions)	Continuous	Continuous	Continuous
Torque	2286Kg·cm	2285Kg·cm	8001Kg·cm
Velocity	3.5RPM	3.5RPM	1.0RPM

参 考 文 献

- 1) 火力原子力発電 ; Vol. 27 No. 8 (Aug. 1976)
- 2) 日立評論 ; Vol. 60 No. 2 (1978 - 2)
- 3) 火力原子力発電 ; Vol. 29 No. 5 (May 1978)
- 4) 原子力工業 ; 第 24 卷 第 12 号 (1978)
- 5) Proceedings of 24th Conference on Remote Systems
Technology , 1976
- 6) Preliminary Safety Analysis Report
Final Safety Analysis Report
- 7) 原子力工業 ; 第 19 卷 第 4 号 (1973)
- 8) Harwell Design Studio 27, 1975
- 9) カタログ (PaR 社)

3. 分解修理に伴う作業と必要な遠隔操作装置

分解修理システムのフローチャート (Table 15) を基に分解修理作業を細かく分析し、その作業は人力で足りるのか、あるいは遠隔操作機器を用いなければならないならばどんな装置を必要とするのか、等を検討した。

(1) 引出用台車

(i) 台車フレームを床面との固定ボルトの取付け取外し作業

Fig.3.1 に示す通り、M400のボルトが1モジュール当り14本ある。

M400のボルトを締めるには通常のスパンを使う方法では無理なので、ボルトの中心に直径40mm長さ3000mm程度の細長い孔を設けそこにカルロッド式ヒータを入れボルトを暖めて長さを伸ばし常温に戻ると締まるようにセットする。ゆるめる場合にも同様の方法を使う。

これらの準備作業は作業員がじかに行なうことができ、ボルトやナットの移動については天井クレーンによって行なう。

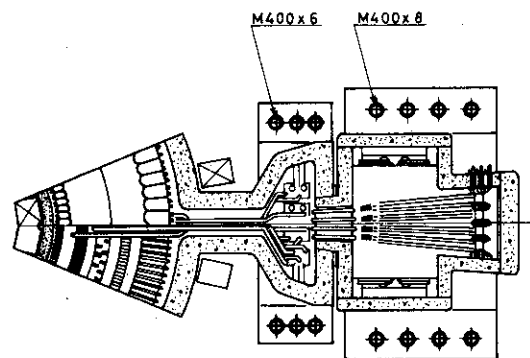


Fig. 3.1 台車固定ボルト取付図

(ii) ウェッジの取付け取外し作業

1モジュールに対し、直径1200の車輪が44個取付けられている。したがって軸受ハウジングは88個になり、その下には台車自重を支えるために同じ数のウェッジが用意されなければならない。

Fig.3.2にウェッジ取付図、Fig. 3.3にはその詳細図を示す。

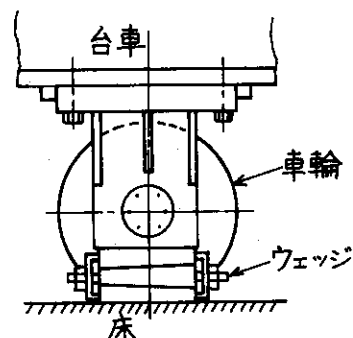


Fig. 3.2 ウェッジ取付図

ウェッジ1個当りの重さは約150kgである。これらの取付け取外し作業は充分に人力で行なうことができ、その移動には天井クレーンあるいは地上マニピュレータ車を用いると良い。

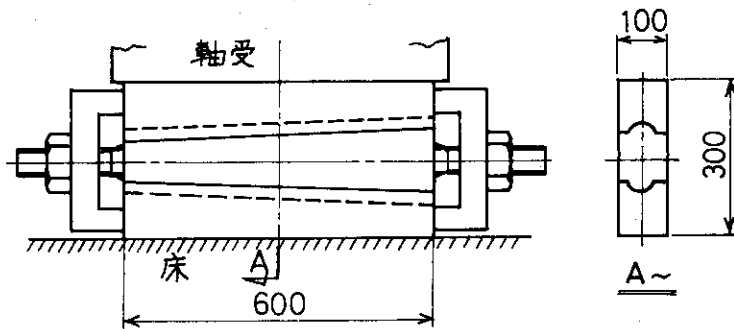


Fig. 3.3 ウェッジ詳細図

(iii) 台車A, B, Cのつなぎフレームの取付け取外し作業

Fig.3.4につなぎフレームの取付図を示す。下側大径ポロイダルコイルを地下のピットに降ろす際に台車A, B, Cのつなぎフレームをはずす必要がある。つなぎフレームを一度にははずすと台車Bのバランスがくずれ転倒するので、Pコイルを先に降ろす場合は、まず台車AB間のフレームをはずしPコイルを下げる。次にAB間のフレームを取付け、同様の手順によってQコイルを降ろす。

これらの作業には天井クレーン及び地上マニピュレータ車を使い、作業員が炉室内で直接に指揮することができる。

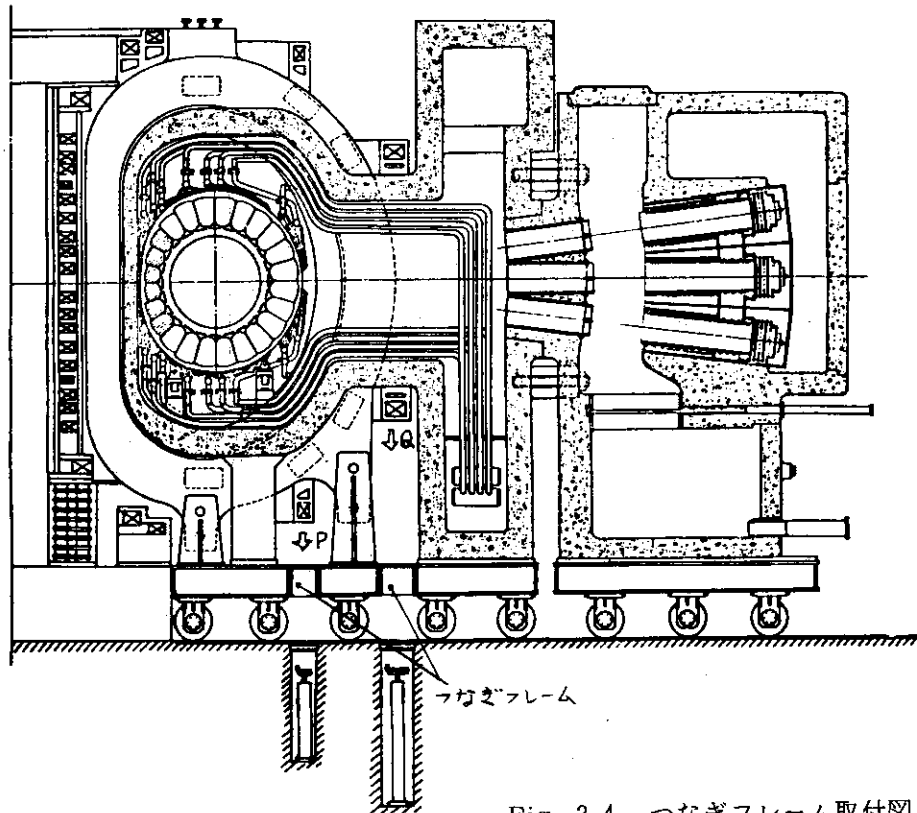
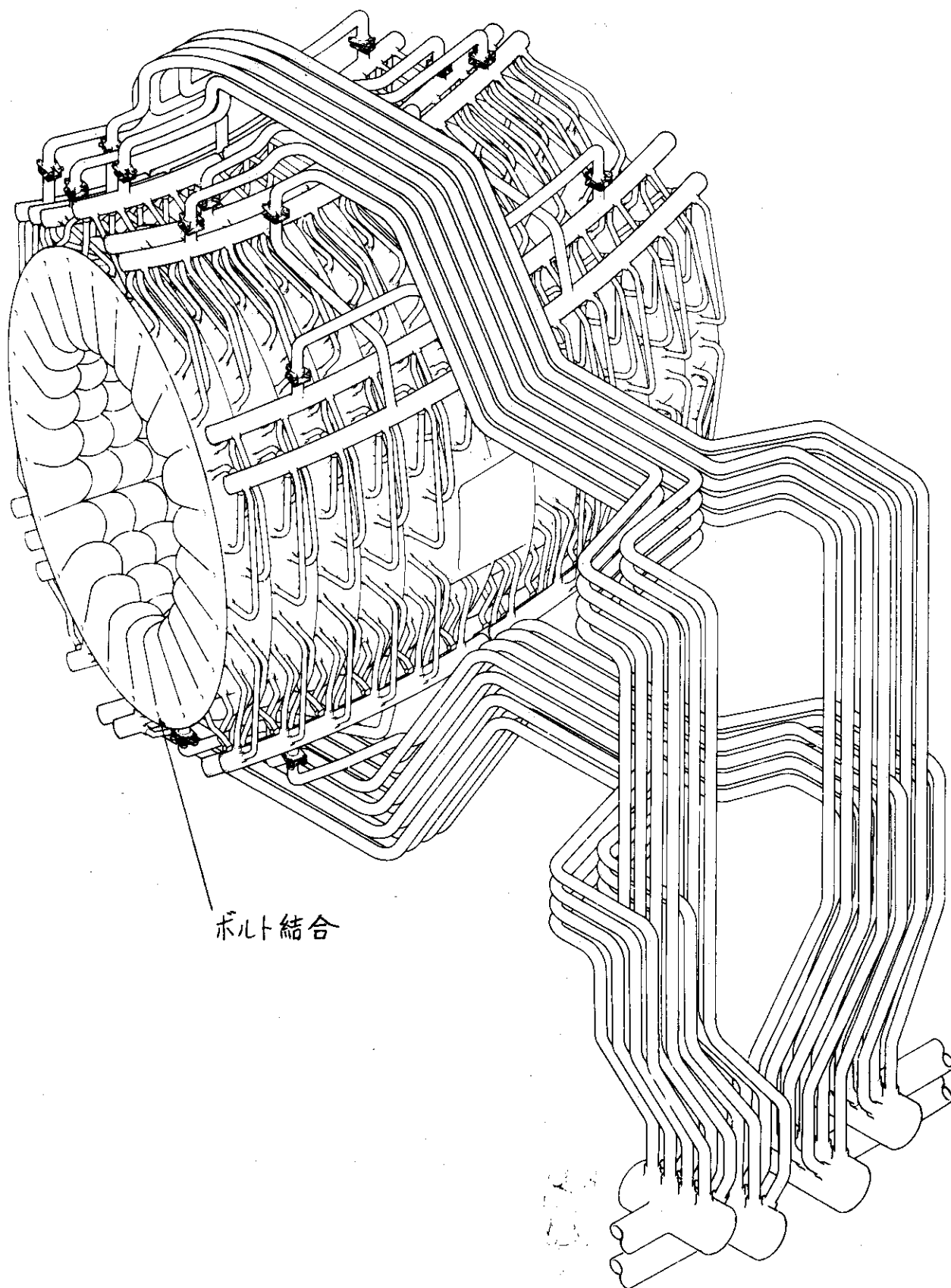


Fig. 3.4 つなぎフレーム取付図

(2) ブランケット

- (i) 12個のリング状ブランケット集合体のボルト結合及び解除作業ブランケット容器は、Fig. 3.5に示されている通り2枚のリング状フランジの内側切込部に溶接してリング状のブランケット集合体を構成する。これら12個をフランジ部でボルト締め接続してブランケットモジュールを形成している。

すでに運転している炉の中にあるブランケットを故障のため外に取り出しリング状ブランケットを1個はずすような場合には、高放射能雰囲気であるから当然各種のマニピュレータによって解体組立作業を行なう必要がある。



ボルト結合

Fig. 3.5 ブランケットモジュール概観図

(ii) ブランケット冷却配管の切離し部分の作業

(a) 継手部が溶接のとき

修理室において、Fig. 3.6 に示した継手部をカッタ切断あるいはプラズマ溶断し、その後組立時には溶接する。

切断よりも溶接作業の方がはるかに難しく、高放射能雰囲気かつ狭いスペースの中で、開先加工、開先加工面検査、開先加工面の洗浄、芯出し、溶接、配管内外の清掃、溶接検査作業等のすべてを遠隔操作による特殊なパワーマニピュレータで行なわなければならない。

(b) 継手部がフランジのとき

フランジのボルトの着脱作業を(a)と同様にパワーマニピュレータによって行なう。(a)の作業が可能ならば(b)の作業は比較的容易に行なえるであろう。

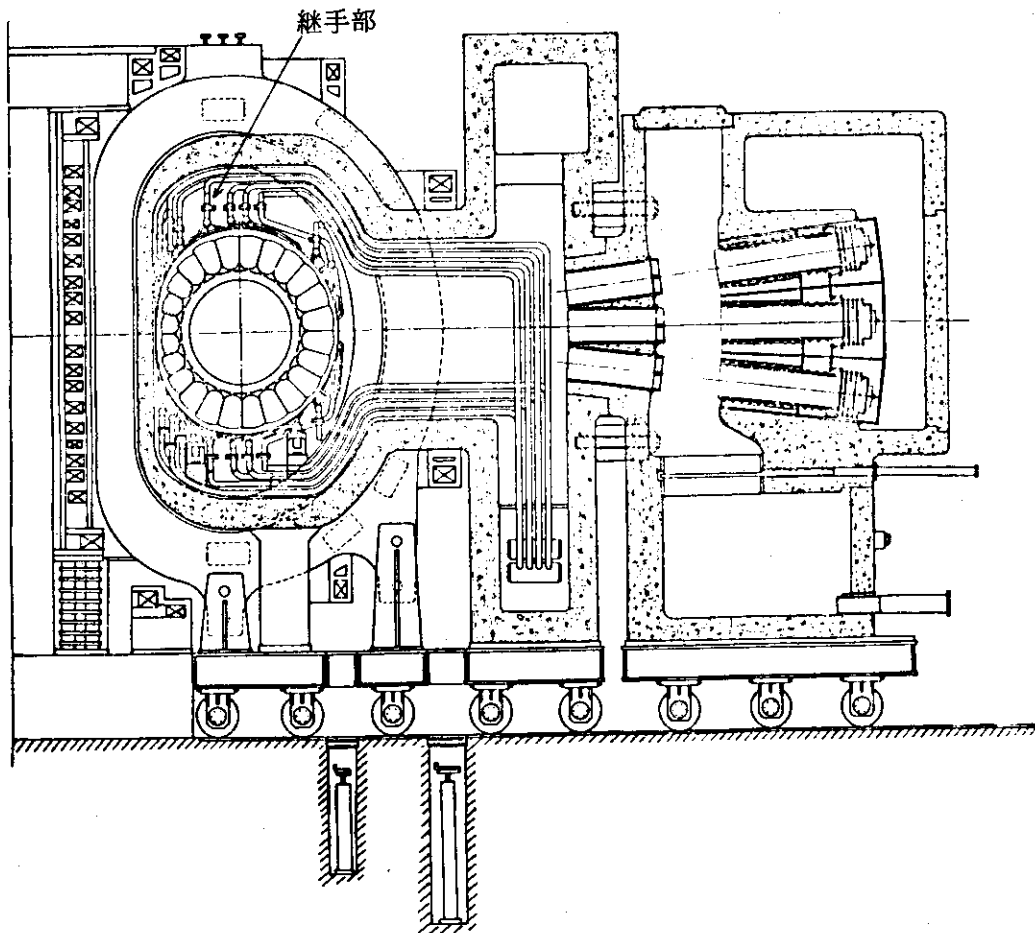


Fig. 3.6 冷却配管継手部指示図

(3) 炉モジュール分割部

Fig. 3.7には炉モジュール分割部を、Fig. 3.8には分割部の拡大部を示している。

(i) ボルト、ナットの結合・解除

リアクタのモジュールを強固に結合しているのは、1ヶ所当り40本のボルト (M100×1100ℓ)である。1本当りの重さは約85kgである。Fig. 3.7の断面図に示してあるように、上廻りのボルトの着脱はオーバーヘッドクレーンマニピュレータ、下廻りについては地上マニピュレータ車によって作業を行なう。それらの小物部品は各パワーマニピュレータが持ち運びしても良いし、天井クレーンの補巻を使っても良いであろう。

(ii) 鉛のスペーサブロックの取付け取外し作業

Fig. 3.8のスペーサブロックは、運転中の中性子ストリーミングを防ぐために設けられている。これは断面が55 cm×25 cm、全長が約13mあり、40等分されたうちの1個当りの重さは約500 kgになる。これらのブロックの取扱いはボルト、ナット類と同じである。

(iii) 真空シール部の切断/溶接作業

真空シール部の作業はFig. 3.9に示した自動溶接切断装置によって行なう。ドーナツ形状をしている炉の内側では、トロイダルコイルと真空シール部とのすきまがほんのわずかなので、図示したようなコンパクトタイプの装置が必要である。この装置の微妙なセッティングに関しては、人力に代わり得る精密なパワーマニピュレータの開発が要求される。

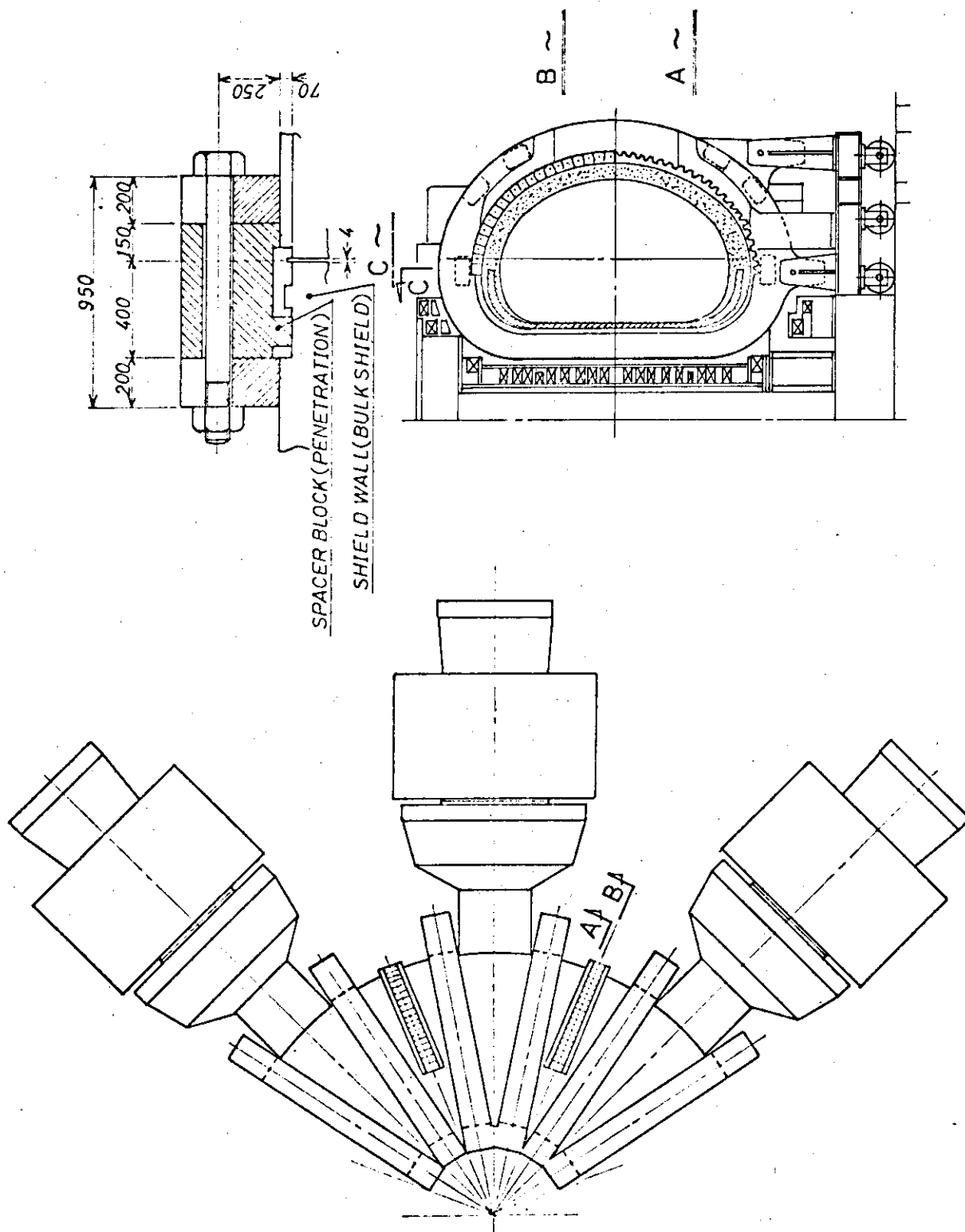


Fig. 3.7 CONNECTING PART OF SEGMENTS

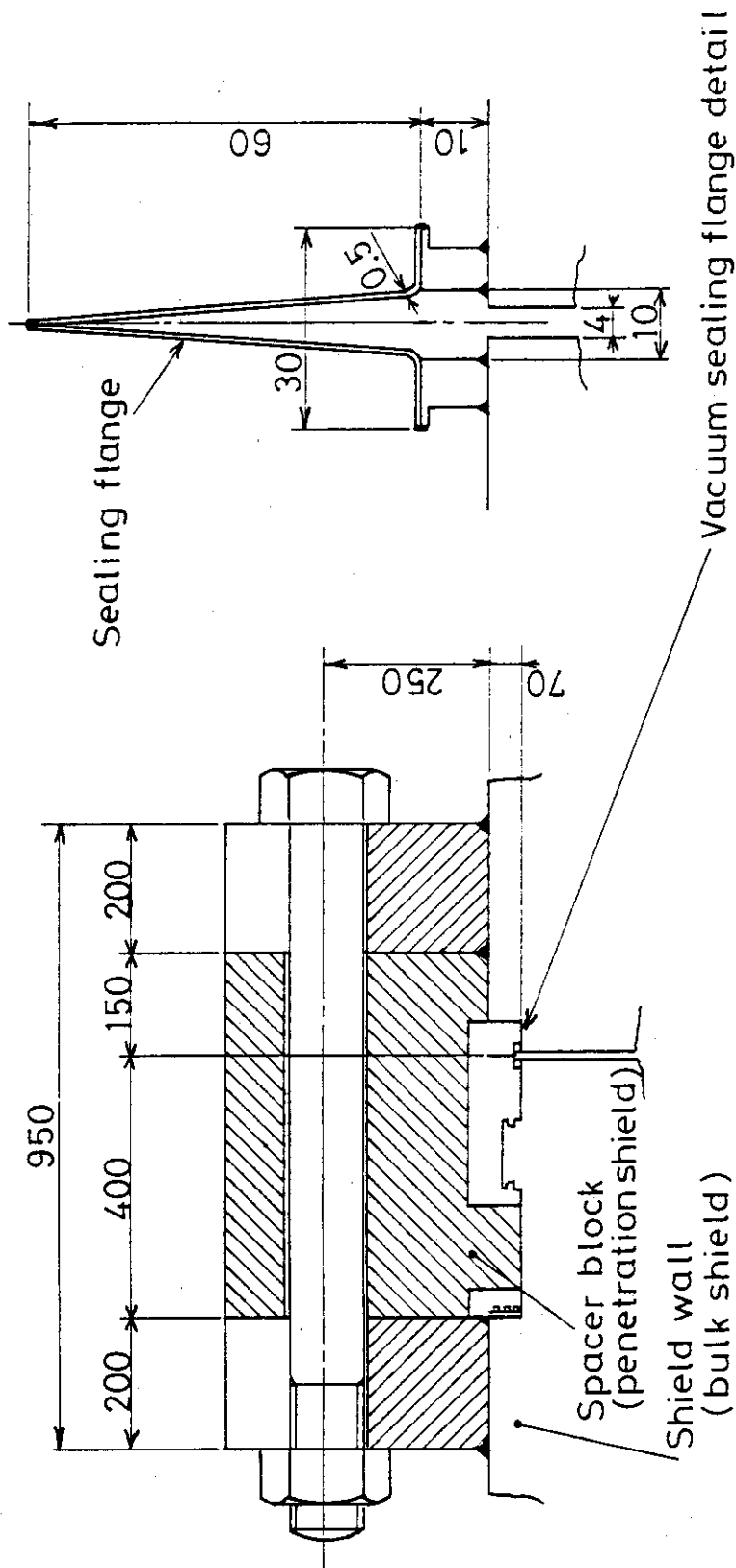


Fig. 3.8 VACUUM SEALING FLANGE

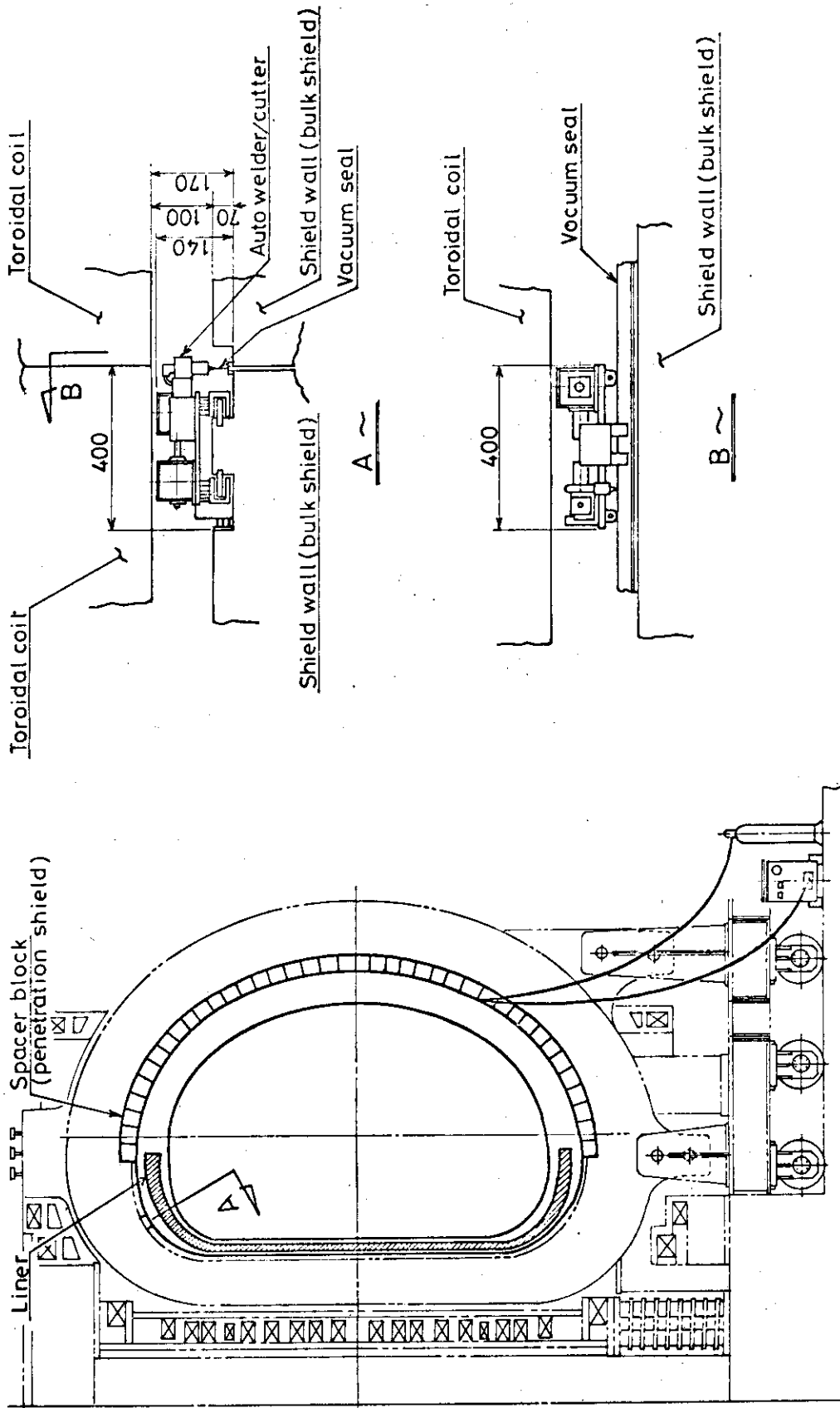


Fig. 3.9 INSTALLING FOR AN AUTO WELDER/CUTTER

(4) トロイダルコイル

(i) ビームの取付け取外し作業

炉モジュールを引出す場合、トロイダルコイルも付けた状態で移動するので、他のトロイダルコイルとのつなぎビームを取外す作業が必要となる。Fig. 3.10に示されているように、ビームの連結部はフランジタイプである。したがって上の方はオーバーヘッドクレーンマニピュレータ、下の方は地上マニピュレータ車によって解体・組立が可能と考えられる。それらの装置の接近性は、図を見る限り比較的良いと思われる。

(ii) 渡り線の結合・解除作業

相隣るトロイダルコイルをつないでいるビームは6本である。そのうちの1本に渡り線を設けることになるが、電流渡り線はすべてホローコンダクタータイプの超電導線で断熱真空パイプに収められる。従って分解組立の作業性から短時間で着脱できる結合部になるような設計が要求される。おそらく、断熱真空パイプの結合部はベロータイプになると思われる。その場合には、通常のパワーマニピュレータによる取扱いが可能であろう。

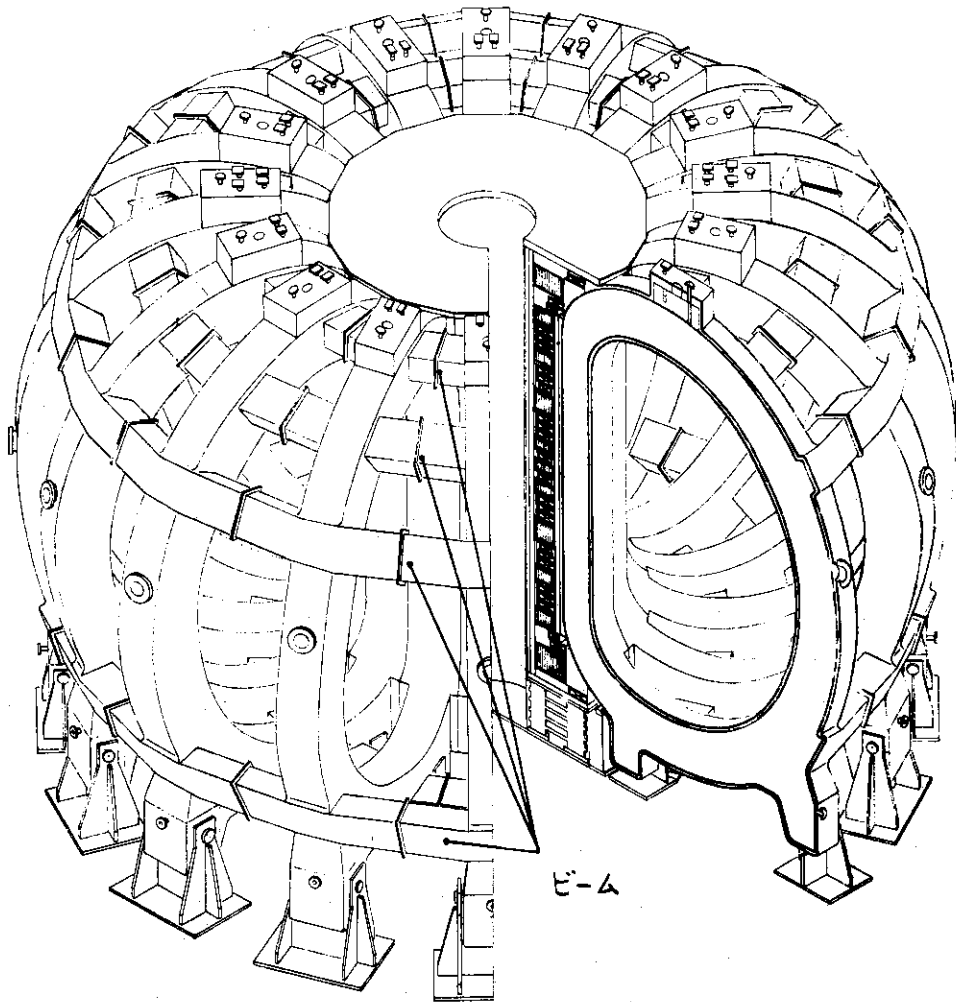


Fig. 3.10 トロイダルコイル外観図

(5) ポロイダルコイル

(i) 渡り線の結合、解除作業

Fig. 3.11に示したように、各ポロイダルコイルの渡り線の取扱いが重要である。

上の方はオーバーヘッドクレーンマンピュレータ、下の方は地上マンピュレータ車によって結合・解除作業が行なわれる。

(ii) 大径ポロイダルコイルの固定金具取付け取外し作業

これらについても(i)と同様の各マンピュレータによって作業が進められる。しかし、下まわりの作業がスペース的に余裕がない上に、固定金具の数が渡り線結線部よりもはるかに多いのでかなり時間がかかるであろう。

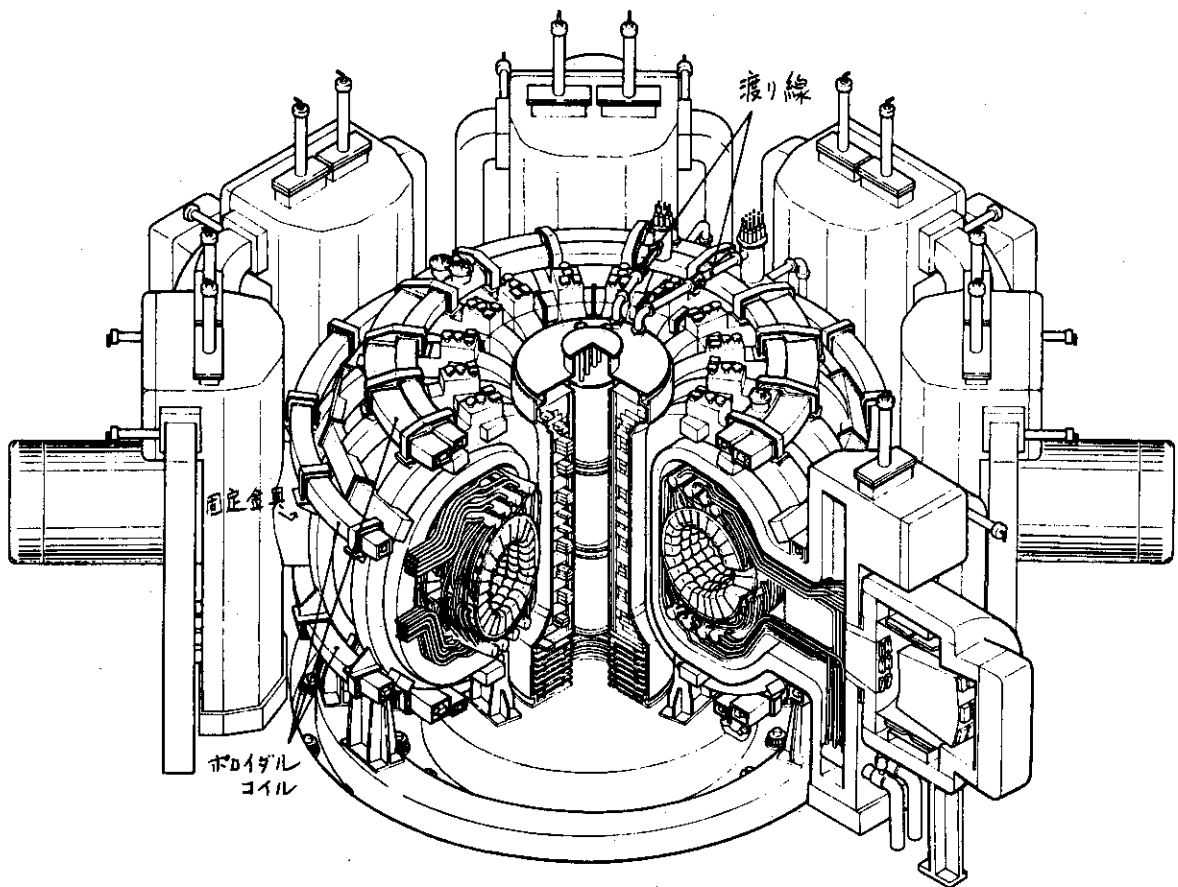


Fig. 3.11 ポロイダルコイル外観図

(iii) 上側大径ポロイダルコイルの吊上げ作業

大径ポロイダルコイルは、Fig. 3.12に示したように一括して300トンのポーラクレーンによって吊上げる。吊上げるための特別な治具を用いし、玉がけ等はオーバーヘッドクレーンマニピュレータによって充分行なえる。

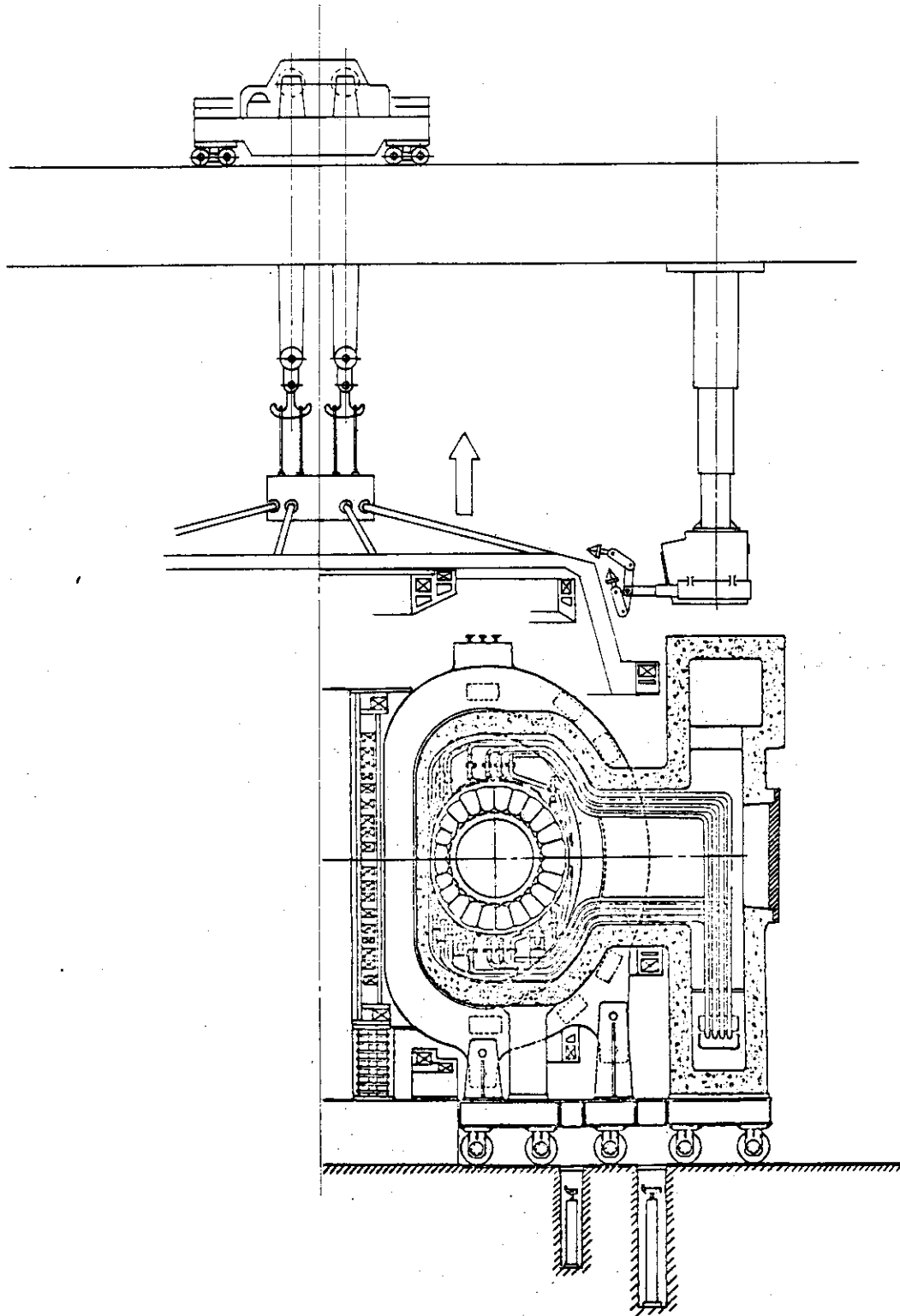


Fig. 3.12 吊上げ作業図

(Ⅳ) 下側大径ポロイダルコイルの吊下げ作業

炉モジュールを引出す時に邪魔となる下側大径ポロイダルコイル類を地下のピットに収納するために油圧ジャッキが装備される。

炉本体とコイル類との止め金具を外し、そのあと油圧ジャッキにコイル類をしっかりと取付けなければならないが、そのような軽作業は地上マニピュレータ車の特殊なトングによって行なわれる (Fig. 3.13)。

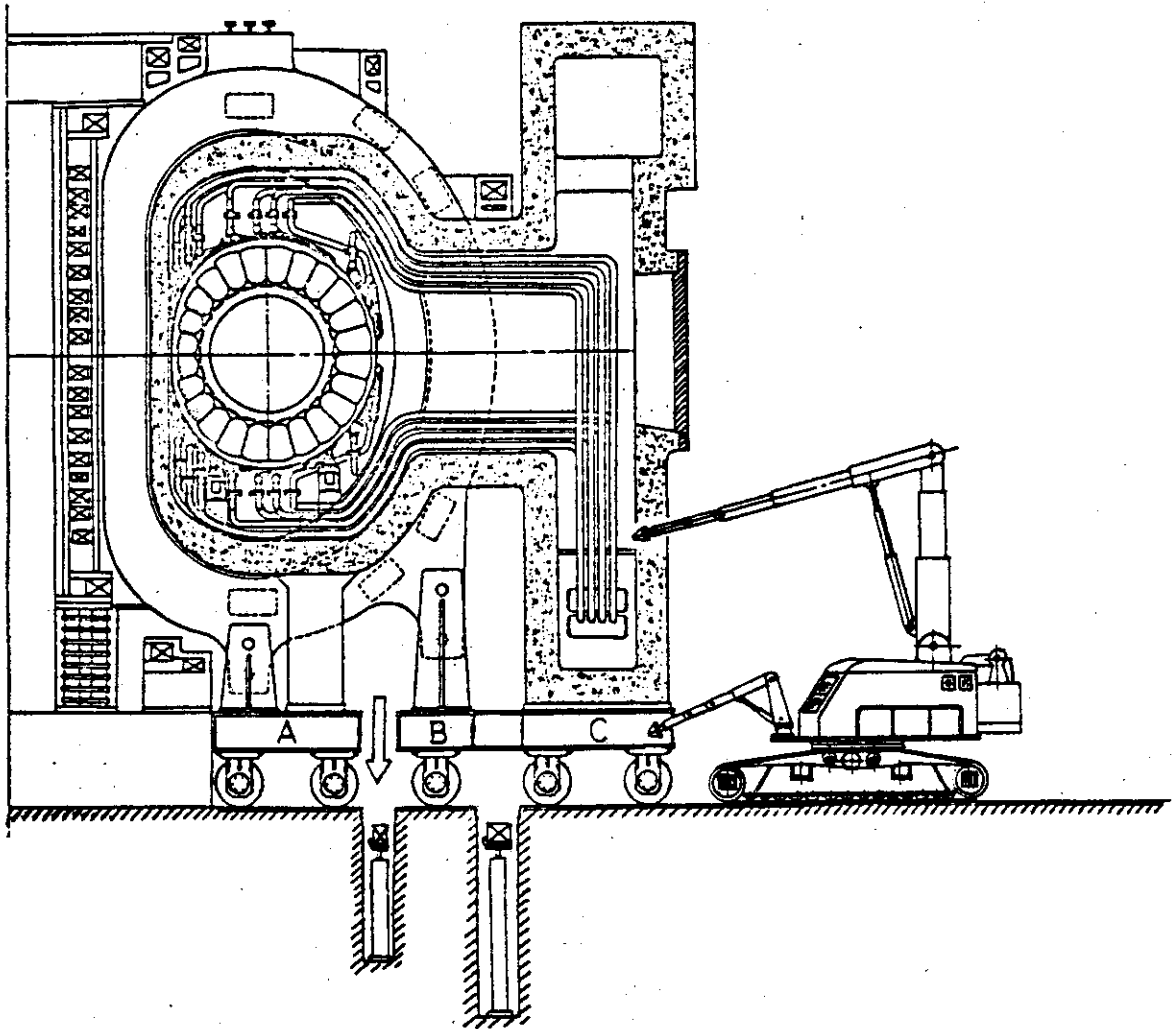


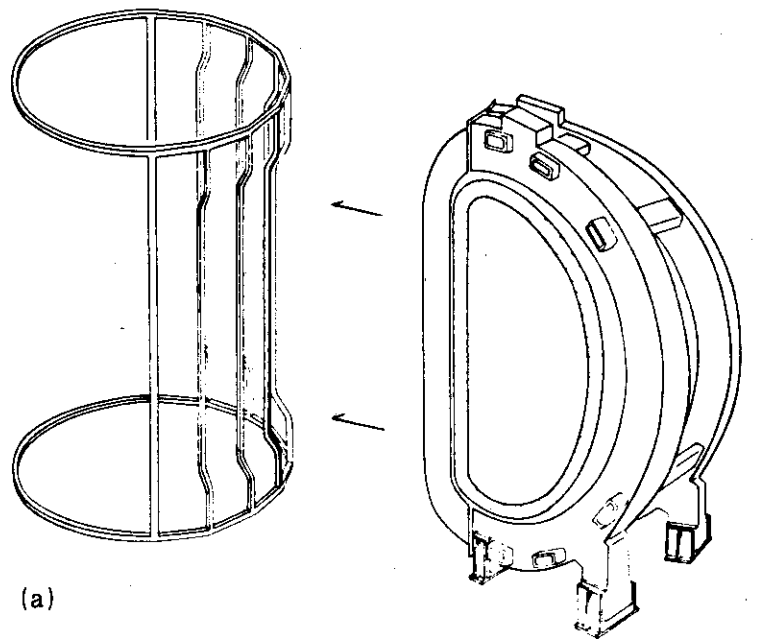
Fig. 3.13 吊上げ作業図

(6) ポロイダルコイルとトロイダルコイルの真空容器共通部

Fig. 3.14の(a)はカゴ型フランジをあらわしており、(b)はそれの一部拡大図を示している。図に見られる通りトロイダルコイルとポロイダルコイルの断熱真空容器及び輻射シールドは一部共通となる。炉モジュールを移動するには、当然2本分のトロイダルコイルを引出さねばならないので、その結合部の構造は分解修理にとって重要な課題となり得る。

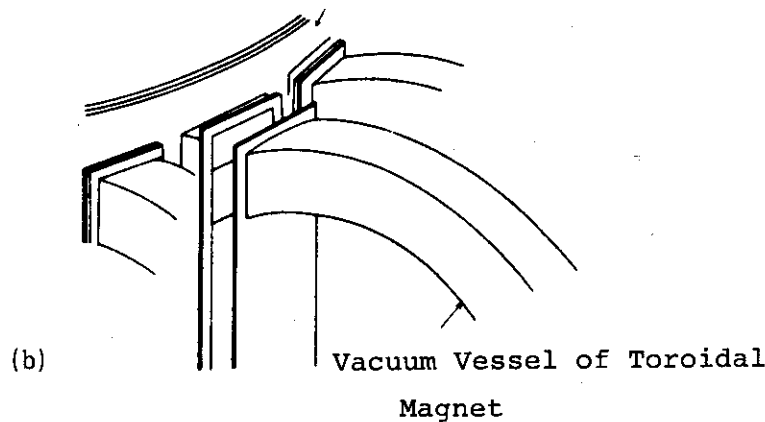
まだその部分がフランジ方式となるか溶接方式となるか決まっていないが、いずれにしても高さ13m、横巾1.5m、全周29mもの長い結合線を真空洩れのないよう再組立てすることは難しい作業になるであろう。

使用する遠隔操作装置としては、オーバーヘッドクレーンマニピュレータ、地上マニピュレータ車及び溶接方式ならば、遠隔の自動溶接切断装置が必要となる。



(a)

Vacuum Vessel of Poloidal Magnet



(b)

Vacuum Vessel of Toroidal Magnet

Fig. 3.14 ポロイダルコイルとトロイダルコイルの真空容器共通部

(7) NBIと炉体との取付け取外し作業

NBIを炉体から引離すためにFig. 3.15のようにボルト結合を解除する。その作業には各種のマニピュレータが用いられ、特に大型Oリングに対して傷を付けないようなマニピュレータ操作が要求される。

(8) 駆動台車

図に示した駆動台車をNBI及び炉モジュールを引出す時に使用する。NBIに連結する場合は人が直接作業にタッチできるが、開口部が露出したあとはそこに遮蔽蓋を取付けるまでは人が炉室内に立入ることはできなくなる。オーバヘッドクレーンマニピュレータや地上マニピュレータ車によって遮蔽蓋を設けたあとは、再び作業者が作業できるようになる。

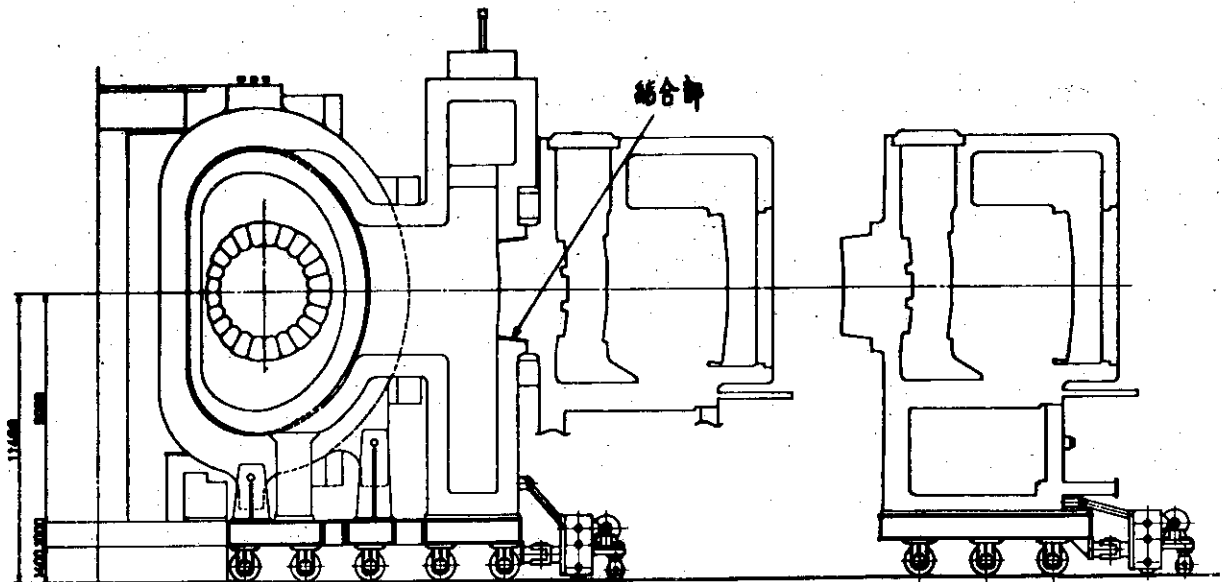


Fig. 3.15 NBI及び炉モジュール取出し概念図

(9) レール保護板及び分割レール

レール保護板は、下側大径ポロイダルコイルをピットに収納したあと、分割レールをサポートするために設置される構造物である。その重さは1個当り約7トンあり、その取扱いについてはクレーンあるいは持運び専用の台車を用いる。玉がけや取付け取外し作業等の軽作業は従業員がじかに行なえる。

分割レールについても問題はなく、一番長いもので約6トンあるがレール保護板と全く同じような取扱いが可能である。(Fig. 3.16)

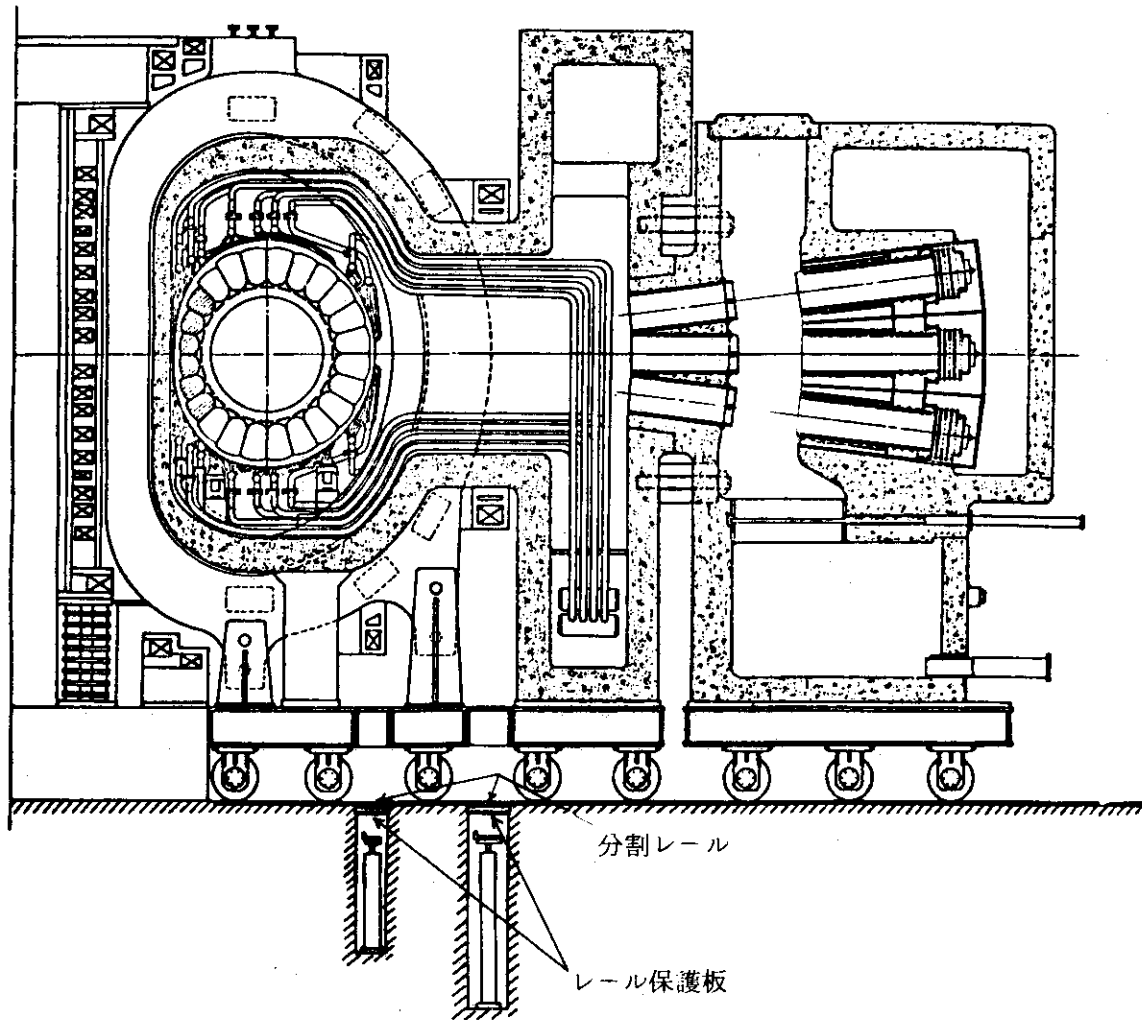


Fig. 3.16 レール保護板及び分割レールの取付図

(10) 冷却配管逆L字部

まだこの部分の詳細な設計は進められていないので、取外し部分がフランジ方式になるか溶接方式になるかは未確定である。

1モジュール当り4本のパイプが地下室の方に貫通しているので、炉モジュール移送の場合は必ずはずさねばならない。したがって再現性のあるリークのない継手が要求される。(Fig. 3.17)

この付近は誘導放射線の減衰期間が過ぎれば人が立入ることが可能なので、継手方式さえ決まればその取付け取外し作業については問題はないと考えられる。

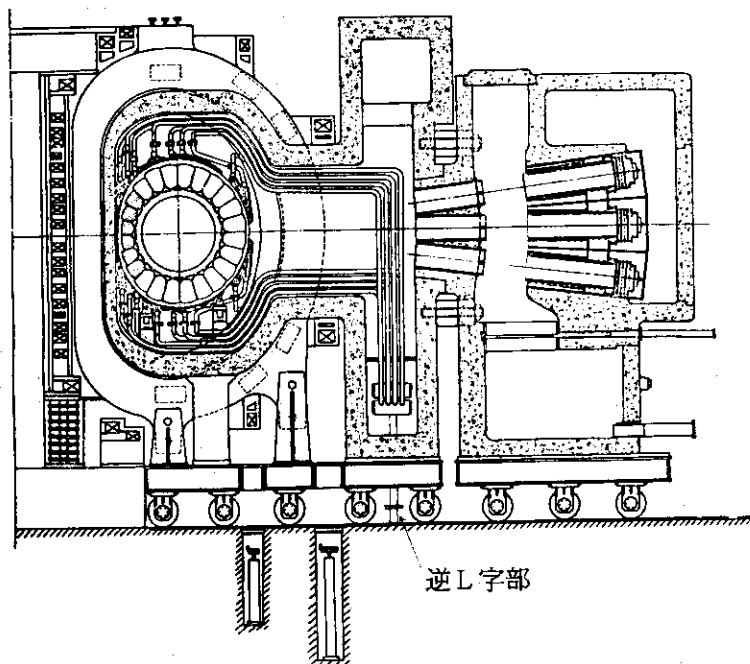


Fig. 3.17 冷却配管逆L字部の指示図

(11) 真空排気ダクト

それぞれの炉モジュールから2本の排気ダクトが出ているが、ダクトの取りはずし部分の構造は(10)の冷却配管逆L字部と同じようにまだ決まっていない。(Fig. 3.18)

炉モジュールを修理室へ移動する時にははずさねばならないが、それらの作業は人及び各種のマニピュレータによって行なわれる。

(12) NBI用冷却配管

Fig. 3.18には図示されていないが多数の冷却配管があると思われる。従ってこれについては設計がもっと進んだ段階で検討を行なう。

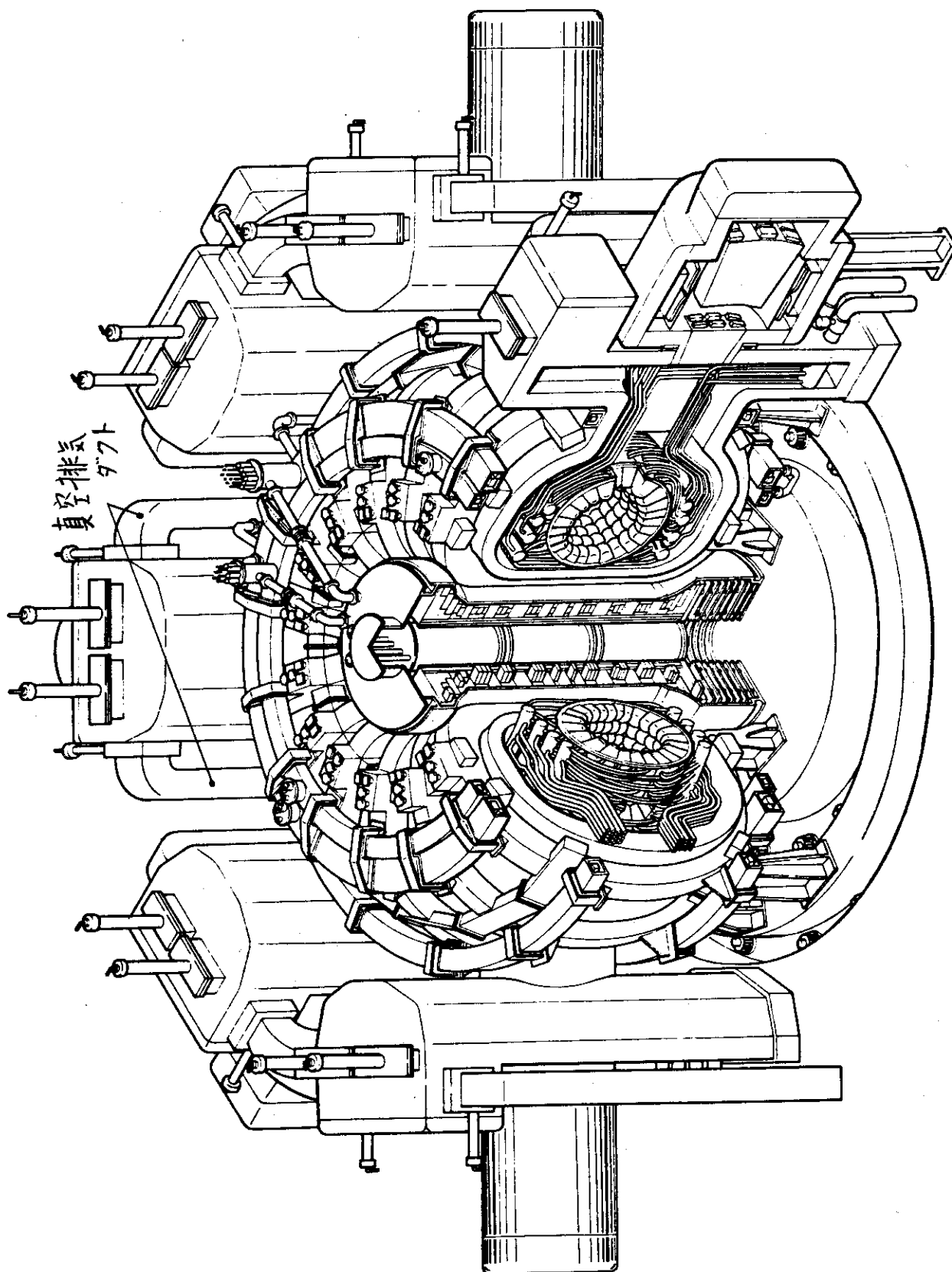


Fig. 3.18 真空排気ダクトの指示図

4. 遠隔装置の概念設計

分解修理装置として、引出用台車、旋回用台車、各種の天井クレーン、自動溶接切断装置、ブランチット修理装置、遮蔽扉開閉装置の概念設計をJAERI-MV7825の中でまとめた。しかし他の遠隔操作装置として小型作業車、大型作業車、ゴンドラ、検査装置、TVシステムの必要性が考えられたが、それらについてはただ単に文献紹介のみにとどまった。

そこで今回は、炉室のような高放射能雰囲気内で各種の作業を行なえる装置として、オーバーヘッドクレーンマニピュレータと地上マニピュレータ車の概念設計を行なった。

4.1 オーバーヘッドクレーンマニピュレータ

パワーマニピュレータを装備したオーバーヘッドクレーンマニピュレータのキャブをFig.4.1に、全体の立体図をFig.4.2に示す。

これは、炉本体の上廻りの解体及び修理作業を行なうための遠隔操作装置である。主として、炉室内に人が立入れない時に人の代わりに作業したり、人では持てない程度の軽量物を運んだりするのに用いる。2本のパワーマニピュレータ先端のトングを取替えることにより各種の機能を発揮できる。しかし、重量物の移転はポークレーン（定格300トン）に任せるものとする。

オーバーヘッドクレーンマニピュレータは、ポークレーンのガーダにそれ専用のトロリを持ち、そこからマストを下げマニピュレータ付きのキャブを支えている。従って主な構成要素としては、トロリ、伸縮自在のマスト部、キャブ、パワーマニピュレータから成る。キャブの大きさは、1.8m/2.2m×1.6m×高さ2.4mである。

パワーマニピュレータの能力は、トングの部分で225kg、フックの部分で675kgの物を取扱うことができる。リストで押したり引いたりする場合は180kgまでできる。これは上腕、前腕、リストから構成され、リストの回転は360°、トルクは823kg・cm、回転速度は7r.p.mの性能を持つ。ショルダーの部分を支えているブームは水平方向に1.5m伸びることができる。ポークレーンのガーダ回転速度は0.127r.p.m(20m/min)、オーバーヘッドクレーンマニピュレータのトロリ横行速度は40m/minである。

1人乗り用のキャブ内には、CCTVモニターシステム、照明システム、空調システム、アラームシステム、外部との通話システム等が備わっている。遮蔽窓（鉛ガラス）を通して内部からマニピュレータの動きを見て、またそれを補なうためにCCTVカメラを併用しながら各種の作業をコントロールする。

4.2 地上マニピュレータ車

Fig.4.3に示された地上マニピュレータ車は、上廻りを受け持つオーバーヘッドクレーンマニピュレータと協力しながら炉本体の下廻りの作業を行なう遠隔操作装置である。Fig.4.4には

その立体図を示す。

これは走行するキャタピラー部、オペレータの乗るキャブ、伸び縮みするブーム、3基のパワーマニピュレータから成っている。比較的高い場所の遠隔作業にはブーム先端のマニピュレータを使い、フロア近くの作業にはキャブ前方に付いている2基のマニピュレータを用いる。

マニピュレータの性能及びキャブ内の装置類は、ほとんどオーバーヘッドクレーンマニピュレータに準じる。キャタピラーの走行速度は1.6 km/hで、その上に載っているキャブは360°旋回することができ、任意の位置にマニピュレータを向けることができる。寸法は、長さ7.4m×巾6m×高さ3.6m（キャブまでの高さ）である。

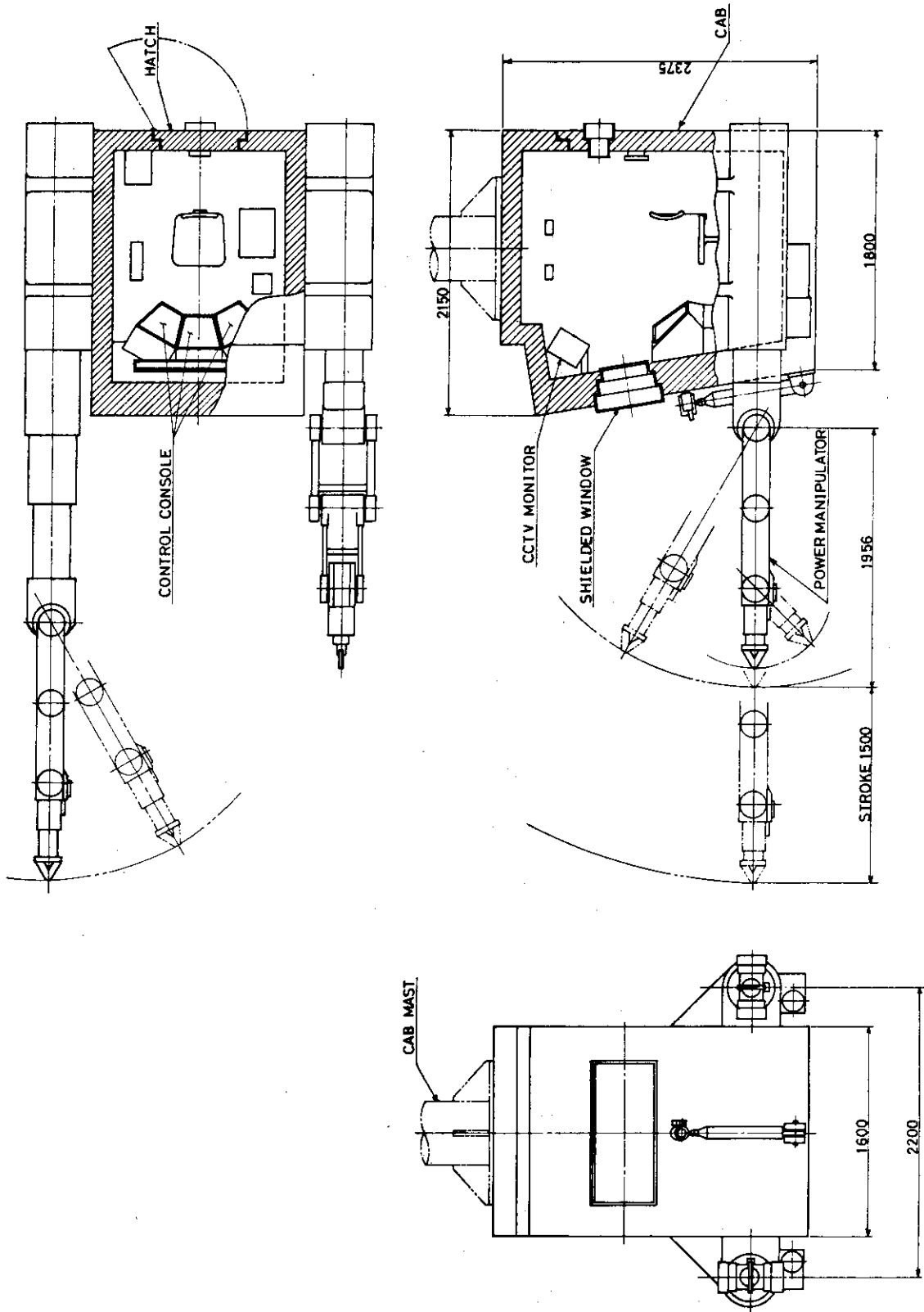


Fig. 4.1 オーバーヘッドクレーンマニピュレータ

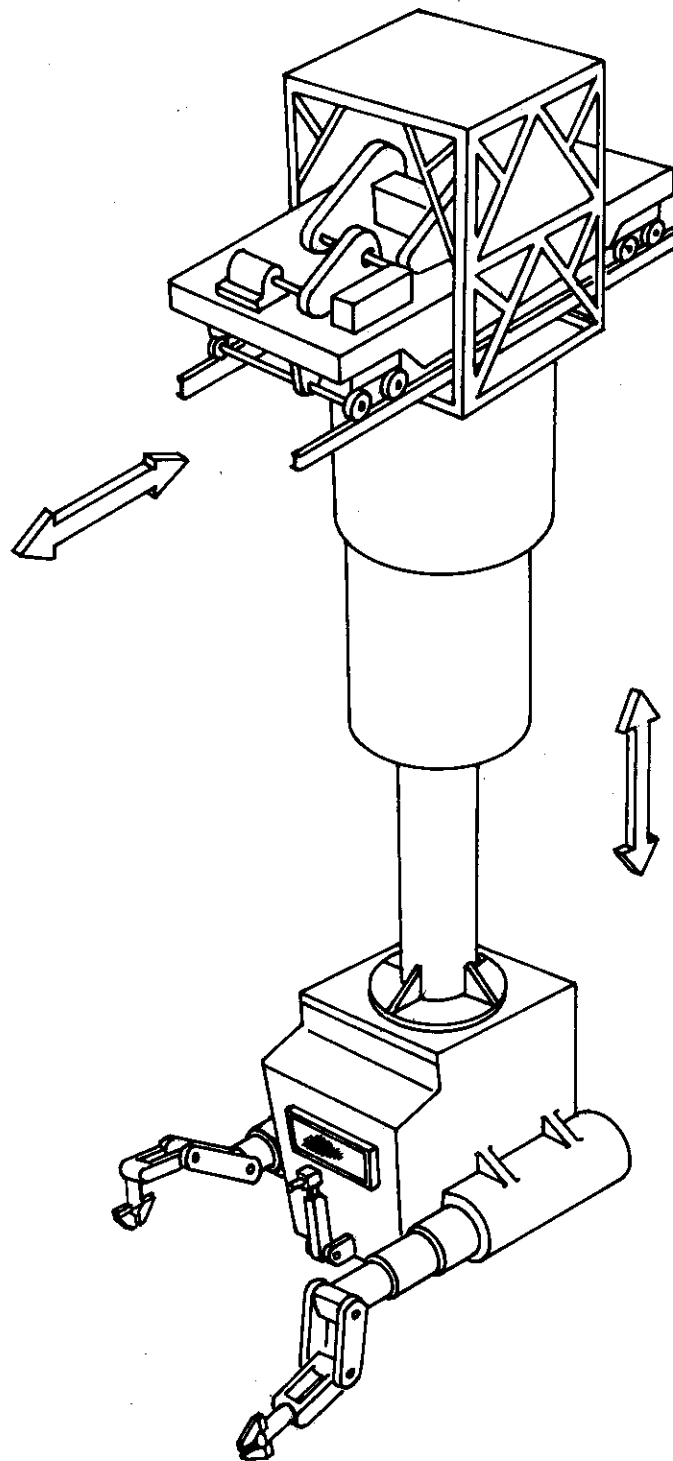


Fig. 4.2 オーバーヘッドクレーンマニピュレータ

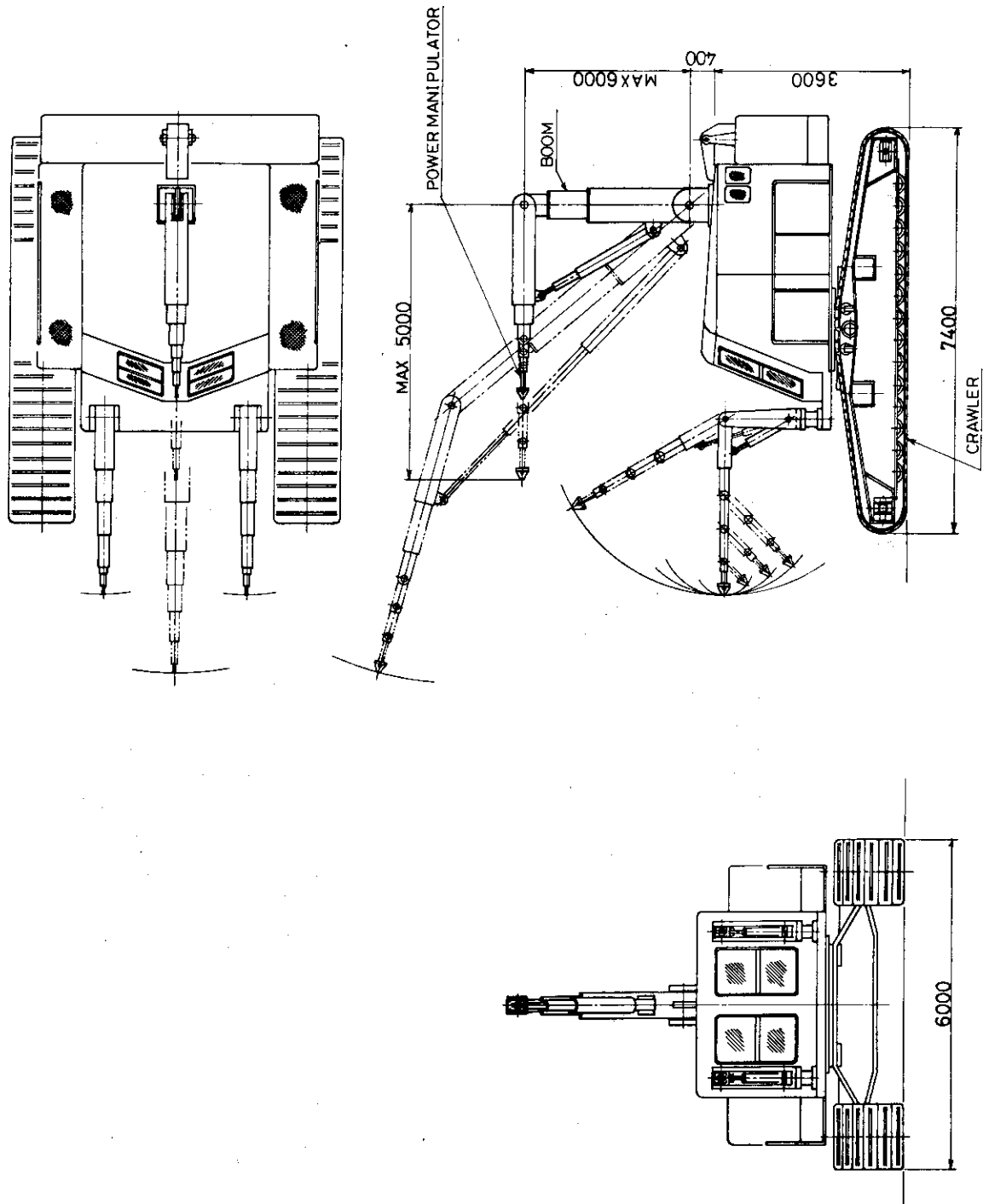


Fig. 4.3 地上マニピュレータ車

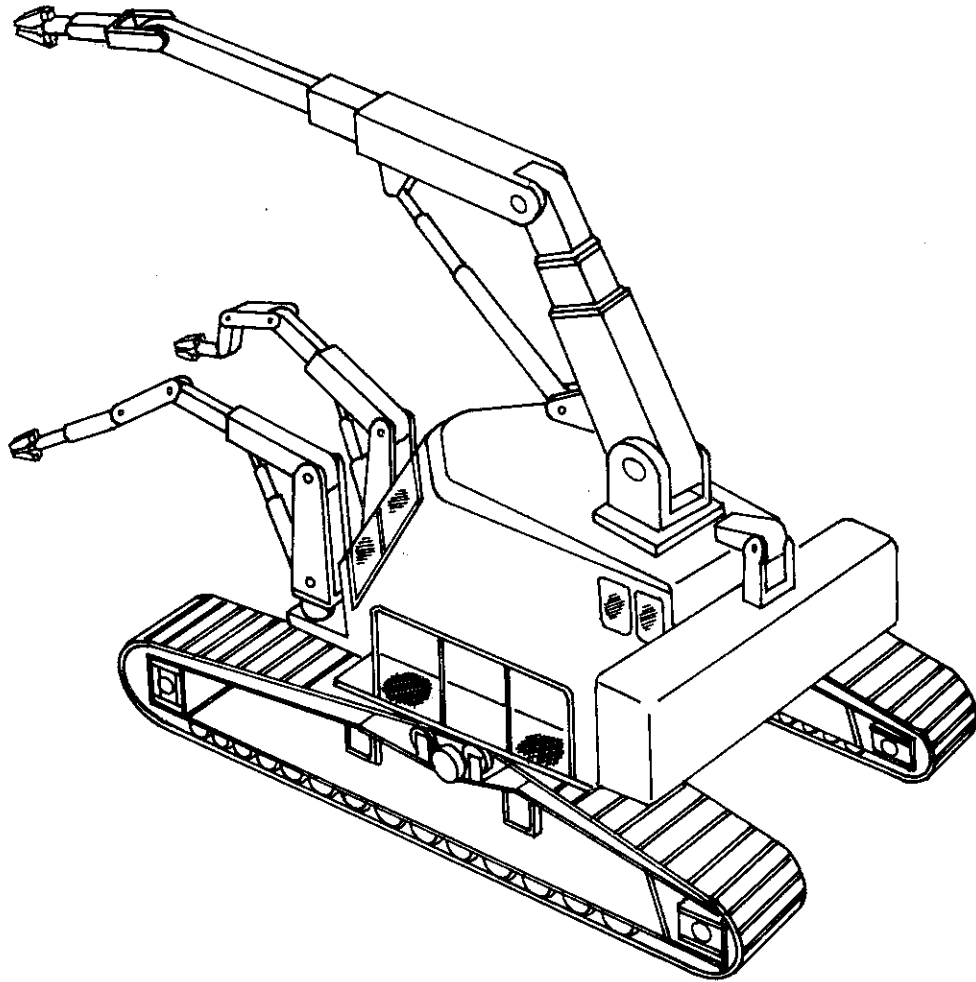


Fig. 4.4 地上マニピュレータ車

5. 分解修理システム

原研と並んで最も概念設計の進んでいるのは、GAC・ANL-TNS である。そこでまず、TNSで概念設計したメンテナンス用の遠隔操作装置について述べ、それらを使ってどんな方法で解体及び修理をするのか紹介する。次に、原研・JXFR方式の分解修理手順を略図入りで詳しく述べる。

5.1 GAC・ANL-TNS の概念設計

ここでは、一番最近のTNSの分解修理システムについて述べる。始めに、リモートメンテナンスに使われる装置について説明し、次に真空容器等にトラブルが生じた時の解体・修理作業が順番に図解されているので紹介する。

(1) 各種の遠隔操作装置

(i) Bridge Mounted Shield Cab Manipulator (BMSCM)

Fig. 5.1に示されるBMSCMは炉の上廻りのメンテナンスを受け持つ。キャブはブリッジクレーンから吊り下げられ、垂直方向に伸縮自由である。キャブは2人のオペレータのために十分なスペースを持ち、遮蔽構造となっている。自重は50トンである。

2本のマニピュレータがキャブの下側に装備されており、水平方向に伸びる。伸縮チューブは36°回転する。マニピュレータのアームは3つの要素（上腕、前腕、リスト）から成っており、リストは自由に回転する。最大181kgの物体を持上げることができる。

キャブ内には3つの操作盤があり、センターの盤はキャブマストの伸縮、BMSCMのトリ、45トンのクレーントリ、キャブの旋回、CCTVシステム、キャブの照明、空調システム、アラームシステム等をコントロールする。左と右の操作盤は、各マニピュレータの動きを制御する。

BMSCMの駆動装置が故障した場合は、150トンの天井クレーンがBMSCMを完全な場所へ運ぶことになっている。

(ii) Vehicle Shielded Cab Manipulator (VSCM)

Fig. 5.2は2人のオペレータがキャブに乗り、2本のマニピュレータを操作するトラックタイプの乗物である。

BMSCMとは反対に炉の下廻りのメンテナンスを受け持つ。重さは50トンである。マニピュレータの機能、キャブ内のレイアウト及び操作盤の仕様などは、ほとんどBMSCMと同様のものである。

(iii) Access Port Removal/Replacement Equipment (APRR)

APRR装置(Fig. 5.3)は、プラズマチャンバーのアクセス・ポート・カバーをはずしたり付けたりするための遠隔操作装置である。

それはシールド・アッセンブリ、メンテナンス用のカバー、切断装置、溶接装置、制御盤、

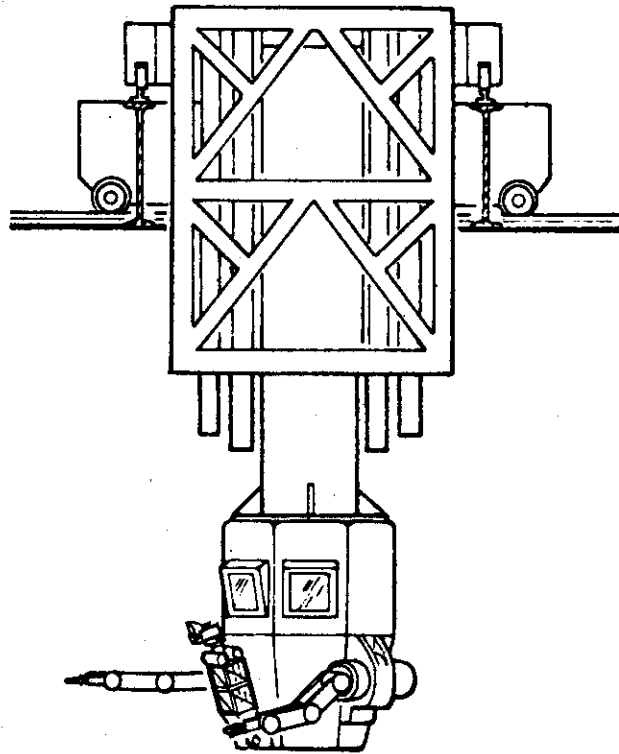


Fig. 5.1 Bridge Mounted Shielded Cab Manipulator

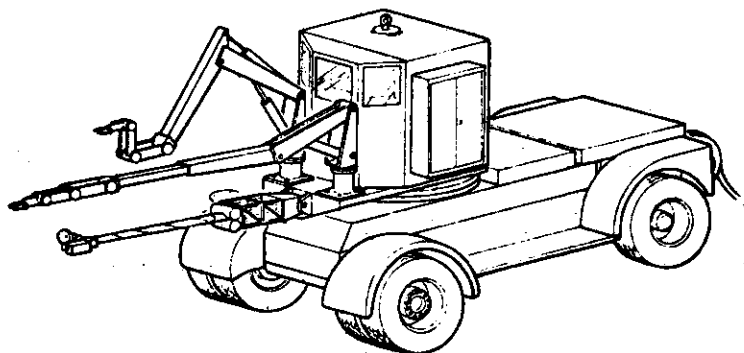


Fig. 5.2 Vehicle shielded cab manipulator

CCTV モニターから構成され、シールドアセンブリの全重量は 450 kg である。

(iv) Access Port Mounted Manipulator (APMM)

APMM (Fig. 5.4) は、真空容器のライナ・タイルを取外したり、各種の装置を設置したりするために使われる。マニピュレータ、シールドカバー、操作盤、CCTV モニター等から成る。APMM の高さは 747 cm 重量は約 1820 kg である。

マニピュレータのアームは 4 つの要素（旋回肩、上腕、前腕、リスト）で構成されており、最大負荷能力は任意の位置で 50 kg である。

2 個の CCTV カメラによって作業の監視が行なわれる。

(v) In-Vessel Rail Mounted Machine (IVRMM)

IVRMM (Fig. 5.5) は、真空容器内のリミッタやライナ・プレートの取替え及び一般的なメンテナンスのために使用される。

これはマニピュレータ、トロリ、操作盤、CCTV モニターから構成される。高さは 528 cm 重さは約 1820 kg である。IVRMM は 4 輪を持ち、154 cm 間隔のレール上をトラス方向に走行できる。マニピュレータは 4 つの要素から成り、70 kg の物体を持ち運びできる。リーチの最長は 138 cm である。

(vi) Upper Maintenance Shield Module (UMSM)

UMSM (Fig. 5.6) は、上側の F コイルのメンテナンス、チャンバーのポートプラグを外すためのアクセス、IVRMM を設置するためのアクセス、及びチャンバー内や外で使用するツールや装置の取扱い等のために使用される。

UMSM の壁厚は 25.4 cm (22.9 cm の鉛と 2.5 cm の鋼シェル) であり、全重量は 14.5 トンとなる。マニピュレータが 1 つ備え付けられ、3 個の CCTV カメラから監視される。

(vii) Outboard Maintenance Shield Module (OMSM)

OMSM (Fig. 5.7) は、外側シールドの一部が取外された露出部に据付けられる。特に外側に位置している F コイルやチャンバーのメンテナンスのために用いられる。壁厚さは 25.4 cm (22.9 cm 鉛 + 2.5 cm 鋼) で、全重量は 100 トンになる。後壁には鉛ガラスの窓が上下に 3 面あり、作業員のためにプラットフォームが付いている。上下に昇降するマニピュレータをその位置から操作及び監視する。

(viii) Shield Block Handling Machine (SBHM)

SBHM (Fig. 5.8) は、内側のシールドタンク内にあるシールドブロックを遠隔で取出したり積重ねたりするために設備される。

これはプラットフォームと直径 15 cm × 長さ 985 cm の柱状のアセンブリから成っている。下端部にはマニピュレータ型のアームとリストが備わっており、ツールを取替えることによりシールドタンク内のリモートメンテナンスを行なうことができる。これらの操作は BMSCM のキャブ内の CCTV を見ながらコントロールできる。

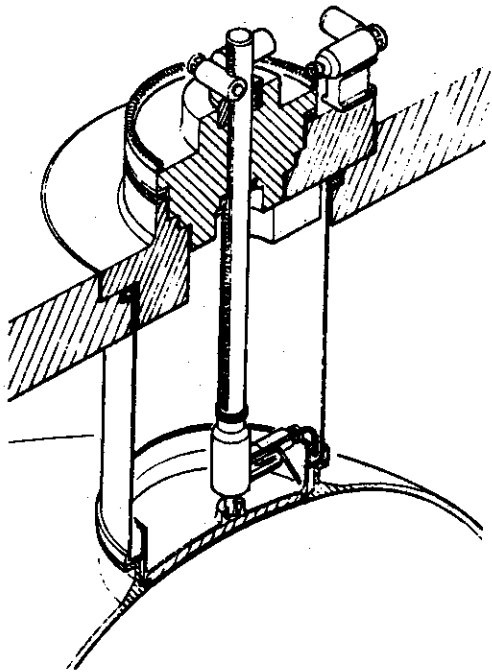


Fig. 5.3 Plasma chamber maintenance equipment

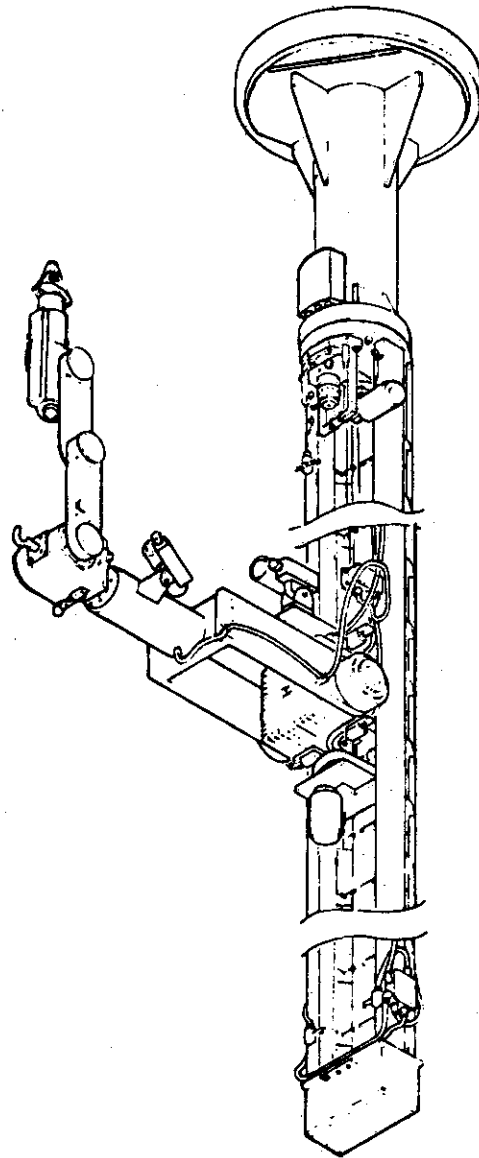


Fig. 5.4 Access port mounted manipulator

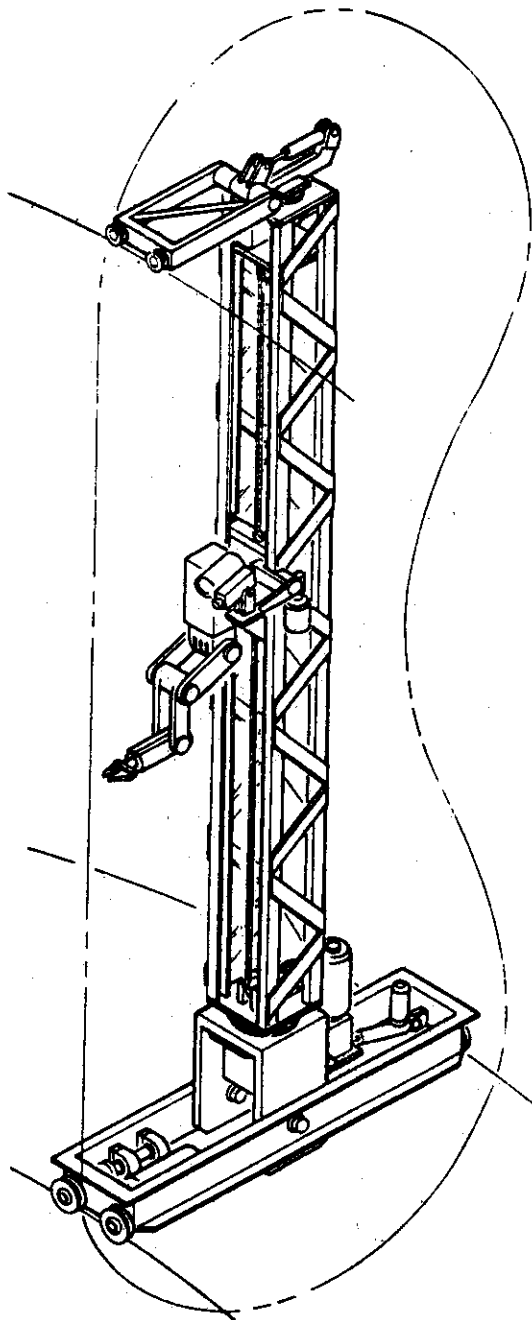


Fig. 5.5 In-vessel rail mounted machine

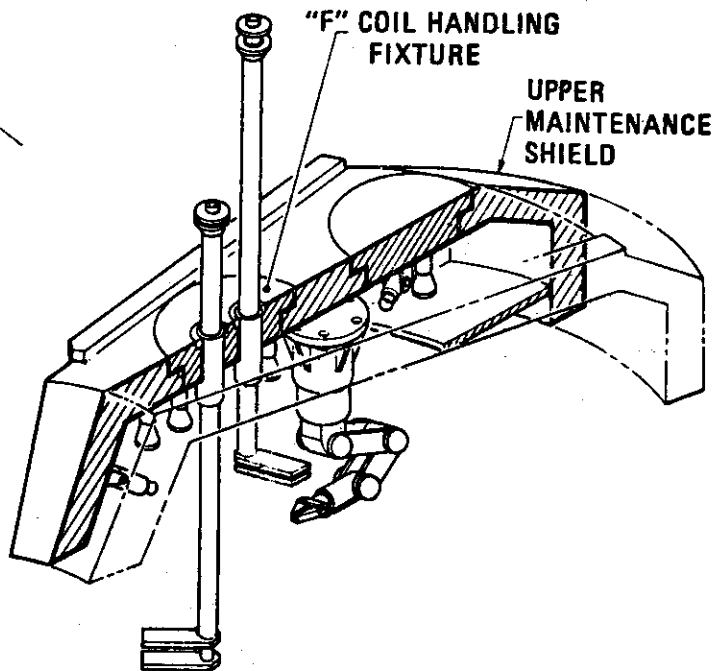


Fig. 5.6 Upper maintenance shield module

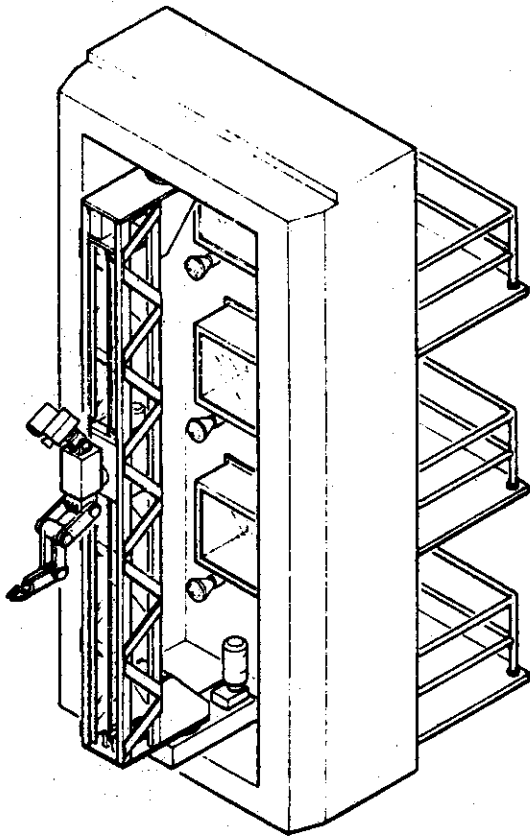


Fig. 5.7 Outboard maintenance shield module

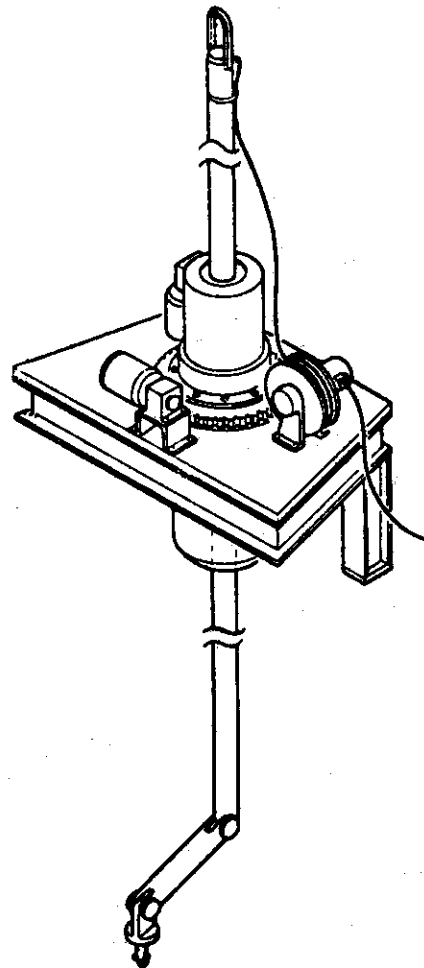


Fig. 5.8 Shield block handling machine

(2) 修理のための典型的な解体方法

(i) 上部シールドの移転

上部シールドのセグメントの移動を行なう前に、一部のEコイルと相隣るBコイルを連結しているリンク・バーを取外す (Fig. 5.9-a)。これらは遮蔽壁の外側に位置しているので、誘導放射能が減衰したあと人が直接に作業できる。その次にクレーン吊りのためのスリングを取付ける (Fig. 5.9-b)。その後BMS CM (Bridge Mounted Cab Manipulator) のキャブ内にいるオペレータ以外の人は全員炉室外に退避する。上部シールドのセグメントはクレーンを用いて約5 cm引き上げられる (Fig. 5.9-c)。それから外方向へ約2 m移動される (Fig. 5.9-d)。最終的にEコイルに当らぬよう垂直に吊上げられ、格納場所へ持ち運ばれる (Fig. 5.9-e)。

(ii) 外側シールドの移動

NBIの間にある外側シールドのセグメントは、上部シールドのセグメント移動のあと動かすことができるようになっている。一旦上部シールドのセグメントが動かされると、それ以後の作業はすべて遠隔操作によって行なわれる。

まず、シャックルやスリングが取付けられる (Fig. 5.10-a, b)。次にシールド間を結合しているファスナーが外され、外側シールドのセグメントが外方向に移動される (Fig. 5.10-c)。そしてそれは、ブリッジクレーンによって格納場所へ運ばれていく。

(iii) 内側シールドブロックの移動

内側にあるFコイルやプラズマ・チャンバーの内側に接近するためには、内側にあるシールドブロックをシールドタンク内から運び出さなければならない。

(i), (ii)の作業のあと、シールドタンクの上蓋がBMS CMのオペレータによって取除かれる (Fig. 5.11-a)。次にSBHM (Shield Block Handling Machine) がBコイルの上部に設けられ (Fig. 5.11-b)、UMSM (Upper Maintenance Shield Module) も設置される (Fig. 5.11-c)。それからUMSMの斜面に沿ってコンベアが据付けられる (Fig. 5.11-d)。最後に、コンベアの上部にシールドブロックを集めて運ぶためのコンテナが吊り降される (Fig. 5.11-e)。

シールドブロックを取出す作業は以下の通りである。まずSBHMがシールドタンク内のブロックをつかみ、それをブロックの山から取出しコンベアの一方の端はBコイルの上部に置かれているので、コンベアによって移動したブロックはBMS CMのマニピュレータによってつかみ上げられ、キャブ内にいるオペレータはコンテナの中にそれを降ろす (Fig. 5.11-f)。シールドブロックでいっぱいになったコンテナはブリッジクレーンによって格納エリアへ運ばれる。

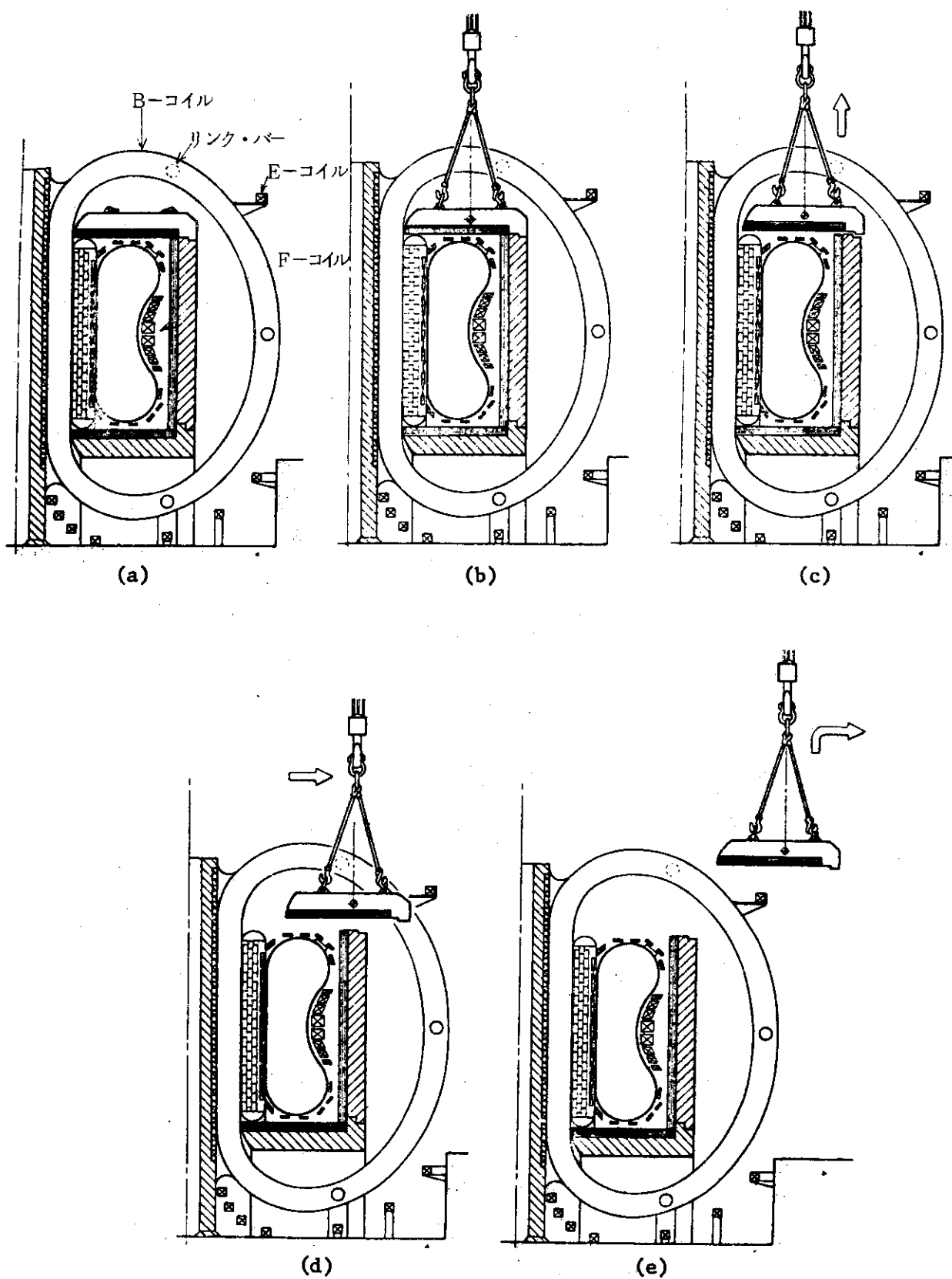


Fig. 5.9 Removal of top shield

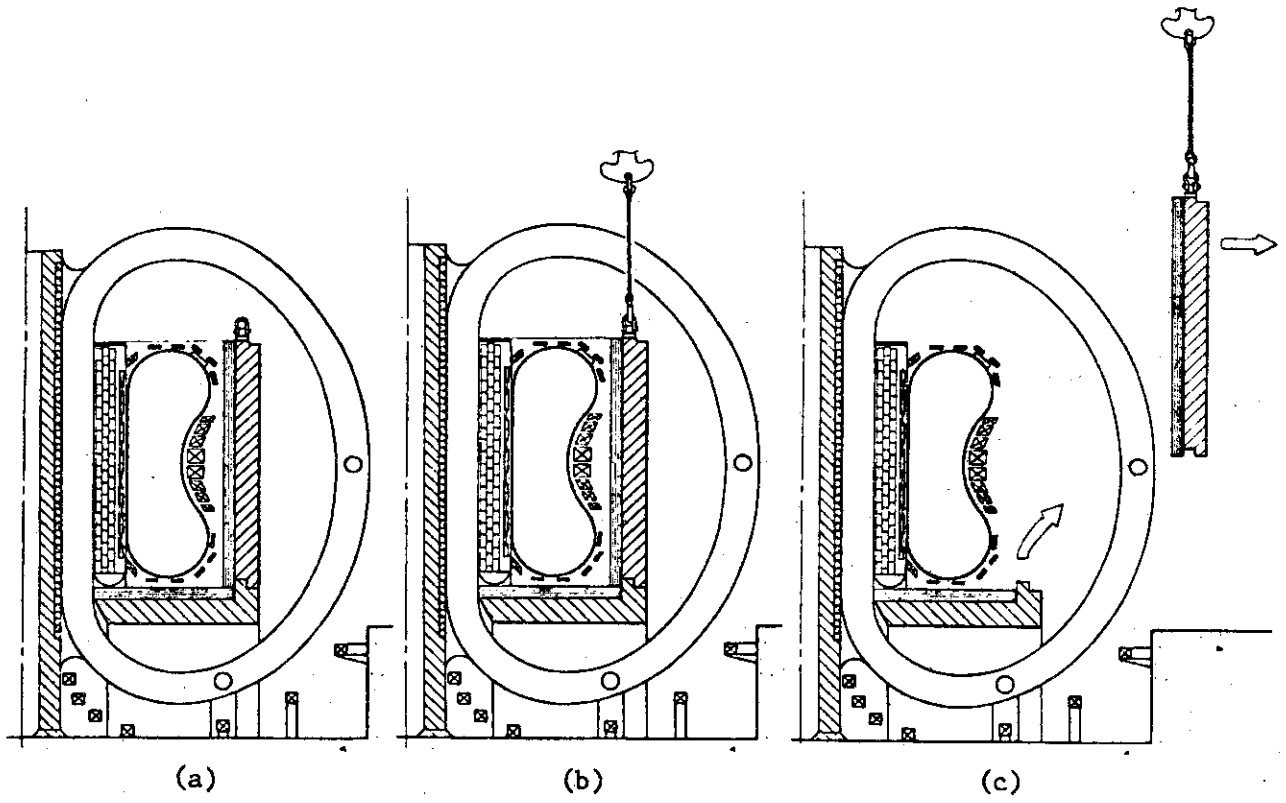


Fig. 5.10 Removal of outboard shield

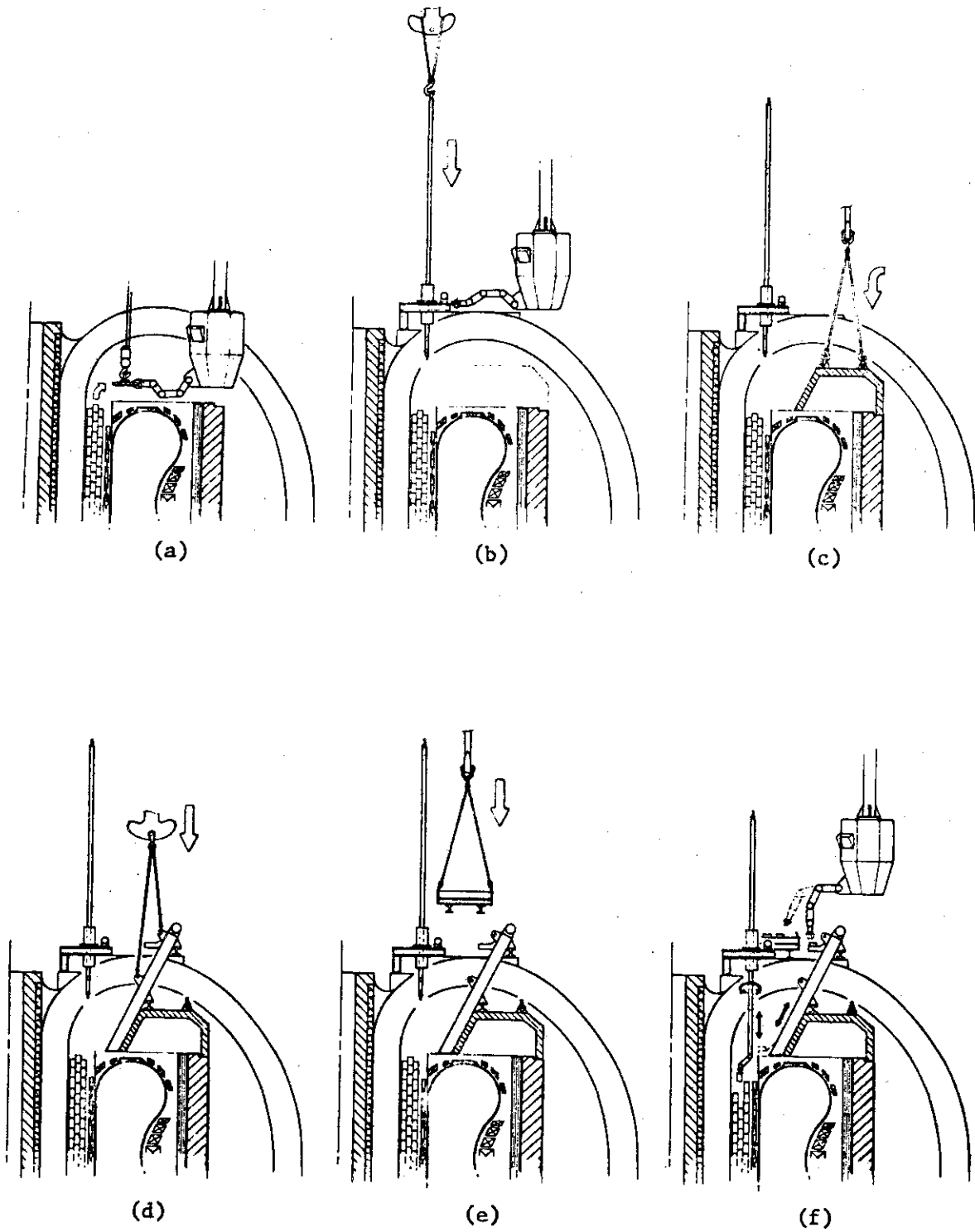


Fig. 5.11 Removal of inboard shield

5.2 原研-JXFRの概念設計

昨年度の報告書（JAERI-M 7825）では、ブランケットの分解修理手順をTable 1.5のようなフローチャートで示した。

今回は3章の「分解修理に伴う作業と必要な遠隔操作装置」の中で、各作業の内容がどんなものか、どの程度の作業量となるか、またどんな遠隔操作機器を用いるのか等を検討した。さらに4章では、代表的な遠隔操作装置として「オーバーヘッドクレーンマニピュレータ」と「地上マニピュレータ車」の概念設計を行なった。

これらの設計検討をふまえて、この5.2節ではブランケットに故障が生じた時の解体・組立作業の経過を略図入りで詳しく述べるものとする。これはTNSの解体・修理方法と対応するものであり、炉構造の違いや修理システムの相違等が明確にされるであろう。

TNSと最も異なる点は、トロイダルコイルがポロイダルコイルの内側にあるため炉をモジュール化できること。さらに各コイルを壊すことなく取りはずしできることである。そのため、修理作業性は良くなり修理可能な項目も増すことになる。しかし、これは日本と米国の分解修理に対する基本的な方針の相違の結果であり、簡単にどちらの方法が良い悪いと結論づけることは時期尚早と思われるのでさし控える。

作業を①～⑳まで順番に列挙し、その中で重要と思われる項目についてFig. 5.12～5.30（or ①～⑱図）を添付し、視覚的にもわかりやすいものとした。

ブランケット故障の場合の解体・組立作業手順

- ・運転中、分割レールおよびレール保護板は設けていない。（Fig.5.12 or ①図）
- ・誘導放射能減衰期間中は故障箇所の検出を行なう。
- ① NBIを炉体から取外すための準備作業を行なう。（Fig.5.13 or ②図）
 - ① ボルト・ナットをはずす。
 - ② アンカーボルト用ナットをはずす。
 - ③ NBI用冷却配管の接続を切る。
 - ④ 車輪軸受を支えているウェッジを取除く。
- ② NBIに駆動台車を連結する。
- ③ NBIを炉体から引出す。（Fig.5.14 or ③図）
- ④ 途中で開口部に遮蔽プレートを取付ける。
- ⑤ NBIを一時修理室に待避させる。
- ⑥ 主冷却入口・出口配管の炉外にある逆L字部をはずす。
- ⑦ 主真空ポンプ用ダクトの接続部をはずす。
- ⑧ 台車間のつなぎフレームを順次はずし、空けた所の下側大径ポロイダルコイルを油圧ジャッキ、天井クレーンでピットに降す。（ポロイダルコイル相互の渡り線はずしてから移動）降した後は、再びつなぎフレームを取付けておく。（Fig.5.15, 16, 17, or ④, ⑤, ⑥図）

- ⑨ ピットにレール保護板および分割レールを取付ける。
- ⑩ 上側大径ポロイダルコイルを天井クレーンで吊り上げる。(Fig. 5.18 or ⑦図)
- ⑪ トロイダルコイル相互のつなぎビームや渡り線ははずす。
- ⑫ 引出す炉モジュールのトロイダルコイルとポロイダルコイル円筒部との共通キャンを切断する。
- ⑬ 炉モジュール間の固定ボルトをはずす。
- ⑭ 鉛スペーサを除く。
- ⑮ 真空シール部を自動切断機で切断する。(Fig. 5.19 or ⑧ 図)
- ⑯ 台車と床とのアンカーボルト・ナットをはずす。
- ⑰ ウェッジをゆるめ、除く。
- ⑱ 引出用台車に駆動台車を連結する。(Fig. 5.20 or ⑨図)
- ⑲ 引出す (Fig. 5.21 or ⑩図)
- ⑳ 途中で開口部に遮蔽プレートを取付ける。
- ㉑ 引出用台車を旋回用台車上に載せる。(Fig. 5.22 or ⑪ 図)
- ㉒ 炉室と旋回台車の接続を解き扉を閉める。
- ㉓ 修理室前まで旋回。(Fig. 5.23 or ⑫図)
- ㉔ 旋回台車と修理室とを接続し扉をあける。
- ㉕ 引出台車は修理室に入る。(Fig. 5.24, 25 or ⑬, ⑭ 図)

- ㉖ ブランケットを取出す作業を行なう。
 - ㉖a ブランケット冷却配管を適切な位置で切断する (16本)
 - ㉖b 真空容器の横からブランケットを取出す。(Fig. 5.26, 27 or ⑮, ⑯ 図)
 - ㉖c ブランケットの故障診断および修理。(Fig. 28, 29 or ⑰, ⑱ 図)

- ㉗ 逆の手順により、新しいブランケットあるいは点検済みのブランケットを炉モジュールに取付け、炉室内の炉本体に組込む。

参 考 文 献

- (1) GA-A14865 (March 1978)

① 運転及び冷却期間中

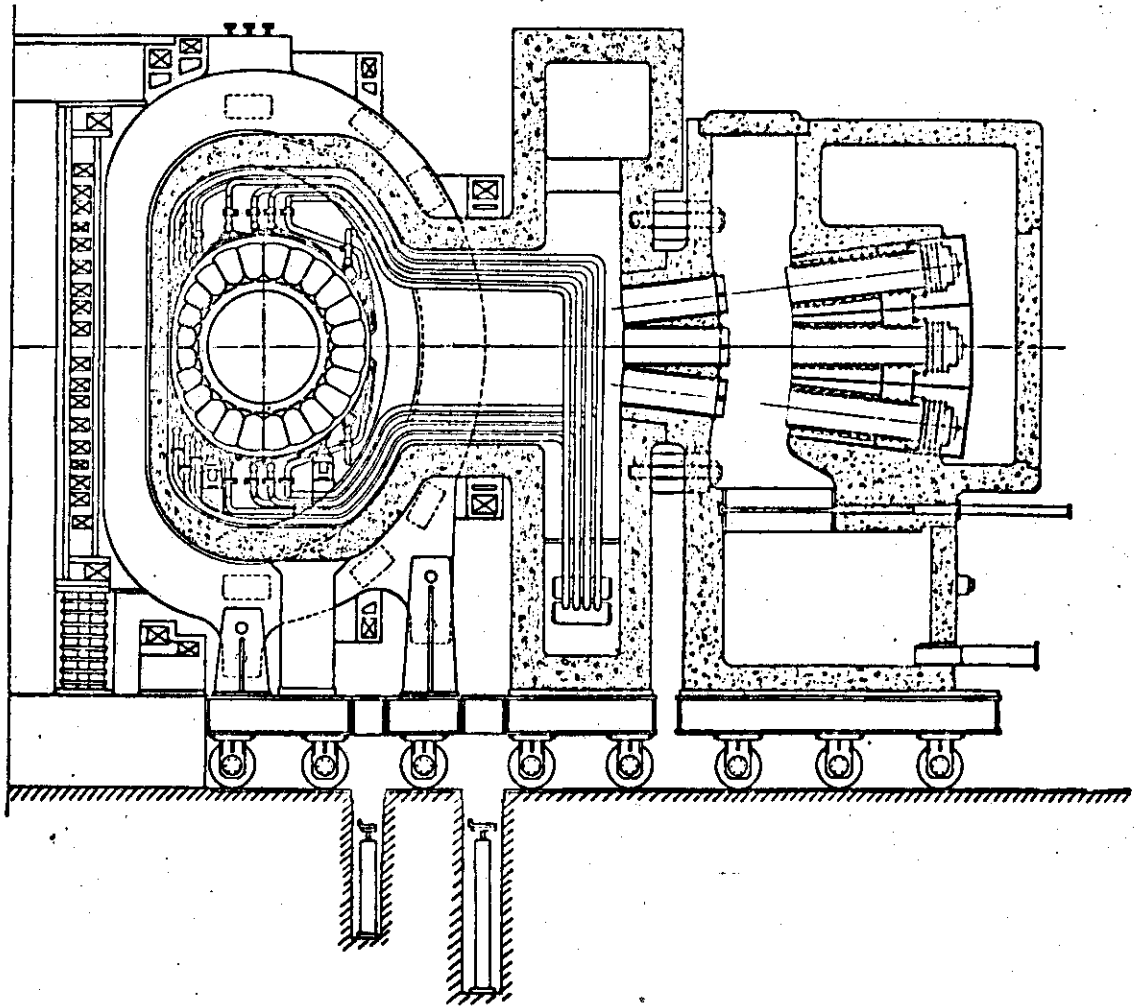


Fig. 5.12

② NBIに駆動台車と連結しNBIと本体とを切離す。

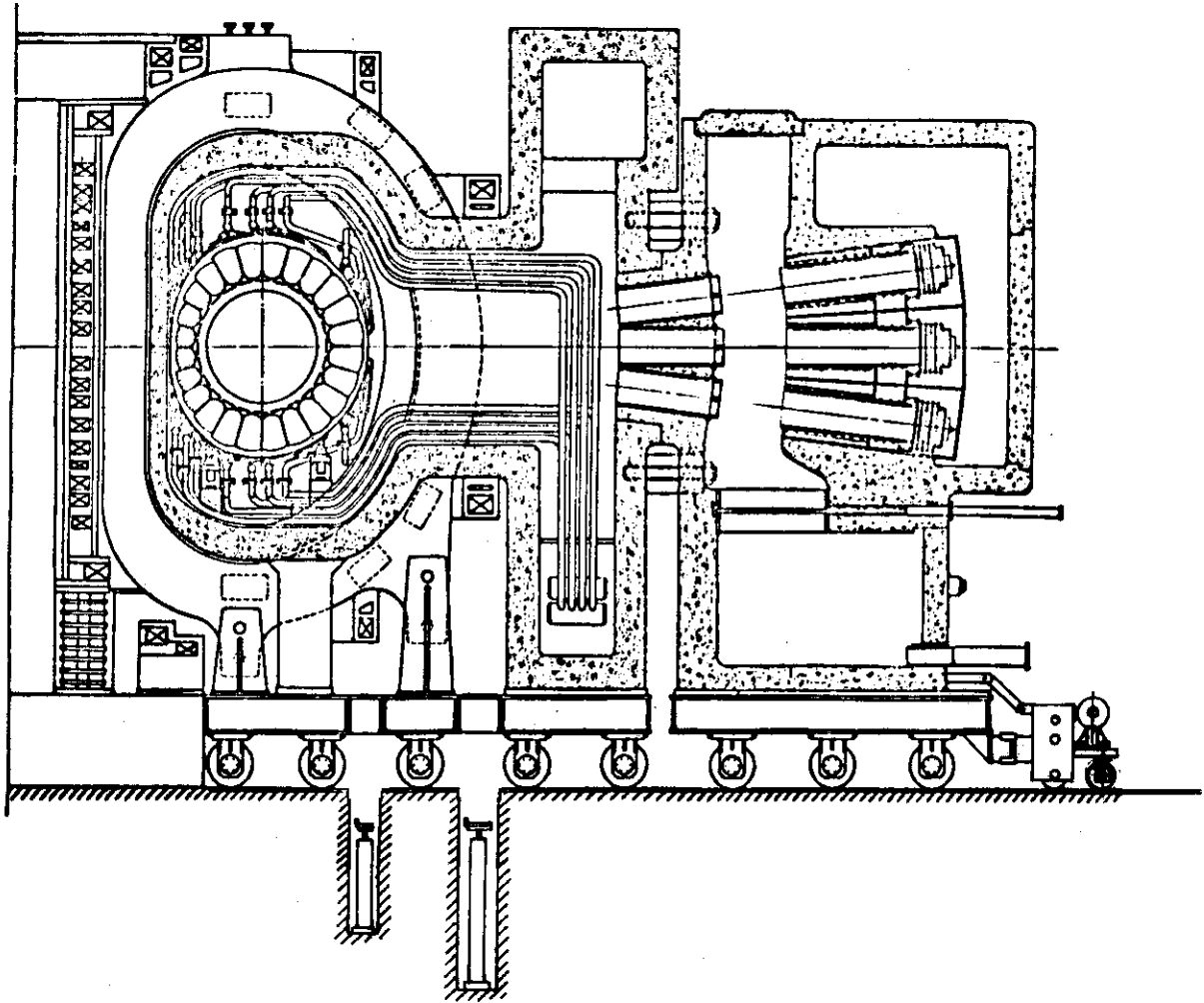


Fig. 5.13

③ NBIを引出し途中で止め開口部遮蔽蓋を取付ける。

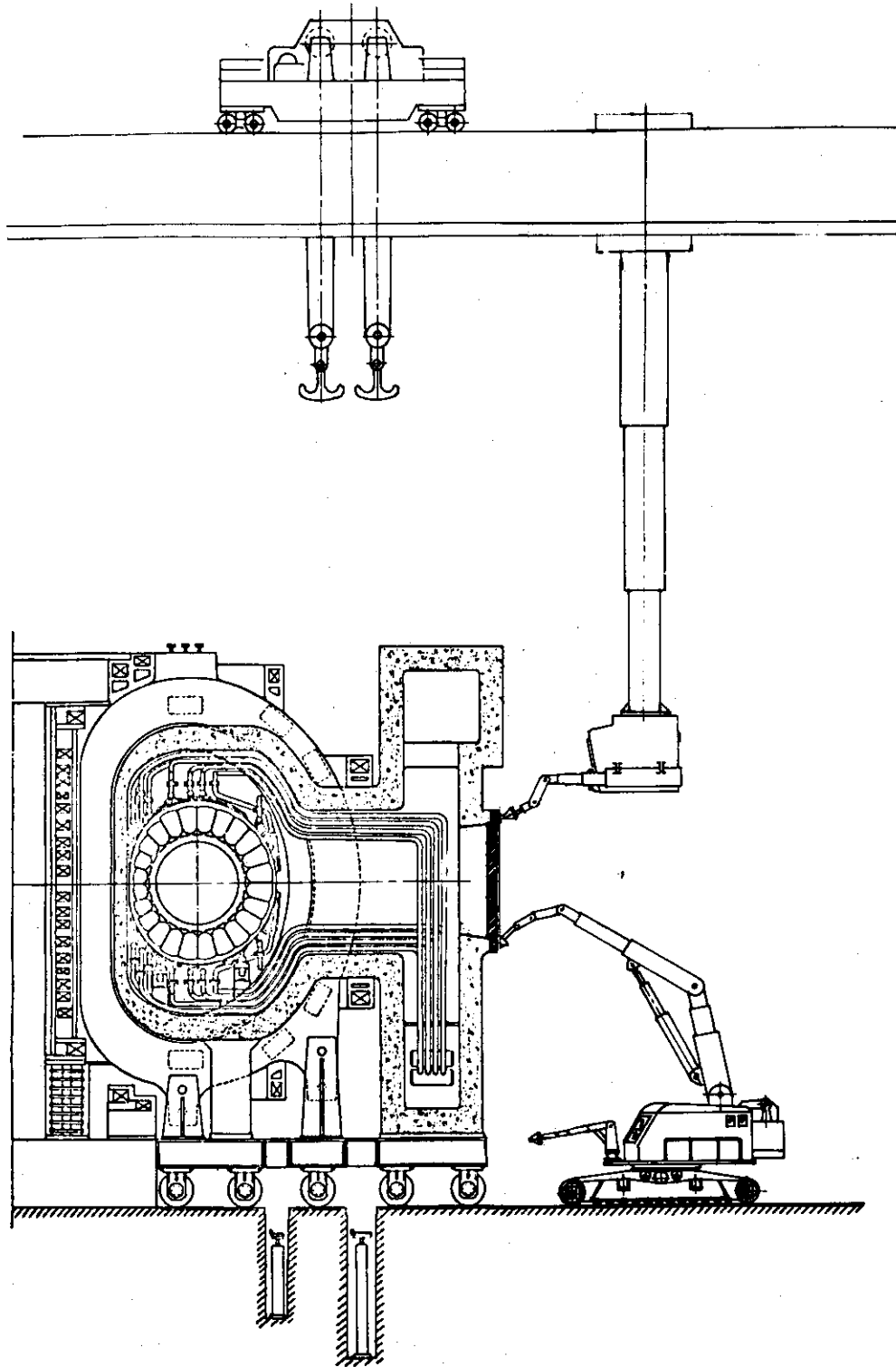


Fig. 5.14

- ④ 台車BC間のつなぎフレームを取外し一番外側の下側大径ポロイダルを油圧シリンダでピットに降す。

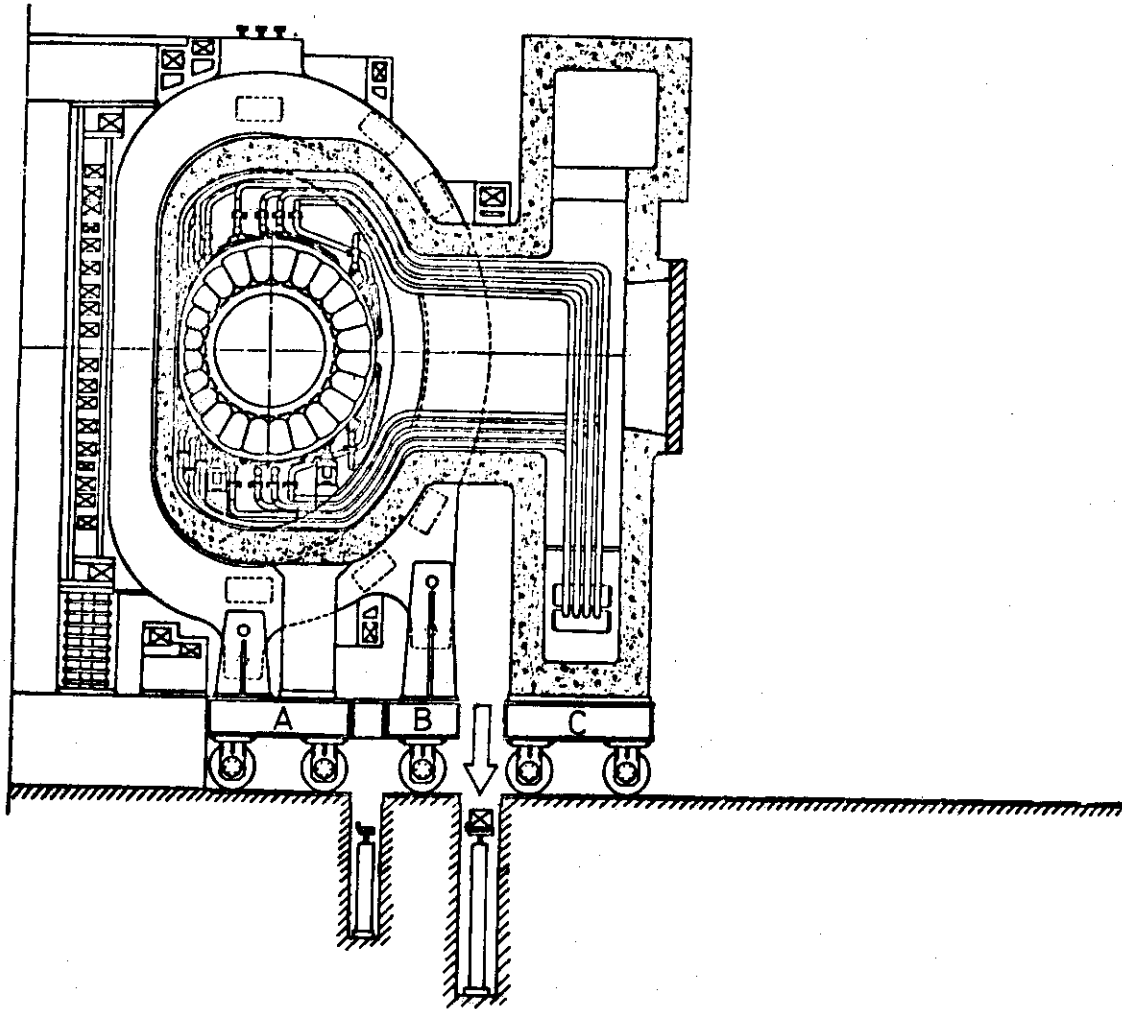


Fig. 5.15

- ⑤ 台車BC間のつなぎフレームを元の通り取付ける。次に台車AB間のつなぎフレームを外し残りの下側大径ポロイダルコイルをピットに降ろす。

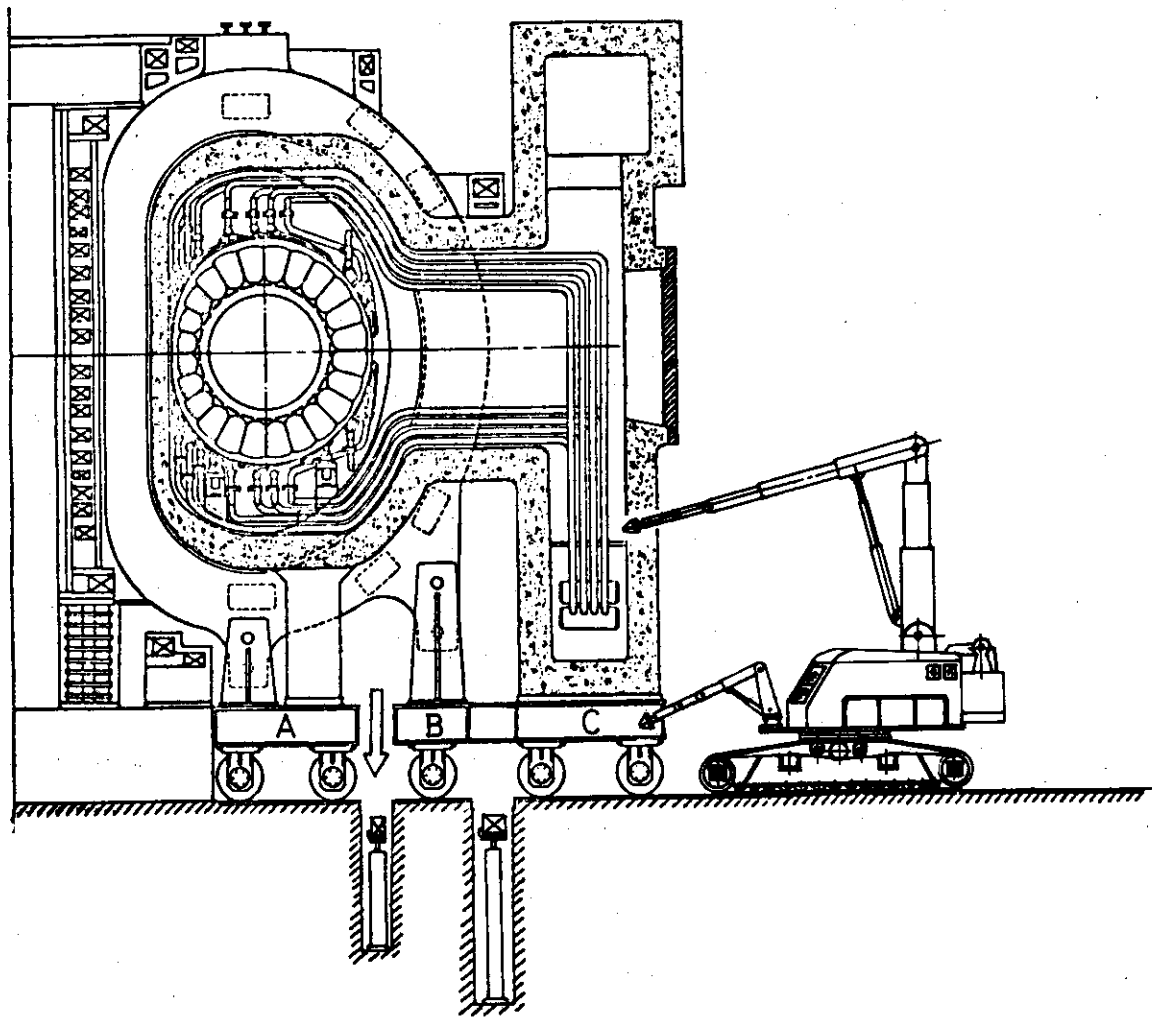


Fig. 5.16

⑥ つなぎフレームを元に戻しピットにレール保護板及び分割レールを敷く。

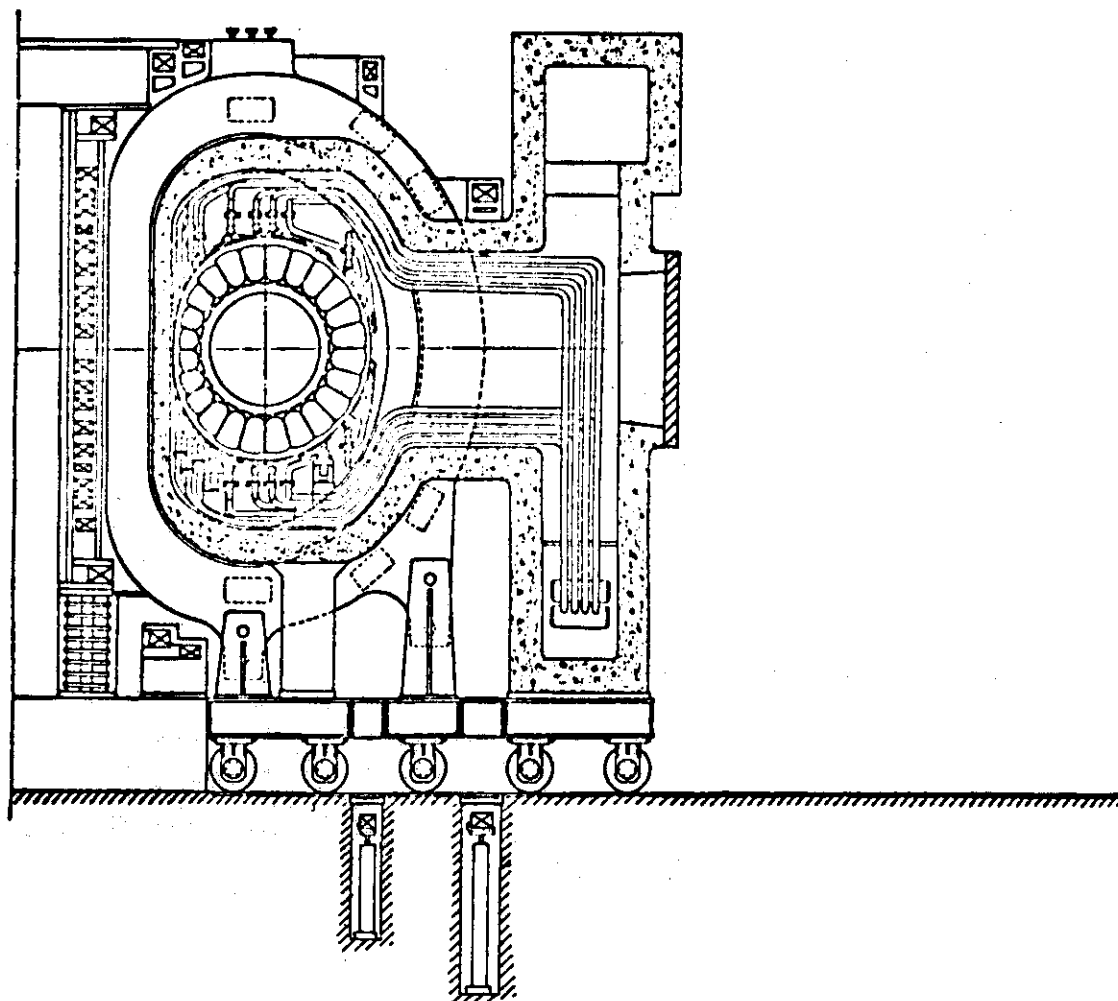


Fig. 5.17

⑦ 上側大径ポロイダルコイルを吊り上げる

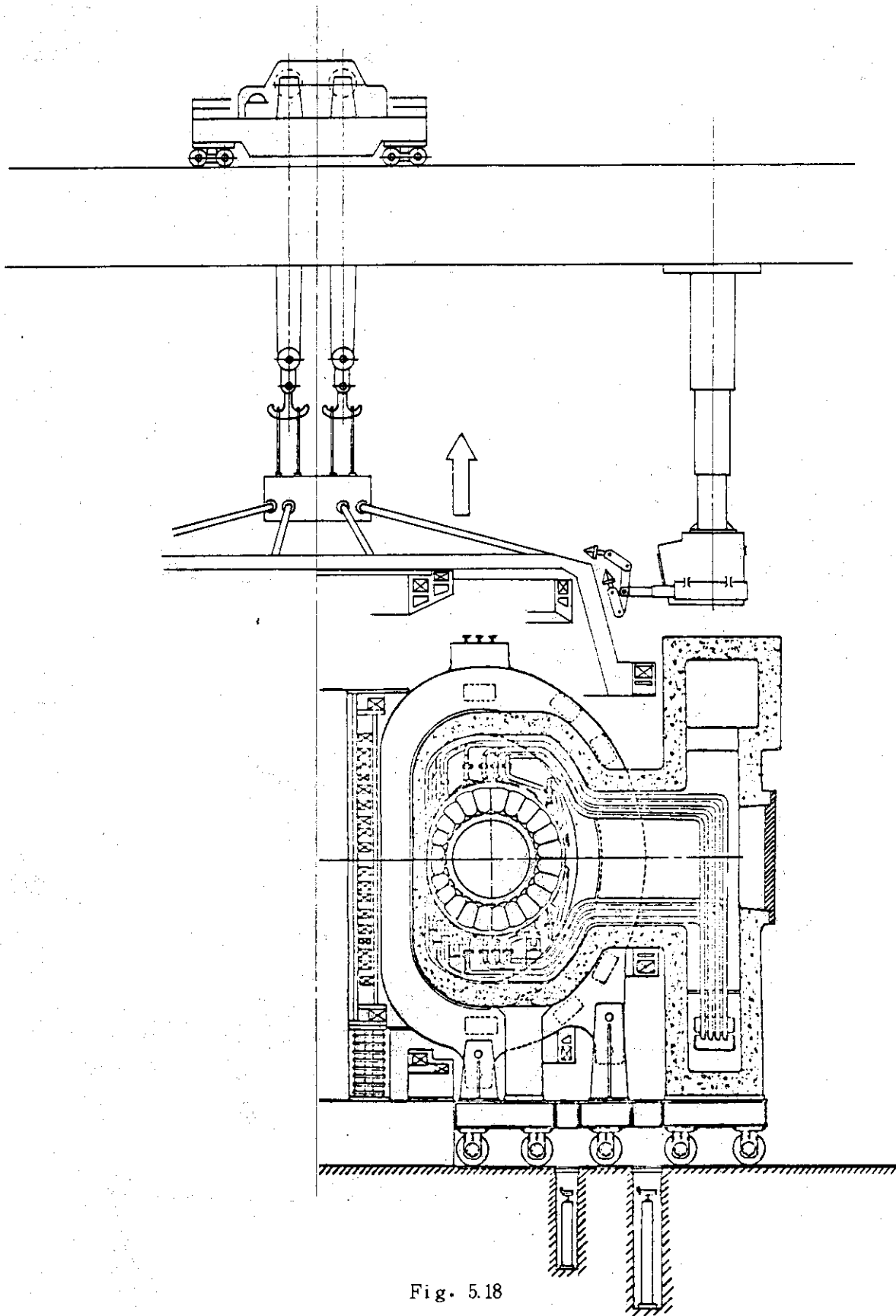


Fig. 5.18

- ③ 炉モジュール分割部の真空シール部を切断する。
(まぎらわしいので図に描かないが、実際は遮蔽体の外側にトロイダルコイルがある。)

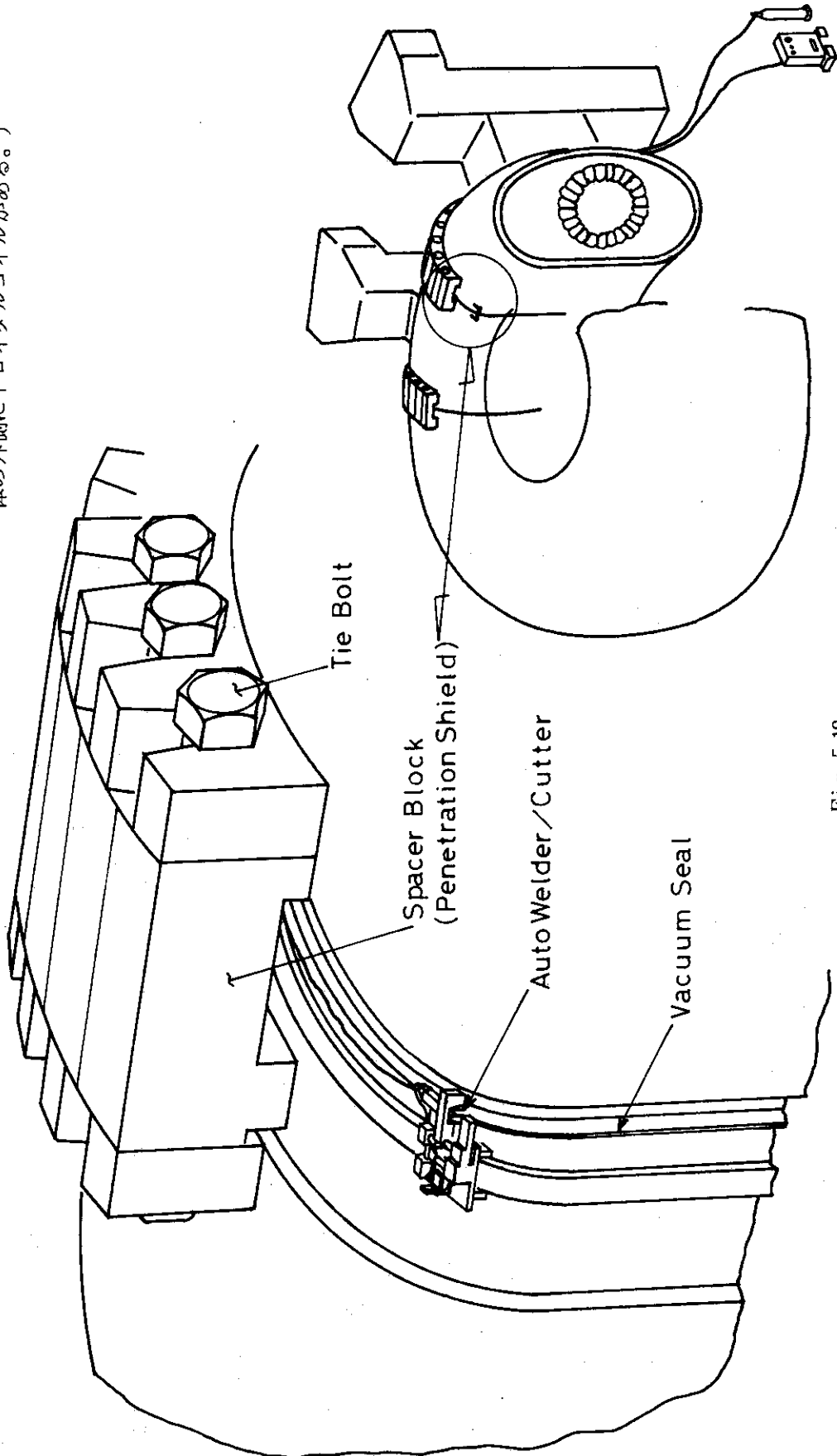


Fig. 5.19

⑨ 駆動台車を連結する。

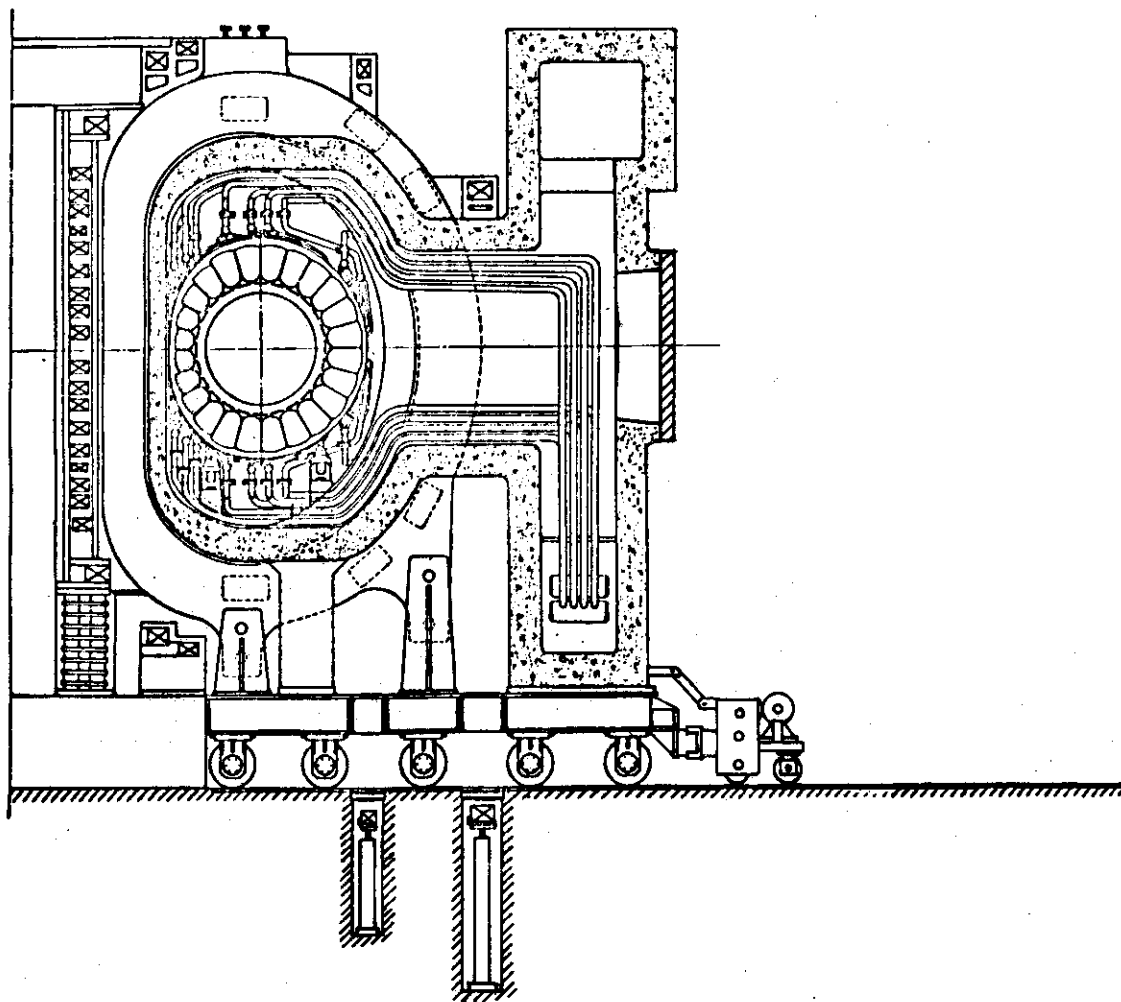


Fig. 5.20

- ⑩ 炉モジュールを引出し途中で止めて開口部に遮蔽蓋を取付ける。
その後再び移動する。

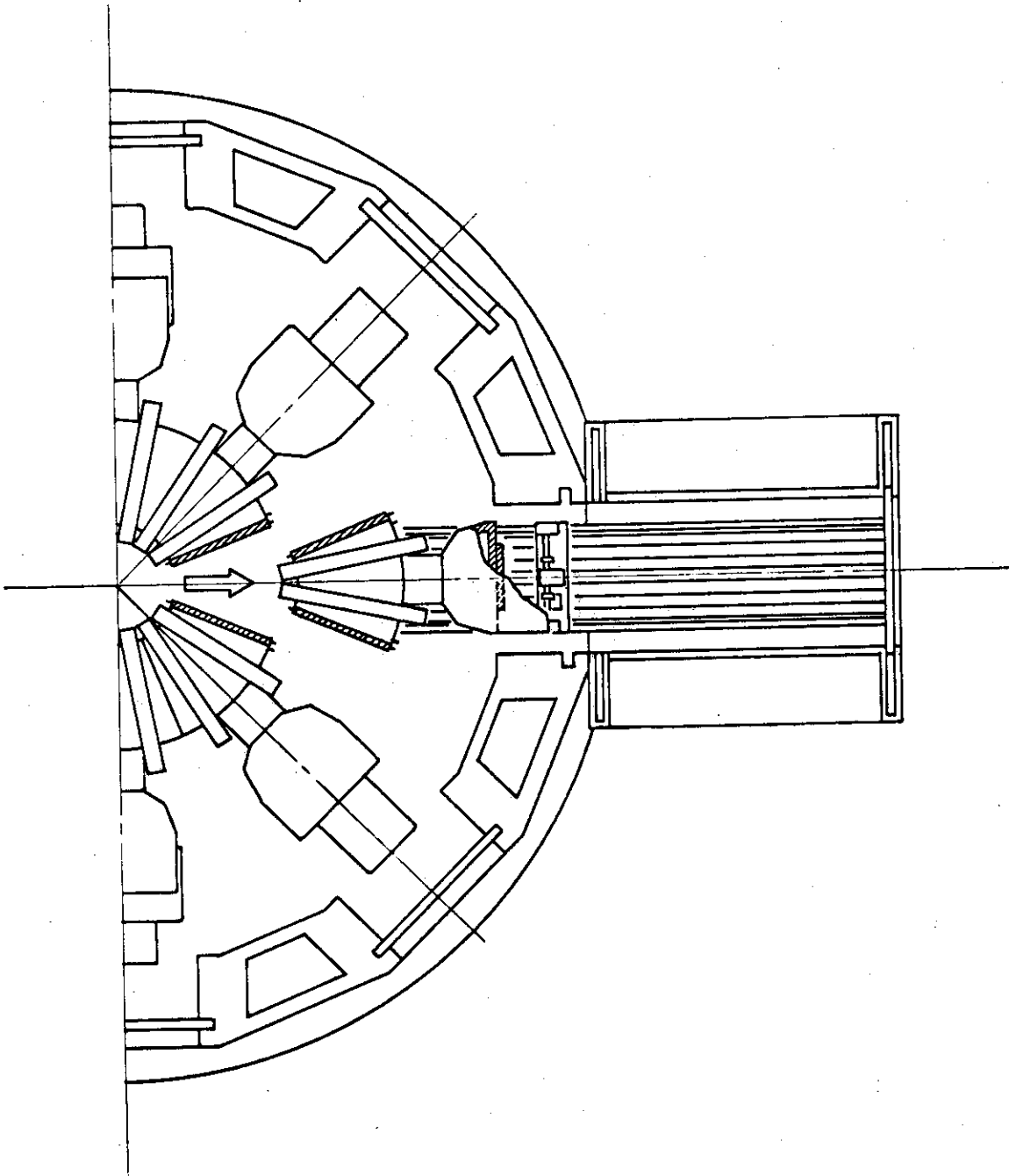


Fig. 5.21

⑪ 炉モジュールを旋回台車に載せる。

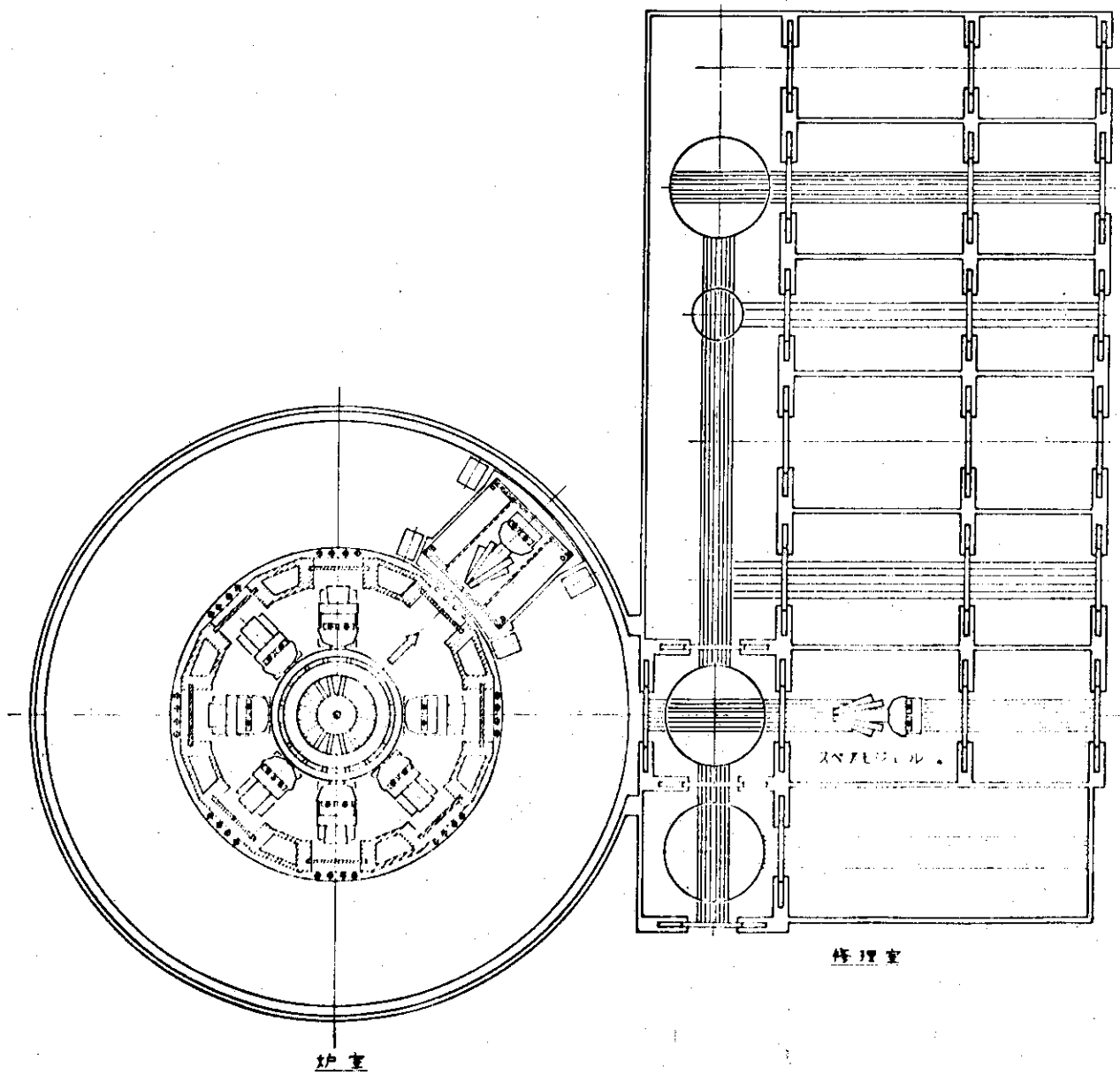


Fig. 5.22

⑫ 旋回台車を修理室前まで旋回移動する。

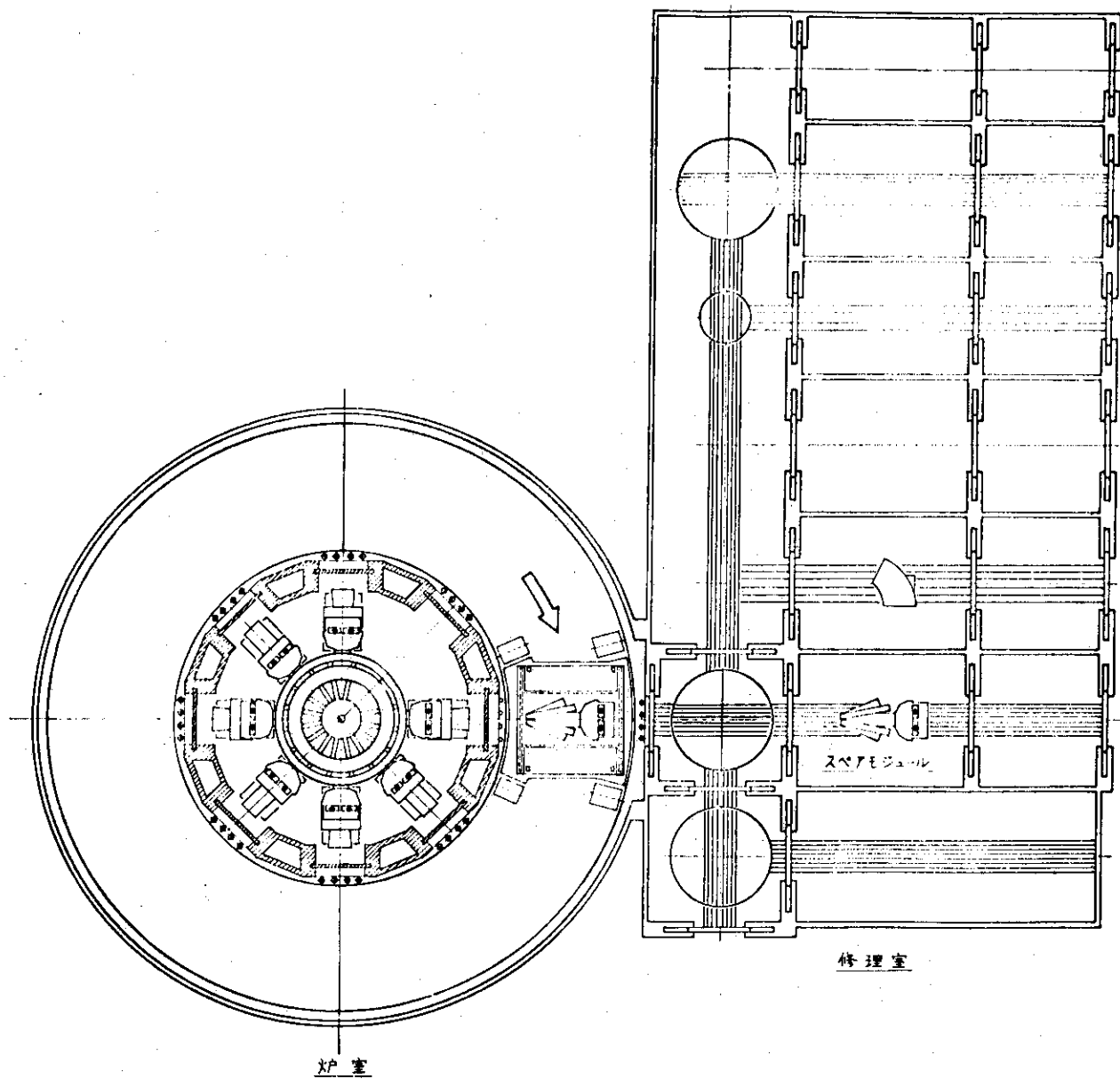


Fig. 5.23

- ⑬ 炉モジュールを修理室内に移動しターンテーブル上で向きを変える。

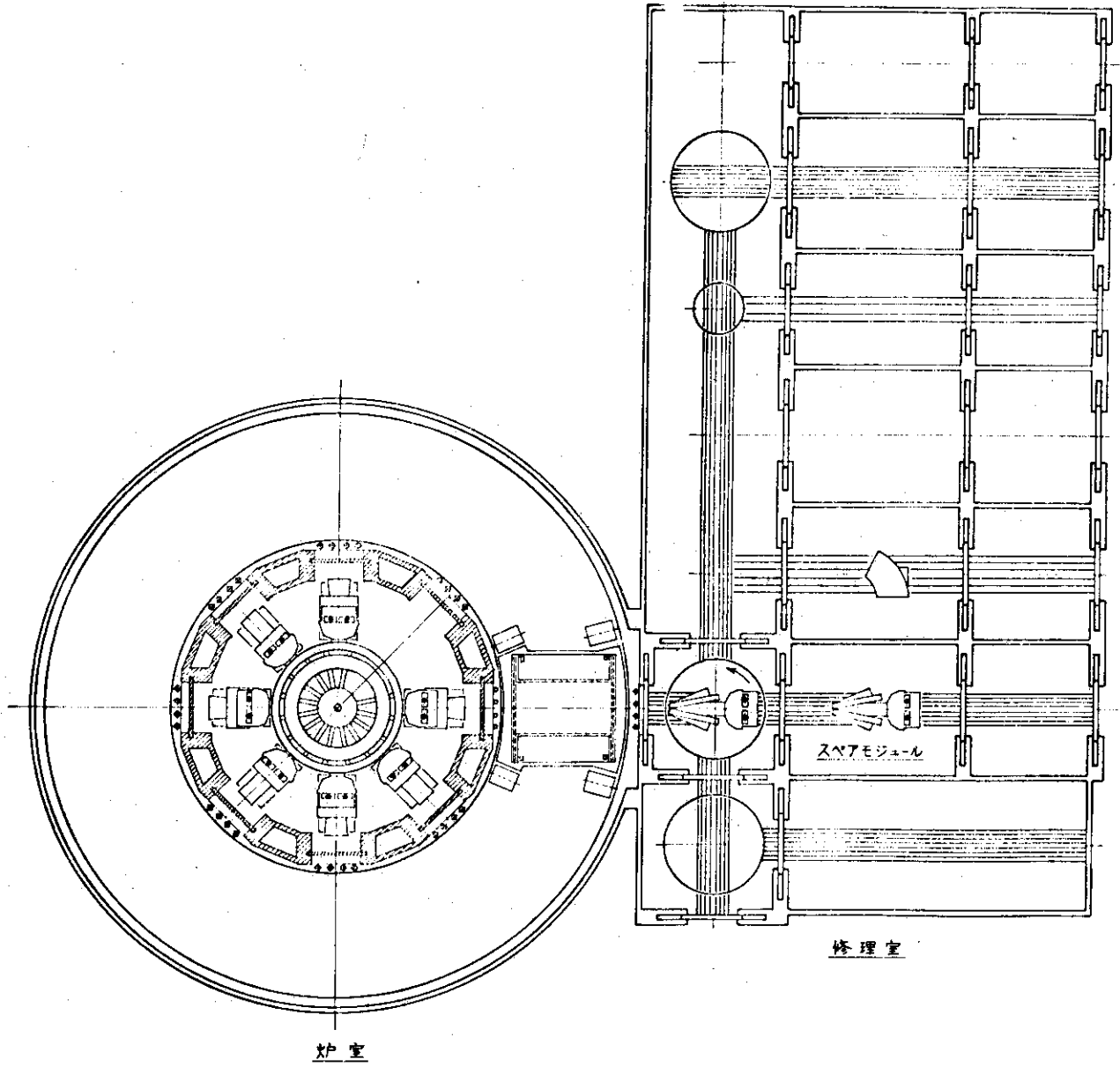


Fig. 5.24

- ⑭ 故障した炉モジュールを総合分解組立室へ運ぶ。一方、スペアの炉モジュールをターンテーブルの方へ移動する。

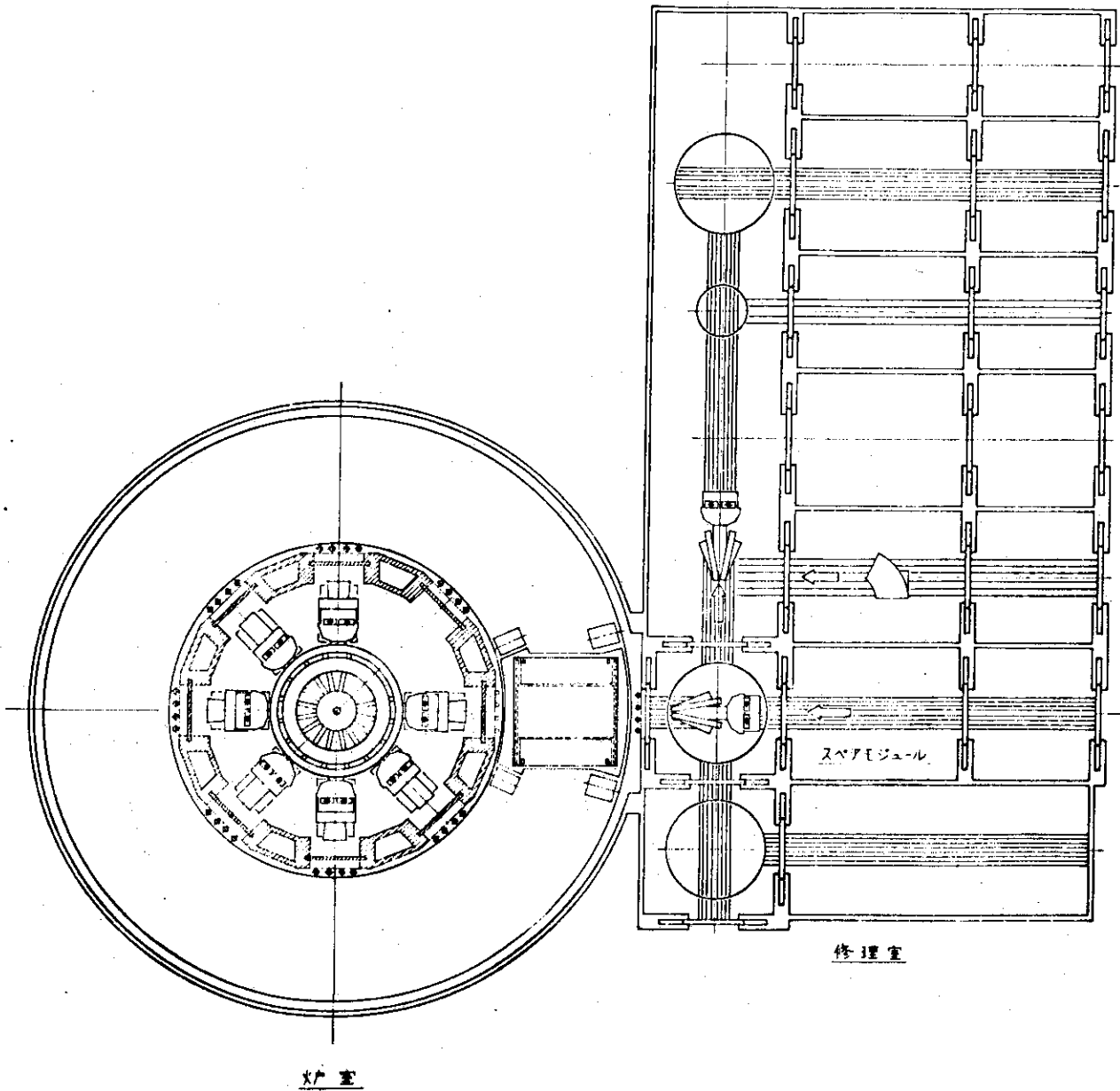


Fig. 5.25

- ⑮ ブランケット引抜装置を炉モジュールの所まで移動してくる

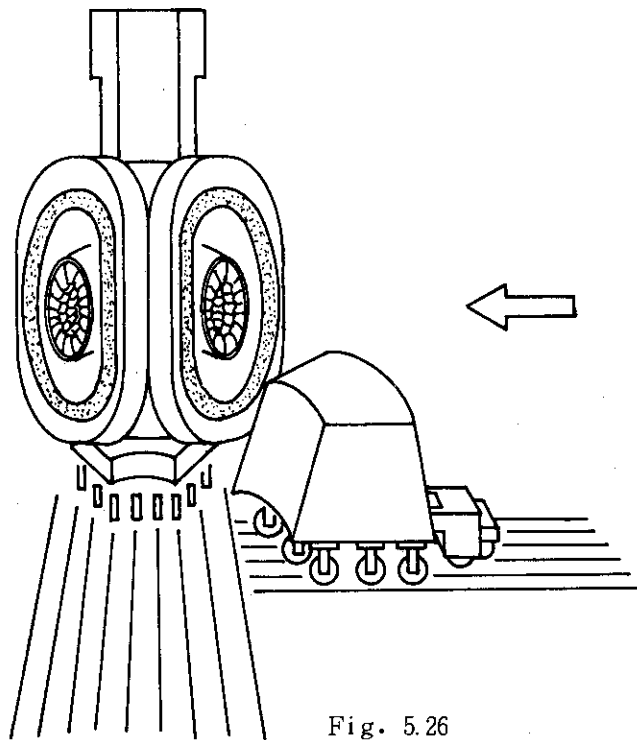


Fig. 5.26

- ⑯ 開口部からブランケットを取出す。

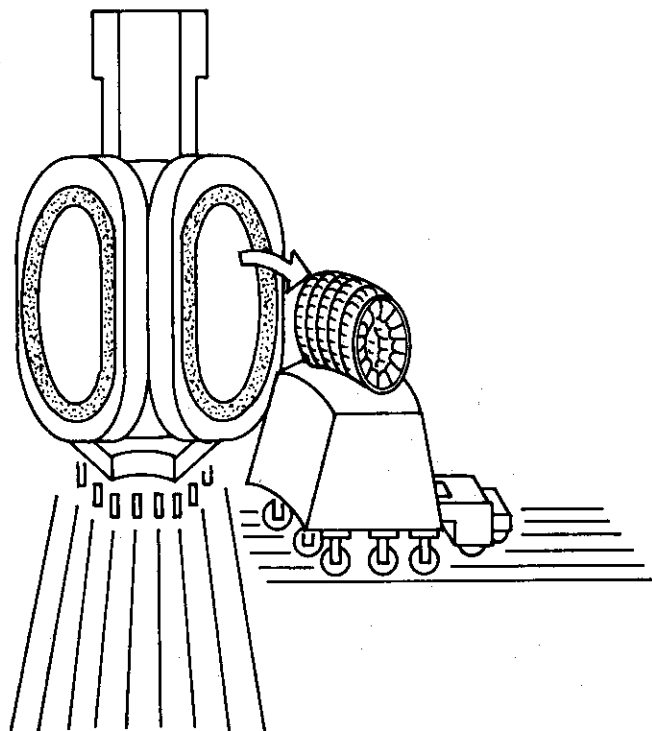


Fig. 5.27

- ⑰ ブランケットを載せたまま引抜装置をブランケット修理室に戻す。

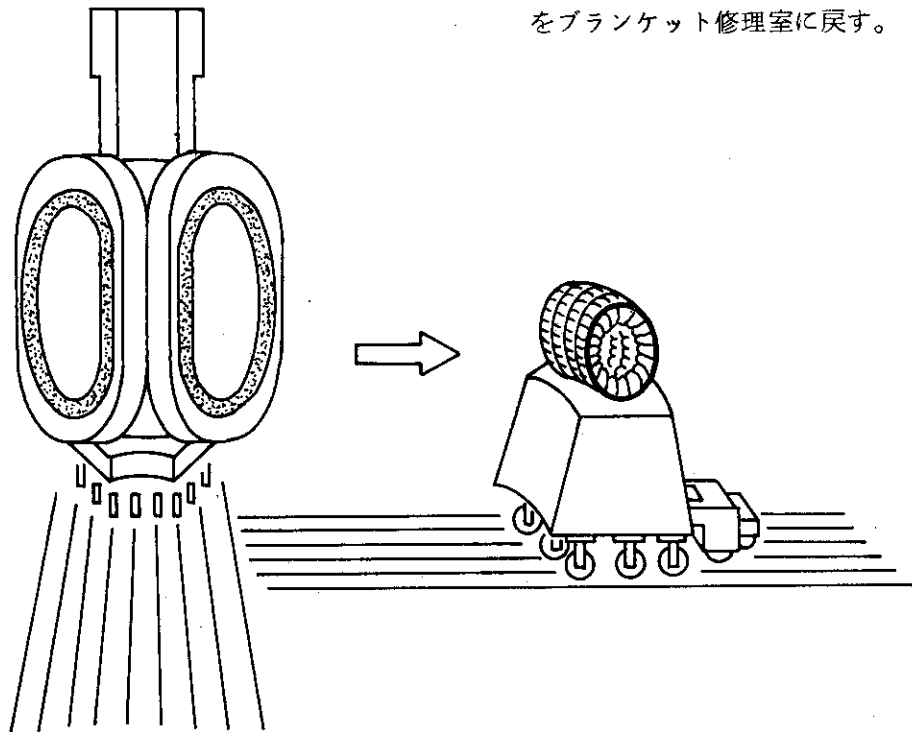


Fig. 5.28

- ⑱ 故障したブランケットの1リングを新しい物に取替える。あるいは修理する。

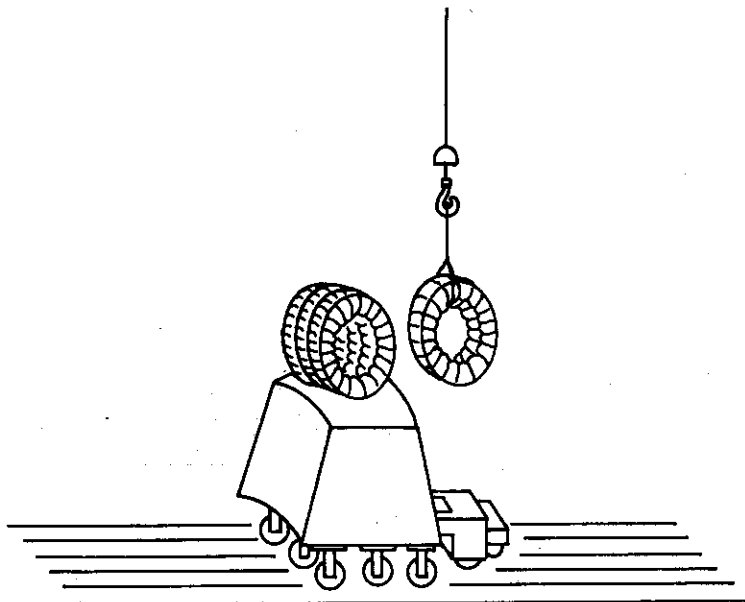


Fig. 5.29

6. コスト試算用データ

核融合炉に用いる遠隔操作装置のほとんどは新しく開発されねばならない要素が多く、商品化するまでに多くの時間及びR&D費用が必要になるので、現段階ではコスト試算することは極めて困難である。しかし、現在市販されている機器並びに見積予測の可能な機種さらに各機器の一部として使われる単体品などの価格もできるだけ提示した。それらはいずれも、S53年末の見積価格である。

下記の機器について、メーカー名、仕様、見積価格等を示す。

- ① パワーマニピュレータ
- ② マスタースレーブマニピュレータ
- ③ 放射線ペリスコープ
- ④ 固定管円周自動溶接装置
- ⑤ クローラークレーン
- ⑥ 油圧式トラッククレーン
- ⑦ オーバーヘッドクレーン

- (1) パワーマニピュレータ
 - (i) モデル3000 マニピュレータ
 - (a) メーカー Pa R 社
 - (b) 仕様・外形寸法

HAND

Parallel Jaw Hand	
Travel	5 inches
Force	0-200 lbs.
Velocity (open - close)	18 in./min.
Hook Hand (Note 1)	
Travel	3 inches
Force	0-800 lbs.
Velocity (open - close)	5 in./min.

WRIST

Rotation	
Travel (Both directions)	Continuous
Torque	420 in. lbs.
Velocity	7 RPM
Extension	
Travel (In-Out)	4 inches
Force (Push-Pull)	150 lbs.
Velocity	17 in./min.
Pivot	
Travel	310°
Velocity	1.2 RPM

ELBOW

Pivot	
Travel	270°
Velocity	1.2 RPM

SHOULDER

Pivot	
Travel	250°
Velocity	1.2 RPM
Rotation (Note 2)	
Travel (Both directions)	Continuous
Torque	2000 in. lbs.
Velocity	3.5 RPM

The Model 3000 manipulator weighs approximately 200 lbs. (Note 1) Optional equipment. A dual hook assembly is also available as optional equipment.

(Note 2) Other shoulder rotation assemblies are available.

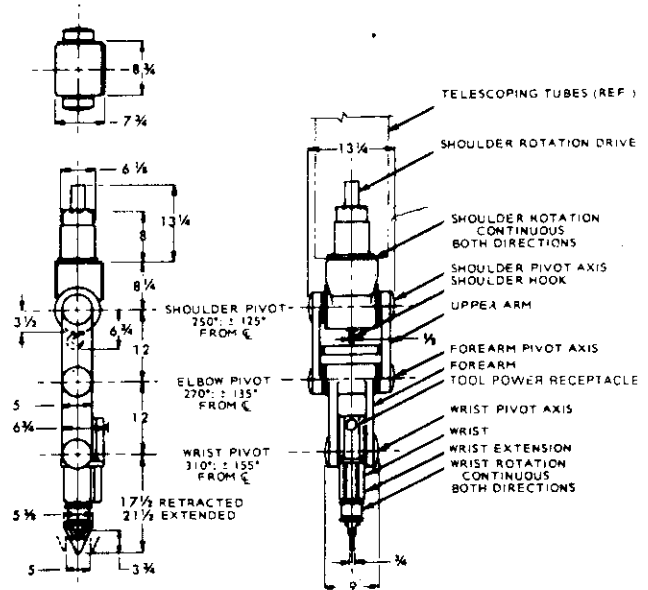


Fig. 6. 1

駆動方法……電気駆動

所要電源……120, 208, 240V, 60 Hz, 1KVA

(c) 見積価格……4500万円 (電源, 制御を含む)

(ii) モデル 3500 マニピュレータ

(a) メーカー…… PaR 社

(b) 仕様・外形寸法 (Fig. 6.2)

HAND (Note 1)

Parallel Jaw Grip

Travel	4 inches
Force	75 lbs.
Velocity (open-close).....	28 in./min. (Note 1). Refer to literature on accessories for other hands and tools. The model 3500 manipulator weighs approximately 110 pounds.
Hook Hand (Note 2)	
Travel	2 1/2 inches
Force	0-150 lbs. (Note 2) Optional equipment.
Velocity (open - close)	14 in./min.

WRIST

Rotation	
Travel (both Directions).....	Continuous
Torque	57 in. lbs.
Velocity	4.0 RPM

Pivot	
Travel	338°
Velocity	2.4 RPM

ELBOW

Pivot	
Travel	317°
Velocity	2.4 RPM

SHOULDER

Pivot	
Travel	330°
Velocity	2.4 RPM

Rotation	
Travel (both Directions).....	Continuous
Torque.....	2000 in. lbs.
Velocity	3.5 RPM

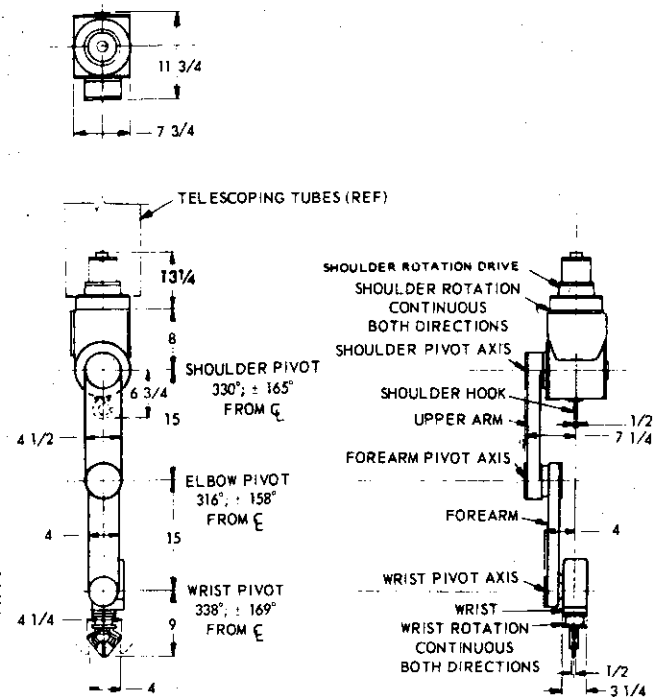


Fig. 6.2

駆動方法……電気駆動

所要電源…… 120, 208, 240V 60 Hz 1KVA

(c) 見積価格…… 2860~3250万円 (電源, 制御を含む)

(iii) モデル6000 マニピュレータ

- (a) メーカー PaR 社
- (b) 仕様・外形寸法 (Fig. 6.3)

HAND

Parallel Jaw Hand	
Travel	8 inches
Force	0-500 lbs.
Velocity (open - close)	16 in./min.
Hook Hand	
Travel	3 inches
Force	0-1500 lbs.
Velocity (open - close)	6 in./min.

WRIST

Rotation	
Travel (both directions)	Continuous
Torque	720 in. lbs.
Velocity	7 RPM
Extension	
Travel (In-Out)	6 inches
Force (Push-Pull)	400 lbs.
Velocity	20 in./min.
Pivot	
Travel	300°
Velocity	1.0 RPM

ELBOW

Pivot	
Travel	240°
Velocity	1.0 RPM

SHOULDER

Pivot	
Travel	210°
Velocity	1.0 RPM
Rotation (Note 1)	
Travel (both directions)	Continuous
Torque	7000 in. lbs.
Velocity	1.0 RPM

The Model 6000 manipulator weighs approximately 270 lbs.

(Note 1) Shoulder rotate option varies with manipulator mounting.

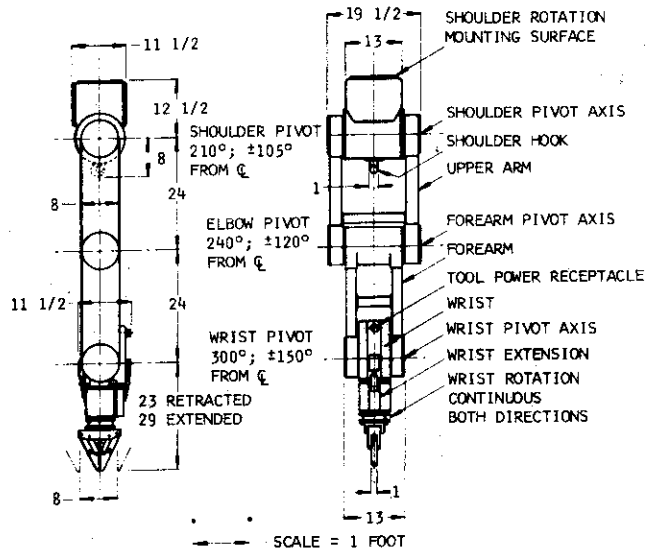


Fig. 6.3

駆動方法.....電気駆動

所要電源..... 120, 208, 240V 60 Hz 1 KVA

(c) 見積価格..... 3900~5200万円 (電源, 制御を含む)

- (V) (a) メーカー……東芝精機
- (b) 仕様 (Fig. 6.4)
- (c) 見積価格
6500万円

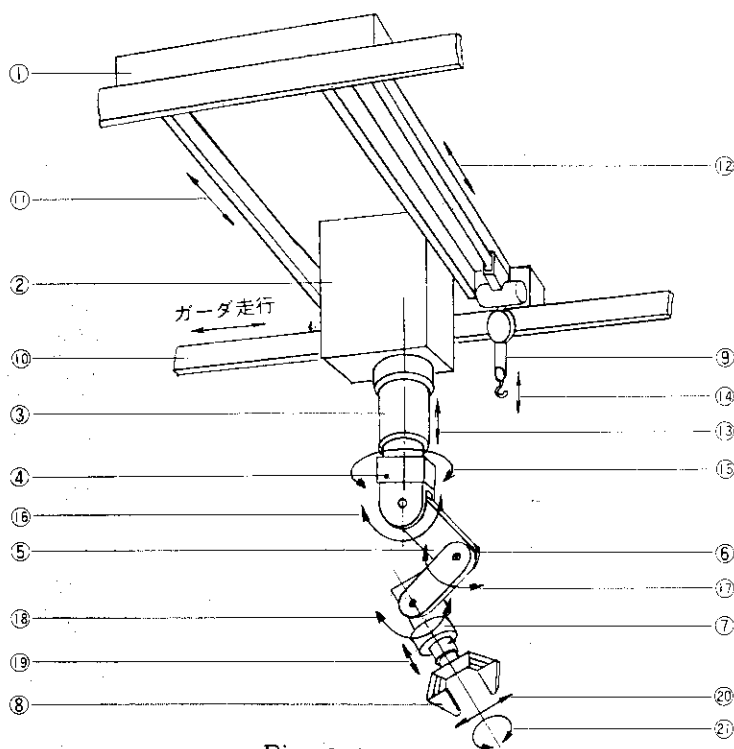


Fig. 6.4

本体仕様		形式	TP 050-8	TP 050-10
マ ニ プ レ ー タ 本 体	指 先	開閉距離 (mm)	140	130
		開閉速度 (mm/min)	500	500
		つかみ力 (kg)	100	100
	手 首	伸縮力 (kg)	—	50
		伸縮速度 (mm/min)	—	450
		伸縮距離 (mm)	—	50
		回転トルク (kg·cm)	500	400
		回転速度 (r.p.m)	8	8
		回転角 (degree)	正逆無制限	正逆無制限
		屈折トルク (kg·cm)	—	2,500
	肘	屈折速度 (r.p.m)	—	1
		屈折角度 (degree)	—	250°
		屈折トルク (kg·cm)	3000	4000
	腕	屈折速度 (r.p.m)	3/4	1
		屈折角度 (degree)	180°	250°
		屈折トルク (kg·cm)	5,000	5,500
		回転速度 (r.p.m)	3/4	3/4
		回転角度 (degree)	180°	250°
取扱重量	腕任意位置 (kg)	50	50	
	腕垂直吊下(フック使用)(kg)	250	250	
	所要電源	A C 50/60Hz 200 V	5 KVA	
周 辺 装 置	伸縮胴	昇降距離 (m)	3.0以下	3.0以下
		昇降速度 (m/min)	1.5	1.5
		持上力 (kg)	250	250
台車	横行速度 (m/min)	3	2	
走行ガード	走行速度 (m/min)	5	2	
ケーブル巻取装置	本装置は、スリッピングを用いていません。			

- ① 走行ガード
- ② 台車
- ③ 伸縮胴
- ④ 肩
- ⑤ 腕
- ⑥ 肘
- ⑦ 手首
- ⑧ 指先
- ⑨ トロリ付電動ホイス
- ⑩ 走行レール
- ⑪ 台車横行
- ⑫ トロリ横行
- ⑬ 伸縮胴昇降
- ⑭ 電動ホイス昇降
- ⑮ 肩回転
- ⑯ 肩屈折
- ⑰ 肘屈折
- ⑱ 手首屈折
- ⑲ 手首伸縮
- ⑳ 指先開閉
- ㉑ 手首回転

(2) マスタースレーブマニピュレータ

(i) (a) メーカー……CRL

(b) 仕様 (モデル F) …Fig.6.5

①取扱重量による分類

超重量型

②気密方式;ブーツ

③負荷容量

X モーション; 45.3 kg

Y " ; "

Z " ; "

あおり (EI); 691 kg·cm

旋回 (AZ); 691 kg·cm

ねじり (TW); 553 kg·cm

④トング握力容量; 45.3 kg

⑤吊上げ荷重 ; 45.3 kg

⑥ X モーション角度 (左右)

手動; ±45°

電動; ±18°

⑦ Y モーション角度 (前後)

手動; +28°, -30°

電動; +90°, -20°

⑧ Z (上下)

マスター手動; 990mm

スレーブ手動; 844mm

スレーブ電動; 990mm

⑨旋回角度 (AZ); ±170°

⑩ねじり角度 (TW); ±184°

⑪あおり角度 (EI)

垂直線に対し

上方; 117°

下方; 27°

⑫指先開; 82 mm

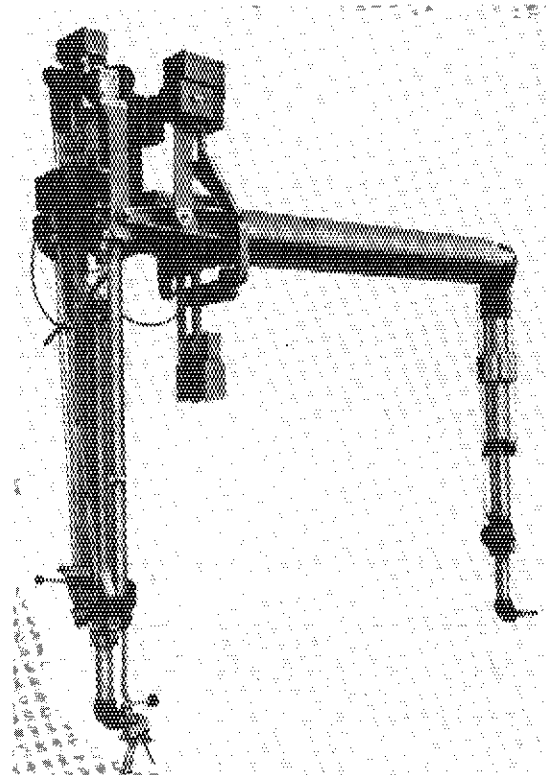


Fig. 6.5

(c) 見積価格…700万円

(ii)(a) メーカー……東芝精機

(b) 仕様 (UERG型) …Fig.6.6

動作範囲	動作方法		手動, 電動
	腕	左右動作 (X)	電動 ±30°以上 手動 ±30°以上
		前後動作 (Y)	電動 前70°以上～後20°以上 手動 前25°以上～後22°以上
	(Z)	上下動作	マスタ側 1000±5mm スレーブ側 1000±5mm (手動) 1000±5mm (電動) (1500±5～3500±15)
		動作の連続性	手動 連続 電動 5分以下 (duty cycle %)
	仕様	指先運動比	約 1/4
		腕旋回 (U)	±170°以上
		ねじり (V)	±180°以上
		あおり (W)	上方 30°以上 下方 110°以上
	定格負荷	動作範囲の制限	ストップまたはリミットスイッチ
指先開き		0～90±2mm	
マスタハンドル		ピストルタイプ	
モーションロック		左右 (X) オールモーションロック	
肩部許容トルク		32 kg・m	
腕旋回許容トルク		3 kg・m	
あおり許容トルク		3 kg・m	
荷	ねじり許容トルク	1.25 kg・m	
	垂直取扱負荷	垂直吊下げ荷重 13.5 kg 振り回し荷重 10 kg	
	腕鉛直時吊下げ荷重	50 kg	
	張力調節	ターンバックルにより約5mm可	
主要部材	腕部, 連結管部	軽合金, ステンレス鋼, 炭素鋼	
	動作伝達部	エルジロイテープ, ステンレスワイヤロープ, 炭素鋼チェーン, 炭素鋼パイプ	
電	電	源 AC100V ±10V 0.4KVA 50/60Hz (共用)	
気密方式	油	オイル及びN ₂ ガス	
総重量	約	300 kg	

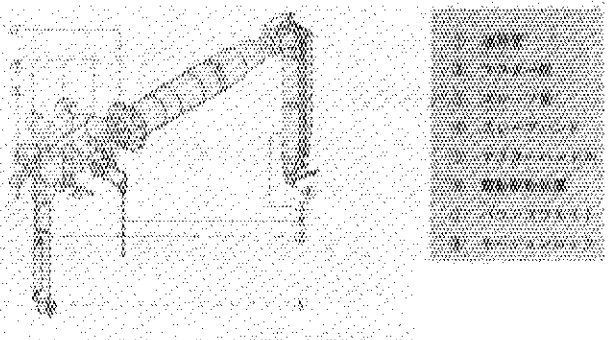


Fig.6.6

(c) 見積価格 650万円/1本当り (但し40本大量生産)

670万円/1本当り (但し20本大量生産)

(3) 放射線ペリスコープ

(a) メーカー……日本光学工業

(b) 仕様・外形寸法 型式；LS-7型…Fig.6.7

① 光学的性能

	倍率	視界	ひとみ径	最短観察距離
低倍	2×	20°	4 mm	30 cm
高倍	10×	4°	4 mm	60 cm

② ノンブラウニングガラスを使用している。

③ 観察範囲

上下方向；±90° 左右方向；±90°

④ スキャニング

上下方向，左右方向 共に電氣的制御方式

⑤ ハンドセットボックス

旋回，俯仰，変倍はハンドセットボックスにより接眼部操作スイッチとは別に操作できる。

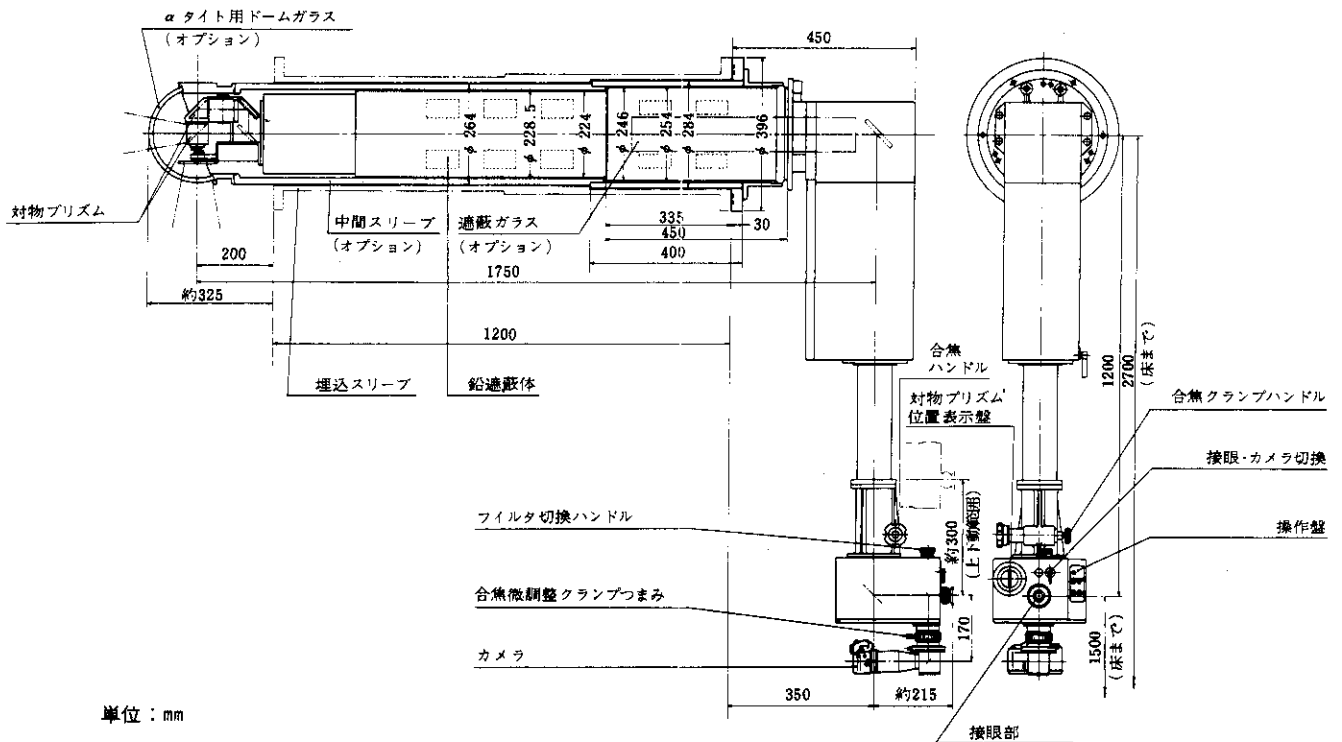


Fig.6.7

(c) 見積価格 1350万円

(4) 固定管円周自動溶接装置

(a) メーカー……大阪変圧器

(b) 仕様・外形寸法

型式; TOM-404……Fig. 6.8, 6.9

重量; 約23 kg

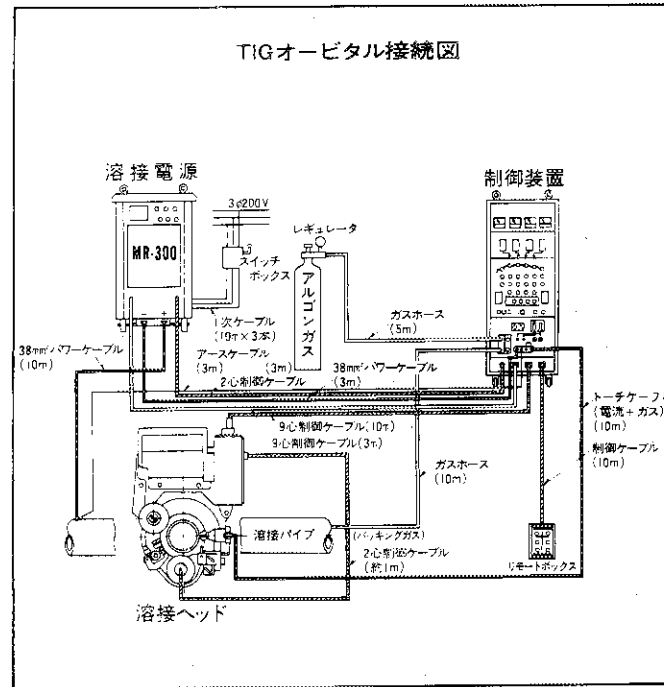


Fig. 6.8 TIGオービタル接続図

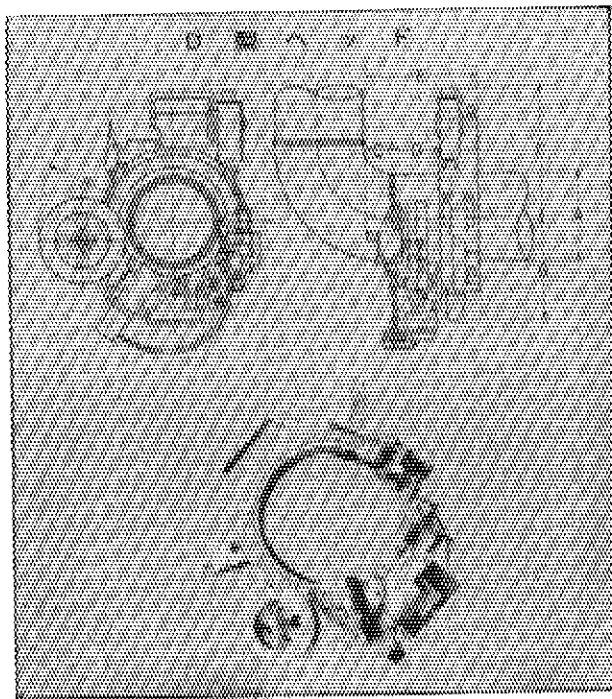


Fig. 6.9

- A; 2163 ~ 3185 (mm)
- B; 345 E; 203
- C; 45 F; 340
- D; 84 G; 285
- E; 203
- F; 340
- G; 285

Fig. 6.9

■制御装置

項目	仕様
プログラム制御	パイプ円周上4分割方式 溶接電流, 回転速度, 送給速度の各プログラム制御可能
パルス電流制御	パルス周波数 1~4 Hz (連続) パルス幅 10~90% (連続)
回転制御	トランジスタゲバナによる定速度制御
送給制御	モータ定格 DC, 24V, 0.6 A, 180 r.p.m
予熱時間 クレータ処理時間	0~10秒
予熱電流 クレータ処理電流	スロープアップ, ダウン制御
ガスシールド	ブリフロー, アフターフロー制御 パッキングガス制御
高周波発生装置	制御装置に内蔵
指示計器	電流, 電圧, 回転速度, 送給速度の各メータ
溶接位置検出	溶接位置検出角度分解能 約1°~3°

■溶接電源

形式	MR-300形直流アーク溶接機
定格電流	300 A
一次電圧	3相 200V
周波数	50 / 60Hz
一次入力	18 KVA
出力電流範囲	10~300 A
使用率	50%
重量	150 kg
外形寸法	400(幅)×625(奥)×890(高)mm
制御方式	サイリスタ制御

(c) 見積価格

D型ヘッド ; 260万円

制御装置 ; 570万円 合計 ; 866万円

溶接電源 ; 36万円

(5) クローラークレーン

(a) メーカー……住友重機械工業

(b) 仕様・外形寸法 (Fig. 6.10, 11)

走行速度; 1.6 km/h

旋回速度; 3.1 r.p.m.

ブーム+ジブ長さ; (Max.) 70.1m + 21.35 m

フック最大荷重; (Max.) 136t

(但し、ブーム長が
18.3mのとき)

General Dimensions

- A: Height, over boomhoist unit 4.060 m
- B: Height of cab 3.790 m
- C: Counterweight ground clearance
(with counterweight "A" + "B") 1.295 m
- D: Radius of rear end
(with counterweight "A" + "B") 4.826 m
- E: Center of rotation to boom foot pin 1.422 m
- F: Center to center distance of tumbler 6.417 m
- G: Overall length of crawler 7.404 m
- H: Height from ground to boom foot pin 1.994 m
- I: Overall width of cab 3.357 m
- J: Ground clearance 0.425 m
- K: Center to center distance of crawler 4.877 m
- L: Overall width of crawler
(with 1.118 mm shoe) 5.995 m
- M: Overall width of upper machine 5.107 m

POWER UNITS:

	Standard
Make & Model	GM8V-71
Type	Water-cooled, 2-cycle, diesel engine
No. of cylinders	8
Bore & Stroke	108 x 125 mm
Displacement	9,308 cc
Rated output	256 PS/ 1,960 r.p.m.
Maximum torque	106.5 kg-m/ 1,200 r.p.m.
Fuel tank	378 liters
Power take-off	Torque converter
2-speed transmission	Standard

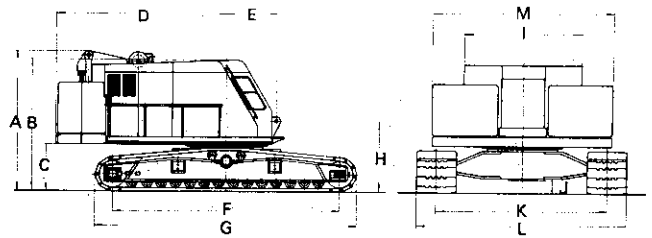


Fig. 6.10

(c) 見積価格

10770万円

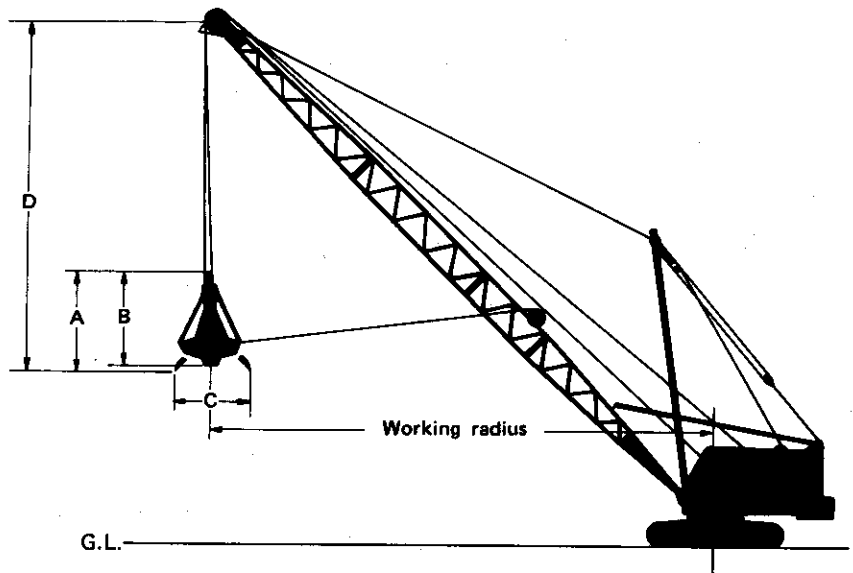


Fig. 6.11

(6) 油圧式トラッククレーン

(a) メーカー……住友重機械工業

(b) 仕様・外形寸法

型式；住友・LINK-BELT HT-430 BJ……Fig. 6.12

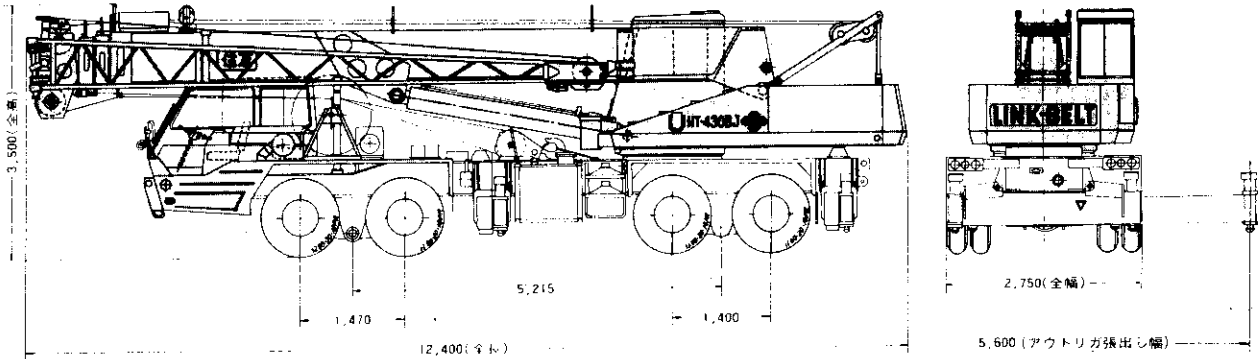


Fig. 6.12

■主要仕様

最大定格総重量	10mブーム	30t×3.3m
	17mブーム	20t×4.8m
	24mブーム	12t×7.0m
	31mブーム	8t×9.0m
	31+8mジブ	4t×8.5m
ブーム長さ	10m~31m	
ジブ長さ	8m (横抱き)	
最大地上揚程ブーム	31m	
// (ジブ付)	39m	
巻上ロープ速度	高速	低速
	主巻	80 m/min 40 m/min
	副巻	80 m/min 40 m/min
ブーム起伏範囲	0°~80°	
// 起し速度	55sec (0°~80°)	
// 起伏装置	複動油圧シリンダ直押し(1)油圧ロック弁付	
旋回速度	3.0r.p.m	
// 装置	油圧モータ駆動、遊星歯車減速、ディスクブレーキ ブレーキバルブ付	
// 軸	単列ボールベアリング	
ブーム伸長速度	21m/110sec	
// 伸縮装置	複動油圧シリンダ直押し(3)油圧ロック弁付	
巻上装置	油圧モータ駆動、平歯車減速、クラッチ、ブレーキ付 動力降下、自由降下併用型、油圧ロック弁付	

アウトリガー	油圧垂直支持式4基ロックバルブ付、(電気式単 独、同時操作共に可)
油圧ポンプ	4速ギヤーポンプ
巻上ロープ (主巻)	6×Fi (29) I.W.R.C. 18φ×170m
(副巻)	6×Fi (29) I.W.R.C. 18φ×90m
安全装置	電子モーメントリミッタ、過巻警報装置、油圧安 全弁油圧ロック弁(伸縮、起伏、巻上、ジャッキ)、ロ ープ外れ止の装置、旋回警報装置
キャリア (型式)	日産ディーゼルKG50T
(エンジン型式)	RD 8
(最大出力)	280ps/2500r.p.m
(最大トルク)	98Kgm/1400r.p.m
(最高速度)	70Km/h
(登坂能力)	tanθ=0.30
(タイヤ)	前12.00-20-18PR 後11.00-20-14PR
全装備重量	33,250kg
	緩和申請が必要です
	道路管理者に特殊車輛通行申請が必要です
	全装備基本通行条件：C
オプション	アウトリガ 自動水平設置装置
	クーラー
	15t フック
	副巻用1本出ブームヘッド

(c) 見積価格 3550万円

(7) オーバーヘッドクレーン

(i) 炉室用天井旋回クレーン

(a) メーカー…住友重機械工業

(b) 仕様・外形寸法

つり上げ荷重		311t (155.5t × 2)			
定格荷重		主巻300t (150t × 2) 補巻50t			
過荷重試験荷重		350t			
巻程		主巻 37.5m 補巻 38m			
スパン		46m			
運動	速度 (m/min)	電 動 機			ブレーキ
		出力 KW	回転数 rpm	定格% ED	
主巻	1.0	37×2	750	100	電磁ブレーキ スピトール
補巻	4.0	50	750	100	同上
横行	10	15	1000	40	電動油圧押し上げ ブレーキ
走行	0.127rpm (20)	22×4	1000	40	同上
電 源		3相交流 400V 50Hz			
クレーン本体総重量		約500t			

- ・トロリーフレーム及びアクセサリ、ガーダー、サドル及びアクセサリに非磁性のステンレス鋼を使用する。
- ・外形寸法はFig. 6.13を参照。

(c) 見積価格……9億6000万円

(ii) 旋回室天井クレーン

- (a) メーカー……住友重機械工業
- (b) 仕様・外形寸法

つり上げ荷重		102.6 t			
定格荷重		主巻 100t 補巻 50t			
過荷重試験荷重		定格荷重の1.25倍			
揚程		主巻 33 m 補巻 36 m			
スパン		25 m			
運動	速度 (m/min)	電動機			ブレーキ
		出力 KW	回転数 rpm	定格効 ED	
主巻	1.2	33	1000	100	電磁ブレーキ スピトール
補巻	4.0	50	750	100	同上
横行	10	3.7	1000	40	電動油圧押し上げ ブレーキ
走行	20	DC 7.5 × 2	1150	40	同上
電源		3相交流 400 V 50 Hz			
クレーン本体総重量		約 150 t			

。外形寸法は Fig. 6.14 に示す。

- (c) 見積価格……1億2000万円

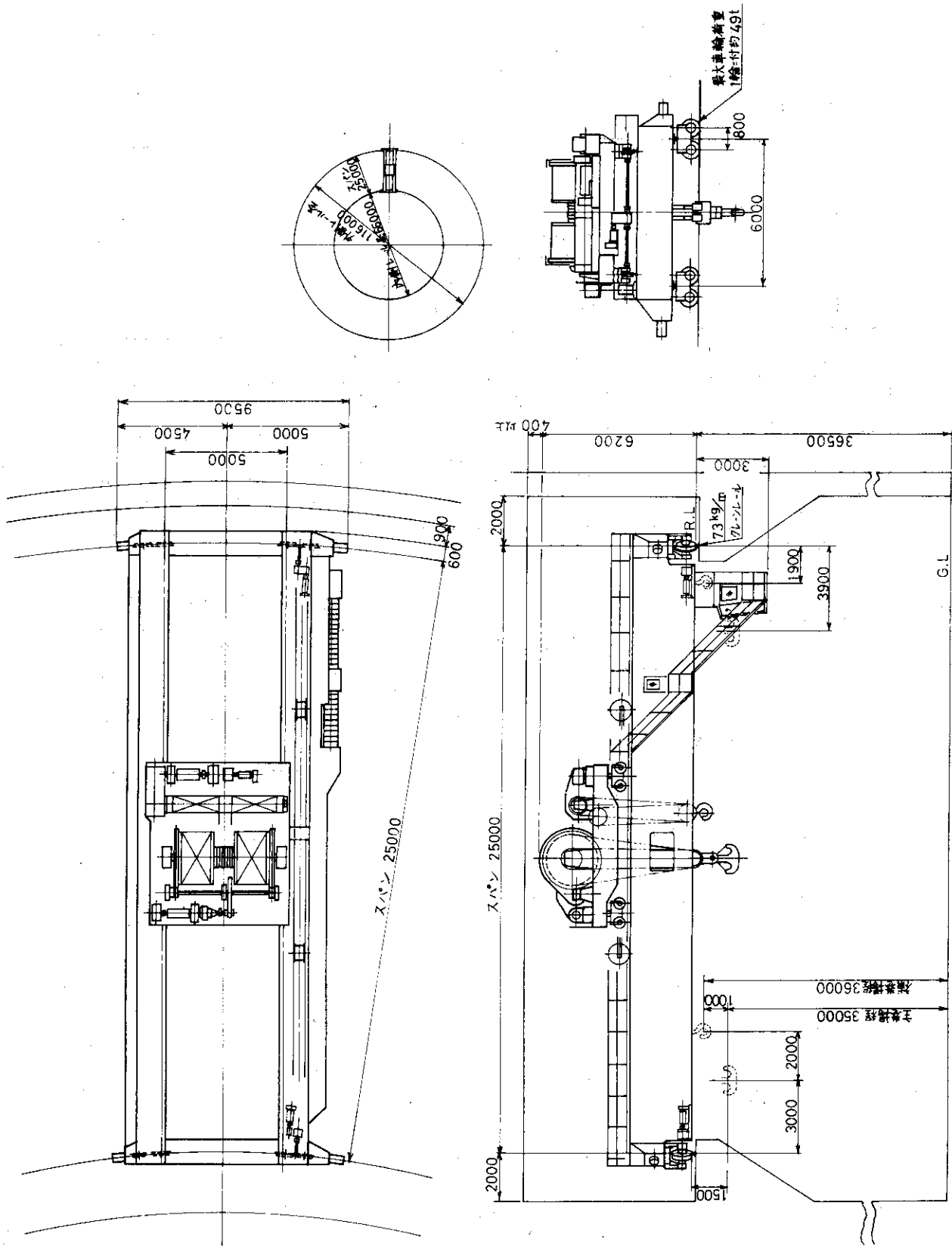


Fig. 6.14 旋回室用天井クレーン

(iii) 修理室用天井クレーン

(a) メーカー……住友重機械工業

(b) 仕様・外形寸法

つり上げ荷重	520t (260t × 2)				
定格荷重	550t (250t × 2) 補巻 50t				
過荷重試験荷重	550t				
揚程	主巻 37.5m 補巻 38m				
スパン	22.5m				
運動	速度 (m/min)	電動機			ブレーキ
		出力 kW	回転数 (rpm)	定格効 ED	
主巻	0.8	50 × 2	750	100	電磁ブレーキ スピトロール
補巻	4.0	50	750	100	同上
横行	10	15	1000	40	電動油圧押し上げ ブレーキ
走行	20	11 × 4	1000	40	同上
電源	3相交流 400V 50Hz				
クレーン本体総荷重	約 400t				

・外形寸法は Fig. 6.15 に示す。

(c) 見積価格……4億5000万円

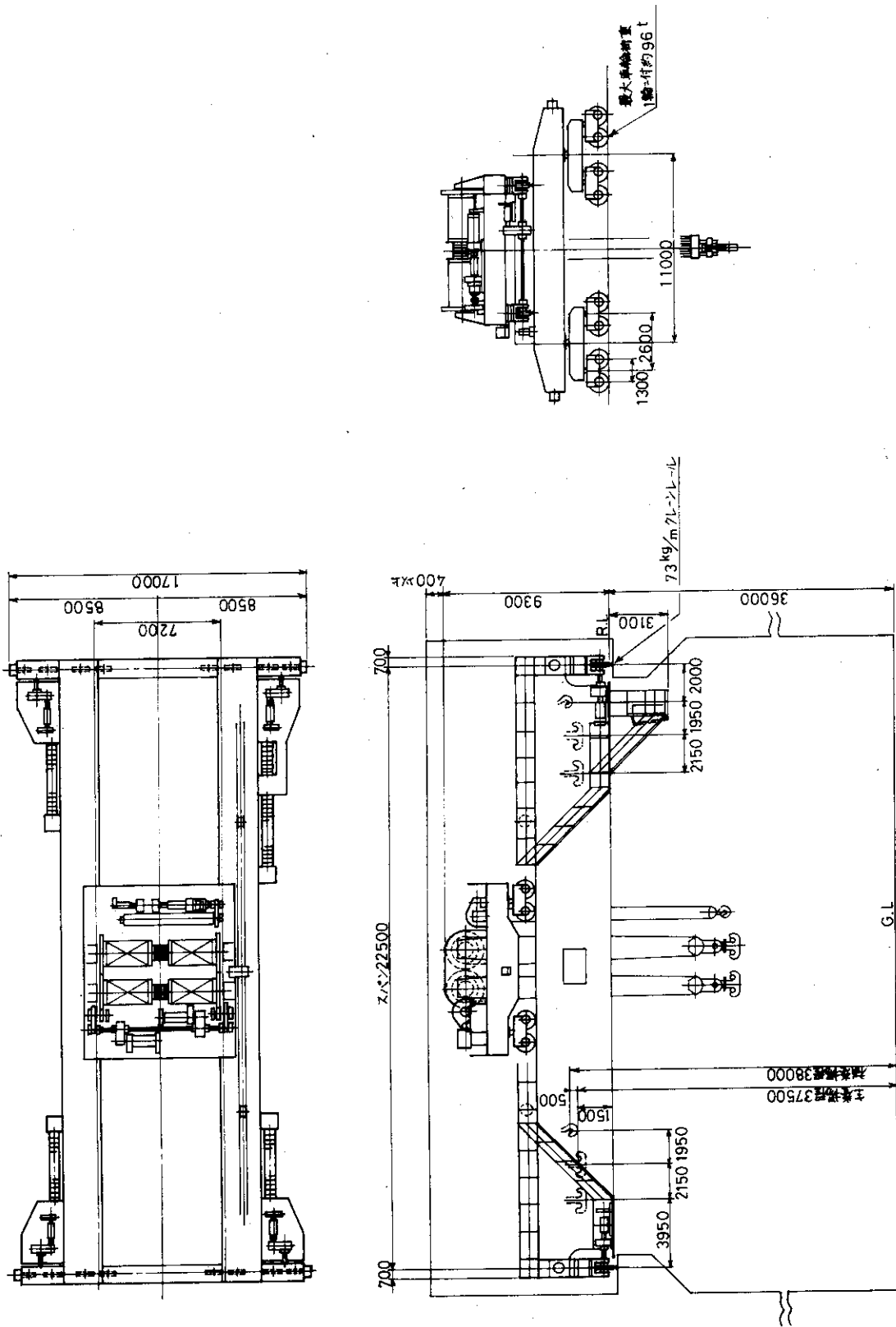


Fig. 6.15 修理室用天井クレーン

7. 問題点及び開発課題

7.1 問題点

炉体の分解修理のために、炉の解体を容易にするような構造を要求することとなった。そのために発生する問題として下記のような点が指摘された。

(1) 炉体構造

- (i) 炉体を8分割構造としたことによる結合部の強度低下
- (ii) 炉モジュールをそれぞれ台車の上に据付けていることによる地震時の強度
- (iii) 炉体の支持構造
- (iv) 炉モジュール再組立ての時の精度

(2) ブランケット構造

- (i) ブランケット冷却配管とブランケット支持脚との取合い
- (ii) ブランケット取替えのときの冷却配管結合部の信頼性
結合方法として2通りが考えられるが各々の問題点を示す。

(a) 溶接接合

溶接接合というのは完璧な溶接ができさえすればその信頼度は非常に高い。しかし1つ1つの溶接工程を高放射能雰囲気の非常に狭い空間で完全に実施することは、現状の技術レベルでは系統的に難しい。

(b) フランジ法

一次冷却系にフランジを用いる例は、従来見られなかった。しかし高レベルの放射能雰囲気かつ狭隘なスペースの中で冷却管をスムーズに着脱するには、フランジ方式の方がすぐれている。したがってどちらの方式に決定するかは十分なR&Dを重ねた上で決める必要がある。

また冷却管には約300~500℃の範囲でヒートサイクルがかかるのでそれに耐え得る可能性があるのはメタルリングである。その寿命も一緒に考慮する必要がある。

7.2 開発課題

核融合炉の実現を、安全性重視の方針のもとにめざしていくには、概念設計を終えた構造、装置及びシステムに対し充分なR&Dを行なってそれらの機能や性能を納得いくまで検証しつつ進まねばならない。その観点に立って以下の項目をとりあげた。

(1) 故障診断システム

- (i) 故障検出装置あるいはそれを含むシステム
炉の運転中に生じた故障およびその原因を自動的に検出するシステムが必要である。
- (ii) 故障位置の検出システム
例えば、ブランケットセルのどこにリークが発生して炉が停止したのかを自動的に探る

ことのできる方法、あるいは真空容器のような非常に長い溶接線のリーク位置を効率よく探知するシステムが必要である。少なくとも本設計で採用している分解修理システムにてらしあわせれば、8分割されたどの炉モジュールに故障が起きたのかをできるだけ早期に発見しなければならない。

(2) 遠隔操作システム

(i) 引出台車

大型の複雑な構造をもった炉モジュールをゆっくりと精度良く運搬しなければならない。

(ii) 旋回台車

(a) 車輪方式

約1万トンもの超重量物の移動なので数多くのテーパ付き車輪を用いる。それに伴う組立精度が問題となる。またレールの据付精度にも注意を要する。

(b) エアベアリング方式

約1万トンもの移動実績がない。

全床面の平坦度が問題となる。

(iii) マニピュレータ

多機能、多自由度、高精度、重負荷用のマニピュレータを開発し作業車やクレーン等に取付ける。狭い場所での動きあるいは微調整のような作業も要求される。

(IV) 自動切断溶接機

炉モジュール分割部の断面形状はとても大きく、その真空シール部用リップの自動切断及び溶接を行なうためのスペースが非常に狭いので問題点が多い。

もちろん炉体を解体する回数が当初の見込みより増加すれば、リップの取替えという困難な問題を派生してくる。

(V) 配管自動溶接機

狭い空間で信頼性のある溶接ができるような遠隔操作による配管溶接機の開発。

セッティングや微調整もすべて遠隔でできなければならない。

(vi) 監視システム

高レベルの放射能雰囲気中では人の立入りはまず不可能であるから、監視装置は必要不可欠のものである。しかし材料をはじめあらゆる面で耐放射線対策が充分になされたものを必要とする。

例えばTVカメラでは、レンズや半導体がまっ先に放射線でやられる。

(3) 溶接部非破壊検査システム

(i) 炉体分割部（炉モジュール分割部）

うすいオーステナイト系ステンレス鋼板の溶接部を検査する装置の開発（放射能雰囲気中）。

(ii) 冷却配管溶接部

狭隘な場所における遠隔自動検査システムの開発（放射能雰囲気中）。

あ と が き

原子力発電所及び再処理施設などにおけるリモートハンドリング技術を調査して、改めてリモートメンテナンスの難しさを痛感した。現在既に開発された技術、開発中の技術を検討してみても、オール・リモートハンドリングの域まではまだまだのようである。例えば配管継手の場合、やはり最も望まれるのは、別室のコントロールルームから各種のマニピュレータを使って自動溶接機を配管にセットし、溶接終了後は溶接検査装置に取替え自動的に非破壊検査を行なうところまで、完全に人がノータッチで行なえるようなレベルである。現在は、個々のシステムすなわちコントロールシステム、監視システム、マニピュレータ、自動溶接機などは一応の技術として完成しているので、それらをすべて包含した複合技術としてR&Dを強力に推し進め実証していくことが必要である。

4章では、オーバーヘッドクレーンマニピュレータと地上マニピュレータ車の概念設計を行なったが、これらを駆使して想定しているいろいろな作業が実際にできるかどうか確認しなければならぬ。人が直接タッチできれば細かい微妙な調整ができるのだが、人に代わって果たしてマニピュレータがその域までできるかどうか難しい問題であろう。

2年間の予備設計を通じて、現時点での分解修理方法が固まった。この分解修理の分野は、炉のあらゆるコンポーネントが詳細に検討され、各コンポーネント間の結合部分、境界領域の構造が明確にされた後に詳細設計するべきである。また、今回までの予備設計を充分参考にした上で、分解修理、再組立しやすい構造を持つコンポーネントの設計を考えてもらいたい。

設計研究担当者

(1) 主たる設計研究者

住友重機械工業㈱

田 島 豊, 水 口 忠 良, 豊 田 英 二 郎

(2) 原研側担当

炉設計研究室

迫 淳