

JAERI-M

88-117

J T -60用 その場コーティング装置

1988年7月

小原建治郎・川崎 幸三・平塚 一・黒田 猛
太田 和也・三代 康彦・大久保 実・太田 充

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

JAERI-M レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）
あて、お申しこしください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城
県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department
of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun,
Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1988

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 日立高速印刷株式会社

J T - 60用その場コーティング装置

日本原子力研究所那珂研究所 J T - 60試験部

小原 建治郎・川崎 幸三・平塚 一・黒田 猛
太田 和也・三代 康彦・大久保 実⁺・太田 充

(1988年6月1日受理)

1987年2月に完成したJ T - 60用その場コーティング装置は、臨界プラズマ試験装置J T - 60の第一壁上の損耗した炭化チタン膜を、その場、すなわちJ T - 60真空容器内で再コーティング（補修）することを主な目的とする他、チタンフラッシュ及び観察機能をあわせもつ。

装置は4軸を有するマニプレータ、チタン蒸発源、観察装置、制御装置、保管設備そしてアセチレンガス注入装置から構成され、高温（～300°C）、高真空中（～10⁻⁶ Pa）で運転される。

本報告では、その場装置の概要の他、本装置を使用してJ T - 60真空容器内で行われたチタンフラッシュの結果についても簡単に述べる。

In-Situ Coating Device for JT-60

Kenjiro OBARA, Kozo KAWASAKI, Hajime HIRATSUKA, Takeshi KURODA
Kazuya OHTA, Yasuhiko MIYO, Minoru OHKUBO[†] and Mitsuru OHTA

Department of JT-60 Facility
Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 1, 1988)

JT-60 in-situ coating device which was completed in February 1987 functions as follows;

- repair of eroded or damaged surface of first walls such as bumper limiters and liners in JT-60 vacuum vessel by titanium carbide (TiC) deposition;
- visual inspection of internal vacuum vessel components;
- titanium flashing task for the first wall as surface pumping.

The device basically consists of an in-vessel manipulator with four axes, a ohmically heated titanium evaporator, a fiberscope as the observation system, a maintenance stage and an acetylen gas injection system.

To meet its functional objectives, the in-vessel manipulator required to be operational in an ultra-high vacuum environment ($\sim 10^{-6}$ Pa) at high temperatures ($\sim 300^\circ\text{C}$).

The present paper describes the outline of the device and the results of titanium flashing using the JT-60 in-situ coating device.

Keywords: JT-60, In-situ Coating, Limiters, Liners, Titanium Carbide, High Temperature, High Vacuum, In-vessel Manipulator, Fiberscope, Titanium Flashing, Surface Pumping

+ Department of Power Reactor Projects

目 次

1. 概 要	1
1.1 目 的	1
1.2 機 能	1
1.3 設計条件	1
1.4 構 成	3
2. 各部仕様	13
2.1 装置本体	13
2.2 蒸 発 源	14
2.3 観察装置	15
2.4 制御装置	15
2.5 保管設備	16
2.6 アセチレンガス注入装置	16
3. 制御と操作	35
3.1 機能及び構成	35
3.2 制御アルゴリズム	39
3.3 操 作	43
4. アセチレンガス注入装置	60
4.1 構 成	60
4.2 系統設計	60
4.3 注入系の試験	61
5. 性能試験概要	68
5.1 動作範囲試験	68
5.2 非常時引出し機構性能試験	69
5.3 絶縁抵抗試験	69
5.4 ヘリウムリーク試験	69
5.5 観察装置性能試験	69
5.6 チタンフラッシュ	70
6. ま と め	76
謝 辞	77
参考文献	77

Contents

1. Outline	1
1.1 Purposes of the device	1
1.2 Functions of the device	1
1.3 Design conditions	1
1.4 Composition of the device	3
2. Specifications of major components	13
2.1 Mechanical device	13
2.2 Titanium evaporator	14
2.3 Observation system	15
2.4 Control system	15
2.5 Keeping device	16
2.6 Acetylene gas injection system	16
3. Control and operation	35
3.1 Functions and composition of the control system	35
3.2 Control algorithm	39
3.3 Operation	43
4. Acetylene gas injection system	60
4.1 Composition of the system	60
4.2 System design	60
4.3 Performance test of the system	61
5. Performance test of the device	68
5.1 Test on the movable axes	68
5.2 Test on the removing mechanism in an emergency	69
5.3 Insulation resistance test	69
5.4 Leak test using helium gas	69
5.5 Test on observation system	69
5.6 Titanium flashing	70
6. Conclusion	76
Acknowledgment	77
References	77

1. 概要

1.1 目的

臨界プラズマ試験装置 JT-60¹⁾（以下 JT-60とする）の真空容器内第一壁表面には、プラズマ中への不純物混入による放射損失を低減する目的上、厚さ20 μmの炭化チタン膜（TiC膜）がコーティングされている^{2), 3)}（Fig. 1.1 及び Fig. 1.2に JT-60真空容器を示す）。

この炭化チタン膜は、プラズマとの相互作用により漸次あるいは瞬時に損耗し、ついにはモリブデン又はインコネルの基板が露出する（第一壁の損傷とする）。

その場コーティング装置（以下その場装置とする）は、損耗した第一壁上の炭化チタン膜を、その場、すなわち JT-60の真空容器（以下真空容器とする）内で再コーティング（補修）することを主な目的とした装置⁴⁾で、炭化チタン膜の作製には、チタンーアセチレンガスによる反応性蒸着法を適用している。Fig. 1.3 及び Fig. 1.4 に JT-60に設置されたその場装置を示す。

1.2 機能

炭化チタン膜の作製を含む、その場装置の機能を以下に示す。

1) 観察機能

損傷した第一壁の発見と、その位置、損傷状態を把握するとともに、補修後の第一壁の観察を行う。

2) 炭化チタン膜の作製

観察情報をもとに損傷した第一壁上に炭化チタンをコーティングする。

3) チタンフラッシュ

必要に応じ、第一壁をゲッタポンプとして作用させるため、チタンのみを蒸発させる。

1.3 設計条件

先の機能のうち、炭化チタン膜の作製とチタンフラッシュについては、高温、真空中での作業が不可欠となるが、真空容器内の汚染防止、作業の合理化上、第一壁の観察も真空中で行われることが望ましい。以下に設計条件の概略を述べる。

1.3.1 炭化チタン膜作製能力

標記に関しては、実機製作前に実施された反応性蒸着法による炭化チタン膜の作製^{5), 6)}、及びチタンフィラメントの研究開発の結果⁷⁾から、次の基本的条件において炭化チタンのチタ

ンと炭素の化学的組成比が 1 : 1 となる膜が作製されるとなっている。

- 第一壁表面でのアセチレンガス分子 ($\lambda_{C_2H_2}$)
とチタン原子 (λ_{Ti}) の入射頻度比 ($\lambda_{C_2H_2}/\lambda_{Ti}$) ≥ 30
- 炭化チタンの析出速度 $\approx 1.5 \text{ \AA/S}^{\circ}$

以上の条件からその場装置では、1回のコーティングで必要とする最大膜厚から蒸発源への通電能力を決め、最大4本のフィラメントにフィラメント1本あたり $150 \text{ A} / 5 \text{ V}$ の電力を60分間通電可能となるよう設計した。これによりチタンの蒸発速度は毎秒 $1.7 \sim 3.4 \text{ mg}$ となる。アセチレンガス圧力については、その時の蒸着モードとの関係、すなわち蒸発チタンに要求される飛程距離と JT-60真空排気装置の排気能力から決められる。

1.3.2 蒸発源及び観察用センサの駆動範囲

先の機能を行うためには、蒸発源あるいは観察用センサを真空容器内の所定の位置に移動し、保持する必要がある。このため、その場装置では高温、真空中で三次元動作可能なマニプレータが主要構成機器となる。

その駆動範囲については、1台のマニプレータによって真空容器全内表面積の約 $1/4$ にアクセスできるように設計した。Fig. 1.5 にその場装置のトロイダル平面上の配置を示す（2台のマニプレータが、P-4, 7, 12, 15ポートの上部 U₄ ポートに、交互に取りつけられる）。

1.3.3 真空に関する条件

- 動作時真空容器内圧力 $1.3 \times 10^{-7} \text{ Pa} \sim \text{大気}$
- 許容リーク量 ガスケットによる締結部、及び溶接部について、1箇所あたり $1.3 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \text{ s}^{-1} (\text{He})$ 以下
- 放出ガス量 高温ベーキング後常温において、
 $\sim 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下

1.3.4 热的条件

- JT-60真空容器第一壁温度

炭化チタン及びチタン膜作製時 室温～300°C

観察装置動作時 200°C以下

上記温度条件にて最大48時間の真空容器内滞在（実動作を含む）を可能とすること。

- JT-60真空容器とその場装置取合点の温度

室温～150°C程度

なお、マニプレータを構成する歯車、軸受などの各機械要素については、高温、真空中での焼き付きを防止する上からも、構成材料をはじめ潤滑方法や潤滑剤の選択に配慮した⁸⁾。

1.3.5 耐震条件

静的設計地震力について、クラスBを基準とした。動的解析については、その場装置はプラズマ生成時は真空容器上から撤去されることもあって解析は行っていない。

1.3.6 分解、組立、重量

その場装置のマニプレータとそれに付帯する機器の重量のうち、計測架台上に加重される重量については装置1台あたり3トン以内におさまるよう設計した。

また、その場装置のマニプレータ、マニプレータを支持する架台等は、未使用時は真空容器との接続をはずし、計測架台上から撤去するため、これら一連の作業（分解、組立）が出来るだけ容易に行えるような構造にした。

1.3.7 電気絶縁

その場装置を構成する機器のうち、JT-60真空容器とその周辺機器、計測架台と接触するものについては、電気的に絶縁をとり、機器相互の性能の確保と保安に配慮した。なお、使用する絶縁物の絶縁耐力はAC1100V／1分間を基準とした。

1.4 構 成

その場装置の主要構成機器が真空用マニプレータであることは1.3.2で述べた。コーティングは真空容器内第一壁全面にわたって行う場合（全面コーティング）と、著しく損傷された箇所に局部的に行う場合（局部コーティング）の二つのモードがあり、いずれの場合もチタン源を真空容器内の最適空間に移動し、保持する必要がある。また、マニプレータの動作に追従させるために可撓性を重視させた観察センサ（ファイバースコープ）はコア数が少なく、従って視野径も小さい。これを補なうことと、詳細な観察を行うためには対象にある程度接近させる必要があり、そのためにもマニプレータは重要な役割を持つ。

Fig. 1.6にJT-60真空容器上部ポートに接続された装置本体（マニプレータと支持架台）の外形を、Fig. 1.7には据付調整時に真空容器内に挿入されたマニプレータの先端部を示す。

なお、以下で述べるその場装置の構成機器のうち、観察装置、アセチレンガス注入装置を除いては2式（1.2号機）製作され、運転時は結線及び配管の切り替え等によって交互に操作、制御される。

(1) 装置本体

その場装置の中心となるもので、高温、真空下での動作を可能とした4自由度を有するマニプレータ、マニプレータをJT-60真空容器上に接続し、支持するための支持架台から構成される。

(2) 蒸発源

炭化チタン又はチタン膜の作製に必要なチタンを抵抗加熱によって蒸発供給するための、チタンフィラメント、フィラメントホルダー、及び蒸発チタンの方向を制御する遮蔽板から構成され、マニプレータの先端に取り付けられる。

(3) 観察装置

ファイバースコープ、光源装置、テレビカメラから構成される。蒸発源装着時は蒸発源からの高熱と、蒸発チタンの付着を回避できるようマニプレータ先端から取りはずし、上方に引き上げられるようにした。

(4) 制御装置

二次元モデルを用いて作業環境（真空容器内）及びマニプレータの幾何形状モデルを計算機内に構築し、これをグラフィックディスプレイ上に表示し、マニプレータのティーチング、シミュレーション、自動運転等を可能にした。

(5) 保管設備

作業休止期間中、マニプレータを真空封じ切りの状態で保管する他、点検、保守用架台として使用する。

(6) アセチレンガス注入装置

炭化チタン膜作製時に必要なアセチレンガスを供給する他、マニプレータ周辺の局部的な真空排気を行う。

なお、アセチレンガスはその場装置のマニプレータを接続したポートと、真空容器ガス注入ポートの一部の2箇所から供給するようにした。

Fig. 1.8 にその場装置の全体配置と電源系統図を示す。常用の三相 200 V 系が操作用配電盤室から、計算機用電源としての無停電電源単相 100 V 系が整流器棟無停電電源室から供給されている。

その場装置用の中央制御盤は実験棟計測調整室（I）内にあり、中央操作盤、計算機他が設置されている。中央操作盤からの遠隔操作とは別に、現場からの操作も可能となっており、これら現場盤は、実験棟本体室内のベーキング電源室を中心とした一画に設置されている。

計測架台上面に設置された2台の装置本体を4箇所の各ポートに交互に取り付けるためには、動力線、信号線の切り替えが必要であり、そのための端子箱が各ポートの近傍に設置されている。

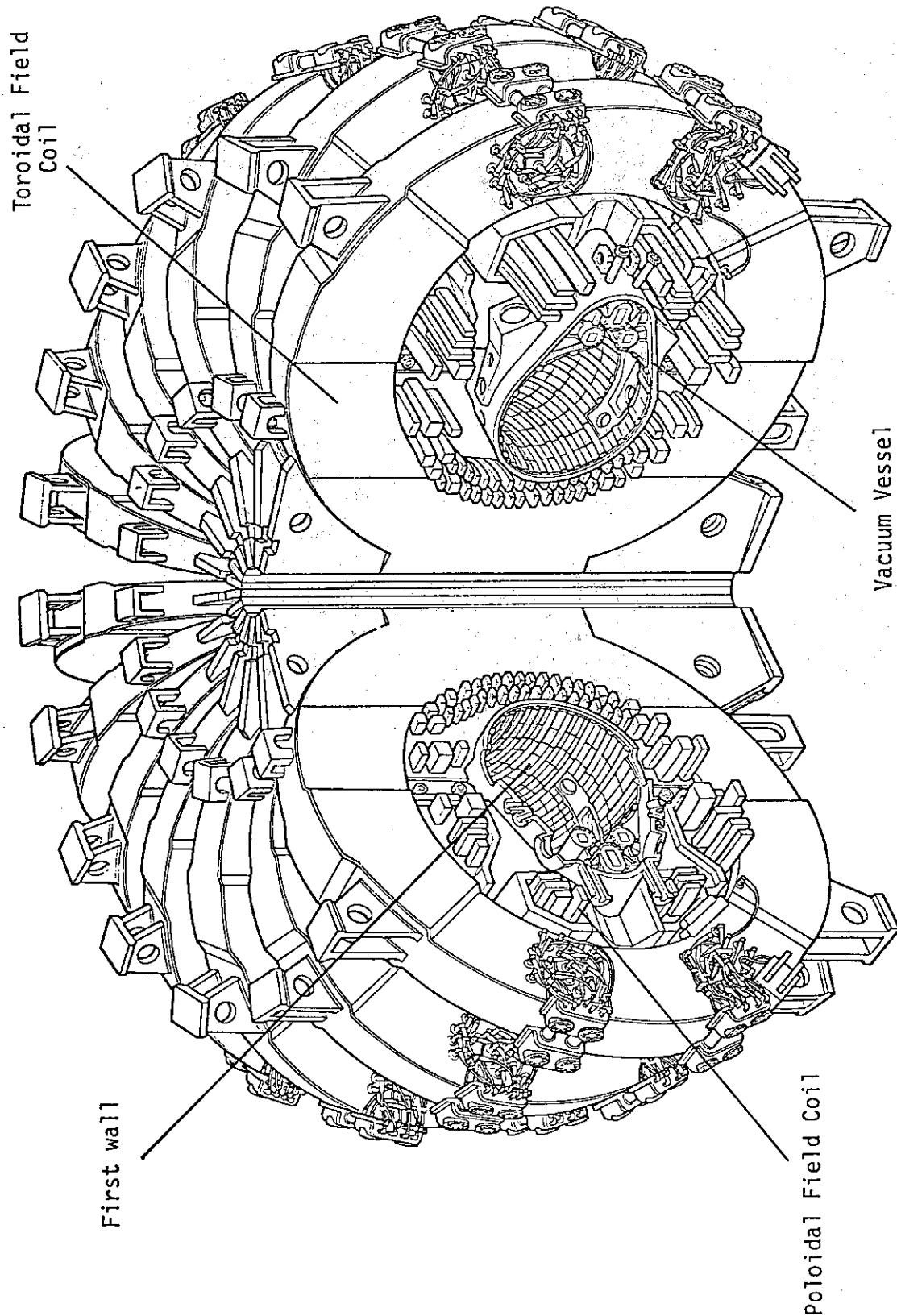


Fig.1.1 Cross section of the JT-60 vacuum vessel.

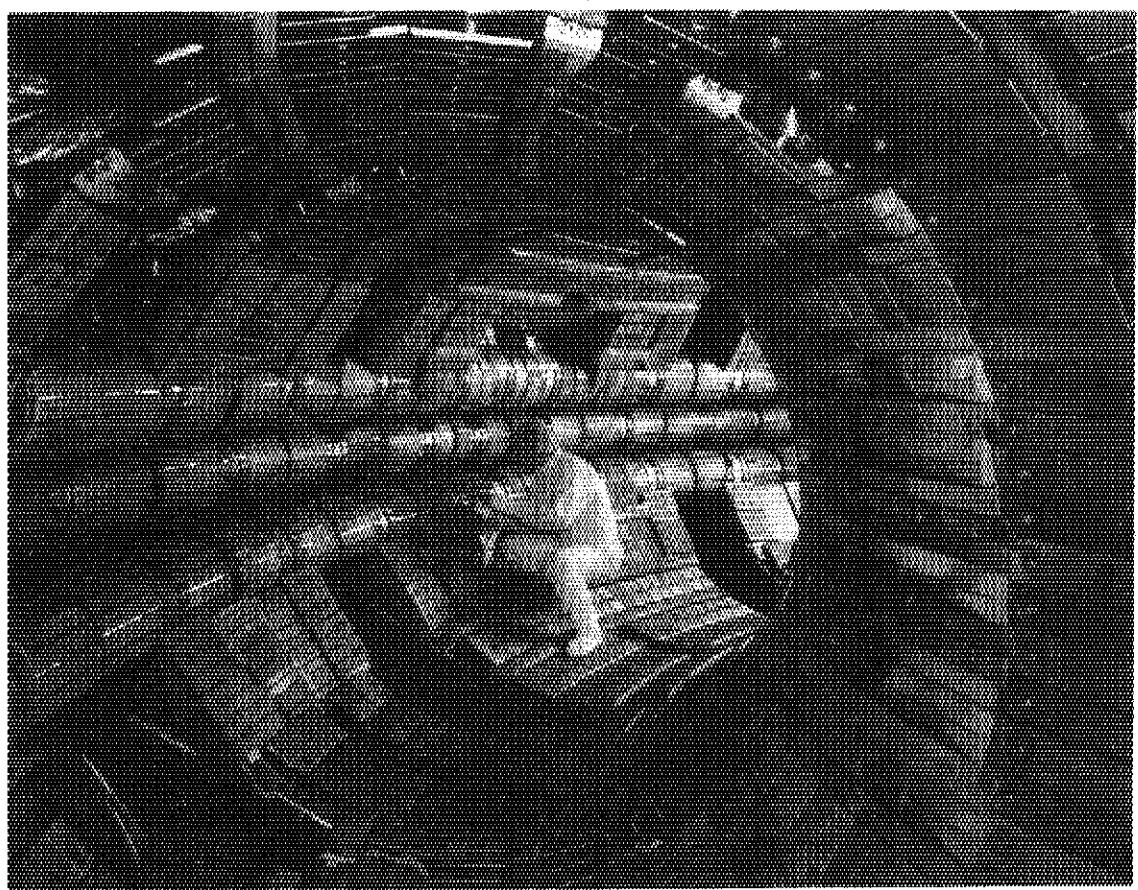


Fig.1.2 Inside view of the JT-60 vacuum vessel. Many limiters and liners (first walls) are placed inside the vacuum vessel.

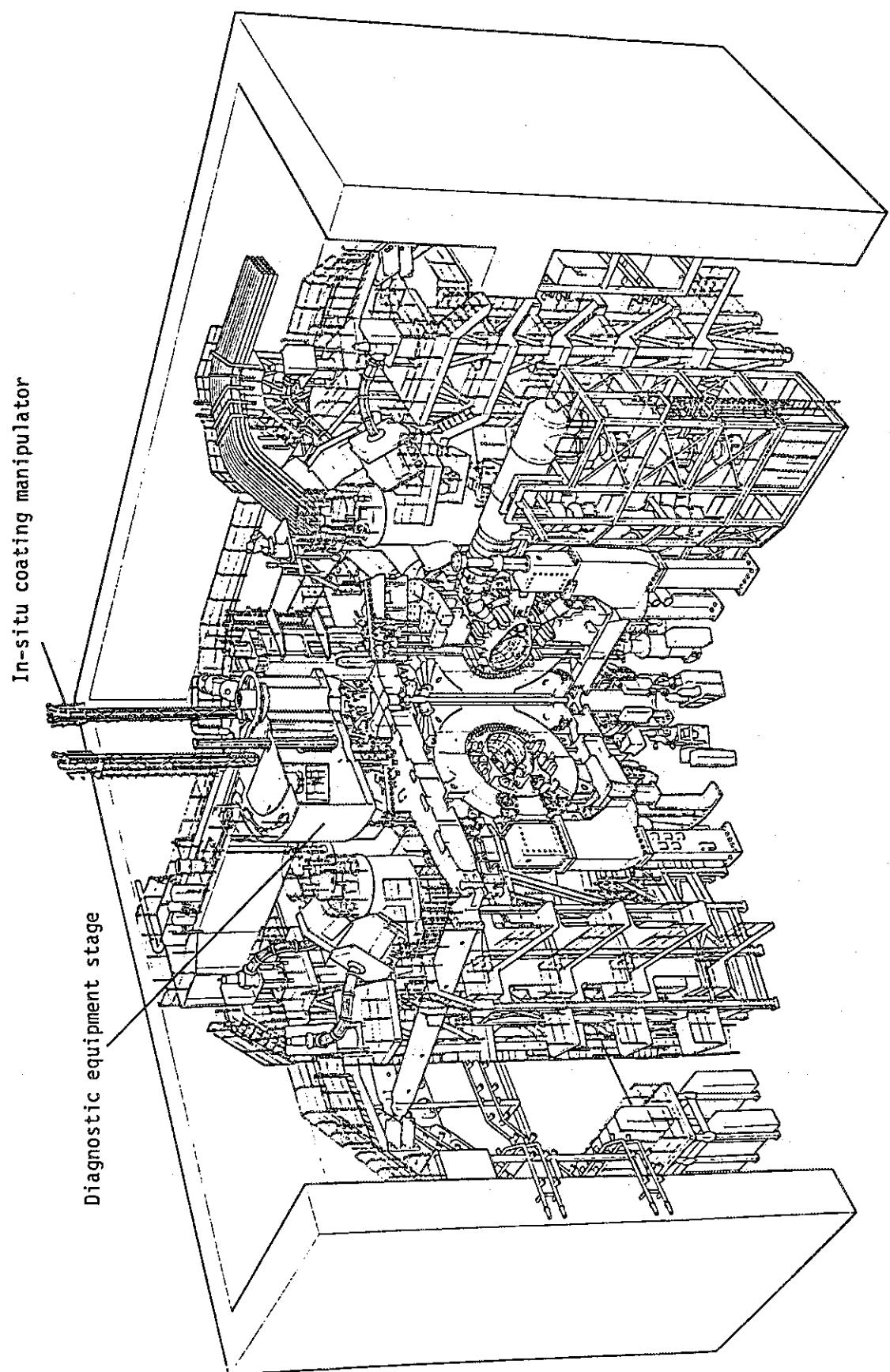


Fig.1.3 Bird's-eye view of JT-60. Two in-situ coating manipulators were mounted on the diagnostics platform in February 1987.

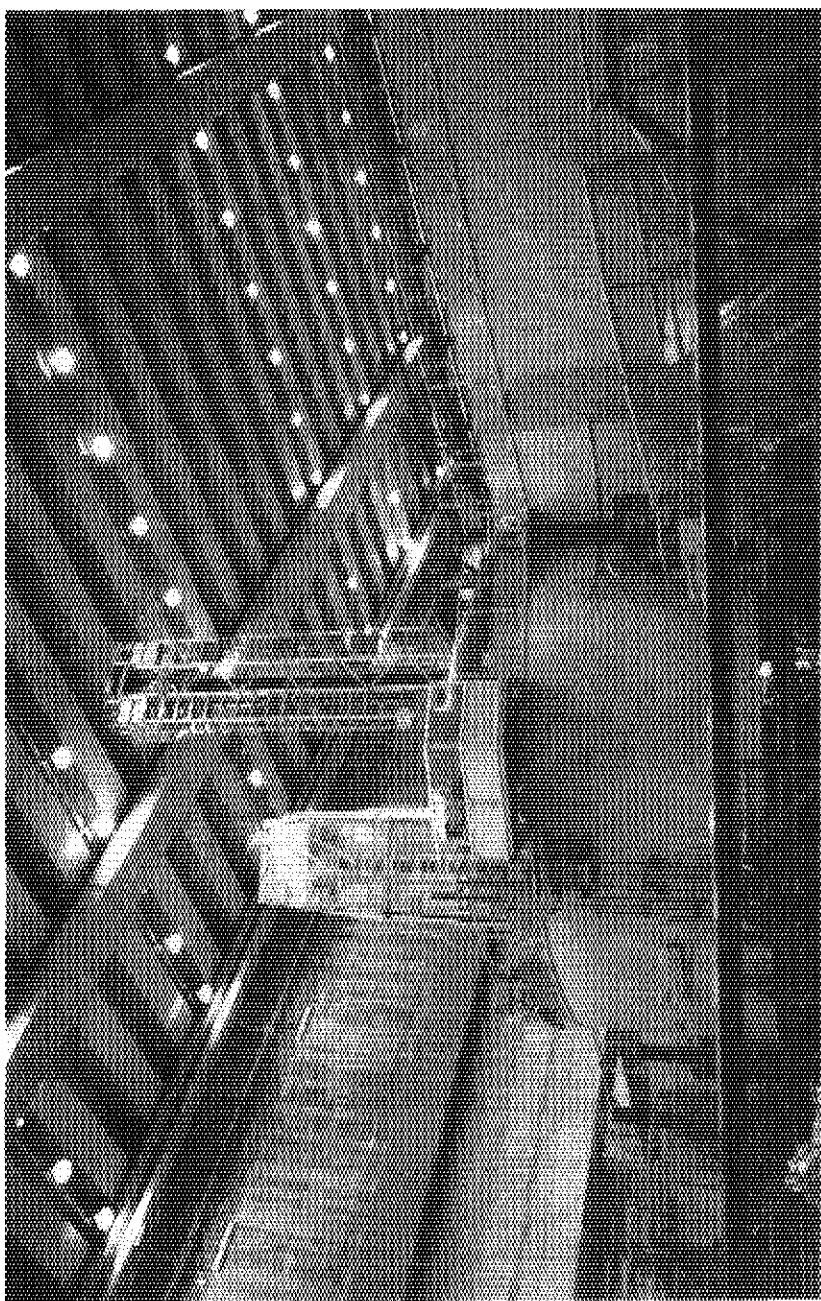


Fig.1.4 In-situ coating manipulator (right) is mounted on the diagnostics platform.

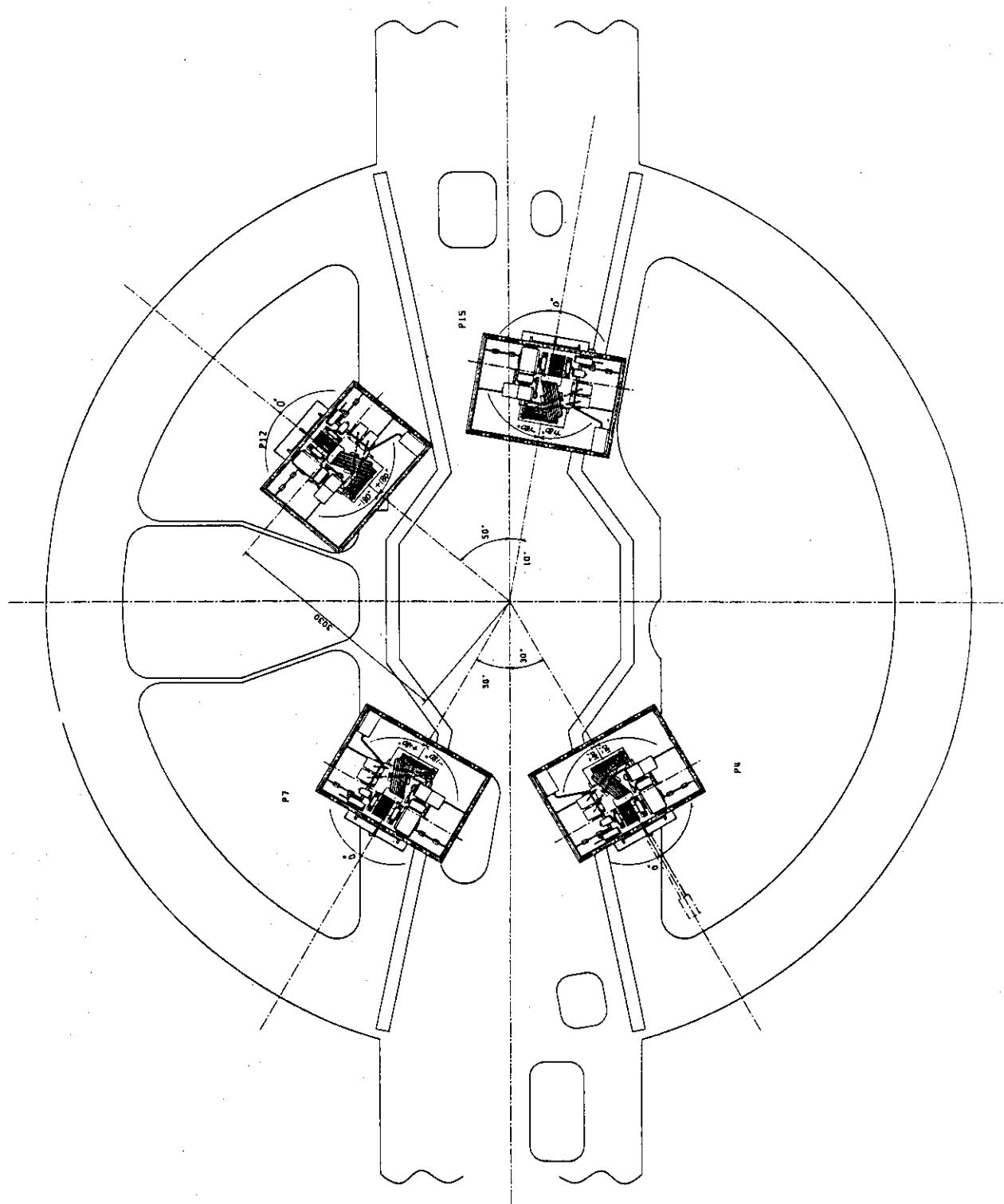


Fig.1.5 Arrangement of the in-situ coating manipulators on from top view.

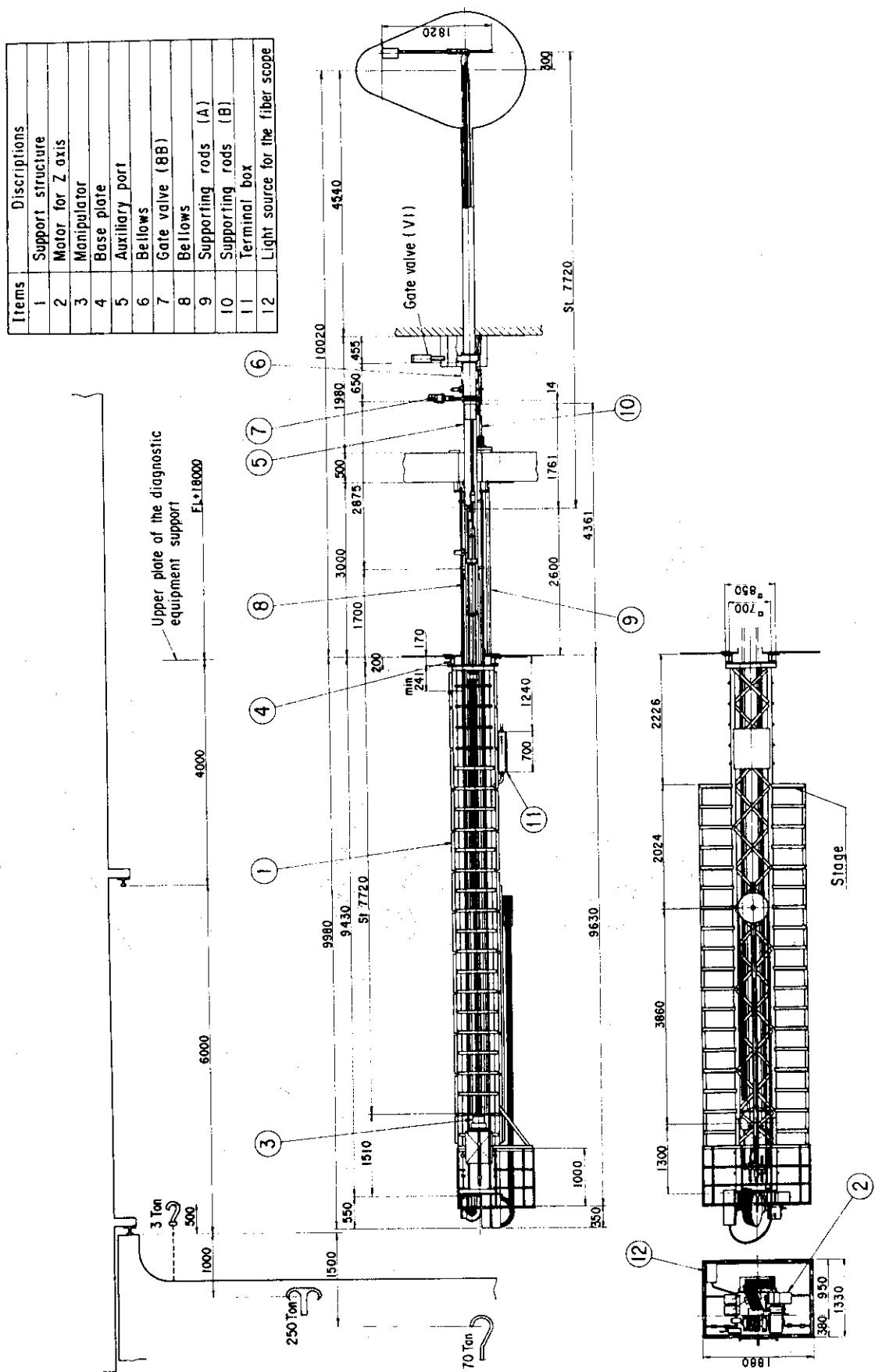


Fig.1.6 Exterior view of the in-situ coating manipulator and the support structure.

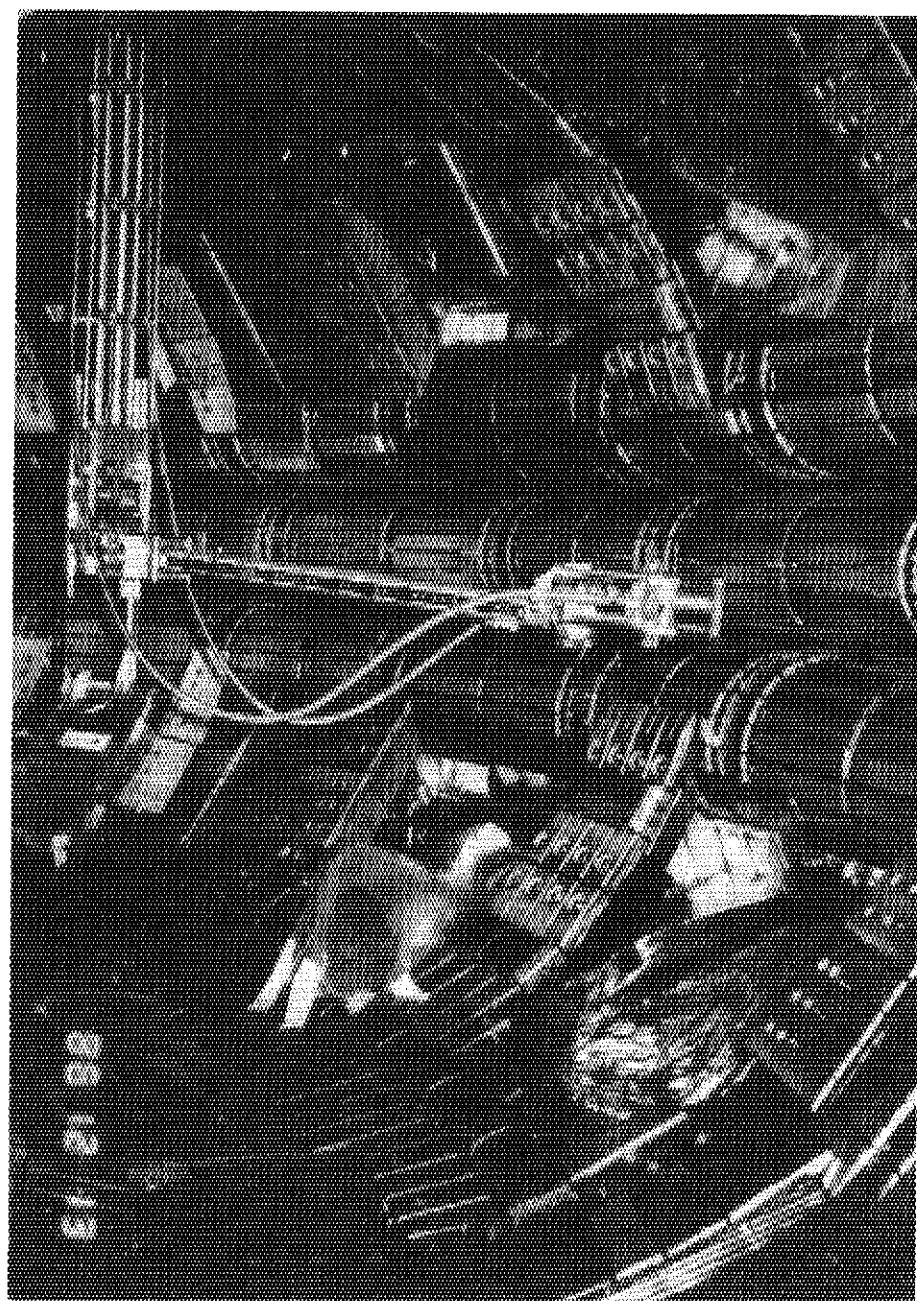


Fig.1.7 Tip of the manipulator inside the vacuum vessel. A couple of the fiberscopes are attached on the tip.

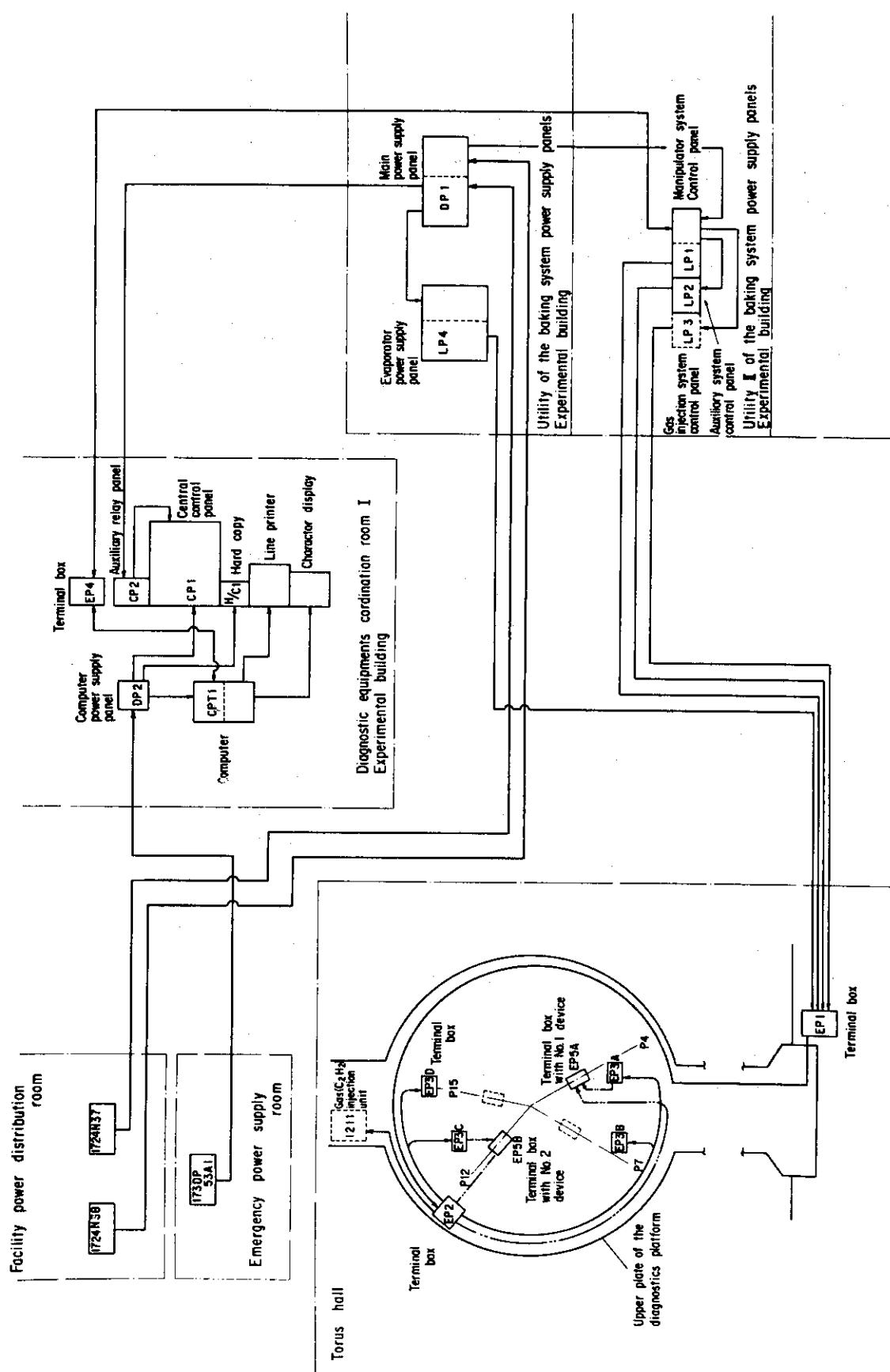


Fig.1.8 Arrangement of the device, control panels and power supply system.

2. 各部仕様

2.1 装置本体

2.1.1 マニプレータ

マニプレータはその先端に蒸発源あるいは真空容器内壁観察センサであるファイバースコープの取り付けが可能な構造となっており、真空容器内への挿入、引出しをはじめ、真空容器内の三次元動作を行うことができる。次にこれらの動作を可能とするマニプレータの4駆動軸の方向性について述べる（Fig. 2.1 参照）。また、Fig. 2.2 にはマニプレータの外形を、Table 2.1 には各駆動軸の仕様を示す。

(1) Z 駆動軸

マニプレータ全体を垂直方向に上下させる。

(2) ϕ 駆動軸

Z 軸を中心にマニプレータ全体を左右に回転させる。

(3) θ 駆動軸

マニプレータは、その先端から後方約 1.5 m 付近に 1 関節をもち、その関節部分（以下アーム回転部とする）を中心に関節より先の部分、即ち先端までの 1.5 m 部分（以下アームとする）を約 135° の範囲で上、下にふる。

(4) A 駆動軸

アーム回転部を中心に、蒸発源あるいはファイバースコープの装着されたアームを前後進させる。

Fig. 2.3 にマニプレータ駆動系の機構図を示す。上記 4 駆動軸のうち、 ϕ 、 θ 、A 軸の駆動源はマニプレータの上部に設置（以下駆動ヘッド部とする）され、磁性流体シール方式の回転導入機を介した長尺のロッドにより大気から真空中へ動力を伝達している。

Z 軸の動力源は支持架台上部に設置され、マニプレータ全体を支持架台からワイヤロープで吊り下げる構造となっている。Z 軸の動作では駆動ヘッド部と真空容器上部ポートに設けられた中継管との間を接続している長尺の溶接ベローズが、その上、下動作に追従するとともに真空バウンダリを形成している。

以上の各軸は自動及び手動での操作が可能になっている他、過負荷保護としてトルクリミッタやロードセルを取り付けている。

マニプレータの駆動部のうち、アーム回転部を中心とする高温、真空中で駆動される部分では、摩擦係数の増大により円滑な駆動が阻害される。このため、その場装置では、駆動部を構成する各機械要素の潤滑には充分に留意し、実機製作前に実施したその場装置原型機の試作開発の結果⁸⁾から潤滑剤には、二硫化モリブデン（Mo S₂）を主体とする焼成型の固体被膜と自己潤滑性合金（S-L 合金）を使用することにした。Fig. 2.4 にアーム回転部の外形を示す。

駆動ヘッド部からアーム回転部までの約 10m 間には横揺れ防止と駆動軸や導体、ファイバー

スコープ支持のための金具（以下中継支持部とする）を縦方向に3箇所取り付けである。中継支持部にはマニプレータの回転と直線運動に追従可能なよう、固体潤滑剤で表面処理したフリーアクションベアリングを周方向に3箇所取り付けてある。Fig. 2.5に中継支持部の外形を示す。

マニプレータの先端に取り付けられた蒸発源に電力を供給するための導体がマニプレータに添って取り付けられている。駆動ヘッド部から導入された導体（銅）は、アーム回転部でθ軸の動作に追従可能なように捻線に変えられ、ブラシに接続される。ブラシは蒸発源を取り付けたアーム側面のスライドトロリと面圧約 0.4 kgf/cm^2 で接触し、通電時も含めてA軸の前後進動作が可能となっている。Fig. 2.6にアーム回転部まわりの導体構造を示す。

Fig. 2.7にアーム解除機構を示す。マニプレータの想定される故障のひとつに、アーム回転部の歯車同士の焼き付きにより、蒸発源あるいはファイバースコープを取り付けた状態でアームの動作が不能となり、マニプレータを真空容器内から引き抜くことが困難となる場合が予想される。このための対策として、アームのラックと噛み合ウピニオンに接続する平歯車と、この平歯車に動力を伝達する平歯車の噛み合いを外部から強制的に解除し、アームをフリーの状態にした後、引き抜く機構を設けている。

Fig. 2.8にマニプレータの基本的な動作位置を示す。図中1は、最大引き抜き時の状態をあらわす。2台のゲートバルブを閉じることによってJT-60真空容器の雰囲気とマニプレータを隔離することができる。この状態で、たとえば蒸発源の交換などの保守作業を行うときの状態を示したのが図中2である。長尺ベローズを上方にたくり上げることにより、第2段目のゲートバルブから上側の部分が露出される。図中3は、アーム回転部がプラズマ中心に位置し、アームが最大に前進した状態をあらわす。この状態では、ダイバータ室の奥まで蒸発源あるいはファイバースコープを接近させることができる。図中4は、マニプレータの最大挿入位置をあらわす。プラズマ中心からさらに30cm降下させることで、マニプレータの動作範囲を拡大するとともに、前述のアーム解除機構を動作させた時の衝撃の緩和に有効である。

2.1.2 支持架台

支持架台は高さ約10m、計測架台との取り合いとなる台座部分の寸法がタテ、ヨコ約80cm、上部のZ軸用動力源収納部の寸法がタテ約1.9m、ヨコ約1.3mである（Fig. 1.4参照）。材質はアルミニウム合金とし、計測架台に対する負荷重量の軽減化をはかっている。

支持架台はマニプレータを支持するとともに、Z軸用駆動源、Z軸動作のガイド機能となるレール、Z軸の動作に追従し、ケーブルやファイバースコープを巻き取るためのドラムを収納する。また、保守、点検のための昇降用ハシゴを支持架台の両側面に設けている他、振動に対する振れ止め防止のためにワイヤーロープで3方から支持している。

2.2 蒸発源

Fig. 2.9に蒸発源の外形を示す。炭化チタン膜の作製、あるいはチタンフラッシュ時のチタン供給は、チタンフィラメントを抵抗加熱することにより蒸発させる。フィラメントは外径約4mm、長さ約150mmで、芯線にタングステンを使用し、それをとりまく形で3本のチタン

線と1本のモリブデン線が螺旋形に巻かれている。

コーティングモードに応じ、フィラメントの形式と本数を1～4本の間で変えることができる。また遮蔽板を併用することにより、蒸発チタンの方向性を制御できる。通電電流はフィラメント1本あたり150A/5Vであるが、200Aまでの通電が可能である。通電時のフィラメントホールダ温度は約800°Cにもなるが、炭化チタンをコーティングしたボルト、ナットを使用することによって焼き付きを防止している。蒸発速度他の仕様値をTable 2.2に示す。

2.3 観察装置

マニプレータの三次元動作に追従可能な観察用センサとして、ファイバースコープを採用した。Fig. 2.10にファイバースコープの外形を示す。

画像分解能の向上、視野の拡大は画素数や対物レンズ径の増加となり、ファイバースコープの外径が大きくなるため、許容屈曲半径も大きくなり、マニプレータへの追従性が悪くなる。結果的には画像を捉えるイメージガイドのコア数を12000本、被写体照明用のライトガイドのコア数を600本とし、所定の性能を確保した。Table 2.3に主な仕様を示す。

ファイバースコープを高温、真空中で使用する場合問題となる保護層の材質とジャケット間の真空シールについては、前者ではステンレス製可撓管の採用、後者ではサファイア板とメタル中空Oリングの組み合わせによって対処した(Fig. 2.11, 2.12参照)。また、ファイバースコープの先端にアダプタを取り付けることにより、90°, 65°側方の観察を可能とするとともに、1台のマニプレータに2本のファイバースコープを取り付けることにより、1回の作業における観察領域の拡大を図っている。

2.4 制御装置

制御装置は(1)運転監視システム、(2)計算機システム、(3)観察システムから構成される。

運転監視システムは中央、及び現場のそれぞれからマニプレータの駆動とベーキング、炭化チタン膜のコーティング、チタンフラッシュ、そして内部観察に関わる操作と監視を行うもので、中央操作盤と各現場盤から構成される(Fig. 1.8参照)。

中央からの操作と監視はすべて中央操作盤(CP1)あるいは補助リレー盤(CP2)で行う。現場からの操作、監視のうち、マニプレータの駆動とベーキング作業は駆動系操作盤(LP1)と補機操作盤(LP2)で行う。蒸着操作は蒸着電源盤(LP4)から行う。なお、内部観察に関しては中央からの操作に限定される。

その他受変電設備としての電源盤(DP1)、計算機用電源盤(DP2)、装置本体とのインターフェイスを行う端子箱(EP3A～D)、TB処理盤(EP2)や計測架台上機器と現場盤とのケーブル中継を行うための中継盤(EP1)、そして計算機とのケーブル中継のための中継端子盤(EP4)がある。

計算機システムはシーケンサの上位に位置し、その場装置全体の制御、監視、マンマシン機能を行うためのものである。具体的にはマニプレータ各駆動軸の制御、位置監視、コーティン

グあるいはフラッシュ、シーケンスの遂行、プロセスの状態監視とそれに付随するマンマシンオペレーション機能を分担する。

Fig. 2.13にシステム構成図を示す。中央処理装置はマニプレータ各駆動軸の制御、コーディングあるいはフラッシュに関するアルゴリズム等の演算、判断を行う計算機システムの中核部である。プロセス入力装置は計算機システムと各装置との状態信号や制御信号の入出力を行うための装置である。3次元CRTは、オペレータの指示により装置を動作させるとともに、装置の状態を知らせるマンマシンインターフェイス装置である。ラインプリンタはロギング機能によりオペレータに必要な情報を帳票形式で出力し、補助記憶装置は、その場装置全体システムのデータベース、ロギング情報を記録するための外部記憶装置である。また、システムコンソールはソフトウェアの作成の他、計算機システムのデータベースのメンテナンス及び計算機の状態を把握するためのものである。

観察システムは、ファイバースコープからの情報を取得、整理する。映像信号はモニターテレビでモニタするとともにVTR装置で録画する。また、TVプリンタ装置によって画像のプリントアウトができるようになっている。パーソナルコンピュータで作成したスケール画面はモニタ上で同一画面上に表示させることもできる。これら観察システムに関連する機器はすべて中央操作盤(CP1)に収納され、そこから操作される。

2.5 保管設備

計測架台上から撤去した装置本体(蒸発源、ファイバースコープを含む)を直立状態(θ 駆動軸: 0°)で保管するための設備である。

真空中に晒される部分は真空封じ切りの状態で保管できるように設備の一部に真空引き用のポートを設けてある。また、保管架台上でマニプレータの一部動作試験が可能なように保管用の中継管は3分割構造となっている。保管設備上に立てられた支持架台の支持方法としては、保管設備の下部を固定する他、本体室の側壁に支持金具を取り付け、架台に固定している。

Fig. 2.14に保管設備の外形を示す。

2.6 アセチレンガス注入装置

炭化チタン膜は、チタンーアセチレンによる反応性蒸着法により作製される。このために必要なアセチレンガスは注入系Ⅰ、注入系Ⅱの二つの系統から注入される。

注入系Ⅰは真空容器ポートセクションP6、P15にある各斜めポート(GM1, GM2)からの注入であり、注入系Ⅱは、その場装置が設置される真空容器ポートセクションP4, 7, 12, 15の各上部ポート(U₄)からの注入である。各注入系は単独及び並列運転が可能である。Fig. 2.15に各注入系ポートの配置を示す。

Table 2.1 Major specifications of the driving mechanism of the manipulator.

Items	A axis	θ axis	ϕ axis	Z axis
1) Transportation of torque	Rod	Rod	Rod	Wire—drum
2) Range of motion	0 \leftrightarrow 1000 mm	0 \leftrightarrow 135°	CW 180° CCW 180°	0 \leftrightarrow 7720 mm
3) Velocity of motion	300 mm/min	70°/min	70°/min	1268 mm/min
4) Specifications of power	3 ϕ Induction motor AC 200V/40W 1300 r.p.m	Same A axis	3 ϕ Induction motor AC 200V/25W 1300 r.p.m	3 ϕ Induction motor AC 200V/1.5kW 1450 r.p.m
5) Mechanical protection of over load	Torque limiter 40 kgf·cm	Torque limiter 50 kgf·cm	Torque limiter 40 kgf·cm	Torque limiter : 1kgf·cm Load cell : 1300kg
6) Vacuum seal	Magnetic fluid seal	Magnetic fluid seal	Magnetic fluid seal	Bellows
7) Detector of positioning	Rotary encoder	Rotary encoder	Rotary encoder	Rotary encoder
8) Exposed materials in vacuum	Parts of high temp. : Inconel 625 Parts of low temp. : SUS 304			
9) Lubricants	Gears : Dry lubricant (MoS_2) on Inconel 625 Bearings : SL alloy Washers : Ag Bolts and nuts : TiC coated on SUS 304			

Table 2.2 Major specifications of the titanium evaporator.

Items	Specifications
1) Segment	
Dimensions	175 mm outer dia. ~ 275 mm length
Major material	SUS 304
Weight	~ 2.5 kgf (Without shielding plate)
Number of attachable filament	1 ~ 4 /segment
Electric connecting method of filaments	Series
2) Filament	
Materials	Ti/W, Mo
Dimensions	~ 3.5 mm outer dia. ~ 150 mm length
Power	5 V, 150 A/filament
3) Materials of other component	
Filament holder	SUS 304
Filament sleeve	Carbon
Bolt and nut	TiC coated on SUS 304
Insulator	Al_2O_3
4) Evaporating performance	
Amount of titanium	2 g/filament
Velocity of evaporation	2 ~ 3 mg/sec

Table 2.3 Major specifications of the observation system.

Items	Specifications
1) Fiber scope (S-012)	
Number of image core	12,000
Number of light core	600
Allowable bending radial	≥ 200 mm
Depth of focus	50 mm ~ ∞
Viewing directions	Straight/Side
Viewing angle	20°
Allowable temp.	≤ 200 °C
Leak rate	$\leq 1 \times 10^{-9}$ Torr·l/s (He)
Outgassing rate	$\leq \sim 10^{-11}$ Torr·l/s·cm²
Observation performance	The distance (l) which is possible to distinguish a defect size of 20 mm × 20 mm. Straight view : $l \leq 700$ mm Side view : $l \leq 500$ mm
2) Light source (LS-300R)	
Lamp	Xe lamp
Power	300 W
3) TV camera (TK-800)	
Camera tube	2/3 inch, Single tube
Number of scanning line	525
Resolution	Horizontal : 270, Vertical : 300
Requirement illuminance of subjects	≥ 10 lux

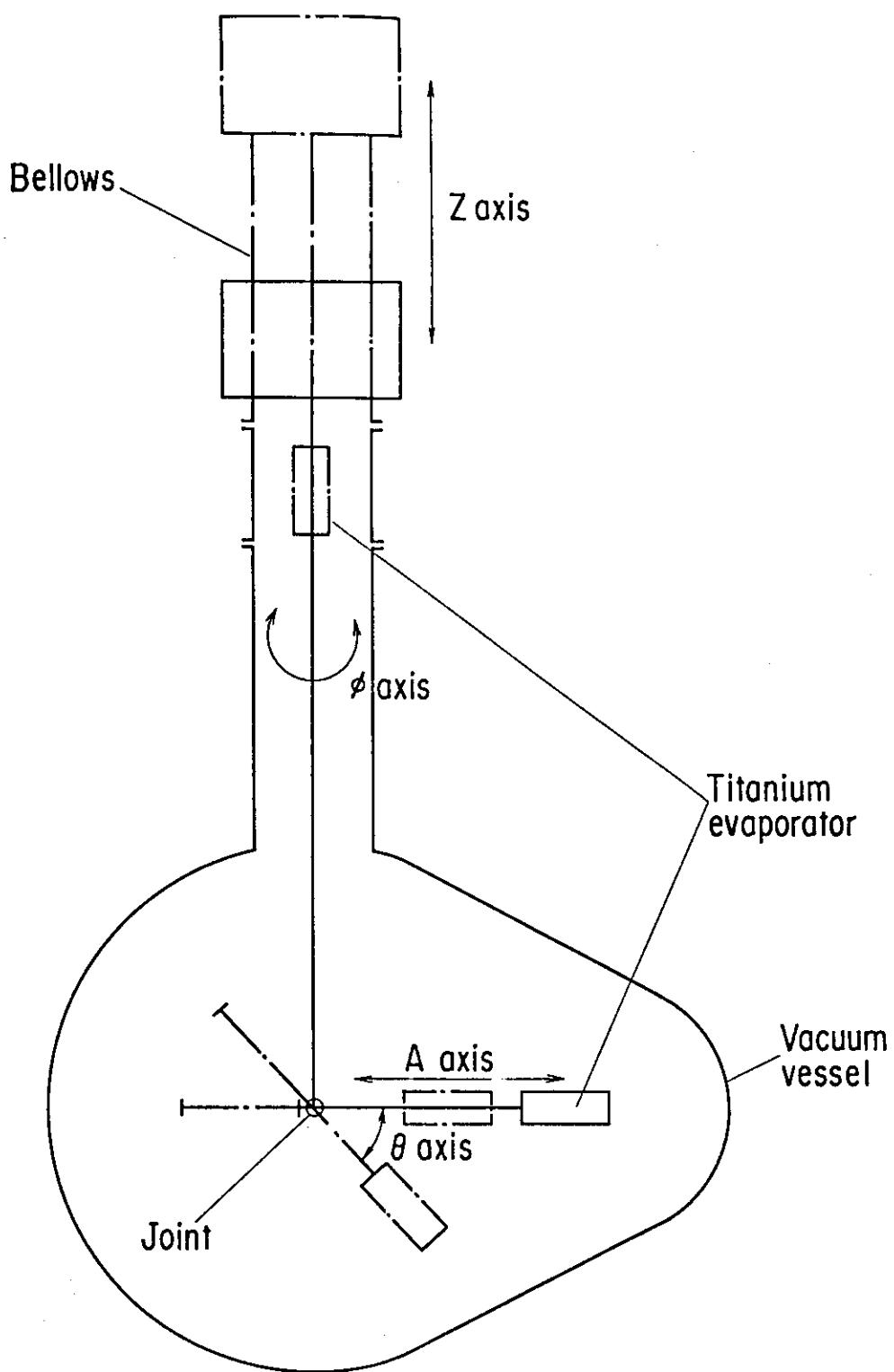


Fig.2.1 Basic motions of the manipulator.

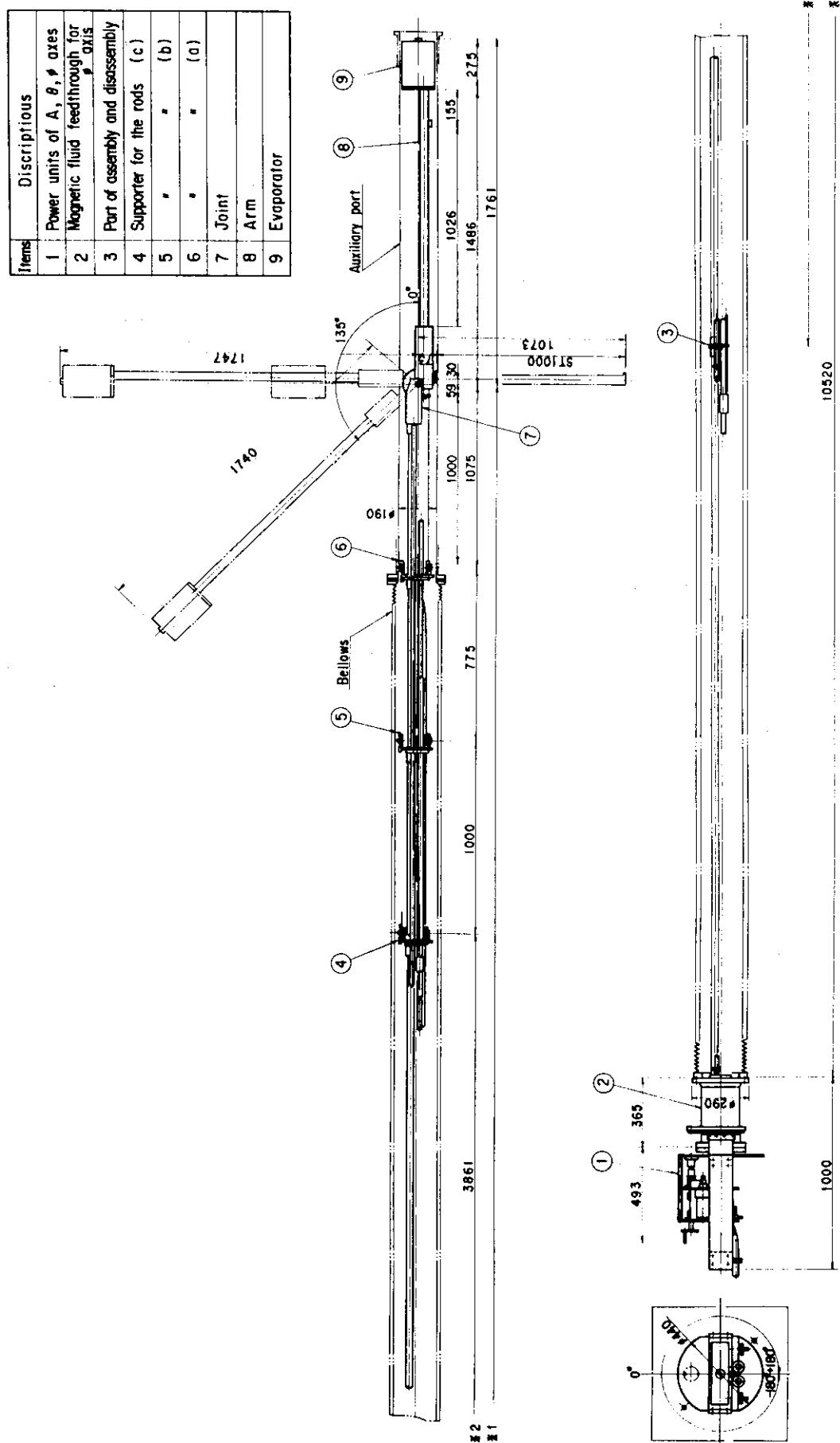


Fig.2.2 Exterior view of the manipulator.

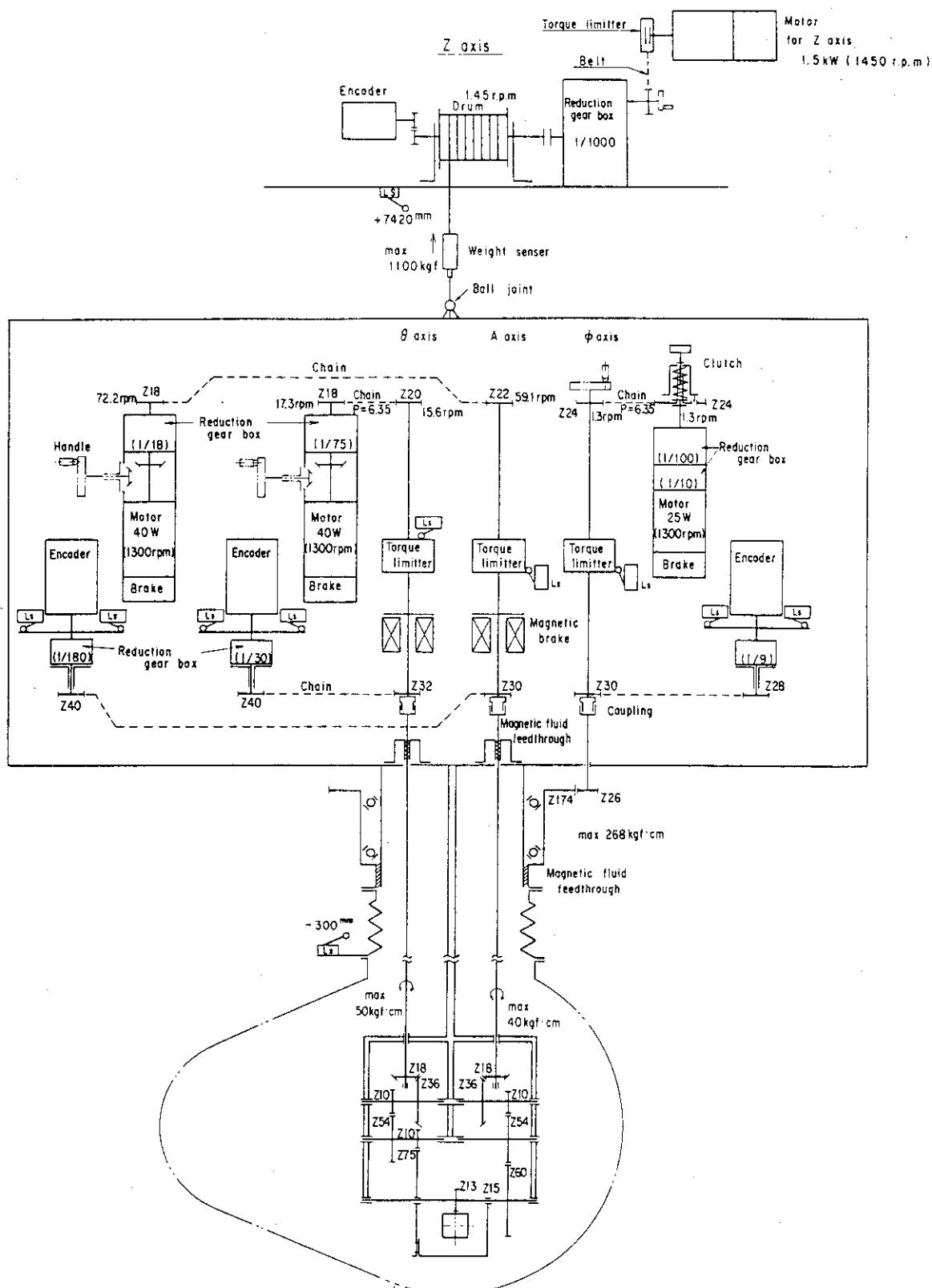


Fig.2.3 Driving mechanism of the manipulator.

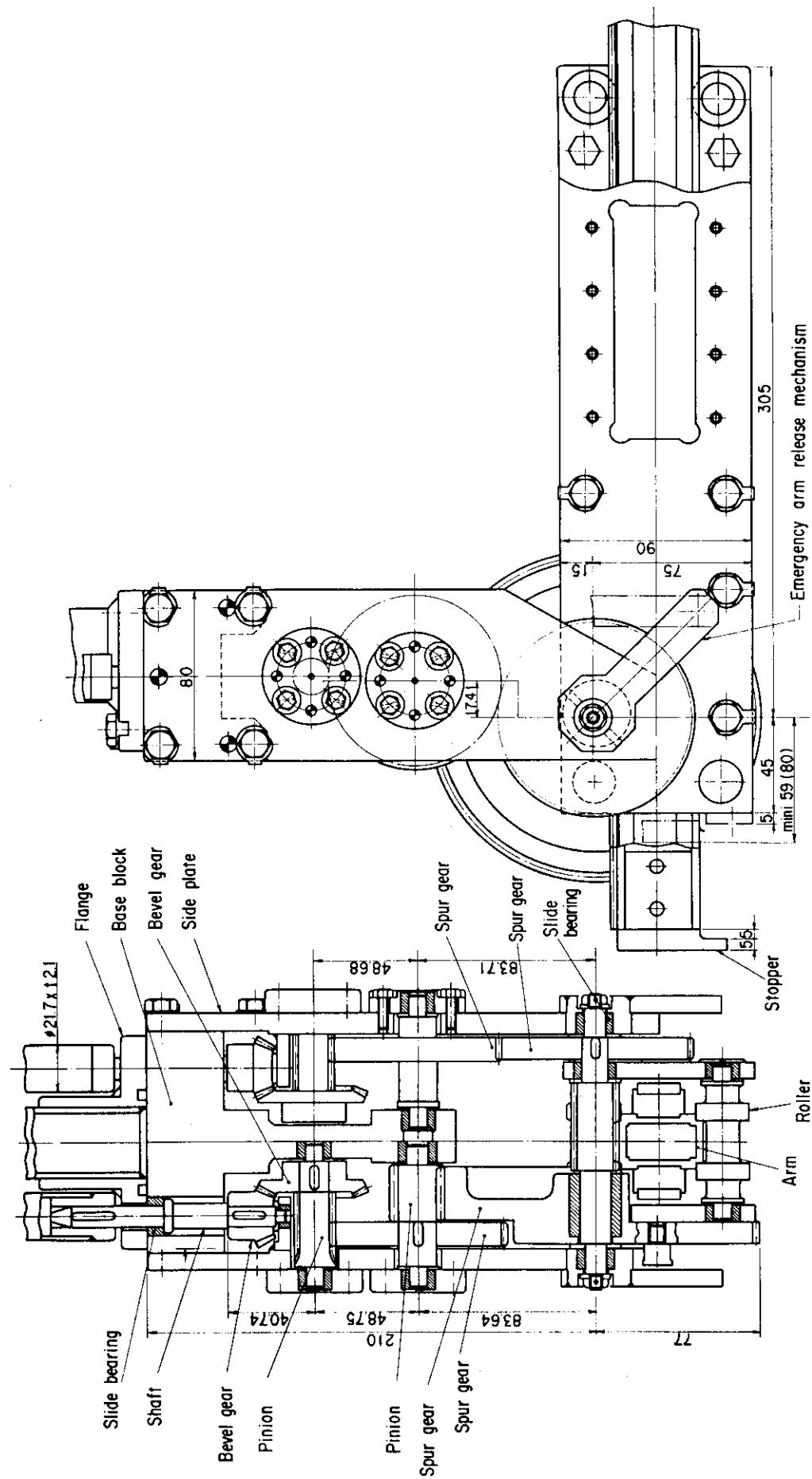


Fig.2.4 Detailed design of the manipulator joint.

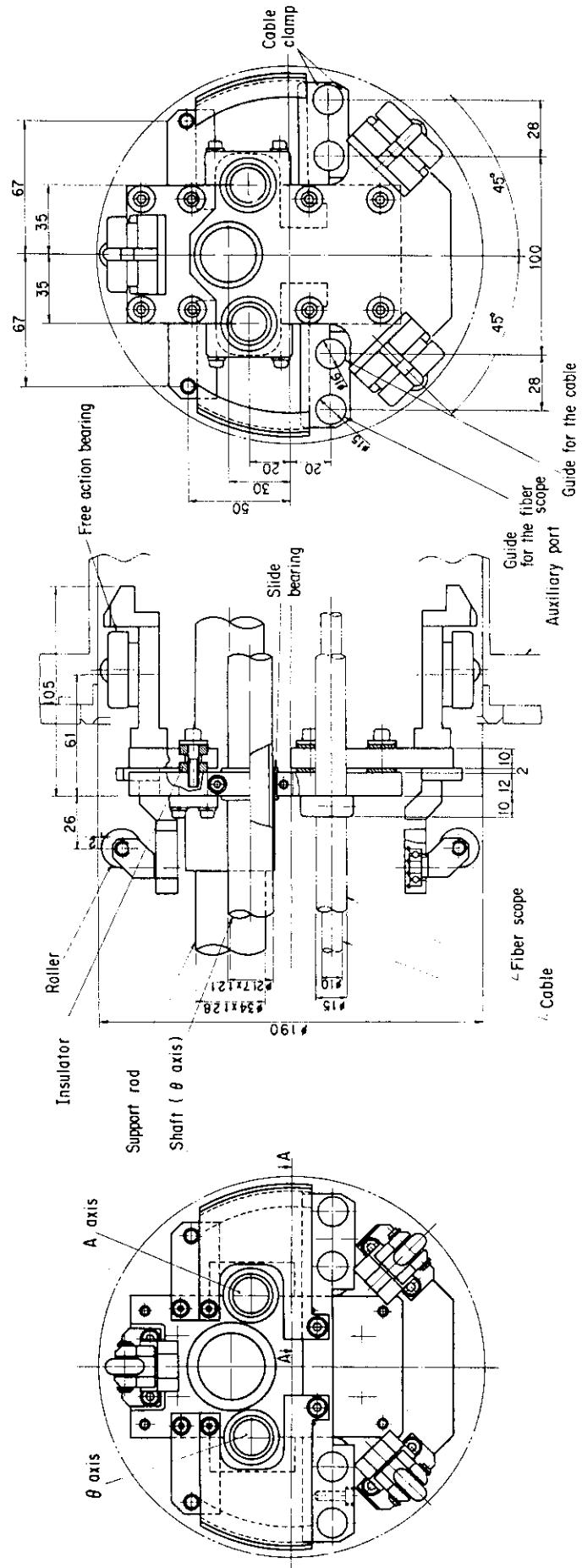


Fig.2.5 Detailed design of the supporter for the rods and the driving shafts.

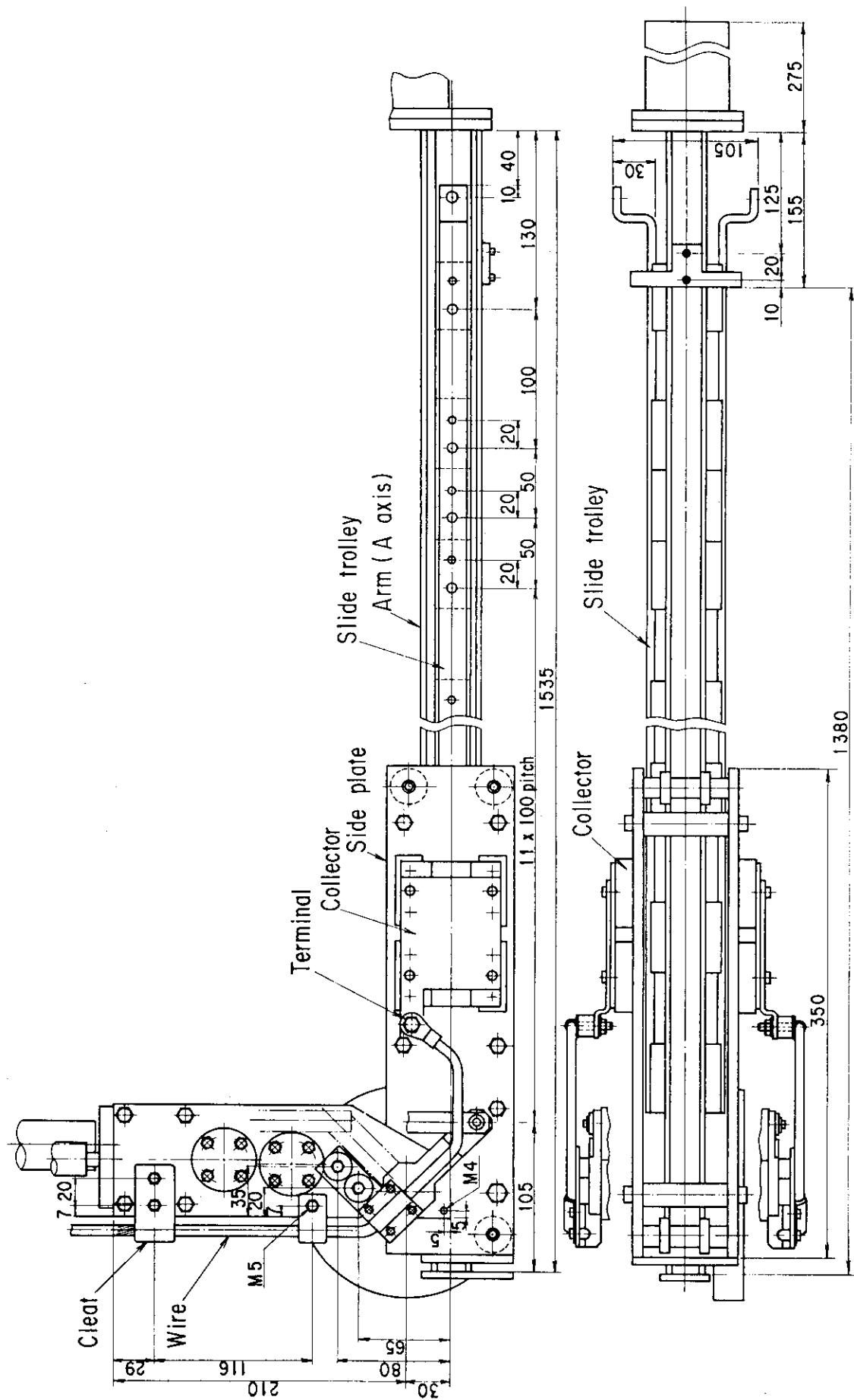


Fig.2.6 Detailed design of the current collectors and slide trolleys.

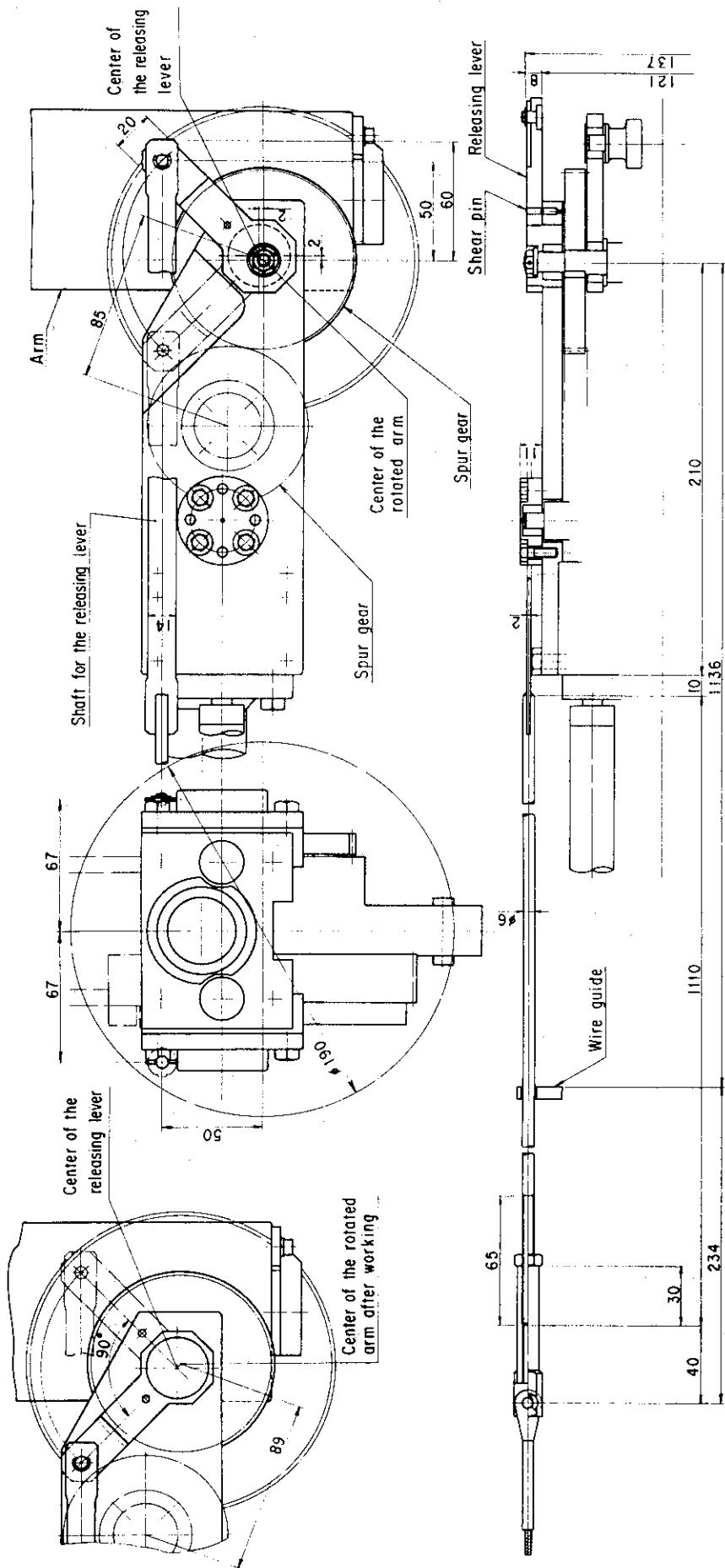


Fig.2.7 Detailed design of the removing mechanism in an emergency.

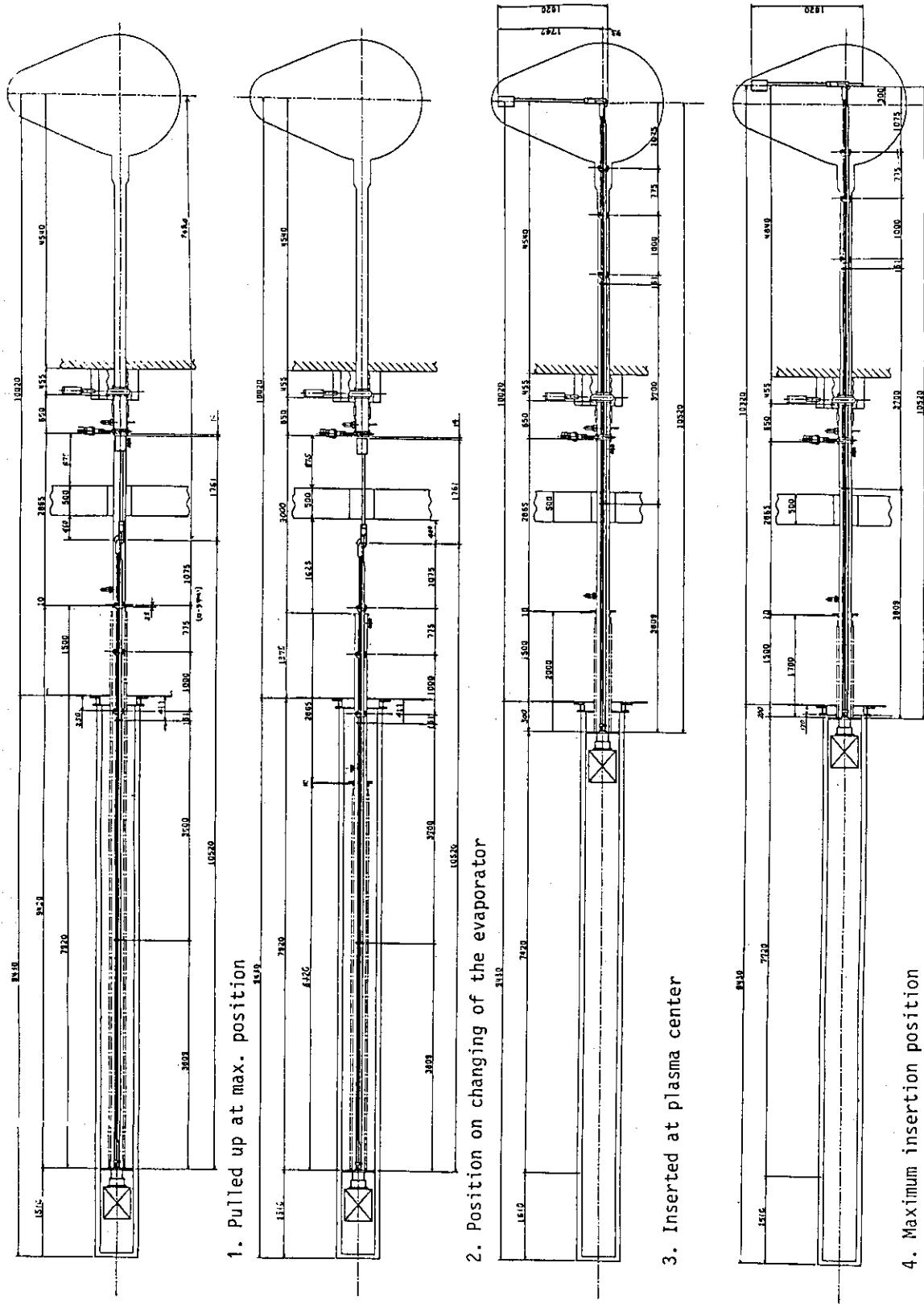


Fig.2.8 Various positions of the manipulator.

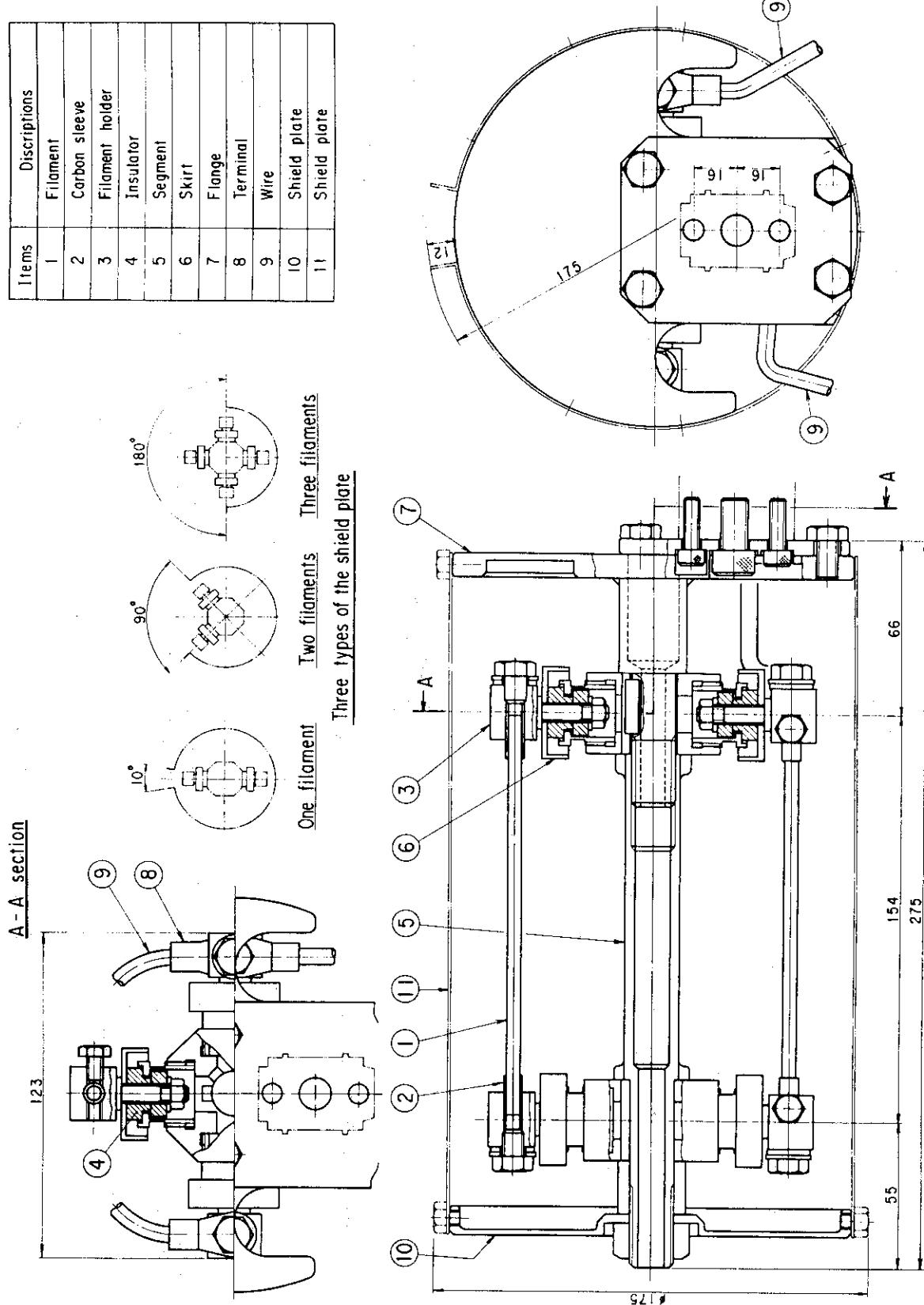


Fig.2.9 Detailed design of the titanium evaporator.

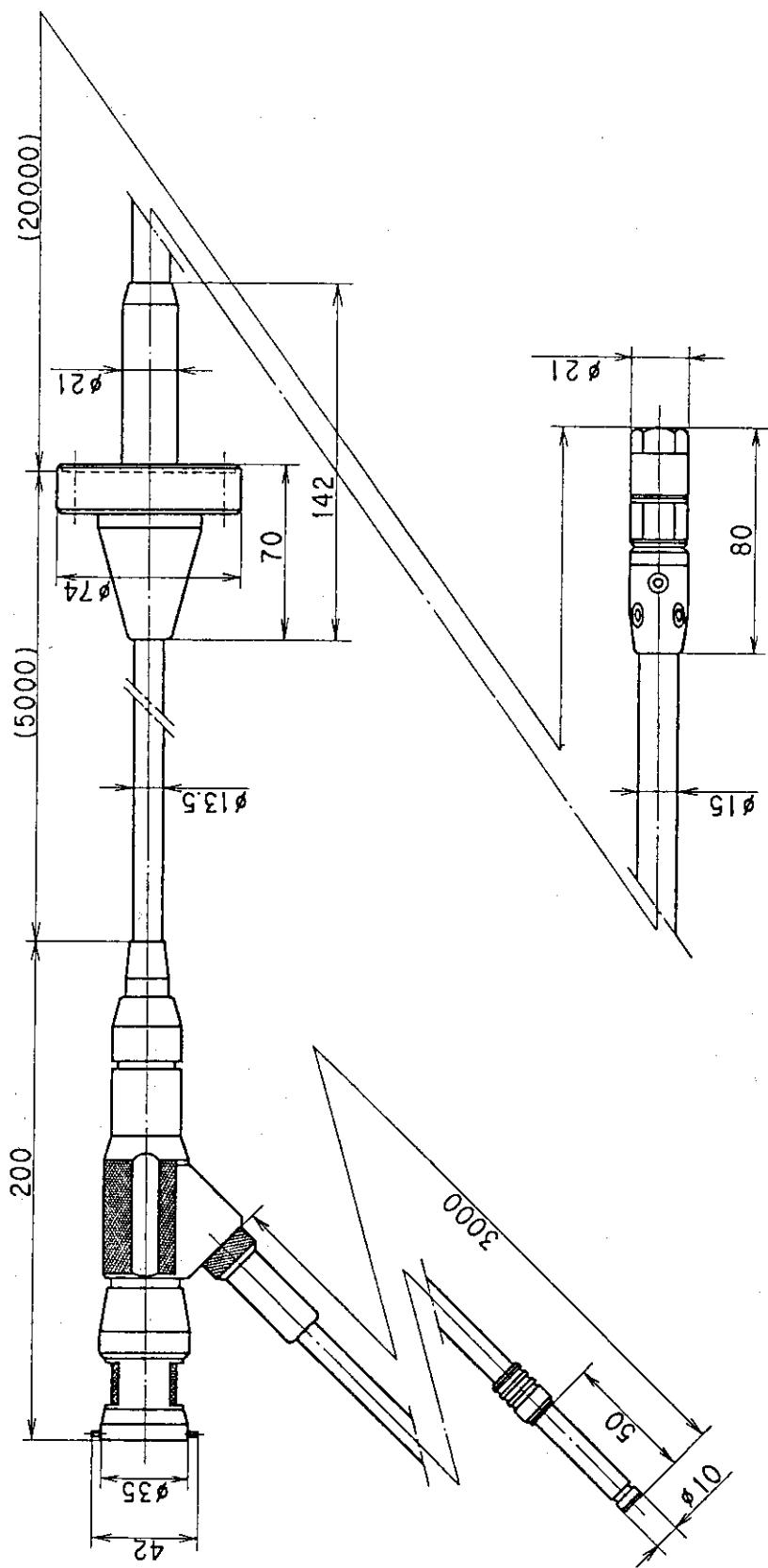


Fig.2.10 Detailed design of the fiberscope for the observation system.

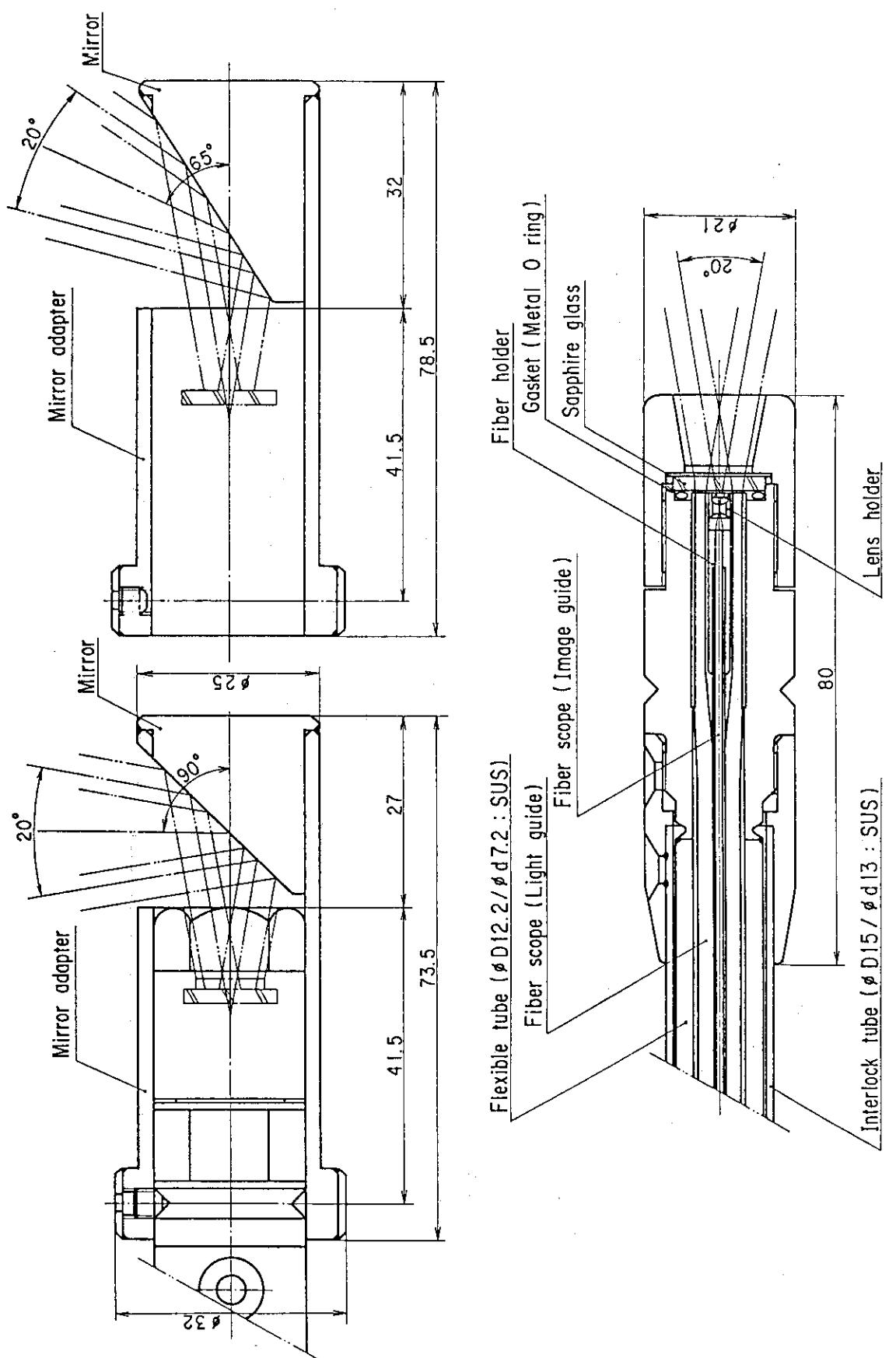


Fig.2.11 Cross section of the fiberscope tip.

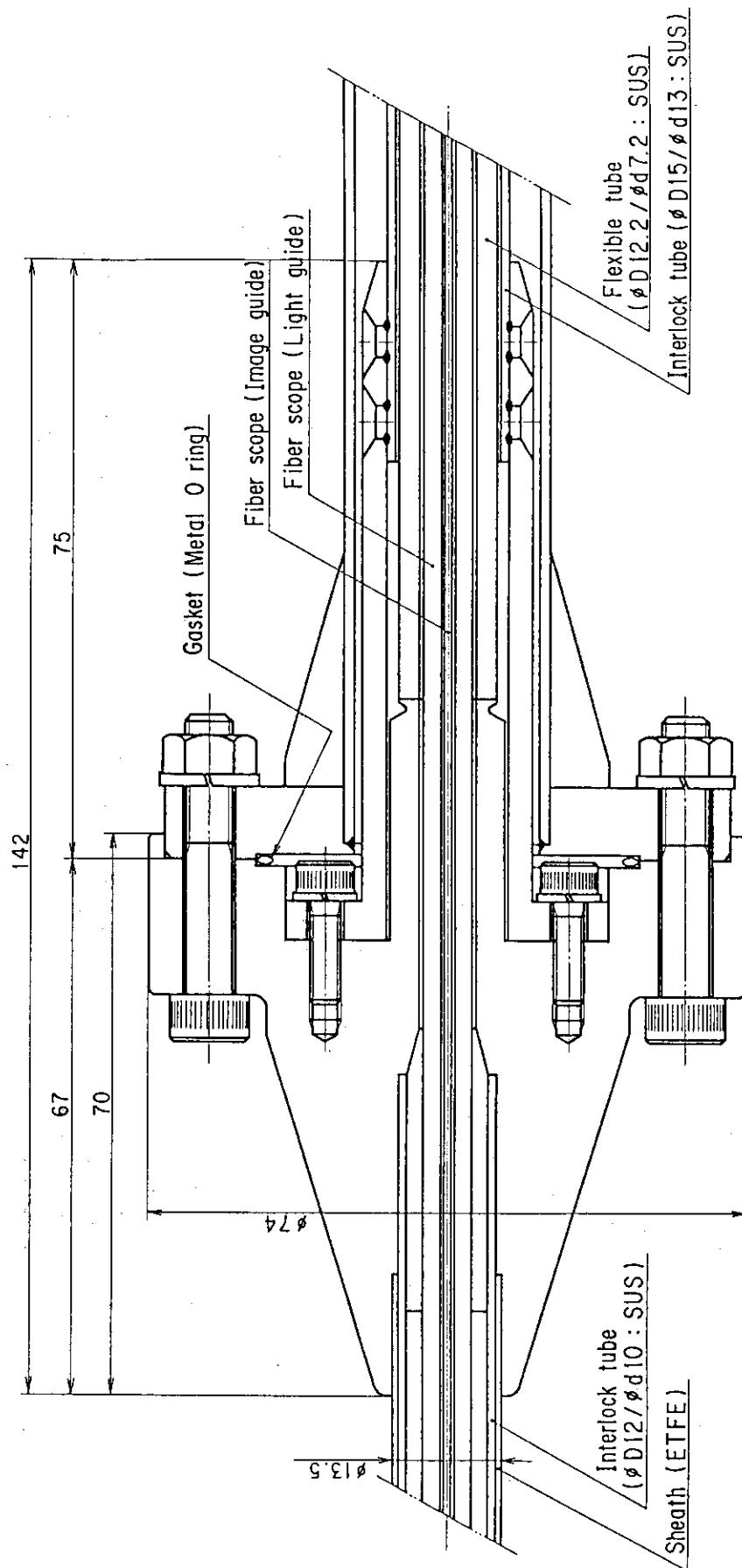


Fig.2.12 Cross section of the fibrescope at the vacuum barrier.

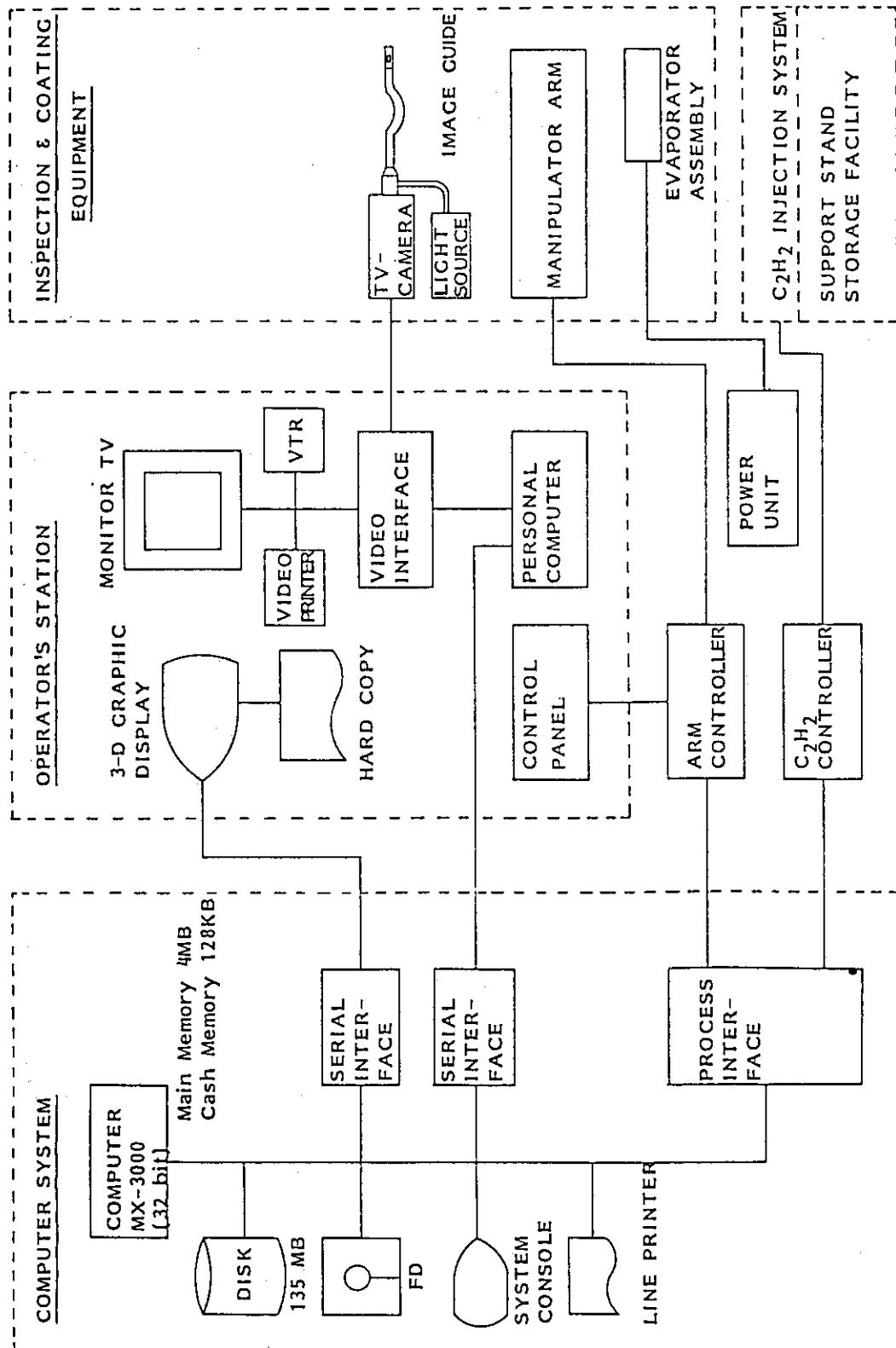


Fig.2.13 Configuration of control system.

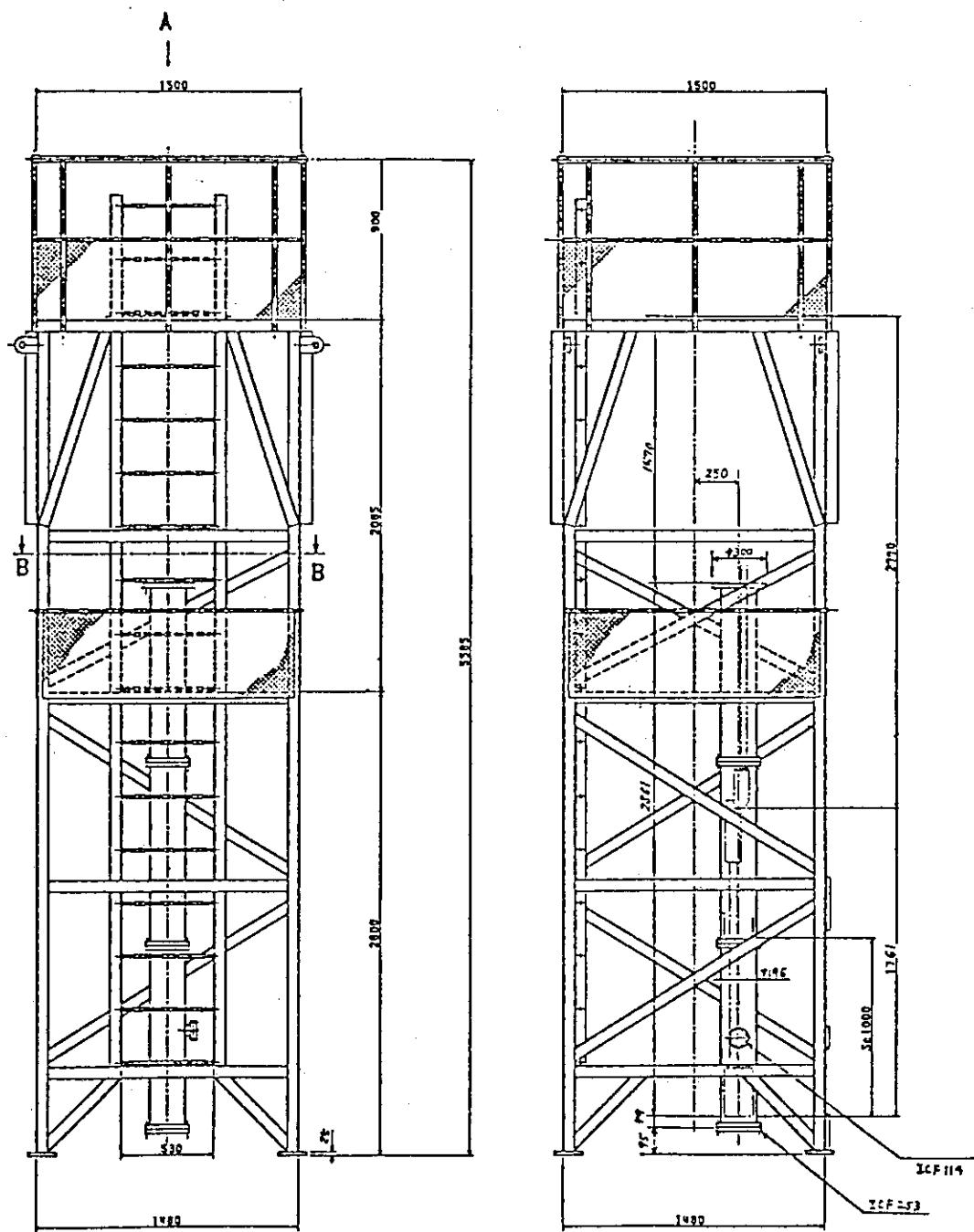
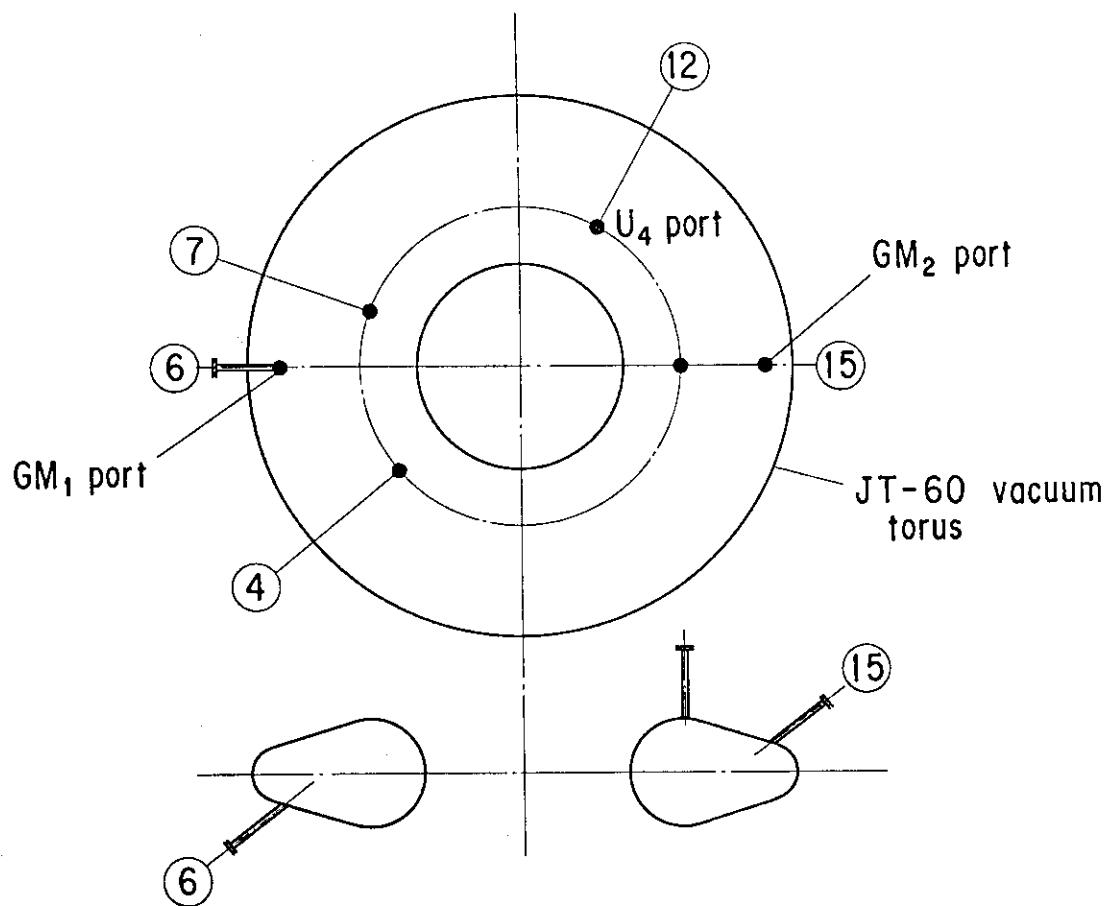


Fig.2.14 Exterior view of the keeping device for the manipulator.



Systems	Port sections	Ports
C ₂ H ₂ injection system-I	(6) (15)	GM ₁ GM ₂
C ₂ H ₂ injection system-II	(4), (7), (12), (15)	U ₄ (upper)

Fig.2.15 Arrangement of the ports for the acetylene gas injection system.

3. 制御と操作

3.1 機能及び構成

3.1.1 機能

(1) 設計方法

本システムには、計算機によるマニプレータの駆動軸制御、真空容器内第一壁（以下内壁とする）上への炭化チタン膜（チタン膜を含む）作製のための蒸着制御及び装置の運転状態を監視する機能が要求される。制御装置の設計は以下の方針に基づいて行った。

1) フェイルセーフ

アームの駆動範囲及びチタンフィラメントに通電する蒸着電流は、ハード、ソフトの両面で適切に保護動作を行い、装置の損傷及び他設備に干渉しないようにすること。

2) 駆動軸の位置監視

アームをはじめとする各駆動軸（以下各軸とする）の位置を高速で収集、演算し、連続的に監視できること。

3) 運転の容易性

真空容器内に挿入されたマニプレータの位置及び作製される炭化チタン膜の分布などを運転員の視覚で把握できるようにすること。

三次元グラフィックを用い、各軸の駆動状況をC R Tに表示すると共に表示が駆動に追従するよう演算処理の高速化をはかること。

(2) 機能

本システムの有する機能は次のとおりである。

1) 各軸のシュミレーション

指定された位置への動作を予めシュミレーションし、その状況をC R Tに表示する。各軸の動作位置は、Fig. 3.1に示すようにJ T-60において慣用されているトロイダル及びポロイダル座標系、各軸の回転角度や駆動距離から求められる相対座標系で駆動位置を入力できる。

駆動中に壁面とアームが干渉する場合や壁面のうちポート領域面での蒸着を禁止する領域にアームが停止された場合などには、シュミレーション動作を一時停止し、運転員が該当する指定座標を削除した時点からシュミレーション動作を再開するとともに、除外した指定座標位置は、C R T表示できるようにした。

2) 各軸の制御

アームを目標位置に移動させるため、各軸の動作方向及び速度を制御できる。各軸が駆動中には、アーム先端及び後端位置と壁面との距離を常時演算し、規定の動作範囲内で動作するよう監視を行っている（ソフトリミットチェック）。各軸を実際に駆動する場合、まず制御指令を与え各軸が駆動したとしてソフトチェックを行い、壁面

と干渉しない各軸の選択を行う。次いで駆動指令を発行しアームを動作させる。軸が動作中の移動時間は常時監視し、所定の時間を超えても移動が完了しない場合には動作異常の表示を行うとともに移動動作を自動的に停止できる。

3) 蒸着監視

炭化チタン膜を壁面に蒸着する時には、チタンフィラメントの通電電流、電圧及び蒸着中のプロセス条件を監視する。蒸着時間は、通電電流が約 150 A に到達した時から時間積算を行い、指定された蒸着時間になると自動的に通電を停止すると共に運転員に通知する。蒸着時のプロセス状態（通電電流、真空容器温度、真空容器圧力）が所定の値を超えた時には警報表示を行い、運転員の介入によって適切なプロセス値に回復できる。

4) 蒸着シミュレーション

指定する膜厚が得られる条件をプロセス条件、アーム位置などの入力値から演算し、適正な蒸着条件を運転員に通知できる。これらの出力値に従って得られる膜厚分布は、蒸着時間の経過に対応させ C R T に表示される。

5) 内部観察

壁面の損傷状態を観察できる。アームに取付けられるファイバースコープのアダプタの種別によって求められる観察可能な壁面範囲と、マニプレータの位置情報及び指定された壁面範囲を観察可能とするファイバースコープの種別を指定することで適切な観察条件と各軸の位置について運転員に観察に関する種々の情報をガイドできる。また、観察中に得られた壁面の損傷状態を記録する傷リストの作成も行うことができる。

観察動作に先立っては、駆動シミュレーションを用いて指定したイメージガイドでの観察可能位置の表示、観察面に対する各軸の動作位置について目標座標を登録できる。

観察中は、手動操作でアーム位置を変更し、観察面を鮮明に C R T に表示できる。また、アーム動作を自動操作に切換えることにより、登録した座標に従って観察を再度自動的に行うことができる。

6) 運転監視

その場装置の運転状態を監視するため、プロセスデータを周期的に収集し、C R T に表示するとともに警報発生時にはその異常内容を C R T に自動表示する。

観察及び蒸着回数の履歴、壁面の傷及び補修履歴などを管理するデータファイルの作成も行える。

7) データベース変更機能

本システムで用いる真空容器の形状、真空容器に取付いている各種ポートの取付け位置及び形状などのデータは、指名されたシステム管理者によってのみデータを修正できる。

3.1.2 ハード構成

本計算機システムの構成を Fig. 3.2 に示す。中央制御室には操作ディスク、計算機が設置される。現場にはシーケンサを収納した現場制御盤等を設け、計算機とシーケンサ間は、P I/Oバスドライバで接続され駆動指令及びプロセス入出力管理が行われる。

壁面観察の観察画面はパーソナルコンピュータの C R T に表示され、観察位置や損傷状態の入出力は R S 422 規格で計算機に接続されている。

シーケンサでは、手動操作によるマニピレータの駆動の他計算機の指令に従った動作を行うこととし、また計算機が異常の場合は、マニピレータの動作についてバックアップ動作を行えるように設計されている。

計算機は、真空容器内面の複雑な環境でのマニピレータの動作や他設備との干渉を防止するよう各軸の制御を行っている。なお、手動操作でマニピレータを駆動している場合（シーケンサ主導）には、アームと壁面との距離を常時監視し、アーム駆動状態と真空容器内面を C R T 表示するように設計を行った。

本計算機システムでは、各軸の駆動制御及び C R T 表示演算に高速化が要求されるため、以下の性能を目安とした。

(1) 演算処理時間

1) 各軸の位置監視

各軸の位置入力の監視は次の手順に従う。

はじめにデータの取込み、次に干渉チェックを行う。干渉チェックは、アーム先端及び後端位置、さらにソフトチェック位置を確認し、次に動作指令に従い駆動したとして衝突までの駆動ステップを計算し、衝突を回避すべく駆動軸の選択を行う。

概略の演算時間は 1 軸あたり次の値となる。

データ入力時間	0.2 ms
---------	--------

干渉演算

先端干渉チェック	2.0 ms
----------	--------

後端干渉チェック	1.0 ms
----------	--------

ソフトチェック	0.5 ms
---------	--------

動作演算

先端位置	5.0 ms
------	--------

後端位置	5.0 ms
------	--------

衝突までの駆動	1.0 ms
---------	--------

これより駆動可能な 4 軸すべての演算時間は約 58.8 ms となる。

2) 各軸の動作

各軸の動作は、アーム駆動中の動作保護と実動作時間等を含め、1 軸あたり 4.5 ms 程度となるので 4 軸では約 18 ms となる。

3) C R T 表示

内部観察動作時には、RS422 規格でデータの送受信を行うので演算及び C R T への表示時間が長くなる。データの転送バイトを 7680 バイト / s とした時、C R T 表

示されるまでの時間は、画面表示データ、プログラムのロード時間及びアプリケーションソフトでの演算時間から求められる。

4) 画面表示データ

アーム動作	7000 バイト
内部観察位置	5000 バイト
アーム位置	3360 バイト

これより約 2.1 ms となる。通常のアーム駆動の場合には画面データの転送がないので、充分に駆動時間内に各軸の位置などを表示できる。

(2) 機器仕様

主要機器の概略仕様を以下に示す。

- 中央処理装置 (C P U)

型 式	MELCOM70MX / 3000
主メモリ	4 MB
補助メモリ	135 MB

- ディスプレイ

三次元グラフィック C R T D S 301 B

- インターフェイス

観察装置	R S 422
三次元ディスプレイ	R S 232 C
制御装置	プロセス入力

3.1.3 ソフト構成

本計算機システムでは、計算機固有のオペレーティングソフト (O S 60) に加え、研究開発用支援ソフトとして U N I X を用い、ソフトの製作及びデバッグ効率を高められるようにソフトプログラムを構築させた。また、固定ディスク装置のバックアップはフロッピディスク装置で行うこととし設計を進めた。

主記憶装置のメモリは次のプログラムに割り当てる。常駐領域にはシステムプログラム (O S 60, U N I X), P I / O ハンドラ及び真空容器などの基本形状寸法に関するデータ情報、非常駐領域には各軸の駆動制御、蒸着シュミレーションと監視プログラム及びプロセスデータ収集プログラムと C R T 表示プログラムを割り当てる。

固定ディスクにはシステムファイルとアプリケーションファイルの登録を行うことにした。アプリケーションファイルとしてはプログラムファイル、ソースファイル、データファイルそれにワークファイルである。

3.2 制御アルゴリズム

3.2.1 駆動軸の制御アルゴリズム

本計算機システムの制御対象であるマニプレータは、4軸を有し、各軸は電動モータで低速及び高速に切換えて駆動できる。4軸それぞれの動作方向については、2.1.1項及びFig. 2.1を参照されたい。

(1) 基本式

トーラス中心を原点として、X-Y-Zの直交座標系を設定する。Fig. 3.3 に示すようにトロイダル角度を α 、ポロイダル角度を β とした時の壁面位置(X_w , Y_w , Z_w)は以下のようにあらわせる。

$$X_w = (R_t - R_p \cos \beta) \sin \alpha \quad (1)$$

$$Y_w = (R_t - R_p \cos \beta) \cos \alpha \quad (2)$$

$$Z_w = R_p \sin \beta \quad (3)$$

マニプレータを挿入するポートのトロイダル角を α_0 とすると、マニプレータの支持位置 P_o (X_o , Y_o , Z_o)は以下のようにあらわせる。

$$X_o = R_t \sin \alpha \quad (4)$$

$$Y_o = R_t \cos \alpha \quad (5)$$

$$Z_o = Z \quad (6)$$

アーム全長 L のうち、アーム回転部中心から前方の長さを A 、アームの先端に取り付く付属品の長さを λ_1 としたとき、アーム先端位置 P_F (X_F , Y_F , Z_F)及びアーム後端位置 P_B (X_B , Y_B , Z_B)はFig. 3.4 に示すように次の式であらわせる。

P_F の座標

$$X_F = X_o + (A + \lambda_1) \sin \theta \cdot \sin(\phi + \alpha_0) \quad (7)$$

$$Y_F = Y_o + (A + \lambda_1) \sin \theta \cdot \cos(\phi + \alpha_0) \quad (8)$$

$$Z_F = Z_o - (A + \lambda_1) \cos \theta \quad (9)$$

P_B の座標

$$X_B = X_o - (L - A) \sin \theta \cdot \sin(\phi + \alpha_0) \quad (10)$$

$$Y_B = Y_o - (L - A) \sin \theta \cdot \cos(\phi + \alpha_0) \quad (11)$$

$$Z_B = Z_o + (L - A) \cos \theta \quad (12)$$

マニプレータの駆動では、A軸、即ちアームの先端、後端位置と真空容器内壁との衝突を回避するためのチェック（ソフトリミットチェック）が常時必要である。制御上は次の式を用いてソフトリミットを行っている。

先端位置

$$D_F = \left\{ \sqrt{X_F^2 + Y_F^2} - R_t \right\}^2 + Z_F^2 \quad (13)$$

後端位置

$$D_B = \left\{ \sqrt{X_B^2 + Y_B^2} - R_t \right\}^2 + Z_B^2 \quad (14)$$

上式で求められた D_F 、 D_B が、あらかじめ決められてあるソフトリミット値 D_c を超えた場合はリミットオーバとしてCRTに表示される。なおアームがダイバータ室内に侵入する場合はソフトリミットは解除される。

(2) 各軸の制御

各軸を現在位置から目的位置まで移動させる駆動制御は次のように行っている。

軸は、Z、 ϕ 、A、 θ の順に個別にソフトリミットを超えない範囲まで移動し、全軸が目標位置に到達するまでその動作を繰り返す。動作はまず高速で目標位置近辺まで近づけ、その後は低速で移動する。このため、ソフトリミットは、高速移動が可能な領域と、実際に真空容器内壁との接触を防止するための領域の二つにわけられる。

ソフトリミットチェックのために必要な真空容器の管理データとして、真空容器はプラズマ水平面からダイバータ室を仰ぐ領域を除いて円形とし、プラズマ中心から壁面の許容駆動半径をシステム管理データとして入力してある。またダイバータ室領域については、アームをプラズマ水平面に平行にさせた状態で駆動可能とし、許容アーム駆動距離を管理データとして登録させている。

各軸の位置算出にあたっては、マニプレータが取付けられる真空容器ポート位置によって取付け基準が異なること、またZ軸及びA軸が撓むこと、さらにその場装置は高温状態の環境で使用されるため各軸の長さについては温度補正等が必要になる。本計算機システムでは、マニプレータを取付けるポート位置を入力することによって自動的に取付け基準の補正を行い、またモーメントによる位置補正については、読み込み値の補正及び制御目標値の補正を自動的に行っている。また各軸の温度補正については、運転員を介在させることにより補正するか否かを選択できるように設計している。

3.2.2 蒸着アルゴリズム

第一壁上への炭化チタン膜の蒸着（コーティング）では、運転員が与える蒸着条件やプロセス条件などから、チタンフィラメントの装着条件、アーム位置、膜厚分布などを運転員にガイドする役目の他、実際の蒸着時にはフィラメント通電電流、積算蒸着時間及び膜厚分布などの制御監視を行う必要がある。

以下に膜厚分布の演算と蒸着シミュレーションの処理フローについて述べる。

(1) 膜厚分布の演算

長さ ℓ cm, 蒸着速度 $mg \cdot s^{-1}$ の線状蒸発源が半径 b cm, 長さ ℓ cm の円筒表面に張りついた蒸発源を考え, 空間の任意の点における蒸発チタンの流速を求める (Fig. 3.5 参照)。

線状蒸発源による点Rの流束を

$$\Psi = (\Psi_x, \Psi_y, \Psi_z) \quad (15)$$

とすると

$$\Psi_x = \frac{m}{2\pi^2 \ell} \left(\frac{1}{a} \right) \left(\frac{\cos 2\omega_H - \cos 2\omega_L}{2} \right) \quad (16)$$

$$\Psi_y = \frac{m}{2\pi^2 \ell} \left(\frac{1}{a^2} \right) \left(\omega_H - \omega_L + \frac{\sin 2\omega_H - \sin 2\omega_L}{2} \right) \quad (17)$$

$$\Psi_z = \frac{m}{2\pi^2 \ell} \left(\frac{z}{a^2} \right) \left(\omega_H - \omega_L + \frac{\sin 2\omega_H - \sin 2\omega_L}{2} \right) \quad (18)$$

となる。ここで

$$H = h - z + b \cos \sigma \quad (19)$$

$$Y = y - b \sin \sigma \quad (20)$$

$$a = \sqrt{H^2 + Y^2} \quad (21)$$

$$\tan \omega_H = \frac{x + \ell/2}{a} \quad \tan \omega_L = \frac{x - \ell/2}{a}$$

点Rにおいて蒸着フィラメントのチタン密度を $\rho g \cdot cm^{-3}$ とした時, 単位法線ベクトルKの面上の単位時間あたりの析出速度 t (蒸着速度 $cm \cdot s^{-1}$) は次の式から求められる。

$$t = \frac{\Psi \cdot K}{\rho} \quad (22)$$

真空容器は Fig. 3.6 に示すようにトーラス状の曲面を成しているので, 蒸着面Rがトーラス表面にある条件は,

$$A = \begin{cases} (R_C + r_C) \cos \nu + \sqrt{r_C^2 - (R_C + r_C)^2 \sin^2 \nu} & |\nu| \leq \nu_C \\ R_C \sec(\alpha_C - |\nu|) & \nu_C < |\nu| \leq \alpha_C \\ R_C & \alpha_C < |\nu| \leq \pi \end{cases} \quad (23)$$

であらわせる。ここで α_c , ν_c は以下の式から求められる。

$$\cos \alpha_c = \frac{R_c - r_c}{R_c + r_c} \quad (24)$$

$$\tan \nu_c = \frac{2 r_c \sqrt{R_c r_c}}{R_c (R_c + 3 r_c)} \quad (25)$$

これより点 R を $x - y - z$ 座標であらわすと

$$x = (R_t + \Lambda \cos \nu) \cos \mu \quad (26)$$

$$y = (R_t + \Lambda \cos \nu) \sin \mu \quad (27)$$

$$z = \Lambda \sin \mu \quad (28)$$

となる。

同様にフィラメント位置 (x_q , y_q , z_q) をアームの座標系に変換する。フィラメントの方向を ξ 軸, アームの腕と Z 軸を含む平面の法線を η 軸となるような座標系に点 R (x , y , z) を $\zeta - \eta - \xi$ 座標に変換すると (Fig. 3.7 参照)

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \\ z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} x_q \\ y_q \\ z_q \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \cos \Phi_Q & -\sin \Phi_Q & 0 \\ \sin \Phi_Q & \cos \Phi_Q & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \sin \Theta_Q & 0 & -\cos \Theta_Q \\ 1 & 0 & 0 \\ \cos \Theta_Q & 0 & \sin \Theta_Q \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \zeta \\ \eta \\ \xi \end{Bmatrix} \quad (29)$$

点 R (ζ , η , ξ) の流速 (ψ_ζ , ψ_η , ψ_ξ) が求まるので、再度 $x - y - z$ 座標に流速を変換して蒸着流速を次の式から求めた。

$$\begin{Bmatrix} \Psi_x \\ \Psi_y \\ \Psi_z \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos \Phi_Q & -\sin \Phi_Q & 0 \\ \sin \Phi_Q & \cos \Phi_Q & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \sin \Theta_Q & 0 & -\cos \Theta_Q \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos \Theta_Q & 0 & \sin \Theta_Q \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \Psi_\zeta \\ \Psi_\eta \\ \Psi_\xi \end{Bmatrix} \quad (30)$$

(2) 蒸着処理フロー

蒸着処理は運転モードの決定、蒸着条件の設定、フィラメント装着条件の決定及び膜厚分布計算、プロセス条件の検査に分類される。

シュミレーションで得られた各軸位置にマニプレータを駆動させた後、まずフィラメントに電流を通電する。フィラメント温度の上昇に伴ないチタンの蒸発を推定した後（フィラメント通電電流の変化により確認）アセチレンガス注入系からアセチレンを真空容器内に注入する。最適な化学組成比の炭化チタン膜は、蒸着面に入射するチタン原子数とアセチレン原子数の比が30以上の場合作製されることが予備試験で確認されてい

る。従って、この原子数比を維持するようにアセチレンの注入量を制御する。注入されたアセチレンガスはチタンとの反応により水素ガスを生成するため蒸着時は常時真空容器内の圧力を監視することが重要である。

3.3 操 作

3.3.1 運転操作

本装置の運転では、まず真空容器内第一壁の損傷状態を観察し、その結果にもとづき蒸着の決定、方式を運転員が判断する。蒸着後は再度容器内第一壁を観察し、補修の結果を確認する。全体の運転フローを Fig. 3.8 に示す。観察及び蒸着に際しては、アーム駆動のシュミレーションを行うとともに観察対象壁面に適したファイバースコープや蒸着作業に対し、最適な運転条件を選択するためのオペレーションガイド（3.3.2 後述）を運転員に通知し、机上での作業条件や手順等を検討できるようにしてある。

(1) マニピレータの駆動

マニピレータは、引き抜き位置からシーケンサを介して真空容器内プラズマ中心位置（原点と呼ぶ）まで挿入される。原点位置から駆動開始指令に従い目標位置にマニピレータを移動させる方法としては、自動、半自動及び手動がある。

自動運転は登録されている何点かの目標位置の第1目標位置にマニピレータを移動し、その位置での作業を終えた後確認動作（前進キイ）によって次の目標位置に移動する運転方式である。前進の他後進によって通過した目標位置に逆戻りすることも可能である。

半自動運転は、ある目標位置にあるマニピレータの次の目標位置を、あらかじめ登録してある目標位置とは別に、新しい目標位置に設定しマニピレータを移動するためのもので、新しい目標値での作業が終了した後は自動運転に戻す運転方式である。

手動運転は、すべての軸をオペレータの判断にて操作し、マニピレータ位置を変更させる運転方式である。内部観察動作時の運転制御のフローを Fig. 3.9 に示す。

(2) 観察運転フロー

アームは手動または登録された駆動プログラムに従い動作する自動モードによって操作される。自動では、まず C R T に表示される真空容器壁面のトロイダル及びポロイダル座標を用いて観察座標を入力する。次にオペレータガイドに従い、観察対象面に適するファイバースコープのアダプタなどの観察条件を入力し、観察目標位置にアームを駆動可能か否かのシュミレーションを行う。観察目標位置への駆動が不可能な場合には、その目標値を削除し、最終的には動作可能な観察目標位置についてのみ自動操作のための制御位置指令ファイルを作成する。

このファイルに従いアームを動作させ C R T に表示される真空容器第一壁上の傷やその位置などの観察情報は損傷程度を書き加えたコメントとともにリスト登録される。

観察運転フローを Fig. 3.10 に示す。アームの駆動操作では、自動操作から強制的に手動操作に切り換えることにより、真空容器壁面の損傷を拡大させたり鮮明に表示することができる。確認後は再度制御位置指令に従い駆動される。

(3) 蒸着運転フロー

蒸着運転フローを Fig. 3.11 に示す。まず傷リストの結果を C R T に三次元的に表示し、真空容器第一壁上の損傷状態が確認される。次に補修の対象となる領域とそこに蒸着する炭化チタンの膜厚を指定し、蒸着シュミレーションで膜厚分布やプロセス条件及びチタンフィラメントの取り付け員数が運転員にガイド表示される。またマニピレータの各軸もシュミレーションされた結果等にもとづいて動作を開始する。

蒸着動作中は、蒸着電流、蒸着積算時間及び作製される炭化チタン膜厚を C R T に表示し、蒸着作業終了と共に補修リストを作成し、真空容器第一壁上の各部について損傷状態や補修状態を時系列的に参照できる。

3.3.2 オペレーションガイド

本計算機システムでは、実動作にさきがけファイバースコープアダプタの種別やチタンフィラメント数、作製する炭化チタン膜厚など運転員によって入力された各種の条件に従い、シュミレーションを行い、運転員に最適なプロセス条件を与えられるようにガイドすることができる（オペレーションガイド）。

オペレーションガイドの一例として、内部観察について実際の C R T 操作を含め観察動作までの手順を述べる。

(1) 観察シュミレーション

1) 運転モード選択

運転モードを「内部観察」に、運転方式を「自動」に、マニピレータの駆動目標位置をトロイダル及びポロイダル座標系（「T - P 座標」とする）に選択する。以上の操作によって内部観察を作業目的としたマニピレータは、T - P 座標入力による目標位置に従って動作するよう設定された。オペレータガイドを Fig. 3.12 (1) に示す。

2) 内部観察オペレータガイド

運転モード選択が終了すると自動的に内部観察オペレータガイドが C R T に表示される。表示フォーマットを Fig. 3.12 (2) に示す。

マニピレータの挿入位置、観察対象座標位置、ファイバースコープアダプタの種別を入力すると入力したアダプタの種別に対応して観察可能な範囲がその観察程度によって色別に三段階に表示される。以上の手順でアダプタの種別を変えながら観察対象を選択する。

3) ファイバースコープのガイド

ファイバースコープのアダプタの種別ごとに入力した T - P 座標について観察程度の結果を Fig. 3.12 (3) のフォーマットにまとめて示す。

運転員は、観察可能領域の大きいアダプタの種別をガイド表示を見ながら決定し、ファイバースコープに選択したアダプタを取付ける。

4) 観察条件参照設定

表示選択が「参照」の場合、入力した T - P 座標ごとに選択したアダプタによる観察可能な領域を最大限にするためのマニピレータの駆動位置を表示する。運転経験の

蓄積により観察対象面との視点距離やZ軸位置を変えて観察するなどの条件設定も可能である。また座標の変更も可能である。Fig. 3.12 (4) にC R T表示フォーマットを示す。

5) 内部観察シュミレーション

以上の操作でファイバースコープアダプタの種別、観察対象面の座標及びマニピレータの位置が求められた。観察シュミレーションでは、Fig. 3.12 (5) のC R T表示フォーマットを見ながら目標位置にマニピレータを駆動し、駆動の可否を判断する。この場合、壁面とアーム先端及び後端位置との干渉はソフト的にチェックされる。干渉する場合には、その旨がC R Tに表示される。

運転員は、シュミレーション結果をもとに実観察動作の位置の登録又は削除を決定する他、近傍のT-P座標位置を新たに観察位置として入力できる。

(2) 内部観察の実行

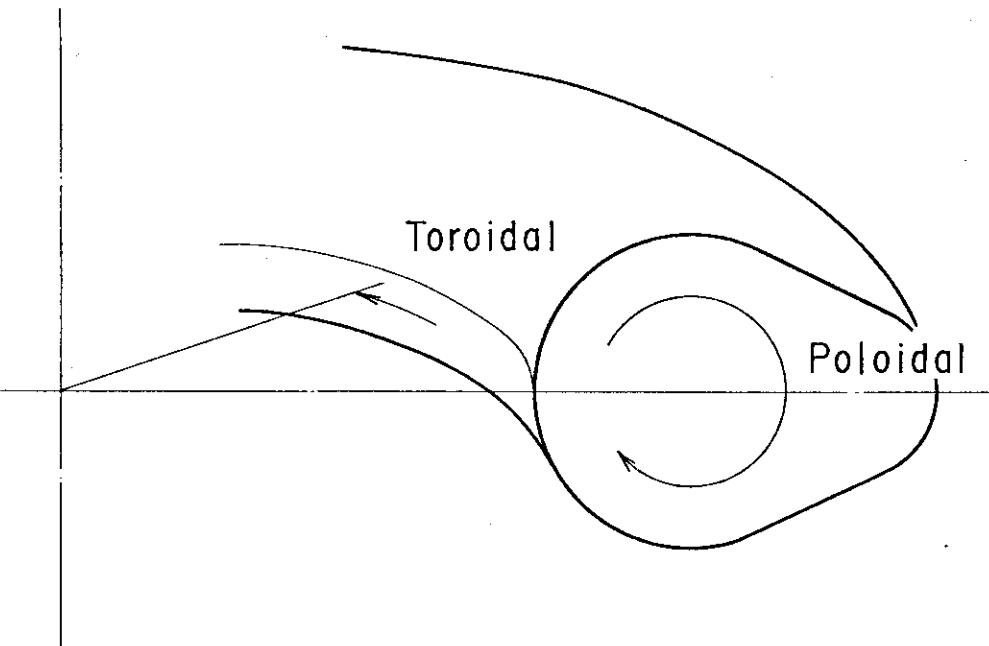
C R T表示画面を内部観察実動作画面に変える。駆動開始スイッチからの指令と同時に最初の目標位置に移動が開始される。前進及び後進キーを操作しながらマニピレータを駆動させる。モニタ用C R Tに写しだされた真空容器内映像を観察しながらマニピレータを駆動する。

観察される内面の損傷状態は、運転員によって損傷程度を区分し、登録する。内部観察動作中のC R T表示フォーマットをFig. 3.12 (6) に示す。観察中にマニピレータを近接する新たな場所に移動させたり、運転方式を手動操作に切り換え操作することもできる。

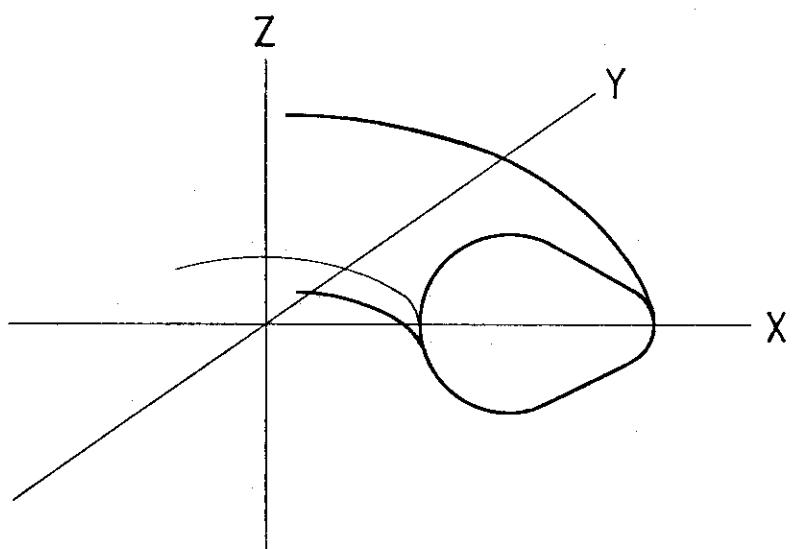
(3) 観察結果

観察結果の表示を行うため、表示方式及び表示範囲を指定する。表示方式では、内面の損傷程度を一覧表示する方式と図形表示する方式が選択できる。表示範囲では、全体表示とマニピレータを挿入したポート毎の表示範囲が選択できる。

Fig. 3.12 (7-a) には観察結果を真空容器全体の中で位置づけて表示した例を示す。損傷は程度によって三段階に色別で表示される。Fig. 3.12 (7-b) は、先の観察結果をマニピレータが挿入されるポート単位で表示したものである。いずれの画面もC R Tのジョイスティックを操作することによって、視野角を変えたり、拡大して表示することができるため、実際的な損傷位置や損傷程度を視覚で理解できる。



a T - P coordinates



b X - Y - Z coordinates

Fig.3.1 T-P and X-Y-Z coordinates for the JT-60 vacuum torus.

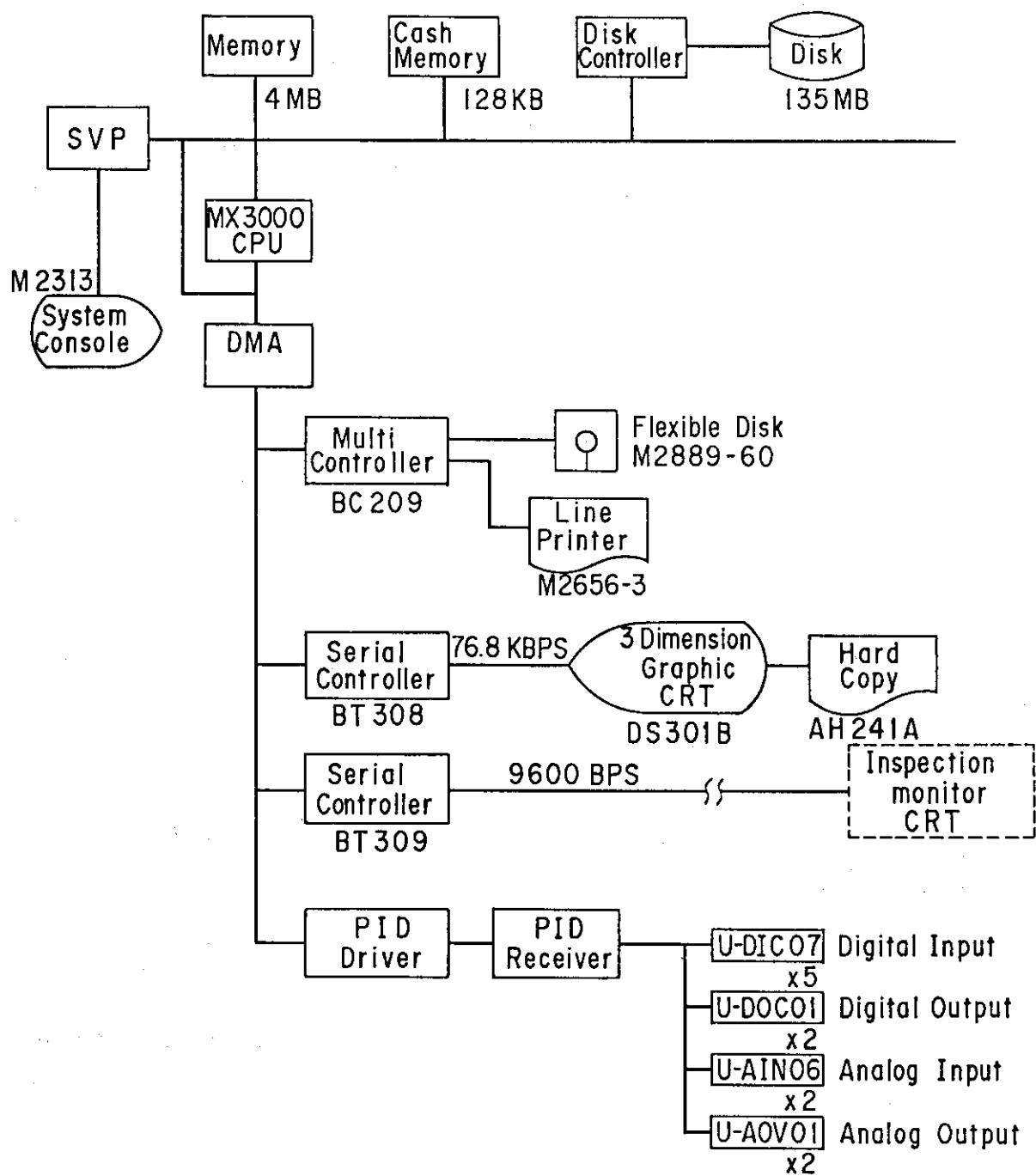
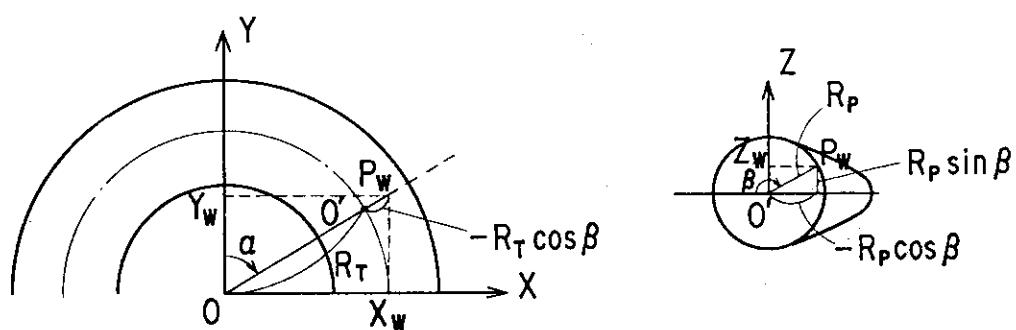
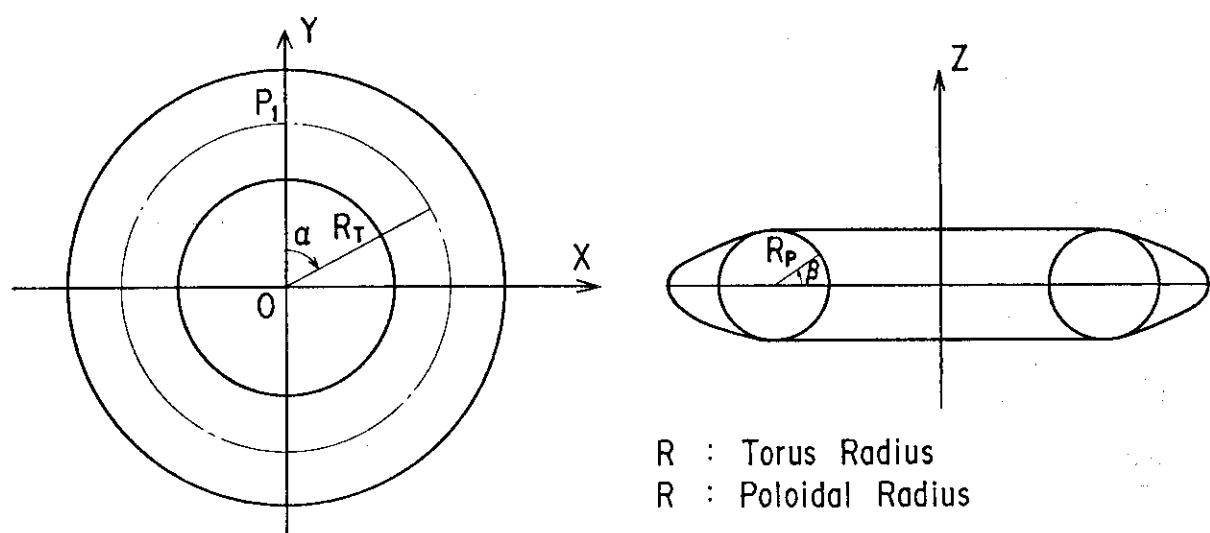


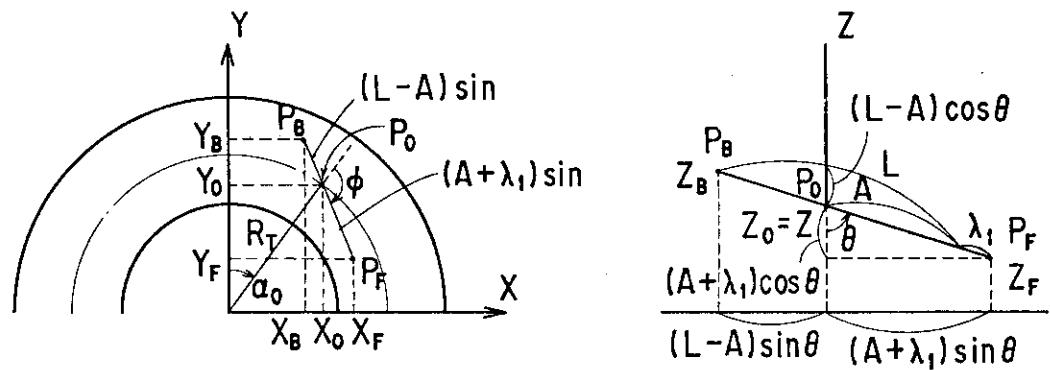
Fig.3.2 Configuration of the computer system.



Projection of the toroidal cross-section

Poloidal cross-section at point O'

Fig.3.3 Coordinates of the JT-60 vacuum torus for the manipulator drive.



Projection of the toroidal cross-section

Cross-section at manipulator arm

Fig.3.4 Projection of the manipulator arm inside the vacuum vessel.

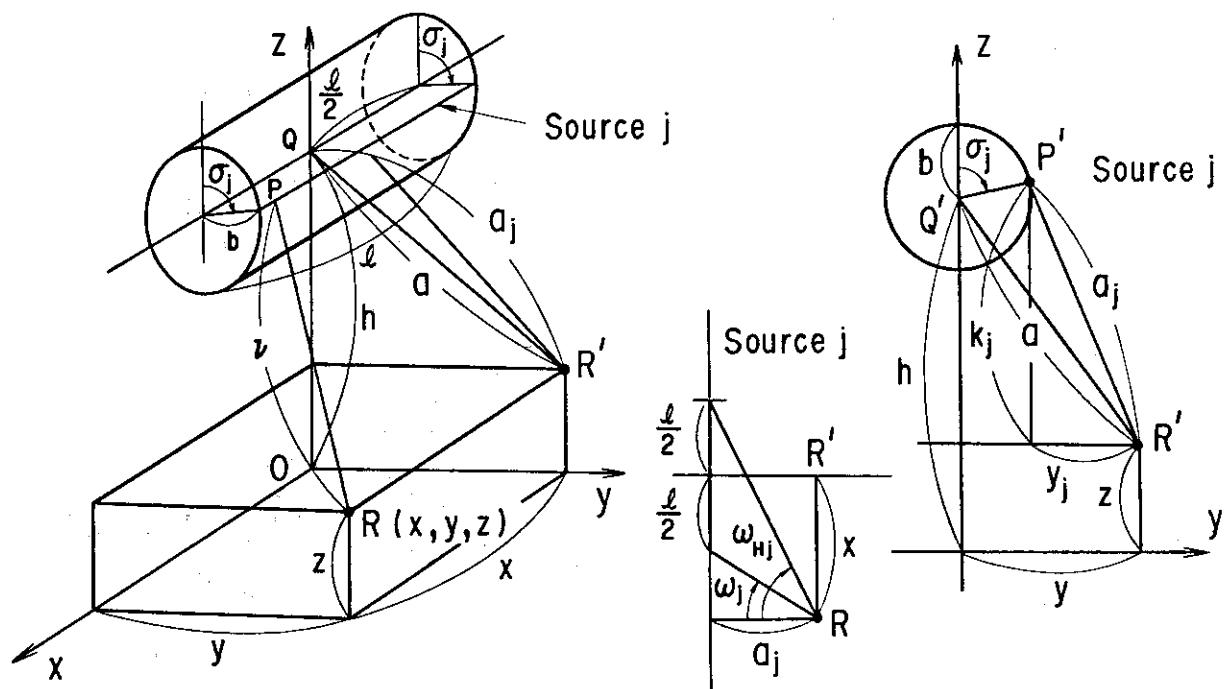


Fig.3.5 Cylindrical evaporation source unit axis parallel to the receiving Plane.

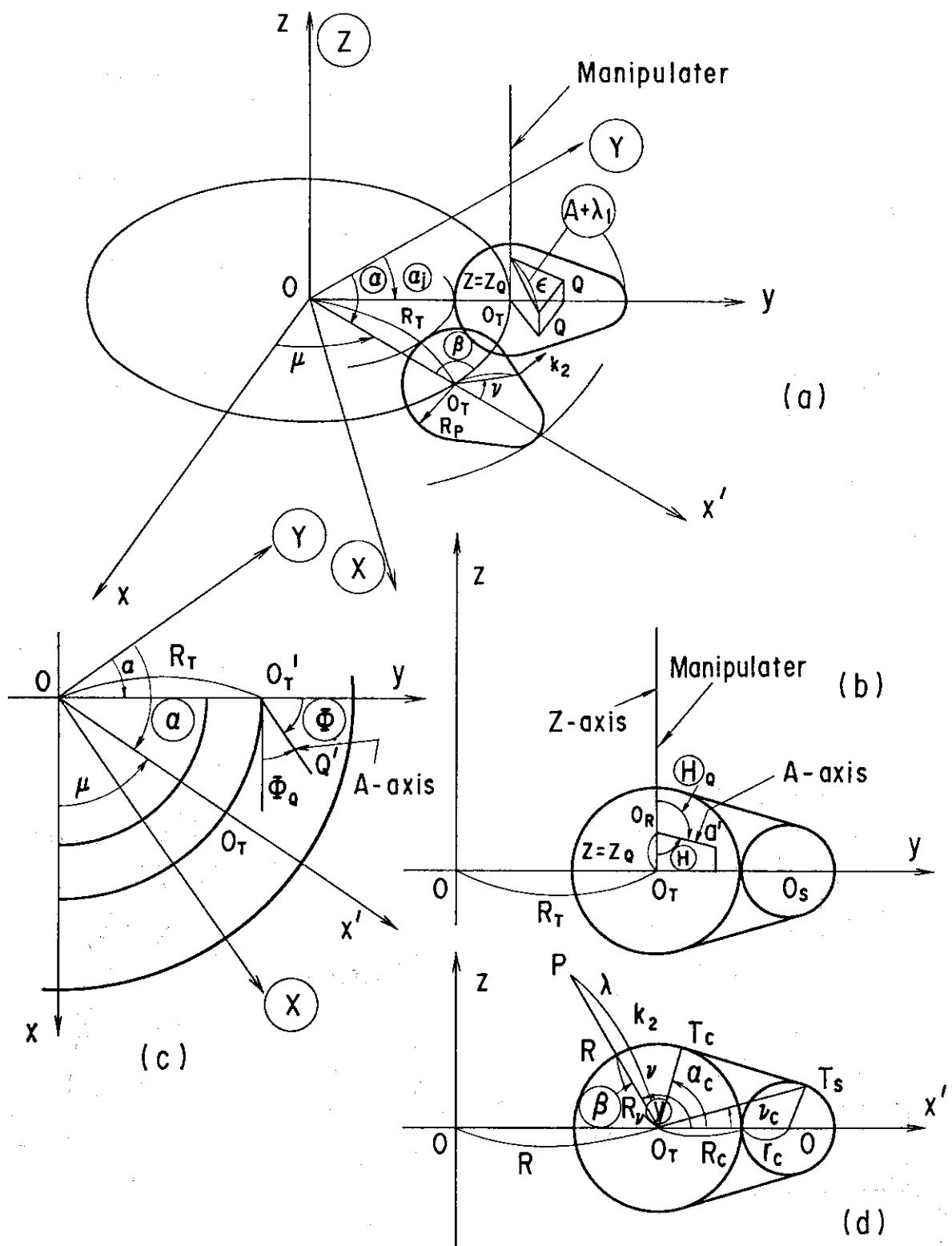


Fig.3.6 Coordinates of the JT-60 vacuum torus for film thickness calculation.

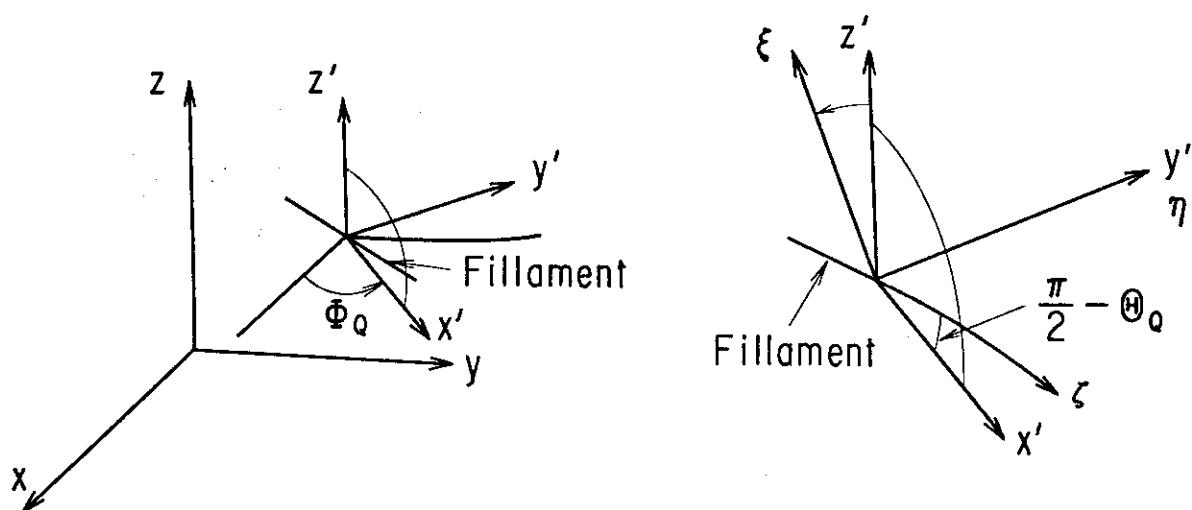
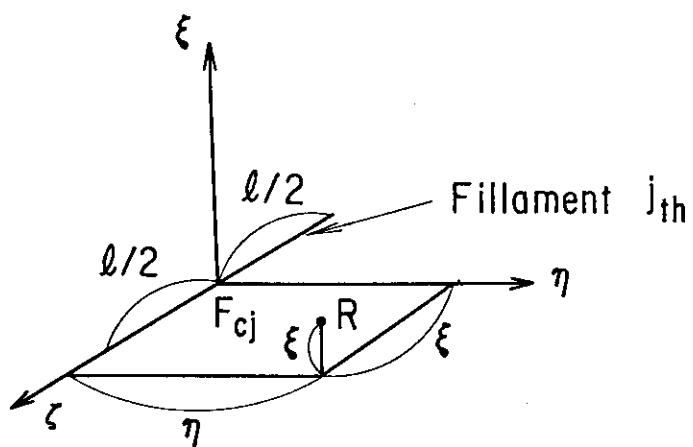
Relation $x - y - z$ axes between $\xi - \eta - \zeta$ axes j_{th} filament on $\zeta - \eta - \xi$ axes

Fig.3.7 Coordinates for the film thickness calculation on a evaporation source.

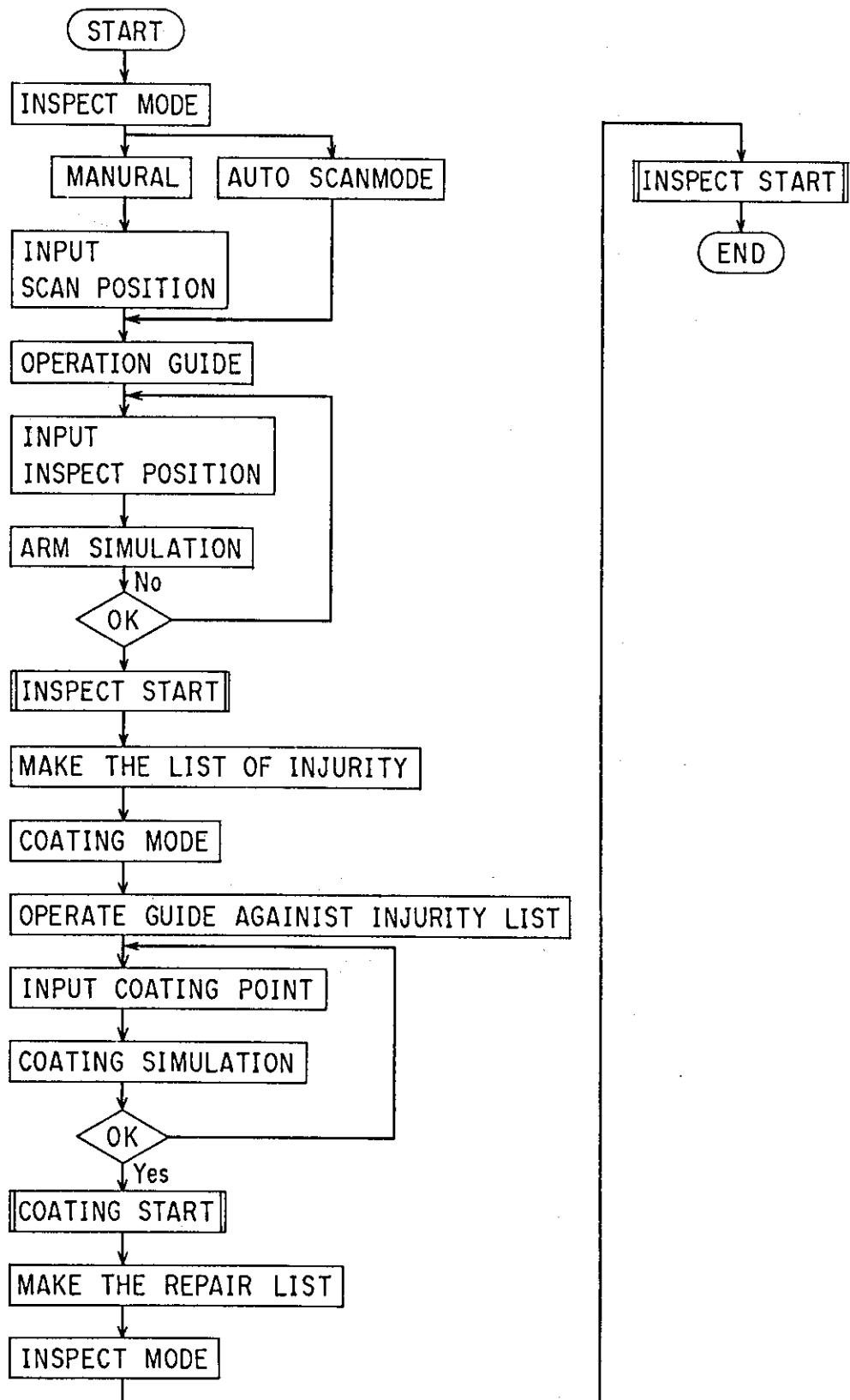


Fig.3.8 Procedure for the coating and inspection.

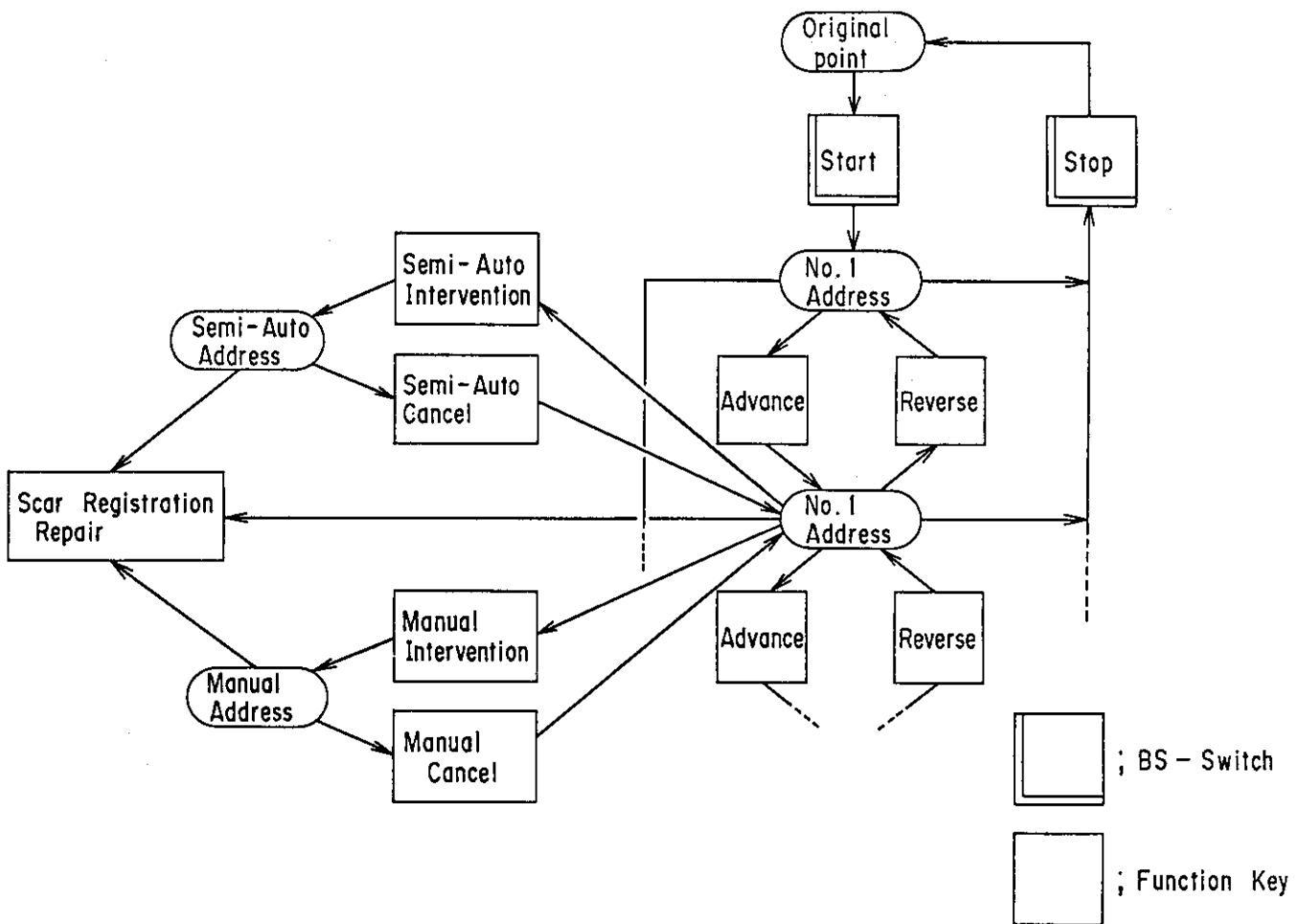


Fig.3.9 Operation diagram for the manipulator.

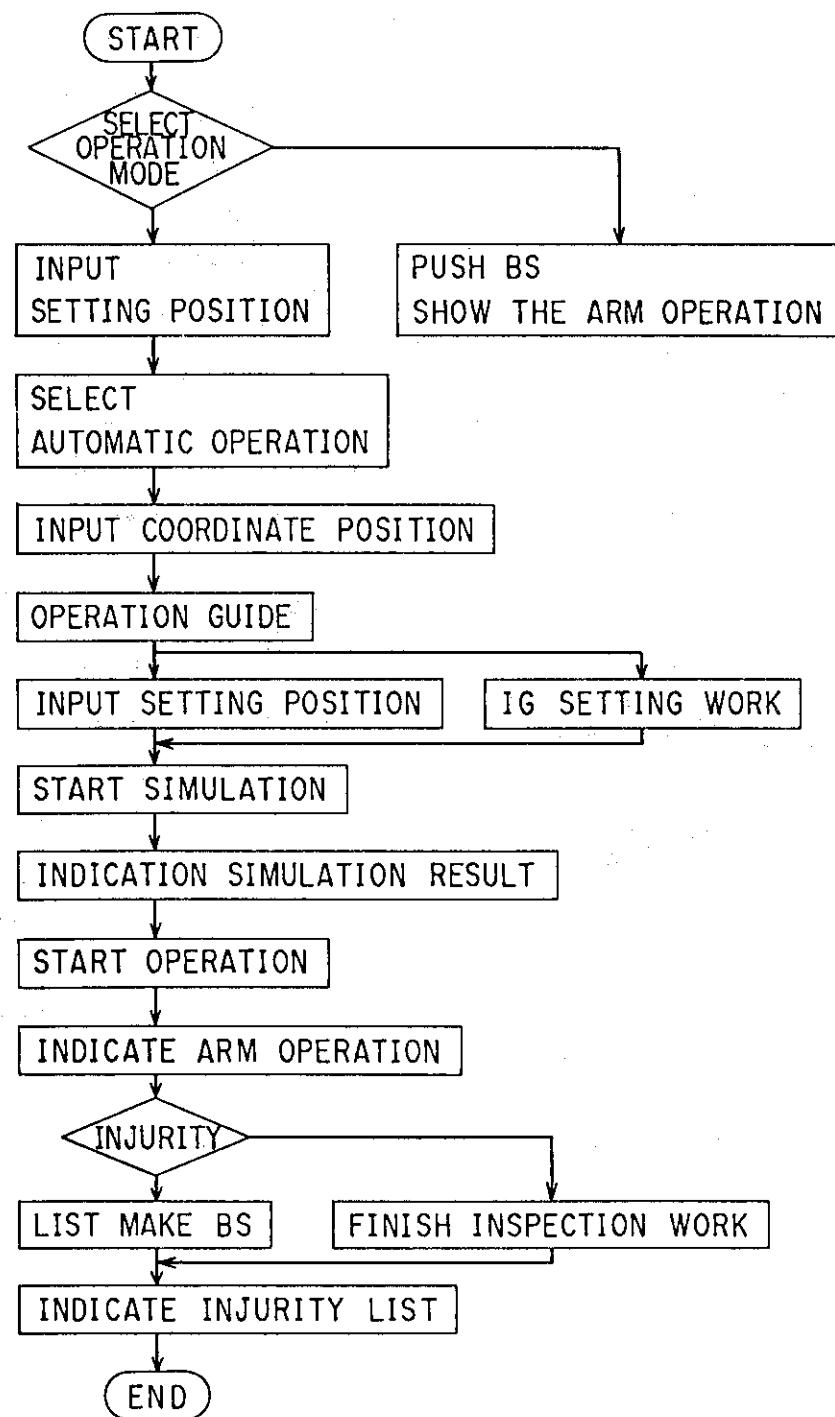


Fig.3.10 Inspection operation flow.

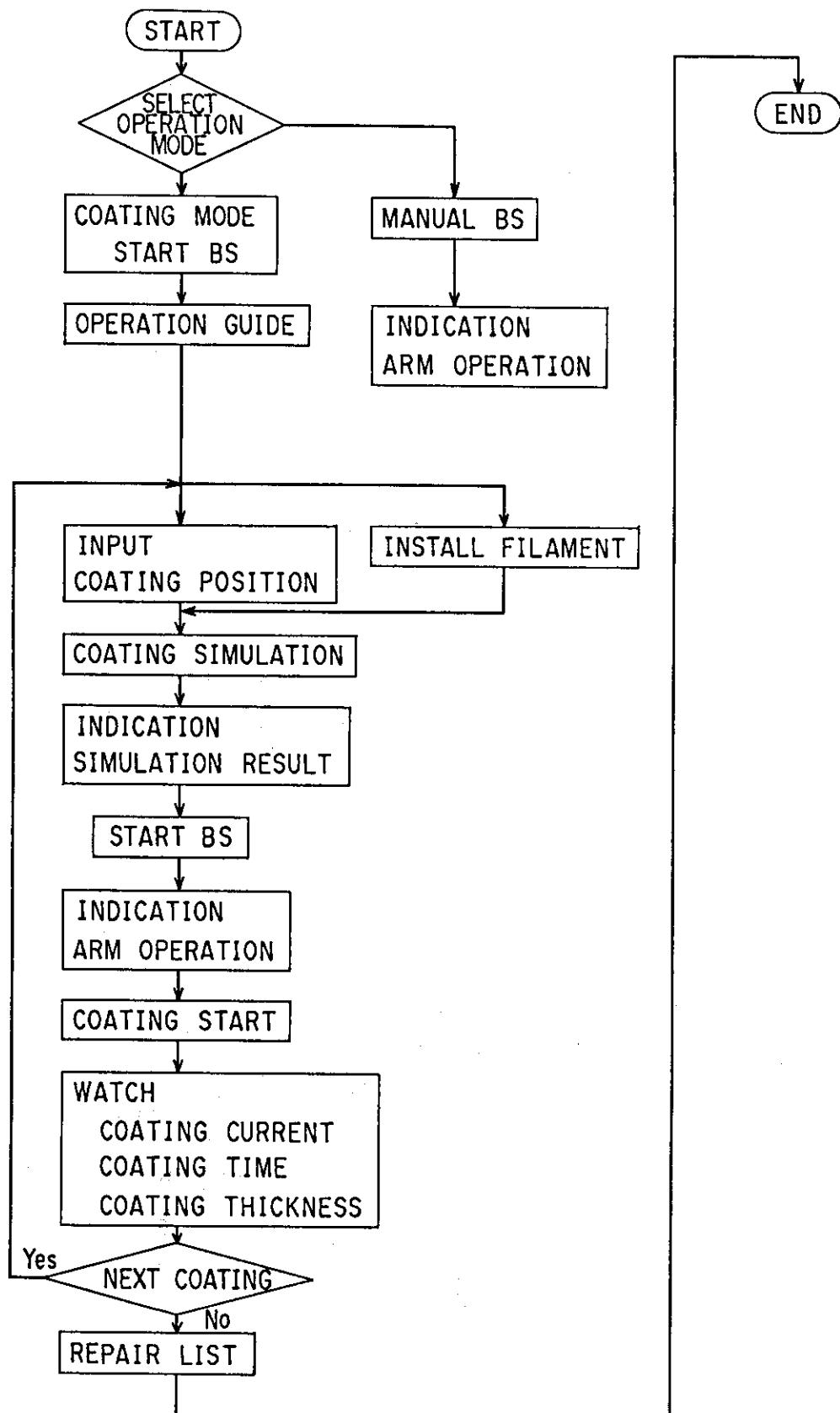


Fig.3.11 Coating operation flow.

操作モード選択表示		1987-01-22 14:58
1. 運転モード	<input type="checkbox"/>	(1. 内部観察, 2. 蒸着, 3. Tiフラッシュ)
2. 運転方式	<input type="checkbox"/>	(1. 自動, 2. 手動のみ)
	<input type="checkbox"/> [6]	使用 [G(1-10)] [8] [-90]
3. 座標入力	<input type="checkbox"/>	(1. T-P座標, 2. 軸座標 3. 傷リスト, 4. 補修リスト)
4. 蒸着フライメント		
遮蔽板タイプ	1. 10° 2. 90° 3. 180° 4. 360°	
セグメント数	1, 2, 3, 4, 5, 6	
フライメント数	1, 2, 3, 4	
フライメントタイプ	<input type="checkbox"/> [2]	1. U-7B, 2. S-2A
5. 蒸着方式除外	1. 全面, 2. 局部	
6. 温度補正	<input type="checkbox"/>	1. 補正なし, 2. 補正あり 補正温度 <input type="text"/> C

選択 =

Fig.3.12.(1) CRT format which is shown on the 3-D display.
Operation mode selection. Operator selects either inspection mode or coating mode.

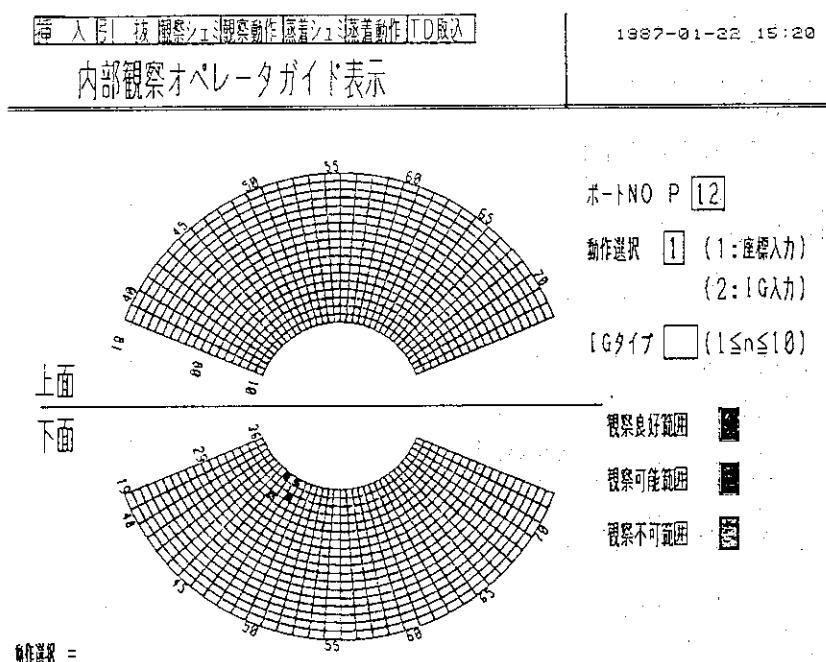


Fig.3.12.(2) CRT format which is shown on the 3-D display.
Operation guide at inspection mode. This format shows the extent of observation areas.

挿入引抜機器: 測定動作 溶着シワ 溶着動作 TD取込										1987-01-22 14:10		
IGガイド表示												
ポートNO P12												
番号	IGタイプ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	T	P	1	0	1	1	2	2	0	2	1	2
1	50	4	0	2	1	1	2	2	0	2	1	2
2	60	15	0	2	1	1	2	2	1	1	2	2

観察良好: 0 観察可能: 1 観察不可能: 2 推奨IG: 10, 6
 設定IG: PAGE 1/1
 IG付(左) =

Fig.3.12.(3) CRT format which is shown on the 3-D display.
IG guide at inspection mode. This table shows the result of the detectable areas for its fiberscope.

挿入引抜機器: 測定動作 溶着シワ 溶着動作 TD取込							1987-01-22 14:14				
観察条件参照設定表示											
ポートNO P12				表示選択 <input checked="" type="checkbox"/> (1. 参照, 2. 設定)							
番号	T	P	IGタイプ		Z軸位置		条件設定				
			1	0	最大値 [cm]	最小値 [cm]		最大値 [cm]	最小値 [cm]		
1	50	4	0	35.6	149.0	-30.0	60.0	1	92.3	0.0	
2	60	15	0	28.4	141.8	-30.0	60.0	1	85.1	0.0	

解 = PAGE 1/1

Fig.3.12.(4) CRT format which is shown on the 3-D display.
Inspection condition. Several parameters for the inspection are possible to be set and be shown on this table.

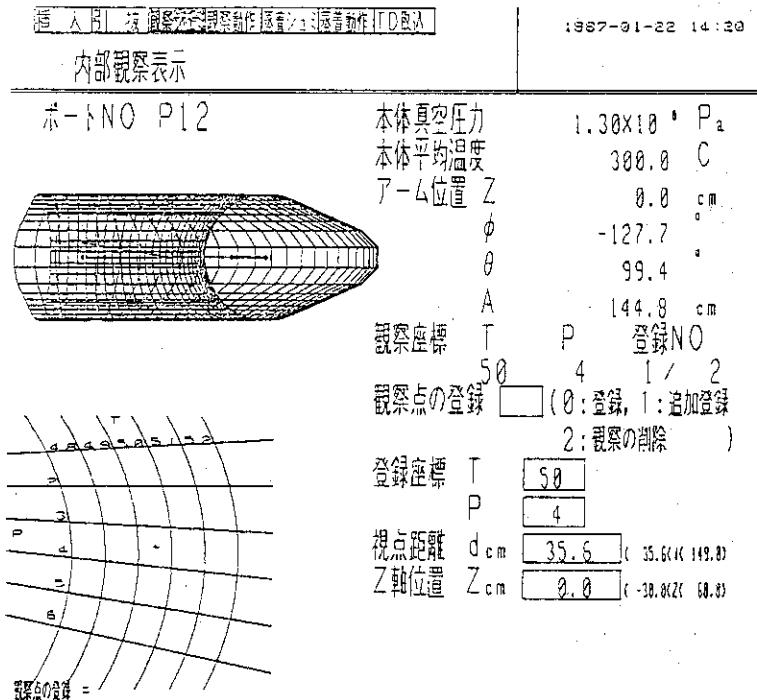


Fig.3.12.(5) CRT format which is shown on the 3-D display.
Simulation display at inspection mode. A simulated result is shown on the CRT.

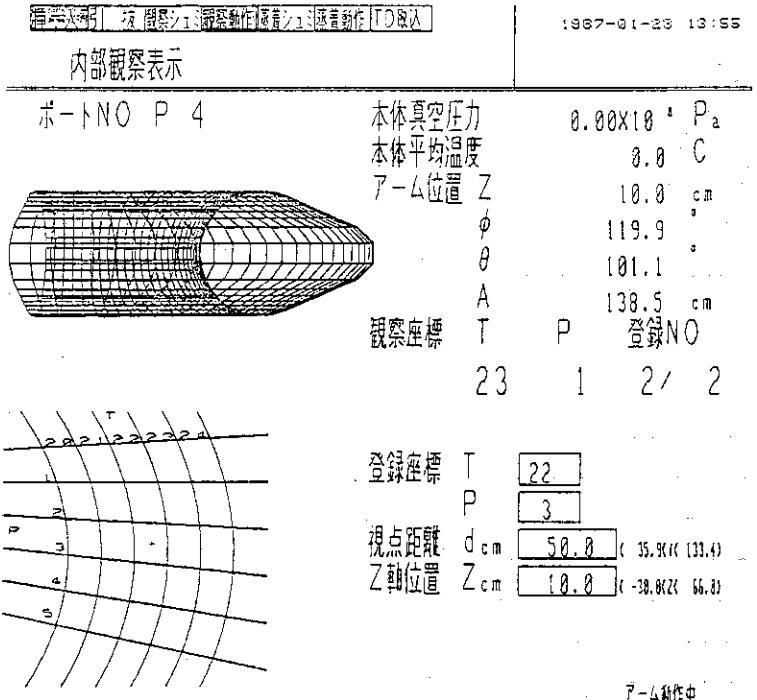
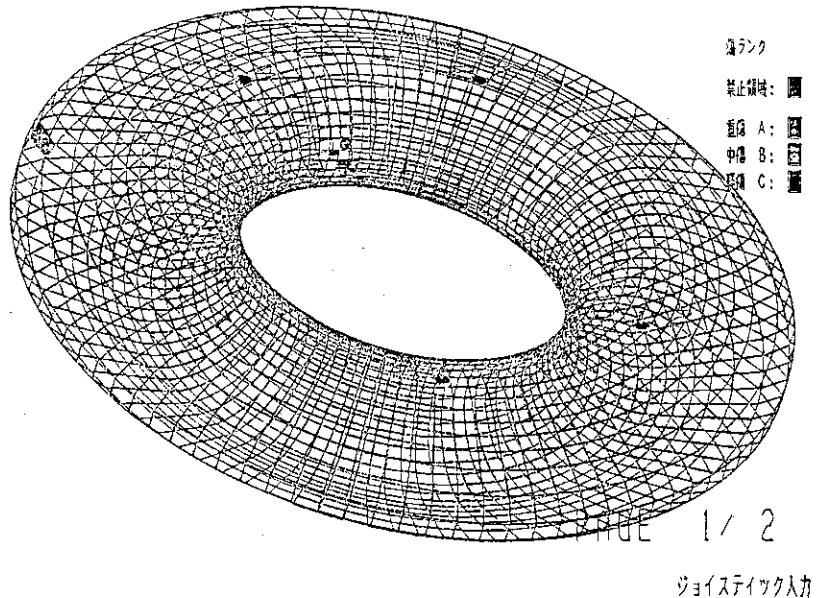


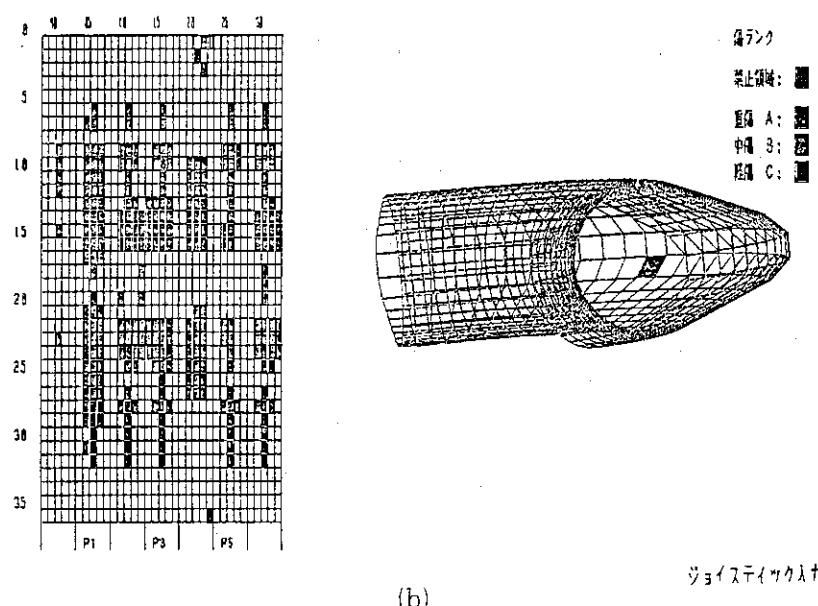
Fig.3.12(6) CRT format which is shown on the 3-D display.
Manipulator driving display. This format shows the manipulator position, the distance between the tip of the fiberscope and the first walls during inspection.

操作次序：抜 原察シユ 開察動作 選着シユ 選着動作 [D]入
 観察結果表示
 表示方式 [2] (1.リスト表示 2.マップ表示), 表示範囲 [1] (1:全 2:P4 3:P7 4:P12 5:P15)



(a)

操作次序：抜 原察シユ 開察動作 選着シユ 選着動作 [D]入
 観察結果表示
 表示方式 [2] (1.リスト表示 2.マップ表示), 表示範囲 [2] (1:全 2:P4 3:P7 4:P12 5:P15)



(b)

Fig.3.12.(7) CRT format which is shown on the 3-D display.
Inspection result display. The frame can be rotated and magnified at selected position and scale by a joy stick.

4. アセチレンガス注入装置

4.1 構成

その場装置用アセチレンガス注入装置（以下ガス注入装置とする）は、反応ガスであるアセチレンガスを真空容器内の広い範囲に注入し、炭化チタン膜の作製モードに従い、一定の圧力、流量を制御するための装置である。

ガス注入装置は注入系Ⅰ、注入系Ⅱの二系統から構成される。注入系Ⅰは、真空容器本体のポートセクションP6のGM1ポートとポートセクションP15のGM2ポートからガス注入するもので、注入系Ⅱは、その場装置マニプレータ本体が据え付けられるポートセクションP4, 7, 12, 15の各上部U₄ポートからガス注入する（Fig. 2.15参照）。注入系Ⅱはガス注入の他、その場装置マニプレータの局部的な真空排氣にも使用される。また各注入系は炭化チタン膜の作製条件によって単独あるいは並列に運転される。

4.2 系統設計

4.2.1 注入系Ⅰ

既設プラズマ生成用ガス注入装置のマニホールドを利用してガス注入を行う注入系Ⅰでは、装置の配置上、注入流量制御弁と真空容器との配管距離が長いことの他、P6, P15セクション間の配管距離に差がある。このため配管径の調整やオリフィスの設置などにより、両者の間に注入開始から真空容器内圧力が所定圧力に立上るまでの時間に大きな差が生じないよう補正を行った。Fig. 4.1に注入系Ⅰのフローシートを示す。一例として注入系Ⅰによる注入量と立ち上り時間の関係を次に示す。

注入量 (Pa・m ³ /s)	到達圧力 (Pa)	立ち上り時間 (s)
1.8	1.33 × 10 ⁻¹	180
0.18	1.33 × 10 ⁻²	400

アセチレンガスの供給は市販の標準アセチレンガスボンベを使用することにし、必要とするガス純度との関係から注入配管についてはベーキングは行わないことにした。供給は元圧16.5 kgf/cm²・Gを減圧弁にて0.5～0.6 kgf/cm²・Gに減圧し、流量制御弁（流量定格1.7 Pa・m³/s（アセチレン））にて供給する。注入量の制御は、真空容器圧力または注入管主管の圧力をカスケード入力とした調節計により行う。

排気系は、供給元からマニホールドに取り付けられた導入弁までの真空排氣と、配管内に滞留している不用となったアセチレンガスの排氣を行うためのもので、ターボ分子ポンプ（200 l/s (N₂)），油回転ポンプ（260 l/min (N₂)）及びプロワ（1.4 m³/min - 600 mmAq）か

ら構成されている。本排気系によるマニホールド導入部での到達圧力は約 10^{-2} Paである。

4.2.2 注入系Ⅱ

注入系Ⅱでは、その場装置用マニプレータ本体が設置されるP 4, 7, 12, 15の上部U₄ポートの一部からアセチレンガスが供給される。注入、排気の機能に加えマニプレータ本体周辺の排気と保守・点検時に当該ポートを大気圧にする機能を持つ。Fig. 4.2に注入系Ⅱのフローシートを示す。

アセチレンガスの注入配管の設計と注入流量制御は注入系Ⅰとほぼ同様であるが、流量制御弁の定格流量は $8.44 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ （アセチレン）と注入系Ⅰに比べ大きい。

排気系は主ポンプにターボ分子ポンプ（ $200\ell/\text{s}$ （N₂））を使用し、前段ポンプには既設の計測フォアポンプを利用している。また、配管内に滞留している不用となったアセチレンの排気は、注入系Ⅰのプロワを使用している。到達圧力はマニプレータ本体が収納される付属のポート内（真空容器とは仕切り弁で遮断）で約 10^{-2} Paである。

4.3 注入系の試験

ガス注入装置を所定の位置に設置し、注入装置の運転性能試験として注入性能、排気性能を確認した。

なお、注入試験は窒素ガスを使用して行った。

4.3.1 注入系Ⅰ

注入性能試験では真空容器の排気系を定常に運転し（公称 $13000\ell/\text{s}$ ），P 6, P 15のそれぞれのポートから同時に真空容器に窒素ガスを注入し、ガス流量と真空容器内圧力の関係を求めた。また、この時のガス流量と真空容器内圧力がともに安定に維持できることを注入流量調節計及び真空容器内圧力測定用真空計（排気用マニホールド既設）で確認した。Fig. 4.3はガス注入量と真空容器内圧力の関係を、またFig. 4.4には注入流量制御弁の開度と流量の関係を示している。またP 6, P 15ポートそれぞれの導入弁からの注入量の差異を、各注入マニホールドに取り付けられたバラトロン真空計によって調べたがその差異はなく、オリフィス（O R 2（Fig. 4.1参照））全開の状態で流量はほぼ均等に注入されていることが確認できた。

4.3.2 注入系Ⅱ

その場装置をP 12ポートに設置して試験を行った。

注入性能試験では注入系Ⅰと同様に真空容器の排気系を定常運転し、窒素ガスを注入した。JT-60の真空排気系は、容器内圧力が 1.33 Pa になった場合は自動的にトリップするため、安全をみて容器内圧力が 10^{-1} Pa に達する流量を最大として試験を行い、流量と圧力がともに安定に維持できることを確認した。Fig. 4.5にガス注入量と真空容器内圧力の関係を示す。流量制御弁V 25（Fig. 4.2参照）の出口における圧力を一定に制御する方法（圧力設定）と、流量を一定に設定しながら（流量設定）真空容器内の圧力変化をみる二通りの方法で試験を行った

が、いずれの場合も安定に制御できることを確認した。Fig. 4.6 は流量制御弁（V 25）の開度と流量の関係を、Fig. 4.7 には流量の変化による真空容器内圧力の変化を試験時の時間経過とともに示す。

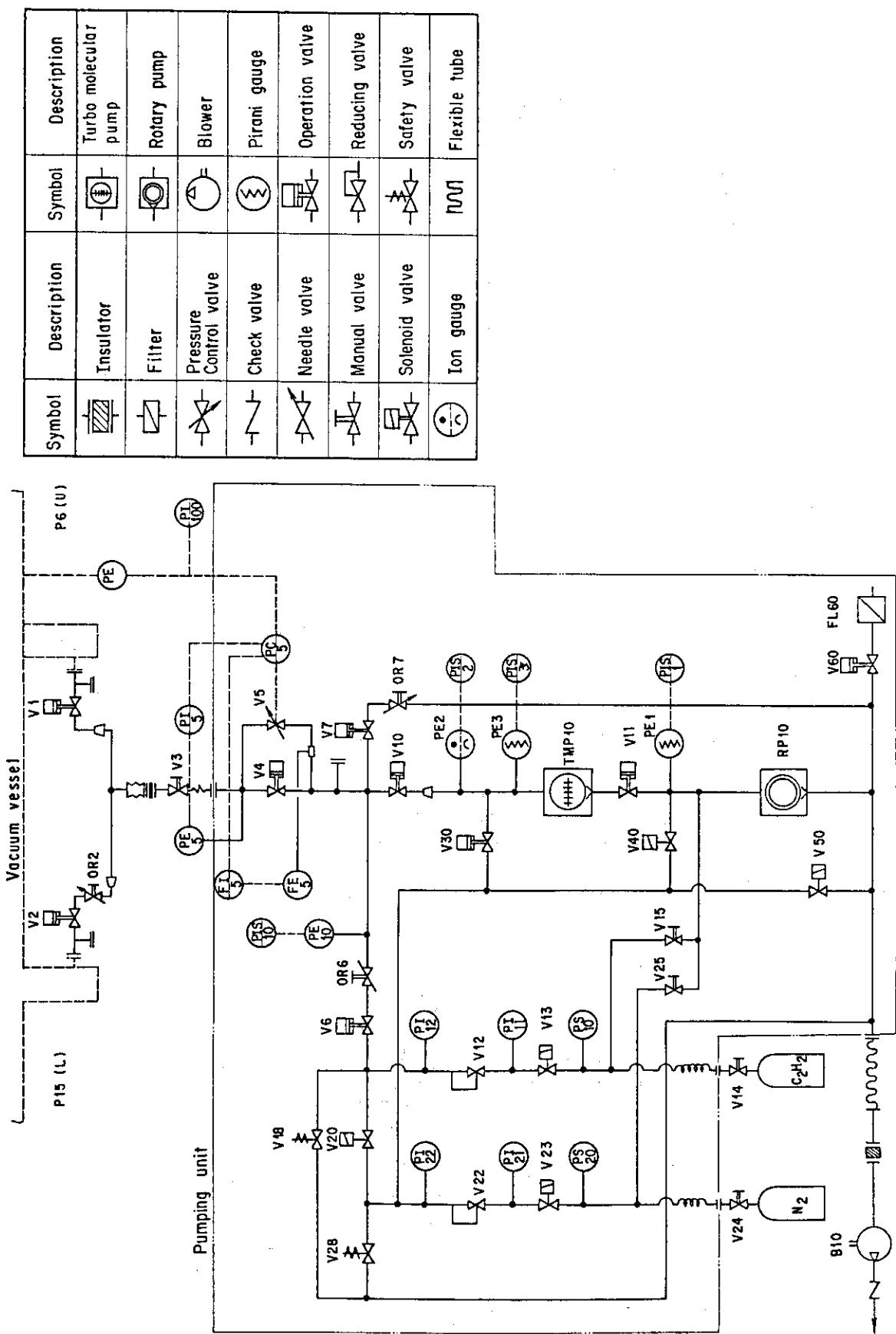


Fig.4.1 Flow sheet of the acetylene gas injection system I

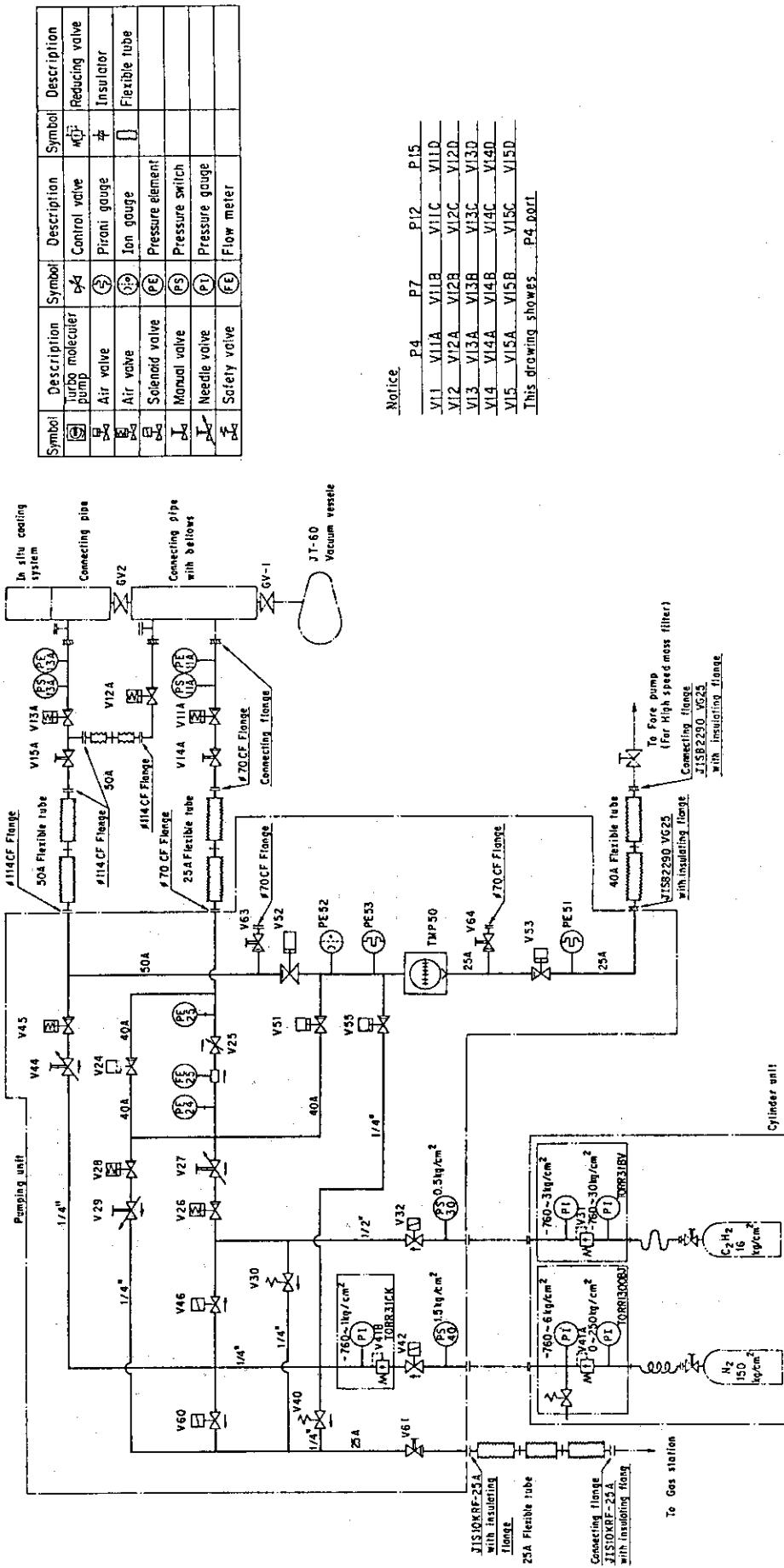


Fig.4.2 Flow sheet of the acetylene gas injection system III

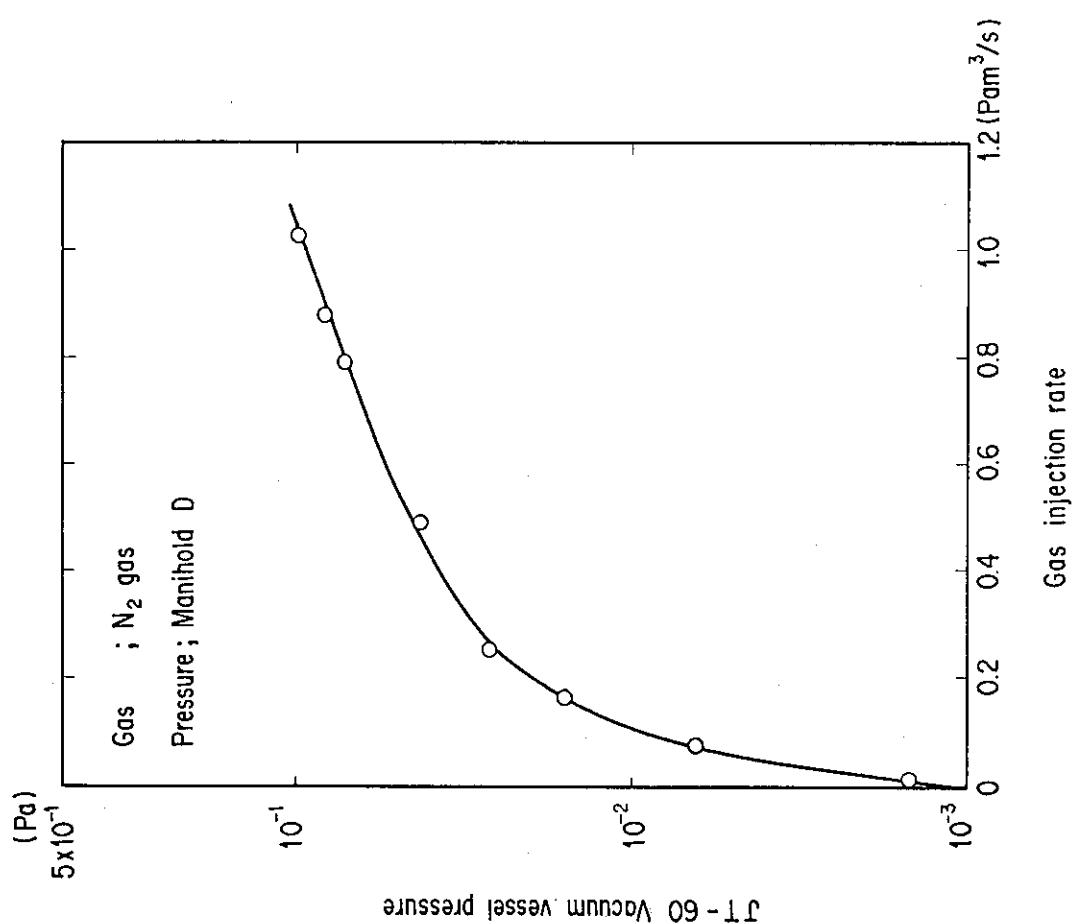


Fig.4.3 Pressure in the JT-60 vacuum vessel as a function of gas injection rate (System I).

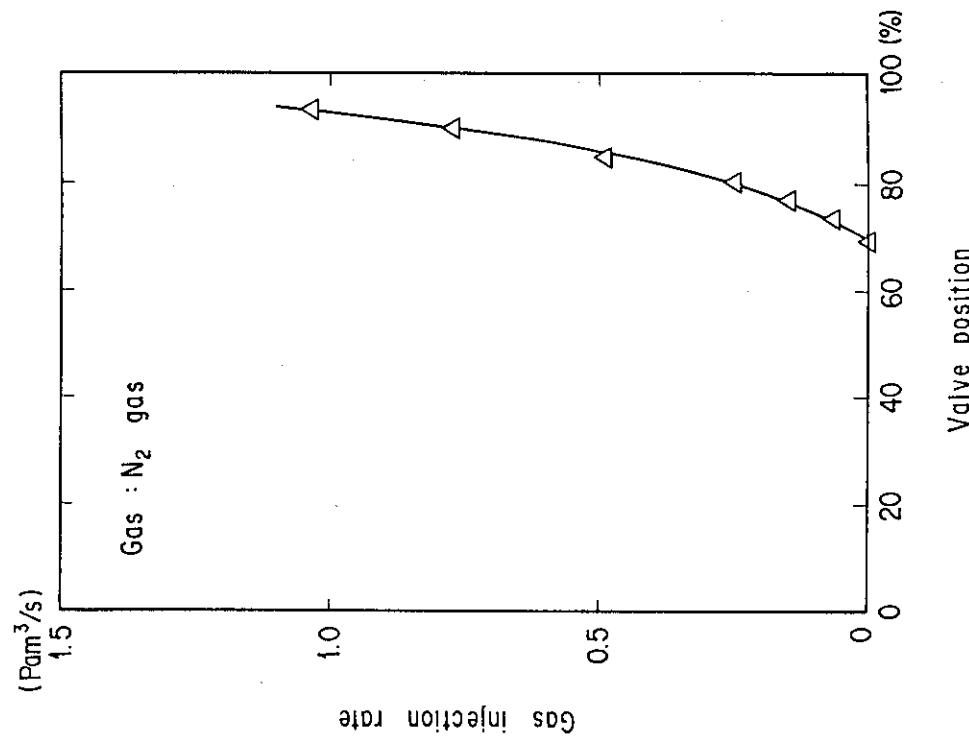


Fig.4.4 Gas injection rate as a function of the valve position (System I).

Fig.4.4 Gas injection rate as a function of the valve position (System I).

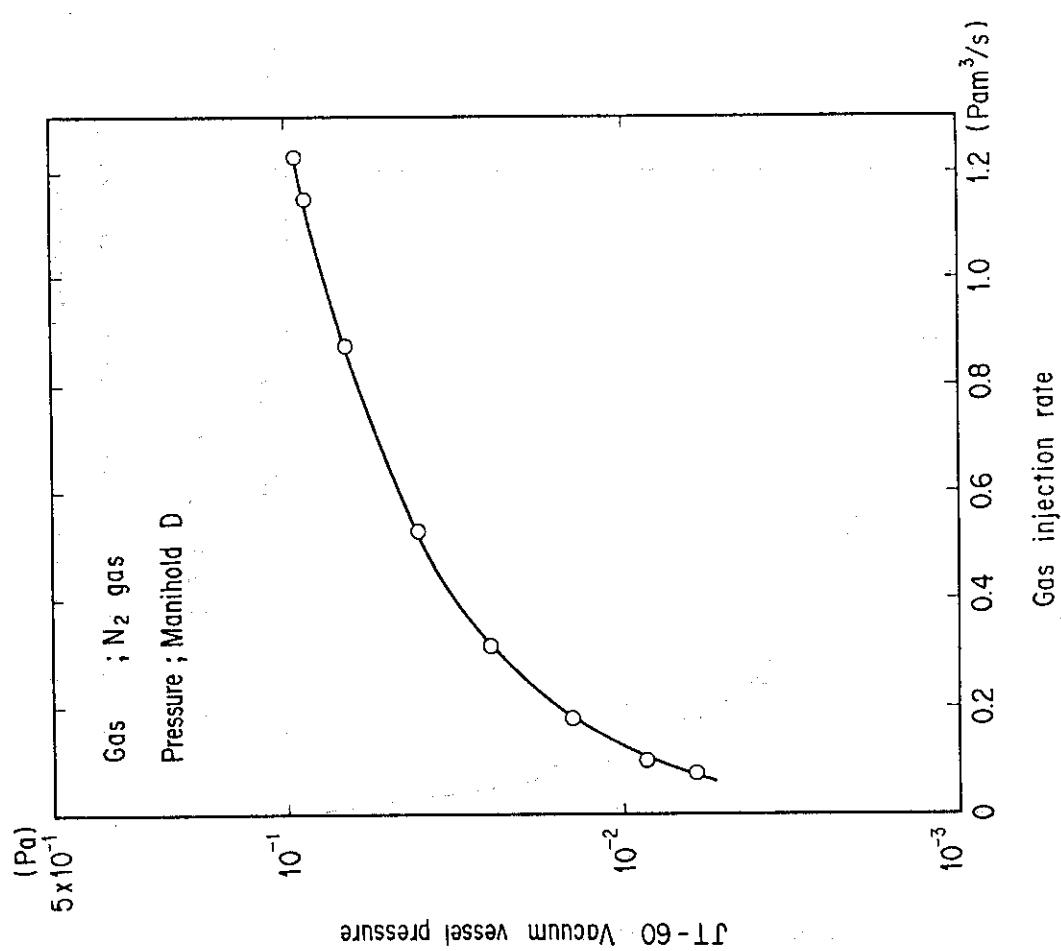


Fig.4.5 Pressure in the JT-60 vacuum vessel as a function of gas injection rate (System II).

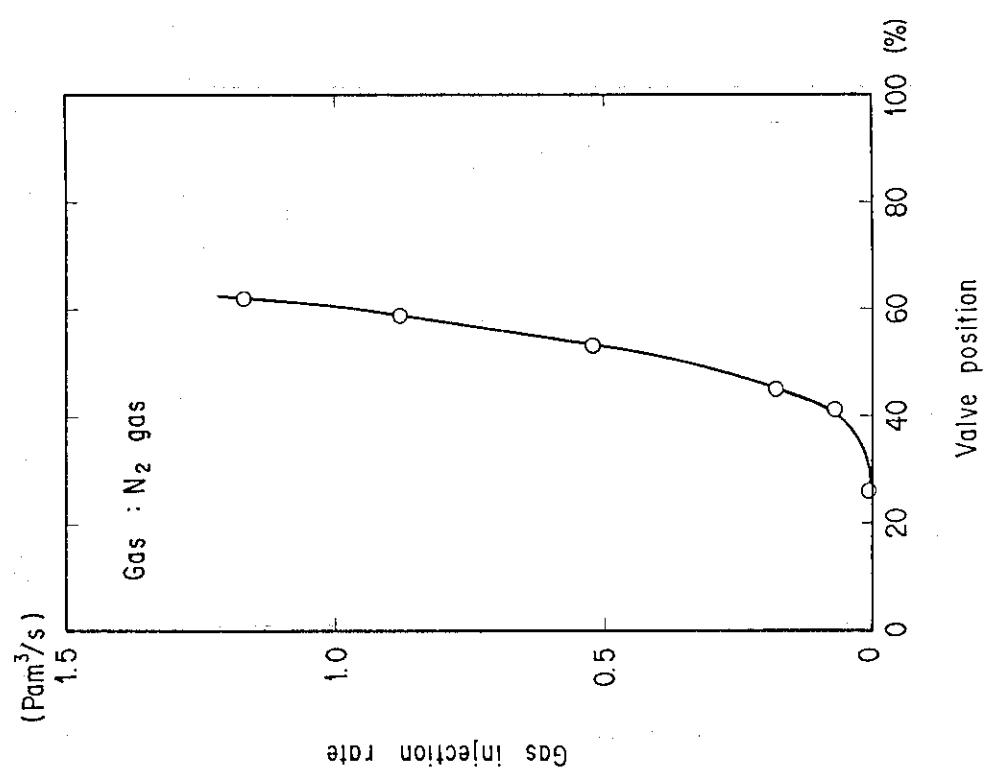


Fig.4.6 Gas injection rate as a function of the valve position (System II).

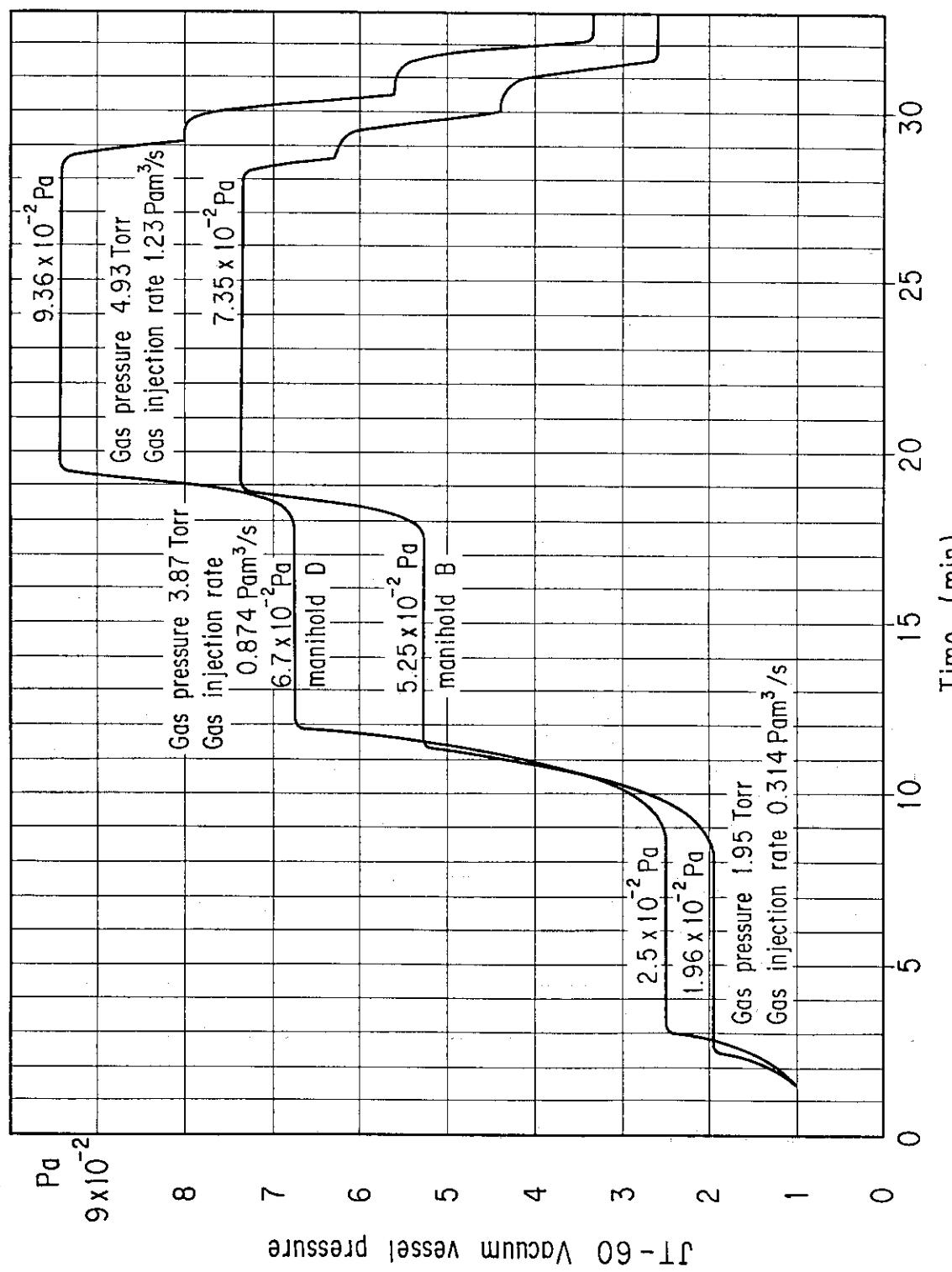


Fig.4.7 Pressure in the JT-60 vacuum vessel as a function of gas injection rate.

5. 性能試験概要

J T - 60 真空容器に据付けられたその場装置の現地試験のうち、主な項目の結果について述べる。以下に示す試験項目のうち、非常時引出し機構性能試験は 2 号機について、観察装置性能試験については 1 号機についてのみ実施し、他の項目については両機について実施した。

また、現地試験終了後、1, 2 号機を使用して実施したチタンフラッシュについても述べる。

5.1 動作範囲試験

制御盤 (L P 1 又は C P 1) からの信号によりマニピレータの各軸を動作させ、制御盤の表示値と機械的動作範囲のズレを確認した。あわせてリミットスイッチをはじめ、関連する各軸の保護回路が正常に動作することを確認した。測定結果を下に示す。

	状 態			極 限 位 置		
				制御盤・操作盤メータ表示		エンコーダ値
				L P 1	C P 1	
1	Z 軸	高速	上昇限	7.48 m	7431 mm	9005
			下降限	-0.35 m	-300 mm	1278
2	A 軸	高速	前進限	1.75 m	1745 mm	9043
			後進限	0.75 m	745 mm	892
3	θ 軸	高速	上向限	136°	135°	9130
			下向限	0°	0.6°	970
4	ϕ 軸	高速	CW限	181°	181.1°	9017
			CCW限	-180°	-180.9°	994
						-181.5°

エンコーダから直接読み取った値を工学値に換算し、これを基準値に各操作盤での表示値と比較すると、各軸とも平均してコンマ数%程度であり、実用上問題のない範囲にあることがわかった。

5.2 非常時引出し機構性能試験

2号機について非常時引出し機構（Fig. 2.7 参照）の性能を保管設備上（架台）上で試験した。

本試験はマニプレータ上部に備えつけあるレバーを引き上げることにより、アーム回転部内のシャーピンを強制的に切断し、歯車の噛み合いを解放する仕組みとなっている。動作させることによって再度アーム回転部の分解、組立てを必要とすることから、試験回数を限定したが、工場試験も含め、全3回の動作はすべて良好であった。

5.3 絶縁抵抗試験

JT-60はそれ自体大型の電気機器であるため、これと接続する、あるいは周辺に設置される機器については、互いの装置の性能及び保安の面から電気的に絶縁しなければならない。

測定箇所は大きくは、その場装置と真空容器間、計測架台間にわけられる。1, 2号機それぞれについて、テスターにより11箇所の測定を行ったが、全箇所とも $2000\text{ M}\Omega$ 以上であり、充分な絶縁のとれていることが確認できた。

5.4 ヘリウムリーク試験

その場装置には、各種のガスケットを使用した何箇所かのフランジ締結部がある。また、磁性流体シール方式による回転導入機、長尺の溶接ペローズがついている。これら真空シール部の健全性を確認するため、フード法によるヘリウムリーク試験を行った。

試験は、はじめに駆動源収納部、長尺ペローズ、JT-60真空容器との接続部の3ブロックに大別し、それぞれのブロックでリークが発生した場合さらに細分化し、リーク箇所を探知する方法をとった。試験の結果、各ブロックにおいて1, 2号機とも $\sim 0.7 \times 10^{-9}\text{ Torr} \cdot \ell/\text{s}$ 以下で基準値（シール箇所1箇所あたりの許容リーク量 $1 \times 10^{-9}\text{ Torr} \cdot \ell/\text{s}$ 以下、但し磁性流体シール部については $3 \times 10^{-9}\text{ Torr} \cdot \ell/\text{s}$ 以下）を満足した。

5.5 観察装置性能試験

観察装置の性能は、直視モードの場合70cmの距離から、側視モードの場合50cmの距離から20mm角の指標物がモニターテレビの画面上で確保できることを判定基準とした。

観察結果をFig. 5.1, Fig. 5.2に示す。Fig. 5.1はモニターテレビ上の画像をハードプリントし、さらに写真撮影したものである。Fig. 5.2は真空容器第一壁上に実在した損傷箇所の観察写真で、ビデオテープに録画したものを再度モニターテレビに再生し、写真撮影したものである。

5.6 チタンフラッシュ

チタンフラッシュは、JT-60のプラズマ閉じ込め改善のために実施された一連の作業⁹⁾のうちのひとつで、その場装置にとっては現地試験終了後の本格的な環境条件（高温、真空下）での作業であった。

Table 5.1にチタンフラッシュの実績を示す。表中に示される真空容器のトロイダル平面図中、二重丸はその場装置の据付ポートを、黒丸は蒸発源の位置をあらわす。全面コーティングによる1回のフラッシュで、チタンがコーティングされる面積は、膜厚に差異はあるものの、全内表面積の約1/4 (38m^2)と評価される。また、1回のコーティング時間は約3～5分でフラッシュ時の平均通電電流は160 A程度である。全工程中、途中で一度フィラメントを交換した。

Fig. 5.3は蒸発源への通電パターンを3次元グラフィックディスプレイ上にトレンド表示したものである。フィラメントの健全性を保つ観点から段階的に通電電流を上昇させている。

Fig. 5.4に3次元ディスプレイ上に表示された膜厚分布のシュミレーションの結果を、Fig. 5.5にフラッシュ前後における真空容器内到達圧力の変化を示す。チタンフラッシュによる排気効果があらわれているのがわかる。

なお、フラッシュ作業中、その場装置はプラズマ運転も含め、真空容器に接続されていたが、振動や高温、真空環境での動作に起因する機械的なトラブルは発生せず、健全性が確証された。

Table 5.1 Results of titanium flashing.

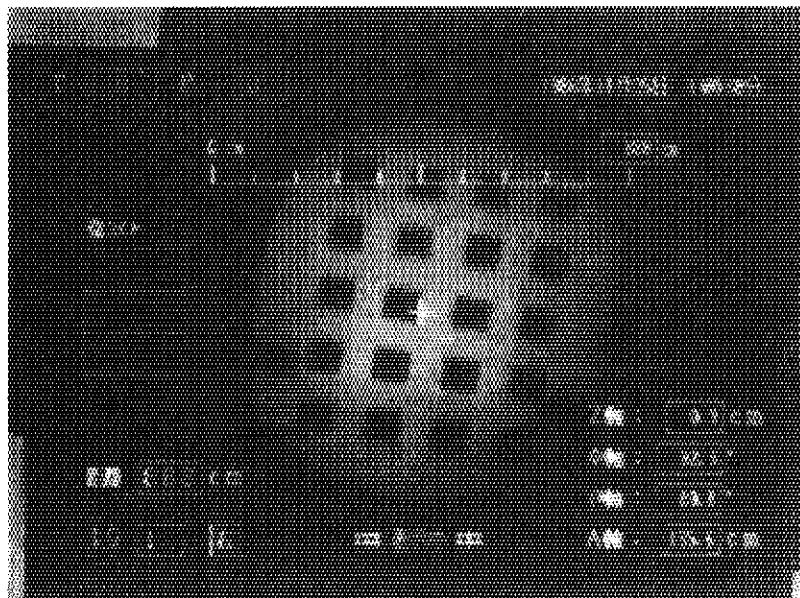
Port section	Date	3/9 (Mon)	3/10 (Tue)	3/11 (Wed)	3/12 (Thu)	3/13 (Fri)	3/14 (Sat)	3/15 (Sun)	3/16 (Mon)	3/17 (Tue)	3/18 (Wed)	3/19 (Thu)
	Running time / Position of the evaporator	a.m. 5 min / 90°		① 3min / -90° ② 3min / 90°						5 min / 90°		
P—4	Presumed film thickness (Å)	a.m. 50 p.m. —		① 30 ② 30		5 min / 90°			5 min / 90°		5 min / 90°	
N _o 1 Device	Coating area			—		—			—		—	
P—12	Presumed film thickness (Å)	a.m. 50 p.m. —		④ 3min / -90° ⑤ 3min / 90°		5 min / 90°			5 min / 90°		5 min / 90°	
N _o 2 Device	Coating area			—		—			—		—	

Diagram illustrating the coating areas for each port section. The diagrams show concentric circles representing the port sections, with shaded regions indicating the coating areas. Labels indicate angles (+90° or -90°) and positions (p-4, p-12).

- P—4:** Diagram shows four distinct coating areas labeled p-4, p-12, +90°, and -90°.
- N_o 1 Device:** Diagram shows four distinct coating areas labeled p-4, p-12, +90°, and -90°.
- P—12:** Diagram shows four distinct coating areas labeled p-4, p-12, +90°, and -90°.
- N_o 2 Device:** Diagram shows four distinct coating areas labeled p-4, p-12, +90°, and -90°.

◎ The in-situ coating manipulator was mounted this port section.

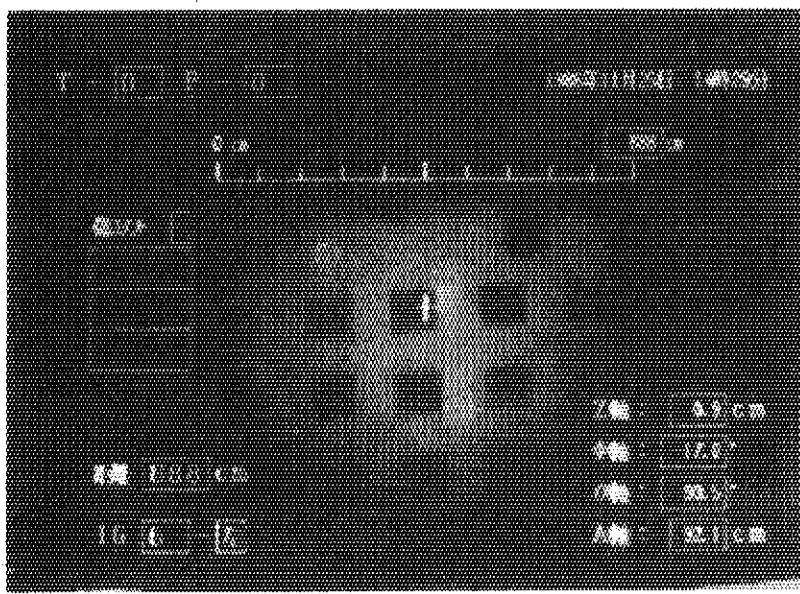
● Position of the evaporator.



(a) Type of the adaptor : straight view

Distance from the fiberscope tip to an object : 700 mm

Object : chart sample (the dimension of a square is 20 mm
in length)



(b) Type of the adaptor : side angle

Distance from the fiberscope tip to the object : 500 mm

Object : chart sample (the dimension of a square is 20 mm
in length)

Fig.5.1 Observation results. These photographs show the displayed pictures on a monitor TV.



Fig.5.2 Observation result. This photograph shows a part of eroded toroidal limiter in the JT-60 vacuum vessel.

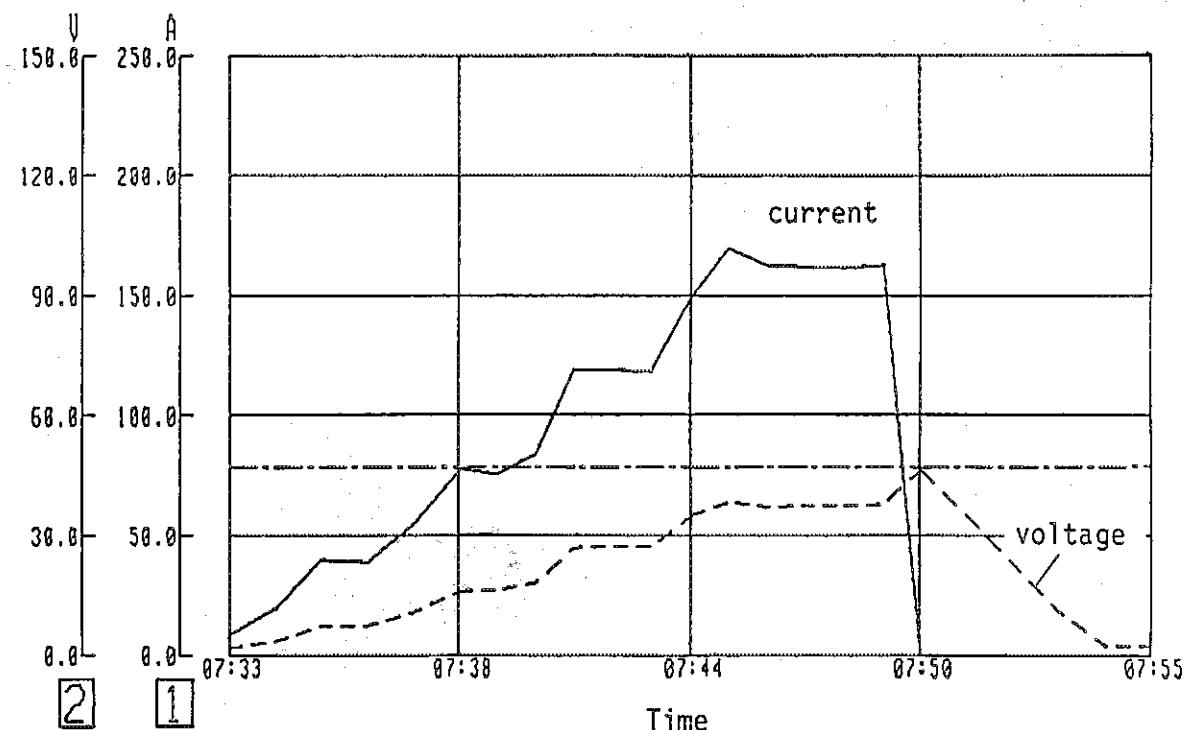


Fig.5.3 An example of electric current and voltage wave forms on titanium filaments during the flashing.

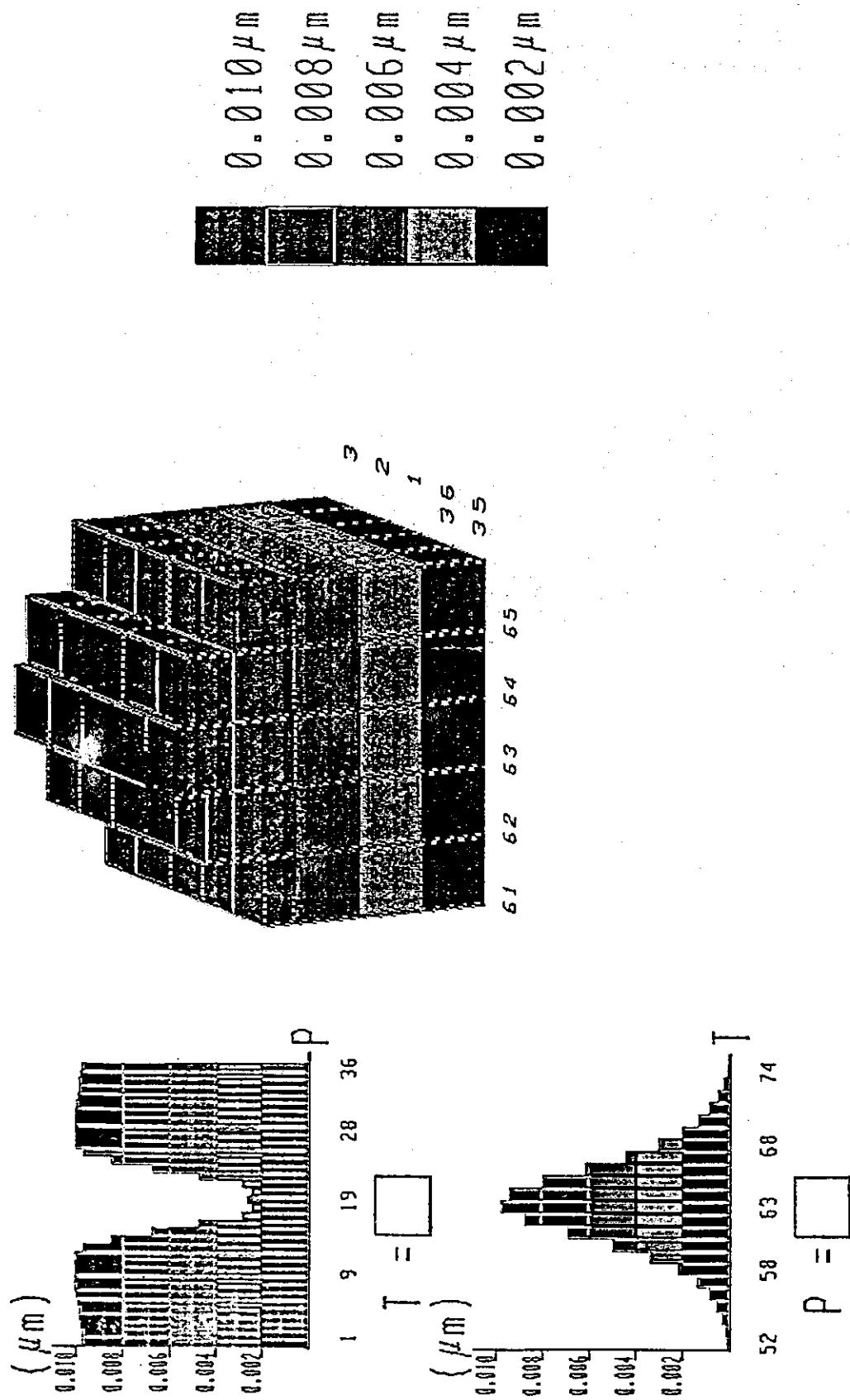


Fig.5.4 Simulated distribution of film thickness as a function of a
flashing time (5 min.).

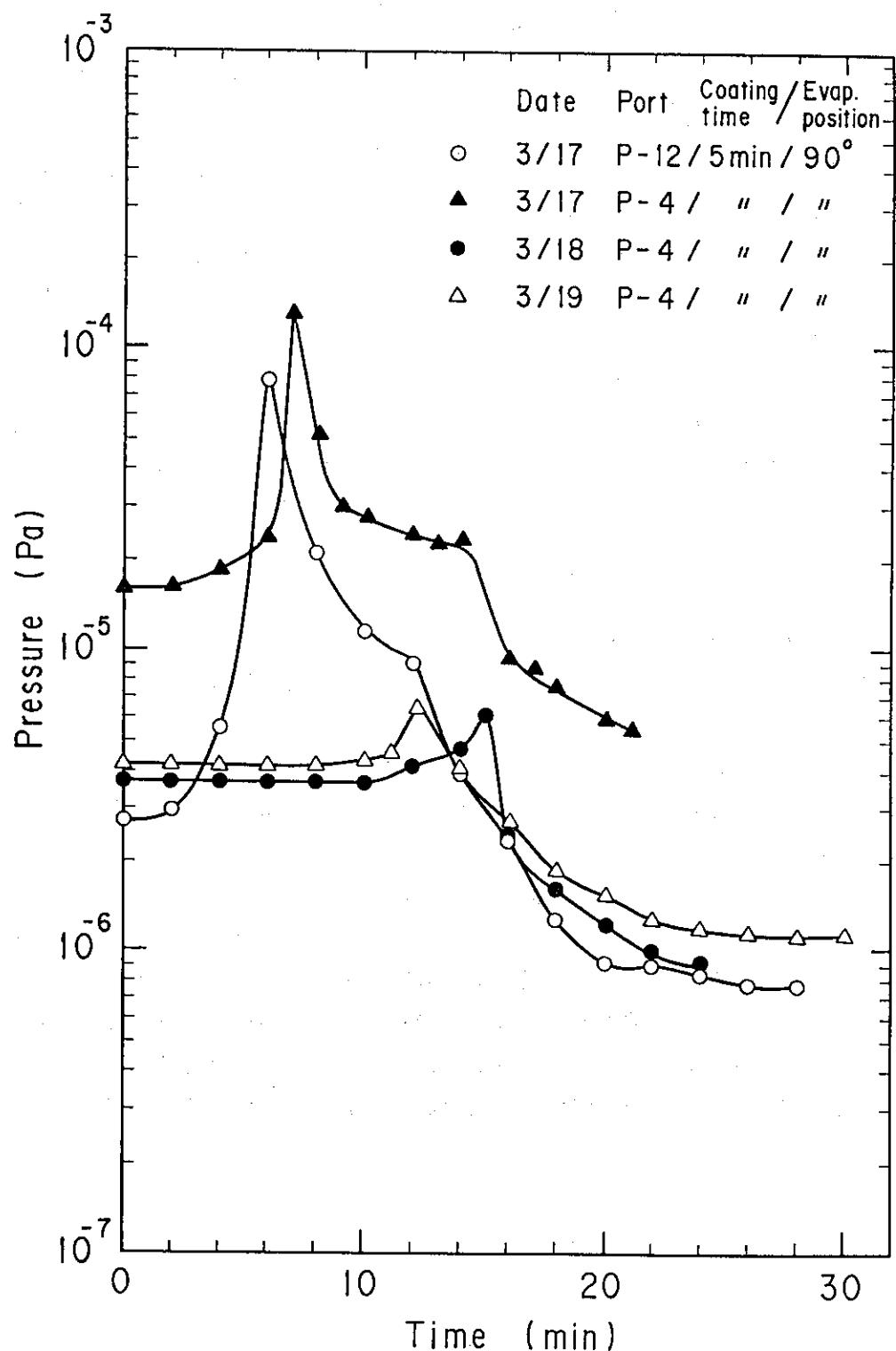


Fig.5.5 Time dependent behavior of pressure in the JT-60 vacuum vessel before and after the flashing.

6. ま　と　め

その場装置は、高温、高真空中で駆動されるマニプレータを主体に構成された装置である。高真空中での駆動では、物体の摩擦係数の増大や放出ガス量を考慮しなければならず、これによる材料や潤滑剤、駆動方式の選定には厳しい制約が伴なう。このため、実機の製作に先立ち原型機を試作し、特に高温、高真空中で使用される駆動機構と機械要素の健全性について確認、試験した⁸⁾。これらの結果はすべて実機に反映されたが、その製作、試験段階においては新たな問題点も生じた。

一例として機械系では、マニプレータを吊り下げているZ軸用のワイヤロープのネジリトルクが、ある特定位置から ϕ 軸の回転トルクを上廻り、 ϕ 軸のスリップクラッチを作動させる原因となった。この対策には、ワイヤロープとマニプレータ本体との間に回転継手を入れることで対処した。原型機では、マニプレータの高さを実機の1/3程度としたことによって、Z軸の駆動方式をボールネジ方式とした。そのため、ワイヤ吊り下げ方式での問題点が把握できなかつた。

制御系では、位置検出器を原型機でのポテンショメータからロータリエンコーダに替えたが、組み合せ試験時にエンコーダ信号に異常が発生し、位置表示及び制御動作にエラーを生じた。その場装置のマニプレータの動作状態は外部からは直接確認できないため、このエンコーダ出力をもとに判断することになる。原因と対策については、機械系、電気系、製造上の問題にわけて検討したが、その結果機械系では、エンコーダシャフトの加工時の歪みが光軸のズレを招いたこと、電気系ではケーブルが長くなったことによる電圧低下とノイズマージンとの関係からみて信号レベルが低かったことなどがあげられた。

半導体製造工程や宇宙開発に関連して、真空中で物体を駆動させる機器は多いが、高温(300°C)、高真空($\sim 10^{-6}$ Pa)下で三次元駆動する機器は現在のところその場装置以外には見当らない。その意味からもその場装置の潤滑剤や構造材などの材料選定を含めての駆動方式や、二次元モデルを用いて作業環境とマニプレータの幾何形状モデルを計算機内に構築しマニプレータを運転する制御方式は、今後の同様の機器の設計、製作に少なからず参考になるものと思われる。

謝　　辞

その場装置は昭和58、59年度に実施された原型機の試作、試験を引き継いだ形で、昭和60、61年度の2年間にわたって製作された。

この間、終始ご激励を戴いたJT-60試験部飯島勉部長、臨界プラズマ研究部吉川允二部長（現那珂研究所所長）ならびに核融合研究部田中正俊部長に感謝の意を表します。

また、原型機開発当初から終始有益なコメントを戴いた炉心工学研究室村上義夫室長、阿部哲也主任研究員をはじめ、据付、調整、試験時に多大な協力を戴いたJT-60第1、第2試験室の各位、さらに本装置の製作にあたられた（株）三菱電機神戸製作所、制御製作所、そしてコンピュータシステム製作所の各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本原子力研究所：核融合研究開発の現状（1986）.
- 2) 阿部哲也、村上義夫、小原建治郎、広木成治、中村和幸、伊藤　裕、溝口忠憲、梶浦宗次、佐川準基：真空27（1984）394.
- 3) T.Abe, Y.Murakami, K.Obara, S.Hiroki, K.Nakamura, T.Mizoguchi, K.Inagawa : Journal of Nucl. Mater. 133 & 134 (1985) 754 .
- 4) 阿部哲也、稻川幸之助、小原建治郎、広木成治、村上義夫：真空26（1983）488.
- 5) 稲川幸之助、阿部哲也、小原建治郎、広木成治、村上義夫：真空26（1983）494 .
- 6) T.Abe, K.Inagawa, K.Obara, Y.Murakami : Proc. of 12th Symposium on the Fusion Technology 1982 ed., Pergamon, vol. 1 (1982) 221 .
- 7) 稲川幸之助、阿部哲也、広木成治、小原建治郎、村上義夫：JAERI - M 84 - 105 (1984) .
- 8) 小原建治郎、阿部哲也、村上義夫：JAERI - M 87 - 143 (1987) .
- 9) JT-60チーム：JAERI - M 87 - 113 (1987) .

謝 辞

その場装置は昭和58、59年度に実施された原型機の試作、試験を引き継いだ形で、昭和60、61年度の2年間にわたって製作された。

この間、終始ご激励を戴いたJT-60試験部飯島勉部長、臨界プラズマ研究部吉川允二部長（現那珂研究所所長）ならびに核融合研究部田中正俊部長に感謝の意を表します。

また、原型機開発当初から終始有益なコメントを戴いた炉心工学研究室村上義夫室長、阿部哲也主任研究員をはじめ、据付、調整、試験時に多大な協力を戴いたJT-60第1、第2試験室の各位、さらに本装置の製作にあたられた（株）三菱電機神戸製作所、制御製作所、そしてコンピュータシステム製作所の各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本原子力研究所：核融合研究開発の現状（1986）.
- 2) 阿部哲也、村上義夫、小原建治郎、広木成治、中村和幸、伊藤 裕、溝口忠憲、梶浦宗次、佐川準基：真空27（1984）394.
- 3) T.Abe, Y.Murakami, K.Obara, S.Hiroki, K.Nakamura, T.Mizoguchi, K.Inagawa : Journal of Nucl. Mater. 133 & 134 (1985) 754 .
- 4) 阿部哲也、稻川幸之助、小原建治郎、広木成治、村上義夫：真空26（1983）488.
- 5) 稲川幸之助、阿部哲也、小原建治郎、広木成治、村上義夫：真空26（1983）494 .
- 6) T.Abe, K.Inagawa, K.Obara, Y.Murakami : Proc. of 12th Symposium on the Fusion Technology 1982 ed., Pergamon, vol. 1 (1982) 221 .
- 7) 稲川幸之助、阿部哲也、広木成治、小原建治郎、村上義夫：JAERI-M 84-105 (1984) .
- 8) 小原建治郎、阿部哲也、村上義夫：JAERI-M 87-143 (1987) .
- 9) JT-60チーム：JAERI-M 87-113 (1987) .